

| 題名  | 作/譯者         | 卷期號   | 頁碼    | 出版年     |
|---|--------------|-------|-------|---------|
| 大氣變化實驗--劇烈環境風暴和中尺度實驗之第五案(1979年5月20日-21日)水汽通量的診斷研究 | 張修武          | 31/01 | 1     | 1985.03 |
| 西藏山區與台灣山脈對平均緯流地形作用的參數化                            | 劉明禮          | 31/01 | 16    | 1985.03 |
| 衛生掩埋場的設計和空氣污染的防範                                  | 沈鐸 戚啓勳       | 31/01 | 25    | 1985.03 |
| 都卜勒氣象雷達之評介  | 劉復誠          | 31/01 | 32    | 1985.03 |
| -----   | -----        | ----- | ----- | -----   |
| 六三豪雨之中尺度分析暨近年來北部水患之探討                             | 丘台光 劉復誠      | 31/02 | 1     | 1985.06 |
| 變換函數橫式之估計及診斷                                      | 陳熙揚          | 31/02 | 15    | 1985.06 |
| 台灣東部及東南部豪雨之研究                                     | 劉明禮          | 31/02 | 24    | 1985.06 |
| 民國七十二年颱風調查報告---侵台颱風(8402號)魏恩                      | 氣象局          | 31/02 | 34    | 1985.06 |
| 1934及1935年地震規模之推算                                 | 徐明同          | 31/02 | 53    | 1985.06 |
| -----   | -----        | ----- | ----- | -----   |
| 利用正壓模式研究亞洲寒潮爆發與行星尺度之關係                            | 王忠山 蔡清彥      | 31/03 | 1     | 1985.09 |
| 颱風類比模式之路徑預測誤差的統計比較                                | 陳熙揚 D.K.Cope | 31/03 | 10    | 1985.09 |
| 民國七十三年颱風調查報告---侵台颱風(8409號)傑魯特                     | 許翠玲          | 31/03 | 41    | 1985.09 |
| 民國七十三年颱風調查報告---侵台颱風(8412號)裘恩                      | 趙世騰          | 31/03 | 49    | 1985.09 |
| -----   | -----        | ----- | ----- | -----   |
| 微氣象特性及其在農業上之應用                                    | 楊之遠          | 31/04 | 1     | 1985.12 |
| 松山及桃園地區成霧之分析與預報研究                                 | 劉復誠 蔣為民      | 31/04 | 14    | 1985.12 |
| 民國七十三年颱風調查報告---侵台(海上)颱風(8425號)比爾                  | 蔣為民          | 31/04 | 32    | 1985.12 |
| 民國七十三年北太平洋西部颱風概述                                  | 陳來發          | 31/04 | 39    | 1985.12 |

|      |  |  |                   |  |  |   |  |  |
|------|--|--|-------------------|--|--|---|--|--|
| 出版者  |  |  | 中央氣象局氣象學報社        |  |  | 臺北市公園路六十四號                                    |  |  |
| 發行人  |  |  | 吳宗堯               |  |  | 電話：3713181                                    |  |  |
| 社長   |  |  | 吳宗堯               |  |  |   |  |  |
| 編輯委員 |  |  | 喬鳳倫               |  |  |   |  |  |
| 審任委員 |  |  | 鼎恭宗強英然勳達          |  |  |   |  |  |
| 委    |  |  | 王曲呂洪胡陳戚楊          |  |  |   |  |  |
| 主    |  |  | 時克世理仲泰啓之          |  |  |   |  |  |
| 委    |  |  | 文英印刷企業有限公司        |  |  |   |  |  |
|      |  |  | 臺北市萬大路486巷10弄40號  |  |  |   |  |  |
|      |  |  | 3016802 • 3018572 |  |  |   |  |  |
| 幹印地電 |  |  | 事者址話              |  |  | 張楊廖鄭謝蔡蔡徐<br>隆之學邦信清義君<br>男遠鑑傑良彥本明<br>(按姓氏筆劃排列) |  |  |

## A DIAGNOSTIC STUDY OF MOISTURE FLUXES DURING AVE-SESAME V. (20-21 May 1979)

*Hsiu-Wu Chang\**

### ABSTRACT

The moisture fluxes and budgets of the fifth case of the Atmospheric Variability Experiment — Severe Environmental Storms and Mesoscale Experiment (AVE-SESAME V, 20-21 May, 1979) were studied. The data in this period were taken every 1.5 or 3h intervals with an average station spacing of 75 km. A  $15 \times 13$  grid using Barnes (1964) objective analysis method with grid length of 25 km and vertical interval of 50 mb was processed, and the calculated results showed a good relationship when compared with radar summary charts.

When storms occurred there was horizontal moisture flux convergence in the lower troposphere. The moisture convergent areas were consistent with convective areas with a maximum value of  $-15 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \times 10^{-4}$ . In the middle and higher troposphere, the horizontal moisture convergence was weaker or change to divergent areas. The vertical moisture flux divergent term was opposed. There were vertical moisture flux divergence in the lower troposphere, and vertical moisture flux convergence in the middle or higher troposphere during the storm period. These two terms worked together to provide the maximum concentration of moisture in the lower layer, and transported it upward into the middle and upper layers in the convective areas. The maximum vertical moisture transport occurred at 800 mb level. In the moisture budgets, there were moisture sinks in the storm period, and moisture sources in pre-storm period. The areas of maximum moisture sinks were consistent with maximum convective areas. The moisture sinks were due to the precipitation and condensation.

### I. INTRODUCTION

#### a. Statement of the problems

The moisture distribution in the atmosphere is very important, because it controls

---

\*Section Chief of the Meteorological Satellite Ground Station, Central Weather Bureau, R.O.C.

the initiation and maintenance of convective storms. For a convective storm to develop, a large quantity of moisture must be available in the lower layers. Usually this requirement is fulfilled by the presence of low-level moisture convergence. The distribution of moisture is also quite variable, especially in the regions where storms are taking place, since the convective activity will modify the moisture distribution.

The time and space scales associated with mid-latitude convective systems are usually less than a few hours and hundred kilometers, respectively. However, the convective upper air observations are taken every 12 hours with average spacing of about 400 kilometers. The resolution of these data is too coarse in both space and time to resolve convective systems properly. However, the data collected during the 1979 Atmospheric Variability Experiment — Severe Environment Storms and Mesoscale Experiment (AVE-SESAME) (Hill et al., 1979) have a much finer resolution. It allows researchers to study some aspects of storm-environment interactions. The study described here concerns the moisture budget of the areas of thunderstorms that occurred during the fifth AVE-SESAME period (20-21 May, 1979). The data in this period were taken every 1.5 or 3h intervals with an average station spacing of 75 km. The moisture budget will lead us to a better understanding of the structure and internal dynamics of the organized convective system.

## **b. Previous studies**

Moisture budgets are useful in investigating characteristics of storms. Spar (1953) used a moisture budget for quantitative precipitation forecasting. The method was found useful in locating regions of large expected rainfall, but forecast amount failed to verify. Bradbury (1957) computed water budgets for three kinds of storms. She used the mean observed wind and mixing ratio in layers of 100 mb thickness. The result indicated a fair agreement between the computed and observed amounts of precipitation.

Bonner (1966) showed that the development and maintenance of severe storms are influenced by transports of momentum, heat and moisture by eddies in the atmospheric boundary layer. Hudson (1971) found that well defined axes of horizontal moisture convergence generally accompany development of strong cumulus convection. Lin and Hwang (1974) found that the turbulent mixing of water vapor in the subcloud layers played an important role in determining the vertical moisture distribution of the up-draft.

Fitsch *et al.* (1976) showed that the synoptic scale moisture budgets would underestimate precipitations of the convective parameterization. They studied an Oklahoma squall line and found that the synoptic scale moisture convergence was much smaller than the rate of consumption of water vapor by mesoscale systems. The mesoscale systems can generate substantially larger moisture fluxes into convective clouds than that indicated by the synoptic scale moisture convergence.

Maddox (1980, 1981) indicated that increasing of low-level moisture in the genesis region of Mesoscale Convective Complex (MCC) was obvious, and moisture sources were from Gulf of Mexico. He also calculated the moisture budgets of MCC, and showed that it produced more precipitation than that can be explained by large and medium scale



rates of vapor supply as defined by 12h synoptic data.

Sienkiewicz and Scoggins (1982) used two cases, AVE VII, 1978 and AVE-SESAME I, 1979, to study moisture budgets. The calculation of budgets was based on 3-hr rawinsonde data, and the common feature included horizontal moisture convergence in the low layers with subsequent upward vertical transport of moisture in the convective areas. The results showed that cumulative precipitation integrated over the same area as the moisture budget terms were in good agreement with the calculated residual sink terms.

A number of researches also used 3-h interval data of AVE-SESAME '79 to investigate the structure of subsynoptic scale phenomena (Moore and Fuelberg, 1981; Anthes *et al.*, 1982). Fuelberg and Printy (1983) used AVE-SESAME V (20-21 May, 1979) data to diagnose atmospheric variability in the environment of convective areas. They showed that strong low-level convergence, upper-level divergence, and ascending motion developed after storm initiation.

### c. Objective

In the study by Fuelberg and Printy (1983), the moisture budget and fluxes were not included. These quantities are of vital importance for initiation and development of convective systems. The gridded data processed by the above authors were used in this research. The main objective of this research is to extend the study by Fuelberg and Printy (1983) with emphasis on the investigation of the moisture flux in convective and non-convective areas using AVE-SESAME V storm scale rawinsonde data. The items to be investigated include the horizontal and vertical moisture transports and distributions in these areas. The procedures used are as follows:

1. Using radar summary charts to determine convective and non-convective areas.
2. Using 1.5 and 3-hr rawinsonde data to evaluate the following moisture terms:
  - a. local time change of moisture,
  - b. horizontal moisture flux divergence,
  - c. vertical moisture flux divergence, and
  - d. residual terms.
3. Interpreting each of the moisture budget terms with respect to the weather conditions and radar summary charts.

## II. DATA

The case being studied is the AVE-SESAME V (20-21 May, 1979). Twenty rawinsonde stations in Oklahoma and Texas were employed to collect the data at either 1.5 or 3-h intervals. The location of these stations are shown in Fig. 1. Observations were taken at ten times: 1100, 1400, 1700, 2000, 2130, and 2300 GMT on 20 May 1979 and 0200, 0500, 0800, and 1100 GMT on 21 May 1979. The average station spacing was approximately 75 km. The data can be considered representative of the meso  $\beta$ -scale storm environment. Sounding were terminated at 100 mb with data recorded at every 25 mb.

Fuelberg and Printy (1983) processed the data of the same case onto a 15×13 grid using Barnes (1964) objective analysis procedure. The grid length was 25 km and the scan radius was 150 km. Grids were obtained at the surface and at 50 mb intervals from 900 mb to 150 mb. Data at each level were adjusted to a common time using a linear interpolation scheme similar to that of Fankhauser (1969). Winds at individual 50 mb levels were arithmetic average of values at that level, and 25 mb above and below that level. The final data grids have response values that are approximately 32% of original resolved amplitudes at wavelength of 150 km, and 82% at wave length of 225 km. The detail of data processing was described in the study by Fuelberg and Printy (1983). In the present study, moisture fluxes and budgets at various levels were calculated at each grid point in the 13×11 array. Fig. 1 illustrates the gridpoint region and the locations of special sounding sites during AVE-SESAME V.

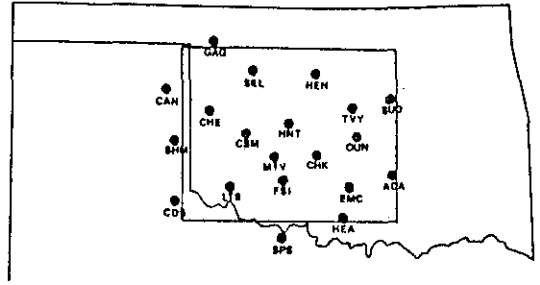


Fig. 1. Locations of special radiosonde sites during AVE-SESAME V. The outline indicated the innermost 13×11 grid-point region for which moisture budget terms were computed. (After Fuelberg & Printy, 1983)

### III. METHODOLOGY

#### a. Theoretical development

The moisture budget equation used in this research was derived from the equation of continuity for water vapor, i.e.,

$$\frac{\partial \rho_v}{\partial t} + \vec{\nabla}_3 \cdot \rho_v \vec{V}_3 = S \quad (1)$$

where  $\rho_v$  is density of water vapor,  $\vec{\nabla}_3$  is 3-dimensional del operator,  $\vec{V}_3$  is 3-dimensional wind vector, and  $S$  represents sources and sinks of water vapor. Since  $\rho_v = \rho q$  (where  $\rho$  is density of air,  $q$  is mixing ratio), it yields:

$$\rho \left( \frac{\partial q}{\partial t} + \vec{\nabla}_3 \cdot \vec{V}_3 q \right) + q \left( \frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla}_3 \cdot \rho \vec{V}_3 \right) = S \quad (2)$$

Due to the mass continuity equation, the second term on the left-hand side is equal to zero. Using the continuity equation in an isobaric system, (2) can be rewritten as:

$$\rho \left( \frac{\partial q}{\partial t} + \vec{\nabla}_p \cdot \vec{V}_2 q + \frac{\partial \omega q}{\partial p} \right) = S \quad (3)$$

If the equation is integrated in the vertical and used the hydrostatic approximation, the result is:

$$\frac{1}{g} \int_{P_2}^{P_1} \left[ \frac{\partial q}{\partial t} + \vec{\nabla}_p \cdot (\vec{V}_2 q) + \frac{\partial \omega q}{\partial p} \right] dp = R \quad (4)$$

Where  $P_1$  and  $P_2$  represent the pressure of the lower and higher level, respectively.  $R$  is the vertical integrated residual term that represents the effects of condensation, precipitation and evaporation.

Separate the terms on the left-hand side and integrate the third term, yields:

$$\frac{1}{g} \int_{P_2}^{P_1} \frac{\partial q}{\partial t} dp + \frac{1}{g} \int_{P_2}^{P_1} \vec{\nabla}_p \cdot (\vec{V}_2 q) dp + \frac{1}{g} [(\omega q)_{P_1} - (\omega q)_{P_2}] = R \quad (5)$$

where  $\frac{1}{g} \int_{P_2}^{P_1} \frac{\partial q}{\partial t} dp$  is the local change of moisture,  $\frac{1}{g} \int_{P_2}^{P_1} \vec{\nabla}_p \cdot (\vec{V}_2 q) dp$  is the horizontal flux divergence of moisture,  $\frac{1}{g} [(\omega q)_{P_1} - (\omega q)_{P_2}]$  is the vertical flux divergence of moisture, and  $R$  is the source and sink term.

This equation is the theoretical form of moisture budget used in this study. The equation was solved using finite differencing methods. The value obtained should be interpreted as the areas mean over the grid size rather than the value at each grid point.

#### b. Computational procedures

The grid data used in this study were 3-dimensional wind components in isobaric coordinates,  $u(m/s)$ ,  $v(m/s)$ ,  $\omega(\mu b/s)$ , and mixing ratio,  $q(g/kg)$ . Integration was made from 900 mb to 350 mb with 50 mb intervals. The time period started from 1100 GMT, 20 May 1979 to 1100 GMT, 21 May 1979 with 1.5 or 3-h intervals.

To calculate the local time change term, the value of mixing ratio at each grid point was subtracted from the corresponding grid point value at next observational time divided by the difference in time between the two observations, i.e.,

$$\frac{\partial q}{\partial t} \approx \frac{q_{t_2} - q_{t_1}}{t_2 - t_1} \quad (6)$$

Vertical integration was made with 50 mb intervals. The average values of grid points at the top and bottom of the 50 mb layer were taken and multiplied by the thickness of the layer. The equation can be expressed as:

$$\frac{1}{g} \int_{P_2}^{P_1} \frac{\partial p}{\partial t} dp \approx \frac{1}{g} \left[ \left( \frac{\Delta p}{\Delta t} \right)_{P_1} + \left( \frac{\Delta p}{\Delta t} \right)_{P_2} \right] \frac{\Delta p}{2} \quad (7)$$

To calculate horizontal moisture flux divergence, the value of  $u$ - and  $v$ -components of the wind and mixing ratio were considered at each level. Horizontal derivatives were evaluated using the centered finite difference. Vertical integration was calculated every 50 mb similar to the method of local time change of moisture described previously.

To evaluate the vertical moisture divergence for each 50-mb thick layer, the product of mixing ratio and vertical motion was found at the gridded levels 50 mb apart. The value at the top of each 50-mb layer was then subtracted from the value at the next lower level. Vertical motion ( $\omega$ ) was computed by the kinematic method following the

variational adjustment method suggested by O'Brien (1970). Further, the vertical moisture flux term,  $\omega q/g$ , at each level (900 mb to 350 mb) was also calculated.

The residual term was computed as the sum of the three terms on the left-hand side of the moisture budget equation. This term represents the effects of sinks and sources of moisture such as precipitation, condensation, evaporation and computational error.

#### IV. DISCUSSION OF RESULTS

The radar summary charts of this case were shown in Fig. 2. The time of peak convective activity occurred near 2130 GMT, 20 May 1979. The horizontal convergence and vertical motion also had maximum values near this time (Fuelberg and Printy, 1983). The calculated moisture budget terms with contoured plots, vertical cross-section charts, and moisture budget diagrams would be discussed and compared with the weather conditions in this section.

##### a. Local time change of moisture

Values of the local time change of moisture were found smaller than the other terms in the moisture budget equation in this study. In the low layer (900mb-850mb, Fig. 3) in the convective areas, at 2130 GMT 20 May 1979, the term was generally negative indicating net losses of moisture in this layer. However, positive values were present in pre-storm (1700 GMT 20 May) and post-storm (0200 GMT 21 May) time, indicating net gains of moisture. Although the magnitude was small, this term showed decrease of moisture in the low layer in the areas where storms were taking place, and small increasing of moisture in pre-storm and post-storm periods. In the higher layers this term was smaller, and almost equal to zero.

##### b. Horizontal moisture flux divergence

The contoured plots of horizontal moisture flux divergence (see Fig. 4) showed that the major characteristics of the term were low-level moisture convergence (negative values in this term) in the areas with storm convective activity, and divergence (positive values) in other areas. Comparing the results with the radar summary chart at 2135 GMT 20 May 1979, see Fig. 5, we found that the maximum activity was on the southeastern corner of the gridded area where moisture flux convergence is of maximum ( $\sim -15 \text{ kg m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \times 10^{-4}$ ). The moisture convergent areas and convective areas were closely related to each other which is consistent with the finding reported in the study by Hudson, 1971. In the post-storm period, horizontal moisture convergence decreased, and moved southward. We also could see the same phenomena of storms in radar charts in Fig. 2.

A vertical cross-section along line A-B (Figs. 3, 5) was taken from the northwest to southeast direction of the gridded area. The results (900mb-500mb) were shown in Fig. 6. In the pre-storm period (1700 GMT 20 May), the lower troposphere had weak horizontal moisture divergence, and the middle troposphere had weak convergence. In the maximum storm time (2130 GMT, 20 May) there were strong horizontal moisture convergences below the layer of 750mb. In the middle troposphere, horizontal moisture

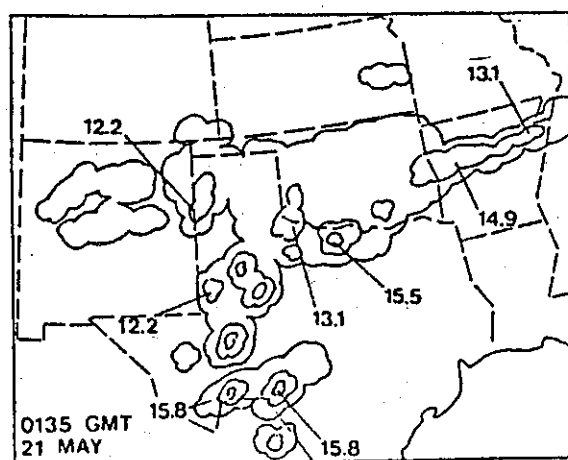
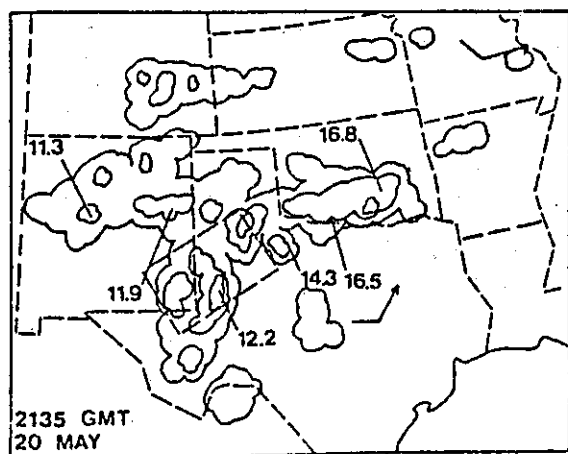
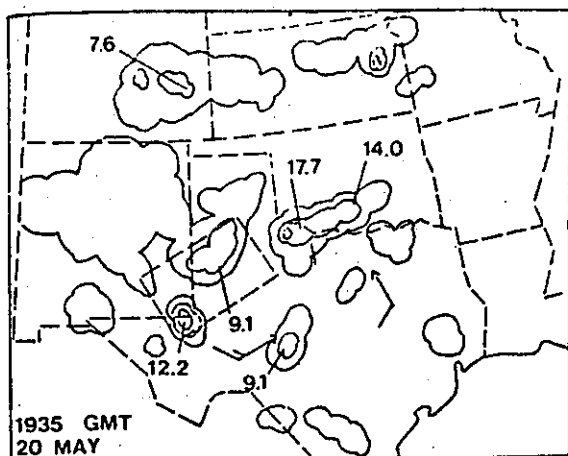


Fig. 2. NMC radar summaries with echo tops in km and speeds in  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . (Fuelberg and Printy, 1983)

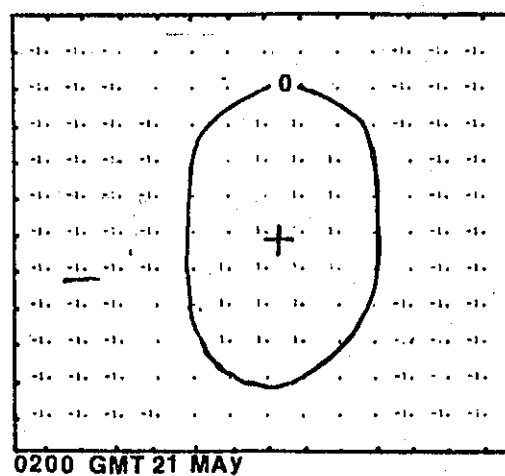
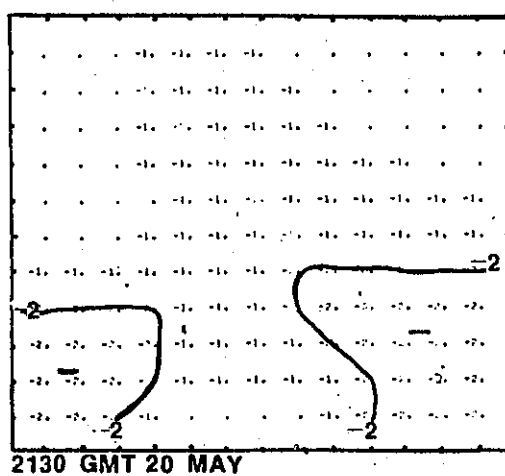
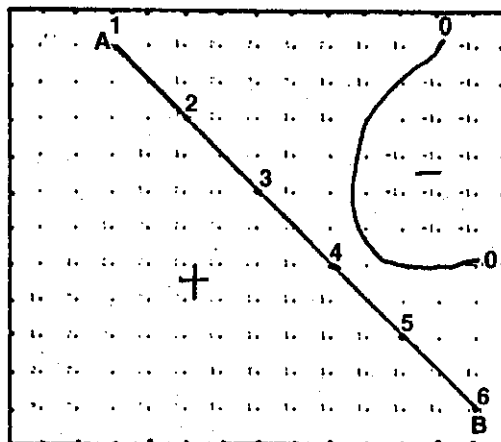


Fig. 3. Local time change of moisture ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}\times 10^{-4}$ ) in the 900mb-850mb layer.

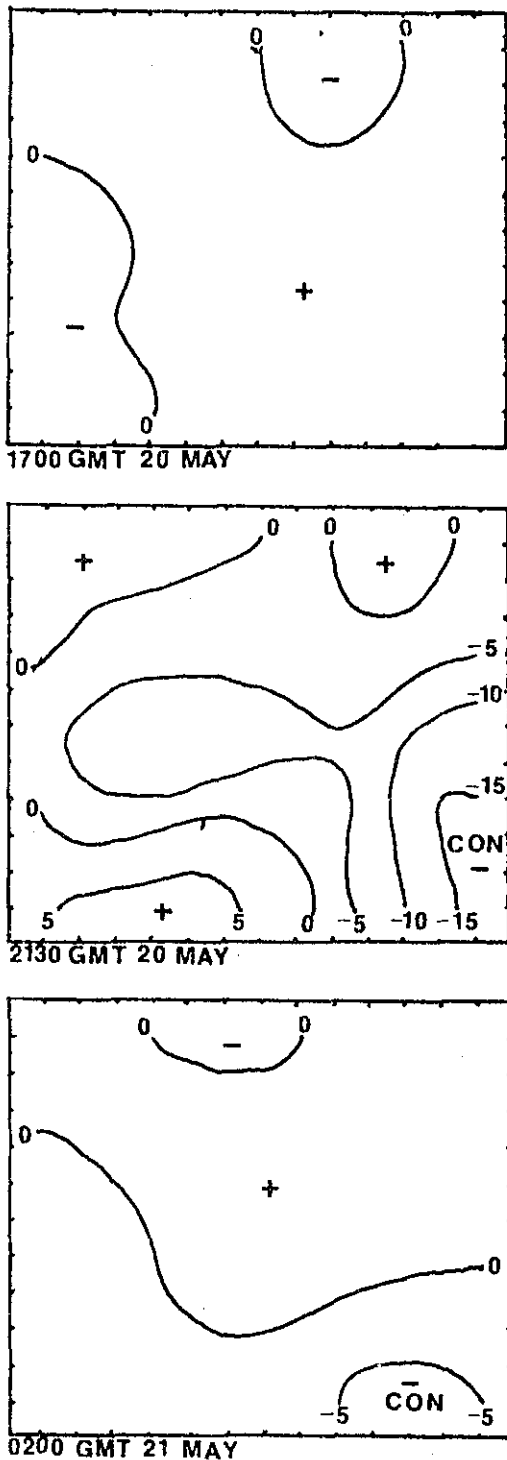


Fig. 4. Horizontal moisture flux divergence ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \times 10^{-4}$ ) in the 900mb-850mb layer.

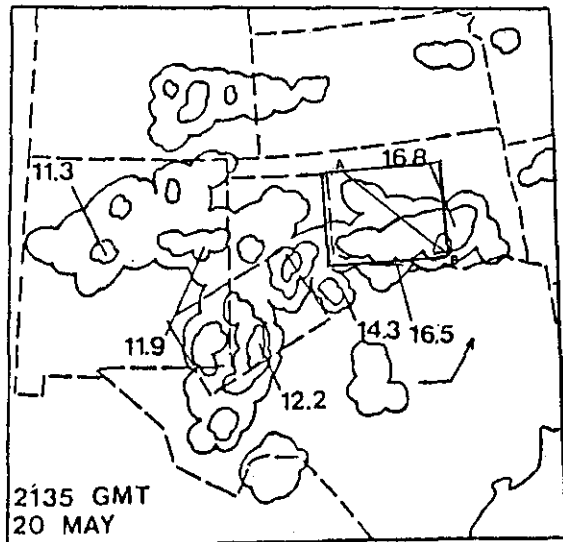


Fig. 5. The radar summary chart at 2135 GMT 20 May 1979.

convergence was weaker, but these regions were consistent with the convective areas shown in the radar charts. In the post-storm period, low-level moisture flux convergence decreased and tilted with height. The convective activity also decayed at this time.

Horizontal moisture convergence was the largest term in the lower layers in areas with strong convective activity. Moisture was being concentrated by low-level winds in the convective areas, and then was transported upward. Latent heat was released by condensation which provided the main source of energy to supply the storm activity. In this study, we found that the areas with strong horizontal moisture convergence were closely related to the convective areas.

#### c. Vertical moisture flux divergence

The vertical moisture flux divergence of the 900mb-850mb layer was shown in Fig. 7. The contours of these charts were similar to that in Fig. 4, but the values were reversed. In the storm period (2130 GMT

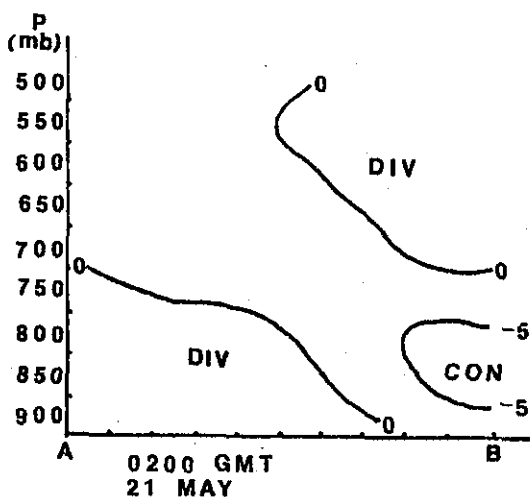
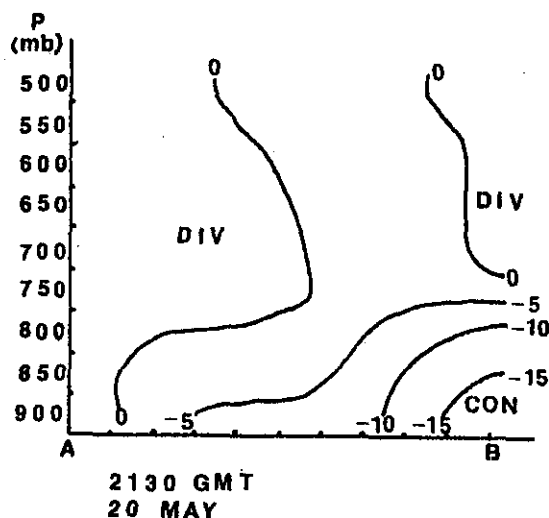
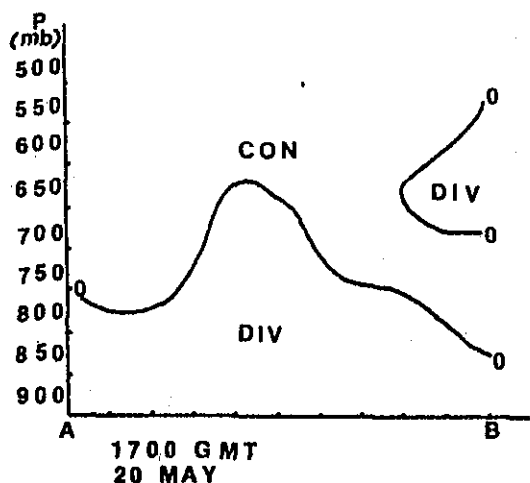


Fig. 6. Vertical cross-section of horizontal moisture flux divergence ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}\times 10^{-4}$ ) along line A-B

20 May), there were strong positive values in convective areas instead of negative values in Fig. 4. It presented that there were strong low-level vertical moisture flux divergence in these areas. The maximum value was about  $10 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}\times 10^{-4}$  at the southeastern corner of the gridded area. The convergent and divergent areas of horizontal and vertical moisture flux divergence terms were almost reversed. This was due to the reason of mass and moisture continuity.

The vertical cross-section charts along line A-B were showed in Fig. 8. In storm areas at 2130 GMT 20 May, There were vertical moisture flux divergence in low atmosphere, and vertical moisture flux convergence in middle atmosphere. This is due to the reason that the vertical transport of moisture ( $\omega q/g$ ) had maximum value in the layer near 800 mb (Fig. 9). So there were vertical moisture flux divergence in low atmosphere, and vertical moisture flux convergence in middle atmosphere. In the post-storm period, these values decreased and divergent areas tilted with height.

The charts of Fig. 9 showed that there were strong vertical transport of moisture ( $\omega q/g$ ) in storm areas at 2130 GMT 20 May 1979. The negative values represented upward transport of moisture. The maximum area of upward transport of moisture was also located on the southeastern corner of the gridded area where maximum convective activity occurred. In the post-storm period, storms moved southward and decayed.

#### d. Moisture budgets

Moisture budgets were computed from 900 mb to 350 mb at six gridded points along line A-B (see Fig. 3). The results are

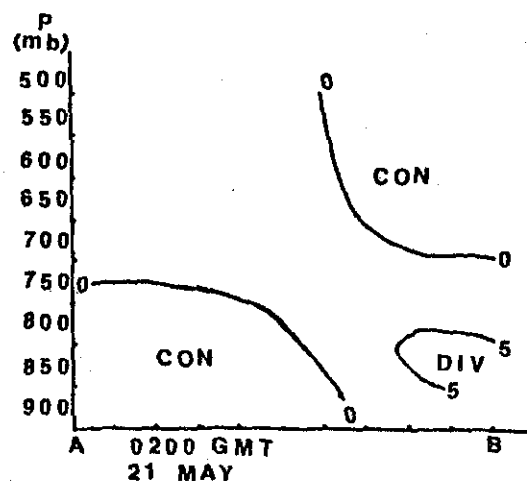
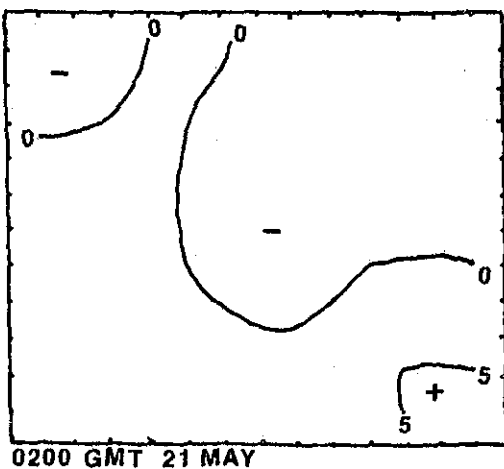
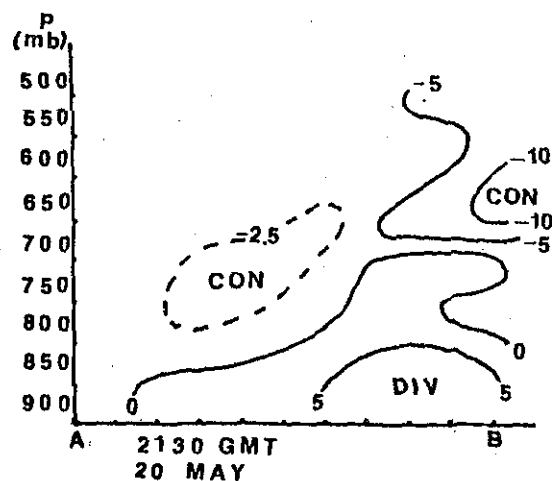
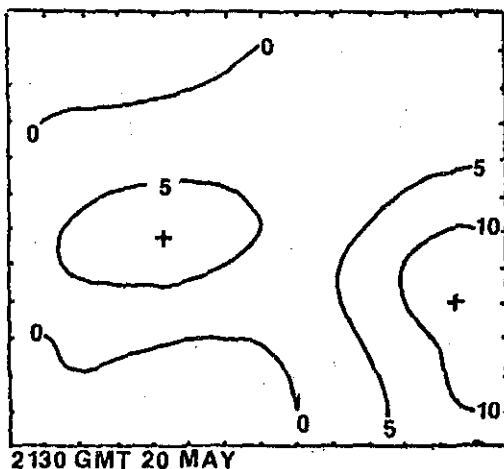
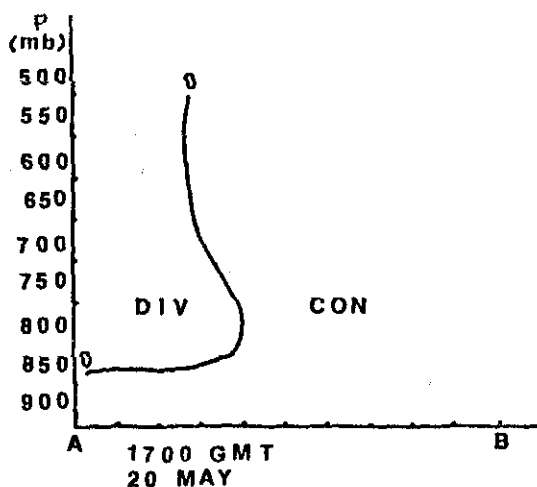
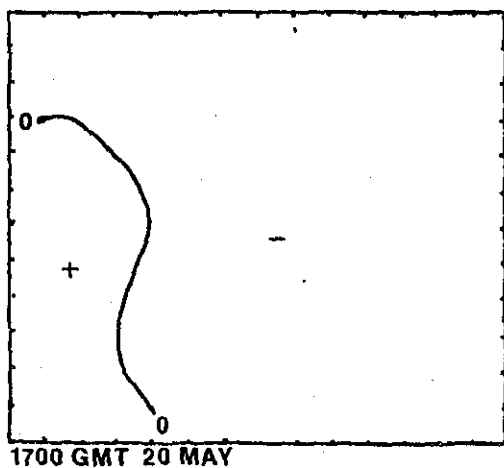
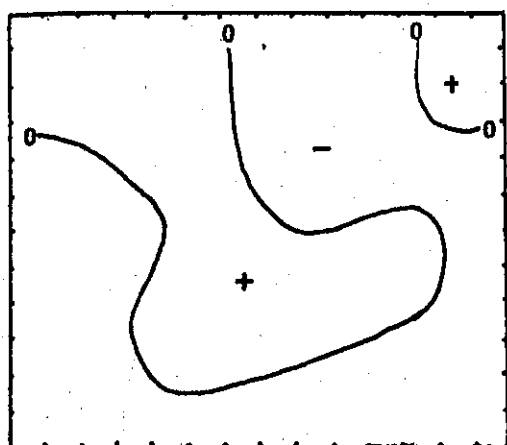


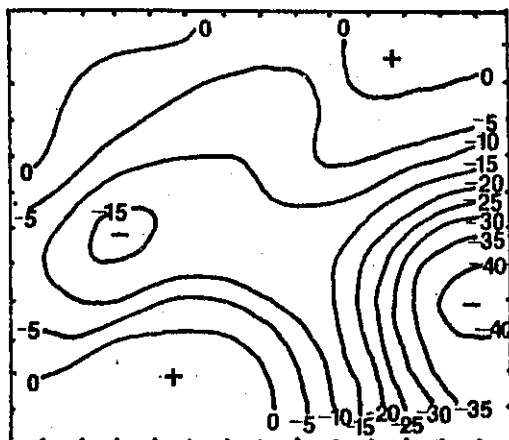
Fig. 7. Vertical moisture flux divergence ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \times 10^{-4}$ ) in the 900mb-850mb layer.

Fig. 8. Vertical cross-section of vertical moisture flux divergence ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \times 10^{-4}$ ) along line A-B.

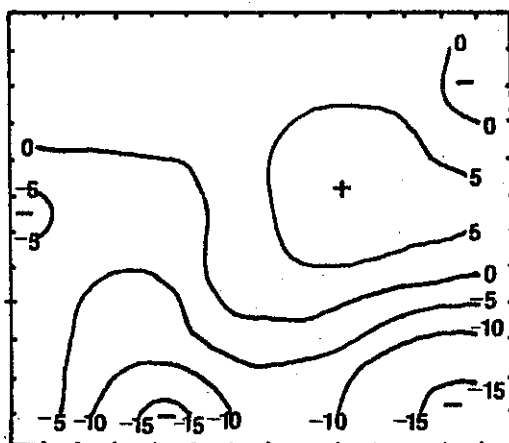




1700 GMT 20 MAY



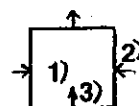
2130 GMT 20 MAY



0200 GMT 21 MAY

Fig. 9. Vertical transport of moisture ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \times 10^{-4}$ ) at 800 mb.

shown in Figs. 10, 11, 12. There are three terms in the boxes of the moisture budget charts: 1) Local time change of moisture, 2) horizontal moisture flux divergence, and 3) Vertical transport of moisture ( $\omega q/g$ ) (see the following diagram).



The residual term was computed as a combination of the term on the left-hand side of the moisture budget equation. Values of the residual term were negative in the areas with convective activity, so that there were net moisture sinks in these regions (see Fig. 11). The presence of the moisture sinks would be attributed to precipitation. The maximum value was  $-59 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \times 10^{-4}$  at 2130 GMT on May 20, 1979 in Fig. 11. The was consistent with the maximum convective region indicated in the radar chart (Fig. 5).

In the pre-storm period (1700 GMT 20 May, Fig. 10), the residual term was positive in all six gridded points, so there were moisture sources in the pre-storm period. During the storm and post-storm periods, convective activity areas are associated with moisture sinks (Figs. 10, 11). Inspecting the diagrams, we found that the horizontal flux divergence attributed most in the moisture sinks.

## V. CONCLUDING REMARKS

Moisture budgets were calculated for a period of intense thunderstorm activity that occurred over central Oklahoma during AVE-SESAME V (20-21 May 1979). Rawinsonde data with 75 km spacing at either 3 or 1.5 h intervals were

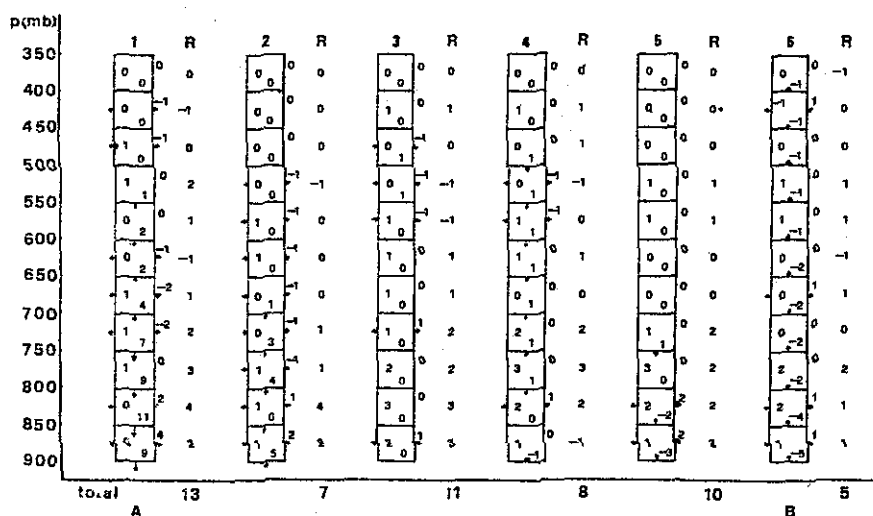


Fig. 10. Moisture budgets ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \times 10^{-4}$ ) along line A-B at 1700 GMT 20 May 1979.

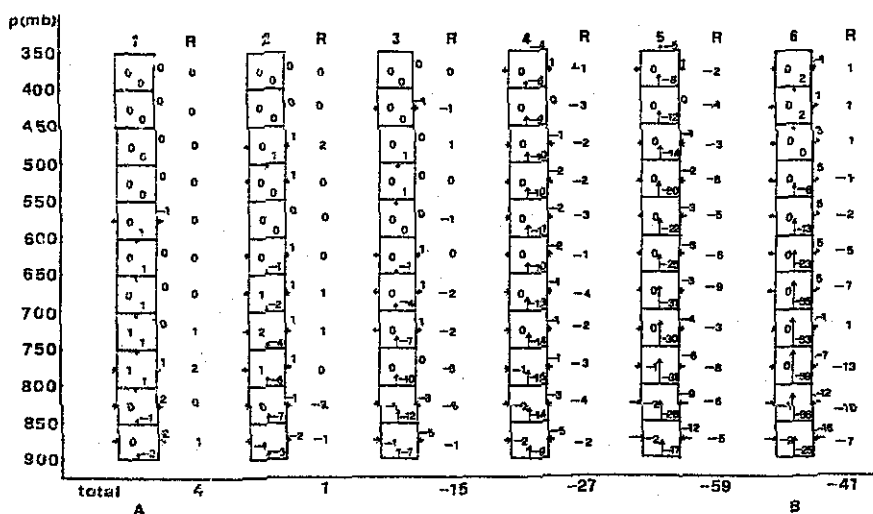


Fig. 11. Moisture budgets ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \times 10^{-4}$ ) along line A-B at 2130 GMT 20 May 1979.

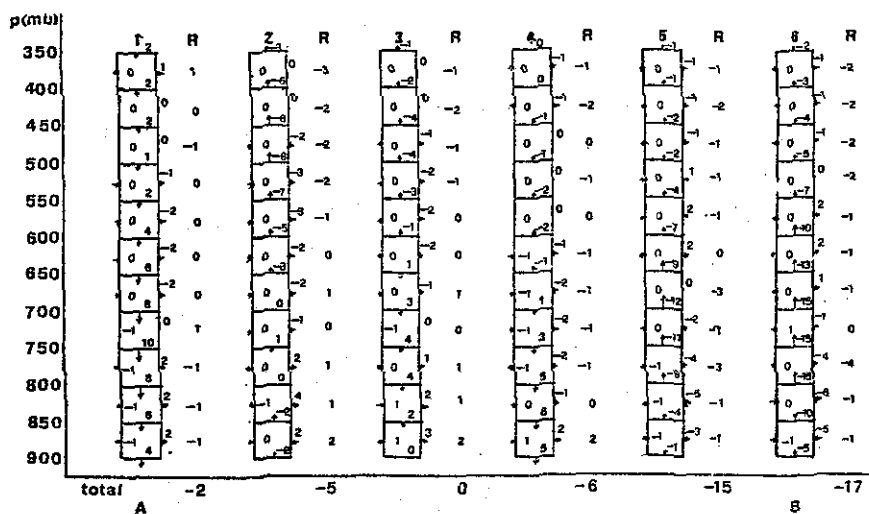


Fig. 12. Moisture budgets ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \times 10^{-4}$ ) along line A-B at 0200 GMT 21 May 1979.

used to examine moisture fluxes prior to, during, and after peak convection. The results obtained show that: .

- 1) Values of the local time change of moisture were smaller than the other terms in the moisture budget equation. This term was positive in the pre-storm period, and negative in the convective period.
- 2) Horizontal moisture flux divergence was a dominant term in the moisture budget equation. Moisture flux convergence in the lower layer was a necessary condition to storm development. The areas with horizontal moisture flux convergence were closely related to the convective activity.
- 3) The magnitude of the horizontal moisture flux divergence was greater than that of the vertical moisture flux divergence. They worked together to provide the maximum concentration of moisture in the lower layer, and transport this moisture upward into the middle and upper layers in the convective areas.
- 4) There were vertical moisture flux divergence in lower layers, and vertical moisture convergence in middle layers during the storm period.
- 5) The maximum vertical moisture transport ( $\omega q/g$ ) occurred at the 800 mb level, which was consistent with the convective activity.
- 6) There were moisture sinks in the storm period, and moisture sources in pre-storm period. The areas of maximum moisture sinks were the maximum convective areas. Moisture sinks were due to precipitation and condensation.

### ACKNOWLEDGEMENTS

This paper is the report from the course of Research Semina which was offered in Saint Louis University, and the study was supported by the Central Weather Bureau of the Republic of China. I would like to express my deepest gratitude to Dr. Yeong-Jer Lin, advisor and chairman of the research committee, for his guidance and support throughout the term of this research. Special thanks go to the other members of the commottee for their assistance: Dr. Henry E. Fuelberg and Dr. James T. Moore. In addition, I would like to thank Dr. Henry E. Fuelberg for providing the data.

### REFERENCES

- Anthes, R. A., Y. H. Kuo, S. G. Benjamin, and Y. F. Li, 1982: The evolution of the mesoscale environment of severe local storms: Preliminary modeling results. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 1187-1213.
- Barnes, S. L., 1964: A technique for maximizing detail in numerical map analysis. *J. Appl. Meteor.*, 3, 396-401.
- Banner, W. D., 1966: Case study of thunderstorm activity in relation to the low-level jet. *Mon. Wea. Rev.*, 94, 167-178.
- Bradbury, D. L., 1957: Moisture analysis and water budget in three different types of storms. *J. Meteor.*, 14, 559-565.
- Cho, H. R., 1977: Contribution of cumulus cloud life cycle effects to the large scale

- heat and moisture budget equation. *J. Atmos. Sci.*, 34, 87-97.
- Fankhauser, J. C., 1969: Convective processes resolved by a mesoscale network. *J. Appl. Meteor.*, 8, 778-798.
- Fuelberg H. E., and M. F. Printy, 1983: Meso  $\beta$ -scale thunderstorm/environment interactions during AVE-SESAME V (20-21 May 1979). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 64, 1144-1156.
- Hill, K., G. S. Wilson, and R. E. Turner, 1979: NASA's participation in the AVE-SESAME '79 program. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 60, 1323-1329.
- Hudson, H. R. 1971: On the relationship between horizontal moisture convergence and convective cloud formation. *J. Appl. Meteor.*, 10, 755-762.
- Lin Y. J. and H. J. Hwang, 1974: Some effects of the moisture distribution in the sub-cloud layer on the thermal structure of a mature severe thunderstorm. *Tellus* 24, 5, 543-559.
- Maddox, R. A., 1980: Mesoscale convective complexes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 61, 1374-1387.
- , 1981: The structure and life-cycle of the midlatitude mesoscale convective complexes. Atmos. Sci. Pap. No. 336, Colorado State University, 311 pp.
- Moore, J. T., and H. E. Fuelberg, 1981: A synoptic analysis of the first AVE-SESAME '79 period. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 62, 1577-1590.
- O'Brien, J. J., 1970: Alternate solution to the classical vertical velocity problem. *J. Appl. Meteor.*, 9, 193-203.
- Printy, M. F., 1983: A kinetic energy study of the meso  $\beta$ -scale storm environment during AVE-SESAME V (20-21 May 1979). Thesis of Earth & Atmos. Sci., Saint Louis University, 97 pp.
- Sander, F., and F. J. Paine, 1975: The structure and thermodynamics of an intense mesoscale convective storm in Oklahoma. *J. Atmos. Sci.*, 32, 1563-1579.
- Sienkiewicz, M. E., and J. R. Scoggins, 1982: Moisture processes accompanying convective activity. NASA Contractor Report 3542, 86 pp.
- , L. P. Gilchrist, and R. E. Turner, 1980: AVE-SESAME V: 25-mb sounding data. NASA TM-82417, Marshall Space Flight Center, Ala., 413 pp.
- Spar, J., 1953: A suggested technique for quantitative precipitation forecasting. *Mon. Wea. Rev.*, 81, 217-221.
- Yanai, M., S. Esbensen and J. H. Chu, 1973: Determination of bulk properties of tropical cloud clusters from large scale heat and moisture budget. *J. Atmos. Sci.*, 30, 611-627.

# 大氣變化實驗—劇烈環境風暴和中尺度實驗之第五個案

(1979年5月20日~21日) 水汽通量的診斷研究

張 修 武

中央氣象局衛星站課長

## 摘 要

本研究利用美國大氣變化實驗—劇烈環境風暴和中尺度實驗中第五個案（簡稱 AVE-SESAME V, 1979 年 5 月 20 日至 21 日）計算水汽通量和收支，該期間資料係以每 1.5 小時或 3 小時為間隔，測站間的平均距離為 75 公里。利用巴勒斯 (Barnes, 1964) 客觀分析的方法以  $15 \times 13$  水平距離 25 公里，垂直間隔 50 毫巴的網格點計算結果並和雷達資料比較顯示良好的對應關係。

當雷雨發生的時候，低對流層是水平水汽通量輻合，其最大輻合區和對流的區域一致，其最大值約為  $-15 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \times 10^{-4}$ 。在中高對流層中則水平水汽通量輻合減少或轉為輻散區。但對垂直水汽通量輻散項而言則剛好相反，在雷雨發生時低對流層是垂直水汽通量輻散，中高層為垂直水汽通量輻合，此二項在一起作用提供低層大氣水汽的集中並將其傳送至中高層中，而最大的垂直水汽傳送層是在 800 毫巴上。在水汽收支方面，雷雨發生時水汽減少，雷雨發生前水汽增加，而最大的水汽減少區和最強對流區一致，水汽減少的原因則係由於降水和凝結的緣故。

保 密 防 諜 ·

人 人 有 責 ·

匪 諜 自 首 ·

既 往 不 究 ·

# 西藏山區與臺灣山脈對平均緯流 地形作用的參數化

## *A Parameterization of the Topographic Forcing to the Himalaya Mountain and the Taiwan Mountain on the Zonal Mean Current*

劉 明 禮\*

*Ming-Lee Liu*

### ABSTRACT

To consider the vertical distribution of the topographic forcing of the mountain on the zonal mean current, a parameterization of the forcing field of the wave deformation equation had become the following equation:  $\zeta_n = -\frac{V_k}{U_0} \left(-\frac{h_k}{D}\right) \frac{\sin(KX_k)}{K}$ , where  $V_k$  might be defined as the natural frequency or the natural velocity of the topographic forcing field. An estimation had shown that it was about 10 m/sec or 9.7 longitude/day.

According to the scale analysis to compute the topographic forcing effect of the Taiwan mountain, and the analysis of the two surface lows in the downslope area of the Taiwan mountain from the weather chart Mar. 6 to Mar. 10, 1984 had come to the following conclusion:

- (i) when a wave disturbance of the scale smaller than  $7^\circ$  longitude was interacting with the Taiwan mountain, it would be available for this disturbance to be significantly intensified in the downslope area of the mountain.
- (ii) the mountain effect of Taiwan was mainly on the layer close to the surface or on the layer between the 850mb level and the surface.
- (iii) the developing of the surface low in the downslope area of the Taiwan mountain came from the stationary front which had been passing through the mountain, but whenever there was the expansion of the high pressure coming close to the Taiwan area, the surface low would not be developed.
- (iv) an estimation had shown that the time required for this surface low to be developed was that the stationary front had been passing through the mountain for 15-18 hours. this result was competable with the theoretical computation of the time period of 16-17 hours.

The disturbances of the large scale waves were usually intensified in the downslope area of the Himalaya mountain on the 500mb and 700mb layer, while the surface low in the downslope area of the Taiwan mountain would be easily

\* 中央氣象局預報測站技士

damped by the other forcing field of different character. The result above had shown that a linear parameterization of the vertical distribution of the topography was an important factor or physical quantity for the forcing field of the wave deformation equation.

The irregularly annular variation of  $V_k$  value had assumed that the annular variation of the strength of the zonal mean flow and those of the forcing field of the large scale were also important for the contribution of the wave deformation in the downslope area of the Himalaya mountain.

## 摘 要

考慮山脈地形的垂直尺度，對於平均緯流的地形效應，將波變方程式（劉：1983）中的強制場予以參數化，而得方程式： $\zeta_n = -\frac{V_k}{U_0} \left( \frac{h_k}{D} \right) \frac{\sin(KX_k)}{K}$ ，方程式中的參數  $V_k$ ，可定義為強制系統的自然速率或自然頻率，其與強制場的特性有關。取以西藏山區對亞洲冬季平均緯流作用的波變量、波數差的年平均值，設定  $U_0 = 20$  公尺/秒，計算而得  $V_k$  值約為 10 公尺/秒或每天移行 9.7 經度左右。

以尺度分析計算臺灣山脈對於緯流的地形效應；又取以 1984 年 3 月 6 日至 3 月 10 日天氣圖中的兩個臺灣山脈背風面的低壓做分析，得致以下的結果：

- (i) 當一尺度在 7° 經度以下的擾動波，在與臺灣山脈地形效應的相互作用下，將有利於造成此一擾動波在臺灣山脈背風面，有顯著的沉降波變現象。
- (ii) 臺灣山脈的地形強制效應，主要作用於近地面層的大氣，尤以 850 毫巴與地面之間的大氣層為主。
- (iii) 山脈背風面地面低壓的生成與發展，主要由於 850 毫巴面上的鋒面持續滯留通過臺灣山脈所致；但此一地面低壓，在大陸高壓向臺灣地區的伸展作用下，則易於減弱、消失或不發展。
- (iv) 由天氣圖顯示，山脈背風面地面低壓的生成，須得 850 毫巴層裏的鋒面，持續滯留通過臺灣山脈達 15~18 小時左右，此與理論上的估計值 16~17 小時，尚能符合。

大尺度山區與小尺度的臺灣山脈地形對平均緯流的強制作用，其差異可得自高層大氣（500 毫巴、700 毫巴）在西藏山區背風面區，經常出現緯流波加深現象；小尺度臺灣山脈背風面的低壓，則活躍於近地面層的大氣。由本研究的結果，吾人可以認定：地形的垂直尺度，對於緯流波的強制作用，取以線性參數化，為波變方程式的一重要因式或物理量。

由西藏山區對亞洲冬季平均緯流地形效應作用的現象，取各年的相關數值（1968~1981），計算所得的  $V_k$  值，呈現不規則年變化；顯示大氣中的緯流風場強度的年變化，以及其他構成大氣中，大尺度波動的強制作用場的年變化，亦為導致西藏山區背風面波變的動力因素。

## 一、前 言

山脈地形對大氣流體運動所造成的擾波，因山脈尺度的大小而有所差異。此一現象，在亞洲地區的天氣圖裏，可見及西藏山區背風面，在高層大氣（500 毫巴、700 毫巴）經常有顯著的沉降現象；而對於小尺度的山脈地形，若臺灣山脈，其地形效應在較高的大氣層裏，却不易見及。吾人可以想見，

山脈地形效應的水平、垂直尺度，為造成大氣運動擾波的重要因素。Queney (1948) 對大氣流體過山所產生的擾動，證明由流體動力理論，得以解釋所觀測的山脈擾動波特性。Bolin (1950) 的研究結果顯示，唯有大尺度若西藏山區和洛磯山的山脈地形，對於北半球的西風緯流，所產生的行星級尺度波動，具有實質的重要性。Veronis (1966) 的理論分析結果顯示：地形作用對大氣運動所產生的

低頻波極具重要性，而對於較小振幅的大氣波變，地形效應的重要性，將更甚於 $\beta$ -效應。劉（1983）的研究主要探討西藏山區的地形效應，對冬季平均緯流的作用。又劉（1984）的研究，則以論述地形作用對於中緯度緯流所產生的大尺度近似固定波為主。筆者所做的研究，偏於水平尺度的作用，對於地形效應的波變方程式（劉；1983），考慮地形垂直尺度的強制作用，對緯流波變的影響度，則為本研究的主題。

## 二、地形效應的參數化

山脈地形對大氣流體的阻礙作用，造成大氣緯流波變形，此一變形的波動，可考慮為大氣粒子通過不同介質，或遇及障礙，造成流體流速的變化或動量的改變，而經由聚集效應，形成脈動波。相對於一固定的山脈地形，脈動波的波速，應為其反應於大氣緯流波動的特性之一。

設定大氣的運動，在中緯度的緯流場裏，具有波動性質，則以山脈地形的分佈，對平均緯流的強制作用，所產生的緯流波波變，將為兩擾波系統相互作用的現象。劉（1983）所推導的非線性波變方程式：

$$\zeta_n = -\frac{\gamma_{n0}}{U_0} \frac{\sin(KX_k)}{K} \dots\dots\dots(1)$$

即以上述兩擾波系統的水平尺度，相互作用為主。方程式(1)的符號意義如下： $\zeta_n$  表波變量， $\gamma_{n0}$  表強制場的強度， $U_0$  表緯流的平均流速， $K=K_\gamma-K_n$ ： $K_\gamma$  為強制場或山脈地形的波數， $K_n$  表緯流波波數， $X_k$  表強制場所存在的位置。該一論文主要探討西藏山區對冬季一月份 500 毫巴緯流波的變形作用。而地形垂直尺度對大氣緯流波動的影響度，則將因山脈地形的垂直伸展尺度的大小，而有所差異。此一差異，在本研究裏，則以實際觀測現象裏，定壓面的垂直高度分佈，因地形強制作用，而呈現於山脈背風面的擾波為依據。

設定大氣氣壓面的厚度為  $D$ ，均勻流體的流速為  $U_0$ ，取單位長度為水平尺度，則整層大氣的總

動量為：

$$M = \int_D \rho U_0 dZ = \rho U_0 D \dots\dots\dots(2)$$

其中  $Z$  表大氣的高度， $\rho$  表大氣的密度。而因山脈對大氣所造成的阻礙效應，設定其動量的改變量為  $\rho V_k$ ，又設定山脈的高度為  $h_k$ ，則大氣流體通過山脈，單位長度動量的總改變量為

$$M' = \int_{h_k} \rho V_k dZ = \rho V_k h_k \dots\dots\dots(3)$$

由此定義山脈對流體的介質特性為

$$\gamma_h = \frac{V_k h_k}{U_0 D} \dots\dots\dots(4)$$

今將方程式改寫為下列式子：

$$\gamma_{n0} = V_k \left( \frac{h_k}{D} \right) \dots\dots\dots(5)$$

$$\zeta_n = -\frac{V_k}{U_0} \left( \frac{h_k}{D} \right) \frac{\sin(KX_k)}{K} \dots\dots\dots(6)$$

方程式(5)(6)兩式裏的  $V_k$ ，可定義為山脈擾波的自然頻率或自然速率，其物理意義，即為山脈對大氣流體的阻礙速度。此種阻礙作用，在實際大氣流體的運動裏，將因山脈的水平尺度分佈，造成動量的聚集，形成脈動波。

## 三、西藏山區地形強制作用的參數化

取以西藏山區背風面冬季平均緯流的年平均波變量及年平均波數差，又設定緯流風場為  $U_0=20$  公尺／秒，500 毫巴面的高度為  $D_{500}=5500$  公尺，山脈垂直高度為  $h_k=4000$  公尺。則當

$\zeta_n = -0.15 \sim -0.16$ ， $K=2.0$ ，代入方程式(6)，則當

$$\zeta_n = -0.15, V_k \approx 9.53 \text{ 公尺／秒} \dots\dots\dots(7)$$

$$\zeta_n = -0.16, V_k \approx 10.16 \text{ 公尺／秒} \dots\dots\dots(8)$$

由方程式(7)(8)兩式可知， $V_k$  值約在 10 公尺／秒左右，或每天移行 9.7 經度。今依據 1968~1981 年各年的  $K$  值及  $\zeta_n$  值，設定  $U_0=20$  公尺／秒，計算各年的  $V_k$  值，如表一：



表一：1968~1981年1月份，西藏山區地形效應的波變量  $\zeta_n$ ，波數差K及自然速率  $V_k$  值  
 Table 1. The ratio of the deformation of the wave amplitude  $\zeta_n$ , the wave number difference between two interacting systems K and the natural velocity  $V_k$ , which were computed from the forcing effect of the Himalaya mountain on the zonal mean current in January from 1968 to 1981.

| 年               | 1968   | 1969   | 1970   | 1971   | 1972   | 1973   | 1974   | 1975   | 1976   | 1977   | 1978   | 1979   | 1980   | 1981   |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\zeta_n$       | -0.166 | -0.133 | -0.171 | -0.143 | -0.076 | -0.089 | -0.109 | -0.143 | -0.224 | -0.185 | -0.201 | -0.159 | -0.192 | -0.139 |
| K               | 2.20   | 1.57   | 2.00   | 1.60   | 3.00   | 2.67   | 2.03   | 2.17   | 2.23   | 2.13   | 1.77   | 1.67   | 2.07   | 1.67   |
| $V_k$<br>(公尺/秒) | 10.99  | 6.67   | 10.86  | 8.47   | 6.27   | 6.63   | 6.95   | 9.42   | 14.92  | 12.05  | 12.24  | 9.53   | 12.38  | 8.33   |

#### 四、臺灣山脈的地形效應

設定  $V_k$  值為10公尺/秒，考慮小尺度的臺灣山脈地形效應，又取臺灣山脈的平均高度為  $h_k=2000$  公尺，500 毫巴面的平均高度為5700公尺，山脈的水平尺度為2°經度，則函數  $\frac{1}{K} \sin(K \frac{L_k}{2}) \approx \frac{L_k}{2}$ ，因為  $L_k \approx 0$ ；臺灣山脈地形效應對於西風緯流的作用，則頗為微弱。設定一擾波系統，其尺度為  $L_2\pi$ ，與臺灣山脈尺度可相比擬，又設定此一擾動波與臺灣山脈地形的相互作用，具有近似共振的特性，令

$$\zeta_{nr} \approx -\left(\frac{V_k}{U_0}\right)\left(-\frac{h_k}{D}\right)\left(\frac{L_k}{2}\right) \dots\dots\dots(9)$$

若  $\zeta_{nr} \approx -0.16$ ， $h_k=2000$  公尺， $D \approx 5700$  公尺，代入方程式(9)，則

$$L_k = 1.824 \dots\dots\dots(10)$$

$$\text{又 } \frac{L_k}{L_2\pi} = \frac{1.824}{2\pi} = \frac{2^\circ}{L_2\pi} \dots\dots\dots(11)$$

$$L_2\pi = 6.89^\circ (\text{經度}) \dots\dots\dots(12)$$

若  $\zeta_{nr} \approx -0.15$ ，則

$$L_2\pi \approx 6.45^\circ (\text{經度}) \dots\dots\dots(13)$$

方程式(12)(13)兩式的物理意義為：對一尺度在7°經度以下的擾動波，在臺灣山脈地形強制作用下，將有利於此一擾波在山脈的背風面，有顯著的沉降或加深的波變現變呈現。

#### 五、臺灣山脈背風面的低壓波

(-)1984年3月6日至3月10日，臺灣山脈背風面地面低壓的生成與發展

1. 1984年3月6日8時至3月10日20時，850毫巴面上通過臺灣山脈的滯留鋒面，與臺灣山脈背風面的地面低壓。

1984年3月6日至3月10日，850 毫巴面上的鋒面，持續滯留通過臺灣山脈，其間有兩個地面低壓生成、發展於臺灣山脈的背風面。但在3月7日20時至3月8日8時期間，以及3月9日20時至3月10日20時期間，皆有大陸高壓向南伸展至臺灣，阻礙了地面背風面低壓的發展。3月6日8時至3月10日20時，850 毫巴面上的鋒面，通過臺灣山脈的位置；以及3月7日5時至3月10日8時，臺灣山脈背風面地面低壓中心位置及氣壓值，各示於表二與表三。

表二：1984年3月6日8時至3月10日20時，850毫巴鋒面通過臺灣山脈的相關位置

Table 2. The position of the front which had been passing through the Taiwan mountain on the 850mb chart from 00Z, 6th, March to 12Z, 10th, March 1984.(where→ was the direction of the movement of the front)

| 時            | 間 | 鋒              | 面 | 位           | 置 |
|--------------|---|----------------|---|-------------|---|
| 6日8時至6日20時   |   | 鋒面滯留於臺灣山脈北端    |   | 25°N        |   |
| 6日20時至7日8時   |   | 鋒面滯留於臺灣山脈北端    |   | 25°N        |   |
| 7日8時至7日20時   |   | 鋒面滯留南移通過臺灣山脈   |   | 25°N→23.5°N |   |
| 7日20時至8日8時   |   | 鋒面滯留通過臺灣山脈     |   | 23.5°N      |   |
| 8日8時至8日20時   |   | 鋒面滯留稍微北移通過臺灣山脈 |   | 23.5°N→24°N |   |
| 8日20時至9日8時   |   | 鋒面滯留北移通過臺灣山脈   |   | 24°N→25°N   |   |
| 9日8時至9日20時   |   | 鋒面滯留北移至臺灣山脈北方  |   | 25°N→26°N   |   |
| 9日20時至10日8時  |   | 鋒面滯留南移通過臺灣山脈   |   | 26°N→23.5°N |   |
| 10日8時至10日20時 |   | 鋒面滯留通過臺灣山脈     |   | 23.5°N      |   |

表三：1984年3月7日5時至3月10日8時，臺灣山脈背風面地面低壓的位置及中心氣壓值

Table 3. The position and the strength of the surface low in the downslope area of the Taiwan mountain from 21Z, 6th, March to 00Z, 10th, March 1984.

| 時 間   | 氣 壓 值  | 低 壓 位 置         |
|-------|--------|-----------------|
| 7日5時  | 1013mb | 25.5°N, 122.5°E |
| 7日8時  | 1014mb | 25.5°N, 122.5°E |
| 7日11時 | 1013mb | 25.0°N, 123.0°E |
| 7日14時 | 1008mb | 26.0°N, 124.5°E |
| 7日17時 | 1009mb | 24.5°N, 125.0°E |
| 7日20時 | 1011mb | 24.0°N, 125.5°E |
| 7日23時 | 1013mb | 25.0°N, 126.0°E |
| 8日2時  | 1012mb | 24.0°N, 126.0°E |
| 8日5時  |        |                 |
| 8日8時  |        |                 |
| 8日11時 |        |                 |
| 8日14時 |        |                 |
| 8日17時 |        |                 |
| 8日20時 | 1009mb | 22.5°N, 125.0°E |
| 8日23時 | 1009mb | 23.0°N, 125.0°E |
| 9日2時  | 1009mb | 22.5°N, 123.5°E |
| 9日5時  | 1009mb | 24.0°N, 123.0°E |
| 9日8時  | 1010mb | 25.0°N, 123.5°E |
| 9日11時 | 1009mb | 24.5°N, 123.5°E |
| 9日14時 | 1007mb | 25.5°E, 126.0°E |
| 9日17時 | 1009mb | 25.0°N, 125.0°E |
| 9日20時 | 1009mb | 26.0°N, 127.0°E |
| 9日23時 | 1007mb | 27.0°N, 130.0°E |
| 10日2時 | 1007mb | 27.5°N, 130.5°E |
| 10日5時 | 1007mb | 26.5°N, 130.5°E |
| 10日8時 | 1004mb | 29.0°N, 132.0°E |

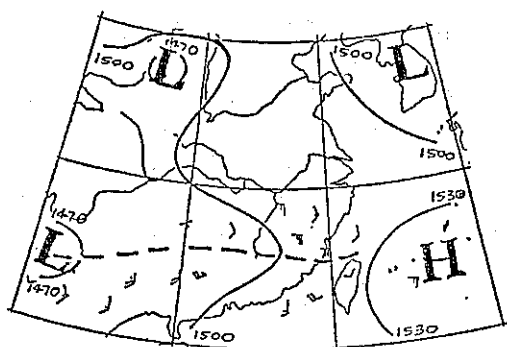
## 2. 3月6日8時至3月10日20時，天氣圖的分析

### (1) 3月6日8時至3月8日8時天氣圖

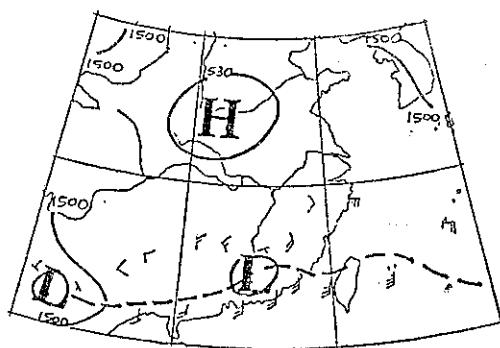
① 3月6日8時，850 毫巴的鋒面，位於臺灣的北端（圖一），3月6日20時至3月7日8時，此一鋒面，則滯留通過臺灣北部（表二、圖二）。微弱的地面鋒面，於3月7日8時，位於臺灣的北端（圖四）。

② 高層700 毫巴面上，3月7日8時，位於中國大陸，東經108°~116°的波脊（圖七），於3月8日8時，主波脊移至東經120°附近（圖八）。850 毫巴面上通過臺灣山脈的鋒面，於7日20時，南移至臺灣中部；至8日8時，則伴隨700 毫巴層波脊的東移，臺灣的北部有波脊南伸（圖三）。山脈背風面的地面低壓，於7日14時至7日17時，南移發展且達致最低中心氣壓值（表三），至7日20時止，滯留於北緯24°~25°，東經124°~125°（圖

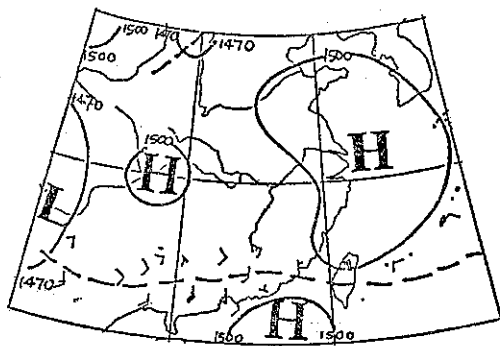
五）。伴隨高層（700毫巴、850毫巴）波脊的東移逼近臺灣，此一山脈背風面的地面低壓，於8日2時以後東移，不再發展（圖六）。



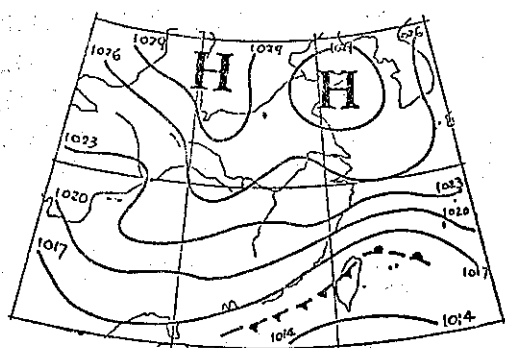
圖一：一九八四年三月六日八時850毫巴天氣圖  
Fig 1. 850mb chart at 0000Z 6th, March, 1984.



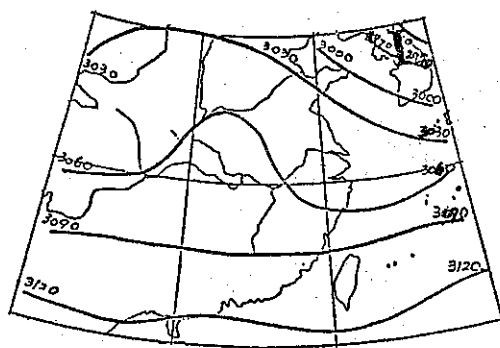
圖二、一九八四年三月七日八時850毫巴天氣圖  
Fig 2. 850mb chart at 0000Z 7th, March, 1984.



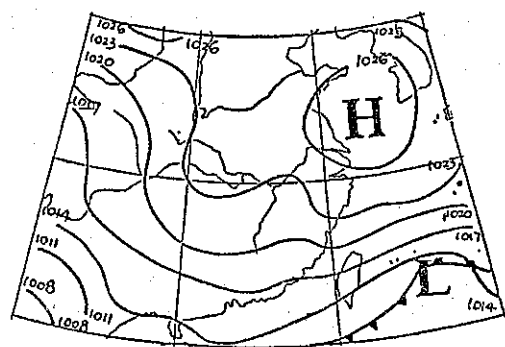
圖三：一九八四年三月八日八時850毫巴天氣圖  
Fig 3. 850mb chart at 0000Z 8th, March, 1984.



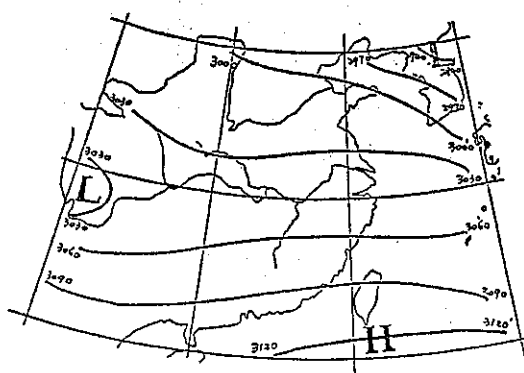
圖四：一九八四年三月七日八時地面天氣圖  
Fig 4. Surface chart at 0000Z 7th, March, 1984.



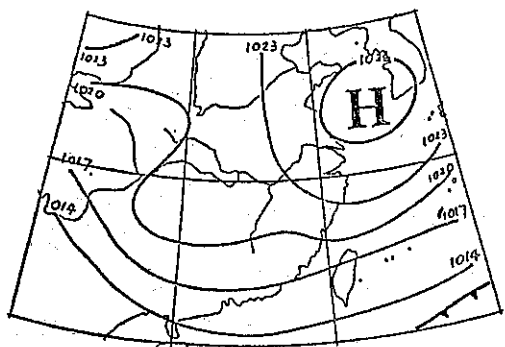
圖七：一九八四年三月七日八時700毫巴天氣圖  
Fig 7. 700mb chart at 0000Z 7th, March, 1984.



圖五：一九八四年三月七日二十時地面天氣圖  
Fig 5. Surface chart at 1200Z 7th, March, 1984.



圖八：一九八四年三月八日八時700毫巴天氣圖  
Fig 8. 700mb chart at 0000Z 8th, March, 1984.



圖六：一九八四年三月八日八時地面天氣圖  
Fig 6. Surface chart at 0000Z 8th, March, 1984.

## (2) 3月8日8時至3月9日8時天氣圖

①700 毫巴天氣圖上的波槽，於8日8時呈西南走向，通過北緯30°，東經110°附近（圖八），於9日8時，東移至東經120°附近（圖十四）。

②伴隨高空槽（700 毫巴）的東移至臺灣附近，850 毫巴面於8日20時，則有波槽形成於臺灣中南部地區，且持續至9日8時（表二，圖九）。

③8日20時，臺灣山脈的背風面地面低壓呈現，位於北緯22.5°，東經125°附近（圖十一），而後向北移行至北緯25°，東經123.5°附近（表三）。

## (3) 3月9日8時至3月10日20時天氣圖

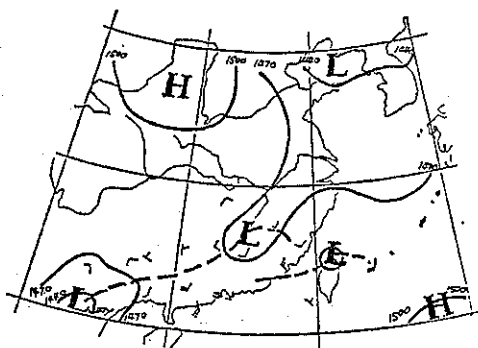
①9日8時，700 毫巴面上，位於東經120°的波槽東移，至10日8時，通過臺灣，移至臺灣東方外海（圖十五）。

②850 毫巴面於9日8時至10日8時，伴隨

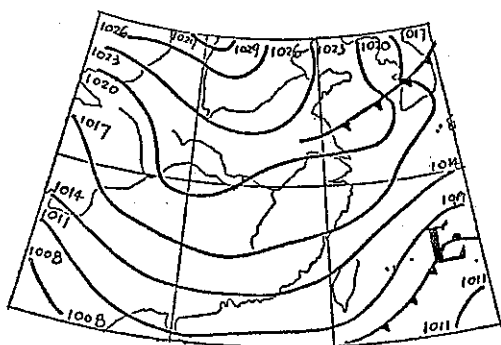
高層 700 毫巴波槽東移，通過臺灣，以及副熱帶高壓的向北伸展，波槽發展於臺灣北部，且持續滯留至 10 日 8 時止（圖九、圖十）。滯留鋒面於 10 日 20 時，中斷於臺灣北部。

③ 9 日 8 時以後，滯留於臺灣北部山脈背風

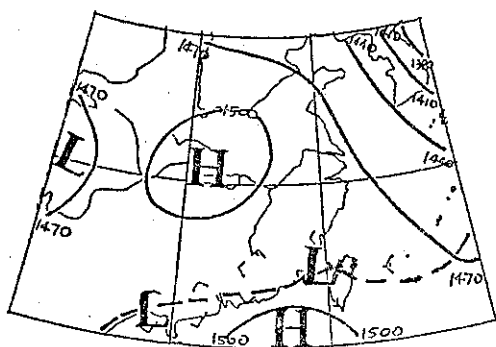
面的地面低壓，持續發展（圖十二）；至 9 日 14 時，其中心氣壓達致最低值（表三）；且伴隨 700 毫巴面上波槽的東移，以及 850 毫巴面上副熱帶高壓的向北伸展，此一地面低壓向東北移行，於 10 日 8 時，移至北緯 29°，東經 132° 附近（圖十三）。



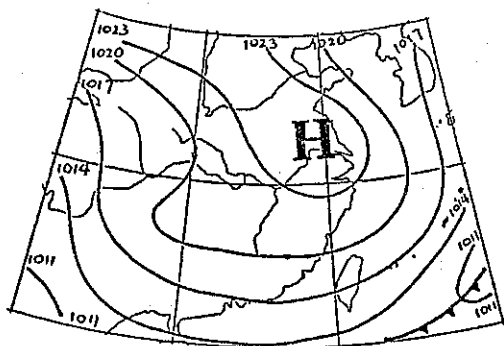
圖九：一九八四年三月九日八時 850 毫巴天氣圖  
Fig 9. 850mb chart at 0000Z 9th, March, 1984.



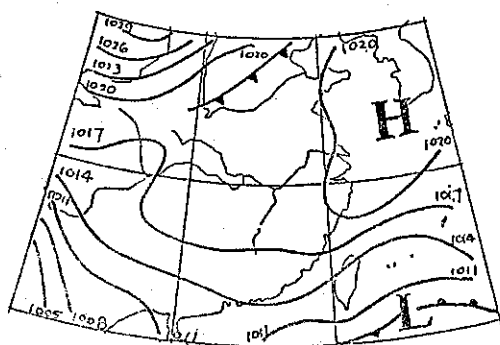
圖十二：一九八四年三月九日二十時地面天氣圖  
Fig 12. Surface chart at 1200Z 9th, March, 1984.



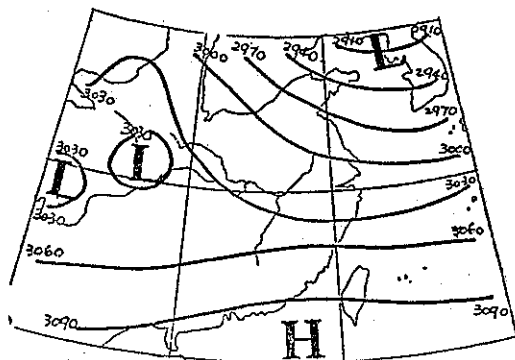
圖十：一九八四年三月十日八時 850 毫巴天氣圖  
Fig 10. 850mb chart at 0000Z 10th, March, 1984.



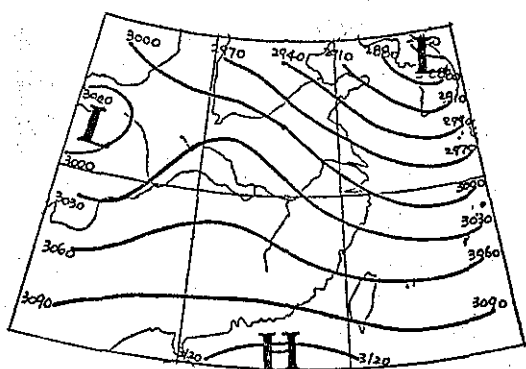
圖十三：一九八四年三月十日八時地面天氣圖  
Fig 13. Surface chart at 0000Z 10th, March, 1984.



圖十一：一九八四年三月八日二十時地面天氣圖  
Fig 11. Surface chart at 1200Z 8th, March, 1984.



圖十四：一九八四年三月九日八時 700 毫巴天氣圖  
Fig 14. 700mb chart at 0000Z 9th, March, 1984.



圖十五：一九八四年三月十日八時700毫巴天氣圖  
Fig 15. 700mb chart at 0000Z 10th, March, 1984.

(二)由上述的天氣圖分析，吾人可將臺灣山脈背風面地面低壓的生成與發展條件，歸納如下：

(1)臺灣山脈的地形效應，主要以呈現於低層大氣為主，而以850毫巴至地面間的大氣層，為有利於臺灣山脈地形作用，滋生顯著的低壓波。

(2)850毫巴面上的鋒面，持續滯留通過臺灣山脈，在不具其他相異性質的強制系統作用狀況下，則有利於山脈背風面地面低壓的生成與持續發展。

(3)山脈背風面地區低壓的顯著形成，至少須得850毫巴面上的鋒面，持續滯留通過臺灣山脈達15~18小時以上。

(4)上述的兩個地面低壓，生成、發展的位置在東經123°~125°之間。

## 六、討 論

(一)依據地形的垂直尺度，對地形強制波變方程式中的強制場，予以參數化， $\eta_{n0} = V_k \left( \frac{h_k}{D} \right)$ ；其中參數  $V_k$  所具有的特性，則以大氣通過不同的介質，造成大氣動量的變化，導致大氣流體波動變形為物理上的成因。因為  $V_k$  與大氣流體所遇及的強制場介質性質有關，本研究以1968~1981年西藏山區對平均緯流地形作用的各特性數值，取其年平均値計算，而得  $V_k$  值為10公尺/秒，或每天移行9.7經度左右；據此以尺度分析計算臺灣山脈的地形效應，所得的結果為：一小於七度經度的擾波，與臺灣山脈地形的相互作用，將有利於造成山脈背風面擾動波顯著沉降現象呈現。由地形阻礙作用，造成動量的聚集效應，計算臺灣山脈背風面顯著波變的形成，則須時在  $(6.67^\circ)/(9.7^\circ/\text{天}) \approx 16.5$  小時左右，此與850毫巴及地面的天氣圖顯示，鋒面持續

滯留通過臺灣山脈15~18小時以後，山脈背風面地面低壓形成的現象，尚能符合。

(二)由1984年3月7日8時至3月10日20時的天氣圖中，臺灣山脈背風面的兩個地面低壓的形成，發展及消滅現象顯示，臺灣山脈背風面低壓的形成，主要來自850毫巴鋒面持續通過臺灣山脈所致。而在3月8日5時至3月8日17時，地面低壓消失；以及3月9日20時以後，山脈背風面低壓不再發展，則因高層(500毫巴、700毫巴)波脊及低層大陸高壓向臺灣伸展所致；此等結果顯示：臺灣山脈的地形效應，主要呈現於850毫巴氣壓面以下的近地面層大氣，其波變現象則呈現於山脈的背風面。

(三)大尺度的西藏山區，其地形效應活躍，而呈現於高層的大氣(500毫巴、700毫巴)，而小尺度的臺灣山脈，其地形效應則活躍於850毫巴以下的低層大氣。又且臺灣山脈背風面的低壓，易於在外加相異性質的強制場作用下，減弱、消失或不發展。據此，吾人可得以下的認定：對波變方程式中的地形強制場，取以地形垂直尺度的線性參數比，以及對地形水平尺度波動取以線性參數化，為地形對大氣波動強制效應，造成大氣緯流波波變的重要因式或物理量。

(四)取西藏山區對冬季平均緯流的強制作用各年的相關數值(1968~1981)，設定  $U_0 \approx 20$  公尺/秒，計算  $V_k$  值(如表一)，則呈現不規則的年變化，顯示大氣緯流風場的強度，以及其他構成大氣中大尺度擾波的強制場的年變化，亦為造成西藏山區背風面波變的重要因素。

## 七、結 論

(一)考慮地形強制效應中，地形的垂直尺度，將波變方程式(劉；1983)中的強制場予以參數化，而得方程式： $\zeta_n = -\frac{V_k}{U_0} \left( \frac{h_k}{D} \right) \frac{\sin(KX_k)}{K}$ ，其中  $h_k$  為地形的垂直尺度， $D$  為大氣的厚度場，而參數  $V_k$  則可定義為山脈地形強制作用對大氣流體的自然頻率或自然速率。取以西藏山區對中緯度平均緯流的地形強制作用，所造成的波變現象中，相關數值的年平均値(1968~1981)計算，而得  $V_k$  值為10公尺/秒或每天移行9.7°經度左右。

(二)對於臺灣山脈的地形效應，經由尺度分析計算以及天氣圖資料分析，得致以下的結果：

1.一尺度在7°經度以下的擾動波場，在臺灣

山脈地形強制作用的效應下，將有利於造成山脈背風面擾波的發展或顯著沉降現象呈現。而此一山脈強制效應，則活躍於低層的大氣中。

2. 山脈背風面的顯著波變（地面低壓），須得大氣中小尺度的擾波與山脈相互作用，或 850 毫巴面上的鋒面滯留通過臺灣山脈，持續達 15~18 小時以上；此與理論上的計算結果，在 16~17 小時左右，大致符合。

(三) 大尺度的山脈地形（西藏山區），其地形效應經常活躍於高層大氣（500 毫巴、700 毫巴）。小尺度的山脈地形（臺灣山脈），則活躍於近地面層的大氣（850 毫巴至地面），且易於因外加相異性質的強制場作用下，減弱、消失或不發展。

(四) 山脈地形對緯流波的強制效應，取以地形垂直尺度的線性參數化，為地形對大氣強制作用，造成大氣波動變形的重要物理量或因式。

(五) 大氣緯流風場強度的年變化，以及其他構成大氣中，大尺度波動的強制系統的年變化，亦為造成西藏山區背風面區波變的重要因素。

## 八、誌 謝

本論文為筆者對地形強制效應研究的延續。這些年來，能費時思考做研究，皆得自家父、家母及家人的照顧與關切，於此深表謝意。

## 九、參 考 資 料

- 劉明禮；1983：西藏山區對亞洲冬季平均緯流之效應。中央氣象局七十三年度研究發展專題研究報告第 092 號，1~15。
- 劉明禮；1984：地形強制作用對中緯度大尺度波動的效應，中央氣象局氣象學報，第三十卷，第二期，1~7。
- Bolin, B., 1950: On the influence of the earth orography on the westerlies. *Tellus*, 2, 184~195.
- Queney, P., 1948: The problem of Air flow over Mountains: A Summary of theoretical Studies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* Vol. 29, 16~26.
- Veronis, G., 1966: Rossby Waves with Bottom Topography. *J. Mar. Res.*, Vol. 24, No. 3, 338~349.

## 氣 象 學 報 徵 稿 簡 則

1. 本刊以促進氣象學術研究為目的，凡有關氣象理論之分析與應用之論文，均為歡迎。
2. 本刊稿件分為四類：(1)研究論文(2)報告(3)綜評(4)最新重要論著綱要。
3. 本刊文字務求簡明，文體以白話或淺近文言為主體，每篇以五千字為佳。
4. 稿件之題名、作者真實姓名、服務機關及職稱均須以中、英文註明。
5. 中文稿件在參考文獻之後，應附英文摘要。
6. 研究論文之圖表名稱及各欄細目，均須以中英文對照說明。
7. 惠稿如有附圖務請用墨筆描繪，以便製版，如圖表不夠清晰，本刊得徵得作者同意後，僱員代為另行重繪，所需費用由作者負擔或由稿費中扣出。
8. 稿件內容過長或內容、文字、圖片有修改之必要時，得請投稿人修正之。本刊亦得做必要之刪改，若作者不願刪改時，請先聲明。
9. 來稿如不刊登，則退還原著者。
10. 稿件經刊印後，非經本刊同意，不得在他處刊印轉載。
11. 來稿請逕寄中華民國臺北市公園路64號，中央氣象局氣象學報社收。

（請參閱補充稿約）

# 衛生掩埋場的設計和空氣污染的防範

## *Discussion of Secure Landfill Reliability*

沈

鐸<sup>1</sup>

Thomas T. Shen

戚

啓

勳<sup>2</sup>

Ke-Hsun Chi

### ABSTRACT

Landfilling of municipal and hazardous wastes is one of the waste disposal methods extensively used in the past and still the most frequently used approach. This paper discusses identification, analysis, and evaluation of environmental and health effects of known and anticipated air pollution problems. Benefits and actual and potential solutions are examined from the perspective of the regulator, the engineer, and the scientist.

### 前 言

將有毒廢棄物予以掩埋是最普遍採用的處理方法，不僅過去如此，將來也不會有重大的改變。行政院衛生署最近已經完成了臺灣地區區域性垃圾處理計劃第一階段的規劃工作，包括新闢垃圾掩埋場17處，改善現有掩埋場9處，並在北、中、南三區各規劃一處示範性衛生掩埋場。此項計劃共需經費約39億1千8百萬美元，真是關係重大，在設計和規劃上必須考慮得非常周詳。這些掩埋場是否都市垃圾和工業廢棄物合併處理？化學品廢物揮發的毒氣如何防止才能避免空氣污染？以美國來說，環境保護署（EPA）1980年所處理4,100萬噸有毒廢棄物中，估計大約有80%採用衛生掩埋場。

近些年來，由於人民生活水準的不斷提高，許多食品和用品在製造過程中都要採用有毒的化學原料，副產品大都不能再循環，或者轉變為無毒物質，掩埋場內某些危險性廢棄物必須慎重考慮，發展一些處理技術。

衛生掩埋場內倘有毒性廢棄物，對短期或長期來說是否會影響環境，許多問題尚難以得出答案。過去都把這個問題着眼在水污染上面。作者（註1）服務於美國紐約州環保局，知道聯邦政府和州政

府將制訂法令的重點放在衛生掩埋場的設計、建造、操作、封閉、以及封閉後的注意事項上。這些規定的主要目的在於預防地面水的流入和流出，以及地下淋溶物的洩流和監測、蒐集和排除。

陸地上處理的空氣污染問題就是在美國也很少注意，相信臺灣也不例外。不過最近已經發覺問題之嚴重。衛生掩埋場擴散氣體潛伏着對環境和人類健康的危險性，因為資料太少才沒有被重視。因此，關係重要的環境空氣偵測資料到現在還沒有發展採樣標準化、蒐集和分析方法、以及作業程序。

所有掩埋場都無法避免廢棄物的揮發作用。這是一種從液體或固體轉變為氣體的物理過程。近些年來，化學品掩埋場上廢棄物的揮發作用及其分解後的產物逐漸受人重視，以其將有毒氣體和氣懸膠釋入大氣中，對環境空氣的品質構成潛在性的威脅<sup>(10)</sup>。舉例來說，1978年美國紐約州尼加拉瀑布洛夫（Love）運河化學品掩埋場附近發現有很濃的毒性氣體和氣懸膠<sup>(7)</sup>。另外一次研究毒性廢棄物場環境空氣中的污染物，分析了15處氣體揮發的情形<sup>(11)</sup>。這些設備有在市區，有在郊區，利用掩埋、陸上灌溉、陸上散播、焚毀、溶劑回收、污泥貯存、以及地面圍集。倘有揮發性物質，經發現都是從貯存蒸發池、旱田、陸上散播、以及掩埋場活動面上

註：1 美國紐約州環境保護局高級研究員、美國哥倫比亞大學兼任教授。

2 前中央氣象局簡任技正，現淡江大學兼任教授。

連續排放。該項研究報告指出：強烈揮發物甚至能自覆蓋掩埋場的深處泄出。這些氣體包括有機和無機，能夠通行無阻，比微細的金屬顆粒更難控制，潛在的危險性非常可怕<sup>(1)</sup>。加州空氣資源部（CASB）的一篇報告<sup>(13)</sup>也曾討論一級（Class I）處理設備附近環境空氣中濃度的三項報告。一級設備附近揮發性有機化合物的存在曾加試驗，並列入記錄，證明了廢棄物處理設備的確能夠影響周圍空氣中的有機化合物。

### 美國政府對陸上處理設備的管制法令

美國政府在1982年7月26日公佈了根據1976年資源保護及恢復法（RCRA）制訂的有毒廢棄物蒐集、貯存和處理的遵守條例，責成業主及作業人員執行。毒性廢棄物經營系統：陸上處理設備遵守要點的暫定最後法規（Interim Final Rule）<sup>(14)</sup>在1983年1月26日開始生效。上面曾經指出：美國環保署對有毒廢棄物的管理政策，目前把重點放在地面及地下水污染的防範上。1982年7月26日制定的法規中指出：環保署對於像揮發性氣體的擴散等問題不擬作普遍性的管制<sup>(15)</sup>。該署之所以作此聲明，主要因為陸上處理場中毒性廢棄物對空氣揮發很少可資依據的資料，所以問題只能着眼在特種廢棄物上。

話雖如此，這些和以往所制訂的法規需要一些作業上監測<sup>(16)</sup>來避免自空氣揮發的不利效應。這些包括：(1)風力擴散的管制以減少顆粒物質的揮發；(2)管制掩埋場上污染氣體的流出；(3)如果掩埋場上採用氣體蒐集和控制系統，即可用來管制揮發氣體自水平和垂直方向的洩逸；(4)禁止在掩埋場內置入含有大量流動性液體或不用容器裝入的液體廢物，除非掩埋場有妥善的襯墊和淋溶物蒐集及排除系統，或廢水會事先加以處理而且已穩定；(5)禁倒含有流動性液體的容器，除非它是一種實驗室包裝，或者設計來容納流動性液體作貯存以外的用途，譬如像電瓶或電容器；(6)禁止傾倒容易着火或發生反應的廢棄物，除非事先經過處理、取出，或在傾倒前（或剛倒之後）已予混合。廢物容器內倘有易着火廢物，如能避免引火物或起火條件，那麼放在掩埋場內亦無不可；(7)禁止在同一掩埋場個體內兼放互不相容的廢物。

新建衛生掩埋場時，必須設置一種空氣監測系統，擬訂空氣散發的採樣和分析計劃，這些監視和

分析資料還要有記錄，不論在作業期間或垃圾場封閉之後。現有或新設垃圾場的設計標準和作業程序需要將廢棄物包裝，以減少掩埋場上的淋溶物和氣體的發生，以及污物的泄漏。因此，上面必須加上滲透率不足每秒 $10^{-7}$ 公分的覆蓋物，否則有些廢棄物不能放在掩埋場內。

美國環保署目前已經逐漸注意陸上垃圾處理場上有毒廢棄物的空氣污染問題，正在進行一種詳細的研究來評估這種空氣擴散是否會威脅人類健康和生態環境。根據此項結果及類似研究（包括正常的環保分析），環保署也許會對某些廢棄物規定必須幽禁在特殊型式的單位內，凡是有大量揮發性廢棄物要處理的單位，必須有特種設計和作業標準，這樣才能解決空氣污染問題<sup>(17)</sup>。

除了從水和空氣的品質提供健康的適當水平和環境保護之外，掩埋場是否達到衛生標準必要有合理的保證，以期能達到保護環境的理想。因此，美國聯邦政府和州政府正在從立法上奠定基礎，相信有許多值得臺灣借鏡的地方。

### 工程上的設計和經費的考慮

工程人員根據可資利用的科學及技術資料連同國家政策和各級政府的法令規章來設計不會影響環境的衛生掩埋場。這種設計也要從經費上加以考慮。政府主管機構對於衛生掩埋場的工程設計，基本上要求該項設備能以管制和監測，在使用期和封閉後都不會引起水污染。圖一表示一種典型的衛生掩埋場設計，至少在封閉後30年內仍能防止淋溶物和氣體的逸出。可見垃圾場就像一個容器，它的壽命保證是有限度的。設計有效期之後是否影響環境則未予考慮。

垃圾場的設計對空氣擴散的假設如下：

(1)掩埋場內發生的氣體並不多，覆蓋的泥土足以阻止各種氣體逸入大氣層。

(2)氣體蒐集和通風系能控制有毒氣體的向外擴散。

(3)如果有氣體逸出，經由大氣稀釋和擴散，可將濃度減至能以接受的水平。

(4)由於掩埋場設在郊區，人煙稀少，所以對大眾健康和環境不會有很大影響。

話雖如此，這些假設都可能有问题。我們可以料想得到，所謂衛生掩埋場因為含有毒性廢棄物所以也會散發各種鹵素有機物及其他有毒物質，雖然



發散的質和量相差懸殊，須視廢棄物的性質和周圍環境而定，包括溫度和含水量。揮發作用和腐化過程通常都很緩慢，掩埋場內氣體的發生可以不斷發生，經歷許多年，一直到內部廢物的所有成份達到化學平衡，而所有微生物能腐化的全部廢棄物耗盡為止<sup>(12)</sup>。

只要認為揮發作用是一個潛在問題，就得採用特種管制和監測。這種措施包括：吸收、生物性腐化、或者其他事先處理法來限制廢物揮發量。化學性廢棄物掩埋場的上部，如果能覆蓋一厚層有機性表土或黏土，可望將揮發率減低幾個量級，然而塑膠罩卻並沒有什麼用處<sup>(10)</sup>。在理論上，覆蓋物越厚，滲透能力越弱，氣體的發散率也越低；覆蓋中有機物含量愈豐富，吸附含毒氣體也愈強<sup>(10)</sup>。氣體蒐集和控制系統也能用以蒐集氣體，並且將它們導入處理系統。此類系統在許多文獻中都有介紹<sup>(12)</sup>。基本上，它們的設計是為了要防止含毒氣體的逸散，其中包含溝、井、穿孔管、不滲透罩、連接管線，和一具泵。但是廢棄物貯存時間越久，管制上越困難。因為人造襯墊或罩子都會隨時間而退化。填土和蓋土也可被侵蝕而產生裂縫。所以必須

有一些監測、視察和維護計劃來保證長時期的貯存。

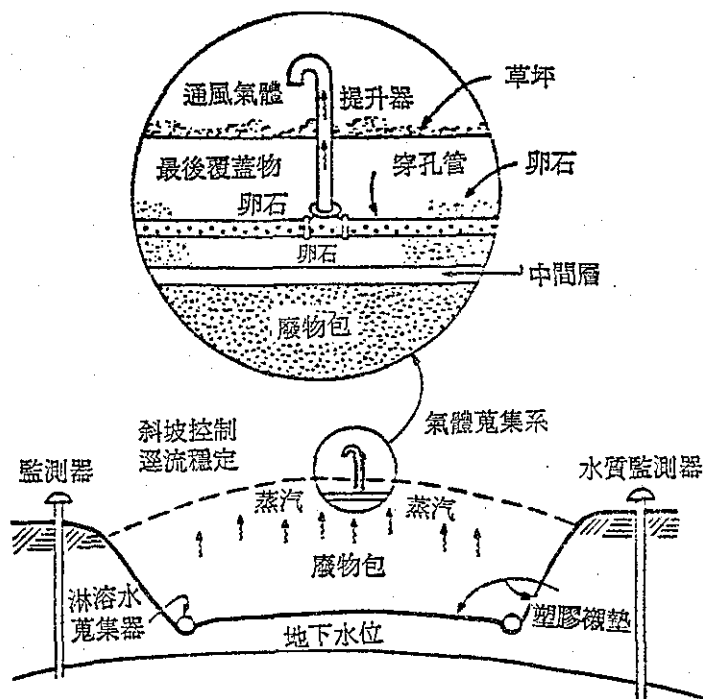
衛生掩埋場除了工程上的設計，以及環境安全的考慮而外，掩埋毒物所花費的錢必須和其他當時可用來處理的方法相比較。

表一 1981年毒性廢棄物各種處理方法所用經費的比較

Table 1 Cost comparison of alternative hazardous waste management options in 1981.

| 處理方法  | 每噸花費美元  |
|-------|---------|
| 化學處理  | 66—791  |
| 埋入深井  | 20—264  |
| 衛生掩埋場 |         |
| 圓筒式   | 168—240 |
| 散裝式   | 55—83   |
| 焚化法   |         |
| 陸地上   | 60—791  |
| 船上    | 150—200 |

表一為有毒廢棄物各種處理方法每噸所花錢數的比較，顯而易見，採用掩埋法花錢要比焚化法少得多。話雖如此，美國因為必須遵照法律規定來處



圖一 衛生掩埋場的一種典型設計

Fig 1 A typical design of a secure landfill

理，掩埋場的花費已經逐漸增加。在1981年，掩埋場的費用比1981年同樣設備增加了50%以上<sup>(14)</sup>。除了較高的作業費用而外，用衛生掩埋場來處理某些劇毒廢棄物所帶來的潛在賠償責任也同時增加。採用某種特殊廢棄物管理方法，考慮的決定因素主要還在經費方面而非技術上的可行性。事實上，特種處理及（或）掩埋法所需費用視廢棄物類型和成分、處理容積、以及所在位置，而相差很大。

### 評估衛生掩埋場所擔風險和不確定性

有關專家評估衛生掩埋場的工程設計和目標，不僅要着眼在短期和長期所擔負的環境風險，同時還得考慮掩埋毒性廢物帶來的未知後果。掩埋場內氣體發生、移出和輸入空氣中的原因和後果，到現在還知道得很少，正式發佈者更加鳳毛麟角。因此，專家們正在尋求某種程度的信心，相信目前所用的衛生掩埋場的設計和實際作業，不僅能夠防止水污染，也不會造成空氣污染，縱然在最不利情況也不例外。舉例來說，現時所用的掩埋場設計，主要在於不讓它發生水污染，臺北市近郊的福德坑掩埋場大家都關注襯墊用的塑膠布是否有效，不知有否考慮到氣體的發生和擴散，以及在何種氣象條件下會對臺北或鄰近居民造成健康上不利的威脅。如果掩埋場內廢棄物含有毒物質則除非裝置一種適當的氣體蒐集和處理系統。正如圖一所示，一種典型的掩埋場設計包含一具氣體蒐集系，不讓發生氣體自由自在地輸入大氣中。

有機廢棄物一旦氧化和分解，最後會變成各種氣體；因此所有掩埋場都會發生廢棄物的揮發作用。當液態廢棄物轉變為氣體時，體積的增加極為驚人，轉換或分解率有時候會很高，要看它的物理和化學性質以及環境情況而定。大家都知道，揮發率是判斷當地當時有無空氣污染問題的一種關鍵因素<sup>(10)</sup>。鹵素有機烴和芳香族烴的蒸氣化污染物因為含毒性很高，最為專家們所關切。話雖如此，此類廢棄化學品的揮發情形，很少有資料公佈。毒性廢物掩埋場中釋出的氣體含有毒性空氣污染物。表二中列出毒性廢棄物附近的空氣中所找到的主要種類。表中還列出紐約州尼加拉瀑布洛夫運河、新澤西州愛迪生 (Edison) 金布克 (Kin Buc) 場、該州伊利沙白 (Elizabeth) 場、以及其他廢棄物場所觀測得的最大濃度<sup>(5)</sup>。

從陸上處理場內有毒物所散發的有機性氣體，

它的成份和一般都市垃圾掩埋場不一樣。根據各種研究顯示：都市垃圾掩埋場上釋出的氣體，主要為沼氣、二氧化碳、水汽、少量硫化氫和其他有臭味的氣體<sup>(4)</sup>。經過比較，現有毒性廢物場上有 200 種以上不同的有機化合物，包括：脂肪族和芳香族烴、鹵素碳類、酸類、酯類、醚類、醛類和酮類。自掩埋場釋出的毒性空氣污染物，在大氣中本質上不會改變它們的毒性，揮發性化學品對環境的影響，維持時間平均為 3 天至 70 天，要看它們和臭氧及氫氧根發生反應而定<sup>(8)</sup>。如果我們假設它們在空氣中停留的時間為 10 天，以平均風速每小時 5 哩計算，比較不易發生反應的污染物可被風帶到大約 600 哩。可見在氣象條件不利的情況下，位於郊區的掩埋場足以對市區可能產生嚴重的影響。

### 採樣和分析的方法

目前對於毒性有機化合物還沒有標準的採樣和分析方法。但美國環保署現時正在鑑定資料，並且打算在一兩年內發展標準化採樣和分析方法。無論如何現在仍有一些在垃圾處理場上對揮發性有機物採樣的方法。這些方法包括：吸收法 (sorbent traps)、塑膠袋、冷凝法 (cold traps) 和液體泡 (liquid bubblers)。實際上，吸收法應用最廣，因為這種方法一般認為比其他方法更可靠、準確而靈敏，習用的吸收法採用填塞樹脂型的吸收劑筒來蒐集樣品。為了要分析，陷入樣品用溶劑抽出或加溫脫吸法從吸劑中復原，而後引注入一 GC/MS 連接分析系中以獲得定量資料。話雖如此，這種吸入和脫吸的效率相差很大，要由有機化合物的分子量、蒸氣壓和沸點來決定，例如一種稱為 Tenax-G/C 的多苯氧樹脂 (polyphenylene oxide resin) 溫度在 2000°C 以上能夠用熱力脫吸，所以會產生一種更廣泛的寬譜有機化合物資料，其他橡膠像 Porapak N, Chromosorb 101, XAD-2, 矽膠凝體 (silica gel) 或 Amersorb 都只適於中等沸點。採用溶劑抽出來脫吸也可使採樣更有效。高度揮發性的化合物，像氯甲烷、氯乙烯和脂肪族烴 (C<sub>1</sub> 至 C<sub>6</sub>) 用 Tenax G/C 採樣都比較低，用木炭或碳分子篩來吸收採樣則能有效蒐集。

### 衛生掩埋場上空氣污染問題

衛生掩埋場空氣污染及其對環境和健康的影響應予體認。如此方能找出解決的方法。

表二 毒性廢物場附近空氣中所見主要種類舉例

Table 2 Examples of predominant species found in air near hazardous waste sites

|                                   | 各場所見最大濃度，微克/公尺 <sup>3</sup>        |                          |                    |        |
|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------|--------|
|                                   | Love Canal,<br>Niagara Falls, N.Y. | Kin Buc,<br>Edison, N.J. | Elizabeth,<br>N.J. | 其 他    |
| 苯 (Benzene)                       | 5703                               | 1550                     | 234                | 10     |
| 甲 苯 (Toluene)                     | 1472                               | 2500                     | 325                | 64     |
| O—二甲苯 (O-xylene)                  | 73                                 |                          | 79                 | 20     |
| m+p二甲苯 (m+p-Xylene)               | 140                                |                          | 225                | 41     |
| 乙 醛 (Acetaldehyde)                |                                    | 245                      |                    |        |
| 苯 甲 醛 (Benzaldehyde)              |                                    | 56                       |                    |        |
| 異 丙 醚 (Isopropyl ether)           |                                    | 120                      |                    |        |
| 酚 (Phenol)                        |                                    | 10                       |                    |        |
| 乙酸乙酯 (Ethyl acetate)              |                                    | 232                      |                    |        |
| 乙 酸 醚 (Ethyl ether)               |                                    | 35                       |                    |        |
| 二 甲 醚 (Dimethyl ether)            |                                    | 10                       |                    |        |
| ○ (Naphthalene)                   |                                    | 6100                     |                    | 117    |
| 乙 酸 苯 (Ethyl benzene)             |                                    |                          |                    | 282    |
| 甲基異丁酮 (Methyl isobutyl ketone)    |                                    | 444                      |                    |        |
| n—戊 醛 (n-Pentanal)                |                                    | 38                       |                    |        |
| 三 氯 甲 烷 (Chloroform)              | 172                                | 266                      |                    | 1.5    |
| 二 氯 甲 烷 (Methylene chloride)      | 10                                 | 1250                     |                    |        |
| 二 溴 甲 烷 (Dibromomethane)          |                                    | 63                       |                    |        |
| 二 氯 乙 烷 (Dichloroethane)          |                                    | 57                       |                    |        |
| 四 氯 乙 烷 (Tetrachloroethane)       | 1140                               | 22                       |                    |        |
| 三 氯 乙 烷 (Trichloroethane)         | 73                                 | 500                      |                    | 2.0    |
| 三 氯 環 乙 烷 (Trichloroethylene)     | 270                                | 93                       | 218                | 4.5    |
| 四 氯 環 乙 烷 (Tetrachloroethylene)   | 1140                               | 394                      | 95                 | 1.8    |
| 四 氯 化 碳 (Carbon tetrachloride)    | 5                                  | 20                       |                    |        |
| 乙 烯 甲 醚 (Vinyl methyl ether)      |                                    | 5000                     |                    |        |
| 乙 烯 異 丙 醚 (Vinyl isopropyl ether) |                                    | 13000                    |                    |        |
| 氯 乙 烯 (Vinyl chloride)            |                                    |                          |                    | 110000 |
| 氯 苯 (Chlorobenzene)               | 240                                | 50                       | 16                 |        |
| 二 氯 苯 (Dichlorobenzene)           | 100                                | 34                       |                    | 158    |
| 氯 甲 苯 (Chlorotoluene)             | 6700                               |                          |                    |        |
| 二 氯 甲 苯 (Dichlorotoluene)         | 159                                |                          |                    |        |
| 三 氯 苯 (Trichlorobenzene)          | 74                                 | 1                        |                    |        |
| 三 氯 甲 苯 (Trichlorotoluene)        | 44                                 |                          |                    |        |
| 溴 二 甲 苯 (Bromoxylene)             |                                    | 50                       |                    |        |
| 多 氯 苯 類 (PCB's)                   |                                    |                          |                    | 300    |

1.真正所謂「安全」或不泄漏的掩埋場實際上絕無可能，所有掩埋場遲早都會有裂隙，最後場內的氣體經由土壤泄入大氣中。

2.從衛生掩埋場內排出氣體究竟對環境和健康發生何種影響，目前知道得還很少。現有掩埋場上至少已經測得有 200 種以上有機化合物，定量資料尚未獲得，人體和它們相接觸會產生什麼後果，問題非常複雜，且難預料<sup>(18)</sup>。即使我們對飄流塵埃和毒性氣體影響人類健康能作一般性的推測，每個人的抵抗力和感受標準也不一樣，因而冒險性大不

相同。再者，我們對毒物學的知識，大都根據單純和個別化學品的研究，譬如像用於研究或者在工業環境中，而非垃圾處理場上所見的化學品混合物。冒險度的估計必須經常根據高劑量的動物試驗，外推到人類和低劑量的情形未必確實。

3.發展有毒物掩埋場發出毒性有機化合物在周圍空氣中可以容許的標準也大都無法確定。由於設計垃圾場所用資料的不適當，使得很長時期都會含有危害性的廢棄物。例如掩埋場內氣體泄逸所走的路線我們知道得很少，以致現在用來蒐集和處理氣

體系統的有效性不能確定。此外，我們評定所冒危險性的能力既然很有限，想要決定各種有機化合物在空氣中容許標準及其管制也就非常困難。

4. 掩埋場中氣體的發出目前視作「非點源」(nonpoint sources)，這些來源不能可靠地監測。危害性有機化合物的採樣和分析方法迄今尚未充份發展，它們還很花錢和耗費時間。估計工業氣體的洩出曾經採用理論上的計算<sup>(17,6)</sup>，作者曾修正法墨(Farmer)的穩定狀態方程來估計掩埋場內各種有機化合物的氣體排放率<sup>(11)</sup>。這種估計根據若干變數，如像擴散係數、露出面積、飽和蒸氣濃度、土壤孔隙率、覆土有效深度、以及毒性成份的重量百分率。話雖如此，可靠的實地資料，譬如像廢棄物的量和成份，土壤的性質及其周圍環境的情形，對於估計揮發率的準確性都很重要。很不幸，危害性有機化合物的實地監測大都僅在緊急情況下舉行，而非經常從事。

5. 近幾年來，危害性廢棄物在美國的處理費用增加得非常驚人，因而逼得一些小工廠只好將這些廢棄物偷偷地違法傾倒，因為許多方法對他們來說都不適用。想要謀求補救，還只有採用費用較低的掩埋法。

### 衛生掩埋場上解決氣體揮發的建議

對某些類型的廢棄物來說，現時還只有靠掩埋法來解決。只不過要發展一些測定技術和補救措施，以便進一步管制對環境和健康的影響，尤其是垃圾場上空及其附近有機廢棄物揮發作用所產生的後果。這些問題的解決最好經由立法委員、工程人員和專家學者的通力合作，各人貢獻自己的專長。他們對環境問題的見解也許各有不同，但是共同努力來尋求解決方法實為衛生掩埋場達到安全可靠的唯一途徑。以下列出應予考慮各點：

1. 發展空氣採樣和分析的方法，以及連續監測危害性化合物的儀器已屬刻不容緩，如此方可提供空氣品質的資料，作為工程上設計的依據，這些方法必須標準化，並且制定中央及地方的法令。

2. 評估垃圾處理場帶來影響居民健康程度的問題，必須加以研究；並對已有垃圾場按優先次序採取補救措施。有些研究已經討論過<sup>(8)</sup>，如今必須研究適當的辦法來代替習慣上所用的流行性疾病鑑定方法。這些研究可以包括用動物來代替，採用一種分子流行病法(molecular epidemiology me-

thod)<sup>(9)</sup>，生殖力克服鑑定、兒童生長之鑑定、以及神經毒素試驗等。

3. 鼓勵將廢棄物事先加以分類，或者送往垃圾場之前先將毒性部分破壞，某些廢棄物絕對不能放在衛生掩埋場內，包括：多氯苯類、殺蟲和滅鼠劑、含氰化學品、有毒金屬、鹵素化合物、揮發性有機化合物、廢水、廢油和溶劑等。事實上，這些廢棄物除了有毒金屬而外，所有有機類廢棄物都應該加以焚毀。

4. 如屬可能，工業上的各種處理過程必須在封閉系統下操作，廢料減小、回收、再利用和再循環是陸上處理前最佳措施。回收產品的再循環作為一項設備內的再利用，或者賣給可資接受的顧客目前已是減少垃圾處理費用最吸引人的構想。例如據加州的研究<sup>(10)</sup>，該州廢棄物中，藥品廢棄物估計有95%，塗料和合金製品有40%都能夠再循環。

5. 凡是不能縮減，再利用或再循環的廢棄物，通常都能用化學法處理來除毒，例如在掩埋前予以中和、沉澱、離子交換、固定、固化、或它種處理過程。美國環保署在一項研究<sup>(2)</sup>中列出大約30種不同的物理、化學及生物過程來處理有毒廢棄物。這些方法中有幾種已被普遍採用，但是還有許多仍在發展階段。

6. 政府主管機構必須先研究並訂定毒性氣體要求的最高限和監測方法。評估各種處理垃圾的方法，垃圾中包含的類型，從技術、冒險程度和處理費用等各方面來予以衡量。

### 綱 要 和 結 論

1. 自從臺北內湖垃圾場形成一個可恥的潰爛毒瘤之後，政府當局已經體認了過去的錯誤，決定斥巨資興建示範性衛生掩埋場，預定福德坑是第一座。技術上正由有關單位規劃中，作者自無置喙之餘地。話雖如此，這裏仍要提示：有毒廢棄物必須分開來處理，有幾種還得事先加以處理，無論如何不能合併放在所謂「衛生」掩埋場內，除非廢棄物的毒性部分澈底加以破壞，否則絕無「安全」可言。毒性有機化合物、廢油、溶劑和含氯烴必須焚毀，不能送到掩埋場內。由此可見設置焚化爐和衛生掩埋場必須同時進行。對這個問題爭論已久的民意代表應該了解。

2. 一般的掩埋場設計對於是否能真正避免污水漏出和含毒氣體的擴散很值得懷疑。所以發展具有

示範性而可靠的新設計實屬刻不容緩。我們知道含毒氣體是一定會從掩埋物壓縮土壤覆蓋的裂隙中逸出；而這些污氣究竟對環境和居民健康會發生什麼影響，目前還搞不清楚。因此，我們切望獲得實地監測資料，以期對目前的設計能作適當的改良。

3. 所有垃圾掩埋場將來都會發生裂隙。所謂「衛生」或「安全」只限於短期內，如果沒有足夠的科學和工程資料以及不斷加以監測，勢難獲得長期性的安全保證。

4. 改進並增強工程上和科學上的能力，增加技術知識，並不斷努力學習，才是垃圾問題妥善解決，降低目前和未來處理費用的可靠途徑。

### 參 考 文 獻

1. Ase, P.K., *Air Pollution Sampling and Monitoring at Hazardous Waste Facilities*, EPA Contract No. 68-03-2654, (Dec. 1981).
2. Crumpler, E.P., U.S. EPA, "Status of Chemical, Physical and Biological Treatment Processes in Hazardous Waste Management," presented at the NATO-CCMS International Symposium on Hazardous Waste (Oct. 1981).
3. Cupitt, L.T., *Fate of Toxic and Hazardous Materials in Air Environment*, U. S. EPA Publication 600/5-3-80-080, (Dec. 1980).
4. DeWalle, F.B., E.S.K. Chian, and E. Hammerberg, "Gas Production from Solid Waste in Landfills," J. ASCE Environmental Engineering Division. 104 (EE3) p. 415 (June 1980).
5. Esposito, M.P. and S.M. Bromberg, "Fugitive Organic Emissions from Chemical Waste Dumpsite," Pre-Print, #81-41.2 presented at the 1981 APCA Annual Meeting.
6. Farmer, W.J. et al., "Land Disposal of Hexachlorobenzene Wastes: Controlling Vapor Movement in Soils," *Proceedings of the 4th Annual Research Symposium*, San Antonio, Texas, pp. 182-190 (March 6-3, 1978).
7. "Love" Canal-Public Health-"Time Bomb". A Special Report to the Governor and the Legislature prepared by the Office of Public Health, New York State, (Sept. 1978).
8. Paigen, B. and J.H. Highland, "Methods for Assessing Health Risks in Population Living Near Hazardous Waste Sites," *Hazardous Waste Disposal: Assessing the Problem*, Joseph H. Highland, Editor, Ann Arbor Science Publishers, pp. 147-155 (1982).
9. Perera, F.P. and I.B. Weinstein, "Molecular Epidemiology and Carcinogen-DNA Adduct Detection: New Approaches to Studies of Human Cancer Causation," *Journal of Chronic Diseases*, Vol. 35, pp. 581-600 (1982).
10. Shen, T.T. and T.J. Tofflemire, "Air Pollution Aspects of Land Disposal of Toxic Waste," Technical Paper No. 59, presented at the 1979 Conference on Hazardous Material Risk Assessment, Disposal and Management, Miami Beach, (April 12, 1979).
11. Shen, T.T., "Estimation Emissions of Hazardous Organic Compounds from Waste Disposal Sites," presented as Paper No. 80-68.8 of the 73rd APCA Annual Meeting, Montreal (June 1980).
12. Shen, T.T., "Control Techniques for Gas Emissions from Hazardous Waste Landfills," *Journal of the Air Pollution Control Association*, Vol. 31, No. 2, pp. 132-135 (Feb. 1981).
13. Shen, T.T., and G.H. Sewell, "Air Pollution Problems at Uncontrolled Hazardous Waste Sites," *Proceedings of the National Conference on Management of Uncontrolled Hazardous Waste Site*, Nov. 29-Dec. 1, 1982, Washington, D.C., pp. 76-80.
14. Shen, T.T. and G.H. Sewell, "A Socio-Economic and Engineering Evaluation of Hazardous Waste Incineration: Air Pollution Aspects," *Proceedings of the 6th World Congress on Air Quality*, May 16-20, 1983, Paris, France.
15. State of California Air Resource Board Staff Report, "An Assessment of the Volatile and Organic Emissions from Hazardous Waste Disposal in California," (Feb. 11, 1982).
16. State of California, Governor's Office of Appropriate Technology, *Alternatives to the Land Disposal of Hazardous Wastes: An Assessment for California*, p. 163.
17. Thibodeaux, L.J., "Estimating the Air Emissions of Chemicals from Hazardous Waste Landfills," Pre-Print of the 72nd AICE Annual Meeting, (Nov. 1979).
18. U.S. EPA, *Federal Registers*, "The Interim Status Standards for Hazardous Waste and Consolidated Permit Regulations," (Dec. 18, 1978; May 19, 1980; and January 12, 1981).
19. U.S. EPA, *Federal Register*, Part II, "Hazardous Waste Management System; Permitting Requirements for Land Disposal Facilities," pp. 32274-32388 (July 26, 1982).
20. U.S. EPA, *Hazardous Waste Generation and Commercial Waste Management Capacity*, Appendix C-2, Sw-894, (Dec. 1980).

# 都卜勒氣象雷達之評介

## *A Review of Doppler Weather Radar*

劉 復 誠\*

*Henry Fu-Cheng Liu*

### ABSTRACT

It is the purpose of this paper to concern with a review of the functional design, data processing and applications for Doppler weather radar. As we know, most traditional weather radars are noncoherent and are only used to observe the location and to measure the intensity of backscattered signals. However, a coherent "Doppler radar" can measure the velocity or frequency of scatters in the free atmosphere obtained by means of Doppler effect. The capabilities of the Doppler weather radar can easily explore the severe storms or meso/micro scale phenomena, such as squall lines, tornadoes, clear air turbulence, thunderstorms, wind shears etc., by detecting the radial velocity gradients ( $dV_r/dr$  and  $dV_r/d\theta$ ).

To renew the traditional radars, finally, the United States of America is now urgent need for a new generation of weather radars. This article will simply mention the joint program being conducted by the Departments of Commerce (DOC), Transportation (DOT) and Defence (DOD) to acquire the Next Generation Weather Radar (NEXRAD).

