

題名	作/譯者	卷期號	頁碼	出版年
台灣地震速報系統之最適化測站分布	吳逸民 辛在勤 蔡義本	43/01	1	1999.03
紫外線指數的分析與預報	馮欽賜 楊明仁	43/01	11	1999.03
民國八十六年颱風暴潮調查報告——溫妮颱風與琥珀颱風——	曾淑芬 李汴軍	43/01	27	1999.03
民國八十七年颱風調查報告——奧托颱風(9802)	徐辛欽	43/01	45	1999.03
民國八十七年颱風調查報告——楊妮颱風(9809)	陳得松 黃康寧	43/01	71	1999.03
-----	-----	-----	-----	-----
利用寬頻帶地震儀資料逆推台灣地區地震矩張量	張智峰 安藤雅孝	43/02	1	2000.06
中央氣象局統計預報系統的發展	陳重功 羅存文 王惠民 賀介圭	43/02	18	2000.06
中央氣象局颱風路徑數值預報模式三天預測之初步結果	陳得松 葉天降 黃康寧 謝信良	43/02	34	2000.06
1999年中央氣象局颱風路徑數值預報模式作業概況	黃康寧 陳得松 葉天降 謝信良	43/02	46	2000.06
颱風觀測分析與統計預報整合型研究1999年成果摘錄	謝信良 葉天降	43/02	61	2000.06
-----	-----	-----	-----	-----
集集大地震之宏觀分析	呂佩玲 蔣文啓 辛在勤 張建興	43/03	1	2000.09
中央氣象局降雨機率預報校驗分析	呂國臣 謝信良	43/03	17	2000.09
中央氣象局降水機率統計預報之校驗分析	王惠民 陳重功 蘇長春	43/03	29	2000.09
民國八十七年颱風調查報告——妮蔻兒颱風(9801)	丘台光	43/03	49	2000.09
民國八十八年颱風調查報告——瑪姬颱風(MAGGIE, 9906)	徐辛欽	43/03	63	2000.09
-----	-----	-----	-----	-----
中央氣象局集預報系統	張庭槐 曾建翰 張忍成	43/04	1	2001.12
87年度最高/低溫度統計預報成果分析	羅存文 陳重功	43/04	12	2001.12
民國八十七年颱風調查報告——芭比絲颱風(9812)	丘台光	43/04	29	2001.12
民國八十九年颱風調查報告——中度颱風第4號(國際命名: Kai-tak, 中文譯名: 啓德)	劉復誠	43/04	45	2001.12
民國八十九年颱風調查報告——第19號雅吉(Yagi)颱風	劉復誠	43/04	78	2001.12

氣象學報

季刊

第四十三卷 第一期

目次

研究論文

台灣地震速報系統之最適化測站分布..... 吳逸民 辛在勤 (1)
蔡義本

紫外線指數的分析與預報..... 馮欽賜 楊明仁 (11)

報 告

民國八十六年颱風暴潮調查報告
—溫妮颱風與安珀颱風—..... 曾淑芬 李汴軍 (27)

民國八十七年颱風調查報告—奧托颱風(9802)..... 徐辛欽 (45)

民國八十七年颱風調查報告—楊妮颱風(9809)..... 陳得松 黃康寧 (71)

中央氣象局氣象學報社

臺北市公園路六十四號

出版者 謝信良

電話：(02)23491091

發行 鄭明典

社 王李李林林柯陳

編輯委員 黃

主任委員 王李李林林柯陳

委員 黃

主 王李李林林柯陳

委 黃

幹 王李李林林柯陳

事 黃

黃

陳

張

莊

劉

葉

葉

鄭

韓

泰

隆

文

廣

永

義

明

素

然

男

思

英

田

雄

典

蘭

(按姓氏筆劃排列)

台灣地震速報系統之最適化測站分布

吳逸民

中央氣象局地震測報中心

辛在勤

中央氣象局

蔡義本

國立中央大學地球物理研究所

摘要

中央氣象局於 1995 年開始設置強震速報系統 (Teng et al., 1997)，而速報系統測站之設立主要都是沿用現有地震站之場址，由於速報系統是以地震防災功能為主，與一般傳統的地震網功能略有不同，測站分布影響速報系統之效率甚鉅。因此，本文之目的即是要探討速報測站之分布，使台灣地震速報系統能發揮最大的功效。

本文分析現有的測站之覆蓋率、1900 至 1998 年之潛在破壞性地震、設立測站之難易度及考慮設站地點對於地震減低之重要性，探討速報測站之最適化分布，歸納出 8 處應該加強觀測的區域及 6 處可以考慮移除部分測站之區域。若經這樣的調整，將可以使得速報測站分布更適合未來測報作業之要求。

關鍵詞：地震、地震速報系統及潛在破壞性地震。

一、前言

台灣地震速報系統之測站分布，主要是設立在中央氣象局地震監測網 (Central Weather Bureau Seismic Network, 簡稱 CWBSN) 之測站及對於花蓮地區加強觀測 (圖 1)。目前 CWBSN 之測站是由原中央氣象局測震網 (圖 1 之實心圓所示)、台灣遙記式測震網 (Taiwan Telemetry Seismic Network, 簡稱 TTSN) (圖 1 之實心三角形所示) 及中正大學 (NCCU) (圖 1 之實心四方形所示) 所屬之測站合併所組成。CWBSN 原有的測站及 TTSN 測站都是屬於台灣全區的地震網，兩者合併除了增加測站之密度外，對於部分地區則有重複及分布不均的現象。中正大學所屬之測站屬於嘉南地區的局部地震網，對於嘉南地區的密度有相當幅度的增加，當然亦有些重疊的現象。一般的地震網對於地震之觀測為全面性的普測，不管地震規模大小如何都為其觀測之對象。因此，主要考慮測站分布之均勻性、密度、設站之難易度及當地環境之背景雜訊。測站分布越均勻，則對於各地區地震調查之空間取樣越能平均；

而測站的密度越高及當地環境之背景雜訊越低，則越能提升系統之地震偵測功能，也就是能更完整記錄規模較小的地震。然而，地震速報系統功能有別於一般性的地震觀測系統，其觀測的對象主要為潛在破壞性及規模較大的有感地震，而非所有的地震。因此，不能僅僅就測站分布之均勻性及密度兩方面的考量而已，而且當地環境之背景雜訊對設站的影響也較小。速報系統之主要任務就是要對地震能作快速的消息發布。所以，本文分析現有的測站之覆蓋率、1990 至 1998 年之潛在破壞性地震、設立測站之難易度及考慮設站地點對地震減災之重要性，探討速報測站的最適化分布。

二、資料及分析

探討測站的分布，現有測站的覆蓋率當然首先要被討論。速報系統觀測的主要目標為潛在破壞性地震於本文必須予以定義及找出。目前測站之建立必須有電力的供應、電訊線路及交通便利等因素，故設站之便利程度也要加以考慮。因此，以下將針對這些項目加以探討：

現有測站之覆蓋率 中央氣象局之地震速報系

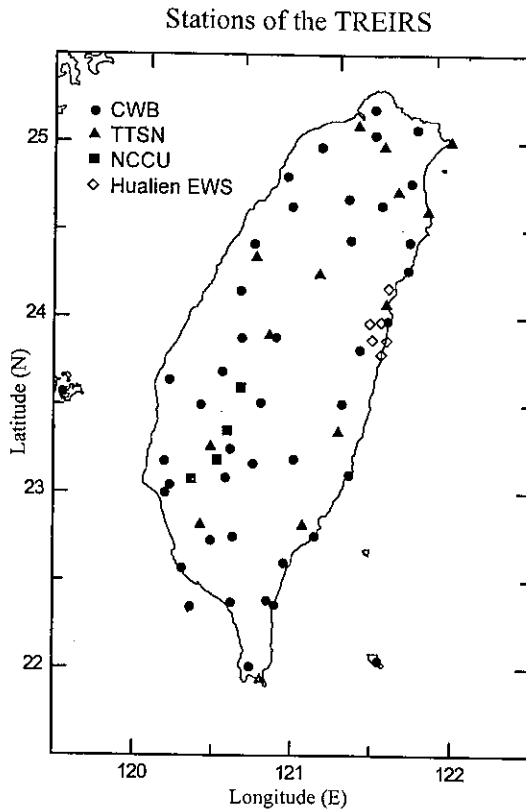


圖 1. 地震速報系統 68 個測站之分布圖。

Figure 1. Station distribution of the Taiwan Rapid Earthquake Information Release System (TREIRS).

統於目前已完成設立了 68 個站（圖 1），花蓮地區為目前速報系統之主要加強觀測區域，因此測站的分布特別密集。而嘉南地區由於現有的地震站較為密集，也是另一個高密度的區域。為了要有效估測站分布，分布的情形須加以量化。依據作者先前的研究 (Wu et al., 1998)，對於速報系統較有幫助的測站為：第一個測站收到初達波後 10 秒地震波所能傳達區域內之測站，而按保守的估計此區域約為半徑 50 公里的範圍，因此本文考慮一個場址對測站距離遞減的加權評分函數，所採用的函數為修改自地質統計常用的二次方程式模型 (Quadratic model; Golden Software, Inc, 1997)，其數學式如下：

$$\begin{aligned} \text{Cov} &= 1 - \left[2 \left(\frac{\text{xdis}}{50} \right) - \left(\frac{\text{xdis}}{50} \right)^2 \right] \\ &\quad \text{for xdis} < 50 \text{ 公里} \\ &= 0 \\ &\quad \text{for xdis} > 50 \text{ 公里} \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

上式中 Cov 為測站之覆蓋指數及 xdis 為參考地點離現有測站之距離。圖 2 所示在測站的所在地加樣評分為 1，依距離遞減至 50 公里為 0，依此標準可以將現有測站之覆蓋情形估計出來（圖 3）。

由測站分布之有效覆蓋圖可以明顯的看出，台北、宜蘭、花蓮及嘉南為速報測站覆蓋率較佳的地區，而中央山脈、西部海岸線及花蓮至台東的海岸線附近為覆蓋率較差的區域。而由此圖也可以看出

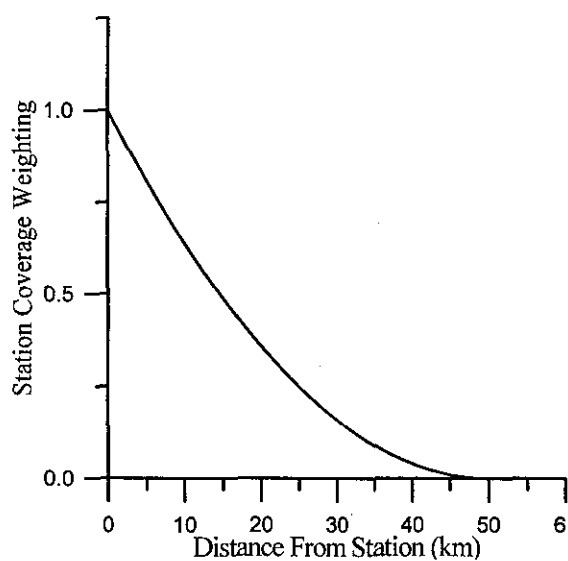


圖 2. 計算測站覆蓋率所用隨測站距離遞減之函數。
Figure 2. Function of station coverage used in this study.

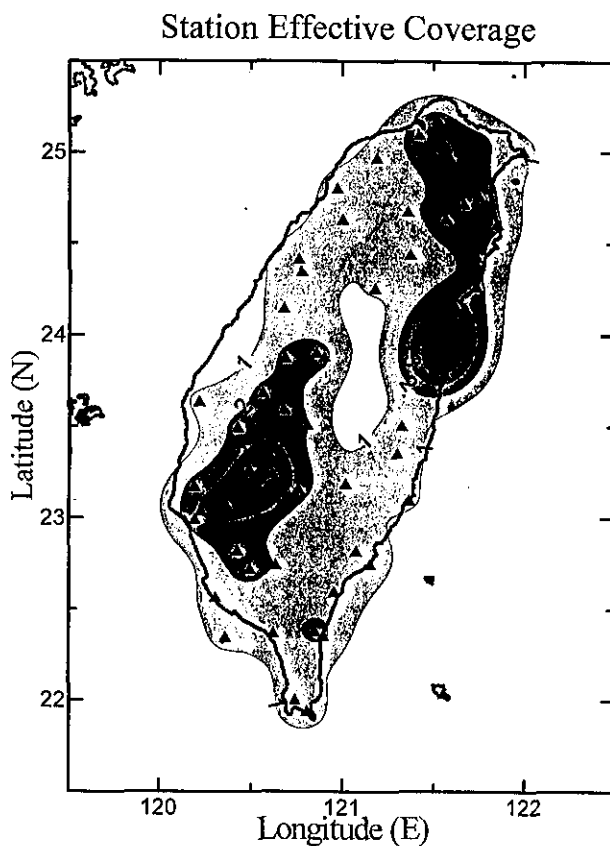


圖 3. 速報測站之覆蓋率分布圖，數值越高表示覆蓋越佳。
Figure 3. Distribution of effective station coverage of the TREIRS calculated in this study.

外島的測站（蘭嶼、澎湖及金門）對速報之偵測作業無法達成聯網的效果。儘管如此，這些外島測站對於提供震度以及地震定位仍有相當大的功能。

潛在破壞性地震 地震速報系統主要的觀測對象為破壞性地震，而破壞性地震與地震大小、地震位置及人口分布之情形有關。因此，要評估測站的最適化分布必先要將有破壞性潛能的地震予以定義及找出。破壞性地震與人口的分布有關，在台灣人口超過某一程度就會設立學校，所以學校的分布（圖 4）正可以顯示人口的分布。在本文中就用學校分布的位置為計算破壞性地震之依據。根據 Nakamura（1989）之研究及台灣震度的定義標準可以歸納出：地震規模大於 5.5 且對於某一地區

造成超過 80gal 的地表最大加速度，才有可能造成地震災害。是故本文將有破壞性潛能的地震稱為潛在破壞性地震，並定義為：規模大於 5.5 且依地動衰減公式（辛在勤，1998）計算在最近的學校造成有超過 80gal 的地表最大加速度之地震。從 1900 年至 1998 年符合此條件的地震有 204 筆（圖 4），這些地震將用以評估測站的最適化分布。

設站難易程度 影響觀測站設立的因子有電力、交通及電訊線路等之普及率，然而這些因子與人口的分布有絕對相關性。由上述可假設人口分布是與學校分布（圖 4）成正比，而且本局設立測站的對象也是以學校單位為優先，所以可以將學校視為設站難易程度之簡化因子。本文採用的學校主要

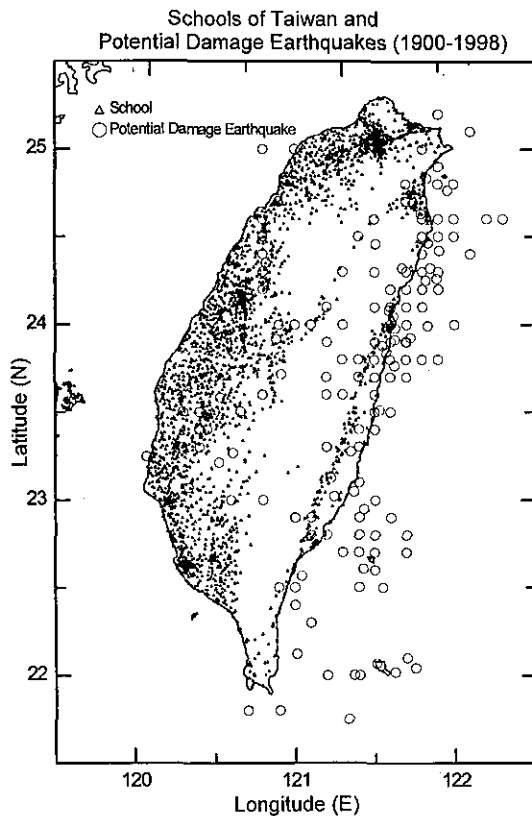


圖 4. 台灣地區學校之分布及本研究所選出 1900 至 1998 年之潛在破壞性地震。

Figure 4. School distribution of Taiwan and potential damage earthquakes were selected in this study from 1900 to 1998.

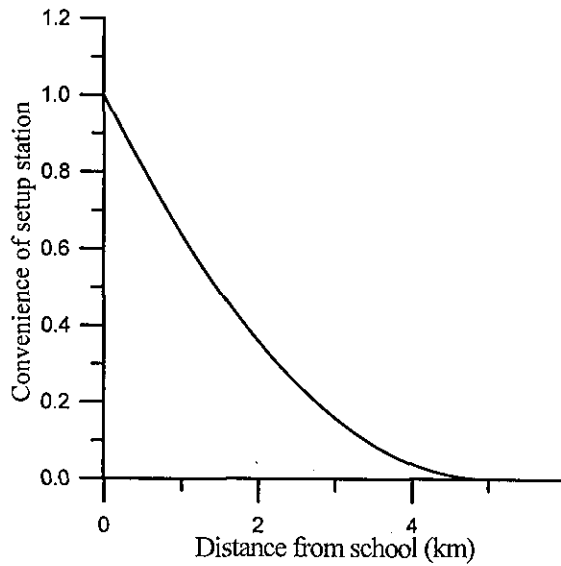


圖 5. 計算設站便利程度所用隨學校距離遞減之函數。

Figure 5. Function of convenience for setup seismic rapid reporting system station used in this study.

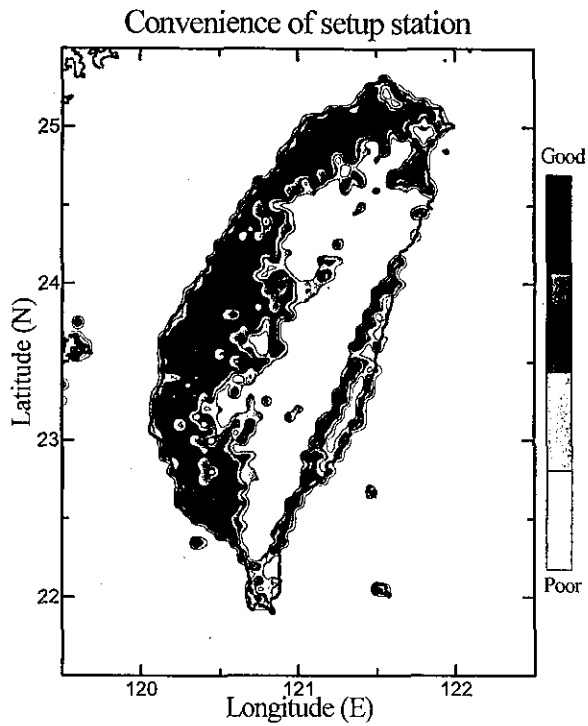


圖 6. 台灣地區設立測站便利程度之分布圖。

Figure 6. Distribution of convenience for setup seismic rapid reporting system station determined in this study.

以國民小學為主，而國民小學之設立主要以村里為單位，村里的幅員約可以 5 公里半徑代表，所以本文考慮測站難易程度為對學校距離遞減之函數如圖 5 所示，在學校的所在地其加權評分爲 1，依距離遞減至 5 公里爲 0。此函數也是修改自地質統計常用的二次方程式模型，其數學式如下：

$$S_{cov} = 1 - \left[2 \left(\frac{sdis}{50} \right) - \left(\frac{sdis}{50} \right)^2 \right]$$

for $sdis < 50$ 公里

$= 0$

for $sdis > 50$ 公里(2)

上式中 S_{cov} 爲設站便利指數及 $sdis$ 爲參考地點離學校之距離。依此可將台灣地區的設站難易程度圖計算出（圖 6）。由設站難易程度圖之分布可知主要不易設站的位置仍以高山為主，而根據以往的

觀測經驗，即使可以高山地區設立測站其觀測情形仍爲不理想。

最適化測站分布之計算：地震速報系統主要的觀測對象爲潛在破壞性地震，而目前速報之理想爲在地震發生後 10-15 秒就能有效分析及定位並提出初步報告 (Wu et al., 1998；吳逸民等，1998)，扣除 3-5 秒處理的時間，10 秒的時間 P 波的涵蓋範圍約爲震央半徑 50 公里之區域。因此，若要能有效地觀測該地震，半徑 50 公里內需要有足夠的地震站以及良好的測站分布。所以本文在分析最適化之測站分布，考慮每一設站場址對 204 筆潛在破壞性地震作以下的加權計算：

$$\text{Log}_{10} \left\{ \sum_{i=1}^{204} \left[\text{Gap}_i / 60 + (1 - \text{Nsta}_i / 8) + (1 - \text{Epd}_i / 50) \right] \right\} \dots\dots\dots(3)$$

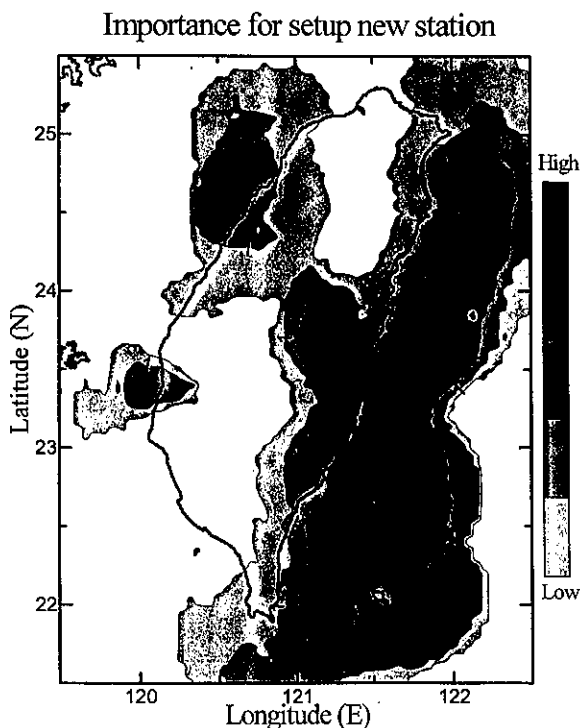


圖 7. 台灣地區增加測站之評分圖（未考慮測站便利程度及現有測站之覆蓋程度），數值越高表示越需要新增測站。

Figure 7. Importance index map for setup new station of seismic rapid reporting system (unconsidering the effect of convenience of setup seismic station and the existing stations' coverage).

Gap_i 為於該場址設站對現有測站之分布空餘夾角的改善角度。

$Nsta_i$ 為潛在破壞性地震對該場址之震央距離的半徑內，現有的測站數。

$Epdis_i$ 為潛在破壞性地震對該場址之震央距離。

此估計準主要的考量要為要設站之場址與潛在破壞性地震之震央距離若在 50 公里內則給予正的分數，超出則給予負的分數。對於潛在破壞性地震，若加入該測站對於 50 公里內測站分布空餘夾角 (GAP; Lee and Lahr, 1975) 有改善則給予正的評分，若否則給予負的分數。潛在破壞性地震對此場址之震央距離的半徑內，現有的測站數若少於 8 個則給予正的分數，超出則為負的分數。所用的方程式中三項因子以線性相加，其考慮為此三項因子所占的權重相當，就目前速報的角度而言，當

災害地震發生後於中央半徑 50 公里內至少有 6 個測站方能做有效的觀測，而此 6 個測站若能平均分佈震央之不同方位角 (GAP 最小)，方能得到最佳之定位結果。先前在考慮測站覆蓋率的計算時，係採用非線性之函數其比較能凸顯覆蓋率高與低之區域，而計算最適化測站分布則採用線性函數，其原因為採用線性函數較能平衡幾個考慮之因子，此為多次嘗試錯誤所得之結果。圖 7 為以此標準所計算的設站評分圖。由此評分圖可知在不考慮設站的便利性的情形下，花蓮市外海約 40 公里處及綠島地區為目前最需要考慮設立測站的地區，其次為整個東部外海、海岸山脈、中央山脈中段、嘉義沿海及苗栗沿海等地區。然而若考慮設站的便利性及現有測站的覆蓋率的情形下，設站的指標則略有不同 (圖 8)。圖 8 中深色所示為需要增加測站以加強

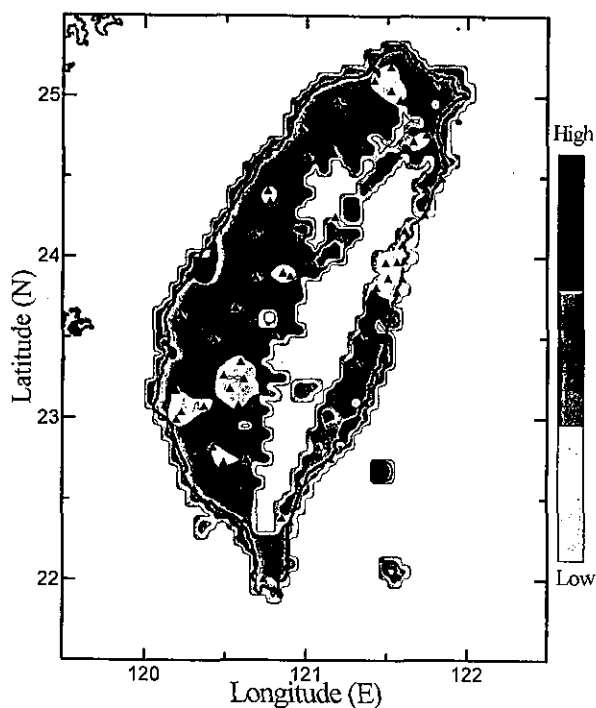


圖 8. 台灣地區增加測站之評分圖 (考慮測站便利程度及現有測站之覆蓋程度)，數值越高表示越需要新增測站。

Figure 8. Importance index map for setup new station of seismic rapid reporting system (considering the effect of convenience of setup seismic station and the existing stations' coverage).

Increasing & Decreasing station Areas of TREIRS

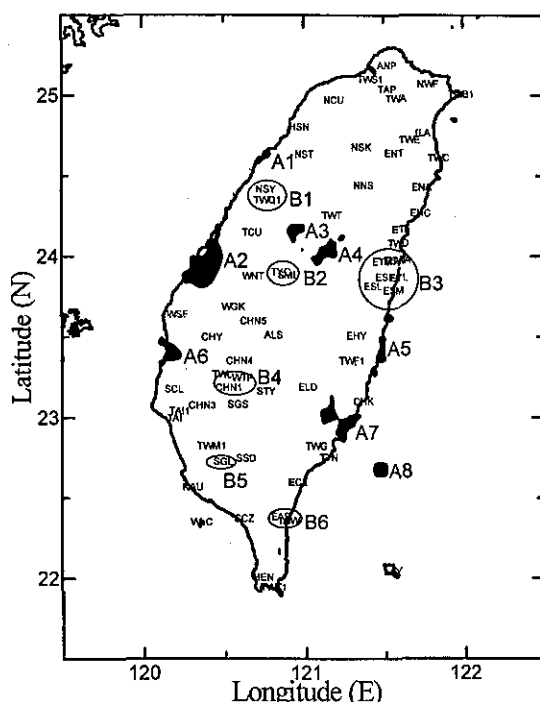


圖 9. 經本文評估後 8 處 (A1-A8) 需要增加測站及 6 處 (B1-B6) 可考慮減少測站之分布圖。
Figure 9. Distribution of eight areas (A1-A8) suggested to increase stations and six areas (B1-B6) to decrease stations.

觀測之區域，淺色區域則為設站困難度高或測站較為密集之區域。比較圖 7 及圖 8 可以知道海域的區域其設站的評分指數都降低至不易設站的等級，然後若要考慮設置海底地震儀，當然花蓮外海為最佳的選址位置。

三、討 論

本文分析現有測站之覆蓋率、1900 至 1998 年之潛在破壞性地震及設立測站之難易程度，並且考慮速報測站對於都會區之加強觀測，共歸納出 8 處應該加強觀測的區域，如圖 9 所標示 A1 至 A8。相對的，有 6 處可以考慮移除部分測站的區域，如圖 9 中所標示 B1 至 B6。在 8 處應該加強觀測的區域中，以綠島為第一級要加強的地區，於綠島增設測站不僅能加強東南地區的測震聯網情

形，對於定位品質的改善也有良好的效果 (Wu et al., 1997)。其餘 7 處地區雖不及於綠島地區設立測站急迫，然而從長期的速報規劃而言也是刻不容緩。對於 6 處可以考慮減站的區域主要分布於台灣的中南段。北部的台北市、宜蘭市及南部的台南市雖然在評估中列為較密集的區域，但基於速報測站於都會區的重要性不列入減站的區域。而這幾個測站增減區域之細述如下：

1. 台灣的中段地區可以考慮減站的區域有 3 處 (圖 9 中標示 B1-B3 區)，要加強觀測的區域有 5 處 (圖 9 中標示 A1-A5 區)。標示 B1 之區域有三義 (NSY) 及鯉魚潭 (TWQ1) 2 個靠近的測站，此 2 測站可考慮遷移一測站至 A1 或 A3 的區域。標示 A2 的

區域為目前可設站的範圍內速報測站分布較大的空白區。標示 A2 的區域為目前可設站的範圍內速報測站分布較大的空白區，在該區增加測站是必要的，一方面可增加速報測站的覆蓋率，另一分面對於西部沿海一帶震度的觀也有相當大的幫助。對於標示 B2 的區域由於魚池 (TYC) 及日月潭 (SML) 兩個靠近的測站，而評估為要減站的區域，日月潭為氣象局所屬的有人測站易於管理，因此可考慮將魚池測站遷移至 A3 或 A4 的區域。圖 9 中標示 B3 的區域為花蓮速報的加強區，因此，此區為目前速報測站最密的區域，於此區設立如此多的測站，其主要受 1986 年 11 月 14 日規模 6.8 花蓮地震之影響。而目前 B3 圈住的區域中已設立有 7 個測站，從長遠的規劃而言，若能將其中 2 個測站遷移至 A5 之區域，則更能並重花蓮地區網的密集性及速報區域網的全面性，此舉對於花蓮地區的地震定位也有相當大的幫助。

2. 台灣南段地區可以考慮減站的區域有 3 處（圖 9 中標示 B4-B6 區）及 3 處（圖 9 中標示 A6-A8 處）需要加強觀測。B4 區之大埔 (WTP) 及楠栖 (CHN1) 兩站和 B5 區的九如站 (SGL) 等 3 站，此 3 站其所在的鄰近有較多的測站，因此可以考慮遷移 1 站至 A6 區及移除另外 2 站。B6 區之大武 (TAW) 及安朔 (EAS) 站，由於過於靠近可考慮移除其中一站，大武站為氣象局所屬有人測站易於管理，因此可將安朔站遷移，將安朔站遷移至 A7 的區域，或是遷移到大武及恆春中間都是不錯的位址。A7 的加強觀測區域可考慮增加 1 站於縱谷側或海岸側，或者於縱谷側及海岸側各設 1 測站。A8 為一加強觀測區域位於綠島，如前所述為目前第一優先考慮設站的地區。

四、結 論

速報測站主要是以 CWBSN 為基礎建立測站，CWBSN 之測站主要為結合中央氣象局舊有之地震站及 TTSN 之測站，因此在測站的分布有

其重複性及不均勻性。因此，本文分析現有測站之覆蓋率、設站地點對於地震減災之重要性、1900 至 1998 年之潛在破壞性地震及設立測站之難易程度探討最適化的測站分布。根據本文的分析，歸納出 8 個應該增加測站加強觀測的區域及 6 處可以考慮移除部分測站之區域。速報測站的設立與一般地震觀測站有不同之標準，雖然目前的速報測站是以 CWBSN 為基礎建立，然而若能經適當的調整測站分布，則更能有效從事地震速報之工作。

五、誌 謝

感謝中央大學應用地質研究所李錫堤教授提供本文所用之部分數據及地震中心同仁鄭文彬博士和何美儀小姐校訂文字之錯誤。

參考文獻

- 辛在勤，1998：台灣地區地震預警之初探。氣象學報四十二卷第二期，118-134 頁。
- 吳逸民、鍾仁光、陳承俊、辛在勤、蔡義本，1998：以區域強震網從事地震速報之研究—花蓮子網。氣象學報（已接受）。
- Lee, W. H. K. and J. C. Lahr, 1975: HYPO71(REVISED):A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes, U.S. Geol. Surv. Open-File Rept. 75-311, 114pp.
- Nakamura, Y., 1989: Earthquake alarm system for Japan railways. *Japanese Railway Engineering*, 109, 1-7.
- Golden Software, Inc., 1997: SURFER for Windows- User's guide (Version 6). Golden Software, Inc., Colorado, U.S.A..
- Teng, T. L., Y. M. Wu, T. C. Shin, Y. B. Tsai, and W. H. K. Lee, 1997: One minute after: strong-motion map, effective epicenter, and effective magnitude. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 87, 1209-1219.
- Wu, Y. M., C. C. Chen, T. C. Shin, Y. B. Tsai, W. H. K. Lee, and T. L. Teng, 1997: Taiwan Rapid Earthquake Informa-

tion Release System, Seism. Res. Lett.,
68, 931-943.
Wu, Y. M., T. C. Shin, and Y. B. Tsai,

1998:Quick and reliable determination
of magnitude for seismic early warning,
Bull. Seism. Soc. Am., 88, 1254-1259.

OPTIMIZATION OF STATION DISTRIBUTION OF THE TAIWAN RAPID EARTHQUAKE INFORMATION RELEASE SYSTEM

Yih-Min Wu

Seismology Center, Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan

Tzay-Chyn Shin

Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan

Yi-Ben Tsai

Institute of Geophysics, National Central University, Chung-li, Taiwan

ABSTRACT

In this study, we investigated the optimization of station deployment of the Taiwan Rapid Earthquake Information Release System (TREIRS) by analyzing the existing station coverage, potential damage earthquake from 1900 to 1998, and easiness of setup seismic rapid reporting station. The results suggested that there are eight areas should add new stations and remove a few stations from six dense coverage areas.

Keywords: Earthquake, Seismic Rapid Reporting System, and Potential Damage Earthquake.

紫外線指數的分析與預報

馮 欽 賜

中央氣象局氣象科技研究中心

楊 明 仁

中國文化大學大氣科學系

摘 要

成功的紫外線指數 (UVI) 預報, 有賴於對雲衰減作用的正確預估。鑑於雲量將會成為氣象局每日預報的對象, 本研究分析台北和台東成功兩測站自 1994 年至 1996 年的紫外線指數資料與對應時間目測的雲量之關係, 希望由此進一步提出根據雲量預報資料從事紫外線指數預報的方法。

在研究方法上, 首先從紫外線指數分離出雲效應的影響, 由觀測資料的分析取得各測站晴天時 UVI 的估計值, 再以觀測 UVI 與晴天 UVI 之比值定義一個雲衰減因子, 並歸納雲量為四個類別(1)晴天(2)疏雲(3)多雲(4)陰天, 將雲衰減因子與雲量的相關性定量化。根據這些統計特性, 提出本研究以雲量為基礎的紫外線預報法。預報技術的測試顯示, 本研究之預報法的表現在台北和成功兩測站的誤差均方根分別為 1.72 及 1.85, 其中絕對誤差在 1 以內的準確個案占 60 % 左右。此外, 無論對應的 UVI 觀測值是大或小, UVI 預報值的絕對誤差範圍表現都相當平均, 顯示本預報法在各種條件下都能保持一定的預報水準。

一、前 言

在尚未受介質影響之大氣層頂, 若垂直於太陽入射光, 太陽輻射的整體能量估計是 1367W/m^2 左右, 其中 40 % 座落於 $0.4 \sim 0.7 \mu\text{m}$ 波長的可見光區, 50 % 屬於波長大於 $0.7 \mu\text{m}$ 的紅外光區, 而波長小於 $0.4 \mu\text{m}$ 的太陽輻射能量大約只占 10 %, 這正是與地球生物圈活動息息相關的紫外線 (ultraviolet, 簡稱 UV) 輻射。對人類而言, 適量的紫外線照射會幫助人體製造維他命 D 而有益健康, 不過時常曝曬過多的紫外線卻會造成傷害, 輕者皮膚曬傷, 嚴重時會抑制人的免疫系統並且可能導致基因突變增加人體發生皮膚癌的風險。

紫外線輻射又可根據波長細分為 UV-C (波長小於 280nm , $\text{nm} = 0.001 \mu\text{m}$)、UV-B (波長介於 $280\text{nm} \sim 320\text{nm}$) 和 UV-A (波長大於 320nm) 三個波段, 基本上波長越短的紫外線對人類的潛在危害也就越嚴重, 不過同時穿透大

氣層到達地面的紫外線隨著波長變短也快速遞減。對 UV-C 波段, 由於平流層臭氧對紫外線此波段具有極強的吸收能力, 使到達地層生物圈的 UV-C 幾乎為零不會產生任何威脅性。因此, 一般學術研究對於紫外線對人體威脅的探討, 便主要將注意力置於 UV-B 波段之上。尤其, 到達對流層 UV-B 波段相當敏感於平流層臭氧濃度的變動, 因此近十幾年來平流層臭氧量因人類之氟氯碳化物污染而減少的趨勢, 是否連帶使到達地表 UV-B 輻射強度增加, 已成為目前全球紫外線監測工作希望瞭解證實的重要課題 (柳, 1998)。

圖 1 是北緯 40° 夏至 (6 月 22 日) 時, 僅考慮大氣具有 300DU ($1 \text{ DU} = 10^{-6} \text{ atm cm}$) 臭氧濃度條件下, 到達地面的紫外線波譜輻射強度 ($\text{mW m}^{-2} \text{ nm}^{-1}$)。UV-B 波段的輻射強度隨波長變短急速減弱, 290nm 波長的輻射強度只有 320nm 的百萬分之一。反之, UV-A 波段的輻射強度由於對臭氧層穿透性強故隨波長的變化甚為輕微, 本身受臭氧變動的影響也就不明顯。圖 1 中同

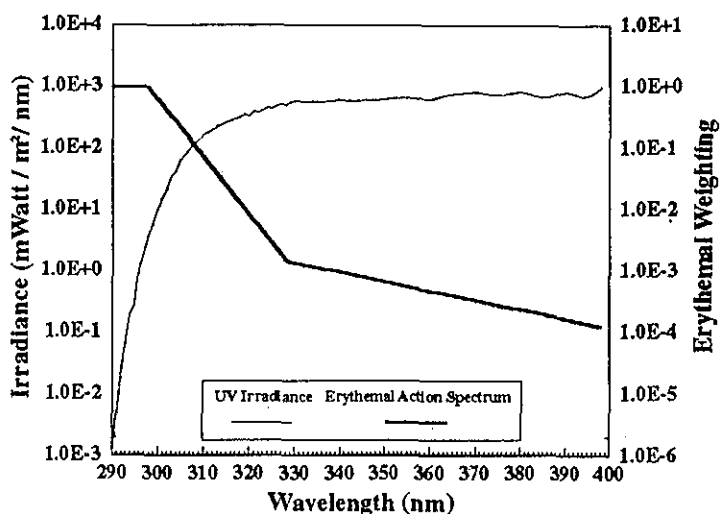


圖 1 北緯 40 度夏至（6 月 22 日）時，僅考慮大氣具有 300DU（ $1\text{DU} = 10^{-6} \text{ atm cm}$ ）條件下，到達地面的紫外線波譜輻射強度（ $\text{mW m}^{-2} \text{ nm}^{-1}$ ）分布（細曲線）。圖中另一（粗）曲線代表皮膚紅斑作用權重分布。（取自 Long et al.，1996）

時呈列的另一條曲線，是國際上廣泛採用的皮膚紅斑作用光譜 (erythral action spectrum) 曲線，它代表一般皮膚在此紫外線波段照射下致紅的反應程度。其中，最易使皮膚致紅的 280nm 至 298nm 波段，在紅斑作用光譜的權重指數為 1，當波長變長權重指數則快速減少，至波長 400nm 權重只剩萬分之一。若將紫外線波譜輻射強度乘上紅斑作用

光譜的權重，如圖 2 所示，便得到一種量測不同紫外線波段對皮膚傷害程度的客觀分布，從圖 2 可知最有效傷害皮膚的區間正是屬於 UV-B 波段。進一步，將圖 2 曲線沿波譜積分所獲得的輻射量，我們稱為「危險紫外線輻射量」（damaging UV value，簡稱 DUV）單位是 mW/m^2 ，一般所謂「紫外線指數」（UV index，簡稱 UVI）即是

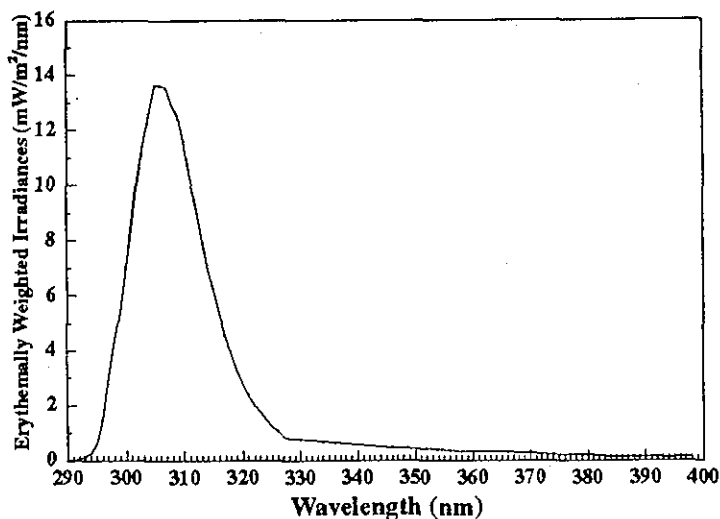


圖 2 紫外線波譜輻射強度乘上紅斑作用權重之後的波譜分布。（取自 Long et al.，1996）

根據此量換算而來。按照世界氣象組織（WMO）於 1994 年製作的紫外線指數定義，規定以正午時觀測的 DUV 除以 25mW/m^2 所算得的無單位值定義為紫外線指數。美國環保署為促進民眾對紫外線指數的認知與運用，將紫外線指數做了微量（0～2）、低量（3～4）、中量（5～6）、過量（7～9）及危害（10 以上）等級分類及提出相關的防範說明（Long et al. 1996）。目前國內，亦根據類似的作法宣導紫外線指數的應用。

國內對紫外線的監測，首先是中央氣象局在台北測站對原本僅做臭氧含量觀測的布魯爾分光儀（Brewer spectrophotometer）上，增加了紫外線觀測的功能，並同時在台東成功測站增設相同設施，而開始這方面的紫外線監測工作。近年來紫外線監測網已逐漸擴建於全台灣，在中央氣象局的台中、嘉義、阿里山、高雄、恆春、花蓮和台東等測站亦裝置紫外線輻射儀。此外，由於人們對生活品質的重視及隔週週休二日戶外活動日益增多，為了加強對民眾提供紫外線訊息的服務，中央氣象局並與國內環境品質文教基金會及環保署共同合作，自民國 86 年起也發布紫外線的隔日預報給大眾參考，這使得紫外線指數如天氣預報般，成為民眾平日經常關心的訊息。

目前內使用的紫外線預報方法是由環境品質文教基金會與台灣大學全球變遷中心柳中明教授共同合作研發的（劉等，1997）。方法上，他們先以輻射傳遞模式利用已知的臭氧及大氣觀測剖面，估算晴朗無雲且無懸浮微粒條件下的地面紫外線含量，然後再依統計迴歸公式求得隔日天氣狀況對前述紫外線的可能衰減量，綜合預報出明日之紫外線指數。基本上，除了平流層的臭氧之外，對紫外線傳輸過程具有衰減作用的因子為雲及懸浮微粒，而雲的效應尤著。因此，紫外線指數預報的成功與否，端視對雲效應的預估正確與否而定。基於中央氣象局尚未提供與雲直接相關的預報訊息，劉等則採用明日預測降雨率、明日預測溫差及明日預測最高溫等間接預報因子，組成統計迴歸公式來推估雲的衰減作用。經由校驗，雖然顯示這種方法有具參考的預報能力，但紫外線指數預報誤差表現，以誤差均方根值而言，大約仍維持於 2～3 之間。最

近，柳等（1998）在原方法中再加入氣象人員的主觀預報調整迴歸公式求得的衰減量，結果顯示對降低紫外線指數預誤差有不錯的助益。

當然，為有效地提高紫外線指數預報的準確度，較佳的方法仍是直接尋求與雲因子相關的統計方式。目前，氣象局正積極發展的統計預報項目中，雲量即是其中之一，不久將來雲量會成為每日預報的對象，因而若能未雨綢繆透由先期研究尋找一種與雲量相關的紫外線指數預報方法，將可提供未來改進現今方法的一種參考和選擇。有鑑於此，本研究將對測站的紫外線指數資料及對應時間目測的雲量資料加以分析，希望由此進一步提出紫外線指數與雲量之間的預報方法。雖然，影響紫外線輻射的雲效應不單只有雲量因子，尚包含許多諸如雲厚、雲類和雲滴成分等等複雜因素，但畢竟雲量仍代表著一個最直接有效的衰減作用。以美國為例，該國氣象局採用雲量預報因子為基礎的方式進行紫外線指數預報，整體預報表現相當不錯，有四分之三的預報其誤差都僅落在 1 UVI 以內（Long et al., 1996）。

本研究是採用台北及台東成功兩測站自 1994 年至 1996 年共三年的觀測資料，包含每日正午的 DUV 值、對應的目視雲量觀測及該日測得的臭氧含量，下一節將較詳盡說明此觀測資料。第三節是關紫外線指數與雲量之間的分析結果。在第四節提出以雲量為基礎的紫外線指數預報方法。最後，是本文結論。

二、觀測資料

此研究採用的觀測資料，取自台北及台東成功兩測站自 1994 年至 1996 年關於每日正午的 DUV 值、對應的目視雲量觀測及該日測得的臭氧含量三種資料。這兩個測站都是使用布魯爾分光光譜儀，同時量測大氣臭氧含量及紫外線輻射強度。布魯爾分光光譜儀是現今世界最普遍採用的一種掃描式光譜儀，係由加拿大 SCITEC 公司製造，它利用臭氧對紫外光的吸收特性，藉由儀器感應的太陽之紫外光輻射強度，加以推算大氣氣柱的臭氧全量，此外若加裝了紫外線監測器，它能詳細量測到間隔 0.5nm 波段的紫外線輻射通量密度沿光譜之

分布，此值經過紅斑作用光譜的加權計算及積分後，即求得 DUV。這種儀器相當精密，約數分鐘完成一次觀測，它可以準確獲得各窄波段的觀測值，不過無論售價和校正維護上都偏高，因此國內只在台北和台東成功設有該型儀器，其餘測站之監測則使用美國 SOLAR LIGHT 公司的寬波紫外線輻射儀。

圖 3 與圖 4 分別是每日臭氧含量及 UVI 觀測值（由 DUV 換算）在兩測站上之對應分布。圖 3 顯示大多數時間台北測站的臭氧含量都較台東成功測站為高，最多可相差 10 % 左右。由於兩測站的相距位置應不至於產生平流層臭氧層顯著差別，因此對流層臭氧濃度的不同可能是關鍵，而這又應與兩地污染程度及成分的不同密切相關。其次，圖 4 關於 UVI 值的分布，則顯示大多數時間台北測站都較台東成功測站為低，由於影響 UVI 值包括當時雲因子，懸浮微粒，甚至臭氧含量（如圖 3）這些潛在的因素，使得圖中點的散布範圍極大。

圖 5 與圖 6 分別是兩測站三年期間臭氧含量及 UVI 觀測值之每日變化。基本上，大氣臭氧含量與 UVI 最大值的波動都具有夏季最高而冬季最低，隨季節變化的性質，這現象都是反映入射太陽短波輻射強弱之季節變化。

測站的雲量目視觀測根據標準時每 3 小時進行一次，因此取自最接近正午的 11 時觀測為分析的目標，假設正午的雲量條件與此相同。雲量紀錄為按十分法估測之結果。

三、紫外線指數與雲量一分析方法與結果

基本上，大氣（平流層）中臭氧含量的日變化並不明顯，毫無疑問地導致地面紫外線指數日變化的關鍵，來自對流層大氣雲和懸浮微粒等條件的日變化。因而，分析紫外線指數可以從分離後者的影響著手，再進一步探討其與雲量變動之間的相關性。基於此，我們可以在忽略大氣雲和懸浮微粒等

