

氣象學報

季刊

第二十七卷 第三、四期

目次

論著

- 頻譜風浪預報模式.....李汴軍 (1)
- 氣流線自動分析之研究.....胡仲英 (8)
- 工程上應考慮的地震問題.....徐明同 (17)
- 臺北盆地二氧化硫濃度之評估.....張哲明 (41)

氣象學報

季刊

第二十七卷 第三、四期

主編者 中央氣象局氣象學報社
地址 臺北市公園路六十四號
電話：三七一三一八一(十線)
發行人 吳宗堯
社長 吳宗堯
電話：三一〇八四〇
印刷者 文英印書公司
地址 臺北市三水街七號
電話：三〇六四七二四
電話：三〇六七八二五

◎敬請交換◎

中華民國七十年十二月出版

頻譜風浪預報模式

Spectral Wind-Wave Prediction Model

李 汧 軍
Beng-Chun Lee

ARSTRACT

In the wave growth model discussed in this paper, there are five energy transfer processes being considered, namely, linear and exponential wave growths with time, wave breaking, frictional dissipation and the effect of opposing winds. The coefficient of the exponential growth, according to Lee (1981), is $\beta = 0.1075 u_* f/c$. The device designed for calculating the wave propagation by using finite difference scheme and jump technique rules out the problem of instability.

The wave model consists of three parameters, wind direction, wind speed and frictional velocity, which are obtained from the log-wind profile and the correction term of the atmospheric stability. The forecasted wave heights by the model are in a reasonable agreement to the wave heights actually observed at Yehliu and Pitouchiao in conclusion.

摘 要

本文在波浪成長模式中，考慮五種能量轉移過程，線性與指數隨時間之成長，碎波，內摩擦及逆風反應，其中指數成長係數根據 Lee (1981) 之經驗式 $\beta = 0.1075 u_* f/c$ 。計算波能傳播時，引用差分法及跳躍法併用，沒有計算不穩定之問題。

假定對數剖面風之垂直分佈，加上大氣穩定度之修正項，所得到之風向，風速及摩擦速度，代入上述波浪模式中，所預測之波高經與鼻頭角及野柳外海實際測到波高來比較結果顯示，相當合理。

一、前 言

近年來波浪理論之研究因計算機之快速發展，不少專家與學者提出不同數值波浪模式，例如「Gelci 與 Devillaz (1970); Tick 與 Baer (1966)」(Isozaki 與 Uji 1973); Barnett (1968); Ewing (1971); Isozaki 與 Uji (1973)。這些模式均根據能量平衡方程式而來，基於不同之物理性質之假設，所以源函數有許多型式，而 Dexter (1974) 指出，不同模式與源函數所得預測結果甚為接近。

然而將波浪模式應用到正常即時預測工作時必需要知道任何時間，任何高度之海面風之資料，以

往海面風是地轉風乘上一個係數換算而來，而此係數是海水溫度和空氣溫度之函數，沒有考慮大氣穩定度對海面風剖面之影響。Cardone (1969) 將大氣穩定度引入，提出二層斜壓風場模式，而使得波浪模式所計算出來波浪場更符合實際海面狀況。

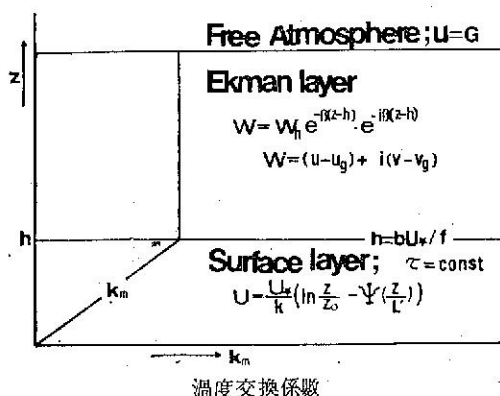
本文由風場計算出來之參數：風向、風速及摩擦速度，代入波浪模式中所預測之波高與鋒面過境期間，在鼻頭角與野柳兩測波站所實測之資料作一比較，顯示預測趨勢相當合理。

二、海面風數值模式

由於受到地表層構造，大氣穩定度等等因素，地表風呈紊流現象，而實際海面也具有此特性，同

時海面產生波浪，會擾亂空氣之運動，所以海面風之構造比地表風更複雜。

近年來，由於實驗之結果，顯示海面風之垂直分佈近似於對數分佈 (Phillips, 1966)，因此將大氣邊界層所得之理論可以應用到海面上，根據此觀念 Cardone (1969) 提出二層斜壓海面風場模式，如圖(1)。



圖一 大氣邊界層模式

Fig 1. Model of the atmospheric surface boundary layer

在地表層內，風應力(τ)是常數，渦度交換係數(km)是高度之函數，忽略科氏力(f)參數效應，所以地表層內不考慮風向隨高度之變化，則地表層內之剖面可表為

$$U_z = \frac{u_*}{k} \left[\ln \frac{Z}{Z_0} - \Psi\left(\frac{Z}{L'}\right) \right] \quad (1)$$

式中 u_z 是高度 Z 之風速， u_* 是摩擦速度， k 是 Kärman 常數， Z_0 是粗糙度參數， L' 是穩定度長度， $\Psi\left(\frac{Z}{L'}\right)$ 是大氣穩定度修正項。

根據 Cardone (1969) 粗糙度參數可寫為

$$Z_0 = \frac{6.84 \times 10^{-5}}{u_*} + 4.28 \times 10^{-3} u_*^2 - 4.43 \times 10^{-4} \quad (2)$$

而大氣穩定度修正項可參照 Paulson (Cardone, 1969) 及 KEPYS 經驗式展開為泰洛級數型而求之，

在艾克曼層渦度交換係數是常數，風應力隨高度遞減，考慮科氏力參數效應，所以風向隨高度有變化，由艾克曼解可以知道風之垂直分佈

$$W = W_h e^{-\beta(z-h)} e^{-i\beta(z-h)} \quad (3)$$

式中 $\beta = (f/2km)^{\frac{1}{2}}$ ， W_h 是高度 h 之 W 值，而 W 可定義為

$$W = (u - u_g) + i(v - v_g) \quad (4)$$

式中 u, v 是 U 之分量， u_g, v_g 是地轉風 G 之分量

利用地表層及艾克曼層之相配解可以計算出摩擦速度及風之吹入角(ϕ)，首先定義地表層 h 之高度 (Blackadar 與 Tennekes, 1968)

$$h = b \frac{u_*}{f} = 0.01 \frac{u_*}{f} \quad (5)$$

其邊界條件如下：

$$\left. \begin{aligned} Z = Z_0 & \quad U = 0 \\ Z = \infty & \quad U = G \\ Z = h, & \quad U, \frac{\partial U}{\partial Z}, \tau \text{ 連續} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

則式(1)可以完全表示地表層內任一高度之風場值

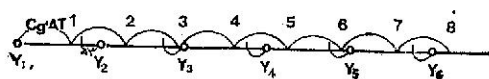
三、浪波數值模式

根據能量平衡方程式，可以將波浪之成長，傳播和減衰用下式表示 (Barnett, 1968)

$$\frac{\partial}{\partial t} S(f, \theta, x, t) = -C_g(f) \nabla S(f, \theta, x, t) + F(f, \theta, x, t) \quad (7)$$

式中 S 是二維能譜為頻率 f ，傳播方向 θ ，位置 X ，和時間 t 之函數， C_g 是頻率之羣波速度， F 是源函數，

波能傳播採用差分法及 Pierson's 跳躍法，包括方向擴散及速度分散，所謂方向擴散是波能 $S(f_i, \theta_j, x, t)$ 以 $(\theta_j + \Delta\theta) \sim (\theta_j - \Delta\theta)$ 扇形面積傳播其能量，而速度分散是在傳播方向上，等間隔之連續點取一很小距離 ΔY ，來決定波能是否傳到前進網格點上，如圖(2)，知道時間 1, 4, 7 波能留在原點，時間 3, 6 波能傳到前進點，時間 2, 5, 8 部份波能留在原點，部份波傳到前進點。(Uji 與 Isozaki, 1972)



圖二 速度分散計算過程概要

Fig. 2. Schematic expression of the procedures of longitudinal wave dispersion

源函數項有：線性成長指數成長，碎波內摩擦與逆風反應 (Isozaki 與 Uji, 1973)。

(一)線性成長項： α

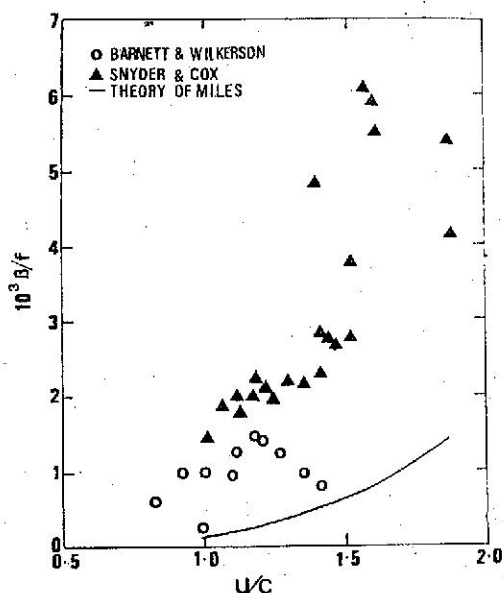
根據 Inoue (1967) 可寫為

$$\alpha(f, u) = \int -\frac{\pi}{2} \frac{9.84 \times 10^{-15} \times \omega^{5.25} \times u^{2.25}}{\left[\frac{1}{4} \left(\left(\frac{\omega}{u} \right)^2 + (k \sin \theta)^2 \right) \right] \left[\frac{1}{9} \left(\left(\frac{\omega}{u} \right)^2 + (k \sin \theta - \frac{\omega}{u})^2 \right) \right]} d\theta \quad (8)$$

式中 U 是海面 19.5 米高之風速, $k = \frac{\omega^2}{9.8}$, ω 是角頻率,

(二) 指數成長項: β

根據 Snyder 與 Cox (1966); Barnett 與 Wilkerson (1967); Schule et al (1971); DeLeonibus 與 Simpson (1972) 知道 Miles (1957) 指數成長理論值太小圖(3), 一般採用經驗式。



圖三 β/f 與 U/C 無因次之關係
(摘自 Barnett, 1968; Ewing, 1971)
Fig. 3. Nondimension of β/f vs U/C

根據 Lee (1981)

$$\beta(f, u_*) = 0.1075 \frac{u_*}{C} f \quad (9)$$

式中 C 是波相位速度, u_* 是由風場模式計算出來。

(三) 碎波

利用 Pierson 與 Moskowitz (1964) 之完全成熟發展之能譜來限制波浪之成長, 不考慮 Overshoot 與 Undershoot 現象, 因此現象對整個波浪場總能量影響甚少, 可略不計因此以 $(\frac{S}{S_\infty})^2$ 乘上線性和指數成長項為碎波之計算而

$$S_\infty(\omega) = \frac{\alpha g^2}{\omega^5} e^{-\beta(\frac{g}{u_* \omega})^4} \quad (10)$$

式中 $\alpha = 0.83 \times 10^{-3}$ $\beta = 0.74$

(四) 內摩擦效應與逆風反應

波浪在靜止海面傳播時, 長週期成份波損失比短週期成份波較少, Hasselmann (1963) 認為這種長波與短波相互作用後短波之能量移到長波之結果, 而定性來看, 波能在傳播過程中遇到逆風時, 會產生逆反應, 但為簡化起見, 內摩擦及逆風反應分別以下面二式表示

$$F_D = -D_1 f^4 S \quad (11)$$

$$F_W = -(\beta + D_2 f^4) S \quad (12)$$

由以上知道整個基本式可寫為

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial t} &= -C_s \cdot \nabla S + (\alpha + \beta S) [1 - (\frac{S}{S_\infty})^2] \Gamma(\theta) S \leq S_\infty, \theta < 90^\circ \\ \frac{\partial S}{\partial t} &= -C_s \cdot \nabla S - D_1 f^4 S S > S_\infty, \theta < 90^\circ \\ \frac{\partial S}{\partial t} &= -C_s \cdot \nabla S - [\beta \Gamma(\theta) + D_2 f^4] S, \theta > 90^\circ \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

式中 θ 是風向和波浪傳播方向之夾角, $\Gamma(\theta)$ 是方向分佈函數 ($\cos^2 \theta$), D_1, D_2 是能量減衰係數, 根據 Lee (1981) $D_1 = 256, D_2 = 1$.

將式(13)利用差分法, 積分, 則可計算出每一網格點在任一時間之波浪值, 而其邊界條件在岸邊時

$$S = 0 \quad (14)$$

而在大洋時

$$\frac{\partial S}{\partial n} = 0 \quad (15)$$

式中 n 係垂直邊界, 而其初始條件假定靜海面則需計算 4 天左右消除這種人為初始條件

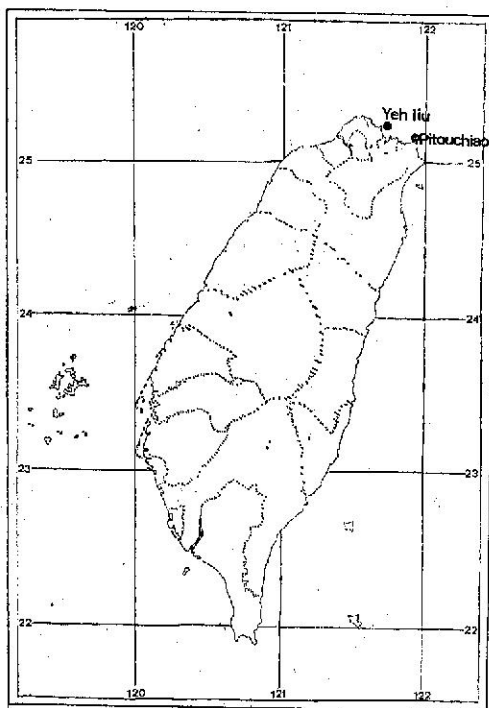
當每一點能譜值得到後再利用

$$H_{\frac{1}{3}} = 2.83 \sqrt{\frac{E}{f}}$$

換算為指示波高然後取最大頻率能譜值倒數為其指示週期

四、計算結果與討論

今以二個鋒面過境所產生高波與鼻頭角與野柳二測波站圖(4)實測作比較



圖四 測波站之位置圖
Fig. 4. Location of the coastal wave observing station

個案一：鼻頭角民國70年1月24日~26日

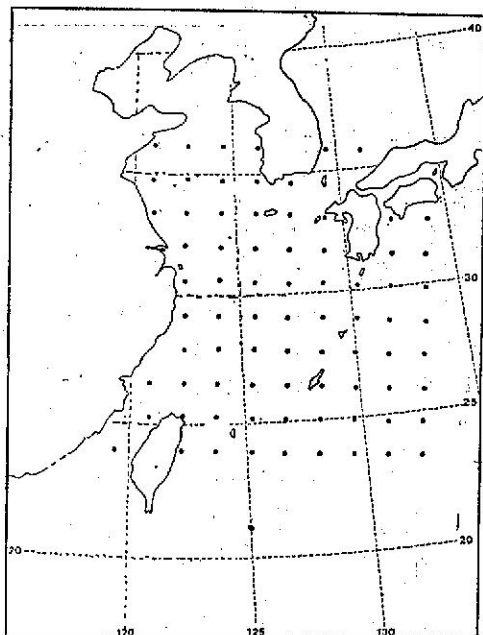
個案二：野柳民國70年2月24日~25日

整個海域劃為 10×10 網格點每網格點距離為 150 公里圖(5)，計算時間間距 2 小時，則每六小時風場資料計算三次其間假定為常數。

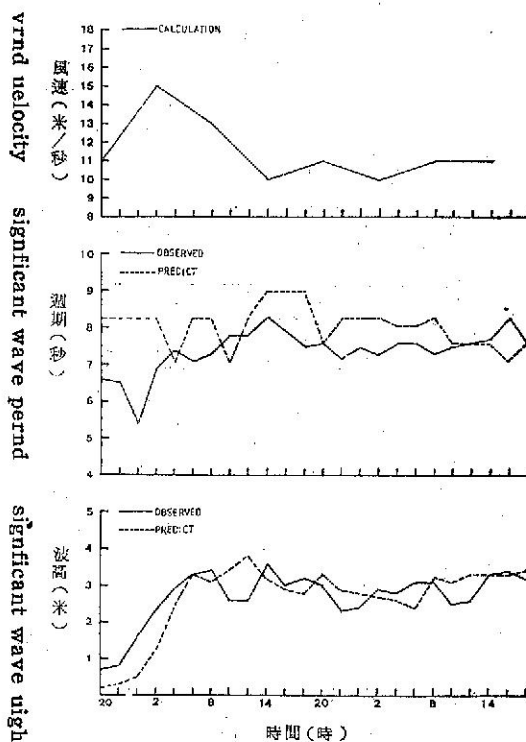
將能譜分割為 22 個頻率帶 ($0.04H_z \sim 0.25H_z$)，每一頻率帶有 16 個傳播方向 (是氣象坐標相同)，而其頻譜寬度分別為 $0.01 H_z$ 和 22.5° 所以上節中 $\Delta\theta = 11.25^\circ$

然後讀取每一網格點氣壓值，空氣溫度，海水溫度 (取月平均海水溫度)，利用風場模式，計算出風向、風速，摩擦速度代入波浪模式中，其預測值與實例值如圖(6)與圖(7)，從此二圖可看出幾個特徵：

(一)鋒面過境之際，預測波高偏低，而當實測波高較陡時，則偏較低。

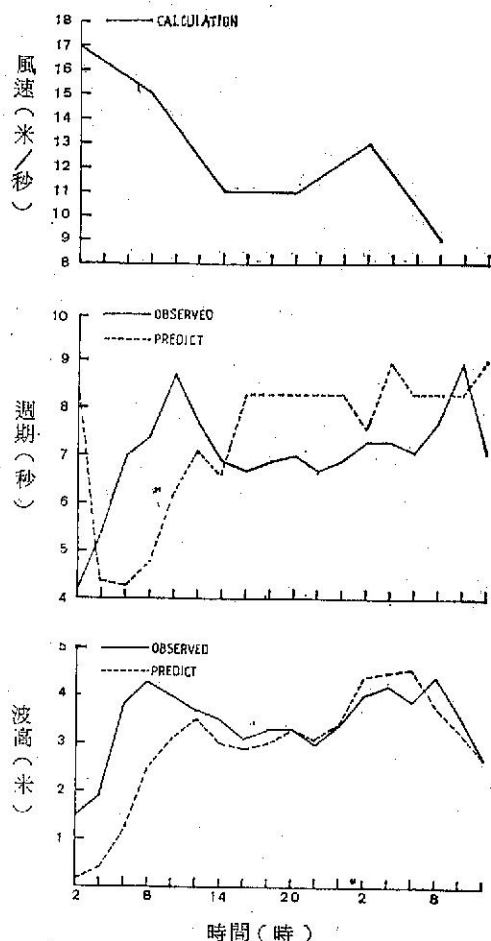


圖五 計算風場及波浪場之網格點
Fig. 5. Grid used to specify wind and wave field



圖六 民國70年1月24日20時~1月26日18時鼻頭角與預測值比較圖

Fig. 6. Comparison of predicted significant wave height and period (dash line) with observation (continuous line) at "Pitouchiao" during 24-26, January 1981



圖七 民國70年2月24日2時~25日12時野柳實測值預測值比較
Fig. 7. Comparison of predicted significant wave height and period (dash line) with observation (continuous line) at "Yehliu" during 24-25, February, 1981

(一) 平穩狀態時，實測波高與預測波高吻合。

(二) 就整個預測趨勢來看相當一致。

造成鋒面過境之際，預測值偏低之原因有：

1. 風場值在每六小時內假設為常數，而鋒面過境之時間均非在氣象觀測時測到。

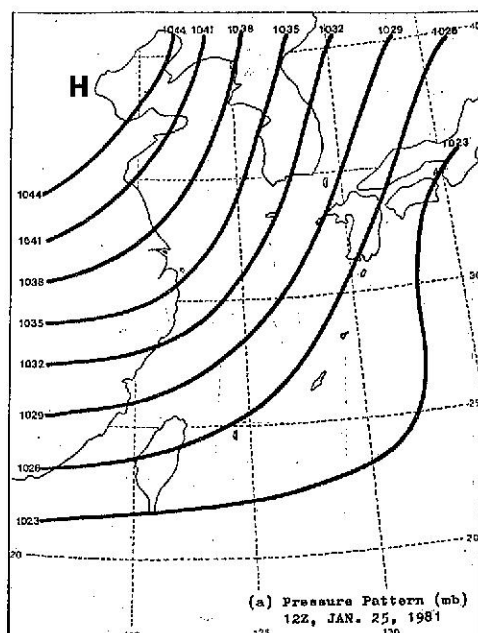
2. 當鋒面接近時，鋒面前面颶線使氣流呈亂流性質，而鋒面後面風風軸，則更易使波浪成長。

本文不僅能作單點波浪預報，同時也能作整個海域之風場分析圖及等波高圖，圖(8)。

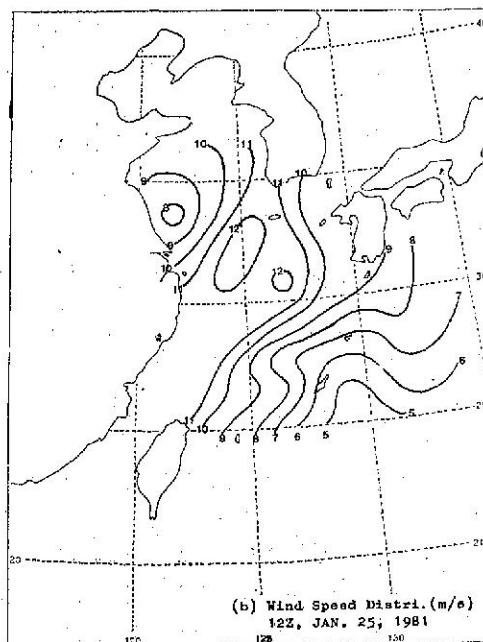
五、論 結

在能量平衡方程式中，考慮五種過程：線性與

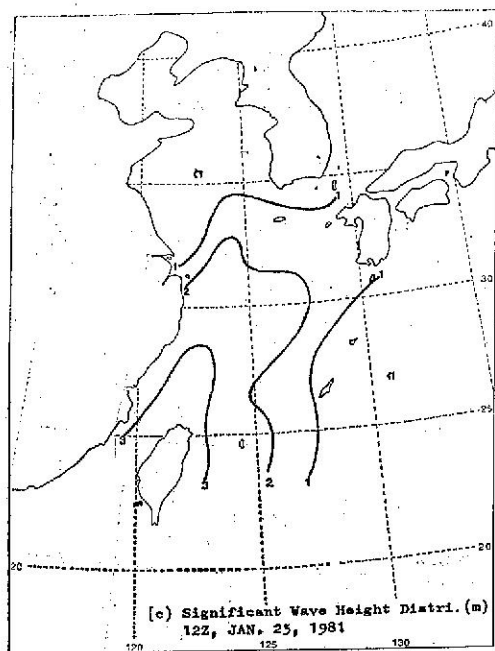
指數隨時間成長，碎波內摩擦及逆風反應，所需要參數，直接由二層斜壓風場模式直接計算出來，此模式不僅能計算風之垂直構造，而且也能計算摩擦



圖八-1 綜觀天氣型態 (民國70年1月25日20時)
Fig. 8-1. Synoptic pressure pattern at 12Z, January, 25, 1981



圖八-2 風速分佈圖
Fig. 8-2. Distribution of calculated wind field at 12 Z, January, 25, 1981



圖八-3 指示波高預測分佈圖

Fig. 8-3. Distribution of predicted significant wave height at 12Z, January, 25, 1981.

速度，由整個計算出來之預測波高趨勢來看相當一致。

由二個實際推算例子來看在鋒面過後平穩狀態預測值和實測值相當吻合，而在鋒面過境之際，模式無法處理，因波浪成長係數不適合鋒面之氣象狀況。

本文不但能預測單點之波浪，同時也可以預測整個海面風速分析及波高分佈圖，此可提供中央氣象局及海上施工單位之參考。

誌 謝

本文承吾師梁乃匡博士悉心指導，特此申謝同時要感謝中央氣象局在各方面支持。

REFERENCES CITED

1. Barnett, T. P. and J. C. Wilkerson, 1967. On the generation of wind waves as inferred from airborne measurements of fetch-limited spectra. *J. Mar. Res.*, 25, 292-328.
2. Barnett, T. P. 1968. On the generation, dissipation, and predication of ocean wind waves. *J. Geophy. Res.*, 73, 513-529.
3. Blackadar, A. K., and H. Tennekes, 1968. Asymptotic similarity in neutral barotropic boundary layer. *J. Atmos. Sci.*, 25, 1015-1020.
4. Cardone, V. J., 1969. Specification of the wind distribution in the marine boundary layer for wave forecasting. TR-69-1, Dept. Meteorol. and Oceanogr., NEW YORK Univ., 131P.
5. De Leonibus, P. S. and L. S. Simpson, 1972. Case study of duration-limited wave spectra observed at an open ocean tower. *J. Geophy. Res.*, 77, 4555-4569.
6. Dexter, P. E., 1974. Test of some programmed numerical wave forecast model. *J. Phy. Oceanogr.*, 4, 635-644.
7. Ewing, J. A., 1971. A numerical wave prediction method for the North Atlantic Ocean. *Deut. Hydrogr. Zeit.*, 24, 241-261.
8. Hasselmann, K., 1963. On the non-linear energy transfer in a gravity wave spectrum (3). *J. Fluid Mech.*, 15, 385-398.
9. Inoue, T., 1967. On the growth of the spectrum of a wind generated sea according to a modified Miles-Phillips mechanism and its application to wave forecasting. *Geophy. Sci. Lab. Report No. TR67-5*, NEW YORK Univ., 74p.
10. Isozaki, I. and T. Uji, 1973. Numerical predication of ocean wind waves. *Pap. Met. Geophy.*, 24, 207-231.
11. Lee, B. C., 1982. Numerical predication model of ocean wind waves. M. S. thesis of Institute of Ocean-

- ography, National Taiwan University
12. Miles, J. W., 1957. On the generation of surface waves by shear flows. *J. Fluid Mech.*, 3, 185-204.
 13. Pierson, W. J., G. Neumann, and R. W. James. 1955. Practical methods for observing and forecasting ocean waves by means of wave spectra and statistics. H. O. Pub. 603, 1809., U. S. Navy Hydrographic Office, Washington, D. C.
 14. Philips, O. M., 1966. The dynamics of the upper Ocean. Cambridge Univ. Press, 261P.
 15. Panofsky, H. A., 1963. Determinations of stress from wind and temperature measurements. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 88, 85-94.
 16. Pierson, W. J. and L. I. Moskowitz, 1964. proposed spectral form for fully developed seas based on the similarity theory of S. A. Kitaigorodskii, *J. Geophys. Res.*, 69, 5181-5190.
 17. Snyder, R. L. and C. S. Cox, 1966. A field study of the wind generation of ocean waves. *J. Mar. Res.*, 24, 141-178.
 18. Schule, J. J., L. S. Simpson, and P. S. De Leonibus, 1971. A study of fetch-limited wave spectra with an airborne laser. *J. Geophys. Res.* 76, 4160-4171.
 19. Uji, T. and I. Isozaki, 1972. The calculation of wave propagation in the numerical prediction of ocean waves. *Pap. Met. Geophys.*, 23, 347-359.

氣流線自動分析之研究

Study on Automated Streamline Analysis

胡 仲 英

Chung-Ying Hu

ABSTRACT

A technique for automated streamline analysis is described. The input data are directly received and processed by ADAPS (Automatic Data Acquisition and Processing System) in Central Weather Bureau. The wind observations are fitted onto grid system by a simple method called successive correction method. The corrections are computed from a comparison of the observation data with the interpolated value of the guess field at those stations, and then added to the initial guess field. Utilizing grid-point values of wind directions, or u and v components of the wind, the described technique produces streamlines which are tangent to the instantaneous wind direction and are independent of speed. The computer program has been successfully applied to real-time upper-air sounding data and numerical model output.