### 一、前 言

雷達 (RADAR) 是由英文縮寫的名詞譯音而來的，亦即 "the art of detecting by means of radio echoes, the presence of objects, determining their direction and range, recognizing their character and employing the data thus obtained."。原來字面的意思是無線電偵察定位，利用電磁波的反射原理來搜尋目標 (物) 而測定目標的位置和距離之一種電子儀器；其主要組成部份包括發射機 (transmitter)、接收機 (receiver)、天線 (antenna) 和顯示器 (indicator)。所謂氣象雷達，即利用這種原理來偵測雨滴、雷雨、颱風、鋒面等之雷達儀器。若雷達與目標有相對之運動，須依據都卜勒效應 (Doppler effect) 完成探測目標者，則稱為都卜勒雷達 (Doppler radar)，否則即稱為傳統性雷達 (traditional radar)。

我國交通部民航局曾表示：爲了加強北部中正

及松山兩機場危害天氣的測報，將於近一、二年內在中正機場裝置一部都卜勒氣象雷達，作爲偵測北部兩機場附近的劇烈天氣現象 (例如雷雨、冷鋒、颱風及亂流)，以進一步保障飛航安全。中央氣象局也鑑於73年6月3日北部大水災之需要，預定依照「十年氣象發展計畫」，將可能購置一部最新式的都卜勒氣象雷達，並裝設在北部地區，以配合加強豪雨研究計畫，來減少劇烈天氣變化所引起的氣象災害，造福民生，保障全國同胞生命與財產的安全。此外，美國聖路易大學教授林永哲博士在民航局及中央氣象局的演講會中也表示，都卜勒氣象雷達因其功能比傳統氣象雷達有效，未來將有取代傳統雷達的趨勢，例如美國將於1992年完成NEXRAD (Next Generation Weather Radar) 系統計畫，以及日本氣象研究所於1980年5月所研究發展的都卜勒氣象雷達已安裝試用，且效果良好，即爲明證。

本文僅就都卜勒氣象雷達之發展原型、系統功

\* 中央氣象局預報測站長期預報課課長

能和應用，以及美國新一代或下一代雷達系統計畫——NEXRAD Program 加以評介。

## 二、都卜勒差異頻率

都卜勒效應在光學及聲學部門均有詳論（參考 Hecht, 1975; Seto, 1971）。譬如，火車自遠處進站，吾人在站上聞汽笛聲，其音調由低而高，若火車離站，則汽笛聲由高而低；此一音調之升高或降低，乃緣於汽笛發出連續之波前（wavefront，指在空間的傳送波—已知瞬間俱有同一相位的各點之軌跡的連續表面），到達收聽所在地時，其波前與波前之間隔逐漸縮短或增大所致。此種音調（或頻率）改變（shift）之現象，即稱為「都卜勒效應」。都卜勒雷達之回波亦然，若雷達與目標有相對之運動，回波之頻率亦有升高或降低之現象。雷達與目標之距離若漸次縮小，回波之頻率增高；反之若兩者距離加大，回波頻率則下降。此種偏移或改變之頻率即稱為「都卜勒頻率」，有時亦稱「都卜勒偏移頻率（Doppler Shift Frequency）」，其值之高低視發射頻率（ $f_0$ ）及相對運動之速度（ $V_r$ ）而定。

假定一個目標（物）距雷達儀之距離為  $r$ ，並以頻率  $f_0$ （相關之波長  $\lambda$ ），則往返之總距離為  $2r$ ，以波長測定，則距離為  $2r/\lambda$ ，或以弧度（radians）測定，則  $(2r/\lambda) 2\pi = 4\pi r/\lambda$ 。假定自天線發射之電磁波具有原始相位（ $\phi_0$ ），則返回之相位變成：

$$\phi = \phi_0 + \frac{4\pi r}{\lambda} \quad (1)$$

從一個脈波到另一個脈波間（pulse to the next），其相位之變化應為時間之函數，即：

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot \frac{dr}{dt} \quad (2)$$

假定距雷達儀距離  $r$  上有一目標物正沿雷達波束（wave beam）移動，則此目標物之速度  $V = dr/dt$ （亦即徑向速度），角頻率（angular frequency,  $\omega$ ） $d\phi/dt$  必等於  $2\pi f$ ，代入(2)式變為：

$$f_a = \frac{2V}{\lambda} \quad (3)$$

上式  $f_a$  為都卜勒偏移頻率（亦即雷達接收電磁波之頻率  $f_r$  與發射電磁波之頻率  $f_0$  之差值）， $V$  為目標物沿雷達波束上的徑向速度（radial velocity），亦稱為都卜勒速度（Doppler velocity），其值含有正（+）負（-）號，若此目標物遠離雷達儀

，其值為正，若此目標物接近雷達儀，其值為負。

因  $\lambda = c/f_0$ （ $c$  為電磁波速度等於  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ），則代入(3)式，可得：

$$f_a = \frac{2Vf_0}{c} \quad (4)$$

若  $V$  之單位為 Knot（節）， $\lambda$  為 cm（公分）， $f_a$  為 Hz（赫），則(4)式演變為：

$$f_a \approx 103V/\lambda \quad (5)$$

由(4)式可知都卜勒頻率之值，係與發射頻率及速度成正比，若目標之（向量）速度與雷達視線所成之角為  $\theta$ ，目標與雷達之相對速度則成為  $V_r = V \cos \theta$ 。當目標之移動路線與雷達視線成垂直時（即  $\theta = 90^\circ$ ），其相對速度為零，都卜勒頻率亦為零。當目標沿着雷達視線進行時（即  $\theta = 0^\circ$ ），都卜勒頻率變為最大，表一由(3)式導出之都卜勒頻率  $f_a$  為  $V$  及  $\lambda$  之函數，很顯然地，所有氣象目標物，該頻率  $f_a$  均在音頻或聲頻（audio）之距離內，這些頻率與已知波長所列之載波頻率（carrier frequency）相比實在是極其微小，但不管如何，我們仍可藉不同的方法予以測知。

表一：不同雷達波長（ $\lambda$ ）及目標物速度（ $V$ ）所求得之都卜勒偏移頻率（Hz）表（取自 Battan, 1973）

Table 1: Doppler Shift Frequencies in Hertz for Various Radar Wavelengths and Target Velocities

| V(m/sec) | Wavelength (cm) |       |       |       |
|----------|-----------------|-------|-------|-------|
|          | 1.8             | 3.2   | 5.5   | 10.0  |
| 0.1      | 11              | 6     | 4     | 2     |
| 1.0      | 111             | 62    | 36    | 20    |
| 10.0     | 1,111           | 625   | 364   | 200   |
| 100.0    | 11,111          | 6,250 | 3,636 | 2,000 |

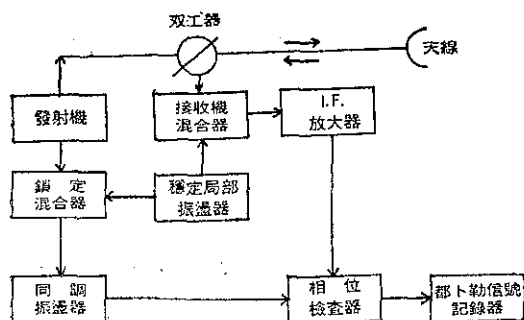
## 三、脈波都卜勒雷達

都卜勒雷達按其發射之波形（waveform），可分為等幅波雷達、調頻波雷達及脈波雷達。在氣象上均用脈波（形）都卜勒雷達（Pulsed-Doppler Radar），本文主要討論者以其為主。

### (一)基本系統結構

脈波都卜勒雷達其主要用途係探測活動目標（水滴、大氣粒子），故亦稱活動目標指示雷達，簡稱MTI(Moving-Target Indication)雷達。圖一

所示者即爲此式雷達簡單系統圖。在等幅波或調頻波雷達中，需用二個天線分別作發射及接收，而脈波雷達則用一個天線兼作發射及接收之用，惟在射頻輸電系統中，需添置發射開關之雙工器 (duplexer)，控制微弱之回波信號，以免進入發射系統作無謂之耗損。



圖一 脈波都卜勒雷達之系統方塊圖  
(取自 Battan, 1973)

Fig. 1 Block diagram of a pulsed-Doppler radar.

任何脈波雷達，其發射機均具有發射頻率  $f_0$  (例如 9,245MHz) 及維持一簡短脈波持續 (脈衝) 時間 (pulse duration, 亦稱脈波寬)，以  $\tau$  ( $\mu$  sec) 表示，所有電力 (power) 均經過雙工器至天線而再以電磁波幅射出去，從發射機出去的一部份信號 (signal) 到達一個叫非常穩定的局部振盪器 (stable local oscillator, STALO) 並與鎖定混合器 (locking mixer) 連接，此固定混合器具有中頻 (intermediate frequency, 簡字 IF, 例如 30MHz) 頻段，它並接到同調 (可測相位) 振盪器 (coherent oscillator) 上，此項裝置亦叫做 "COHO" 或相干振盪器，是用以維持發射雷達波的相位 (phase)，而以其電路參數限制設備的振盪於單一中頻 (IF) 處 (Battan, 1973)。

當反射回來的信號在天線處被收到後，此信號即與 STALO 混合藉以產生具有反射磁波相位特性的 IF，再經過放大作用 (amplification)，則自接收機收到的 IF 信號與從 COHO 所得之信號再利用相位檢查器 (phase detector, 一種用以檢查兩弦波電壓或電流間相角之符號和數值的電路) 來加以比較下一次脈波所產生相位  $\phi_2$ ，則兩脈波間之差值可求出  $\Delta\phi/\Delta t$  及都卜勒差異頻率 ( $f$ )。

很明顯地，爲了測定頻率  $f$ ，必須至少有  $2f$  之相位才能得到。例如，一個波恰爲頻率  $f$  的純正弦

波，則觀測到時也同具有相同頻率，且具有相同振幅 (amplitude)，當變率 (rate)  $2f$  存在時，必然顯示有互換的信號，高與低值及頻率  $f$  之存在。

### (二) 可辨速度、距離及頻率之計算

因爲在雷達座內被傳遞之脈波具有前節所述之變率者，即所謂來復頻 (pulse-repetition frequency, PRF)，因此最大的都卜勒頻率可以下式表示：

$$f_{\max} = \frac{\text{PRF}}{2} \quad \text{.....(6)}$$

同理可導出最大都卜勒速度 ( $V_{\max}$ ) 爲：

$$V_{\max} = \pm (\text{PRF}) \frac{\lambda}{4} \quad \text{.....(7)}$$

另可求出最大可辨的 (unambiguous range,  $R_{\max}$ ) 如下 (Wilson et al, 1980)：

$$R_{\max} = \frac{1}{2} \left( \frac{C}{\text{PRF}} \right) \quad \text{.....(8)}$$

(8)式代入(6)(7)式，可求出

$$f_{\max} = \frac{1}{4} \frac{C}{R_{\max}} \quad \text{.....(9)}$$

$$\text{及 } V_{\max} = \pm \frac{\lambda}{8} \frac{C}{R_{\max}} \quad \text{.....(10)}$$

由上列(6)~(10)可知，都卜勒最大速度是取決於 PRF 及波長 ( $\lambda$ )，例如一座具有波長 3.25cm 的雷達及  $\text{PRF} = 4,000\text{s}^{-1}$  時，其最大都卜勒速度及波各爲  $\pm 32.5\text{m/s}$  及  $2,000\text{Hz}$ 。因之要有理想可測量高速度的雷達，則需要較長波長及較高的 PRF。例如  $\lambda = 9.5\text{cm}$  及  $\text{PRF} = 9,000\text{s}^{-1}$ ，其最大速度爲  $\pm 214\text{m/s}$ ，而其最大可辨距離亦可求出爲 16.3 km。顯見，假如我們想得到較遠的可辨距離 ( $R_{\max}$ ) 及最大速度 ( $V_{\max}$ )，則該用波長較長的雷達。

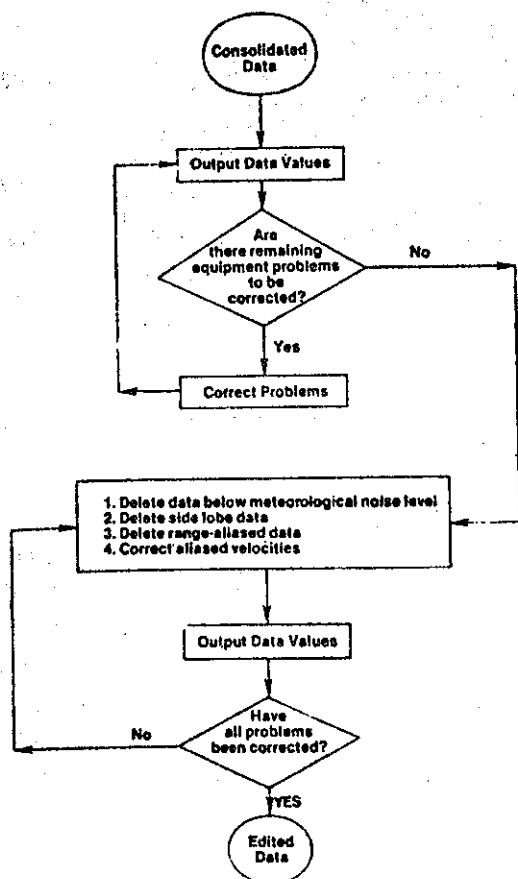
但如果在脈波與脈波間有一以極高速度移動的目標物，而其相位 (角) 變化甚至已大於  $2\pi$  時，亦即此目標之移動超過一個波長，則此時就無法求出可辨的速度和頻率 (參考 Atlas, 1964)。因之對於波長及 PRF 之選定一定要考慮自己的用途而作審慎訂定。

### (三) 資料處理、分析及顯示器

由於用都卜勒雷達觀測的資料很龐大，因此必須經過處理、分析後才能有效應用，尤其爲求垂直速度、風切等需從觀測徑向速度去統計。過去已有許多方法已被引用，如 Chong et al (1980) 以共同平面 (coplane) 方法及數學分析來處理雙都卜



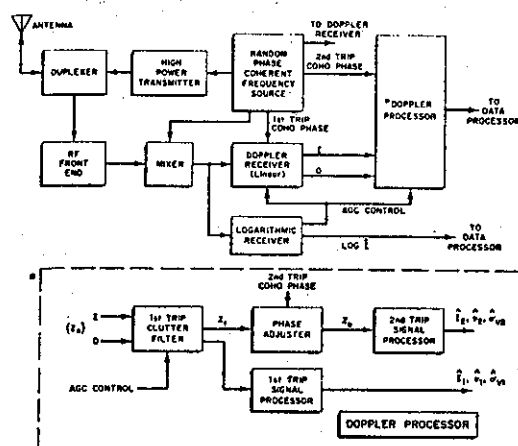
勒雷達之資料均可供參考，圖二為 Brown et al (1981) 所設計之資料處理流程圖，用以處理從 NSSL (美國劇烈風暴中心) 的雙都卜勒雷達 (7 個磁帶) 所得之原始資料 (Lin and Pasken, 1982)。還有為了計算目標物之移速，都卜勒氣象雷達需記錄下頻率變動資料，這些資料的處理最初是先將原始有關資料予以數字化，並記錄在磁帶上面後交



圖二 用以處理都卜勒雷達所獲原始資料之流程圖 (取自 Brown et al, 1981)

Fig. 2 Flow diagram of the data editing stage.

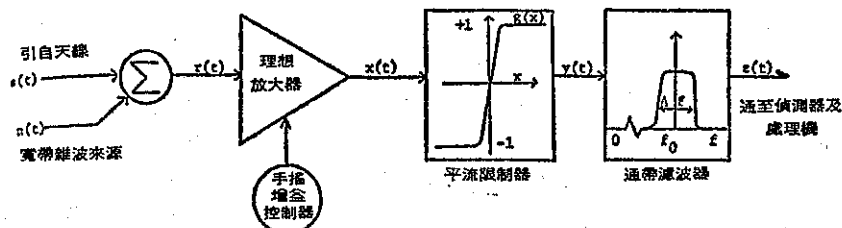
給電腦去處理 (劉廣英, 1982)。例如，一種被稱為經濟而有效及高速的都卜勒處理 (processing) 已發展完成 (Groginsky, 1972; Lhermitte, 1972)。Laird (1981) 曾利用隨機相位 (random phase) 方法來處理不清晰的解像度 (圖三) 及 Frush (1981) 使用 IF 限制 (limiting) 來處理都卜勒信號，均值得參考 (圖四)。



圖三 利用隨機相位來處理不清晰的解像度之系統方塊圖 (取自 Laird, 1981)

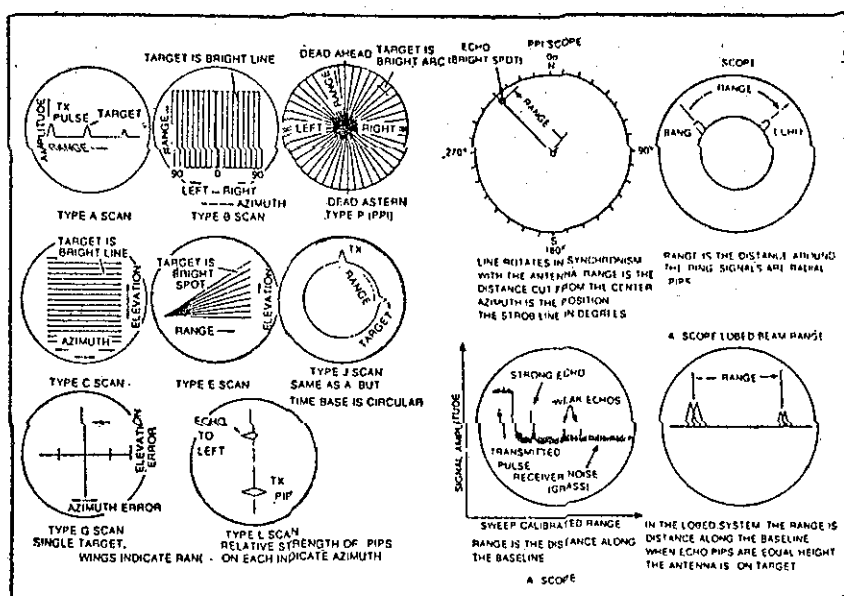
Fig. 3 Conceptual block diagram for the dual coherent interval system. Signals at points  $Z_a$ ,  $Z_b$ , and  $Z_c$  are referred to in text.

顯示器 (Indicator or display) 為雷達重要設備之一，但因種類很多 (有 A 型、B 型、PPI 型、PSI 型、CAPPI 型等)，須視使用者之需要而定 (圖五 a)。由頻率變動求得的速度分布可即時 (real-time) 顯示在以上這些顯示器上。[平面切變顯示器 (plan-shear indicator) 及多向量 (動差) 顯示器 (multi-moment display) (圖五 b) 均已證明很好用 (Burgess et al, 1976)。



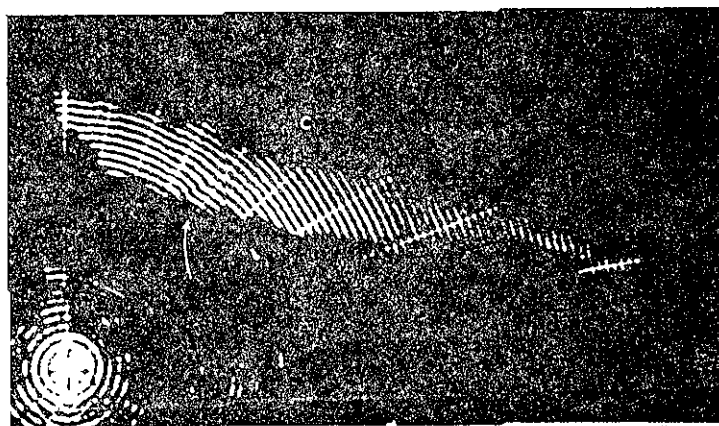
圖四 使用 IF 限制來處理都卜勒信號之理想過程圖 (取自 Frush, 1981)

Fig. 4 Idealized Representation of the Bandpass Limiter Radar Receiver



圖五 a 12種用於雷達系統之顯示器

Fig. 5a Twelve display systems used in radar systems.



圖五 b 平面切變顯示器圖，箭頭所指為氣旋渦旋特徵，箭頭底處距雷達儀約20公里。（取自 Armstrong and Donaldson, 1969）

Fig. 5b Detail of PSI pattern. Arrow points to characteristic cyclonic vortex pattern. The end of the arrow is at a range of about 20 km.

Gray et al. (1975) 亦曾詳細介紹過NCAR 的研究資料支持系統 (Research Data Support System, RDSS) 所發展出來的即時彩色顯示器 (圖六)，在此系統中  $\pm V_{max}$  中的速度以多種顏色 (17種) 表示之，以增加顯示資料的清晰度 (clarity)、多用途性 (flexible) 及比一般系統具有易讀性。此外，並以電腦程式去掉速度混淆 (Bargen and Brown, 1980)，同時顯示器角上也設有日期、類別、仰角 (elevation angle)、距離及時間

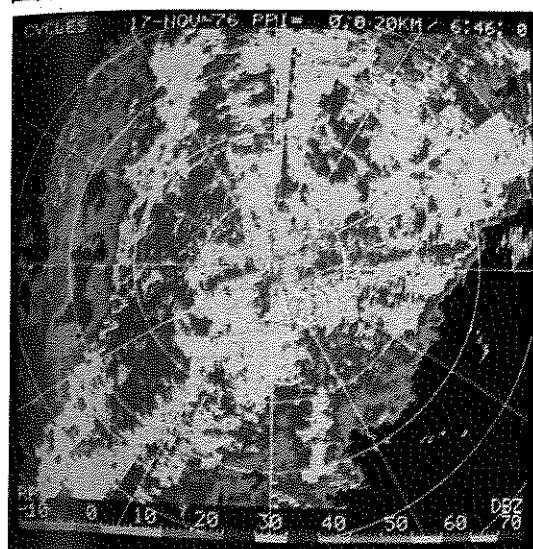
標示。例如圖六 a 上顯示PPI (plan position indicator) 具有仰角  $0.0^\circ$ ，斜距 (slant range) 20 km，其掃描起自1979年11月17日 6:46:8 PST，此次資料取自 CYCLES 76號計畫，地點為華盛頓的 Ocean Shores，在彩色顯示器下邊並以不同顏色標明雷達反射率或強度 (reflectivity factor)，其值可從  $-10\text{dBZ}$  到  $70\text{dBZ}$  (每隔  $5\text{dBZ}$  為一间隔)。

圖六 b 表示相關的都卜勒速度，可從  $+32\text{m/s}$

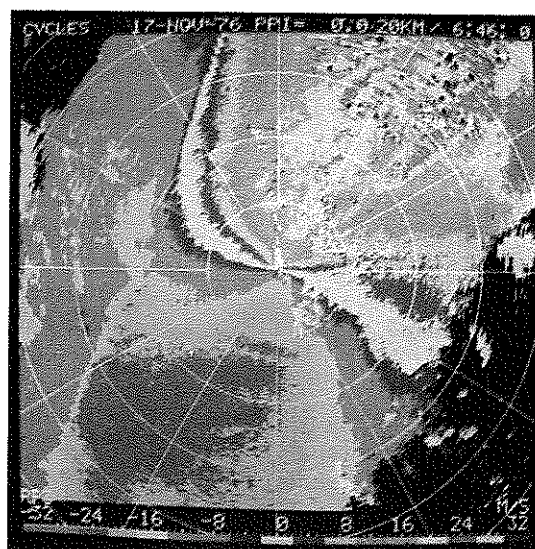
到  $-32\text{m/s}$  (以每  $4\text{m/s}$  為一間隔)，為方便使用，負號表示目標物朝向雷達儀，正號表示目標物正遠離雷達儀。此時，必須強調的是此種顯示值表示目標物運動的徑向分量 (radial component)。

最好的雷達顯示器是具有能力可從選擇任何部位或放大作用 (例如中央氣象局預報中心之 WSR-

74S 雷達監視器)，特別是對於對流性的風暴更需要有高解像度 (high resolution) 的分辨能力以認清劇烈風暴的標記或特徵 (signature)。此外，有方位角 (azimuth，例如 NCAR CP-4) 及距離標示以看清楚回波之形狀大小者更為完美 (Wilson et al, 1980)。



(a)



(b)

圖六 NCAR 之 RDSS 所發展出來的都卜勒雷達彩色顯示器。此圖顯示一道冷鋒正接近華盛頓的 Ocean Shores (時間為 1976 年 11 月 17 日)。(取自 Wilson et al, 1980)

Fig. 6 Doppler radar displays of a cold front approaching Ocean Shores, Wash., on 17 November 1976. (a) Radar reflectivity factor showing a band of moderate rain in advance of the wind shift line seen in (b). (b) Doppler velocity showing a near surface sharp wind shift line 40 km west of the radar. Winds east of the front about 150 m above the surface are  $200^\circ$  at  $24\text{ m/s}$  and west of the front about  $280^\circ$  at  $15\text{ m/s}$ .

#### 雙頻率 10 公分都卜勒雷達系統

目前利用都卜勒頻率之氣象雷達已在世界各工廠及研究單位發展或完成裝配。例如 NCAR CP-3, NCAR CP-4 (Lin and Pasken, 1982); CHILL 10 公分都卜勒雷達、毫米波都卜勒雷達 (Millimeter Wave Doppler Radar, Lhermitte, 1981), 3 公分 CW 都卜勒雷達等，惟各系統之規格、功能及價格均不同，無法一一介紹。本文現僅列出一種由美國空軍地球物理實驗室 (Air Force Geophysics Laboratory) 所發展出來的「雙頻率 10 公分都卜勒氣象雷達 (Dual Frequency 10 cm Doppler Weather Radar)」以供參考 (因為它的發展與 NEXRAD 有密切關係)。

為了配合及減少 NEXRAD 之冒險 (見後述)，美國商業部、運輸部及國防部共同要求及支持此

系統之發展，以便能設計一種可符合研究及作業之都卜勒氣象雷達系統。

最近幾年來，為減少脈波都卜勒雷達在觀測劇烈風暴時，所遭遇的距離及速度模糊障礙，許多雷達氣象及電子專家 (例如 Doviak et al, 1978, 1979) 及 JDOP (Joint Doppler Operational Project) 的工作人員正朝此方向努力，同時也對雜波 (clutter) 之消除加以考慮。另一目標更對於故障或斷路容許度 (fault tolerance) 或可容許偏差、故障位置及自動校準 (calibration) 技術等同時包括在設計內 (以配合未來 NEXRAD 計畫)。

根據以上要求，此系統已發展成功並試用中。本文僅列出其參數 (表二 a)、偵察故障位置網路之監視參數 (表二 b 及圖七 a)、系統結構 (圖七 b) 及資料處理、分析和顯示器 (圖七 c) 以供參考，有

關詳情參閱 Glover et al (1981)。

表二a：雙頻率10公分都卜勒雷達參數

Table 2a: Characteristics of the Daul Frequency 10cm Doppler Radar (After Glover et al, 1981)

|  |                        |  |
|--|------------------------|--|
| <b>發射機 (Transmitter) 部份：</b>                   |                        |  |
| 頻率 $f_1$ ——反射率 (Frequency $f_1$ -reflectivity) | 2760MC                 |  |
| 頻率 $f_2$ ——都卜勒 (Frequency $f_2$ -Doppler)      | 2710MC                 |  |
| 尖峯電力 ( $f_1$ 及 $f_2$ )                         | 1.2MW                  |  |
| 脈波寬 ( $f_1$ 及 $f_2$ )                          | 1.0 $\mu$ sec          |  |
| 脈波來復頻 ( $f_1$ )                                | 1300 sec <sup>-1</sup> |  |
| 脈波來復頻 ( $f_2$ )                                | 325 sec <sup>-1</sup>  |  |
| <b>天線 (Antenna) 部份</b>                         |                        |  |
| 直徑   | 7.3 meter              |  |
| 增益 (Gain)                                      | 43.8 dB                |  |
| 波束寬 (方向角)                                      | 1.0°                   |  |
| 波束寬 (仰角)                                       | 1.0°                   |  |
| 波導損失 (Waveguide losses)                        | 1.8 dB                 |  |
| 掃描角度 (Scan angle) —— 仰角                        | 0 ~ 90°                |  |
| 掃描角度 (Scan angle) —— 方向角                       | 0 ~ 360°               |  |
| 掃描型式 (Scan type)                               | 連續的                    |  |
| 掃描控制 (Scan control)                            | 電腦                     |  |
| 護罩型式 (Radome type)                             | 剛體 (rigid)/隨意          |  |
| <b>接收機 (Receiver) 部份</b>                       |                        |  |
| 最小可測信號 ( $f_1$ )                               | -109 dBm               |  |
| 可辨距離 (unambiguous range) $f_1$                 | 461 km                 |  |
| 可辨距離 (unambiguous range) $f_2$                 | 115 km                 |  |
| 可用距離 (Usable range) $f_2$                      | 230 km                 |  |
| 可辨速度 (指 Scan)                                  | ±32.5 m/sec            |  |
| 混雜回波觸止帶 (Stopband)                             | ±0.3 m/sec             |  |
| 觸止帶衰減 (Stopband attenuation)                   | 50 dB                  |  |
| 都卜勒通帶 (Doppler passband)                       | 1 ~ 32.5m/sec          |  |
| 通帶波紋 (Passband ripple) —— 最大                   | 1.0 dB                 |  |

表二b：偵察故障位置網路之監視參數

Table 2b Parameters Monitored by the Fault Location Network (After Glover et al, 1981)

|  |  |
|--|--|
| <b>發射機 (Transmitter) 部份</b>            |  |
| 系統電壓 (System Voltages)                 |  |
| 載波 (Carrier frequency)                 |  |
| 局部振盪器頻率 (Local oscillator frequencies) |  |
| 波束電流 (Beam current)                    |  |
| 來復頻產生器 (PRF generator)                 |  |
| 前進功率 (Forward power)                   |  |
| 同動功率 (Reverse power)                   |  |
| 電壓駐波比 (VSWR)                           |  |

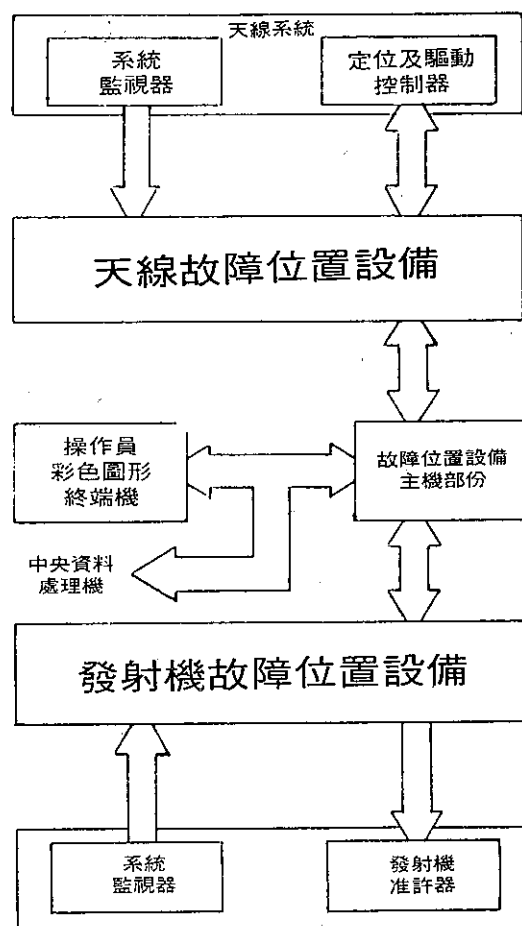
雜波度 (Noise figure)  
電弧檢驗 (Arc detection)  
波導壓力 (Waveguide pressure)  
空氣流量 (Air flow)  
冷卻流量 (Coolant flow)  
互鎖 (Interlocks)

#### 天線 (Antenna) 部份

方位角位置控制 (Azimuth position control)  
仰角位置控制 (Elevation position control)  
方位角驅動控制 (Azimuth drive control)  
仰角驅動控制 (Elevation drive control)  
系統電壓 (System voltage)  
互鎖 (Interlocks)

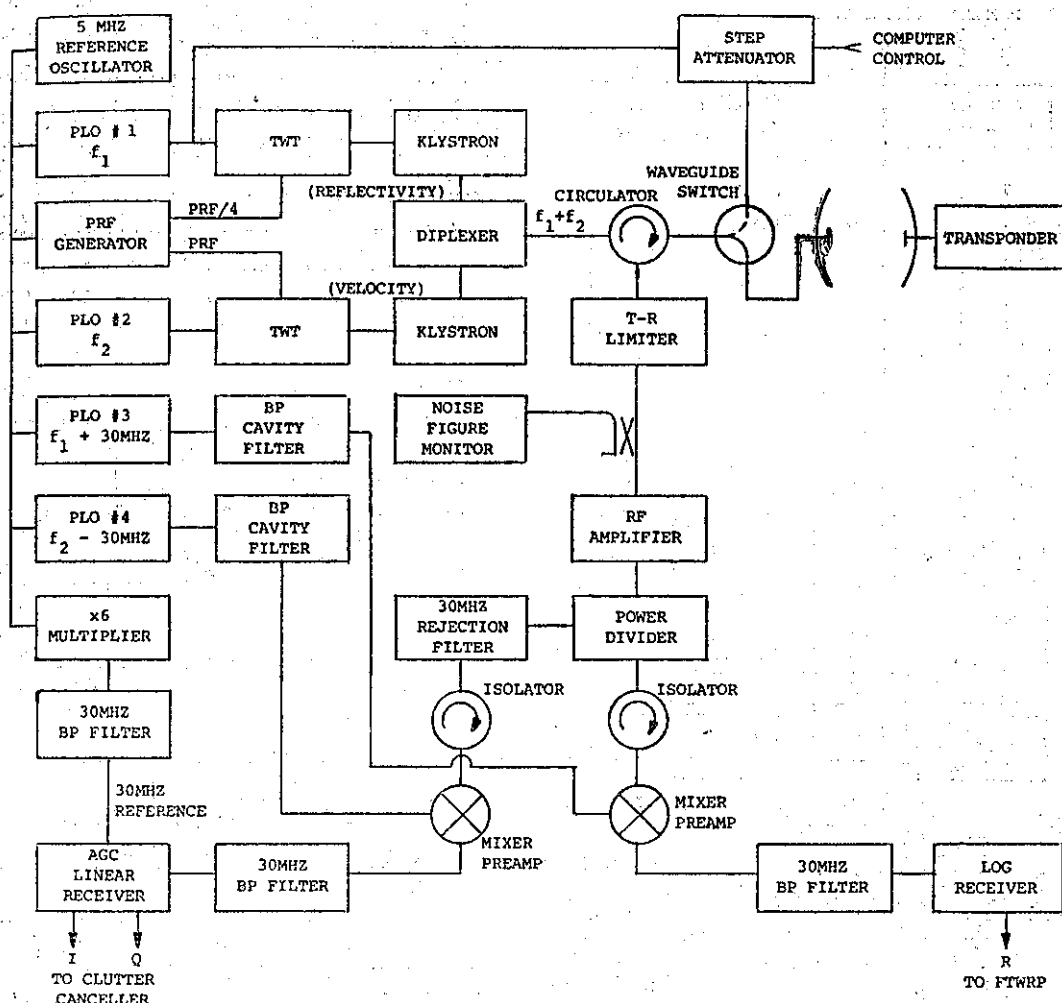
#### 主要故障位置設備 (Major Fault Location Unit) 部份：

網路電壓 (Network voltage)  
通信功能 (Communication functions)



圖七 a 雙頻率10公分都卜勒雷達之監視及錯誤位置網路功能之方塊圖。(取自 Glover et al, 1981)

Fig. 7a Functional block diagram of the performance monitoring/fault location network.



圖七b 雙頻率10公分都卜勒雷達之發射機及接收機系統結構圖。(取自 Glover et al, 1981)  
Fig. 7b Functional block diagram of the 10 cm dual frequency Doppler radar transmitting and receiving equipments.

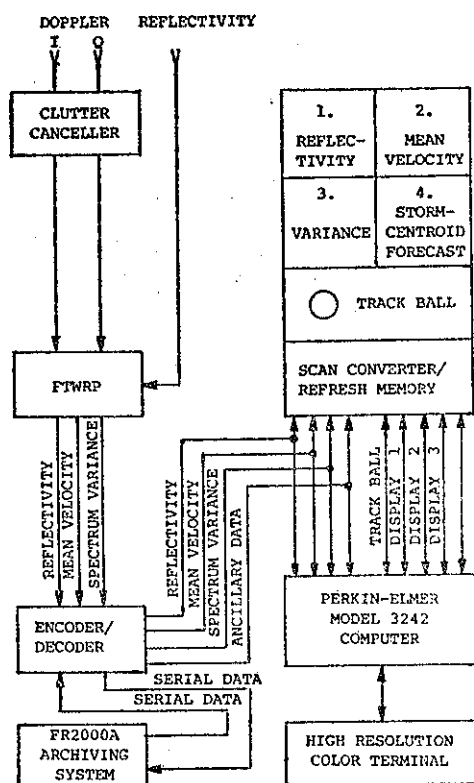
#### 四、都卜勒氣象雷達之應用

從1982年9月22-24日在美國 Oklahoma 大學所舉辦的NEXRAD 都卜勒研討會中，吾人發現都卜勒雷達已從過去的研究階段進入作業階段，顯見應用其「差異頻率」特性及徑向速度關係，可用來推算出雲層、鋒面、風暴以內及晴空 (fine weather) 中的空氣運動狀況，並由此導出一些與大氣變化的有關分量。由於使用一個、二個，甚至二個以上的都卜勒雷達，其用途各有不同，惟大致可歸納如下：

(一) 單都卜勒雷達 (Single-Doppler Radar)

##### 1. 偵測颶線中的黑洞 (black hole) 區

Hjelmfelt et al, (1981) 利用單一都卜勒雷達去偵測1979年5月2日在Hinton (位於 Oklahoma州) 的一個風暴中的颶線 (Squall line)，發現在颶線中一塊異常極小 (poor) 都卜勒速度 (即黑洞)，並與美國南達科他州州立工礦學院的一架 T-28 飛機所深入觀測結果比較，發現此一黑洞區不是亂流所引起，而是因水平風切 (horizontal wind shear) 所造成，此黑洞正當介於上升流 (updraft) 中心及下沉流 (downdraft) 之交界帶 (圖八)。



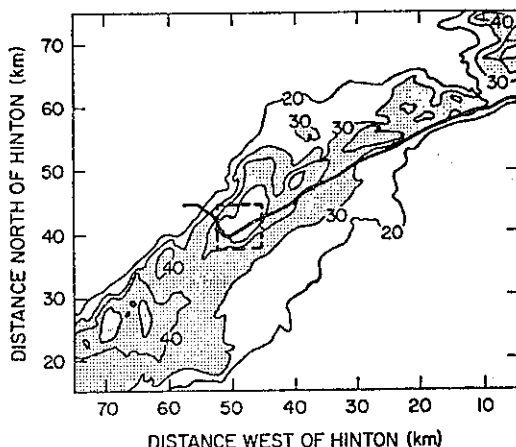
圖七 c 雙頻率10公分都卜勒雷達之資料處理，分析及顯示器之功能方塊圖。  
(取自 Glover et al, 1981)

Fig. 7c Functional block diagram of the dual frequency radar data processing, analysis, and display equipments.

## 2. 測量大片降水區之風速或風切

對風速及風切之觀測的方法是在仰角固定下 (PPI 掃描) 旋轉天線，此時雷達由波束旋轉中獲得

相對方位角的降水質點徑向速度 (如圖九a, 九b及表三)，此法稱為 VAD (Velocity-Azimuth Display, VAD) 是由 Lhermitte and Atlas (1961) 與 Lhermitte (1966a, 1969a) 提出。因此法可測定不同高度上的水平風速 (圖九c)，並由急驟的風變上可以定出鋒面位置 (Wilson et al, 1980)，惟必須在風速及空氣質點下降速率 (fall-speed) 均勻狀況下始可決定。



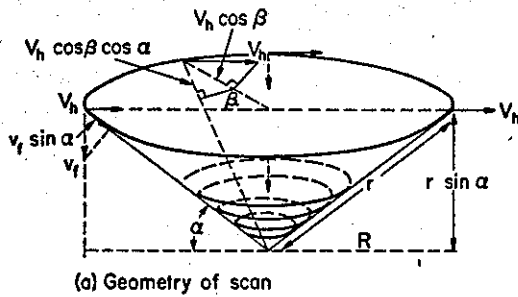
圖八 利用單一都卜勒雷達來偵測1979年5月2日位於 Dkalahoma 州 Hinton 之颶線中黑洞——方型虛線部份。  
(取自 Hjelmbeil et al, 1981)

Fig. 8 Reflectivity data (dBZ) obtained from CP-4 radar on May 1979 at 1759 CDT. Data shown is for a constant altitude (CAPPI) of 7 km. Regions in which dBZ >30 dBZ indicated in the shading. The aircraft track is indicated with a solid line and the approximate location of black hole is enclosed in the dashed region.

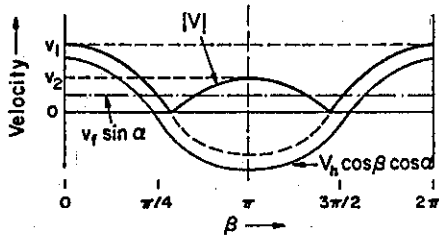
表三 利用都卜勒雷達之 VAD 技術偵測風場之資料 (資料取自1978年2月7日，位於加州的 Sacramento 附近的一個風暴)。(取自 Wilson et al, 1981)

Table 3: Wind profile deduced from the colored display. The direction estimates are given in the following order: low pressure side (L), high pressure side (H), upwind (U), and downwind (D).

| Height above ground, km | Slant range, km | Wind direction, degrees |     |         |     |      | Wind speed, m/s |          |      |
|-------------------------|-----------------|-------------------------|-----|---------|-----|------|-----------------|----------|------|
|                         |                 | L                       | H   | U       | D   | Mean | Upwind          | Downwind | Mean |
| 0.3                     | ( 1.8)          | 151                     | 140 | 159     | 145 | 149  | 26              | 24       | 25   |
| 0.7                     | ( 4.2)          | 155                     | 150 | 159     | 162 | 156  | 34              | 34       | 34   |
| 1.4                     | ( 8.5)          | 186                     | 166 | 187     | 182 | 180  | 28              | 30       | 29   |
| 3.8                     | (22.8)          | 240                     | 241 | 249     | 229 | 240  | 44              | 35       | 40   |
| 4.9                     | (29.4)          | 242                     | 246 | 244     | 232 | 241  | 38              | 42       | 40   |
| 5.7                     | (34.1)          | 242                     | 241 | 243     | 227 | 238  | 34              | 38       | 36   |
| 6.7                     | (40.0)          | 231                     | 240 | missing | 226 | 232  | 36              | 34       | 35   |



(a) Geometry of scan



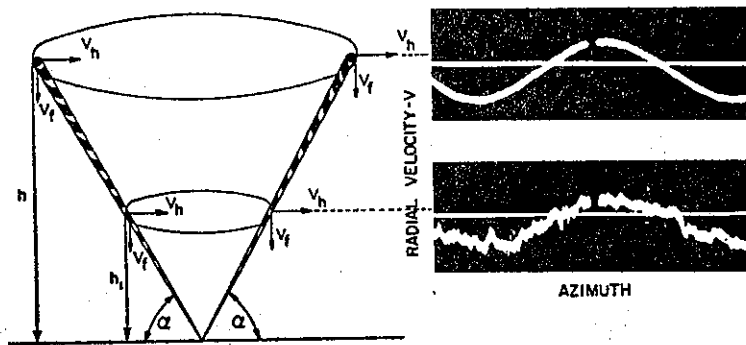
(b) Velocity-Azimuth Display (VAD)

圖九 a (a)表示利用 VAD 技術測風時，掃描所出現之圖形。

(b)表示當摺速發生時，由風速與下降速率所形成之VAD圖形。(取自 Atlas, 1964)

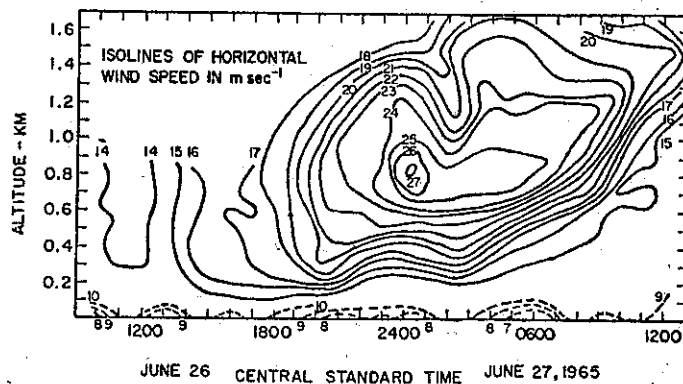
Fig. 9a (a) Geometry of scan for wind measurements by VAD technique;

(b) wind and fall speeds make up VAD pattern indicated by  $|V|$  when folding occurs.



圖九 b 利用都卜勒雷達的 VAD 技術所測得實際圖形。  
(取自 Lhermitte, 1969a)

Fig. 9b Velocity azimuth display with examples of actual results.



圖九 c 利用都卜勒雷達偵測1965年6月27日位於 Oklahoma, Norman 的一個風暴，所求出之水平平均風速之等值線剖面圖。(取自 Lhermitte, 1966a)

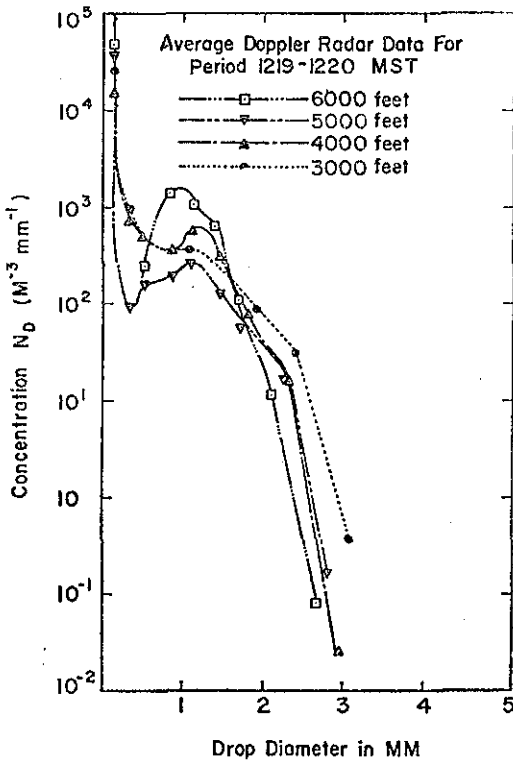
Fig. 9c Altitude-time presentation of isocontours of horizontal mean wind speed near Norman, Oklahoma.

### 3. 決定雲雨層內水滴大小分布

當忽略層狀降雨中的垂直速度，亂流 (turbulence) 以及因水平風引起之波束加寬作用 (broadening) 時，可以都卜勒譜線 (spectrum) 來決定水滴粒子之速率譜，如 Chimera (1960) 曾求出速率譜線的方差 (Variance) 為：

$$\sigma^2_v = 1.04(\bar{v})^2 \dots\dots\dots(11)$$

上式  $\bar{v}$  為平均徑向速度分量，適合於 Marshall-Palmer 的水滴大小譜線 (Atlas, 1964)，圖十即為利用都卜雷達而得之水滴大小分布。



圖十 利用都卜勒雷達所測得之不同高度平均水滴粒子大小分佈圖 (取自 du Toit, 1967)  
Fig. 10 Average drop-size distributions at various altitudes.

### 4. 偵測亂流

對於大氣中所常存在的小尺度渦流 (small-scale eddies)，其都卜勒速率譜線的方差是很小的 (例如雨為  $0.7-1.0 \text{ m}^2/\text{sec}^2$ ，雪為  $0.04-0.25 \text{ m}^2/\text{sec}^2$ )，因此 Hitschfeld and Dennis (1956) 以

$$\sigma^2_v = \sigma^2_{v_t} + \sigma^2_{v_p} \dots\dots\dots(12)$$

來分別表示因亂流 ( $\sigma_{v_t}$ ) 及空氣質點 ( $\sigma_{v_p}$ ) 的方

差，藉著測量  $\sigma^2_v$  及估計  $\sigma^2_{v_p}$ ，即可得到大氣中的「亂流」狀況。Atlas and Srivastava (1971) 證實利用非同調 (noncoherent) 雷達方法從兩波束容積 (volumes) 的回波信號之攝動 (fluctuation) 即可推測亂流，惟此為一罕見之特例。

表四為 MIT 林肯實驗室與 FAA 聯合在紐約大西洋城機場 (Atlantic City Airport) 同時使用飛機及都卜勒雷達所測出的雷雨亂流參數 (Lewis, 1981)。

### 5. 測量上升流速率

利用都卜勒雷達以偵測對流雲塊中的上升流速率已被廣泛介紹 (Probert-Jones and Horper, 1961)。

圖十一為 Battan 及 Theiss (1970a) 利用都卜勒雷達所測之上升流 (垂直速度) 時間剖面圖 (時間：1967年8月7日)

### 6. 決定鋒面位置

因鋒面附近含有急驟風切，故可以利用有彩色的顯示器加以判定鋒面位置，請參考圖六 (Wilson et al., 1980)。

### 7. 劇烈風暴之偵測

都卜勒雷達因其有能力測力徑向速度梯度 ( $dV_r/dr$ ) 及方位角速度梯度 ( $dV_r/d\theta$ )，故能發現劇烈風暴以便提早向大眾提出預警。Donaldson (1970) 證明單一都卜勒雷達可分辨出風場中的中尺度渦旋 (Mesoscale vortices) 而此種渦旋與內藏龍捲風中尺度氣旋 (mesocyclone) 是一個體系 (Burgess et al, 1976; Brandes, 1978)，即由風場中渦旋可推測出可能已存在的風暴。其他與積雨雲發展有關的陣風鋒或飆鋒 (Gust front, GF)，下衝流 (downburst) 均可自銀幕上顯示有極大的反射率及都卜勒徑向速度梯度 ( $+16 \text{ m/s} \sim -16 \text{ m/s}$ )。Moore and Martner (1981) 於1980年之 SCPP (Sierra Cooperative Pilot Project) 計畫中使用 NCAR CP-3 都卜勒雷達偵測加州的風暴，發現2月16日的中尺度氣旋狀況 (圖十二)。

### 8. 龍捲風之偵測

龍捲風的渦旋 (Vortex) 可以產生很大的波束對波束 (beam-to-beam) 間的切變或叫龍捲風渦旋標記或特徵 (tornado vortex signature)，但因其尺度與脈波容積比較是極其微小，故很少可用此方法觀測到。惟因龍捲風在速度上常具有中



表四 MIT 林肯實驗室與 FAA 聯合在紐約大西洋城機場同時使用飛機及都卜勒雷達所測得的雷雨亂流參數(取自 Lewis, 1981)。時間:(a)1980年7月17日;(b)1980年7月17日

Table 4 The thunderstorm turbulence parameters ( $\epsilon_r^{1/3}$ —radar,  $\epsilon_{ap}^{1/3}$ —airplane) detected by Doppler radar and aircraft on July 17, 1980.

(a)  $\epsilon_r^{1/3}$  VERSUS  $\epsilon_{ap}^{1/3}$  FOR FLIGHT OF JULY 17, 1980 (取自 Lewis, 1981)

|                    |   | $\epsilon_{ap}^{1/3}$ |          |          |            |        | TOTAL |
|--------------------|---|-----------------------|----------|----------|------------|--------|-------|
|                    |   | 0-2.25                | 2.25-4.5 | 4.5-7.25 | 7.25-10.25 | >10.25 |       |
| $\epsilon_r^{1/3}$ |   | N                     | L        | M        | S          | E      |       |
| 2-3                | N | 11                    | 9        | 0        | 0          | 0      | 20    |
| 3-4.5              | L | 13                    | 21       | 6        | 0          | 0      | 40    |
| 4.5-7              | M | 13                    | 37       | 32       | 9          | 0      | 91    |
| 7-10.5             | S | 5                     | 19       | 37       | 15         | 5      | 81    |
| >10.5              | E | 2                     | 6        | 9        | 9          | 1      | 27    |
| Total              |   | 44                    | 92       | 84       | 33         | 6      | 259   |

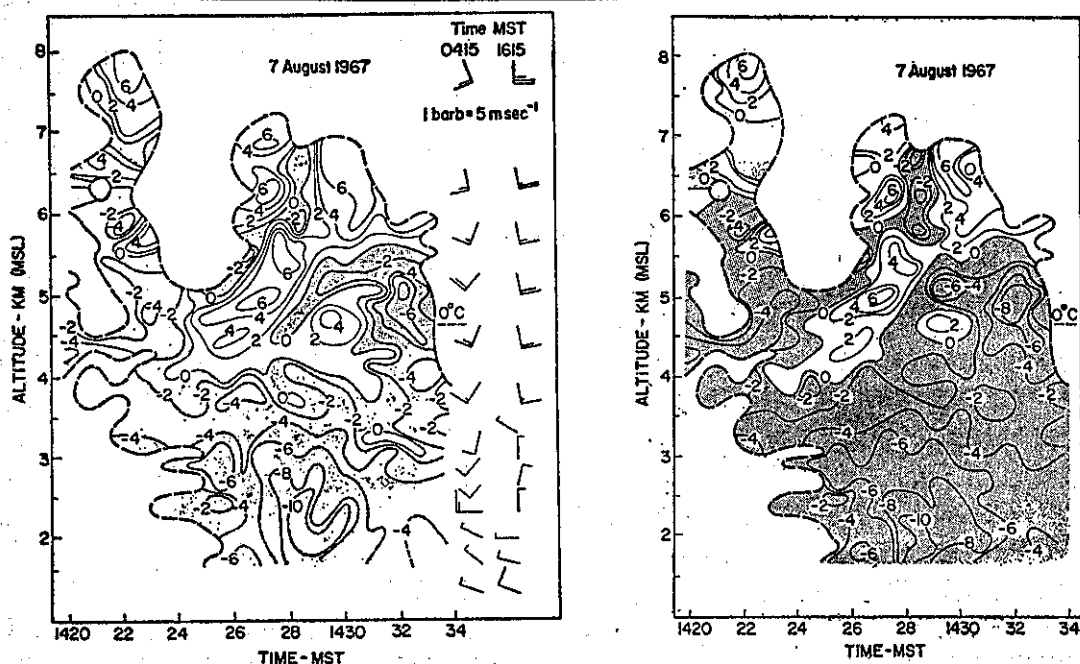
Correlation Coefficient=0.51

Note: Turbulence categories: N=negligible, L=light, M=moderate, S=severe, and E=extreme

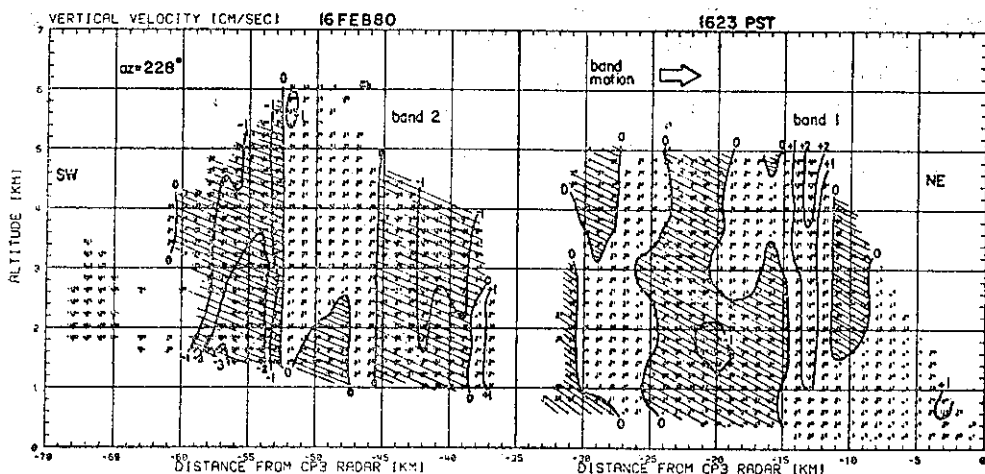
(b)  $\epsilon_r^{1/3}$  VERSUS  $\epsilon_{ap}^{1/3}$  FOR JULY 17, 1980 (SIMPLIFIED) (取自 Lewis, 1981)

|                    |  | $\epsilon_{ap}^{1/3}$ |          |          |       | Comb. Cat. | %      |
|--------------------|--|-----------------------|----------|----------|-------|------------|--------|
|                    |  | NEG                   | LIGHT    | MOD      | SEV   |            |        |
| $\epsilon_r^{1/3}$ |  | 0-2.25                | 2.25-4.5 | 4.5-7.25 | >7.25 | Total      |        |
| LITE (2-4.5)       |  | 24                    | 30       | 6        | 0     | 60         | N-L 90 |
| MOD (4.5-7)        |  | 13                    | 37       | 32       | 9     | 91         | L-M 76 |
| SEV (>7)           |  | 7                     | 25       | 46       | 30    | 108        | M-S 70 |
| Total              |  | 44                    | 92       | 84       | 39    | 259        |        |

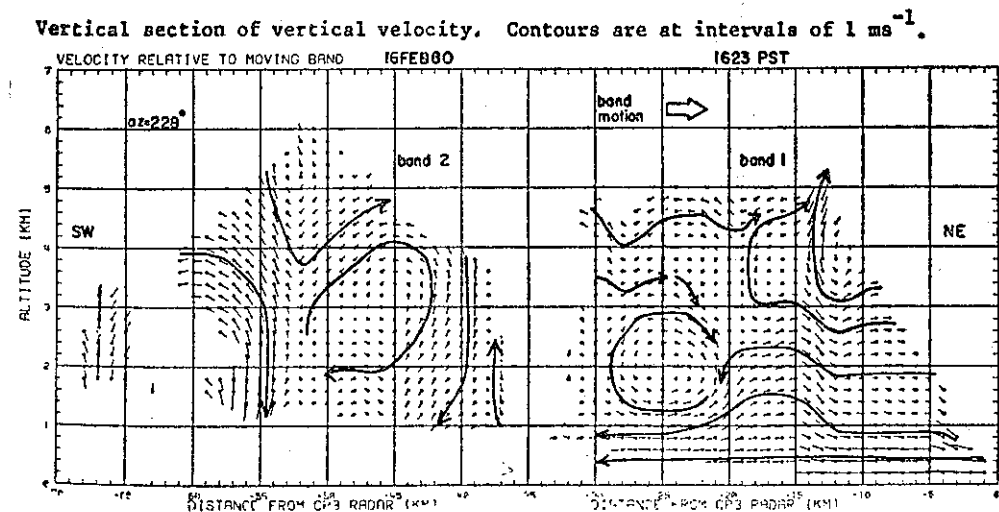
Correlation Coefficient=0.51



圖十一 利用都卜勒雷達偵測垂直速度之時間高度剖面圖。(取自 Battan and Theiss, 1970a)  
Fig. 11 Time-height section showing vertical air velocity: a (left), given by the negative tail of the Doppler spectrum plus 1 m/sec ( $W_{BT}$ ); b (right), given by Rogers's formula ( $W_R$ ).



(a) Vertical section of vertical velocity. Contours are at intervals of  $1 \text{ ms}^{-1}$ .



(b) Vertical section of flow in  $x-z$  plane relative to the bands.

圖十二 利用都卜勒雷達以偵測劇烈風暴中之中尺度氣旋範例圖，(a)垂直速度的垂直剖面；  
(b)相對雲帶中  $x-z$  平面的氣流剖面。（取自 Moore and Martner, 1981）

Fig. 12 Mesocyclone flow of the storm on Feb. 16, 1980, California.

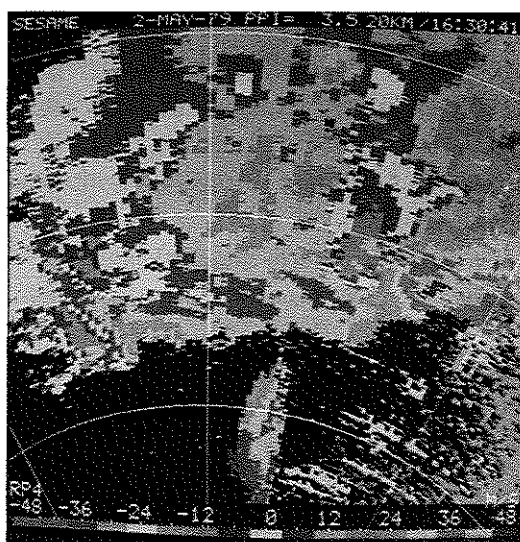
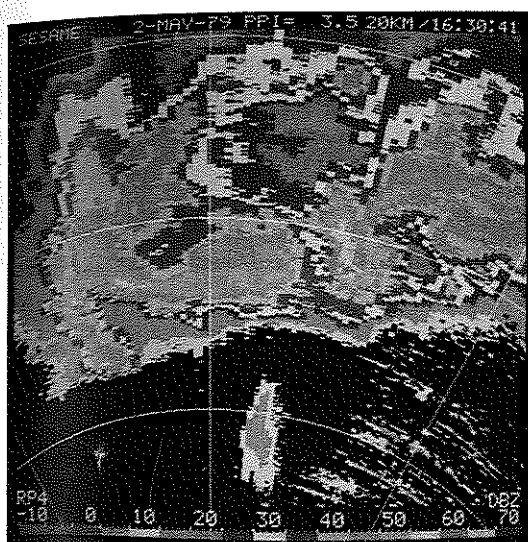
尺度氣旋標記，因此可以此標記來判定龍捲風之出現以便提出預警 (Wilson et al, 1980)。

圖十三為1979年5月2日在 Oklahoma 中北部所拍之照片，圖十三 a 雷達反射率所表示之鉤狀回波 (hook echoes) 與中尺度氣旋有關。圖十三 b 較接近中尺度氣旋及鉤狀回波內部，兩個可產生龍捲風的中尺度氣旋各位在  $17^\circ/59\text{km}$  及  $345^\circ/47\text{km}$  處。在龍捲風渦旋標記之右方中心，可見其徑向速度變化從  $-32 \sim +48\text{m/s}$ 。

### 9. 晴空之非降水觀測

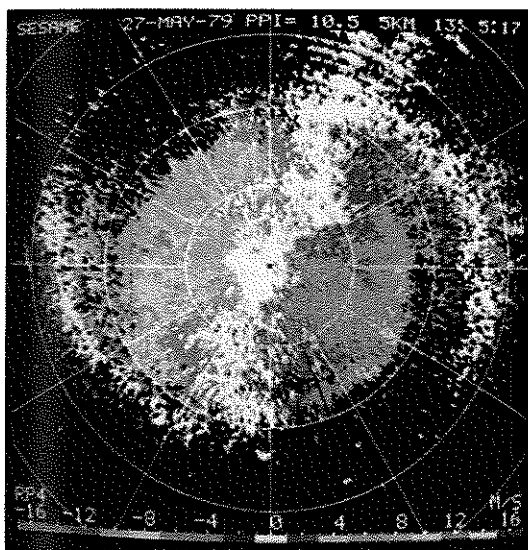
有關近地邊界層 (boundary layer) 的大氣

現象可從都卜勒雷達觀測得出。Lhermitte(1966a) 與 Browning 及 Atlas (1966) 曾利用 VAD 技術使用 3cm 與 5cm 波長測出行星邊界層 (PBL) 之都卜勒速度。其他如 Daviak 及 Jobson (1979) 亦曾用 10cm 都卜勒雷達測出在 Oklahoma 州晴天時邊界層之運動結構 (kinematic structure)。圖十四為典型的晴天特徵是由昆蟲隨風飛行時所獲之都卜勒速度。實際上，因折射指數擾動 (refractive index perturbation) 所引起之實際空氣運動回波是可以利用都卜勒雷達偵測的 (Wilson et al, 1980)。



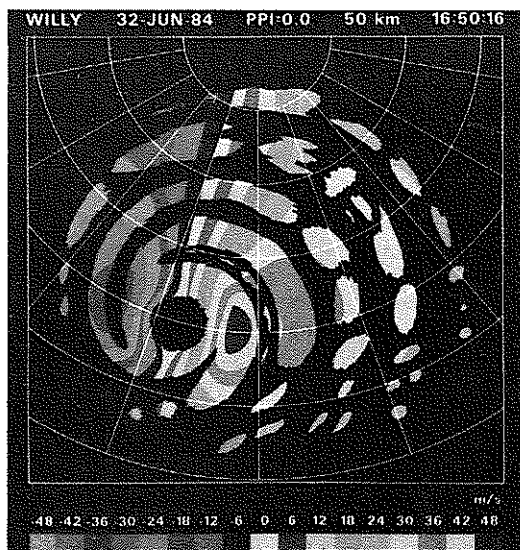
圖十三 利用都卜勒雷達偵測位於 Oklahoma 中北部（發生於1979年5月2日）的兩個疑似有龍捲風形成之風暴。（取自 Wilson et al, 1980）

Fig. 13 Doppler radar displays of two tornado-producing storms on 2 May 1979 in northcentral Oklahoma. (a) Radar reflectivity factor showing "hook" echoes associated with each of the mesocyclones in (b). Note how closely the mesocyclones and hook echoes coincide. (b) Doppler velocity of two tornado-producing mesocyclones centered at 17° 59 km and 345° 47 km. At the center of the more eastern storm a tornado vortex signature is evident, where radial velocities change from  $-32$  to  $+48$  m/s between rays.



圖十四 利用都卜勒雷達偵測1979年5月27日（Oklahoma 中部）之晴天回波（昆蟲）的都卜勒速度。（取自 Wilson et al, 1980）

Fig. 14 Doppler velocity display of clear air echoes (insects) on 27 May 1979 from central Oklahoma. In the convectively mixed layer (depth 1.8 km) the wind is about  $120^\circ$  at 4-6 m/s. Above the wind rapidly veers to at least  $200^\circ$  and the echo disappears.



圖十五 颶（風）風之都卜勒速度模擬，此颶風限位於雷達之 SSW 方200公里處，最大速率48 m/s。（取自 Shea及 Gray, 1970）

Fig. 15 Simulation of a Doppler velocity display for a hurricane. The eye is located 200 km SSW of the radar. Maximum displayed speed is 48 m/s.

### 10. 颶風之觀測

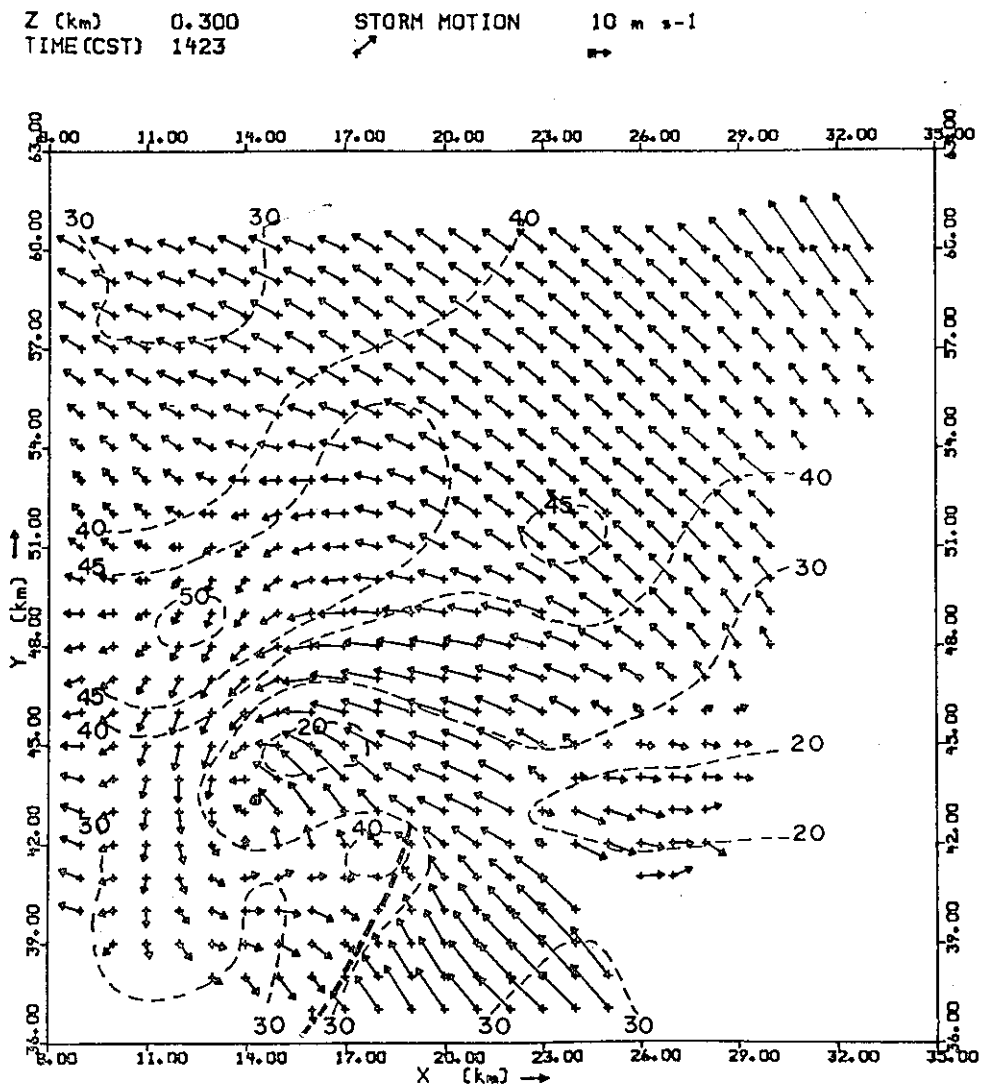
Wilson et al (1980) 認為都卜勒雷達對颶風 (即颱風) 風場之觀測應很有效, 但至今尚未有實測紀錄。Baynton (1979) 根據 Shear 及 Gray (1970) 的資料曾模擬過都卜勒雷達的風場, 顯示效果很好 (圖十五)。

#### (二) 兩個或兩個以上都卜勒雷達之觀測

使用一個都卜勒雷達雖可偵測很多種大氣現象, 惟有時受地形, 速度混淆 (ambiguity) 或盲速 (blind velocity) 限制, 無法很準確的分辨風暴

(特別是如龍捲風等中小尺度風暴) 的位置, 故開始有部份學者使用二個 (dual) 或二個以上, (multiple) 的都卜勒雷達同時作觀測, 使其效果更臻完美, 有時更可獲得二維或三維之氣流分布型態。

Lin 及 Pasken (1982) 曾利用雙都卜勒雷達在 Oklahoma 觀測龍捲風之風場案例 (圖十六)。此次之龍捲風發生在 Oklahoma City, Spencer 及 Luther, 發生時間從 1974 年 6 月 8 日 1412 CST (地方時) 開始而在 1428 CST 消失。本次使用之



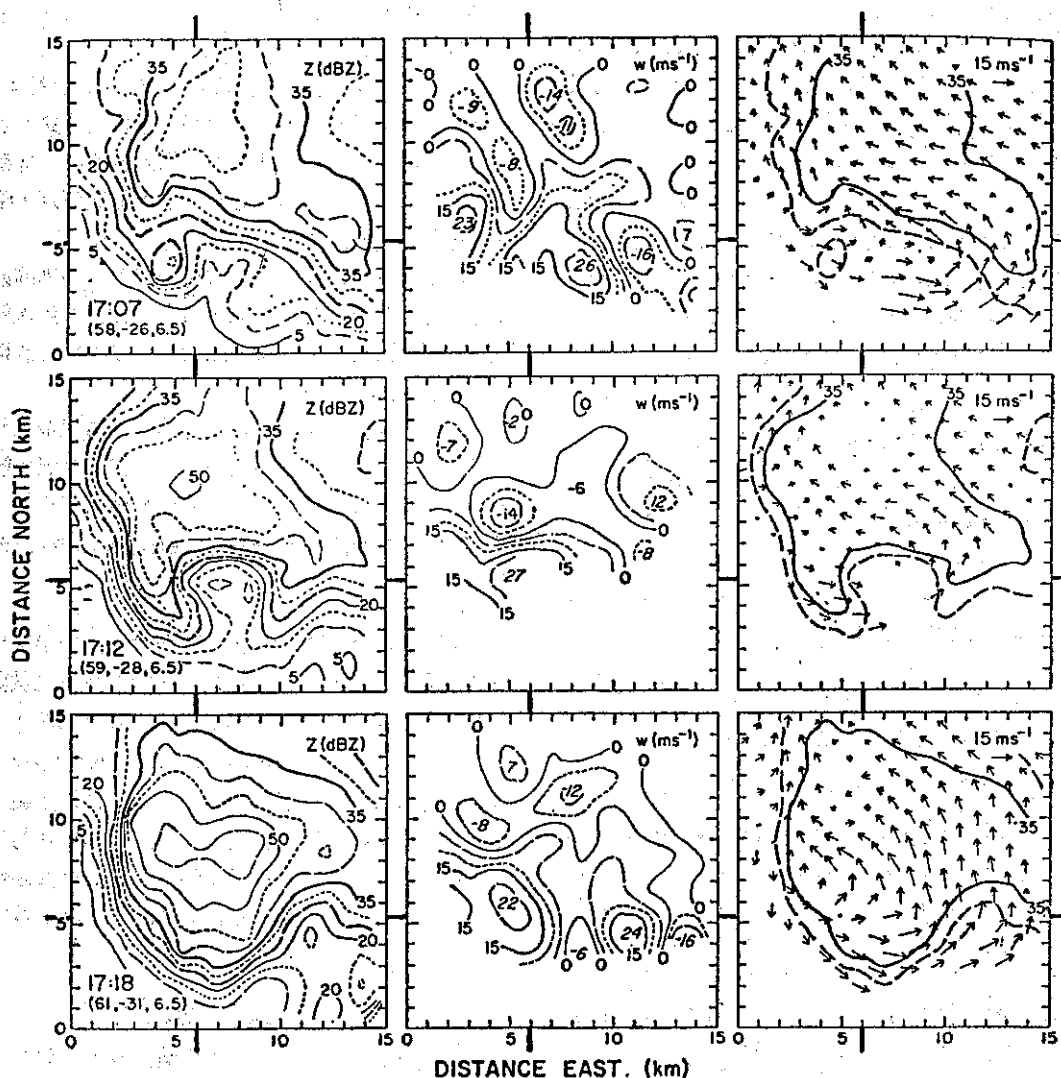
圖十六 利用雙都卜勒雷達偵測 Oklahoma 附近的一個風暴, 所產生龍捲風之風場 (x-y 平面)。(取自 Lin 及 Pasken, 1982)

Fig. 16 Field of storm-relative winds and radar reflectivity contours in dBZ at the 0.3 km level. The heavy dashed line indicates the gust front. Storm motion is from 230° at 15 ms<sup>-1</sup>.

資料從 1421 CST 至 1426 CST。

用兩個 NSSL 都卜勒雷達裝置在 Norman 及 Cimarron 機場 (位於 Oklahoma)，此次雷達掃描資料包括平均徑向速度 (mean radial velocity,  $V_r$ )，標準偏差 (standard deviation)；相當雷達反射率 (equivalent radar reflectivity,  $Z_e$ )。最後經資料處理分析而求出此三維風場資料。

雖然我們可用一個或二個都卜勒雷達從垂直向觀測劇烈風暴的內部結構，上升氣流 (垂直速度)，徑向速度等資料，但無法獲得風暴整個回波之移動過程或其生命史，為此 Foote et al (1981) 使用三個都卜勒雷達 (Triple-Doppler radar) 觀測 Colorado 東北方的一個風暴 (時間 1976 年 7 月 22 日) 整個生命史，發現效果良好 (圖十七)。



圖十七 利用三個都卜勒雷達偵測 Colorado 東北方的一個風暴 (1976 年 7 月 22 日) 之整個生命史。  
(取自 Foote et al, 1981)

Fig. 17 Horizontal sections at 6.5 km MSL for three time periods showing reflectivity factor on the left, updraft magnitude in the center, and horizontal wind vectors on the right. Contours of updraft speed and reflectivity factor have been repeated in the other plots for clarity.

### (三) 使用都卜勒雷達之限制及注意事項

1. 都卜勒雷達雖可詳細測觀測到風暴內風場資料，並由此導出運動 (kinematic) 及動力 (dynamic) 結構，但對熱力變數 (thermodynamic variable) 尚無法直接讀出。

2. 使用多都卜勒雷達雖可獲較準確資料及增大涵蓋面，但對資料處理頗費周章，軟體設計將面臨更大考驗，此問題可參閱 Ray et al (1975, 1978) 的專文。

3. 考慮都卜勒波譜中的雜波水準 (noise level)，以避免干擾有關資料之處理。此外，對於錯誤資料及摺速 (folded velocity) 必需事前校正 (Lin and Pasken, 1982)。

4. 使用單一都卜勒雷達觀測時，徑向速度乃是水平風速  $V_h$ ，風向  $\beta_0$ ，目標物下降速度  $V_f$ ，仰角  $\alpha$  及方位角  $\beta$  的函數，即  $V = -V_h \cos \alpha \cos (\beta - \beta_0) - V_f \sin \alpha$ ，因而不但有相關的數據要準確，且需有  $V_f$ 。當  $\beta = \beta_0$ ， $V_f$  很小且  $\alpha \leq 25^\circ$  時  $V_h$  很接近於  $\vec{V}_0$ 。

5. 使用兩部或兩部以上都卜勒雷達同時觀測，要有正確的規劃，而且對於資料處理及分析軟體要求簡化 (Lhermitte and Miller, 1970)。

6. 對於可能的計算誤差 (10% 可容許範圍 Lin and Pasken, 1982) 亦有所瞭解，如與回波反射率配合使用會有更好的分析結果。

## 五、都卜勒氣象雷達之未來發展—

### NEXRAD 計畫概述

#### (一) 計畫導因

雷達自被應用於天氣測報後，已為世界各國氣象界推崇，但在過去1960年代前後所出產的真空管雷達 (如 WSR-57, WSR-64M, AN/FPS-6 等)。因在近年來對於機器之維護頗為昂貴，加以這些傳統雷達只能靠有經驗的工作人員依回波強度去辨認天氣特徵及位置，對於諸如陣風鋒面 (GF)，風場，亂流則付諸闕如。因此，美國氣象局考慮這些因素乃根據專家學者對都卜勒雷達之研究基礎及建議 (如 Smith and Holmes, 1961; Atlas, 1963; Lhermitte, 1969a)，由商務部 (Department of Commerce; DOC) 之國家氣象局 (NWS) 交通部 (Department of Transportation; DOT) 之聯邦航空總署 (Federal Aviation Administration; FAA)，以及國防部門 (Department of Defense,

DOD) 之空軍氣象服務部門 (Air Weather Service, AWS) 為保障其本身單位之安全需要，因此特聯合提出了 NEXRAD (Next Generation Radar) 計畫，期以最新式多功能的都卜勒雷達系統網取代過去老舊的雷達網。而其最終目的為改進雷達資料處理及正確性，兼可作即時作業以提高對劇烈天氣預報的可信度，提早預警時間以減少生命及財產損失。

#### (二) 計畫時段及期限

##### 1. 計畫時段

NEXRAD 計畫分下列四期 (phase) 執行：

(1) 系統定義期——除對作業系統之性質、功能、特徵及成本定義之外，尚包括系統設計、加選裝置之評估、市場研究、需求分派、形狀確定、時程計畫及成本估算。

(2) 系統印證期——於此期中將提出詳細的副系統規格、細部設計、創造、組合、測試及生產前模型之評估資料。其主要產品為一可以證明合於建議系統之真正作業系統。

(3) 有限生產期——在生產前模型再經擴大作業測試完成前，訂定一中間決定期以減少投資冒險。亦即是整個計畫在控制下達到全盤製造速率。

(4) 全盤生產期——迄今已計畫生產 160 套系統。

##### 2. 期限

自1982年2月收到三件競爭合約供系統定義期研究起，到1982年12月收到系統印證期所需之設計構想報告及建議書，即完成了第一期計畫工作。

實際在三家投票公司中，Raytheon 及 Sperry 兩公司於1983年5月簽訂了各自之生產前模型製造合約，預計系統印證 (硬體規格) 於1986年8月完成。有限生產期終預定為1988年1月，而全部系統將於1992年前完成安裝供用 (詳情請閱 Bonewitz, 1981; 李定國, 1984)。

## 六、討論與結語

近年來中央氣象局在儀器設備方面已增添不少，其中以70年1月28日成立之氣象衛星資料接收站所拍攝之影像照片對天氣系統 (雲系、鋒面、颱風、雷雨等) 之辨認最具功效，雖其涵蓋廣，但時間及空間解析度 (每隔三小時才有一張照片) 不夠，對於局部地區及瞬時發展的中尺度天氣現象 (雷雨胞、飆線、陣風鋒面、龍捲風、晴空亂流、風切等) 均無法作有效的偵測。因之對於中 (小) 尺度及

局部發展的短暫天氣現象仍需用氣象雷達偵測來彌補氣象衛星資料之不足，以建立即時天氣預報（Nowcasting）之基礎。此為氣象雷達能成為各國氣象機構重視之主因，而都卜勒氣象雷達對劇烈天氣或風暴之偵測又比傳統的氣象雷達更具效力與功能，相信未來國內外各氣象單位都將以裝置都卜勒雷達為測報天氣之新設備。

從美國 NEXRAD 計畫之週全與行動來看，顯見都卜勒氣象雷達將成為氣象科技研究之新方向。中央氣象局未來如要在北部設雷達似可以都卜勒雷達為優先，並將花蓮及高雄雷達予以改裝，使成為可以作連線的週密雷達網（radar network），並可將資料與民航局，空軍之雷達資料交換，再配合中央氣象局的大電腦、自動化觀測系統、衛星影像彩色與交替顯示系統，利用電信局之傳輸網路相互以界面連接，使成為一極為有效的天氣監視器或預警中心，以保障全民生命及財產的安全。

總之，都卜勒氣象雷達之應用，除保有傳統氣象雷達之功能外，尚可測定徑向風速或中（小）尺度劇烈天氣現象，且其彩色特徵之顯示器與高解像力，可以使預報員提早發現風暴動向及強度，進而提早預警時間。至於採購時，以何型雷達為宜？只要我們從資料處理、雜波（包括固定地面回波，ground clutter）消除、地形障礙、財力及目的方面上多加考慮，即可自理論上發揮應用之功能。

## 誌 謝

作者感謝臺灣大學大氣系陳泰然教授之提供卓見，民航局氣象中心李定國副主任之提供部份資料及中央氣象局劉淑珍、王安華小姐之幫忙謄稿，使本文得以順利完成也一併致謝。

## 參 考 文 獻

- Atlas, D., 1963: Radar analysis of severe storms. Meteor. Monogr., 5, No. 27, 177-220.
- Atlas, D., 1964: Advances in Radar Meteorology. Advances in geophysics, 10: Academic Press, New York, 318-478.
- Atlas, D. and R.C. Srivastava, 1971: A method of radar turbulence detection IEEE Trans. Aero. and Elect. Systems AES-7;179-87.
- Battan, L.J., 1973: Radar Observation of the Atmosphere, Uni. of Chicago Press, 324 pp..
- Battan, L.J. and J.B. Theiss, 1970a: Measurements of vertical velocities in convective clouds by

- means of pulsed-Doppler radar. J. Atmos. Sci., 27: 293-398.
- Bargen, D.W. and R.C. Brown, 1980: Interaction radar relativity unfolding. 19th Conf. on Radar Meteor., AMS, 278-285.
- Baynton, H. W., 1979: The case for Doppler radars along our hurricane-affected coasts. Bull. Am. Meteorol. Soc., 60, 1014-1023.
- Bonewitz, J.D., 1981: The NEXRAD PROGRAM—An Overview, 20th Conf. on Radar Meteor., AMS, 757-761.
- Brandes, E.A., 1978: Mesocyclone evaluation and tornado genesis: Some observations, Mon. Wea. Rev., 106, 995-1011.
- Brown, R. G., C.R. Safford, S. P. Nelson, D. W. Burgess, W. C. Bumgarner, M. L. Weible, and L.C. Fortner, 1981: Multiple Doppler radar analysis of severe thunderstorms: Designing a general analysis system. NOAA Tech. Memo. ERL-NSSL-92. 21 pp..
- Browning, K. A., and D. Atlas, 1966: Velocity characteristics of some clear-air dot angels. J. Atmos. Sci., 23, 592-604.
- Burgess, D.W., 1976: Single Doppler radar vortex recognition: Part I Mesocyclone signature, 17th Conf. on Radar Meteorology. AMS.
- Burgess, D. W., L. D. Hennington, R. J. Doviak, and P. S. Ray, 1976: Multimoment Doppler display for severe storm identification. J. Appl. Meteor., 15 1302-1306.
- Chong M., F. Roux, J. Testud, 1980: A new filtering and interpolation method for processing dual-Doppler Radar data: performance in 3-dimensional wind restitution, ability to derive pressure and temperature field. Preprints 19th Conf. on Radar Meteor., Miami, Fla, AMS. 286-293.
- Chimera, A. M., 1960: Meteorological radar echo study. Final Report., Contract F33, Cornell Aeronaut. Lab., Buffalo, New York, (616)-6352.
- Donaldson, R. J., Jr., 1970: Vortex signature recognition by a Doppler radar. J. Appl. Meteor., 9, 661-670.
- Doviak R. J., and C. T. Jobson, 1979: Dual Doppler-radar observations of clear air wind perturbations in the planetary boundary layer. J. Geophys. Res., 84C2, 697-702.

- Doviak, R. J., D.S. Sirmans, D.S. Zrnic', and G.B. Walker, 1978: Consideration for pulse-Doppler radar observations of severe thunderstorms. *J. Appl. Meteor.*, 17, 189-205.
- Doviak, R. J., D.S. Zrnic', and D.S. Simans, 1979: Doppler weather radar, *Proc. IEEE*, 67, 1522-1533.
- du Joit, P. S., 1967: Doppler radar observations of drop sizes in continuous rain, *J. Appl. Meteor.* 6: 1082-1087.
- Foote, G. B., H.W. Frank, and C.G. Wade, 1981: Updraft evolution and storm types, 20th, Conf. on Radar Meteor., Boston, AMS, 166-169.
- Frush, C., 1981: Doppler signal processing using IF limiting, 20th Conf. on Radar Meteor., AMS, Boston, 332-337.
- Glover, K. M., G. M. Armstrong, A. W. Bishop and K. J. Banis, 1981: A dual frequency 10cm Doppler Weather radar, 20th Conf. on Radar Meteor., Boston, AMS 738-743.
- Groginsky, H. L., 1972: Pulse pair estimation of Doppler spectrum parameters. 15th Conf. on Radar Meteor., AMS Boston, 233-236.
- Gray, G.R., R.J. Serafin, D. Atlas, R.E. Rinehart, and J.J. Boyajian, 1975: Real-time color Doppler radar display. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 56, 580-588.
- Hecht, E., 1975: Optics, McGraw-Hill Book Co., 242 pp..
- Hitschfeld, W., and A.S. Dennis, 1956: Turbulence in snow generating cells. *Sci. Rept. MW-23*, Montreal: Storing Weather Group, McGill Univ..
- Hielmfelt, M. R., A. J. Heymsfield, and R. J. Serafin, 1981: Combined radar and aircraft analysis of a Doppler radar "Black Hole" region in an Oklahoma squall line, 20th Conf. on Radar Meteor., Boston, AMS, 66-70.
- Laird, B. G., 1981: On ambiguity resolution by random phase processing. 20th Conf. on Radar Meteor., AMS, Boston, 327-331.
- Lewis, W., 1981: Doppler radar and aircraft measurements of thunderstorm turbulence. 20th Conf. on Radar Meteor., AMS, 440-445.
- Lhermitte, R. M., 1981: Millimeter wave Doppler radar, 20th Conf. on Radar Meteor., Boston, AMS. 744-748.
- Lhermitte, R. M., and D. Atlas, 1961: Precipitation motion by pulse Doppler radar. *Proc. 9th Wea. Radar Conf.*, Boston, AMS, 218-223.
- Lhermitte, R. M., 1972: Real-time processing of meteorological Doppler radar signals. 15th Conf. on Radar Meteor., AMS, 364-367.
- Lhermitte, R. M., and L.J. Miller, 1970: Doppler radar methodology for the observation of convective storms. 14th Conf. on Radar Meteor., AMS, 133-138.
- Lhermitte, R. M., 1966a: Probing air motion by Doppler analysis of radar clear air returns. *J. Atmos. Sci.*, 23:575-591.
- Lhermitte, R. M., 1969a: Atmospheric probing by Doppler radar. In *Atmospheric Exploration by Remote Probes. Vol. 2*, Washington, D.C., Nat. Acad. Soc. 253-285.
- Lin, Y. J., and R. Pasken, 1982: Kinematic and dynamic characteristics of a tornadic storm determined from Dual-Doppler winds. *PMR*, Vol. 5. No. 1, MSROC, 50-68.
- Moore, J. A., and B.E. Martner, 1981: Observations of California Rainbands, Part I: A pair of bands in Proximity, 20th Conf. on Radar Meteor., Boston, AMS, pp. 364-370.
- Probert-Jones, J. R., and Harper, W. G., 1961: Vertical air motion in showers as revealed by Doppler radar. *Proc. 9th Wea. Radar Conf.*, Boston, AMS, 225-232.
- Ray, P. S., J. J. Stephens and K. W. Johnston, 1978: Multiple-Doppler radar network design. *J. Aml. Meteor.*, 16, 706-710.
- Ray, P. S., R.J. Doviak, G.B. Walker, D. Sirmans, J. Carter and B. Bumgarner, 1975: Dual-Doppler Observation of a tornadic storm. *J. Appl. Meteorol.*, 14, 1521-1530.
- Seto, W. W., 1971: Acoustics, McGraw-Hill Book Co., 195 pp..
- Smith, R. L., and D. W. Holmes, 1961: Use of Doppler radar in meteorological observations. *Mon. Wea. Rev.*, 89, 1-7.
- Shea, D.J., and W.M. Gray, 1970: The hurricanes' inner core region. I. Symmetric and asymmetric structure. *J. Atmos. Sci.*, 30, 1546-1564.
- Wilson, J., R. Carborne, H. Baynton, and R. Serafin, 1980: Operational application of meteorological Doppler radar. AMS., Vol. 61. No. 10. 1154-1868.
- 劉廣英, 1982: 都卜勒氣象雷達及其應用之簡介, 中範國天氣系統研討會, 中央氣象局, 461-465。
- 李定國, 1984: 美國新一代氣象雷達計畫簡介, 航空氣象與飛航安全研討會, 民航局, 245-249。



統一編號：

09085740032

Volume 31, Number 1

Mar. 1985

# METEOROLOGICAL BULLETIN

(Quarterly)



## CONTENTS

### Originals

- A Diagnostic Study of Moisture fluxes during Ave-sesame  
V (20-21 May 1979).....*Hsin-Wu Chang* (1)
- A Parameterization of the Topographic Forcing to the  
Himalaya Mountain and the Taiwan Mountain on the  
Zonal Mean Current.....*Ming-Lee Liu* (16)

### Reviews

- Discussion of Secure Landfill Reliability...*Thomas T. Shen & Ke-Hsun Chi* (25)
- A Review of Doppler Weather Radar.....*Henry Fu-Cheng Liu* (32)

**CENTRAL WEATHER BUREAU**

64 Park Road, Taipei  
Taiwan, Republic of China

|       |  |  |                   |  |  |            |  |  |
|-------|--|--|-------------------|--|--|------------|--|--|
| 出版者   |  |  | 中央氣象局氣象學報社        |  |  | 臺北市公園路六十四號 |  |  |
| 發行人   |  |  | 吳宗堯               |  |  | 電話：3713181 |  |  |
| 編輯委員會 |  |  | 吳宗堯               |  |  |            |  |  |
| 主任委員  |  |  | 喬鳳倫               |  |  |            |  |  |
| 委員    |  |  | 王曲呂洪胡陳戚楊          |  |  | 張楊廖鄭謝蔡蔡徐   |  |  |
| 幹印地電  |  |  | 文英印刷企業有限公司        |  |  | 隆之學邦信清義君   |  |  |
| 事者址話  |  |  | 臺北市萬大路486巷10弄40號  |  |  | 男達鑑傑良彥本    |  |  |
|       |  |  | 3016802 • 3018572 |  |  | (按姓氏筆劃排列)  |  |  |

氣象學報 季刊

# Meteorological Bulletin

中央氣象局

Central Weather Bureau

第三十一卷第二期

Vol. 31 No. 2

民國七十四年六月

June 1985

# 六三豪雨之中尺度分析暨\*

## 近年來北部水患之探討

丘 台 光<sup>1</sup>劉 復 誠<sup>2</sup>

### 摘 要

本文對1984年6月3日發生在臺灣北部豪雨的天氣系統，利用氣象衛星雲圖、雷達降水回波圖、自記記錄及探空資料，配合地面與高空資料，以中尺度分析方法加以探討，並特別著重分析引起臺北地區豪雨之中尺度現象，藉以尋求造成此次豪雨發生的雲系特徵、降水特性、環流形態以及豪雨持續發展之原因。

研究結果顯示低層噴射氣流、暖平流、短槽以及配合中層強烈冷乾空氣注入，再加上高層強烈分流 (diffluent flow)，為引起此次豪雨的有利氣象條件，而豪雨的產生與持續則與鋒面及弧狀雲線之間交互作用有密切關係。

最後，本文也對近年來，北部地區之十次水患原因加以概略探討，並提出有效之對策或建議。

### 一、前 言

1984年6月3日清晨在臺灣北部發生了一場罕見的暴雨並帶給臺北市與鄰近的臺北縣及桃園縣極大的災情 (圖1)。依據警政署於6月4日發布的災情報告，合計死亡32人，失蹤5人，受傷12人，鐵公路發生多處積水，坍方災害致交通中斷情形極為嚴重。

又根據觀測資料顯示臺北測站之日雨量打破六月份的歷史記錄，而時雨量在三日清晨4~5時的87.0公厘更接近1973年6月29日下午3~4時，所出現的87.5公厘 (表一)。

臺北連續每小時下雨超過15mm以上且持續5小時，過去30年來僅發生一次，但總雨量要比這次要小100公厘，可見這次豪雨不但持續時間長，且非常劇烈。

豪雨的發生由於區域小及時間短 (與綜觀尺度相比較)，經常與中尺度系統或現象有關 (張等，1982；曲及劉，1984；丘等，1982；丘及廖，1984

)。而 Maddox et al (1978) 更指出暴洪 (flash flood) 幾乎總是起源於風暴降水的結果。激發風暴的原因很多而由先前對流風暴之低層外流激發另一新對流風暴發展，可能是最常見強迫機制之一，

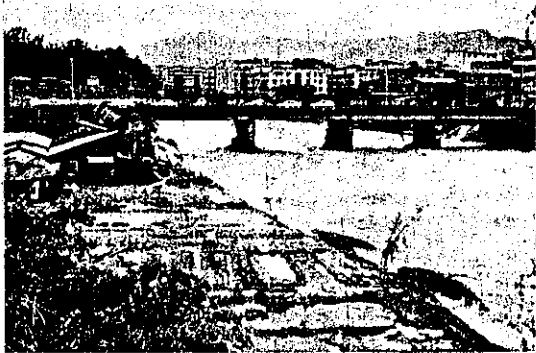


圖1 73年6月3日北部豪雨災情照片 (臺北縣新店市景美橋)

Fig 1. Picture showing the disasters of the northern Taiwan in the date of June 3, 1984.

\* 收稿日期：74年3月14日 送審日期：74年3月21日 收回日期：74年4月8日

1 中央氣象局科技中心技士

2 中央氣象局預報測站課長

表一 六三暴雨期間北部各測站時雨量 (hourly rainfall) 統計 (單位mm)

Table 1. The hourly rainfall for the northern Taiwan stations on June 3, 1984.

| 地 點     |  | 時 間<br>(L) |     | 6月2日 |     |    |     |      |      |      |     |     |     |      |      | 6月3日 |      |       |      |       |      |     |      |      |      |     |       | 合 計  |
|---------|--|------------|-----|------|-----|----|-----|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|-------|------|-------|------|-----|------|------|------|-----|-------|------|
|         |  |            |     | 14   | 15  | 16 | 17  | 18   | 19   | 20   | 21  | 22  | 23  | 24   | 1    | 2    | 3    | 4     | 5    | 6     | 7    | 8   | 9    | 10   | 11   | 12  | 13    |      |
| 馬 祖     |  | 1.0        | 1.3 | 1.7  | 0.3 | 濃霧 | "   | "    | "    | "    | "   | "   | "   | "    | "    | "    | "    | "     | "    | "     | "    | "   | "    | "    | "    | "   | 4.3   |      |
| 淡 水     |  | —          | —   | —    | —   | —  | —   | —    | 5.8  | 16.8 | 2.3 | 5.6 | 7.7 | 21.0 | 26.0 | 27.0 | 12.3 | 11.2  | —    | —     | —    | —   | —    | —    | —    | —   | 135.7 |      |
| 彭 嶼     |  | 0.7        | 0.2 | —    | 0.1 | —  | 0.3 | 11.8 | 10.6 | 3.1  | 1.1 | —   | 1.3 | 13.7 | —    | —    | —    | —     | —    | —     | —    | —   | —    | —    | —    | —   | 42.9  |      |
| 中 正 機 場 |  | —          | —   | —    | —   | —  | —   | —    | 9.0  | 2.3  | 0.5 | 0.8 | 2.3 | 7.5  | 34.0 | 40.8 | 0.8  | T     | 0.5  | T     | T    | —   | —    | —    | —    | —   | 98.5  |      |
| 桃 園     |  | —          | —   | —    | —   | —  | —   | —    | 2.0  | 8.1  | 0.5 | T   | T   | 1.5  | 7.5  | 25.5 | 20.0 | 8.2   | 2.0  | 0.5   | 0.8  | —   | —    | —    | —    | —   | 76.6  |      |
| 陽 明 山   |  | —          | —   | —    | —   | —  | —   | —    | 9.5  | 10.5 | —   | 5.0 | 2.4 | 11.6 | 29.2 | 52.0 | 28.0 | 7.4   | —    | —     | —    | —   | —    | —    | —    | —   | 155.6 |      |
| 板 橋     |  | —          | —   | —    | —   | —  | —   | —    | 2.5  | 7.0  | T   | T   | —   | 2.0  | 31.5 | 37.5 | 40.0 | 23.0  | 8.3  | 0.3   | T    | T   | —    | —    | —    | —   | 152.1 |      |
| 松 山     |  | T          | —   | —    | —   | —  | —   | —    | 2.5  | 7.0  | T   | 1.0 | —   | T    | 2.0  | 31.5 | 37.5 | 40.0  | 23.0 | 8.3   | 0.3  | T   | T    | —    | —    | —   | 153.1 |      |
| 新 竹     |  | —          | —   | —    | —   | —  | 0.2 | —    | —    | —    | —   | —   | —   | T    | 3.5  | 3.0  | 16.6 | 9.5   | 0.4  | 0.1   | 0.6  | 4.0 | —    | —    | —    | —   | 37.9  |      |
| 臺 北     |  | —          | —   | —    | —   | —  | —   | —    | —    | T    | —   | —   | —   | —    | T    | 25.5 | 52.0 | 87.0  | 47.5 | 22.0  | 14.0 | T   | —    | —    | —    | —   | 248.0 |      |
| 臺 大     |  | —          | —   | —    | —   | —  | —   | —    | —    | —    | —   | —   | —   | —    | T    | 37.0 | 83.0 | 140.0 | 20.0 | 100.0 | 20.0 | —   | —    | —    | —    | —   | 400.0 |      |
| 基 隆     |  | —          | —   | —    | —   | —  | —   | —    | T    | 7.2  | T   | T   | —   | 0.4  | 0.2  | 17.4 | 33.5 | 27.2  | 17.4 | 3.0   | 0.4  | 0.3 | —    | —    | —    | —   | 107.0 |      |
| 宜 蘭     |  | —          | —   | —    | —   | —  | —   | —    | —    | 2.0  | 0.1 | —   | —   | —    | —    | —    | —    | 0.6   | 0.1  | 4.3   | 1.1  | 7.0 | 16.7 | 6.5  | 4.2  | 9.3 | 9.0   | 60.9 |
| 蘇 澳     |  | —          | —   | —    | —   | —  | —   | —    | —    | —    | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | T     | T    | 3.0   | 0.5  | 0.5 | 2.5  | 10.3 | 19.6 | 3.1 | 6.0   | 45.5 |

附註：(1)T：表示雨跡 (Trace)，(2)——表示未下雨。

亦是風暴維持及發展之主要因子。Purdon (1972, 1976) 亦指出弧狀雲 (arc clouds) 若與其他邊界 (如鋒面、陣風鋒面、海陸風鋒面及颶線等) 有相交時，其交接處常可產生劇烈天氣。Holle and Maier 於 1980 年曾研究發生在佛羅里達 (Florida) 的兩個陣風鋒面 (gust front) 相交處產生劇烈天氣 (龍捲風)。Simpson (1980) 更認為佛州的陣風鋒面有助於「雲區」的合併，而使合併後的「雲區」產生較大的降水。

此次六三豪雨亦有類似上述中尺度的特徵。本文乃使用氣象衛星資料、雷達資料、地面自記資料、探空資料及配合地面與高空天氣圖，對此豪雨個案，以中尺度分析方式，來探討本次豪雨的雲系特徵、降水分佈、環流形態，以及持續發展之原因或機制。

## 二、天氣形勢 (Weather situation)

從1984年5月14日臺灣地區進入梅雨期 (入梅) 後，大氣環流及高低氣壓配置已具梅雨型態 (紀, 1978)，其間在5月14日、20日及27日已有三次鋒系南下臺灣地區，其中5月14日雖造成一百多公厘雨量，但6月3日的鋒系所引起的暴雨量相比則相差很多。由圖2中地面鋒面的移動位置可知6月

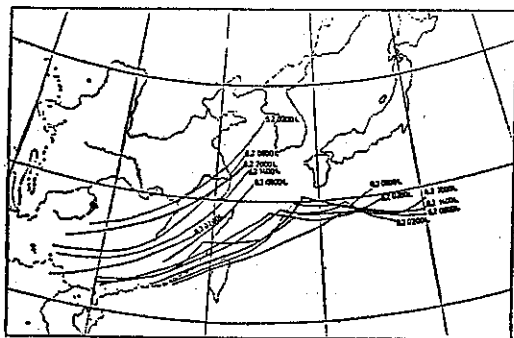


圖2 民國73年6月2日0200L至6月3日0800L地面鋒面及高壓脊線移動位置圖

Fig 2. The tracks of the surface fronts and high ridge lines from June 2 to June 3, 1984

2日0200L~1400L均徘徊滯留在北部海面，其後方並伴有一高氣壓帶，迨至2日2000L整個鋒系大幅調整而向臺灣地區移動 (東南向)。由850mb天氣圖分析 (圖3)，6月2日2000L除了北邊有一風切線外，在本省西邊100公里處尚有一短槽，

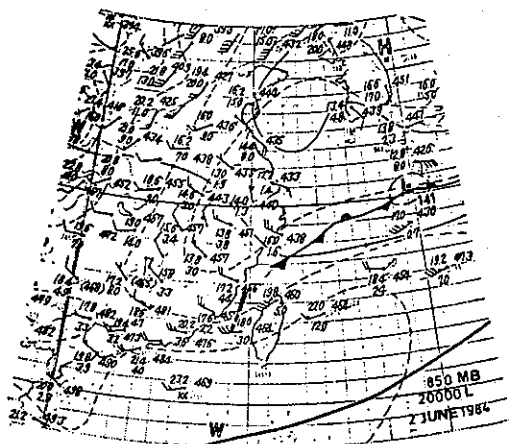


圖3 民國73年6月2日2000L 850mb 天氣圖  
Fig 3. 850 mb upper level chart at 2000L June 2, 1984

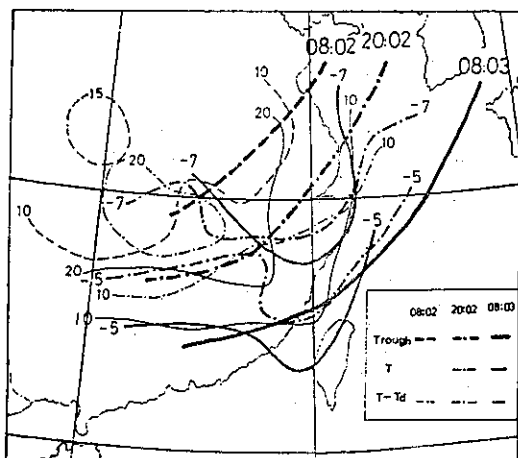


圖4 民國73年6月2日2000L至6月3日0800L 500mb槽線及冷舌之位置圖

Fig 4. The tracks of the troughs and cold tongues of 500mb from 2000L June 2 to 0800L June 3, 1984

在短槽前出現風速達 40kts 之低層噴射氣流 (low level jet stream, LLJ)。500mb天氣圖分析 (圖4) 最明顯的特徵就是槽線的移近及在槽前有一股冷乾空氣伸入本省西北邊外海。200mb天氣圖分析 (圖5) 顯示高層出現明顯的分流 (diffluent flow)。低層暖平流配合中層冷平流可使得大氣垂直穩定度改變，可由圖6相當位溫及風場隨高度、時間變化圖看出，圖中可看出在鋒面通過前 (6月2日2000L)，低層大氣 (1000~4000ft) 的西南風分量增加 5~10kts且出現低層噴射氣流，強烈

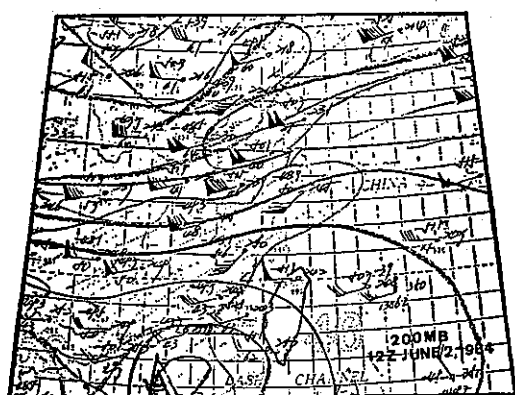


圖5 民國73年6月2日2000L 200mb 天氣圖  
Fig5. 200mb upper level chart at 2000L June 2, 1984

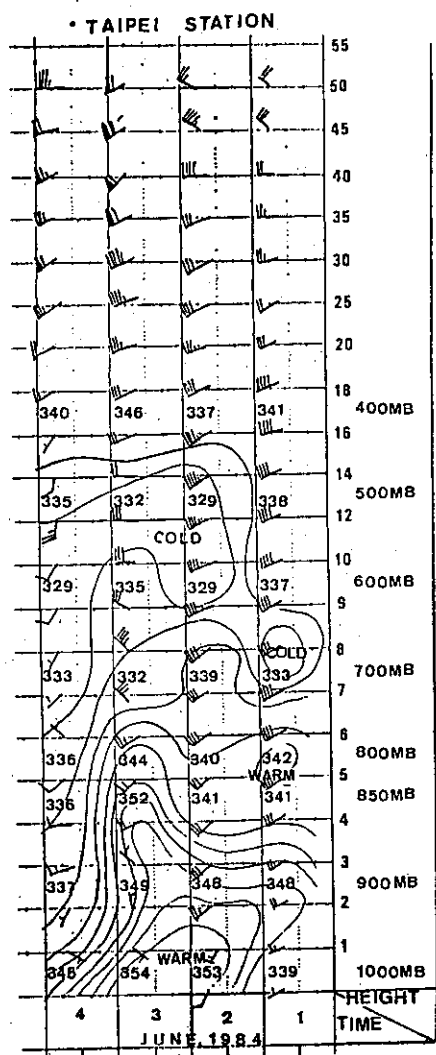


圖6 民國73年6月2日至4日臺北(板橋探空站)  
相當位溫及風場隨時間變化圖  
Fig6. The changes of the equivalent potential  
temperature and wind fields from June 2  
to June 4, 1984

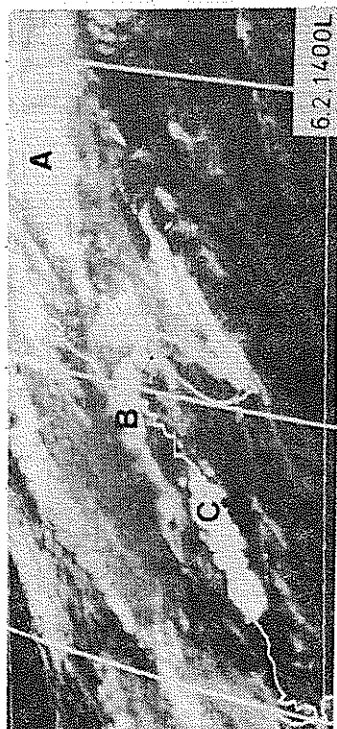
的西南風帶來高溫潮濕的空氣，使得1000~900mb相當位溫 (equivalent potential temperature) 急遽增加，600~500mb 間西風帶輸送較乾冷之氣流，助長相當位溫之急遽減少，而在1000~600mb間產生強烈對流不穩定 ( $\partial\theta_e/\partial p \sim 24^\circ\text{K}/400\text{mb}$ )，此與 Liao and Chen (1984) 所分析之案例類似。當鋒面逐漸南下時，配合短槽移近加強對流，使得對流不穩定之大氣強迫上升，誘發強烈對流之產生。何況此次鋒面(系)移動頗為緩慢，再加上中尺度擾動與鋒面之交互作用 (interaction) 的現象(此點待下一節說明)，使得北部地區產生了持續性的強烈降水。

### 三、雲系分析 (Analysis of cloud systems)

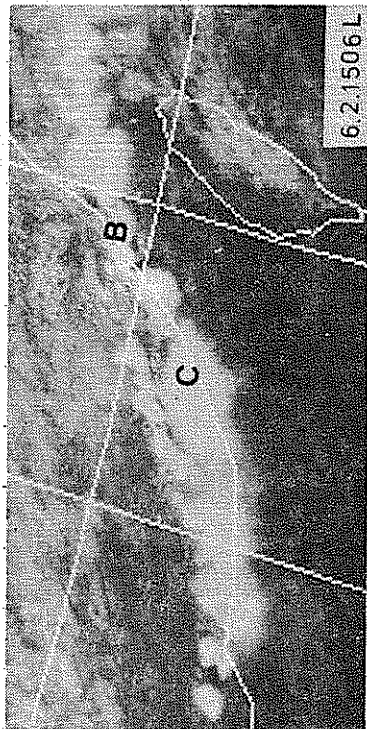
由圖7日本GMS-1同步氣象衛星及美國繞極軌道衛星所接收的圖片分析追蹤，可看出6月2日1400L有一鋒面雲帶在東海附近向西南延伸至福建省如A—B所指，在此鋒面前有一對流雲帶發展如C所指，1506L此對流雲帶發展且往東移。到了2000L此對流雲帶減弱移至本省，此時鋒面仍在本省北邊，由此對流系統(如C所指)前緣產生之陣風鋒面於1955L左右移至本省北部造成氣壓驟升、溫度突降、風向改變、陣風達18.6m/sec(圖8)，此現象與陳等(1984)所研究的情況相似。2300L時北邊鋒面雲帶南移發展，在本省西北方外海仍有些小對流胞發展，且有一弧狀雲線在本省西北邊產生(如D所示)，到了6月3日0200L此弧狀雲線發展且向東移至臺北地區，造成臺北市區開始降水。在本省西北方外海又產生一些水平尺度近50公里大小之強烈對流胞(如圖中F所指示)且往東移，此強烈對流胞一個個移至本省北部，再加上鋒面近似停留，使得北部地區產生持續性強烈降水。

### 四、雷達降水回波分析 (Analysis of radar precipitation echoes)

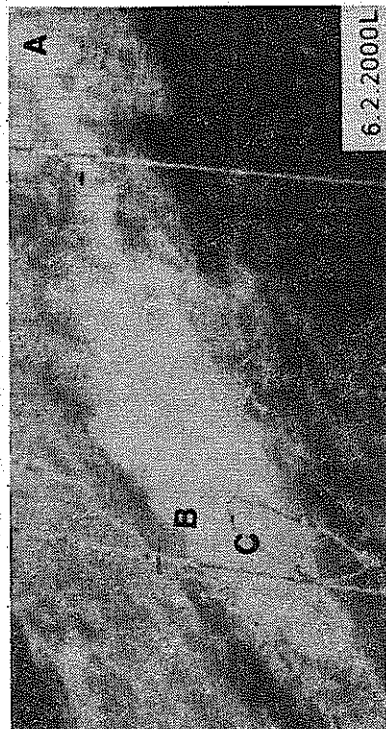
由高雄及花蓮雷達站分佈及觀測區域看來，本省北部地區大部份回波無法顯示出來(圖9及圖10)若要觀測到，必須抬高仰角。以花蓮雷達站來說，在其西北方山脈最高3000ft，故觀測到回波大約10,000ft以上之回波，也就是說發展很強烈的對流系統，才可能偵測到。由圖9花蓮雷達站所觀測每小時降水回波及配合高雄雷達站每3小時降水回



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

圖 7 民國73年6月2日1400L至6月3日0200L之日本GMS-1氣象衛星及美國  
繞極軌道氣象衛星之圖片其中(b)為繞極軌道NOAA-7氣象衛星圖片  
Fig 7. The images of GMS (geostationary meteorological satellite) by  
Japan and polar orbit meteorological satellite by U.S.A. on  
June 2-3, 1984



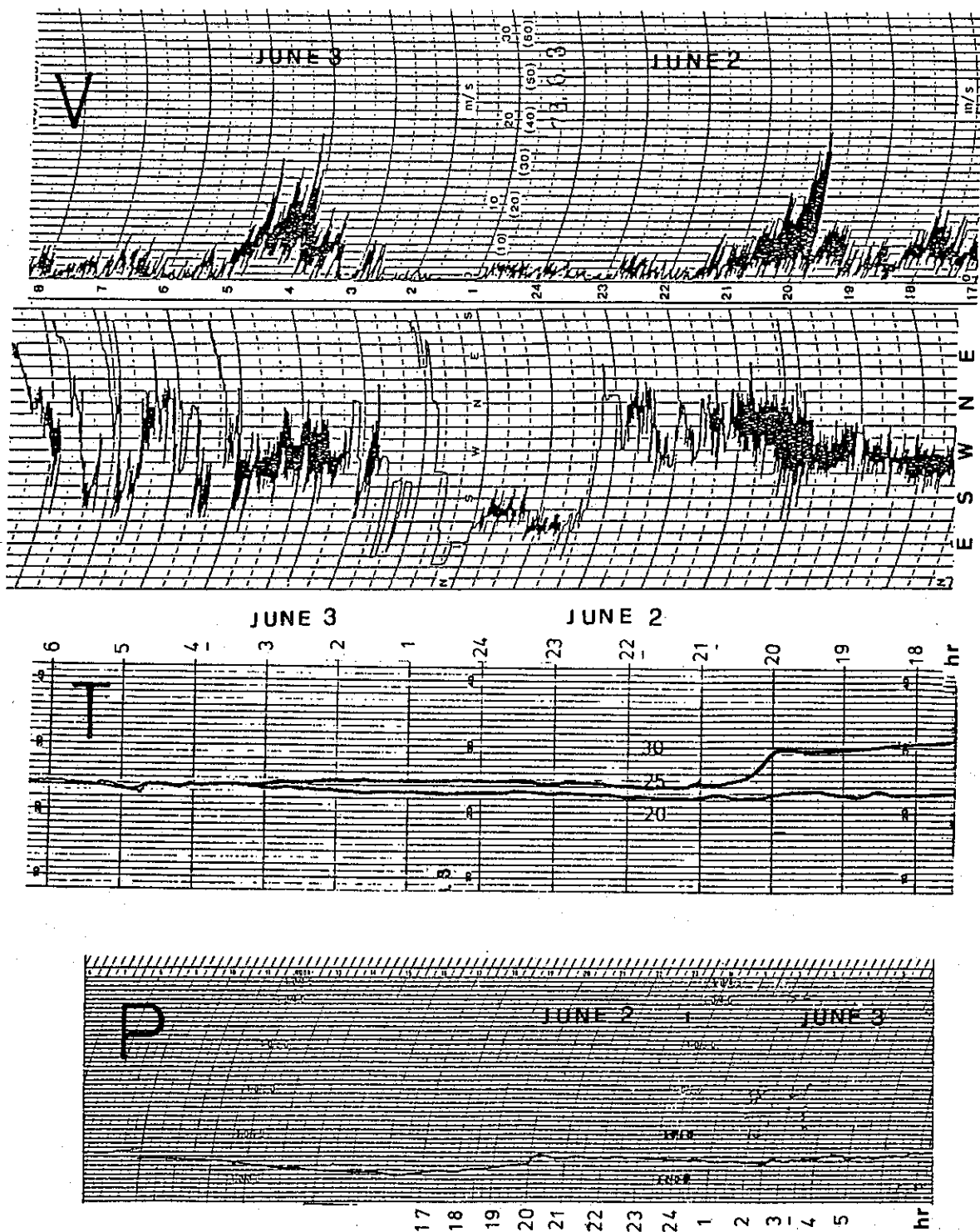


圖 8 1984年6月2日至3日臺北測站氣壓、溫度及風之自記錄資料  
 Fig 8. The automatic recording data of the pressure, temperature and wind in Taipei from June 2 to June 3, 1984

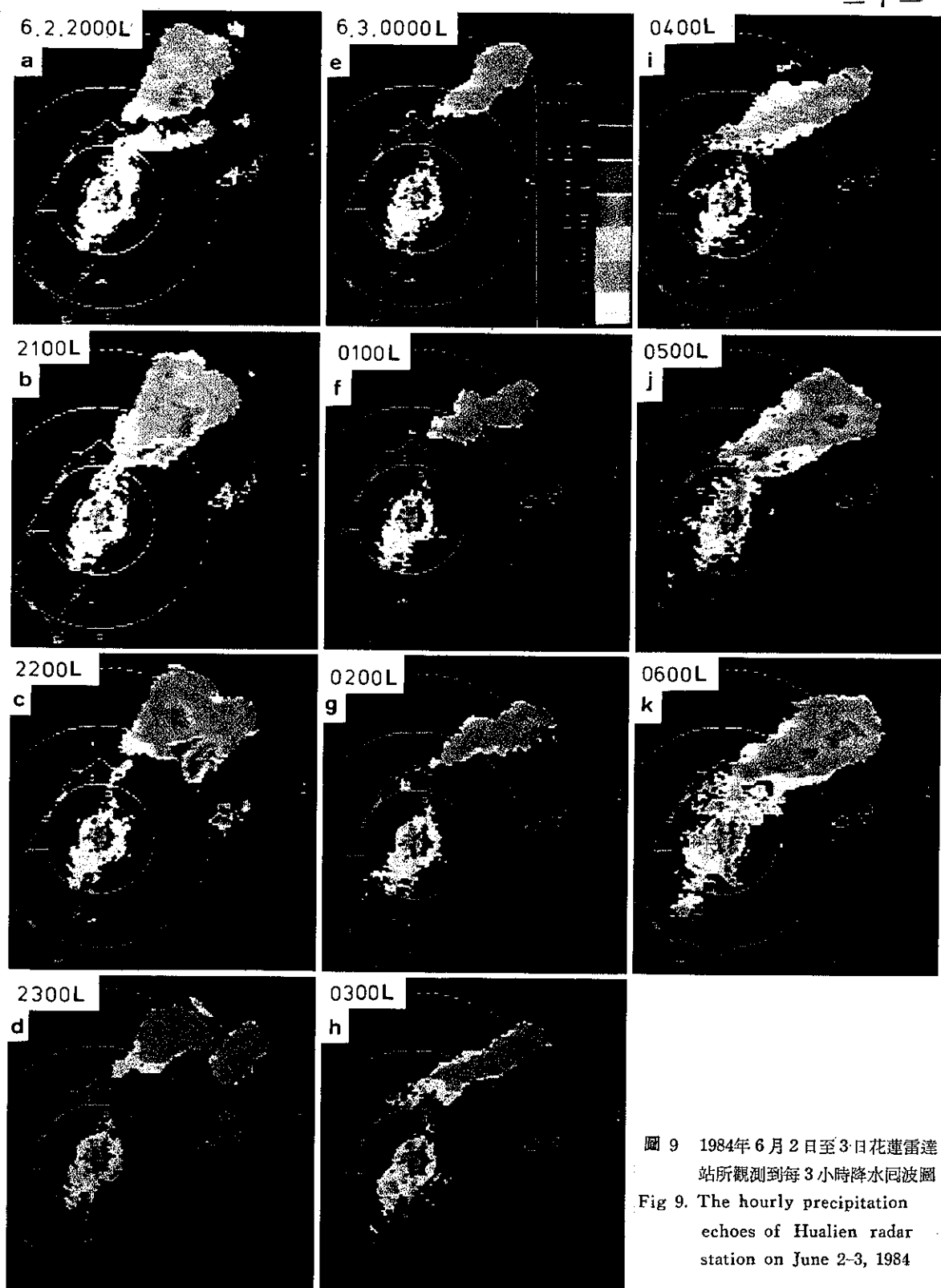


圖 9 1984年6月2日至3日花蓮雷達  
站所觀測到每3小時降水回波圖  
Fig 9. The hourly precipitation  
echoes of Hualien radar  
station on June 2-3, 1984

波(圖10)可看出6月2日2000L有一降水帶往東移(時速14kts),回波由本省東北邊往西南延伸至本省西北方外海附近,2100L略往東移,2300L由花蓮雷達站看出東邊的回波仍近似滯留但範圍減小,由高雄雷達站看出在本省北部沿海又產生一些降水回波且往東移,此與雲系分析圖7d一致,此時鋒面位置仍在本省北邊。6月3日0100~0200L由花蓮雷達站看出伴隨鋒面降水回波由本省北邊外海移至內陸,大約在鞍部附近,在此西南方有一類似弧狀回波在臺北上空附近,此與雲系分析弧狀雲系(圖7e)亦非常配合;0300L此弧狀回波東移發展與北邊鋒面降水回波往東南發展相交產生一降水中心在鞍部、竹子湖附近(有關降水量分析在下一

節討論)。另一新生降水中心在臺北西邊中壢附近。0400~0500L北邊鋒面的降水回波南移與臺北上空降水回波相交於臺北附近造成臺北地區降水增大,0500L以後降水回波往東南移,0700L以後逐漸往南移至本省北部山區,臺北地區降水回波減弱消失。

## 五、降水分析 (Analysis of precipitation)

### (一)日雨量與時雨量

爲了詳細探討造成此次豪雨的降水分佈及其特性,經收集中央氣象局、民航局、空軍、臺灣大學、中央大學及臺電等單位,如圖11所示測站之每小

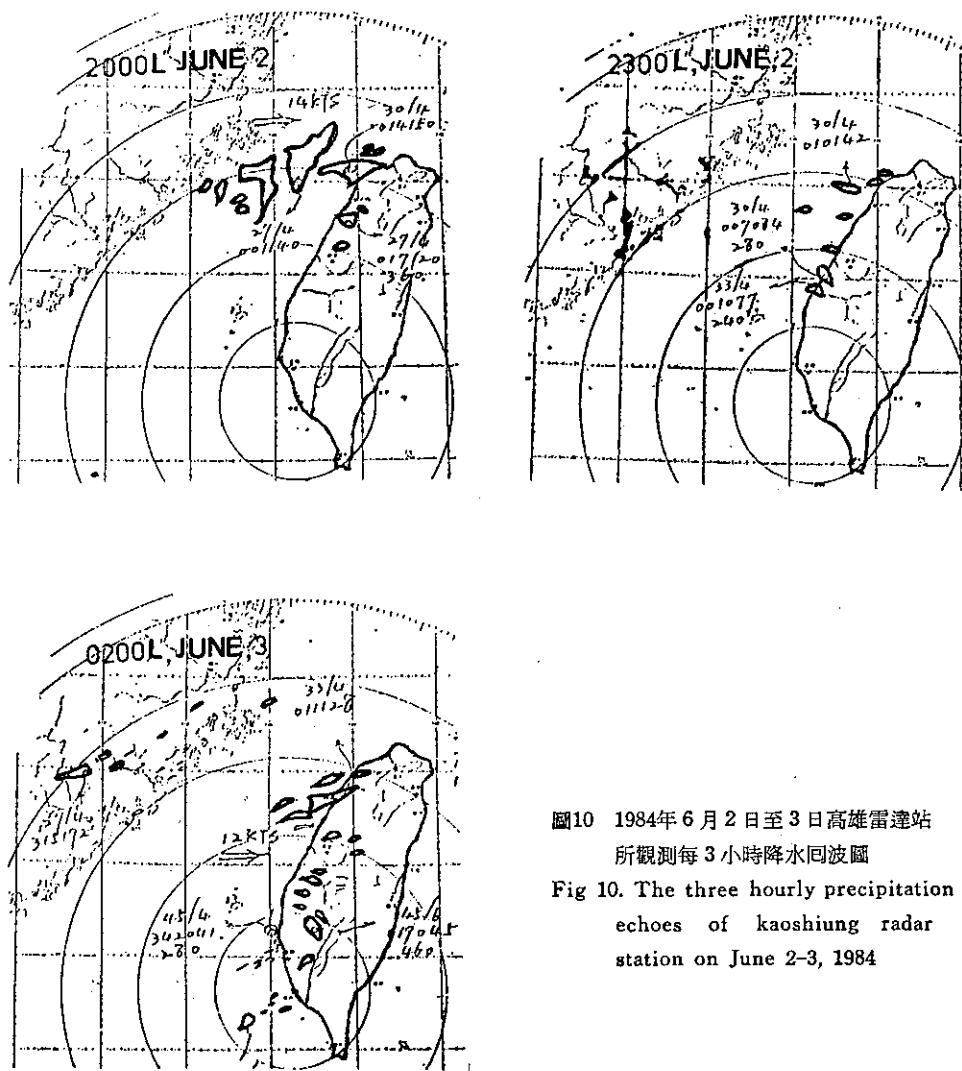


圖10 1984年6月2日至3日高雄雷達站所觀測每3小時降水回波圖

Fig 10. The three hourly precipitation echoes of kaoshiung radar station on June 2-3, 1984