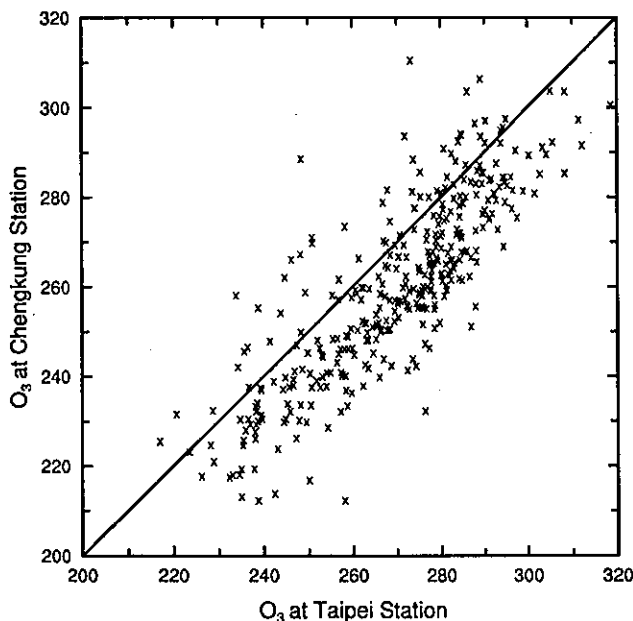


圖 3 台北和台東成功兩測站同日臭氧 (O₃) 觀測值之對應分布。

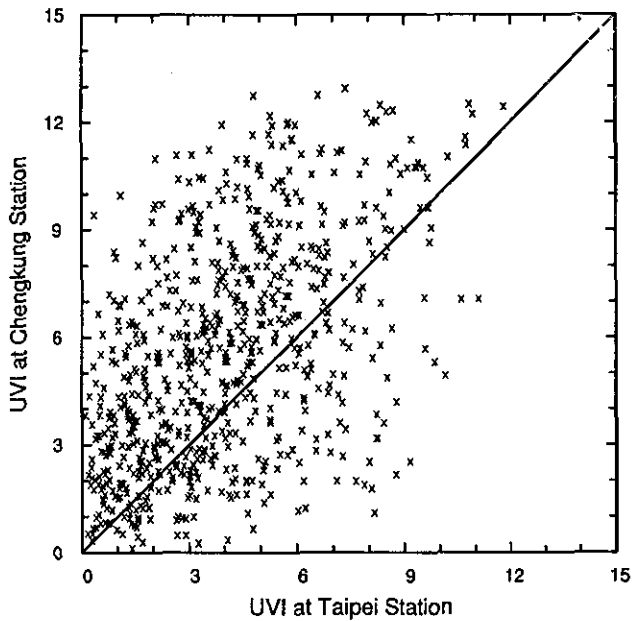


圖 4 台北和台東成功兩測站同日 UVI 觀測值之對應分布。

因子的作用下，先求得這種晴天且潔淨大氣環境的理想地面紫外線指數，再依此量評估其它因素的衰減作用。

理論上，在晴朗潔淨的大氣環境，紫外光線的傳遞過程主要受到臭氧吸收與分子雷氏散射效應兩種衰減作用，若已知大氣、臭氧剖面 and 天頂角，則利用精確的窄頻輻射模式可以相當合理地計算出這時地面的紫外輻射通量密度，以及連帶地換算出 DUV 和 UVI 值。劉等（1996）正是運用這種計算程序求得晴朗條件的 UVI 值再加以修正。然而，這種方法的缺點是對晴朗時的 UVI 預測，往往無法合理考慮該地背景之懸浮微粒對 UVI 的影響，尤其在較空氣污染嚴重的城市區域，晴日下懸浮微粒對 UVI 的遞減是相當顯著的，從本研究比較台北和台東成功兩測站的晴日 UVI，即發現兩者平均可相差 1 ~ 2 UVI 值（見下文討論）。

在這裏，我們採取另一種方式，直接由觀測資料的分析整理取得各測站晴天時 UVI（DUV）的估計值，它的好處在於把測站地區的懸浮微粒效應隱含在內。由於，入射太陽輻射隨天頂角變化，

加上從圖 5 顯示兩測站大氣臭氧含量具有隨季節變化的性質，以及從過去 Liu and Feng（1990）對台灣懸浮微粒濃度的調查研究也表現出清楚的季節起伏，因此我們假設測站於晴天時量測之 UVI（DUV）可以被歸納簡化為僅是天頂角的函數。根據此概念，針對兩測站三年的 UVI 觀測資料及對應天頂角，分析搜尋不同天頂角範圍之下最大的 UVI 值（方法上，取距最大出現值之 10 % 內的 UVI 值平均），假設這些值都出現在晴天，那麼隨天頂角變化的最大 UVI 值應可以確反映測站在一般無雲但有常態懸浮微粒濃度下的晴天 UVI 值。

圖 6 中的曲線即是按照上述方法產生的晴天 UVI 值分布。圖中顯示晴天 UVI 值相當合理地反映著測站所可發生的最大 UVI 值，幾乎所有實測的 UVI 值都落在其內或邊緣。換句話說，測站晴朗時的實測 UVI 值應會很接近圖中對應天頂角的晴天 UVI 值，因為此時估計的晴天 UVI 值已包含測站平均的大氣懸浮微粒效應。表 1 進一步將兩測站的晴天 UVI（DUV）值，以不同天頂角範圍作了一些劃分整理，顯現兩測站之間晴天 UVI

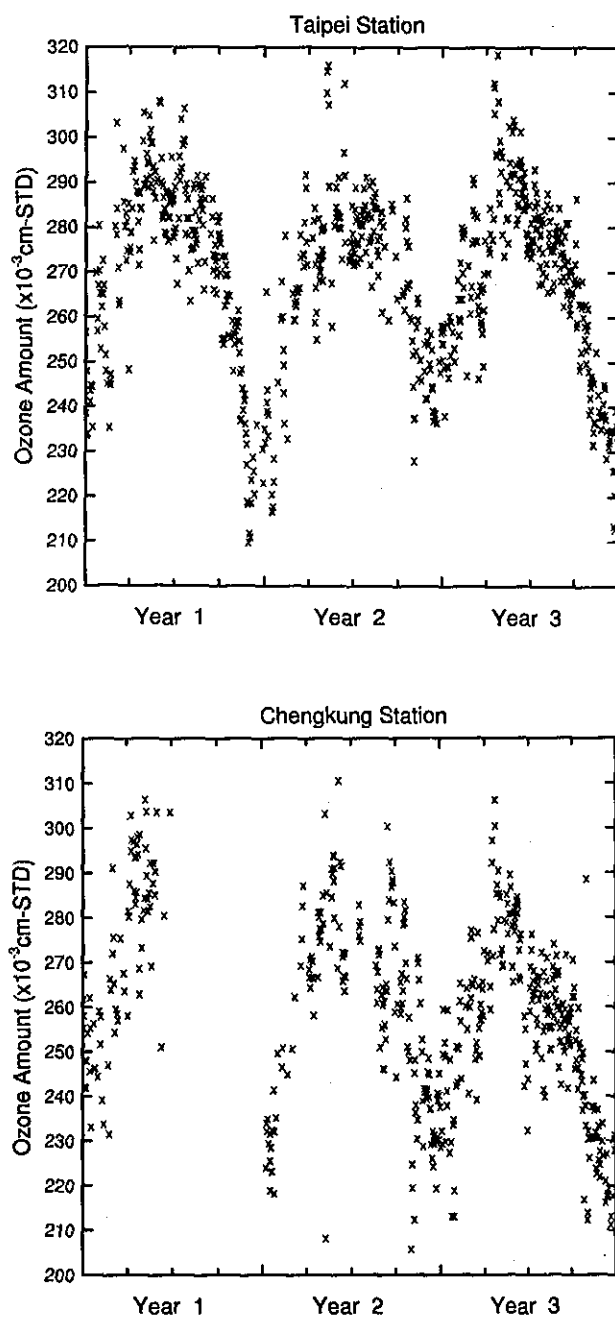


圖 5 測站大氣臭氧含量在三年期間之變化分布。

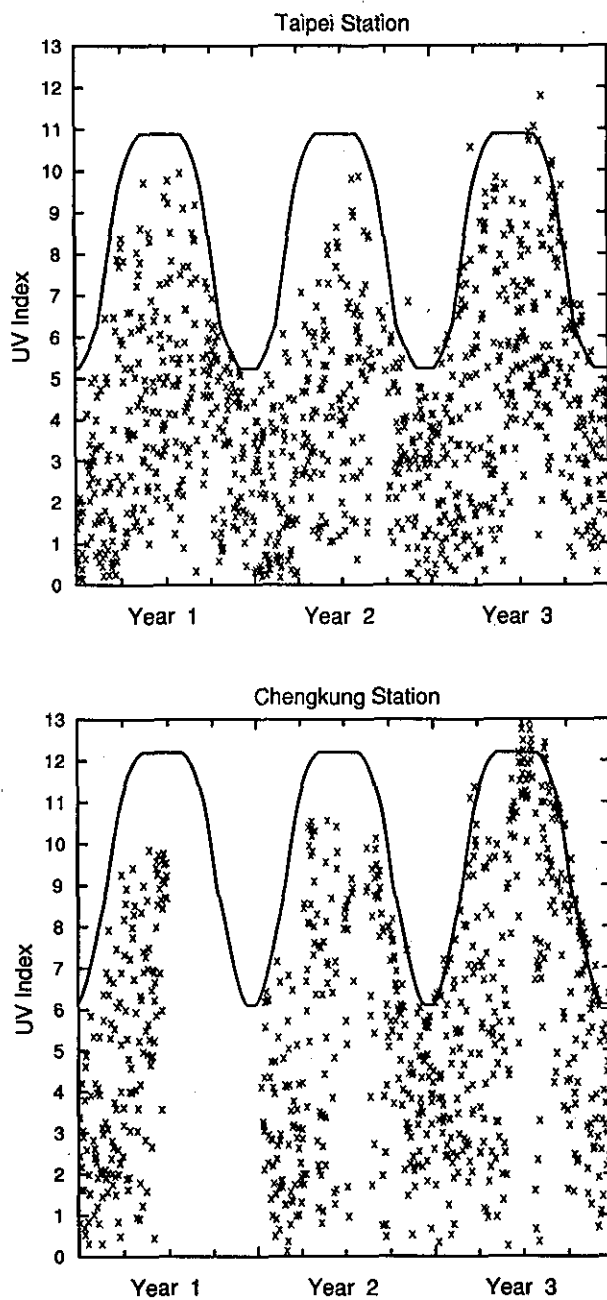


圖 6 測站三年期間每日觀測 UVI 值之分布。其中，曲線代表晴天 UVI 值之分布，該值之估算見內文說明。

表 1 測站的晴天 UVI 值 (無單位量) 於不同天頂角範圍內之平均值。括號內是 DUV 值，單位 mW/m^2 。

\cos (天頂角)	1.0~0.95	0.95~0.90	0.90~0.85	0.85~0.70	0.70~0.65
台北測站	10.9 (271.9)	9.6 (240.2)	8.5 (213.2)	6.3 (157.0)	5.2 (131.0)
成功測站	12.2 (305.1)	10.8 (269.0)	9.0 (224.5)	8.1 (201.8)	6.1 (152.9)

(DUV) 值的差異。表中對照清楚指示在類似天頂角下，台北測站所反映的晴天 UVI (DUV) 值都比台東成功測站小，以 UVI 值而言相距大約 1 ~ 2 指數左右，在晴朗條件能達 10 ~ 20 % 的差距，顯示兩地大氣懸浮微粒的濃度有極大差異。定性上，這現象與 Liu and Feng (1990) 計算台北及台東兩測站自 1982 到 1987 的平均懸浮微粒光程，發現台北的懸浮微粒光程是台東兩倍的結果不謀而合。此外，Liu and Feng 也發現春秋是城市地區懸浮微粒光程的高峰期，值得注意的是表 1 大約代表春秋之際的天頂角範圍 0.85 ~ 0.7 之間似乎也出現兩者最顯著的差距。

接著，使用晴天的 UVI 值定義一個所謂雲衰減因子 (Cloud Attenuation Factor，簡稱 CAF) 如下：

$$\text{CAF} = \frac{\text{觀測 UVI}}{\text{晴天 UVI}}$$

若 CAF 大於 1，假設為 1。UVI 代表雲對紫外線輻射的影響程度。兩測站每日的 CAF 值與對應目視雲量之間對應關係的分布，如圖 7 所示。圖中顯示大體上 CAF 值隨著雲量增加有逐漸遞減的趨勢，尤其對於每一雲量區間所發生的 CAF 最小值，其遞減的走勢相當清楚，不過反觀同區間出現的 CAF 最大值區並未隨著雲量分布而有明顯變小的現象，這使得 CAF 的上下值域範圍隨雲量增多逐漸變寬。這現象可能肇因於當雲量愈多時，雲的不確定因素也就愈複雜而多樣，其中包括了雲厚、雲類以及人為對雲量目視的差異性。

建立定量化 UVI 值與雲量相關性的問題上，

我們仿照美國氣象局的作法 (Long et al.，1996)，先將雲量歸納四個類別(1)晴天 (目視雲量介於 0 ~ 1/10)，(2)疏雲 (目視雲量介於 2/10 ~ 5/10)，(3)多雲 (目視雲量介於 6/10 ~ 8/10)，(4)陰天 (雲量介於 9/10 ~ 10/10)。然後，統合每一類所有個案的 CAF 並計算其總體平均 CAF 值和前 25 % 及後 25 % 之平均 CAF 值，如表 2 所列，這些代表性的 CAF 值將作為下一節 UVI 預報方法中定量雲衰減效應的基礎。表中 CAF 各種平均值在晴天和疏雲兩類中差別不大，而且這些類別 CAF 值前 25 % 平均接近 1 但後 25 % 平均卻降至 0.6 ~ 0.5 左右，這可能與雲量較少時觀測當時角度之紫外線受雲遮蔽機率較隨機有關，此外伴隨的天氣型態也可能出現高層薄卷雲在雲量上較不被定義或目視。當雲分布轉成多雲及陰天，CAF 平均值的變化就明顯許多，以總體 CAF 平均值而言，從疏雲的 0.8 左右降至多雲的 0.6 之間及陰天的 0.35。另一方面，鑑於比較兩測站 CAF 值在隨雲分類的變化上有其相似性，因此將兩測站的結果加以合成，如表 2 (c) 部分。在下一節的 UVI 預報方法，將測試測站使用合成的 CAF 值與雲量之關係分布以及使用各別分布對其 UVI 預報效果的影響。

四、紫外線指數與雲量—預報方法和測試

觀念上，所謂的預報方法必須在預報技術上優於持續法才有應用價值。因此，以持續法為預報方法所獲得的預報技術，會作為本節提出另外預報方

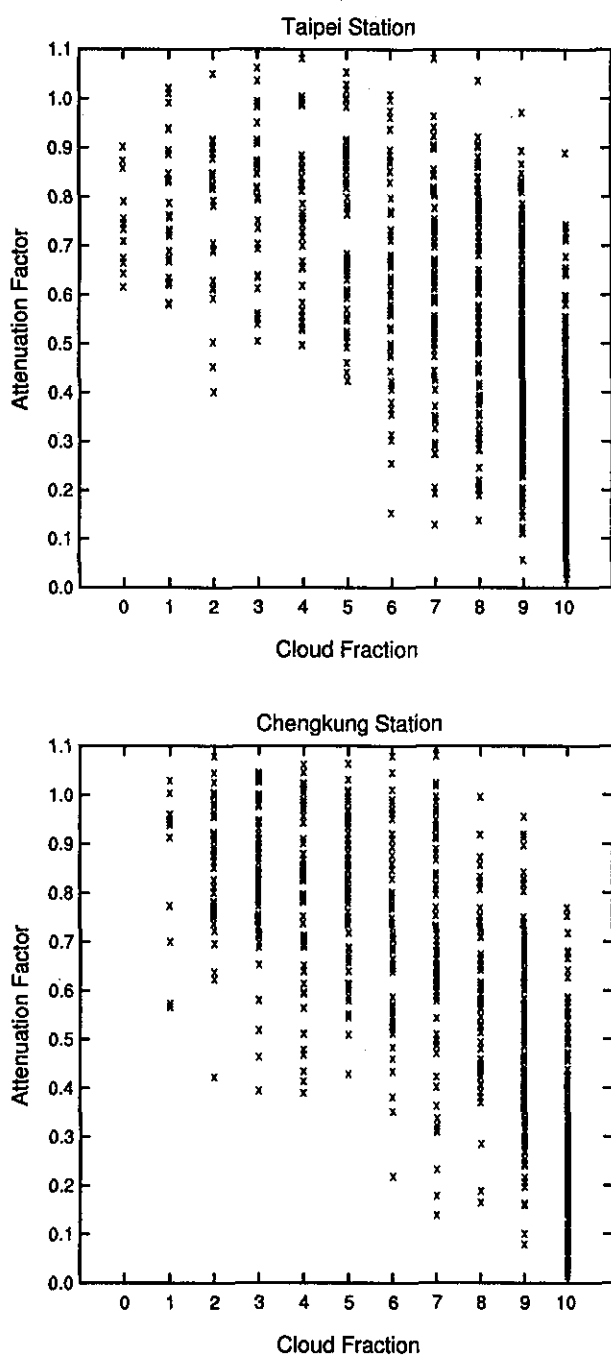


圖 7 測站每日的 CAF 值與目視雲量之間對應關係的分布。

表 2 測站 CAF 值在不同雲類條件下的各種統計平均值。前 25 % 是指前 1/4CAF 值較大的個案，反之後 25 % 指後 1/4CAF 值較小的個案。晴天的雲量介於 0 至 1/10，疏雲是 2/10 至 5/10，多雲是 6/10 至 8/10，陰天是 9/10 至 10/10。

雲類屬性	晴天	疏雲	多雲	陰天
(a)台北測站				
總平均	0.78	0.77	0.60	0.35
前 25%平均	0.95	0.97	0.86	0.64
後 25%平均	0.61	0.54	0.32	0.11
(b)成功測站				
總平均	0.86	0.81	0.67	0.35
前 25%平均	0.99	0.98	0.92	0.62
後 25%平均	0.62	0.62	0.62	0.13
(c)台北和成功測站的合成				
總平均	0.80	0.80	0.63	0.35
前 25%平均	0.96	0.98	0.89	0.63
後 25%平均	0.61	0.59	0.36	0.11

法的檢試基礎。

基本上，持續法的劣勢在於無法掌握天氣系統消長所產生的 UVI 值變化，因此我們構想的預報方法希望能一方面維持持續法內含的預報技術，另一方面補強它的缺點。依此概念並根據前一節 CAF 值與雲量的定量分布，我們提出一種簡單的預報方法，步驟敘述如下：

步驟一：先取得已知的紫外線資料包括(1)估算明日的晴天 UVI 值：為了方便應用，我們將晴天 UVI 值製作成表列，如表 3，可以簡單依據日期查尋對應值。(2)當天正午的 UVI 觀測值。

步驟二：預報明天的雲量並判斷其隸屬的雲量分類（晴、疏雲、多雲或陰天）。

步驟三：依據步驟二預報的雲量分類找出表 2 中對應的 CAF 值。方法上，預報人員從經驗的累積可幫助選擇適當的 CAF 值，其值應介於表中前 25 % 平均值至 25 % 平均值，或者直接採用總體平均 CAF 值。

步驟四：將該 CAF 值乘以明日晴天 UVI 值，我們稱此為明日的初步 UVI 預報值。

步驟五：若明天所預報的雲量屬性與今天相同或近似，預報人員可在當天的 UVI 觀測值和初步 UVI 預報值之間判斷適當的明日 UVI 預報值，或者可取兩者平均或直接沿用當日的 UVI 觀測。這個概念是希望以持續法加強預報的技術。反之明日雲量屬性將變化，以初步 UVI 預報值直接作為明日 UVI 預報值。

利用上述的預報程序，以目前 1995 至 1997 年的觀測進行基本測試，瞭解它具有的預報技術及誤差表現。關於步驟二預報明日雲量屬性的問題，測試過程直接採用測站隔日的雲量觀測當作預報，因此這預報成效包含著預報員能相當準確預測隔日雲量的假設。其次，在 CAF 值的判斷逕取用總體平均值。圖 8 是測試過程的計算流程。

表 4 是兩測站的預報測試結果，其中結果又因 CAF 值採用的策略不同而分兩種。結果顯示，本

表 3 表列測站對應日期之晴天 UVI 值。

(a) 台北測站

日期	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1	5.2	5.8	7.4	9.7	10.7	10.9	10.9	10.9	10.1	8.2	6.0	5.3
2	5.2	5.8	7.5	9.8	10.7	10.9	10.9	10.9	10.1	8.1	6.0	5.3
3	5.2	5.9	7.5	9.8	10.8	10.9	10.9	10.9	10.1	8.1	6.0	5.2
4	5.2	5.9	7.6	9.9	10.8	10.9	10.9	10.8	10.0	8.0	5.9	5.2
5	5.2	5.9	7.7	9.9	10.8	10.9	10.9	10.8	10.0	7.9	5.9	5.2
6	5.2	5.9	7.8	10.0	10.8	10.9	10.9	10.8	9.9	7.8	5.9	5.2
7	5.2	6.0	7.9	10.0	10.8	10.9	10.9	10.8	9.9	7.7	5.8	5.2
8	5.2	6.0	8.0	10.0	10.8	10.9	10.9	10.8	9.8	7.6	5.8	5.2
9	5.3	6.0	8.0	10.1	10.8	10.9	10.9	10.8	9.8	7.6	5.8	5.2
10	5.3	6.1	8.1	10.1	10.9	10.9	10.9	10.8	9.7	7.5	5.7	5.2
11	5.3	6.1	8.2	10.2	10.9	10.9	10.9	10.7	9.7	7.4	5.7	5.2
12	5.3	6.1	8.3	10.2	10.9	10.9	10.9	10.7	9.6	7.3	5.7	5.2
13	5.3	6.2	8.4	10.2	10.9	10.9	10.9	10.7	9.6	7.2	5.7	5.2
14	5.4	6.2	8.4	10.3	10.9	10.9	10.9	10.7	9.5	7.1	5.6	5.2
15	5.4	6.2	8.5	10.3	10.9	10.9	10.9	10.7	9.4	7.0	5.6	5.2
16	5.4	6.3	8.6	10.3	10.9	10.9	10.9	10.6	9.4	7.0	5.6	5.2
17	5.4	6.3	8.7	10.4	10.9	10.9	10.9	10.6	9.3	6.9	5.6	5.2
18	5.4	6.4	8.8	10.4	10.9	10.9	10.9	10.6	9.2	6.8	5.5	5.2
19	5.5	6.5	8.8	10.4	10.9	10.9	10.9	10.6	9.2	6.7	5.5	5.2
20	5.5	6.6	8.9	10.5	10.9	10.9	10.9	10.5	9.1	6.6	5.5	5.2
21	5.5	6.7	9.0	10.5	10.9	10.9	10.9	10.5	9.0	6.5	5.5	5.2
22	5.5	6.8	9.1	10.5	10.9	10.9	10.9	10.5	8.9	6.4	5.4	5.2
23	5.6	6.9	9.1	10.5	10.9	10.9	10.9	10.4	8.9	6.3	5.4	5.2
24	5.6	6.9	9.2	10.6	10.9	10.9	10.9	10.4	8.8	6.3	5.4	5.2
25	5.6	7.0	9.3	10.6	10.9	10.9	10.9	10.4	8.7	6.2	5.4	5.2
26	5.6	7.1	9.4	10.6	10.9	10.9	10.9	10.4	8.6	6.2	5.4	5.2
27	5.7	7.2	9.4	10.6	10.9	10.9	10.9	10.3	8.5	6.2	5.3	5.2
28	5.7	7.3	9.5	10.7	10.9	10.9	10.9	10.3	8.5	6.1	5.3	5.2
29	5.7		9.6	10.7	10.9	10.9	10.9	10.2	8.4	6.1	5.3	5.2
30	5.7		9.6	10.7	10.9	10.9	10.9	10.2	8.3	6.1	5.3	5.2
31	5.8		9.7		10.9		10.9	10.2		6.0		5.2

表 3 續

(b) 成功測站

日期	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1	6.1	7.3	8.9	11.1	12.1	12.2	12.2	12.2	11.5	9.8	7.8	6.3
2	6.1	7.4	9.0	11.2	12.1	12.2	12.2	12.2	11.5	9.7	7.7	6.3
3	6.2	7.5	9.1	11.2	12.1	12.2	12.2	12.2	11.5	9.6	7.6	6.3
4	6.2	7.5	9.1	11.3	12.1	12.2	12.2	12.2	11.4	9.5	7.6	6.3
5	6.2	7.6	9.2	11.3	12.1	12.2	12.2	12.2	11.4	9.4	7.5	6.2
6	6.2	7.6	9.3	11.4	12.1	12.2	12.2	12.2	11.3	9.3	7.5	6.2
7	6.3	7.7	9.4	11.4	12.1	12.2	12.2	12.1	11.3	9.3	7.4	6.2
8	6.3	7.7	9.5	11.4	12.2	12.2	12.2	12.1	11.3	9.2	7.4	6.2
9	6.3	7.8	9.6	11.5	12.2	12.2	12.2	12.1	11.2	9.1	7.3	6.1
10	6.4	7.9	9.7	11.5	12.2	12.2	12.2	12.1	11.2	9.0	7.3	6.1
11	6.4	7.9	9.8	11.6	12.2	12.2	12.2	12.1	11.1	8.9	7.2	6.1
12	6.4	8.0	9.8	11.6	12.2	12.2	12.2	12.1	11.1	8.9	7.1	6.1
13	6.5	8.0	9.9	11.6	12.2	12.2	12.2	12.1	11.0	8.8	7.1	6.1
14	6.5	8.1	10.0	11.7	12.2	12.2	12.2	12.0	11.0	8.8	7.0	6.1
15	6.5	8.1	10.1	11.7	12.2	12.2	12.2	12.0	10.9	8.7	7.0	6.1
16	6.6	8.2	10.1	11.7	12.2	12.2	12.2	12.0	10.9	8.7	6.9	6.1
17	6.6	8.3	10.2	11.8	12.2	12.2	12.2	12.0	10.8	8.6	6.9	6.1
18	6.7	8.3	10.3	11.8	12.2	12.2	12.2	12.0	10.7	8.6	6.8	6.1
19	6.7	8.4	10.4	11.8	12.2	12.2	12.2	11.9	10.7	8.5	6.8	6.1
20	6.7	8.4	10.4	11.8	12.2	12.2	12.2	11.9	10.6	8.4	6.8	6.1
21	6.8	8.5	10.5	11.9	12.2	12.2	12.2	11.9	10.5	8.4	6.7	6.1
22	6.8	8.5	10.6	11.9	12.2	12.2	12.2	11.9	10.5	8.3	6.7	6.1
23	6.9	8.6	10.7	11.9	12.2	12.2	12.2	11.8	10.4	8.3	6.6	6.1
24	6.9	8.6	10.7	11.9	12.2	12.2	12.2	11.8	10.3	8.2	6.6	6.1
25	7.0	8.7	10.8	12.0	12.2	12.2	12.2	11.8	10.2	8.2	6.5	6.1
26	7.0	8.8	10.8	12.0	12.2	12.2	12.2	11.7	10.2	8.1	6.5	6.1
27	7.1	8.8	10.9	12.0	12.2	12.2	12.2	11.7	10.1	8.1	6.5	6.1
28	7.1	8.9	10.9	12.0	12.2	12.2	12.2	11.7	10.0	8.0	6.4	6.1
29	7.2		11.0	12.0	12.2	12.2	12.2	11.6	9.9	7.9	6.4	6.1
30	7.2		11.0	12.1	12.2	12.2	12.2	11.6	9.8	7.9	6.4	6.1
31	7.3		11.1		12.2		12.2	11.6		7.8		6.1

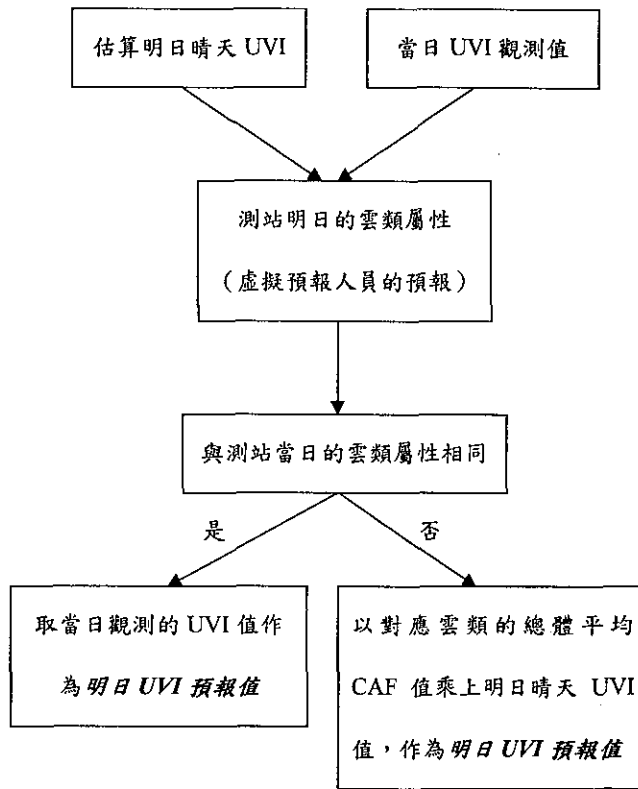


圖 8 測試本研究紫外線指數預報法的計算流程。

表 4 比較不同紫外線指數預報法之預報誤差統計。其中，預報法(1)是指 CAF 值採用各別測站之統計值，預報法(2)指 CAF 值採用兩測站合成之統計值。

UVI 誤差	0	±1 以內	±2 以內	±3 以內	均方根
(a)台北測站					
持續法	17.9	53.0	71.3	83.8	2.50
預報法(1)	23.1	64.8	85.1	95.6	1.73
預報法(2)	22.3	64.6	84.2	94.9	1.75
(b)成功測站					
持續法	16.2	43.4	65.4	78.7	2.89
預報法(1)	21.8	59.9	86.2	93.8	1.85
預報法(2)	21.6	58.7	85.6	93.8	1.86

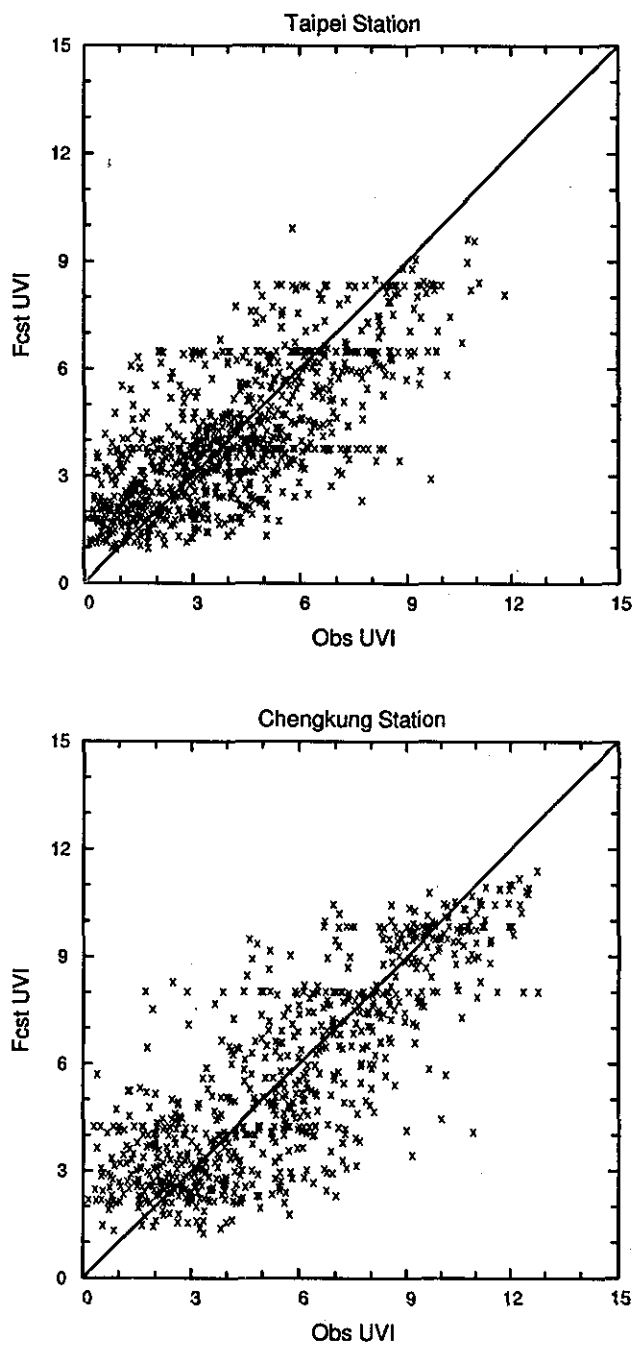


圖 9 測站每日 UVI 觀測值與預報值之對應分布。

研究所發展的預報法無論在那一測站都有比持續法較佳的預報技術，持續法的表現在台北和成功分別會產生 2.50 和 2.89 的均方根誤差，但本預報法可使兩測站均方根誤差均分別降至 1.72 及 1.85，其中以成功測站的改進效果較顯著。分析預報法對 UVI 值預報的誤差分布，基本上絕大多數的個案（93 % 以上）的絕對誤差都保持在 3 以內，其中絕對誤差在 1 以內的準確個案占有 60 % 上下比率，相對上持續法中絕對誤差都保持在 3 以內的個案比率只有 80 % 上下，其中絕對誤差在 1 以內的準確個案占有 50 % 左右。另一方面，比較使用不同 CAF 值來源的影響，可以發現預報技術差異甚微，這是否意謂 CAF 值與雲量的相關性的分布，不因測站的不同而有顯著差異，所以能由合成獲得的 CAF 值與雲量之統計值應用於各個測站？若是如此，未來使用同套統計值預報台灣各地 UVI 值，將有作業上極大的便利性。不過，這問題仍有待蒐集更多測站資料，進一步分析證實。

圖 9 是兩測站每日 UVI 觀測值與預報值（表 4 預報法(1)）之對應分布。整體來說，若以 UVI 預報值的絕對誤差範圍而論，無論對應的 UVI 觀測值是大或小，表現都相當平均大約在 ± 3 以內，亦即絕對誤差並未偏重在某些 UVI 值上。這顯示此預報法在各種條件下都能保持一定的預報水準。

五、結論與建議

本報告利用台北與台東成功測站 1994-1996 年包含每日正午的 DUV 值、對應的目視雲量觀測及該日測得的臭氧含量等觀測資料，分析紫外線指數與雲量的相關性，並且從中歸納定量性質提出新的紫外線指數預報法。首先，紫外線指數與雲量之相關性上，本研究的結果顯示：

1. 類似天頂角下，台北站所反映的晴天 UVI 值都比台東成功站小，以 UVI 值而言相距大約 1 ~ 2 指數左右，在晴朗條件能達 10 ~ 20 % 的差距，顯示兩地大氣懸浮微粒的濃度有極大的差異。定性上，這現象與 Liu and Feng (1990) 計算台北及台東兩測站自 1982 到 1987 的平均懸浮微粒光程，發現台北的懸浮微粒光程是台東兩倍的結果不謀而合。

2. CAF 值隨著雲量增加有逐漸遞減的趨勢，尤其對於每一雲量區間所發生的 CAF 最小值，其遞減的走勢相當清楚，不過反觀同區間出現的 CAF 之上下值域範圍隨雲量增多逐漸變寬。這現象可能肇因於當量愈多時，雲的不確定因素也就愈複雜而多樣，其中包括了雲厚、雲類以及人為對雲量目視的差異性。

3. CAF 值在晴天和疏雲兩類中差別不大，而且這些類別 CAF 值前 25 % 平均接近 1 但後 25 % 平均卻降至 0.6 ~ 0.5 左右，這可能與雲量較少時觀測當時角度之紫外線受雲遮蔽機率較隨機有關，此外伴隨的天氣型態也可能出現高層薄卷雲在雲量上較不易被定義或目視。當雲分布轉成多雲及陰天時，CAF 平均值的變化就明顯許多，以總體 CAF 平均值而言，從疏雲的 0.8 左右降至多雲的 0.6 之間及陰天的 0.35。

根據 CAF 值與雲量的定量分布，我們提出一種維持持續法內含的預報技術，另一方面補強它缺點的簡單預報方法。以此法所作的預報測試顯示，本研究所發展的預報法無論在那一測站都有比持續法較佳的預報技術，持續法的表現在台北和成功分別會產生 2.50 和 2.89 的均方根誤差，但本預報法可使測站均方根誤差分別降至 1.72 及 1.85，其中以成功測站的改進效果較顯著。分析預報法對 UVI 值預報的誤差分布，基本上絕大多數的個案（93 % 以上）的絕對誤差都保持在 3 以內，其中絕對誤差在 1 以內的準確個案占有 60 % 上下比率。此外，無論對應的 UVI 觀測值是大或小，UVI 預報值的絕對誤差範圍表現都相當平均，顯示本預報法在各種條件下都能保持一定的預報水準。

根據柳等（1998）對現行紫外線指數預報法的校驗顯示，台北測站的均方根誤差約是 2.08，而台東成功約是 2.34。比較上，本研究所提出的方法顯然具有較佳的預報品質，分析其中的關鍵應該在於本法利用雲量直接作為預報紫外線指數的基底。有鑑於此，一旦本局開始提供雲量預報時，應立即建立一套與雲量相關的紫外線指數預報法，將能有效改善現行方法的預報技術。因而，在發展未來方法的方向上，本研究提出的紫外線指數預報法

可作為一種參考，並且在實際作業上本方法相當簡便以及可自動化，因此若尚未建立更佳的預報法，本方法將可應用。

致 謝

本研究進行期間承蒙中央氣象局第二組張科長修武及其屬員熱心提供紫外線觀測資料，特此致謝。並感謝兩位審查者的寶貴意見。

參考文獻

劉銘龍、柳中明、陳福來和張修武，1997：空氣品質污染防治長期發展規劃與對植物之危害性研究—紫外射線指數之監測、預估與教育宣

導。EPA-86-FA41-09-E8，共 61 頁。

柳中明、劉銘龍和陳正平，1998：紫外射線指數之監測、預估與教育宣導。EPA-87-FA04-03-11，共 114 頁。

Liu, C. M., and T. S. Feng, 1990: Atmospheric turbidity over Taiwan. *Atmos. Environ.*, 24A, 1303-1312.

Long, C. S., A. J. Miller, H. T. Lee, J. D. Wild, R. C. Przywarty, and D. Hufford, 1996: Ultraviolet index forecasts issued by the National Weather Service. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 729-748.

ANALYSIS AND FORECAST OF ULTRA-VIOLET INDEX

Chin-Tzu Fong

Research and Development Center, Central Weather Bureau

Ming-Jen Yang

Department of Atmospheric Sciences, Chinese Culture University

ABSTRACT

A successful forecast of the Ultra-Violet Index (UVI) mainly depends on the correct estimation of cloud attenuation effect. Since the cloud amount may become one of daily forecast items at the Central Weather Bureau in the future, this research conducted analysis of UVI and observed cloud-amount data at Taipei and Cheng-Kung stations from 1994 to 1996, in order to provide a UVI prognostic method based on cloud amount information.

We first isolated the cloud effect on the UVI. The clear-sky UVI value of each station was determined from the UVI observations, and a Cloud Attenuation Factor (CAF) was defined as the ratio between the observed UVI and the clear-sky UVI. The corresponding relations between CAF and cloud amount were quantified by four categories of cloud amount: (1) clear, (2) scattered, (3) broken, and (4) overcast. A UVI forecast method was proposed based on the statistical characteristics of CAF and cloud amount. The predicted UVI by this forecast method has root-mean-square errors of 1.72 and 1.85 at Taipei and Cheng-Kung stations, respectively; 60 % of the forecast events have absolute errors less than 1. The standard deviation of predicted UVI is very small regardless of the value of observed UVI, which indicated that this UVI prediction method can maintain certain forecast performance under different sky conditions.

民國八十六年颱風暴潮調查報告 —溫妮颱風與安珀颱風—

曾淑芬 李汴軍

中央氣象局海象測報中心

摘 要

本文之目的是敘述民國 86 年兩個主要侵襲台灣的溫妮與安珀颱風，對台灣沿岸所產生的暴潮現象。溫妮颱風中心經過台灣北部海面，由於其結構很好，而且颱風範圍甚大，當颱風環流直接吹向台灣北部沿岸時，加上氣壓下降導致明顯之暴潮，期間以新竹潮位站所量測到暴潮 2.6 公尺為最大。安珀颱風是在花蓮秀姑巒溪北邊登陸，在整個颱風影響台灣期間，西部雲林、嘉義沿岸暴潮比東海岸還要明顯，其他海岸暴潮現象則與颱風接近台灣遠近有關。當颱風登陸後，環流被破壞，各地暴潮現象大部分比較小。

關鍵字：颱風暴潮

一、前 言

溫妮（Winnie）與安珀（Amber）颱風分別是民國 86 年西太平洋地區發生的第 14 個（中央氣象局編號 9714）與第 17 個（中央氣象局編號 9717）颱風，這二個颱風也是中央氣象局發布警報且侵襲台灣的第一個與第二個颱風。

溫妮颱風在西太平洋形成後，一直以穩定的速度以西北西方向接近台灣，經過台灣北部海面，最後登陸於大陸浙江省溫州灣附近。此颱風結構良好，範圍甚大，雖然中心沒有登陸台灣，但對台灣造成相當大之威脅。所以中央氣象局對溫妮颱風發布了當年的第一個海上陸上颱風警報。

安珀颱風在西太平洋形成後，即以極緩慢的速度並以西北至北北西方向向巴士海峽及台灣東南部海面移動，中央氣象局鑒於安珀颱風暴風圈即將威脅台灣附近海域，於是發布了第二個海上陸上颱風警報。

本報告主要目的是描述溫妮與安珀颱風侵襲台灣時沿岸潮位變化，並分析各潮位站所量到之暴潮偏差，以作為爾後暴潮預報定性預報法則及工程單

位災害評估、工程規劃、海水溢淹區防範之基本資料。

二、資料來源

分析暴潮基本資料來源有二，一是中央氣象局對侵襲台灣所發布颱風警報單內的颱風中心位置、中心氣壓、中心最大風速、暴風半徑。另外一組基本資料是發布颱風警報期間，全省能蒐集到潮位觀測資料，包括中央氣象局所屬潮位站、各港務局潮位站、水利處與台電之潮位站。其中省水利處潮位資料是每小時觀測、台電潮位資料是每十分鐘觀測外，其餘均為每六分鐘觀測資料。

三、資料分析

首先以作業眼光來說明暴潮或暴潮偏差，即颱風侵襲或影響台灣沿岸時，在影響範圍內任一潮位站所觀測水位與該站調和分析水位之差值定義之。調和分析法是引用 Foreman（1977）所發展之程式，其共含有 69 個分潮，最低頻潮為 SA（Solar Annual），週期是一年，最高頻潮是混合潮 M10，週期是 2.484 小時，超過一年以上週

期並未考慮。同時因水位變化不單受天文潮影響，亦受其他環境因子影響，故這種調和分析水位值，有可能是一種人工假設的結果（Artificial Result）。本報告在分析過程中所需歷年觀測水位氣候值，是根據 1994 年至 1996 年三年中，各潮位站選取其資料較完整的期間來計算。

平均高潮位與低潮位及平均潮差也是分析暴潮特性的參數。報告中所引用月平均高潮位與低潮位是指颱風警報期間之月份所觀測之高潮位與低潮位之平均。而平均潮差即月平均高潮位與月平均低潮位之差值稱之。

四、颱風的生命期概述

(一)溫妮颱風

溫妮颱風（WINNIE），編號 9714 號，是民國 86 年在西太平洋海域生成的第 14 個颱風，也是中央氣象局於該年發布警報的第一個颱風。溫妮颱風在民國 86 年 8 月 9 日 14 時生成於關島東方約 1000 公里海面上（北緯 14.5 度，東經 155.2 度），形成後以穩定的速率向西北西移動，中央氣象局於 8 月 16 日 14 時 35 分正式發布海上颱風警報，圖 1 是中央氣象局發布颱風警報期間之颱風路徑圖。溫妮颱風暴風圈於 18 日晨進入台灣東北部及北部陸地，18 日 22 時左右在浙江省溫州灣附近登陸，20 日 2 時減弱為熱帶性低氣壓，生命期共 10 天又 12 時。有關颱風中心定位及強度變化的詳細資料見表 1。

(二)安珀颱風

安珀颱風（AMBER），編號 9717 號，是民國 86 年在西太平洋海域生成的第 17 個颱風，也是中央氣象局於該年發布警報的第二個颱風。安珀颱風在民國 86 年 8 月 22 日 8 時生成於北緯 14.1 度，東經 131.7 度，形成後以西北西後轉西北方向前進，中央氣象局於 8 月 27 日 8 時 35 分正式發布海上颱風警報，圖 2 是中央氣象局發布颱風警報期間之颱風路徑圖。安珀颱風於 29 日 3 時 50 分左右在花蓮秀姑巒溪北方附近登陸，強度減弱，並繼續以西北方向前進，29 日 10 時左右在台中北方出海，於 8 月 29 日 20 時左右由馬祖附

近進入大陸，30 日 8 時減弱為熱帶性低氣壓，生命期共 8 天。有關颱風中心定位及強度變化的詳細資料見表 2。

五、颱風期間各地水位資料概述

(一)溫妮颱風

溫妮颱風影響台灣海域之期間是 8 月 16 日至 19 日，為了描述此颱風對沿海水位變化情形，選擇 15 日 14 時至 20 日 14 時，圖 3 是表示台灣沿岸共十二個潮位站的觀測水位、調和分析水位及暴潮偏差量時序圖。從時序圖中，顯示有幾個現象，首先 16 日 14 時中央氣象局發布海上颱風警報之後，除了東南部及西南部之外，各地水位逐漸升高。由於溫妮颱風是由台灣北部海面通過，因此最早觀測到水位的抬升現象在東北部的鹽寮、基隆等站。隨著颱風通過北部海域時，東北部、北部及東部測站所觀測到的暴潮偏差量較西南部各測站高。溫妮颱風對本省新竹以北及東部海域造成水位最高出現時間約在 18 日清晨到中午之間。此時新竹的暴潮偏差約 2.5 米，其產生之原因除颱風影響外，再加上潮位站淹水雙重因素所致；花蓮港的暴潮偏差量在 18 日 2 時至 8 時之間，有很短週期振盪；成功港港內在 17 日 14 時以前及 19 日 2 時以後的暴潮偏差量呈現負值，且比其他潮位站都明顯。

表 3 是分析十二個潮位站在 16 日 14 時至 19 日 14 時三天期間，每小時的暴潮偏差量，表中可知基隆、鹽寮、蘇澳、淡水河口、竹圍、新竹等站在 18 日 8 時至 18 日 11 時的暴潮偏差量達到該站的最高，此時期台灣東北部及北部陸地正進入溫妮颱風的暴風半徑內。18 日 8 時颱風中心在台北的東北東方約 300 公里海面上，此時淡水河口站的暴潮偏差量最大為 91 公分；同時間鹽寮站也測得該站之最高暴潮偏差量 80 公分；竹圍和新竹站則分別在稍後 9 點和 11 點測得該站之最大暴潮偏差量。

由於台灣沿岸平均潮差不盡相同，從最小潮差約 2 米到最大潮差約 5 米之間，因此根據颱風期間各地暴潮偏差量與該地八月平均潮差之比（圖 4），可顯示颱風對當地水位影響之程度。從圖 4 可知，

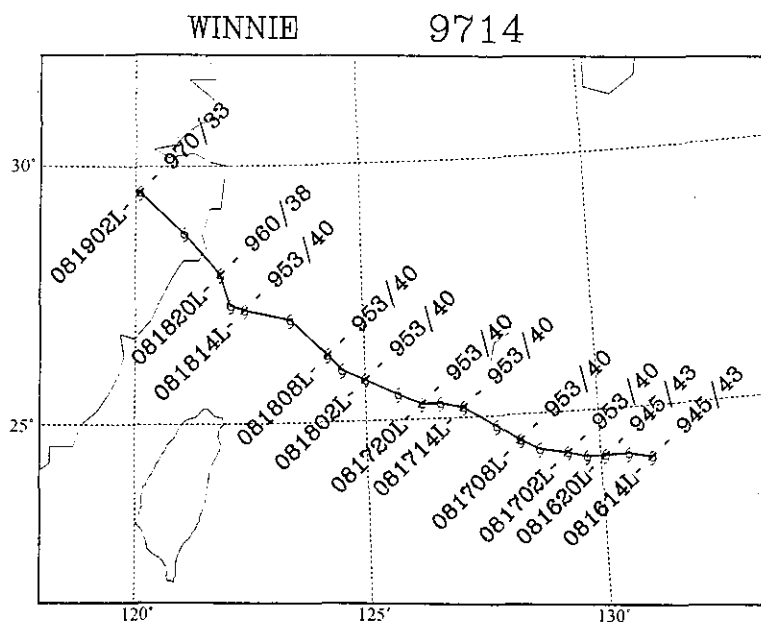


圖 1. 中央氣象局發布溫妮颱風警報期間之颱風路徑圖

Fig 1. The track of typhoon WINNIE issued by CWB

表 1. 溫妮颱風侵台期間，中央氣象局發布的颱風中心定位及強度變化資料表

Table 1. Center location and intensity of typhoon WINNIE analysed by CWB

時間 (月日時)	中心位置		中心氣壓 (Hpa)	近中心最大 風速(m/s)	暴風半徑(km)		備註
	北緯(°N)	東經(°E)			七級	十級	
081614	24.0	131.1	945	43	300	100	發布海上颱風警報
081617	24.1	130.6	945	43	300	100	
081620	24.1	130.1	945	43	300	100	
081623	24.1	129.7	945	43	300	100	
081702	24.2	129.3	953	40	300	100	
081705	24.3	128.7	953	40	300	100	發布海上陸上颱風警報
081708	24.5	128.3	953	40	300	100	
081711	24.8	127.8	953	40	300	100	
081714	25.2	127.1	953	40	300	100	
081717	25.3	126.6	953	40	300	100	
081720	25.3	126.2	953	40	300	100	
081723	25.5	125.7	953	40	300	100	
081802	25.8	125.0	953	40	300	100	
081805	26.0	124.5	953	40	300	100	
081808	26.3	124.2	953	40	300	100	
081811	27.0	123.4	953	40	300	100	
081814	27.2	122.4	953	40	300	100	
081817	27.3	122.1	953	40	300	100	
081820	27.9	121.9	960	38	300	100	
081823	28.7	121.1	965	35	250	80	解除陸上颱風警報
081902	29.5	120.1	970	33	250	80	解除海上颱風警報