一、前 言

氣流線分析之目的，乃利用觀測的地面或等壓面上的風向與風速，繪出連續的風場及氣流型態，來分析空間任何一點之水平風向和風速，並由氣流之型態計算空氣輻散及輻合量。

近年來，由於大氣環流理論的蓬勃發展，氣象學者對於中緯度與熱帶地區能量交換引發極大興趣，更因為氣象衛星的觀測，提供熱帶地區廣大洋面的觀測資料，促使熱帶氣象的研究工作方興未艾。衆所周知，熱帶區域等壓面的坡度頗小，單憑氣壓——高度資料實不能作出一可信賴之分析，探空資料之可信程度，尚未令人滿意，且測站分佈稀疏，如採用等高線分析技巧，難免會造成重大錯誤。

目前氣流線分析為熱帶天氣分析最適宜的方法之一，其理由如下：

1. 地面風的觀測儀器由於使用電子儀器，使準確性大為增加，高空風觀測採用飛機沿航路觀測及無線電探空 (Rawinsonde) 等，能在任何天候下舉行觀測，風之觀測相當正確，據研究統計 500

毫巴風速之觀測誤差為 2 m/sec，300 毫巴風速之觀測誤差為 5 m/sec (Kurihara, 1961)。同時，大氣層中風的報告亦遠較氣壓報告為多。

2. 熱帶地區風場與天氣場的關係遠較氣壓場更為密切，風隨時間之變化及其梯度均遠勝於氣壓，且不為日變化所掩蔽。

3. 目前赤道上空配置一系列的地球同步衛星，可以連續觀測廣大熱帶洋面及不同高度之風場，即時供氣流線分析使用。

作者鑑於氣流線分析日趨重要，特分段介紹風場客觀分析，氣流線自動分析原理及基本氣流線型式，並以實例說明氣流線自動分析之實際應用，俾期望對天氣分析與預報能有所貢獻。

二、風場之客觀分析

吾人首先需將分佈不規則的觀測站所測得的風場內插到等間距的網格點上，許多論文曾討論不同的客觀分析方法，本文介紹理論簡單，計算迅速的連續修正法 (Successive Correction Method)，此法最早由 Cressman (1959) 提出，而由

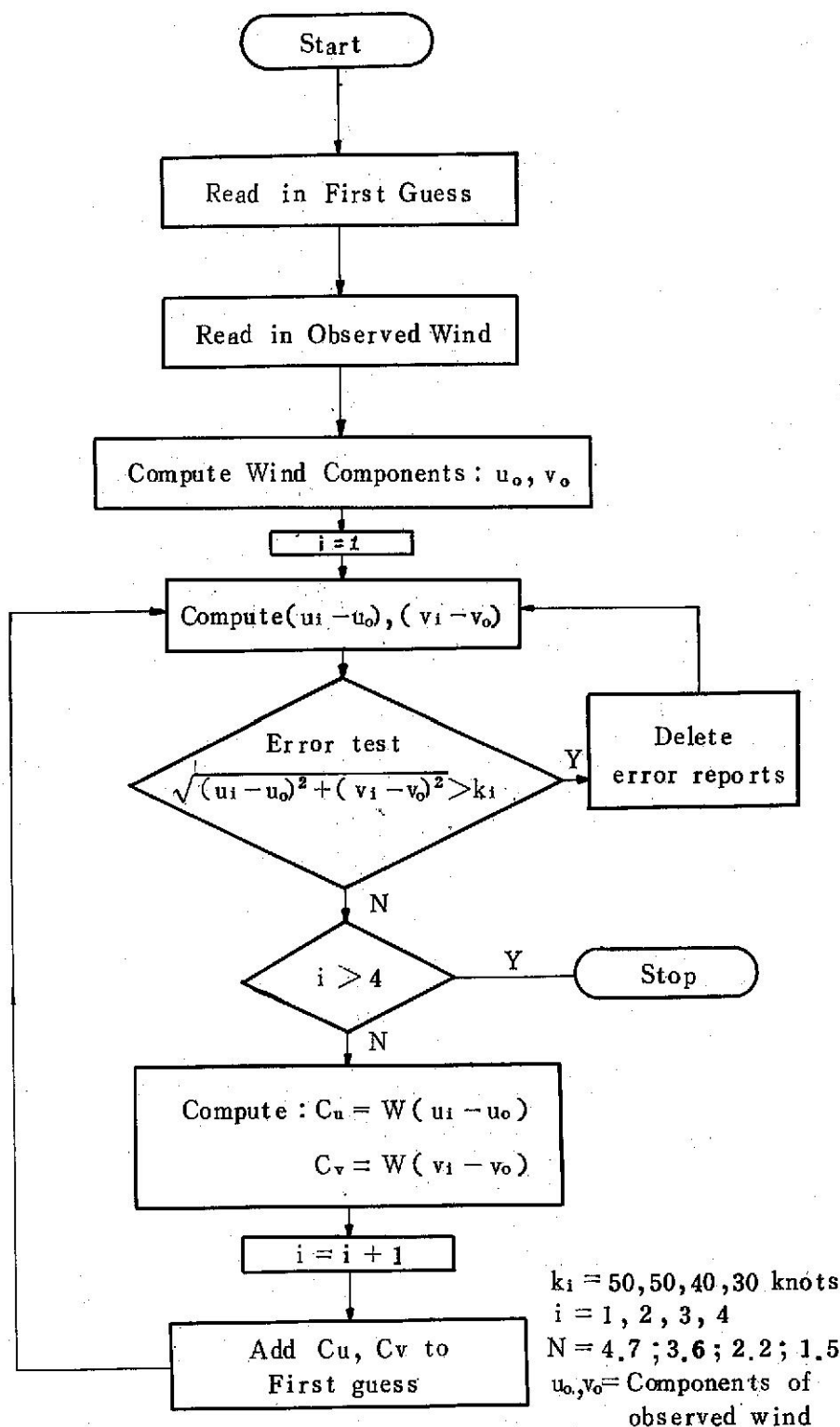


圖 1. 風場客觀分析流程圖

Fig. 1. Flow diagram of the objective analysis for wind field.

Bedient 與 Vederman (1964) 引用到熱帶地區風場的客觀分析。首先吾人利用前一時刻的網格點分析值當作初始猜測值 (First guess value)，例如吾人欲進行 1200 GMT 的風場分析，則取當天 0000 GMT 的風場分析結果當作初始猜測值，然後利用 1200 GMT 的觀測風場來連續的修正網格點上的猜測值，修正公式如下：

$$C_u = -W(u_i - u_o) \quad (1)$$

$$C_v = -W(v_i - v_o)$$

此式內 C 為網格點修正量， u_o 與 v_o 為觀測風場的分量， u_i 與 v_i 為觀測站第 i 次掃描的風分量內插值， W 係權重係數 (Weighting factor) 定義為：

$$W = \frac{N^2 - d^2}{N^2 + d^2} \quad (2)$$

此處 d 為網格點與觀測站間之距離， N 為掃描半徑，第一次掃描時取 N 為 4.7 個網格間距，如此可將大幅度的環流現象修正到網格點的初始猜測值，然後逐次減小掃描半徑，至第四次掃描時取 N 為 1.5 個網格，如此可將較小幅度的波動修正到網格點上。此分析法並可約略地檢查觀測誤差，如第一次掃描時觀測值與內插值之差異絕對值超過 50 哩/時，則該觀測值被視為錯誤而予剔除。第二、三、四次掃描的誤差判定值分別為 50 哩/時，40 哩/時及 30 哩/時。風場的客觀分析流程圖參見圖 1。

三、氣流線之自動分析

本節介紹一種利用電子計算機自動分析繪製氣流線的方法。此法係利用由風場客觀分析得到網格點上的風速分量 u, v 值，繪出與風速無關而切於瞬間風向之線 (Saucier, 1955)。這種方法曾經成功地應用在高空探空資料、地面逐時觀測和數值模式輸出資料的分析 (Whittaker, 1977)，以下分段說明此氣流線自動分析法之程序：

1. 格點資料

由風場的客觀分析，吾人得到網格點上風速分量 u, v ，在進行氣流線自動分析時，首先將風速分量常態化 (Normalize) 為所需的位移大小。在所有格點上計算位移分量，此位移分量決定所繪的流線軌跡為：

$$D_x = (u/V) * D \quad (3)$$

$$D_y = (v/V) * D$$

式中， D_x 與 D_y 為常態化後的位移分量， u 和 v 為相對於格點的風速分量， V 為風速， D 為待定的位移大小。

本文定義「格箱」為四個鄰近格點所圍成的區域，每一個格箱均附加兩個「旗子」(Flags)，第一個旗子指示是否已有流線通過此格箱，第二個旗子指示是否已有方向箭頭 (Directional Arrow) 在此格箱出現。後面將討論如何適當地使用這些旗子，以免流線和方向箭頭過於擁擠。

2. 流線之建立

(1) 開始繪流線

由經驗得知，若格箱內不曾有其他流線通過，則由此格箱內繪出的流線較為悅目。吾人以旗子設定最初的可利用格箱如圖 2 所示，採用跳格式設計可以減少開始繪流線之搜尋時間。同時，搜尋可利用格箱的先後次序是無關緊要的。

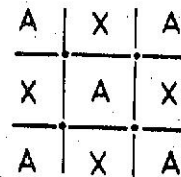


圖 2. 圓點代表網格點，格箱 A 為流線開始繪製之可利用格箱，格箱 X 則否。

Fig. 2. Grid system

(2) 繪圖

一旦找到新流線的起點，有兩個繪圖方向：第一個向前，使用如公式(3)所計算的位移分量，然後向後，使用其互補量 (Complements)，每一條流線是把一連串的点以平滑曲線連接起來而繪成的。在包含流線現在位置 (Current Position) 所在格箱的四個網格點，利用位移分量的反線性距離權重內插公式 (Inverse linear Distance-Weighted Interpolation)：

$$D_p = \sum_{i=1}^4 W_i D_i / \sum_{i=1}^4 W_i \quad (4)$$

$$W_1 = 1./[s+r]$$

$$W_2 = 1./[s+(1.-r)]$$

$$W_3 = 1./[(1.-s)+(1.-r)]$$

$$W_4 = 1./[(1.-s)+r]$$

式中 W_1 至 W_4 係鄰近 4 個網格點的距離權重， r, s 為流線現在位置 p 點在該格箱內之座標 (參見圖 3)， D_p 係流線現在位置的位移分量，利用 (4) 式可將位移分量之值內插到流線現在位置，參見圖 4 (A)，然後將內插值加到流線現在位置座標

上，計算出新的流線現在位置。同時在圖上繪出一條線平行於風的吹向，參見圖 4 (B)，若流線移入一新的格箱內，此格箱就被旗子所標示，此後不會再有流線由此格箱開始。

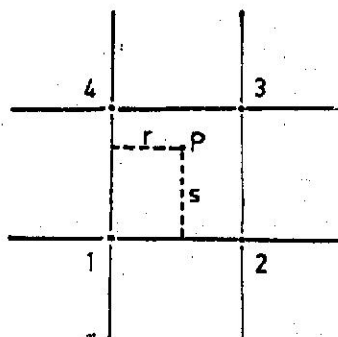


圖 3. 反線性距離權重內插法圖示
Fig. 3. Coordinate inverse linear distance-weighted interpolation.

當所繪流線進入一個不含有方向箭頭的格箱內時，繪完流線的位移後就加繪方向箭頭，方向箭頭的大小可以視圖形尺寸予以調整，就像開始繪流線的預先設定條件，只有每一個第二格子是為箭頭所預先設定的（參見圖 2）。最後，利用當時內插位移值，計算線段的斜率繪出箭頭。

至此，已計算出所有相對於格點的座標，再使用適當的轉換公式，將格點座標（行與列）轉換為繪圖機的座標系統來顯示分析結果，此繪圖機可以是平板式（flat-bed type）或滾筒式（Drum Type）繪圖機，也可以是陰極射線終端繪圖機（Graphic CRT）。當座標系統已轉換為繪圖顯示系統後，就調整位移大小，使位移不會太大，如此可避免有不勻滑的折線段，也不致太小，以確保每次疊代皆有移動，不致過於耗費計算機時間，作者選取 D 值等於網格點間距的十分之一。

(3) 終止繪流線

終止繪流線所遵循的規則如下：

- 若流線超過網格系統的側向邊界時，終止繪該流線。
- 若計算機經過 50 次或事先定好的一定次數的疊代後，仍無法顯示流線明顯位移，則終止繪該流線。
- 檢查在匯流或分流區域，流線是否過於擁擠，並避免流線沿一羣格箱後繞回原來的流線上。為進行此項檢查，每次流線進入新的格箱，就將流線座標置於一圓形表上（Circular List）

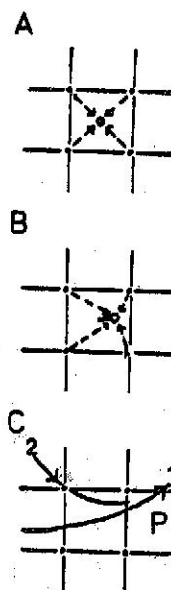


圖 4. (A)由四個網格點風速分量內插至現在位置，圓圈顯示氣流線由網格中心位置開始。
(B)將內插位移分量加至現在位置即得流線新的現在位置，此內插過程一直重複進行。
(C)繪畢流線 1 後，開始繪流線 2，流線 2 在格箱 P 時太過於接近流線 1，因此終止繪製流線 2。

Fig. 4. Step-by-step diagram of streamline generation

，此表含 500 至 1000 個點，表上的新座標取代舊座標可重複使用。當流線進入一個新的格箱，其座標就與表上其他座標比較，如發現目前流線太密集（通常取 0.05 吋），則停止繪此流線，此過程示於圖 4 (c)。每當進入一個新的格箱均要搜尋此圓形表，此過程所耗的計算機時間幾乎和其餘過程之總和相同。

氣流線自動分析流程圖參見圖 5。

(4) 等風速線分析

等風速線（Isotach）為風速相同點之連線。在熱帶區域，等風速線通常採用每 5 哩/時為間隔，若分析區域位於較高緯度之噴射氣流附近，或熱帶風暴來臨時，則每 5 哩/時之間隔可能使等風速線太密集，可改用每 10 哩/時為間隔。

繪製等風速線之原理與繪製等壓線，等溫線之「無向量」分析相同（徐與胡，1976），唯等風速線可採用虛線或他色線條，以示與氣流線區別。

四、渦旋度（Vorticity）與輻散量（Divergence）之計算

吾人已計算得每個網格點上的速度分量 u, v ，

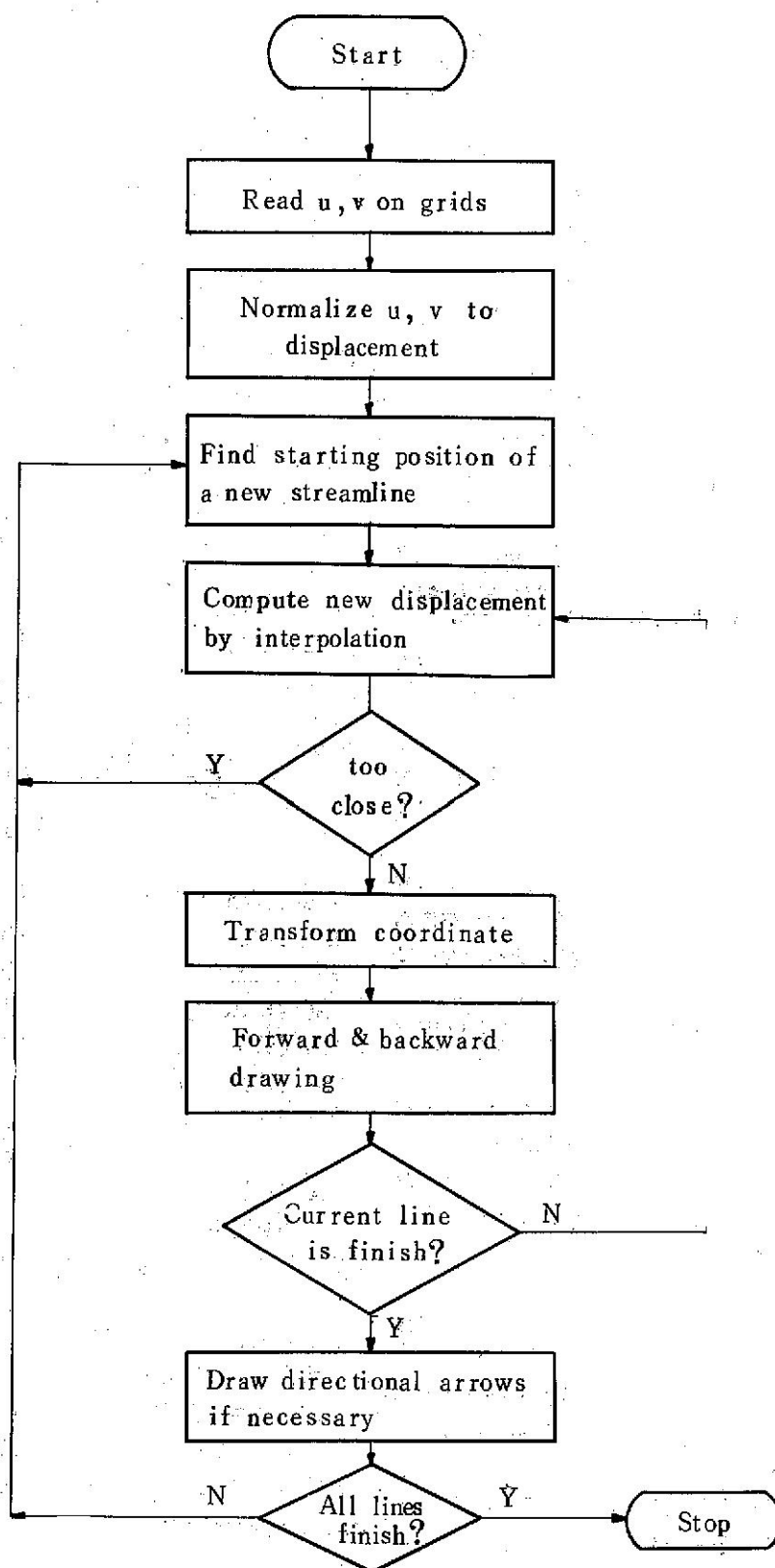


圖 5. 氣流線自動分析流程圖

Fig. 5. Flow diagram for automated streamline analysis

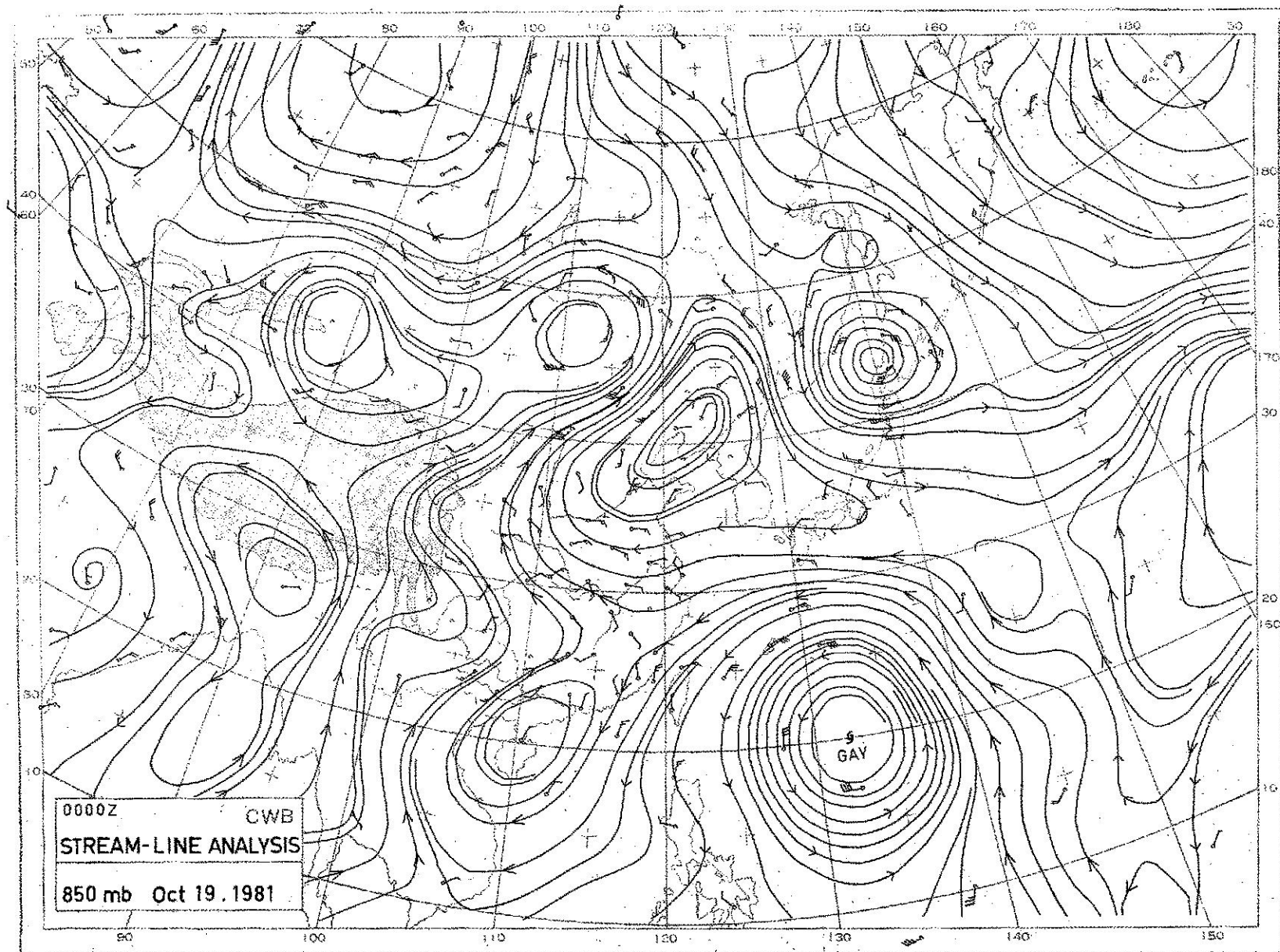


圖 6. 1981 年 10 月 19 日 800 毫巴氣流線自動分析圖
 Fig. 6. 850 mb streamline analysis from radiosonde reports for
 0000GMT 19 October, 1981.

依據渦旋度 (ξ) 和輻散量 (δ) 定義：

$$\begin{aligned}\xi &= \vec{k} \cdot \nabla \times \vec{v} \\ &= \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \\ &= \frac{m}{2d} [v_{i+1,j} - v_{i-1,j} + u_{i,j-1} - u_{i,j+1}] \quad (6) \\ \delta &= \nabla \cdot \vec{v} \\ &= \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \\ &= \frac{m}{2d} [u_{i+1,j} - u_{i-1,j} + v_{i,j+1} - v_{i,j-1}]\end{aligned}$$

可分別計算水平方向或等壓面上每一網格點氣流的渦旋度及輻散量。其中 m 為地圖投影因子，熱帶地區氣流線分析圖一般均使用麥卡特圓柱投影 (Mercator Cylindrical Projection)，中緯度地區則採用藍伯特正角圓錐投影 (Lambert Conformal Conic Projection)。

五、氣流線之基本型式

氣流線能代表大氣層的運動特性 (Kinematic Properties)，預報人員宜熟悉一般氣流線圖中的基本型式及其特性。目前確定的基本型式計有：熱帶波動 (Tropical Wave)，奇異點 (Singular Point)，漸近線，正切點，風切線以及等風速線型等，每一基本型式及其伴隨特殊的天氣現象，讀者可參見熱帶氣象學 (1976)，本文不作重複介紹。

六、實例討論

利用上述氣流線自動分析技巧，所繪製的氣流線圖實例參見圖 6 與圖 7。圖 6 係民國七十年十月十九日 850 毫巴高空氣流分析圖，資料來源經由中央氣象局電子計算機中心「氣象資料自動蒐集及處理系統」(ADAPS, Automatic Data Acquisition and Processing System, 胡, 1979)，利用 GA 小型電子計算機的即時處理系統每天二十四小時自動直接蒐集東亞及北半球地區地面、船舶及高空等各類氣象電報，經過解碼、偵錯、分類等處理後建立即時氣象資料庫，吾人由即時資料庫中取得高空 850 毫巴的風速風向觀測值，輸入風場客觀分析程式，該程式將觀測的風場內插至網格點上，網格系統係採用中央氣象局標準網格系統：以東經 120 度及北緯 30 度為參考點，X 方向取 38 個網格點，Y 方向取 23 個網格點，網格間距為 240

公里，網格系統涵蓋東亞及西太平洋。

由風場客觀分析程式計算的網格點上風速分量，再輸入至氣流線自動分析程式，最後由 Calc-omp 960 大型繪圖機將氣流線繪出。由圖 5 顯示，中度颱風蓋依 (GAY) 呈氣旋型渦流 (Cyclonic Vortex) 中心位置在北緯 20 度，東經 133 度附近，係氣流場中典型之奇異點 (Singular Points)，另一氣旋型渦流位於日本北海道東岸，此二氣旋型渦流環流結構均甚對稱，且風速均甚強。此外，在中國大陸東經 87 度，北緯 45 度及東經 112 度，北緯 47 度附近也各有一個氣旋型渦流。在山東半島及海南島附近則各有一個反氣旋型渦流 (Anti-Cyclonic Vortex)，其形狀較不對稱，且風速均較弱。此分析圖上鞍形場 (Cols) 甚多，較顯著者係位於中國華南 (115°E, 26°N)，外蒙古 (105°E, 45°N) 及青康藏高原 (90°E, 35°N) 等處，其特徵為一部分氣流趨近該區，一部分氣流遠離該區，鞍形場附近風向變化大，惟風速微弱。在中國東北 (115°E, 40°N) 附近有一氣流漸近線存在，西南方向氣流在此區輻合，附近的氣流線均沿此線互相趨近，此區所呈現之風速亦較大。菲律賓 (120°E, 18°N) 附近則有一不甚明顯的輻散區存在，鄰近的氣流線均在此區呈散開，此區的風速則較弱。

圖 7 係民國七十年十月十九日 00Z，由數值模式預測 500 毫巴 36 小時後網格點之風場，輸入氣流線分析程式所得之氣流線預測圖。中央氣象局現行作業採用的數值模式係相當正壓預報模式，其預報公式為 (蔡與胡, 1975)：

$$\begin{aligned}\nabla^2 \frac{\partial z}{\partial t} + J(z, \xi + f) &= \frac{A_0 f_0^3}{RT_0} \left[-\frac{\partial z}{\partial t} \right. \\ &\quad \left. - \frac{g}{f_0} J(z, z_g) \right] \quad (7)\end{aligned}$$

其中 T_0 為地面溫度， A_0 為地面風速與垂直平均風之比， Z_g 為地形高度， Z 為等壓面高度，(7) 式只適用於一特定等壓面 P^* (Starred Level)，此特定等壓面的定義為 $A(P^*) = A^2(P)$ 時的等壓面。一般用東西方向風速求取 $A(P)$ 值，東亞區域冬天的平均值 $P^* \sim 450$ 毫巴，故吾人由 (7) 式預報 500 毫巴的等高線變化。然後，將網格點的高度預測值代入地轉風假設：

$$\begin{aligned}u &= -\frac{g}{f} \frac{\partial z}{\partial y} \\ v &= \frac{g}{f} \frac{\partial z}{\partial x}\end{aligned} \quad (8)$$

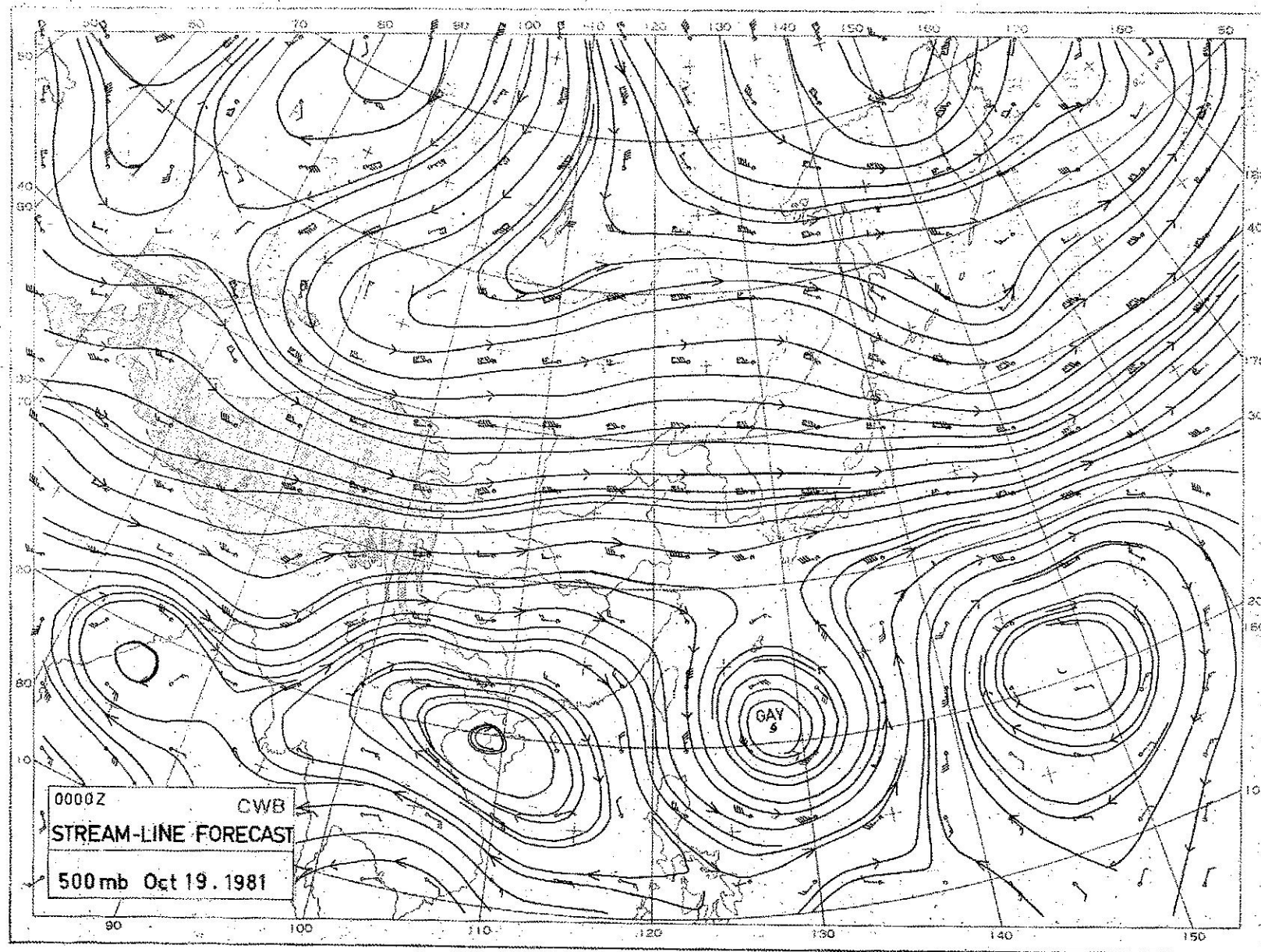


圖 7. 1981 年 10 月 19 日 500 毫巴氣流線 36 小時預測圖

Fig. 7. 500 mb streamline forecast for 0000GMT 19 October, 1981.