時雨量資料及民用測站的日雨量資料加以分析。由圖12中之日雨量分析，可發現有三個主要暴雨中心，一在桃園的水尾（最大459mm），一在臺北市的公館臺大測站（最大400mm），另外一個在石門水庫的福山（最大304mm），這種排列位置及分佈與環流形勢、地形、水汽輸送及高空氣流均有密切的關係。爲了進一步了解各暴雨中心之隨時間的變化，由圖13中時雨量隨時間變化圖可看出6月2日2000L~2100L有一東一西向降水帶，2200L此降水帶減弱，2300L起北邊又產生一降水帶主中心在鞍部附近，並且繼續發展，此與雲系位置（圖7d中E所指）配合一致，由於最北邊彭佳嶼測站雨量很少，可見此對流系統就發生在本省的北邊，一直持續到6月3日0200L。此時除原來北邊東西向降水帶外，在臺北西邊桃園附近又產生一降水中心，此降水中心由前述雲系（圖7d、7e）及高雄雷達降水回波分析（圖10a、10b），可知此降水區是由本省西北部外海之雷雨胞移至本省所產生。0300L兩最大降水中心均發展，此時臺北地區已降雨，由雲系及降水回波（圖9g、9h、7d、7e）分析，可知雨量來自臺北西邊弧狀雲帶東移發展所引起。此弧狀雲帶最早可能由外海移至桃園之對流胞，降水減弱所產生，於2300L移至本省西北邊（圖10b、10c、13及7d），此弧狀雲帶繼續東移與北邊鞍部附近降水所產生的外流交互作用，使得弧狀雲帶發展，於0200L以後移至臺北上空造成降水（圖7d、7e、9g、9h及14）。0400L兩降水中心繼續增強，北邊的強烈中心已移至臺北附近，此與降水回波移動一致（圖9h、9i）。0500L原先西邊的降水中心減弱，而北邊的降水中心增強，最大中心就在臺北公館、臺大附近。由雷達降水回波分析（圖9i、9j）可知此雨量增大可能由鋒面南下抬升所引起。0700L以後系統往南南東移動，臺北地區降水減弱。

### (二) 降水強度時間變化分析

由前述每小時降水量分佈，再配合衛星和雷達資料分析追蹤可知，此次豪雨系統存在一些中尺度系統降水現象。爲了檢視造成臺北地區豪雨系統的移動性降水帶的分佈及移動，乃根據前述測站每小時降水資料，採用類似Staff members of Tokyo University (1970) 分析颱風降水帶與地形關係的方法，抽取中尺度擾動之雨量，即定義 $\delta R(t) = 2R(t) - \{R(t-1)hr + R(t+1)hr\}$ ，其 $R(t)$ 表示在 $t$ 時間結束之時的雨量， $\delta R$ 的正值相當於在每小時降

水時間序列的最大值，分別作各測站不同時間的 $\delta R$ 值。圖14表 $\delta R$ 值隨時間之移動，6月3日0200L在圖中有二個最大降水區（ $\delta R \geq 0$ 區），此二區與前述雲系分析（圖7e中B和F所指）非常一致，西邊 $\delta R$ 的最大值與雷達回波在桃園所產生一致（如圖10c），而北邊 $\delta R$ 最大值與鞍部發生之降水回波一致（如圖9g），0300L此二區合併，0400L~0500L時往東南移至臺北地區，0600L移至北部山區，0700L最大降水區又出現在臺大一塩寮之間，此後此降水區開始往南移，各地雨勢逐漸減弱。

## 六、近年來北部水患之探討

臺灣北部地區近年來曾遭受十大水患之侵襲，且造成龐大的災情（表二）。經分析這十次水患中，有七次爲颱風或颱風過後引入之西南氣流所致，有二次爲梅雨鋒面過境引起，只有一次係由冷鋒伴隨熱帶性低氣壓所引起。

由於臺北市及北部地區都市人口的大幅膨脹（約480萬人），加以建築物不斷興建，原是農舍及稻田的地方現已成爲高樓大廈，阻塞了洩洪及排水的疏道，而山坡地的開發更助長了逕流（run-off）之速率，如遇急驟暴雨即易造成積水洪汎。爲防止暴雨所帶來之水患，似可從兩方面着手：第一、加強洪水之防治（尤其城市地下水道）及警報系統。第二、提高天氣預報技術及預警措施。茲簡述於下：

在洪水防治及警報系統方面，可包括蓄洪、疏洪、避洪、治導、堤防及排水。並以防治計畫整體化，提高設計（排水功能）標準，加強河道及地下排水工程之維護整理，推廣大眾防洪教育與建立水災（洪水）警報系統進行。

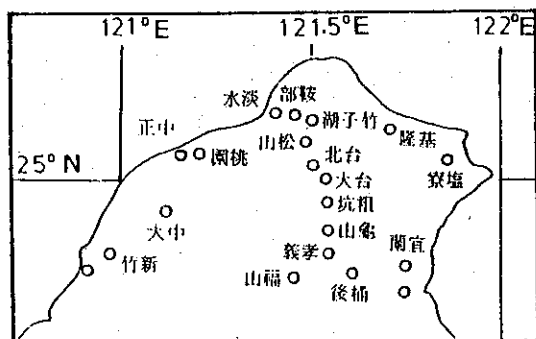


圖 11. 臺北地區每小時降水資料之測站分佈圖

Fig 11. The distribution of hourly precipitation station in northern Taiwan

表二 臺灣北部地區歷年 (1959~1984) 發生之水災

Table 2 The floods occurred in northern Taiwan areas between 1959 and 1984.

| 次號 | 時 間 |   |       | 災 害 原 因                | 人員傷亡 |    |     | 災 情 狀 況                               |
|----|-----|---|-------|------------------------|------|----|-----|---------------------------------------|
|    | 年   | 月 | 日     |                        | 死亡   | 失蹤 | 受傷  |                                       |
| 1  | 48  | 7 | 15    | 畢莉 (Billie) 颱風引起       | 21   | 9  | 50  | 北部積水嚴重                                |
| 2  | 52  | 9 | 13    | 葛樂禮 (Gloria) 颱風引起      | 363  | 88 | 438 | 北部及中部均受損嚴重，損失為當時幣值新臺幣 5 億元以上。         |
| 3  | 55  | 9 | 12-13 | 艾爾西 (Elsie) 颱風引起       | 7    | 4  | 30  | 13日晚間一場大雨，臺北市積水盈尺三張犁吳興街災情最重。          |
| 4  | 59  | 9 | 12    | 熱帶性低氣壓及鋒面              | 不 詳  |    |     | 木柵、景美、內湖、南港、士林、北投等六地區積水嚴重。            |
| 5  | 58  | 9 | 27    | 艾爾西 (Elsie) 颱風引起       | 93   | 12 | 371 | 強烈颱風掠過，全省均受害，北部地區損失不貲。                |
| 6  | 66  | 9 | 17-18 | 黛納 (Dinah) 颱風引起        | 不 詳  |    |     | 五十年來臺北市僅見大水災，受災地區包括大安區等十六個行政區         |
| 7  | 70  | 5 | 28    | 梅雨鋒面引起                 | 8    | —  | 2   | 桃園、新竹、苗栗大水為患，災情嚴重。                    |
| 8  | 70  | 7 | 19    | 莫瑞 (Maury) 颱風引起        | 31   | 10 | 20  | 臺北市及近郊積水嚴重。                           |
| 9  | 71  | 8 | 10-11 | 西仕 (Cecil) 颱風引入之西南氣流引起 | 21   | 6  | 9   | 林口、五股、新莊山洪暴發，約 2 天後積水始退。              |
| 10 | 73  | 6 | 3     | 強烈梅雨鋒面引起               | 32   | 5  | 12  | 臺北市及桃園縣、臺北縣積水嚴重，山崩塌方，約損失新臺幣 200 億元以上。 |

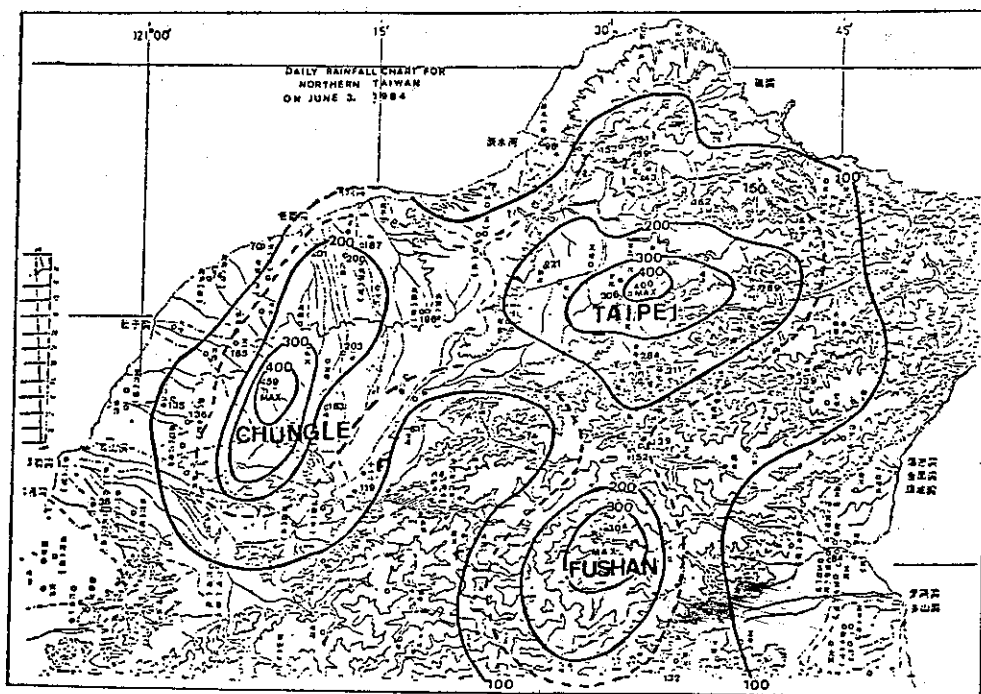


圖 12 1984年 6 月 3 日臺灣北部地區日雨量分布圖

Fig 12. The distribution of daily rainfall around the northern Taiwan on June 3, 1984 (Unit:mm)

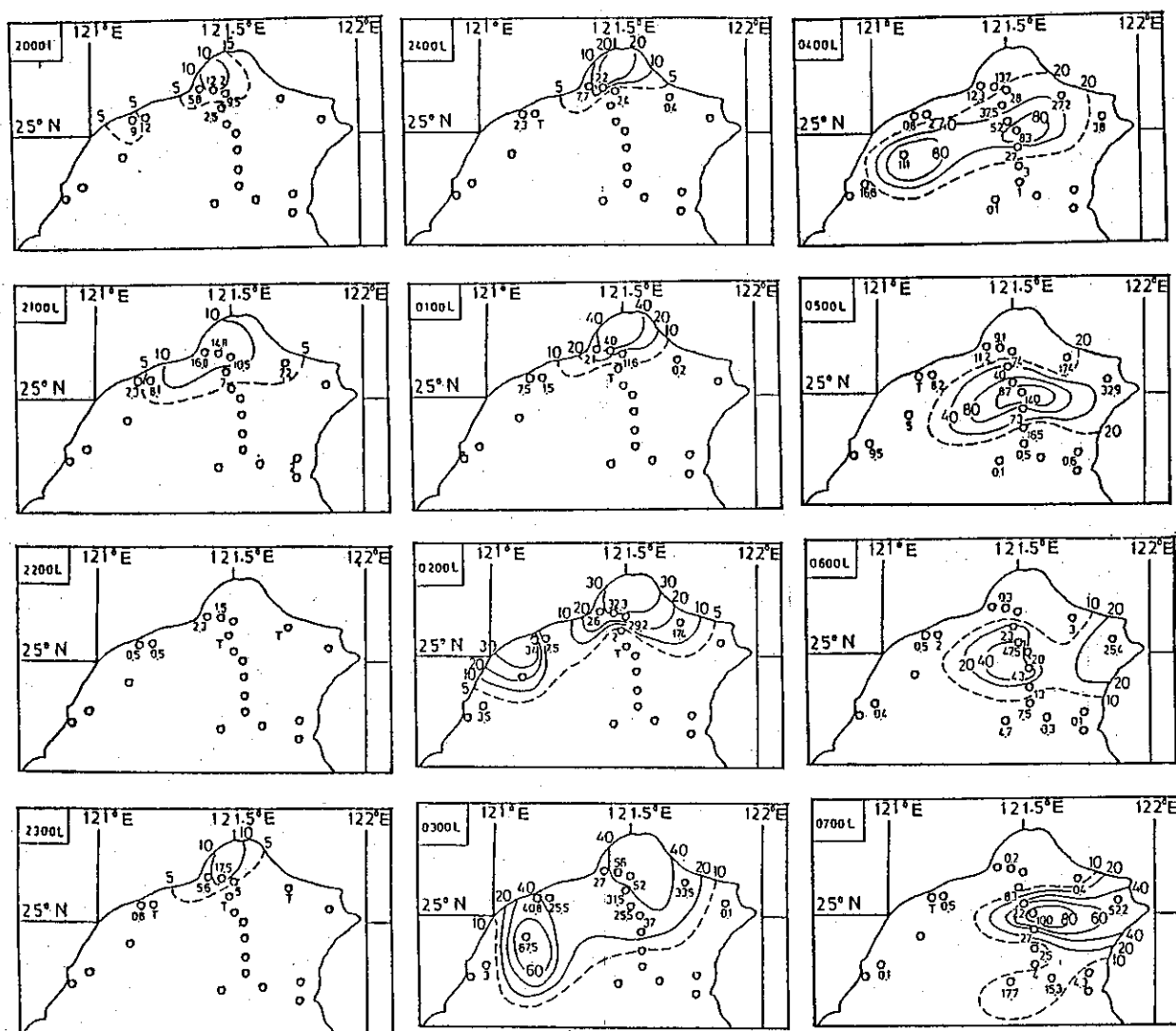
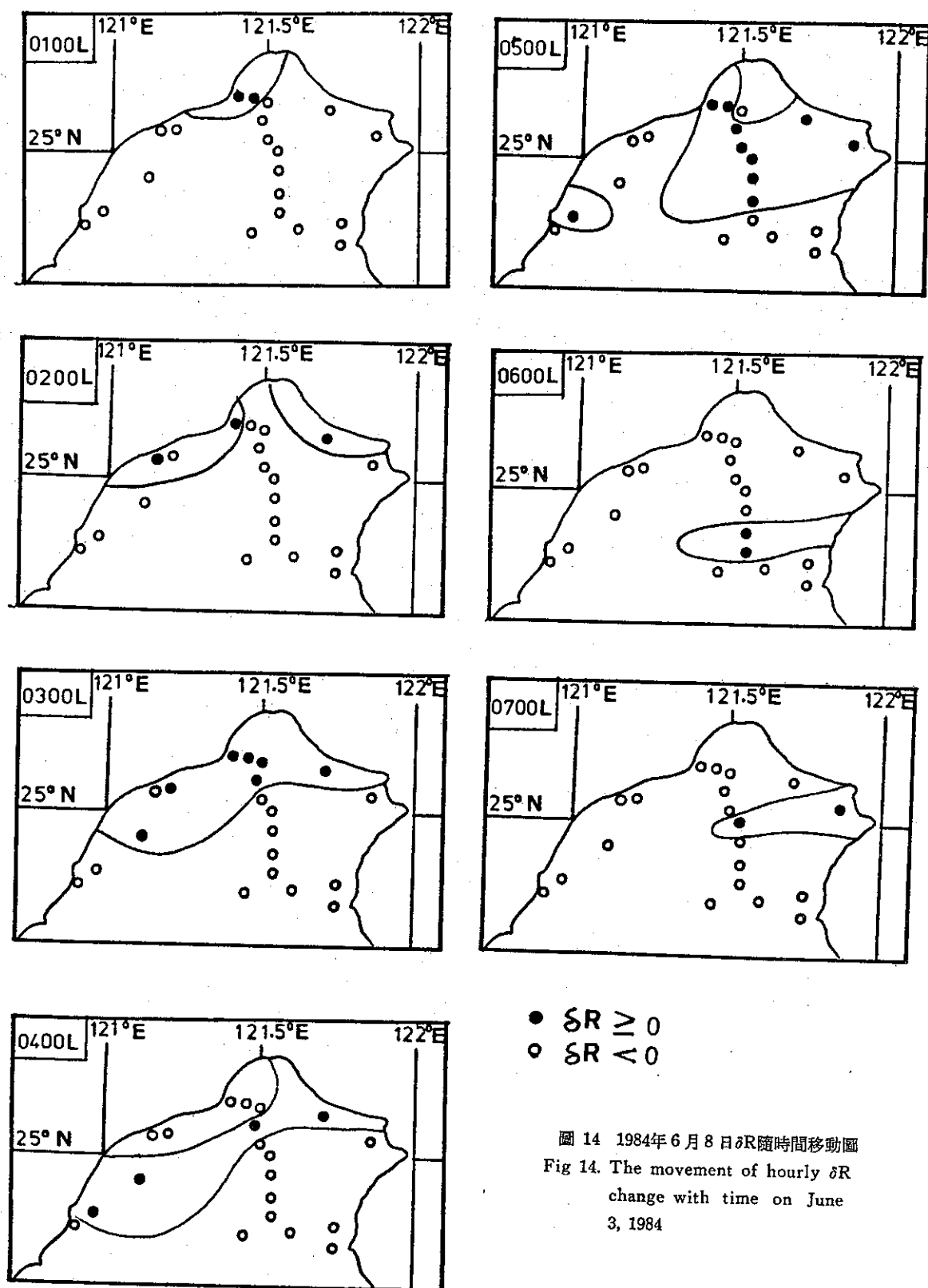


圖 13 1984年6月2日至3日臺灣北部地區每小時降水量分布圖  
Fig 13. The distribution of hourly rainfall amount in northern Taiwan on June 2-3, 1984 (Unit:mm)

至於提高天氣預報技術及預警措施方面，除加強氣象科學之研究外，應增置現代化氣象設備（包括自動化觀測系統、密集探空站、氣象雷達及衛星、漂浮站等）和提高人才素質。尤有進者，發展一套以氣象雷達及衛星觀測以及密集觀測網的「極短

期天氣預報系統（very-short-range forecasting system）」已是刻不容緩之事。Beran 及 Macdonald (1982) 在「極短期預報系統的設計 Designing a Very-short-range Forecasting System」一文中，曾大略將預報系統，加以比較如下：



表三 預報系統之比較

Table 3 The comparison of forecasting system

| 特<br>點 | 預報區分 | 中~長期預報                       | 極短期或即時預報                                 |
|--------|------|------------------------------|--|
| 預報時間   |      | > 6小時                        | 0~12小時                                   |
| 氣象尺度   |      | 線觀尺度 (Synoptic Scale)        | 中尺度 (mesoscale)                          |
| 涵蓋面積   |      | 全球或洲際的                       | 局部或區域性 (regional)                        |
| 預報特性   |      | 全面性的 (General)               | 地點特別指定 (site-specific)                   |
| 觀測方面   |      |                              |  |
| 時間間隔   |      | 許多小時                         | < 1小時                                    |
| 空間範圍   |      | 幾千公里                         | 幾十公里                                     |
| 資料容量   |      | 中度 (每小時10 <sup>6</sup> bits) | 大 (每小時10 <sup>8</sup> bits)              |
| 資料傳送率  |      | 慢 (分~時)                      | 快速 (秒~分)                                 |
| 預報方法   |      | 數值的, 統計的                     | 單一胞 (single-cell) 或系統外插 (即時預報)、中尺度模式、統計的 |
| 廣播系統   |      | 慢, 被動的                       | 快速的, 採主動及被動兩種                            |

由表三可知, 要想達成以上極短期或即時 (Nowcasting) 預報水準, 過去那些傳統的觀測資料, 其時間與空間解析度是不夠的, 必須改用密集的觀測資料, 例如逐時地面觀測、6小時高空觀測、都卜勒氣象雷達 (Doppler weather radar)、氣象衛星 (至少30分~1小時觀測)、海上漂浮站 (buoy) 等報告, 並配合中尺度及統計模式 (MOS) 之建立; 在廣播方面, 也要採用自動化, 那些人該知道? 那些人有興趣? 可將資料主動傳送給使用者。所謂區域觀測及預報服務標準規範 (Prototype regional observing and forecasting service) 勢必由有關單位聯合成立, 以改進即時預報之功能, 提早劇烈天氣之預警時間, 以減少災害發生, 保障全生命及財產安全。

## 七、結 論

本文針對1984年6月3日發生在北部地區的豪雨個案作一中尺度分析, 特別著重在伴隨豪雨發生的天氣形態, 有利條件, 激發機制及其原因, 由以上的分析與探討, 可歸納下述幾點結論:

1. 北邊有一近似滯留強烈鋒面, 與西南方有一短槽配合, 為此次豪雨有利發展的天氣形勢。

2. 低層射噴氣流及暖平流, 配合中層強烈冷乾空氣注入 (intrusion) 及高層強烈輻散流, 為豪雨發生前有利的氣象條件。

3. 大氣環境處在強烈對流不穩定的情況 ( $\partial\theta_e/\partial p \sim 24^\circ\text{K}/400\text{mb}$ ), 極有利於對流的發展。

4. 在豪雨發生前整層垂直風切不大, 此與Maddox (1981) 分析暴洪或水患 (flash flood) 個案類似。

5. 豪雨的發生及持續發展, 與鋒面和弧狀雲線相交作用有關, 根據資料分析顯示臺北剛開始降水是由其西邊的弧狀雲線與其北邊雷雨胞降水所產生外流之交互作用發展而引起, 緊接著配合北邊鋒面或鋒面降水所產生的外流南下使得原來在臺北上空之降水增加, 因而造成臺北地區持續降水而引發豪雨。

總而言之北部地區之水患, 除導因於急驟之暴雨外, 人口及房舍之增加、山坡地之濫墾及濫建、溝渠自然崩坍及堵塞、市區下水道排水不良 (可能為垃圾造成)、河道荒於疏浚等均為可能之因素。為了預防水患之發生, 似可從加強洪水之防治及警報系統措施着手與提高天氣預報技術及預警作業, 並儘速完成區域觀測及預報服務系統 (PROFS) 之建立。

## 八、誌 謝

本文之完成特別感謝國立中央大學陳景森教授提供寶貴意見, 中央氣象局衛星站及劉明揚技士提供部份觀測資料, 花蓮及高雄雷達站提供降水回波圖, 以及中央氣象局科技中心同仁協助繪圖、謄稿, 在此一併致謝。

## 參 考 文 獻

1. 曲克恭及劉廣英, 1982: 臺灣豪雨及暴雨分布之研究, 氣象預報與分析, 92, 30—55。
2. 張儀峯、林沛練、徐天佑及劉廣英, 1982: 局部暴雨特性之分析研究, 中範圍天氣系統研討會論文集編, 317—328。
3. 陳景森、丘台光及林沛練, 1984: 中尺度高壓與地面天氣的變化, 飛航安全天氣研討會論文集編, 409—419。
4. 丘台光、洪理強及廖學鎰, 1982: 民國70年5月28日豪雨之研究, 中範圍天氣研討會論文集編, 233—247。
5. 丘台光及廖學鎰, 1984: 華南及鄰近地區中尺度對流



- 系統之研究，大氣科學11期，85—100。
6. 紀水上，1978：臺灣梅雨期平均環流之初步研究，大氣科學第5卷第2期，17—32。
  7. Beran, D.W. and A.E. Macdonald 1982: Designing a very-short-range forecasting system, Nowcasting, Academic Press, 18-23.
  8. Holle, R.L., and M. W. Maier, 1980: Tornado formation from downdraft interaction in the FACE mesonet network. Mon. Wea. Rev., 108, 1010-1028.
  9. Liao, S.Y. and C.S. Chen, 1984: The preliminary study of organized radar echo of frontal systems and summertime convective systems. Proceeding Science and Engineering, Vol. 8, No. 4, 250-266.
  10. Maddox, R.A., C.F. Chappell, and L.R. Hoxit, 1978: Meteorological Conditions associated with significant flash floods. Preprints Conf. on Weather Forecasting and Analysis and Aviation Meteorology, Amer. Meteor. Soc. 44-51.
  11. Purdon J.F. W., 1973: Satellite imagery and the mesoscale convective forecast problem. Preprints 8th Conf. Severe Local Storm, Denver, Colo., Amer. Meteor. Soc., 244-251.
  12. Purdon, J.F.W., 1976: Some uses of high resolution GOES imagery in the mesoscale forecasting of convection and its behavior. Mon. Wea. Rev., 104, 1474-1483.
  13. Simpson, J., 1980: Downdrafts as linkages in dynamic cumulus seeding effects, J. Appl. Meteor., 19, 477-487.
  14. Staff member, Div. Met., Tokyo Univ., 1970: Precipitation Bands of Typhoon Vera in 1959 (II). J. Met. Soc. Japan, 47, 298-309.

## A Mesoscale Analysis of Heavy Rainfall on June 3, 1984 and the Discussion of Flash Floods in Northern Taiwan

*Tai-Kung Chiou*

*Fu-Cheng Liu*

Scientific and Technical Center of Central Weather Bureau, R. O. C.

Section Chief of Forecasting Center, Central Weather Bureau, R. O. C.

### ABSTRACT

Using meteorological satellite images, radar pictures, automatic recording data and sounding data, we studied the cloud characteristics, precipitation distribution, circulation pattern, and the causes of a continuous development of a tremendous rainfall case on June 3, 1984.

The results indicated that low level jet stream, warm advection, short trough, dry cold air intrusion at the middle layer and strong diffluent flow at high level are favorable meteorological conditions for the generation of heavy rainfall. The occurrence of heavy rainfall and continuous development were related to the interaction of the front and arc cloud line. Precipitation began in Taipei after the interaction between outflow of a thunderstorm north to Taipei and an arc cloud line moved into Taipei area from west. This event was enhanced by the slowly southward movement front or outflow of precipitation associated with the front at northern Taipei. Therefore, the heavy rainfall took place.

Finally, the prevention of flash floods and the improvement of weather forecasting techniques are also simply discussed in this paper.

## 變換函數模式之鑑定估計及診斷\*

陳 熙 揚<sup>1</sup>

## 摘 要

本文詳細的說明 Box-Jenkins 鑑定、估計及診斷變換函數模式的統計方法，並以月平均太陽黑子數及加拿大 Alberta 省 Edmonton 地方的月臭氧量為例，作實際應用，經研究結果發現變換函數模式可以  $(0,0)_2$  代表，而干擾模式則為  $ARIMA(0,0,1) \times (0,0,1)_{12}$ 。

EDMONTON 地方的月臭氧量兩數列為例，作實際分析與應用。

## 一、前 言

時間數列可分為連續時間數列與離散時間數列兩類：在一段時間內，對某一現象做連續觀測所產生的數列，稱為連續時間數列；而用連續時間數列中，做定時取樣或取累積量者，則稱為離散時間數列。

數據資料常以時間數列的形態出現，而且除確定量外，通常含有隨機分量部分，形成了隨機過程 (stochastic process)。時間數列分析法的目的即在於建立隨機時間數列模式，以表示時間數列之特性，並應用所建立之隨機模式做分析與預測。

1970年，Box 和 Jenkins 提出 ARIMA 時間數列預測模式，此模式包括自迴歸 (Auto-regression 簡寫為 AR)，積分 (Integral 簡寫為 I) 及移動平均 (Moving Average 簡寫為 MA) 等三部份；目前已廣泛地被應用在工程、自然科學、商業及經濟等方面之決策分析、控制、研究模擬、最適性分析及定量預測等方面。(向傳心、張德新，1977，胡仲英，1977)

惟通常學者只將此模式應用在單一數列  $Z_t$  之建立上，而此數列之建立乃基於線性濾過器 (linear filter) 的理論將白噪音 (white noise) 視為輸入數列， $Z_t$  本身則為輸出數列。但在自然界有很多現象，它的輸入數列並不是白噪音，而是一般數列  $X_t$ ，輸出數列則為  $X_t$  所產生之另一數列  $Y_t$ ，此時已無法應用線性濾過器的理論來描述，我們必須研究輸入與輸出兩數列間的變換函數模式。

本文旨在說明 Box-Jenkins 提出之鑑定、估計及診斷變換函數模式的統計方法，並以 1965 至 1972 年月平均太陽黑子數與加拿大 ALBERTA 省

## 二、系統與變換函數

一個系統簡單的說就是刺激和反應或輸入與輸出間的關係。

在研究上，我們常常須要了解系統輸入與輸出間的關係；例如，潛熱釋放如何經過大氣系統產生渦度；然而由於系統的慣性，當改變輸入時，輸出並非立刻跟著改變，而是經過一段遲滯反應後才會達到某一平衡狀態，此種遲滯反應稱為變換函數。(圖1)

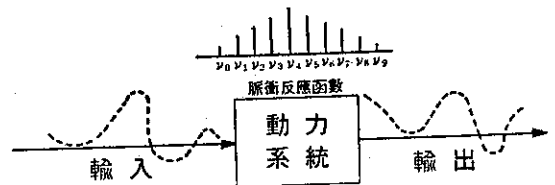


圖1 系統與變換函數

Fig. 1 System and transfer function.

如欲了解某一系統的動態特性 (Dynamic Characteristics) 就必須先了解該系統的變換函數，進而建立變換函數模式，此時即可同時應用過去的輸入和輸出值預報未來的輸出值。在很多情況下這樣做可以減少預報誤差。(Box & Jenkins, 1976)

## 三、變換函數模式

假設  $(X_t, Y_t)$ ,  $t=1, 2, 3, \dots$  是一個雙變隨機過程 (bivariate stochastic process)，則經由一離散線性變換函數，我們可以將輸出數列  $Y_t$ ，以輸入數列  $X_t$  的加法函數 (additive function) 表示：

\* 收稿時間：74年4月6日 送審日期：74年4月7日 收回日期：74年4月20日

1 中央氣象局資訊測站副主任。

$$\begin{aligned} Y_t &= \nu_0 X_t + \nu_1 X_{t-1} + \nu_2 X_{t-2} + \dots \\ &= (\nu_0 B^0 + \nu_1 B^1 + \dots) X_t \\ &= \nu(B) X_t \end{aligned} \quad (3.1)$$

在此  $B$  為後移運算子 (Backward shift operator)

$$BX_t = X_{t-1}$$

$$B^m X_t = X_{t-m}$$

而  $\nu(B) = \nu_0 + \nu_1 B + \nu_2 B^2 + \dots$  即為變換函數，此函數必須為穩定，亦即，在  $|B| \leq 1$  內必須收斂。但一般並不用 (3.1) 表示此離散型動力系統，而是用下述差分方程式表示：

$$\begin{aligned} (1 + \xi_1 \nabla + \dots + \xi_r \nabla^r) Y_t \\ = g(1 + \eta_1 \nabla + \dots + \eta_s \nabla^s) X_{t-b} \end{aligned} \quad (3.2)$$

我們可以  $B = 1 - \nabla$ ，將 (3.2) 化為

$$\begin{aligned} (1 - \delta_1 B - \delta_2 B^2 - \dots - \delta_r B^r) Y_t \\ = (\omega_0 - \omega_1 B^1 - \dots - \omega_s B^s) X_{t-b} \end{aligned}$$

亦即

$$\delta(B) Y_t = \omega(B) B^b X_t \quad (3.3)$$

在此  $b$  為遲延時間 (delay time)，而 (3.3) 稱為  $(r, s)_b$  階之離散線性變換函數模式，此模式須估計  $r$  個  $\delta$ ， $s+1$  個  $\omega$ ，及  $b$  等係數，但這些係數有些什麼關係？我們又如何加以鑑定呢？

我們由 (3.3) 可得：

$$Y_t = \left[ \frac{\omega(B) B^b}{\delta(B)} \right] X_t$$

但由 (3.1)

$$Y_t = \nu(B) X_t \quad \text{所以}$$

$$\delta(B) \nu(B) = \omega(B) B^b \quad (3.4)$$

由此式，我們知道了  $s$ ， $\omega$  和  $b$  間的關係，如果進一步將左右兩邊係數展開，我們可得到下面三個關於反應權重  $\nu_j$  的結果：

$$(\text{一}) b \text{ 個 } \nu_j \text{ 為零，亦即 } \nu_0 = \nu_1 = \nu_2 = \dots = \nu_{b-1} = 0$$

$$(\text{二}) s-r+1 \text{ 個不為零但卻無固定型態的 } \nu \text{ 值}$$

$$(\nu_b, \nu_{b+1}, \dots, \nu_{b+s-r})$$

$$(\text{三}) \nu_{b+s-r+1}, \nu_{b+s-r+2}, \dots \text{ 是阻尼正弦波}$$

(damped sine) 和指數波衰退的混合型式。

由這些結果可以看出，如果知道  $\nu$  值，則可以應用這些  $\nu$  值鑑定  $r$ 、 $s$  及  $b$  之值。然而前述的結論乃是基於無干擾 (noise) 存在的情況下得到的，在實際情況下，我們觀測到的輸出數列並不會剛好等於上述的理論輸出數列，其中往往會有干擾存在，而此種干擾  $N_t$  通常與輸入數列  $X_t$  不相干 (independent)，因此，歸納起來，模式可以下式表示：

$$Y_t = \nu(B) X_t + N_t$$

亦即

$$Y_t = (\delta(B))^{-1} \omega(B) B^b X_t + N_t \quad (3.5)$$

但  $N_t$  可被鑑定、估計、及診斷為 ARIMA (p, d, q) 模式，即

$$N_t = [\phi(B)(1-B)d]^{-1} \theta(B) a_t$$

故得出實際應用模式為

$$Y_t = [\delta(B)]^{-1} \omega(B) B^b X_t + [\phi(B)(1-B)d]^{-1} \theta(B) a_t \quad (3.6)$$

此式隱含的意義是吾人可以將輸入及輸出兩數列用變換函數模式及干擾模式兩部份表示。而我們的目的即是利用觀測到的兩數列  $X_t$ 、 $Y_t$ ，將 (3.6) 式鑑定出來，並加以精確之估計及診斷，再進一步將之應用於分析與預測。

作者在此僅就變換函數模式部份加以詳細討論，至於干擾模式  $N_t$  部份的鑑定、估計及診斷，由於一般學者已有論及，故本文不擬再詳細討論。

#### 四、變換函數模式之建立

當了解一系統之變換函數模式後，我們希望估計此變換函數模式，也就是估計代表此系統的微分方程式或差分方程式的係數。

傳統上常用下面幾種方法估計變換函數模式 (曾忠一，1980)

(一) 建立機構性理論模式 (數學模式) 然後再求解。

(二) 脈衝反應法 (Impulse response method)：某一時刻給系統很大的輸入值，然後看輸出值隨時間的變化。

(三) 頻率反應法 (Frequency response method)：令輸入值為正弦函數 (Sinusoidal function) 然後看一段時間後之振幅和位相。

(四) 步進反應法 (Step response method)

其中第一種方法必須先完全了解觀測現象之基礎機構性 (Underlying mechanism)，但實際觀測到的系統往往非常複雜，並不一定能建立數學模式，也不一定能夠求出其解；至於其他三種方法，則非但須要估計甚多之變數，而且當系統的輸出明顯的受到雜波影響時，效果往往不佳，所以我們常須依賴統計方法來估計變換函數模式，其程序如下：

(一) 由對觀測現象之理論及實際知識，決定所採用變換函數模式之類型。

(二) 利用統計方法鑑定變換函數模式類型。

(三) 估計變換函數模式中之參數值。

四診斷並檢驗此變換函數模式是否適當？是否能正確的代表所觀測之輸出入數列？是否合乎精簡原則？

(四)如果模式為適當，則可用於分析與預測，如果模式不適當，則須重做 2~4 步驟，直到獲得適當的模式為止。

茲依此程序討論如下：

(一)變換函數模式類型之鑑定與估計：

在一雙變隨機過程中，我們有  $(X_1, Y_1)$   $(X_2, Y_2)$  .....  $(X_N, Y_N)$  等一對對的觀測值，假定  $X_t$  和  $Y_t$  兩數列已經經過適當的差分，因而成為平穩數列，則  $X_t$  和  $Y_t$  將有一定的平均值  $\mu_x$  和  $\mu_y$  及變異數  $\sigma_x^2$  和  $\sigma_y^2$ ，而此兩數列之交互相關函數可由下式求得：

$$\rho_{xy}(k) = \frac{\gamma_{xy}(k)}{\sqrt{\gamma_{xx}(0)\gamma_{yy}(0)}}$$

其中  $\rho_{xy}(k)$  為遲滯 (lag)  $k$  時間的交互相關係數， $\gamma_{xy}(k)$  為遲滯  $k$  時間的交協變量數 (Cross Covariance)

$$\begin{aligned}\gamma_{xy}(k) &= \text{Cov}(X_t, Y_{t+k}) \\ &= E[(X_t - \mu_x)(Y_{t+k} - \mu_y)]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{而 } \gamma_{xx}(0) &= \text{Cov}(X_t, X_t) = \sigma_x^2 \\ \gamma_{yy}(0) &= \text{Cov}(Y_t, Y_t) = \sigma_y^2\end{aligned}$$

至於  $\rho_{xy}(k)$  的估計標準差 (standard error) 為：

$$\text{VAR}(R_{xy}(k)) \approx \frac{1}{N-k} \sum_{t=-\infty}^{\infty} \rho_{xx}(t) \rho_{yy}(t)$$

式中  $R_{xy}(k)$  是  $\rho_{xy}(k)$  的估計值

$$R_{xy}(k) = \frac{C_{xy}(k)}{\sqrt{C_{xx}(0)C_{yy}(0)}}$$

在此，

$C_{xx}(0)$  為  $\gamma_{xx}(0)$  之估計值。

$C_{yy}(0)$  為  $\gamma_{yy}(0)$  之估計值。

$C_{xy}(k)$  為  $\gamma_{xy}(k)$  之估計值。

知道這些關係後，我們將利用交互相關函數來鑑定變換函數模式之類型。

由三中之討論，可將變換函數模式的鑑定及估計程序歸納如下：

### 1. 變換函數部份：

(1) 首先得到

$$\nu(B)\nu = \nu_0 + \nu_1 B + \nu_2 B^2 + \dots$$

式中各  $\nu$  之估計值。

(2) 其次利用這些  $\nu$  值，求得變換函數模式  $(r, s)_\nu$ 。

(3) 再以這些  $\nu$  值，利用  $\nu$  和  $\delta$  及  $\omega$  之關係：

$$\delta(B)\nu(B) = \omega(B)B^p$$

獲得  $\delta$  和  $\omega$  之暫時估計值。

### 2. 干擾部份：

茲將估計  $N_t$  各程序分別再詳細敘述如下：

(1) 獲得  $\nu$  之估計值：

i 先差分  $X_t$  和  $Y_t$  兩數列，使之平穩。

ii 鑑定  $X_t$  之模式類型：

先以白噪音 (white noise) 過程來表示  $X_t$ ，亦即

$$\phi_x(B)X_t = \theta_x(B)\alpha_t$$

在此  $\alpha_t$  是個白噪音過程，稱為先白噪化輸入 (prewhitened input)

$$\alpha_t = [\phi_x(B)][\theta_x(B)]^{-1}X_t$$

此  $[\phi_x(B)][\theta_x(B)]^{-1}$  是個線性濾波器 (linear filter)。

iii 對  $Y_t$  施以相同的變換，亦即讓  $Y_t$  經過同樣的線性濾波器：

$$[\phi_x(B)][\theta_x(B)]^{-1}Y_t = \beta_t$$

此時  $\beta_t$  稱為先白噪化輸出 (prewhitened output)

iv 對原始變換模式

$$[Y_t = \nu(B)X_t + N_t]$$

施以變換：

$$\begin{aligned}\phi_x(B)[\theta_x(B)]^{-1}Y_t &= \phi_x(B)[\theta_x(B)]^{-1}\nu(B)X_t \\ &+ \phi_x(B)[\theta_x(B)]^{-1}N_t\end{aligned}$$

所以： $\beta_t = \nu(B)\alpha_t + \varepsilon_t$

此時  $\nu$  值已變為  $\alpha_t$  和  $\beta_t$  間之交互相關函數，

而  $\alpha_t$  和  $\varepsilon_t$  不相干。但如何求出  $\nu$  值呢？將

$$\beta_t = \nu(B)\alpha_t + \varepsilon_t$$

左右兩邊各乘以  $\alpha_{t-k}$  再取期望值，可得

$$\gamma_{\alpha\beta}(k) = \nu_k \sigma_{\alpha}^2 = \nu_k \gamma_{\alpha\alpha}(0)$$

$$\therefore \nu_k = \frac{\gamma_{\alpha\beta}(k)}{\gamma_{\alpha\alpha}(0)} = \rho_{\alpha\beta}(k) \sqrt{\frac{\gamma_{\beta\beta}(0)}{\gamma_{\alpha\alpha}(0)}}$$

$$k=0, 1, 2, \dots$$

因為我們並不知道交互相關函數  $\rho_{\alpha\beta}(k)$  之理論值，所以只能得到  $\nu_k$  之估計值

$$\hat{\nu}_k = R_{\alpha\beta}(k) \sqrt{\frac{C_{\beta\beta}(0)}{C_{\alpha\alpha}(0)}}$$

此時即可用  $R_{\alpha\beta}(k)$  及其估計標準差  $\sqrt{\frac{1}{N-k}}$  來鑑定  $(r, s)_\nu$ 。

(2) 利用估計的  $\nu$  值  $(R_{\alpha\beta})_\nu$  鑑定  $(r, s)_\nu$ ，鑑定方法如下：

i 起始的  $b$  個  $\nu$  值或  $R_{\alpha\beta}$  值為零。

ii  $\hat{\nu}_b, \hat{\nu}_{b+1}, \dots, \hat{\nu}_{b+s-r}$  等共  $s-r+1$  個值沒有固定型態，可用此鑑定  $s-r$ 。

iii 從  $\hat{\nu}_{b+s-r+1}, \hat{\nu}_{b+s-r+2}, \dots$  才有型態出現。當  $r=0$  時， $\nu$  值從  $b+s-r+1$  後變為零。

(3) 建立  $\nu$  及  $\delta, \omega, b$  間的關係，並估計  $\delta$  及  $\omega$  之值：

效舉例說明，如  $(r, s)_b = (2, 2)_s$ ，則

$$\begin{cases} \nu_j = 0, \text{ for } j < b \\ \nu_0 = \nu_1 = \dots = \nu_{b-1} = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} \nu_0 = \nu_1 = \nu_2 = 0 \\ \nu_3 = \omega_0 \\ \nu_4 = \delta_1 \omega_0 - \omega_1 \\ \nu_5 = (\delta_1^2 + \delta_2) \omega_0 - \delta_1 \omega_1 - \omega_2 \\ \nu_j = \delta_1 \nu_{j-1} + \delta_2 \nu_{j-2}, \text{ for } j > b+2 \end{cases}$$

解這些式子即可得出  $\delta_1, \delta_2$  及  $\omega_0, \omega_1, \omega_2$  之估計值。

2. 干擾部份 ( $N_t$ ) 之鑑定：

由前述已知輸入及輸出數列先行白噪化 (pre-whitened) 後可得

$$\beta_t = \nu(B) \alpha_t + \varepsilon_t$$

則可由  $\varepsilon_t$  的自相關函數 (Autocorrelation Function) 及偏自相關函數 (Partial Autocorrelation Function) 鑑定  $\varepsilon_t$  之 ARIMA ( $p, d, q$ ) 類型，再將之變換至  $N_t$ 。亦即

$$\varepsilon_t = [\theta_x(B)]^{-1} \phi_x(B) \nabla^d N_t$$

關於 ARIMA ( $p, d, q$ ) 之鑑定、估計及診斷，由於其他學者已有論及，故在此不再介紹。

(二) 模式之診斷

當模式經過鑑定類型並估計係數後必須加以診斷，以了解模式是否能適當地代表觀測之輸入及輸出數列，如果模式合適，則方可用之於預報，而模式是否合適可從下列二個地方反映出來：

1. 殘差數列  $\hat{a}_t$  之自相關函數  $\gamma_{\hat{a}\hat{a}}(k)$

2. 先白噪化後之輸入數列  $\alpha_t$  和殘差數列  $\hat{a}_t$  間之交互相關函數  $\gamma_{\alpha\hat{a}}(k)$ 。

如果模式是錯誤的話，則殘差數列  $\hat{a}_t$  將不為白噪音過程且和  $\alpha_t$  間會有交互相關存在，故在診斷過程中會有下述狀況發生：

1. 變換函數模式為正確的，但是干擾模式不正

確：

此時  $\alpha_t$  與  $\hat{a}_t$  不相干，故  $\gamma_{\alpha\hat{a}}(k) = 0$ ，而  $\hat{a}_t$  不是白噪音過程，故  $\gamma_{\hat{a}\hat{a}}(k) \neq 0$ ，我們必須修正代表干擾部份的 ARIMA ( $p, d, q$ ) 模式。

2. 變換函數模式不正確：

此時  $\alpha_t$  和  $\hat{a}_t$  間有相關存在， $\gamma_{\alpha\hat{a}}(k) \neq 0$ ，必須修正變換函數模式部份。

3. 診斷之模式為正確的：

此時  $\gamma_{\alpha\hat{a}}(k) = 0$  且  $\gamma_{\hat{a}\hat{a}}(k) = 0$

針對這些情況，我們必須判別  $\gamma_{\hat{a}\hat{a}}(k)$  及  $\gamma_{\alpha\hat{a}}(k)$  是否為零？但如何判別呢？對  $\gamma_{\hat{a}\hat{a}}(k)$  而言，可以將之和兩倍標準差  $\frac{2}{\sqrt{N}}$  比較 ( $N$  為輸入與輸出數列之觀測對數)，若其值大於  $\frac{2}{\sqrt{N}}$ ，則  $\gamma_{\hat{a}\hat{a}}(k)$  不為零。

至於  $\gamma_{\alpha\hat{a}}(k)$  則亦與兩倍標準差  $\frac{2}{\sqrt{(N-d)-k}}$  比較 ( $d$  為 ARIMA ( $p, d, q$ ) 中之  $d$ )，如大於此量則  $\gamma_{\alpha\hat{a}}(k)$  不為零。

在上述之個別檢定中，我們利用  $\hat{a}_t$  來作診斷，但即使診斷之模式合適，估計之參數值與實際總會有些差異，且  $\hat{a}_t$  之自相關分佈也會與實際  $a_t$  者不同，故必須再做下面兩種總體檢定：

1.  $\hat{a}_t$  之自相關總體檢定：

定義  $Q = m \sum_{k=1}^K [\gamma_{\hat{a}\hat{a}}(k)]^2$ ，則  $Q$  值在干擾式無趨勢項下近似  $\chi^2_{K-p-q}$  分配；如干擾模式有趨勢項，則  $Q$  值近似  $\chi^2_{K-p-q-1}$  分配，此處  $p, q$  為 ARIMA ( $p, d, q$ ) 中之  $p, q$  值；如果  $Q$  值大於理論的  $\chi^2$  值，則干擾模式不正確，必須加以修正。

2.  $\gamma_{\alpha\hat{a}}$  之交互相關總體檢定：

定義  $S = m \sum_{k=0}^K [\gamma_{\alpha\hat{a}}(k)]^2$ ，則  $S$  值近似

$\chi^2_{K+1-(r+s+1)}$  分配，在此，

$$m = (N-d) - \mu - p,$$

其中  $N-d$  為  $\hat{N}_t$  中之個數

$\mu$  為  $\text{Max.}(r, s+1)$

$p$  為干擾模式 ARIMA

( $p, d, q$ ) 中 AR 參數之個數

( $r+s+1$ ) 為變換函數模式中之參數個數。

如  $S$  值大於理論之  $\chi^2$  值，則變換函數模式不

正確，必須修正。

## 五、實例試驗

作者以1965至1972年月平均太陽黑子數及加拿大 Alberta 省 Edmonton 地方的月平均臭氧量做實例試驗。

選取此兩數列的理由乃因臭氧係由分子氧，經紫外輻射產生原子氧，然後再與分子氧結合而成；而太陽黑子數的多寡則代表太陽活力的增減，黑子數多表示太陽活力強盛，輻射熱亦同時增大；反之亦同。（林榮安，1962）故太陽黑子數與臭氧量間似有某種因果關係存在。在此例中，太陽黑子數為輸入數列，經太陽及地球系統產生的 Edmonton

地方臭氧量則為輸出數列，我們將以本文介紹的 Box-Jenkins 統計方法來鑑定、估計及診斷此系統的變換函數模式。

圖2及圖3分別為輸入與輸出數列，依前述說明，首先對輸入數列月平均太陽黑子數  $X_t$  加以鑑定，表1(a)是  $X_t$  自遲滯1至遲滯36個月的 acf (Autocorrelation Function) 及其估計標準差 ST. E.; 表1(b)則為其 pacf (Partial Autocorrelation Function)。由於 acf 為漸漸消失，且 pacf 只有遲滯1與2大於兩倍標準差，故初步鑑定輸入數列  $X_t$  之模式類型為 ARIMA(2,0,0)。由於數列之平均值為 72.532，此值除以標準差之值為

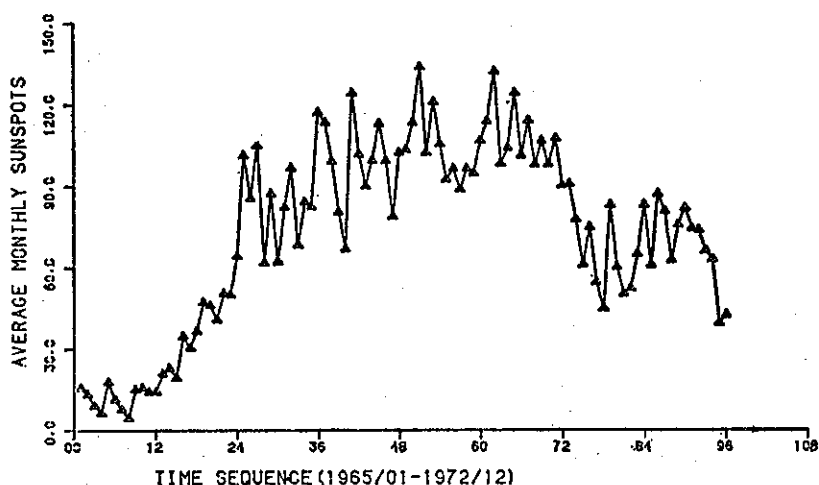


圖2. 1965 至 1972 年月平均太陽黑子數  
Fig 2. Averaged monthly sunspots from 1965 to 1972.

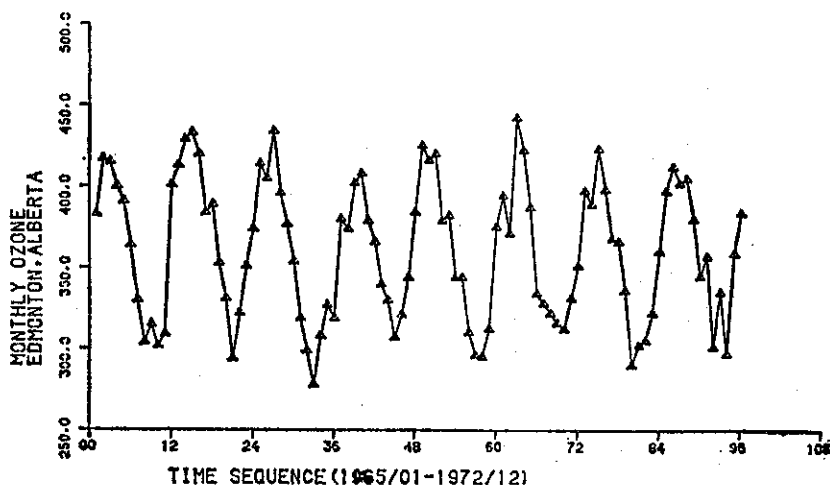


圖3. 1965 至 1972 年加拿大 Edmonton 地方月臭氧量  
Fig 3. Monthly Ozone of Edmonton, Alberta, Canata from 1965 to 1972

20.8，遠大於 $t_{0.05}$ 分配之理論值1.96，故在所選時段內無趨勢項存在，所以初步鑑定之月平均太陽黑子數數列之模式為

$$X_t - \phi_1 X_{t-1} - \phi_2 X_{t-2} = a_t \quad (5.1)$$

而 $\phi_1$ 及 $\phi_2$ 之估計值 $\hat{\phi}_1$ 及 $\hat{\phi}_2$ 可由下兩式算出：

$$\hat{\phi}_1 = \frac{r_1(1-r_2)}{1-r_1^2} \quad (5.2)$$

$$\hat{\phi}_2 = \frac{r_2-r_1^2}{1-r_1^2} \quad (5.3)$$

在此 $r_1$ 、 $r_2$ 分別為遲滯1及2的acf， $r_1=0.86$ ， $r_2=0.82$ ，分別將之代入(5.2)及(5.3)後可得

$$\hat{\phi}_1=0.5945, \quad \hat{\phi}_2=0.3088$$

將 $\phi_1$ 及 $\phi_2$ 及 $\bar{X}$ 之猜測值 0.5945, 0.3088 及 72.532放入參數估計程式計算，可得輸入數列模式各參數值為

$$\phi_1=0.54676$$

$$\phi_2=0.37396$$

$$\bar{X}=74.363$$

接著，對輸入數列模式做合適性診斷，計算殘差數列的acf及pacf，結果見表2(a)及表2(b)，由兩表可看出無任一殘差大於兩倍標準差；再者殘差自相關的總體檢定Q值為16.445也小於 $\chi^2_{21}$ 分佈的

表1 (a) 月平均太陽黑子數的自相關函數

Table 1(a) The autocorrelation function of averaged monthly sunspots

|       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 1-12  | 0.86 | 0.82 | 0.77 | 0.73 | 0.71 | 0.64 | 0.63 | 0.56 | 0.54 | 0.49  | 0.44  | 0.40  |
| ST.E. | 0.10 | 0.16 | 0.20 | 0.23 | 0.25 | 0.27 | 0.29 | 0.30 | 0.31 | 0.32  | 0.33  | 0.34  |
| 12-24 | 0.34 | 0.32 | 0.26 | 0.23 | 0.20 | 0.15 | 0.13 | 0.08 | 0.03 | -0.01 | -0.05 | -0.06 |
| ST.E. | 0.34 | 0.34 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35  | 0.35  | 0.35  |

表1 (b) 月平均太陽黑子數的偏自相關函數

Table 1 (b) The partial autocorrelation function of averaged monthly sunspots

|       |       |      |       |      |      |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1-12  | 0.86  | 0.30 | 0.11  | 0.02 | 0.10 | -0.14 | 0.10  | -0.16 | 0.05  | -0.07 | -0.03 | -0.08 |
| 13-24 | -0.03 | 0.02 | -0.08 | 0.02 | 0.04 | -0.06 | -0.02 | -0.06 | -0.10 | -0.03 | -0.04 | 0.09  |

表2(a) 殘差數列的自相關函數

Table 2(a) The autocorrelation function of residuals

|       |       |       |       |       |      |       |      |       |       |       |       |      |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| 1-12  | -0.07 | -0.15 | -0.01 | -0.00 | 0.12 | -0.12 | 0.12 | -0.08 | 0.07  | 0.06  | -0.03 | 0.03 |
| ST.E. | 0.10  | 0.10  | 0.10  | 0.10  | 0.10 | 0.11  | 0.11 | 0.11  | 0.11  | 0.11  | 0.11  | 0.11 |
| 13-24 | -0.12 | 0.07  | -0.09 | 0.00  | 0.11 | -0.04 | 0.08 | 0.02  | -0.01 | -0.05 | -0.08 | 0.06 |
| ST.E. | 0.11  | 0.11  | 0.11  | 0.11  | 0.11 | 0.11  | 0.11 | 0.11  | 0.12  | 0.12  | 0.12  | 0.12 |

表2(b) 殘差數列的偏自相關函數

Table 2(b) The partial autocorrelation function of residuals

|       |       |       |       |       |      |       |      |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1-12  | -0.07 | -0.16 | -0.03 | -0.03 | 0.12 | -0.11 | 0.15 | -0.11 | 0.11  | 0.01  | 0.04  | -0.01 |
| 13-24 | -0.06 | 0.01  | -0.09 | -0.00 | 0.08 | -0.01 | 0.08 | 0.08  | -0.02 | -0.02 | -0.09 | 0.01  |

理論值32.671，故所得之月平均太陽黑子數模式為合適的；亦即某月平均太陽黑子數受前一個月及前二個月的平均太陽黑子數影響。至此吾人可得先白噪化模式 (Prewhitened Model) 為

$$(1-0.54676B-0.37396B^2)(X_t-74.363)=a_t$$

對輸出數列  $Y_t$  施以同樣的變換，並計算兩數列間的交互相關函數  $R_{\alpha\beta}(k)$  及脈衝反應權重  $\nu(k)$ ，分別如表3(a)及表3(b)所示。

表3(a) 月平均太陽黑子數與 Edmonton 地方月臭氣量間之交互相關函數

Table 3(a) The crosscorrelation function between averaged monthly sunspots and monthly ozone, Edmonton

|                      |        |        |       |        |        |        |       |       |        |       |
|----------------------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|
| No. of lags on $X_t$ | 0      | 1      | 2     | 3      | 4      | 5      | 6     | 7     | 8      | 9     |
| $R_{\alpha\beta}(k)$ | -0.159 | -0.128 | 0.315 | -0.068 | -0.068 | -0.035 | 0.070 | 0.044 | -0.101 | 0.121 |
| No. of lags on $X_t$ | 10     | 11     | 12    | 13     | 14     | 15     | 16    | 17    | 18     | 19    |
| $R_{\alpha\beta}(k)$ | -0.180 | -0.054 | 0.251 | 0.034  | -0.147 | -0.069 | 0.064 | 0.018 | 0.023  | 0.076 |

表3(b) 系統之脈衝反應權重函數  
Table 3(b) The impulse response function of the system

|          |        |        |       |        |        |       |       |        |       |        |
|----------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|
| k        | 0      | 1      | 2     | 3      | 4      | 5     | 6     | 7      | 8     | 9      |
| $\nu(k)$ | -0.340 | -0.273 | 0.674 | 0.146  | -0.075 | 0.150 | 0.094 | -0.216 | 0.259 | -0.384 |
| k        | 10     | 11     | 12    | 13     | 14     | 15    | 16    | 17     | 18    | 19     |
| $\nu(k)$ | -0.115 | 0.536  | 0.072 | -0.314 | -0.148 | 0.136 | 0.039 | 0.050  | 0.163 | -0.375 |

將表3(a)中之交互相關函數值與兩倍估計標準差值0.20628比較，除了 $R_{\alpha\beta}(2)$ 及 $R_{\alpha\beta}(12)$ 外，餘均較其為小，因為我們要的是類型（pattern）所以可以忽略 $R_{\alpha\beta}(12)$ ，由

$$R_{\alpha\beta}(0)=R_{\alpha\beta}(1)=0, \text{ 可得}$$

$$b=2, r=0, s=0$$

故初步鑑定之變換函數模式為 $(0,0)_2$ ，也就是

$$Y_t = \omega_0 B^2 (X_t - \bar{X})$$

將 $\omega_0$ 之估計值 $\nu_2=0.674$ 代入可得

$$Y_t = 0.674 B^2 (X_t - 74.363)$$

至於干擾部份，其acf及pacf如表4(a)及表4(b)所示，從此兩表中可看出acf中僅遲滯為1者不為零；而pacf則為阻尼正弦波，故初步鑑定干

擾模式為ARIMA(0,0,1)，即

$$N_t = (1 - \theta_1 B) a_t$$

由公式

$$\hat{\theta}_1 = \frac{-\theta_1}{1 + \theta_1^2} = -0.32$$

可得 $\theta_1$ 之估計值 $\hat{\theta}_1 = 0.3619$ ，但此模式却無法通過殘差自相關的總體檢定。根據前述模式之診斷中所述，變換函數模式正確而干擾模式不正確，則必須修正干擾模式。作者曾嘗試以下列四個模式代表干擾部份：

$$(\rightarrow) \text{ARIMA}(0,0,1) \times (0,1,0)_{12}$$

$$(\rightarrow) \text{ARIMA}(1,0,1)$$

$$(\rightarrow) \text{ARIMA}(1,0,1) \times (0,1,0)_{12}$$

表4(a) 干擾數列的自相關函數

Table 4(a) The autocorrelation function of the noise

|       |       |       |      |       |      |       |       |      |       |      |       |       |
|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|
| 1-12  | -0.32 | 0.15  | 0.04 | 0.03  | 0.20 | -0.10 | 0.17  | 0.08 | -0.07 | 0.11 | -0.05 | -0.13 |
| ST.E. | 0.11  | 0.13  | 0.13 | 0.13  | 0.13 | 0.13  | 0.13  | 0.14 | 0.14  | 0.14 | 0.14  | 0.14  |
| 13-24 | 0.07  | -0.05 | 0.24 | -0.19 | 0.03 | 0.02  | -0.06 | 0.02 | -0.04 | 0.11 | 0.13  | -0.08 |
| ST.E. | 0.14  | 0.14  | 0.14 | 0.15  | 0.15 | 0.15  | 0.15  | 0.15 | 0.15  | 0.15 | 0.15  | 0.15  |

表4(b) 干擾數列的偏自相關函數

Table 4(b) The partial autocorrelation function of the noise

|       |       |       |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1-12  | -0.32 | 0.05  | 0.11 | 0.07 | 0.24 | 0.02 | 0.11 | 0.16  | -0.05 | -0.01 | -0.04 | -0.30 |
| 13-24 | -0.13 | -0.04 | 0.25 | 0.08 | 0.06 | 0.04 | 0.01 | -0.07 | -0.06 | 0.02  | 0.19  | 0.06  |

$$(\rightarrow) \text{ARIMA}(1,0,0) \times (1,0,0)_{12}$$

但這些模式仍然無法通過殘差自相關的總體檢定，最後作者以 $\text{ARIMA}(0,0,1) \times (0,0,1)_{12}$ 亦即

$$N_t = (1 - \theta_1 B)(1 - \theta_2 B^{12}) a_t$$

代表干擾部份方才通過殘差自相關的總體檢定。經參數估計程式計算後， $\hat{\theta}_1 = 0.7$ ， $\hat{\theta}_2 = 0.9$ 故干擾模式為

$$N_t = (1 - 0.7B)(1 - 0.9B^{12}) a_t$$

至此，可以進行模式的診斷，首先檢查表5殘差數列 $\hat{a}_t$ 的acf，其中並無任一遲滯的acf大於兩倍標準差；次就 $\hat{a}_t$ 自相關的總體檢定，求得之Q值為28.1，較 $\chi^2_{0.05,22}$ 之理論值33.92為小，故 $\hat{a}_t$ 是白

噪音過程。

再就先白噪化後之輸入數列 $\alpha_t$ 與殘差數列 $\hat{a}_t$ 間之交互相關函數加以檢定，表6列出了交互相關函數值，除遲滯1、11、19之值與兩倍標準差值相近外，餘均較小；而交互相關總體檢定值 $S=25.741$ ，遠較 $\chi^2_{0.05,18}$ 理論值49.78為小，故 $\alpha_t$ 與 $\hat{a}_t$ 不相關。

至此模式已通過診斷，故鑑定之變換函數模式及干擾模式均為正確，其中變換函數模式為 $(0,0)_2$ ，亦即

$$Y_t = 0.0122 B^2 (X_t - 74.363)$$

而干擾模式則為 $\text{ARIMA}(0,0,1) \times (0,0,1)_{12}$ ，即

$$N_t = (1 - 0.702B)(1 - 0.923B^{12}) a_t$$



表5 殘差數列  $\hat{a}_t$  之自相關函數

Table 5 The autocorrelation function of  $\hat{a}_t$

|       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1-12  | -0.09 | 0.07 | -0.05 | 0.04  | 0.19  | -0.16 | 0.14  | -0.09 | -0.09 | -0.03 | -0.23 | -0.15 |
| ST.E. | 0.11  | 0.11 | 0.11  | 0.11  | 0.11  | 0.12  | 0.12  | 0.12  | 0.12  | 0.12  | 0.12  | 0.13  |
| 13-24 | -0.19 | 0.03 | 0.13  | -0.07 | -0.10 | -0.05 | -0.06 | 0.03  | 0.13  | 0.05  | 0.06  | -0.01 |
| ST.E. | 0.13  | 0.13 | 0.13  | 0.13  | 0.13  | 0.14  | 0.14  | 0.14  | 0.14  | 0.14  | 0.14  | 0.14  |

表6  $\alpha_t$  與  $\hat{a}_t$  間之交互相關函數

Table 6 The crosscorrelation function between  $\alpha_t$  and  $\hat{a}_t$

|                             |        |        |       |        |        |       |        |       |        |       |
|-----------------------------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| No. of lags on $\alpha_t$   | 0      | 1      | 2     | 3      | 4      | 5     | 6      | 7     | 8      | 9     |
| $\gamma_{\alpha\hat{a}}(k)$ | -0.093 | -0.270 | 0.050 | 0.118  | -0.095 | 0.055 | -0.055 | 0.047 | -0.005 | 0.046 |
| No. of lags on $\alpha_t$   | 10     | 11     | 12    | 13     | 14     | 15    | 16     | 17    | 18     | 19    |
| $\gamma_{\alpha\hat{a}}(k)$ | 0.024  | -0.222 | 0.076 | -0.033 | 0.035  | 0.038 | -0.110 | 0.010 | -0.087 | 0.238 |
| No. of lags on $\alpha_t$   | 20     | 21     | 22    | 23     | 24     |       |        |       |        |       |
| $\gamma_{\alpha\hat{a}}(k)$ | -0.057 | -0.155 | 0.075 | 0.002  | 0.178  |       |        |       |        |       |

## 六、結 論

傳統估計變換函數模式的方法，如脈衝反應法、頻率反應法及步進反應法等都是基於選擇特殊的輸入值輸入系統，然後直接在時間域 (Time Domain) 內測量反應函數；在頻率域內測量增益和相位等特徵，非但必須估計甚多之參數，而且當系統有相當之干擾時，這些方法往往無法得到正確之結果。

本文提出的 Box-Jenkins 統計方法，係將輸入及輸出兩數列用變換函數模式及干擾模式兩部份表示，由於干擾部份可用 ARIMA (p,d,q) 有效的代表，故連帶的使變換函數模式的估計更為有效。

文內除了詳細說明鑑定、估計及診斷變換函數模式的方法及過程外，並以1965至1972年月平均太陽黑子數與加拿大 Edmonton 地方的月臭氧量等兩數列為例做實際應用，經研究結果發現變換函數模式為 (0,0)<sub>2</sub>，而干擾模式則為 ARIMA (0,0,1)

$\times (0,0,1)_{12}$ 。

作者認為 Box-Jenkins 提出的統計方法既能有效的估計變換函數模式，使吾人得以進一步同時利用過去的輸入及輸出值預報未來的輸出值，在氣象預報方面，此法不失為一有效的工具，值得進一步研究應用。

## 參 考 文 獻

1. Box G. E. P. and G. M. Jenkins, 1976: Time Series analysis forecasting and control. Holden-Day, San Francisco, 208-274.
2. 曾忠一，1980：時間數列分析，理論氣象講座第18卷，臺大大氣科學系講義，23—24頁。
3. 林榮安，1982：太陽黑子之研究，氣象學報 8 卷 2 期，第31頁。
4. 向傳心、張德新，1977：Lecture notes on time series analysis, 51-53.
5. 胡仲英，1977：應用 ARIMA 模式對臺北市月平均溫度與總降水量的分析與預測，氣象學報 23 卷第 3 期，15-26。

# The Identification, Estimation and Diagnostic Checking of Transfer Function Model

*Shi-Yang Chen*

Deputy Director of Computer Center, C. W. B.

## ABSTRACT

By using Box-Jenkins method, a detailed description of identification, estimation and diagnostic checking of transfer function model is presented. Also, this approach is applied to two time series of averaged monthly sunspots and monthly ozone of Edmonton, Alberta, Canada. It is realized that the transfer function model is  $(0,0)_1$ , and the noise model could be represented by the ARIMA  $(0,0,1) \times (0,0,1)_{12}$ .

# 臺灣東部及東南部豪雨之研究\*

劉 明 禮<sup>1</sup>

## 摘 要

1984年5月22日至23日，臺灣東部地區持續下大雨，起自宜蘭，而後向南發展至花蓮、臺東，其降水時間達24小時左右；而在6月6日8時至11時，蘭嶼的降水量達106公厘。本研究依據天氣圖上的資料做分析，獲得以下的結果：

5月22日至23日臺灣東部地區的豪雨現象主要來自兩種效應。一為低層鋒面滯留且通過臺灣山脈，因地形作用導致山脈背風面的低壓波活躍（劉；1985），此一低壓由地面伸展至850毫巴面，具有固定波的特性。另一效應為高層500毫巴面上沿中國南方海岸線排列的小渦流胞（Vortex Cells），此等小渦流胞因副熱帶高壓向北伸展而向東聚集，在臺灣鄰近地區形成波槽，增強或加深了山脈背風面的地面低壓，導致此一地區持續且大量的降水，又因大陸波脊東移逼近臺灣以及位於臺灣西方的波槽向南加深，地面低壓則逐漸南移，降水區亦向南發展。

6月6日蘭嶼的劇烈降水，則因為地面太平洋高壓，伴隨上層西南氣流的導引作用，向西、向南伸展；與500毫巴上沿中國南方海岸線排列的小渦流胞東移聚集，生成波槽於臺灣地區；兩種效應組合所致。旺盛的西南氣流所造成的向西南伸展的地面太平洋高壓，抵制了因500毫巴面上小渦流胞向東聚集效應所產生的地面鋒面，唯在暖鋒鄰近和伸展中高壓的西南端具有合成效應，急劇降水及小區域降水為其特性。

兩次豪雨天氣現象中，前者較劇烈或顯著降水，發生在小渦流胞出現在500毫巴天氣圖後約15~18小時。後者則發生在上述現象呈現後約24小時。

## 一、前 言

地形分佈為構成大氣中明顯相異天氣，或氣候類型的重要因素之一。大氣流體通過介質性質不同的界面，因介質差異而易於滋生擾動，此一擾動的活躍度，有賴於大氣流體相對於此兩介質的差異度特性而定 Smagorinsky (1953) 以冷熱源的觀點論述大氣中準固定波的波動現象，其主要動力來源則為熱力效應。

Queney (1948) 對成層的旋轉大氣通過各種尺度山區障礙，提出了理論上的探討。

Bolin (1950) 的研究則以大規模山區對西風場的影響為主，此等研究，其動力來源則以機械效應為主。由其結果可知，山脈地形即為影響天氣的重要因素之一。大尺度的山脈地形，若西藏山區對大氣流體的變形作用（劉；1983）；以及小尺度的臺灣山脈對大氣流體所造成的影響度皆為上述重要的例

證。依據1984年3月上旬，臺灣山脈背風面兩個地面低壓做研究的結果（劉；1985），得知850毫巴上滯留鋒面持續通過臺灣山脈，為構成臺灣山脈背風面地面低壓生成和發展的條件，而高壓的逼近臺灣地區，則減弱或阻止此一地面低壓的發展與生成。

在本研究中，1984年5月22日至23日，臺灣地區豪雨發生於臺灣山脈的背風面，而此一時期的低層大氣，則屬山脈背風面低壓活躍期；6月6日蘭嶼的急劇降水，其低層大氣則以西南氣流為特徵；此為兩次豪雨現象的最大差異。依據天氣圖做詳細的分析，以探討此等天氣現象的物理機制，及增進預報豪雨天氣的準確度，為本研究的主題。

## 二、1984年5月22日至23日，宜蘭、花蓮、臺東地區豪雨分析

1. 1984年5月22日至24日，臺灣東部地區的降水現象

\* 收稿日期：73年6月19日 退修日期：73年6月27日 收回日期：73年12月26日

1 預報測站技士。

表一：宜蘭、蘇澳、花蓮、臺東地區，1984年5月22日~24日天氣觀測概況（G表陣風）

Table 1. The observational weather status. at I-Lan, Su-Ow, Hwa-Lien and Tai-Don Station from 22th to 24th, May 1984. (G was the gust wind)

測站：宜蘭 日期：1984年5月22日~23日

| 時間   | 22日 |     |     |     |     |     | 23日 |    |    |    |     |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|-----|
|      | 8時  | 11時 | 14時 | 17時 | 20時 | 23時 | 24時 | 2時 | 5時 | 8時 | 11時 |
| 天氣概況 |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |     |
| 累積雨量 | 3   | 4   | 11  | 21  | 41  | 53  | 56  | 9  | 42 | 62 | 62  |

測站：蘇澳 日期：1984年5月22日~23日

| 時間   | 22日 |     |     |     |     |     | 23日 |    |    |     |     |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|
|      | 8時  | 11時 | 14時 | 17時 | 20時 | 24時 | 2時  | 5時 | 8時 | 11時 | 14時 |
| 天氣概況 |     |     |     |     |     |     |     |    |    |     |     |
| 累積雨量 | 3   | 11  | 29  | 34  | 47  | 47  |     | 3  | 3  | 6   | 6   |

測站：花蓮 日期：1984年5月22日~24日

| 時間   | 22日 |    |    |     |     |     |     | 23日 |     |    |    |
|------|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
|      | 2時  | 5時 | 8時 | 11時 | 14時 | 17時 | 20時 | 23時 | 24時 | 2時 | 5時 |
| 天氣概況 |     |    |    |     |     |     |     |     |     |    |    |
| 累積雨量 |     |    |    |     |     | 0.7 | 7   | 60  | 71  | 23 | 37 |

| 時間   | 23日 |     |     |     |     |     | 24日 |   |   |   |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|---|
|      | 8時  | 11時 | 14時 | 17時 | 20時 | 23時 |     |   |   |   |
| 天氣概況 |     |     |     |     |     |     |     |   |   |   |
| 累積雨量 | 60  | 79  | 98  | 104 | 113 | 116 | 116 | 1 | 2 | 2 |

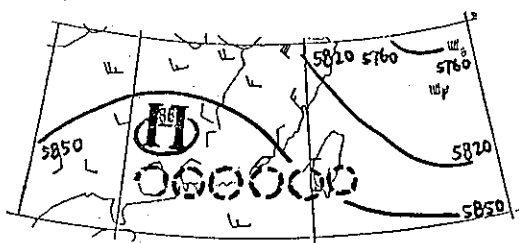
測站：台東 日期：1984年5月22日~24日

| 時間   | 22日 |     |     |     |     |     |     | 23日 |    |    |     |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|
|      | 8時  | 11時 | 14時 | 17時 | 20時 | 23時 | 24時 | 2時  | 5時 | 8時 | 11時 |
| 天氣概況 |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |     |
| 累積雨量 | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 10  | 27  |     | 60 | 81 | 95  |

| 時間   | 23日 |     |     |     |     | 24日 |     |     |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|      | 14時 | 17時 | 20時 | 23時 | 24時 | 2時  | 5時  | 8時  |
| 天氣概況 |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 累積雨量 | 115 | 131 | 133 | 133 | 133 | 0.1 | 0.6 | 0.6 |

## 2. 500 毫巴天氣圖

(1) 5月21日20時至22日20時(參見圖一、圖二)：  
21日20時，沿著中國南方海岸線，東經 $110^{\circ}\sim 122^{\circ}$ ，北緯 $22^{\circ}\sim 23.5^{\circ}$ ，有小渦流胞排列，延伸至臺灣，渦流胞北側為一波脊，南側為副熱帶高壓(如圖一)。北方的主波脊隨時間東移，於22日20時，因副熱帶高壓沿著東經 $110^{\circ}\sim 118^{\circ}$ 向北伸展(如圖二)，小渦流胞則向東聚集增大，小渦流胞在東經 $116^{\circ}$ 以西部份，則呈西北走向排列。



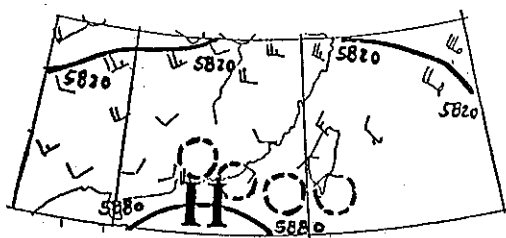
圖一：1984年5月21日20時500毫巴天氣圖

Fig 1. 500mb Chart at 1200z 21th, May, 1984.

圖一、圖二、圖十四、圖十五中，沿海岸線排列的粗斷線即表小渦流胞，其風向為氣旋方向)

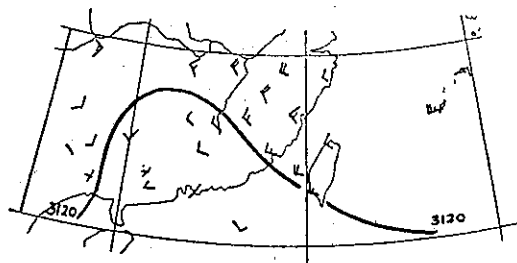
(2) 5月22日20時至23日20時(參見圖二、圖三)：  
小渦流胞於22日20時，增至最大(如圖二)。因副熱帶高壓向北伸展，及大陸主波脊東移，在臺灣西方鄰近的渦流胞，呈西北走向排列，有形成波槽的趨勢，而位於臺灣南部的小渦流胞位置稍南移。

在23日20時，東經 $106^{\circ}\sim 113^{\circ}$ 為一波脊，東經 $113^{\circ}\sim 120^{\circ}$ 為一波槽，東經 $120^{\circ}\sim 125^{\circ}$ 為一波脊(如圖三)。



圖二：1984年5月22日20時500毫巴天氣圖

Fig 2. 500mb Chart at 1200z 22th, May, 1984



圖三：1984年5月23日20時500毫巴天氣圖

Fig. 3. 500mb Chart at 1200z 23th, May, 1984.

(3) 5月21日20時至5月23日8時，沿中國南方海岸線排列的小渦流胞位置(表二)

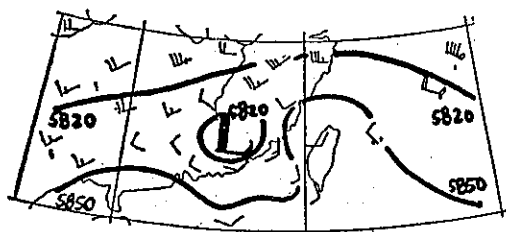
表二：5月21日20時至23日8時，500毫巴面上小渦流胞的位置

Table 2. The position of the small vortex cells on the 500mb Chart from 12z, 21th to 00z 23th, May 1984.

| 時 間      | 小 渦 流 胞 位 置   |
|----------|---|
| 5月21日20時 | $110^{\circ}\text{E}\sim 122^{\circ}\text{E}$ , $22^{\circ}\text{N}\sim 23.5^{\circ}\text{N}$   |
| 5月22日8時  | $110^{\circ}\text{E}\sim 122^{\circ}\text{E}$ , $21^{\circ}\text{N}\sim 23^{\circ}\text{N}$     |
| 5月22日20時 | $113^{\circ}\text{E}\sim 123^{\circ}\text{E}$ , $21^{\circ}\text{N}\sim 24^{\circ}\text{N}$     |
| 5月23日8時  | $113^{\circ}\text{E}\sim 122^{\circ}\text{E}$ , $20.5^{\circ}\text{N}\sim 24.5^{\circ}\text{N}$ |

## 3. 700 毫巴天氣圖

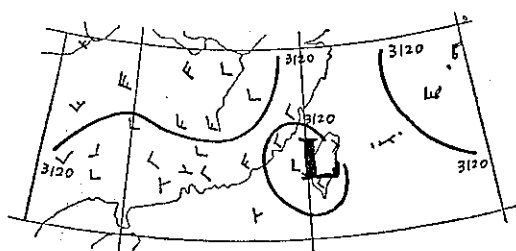
(1) 5月21日20時至23日20時的天氣圖特徵：21日20時，沿中國南方海岸北側，東經 $110^{\circ}\sim 120^{\circ}$ 為一波脊(如圖四)。在22日8時以後，則副熱帶高壓沿東經 $116^{\circ}$ 以西，逐漸向北伸展；22日8時至22日20時，在臺灣及其西側鄰近地區，北緯 $21^{\circ}\sim 25^{\circ}$



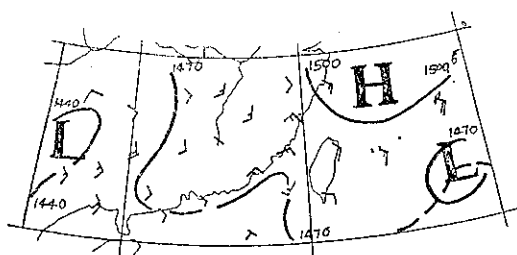
圖四：1984年5月21日20時700毫巴天氣圖

Fig4. 700mb Chart at 1200z 21th, May, 1984.

，東經 $116^{\circ}\sim 122^{\circ}$ ，爲一波槽（如圖五）。隨時間，東經 $116^{\circ}$ 以東至臺灣的波槽則顯著加深。在22日20時至23日8時，此一波槽則具有最大的波幅。23日20時，則波槽幾乎爲副熱帶高壓形成的波脊所取代，波槽北移減弱、消失（如圖六）



圖五：1984年5月22日20時700毫巴天氣圖  
Fig5. 700mb Chart at 1200z 22th, May, 1984.



圖六：1984年5月23日20時700毫巴天氣圖  
Fig6. 700mb Chart at 1200z 23th, May, 1984.

(2) 700毫巴天氣圖上，22日8時至23日20時，沿中國南方海岸附近地區，波槽的位置（表三）

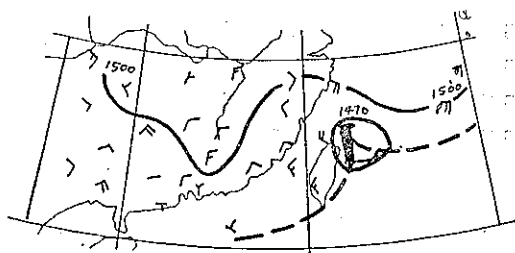
表三：700毫巴面上，22日8時至23日20時，沿中國南海岸地區波槽位置

Table 3. The position of the wave trough which was staying along the coastal area of the southern China on the 700mb chart from 00z 22th to 12z 23th, May 1984

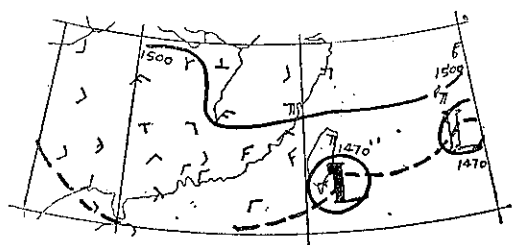
| 時 間      | 波 槽 位 置   |
|----------|---|
| 5月22日8時  | $116^{\circ}\text{E}\sim 122^{\circ}\text{E}$ , $22^{\circ}\text{N}\sim 25^{\circ}\text{N}$ |
| 5月22日20時 | $116^{\circ}\text{E}\sim 122^{\circ}\text{E}$ , $21^{\circ}\text{N}\sim 25^{\circ}\text{N}$ |
| 5月23日8時  | $115^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$ , $20^{\circ}\text{N}\sim 25^{\circ}\text{N}$ |
| 5月23日20時 | $114^{\circ}\text{E}\sim 119^{\circ}\text{E}$ , $23^{\circ}\text{N}\sim 27^{\circ}\text{N}$ |

#### 4. 850 毫巴天氣圖

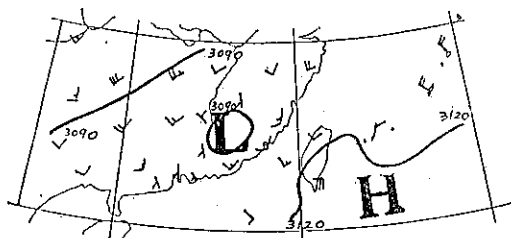
(1) 5月21日20時至23日20時，天氣圖特徵：21日20時至23日8時或稍後，皆有滯留鋒面通過臺灣山脈，而在臺灣山脈背風面，低壓波活躍，此一低壓波，隨時間稍微南移（圖七、圖八、圖九）；21日20時，此一低壓波位於北緯 $25.5^{\circ}$ ，東經 $122^{\circ}$ （圖七），於23日20時，則移至臺灣南方外海，北緯 $20^{\circ}$ 附近（如圖九）



圖七：1984年5月21日20時850毫巴天氣圖  
Fig 7. 850mb Chart at 1200z 21th, May, 1984.



圖八：1984年5月22日20時毫巴天氣圖  
Fig 8. 850mb Chart at 1200z 22th, May, 1984.



圖九：1984年5月23日20時850毫巴天氣圖  
Fig9. 850mb Chart at 1200z 23th, May, 1984.

(2) 21日20時至23日8時，850 毫巴面上，臺灣

# 山脈背風面低壓波中心位置 (表四)

表四：850毫巴面上，21日20時至23日8時，臺灣山脈背風面的低壓波中心位置

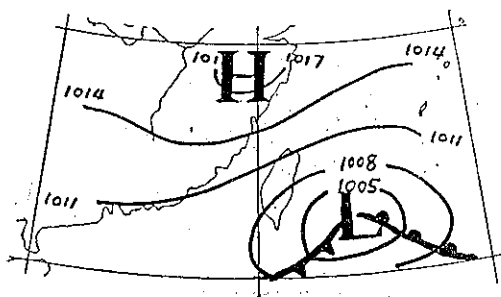
Table 4. The position of the center of the low pressure in the downslope area of the Taiwan mountain on the 850mb from 12z 21th to 00z 23th, May 1984.

| 時 間      | 低 壓 波 中 心 位 置 |
|----------|---------------|
| 5月21日20時 | 25.5°N, 122°E |
| 5月22日8時  | 24°N, 122°E   |
| 5月22日20時 | 23°N, 122°E   |
| 5月23日8時  | 22.5°N, 122°E |

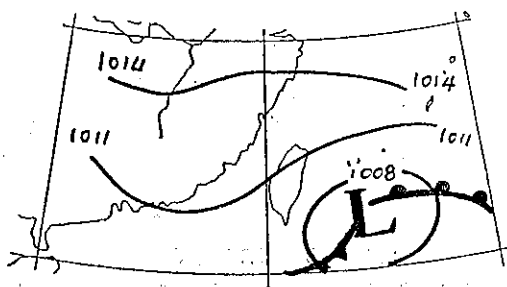
## 5. 地面天氣圖

(1) 5月22日8時至23日20時，地面天氣圖特徵 (參見圖十~圖十三)

中國大陸及其東方外海，包括北緯25°~40°區

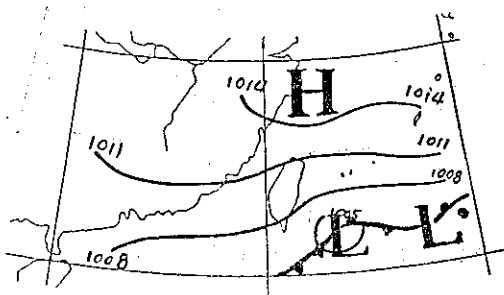


圖十：1984年5月22日8時地面天氣圖  
Fig10. Surface Chart 0000z 22th, May, 1984



圖十一：1984年5月22日20時地面天氣圖  
Fig11. Surface Chart at 1200z 22th, May, 1984.

域，皆為高壓伸展所涵蓋。臺灣山脈背風面的低壓，與850毫巴的背風面低壓波有一致性；地面低壓的相對位置則稍偏東及偏南 (圖八、圖十一)，而滯留於北緯22°、東經124°，中心氣壓維持在1005毫巴至1007毫巴，屬一固定波型態 (圖十、圖十一、圖十二)。此一現象，依劉 (1985) 所做的臺灣山脈地形效應研究，則得自850毫巴面上，滯留鋒面持續通過臺灣山脈所致。



圖十二：1984年5月23日8時地面天氣圖  
Fig12. Surface Chart at 0000z 23th, May, 1984.

(2) 5月22日2時至23日14時，臺灣山脈背風面，地面低壓的中心位置及氣壓值 (表五)

表五：5月22日2時~23日14時，臺灣山脈背風面低壓中心位置及氣壓值

Table 5. The position and the strength of the center of the surface low pressure in the downslope area of the Taiwan mountain from 18z 21th to 06z 23th, May 1984.

| 時 間           | 22日2時         | 22日8時         | 22日14時        | 22日20時        |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 低 壓<br>中心位置   | 22°N<br>124°E | 22°N<br>124°E | 22°N<br>124°E | 22°N<br>124°E |
| 中壓中心<br>氣 壓 值 | 1004mb        | 1006mb        | 1007mb        | 1007mb        |

| 時 間           | 23日2時         | 23日8時         | 23日14時          |
|---------------|---------------|---------------|-----------------|
| 低 壓<br>中心位置   | 22°N<br>124°E | 22°N<br>124°E | 21.5°N<br>124°E |
| 中壓中心<br>氣 壓 值 | 1005mb        | 1007mb        | 1005mb          |

## 6. 綜合分析

(1) 5月21日20時至23日20時期間，地面至850毫巴的低層大氣，屬臺灣山脈背風面低壓波活躍期，其中心位置幾乎不動，具有固定擾波的特性。在

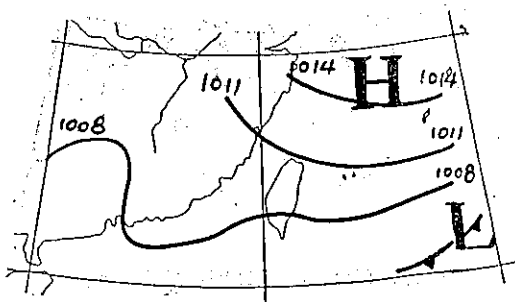
顯著降水發生前的5月21日20時，500毫巴面上沿中國南方海岸線到臺灣（北緯 $22^{\circ} \sim 23.5^{\circ}$ ，東經 $110^{\circ} \sim 122^{\circ}$ ）有小渦流胞排列（如圖一，表二），此等小渦流胞沿著海陸界面，大小約在 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ （表經度和緯度），依風場分佈可劃成小渦流，而位於兩顯著波脊之間。渦流胞北側的主波脊，隨時間東移，渦流胞則向東海岸聚集（如圖一～圖三）。700毫巴在21日20時，沿海岸區域為一波脊（如圖四），在22日8時以後，沿海岸線，東經 $105^{\circ}$ 至 $115^{\circ}$ 的波脊，因副熱帶高壓，向北伸展，逐漸增強，而在東經 $115^{\circ}$ 至 $120^{\circ}$ ，則為一波槽（如圖五、表三）

(2)由21日20時至22日20時，500毫巴面上，大陸主波脊的東移，小渦流胞位於東經 $116^{\circ}$ 以東部份稍微南移，又因副熱帶高壓向北伸展，導致小渦流胞在東經 $116^{\circ}$ 以西部份，向西北傾斜，小渦流胞有向東聚集，逐漸增大的趨勢（如圖二）。700毫巴面上，位於東經 $115^{\circ}$ 至 $120^{\circ}$ 的波槽，在22日8時以後，則逐漸加深，而在22日20時至23日8時達至最大波幅（圖五、表三）。宜蘭、蘇澳降水約起自5月22日8時，顯著降水約發生於22日11～14時以後（如表一）。

(3)伴隨高層500毫巴面上大陸主波脊東移，850毫巴面上，臺灣山脈背面低壓波中心位置亦向南移（22日8時至23日20時），地面低壓亦在23日8時以後南移（參見圖一～圖三，圖七～圖九，圖十一、圖十二、表二、表四、表五）。花蓮、臺東地區於22日11時～14時，有陣風出現，花蓮地區的顯著降水發生於22日17時以後，臺東地區的顯著降水，則發生於22日20時以後。

(4)高層500毫巴於22日8時以後，小渦流胞向東海岸聚集，形成波槽（500毫巴、700毫巴）於臺灣西方鄰近地區（22日8時至23日20時）；850毫巴至地面的低壓中心，位於臺灣山脈的東部；由地面至高空，渦度場由東向西傾斜，有利於地面低壓的垂直發展。又高層500毫巴面上的小渦流胞，向東聚集效應，以及700毫巴面上，位於臺灣西方鄰近的波槽，逐漸加深至23日8時或稍後，為導致臺灣東部地區持續而大量降水的重要物理機制。

(5)在顯著降水終止時（23日20時或稍後），850毫巴面上，山脈背風面的低壓波移至臺灣南方海面，地面低壓中心微向南、向東移去（圖十三），高層（500毫巴、700毫巴）在臺灣及其鄰近地區，皆為波脊所取代。



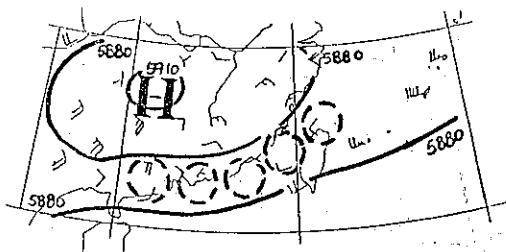
圖十三：1984年5月23日20時地面天氣圖

Fig 13. Surface Chart at 1200z 23th, May, 1984.

### 三、1984年6月6日蘭嶼地區劇烈降水的天氣分析

#### 1. 劇烈降水前24小時內的天氣概況

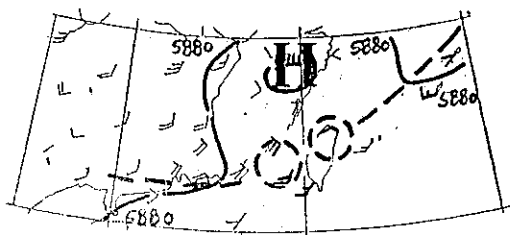
劇烈降水發生於6日8時至11時，雨量達106公厘；在此之前，500毫巴面沿中國南方海岸在6日8時有相同於5月21日20時至23日8時的天氣現象，即小渦流胞沿海岸線排列（如圖十四）。小渦流胞的位置在東經 $110^{\circ}$ 至 $123^{\circ}$ ，北緯 $23^{\circ}$ 區域。海岸線北側為大陸高壓，南側為副熱帶高壓。在6月5日8時到降水發生的6月6日8時期間，中國南方海岸線北側的主波脊東移，向大陸外海（即東海）伸展（圖十四、圖十五）。小渦流胞向東聚集增大，在6日8時達至最大；在此一段時間裏，700毫巴（圖十六）及500毫巴（圖十七）在中國南方及臺灣附近地區為西南風或偏南風，且地面的太平洋高壓發展（圖十八、圖十九、圖二十）。



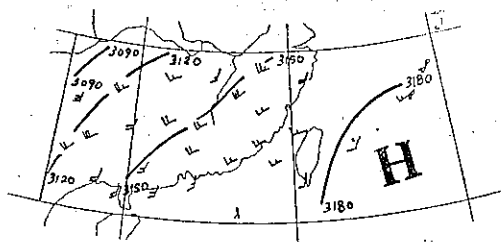
圖十四：1984年6月5日8時500毫巴天氣圖

Fig 14. 500mb Chart at 0000z 5th, June 1984.

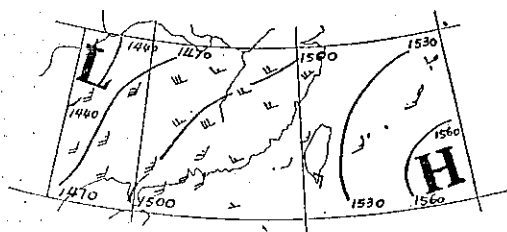




圖十五：1984年6月6日8時500毫巴天氣圖  
Fig 15. 500mb Chart at 0000z 6th, June 1984.



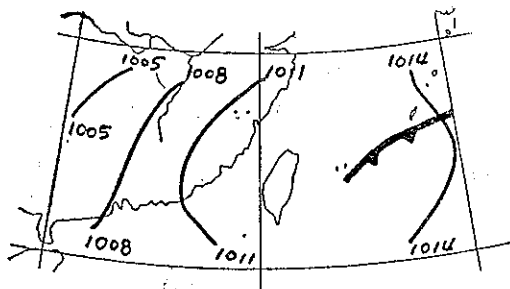
圖十六：1984年6月6日8時700毫巴天氣圖  
Fig 16. 700mb Chart at 0000z 6th, June 1984.



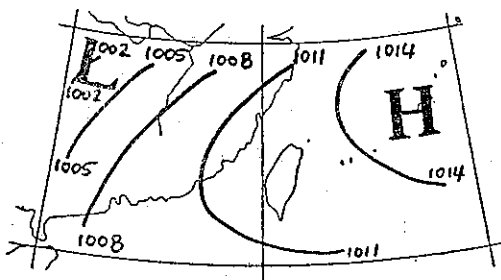
圖十七：1984年6月6日8時850毫巴天氣圖  
Fig 17. 850mb Chart at 0000z 6th, June 1984.

## 2. 急劇降水發生以後的天氣現象

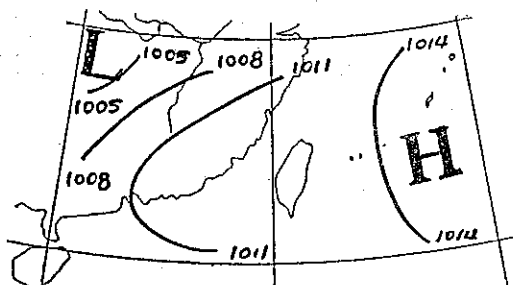
急劇降水發生於小區域的蘭嶼，其位置約在伸展中的地面太平洋高壓的西南端以及500 毫巴小渦流胞向東聚集之處（圖十五、圖十九、圖二十）。



圖十八：1984年6月5日8時地面天氣圖  
Fig 18. Surface Chart at 0000z 5th, June 1984.



圖十九：1974年6月5日20時地面天氣圖  
Fig 19. Surface Chart at 1200z, 5th, June, 1984.



圖二十：1980年6月6日8時地面天氣圖  
Fig 20. Surface Chart at 0000z 6th, June, 1984.

## 3. 綜合分析

豪雨發生前後，在臺灣及其鄰近地區，西南氣流或偏南氣流活躍於850 毫巴至 700 毫巴大氣層裏（圖十六、圖十七）。由春季步入夏季，陽光照射北移，此種熱力直接效應，為導致偏南氣流活躍的原因。高層500 毫巴面上，在5日8時，沿著中國南方海岸有小渦流胞排列（圖十四）伸展至臺灣，其北側為大陸變性高壓，南方為副熱帶海洋性高壓。北側波脊隨時間東移至東海（圖十四、圖十五），小渦流胞向臺灣聚集，於6月8時，則集中於臺灣地區。同時，蘭嶼發生劇烈降水；地面天氣圖上，可見及太平洋高壓，因高層850毫巴及700毫巴西南氣流旺盛的導引，而逐漸向西、向南伸展（圖十八、圖十九、圖二十）。

降水區域則位於伸展中的太平洋高壓的西南端，與高層小渦流胞（500 毫巴）聚集之處；降水後，高層500 毫巴小渦流胞沿著臺灣海峽排列，與西南氣流走向一致，地面太平洋高壓則東退。

## 四、討 論

### 1. 降水分佈

由表一的天氣觀測資料顯示，5月22日至23日，臺灣東部地區的降水起自22日8時的宜蘭、蘇澳，顯著降水約在22日11時以後，此一地區的降水終止於23日8時至11時。花蓮、臺東地區在22日11時至14時，有陣風出現，顯著降水則在22日17時至20時以後，終止於23日20時或稍後。6月6日蘭嶼的劇烈降水現象，則發生於早上8時至11時，降水量達106公厘。兩個天氣現象中，前者具有持續及大量降水的特性，後者則以劇烈及短時間降水為其特性。

2. 5月22日至23日，臺灣東部，宜蘭、蘇澳、花蓮、臺東地區持續大量降水的機制。

(1)副熱帶海洋性高壓及變性大陸高壓兩相異性質氣團界面，為構成擾動的重要因素。此一擾動界面為一海陸界面，因熱力直接效應活躍而向上發展於高層的500毫巴面上。5月21日20時有小渦流胞沿中國南方海岸線排列，延伸至臺灣，為上述擾動波的類型。

(2)小渦流胞北側主波脊東移以及向北伸展的副熱帶高壓，導致渦流胞向東移行聚集且略微增大。700毫巴面在中國南方海岸區域，21日20時為一波脊所涵蓋，22日8時起，形成擾波狀態，在東經 $110^{\circ}$ 到 $115^{\circ}$ 為一波脊， $115^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 為一波槽，且隨高層500毫巴大陸波脊東移以及小渦流胞向東海岸聚集現象。700毫巴面上，上述波槽逐漸加深於臺灣西側近鄰地區。

(3)低層850毫巴至地面，有鋒面持續滯留通過臺灣山脈，因山脈地形效應的作用（劉；1985），

造成地面至850毫巴，在臺灣山脈的背風面低壓活躍，其位置在 $122^{\circ}\text{E}\sim 124^{\circ}\text{E}$ ， $22^{\circ}\text{N}\sim 25.5^{\circ}\text{N}$ ，具有固定波的特性。

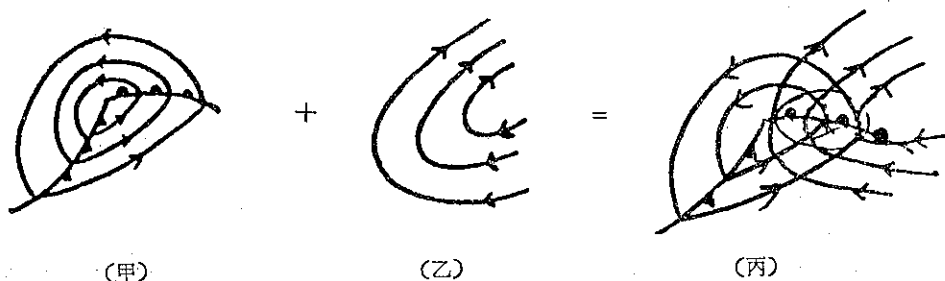
(4)高層500毫巴小渦流胞的向東聚集，加深或增強臺灣鄰近的波槽，而由地面至高層，波槽由東向西傾斜，有利於地面低壓的垂直發展，又伴隨500毫巴小渦流胞向東聚集效應，增強此一低壓擾波的強度，導致持續而大量的降水。

(5)上述的降水現象，因500毫巴面上的主波脊，向東逼近臺灣地區，以及臺灣地區西方附近波槽，向南加深作用，導致850毫巴至地面，在山脈背風面的低壓逐漸南移增強，顯著降水亦由宜蘭、蘇澳向南移至花蓮、臺東地區。

### 3. 6月6日蘭嶼劇烈降水的機制

(1)蘭嶼發生劇烈降水前24小時，500毫巴面上小渦流胞，亦沿著中國南方海岸排列，其北側的波脊，較5月22日、23日者為強，且亦向東移行聚集於臺灣地區。於6日8時，渦流胞達於最大，劇烈降水則發生於此一時刻以後。在5日8時至6日8時期間裏，700毫巴至850毫巴的西南氣流皆強，導致地面太平洋高壓向西、向南伸展，降水現象發生於此一伸展中的地面高壓的西南端。

(2)上述的降水現象，具有急劇而區域小的特性。降水發生前24小時裏，500毫巴面上小渦流胞向東海岸聚集的效應，以及地面因西南氣流導引，造成太平洋高壓向西南伸展；前者所生成的地面鋒面擾波與後者因高壓伸展所構成的組合，唯在暖鋒近鄰與伸展中的太平洋高壓的西南端部份，具有加深合成作用，因此劇烈降水現象發生於此一小區域。上述現象示於圖二十一。



圖二十一：(甲)鋒面波，(乙)伸展中的太平洋高壓，(丙)甲與乙的組合，細線部份表兩者組合具合成效應部份

Fig 21. (A) the frontal wave. (B) the extending of the high pressure to the southwest in the Pacific Ocean. (C) the combination of (A) and (B), where the thin line area was the convergence of (A) and (B)

圖二十一中的甲圖，則表示因高層500毫巴小渦流胞在臺灣地區聚集生成波槽，其相對應於地面的天氣現象。而乙圖的高壓則表示因高層（850毫巴、700毫巴）西南氣流旺盛，導引太平洋高壓西伸、南伸。兩者合成則為丙圖。可見在地面太平洋高壓西南端及氣旋波的暖鋒近鄰處，具有合成或助長發展的效應外，其餘皆相抵觸。

(3)地面太平洋高壓，因降水消散而消退，而高層500毫巴的擾波界面，則位於中國東南海岸，沿著臺灣海峽、與西南氣流平行。

#### 4. 兩個降水現象中，天氣條件之異同：

(1)兩個劇烈降水現象共同的特徵為500毫巴面上，沿著中國南方海岸線排列的小渦流胞，延伸至臺灣，而隨時間向東聚集。渦流胞的特性為其大小約在 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ （°表經度及緯度）左右。由圖一、圖二、圖十四、圖十五可知風場及波槽為構成小渦流胞的主要特性。此種現象可見活躍的副熱帶高壓與大陸高壓，因氣團性質差異而生成擾波於海陸界面。且隨海岸北側大陸波脊東移，渦流胞亦東移聚集，而最後會聚於臺灣近鄰，形成波槽。

#### (2)兩劇烈降水現象的大氣條件差異：

①高層大氣：500毫巴面上在5月22日至23日，小渦流胞向東聚集效應的主要動力因素，為沿著東經 $110^{\circ} \sim 120^{\circ}$ ，向北伸展的副熱帶高壓，造成小渦流胞在東經 $116^{\circ}$ 以西地區呈西北走向，而逐漸聚集於東海岸附近形成波槽。6月5日至6月6日500毫巴面上的小渦流胞向東聚集的主要動力因素，則來自700毫巴與850毫巴旺盛西南氣流的導引，導致渦流胞向東海岸聚集，最後呈西南走向排列。

②低層大氣：5月22日至23日，850毫巴至地面層大氣，因鋒面持續通過臺灣山脈，在山脈地形效應作用下，產生背風面地面低壓，具固定擾波特性的。伴隨高層500毫巴及700毫巴的波槽加深作用，為構成此一降水的機制。6月6日蘭嶼降水，則因850毫巴及700毫巴層大氣中，西南氣流旺盛，導引地面太平洋高壓向西、向南伸展，劇烈降水則發生於伸展中的地面高壓西南端，與500毫巴面上小渦流胞向東海岸聚集所會合之處。

### 五、結 論

#### 1. 活躍的臺灣山脈地形效應，所產生的背風面

地面低壓，以及500毫巴面沿中國南方海岸排列的小渦流胞，向東聚集，於臺灣鄰近地區生成波槽，此兩者的組合作用為構成1984年5月22日至23日臺灣東部地區持續下大雨的機制。

(1) 850毫巴至地面大氣層的鋒面，持續通過臺灣山脈，因山脈地形效應，導致背風面低壓形成一固定擾波；高層500毫巴沿中國南方海岸排列的小渦流胞，因副熱帶高壓向北伸展，而向東聚集，500毫巴及700毫巴面於臺灣鄰近地區生成波槽，加深或增強山脈背風面近地面層低壓波的發展。

(2) 500毫巴面上小渦流胞北側主波脊東移，以及在臺灣西方鄰近的波槽向南加深，逼近臺灣，造成低層（850毫巴至地面）低壓中心向南移行，降水現象亦向南發展。

(3)降水發生在天氣圖上小渦流胞出現於500毫巴後的12小時，顯著降水則在15~18小時以後。

2.旺盛的西南氣流導引地面太平洋高壓向西、向南伸展，此一活躍的直接熱力效應，以及500毫巴面上沿中國南方海岸排列的小渦流胞，向東聚集於臺灣鄰近地區生成波槽。此兩種擾波中，前者所造成的發展中地面高壓西南端，與後者所造成的地面氣旋波暖鋒鄰近，因有合成效應，得以增強發展外，其餘皆為地面高壓所抵制，因此降水劇烈降水於狹小區域，此為構成6月6日蘭嶼豪雨的機制。降水時間則發生於小渦流胞出現在500毫巴面上後約24小時。

3.兩個豪雨現象發生前的24小時或稍後，在500毫巴面上，沿中國南方海岸界面皆有小渦流胞排列，且小渦流胞逐漸向東移行，聚集於東方海岸或臺灣，生成波槽，為構成大量降水的顯著因素之一；另一條件為臺灣山脈地形效應所產生的背風面地面低壓波，此一現象的理論及天氣圖上的現象已有研究成果（劉；1985）。而6月6日蘭嶼豪雨則與西南氣流所導引的地面太平洋高壓向西南伸展有關，因此，對於預報此一劇烈降水發生的時間及位置，太平洋高壓發展現象的研究是很重要的。

### 六、參考文獻

1. 劉明禮；1983：西藏山區對亞洲冬季平均緯流之效應，中央氣象局七十三年度研究發展專題研究報告第092號。
2. 劉明禮；1985：西藏山區與臺灣山脈對平均緯流地形作用的參數化，中央氣象局氣象學報第三十一卷

- 第一期, pp.16-24.
3. Bolin, B., 1951: On the Influence of the earth's orography on the General Character of the Westerlies. *Tellus*, 2, pp. 184~195.
  4. Queney, P., 1948: The problem of air flow over mountains: A summary of theoretical studies. *Bull. of Amer. Met. Soc.* Vol.29 pp. 16~26.
  5. Smagorinsky, J., 1953: The dynamical influence of large scale heat sources and sinks on the quasi-stationary mean motions of the atmosphere. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 79, pp. 342-366.

## A Study of the Severe Rainfalls over the East Taiwan and the Southeast Taiwan

*Ming-Lee Liu*

Junior Meteorologist of National Forecasting Center, C.W.B.

### ABSTRACT

The two severe rainfalls over the east Taiwan on May 22-23 and over Lanyie on June 6, 1984 had been studied, and had come to the following conclusion:

It was assumed that the severe rainfalls over the east Taiwan on May 22-23 came from two effects; One was the topographic forcing of the Taiwan mountain on the stationary front in the 850mb layer, which had been staying and passing through the Taiwan mountain (Liu, 1985). The other effect came from the aggregation of the vortex cells, which had aligned along the coast of the southern China, and had become a trough around the Taiwan area. The severe rainfalls happened after the vortex cells had appeared on the 500mb surface for 15-18 hours.

It was assumed that the severe rainfalls over Lanyie on June 6 came from two effects too; One was the extension of the surface pacific high pressure to the southwest due to the strong southwest current in the 850mb and 700mb layer. The other effect came from the aggregation of the vortex cells which had aligned along the coast of the southern China and had shifted to the east to become a trough over the Taiwan area. The severe rainfalls happened after the vortex cells had appeared on the 500mb surface for 24 hours.

# 民國七十三年颱風調查報告\*

## — 侵臺颱風 (8402號) 魏恩

廖 志 翔<sup>1</sup>

### 一、前 言

自 (73) 年 5 月 14 日第一道梅雨鋒面南下影響臺灣後，臺灣地區正式進入梅雨期，至 6 月 12 日出梅為止約一個月。此期間梅雨帶給臺灣地區豐沛的雨量，尤其以 6 月 3 日清晨 2—5 時間北部地區的豪雨，造成臺北地區近來罕見的水災。本年的第一個颱風費南 (VERNON) 也是在梅雨期間的 6 月 9 日形成於南海，雖然它是向西移動，最後登陸越南減弱後消失，並未威脅臺灣，但已意謂着梅雨季將結束了。果然到 6 月中旬梅雨鋒面北抬至長江，臺灣地區正式出梅，太平洋高氣壓開始伸展與擴大勢力，颱風季節的來臨已近在眉梢了。

6 月 19 日 20 時在呂宋島東北方海域上形成一輕度颱風，命名魏恩 (WYNNE)，為本年內在太平洋發生的第二個颱風，同時也是本年度第一個侵襲臺灣的颱風，由於魏恩所挾帶的風雨並不大且中心未登陸，對臺灣地區造成的損害輕微，但是魏恩具有若干特徵與現象，值得作深入的探討。

1. 發生於  $20^{\circ}\text{N}$  以上較高緯度，其前身原是一低氣壓，然後漸發展成熱帶性擾動 (T. D.)，由於渦流的不斷加深而增強為熱帶性氣旋—輕度颱風魏恩。

2. 生命期共 6 日，但在整個生命期中，雖然強度略有增強，但一直維持輕度颱風的強度。

3. 整個移動的路徑很穩定，幾乎皆以偏西的方向進行，但其移動速度變化起伏大，極難掌握，尤其當魏恩接近臺灣東方近海時，路徑突然稍偏南且加速通過恒春附近，減輕了對臺灣東部及南部地區的災害。

本文將針對魏恩颱風的特性，發展經過，強度與路徑作一分析，以及校驗各種颱風路徑預報方法，以便於日後有類似路徑之颱風可作研究與預報參考。

### 二、魏恩颱風之發生及經過

原在呂宋島東北方海面上的熱帶性低氣壓於 6 月 19 日 20 時增強為輕度颱風 (圖一)，經命名為魏恩 (WYNNE)，編號 8402 號，至 20 日 2 時其中心位置在北緯  $21.3^{\circ}$ ，東經  $131.5^{\circ}$ ，中心氣壓為 996 毫巴，以 7 KTS 的速度向西北西進行，暴風半徑 80 公里，21 日 8 時其中心移至北緯  $22.4^{\circ}$ ，東經  $128.3^{\circ}$ ，即在臺北東南東方約 740 公里之海面上，中心附近最大風速已增強為 50 KTS，暴風半徑也擴大為 120 公里，進行方向略有偏西的趨勢，並逐漸接近臺灣東方海面。

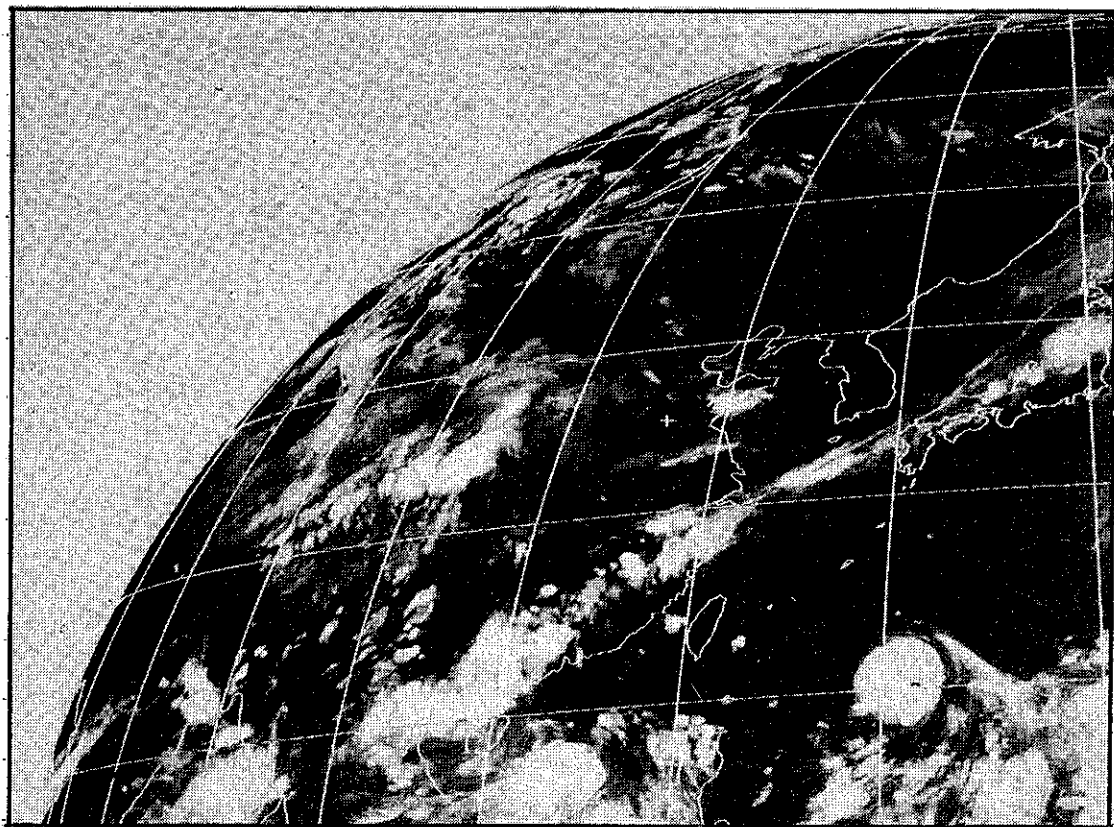
21 日 14 時魏恩移至北緯  $22.5^{\circ}$ ，東經  $128.0^{\circ}$ ，即在臺北東南東方約 720 公里之海面上，對臺灣東部海面及北部海面將構成威脅，因此中央氣象局於 21 日 14 時 45 分發布了魏恩颱風第一號第一報海上颱風警報，此後 24 小時內，魏恩一直穩定的以偏西的方向移動，但移動速度已漸減慢，中心附近最大風速也稍減為 45 KTS，但到 21 日 20 時後，魏恩強度再度增強至 50 KTS，暴風半徑也擴大至 150 公里，並逐漸接近臺灣東方海面。

22 日 20 時魏恩位置在北緯  $22.4^{\circ}$ ，東經  $126.0^{\circ}$ ，即在臺北東南東方約 540 公里之海面上，其移動路徑仍是偏西進行，對臺灣東部地區 (宜蘭、花蓮、臺東地區) 將構成威脅，因此中央氣象局於 22 日 20 時 40 分對臺灣東部地區發布陸上颱風警報。而後，魏恩的移動速度稍加快，繼續以偏西方向朝臺灣東部海面接近中，至 23 日 8 時魏恩移到距恒春東方約 340 公里之海面上，臺灣東南部近海浪高已增至二公尺以上而且魏恩亦已進入花蓮氣象雷達有效觀測範圍內，此時魏恩移動速度稍快，強度亦略有增強，但仍繼續以偏西方向進行。

23 日 20 時魏恩已移至北緯  $22.0^{\circ}$ ，東經  $122.6^{\circ}$ ，即在恒春東方約 200 公里之海面上，蘭嶼地區

\* 收稿日期：5 月 10 日 送審日期：5 月 13 日 收同日期：5 月 20 日

1. 中央氣象局預報測站技士



圖一 民國73年6月19日23時衛星雲圖

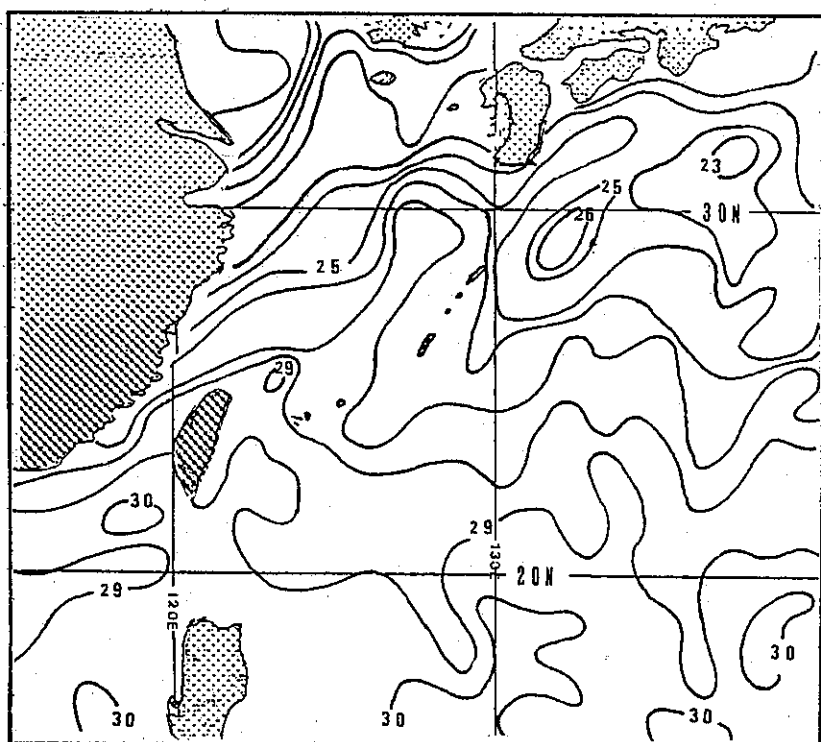
Fig 1. Satellite cloud picture at 19 1500 Z, June, 1984.

已進入其暴風圈內，蘭嶼站所測得最大風速已達每秒36.0公尺，東南部陸地也出現8—9級陣風，此時魏恩加速向西進行，於24日凌晨1時至2時間通過恒春附近，恒春最大陣風曾達10級（每秒28.0公尺），然後繼續以偏西方向往東沙島海面移動，逐漸遠離本省，對臺灣東部、南部地區及東部海面、北部海面之威脅已解除，因此中央氣象局於24日8時解除了陸上警報，而僅對東沙島海面、臺灣海峽南部、巴士海峽等海域發布海上颱風警報。至24日14時魏恩已到達東沙島東北方約90公里之海面上，對臺灣海峽南部及巴士海峽已不構成威脅，故於14時25分解除了海上颱風警報，但仍提醒航行於東沙島海面及廣東海面的船隻仍應嚴加戒備，並且提醒臺灣南部地區的民眾注意，由於魏恩颱風過後，可能引進較強的西南氣流，局部地區有中至大雷雨出現的可能。中央氣象局對魏恩整個警報發布過程，參見表(一)。表(二)為魏恩颱風中心最佳路徑資料表，而魏恩颱風眼飛機偵察資料定位表如表(三)。此外，本局氣象衛星資料接收站根據所接收的衛星圖片亦

作了中心定位，一併列表如表(四)，以供參考。

### 三、魏恩颱風強度與路徑之探討

6月中旬後半在呂宋島東北方海域北緯20度附近，首先出現一低壓環流區，由於渦流的不斷加深至18日20時發展成一熱帶性擾動，當時在這附近區域的海水溫度約 $29^{\circ}\text{C}$ 左右（圖二），此因素造成此擾動發展的有利條件，但是由於渦流本身上層有較強的風切，故其組織與增強的速率較慢，直到19日20時，才增強為輕度颱風，命名為魏恩，中心附近最大風速35 KTS，此強度繼續維持12小時，根據飛機的偵察報告發現，最強的對流是在魏恩颱風中心的西南方，這表示此系統有垂直傾斜的現象，這種現象後來漸消失，因此在20日8時後其威力才顯着增強，到20日14時較多且較強的對流已出現在颱風中心附近區域，而且由飛機的周邊資料（圖三）知，眼牆附近的風力最強，強風區集中於眼中心東北方的第一象限上，因此魏恩在此期間組織起來且強度迅速的增強，到21日2時最大風速達50 KTS



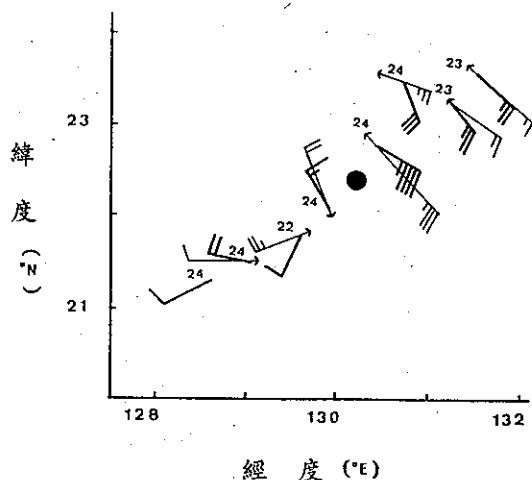
圖二 民國 73 年 6 月 11 日至 20 日 10 天平均海水溫度圖

Fig 2. Mean sea surface temperature chart of ten days during the period of June 11. to June 20, 1984.