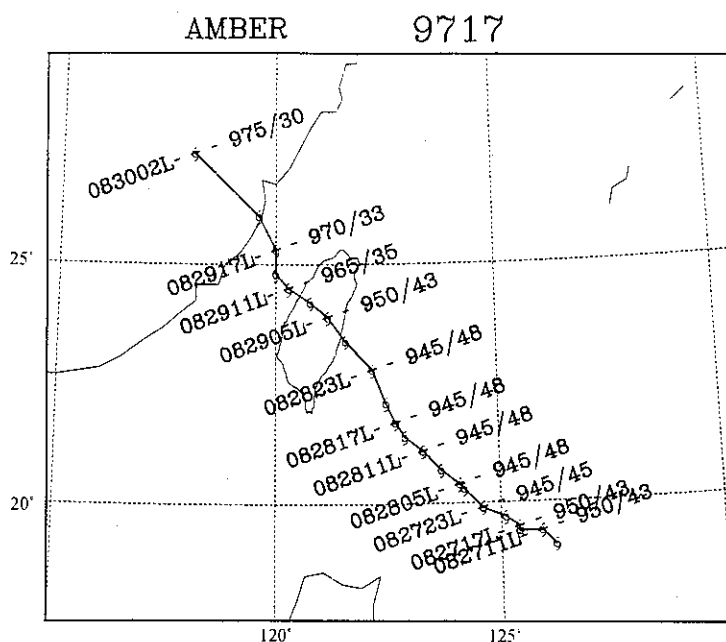


圖 2. 中央氣象局發布安珀颱風警報期間之颱風路徑圖

Fig 2. The track of typhoon AMBER issued by CWB

表 2. 安珀颱風侵台期間，中央氣象局發布的颱風中心定位及強度變化資料表

Table 2. Center location and intensity of typhoon AMBER analysed by CWB

時間 (月日時)	中心位置		中心氣壓 (Hpa)	近中心最大 風速(m/s)	暴風半徑(km)		備註
	北緯(°N)	東經(°E)			七級	十級	
082708	19.1	126.2	950	43	200	80	發布海上颱風警報
082711	19.4	125.9	950	43	200	80	
082714	19.4	125.4	950	43	200	80	
082717	19.5	125.4	950	43	200	80	
082720	19.7	125.1	945	45	250	100	發布海上陸上颱風警報
082723	19.9	124.6	945	45	250	100	
082802	20.3	124.2	945	48	250	100	
082805	20.4	124.1	945	48	250	100	
082808	20.7	123.7	945	48	250	100	
082811	21.1	123.3	945	48	250	100	
082814	21.4	122.9	945	48	250	100	
082817	21.7	122.7	945	48	250	100	
082820	22.1	122.5	945	48	250	100	
082823	22.8	122.2	945	48	250	100	
082902	23.4	121.6	945	48	250	100	
082905	23.9	121.2	950	43	250	100	
082908	24.2	120.8	958	40	250	100	
082911	24.5	120.3	965	35	250	100	
082914	24.8	120.0	965	35	250	100	
082917	25.3	120.0	970	33	250	100	
082920	26.0	119.6	975	30	250	-	
083002	27.3	118.1	995	20	150	-	解除海上陸上颱風警報

WINNIE 9714

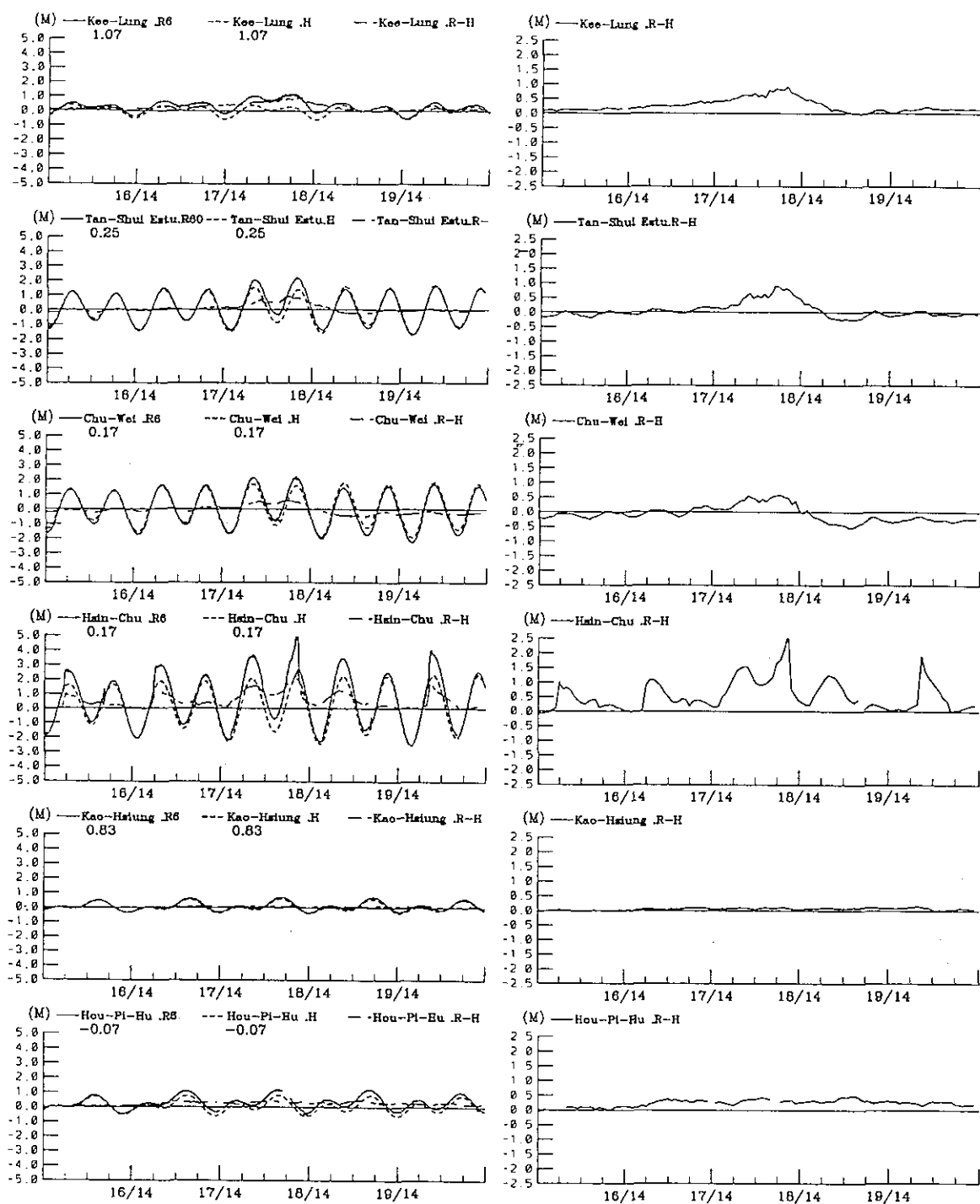


圖 3. 8 月 15 日 14 時至 20 日 14 時，基隆、淡水、竹圍、新竹、高雄和後壁湖潮位站之觀測水位 (R)、調和分析水位 (H) 與二者之差值 (R-H)

Fig 3. The sequence of water level, harmonic analysed water level, and difference between the observed and harmonic analysis at tidal stations, during 14 LST 15 August to 14 LST 20 August of 1997

WINNIE 9714

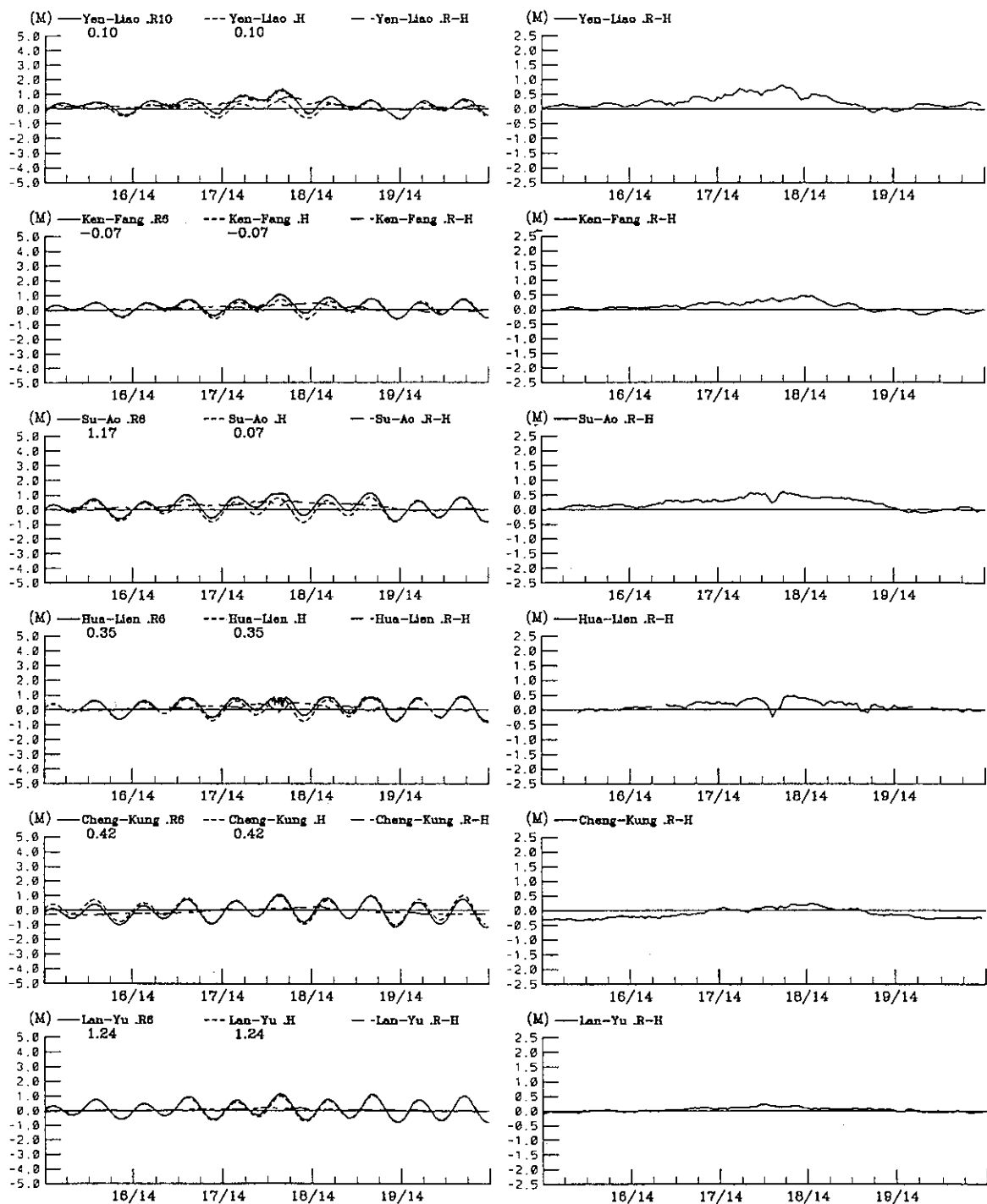


圖3 (續)：鹽寮、梗枋、蘇澳、花蓮、成功、蘭嶼等站
Fig 3. (Continue).

表 3. 8 月 16 日 14 時至 8 月 19 日 14 時，溫妮颱風接近台灣時，十二個潮位站在整點的暴潮偏差量，999 代表資料遺失。

Table 3. Hourly storm surge at tidal station during 14 LST 16 August to 14 LST 19 August of 1997 Missing data:-999.

單位：公分

時間	基隆	淡水河口	竹圍	新竹	高雄	後壁湖	鹽寮	梗枋	蘇澳	花蓮	成功	蘭嶼
081614	18	-5	-11	2	0	13	12	7	12	6	-22	-1
081615	17	-8	-17	3	4	13	14	6	8	10	-22	-4
081616	20	-9	-18	-1	1	10	10	5	4	10	-23	0
081617	20	-10	-19	-3	2	8	18	6	12	7	-21	1
081618	18	-6	-13	-2	3	10	23	6	9	8	-26	3
081619	24	-3	-9	5	6	17	27	6	12	12	-20	0
081620	25	6	-2	90	8	11	32	8	15	9	-24	4
081621	27	10	5	110	8	21	24	9	18	-999	-24	-1
081622	27	8	6	109	6	23	27	8	22	-999	-25	1
081623	27	10	5	100	4	30	22	12	20	-999	-19	2
081700	27	5	5	89	4	31	14	14	32	17	-23	4
081701	25	5	5	68	4	34	20	10	30	13	-19	4
081702	25	4	-5	52	2	38	11	13	29	14	-19	4
081703	27	0	-8	36	6	32	21	13	32	14	-16	3
081704	26	-3	-12	30	7	38	22	4	26	10	-10	6
081705	26	-2	-18	33	6	32	23	5	27	5	-13	8
081706	29	-3	-13	44	8	30	24	12	28	16	-15	9
081707	31	0	-6	41	9	33	39	15	30	19	-11	11
081708	36	6	5	18	11	27	42	17	34	26	-11	10
081709	36	10	13	35	10	26	42	22	32	26	-8	12
081710	43	16	16	40	10	33	37	21	25	24	-10	12
081711	34	16	13	38	11	34	36	18	30	26	0	11
081712	40	19	22	33	10	30	27	26	26	21	3	8
081713	36	17	18	27	9	31	25	24	36	20	2	5
081714	43	13	12	20	7	-999	40	24	29	28	5	10
081715	40	18	8	14	7	25	35	22	28	21	10	10
081716	42	11	11	18	7	28	50	17	31	23	8	7
081717	45	12	9	50	8	27	46	14	32	19	2	12
081718	42	16	8	61	7	23	47	22	32	21	2	13
081719	50	26	11	85	9	20	57	18	36	12	3	14
081720	51	23	21	114	8	17	69	13	42	25	-1	11
081721	58	25	30	138	10	22	65	17	39	32	-2	12
081722	64	46	38	149	11	30	58	25	48	37	-6	13
081723	64	55	40	154	10	34	66	23	58	36	3	15
081800	60	66	56	155	10	35	59	25	52	42	7	15
081801	70	48	48	129	7	39	59	35	56	38	6	22

表 3 續上頁

Tabel 3. (Continue)

單位：公分

時間	基隆	淡水 河口	竹圍	新竹	高雄	後壁湖	鹽寮	梗枋	蘇澳	花蓮	成功	蘭嶼
081802	58	58	44	102	5	36	46	26	50	31	9	22
081803	65	49	33	93	8	41	58	29	54	24	13	22
081804	54	62	45	92	10	43	65	32	38	6	12	18
081805	79	50	35	95	11	41	64	39	23	-24	11	17
081806	76	65	47	106	10	36	67	33	31	0	6	14
081807	86	89	54	119	10	-999	77	27	53	6	15	13
081808	83	91	57	166	10	-999	80	31	61	40	8	13
081809	81	76	57	176	11	27	71	34	53	47	12	15
081810	94	81	50	213	13	32	73	38	54	45	21	17
081811	73	75	48	266	9	32	65	36	52	47	20	19
081812	70	59	27	77	8	34	50	39	51	40	16	15
081813	63	52	37	57	5	23	31	47	45	40	18	10
081814	55	45	6	39	5	26	35	45	46	39	16	10
081815	47	27	-4	30	4	27	37	44	43	35	23	7
081816	49	30	7	23	9	30	51	47	39	33	23	9
081817	43	19	-8	23	7	31	51	39	39	29	21	7
081818	37	17	-18	50	9	33	46	32	39	22	16	8
081819	38	11	-21	72	8	29	43	27	42	13	12	7
081820	30	1	-28	90	10	25	43	19	40	24	7	8
081821	23	-13	-34	111	11	29	36	14	41	31	7	6
081822	12	-19	-40	125	12	30	29	10	39	22	2	6
081823	15	-22	-42	122	11	29	23	12	38	26	1	7
081900	13	-23	-41	115	9	34	20	15	41	26	3	5
081901	10	-25	-44	97	8	43	21	19	36	15	0	5
081902	7	-22	-44	79	8	45	16	22	41	23	7	8
081903	5	-25	-52	52	8	43	15	20	33	17	3	9
081904	1	-26	-55	40	9	47	16	16	33	22	6	8
081905	1	-25	-49	31	11	49	10	6	30	-5	-1	7
081906	-2	-22	-42	40	9	44	8	4	28	-6	-3	8
081907	-4	-17	-37	89	12	35	-1	-4	29	-11	-10	8
081908	1	-10	-31	8	12	32	-10	-6	27	15	-14	5
081909	6	-5	-20	20	13	30	-12	-10	20	18	-14	4
081910	13	6	-15	26	12	24	-6	-7	20	10	-14	6
081911	13	1	-18	23	11	27	2	-6	20	9	-16	4
081912	12	-7	-27	18	10	28	5	-2	12	-2	-14	8
081913	7	-11	-29	14	9	29	-2	-1	8	3	-12	4
081914	3	-14	-33	9	11	32	-8	3	7	15	-16	-1

WINNIE 9714

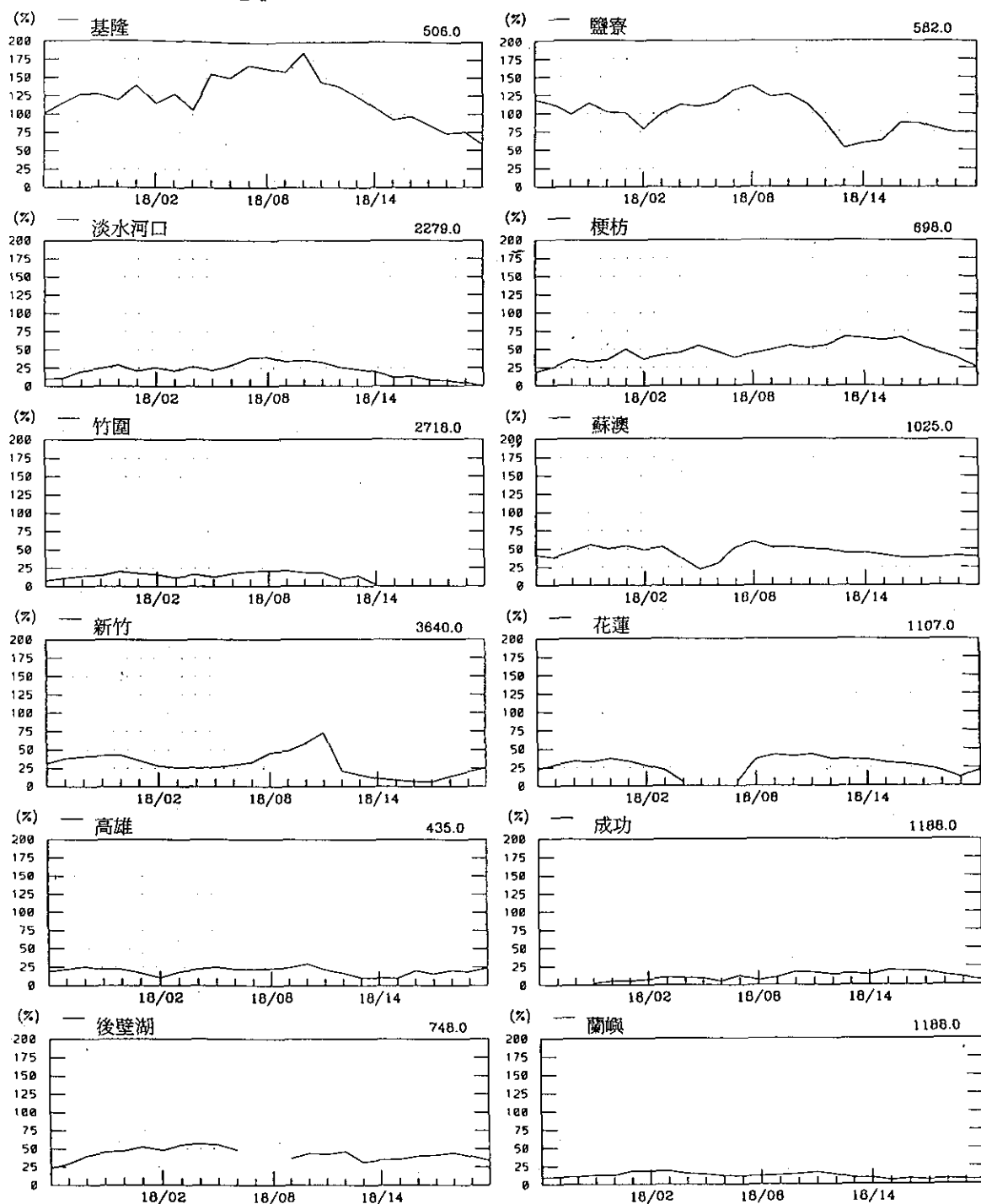


圖 4 8 月 17 日 20 時至 18 日 20 時，各潮位站的暴潮偏差與該測站當月平均潮差之比值。

Fig 4. The ratio of storm surge to monthly averaged tidal difference at each tidal station during 20 LST 17 August to 20 LST 18 August of 1997.

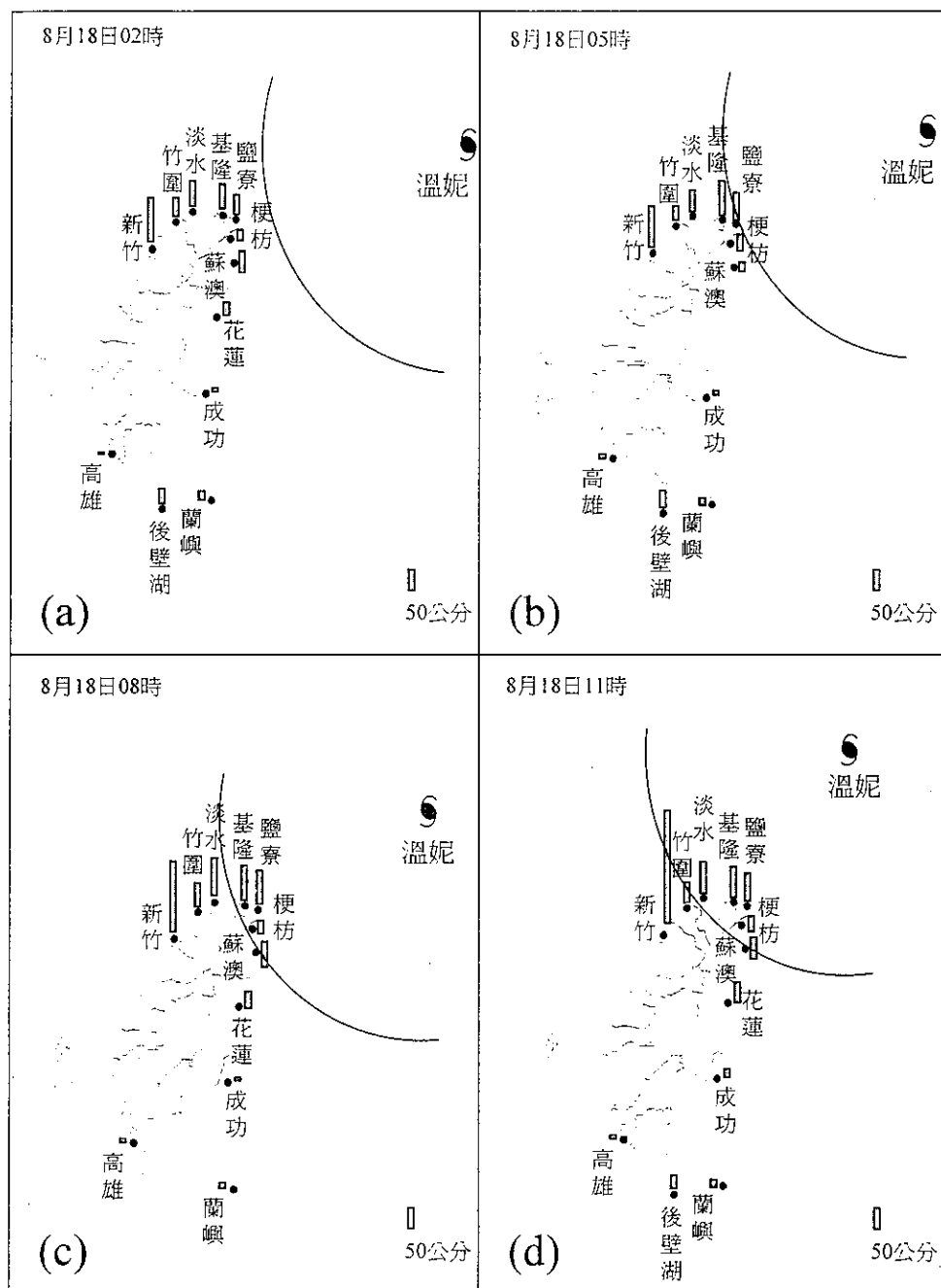


圖 5. 8 月 18 日 2 時至 11 時，溫妮颱風中心位置、颱風七級風暴風半徑及各地潮位站之暴潮偏差
 Fig 5. Center locations and radius of maximum winds over 30Kts of typhoon WINNIE and storm surge at tidal station during 02 LST 18 August to 11 LST 18 August of 1997

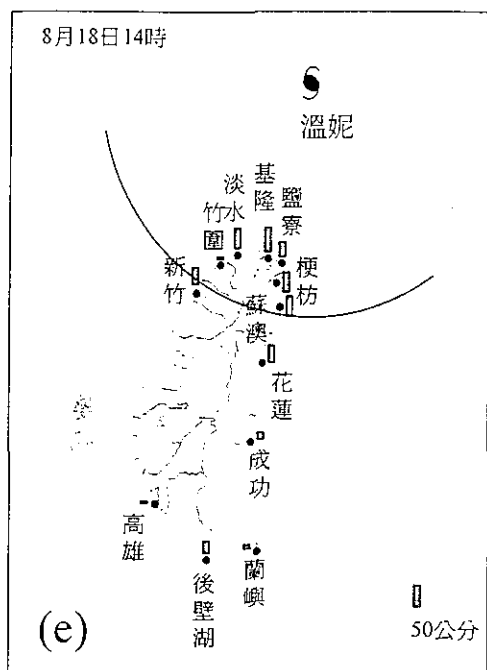


圖 5. (續) 8 月 18 日 14 時
Fig 5. (Continue) 14 LST 18 August

在溫妮颱風期間，曾出現比值大於 0.5 以上之潮位站有基隆、鹽寮、梗枋、蘇澳、新竹等地，此現象也說明溫妮颱風因其路徑的關係，在台灣北部及東北部造成的暴潮偏差較其他地方大。

根據這些訊息，將各地暴潮偏差量與颱風相對位置關係如圖 5。溫妮颱風從北部海面通過，東北部、北部及西北部等地水位有增加之趨勢，這符合理論上之推論、另外一個特色是，若以中央山脈向南北兩側延伸為軸，則颱風中心在此軸右側時對水位的影響，與颱風中心在左側時不同，即在右側時，各地暴潮偏差量最大，當颱風中心在左側時（18 日 14 時），暴潮偏差量減少，此與過去俗稱西北颱者，當中心通過基隆與彭佳嶼之間海面時，因受地形、風向及雨勢會帶來嚴重氣象災害之類似水位暴漲之現象是截然不同的。

(二) 安珀颱風

中央氣象局於 27 日 20 時發布海上陸上颱風

警報，此時安珀颱風中心在恆春東南東方約 520 公里海面上，以西北方向接近台灣本島。根據圖 2 路徑圖，安珀颱風為登陸台灣之個案，而且移動速度較規則，因此可分為登陸前、經過台灣本島、進入台灣海峽等三個階段來說明暴潮現象。圖 6 為 26 日 11 時至 31 日 11 時，台灣沿岸共十二個潮位站的水位觀測值、調和分析水位及暴潮偏差量時序列圖。在颱風從台灣花蓮登陸前（約 29 日 2 時以前）這個階段，雖然蘭嶼與蘇澳地區水位已經上升，但台灣西海岸從箔子寮、東石、澎湖、高雄等地之水位偏差比東部明顯，其中花蓮港內水位有明顯短週期振盪，經事後了解，站房大門被花蓮港內受颱風浪潮沖掉之故。而成功漁港則顯示負水位偏差，然後達到最大暴潮偏差。颱風登陸之階段約在 29 日 5 時，明顯之暴潮偏差量從台灣東海岸移向西海岸。在 29 日 11 時，颱風進入台灣海峽，台灣西海岸暴潮偏差繼續存在，而東海岸有負水位偏差。

表 4 是十二個潮位站在 27 日 17 時至 30 日 17 時三天期間，每小時的暴潮偏差量，表中可知蘭嶼在 28 日 19 時的暴潮偏差量達到該站的最高，此時安珀颱風中心在蘭嶼東方海面約 150 公里處，恰為最接近蘭嶼的時間；成功測站觀測到的最高暴潮偏差在 29 日 3 時，三個小時後在梗枋也觀測到該站的最大暴潮偏差。箔子寮、澎湖和東石等站則在 29 日 7 至 12 時之間觀測到最大暴潮偏差。

圖 7 是 28 日 11 時至 29 日 17 時各地暴潮偏差量與該地八月平均潮差之比，圖中顯示梗枋、高雄兩站在安珀颱風期間的水位比平時超出 50 %。

圖 8 是安珀颱風七級風暴風半徑與台灣沿岸暴潮偏差關係，顯示颱風中心在接近台灣時，嘉義、雲林、澎湖等地水位上升時間和蘭嶼、成功等地同時上升（a 至 c），颱風中心即將登陸前後（d、e）全省沿岸水位同時上升，待颱風進入台灣海峽（g），台灣西海岸水位持續上升。

此次安珀颱風中心由花蓮登陸，本可藉著花蓮潮位站的觀測資料分析暴潮，但花蓮潮位站因大量海水由穩定井灌入，造成潮位站密閉空間內的空氣

AMBER 9717

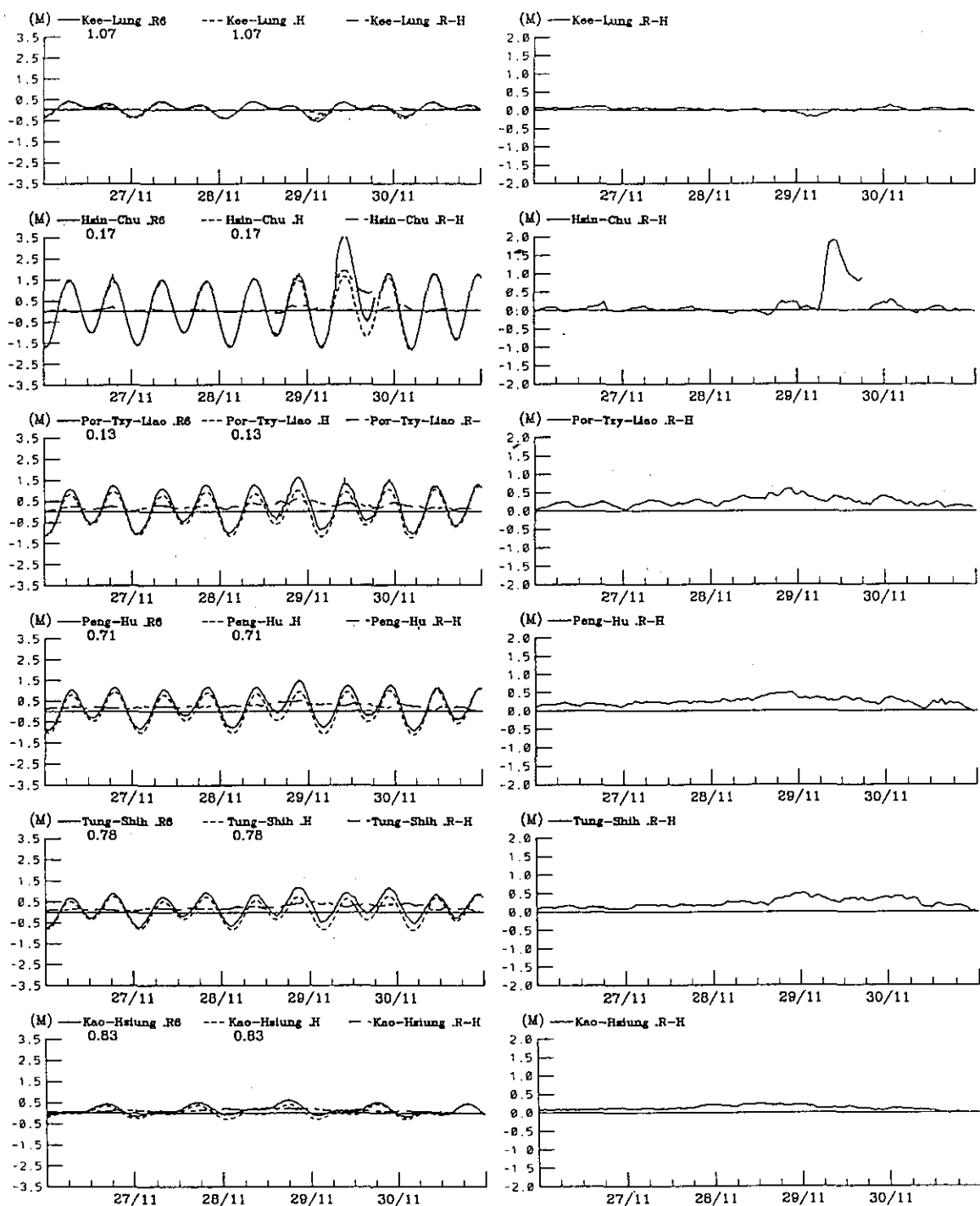


圖 6. 8 月 26 日 11 時至 31 日 11 時，基隆、新竹、箔子寮、澎湖、東石和高雄潮位站之觀測水位 (R)、調和分析水位 (H) 與二者之差值 (R-H)。

Fig 6. The sequence of water level, harmonic analysed water level, and difference between the observed and harmonic analysis at tidal stations, during 11 LST 26 August to 11 LST 31 August of 1997

AMBER 9717

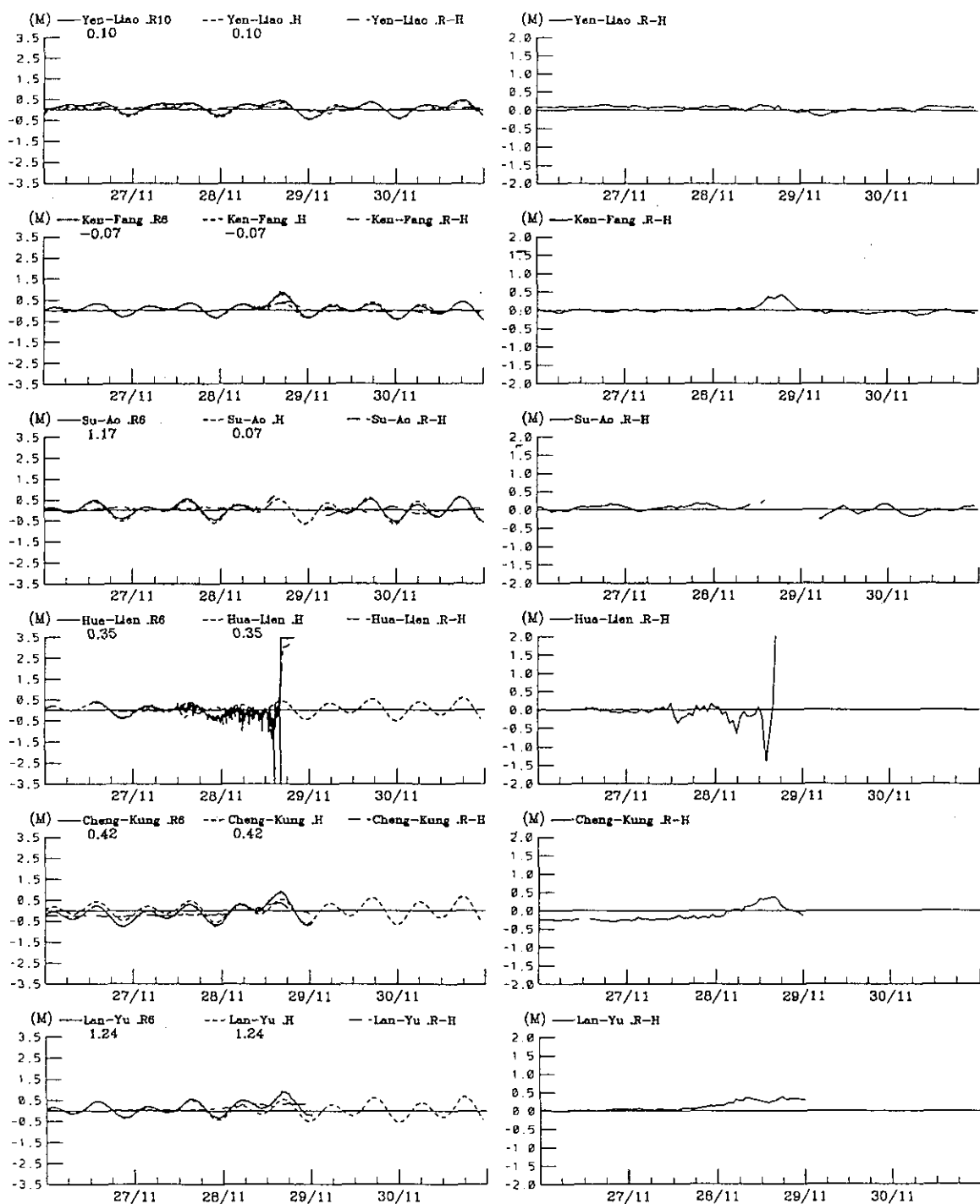


圖 6. (續) 鹽寮、梗枋、蘇澳、花蓮、成功、蘭嶼等站。

Fig 6 (Continue)

表 4. 8 月 27 日 17 時至 8 月 30 日 17 時，安珀颱風接近台灣時，十二個潮位站在整點的暴潮偏差量，
-999 代表資料遺失。

Table 4. Hourly storm surge at tidal station during 17 LST 27 August to 17 LST 30 August
of 1997. Missing data:-999.

單位：公分

時間	基隆	新竹	箔子寮	澎湖	東石	高雄	鹽寮	梗枋	蘇澳	花蓮	成功	蘭嶼
082717	8	13	26	26	20	12	6	-2	0	-8	-25	3
082718	8	7	30	23	19	12	7	-2	2	-3	-26	1
082719	5	6	29	24	20	9	9	-5	4	4	-22	6
082720	7	2	27	25	17	10	10	-1	5	1	-22	5
082721	5	2	27	23	21	11	9	2	7	8	-21	3
082722	5	3	22	23	20	9	12	2	7	-1	-24	5
082723	3	1	18	19	15	12	10	3	11	17	-21	5
082800	5	3	14	22	15	12	13	3	9	-16	-18	1
082801	5	1	17	25	17	14	11	4	6	-36	-13	6
082802	7	3	22	25	21	11	9	0	9	-22	-20	8
082803	7	7	19	27	20	12	8	0	9	-18	-19	7
082804	7	8	22	26	19	13	2	-2	9	-12	-20	7
082805	8	8	25	20	18	13	7	-6	11	-18	-15	6
082806	6	13	29	26	17	15	5	-3	17	11	-23	7
082807	5	5	32	23	20	18	6	-2	16	-3	-18	9
082808	6	6	30	28	18	19	9	-3	13	9	-17	11
082809	3	4	25	24	18	23	12	-3	17	-7	-21	14
082810	2	1	22	23	18	20	9	-2	13	16	-11	12
082811	2	1	21	21	16	21	9	1	10	7	-19	16
082812	6	-2	12	26	18	22	8	2	9	7	-17	14
082813	4	-3	13	23	18	20	13	4	1	-14	-14	17
082814	3	-3	22	32	22	19	12	6	3	-6	-2	22
082815	2	-4	26	30	28	18	13	-1	-2	-38	-2	20
082816	-3	-7	25	26	27	16	5	1	-1	-30	5	31
082817	-2	-8	30	27	26	16	8	1	1	-66	5	28
082818	-2	-6	32	32	27	21	3	9	5	-21	-2	29
082819	2	-2	38	29	30	22	4	1	6	-5	11	36
082820	1	-1	41	31	27	22	-2	3	9	-18	12	34
082821	4	-2	36	34	26	23	5	5	15	-18	14	31
082822	2	-4	33	26	22	22	9	5	-999	-13	20	29
082823	4	0	33	32	21	26	11	10	-999	7	33	26
082900	5	-2	32	35	25	24	17	16	17	-18	31	24
082901	3	-5	34	39	24	23	12	24	25	-138	33	22
082902	-6	-8	31	40	17	22	14	36	-999	-77	35	25
082903	-1	-13	48	46	24	20	11	34	-999	16	39	28
082904	-2	-10	47	44	34	21	6	32	-999	301	30	33

表 4. 續上頁

Table 4. (Continue)

單位：公分

時間	基隆	新竹	箔子寮	澎湖	東石	高雄	鹽寮	梗枋	蘇澳	花蓮	成功	蘭嶼
082905	-1	-2	38	48	36	23	15	40	-999	304	14	38
082906	0	16	41	48	36	20	3	42	-999	323	8	29
082907	-3	25	55	48	42	18	2	33	-999	-999	3	33
082908	-3	19	60	49	40	20	3	24	-999	-999	1	33
082909	-2	23	61	51	48	20	-1	15	-999	-999	-2	33
082910	-4	23	45	44	49	22	-4	6	-999	-999	-6	31
082911	-5	23	43	33	50	21	-6	4	-999	-999	-13	30
082912	-9	5	53	35	52	21	-6	-1	-999	-999	-999	-999
082913	-10	8	46	36	47	16	-1	0	-999	-999	-999	-999
082914	-17	11	37	31	36	18	-8	-1	-999	-999	-999	-999
082915	-13	5	38	34	41	13	-12	-6	-999	-999	-999	-999
082916	-18	5	31	38	46	13	-14	-4	-26	-999	-999	-999
082917	-15	-4	28	33	39	10	-16	-5	-23	-999	-999	-999
082918	-11	30	25	35	37	12	-12	-11	-15	-999	-999	-999
082919	-7	124	23	27	32	11	-10	-6	-10	-999	-999	-999
082920	-7	184	31	29	28	14	-5	-6	-5	-999	-999	-999
082921	2	190	39	25	27	13	-7	-4	1	-999	-999	-999
082922	-1	189	37	30	26	13	-2	-4	6	-999	-999	-999
082923	1	157	38	37	34	15	-2	-3	10	-999	-999	-999
083000	0	133	31	38	36	18	0	-6	3	-999	-999	-999
083001	3	106	34	35	35	16	3	-3	-2	-999	-999	-999
083002	1	94	29	28	39	12	6	-6	-7	-999	-999	-999
083003	-2	89	22	33	31	11	3	-6	-13	-999	-999	-999
083004	2	79	26	33	38	12	3	-8	-8	-999	-999	-999
083005	6	88	17	26	32	11	3	-9	-4	-999	-999	-999
083006	3	-999	20	24	29	10	-1	-10	-3	-999	-999	-999
083007	5	0	16	21	32	6	-1	-8	0	-999	-999	-999
083008	2	10	29	22	35	9	0	-7	6	-999	-999	-999
083009	6	16	33	17	38	6	5	-6	13	-999	-999	-999
083010	8	18	41	25	40	8	4	-7	16	-999	-999	-999
083011	8	23	41	34	41	11	6	-3	15	-999	-999	-999
083012	11	21	37	36	36	12	7	-2	10	-999	-999	-999
083013	16	30	34	36	42	12	8	-3	3	-999	-999	-999
083014	10	26	27	30	44	13	8	0	-4	-999	-999	-999
083015	10	14	27	29	42	10	8	-3	-10	-999	-999	-999
083016	7	10	21	22	33	10	5	-4	-14	-999	-999	-999
083017	5	2	16	25	35	10	0	-8	-18	-999	-999	-999

AMBER 9717

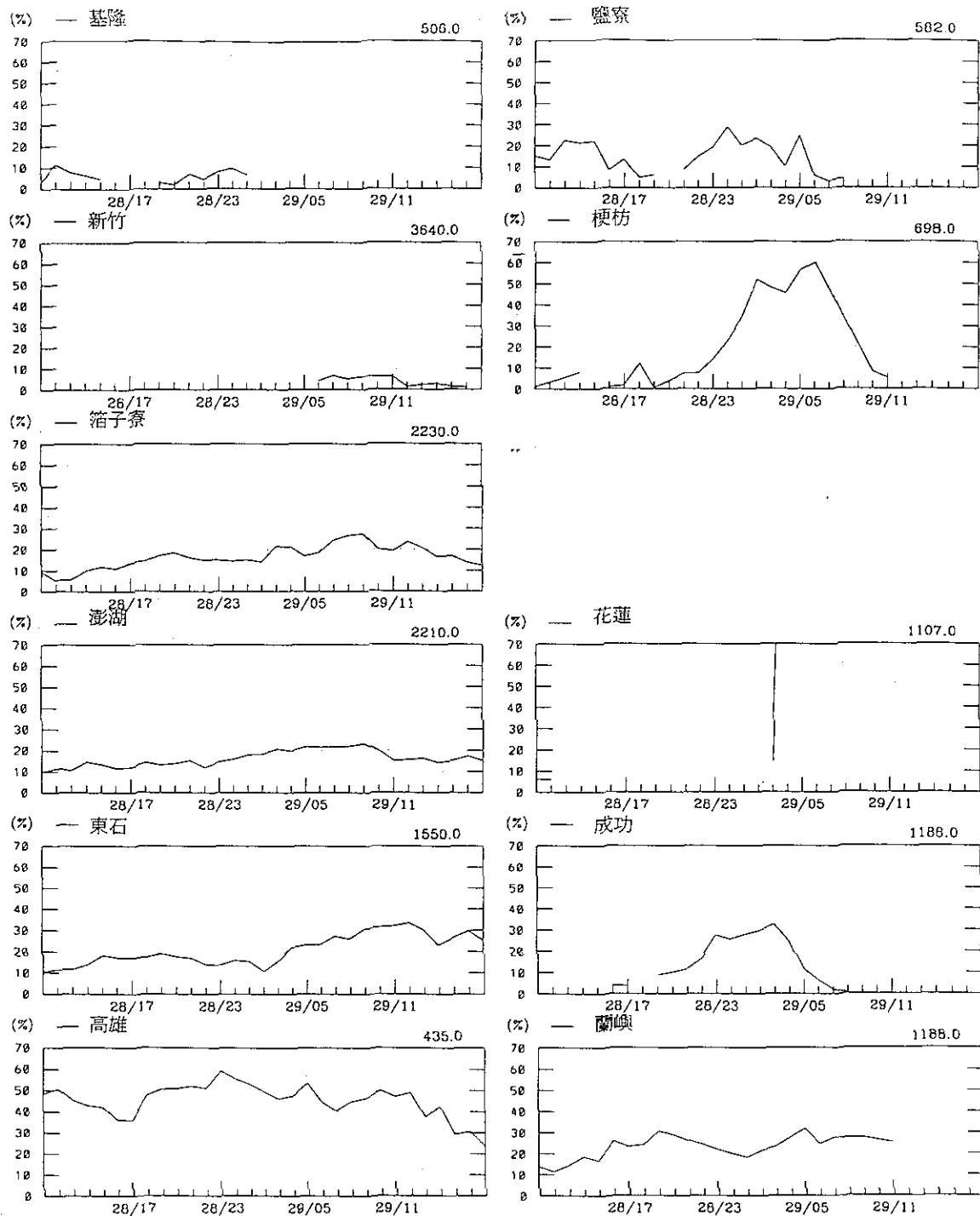


圖 7. 8 月 28 日 11 時至 29 日 17 時，各潮位站的暴潮偏差與該測站當月平均潮差之比值。

Fig 7. The ratio storm surge to monthly averaged tidal difference at each tidal station during 11 LST 28 August to 17 LST 29 August of 1997.