可計算出各網格點的預測風速分量。(前項地轉風假設引用於低緯度區並不適切,如日後中央氣象局改用初始方程式預報模式(P-E Model),則可直接得到網格點上的風速分量預測值。)

由圖7顯示氣流線與網格點風向非常吻合,蓋依颱風所呈現之氣旋型渦流三十六小時預測中心位置在 21.5°N , 129.0°E , 渦旋相當對稱且風速甚強, 20°N 緯度圈由西向東另有三個反氣旋渦流分別位於 147°E , 109°E 及 85°E 附近, 均呈橢圓形且風速較弱。北緯 30 度至 40 度係西風氣流, 風速甚強。位於 75°E , 45°N 處有一明顯的鞍形場存在, 附近風速也較弱。

850 毫巴高空氣流線分析連同客觀風場分析需計算機時間及繪圖時間約為 12 分鐘, 繪製 500 毫巴氣流線預測圖則只需約 8 分鐘(不包括數值模式計算所需時間), 而通常由一熟練之預報員繪製同一氣流線分析圖則至少需時 40 分鐘以上, 故引用此法對人力及時間之節省相當可觀。

七、結 論

本文介紹利用電子計算機自動分析氣流場, 首先由測站觀測風場經由連續修正法計算得網格點風速分量, 將此風速分量輸入氣流線分析程式, 即可繪製氣流線圖。觀念上, 氣流線的繪製過程類似於作出許多小氣塊的瞬時軌跡。氣流場分析的困難首先在於西太平洋區廣大洋面及低緯度區風場觀測報告稀少, 致使客觀分析處理困難, 由於測站少, 修正量亦少, 致使初始猜測值變成極重要, 此一困難似可由日後氣象衛星之連續觀測來克服之。其次, 在流線繪製過程中, 困難在於何處開始繪一新的流線及何時終止正在繪的一條流線, 本文介紹的方法提出一些規則來解決這些問題, 並使繪出來的圖形勻滑且能相當程度地縮短計算機時間。

最後, 作者並以民國七十年十月十九日 00Z 兩組不同的即時氣象資料, 引用此分析法分別繪製 850 毫巴的氣流分析圖及 500 毫巴的氣流線預測圖, 分析迅速結果良好, 顯示此法極具實用價值。

八、誌 謝

作者感謝中央氣象局吳局長宗堯及郭組長文鏞的大力支持, 王枝正時鼎提供寶貴資料, 蕭錫璋女

士提供具體建議並代為校稿, 徐月娟女士協助修改程式及中央氣象局電子計算機中心全體同仁的幫助, 才使本研究得以順利完成, 敬致最誠摯謝意。

參 考 論 文

1. Bedient H.A. and Vederman J., 1964:
"Computer analysis and forecasting in the tropics"
Monthly Weather Review, Vol. 92, No. 12, pp 565-577
2. Cressman G. P., 1959:
"An Operational Objective analysis system"
Monthly Weather Review, Vol 87, No. 10, pp 367-374
3. Kurihara, Y., 1961:
"Accuracy of wind-aloft data and estimation of error in numerical analysis of atmospheric motion"
Journ. Met. Soc. Japan, Vol. 39, No. 6, pp 331-345
4. Saucier, W. J., 1955:
Principles of Meteorological analysis
The University of Chicago Press, pp 305-310
5. Whittaker T. M., 1977:
"Automated streamline analysis"
Monthly Weather Review, Vol. 105, pp 786-788
6. 徐月娟與胡仲英, 1976:
「用電腦繪製天氣圖之研究」
氣象學報第二十二卷第四期, 32-38 頁
7. 熱帶氣象學, 1976:
空軍訓練司令部編印, 363 頁
8. 胡仲英, 1979:
「ADAPS 系統之研究與設計」
氣象學報第二十五卷第一期, 9-24 頁
9. 蔡清彥與胡仲英, 1975:
「以相當正壓模式研究地形的動力效果」
大氣科學第二期, 63-67 頁

工程上應考慮的地震問題

Engineering Seismological Considerations

徐 明 同

*Ming-Tung Hsu***ABSTRACT**

This report represents my attempt to synthesize seismological considerations in civil engineering and my researches on seismicity of Taiwan and its relation to geotectonics in the past 20 years.

Section 1 briefly introduces the importance of seismological considerations in the field of civil engineering. In Section 2, seismicity of Taiwan is summarized with emphasis on its relation to geotectonics. The relationship between faults and earthquakes, and both geological and earthquake faults in Taiwan are mentioned in Section 3. In Section 4, first introduces the various hypothetical earthquakes, then the methods of evaluating design earthquake magnitude and intensity are discussed. Section 5 describes the spectra of ground motion and the site-dependent response spectra of structures which are currently adopted in U. S. A. and Japan.

一、前 言

自古以來人類對於地震抱着莫大關懷，因為地震突然發生，大者會在一瞬間把一個繁華的大都市破壞殆盡，變成廢墟，一次造成幾萬人死傷者並不罕見。1976年唐山大地震所造成之嚴重災情，我們的記憶猶新。

「為什麼會發生地震？」是大家所關心的問題，科學家對這個問題，已做了許多研究，但到目前為止還沒有達到預測的地步，故目前我們還無法知道何時會發生地震。因此在地震經常發生而常常受到災害的地區如臺灣，各種工程建設必須加以考慮地震問題。尤其是重要設施(critical facilities) [1]*因其破壞性可能引起嚴重人命與財產的損失，以及環境的退化。例如原子能發電廠，化學工廠，液化瓦斯終點站，水壩等。此外在緊急情況時仍應保持正常服務大家之安全與健康設施，如警察局，消防隊及醫院等也包括在內。

沒有考慮地震效應的建築物，通常會受到嚴重災害，例如在伊朗或者土耳其發生地震規模 M 7.0 左右的地震，往往造成死者超過萬人以上的嚴重災害，而同樣的地震發生在紐西蘭，僅能造成死者百人以上。因為前者大部分建築物為土角所造成的；而後者為考慮過耐震的木造房屋。在臺灣亦有同樣的例子。在1935年4月21日新竹、臺中烈震，其規模 M 為 7.1，而發生死者 3,276 人的有史以來到現在為止的大災害，但值得注意者，其中日本人只有 5 人。臺灣人大部分住在土角造或簡陋房屋，而日本人都住在較堅固的木造房屋之故。由此可見耐震結構物之重要性。

在工程上需要考慮的地震問題，包含下列各種問題。在工址 (site) 鄰近地區的地震活動情況，有無斷層，最大可能發生的地震 (maximum credible earthquake, 簡寫 MCE) 之規模 (earthquake magnitude) 和震度 (seismic intensity) 以及地震動的性質或其波譜 (spectrum) 等問題。解答這些問題必須搜集過去所得的地震資料，以統計及實驗方法處理，而預測將來可

* [] 內數字指參考文獻

能發生的情況。

本文將介紹上述問題，以供工程人員做耐震設計之參考。

二、臺灣地區地震活動與地體構造

臺灣位於環太平洋地震帶 (Circum-Pacific seismic zone) 西側之中部附近，經常發生地震，其中一部分為破壞性大地震，而生命，財產曾經蒙受很大損失。因此自十七世紀中葉各地地方誌中就可尋找到大地震震災的記錄。自1897年起中央氣

象局各測候所安裝地震儀開始辦理地震觀測迄今已八十餘年。隨着測站與儀器設備之增設與改進，地震記錄逐漸充實。完善之地震目錄為研究地震活動及地震工程所需要的最基本資料，徐氏 [2] 所編的目錄為最新者。

關於工程上有興趣的地震為引起災害的破壞性地震，其規模M大約 5.5 以上的地震。表一及表二分別表示地震儀觀測以前及以後之災害地震目錄。至於大地震之比較詳細說明可見臺灣之大地震 [3]。

表一：地震儀觀測以前之臺灣大地震一覽表

國曆 (太陰曆)	西曆 (太陽曆)	震災地	備考
崇禎十七年	1644年7月30日	臺南	城壁龜裂傾倒
永曆八年十二月十四日	1654年1月21日	臺南、高雄	餘震繼續三週
永曆十五年	1661年2月15日	臺南	
康熙五十年九月十一日	1711年10月22日	嘉義	
康熙五十九年十月一日	1720年11月1日	臺南	
康熙五十九年十二月八日	1721年1月5日	臺南	家屋倒潰死者多數噴泥，餘震繼續十天
雍正十三年十二月十七日	1736年1月29日	臺南、嘉義、彰化	死者多數
乾隆十九年四月	1754年4月	淡水	
乾隆四十一年十一月	1776年12月11日	嘉義	家屋倒潰死者多數
乾隆五十七年六月二十日	1792年8月7日	嘉義、彰化	死者一百
嘉慶二十年六月五日	1815年7月11日	宜蘭	家屋損壞多數
嘉慶二十年九月十一日	1815年10月13日	淡水	
嘉慶二十一年	1816年	宜蘭	家屋倒潰多數
道光十三年十一月三日	1833年12月13日	宜蘭	家屋損壞多數
道光十九年五月十七日	1839年6月27日	嘉義	家屋倒潰、山崩
道光二十年十月	1840年11月	雲林	山崩
道光二十八年十一月八日	1848年12月3日	彰化、雲林	家屋倒潰
同治元年五月九日	1862年6月5日	臺南、嘉義、彰化	家屋倒潰死傷者多數
同治六年十一月十三日	1867年12月18日	基隆	家屋流失海嘯來襲溺者數千
光緒七年三月二十一日	1881年4月19日	臺北	家屋倒潰萬華有死傷者
光緒十八年三月二十六日	1892年4月22日	臺南安平	家屋倒潰多數
光緒二十一年十二月二十九日	1896年2月12日	宜蘭	

表二：災害地震一覽表 (1897—1980)

[號碼]	發震時 (東經 120 度標準時)					震 源			規 模	災 害				地 殼 變 動
	年	月	日	時	分	東 經 (度)	北 緯 (度)	深 度 (公里)		死 (人)	傷 (人)	房屋全倒 (棟)	房屋損害 (棟)	
1	1901	6	7	8	5	121.8	24.7		6.0			1	57	
2	1903	4	24	14	39	120.5	23.5		6.1	3	10	66	840	
3	1904	11	6	4	25	120.3	23.5		6.3	145	158	661	3,197	地裂, 噴砂,
4	1905	3	17	6	42	120.5	23.6	很淺	7.1	1,258	2,385	6,769	14,218	斷層, 地裂, 噴砂,
5	1906	3	26	11	29	120.5	23.7		5.0	1	5	29	529	
6	1906	4	7	0	53	120.4	23.4		5.5	1	6	63	283	山崩
7	1906	4	8	6	40	120.4	23.4		5.5					
8	1906	4	14	3	18	120.4	23.4		6.6					
9	1906	4	14	7	52	120.4	23.4	20	5.8	15	84	1,794	10,037	地裂, 噴砂, 山崩
10	1908	1	11	11	35	121.4	23.7	淺層	7.3	2		3	5	地裂, 山崩
11	1909	4	15	3	54	121.5	25.0	80	7.3	9	51	122	1,050	
12	1909	5	23	6	44	120.9	24.0		5.6		6	10	32	
13	1909	1	21	15	36	121.8	21.4	淺層	7.3		4	14	39	
14	1910	3	26	2	38	121.6	23.9		5.5				小損害	
15	1910	4	12	8	23	122.9	25.1	200	8.3			13	59	
16	1910	6	17	13	28	121.0	21.0		7.0				小損害	
17	1915	1	6	7	27	123.2	24.4	160	7.3				小損害	
18	1916	8	28	15	27	120.9	23.7		6.4	16	159	614	4,885	
19	1916	11	15	6	31	120.7	24.0		5.7	1	20	97	972	
20	1917	1	5	0	55	120.9	23.9		5.8	54	85	180	625	
21	1917	1	7	2	8	120.9	23.9		5.6		21	187	498	

(續)

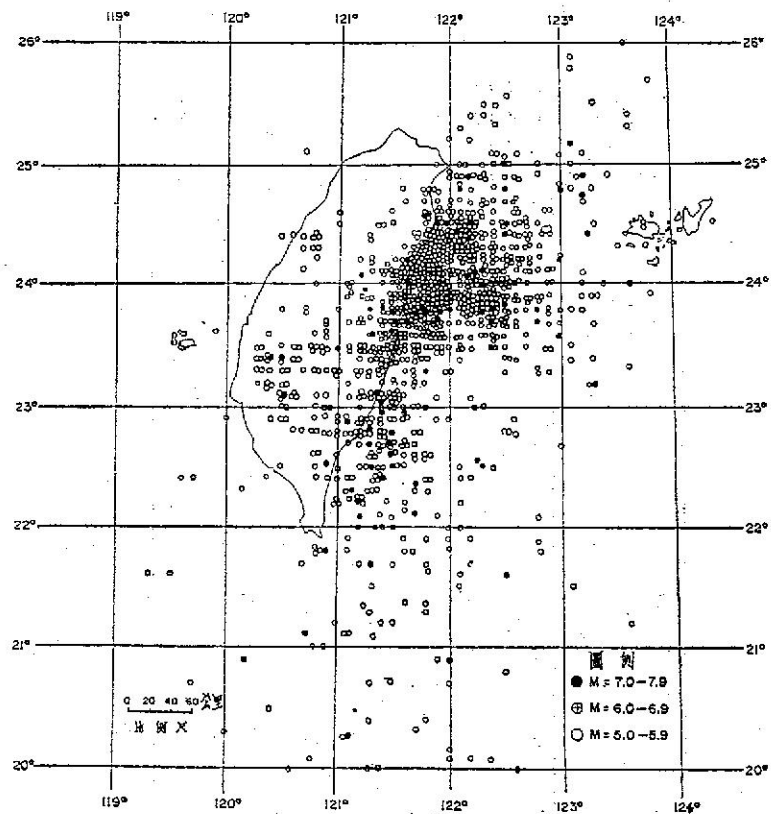
號碼	發震時 (東經 120 度標準時)					震 源			規 模	災 害				淺 層 淺 層
	年	月	日	時	分	東 經 (度)	北 緯 (度)	深 度 (公里)		死 (人)	傷 (人)	房屋全倒 (棟)	房屋損害 (棟)	
22	1918	3	27	11	52	121.9	24.6		6.2		3		6	
23	1920	6	5	12	22	122.0	24.0	淺層	8.3	5	20	273	1,275	
24	1922	9	2	3	16	122.2	24.6	淺層	7.6	5	7	14	161	
25	1922	9	15	3	32	122.3	24.6	淺層	7.2		5	24	389	
26	1922	9	17	6	44	122.5	23.9		6.0		1	6	197	
27	1922	10	15	7	47	122.3	24.6		5.9	6	2		14	
28	1922	12	2	11	46	122.0	24.6		6.0	1	2	1	33	
29	1922	12	13	19	26	122.1	24.6		5.5		1		13	
30	1923	9	29	14	51	121.1	23.8		5.5		1	1	80	
31	1925	4	17	3	53	120.2	20.4	淺層	7.1				小損害	
32	1925	6	14	13	38	121.8	24.1		5.6		1		339	
33	1927	8	25	2	9	120.3	23.3		6.5	11	63	214	1,209	
34	1930	8	8	7	49	121.3	23.2		5.6				小損害	
35	1930	12	8	14	20	120.4	23.3		6.1	4	25	49	449	地裂
36	1930	12	8	16	10	120.4	23.3		6.5					
37	1930	12	22	7	52	120.4	23.3		6.5					
38	1930	12	22	8	8	120.4	23.3		6.5					
39	1930	12	22	12	19	120.4	23.3		5.6		14	121	2,919	
40	1931	1	24	23	2	120.4	23.4		5.6				698	
41	1934	8	11	16	18	121.8	24.8	淺層	6.5		3	7	11	
42	1935	2	10	3	20	122.1	24.9	60	6.3				小損害	

(續)

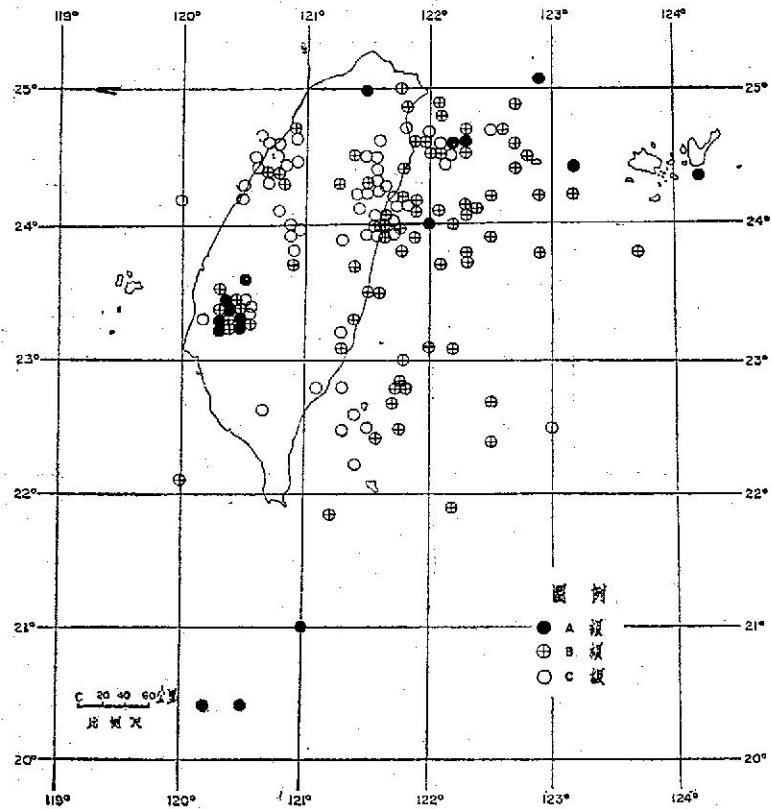
號碼	發震時 (東經120度標準時)					震 源			規 模	災 害				地 殼 變 動
	年	月	日	時	分	東 經 (度)	北 緯 (度)	深 度 (公里)		死 (人)	傷 (人)	房屋全倒 (棟)	房屋損害 (棟)	
43	1935	4	21	6	2	120.8	24.3	5	7.1	3,276	12,053	17,907	36,781	斷層, 山崩, 地裂
44	1935	4	21	6	26	120.9	24.7	淺層	6.0					
45	1935	5	5	7	2	120.8	24.5	淺層	6.0					
46	1935	5	30	3	43	120.8	24.1	淺層	5.6					
47	1935	6	7	10	51	120.5	24.2	淺層	5.7					
48	1935	7	17	0	19	120.7	24.6	30	6.2	44	391	1,734	5,887	
49	1935	9	4	9	38	121.5	22.5	淺層	7.2					
50	1936	8	22	14	51	121.1	22.0		7.1					
51	1937	12	8	16	33	121.4	23.1	10	7.0					
52	1938	9	7	12	3	121.8	23.8		7.0					
53	1938	11	2	14	40	121.2	24.1		6.1					
54	1939	11	7	11	53	120.8	24.4	淺層	5.8			4	20	
55	1941	12	17	3	19	120.4	23.4	10	7.1	958	733	4,620	11,086	山崩
56	1943	10	23	0	1	121.5	23.8	5	6.2					
57	1943	10	23	0	15	121.5	23.8		5.6					
58	1943	11	3	0	51	121.8	24.0		5.0					
59	1943	11	24	5	51	121.7	24.0	0	5.7					
60	1943	12	2	13	9	121.5	22.5		6.1	3	11	139	295	山崩
61	1944	2	6	1	20	121.4	23.8	5	6.4					
62	1946	12	5	6	47	120.4	23.1	3	6.3					
63	1951	10	22	5	34	121.7	23.8	0	7.3					

(續)

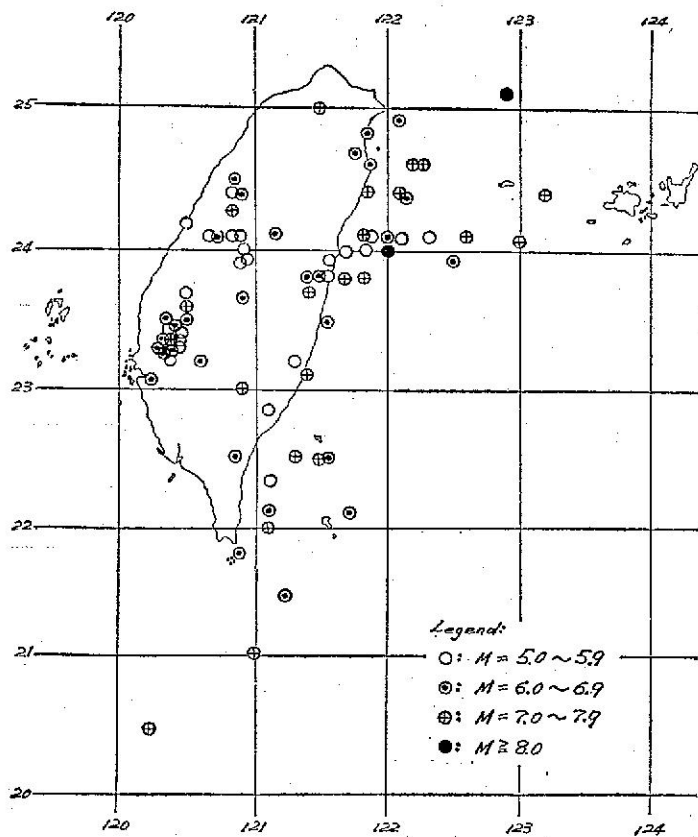
號碼	發震時(東經120度標準時)					震源			規模	災害				地殼變動
	年	月	日	時	分	東經 (度)	北緯 (度)	深度 (公里)		死(人)	傷(人)	房屋全倒 (棟)	房屋損害 (棟)	
64	1951	10	22	11	29	121.8	24.1	20	7.1	68	856		2,382	山崩,地裂,斷層
65	1951	11	25	2	47	120.9	23.0	20	7.3	17	326		1,598	山崩,地裂,斷層
66	1955	4	4	12	11	120.9	21.8	5	6.7		7	22	171	
67	1957	2	24	4	26	121.8	23.8	30	7.0	11	33	64	100	山崩
68	1959	4	27	4	41	123.0	24.1	50	7.7	1		9	4	
69	1959	8	15	16	57	121.2	21.5	20	6.8	17	68	1,214	1,375	
70	1959	8	17	16	25	121.2	22.3	40	5.6				小損害	
71	1959	8	18	8	34	121.7	22.1	15	6.1			32	5	
72	1959	9	25	10	37	121.2	22.1	10	6.5		3	3	65	
73	1963	2	13	16	51	122.1	24.4	10	7.3	15	3	6	6	
74	1964	1	18	20	4	120.6	23.2	20	6.3	106	650	10,502	25,818	山崩,地裂,噴砂
75	1966	3	13	0	31	122.6	24.1	63	7.5	7			小損害	
76	1967	10	25	8	59	122.1	24.4	65	6.1	2	2	23	27	山崩
77	1972	1	25	10	7	122.3	22.5	70	7.2	1	1	2	4	山崩
78	1972	4	24	17	57	121.5	23.5	3	6.9	5	17	28	62	山崩,斷層,地裂



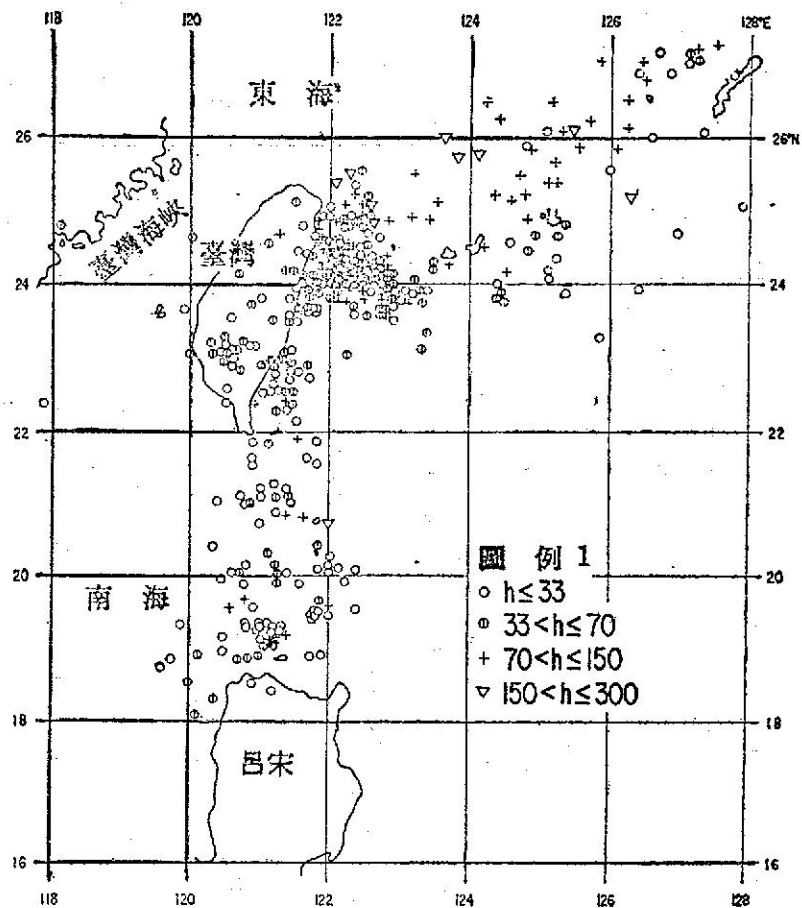
圖二 臺灣地區地震分佈圖 (1936-1973)



圖一 臺灣地區地震分佈圖 (1897-1935)



圖四 臺灣災害地震分佈圖 (1897-1980)

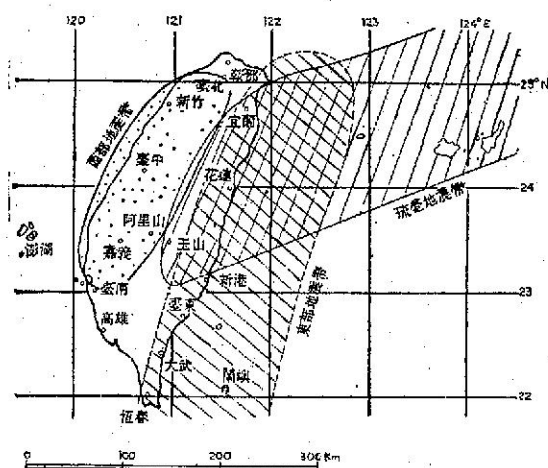


圖三 臺灣及鄰近地區地震分佈圖 (1963-1989)

表三：依有感距離半徑 r 定義之地震規模

地震規模	定義	Richter 規模 M
顯著 (A 級) 地震	$r \geq 300 \text{ km}$	$M \geq 6.4$
稍顯著 (B 級) 地震	$300 \text{ km} > r \geq 200 \text{ km}$	$6.4 > M \geq 5.7$
小區域 (C 級) 地震	$200 \text{ km} > r \geq 100 \text{ km}$	$5.7 > M \geq 4.8$
局發 (D 級) 地震	$100 \text{ km} > r$	$4.8 > M$

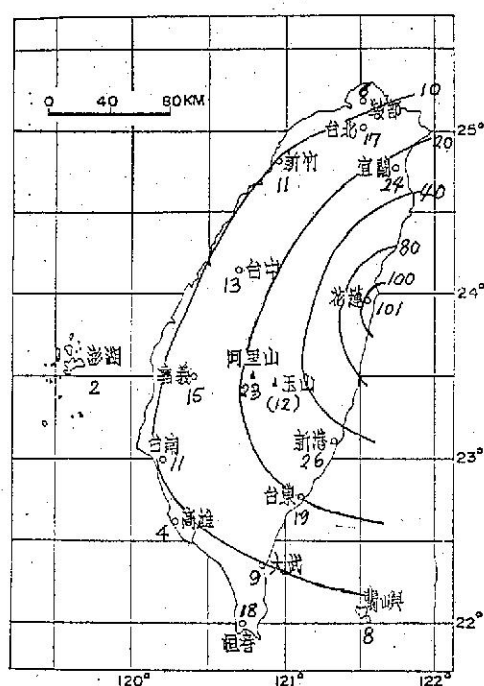
關於臺灣及其周圍地區地震分佈見圖一、二、三及四。圖一表示地震觀測開始初期之分佈圖，地震規模以 A, B 及 C 級分類，其說明見表三。圖二及圖三表示觀測網比較充實時期之分佈圖。圖四表示災害地震之分佈。由這些圖可知在臺灣地區，大部分地震集中在四個地區叫做地震區 (earthquake province)，即花蓮外海，綠島附近，嘉義及苗栗附近。而這些地震區連接起來形成地震帶。臺灣主要地震帶以北北東至南南西方向從島上及其附近穿過，可分成幾個副地震帶。徐氏 [4] 稱為東部及西部兩個地震帶，以及沿琉球列島至臺灣中部的琉臺地震帶。此三個地震略示於圖五。