，而後由於魏恩的最強對流帶又稍偏離到地面中心的南邊，且其中心東西兩邊溫度對比太大(圖四)，其強度再稍減弱至 45 KTS，此強度持續了 12 小時後再稍增強至 50 KTS，此後強度就不再有變化，一直到 23 日 8 時也就是魏恩通過臺灣南端恒春附近前 12 小時，強度增強至其生命期中最強的 55 KTS，由飛機周邊偵察報告(圖五，六)，也可見此時魏恩結構最好，眼牆附近風速最強，在通過恒春後，威力又再度減低，其強度變化情形如(圖七)。魏恩颱風飛機觀測 700 毫巴上的高度變化如(圖八)。

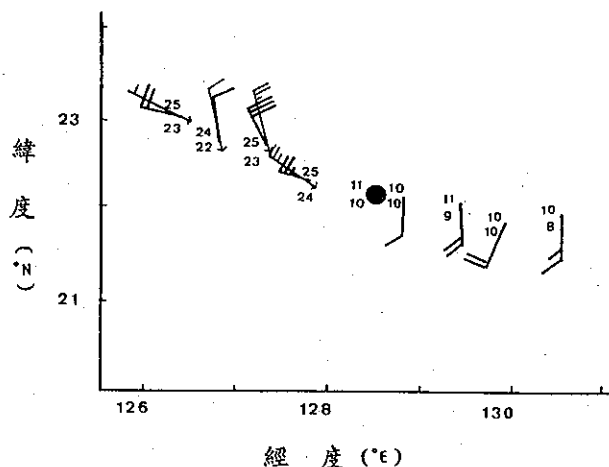
魏恩颱風移速變化情形，如(圖九)，從圖中可見，魏恩在通過恒春時 6 小時內迅速加速，在這之前魏恩的移動速度很慢，並且有兩段期間減速進行，一是在 20 日 2 時至 20 日 14 時，另一是在 21 日 8 時至 22 日 2 時間。在這兩段減速移動的時間裏，其進行的方向也有所改變，由原先西北西方向轉為偏西移動。在 19 日 20 時至 20 日 8 時恰有一冷鋒由日本向西南延伸至東海北部海面，此冷鋒剛好位在魏恩北面，而此時在 500 毫巴天氣圖上副熱帶高壓分裂

成二中心，主中心在北緯 27°N，東經 158°E，另一中心在北緯 28°N，東經 124°E，魏恩此時恰位在此兩分裂高壓脊的中間，這種形態有利於魏恩偏北移動，但是由 700 毫巴中層系統來看，一向西伸展至 110°E，脊軸 29°N 的副熱帶高壓橫在魏恩北面，此高壓勢力不但強盛而且範圍寬廣，導致魏恩移動的路徑並沒往北偏而是向西北西方向移動，由此可知魏恩颱風的發展高度不高，主要的控制勢力在 700 毫巴駛流層上。到 20 日 20 時日本附近的冷鋒勢力減弱且高空槽線也淺化漸向東移(圖十，十一)，因此北面天氣系統的牽制作用已減小，魏恩順着 700 毫巴副熱帶高壓脊南緣繼續前進，速度也稍快，而路徑已開始有偏西的跡象，但是到了 21 日 8 時後，由於東風駛流很弱，魏恩速度又開始減慢，以 5 KTS 的速度緩慢向西移動，加上在 21 日 20 時魏恩位在北緯 22.5°N，東經 127.6°E，此時地面天氣圖上(圖十二)，可見在其西北方有一小高壓，東方是太平洋高壓西緣，而其北方有一弱鋒面，此時恰有一短波槽要通過魏恩的北方(圖十三)，迫使魏恩再減速到 3 KTS，魏恩似將有轉向西北西的可能



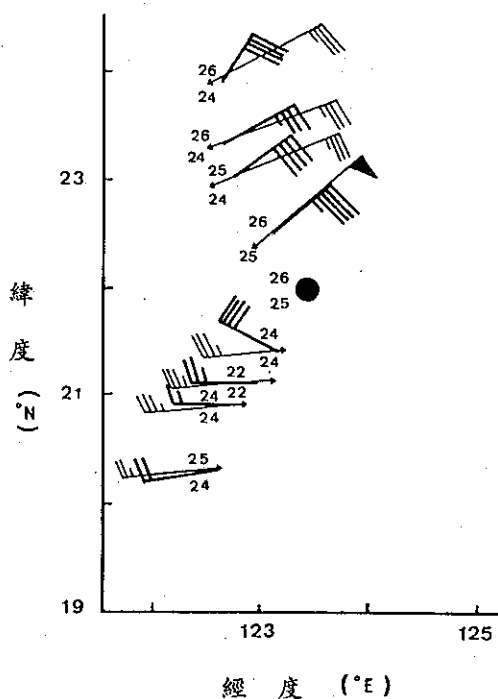
圖三 6月20日0819Z 飛機偵察魏恩颶風 (WYNNE) 周邊資料圖 (細線表示地面風場粗線表示700mb風場)

Fig 3. The WYNNE's peripheral data by aircraft at 200819Z, June.



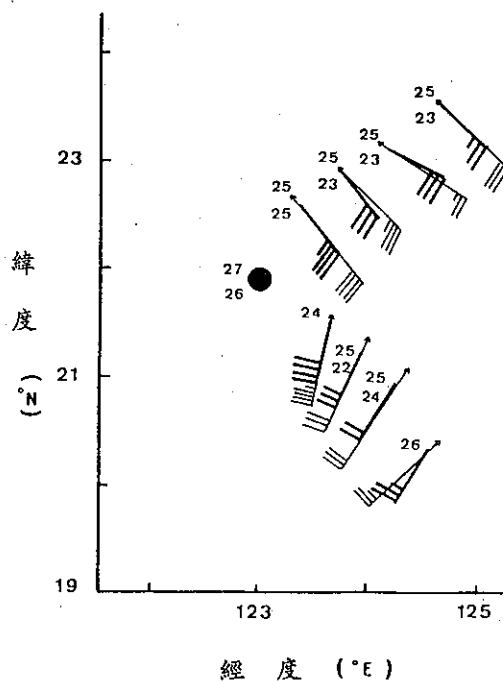
圖四 6月20日2033Z飛機偵察魏恩颶風 (WYNNE) 周邊資料圖

Fig 4. The WYNNE's peripheral data by aircraft at 202033Z, June.



圖五 6月23日0543Z飛機偵察魏恩颶風周邊資料圖

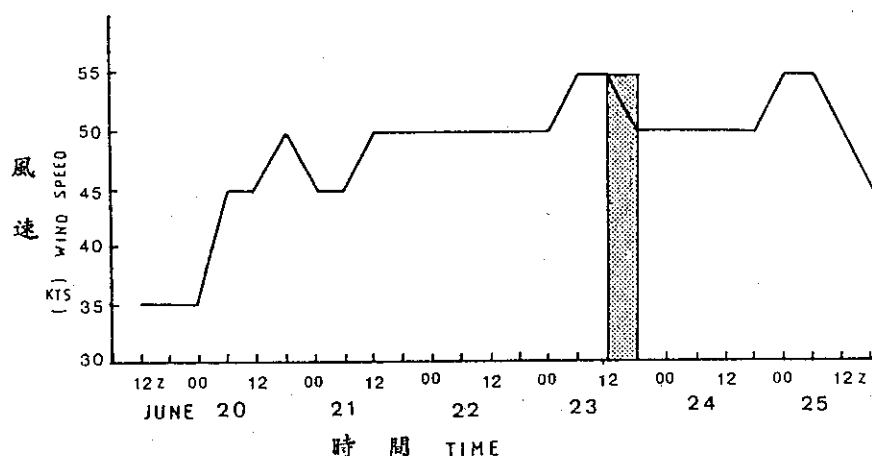
Fig 5. The WYNNE's peripheral data by aircraft at 230543Z, June.



圖六 6月23日0824Z飛機偵察魏恩颶風周邊資料圖

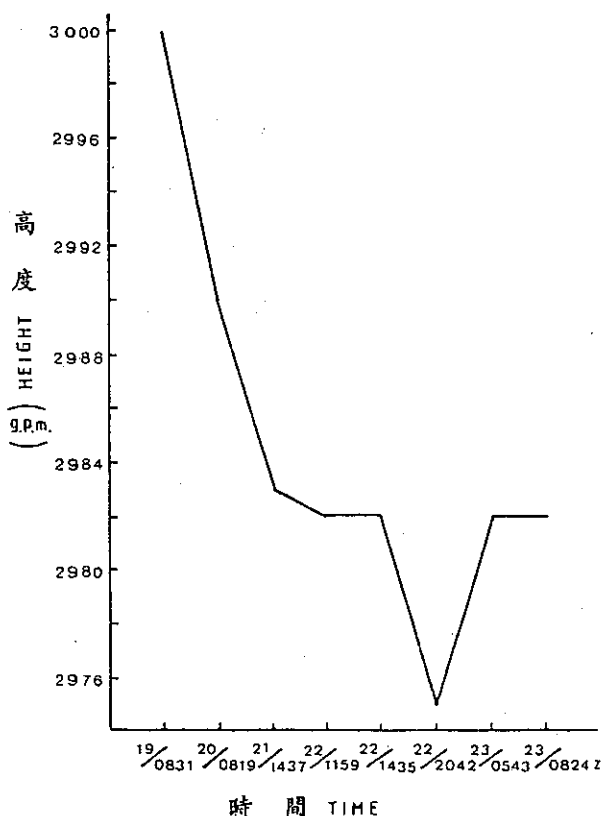
Fig 6. The WYNNE's peripheral data by aircraft at 230824Z, June.





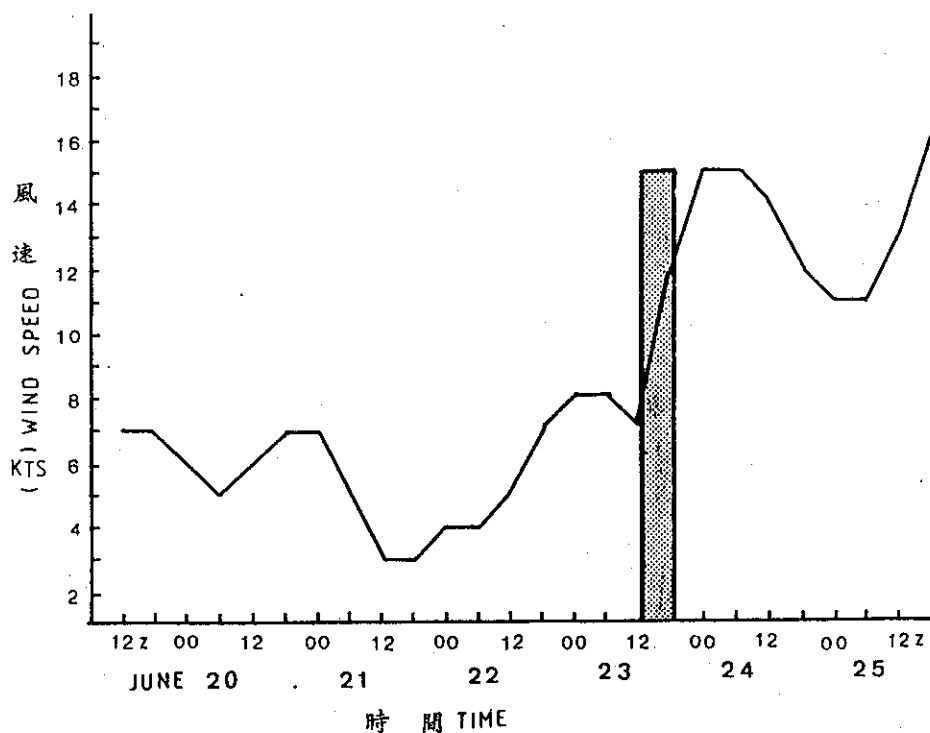
圖七 魏恩颱風強度變化圖 (陰影部份係指侵臺時間)

Fig 7. The time series of variation of intensity for typhoon WYNNE.



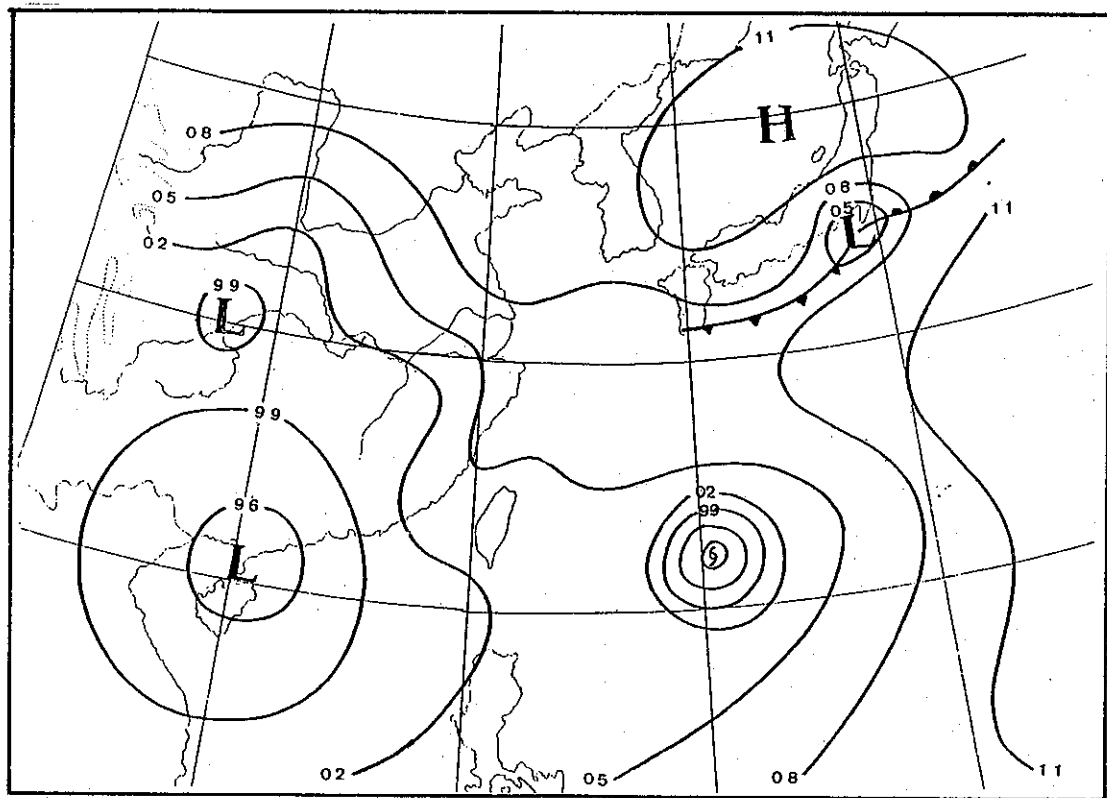
圖八 魏恩颱風 700 毫巴高度剖面圖  
Fig 8. 700 mb height profile for typhoon WYNNE.

但是由於 700 毫巴副高脊軸仍橫在其北方，勢力並沒減弱，故魏恩仍向西進行，此後 24 小時內魏恩仍以緩慢速度向西移動，直到 22 日 20 時 700 毫巴天氣圖有所變化（圖十四），原先橫在魏恩北面的脊場由於北面一短波槽南下至韓國附近加深，使得副熱帶高壓斷裂成二，主中心在  $30^{\circ}\text{N}$ ,  $162^{\circ}\text{E}$  附近，另一中心則在  $29.5^{\circ}\text{N}$ ,  $116^{\circ}\text{E}$ ，此時魏恩位置在北緯  $22.4^{\circ}\text{N}$ ，東經  $126.0^{\circ}\text{E}$ ，天氣圖形勢有利於魏恩由偏西方向轉成西北西進行之跡象，但魏恩並沒有向西北西移動，仍向西進行，速率也加快，且其路徑也稍偏南，造成此現象可從幾個因素探討之。當魏恩移至琉球南方海面時在其西北方剛好有一小高壓（圖十二），此高壓向東移出對魏恩的移動路徑發生作用，抑制了魏恩向北分量，另一方面在 22 日 20 時後在日本東方海面的冷鋒已向東北東方向移去漸遠離魏恩，而在山東半島附近的高壓迅速向東移出到韓國，勢力增強且擴大（圖十五），此時魏恩附近地面的較大降壓區並不在其北面而是在魏恩的前方，在東沙島附近並有一小地面低壓存在（圖十六）。而後由於魏恩北面的高壓勢力強大且持續盤據，使得魏恩繼續偏西移動且加速進行，在 24 日凌晨 1 時至 2 時間通過恒春附近後向東沙島方向移去。再者，由此段時間的海水溫度變化，也可尋出一些跡象。（圖二）及（圖十七）為 6 月 11 日至 20 日及 21 日至 30 日兩張 10 日平均海面溫度，由這兩張水溫圖可知，在  $22^{\circ}\text{N}$  以南的海水溫度皆在  $28-29$  度間，而原在琉球南方附近的冷洋流向西南擴展至宮



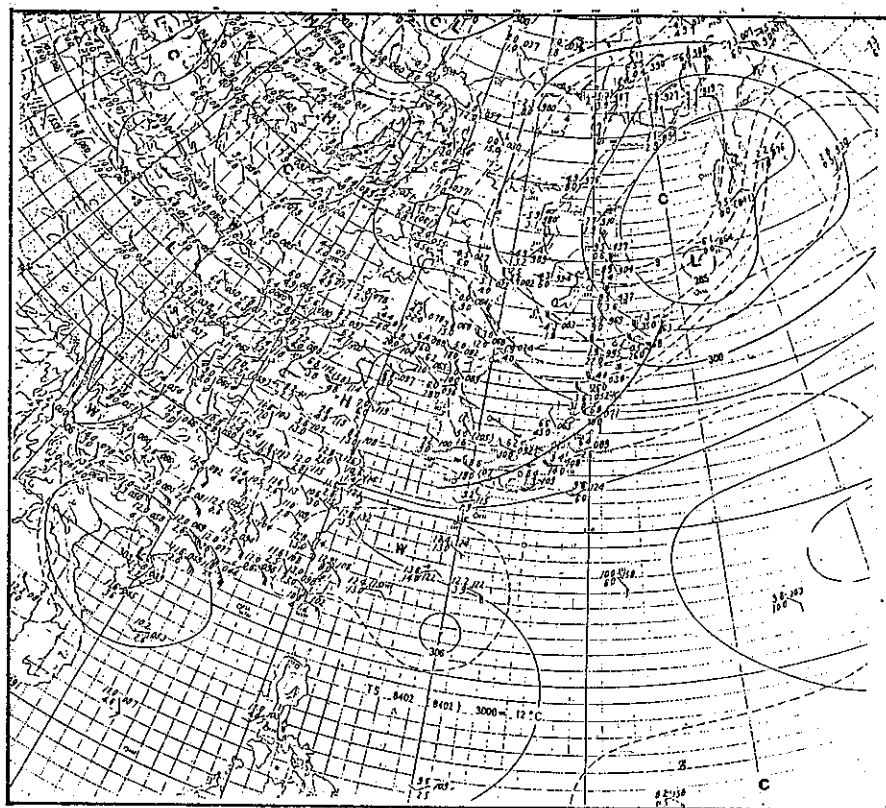
圖九 魏恩颱風移行速率變化圖 (陰影部份係指侵臺期間)

Fig 9. The time series of variation of movement speed for typhoon WYNNE.

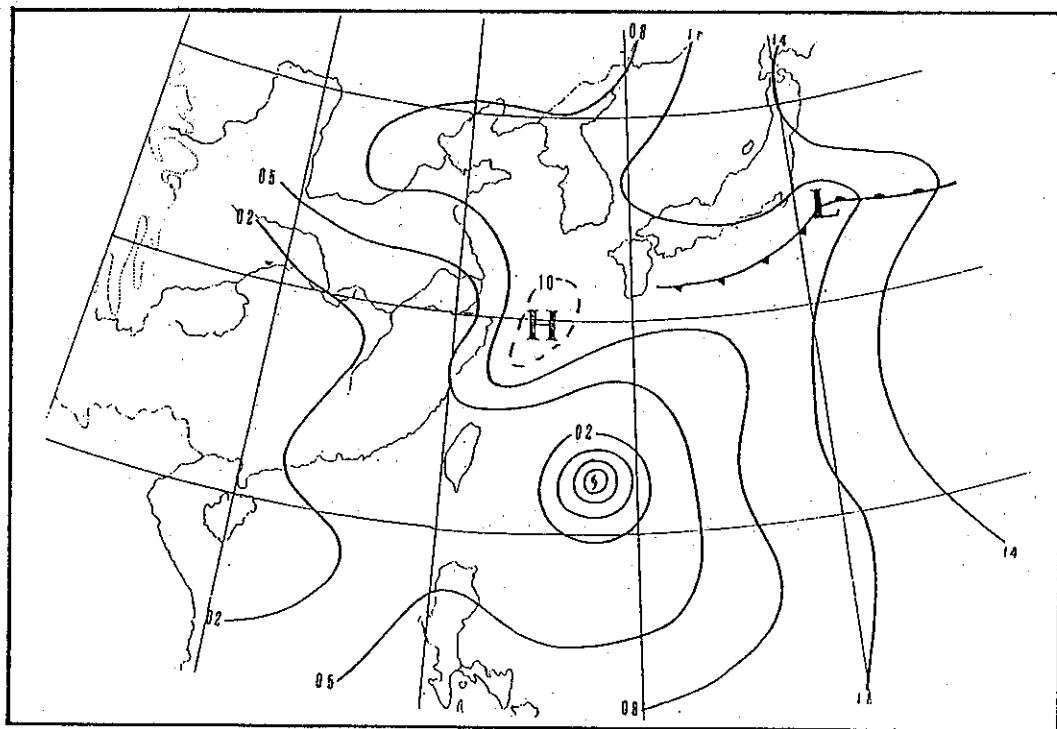


圖十 民國 73 年 6 月 20 日 20 時地面天氣圖

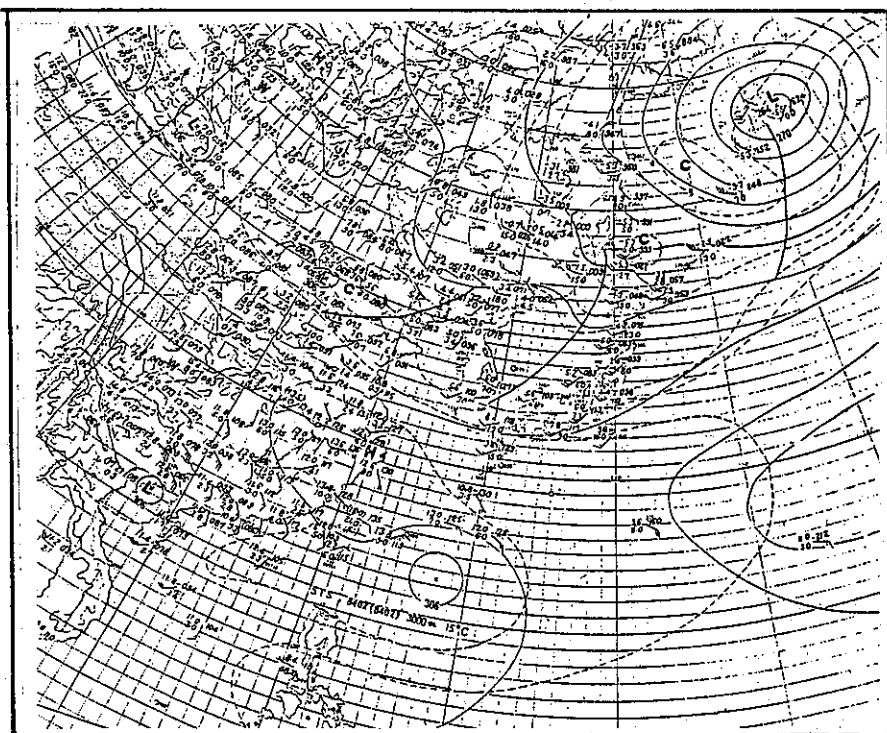
Fig 10. Surface synoptic chart at 201200Z, June, 1984.



圖十一 民國73年6月20日20時700毫巴高空圖  
Fig 11. 700 mb chart at 201200Z, June, 1984.

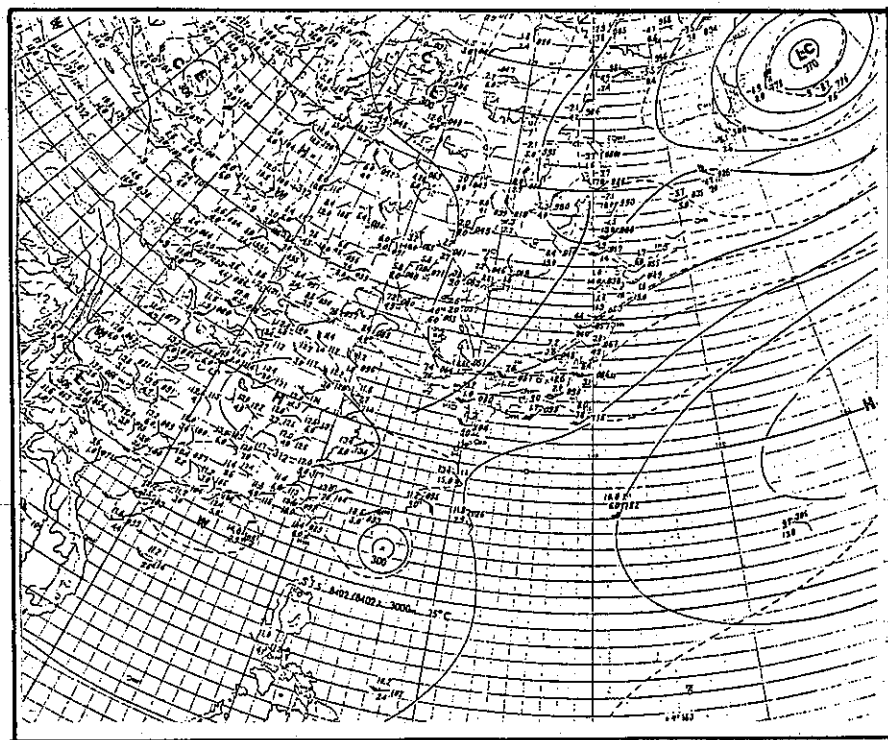


圖十二 民國73年6月21日20時地面天氣圖  
Fig 12. Surface synoptic chart at 211200Z, June, 1984.



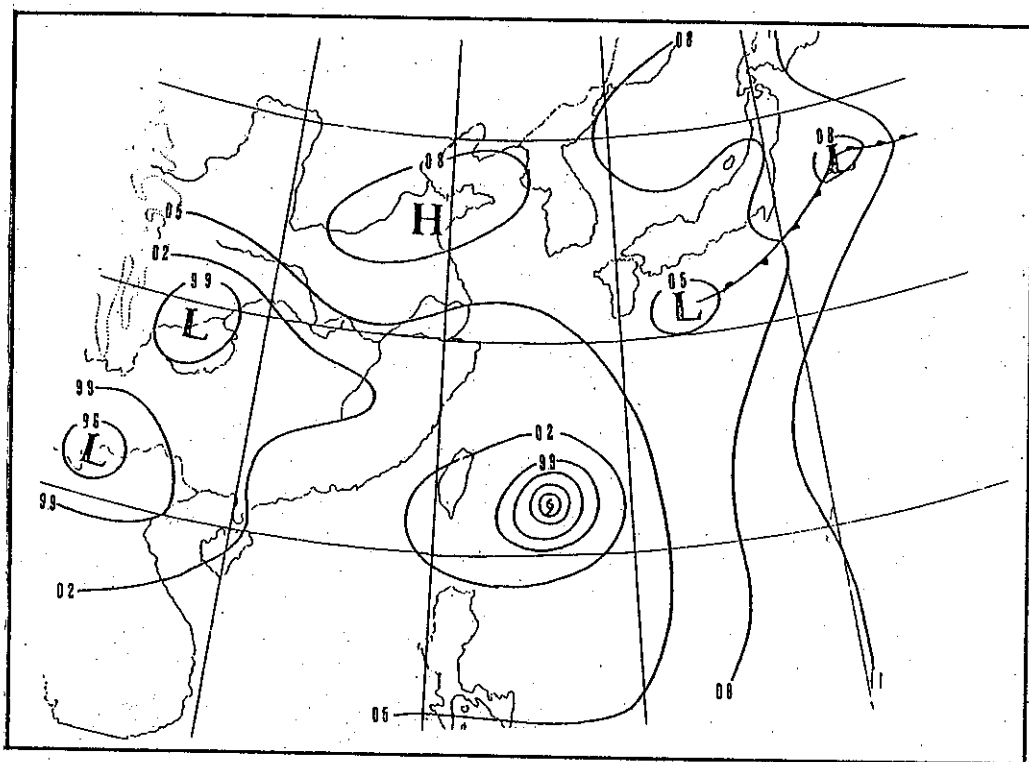
圖十三 民國 73 年 6 月 21 日 20 時 700 毫巴高空圖

Fig 13. 700 mb chart at 211200Z, June, 1984.



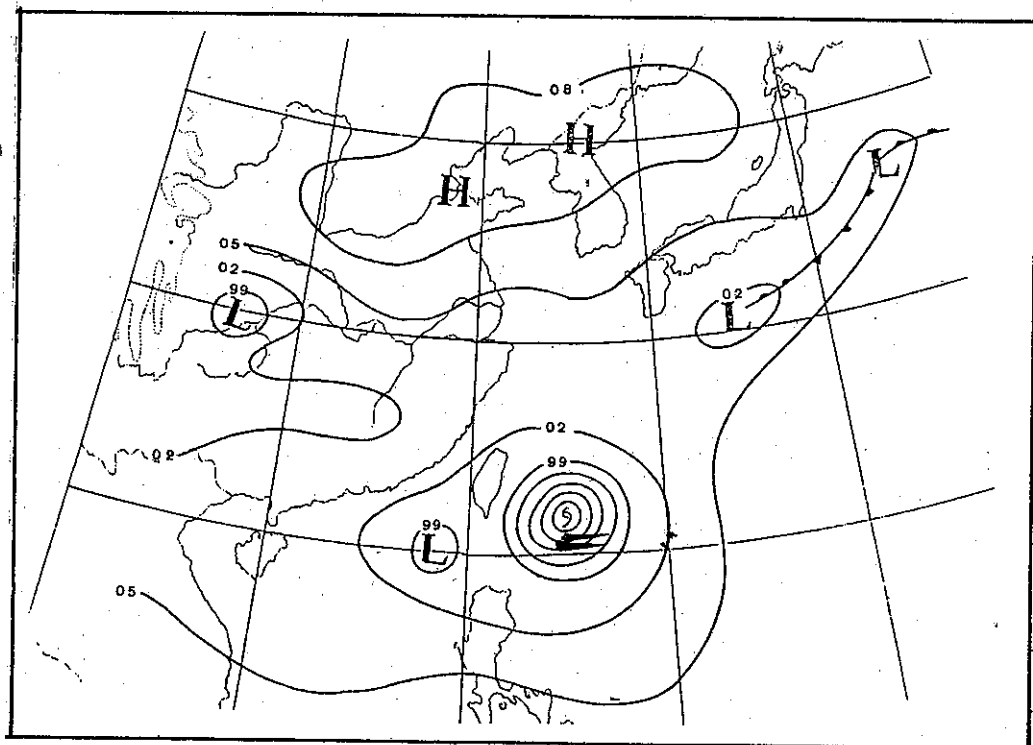
圖十四 民國 73 年 6 月 22 日 20 時 700 毫巴高空圖

Fig 14. 700 mb chart at 221200Z, June, 1984.



圖十五 民國73年6月22日20時地面天氣圖

Fig 15. Surface synoptic chart at 221200Z, June, 1984.



圖十六 民國73年6月23日2時地面天氣圖

Fig 16. Surface synoptic chart at 221800Z, June, 1984.

古島與石垣島附近，而此較冷洋流向南侵入的位置，恰在魏恩行徑的北方，因此冷洋流的侵入抑制了魏恩向北移動而迫使魏恩偏西且稍偏南的方向進行，此後當魏恩繼續接近臺灣東方時，臺灣東南方及巴士海峽附近的海水溫度皆在  $29^{\circ}\text{C}$  左右，故魏恩向着這些較暖海面的區域移動。上述因素也許是造成魏恩路徑偏西進行的原因。

由氣壓與風的變化可以看出短期內颱風移動情況。由花蓮、臺東、恒春及高雄等測站之逐時氣壓追蹤圖（圖十八）可看出，當魏恩颱風接近臺灣東方海面時，花蓮、臺東、高雄氣壓緩緩下降，在23日16時花蓮最低氣壓是996.5毫巴，然後逐漸上升，但此時臺東、高雄及恒春氣壓仍在下降中，由這時的氣壓變化可知魏恩的行徑已沒有偏北的可能，而是向臺東、恒春間接近中，在23日17時至23時這段時間內，臺東、高雄及恒春的氣壓幾乎沒有太大的變化，此時也就是魏恩速度減慢的時候，但是到了23日22時，臺東氣壓急速上升，而恒春與高雄繼續下降，尤其恒春在23時後氣壓驟降，風向也由西北轉成偏北風，因此可斷定魏恩將在恒春附近通過，此時間也就是魏恩加速向西移動的時刻，因此由氣壓的變化趨勢，可推斷颱風的移行速度。果然在24日1時恒春氣壓下降至最低為983.6毫巴，吹東北風，而後氣壓急速上升，此表示通過時間。在魏恩通過恒春後，高雄的氣壓並未再下降而與恒春一樣在上升中，風向也由東北風轉成東南東風，因此魏恩將不會偏北而會繼續偏西向東沙島接近，對臺灣地區將不構成威脅。

魏恩通過恒春後，繼續加速向西朝東沙島海面接近，由於低層環流的再度組織，加上這一帶水溫很高，因此在通過東沙島海面後強度再增強至55 KTS，另外在魏恩北面的高壓脊勢力增強且稍往南，使得魏恩的路徑稍偏西南西，而後再繼續偏西移動，到25日20時才由西進路徑轉成西北西進行，在雷州半島北方登陸。

#### 四、魏恩颱風侵臺期間各地氣象情況

##### （一）氣 壓

本局各測站測得最低氣壓出現時刻除東部地區（花蓮、新港、臺東、大武、蘭嶼）在23日16時至22時之間外，其餘各測站均出現在24日1時至5時之間，這與颱風路徑有密切的關係。魏恩颱風向臺灣東部接近，於23日21時12分通過蘭嶼附近，蘭嶼

站測得最低氣壓981.9毫巴，而後在24日1時左右恒春出現最低氣壓980.8毫巴，此時也就是魏恩中心通過恒春附近的時刻。其他各地之最低氣壓及出現時刻可參閱表伍。

##### （二）風

魏恩颱風侵臺期間，各地出現風速情形，平均風速以蘭嶼最大有12級，其次為東吉島8級，恒春7級，新港7級，其他地區都在7級以下，北部地區4至5級，中部僅3級，南部地區5至6級，各地風速的分布情形見（圖十九）。瞬間最大陣風亦以蘭嶼16級最大，其次為恒春10級，大武10級，臺東9級，新港9級，東吉島9級，而北部地區也有7到8級陣風，這主要是魏恩颱風接近臺灣時，臺北地區因受地形影響，偏東風較強的結果。中部僅5級，南部5至8級，以高雄地區8級最強。整個而言，除了蘭嶼及恒春因颱風中心在其附近通過，帶給東南部較強風力外，其他地區風力並不很強，所以受風力之損害輕微。各地出現最大風速情形見表伍。

##### （三）降 水 量

魏恩颱風侵臺期間，各地雨量分布情況如（圖二十），大致可分為

（1）東南部地區雨量集中區域

（2）北部、東北部及中南部地區雨量稀少區

造成此種分布之主要原因，乃與颱風強度、路徑、水汽含量及涵蓋面積有關。雨量主要集中於暴風圈範圍內的東南部地區，以臺東163.6公厘最多，其他地區的雨量皆很少，北部及東北部地區皆在10公厘以下，尤其中、南部地區幾乎沒有下雨。由此可見魏恩侵臺期間所走的這條路徑，除了給東南部地區帶來較多的雨量外，其他地區所獲致的雨量幾乎很少。但是如果考慮魏恩侵臺期間及其過後所引致西南氣流的降水，則雨量的分布情形又有些差別。圖二十一就是23日零時至25日24時各地的總雨量分布情形，除了原先東南部地區的雨量大於中南部山區亦出現了較大的降水帶，以日月潭的167公厘為最多，其次阿里山97.8公厘，此外臺中、嘉義、高雄也獲得較多的雨量，臺中63.1公厘，嘉義78公厘，高雄54.5公厘。因此，魏恩颱風侵臺期間本身環流影響範圍內，除了帶給臺東地區較多雨量外，並沒給臺灣地區帶來豐沛的雨量，但是當

表一、魏恩颱風警報發布經過表

Table 1. Warning procedures issued by CWB for typhoon WYNNE

| 種類 | 次序 |      | 發布時間 |    |    | 警戒地區                        |                            | 備註        |
|----|----|------|------|----|----|-----------------------------|----------------------------|-----------|
|    | 號  | 報    | 日    | 時  | 分  | 海上                          | 陸上                         |           |
| 海上 | 1  | 1    | 21   | 14 | 45 | 東部海面、北部海面                   | —                          | 第一次發布海上警報 |
|    | 1  | 2    | 21   | 20 | 40 | 東部海面、北部海面                   | —                          |           |
|    | 1  | 3    | 22   | 3  | 20 | 東部海面、北部海面、巴士海峽              | —                          |           |
|    | 1  | 4    | 22   | 8  | 40 | 東部海面、北部海面、巴士海峽              | —                          |           |
|    | 1  | 5    | 22   | 14 | 50 | 東部海面、北部海面、巴士海峽              | —                          |           |
| 陸上 | 1  | 6    | 22   | 20 | 40 | 東部海面、北部海面、巴士海峽              | 東部（宜蘭、花蓮、臺東）地區             | 第一次發布陸上警報 |
|    | 1  | 7    | 23   | 3  | 20 | 東部海面、北部海面、巴士海峽              | 東部（宜蘭、花蓮、臺東）地區             |           |
|    | 1  | 8    | 23   | 8  | 50 | 東部海面、北部海面、巴士海峽、臺灣海峽南部       | 東部（宜蘭、花蓮、臺東）地區及南部（臺南及以南）地區 |           |
|    | 1  | 9    | 23   | 15 | 10 | 東部海面、北部海面、巴士海峽、臺灣海峽南部       | 東部（宜蘭、花蓮、臺東）地區及南部（臺南及以南）地區 |           |
|    | 1  | 9-1  | 23   | 17 | 10 | 東部海面、北部海面、巴士海峽、臺灣海峽南部       | 東部（宜蘭、花蓮、臺東）地區及南部（臺南及以南）地區 | 加發        |
|    | 1  | 10   | 23   | 20 | 35 | 東部海面、北部海面、巴士海峽、臺灣海峽南部       | 東部（宜蘭、花蓮、臺東）地區及南部（臺南及以南）地區 |           |
|    | 1  | 11   | 24   | 3  | 40 | 臺灣海峽南部、東部海面、北部海面、巴士海峽、東沙島海面 | 東部（宜蘭、花蓮、臺東）地區及南部（臺南及以南）地區 |           |
|    | 1  | 11-1 | 24   | 5  | 10 | 臺灣海峽南部、東部海面、北部海面、巴士海峽、東沙島海面 | 東部（宜蘭、花蓮、臺東）地區及南部（臺南及以南）地區 | 加發        |
| 海上 | 1  | 12   | 24   | 8  | 50 | 東沙島海面、臺灣海峽南部、巴士海峽           | —                          | 解除陸上警報    |
|    | 1  | 13   | 24   | 14 | 25 | 臺灣海峽南部、巴士海峽                 | —                          | 解除海上警報    |

二、魏恩颱風最佳路徑資料表

Table 2. The best tracks positions of typhoon WYNNE

| 時間<br>日時 | 中心位置 |       | 中心<br>氣壓<br>(mb) | 最大<br>風速<br>(KTS) | 進行<br>方向 | 時速<br>(KTS) | 間時<br>日時 | 中心位置 |       | 中心<br>氣壓<br>(mb) | 最大<br>風速<br>(KTS) | 進行<br>方向 | 時速<br>(KTS) |
|----------|------|-------|------------------|-------------------|----------|-------------|----------|------|-------|------------------|-------------------|----------|-------------|
|          | 北緯   | 東經    |                  |                   |          |             |          | 北緯   | 東經    |                  |                   |          |             |
| 20 02    | 21.3 | 131.5 | 996              | 35                | 280      | 7           | 23 08    | 22.1 | 124.1 | 985              | 50                | 270      | 8           |
| 20 08    | 22.0 | 130.8 | 992              | 35                | 300      | 6           | 23 14    | 22.0 | 123.2 | 982              | 55                | 270      | 8           |
| 20 14    | 22.1 | 130.5 | 990              | 45                | 295      | 5           | 23 20    | 22.0 | 122.6 | 982              | 55                | 270      | 7           |
| 20 20    | 22.2 | 130.2 | 990              | 45                | 295      | 6           | 24 02    | 21.9 | 120.5 | 985              | 50                | 270      | 12          |
| 21 02    | 22.3 | 129.0 | 985              | 50                | 275      | 7           | 24 08    | 21.6 | 118.9 | 985              | 50                | 265      | 15          |
| 21 08    | 22.4 | 128.3 | 990              | 45                | 275      | 7           | 24 14    | 21.3 | 117.4 | 985              | 50                | 265      | 15          |
| 21 14    | 22.5 | 128.0 | 990              | 45                | 270      | 5           | 24 20    | 21.1 | 116.0 | 985              | 50                | 265      | 14          |
| 21 20    | 22.5 | 127.6 | 985              | 50                | 270      | 3           | 25 02    | 21.2 | 114.8 | 985              | 50                | 270      | 12          |
| 22 02    | 22.5 | 127.1 | 985              | 50                | 270      | 3           | 25 08    | 21.1 | 113.5 | 982              | 55                | 270      | 11          |
| 22 08    | 22.5 | 126.6 | 985              | 50                | 270      | 4           | 25 14    | 21.3 | 112.3 | 982              | 50                | 270      | 11          |
| 22 14    | 22.5 | 126.3 | 985              | 50                | 270      | 4           | 25 20    | 21.6 | 110.6 | 985              | 50                | 275      | 13          |
| 22 20    | 22.4 | 126.0 | 985              | 50                | 270      | 5           | 26 02    | 21.9 | 108.9 | 988              | 45                | 285      | 16          |
| 23 02    | 22.3 | 125.0 | 985              | 50                | 270      | 7           |          |      |       |                  |                   |          |             |

魏恩離開臺灣後所引致的西南氣流却給中南部地區，尤其山區，帶來較充沛的雨量。

## 五、最佳路徑及各種颱風路徑預報方法之校驗

圖二十二為魏恩颱風之最佳路徑圖，其中心位置，移動方向及強度等資料可參見表(二)。

本局目前已採用之颱風路徑客觀預報方法有 HURRAN、CLIPER、ARAKAWA 及 CWB-80 等，應用於本次颱風再加上中央氣象局 (CWB) 及關島美軍 (PGTW) 的預報位置與最佳路徑中心位置互相比較，以方位誤差 (vector error)、正角誤差 (right angle error) 及角度偏差 (angle deviation) 分別校驗，其結果如表(內)、表(外)及表(八)。中央氣象局在魏恩期間僅有 24 小時預報，ARAKAWA 有 12 小時與 24 小時預報，CLIPER 有 24 小時與 48 小時預報而無 12 小時預報，其他 HURRAN、CWB-80 及 PGTW 皆有 12 小時，24 小時及 48 小時預報均分別予以校驗之。

表(內)是方位誤差校驗結果顯示：(1)12 小時預報的平均誤差值，以 HURRAN 的 79.1 公里最佳，其次是 CWB-80 的 89.5 公里，繼則為 PGTW 的 106.1 公里，而以 ARAKAWA 的 111.1 公里較差。(2)24 小時預報平均誤差值，仍以 HURRAN 的 151.4 公里居首，CLIPER 的 195.3 公里居次，CWB 的 200.9 公里再次之，再下來是 ARAKAWA 的 218.2 公里和 PGTW 的 237.4 公里，而 CWB-80 的 256.8 公里殿後。(3)48 小時預報的平均誤差值，仍以 HURRAN 的 386.6 公里最佳，其次為 PGTW 的 562.6 公里，CLIPER 的 563.2 公里居第三，CWB-80 的 664.9 公里殿後。

由這三種結果比較，均以 HURRAN 方法為最佳，CWB-80 的 24 小時與 48 小時的預報較差。

表(外)是正角誤差之校驗，其結果顯示：(1)12 小時預報的平均誤差值，以 HURRAN 的 22.5 公里最佳，CWB-80 的 22.7 公里居第二，繼則依次為 PGTW 的 27.3 公里，ARAKAWA 的 53.8 公里較差。(2)24 小時預報的平均誤差值，仍以 HURRAN 的 45.7 公里居首，CWB-80 的 50.1 公里居次，其次依序為 CLIPER 的 53.0 公里，PGTW 的 54.5 公里，CWB 的 60.8 公里，而以 ARAKAWA 的 140.4 公里最差。(3)48 小時預報的平均誤差值，則以 CWB80 的 101.9 公里最佳，PGTW 的 168.4 公

里居次，CLIPER 的 222.7 公里第三，HURRAN 的 249.6 公里反而居後。

由這三種正角誤差檢驗結果比較，12 小時與 24 小時預測仍以 HURRAN 最佳，而 CWB-80 在正角誤差上則有較佳的結果。

至於角度偏差校驗的比較見表(八)，結果顯示：

(1)12 小時預報的平均誤差值，以 HURRAN 的 -3.5 (左偏) 最佳，其次為 CWB-80 的 +4.1 (右偏)，再依次為 PGTW 的 +7.4 (右偏)，而以 ARAKAWA 的 +21.3 (右偏) 最差，而且 ARAKAWA 在 9 次的預報中皆是向右偏。(2)24 小時預報平均誤差值，仍以 HURRAN 的 -0.2 (左偏) 居首，CWB 的 +3.7 (右偏) 居次，其次依序為 CLIPER +7.8 (右偏)，CWB-80 的 +10.7 (右偏)，PGTW 的 +10.8 (右偏)，ARAKAWA 的 +21.5 (右偏) 最差。(3)48 小時預報的平均誤差值，以 PGTW 的 +15.2 (右偏) 較佳，依次為 HURRAN 的 +17.8 (右偏)，ARAKAWA 的 +21.3 (右偏)，CLIPER 的 +23.1 (右偏) 最差。

由以上角度偏差校驗結果顯示，12 小時與 24 小時預報仍以 HURRAN 最佳，而且是向左偏，其他各種方法平均而言都是向右偏。

整體而言，12 小時與 24 小時預報，無論方位誤差、正角誤差或角度偏差，都以 HURRAN 最好。

表三、魏恩颱風眼飛機偵察資料定位表  
Table 3. Eye-Fixes for Typhoon WYNNE by aircraft

| 月 | 日  | 時<br>(Z) | 分  | 北 緯   | 東 經    | 海平面氣壓(mb) |
|---|----|----------|----|-------|--------|-----------|
| 6 | 18 | 23       | 37 | 20.47 | 133.38 | 998       |
|   | 19 | 05       | 42 | 21.15 | 132.53 | 1001      |
|   | 19 | 08       | 31 | 21.37 | 132.42 | 1000      |
|   | 19 | 23       | 25 | 22.10 | 131.13 | 992       |
|   | 20 | 05       | 33 | 22.14 | 130.34 | 989       |
|   | 20 | 08       | 19 | 22.22 | 130.14 | 990       |
|   | 20 | 20       | 33 | 22.11 | 128.28 | —         |
|   | 20 | 23       | 28 | 22.39 | 128.31 | 992       |
|   | 21 | 05       | 30 | 22.33 | 128.09 | 990       |
|   | 21 | 08       | 12 | 22.21 | 128.03 | 989       |
|   | 21 | 14       | 37 | 22.20 | 127.27 | 986       |
|   | 21 | 23       | 22 | 22.15 | 126.55 | 986       |
|   | 22 | 11       | 59 | 22.10 | 125.45 | —         |
|   | 22 | 14       | 35 | 22.18 | 125.22 | 988       |
|   | 22 | 20       | 42 | 22.07 | 124.36 | —         |
|   | 22 | 23       | 33 | 22.16 | 124.14 | 985       |
|   | 23 | 05       | 43 | 22.00 | 123.23 | 982       |
|   | 23 | 08       | 24 | 21.56 | 123.01 | 982       |



表四、魏恩颶風衛星資料定位表 (中央氣象局氣象衛星接收站)

Table 4. Eye-Fixes for Typhoon WYNNE by Satellite

| 時 間 (Z) |    |    |    | 北 緯  | 東 經   | 時 間 (Z) |    |    |    | 北 緯  | 東 經   |
|---------|----|----|----|------|-------|---------|----|----|----|------|-------|
| 月       | 日  | 時  | 分  |      |       | 月       | 日  | 時  | 分  |      |       |
| 6       | 21 | 00 | 00 | 22.4 | 128.2 | 6       | 23 | 00 | 00 | 22.0 | 124.1 |
|         |    | 03 | 00 | 22.5 | 128.1 |         |    | 03 | 00 | 22.1 | 123.9 |
|         |    | 06 | 48 | 22.4 | 127.9 |         |    | 12 | 00 | 21.3 | 122.1 |
|         |    | 12 | 00 | 22.3 | 127.7 |         |    | 15 | 00 | 21.5 | 121.7 |
|         | 22 | 15 | 00 | 22.3 | 127.6 |         | 24 | 00 | 00 | 21.5 | 118.1 |
|         |    | 00 | 00 | 22.5 | 126.7 |         |    | 03 | 00 | 21.5 | 117.7 |
|         |    | 02 | 00 | 22.5 | 126.5 |         |    | 12 | 00 | 20.8 | 116.0 |
|         |    | 03 | 00 | 22.5 | 126.4 |         |    | 15 | 00 | 20.7 | 115.5 |
|         |    | 04 | 00 | 22.4 | 126.4 |         | 25 | 00 | 00 | 21.0 | 113.5 |
|         |    | 05 | 00 | 22.4 | 126.3 |         |    | 03 | 00 | 21.1 | 112.5 |
|         |    | 12 | 00 | 22.4 | 125.7 |         |    | 12 | 00 | 21.6 | 110.6 |
|         |    | 15 | 00 | 22.0 | 125.5 |         |    | 15 | 00 | 21.7 | 109.8 |
|         |    | 16 | 00 | 22.0 | 125.4 |         | 26 | 00 | 00 | 21.8 | 106.4 |

表六、各種客觀颶風路徑預報法及 CWB, PGTW 預報之方位誤差比較

Table 6. 12, 24, 48 hours forecast vector error summary for typhoon WYNNE

| 預報法<br>誤 差<br>(公里) | HURRAN     |       |       | CLIPER |       | ARAKAWA |       | CWB-80 |       |        | CWB   | PGTW  |       |       |
|--------------------|------------|-------|-------|--------|-------|---------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                    | 12<br>(小時) | 24    | 48    | 24     | 48    | 12      | 24    | 12     | 24    | 48     | 24    | 12    | 24    | 48    |
| 預報時間(Z)            |            |       |       |        |       |         |       |        |       |        |       |       |       |       |
| 2200               | 62.0       | 74.6  | 275.2 | 112.0  | 527.1 | 97.0    | 146.2 | 44.9   | 149.7 | 644.6  | 90.3  | 14.9  | 126.6 | 467.5 |
| 2206               | 46.3       | 52.5  | 358.1 | 167.4  | 647.9 | 66.8    | 186.2 | 92.4   | 254.1 | 912.3  | 142.3 | 72.1  | —     | 601.4 |
| 2212               | 104.2      | 71.3  | 410.8 | 147.8  | 683.9 | 97.0    | 161.9 | 146.3  | 272.7 | 1008.7 | 134.5 | 97.4  | 185.2 | 708.6 |
| 2218               | 30.0       | 48.5  | 297.3 | 175.8  | 542.4 | 98.3    | 231.5 | 24.2   | 166.4 | 533.0  | 165.2 | 69.5  | 214.1 | 549.8 |
| 2300               | 34.5       | 97.7  | 449.9 | 208.6  | 505.6 | 38.7    | 255.2 | 30.0   | 217.1 | 519.2  | 221.3 | 24.2  | 208.6 | 444.3 |
| 2306               | 62.3       | 149.8 | —     | 273.9  | 549.4 | 114.3   | 318.1 | 102.7  | 296.4 | 587.8  | 286.0 | 114.3 | 291.7 | 499.2 |
| 2312               | 259.1      | 478.3 | 740.7 | 387.4  | 731.4 | 231.6   | 383.1 | 259.1  | 478.5 | 898.6  | 401.2 | 231.2 | 398.2 | 602.5 |
| 2318               | 90.1       | 352.5 | 174.1 | 209.3  | 317.7 | 151.0   | 119.8 | 75.5   | 373.8 | 215.3  | 166.5 | 224.8 | —     | 627.5 |
| 2400               | 23.2       | 37.6  | —     | 75.1   | —     | 105.2   | 162.2 | 30.8   | 102.4 | —      | —     | —     | —     | —     |
| 平 均 誤 差            | 79.1       | 151.4 | 386.6 | 195.3  | 563.2 | 111.1   | 218.2 | 89.5   | 256.8 | 664.9  | 200.9 | 106.1 | 237.4 | 562.6 |

表七、各種客觀颶風路徑預報法及 CWB, PGTW 預報之正角誤差比較

Table 7. 12, 24, 48 hours forecast right angle error summary for typhoon WYNNE

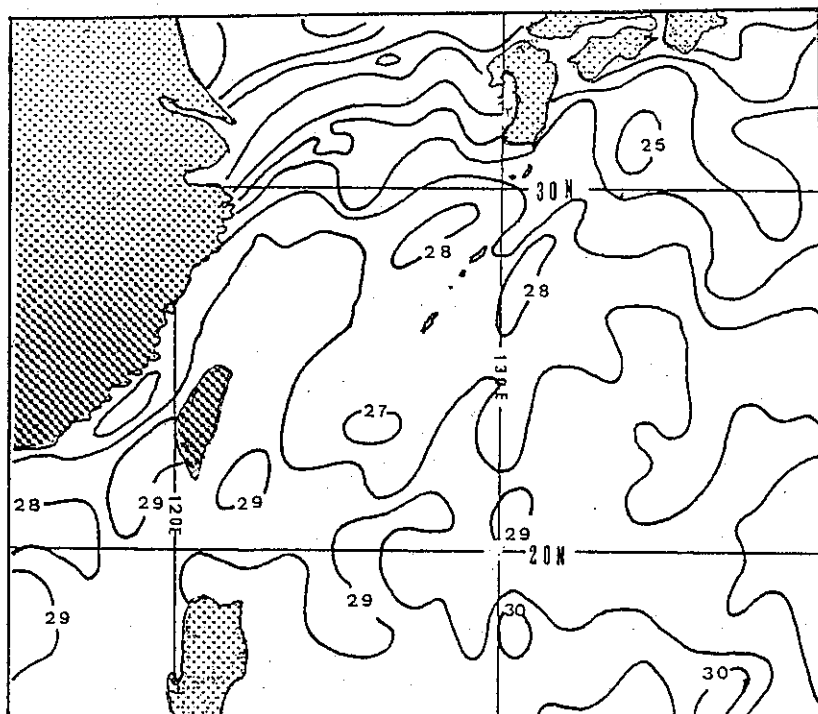
| 預報法<br>誤 差<br>(公里) | HURRAN     |       |       | CLIPER |       | ARAKAWA |       | CWB-80 |      |       | CWB  | PGTW  |       |       |
|--------------------|------------|-------|-------|--------|-------|---------|-------|--------|------|-------|------|-------|-------|-------|
|                    | 12<br>(小時) | 24    | 48    | 24     | 48    | 12      | 24    | 12     | 24   | 48    | 24   | 12    | 24    | 48    |
| 預報時間(Z)            |            |       |       |        |       |         |       |        |      |       |      |       |       |       |
| 2200               | 17.5       | 30.5  | 267.9 | 55.9   | 251.2 | 73.3    | 132.1 | 36.3   | 86.4 | 189.4 | 80.8 | 13.6  | 7.8   | 120.2 |
| 2206               | 17.5       | 28.0  | 263.4 | 63.0   | 253.0 | 64.6    | 167.4 | 35.2   | 83.1 | 169.9 | 70.1 | 3.8   | —     | 143.0 |
| 2212               | 0          | 0     | 226.7 | 57.3   | 234.4 | 47.5    | 66.8  | 5.3    | 30.9 | 58.1  | 82.7 | 10.9  | 48.9  | 88.0  |
| 2218               | 22.1       | 42.9  | 292.2 | 57.8   | 216.7 | 69.4    | 156.4 | 20.9   | 58.3 | 89.7  | 92.5 | 25.5  | 55.9  | 74.9  |
| 2300               | 33.8       | 14.4  | 256.2 | 43.6   | 217.4 | 33.1    | 118.8 | 20.8   | 8.4  | 40.9  | 21.3 | 24.2  | 43.6  | 172.1 |
| 2306               | 14.5       | 73.3  | —     | 44.6   | 230.5 | 17.1    | 118.0 | 17.3   | 17.7 | 62.4  | 19.3 | 17.1  | 64.3  | 205.0 |
| 2312               | 9.0        | 77.7  | 266.7 | 50.5   | 234.8 | 53.4    | 170.9 | 9.0    | 44.0 | 142.9 | 24.9 | 18.8  | 106.5 | 246.9 |
| 2318               | 74.9       | 117.2 | 174.2 | 94.9   | 143.7 | 60.2    | 183.5 | 52.9   | 62.7 | 61.9  | 95.0 | 104.1 | —     | 297.2 |
| 2400               | 13.6       | 27.1  | —     | 9.2    | —     | 65.4    | 149.3 | 6.2    | 59.8 | —     | —    | —     | —     | —     |
| 平 均 誤 差            | 22.5       | 45.7  | 249.6 | 53.0   | 222.7 | 53.8    | 140.4 | 22.7   | 50.1 | 101.9 | 60.8 | 27.3  | 54.5  | 168.4 |

表五、魏 恩 颶 風 氣 象 統 計 表

颱風魏恩 (WYNNE) 編號8402 民國73年 (1984年)

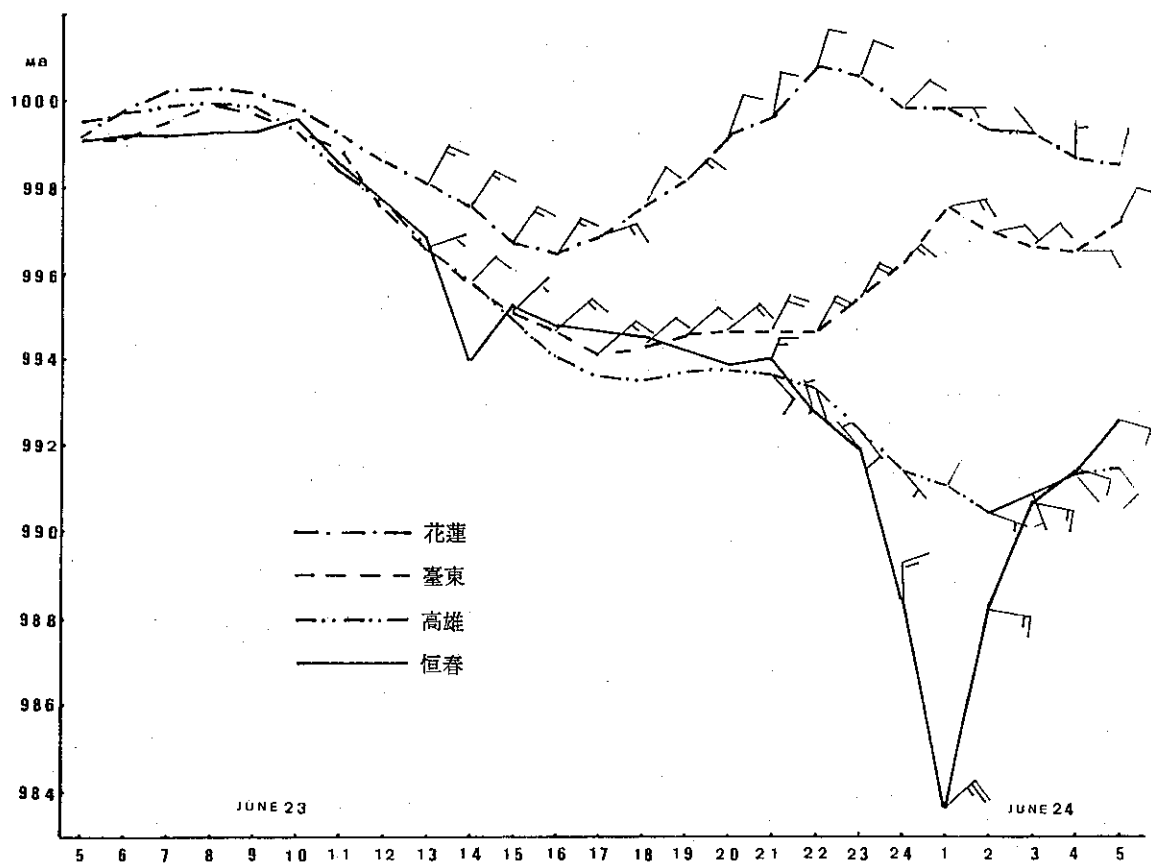
Table 5. The meteorological summary of CWB stations during Typhoon WYNNE'S Passage

| 測 站 | 最低氣壓 (mb) |            | 瞬 間 最 大 風 速 (m/s) |      |            |        |      |    | 最 大 風 速 (m/s) |      |            | 強 風 (10m/s) 以 上       | 最 大 降 水 量 (mm) |                       |          |                       |       |                       | 降 水 總 量 (mm) |  |
|-----|-----------|------------|-------------------|------|------------|--------|------|----|---------------|------|------------|-----------------------|----------------|-----------------------|----------|-----------------------|-------|-----------------------|--------------|--|
|     | 數值        | 日 時 分      | 風向                | 風速   | 日 時 分      | 氣壓     | 氣溫   | 濕度 | 風向            | 風速   | 日 時 分      |                       | 一小時<br>內       | 日 時 分至日 時 分           | 十分鐘<br>內 | 日 時 分至日 時 分           | 數量    | 日 時 分至日 時 分           |              |  |
| 彭佳嶼 | 998.0     | 24. 03. 00 | E                 | 18.3 | 23. 21. 45 | 1000.6 | 26.8 | 96 | ESE           | 12.1 | 24. 03. 00 | 23. 08. 26~24. 19. 32 | 0.3            | 23. 11. 24~23. 11. 31 | 0.3      | 23. 11. 24~23. 11. 31 | 0.3   | 23. 11. 24~23. 11. 31 |              |  |
| 基隆  | 996.2     | 24. 05. 00 | ESE               | 14.5 | 24. 01. 13 | 997.8  | 28.6 | 77 | NNE           | 8.6  | 23. 14. 33 | —                     | 3.2            | 23. 13. 55~23. 14. 55 | 1.2      | 23. 14. 05~23. 14. 15 | 6.4   | 23. 08. 45~23. 19. 55 |              |  |
| 鞍部  | 905.4     | 24. 04. 35 | S                 | 24.5 | 24. 02. 23 | 916.2  | 21.7 | 96 | S             | 17.2 | 24. 04. 12 | 23. 23. 00~           | 4.8            | 23. 19. 15~23. 20. 15 | 2.5      | 23. 20. 05~23. 20. 15 | 17.2  | 23. 08. 08~23. 20. 50 |              |  |
| 竹子湖 | 996.5     | 24. 04. 37 | NE                | 11.0 | 23. 23. 29 | 999.1  | 23.2 | 93 | E             | 5.0  | 23. 20. 10 | —                     | 6.0            | 23. 14. 00~23. 15. 00 | 2.7      | 23. 14. 33~23. 14. 43 | 19.2  | 23. 06. 10~23. 20. 33 |              |  |
| 臺北  | 995.8     | 24. 04. 05 | E                 | 17.0 | 24. 07. 40 | 996.4  | 31.2 | 65 | E             | 7.3  | 24. 08. 00 | —                     | 1.6            | 23. 17. 12~23. 18. 12 | 1.2      | 23. 17. 20~23. 17. 30 | 2.5   | 23. 09. 45~23. 20. 30 |              |  |
| 新竹  | 986.2     | 24. 01. 03 | NE                | 17.3 | 24. 00. 55 | 986.5  | 28.7 | 76 | NE            | 9.7  | 24. 01. 10 | —                     | 1.0            | 23. 13. 12~23. 14. 00 | 0.4      | 23. 13. 40~23. 13. 50 | 1.0   | 23. 13. 12~23. 14. 00 |              |  |
| 臺中  | 989.9     | 24. 04. 53 | N                 | 9.7  | 23. 16. 13 | 992.9  | 32.5 | 64 | N             | 4.5  | 23. 16. 20 | —                     | 0.1            | 23. 04. 46~23. 05. 46 | 0.1      | 23. 04. 46~23. 04. 56 | 0.1   | 23. 04. 46~23. 07. 05 |              |  |
| 梧棲  | 990.3     | 24. 01. 55 | NNE               | 25.0 | 23. 16. 39 | 992.3  | 31.3 | 70 | NNE           | 16.9 | 23. 13. 45 | 23. 09. 55~23. 20. 40 | —              | —                     | —        | —                     | —     | —                     |              |  |
| 日月潭 | 883.0     | 24. 01. 50 | ESE               | 18.0 | 24. 03. 38 | 884.4  | 27.2 | 46 | SE            | 8.3  | 24. 04. 00 | 24. 02. 40~24. 04. 30 | —              | —                     | —        | —                     | —     | —                     |              |  |
| 澎湖  | 989.9     | 24. 02. 50 | NNE               | 18.2 | 23. 22. 16 | 993.1  | 28.2 | 89 | NNE           | 12.0 | 23. 19. 10 | 23. 17. 30~23. 20. 00 | —              | —                     | —        | —                     | —     | —                     |              |  |
| 嘉義  | 990.1     | 24. 02. 00 | NNW               | 9.0  | 23. 15. 00 | 994.4  | 30.5 | 81 | NNW           | 6.0  | 23. 15. 40 | —                     | —              | —                     | —        | —                     | —     | —                     |              |  |
| 阿里山 | 5751.7    | 24. 02. 00 | ESE               | 21.6 | 24. 05. 28 | 5753.3 | 15.8 | 80 | NE            | 4.2  | 24. 05. 10 | —                     | 1.2            | 24. 00. 20~24. 01. 20 | 0.4      | 24. 00. 30~24. 00. 40 | 2.9   | 23. 20. 30~24. 04. 15 |              |  |
| 玉山  | 2983.4    | 24. 01. 20 | —                 | —    | —          | —      | —    | —  | ESE           | 26.2 | 24. 05. 40 | 23. 24. 00~24. 09. 00 | 3.0            | 24. 00. 10~24. 01. 10 | 0.9      | 24. 00. 30~24. 00. 40 | 20.1  | 23. 17. 30~24. 08. 30 |              |  |
| 臺南  | 990.3     | 24. 02. 40 | NNW               | 13.7 | 23. 13. 47 | 996.3  | 31.8 | 72 | NNW           | 8.5  | 23. 13. 12 | —                     | T              | —                     | T        | —                     | T     | 23. 06. 40~23. 07. 10 |              |  |
| 高雄  | 990.1     | 24. 01. 35 | SE                | 20.2 | 24. 07. 19 | 992.6  | 27.9 | 82 | SE            | 12.5 | 24. 07. 20 | 24. 05. 50~24. 07. 30 | 1.2            | 24. 02. 30~24. 03. 30 | 0.5      | 24. 02. 30~24. 02. 40 | 3.0   | 23. 16. 18~24. 05. 50 |              |  |
| 東吉島 | 990.1     | 24. 02. 35 | NNE               | 22.8 | 23. 19. 58 | 994.2  | 28.0 | 87 | NNE           | 17.2 | 23. 19. 55 | 23. 12. 00~24. 11. 00 | —              | —                     | —        | —                     | —     | —                     |              |  |
| 恒春  | 980.8     | 24. 01. 10 | NE                | 28.0 | 24. 00. 57 | 981.5  | 25.3 | 93 | NE            | 14.2 | 24. 01. 20 | 23. 01. 00~24. 04. 15 | 10.6           | 24. 01. 15~24. 02. 15 | 3.6      | 24. 01. 30~24. 01. 40 | 38.2  | 23. 12. 33~24. 05. 10 |              |  |
| 蘭嶼  | 981.9     | 23. 21. 12 | NE                | 56.0 | 23. 21. 12 | 981.9  | 25.6 | 96 | NE            | 36.0 | 23. 20. 30 | 23. 08. 50~24. 04. 18 | 10.1           | 24. 00. 46~24. 01. 45 | 4.7      | 24. 00. 43~24. 00. 52 | 37.0  | 23. 06. 50~24. 03. 10 |              |  |
| 大武  | 992.5     | 23. 22. 45 | NNE               | 26.1 | 23. 23. 12 | 993.2  | 26.1 | 91 | NNE           | 13.5 | 23. 23. 30 | 23. 22. 10~23. 24. 00 | 13.0           | 24. 01. 40~24. 02. 40 | 6.0      | 24. 02. 30~24. 02. 40 | 38.9  | 23. 14. 35~24. 05. 10 |              |  |
| 臺東  | 994.0     | 23. 17. 35 | NE                | 21.7 | 23. 22. 28 | 994.6  | 26.5 | 89 | NE            | 10.6 | 23. 22. 25 | 23. 22. 24~23. 22. 57 | 55.5           | 24. 08. 50~24. 09. 50 | 14.5     | 24. 04. 10~24. 04. 20 | 163.6 | 23. 14. 40~24. 11. 00 |              |  |
| 新港  | 994.3     | 23. 17. 05 | NNE               | 22.3 | 23. 17. 29 | 994.6  | 25.7 | 93 | NNE           | 14.3 | 23. 15. 30 | 23. 12. 50~23. 22. 50 | 8.5            | 23. 22. 20~23. 23. 20 | 5.0      | 23. 23. 10~23. 23. 20 | 24.2  | 22. 20. 35~24. 05. 40 |              |  |
| 花蓮  | 996.4     | 23. 16. 05 | ENE               | 16.0 | 23. 16. 49 | 996.7  | 29.2 | 74 | NE            | 8.5  | 23. 14. 50 | —                     | 18.0           | 23. 20. 30~23. 21. 30 | 11.0     | 23. 21. 00~23. 21. 10 | 40.0  | 23. 17. 55~24. 12. 30 |              |  |
| 宜蘭  | 997.6     | 24. 05. 00 | ESE               | 12.0 | 24. 08. 20 | 997.9  | 29.1 | 85 | ESE           | 8.0  | 24. 08. 25 | —                     | 1.1            | 24. 00. 00~24. 00. 15 | 1.0      | 24. 00. 00~24. 00. 10 | 1.3   | 23. 17. 05~24. 00. 15 |              |  |



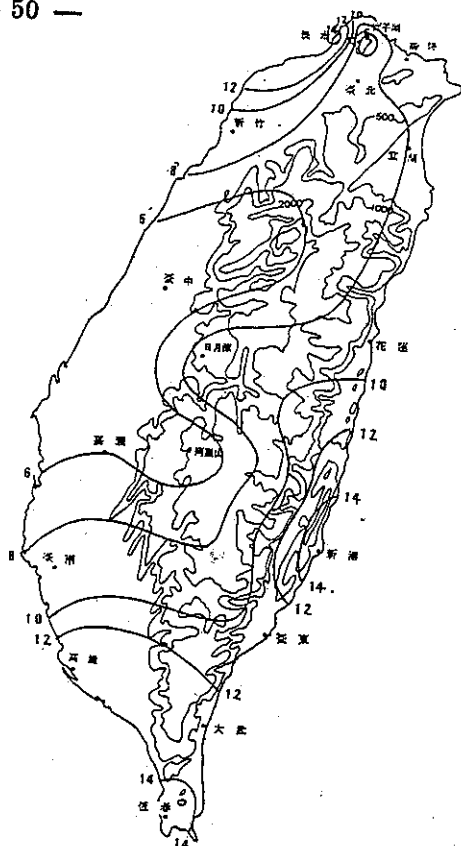
圖十七 民國73年6月21日至30日  
10天平均海水溫度圖

Fig 17.  
Mean sea surface temperature  
chart of ten days during the  
period of June. 21 to June. 30,  
1984.

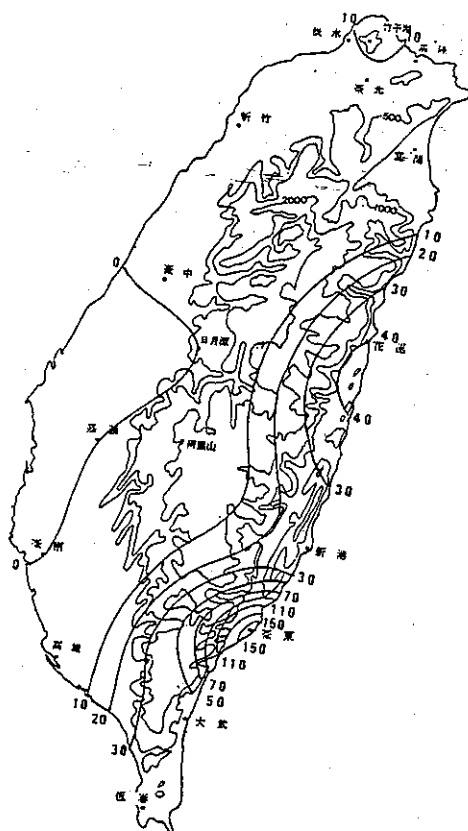


圖十八 魏恩侵臺期間，花蓮、臺東、高雄、恒春之逐時氣壓與風變化圖

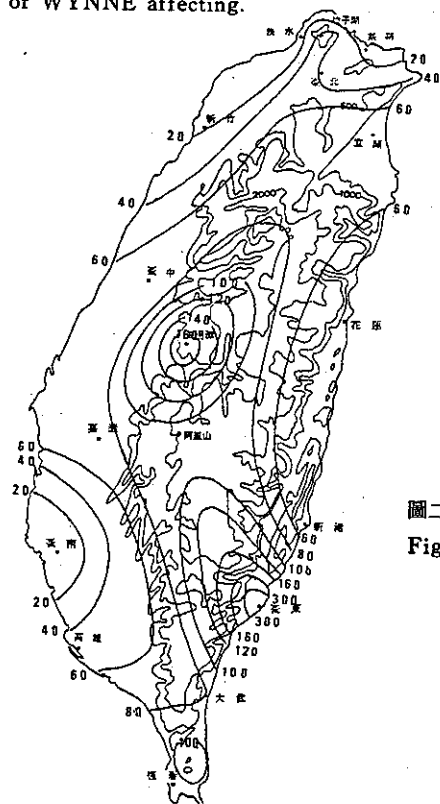
Fig 18. The variation of the pressure and wind at Hualien, Taitung, Kao-Hsiung and Hengchun during wynn passage.



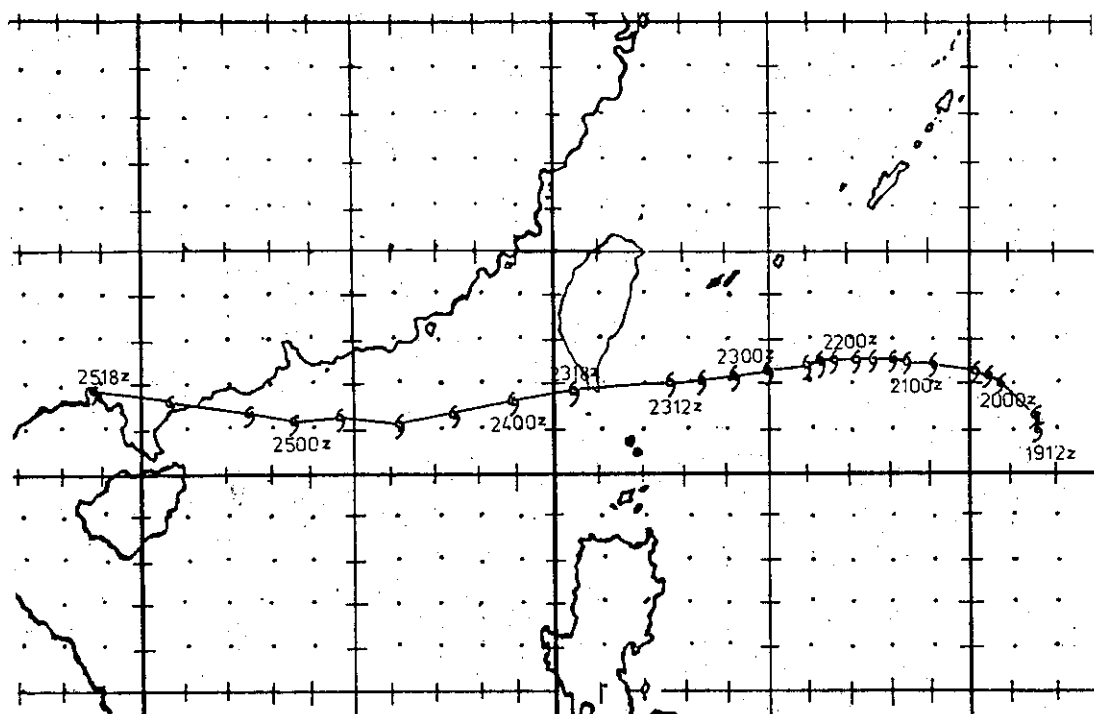
圖十九 魏恩颱風期間各地最大風速 (m/s) 分布圖  
Fig 19. The maximum sustained wind during the period of WYNNE affecting.



圖二十 魏恩颱風侵臺期間各地雨量圖  
Fig 20. The distribution of rainfall during WYNNE's passage.



圖二十一 民國73年6月23日0時至25日24時各地總雨量圖  
Fig 21. The distribution of total rainfall during the period from June 23 to June 25, 1984.



圖二十二 魏恩颱風最佳路徑圖

Fig 22. The best track of typhoon WYNNE.

表八、各種客觀颱風路徑預報法及 CWB, PGTW 預報之角度偏差比較

Table 8. 12, 24, 48 hours forecast angle deviation summary for typhoon WYNNE

| 預報法<br>誤差<br>(度) | HURRAN     |       |      | CLIPER |      | ARAKAWA |       | CWB-80 |       |      | CWB   | PGTW  |      |      |
|------------------|------------|-------|------|--------|------|---------|-------|--------|-------|------|-------|-------|------|------|
|                  | 12<br>(小時) | 24    | 48   | 24     | 48   | 12      | 24    | 12     | 24    | 48   | 24    | 12    | 24   | 48   |
| 2200             | -10.3      | -6.1  | 20.1 | 20.5   | 36.4 | 33.0    | 33.7  | 23.8   | 33.1  | 46.8 | 20.4  | 13.1  | -4.8 | 17.2 |
| 2206             | -9.4       | -5.2  | 21.8 | 20.4   | 37.2 | 29.3    | 35.3  | 32.7   | 45.3  | 82.9 | 18.9  | 1.9   | -    | 21.6 |
| 2212             | -2.8       | 1.9   | 18.7 | 12.9   | 31.2 | 24.7    | 16.2  | -9.2   | 21.9  | 67.2 | 17.3  | -9.5  | 14.2 | 14.2 |
| 2218             | -7.2       | -5.4  | 16.4 | 9.4    | 21.0 | 29.9    | 27.6  | -6.5   | 9.3   | 9.3  | 14.8  | -10.1 | 10.1 | 8.1  |
| 2300             | 10.9       | -2.9  | 18.1 | 9.3    | 17.6 | 13.5    | 22.5  | -6.6   | -1.6  | -2.7 | -5.5  | 8.0   | 9.3  | 12.5 |
| 2306             | 3.8        | 9.8   | -    | 10.7   | 17.3 | 5.9     | 23.9  | 5.2    | -6.9  | -2.9 | -6.9  | 5.9   | 14.6 | 13.7 |
| 312              | -6.1       | 24.0  | 21.8 | 11.8   | 18.5 | 21.4    | 27.7  | -6.1   | 16.3  | 18.6 | -7.6  | 10.3  | 21.4 | 14.4 |
| 2318             | -11.9      | -19.7 | 7.9  | -21.6  | 5.2  | 18.0    | -10.4 | -8.5   | -24.4 | 0.9  | -21.5 | 39.8  | -    | 19.5 |
| 2400             | 1.2        | 1.8   | -    | -2.8   | -    | 15.9    | 16.8  | -1.0   | 2.9   | -    | -     | -     | -    | -    |
| 平均誤差             | -3.5       | -0.2  | 17.8 | 7.8    | 23.1 | 21.3    | 21.5  | 4.1    | 10.7  | 27.5 | 3.7   | 7.4   | 10.8 | 15.2 |

## 六、災 情

魏恩颱風以偏西路徑通過恒春附近，由於風雨都不大，對臺灣地區並未造成嚴重災害，僅臺東死亡一人，部分地區積水，西瓜田流失，未有其他災情報告。

## 七、結 論

(1) 魏恩颱風的移動路徑，大致係受底層至 700 毫巴之環流所導引，其路徑穩定，幾乎都以偏西方向進行，但其移動速度變化起伏較大，在影響臺灣前，其移動速度大致很緩慢，但當魏恩接近臺灣東方近海時，速度突然加快，且稍偏南而加速通過恒春附近，減輕了對臺灣陸地的威脅。

(2) 魏恩颱風由於發生於較高的緯度，且本身環流結果不結實，在整個生命期中，強度發展有限，

僅是輕度颱風，在其侵臺期間，除了東南部地區風雨較大外，其他地區的風皆不強，雨量也不多，因此對本島損害輕微。當魏恩颱風遠離臺灣後，所引進的偏南氣流帶給中南部山區充沛的雨量。

(3) 各種颱風客觀路徑預報法的校驗結果顯示，12小時與24小時的預報以 HURRAN 的結果最好。平均角度偏差方面，除了 HURRAN 向左偏外，其他方法皆偏右。

總之，魏恩颱風自其生成到登陸大陸消失，其移動路徑大致而言還算穩定，其間雖有轉向的機會，但魏恩颱風還是棄之不顧，向臺灣逼近。本文的目的在於對魏恩颱風做一番全盤性的分析與檢討，希望其結果，能有助於爾後再有類似颱風時在預報作業上有所助益。

# Report on the Typhoon WYNNE in 1984

*Chih-Shiang Liaw*

## ABSTRACT

WYNNE, the second typhoon in the western north Pacific, was the first one attacked Taiwan in 1984. Under the control of steering flow in low level up to 700 mb its moving direction kept steady, but moving speed was varied.

The conditions of WYNNE'S development were limited due to it occurred over higher latitude (above 20°N) and its structure was not solid, therefore, the intensity of Wynne was not very strong, maintaining weak typhoon during the lifetime.

Although WYNNE passed across the vicinity of Hengchun between 1 a.m. and 2 a.m. 24, June, only a few damage was reported. Except that the south-eastern parts of Taiwan got the more rainfall and the stronger wind force, other parts got less during its passage. After passing away Taiwan, WYNNE induced the south-western airflow that brought the mountain areas of central and southern Taiwan more rainfall.

To verify the vector error, right error and angle deviation for 12, 24 and 48 hours WYNNE position prediction, some objective typhoon track forecasting methods were applied and discussed respectively. As a result of verification shows HURRAN method was the best one for typhoon WYNNE.

# 一九三四及一九三五年地震規模之推算\*

徐 明 同<sup>1</sup>

## 摘 要

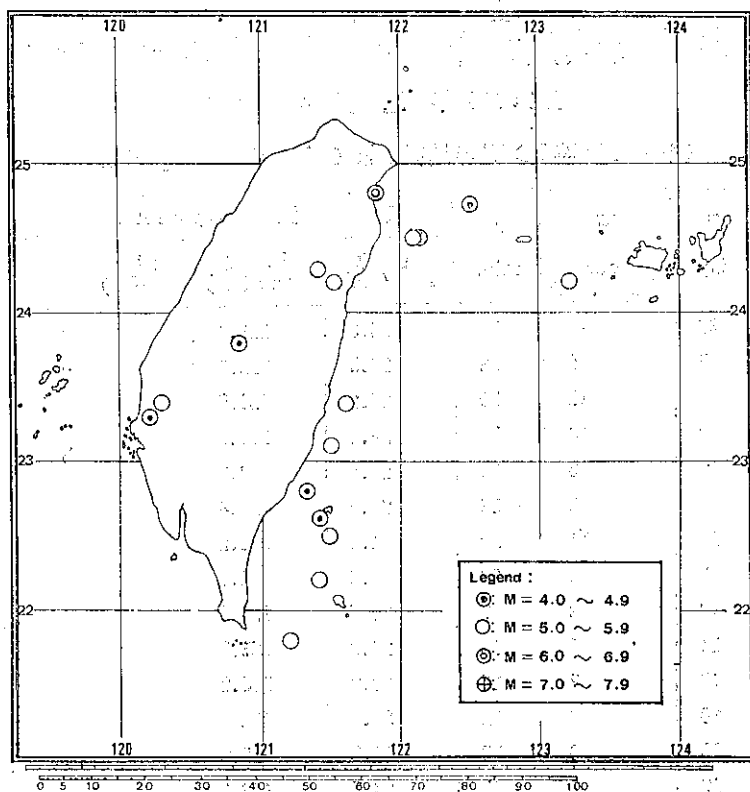
完整的地震目錄是研究地震活動和地震工程最基本且最重要的資料，筆者於1971年 [1]，1979年 [2] 及1980年 [3] 曾經發表地震目錄。這些目錄中，詳細震源要素（包括發震時間、震央、震源深度及地震規模）自1936年開始列表。1936年以前者曾經引起災害的大地震才有比較完整的震源要素。其他地震的規模即以有感距離半徑大小表示，也就是以顯著地震（有感距離半徑大於三百公里），稍顯著地震（有感距離半徑大於二百公里而小於三百公里），小區域地震（有感距離半徑大於一百公里而小於二百公里）等來表示。因1935年以前沒有地震原簿，找不到各測站所觀測的最大振幅資料。

最近筆者發見，臺北觀測所出版的臺灣氣象報告中，有1934年和1935年兩年份地震觀測表。

現在使用上述資料，以徐氏規模公式

$$M = \log A + 1.09 \log \Delta + 0.50$$

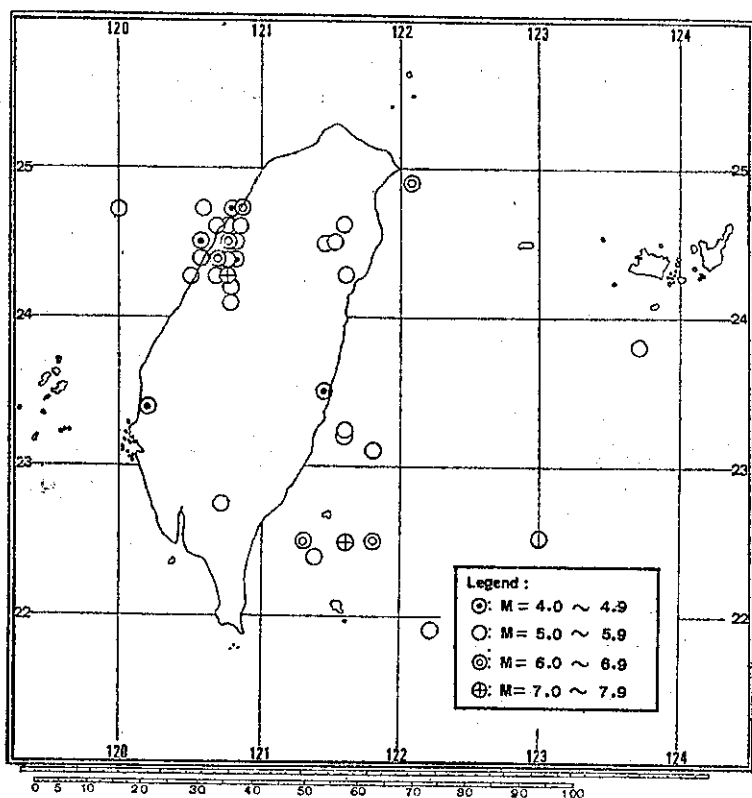
計算。上式中M為地震規模，A為最大振幅以微米（micron）為單位， $\Delta$ 為震央距離以公里為單位。計算結果如表一，震央分佈圖如圖一及圖二。上述表一可補充徐氏地震目錄。



圖一：1934年地震分佈圖

\* 收稿日期：74年3月21日 近審日期：74年3月21日 收回日期：74年3月21日。

1 國立臺灣海洋學院海洋系教授。



圖二：1935年地震分佈圖

表一 1934年及1935年地震目錄 (List of earthquakes)

| 年<br>year | 月<br>month | 日<br>day | 時<br>hour<br>(G. M. T.) | 分<br>min. | 震源 Hypocenter  |                 |            | 地震規模 (M)<br>Magnitude |
|-----------|------------|----------|-------------------------|-----------|----------------|-----------------|------------|-----------------------|
|           |            |          |                         |           | 北緯<br>Lat (°N) | 單位<br>Long (°E) | 深度<br>(Km) |                       |
| 1934      | 2          | 27       | 11                      | 13        | 24.3           | 121.4           |            | 5.0                   |
|           | 3          | 5        | 5                       | 53        | 24.5           | 122.1           |            | 5.4                   |
|           | 3          | 9        | 11                      | 50        | 24.2           | 121.5           |            | 5.0                   |
|           | 3          | 9        | 14                      | 54        | 22.8           | 121.3           |            | 4.6                   |
|           | 3          | 19       | 6                       | 18        | 23.4           | 120.3           |            | 5.0                   |
|           | 4          | 13       | 11                      | 33        | 22.2           | 121.4           |            | 5.1                   |
|           | 4          | 16       | 11                      | 39        | 21.8           | 121.2           |            | 5.7                   |
|           | 6          | 9        | 3                       | 28        | 22.6           | 121.4           |            | 4.9                   |
|           | 6          | 19       | 2                       | 47        | 22.5           | 121.5           |            | 5.1                   |
|           | 8          | 11       | 8                       | 18        | 24.8           | 121.8           |            | 6.5                   |
|           | 9          | 13       | 3                       | 16        | 23.3           | 120.2           |            | 4.8                   |
|           | 9          | 30       | 6                       | 12        | 24.7           | 122.5           |            | 4.8                   |
|           | 9          | 30       | 19                      | 13        | 23.8           | 120.9           |            | 4.8                   |
|           | 10         | 12       | 1                       | 47        | 24.5           | 122.1           |            | 5.1                   |
|           | 10         | 28       | 23                      | 36        | 24.2           | 123.2           |            | 5.8                   |
|           | 11         | 11       | 21                      | 17        | 24.4           | 121.6           |            | 5.5                   |
|           | 12         | 17       | 3                       | 36        | 24.1           | 121.5           |            | 5.7                   |



| 年<br>year | 月<br>month | 日<br>day | 時<br>hour<br>(G. M. T.) | 分<br>min. | 震 源 Hypocenter  |                  |             | 地 震 規 模 (M)<br>Mgnitude |
|-----------|------------|----------|-------------------------|-----------|-----------------|------------------|-------------|-------------------------|
|           |            |          |                         |           | 北 緯<br>Lat (°N) | 東 經<br>Long (°E) | 深 度<br>(km) |                         |
| 1935      | 2          | 9        | 19                      | 20        | 24.9            | 122.1            | 60          | 6.3                     |
|           | 2          | 17       | 16                      | 13        | 24.2            | 121.6            | 5           | 5.1                     |
|           | 2          | 22       | 8                       | 55        | 24.1            | 121.8            | 10          | 5.8                     |
|           | 2          | 23       | 20                      | 52        | 24.2            | 121.6            | 10          | 5.5                     |
|           | 3          | 24       | 14                      | 27        | 22.5            | 123.0            |             | 5.3                     |
|           | 3          | 26       | 0                       | 07        | 24.3            | 121.6            | 10          | 5.2                     |
|           | 4          | 4        | 6                       | 30        | 24.5            | 121.5            | 30          | 5.1                     |
|           | 4          | 20       | 22                      | 02        | 24.3            | 120.8            | 10          | 7.1                     |
|           | 4          | 20       | 22                      | 26        | 24.7            | 120.9            |             | 6.0                     |
|           | 4          | 20       | 22                      | 59        | 24.3            | 120.7            | 很淺          | 5.2                     |
|           | 4          | 21       | 3                       | 46        | 24.4            | 120.6            |             | 5.0                     |
|           | 4          | 21       | 19                      | 13        | 24.6            | 120.9            | 10          | 5.6                     |
|           | 4          | 22       | 5                       | 05        | 24.7            | 120.6            | 20          | 5.4                     |
|           | 4          | 22       | 18                      | 10        | 24.5            | 120.6            | 很淺          | 4.8                     |
|           | 5          | 3        | 23                      | 47        | 23.8            | 123.7            | 60          | 5.0                     |
|           | 5          | 4        | 23                      | 02        | 24.5            | 120.8            | 很淺          | 6.0                     |
|           | 5          | 4        | 23                      | 05        | 24.6            | 120.8            |             | 5.7                     |
|           | 5          | 6        | 17                      | 40        | 24.5            | 121.5            | 很淺          | 5.3                     |
|           | 5          | 17       | 19                      | 51        | 24.7            | 120.9            |             | 4.7                     |
|           | 5          | 20       | 8                       | 29        | 24.3            | 120.5            | 40          | 5.0                     |
|           | 5          | 29       | 19                      | 43        | 24.1            | 120.8            | 很淺          | 5.6                     |
|           | 6          | 7        | 2                       | 51        | 24.2            | 120.5            |             | 5.7                     |
|           | 6          | 12       | 0                       | 36        | 23.5            | 121.5            | 5           | 4.9                     |
|           | 6          | 18       | 7                       | 10        | 24.6            | 121.6            |             | 5.1                     |
|           | 7          | 16       | 16                      | 19        | 24.4            | 120.7            | 30          | 6.4                     |
|           | 7          | 17       | 6                       | 55        | 24.6            | 120.7            | 20          | 5.0                     |
|           | 7          | 20       | 14                      | 40        | 24.5            | 120.8            | 很淺          | 5.2                     |
|           | 8          | 6        | 20                      | 43        | 21.9            | 122.2            |             | 5.5                     |
|           | 8          | 9        | 16                      | 49        | 22.7            | 120.7            | 很淺          | 5.4                     |
|           | 8          | 21       | 6                       | 33        | 24.7            | 120.0            | 很淺          | 5.2                     |
|           | 9          | 4        | 1                       | 38        | 22.5            | 121.6            | 淺           | 7.2                     |
|           | 9          | 4        | 1                       | 54        | 22.5            | 121.8            | 很淺          | 6.2                     |
|           | 9          | 4        | 3                       | 28        | 22.5            | 121.3            |             | 6.1                     |
|           | 10         | 16       | 20                      | 14        | 23.4            | 120.2            |             | 4.9                     |
|           | 11         | 7        | 10                      | 27        | 22.4            | 121.4            | 很淺          | 5.0                     |
|           | 11         | 23       | 3                       | 28        | 24.4            | 120.8            | 很淺          | 5.2                     |
|           | 12         | 31       | 22                      | 38        | 24.4            | 120.8            |             | 4.7                     |

## 參 考 文 獻

- (1) Hsu, M. T. (1971): Seismicity of Taiwan and some related Problems, Bull. Intern. Inst. Seis. Earthq. Eng., Vol. 8, 41-160.
- (2) Hsu, M. T. (1979): Earthquake Catalogues in

Taiwan, Earthq. Eng. Res. Center, Taiwan, Univ., 79 pp.

- (3) Hsu, M. T. (1980): Earthquake catalogues in Taiwan, Earthq. Eng. Res. Center, Taiwan, Univ., 77 pp.

# Computation of Magnitude of Earthquakes Occurred in 1934 and 1935

*Ming-Tung Hsu*

Professor of National Taiwan Ocean College

## ABSTRACT

A complete catalogue of earthquakes is the most important and fundamental data for study of seismicity and earthquake engineering. Recently the writer found Seismological Bulletin published by the Taipei Meteorological Observatory, which contains the data for earthquake magnitude computation. Based on the Hsu's formula,

$$M = \log A + 1.09 \log \Delta + 0.50$$

where A is the maximum displacement amplitude of the horizontal component of the ground motion due to that earthquake measured in micron, observed at an epicentral distance,  $\Delta$  measured in Km, magnitude of earthquakes, M occurred in 1934 and 1935 were computed. These earthquake lists can supplement the Hsu's earthquake catalogues.

# 氣象學報補充稿約

一、來稿須用稿紙（以 $25 \times 24$ 之稿紙為原則）。

二、來稿字數以不超過 15,000 字，即連同圖、表、英文摘要以不超過 10 印刷頁為原則。

三、圖及表之分量以不超過全文之  $1/3$  為原則。

四、英文摘要之字數以不超過 1,000 字為原則。

五、關於表格之注意點：

(一) 表格須另用白紙繕製。

(二) 表格上方須有標題，並加表 1 表 2 等冠號。

(三) 表格中之項目，內容應儘量簡化。表中不重要之項目或可用文字說明者應儘量避免列入表中。

(四) 能以文字說明之小表，請採用文字說明。

(五) 原始記錄應加分析簡化後始可列入表中。

(六) 統計分析表中顯著處，以 \* 號（顯著）及 \*\* 號（極顯著）表之。

(七) 表幅應考慮適合本刊版幅為準。（寬度勿超過 13.5 cm）。

(八) 表之標題應能表示內容。

六、關於插圖之規定：

(一) 插圖應另貼於大張白紙上，註明作者及文題。

(二) 插圖下方須有標題，並加圖 1 圖 2 等冠號。

(三) 統計圖、模式圖及分佈圖一律採用 120—150 磅道林紙，以黑墨水繪製清楚。

(四) 統計圖原圖幅面應在 12—15 cm，以便縮版。

(五) 模式圖原圖幅面應在 15—20 cm，以便縮版。

(六) 分佈圖原圖幅面應在 30 cm 左右，以便縮版。

(七) 繪製線條粗細應能供縮小至  $1/8$  之程度，但不能超過縮小  $1/2$  之程度。

(八) 數字應正寫清楚，字之大小粗細應一律，至少能供縮至  $1/8$  之程度。

(九) 已列表中之內容，勿再重複以插圖表示。

(十) 圖之標題應能表示內容。

七、關於照片之規定：

(一) 照片紙一律採用黑白片光面紙。

(二) 照片幅面應在 12—15 cm，以便縮版。

(三) 照片應充分沖洗清楚，須考慮縮少至  $1/2$  時尚能清楚之程度。

(四) 照片如有特別指明點應加圈或箭頭表明。

八、文稿過長，或圖表過多過大時，投稿人得自行負擔印刷費。

九、關於參考文獻之規定：

(一) 參考文獻以經本人確曾查閱者為限，如係來自轉載之其他書刊時，須加註明。

(二) 作者姓名以後為發行年份，加以括號，然後為雜誌或書名、卷期數及頁數。（頁數必須註明）。

(三) 文字敘述中述及參考文獻時，根據文獻之號數，用斜體阿剌伯字，加以括號，如 (1) (2) (3) 等插入文句中。

十、文字敘述之號次以下列為序。

中文用：一、(一) 1. (1) i. (i)

英文用：I. 1. A. a.

十一、每頁下端之腳註以小號 1, 2, 3, 等阿拉伯字表之，註明於該段文字之右上角。

十二、文字敘述中數數字除十以下之數字，儘量用阿拉伯字表之。

十三、單位須用公制。單位記號例如以 m（公尺）、cm（公分）、mm（公厘）、 $m^2$ （平方公尺）、 $m^3$ （立方公尺）、cc（立方公分）、l（立升）、g（公分）、kg（公斤）、mg（公厘）、 $^{\circ}C$ （攝氏度）、%（百分之一）、ppm（百萬分之一份）等表之，可不必另用中文。

十四、英文題目中重要之字第一字母大寫，介題詞、連接詞及不重要字用小寫。圖表之英文標系及各欄英文細目，除第一字之第一字母大寫外，其餘第一字母均小寫。參考文獻中作者姓名每字全部字母均大寫，論文名第一字母大寫。其餘均小寫，雜誌名或書名每字第一字母均大寫。

十五、作者英文名以用全名為原則，名在前，姓在後。

十六、其他未盡善事項得隨時修正之。

Volume 31, Number 2

June 1985

# METEOROLOGICAL BULLETIN

(Quarterly)

## CONTENTS

### Originals

- A Mesoscale Analysis of Heavy Rainfall on June 3,  
1984 and the Discussion of Flash Floods in  
Northern Taiwan.....*Tai-Kung Chiou, Fu-Cheng Liu* (1)
- The Identification, Estimation and Diagnostic Checking  
of Transfer Function Model.....*Shi-Yang Chen* (15)
- A Study of the Severe Rainfalls over the East Taiwan  
and the Southeast Taiwan ..... *Ming-Lee Liu* (24)

### Report

- Reprt on the Typhoon "Wynne" in 1984..... *Chih Shiang Liaw* (34)

### Earthquake Data

- Computation of Magnitude of Earthquakes Occurred  
in 1934 and 1935.....*Ming Tung Hsu* (53)

**CENTRAL WEATHER BUREAU**

64 Park Road, Taipei

Taiwan, Republic of China

行政院新聞局出版事業登記證  
局版台誌字第一八九三號  
中華郵政臺字第一八三號  
登記為第一類新聞紙類



氣象學報 季刊

# Meteorological Bulletin

中央氣象局

Central Weather Bureau

第三十一卷第三期  
Vol. 31 No. 3

民國七十四年九月  
Sept. 1985

# 利用正壓模式研究東亞寒潮爆發\*

## 與行星尺度波動之關係

王 忠 山<sup>1</sup>蔡 清 彥<sup>2</sup>

摘

要

本文寒潮數值模擬係使用正壓原始方程式，空間變數排列採用 Arakawa C 網格，時間積分係採用位渦度擬能及能量保守的數值方法 (Potential Enstrophy and Energy Conserving Numerical Scheme)。以 500mb 強寒潮個案合成圖為初始資料，模擬寒潮爆發期間行星波之變化。模式能模擬行星波由波數 2 演變為波數 3 之現象，但預測發生時間落後實際觀測約 12 至 24 小時。

將預測風場資料利用擾動動能方程式計算，證明模式預測波數 3 動能之增加係透過波數 2 與波數 5 之非線性交互作用，來自波數 5 之動能。

### 一、前 言

臺灣冬季期間當寒潮爆發時，常使農漁業者蒙受重大損失，而冬季時西伯利亞及蒙古地區高壓中心又近似滯留，使預報人員對寒潮爆發之時間及強度無法充分掌握並及早提出警告。此迫切的問題急待解決，故以往有關東亞寒潮之研究相當多。最近在行星波與寒潮之關係方面 Tsay and Jen (1981) 在研究臺灣地區冬季異常氣溫之長期預報時發現臺灣冬季氣溫與 500mb 波數 3 之行星波振幅有極密切之關係。波動動能在冷冬主要集中在波數 3 之行星波，而在暖冬則集中在波數 2。在冷冬合成平均天氣圖中最主要的特徵是 20°E~30°E 由芬蘭向南延伸至東歐及地中海區域的東歐槽線出現，並加強西伯利亞及大西洋的脊線，亦使北美東部的槽線西移。故冷冬期間北半球天氣圖以波數 3 之行星尺度波動為主。

另外，蔡及王 (1981) 曾研究波動間非線性能量交換與寒潮的關係。在行星波方面發現在寒潮爆發期間波數 3 的波動動能變化最為顯著，尤其動能在 50°N~70°N 間變化最大。先從寒潮爆發前 60 小時開始增加，約在寒潮爆發前 36 小時至寒潮爆發當時有相對最大值，然後隨時間遞減。

本文之主要目的為利用正壓模式模擬北半球

20°N~80°N 在寒潮爆發前後波動變化過程，以徹底了解行星波動由波數 2 轉變成波數 3 之變化機制，並透過波動動能方程式計算 50°N~70°N 間波動變化情形以研究行星波間動能之非線性交互作用等內部動力過程。本文之另一目的為熟悉中央氣象局大型電腦化計畫中全球預報模式所引用的位渦度擬能及能量保守的數值方法，希望有助於大型數值預報作業系統之發展。

### 二、數值模式

本文係採用淺水方程式來模擬 500mb 等壓面之高度場及風場的正壓變化過程，因在整個流場中假設密度只是氣壓的函數，所以是正壓大氣，但在方程式中輻散項不為零，而有重力波存在，故此種模式稱輻散正壓模式或正壓原始方程式。現在所要模擬的 500mb 自由面，我們可視為地球表面上一層很薄的等密度流體，因密度是常數，故不需用到熱力學方程式。設底部為平坦且在 500mb 自由面上不考慮摩擦項，因此基本方程式就是

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f v = -g \frac{\partial h}{\partial x} \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + f u = -g \frac{\partial h}{\partial y} \quad (2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot (h \vec{V}) = 0 \quad (3)$$

\* 收稿日期：74年5月16日 修正日期：74年5月20日~6月10日。

1. 中央氣象局資訊測站課長。 2. 國立臺灣大學大氣科學系主任。

但為數值積分中導出渦度方程式及動能方程式較方便起見，吾人將(1)~(3)改寫成向量不變形式 (Vector Invariant Form)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{u^2 + v^2}{2} - (f + \zeta)v = -g \frac{\partial h}{\partial x} \quad (4)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \frac{u^2 + v^2}{2} + (f + \zeta)u = -g \frac{\partial h}{\partial y} \quad (5)$$

$$\frac{Dh}{Dt} + h \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) = 0 \quad (6)$$

其中相對渦度  $\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$ 。(5)式對  $x$  微分減去(4)式對  $y$  微分，而得渦度方程式，將(6)式中輻散項代入其中得

$$\frac{D}{Dt} \left( \frac{f + \zeta}{h} \right) = 0 \quad (7)$$

即位渦度  $q = \frac{f + \zeta}{h}$  為守恒，亦即

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla q = 0 \quad (8)$$

將(3)式連續方程對整個區域積分得

$$\frac{\partial}{\partial t} \iint h dx dy = - \iint \nabla \cdot (h \vec{V}) dx dy = 0 \quad (9)$$

即總質量守恒。將(4)式乘以  $hu$  加上(5)式乘以  $hv$ ，再利用(6)式之結果可推得總動能時間變率方程

$$\frac{\partial}{\partial t} (hK) + \nabla \cdot (V^* K) + V^* \nabla \phi = 0 \quad (10)$$

其中  $K = \frac{1}{2}(u^2 + v^2)$ ,  $V^* = h \vec{V}$ ,  $\phi = gh$ ，將(3)式乘以  $\phi$ ，則可得到位能時間變率方程

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{1}{2} gh^2 \right) + \nabla \cdot (V^* \phi) - V^* \cdot \nabla \phi = 0 \quad (11)$$

(10)式加(11)式並對整個區域積分，而得

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[ h \left( K + \frac{1}{2} gh \right) \right] = 0 \quad (12)$$

上式即表示對整個積分區而言，總能量係保守的。亦即

$$\frac{d}{dt} \iint \left( h \frac{u^2 + v^2}{2} + \frac{gh^2}{2} \right) dx dy = 0 \quad (13)$$

另將(8)式乘以  $hq$  加上(6)式乘以  $\frac{1}{2} q^2$  得位渦度擬能時間變率方程

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( h \frac{1}{2} q^2 \right) + \nabla \cdot (V^* \frac{1}{2} q^2) = 0 \quad (14)$$

若對整個範圍積分，設邊界無質點內流或外流則上

式第二項消失而得

$$\frac{\partial}{\partial t} \overline{\left( h \frac{1}{2} q^2 \right)} = 0 \quad (15)$$

此即位渦度擬能保守。故我們所使用的數值方法不僅具有淺水方程式總能量守恒、總質量守恒及位渦度守恒三大特性，而且具一個對山脈地形特別良好的位渦度擬能保守的重要特性。

本文採用 channel 模式，水平網格距離在  $x$  及  $y$  方向均為 250km，網格數 146×25，東西方向 144 格子點，南北方向 25 格子點，東側兩行與西側兩行重疊，垂直方向只有一層。積分時間間距  $\Delta t = 5$  分鐘，第一次積分使用 Forward Scheme，以後均使用 Leapfrog Scheme。為了避免中差法易使計算模 (Computational Mode) 隨時間長大，故每次時間積分後均使用 Robert (1966) 時間濾波器，其方程式如下：

$$F_{n+1} = \bar{F}_{n-1} + 2\Delta t (\partial F / \partial t)_n \quad (16-A)$$

$$\bar{F}_n = F_n + 0.15(F_{n+1} - 2F_n + \bar{F}_{n-1}) \quad (16-B)$$

其中  $\bar{F}_{n-1}$  係假設在  $(n-1)\Delta t$  時貯存之平均值， $F_n$  係  $n\Delta t$  時未平均之值， $F_{n+1}$  係  $(n+1)\Delta t$  時之預報值。由 (16-B) 所得之  $\bar{F}_n$  係  $n\Delta t$  時之平均值將逐次取代 (16-A) 中  $\bar{F}_{n-1}$  之值，如此重覆進行至積分終止時間為止。

### 三、數值解法

將  $q = \frac{f + \zeta}{h}$ ,  $\phi = gh$  及  $K = \frac{1}{2}(u^2 + v^2)$  代入

(4), (5) 兩式並將結果與(3)式並列得

$$\frac{\partial u}{\partial t} - qhv + \frac{\partial}{\partial x} (K + \phi) = 0 \quad (17)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + qhu + \frac{\partial}{\partial y} (K + \phi) = 0 \quad (18)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot (h \vec{V}) = 0 \quad (19)$$

上列三式係數值模式中差分運算所使用之公式。水平空間變數排列係選用如圖 1 所示之交錯 (Staggered) 形式的 Arakawa C 網格 (grid)。其理由乃因此種交錯形式變數排列與不交錯 (non-staggered) 相比較可節省一半計算時間，且在時間積分使用中差法時可減少數值解分離等問題。此外依 Winninghoff (1968), Arakawa and Lamb (1977) 及 Schoenstadt (1978) 等人之研究，使用 C 網格系統對相速及羣速之解較接近解析



解。此特性非常重要，因羣速係代表能量傳播之速度，大規模數值模擬中不僅要求相速正確，更要求對能量之傳遞合理。

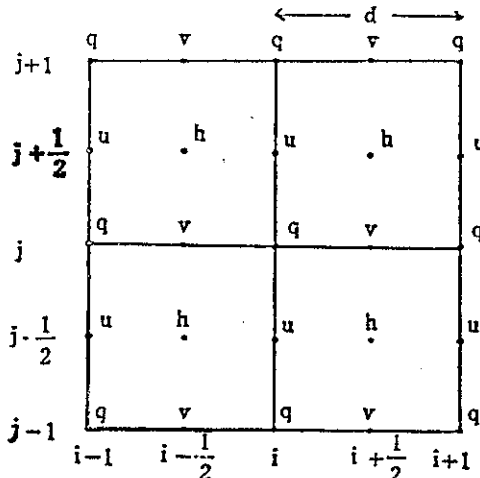


圖1 Arakawa C網格

Fig. Arakawa C grid

爲了簡化起見將時間導數項暫時保持微分形狀，而將空間微分以定差形式表示，則(9)式連續方程可寫爲

$$\frac{\partial}{\partial t} h_{i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}} + (\nabla \cdot V^*)_{i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}} = 0 \quad (20)$$

其中  $(\nabla \cdot V^*)_{i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}}$

$$\equiv \frac{1}{d} [u^*_{i+1, j+\frac{1}{2}} - u^*_{i, j+\frac{1}{2}} + v^*_{i+\frac{1}{2}, j+1} - v^*_{i+\frac{1}{2}, j}]$$

$$u^*_{i+1, j+\frac{1}{2}} \equiv [h^{(u)}u]_{i+1, j+\frac{1}{2}}$$

$$v^*_{i+\frac{1}{2}, j} \equiv [h^{(v)}v]_{i+\frac{1}{2}, j}$$

$$h^{(u)}_{i+1, j+\frac{1}{2}} = \frac{h_{i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}} + h_{i+\frac{3}{2}, j+\frac{1}{2}}}{2}$$

$$h^{(v)}_{i+\frac{1}{2}, j} = \frac{h_{i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}} + h_{i+\frac{1}{2}, j-\frac{1}{2}}}{2}$$

動量方程式(7)式及(8)式則可寫成：

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} u_{i+\frac{1}{2}, j-\frac{1}{2}} - \alpha_{i+\frac{1}{2}, j-\frac{1}{2}} v_{i+\frac{1}{2}, j+1} - \beta_{i+\frac{1}{2}, j-\frac{1}{2}} v_{i-\frac{1}{2}, j+1} \\ - \gamma_{i+\frac{1}{2}, j-\frac{1}{2}} v_{i-\frac{1}{2}, j} - \delta_{i+\frac{1}{2}, j-\frac{1}{2}} v_{i+\frac{1}{2}, j} + \epsilon_{i+\frac{1}{2}, j-\frac{1}{2}} u_{i+1, j+\frac{1}{2}} \\ - \epsilon_{i-\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}} u_{i-1, j+\frac{1}{2}} + d^{-1} [(K + \phi)_{i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}} \\ - (K + \phi)_{i-\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}}] = 0 \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} v_{i+\frac{1}{2}, j} + \gamma_{i+1, j+\frac{1}{2}} u_{i+1, j+\frac{1}{2}} + \delta_{i+\frac{1}{2}, j} u_{i+\frac{1}{2}, j} \\ + \alpha_{i+\frac{1}{2}, j-\frac{1}{2}} u_{i-\frac{1}{2}, j-\frac{1}{2}} + \beta_{i+\frac{1}{2}, j-\frac{1}{2}} u_{i+1, j-\frac{1}{2}} + \phi_{i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}} v_{i+\frac{1}{2}, j+1} \\ - \phi_{i+\frac{1}{2}, j-\frac{1}{2}} v_{i+\frac{1}{2}, j-1} + d^{-1} [(K + \Phi)_{i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}} \\ - (K + \Phi)_{i+\frac{1}{2}, j-\frac{1}{2}}] = 0 \end{aligned} \quad (22)$$

$$\text{其中 } q_{ij} \equiv \frac{(f + \zeta)_{ij}}{h^{(u)}_{ij}}$$

$$= \frac{f_{ij} + d^{-1}(u_{i+\frac{1}{2}, j-\frac{1}{2}} - u_{i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}} + v_{i+\frac{1}{2}, j} - v_{i-\frac{1}{2}, j})}{(h_{i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}} + h_{i-\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}} - h_{i-\frac{1}{2}, j-\frac{1}{2}} + h_{i+\frac{1}{2}, j-\frac{1}{2}})/4}$$

$$\epsilon_{i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}} = \frac{1}{24} [q_{i+1, j+1} + q_{i, j+1} - q_{i, j} - q_{i+1, j}]$$

$$\phi_{i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}} = \frac{1}{24} [-q_{i+1, j+1} + q_{i, j+1} + q_{i, j} - q_{i+1, j}]$$

$$\alpha_{i+\frac{1}{2}, j-\frac{1}{2}} = \frac{1}{24} [2q_{i+1, j+1} + q_{i, j+1} + 2q_{i, j} + q_{i+1, j}]$$

$$\beta_{i+\frac{1}{2}, j-\frac{1}{2}} = \frac{1}{24} [q_{i, j+1} + 2q_{i-1, j+1} + q_{i-1, j} + 2q_{i, j}]$$

$$\gamma_{i+\frac{1}{2}, j-\frac{1}{2}} = \frac{1}{24} [2q_{i, j} + q_{i-1, j+1} + 2q_{i-1, j} + q_{i, j}]$$

$$\delta_{i+\frac{1}{2}, j-\frac{1}{2}} = \frac{1}{24} [q_{i+1, j+1} + 2q_{i, j+1} + q_{i, j} + 2q_{i+1, j}]$$

#### 四、初始資料處理及數值模擬

##### 4-1 初始資料處理

本文使用美國國家氣象中心 (NMC)，自1967年12月至1977年2月共十個多季之500mb高度場客觀分析資料，並採用任與蔡 (1981) 所用之寒潮定義共挑選21個強寒潮個案，求取寒潮爆發前72小時至寒潮發生後24小時，每隔12小時之合成天氣圖。利用內插法將上述合成圖中  $17.5^\circ\text{N} \sim 82.5^\circ\text{N}$  緯帶間高度資料換算至每  $2.5^\circ$  經度  $\times 2.5^\circ$  緯度的交叉點上，作爲初始資料以及與預報結果比較之檢驗資料之用。利用此資料依地轉風公式求取  $30^\circ\text{N} \sim 70^\circ\text{N}$  緯帶之東西風分量 ( $u$ ) 及南北風分量 ( $v$ )，並將  $20^\circ\text{N}$  及  $80^\circ\text{N}$  之  $u$  分量沿緯圈平均而得  $U_{20}$  及  $U_{80}$ 。爲避免邊界條件破壞  $30^\circ\text{N} \sim 70^\circ\text{N}$  間之預報資料，將模式範圍擴大爲  $20^\circ\text{N} \sim 80^\circ\text{N}$ ，在邊界上假設  $v = 0$ ， $u = \bar{u}$  是常數而不是  $x$  及  $t$  的函數， $30^\circ\text{N} \sim 70^\circ\text{N}$  風場初始資料則採用前述計算之風場，而在  $20^\circ\text{N} \sim 30^\circ\text{N}$  及  $70^\circ\text{N} \sim 80^\circ\text{N}$  區間往外線性遞減，其目的爲保存  $30^\circ\text{N} \sim 70^\circ\text{N}$  之波動。東西方向因假設循環邊界條件 (Cyclic Boundary Condition) 故無邊界問題。

爲使風場與高度場一致，我們利用地轉渦度方程式

$$\nabla^2 Z = \frac{f}{g} \zeta \quad (23)$$

其中

$$\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}, (\nabla \text{ 爲定差算符})$$

進行初始化工作，以 $17.5^{\circ}\text{N}$  及 $82.5^{\circ}\text{N}$  平均高度當邊界條件解上述 Poisson 方程而求得 $20^{\circ}\text{N}\sim 80^{\circ}\text{N}$  間初始高度場，以確保初始狀態內無重力波存在。

#### 4—2 數值模擬

輸入預報時間、資料輸出時間間距及積分時間間距，讀入上節計算所得之高度場及風場，並計算高度場、風場之時間趨勢及位渦度，第一個時間間距使用前差法 (Forward Scheme)，以後均使用跳蛙式 (Leapfrog Scheme) 來計算下一個時間之風場及高度場，並利用 Robert 時間濾波器進行修勻工作，每隔12小時將計算結果輸出以供繪圖及計算波動動能之需。

### 五、模擬結果之分析

#### 5—1 高度場

圖 2 a 至 2 d 為寒潮爆發前72小時至寒潮爆發當時每隔24小時實際觀測之合成高度場分佈圖。由這些時間序列合成圖，我們可以明顯的看出：(1)東歐槽線（位於 $10^{\circ}\text{E}\sim 30^{\circ}\text{E}$ ）之振幅有明顯的隨時間增加。(2)西伯利亞脊線（位於 $90^{\circ}\text{E}\sim 110^{\circ}\text{E}$ ）亦隨時間加強。(3)東亞主槽亦隨時間加深且由 $140^{\circ}\text{E}$  西退至 $120^{\circ}\text{E}$ 附近。(4)東太平洋脊線（位於 $130^{\circ}\text{W}$

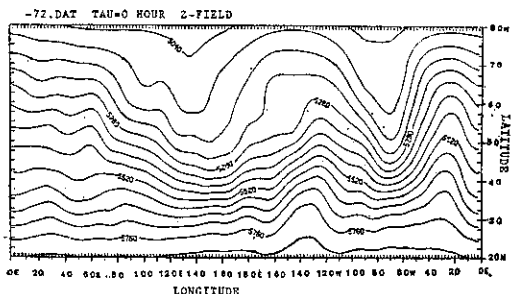


圖 2 a 寒潮發生前72小時高度場

Fig. 2a Observational 500mb geopotential height at 72 hours before cold surge outbreaks.

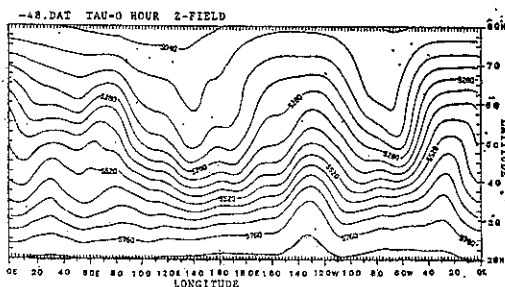


圖 2 b 寒潮發生前48小時高度場

Fig. 2b Same as Fig. 2a, but 48 hours before cold surge outbreaks.

附近) 隨時間加強。(5)北美洲東岸之槽線由 $70^{\circ}\text{W}$  西移至 $90^{\circ}\text{W}$ 。(6)東大西洋脊線變化則較小。由此可知，在臺灣寒潮爆發前72小時至寒潮爆發當時，行星波有明顯的由波數2變為波數3之趨勢。

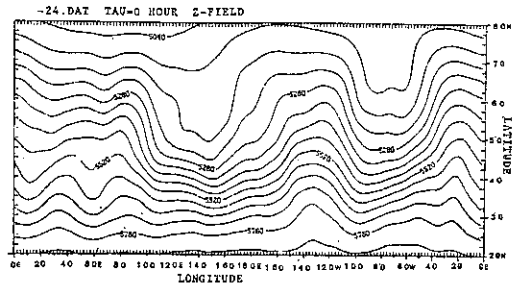


圖 2 c 寒潮發生前24小時高度場

Fig. 2c Same as Fig. 2a, but 24 hours before cold surge outbreaks.

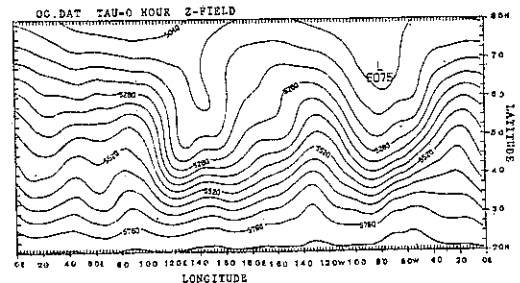


圖 2 d 寒潮發生當時之高度場

Fig. 2d Observational geopotential height of 500mb at cold surge occurs.

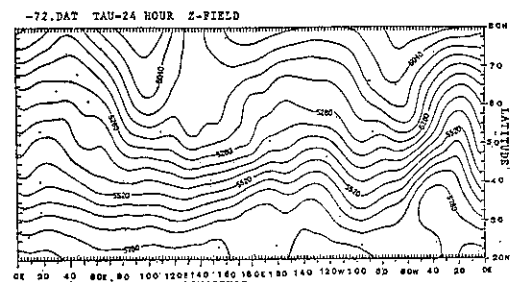


圖 3 a 用寒潮發生前72小時資料預測24小時之高度場  
Fig. 3a Use 500mb observational geopotential height field at 72 hours before cold surge to predict 500mb geopotential height at 24 hours later. (TAU=24.)

圖 3 a 至 3 c 是以寒潮爆發前72小時為初始時間的24、48及72小時預測圖。由圖中可見預測行星波由波數2變為波數3的趨勢。各槽脊線之預報結果敘述如下：(1)東歐槽線（位於 $10^{\circ}\text{E}$  附近）振幅

隨時間增強，至寒潮發生時（圖 3 c）達最大。其位置與強度與觀測者十分接近。(2)西伯利亞脊線的預測位置稍偏西且強度太弱。(3)東亞主槽的預測位置亦偏西且強度太弱。(4)東太平洋脊線48小時之預報位置與強度均與觀測者十分接近，但72小時則強度太弱。(5)北美東岸槽線預報位置與觀測者十分接近，由70°W 向西移至 90°W，但其強度稍嫌太弱。(6)東大西洋脊線之預報位置則較觀測者偏西且涵蓋範圍增大。

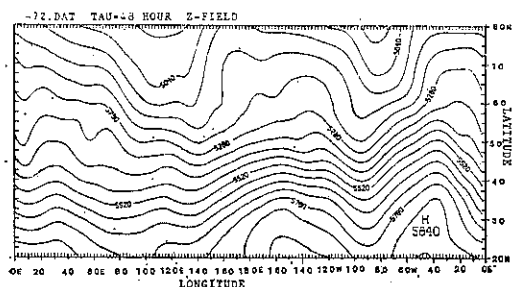


圖 3 b 用寒潮發生前72小時資料預測48小時之高度場  
Fig. 3b Same as Fig. 3a, but TAU=48.

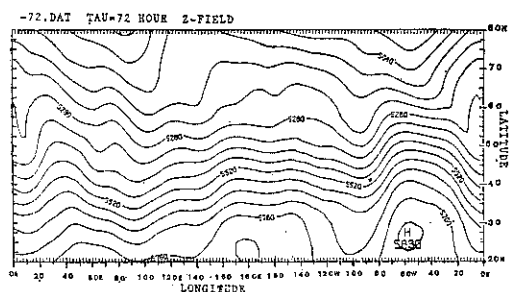


圖 3 c 用寒潮發生前72小時資料預測72小時之高度場  
Fig. 3c Same as Fig. 3a, but TAU=72.

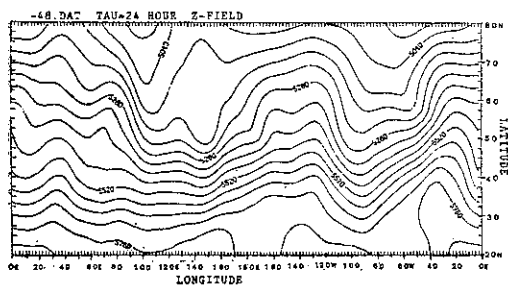


圖 4 a 用寒潮發生前48小時資料預測24小時之高度場  
Fig. 4a Use 500mb observational geopotential height field at 48 hours before cold surge to predict 500mb height field at TAU=24.