壓力過大，衝破潮位站大門，潮位站內的觀測儀器也遭破壞，喪失了一次寶貴的觀測機會，實屬可惜。

六、結 語

溫妮颱風中心經過台灣北部海域，其暴風範圍影響到台灣新竹與花蓮以北之海岸。由於此颱風範圍相當大，對台灣北部、東北部、西北部等沿岸產生最大暴潮，約在颱風中心離上述沿岸最近時達 2.6 公尺（新竹），這些地區是颱風移動方向左象限，風是對著海岸吹，其暴潮符合理論上之推論。根據觀測到暴潮偏差圖，顯示若以中央山脈向南北兩側延伸為軸，則颱風中心在此軸右側時對水位的影響，與颱風中心在左側時不同，即在右側時，由於是向岸風各地暴潮偏差量最大，例如鹽寮達 0.8 公尺，當颱風中心在左側時（18 日 14 時），該地暴潮偏差量減少，不因過去俗稱西北颱帶來嚴重氣

象災害而有類似水位暴漲現象。花蓮潮位站在暴潮期間短期震盪，可利用波譜來分析其頻率共振區，提供水工模擬參考。

安珀颱風是從東部花蓮秀姑巒溪北方登陸之颱風，其移動速度較規則。在登陸前，其中心距蘭嶼約 150 公里時，蘭嶼暴潮偏差量最大達 0.22 公尺，但此時雲林、嘉義沿岸暴潮偏差比東部沿岸還要明顯，這種現象持續在整個安珀颱風侵襲台灣歷程中。其他地區隨著安珀颱風之移近，暴潮偏差開始增加。其他特徵，例如成功漁港在安珀來臨前有負水位偏差，然後在登陸前觀測到最大暴潮偏差。花蓮港因地形影響有港池共振現象。當安珀颱風登陸及出海之期間，暴潮偏差量從東部沿岸逐漸向西部沿岸增加，其原因為台灣海峽地形加上颱風環流之影響，使西海岸為向岸風之故。又由於登陸後中心氣壓結構破壞，其暴潮偏差量中，受風產生之水位增加，是不容忽視的。

REPORT ON TYPHOON SURGES OF 1997 —TYPHOON WINNIE AND TYPHOON AMBER—

Shu-Fen Tseng, Beng-Chun Lee
Marine Meteorology Center, Central Weather Bureau

ABSTRACT

The aim of this paper is to describe the storm surge phenomena, induced by the two enajor typhoons WINNIE and AMBER in 1997. When typhoon WINNIE passed over the northern Taiwan waters, its structures were well defined and its influencing area was large. The circulation of WINNIE caused big storm surges directly toward the northern coast of Taiwan and dropped the pressure down deeply. The maximum surge up to 2.6 m was measured at Hsinchu tidal station. Whereas typhoon AMBER made landfall at the northern part of the Shiwnguluan creek. During the influencing time of typhoon AMBER, the storm surges observed at Yunlin and Chiayi were obviously larger than those at the eastern coast of Taiwan. The surges of other coastal area were relevant to the distance between typhoon center and coast. After landfall, AMBER'S structure broke very soon, the surges were small over the coast island-wide.

Key Word: Typhoon-induced storm surge

民國八十七年颱風調查報告—奧托颱風 (9802)

徐 辛 欽

中央氣象局預報中心

摘 要

本文主要探討在民國 87 年第 2 個侵台颱風—奧托 (OTTO) 的發生經過、路徑、強度、侵台期間各氣象要素和主客觀預報模式的校驗及災情做分析探討。

奧托颱風於呂宋島東方海面形成，隨即向西北方向朝台灣接近，其中心於 8 月 4 日 12 時 20 分 (地方時) 登陸台東縣成功鎮，再穿過中央山脈由台中梧棲出海，進入台灣海峽登陸中國大陸，迅速減為熱帶性低氣壓。

奧托颱風侵台期間，其最強風力出現在蘭嶼，達 68.2m/s (17 級風以上)，降雨方面則在阿里山有 412.5 公釐，其他阿里山及高屏山區亦有 250 公釐以上，其造成的災害主要發生在台灣中南部，共有 1 人死亡，1 人失蹤，農業、水利及交通損失達 3 億 3 千萬元。

路徑預報方面，中央氣象局 24 小時和 48 小時的誤差分別為 188 公里和 548 公里。

一、前 言

奧托颱風是當年 (1998 年) 在西北太平洋形成的第二個颱風，也是當年第二個侵台颱風。奧托於 8 月 2 日 12UTC 形成輕度颱風，在 8 月 5 日 00 UTC 減弱為熱帶性低氣壓，在其不到三天的生命期中，由於其中心直接登陸台東 (成功鎮)，穿過台灣中部，並由台中梧棲進入台灣海峽，是以前其所挾強風豪雨，造成花蓮、台東地區農漁業嚴重受災。

奧托颱風影響台灣期間，在降雨方面，以阿里山雨量最多達 404 公釐，其次是嘉南地區，而台灣北部地區之雨量則不多；陣風方面，以蘭嶼之 17 級最大，另外成功有 15 級，彭佳嶼、基隆、蘇澳、梧棲、台東、東吉島都有 10 級陣風。

本報告將討論奧托颱風發生經過，侵台期間中央氣象局對其處理情形，路徑變化、氣象要素分析及對奧托颱風預報之校驗。

二、颱風發生經過及處理情形

8 月 1 日位於呂宋島東方 400 公里海面之低氣

壓擾動，於 2 日 2 時發展為熱帶性低氣壓，由於其東北方之副熱帶高氣壓 (中心位置在日本南方約 1000 公里之海面) 提供了東南風，再加上系統附近的南風頗強，在此有利條件下，系統快速發展，於 12 小時後即增強為輕度颱風，經命名為奧托 (OTTO) 編號 9802。021200UTC 之中心位置在 15.0°N，124.9°E，中心氣壓 998hPa (見圖 4)，奧托颱風的行徑和其東北方的副熱帶高氣壓息息相關，而在颱風的西方海面並無明顯的天氣系統影響下，只有沿著上述高氣壓邊緣向北北西前進。至 3 日 8 時 (0000 UTC) 時，奧托之走向有偏向巴士海峽及台灣東南部海面之趨勢，中央氣象局於是在 3 日 9 時 45 分發布奧托颱風海上警報，提醒在巴士海峽及台灣東南部海面之航行作業船隻應嚴加戒備，更在 3 日 14 時 55 分 (3 日 0655 UTC) 發布海上陸上颱風警報，除呼籲巴士海峽及台灣東南部海面航行作業船隻應嚴加戒備外，並指出恆春半島、台東、蘭嶼、綠島及花蓮地區亦應嚴防強風豪雨。由於奧托颱風此時的移速為每小時 18 公里，正逐漸接近台灣東南部海面，氣象局遂於 20 時 50 分 (3 日 1250 UTC) 將警戒區擴展

至全台灣各地及其周圍各海面。嗣經由氣象局更進一步之研判，此颱風中心可能登陸台灣東部陸地，旋即透過媒體呼籲台灣東部地區的民衆要特別注意防範。

4 日清晨 4 時，奧托颱風之暴風圈已影響到台灣東南部陸地，氣象局除預測其中心將在中午前後於台東地區登陸外，並且預估此颱風將在台灣東部、東南部及中南部山區造成局部性豪雨，因此特別呼籲易發生土石流的地區提高警覺，避免受災。4 日 12 時 20 分（地方時）奧托颱風中心在台東縣成功鎮登陸，台東成功地區出現 15 級強風，而花東地區和中南部山區陸續有豪雨發生；奧托颱風登陸後，由於其環流受到地形影響，強度減弱，並於當日 18 時左右由台中梧棲出海，進入台灣海峽北部，向大陸福建移動，結束其在台灣陸地 5 小時的肆虐，氣象局先於 4 日 20 時 50 分解除東北部、東部及東南部的陸上警報，而於 5 日清晨 3 時 20

分完全解除台灣本島陸上警報。奧托颱風進入大陸後，強度迅速減弱，於 5 日 14 時（0600 UTC）變成熱帶性低氣壓，其生命期只有 66 小時，不到三天。

總計，此次中央氣象局對奧托颱風共發布二次海上颱風警報，14 次海上陸上颱風警報（見表二）及最後之解除警報。

三、颱風路徑及強度變化

奧托颱風於 8 月 2 日 1200 UTC 形成後，即以穩定速率（12 – 13 kts）沿著太平洋高氣壓的西南緣朝北北西移動，至 3 日 0000 UTC（見圖 1a 地面天氣圖），太平洋高氣壓向東緩慢移動，太平洋上副高的脊線橫跨在 28° ~ 30° N 間，高壓中心在 28° N，142° E（見圖 1b，850 hPa 與 700 hPa 高空圖），而在颱風的地方（即台灣東方海面及南方海面）為一不顯著的低氣

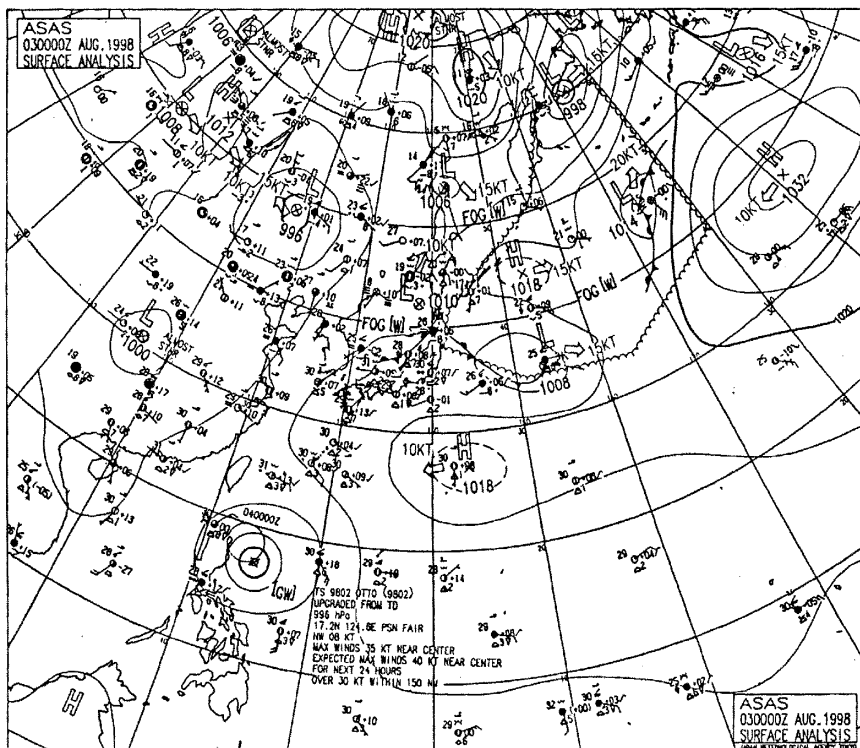
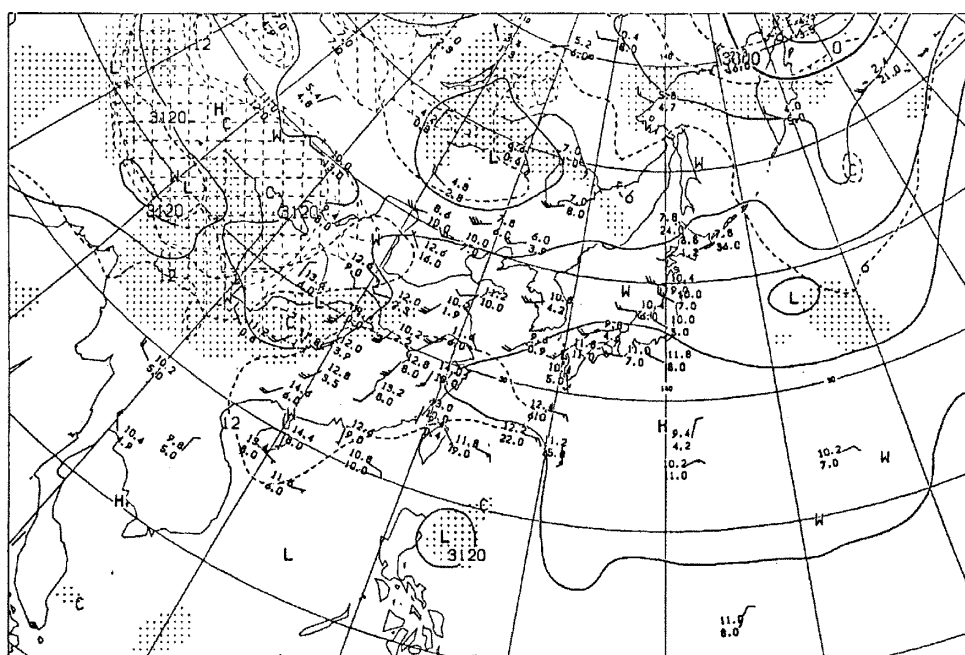
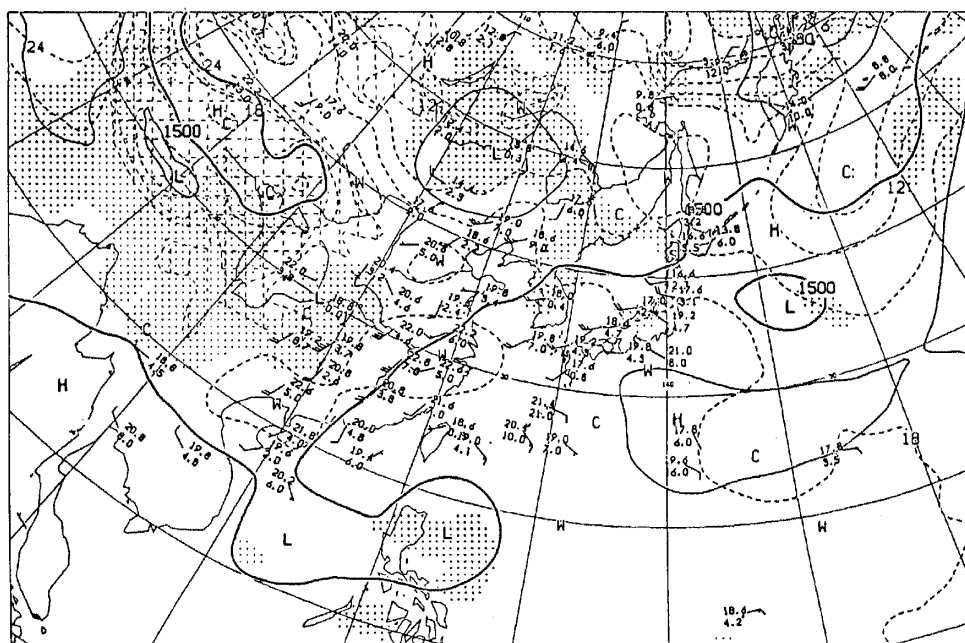


圖 1a. 8b 3a 10000UTC 地面天氣圖

Fig 1a. The surface chart at 0000UTC August 3 of 1998



ANALYSIS 700hPa: HEIGHT(M), TEMP(°C), WET AREA::(T-TD<3°C)



ANALYSIS 850hPa: HEIGHT(M), TEMP(°C), WET AREA::(T-TD<3°C)

圖 1b. 8 月 3 日 0000UTC 850hPa 和 700hPa 高空天氣圖

Fig 1b. The 850hPa and 700hPa chart at 0000UTC August 3 of 1998

表 2. 奧托颱風警報發布經過一覽表

Table 2. Warnings issued by CWB for typhoon OTTO.

種類	次序		發布時間				警戒區域			備註
	號	報	月	日	時	分	海	上	陸	上
海上	2	1	8	3	09	45	巴士海峽及台灣東南部海面			
海上	2	2	8	3	11	20	巴士海峽及台灣東南部海面			
陸上	2	3	8	3	14	55	巴士海峽及台灣東南、東北部海面			恆春半島、台東、花蓮地區
陸上	2	4	8	3	17	45	巴士海峽及台灣東南、東北部海面			恆春半島、台東、花蓮、宜蘭地區
陸上	2	5	8	3	20	50	台灣附近各海面			台灣各地區
陸上	2	6	8	3	23	25	台灣附近各海面、金門及馬祖海面			台灣各地區、金門及馬祖地區
陸上	2	7	8	4	03	05	台灣附近各海面、金門及馬祖海面			台灣各地區、金門及馬祖地區
陸上	2	8	8	4	06	25	台灣附近各海面、金門及馬祖海面			台灣各地區、金門及馬祖地區
陸上	2	9	8	4	08	40	台灣附近各海面、金門及馬祖海面			台灣各地區、金門及馬祖地區
陸上	2	10	8	4	11	50	台灣附近各海面、金門及馬祖海面			台灣各地區、金門及馬祖地區
陸上	2	11	8	4	14	55	台灣附近各海面、金門及馬祖海面			台灣各地區、金門及馬祖地區
陸上	2	12	8	4	17	55	台灣附近各海面、金門及馬祖海面			台灣各地區、金門及馬祖地區
陸上	2	13	8	4	20	50	台灣海峽、北部海面、金、馬海面			金、馬地區、澎湖、台灣西部地區
陸上	2	14	8	4	23	20	台灣海峽、北部海面、金、馬海面			金、馬地區、澎湖、台灣西部地區
陸上	2	15	8	5	03	20	台灣海峽、北部海面、金、馬海面			金門及馬祖地區
陸上	2	16	8	5	05	30	台灣海峽、北部海面、金、馬海面			馬祖地區
解除	2	17	8	5	09	00				

壓區，此有利於颱風向偏北方向前進，在衛星雲圖上（圖 2a）則顯示雲系結構良好，且水氣供應不斷。至 3 日 1200 UTC，地面天氣圖上（圖 1c）顯示，太平洋副熱帶高氣壓明顯擴張且西伸，阻礙了颱風持續偏北之移動，而逼使颱風略轉向西北進行。

圖 2b 為 8 月 4 日 0000 UTC 可見光雲圖，奧托颱風的雲系已籠罩台灣全島，此時颱風之強度亦達最大，中心附近最大風速有 30 m/s，是其生命期的最高峰，在天氣圖上，有高氣壓或脊線阻擋颱風北移（圖 3a ~ 3b）。至 4 日 0600 UTC（圖 3e）颱風已接近台灣東部陸地，此時太平洋高氣壓有後退跡象，其脊線亦有減弱跡象。圖 3d 為 040700 UTC 之衛星雲圖，可見颱風中心正在台灣陸地上，全島均處在暴風雨中，此時颱風附近之最大風速仍維持在 30 m/s，不過因地形的破壞，至 18 時（1000 UTC）從台中縣梧棲出海

時，其最大風速已下降至 25 m/s，其進行方向仍維持向西北，登陸大陸福建時，最大風速再減為 20 m/s，至 8 月 5 日 0000UTC 時，再減為 18 m/s，中心氣壓上升至 998hPa，6 個小時後變成熱帶性低氣壓。

四、奧托颱風侵台期間各種氣象要素分析

（一）氣壓分析（表 3）：

奧托颱風以第 2 類（颱風百問，中央氣象局 1997）的侵台路徑侵襲台灣（圖 4），颱風中心由台東縣成功鎮登陸越過中央山脈，從台中縣梧棲附近入台灣海峽，以氣象局測站而言，蘭嶼在 4 日 6 時 10 分即出現其最低氣壓（983.8 hpa），顯示 4 日上午颱風即經過蘭嶼附近地區，接著大武、成功和台東亦在早上 11 時至 13 時間相繼出現最低氣壓，其中成功站在 12 時 21 分測得 973.2hPa，

表 3. 奧托颱風侵台期間氣象要素統計表

Table 3. The meteorological summary of CWB's stations during the passage of typhoon

OTTO. (時間為 LST)

測站 站名	最低氣壓(hPa)		瞬間最大風速(m/s)			最大風速(m/s)			最大降水量(mm)				降水總量(mm)	
	數值	時間	風速	風向	時間	風速	風向	時間	一小時	起始時間	十分	起始時間	數量	時間始迄
彭佳嶼	1002.0	04/18:15	31.3	S	04/20:30	18.5	SE	05/00:08	1.1	04/12:12	1.1	04/12:20	1.6	04/06:40~04/12:20
基隆	995.9	04/17:37	27.1	SSW	04/18:32	10.8	SE	04/18:40	2.0	04/06:40	0.8	04/06:40	5.0	04/06:30~04/19:20
鞍部	1382.GPM	04/17:34	29.8	S	04/16:56	14.6	S	04/07:32	0.7	04/07:00	0.5	04/07:22	0.9	04/06:54~04/09:10
竹子湖	998.4	04/17:03	11.6	SE	04/15:01	3.4	NNE	05/03:00	1.1	04/07:24	0.5	04/07:30	1.3	04/07:24~04/08:30
台北	996.8	04/17:49	21.3	ESE	04/16:20	9.3	ENE	04/16:28	0.2	04/14:20	0.5	04/14:20	0.3	04/04:36~04/16:10
新竹	994.2	04/15:50	14.8	SW	05/04:51	5.1	SW	05/04:43	5.5	04/22:13	1.5	04/22:30	10.2	04/22:08~05/00:40
梧棲	995.5	04/15:22	25.8	SW	04/21:30	13.8	SSW	04/21:37	28.5	04/21:16	10.0	04/21:36	61.5	04/04:40~05/04:40
台中	995.5	04/15:12	19.2	SW	04/21:07	6.8	S	04/21:09	21.3	04/20:50	5.5	04/21:20	81.0	04/04:25~05/06:40
日月潭	1383GPM	04/14:38	14.9	SW	04/16:35	6.6	SSW	04/16:39	43.0	04/15:40	9.0	04/16:23	134.9	04/01:52~05/08:00
澎湖	1000.2	04/14:29	19.5	NW	04/17:39	11.8	NW	04/18:21	29.0	04/17:41	11.5	04/17:41	75.5	04/07:10~05/06:05
東吉島	1005.2	05/01:38	24.7	WSW	04/18:43	18.7	SW	04/19:55	13.0	04/17:13	4.5	04/17:24	33.5	04/10:40~05/05:20
阿里山	3040GPM	04/15:40	16.5	NNW	04/13:55	7.0	NW	04/14:00	85.0	04/14:28	18.0	04/14:28	412.5	03/23:38~05/05:48
玉山	3008GPM	4/13:22	35.9	NNW	04/15:51	17.0	SW	04/19:30	69.0	04/13:50	17.0	04/19:30	238.0	03/23:20~05/03:00
嘉義	997.2	04/14:01	19.4	WSW	04/19:35	10.1	SSW	04/19:36	63.0	04/19:13	18.5	04/19:30	244.3	04/02:20~05/08:30
台南	999.6	04/13:18	17.1	SW	04/19:19	11.0	SW	04/18:30	48.5	05/01:20	16.0	05/01:20	155.0	04/02:35~05/07:20
高雄	1000.9	04/13:00	16.9	W	05/02:34	10.2	SW	04/17:27	35.5	05/02:25	16.0	05/02:44	127.5	03/14:20~05/06:10
恆春	1002.0	04/04:15	15.8	NNW	04/11:58	7.8	NNW	04/11:50	23.0	04/10:00	20.0	04/10:02	92.5	03/16:35~05/05:30
宜蘭	1000.1	04/16:55	17.9	SW	04/16:22	6.3	SE	04/16:41	10.5	04/05:50	6.5	04/08:00	25.1	04/03:50~04/18:12
蘇澳	1000.1	04/16:57	23.9	S	04/16:11	12.9	SE	04/15:49	18.0	04/17:00	7.2	04/17:40	61.0	03/22:30~04/21:30
花蓮	1001.8	04/16:44	17.6	S	04/15:31	12.9	SE	04/14:04	20.0	04/07:00	4.0	04/07:00	90.5	03/21:21~04/17:10
成功	973.2	04/12:21	49.2	NE	04/11:30	26.8	N	04/11:34	34.2	04/11:20	11.6	04/11:50	176.0	03/15:43~04/16:10
台東	988.4	04/12:43	26.5	NNE	04/12:43	9.1	NNE	04/12:50	7.0	04/05:00	3.0	04/05:20	59.2	03/18:23~05/06:20
大武	994.5	04/11:39	15.5	NNE	04/13:52	5.4	N	03/21:02	8.5	04/05:47	3.5	04/05:48	51.0	03/22:01~05/05:40
蘭嶼	9838	04/06:10	68.2	NNE	04/06:15	45.5	NNE	04/06:12	34.0	04/08:19	8.5	04/09:00	120.5	03/15:00~05/06:22

註：x-表該站屬高山測站

中華民國 87 年 08 月 03 日 08 時可見光衛星雲圖



圖 2a. 1998 年 8 月 3 日 0000UTC 可見光雲圖

Fig 2a. The GMS VIS image at 0000UTC August 3 of 1998

中華民國 87 年 08 月 04 日 08 時可見光衛星雲圖

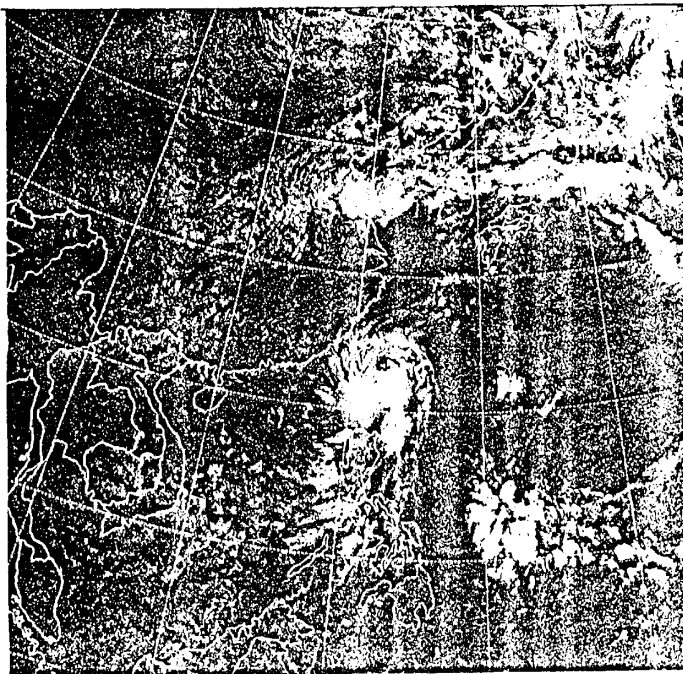


圖 2b. 1998 年 8 月 4 日 0000UTC 可見光雲圖

Fig 2b. The GMS VIS image at 0000UTC August 4 of 1998

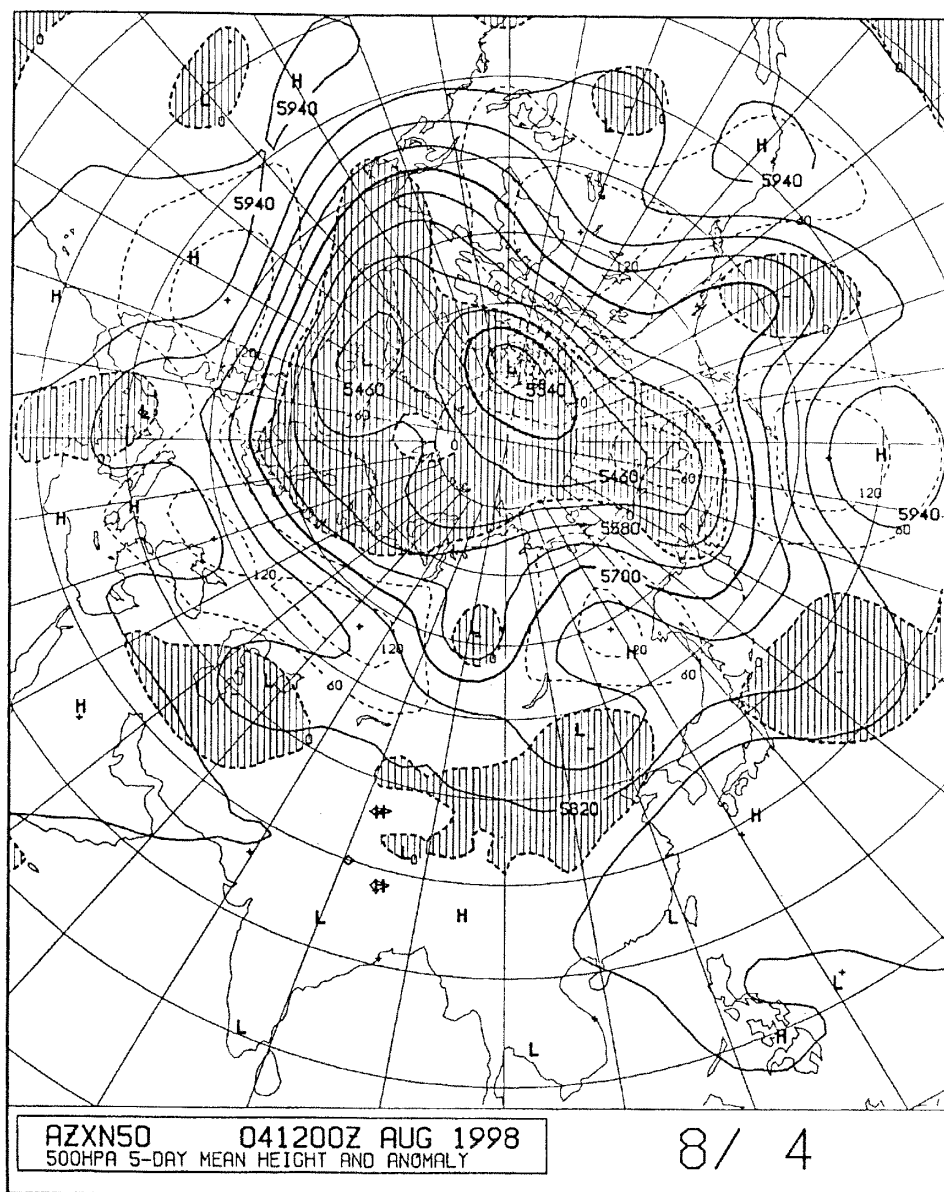


圖 3b. 8 月 4 日 0000UTC 500hPa 五日平均圖

Fig 3b. The 500hPa 5-day mean chart at 1200UTC August 4 of 1998

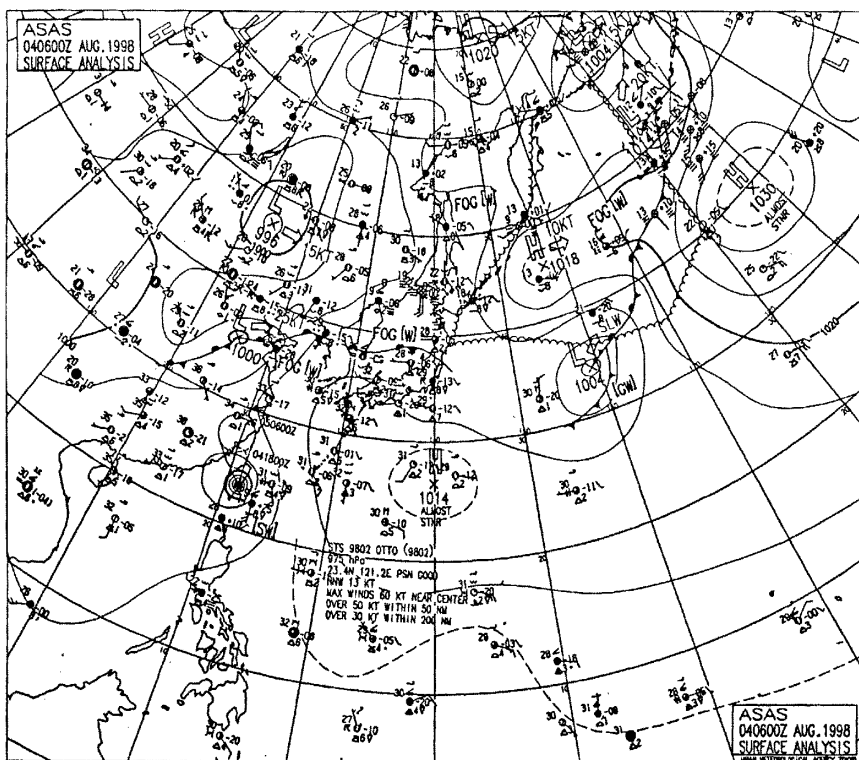


圖 3c. 8 月 4 日 0600UTC 地面天氣圖

Fig 3c. The 8surface chart at 0600UTC August 4 of 1998



圖 3d. 1998 年 8 月 4 日 15 時紅外線雲圖，奧托颱風正在台灣陸地上

Fig 3d. The FMS IR image at 1500LST August 4 of 1998

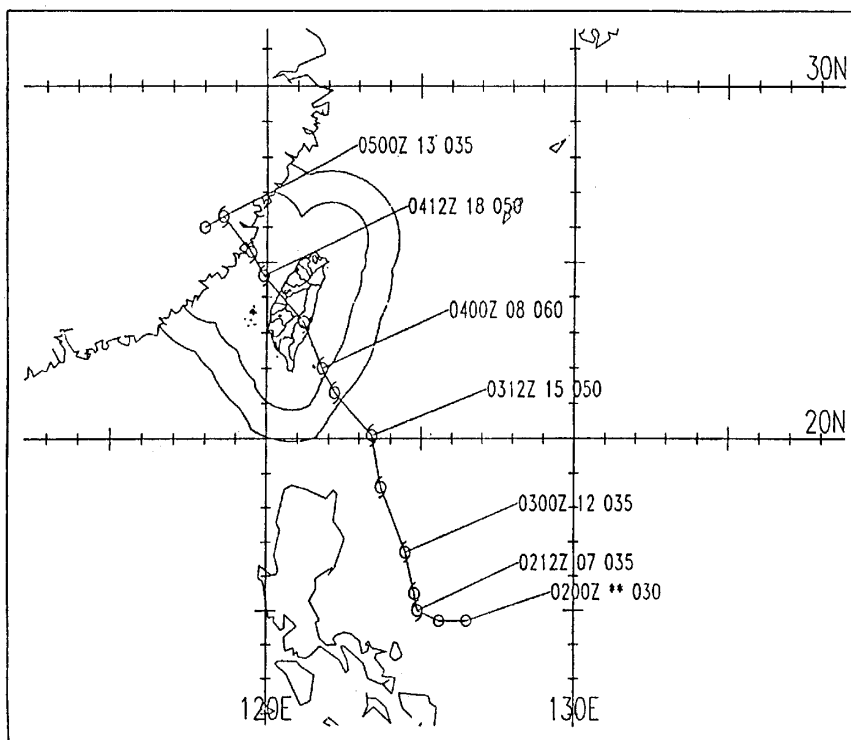


圖 4. 奧托颱風（ 9802 ）最佳路徑圖。空心代表強度為輕度颱風，每隔 12 小時之標示資料由左至右分別為 UTC 時間、移速（ kts ）及近中心大風速（ Kts ）。

Fig.4. The best track of Typhoon OTTO

此為奧托颱風被陸上測站測到的最低氣壓，由此證明颱風中心應在成功鎮登陸。當颱風通過台灣本島時，其環流遭中央山脈破壞後，只有台中梧棲和新竹三地所測的最低氣壓較低，分別為 995.5hPa、995.5hPa 和 994.2hPa，而所出現時間均在 15 時至 16 時間，顯示奧托颱風在台中與新竹之間出海。

至於奧托颱風是否在越過中央山脈時出現副低氣壓情形，從小區域地面天氣分析圖（圖 5）得知，奧托颱風在台東地區時，其副低壓已在新竹外海逐漸成形，當颱風中心越過中央山脈時，中心因被破壞而模糊，出海後則又與副中心合併而繼續向西北前進，此與王（1992）所述的分裂過程相似。

另奧托颱風的氣壓與近中心最大風速之變化可參考圖 6，奧托颱風的最低氣壓本就不深，最大陣風亦不大，本身只有輕度颱風的威力，但在接近台

灣和在台灣陸地時，其陣風到達最強之 30 m/s 程度，最低氣壓亦降至 985hPa 以下，出海後才都減弱。

（二）風速分析

奧托颱風的生命期很短，只有 66 小時，終其一生都只是輕度颱風的威力。由奧托颱風侵台期間台灣地區各氣象站之瞬間最大風速比較，以外島蘭嶼的風速最大（參考表 3）在 8 月 4 日 6 時 10 分（地方時）出現 68.2 m/s（風向為北北東）；其次為奧托颱風經過的成功，其在 8 月 4 日 12 時 29 分出現 49.2 m/s（風向為東北），再其次為玉山和彭佳嶼，分別出現 35.9 m/s（風向為北北西）和 31.3 m/s（風向為南）其他各氣象站則介於 11.6m/s ~ 29.8m/s 間。有關各氣象站出現之最大陣風對應級數可參考表 4，和圖 7b。

至於各氣象站最大平均風速比較，由表 3 中可

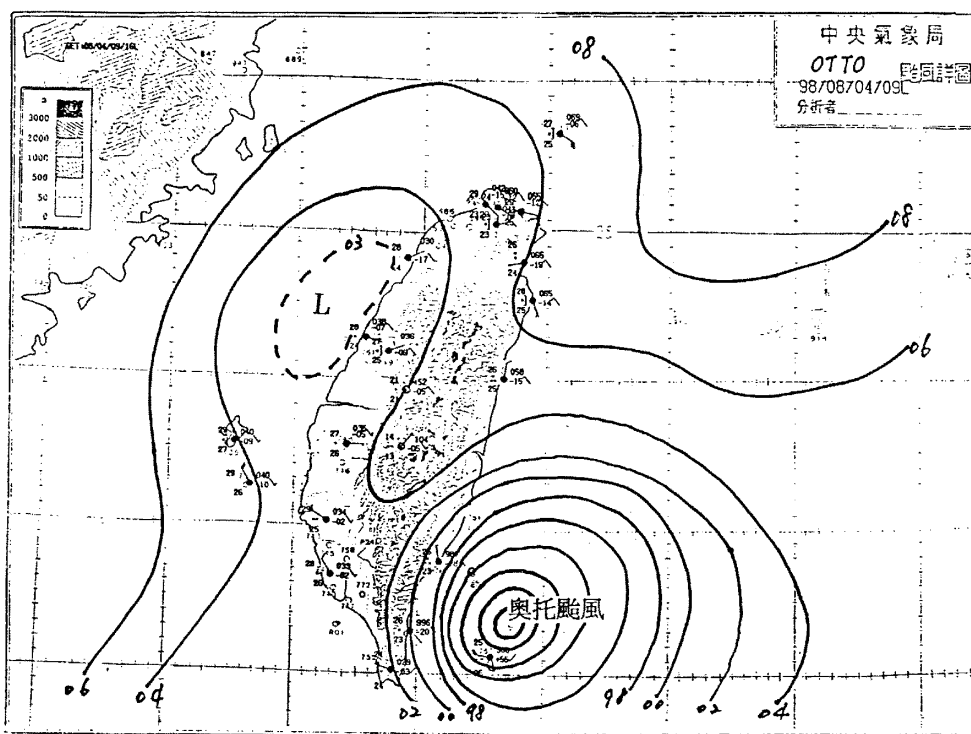


圖 5. 1998 年 8 月 4 日 0100UTC 奧托颱風小區域地面天氣分析圖

Fig.5. The local surface analysis chart at 0100UTC (0900LST) August 4 of 1998 while Typhoon OTTO attacking Taiwan

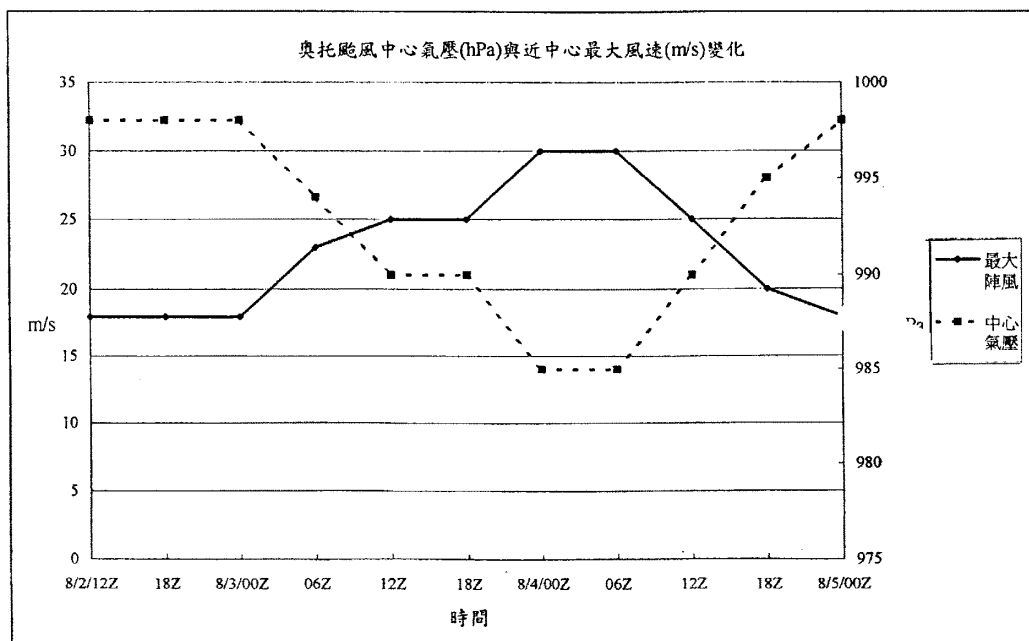


圖 6. 奧托颱風生命期內之中心氣壓與近中心最大風速變化圖

Fig.6. Time sequence of minimum pressure and maximum wind speed for typhoon OTTO (1998)

奧托(OTTO)颱風侵台期間(8月3日~5日)各氣象站累積雨量(單位：mm)

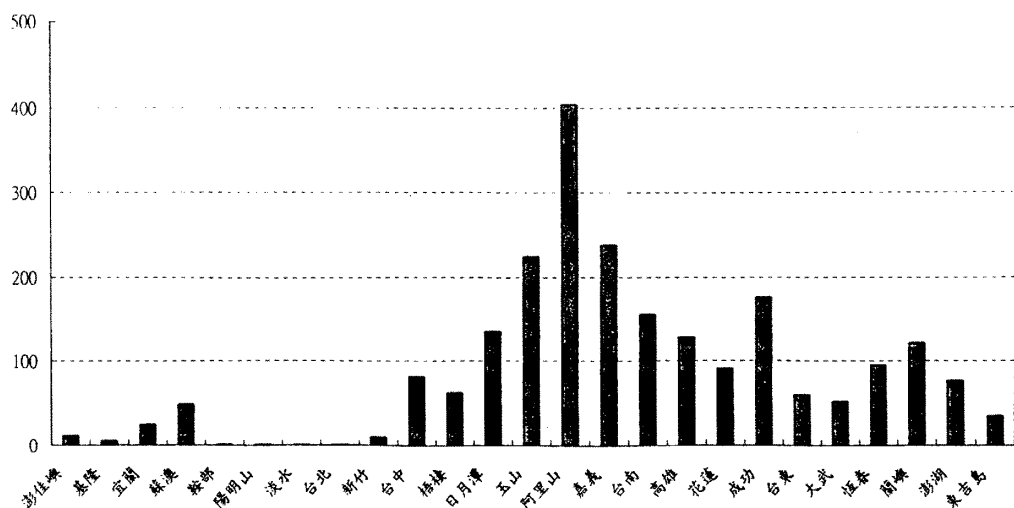


圖 7a. 奧托颱風 (OTTO) 侵台期間 [8 月 3 日至 8 月 5 日] 各氣象站累積雨量

Fig.7a. The accumulated precipitation at CWB stations during typhoon OTTO's passage

奧托(OTTO)颱風侵台期間(8月3日~5日)各氣象站最大陣風(單位：m/s)

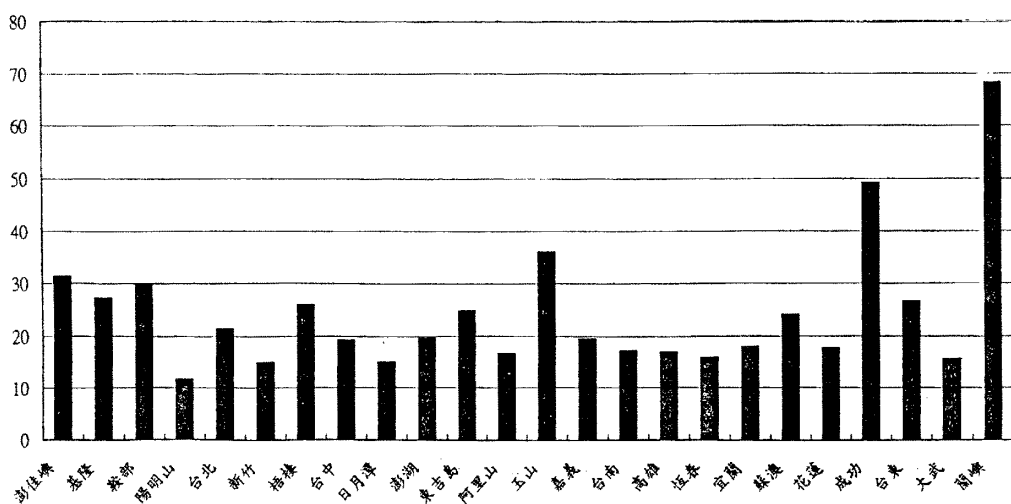


圖 7b. 奧托颱風 (OTTO) 侵台期間 [8 月 3 日至 8 月 5 日] 各氣象最大陣風

Fig.7b. The gust wind at CWB stations during typhoon OTTO's passage

表 4. 日年 8 月 3 日 14 時至 5 日 8 時，中央氣象局所屬氣象站累積雨量及最大陣風統計。

Table 4a. Accumulated rainfall and gust winds from 0314LST to 0508LST of Aug. 1998, during Typhoon OTTO attacking the taiwan area

奧托颱風 (OTTO) 編號 9802

8 月 3 日 14 時至 8 月 5 日 8 時止累積雨量及最大陣風統計表

站 名	累積雨量 (mm)	最大平均 風速(Kts) 五級以上	對應級數	出現時間 (地方時)	最大陣風 (Kts)	對應級數	出現時間 (地方時)
彭佳嶼	11	31	7	0417	63	11	0421
基隆	5				54	10	0420
宜蘭	25				36	8	0417
蘇澳	49	23	6	0415	48	10	0417
鞍部	0.9	27	6	0417	60	11	0417
陽明山	1				23	6	0416
淡水	0.3				46	9	0417
台北	0.3				43	9	0417
新竹	10				23	6	0417
台中	81				38	8	0422
梧棲	62	25	6	0422	52	10	0422
日月潭	135				30	7	0417
玉山	224	34	5	0419	72		0417
阿里山	404				33	7	0414
嘉義	237				39	8	0420
台南	155	20	5	0420	34	8	0420
高雄	128				31	7	0418
花蓮	91	25	6	0414	35	8	0416
成功	176	48	10	0412	98	15	0412
台東	59.2	29	7	0414	53	10	0414
大武	51				31	7	0414
恆春	95				32	7	0414
蘭嶼	121	91	14	0406	135	17 以上	0406
澎湖	76				39	8	0420
東吉島	34	34	7	0419	49	10	0419

表 4b. 87 年 8 月 3 日至 8 月 5 日，中央氣象局所屬氣象測站累積表

Table 4b. The daily and total accumulated rainfall (mm) at each CWB stations, during Typhoon OTTO's passage.