圖五 臺灣地區地震觀測站及地震帶圖

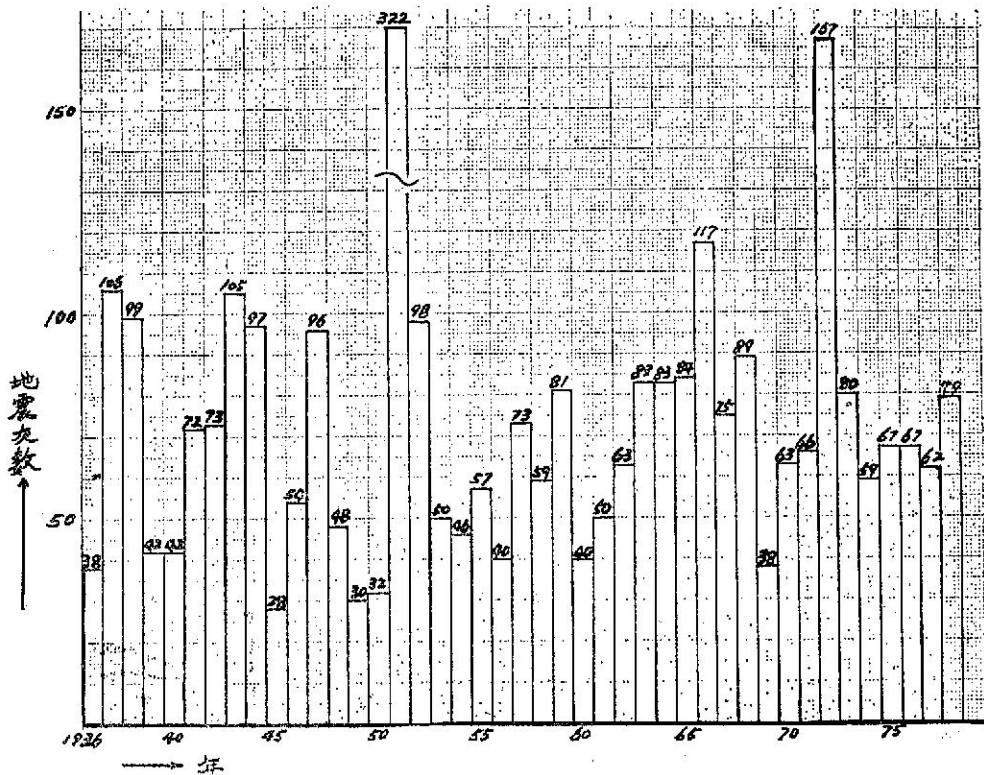
西部地震帶從臺北附近向南南西延伸至臺南附近，寬約 80 公里，東部地震從宜蘭東北外海展開，同樣向南南西延經恒春半島東方進入呂宋島，寬約 130 公里，而琉臺地震帶自琉球列島沿該列島向西南西延伸至臺灣中部結束，寬約 160 公里。值得注意者，琉臺地震帶與東部及西部兩個地震帶之走向完全不同。

臺灣地區有若干比較寧靜或無地震的地區，即西北部，西南部，澎湖羣島及臺灣海峽。為了比較起見，各測站所觀測的人體有感地震年平均次數繪成圖六。最多者為花蓮年平均 101 次，最小者為高雄只有 4 次，相差達二十五倍之多，而澎湖只有 2 次 [5]。



圖六 年平均有感地震次數分佈圖 (1940-1974)

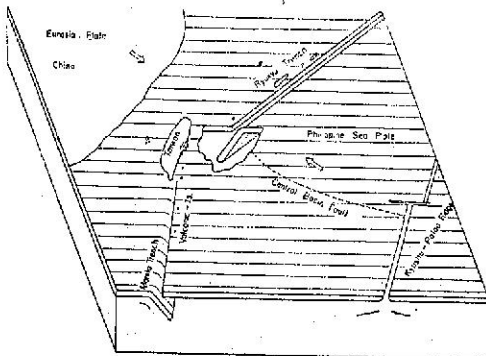
關於地震活動之長期時間變化可見圖七。因為自 1936 年起地震資料比較充實且測站網的檢知能力 (detection capability) 也提高，規模 $M 4.0$ 以上的地震大部分可以測得 [6]，故從此年開始計算規模 M 。由此圖可知地震活動歷年變化相當顯著。最高值為 322 次係發生於 1951 年，而最小值為 28 次發生於 1945 年相差 11 倍之多。地震活動是否有週期性很難說，但是有一值得注意的現象是活動最



圖七 $M \geq 4.0$ 地震次數歷年變化圖

旺盛之1951年，前有連續三年不活躍的期間，1972年前三年亦有同樣的現象。

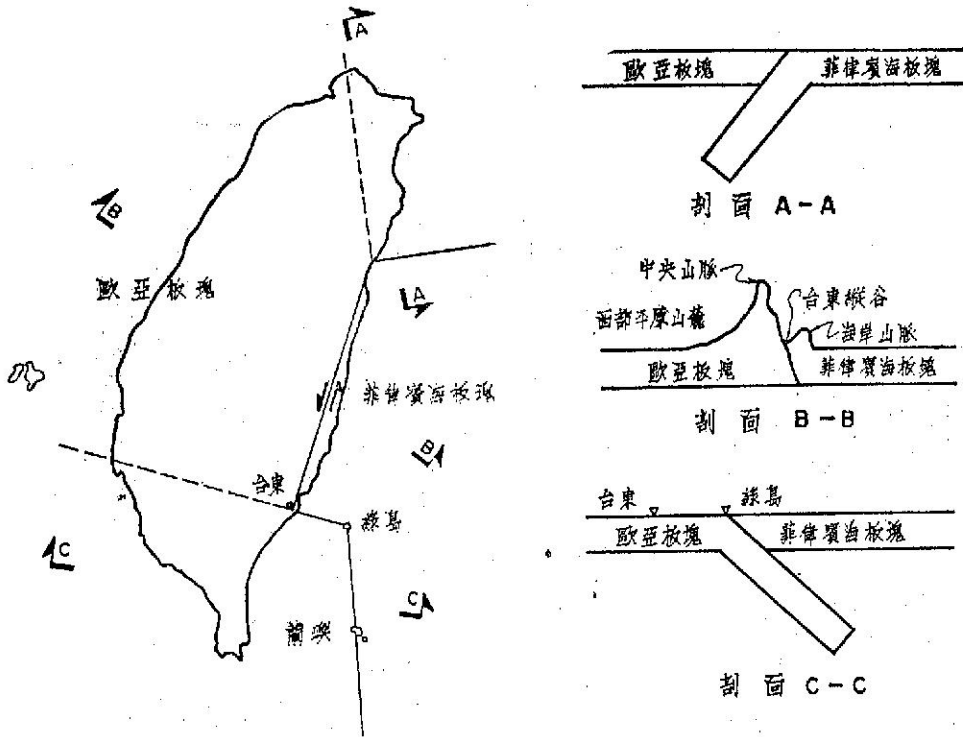
十多年來地球科學界有劃時代的進步。板塊構造 (plate tectonics) 之理論可以解釋許多地球科學的問題，而其中之一為地震之發生機制 (mechanism) [7]。依照此學說地震即發生在板塊間之境界。據徐氏 [6]，臺灣附近板塊運動之情況如模式圖八及九。歐亞板塊和菲律賓海板塊在臺東縱



圖八 臺灣及鄰近地區板塊運動示意圖

谷衝突而造成中央山脈。在臺灣北部，菲律賓海板塊沿琉球列島向歐亞板塊下俯衝 (underthrust)，形成琉球海溝，而在臺灣南部以南至呂宋島中部為止發生相反現象。參照何氏 [8] 臺灣之地質構造區，臺灣之地體構造區 (geotectonic province) 可分為(A)西部平原及山麓區，(B)中央山脈區，(C)東部區及(D)板塊隱沒區 (或深層地震區) 等四區如圖十所示。西部平原及山麓區屬於中新世及上新世，兩者以金山、竹湖、三義及觸口等斷層為境界。中央山脈區屬於漸新世及始新世 (第三紀變質岩)，而與山麓區以屈尺斷層為境界。東部區為第三紀地層所構成，包括海岸山脈重力岩幕，利吉混同層岩塊及原地堆積地質，而與中央山脈區以臺東縱谷為境界。以上所述各區內所發生的地震均為淺層地震，即其深度不超過70公里。一般來說，西部的震源深度比東部者較淺。板塊隱沒區係指菲律賓海板塊向歐亞板塊下俯衝，而兩板塊間之相對運動所引起之地震，包括較深的地震區。在臺灣附近最深者可達200公里左右。

在工程上考慮地震問題時，應對各種地體構造



圖九 臺灣附近板塊運動模式圖

內所發生之地震分別加以檢討。

三、斷層與地震

斷層為兩種岩石體以一個面為境界所發生的滑動現象，可分為走向滑 (strike-slip) 及傾向滑 (dip-slip) 兩種。而走向滑斷層亦可分為左旋，右旋兩種，傾向滑斷層可分為正，逆兩種，傾向滑和走向滑分量相差不多時叫做斜斷層 (oblique fault)。地震發生時出現在地面的斷層叫做地層斷層 [9]。

地震與斷層之關係為地震學及地質學之主要研究論題。地震發生後產生斷層或者斷層運動發生後產生地震的問題爭論很久，而於1960年代已獲得定論，即地震由斷層運動所引起。許多斷層中第四紀——約200萬年到現在——以後重複活動的或者將來有可能活動的斷層叫做活動斷層 (active fault)。地震斷層原則上都屬於活動斷層。其認定為目前地震預測研究中之主要題目。

前面已述及地震是震源附近斷層運動所引起，但地震發生後，斷層不一定出現在地面。Tsuboi [11] 提倡地震體積 (earthquake volume) 的

觀念。根據他的想法，單位體積地殼物質內能蓄積的能量是一定的，而地震規模愈大，地震體積也愈大。因此規模較大的地震比較小的地震，斷層出現在地表面的機會愈多。在地殼內發生的地震，如規模 M 大於 7.4，地震斷層的出現率可達 100%，而規模 M 小於 7.4 大於 7.0 者，其出現率約 60% [11]。

活動斷層諸性質中，與地震規模及發生間隔有關的主要因素計有三 [12]。

(1) 斷層系統之長度 L ，與所產生之地震規模 M 有關。

(2) 第四紀後期中之平均移動速度 S 。松田 [12] 把 S 分為三級，即 A 級 ($m/1000$ 年)，B 級 ($0.1m/1000$ 年) 及 C 級 ($0.01m/1000$ 年)。

(3) 地震時斷層運動之變位量 D 。

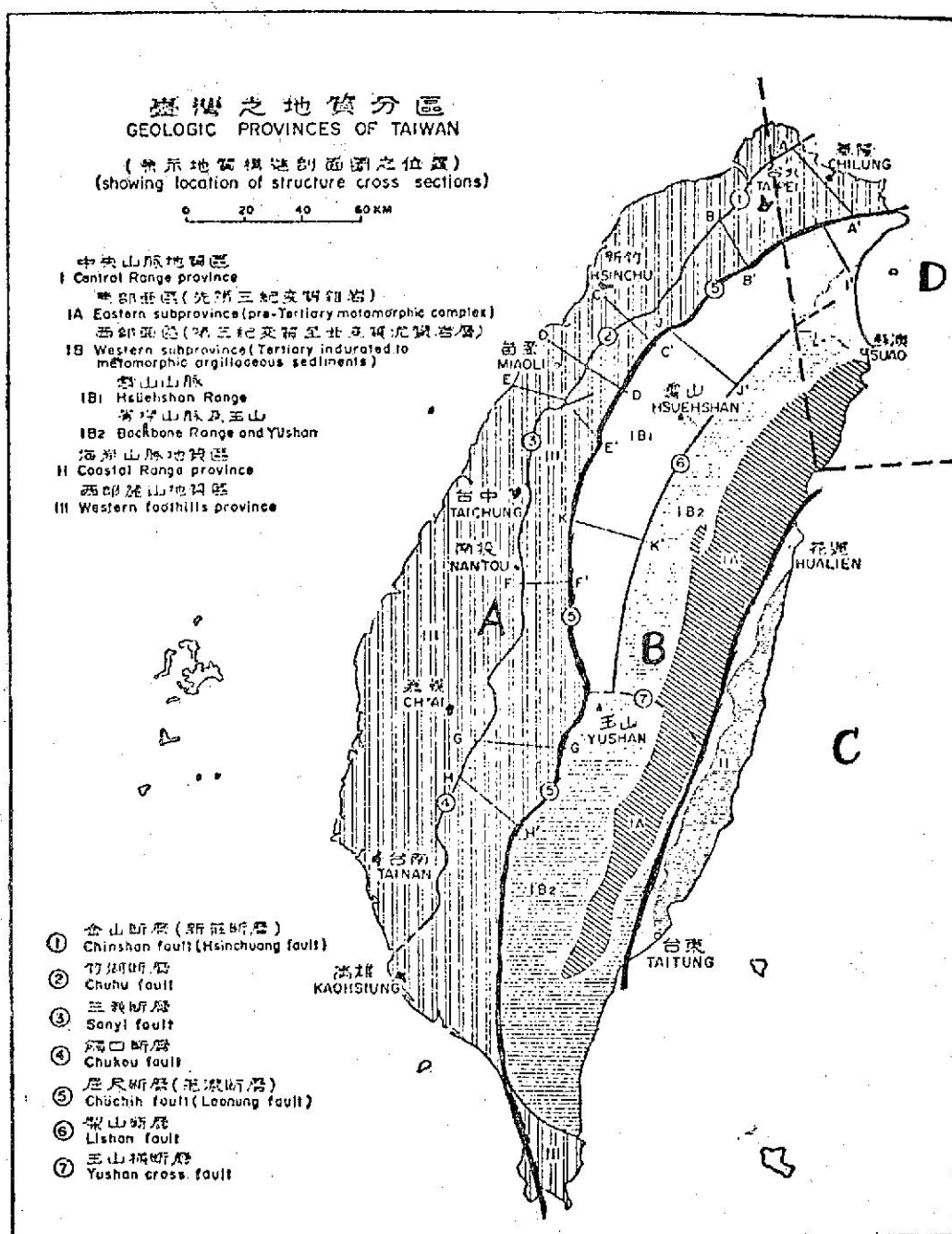
Iida [13] 搜集各地資料發見 D 與 M ， L 與 M 有下列關係，

$$\log D (m) = 0.55M - 3.71 \quad (1)$$

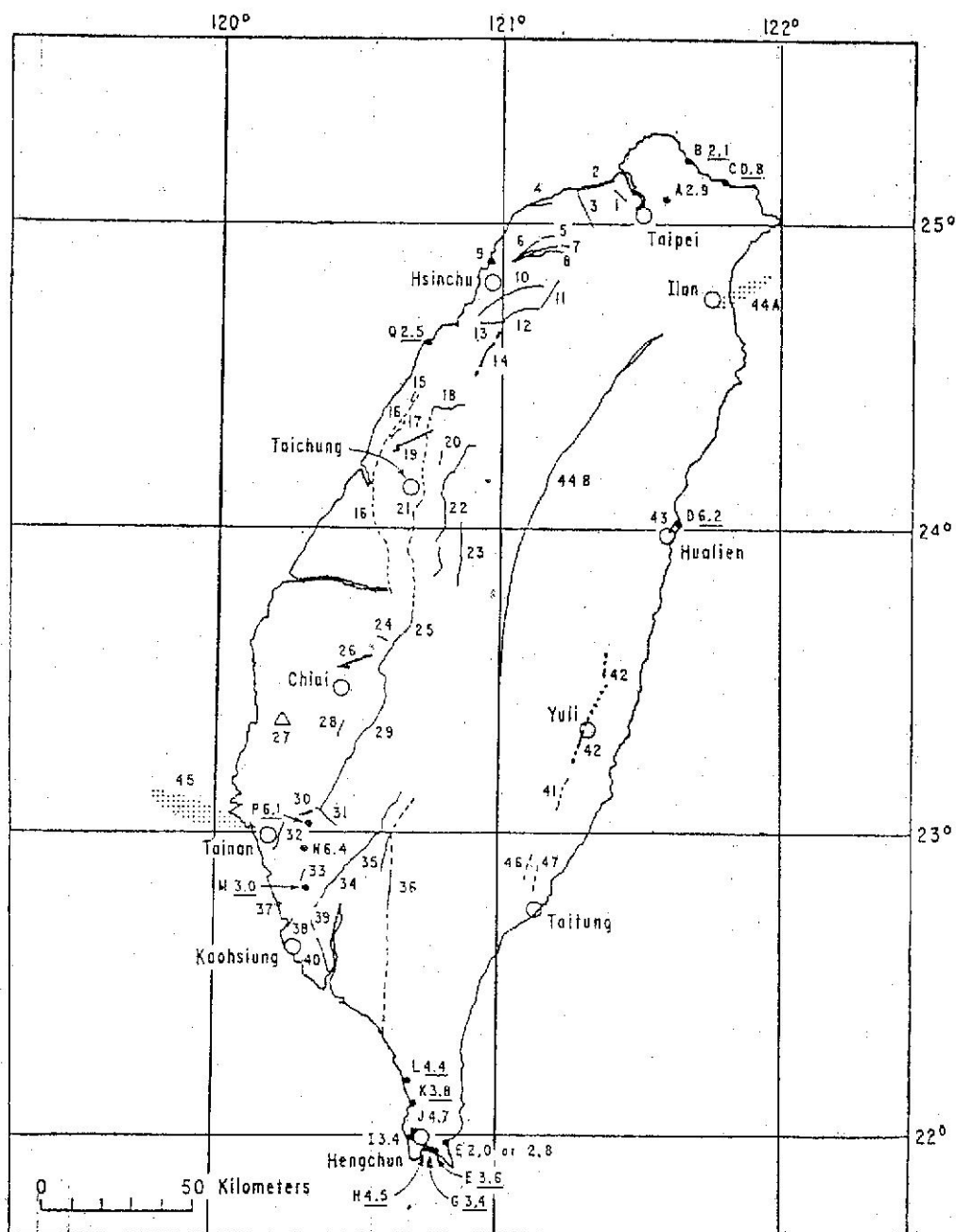
$$\log L (km) = 1.32M - 7.99 \quad (2)$$

類似的公式很多，例如，

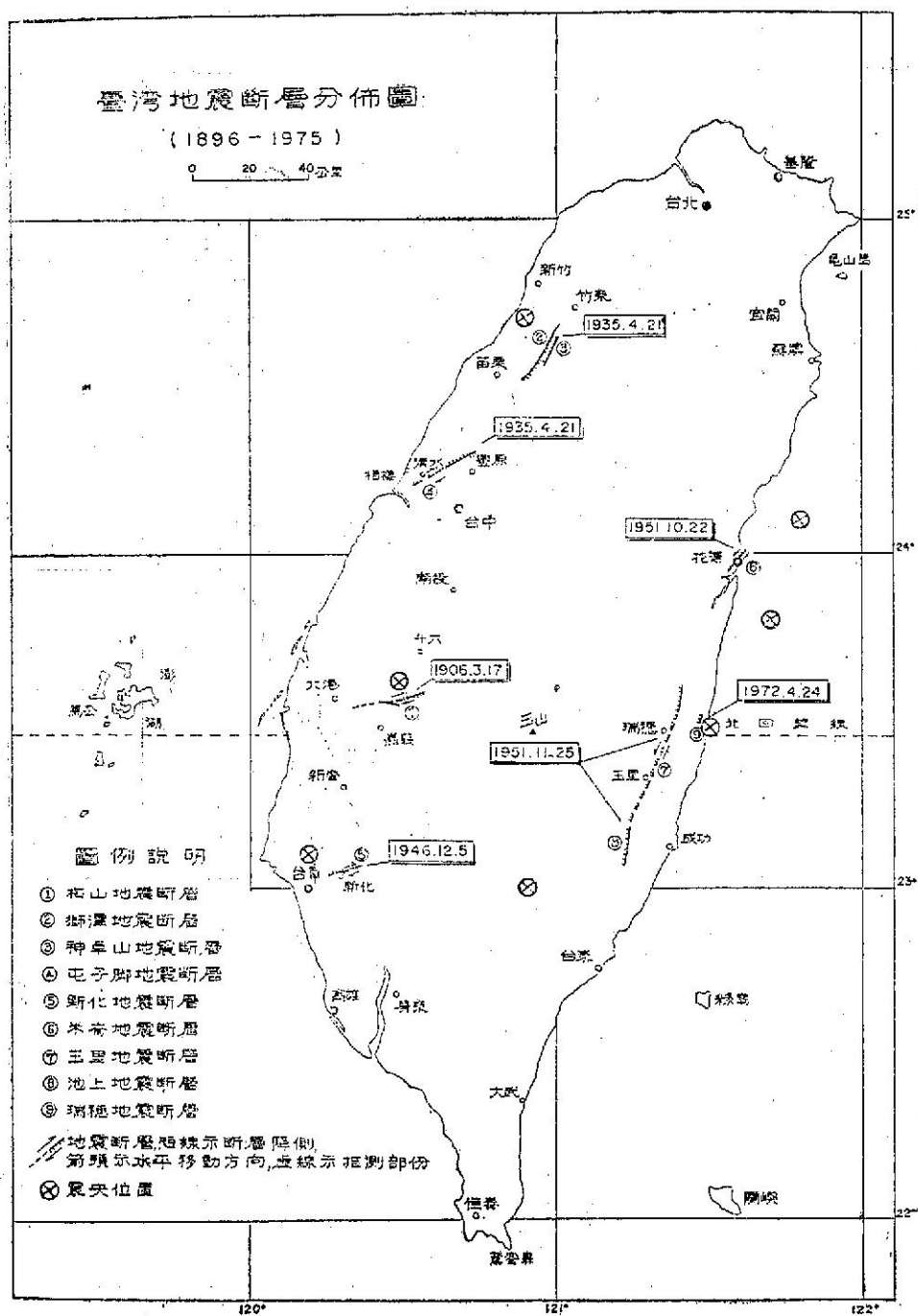
$$\log L = 0.5M - 1.8 \quad (\text{Otsuka [14]}) \quad (3)$$



圖十 臺灣之地體構造分區圖



圖十一 臺灣之斷層分佈圖



圖十二 臺灣地震斷層分佈圖

表四：臺灣地震斷層概況表

(民國前15年—民國64年)

地震斷層名稱	隨伴產生之地震	斷層走向	斷層長度 (公里)	斷層升側	變位情形
梅山地震斷層	民國5年3月17日嘉義烈震 (1906)	N53°~75°E	13	中坑以東斷層東北側為 升側，中坑以西斷層西 南側為升側。	最大水平位移240公分，最大垂直變位180公分。
獅潭地震斷層	民國24年(1935)4月21日 新竹、臺中烈震	N20°~30°E	21	西側	最大垂直變位300公分，水平位移不明。
屯子脚地震斷層		N60°E	20	斷層升側以南側為主， 惟局部在后里車站以東， 斷層北側為升側。	最大水平位移200公分，最大垂直變位60公分。
神卓山地震斷層		N20°~30°E	10	東側	最大垂直變位60公分，水平位移不明。
新化地震斷層	民國35年12月5日臺南烈震 (1946)	N70°~80°E	6	斷層升側主為北側，惟 於永康附近以西，南側 轉為升側。	最大水平位移300公分，最大垂直變位76公分。
米崙地震斷層	民國40年10月22日花蓮烈震 (1951)	N20°~55°E	10	東南側	最大水平位移200公分，最大垂直變位130公分。
玉里地震斷層	民國40年11月25日臺東縱谷烈震 (1951)	N20°~30°E	43	東側	最大水平位移163公分，最大垂直變位130公分。
瑞穗地震斷層	民國61年4月24日瑞穗烈震 (1972)	N25°E	2.5	東側	最大垂直位移70公分，水平變位不明。

$$\log L = 0.6M - 2.9 \quad (\text{松田 [12]}) \quad (4)$$

$$\log D = 0.6M - 4.0 \quad (\text{松田 [12]}) \quad (5)$$

據 Wallace [15]，斷層平均運動速度 S 與此斷層所產生的地震發生間隔（週期） R 有下式的關係，

$$R = D / (S - C) \quad (6)$$

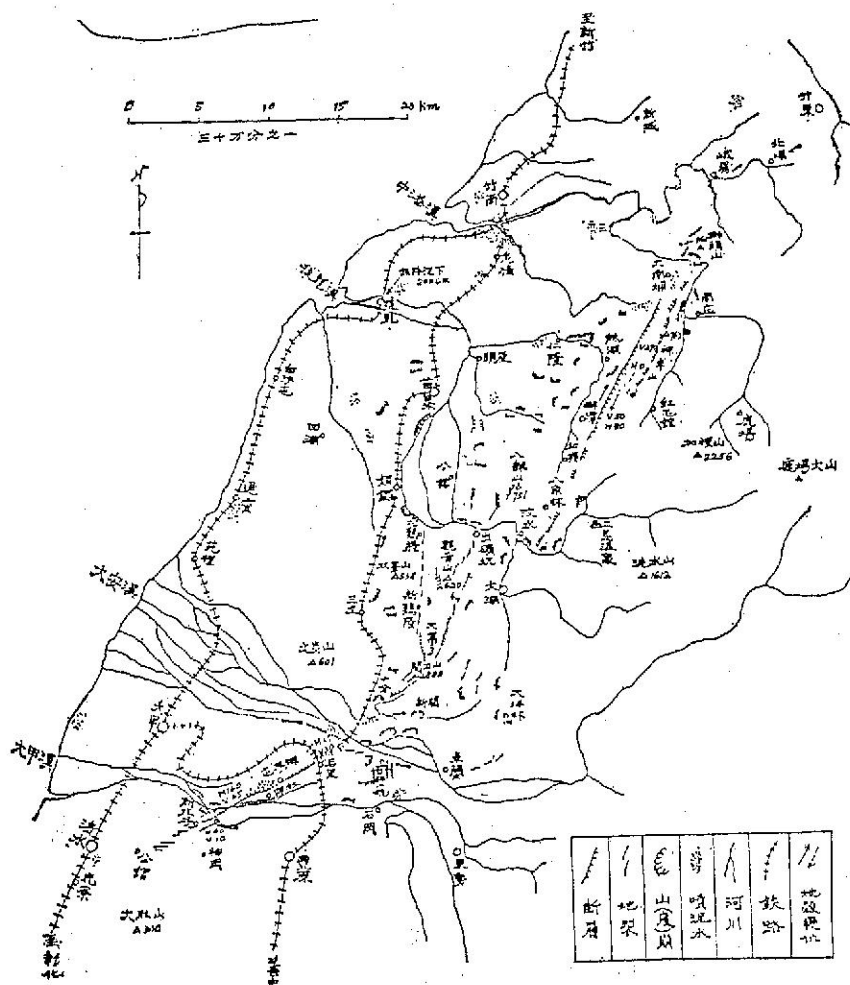
上式中 D 為斷層之變位量，而 C 為蠕動（creep）速度。如無發生蠕動的地區，可用下式。

$$R = D / S \quad (7)$$

D 及 S 均可測得，故由上式可以估計地震發生週期。

下面將介紹臺灣之斷層及地震斷層。圖十一係取自 Bonilla [16]，表示臺灣各地之斷層。圖

中數字表示斷層名稱，即 1. Wuku (五股)，2. Tananwan (大南灣)，3. Nankan (南崁)，4. Tsaoia (草漯)，5, 6, 7, 8. Yangmei (楊梅) 8 亦稱 Huko (湖口)，9. 無名，10. Hsincheng (新坡)，11. 無名，12. Chutung (竹東)，13. Touhuanping (斗換坪)，14. Chihhu (可能是竹湖)，15. 無名，16. Changhua (彰化) 或 Tachia (大甲)，17. Tiehchenshan (鐵砧山)，18. Sani (三義)，19. Tuntzuchia (屯子腳)，20. 無名，21. Chelungpu (車籠埔)，22. Tamaopu-Shuangtung (大茅埔——雙冬)，23. Shuilikeng-Tatakoa (水裡坑——不詳)，24. 無名，25. Tachienshan



圖十三 1935年4月21日新竹臺中烈震地變圖

(大尖山), 26. Meishan (梅山), 27. Yichu (義竹), 28. Muchiliag (木屐寮), 29. Chukou (觸口), 30. Hsinhua (新化), 31. 無名, 32. Houchiali (後佳里), 33. Hsiaokangshan (小港山), 34. Chishan (旗山), 35. Liukuei (六龜), 36. Chaochou (潮州), 37. 無名, 38. Yuchang (右昌), 39. 無名, 40. Fenshan (鳳山), 41. Chihshang (池上), 42. Longitudinal Valley (縱谷), 43. Meilun (美崙), 44. Median (中央), 45, 46 及 47. 無名。圖十二表示張氏 [17] 臺灣地震斷層分佈圖, 其概況如表四。圖十三表示 1935 年 4 月 21 日臺灣最大災害地震的地變圖 [9]。

四、設計地震及震度

在工程上最重要的地震問題是「在工址究竟將來會發生多大的地震規模及震度？」地震規模 (earthquake magnitude) M 是測定地震大小的一種尺度, 通常採用 Richter [18] 的尺度 (scale) (其定義如下: 在震央距離 100 公里標準扭轉地震儀 (standard torsion seismometer, 或稱 Wood-Anderson seismometer) [固有週期 0.8 秒, 倍率 2,800 倍, 阻尼常數 0.8] 記象最大振幅 (單位為 μ) 之對數, 為一個無名數取至小數一位, 與地震所釋放出來的能量有關。震度 (seismic intensity) 是表示地震動之強弱與加速度有關。震度用級表示, 有各種震度階級, 而在中央氣象局使用者如表五, 和其他震度階級比較結果如圖十四。圖十五表示 1935 年 4 月 21 日臺灣最大災害地震的震度分佈圖關於地震規模 M 之詳細說明參考