圖 4 a 至 4 b，是以寒潮爆發前48小時為初始時時間的24小時及48小時預測圖。由此兩圖可看出預測行星波亦有由波數 2 變為波數 3 的趨勢。一般而言，東歐槽線、北美東岸槽線、東太平洋脊線及東大西洋脊線之位置與強度均與觀測者十分接近。但西伯利亞脊線與東亞槽則位置稍偏西且強度太弱。

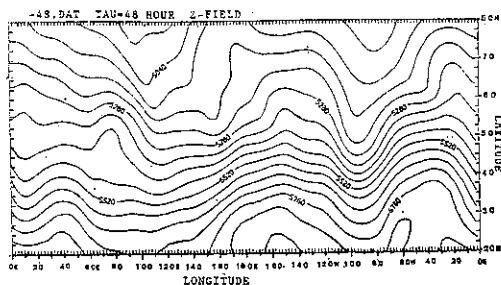


圖 4 b 用寒潮發生前48小時資料預測48小時之高度場  
Fig. 4b Same as Fig. 4a, but TAU=48.

## 5—2 平均西風之時間變化

圖 5 為寒潮爆發前72小時、48小時、24小時及 0 小時之實際觀測平均西風隨緯度的分佈圖。

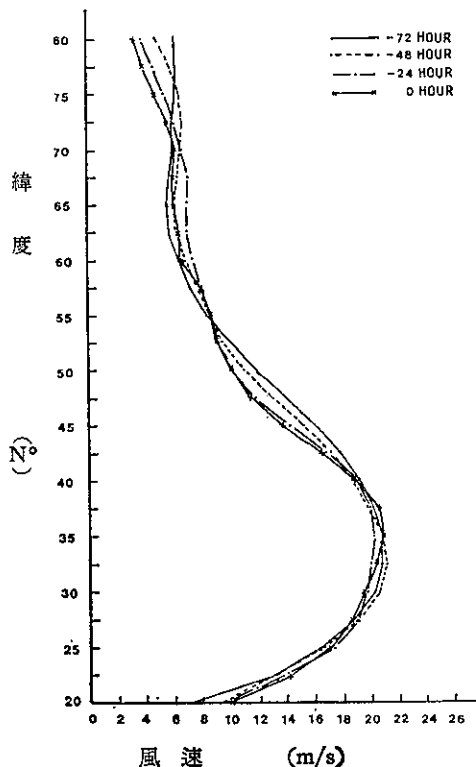


圖 5 觀測的平均西風隨緯度之分佈  
Fig. 5 The observed time sequence mean westerlies variation with latitude.

圖 6 則為以寒潮爆發前72小時為初始時間的預報平均西風分佈圖。

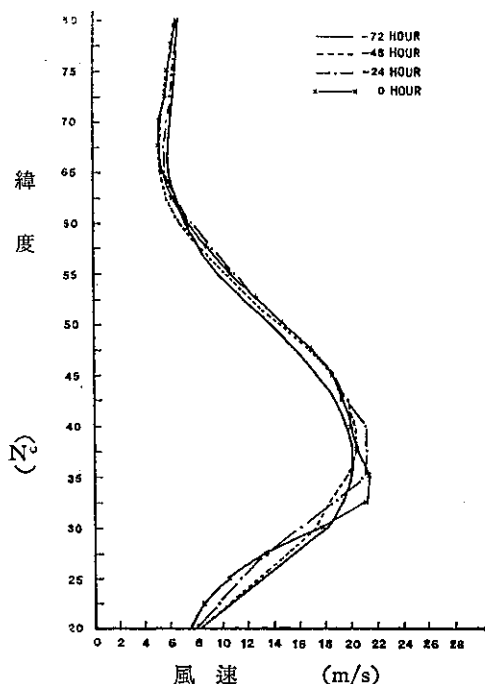


圖 6 預測的平均面風隨緯度之分佈

Fig. 6 The predicted time sequence mean westerlies variation with latitude.

由此兩圖可知，預測平均西風與實際觀測者十分接近，平均西風的大小及其隨緯度的分佈形狀隨時間均沒有明顯的變化。由此可知，在寒潮爆發前72小時至0小時間，行星波數2振幅減小而波數3振幅增大的現象，並非由線性正壓不穩定所造成。本文利用正壓原始方程式模式即能預測波數2與波數3行星波之時間變化，可見行星波之時間變化是由非線性正壓過程所造成。我們將在下兩小節詳細分析這個物理過程。

### 5—3 波動動能之時間變化

圖 7 為蔡清滄、王時鼎 (1981) 所分析之 $50^{\circ}\text{N}$ ~ $70^{\circ}\text{N}$  緯帶波動動能在臺灣寒潮爆發前72小時至後24小時期間的變化情形。此圖的最主要特徵是波數3的動能從臺灣寒潮爆發前48小時開始有明顯的增加，到寒潮爆發前12小時有極大值，然後開始隨時間減小。在寒潮爆發前72小時至前36小時期間，波數2有較大的動能。但在寒潮爆發前24小時至後12小時期間，則波數3有較大的動能。

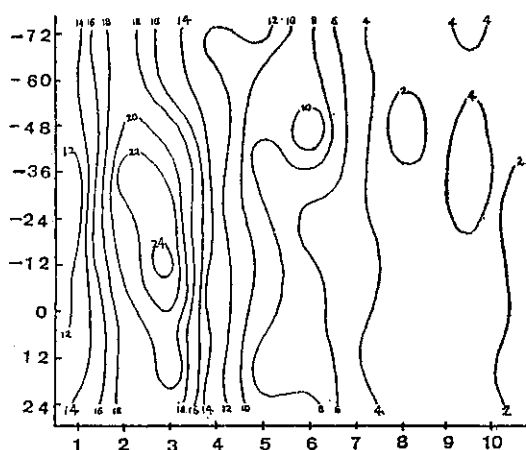


圖 7 觀測 $50^{\circ}\text{N}$ ~ $70^{\circ}\text{N}$  緯帶之波動能在冷鋒通過臺灣北部前三天至後一天期間的變化情形 (等值線數字單位為  $\text{m}^2\text{S}^{-2}$ )

Fig. 7 Between latitude  $50^{\circ}\text{N}$  and  $70^{\circ}\text{N}$ , wave energy of different wavenumber to change with time (from three days before cold front arrive northern Taiwan to one day after)

圖 8 則為以寒潮爆發前72小時為初始時間之 $50^{\circ}\text{N}$ ~ $70^{\circ}\text{N}$  緯帶波動動能之時間變化情形。在此圖中波數3的動能從寒潮爆發前24小時才開始有顯著的增加，到寒潮爆發後12小時有極大值。在寒潮爆發前12小時至後12小時期間，波數3有相對較大

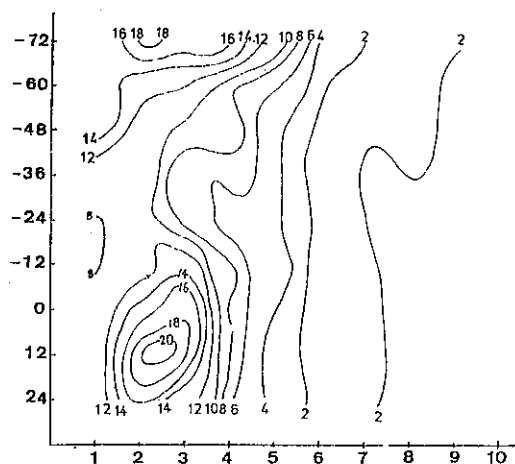


圖 8 由寒潮爆發前72小時資料預測至寒潮爆發後24小時， $50^{\circ}\text{N}$ ~ $70^{\circ}\text{N}$  緯帶之波動動能隨時間變化情形。

Fig. 8 Use observational height field at 72 hours before cold surge occurs to predict  $50^{\circ}\text{N}$ ~ $70^{\circ}\text{N}$  (latitude) wave energy to change with time (from TAU=-72 to TAU=24).

的動能。因此，預測波數 3 動能的增加較實際觀測者落後 12 至 24 小時。但本文模式似能預測行星波波數 3 動能的成長情形。

#### 5-4 波動動能變化之計算

Tsay and Kao (1978) 及 Tsay (1979) 曾利用擾動動能方程式計算實際大氣動能之時間變化。我們利用相同之擾動動能方程式計算預測波動動能之變化。波數  $n$  之動能方程式如下：

$$\frac{\partial K(n)}{\partial t} = L_1(n) + M_1(n) + RES(n) \quad (24)$$

其中  $\partial K/\partial t$  為動能之時間變率， $L_1$  為非線性動能交換項， $M_1$  為平均緯流動能與波動動能交換項， $RES$  則為剩餘項。公式 24 中我們的積分範圍為  $50^\circ N \sim 70^\circ N$ ，因為我們採用正壓原始程式，因此

動能方程式中沒有位、動能轉換項、摩擦損耗項，以及風場垂直微分項等，而剩餘項只包括邊界位能與動能通量，以及計算誤差等的影響。在計算誤差中， $\partial K/\partial t$  項之誤差可能會很大，此乃因在能量方程式中我們採用中差法而時距為 12 小時，而利用正壓原始方程式作預報時我們採用之時距為 5 分鐘。

圖 9 a、9 b 及 9 c 分別是以寒潮爆發前 72 小時為初始時間之 24、48 及 72 小時預報結果。在這三個時間，波數 3 的動能都有顯著的增加 ( $\partial K/\partial t$  均為正)，而其動能之增加主要是來自非線性動能之轉換。線性正壓動能轉換項很小，可見波數 3 之動能不是來自平均緯流。另外，剩餘項數值也很大，可能是計算誤差及邊界項所造成的。再檢查非線性動能轉換項，我們發現在這三個時間，波數 5 持續透過非線性作用損失動能。

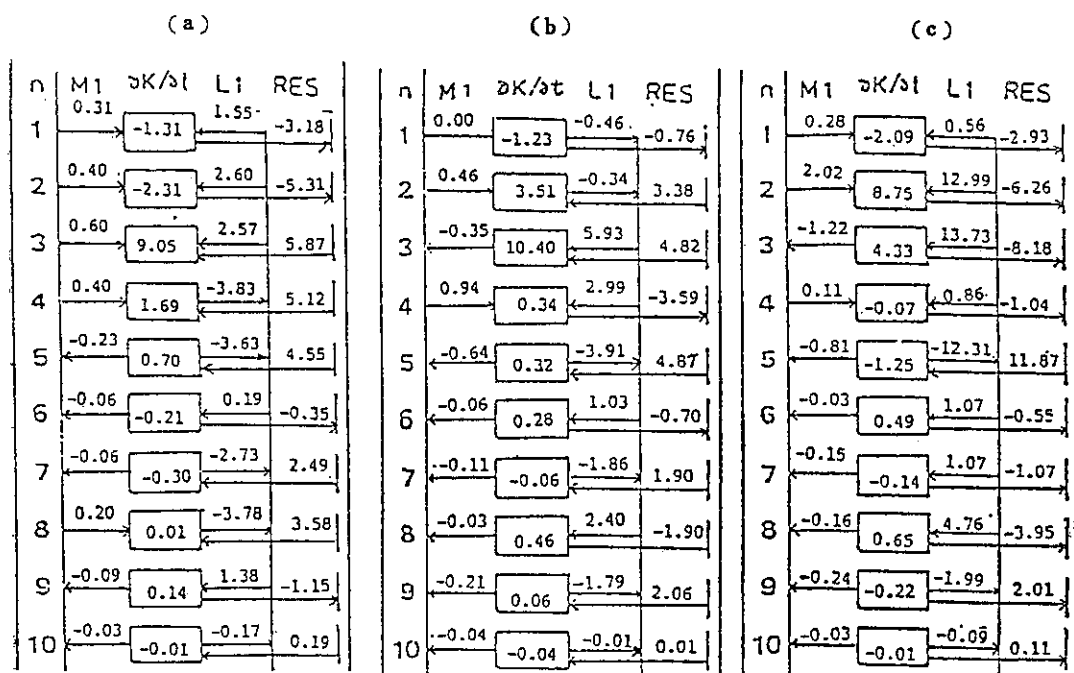


圖 9 a 預測 48 小時  $50^\circ N \sim 70^\circ N$  緯帶上，波數動能方程式中各項之貢獻。圖 9 b 預測 60 小時  $50^\circ N \sim 70^\circ N$  緯帶上，波數動能方程式中各項之貢獻。圖 9 c 預測 72 小時  $50^\circ N \sim 70^\circ N$  緯帶上，波數動能方程式中各項之貢獻。

Fig. 9a Use the same observational data as Fig. 8 to compute the contribution of interaction between waves of wave number  $n$  and the mean zonal motion,  $M1$ : nonlinear interaction contribution to waves of wave number  $n$   $L1$ : kinetic energy change with time ( $\partial K/\partial t$ ), and residual term at  $TAU=48$ . Fig 9b Same as Fig. 9a, but  $TAU=60$ . Fig 9c Same as Fig. 9a, but  $TAU=72$ .

為進一步了解非線性交作用，我們進一步計算非線性動能交換項各分量的時間平均（24、48 及 72 小時三個預測時間平均）。

圖 10 a 及 10 b 分別為波數 3 及波數 5 之三個時間平均動能方程式各項數值。（其中符號  $2 \times 5$  代表波數 2 與波數 5 非線性交作用對波數 3 動能之

貢獻。)由圖10 a 知,波數3動能之增加主要透過波數2與波數5非線性交互作用來自波數5之動能。而由圖10 b 知,波數5透過波數2與波數3之非線性交互作用損失動能。

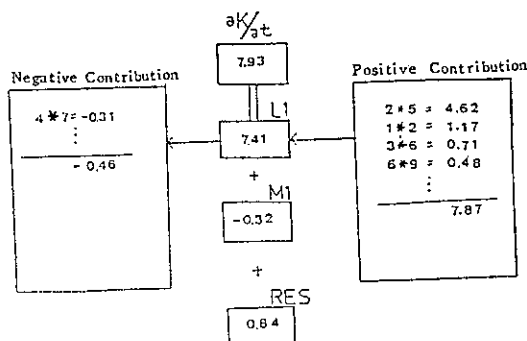


圖10 a 波數3三個時間平均動能方程式各項數值  
Fig. 10a Use the value of Fig. 9a-9c to take the average kinetic energy at  $TAU=48, 60, 72$  for wave number 3.

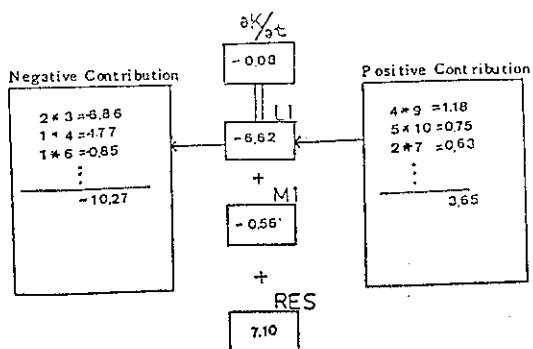


圖10 b 波數5三個時間平均動能方程式各項數值  
Fig. 10b Same as Fig. 10a, but for wave number 5.

## 六、結 論

由實際觀測天氣圖可發現寒潮期間行星波係由波數2演變為波數3。本文數值模擬採用正壓原始方程式確能預測此項行星波長之改變,但預測之變化時間稍慢些。

將預測之風場經由富氏轉換 (Fourier Transform) 至波數域 (Wave-Number Domain) 然後代入擾動動能方程式計算波動動能,證明模式預測波數3動能之增加是透過波數2與波數5之非線性交互作用,來自波數5之動能。故需要進一步研究波數2與波數5之非線性交互作用如何貢獻

波數3之動能。亦即分析此等波數之相對位置和對應之天氣圖型式。

如欲改進模擬結果,需用半球模式加入地形,以進一步了解地形對行星波形成之影響。

## 七、致 謝

本研究進行期間承國科會經費支援及中央氣象局研究發展科胡科長仲英慨允使用該局電子計算機及精良的繪圖系統,余進義先生協助能量部份之計算,特致由衷的謝忱。

## 八、參考資料

1. Arakawa, A. and V. R. Lamb, 1981: A Potential Enstrophy and Energy Conserving Scheme for the Shallow Water Equations. Mon. Wea. Rev. 109, 18-36.
2. Arakawa, A. and V. R. Lamb, 1977: Computational Design of the Basic Dynamical Processes of the UCLA General Circulation Model. Methods in Computational Physics Advances in Research and Application Vol. 17, 174-264.
3. Haltiner, G. J. and R. T. Williams, 1980: Numerical Predication and Dynamic Meteorology. John Wiley and Sons, Inc., 477pp.
4. Robert, A. J., 1966: The Integration of a Low Order Spectral Form of the Primitive Meteorological Equations. J. Meteor. Soc. Japan, Ser. 2. 44. 237-245.
5. Tsay, C. Y. and Li-Yu Jen, 1981: Planetary-Scale Waves and Winter Seasonal Temperature Forecasting in Taiwan. Papers Meteor. Res., 4, 13-20.
6. Tsay, C. Y. and S. K. Kao, 1978: Linear and Nonlinear Contributions to the Growth and Decay of the Large Scale Atmospheric Waves and Jet Stream. Tellus 30, 1-14.
7. Tsay, C. Y., 1979: Growth and Decay of Large-Scale Waves in the Tropical Upper Troposphere during the Northern Summer. J. Atmos. Sci., 36, 24-31.
8. 蔡清彥, 王時鼎, 1981: 波動間非線性能量交換與寒潮爆發, 國立臺灣大學大氣科學系研究報告 WMS-03號, 28pp.

# A Study of Planetary Scale Waves and Eastern Asia Cold Surges by Using the Barotropic Model

*Chung-Shan Wang*

Section Chief of Computer Center,  
Central Weather Bureau.

*Ching-Yen Tsay*

Professor of Department of Atmospheric  
Science, National Taiwan University.

## ABSTRACT

Observationally, the northern hemispheric planetary wave number is 2 during the winter season. As the cold surge outbreaks in eastern Asia, the planetary wave number changes to 3. The purpose of this report is to study the non-linear interaction of the planetary waves by using the barotropic model. We adopt the potential enstrophy and energy conserving numerical scheme in the shallow water channel model. The grid arrangement is Arakawa C grid.

We use composite maps of severe cold surge cases as the initial data. It is found that this model is able to simulate the observed phenomena of wave number changing from 2 to 3. But the simulated wave number change lags behind that of observation in the order of 12-24 hours.

From the computation of perturbation kinetic energy equation, we discover that the increased kinetic energy of wave number 3 is coming from wave number 5 through the non-linear interaction between wave number 2 and wave number 5.

## THE COMPARISON OF ERROR STATISTICS AMONG ANALOG TYPHOON TRACK PREDICTION MODELS

*Shi-Yang, Chen<sup>1</sup> & Davis K. Cope<sup>2</sup>*

### ABSTRACT

A study of position prediction methods for typhoon tracks is presented. The basic HURRAN method, the modified single weighting and double weighting methods, and least squares curve fitting methods are examined and compared. Error statistics for all methods are compiled using western North Pacific typhoons for 1976 and 1978 as sample years. The data base used as a source of analog typhoons consisted of all western North Pacific typhoons over 1959-1978 omitting the sample years 1976 and 1978.

The HURRAN method was stable over the two sample years with respect to both bias and accuracy and was the most accurate of the predictors. The single weighting method over the two sample years was stable with respect to bias and shows good potential as a prediction method. Suggestions for further investigation of weighted analog methods are presented.

These results will be useful for typhoon track prediction in the operational meteorological center.

### 1. INTRODUCTION

Typhoons are a disastrous weather phenomenon of the tropical area and often cause severe damage in property and loss of life. At present, weather modification techniques cannot deal with typhoons. Early and accurate prediction is necessary to reduce damage. Among the various predictions we can make about a typhoon, track prediction is the most important one. A track consists of positions of the center of the typhoon at 6 hour intervals and is obtained from the post

analysis of original observations of the center of the typhoon by various instruments. Meteorological satellite data, available since 1965, provides smoother tracks than those of earlier years. The track data used in this research came from the Annual Typhoon Report of Joint Typhoon Warning Center (JTWC) in Guam.

Track prediction has been divided into four categories (Hope and Neumann, 1977): the analog method, the empirical

---

<sup>1</sup> Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan, Republic of China

<sup>2</sup> Mathematical Division, North Dakota State University, Fargo, ND 58105, U.S.A.



method, the regression equation method, and numerical methods. The empirical method refers to position prediction from a track plot using the subjective estimates of experienced forecasters. A more objective approach is desirable. The regression equation method uses a regression equation to relate predicted positions to a large number of input variables. The regression equation is obtained by the statistical analysis of past typhoon tracks, and it is difficult to assign physical meaning to the regression coefficients. Numerical methods of position prediction refer to the numerical solution of the hydrodynamic equations of motion for an air mass. The accuracy is often influenced by sparse observations in the West Pacific Ocean area and errors of radiosonde reporting. Computational time — even for simplified models — is often extreme. However, more sophisticated models are under development (Hu Chung-Ying and Chen Shi-yang, 1976).

The analog method uses the partial track of the current typhoon to select similar tracks from an historical file. It has the advantage of simple data input, fast calculation, and reasonably good results (Neuman and Hope, 1972; Jarrel and Wagoner, 1973). The method has been widely adopted (Hope and Neuman, 1977).

This research examines the accuracy of position prediction by the analog method. The historical file used consists of all typhoons in the western North Pacific area over 1959-1978, excluding 1976 and 1978. These years provide a sample of real typhoon tracks for testing the method and were chosen simply as two recent years with some separation between them to reduce any year-to-year correlations. Predictions are made from

12 to 72 hours ahead; the 24 hour predictions is generally the one of most interest to an operational center. We concentrate on analyzing predictions for 12, 24, and 36 hours.

Section 2 does position prediction by a simple least-squares curve fit to the typhoon track using polynomials from first to fourth order. This work provides baseline error data for comparison with the analog method.

Section 3 gives a brief background review of the analog method.

Section 4 adapts the basic analog method of Neuman and Hope (1972) to the Western Pacific area data base and determines its prediction error.

Section 5 and 6 modify the basic analog method by weighting the analog tracks selected from the historical file according to their similarity to the current track. The more heavily weighted tracks make a heavier contribution to the position prediction. Prediction errors are determined for two weighting schemes.

Section 7 summarizes the results.

## 2. LEAST SQUARES PREDICTORS AND ERROR STATISTICS

### a. Description of Data

The 19 tracks of 1976 and 19 tracks of 1978 which occurred in the West Pacific Ocean over latitude 14 to 28 degree North and west of longitude 140 degree East were taken as a random sample of typhoons for testing track prediction methods.

### b. Least Squares Fit

Position predictions were obtained as follows: given a current position on a cur-

rent track, the lat/long (y-coordinate/x-coordinate) positions of the most recent several points, given at 6 hour intervals, were considered as functions of time. Least-squares fits for  $x$ ,  $y$  as polynomials in the time were obtained. These polynomials were then used to predict positions 12, 24, and 36 hours ahead of the current point. For each prediction the error  $(Dx, Dy) = (X_{\text{true}}, Y_{\text{true}}) - (X_{\text{pred}}, Y_{\text{pred}})$ . Polynomial fits from first order through fourth order were examined, and the number of most recent points used varied from 3 to 13 as indicated in Tables 1-6.

### c. Error Statistics of Curve Fitting

Tables 1, 2, 3, 4, 5, 6 summarize the results for 12, 24, and 36 hour predictions of 1976 and 1978, respectively. The sections of each table summarize the error statistics for the combinations of order of polynomial fit and number of points used in the fit. The statistics in each section are based on 163 to 242 total points for 1976 and 190 to 293 total points for 1978; the variation depends on the number of points used for the curve fit — requiring 13 points leaves fewer points for making predictions than requiring 3 points.

The statistics presented in each section of the table are the mean  $Dx$ ,  $Dy$  — errors (used to check for biased predictions)  $\overline{Dx}$ ,  $\overline{Dy}$ , the correlation coefficient (reported for completeness and not directly relevant to these error evaluations), and the semi-axes  $A$ ,  $B$  for the 50% probability ellipse.  $\overline{Dy}$ ,  $\overline{Dx}$ ,  $A$ ,  $B$  are given in degrees. The  $\overline{Dy}$ ,  $\overline{Dx}$  values give the bias of the predictions and the  $A$ ,  $B$  values give the accuracy. The correlation coefficient is used to calculate the inclination of the ellipse in an actual prediction. Figure 1 shows a 50% probability ellipse calculated

for a set of error values and the application of the ellipse to making a position prediction. The formulas used to calculate these quantities are given in Appendix. A.

Using these tables, first notice the difference in the size of the probability ellipse between corresponding entries for 1976 and 1978. The 1978 ellipses are considerably larger than the corresponding 1976 ellipses. This difference is our first basic result. The absolute performance of these predictors cannot be obtained from data for a single year because there may be large variations in performance for a given predictor from year to year, that is, the least squares predictors are unstable. This research does not attempt estimates of absolute performance. Instead the relative performance of estimators for each of the years 1976 and 1978 is examined, and this relative performance is consistent for the two years.

Second, increasing the order of the polynomial fit does not improve the accuracy. Although the results for third and fourth order polynomials show a tendency to improve as the number of data points used in the fit increases, they are still definitely worse than the first and second order predictors. Consequently, we concentrate on the first and second order cases.

Third, a polynomial predictor may require more data points as one tries longer prediction intervals. The first order predictor works best at 3 data points over all prediction intervals. The second order predictor uses 5-7 points for a best prediction over 12 hours, 9 points for a best prediction over 24 hours, and apparently something over 9 points for a best prediction at 36 hours.

Fourth, the simple first order predictor using 3 data points gives the most ac-

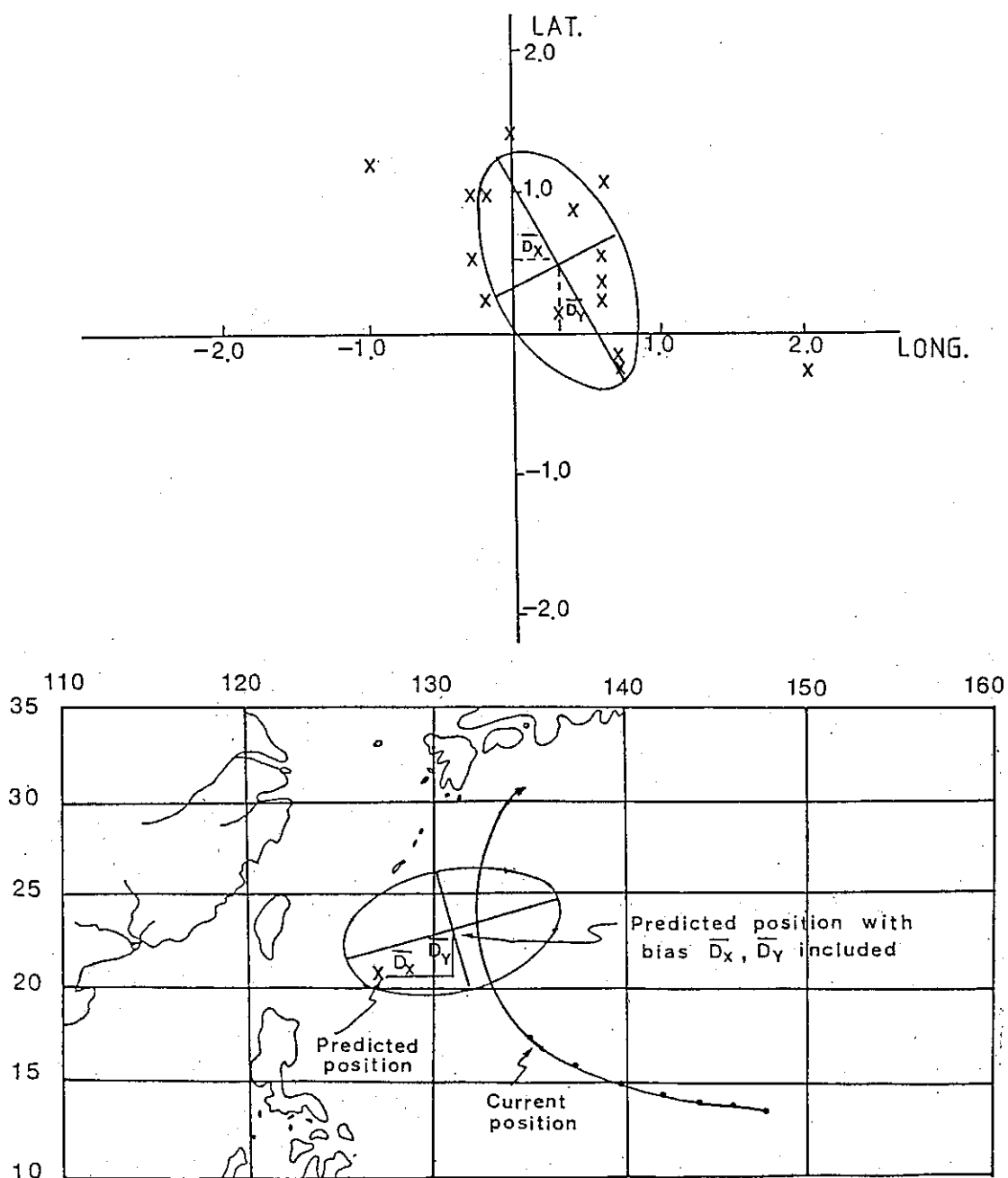


Figure 1: A 50% Probability Ellipse Showing Bias  $\overline{D}_x, \overline{D}_y$  and Semiaxes A, B and the Application of the Ellipse To Obtaining A Position Prediction

curate results (smallest 50% probability ellipse) over all prediction intervals but it has a clearcut and sizeable longitudinal bias ( $\overline{Dx}$ -values). This bias must be subtracted from the predicted position for accurate results; values for the bias (average of 1976 and 1978 results) are 0.22 degree for 12 hour, 0.73 degree for 24 hour, 1.52 degree for 36 hour. This bias in the linear predictor is consistent with experience. Typhoons in the Western Pacific tend to move to the west and then curve to the north. This curving tends to place the longitude of the true position to the east of the linearly extrapolated position, in agreement with the bias observed here. Notice that the bias of the second order predictor is small compared with the first order. We could say that in choosing the first order over the second order we are choosing a gain in accuracy at the cost of a greater bias.

Finally, these results suggest that a further study of least-squares curve fits should involve first and second order predictors using 3-7 points. Such a study could compile error statistics over several years of data to confirm the instability in accuracy and bias. Such a study should also consider modified predictors which might combine the accuracy of the first order with the lack of bias of the second order, for instance, taking a linear fit for the latitude and a quadratic for the longitude.

### 3. PRINCIPLES OF THE ANALOG METHOD

The analog method first scans the historical file of past typhoons and chooses those most similar to the current typhoon. After making suitable track adjustments, the movements of the historical

typhoons are used to predict the future movement of the current typhoon.

The method is very similar to the subjective forecasting procedure, because a forecaster makes predictions by an analog procedure (Jarrell and Wagoner, 1973). He finds similar conditions, then mentally determines the average results under these conditions, then makes his best estimate.

Two analog typhoon track prediction models, HURRAN and TYFOON, were developed in the 70s and are still used routinely. HURRAN (HURRICANE ANALOG), developed by Hope and Neuman, is based on a statistical study done by Haggard et al. in 1965 of the probability a hurricane will invade the Cape Kennedy space craft launching site and is a by-product of the American space project. After that, a similar model, TYFOON, was developed by the U.S. Navy and used by the Joint Typhoon Warning Center (JTWC), Guam in August, 1970 (Jarrell and Somervell, 1970). Now TYFOON has been improved to TYFN 78, and a similar method has been applied to track predictions of tropical cyclones in the Indian and South Pacific Ocean.

In general, the variations between analog models fall into the three areas: 1) the criteria used to select analog typhoons; 2) the adjustment of differences between the current typhoon and the analog typhoon; and 3) the composition of the adjusted analog tracks to a single position prediction. (Jarrell, Mauck and Renard, 1975).

### 4. THE HURRAN ANALOG METHOD AND ERROR STATISTICS

#### a. The HURRAN Technique

The HURRAN technique was developed

Table1. Error statistics for 12 hour prediction by curve fitting (1976 data).

|         |                 | Number of points in regression |        |        |        |        |        |
|---------|-----------------|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|         |                 | 3                              | 5      | 7      | 9      | 11     | 13     |
| order 1 | $\overline{Dy}$ | 0.029                          | 0.046  | 0.073  | 0.107  | 0.148  | 0.206  |
|         | $\overline{Dx}$ | 0.271                          | 0.506  | 0.792  | 1.050  | 1.308  | 1.590  |
|         | A               | 0.507                          | 0.577  | 0.687  | 0.849  | 1.034  | 1.225  |
|         | B               | 0.847                          | 1.045  | 1.248  | 1.567  | 1.938  | 2.345  |
|         | Corr. coef.     | 0.120                          | 0.142  | 0.176  | 0.186  | 0.209  | 0.215  |
|         | Total point     | 242                            | 225    | 209    | 194    | 179    | 163    |
| order 2 | $\overline{Dy}$ | 0.010                          | 0.038  | 0.034  | 0.005  | -0.030 | -0.007 |
|         | $\overline{Dx}$ | 0.023                          | 0.090  | 0.160  | 0.238  | 0.315  | 0.416  |
|         | A               | 0.823                          | 0.663  | 0.637  | 0.684  | 0.765  | 0.864  |
|         | B               | 0.997                          | 0.967  | 1.020  | 1.074  | 1.171  | 1.265  |
|         | Corr. coef.     | 0.035                          | 0.162  | 0.102  | 0.010  | -0.112 | -0.185 |
|         | Total point     | 242                            | 225    | 209    | 194    | 179    | 163    |
| order 3 | $\overline{Dy}$ | —                              | 0.023  | 0.030  | 0.019  | 0.014  | 0.011  |
|         | $\overline{Dx}$ | —                              | 0.011  | -0.002 | -0.057 | -0.043 | -0.002 |
|         | A               | —                              | 1.490  | 1.008  | 0.871  | 0.858  | 0.901  |
|         | B               | —                              | 1.592  | 1.420  | 1.348  | 1.324  | 1.388  |
|         | Corr. coef.     | —                              | 0.018  | 0.042  | 0.043  | 0.027  | -0.075 |
|         | Total point     | —                              | 225    | 209    | 194    | 179    | 163    |
| order 4 | $\overline{Dy}$ | —                              | -0.081 | 0.003  | -0.003 | 0.041  | 0.122  |
|         | $\overline{Dx}$ | —                              | -0.168 | -0.065 | -0.096 | -0.065 | -0.040 |
|         | A               | —                              | 4.279  | 2.115  | 1.526  | 1.255  | 1.144  |
|         | B               | —                              | 4.654  | 2.529  | 1.996  | 1.855  | 1.766  |
|         | Corr. coef.     | —                              | 0.001  | 0.126  | 0.024  | -0.003 | 0.000  |
|         | Total point     | —                              | 225    | 209    | 194    | 179    | 163    |

$\overline{Dy}$ ,  $\overline{Dx}$  = mean errors (degree)

A, B = semi minor, semi major axes (degree) for 50% probability ellipse

Total point = number of predicted points

Order refers to the order of the polynomial fit (with respect to time)

Table 2. Error statistics for 12 hour prediction by curve fitting (1978 data).

|         |                 | Number of points in regression |        |        |        |        |        |
|---------|-----------------|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|         |                 | 3                              | 5      | 7      | 9      | 11     | 13     |
| order 1 | $\overline{Dy}$ | -0.010                         | -0.013 | 0.019  | 0.068  | 0.130  | 0.163  |
|         | $\overline{Dx}$ | 0.179                          | 0.283  | 0.410  | 0.545  | 0.714  | 0.951  |
|         | A               | 0.760                          | 0.892  | 1.038  | 1.142  | 1.238  | 1.374  |
|         | B               | 1.019                          | 1.203  | 1.433  | 1.770  | 2.140  | 2.523  |
|         | Corr. coef.     | 0.028                          | 0.030  | 0.003  | -0.027 | -0.071 | -0.132 |
|         | Total point     | 317                            | 299    | 279    | 257    | 235    | 211    |
| order 2 | $\overline{Dy}$ | -0.010                         | 0.004  | 0.012  | 0.004  | -0.001 | -0.016 |
|         | $\overline{Dx}$ | 0.020                          | 0.068  | 0.095  | 0.136  | 0.184  | 0.273  |
|         | A               | 1.446                          | 1.091  | 1.046  | 1.077  | 1.178  | 1.218  |
|         | B               | 1.932                          | 1.433  | 1.357  | 1.419  | 1.523  | 1.581  |
|         | Corr. coef.     | -0.063                         | 0.021  | 0.000  | -0.099 | -0.112 | -0.075 |
|         | Total point     | 317                            | 299    | 279    | 257    | 235    | 211    |
| order 3 | $\overline{Dy}$ | —                              | -0.012 | 0.028  | 0.002  | -0.039 | -0.082 |
|         | $\overline{Dx}$ | —                              | 0.001  | -0.017 | 0.004  | 0.060  | 0.080  |
|         | A               | —                              | 2.367  | 1.672  | 1.454  | 1.342  | 1.299  |
|         | B               | —                              | 3.018  | 2.259  | 1.890  | 1.759  | 1.791  |
|         | Corr. coef.     | —                              | -0.082 | 0.013  | 0.006  | -0.078 | -0.076 |
|         | Total point     | —                              | 299    | 279    | 257    | 235    | 211    |
| order 4 | $\overline{Dy}$ | —                              | -0.056 | -0.055 | -0.000 | 0.027  | 0.025  |
|         | $\overline{Dx}$ | —                              | -0.113 | -0.033 | -0.000 | 0.015  | 0.042  |
|         | A               | —                              | 7.139  | 3.722  | 2.524  | 2.058  | 1.874  |
|         | B               | —                              | 9.398  | 4.792  | 3.592  | 2.846  | 2.320  |
|         | Corr. coef.     | —                              | -0.134 | -0.047 | -0.006 | -0.037 | -0.058 |
|         | Total point     | —                              | 299    | 279    | 257    | 235    | 211    |

$\overline{Dy}$ ,  $\overline{Dx}$  = mean errors (degree)

A, B = semi minor, semi major axes (degree) for 50% probability ellipse

Total point = number of predicted points

Order refers to the order of the polynomial fit (with respect to time)

Table 3. Error statistics for 24 hour prediction by curve fitting (1976 data).

|         |                 | Number of points in regression |        |        |        |        |        |
|---------|-----------------|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|         |                 | 3                              | 5      | 7      | 9      | 11     | 13     |
| order 1 | $\overline{Dy}$ | 0.032                          | 0.070  | 0.109  | 0.132  | 0.181  | 0.269  |
|         | $\overline{Dx}$ | 0.926                          | 1.366  | 1.794  | 2.172  | 2.530  | 2.920  |
|         | A               | 1.032                          | 1.075  | 1.233  | 1.447  | 1.679  | 1.903  |
|         | B               | 1.882                          | 2.055  | 2.380  | 2.855  | 3.395  | 3.935  |
|         | Corr. coef.     | 0.084                          | 0.170  | 0.183  | 0.215  | 0.225  | 0.219  |
|         | Total point     | 220                            | 205    | 191    | 176    | 161    | 147    |
| order 2 | $\overline{Dy}$ | -0.046                         | 0.023  | 0.058  | -0.008 | -0.062 | -0.001 |
|         | $\overline{Dx}$ | 0.285                          | 0.405  | 0.519  | 0.668  | 0.800  | 1.013  |
|         | A               | 2.280                          | 1.714  | 1.514  | 1.495  | 1.573  | 1.633  |
|         | B               | 2.967                          | 2.621  | 2.388  | 2.312  | 2.357  | 2.484  |
|         | Corr. coef.     | 0.113                          | 0.125  | 0.034  | -0.098 | -0.199 | -0.299 |
|         | Total point     | 220                            | 205    | 191    | 176    | 161    | 147    |
| order 3 | $\overline{Dy}$ | —                              | -0.049 | -0.066 | -0.026 | 0.026  | 0.010  |
|         | $\overline{Dx}$ | —                              | 0.182  | -0.050 | -0.174 | -0.105 | -0.093 |
|         | A               | —                              | 5.875  | 3.387  | 2.616  | 2.328  | 2.404  |
|         | B               | —                              | 6.254  | 5.052  | 4.246  | 3.780  | 3.633  |
|         | Corr. coef.     | —                              | 0.023  | 0.043  | 0.022  | -0.068 | -0.119 |
|         | Total point     | —                              | 205    | 191    | 176    | 161    | 147    |
| order 4 | $\overline{Dy}$ | —                              | -0.023 | -0.147 | -0.307 | 0.014  | 0.223  |
|         | $\overline{Dx}$ | —                              | -0.693 | -0.100 | -0.466 | -0.167 | -0.069 |
|         | A               | —                              | 25.923 | 10.531 | 6.518  | 4.863  | 3.978  |
|         | B               | —                              | 29.272 | 12.577 | 8.822  | 7.490  | 6.462  |
|         | Corr. coef.     | —                              | 0.016  | 0.153  | 0.021  | 0.003  | -0.039 |
|         | Total point     | —                              | 205    | 191    | 176    | 161    | 147    |

 $\overline{Dy}$ ,  $\overline{Dx}$  = mean errors (degree)

A, B = semi minor, semi major axes (degree) for 50% probability ellipse

Total point = number of predicted points

Order refers to the order of the polynomial fit (with respect to time)

Table 4. Error statistics for 24 hour prediction by curve fitting (1978 data)

|         |                 | Number of points in regression |        |        |        |        |        |
|---------|-----------------|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|         |                 | 3                              | 5      | 7      | 9      | 11     | 13     |
| order 1 | $\overline{Dy}$ | -0.022                         | -0.006 | 0.067  | 0.150  | 0.224  | 0.260  |
|         | $\overline{Dx}$ | 0.586                          | 0.769  | 0.988  | 1.228  | 1.503  | 1.904  |
|         | A               | 1.608                          | 1.761  | 1.852  | 1.888  | 1.984  | 2.106  |
|         | B               | 2.144                          | 2.378  | 2.690  | 3.098  | 3.559  | 3.970  |
|         | Corr. coef.     | 0.000                          | 0.011  | -0.001 | -0.023 | -0.096 | -0.157 |
|         | Total point     | 293                            | 275    | 255    | 233    | 211    | 190    |
| order 2 | $\overline{Dy}$ | 0.070                          | 0.033  | 0.041  | 0.025  | 0.002  | -0.045 |
|         | $\overline{Dx}$ | 0.162                          | 0.253  | 0.321  | 0.432  | 0.579  | 0.814  |
|         | A               | 4.210                          | 2.793  | 2.484  | 2.468  | 2.503  | 2.430  |
|         | B               | 5.302                          | 3.622  | 3.185  | 3.183  | 3.230  | 3.249  |
|         | Corr. coef.     | -0.119                         | -0.008 | -0.051 | -0.110 | -0.103 | -0.035 |
|         | Total point     | 293                            | 275    | 255    | 233    | 211    | 190    |
| order 3 | $\overline{Dy}$ | —                              | 0.217  | 0.111  | -0.037 | -0.173 | -0.257 |
|         | $\overline{Dx}$ | —                              | 0.052  | -0.073 | 0.030  | 0.148  | 0.218  |
|         | A               | —                              | 9.200  | 5.671  | 4.372  | 3.673  | 3.334  |
|         | B               | —                              | 11.321 | 7.338  | 5.522  | 4.926  | 4.646  |
|         | Corr. coef.     | —                              | -0.113 | -0.006 | -0.024 | -0.102 | -0.077 |
|         | Total point     | —                              | 275    | 255    | 233    | 211    | 190    |
| order 4 | $\overline{Dy}$ | —                              | 0.065  | 0.123  | 0.160  | 0.071  | 0.172  |
|         | $\overline{Dx}$ | —                              | -0.392 | -0.018 | 0.072  | 0.121  | 0.101  |
|         | A               | —                              | 43.042 | 18.203 | 10.824 | 7.966  | 6.493  |
|         | B               | —                              | 55.912 | 23.011 | 14.837 | 10.563 | 8.110  |
|         | Corr. coef.     | —                              | -0.185 | -0.084 | -0.030 | -0.064 | -0.101 |
|         | Total point     | —                              | 275    | 255    | 233    | 211    | 190    |

$\overline{Dy}$ ,  $\overline{Dx}$  = mean errors (degree)

A, B = semi minor, semi major axes (degree) for 50% probability ellipse

Total point = number of predicted points

Order refers to the order of the polynomial fit (with respect to time)



Table 5. Error statistics for 36 hour prediction by curve fitting (1976 data).

|         |                 | Number of points in regression |         |        |        |        |        |
|---------|-----------------|--------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|
|         |                 | 3                              | 5       | 7      | 9      | 11     | 13     |
| order 1 | $\overline{Dy}$ | 0.103                          | 0.123   | 0.125  | 0.118  | 0.164  | 0.249  |
|         | $\overline{Dx}$ | 1.938                          | 2.504   | 3.004  | 3.465  | 3.864  | 4.303  |
|         | A               | 1.519                          | 1.647   | 1.866  | 2.137  | 2.413  | 2.655  |
|         | B               | 2.942                          | 3.171   | 3.635  | 4.228  | 4.865  | 5.525  |
|         | Corr. coef.     | 0.231                          | 0.237   | 0.251  | 0.255  | 0.235  | 0.206  |
|         | Total point     | 193                            | 182     | 170    | 155    | 142    | 128    |
| order 2 | $\overline{Dy}$ | 0.065                          | 0.255   | 0.246  | 0.112  | 0.033  | 0.105  |
|         | $\overline{Dx}$ | 0.535                          | 0.825   | 1.065  | 1.264  | 1.502  | 1.795  |
|         | A               | 4.579                          | 3.129   | 2.635  | 2.511  | 2.638  | 2.740  |
|         | B               | 5.855                          | 4.789   | 4.241  | 3.938  | 3.955  | 4.030  |
|         | Corr. coef.     | 0.138                          | 0.135   | -0.008 | -0.146 | -0.238 | -0.286 |
|         | Total point     | 193                            | 182     | 170    | 155    | 142    | 128    |
| order 3 | $\overline{Dy}$ | —                              | -0.012  | 0.050  | 0.195  | 0.325  | 0.342  |
|         | $\overline{Dx}$ | —                              | -0.062  | -0.165 | -0.464 | -0.462 | -0.282 |
|         | A               | —                              | 15.241  | 7.790  | 5.518  | 4.792  | 4.820  |
|         | B               | —                              | 16.060  | 12.177 | 9.454  | 7.836  | 7.271  |
|         | Corr. coef.     | —                              | 0.030   | 0.023  | -0.032 | -0.099 | -0.177 |
|         | Total point     | —                              | 182     | 170    | 155    | 142    | 128    |
| order 4 | $\overline{Dy}$ | —                              | -0.700  | -0.648 | -0.613 | 0.155  | 0.674  |
|         | $\overline{Dx}$ | —                              | -2.668  | -1.289 | -1.268 | -0.491 | -0.696 |
|         | A               | —                              | 90.087  | 33.241 | 18.494 | 12.411 | 9.710  |
|         | B               | —                              | 103.803 | 39.313 | 26.008 | 20.462 | 16.187 |
|         | Corr. coef.     | —                              | -0.012  | 0.145  | 0.006  | -0.018 | -0.101 |
|         | Total point     | —                              | 182     | 170    | 155    | 142    | 128    |

$\overline{Dy}$ ,  $\overline{Dx}$  = mean errors (degree)

A, B = semi minor, semi major axes (degree) for 50% probability ellipse

Total point = number of predicted points

Order refers to the order of the polynomial fit (with respect to time)

Table 6. Error statistics for 36 hour prediction by curve fitting (1978 data).

|         |                 | Number of points in regression |         |        |        |        |        |
|---------|-----------------|--------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|
|         |                 | 3                              | 5       | 7      | 9      | 11     | 13     |
| order 1 | $\overline{Dy}$ | -0.054                         | -0.010  | 0.099  | 0.181  | 0.259  | 0.322  |
|         | $\overline{Dx}$ | 1.216                          | 1.489   | 1.832  | 2.218  | 2.671  | 3.151  |
|         | A               | 2.614                          | 2.660   | 2.650  | 2.659  | 2.718  | 2.845  |
|         | B               | 3.486                          | 3.806   | 4.196  | 4.662  | 5.118  | 5.483  |
|         | Corr. coef.     | -0.038                         | -0.034  | -0.039 | -0.061 | -0.114 | -0.143 |
|         | Total point     | 267                            | 249     | 229    | 207    | 188    | 171    |
| order 2 | $\overline{Dy}$ | -0.000                         | 0.098   | 0.116  | 0.077  | -0.028 | -0.045 |
|         | $\overline{Dx}$ | 0.383                          | 0.584   | 0.631  | 0.901  | 1.228  | 1.735  |
|         | A               | 8.676                          | 5.415   | 4.590  | 4.263  | 4.053  | 3.920  |
|         | B               | 10.899                         | 6.761   | 5.601  | 5.354  | 5.296  | 5.262  |
|         | Corr. coef.     | -0.124                         | -0.031  | -0.080 | -0.147 | -0.141 | -0.138 |
|         | Total point     | 267                            | 249     | 229    | 207    | 188    | 171    |
| order 3 | $\overline{Dy}$ | —                              | 0.244   | 0.116  | -0.156 | -0.474 | -0.541 |
|         | $\overline{Dx}$ | —                              | 0.064   | -0.104 | -0.120 | 0.102  | -0.010 |
|         | A               | —                              | 23.455  | 13.298 | 9.464  | 7.558  | 6.629  |
|         | B               | —                              | 29.022  | 16.971 | 12.009 | 9.860  | 8.425  |
|         | Corr. coef.     | —                              | -0.123  | -0.027 | -0.050 | -0.093 | -0.049 |
|         | Total point     | —                              | 249     | 229    | 207    | 188    | 171    |
| order 4 | $\overline{Dy}$ | —                              | -2.490  | 0.135  | -0.137 | 0.292  | -0.013 |
|         | $\overline{Dx}$ | —                              | -2.092  | 0.135  | 0.687  | 0.278  | 0.161  |
|         | A               | —                              | 143.794 | 56.240 | 30.037 | 20.085 | 15.782 |
|         | B               | —                              | 194.676 | 70.942 | 41.309 | 27.314 | 19.431 |
|         | Corr. coef.     | —                              | -0.222  | -0.089 | -0.040 | -0.102 | -0.103 |
|         | Total point     | —                              | 249     | 229    | 207    | 188    | 171    |

$\overline{Dy}$ ,  $\overline{Dx}$  = mean errors (degree)

A, B = semi minor, semi major axes (degree) for 50% probability ellipse

Total point = number of predicted points

Order refers to the order of the polynomial fit (with respect to time)

by Hope and Neumann (1970) for the prediction of the movement of North Atlantic tropical cyclones.

### 1) The Criteria for Selection of Analogs

The selected analog must satisfy four criteria:

#### i) Distance:

We find the position on the historical track which is closest to the current typhoon position. Let this point be  $(X_k, Y_k)$ . The distance between these two positions must be less than 300 nautical miles.

#### ii) Speed:

The vector velocity is based on the vector difference between the present and preceding position (6 hours). One degree per hour equals 60 knots. Speed and heading are calculated from the vector velocity.

We calculate the speed of the historical and current typhoon at  $(X_k, Y_k)$ . Let  $D_v$  be the speed difference between current and historical typhoons and  $v$  be the speed of the current typhoon. Then the analog must satisfy:

$$\begin{array}{ll} D_v < 5 \text{ knots} & \text{if } V < 10 \\ D_v < 10 \text{ knots} & \text{if } 10 \leq V \leq 20 \\ D_v < 15 \text{ knots} & \text{if } V > 20 \end{array}$$

#### iii) Heading:

The historical track must have a heading within 22.5 degree of either side of the heading of the existing storm.

#### iv) Date:

The historical storm must be within 30 days before or after the current date.

### 2) The Adjustment of Analog Tracks

The HURRAN technique uses a simple method of adjustment. It takes the point which is closest to the current position to be the "best position" and translates (without rotation) the historical track until the best position coincides

with the current typhoon position, as shown in Figure 2.

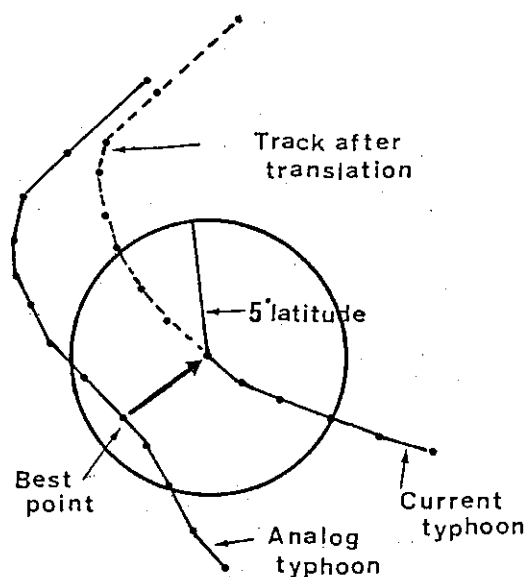


Figure 2: Track Translation of the Analog Typhoon

### 3) Composition of Tracks

Each historical track is composed with the current track to produce a position prediction. The arithmetic mean of these position predictions is the final predicted position for the current typhoon. The composition proceeds as follows: The initial position of the composite track is the current position, and new positions (at 6 hour intervals) on the composite track are formed by adding position increments. Each position increment is a weighted average of the last 6 hour position change of the current typhoon with the position change at the appropriate future time of the analog track. The contribution of the current typhoon is referred to as "persistence"; the analog track contribution is called the "climatology"

Hope and Neumann (1970) prove that if persistence is included over the first 36 hours, average forecasting results will be improved. Including persistence after 36 hours will have no effect on the forecast. Therefore, the initial weighting is almost entirely "persistence" but the weighting shifts towards the climatological component until it is entirely climatological at 36 hours and beyond.

Here  $(X_j, Y_j)$ ,  $(X'_j, Y'_j)$ ,  $(X''_j, Y''_j)$  are the (longitude, latitude) coordinates of the current track, historical track, and composite track respectively at 6 hour intervals, and  $j=k$  corresponds to the current position.

For  $0 < i < 6$ ,

$$\begin{aligned} X''_{k+i} &= X''_{k+i-1} + (X_k - X_{k-1}) (1-i/6) \\ &\quad + (X'_{k+i} - X'_{k+i-1}) (i/6) \\ Y''_{k+i} &= Y''_{k+i-1} + (Y_k - Y_{k-1}) (1-i/6) \\ &\quad + (Y'_{k+i} - Y'_{k+i-1}) (i/6) \end{aligned}$$

For  $6 \leq i$ ,

$$\begin{aligned} X''_{k+i} &= X''_{k+i-1} + X'_{k+i} - X'_{k+i-1} \\ Y''_{k+i} &= Y''_{k+i-1} + Y'_{k+i} - Y'_{k+i-1} \end{aligned}$$

The predicted typhoon position  $(XMEAN_{k+i}, YMEAN_{k+i})$  at 6i hours will be:

$$\begin{aligned} XMEAN_{k+i} &= \frac{1}{N} \sum_{\text{all composites}} X''_{k+i} \\ YMEAN_{k+i} &= \frac{1}{N} \sum_{\text{all composites}} Y''_{k+i} \end{aligned}$$

Here,  $N$  = number of analog typhoons.

#### b. Error Statistics for the HURRAN Analog Method

The HURRAN method was applied to the same random sample of typhoons in

1976 and 1978. Besides the error statistics, we also calculate the vector error, right angle error, and direction error of forecasting.

Vector error is the difference in distance between the true future location and the predicted location. The right angle error is the smallest distance from the predicted location to the correct track of the typhoon. Vector and right angle errors are given in kilometers. The direction error is the difference (degrees) in direction between the vectors from the current position to the predicted and true position. The direction error is negative when the predicted position is to the left of the true position and positive when the predicted position is on the right. The average direction error in Tables 9, 10 is based on absolute values.

From Tables 7 and 8, we first note that the differences in bias and accuracy between 1976 and 1978 is definitely less than the difference for the least squares predictors in section 2. The HURRAN predictor is more stable from year to year than the least squares predictors.

Second, the HURRAN accuracy is consistently better than the least squares predictors of section 2. HURRAN has a clearcut bias in longitude at all prediction intervals; a latitudinal bias begins to show clearly around 36 hours. The bias values (based on averaging the 1976 and 1978 values) are  $(\bar{D}_x, \bar{D}_y) = (-0.04, 0.20)$ ,  $(-0.16, 0.59)$ ,  $(-0.49, 0.78)$  for 12, 24, and 36 hours respectively.

Further work on the HURRAN predictor would include verification of its stability and determination of the bias over a large sample of years. It would also be desirable to investigate the source of the bias — there does not seem to be any direct natural explanation as there was for

Table 7. Error statistics for 12 to 72 hour prediction by HURRAN (1976 data).

|                 | Hours of prediction |        |        |        |        |        |
|-----------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                 | 12                  | 24     | 36     | 48     | 60     | 72     |
| $\overline{Dy}$ | -0.033              | -0.155 | -0.506 | -0.353 | -0.596 | -0.124 |
| $\overline{Dx}$ | 0.248               | 0.730  | 0.859  | 1.354  | 2.356  | 3.424  |
| A               | 0.503               | 1.064  | 1.840  | 1.994  | 2.715  | 2.819  |
| B               | 0.613               | 1.548  | 2.906  | 4.227  | 5.973  | 7.588  |
| Corr. coef.     | 0.0000              | 0.223  | 0.371  | 0.359  | 0.405  | 0.366  |
| Total point     | 122                 | 104    | 88     | 72     | 58     | 39     |

$\overline{Dy}$ ,  $\overline{Dx}$  = mean errors (degree)

A, B = semi minor, semi major axes (degree) for 50% probability ellipse

Total point = number of predicted points

Table 8. Error statistics for 12 to 72 hour prediction by HURRAN method (1978 data).

|                 | Hours of prediction |        |        |        |        |        |
|-----------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                 | 12                  | 24     | 36     | 48     | 60     | 72     |
| $\overline{Dy}$ | -0.043              | -0.170 | -0.486 | -0.886 | -1.281 | -1.996 |
| $\overline{Dx}$ | 0.164               | 0.499  | 0.729  | 1.099  | 1.486  | 1.018  |
| A               | 0.593               | 1.167  | 1.797  | 2.413  | 2.845  | 3.565  |
| B               | 1.004               | 1.784  | 2.800  | 4.113  | 5.582  | 7.047  |
| Corr. coef.     | 0.148               | 0.124  | 0.155  | 0.209  | 0.393  | 0.327  |
| Total point     | 188                 | 166    | 141    | 120    | 103    | 84     |

$\overline{Dy}$ ,  $\overline{Dx}$  = mean errors (degree)

A, B = semi minor, semi major axes (degree) for 50% probability ellipse

Total point = number of predicted points

Table 9. Mean forecast errors for 12 to 72 hour by HURRAN method (1976 data).

|                 | Hours of prediction |         |         |         |         |         |
|-----------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                 | 12                  | 24      | 36      | 48      | 60      | 72      |
| Vector          | 62.587              | 155.470 | 272.853 | 378.242 | 539.392 | 645.563 |
| Right angle     | 42.946              | 108.727 | 188.369 | 268.444 | 394.583 | 433.802 |
| Direction       | 14.970              | 18.931  | 22.308  | 25.902  | 30.216  | 30.215  |
| Negative angles | 78                  | 64      | 52      | 45      | 39      | 31      |
| Zero angles     | 1                   | 1       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Positive Angles | 44                  | 40      | 38      | 27      | 19      | 11      |
| Total point     | 123                 | 105     | 90      | 72      | 58      | 42      |

Vector error = mean radial error.

Right angle error = mean distance from predicted position to closest point on true path.

Direction error = mean of absolute value of heading difference to true and predicted positions.

Negative/Zero/Positive angles = number of angles with indicated sign.

Table 10. Mean forecast errors for 12 to 72 hour by HURRAN method (1978 data)

|                 | Hours of prediction |         |         |         |         |         |
|-----------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                 | 12                  | 24      | 36      | 48      | 60      | 72      |
| Vector          | 81.852              | 170.774 | 271.601 | 391.001 | 494.004 | 625.434 |
| Right angle     | 51.166              | 111.255 | 174.803 | 245.347 | 284.582 | 316.460 |
| Direction       | 16.505              | 18.007  | 19.058  | 22.657  | 25.710  | 30.908  |
| Negative angles | 91                  | 80      | 58      | 48      | 38      | 25      |
| Zero angles     | 3                   | 1       | 0       | 2       | 0       | 0       |
| Positive Angles | 95                  | 86      | 85      | 72      | 67      | 61      |
| Total point     | 189                 | 167     | 143     | 122     | 105     | 86      |

Vector error = mean radial error.

Right angle error = mean distance from predicted position to closest point on true path.

Direction error = mean of absolute value of heading difference to true and predicted positions.

Negative/Zero/Positive angles = number of angles with indicated sign.

the linear predictor bias in section 2.

From Tables 9 and 10, the prediction errors of 1978 are similar to those of 1976. For the 1976 data, predictions tend to deviate to the left of the track; in 1978 the deviation is to the right of the track at longer times. It seems that the method has no systematic direction error in prediction.

## 5. THE WEIGHTED ANALOG METHOD

### a. Introduction

This section and the next studies an analog method for the prediction of typhoon tracks. (Shi-Yang, Chen, 1980, 1983) This method scans the historical file for typhoons analogous to the current one using a specified space-time envelope criterion (section 5.2), then makes use of 28 weighting factors to compute a similarity index for each analog typhoon (sections 5.3 and 5.4). The similarity index is first computed using different positions on the historical track as "cur-

rent positions" and the best similarity index then determines the portion of the analog track most similar to the current typhoon. These best similarity indices are then used to rank the analogs in order of their similarity to the current typhoon. After adjustments for both initial position and velocity difference have been made for each analog typhoon (section 5.5), their adjusted tracks are weighted according to their rankings and then combined to produce the predicted positions of the current typhoon for every 12 hours up to 72 hours (section 5.6). Two different ways of combining position predictions are examined and these are referred to as the single weighting and double weighting methods (not to be confused with the weights used to calculate the similarity index).

### b. Analog Selection Criteria

A pure analog scheme is one which searches the historical file for a single track similar to the current partial track. The subsequent behavior of this analog

track is then used directly as a forecast. A pure analog scheme is undesirable for two reasons. First, good analogs are not common enough to insure that one can be found for most forecast situations. Second, the results obtained by using a pure analog scheme are inferior to those obtained by subjective estimation or a weighted average of several similar typhoons (Jarrell and Somervell, 1970; Jarrell, Mauck and Renard, 1975). This poor performance apparently results from the fact that two tracks may be very similar over a portion of the path yet diverge widely in the future.

Therefore, we look for criteria to find a group of acceptable analogs. Generally, analog schemes screen track parameters to separate analogs into two groups: "good enough" and "not good enough". The "not good enough" group is then ignored and the "good enough" group forms the basis of the forecast. As the criteria for "good enough" are relaxed, the number of analogs increases, but by including less similar tracks. Obviously, it is ideal to define the "good enough" cutoff point as that point where the improvement brought about by increasing the number of analogs exactly balances the detrimental effect of including worse analogs and beyond which the net result is to decrease accuracy.

Typhoon tracks in the Western Pacific area show both regional and seasonal variation. Typhoons tend to originate in the southeastern low latitudes, travel approximately northwest for some period, then dissipate or continue curving towards the northeast. The tracks show a seasonal migration also. Tracks tend to lie in the eastern area in the winter and spring and tend to lie to west in the summer and fall. This suggests selecting historical typhoons

which occurred in the same area and at about the same time of year as the current typhoon. In fact, such selection criteria were used in TYFOON 72, 73 (Jarrell and Wagoner, 1973). After trying various limits, a time-space envelope of  $\pm 10$  days,  $\pm 2.5$  degrees latitude,  $\pm 5.0$  degree longitude was chosen. That is, an historical track is chosen as an analog if 1) the initial (terminal) date of its track lies within  $+ 10$  days ( $- 10$  days) of the date of the current position on the current typhoon track; and 2) some point on the historical track is within  $\pm 2.5$  degree latitude,  $\pm 5.0$  degree longitude of the current position on the current track.

If it should happen that three or fewer analogs occur, the time-space envelope in the program is enlarged, first increasing the time limits to  $\pm 30$  days, then the longitude limits to  $\pm 7$  degrees, then the latitude limits to  $\pm 3.5$  degrees, until more than three analogs are found. The reason for the adjustment in this order is that empirical observations while choosing the time-space envelope indicated least sensitivity to date and most sensitivity to latitude. An insufficient number of analogs may occur when the current typhoon has a strange route or if it happens during a month when typhoons are unusual. Storage in the program limits the selection to 80 analogs.

### c. Weighting of Analogs

The degree of similarity of the historic to the current typhoons is determined by the analog parameters, a set of physically meaningful values calculated from the historical track for comparison with the corresponding values of the current track, and their weights, used to combine the analog parameters into a single similarity index.

In 1979 the Japan Meteorological Agency (JMA) developed a PC (persistency and climatology) typhoon track prediction model. This model includes 48 physically meaningful track parameters which are related to the persistency and climatology of typhoon movement. These track parameters are the input variables for several regression equations for predicting the track and central pressure; different equations correspond to different spatial areas and time periods during the typhoon season. The analog parameters for the weighted analog method studied here were selected from the 48 PC track parameters. The JTWC data file provides only time and space data on historical tracks, which is not sufficient data to calculate all 48 PC parameters. Instead, 28 parameters which can be calculated from time and space data alone are used. These parameters are basically velocities, accelerations, angular velocities, etc. at various positions along the track and are not independent parameters. These 28 analog parameters are listed in detail in Appendix B.

The weights assigned to the 28 parameters are based on a subjective estimate of the importance of the parameter in the PC model regression equations. Since there are different equations for different spatial areas and time periods during the typhoon season, there is a similar division of weightings. Appendix B contains a detailed description of the weights. This research examines only this one selection of weights.

#### d. The Similarity Index and Ranking of Analogs

We shall describe the process of ranking analogs in more detail. Let  $c(1)$  to  $c(28)$  be the 28 track parameters cal-

culated for the current position on the current track.

Our first step is to determine the position in the analog track most similar to the current position of the current track. For each position on the historical track we calculate a set of track parameters  $p(1)$  to  $p(28)$ . For each index  $i$  a value  $RKVE(i)$  is computed: The absolute values of  $c(i)-p(i)$  are arranged in order from smallest to largest and  $RKVE(i)$  is the location of the difference within this ordering. The minimum value of difference is 1, then the second minimum is 2, etc. If a position does not have certain parameter, the total number of positions within the space-time envelope is assigned to it. There are 28 weights  $w(i)$  for the 28 parameters and these are used to calculate the similarity index SI:

$$SI = \frac{\sum_{i=1}^{28} W(i) * RKVE(i)}{28}$$

Each position on the analog track now has a similarity index associated with it, and the position with minimum similarity index is the best position.

Finally, we determine the degree of similarity between historical and current typhoons by comparing the values of the similarity indices of the best positions for the analog typhoons. The analog with the minimum similarity index is the most similar typhoon, rank number 1 is assigned to it, then 2 is assigned to the second, etc.

#### e. Adjustment of Analog Track for Position Prediction

After similar typhoons are chosen by the analog selection, both "best position" and "rank number" are decided. The track translation is then carried out. The method of simple translation of the



analog track to the current position is used by HURRAN and has been illustrated in Figure 2. A more advanced method considers the possibility that if there is a significant difference in direction and velocity of movement between current and similar typhoon at the beginning, then the difference will increase more and more with time. Therefore, an additional adjustment of the translated track should make a better forecast available (Jarrell and Somervell, 1970). We follow the same approach, that is, the vector displacements of the current and analog typhoons over the preceding 12 hours are obtained, and the difference is the adjustment vector. Then 2, 4, 6 times this particular vector will be added to the positions of the translated track at 24, 48, 72 hours from the present position as shown in Figure 3. These positions form the adjusted analog track.

#### f. Weighted Composition of Predictions for Final Prediction

After all the tracks of analog typhoons are translated and adjusted, all the positions after the "best position" of each analog typhoon will be obtained. Composition of the positions for a given future time then gives the predicted track position.

Methods of composition include arithmetic averaging, weighted averaging and persistence modified averaging, and a combination of the last two referred to as double weighting averaging.

##### 1) Arithmetic Average Method

An arithmetic mean value of the corresponding adjusted analog positions is used as the predicted position.

##### 2) Weighted Average Method (Ranking)

This method uses the ranking of the analogs to weight the more similar typhoons more heavily.

$$LAT_p = \frac{2}{N(N+1)} \sum_{i=1}^N (N-i+1) (\text{Latitude})_i$$

$$LON_p = \frac{2}{N(N+1)} \sum_{i=1}^N (N-i+1) (\text{Longitude})_i$$

Here,  $p$  is the prediction interval.

$N$  is the total number of analog typhoons.

$i$  is the rank number of analog typhoon ( $i=1$  for most similar to  $i=N$  for least similar).

$(\text{Latitude})_i$  is latitude of  $i$ th analog typhoon at  $p$  hours.

$(\text{Longitude})_i$  is longitude of  $i$ th analog typhoon at  $p$  hours.

$LAT_p$  is forecasting latitude at  $p$  hours.

$LON_p$  is forecasting longitude at  $p$  hours.

#### 3) Persistence Modified Arithmetic Average Method

This method is used by HURRAN. As discussed in section 4, the analog tracks are adjusted by terms referring to the persistence of movement of the current typhoon (section 4.1.3) and then a direct arithmetic average is taken. This process is equivalent to taking a direct arithmetic average of the analog positions and adding the persistence correction.

#### 4) Double Weighting Average Method

This method combines both the rank

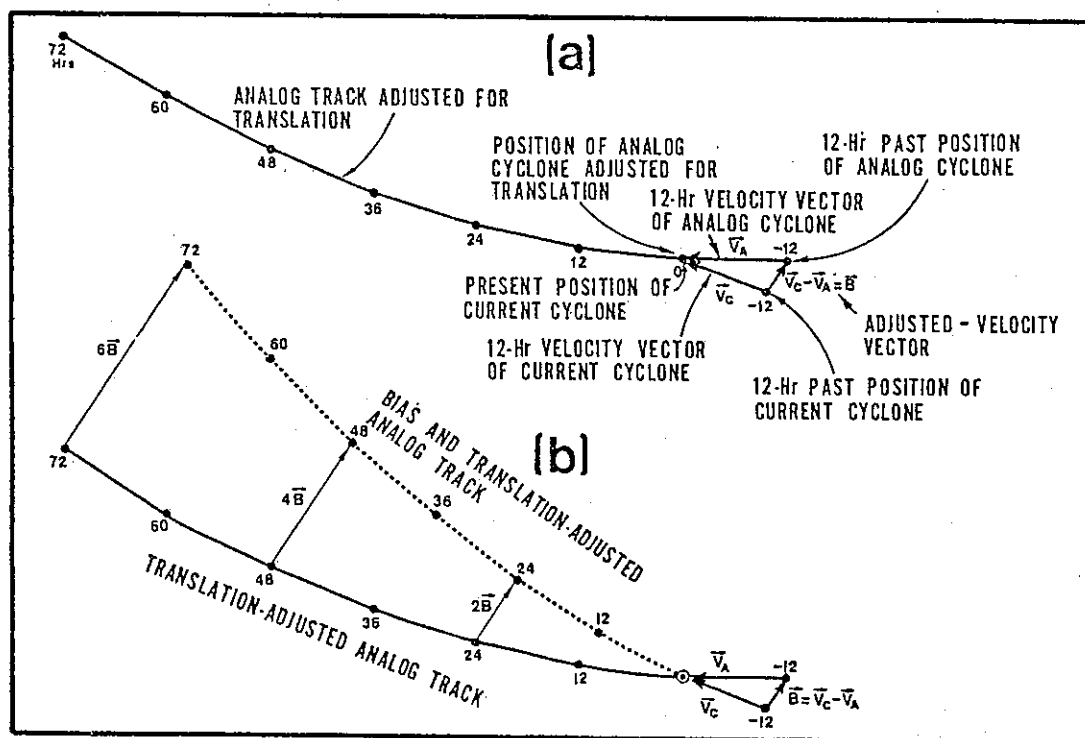


Figure 3. Velocity-difference vector (bias) adjustment: (a) Obtaining the "adjustment-velocity vector"  $\vec{B}$ ; and (b) Obtaining the biasadjusted position for different times. (After Jarrell and Wagoner, 1973)

weighting of tracks and the inclusion of persistence. The adjusted analog positions are first adjusted further by a persistency correction, as in section 4.1.3, and these corrected positions are then combined by the weighted average method above. This combination is loosely referred to as "double weighting".

## 6. ERROR STATISTICS FOR THE WEIGHTED ANALOG METHOD

The weighted analog method was applied to the sample years 1976 and 1978 with the same error statistics calculated as for the HURRAN and least squares methods. Both the single and double weighting variations were ex-

amined. Results are summarized in Table 11-18. As in the HURRAN case, the data base used to obtain analogs is the file of Western Pacific typhoons over 1959-1978 with 1976 and 1978 omitted.

We first consider the single weighting analog method with error statistics and forecast errors in Tables 11-14.

The single weighting predictor shows large variations in accuracy (50% probability ellipse) between 1976 and 1978 and is therefore unstable. The variations in accuracy are about the same as the best least-squares predictor (linear 3-point).

The single weighting predictor also shows accuracies that are approximately the same as the best least squares predictor and not as good as HURRAN.

The bias of the single weighting pre-

Table 11. Error statistics for 12 to 72 hour prediction by Single Weighting method (1976 data).

|                 | 12     | 24     | 36     | Hours of prediction |        |        |
|-----------------|--------|--------|--------|---------------------|--------|--------|
|                 |        |        |        | 48                  | 60     | 72     |
| $\overline{Dy}$ | -0.241 | -0.562 | -0.795 | -1.508              | -2.154 | -2.357 |
| $\overline{Dx}$ | -0.085 | -0.109 | -0.272 | -0.493              | 0.084  | 1.057  |
| A               | 0.625  | 1.206  | 2.124  | 2.999               | 4.304  | 5.220  |
| B               | 0.809  | 1.717  | 2.757  | 4.674               | 6.448  | 8.218  |
| Corr. coef.     | 0.087  | 0.063  | 0.077  | 0.270               | 0.109  | 0.103  |
| Total point     | 189    | 170    | 151    | 131                 | 113    | 86     |

 $\overline{Dy}, \overline{Dx}$  = mean errors (degree)

A, B = semi minor, semi major axes (degree) for 50% probability ellipse

Total point = number of predicted points

Table 12. Error statistics for 12 to 72 hour prediction by Single Weighting method (1978 data).

|                 | 12     | 24     | 36     | Hours of prediction |        |        |
|-----------------|--------|--------|--------|---------------------|--------|--------|
|                 |        |        |        | 48                  | 60     | 72     |
| $\overline{Dy}$ | -0.201 | 0.418  | -0.776 | -1.092              | -1.286 | -1.903 |
| $\overline{Dx}$ | -0.100 | 0.081  | -0.197 | -0.028              | 0.599  | 1.158  |
| A               | 0.711  | 1.477  | 2.537  | 3.644               | 4.896  | 6.282  |
| B               | 1.111  | 2.205  | 3.474  | 5.109               | 7.229  | 9.442  |
| Corr. coef.     | -0.048 | -0.071 | -0.081 | -0.160              | -0.156 | -0.085 |
| Total point     | 257    | 233    | 206    | 176                 | 159    | 136    |

 $\overline{Dy}, \overline{Dx}$  = mean errors (degree)

A, B = semi minor, semi major axes (degree) for 50% probability ellipse

Total point = number of predicted points

Table 13. Mean forecast errors for 12 to 72 hour prediction by Single Weighting method (1976 data)

|                 | 12     | 24      | 36      | Hours of prediction |         |         |
|-----------------|--------|---------|---------|---------------------|---------|---------|
|                 |        |         |         | 48                  | 60      | 72      |
| Vector          | 76.148 | 166.551 | 280.900 | 450.428             | 653.948 | 819.732 |
| Right angle     | 50.054 | 112.579 | 173.792 | 271.172             | 437.585 | 565.864 |
| Direction       | 24.161 | 26.050  | 32.821  | 37.426              | 43.306  | 47.981  |
| Negative angles | 68     | 65      | 60      | 55                  | 53      | 44      |
| Zero angles     | 0      | 1       | 0       | 0                   | 0       | 0       |
| Positive angles | 122    | 106     | 92      | 77                  | 60      | 43      |
| Total point     | 190    | 172     | 152     | 132                 | 113     | 87      |

Vector error = mean radial error.

Right angle error = mean distance from predicted position to closest point on true path.

Direction error = mean of absolute value of heading difference to true and predicted positions.

Negative/Zero/Positive angles = number of angles with indicated sign.

Table 14. Mean forecast errors for 12 to 72 hour prediction by Single Weighting method (1978 data)

|                 | Hours of prediction |         |         |         |         |         |
|-----------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                 | 12                  | 24      | 36      | 48      | 60      | 72      |
| Vector          | 96.368              | 198.913 | 337.117 | 489.159 | 676.432 | 879.128 |
| Right angle     | 59.009              | 121.073 | 198.641 | 296.349 | 420.637 | 567.963 |
| Direction       | 23.505              | 26.731  | 33.129  | 37.187  | 42.479  | 46.262  |
| Negative angles | 89                  | 92      | 68      | 66      | 69      | 56      |
| Zero angles     | 4                   | 4       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Positive angles | 164                 | 137     | 139     | 111     | 90      | 80      |
| Total point     | 257                 | 233     | 207     | 177     | 159     | 136     |

Vector error = mean radial error.

Right angle error = mean distance from predicted position to closest point on true path.

Direction error = mean of absolute value of heading difference to true and predicted positions.

Negative/Zero/Positive angles = number of angles with indicated sign.

Table 15. Error statistics for 12 to 72 hour prediction by Double Weighting method (1976 data).

|                 | Hours of prediction |       |        |        |        |        |
|-----------------|---------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
|                 | 12                  | 24    | 36     | 48     | 60     | 72     |
| $\overline{Dy}$ | 0.591               | 0.767 | 0.560  | -0.061 | -0.675 | -0.883 |
| $\overline{Dx}$ | 0.028               | 0.148 | -0.044 | -0.504 | -0.055 | 0.774  |
| A               | 0.743               | 1.181 | 1.530  | 2.326  | 3.581  | 4.236  |
| B               | 0.983               | 1.759 | 2.773  | 4.521  | 6.134  | 7.942  |
| Corr. coef.     | 0.110               | 0.241 | 0.443  | 0.482  | 0.302  | 0.298  |
| Total point     | 189                 | 170   | 151    | 131    | 113    | 86     |

$\overline{Dy}$ ,  $\overline{Dx}$  = mean errors (degree)

A, B = semi minor, semi major axes (degree) for 50% probability ellipse

Total point = number of predicted points

Table 16. Error statistics for 12 to 72 hour prediction by Double Weighting method (1978 data).

|                 | Hours of prediction |        |        |        |        |        |
|-----------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                 | 12                  | 24     | 36     | 48     | 60     | 72     |
| $\overline{Dy}$ | 0.382               | 0.486  | 0.198  | -0.093 | -0.359 | -0.970 |
| $\overline{Dx}$ | -0.352              | -0.468 | -0.589 | -0.489 | 0.087  | 0.583  |
| A               | 0.796               | 1.364  | 2.123  | 3.107  | 4.296  | 5.572  |
| B               | 1.173               | 2.234  | 3.251  | 4.702  | 6.754  | 8.945  |
| Corr. coef.     | 0.035               | 0.045  | -0.037 | -0.151 | -0.139 | -0.076 |
| Total point     | 257                 | 233    | 206    | 176    | 159    | 136    |

$\overline{Dy}$ ,  $\overline{Dx}$  = mean errors (degree)

A, B = semi minor, semi major axes (degree) for 50% probability ellipse.

Total point = number of predicted points

Table 17. Mean forecast errors for 12 to 72 hour prediction by Double Weighting method (1976 data)

|                 | Hours of prediction |         |         |         |         |         |
|-----------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                 | 12                  | 24      | 36      | 48      | 60      | 72      |
| Vector          | 112.425             | 184.345 | 257.774 | 403.232 | 568.755 | 720.990 |
| Right angle     | 36.121              | 74.523  | 124.580 | 191.800 | 329.619 | 440.499 |
| Direction       | 28.828              | 28.224  | 37.001  | 38.652  | 43.317  | 48.574  |
| Negative angles | 95                  | 81      | 73      | 55      | 50      | 42      |
| Zero angles     | 1                   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Positive angles | 94                  | 91      | 79      | 77      | 63      | 45      |
| Total point     | 190                 | 172     | 152     | 132     | 113     | 87      |

Vector error = mean radial error.

Right angle error = mean distance from predicted position to closest point on true path.

Direction error = mean of absolute value of heading difference to true and predicted positions.

Negative/Zero/Positive angles = number of angles with indicated sign.

Table 18. Mean forecast errors for 12 to 72 hour prediction by Double Weighting method (1978 data)

|                 | Hours of prediction |         |         |         |         |         |
|-----------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                 | 12                  | 24      | 36      | 48      | 60      | 72      |
| Vector          | 118.044             | 206.152 | 290.906 | 419.566 | 599.447 | 789.165 |
| Right angle     | 31.101              | 68.244  | 133.512 | 225.778 | 337.353 | 474.531 |
| Direction       | 24.781              | 26.323  | 33.232  | 37.023  | 42.411  | 45.908  |
| Negative angles | 111                 | 108     | 70      | 72      | 74      | 56      |
| Zero angles     | 7                   | 2       | 1       | 0       | 0       | 0       |
| Positive angles | 139                 | 123     | 136     | 105     | 85      | 80      |
| Total point     | 257                 | 233     | 207     | 177     | 159     | 136     |

Vector error = mean radial error.

Right angle error = mean distance from predicted position to closest point on true path.

Direction error = mean of absolute value of heading difference to true and predicted positions.

Negative/Zero/Positive angles = number of angles with indicated sign.

dictor is very consistent over two years, and it may be that this predictor is stable with respect to bias. Examination of other years would be necessary to confirm this point. Notice that the bias is the reverse of that observed for HURRAN and the linear 3-point predictors: here the major bias is in the latitude.

The double weighting predictor also shows large variations in accuracy between

1976 and 1978 and is unstable.

The accuracy of the double weighting predictor cannot conclusively be compared with the single weighting. Double weighting is less accurate for 12 hours, about the same accuracy at 24 hours, and more accurate at 36 hours. In fact, at 36 hours the accuracy is better than the linear 3-point predictor, but overall double weighting is less accurate than

## HURRAN.

The bias shows quite erratic behavior between 1976 and 1978, and double weighting therefore shows instability in both accuracy and bias.

## 7. CONCLUSION AND SUGGESTIONS

This research studies four methods for typhoon track prediction: least squares curve fitting, the HURRAN analog method, and single and double weighting analog methods. Error statistics are compiled using Western Pacific typhoons of 1976 and 1978. The data base used as a source of analog typhoons consisted of all Western Pacific typhoons over the period 1959-1978, omitting the sample years 1976 and 1978.

The three major ways in which predictors are compared are:

1) Stability — error statistics which show only mild fluctuation from year to year.

2) Accuracy — the size of the 50% probability ellipse for the errors in position prediction (semiaxes are represented by A and B, the area is  $\pi AB$ ).

3) Bias — The mean values ( $\overline{Dy}$ ,  $\overline{Dx}$  = latitude, longitude) of the error, in position prediction. The error is the vector difference  $(X_{\text{true}}, Y_{\text{true}}) - (X_{\text{pred}}, Y_{\text{pred}})$ .

The error statistics from the previous chapters are summarize in Table 19 and 20. The following conclusions were reached:

1) The simplest least squares predictor (linear 3-point) was consistently the most accurate of all the least squares predictors examined.

2) With respect to accuracy, HURRAN shows fairly stable behavior over 1976

and 1978, the 24 hour and 36 hour accuracies are very close although the 12 hour accuracies show a large difference. The other three predictors show large variations between the two years with the linear 3-point showing the worst variation: the areas of the 50% ellipse change by a factor of 2.

3) With respect to bias, HURRAN and the single weighting method show stable behavior. The linear 3-point shows large variation in longitudinal bias; and double weighting shows large variations in both latitudinal and longitudinal bias.

4) HURRAN is the most accurate predictor. The linear 3-point and single weighting show equal accuracies. Double weighting is somewhat ambiguous: it is less accurate than single weighting at 12 hours and more accurate at 36 hours.

5) Finally, HURRAN and the single weighting method are the predictors most appropriate for actual use. Their stable behavior with respect to bias indicates that specific values for the bias applicable to all years can be obtained, and these values subtracted from the position predictions to yield relatively unbiased predictions. The HURRAN predictions will be more accurate than single weighting in its present form.

The basic idea of the single and double weighting methods is to improve the HURRAN analog method by ranking analogs by their similarity to the current typhoon track and than giving more weight to the more similar analogs in forming a final position prediction. This concept is reasonable but did not work in this particular study. We now consider possibility for further work on this concept by comparing the HURRAN and weighted analog procedures.

Table 19. Summary of Accuracy Statistics

|        |            | Least Squares* |        | HURRAN |        | SW     |        | DW     |        |
|--------|------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|        |            | 76             | 78     | 76     | 78     | 76     | 78     | 76     | 78     |
| 12 hrs | A          | 0.507          | 0.760  | 0.503  | 0.593  | 0.625  | 0.711  | 0.743  | 0.796  |
|        | B          | 0.847          | 1.019  | 0.613  | 1.004  | 0.809  | 1.111  | 0.983  | 1.173  |
|        | $\pi_{AB}$ | 1.349          | 2.433  | 0.969  | 1.870  | 1.588  | 2.482  | 2.295  | 2.933  |
| 24 hrs | A          | 1.032          | 1.608  | 1.064  | 1.167  | 1.206  | 1.477  | 1.181  | 1.364  |
|        | B          | 1.882          | 2.144  | 1.548  | 1.784  | 1.717  | 2.205  | 1.759  | 2.234  |
|        | $\pi_{AB}$ | 6.102          | 10.831 | 5.174  | 6.541  | 6.505  | 10.231 | 6.526  | 9.573  |
| 36 hrs | A          | 1.519          | 2.614  | 1.840  | 1.797  | 2.124  | 2.537  | 1.530  | 2.123  |
|        | B          | 2.942          | 3.486  | 2.906  | 2.800  | 2.757  | 3.474  | 2.773  | 3.251  |
|        | $\pi_{AB}$ | 14.039         | 28.627 | 16.798 | 15.807 | 18.397 | 27.689 | 13.329 | 21.683 |

\*LINEAR 3-POINT.

A, B = semi minor, semi major axes (degree) for 50% probability ellipse.

$\pi_{AB}$  = area of 50% ellipse.

Table 20. Summary of Bias

|        |                 | Least Squares* |        | HURRAN |        | SW     |        | DW     |        |
|--------|-----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|        |                 | 76             | 78     | 76     | 78     | 76     | 78     | 76     | 78     |
| 12 hrs | $\overline{Dy}$ | 0.029          | -0.010 | -0.033 | -0.043 | -0.241 | -0.201 | 0.591  | 0.382  |
|        | $\overline{Dx}$ | 0.271          | 0.179  | 0.248  | 0.164  | -0.085 | -0.100 | 0.028  | -0.352 |
| 24 hrs | $\overline{Dy}$ | 0.032          | -0.022 | -0.155 | -0.170 | -0.562 | -0.418 | 0.767  | 0.486  |
|        | $\overline{Dx}$ | 0.926          | 0.586  | 0.730  | 0.499  | -0.109 | -0.081 | 0.148  | -0.468 |
| 36 hrs | $\overline{Dy}$ | 0.103          | -0.054 | -0.506 | -0.486 | -0.795 | -0.776 | 0.560  | 0.198  |
|        | $\overline{Dx}$ | 1.938          | 1.216  | 0.859  | 0.729  | -0.272 | -0.197 | -0.044 | -0.589 |

\*Linear 3-point.

$\overline{Dy}$ ,  $\overline{Dx}$  - mean errors (degree)

### HURRAN

- Step 1. Choose analog typhoons.
- Step 2. On each analog find the point closest to the current position.
- Step 3. Adjust the analog track to the current position. Simple translation plus the "persistence/climatology" adjustment is used.
- Step 4. Take appropriate future positions on each adjusted analog and obtain a predicted portion by averaging.

### Weighted Analog

- Step 1. Choose analog typhoons.
- Step 2a. On each analog find the point at which the analog track is most similar to the current track.
- Step 2b. Rank the resulting analog tracks from most similar to least similar.
- Step 3. Adjust the analog track to the current position. Simple translation and an adjustment based on the difference in velocities of the current and analog tracks are used.
- Step 4. Single weighting method. Take appropriate future positions on each adjusted analog and obtain a predicted position by a weighted average. A linear weighting from least to most similar is used. Double weighting method. Apply the "persistence/climatology" adjustment to each adjusted track, then proceed as in the single weighting method.

The first point to be considered is the choice of analogs in Step 1. The selection criteria used in the weighted analog method was broader than HURRAN and permitted a larger number of analogs to be chosen. This may have led to cases where no analogs were selected by HURRAN and no position prediction was made, while the weighted analog method did select analogs and make a prediction but the analogs were very poor. This possibility is supported by the fact that the HURRAN statistics (Table 7 and 8) show smaller sample sizes than the single and double weighting methods (Tables 11, 12, 15, 16). Thus, further investigation should examine the effects of narrowing the selection criteria for the weighted analog approach.

The weighted analog method differs from HURRAN in the following respects:

- 1) The choice of best point on the analog track (based on the similarity index of different points calculated from weighting factors for 28 track parameters).
- 2) the ranking of analogs from most similar to least similar (also based on the similarity index).
- 3) the weighted average used in obtaining the final position prediction.
- 4) the inclusion of current track velocity in adjusting the analog tracks (note this is done twice in the double weighting method).

Consequently, our basic suggestion for further work on the weighted analog method is the systematic investigation of



the effect of each of these areas on the predictor accuracy. Specifically:

1) restrict analog track adjustment to simple translation and the "persistence/climatology" adjustment as in HURRAN. Track adjustment is independent of the concept of a weighted average of ranked position estimates, and such adjustments should be omitted until the weighted analog concept is studied.

2) investigating different ways of choosing the best point and ranking the analogs. For example, the simplest change would be to retain HURRAN's choice of the best point as the analog point closest to the current position and then rank the analogs according to the similarity of the shapes of the analog track immediately preceding the best point to the current track.

3) investigate different weighting distributions for track composition in addition to the linear distribution used here, for example, geometric weighting distribution.

Some further points on the weighted analog approach are:

1) It has a simple and clearcut physical basis and is objective in nature.

2) The input data of the model are very simple and computation of the results is very fast (2 minutes execution in the minicomputer).

3) The double weighting method has smaller mean vector and right angle errors at and after 36 hours than the single weighting method has. Within 36 hours, the former reduces the right angle errors of the latter. The reduced percentages are 27.8-47.3%, 33.8-43.6%, 28.3-32.8% in 12, 24, and 36 hours respectively. Also, the double weighting method reduces the systematic right deviation of prediction of the single weighting method.

4) In general, the double weighting method gives the smallest right angle error over all the predicted intervals, that is, the method is characterized by "direction superior to speed". This is very helpful to a forecaster because the direction of a typhoon is more difficult to predict than the speed.

The following recommendations would apply to all analog methods:

1) The historical file only contains typhoon data over the past 18 years in the Western North Pacific Ocean, so there is insufficient information on irregular typhoons. If it were possible to increase the historical file to 30 years, it would increase the ability to forecast the irregular typhoon. Again, if it were possible to file the typhoons together with the historical weather patterns, then the analog models could further improve the forecasting of typhoon movement near ridge and trough patterns.

2) If it is possible to divide the historical data files into westward and curved typhoons, it could reinforce the accuracy of the model forecasting by taking into account the moving characteristics of the typhoon.

## Appendix A STATISTICAL FORMULAS

The error statistics for the prediction errors were calculated using the following formulas. Let  $(x_i, y_i)$  be a set of data points. The standard deviations  $S_x$ ,  $S_y$  and correlation coefficient  $R_{xy}$  are:

$$S_y = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}$$

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}$$

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

If the points  $(x_i, y_i)$  belong to a bivariate normal distribution, then the associated probability ellipses have semiaxes determined by the roots of the determinantal equation:

$$\begin{vmatrix} S_x^2 - K^2 & R_{xy} S_x S_y \\ R_{xy} S_x S_y & S_y^2 - K^2 \end{vmatrix} = 0$$

Let  $K_a$  and  $K_b$  be the larger and smaller positive roots respectively. Then the major axis ( $A_p$ ) and minor axis ( $B_p$ ) of the ellipse with probability  $p$  are:

$$A_p = K_a (-2 \ln(1-p))^{1/2}$$

$$B_p = K_b (-2 \ln(1-p))^{1/2}$$

Specifically, the semiaxes  $A$ ,  $B$  for the 50% ellipse are:

$$A = A_{50\%} = 1.1774 K_a$$

$$B = B_{50\%} = 1.1774 K_b$$

The angle between major axis and latitude is:

$$\Phi = \frac{\pi}{2} + \tan^{-1} \left( \frac{2R_{xy}S_xS_y}{S_x^2 - S_y^2} \right)$$

$$\text{Here, } \frac{\pi}{2} < \Phi \leq \frac{3\pi}{2}$$

Note: program uses precise inverse tangent  $\text{ATAN2}(X1, X2)$ , which gives the exact inverse  $\tan^{-1}(X1/X2)$  with angle  $-\pi < \phi \leq \pi$ .

## Appendix B

### THE WEIGHTING PARAMETERS AND THEIR WEIGHTS

#### B.1 Definition of Parameters

The 28 parameters of the weighted analog method are:

- 1) Displacement in latitude of past 12 hours:

$$C(1) = \text{LAT}_{00} - \text{LAT}_{-12}$$

- 2) Displacement in latitude of past 24 hours:

$$C(2) = \text{LAT}_{00} - \text{LAT}_{-24}$$

- 3) Displacement in latitude of past 36 hours:

$$C(3) = \text{LAT}_{00} - \text{LAT}_{-36}$$

- 4) Displacement in latitude of past 48 hours:

$$C(4) = \text{LAT}_{00} - \text{LAT}_{-48}$$

- 5) Displacement in latitude of past 48 to 24 hours:

$$C(5) = \text{LAT}_{-24} - \text{LAT}_{-48}$$

- 6) Acceleration in latitude of past 24 hours:

$$C(6) = \text{LAT}_{00} + \text{LAT}_{-24} - 2\text{LAT}_{-12}$$

- 7) Acceleration in latitude of past 48 hours:

$$C(7) = \text{LAT}_{00} + \text{LAT}_{-48} - 2\text{LAT}_{-24}$$

- 8) Displacement in longitude of past 12 hours:

$$C(8) = \text{LON}_{00} - \text{LON}_{-12}$$

- 9) Displacement in longitude of past 24 hours:

$$C(9) = \text{LON}_{00} - \text{LON}_{-24}$$

- 10) Displacement in longitude of past 36 hours:

$$C(10) = \text{LON}_{00} - \text{LON}_{-36}$$

- 11) Displacement in longitude of past 48 hours:

$$C(11) = LON_{00} - LON_{-48}$$

- 12) Displacement in longitude of past 48 to 24 hours:

$$C(12) = LON_{-24} - LON_{-48}$$

- 13) Acceleration in longitude of past 24 hours:

$$C(13) = LON_{00} + LON_{-24} - 2LON_{-12}$$

- 14) Acceleration in longitude of past 48 hours:

$$C(14) = LON_{00} + LON_{-48} - 2LON_{-24}$$

- 15) Direction of movement in past 12 hours:

$$C(15) = \text{ARC TAN}(C(1)/C(8))$$

- 16) Direction of movement in past 24 hours:

$$C(16) = \text{ARC TAN}(C(2)/C(9))$$

- 17) Direction of movement in past 36 hours:

$$C(17) = \text{ARC TAN}(C(3)/C(10))$$

- 18) Direction of movement in past 48 hours:

$$C(18) = \text{ARC TAN}(C(4)/C(11))$$

- 19) Direction of movement in past 48 to 24 hours:

$$C(19) = \text{ARC TAN}(C(5)/C(12))$$

- 20) Direction of acceleration in past 24 hours:

$$C(20) = \text{ARC TAN}(C(6)/C(13))$$

- 21) Direction of acceleration in past 48 hours:

$$C(21) = \text{ARC TAN}(C(7)/C(14))$$

- 22) Speed of movement in past 12 hours:

$$C(22) = C(1)^2 + C(8)^2)^{1/2}$$

- 23) Speed of movement in past 24 hours:

$$C(23) = (C(2)^2 + C(9)^2)^{1/2}$$

- 24) Speed of movement in past 36 hours:

$$C(24) = (C(3)^2 + C(10)^2)^{1/2}$$

- 25) Speed of movement in past 48 hours:

$$C(25) = (C(4)^2 + C(11)^2)^{1/2}$$

- 26) Speed of movement in past 48 to 24 hours:

$$C(26) = (C(5)^2 + C(12)^2)^{1/2}$$

- 27) Magnitude of acceleration in past 24 hours:

$$C(27) = (C(6)^2 + C(13)^2)^{1/2}$$

- 28) Magnitude of acceleration in past 48 hours:

$$C(28) = (C(7)^2 + C(14)^2)^{1/2}$$

Here  $LON_{00}$ ,  $LAT_{00}$  are the current longitude and latitude of typhoon center; while  $LON_{-12}$ ,  $LAT_{-12}$ ,  $LON_{-24}$ ,  $LAT_{-24}$ ,  $LON_{-36}$ ,  $LAT_{-36}$ ,  $LON_{-48}$ ,  $LAT_{-48}$  are the longitude and latitude of typhoon center in past 12, 24, 36 and 48 hours respectively.

## B.2 The Weighting of Analog Parameters

Figure 4 shows the different areas used in determining weighting of the analog parameters. The following list gives the weight  $W(i)$  for analog parameter  $i$ ,  $i=1$  to 28. Weights equal to one are not listed. In each area the weights also vary with the season.

### A) North area:

current typhoon locate between 20 and 35 degree latitude north, 120 and 150

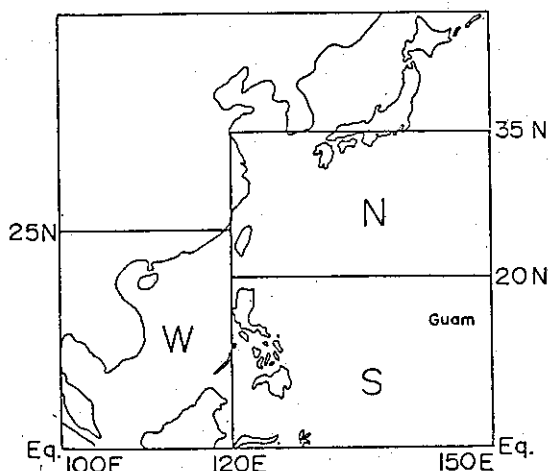


Figure 4: Areas Used in Determining Weighting  
(After Aoki, T., 1979)

degree longitude east.

1) January to June:

$$\begin{aligned} W(1) &= W(10) = W(16) = W(17) = \\ &= W(18) = W(21) = W(24) = W(25) \\ &= W(26) = W(28) = 2 \\ W(13) &= W(15) = W(19) = W(27) = 3 \\ W(2) &= W(3) = W(8) = W(22) = 4 \end{aligned}$$

2) July:

$$\begin{aligned} W(15) &= W(20) = W(27) = W(28) = 2 \\ W(2) &= W(4) = W(6) = W(13) = W(16) = 3 \\ W(1) &= W(8) = 4 \end{aligned}$$

3) August:

$$\begin{aligned} W(2) &= W(3) = W(4) = W(5) = W(9) \\ &= W(12) = W(15) = 2 \\ W(1) &= W(8) = W(13) = 4 \end{aligned}$$

4) September:

$$\begin{aligned} W(2) &= W(5) = W(10) = W(20) = W(22) \\ &= W(28) = 2 \\ W(13) &= 3 \\ W(1) &= W(8) = 4 \end{aligned}$$

5) October to December:

$$\begin{aligned} W(12) &= W(14) = W(16) = W(17) \\ &= W(19) = 2 \\ W(2) &= W(7) = W(13) = W(22) = W(23) = \\ &= W(25) = W(27) = W(28) = 3 \\ W(1) &= W(8) = 4 \end{aligned}$$

B) South area:

current typhoon locate between 0 to 20 degree latitude north, and 120 to 150 degree longitude east.

1) January to August:

$$\begin{aligned} W(3) &= W(8) = W(13) = W(16) = W(17) \\ &= W(18) = W(23) = W(25) = W(27) \\ &= W(28) = 2 \\ W(9) &= W(20) = 3 \\ W(1) &= 4 \\ W(11) &= 5 \end{aligned}$$

2) September to December:

$$\begin{aligned} W(10) &= W(19) = 2 \\ W(4) &= W(22) = W(24) = 3 \\ W(1) &= 4 \\ W(8) &= 5 \end{aligned}$$

C) West area:

current typhoon locate at west of 120 degree longitude east.

1) January to August:

$$\begin{aligned} W(3) &= W(4) = W(5) = W(11) = W(16) \\ &= W(18) = W(24) = W(25) = 2 \\ W(14) &= W(17) = W(22) = W(27) = 3 \\ W(1) &= W(8) = W(16) = 4 \end{aligned}$$

2) September to December:

$$\begin{aligned} W(7) &= W(13) = W(16) = W(20) = W(21) \\ &= W(24) = W(25) = W(27) = W(28) \\ &= 2 \\ W(1) &= W(2) = 4 \\ W(8) &= 5 \end{aligned}$$

## References

- Annual Typhoon Report, Fleet Weather Central/Joint Typhoon Warning Center U.S.A. 1959-1978.
- Aoki, T., 1979: A Statistical Prediction of the Tropical Cyclone Position Based on Persistence and Climatological Factor in the Western North Pacific (the PC Method), *Geophysical Magazine* vol. 38, No. 4, pp. 17-28.
- Chen, Shi-Yang, 1980: A Study on Prediction of Typhoon tracks with Analog Method. *Mete. Bulletin* vol. 26, No. 4, pp. 1-13. (Publish in Chinese with English abstract)
- Chen, Shi-Yang, 1983: Comparison of Different Track Composite Method in CWB-80 Typhoon Analog Model. *Mete. Bulletin* vol. 29 No. 1, pp. 1-11.
- Hu, Chung-Ying, and Shi-Yang, Chen, 1976: A Study of Typhoon Track Forecast with Objective Analog Method. *Mete. Bulletin* vol. 22, pp. 8-16.  
(publish in Chinese with English abstract).
- Hope, J. R, and Neumann, C, J, 1970: An Operational Technique for Relating the Movement of Existing Tropical Cyclones to Past Track, *Monthly Weather Review*, vol. 98, no. 12, pp. 925-933.
- Hope, J. R, and Neumann, C., J, 1977: A Survey of Worldwide Tropical Cyclone Prediction Models, post print vol. *American Meteorology Society* 11th Tech. Conf. on Hurricane and Tropical Meteo., Miami, Dec. 13-16, 1977, 367 pp.
- Jarrell, J. D, and Somervell, Jr. W. L, 1970: A Computer Technique for Using Typhoon Analogs as A Forecast Aid, *Naval Weather Research Facility*, Tech. paper No. 6-70.
- Jarrell, J. D, and Wagoner, R. A, 1973: The 1972 Typhoon Analog Program (TYFOON-72), *Enviromental Prediction Research Facility*, Tech. Paper No. 1-73.
- Jarrell, J. D, C. J. Mauck and R. J. Renard, 1975: Forecasting Tropical Cyclone Motion Over The Northeastern Pacific Ocean By An Analog Scheme, *Monthly Weather Review*, vol. 103, pp. 674-684.
- Neumann, C. J, and Hope, J. R, 1972: Performance Analysis of the HURRAN Tropical Cyclone Forecasting System, *Monthly Weather Review*, vol. 100, no. 4, pp. 245-255.

## 颱風類比模式之路徑預測誤差的統計比較

陳 熙 揚<sup>1</sup> Davis K. Cope<sup>2</sup>

### 摘 要

本文旨在探討利用類比法製作颱風路徑預報，並提出未來研究之方向。

作者首先利用 3 至 13 點，每點間隔 6 小時的過去颱風中心位置，以 1 至 4 階曲線擬合 (Curve Fitting) 再加以外延的方式，預測 12 至 36 小時的颱風路徑，再以此預測路徑為基準，比較颶風模擬 (HURRAN)，單式權重 (Single Weighting) 及雙式權重 (Double Weighting) 等颱風類比模式的優劣。

文內除了比較各模式的預測穩定性及預測偏誤外，並以誤差的 50% 概率橢圓為準，比較模式的預測準確性。經以 1976 及 1978 年西北太平洋颱風最佳路徑資料校驗的結果，發現曲線擬合法的穩定性不佳，兩年間變化的幅度約為兩倍左右；以整體而言，3 點線性外延有最準確的預測結果，但其預測偏誤却較 3 點 2 階多項式外延為大，並且有明顯的經向偏誤。

在類比模式方面：以預測穩定性而言，三種模式均較 3 點線性外延為佳，其中又以颶風模擬法最優，兩年間的預測誤差較為接近；次就預測準確性而言，颶風模擬法有最準確的預測結果，12 至 36 小時預測誤差的 50% 概率橢圓面積分別為 1.515、6.01 及 16.187 平方度；而單式權重法的預測則與 3 點線性外延相若；至於雙式權重法則 12 小時的預測較單式權重法為差，但 36 小時的預測却有較好的結果；再就預測偏誤而言，颶風模擬法及單式權重法有較穩定的預測偏誤，以兩年預測的平均而言，前者 12 至 36 小時預測之 (緯度，經度) 偏值為  $(-0.04, 0.20)$ ， $(-0.16, 0.59)$  及  $(-0.49, 0.87)$ ，而後者則分別為  $(-0.22, -0.09)$ ， $(-0.48, -0.09)$  及  $(-0.78, -0.23)$ ；至於雙式權重法，則在經度及緯度方向均有大偏誤。

作者認為颶風模擬法及單式權重法在目前最適合實際應用，因為此兩法均有穩定的預測偏誤，經由偏誤的調整將可得到無偏誤的預報。

檢討颶風模擬法之所以有較準確的結果，部份原因乃在於其對類似颱風有較嚴格的篩選條件，尤其是當颱風路徑非常不規則時，此法每因無法選到類似颱風而無預報，但此時單式權重與雙式權重法由於篩選條件過寬，往往提供甚差的預報結果。故縮緊對類似颱風的篩選條件，乃是今後單式權重與雙式權重法必須採取的措施。此外，對於類似颱風最佳點的選取，類似路徑之調整及其優先順序與權重分佈等對預測準確性的影響，都將是日後研究之重點所在。

1. 中央氣象局資訊測站副主任。

2. 美國北達科塔州立大學數學部副教授。

# 民國七十三年颱風調查報告\*

## —侵臺颱風 (8409號) 傑魯得<sup>1</sup>

許 翠 玲

### 一、前言

傑魯得 (GERALD) 颱風為七十三年度 (1984) 第九個生成於西太平洋的颱風，也是民國七十三年第四個影響臺灣的颱風。其行走路徑為比較特殊 (見圖一) 的一個颱風，當它於八月十三日晚上從臺東地區登陸時，其強度僅到達熱帶性低氣壓，因而除了給東北部及東部地區帶來較多的雨量 (見表 1) 外，並未造成重大的災害；爾後於八月十四日清晨穿過臺灣南部，強度減弱，一直到八月十六日颱風移至北緯 20 度，東經 118.4 度海面處，始增強為輕度颱風，由於對東沙島附近海面構成威脅，因此本局於八月十六日下午三點三十分發布傑魯得颱風的海上颱風警報，此後，由於受到郝麗 (HORRY) 颱風的互相牽制影響，在東沙島南方海面徘徊至十八日二時始向西緩慢移動，一直到十九日早上八點 (19日 00Z) 始解除海上颱風警報，自二十日二點的地面天氣圖上發現，有受到邢麗颱風牽引而轉向東北之可能，所幸此時已到強弩之末，且實際移動的方向為北北東，朝向香港南方海面移動，於二十一日十五時，由汕尾附近登陸迅速消滅。以下，就傑魯得颱風之形成，發展及移動經過、最佳路徑、颱風路徑客觀預報方法之校驗，強度、移速之變化及各地雨量和風速等方面作一概略的分述。

### 二、形成、發展及移動經過

八月初在衛星雲圖上已顯示雅浦島西方海面上有一擾動雲塊在醞釀發展中，到了八月十二日二點已移動到恆春東南方大約九百公里的海面上，本局也在此時發布熱帶性低氣壓消息，此熱帶性低氣壓以西北西的方向移動，在 13 日晚在新港附近登陸，登陸後其威力迅速減弱，造成全省各地普遍的降水；八月十五日二十三時三十五分，熱帶性低氣壓移

至東沙島南方海面，據關島美軍的飛機偵察報告，此熱帶性低氣壓之中心氣壓已降至 991 毫巴，中心附近最大風速增強到 40KTS，已達輕度颱風的程度，命名為傑魯得 (GERALD)，編號 8409 號。

傑魯得颱風於東沙島東南東方近海生成後，強度繼續增強，而颱風中心在原地附近近似滯留，對東沙島海面、巴士海峽及臺灣海峽南部均構成威脅，所以本局於 16 日 06Z 發布海上颱風警報，此時在琉球東南方有另一個颱風——郝麗 (HORRY)，這二個颱風彼此互相發生牽制作用，在 8 月 17 日 00Z 時，由最新氣象衛星雲圖顯示，傑魯得颱風的主中心已減弱，另由位於其西南方的副中心迅速發展取代，由關島美軍飛機偵察報告得知，在 8 月 17 日 8 時 31 分其中心氣壓降至 980mb，其中心附近最大風速達到 55KTS。至 19 日 00Z 發布解除警報止，傑魯得颱風侵襲期間，共發布警報 11 次。

### 三、強度、移速之變化及各地雨量及風速之情況

傑魯得颱風剛開始發展時，其路徑偏西，當其登陸臺灣本島時強度僅及熱帶性低氣壓，範圍不大，且在臺南、嘉義一帶登陸後，環流受地形的破壞，強度減弱，因而降低災害的程度。以下將就侵襲期間各地氣象要素變化作一簡單的說明：

#### (一) 中心氣壓及中心最大陣風風速變化

由圖二，中心氣壓與中心附近最大風速兩曲線變化情形，可見傑魯得颱風在早期發展並不很完整，當它在 14 日清晨登陸臺灣本島後，結構更受到破壞，所以其最大陣風一度低降至 20m/s，中心氣壓亦只有 996mb，其後，在臺南附近出海後，因熱力能量獲得補充，助長其發展，使其強度增加而達輕度颱風的程度，中心氣壓降低至 985mb，中心附近

\* 收稿日期：74年5月29日 送審日期：74年6月5日 修正日期：74年6月21日至7月29日

1. 臺南氣象測站技佐

表1. 傑魯得及郝麗颱風影響期間本局所屬測站日雨量表

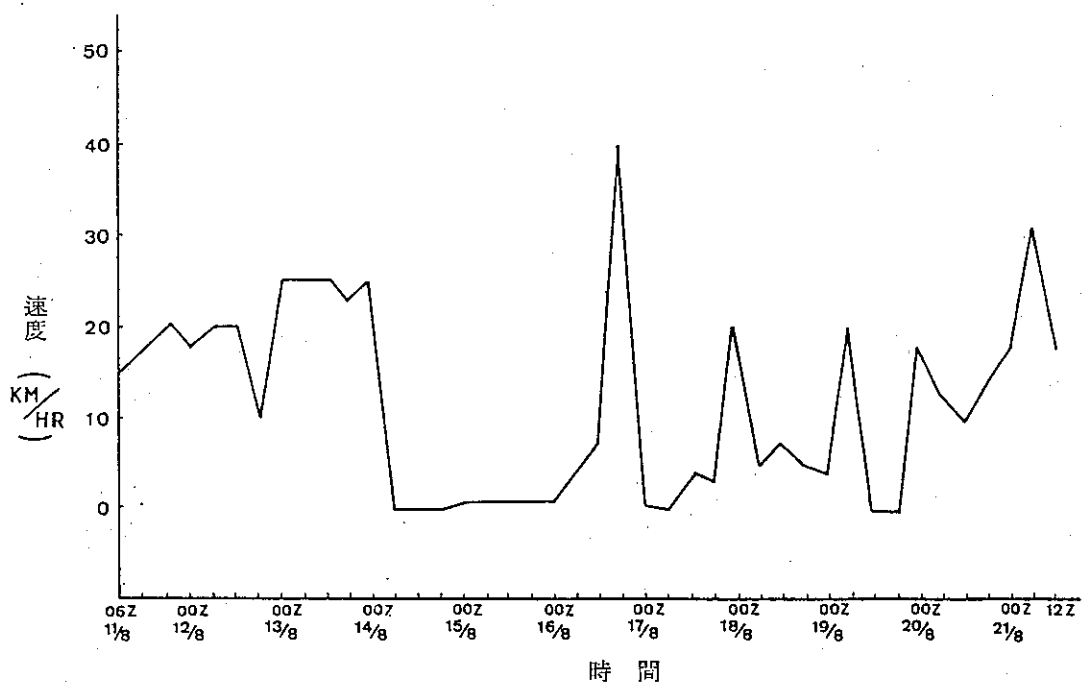
Table 1. The daily rainfall of C.W.B. stations during Typhoon Gerald &amp; Holly Passage

民國73年8月份

| 日期  | 9               | 10             | 11            | 12            | 13               | 14                | 15                | 16              | 17              | 18             | 19              | 20             | 21             | 22            | 23           | 24            | 25            |
|-----|-----------------|----------------|---------------|---------------|------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| 站名  |                 |                |               |               |                  |                   |                   |                 |                 |                |                 |                |                |               |              |               |               |
| 彭佳嶼 | 1<br>6<br>0.6   | —<br>—<br>—    | 0.4<br>—<br>— | —<br>19<br>14 | 3<br>15<br>7     | 15<br>22<br>9     | 0.2<br>138<br>106 | 25<br>49<br>116 | 4<br>14<br>36   | 11<br>12<br>59 | 10<br>17<br>99  | —<br>—<br>—    | —<br>—<br>—    | —<br>T<br>—   | —<br>—<br>—  | —<br>—<br>—   | —<br>—<br>—   |
| 竹子湖 | 1<br>2<br>T     | —<br>1<br>28   | —<br>—<br>0.3 | 11<br>—<br>—  | 5<br>—<br>0.7    | 16<br>0.5<br>8    | 106<br>4<br>12    | 68<br>26<br>1   | 34<br>3<br>1    | 88<br>22<br>31 | 243<br>12<br>5  | —<br>—<br>5    | —<br>—<br>4    | —<br>—<br>—   | —<br>—<br>—  | —<br>—<br>0.7 | —<br>—<br>—   |
| 梧棲  | T<br>8<br>12    | 10<br>0.3<br>5 | —<br>—<br>35  | —<br>—<br>7   | —<br>0.2<br>22   | 4<br>4<br>49      | 6<br>T<br>64      | 1<br>—<br>2     | 0.2<br>2<br>3   | 17<br>—<br>6   | T<br>T<br>25    | —<br>0.6<br>13 | —<br>7<br>20   | —<br>—<br>—   | —<br>—<br>—  | —<br>—<br>3   | —<br>5<br>—   |
| 玉山  | 29<br>3<br>16   | 9<br>0.5<br>6  | 6<br>14<br>—  | 1<br>0.6<br>5 | 35<br>0.1<br>4   | 59<br>50<br>56    | 27<br>—<br>—      | 1<br>0.4<br>—   | 2<br>0.6<br>0.5 | 0.4<br>—<br>15 | 25<br>11<br>23  | 9<br>3<br>38   | 13<br>24<br>8  | —<br>0.1<br>— | —<br>—<br>—  | —<br>—<br>—   | —<br>—<br>—   |
| 東恆蘭 | 4<br>90<br>127  | —<br>102<br>37 | —<br>13<br>3  | —<br>0.4<br>5 | —<br>16<br>138   | 7<br>232<br>19    | —<br>7<br>54      | —<br>75<br>22   | 4<br>0.4<br>—   | —<br>—<br>0.4  | —<br>—<br>—     | —<br>72<br>—   | 1<br>17<br>0.5 | —<br>2<br>0.3 | 2<br>1<br>—  | 0.4<br>—<br>— | —<br>—<br>—   |
| 大臺新 | 169<br>93<br>60 | 53<br>28<br>23 | 4<br>—<br>0.3 | —<br>0.1<br>2 | 68<br>161<br>160 | 131<br>301<br>284 | 15<br>9<br>25     | 39<br>7<br>5    | 0.2<br>11<br>17 | T<br>—<br>—    | —<br>—<br>—     | 0.2<br>—<br>—  | 0.7<br>—<br>—  | —<br>—<br>—   | —<br>—<br>—  | —<br>—<br>—   | —<br>0.6<br>— |
| 花宜蘇 | 54<br>5<br>8    | —<br>—<br>—    | —<br>—<br>0.2 | 2<br>33<br>22 | 82<br>23<br>22   | 120<br>186<br>104 | 117<br>188<br>175 | 2<br>15<br>5    | 12<br>38<br>45  | 1<br>15<br>44  | 1<br>23<br>31   | —<br>—<br>—    | —<br>5<br>—    | —<br>—<br>—   | —<br>—<br>—  | —<br>—<br>—   | 2<br>2<br>—   |
| 淡五四 | 1<br>1<br>3     | —<br>—<br>—    | —<br>—<br>—   | 3<br>19<br>8  | —<br>2<br>5      | 5<br>27<br>88     | 59<br>120<br>117  | 61<br>56<br>110 | 18<br>11<br>69  | 34<br>39<br>91 | 22<br>82<br>114 | —<br>—<br>—    | —<br>—<br>1    | —<br>2<br>3   | —<br>—<br>28 | —<br>—<br>—   | —<br>—<br>9   |
| 大牛古 | 3<br>9<br>7     | —<br>—<br>—    | —<br>—<br>—   | 19<br>3<br>9  | 7<br>2<br>13     | 51<br>36<br>74    | 128<br>105<br>165 | 66<br>96<br>98  | 63<br>68<br>143 | 1<br>38<br>37  | ×               | —<br>—<br>—    | —<br>1<br>5    | 18<br>—<br>1  | —<br>—<br>—  | —<br>—<br>—   | —<br>—<br>—   |
| 雙日  | 15<br>5         | —<br>1         | —<br>5        | 27<br>—       | 18<br>9          | 188<br>21         | 159<br>18         | 77<br>0.8       | 59<br>4         | 56<br>2        | 103<br>15       | —<br>5         | 8<br>2         | —<br>—        | 5<br>0.2     | —<br>2        | —<br>0.4      |
| 嘉台  | 9<br>2          | 3<br>—         | 2<br>—        | 5<br>0.5      | 4<br>0.2         | 37<br>12          | 2<br>58           | 7<br>17         | 0.5<br>17       | —<br>52        | 3<br>25         | 5<br>—         | 7<br>—         | —<br>0.4      | —<br>0.1     | —<br>—        | 0.4<br>2      |

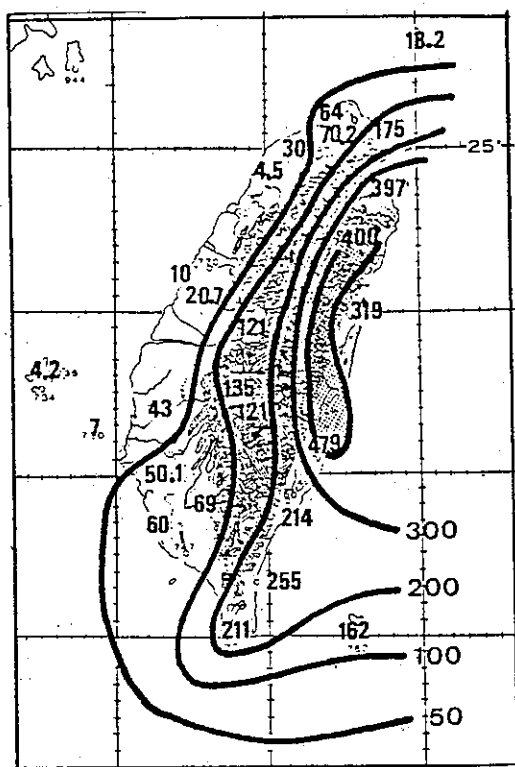






圖三、傑魯得颱風移動速度變化圖

Fig. 3. The profiles of moving velocity for Typhoon Gerald



圖四、傑魯得颱風所帶來的雨量 (mm)  
(從8月13日~8月15日)

Fig. 4. The total rainfall by Typhoon Gerald during the period of August 13 to August 15

表2. 傑魯得及郝麗颱風影響期間本局所屬各測站重要氣象要素綱要表  
Table2. The meteorological elements of C.W.B. stations during Typhoon Gerald & Holly Passage.

| 測 站   | 最低氣壓(mb) |            | 瞬 間 最 大 風 速 (m/s) |      |            |        |      |     | 最 大 風 速 (m/s) |      |            | 强 風(10m/s) 以 上        |            | 最 大 降 水 量 (mm)        |            |                       |       | 降 水 總 量               |  |
|-------|----------|------------|-------------------|------|------------|--------|------|-----|---------------|------|------------|-----------------------|------------|-----------------------|------------|-----------------------|-------|-----------------------|--|
|       | 數值       | 日、時、分      | 風向                | 風速   | 日、時、分      | 氣壓     | 氣溫   | 濕度  | 風向            | 風速   | 日、時、分      | 日、時、分至日、時、分           | 一小時<br>內 值 | 日、時、分至日、時、分           | 十分鐘<br>內 值 | 日、時、分至日、時、分           | 數量    | 日、時、分至日、時、分           |  |
| 彭佳嶼   | 992.6    | 19. 03. 55 | N                 | 32.0 | 18. 15. 43 | 997.4  | 24.9 | 91  | NNW           | 21.1 | 19. 06. 28 | 17. 18. 00—19. 21. 00 | 2.8        | 18. 21. 00—18. 22. 00 | 1.7        | 18. 21. 10—18. 21. 20 | 21.0  | 18. 01. 51—19. 22. 41 |  |
| 基 隆   | 994.7    | 19. 03. 30 | NW                | 22.9 | 19. 06. 50 | 995.9  | 25.4 | 95  | WSW           | 12.9 | 18. 16. 37 | 18. 16. 37—19. 24. 00 | 10.2       | 17. 02. 03—17. 02. 39 | 5.4        | 17. 02. 10—17. 02. 20 | 43.6  | 17. 02. 03—19. 16. 05 |  |
| 鞍 部   | 904.1    | 19. 03. 30 | NNW               | 28.0 | 18. 22. 59 | 906.6  | 21.7 | 100 | NNW           | 21.4 | 18. 23. 10 | 18. 09. 00—19. 15. 25 | 26.3       | 19. 01. 00—19. 02. 00 | 11.2       | 19. 01. 40—19. 01. 50 | 158.2 | 17. 16. 50—19. 19. 45 |  |
| 竹 子 湖 | 995.6    | 19. 03. 30 | SW                | 18.2 | 17. 22. 35 | 1001.1 | 23.4 | 99  | SW            | 8.3  | 17. 22. 00 | —                     | 344.0      | 19. 05. 00—19. 06. 00 | 90.0       | 19. 05. 10—19. 05. 20 | 349.8 | 17. 15. 40—19. 19. 50 |  |
| 新 竹   | 998.0    | 19. 03. 00 | NNE               | 14.6 | 18. 14. 28 | 999.9  | 29.0 | 82  | NE            | 6.7  | 17. 16. 10 | —                     | 5.1        | 19. 11. 00—19. 12. 00 | 2.9        | 18. 10. 18—18. 10. 28 | 35.3  | 17. 20. 20—19. 30. 10 |  |
| 臺 中   | 997.8    | 19. 03. 05 | NNE               | 15.1 | 18. 13. 37 | 998.5  | 30.6 | 73  | NNE           | 5.9  | 18. 15. 50 | —                     | 29.0       | 18. 01. 22—18. 02. 22 | 14.2       | 18. 01. 52—18. 02. 02 | 36.5  | 17. 23. 15—19. 23. 10 |  |
| 梧 棲   | 996.1    | 17. 15. 45 | NE                | 22.0 | 18. 19. 27 | 999.3  | 26.3 | 75  | NNE           | 14.4 | 18. 16. 35 | 17. 16. 00—19. 04. 49 | 8.2        | 18. 01. 15—18. 02. 15 | 6.0        | 18. 01. 17—18. 01. 27 | 17.7  | 18. 01. 15—19. 20. 30 |  |
| 澎 湖   | 996.7    | 17. 17. 00 | NNE               | 15.0 | 18. 14. 21 | 999.5  | 29.9 | 86  | NNE           | 9.0  | 18. 14. 30 | —                     | —          | —                     | —          | —                     | T     | 19. 20. 10—19. 21. 10 |  |
| 阿 里 山 | 5755.2   | 19. 02. 00 | ENE               | 11.7 | 19. 03. 43 | 5757.0 | 13.2 | 99  | ENE           | 6.6  | 19. 05. 50 | —                     | 4.4        | 18. 13. 09—18. 14. 09 | 2.0        | 18. 13. 40—18. 13. 50 | 23.7  | 18. 13. 09—19. 21. 00 |  |
| 玉 山   | 3034.5   | 19. 02. 50 | —                 | —    | —          | —      | —    | —   | NW            | 13.5 | 19. 02. 30 | 18. 23. 20—19. 20. 40 | 5.6        | 19. 17. 00—19. 18. 00 | 2.2        | 19. 17. 50—19. 18. 00 | 21.3  | 18. 13. 35—19. 21. 00 |  |
| 臺 南   | 997.0    | 19. 04. 25 | N                 | 16.1 | 19. 04. 26 | 997.1  | 28.2 | 73  | NNE           | 9.1  | 19. 04. 10 | —                     | 11.2       | 19. 18. 40—19. 19. 15 | 6.9        | 19. 18. 47—19. 18. 57 | 11.2  | 19. 13. 25—19. 19. 15 |  |
| 高 雄   | 996.0    | 19. 05. 00 | NNW               | 18.2 | 19. 05. 22 | 996.0  | 26.9 | 83  | NW            | 10.5 | 19. 13. 00 | 19. 13. 00—19. 17. 00 | 18.5       | 19. 21. 12—19. 22. 12 | 7.0        | 19. 21. 18—19. 21. 28 | 33.0  | 17. 05. 08—19. 22. 49 |  |
| 東吉島   | 997.4    | 17. 17. 18 | NNE               | 18.8 | 19. 02. 42 | 999.3  | 27.4 | 80  | NNE           | 15.0 | 19. 02. 40 | 18. 07. 00—19. 06. 00 | —          | —                     | —          | —                     | —     | —                     |  |
| 恆 春   | 994.8    | 19. 04. 25 | WNW               | 16.3 | 19. 09. 29 | 998.0  | 29.3 | 69  | WNW           | 7.7  | 19. 09. 30 | —                     | —          | —                     | —          | —                     | —     | —                     |  |
| 蘭 嶼   | 992.1    | 19. 05. 05 | WSW               | 42.5 | 19. 16. 18 | 994.9  | 26.6 | 88  | WSW           | 29.6 | 19. 15. 45 | 17. 17. 00—19. 23. 00 | 0.4        | 18. 13. 52—18. 14. 10 | 0.2        | 18. 13. 52—18. 13. 58 | 0.4   | 18. 13. 52—18. 14. 10 |  |
| 大 武   | 992.7    | 19. 04. 15 | S                 | 13.8 | 19. 14. 57 | 996.4  | 31.1 | 61  | S             | 7.6  | 19. 14. 42 | —                     | T          | 18. 17. 42—18. 17. 53 | T          | 18. 17. 42—18. 17. 52 | T     | 18. 17. 42—18. 17. 53 |  |
| 臺 東   | 993.2    | 19. 03. 30 | NE                | 13.2 | 17. 13. 25 | 997.3  | 30.5 | 74  | NE            | 17.1 | 17. 13. 30 | —                     | —          | —                     | —          | —                     | —     | —                     |  |
| 新 港   | 993.5    | 19. 04. 28 | NNE               | 14.0 | 17. 18. 30 | 998.3  | 29.1 | 77  | NNE           | 9.0  | 17. 18. 40 | —                     | —          | —                     | —          | —                     | —     | —                     |  |
| 花 蓮   | 994.9    | 19. 06. 00 | NE                | 14.5 | 17. 14. 55 | 998.4  | 30.0 | 73  | NE            | 7.7  | 17. 15. 00 | —                     | 1.0        | 19. 04. 30—19. 05. 10 | 0.5        | 19. 04. 40—19. 04. 50 | 2.1   | 18. 18. 15—19. 15. 10 |  |
| 宜 蘭   | —        | —          | —                 | —    | —          | —      | —    | —   | —             | —    | —          | —                     | —          | —                     | —          | —                     | 40.0  | 17. 19. 40—19. 15. 00 |  |
| 蘇 澳   | 994.5    | 19. 05. 30 | NW                | 18.0 | 18. 18. 30 | 998.0  | 27.3 | 77  | WNW           | 10.4 | 18. 19. 10 | 18. 19. 10—18. 19. 20 | 15.2       | 18. 16. 30—18. 17. 30 | 9.8        | 18. 17. 10—18. 17. 20 | 135.3 | 16. 22. 50—19. 14. 58 |  |
| 淡 水   | 995.9    | 19. 03. 50 | WNW               | 15.0 | 19. 03. 35 | 995.9  | 26.7 | 91  | WNW           | 10.7 | 19. 03. 40 | 19. 02. 30—19. 06. 20 | 16.7       | 18. 17. 00—18. 18. 00 | 5.4        | 18. 17. 10—18. 17. 20 | 65.0  | 17. 13. 00—19. 18. 00 |  |

表3. 傑魯得颱風二十四小時路徑預報誤差表  
Table 3. Forecasting errors for Typhoon Gerald

| 時 間 |    |      | 最 佳 路 徑 |       | 中 央 氣 象 局 預 測 |       |         | 關 島 美 軍 預 測 |       |         |
|-----|----|------|---------|-------|---------------|-------|---------|-------------|-------|---------|
| 月   | 日  | 時(Z) | °N      | °E    | °N            | °E    | 誤 差(公里) | °N          | °E    | 誤 差(公里) |
| 8   | 17 | 06   | 18.8    | 116.1 | 20.0          | 119.0 | 350     | 21.8        | 117.1 | 350     |
|     |    | 12   | 18.6    | 116.2 | 20.0          | 119.4 | 380     | 21.1        | 116.8 | 280     |
|     |    | 18   | 18.5    | 116.1 | 20.0          | 118.0 | 270     | 20.8        | 114.7 | 300     |
|     | 18 | 00   | 18.3    | 115.0 | 18.8          | 116.1 | 130     | 18.5        | 116.2 | 130     |
|     |    | 06   | 18.3    | 114.8 | 18.8          | 116.1 | 150     | 18.5        | 116.2 | 155     |
|     |    | 12   | 18.5    | 114.5 | 18.6          | 116.2 | 190     | 18.5        | 116.3 | 200     |
|     | 19 | 18   | 18.5    | 114.2 | 18.5          | 116.1 | 210     | 18.3        | 116.6 | 270     |
|     |    | 00   | 18.5    | 114.0 | 13.3          | 115.0 | 115     | 18.3        | 113.6 | 50      |
|     |    | 06   | 18.5    | 112.8 | 18.3          | 114.8 | 160     | 18.6        | 112.1 | 90      |
|     |    | 12   | 18.5    | 112.8 | 18.5          | 114.5 | 210     | 20.5        | 111.2 | 215     |
|     |    | 18   | 18.5    | 112.8 | 18.5          | 114.2 | 145     | 20.8        | 110.7 | 300     |
| 總 計 |    |      |         |       |               |       | 2310    |             | 2340  |         |
| 平 均 |    |      |         |       |               |       | 219.1   |             | 221.8 |         |

表4. 傑魯得颱風眼飛機偵察定位表  
Table 4. Eye-Fixes for Typhoon Gerald by aircraft

| 觀 測 時 間 (Z) 分 |    |    |    | 中 心 緯 度 經 度 |       | 地 面 最 大 風 速<br>(哩/時) | 海 平 面 氣 壓<br>(mb) |
|---------------|----|----|----|-------------|-------|----------------------|-------------------|
| 8             | 15 | 23 | 35 | 20.0        | 118.4 | 40                   | 991               |
| 8             | 16 | 23 | 13 | 18.5        | 116.2 | 50                   | 980               |
| 8             | 17 | 08 | 31 | 18.5        | 116.3 | 55                   | 980               |
| 8             | 17 | 10 | 32 | 18.5        | 116.3 | 50                   | 981               |
| 8             | 17 | 20 | 42 | 18.4        | 114.9 | 50                   | 979               |
| 8             | 17 | 23 | 16 | 18.5        | 114.8 | 50                   | 980               |
| 8             | 18 | 06 | 14 | 18.7        | 114.2 | 55                   | 982               |
| 8             | 18 | 08 | 44 | 18.8        | 113.6 | 45                   | 984               |

最大陣風爲50m/s，持續風亦達到28m/s。

(二)移動速度之變化

傑魯得颱風形成後，在郝麗颱風相互牽制的影響下，移動非常緩慢，甚至呈近似滯留，反而當其早期仍爲熱帶性低氣壓時，由於受到副熱帶高氣壓的導引，穩定地以每小時10至25公里的速度向西北西進行（見圖三），之所以會有這種現象，主要還是由於同時有另一颱風——郝麗同時存在的結果。

(三)傑魯得颱風影響臺灣期間之氣象要素

(1)降水

傑魯得颱風對臺灣之影響，主要是帶來較大的雨量，在14日當天全省各地均下雨，其中雨量最多的是臺東（301公厘）、其次是新港（284公厘）、恆春（232公厘）、雙蓮碑（188公厘）、宜蘭（186公厘）、蘇澳（104公厘），可見雨量主要集中在東部、東北部及其山區（見表1）。

(2)風力

傑魯得颱風影響臺灣期間，除蘭嶼因受地形影響，於19日1545L曾出現29.6m/s之強風外，要以鞍部的18日2310L之21.4m/s，及彭佳嶼19日0628L之21.1m/s較大，其餘測站就只有臺東（17.1m/s），東吉島（15.0m/s）之風力在15m/s以上而已（見表2）。

四、最佳路徑及預報誤差之校驗

從表3傑魯得颱風路徑預報誤差可以得知，中央氣象局的颱風路徑預報有下列特徵：(1)從17日06Z至19日18Z爲止有(a)偏慢(b)偏北的趨勢。(2)起初由熱帶性低氣壓加強爲颱風時，其誤差較大，經過一再研判後，誤差程度減小。(3)預報誤差起伏不算太大。由實際資料計算得出其二十四小時之平均誤差爲219.1公里。

同時間內，關島美軍的二十四小時預測位置則起伏較大（見表3），且其平均誤差約爲221.8公里，和本局之預報成績約略相同。

五、結 論

傑魯得颱風之路徑以西北西至西北爲主，只在末期時，受到郝麗颱風北上之牽引而朝向北北東，但此時颱風已移至一百一十三度以西，故對本省已無影響，傑魯得颱風登陸本省時，其強度尚在熱帶性氣壓階段因此除了帶來較多雨量外，並未造成其他災害，而且雨量又集中在東部、東北部及山區等人口較爲疏散的地方，因此，雖然中央氣象局在這段期間內同時發布兩個颱風的警報，全省各地並沒有重大的災情發生，這是最值得大家慶幸的一件事。

Report on Typhoon "Gerald" in 1984

Carol, T. L. Hsu

Junior Meteorologist of Forecasting Center. C. W. B.