	8 月 3 日	8 月 4 日	8 月 5 日	合 計
彭佳嶼	0.0	2.0	10.0	12.0
基隆	0.0	5.0	0.0	5.0
鞍部	0.0	0.9	0.0	0.9
竹子湖	0.0	1.0	0.0	1.0
台北	0.0	0.3	0.0	0.3
新竹	14.0	9.0	1.0	24.0
梧棲	0.0	51.0	11.0	62.0
台中	0.0	64.0	17.0	81.0
日月潭	0.0	130.0	58.0	188.0
澎湖	0.0	74.0	2.0	76.0
東吉島	0.0	32.0	5.0	37.0
阿里山	1.0	343.0	69.0	413.0
玉山	1.0	235.0	19.0	255.0
嘉義	0.0	200.0	45.0	245.0
台南	0.0	71.0	84.0	155.0
高雄	17.0	65.0	50.0	132.0
恆春	2.0	89.0	13.0	104.0
宜蘭	0.0	25.0	T	25.0
蘇澳	0.2	49.0	13.0	62.0
花蓮	9.0	82.0	0.0	91.0
成功	32.0	144.0	8.0	184.0
台東	5.0	54.0	0.2	59.2
大武	20.0	29.0	7.0	56.0
蘭嶼	31.0	99.0	2.0	132.0

表 5. 中央氣象局衛星中心對奧托颱風定位及強度估計資料表

Table 5. Center location and intensities of Typhoon OTTO observed by the Satellite Center of CWB

時間			雲圖	中心位置		定位	強度估計	移動方向及速	七級風半徑	十級風半	降水潛勢
月	日	時	種類	緯度	經度	準確	T/CI/DSW/hr		(KM/象限)	(KM/象限)	(mm)
8	2	6	EI/V	14.8	125.4	P	1.5/1.5/D/6				
		12	E/I	14.8	125	P	2.0/2.0/D/6				
		15	E/I	14.8	124.9	P	2.0/2.0/D/6				
		18	E/I	15.2	124.7	P	2.0/2.0/S/6	325/10/6			
		21	E/I	16.3	124.3	P	2.5/2.5/D/6				
		23	EI/V	16.8	124.5	P	2.5/2.5/D/5	350/16/5			
8	3	0	EI/V	17	124.5	P	2.5/2.5/D/6	350/16/6			
		1	EI/V	17.3	124.3	P	2.5/2.5/D/7	350/16/7			
		2	EI/V	17.9	124.4	P	2.5/2.5/S/5	5/19/05			
		3	E/V	18.1	124.3	P	3.0/3.0/D/6	360/17/6			
		4	E/V	18.3	124.1	F	3.0/3.0/D/7	345/17/5			
		5	E/V	18.5	123.8	F	3.0/3.0/D/6	340/17/6			
		6	E/V	18.7	123.6	F	3.0/3.0/D/6	330/18/6	125/NW	210/SW	
		7	E/V	18.7	123.6	F	3.0/3.0/D/6	340/15/6			
		8	E/V	18.9	123.6	F	3.0/3.0/D/6	335/12/6			
		9	E/V	19.1	123.5	F	3.0/3.0/S/6	330/13/6			
		10	E/V	19.5	123.5	F	3.0/3.0/S/6	335/13/6			
		11	E/I	19.9	123.5	F	3.0/3.0/S/6	350/13.5/6			
		12	E/I	20.2	123.4	F	3.5/3.5/D/6	355/15/6	165/NNW	210/SE	
		13	E/I	20.4	123.2	F	3.5/3.5/D/6	350/17/6			
		14	E/I	20.5	123	F	3.5/3.5/D/6	340/16/6			
		15	E/I	20.8	122.8	F	3.5/3.5/D/6	340/17/6			
		16	E/I	21	122.5	F	3.5/3.5/D/6	330/17/6			
		17	E/I	21.2	122.3	F	3.5/3.5/D/6	320/16.5/6	165/NW		
		18	E/I	21.5	122.1	F	3.5/3.5/S/6	315/17/6	165/NW		
		19	E/I	21.7	122	F	3.5/3.5/S/6	330/16/6			
		20	E/I	21.9	121.8	F	3.5/3.5/S/6	320/17/6			
		21	E/I	22	121.7	F	3.5/3.5/S/6	315/16/6			
		22	E/I	22.1	121.7	F	3.5/3.5/S/6	325/13/6			
		23	E/I	22.2	121.6	F	3.5/3.5/S/6	325/12/6			
8	4	0	VIS	22.1	121.7	F	4.0/4.0/D/6	325/8/6			
		1	E/V	22.2	121.8	F	4.0/4.0/D/6	325/5/6			
		2	E/V	22.4	121.7	F	4.0/4.0/D/6	350/6/6			
		3	E/V	22.6	121.7	F	4.0/4.0/D/6	360/6/6			
		4	E/V	22.9	121.6	F	4.0/4.0/D/6	350/7.5/6			
		5	E/V	23.2	121.4	F	4.0/4.0/D/6	350/10/6	100/NW		
		6	E/V	23.5	121.2	F	4.0/4.0/S/6	340/13/6			
		7	E/V	23.5	121	F	4.0/4.0/S/6	330/14/6			
		8	E/V	23.7	120.7	F	3.5/4.0/W/6	325/15/6			
		9	EIR	23.8	120.5	F	3.0/3.5/W/6	320/16/6			
		9	VIS	24.2	120.5	F	3.0/3.5/W/6	325/19/6			
		10	E/V	24.4	120.4	F	3.0/3.5/W/6	330/18/6			
		11	E/I	24.6	120.1	F	3.0/3.5/W/6	320/18/6			

颱風觀測

[illegible]

E：紅外線色調強化雲圖

G : Good 10-30km

V : 可見光雲圖

F : Fair 30-60km

I: 紅外線雲圖

P : Poor 260km

D : developing

S : steady

W : weakening

例：325 / 10 / 6 : 325 ° / 10KHS / 6hr

T / Ci / DSW / hr

1.5 / 1.5 / D / 6hr

T,number, C; humber

知仍以發生在蘭嶼站在 8 月 4 日 6 時 15 分（地方時）所測得的 45.5 m/s 最大，為北北東風，其次為成功站在 4 日 11 時 30 分（地方時）發生 26.8m/s，再其次為東吉島和彭佳嶼，分別出現 18.7 m/s 和 18.5 m/s，這幾個出現較大風速的氣象站大多在離島地區，而出現之時間大體按接近颱風的路徑之先後順序而定，即為台灣東部，台灣中部山區，台灣中部平地及其他地區。

（三）降雨分析

從 8 月 3 日 14 時 55 分（地方時）中央氣象局發布陸上颱風警報起，至 8 月 5 日 8 時（3 時 20 分解除台灣本島陸上警報）間，各地氣象站累積雨量（表 4a 和 4b）中，主要以台灣中部山區，中部和南部平地地區之降雨量較多（圖 7a），尤其是阿里山三天之累積雨量達 413 公釐，玉山有 255 公釐，日月潭有 188 公釐，在平地則以嘉義最多為 245 公釐，其次是颱風登陸地點的成功有 184 公釐，其他地區如台南、高雄、恒春則均有 100 公釐以上的雨量，而在台中以北地區包括新竹、台北、基隆之雨量均不多，都不到 30 公釐。

又從本局自動雨量站所觀測的結果（圖 8）顯示，最大降雨中心在大湖、奮起湖（近阿里山山區），有 400 公釐以上雨量，而在其附近的嘉義山區和溪頭附近地區（南投山區）之雨量則在 250

公釐以上。另外，在高雄縣山區的高中和溪南間亦有 250 公釐至 300 公釐之雨量，此為第二大降雨中心，此二大降雨區均在山區。在平地上，從嘉義以南包括台南、高雄、屏東地區，一般雨量亦均不少，有 150 公釐左右，但北部地區包括桃園、台北和宜蘭之三天雨量皆不到 50 公釐。東部地區亦只有在台東地區的東河、成功附近和花蓮沿海地區雨量稍多，有 100 公釐至 150 公釐不等，其餘大部分地區雨水不多。

總體而言，奧托颱風所帶來的雨量只集中在嘉義和高雄山區，惟西南氣流亦為嘉南地區之平地帶來不少降雨，其他地區一般不多，尤其北部地區，雨量很少。

五、奧托颱風路徑的預報誤差校驗

中央氣象局衛星中心提供颱風逐時定位資料，表 5 為其每六小時間距分析颱風的結果，但從 8 月 2 日 15 時起增加至每 3 小時分析一次，8 月 3 日起因颱風已接近台灣附近海面，而加強監視，每小時分析一次，資料內容豐富，包括經緯度、定位準確度、颱風強度估計、移動方向，及暴風半徑，故颱風的定位並無多大問題，當颱風接近台灣時，又有雷達定位（見表 6a ~ 6d），此皆為中央氣象局颱風定位的參考，亦為決定最佳路徑的依據。

表 6a. 高雄雷達站對奧托颱風中心定位表

Table 6a. Center location of Typhoon OTTO observed by the Kaohsiung (46744) Radar station

時間 月日時(Z)	中心位置		移動方向 (度)	移動速度 (公里/小時)	備註
	北緯	東經			
080404Z	23.0	121.6			
080405Z	23.3	121.4	331	35	
080406Z	23.3	121.3	270	10.5	
080407Z					
080408Z	23.6	121.1			
080409Z	23.8	120.9	318	17.8	
080410Z	23.9	120.8	316	14	
080411Z	24.1	120.8	340	17.8	

表 6b. 花蓮雷達站對奧托颱風中心定位表

Table 6b. Center location of Typhoon OTTO observed by the Hualien (46699) Radar station

時間 月日時(Z)	中心位置		移動方向 (度)	移動速度 (公里/小時)	備註
	北緯	東經			
080318Z	21.16	122.59	339.3	25.4	
080319Z	21.31	122.47	323.7	20.5	
080320Z	21.50	122.29	316.7	28.7	
080321Z	21.60	122.16	308.5	16.3	
080322Z	21.69	122.08	322.6	13.7	
080323Z	21.85	121.99	329.5	19.8	
080400Z	21.93	121.88	310.4	14.2	
080401Z	22.11	121.76	327.7	23.7	
080402Z	22.39	121.81	330.2	31.0	
080403Z	22.66	121.67	334.8	33.4	
080404Z	22.91	121.53	332.2	31.7	

表 6c. 綠島雷達站對奧托颱風中心定位表

Table 6c. Center location of Typhoon OTTO observed by the Lu Tao (46780) Radar station

時間 月日時(Z)	中心位置		移動方向 (度)	移動速度 (公里/小時)	備註
	北緯	東經			
080317Z	21.1	122.4	340	18	
080318Z	21.3	122.2	320	11	
080319Z	21.3	122.1	27	04	
080320Z	21.5	122.0	310	14	
080321Z	21.6	121.9	315	11	
080322Z	21.7	121.8	330	11	
080323Z	21.9	121.8	360	07	
080400Z	22.1	121.9	360	08	
080401Z	22.3	121.8	360	08	
080402Z	22.4	121.6	300	13	

表 6d. 五分山雷達站對奧托颱風中心定位表

Table 6d. Center location of Typhoon OTTO observed by Wu Fen San (RCWF) Radar station

時間 月日時(Z)	中心位置		移動方向 (度)	移動速度 (公里/小時)	備註
	北緯	東經			
080402Z	22.53	121.74		22	
080403Z	22.88	121.59	338	42	
080404Z	23.03	121.44	298	25	
080405Z	23.11	121.36	318	24	
080406Z	23.22	121.29	336	15	
080407Z	23.50	121.14	292	25	
080408Z	23.56	121.04	304	24	
080409Z	23.80	120.63	302	19	
080410Z					無法定位
080411Z					無法定位
080412Z					無法定位
080413Z	24.70	119.9	340	13	
080414Z	24.90	119.9	349	25	
080415Z	25.12	119.67	302	33	
080416Z	25.30	119.8	355	26	

表 7a. 奧托颱風各種主觀預測及模式等之 24 小時颱風路徑預報平均誤差比較表

Table 7a. Error of selective track-forecast techniques for typhoon OTTO 24-HOUR MEAN FORECAST ERROR (KM)

	CLIP		CWB		HURA		PGTW		RJTD		BCGZ		VHHH		RPMM	
CLIP	7	251														
	251	0														
CWB	7	251	7	188												
	188	-62	188	0												
HURA	7	251	7	188	7	274										
	274	22	274	85	274	0										
PGTW	6	212	6	155	6	248	6	229								
	229	16	229	74	229	-18	229	0								
RJTD	6	212	6	155	6	248	6	229	6	238						
	238	25	238	83	238	-9	238	9	238	0						
BCGZ	6	212	6	155	6	248	6	229	6	238	6	224				
	224	11	224	68	224	-24	224	-5	224	-14	224	0				
VHHH	2	200	2	68	2	270	2	201	2	140	2	127	2	137		
	137	-62	137	68	137	-133	137	-64	137	-3	137	9	137	0		
RPMM	4	242	4	198	4	251	4	279	4	275	4	283	1	216	4	316
	316	74	316	118	316	64	316	37	316	40	316	33	214	-1	316	0

NUMBER OF CASES	X-AXIS TECHNIQUE ERROR
Y-AXIS TECHNIQUE ERROR	ERROR DIFFERENCE Y-X

表 7b. 奧托颱風各種主觀預測及模式等之 48 小時颱風路徑預報平均誤差比較表

Table 7b. Error of selective track-forecast techniques for typhoon OTTO 48-HOUR MEAN FORECAST ERROR (KM)

	CLIP	CWB	HURA	PGTW	RJTD	BCGZ
CLIP	3 724 724 0					
CWB	3 724 548 -175	3 548 548 0				
HURA	3 724 638 -85	3 548 638 90	3 638 638 0			
PGTW	2 679 551 -127	2 487 551 64	2 603 551 -51	2 551 551 0		
RJTD	1 651 683 31	1 351 683 331	1 385 683 298	1 524 683 159	1 683 683 0	
BCGZ	2 679 594 -85	2 487 594 107	2 603 594 -9	2 551 594 42	1 683 575 -107	2 594 594 0

表 7c. 中央氣象局 TFS 模式和 EMB 模式對奧托颱風的預報誤差比較

Fig.7c. The forecast errors of TFS model and EMB model for Typhoon OTTO

TFS 模式預報誤差 (單位：公里)

日期	12 HR	24 HR	36 HR	48 HR
080212	89	248	254	362
080300	137	133	338	-
080312	66	145	276	-
080400	145	226	-	-
080412	45	-	-	-
平均	96	188	289	362

EBM 模式預報誤差 (單位：公里)

日期	12 HR	24 HR	36 HR	48 HR
080212	192	447	552	704
080300	162	228	349	448
080312	141	181	285	-
080400	106	174	-	-
080412	186	-	-	-
平均	158	258	395	576

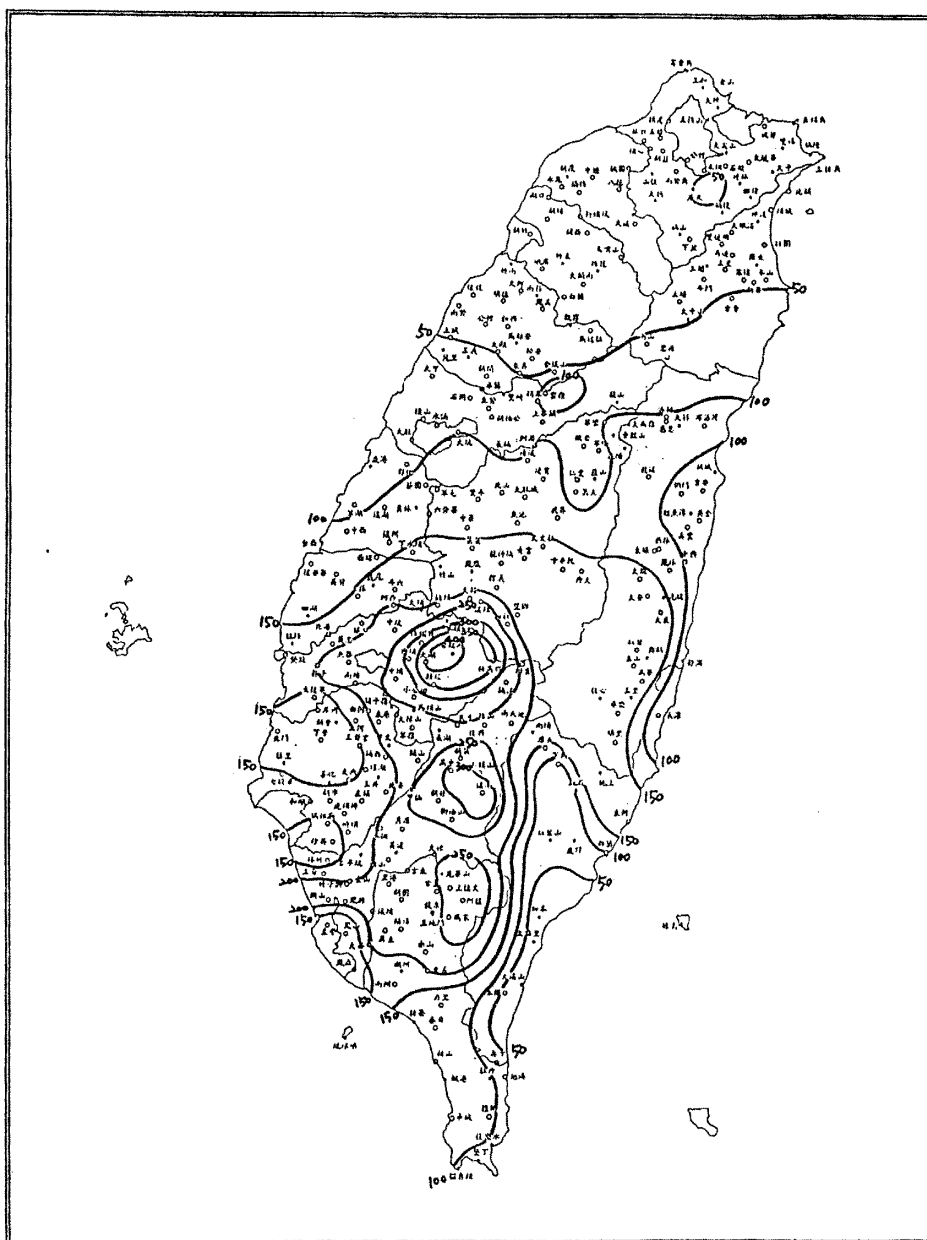


圖 8. 奧托颱風侵台期間，87 年 8 月 4 日 0 時至 5 日 17 時自動雨量站所測得之雨量分布。

Fig.8. The distribution of accumulated rainfall in Taiwan area during typhoon OTTO's passage

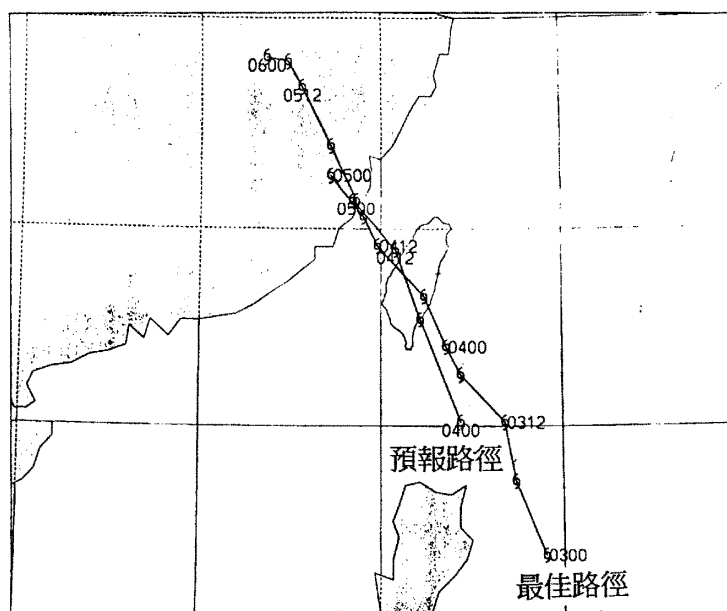


圖 9a. 中央氣象局對奧托颱風 24 小時主觀預報路徑與最佳路徑比較圖

Fig.9a. The position forecasts of CWB and the best track of typhoon OTTO (1998)

EBM TYPHOON TRACK FORECAST DATE (98/08/02/12Z-98/08/04/12Z)

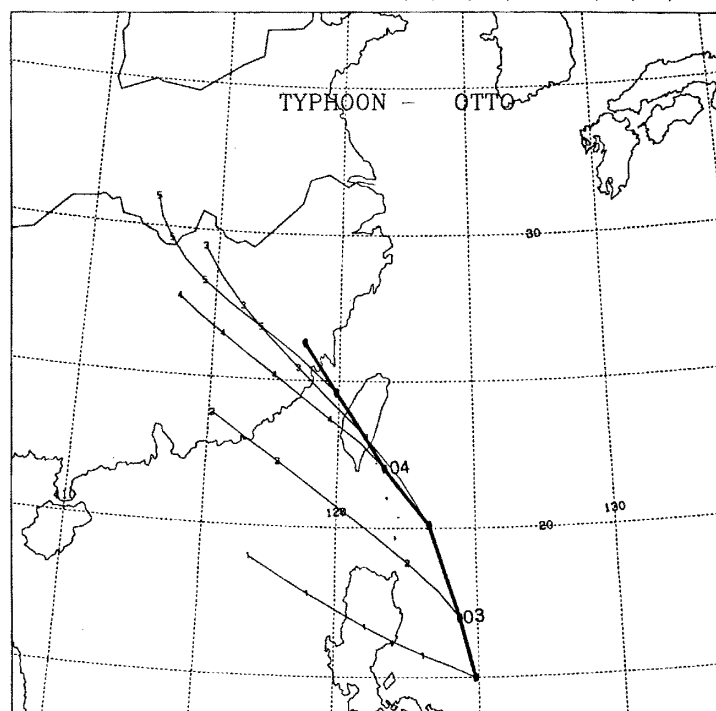


圖 9b. EBM 模式之預報路徑與奧托颱風最佳路徑比較圖

Fig 9b. The forecasts of EBM model and the best track of typhoon OTTO (080212UTC ~ 080412UTC)

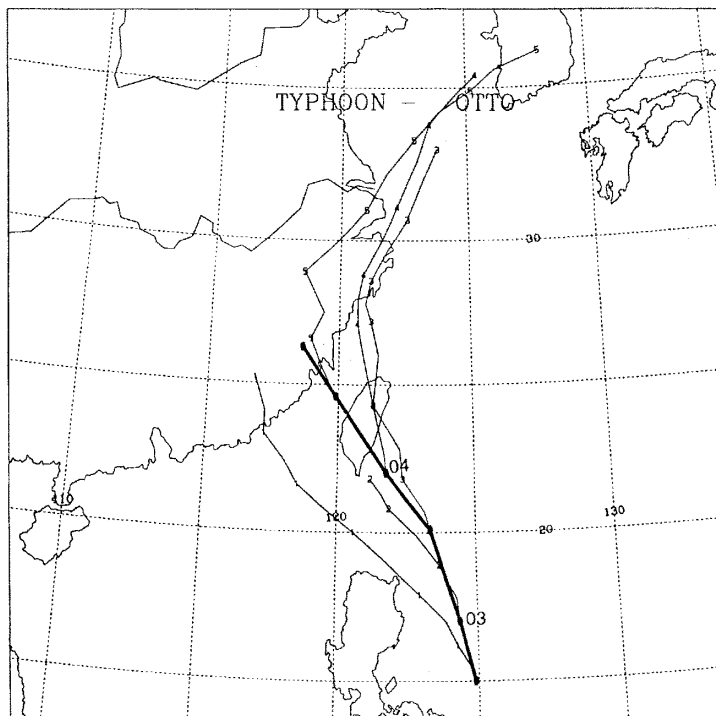


圖 9c. TFS 模式之預報路徑與奧托颱風最佳路徑比較圖

Fig 9c. The forecasts of TES model and the best track of typhoon OTTO (080212UTC ~ 080412UTC)

奧托颱風的主觀預報及模式等之 24 及 48 小時平均誤差其結果列於表 7a(24hr) 及表 7b(48hr)，以 24 小時的路徑預報誤差 (表 7a) 而言，香港 (VHHH) 的預報誤差最小，只有 137 公里 (只有 2 次個案)，中央氣象局的 188 公里 (有 7 次個案) 其次，中國廣州 (BCGE) 的 224 公里 (6 次個案) 排名第三，第三名 (含) 以後其誤差均超過 200 公里。客觀預報的表現亦是。圖 9a 為中央氣象局在奧托颱風警報期間 (3 日 ~ 5 日)，對其作 24 小時主觀預報與最佳路徑比較，圖中顯示，該局的預報誤差不大，且對颱風行進趨勢均能掌握。

在 48 小時路徑預報誤差方面 (表 7b)，中央氣象局拔得頭籌，其誤差為 548 公里 (3 次個案)，其次是關島 (PGTW) 的 551 公里 (2 次個案)，而 HURA 和 CLIP 二種模式預報誤差卻分別高達 638 公里 (3 次個案) 和 724 公里 (3

次個案)

若以中央氣象局的颱風路徑預報模式 (TFS) 和相當正壓模式 (EBM) 比較 (表 7c)，TFS 模式的表現明顯優於 EBM 模式。TFS 模式在 24 小時預報方面只有 188 公里 (4 次個案) 的誤差，48 小時預測有 362 公里 (1 次個案) 誤差，相較於 EBM 模式的 258 公里和 576 公里誤差減少很多，TFS 在 24 小時預報上不比一般主觀預報遜色。另若以 EBM 模式之預報路徑和颱風最佳路徑比較 (圖 9b)，其預報路徑均有偏西的趨勢，而 TFS 的預報路徑 (圖 9c)，初期有偏西，後期有偏北的趨勢。

六、災情報告

奧托颱風終其一生只有輕度颱風的威力，侵襲台灣的時間不長，但其帶來的風力和雨量仍對台灣

造成極大損失。依據內政部消防署中央災害防救中心統計結果，奧托颱風造成一人死亡，一人失蹤，房屋全倒四間，半倒七間，台灣省農林廳統計，南投縣、雲林縣、嘉義縣、台南縣、高雄縣、台東縣、花蓮縣皆發生農業災情，損失金額約為三億三仟萬元，其中：

(一)農作物損失三億二仟二佰萬元。

(二)漁業損失三佰伍拾萬元。

(三)農田及畜產損失四佰萬元。

其中以花蓮縣二億零伍佰二十二萬之損失最為嚴重，其次為台東縣損失亦達一億零九十五萬元。

七、結 論

綜合以上對奧托颱風的分析及討論，可歸納以下結論：

- (一)奧托颱風是 1998 年西北太平洋發生的第二個颱風，也是中央氣象局發布的第二個侵台颱風，其生命期只有六十六小時，第一次海上颱風警報發布於 8 月 3 日 9 時，第一次陸上颱風警報則於 8 月 3 日 14 時發布。
- (二)奧托颱風雖是短生命期的輕度颱風，但其颱風中心直接登陸台東縣成功鎮，進而越過中央山脈再由台中縣梧棲附近出海，其在台灣亦造成

重大災害。

- (三)奧托颱風成形後，其強度及移動方向一直受制於東北方的太平洋高氣壓，起先沿著高壓邊緣向北北西前進，後因高壓西伸而轉為向西北進行。
- (四)奧托颱風影響期間，最強風力出現在蘭嶼，其最大瞬間風速達 68.2 m/s （17 級以上），其次是成功的 49.2 m/s （15 級）。最大降水發生在阿里山，有 412.5mm ，阿里山附近的山區亦有 400mm 以上的雨量，另在高雄山區，屏東山區雨量亦不少，有 250mm 以上的降水。
- (五)颱風路徑預報誤差方面，24 小時預報誤差以香港（VHHH）和中央氣象局（CWB）最小，分別為 137km 和 188km 。48 小時預報誤差則以中央氣象局（CWB）和關島（PGTW）表現最好，其誤差分別為 548km 和 551km 。此次颱風的平均路徑預報誤差偏大，但此次颱風路徑預報個案少，故仍不足以代表各種主觀和模式之真正預報能力。
- (六)災害損失總計：一人死亡、一人失蹤，房屋全倒四間，半倒七間，農業損失金額約為三億三仟萬元。

REPORT ON TYPHOON OTTO OF 1998

Hsin-chin Hsu

Weather forecast Center, Central Weather Bureau

ABSTRACT

This article mainly deals with typhoon Otto (9802) about its origination, evolution, track and meteorological factors. Discussions on its verification of various subjectives and objectives tracking forecasts are also included.

Otto originated over the ocean east to Luzon of the Philippines and then moved northwesterly toward Taiwan. Its center landed on the Chen-kung town (Tai-tung) and later moved off, land to the sea from the Tai-chung area. After passing through the Taiwan Strait, it made a second landfall on Mainland China, and finally dissipated as a tropical depression over land.

The observations shows that there was a peak gust of 68.2m/s observed at Lan-yu. Owing to the effects of cloudbands within the southwest quadrant of Otto and the topography of Taiwan, a maximum accumulated rainfall of 412.5mm was observed at the A-li-shan and also the heavy rain near its mountain area during Otto's passage. Severe property damages and losses of life in the south part of Taiwan were reported.

The 24hr and 48hr official forecast errors of the CWB were 188km and 548km respectively.

民國八十七年颱風調查報告—楊妮颱風 (9809)

陳 得 松 黃 康 寧

中央氣象局氣象科技研究中心

摘 要

本文針對楊妮 (Yanni) 颱風的發生經過、強度與路徑的變化、侵台時各氣象要素值、實際預報與客觀路徑預報模式的校驗及災情做分析報告與檢討。

楊妮颱風於 1998 年 9 月 27 日 15UTC 形成於恆春東方約 260 公里之海面上，為 1998 年西北太平洋地區發生的第 9 個颱風，也是該年中央氣象局發布警報且侵台的第三個颱風，其路徑是先呈西北向移向台灣，靠近台灣本島後漸受北方槽線牽引轉而向北運動，其強度一直僅發展至輕度颱風階段，當颱風向北移且其暴風半徑慢慢脫離台灣時，中心強度與暴風半徑略有增加及擴大，但仍未達中度颱風，此時颱風移動方向又漸轉向北北東，最後加速登陸於韓國，並迅速變性為溫帶氣旋。楊妮颱風中心並未直接登陸台灣，由於強度不強、暴風半徑不大，很幸運地並未對台灣地區造成太大災情。

楊妮颱風侵台時的風雨資料分析顯示，豪雨中心位於東北部山區及北部山區，至於強風情況並不明顯，較強陣風都出現在外島地區。

颱風路徑預報路差方面，中央氣象局原始方程模式 (TFS) 及相當正壓模式 (EBM) 24 小時誤差各為 330 公里與 366 公里，48 小時預報誤差為 519 公里與 892 公里，中央氣象局 (CWB) 24 小時及 48 小時官方預報誤差分別為 331 公里與 791 公里。

一、前 言

楊妮 (Yanni) 颱風是民國 87 年西北太平洋地區發生的第 9 個颱風 (編號為 9809)，也是該年中央氣象局發布警報且侵襲台灣的第三個颱風。楊妮颱風其前身之熱帶性低氣壓於 9 月 25 日下午 2 時在菲律賓東北方海面形成，之後朝西北方移動接近台灣。楊妮颱風於 9 月 27 日晚上形成，此時中心位置已頗接近台灣，而北方槽線恰於這時候移至東經 120 度附近，颱風受此槽線牽引轉向北移，之後並轉向東北登陸韓國。此颱風屬輕度颱風，範圍不大，雖然中央氣象局預測颱風不會登陸台灣，但由於楊妮颱風中心頗接近台灣，仍可能在台灣地區引發強風豪雨，所以中央氣象局仍對楊妮颱風發布海上陸上颱風警報。楊妮颱風的移動路徑一直在中央氣象局的掌握之中，也由於強度不甚強，故並

沒有造成很嚴重的災害。

本文之主要目的在描述楊妮颱風的生命過程，以及其對台灣地區及附近海面的影響。以下第二節先說明楊妮颱風之發生及經過，第三節主要探討其強度及路徑變化，第四節則描述楊妮颱風的最佳路徑 (best track) 並做各種預報方法之校驗，第五節主要分析颱風影響期間各地 (氣象站) 之氣象狀況 (包括風雨狀況)，災情記錄於第六節，最後則對此颱風做綜合討論。

二、楊妮颱風之發生及經過

民國 87 年 9 月 25 日下午 2 時有一熱帶性低氣壓菲律賓東北方海面形成，即為楊妮颱風前身。其後在 9 月 27 日晚上 11 時形成輕度颱風，表 1 為楊妮颱風 9 月 27 日 18UTC 至 9 月 30 日 12UTC 的最佳路徑、中心定位、強度變化及動向

資料表。楊妮颱風形成後，開始以西北方向移動，期間速率並無太大變化，而其強度及暴風範圍也未增強或加大，一直屬於輕度颱風，中心氣壓大致維持於 996 百帕，七級風半徑約 100 公里。由於楊妮颱風形成時位置距離恆春東方只有約 260 公里的距離，將對台灣附近海域及東半部與北部陸地構成威脅，所以中央氣象局立即在 9 月 27 日晚上 11 時 30 分對台灣東部海面、北部海面及巴士海峽發布海上颱風警報，並對台東、花蓮、宜蘭及苗栗以北地區發布陸上颱風警報，更呼籲北部及東北部地區民眾嚴防豪雨及山洪暴發、落石坍方等災害。隨著楊妮颱風慢慢逼近台灣，中央氣象局研判其受高空槽線牽引的影響，在接近台灣陸地時將會先轉往偏北的方向移動，隨其移動，中央氣象局於 9 月 28 日下午 3 時 05 分解除了台東地區及巴士海峽的颱風警報。隨著槽線牽引，楊妮颱風逐漸遠離，而台灣陸地也慢慢脫離颱風暴風範圍，中央氣象局於 29 日上午 8 時 55 分解除陸上颱風警報，再於當天下午解除海上颱風警報，此時楊妮颱風開始有增強的趨勢，中心氣壓降至 985 百帕，到了 29 日半夜時，七級風暴風半徑由 100 公里擴大為 150 公里，中心氣壓更降至 975 百帕。不過其後隨著颱風位置越來越北，強度也迅速減弱，而於 9 月

30 日登陸韓國並變性為溫帶氣旋。有關楊妮颱風之警報布情形如表 2 所示。

三、颱風強度及路徑變化

楊妮颱風於 9 月 27 日晚上 11 時形成後，即沿著太平洋高壓南緣朝西北方向進行。由 9 月 27 日 12UTC 之 500 百帕高空圖（圖 1）顯示，太平洋高壓的勢力（即 5880gpm 等高線範圍）自太平洋向西延伸經過台灣北邊海面直至大陸華中地區。而高空槽由韓國西北方向西南延伸至北緯 30 度、東經 110 度附近。其後 12 小時（即 9 月 28 日 00UTC），由 500 百帕高空圖（圖 2）可見，北方高空槽已向東移至東經 115 度附近，且太平洋高壓勢力範圍有減弱現象，楊妮颱風受北方槽線牽引，移動方向由西北向漸轉成往北進行。在往後 24 小時內，北方槽線持續東移至東經 120 度，由圖 3 顯示，颱風環流已與槽線結合，因此楊妮颱風之移動方向又由偏北轉為北北東方向。而從 9 月 29 日 00UTC 開始，楊妮颱風之移動速度也因與槽線之交互作用增強而有加速現象（由 12kts 增至 30kts），最後於 9 月 30 日 00UTC 之前，中心氣壓維持於 998 百帕左右，七級風暴風半徑約 100 公里。由 10 天平均海水溫度（圖 6）分析，

表 1. 楊妮颱風最佳路徑中心定位、強度變化及動向資料表
Table 1. The best track center positions, intensity and movement of typhoon YANNI

時間 (UTC)			中心位置 (度)		中心 氣壓 (hPa)	強度	移動 方向	移動 速度 (km/hr)	近中心最大風速 (m/s)		暴風半徑 (km)	
月	日	時	北緯	東經					平均	瞬間	七級風	十級風
9	27	18	22.6	122.4	998	輕度	NNW	13	18	25	100	---
	28	00	22.9	122.2	998	輕度	NNW	7	18	25	100	---
		06	23.7	122.2	996	輕度	N	10	20	28	100	---
		12	24.4	122.4	996	輕度	N	12	20	28	100	---
		18	25.0	122.7	996	輕度	NNE	12	20	28	100	---
	29	00	25.8	123.4	996	輕度	NNE	18	20	28	100	---
		06	27.2	124.3	985	輕度	NNE	18	25	33	100	---
		12	28.7	125.6	980	輕度	N	19	30	38	150	---
		18	30.9	127.2	975	輕度	NNE	30	30	38	150	---
	30	00	33.0	126.9	980	輕度	NNE	28	28	35	150	---
		06	34.5	127.1	985	輕度	NNE	32	25	33	150	---
		12	35.5	127.5	992	輕度	NE	32	---	---	---	---

雖然當時颱風活動範圍於平均每溫約在 300 ~ 302 ° K 之間，但可能由於颱風路徑頗接近台灣陸地，結構遭致地形破壞，故強度一直未曾增強，直到 9 月 29 日 06UTC 後，楊妮颱風之暴風圈脫離台灣陸地並與北方槽線結合，颱風強度才有增強趨勢，而在 29 日 18UTC 達到最強，但中心氣壓也只到達 975 百帕、七級風暴風半徑則稍擴大至 150 公里。不過之後隨颱風位置越往北移，強度又迅速減弱，逐漸變性為溫帶氣旋。

四、楊妮颱風之最佳路徑又路徑預報誤差校驗

由中央氣象局衛星中心所觀測之颱風逐時定位資料，表 2 列出其每 6 小時間距之結果。而自 9

月 28 日 02 時（地方時）進入花蓮雷達站監視範圍，其颱風中心定位資料如表 4a，而五分山雷達站亦自 9 月 28 日 06 時（地方時）開始觀測到楊妮颱風，其颱風中心定位資料如表 4b 所列。在颱風警報發布期間，其他作業單位之衛星及雷達定位資料皆為中央氣象局颱風中心定位作業之參考。表 1 及圖 7 為楊妮颱風最佳路徑相關資料，與表 3、表 4 比較，颱風定位方面並無太大爭議。

在楊妮颱風路徑預報誤差，表 5 列出中央氣象局官方預報（CWB）、統計預報法（CLIPER 及 HURRAN）、以及原始方程颱風模式（TFS）和相當正壓颱風模式（EBM）兩種動力預報模式之 24 時與 48 小時颱風路徑預報位置誤差。在中央氣象局官方預測方面，24 小時與 48 小時之平

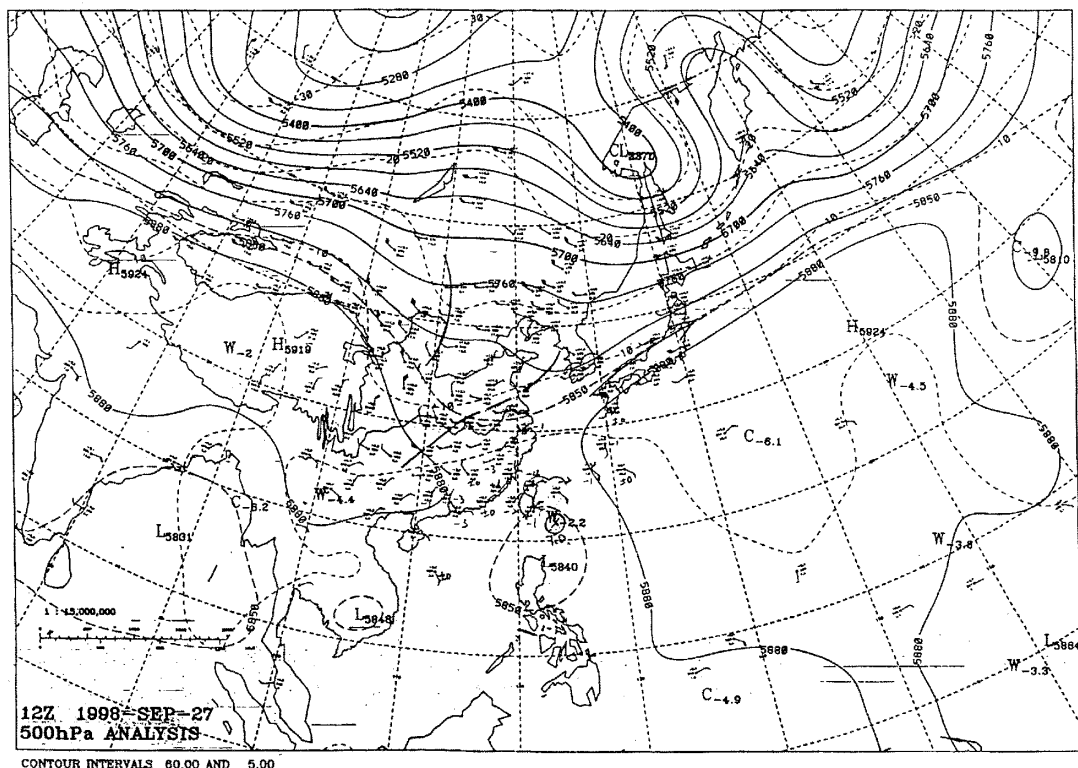


圖 1. 9 月 27 日 12UTC 之 500 百帕高度場天氣圖（等高線間距 60gpm，等溫線間距 5 °C）

Fig.1. The 500 hPa analysis chart at 12UTC September 27 of 1998 (contour interval of geopotential height is 60 gpm and contour interval of temperature is 5 °C, whereas contour lines of 5850 gpm are added as dash lines.

表 2. 楊妮颱風侵台期間中央氣象局警報發布一覽表

Table 2. Warnings issued by CWB for typhoon YANNI

種類	次序		發布時間(LST)				警戒地區		備註
	號	報	月	日	時	分	海上	陸上	
海陸	3	1	9	27	23	30	臺灣北部、東部海面及巴士海峽	臺灣東部、苗栗以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	1-1	9	28	0	45	臺灣北部、東部海面及巴士海峽	臺灣東部、苗栗以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	1-2	9	28	1	25	臺灣北部、東部海面及巴士海峽	臺灣東部、苗栗以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	2	9	28	3	25	臺灣北部、東部海面及巴士海峽	臺灣東部、苗栗以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	2-1	9	28	3	50	臺灣北部、東部海面及巴士海峽	臺灣東部、苗栗以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	2-2	9	28	4	20	臺灣北部、東部海面及巴士海峽	臺灣東部、苗栗以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	3	9	28	5	40	臺灣北部、東部海面及巴士海峽	臺灣東部、苗栗以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	3-1	9	28	6	15	臺灣北部、東部海面及巴士海峽	臺灣東部、苗栗以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	4	9	28	8	45	臺灣北部、東部海面及巴士海峽	臺灣東部、苗栗以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	4-1	9	28	9	20	臺灣北部、東部海面及巴士海峽	臺灣東部、苗栗以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	4-2	9	28	10	20	臺灣北部、東部海面及巴士海峽	臺灣東部、苗栗以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	5	9	28	11	55	臺灣北部、東部海面及巴士海峽	臺灣東部、苗栗以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	5-1	9	28	12	35	臺灣北部、東部海面及巴士海峽	臺灣東部、苗栗以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	5-2	9	28	13	20	臺灣北部、東部海面及巴士海峽	臺灣東部、苗栗以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	6	9	28	15	05	臺灣北部及東部海面	花蓮、苗栗以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	6-1	9	28	15	25	臺灣北部及東部海面	花蓮、苗栗以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	6-2	9	28	16	15	臺灣北部及東部海面	花蓮、苗栗以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	7	9	28	17	40	臺灣北部及東部海面	花蓮、苗栗以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	7-1	9	28	18	35	臺灣北部及東部海面	花蓮、苗栗以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	7-2	9	28	19	15	臺灣北部及東部海面	花蓮、苗栗以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	8	9	28	20	20	臺灣北部及東部海面	花蓮、桃園以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	8-1	9	28	21	25	臺灣北部及東部海面	花蓮、桃園以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	8-2	9	28	22	05	臺灣北部及東部海面	花蓮、桃園以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	9	9	28	23	20	臺灣北部及東部海面	花蓮、桃園以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	9-1	9	28	24	05	臺灣北部及東部海面	花蓮、桃園以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	9-2	9	29	1	10	臺灣北部及東部海面	花蓮、桃園以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	10	9	29	2	50	臺灣北部及東北部海面	桃園以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	10-1	9	29	3	15	臺灣北部及東北部海面	桃園以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	10-2	9	29	4	05	臺灣北部及東北部海面	桃園以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	11	9	29	5	20	臺灣北部及東北部海面	桃園以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	11-1	9	29	6	05	臺灣北部及東北部海面	桃園以北、及宜蘭地區	輕度
海陸	3	11-2	9	29	7	15	臺灣北部及東北部海面	桃園以北、及宜蘭地區	輕度
海上	3	12	9	29	8	55	臺灣北部及東北部海面		輕度
海上	3	13	9	29	11	30	臺灣北部及東北部海面		輕度
解除	3	14	9	29	14	45	楊妮颱風已進入東海南部		輕度

均路徑預報誤差分別為 331 公里及 791 公里。由個別預報與最佳路徑比較顯示（圖 8 與表 5），雖然中央氣象局官方預報對楊妮颱風之路徑預報誤差偏大，但由圖 8 可見，基本上中央氣象局官方預報對楊妮颱風之方向變化掌握不錯，誤差主要來自速度之預報偏慢所致，此外當颱風離開台灣時行進方向為東北向，而中央氣象局官方預報為北北東方向，稍有偏左誤差，這也是導致預報誤差偏大原因之一。

至於統計預報模式 CLIPER 法之 24 小時與 48 小時之平均路徑預報誤差為 258 公里與 543 公

里，HURRAN 法則是 246 公里與 659 公里。由圖 9、圖 10 及表 5 可看出，兩種統計預報法在颱風形成初期皆有偏左誤差而不正確地報颱風將登陸台灣，這和統計法中持續性因子比重頗高有關。而當楊妮颱風以東北向離開台灣時，兩種統計預報法之預報結果皆不錯（28 日 06UTC、12UTC），但當楊妮颱風越過北緯 30 度後再度轉向北方行進時，CLIPER 法及 HURRAN 法之誤差又明顯變大，顯示統計預報模式在颱風移動方向有變化時表現較差。

而 TFS 與 EBM 兩種動力預報模式之 24 小時

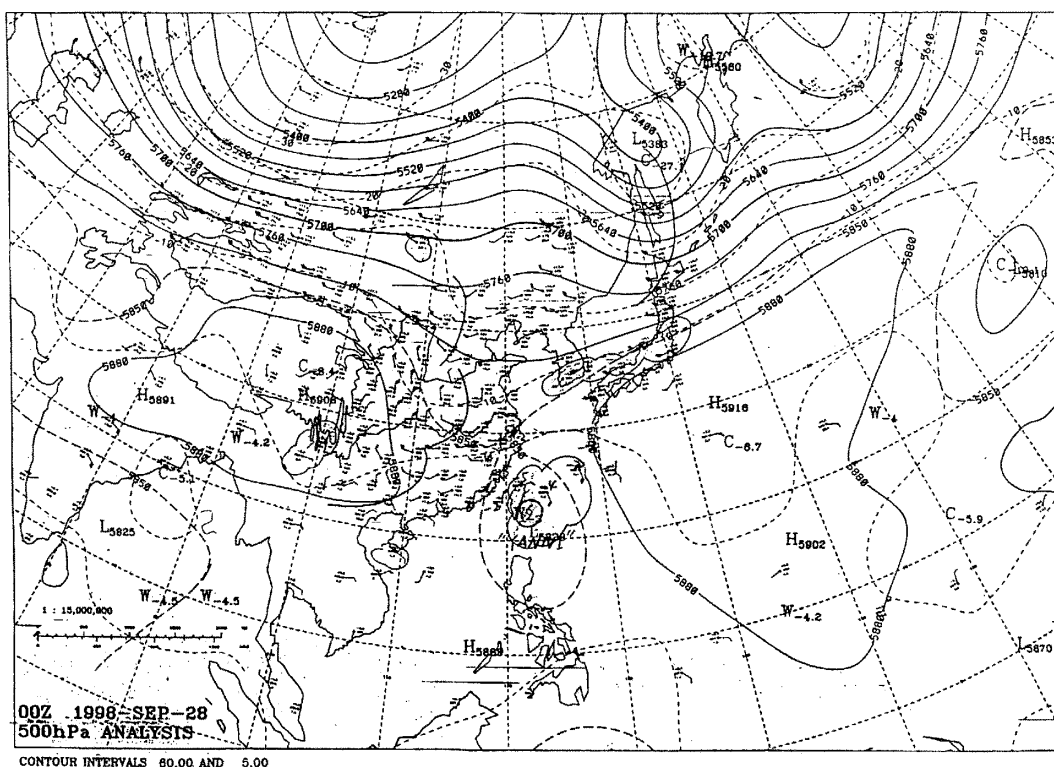


圖 2. 9 月 28 日 00UTC 之 500 百帕高度場天氣圖 (等高線間距 60gpm, 等溫線間距 5 °C)

Fig.2. Same as Fig.1. but for 00UTC September 28 of 1998.