CWB I. S.	JMA I. S.	MM I. S.	M.S.K I. S.	RATIO TO GRAVITY	ACCELERATION (GAL)
		XII XI X	XI XII 800	0.7G	1000
			X	0.6G	—
				0.5G	—
				0.4G	500
				0.3G	400
VI	VII	IX	IX	0.2G	300
250	250	202	200	0.1G	200
V	V	VIII	VIII	0.1G	100
80	80	94	100	0.1G	100
		VII	VII	0.1G	50
IV	IV	44	50	0.1G	40
		VI	VI	0.1G	30
25	25	21	25	0.1G	20
		V	V	0.1G	10
III	III	10	12	0.01G	10
8	8	IV	IV	0.01G	5
		5	5	0.01G	4
II	II	III	III	0.01G	3
2.5	2.5	2.1	2.1	0.01G	2
I	I	II	II	0.001G	1
0.8	0.8	1.0	0.8	0.001G	1
0	0	I	I	0.001G	(GAL)

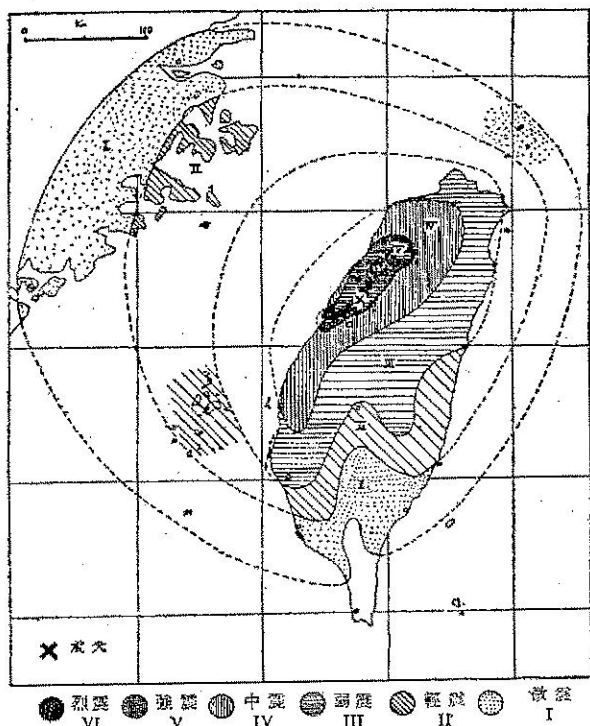
圖十四 各種震度階級對照表

表六。

解答上述問題必須先收集工址鄰近地區之地震資料, 包括儀器觀測記錄及過去歷史上地震災害的文字記載, 其期間愈長愈好, 然後評估可能影響工址的最大地震規模及震度。通常考慮的範圍大約以工址為中心 150 至 300 公里範圍內在不同地體構造區

表五: 中央氣象局震度階級

震 度 (級)	名 稱	說 明	加 速 度 (gal)
0	無 感	地震儀有紀錄, 人體無感覺。	0.8 以 下
1	微 震	人靜止時, 或對地震敏感者可感到。	0.8 ~ 2.5
2	輕 震	門窗搖動, 一般人均可感到。	2.5 ~ 8.0
3	弱 震	房屋搖動, 門窗格格有聲, 懸物搖擺, 盛水盪盪。	8.0 ~ 25.0
4	中 震	房屋搖動甚烈, 不穩物傾倒, 盛水達容器八分滿者溢出。	25 ~ 80
5	強 震	牆壁龜裂, 牌坊烟囪傾倒。	80 ~ 250
6	烈 震	房屋傾塌, 山崩地裂, 地層斷陷。	250 以 上



圖十五 新竹——臺中烈震度分佈圖

內所發生之地震。

對於重要設施耐震設計應考慮的假想地震 (hypothetical earthquake) 可以分為三種，例如水壩的耐震設計考慮下列三種地震 [19]。

(1)可能發生最大地震 (maximum credible

earthquake, 簡寫為 MCE)

MCE 之定義為在目前已知地體構造架構下，可能對壩址產生最強烈地面振動之地震。MCE 必須所有已知地質及地震資料所支持之合理且可信的事象。其評判即根據該地體構造區過去地質運動之形跡及歷史地震記錄所推測之最大地震為依據。

(2)設計基準地震 (design basis earthquake, 簡寫為 DBE)

DBE 之定義係在結構物經濟壽年內預期將發生一次之最大地震。其再現間隔 (recurrence interval) 通常為大壩採用 100 年內一次，中小型之普通壩將採用 50 年一次。

(3)運轉基準地震 (operation basis earthquake, 簡寫為 OBE)

OBE 之定義係在結構物經濟壽年間預期將發生數次之地震。其再現間隔通常設為 25 年。

以上各種基準之地震，參考地質學及地震學證據以及統計方法 [20] 可以求得，而在各種地體構造大約具有一定值。地震規模求出後計算震央距離或震源距離，如有斷層存在即取斷層至工址最短距離。然後依下列震央距離 Δ (或震源距離 R) 及地震規模 M 與震度或水平加速度 α (單位為 gal) 之關係式或者圖表求加速度。

(1)金井 [21] 公式

表六：地 震 規 模 解 說

(1) M 大於 9 之地震，自地震觀測以來尚未發生過。

(2) M 為 8.5~9 之地震為最大級之地震，全世界大約十年發生一次。

(3) M 為 8~8.4 之地震為第一級大地震，如震央在陸上會造成大災害，如震央在海底會引起大海嘯，且隨着有很多餘震，全世界大約每年發生一次。

(4) M 為 7~7.9 之地震為相當大的地震，如震央在陸地會造成大災害，如在海底會引起海嘯，全世界大約每年發生二十次。

(5) M 為 6~6.9 之地震發生於陸上會造成災害，世界上任何頭等地震觀測所可測此地震，每年大約發生一百五十次。

(6) M 為 5~5.9 之地震，有感區域相當大，震央附近會造成災害。

(7) M 為 4~4.9 之地震，通常不發生災害。我們通常感到者都是 M 4~6 之地震。

(8) M 為 3~3.9 之地震，在震央附近，人體可以感覺。

(9) M 為 2~2.9 之地震，人體感覺不到，震央附近之觀測所可測得。

(10) M 為 1~1.9 之地震，用高倍率地震儀可以觀測到。

(11) M 在 1 以下之地震，設置在適當地點之超高倍率地震儀可以觀測到。

以上所述僅適用於淺震源之地震。

$$\alpha = \frac{1}{T} \times 10^{0.16M - (1.66 + \frac{3.80}{R}) \times \log_{10} R + (0.617 - \frac{1.82}{R})} \quad (8)$$

上式中T為卓越周期單位秒。

(2)岡本 [22] 公式

$$\log_{10} \alpha = \log_{10} 640 + \frac{\Delta + 40}{100} (-7.604 + 1.7244 M - 0.1036 M^2) \quad (9)$$

(3) Esteve 和 Rosenblueth [23] 公式

$$\alpha = 110 e^{0.8M} \times R^{-1.6} \quad (10)$$

(4)日本建設省土木研究所 [24] 公式

$$\alpha = 18.4 \times 10^{0.802M} \times \Delta^{-0.800} \quad (11)$$

(5)日本建設省建築研究所 [25] 公式

$$\alpha = 28.5 \times 10^{0.207M} \times \Delta^{-0.598} \quad (12)$$

(第一種地盤)

$$\alpha = 13.2 \times 10^{0.280M} \times \Delta^{-0.806} \quad (13)$$

(第二種地盤)

$$\alpha = 32.1 \times 10^{0.253M} \times \Delta^{-0.757} \quad (14)$$

(第三種地盤)

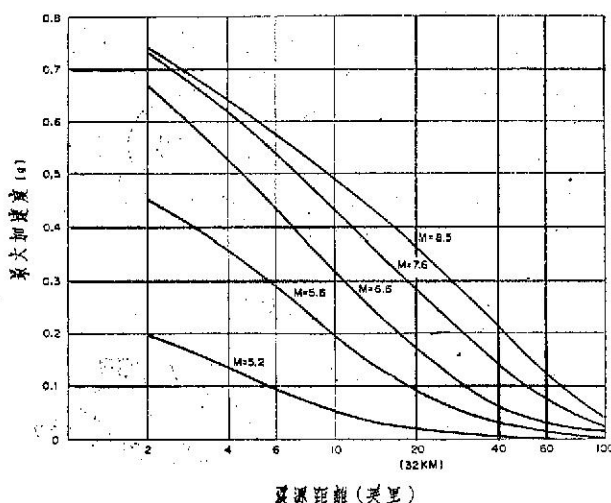
$$\alpha = 8.48 \times 10^{0.418M} \times \Delta^{-0.989} \quad (15)$$

(第四種地盤)

(6) Schnabel 和 Seed [26] 圖

圖十六表示震源距離，地震規模與最大加速度之關係。

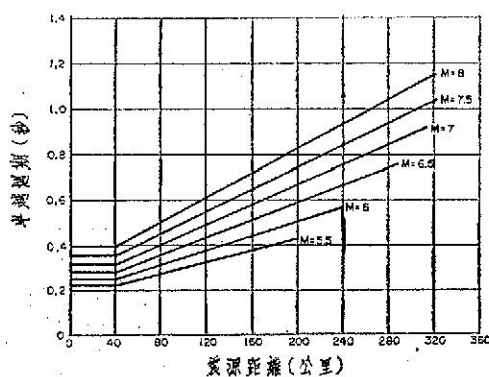
至於金井公式所需卓越周期可用實測值或Seed等 [27] 之圖十七。



圖十六 震源距離地震規模與岩盤最大加速度之關係圖

MCE 由上述公式或圖所求的震度不一定是最大震度，震源距離較近的較小地震，有時其震度較大。此時最大震度應用此值。事實上 MCE 可能發生的時間間隔遠超過結構物的壽命，故採用最大震度為設計震度並不太經濟故採用結構物壽命內可能發生的最大震度較為合理。此值當然比前者較小，而可做為靜態設計之基準。以上所述者為水平震度，而如需要垂直震度經驗上採用水平震度之一半。

除上述方法以外，亦可使用最大震度或地震危害圖 (seismic risk map) 求設計震度。圖十八為臺灣地區最大震度分佈圖 [28]。關於地震危害圖，目前有三種。圖十八為徐氏所繪的 50, 75 及 100 年內最大加速度之預期值分佈圖，圖二十為張



圖十七 震源距離地震規模與卓越週期之關係圖

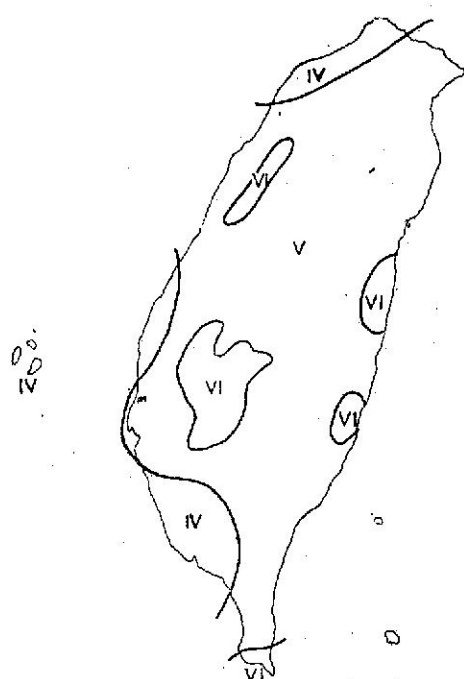
氏及蔡氏 [29] 所繪，而圖二十一為茅氏 [30] 等所繪的危害圖。關於建築技術規則中震區劃分已有徐等 [31] 之修訂建議如圖二十二。

至於強烈地震發生時強烈震動時間 (秒) 與地震規模之關係可參考 Housner [32] 之圖二十三。

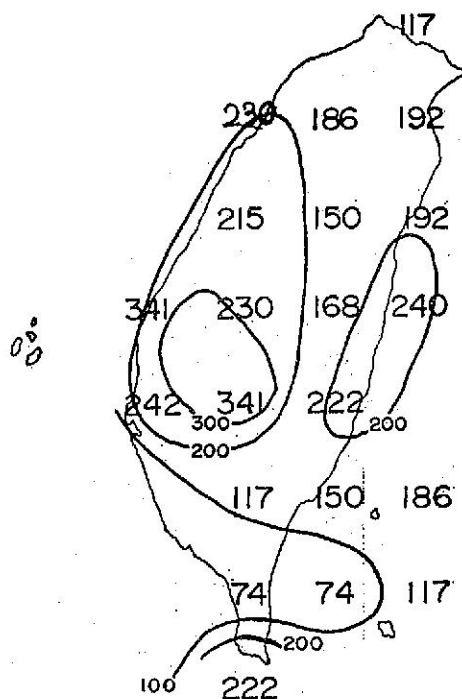
五、地震動波譜及結構物反應譜

前節已述靜態設計所需要的設計震，但如需要做動態分析時，須有地震動波譜 (spectrum) 才可。一般來說在特定的工址要獲得強大地震動的波譜幾乎是不可能的事。

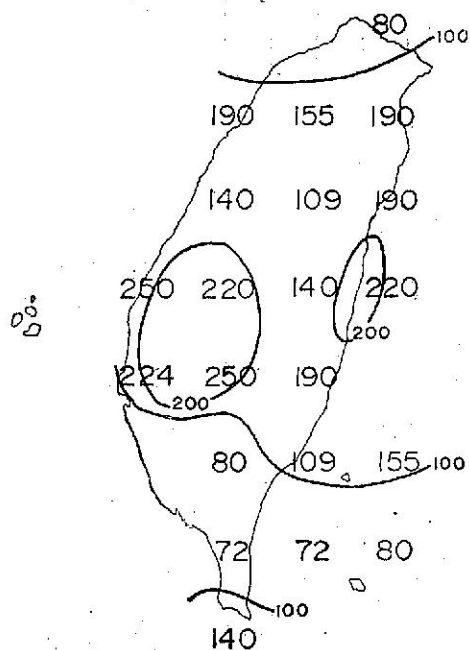
據大崎 [33]，地震動波譜計有金井 (亦名周期一次數) 波譜，機率密度波譜，Fourier 波譜 (



圖十八 臺灣地區最大震度分佈圖

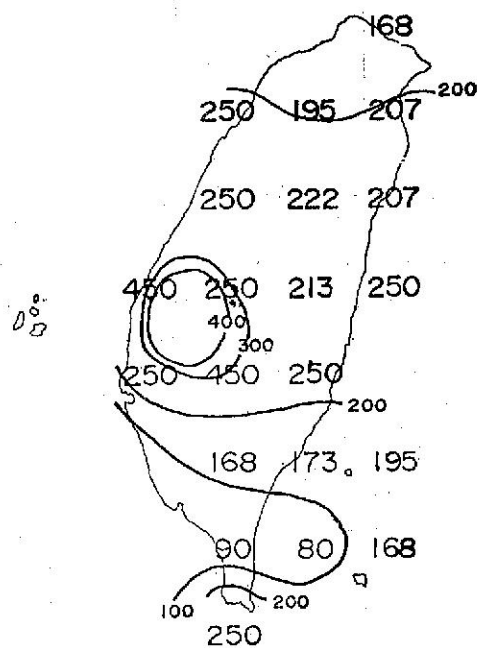


(b)

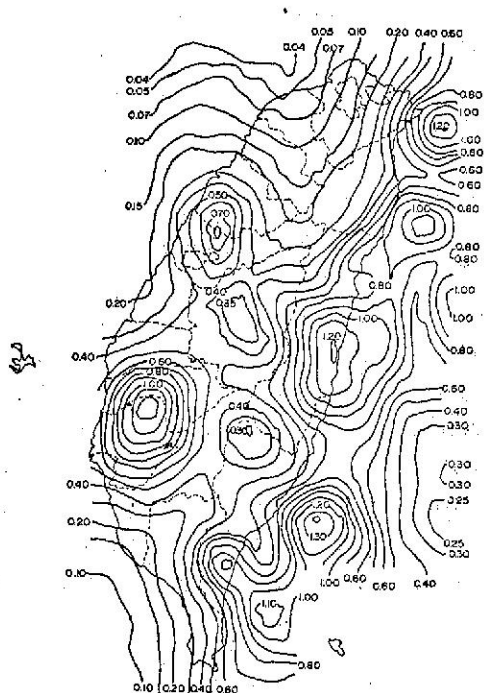


圖十九50年(a), 75年(b) 及100年(c) 年內可能來襲地
震最大加速度預期值分佈圖

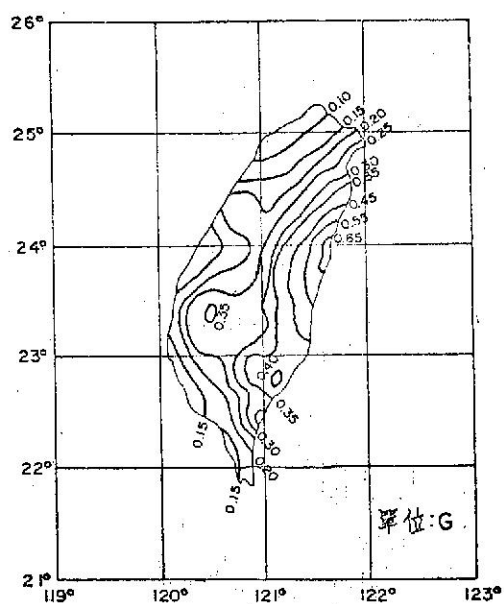
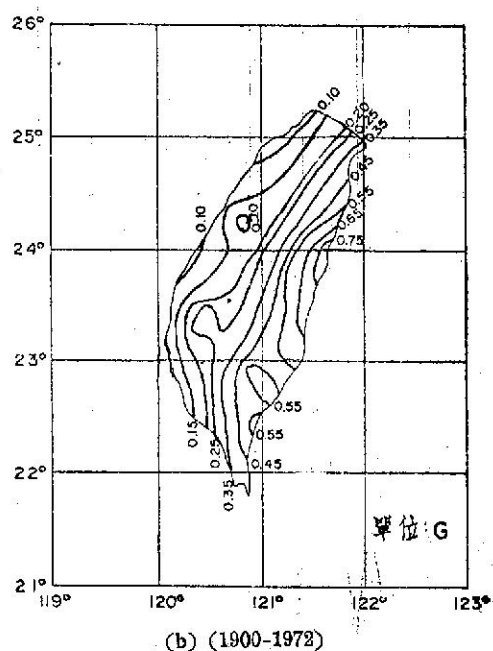
(a)



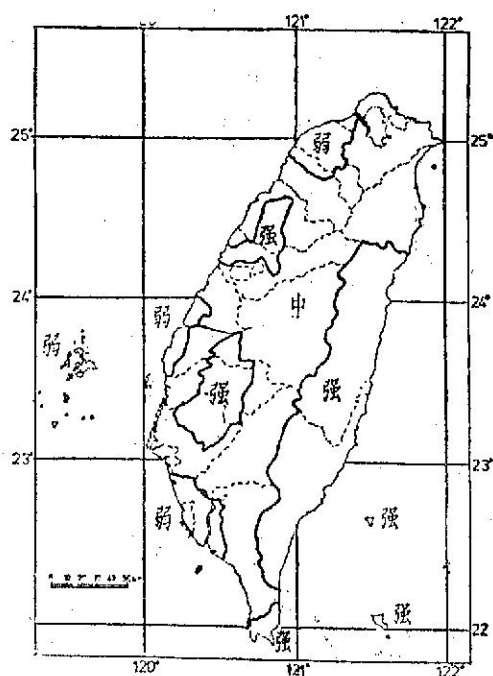
(c)



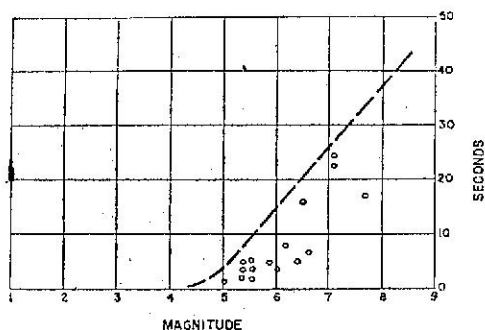
圖二十 復發週期50年之臺灣最大地震加速度分佈圖(單位為 g)



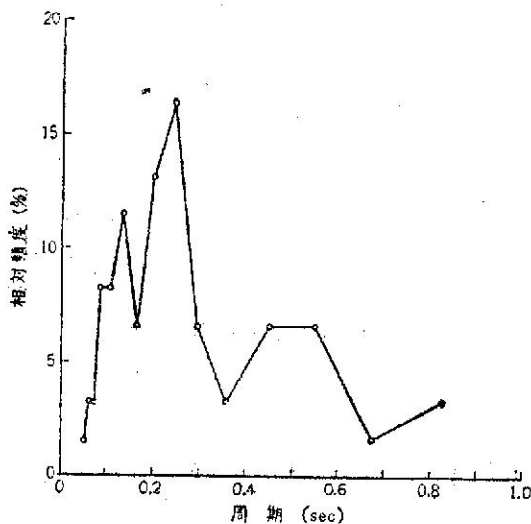
圖二十一 50年復發期之等加速度值分佈圖
(單位為 g)
(a) (1936-1972)



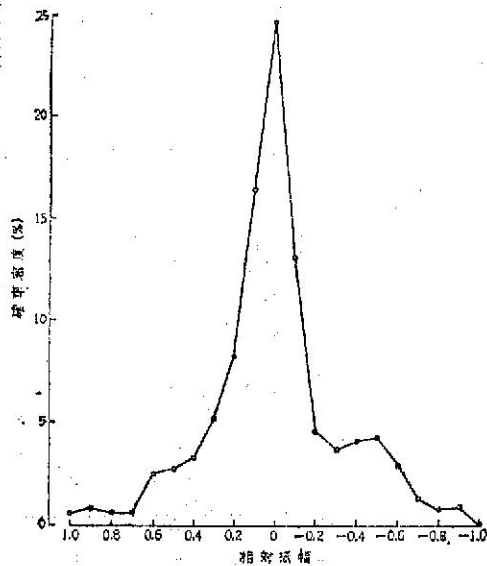
圖二十二 臺灣地區震區劃分圖草案



圖二十三 強烈震動時間秒與地震規模之關係



(a) 金井波譜

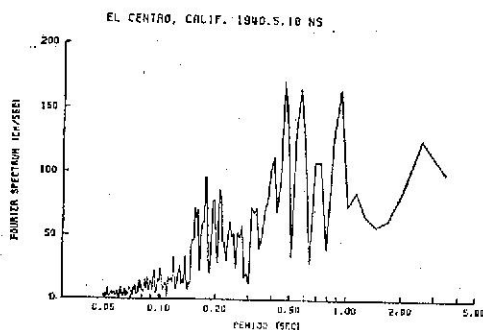


(b) 機率密度波譜

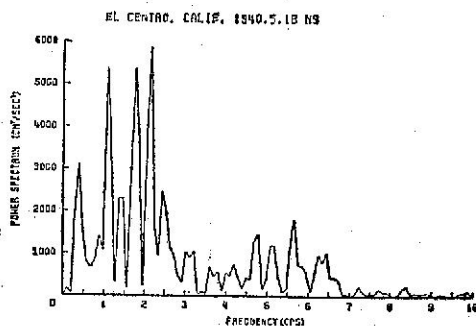
有振幅及相位兩種)及功率波譜 (power spectrum)等。圖二十四為美國加州1940年El Centro地震各種波譜的例子。近年來地震設備已有大改善，強震儀的設置亦增加很多，各種不同地盤的標準波譜在美國及日本已獲得不少。

在工程上以地震動波譜做入力以外，還需要結構物的反應譜 (response spectrum)，有移位，速度和加速等三種 [9]。通常普遍使用者為加速反應譜。結構物之反應為固有周期及衰減常數 (damping constant) 之函數而隨着時間而變。從耐震設計的立場來說，反應的最大值比時間變化的情形更重要。反應譜受地盤之影響很大。目前把地盤分為四種，例如在美國 Seed 等 [34] 分為下列四種：

- (1) 岩 盤
- (2) 硬的土壤 (stiff soils) 淺於150英尺
- (3) 深層不結合土壤 (deep cohesionless)



(c) Fourier 波譜



(d) 功率波譜

圖二十四 地震動波譜之例子

soils), 其深度深於250英尺

(4)由軟柔至中度硬的粘土而有沙或礫層所形成的土壤堆積物

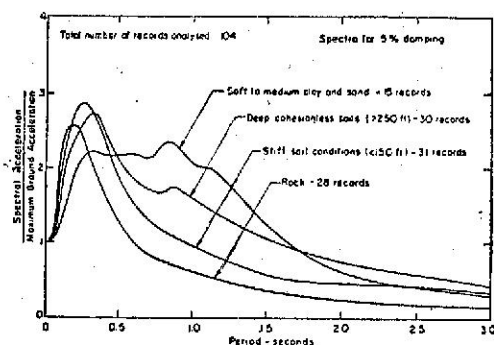
在日本土木研究所〔24〕分為下列四種：

- 第一種 { (1)第三紀以前之地盤 (稱為岩盤)
(2)到岩盤之洪積層厚度未滿10公尺
- 第二種 { (1)到岩盤之洪積層厚度超過10公尺
(2)到岩盤之沖積層厚度未滿10公尺
- 第三種 沖積層厚度未滿25公尺, 且軟弱層厚度未滿5公尺

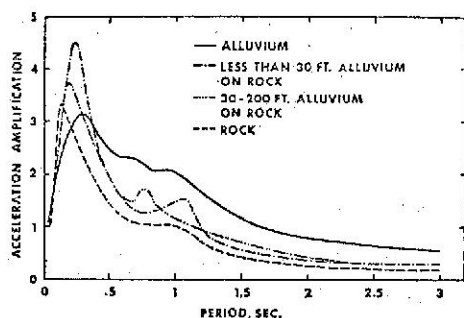
第四種 上記以外之地盤

圖二十五表示 Seed 等〔33〕及 Mohraz〔35〕所得不同地盤之加速度反應譜, 而圖二十六在日本〔24〕所得不同地盤之加速度反應譜之一例子。圖二十五所示者為基準化 (normalized), 故一但求出工址的設計震度, 即以此值為一, 然後可得不同週期的反應值。

在沒有實際觀測記錄以前, 只好參考這些圖。

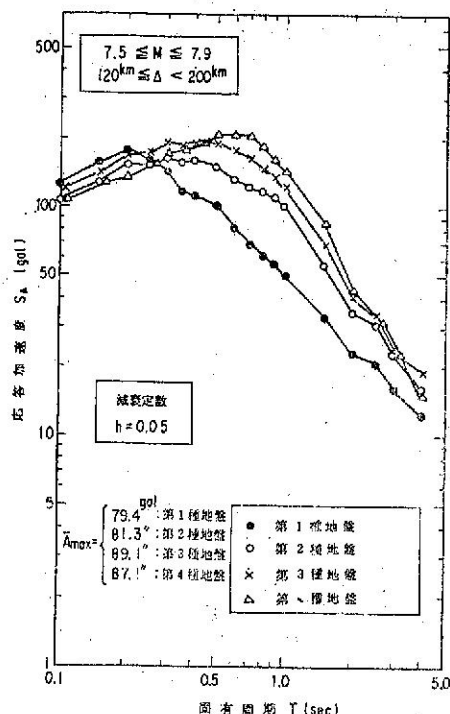


(a) Seed 等



(b) Mohraz (2% damping)

圖二十五 美國之不同地盤加速度反應譜



圖二十六 日本之不同地盤加速度反應譜之一例

六、結 論

以上介紹工程上應考慮的地譜問題。從臺灣的地震活動說起, 言及地體構造與地震的關係以及斷層與地震的關係, 並介紹臺灣的地質斷層及過去所發生的地震斷層。

其次介紹耐震設計所需要的設計震度之求法及地震動波譜以及結構物反應譜。

回想一世代以前筆者係臺灣省防風防震委員會之一員參加防震工作。當時工程界對地震可以說沒有什麼考慮, 僅沿用日據時代的震度基準為設計的依據。筆者一直呼籲耐震工程之重要性, 尤其是大地震發生時。近十年來工程界逐漸重視地震問題, 而且出現很多年青學人, 地震工程之研究逐漸進入軌道, 覺的非常欣快。

參 考 文 獻

1. National Academy of Sciences(1980): Earthquake research for the safe siting of critical facilities, 49 pp.
2. 徐明同 (1980): 臺灣地震目錄, 臺大地震工程中心, 77頁,
3. 徐明同 (1980): 臺灣之大地震, 氣象學報

- , 26卷, 3期, 33-49.
4. 徐明同 (1970): 臺灣地區有感地震次數與震度之關係, 氣象學報, 16卷, 2期, 31-35.
 5. Hsu, M. T. (1975): Report on the regional seismicity of Taiwan, Inst. Earth Sci., Academia Sinica, 131pp.
 6. Hsu, M. T. (1971): Seismicity of Taiwan and some related problems, Bull. Intern. Inst. Seis. Earthq. Eng., Vol. 8, 41-160.
 7. 徐明同 (1978): 地震發生之機制, 科學月刊, 9卷, 9期, 42-48.
 8. 何春霖 (1975): 臺灣地質概論, 經濟部, 118頁,
 9. 徐明同 (1979): 地震學, 國立編譯館, 388頁,
 10. Tsuboi, C. (1956): Earthquake energy, earthquake volume, aftershock area, and strength of the Earth's crust, Jour. Phys. Earth, 4, 63-66.
 11. 日本大ダム會議 (1976): ダムにおける設計地震動, 30頁,
 12. 松田時彦 (1975): 活斷層から發生する地震の規模と周期, 地震, 28, 269-283.
 13. Iida, K. (1965): Earthquake magnitude, earthquake fault, and source dimensions, Jour. Earth Sci., Nagoya U., Vol. 13, No. 2, 115-132.
 14. Otsuka, M. (1964): Earthquake magnitude and surface fault formation, Jour. Phys. Earth, 12, 5-10.
 15. Wallace, R. E. (1970): Earthquake recurrence intervals on the San Andreas Fault, Bull. Geol. Soc. Am., 81, 2875-2890.
 16. Bonila, M. G. (1977): Summary of quaternary faulting and elevation changes in Taiwan, Memoir Geol. Soc., China, No. 2, 43-56.
 17. 張憲卿 (1976): 近三十年臺灣之地震, 臺灣文獻, 27卷, 2期, 162-195.
 18. Richter, C.F. (1935): An instrumental earthquake magnitude scale, Bull. Seis. Soc. Am., 25, 1-32.
 19. Bureau of Reclamation (1978): Design and analysis of Auburn dam, P. 2-1.
 20. 林祥欽、徐明同 (1981): 地震規模統計推定諸法之應用研究, 工程, 54卷18期, 501-511.
 21. 金井清 (1970): 地震工學, 176頁,
 22. 岡本舜三 (1971): 耐震工學, 473頁.
 23. Esteva, L. and E. Rosenblueth (1963): Espectros de temblores a distancias moderadas y grandes, Proc. Chilean Conf. Seis. Earthq. Eng., Vol. 1, U. Chile.
 24. 日本建設省土木研究所 (1977): 新耐震設計法 (案), 15-16.
 25. 日本建設省建築研究所 (1977): 新耐震設計法 (案), 158頁
 26. Schnabel, P. B. and H. B. Seed (1973): Accelerations in rock for earthquakes in the western U. S., Bull. Seis. Soc. Am., 63, 501-516.
 27. Seed, H. B., I. M. Idriss and F. W. Kiefer (1968): Characteristics of rock motions during earthquakes, Rep. No. EERC 68-5, U. Calif., 23pp.
 28. Hsu, M. T. (1975): On the degree of earthquake risk in Taiwan, Proc. 4th Japan Earthq. Eng. Symp., 59-64,
 29. Chang, C.K. and Y. B. Tsai (1977): A study on the seismic risk of Taiwan, Chinese Earthq. Res. Center.
 30. Mau, S. T. Y. Shih and J. F. Kuo (1978): Seismic risk analysis in Taiwan, Proc. Central Am. Conf. Earthq. Eng., 9-18.
 31. 徐明同、蔡義本、茅聲麟 (1980): 建築技術規則中震區劃分之修訂建議, 土木水利季刊, 6卷, 4期, 101-105.
 32. Housner, G. W. (1965): Intensity of earthquake ground shaking near the causative fault, Proc. 3rd World Conf. Earthq. Eng., Vol. 1, 94-109.
 33. 大崎順彦 (1976): 地震動スペクトル解析入門, 260頁
 34. Seed, H. B., C. Ugas and J. Lysmer (1976): Site-dependent spectra for earthquake resistant design, Bull. Seis. Soc. Am., 66, 221-243.
 35. Mohraz, B. (1976): A study of earthquake response spectra for different geological conditions, Bull. Seis. Soc. Am., 66, 915-935.