ABSTRACT

A report on Typhoon Gerald (8409) will be discussed. When Typhoon Gerald pass eastern part of Taiwan at 1200Z. 13 August, it is only a Tropical Depress Cyclone, and didn't cause a lot of damages.

An objective prediction for Typhoon Gerald is also veried in this report.

# 民國七十三年颱風調查報告\*

## — 侵臺颱風 (8412號) 裘恩<sup>1</sup>

趙 世 騰

### 一、前 言

裘恩 (JUNE) 颱風係73年度發生於西太平洋上的第十二個颱風，也是73年第六號侵臺颱風。裘恩的威力屬於輕度颱風，因其組織不結實，結構不完整，高層及低層的中心位置不一致，並且有多個副中心發生，影響颱風動態的研判甚大。在其四天 (28至31) 的生命史中，威力最強的時候，是颱風繞過呂宋島北方近海進入南海北部以後 (300000 Z 至301200 Z)，此時期近中心最大風速達到每秒31公尺，發展至幾達中度颱風的強度。

由於裘恩颱風生成以後向西北西沿着呂宋島北方近海進行，因此只有暴風圈的邊緣擦過本省南端，而且颱風雲系北面也比南面少 (見圖3)，所以暴風雨並未嚴重傷害本省，相反的南面的呂宋島却被蹂躪了兩天，造成21人死亡百餘人受傷，財物損失難以估計的災害。但是裘恩所引發的海浪以及海水倒灌，仍然對本省構成相當的威脅與災害。28日29日新港測站波浪儀及30日小琉球波浪儀，均測得波浪高達8公尺以上， $\frac{1}{2}$ 波高亦達5公尺，此項記錄為本局設立波浪儀以來所僅見者。茲將裘恩颱風的生成、發展及其路徑分析報告於後。

### 二、裘恩颱風之生成及發展

8月下旬可稱為73年ITCZ 最活躍的時期，郝麗颱風於8月20日進入東海，並且轉向東北進行，22日到達日本海減弱為溫帶氣旋。在這一段時間裏，位於北緯30度東經160度的太平洋高氣壓迅速向西伸展，在其南方的ITCZ 也相對地活躍起來，東起自關島西至呂宋島，在這一片長達2,500餘公里的廣大洋面上，海水溫度高達30度 (見圖1)，提供充足的能量，因而衍生一連串的熱帶擾動，總共

產生四個熱帶性低氣壓，其中兩個發展為颱風；一為艾克 (IKE)，一為裘恩 (JUNE)。24日在北緯20度東經140度，25日在北緯19度東經133度，相繼產生熱帶性低氣壓，因為環境條件不足，而未能發展為颱風。

位於北緯19度東經133度的熱帶性低氣壓，渡過了三天仍然沒有攝取足夠的能量發展起來，反而在關島南方海面的擾動於27日搶先發展為艾克颱風，緊接着28日在呂宋島東北海面之熱帶擾動急速發展為輕度颱風裘恩 (見圖2)。

這一段變化迅速，頗有措手不及之感。28日00Z 日本認定此一擾動為輕度颱風，然而美軍則尚未命名，甚至未認定為熱帶性低氣壓。28日00Z 美軍發出的注意報告裏說：從 $18^{\circ}\text{N}127^{\circ}\text{E}$ 至 $21^{\circ}\text{N}120.5^{\circ}\text{E}$ 是一廣大低壓區，在現有可用的資料，尚不足以來判明何者為熱帶性低氣壓而予以編號。根據272341 Z飛機偵察報告，估計在此一區域內風力約在25-40 kts，並指出此一廣大環流範圍裏，其中心可訂在 $17.5^{\circ}\text{N}124.9^{\circ}\text{E}$ ，整個系統向西北西進行，時速15公里。

由於這一新系統的急速發展，28日06Z，正式編號命名，美軍關島颱風警報中心此次提早於0730 Z 發佈警報 (正常時間是0900Z 發佈)，足見裘恩颱風發展相當緊迫，因為裘恩距離本省恆春東南方僅520公里，本局隨即於08Z 發佈海上陸上颱風警報。因為其發生地已經接近呂宋島，時間空間均受限制，所以未能持續發展，直到颱風繞過了呂宋島進入東沙島東南方海面時 (29日12Z 30日12Z) 才再度略為增強，此一時期近中心最大風速每秒31公尺。並且一直維持到在沙頭西南方附近登陸才迅速減弱，於31日瓦解。

\* 收稿日期：74年5月29日 送審日期：74年6月5日 收回日期：74年6月28日

1. 中央氣象局預報測站課長

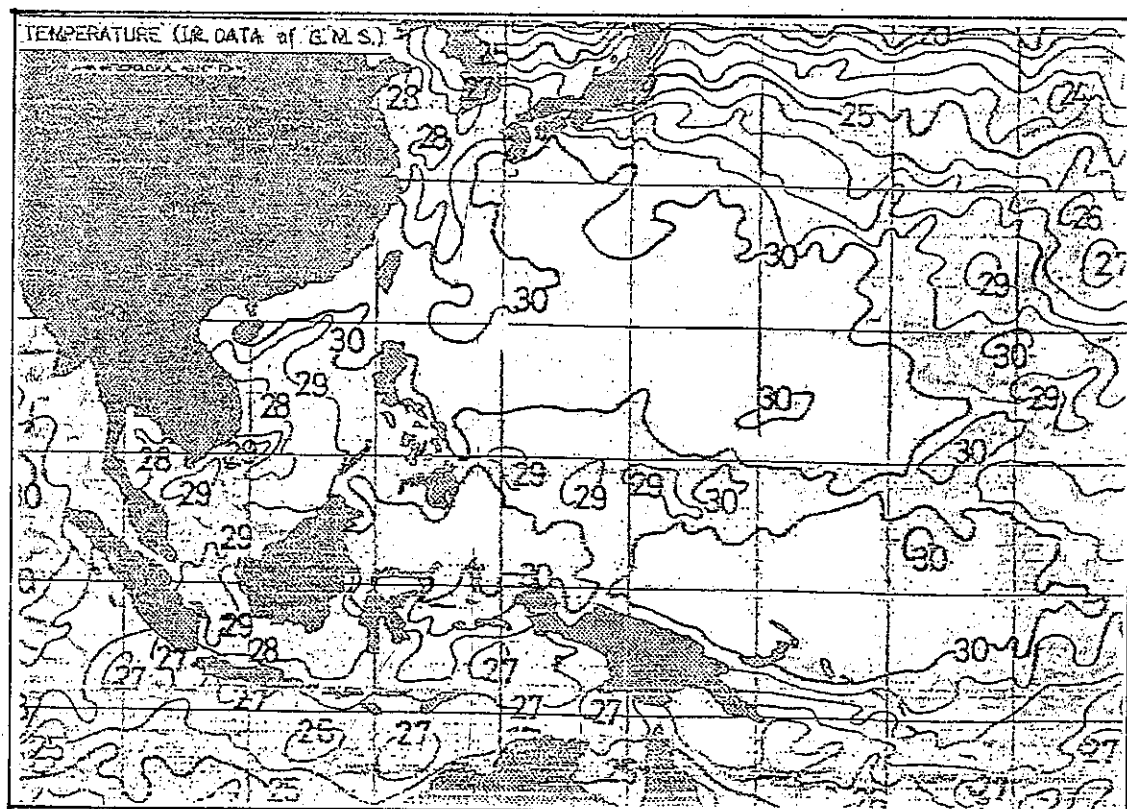


圖 1. 民國七十三年八月平均海水溫度  
Fig. 1. Mean sea Sfc temperature (IR. Data of G. M. S.)

### 三、路徑之分析及討論

裘恩颱風組織結構不良，根據美軍飛機偵察最低氣壓是983 毫巴，其發展高度有限，高空及低層的中心位置不一致（見圖4、5及表3、表4），因此對於颱風路徑動向的掌握產生相當的困擾。本局採用28日00Z500mb 二次空間平均圖（見圖6）的駛流做為裘恩未來動向的藍本；在此大原則之下小心的調整，事實證明本局的預報路徑，位於裘恩颱風最佳路徑（見圖7）的右側。其中28日18Z，29日12Z，定位幾乎一致，29日00Z，18Z 位於同一路線（見表1、表2），30日起偏於右側平均約60公里，從本局的預測路徑上看，不僅掌握了重點而且也符合安全原則。當裘恩通過呂宋島時也發生了類似繞山作用的現象，快速被西南方的副中心所取代，然後再循原來的路徑方向移動，此一現象值得我們日後參考。

表 1. 裘恩颱風最佳路徑資料表

Table 1. Best track for Typhoon JUNE

| 月 | 日  | 時  | 北<br>緯 | 東<br>經 | 中心<br>氣壓<br>(mb) | 最大<br>風速<br>(m/s) | 颱風<br>進行<br>方向 | 時<br>速<br>(km/h) |
|---|----|----|--------|--------|------------------|-------------------|----------------|------------------|
| 8 | 28 | 06 | 18.0   | 124.5  | 990              | 23                | WNW            | 10               |
|   |    | 12 | 18.3   | 124.0  | 986              | 25                | WNW            | 15               |
|   |    | 18 | 18.7   | 123.2  | 986              | 25                | WNW            | 20               |
|   | 29 | 00 | 19.0   | 122.1  | 986              | 25                | WNW            | 25               |
|   |    | 06 | 19.1   | 120.6  | 986              | 25                | WSW            | 22               |
|   |    | 12 | 18.9   | 119.1  | 986              | 25                | WNW            | 22               |
|   |    | 18 | 19.3   | 118.4  | 986              | 25                | NW             | 20               |
|   | 30 | 00 | 20.2   | 117.6  | 983              | 31                | NNW            | 18               |
|   |    | 06 | 21.1   | 116.9  | 983              | 31                | NNW            | 16               |
|   |    | 12 | 22.1   | 116.3  | 983              | 31                | NNW            | 16               |
|   |    | 18 | 23.1   | 115.8  | 985              | 20                | N              | 15               |

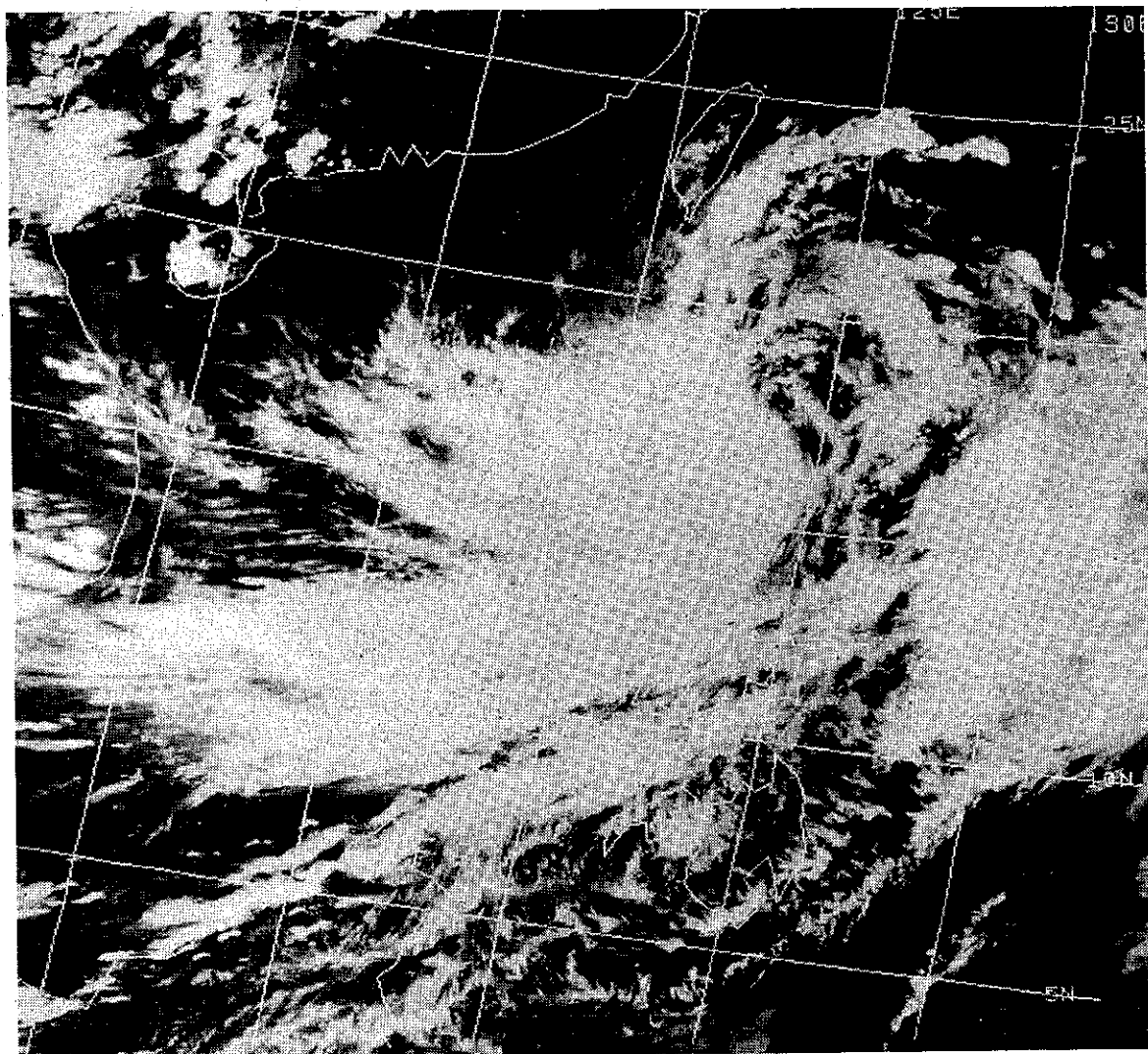


圖 2. 民國七十三年八月廿八日 0750Z NOAA 紅外線圖  
Fig. 2. NOAA IR picture showing Typhoon June at 0750Z 28 Aug. 1984

表 2. 裘恩颱風本局預測路徑  
Table 2 The track for Typhoon JUNE by CWB

| 月 | 日  | 時  | 北緯   | 東經    |
|---|----|----|------|-------|
| 8 | 28 | 06 | 18.5 | 124.2 |
|   |    | 12 | 18.6 | 123.7 |
|   |    | 18 | 18.7 | 123.1 |
|   | 29 | 00 | 19.1 | 121.9 |
|   |    | 06 | 19.5 | 120.5 |
|   |    | 12 | 18.9 | 119.1 |
|   |    | 18 | 19.5 | 118.1 |
|   | 30 | 00 | 20.5 | 117.6 |
|   |    | 06 | 21.5 | 117.3 |
|   |    | 12 | 22.2 | 116.8 |
|   |    | 18 | 22.9 | 116.5 |

表 3. 裘恩颱風本局衛星訂位及準確度  
Table 3. Eye-Fixes for JUNE by Satellite

| 時<br>月 | Z<br>日 | 觀測<br>時 | 中 心 位 置 |       | 精確度  |
|--------|--------|---------|---------|-------|------|
|        |        |         | °N      | °E    |      |
| 8      | 28     | 0637    | 17.7    | 123.5 | FAIR |
|        |        | 2008    | 19.7    | 120.4 | FAIR |
|        |        | 2300    | 19.9    | 120.0 | FAIR |
|        | 29     | 0700    | 19.1    | 118.3 | FAIR |
|        |        | 1100    | 19.1    | 118.5 | FAIR |
|        |        | 2000    | 19.3    | 118.3 | POOR |
|        |        | 2329    | 19.4    | 116.5 | FAIR |
|        | 30     | 0712    | 22.1    | 116.8 | FAIR |
|        |        | 1940    | 22.5    | 116.4 | FAIR |



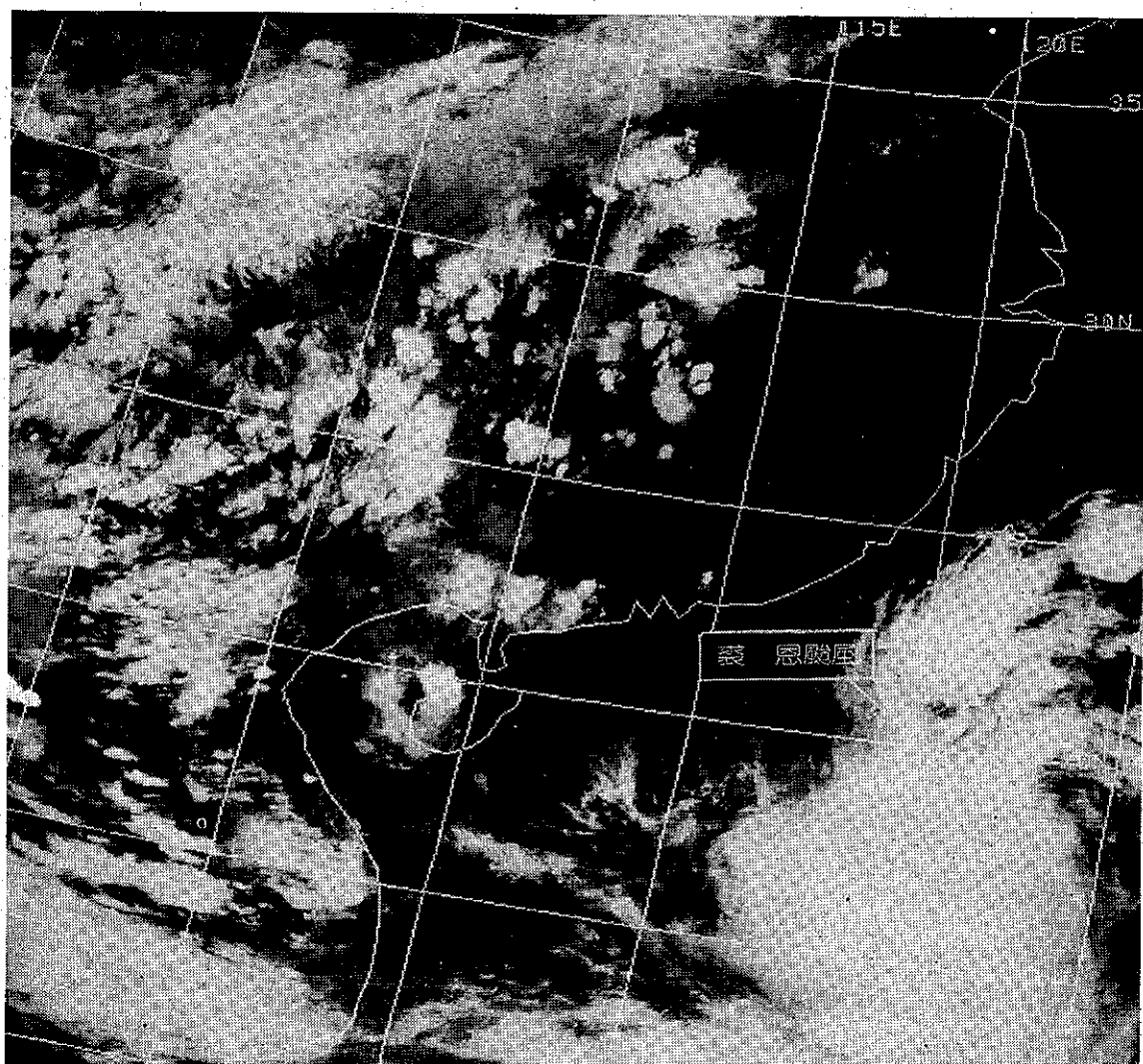


圖 3. 民國七十三年八月廿八日 1128Z NOAA 紅外線圖  
Fig. 3. NOAA IR picture showing Typhoon June at 1128Z 28 Aug. 1984

表 4. 裘恩颱風眼飛機偵察定位表  
Table 4. Eye Fixes for JUNE by aircraft

| 觀測時間(Z)<br>月 日 時 分 | 中心位置 |       | 定位方法<br>飛 機 | 地面最大風速<br>(哩/時) | 海平面氣壓<br>(mb) |
|--------------------|------|-------|-------------|-----------------|---------------|
|                    | 北緯   | 東經    |             |                 |               |
| 8 27 06 51         | 17.5 | 129.7 | ✓           | 30              | 993           |
| 8 27 23 41         | 17.5 | 124.7 | ✓           | 45              | 990           |
| 8 28 05 40         | 17.9 | 124.6 | ✓           | 45              | 986           |
| 8 28 08 20         | 17.9 | 124.2 | ✓           | 50              | 986           |
| 8 29 06 27         | 18.2 | 119.3 | ✓           | —               | —             |
| 8 29 08 38         | 18.7 | 119.6 | ✓           | 40              | 986           |
| 8 29 23 05         | 20.7 | 118.8 | ✓           | 65              | 983           |

雖然500mb駛流帶給我們很好的指引，但是我們從綜觀高空合成圖的型態（見圖 8、9、10、11）亦可發現27日熱帶性低氣壓在東海消滅後，整個太平洋高氣壓中心盤踞在日本九州附近，按周期將可達 5 至 6 天，所以裘恩颱風非循其邊緣進行不可，況且其本身威力微弱，完全受制於太平洋高氣壓當無疑問。

裘恩颱風之發生位置有跳移現象，缺少穩定的過去資料，所以客觀預報從缺。

#### 四、裘恩颱風警報期各地氣象情況

裘恩颱風在29日06Z 暴風圈的邊緣掠過本省南端；各地氣象情況（見表 5）偏重於東南部及南部

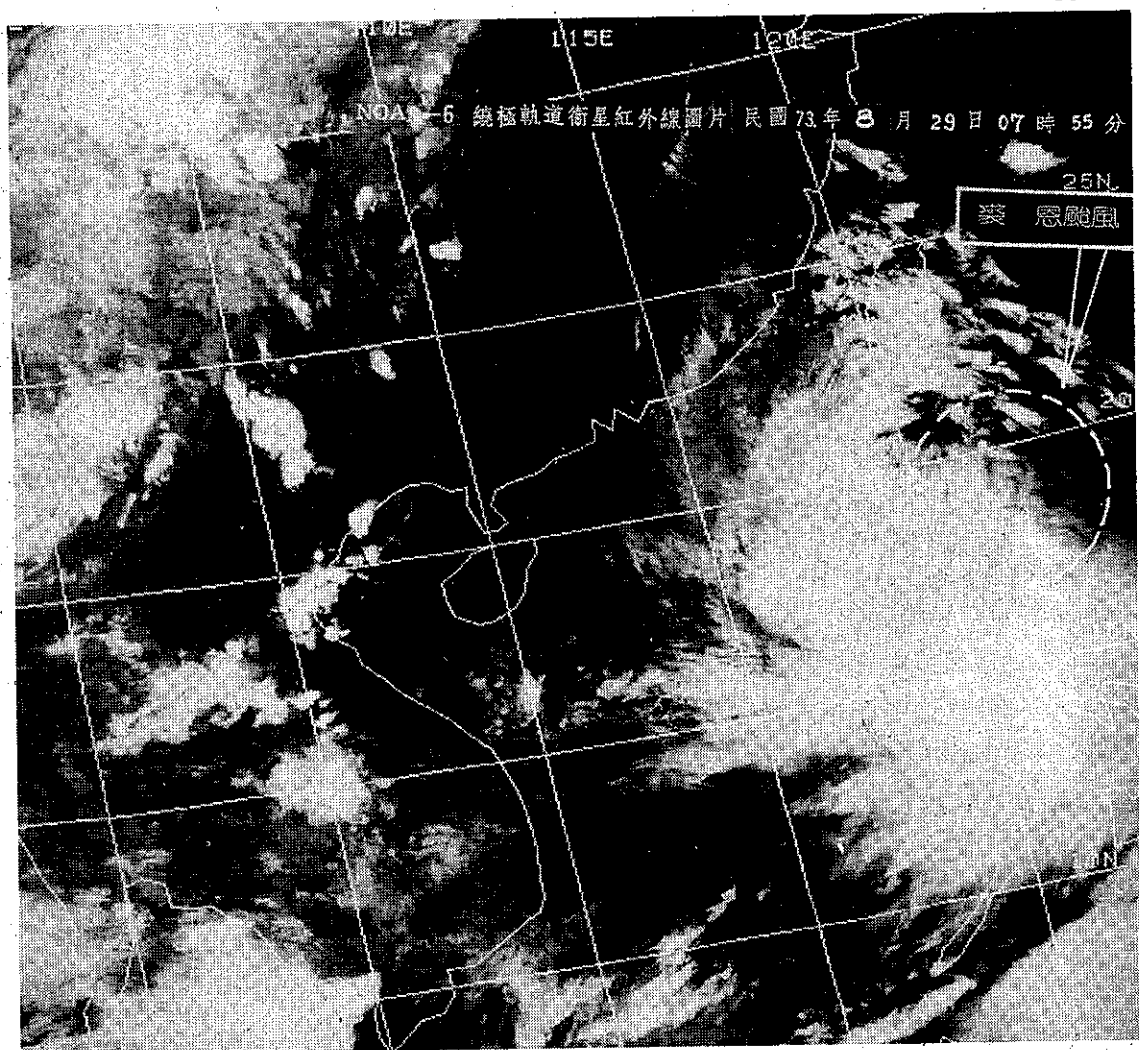


圖 4. 民國七十三年八月廿八日 2355Z NOAA 紅外線圖

Fig. 4. NOAA IR picture showing Typhoon June at 2355Z 28 Aug. 1984

地區。蘭嶼測得瞬間最大陣風每秒46.3公尺（15級），新港、大武、恒春則僅達9級而已。降雨情形，除臺中地區沒有下雨以外，其他地區都下了雨，其中以新港269.7公厘最多，其次分別是花蓮189.4公厘，恒春162.5公厘。

麥恩所帶來的風雨並未造成災害，主要是因為其北面的雲雨組織較稀薄；但是颱風與太平洋高氣壓之間所形成的強烈氣壓梯度，不僅產生比暴風圈還大的陣風（彭佳嶼、東吉島10級），更引發了強大的波浪給本省帶來相當大的威脅，從新港及小琉球波浪觀測資料表（見表6、7）即可一目了然。

新港：28日16時起最大波高達到4.6公尺，持續至30日10時才降到4公尺以下共達40小時，29日2時更高達8.28公尺，所幸無災情報導。

小琉球：30日2時最大波高2.63公尺，4時至10時電訊干擾，及至12時電訊恢復最大波高已達8.35公尺，4公尺波高共持續72小時後於9月2日14時減小。

### 五、災 情

海水倒灌是此次災害的唯一因素。雲林、嘉義、高雄、屏東均發生，其中以布袋、東石兩地最為嚴重。29日傍晚布袋海堤遭浪潮沖毀，以致鎮內積水1公尺，30日中午再一次發生海水倒灌並擊毀鹽田堤防，總計損失如下：

|                    |           |
|--------------------|-----------|
| 布袋魚塢流失10公頃，損失300萬元 |           |
| 東石魚塢流失15公頃         | 損失1400萬元。 |
| 東石花生流失200公頃        |           |
| 東石蘆筍流失300公頃        |           |

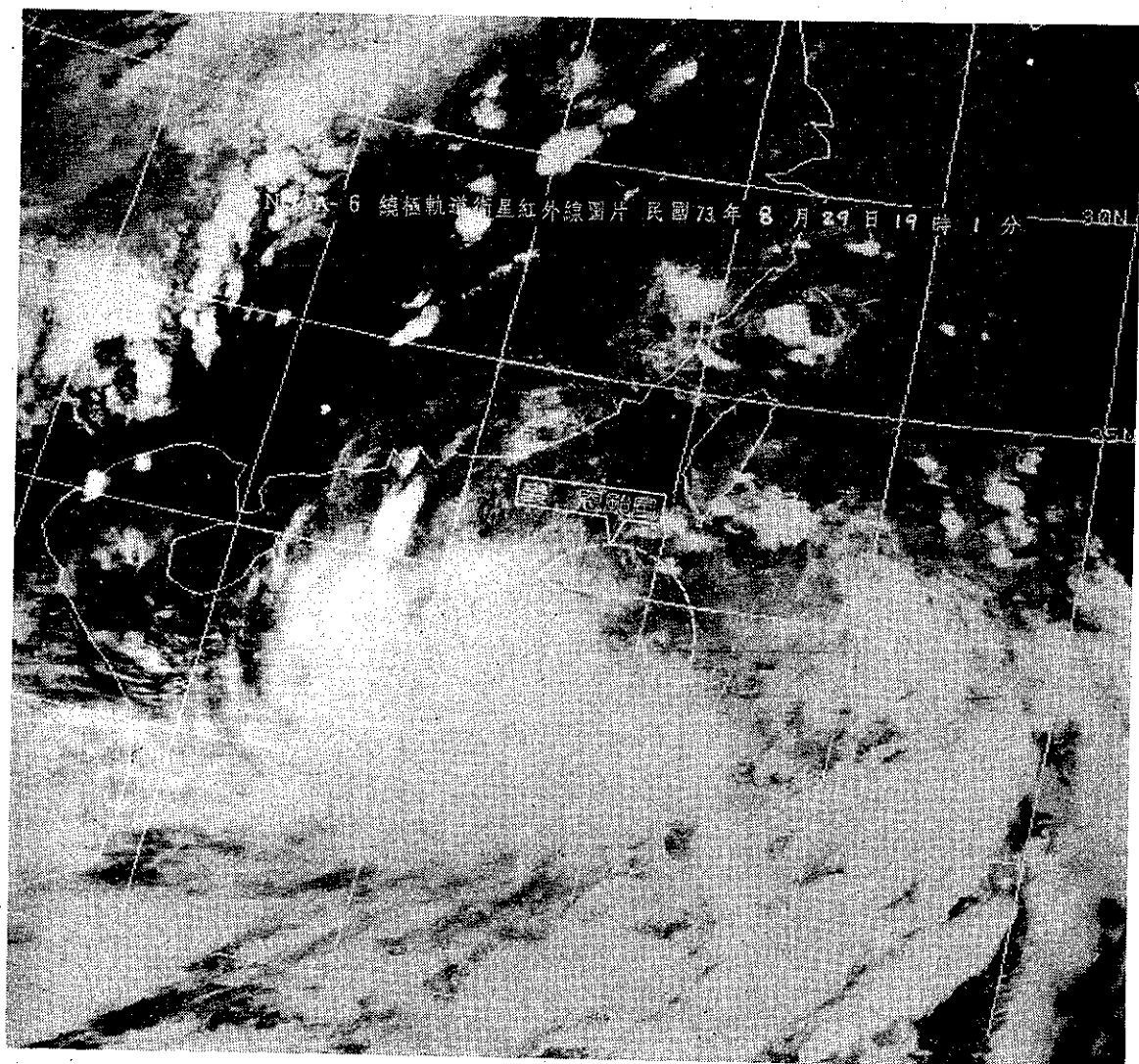


圖 5. 民國七十三年八月廿九日 1210Z NOAA 紅外線圖  
Fig. 5. NOAA IR picture showing Typhoon June at 1210Z 29 Aug. 1984

以上損失尚不包括海水鹽分造成的鹽害。(塭水變質，田地鹽分加重等)

另外有漁船沉沒二艘 6 人下落不明，高雄旗津因波浪洶湧渡輪一度關閉，輪船進出港口也嚴重受到影響。其他地區因損失輕微，未有災害報告。

## 六、結 論

裘恩颱風威力並不大，但是却引發強大而持久的波浪以及潮勢，乃是因為 27 日起太平洋高氣壓盤踞在日本南方海面，颱風中心與高氣壓之間氣壓梯度相對地增加甚鉅，造成東南部地區有強烈偏北的梯度風，因此 28 日新港即出現了猛浪；29 日 06Z 以後，颱風中心位置約在  $19^{\circ}\text{N}120.5^{\circ}\text{E}$ ，已經偏到中

央山脈西側，不僅氣壓梯度大，更加上地形阻碍，助長了臺灣海峽南部偏南風的勢力，所以 30 日上午，小琉球亦出現了 8.35 公尺、31 日出現 8.37 公尺的猛浪。

29 日布袋發生海水倒灌，因為適逢大潮日（農曆初三中午 12 時最大），偏南風不僅助長了大潮時間持久，並且加強其威勢，故於傍晚時分，海堤禁不住浪潮的沖擊而潰決；而 30 日 11 時至 14 時再次發生海水倒灌，則純屬波浪所造成的，（按潮汐變化農曆初四大潮時間是 18 時）。不論如何，氣壓梯度大，中央山脈地形阻碍，颱風路徑，均有利偏南風持續，因而助長了潮勢及波浪，乃是造成本次颱風災害的主因。

表5 麥恩颱風影響期間本局所屬各測站重要氣象要素綱要表

Table 5 The weather elements from CWB'S stations during JUNE Passage

| 測 站   | 最低氣壓 (mb) |                      | 瞬 間 最 大 風 速 (m/s) |      |            |        |      |      | 最 大 風 速 (m/s) |      |            | 强 風 (10m/s)以 上        | 最 大 降 水 量 (mm) |                       |          |                       |       |                       | 降 水 總 量 (mm) |  |
|-------|-----------|----------------------|-------------------|------|------------|--------|------|------|---------------|------|------------|-----------------------|----------------|-----------------------|----------|-----------------------|-------|-----------------------|--------------|--|
|       | 數值        | 日 時 分                | 風向                | 風速   | 日 時 分      | 氣壓     | 氣溫   | 濕度   | 風向            | 風速   | 日 時 分      | 日 時 分至日 時 分           | 一小時<br>內       | 日 時 分至日 時 分           | 十分鐘<br>內 | 日 時 分至日 時 分           | 數量    | 日 時 分至日 時 分           |              |  |
| 彭佳嶼   | 998.5     | 29. 18. 00           | ENE               | 25.7 | 29. 01. 15 | 1001.9 | 27.2 | 92%  | E             | 78.1 | 29. 20. 43 | 28. 20. 00~29. 21. 40 | 2.6            | 29. 02. 10~29. 02. 30 | 1.9      | 29. 02. 10~29. 02. 20 | 10.9  | 28. 18. 38~29. 19. 40 |              |  |
| 基 隆   | 993.8     | 29. 18. 00<br>24. 00 | ENE               | 18.6 | 29. 11. 06 | 999.7  | 28.4 | 87%  | NEE           | 11.2 | 29. 00. 30 | 28. 23. 02~29. 20. 35 | 39.1           | 29. 00. 37~29. 01. 37 | 11.5     | 29. 00. 55~29. 01. 05 | 65.5  | 28. 01. 08~29. 23. 15 |              |  |
| 鞍 部   | 906.9     | 29. 18. 10           | S                 | 24.1 | 29. 20. 45 | 907.3  | 21.7 | 100% | S             | 17.3 | 29. 20. 52 | 28. 21. 00~ 繼 續 中     | 28.9           | 29. 00. 10~29. 01. 10 | 10.2     | 29. 00. 50~29. 01. 00 | 94.2  | 28. 17. 12~29. 21. 00 |              |  |
| 竹 子 湖 | 996.7     | 29. 18. 15           | NE                | 16.2 | 28. 22. 20 | 1003.0 | 23.4 | 98%  | NE            | 7.3  | 29. 14. 00 | —                     | 28.0           | 29. 00. 40~29. 01. 40 | 8.3      | 29. 00. 50~29. 01. 05 | 89.4  | 28. 16. 25~29. 20. 45 |              |  |
| 臺 北   | 996.1     | 29. 18. 10           | ENE               | 16.0 | 29. 10. 48 | 998.7  | 30.6 | 67%  | ENE           | 7.3  | 29. 10. 40 | —                     | 5.4            | 28. 18. 22~28. 19. 22 | 2.7      | 29. 16. 00~29. 01. 10 | 27.2  | 28. 17. 50~29. 20. 45 |              |  |
| 新 竹   | 991.9     | 29. 17. 00           | NE                | 21.0 | 29. 16. 40 | 992.0  | 29.9 | 69%  | NE            | 9.3  | 29. 16. 50 | —                     | 0.2            | 29. 00. 30~29. 00. 45 | 0.1      | 29. 00. 35~29. 00. 45 | 0.2   | 29. 00. 30~29. 00. 45 |              |  |
| 臺 中   | 990.4     | 29. 18. 02           | W                 | 6.9  | 29. 15. 45 | 991.2  | 32.4 | 58%  | WEW           | 3.9  | 29. 15. 20 | —                     | —              | —                     | —        | —                     | —     | —                     |              |  |
| 梧 棲   | 987.6     | 29. 22. 45           | NNE               | 20.3 | 28. 20. 40 | 994.4  | 27.9 | 67%  | NNE           | 10.8 | 28. 20. 43 | —                     | —              | —                     | —        | —                     | —     | —                     |              |  |
| 日 月 潭 | 884.9     | 29. 18. 00           | E                 | 5.2  | 29. 05. 40 | 887.8  | 21.5 | 79%  | E             | 4.0  | 29. 05. 42 | —                     | 1.2            | 29. 02. 00~29. 03. 00 | —        | —                     | 17    | 29. 01. 00~29. 03. 20 |              |  |
| 彭 湖   | 990.8     | 29. 19. 00           | NNE               | 18.6 | 28. 20. 05 | 997.2  | 28.4 | 81%  | NE            | 12.0 | 28. 20. 50 | 28. 20. 50~28. 21. 40 | 0.2            | 29. 02. 00~29. 03. 00 | 0.1      | 29. 02. 40~29. 02. 50 | 0.3   | 28. 22. 20~29. 03. 20 |              |  |
| 嘉 義   | 990.4     | 29. 19. 00           | WSW               | 8.4  | 29. 15. 30 | 991.7  | 31.2 | 75%  | WSW           | 5.0  | 29. 15. 50 | —                     | 0.6            | 29. 01. 20~29. 02. 20 | 0.3      | 29. 01. 30~29. 01. 40 | 1.7   | 28. 20. 10~29. 03. 00 |              |  |
| 阿 里 山 | 5752.3    | 29. 19. 00           | E                 | 11.6 | 29. 06. 22 | 5754.5 | 13.7 | 88%  | ENE           | 4.6  | 29. 06. 20 | —                     | 3.4            | 28. 22. 00~28. 23. 00 | 1.4      | 28. 22. 00~28. 22. 10 | 21.6  | 28. 19. 15~29. 21. 00 |              |  |
| 玉 山   | 2994.1    | 29. 19. 30           | —                 | —    | —          | —      | —    | —    | NE            | 9.7  | 29. 08. 40 | —                     | 9.5            | 29. 00. 40~29. 01. 40 | 3.4      | 29. 00. 40~29. 00. 50 | 65.9  | 28. 18. 00~29. 21. 00 |              |  |
| 臺 南   | 990.8     | 29. 18. 00           | S                 | 12.4 | 28. 23. 01 | 997.5  | 25.9 | 95%  | SSW           | 8.3  | 28. 23. 27 | —                     | 10.3           | 28. 23. 00~28. 24. 00 | 3.6      | 28. 23. 40~28. 23. 50 | 11.4  | 28. 19. 48~29. 03. 40 |              |  |
| 高 雄   | 990.5     | 29. 18. 10           | SE                | 10.0 | 28. 21. 06 | 997.6  | 27.2 | 89%  | WNW           | 6.3  | 29. 18. 10 | —                     | 8.3            | 28. 20. 40~28. 21. 40 | 3.0      | 28. 21. 10~28. 21. 20 | 15.9  | 28. 17. 42~29. 07. 55 |              |  |
| 東 吉 島 | 991.1     | 29. 20. 00           | NNE               | 25.0 | 28. 21. 10 | 997.6  | 28.0 | 87%  | NNE           | 14.8 | 28. 21. 15 | 28. 18. 00~28. 23. 00 | 1.4            | 28. 21. 10~28. 22. 20 | 0.4      | 28. 21. 05~28. 21. 15 | 1.6   | 28. 21. 05~28. 22. 20 |              |  |
| 恒 春   | 991.3     | 29. 17. 00           | NE                | 20.2 | 29. 16. 58 | 991.3  | 27.0 | 84%  | NE            | 9.3  | 29. 17. 00 | —                     | 21.7           | 29. 20. 00~29. 21. 00 | 6.7      | 29. 20. 00~29. 20. 10 | 162.5 | 28. 16. 35~29. 23. 03 |              |  |
| 蘭 嶼   | 990.8     | 29. 17. 31           | NNE               | 46.3 | 28. 15. 12 | 994.5  | 25.2 | 99%  | NNE           | 35.0 | 28. 15. 20 | 27. 21. 30 ~ 繼 續 中    | 21.0           | 29. 12. 00~29. 13. 00 | 9.2      | 29. 12. 20~29. 12. 30 | 106.7 | 28. 14. 02~30. 01. 45 |              |  |
| 大 武   | 992.2     | 29. 17. 15           | NNE               | 20.6 | 29. 03. 33 | 996.6  | 26.0 | 92%  | NNE           | 10.0 | 29. 13. 10 | —                     | 20.9           | 29. 18. 00~29. 19. 00 | 6.5      | 29. 18. 40~29. 18. 50 | 136.1 | 28. 16. 20~29. 21. 00 |              |  |
| 臺 東   | 993.2     | 29. 17. 48           | ENE               | 17.9 | 28. 14. 30 | 1000.1 | 22.7 | 64%  | ENE           | 9.4  | 28. 14. 32 | —                     | 32.5           | 28. 21. 20~28. 22. 20 | 20.4     | 30. 08. 50~30. 09. 00 | 150.7 | 28. 16. 45~30. 02. 40 |              |  |
| 新 港   | 995.2     | 29. 18. 00           | NNE               | 22.1 | 28. 19. 35 | 1000.2 | 24.3 | 100% | NNE           | 14.3 | 28. 19. 50 | 28. 14. 00~29. 20. 00 | 32.1           | 28. 19. 00~28. 20. 00 | 9.5      | 28. 19. 50~28. 20. 00 | 269.7 | 28. 16. 05~31. 05. 00 |              |  |
| 花 蓮   | 993.0     | 29. 17. 28           | NE                | 16.0 | 28. 19. 11 | 1001.4 | 27.7 | 83%  | NE            | 8.7  | 28. 19. 20 | —                     | 40.0           | 28. 21. 50~28. 22. 50 | 14.5     | 28. 22. 40~28. 22. 50 | 189.4 | 28. 18. 50~31. 04. 30 |              |  |
| 宜 蘭   | 997.2     | 30. 05. 00           | ESE               | 16.5 | 29. 23. 03 | 998.7  | 27.2 | 90%  | ESE           | 8.7  | 29. 23. 00 | —                     | 20.0           | 29. 00. 00~29. 01. 00 | 13.0     | 29. 14. 45~29. 14. 55 | 98.7  | 28. 17. 24~30. 05. 40 |              |  |
| 蘇 澳   | 998.4     | 29. 18. 05           | SE                | 17.2 | 29. 19. 38 | 999.3  | 27.6 | 90%  | SE            | 10.5 | 29. 19. 40 | 29. 19. 34~29. 19. 43 | 12.2           | 29. 13. 30~29. 14. 30 | 9.8      | 29. 13. 35~29. 13. 45 | 36.4  | 28. 18. 27~29. 19. 44 |              |  |

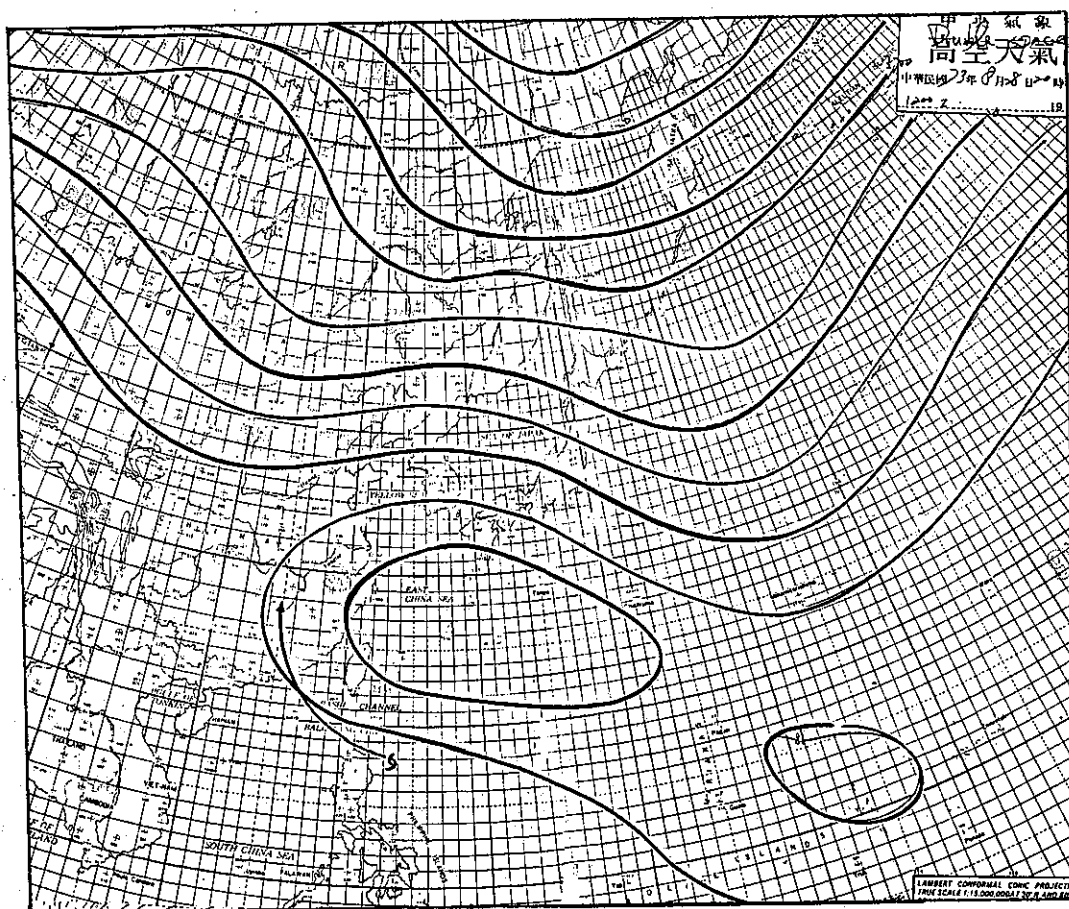


圖 6. 民國七十三年八月廿八日 1200Z 500 毫巴兩次空間平均圖  
Fig. 6, 500mb double space mean at 0000Z 28th Aug. 1984

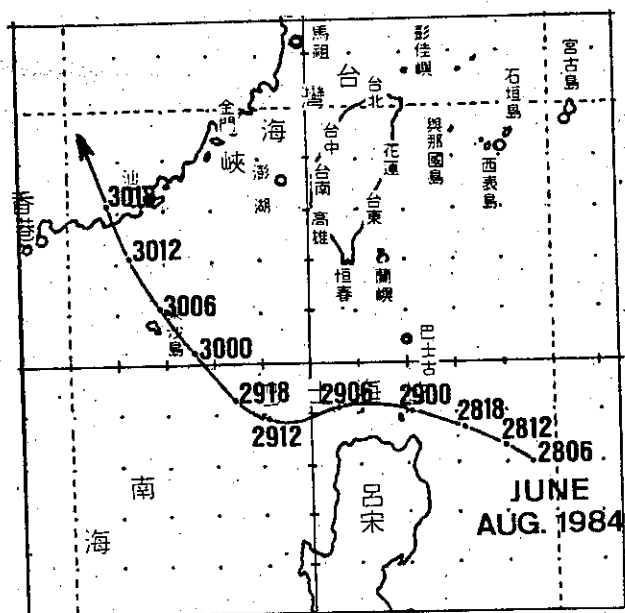


圖 7. 麥恩颱風最佳路徑圖  
Fig. 7. Best track of Typhoon June in Aug. 1984

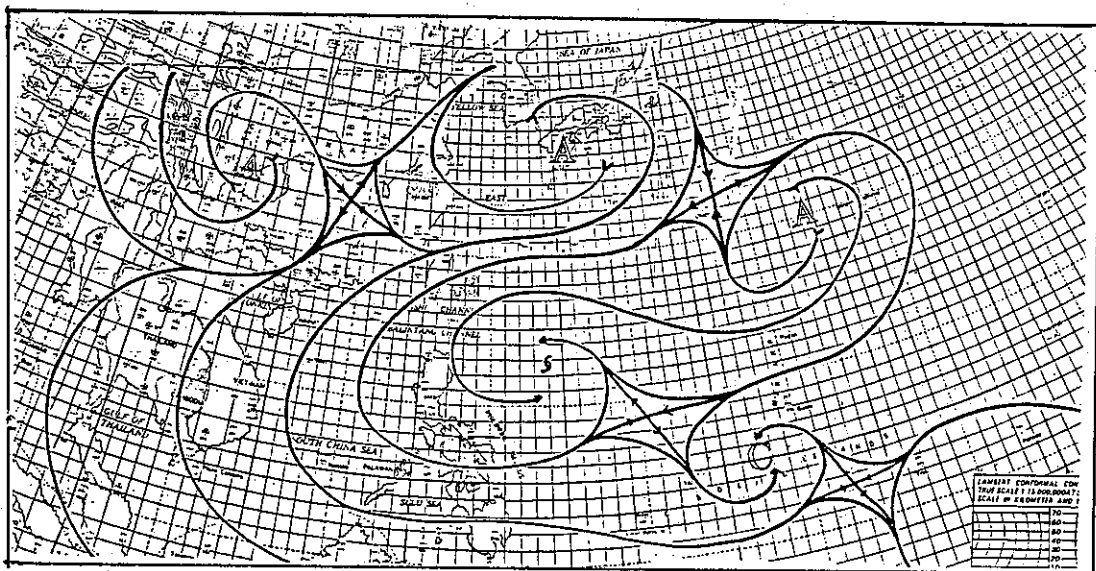


圖 8. 民國七十三年八月廿八日 0000Z 700-500-300 毫巴合成圖  
Fig. 8. 700-500-300mb mean flow at 0000Z 28th Aug. 1984

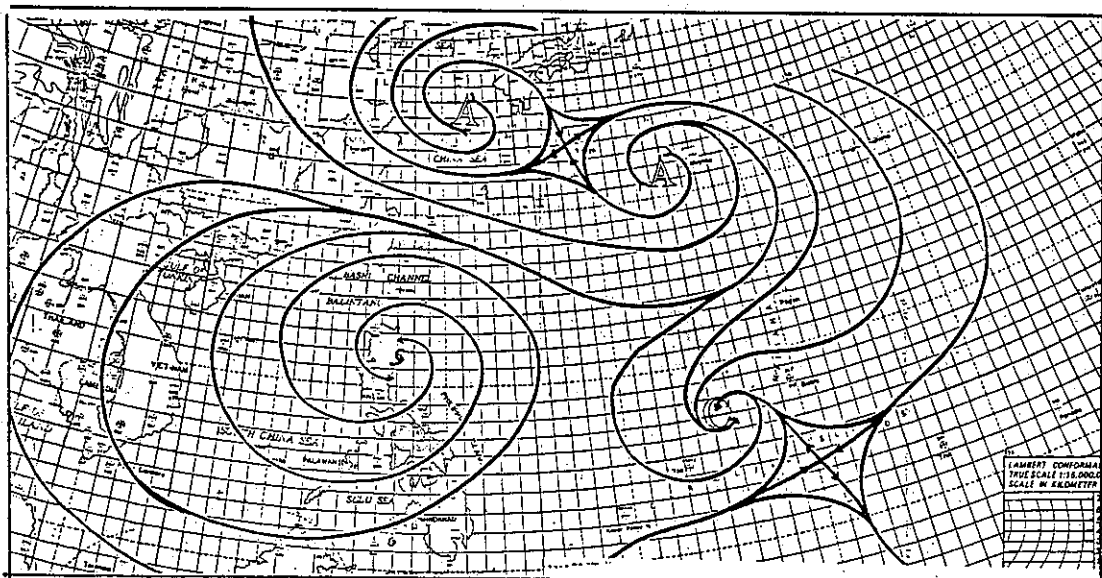


圖 9. 民國七十三年八月廿八日 1200Z 700-500-300 毫巴合成圖  
Fig. 9. 700-500-300mb mean flow at 1200Z 28th Aug. 1984



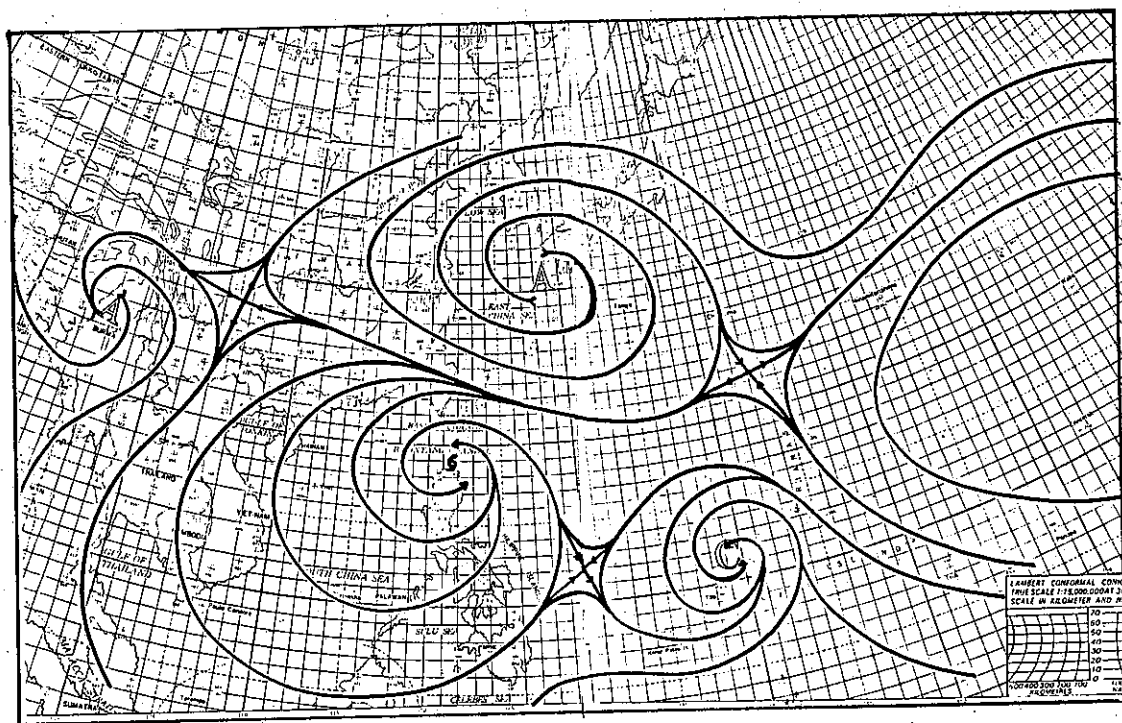


圖 10. 民國七十三年八月廿九日 0000Z 700-500-300 毫巴合成圖  
Fig. 10. 700-500-300mb mean flow at 0000Z 29th Aug. 1984

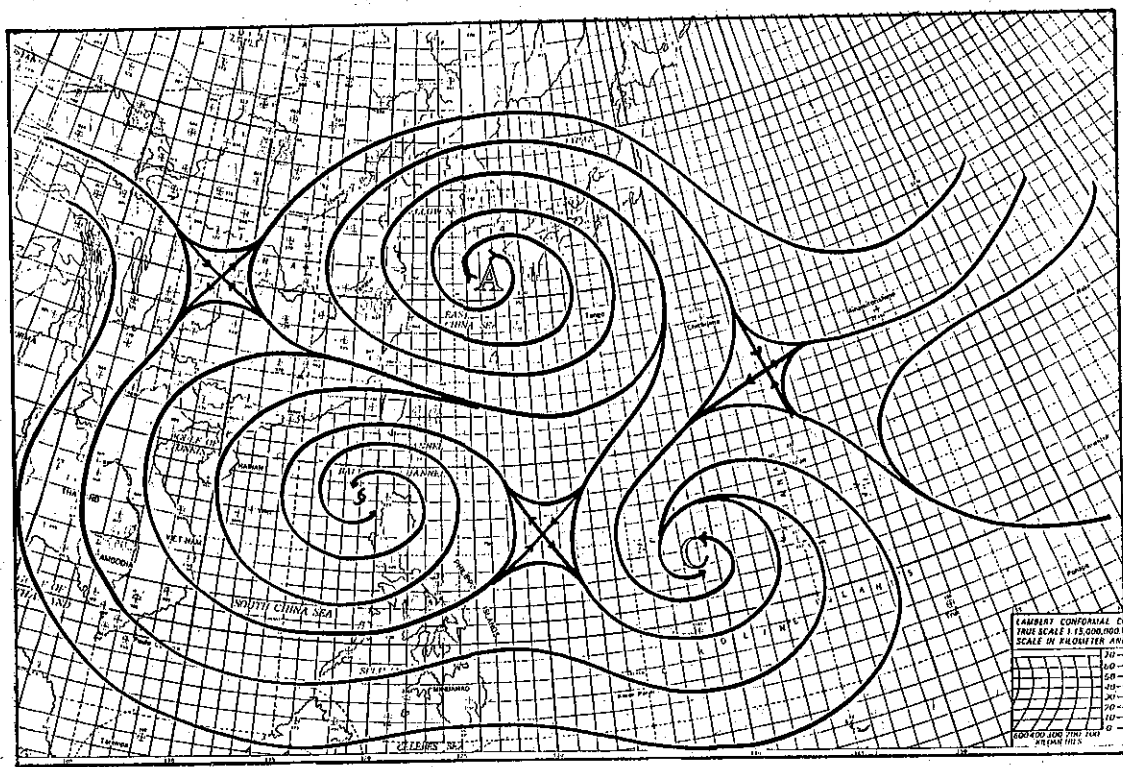


圖 11. 民國七十三年八月廿九日 1200Z 700-500-300 毫巴合成圖  
Fig. 11. 700-500-300mb mean flow at 1200Z 29th Aug. 1984

表6 新港定時波浪觀測紀錄  
Table 6 Hourly Wave observation of Hsinkang Station.

| 時<br>月 | (地方時)<br>日 | 間<br>時 | 波<br>數 | 最 大 波 高     |              | 1/10 波 高    |              | 1/3 波 高     |              | 平 均 波 高     |              |
|--------|------------|--------|--------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
|        |            |        |        | 波 高<br>(cm) | 周 期<br>(sec) | 波 高<br>(cm) | 周 期<br>(sec) | 波 高<br>(cm) | 周 期<br>(sec) | 波 高<br>(cm) | 周 期<br>(sec) |
| 8      | 28         | 2      | 179    | 155         | 066          | 121         | 070          | 100         | 75           | 67          | 65           |
|        | 28         | 4      | 180    | 234         | 079          | 156         | 075          | 124         | 76           | 81          | 65           |
|        | 28         | 6      | 196    | 262         | 78           | 169         | 67           | 136         | 69           | 93          | 60           |
|        | 28         | 8      | 198    | 198         | 70           | 162         | 77           | 132         | 75           | 87          | 59           |
|        | 28         | 10     | 194    | 233         | 75           | 170         | 73           | 136         | 72           | 87          | 61           |
|        | 28         | 12     | 199    | 307         | 97           | 214         | 85           | 166         | 76           | 106         | 59           |
|        | 28         | 14     | 164    | 315         | 99           | 270         | 91           | 231         | 89           | 151         | 72           |
|        | 28         | 16     | 141    | 464         | 101          | 370         | 97           | 306         | 98           | 205         | 83           |
|        | 28         | 18     | 142    | 579         | 100          | 434         | 102          | 347         | 103          | 229         | 83           |
|        | 28         | 20     | 166    | 482         | 111          | 389         | 98           | 313         | 95           | 198         | 71           |
|        | 28         | 22     | 145    | 702         | 105          | 460         | 107          | 361         | 101          | 223         | 81           |
|        | 28         | 24     | 135    | 736         | 111          | 579         | 104          | 474         | 105          | 308         | 88           |
|        | 29         | 2      | 122    | 828         | 114          | 597         | 113          | 474         | 110          | 315         | 97           |
|        | 29         | 4      | 148    | 653         | 94           | 508         | 100          | 394         | 99           | 246         | 80           |
|        | 29         | 6      | 132    | 784         | 102          | 563         | 107          | 451         | 106          | 287         | 90           |
|        | 29         | 8      | 128    | 471         | 102          | 418         | 109          | 350         | 111          | 220         | 92           |
|        | 29         | 10     | 136    | 422         | 104          | 345         | 107          | 283         | 105          | 179         | 86           |
|        | 29         | 12     | 132    | 430         | 100          | 370         | 100          | 300         | 102          | 198         | 89           |
|        | 29         | 14     | 140    | 450         | 98           | 362         | 96           | 317         | 98           | 205         | 84           |
|        | 29         | 16     | 電      | 訊           | 干            | 擾           |              |             |              |             |              |
|        | 29         | 18     | 電      | 訊           | 干            | 擾           |              |             |              |             |              |
|        | 29         | 20     | 158    | 508         | 97           | 354         | 96           | 281         | 93           | 174         | 74           |
|        | 29         | 22     | 154    | 431         | 85           | 311         | 93           | 265         | 90           | 173         | 76           |
|        | 29         | 24     | 164    | 386         | 92           | 294         | 91           | 238         | 89           | 151         | 72           |
|        | 30         | 2      | 181    | 375         | 88           | 303         | 93           | 237         | 86           | 145         | 65           |
|        | 30         | 4      | 148    | 518         | 92           | 397         | 94           | 311         | 95           | 200         | 80           |
|        | 30         | 6      | 146    | 573         | 93           | 378         | 89           | 312         | 88           | 206         | 81           |
|        | 30         | 8      | 153    | 500         | 94           | 347         | 92           | 271         | 91           | 181         | 77           |
|        | 30         | 10     | 150    | 375         | 101          | 322         | 91           | 246         | 91           | 154         | 79           |
|        | 30         | 12     | 141    | 358         | 96           | 291         | 100          | 230         | 95           | 155         | 84           |
|        | 30         | 14     | 153    | 352         | 84           | 268         | 86           | 207         | 88           | 136         | 77           |
|        | 30         | 16     | 159    | 360         | 96           | 293         | 92           | 222         | 89           | 137         | 74           |
|        | 30         | 18     | 147    | 333         | 85           | 293         | 90           | 229         | 90           | 151         | 81           |
|        | 30         | 20     | 160    | 323         | 98           | 276         | 92           | 220         | 89           | 143         | 74           |
|        | 30         | 22     | 164    | 358         | 76           | 249         | 85           | 200         | 84           | 132         | 71           |
|        | 30         | 24     | 154    | 239         | 93           | 203         | 92           | 171         | 90           | 113         | 77           |



表7 小琉球定時波浪觀測紀錄  
Table 7 Hourly wave observation of Hsinkang Station.

| 時<br>(地方時)<br>月 日 時 | 間<br>時 | 波 數 | 最 大 波 高     |              | 1/10 波 高    |              | 1/3 波 高     |              | 平 均 波 高     |              |    |
|---------------------|--------|-----|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|----|
|                     |        |     | 波 高<br>(cm) | 周 期<br>(sec) | 波 高<br>(cm) | 周 期<br>(sec) | 波 高<br>(cm) | 周 期<br>(sec) | 波 高<br>(cm) | 周 期<br>(sec) |    |
| 8                   | 30     | 12  | 139         | 835          | 89          | 599          | 112         | 436          | 107         | 272          | 80 |
|                     | 30     | 14  | 134         | 684          | 96          | 542          | 101         | 441          | 98          | 286          | 85 |
|                     | 30     | 16  | 156         | 605          | 98          | 470          | 96          | 380          | 93          | 273          | 73 |
|                     | 31     | 2   | 150         | 521          | 75          | 407          | 86          | 318          | 90          | 212          | 76 |
|                     | 31     | 4   | 161         | 566          | 96          | 425          | 91          | 335          | 87          | 214          | 70 |
|                     | 31     | 6   | 160         | 411          | 98          | 356          | 96          | 300          | 88          | 191          | 71 |
|                     | 31     | 8   | 163         | 435          | 85          | 379          | 93          | 317          | 93          | 199          | 70 |
|                     | 31     | 10  | 163         | 639          | 102         | 427          | 84          | 345          | 85          | 222          | 70 |
|                     | 31     | 12  | 158         | 725          | 80          | 494          | 86          | 396          | 87          | 259          | 72 |
|                     | 31     | 14  | 140         | 837          | 100         | 609          | 95          | 473          | 92          | 295          | 82 |
|                     | 31     | 16  | 166         | 768          | 84          | 473          | 85          | 381          | 5           | 239          | 69 |
|                     | 31     | 18  | 165         | 538          | 84          | 434          | 88          | 355          | 87          | 223          | 69 |
|                     | 31     | 20  | 電 訊         |              | 干 擾         |              |             |              |             |              |    |
|                     | 31     | 22  | 176         | 446          | 80          | 370          | 87          | 295          | 84          | 190          | 65 |
|                     | 31     | 24  | 181         | 525          | 89          | 341          | 75          | 285          | 80          | 186          | 63 |
| 9                   | 1      | 2   | 175         | 537          | 84          | 387          | 73          | 308          | 78          | 198          | 65 |
|                     | 1      | 4   | 149         | 532          | 88          | 460          | 87          | 375          | 87          | 247          | 75 |
|                     | 1      | 6   | 163         | 770          | 82          | 487          | 83          | 377          | 81          | 247          | 70 |
|                     | 1      | 8   | 161         | 505          | 93          | 395          | 83          | 324          | 84          | 208          | 70 |
|                     | 1      | 10  | 169         | 536          | 84          | 402          | 79          | 314          | 83          | 204          | 68 |
|                     | 1      | 12  | 166         | 567          | 82          | 426          | 84          | 339          | 83          | 212          | 68 |
|                     | 1      | 14  | 156         | 575          | 89          | 412          | 89          | 325          | 87          | 213          | 73 |
|                     | 1      | 16  | 161         | 451          | 91          | 394          | 87          | 332          | 87          | 219          | 71 |
|                     | 1      | 18  | 148         | 508          | 96          | 442          | 92          | 346          | 90          | 219          | 77 |
|                     | 1      | 20  | 175         | 398          | 84          | 327          | 86          | 248          | 83          | 158          | 65 |
|                     | 1      | 22  | 175         | 477          | 82          | 386          | 81          | 321          | 79          | 207          | 65 |
|                     | 1      | 24  | 187         | 400          | 96          | 321          | 80          | 256          | 76          | 164          | 61 |
|                     | 2      | 2   | 194         | 542          | 64          | 323          | 73          | 253          | 74          | 164          | 58 |
|                     | 2      | 4   | 173         | 684          | 72          | 428          | 74          | 331          | 74          | 210          | 65 |
|                     | 2      | 6   | 191         | 364          | 68          | 313          | 69          | 252          | 72          | 162          | 59 |
|                     | 2      | 8   | 185         | 403          | 64          | 326          | 76          | 255          | 72          | 168          | 60 |
|                     | 2      | 10  | 193         | 419          | 66          | 308          | 71          | 257          | 71          | 167          | 58 |
|                     | 2      | 12  | 181         | 450          | 52          | 338          | 74          | 269          | 76          | 173          | 63 |

## Report on Typhoon "JUNE" in 1984

*Shyh-Teng Chao*

Section Chief of Forecasting Center., C. W. B.

### ABSTRACT

A report on the tropical storm June (8412) which was occurred in the western North Pacific Ocean on 0000Z 28 August, 1984 will be discussed. When June crossed Bashi Channel, it caused a misery in Luzon. And a lot of damages for the southwestern part of Taiwan resulted from its great surge. the analysis and explanation of June were in the following.

### 氣象學報徵稿簡則

1. 本刊以促進氣象學術研究為目的，凡有關氣象理論之分析與應用之論文，均為歡迎。
2. 本刊稿件分為四類：(1)研究論文(2)報告(3)綜評(4)最新重要論著綱要。
3. 本刊文字務求簡明，文體以白話或淺近文言為主體，每篇以五千字為佳。
4. 稿件之題名、作者真實姓名、服務機關及職稱均須以中、英文註明。
5. 中文稿件在參考文獻之後，應附英文摘要。
6. 研究論文之圖表名稱及各欄細目，均須以中英文對照說明。
7. 惠稿如有附圖務請用墨筆描繪，以便製版，如圖表不夠清晰，本刊得徵得作者同意後，僱員代為另行重繪，所需費用由作者負擔或由稿費中扣出。
8. 稿件內容過長或內容、文字、圖片有修改之必要時，得商請投稿人修正之。本刊亦得做必要之刪改，若作者不願刪改時，請先聲明。
9. 來稿如不刊登，則退還原著者。
10. 稿件經刊印後，非經本刊同意，不得在他處刊印轉載。
11. 來稿請逕寄中華民國臺北市公園路64號，中央氣象局氣象學報社收。

(請參閱補充稿約)

統一編號：

09085740052

Volume 31, Number 3

Sept. 1985

# METEOROLOGICAL BULLETIN

(Quarterly)



## CONTENTS

### Originals

A Study of Planetary Scale Waves and Eastern Asia

Cold Surges by Using the Barotropic Model

..... *Chung-Shan Wang and Ching-Yen Tsay* (1)

The Comparison of Error Statistics among Analog

Typhoon Track Prediction Models

..... *Shi-Yang Chen & Davis K. Cope* (10)

### Reports

Report on the Typhoon "Gerald" in 1984.....*Carol, T. L. Hsu* (41)

Report on the Typhoon "June" in 1984.....*Shyh-Teng Chao* (49)

**CENTRAL WEATHER BUREAU**

**64 Park Road, Taipei**

**Taiwan, Republic of China**

行政院新聞局出版事業登記證局版台誌字第○九七六號  
中華郵政臺字第一八九三號登記為第一類新聞紙類

|      |                  |            |
|------|------------------|------------|
| 出版者  | 中央氣象局氣象學報社       | 臺北市公園路六十四號 |
| 發行人  | 吳宗堯              | 電話：3713181 |
| 社長   | 吳宗堯              |            |
| 編輯委員 | 喬鳳倫              | 楊之遠        |
| 主任委員 | 王時鼎              | 廖學鑑        |
| 委員   | 曲克恭              | 鄭邦傑        |
|      | 呂世英              | 謝信良        |
|      | 胡仲泰              | 蔡清彥        |
|      | 陳啓勳              | 蔡本         |
|      | 戚隆男              | (按姓氏筆劃排列)  |
|      | 張之遠              | 徐君明        |
| 幹事   | 楊之遠              |            |
| 印刷者  | 文英印刷企業有限公司       |            |
| 地址   | 臺北市萬大路486巷10弄40號 |            |
| 電話   | 3016802・3018572  |            |

氣象學報 季刊

# Meteorological Bulletin

中央氣象局

Central Weather Bureau

第三十一卷第四期

Vol. 31 No. 4

民國七十四年十二月

Dec. 1985

# 微氣象之特性及其在農業上之應用\*

楊 之 遠<sup>1</sup>

## 摘 要

本文之目的在於闡明微氣象之尺度及特性，以及有關之基本理論包括能量平衡、各種實體垂直輸送等，並說明微氣象研究在農業上應用之可行性，期冀國內農業單位及有關學者能對微氣象有一具體瞭解，擴大其應用效果。

## 一、前 言

以往農業氣象研究作物與天氣之關係時，多根據歷年作物產量與氣候資料，藉複迴歸分析等統計方法，建立數學相關模式。近年來由於環境物理學 (environmental physics) 之應用，吾人可藉由特殊設計之精密氣象儀器，配合農藝試驗之需要，來研究自然環境下植物族羣或田間栽培作物集團與大氣之相互關係。

植物之生長與低層大氣各種氣象因素關係臻為密切。同時在田間植物集團整個葉冠 (canopy) 與周圍氣象環境間彼此會發生相互影響，此與單一植物所處之氣象環境有顯著差異<sup>(12)(17)</sup>。植物集團生長所需之  $\text{CO}_2$ ，由大氣直接供給，同時植物集團日間由太陽所得之淨熱，一部份用來增加植物體溫，一部份可經過蒸發 (散) 之過程與大氣發生交換，以使植物集團與外界環境得適宜之熱平衡<sup>(1)(3)</sup>。因此作物微氣象學 (crop micrometeorology) 之重點，在於利用熱平衡、空氣力學 (aerodynamics) 原理，藉各種介量 (parameter) 闡明作物與大氣之關係，並探討作物葉冠內部及上方各種氣象因素之剖面變化，以估算或測量作物葉冠內部或與大氣間各種實體 (entities) (包括動量、熱量、質量) 之垂直輸送 (交換) 通量。本文係將微氣象之特性、有關理論，及其在農業上之應用及展望做一扼要說明。

## 二、微氣象之尺度及特性

本文所稱之微氣象學，其涵蓋之尺度僅限於數平方公里之內，而所探討之高度亦僅限於大氣低層

之幾十公尺以下區域；即在地表境 (邊) 界層 (surface boundary layer) 以內之範圍，科氏力之影響可以忽略。許多學者對於微氣象、局地 (local) 氣象，中尺度氣象 (meso) 等，劃分尺度之標準儘管不同，而事實上，微氣象所討論之範圍可小至 1 公分 (例如葉片表面溫濕度之變化)，大至 10—100 公尺 (森林氣象或溫室微氣象)<sup>(29)</sup>。由圖 1，可具體地看出三者之區別。由於人類及動植物均生存於境界層以內，因此微氣象之研究可以應用於農業、水文、森林、環境污染及公共衛生方面。同時大氣中許多轉換過程均在低層大氣中發生，而蒸發、蒸發散、對流、風之摩擦拖曳作用亦於地表一大氣交界面發生，因此微氣象學實為應用氣象之理論基礎。

微氣象觀測之項目主要包括 (1) 輻射 (短波及長波) (2) 溫度 (3) 濕度 (4) 風速等四項。由於偏重局地變化或特殊目的，微氣象觀測具有下列特性：

(1) 根據研究需要，在一地區做多點或密集觀測 (水平或垂直方向)。

(2) 使用之感應器數目較多，靈敏度高。

(3) 多採用遙測方式 (remote sensing)，以資料蒐集器 (datalogger) 或微處理機來蒐集處理觀測資料。

(4) 配合特殊研究需求，觀測項目、感應器數目及感應器架設位置，亦需視應用之目的而異。

## 三、有關之基本理論

1. 熱量平衡 (能量平衡) (energy balance)

就單一葉片而言，其葉片表面自日 (輻) 射所得

\* 收稿日期：8月29日 送審日期：8月30日

1. 中央氣象局簡任技正

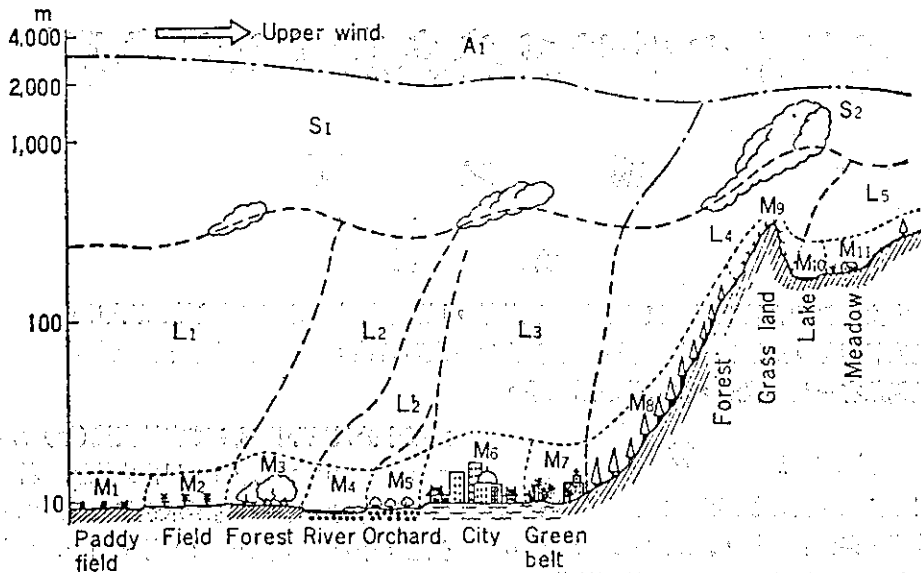


圖 1 微氣候、局地氣候、中尺度氣候，以及大尺度氣候現象圖例說明。

Fig.1 An example of micro-, local-, meso-, and macroclimatic phenomena

M<sub>1</sub>-M<sub>11</sub>: microclimatic, L<sub>1</sub>-L<sub>5</sub>: local climatic, S<sub>1</sub>-S<sub>2</sub>:

meso-climatic and A<sub>1</sub>: macroclimate (Yoshino, 1975)

到之淨熱 ( $R_N$ )，可為下列幾種形式所消耗掉。(1) 可感熱(sensible heat)係由葉片溫度增加所造成之對流熱通量 (heat flux by convection)(2)蒸發潛熱 (latent heat) ( $\lambda E$ )，葉片水份蒸發 (散) 所消耗之熱量(3)傳導熱通量 (heat flux by conduction) (G)(4)光合作用轉為化學能之能量(P)(5)儲於葉片之熱量(S)，可以(1)式表之。

$$R_N = C + \lambda E + G + P + S \quad (1)$$

P、S項通常很小，可以忽略不計，故(1)式變為  $R_N = C + \lambda E + G$  (2)

$$R_N - G = C + \lambda E = H \quad (3)$$

H又稱為有效能量 (available energy)，由式(3)可知葉片溫度增加造成之對流熱通量與蒸發潛熱 ( $\lambda E$ ) 間呈消長關係，葉片周圍之氣流環境能導致葉片之蒸發 (散) 作用增加時 (例如風速增加)，會導致葉片溫度降低 (30)，亦能間接影響到光合速率之改變。

式(2)能量平衡之觀念不僅可應用於整個植物集團之葉冠外，亦可應用於農田表面熱量分析，即農田表面由日射所得之淨熱 ( $R_N$ )，亦為可感熱(C)，蒸發潛熱( $\lambda E$ )及土壤熱通量 (soil heat flux) 等三項所消耗，茲以圖 2 來說明：

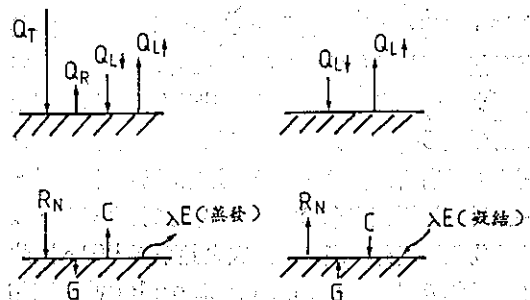


圖 2 裸地表面日、夜間各種熱通量之方向

$Q_T$ : 全天輻射  $Q_R$ : 地表短波反射

$Q_L\downarrow$ : 大氣向地表之長波輻射

$Q_L\uparrow$ : 地表向大氣之長波輻射

地表得到能量時為(+),

失去或消耗能量時為(-)

Fig.2 Schematic representation of the heat fluxes at the earth's surface by day and by night.

如果農地之土壤性質不同，顏色不同，含水量不同，覆蓋作物不同，均會導致可感熱(C)、蒸發潛熱 ( $\lambda E$ )、土壤熱流量(G)等成份之改變，導致能量平衡改變。農藝學家在進行栽培試驗時，可藉由熱

量平衡之測計，探討物理環境影響作物生育之機制。鈴木等 (1982)<sup>(31)</sup> 在大豆田畦表面以黑色聚乙烯 (polyethylene) 膠膜覆蓋，發現在夜間 C 及 RE 較對照區 (未覆蓋) 者增加達 3.7 倍，同時覆蓋處理能減少地溫之日振幅。

## 2. 各種實體(entities)垂直輸送之理論

### (1) 動量輸送(momentum transfer)

當氣流水平流過地表面，由於地表摩擦之影響，速度會減低，而形成速度梯度(velocity gradient) ( $\partial u / \partial z$ )，各水平層次之分子會發生持續性交換，而造成水平動量(horizontal momentum)之垂直交換(vertical exchange)。根據牛頓移動第二定律，動量輸送會依輸送速率而產生一種力量。因此在二個鄰近層次空氣間之動量輸送，會依速度梯度( $\partial u / \partial z$ )產生一種黏力(viscous force)。由距地表面高度(z)處，對單位地表面積所產生之黏力  $\tau(z)$ ，又稱為切應力(shearing stress)。可以(4)式表示

$$\tau(z) = \mu \frac{\partial u}{\partial z} \quad (4)$$

$\mu$ : dynamic viscosity (NSm<sup>-2</sup>)

如將(4)式右側分子、分母分別乘以  $\rho$ ，則(4)式變為

$$\begin{aligned} \tau(z) &= \frac{\mu}{\rho} \cdot \frac{\partial(\rho u)}{\partial z} \\ &= \nu \cdot \frac{\partial(\rho u)}{\partial z} \end{aligned} \quad (5)$$

$\nu$ : kinematic viscosity (m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>)

$\rho \cdot \mu$ 之單位為 (M/L<sup>3</sup> × L/T) (即密度 × 速度)，可改為 (MLT<sup>-1</sup>/L<sup>3</sup>)，亦即轉換為單位容積之動量或動量濃度。

在地表面 ( $z = 0$ ) 會對氣流流動方向承受一種摩擦力  $\tau_0$ ，根據牛頓第二定律，地表面亦會對氣流相反方向之空氣施以一種摩擦拖曳力(friction-drag)  $\tau(0)$ ，見圖3。

切應力  $\tau$  之物理單位為 (質量 × 加速度 ÷ 面積)，即  $\tau \cong \text{MLT}^{-2}/\text{L}^2$  (6)

如將(6)式右側分子、分母均乘以 T，則(6)式變為

$$\tau \cong \text{MLT}^{-1}/\text{L}^2 \text{ T} \quad (7)$$

$$\tau \cong \text{ML}^{-3} \times (\text{L}/\text{T})^2 \quad (8)$$

由(7)式可知切應力之單位與動量通量(momentum flux)相等，即單位時間單位面積之動量(質量 × 速度)。由此可知地表對風(水平流動)所產生之摩擦拖曳作用，亦可單純視為地表不斷地自

空氣中吸收動量，或者由上層空氣將水平動量不斷地向地表輸送之過程。由(8)式可知切應力亦等於氣流密度與速度平方之乘積( $\tau = \rho u^2$ )，不過該速度係指垂直交換速度，即摩擦速度而言。

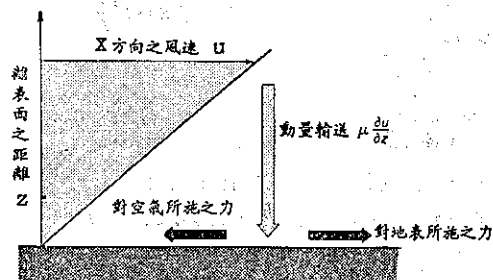


圖3 動量由流動空氣傳送至靜止地表時，所產生之有關力量

Fig.3 Transfer of momentum from moving air to a stationary surface and related forces

動量通量之大小與風速及地表粗糙度(surface roughness)有關。由動量通量之大小亦可顯示出在亂流下傳送其他實體之性質，如 H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>、熱量等之有效程度(effectiveness) 因此動量通量亦被視為基本通量(primary flux)。

### (2) 質量輸送 (mass transter)

在空氣中之 H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub> 分子有濃度梯度(concentration gradient)存在時，則不同濃度空氣間之 H<sub>2</sub>O 及 CO<sub>2</sub> 會以擴散(diffusion) 方式來傳送。如圖4 係以 H<sub>2</sub>O 為例，在一層靜止、溫度一致且含有水汽之空氣，與一吸濕性(hygroscopic) (可吸收水汽) 表面相接觸。如果空氣濕度隨距該表面之距離增加而增加，則相近層次空氣之水分子會發生交換，使得 H<sub>2</sub>O 分子會向吸濕性表面產生一淨向移動(net movement)，此種分子輸送通常以質量通量 E 表之。E 係與 H<sub>2</sub>O 分子之濃度梯度 ( $\partial x / \partial z$ ) 成比例，以(9)式表之。

$$E = -D \partial x / \partial z \quad (9)$$

D: molecular diffusion coefficient

(m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>)

一般而言，質量輸送之係數乃視擴散氣體分子及傳送氣體(carrier gas)、分子間力量(inter-molecular force)而定。

### (3) 熱量輸送 (heat transfer)



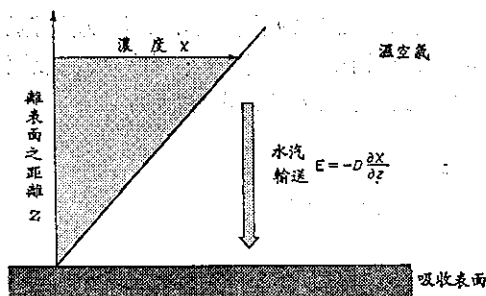


圖 4 水汽由濕空氣輸送到吸濕表面

Fig.4 Transfer of heat from still, warm air to a cool surface

在靜止空氣中之熱量傳導與動量輸送相似，由圖 5 知悉，當靜止之溫暖空氣與一較冷之表面接觸，各鄰近層次之分子因分子能量 (molecular energy) ( $\frac{1}{2}mv^2$ ) 之交換，而導致熱量隨之交換。此種熱量傳送之通量 (C) 與溫度梯度 (temperature gradient) ( $\partial T/\partial z$ ) 成比例。

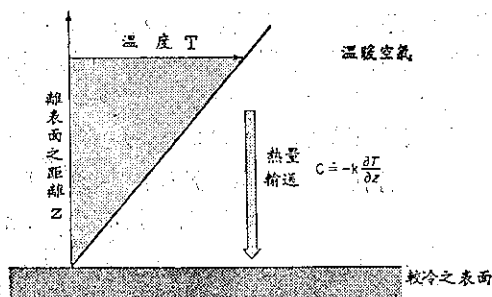


圖 5 熱量由靜止之溫暖空氣傳送到冷表面

Fig.5 Transfer of vapor from humid air to an absorbing surface

$$C(z) = -k \frac{\partial T}{\partial z} \quad (10)$$

k: coefficient of thermal conductivity ( $\text{wm}^{-1}\text{k}^{-1}$ )

右側“-”號係依數學上慣性，表示當溫度與距表面距離成正比時 ( $\partial T/\partial z > 0$ )，熱通量係向表面流動 ( $C < 0$ )。

如將(10)式右側分子，分母分別乘以  $\rho$  及  $C_p$ ，則(10)式變為

$$C = \frac{-k}{\rho C_p} \cdot \frac{\partial(\rho C_p T)}{\partial z} = -K \frac{\partial(\rho C_p T)}{\partial z} \quad (11)$$

$\rho$ : 空氣密度

$C_p$ : 空氣定壓比熱

$\rho C_p$  係為空氣之容積熱容量 (volumetric heat capacity of air) ( $\text{Jm}^{-3}\text{C}^{-1}$ )

$\rho \cdot C_p \cdot T$  表示空氣之單位容積熱含量

$$K = k/\rho C_p \quad (12)$$

K: thermal diffusivity ( $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ )

上述各種動量、質量及熱量之垂直輸送，均係假設空氣流動為層流 (laminar flow) 或靜止情形下，其空氣分子之運動係以擴散方式 (diffusion) 自由運動。如比較(5)、(9)、(11)式之  $\nu$ 、 $D$ 、 $K$  等係數之單位均為  $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ，亦表示該三種輸送均係由相同之分子擾動 (molecular agitation) 方式，同時動量、質量及質量 ( $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ ) 之擴散係數均具有相似之體積 (size)，亦都隨溫度而變。

但是在實際大氣中，甚少有層流情形出現，而以亂流 (turbulent flow) 情形居多。在亂流中則不以單一分子運動，而係以整塊較大集團之空氣自由運動，此種空氣塊 (air mass) 稱為渦流 (eddy)，渦流之體積隨離地高度增加而增大。由於亂流大氣中各種實體 (entities) 之輸送，均以渦流形式交換，故動量、水汽量、 $\text{CO}_2$  及熱量之亂流擴散係數  $K_M$ 、 $K_V$ 、 $K_C$ 、 $K_H$  均較層流擴散係數  $\nu$ 、 $D_V$ 、 $D_C$ 、 $K$  為大。亂流大氣中動量、質量、水汽量及  $\text{CO}_2$  之垂直輸送通量以下列(13)、(14)、(15)、(16)式表之

$$\tau = K_M \frac{\partial \rho u}{\partial z} \quad (13)$$

$$E = -K_V \frac{\partial x}{\partial z} \quad (14)$$

$$C = -K_H \frac{\partial \rho C_p T}{\partial z} \quad (15)$$

$$P = K_C \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (16)$$

$K_M$ 、 $K_V$ 、 $K_H$ 、 $K_C$  單位均為  $\text{m}^2\text{s}^{-1}$

通常在層流大氣中，各種實體擴散係數約為  $10^{-1}\text{cm}^2\text{s}^{-1}$ ，見表 1。但在近地氣層之亂流大氣中，各種亂流擴散係數值約為  $10^4\text{cm}^2\text{s}^{-1}$ ，較層流擴散係數高約  $10^5$  倍。

### 3. 阻力 (Resistance)

式(5)(9)(10)均據有與費克氏擴散律 (Fick's law of Diffusion) 有相似之形式，即

$$\text{通量} = \text{擴散係數} \times \text{濃度梯度} \quad (17)$$

如以式(9)為例，將右側積分，則

表 1. 不同溫度之空氣密度、熱傳導率及動量、水汽CO<sub>2</sub>之分子擴散係數  
Table 1 Properties of air, water vapour and CO<sub>2</sub>

| 溫 度  |       | 空氣密度              |                | 飽和空氣<br>虛溫 | 水的蒸<br>發潛熱       | 乾空氣的<br>熱傳導率         |                                   | 水之分子擴散係數 |                                 |       |                   |
|------|-------|-------------------|----------------|------------|------------------|----------------------|-----------------------------------|----------|---------------------------------|-------|-------------------|
| 符號   | T     | $\rho_a$          | $\rho_{as}(T)$ | $T_v$      | $\lambda$        | $\gamma$             | $\kappa$                          | K        | $\nu$                           | $D_v$ | $D_c$             |
| 單位°C | °K    | kgm <sup>-3</sup> |                | °C         | Jg <sup>-1</sup> | mbar°C <sup>-1</sup> | mWm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> |          | cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> |       |                   |
| -5   | 268.2 | 1.316             | 1.314          | -4.57      | 2513             | 0.643                | 24.0                              | 0.183    | 0.129                           | 0.205 | 0.124             |
| 0    | 273.2 | 1.292             | 1.289          | 0.64       | 2501             | 0.646                | 24.3                              | 0.189    | 0.133                           | 0.212 | 0.129             |
| 5    | 278.2 | 1.269             | 1.265          | 5.92       | 2489             | 0.649                | 24.6                              | 0.195    | 0.137                           | 0.220 | 0.133             |
| 10   | 283.2 | 1.246             | 1.240          | 11.32      | 2477             | 0.652                | 25.0                              | 0.202    | 0.142                           | 0.227 | 0.138             |
| 15   | 288.2 | 1.225             | 1.217          | 16.87      | 2465             | 0.655                | 25.3                              | 0.208    | 0.146                           | 0.234 | 0.14 <sup>2</sup> |
| 20   | 293.2 | 1.204             | 1.194          | 22.62      | 2454             | 0.658                | 25.7                              | 0.215    | 0.151                           | 0.242 | 0.147             |
| 25   | 298.2 | 1.183             | 1.169          | 28.62      | 2442             | 0.662                | 26.0                              | 0.222    | 0.155                           | 0.249 | 0.151             |
| 30   | 303.2 | 1.164             | 1.145          | 34.97      | 2430             | 0.665                | 26.4                              | 0.228    | 0.160                           | 0.257 | 0.156             |
| 35   | 308.2 | 1.146             | 1.121          | 41.73      | 2418             | 0.668                | 26.7                              | 0.235    | 0.164                           | 0.264 | 0.160             |
| 40   | 313.2 | 1.128             | 1.096          | 49.03      | 2406             | 0.671                | 27.0                              | 0.242    | 0.169                           | 0.272 | 0.165             |
| 45   | 318.2 | 1.110             | 1.068          | 57.02      | 2394             | 0.675                | 27.4                              | 0.249    | 0.174                           | 0.280 | 0.170             |

$\rho_a$  : density of dry air.

$\rho_{as}(T)$ : density of air saturated with water vapour at temperature T.

$T_v$  : virtual temperature of saturated air.

$\lambda$  : latent heat of vaporization of water.

$\gamma$  :  $c_p p / \lambda_s$ —the psychrometer constant.

$\kappa$  : thermal conductivity of dry air.

K : thermal diffusivity of dry air.

$\nu$  : kinematic viscosity of dry air.

$D_v$ : diffusion coefficient of water vapour in air.

$D_c$ : diffusion coefficient CO<sub>2</sub> in air.

$$E = -D \frac{\partial x}{\partial z} = \frac{X_{(z_1)} - X_{(z_2)}}{\int_{z_1}^{z_2} dz/D} \quad (18)$$

式右側分母  $\int_{z_1}^{z_2} dz/D$  即為分子擴散阻力 (diffusion resistance), 亦為傳導度 (conductance)  $g$  之倒數, 單位為  $sm^{-1}$ 。

$$r = g^{-1} = \int_{z_1}^{z_2} dz/D \quad (19)$$

式(18)與歐姆定律 (ohm's law) 很類似, 即

$$\text{電流}(i) = \text{電壓}(V) \div \text{電阻}(ohm) \quad (20)$$

將(19)式修正後亦可適用於動量、熱量、質量之擴散通量。

$$\text{動量}: \tau = \rho u \div \int dz/v \quad (21)$$

$$\text{熱量}: C = \rho C_p T \div \int dz/k \quad (22)$$

$$\text{質量}: E = X \div \int dz/D \quad (23)$$

通常分別以  $r_m, r_H, r_v, r_c$  來表示一物體表面之動量、熱量、水汽、CO<sub>2</sub> 之輸送阻力。此種阻力觀念不僅適用於層流大氣之分子擴散, 亦可適用於亂流大氣。同時此種阻力概念在作物微氣象研究中很重要, 因為作物之株高、密度、株型等會影響到作物與大氣各種實體輸送 (交換) 阻力, 吾人可藉由物理式計算出有關 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O 之阻力 ( $r_c, r_v$  等), 及測訂作物葉冠頂層與大氣某層間之 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O 濃度梯度, 可分別計算該作物集團與大氣間交換 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O 之速率。Gästra (1959) 利用阻力之觀念以式 (23) 來估算植株之光合速率

$$P = \frac{[CO_2]_1 - [CO_2]_2}{r_a^{CO_2} + r_m^{CO_2} + r_s^{CO_2}} \quad (24)$$

$[CO_2]_1$  為外界 CO<sub>2</sub> 濃度

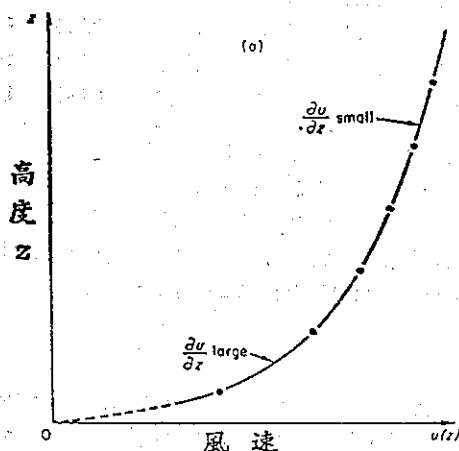
$[CO_2]_2$  為葉肉細胞內發生 Carboxylation 部位之 CO<sub>2</sub> 濃度

$r_a^{CO_2}$ : 界層阻力,  $r_m^{CO_2}$ : 葉肉細胞阻力,

$r_s^{CO_2}$ : 氣孔阻力

#### 四、作物葉冠與大氣間動量、熱量、質量 ( $\text{CO}_2$ , $\text{H}_2\text{O}$ ) 之垂直輸送

當氣流通過一廣闊而且表面均勻之作物葉冠上方時，由於植株對氣流之摩擦拖曳作用，會造成作物與大氣間發生動量之垂直輸送或交換，植株不斷地自大氣吸收動量，或大氣連續地向地面植株輸送動量，其輸送通量或速率，不僅視風速大小，亦受植株高度、株型、栽植密度之影響。同時在所有觀測項目中，以風速最為重要，因為風速不但控制動量之輸送，亦在熱量與質量 ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ) 之輸送過程扮演重要的角色，茲分別以短莖及高莖作物上方之風剖面來說明：



1. 裸地或短莖作物上層之風剖面  
氣流通過裸地或短莖作物上層時，如為中性 (neutral) 大氣，則風速係隨高度呈指數函數上升。其上層之風剖面可以對數方程 (the logarithmic wind profile equation) 來表示，見圖 6

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z}{z_0} \quad (25)$$

$u(z)$ : 高度  $z$  之水平風速

$u_*$ : 摩擦速度 (friction velocity) 或渦流速度 (eddy velocity)

$k$ : Von Karman's constant 0.41

$z_0$ : 粗糙長度 (roughness length)

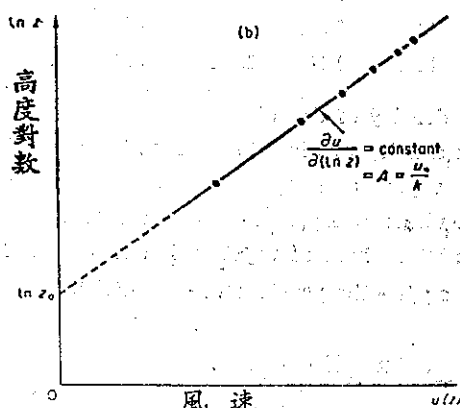


圖 6 裸地或短莖作物葉冠上層風速 ( $u$ ) 與高度 ( $z$ ) 之關係  
(a) 及風速與高度對數 ( $\ln z$ ) 之關係 (b)。

Fig. 6. Typical wind profile over an open, level site: (a) plotted linearly against height  $Z$ ; and (b) plotted against the logarithm of  $Z$ .

由式(25)可看出，當  $u(z)$  固定時，則  $z_0$  愈大 (即裸地或葉冠表面愈粗糙)，其垂直交換之速度 (摩擦速度) ( $u_*$ ) 亦愈大。

#### 2. 高莖作物葉冠上層之風剖面

當水平氣流 (風) 通過高莖作物集團上層時，風速所受之拖曳力 (drag force) 較裸地或短莖作物集團者為大。同時其上層風速剖面變化與裸地或短莖作物不同。因高莖作物葉冠上層風速  $u(z)$  係與  $\ln(z-d)$  呈直線相關，即

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{u_*}{k(z-d)} \quad (26)$$

轉換成對數式，則為

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z-d}{z_0} \quad (27)$$

$d$  值為地面修正量 (zero plane displacement) 為作物集團各個植株吸收動量之平均層度 (mean level)，一般約為株高之 0.7~0.8，如株高愈高則該作物集團吸收動量之平均層度亦愈高。同時要超過該層以上才能發生亂流交換 (垂直交換)。 $z_0$  為粗糙長度 (roughness length) 係表示作物集團單一植株吸收動量之有效性，通常為株高之 0.1。植株愈高， $z_0$  愈大，其對動量吸收能力亦愈強。

Monteith (1981) 及 Thom (1975) 導出高莖

作物集團與大氣間輸送動量之阻力  $r_a^M$  與粗糙長度  $z_0$  之關係如下式

$$r_a^M = \frac{u(z)}{(u_*')^2} = \frac{[\ln(z-d)/z_0]^2 / [k^2 u(z)]}{(28)} \quad (28)$$

如計算二層高度  $z_1, z_2$  間之動量輸送阻力，則

$$r_a^M(z_1, z_2) = \int_{z_1}^{z_2} \frac{dz}{K_M} = \frac{1}{u_*'^2} \int_{z_1}^{z_2} du = \frac{u_2 - u_1}{u_*'^2} \quad (29)$$

由式(28)可知作物株高愈高， $z_0$  愈大，則該作物集團與大氣間之動量輸送阻力  $r_a^M$  愈小。由圖 7a 可看出不同株高之作物葉冠上方之風剖面形狀不同。株高愈矮者 ( $h=1\text{cm}$ )，其風速隨高度之變化較快，表示其上方空氣混合過程要比株高高者之效率為差。反之株高高者 ( $h=500\text{cm}$ ) 之作物葉冠上方風剖面曲線形狀較為緩和，表示其上方空氣混合較佳。圖 7b 將縱軸改為  $\ln(z-d)$  時，更能顯示各種不同株高上方風剖面之形狀差異，株高愈高者 ( $h=500\text{cm}$ ) 之直線斜率  $k/u_*$  較小，同時在縱軸

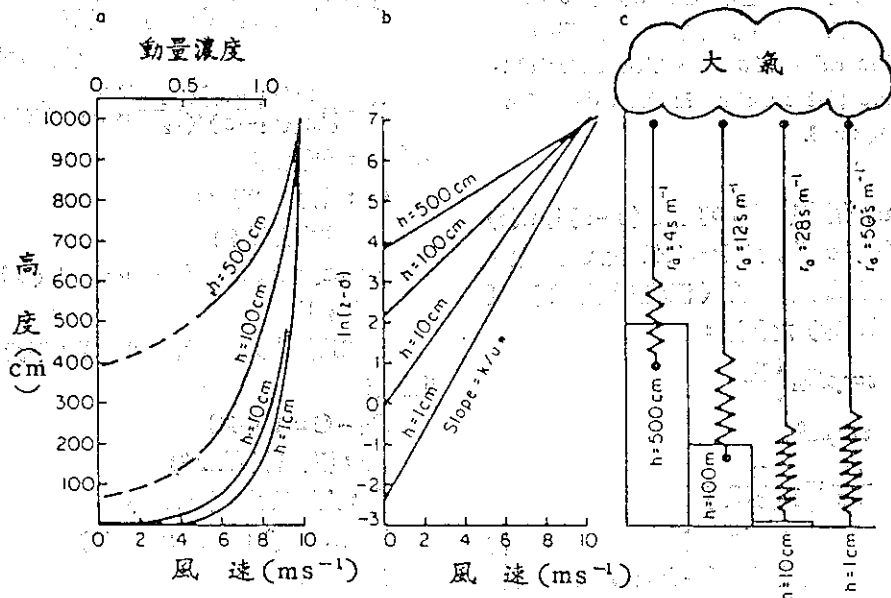


圖 7 株高對動量交換之影響 (7)。a. 四種不同株高 ( $h$ ) 之作物葉冠上層之動量剖面變化，虛線表示外插值。b. 利用風速與  $(z-d)$  之對數值標訂出粗糙長度值  $z_0$ 。c. 利用式(28)估算出由理論之植物動量受源 (sink) 與離地 10m 高之大氣間之動量輸送阻力值  $r_a^M$ 。Grace (1981)

Fig. 7 Momentum exchange as affected by vegetation height.

$[\ln(z-d)]$  所得之截距  $z_0$  值亦較大。反之株高愈矮者 ( $h=1\text{cm}$ )，則斜率  $k/u_*$  較大，所得之  $z_0$  值亦較小。圖 7c 係根據式(28)計算出不同株高之作物葉冠與大氣間 (10m 高) 之動量輸送阻力  $r_a^M$ 。株高高者 ( $h=500\text{cm}$ )，其與大氣間之動量輸送阻力則愈小，( $r_a^M=4.5\text{s m}^{-1}$ ) (表示動量輸送容易)；株高矮者 ( $h=1\text{cm}$ )，其輸送阻力大 ( $r_a^M=50\text{s m}^{-1}$ )，植株自空氣中截獲 (吸收) 動量之能力亦差。

d,  $z_0$  及  $u_*$  值之估算：

根據作物葉冠上方風剖面資料，估算  $d$  值有二種方法 (1) 試值法 (trial method)，通常  $d$  值為  $0.7 \sim 0.8h$  ( $h$  為株高)，因此可利用接近  $0.7 \sim 0.8h$  之不同假設值  $\delta$  代入式(28)。如所求得之關係為直線，則該假設值  $\delta$  即為吾人所求之  $d$  值，見圖 8。

(2) 利用式(28)以三種高度  $z_1, z_2, z_3$  之風速  $u_1, u_2, u_3$  以下式求之

$$\frac{u_1 - u_2}{u_1 - u_3} = \frac{\ln(z_1 - d) - \ln(z_2 - d)}{\ln(z_1 - d) - \ln(z_3 - d)} \quad (30)$$

當  $d$  值求得後，根據式(28)在縱軸上所得之截距

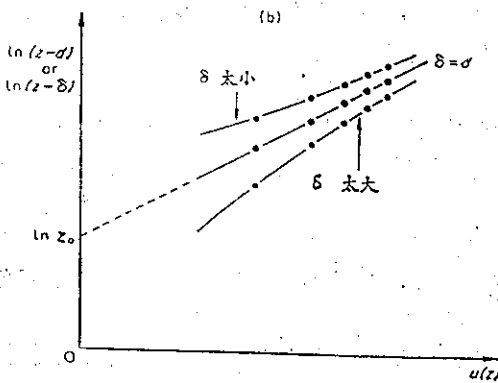


圖8 利用不同之假設值 $\delta$ 代入式(27)，如 $\delta=d$ ，則其關係為直線。該 $d$ 值亦為正確值(24)。

Fig. 8 The value of  $\delta$  for which a straight-line plot results, is the value of  $d$  required.

值即為 $z_0 \cdot u_*$  (摩擦速度) 可由 $\ln(z-d)$ 對 $u(z)$ 關係直線之斜率 $u_*/k$ ，以 $k=0.41$ 代入而求之。

$K_M$  動量亂流擴散係數 (渦流擴散係數) (eddy diffusivity) 之估算：

$$\text{由式(3)} \quad \tau = \rho K_M \frac{\partial u}{\partial z}$$

$$\text{式(8)} \quad \tau = \rho u_*^2$$

$$\text{式(2)} \quad \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{u_*}{k(z-d)}$$

$$\text{可得} \quad K_M = k u_* (z-d) \quad (31)$$

在完全強制性對流 (fully-forced convection) 大氣中 (即大氣中所有之垂直輸送運動均由大氣與地表摩擦反應所產生或維持者)，各個實體 (性質) 之渦流擴散係數均相等，即

$$K_M = K_V = K_H \quad (32)$$

此為相似性假設 (the similarity hypothesis)。根據相似性假設，吾人可由作物葉冠上方風剖面資料，所求得之動量渦流擴散係數 $K_M$ ，間接求得熱量、水汽、 $\text{CO}_2$ 之渦流擴散係數 $K_H$ 、 $K_V$ 及 $K_C$ 。

3. 作物葉冠與大氣間動量、熱量、質量 ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ) 垂直輸送通量之估算方法。

微氣象學者通常採用下列兩種方式來估算作物葉冠與大氣間動量、熱量、質量之垂直輸送通量。

(1) 空氣力學法 (Aerodynamic method) (2) 包威比值法 (Bowen's ratio method)。

(1) 空氣力學法

本法係利用微氣象儀器，在作物葉冠上方之境

界層內 (boundary layer) 測訂五點高度之風速剖面資料，計算出 $d$ 值後，再根據葉冠上層二點高度之風速 ( $u_1, u_2$ )、溫度 ( $T_1, T_2$ )、濕度 ( $e_1, e_2$ )、 $\text{CO}_2$ 濃度 ( $C_1, C_2$ )，利用下列(33)、(34)、(35)、(36)式分別計算出二層間動量 ( $\tau$ )、熱量 ( $C$ )、水汽量 ( $E$ )及 $\text{CO}_2$  ( $p$ )之垂直輸送通量 (通常以1小時為單位之觀測值來計算)。

$$\tau = \frac{\rho k^2 (u_1 - u_2)^2}{\{\ln[(z_1 - d)/(z_2 - d)]\}^2} \quad (\text{Nm}^{-2}) \quad (33)$$

$$C = \frac{\rho C_p k^2 (u_1 - u_2) (T_2 - T_1)}{\{\ln[(z_1 - d)/(z_2 - d)]\}^2} \quad (\text{Wm}^{-2}) \quad (34)$$

$$E = \frac{\rho C_p k^2 (u_1 - u_2) (e_2 - e_1)}{\lambda \nu \{\ln[(z_1 - d)/(z_2 - d)]\}^2} \quad (\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}) \quad (35)$$

$$p = \frac{k^2 (u_1 - u_2) (C_1 - C_2)}{\{\ln[(z_1 - d)/(z_2 - d)]\}^2} \quad (\text{g/cm}^2) \quad (36)$$

$\rho$  : 空氣密度

$C_p$  : 空氣定壓比熱

$\lambda$  : 水之蒸發潛能

$\nu$  : psychrometric constant ( $\text{mb}^\circ\text{C}^{-1}$ )

(2) 包威比值法

包威比值法係根據耕地面能量平衡之觀念衍生而來

$$R_N - G = C + \lambda E \quad (37)$$

$R_N$  : 淨輻射 ( $\text{Wm}^{-2}$ )

$G$  : 土壤熱通量 ( $\text{Wm}^{-2}$ )

$$\text{以 } C/\lambda E = \beta \quad (\text{Bowen ratio}) \quad (38)$$

代入式(37)可得

$$\lambda E = \frac{R_N - G}{1 + \beta} \quad (39)$$

$$C = \frac{R_N - G}{1 + \frac{1}{\beta}} \quad (40)$$

$$\text{而 } \beta = \frac{C}{\lambda E} = \nu \frac{\partial T}{\partial e} = \nu \frac{T_2 - T_1}{e_2 - e_1} \quad (41)$$

$\beta$ 即可用作物葉冠上方二層高度 ( $z_1, z_2$ ) 之溫度 ( $T_1, T_2$ ) 及濕度 ( $e_1, e_2$ ) 之觀測值代入而求得。因此根據農作物上方之淨輻射 ( $R$ )，土壤之熱通量 ( $G$ ) 之測訂值及 $\beta$ 值，亦可計算作物葉冠上方二層高度  $z_1, z_2$  間之蒸發潛熱 ( $\lambda E$ )、可感熱 ( $C$ ) 之垂直輸送通量。

吹風距離 (Fetch)

前述應用空氣力學原理在作物集團表面估算各種實體之垂直輸送通量時，其前題為該作物集團必須廣大而且表面均勻。同時微氣象感應器之測訂位

置均應在境界層以內，才能保證在亂流空氣中，各種實體於平衡梯度 (equilibrium gradient) 下，求得其垂直輸送通量。但是在田間常常由於栽培作物不同，其株高或株型之差異，會使得表面粗糙度不一致。當風（氣流）吹過不同作物集團表面時，其對氣流之摩擦拖曳力 ( $\tau$ ) 亦不同，導致境界層改變。因此要在一較為粗糙之作物集團表面（例如株高較高）上測訂各種實體輸送通量，而且其上風側有較矮小之作物存在時，感應器之架設位置必須要距該作物受風前緣有足夠之距離，以便能在新的境界層達到平衡處，測訂各種實體交換通量，此段

距離稱為吹風距離 (fetch)。有關境界層之高度 ( $\delta$ ) 與吹風距離 ( $x$ ) 之關係，許多學者看法不同，Elliott (1958) 認為  $\delta = 0.75x^{0.8}$ ，而 Bradley (1968) 認為  $\delta = 0.1x^{0.8}$ ，但是實際上許多學者認為  $x/\delta$  之比值低於或等於 200:1 即可，此表示當境界層高度為 1 m 時，其吹風距離應為 200m，故其感應器架設於距受風前緣 200m 的地方。茲以圖 9 來說明當氣流自運動場上短莖草地吹至較為粗糙之水稻田區上方時，其新的境界層發展過程，以及利用空氣力學法及包威比值法測訂水稻葉冠與大氣間各種實體垂直輸送通量時，感應器之架設位置。

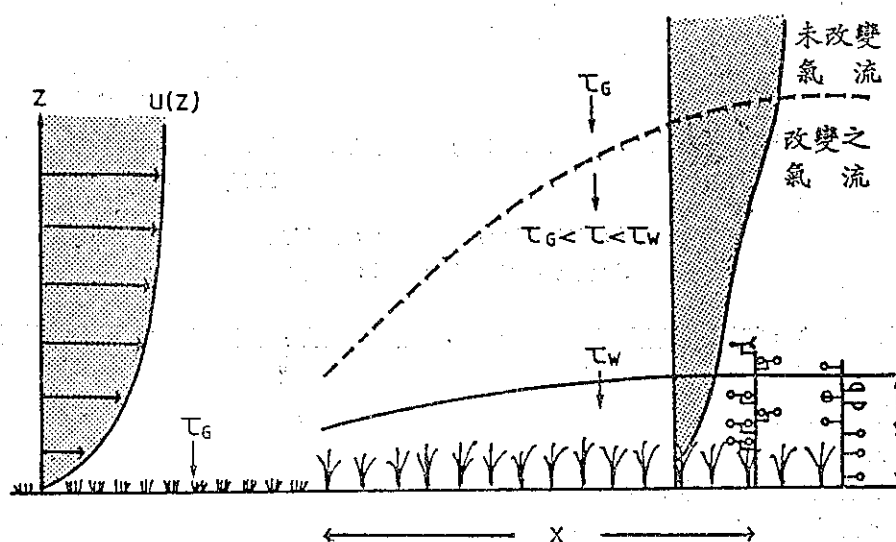


圖 9 當氣流自短莖草地運動場吹至較為粗糙之水稻田表面時，新的境界層發展過程，在短莖草地上之動量通量為  $\tau_g$ ，在水稻田上新的境界層  $\delta'$  內之通量為  $\tau_w$ ，此時測訂境界層  $\delta'$  內之通量，觀測儀器需架於距水稻田前緣距離  $X$  處， $X$  為吹風距離。

Fig. 9 Development of a new equilibrium boundary layer when air moves from a short grass playground (smooth) to a paddy field (rougher surface).