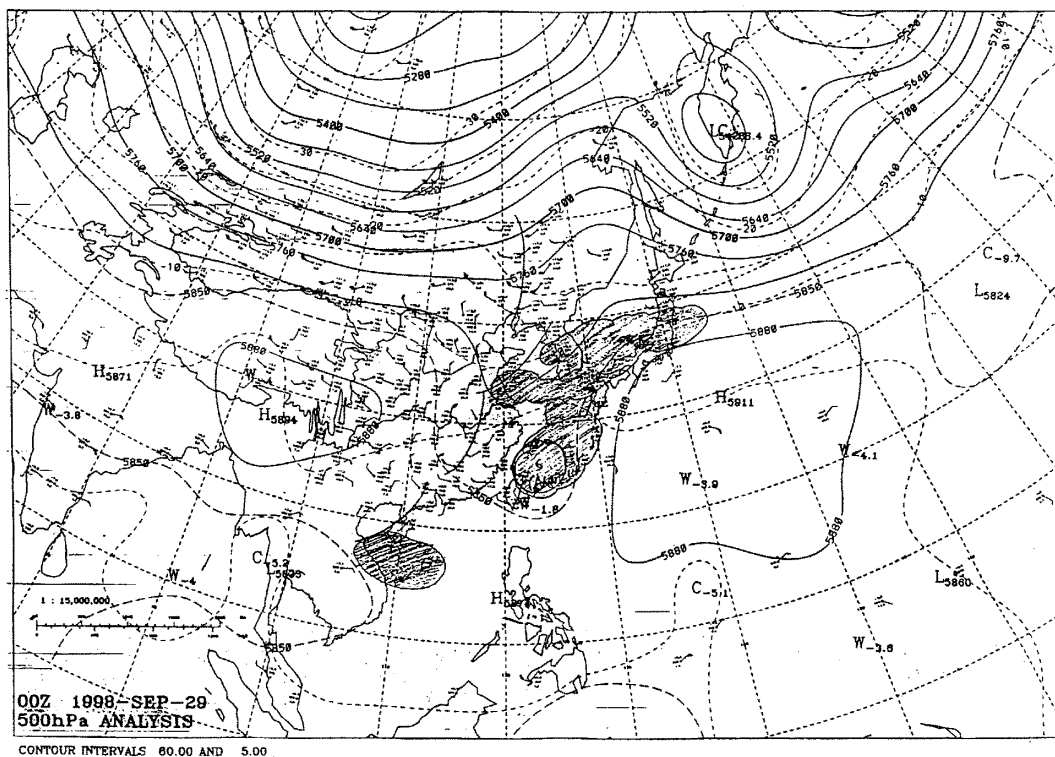


圖 3. 9 月 29 日 00UTC 之 500 百帕高度場天氣圖 (等高線間距 60gpm, 等溫線間距 5 °C)

Fig.3. Same as Fig.1. but for 00UTC September 29 of 1998.

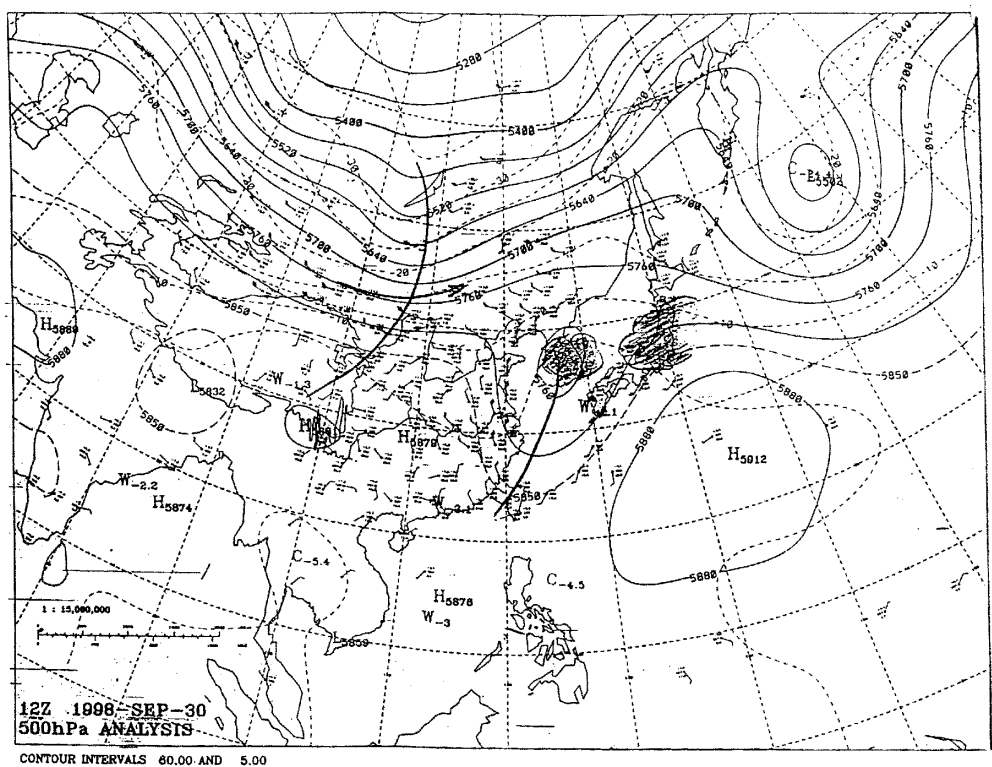


圖 4. 9 月 30 日 12UTC 之 500 百帕高度場天氣圖 (等高線間距 60gpm，等溫線間距 5 °C)

Fig.4. Same as Fig.1. but for 12UTC September 30 of 1998.

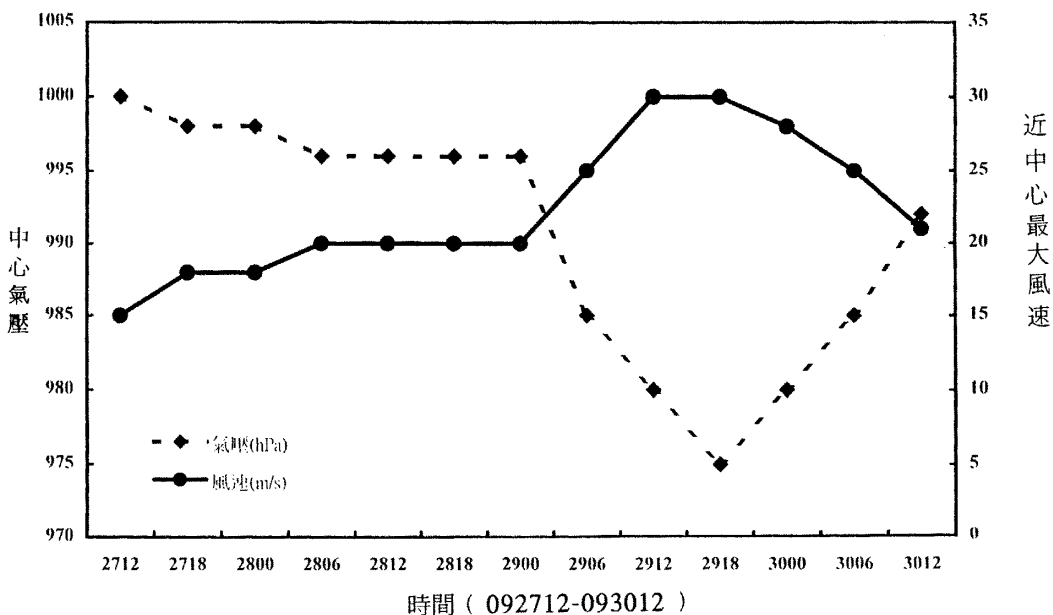


圖 5. 楊妮颱風之中心氣壓及近中心最大風速變化圖

Fig.5. Time sequence of the minimum pressure and the maximum wind speed of thphoon Yanni

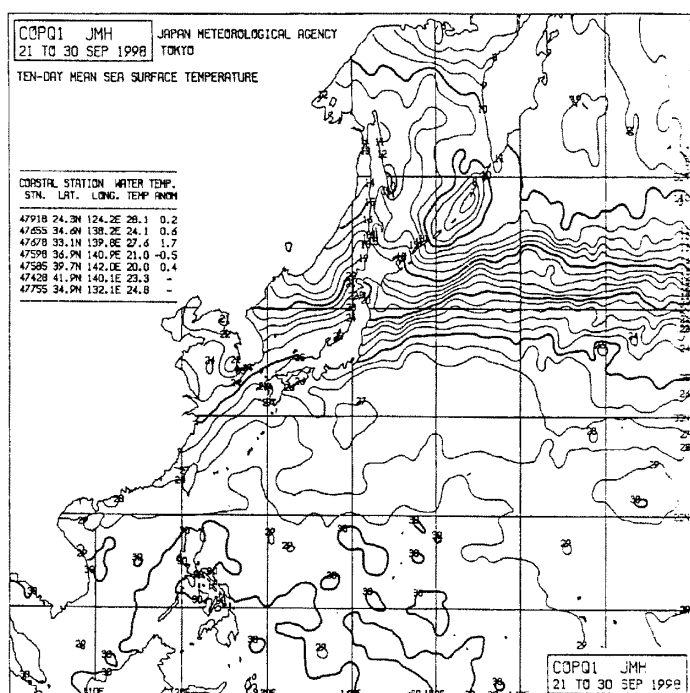


圖 6. 1998 年 9 月 21 日至 30 日之 10 天平均海水溫度圖 (單位: $^{\circ}\text{C}$, 圖來自日本氣象廳)

Fig.6. 21 to 30 September, 1998 ten-day mean sea surface temperature ($^{\circ}\text{C}$)

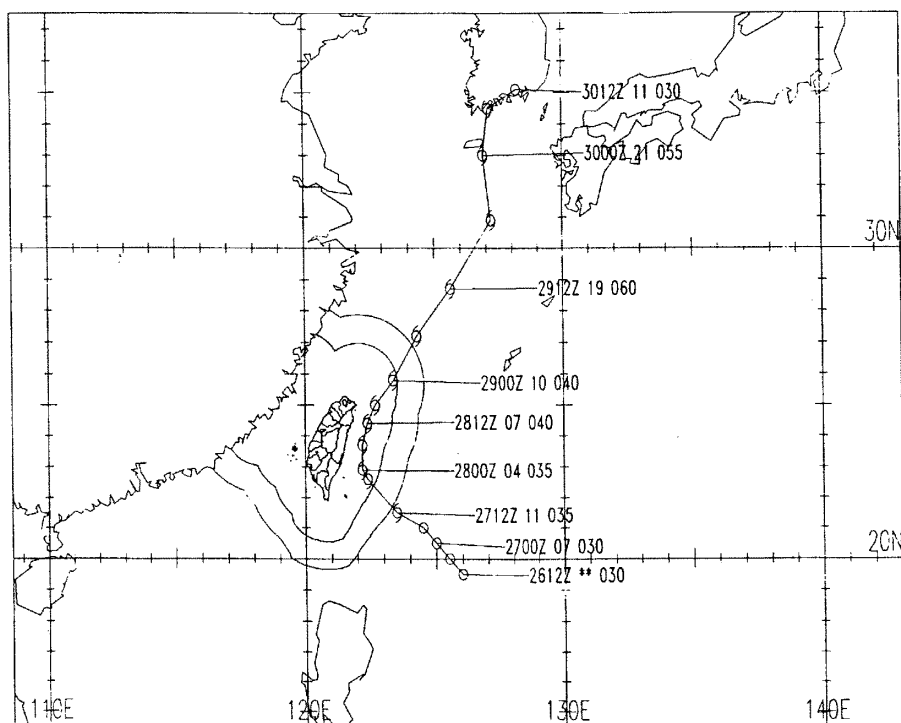


圖 7. 楊妮颱風最佳路徑圖 (9 月 26 日 12UTC-9 月 30 日 12UTC), 空心代表強度為輕度颱風, 指標表示時間、移速 (kts) 及近中心最大風速 (kts)

Fig.7. The best track of typhoon YANNI

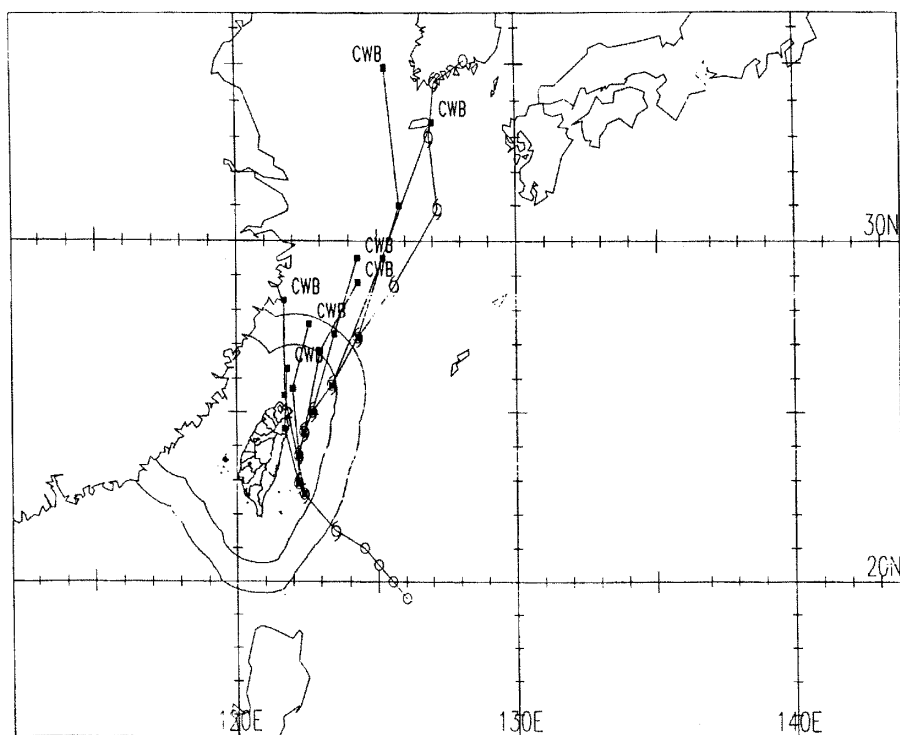


圖 8. 中央氣象局官方發布之預報路徑與楊妮颱風最佳路徑之比較圖 (092712UTC 至 092900UTC)

Fig.8. CWB official forecasts and the best track of typhoon YANNI
(092712UTC-092900UTC)

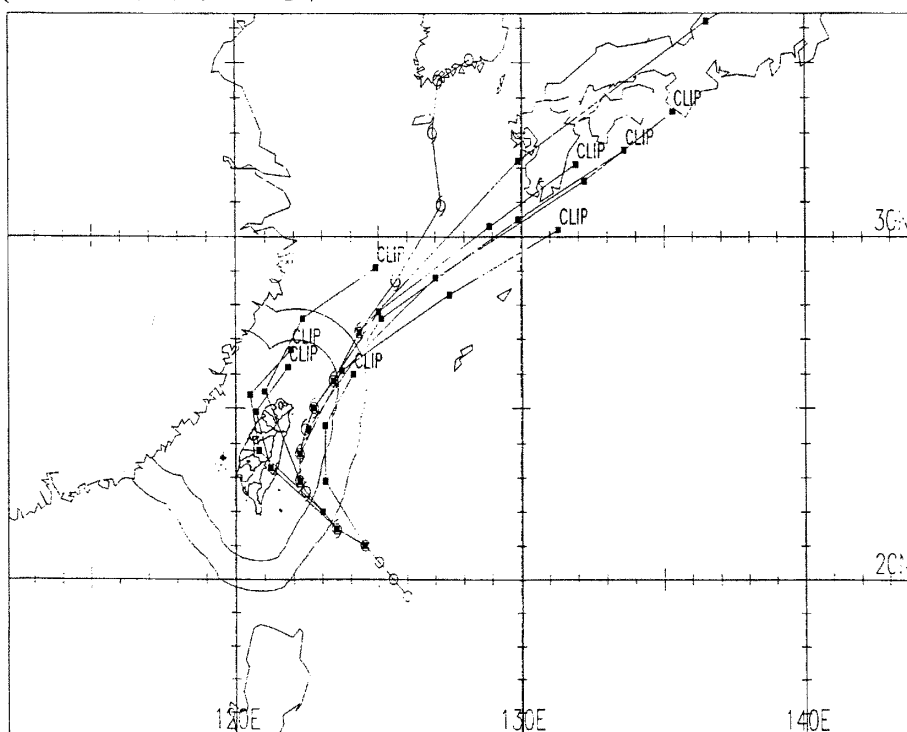


圖 9. CLIPER 法之預報路徑與楊妮颱風最佳路徑之比較圖 (092712UTC 至 092900UTC)

Fig.9. The forecasts of CLIPER (CLIP) and the best track of typhoon YANNI
(092712UTC-092900UTC)

表 3. 中央氣象局衛星中心楊妮颱風定位及強度估計資料表

Table 3. Center locations and intensities of typhoon YANNI observed by the Satellite Center of CWB

時間(UTC)			中心位置		定位 準確度	強度估計
月	日	時	緯度	經度		T/CI/DSW/hr
9	25	06	15.6	132.7	P	1.0/1.0
		12	15.1	133.7	P	1.0/1.0
		18	16.5	133.0	P	1.0/1.0
	26	00	18.3	130.6	P	1.0/1.0
		06	18.4	129.2	P	1.0/1.0
		12	18.9	125.8	P	1.5/1.5
		18	20.0	125.1	P	1.5/1.5
	27	00	20.5	125.0	P	1.5/1.5
		06	20.8	124.5	P	1.5/1.5
		12	21.1	123.5	P	2.0/2.0/D/6
		18	22.3	122.6	P	2.5/2.5/D/6
	28	00	22.8	122.2	F	2.5/2.5/S/6
		06	23.8	122.1	F	3.0/3.0/D/6
		12	24.4	122.2	F	3.0/3.0/D/12
		18	24.9	122.7	F	3.0/3.0/S/6
	29	00	25.9	123.3	G	3.0/3.0/S/6
		06	27.2	124.3	F	3.5/3.5/D/6
		12	28.7	125.6	F	4.0/4.0/D/6
		18	31.0	126.3	F	4.0/4.0/S/6
	30	00	32.7	126.8	F	4.0/4.0/S/6
		06	34.5	127.5	F	3.5/4.0/W/6
		12	36.5	129.0	P	3.0/3.5/W/6

附註：P 代表定位誤差大於 60 公里，F 代表定位誤差在 30 公里至 60 公里之間，G 代表定位誤差在 10 公里至 30 公里之間。

之平均路徑預報誤差分別為 330 公里及 336 公里，48 小時則是 519 公里及 892 公里，表現並不令人滿意（圖 11、圖 12），其中 TFS 的預報特性與中央氣象局官方預報頗為類似，皆有偏左及偏慢之情形。至於 EBM 模式則由於對太平洋高壓勢力發展預報過強，使得預測路徑太過偏左，整體表現在五種方法中表現最不好。

五、楊妮颱風影響期間台灣地區各地氣象狀況

楊妮颱風接近台灣時才剛形成颱風，隨後即受北方槽線牽引而轉向東北方移動（圖 7），颱風中

心沒有直接登陸台灣，因此台灣地區並無因此暴風半徑不大的輕度颱風接近而造成嚴重災情。

圖 13 為 9 月 28 日 02LST 至 29 日 02LST 的紅外線衛星雲圖。圖中顯示楊妮颱風形成初期，台灣即已籠罩在颱風雲雨帶內，但影響台灣期間，楊妮颱風的暴風半徑並不大，而且無明顯颱風眼結構，當颱風中心移至台灣東北方海面時，因強度略增強，故其颱風眼結構較明顯（圖 14）。

因輕度颱風楊妮從台灣東邊海面掠過，颱風中心並未直接登陸台灣，再加上中央山脈的屏障，台灣多數地區並無明顯降雨及強風的出現。以下楊妮颱風影響期間台灣各地的氣壓、雨量分布及風力狀

表 4a. 花蓮雷達站（ 46699 ）對楊妮颱風中心之雷達定位表

Table 4a. Center locations of typhoon YANNI observed by Hualien（ 46699 ） radar station

時間(LST)			北緯 (度)	經度 (度)	方向 (度)	速度 (km/hr)	雷達站 站名(編號)
月	日	時					
9	28	02	22.32	122.87	---	---	花蓮站(46699)
		03	22.44	122.45	---	---	"
		04	22.44	122.14	269	32	"
		05	22.56	122.26	43.3	18.9	"
		06	22.62	122.16	301.5	12.5	"
		07	22.72	122.30	52.5	18.3	"
		08	22.9	122.25	344.2	20.5	"
		09	23.01	122.20	336.5	13.5	"
		10	23.14	122.29	34.6	17.7	"
		11	23.36	122.34	9.5	24.8	"
		12	23.49	122.25	325.5	16.2	"
		13	23.59	122.27	354.7	11.3	"
		14	23.75	122.22	354.2	17.9	"
		15	23.82	122.25	21.4	8.4	"
		16	23.96	122.31	21.9	17.3	"
		17	24.14	122.37	16.6	20.7	"
		18	24.24	122.43	27.4	12.4	"
		19	24.28	122.56	71.9	13.5	"
		20	24.31	122.58	37.8	3.9	"
		21	24.4	122.6	12.2	11.1	"
		22	24.52	122.58	350.5	13.2	"
		23	24.62	122.65	30.0	12.7	"
		24	24.82	122.70	13.3	22.8	"
	29	01	24.97	122.74	11.7	17.3	"
		02	25.08	122.79	25.7	12.8	"
		03	25.21	122.77	349.6	15.2	"
		04	25.28	122.92	65.1	17.0	"
		05	25.40	122.99	25.6	15	"

表 4b. 五分山雷達站 (46685) 對楊妮颱風中心之雷達定位表

Table 4b. Center locations of typhoon YANNI observed Wu-Fen-Shan (46685) radar station.

時間(LST)			北緯 (度)	經度 (度)	方向 (度)	速度 (km/hr)	雷達站 站名(編號)
月	日	時					
9	28	06	22.9	122.3	338	10	五分山站(46685)
		07	22.9	122.4	270	3	"
		08	22.9	122.3	314	12	"
		09	23.1	122.2	333	14	"
		10	23.1	122.1	315	11	"
		11	23.3	122.1	0	13	"
		12	23.5	122.2	4	15	"
		13	23.6	122.2	14	8	"
		14	23.7	122.2	350	12	"
		15	23.8	122.2	359	11	"
		16	23.9	122.2	359	12	"
		17	24.0	122.3	30	25	"
		18	24.2	122.4	49	15	"
		19	24.3	122.4	22	13	"
		20	24.4	122.4	359	11	"
		21	24.5	122.4	44	14	"
		22	24.6	122.5	31	11	"
		23	24.7	122.6	26	17	"
		24	24.8	122.7	16	12	"
	29	01	25.0	122.7	7	17	"
		02	25.1	122.7	10	17	"
		03	25.2	122.8	37	13	"
		04	25.3	122.9	48	17	"
		05	25.4	123.0	63	13	"
		06	25.5	123.2	41	21	"
		07	25.7	123.3	24	24	"
		08	25.9	123.4	36	27	"
		09	26.0	123.6	45	19	"

表 5. 楊妮颱風中央氣象局主觀、統計及動力模式預誤差校驗表 (單位公里)

Table5. Error statistics for CWB's forecasts, statistical and dynamic models for typhoon YANNI

預報時間 (UTC)	CWB 官方預報		CLIPER		HURRAN		TFS		EBM	
	24 小時	48 小時	24 小時	48 小時	24 小時	48 小時	24 小時	48 小時	24 小時	48 小時
092706			127	323	59	316				
092712			172	643	305	945	144	389	340	918
092718	114	604	233	896	202	819				
092800	223	892	242	744	265	349	317	649	304	865
092806	283	878	135	689	169	422				
092812	331		131		199	411	416		439	
092818	537		405		456					
092900	421		466		367		442		382	
092906	407		364		238					
平均	331	791	258	543	246	659	330	519	366	892

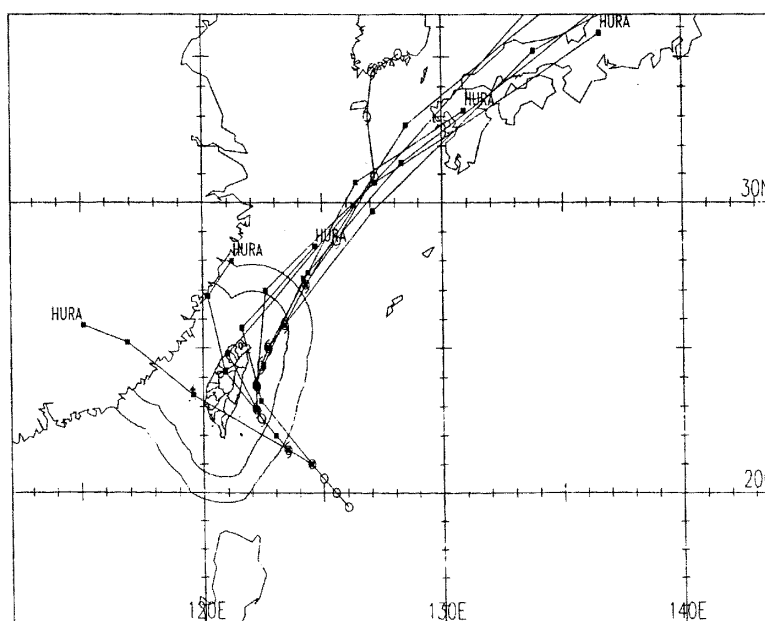


圖 10. HURRAN 法之預報路徑與楊妮颱風最佳路徑之比較圖 (092712UTC 至 092900UTC)

Fig.10. The forecasts of HURRAN (HURA) and the best track of typhoon YANNI (092712UTC-092900UTC)

表 6. 楊妮颱風侵台期間氣象要素值統計表(時間為地方時)

Table 6. The meteorological elements summary of CWB stations during typhoon YANNI's passage

測站 站名	最低氣壓		最高氣溫		最低溼度		極大瞬間風			最大平均風			最大降水量(mm)				總降水量(mm)	
	數值 (hPa)	時間 (LST)	數值 (°C)	時間 (LST)	數值 (%RH)	時間 (LST)	風速 (m/s)	風向 (度)	時間 (LST)	風速 (m/s)	風向 (度)	時間 (LST)	一小時	起始時間 (LST)	十分鐘	起始時間 (LST)	數量	起迄時間 (LST)
新竹	996.8	29/03:43	26.1	28/01:43	82	28/01:44	26.9	340	29/04:25	21.8	320	29/05:30	42.5	28/12:00	15.5	28/12:10	166.6	27/23:02 - 29/06:25
基隆	999.0	29/01:42	27.4	28/05:24	83	29/05:42	19.0	130	28/05:47	9.4	10	28/11:28	27.5	28/09:12	9.0	28/09:35	125.0	27/23:00 - 29/08:00
鞍部*	1398.9	29/03:00	21.6	28/09:08	94	28/11:03	23.2	340	29/03:06	16.7	350	29/03:24	22.5	28/06:24	11.0	28/06:24	225.2	27/19:01 - 29/08:00
竹子湖*	1000.7	29/03:06	23.9	28/13:12	92	29/15:00	17.3	340	29/09:57	9.7	350	29/09:47	27.0	28/07:44	14.0	28/06:21	250.6	27/23:00 - 29/15:00
台北	1000.4	29/02:02	27.7	28/13:38	78	29/07:29	13.1	330	29/07:49	5.8	290	29/03:58	40.0	28/09:29	13.0	28/06:11	145.8	27/23:00 - 29/08:00
新竹	1001.0	28/14:25	26.2	28/16:18	86	28/02:46	13.5	20	28/11:45	7.3	10	28/23:02	21.0	28/21:17	10.5	28/20:19	114.0	27/18:18 - 29/13:06
梧棲	1000.3	28/14:28	27.5	28/13:09	69	28/00:19	21.6	20	28/11:32	14.9	10	28/11:38	2.0	29/04:19	1.0	28/18:10	8.0	28/01:05 - 29/08:10
台中	999.6	28/14:33	27.7	28/12:46	77	27/23:00	11.9	70	28/12:58	5.1	20	28/13:03	2.9	28/20:55	1.2	28/21:17	11.8	28/02:30 - 29/05:30
日月潭*	890.8	28/14:33	21.6	28/11:07	87	28/02:56	7.7	250	29/01:06	3.2	210	28/14:59	5.6	28/06:58	2.0	28/22:08	30.3	28/00:42 - 29/03:20
澎湖	1003.4	28/15:00	28.3	29/07:50	72	29/07:50	22.4	360	28/07:25	11.0	360	28/07:05	---	---	---	---	0	---
東吉島	1001.6	28/14:28	28.1	29/08:28	71	29/09:00	27.0	2	28/09:23	19.0	1	28/09:27	0.7	28/02:53	0.3	28/03:42	1.6	28/01:21 - 28/08:05
阿里山*	3079	28/14:34	19.0	29/11:07	67	27/10:46	10.7	10	28/18:32	4.8	80	29/05:28	8.0	28/06:25	3.5	28/18:20	42.5	28/02:35 - 29/04:40
玉山*	2068.7	28/15:00	8.8	28/13:10	99	全期	---	---	---	10.0	270	28/19:50	7.7	28/06:00	2.0	28/06:20	68.5	27/23:00 - 29/04:00
嘉義	996.9	28/14:26	26.9	28/11:00	88	28/15:00	11.1	10	28/15:40	6.1	350	28/19:49	4.0	28/12:07	1.3	28/12:54	6.9	28/06:30 - 29/06:30
台南	999.7	28/14:57	27.7	28/15:25	78	28/00:32	14.5	10	28/22:51	8.6	360	28/13:41	1.0	28/18:00	0.5	28/18:20	1.7	28/07:20 - 29/04:10
高雄	999.2	28/14:30	29.8	28/13:08	73	28/00:06	15.6	20	28/20:40	8.2	340	28/20:41	0.6	28/09:30	0.2	28/09:30	1.8	28/03:30 - 28/10:30
恆春	995.7	28/15:34	29.9	28/16:06	72	28/11:23	19.9	300	28/01:03	7.0	360	28/06:06	1.0	28/02:25	0.5	28/02:25	4.0	28/02:25 - 28/09:20
蘭嶼	996.6	28/19:18	27.0	28/14:39	81	28/15:09	30.5	30	27/22:41	18.0	30	27/23:00	12.0	27/12:06	9.5	27/12:43	69.0	27/05:18 - 28/09:36
大武	995.4	28/15:11	29.1	28/15:25	76	28/15:46	7.6	9	28/16:27	3.8	5	28/16:27	3.9	28/03:00	1.2	28/07:16	21.8	28/00:03 - 28/08:22
台東	996.6	29/03:23	31.7	29/10:00	66	29/09:00	6.6	65	28/00:34	2.3	360	28/00:43	8.0	28/01:00	2.0	28/01:00	49.5	27/05:38 - 28/13:10
成功	996.2	28/17:32	32.1	29/11:31	73	29/09:39	13.3	5	28/01:50	8.2	4	27/23:31	22.0	28/04:32	6.0	28/04:55	61.0	27/04:40 - 28/15:50
花蓮	995.3	28/15:53	31.2	29/11:18	75	29/11:19	16.5	70	28/11:07	9.0	40	28/11:14	15.0	28/04:15	5.5	28/04:50	126.0	27/22:05 - 28/19:20
宜蘭	997.8	29/02:16	28.1	28/12:04	69	29/09:00	10.7	50	28/12:34	5.7	20	28/12:38	24.5	28/05:06	15.0	28/05:12	157.5	27/23:00 - 29/03:10
蘇澳	996.9	29/03:39	30.9	29/10:06	60	29/12:26	17.4	110	29/08:24	10.4	80	28/05:15	34.0	27/16:50	13.5	27/22:46	235.8	27/02:40 - 29/03:20

註：`*` 一表該測站屬高山測站，其氣壓值以重力位高度表示。

況做扼要分析（皆以地方時討論）。

(一)氣壓分析

表 6 為楊妮颱風影響台灣期間中央氣象局所屬各氣象站出現之極端氣象要素值統計表。在最低氣壓方面，以台灣南部的恆春及東部的花蓮與大武出現 996 百帕以下之氣壓為最低，而東部的氣壓極端值普遍比其他地區為低，主要是因楊妮颱風正通過台灣東部海面，而台灣東部為最接近颱風之區域，因

此氣壓降的最多。至於最低氣壓的時間分布，大體上是台灣南部及東部先出現氣壓下降，之後陸續是台灣北部及東北部。而台灣西部出現氣壓下降較早及東部的台東、蘭嶼出現氣壓下降較晚，則可能因颱風環流過山產生副低壓或背風旋生，導致最低氣壓出現在這些地區的時間較早或較晚。

(二)降雨分析

在累積雨量方面，豪雨中心位於東北部山區及

表 7. 楊妮颱風影響期間各氣象站日雨量及總雨量

Table 7. The daily and total accumulated rainfalls (mm) at each CWB stations during typhoon YANNI's passage

雨量 測站	逐日雨量(公釐)			總 計
	9 月 27 日	9 月 28 日	9 月 29 日	
彭佳嶼	1.7	136.0	28.9	166.6
基隆	2.0	118.5	4.5	125.0
鞍部	44.2	148.5	32.5	225.2
竹子湖	5.6	178.0	67.0	250.6
台北	0.5	140.1	5.2	145.8
新竹	7.0	88.9	18.1	114.0
梧棲	0.0	3.5	4.5	8.0
台中	0.0	10.6	1.2	11.8
日月潭	0.0	26.0	4.3	30.3
澎湖	0.0	0.0	0.0	0.0
東吉島	0.0	1.6	0.0	1.6
阿里山	0.0	32.5	10.0	42.5
玉山	0.4	54.8	13.3	68.5
嘉義	0.0	6.4	0.5	6.9
台南	0.0	1.7	T	1.7
高雄	0.0	1.8	0.0	1.8
恆春	0.0	4.0	0.0	4.0
蘭嶼	35.3	33.7	0.0	69.0
大武	0.0	21.8	0.0	21.8
台東	9.0	40.5	0.0	49.5
成功	10.5	50.5	0.0	61.0
花蓮	1.5	124.5	0.0	126.0
蘇澳	107.5	125.3	3.0	235.8
宜蘭	15.5	141.5	0.5	157.5

附註：T 代表雨跡

表 8. 楊妮颱風影響期間各地出現之最大平均風速、陣風及對應級數表

Table 8. The maximum wind and the peak gust at each CWB stations during typhoon YANNI's passage

測站	最大平均風速			最大陣風		
	風速(m/s)	對應級數	出現時間(LST)	風速(m/s)	對應級數	出現時間(LST)
彭佳嶼	21.8	9	2905	26.9	10	2905
基隆	9.4	5	2811	19.0	8	2806
鞍部	16.7	7	2903	23.2	9	2903
竹子湖	9.7	5	2910	17.3	8	2910
台北	5.8	4	2904	13.1	6	2908
新竹	7.3	4	2823	13.5	6	2812
梧棲	14.9	7	2812	21.6	9	2812
台中	5.1	3	2813	11.9	6	2813
日月潭	3.2	2	2815	7.7	4	2901
澎湖	11.0	6	2807	22.4	9	2807
東吉島	19.0	8	2809	27.0	10	2809
阿里山	4.8	3	2905	10.7	5	2819
玉山	10.0	5	2820	---	---	---
嘉義	6.1	4	2820	11.1	6	2816
台南	8.6	5	2814	14.5	7	2823
高雄	8.2	5	2821	15.6	7	2821
恆春	7.0	4	2806	19.9	8	2801
蘭嶼	18.0	8	2723	30.5	11	2723
大武	3.8	3	2816	7.6	4	2816
台東	2.3	2	2801	6.6	4	2801
成功	8.2	5	2724	13.3	6	2802
花蓮	9.0	5	2811	16.5	7	2811
宜蘭	5.7	4	2813	10.7	5	2813
蘇澳	10.4	5	2805	17.4	8	2908

北部山區（圖 15），最大降雨中心出現在大屯山區，其中以竹子湖氣象站的 250.6 公釐為最多。就平地而言，僅有新竹以北地區的累積雨量超過 100 公釐，其餘地區的累積雨量皆在 65 公釐以下。

在日雨量方面（表 7），9 月 27 日楊妮颱風通過台灣東部海面，除台灣西部地區受中央山脈屏障，降水不明顯外，被颱風雨帶籠罩的其它地區降雨量明顯增加，豪雨中心位於北部山區及東北部山區。

在時雨量及十分鐘降水強度上，皆以彭佳嶼的 42.5 公釐及 15.1 公釐為最多。至於在降水強度的

時間分布方面，平地部分降水主要集中在西部的新竹以北地區及東部的花蓮以北地區。基隆、台北及新竹的降雨強度分布（圖 16）可看出於 28 日清晨台灣北部逐漸進入楊妮颱風暴風圈，因此雨勢逐漸加大，而新竹地區是於 28 日入夜後楊妮颱風已抵東北部海面時才加大雨勢。而東部的花蓮及東北部的宜蘭及蘇澳（圖 17），在颱風形成之初至颱風逐漸離開，都屬於陰雨不斷的天氣。至於豪雨中心所在的竹子湖及鞍部氣象站的降雨強度時間分布（圖 18），顯示其明顯降雨亦發生在颱風風圈逐漸接近或籠罩的期間，但颱風離開後所引進的西南

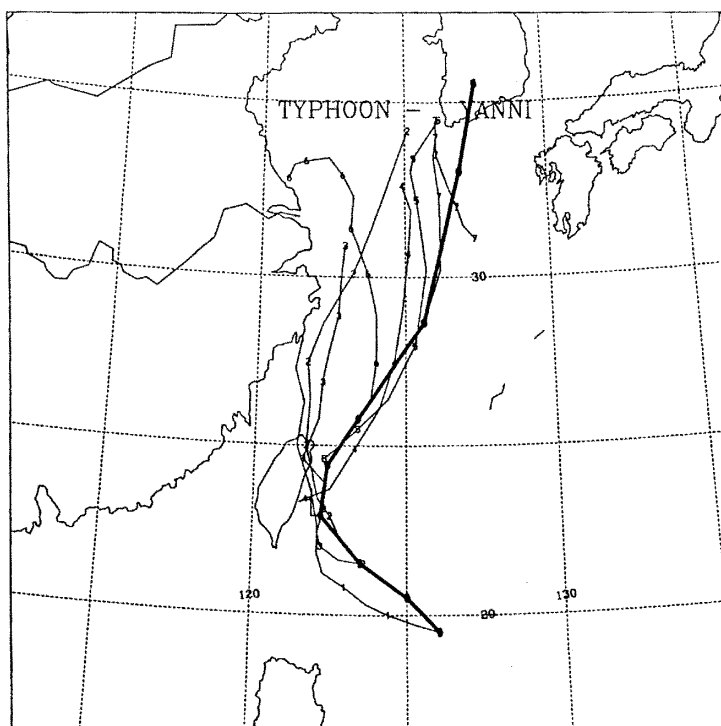


圖 11. TFS 模式之預報路徑與楊妮颱風最佳路徑之比較圖 (092712UTC 至 092900UTC)

Fig.11. The forecasts of TFS model and the best track of typhoon YANNI (092712UTC-092900UTC)

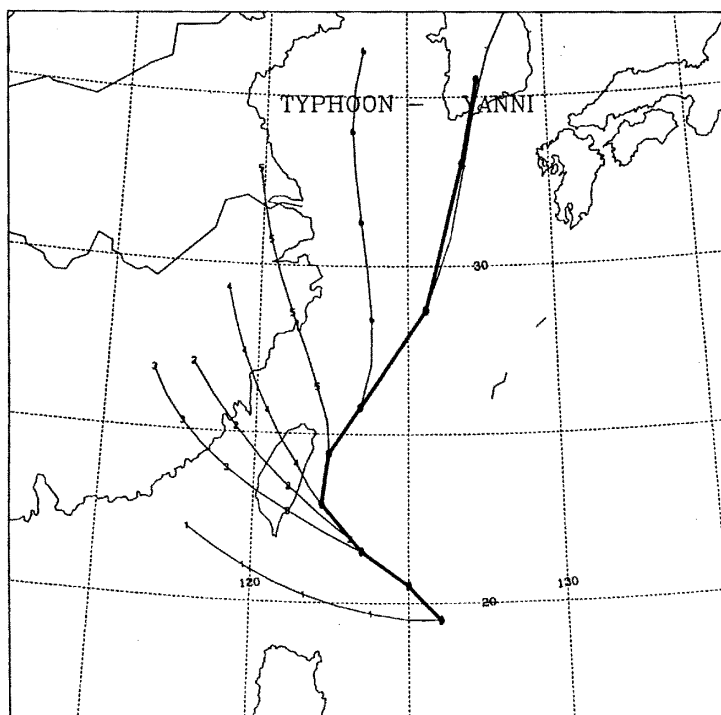
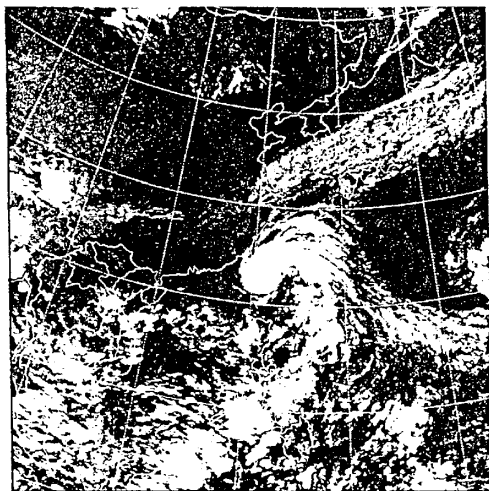


圖 12. EBM 模式之預報路徑與楊妮颱風最佳路徑之比較圖 (092712UTC 至 092900UTC)

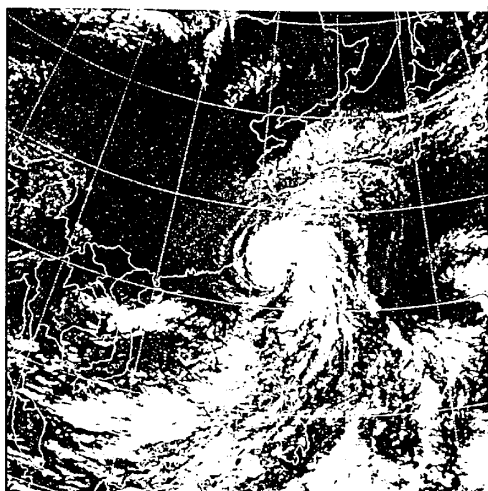
Fig.12. The forecasts of EBM model and the best track of typhoon YANNI (092712UTC-092900UTC)

中華民國 87 年 09 月 28 日 02 時紅外線衛星雲圖



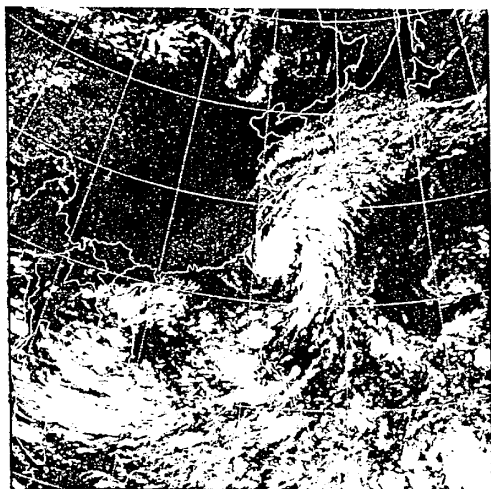
A

中華民國 87 年 09 月 28 日 14 時紅外線衛星雲圖



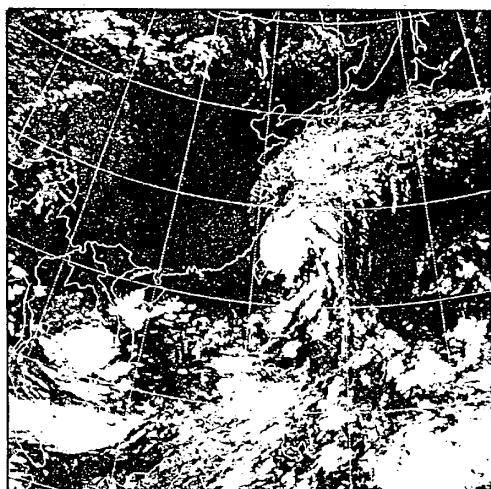
B

中華民國 87 年 09 月 28 日 20 時紅外線衛星雲圖



C

中華民國 87 年 09 月 29 日 02 時紅外線衛星雲圖



D

圖 13. 1998 年 9 月 28 日 02LST 至 29 日 02LST 紅外線衛星雲圖

Fig.13. The GMS IR imagery at (a)092802LST,(b)092814LST,(c)092820LST,(d)092902LST in 1999

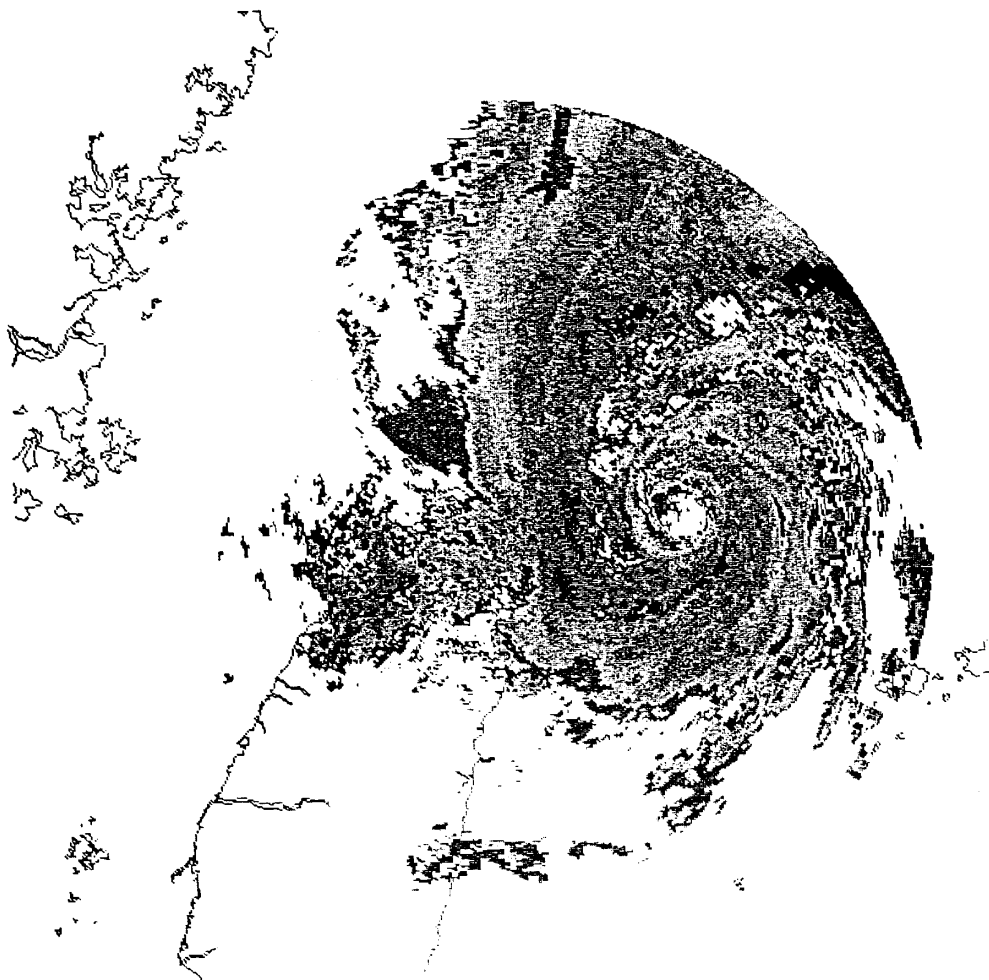


圖 14. 1998 年 9 月 29 日 00 LST 五分山雷達站 (46685) 之降水回波圖

Fig.14. The precipitation echoes at 00 LST September 29 of 1998 observed by Wu-Fen-Shan (46685) radar station

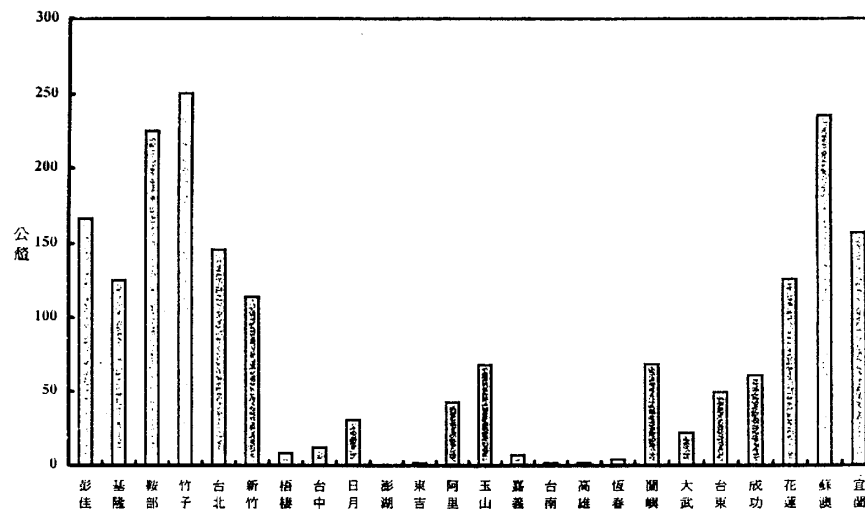
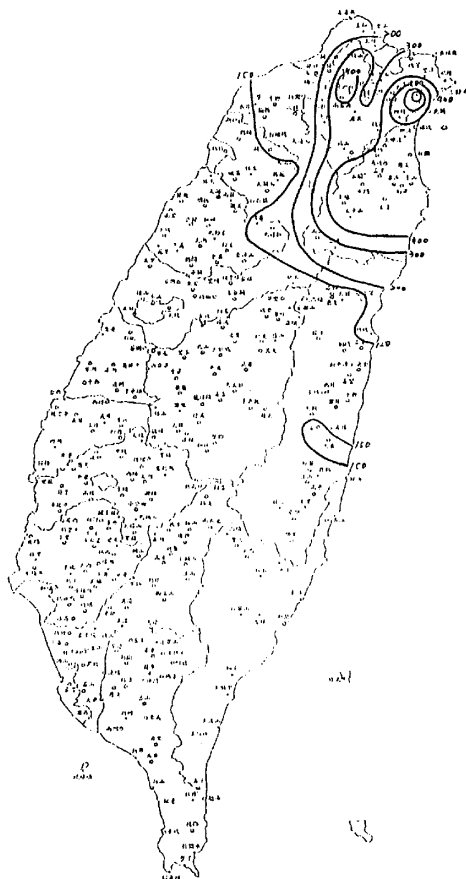


圖 15. 楊妮颱風侵台期間台灣各氣象站累積雨量分布圖

Fig.15. The accumulated precipitation (mm) at CWB's stations during typhoon Yanni' passage

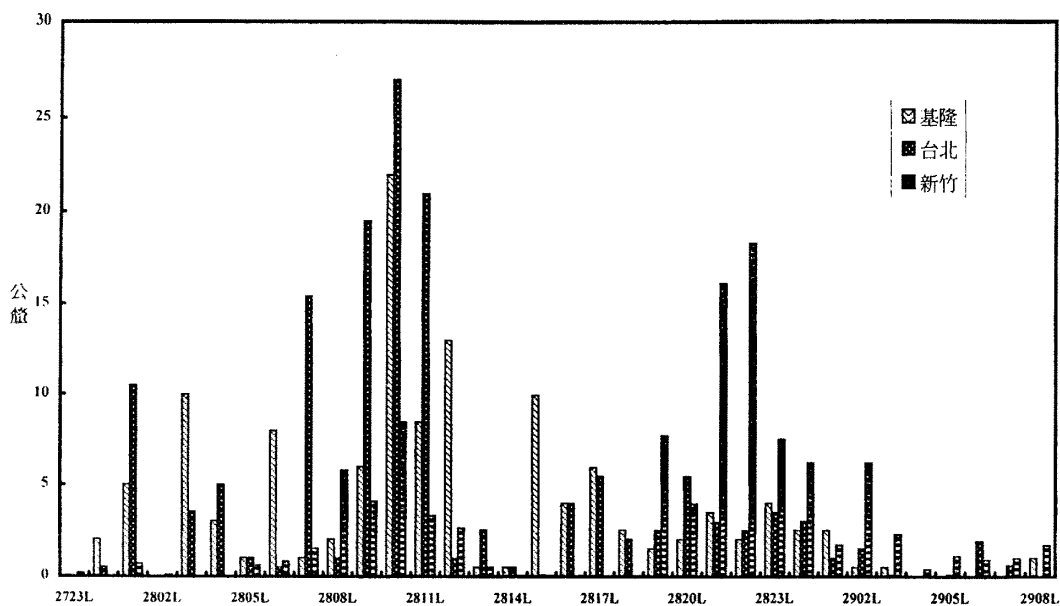


圖 16. 基隆，台北及新竹地區時雨量分布圖

Fig.16. The hourly precipitation (mm) at Keelung, Taipei and Hsinchu during typhoon Yanni's passage.