臺北盆地二氧化硫濃度之評估

The Assessment of Sulfur Dioxide Pollution Potential in Taipei Basin

張 哲 明

Che-Ming Chang

ABSTRACT

The research is based on the theory of Box Model, coordinated with the observed data of air quality and concerned meteorological factors, together with the use of methods of linear regression and step wise regression to build the prediction model of sulfur dioxide concentration. The predicted value of this prediction model and the observed value possess a rather unique accordance. They can be utilized as references for the prediction of air pollution potential as well as environmental assessment, and act as the indicators of air pollution warning for the supervising agency in order to maintain the quality of the air and to protect the health of the inhabitant living in Taipei Basin.

一、前 言

近世紀來由於工業的迅速發展，人類生活水準的提高，各種能源之消耗與日俱增，環境問題隨之日趨嚴重，空氣污染問題尤為其重要之一環。一般言之，空氣污染可分為下列二類：(一)粒狀物質 (Particulate) 之污染：如落塵、懸浮微粒 (Suspended Particulate)。(二)有毒氣體 (Poisonous Gases) 之污染：如二氧化硫 (SO_2)、一氧化碳 (CO)、氮氧化物 (NO_x) 以及第二次反應產生的空氣污染物——高氧化物 (Oxidant) 等。根據呂世宗教授等 (1975)⁽¹⁾，認為臺北市之污染源主要為汽車、工廠和家庭，而汽車排氣為都市污染的主因之一。其次為一般家庭用和工廠用燃料所產生之污染物以及其他如加工廠、製革廠、染織廠、酸鹼工廠等化學物質外溢大氣中引起之污染。呂氏等 (1980)⁽²⁾ 又認為火力發電廠之廢氣，對廠址附近環境空氣之品質影響甚大，尤以 SO_2 和懸浮顆粒為最。農發會協助臺灣省衛生試驗所完成的實況調查顯示 (1981)⁽³⁾，臺灣區近二十年來，工業生產指數增加十五倍，能源消耗增加五至六倍，使得臺灣地區農業生長環境受到嚴重的污染，且有逐年擴大趨勢。這項調查結果指出，空氣中破壞生態環境的來源，主要為二氧化硫、氯化氫、氯、氟化物、氮氧化物、煙塵、灰塵和煙煤等，其

中以硫化物產生的二氧化硫最為普遍。參加這項調查的專家並分析，臺灣地區中之二氧化硫主要是來自以重油、生煤為熱源的工廠、柴油引擎車輛及製造硫酸、化纖和金屬熔煉的工廠，但排放量最多者為火力發電廠，此與呂氏先前之分析不謀而合，而與美國⁽⁴⁾、英國⁽⁵⁾等之調查亦屬相同，尤以火力發電廠為然。有關空氣污染導致大量人畜致病或死亡以及農作物遭受損壞之實例，亦是屢見不鮮。比利時 Meuse Valley 事件⁽⁶⁾，1930年12月1日至5日，在數天內有六百多人致病，六十三人因而死亡。美國賓州的 Donora Valley 事件，1948年10月25日至31日，全人口14,000人中的40%致病，10%相當嚴重，18人死亡，其所有死亡人員均超過50歲，且有14人曾有呼吸系統的病歷。英國 London 事件，1952年12月5日至8日，在霧形成的12小時內，有為數頗鉅之人員致病，根據統計，在12月的前三星期死亡人數達3500人至4000人，其中80%至90%之死者係在霧後因呼吸系統和心臟病立即死亡。其中90%死者年齡逾45歲，又其中的60%—70%逾65歲，孩童之死亡率幾乎加倍。以上事件，據事後調查，乃多為工廠或家庭所排放之 SO_2 ，藉霧滴之助形成硫酸霧，侵入人體，尤以肺部為最，導致悲劇，而其發生時之天氣狀況均為高壓，逆溫

且有霧。其他尚有紐約事件，1953年、1962—1963年，如1953年，死亡人數超過數百；1962年12月死亡人數達296人，使得該週死亡率超過3個標準差。調查其原因，亦為屬 SO_2 之高度污染所致。又如在民國57年，臺電火力發電廠建廠林口後，導致林口、太平、嘉寶和下福四村之防風林及稻作相繼枯萎，受害面積高達250公頃，造成附近地區50%的人口外流，其原因據呂世宗教授之研究分析，認係為東北季風盛行之時，電廠之煙囪排放物易形成動力下沖（dynamic downwash）作用，加以混合層（Mixing Depth）較低， SO_2 之濃度較高，經鹽份、水份反應成硫酸霧所致。通常 SO_2 產生硫酸（ H_2SO_4 ）之比例為2磅之 SO_2 可生成3磅之 H_2SO_4 。其他 SO_2 尚可損蝕建材和污損金屬表面等⁽⁷⁾。鑑於上列事實，吾人深知空氣污染問題，影響國計民生甚鉅，而都市污染問題趨於嚴重，實由於都市人口之集中與工業之發展相隨而來，不容加以忽視。臺北市乃臺灣地區之首善，儘管市內大工廠不多，但小型工廠則為數不少，尤以市郊之新莊、板橋、三重和六堵等工廠林立，其排氣對臺北市之污染構成嚴重威脅⁽⁸⁾，又汽車排氣乃為都市空氣污染之主因，而目前臺北市汽車數量亦居全國之冠，再加上經濟之迅速發展，導致整個臺北盆地空氣污染問題之嚴重自不待言。而二氧化硫為空氣污染問題的主要課題，其污染對人類之呼吸器官會有相當程度的影響，過度的污染，可導致呼吸器官受損，甚至死亡（表一）。呂世宗教授（1974）⁽⁹⁾曾指出二氧化硫乃為空氣污染之代表指標，此乃因二氧化硫為能源之主要廢氣，而產量亦多之故。由呂氏等（1975）⁽¹⁰⁾測析資料比較，本省雨中之PH值最低值與美國紐約州Upton所測之值甚近，尤其臺北地區之雨水PH值有低達3.8之記錄，可見臺北地區受二氧化硫等之污染相當嚴重。惟過份嚴厲的管制，將妨害工業經濟之發展，適切而有效之管制，實為當務之急。

因此本文將就臺北盆地二氧化硫濃度加以評估，以箱式模型⁽¹¹⁾（Box Model）為理論基礎，配合環境品質之實測資料和各種氣象因子，利用線性迴歸和逐步復迴歸法，導出一套有關臺北盆地二氧化硫濃度之預測迴歸方程式，以供為權責機構制定法令之參考和預警之指標，維護工業經濟之持續成長和周圍環境空氣之品質，確保盆地內居民之健康。

表一 不同濃度之二氧化硫氣體引起人體之生理反應

濃度 (ppm)	生 理 反 應
0.03~1.0	開始有知覺。
3	很容易感覺有味道。
5	人體可繼續暴露8小時之最高容許濃度。
6-12	立刻會在鼻、喉感覺有刺激咳嗽。
20	刺激眼睛之最低濃度。
50-100	人體可繼續暴露1小時之最高容許濃度。
400-500	立刻對生命有危險，立刻發生呼吸困難。
1,350	小白鼠吸入10分鐘後即死亡。
10,000	（不能呼吸）數分鐘後發生炎症。

資料來源：美國衛生部1966年。

環境衛生，臺灣省公共衛生教學實驗院

二、臺北盆地空氣污染之概況

臺北盆地（圖1）之空氣污染，以臺北市為主。臺北市位於臺北盆地中央，地勢由東南向西北傾斜，平均高度為海拔7m，四周為山脈或丘陵環繞，在北偏東有大屯山，西北有觀音山、五分山、姜子寮山、土庫岳、二格山、岐山、大桶山、獅頭山及熊頭山則由東南向西北綿亙，新店溪、基隆河和淡水河又成為三方向之走廊，因受臺北盆地之影響，風向有偏東傾勢，使得臺北形成特殊的風系，從臺北之風向頻率分布亦可印證，無論那一季節均以偏東為最多，由於特殊風系及污染源之分布，使本區構成特殊之污染分布⁽¹²⁾。

空氣污染之代表指標為二氧化硫，因此本文之污染分布，係採以二氧化硫含量為主體，為方便計，將臺北分為四大區⁽¹³⁾，略述其污染情形。

1. 東區

臺北市東區為舊時之工業區，包括松山、大安及南港等區，紡織、化工和鋼鐵等公害工廠雜散林立，其污染性較強，加以此區為發展區，建設工程亦多，其背後又為六堵工業區，因此造成嚴重的污染，尤以落塵之污染為最。本區之污染對臺北中心區之影響亦大，尤以季風盛行時為甚。

2. 西區

本區包括雙園、龍山等區和城中區的一部分，汽車污染對本區的影響最大，修建工程頻繁，食品廠等雜散綿立，以位於臺北西部，受偏東風影響甚大，在東北季風盛行時，污染尤甚。因受三重、板橋及新莊一帶之污染源影響，夏、秋雨季浮游塵亦多。

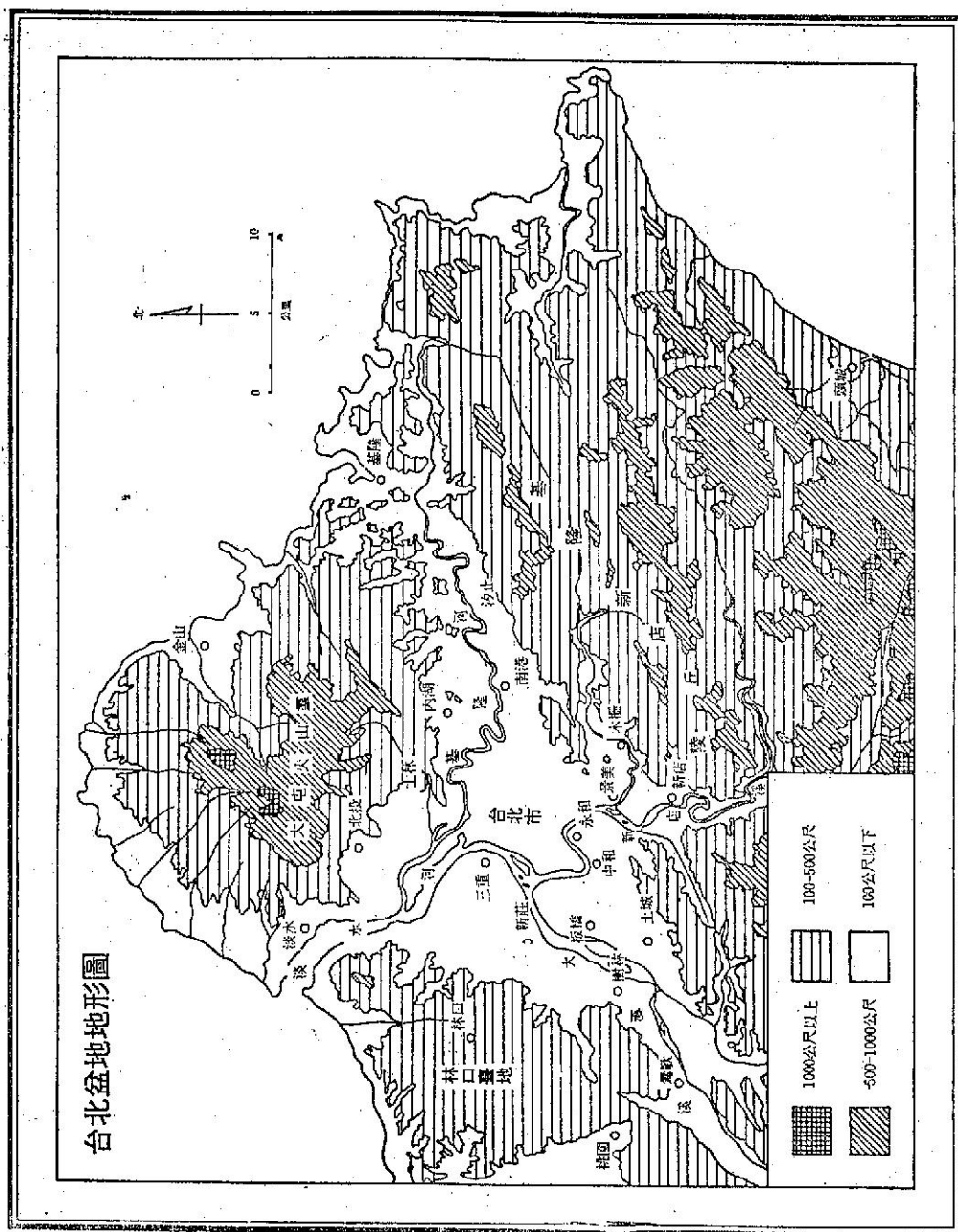


圖 1 臺北盆地地形圖

3. 北區

包括士林、北投及陽明山等區，住家較多，雖亦有化工廠的存在，惟因本區山地地區相互隔阻，樹木叢生，污染情形較不嚴重。

4. 南區

包括景美、木柵、新店等地，人口工廠較少，因此污染源亦少，其如北區山林較多，雖近年社區不斷發展，稍有污染，但仍不嚴重，惟因其地形特殊，換氣速度較緩慢，如無適切管制，將來亦難免

遭受嚴重污染。

另根據一項研究⁽¹⁴⁾，臺北市一年內之空氣污染物，其中汽車之排放為最多，分析市區內各地汽車排放污染情形以中山、城中和建成區污染情形較為嚴重，因此汽車排氣之管制有待加強。

三、理論基礎及模型之建立

都市大氣污染現象，雖因素複雜，然因其污染之嚴重性與日俱增，發展簡單合理的數學模型以闡

述污染之機構實屬必要，而近年來電子計算機之使用，更確立了模型預測之觀念與應用之實現。

目前所提之主要都市大氣污染模型⁽¹⁵⁾，雖有十數種，但可大別如下：

1. 以測點所測之污染濃度測定資料為主者。

2. 以都市污染活動源資料為主者。

前者稱為實測濃度模型 (Receptor-Oriented Model)，後者稱污染源活動模型 (Source-Oriented Model)。其可再細分如下：

1. 實測濃度模型

(1) 因不能獲得都市污染源正確資料，假設都市區域內為一均勻之面污染源 (Uniform Area Source)，並考慮適當之擴散條件以計算污染濃度，求出與實測值相關之迴歸方程式。

(2) 污染活動不明，於濃度測定值中，求出時刻，日、星期或季節之統計趨勢。僅以濃度測定值與氣象因子，利用迴歸分析之方法來預測污染濃度。

2. 污染源活動模型

(1) 獲得污染源活動資料，從各個污染源或污染區，以煙流 (Plume) 擴散現象，求出下風 (Down Wind) 地表濃度，此法又稱為煙流模型 (Plume Model)。

(2) 如上述，但不採煙流擴散。為適應微風或異常氣象狀態，以吹噴 (Puff) 來考慮擴散機構，求出下風污染濃度，此法又稱吹噴模型 (Puff Model)。

本研究所採之模型箱式模型，即屬實測濃度模型中之污染活動不明者，且假設整個盆地為一均勻之面污染源，以濃度之實測值與各種氣象因子，利用迴歸分析法來預測污染之濃度。

(一) 理論基礎

箱式模型理論，即為選取一污染排放強度一定之地區，將其空間以一假想箱加以隔離，來研究該地區 (即箱內) 之空氣污染情形。本模型其主要預測之氣象因素為混合層高度、平均風速和大氣穩定度等，如下式：

$$\overline{SO_2} = Q / 2UL \quad (4.1)$$

$\overline{SO_2}$: SO_2 平均濃度 Q : SO_2 排放強度
1: 都市長度 $\bar{U}$: 平均風速 (地面)
L: 混合層高度 平均風速

本理論之引伸，即是將整個臺北盆地視為一單位地區，而將盆地內之二氧化硫排放強度視為一定，再以假設箱加以隔離，來研究盆地內二氧化硫污染之情形。(4.1) 式，吾人可假設排放強度 (Q) 和都市長度 (1) 為定值，則可知平均濃度 $\overline{SO_2}$ 和地面平均風速 ($\bar{U}$) 以及混合層高度 (L) 為成反

比之關係。如此則若能預知 $\bar{U}$ 和 L，即可預測平均污染濃度 $\overline{SO_2}$ 。

由下式可知 L 和最高溫度 (T_x) 和最低溫度 (T_m) 有密切相關，故 L 可以日較差 ΔT (即 $T_x - T_m$) 來加以取代。

$$L = \frac{T - T_m}{T_x - T_m} (L_m - L_n) + L_n \quad (17)$$

$$L \propto \frac{1}{T_x - T_m} \quad L \propto \frac{1}{\Delta T} \quad (4.2)$$

T: 地面溫度

T_m : 最低溫度

T_x : 最高溫度

L_m : 最大混合層高度

L_n : 夜間混合層高度

L: 混合層高度

如果我們能得到 $\bar{U}$, T_x 和 T_m ，即可預測污染濃度，惟預測污染濃度之前，必須先設法預測 $\bar{U}$, T_x 和 T_m 。

(二) 預測模型之建立

有關 $\overline{SO_2}$ 、 $\bar{U}$ 、 T_x 和 T_m 各項預測因子之選取，係以線性相關之方法求得，將於下章加以敘述，現僅先將預測 $\bar{U}$ 、 T_x 和 T_m 之模型先行建立，俾能導致污染濃度預測模型之建立。

(1) 地面平均風速 $\bar{U}$ 之預測

$$\bar{U} \leftarrow \bar{U}_{20h,85,(-1)}, \bar{U}_{20h,0,(-1)}$$

$\bar{U}_{20h,85,(-1)}$: 前一日 850 mb, 20 時之平均風速

$\bar{U}_{20h,0,(-1)}$: 前一日地面，20 時之平均風速

即以 $\bar{U}_{20h,85,(-1)}$ 和 $\bar{U}_{20h,0,(-1)}$ ，來預測當日之地面平均風速 $\bar{U}$ 。

(2) 最低溫度 T_m 之預測

$$T_m \leftarrow T_{20h,85,(-1)}, T_{14h,0,(-1)}$$

$T_{20h,85,(-1)}$: 前一日 850 mb, 20 時之溫度

$T_{14h,0,(-1)}$: 前一日地面，14 時之溫度

即以 $T_{20h,85,(-1)}$ 和 $T_{14h,0,(-1)}$ 來預測當日的最低溫度。

(3) 最高溫度 T_x 之預測

$$T_x \leftarrow T_{5h,0}, (T - T_D)_{20h,85,(-1)}$$

$T_{5h,0}$: 當日地面 5 時之溫度

$(T - T_D)_{20h,85,(-1)}$: 前一日 850 mb, 20 時之溫度露點差

即以 $T_{5h,0}$ 和 $(T - T_D)_{20h,85,(-1)}$ 來預測最高溫度 T_x 。

(4) 二氧化硫平均濃度 $\overline{SO_2}$ 之預測

綜合箱式模型及其引伸，可建立預測模型如下：

$$\overline{\text{SO}_2} \leftarrow \bar{U}, \Delta T$$

$\bar{U}$ ：當日地面平均風速

ΔT ：當日之日較差

即以 $\bar{U}$ 和 ΔT 來預測二氧化硫之平均濃度。透過逐步複迴歸之方法，可得二氧化硫平均濃度之預測複迴歸方程式：

$$\overline{\text{SO}_2} = C_0 + C_1 \bar{U} + C_2 \Delta T$$

C_0 ：固定參數

C_1 ：地面平均風速之迴歸係數

C_2 ：日較差之迴歸係數

四、統計數學模式及資料的來源和處理

(一) 統計數學模式

本研究的數學模式主要採用逐步複迴歸法⁽¹⁸⁾ (Stepwise Regression)，係首先由吾人所建立的預報因子中，選出與被預報因子最高相關者，並作 F 值檢驗，如最高相關因子為不顯著，則統計

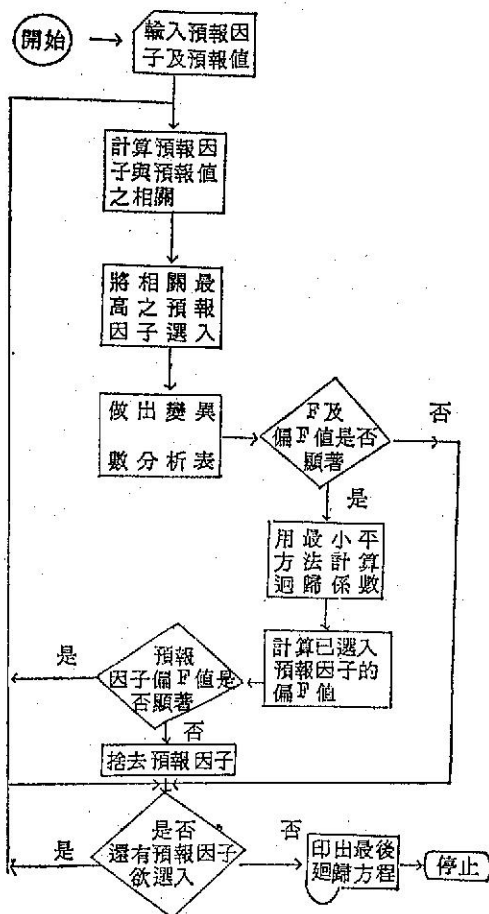


圖 2 逐步複迴歸模式的流程圖

模式無法建立，如顯著，則繼續逐步選入其他與被預報因子最高偏相關的預報因子，惟每次因子被選入時，均須作 F 值檢驗，同時亦須再檢驗已被選入之預報因子，因某一預報因子在前一步驟可能為最佳者，然由於受隨後陸續選入之預報因子影響，而在後續步驟中成為多餘，因此在選入新預報因子時，須同時對已選入者做偏 F 值之計算，若其偏 F 值不顯著，則將之捨去，此種程度繼續進行至無預報因子被選入或捨去為止，而每一步驟中均採最小平方方法 (Least Square Method) 計算迴歸係數 (圖 2)⁽¹⁹⁾。

迴歸方程之模式為：

$$\hat{Y} = A_0 + \sum_{i=1}^n A_i X_i$$

其中 $\hat{Y}$ 為被預測因子， A_0 為固定參數， A_i 為對應於 X_i 之迴歸係數， n 為選出預報因子的數目。

對於選擇迴歸模式中預報因子之數目，通常我們有兩種完全相反的判斷準則。

(1) 為使模式有預測作用，預報因子選入愈多愈具可靠性。

(2) 為符合簡速的原則，則預報因子之選入愈少愈佳。基於以上之準則，本研究有關預報因子之選取，係事先利用線性迴歸法，再配合資料獲取之難易加以選取，俾便達到簡速之原則，而具預測之功效。

本研究所涉及之各種預報因子及所選取之預報因子與上述迴歸方程模式之對應如下：

$\hat{Y}$ (被預測因子)：即分別為 $\bar{U}$ 、 T_m 、 T_x 和 SO_2

X_1, X_2 (預測因子)：即分別為 $\bar{U}_{20h, 85, (-1)}$ 、 $\bar{U}_0$ 、 $T_{20h, 85, (-1)}$ 、 $T_{14h, 0}$ 、 $T_{5h, 0}$ 、 $(T - T_D)_{20h, 85, (-1)}$ ， $\bar{U}$ 和 ΔT 。

然後，將以上涉及本研究之各被預測因子和預測因子利用逐步迴歸法，分別建立最佳之迴歸方程。

(二) 資料的來源和處理

本文主要資料採用中央氣象局局本部 (臺北市公園路) 及板橋探空站 1975-1979 之資料，並以電子計算機加以處理。

現謹將本研究所實施的各種電算處理結果分述如下：

1 線性迴歸法之處理

以本法先求得涉及本研究之各被預測因子和各預測因子之線性相關，俾便為各預測因子取捨之根據。

(1) 二氧化硫之日平均濃度 $\overline{SO_2}$ 與逆溫層高度之相關。

本研究曾用五年資料，以電算機計算 $\overline{SO_2}$ 和逆溫層高度之相關，後並加以如下之限制：①逆溫層高度 $< 3000m$ 。②平均風速 $\bar{U} < 3m/sec$ 。③五年資料改為兩年，同時將一年分成四季或三季（

如：11月、12月、1月／2月、3月、4月／5月、6月、7月／8月、9月、10月四季或12月、1月、2月、3月／4月、5月、10月、11月／6月、7月、8月、9月三季）。④把一天分成三段，即當日 19 時到翌日 7 時 ($19h/7h_{(+1)}$)、8 時到 12 時 ($8h_{(+1)}/12h_{(+1)}$) 及 13 時到 18 時 ($13h_{(+1)}/18h_{(+1)}$)。其計算結果顯示，逆溫層高度和 SO_2 之相關顯著（表二）。

表二 1978-1979 逆溫層高度和 $\overline{SO_2}$ 之相關

線性相關係數 季節 / 日數	時間	19h/7h	8h/12h	13h/18h
		(+1)	(+1) (+1)	(+1) (+1)
2月、3月、4月 / 59日		-0.2801	-0.2059	-0.2364
5月、6月、7月 / 30日		-0.0309	-0.0142	+0.0082
8月、9月、10月 / 18日		0.2913	0.1733	0.4020
11月、12月、1月 / 54日		-0.3557	-0.2363	-0.0965
12月、1月、2月 / 66日		-0.4056	-0.3568	-0.2331
12月、1月、2月、3月 / 83日		-0.3986	-0.3379	-0.2552

(2) $\bar{U}$ 、 T_m 、 T_x 與其預測因子之相關

① 被預測因子——地面平均風速 $\bar{U}$

表三 $\bar{U}$ 與其預測因子之相關

被預測因子——地面平均風速 $\bar{U}$				
相 關 係 數 預 測 因 子	年 份 季 日 節 數	'76-'78 1. 2. 3. 12月 355 日	'76-'78 4. 5. 10. 11月 357 日	'76-'78 6. 7. 8. 9 月 358 日
$U_{20h,85}(-1)$		0.1406	0.2068	0.4430
$U_{20h,0}(-1)$		0.3867	0.4381	0.1752
相 關 係 數 預 測 因 子	年 份 季 日 節 數	'78 1. 2. 3. 12月 119 日	'78 4. 5. 10. 11月 119 日	'78 6. 7. 8. 9 月 120 日
$U_{20h,85}(-1)$		0.0676	0.2337	0.6112
$U_{20h,0}(-1)$		0.3414	0.4858	0.6332

②被預測因子——最低溫度 T_m

表四 T_m 與其預測因子之相關

被預測因子——最低溫度 T_m			
相 關 係 數 預 測 因 子	年 份 季 節 數	年 份 季 節 數	年 份 季 節 數
	'76-'78 1.2.3.12月 361日	'76-'78 4.5.10.11月 362日	'76-'78 6.7.8.9月 363日
$T_{20h:85,(-1)}$	0.7610	0.7984	0.6761
$T_{14h:0,(-1)}$	0.4065	0.7588	0.5768
相 關 係 數 預 測 因 子	年 份 季 節 數	年 份 季 節 數	年 份 季 節 數
	'78 1.2.3.12月 119日	'78 4.5.10.11月 119日	'78 6.7.8.9月 120日
$T_{20h:85,(-1)}$	0.7648	0.7365	0.5461
$T_{14h:0,(-1)}$	0.3987	0.7296	0.5386