#### 4. 作物葉冠內各種氣象要素剖面變化——作物微氣候

前節曾討論在作物葉冠上層與大氣境界層內各層次間之各種實體之輸送通量，可藉由空氣力學法及包威比值法來估算。在作物葉冠內之輸送通量雖然無法利用該二法來計算，但是歷年來許多學者亦能利用氣象儀器在葉冠內測訂自土壤表面至葉冠頂層之各種氣象要素（包括日射、溫度、濕度、 $\text{CO}_2$ 、風速等）剖面變化，來研究作物葉冠內熱量、水汽、 $\text{CO}_2$  之供源 (source) 及受源 (sink) 之分

布，(表 2)，茲分別以可感熱 ( $C$ ) 及  $\text{CO}_2$  之分布為例來說明：

##### (1) 可感熱：

根據式(1)，習慣上當可感熱通量 ( $C$ ) 向地表輸送時定義為 (—)，向上為 (+)。當獲得作物葉冠內之溫度 ( $T$ ) 剖面資料時，可計算不同層次間之可感熱通量 ( $C$ )，如為正值表示其為向上輸送，如  $C$  為負值表示通量向地表輸送，但是僅表示出輸送方向。當  $C_{(z+dz)}$  大於  $C_{(z)}$ ，即  $\partial C / \partial z > 0$  時，表示在葉冠內 ( $z+dz$ ) 與 ( $z$ ) 層間之可感熱垂直通

表2 有關作物微氣象研究之參考文獻  
Table 2 Literature on crop micrometeorology

| 作物             | 日射量       | 淨輻射       | 氣溫與<br>土壤熱通量  | 土溫與<br>土壤熱通量 | 水蒸汽              | CO <sub>2</sub>                        | 風與動量     |
|----------------|-----------|-----------|---------------|--------------|------------------|--|----------|
| Barley         | Pi(12)    | Pi(12)    | Pai(12)       |              | Pai(12)          | Pai(12)                                | PaFa(12) |
| Bulrush millet |           | Pi(1)     | Pi(1)         |              | Pfi(1)           |  |          |
| Cotton         | Fa(19,22) | Fa(20,22) |               | F(22)        |                  |  | Fa(22)   |
| Lucerne        | Fa(21)    |           | PFa(21)       |              | PFa(21)          | PFa(21)                                | Pa(21)   |
| Maize          | Pi(27)    | Pi(3)     | Pfi(3)        |              | Pfi(3)           | Pia(26)<br>Fi(8)<br>PFa(10)<br>Pfi(11) | Pfai(25) |
| Orange         | Fa(9)     | Pfia(9)   | Pi(9)         |              | Pi(9)            |  | Pia(9)   |
| Potato         |           |           | Pia(13,15,28) | PF(28)       | Pia(13,28)       |  | Pia(13)  |
| Sugar beet     |           |           | Pia(14)       |              | Pia(14)          | Pia(23)<br>Fa(16)<br>PFa(5)            |          |
| Sunflower      | Fa(5)     |           | PFa(5)        |              | PFa(5)           |  | Pa(5)    |
| Wheat          |           | Fa(4)     | Pia(14,18)    | PF(14,28)    | Pia(18)<br>Fa(4) | PFa(4)                                 | Pia(18)  |

F : 通量 (flux)                      a : 葉冠上方  
P : 潛勢 (potential)                i : 葉冠內

量為輻散 (diverges)，即離開該層之可感熱通量大於進入該層之可感熱通量，因此在  $(z+dz)$  與  $(z)$  層間，吾人視為可感熱之「供源」(source)；反之在葉冠內某二層間  $\partial C/\partial z < 0$ ，即此層內之可感熱通量為輻合 (converges) 時，視之為「受源」(sink)。同時根據  $\partial C/\partial z$  體積之大小，可判

斷供源與受源之強度 (strength)。圖10(a)係日間作物葉冠內典型之溫度剖面分布，圖10(b)(c)係分別根據溫度剖面分布所計算之熱通量  $C$  及  $\partial C/\partial z$  分布，由 10(c) 可明顯地看出葉冠內之可感熱之供源及受源區域。

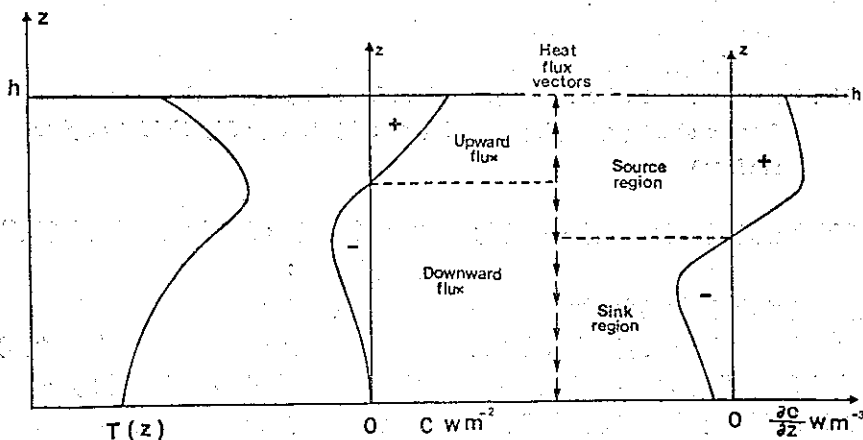


圖10. 作物葉冠內日間典型之溫度(T)，可感熱通量(C)及通量梯度  $(\partial C/\partial z)$  剖面分布。(Thom, 1975)

Fig. 10. Typical daytime profiles of temperature  $T$ , the vertical flux of sensible heat  $C$  and its gradient  $\partial C/\partial z$  within a plant community.

(2)  $\text{CO}_2$ 

在田間栽培作物，由於各層葉面積密度 (leaf area density) 及受光量不同，因此光合速率不同，導致在葉冠內  $\text{CO}_2$  之濃度 ( $\phi$ ) 不同，由  $\phi$  之分布，根據式(16)，可算出  $\text{CO}_2$  通量  $P$  之分布。當  $P$  向下輸送時定義為(+)，向上輸送為(-)。再將  $P$  對高度 ( $z$ ) 微分，則由  $\partial P/\partial z$  可看出其葉冠內  $\text{CO}_2$  供源與受源之區域，不過與可感熱相反， $\partial P/\partial z >$

0 之區域為受源，表示其光合作用很強，對  $\text{CO}_2$  吸收能力大，即  $\text{CO}_2$  在此區域內輻合，而在  $\partial P/\partial z < 0$  之區域，則為供源， $\text{CO}_2$  在此區域為輻散，同時表示其呼吸作用很強，有  $\text{CO}_2$  之釋出。圖11係以玉米為例說明在日間葉冠內之  $\text{CO}_2$  濃度及通量分布，與受源、供源之區域。由圖10.可知在葉層內  $\text{CO}_2$  濃度較低之區域，亦為光合作用最旺盛之區域，其受源之體積及強度亦最大。

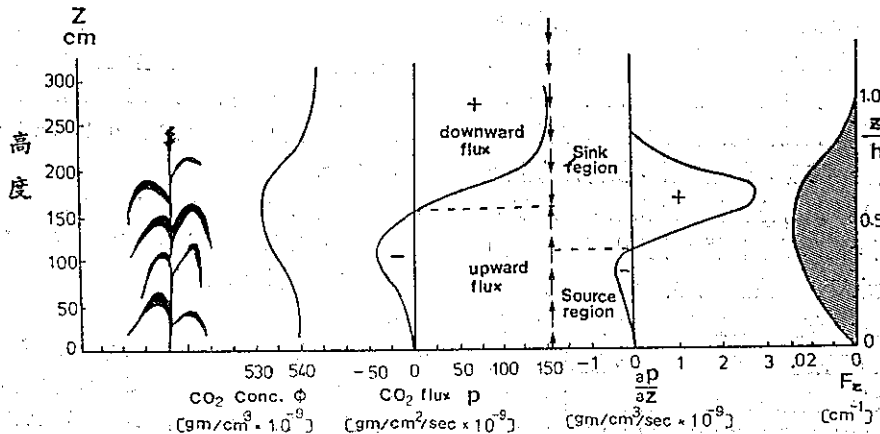


圖11. 玉米葉冠內日間典型之  $\text{CO}_2$  濃度  $\phi$ ，通量  $p$  及通量梯度  $\partial P/\partial z$  剖面分布， $F(z)$  為葉面積密度。(Lemon & Wright 1969).

Fig. 11. Typical daytime profiles of  $\text{CO}_2$  concentration  $\phi$ , the vertical flux  $P$ , and its gradient  $\partial P/\partial z$  within a maize community.

### 5. 微氣象研究在農業之應用

(1)微氣象觀測可根據農藝、園藝、森林學者之特殊實驗目的，配合試驗設計，提供測訂田間局地氣象環境之技術，藉以精確地瞭解試驗作物周圍物理環境之變化及其對試驗作物生育及產量之影響。

(2)測訂農地輻射平衡，可以研究不同性質之農地、覆蓋材料及作物種類對日射量吸收利用之情形，以有效地運用太陽能。

(3)測訂作物葉冠與大氣間  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  垂直輸送通量，可以估算田間自然狀態下作物集團之光合作用，呼吸作用及蒸散作用。

(4)根據數理模式，以多種介量 ( $d$ ,  $z_0$ ,  $u_*$ ) 來評估作物集團之株型結構 (architecture)，栽培密度對大氣間發生各種實體交換能力之影響，以做為在不同氣候環境下，提供改進栽培技術或育種之參考。例如在多風、寒冷之地區要選擇株型較為矮小之作物或品種，因為株型矮小者  $z_0$  亦較小，

使得該作物集團與大氣間交換熱量之阻力  $r_a^H$  較大，(根據相似擬說  $K_M = K_H = K_V = K_C$ ，故  $r_a^M = r_a^H = r_a^V = r_a^C$ )，因此較矮之作物集團不易散失熱量，能保持葉冠溫度，不致罹受寒害。

(5)測訂作物葉冠內熱量、日射、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  之剖面分布，可瞭解在不同時間及環境下葉冠內熱量、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  等輸送通量之受源與供源分布，及其與葉面密度等株型結構之關係，提供做為改進栽培方法之參考。

(6)利用微氣象儀器測訂人為方法 (例如：擋風、遮蔭) 對農田微氣象之改變及對作物生育、產量之影響可瞭解作物生育最適合之物理條件，亦可做為農業氣象災害預防之參考。

### 六、結 語：

微氣象係根據物理學之原理來探究或闡述大氣—植物—土壤間各種狀態 (states) 與過程 (pro-



-cesses) 之關係。譬如作物集團與大氣間動量輸送乃根據牛頓移動定律 (Newton's law of motion)，熱量 (輻射) 平衡係根據熱力學第一定律 (The first law of thermodynamics)，當以梯度 (gradient)，通量 (flux) 或阻力 (resistance) 等觀念來分析各種實體輸送通量時，則根據類似歐姆定律及費克氏擴散定律。因此一位農業研究人員在從事有關微氣象研究時，除需具備農 (園) 藝栽培原理、植物生理學、土壤學等基本農學理論以外，亦須具有物理學、熱力學及流體力學之概念，所以微氣象研究人員之培育甚為困難。同時從事微氣象研究所使用之觀測儀器及資料處理系統，所需經費昂貴，亦非一般農業試驗研究單位所能負擔，因此國內鮮少有關微氣象之研究報告。

臺灣雖有高溫多雨之優越條件，使得作物生長的季節很長，農作時序之安排較為密集，但是氣象災害頗為頻繁，同時地形複雜，中央山脈、雪高山脈等高山，由北至南縱貫於島之中央，復與季風相交，使得臺灣各地氣候有明顯之差異；因此如何藉微氣象之觀點，配合臺灣各地之地形、氣候來研究各種作物與大氣之關係，以改善農作物或農業設施之物理環境，提高農業生產之產量及品質，亦為目前農業氣象發展之目標。

期望各農業單位能注重農業氣象人員之培育，並能充實微氣象觀測設備，除實施基本氣象觀測以外，亦能配合試驗設計在農作物集團內外、農田、畜舍、溫室等進行微氣象觀測，則不僅能研究改善農業生產之物理環境，亦能與育種學及植物生理學家相配合，擴大微氣象在農業之應用，使臺灣各地之農業氣候資源充份予以利用。

## 七、參考文獻

1. Begg, J. E., Bierhuizen, J. F., Lemon, E. R., Misra, D., Slatyer, R. O. and Stern, W. R. 1964. Diurnal energy and water exchanges in bulrush millet. *Agric. Meteorol.*, 1:294.
2. Bradley, E. F. 1968. A micrometeorological study of velocity profiles and surface drag in the region modified by a change in surface roughness. *Q. J. R. met. Soc.*, 94:361.
3. Brown, K. W. and Covey, W. 1966. The energy budget evaluation of the micrometeorological transfer processes within a corn field. *Agric. Meteorol.*, 3:73-96.
4. Denmead, O. T. 1969. Comparative micrometeorology of a wheat field and a forest of *Pinus radiata*. *Agric. Meteorol.*, 6:357.
5. Eckardt, F. E., Heim, G., Methy, M., Saugier, B. and Sauvezon, R. 1971. Fonctionnement d'un ecosysteme au niveau de la production primaire mesurés effectués dans une culture d'*Helianthus annuus*. *Oecol. Plant.*, 6:51.
6. Elliott, William P. 1958. The growth of the atmospheric internal boundary layer. *Trans. Amer. Geo. Union* 36:1048-1054.
7. Grace, J. 1981. Some effects of wind on plants. In: *Plants and Their Atmospheric Environment*. (Grace, J., E. D. Ford & P. G. Taxis, eds.) pp. 31-56. Blackwell Scientific Publications.
8. Impens, I. 1965. Experimentele Studies van de Thysische en Biologische Aspectera van de Transpiratie, Rykslandbouwhogerschool, Gent.
9. Kalma, J. D., 1970. Some aspects of the water balance of an irrigated orange plantation. Special Publication, Volcani Institute of Agricultural Research, Israel.
10. Lemon, E. R. 1960. Photosynthesis under field conditions. II. An aerodynamic method for determining the turbulent carbon dioxide exchange between the atmosphere and a corn field. *Agron. J.*, 52:697.
11. Lemon, E. R. and Wright, J. L. 1969. Photosynthesis under field conditions, X. A. Assessing sources and sinks of carbon dioxide in a corn crop using a momentum balance approach. *Agron. J.*, 61:408.
12. Long, I. F., Monteith, J. L., Penman, H. L. and Szeicz, G. 1964. The plant and its environment. *Met. Rdsch.*, 17:97.
13. Long, I. F. and Penman, H. L. 1964. The micrometeorology of the potato crop. In: *The Growth of the Potato*, J. D. Ivins. & F. L. Milthorpe. Butterworthes, London.
14. Mattsson, J. D. 1961. Microclimate observations in and above cultivated crops with special regard to temperature and relative humidity. *Lund Stud. Geogr., Ser., A*, No. 16.
15. Mattsson, J. O. 1966. The temperature cli-

- mate of potato crops. Lund Stud. Geogr., Ser. A, No. 35.
16. Monteith, J. L. and Szeicz, G. 1960. The carbon dioxide flux over a field of sugar beet. *Q. Jl R. met. Soc.*, 86:205.
  17. Monteith J. L. 1981. Coupling of plants to the atmosphere. In: *Plants and Their Atmospheric Environment*. pp.1-30, Blackwell Scientific Publications.
  18. Penman, H. L. and Long, I. F. 1960. Weather in wheat: an essay in micrometeorology, *Q. Jl R. met. Soc.*, 86:16.
  19. Rijk, D. A. 1967. Water use by irrigated cotton in Sudan. I. Reflection of short wave radiation. *J. appl. Ecol.*, 4:561.
  20. Rijk, D. A. 1968. Water use by irrigated cotton in Sudan. II. Net radiation and soil heat flux. *J. appl. Ecol.*, 5:685.
  21. Saugier, B. 1970. Transports turbulents de CO<sub>2</sub> et de vapeur d'eau au-dessus et à l'intérieur de la végétation. *Oecol. Plant.*, 5:179.
  22. Stanhill, G. and Fuchs, M. 1968. The climate of the cotton crop. *Agric. Meteorol.*, 5:183.
  23. Tamm, E. and Krzysch, G. 1959. Beobachtungen des Wachstums faktors CO<sub>2</sub> in der Vegetationszone. *Z. Acker-u. PflBau*, 107:275.
  24. Thom, A. S. 1975. Momentum, mass and heat exchange in plant communities. In: *Vegetation and the Atmosphere*, Vol. 1, Principles. (J. L. Monteith, ed.) pp. 57-109, Academic press, London.
  25. Uchijima, Z. and Wright, J. L. 1964. An experimental study of air flow in a corn plant air layer. *Bull. natn. Inst. agric. Sci., Tokyo*, A. II.
  26. Uchijima, Z., Udagawa, T., Horie, T. and Kobayashi, K. 1967. CO<sub>2</sub> environment in a corn plant canopy. *J. agric. Met.*, Tokyo, 23:1.
  27. Uchijima, Z., Udagawa, T., Horie, T. and Kobayashi, K. 1968. Penetration of direct solar radiation into corn canopy. *J. agric. Met.*, Tokyo, 24:141.
  28. Van Eimern, J. 1964. Untersuchungen über das Klima in Pflanzengestanden, *Ber. dt. Wetterd., Offenbach*, No. 96.
  29. Yoshino, M. M. 1975. Climate in a small area. An introduction to local meteorology. University of Tokyo Press.
  30. 伊藤代次郎, 長谷場徹也。1984. 水稻の葉温、蒸散に及ぼす短波放射と風速の影響。農業氣象 (J. Agr. Met.) 40(1): 21-28.
  31. 鈴木晴雄, 宮本硬一, 松尾直幸。1982. 畦面被覆の微氣象に関する研究。V. 大豆の植生と黒色有孔ポリエチレンフィルムが地温及ぼす影響。農業氣象 (J. Agr. Met.) 38(2):135-144.

## The Characteristics of Micrometeorology and Its Application on Agriculture

Chea-Yuan Young

Senior Specialist, Central Weather Bureau

### ABSTRACT

This paper described the scale and characteristics of micrometeorology, and introduced the basic theories involved in micrometeorology such as energy balance and the vertical transport of entities between earth surface and the atmosphere. The author also reviewed the possible application pathway of micrometeorology on the agriculture, in order to give a clear idea for agriculture institutes and researchers about micrometeorology, so as to enlarge its application achievements on agriculture.

# 松山及桃園地區成霧之分析 與預報研究\*

劉復誠<sup>1</sup> 蔣為民<sup>2</sup>

## 摘 要

由於霧之種類很多，促成原因也不盡相同。惟歸結言之，成霧之基本條件有四：(一)要有足夠有效的地面輻射使溫度易於降至露點，(二)要有微弱之風使飽和層能有足夠之厚度，(三)要有相當高之相對濕度，(四)空氣中須有足夠懸浮固體質點（但此條件非為必須，因近地面層已大部有豐富之空氣質點）。

本文以分析民國68年及74年松山與桃園兩地霧日之個案，再探尋發生之條件和天氣情勢。其中出現在(一)68年1月5日之輻射霧，(二)68年1月9日及74年3月8日之鋒際霧，(三)68年2月21日之平流輻射霧，(四)68年3月8、9、10日及74年3月1、7日之鋒前霧乃臺灣地區最有代表性的幾種典型霧，其發生條件可作為預報之參考。

對於霧之客觀預報亦經利用(一)溫度與霧點差，(二)K指數與總指數之關係，繪出客觀預測圖，藉以提高預報準確率，而其校驗結果也令人相當滿意。

## 一、前 言

「霧」是影響飛行、航海與行車安全重要因素之一。以美國和其他國家而言，每年平均有1%飛機因霧而無法按預定飛行時間起落甚或失事。舉例言之，在國內，74年3月1日、7日及8日中正機場之大霧曾造成旅客極大不便及航空公司之損失不貲；在國外74年3月29日一架哥倫比亞的噴射客機，即因機長不理會濃霧的警告而發生墜機事件，機上40名乘客和機員全部罹難等即為明證。

霧之種類很多，促成原因也不盡相同，成霧之物理過程和條件更為複雜，如挪威之冰霧(ice fog)、倫敦及洛杉磯之煙霧(smog)、鄂克次克海之海霧和川黔之濃霧等都具有「地方性」。臺灣面積不大，中央山脈縱貫南北，成為東西部之天然分野，加以地勢崎嶇，其間包括許多平原、高山峻嶺、丘陵、臺地、峽谷、盆地及三角洲等，同時中央山脈平均高度在3,000公尺以上，近海又為黑潮

(Kuroshio)及親潮(Oyashio)所經，地形效應極為顯著，氣流運行更不規則。就以地域而言，東部少霧甚至終年無霧，西部則多霧。

松山、桃園兩地現已成為我國航空重鎮，地形特殊，前者為國內機場，後者為國際機場，兩地四季常有霧發生，乃為本文究研之重點；本文即針對兩地成霧之物理過程和條件予以研討，並試圖發現其客觀預報之可行性。

## 二、霧之定義、分類及形成條件概述

### (一)霧之定義

層雲(stratus)為接近地面之霧，霧上升即為層雲，彼此之成因很難劃分，有時平地看來是一種層雲，但在山際或山頂看却是霧，且兩者都可視為懸浮於空中的水滴(water droplets)或冰晶(ice crystals)；依據威啓勳(1956)認為：其直徑通常自千分之一至十分之一公釐(mm)，平均約千分之十二公釐。至於霧影響地面水平向能見度之程

\* 收稿日期：74年11月13日 修正日期：11月22日~25日

1. 中央氣象局預報測站課長。

2. 中央氣象局預報測站技士

度，則視其輕重而定，在航空上需配合目視飛行規則安全標準決定霧之濃淡。國際間規定水平向能見度小於一公里者稱之。如到達一公里以上但不足二公里者稱為霧或輕霧 (mist)。本文中「霧」之標準則以水平向能見度等於或小於一公里以下為準。

### (一) 霧之分類

霧之分類經氣象學者之建議並經採用者已有多種，其中以1928年韋立特 (Willett) 之分類最早，後有1958年皮特森 (Petterssen) 及1959年白葉爾 (Byers) 之修正。本文根據朱斯多 (Jiusto, 1981) 最近分類再依各學者意見分類如下：

1. 平流 (混合) 霧 (advection fog) —— 因潮濕空氣平流在寒冷之地表上，使空氣冷卻至露點以下而成者。常見者有①海霧 (sea fog)，②熱帶空氣霧 (tropical air fog)，③海陸風霧 (land and sea breeze fog)，④蒸汽霧或北極蒸汽霧 (steam fog or Arctic sea smoke)。

2. 輻射霧 (radiation fog) —— 因地面輻射冷卻作用而喪失 (發射) 熱量，使下層空氣達到飽和而成霧者。常見之輻射霧可分以下二小類：①低霧 (ground fog)，②高逆溫霧 (high inversion fog)，另外因空氣沿坡滑上而成之斜坡霧 (upslope fog) (地面上看其實為層雲)，及冷空氣注入山谷而成之谷霧 (valley fog)。

3. 鋒面霧 (frontal fog) —— 在鋒面附近由於空中降水物 (雨滴、冰晶等) 之下降，使水分蒸發而增加空氣之含水 (汽) 量或使氣溫降低而導致空氣飽和，發生凝結現象而成霧者。此霧大致可分為：

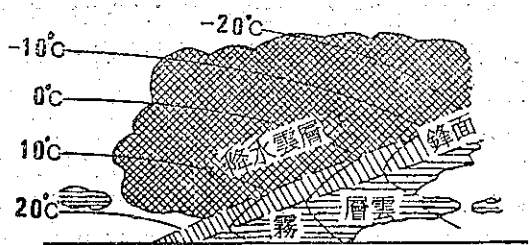
(1) 鋒前霧 (pre-frontal fog) —— 鋒面前緣因 (水汽) 相對濕度增加而導致空氣飽和而成霧者，常與毛毛雨混合存在。

(2) 鋒後霧 (post-frontal fog) —— 鋒面通過後，因降雨水滴蒸發導致成霧者。

(3) 鋒際霧 (frontal-passage fog) —— 當鋒面通過時，因鋒面上之低雲與前方暖空氣相混合，乃成高地之霧，此霧如近地面時，降水與蒸發作用可增強其效果和濃度 (見圖一)。

以上霧之分類僅為傳統上之分法，如以本省常見之霧，約可分平流霧、輻射霧、平流輻射霧及鋒面霧四種，其出現之機會亦最多。

### (二) 成霧之物理過程和條件：



圖一 鋒下層雲與霧之生成模式圖 (修改自 S. Petterssen, 1958)

Fig. 1. Diagram showing the model of fog and stratus under the front

依英國氣候學家泰勒 (Taylor) 於1917年指出，霧主要由於近地層空氣冷卻所致。他首先證實，空氣分子之傳導 (conduction) 和擴散 (diffusion) 是使熱量和水汽在夜間因冷卻而得以傳至 1.2 公尺 (4 呎) 左右的唯一過程，此時必定產生渦流通量 (eddy fluxes)。

他同時指出，僅有空氣溫度迅速下降至露點當不致成霧。另外擾動或稱亂流 (turbulence) 亦為成霧之主因，而實際上空氣中水汽含量和溫度在任何大氣層中，仍受制於渦流交換之影響。

歸結言之，成霧之物理過程先決條件經氣象學者多年之研究可綜述如下：

條件一：要有足夠有效之地面輻射——因為地面輻射可以產生很強的逆溫層 (inversion)，而使空氣冷卻降至露點。

條件二：須有微風狀態——假如風太強，則渦流擴散係數 (coefficient of eddy diffusion) 太大，逆溫將被破壞。

條件三：要有相當高的相對濕度 (relative humidity) —— 不僅近地面且要延伸至離地面約 100 公尺或更高。

條件四：空氣中要有足夠懸浮固體質點 (particulates) —— 地面附近因為經常有足夠吸水性凝結核故非成霧的重要條件。

依上述四點，很明顯地欲判斷霧之發生，前述條件一、二為先決條件，可自氣象圖上分析或實際觀測得之；而條件三可由 Skew-T log p 或高空圖求得。而本省之霧形成亦大致能符合以上之條件。

## 三、松山和桃園之自然環境和氣候資料

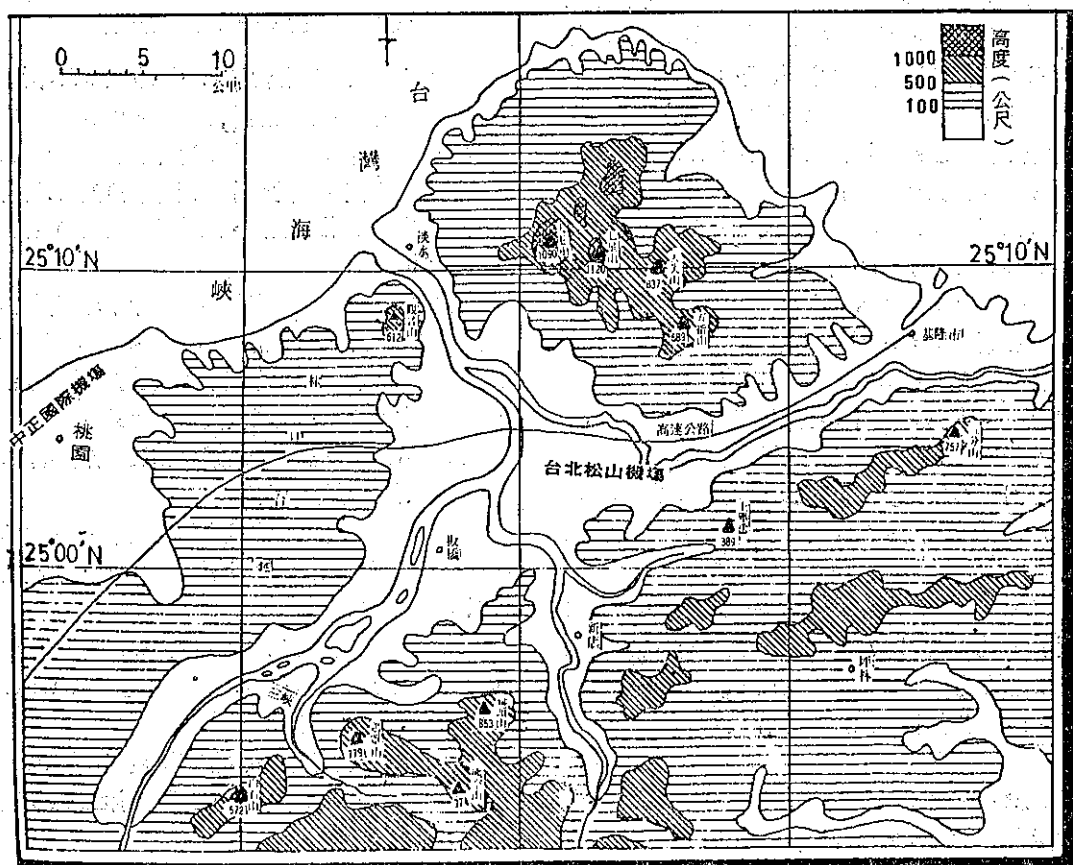
### (一) 松山和桃園之自然環境

松山測站位於北緯 25°04'，東經 121°33'，在

臺北盆地之東北方(見圖二)，海拔6.4公尺；北方爲大屯火山羣，平均高度在1,000公尺左右，東方爲中央山脈之北端，高度約500公尺，南方都是2,000~3,000公尺之高山，林口臺地位於西側，平均高度約240公尺，觀音山位於西北方，高度612公尺，基隆河由東北東方流經松山機場的北端，於士林附近會合淡水河本流向西北流出，經淡水注入臺灣

海峽。

桃園則位於本省西北部，東接林口臺地，標高200~250公尺，東南鄰觀音山丘陵，西邊靠近竹圍海邊，四周地勢低平，水塘、魚塭星羅棋佈，更南方爲中央山脈所阻，西南方沿海平原延伸至新竹地區。距海岸線三公里，附近之海岸線爲東北—西南走向，正在臺灣海峽北向之喇叭口上(見圖二)。



圖二 松山與桃園測站地形圖

Fig. 2. Topographical map of the Sung Shan and Taoyuan

### (二)氣候資料

爲了個案分析時，對於成霧之條件能有進一步瞭解，特將松山和桃園兩地與成霧有關之氣候資料列表如下，以供參考。

表1之平均霧日，松山以林政宏(1978)所譯新航空氣象學(上) P.254，桃園以民航局(1977)

桃園國際機場飛行天氣預報之研究 P.3 資料爲準。

如以各季百分率而言，霧日以冬季(十二月、一月、二月)最高，佔39.1%，春季(三月、四月、五月)次之佔36.6%，秋季(九月、十月、十一月)佔14.2%，夏季(六月、七月、八月)最少佔10.1%。

表 1 松山與桃園之氣候資料 (1958年至1978年)

Table 1 Climatological data at Sung Shan and Taoyuan (1958~1978)

| 氣象要素               | 月份<br>地區 | 一    | 二    | 三    | 四    | 五    | 六    | 七    | 八    | 九    | 十    | 十一   | 十二   | 年平均  | 備註                             |
|--------------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------------------|
|                    |          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |                                |
| 平均風速<br>(節)        | 松 山      | 5.7  | 6.9  | 5.3  | 4.9  | 3.6  | 0.9  | 0.8  | 2.7  | 5.2  | 7.6  | 7.7  | 7.8  | 4.83 |                                |
|                    | 桃 園      | 3.9  | 9.1  | 8.2  | 6.7  | 5.9  | 6.0  | 5.7  | 5.6  | 7.2  | 9.0  | 10.0 | 9.6  | 7.80 |                                |
| 平均溫度<br>(°C)       | 松 山      | 15.1 | 15.1 | 17.3 | 20.9 | 24.4 | 26.6 | 28.3 | 28.1 | 26.6 | 23.2 | 20.2 | 17.0 | 21.9 |                                |
|                    | 桃 園      | 14.1 | 14.5 | 16.9 | 20.7 | 24.2 | 26.2 | 28.3 | 28.0 | 26.3 | 22.8 | 19.9 | 19.0 | 21.7 |                                |
| 平均相對<br>濕 度<br>(%) | 松 山      | 84   | 84   | 84   | 82   | 82   | 82   | 78   | 78   | 80   | 80   | 81   | 83   | 82   |                                |
|                    | 桃 園      | 83   | 86   | 85   | 84   | 84   | 84   | 80   | 81   | 82   | 81   | 81   | 83   | 83   |                                |
| 平均霧日<br>(日)        | 松 山      | 3.8  | 3.1  | 3.9  | 3.3  | 1.9  | 2.0  | 1.3  | 0.3  | 1.1  | 1.2  | 1.9  | 2.9  | 2.2  | 能見度<br>等於或<br>小於<br>800 公<br>尺 |
|                    | 桃 園      | 2.6  | 4.9  | 5.4  | 3.0  | 1.1  | 1.0  | 0.2  | 0.3  | 0.6  | 0.8  | 1.6  | 2.7  | 2.0  |                                |

#### 四、松山與桃園霧日特性之統計分析

茲統計68年一月至五月松山與桃園測站霧日發生時之天氣狀況，以作為霧日特性研究資料及分析

基礎。

這些統計資料松山取自民航局氣象中心松山測站，桃園取自空軍桃園機場測站，而霧日以等於或小於1公里(1000公尺)為取用標準，統計表如下：

表 2 68年一月至五月松山與桃園霧日之天氣狀況統計表

Table 2 List of fog day at Sung Shan and Taoyuan from January to May of 1979

| 地 區 | 時 間 |    | 成霧時刻<br>(地方時) | 總時數<br>(時) | 風向風速<br>(度/級數) | 天空狀況<br>(雲量) | 能 見 度<br>(公尺) | 過去三小<br>時 天 氣 | 天氣狀況        | 霧 之 分 類 |
|-----|-----|----|---------------|------------|----------------|--------------|---------------|---------------|-------------|---------|
|     | 月   | 日  |               |            |                |              |               |               |             |         |
| 松 山 | 1   | 5  | 00—10         | 10         | C              | ○            | 100—1000      |               | ≡           | 輻射霧     |
| "   | 1   | 7  | 02,05—08      | 5          | C              | ○            | 100—800       |               | ≡           | 平流輻射霧   |
| "   | 1   | 9  | 02,07         | 2          | C              | ≡            | 1000          |               | 有雨有霧        | 鋒際霧     |
| "   | 1   | 10 | 07            | 1          | C              | ⊕            | 1000          |               | ≡           | 鋒際霧     |
| "   | 1   | 11 | 05—09         | 5          | C              | ≡—⊕          | 300—600       |               | ≡           | 鋒前霧     |
| "   | 1   | 27 | 02—03,07      | 3          | C              | ○—○          | 700—900       |               | ≡           | 平流輻射霧   |
| "   | 1   | 28 | 04,06—08      | 4          | C              | ○—○          | 600—800       |               | ≡           | "       |
| 桃 園 | 1   | 7  | 05—08         | 4          | 170/2—170/4    | ○—○          | 800           |               | ≡           | "       |
| "   | 1   | 8  | 23—24         | 2          | 170/5          | ≡—⊕          | 800           | .)            | ≡           | "       |
| "   | 1   | 9  | 00—09         | 9          | C              | ≡—⊕          | 800           | ≡             | ≡           | 鋒際霧     |
| "   | 1   | 10 | 03—07         | 5          | C              | ≡—⊗          | 100—800       |               | ≡           | "       |
| 松 山 | 2   | 10 | 08—09         | 2          | 110/3—C        | ○            | 1000          |               | ≡           | 鋒前霧     |
| "   | 2   | 21 | 04—07         | 4          | C              | ○            | 100—800       |               | ≡           | 平流輻射霧   |
| "   | 2   | 22 | 06—07         | 2          | C              | ⊕—○          | 700—1000      |               | ≡           | "       |
| 桃 園 | 2   | 10 | 07—08         | 2          | C—050/3        | ○            | 400—600       |               | ≡           | 鋒前霧     |
| "   | 2   | 13 | 05—08         | 4          | C—340/4        | ≡            | 800           |               | ≡           | 平流輻射霧   |
| "   | 2   | 21 | 06—08         | 3          | C—170/6        | ≡—⊗          | 100—1000      |               | ≡           | "       |
| 松 山 | 3   | 8  | 06—08         | 3          | C—100/3        | ≡            | 600           |               | ≡           | 鋒前霧     |
| "   | 3   | 9  | 00—06         | 6          | C              | ⊕            | 800—1000      | 前一小時≡         | ≡           | "       |
| "   | 3   | 10 | 04—07         | 4          | C              | ≡—⊗          | 100—900       |               | ≡           | "       |
| "   | 3   | 15 | 06—08         | 3          | C—260/2        | ⊕            | 400           |               | 後一小時<br>毛 雨 | 鋒後霧     |
| "   | 3   | 28 | 06—08         | 3          | C 100/2        | ⊕            | 600—700       | , /T          | ≡           | "       |
| "   | 3   | 29 | 00—08         | 8          | C              | ⊕—⊗          | 100—800       | 前三小時≡         | ≡           | "       |
| 桃 園 | 3   | 20 | 07            | 1          | 100/2          | ⊕            | 800           | ,             | 有雨有霧        | "       |
| "   | 3   | 28 | 08            | 1          | C              | ⊕            | 600           | T/, )         | ≡           | "       |
| "   | 3   | 29 | 05—09         | 5          | C—240/4        | ⊕            | 600—800       |               | ≡           | "       |
| 松 山 | 4   | 13 | 05—07         | 3          | C—290/6        | ○            | 700—1000      |               | ≡           | 平流輻射霧   |
| 桃 園 | 4   | 12 | 23—24         | 2          | C—170/2        | ⊕—⊗          | 200—1000      |               | ≡           | "       |
| "   | 4   | 13 | 00—07         | 7          | C—100/3        | ⊗—○          | 100—800       | ≡             | ≡           | "       |
| "   | 4   | 15 | 07            | 1          | 060/2          | ⊗—⊕          | 900           |               | ≡           | "       |
| "   | 4   | 16 | 00—06         | 6          | C—170/4        | ≡—⊗          | 100—800       |               | ≡           | "       |
| 合 計 | 31日 |    | —             | 120        | —              | —            | —             | —             | —           |         |

〔註〕表 2 符號說明：

(1)成霧時刻以地方時00—24為準。

(2)總時數按(連續性)有霧情況計之。

(3)風向以360°為準，C代表平靜無風。

(4) 天空狀況(雲量)以8分位為準:

○: 碧空無雲

⊖:  $\frac{1}{8}$  ~  $\frac{3}{8}$  雲量

⊕:  $\frac{4}{8}$  ~  $\frac{7}{8}$  雲量

⊕: 8 以上

⊗: 不明

(5) 能見度選取最大與最小能見度表示

(6) 其他: ≡ 代表霧

T 代表雷雨

, 代表毛毛雨

, 代表雨

由表2資料之天氣狀況作詳盡分析如下:

1. 松山與桃園合計霧日共31天, 其中五月份兩地均無霧之發生。

2. 霧之發生和消散時刻分析(或稱日變化分析):

當霧發生後, 必有其消散時刻。理論上, 各類霧均有受熱(特別是日照)而消散之趨勢(平流霧例外), 因之霧的合計出現頻率有顯著之日變化。一般以清晨出現頻率最高, 下午最低, 輕霧較濃霧更易消散。升坡霧通常甚厚, 故日變化甚小, 大多數之平流霧均相當厚, 其較厚者能承受日間加熱而

不消散, 例如我國之川黔兩省, 一年內霧日可高過100日(成都1500天、樂山1158天, 見中國之氣候, 1974)。因平流冷却兼有輻射冷却之平流輻射霧亦然。至於典型之輻射霧甚薄, 最易受日間加熱而消失, 如本省之輻射霧。

在海上, 因溫度日變化甚小, 一般只有 $0.5^{\circ}\text{C}$ 左右, 而陸上溫度日變化甚大, 故海霧日變化亦小, 此所以海霧能持續長久之原因。再者, 陸上氣溫高之地區其日變化亦大, 而氣溫低之地區日變化則小, 因此在高溫下(在暖季內)發生在陸上之霧大都於太陽升高後消失, 在低溫下生成之霧(在冷季內)即不易因日間加熱而消失。

根據實測結果, 輕霧中含水量很少, 僅約為 $0.03\text{gm}^{-3}$ , 而濃霧含量則可超過 $0.3\text{gm}^{-3}$ 。

衆所周知, 如欲使霧消散則水滴必須蒸發, 同時氣溫增高, 使空氣能容納蒸發之水汽。當氣溫高時, 稍予增暖即足以容納由霧蒸發之水汽, 但當氣溫低時, 則氣溫必須增加甚多, 方足以容納同量之水汽。在高溫下發生之霧對於溫度之變化甚為敏感, 至於在寒冷大陸上發生之霧可能終日存在。

就以上之陳述, 我們將松山、桃園兩地霧之發生和消散時刻統計如下表:

表3 松山與桃園霧發生和消散時刻統計表(68年一至五月)

Table 3 List of the time of fog formation and dissipation at Sung Shan and Taoyuan (Jan.~May, 1979)

| 時間<br>地點 | 00<br>01 | 01<br>02 | 02<br>03 | 03<br>04 | 04<br>05  | 05<br>06  | 06<br>07  | 07<br>08  | 08<br>09 | 09<br>10 | 10<br>11 | 11<br>12 | 12<br>13 | 13<br>14 | 14<br>15 | 15<br>16 | 16<br>17 | 17<br>18 | 18<br>19 | 19<br>20 | 20<br>21 | 21<br>22 | 22<br>23 | 23<br>24 |
|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|          |          |          |          |          |           |           |           |           |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 松山       | 3        | 6        | 4        | 6        | 8         | 13        | 15        | 9         | 3        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| 桃園       | 3        | 3        | 4        | 4        | 7         | 8         | 10        | 7         | 2        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2        | 2        |
| 合計       | 6        | 9        | 8        | 10       | 15        | 21        | 25        | 16        | 5        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 2        | 2        |          |
| 頻百分率比    | 5.0<br>% | 7.5<br>% | 6.7<br>% | 8.3<br>% | 12.5<br>% | 17.5<br>% | 20.9<br>% | 13.4<br>% | 4.2<br>% | 0.8<br>% | 0<br>%   | 0<br>%   | 0<br>%   | 0<br>%   | 0<br>%   | 0<br>%   | 0<br>%   | 0<br>%   | 0<br>%   | 0<br>%   | 0<br>%   | 1.6<br>% | 1.6<br>% |          |

表3顯示霧之發生時刻以清晨06—07時最多, 佔20.9%, 05—06時次之佔17.5%, 至07—08時後逐漸消散。至於起霧時間自深夜22時起即有之。就

氣象條件而言, 清晨常為一日中氣溫最低之時刻, 露點之升高足以引起相對濕度之增加, 倘天氣晴朗風微, 更可加強夜間輻射冷却作用, 使地面溫度愈



形降低，逆溫層增厚，加以早晨空氣穩定，對流作用亦告停止，塵埃、煙灰等凝結核均沉積於低層而不易流動或散佈，造成生霧之有利時刻，所以「清晨散步於霧中實為有碍健康之行爲」，對身體並非有益。但日出後氣溫急升，對流及風力開始增強，逆溫層被破壞，霧旋即消散。對松山、桃園而言，其時刻頗為一致。此外，霧如不在日照後消散，即成毛毛雨或雨，當日天氣必劣，有下述諺語佐證：

(1)山光翠欲滴，不久雨瀝瀝。

(2)山光濛如霧，連日和煦煦。

(3)晨霧即清，可望天晴。霧收不止，細雨不已。

(4)早霧晴，晚霧陰。

### 3. 霧之持續時數分析

松山與桃園兩地之霧，大都為輻射及平流輻射霧，故其持續時間不長，依68年一至五月之統計如表4：

表4 68年一月至五月松山與桃園霧之持續時數(小時)

Table 4 Persistence hours of fog at Sung Shan and Taoyuan from January to May 1979

| 持續時間<br>(duration) | ≤1    | 2     | 3     | 4     | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11以上 | 合計   |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 松 山                | 6     | 3     | 5     | 3     | 1    | 1    | 0    | 1    | 0    | 1    | 0    | 21   |
| 桃 園                | 3     | 3     | 1     | 2     | 2    | 1    | 1    | 0    | 1    | 0    | 0    | 14   |
| 小 計                | 9     | 6     | 6     | 5     | 3    | 2    | 1    | 1    | 1    | 1    | 0    | 35   |
| 百 分 率              | 25.7% | 17.1% | 17.1% | 14.2% | 8.6% | 5.7% | 2.9% | 2.9% | 2.9% | 2.9% | 0%   | 100% |

表4顯示，松山與桃園兩地霧之持續時數以小於或等於1小時者為最多，佔25.7%，而最長者可有10小時，超過6小時以上者合計佔17.3%。

### 4. 風向風速和霧之分析關係

「風」影響霧之生成甚鉅，且與霧之類別有關，輻射霧易被強風吹散，平流霧常受水平風所推移(transportation)。

垂直方向熱量含水份之渦動傳佈，隨風速而迅速增加，當有中等強風時，僅近地面附近空氣冷卻時方能成霧。就風之影響而言，「輻射霧」與「平流霧」有甚大之差別，即使在一典型的有強烈地面輻射之夜間，冷卻率罕能超過每小時 $1^{\circ}\text{C}$ ，再者受冷卻影響之空氣層亦相當淺薄，在另一方面，當空氣平流經冷地面而冷卻時，或因沿斜坡上滑而冷卻時，則冷卻率大且冷卻之空氣層亦厚，故輻射霧對於風速至為敏感，而其他霧在相當大之風速下仍能存在而可能不消失。

通常擾亂乃受溫度遞減率支配，而非受風速左右，此所以平流輻射霧之發生於高壓楔時，往往面積廣大而持久，如在中國大陸長江中游及華南中部，一年內有霧20—30日，漢口28日，蕪湖25日，而

東北僅10—20日，內蒙古不過5日。松山之霧日較桃園為多，風速較小可能為重要因素之一(參考表1)。

另一方面，平流霧如冷卻率甚大則能承受相當大之擾動而不消散。平流霧乃當暖空氣穿越冷區而成，故其生成必需有風幫助。在海上之霧，因溫度日變化很小，對霧之生成無重要性，故除少數之蒸氣霧與濕霧外，大都需藉助風的平流而生霧。

松山與桃園68年一至五月成霧時，風力大都很小，平均在3級風以下，故形成平流輻射霧較多，很少單純之平流霧發生。至於風向，因為形成霧時風力都不大，故風向大都不穩定，顯示霧之發生與風向無太大之關係。

### 5. 雲量與霧之統計分析

雲量與霧之關係頗大，若能以天氣圖預測當夜之雲量(一般可以 $\frac{5}{10}$ 以下之雲量定為輻射夜)，對於「輻射冷卻率」(radiation cooling rate)之估計便可求得，進而可預報次日是否有霧生成。晴朗無雲之夜或多雲時，常有輻射霧之生成，否則必須藉助平流作用使暖濕空氣經陸地。松山與桃園兩地在冬春間，由於受東北季風影響，雲幕(

ceiling) 較低，故在有霧時並非都屬碧空，此點可作為吾人預報之參考。

#### 6. 能見度與霧之關係

能見度在 100 公尺以下時，其霧層深厚，行車駕駛最為危險，68 年一月至五月能見度在 100 公尺以下者，發生在松山 5 次，桃園 3 次，高速公路元月 5 日在汐止段之車禍即為濃霧所致。

#### 7. 霧之分類統計

表 5 松山與桃園兩站 68 年一月至五月霧之分類  
Table 5 Types of fog at Sung Shan and Taoyuan from January to May 1979

| 分類<br>地區 | 輻射霧  | 平流<br>輻射霧 | 鋒面霧   |       |       |
|----------|------|-----------|-------|-------|-------|
|          |      |           | 鋒前霧   | 鋒際霧   | 鋒後霧   |
| 松 山      | 1    | 6         | 10    |       |       |
|          |      |           | 5     | 2     | 3     |
| 桃 園      | 0    | 8         | 6     |       |       |
|          |      |           | 1     | 2     | 3     |
| 合 計      | 1    | 14        | 16    |       |       |
|          |      |           | 6     | 4     | 6     |
| 百分率      | 3.2% | 45.1%     | 51.7% |       |       |
|          |      |           | 19.4% | 12.9% | 19.4% |

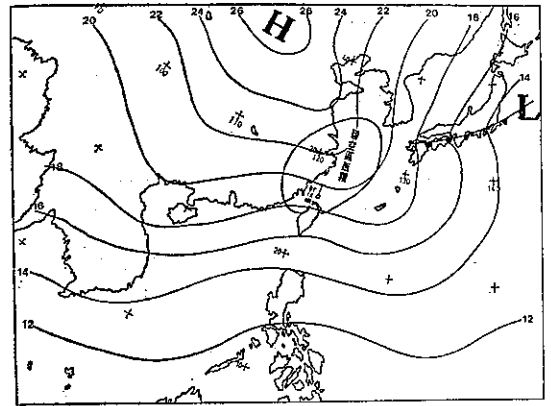
表 5 所列之平流輻射霧，平流作用只佔一小部份，主要以輻射作用為主。有時霧之分類難以細分，大體受地形效用和東北季風影響，純輻射或平流霧很少。而其中鋒面霧佔 51.7%，顯見鋒面之蒞臨前後應注意霧之發生與預報。

### 五、松山與桃園典型霧之個案分析

#### (一) 典型之輻射霧 (68 年元月 5 日發生在松山)

68 年元月 5 日松山自深夜 00 時起即開始有 (能見度小於 1000 公尺) 霧，至上午 10 時日出後霧才消散，總時數 10 小時，為歷年來所罕見，且因此導致松山機場關閉，並在高速公路基隆汐止段發生三起撞車事件，為全國各界所矚目。僅將當時發生霧之天氣條件分析如下：

1. 自天氣圖上得知，4 日上午正有一不活躍冷鋒伴隨大陸冷氣團迅速自華北向華東移動，此冷氣團帶來新鮮乾燥冷氣空氣聚集盆地內，此時空氣層穩定。



圖三 68 年 1 月 5 日 5 時地面天氣圖  
Flig. 3 Surface chart at 21Z January 4, 1979

2. 4 日上午北部下過陣雨，入夜後碧空無雲，造成有利於地面輻射冷卻之條件，估計自 4 日下午 4 時至夜間 10 時溫度由 18°C 降至 12°C，在 7 小時內下降 6°C，輻射冷卻率高達 0.857°C/hr。

3. 自 4 日 14 時後，北部風力漸減弱，只達 2 級以下，而於 21 時起風更弱，為形成霧之有利條件。

4. 空氣層極為穩定，由 4 日 20 時臺北測站之探空資料可知，蕭氏 (Showalter) 指數為 16.1，K 指數為 -14.9，總指數 (Total Index) 為 29.2，均屬極穩定。

5. 4 日 20 時臺北測站之逆溫層在 920-840mb 之間，顯示有逆溫情況發生，霧更易生成。

6. 溫度與露點之差 (T-Td) 於霧形成後為 1°C，接近飽和，至 5 日 3 時則完全飽和，能見度也更劣。

由以上六點因素，再參看圖三，位於大陸東南沿海地區盡屬碧空，但卻無霧形成，顯知本次之濃霧純為地面輻射冷卻的結果，故稱為典型之輻射霧。

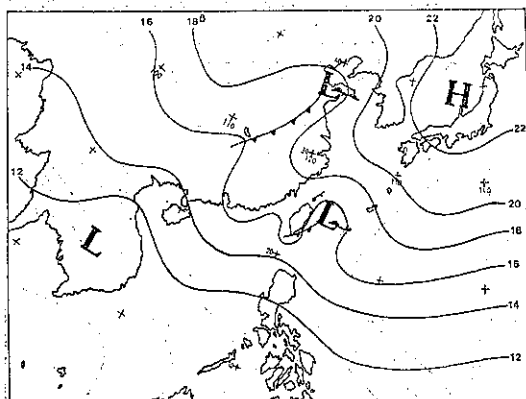
#### (二) 典型之鋒際霧 (68 年元月 9 日發生在松山與桃園及 74 年 3 月 8 日發生在桃園)

1. 68 年元月 9 日松山與桃園兩地均於清晨有霧之發生，前者僅在 2 時及 7 時各持續在一小時以內，後者從 8 日 23 時開始持續至 9 日上午 9 時，共計十一小時 (見表 6)。松山在 9 日 3 至 5 時、8 時均有下雨；而桃園在 8 日 19 時、20 時亦曾下毛毛雨及雨。此次之霧大致由下列原因而發生：(參閱圖四 a)

表 6 松山與桃園68年1月8日及9日逐時天氣狀況表

Table 6 List of hourly weather conditions at Sung Shan and Taoyuan on January 8 and 9, 1979

| 地區 | 日期<br>氣象要素  | 8 日    |        |        |        |       |    |    |       |       |    |     |       | 9 日 |       |       |       |       |       |     |        |       |       |       |       |       |  |
|----|-------------|--------|--------|--------|--------|-------|----|----|-------|-------|----|-----|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
|    |             | 14     | 15     | 16     | 17     | 18    | 19 | 20 | 21    | 22    | 23 | 24  | 1     | 2   | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8   | 9      | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    |  |
| 松山 | 溫度 (°C)     | 23     | 23     | 22     | 20     | 20    | 19 | 19 | 18    | 18    | 18 | 18  | 18    | 18  | 18    | 18    | 19    | 18    | 18    | 18  | 20     | 21    | 22    | 22    | 22    | 22    |  |
|    | 露點 (°C)     | 17     | 18     | 17     | 17     | 16    | 16 | 16 | 16    | 16    | 16 | 16  | 16    | 16  | 17    | 18    | 17    | 17    | 17    | 17  | 18     | 18    | 18    | 18    | 18    |       |  |
|    | 風向/風速 (度/節) | C      | 260/3  | 070/3  | 270/4  | C     | C  | C  | 280/3 | 210/6 | C  | C   | 070/2 | C   | 080/3 | 090/5 | 210/7 | C     | 260/2 | C   | 100/10 | 020/8 | 090/7 | 060/5 | 090/2 | 080/6 |  |
|    | 雲量 (N)      | ☉      | ☉      | ☉      | ☉      | ☉     | ☉  | ☉  | ☉     | ☉     | ☉  | ☉   | ☉     | ☉   | ☉     | ☉     | ☉     | ☉     | ☉     | ☉   | ☉      | ☉     | ☉     | ☉     | ☉     |       |  |
|    | 天氣 (W)      |        |        |        |        |       |    |    |       |       |    |     |       | ☉   | ☉     | ☉     | ☉     | ☉     | ☉     | ☉   | ☉      | ☉     | ☉     | ☉     | ☉     |       |  |
|    | 能見度 (公尺)    |        |        |        |        |       |    |    |       |       |    |     | 1000  |     |       |       |       | 1000  |       |     |        |       |       |       |       |       |  |
| 桃園 | 溫度 (°C)     | 20     | 20     | 19     | 19     | 18    | 18 | 17 | 17    | 17    | 17 | 17  | 17    | 17  | 16    | 16    | 16    | 16    | 17    | 17  | 18     | 19    | 20    | 21    | 21    | 22    |  |
|    | 露點 (°C)     | 17     | 16     | 16     | 16     | 16    | 16 | 16 | 16    | 16    | 16 | 16  | 16    | 15  | 16    | 15    | 15    | 15    | 16    | 16  | 19     | 19    | 19    | 19    | 19    |       |  |
|    | 風向/風速 (度/節) | 220/12 | 030/14 | 040/10 | 040/10 | 020/6 | C  | C  | C     | C     | C  | C   | C     | C   | C     | C     | 缺     | 170/2 | C     | C   | C      | 290/4 | 260/6 | 270/4 | 240/2 | 210/2 |  |
|    | 雲量 (N)      | ☉      | ☉      | ☉      | ☉      | ☉     | ☉  | 缺  | ☉     | ☉     | ☉  | ☉   | ☉     | ☉   | ☉     | ☉     | 缺     | ☉     | ☉     | ☉   | ☉      | ☉     | ☉     | ☉     | ☉     |       |  |
|    | 天氣 (W)      |        |        |        |        |       | ☉  | ☉  |       |       |    |     |       | ☉   | ☉     | ☉     | ☉     | ☉     | ☉     | ☉   | ☉      | ☉     | ☉     | ☉     | ☉     |       |  |
|    | 能見度 (公尺)    |        |        |        |        |       |    |    |       |       |    | 800 | 800   | 800 | 800   | 800   | 800   | 800   | 800   | 800 | 800    |       |       |       |       |       |  |



圖四a 68年1月9日5時地面天氣圖  
Fig. 4a Surface chart at 21z January 8, 1979.

(1)臺灣東方海面有一氣旋波 (cyclone wave) 形成，而850毫巴及700毫巴為西南氣流，更易導

引暖濕空氣進入松山與桃園兩地。

(2)我國東南沿海有一大片霧區，顯示近地層含有豐沛潮濕空氣，大氣層相當穩定。

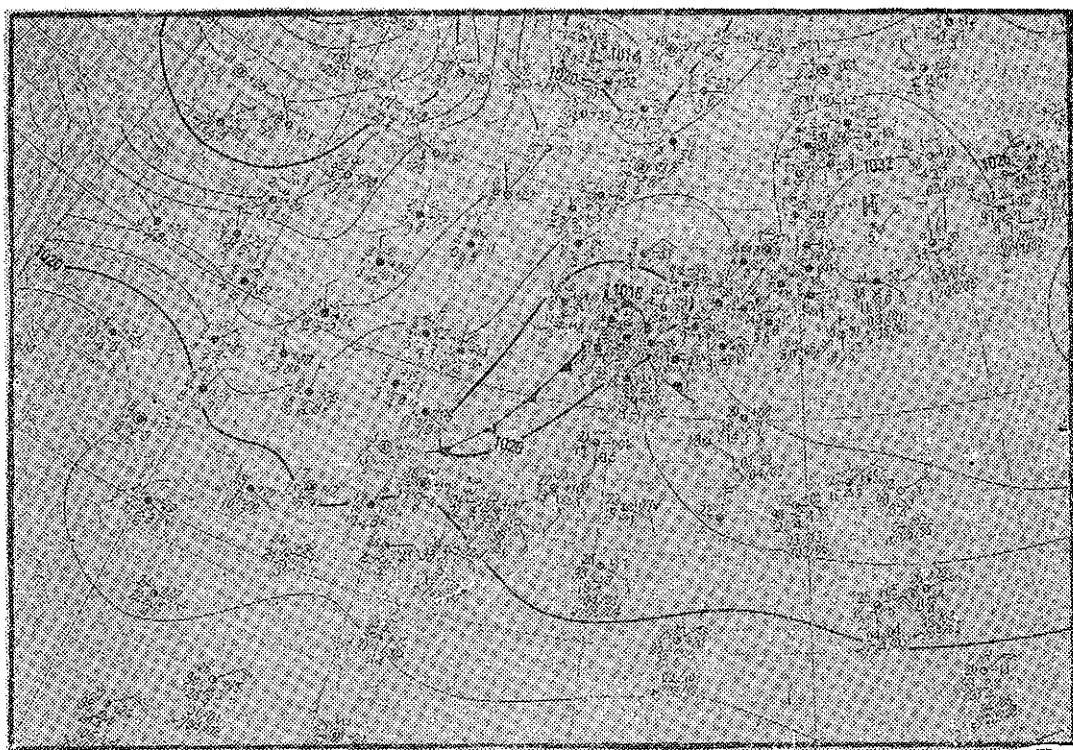
(3)由於雲量多，缺少地面輻射冷卻作用，故此形成之霧以平流及地形抬舉作用為主。

(4)風力微弱 (小於3級)，使層狀雲易於深及地面，為此次成霧因素之一 (參考表6風向/風速)。

(5)大氣層尚屬穩定，臺北測站8日20時之探空資料顯示，蕭氏指數為9.2，K指數 22.1，總指數 36.4。

(6)逆溫層高度在 940-890mb，顯示高空層尚有逆溫存在。

2.至於74年3月8日桃園所發生之濃霧，其生成之天氣條件 (風力微弱，RH=100%) 與68年元月9日所發生者相同情況，參考圖四b，即可了解。



圖四b 74年3月8日8時地面天氣圖  
Fig. 4b Surface chart at 00z March 8, 1985

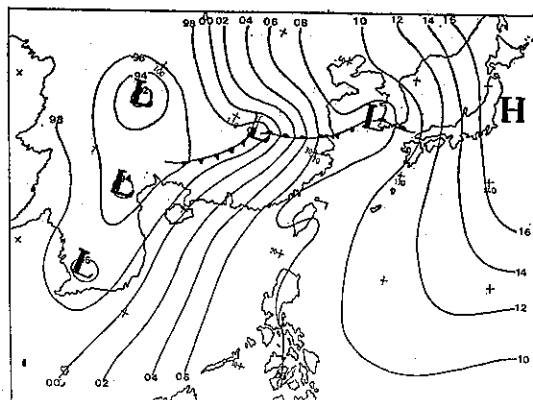
(二)典型之平流輻射霧 (68年2月21日發生在松山與桃園)

68年2月21日在松山與桃園兩地同時有霧發生，其原因分析如下：

1.受大陸冷高壓出海變性增溫作用，而於黃海一帶產生低氣壓兼伴有鋒面，使東南沿海西南氣流盛行，前一天暖濕空氣輸入台灣北部 (平流) 下，夜晚輻射冷卻，霧即很容易生成 (當然松山與桃園

兩地之風力不致過大)。(參閱圖五)

2. 2月20日入夜後, 19時起風力轉小, 雲量減少, 助長地面之輻射冷卻(參考表7)。



圖五 68年2月21日5時地面天氣圖

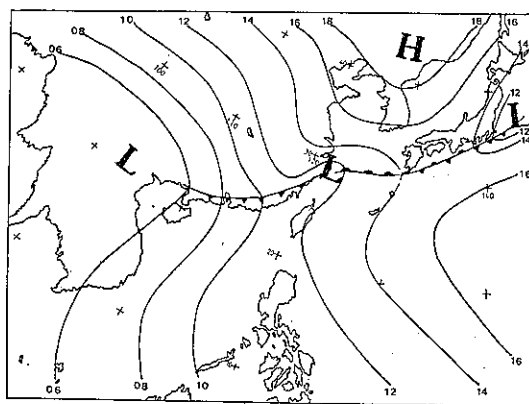
Fig. 5 Surface chart at 21z February 20, 1979.

(四) 典型之鋒前霧 (68年3月8日、9日、10日發生在松山與桃園及74年3月1日、7日發生在桃園中正機場)

此種鋒前霧分別發生於68年3月8日、9日及10日三天及74年3月1日、7日二天, 後者且造成

3. 受偏南氣流及台灣海峽兩側地形抬舉作用, 霧加濃, 由東南沿海之大霧區可見一斑。

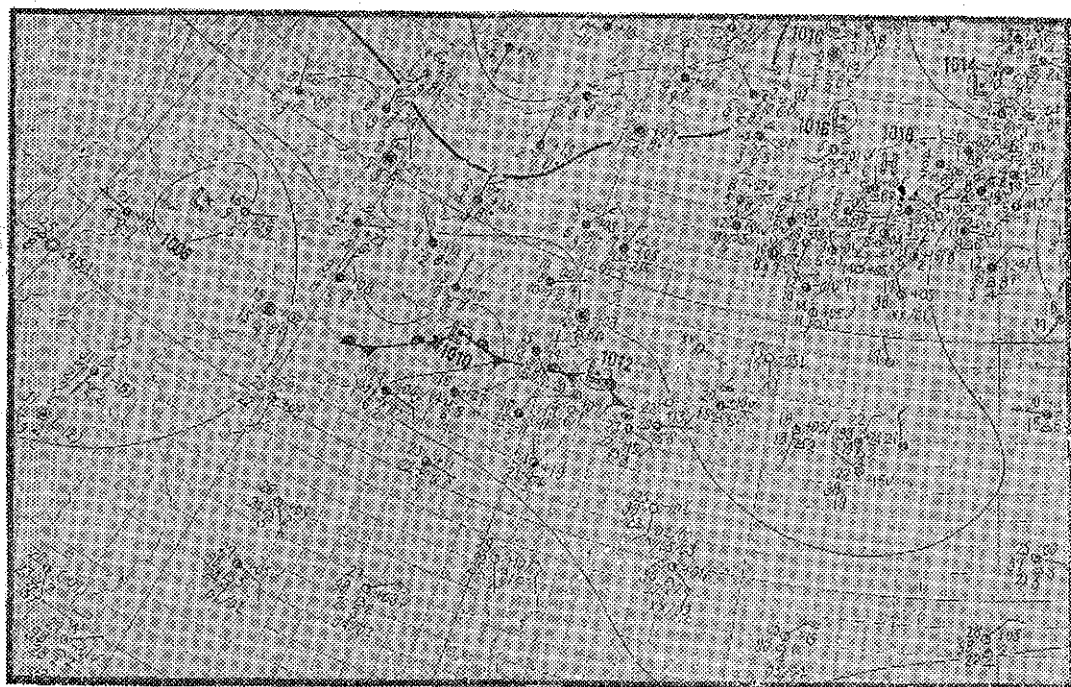
此種平流輻射霧在台灣最常見。



圖六 68年3月8日23時地面天氣圖

Fig. 6 Surface chart at 15z March 8, 1979.

中正機場關閉, 飛機改降松山及高雄小港機場, 使航空公司損失不小之事件。當鋒面徘徊於東海或北部海面附近, 而松山與桃園兩地因暖濕氣流之供輸與冷空氣之激盪, 在風力不大及氣流擾動下, 鋒前霧因而產生。有關鋒面位置詳見圖六、圖七。



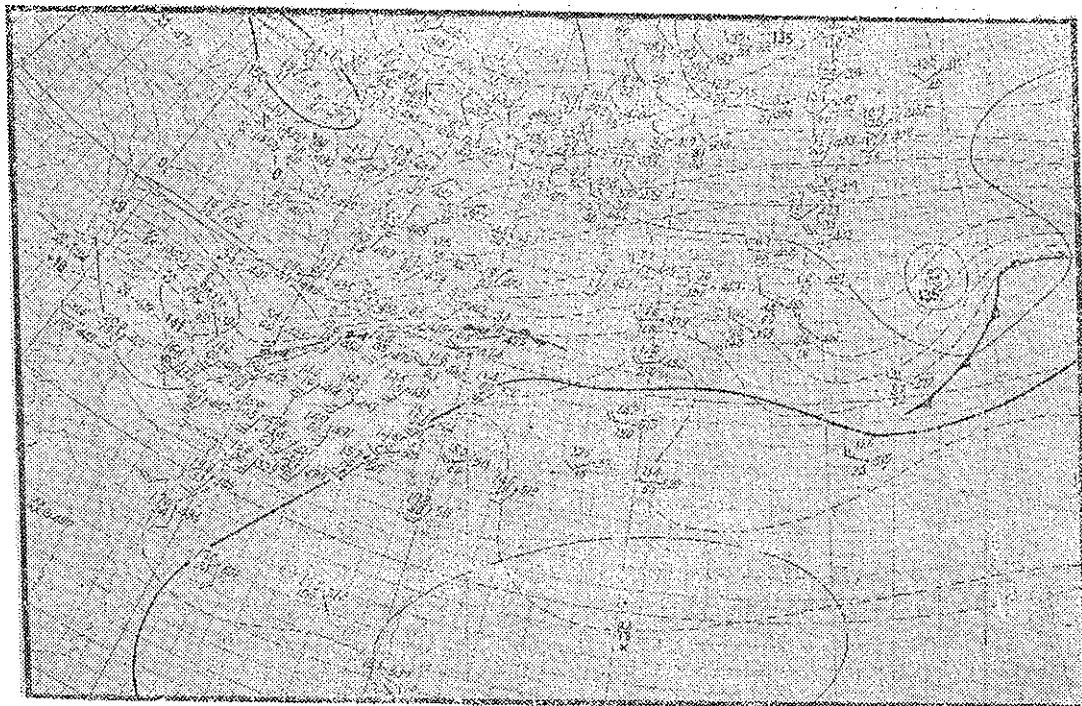
圖七 74年3月1日20時地面天氣圖

Fig. 7 Surface chart at 12z March 1, 1985.

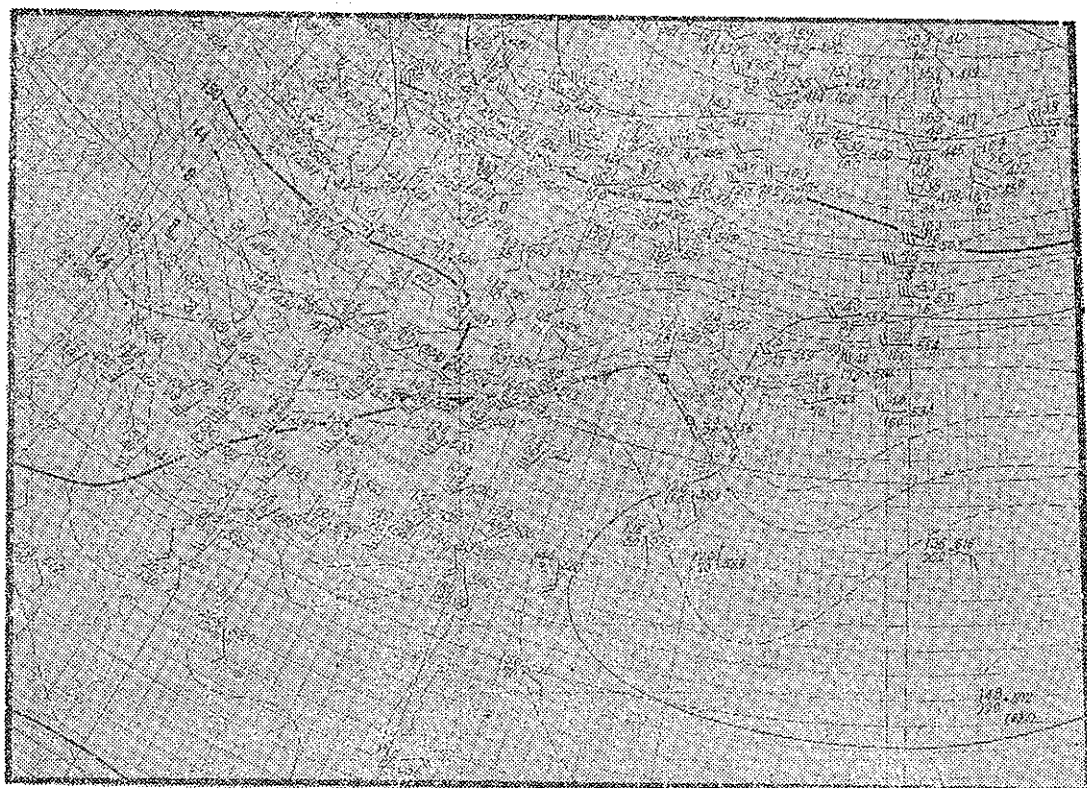
表 7 松山與桃園68年2月20日及21日逐時天氣狀況表

Table 7 List of hourly weather conditions at Sung Shan and Taoyuan on February 20 and 21, 1979

| 地<br>區 | 日<br>期<br>時<br>象<br>要<br>素 | 20<br>日 |       |       |       |       |       |       |       |       |    |    | 21<br>日 |    |    |     |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------|----------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|----|---------|----|----|-----|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        |                            | 14      | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    | 21    | 22    | 23 | 24 | 1       | 2  | 3  | 4   | 5     | 6    | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    |
| 松<br>山 | 溫<br>度<br>(°C)             | 24      | 24    | 23    | 22    | 21    | 21    | 19    | 19    | 18    | 18 | 18 | 18      | 17 | 17 | 16  | 16    | 16   | 17    | 18    | 21    | 23    | 25    | 27    | 27    | 27    |
|        | 露<br>點<br>(°C)             | 18      | 18    | 19    | 18    | 18    | 18    | 17    | 17    | 17    | 17 | 17 | 17      | 16 | 16 | 15  | 16    | 16   | 16    | 16    | 17    | 19    | 18    | 18    | 18    | 19    |
|        | 風向/風速<br>(度/節)             | 300/4   | 290/4 | 080/4 | 090/6 | 070/4 | C     | C     | C     | 020/2 | C  | C  | C       | C  | C  | C   | C     | C    | C     | 230/4 | 140/2 | C     | 160/2 | 130/2 | 310/4 | 300/4 |
|        | 雲<br>量<br>(N)              | ☉       | ☉     | ☉     | ☉     | ☉     | ☉     | ☉     | ☉     | ☉     | ☉  | ☉  | ☉       | ☉  | ☉  | ☉   | ⊗     | ☉    | ☉     | ○     | ☉     | ○     | ☉     | ☉     | ☉     | ☉     |
|        | 天<br>氣<br>(W)              |         |       |       |       |       |       |       |       |       |    |    |         |    |    |     | ≡     | ≡    | ≡     | ≡     |       |       |       |       |       |       |
|        | 能見度<br>(公尺)                |         |       |       |       |       |       |       |       |       |    |    |         |    |    | 800 | 100   | 500  | 600   |       |       |       |       |       |       |       |
| 桃<br>園 | 溫<br>度<br>(°C)             | 22      | 22    | 21    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20 | 20 | 20      | 20 | 19 | 19  | 18    | 17   | 17    | 18    | 19    | 23    | 24    |       |       |       |
|        | 露<br>點<br>(°C)             | 19      | 19    | 19    | 18    | 18    | 19    | 18    | 19    | 19    | 19 | 19 | 19      | 19 | 19 | 18  | 18    | 17   | 17    | 17    | 17    | 18    | 18    |       |       |       |
|        | 風向/風速<br>(度/節)             | 340/8   | 300/8 | 340/6 | 340/6 | 340/4 | 020/1 | 040/2 | 210/2 | C     | C  | C  | C       | C  | C  | C   | 180/5 | C    | 170/2 | 170/6 | 180/4 | 190/4 | 190/4 |       |       |       |
|        | 雲<br>量<br>(N)              | ☉       | ☉     | ☉     | ☉     | ☉     | ☉     | ☉     | ☉     | ⊕     | ⊕  | ⊕  | ⊕       | ⊕  | ☉  | ☉   | ☉     | ⊗    | ⊗     | 缺     | ☉     | ☉     | ☉     |       |       |       |
|        | 天<br>氣<br>(W)              |         |       |       |       |       |       |       |       |       |    |    |         |    |    |     |       | ≡    | ≡     | ≡     |       |       |       |       |       |       |
|        | 能見度<br>(公尺)                |         |       |       |       |       |       |       |       |       |    |    |         |    |    |     |       | 1000 | 100   | 1000  |       |       |       |       |       |       |



圖八a 74年3月1日8時850毫巴高空圖  
Fig. 8a 850mb chart at 00z March 1, 1985



圖八b 74年3月7日20時850毫巴高空圖  
Fig. 8b 850mb chart at 12z March 7, 1985



此種鋒前霧在下列情況下最易發生：

1. 冬春之交，大陸性冷氣團逐漸勢微，而南方海洋性暖氣團逐漸勢強，每易在對峙情況下產生滯留鋒，而鋒前為形成霧之有利區域。

2. 暖空氣自南方向北推進，每具有平流特性，以挾帶大量潮濕空氣（參考圖八a 及八b 74年3月1日及7日850毫巴圖）使東南沿海一帶發生濃霧。而松山、桃園兩地因地形抬舉作用，在其他條件

配合下（如渦動混合、冷卻作用），霧因而更易產生。

3. 這段期間兩地白天常吹北風或西北風，冷空氣易於流入臺北盆地或桃園一帶，而在夜間大都為微風，且天空雲量少，有利輻射冷卻作用，故霧即形成（參考表8、表9）。

4. 近地層之深厚逆溫層（圖九），常導致（濃）霧之不易消失，使機場關閉時間延長。

表8 74年3月1日中正機場測站天氣資料表

Table 8 List of weather data at CKS  
on March 1, 1985

| 時間<br>(L) | 能見度<br>(公尺) | 風向風速<br>(度/節) | 溫度/露點<br>(°C) | 天氣    | 雲量 |
|-----------|-------------|---------------|---------------|-------|----|
| 01        | 1600        | 070/6         | 16/16         | ,     | 8  |
| 02        | 2000        | 050/6         | 16/16         | ,     | 8  |
| 03        | 2200        | 060/7         | 16/16         | ,     | 8  |
| 04        | 2200        | 060/4         | 16/16         | ,     | 8  |
| 05        | 3000        | 050/4         | 17/16         | ,     | 8  |
| 06        | 2500        | 050/4         | 16/16         | =     | 8  |
| 07        | 1600        | 070/2         | 16/16         | =     | 7  |
| 08        | 4500        | 040/6         | 18/17         | =     | 3  |
| 09        | 8000        | 040/6         | 20/18         | =     | 3  |
| 10        | 9999        | 020/6         | 21/18         |       | 1  |
| 11        | 9999        | 350/5         | 21/18         |       | 1  |
| 12        | 9999        | 360/6         | 22/18         |       | 1  |
| 13        | 9999        | 360/6         | 22/19         |       | 2  |
| 14        | 5000        | 320/7         | 21/18         | smoke | 6  |
| 15        | 4000        | 310/8         | 18/17         | =     | 8  |
| 16        | 1600        | 280/4         | 17/16         | =     | 8  |
| 17        | 1200        | 220/5         | 17/17         | =     | 8  |
| 18        | 1200        | 220/4         | 17/17         | =     | 8  |
| 19        | 0500        | 290/7         | 16/16         | ≡     | 8  |
| 20        | 0400        | 290/4         | 16/16         | ≡     | 8  |
| 21        | 0400        | 320/7         | 16/16         | ≡     | 8  |
| 22        | 0400        | 320/6         | 16/16         | ,     | 8  |
| 23        | 0500        | 330/3         | 15/15         | ,     | 8  |
| 24        | 0500        |               | 15/15         | ,     | 8  |

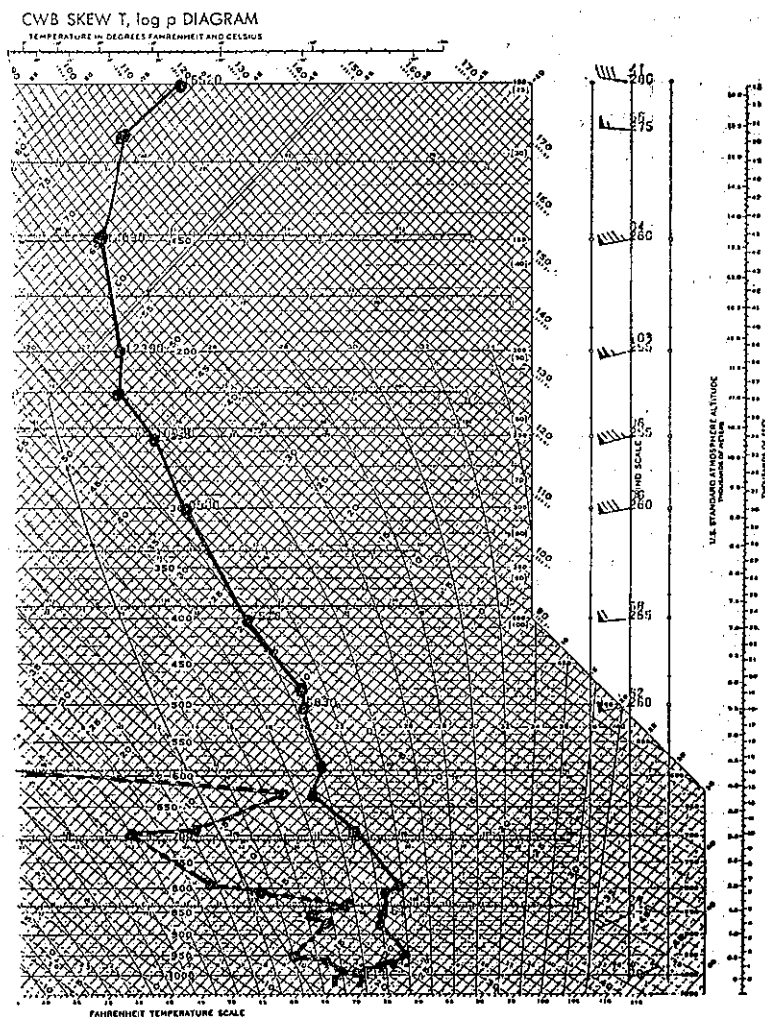
表9 74年3月1日桃園測站天氣資料表

Table 9 List of weather data at Taoyuan  
on March 1, 1985

| 時間<br>(L) | 能見度<br>(公尺) | 風向風速<br>(度/節) | 溫度/露點<br>(°C) | 天氣 | 雲量 |
|-----------|-------------|---------------|---------------|----|----|
| 01        | 1200        | 030/6         | 16/16         | ,  | 8  |
| 02        | 1200        | 030/4         | 16/16         | ,  | 8  |
| 03        | 1200        | 040/3         | 16/16         | ,  | 8  |
| 04        | 1500        | 040/6         | 16/16         | ,  | 8  |
| 05        | 1200        | 030/4         | 16/16         | ,  | 8  |
| 06        | 1200        | 020/6         | 16/16         | ,  | 8  |
| 07        | 1200        | C             | 16/16         | =  | 7  |
| 08        | 4800        | 030/4         | 17/17         | =  | 3  |
| 09        | 9000        | 020/6         | 19/19         | =  | 2  |
| 10        | 9999        | 350/4         | 20/19         |    | 2  |
| 11        | 9999        | 360/6         | 20/19         |    | 1  |
| 12        | 9999        | 320/6         | 21/20         |    | 1  |
| 13        | 9999        | 340/6         | 21/19         |    | 2  |
| 14        | 9999        | 320/6         | 20/19         |    | 5  |
| 15        | 4000        | 310/8         | 18/17         | =  | 8  |
| 16        | 1200        | 360/4         | 17/16         | =  | 8  |
| 17        | 1400        | 230/5         | 16/16         | =  | 8  |
| 18        | 1200        | 220/4         | 17/17         | =  | 8  |
| 19        | 800         | 290/4         | 17/17         | ≡  | 8  |
| 20        | 200         | C             | 17/16         | ≡  | 9  |
| 21        | 100         | 330/5         | 16/16         | ≡  | 9  |
| 22        | 100         | 320/5         | 16/16         | ≡  | 9  |
| 23        | 100         | 330/2         | 16/16         | ,  | 9  |
| 24        | 100         | 330/1         | 15/14         | ,  | 9  |

〔註：①19~24時機場開始有濃霧與毛毛雨能見度惡劣，機場全部關閉。②9999指能見度超過10公里。〕





圖九 74年3月1日20時臺北測站探空圖中顯示低層有極強逆溫層存在

Fig. 9. SKEW T, log P Diagram for Taipei at 12z March 1, 1985. It shows a strong inversion at the boundary layer.

## 六、松山與桃園兩地霧形成之客觀預報

(一)客觀預報方法介紹：

客觀預報方法之先決條件在於應用氣象參數去做客觀性之分析和預報，其選用之參數因霧之種類而異。一般常用之氣象參數如下：

- 1.溫度(T)
- 2.露點(Td)
- 3.溫度露點差 (T-Td)——代表空氣中含水汽之飽和程度。
- 4.預測夜間雲量——代表預期輻射冷卻率，可

使用霧形成前一日12z之雲量。

5.風速——代表氣壓梯度之風力，可使用當日下午5時之風速，因它已摒除海陸風之效應。

6.逆溫層高度——代表混合層可以到達之高度。

7.K指數或總指數——代表空氣層之垂直穩定度。

$$K \text{ 指數} = (T_{850} - T_{500}) + Td_{850} - (T_{700} - Td_{700})$$

$$\text{總指數} = (T_{850} - T_{500}) + (Td_{850} - T_{500})$$

$T_{850}$ : 850mb溫度

$Td_{850}$ : 850mb露點溫度

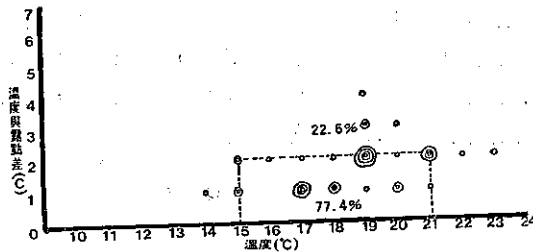
餘類推。

8.相對濕度——代表空氣之飽和程度。

(二)客觀預報嘗試 (以68年一至五月資料)

1.利用溫度(T)與溫度露點差(T-Td)作相關預測圖(見圖十)，選用時間以形成霧之前夜12z資料為準。

(1)預測圖



圖十 松山與桃園霧之客觀預測圖 (○表示次數)

由圖十顯示，成霧前日 12Z 之溫度為 15° 至 21°C，溫度與露點差在 1°~2°C時，霧可能發生之百分率為77.4%。

1.預報準確率之校驗

爲了驗證本法之準確性，特以67年一月至五月之抽樣資料共36次做校驗，其準確率如下：

| 實<br>際 |   | 預<br>報 |        |       |
|--------|---|--------|--------|-------|
|        |   | 有      | 無      | 計     |
|        | 有 | 6(R1)  | 5      | 11    |
|        | 無 | 3      | 22(R2) | 25    |
|        | 計 | 9(C1)  | 27(C2) | 36(T) |

$$\text{準確率} = F/T = R1 + R2/T = 28/36 = 77.7\%$$

F：預報正確之總次數

T：校驗之總次數

C1：預報有霧發生之次數

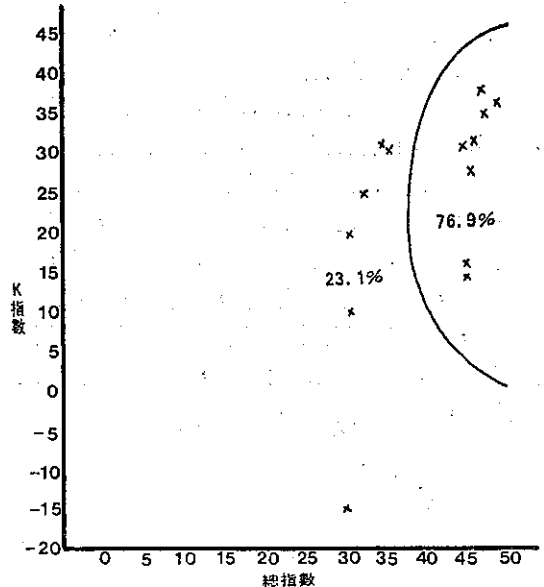
C2：預報無霧發生之次數

R1：實際有霧發生之次數

R2：實際無霧發生之次數

2.以K指數與總指數作相關預測圖(見圖十一)，其選用時間以成霧前夜12Z之探空資料為準。

(1)預測圖 (選用鋒面霧時之資料)



圖十一 以K指數與總指數所作之松山與桃園霧之客觀預測圖

由圖十一顯示，當K指數為15~35，總指數為35~50時，次日霧發生之百分率為76.9%。

2.預報考核校驗 (以67年一至五月資料)：

| 實<br>際 |   | 預<br>報 |    |    |
|--------|---|--------|----|----|
|        |   | 有      | 無  | 計  |
|        | 有 | 3      | 4  | 7  |
|        | 無 | 3      | 6  | 9  |
|        | 計 | 6      | 10 | 16 |

$$\text{準確率} = F/T = R1 + R2/T = 9/16 = 56.3\%$$

本法之準確率較低，可能因受到資料限制，故實用價值較差。

## 七、結 論

本研究係先就霧形成原因給予有系統之分類與闡述。並以68年及74年松山與桃園兩地之實際天氣狀況統計分析，以進一步探究霧形成之氣象條件。

就學理而言，霧之形成基本要素爲：(一)要有足夠有效的地面輻射使溫度易於降至露點，(二)要有微弱之風使飽和層能有足夠的厚度，(三)要有相當高之

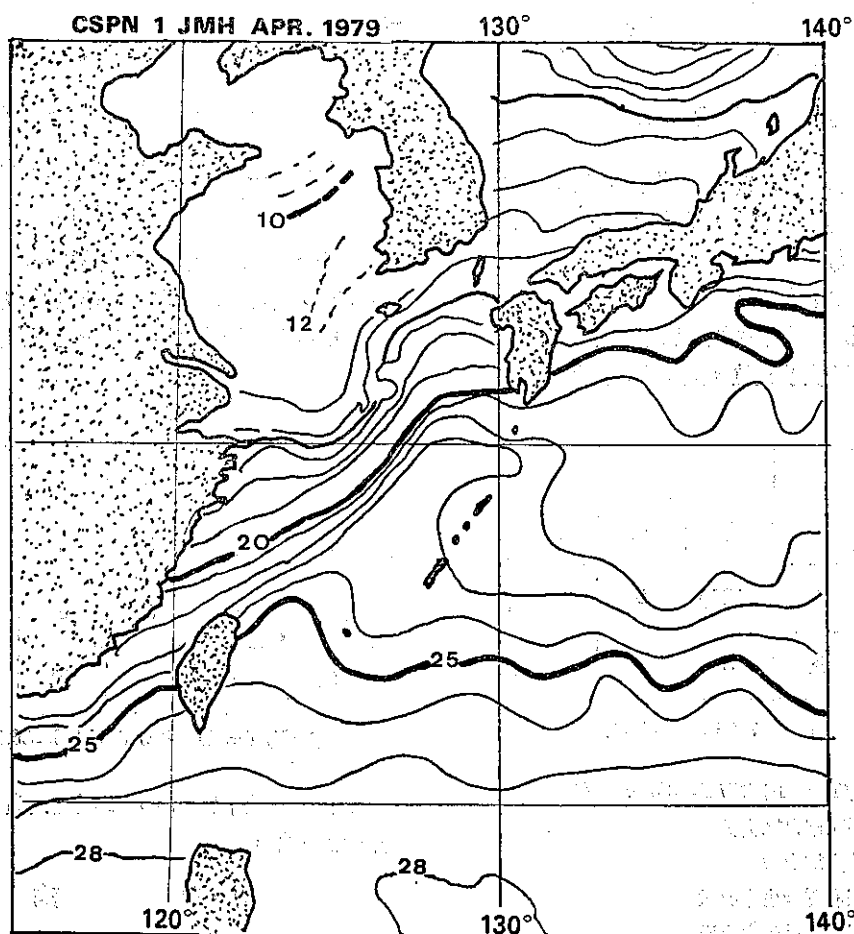
相對濕度，倘空氣中須有足夠懸浮固體質點（此點通常不成問題）。

從68年一月至五月之統計表看，松山與桃園發生之霧以鋒面霧最多，佔51.7%，平流輻射霧次之，佔45.1%，而純輻射霧僅3.2%（因本省非屬大陸廣闊陸塊平地，地形複雜為其發生較少之主因）。

至於霧之出現時刻以05—07時為最多，蓋此時輻射冷卻最烈。而在日照增強後，約08—09時，霧開始消散。持續10小時以上者，68年在一月5日發生一次，使松山機場關閉並在高速公路發生三次撞車事件，主要就是因為霧太濃，使得能見度不足100公尺，影響視線至鉅。

就68年一月至五月及74年3月1、7及8日內發生之四種主要典型霧來看，霧之形成不外與輻射、平流、渦流混合和地形抬舉作用有關，尤其在冬春之交，東北季風由北方帶來新鮮冷空氣，而臺灣海峽又有東北—西南向暖海流（參考圖十二），使冷暖氣流互相平流匯聚，更易產生霧（或低層雲），此亦為「三義」多霧之主因。

最後作者以68年一月至五月資料繪製霧之客觀預報圖兩種；即圖十，以溫度與溫度露點差做成之關係圖，預報準確率可達77.7%，實用價值頗高；而圖十一，以K指數與總指數做成之關係圖，預報準確率僅達56.3%，故實用價值較差。



圖十二 68年4月份東南亞月平均海面溫度 (°C)

Fig. 12 Seasurface temperature of the South East Asia in April of 1979

綜合言之，霧之種類很多，形成因素也各異，但均有其特殊性質，只要我們把握其中主要因素，

不難可予事前預測。尤其在今日科技文明進步神速之下，以人造衛星觀測海面上或陸地上之廣大霧區

(範圍廣大達1000公里以上)已被運用，此對於平流霧或海霧之預測當有裨益。其他若能發展客觀預報法，相信對於霧之預報準確率(尤其地方性霧)更能提高。

## 致 謝

本文承中央氣象局劉淑珍，談惠姝二位小姐幫忙繕稿，方得以順利完成，謹此致謝。

## 參 考 文 獻

- 戚啓勳 (1965) : 氣象學報第二卷三期，聯合氣象預報研究中心。  
交通研究氣象小組——中國之氣候 (1974) : 交通部交通研究所、中央氣象局合印，P. 493。

- 民航局 (1977) : 桃園國際機場飛行天氣預報之研究，P. 97。  
林政宏譯 (1978) : 新航空氣象學(上册)，徐氏基金會，P. 297。  
Byers, H. R., (1959): General Meteorology, 1st ed., McGraw-Hill Co., New York, P. 540.  
Jiusto, J. E., (1981): Fog Structure-Clouds, edited by P. V. Hobbs and A. Deepak, Academic Press, pp. 187~239.  
Petterssen, S., (1958): Introduction to Meteorology 1st ed., McGraw-Hill Co., New York, P. 327.  
Taylor, G. I., (1917): Quart. J. R., Met. & Soc., 43, P. 241.  
Willett, C., (1928): Fog and Haze, MWR, Vol. 56, pp. 435-467

# Analysis and Forecast of Fog Formation at Sung Shan and Taoyuan

*Henry Fu-cheng Liu*

*Wei-min Chiang*

## ABSTRACT

Pragmatically, fog continues to pose serious economic or transportation industry problems and occasional disasters. Several segment of society are affected. Airlines, in particular, are adversely affected by fog, the world's annual loss due to disrupted schedules being estimated at over 100 million dollars. Sung Shan and Taoyuan are two of the important airports in Taiwan.

In this paper, the author try to analyze the weather situations of fog formation in these two sites. There are three types of fog usually occurred at Sung Shan and Taoyuan area, namely, radiation fog, advection-radiation fog and frontal fog. Among them, the frontal fog happen more frequently. The physical mechanisms of fog formation can be reduced four primary processes as follows:

- (i) cooling of air to its dewpoint;
- (ii) addition of water vapor to the air;
- (iii) vertical mixing of moist air parcels of different temperature;
- (iv) adequate cloud condensation nuclei (but not necessary).

Finally, we try to develop two objective forecast diagrams for the usefulness of fog formation prediction. The accuray of the verification for those methods is satisfactory.

# 民國七十三年颱風調查報告\*

## —侵臺(海上)颱風 (8425) 比爾

蔣 為 民<sup>1</sup>

### 一、前 言

比爾 (BILL) 颱風，編號8425 號，是73年度發生於西太平洋上之第25個颱風，也是本局73年度所發佈第七號颱風警報。比爾颱風生命期甚長，計由11月9日00Z至11月20日18Z 共生存了近12天，但其中一度減弱為 T.D. (11月19日12Z起)，而於11月20日 06Z再度增強為颱風強度。本局於11月17日00Z 發佈一次颱風消息，接著於11月17日06Z至18日12Z 間共發佈六次海上颱風警報。比爾颱風之發展及行徑均甚特別，試分析報告於后：

### 二、比爾颱風的生成及發展

十一月初位於關島東方約一千公里的熱帶性低氣壓，經過 48 小時的醞釀後，於 9 日上午 8 時 (00Z) 發展成為輕度颱風，並經美軍關島聯合颱風警報中心 (JTWC) 命名為比爾 (BILL)，編號為8425號。9 日上午 8 時之中心位置在北緯13.9度，東經153.6度，中心氣壓996毫巴，中心附近最大風速每秒18公尺，瞬間最大陣風每秒25公尺。11 日上午 8 時其威力繼續增強為中度颱風，中心位置在北緯14.3度，東經152.7度，中心氣壓990毫巴，中心附近最大風速每秒36公尺。14日上午 8 時比爾再繼續增強為強烈颱風，中心位置在北緯12.8度，東經135.3度，中心氣壓930毫巴，中心附近最大風速達每秒51公尺。計在13日18Z 至14日00Z 之 6 小時間，比爾中心氣壓劇降了35毫巴。其原因之一仍在於此時刻內颱風中心正位於高層輻散區內 (見圖 1)。15日上午 8 時，比爾中心氣壓下降至 905 毫巴，中心最大風速更高達每秒66公尺而成為超級颱風 (Super Typhoon)。隨後比爾強度雖稍見減弱，但中心附近最大風速仍維持在強烈颱風之強度。17日上午 8 時，比爾中心位置在北緯18.1度，東經123.7度，即在恒春東南方約530公里之海面上，中心氣壓 951 毫巴，中心附近最大風速每秒51公尺。

因其可能對臺灣附近海域構成威脅，故本局根據 1700Z 之資料，於17日上午10時15分發佈颱風消息，請臺灣東南部海域作業船隻特別注意此颱風動態。17日下午 2 時比爾中心位置在北緯18.8度，東經123.0度，即在恒春東南方約420公里之海面上。根據當時氣象資料所作綜觀研判，比爾颱風雖不至直接侵襲本省陸地，但預測18日下午其暴風圈將影響臺灣東南部海域，故根據1706Z 之資料，本局於17日下午15時發佈比爾颱風海上颱風警報。18日下午 2 時比爾強度稍減而成為中度颱風。18日20時比爾中心位置在北緯20.5度，東經 123.4 度，即在恒春東南方 320 公里之海面上，其暴風圈已脫離臺灣附近海域，且受葛萊拉颱風牽引作用向東北移動，遠離本省海域 (見圖 2)，故根據1812Z 之資料發佈了解除颱風警報。計本局共對比爾颱風發佈了颱風消息一次、海上颱風警報六次。19日下午 2 時比爾繼續減弱為輕度颱風，而於19日20時更減弱為熱帶性低氣壓。但在20日下午 2 時比爾再度增強為輕度颱風，此時中心位置在北緯15.0度，東經 128.1 度，蓋其在強烈高氣壓梯度南下影響之下，中心位置由北緯20度之高緯又回到了北緯15度之低緯了。(圖 3)

### 三、颱風路徑之分析及討論

比爾颱風於11月9日上午8時形成後，中心位置近似滯留於原地幾近二日 (9日00Z 至10日18Z)。11日發展為中度颱風後，開始沿著高層副熱帶高壓南緣的導引氣流以偏西到西北方向逐漸快速移動 (圖 4)，並接近本省而來。18日凌晨比爾因受北方槽線之導引而呈偏北緩慢移動 (圖 5)。其後更受葛萊拉颱風之牽引作用及北方強烈冷高壓梯度南下之雙重影響而向東南東移動。也由於如此，比爾雖曾貼近臺灣海域 (最近時為1806Z，位在北緯20.4度，東經122.7度，即在恒春東南方260公里)，終未對本省造成任何災害。比爾颱風路徑見圖 6。

\* 收稿日期：74年5月29日 送審日期：74年6月5日 收回日期：74年6月21日。

1. 中央氣象局預報測站主任預報員

表1. 比爾颱風最佳路徑資料表

Table 1. The best track positions of typhoon BILL

| 月  | 日  | 時 (z) | 北緯   | 東經    | 中心<br>氣壓 mb | 最大<br>風速 m/s | 颱風進<br>行方向 | 時 速<br>km/hr | 備註   |
|----|----|-------|------|-------|-------------|--------------|------------|--------------|------|
| 11 | 9  | 00    | 13.9 | 153.6 | 996         | 18           | —          | —            |      |
|    |    | 06    | 14.2 | 153.8 | 996         | 20           | 030        | 6            |      |
|    |    | 12    | 14.2 | 153.8 | 996         | 20           | STNR       | —            |      |
|    |    | 18    | 14.0 | 153.8 | 996         | 23           | "          | —            |      |
| 11 | 10 | 00    | 14.0 | 153.8 | 996         | 26           | "          | —            |      |
|    |    | 06    | 14.2 | 153.8 | 996         | 28           | "          | —            |      |
|    |    | 12    | 14.2 | 153.7 | 996         | 28           | "          | —            |      |
|    |    | 18    | 14.2 | 153.6 | 990         | 28           | "          | —            |      |
| 11 | 11 | 00    | 14.3 | 152.7 | 990         | 36           | 280        | 15           |      |
|    |    | 06    | 14.6 | 152.2 | 990         | 38           | 305        | 10           |      |
|    |    | 12    | 14.3 | 151.4 | 975         | 33           | 250        | 14           |      |
|    |    | 18    | 13.9 | 150.4 | 985         | 33           | 250        | 18           |      |
| 11 | 12 | 00    | 13.6 | 149.2 | 990         | 36           | 255        | 23           |      |
|    |    | 06    | 13.3 | 147.7 | 990         | 38           | 260        | 27           |      |
|    |    | 12    | 12.8 | 146.0 | 980         | 38           | 260        | 32           |      |
|    |    | 18    | 13.0 | 144.1 | 975         | 38           | 275        | 33           |      |
| 11 | 13 | 00    | 13.0 | 142.2 | 970         | 41           | 270        | 33           |      |
|    |    | 06    | 12.9 | 140.5 | 970         | 46           | 265        | 31           |      |
|    |    | 12    | 12.7 | 138.5 | 965         | 46           | 265        | 36           |      |
|    |    | 18    | 12.8 | 137.0 | 965         | 49           | 275        | 27           |      |
| 11 | 14 | 00    | 12.8 | 135.3 | 930         | 51           | 270        | 30           |      |
|    |    | 06    | 13.4 | 134.1 | 930         | 51           | 300        | 25           |      |
|    |    | 12    | 13.7 | 132.3 | 910         | 59           | 270        | 33           |      |
|    |    | 18    | 14.3 | 131.0 | 905         | 59           | 295        | 26           |      |
| 11 | 15 | 00    | 15.0 | 129.6 | 905         | 66           | 300        | 28           |      |
|    |    | 06    | 15.8 | 128.8 | 905         | 61           | 315        | 20           |      |
|    |    | 12    | 16.6 | 127.9 | 905         | 59           | 310        | 20           |      |
|    |    | 18    | 17.0 | 127.4 | 905         | 59           | 310        | 17           |      |
| 11 | 16 | 00    | 17.4 | 126.6 | 935         | 59           | 300        | 15           |      |
|    |    | 06    | 17.6 | 126.0 | 940         | 56           | 290        | 11           |      |
|    |    | 12    | 17.5 | 124.9 | 940         | 46           | 265        | 18           |      |
|    |    | 18    | 17.9 | 124.2 | 951         | 46           | 300        | 14           |      |
| 11 | 17 | 00    | 18.1 | 123.7 | 951         | 51           | 295        | 9            |      |
|    |    | 06    | 18.8 | 123.0 | 951         | 51           | 315        | 16           |      |
|    |    | 12    | 19.4 | 122.7 | 936         | 51           | 335        | 12           |      |
|    |    | 18    | 20.0 | 122.6 | 936         | 51           | 350        | 12           |      |
| 11 | 18 | 00    | 20.2 | 122.6 | 940         | 51           | 360        | 3            |      |
|    |    | 06    | 20.4 | 122.7 | 950         | 45           | 015        | 3            |      |
|    |    | 12    | 20.5 | 123.4 | 960         | 40           | 080        | 12           |      |
|    |    | 18    | 20.5 | 123.6 | 962         | 40           | 090        | 3            |      |
| 11 | 19 | 00    | 19.5 | 124.0 | 985         | 33           | 155        | 18           |      |
|    |    | 06    | 18.2 | 123.7 | 990         | 23           | 190        | 19           |      |
|    |    | 12    | 17.0 | 125.0 | 997         | 15           | 130        | 32           | T.D. |
|    |    | 18    | 16.9 | 125.8 | —           | —            | 100        | 15           | "    |
| 11 | 20 | 00    | 15.8 | 127.2 | —           | —            | 130        | 32           | "    |
|    |    | 06    | 15.0 | 128.1 | 997         | 18           | 130        | 21           |      |
|    |    | 12    | 15.3 | 128.1 | 997         | 23           | 360        | 5            |      |
|    |    | 18    | 15.3 | 128.6 | 997         | 26           | 090        | 8            |      |
| 11 | 21 | 00    | 14.3 | 129.2 | 998         | 15           | —          | —            | T.D. |

表2. 比爾颶風眼飛機偵察定位表

Table 2. Eye-Fixes for Typhoon BILL by aircraft

| 觀測時間 (z) |    |    |    | 中心位置 |       | 定位方法 | 地面最大風速 | 海平面氣壓 |
|----------|----|----|----|------|-------|------|--------|-------|
| 月        | 日  | 時  | 分  | 北緯   | 東經    | 飛機   | kts    | mb    |
| 11       | 8  | 23 | 43 | 13.8 | 153.7 | ✓    | 35     | 999   |
|          | 9  | 05 | 55 | 14.2 | 153.9 | ✓    | 40     | —     |
|          | 9  | 08 | 26 | 14.2 | 153.8 | ✓    | —      | 998   |
|          | 9  | 21 | 02 | 14.3 | 153.9 | ✓    | 50     | 990   |
|          | 9  | 23 | 32 | 14.2 | 153.8 | ✓    | 45     | 990   |
|          | 10 | 20 | 42 | 14.3 | 153.1 | ✓    | 50     | —     |
|          | 10 | 23 | 23 | 14.6 | 152.9 | ✓    | 75     | —     |
|          | 11 | 08 | 32 | 14.3 | 151.8 | ✓    | —      | 993   |
|          | 11 | 10 | 36 | 14.3 | 151.6 | ✓    | —      | 992   |
|          | 11 | 20 | 50 | 13.4 | 149.9 | ✓    | 70     | —     |
|          | 11 | 23 | 31 | 13.4 | 149.1 | ✓    | —      | 991   |
|          | 12 | 12 | 13 | 12.7 | 146.0 | ✓    | —      | —     |
|          | 12 | 16 | 41 | 13.0 | 144.6 | ✓    | —      | 973   |
|          | 12 | 23 | 00 | 12.8 | 142.5 | ✓    | —      | 969   |
|          | 13 | 07 | 41 | 12.7 | 139.7 | ✓    | —      | 967   |
|          | 13 | 10 | 19 | 12.5 | 138.9 | ✓    | —      | 966   |
|          | 13 | 20 | 38 | 12.6 | 136.2 | ✓    | —      | —     |
|          | 13 | 23 | 12 | 12.8 | 135.7 | ✓    | 100    | 932   |
|          | 14 | 08 | 31 | 13.4 | 133.2 | ✓    | —      | 913   |
|          | 14 | 11 | 03 | 13.6 | 132.5 | ✓    | —      | —     |
|          | 14 | 20 | 30 | 14.5 | 130.3 | ✓    | —      | —     |
|          | 14 | 22 | 23 | 14.0 | 129.6 | ✓    | —      | —     |
|          | 15 | 08 | 38 | 16.2 | 128.3 | ✓    | 80     | 937   |
|          | 15 | 11 | 10 | 16.5 | 127.9 | ✓    | —      | 939   |
|          | 15 | 20 | 30 | 17.2 | 126.9 | ✓    | —      | 941   |
|          | 15 | 23 | 04 | 17.2 | 126.6 | ✓    | 125    | 941   |
|          | 16 | 08 | 35 | 17.4 | 125.4 | ✓    | 80     | —     |
|          | 16 | 11 | 37 | 17.5 | 124.9 | ✓    | —      | 951   |
|          | 16 | 20 | 30 | 17.9 | 123.9 | ✓    | —      | —     |
|          | 16 | 23 | 06 | 18.0 | 123.6 | ✓    | 110    | 951   |
|          | 17 | 05 | 43 | 18.8 | 123.0 | ✓    | —      | 936   |
|          | 17 | 08 | 28 | 18.9 | 122.9 | ✓    | 90     | 936   |
|          | 17 | 23 | 43 | 20.1 | 122.6 | ✓    | 80     | 953   |
|          | 18 | 08 | 42 | 20.3 | 123.1 | ✓    | 90     | 962   |
|          | 18 | 20 | 45 | 20.0 | 123.5 | ✓    | —      | —     |
|          | 18 | 23 | 26 | 19.4 | 123.7 | ✓    | 50     | 987   |
|          | 19 | 11 | 30 | 16.9 | 125.6 | ✓    | —      | 997   |
|          | 20 | 02 | 05 | 15.3 | 127.3 | ✓    | —      | 999   |
|          | 20 | 21 | 17 | 15.7 | 128.8 | ✓    | —      | —     |
|          | 20 | 23 | 25 | 14.4 | 129.1 | ✓    | —      | —     |

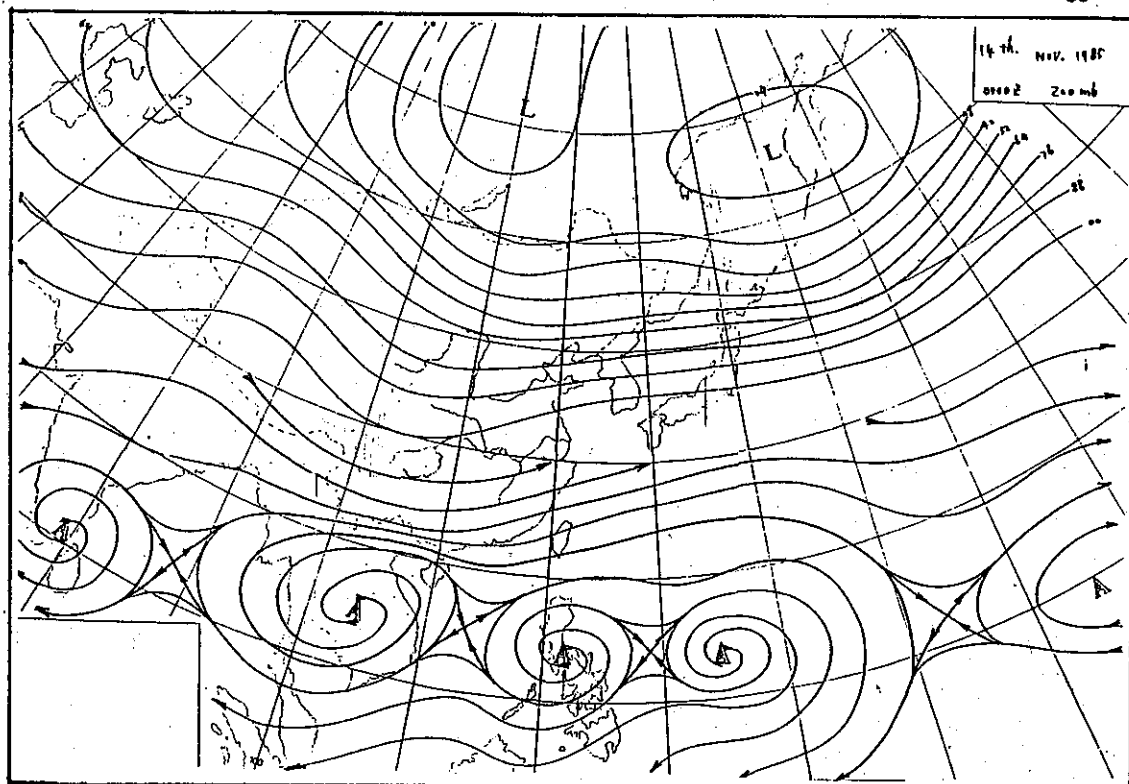


圖1 11月14日 000Z 200mb  
Fig. 1. 200mb chart at 140000Z Nov. 1984

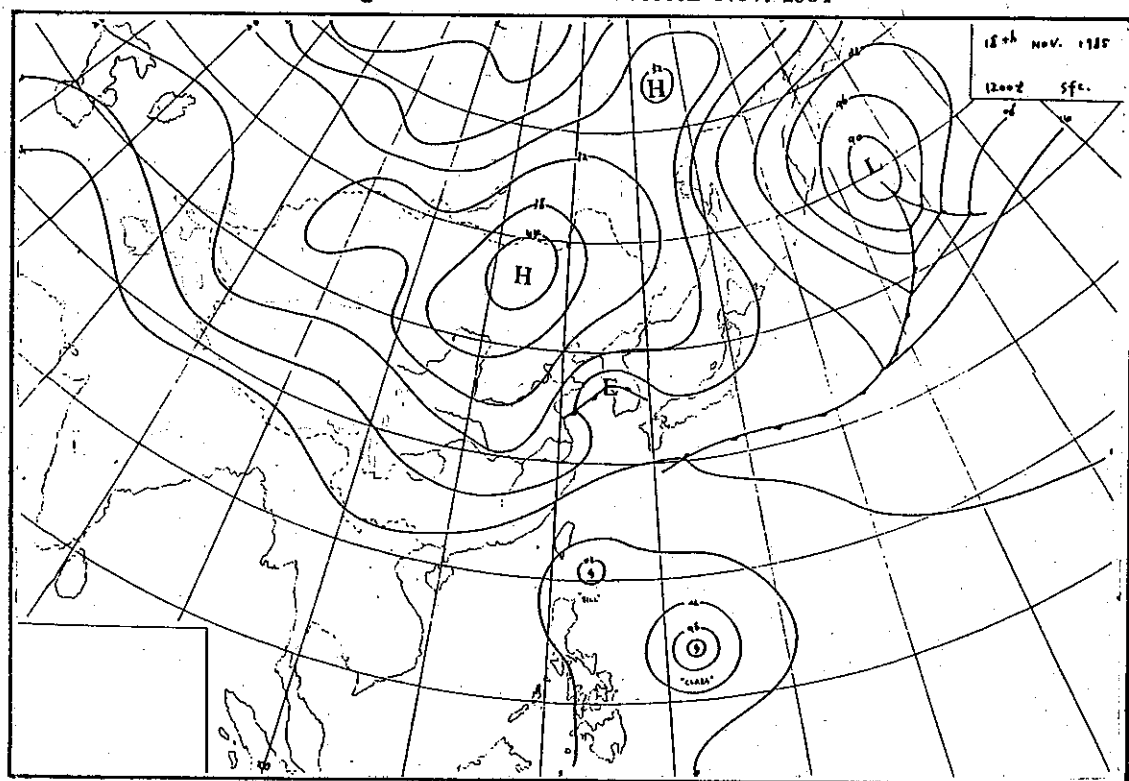


圖2 11月18日 1200Z 地面圖  
Fig. 2. Surface synoptic chart at 181200Z, Nov. 1984



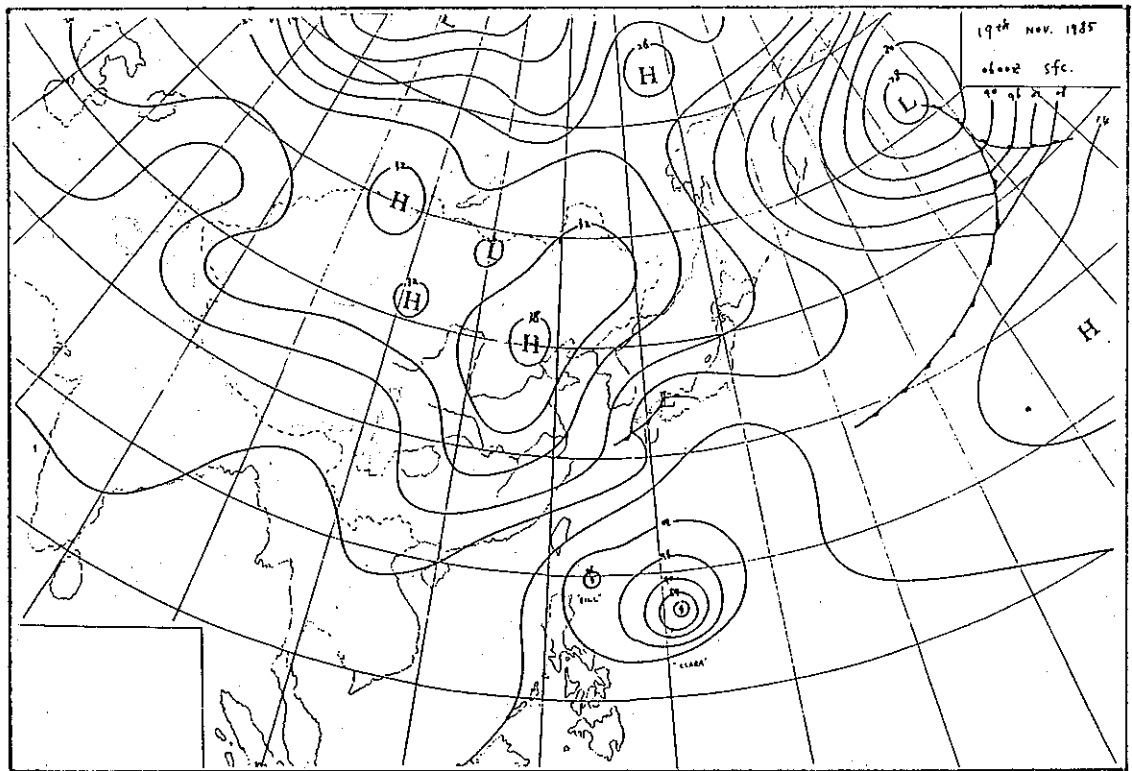


圖 3a. 11 月 19 日 0600Z 地面圖  
Fig. 3a. Surface synoptic chart at 190600Z, Nov. 1984

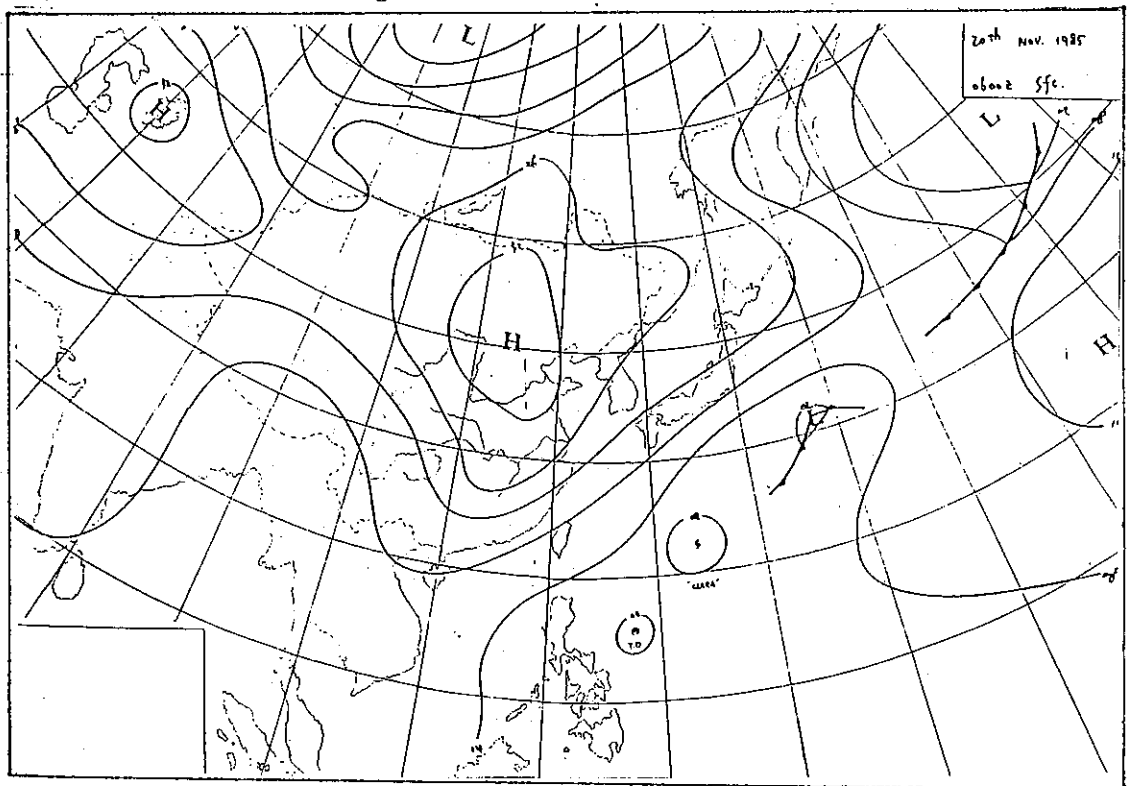


圖 3b. 11 月 20 日 0600Z 地面圖  
Fig. 3b. Surface synoptic chart at 200600Z, Nov. 1984

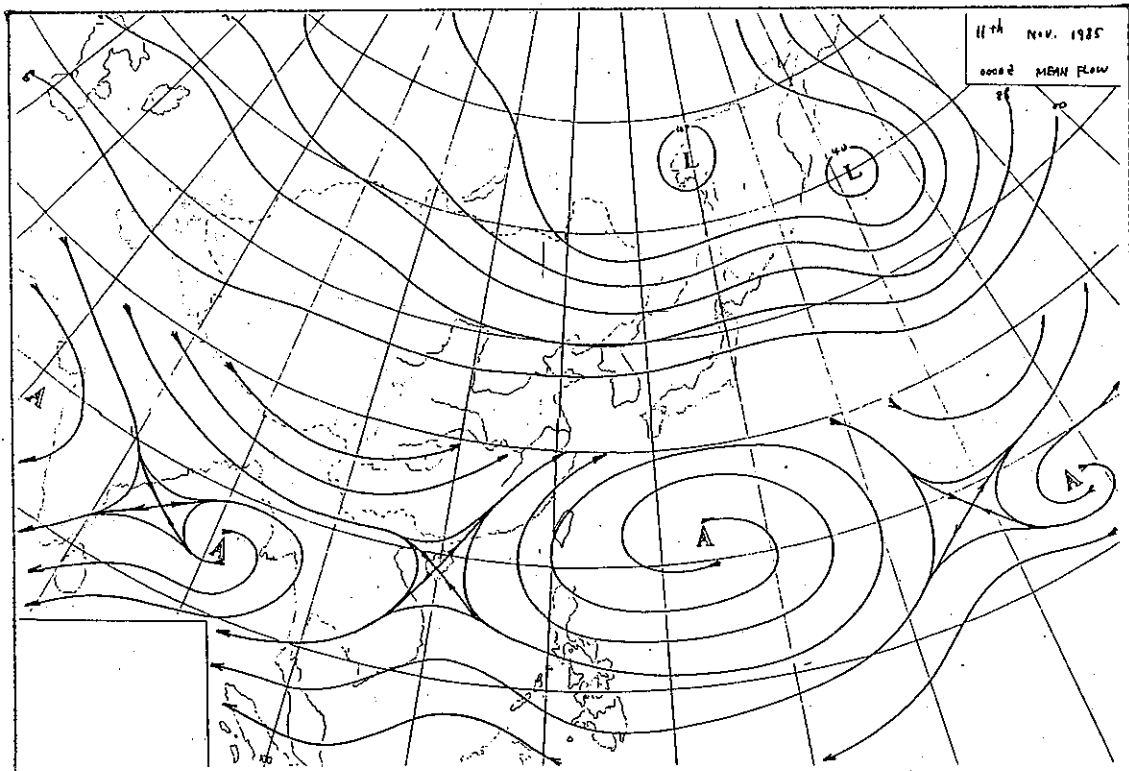


圖 4. 11月11日 0000Z 700/500/300 mb 平均氣流圖  
Fig. 4. 700/500/300 mb mean flow chart at 110000Z, Nov. 1984

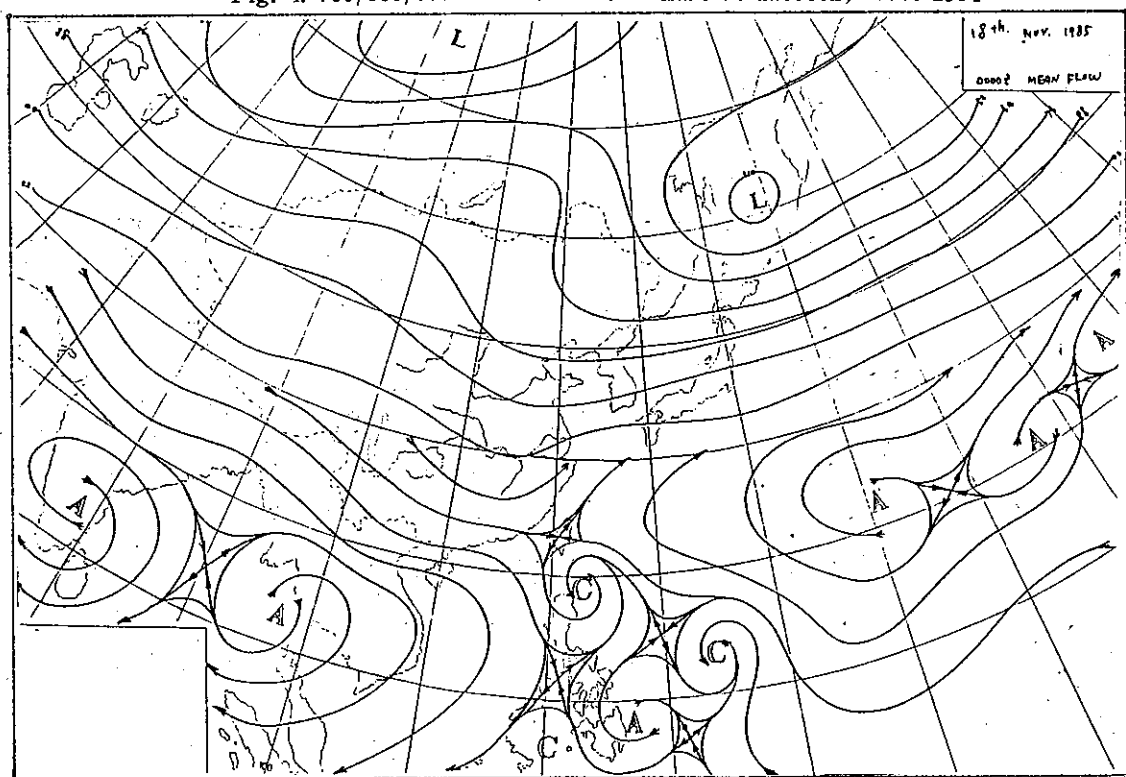


圖 5. 11月18日 0000Z 700/500/300 mb 平均氣流圖  
Fig. 5. 700/500/300 mb mean flow chart at 180000Z, Nov. 1984

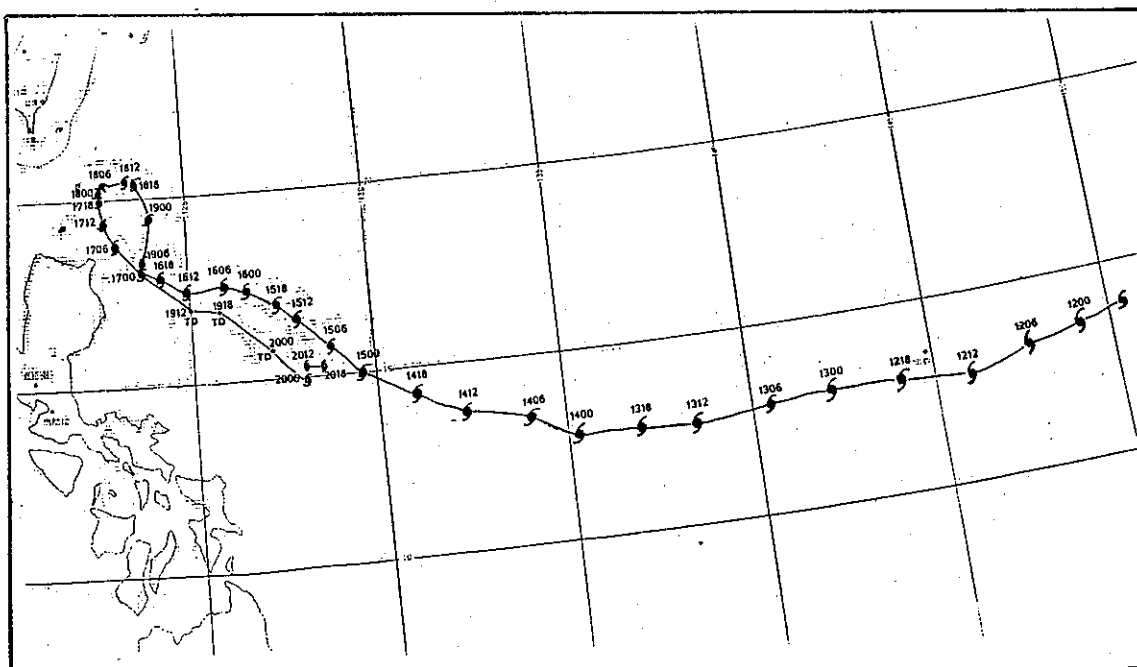


圖 6. 比爾颱風最佳路徑圖

Fig. 6. The best track of typhoon BILL

## Report on Typhoon "BILL" of Nov. 1984

*Wei-Min Chiang*

Senior Meteorologist of Forecasting Center, C.W.B.