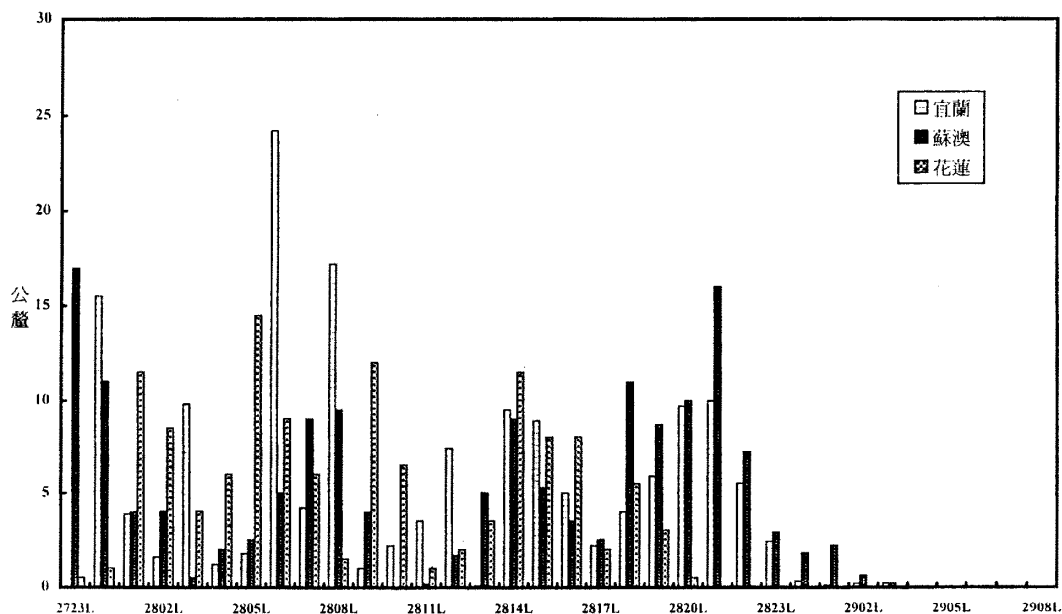


圖 17. 宜蘭，蘇澳及花蓮地區時雨量分布圖

Fig.16. The hourly precipitation (mm) at Ilan, Suao and Hualien typhoon Yanni's passage.

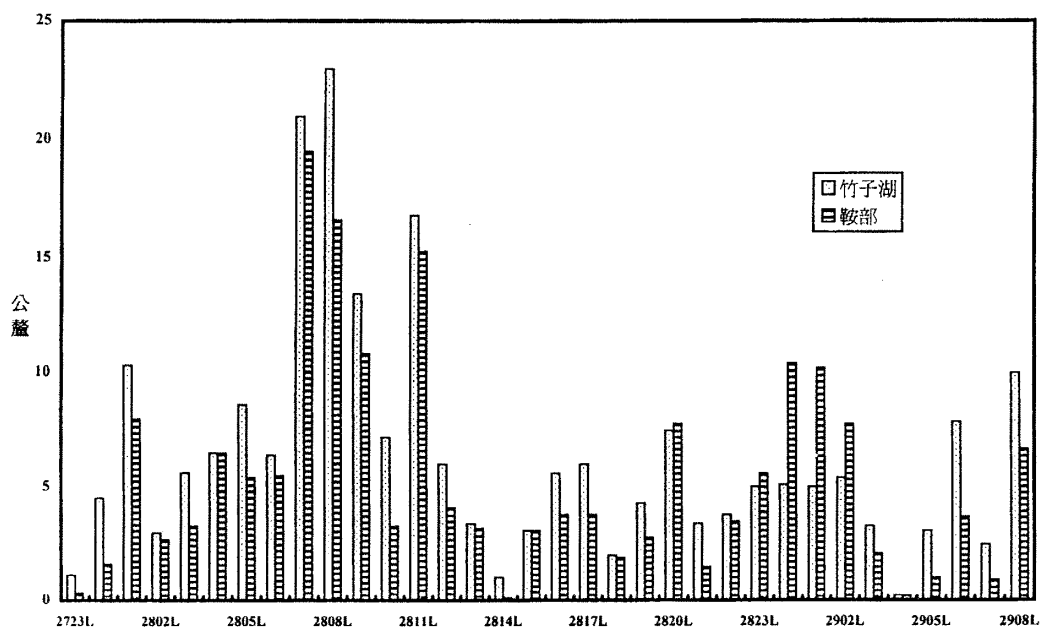


圖 18. 楊妮颱風影響期間竹子湖與鞍部測站時雨量分布圖

Fig.18. The hourly precipitation (mm) at Chutsehu and Anpu during typhoon Yanni's passage.

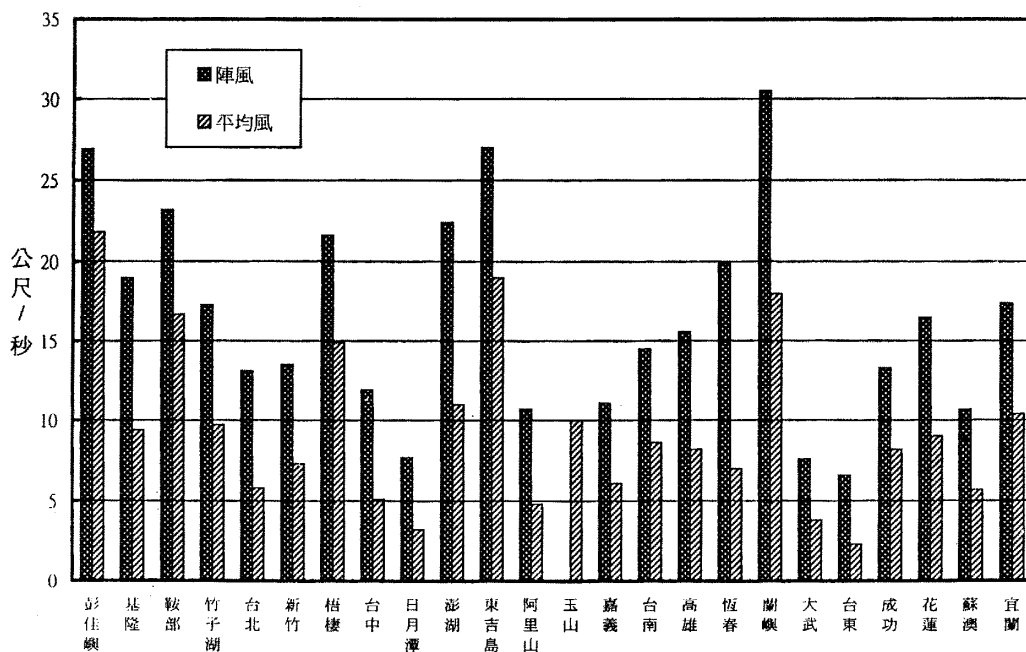


圖 19. 楊妮颱風影響期間各地出現之最大平均風速及陣風風力分布圖

Fig.19. The maximum wind and peak gust at CWB's stations during typhoon Yanni's passage.

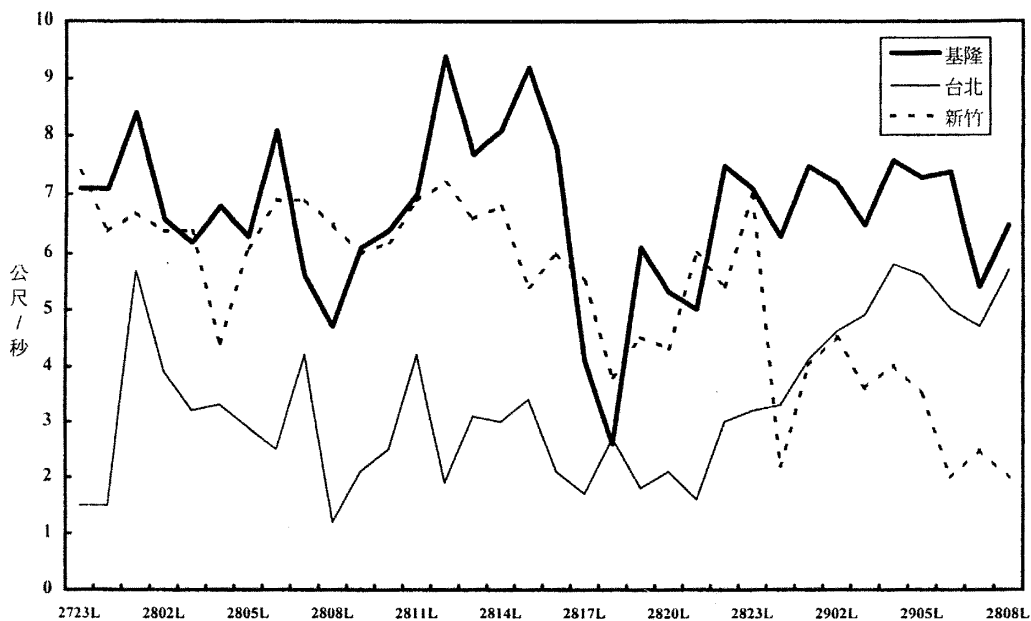


圖 20. 基隆，台北及新竹測站風力之逐時分布圖

Fig.20. Time sequences of wind speed (m/s) observed at Keelung, Taipei and Hsinchu during typhoon Yanni's passage

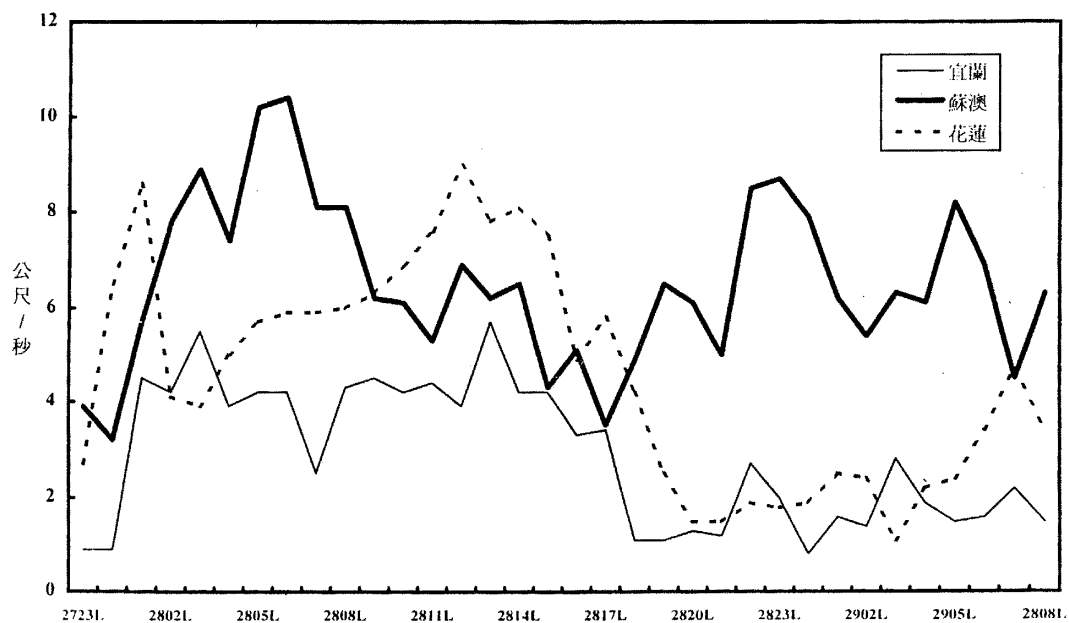


圖 21. 宜蘭，蘇澳及花蓮測站風力之逐時分布圖

Fig.21. Time sequences of wind speed (m/s) observed at Ilan, Suao and Hualien during typhoon Yanni's passage

氣流仍在北部山區造成大量降雨。

(三)風力分析

楊妮颱風在影響台灣期間，為一暴風半徑不大的輕度颱風，加上颱風中心並無登陸台灣，因此全台的強風並不明顯，較強陣風都出現在外島地區（見表 8 與圖 19）。在最大風力方面，台灣本島地區以鞍部出現的 9 級（23.2m/s）陣風及 7 級（16.7m/s）平均風最強，其次是梧棲出現的 9 級（21.6m/s）陣風及 7 級（14.9m/s）平均風。至於離島地區，則以蘭嶼出現的陣風 11 級（30.5m/s）及 8 級平均風（18m/s）為最強，彭佳嶼出現的陣風 10 級（26.9m/s）及平均風 9 級（21.8m/s）次之。

在風力的時間分布方面，以受颱風影響較大的台灣北部地區（圖 20）及東北部地區（圖 21）而言，強風情況並不明顯，但當颱風接近與遠離時，各地風力仍受颱風影而稍強或稍弱。

六、楊妮颱風災情報告

楊妮颱風接近台灣時，為一暴風範圍不大之輕度颱風，再加上颱風中心未登陸台灣，只為台灣北部及東北部地區帶來較大雨勢，因此並無嚴重災情發生。茲將楊妮颱風造成之災情摘錄如下：

(一)人員傷亡

死亡 1 人（花蓮縣）。

(二)農漁業

台灣地區農業損失包括農田及農作物損失約 1 千 1 百 71 萬元，以宜蘭縣損失較嚴重。漁業方面，宜蘭縣烏石漁港一漁船受風浪吹襲斷裂，損失約 850 萬元。

(三)交通

公路方面，因風雨造成公路坍方及路基流失，以北部山區及東北部山區較為嚴重。航空方面，則因風雨關係而有部分班機停飛。

七、結 論：

綜合以上楊楊妮颱風分析結果可歸納以下幾點

結論：

(一)楊妮颱風於 9 月 27 日晚上形成於台灣東南方海面上（北緯 21.5 度、東經 123.5 度），此時颱風中心位置已頗接近台灣，而北方槽線恰於此時移至東經 120 度附近，颱風受此槽線牽引向北偏轉，之後並轉向東北方登陸韓國。此颱風強度屬於輕度颱風，中心最大風速僅達 30m/s，七級風暴風半徑最大也只有 150 公里，生命史共維持 3 天。

(二)楊妮颱風為 1998 年西北太平洋地區第 9 個颱風，也是該年中央氣象局第三個發布警報的颱風。海上、陸上颱風警報開始發布於 9 月 27 日 11 時 30 分，陸上警報於 9 月 29 日上午 8 時 55 分解除，海上警報則於 29 日下午 2 時 45 分解除。

(三)楊妮颱風路徑之預報，不論主觀或客觀，皆表現不佳。中央氣象局官方之 24 及 48 小時預報誤差各為 331 公里及 791 公里，統計模式 CLIPER 法之 24、28 小時預報誤差各為 258 公里及 543 公里，HURRAN 法之 24 及 48 小時預報誤差各為 246、659 公里。動力模式方面 TFS 模式之 24、48 小時誤差各為 330、519 公里，而 EBM 模式之 24、48 小時誤差則各為 366、892 公里，在五種預報方法中表現最不好。

(四)輕度颱風楊妮從台灣東方海掠過，中心並未直接登陸台灣，再加上中央山脈的屏障，因此全台的強度狀況並不明顯，較強陣風都出現在外島地區。在累積雨量方面，豪雨中心位於東北部及北部山區，最大降雨中心出現於大屯山區，其中以竹子湖氣象站的 250.6 公釐最多。

(五)楊妮颱風為一範圍不大之輕度颱風且未登陸，只為台灣北部及東北部帶來較大雨量，並無嚴重災情發生，合計死亡 1 人，農漁業損失總共約二千萬元。

REPORT ON TYPHOON YANNI OF 1998

Der-Song Chen, Kang-Ning Huang
Research and Development Center
Central Weather Bureau

ABSTRACT

Typhoon Yanni (9809) was the ninth typhoon in 1998 over the northwestern Pacific Ocean; it also was the third typhoon that the Central Weather Bureau (CWB) issued warnings in the year. Typhoon Yanni formed around 22°N 、 123.3°E at 15UTC of September 27, and then moved northwestward toward Taiwan. This typhoon did not make landfall on Taiwan, the interactions of trough and typhoon Yanni let it turn to northward when it was near Taiwan. After the typhoon passed 24°N , it changed its moving direction from northward to northeast-northward by the effect of trough, and made landfall on the southern part of Korea at 06UTC September 30 finally. Yanni was a weak typhoon and no serious damage was reported when it invaded Taiwan.

The 24/48hr forecast errors of TFS and EBM were 330km/519km and 366km /892km respectively. The 24hr and 48hr official forecast errors of CWB were 331km, 791km respectively.

Volume 43 Number 1

December 1999

Meteorological Bulletin

(Quarterly)

CONTENTS

Articles

- Optimization of Station Distribution of the Taiwan
Rapid Earthquake Information Release System Yih-Min Wu
Tzay-Chyn Shin (1)
Yi-Ben Tsai
- Analysis and Forecast of Ultra-Violet Index Chin-Tzu Fong
Ming-Jen Yang (11)

Reports

- Report on Typhoon Surges of 1997 -Typhoon
Winnie and Typhoon Amber Shu-Fen Tseng
Beng-Chun Lee (27)
- Report on Typhoon Otto of 1998 Hsin-Chin Hsu (45)
- Report on Typhoon Yanni of 1998 Der-Song Chen
Kang-Ning Huang (71)



CENTRAL WEATHER BUREAU

64 Kung-Yuan Road, Taipei, Taiwan
Republic of China

行政院新聞局出版事業登記證局版台誌字 第〇九七六號
中華郵政臺字第一八九三號登記為第一類新聞紙類

統 一 編 號
〇〇九〇八三八八〇〇四七

ISSN 0255-5778

氣象學報

季刊

第四十三卷 第二期

目次

研究論文

- 利用寬頻帶地震儀資料逆推臺灣地區地震矩張量-----張智峯 安藤雅孝 (1)
- 中央氣象局統計預報系統的發展-----陳重功 羅存文 (18)
王惠民 賀介圭
- 中央氣象局風風路徑數值預報模式三天預測之初步結果----陳得松 葉天降 (34)
黃康寧 謝信良
彭順台
- 1999 年中央氣象局颱風路徑數值預報模式作業概況-----黃康寧 陳得松 (46)
葉天降 謝信良
- 颱風觀測分析與統計預報整合型研究 1999 年成果摘錄----謝信良 葉天降 (61)

出版者	中央氣象局氣象學報社	台北市公園路六十四號
發行人	謝信良	電話：(02)23491091
社長	謝信良	
編輯委員會主任委員	鄭明典	
委員	王乾盈陳泰然 李汴軍張男 李清勝文思 李賢文生英 林民松錦雄 林松文雄 柯文琦典 陳台絲 黃玉韓素蘭	
幹事		

(按姓氏筆劃排列)

利用寬頻帶地震儀資料逆推臺灣地區地震矩張量

張智峯^{1,2}

安藤雅孝¹

¹ 京都大學防災研究所地震預測研究中心

² 海洋大學應用地球物理研究所

摘 要

本文利用中央氣象局在鞍部和花蓮所裝設三分量寬頻帶地震儀 STS-2 的地震資料，加上日本氣象廳的與那國島測站資料，以地震矩張量逆推法求取 1995 年 12 月至 1996 年 9 月發生在臺灣東部及東部海域地震之震源機制解、地震矩。所得的震源機制解與哈佛大學的 CMT 解和美國地質調查所 (USGS) 之解的比較，大體上都一致，而地震矩比哈佛大學所得的為小。

一、前 言

地震之震源機制解常利用 P 波初達波的極性（上下動）與觀測站相對於震源在空間的位置而求得，所需的參數為各測站相對於震源的方位角 (azimuth)、射出角 (take off angle) 和 P 波的極性。然而發生在臺灣外海的地震，因大部分測站位於島內，其接收到的測站所涵蓋的象限不足以決定震源機制解。

地震矩張量逆推法 (moment tensor inversion) 使用寬頻帶地震儀的資料，利用長週期表面波和遠距體波的逆推，可迅速而正確地求得震源機制解、地震矩張量和地震矩大小等震源參數，而且僅需一個測站的資料即可執行。

中央氣象局於 1995 年 12 月在鞍部及花蓮裝設三分量寬頻帶地震儀 STS-2，每秒取樣 20 點，從 1995 年 12 月至 1996 年 9 月共記錄 26 個地震，其震央位置和測站位置繪於圖 1。本文將利用這兩測站所記錄的地震資料，加上日本氣象廳的與那國島測站資料，求取 1995 年 12 月至 1996 年 9 月發生在臺灣東部及東部海域地震（測站接收到地震的情況於表 1）之震源機制解、地震矩。

二、方 法

本文所使用的方法係 Kikuchi and Kanamori 於 1991 年所提出的逆推法。電腦程式最初由 Kikuchi and Kanamori(1991)所寫，由 Kosuga(1996)略做修改。

速度構造和 Q 值

雖然在短距離上地殼速度構造會影響體波的波形，但是長週期體波可以簡單的速度構造模型化 (Fan and Wallace, 1991)，而短週期地震波對速度較敏感。本文使用一維水平層速度構造模型以縮短計算時間。

根據陳 (1993) 所求得的臺灣地區之 Q_p 值分佈，本文取每一層的平均值，並假設 Q_p 為 Q_s 的兩倍。求陸上的地震之地震矩逆推時，採用 Yeh and Tsai(1981) 利用 TTSN 地震資料所求得之臺灣中部的 P 波速度構造模型（地殼厚度 36 公里）；求海上的地震之地震矩逆推時，使用 Liaw et al.(1987) 所得的 P 波速度構造模型。

三、資料處理與逆推

地震與測站之間的震央距離和方位角採中央氣象局地震測報中心定位之數據和徐 (1978) 之方法計算。首先將速度記錄轉換成位移記錄，經由低通濾波 (low pass filter) 得到我

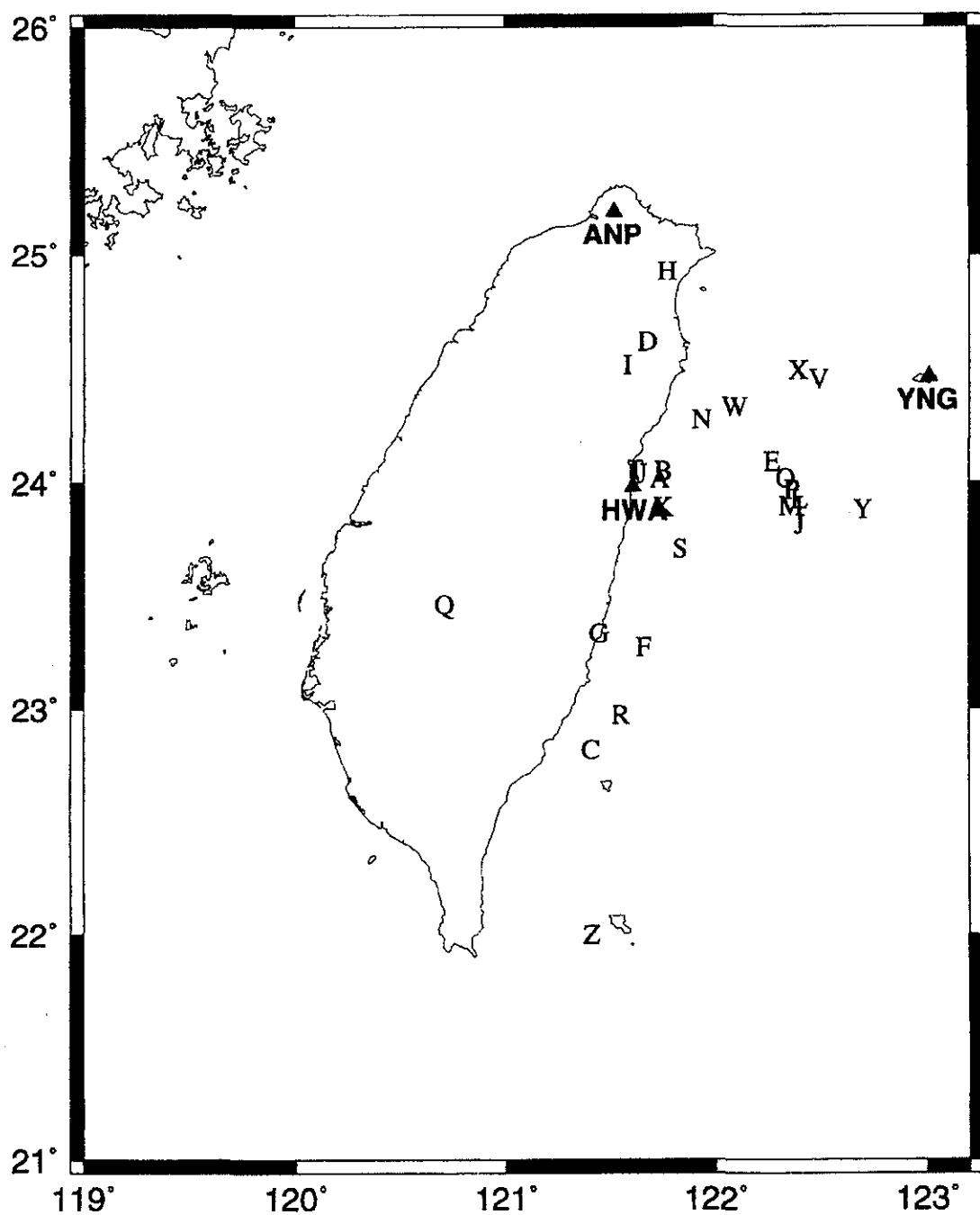


圖 1. 1995 年 12 月至 1996 年 9 月由寬頻帶地震儀所記錄的地震震央分佈和測站位置。

Figure 1. The epicenters of the earthquakes recorded by broadband stations during December 1995 to September 1996.

event	date	time*	lat.	lon.	depth**	ML	ANP	HWA	YNG
A	19951218	16:17	24.02	121.69	22.1	5.8	x	x	
B	19951220	23:56	24.05	121.71	33.7	5.1	x	x	
C	19951225	19:05	22.82	121.36	12.5	4.9	x	x	x
D	19960107	16:17	24.62	121.63	41.9	4.0	x		x
E	19960108	13:04	24.09	122.23	15.1	4.8	x	x	x
F	19960117	12:12	23.28	121.62	25.9	4.7		x	x
G	19960120	04:24	23.34	121.40	16.9	4.6		x	x
H	19960122	19:22	24.93	121.72	66.9	5.1	x	x	x
I	19960123	14:23	24.51	121.56	56.2	4.1	x		x
J	19960202	16:53	23.82	122.38	1.1	4.9	x	x	x
K	19960205	08:57	23.89	121.71	23.0	4.7	x	x	x
L	19960305	14:52	23.93	122.36	6.0	6.4	x	x	x
M	19960305	17:32	23.90	122.30	10.8	6.0	x	x	x
N	19960326	15:42	24.27	121.89	31.2	4.4	x		x
O	19960328	17:53	24.02	122.29	7.7	5.3	x		x
P	19960329	03:28	23.97	122.33	5.8	5.6	x		x
Q	19960407	16:55	23.47	120.66	1.2	4.7	x	x	
R	19960410	14:14	22.97	121.51	13.6	4.7		x	x
S	19960419	07:26	23.71	121.80	29.8	4.6	x	x	x
T	19960528	21:53	24.05	121.58	25.0	5.1	x		x
U	19960609	01:30	24.04	121.58	47.7	4.9	x	x	x
V	19960721	05:11	24.45	122.44	65.4	4.6	x		x
W	19960727	00:26	24.33	122.03	7.2	4.8	x		x
X	19960729	20:20	24.49	122.35	65.7	6.1	x		x
Y	19960810	06:23	23.89	122.65	5.7	5.8	x		x
Z	19960905	23:42	22.00	121.37	14.8	7.1	x	x	x

* UT ** KM

表 1. 從 1995 年 12 月至 1996 年 9 月寬頻帶地震站記錄到地震資料的情形。

Table 1. Data collected by the broadband stations from December 1995 to September 1996.

們所需的頻率範圍。爲了縮短計算時間，以每秒 10 個記錄重新取樣。時間視窗包含 P 波和 S 波。因爲主要相位的波長比震源大小爲大，所以假設點震源是合理的。然後選擇三角形震源時間函數 (source time function)，最佳的持續時間藉由嘗試錯誤而得。於逆推過程，爲了擬合理論波形和觀測波形，對每一分量的記錄給予不同的加權值，加權值亦由嘗試錯誤而得。

由於資料品質的影響，僅能做出 26 個地震中的 8 個。結果表示於圖 2，圖 2 中顯示震源機制解、震源時間函數、觀測波形和理論波形。於 8 個地震中，有 5 個地震的規模 $M_L \geq 5.5$ (M,P,X,Y,Z, 表 1)。圖 3 爲這 5 個地震之震源機制解與哈佛大學的 CMT 解和美國地質調查所(USGS)之解比較，大體上都一致。

地震 M(圖 2A)

測站 ANP 的上下動分量上，於 P 波之後，理論波形與觀測波形並不吻合，此現象可能由於速度構造的側向不均質所致。測站 HWA 的上下動和南北向分量上，理論波形與觀測波形亦不吻合。然而震源機制解與哈佛的 CMT 解相符合。

地震 O(圖 2B)

測站 ANP 的上下動分量上，P 波之後，理論波形與觀測波形不吻合。測站 YNG 的上下動分量亦不符合。此地震的震央位置接近地震 M，雖然它們的震源機制解之走向相異，而 P 軸和 T 軸的方向相似，其震源機制解應屬合理。

地震 P(圖 2C)

測站 ANP 的上下動分量上，P 波之後，理論波形與觀測波形不吻合。測站 YNG 的上下動分量亦不符合，而其他分量尚符合。地震 M,O,P 位於琉球海溝隱沒系統附近，其構造的複雜性和震源過程可能是影響理論波形與觀測波形不相符之因。

地震 T(圖 2D)

此地震位於臺東縱谷北邊，本文計算格林函數 (Green's function) 時，同時使用陸地和海上的速度構造模型，發現陸地的模型符合資

料。測站 ANP 和 YNG 的理論波形與觀測波形皆吻合。逆推所得的震源機制解和使用 P 波初動所得的震源機制解相近。

地震 W(圖 2E)

測站 ANP 的上下動和東西向的理論波形與觀測波形不吻合。測站 YNG 的上下動分量上理論波形的觀測波形不吻合。此地震位於沖繩海槽向西延伸部份的南緣，其震源機制解爲走向平移斷層。

地震 X(圖 2F)

測站 ANP 和 YNG 的上下動分量的理論波形與觀測波形之相位相反，其他分量的波形上吻合，此現象可能是本文所使用的速度模型過於簡單。雖然震源機制解與哈佛的 CMT 解相異，而 P 軸和 T 軸的方向相似。

地震 Y(圖 2G)

測站 ANP 的理論波形與觀測波形擬合不好，而測站 YNG 的上下動分量上，理論波形的 P 波比觀測波形的 P 波約快 1.5 秒，其他分量的擬合情形良好。逆推所得的震源機制解與哈佛的 CMT 解相似。

地震 Z(圖 2H)

測站 ANP 的南北向分量上，理論波形與觀測波形擬合不好，測站 HWA 的上下動分量與測站 YNG 的上下動和南北向分量亦擬合不好，而震源機制解與哈佛的 CMT 解和 USGS 的解相近。

四、震源機制解的唯一性

Walter(1993) 使用直接格點搜尋法 (straightforward grid search) 來解雙偶力震源機制解(double-couple mechanism)的最佳解，四個未知的參數爲斷層的走向(strike)、傾角(dip)和滑動角(rake)，以及地震矩(seismic moment)。格點搜尋法(grid search)不僅提供雙偶力震源機制解最直接的解，而且能評估解的唯一性。經由格點搜尋法，以下將討論本研究得到震源機制解的唯一性。

在格點搜尋過程中，與逆推過程使用相同的參數。在走向、傾角和滑動角中均以 10° 爲

Event M

1996/03/05 17:32

$t_0=4.2s$, $t_1=1.2s$, $t_2=2.4s$

Moment= 5.12×10^{23} dyne \cdot cm

Strike= 57° , Dip= 78° , Rake= 72°

error=0.5802

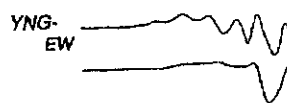
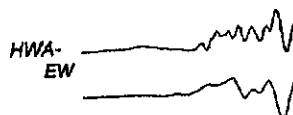
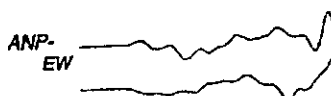
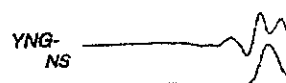
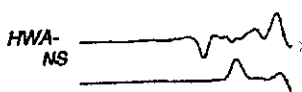
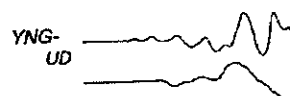
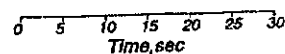
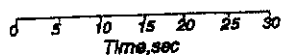
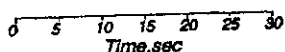
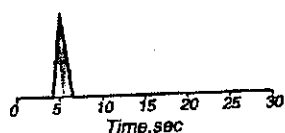
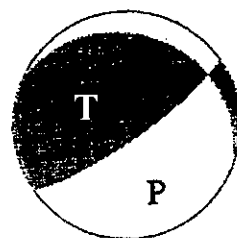


圖 2(A). 本研所得之震源機制解、震源時間函數、觀測位移波形(上)和理論位移波形(下)。震源機制解以下半球等面積投影繪製。地震 M。

Figure 2.(A) Focal mechanism solution, source time function, and the observed (top) and synthetic (bottom) displacement waveforms for the events in this study. The mechanism diagram is plotted on the lower hemisphere of equal area projection. For the event M.

Event O

1996/03/28 17:53

$t_0=1.9s$, $t_1=1.1s$, $t_2=2.2s$

Moment= 2.30×10^{22} dyne · cm

Strike= 210° , Dip= 17° , Rake= 73°

error=0.6113

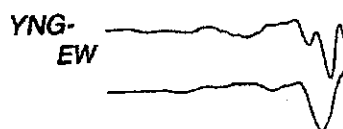
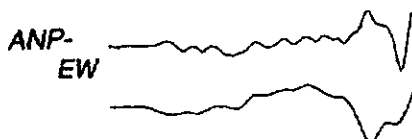
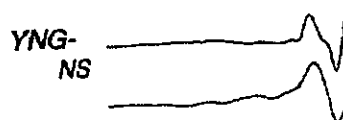
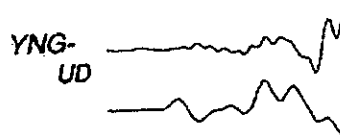
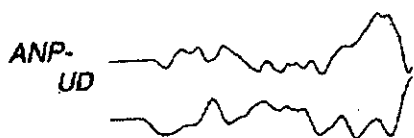
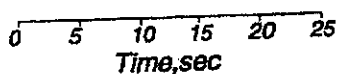
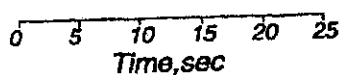
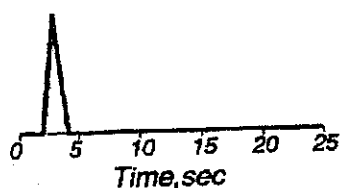
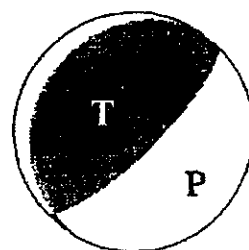


圖 2(B). 同圖 2(A), 地震 O.

Figure2.(B) The same as Figure2(A) for event O.

Event P

1996/03/29 03:28

$t_0=0.0s$, $t_1=1.4s$, $t_2=2.8s$

Moment= 1.09×10^{23} dyne \cdot cm

Strike= 93° , Dip= 66° , Rake= 83°

error=0.5616

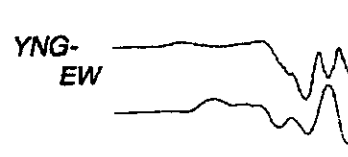
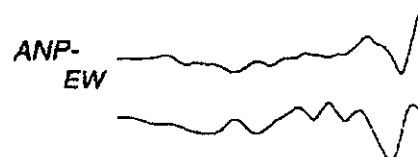
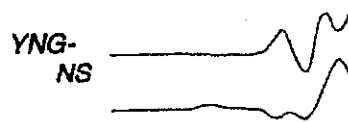
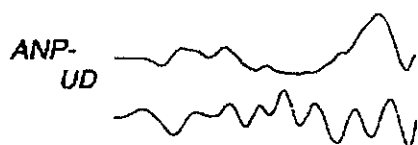
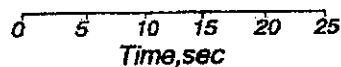
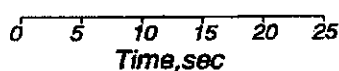
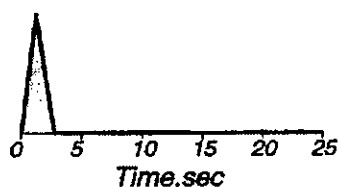
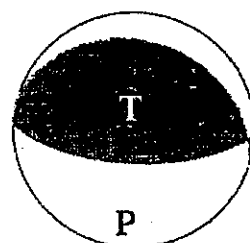


圖 2(C). 同圖 2(A), 地震 P.

Figure2.(C) The same as Figure2(A) for event P.

Event T

1996/05/28 21:53

$t_0=0.4s$, $t_1=1.3s$, $t_2=2.6s$

Moment= 3.32×10^{22} dyne \cdot cm

Strike= 85° , Dip= 73° , Rake= 114°

error=0.5580

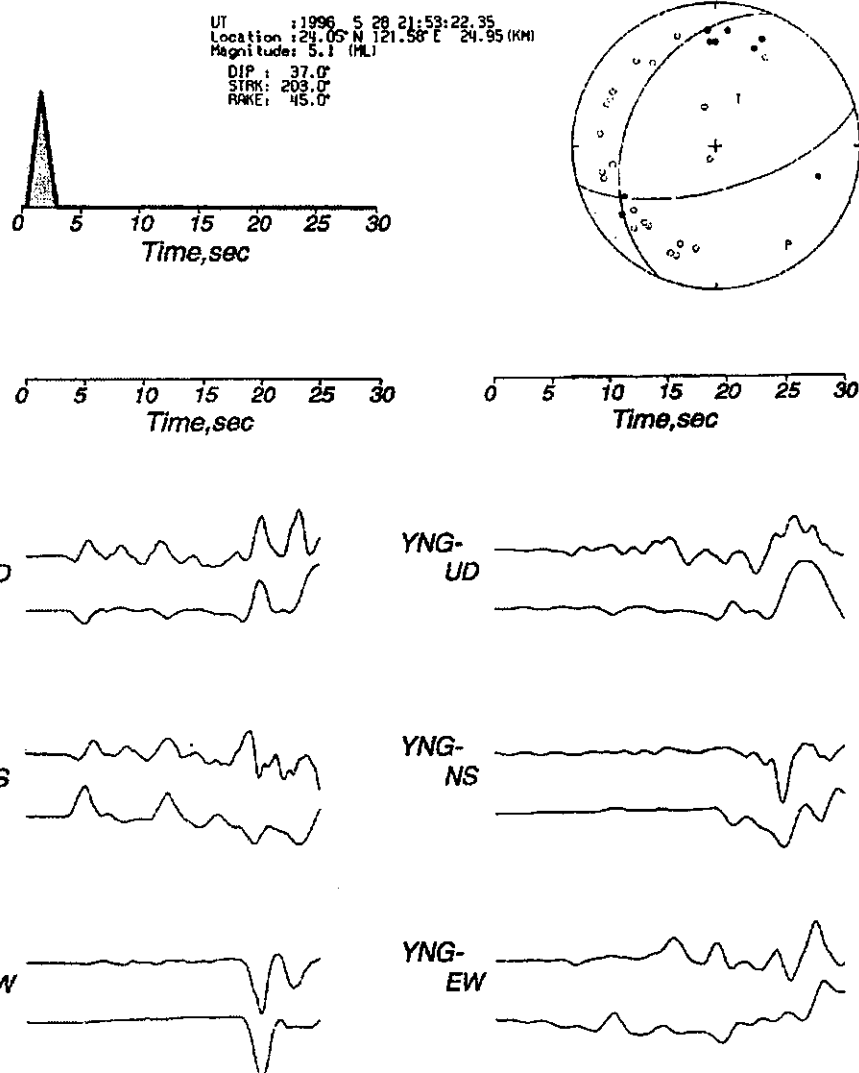


圖 2(D). 同圖 2(A)，地震 T 與由 P 波初動法所得之震源機制解。

Figure2.(D) The same as Figure2(A) for event T and focal mechanism solution determined by P-wave first motion..

Event W

1996/07/27 00:26

$t_0=0.9s$, $t_1=1.2s$, $t_2=2.4s$

Moment= 1.02×10^{22} dyne \cdot cm

Strike= 90° , Dip= 86° , Rake= -29°

error=0.6498

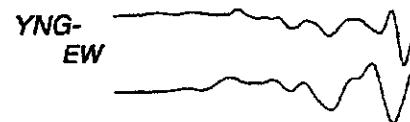
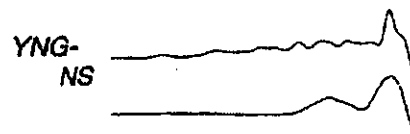
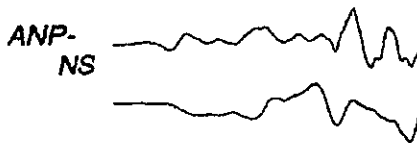
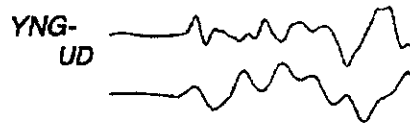
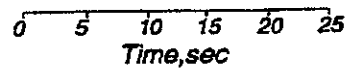
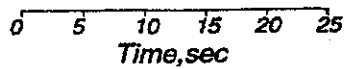
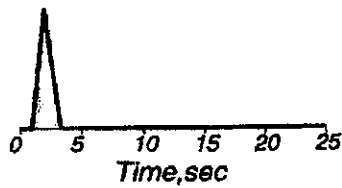
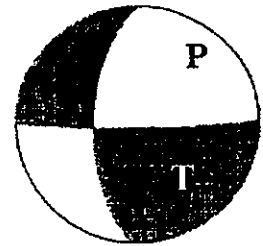


圖 2(E). 同圖 2(A) , 地震 W .

Figure2.(E) The same as Figure2(A) for event W.

Event X

1996/07/29 20:20

$t_0=1.8s$, $t_1=1.3s$, $t_2=2.6s$

Moment= 2.44×10^{23} dyne \cdot cm

Strike= 223° , Dip= 51° , Rake= 136°

error=0.4830

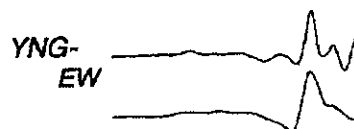
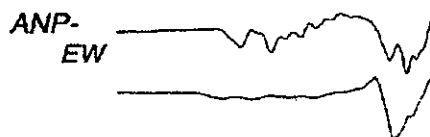
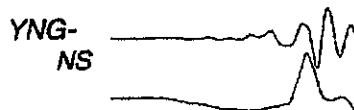
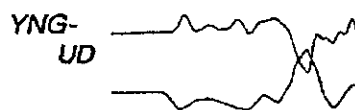
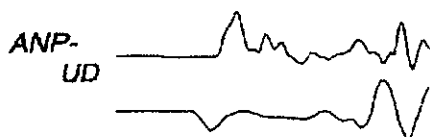
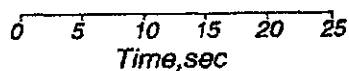
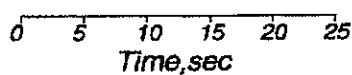
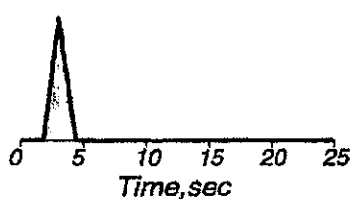
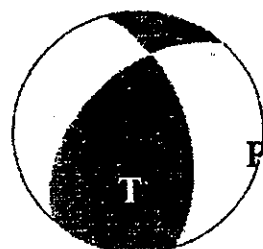


圖 2(F). 同圖 2(A), 地震 X.

Figure2.(F) The same as Figure2(A) for event X.