③被預測因子——最高溫度 T_x

表五 T_x 與其預測因子之相關

被預測因子——最高溫度 T_x			
相 關 係 數 預 測 因 子	年 份 季 節 數	年 份 季 節 數	年 份 季 節 數
	'76-'78 1.2.3.12月 361日	'75-'78 4.5.11.12月 362日	'72-'78 6.7.8.9月 363日
$(T-T_D)_{20h:85,(-1)}$	0.2549	0.1999	0.3245
$T_{5h:0}$	0.4532	0.7369	0.4530
相 關 係 數 預 測 因 子	年 份 季 節 數	年 份 季 節 數	年 份 季 節 數
	'78 1.2.3.12月 119日	'78 4.5.11.12月 119日	'78 6.7.8.9月 120日
$(T-T_D)_{20h:85,(-1)}$	0.3677	0.2264	0.1802
$T_{5h:0}$	0.6246	0.7078	0.3197

④被預測因子——二氧化硫平均濃度 $\overline{SO_2}$

表六 $\overline{SO_2}$ 與其預測因子之相關

被預測因子——二氧化硫之日平均濃度 $\overline{SO_2}$			
相 關 係 數 預 測 因 子	年 份 季 節 數	年 份 季 節 數	年 份 季 節 數
	'78 1.2.3.12月 121日	'78 4.5.10.11月 122日	'78 6.7.8.9月 122日
$\bar{U}$	0.4253	0.3054	0.4784
ΔT	0.3425	0.1999	0.0867

以上兩表爲以電算機分別計算之 $\bar{U}$ 、 T_m 、 T_x 和 SO_2 等與其預測因子的相關係數，其結果顯示大部均具有良好之相關，因之，吾人乃決定選取上列之各預測因子，利用逐步複迴歸法，以建立有效之預測複迴歸方程式。

2 逐步複迴歸法之處理——

在預測因子選取後，吾人即將各被預測因子 ($\bar{U}$ 、 T_m 、 T_x 和 SO_2) 其預測因子，以逐步複迴歸法，利用電子計算機加以處理，所得之結果如下：

(1)被預測之因子——地面平均風速 $\bar{U}$

表七 $\bar{U}$ 之複迴歸方程式及其複相關係數

季 節 資 料 年 份	複 相 關 係 數	複 迴 歸 方 程 式 $\bar{U} = A_0 + A_1 \times U_{20h:85,(-1)} + A_2 \times U_{20h:0,(-1)}$	
1. 2. 3. 12 月 '76-'78	0.4123	$\bar{U} = 1.7783 + 0.04358 \times U_{20h:85,(-1)} + 0.2864 \times U_{20h:0,(-1)}$	4. 1
'78	0.3621	$\bar{U} = 1.8243 + 0.04288900 \times U_{20h:85,(-1)} + 0.2540 \times U_{20h:0,(-1)}$	4. 2
4. 5. 10. 11 月 '76-'78	0.4618	$\bar{U} = 1.6674 + 0.0397 \times U_{20h:85,(-1)} + 0.3550 \times U_{20h:0,(-1)}$	4. 3
'78	0.5053	$\bar{U} = 1.6674 + 0.0427 \times U_{20h:85,(-1)} + 0.3889 \times U_{20h:0,(-1)}$	4. 4
6. 7. 8. 9 月 '76-'78	0.4503	$\bar{U} = 1.8699 + 0.0975 \times U_{20h:85,(-1)} + 0.0212 \times U_{20h:0,(-1)}$	4. 5
'78	0.7105	$\bar{U} = 1.2288 + 0.0974 \times U_{20h:85,(-1)} + 0.3354 \times U_{20h:0,(-1)}$	4. 6

(2)被預測之因子——最低溫度 T_m

表八 T_m 之複迴歸方程式及其複相關係數

季 節 資 料 年 份	複 相 關 係 數	複 迴 歸 方 程 式 $T_m = A_0' + A_1' \times T_{20h:85,(-1)} + A_2' \times T_{14h:0,(-1)}$	
1. 2. 3. 12 月 '76-'78	0.7617	$T_m = 9.0641 + 0.5269 \times T_{20h:85,(-1)} + 0.0186 \times T_{14h:0,(-1)}$	4. 7
'78	0.7684	$T_m = 9.2180 + 0.5308 \times T_{20h:85,(-1)}$	4. 8
4. 5. 10. 11 月 '76-'78	0.8159	$T_m = 8.5100 + 0.3915 \times T_{20h:85,(-1)} + 0.2326 \times T_{14h:0,(-1)}$	4. 9
'78	0.7765	$T_m = 9.0356 + 0.2912 \times T_{20h:85,(-1)} + 0.2763 \times T_{14h:0,(-1)}$	4. 10
6. 7. 8. 9 月 '76-'78	0.7183	$T_m = 13.4127 + 0.3884 \times T_{20h:85,(-1)} + 0.1251 \times T_{14h:0,(-1)}$	4. 11
'78	0.6031	$T_m = 15.4154 + 0.2660 \times T_{20h:85,(-1)} + 0.1449 \times T_{14h:0,(-1)}$	4. 12

(3)被預測之因子——最高溫度 T_x

表九 T_x 之複迴歸方程式及複相關係數

季節 資料年份	複相關 係數	複迴歸 方程式 $T_x = A_0'' + A_1'' \times (T - T_D)_{20h,85,(-1)} + A_2'' \times T_{5h,0}$	
1. 2. 3. 12月 '76-'78	0.5029	$T_x = 7.3571 + 0.3612 \times (T - T_D)_{20h,85,(-1)} + 0.8880 \times T_{5h,0}$	4.13
'78	0.7157	$T_x = 5.6275 + 0.3991 \times (T - T_D)_{20h,85,(-1)} + 0.9183 \times T_{5h,0}$	4.14
4. 5. 10. 11月 '76-'78	0.7555	$T_x = 3.6611 + 0.2239 \times (T - T_D)_{20h,85,(-1)} + 1.0848 \times T_{5h,0}$	4.15
'78	0.7332	$T_x = 4.2561 + 0.2936 \times (T - T_D)_{20h,85,(-1)} + 1.0159 \times T_{5h,0}$	4.16
6. 7. 8. 9月 '76-'78	0.5083	$T_x = 10.5874 + 0.2381 \times (T - T_D)_{20h,85,(-1)} + 0.8488 \times T_{5h,0}$	4.17
'78	0.3323	$T_x = 11.9372 + 0.8274 \times (T - T_D)_{20h,85,(-1)} + 0.1343 \times T_{5h,0}$	4.18

(4)被預測之因子——二氧化硫平均濃度 $\overline{SO_2}$

表十 $\overline{SO_2}$ 之複迴歸方程式與其複相關係數

季節 資料年份	複相關 係數	複迴歸 方程式 $\overline{SO_2} = C_0 + C_1 \times \bar{U} + C_2 \times \Delta T$	
1. 2. 3. 12月 '76-'78	0.4119	$\overline{SO_2} = 3.7590 - 0.3848 \times \bar{U} + 0.1070 \times \Delta T$	4.19
'77-'78	0.4492	$\overline{SO_2} = 4.2469 - 0.4295 \times \bar{U} + 0.1246 \times \Delta T$	4.20
'78	0.5062	$\overline{SO_2} = 4.8832 - 0.4726 \times \bar{U} + 0.1297 \times \Delta T$	4.21
4. 5. 10. 11月 '76-'78	0.1747	$\overline{SO_2} = 4.1220 - 0.2290 \times \bar{U}$	4.22
'77-'78	0.1965	$\overline{SO_2} = 5.1225 - 0.3013 \times \bar{U} + 0.0599 \times \Delta T$	4.23
'78	0.3322	$\overline{SO_2} = 5.3524 - 0.2945 \times \bar{U} + 0.0027 \times \Delta T$	4.24
6. 7. 8. 9月 '76-'78	0.3020	$\overline{SO_2} = 2.8200 - 0.3061 \times \bar{U} + 0.0382 \times \Delta T$	
'77-'78	0.3736	$\overline{SO_2} = 4.3745 - 0.5198 \times \bar{U} + 0.0196 \times \Delta T$	
'78	0.4806	$\overline{SO_2} = 5.5677 - 0.5359 \times \bar{U} + 0.0572 \times \Delta T$	

五、綜合分析和討論

(一)實測資料之統計分析

本文使用之二氧化硫濃度實測資料，係採自民國六十四年至民國六十八年計五年中央氣象局（臺北市公園路64號，如圖3）偵測站測得之逐時濃度。

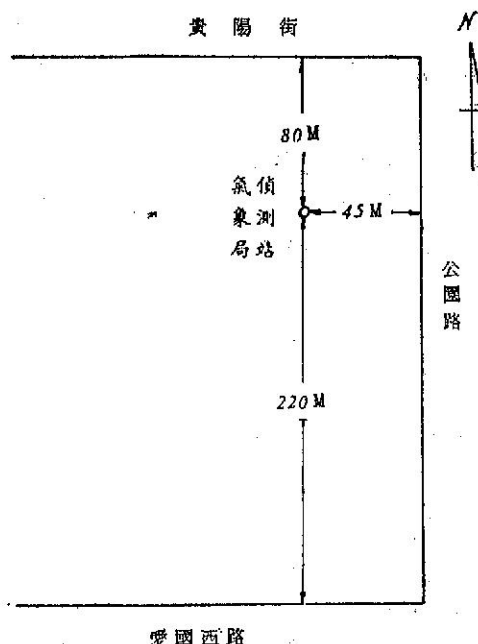


圖3 中央氣象局偵測站之位置圖

1. 1979年各月 SO_2 之逐時平均濃度變化 (圖4)

即將民國六十八年全年每日同一小時之二氧化硫濃度實測值求取其月平均值後，加以統計分析。其結果顯示，平均濃度變化曲線呈雙峯型，即兩高峯和兩低峯。一般為上午6時左右即開始迅速增加，從8時起呈顯著增加，第一個高峯出現時間，大部分在上午10-11時（最大值為7.8 pphm，在6月）。惟七、八兩月高峯出現在8-9時，而7時起呈顯著增加。第二個高峯（次高值）大部出現在下午5-6時間，而七、八兩月延至7時出現。一般言之，入晚以後之變化不大（尤以一月、二月、十月、十一月和十二月的第二高峯不顯著），至晚上11-12時始下降。第一個低峯多出現在清晨3-5時（最低值為2.3 pphm在11月），第二個低峯（次低值），則出現在中午以後2至3小時。

臺北盆地主要之二氧化硫排放為汽車，其次為

一般家庭和工廠。在6時以前的2-3小時，城市活動處於完全停頓狀態，因而出現第一個低峯。6時以後，乃因城市開始活動，又日出後地面溫度增高，於是近地面亂流⁽²⁰⁾形成以後，破壞逆溫層次，等到此亂流層頂抵達污染氣層高度，於是此污染空氣隨渦流而降至地面，導致二氧化硫濃度的迅速上升，在1-2小時後，逆溫層完全破壞，亂流層轉而擴展至污染層之上時，此時城市之活動亦已漸次達到高峯時刻，因而出現第一個高峯（上午9時至11時），惟七、八兩月的第一次高峯提前在8-9時出現，或由於日出較早，人們活動時間提前之故。隨後由於地面的增溫混合層的上升和午間活動停頓，而出現第二次低峯（午後2-3小時），有時甚而有較第一次低峯為低（如6月），此乃因晚間逆溫的關係。過了下午2、3時則又緩慢爬升，至下午5-6時，由於下班、放學時，交通量又達尖峰，因而達到第二個高峯，惟混合層漸次降低，故而入晚後之變化不大，直到晚上12時城市活動幾呈停頓，方始輕微下降。

2. 1979年全年 SO_2 逐時平均濃度變化 (圖5)

即將民國六十八年，每日同一小時之實測值，求取其年平均值，來加以統計分析。其結果顯示和吾人的分析相似，亦是雙峯型。第一個低峰在上午4-5時（最低值為3.5 pphm），第一個高峯在9-11時（最高值為5.5 pphm，在11時），午後2-3時出現第二個低峰（次低值為4.6 pphm），入晚後變化不大，直到晚間12時始輕微下降。本分析和圖4之分析不謀而合。

3. 1975-1979年五年 SO_2 之逐月平均濃度變化 (圖6)

由圖6和表十一，顯示8月有一最低值，2月有一次低值，4-6月有一最高值，而12月有一次高值。4-6月之最高值，或因混合層低（588m），平均換氣指數小⁽²¹⁾（2176m²/sec）和其儘靠馬路（公園路和黃陽街）部分，吹東風或偏東風，因而導致高度污染。8月最低值的產生，或因混合層高度較高（750m-675m），吹SSE-NW風，且上風污染源（愛國西路）較遠和颱風橫掃之影響。並附1975-1979年之各年 SO_2 逐月平均濃度變化（圖7）供參考。

4. 1979-1975年五年 SO_2 之逐年平均濃度變化 (圖8)

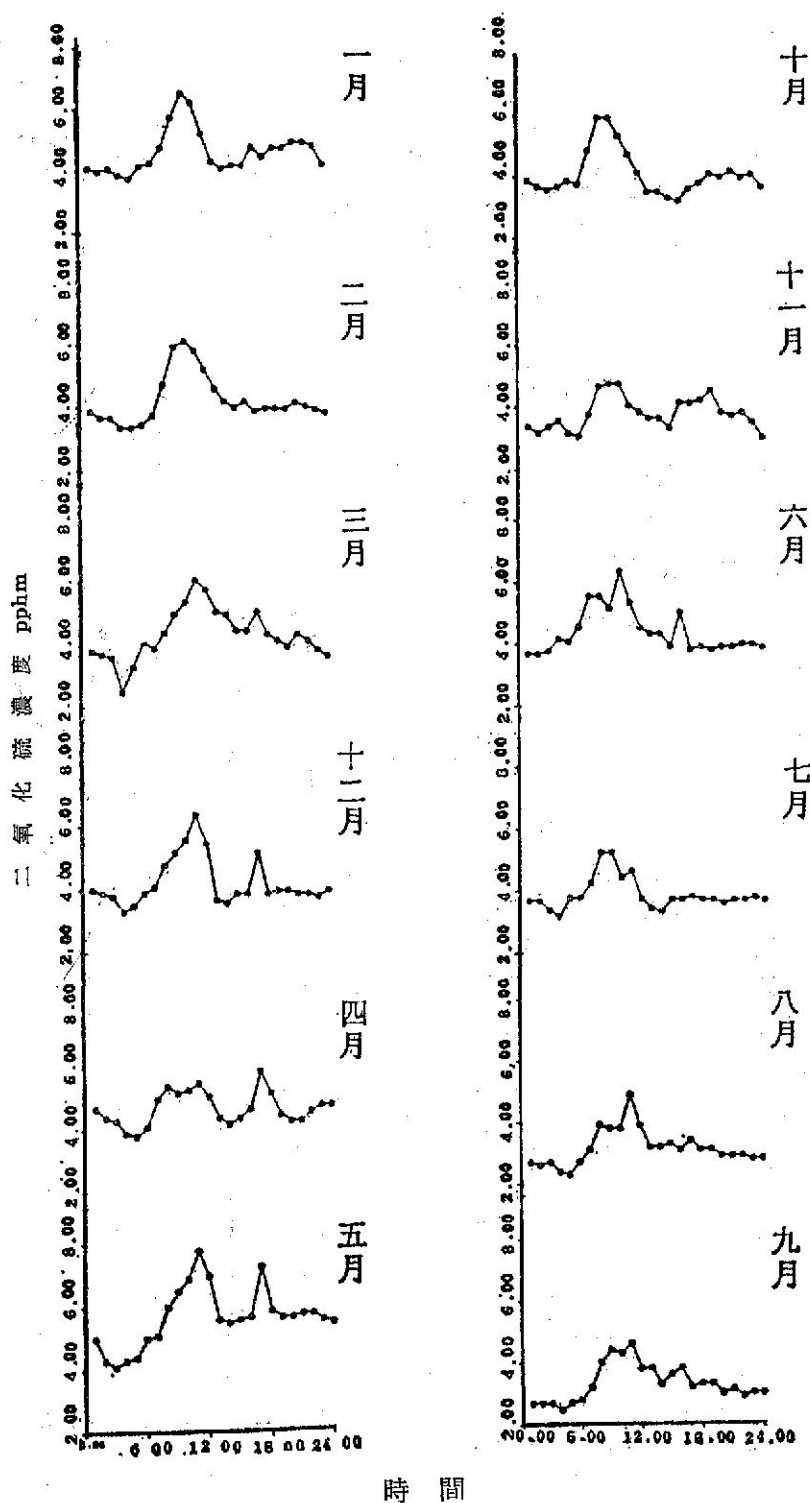


圖4 1979年各月 SO_2 之逐時平均濃度變化

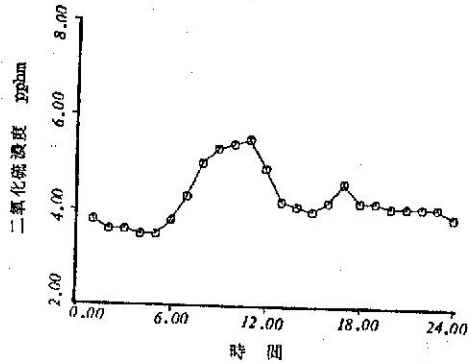


圖 5 1979年全年 SO_2 之逐時平均濃度變化

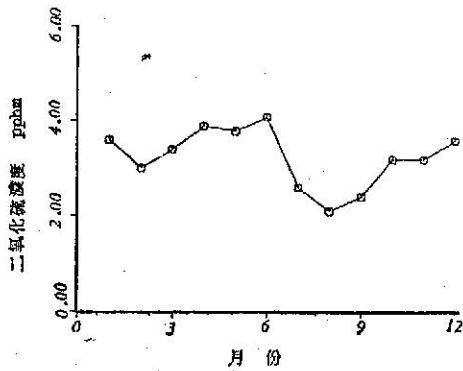


圖 6 1975-1979年五年 SO_2 之逐月平均濃度變化

圖 8 與表十一顯示，民國六十四年和六十六年年平均值相同，六十五年則略低，六十六年以後則年年上升至六十八年達 4.3 ppbm，此乃因近年來經濟繁榮，工業進步，能源（如石化燃料、煤）消耗日增，而導致二氧化硫排放量的升高。

(二) 預測迴歸方程式

有關上章電算結果所獲得之迴歸方程 ($\bar{U}$ 、 T_m 、 T_x 和 SO_2)，由於所採用之資料年數和季節的不同，而導致不同的相關程度，似應加以取捨，俾為有效之預測，茲謹將各被預測之迴歸方程略為論述如下：

1. 被預測因子——地面平均風速 $\bar{U}$

上列迴歸方程之選取，係以複相關係數為其依據由前章之迴歸方程式中加以選入，其等顯示地面平均風速受到 $U_{2.0h,0}(-1)$ 之影響較大。其預測之結果如圖 9，誤差分別為方程式 5.1: $\sum |\bar{U}^* - \bar{U}|/N = 1.0 \text{ m/Sec}$ 方程式 5.2: $\sum |\bar{U}^* - \bar{U}|/N = 0.9 \text{ m/sec}$ ，方程式 5.3: $\sum |\bar{U}^* - \bar{U}|/N = 0.8/\text{sec}$ ，其中 $\bar{U}^*$ 為預測之地面平均風速， $\bar{U}$ 為地面平均風速，而 N 為預測之個數。

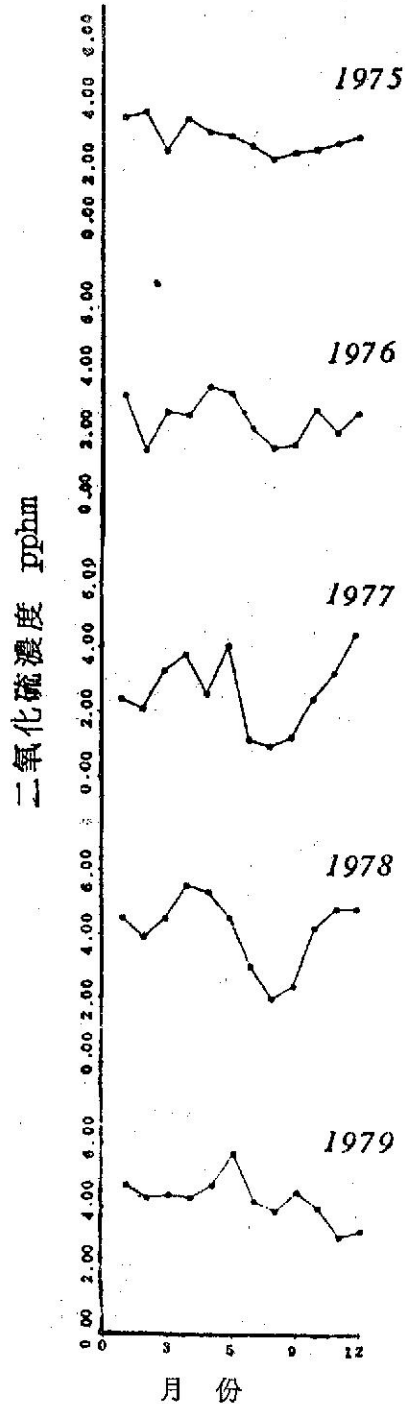


圖 7 1975-1979年各年 SO_2 之逐月平均濃度變化

2. 被預測因子——最低溫度 T_m

前章之迴歸方程中，顯示利用三年之資料，其所獲之相關較一年者為佳，上列之方程式均具有良好的相關，也因此得以獲致較佳之預測結果，如

表十一 1975-1979 年 SO₂ 平均濃度，各年之逐月平均，年平均及五年逐月平均

單位：pphm

月 年	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	平 均
'75	3.3	3.5	2.3	3.3	2.9	2.8	2.5	2.1	2.3	2.4	2.6	2.8	2.7
'76	3.1	1.4	2.6	2.5	3.4	3.2	2.1	1.5	1.6	2.7	2.0	2.6	2.4
'77	2.4	2.1	3.3	3.8	2.6	4.1	1.2	1.0	1.3	2.5	3.3	4.5	2.7
'78	4.5	3.9	4.5	5.5	5.3	4.5	3.0	2.0	2.4	4.2	4.8	4.8	4.1
'79	4.7	4.3	4.4	4.3	4.7	5.7	4.2	3.9	4.5	4.0	3.1	3.3	4.3
平 均	3.6	3.0	3.4	3.9	3.8	4.1	2.6	2.1	2.4	3.2	3.2	3.6	3.2

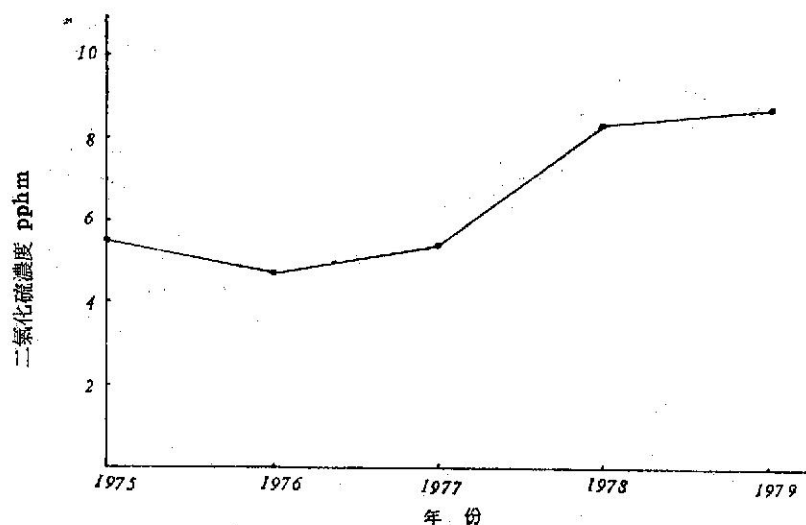


圖 8 1975-1979 年五年 SO₂ 之逐年平均濃度變化

表十二 $\bar{U}$ 之預測複迴歸方程式

季 節	複 相 關 係 數	複 迴 歸 方 程 式
資 料 年 份		$\bar{U} = A_0 + A_1 \times U_{20h, 85(-1)} + A_2 \times U_{20h, 0(-1)}$ 單位：m/sec
1. 2. 3. 12. 月 '76-'78	0.4123	$\bar{U} = 1.7783 + 0.0785 \times U_{20h, 85(-1)} + 0.2864 \times U_{20h, 0(-1)}$ 5.1
4. 5. 10. 11. 月 '78	0.5053	$\bar{U} = 1.6674 + 0.0427 \times U_{20h, 85(-1)} + 0.3889 \times U_{20h, 0(-1)}$ 5.2
6. 7. 8. 9. 月 '78	0.7105	$\bar{U} = 1.2288 + 0.0974 \times U_{20h, 85(-1)} + 0.3354 \times U_{20h, 0(-1)}$ 5.3

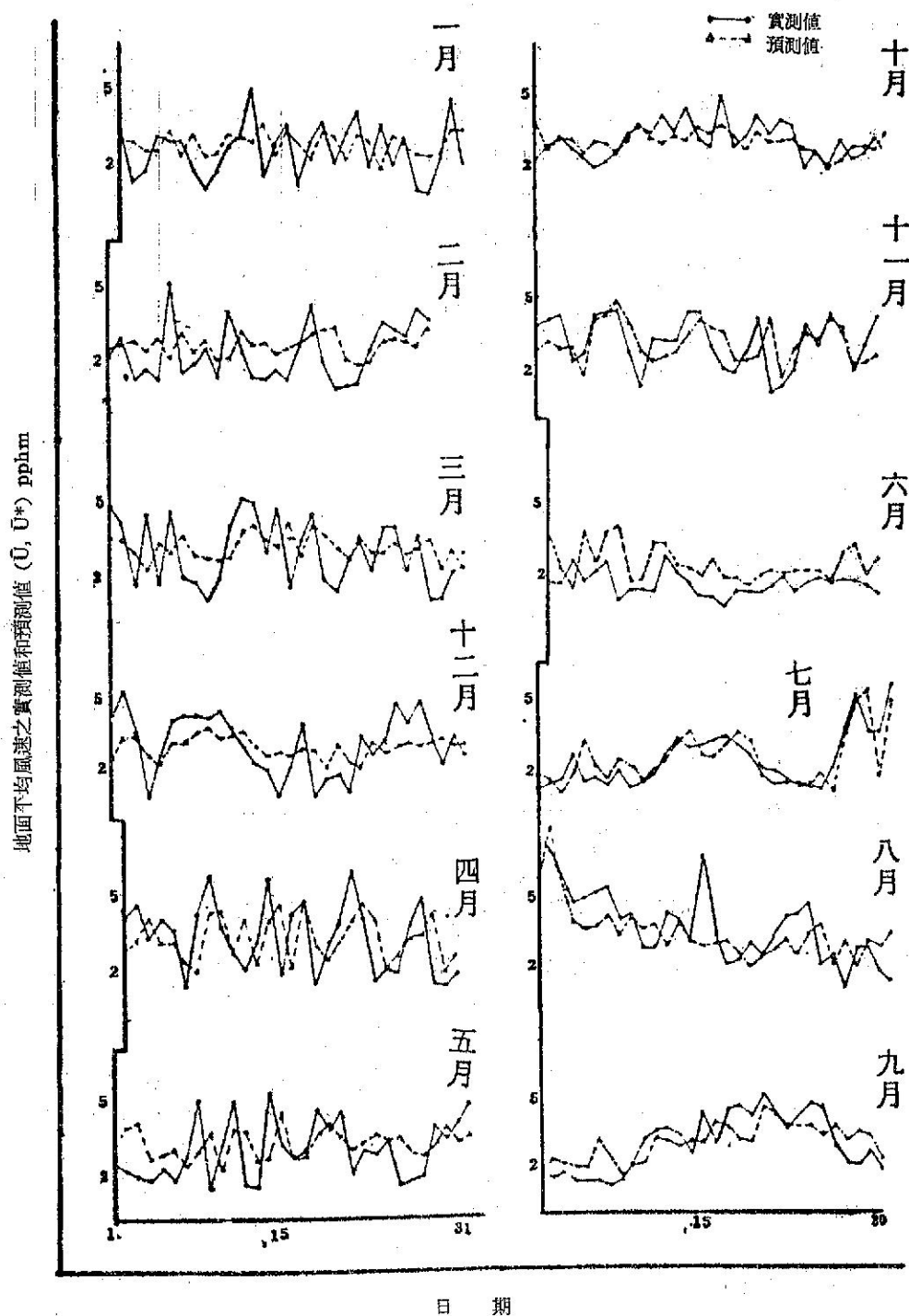


圖9 1979年各月地面平均風速之實測值和預測值之日變化

表十三 T_m 之預測複迴歸方程式

季節 資料年份	複相關係數	複迴歸方程式 $T_m = A_0' + A_1' \times T_{20h, 85(-1)} + A_2' \times T_{14h, 0(-1)}$ 單位: °C
1. 2. 3. 12. 月 '76-'78	0.7617	$T_m = 9.0641 - 0.5269 \times T_{20h, 85(-1)} + 0.0186 \times T_{14h, 0(-1)}$ 5.4
4. 5. 10. 11. 月 '76-'78	0.8159	$T_m = 8.5100 - 0.3915 \times T_{20h, 85(-1)} + 0.2326 \times T_{14h, 0(-1)}$ 5.5
6. 7. 8. 9. 月 '76-'78	0.7183	$T_m = 13.4127 - 0.3884 \times T_{20h, 85(-1)} + 0.1251 \times T_{14h, 0(-1)}$ 5.6