### ABSTRACT

Bill, the twentyfifth typhoon in the western north Pacific, was the seventh typhoon warning which issued by C.W.B. in 1984.

In this report, the structure and movement of Bill were briefly discussed respectively.

# 民國七十三年北太平洋西部颱風概述\*

陳 來 發\*\*

## 一、總 論

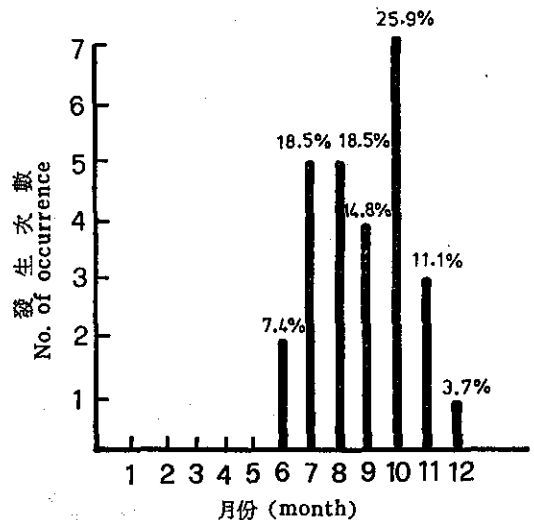
### (一) 全年颱風發生與侵臺次數

民國73年是北太平洋西部自民國36年以來，在六月份才開始有颱風發生的第四年（見表一）。在這一年中，北太平洋西部一共發生了30個熱帶氣旋（Tropical Cyclone），依其強度和中央氣象局的颱風分類，有27個達到颱風階段，其中11個屬輕度颱風，另16個達中度颱風以上（中度6個，強烈10個，而強烈颱風中更有兩個達所謂的「超級強烈颱風」的強度）。和72年一樣，今年有形成強烈颱風偏多的現象（民國72年更為嚴重，在6個強烈颱風中竟有4個為超級強烈颱風），全年27個颱風中，有7個颱風接近臺灣地區，致使中央氣象局發布颱風警報，其中除11月份的比爾（BILL）為海上颱風警報外，餘者6月份的魏恩（WYNNE）、7月份的亞力士（ALEX）、8月份美瑞達（FREDA）、傑魯得（GERALD）、郝麗（HOLLY）與裘恩（JUNE）皆發布海上陸上颱風警報，可見民國73年的颱風警報以8月份為最多。

### (二) 颱風發生之月份分配

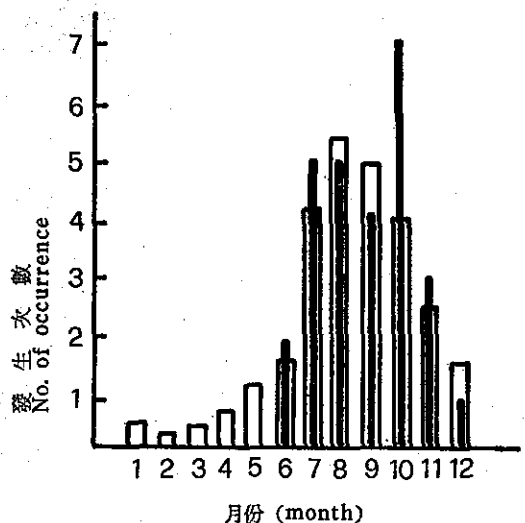
本年計有27個颱風，在各月的分配（圖一），其中以10月份為最多，共有7個，佔全年的25.9%，7、8兩月次之各有5個颱風，各佔全年的18.5%，9月份4個，佔全年14.8%，11月份再次之，有3個，佔全年的11.1%，6月份只有2個，佔全年的7.4%，12月份更少，為1個，僅佔全年的3.7%，和去年相同的，1至5月份，則都無颱風發生。再就本年各月發生颱風次數與歷年平均數（1947年~1983年）比較（圖二）可見秋季遠比平均狀況活躍，尤其10月颱風幾乎為氣候平均3.9個的兩倍。又本年颱風發生季節有明顯落後的現象，多集中在秋季，唯颱風發生總次數仍達氣候平均26.9次。

### (三) 本年颱風源地分布及強度



圖一 民國73年颱風各月發生次數與佔全年百分比 (%)

Fig.1 Monthly typhoon occurrence in 1984



圖二 民國73年颱風各月發生次數與最近37年平均次數之比較

Fig.2 The monthly comparison between the number of typhoon in 1984 and average of last 37 years.

\* 收稿日期74年6月12日

\*\* 中央氣象局預報測站課長

表一 1947年以來北太平洋西部各月颱風次數統計表  
Table 1 The Summary of typhoon occurrence in North-Western Paicific since 1947.

| 年 度  | 1 月 |     |     | 2 月 |     |     | 3 月 |     |     | 4 月 |     |     | 5 月 |     |     | 6 月 |     |     | 7 月 |     |     | 8 月 |     |     | 9 月 |     |     | 10 月 |     |     | 11 月 |     |     | 12 月 |     |     | 全 年  |      |     |   |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|------|------|-----|---|
|      | I   | II  | III | I   | II  | III | I   | II  | III | I   | II  | III | I   | II  | III | I   | II  | III | I   | II  | III | I   | II  | III | I   | II  | III | I    | II  | III | I    | II  | III | I    | II  | III |      |      |     |   |
| 1947 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 3   | 0   | 0   | 2   | 2   | 1   | 4   | 2   | 0   | 6    | 4   | 1   | 3    | 3   | 0   | 1    | 1   | 0   | 22   | 14   | 4   |   |
| 1948 | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   | 2   | 1   | 1   | 1   | 0   | 4   | 1   | 1   | 3   | 2   | 0   | 6   | 4   | 2   | 6    | 1   | 0   | 3    | 2   | 0   | 2    | 1   | 0   | 36   | 14   | 3   |   |
| 1949 | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 6   | 2   | 1   | 3   | 2   | 0   | 5   | 4   | 2   | 3    | 1   | 1   | 4    | 1   | 0   | 2    | 1   | 0   | 24   | 11   | 3   |   |
| 1950 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 3   | 1   | 1   | 5   | 2   | 0   | 3   | 3   | 1   | 6    | 5   | 0   | 3    | 3   | 2   | 4    | 3   | 0   | 44   | 13   | 3   |   |
| 1951 | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 3   | 3   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 2   | 2   | 3    | 1   | 1   | 1    | 0   | 2   | 2    | 0   | 21  | 13   | 3    |     |   |
| 1952 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 2   | 1   | 1   | 5   | 5   | 2   | 4   | 1   | 1   | 4    | 4   | 0   | 3    | 1   | 0   | 1    | 0   | 27  | 20   | 5    |     |   |
| 1953 | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 5   | 3   | 1   | 5   | 5   | 1   | 4    | 3   | 0   | 3    | 3   | 2   | 1    | 0   | 23  | 16   | 4    |     |   |
| 1954 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 2   | 1   | 1   | 5   | 7   | 3   | 1   | 6   | 5   | 3    | 2   | 0   | 1    | 1   | 0   | 5    | 5   | 0   | 28   | 19   | 1   |   |
| 1955 | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 2   | 5   | 2   | 0   | 5   | 4   | 1   | 6   | 5   | 1    | 4   | 3   | 0    | 3   | 3   | 0    | 0   | 0   | 24   | 20   | 5   |   |
| 1956 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 2   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 4   | 2   | 0   | 5   | 5   | 1   | 4    | 3   | 0   | 3    | 3   | 0   | 0    | 0   | 22  | 18   | 2    |     |   |
| 1957 | 2   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 5   | 4   | 2   | 0   | 5   | 5   | 1    | 4   | 3   | 0    | 3   | 3   | 0    | 0   | 0   | 31   | 21   | 3   |   |
| 1958 | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 2   | 1   | 0   | 3   | 2   | 0   | 7   | 6   | 1   | 5   | 3   | 1   | 5   | 3   | 1    | 3   | 3   | 0    | 2   | 2   | 0    | 2   | 0   | 31   | 21   | 3   |   |
| 1959 | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   | 1   | 1   | 9   | 8   | 3   | 4   | 0   | 0   | 4    | 4   | 0   | 1    | 1   | 0   | 1    | 1   | 0   | 27   | 21   | 6   |   |
| 1960 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 3   | 3   | 1   | 3   | 3   | 1   | 3   | 3   | 2   | 7   | 5   | 2   | 4    | 5   | 0   | 1    | 1   | 0   | 1    | 1   | 0   | 29   | 20   | 6   |   |
| 1961 | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 3   | 2   | 1   | 3   | 1   | 0   | 5   | 3   | 1   | 8   | 8   | 2   | 3   | 2   | 1   | 5    | 4   | 1   | 3    | 3   | 0   | 2    | 0   | 25  | 24   | 5    |     |   |
| 1962 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 4   | 3   | 0   | 4   | 3   | 1   | 3   | 3   | 0   | 5   | 4   | 1   | 4    | 4   | 0   | 0    | 0   | 3   | 1    | 0   | 24  | 19   | 2    |     |   |
| 1963 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 2   | 2   | 0   | 6   | 6   | 0   | 7   | 3   | 0   | 6   | 5   | 0   | 6    | 3   | 0   | 6    | 3   | 0   | 1    | 1   | 0   | 37   | 25   | 0   |   |
| 1964 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   | 2   | 0   | 2   | 2   | 0   | 7   | 6   | 0   | 7   | 3   | 0   | 7   | 5   | 0   | 6    | 3   | 0   | 6    | 3   | 0   | 2    | 1   | 0   | 34   | 18   | 3   |   |
| 1965 | 2   | 0   | 0   | 2   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 2   | 2   | 0   | 2   | 2   | 0   | 1   | 1   | 0   | 5   | 4   | 1   | 7   | 4   | 1   | 7   | 4   | 0   | 3    | 2   | 2   | 0    | 2   | 1   | 0    | 1   | 1   | 0    | 30   | 20  | 4 |
| 1966 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 2   | 2   | 0   | 1   | 1   | 0   | 5   | 3   | 0   | 8   | 6   | 1   | 7   | 4   | 0   | 4    | 3   | 1   | 3    | 3   | 1   | 1    | 0   | 35  | 22   | 4    |     |   |
| 1967 | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 6   | 5   | 1   | 8   | 4   | 1   | 7   | 4   | 0   | 4    | 3   | 1   | 3    | 3   | 1   | 1    | 0   | 35  | 22   | 4    |     |   |
| 1968 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 3   | 3   | 1   | 8   | 6   | 0   | 3   | 3   | 2   | 6    | 5   | 0   | 4    | 4   | 0   | 0    | 0   | 27  | 23   | 3    |     |   |
| 1969 | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 3   | 3   | 1   | 4   | 3   | 1   | 3   | 3   | 1   | 3    | 3   | 1   | 2    | 1   | 0   | 1    | 0   | 19  | 15   | 4    |     |   |
| 1970 | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   | 1   | 0   | 3   | 0   | 0   | 6   | 4   | 0   | 6   | 4   | 0   | 5    | 4   | 0   | 4    | 1   | 0   | 0    | 0   | 26  | 13   | 1    |     |   |
| 1971 | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 3   | 3   | 0   | 4   | 1   | 0   | 2   | 2   | 0   | 8   | 6   | 0   | 4   | 3   | 0   | 6   | 5   | 2    | 4   | 3   | 0    | 2   | 1   | 0    | 0   | 35  | 24   | 2    |     |   |
| 1972 | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 3   | 1   | 0   | 5   | 5   | 0   | 5   | 3   | 1   | 5   | 4   | 0   | 5    | 4   | 0   | 5    | 4   | 0   | 2    | 2   | 0   | 30   | 23   | 1   |   |
| 1973 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 7   | 4   | 1   | 5   | 2   | 0   | 5   | 4   | 0   | 4    | 3   | 1   | 3    | 9   | 0   | 0    | 21  | 11  | 2    |      |     |   |
| 1974 | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 3   | 1   | 0   | 5   | 5   | 2   | 1   | 5   | 2   | 0   | 5   | 3   | 1    | 4   | 4   | 1    | 4   | 2   | 0    | 0   | 32  | 15   | 3    |     |   |
| 1975 | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 5   | 4   | 1   | 5   | 4   | 1   | 5    | 3   | 1   | 3    | 2   | 0   | 0    | 0   | 20  | 14   | 3    |     |   |
| 1976 | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   | 2   | 0   | 2   | 2   | 0   | 2   | 2   | 0   | 2   | 0   | 2   | 0   | 1   | 1   | 5   | 4   | 0   | 1    | 1   | 0   | 1    | 1   | 0   | 2    | 0   | 19  | 11   | 3    |     |   |
| 1977 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 3   | 3   | 2   | 2   | 0   | 1   | 5   | 2   | 0   | 4    | 3   | 0   | 1    | 1   | 0   | 2    | 2   | 0   | 28   | 15   | 3   |   |
| 1978 | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 3   | 0   | 1   | 4   | 3   | 0   | 7   | 3   | 1   | 5   | 4   | 0   | 4    | 3   | 1   | 3    | 1   | 0   | 0    | 0   | 23  | 13   | 2    |     |   |
| 1979 | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 4   | 2   | 1   | 2   | 2   | 1   | 6   | 5   | 1   | 4    | 2   | 0   | 2    | 1   | 0   | 1    | 0   | 24  | 15   | 2    |     |   |
| 1980 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 4   | 2   | 0   | 1   | 0   | 0   | 4   | 3   | 0   | 2   | 2   | 1   | 6   | 5   | 1   | 4    | 2   | 0   | 1    | 1   | 0   | 2    | 2   | 0   | 28   | 16   | 4   |   |
| 1981 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   | 2   | 2   | 5   | 2   | 1   | 7   | 2   | 1   | 4   | 4   | 2   | 2    | 1   | 0   | 3    | 2   | 0   | 2    | 2   | 0   | 26   | 19   | 3   |   |
| 1982 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 3   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 3   | 1   | 0   | 4   | 2   | 1   | 5   | 5   | 2   | 5   | 3   | 0   | 3    | 3   | 0   | 1    | 1   | 0   | 1    | 0   | 26  | 19   | 3    |     |   |
| 1983 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 3   | 2   | 1   | 5   | 2   | 1   | 2   | 1   | 0   | 6    | 4   | 0   | 4    | 2   | 0   | 2    | 0   | 23  | 11   | 2    |     |   |
| 總 數  | 18  | 8   | 0   | 8   | 2   | 0   | 18  | 7   | 0   | 29  | 19  | 0   | 37  | 27  | 3   | 61  | 37  | 10  | 151 | 28  | 22  | 205 | 117 | 33  | 176 | 121 | 31  | 146  | 156 | 12  | 94   | 63  | 7   | 52   | 26  | 0   | 997  | 634  | 118 |   |
| 平 均  | 0.5 | 0.2 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.2 | 0.0 | 0.8 | 0.5 | 0.0 | 1.0 | 0.8 | 0.1 | 1.6 | 1.0 | 0.3 | 4.1 | 0.8 | 0.6 | 5.5 | 3.2 | 0.9 | 4.8 | 3.3 | 0.8 | 3.9  | 2.9 | 0.3 | 2.5  | 1.7 | 0.2 | 1.4  | 0.7 | 0   | 27.1 | 17.1 | 3.2 |   |
| 1984 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   | 0   | 1   | 5   | 4   | 1   | 5   | 2   | 4   | 4   | 1   | 0   | 7    | 0   | 0   | 3    | 3   | 1   | 1    | 1   | 0   | 27   | 16   | 7   |   |

註：I. 為輕度級及以上之颱風次數（亦即包含「熱帶風暴」在內，中心最大風速在每秒18公尺級以上者）。

II. 為中度級及以上之颱風次數（亦即中心最大風速在每秒33公尺級以上者）。

III. 為颱風（包括輕度）侵襲之次數（中心登陸或風暴侵襲臺灣而有災難者）。

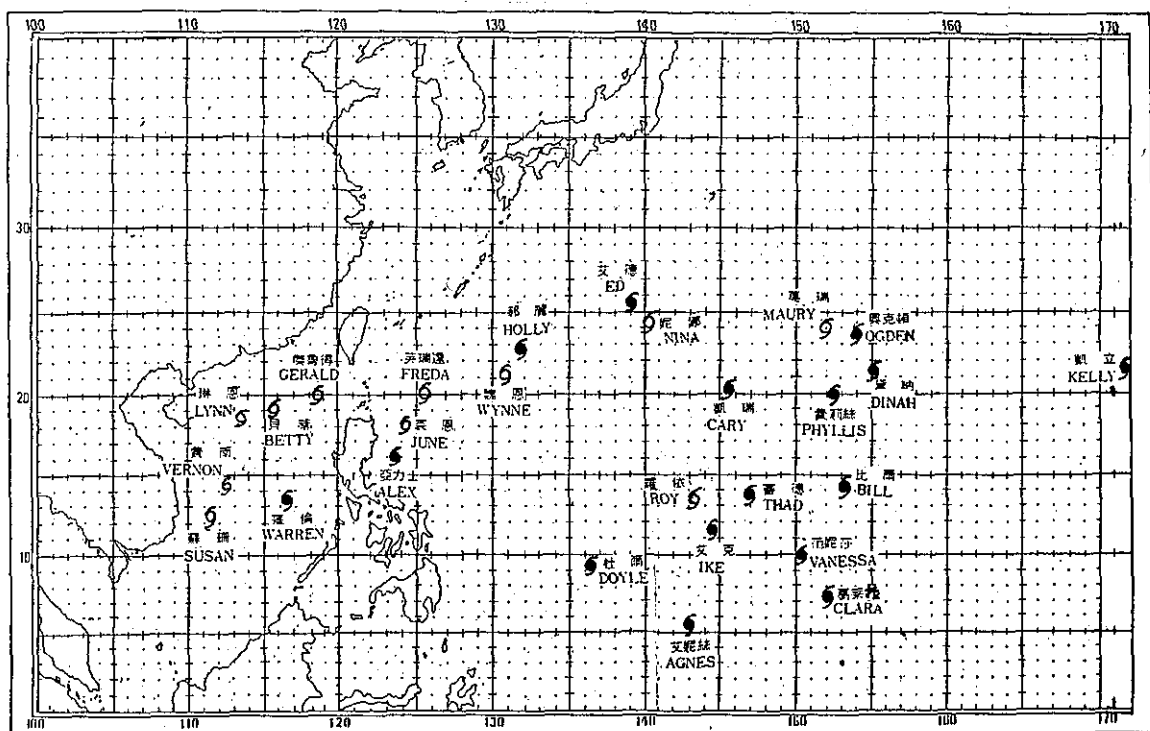


圖 三 民國73年颱風形成位置分布圖

Fig.3 Locations of Typhoon formation for 1984

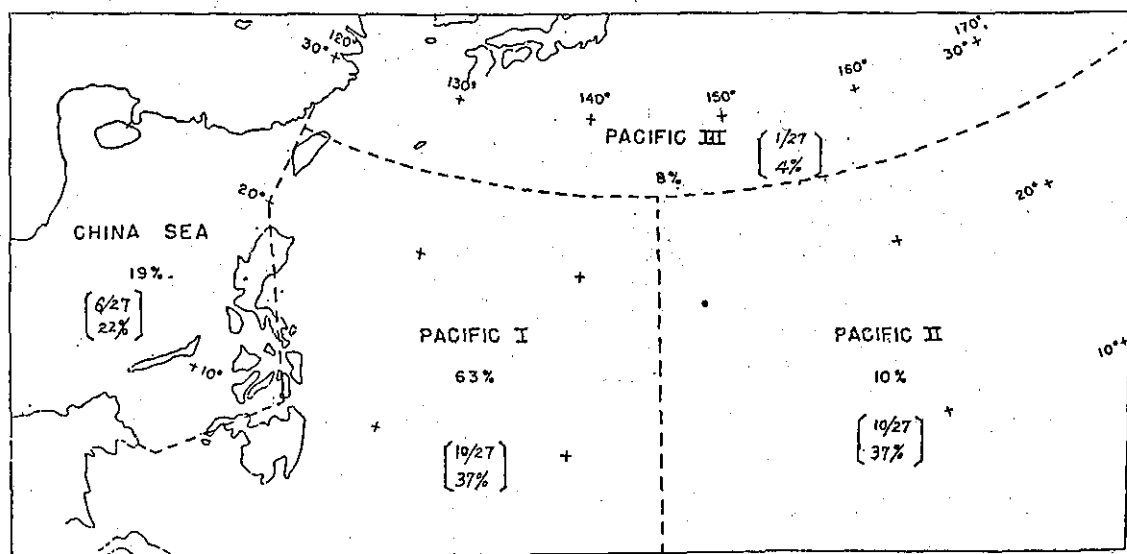


圖 四 民國73年颱風生成頻率分區統計 (〔 〕號內資料) 與氣候值比較

Fig.4 Percentage of Typhoon occurrence for each region for 1984 compare to the average percentage (1886-1958) computed by Jordan and Ho.

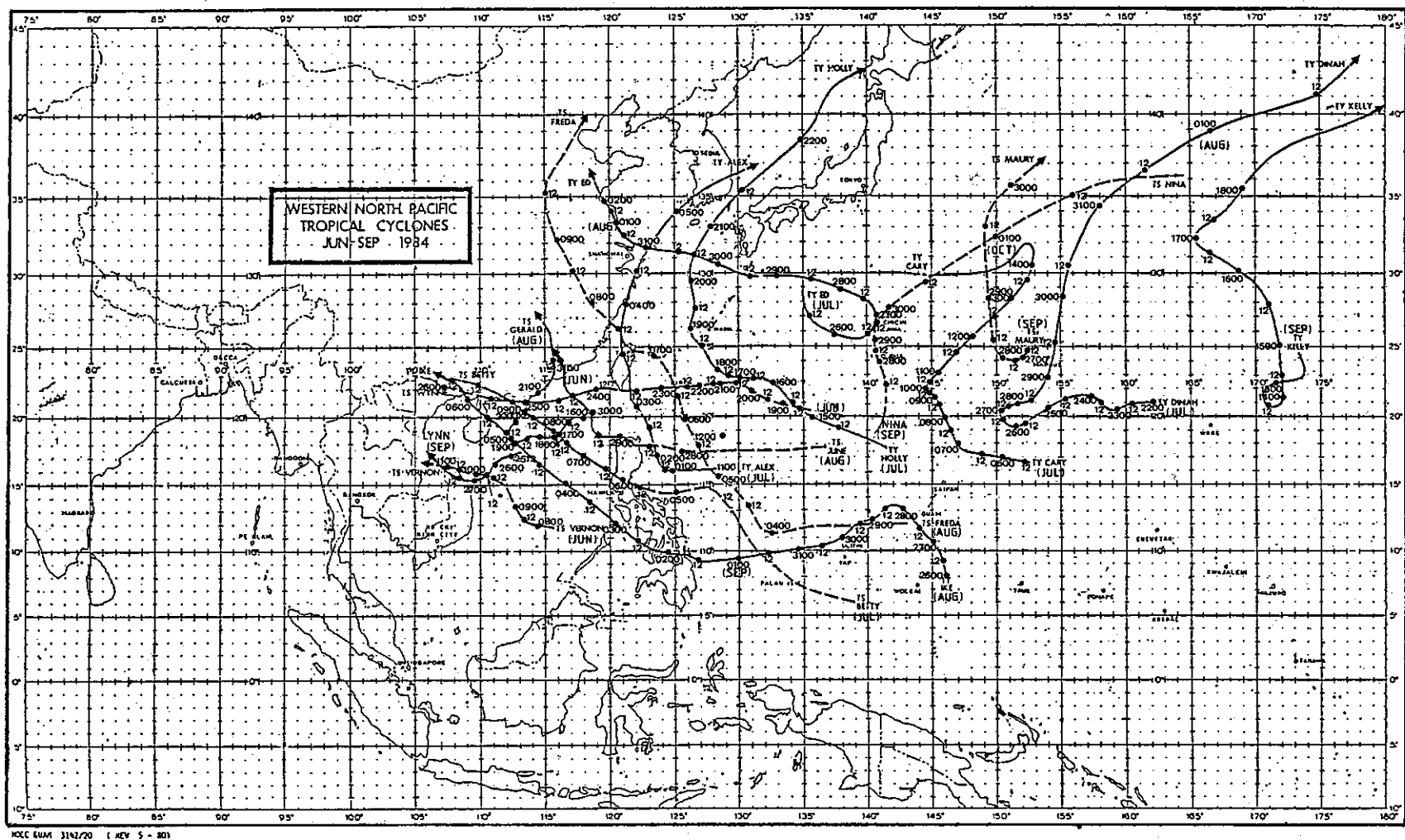


圖 五 民國73年6~9月北太平洋西部颱風及熱帶性低氣壓最佳路徑圖

Fig.5 Best tracks for tropical cyclones in western north Pacific for Jun.-Sep.1984.

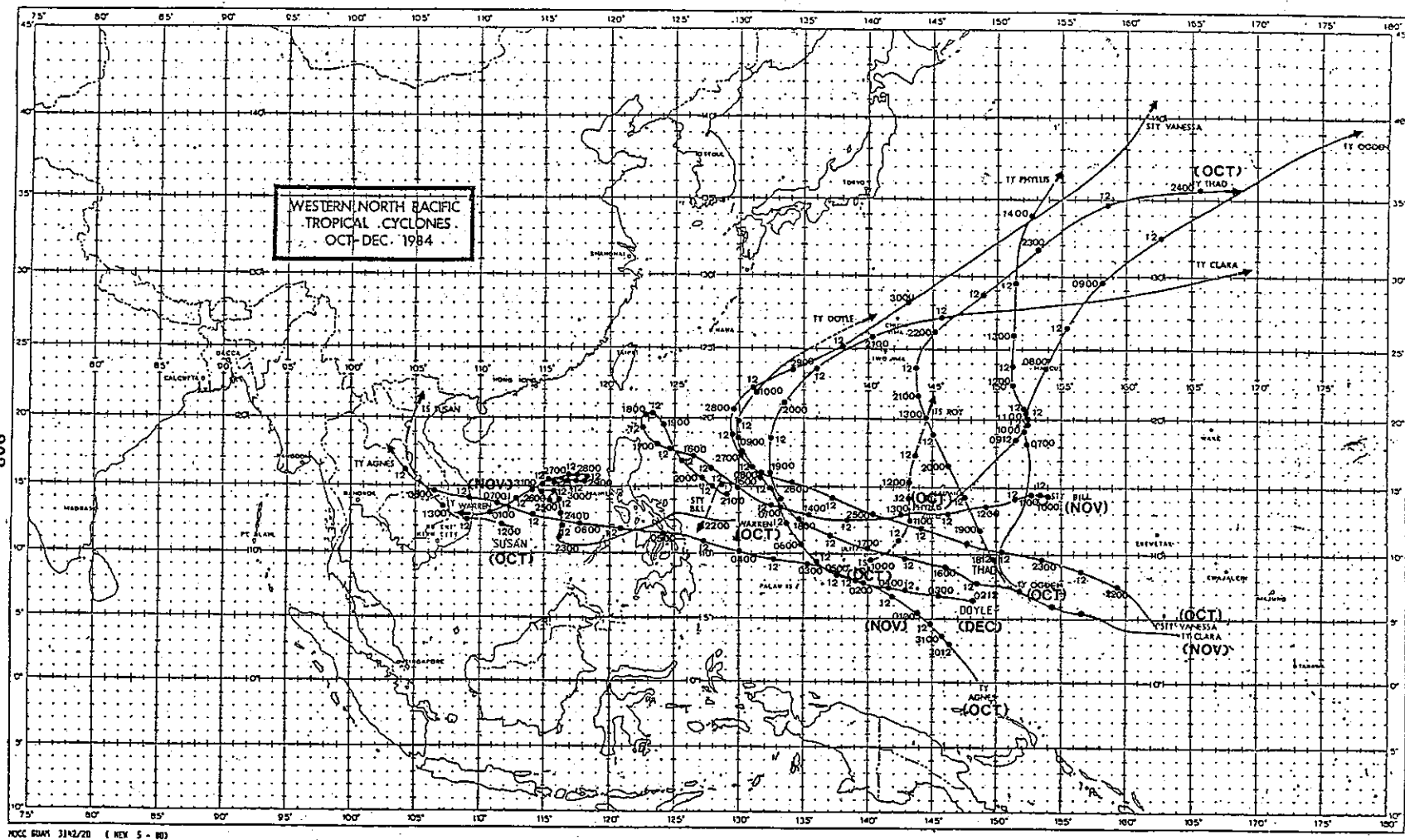


圖 六 民國73年10~12月北太平洋西部颱風及熱帶性低氣壓最佳路徑圖

Fig.6 Best tracks for tropical cyclones in western north Pacific for Oct.-Dec.1984.



本年27個颱風中，發生地點最西者（也是生命期最短的）是10月份的蘇珊（SUSAN），在 $12.3^{\circ}\text{N}$ ， $111.3^{\circ}\text{E}$ ，最東者為10月份的奧克頓（OGDEN）在 $23.8^{\circ}\text{N}$ ， $154.0^{\circ}\text{E}$ ，最北者為7月份的艾德（ED）在 $25.6^{\circ}\text{N}$ ， $129.0^{\circ}\text{E}$ 。最南者為11月份的葛萊拉（CLARA）在 $7.1^{\circ}\text{N}$ ， $152.2^{\circ}\text{E}$ （見圖三）。如果按 Jordan 和 Ho 兩氏的分區統計北太平洋西部平均每年發生次數百分比做比較，可以發現73年颱風發生在 $25^{\circ}\text{N}$ 以南， $145^{\circ}\text{E}$ 以東的太平洋即圖四第Ⅱ區較氣候平均高出27%，而在第Ⅱ區以西，菲律賓東方海面的太平洋上（第Ⅰ區），却比平均數少26%。南中國海，稍高於平均3%。在 $25^{\circ}\text{N}$ 以北的太平洋（第Ⅲ區）則低於平均4%（見圖四）。

就颱風強度而言，以10月份的超級強烈颱風范妮莎（VANESSA）最強，中心最低氣壓曾降至879 mb，中心附近最大風速，則高達每秒80公尺，另一個超級強烈颱風為11月的比爾（BILL）颱風，中心最低氣壓為910 mb，中心附近最大風速曾達67公尺，另外還有8個強烈颱風，按其中心附近最大風速的大小依序為黛納（DINAH）每秒64公尺，艾德（ED），艾克（IKE）和艾妮絲（AGNES）每秒62公尺，賽德（THAD）每秒57公尺，杜爾（DOYLE）每秒57公尺，葛萊拉（CLARA）每秒55公尺，6個中度颱風則依序為凱瑞（CARY）每秒45公尺，凱立（KELLY）每秒36公尺，亞力士（ALEX），郝麗（HOLLY），奧克頓（OGDEN）和費莉絲（PHYLLIS）每秒35公尺，以及華倫（WARREN）每秒33公尺，而其餘11個輕度颱風見表二。

#### 四 颱風生命期及其運行路徑分類

本年颱風之生命期，以超級強烈颱風比爾（BILL）最長達12天，其在關島東方海面上發生後先在原地滯留，而後向偏西前進，到達呂宋島東北方海面時開始打轉並呈蛇行往南移動，最後才消失在菲律賓中部的東方海面。生命期最短的颱風是輕度颱風蘇珊（SUSAN），它在南沙島東北方南海面上形成後不久即在越南南部登陸減弱為熱帶性低氣壓為止，僅僅持續12個小時。以本年27個颱風生命期總時數3,237小時，平均生命期為120小時，約5天左右。又本年27個颱風的運行路徑，根據各個颱風之最佳路徑（BEST TRACK）（見圖五及圖六），大致可歸納為三類：(1)近似直線型，計10個佔總數37%。(2)拋物線型，亦佔37%。(3)不規則

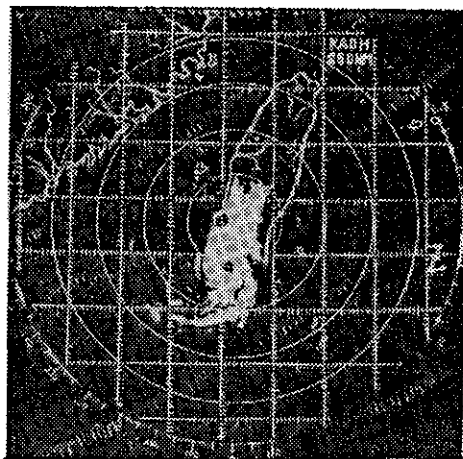
路徑，有7個佔總數的26%。在10個呈拋物線運行颱風中有2個分別發生在11月和12月份，皆在 $20^{\circ}\text{N}$ 以南便已轉向，另有2個發生在10月份，亦在 $20^{\circ}\text{N}$ 轉向，顯示秋冬季極地高氣壓南下對颱風路徑的轉向緯度是有明顯影響的。

### 二、各月颱風概述

#### (一) 六月份

(1) 費南（VERNON）(8401) 是本年第一個在北太平洋西部形成的颱風。6月7日，在南海中部，季風槽東側開始有對流雲系統出現，經過2天的醞釀，終於在9日12Z發展為輕度颱風，同時加速向西北方向移動，之後又偏西向越南接近，在10日1200Z登陸越南的 Da Nang 北部並迅速消失。

(2) 魏恩（WYNNE）(8402) 是本年第二個颱風，却是第一個影響臺灣而且也是中央氣象局第一個發布警報的颱風。6月16日在菲律賓東北方遠海出現一個低壓區，17日該低壓區在海面上中心氣壓降至1005 mb，此時因其上空有高壓及氣旋外流的支持得以繼續發展，到19日12Z增強為輕度颱風。在19日中緯度槽線的東移，一度曾使魏恩稍稍偏向西北，然而由於該槽線未能使副熱帶高壓脊減弱，魏恩也就無法順利轉向，而一直偏西前進，大有直逼本省之勢，氣象局遂分別於20日9時40分及21日9時50分各發布颱風消息一次，並於21日14時45分發布本年度第一號海上颱風警報，爾後魏恩仍繼續向本省接近，因此於22日20時40分發布海上陸



圖七 高雄雷達站在6月23日1900Z所拍攝魏恩颱風回波圖

Fig.7 Tropical storm Wynne echo observed by Kaohsiung radar station at 231900Z, June 1985.

表二 民國七十三年北太平洋西部地區颱風網要表

Table 2 The summary of typhoon data in the area of North-Western Pacific Ocean in 1984

| 月<br>份 | 當<br>月<br>次<br>數 | 本<br>年<br>(公<br>元<br>號) | 颱<br>風<br>名<br>稱 | 起 訖 時 間     |                            |                            | 生<br>命<br>期<br>(時) | 衍 生 地 區<br>(Source areas of<br>generation) | 成輕度颱風<br>以上地點 |       | 平<br>均<br>移<br>速<br>Km/h | 消 失 或 衰 減 成<br>熱 帶 性 低 氣 壓<br>(TD) 地 點 | 觀中最低<br>氣壓<br>到心壓<br>(mb) | 近最大<br>風速<br>(m/s) | 暴風半徑<br>(km)      |                    | 強<br>度<br>分<br>類 | 中氣警<br>報<br>象<br>央局級<br>(號次) | 路 徑 型 式<br>與 轉 折 點 | 附 註                          |
|--------|------------------|-------------------------|------------------|-------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|--|---------------|-------|--------------------------|--|---------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|
|        |                  |                         |                  | 全部起訖        | 中度以上                       | 強烈以上                       |                    |  | 北緯            | 東經    |                          |  |                           |                    | 7級<br>(30<br>KTS) | 10級<br>(50<br>KTS) |                  |                              |                    |                              |
| 6      | 1                | 8401                    | 費 南 (VERNON)     | 0906Z-1100Z | —                          | —                          | 42                 | 南沙島北北西方海面                                  | 14.2          | 112.5 | 13                       | 東 京 灣                                  | 994                       | 20                 | 100               | —                  | 輕度               | —                            | 近似直線               | 減弱為T.D.後登陸越南中部               |
| 6      | 2                | 8402                    | 魏 恩 (WYNNE)      | 1912Z-2612Z | —                          | —                          | 168                | 琉球東南方海面                                    | 21.3          | 131.9 | 17                       | 越南北部                                   | 982                       | 28                 | 150               | —                  | 輕度               | 海陸(1)                        | 近似直線               | 西進掠過台灣南端，最後在廣東省登陸而消失於越南北部    |
| 7      | 1                | 8403                    | 亞力士 (ALEX)       | 0118Z-0406Z | 0221Z-0312Z                | —                          | 60                 | 呂宋島東南方海面                                   | 16.0          | 123.5 | 25                       | 浙 江 省                                  | 980                       | 35                 | 150               | 80                 | 中度               | 海陸(2)                        | 拋物綫<br>26°N/121°E  | 在新港附近登陸後，由新竹出海，再登陸浙江省        |
| 7      | 2                | 8404                    | 貝 蒂 (BETTY)      | 0800Z-0918Z | —                          | —                          | 42                 | 呂宋島西方海面                                    | 19.0          | 115.5 | 18                       | 廣 西 省                                  | 994                       | 28                 | 200               | —                  | 輕度               | —                            | 近似直線               | 登陸廣東省                        |
| 7      | 3                | 8405                    | 凱 瑞 (CARY)       | 0800Z-1600Z | 0912Z-1315Z                | —                          | 192                | 關島東北方海面                                    | 20.3          | 145.5 | 12                       | 硫磺島東北方之海面上                             | 960                       | 45                 | 300               | 100                | 中度               | —                            | 拋物綫<br>22°N/144°E  | 增強為中度後成直線向東北移動，轉變為溫帶氣旋後則又向西進 |
| 7      | 4                | 8406                    | 黛 納 (DINAH)      | 2418Z-0200Z | 2518Z-3100Z                | 2700Z-2712Z<br>2815Z-3009Z | 198                | 硫磺島東南方之海面上                                 | 21.5          | 155.0 | 20                       | 中太平洋北部                                 | 916                       | 64                 | 400               | 200                | 強烈               | —                            | 不規則彎曲              | 越過40°N以後才轉變成溫帶氣旋             |
| 7      | 5                | 8407                    | 艾 德 (ED)         | 2606Z-0200Z | 2821Z-3100Z                | 2918Z-3006Z                | 162                | 日本南方海面                                     | 25.6          | 139.0 | 19                       | 江 蘇 省                                  | 949                       | 62                 | 250               | 100                | 強烈               | —                            | 不規則彎曲              | 輕度時期，行徑怪異                    |
| 8      | 1                | 8408                    | 芙瑞達 (FREDA)      | 0600Z-0812Z | —                          | —                          | 60                 | 呂宋島東北方海面                                   | 20.0          | 125.4 | 27                       | 福 建 省                                  | 982                       | 25                 | 200               | —                  | 輕度               | 海陸(3)                        | 近似直線               | 在基隆登陸後，經台灣海峽又在福建省登陸          |
| 8      | 2                | 8409                    | 傑魯得 (GERALD)     | 1600Z-2112Z | —                          | —                          | 132                | 東沙島東南方海面                                   | 20.0          | 118.5 | 13                       | 香港東北方約230km處                           | 985                       | 28                 | 180               | —                  | 輕度               | 海陸(4)                        | 不規則彎曲              | 行徑怪異，登陸廣東省                   |
| 8      | 3                | 8410                    | 郝 麗 (HOLLY)      | 1600Z-2218Z | 1700Z-2109Z                | —                          | 162                | 琉球東南方之海面上                                  | 22.8          | 131.8 | 19                       | 日本本州西方                                 | 964                       | 35                 | 350               | 200                | 中度               | 海陸(5)                        | 拋物綫<br>26°N/126°E  | 暴風圈掠過本省東北海域                  |
| 8      | 4                | 8411                    | 艾 克 (IKE)        | 2706Z-0606Z | 2906Z-3000Z<br>3018Z-0515Z | 0106Z-0212Z<br>0421Z-0512Z | 240                | 關島南方海面                                     | 11.4          | 144.6 | 19                       | 廣 西 省                                  | 949                       | 62                 | 250               | 150                | 強烈               | —                            | 近似直線               | 曾侵襲菲律賓並掠過海南島                 |
| 8      | 5                | 8412                    | 裘 恩 (JUNE)       | 2806Z-3118Z | —                          | —                          | 84                 | 硫磺島南南西方之海面上                                | 18.0          | 124.2 | 19                       | 汕頭西北方約330km處                           | 983                       | 32                 | 250               | —                  | 輕度               | 海陸(6)                        | 近似直線               | 造成台灣南部海水倒灌登陸福建               |
| 9      | 1                | 8413                    | 凱 立 (KELLY)      | 1403Z-1906Z | 1518Z-1700Z                | —                          | 123                | 威克島東北方海面                                   | 21.7          | 171.7 | 21                       | 日本東方海面                                 | 970                       | 36                 | 300               | —                  | 中度               | —                            | 不規則彎曲              | 在威克島東北方打轉後北上                 |
| 9      | 2                | 8414                    | 琳 恩 (LYNN)       | 2406Z-2506Z | —                          | —                          | 24                 | 呂宋島西方海面                                    | 18.6          | 113.5 | 11                       | 西沙島北北東方之海面                             | 998                       | 18                 | 100               | —                  | 輕度               | —                            | 近似直線               | 生命期短，減弱後登陸越南                 |
| 9      | 3                | 8415                    | 莫 瑞 (MAURY)      | 2803Z-0100Z | —                          | —                          | 69                 | 硫磺島東方之海面上                                  | 24.0          | 152.0 | 19                       | 日本本州東方之海面                              | 990                       | 28                 | 250               | —                  | 輕度               | —                            | 不規則彎曲              | 在0100Z併入妮娜                   |
| 9      | 4                | 8416                    | 妮 娜 (NINA)       | 2803Z-0212Z | —                          | —                          | 105                | 硫磺島南方之海面上                                  | 24.2          | 140.2 | 25                       | 日本本州東方之海面                              | 992                       | 26                 | 300               | —                  | 輕度               | —                            | 拋物綫<br>26°N/126°E  | 在3000Z-0100Z之間曾經減弱為T.D.      |
| 10     | 1                | 8417                    | 奧克頓 (OGDEN)      | 0712Z-1006Z | 0900Z-0921Z                | —                          | 57                 | 關島東北方之海面上                                  | 23.8          | 154.0 | 35                       | 中途島西北方海面                               | 980                       | 35                 | 200               | —                  | 中度               | —                            | 拋物綫<br>20°N/152°E  | 在T.D.時期即已轉向                  |
| 10     | 2                | 8418                    | 費莉絲 (PHYLLIS)    | 1106Z-1406Z | 1200Z-1312Z                | —                          | 72                 | 關島東北方海面                                    | 20.0          | 152.4 | 17                       | 硫磺島東北方約1650km之海面上                      | 975                       | 35                 | 200               | —                  | 中度               | —                            | 近似直線               | 偏北前進                         |
| 10     | 3                | 8419                    | 羅 依 (ROY)        | 1106Z-1206Z | —                          | —                          | 24                 | 關島西南方海面                                    | 13.6          | 143.1 | 17                       | 關島北北西方之海面上                             | 998                       | 20                 | 100               | —                  | 輕度               | —                            | 近似直線               | 由關島西面北上                      |
| 10     | 4                | 8420                    | 蘇 珊 (SUSAN)      | 1200Z-1212Z | —                          | —                          | 12                 | 南沙島東北方之海面上                                 | 12.3          | 111.3 | 27                       | 越 南 南 部                                | 998                       | 20                 | 150               | —                  | 輕度               | —                            | 拋物綫<br>22°N/104°E  | 生命期最短，登陸越南後才轉向               |
| 10     | 5                | 8421                    | 賽 德 (THAD)       | 1909Z-2406Z | 2012Z-2406Z                | 2212Z-2221Z                | 117                | 關島東南方之海面上                                  | 13.9          | 148.0 | 33                       | 日本東方海面                                 | 930                       | 57                 | 250               | —                  | 強烈               | —                            | 拋物綫<br>24°N/144°E  | 轉變為溫帶氣旋時其強度為中度               |
| 10     | 6                | 8422                    | 范妮莎 (VANESSA)    | 2309Z-3106Z | 2409Z-3021Z                | 2509Z-2921Z                | 189                | 關島東南方之海面上                                  | 10.0          | 150.3 | 30                       | 硫磺島東北方之海面上                             | 879                       | 80                 | 400               | 200                | 強烈               | —                            | 拋物綫<br>20°N/129°E  | 強度曾達超級強烈颱風                   |
| 10     | 7                | 8423                    | 華 倫 (WARREN)     | 2406Z-3106Z | 2618Z-2915Z                | —                          | 168                | 南沙島北北西方之海面上                                | 13.4          | 116.4 | 9                        | 西沙島東南東方之海面上                            | 975                       | 33                 | 200               | —                  | 中度               | —                            | 不規則彎曲              | 在南海打轉減弱後登陸越南，行徑最為怪異。         |
| 11     | 1                | 8424                    | 艾妮絲 (AGNES)      | 0106Z-0800Z | 0221Z-0712Z                | 0309Z-0509Z                | 162                | 雅浦島東南方海面                                   | 5.8           | 143.0 | 23                       | 越 南 內 陸                                | 925                       | 62                 | 250               | —                  | 強烈               | —                            | 近似直線               | 登陸越南中部                       |
| 11     | 2                | 8425                    | 比 爾 (BILL)       | 0900Z-2118Z | 1100Z-1818Z                | 1318Z-1706Z                | 288                | 關島東方之海面上                                   | 14.3          | 153.1 | 17                       | 呂宋島東方之海面上                              | 910                       | 67                 | 350               | 200                | 強烈               | 海上(7)                        | 不規則彎曲              | 行至巴士海峽後，又回頭向東南方前進，強度曾達超級強烈颱風 |
| 11     | 3                | 8426                    | 葛萊拉 (CLARA)      | 1421Z-2118Z | 1700Z-2100Z                | 1912Z-2012Z                | 165                | 關島東南方海面                                    | 7.1           | 152.2 | 25                       | 硫磺島東北方之海面上                             | 938                       | 55                 | 200               | 100                | 強烈               | —                            | 拋物綫<br>16°N/132°E  | 轉變為溫帶氣旋                      |
| 12     | 1                | 8427                    | 杜 爾 (DOYLE)      | 0503Z-1100Z | 0703Z-1003Z                | 0718Z-0912Z                | 139                | 關島東南方海面                                    | 9.3           | 136.3 | 17                       | 那霸東方之海面上                               | 935                       | 57                 | 200               | 100                | 強烈               | —                            | 拋物綫<br>19°N/130°E  | 在19°N/130°E轉向東北              |

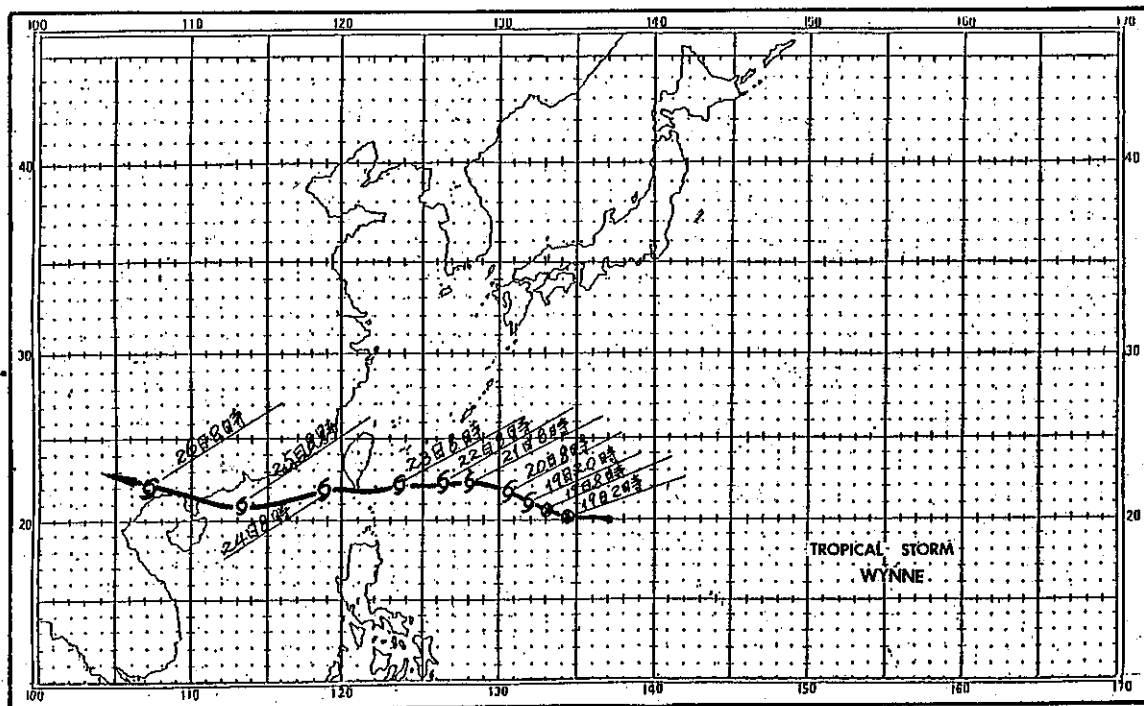


圖 八 民國73年6月魏恩颱風強度與路徑圖

Fig.8 Track and intensity for tropical storm Wynne in June in 1984.

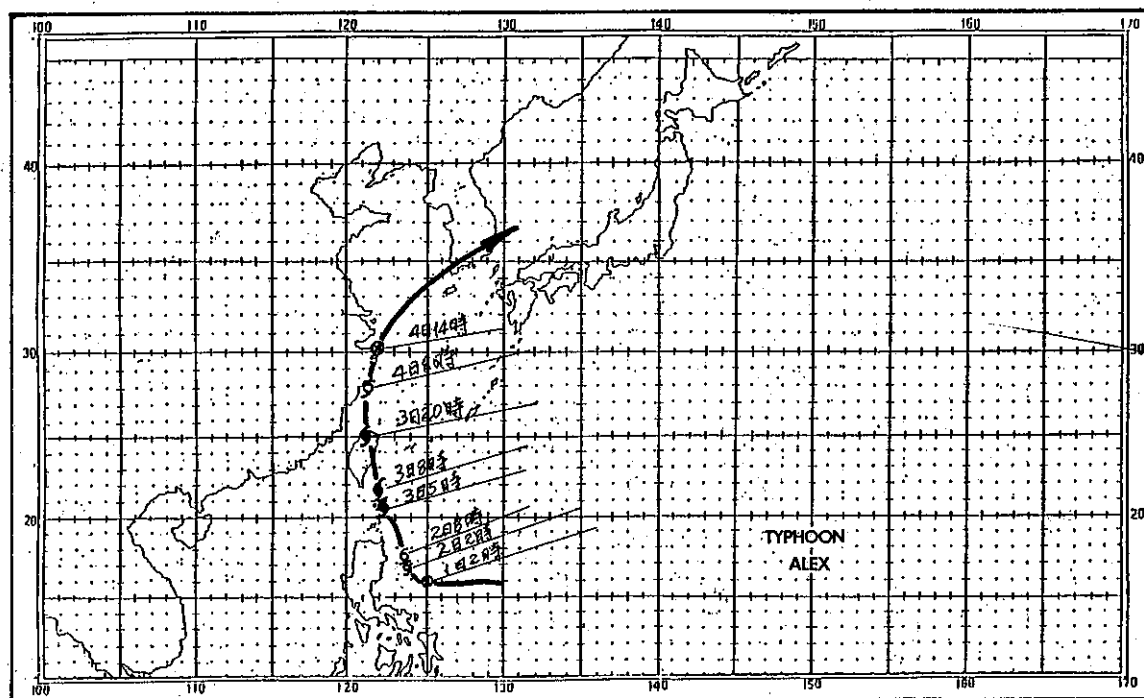
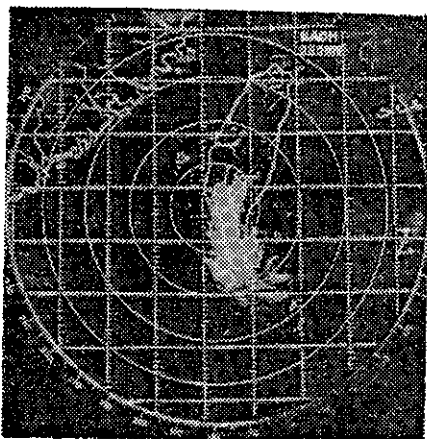


圖 九 民國73年7月亞力士颱風強度與路徑圖

Fig.9 Track and intensity for Typhoon Alex in July 1984.

上颱風警報（詳見表三），23日5時花蓮雷達站第一次觀測到魏恩颱風中心在北緯22.4度東經124.3度。在魏恩威力達最強每秒28公尺時，正好掠過臺灣南端（見圖七），使蘭嶼在12小時內氣壓遞降14 mb，此時蘭嶼氣壓僅984 mb，由於受到臺灣南端地形的影響，魏恩稍有減弱，但隨後在24小時內



圖十 高雄雷達站在7月2日2300Z觀測到亞力士颱風波圖風圖

Fig. 10. Typhoon Alexicho observed by Kaohsiung radar Station at 022300z, July 1984

又增強至每秒31公尺，並繼續偏西前進，於25日1200Z登陸廣東省，並於26日1200Z減弱消失於越南北部邊境內（見圖八）。

## (二) 七月份

(1) 亞力士 (ALEX) (8403)，為本年第三個颱風，也是第一個中度颱風，為中央氣象局73年度第二個發布警報的颱風。早在6月28日在菲律賓東方海面便有一低氣壓在醞釀，而且向呂宋島接近，一直到7月1日1800Z，該低氣壓不但增強為輕度颱風，且顯著地轉向北北西前進。至7月3日亞力士因受位於琉球海面高氣壓影響偏向西北移動，直逼向臺灣。中央氣象局在2日晚上9時首先發布海上颱風警報（見表四），到7月3日凌晨高雄雷達站已可清晰看到亞力士颱風在臺灣東南方近海（見圖十），且其外圍雲帶已伸入臺灣南部，而中央氣象局也於3日清晨4時發布了海上陸上颱風警報。亞力士颱風在7月3日下午登陸新港附近後，因為受到中央山脈的阻擋，威力迅速減弱，並在新竹附近形成副低壓中心，取代原來之颱風中心，而由西部出海進入臺灣海峽，並在4日登陸浙江（見圖九）。

表三 魏恩颱風警報發布經過

(民國73年6月)

Table 3 Warnings Issued on Tropical storm Wynne at C.W.B. (June, 1984)

| 警 報 種 類 | 次 序 |      | 發 布 時 間 |    |    | 警 戒 地 區                     |                            | 備 註       |
|---------|-----|------|---------|----|----|-----------------------------|----------------------------|-----------|
|         | 號   | 報    | 日       | 時  | 分  | 海 上                         | 陸 上                        |           |
| 海 上     | 1   | 1    | 21      | 14 | 45 | 東部海面、北部海面                   | —                          | 第一次發布海上警報 |
| "       | 1   | 2    | 21      | 20 | 40 | "                           | —                          |           |
| "       | 1   | 3    | 22      | 3  | 20 | 東部海面北部海面、巴士海峽               | —                          |           |
| "       | 1   | 4    | 22      | 8  | 40 | "                           | —                          |           |
| "       | 1   | 5    | 22      | 14 | 50 | "                           | —                          |           |
| 海 上 陸 上 | 1   | 6    | 22      | 20 | 40 | "                           | 東部（宜蘭、花蓮、臺東）地區             | 第一次發布陸上警報 |
| "       | 1   | 7    | 23      | 3  | 20 | "                           | "                          |           |
| "       | 1   | 8    | 23      | 8  | 50 | 東部海面、北部海面、巴士海峽、臺灣海峽南部       | 東部（宜蘭、花蓮、臺東）地區及南部（臺南及以南）地區 |           |
| "       | 1   | 9    | 23      | 15 | 10 | "                           | "                          |           |
| "       | 1   | 9-1  | 23      | 17 | 10 | "                           | "                          |           |
| "       | 1   | 10   | 23      | 20 | 35 | "                           | "                          | 加 發       |
| "       | 1   | 11   | 24      | 3  | 40 | 臺灣海峽南部、東部海面、北部海面、巴士海峽、東沙島海面 | "                          |           |
| "       | 1   | 11-1 | 24      | 5  | 10 | "                           | "                          | 加 發       |
| 海 上     | 1   | 12   | 24      | 8  | 50 | 東沙島海面、臺灣海峽南部、巴士海峽           | —                          |           |
| "       | 1   | 13   | 24      | 14 | 25 | 臺灣海峽南部、巴士海峽                 | —                          | 解除海上警報    |

表四 亞力士颱風警報發布經過

(民國73年7月)

Table 4 Warnings Issued on Typhoon Alex at C.W.B. (July, 1984)

| 警 報 種 類 | 次 序 |     | 發 布 時 間 |    |    | 警 戒 區 域                          |       | 備 註                              |
|---------|-----|-----|---------|----|----|----------------------------------|-------|----------------------------------|
|         | 號   | 報   | 日       | 時  | 分  | 海 上                              | 陸 上   |                                  |
| 颱風消息    |     |     | 2       | 15 | 45 | 巴士海峽、東沙島海面、臺灣東南部海面、臺灣海峽南部、南海北部海面 |       |                                  |
| 海上      | 2   | 1   | 2       | 21 | 0  | 巴士海峽、臺灣東部海面                      |       | 1.預定3日晨發布陸上警報<br>2.注意強風、豪雨       |
| 海上陸上    | 2   | 2   | 3       | 4  | 0  | 臺灣附近各海面及巴士海峽                     | 臺灣各地區 |                                  |
| "       | 2   | 3   | 3       | 5  | 50 | "                                | "     |                                  |
| "       | 2   | 4   | 3       | 8  | 50 | "                                | "     | 預測此颱風於本日中午前後在臺東附近登陸              |
| "       | 2   | 4-1 | 3       | 11 | 30 | "                                | "     | 加 發                              |
| "       | 2   | 5   | 3       | 15 | 0  | "                                | "     |                                  |
| "       | 2   | 5-1 | 3       | 18 | 10 | "                                | "     | 加 發                              |
| "       | 2   | 6   | 3       | 21 | 20 | "                                | "     |                                  |
| 海上      | 2   | 7   | 4       | 4  | 0  | 臺灣北部海面、臺灣海峽北部                    |       | 解除陸上警報                           |
| 解 除     | 2   | 8   | 4       | 9  | 0  | —                                | —     | 1.解除海上警報<br>2.受西南氣流影響，局部地區有中到大雷雨 |

(2) 貝蒂 (BETTY) (8404) 在 7 月 2 日 0000 Z 以低氣壓形態在關島西南方海面出現後，向西北移動，迨行至呂宋島東方約 700 多公里時才轉向西進，而且逐漸增強為熱帶性低氣壓，並且繼續西進，於 6 日登陸呂宋島。到 8 日 0000 Z，飛機偵察報告顯示發展成輕度颱風，同時在 8 日 0300 Z 香港皇家天文台的雷達也觀測到貝蒂颱風的中心位置，9 日 0300 Z 貝蒂在香港西南方西約 250 公里的廣西省登陸，隨後迅速減弱成熱帶性低氣壓。

(3) 凱瑞 (CA RY) (8405) 於 7 月 5~6 日間均為一熱帶擾動，6 日晚變為熱帶性低氣壓，到 8 日 00 Z 始達輕度颱風的強度，並向西北緩慢移動。9 日 1200 Z，凱瑞增強為中度颱風。10 日上午中心附近最大風速達每秒 45 公尺，中心氣壓降至 960 mb，之後，由於受到日本東方中緯度槽線的導引，使凱瑞在 10 日 0600 Z 到 1200 Z 之間轉向東北，此颱風強度一直維持到 13 日 0600 Z，才減弱為輕度颱風，在 14 日 0600 Z 轉變為溫帶氣旋。此溫帶氣旋受到日本東北方地面高壓脊的影響，轉向西南，然後向西進行，最後在日本南方海面減弱消失。

(4) 黛納 (DINAH) (8406) 此颱風 7 月 25 日凌晨

(24 日 1800 Z) 於關島東北方海面形成，在形成初期黛納由於受到其北方對流層中部高壓脊南緣駛流影響，以西南西方向移動。此時在黛納颱風西北西方約 1800 公里海面上另有一艾德颱風形成並向東南移動，使得高壓脊向北移並稍東退，而導至黛納轉向西北行進。26~28 日黛納和艾德發生相互牽制作用，兩颱風最接近時距離約 1,200 公里。在此期間黛納颱風行進速度極為緩慢，並由原來西北逐漸轉向北，乃至東北移動。28~29 日黛納颱風迅速增強中心氣壓降至 916 mb，近中心最大風速達 64m/s。此後黛納朝北北東方向沿着中太平洋高壓西緣加速前進，30 日下午，黛納已減弱為中度颱風，31 日繼續減弱至輕度颱風，並轉向東北進行，到 2 日上午轉變為溫帶氣旋而結束其長達 198 小時的颱風生命期。

(5) 艾德 (ED) (8407)：艾德颱風發生於日本南方海面，由初形成熱帶氣低氣壓至輕度颱風期階段，行徑十分特別，先向東南，接着向東，而後以反時針方向轉向北，最後向西北西進行，一直到登陸江蘇省。早在 7 月 23 日，艾德便在日本南方海面醞釀，到 25 日上午在天氣圖上已可分析出其中心約 1002mb 的低壓，25 日下午降為 999mb，到 26 日 06 Z 終於形成輕度颱風，而且逐漸增強。在開

始的一兩天內，艾德有逐漸向在其東方遠洋上的黛納颱風接近之勢，在26日，艾德曾經一度受到日本海上空一短槽東移的影響而有短時間轉向偏北移動的現象，至27日由於該槽線繼續向東移時，艾德復受到日本東方高壓的導引而轉向西北西進行，而在其向西北西前進初期更迅速增強，在28日21 Z已變成中度颱風，到29日18 Z再度增強為強烈颱風。在此颱風進入東海，因經過較冷海域，而減弱為輕度颱風，31日中午艾德在上海北方登陸，並迅速減弱為熱帶性低氣壓，最後在8月2日消失於山東省境。

### (三) 八 月 份

芙瑞達 (8408) 是8月份的第一個颱風，是中央氣象局發布第三個颱風警報的颱風 (見表五)，從8月1日開始在關島西方海面即有熱帶擾動發生，由於7月下旬末期剛有黛納及艾德兩颱風相繼消失，在北太平洋西部大氣環流形勢尚未移至此季節的正常情況，故此熱帶擾動發展十分緩慢，直到8月5日晚上，才形成熱帶性低氣壓，至6日00 Z繼續增強為輕度颱風，中心氣壓降到994 mb。此時颱風中心在19.5°N, 125.7°E，以每小時15公里速度向北北西進行，朝本省東南方海面迫進，由於此颱風距離本省頗近，對臺灣海陸直接構成威脅，中央氣象局於6日下午3時10分同時發布海上陸上颱風警報。接着8月7日凌晨颱風轉向偏西，在3時30分，花蓮雷達站第一次觀測到芙瑞達颱風中心，直到上午11時，因地形阻擋才消失於雷達幕上，此颱風中心於7日中午左右在臺灣東北角登陸，隨後進入臺灣海峽北部，轉向西北進行在同日傍

晚登陸福建省境，在8日下午減弱為熱帶性低氣壓。最後此颱風路徑圖詳見圖十一。

(2) 傑魯得 (GERALD) (8409)：本年第4個發布警報的颱風 (見表六)，是一個行徑怪異的颱風 (見圖十二)，也是今年在南海海域第一個形成的颱風，不但如此，它還與郝麗颱風相互影響而且在南海北部徘徊數日。8月中旬一開始，琉球、臺灣以至南海一帶就被間熱帶幅合區 (ITCZ) 所盤踞，而在臺灣東南方面由 ITCZ 中孕育發展而成的熱帶性低氣壓於13日晚在臺東登陸，造成臺灣東部與南部13日、14日的豪雨，而此 T.D 通過臺灣南部進入臺灣海峽南部之後，與位於東沙島海域的另一熱帶性低氣壓合併，並且在16日增強為輕度颱風，命名為傑魯得。由於此颱風對東沙島海面、巴士海峽及臺灣南部將構成威脅，中央氣象局乃於16日下午發布海上颱風警報。在8月18日凌晨2時，傑魯得達到最強階段，附近中心最大風速達55K TS (28 m/s)。17日由於受到郝麗颱風牽制，而且在原地附近打轉，之後隨著郝麗轉向西北逐漸遠離，傑魯得才回復到向西前進，到20日凌晨 (1918 Z)，才再度受到郝麗廣大的環流影響 (此時郝麗位於東海)，而轉向東北行進，於21日下午在廣東登陸迅速減弱為熱帶性低氣壓。

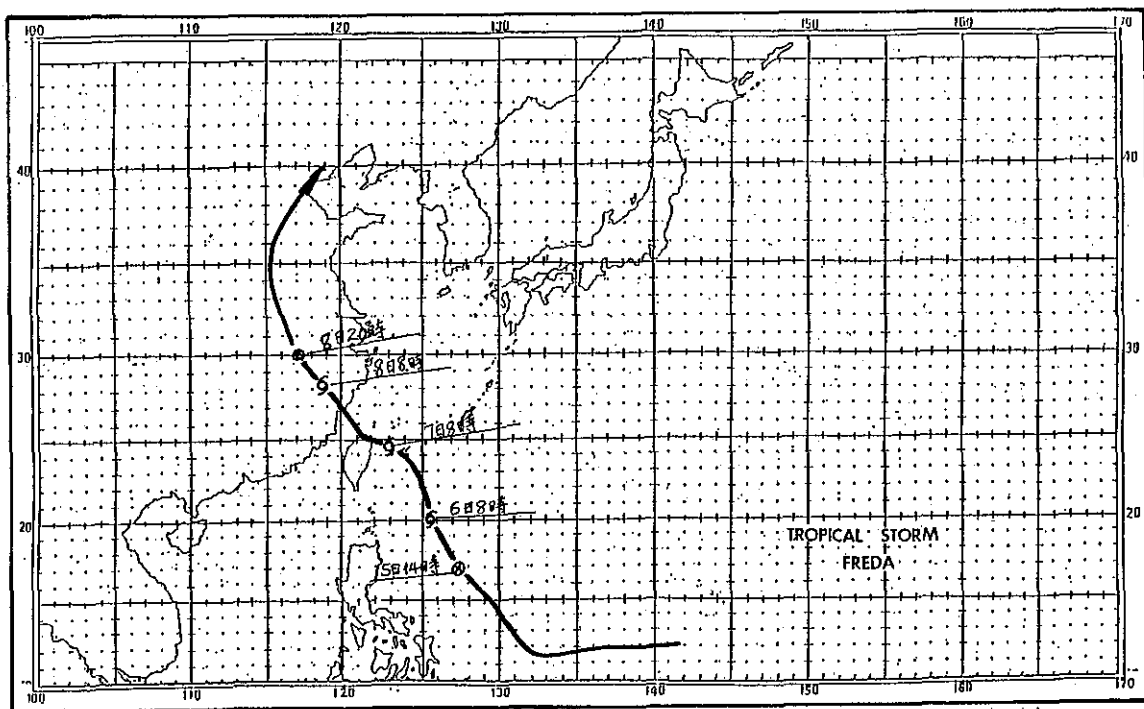
(3) 郝麗 (HOLLY) (8410)：本年度第5個發布警報的颱風 (見表七)，在傑魯得颱風形成的同時 (1600 Z) 原存在琉球東南方海面熱帶擾動亦發展成輕度颱風，命名郝麗，並且於17日00 Z 快速增強為中度颱風，其範圍亦不斷擴大，由於郝麗以西北西前進方向指向臺灣地區，中央氣象局乃

表五 芙瑞達颱風警報發布經過

(民國73年8月)

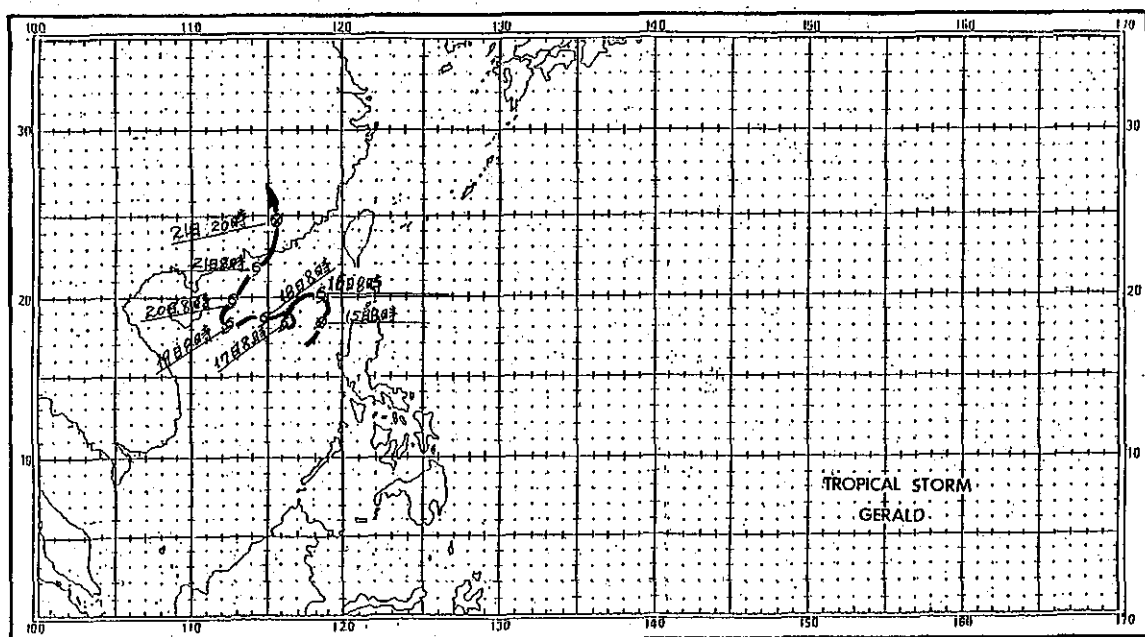
Table 5 Warnings Issued on Tropical storm Freda at C.W.B. (August, 1984)

| 警 報 種 類 | 次 序 |   | 資 料 時 間 |    | 發 布 時 間 |    |    | 警 戒 地 區                |            | 備 註                              |
|---------|-----|---|---------|----|---------|----|----|------------------------|------------|----------------------------------|
|         | 號   | 報 | 日       | 時  | 日       | 時  | 分  | 海 上                    | 陸 上        |                                  |
| 海 上 陸 上 | 3   | 1 | 6       | 14 | 6       | 15 | 10 | 東部海面、巴士海峽及北部海面         | 北部及東部      | 預測北部及東部有豪雨                       |
| "       | 3   | 2 | 6       | 20 | 6       | 20 | 40 | 同 上                    | 同 上        |                                  |
| "       | 3   | 3 | 7       | 2  | 7       | 4  | 15 | 同 上                    | 全臺灣地區      |                                  |
| "       | 3   | 4 | 7       | 8  | 7       | 9  | 40 | 東部、北部海面、臺灣海峽及巴士海峽      | 全臺灣地區      |                                  |
| "       | 3   | 5 | 7       | 14 | 7       | 15 | 35 | 東部、北部海面、臺灣海峽、巴士海峽及馬祖海面 | 北部、東北部及中南部 |                                  |
| "       | 3   | 6 | 7       | 20 | 7       | 21 | 00 | 東部、北部海面、臺灣海峽及馬祖海面      | 同 上        |                                  |
| 海 上     | 3   | 7 | 8       | 2  | 8       | 4  | 00 | 北部、臺灣海峽北部及馬祖海面         | —          | 解除陸上<br>北部海面、臺灣海峽及馬祖海面風浪仍大，船隻應注意 |
| 解 除     | 3   | 8 | 8       | 8  | 8       | 9  | 40 | —                      | —          |                                  |



圖十一 民國73年8月芙瑞達颱風強度與路徑圖

Fig.11 Track and intensity for tropical storm Freda in August 1984.



圖十二 民國73年8月傑魯得颱風強度與路徑圖

Fig.12 Track and intensity for tropical storm Gerald in August 1984.

表六 傑魯得颱風警報發布經過

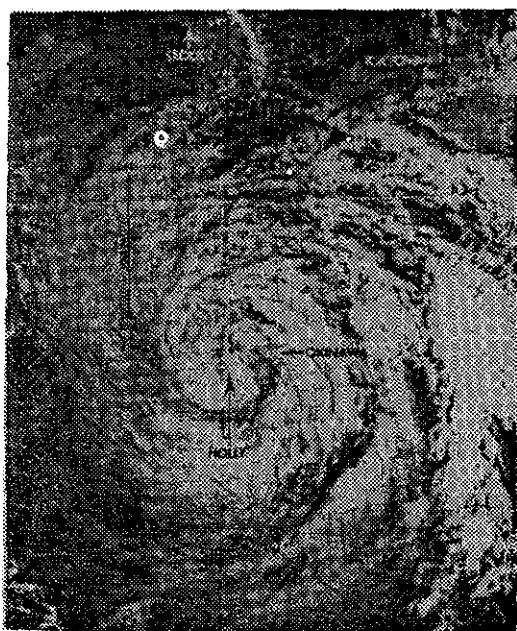
(民國73年8月)

Table 6 Warnings Issued on Tropical storm Gerald at C.W.B. (August, 1984)

| 警 報 種 類 | 次 序 |    | 發 布 時 間 |    |    | 警 戒 區 域               |     | 備 註          |
|---------|-----|----|---------|----|----|-----------------------|-----|--------------|
|         | 號   | 報  | 日       | 時  | 分  | 海 上                   | 陸 上 |              |
| 海 上     | 4   | 1  | 16      | 15 | 0  | 東沙島海面、巴士海峽、臺灣海峽南部     | —   |              |
| "       | 4   | 2  | 16      | 21 | 25 | "                     | —   |              |
| "       | 4   | 3  | 17      | 4  | 30 | "                     | —   |              |
| "       | 4   | 4  | 17      | 10 | 0  | "                     | —   |              |
| "       | 4   | 5  | 17      | 15 | 0  | "                     | —   | 附註於郝麗颱風之警報單內 |
| "       | 4   | 6  | 17      | 21 | 10 | "                     | —   | "            |
| "       | 4   | 7  | 18      | 4  | 40 | "                     | —   | "            |
| "       | 4   | 8  | 18      | 9  | 50 | "                     | —   | "            |
| "       | 4   | 9  | 18      | 16 | 10 | "                     | —   | "            |
| "       | 4   | 10 | 18      | 21 | 0  | "                     | —   | "            |
| "       | 4   | 11 | 19      | 4  | 45 | "                     | —   | "            |
| 解 除     | 4   | 12 | 19      | 9  | 50 | —                     | —   | 附註於郝麗颱風之警報單內 |
| 颶 風 消 息 |     |    | 21      | 15 | 50 | 東沙島海面、臺灣海峽、南部金門海面風力甚大 | —   | 中南部地區有局部性豪雨  |

於 17 日下午 3 時，發布海上陸上颱風，而此時傑魯得颱風在南海北部行徑搖擺怪異，迫使中央氣象局不得不在郝麗颱風警布之同時亦發布傑魯得颱風的海上警報，此為臺灣地區颱風預報史上的一項少見的例子，另外郝麗的強度雖然僅達中度程度，但是其環流雲系涵蓋範圍却異常之大，南北約跨 10 個緯度（見圖十三）。至於它的行徑，主要是受副熱帶高壓脊的影響而先以偏西前進，等到 18 日上午便轉向西北，而且維持西北方向約 30 小時之久，迨過了琉球西面海域，則再轉偏北前進約有持續兩日，強度亦無大變化，待進入西南帶後便折向東北加速朝向對馬海峽而進入日本海，在 21 日下午變為溫帶氣旋（圖十四）

(4) 艾克 (IKE) (8411)：艾克颱風為醞釀於關島南方海域的熱帶擾動，該颱風在菲律賓造成本世紀以來最嚴重的颱風災害。在 8 月 21 日便有一個微弱的地面環流在關島南方形成，經過 4 天的發展，經過約一星期的醞釀到 27 日 06Z 發展成為輕度颱風。艾克颱風形成初期是以西北方向前進，28 日逐漸轉向偏西以至西南西並且在 29 日下午增強為中度颱風。在其向西南行進途中，於 30 日上午一度減弱為輕度，而於 31 日凌晨才又回復到中度颱風強度，至 9 月 1 日下午再增強為強烈颱風。不過艾克颱風強度，在 2 日晚上又降為中度，持續到 5 日清晨才又同

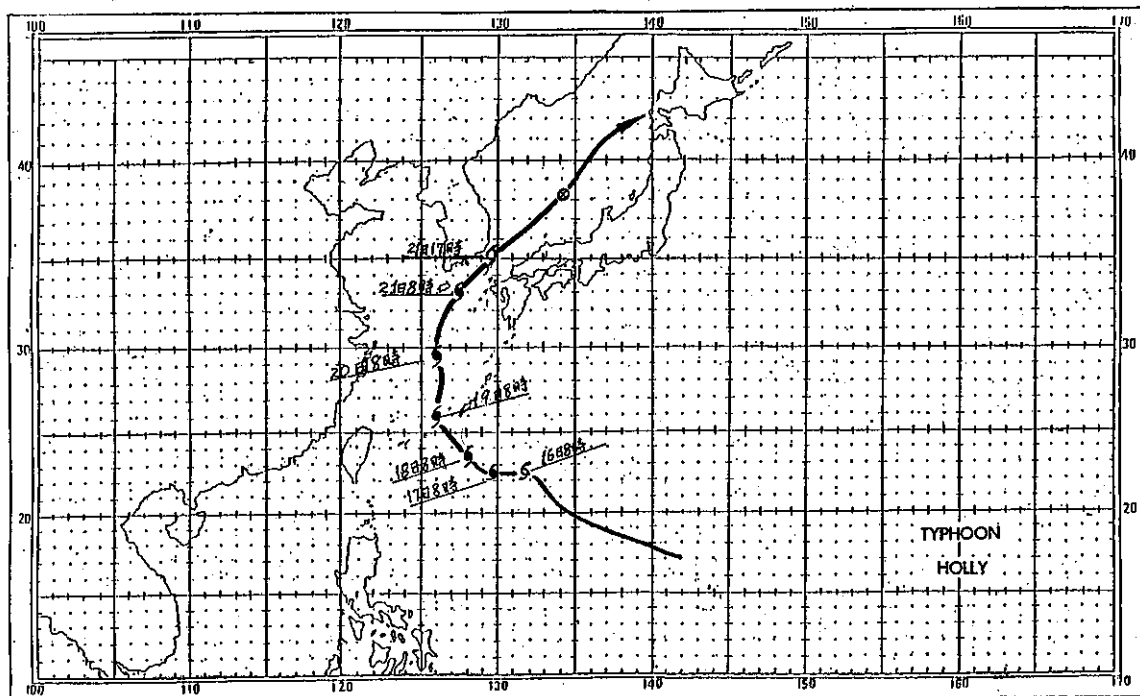


圖十三 民國73年8月18日 2303Z NOAA 可見光雲圖，郝麗廣大範圍清晰可見。

Fig.13 vis imagery at 182303Z August, 1984, Typhoon Holly passing just west of Okinawa.

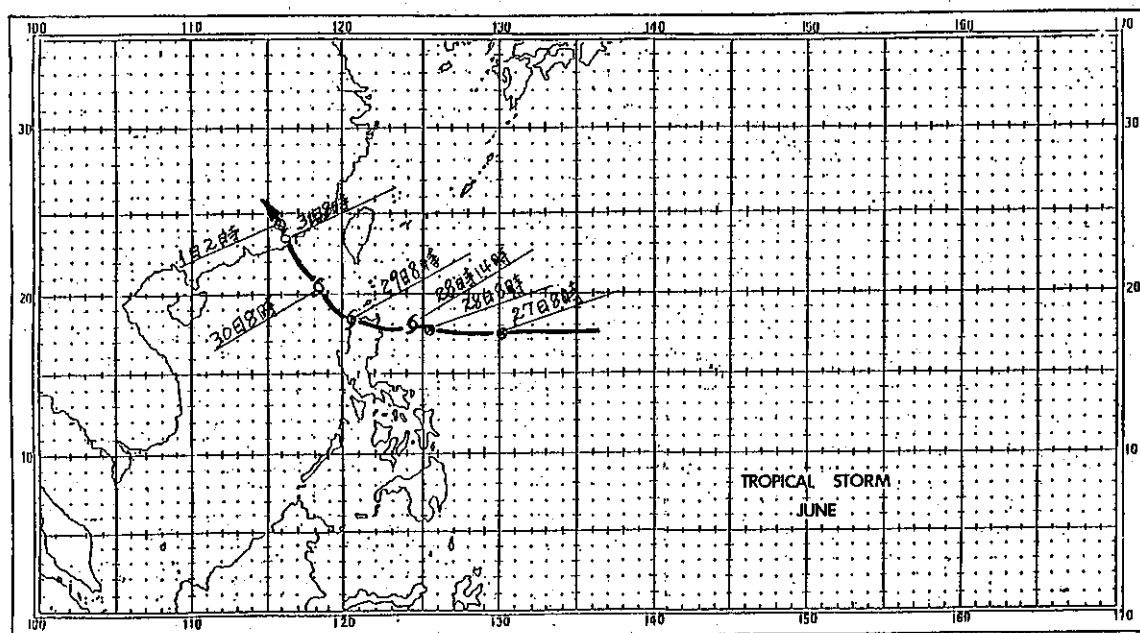
復強烈颱風，惟僅維持約 18 小時至 5 日晚上 20 時則又減弱為中度颱風。正當艾克強度達鼎盛時期（近中心風速 120 KTS 或 62 m/s），即在 9 月 1 日傍





圖十四 民國73年8月郝麗颱風強度與路徑圖

Fig.14 Track and intensity for Typhoon Holly in August 1984.



圖十五 民國73年8月裘恩颱風強度與路徑圖

Fig.15 Track and intensity for tropical storm June in August 1984.

表七 郝麗颱風警報發布經過

(民國73年8月)

Table 7 Warnings Issued on Typhoon Holly at C.W.B. (August, 1984)

| 警 報 種 類 | 次 序 |    | 發 布 時 間 |    |    | 警 戒 區 域               |              | 備 註       |
|---------|-----|----|---------|----|----|-----------------------|--------------|-----------|
|         | 號   | 報  | 日       | 時  | 分  | 海 上                   | 陸 上          |           |
| 海 上 陸 上 | 5   | 1  | 17      | 15 | 00 | 臺灣東部及北部海面             | 臺灣北部及東部地區    | 注意強風、豪雨   |
| "       | 5   | 2  | 17      | 21 | 10 | 臺灣東部海面、北部海面、臺灣海峽及馬祖海面 | 臺灣北部、東部、馬祖地區 |           |
| "       | 5   | 3  | 18      | 4  | 40 | 臺灣附近各海面及金門、馬祖海面       | "            |           |
| "       | 5   | 4  | 18      | 9  | 50 | "                     | "            | "         |
| "       | 5   | 5  | 18      | 16 | 10 | "                     | "            | "         |
| "       | 5   | 6  | 18      | 21 | 0  | 臺灣附近各海面               | 臺灣北部及東北部     | 應防豪雨      |
| "       | 5   | 7  | 19      | 4  | 45 | "                     | "            | "         |
| "       | 5   | 8  | 19      | 9  | 50 | "                     | "            | "         |
| "       | 5   | 9  | 19      | 15 | 30 | "                     | "            | 山區應防豪雨    |
| 解 除     | 5   | 10 | 19      | 21 | 30 | —                     | —            | 中南部山區應防豪雨 |

表八 裘恩颱風警報發布經過

(民國73年8月)

Table 8 Warnings Issued on Tropical storm June at C.W.B. (August, 1984)

| 警 報 種 類 | 次 序 |    | 資 料 時 間 |    | 發 布 時 間 |    |    | 警 戒 地 區                |                      | 備 註    |
|---------|-----|----|---------|----|---------|----|----|------------------------|----------------------|--------|
|         | 號   | 報  | 日       | 時  | 日       | 時  | 分  | 海 上                    | 陸 上                  |        |
| 海 上 陸 上 | 6   | 1  | 28      | 14 | 28      | 16 | 10 | 巴士海峽、東部海面、臺灣海峽南部、東沙島海面 | 臺灣東南部(花蓮以南及南部(嘉義以南)) |        |
| "       | 6   | 2  | 28      | 20 | 28      | 21 | 30 | "                      | "                    |        |
| "       | 6   | 3  | 29      | 2  | 29      | 4  | 0  | "                      | "                    |        |
| "       | 6   | 4  | 29      | 8  | 29      | 9  | 50 | "                      | "                    |        |
| "       | 6   | 5  | 29      | 14 | 29      | 15 | 50 | "                      | "                    |        |
| 海 上     | 6   | 6  | 29      | 20 | 29      | 20 | 55 | 東沙島海面、巴士海峽及臺灣海峽南部      | 解除陸上警報               | 注意海水倒灌 |
| "       | 6   | 7  | 30      | 2  | 30      | 4  | 22 | "                      | —                    |        |
| "       | 6   | 8  | 30      | 8  | 30      | 9  | 50 | 東沙島海面、巴士海峽、臺灣海峽、金門海峽   | —                    |        |
| "       | 6   | 9  | 30      | 14 | 30      | 15 | 55 | "                      | —                    |        |
| "       | 6   | 10 | 30      | 20 | 30      | 21 | 35 | 東沙島海面、臺灣海峽及金門海面        | —                    |        |
| 解 除     | 6   | 11 | 31      | 2  | 31      | 4  | 0  | —                      | —                    | "      |

晚至2日橫掃菲律賓中部，造成近2,000人死亡，幾十萬人無家可歸的慘劇。艾克在穿過菲律賓中部後，其進行方向也改為西北而進入南海，在9月5日侵襲海南島時仍為中度颱風。在6日上午艾克颱風登陸廣西省後很快即減弱消失。

(5) 裘恩 (JUNE) (8412)：8月份的最後一個颱風，也是今年影響臺灣地區而發布警報的第6個颱風（見表八）。其前身為位於呂宋島東北方海

面的熱帶性低氣壓，在28日下午2時變成為輕度颱風，由於受到副熱帶高壓影響，形成初期以偏西方向移動。28日晚間裘恩颱風登陸呂宋島北端，接着受到呂宋島北部地形影響，繼續偏西前進，迨進入南海北部，適有中緯度槽線通過大陸東部而削弱了副熱帶高壓的勢力，使得裘恩轉向西北方向前進而在31日凌晨登陸香港東北方約230公里處，而在9月1日凌晨消失（見圖十五）。此颱風除造成臺灣

南部沿海地區海水倒灌外更在菲律賓形成嚴重水災，使兩萬五千戶人家無家可歸，與艾克肆虐菲島中

部僅隔4天而已。(中央氣象局對此颱風所發布之警報參見表九)。

表九 比爾 (BILL) 颱風警報發布經過 (民國73年11月)  
Table 9 Warnings Issued on Typhoon Bill at C.W.B. (Nov. 1984)

| 警 報 種 類 | 次 序 |   | 資 料 時 間 |    | 發 布 時 間 |    |    | 警 戒 地 區   | 備 註                                     |
|---------|-----|---|---------|----|---------|----|----|-----------|---|
|         | 號   | 報 | 日       | 時  | 日       | 時  | 分  |           |   |
| 海 上     | 7   | 1 | 17      | 14 | 17      | 15 | 0  | 東部海面、巴士海峽 | 預測東北部山區有較大雨勢                            |
| "       | 7   | 2 | 17      | 20 | 17      | 20 | 40 | 同 上       | 同上，並記錄蘭嶼出現12級陣風                         |
| "       | 7   | 3 | 18      | 2  | 18      | 3  | 0  | 同 上       | 同上，並記錄蘭嶼出現14級陣風                         |
| "       | 7   | 4 | 18      | 8  | 18      | 9  | 0  | 同 上       | 同上，並記錄蘭嶼出現15級陣風                         |
| "       | 7   | 5 | 18      | 14 | 18      | 15 | 20 | 同 上       | 再強度北部、東北部山區雨勢較大，並預測比爾未來有轉向北東行進的趨勢       |
| 解 除     | 7   | 6 | 18      | 20 | 18      | 21 | 0  | ——        | 指出臺灣附近各海面受東北季風及比爾外圍環流影響，風浪乃甚大，並強調北部山區大雨 |

#### (四) 九 月 份

(1) 凱立 (KELLY)：9月13日上午，在衛星雲圖上可以看到一低層環流在威克島東北方海面上，到14日上午11時增強為輕度颱風，凱立颱風在形成過程中原本是在原地打轉，一俟形成後即加速向北移動，到15日晚上則又轉向西北，而於16日凌晨2時增強為中度颱風，並且繼續向西北移動，凱立颱風在17日通過一冷心低氣壓之下方後，進入西風帶，便快速折向東北移動，並迅速減弱，至18日上午變為一溫帶氣旋而續朝東北方向離去，於19日下午消失。

(2) 琳恩 (LYNN) (8414)：在9月23日上午，在南中國海可看到對流系統在發展，同時在呂宋島西方近海有一背風的低層氣旋環流形成，至24日凌晨，地面資料已顯示出有20-30KTS (10-15m/s) 風速的環流，慢慢增強，且向西北西移動，一直到24日下午06Z，才達到輕度颱風階段，並向西南方移動，但此時琳恩的結構並不良好，在25日高低層環流有顯著分離的現象，而使其趨減弱，終於在25日下午06Z在西沙島北北東方的海面上減弱為熱帶性低壓，其生命期，前後僅廿四個小時而已，是本年度生命期較短的颱風之一。

(3) 莫瑞 (MAURY) (8415)：從9月下旬起，有一振幅很大的長波槽停滯於北太平洋西部，造成副熱帶高壓減弱並東退，也使得這一段期間的颱風發生後，便有偏北移動的現象。9月27日，在硫磺島附近有兩個較顯著的熱帶性低氣壓，其中在硫磺島東方的一個在28日上午11時發展成輕度颱風

莫瑞 (在此同時另一個在硫磺島南方近海的熱帶性低氣壓，亦增強為妮娜颱風)，於其初生階段偏西行進，在29日轉向西北，而且強度也增強至55KT S(28m/s)，此時不論強度或動向，都受到妮娜颱風的牽制。由於莫瑞颱風高低層的環流未能配合，使得莫瑞一直無法增強為中度。在29日當妮娜颱風向東北移動，接近莫瑞颱風時，莫瑞雖然受到妮娜低層內流 (Inflow) 氣流影響，但在其東面的副熱帶高壓却迫使莫瑞加速北移，並折向東北，而在同時妮娜也加速向東北移動，在31日晚上 (12Z) 兩個颱風僅相距不到600公里，尤其是當莫瑞納入妮娜的大環流裏之後，莫瑞開始減緩腳步，終於在10月1日00Z併入妮娜環流中。

(4) 妮娜 (NINA) (8416)：妮娜颱風是9月份的最後一個颱風，其強度並不強，但範圍很大，特別是併吞莫瑞颱風是一大特色。妮娜的發生時間與過程已於上一節述及，至於其行徑，在27日形成熱帶性低氣壓之後，便以偏北方向移動，28日上午11時增強為輕度颱風之後繼續向北行進，但是在29日上午進入西風帶後即轉向北北東以至東北前進。在30日曾一度減弱為T.D熱帶性低氣壓，不過為時甚短，隨後又成輕度颱風，在10月1日併吞莫瑞，其強度亦達到最強 (50KTS 或 26m/s)，到10月2日晚上妮娜在日本東方海面完全轉變為溫帶氣旋。

#### (五) 十 月 份

(1) 奧克頓 (OGDEN) (8417)：十月初由於整個太平洋大氣環流形勢並未改變，奧克頓自從10

月4日在關島東南方的熱帶擾動期，以及後來在關島東北方形成熱帶性低氣壓階段，都是以偏北方向前進，到10月7日12Z形成輕度颱風後更是繞過太平洋高壓西緣而轉向東北方向前進。10月8日，進入西風帶的奧克頓加速向東北行進，且強度也繼續增強中，而在9日上午達到中度颱風的強度。之後，此颱風開始變性，而在10日凌晨變為溫帶氣旋，結束其颱風的生命期，此後仍繼續向東北移去。

(2) 費莉絲(PHYLLIS)(8418)：費莉絲在10月8日在關島東方海域仍然是一個熱帶擾動，之後漸漸發展成熱帶性低氣壓，而且向東北移動，到11日06Z，在關島東北方增強為輕度颱風，此後受到北方中緯度槽線影響而向北移動，同時也繼續增強，由於其上空的反氣旋外流作用提供了發展的契機，在12日00Z增強為中度颱風，然而僅維持了一天半時間，當其繼續北移時，由於高層已進入西風帶，造成其高低層環流的分離而減弱成熱帶性低氣壓。費莉絲自從脫離季風槽一直到消失階段前，始終是偏北前進，最後在消失過程中(14日以後)才偏向東北離去。

(3) 羅依(ROY)(8419)：生命期只有24小時的羅依颱風，是10月9日在雅浦島附近出現的熱帶擾動，此小擾動開始是向東北移動，在10月11日下午2時，與費莉絲同時形成輕度颱風，但由於上下層有直垂的風切存在，使得羅依不但無法發展，且在12日下午迅速消失，其近中心最強風速僅40KTS，中心氣壓也只降到998mb而已。

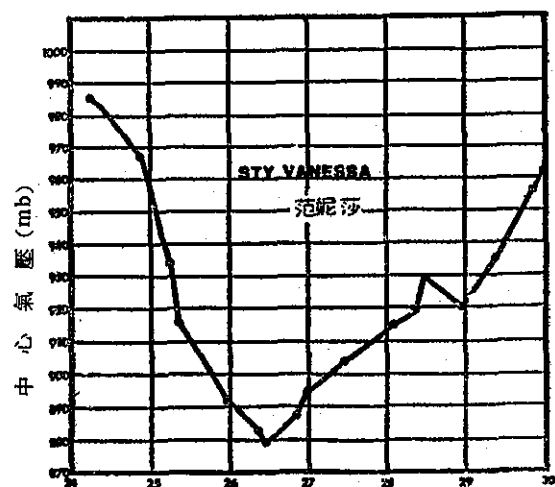
(4) 蘇珊(SUSAN)(8420)：生命期只有12小時，是本年度生命期最短的颱風，也是第三個在南海醞釀出來的颱風，雖然強度和羅依一樣僅達40KTS，却在越南中南部造成極大災害。10月10日在南海中部原本有一低壓環流存在，範圍逐漸縮小而結實，而且近似滯留，到11日下午才開始沿着季風槽軸線向西移動，而且逐漸發展，到12日上午(00Z)增強為輕度颱風，繼續向前進，12小時後即快速登陸越南南部，並減弱為熱帶性低氣壓。

(5) 賽德(THAD)(8421)：賽德是10月份裏的第一個強烈颱風，10月18日上午在關島東南方遠海在季風槽的東側有一熱帶擾動發生，沿太平洋副熱帶高壓西南緣向西北移動，到19日下午5時，強度增強成輕度颱風賽德，此時中心氣壓也降至990mb，而且繼續在發展，20日晚上已增強至中度颱風，21日行進方向沿高壓脊偏向北北西方向，到22日12Z賽德已成為強烈颱風，此時則已進入西風

帶而使行進方向轉為東北，然而其強度並未迅速減弱，至24日06Z，轉變為溫帶氣旋，而結束其生命期。

(6) 范妮莎(VANESSA)(8422)是本年度第一個超級強烈颱風，也是本年度最強的颱風，其近中心風速最強時達155KTS(80m/s)，中心氣壓低達874mb。范妮莎最早發源於關島東南方遠海，在10月20日開始有一熱帶擾動在 $4^{\circ}\text{N}$ ,  $163^{\circ}\text{E}$ 附近發生，21~22日之間正緩慢發展，並以西北方向移動，同時其高層有反氣旋環流配合，使該擾動在有良好的高層外流支持下，終於23日下午變成輕度颱風，命名為范妮莎，范妮莎自始至終以穩定的拋物線路徑在移動，其轉折點約在 $20^{\circ}\text{N}$ ,  $129^{\circ}\text{E}$ ，也就是在琉球南方，而於日本東方海面轉變為一溫帶氣旋。范妮莎的中心氣壓在24~26日兩天之間由1000mb迅速下降至879mb，與歷史最低記錄870mb僅差9mb。(見圖十六)，范妮莎的強波增強與減弱也很規則化，23日下午形成輕度颱風，24日下午增強為中度，25日下午則又增強為強烈，在26日下午飛機觀測報告已達超級強烈颱風強度，之後，又開始慢慢減弱，到30日清晨回到中度，31日清晨降為輕度，在31日下午轉變為溫帶氣旋。

(7) 華倫(WARREN)(8423)：10月份的最後一個颱風，是本年度移速最慢的颱風，平均移



圖十六 范妮莎颱風海平面氣壓時間剖面(10月24~30日)

Fig.16 Time Cross-section of Vanessa's minimum sea-level pressure as measured by reconnaissance aircraft, 24-30, October 1894.

速僅每小時9公里，其行徑也是本年度最怪異的颱風，登陸越南消失。華倫颱風於24日06Z在南海南部形成，在24~25日以反時鐘方向氣旋轉了一小圈，然後又回復向西緩慢前進，接着是向北走，以及2612Z到2700Z的12小時近似滯留，在2618Z到2915Z之間華倫颱風曾達中度颱風。在26日晚上，華倫受范妮莎超級強烈颱風廣大環流以及中緯度槽線由颱風北方通過了雙重影響，一度呈近似滯留，而後轉向東移動，到28日，因范妮莎轉向東北，29日華倫開始脫離范妮莎颱風牽制，呈氣旋型旋轉，然後折向西南西行進，此時顯然已受東北季風影響，其強度亦逐漸減弱，在30日清晨減弱為輕度颱風，到31日下午變為一熱帶性低氣壓，並在越南南部消失。

#### (六) 十一月份

(1) 艾妮絲 (AGNES) (8424)：是11月份的第一個颱風，從開始形成颱風到登陸越南中部，始終都以西北西方向的近似直線的路徑前進。早在10月28日在 149°E 的赤道附近就有對流發展，一直到30日才增強為熱帶性低氣壓，並且向西北方向前進，次日11月1日下午06Z艾妮絲才形成輕度颱風，接着便以西北偏西方向移動，一直到了3日清晨 (0221Z) 增強中度颱風，繼續沿太平洋副熱帶高壓脊南緣向西北西進行。在3日下午，艾妮絲已增強為強烈颱風，在4日18Z 中心風速達 120KTS (62m/s)，5日侵襲菲律賓中部造成近千人喪生，之後進入南海，並繼續維持強烈颱風的強度，向西北西進行，而終於在7日登陸越南中部並迅速減弱消失。

(2) 比爾 (BILL) (8425)：是中央氣象局本年度發布警報的最後一個颱風 (見表九)，其行徑亦呈現怪異的現象，而且是本年度生命期最長的颱風。此颱風於11月8日在關島東方海面形成後，就先以氣旋型打了一個小轉，然後才向西南西前進，兩天後加速前進，12日通過關島南方近海，轉向西進，14日又轉西北西至西北。18日到達巴士海峽東部，正好逢強烈大陸高氣壓南下，迫使其轉向東南移動，且強度減弱，最後減弱為熱帶性低氣壓，且在呂宋島東方海面再作一個氣旋型打轉而最後消失 (見圖十七)。比爾的早期是在11月7日在關島東方遠海上的一個熱帶擾動，經過一天多的發展，在9日00Z形成輕度颱風，至10日上午強度繼續增強到 50KTS (26m/s)，中心氣壓在 990 mb，

接着在11日00Z增強為中度颱風，11~12日又加速前進並逐漸增強，13日下午6時至14日上午8時短短的14小時內，其中心氣壓竟然遽降 34 mb 之多，使當時中心氣壓降至 932mb，中心附近最大風速也達 100KTS (51m/s)，成為強烈颱風，此後仍然繼續增強，在14日18Z，中心附近最大風速達 130KTS (67m/s)，氣壓降至 905mb，成為本年

表十 魏恩颱風侵臺期間，各地風雨狀況  
Table 10 The Maximum Winds and Precipitation from CWB's Station during Wynne Passage

| 時 間<br>類 別<br>地 點 | 23 日 00 時 ~ 24 日 24 時 |                 |
|-------------------|-----------------------|-----------------|
|                   | 最 大 陣 風<br>哩/時 (級)    | 累 積 雨 量<br>(mm) |
| 彭 佳 嶼             | 37 (8)                | 0.3             |
| 基 隆               | 29 (7)                | 12              |
| 宜 蘭               | 24 (6)                | 20.2            |
| 蘇 澳               | 34 (8)                | 19              |
| 鞍 部               | 48 (10)               | 18              |
| 陽 明 山             | 22 (6)                | 19              |
| 臺 北               | 35 (8)                | 5               |
| 新 竹               | 29 (7)                | 10              |
| 臺 中               | —                     | 38.1            |
| 梧 棲               | 52 (10)               | 25              |
| 日 月 潭             | —                     | 121             |
| 玉 山               | —                     | 22              |
| 阿 里 山             | 43 (9)                | 38.8            |
| 嘉 義               | 24 (6)                | 73              |
| 臺 南               | 34 (8)                | 0.6             |
| 高 雄               | 40 (8)                | 8.5             |
| 花 蓮               | 32 (7)                | 41              |
| 新 港               | 44 (9)                | 51              |
| 臺 東               | 44 (9)                | 311             |
| 大 武               | 52 (10)               | 73              |
| 恆 春               | 64 (12)               | 105             |
| 蘭 嶼               | 112 (17)              | 40              |
| 澎 湖               | 36 (8)                | 12              |
| 東 吉 島             | 46 (9)                | 4               |

第二個超級強烈颱風。

(3) 葛萊拉 (CLARA) (8426) : 11月份最後一個颱風，早在11月11日在關島東南方遠海有一弱低氣壓，11月13日，由於高層的輻散作用，提供其發展有利形勢，到14日下午 (06Z) 形成爲熱帶性低氣壓，在14日21Z增強爲輕度颱風葛萊拉，在17日上午00Z成爲中度颱風，而於19日12Z再增強爲強烈颱風，此時正好葛萊拉在  $132^{\circ}\text{E}$  轉向東北而

表十一 亞力士颱風侵臺期間各地風雨狀況

Table 11 The Waximum Winds and Precipitation from CWB's Station during Ale Passage

| 時 間<br>類 別<br>地 點 | 3 日 00 時 ~ 4 日 08 時 |                 |
|-------------------|---------------------|-----------------|
|                   | 最 大 陣 風<br>哩/時 (級)  | 累 積 雨 量<br>(mm) |
| 彭 佳 嶼             | 62 (12)             | 7               |
| 基 隆               | 35 (8)              | 10              |
| 宜 蘭               | 30 (7)              | 24              |
| 蘇 澳               | 44 (9)              | 29              |
| 鞍 部               | 48 (9)              | 18              |
| 陽 明 山             | —                   | 20              |
| 臺 北               | 26 (6)              | 12              |
| 新 竹               | 32 (7)              | 42              |
| 臺 中               | 20 (5)              | 86              |
| 梧 棲               | 33 (7)              | 117             |
| 日 月 潭             | 30 (7)              | 62              |
| 玉 山               | —                   | 132             |
| 阿 里 山             | 31 (7)              | 143             |
| 嘉 義               | 24 (6)              | 61              |
| 臺 南               | 35 (8)              | 17              |
| 高 雄               | 40 (8)              | 29              |
| 花 蓮               | 25 (6)              | 44              |
| 新 港               | 78 (13)             | 198             |
| 臺 東               | 47 (9)              | 54              |
| 大 武               | 26 (6)              | 55              |
| 恆 春               | 24 (6)              | 123             |
| 蘭 嶼               | 180 (217)           | 76              |
| 澎 湖               | 24 (6)              | T               |
| 東 吉 島             | 32 (7)              | 8               |

逐漸變性，而在21日18Z完全變爲溫帶氣旋並伴有鋒面系統，而消失其熱帶氣旋之特性。

### (七) 十二月份

杜爾 (DOYLE) (8427) : 本年最後一個，也是十二月份唯一的颱風，其移動路徑亦呈拋物線，且都在廣大洋面上渡過其生命期。12月1日便可見一熱帶擾動在關島東南方海面，一直到2日才增

表十二 芙瑞達颱風侵臺期間，各地風雨狀況

Table 12 The Maximum Winds and Precipitation from CWB's Sation during Freda Passage

| 時 間<br>類 別<br>地 點 | 8 月 6 日 00 Z ~ 8 月 8 日 00 Z |                 |
|-------------------|-----------------------------|-----------------|
|                   | 最 大 陣 風<br>哩/時 (級)          | 累 積 雨 量<br>(mm) |
| 彭 佳 嶼             | 61 (11)                     | 138             |
| 基 隆               | 56 (11)                     | 170             |
| 宜 蘭               | 32 (8)                      | 223             |
| 蘇 澳               | 42 (9)                      | 200             |
| 鞍 部               | 60 (11)                     | 294.4           |
| 陽 明 山             | 36 (8)                      | 257.5           |
| 臺 北               | 38 (8)                      | 177             |
| 新 竹               | 34 (8)                      | 208             |
| 臺 中               | —                           | 70              |
| 梧 棲               | 46 (9)                      | 43              |
| 日 月 潭             | —                           | 102             |
| 玉 山               | —                           | 80              |
| 阿 里 山             | —                           | 86              |
| 嘉 義               | —                           | 16              |
| 臺 南               | 34 (8)                      | 6.1             |
| 高 雄               | 26 (6)                      | 6               |
| 花 蓮               | —                           | 22.6            |
| 新 港               | —                           | —               |
| 臺 東               | —                           | —               |
| 大 武               | —                           | 0.2             |
| 恆 春               | 37 (8)                      | 18.2            |
| 蘭 嶼               | 76 (13)                     | 0.3             |
| 澎 湖               | 24 (6)                      | —               |
| 東 吉 島             | 35 (8)                      | —               |

強為熱帶性低氣壓，不但維持西北西前進而且逐漸增強，由於高層氣旋型外流造成其發展順利，至4日其中心氣壓由原來的 1004mb 又降到 1001 mb，11月5日上午11時，形成輕度颱風杜爾，而且繼續增強，6日其中心氣壓已降至973 mb，而在7日上午11時達中度颱風強度，此時移向也更偏西北，7日晚上(2047 Z) 觀測到中心氣壓在24小時內下降43mb，而降至 935 mb，風速亦達 110KTS

(57m/s)，成為強烈颱風。到了9日12Z 到10日00Z，杜爾已轉向北移動，並且迅速減弱，近中心最大風速亦由 95KTS 減為 45KTS，之後杜爾加速向東北移去，而於11日上午00Z減弱消失。

### 三、風雨情狀及災情報告

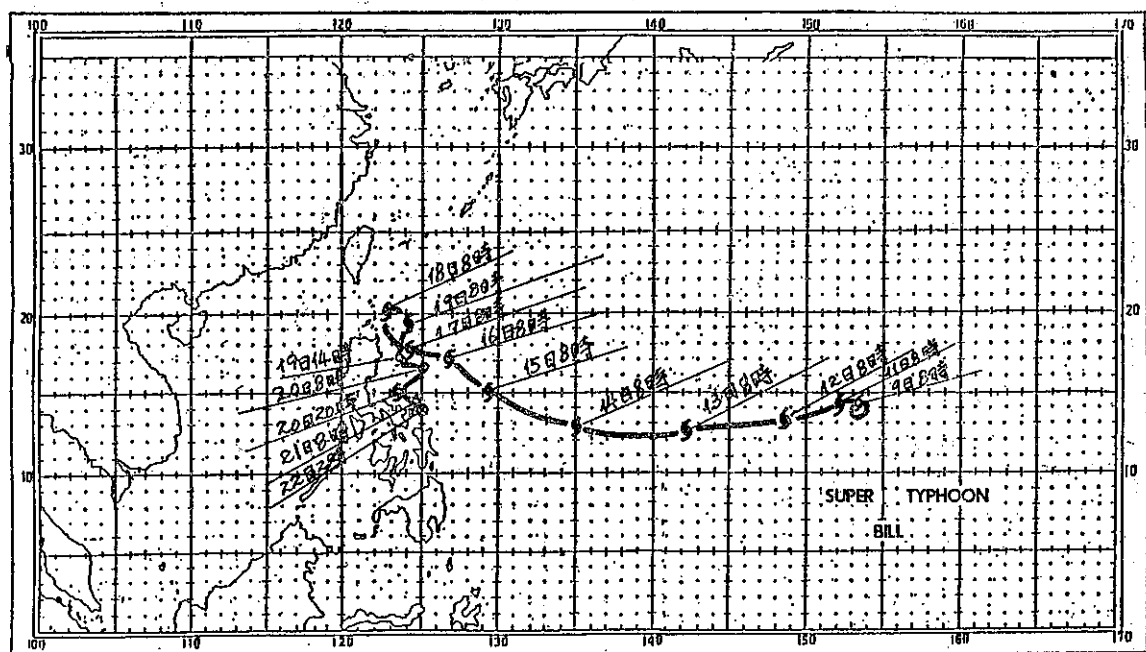
73年所發生27個颱風中，中央氣象局曾對其中7個颱風發布警報，其中8月份在南海的傑魯得(

表十三 郝麗颱風侵臺期間，各地風雨狀況  
Table 13 The Maximum Winds and Precipitation from CWB's Station during Holly Passage

| 時 間<br>類 別<br>地 點 | 8月17日13時~8月19日20時 |                 |
|-------------------|-------------------|-----------------|
|                   | 最 大 陣 風<br>哩/時(級) | 累 積 雨 量<br>(mm) |
| 彭 佳 嶼             | 62 (11)           | 24.0            |
| 基 隆               | 44 (9)            | 43.6            |
| 宜 蘭               | —                 | 76.0            |
| 蘇 澳               | 35 (8)            | 135.3           |
| 鞍 部               | 55 (10)           | 199.0           |
| 陽 明 山             | 42 (9)            | 365.0           |
| 臺 北               | 35 (8)            | 94              |
| 新 竹               | 29 (7)            | 37.0            |
| 臺 中               | 29 (7)            | 36.5            |
| 梧 棲               | 44 (9)            | 17.7            |
| 日 月 潭             | —                 | 13              |
| 玉 山               | —                 | —               |
| 阿 里 山             | 23 (6)            | 24              |
| 嘉 義               | —                 | —               |
| 臺 南               | 32 (7)            | 11.2            |
| 高 雄               | 35 (8)            | 33.0            |
| 花 蓮               | 28 (7)            | 2.1             |
| 新 港               | 27 (7)            | —               |
| 臺 東               | 26 (6)            | —               |
| 大 武 壠             | 26 (6)            | T               |
| 恆 春               | 32 (7)            | —               |
| 蘭 嶼               | 82 (14)           | 0.4             |
| 澎 湖               | 28 (7)            | —               |
| 東 吉 嶼             | 36 (8)            | —               |

表十四 裘恩颱風侵臺期間，各地風雨狀況  
Table 14 The Maximum Winds and Precipitation from CWB's Station during June Passage

| 時 間<br>類 別<br>地 點 | 8月28日18時~8月29日21時 |                 |
|-------------------|-------------------|-----------------|
|                   | 最 大 陣 風<br>哩/時(級) | 累 積 雨 量<br>(mm) |
| 彭 佳 嶼             | 52 (10)           | 10.3            |
| 基 隆               | 35 (8)            | 55              |
| 宜 蘭               | 32 (7)            | 87              |
| 蘇 澳               | 33 (7)            | 33              |
| 鞍 部               | 47 (9)            | 90              |
| 陽 明 山             | 32 (7)            | 84              |
| 臺 北               | 32 (7)            | 25              |
| 新 竹               | 41 (9)            | —               |
| 臺 中               | 13 (4)            | —               |
| 梧 棲               | 40 (8)            | —               |
| 日 月 潭             | —                 | 1               |
| 玉 山               | —                 | —               |
| 阿 里 山             | 22 (6)            | 19              |
| 嘉 義               | —                 | 1.7             |
| 臺 南               | 24 (6)            | 11.5            |
| 高 雄               | 19 (5)            | 16              |
| 花 蓮               | 32 (7)            | 105             |
| 新 港               | 43 (9)            | 141             |
| 臺 東               | 34 (8)            | 104             |
| 大 武 壠             | 40 (8)            | 125             |
| 恆 春               | 39 (8)            | 128             |
| 蘭 嶼               | 90 (13)           | 93              |
| 澎 湖               | 36 (8)            | 0.3             |
| 東 吉 島             | 49 (10)           | 2               |



圖十七 民國 73 年比爾颱風強度與路徑圖

Fig. 17 Track intensity for Super-typhoon Bill in November 1984.

GERALD) 和 11 月份在菲律賓東方的比爾 (BILL) 兩個颱風皆適時轉向，除了對臺灣附近稍有影響外，並未在臺灣造成任何災害。至於其餘 5 個颱風造成的風雨情狀及災情分述於下：

(一) 六月份的魏恩 (WYNNE) 颱風，掠過臺灣南端，除在臺灣東南部造成較大風雨外（見表十），其餘並無重大災情，總計臺灣地區臺東死亡一人，部份地區積水，西瓜田流失不少。

(二) 七月份的亞力士 (ALEX) 在新港附近登陸，曾經造成 13 級強陣風，蘭嶼更是超過 17 級，同時在恒春、新港，以及中部山區造成豪雨（見表十一），但災情並不嚴重，僅臺東、屏東地區有部份道路橋樑流失，電力中斷以及一漁民在臺東近海失蹤。其後當亞力士颱風北上進入東海後，引進旺盛西南氣流，且為嘉南地區帶來局部豪雨，尤其臺南縣白河一帶最為嚴重，有一人死亡，約 200 人無家可歸。

(三) 八月份的芙瑞達 (FREDA)，登陸基隆，通過臺灣北端，其風力不大，但雨量驚人（見表十二），使北部五縣市皆有嚴重災情，一共死亡者 2 人，失蹤 3 人，新竹段頭前溪橋墩塌陷，鐵軌彎曲斷落，交通中斷。

四 八月份的郝麗 (HOLLY) 的暴風圈雖曾掠過本省東北角，但因未直接侵襲臺灣，除北部山區雨勢較大外，各地風雨情況並不嚴重（見表十三），災情僅臺北縣三峽鶯歌間的三鶯大橋被沖毀一百公尺，交通中斷。桃園縣復興鄉羅浮村山崩，房屋半毀 2 棟，蘇花公路及中橫公路也有部份塌方。

(四) 8 月末的裘恩 (JUNE) 颱風在通過巴士海峽及臺灣海峽南部時並未帶來大風雨（見表十四），倒是其通過後所引進強勁偏南氣流，在本省西南沿海地區（如鹿港、布袋、口湖、茄定、佳冬、東港、林園等），造成近 15 年來最大的海水倒灌現象，魚塢慘遭嚴重破壞，養殖戶損失甚鉅。另外，高雄外海有一艘拖吊船也因裘恩颱風掠過而流失。

#### 四、結 論

今年颱風呈現出四個特殊現象：

(一) 颱風發生時間落後，六月份才開始有颱風在西太平洋出現，與民國七十二年相似，且在十月份颱風發生頻率特別高，頗為少見。

(二) 颱風生命期在兩日以內的多達 5 個，其中蘇珊 (SUSAN) 最短，僅 12 小時，而比爾颱風生命期却長達 288 小時。



三 行徑怪異的颱風特別多，27個颱風中，艾德 (ED)、傑魯得 (GERALD)、華倫 (WARREN) 和比爾 (BILL) 都曾以相反的路徑行進或打轉。

四 相互影響的雙颱風特別多，從7月到11月每個月都有發生，即7月份的黛納 (DINAH) 和

艾德 (ED)，8月份的傑魯得 (GERALD) 和郝麗 (HOLLY)，9月份的莫瑞 (MAURY) 和妮娜 (NINA)，10月份的華倫 (WARREN) 和范妮莎 (VANESSA)，11月份的比爾 (BILL) 和葛萊拉 (CLARA)。

## Report on Typhoons in the Western North Pacific in 1984

*Lai-Fa Chen*

### ABSTRACT

It was the second year in a row that the first tropical cyclone of the season did not develop until June. Besides three tropical depressions (TD) there were twenty-seven tropical cyclones reached tropical storm (TS) intensity (34kts or 18m/s) in the western North Pacific, that have made up to the annual average 27.1, among them eleven failed to reach typhoon (TY) stage (64kts or 33m/s) named VERNON, WYNNE, BETTY, FRED, GERALD, JUNE, LYNN, MAURY, NINA, ROY and SUSAN were classified as "WEAK" typhoon according to the CWB's typhoon grades, seven of the rest developed to be so call "MODERATE" typhoon (64kts or 33m/s), they were ALEX, CARY, HOLLY, KELLY, OGDEN, PHYLLIS and WARREN, of the nine "SEVERE" typhoons (wind speed up to 100kts or 51m/s) (DINAH, ED, IKE, THAD, VANESSA, AGNES, BILL, CLARA and DOYLE), two (VANESSA and BILL) reached the 130 kts (67m/s) intensity to be classified as super typhoon (STY).

The report described mainly the general idea of the typhoons of this year, the topics were on typhoon's intensity, track, occurrence and its distribution in the year, the influence on Taiwan area if any and a brief discussion on each typhoon, the individual typhoon report will give the details on those influencing ones respectively.

## 氣象學報補充稿約

- 一、來稿須用稿紙（以 $25 \times 24$ 之稿紙為原則）。
- 二、來稿字數以不超過 15,000 字，即連同圖、表、英文摘要以不超過 10 印刷頁為原則。
- 三、圖及表之分量以不超過全文之  $1/3$  為原則。
- 四、英文摘要之字數以不超過 1,000 字為原則。
- 五、關於表格之注意點：
  - (一) 表格須另用白紙繕製。
  - (二) 表格上方須有標題，並加表 1 表 2 等冠號。
  - (三) 表格中之項目，內容應儘量簡化。表中不重要之項目或可用文字說明者應儘量避免列入表中。
  - (四) 能以文字說明之小表，請採用文字說明。
  - (五) 原始記錄應加分析簡化後始可列入表中。
  - (六) 統計分析表中顯著處，以 \* 號（顯著）及 \*\* 號（極顯著）表之。
  - (七) 表幅應考慮適合本刊版幅為準。（寬度勿超過 13.5 cm）。
  - (八) 表之標題應能表示內容。
- 六、關於插圖之規定：
  - (一) 插圖應另貼於大張白紙上，註明作者及文題。
  - (二) 插圖下方須有標題，並加圖 1 圖 2 等冠號。
  - (三) 統計圖、模式圖及分佈圖一律採用 120—150 磅道林紙，以黑墨水繪製清楚。
  - (四) 統計圖原圖幅面應在 12—15 cm，以便縮版。
  - (五) 模式圖原圖幅面應在 15—20 cm，以便縮版。
  - (六) 分佈圖原圖幅面應在 30 cm 左右，以便縮版。
  - (七) 繪製線條粗細應能供縮小至  $1/8$  之程度，但不能超過縮小  $1/2$  之程度。
  - (八) 數字應正寫清楚，字之大小粗細應一律，至少能供縮至  $1/8$  之程度。
  - (九) 已列表中之內容，勿再重複以插圖表示。
  - (十) 圖之標題應能表示內容。
- 七、關於照片之規定：
  - (一) 照片紙一律採用黑白片光面紙。
  - (二) 照片幅面應在 12—15 cm，以便縮版。
  - (三) 照片應充分沖洗清楚，須考慮縮小至  $1/2$  時尚能清楚之程度。
  - (四) 照片如有特別指明點應加圈或箭頭表明。
- 八、文稿過長，或圖表過多過大時，投稿人得自行負擔印刷費。
- 九、關於參考文獻之規定：
  - (一) 參考文獻以經本人確曾查閱者為限，如係來自轉載之其他書刊時，須加註明。
  - (二) 作者姓名以後為發行年份，加以括號，然後為雜誌或書名、卷期數及頁數。（頁數必須註明）。
  - (三) 文字敘述中述及參考文獻時，根據文獻之號數，用斜體阿剌伯字，加以括號，如 (1) (2) (3) 等插入文句中。
- 十、文字敘述之號次以下列為序。
  - 中文用：一、(一) 1. (1) i. (i)
  - 英文用：I. 1. A. a.
- 十一、每頁下端之腳註以小號 1, 2, 3, 等阿拉伯字表之，註明於該段文字之右上角。
- 十二、文字敘述中數數字除十以下之數字，儘量用阿拉伯字表之。
- 十三、單位須用公制。單位記號例如以 m（公尺）、cm（公分）、mm（公厘）、 $m^2$ （平方公尺）、 $m^3$ （立方公尺）、cc（立方公分）、l（立升）、g（公分）、kg（公斤）、mg（公厘）、 $^{\circ}C$ （攝氏度）、%（百分之一）、ppm（百萬分之一份）等表之，可不必另用中文。
- 十四、英文題目中重要之字第一字母大寫，介題詞、連接詞及不重要字用小寫。圖表之英文標系及各欄英文細目，除第一字之第一字母大寫外，其餘第一字母均小寫。參考文獻中作者姓名每字全部字母均大寫，論文名第一字母大寫。其餘均小寫，雜誌名或書名每字第一字母均大寫。
- 十五、作者英文名以用全名為原則，名在前，姓在後。
- 十六、其他未盡善事項得隨時修正之。

Volume 31, Number 4

Dec. 1985

# METEOROLOGICAL BULLETIN

(Quarterly)



## CONTENTS

### Review

The Characteristics of Micrometeorology and  
Its Application on Agriculture

..... Chea-Yuan Young (1)

### Original

Analysis and Forecast of Fog Formation at Sung  
Shan and Taoyuan

..... Herry Fu-Cheng Liu, Wei-Min Chiang (14)

### Reports

Report on Typhoon "BILL" of Nov. 1984..... Wei-Min Chiang (32)

Report on Typhoons in the Western North Pacific in 1984 ..... Lai-Fa Chen (39)

**CENTRAL WEATHER BUREAU**

**64 Park Road, Taipei**

**Taiwan, Republic of China**

中華民國郵政特准掛號認爲新聞紙類  
第一八九三號登記爲第一類新聞紙類