圖10, 其誤差分別為方程式 5.4: $\sum |T_m^* - T_m| / N = 1.6^\circ\text{C}$, 方程式 5.5: $\sum |T_m^* - T_m| / N = 1.6^\circ\text{C}$, 5.6: $\sum |T_m^* - T_m| / N = 1.6^\circ\text{C}$, 其中 T_m^*

為預測之最低溫度, T_m 為最低溫度, 而 N 為預測的個數。

3. 被預測因子——最高溫度 T_x

表十四 T_x 之預測迴歸方程式

季節 資料年份	複相關係數	複迴歸方程式 $T_x = A_0'' + A_1'' \times (T - T_D)_{20h, 85(-1)} + A_2'' \times T_{5h, 0}$ 單位: °C
1. 2. 3. 12. 月 '78	0.7157	$T_x = 5.6275 + 0.3991 \times (T - T_D)_{20h, 85(-1)} + 0.9183 \times T_{5h, 0}$ 5.7
4. 5. 10. 11. 月 '76-'78	0.7555	$T_x = 3.6114 + 0.2239 \times (T - T_D)_{20h, 85(-1)} + 1.0848 \times T_{5h, 0}$ 5.8
6. 7. 8. 9. 月 '76-'78	0.5083	$T_x = 10.5874 + 0.2381 \times (T - T_D)_{20h, 85(-1)} + 0.8488 \times T_{5h, 0}$ 5.9

上列之迴歸方程, 亦為以相關係數為依據, 自上章的迴歸方程中加以選取。方程式顯示 T_x 之預測值受 $T_{5h, 0}$ 之影響較大, 尤以方程式 5.8 為然, 惟亦稍受 $(T - T_D)_{20h, 85(-1)}$ 之影響。其預報結果如圖 11, 其誤差分別為方程式 5.7: $\sum |T_x^* - T_x| / N = 2.6^\circ\text{C}$, 方程式 5.8: $\sum |T_x^* - T_x| / N = 2.5^\circ\text{C}$, 方程式 5.9: $\sum |T_x^* - T_x| / N = 1.1^\circ\text{C}$, 其中 T_x^* 為預測之最高溫度, T_x 為最高溫度, 而 N 為預測的個數。

4. 被預測因子——二氧化硫平均濃度 SO_2

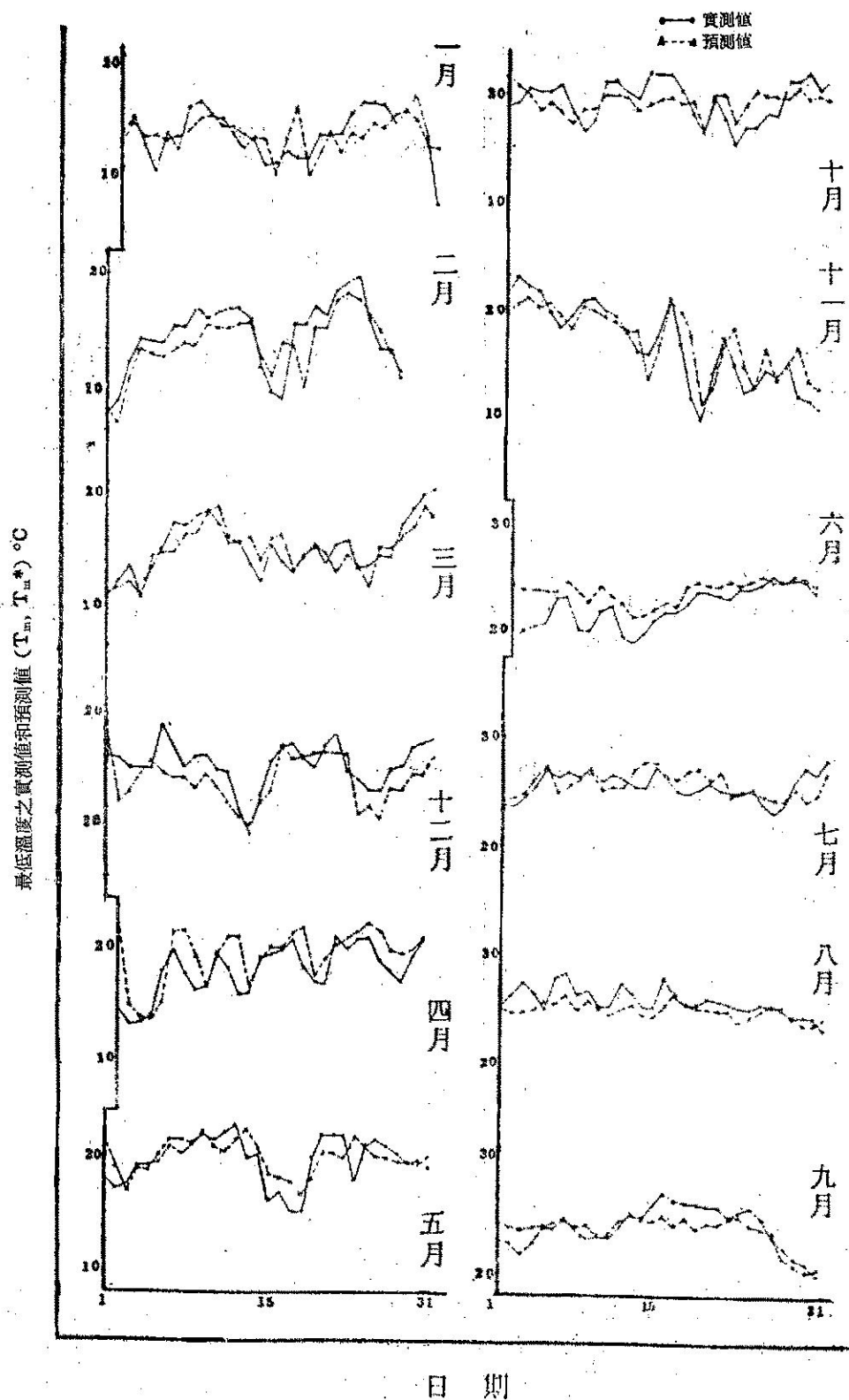


圖10 1979年各月最低溫度之實測值和預測值之日變化

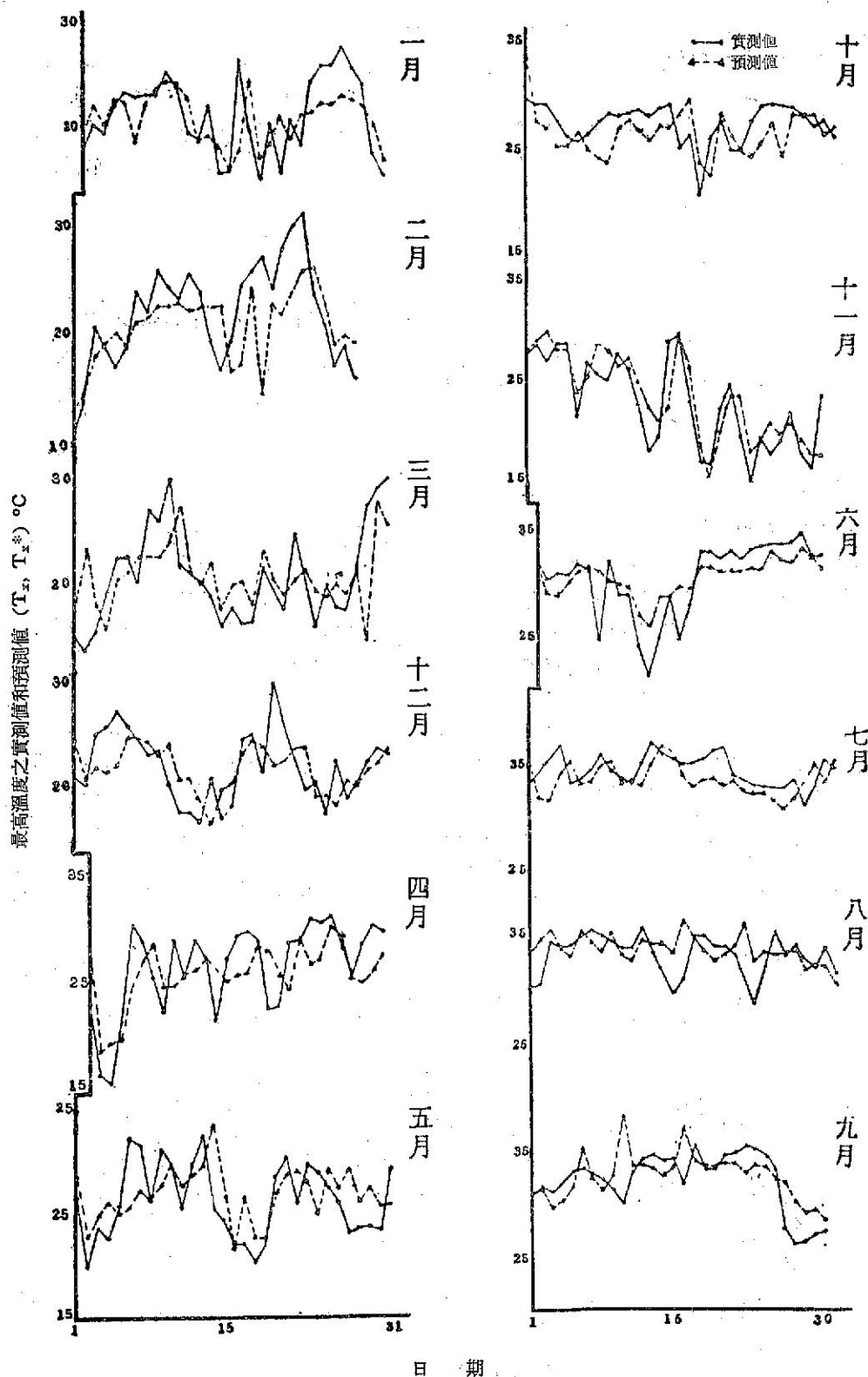


圖11 1979年各月最高溫度之實測值和預測值之日變化

表十五 $\overline{SO_2}$ 之預測迴歸方程式

季 節	複 相 關 係 數	複 迴 歸 方 程 式
資 料 年 份		$\overline{SO_2} = C_0 + C_1 \times \bar{U} + C_2 \times \Delta T$
		單位: pphm
1. 2. 3. 12 月 '78	0.5062	$\overline{SO_2} = 4.8832 - 0.4726 \times \bar{U} + 0.1297 \times \Delta T$ 5.10
4. 5. 10. 11 月 '78	0.3332	$\overline{SO_2} = 5.3524 - 0.2945 \times \bar{U} + 0.0027 \times \Delta T$ 5.11
6. 7. 8. 9. 月 '78	0.4806	$\overline{SO_2} = 4.3745 - 0.5198 \times \bar{U} + 0.0196 \times \Delta T$ 5.12

在上章中曾分別以 '76-'78, '77-'78 和 '78 之資料求取迴歸方程式，結果顯示以僅 '78 一年的資料所求取之預測方程有較好的相關，其理由為二氧化硫之濃度每年均有變化（趨於增加），因此使用一年的資料，似應較為合理。分析上列之迴歸方程，可知二氧化硫之平均濃度受風速之影響較大。

有關以上四組預測迴歸方程中 $\bar{U}$ 、 T_m 、 T_x 部分，限於時間，本研究僅對其做粗略之論述，而將預測結果顯示於附圖中，不擬做詳細之研討。至於 $\overline{SO_2}$ 乃本文之主題，因此作者將以 $\bar{U}$ 、 T_m 、 T_x 等預測方程所得之預測值以及實測值分別代入方程式 5.10，而以民國六十八年一月為期，加以詳

細分析探討。本文檢驗預測方程使用之所有資料均為民國六十八年全年的實測資料。

（三）二氧化硫濃度預測結果之析論

預測結果如圖12，其中分別包含實測值和預測值代入預測方程 5.10 所獲之曲線以及實測值曲線。其誤差分別為：

$$1. \sum |\overline{SO_2}' - \overline{SO_2}| / N = 0.91 \text{ pphm}, N = 30 \text{ 日}$$

$$2. \sum |\overline{SO_2}^* - \overline{SO_2}| / N = 0.82 \text{ pphm}, N = 30 \text{ 日}$$

$$3. \sum |\overline{SO_2}^* - \overline{SO_2}'| / N = 0.67 \text{ pphm}, N = 30 \text{ 日}$$

其中 $\overline{SO_2}'$ ：實測值代入預測方程所得之平均濃度。

$\overline{SO_2}^*$ ：預測值代入預測方程所得之平

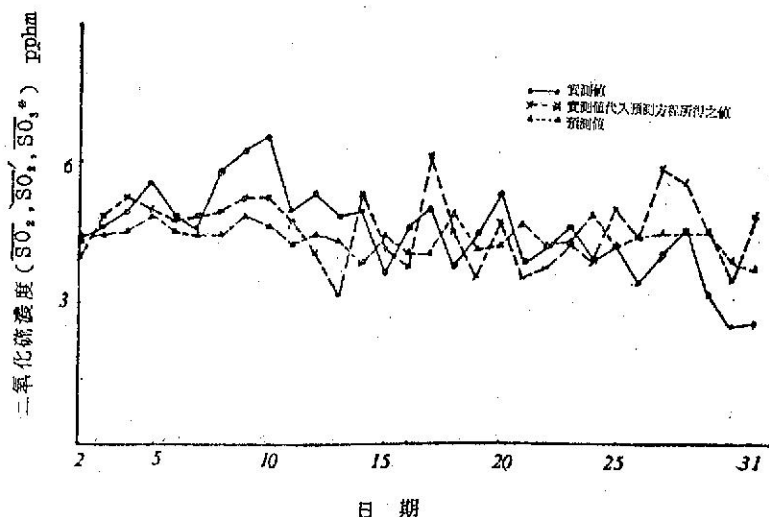


圖12 1979年1月份 $\overline{SO_2}$ 、 $\overline{SO_2}'$ 和 $\overline{SO_2}^*$ 值之日變化

均濃度。

$\overline{SO_2}$: 實測之平均濃度值

N : 預測之個數

$\overline{SO_2'}$ 、 $\overline{SO_2^*}$ 對 $\overline{SO_2}$ 之標準偏差

$$1.S_{1,3} = \sqrt{\Sigma(\overline{SO_2} - \overline{SO_2'})^2/N} = 1.032 \text{ ppm}$$

$$2.S_{2,3} = \sqrt{\Sigma(\overline{SO_2} - \overline{SO_2^*})^2/N} = 1.042 \text{ ppm}$$

其中 $S_{1,3}$: $\overline{SO_2'}$ 對 $\overline{SO_2}$ 之標準偏差

$S_{2,3}$: $\overline{SO_2^*}$ 對 $\overline{SO_2}$ 之標準偏差

圖12中顯示，實測值和預測值分別代入預報方程所得之曲線和實測值變化曲線大致傾向符合，惟前者所得之曲線更類似實測值變化曲線。

現謹再就圖12，進一步加以析論。1979年1月10日，曲線變化傾向符合，惟預測值低28%（即1.9 ppm），其原因可能由於當天的逆溫層高度甚低(430m)，再加上預測風速偏高，日較差預測值 ΔT^* 偏低，而導致二氧化硫平均濃度預測值 $\overline{SO_2^*}$ 偏低。由方程式 5.10，二氧化硫平均濃度之預測值 $\overline{SO_2^*}$ 和地面平均風速之預測值 $\overline{U}^*$ 成反比，和日較差之預測值 ΔT^* 成正比。如以實測值代入預測方程所得之曲線，則將更近實測曲線。本日之濃度甚高，亦受逆溫層之影響頗甚。1979年1月17日預測值偏低，主因預測風速偏高1.7m/sec, ΔT^* 偏

低 9.6°C，由此二項本應造成更高的污染，惟因該天風向為 ESE 或可稀釋不少的濃度，而使預測值和實測值之差降為 0.9 ppm。1月18日預測曲線和實測曲線相反，預測值偏高 1.2 ppm, ΔT^* 偏高， $\overline{U}^*$ 偏低，再加上降水 (2.3 m. m.) 影響之故，因雨水的沖洗作用，常導致預測值的偏高。1月20日預測值偏低 1.1 ppm，受風速預測值偏高之影響甚大。吾人綜合析論1979年1月份（圖13），可發現一種現象，即 $(\overline{SO_2}, \overline{SO_2'}, \overline{SO_2^*})$ 圖中從1月17日至1月25日。其預測曲線似乎較實測曲線落後一日，而此種現象亦出現於 $(\overline{U}, \overline{U}^*)$ 圖中，且極顯著，可見地面平均風速對平均濃度之影響甚大，其理由可由 $\overline{SO_2}$ 之預測複迴歸方程式之迴歸係數加以印證，如以 5.10 式言，地面平均風速 1m/sec 對平均濃度的影響，相當於 $\Delta T = 3.64^\circ C$ 所造成之影響。

六、結 論

有關臺北盆地二氧化硫污染的程度，1979年之實測資料分析顯示，一小時值之年平均值為 4.3 ppm，一小時值最大為 28.3 ppm，最小值為 1.8 ppm，如與中華民國臺灣區地面環境空氣品質標準（表十六）比較，而以路旁和偵測站之濃度比為 5-10⁽²²⁾ 倍之調整，則均超過空氣品質標

表十六 中華民國臺灣地區環境空氣品質標準

一、懸浮微粒：24小時值之各平均值須在表列之限值以下，且全年間須符合下列各條件：

(一)不包括粒徑大於 10 μm 之粗粒時之限值（單位 $\mu g/Nm^3$ ）

(1)月平均值 一般地區：210全年間超過限值不可多於 2 次

工業地區：240

(2)年平均值 一般地區：140

工業地區：160

(二)包括粒徑大於 10 μm 之粗粒時之限值（單位 $\mu g/Nm^3$ ）

(1)月平均值 一般地區：260全年間超過限值不可多於 2 次

工業地區：290

(2)年平均值 一般地區：270

工業地區：190

二、硫氧化物 (SO_x)

(一)硫氧化物濃度：1 小時值之各平均值須在表列之限值以下，且全年間須符合下列各條件（單位 ppm）

	一般地區	工業地區
(1) 1 小時值	0.3	0.5
(2) 1 小時值之日平均值	0.1	0.15
(3) 1 小時值之年平均值	0.05	0.075

來源：莊進源，1976，臺灣地區空氣污染之防制。

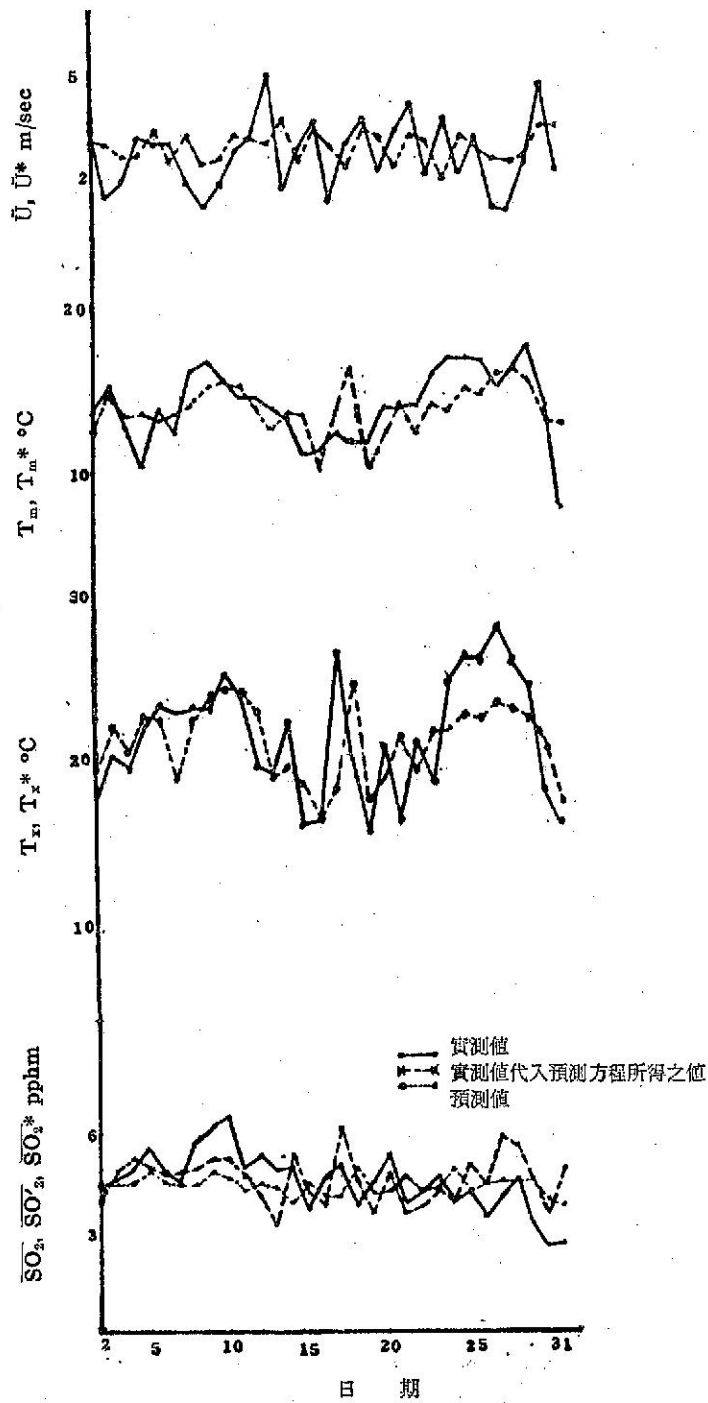


圖13 1979年1月之 $\bar{U}$ 與 $\bar{U}^*$, T_m 與 T_m^* , T_x 與 T_x^* 以及 $\overline{SO_2}$, $\overline{SO_2}^*$ 與 $\overline{SO_2}^*$ 值之日變化

準，何況本研究之採樣並非臺北污染嚴重之地點，可能有些地區，雖不經路旁和偵測站濃度比之調整，而早超過標準，因此臺北盆地二氧化硫污染之嚴重性，實已到達刻不容緩而有待積極有效的管制。

都市二氧化硫濃度之預測，其主要目標為定量之預測，預報二十四小時的污染傾向。本研究之預測模型，即提供了簡速污染濃度預測方法，對環境之評估、空氣品質之維護極有助益，如經下列修正調整，則對濃度預測值之精確度和應用之有效性將有顯著之增長。

(一)預測模型之改進

1. 預測模型中之預測因子，如能再做適度的選入（如日照時間、風向、逆溫層、和其他層面溫度、溫度露點差、風速，以及排除降雨之因素），將使預測之結果有所改進

2. 本研究為日平均濃度之預測，有關每日高低峰濃度之預測，可參考1979年各月 SO_2 之逐時平均濃度變化（圖4）和1979年每年 SO_2 之逐時平均濃度變化（圖5），則可預估高低峰濃度。

3. 模擬本預測模型，可進一步發展成三時段（即將一天分成8時/12時、13時/18時、19時/7時）之預測迴歸方程，或甚至逐時之預測迴歸方程式。

4. 各代表性地點測站，可以已有之預測複迴歸方程（氣象局局本部實測資料所發表者）為基礎，加上其實測資料和氣象局局本部者之比較和調整，預估其污染濃度。

(二)檢 討

1. 技術性方面

(1) 廣設具有代表性之偵測站，包括風向、風速之測定，從而形成偵測網。俾能發展更精確有效之預測迴歸方程。

(2) 每日至少三次探空報告（8時、12時和20時），俾便分析氣象因子之垂直剖面變化。

2. 綜合性方面

(1) 空氣污染及環境保護法之制定。

(2) 加強管制汽車品質：制訂一套完整管制標準，並逐年修正提高，以防止污染。（汽車排氣為都市空氣污染的主因。）

(3) 責成中油公司儘速全面供應低硫燃料。

(4) 授權專責機構，建立中央監視警報系統，模擬德國魯爾區⁽²³⁾，當氣象當局預測二氧化硫之 APP (AIR POLLUTION POTENTIAL)

達 $1,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.38 ppm)，該系統有權發佈警報，採取緊急措施，要求電廠、工廠將燃料控制到最低含硫量，或甚至停止。在危險期間，焚化爐或將停止使用，城市或宣布停止使用私人汽車，僅救護車、警車和大眾交通工具准許行駛街道。或模擬美國加州，依據其大氣污染警報規定⁽²⁴⁾，二氧化硫將植物有害濃度每小時 100 pphm，或連續8小時平均 30 pphm，對人類之危險濃度為 500 pphm 以上。洛杉磯規定 300 pphm 為第一警報，500 pphm 為第二警報，1000 pphm 為第3警報標準。當任何地區，二氧化硫濃度到達上述標準含量時，污染管制中心即發出警報，有關污染源即應減少污染物之排放，以確保居民之安全。

(5) 如尚無專責機構之授權以採取緊急強制措施，則可於周圍空氣品質轉趨惡劣時，由市政或有關單位，透過大眾廣播系統，呼籲居民暫時留置室內，或為車輛改道行駛之建議。

參 考 文 獻

- (1) 呂世宗等，1974，臺北市大氣污染預測模型之研究，氣象學報第二十卷第二期，pp. 19-30。
 - (2) 呂世宗等，1980，臺灣電力公司蘇澳火力電廠廠址對環境空氣品質影響之評估 p. 3。
 - (3) 行政院農業發展委員會，臺灣省衛生試驗所等，1981，聯合報臺北訊。
 - (4) WILFRID BACH, 1972, ATMOSPHERIC POLLUTION, Mc Graw-Hill, Inc. p. 5,
 - (5) M. L. Weatherlay, 1978, Estimates of Smoke and Sulphurs Dioxide Pollution From Fuel Combustion in the United Kingdom for the Year 1976-1977, CLEAN AIR Vol. 9 No. p. 11.
 - (6) Michael J. Gittins, MEHA, HARSH, MinstF, 1978, the Effects of Air Pollution, CLEAN AIR, Vol. 8. No. 28 pp. 28-29.
- WILFRID BACH, 1972, ATMOSPHERIC POLLUTION, Mc Graw-Hill, Inc. pp. 42-48.
- HARRY HEIMANN, M. D. 1968,

- EFFECTS ON HUMAN HEALTH
AIR POLLUTION, p. 180.
- (7) Michael J. Gittins, MEHA. HARSH, MlmstF, 1978, The effects of Air Pollution, CLEAN AIR, Vol. 8. No. 28 pp. 26-27
- (8) 呂世宗等, 1974, 臺北市大氣污染預測模型之研究, 氣象學報第二十卷第二期, p. 20.
- (9) 呂世宗等, 1974, 臺北市大氣污染預測模型之研究, 氣象學報第二十卷第二期, p. 21.
- (10) 呂世宗等, 1975, 大氣污染對臺灣地區雨水 PH 值之影響, 大氣科學第二期, p. 72.
- (11) 橫山表之等, 1978, 環境アセスメント手法入門, 才一ム社, p. 61.
- (12) 呂世宗, 1974, 臺北市大氣污染預測模型之研究, 氣象學報第二〇卷第二期, p. 21.
- (13) 呂世宗, 1974, 臺北市大氣污染預測模型之研究, 氣象學報第二十卷第二期, pp. 21-22.
- (14) 中央社電, 1981, 2月18日電。
- (15) 呂世宗等, 1974, 臺北市大氣污染預測模型之研究, 氣象學報第二十卷第二期, 22-23.
- (16) 呂世宗, 1980, 大氣污染之決定性氣象因素與其預報, 中國文化大學理學院氣象系, p. 49.
- (17) 野本眞一等, 1976, 大氣污染氣象預報指針, 第三章, p. 26.
- (18) N, R. DRAPER AND H. SMITH 1966, APPLIED REGRESSION ANALYSIS, pp. 171-195.
- (19) 陳熙揚, 1978, 運用數值預報統計法預測臺灣西南部夏季雨量之研究。
- (20) 鄭子政, 1969, 氣候與文化, p. 94.
- (21) 呂世宗等, 1980, 研究臺灣地區之大氣穩定度與其擴散潛勢, pp. 859-860.
- (22) 蔡豐智, 1980, The Analysis Statistical Models of Sulfur Dioxide Air Pollution in Taipei, pp. 19-20.
- (23) WILFRID BACH, 1972, Air Pollution, Mcgraw-Hill p. 26.
- (24) 呂世宗等, 1973, 臺北市大氣污染之現況, 氣象學報第十九卷第三期, p. 60.

以 三 民 主 義

來 統 一 中 國

氣象學報補充稿約

一、來稿須用稿紙（以 25×24 之稿紙爲原則）。

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 印刷頁爲原則。

三、圖及表之分量以不超過全文之 $1/3$ 爲原則。

四、英文摘要之字數以不超過 1,000 字爲原則。

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爲準。（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爲限，如係來自轉載之其他書刊時，須加註明。

(二) 作者姓名以後爲發行年份，加以括號，然後爲雜誌或書名、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爲序。

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^3 （立方公尺）、 m^3 （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爲原則，名在前，姓在後。

十六、其他未盡善事項得隨時修正之。

Volume 27, Number 3,4

Sep / Dec 1981

METEOROLOGICAL BULLETIN

(Quarterly)



CONTENTS

Articles

Spectral Wind-Wave Prediction Model *Beng-Chun Lee* (1)

Study on Automated Streamline Analysis *Chung-Ying Hu* (8)

Engineering Seismological Considerations *Ming-Tung Hsu* (17)

The Assessment of Sulfur Dioxide Pollution Potential
in Taipei Basin *Che-Ming Chang* (41)

CENTRAL WEATHER BUREAU

64 Park Road, Taipei
Taiwan, Republic of China

中華郵政臺字第一八九三號登記爲第一類新聞紙類