Event Y

1996/08/10 20:20

$t_0=0.7s$, $t_1=1.2s$, $t_2=2.4s$

Moment= 3.29×10^{23} dyne \cdot cm

Strike= 242° , Dip= 47° , Rake= 124°

error=0.6925

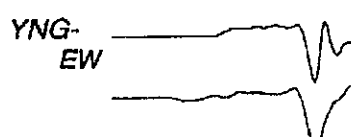
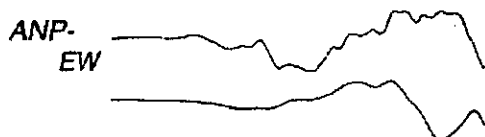
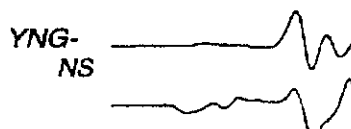
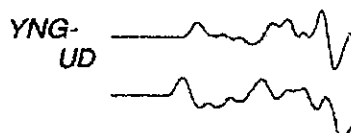
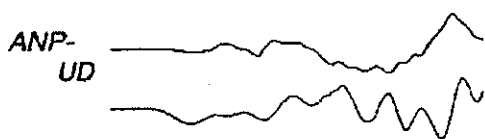
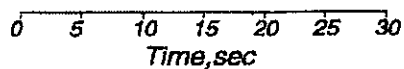
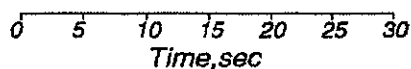
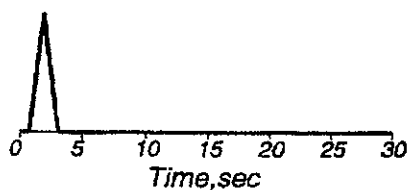
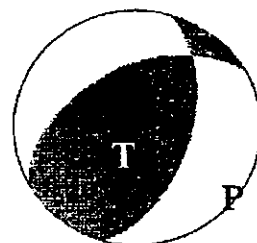


圖 2(G). 同圖 2(A), 地震 Y.

Figure2.(G) The same as Figure2(A) for event Y.

Event Z

1996/09/05 23:42

$t_0=4.9s$, $t_1=3.2s$, $t_2=6.4s$

Moment= 3.70×10^{24} dyne \cdot cm

Strike= 238° , Dip= 29° , Rake= 138°

error=0.5563

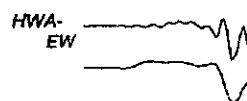
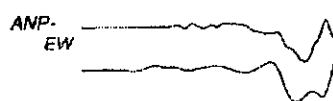
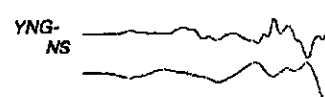
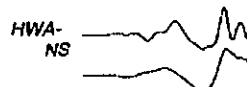
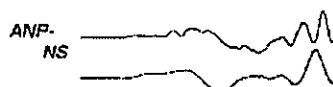
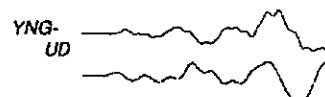
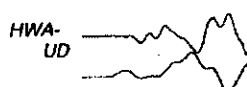
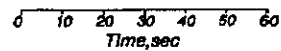
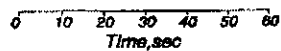
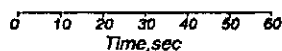
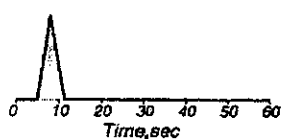
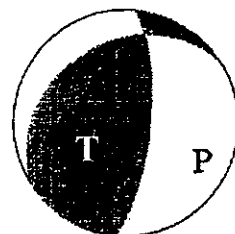
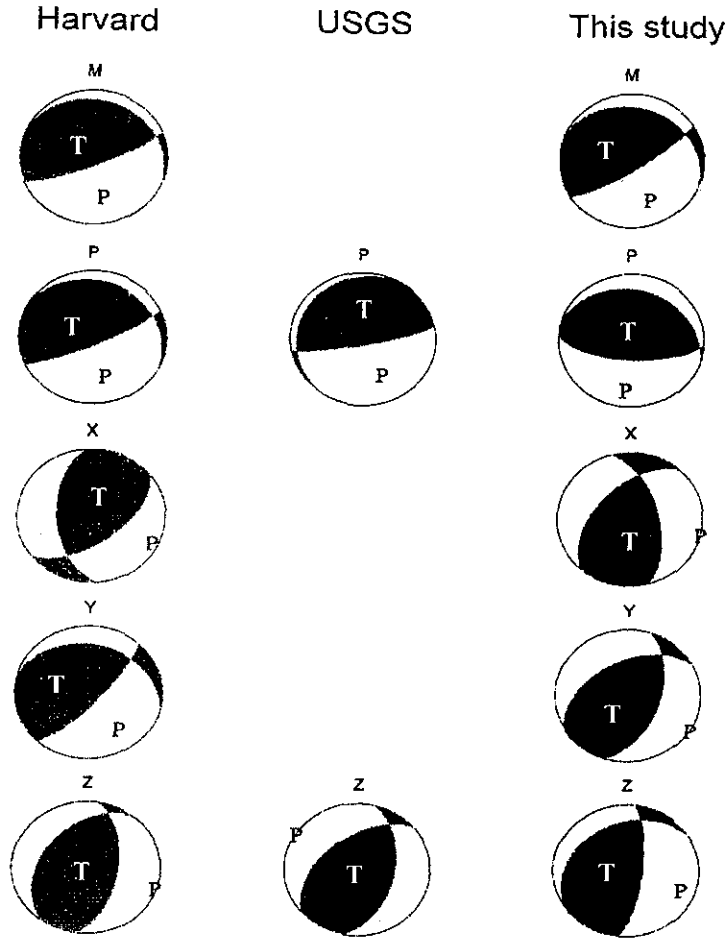


圖 2(H). 同圖 2(A), 地震 Z.

Figure2.(H) The same as Figure2(A) for event Z.



	Harvard NP1 (S, D, R); NP2 (S, D, R); Moment (dyne·cm)	USGS NP1 (S, D, R); NP2 (S, D, R); Moment (dyne·cm)	This study NP1 (S, D, R); NP2 (S, D, R); Moment (dyne·cm)
M	68, 79, 78; 296, 16, 147; 7.33×10^{24}		57, 78, 72; 294, 22, 145; 5.12×10^{23}
P	302, 17, 145; 65, 80, 76; 5.20×10^{24}	210, 11, 41; 79, 83, 98; 3.4×10^{24}	93, 66, 83; 290, 25, 105; 1.09×10^{23}
X	176, 51, 46; 53, 56, 130; 1.77×10^{24}		223, 51, 136; 344, 57, 48; 2.44×10^{23}
Y	286, 29, 151; 42, 76, 64; 3.42×10^{24}		242, 47, 124; 17, 52, 59; 3.29×10^{23}
Z	217, 39, 113; 8, 55, 73; 1.86×10^{26}	12, 47, 62; 229, 49, 117; 9.4×10^{25}	238, 29, 138; 6, 71, 68; 3.70×10^{24}

圖 3. 本研所得之震源機制解、節面、地震矩與哈佛 CMT 解和 USGS 解之比較。震源機制解以下半球等面積投影繪製。

Figure 3. Comparison of focal mechanism solutions, nodal planes and seismic moment to that determined by Harvard group, USGS and this study.

The mechanism diagrams are plotted on the lower hemisphere of the focal sphere using equal area projection.

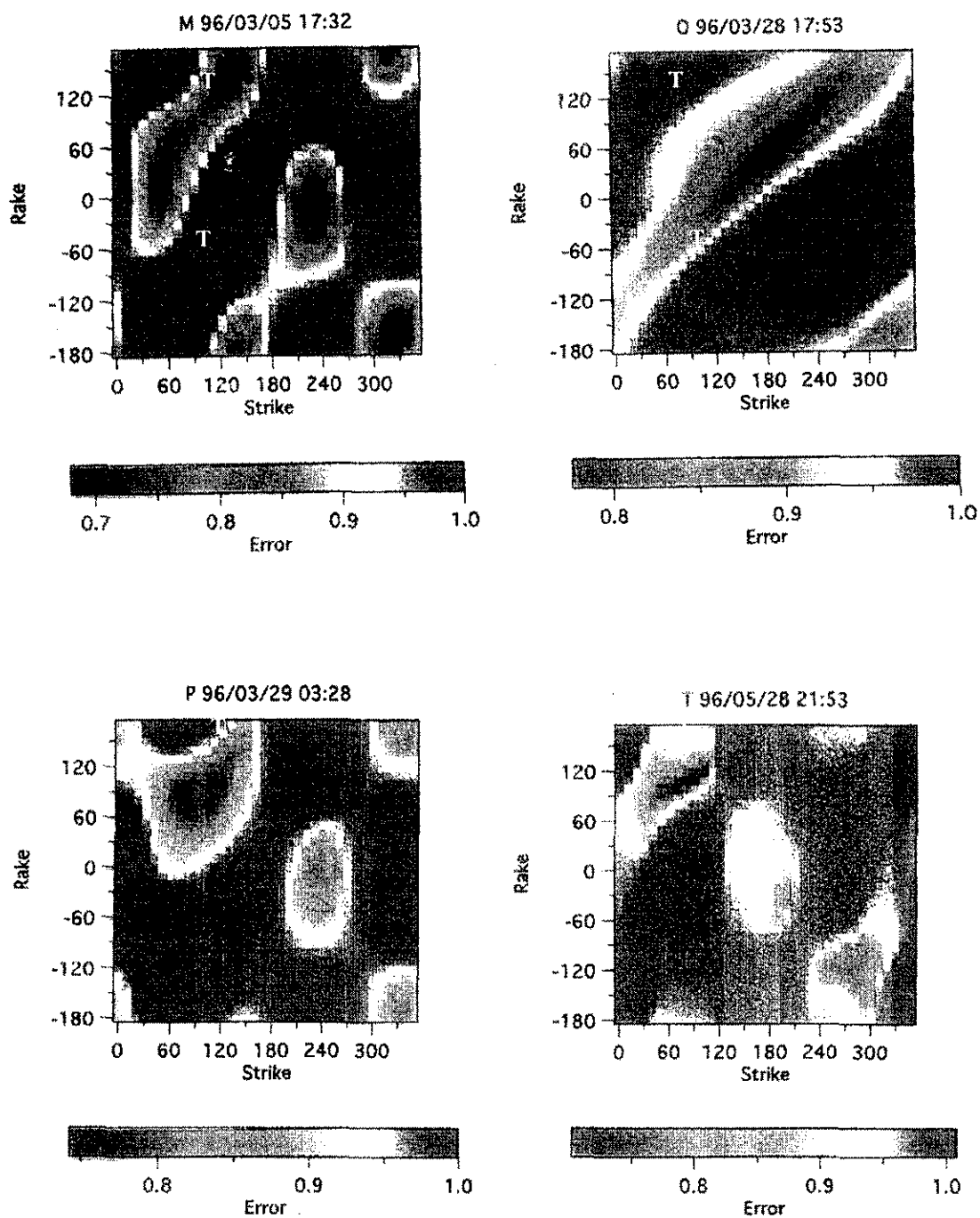


圖 4. 本研究所得走向-滑動角面上之 RMS 誤差圖。傾角固定於逆推所得的結果。

Figure4. RMS error plot on strike-rake plane for events in this study. The dip angles are fixed to the results on inversion.

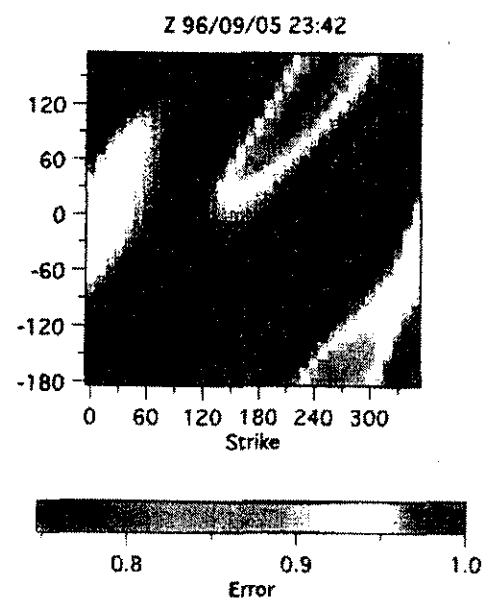
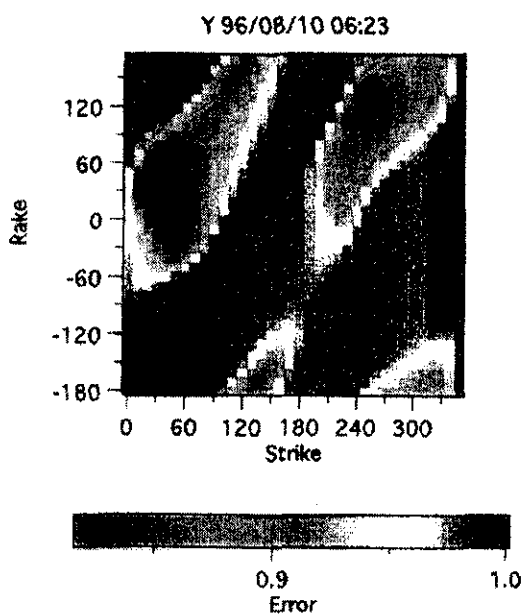
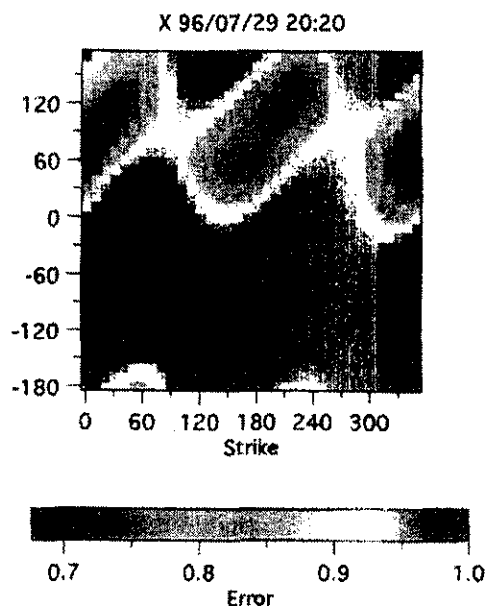
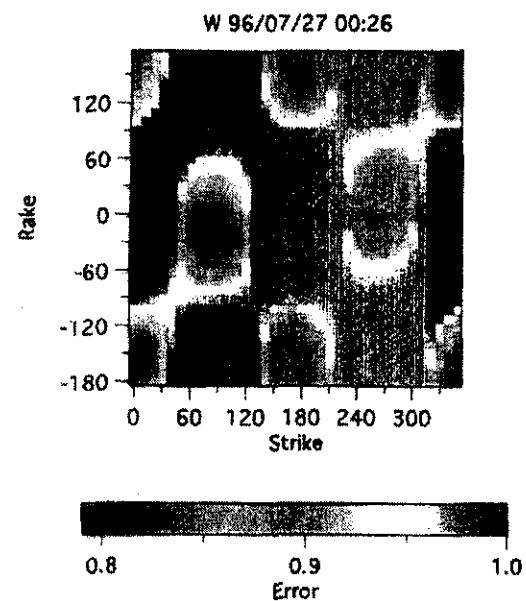


圖 4. (續)

間隔，計算震源機制解的均方根(RMS)誤差。圖 5 表示根據逆推的結果所得傾角之固定值，由走向一滑動角的面上所得的誤差值，誤差的型態隨著受震源機制解及震源與測站相對位置而影響的震波記錄而改變(Kosuga, 1996)。

對地震 M 而言，誤差值存在若干個局部最小值(圖 4)，誤差最小值落在(strike, rake)=(230°, -10°)，次最小值落在(strike, rake)=(130°, 150°)。其震源機制解符合此一誤差值，而且此一誤差值略大於最小誤差值。

對地震 O 而言，在走向和滑動角之間存有取舍的考量(trade-off)。最小誤差值落在(strike, rake)=(200°, 70°)，逆推所得的結果與此值相符。

地震 P 的誤差圖也顯示若干個局部最小值。最小值落在(strike, rake)=(90°, 90°)，逆推的結果接近此值。

地震 T 的最小誤差值落在(strike, rake)=(80°, 110°)，與逆推的結果相符。在走向一滑動角的面上沒有其他的局部最小值，因此地震的震源機制解並不是唯一性。

地震 W 的誤差圖顯示若干個局部最小值，最小值落在(strike, rake)=(80°, -20°)，逆推所得的結果與此值相符。

地震 X 有 3 個誤差最小值，若選擇誤差值小於 0.7，則最小值落在(strike, rake)=(220°, 130°)，決定了震源機制解。鞍部和與那國島的上下動分量的理論波形和觀測波形的相位相反(圖 4)，可能是震源機制解非唯一性所致。

地震 Y 的最小誤差值落在(strike, rake)=(20°, 40°)，此值相當於震源機制解的另一節面(strike, rake)=(260°, 130°)。根據逆推的參數，格點搜尋得到 (strike, rake) = (240°, 120°)，與局部最小值相近。

地震 Z 的誤差圖上存在有取舍的考量，若控制誤差值在 0.72 以下，得到(strike, rake)=(240°, 150°)，震源機制解能唯一決定。

由誤差分析的結果來看，本文經地震矩張量逆推所得的震源機制解除了地震 M 和 X 外均相當合理。

五、討論與結論

本研究分析了臺灣東北和東南外海的地震，因地震波傳播的路徑包括碰撞帶和隱沒帶，這些複雜的構造可能影響地震記錄，視震源和測站之間的相對位置而定。

在逆推的過程中，對這些分量的地震記錄給予較低的加權值，以降低複雜構造所造成的影響。本文所得的結果整理如下：

(1) 本研究所得的地震矩皆比哈佛的 CMT 解小(圖 3)，可能的原因為不同的速度構造、Q 值構造、分析時所使用的頻率範圍及震源深度所致，另一個可能的原因為本研究僅使用體波逆推，而哈佛的 CMT 大部分使用表面波。

(2) 由逆推所得的震源機制解與哈佛 CMT 解和 USGS 的解相近，且經由格點搜尋法分析解的唯一性，得到合理的結果。

(3) 爲了求得臺灣東北和東南外海地震之震源機制解，更詳細的速度構造是必要的。

致 謝

感謝中央氣象局地震測報中心提供本研究所需的寬頻帶地震資料，亦感謝日本東京大學菊地正幸教授和弘前大學小菅正裕教授提供電腦程式與資料處理方面的指導。

參考文獻

- Fan, G. and T. Wallace, 1991. The determination of source parameters for small earthquakes from a single, very broadband seismic station, *Geophys. Res. Lett.*, 18, 1385-1388.
- Kikuchi, M. and H. Kanamori, 1991. Inversion of complex waves- III, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 81, 2335-2350.
- Kosuga, M., 1996. Near-field moment tensor inversion and stress field in northeastern Japan, Ph. D. thesis, Tohoku Univ., 233pp.
- Liaw, Z.S., C. Wang and T.L. Liaw, 1987. A microearthquake study of eastern Taiwan

- Liaw, Z.S., C. Wang and T.L. Liaw, 1987. A microearthquake study of eastern Taiwan area, Proc. Natl. Sci. Counc. Taiwan, 11, 135-141.
- Yeh, Y.H. and Y.B. Tsai, 1981. Crustal structure of central Taiwan from inversion of P-wave arrival times, Bull. Inst. Earth Sci., Acad. Sin., 1, 83-101.
- Walter, R.W., 1993. Source parameters of the June 29, 1992 Little Skull Mountain earthquake from complete regional waveforms at a single station, Geophys. Res. Lett., 20, 403-406.
- 徐明同, 1978. 近地地震震史距離之計算, 氣象學報, 第 24 卷, 第一期, 16-18 頁。
- 陳光榮, 1993. 台灣地區 Qp 值之空間分佈及其特性, 國立台灣大學海洋研究所博士論文, 共 155 頁。

MOMENT TENSOR INVERSION USING BODY WAVES RECORDED BY BROADBAND SEISMOMETERS IN THE TAIWAN REGION

Chi-Fong Chang^{1,2} and Masataka Ando¹

¹Research Center for Earthquake Prediction,
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

²Institute of Applied Geophysics,
National Taiwan Ocean University

Abstract

Two three-component broadband seismometers (STS-2) were installed at Anpu and Hualien Weather Service offices by the Central Weather Bureau in December 1995. The accumulated broadband data including the data recorded at station Yonaguni Island of the Japan Meteorological Agency during December 1995 to September 1996, offer an opportunity to find the source parameters, focal mechanisms, seismic moments, and moment tensors of the earthquake offshore east to Taiwan in terms of the moment tensor inversion method. The focal mechanisms obtained by this study are generally consistent with the CMT solutions of the Harvard group and USGS, but the seismic moment is smaller than that of the Harvard group.

Key words : Broadband seismometer, moment tensor inversion method.

中央氣象局統計預報系統的發展

陳重功 羅存文 王惠民

中央氣象局氣象科技研究中心

賀介圭

中央氣象局預報中心

摘 要

在動力數值預報(Numerical Weather Prediction, 簡稱 NWP)模式技術發展已趨成熟之階段, 數值預報產品的應用與潛能的開發, 成為必然的需求。各式功用之統計預報的開發, 正是落實此種需求的途徑之一。經由統計預報所提供之預報指引, 預報人員能更加有效地掌握動力數值模式預報對某特定區域天氣項目未來的變化趨勢及強弱程度的訊息, 以協助預報作業的執行。

中央氣象局(Central Weather Bureau, 簡稱 CWB)在氣象業務全面電腦化第三期計畫下, 積極地進行統計預報作業系統的發展。為配合氣象局各類動力數值模式的持續開發, 統計預報作業系統的規劃, 主要目的在於提供易於迅速維護與開發的作業環境。此系統具備能同時執行多個動力數值預報模式所開發之 PP(Perfect-prog)或 MOS(Model Output Statistics)等統計預報模式, 且在維護作業上, 可以由外部輸入維護資訊的型式, 以期降低對 WINS(Weather Integration and Nowcasting System)作業系統作業的干擾。而作業系統的架構, 規劃為四個主要的子系統。分別為: (1)統計預報資料收集與整理, (2)預報模式選取與建立, (3)WINS 統計預報作業系統與 (4)預報產品校驗系統。各個子系統的運作流程與相互支援之規劃, 詳述於本文中。

在現階段配合此預報作業系統所開發的預報指引, 包含了超前 48 小時內的逐日最高/低溫度、36 小時內的每 12 小時時段的降水機率與 48 小時內日間雲量分類等項目, 模式架構在氣象局的區域動力數值模式預報產品上。期待能協助提升短期預報作業的服務品質, 並將此技術與環境推廣延伸至中期天氣預報與長期氣候預報作業。

關鍵詞: 統計預報

¹ 本文中所用“統計預報”一詞, 僅限於描述短期天氣預報, 藉用統計分析建立起動力數值模式預報產品與特定預報項目(例: 台北區的冬季逐日高/低溫度)的相互關係描述, 以助短期天氣預報作業的進行。

一、前 言

統計預報的出現，在於結合了對特定區域天氣變數的定量預報能力的提升，與動力數值模式預報產品應用開發的需求。此種預報作業方式創始於隸屬美國 National Weather Service (NWS) / National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) 的 Techniques Development Laboratory (TDL)。起自 1960 年代，TDL 即擔負起此項預報作業的研發與提供日常預報作業所需之指引。自 1968 年迄今，TDL 所替換過的動力數值預報模式共計有：Subsynoptic Advection Model (SAM 1968-69)、Primitive Equation model (PE 1968-1975)、Limited-area Fine Mesh model (LFM 1974-1989)、Nested Grid Model (NGM 1987-迄今) 與新近的 Eta model (1998-迄今)。

在統計預報模式技術的發展上，該實驗室先後研發出了 PP 與 MOS 兩種截然不同的統計預報作業模式。經過長期的應用分析，顯示出 MOS 比 PP 具有更準確的預報能力(Carter *et al.*, 1989)。因此，自 1973 年起 TDL 即全部採用 MOS 作為統計預報作業模式的基礎(Erickson, 1988; Jacks *et al.*, 1990)。

美國氣象預報作業在統計預報指引支援的需求量上，以短期預報作業在 1995 年 4 月的使用量為例：針對全美國地區 717 個測站，提供每日兩次(00Z 與 12Z)對未來 60 小時內的區域天氣變化之統計預報指引。所提供的區域性天氣變數項目，包含了 6 與 12 小時段降水機率、逐日最高/低溫度等項目(詳見表一)。共計該月的預報作業量，單就 NGM MOS 而言，即高達 1,044,000 條迴歸預報方程須運算。若再加上 LFM 模式、中期及航空 MOS 預報作業的需求，

總計高達 1,532,000 條統計預報方程需執行。顯見統計預報指引是美國預報員平時執行氣象預報作業的重要參考支援之一。

表一、美國 TDL/NWS 統計預報提供預報指引內容

類型	項 目	預報間距
定 量	MX/MN 最高/低溫度	Daily
	TEMP 溫度	3(小時)
	DEWPT 露點溫度	3
	WDIR 風向	3
	WSPD 風速	3
機 率	POP06 6 小時降水機率	6
	POP12 12 小時降水機率	12
	TSV06 6 小時暴風雨終止	6
	TSV12 12 小時暴風雨終止	12
	POZP 條件性降凍雨機率	3
	POSN 條件性降雪機率	3
分 類	PTYPE 條件性降水型態	3
	QPF 6 小時定量降水分	6
	SNOW 6 及 12 小時降雪量的分類	6
	CLDS 雲量	3
	CIG 雲底高度	3
	VIS 能見度	3
	OBVIS 阻礙能見度型態(Haze, Fog etc)	3

由於在協助天氣預報作業上的實際效益，世界各個氣象先進國家，如加拿大、澳大利亞、日本、法國、義大利、荷蘭及大英國協等國家的氣象預報作業單位，均相繼致力於發展與應用統計預報作業，藉以提供更具指引性的預報參考支援。

其中，大英國協氣象單位(United Kingdom Meteorological Office)更在模式的更新與維護技術層面，發展出可快速更新的 UDS (UpDatable Scheme) MOS 統計預報模式(Ross, 1992)。其優越之處在於僅須一年的測站觀測與動力數值模式產品的累積資料，即可建立起統

計預報方程，並進行預報。且理論上，對於年際與季節變化所形成的差異，會得到較好的調整。然而最大的缺陷是，每月均需更新所有的統計預報方程。因此，相較於現行的 MOS 預報作業模式，需要更大量的電腦資源來維持系統的運作，且必須在極短的數日內完成預報方程更新的維護作業。

近十餘年來，中央氣象局致力於提升天氣預報作業環境的功能。在第三期氣象業務全面電腦化中，加入統計預報作業的開發，並詳細規劃出整套統計預報系統作業流程，以為日後各式新的統計預報模式開發與維護日常統計預報作業之依據。以下就統計預報模式的發展概念、中央氣象局的統計預報發展現況、統計預報作業流程的規劃，及未來持續發展的方向，進行詳細的敘述與探討。

二、PP 與 MOS 模式的比較

PP(Klein, 1971)模式的基本概念在於，使用長期的客觀分析場來了解影響特定區域地面天氣變數(surface weather variables)的相關大氣環流因素，並建立起迴歸相關方程，應用於某一動力數值模式之各個超前的預報時段的預報產品上，用以取代由客觀分析場所找出的相關大氣環流因子，並進行預報運算。由上述的結構可知，PP 模式以定量的方式，比較客觀分析場與預報場的差異。因此，動力數值預報模式的預報誤差程度，對統計預報預報的準確度有著密切的關係。所以，PP 模式不僅無法消弭動力數值模式所產生的預報偏差(bias)與系統性誤差(systematic error)，實際上更加突顯出動力數值模式的預報狀態(Dallavalle, 1988)。

MOS(Glahn and Lowry, 1972)模式與 PP 模

式在觀念上最主要的差異在於，使用特定的動力數值預報模式之各個預報時段的模擬大氣環流場的歷史資料，來了解各別預報時段的大氣環流場與特定區域地面天氣變數的相關情形，並發展出迴歸相關方程。在執行預報作業上，則限定使用同一動力數值預報模式之各個預報時段的預報產品，代入由其相對應時段所發展的相關方程，進行預報運算。MOS 模式的主要特徵，在於模式的發展與預報過程中，動力數值模式必須為同一模式，且處在同一預報狀態下繼續運作。在此一限制下，經由相同性質的資料來建立迴歸方程與進行預報，具有自動修正動力數值預報模式所產生的預報偏差與系統性誤差的特性(Dallavalle, 1988)。所以，理論上 MOS 模式比 PP 模式有較佳的預報準確度。因此，世界各國對統計預報模式的選取，亦多採用 MOS 模式為預報作業之主要架構。

然而，加拿大氣象中心則持相異於上段陳述的論點。該中心使用 CSM (Canadian Spectral Model)動力數值模式為基礎，所發展的 PP 與 MOS 模式的統計預報分析結果顯示：在 36 或 42 小時以內的預報結果，PP 比 MOS 有較準確的預報成果；當超越此預報時段後，MOS 反而顯示出較佳的預報準確度(Brunet *et al.*, 1988)。

此二種統計預報模式除上述的架構本質上的差異外，PP 所使用的資料期限亦較 MOS 長了許多，所以能適切的表達出各別區域性的氣候、季節與綜觀天氣型態的統計關係。其餘的特性與優劣點的比較詳見於表二。

表二、MOS 與 PP 稟性的分析比較

比較項目	MOS	PP
發展資料	短資料期限	長資料期限
發展資料性質	數值模式預報場	客觀分析場
預報方程數量	多量	少量
NWP 系統性誤差	部分可自動修正	無法自動修正
可預報度限制	存在	不存在
數值模式更換	須重新建立	持續使用
使用大氣變數	較多(取自NWP產品)	較少

雖然 PP 與 MOS 模式有著截然不同的稟性存在，但基於提升預報能力的前提下，Klein 與 Hammons(1975)使用 PP 模式預報與 MOS 模式預報的組合方式，對逐日最高/低溫度進行客觀的預報，其結果亦顯示出有部分預報能力的改進。而 Lemcke 與 Kruizinga(1988)的 24 小時段降水機率(Probability of Precipitation；PoP)實驗顯示，在 MOS 模式的 PoP 預報方程中，PP 模式所預報之各個超前時段的 PoP 值，均為最重要的預報因子。在 Vislocky 與 Young (1989)的應用研究中，則使用 MOS/PP(包含三種 PP 模式：analog, logistic regression 與 analog/regression 混合)結合模式做測試比較，結果顯示出 PoP 的預報成果有 6%-33%的改進。上述之混合應用研究結果，顯示預報能力的改進的主要推論，歸因於 PP 模式具有更多區域性氣候、季節與綜觀天氣型態的相關訊息存在，彌補了 MOS 模式在此方面的不足。

三、中央氣象局統計預報發展現況

自民國 72 年 7 月起迄今，中央氣象局在氣象業務全面電腦化的推展下，已建立了全球(CWB Global Forecast System；CWB_GFS)與區域動力數值天氣預報模式(CWB Limited Area Forecast System；CWB_LAFS)，並且每日提供兩次(00Z 與 12Z)各別超前 168 與 72 小時的數

值預報作業。目前(氣象業務全面電腦化第三期計畫)中央氣象局不僅持續 CWB_GFS 與 CWB_LAFS 預報作業數值模式的改進，提升模式預報的穩定性與準確度，且更積極的發展非靜力高解析度的中尺度動力數值預報模式(CWB Non-hydrostatic Forecast System；CWB_NFS)。

然統計動力預報的發展，則起始於民國 84 年 7 月(氣象業務全面電腦化第三期計畫)。任務上，在於協助預報作業單位應用 CWB_LAFS 模式預報產品，發展出各個測站每 12 小時段的降水機率、逐日最高/低溫度與日間的雲量分類等預報指引。於發展之初期，採用 ECMWF(European Center for Median-range Weather Forecast)的全球客觀分析場(2.5°x2.5°網格)，對台灣地區冬季的最高/低溫度的大氣環流相關因子進行分析(陳等, 1997)。分析結果顯示 850 百帕溫度場為主要的相關因子，在因子涵蓋範圍比較上，東亞地區的大範圍因子比台灣區域的局地因子，存在較穩定的相關變化，但處於極端值(極高或低)的範圍內，則分布情形相反且呈現預報不足的現象。繼而以此為基礎，建立起台北、高雄、花蓮與玉山等四個氣象站的冬季最高/低溫度之 PP 測試模式，並應用於現行預報作業參考的 CWB_LAFS 與 NMC_MRF(NMC Median-Range Forecast model)兩組數值預報模式的預報產品，於民國 86 年 1 月及 2 月期間，進行平行預報測試實驗與校驗評比分析(陳等, 1998)。實驗結果比較顯示，CWB_LAFS 模式在各個超前預報，均存在明顯的冷偏差(cold bias)現象，而 NMC_MRF 模式則顯出暖偏差(warm bias)；此二模式的偏差程度，均呈現隨預報時段增加而擴大的趨勢。就

預報(24 及 48 小時)的準確度而言,在最高溫度的案例上,CWB_LAFS 的表現較 NMC_MRF 為佳,而最低溫度的案例,則呈現相反的情形。

由於 PP 模式未鎖定特定的動力數值模式,有監測動力數值模式穩定狀態與誤差性質及程度的功能,中央氣象局在統計預報發展的步驟上,先採用 PP 模式來監測分析動力數值模式持續發展/或維護改進的狀態(更或由多個不同性質/或特徵的動力數值預報模式中),分析動力數值模式的穩定程度,作為是否適合進入發展 MOS 模式之參考依據。因此,自民國 87 年 7 月 1 日起,中央氣象局即採用以 PP 模式的架構,應用於每日 2 次(00Z 及 12Z)的 CWB_LAFS 預報產品上,對全台灣地區 25 個地點(中央氣象局氣象站及觀測站)進行逐日最高/低溫度(48 小時內)與連續三段(每段為 12 小時)的降水機率統計預報指引輸出,並提供預報員作為日常預報作業之參考。待更進一步的各季預報結果及預報因子校驗分析完成後,視其結果決定 MOS 模式的建立及上線預報作業。然而於現階段,僅進行基礎性的 PP 與 MOS 模式的技術開發,並無深入的混合應用的需要。

四、統計預報作業系統的規劃

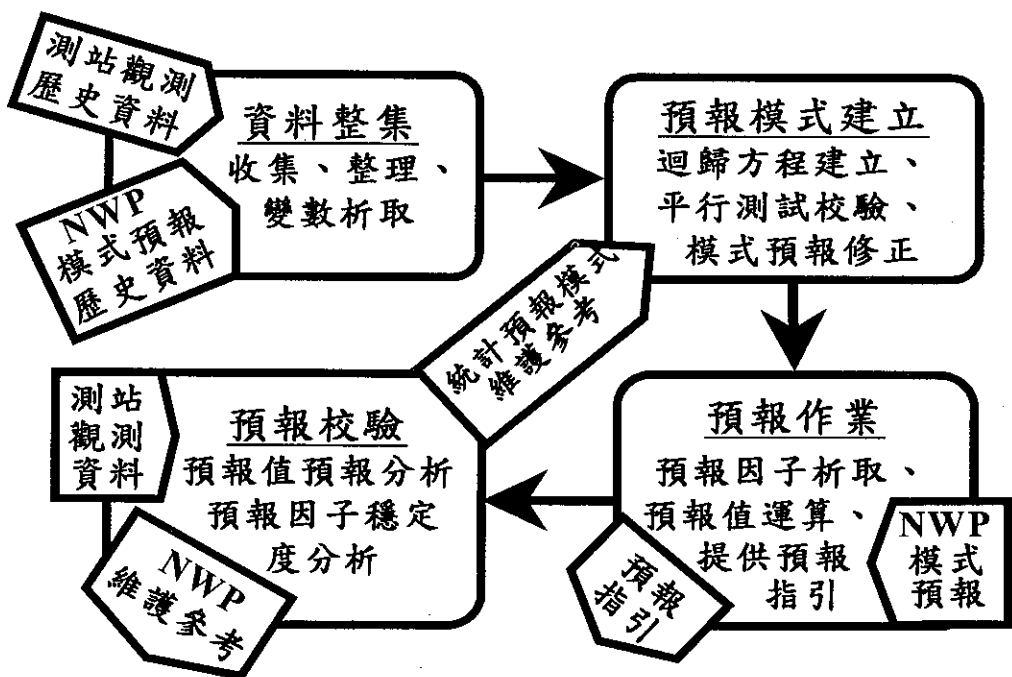
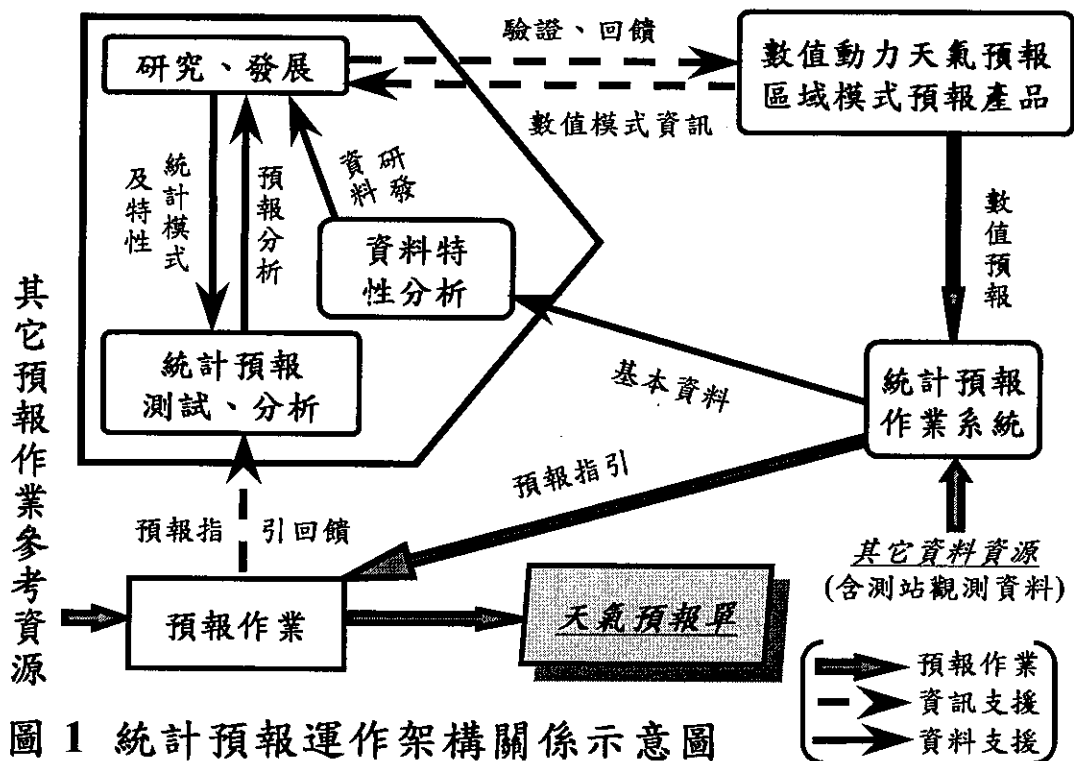
中央氣象局統計預報作業系統的規劃,基於配合氣象局各式動力數值預報模式的持續發展,提供各種預報作業所需的預報指引項目之開發及應用。此一作業系統具備容納多組不同性質的動力數值模式的統計預報模式同時執行,且隨實際作業需求的時段自動啟動各種統計預報模式(如 PP、MOS 或類似第二節所討論之混合應用方式)的預報指引運算與預報結果校驗。

整體的統計預報運作架構規劃如圖 1。首先,建立統計預報作業系統,其功用在於維護預報作業自動化運作,並供給所需求的統計預報指引給預報中心參考;而其中的資料庫是系統運作的資料供輸中樞,負責收集與整理測站觀測資料、動力數值天氣預報模式的預報產品、預報方程與統計預報指引。其次為研發部分,將前述之資料庫所取得的測站觀測資料,分析出所開發之預報指引項目的氣候特性,如區域與季節的劃分等。再進而與數值預報模式產品建立起各區域在各季節中所需求的預報指引的相關預報方程。經選定之統計預報迴歸方程,交由統計預報作業系統執行日常的預報指引的運作支援。在預報單位使用一段時間後,收集預報員的使用回饋資訊予以分析,並釐清問題的起源,分類歸屬於統計預報模式或動力數值預報模式所導致,再各別對所屬的模式進行適當的調整改進。綜括而論,此運作架構有助於協調與增進動力數值預報、統計預報與預報員彼此間的相關互動關係。

在統計預報作業運作程序整體的架構上,規劃為四個主要的子系統流程(參見圖 2):資料整集、預報模式建立、預報作業與預報校驗。以下就此四個子系統的運作流程,詳述如后:

(一)統計預報資料整集系統流程

此部分主要的功用,在於收集並整理出所需要的預報元(轉換自觀測資料)與待選預報因子資料庫(由動力數值模式產品析出)。由圖 3 的系統流程指示,預報元部分依照現階段預報作業的需求,將各測站觀測到的每 12 小時累積的降水資料,整理出以 0.1mm 為分界的不連續(0:小於 0.1mm,1:大於或等於 0.1mm)降水機率(PoP)的分布型式,及日間(08LST-17LST)



平均覆蓋雲量(day-time cloud cover amount/C LA)由十分量的紀錄，分類為碧空(Clear sky, 0/10)、疏雲(Scattered, 1/10-5/10)、裂雲(Broken, 6/10-9/10)與密雲(Overcast, 10/10)等四種類型(戚與陳, 1995; Jacks *et al.*, 1990)，與直接使用每日最高/低溫度(daily maximum/minimum temperature)觀測紀錄等預報(元)項目型式。經轉換後，各別的預報元即按逐日的順序排列存檔。置放於迴歸預報資料部分待用。在作業系統的執行流程中，預報元的參數代碼定義，依據表三編列給定。整組預報元代碼可分為三部分：測站代碼、季節起止月份與預報項目代碼(詳見表三)。

表三、統計預報預報元參數對照表

sssssbbeeYYYyyy (466921101TMX240 or 466921101POP061)		
SSSSS 測站代碼	bbee 季節起止月份	YYYyyy 預報元代碼
中央氣象局全省 25 氣象觀測站，站碼 與局內資料同： 46695:彭佳嶼 46691:鞍 部 46692:台 北 46693:竹子湖 46777:梧 棲	bb:預報季節起始月份 ee:預報季節結止月份 統計預報作業分季如下： 冬 季:11月-1月 春 季:2月-4月 梅雨季:5月-6月 夏 季:7月-8月 秋 季:9月-10月	YYY:預報元變數 POP:降水機率 TMX:最高溫度 TMN:最低溫度 CLA:雲 量 yyy: 6小時時段: 061:08LST-14LST 062:14LST-20LST 063:20LST-02LST 064:02LST-08LST 12小時時段: 121:08LST-20LST 122:20LST-08LST 24小時時段: 240:00LST-24LST 241:08LST-08LST 242:20LST-20LST

在待選預報因子資料庫的建立方面，將所收集到的動力數值預報模式產品，經過預報因子運算流程的處理後，按逐日的順序排列成待選預報因子檔案待下一個步驟取用。此處運算流程的程序順序如后：首先將數值預報產品轉換成所需的網格投影格式；若統計預報模式發展與上線預報業的數值模式產品，為同一格式之投影網格則自動跳過不予執行。接著截取出統計模式中預報因子所使用的網格範圍，並進行所需要之導出場運算(由系統自動聯結到導

出場程式庫)。當所有的數值預報產品場量整集完成後，即進行各類所需型式的因子析取運算處理，將場量網格資料截取轉換成單點(內插至測站位置(STA)或測站鄰近各別四點(SGP))，區域平均(AVG)與主要成份(PCA)等型式的因子。再依尋統計迴歸預報待選因子資料檔案所需的格式予以彙集儲存。在系統作業程序中，待選預報因子所使用的整組參數代碼格式之設定，包含有統計模式、預報時段、NWP 模式網格與範圍、超前/落後之數值模式起始時段、變數等壓面、變數場、數值模式起始與因子析取參數等八組代碼組合而成，各個編輯定義詳列於表四；其中所示統計模式代碼(ccc)，並未在此一階段中決定，係經由下一個子系統中編入。

表四、統計預報預報因子參數對照表

Cccfftiogr ₁ ss ₁ gr ₂ ss ₂ pppviommmidx (PFPxxxxxxx030000008501600AVG6920 or MOS024-0120300xxx8501612STA6921)		
Ccc 統計模式	ff 預報時段	gr ₁ ss ₁ gr ₂ ss ₂ NWP 模式網格、範圍
PFP完全模式 (Perfect Prog) MOS模式輸出統計 (Model Output Statistics) UDS:更新預報模式 (Updatable Scheme)	Xx:全部預報場(僅用於 PFP) 12:視 NWP 模式支援 24:預報時段而定 36: 48: :	發展模式(gr ₁ ss ₁)與預報模式 (gr ₂ ss ₂): gr ₁ :03(CWB 區域數值預報模 式);xx(某數值模式代碼隨 任務需求加碼) ss ₁ yy(上述數值模式的網格與 截取範圍之代碼) 如 0300 代表: CWB 區域 數值模式粗網格的全部輸 出範圍
otio 超前/落後之數值模式起始		
在同一 ff 預報時段，相較於目前 io 的超前(-012)或落後(+012)的 io 起始之因子資料。(功能在預報模式檔中設定)		
Ppp 等壓面	w 變數場	mmidx 因子析取
MSL:平均海平面 TRS:地形表面 000:1000 百帕 850:850 百帕 700:700 百帕 500:500 百帕 008:850-1000 百帕 007:700-1000 百帕 005:500-1000 百帕 857:700-850 百帕 855:500-850 百帕 705:500-700 百帕 50A:500 百帕以下平均值 85A:850 百帕以下平均值	01:高度 16:溫度 40:混合比 48:東西風 49:南北風 50:輻合/散 51:渦度 58:Q 向量輻合/散 59:濕度平流 60:溫度平流 61:濕度輻合 62:渦度平流 63:K 指數 64:T 指數 88:相對濕度 90:12 小時模式預報累積降雨 91:θ _e 等位溫 92:θ _e 等位溫平流場	mm:析取方式 PCA:主要成份 AVG:區域平均值 SGP:鄰近單點 STA:內插至測站 Idx:析取指標 如台北測站附近 4 個網格點SGP6921-4為: 1:左下 2:右下 3:左上 4:右上 或 SGP0001-SGP9999 AVG6920:此 4 點平均 STA6920:內插至台北測站經緯位置
io 數值模式起始	ss 12 小時模式預報累積積雪 94 12 小時模式預報累積大尺度降雨	
PFP 模式建立於 00/12Z 的客觀分析場 MOS 模式建立於 00/12Z 的初時段的分析場		

(二)統計預報模式建立流程

此一子系統的目的，在於建立起預報作業所需求之適切的統計預報模式。內容主要包含了迴歸模式設定、預報模式的篩選及檢定分析與預報作業模式彙集等三個步驟(參見圖 4)。由上一個步驟所準備妥的預報元與待選預報因子資料庫，傳入迴歸模式設定步驟時，先設定建立迴歸模式所需求的條件：例如新增迴歸因子的變異量比率必須大於 5%、選取的因子與先前選入者的相互相關程度必須小於 10%、最高/低溫度預報測試的平均絕對誤差值(Mean Absolute Error)小於 2°C 或降水機率測試預報技術得分(Skill Score)大於零等檢定控制參數。接著設定因子篩選所需的程序，其間可選擇傳統的向前選取程序(forward selection scheme；Neter *et al.* 1983)或 UMC(scheme of University of Missouri-Columbia)的逐步相關因子選取程序(Kung and Tanaka, 1985)，來建立迴歸方程。並且在 UMC 程序中，可選擇是否需要執行 Variance Inflation 的逐步檢定，作為因子選取時之嚴格參考因素。在每一個預報因子選入後，均進行必要的迴歸模式檢定程序，包含有逐一增加迴歸因子的 ANOVA (ANalysis Of VAriance)檢定分析，與進一步的獨立資料組測試的校驗分析。在此二種分析結果中，若有不符合於所設定檢定要求者，則可重新回到迴歸模式設定部分，再重新設定選項條件並重複此一程序。而通過檢定要求的迴歸模式，亦可再次選擇採取人工檢驗篩選方式，對逐一篩選過程所建立的迴歸方程進行比較。最後，進入預報模式彙集部分，將所有選出的預報迴歸方程整理成統計預報作業所需的預報作業輸入檔案。此檔案不僅提供 WINS 統計預報作業系統上線預報作業時使

用，且兼具由外部維護/更新，及降低對 WINS 統計預報作業系統干擾的功能。並且同時將模式篩選、分析過程的所有資料(逐一的 ANOVA 表與獨立測試部分)，均詳細的紀錄及儲存，供預報員作為預報模式的特性背景參考資料。

預報作業檔案的儲存路徑與格式內容的規劃，以各月為作業執行時的基本單位，月以下分類為各種不同的 NWP 動力數值模式，其下再區分為各個不同的統計預報作業模式(PP、MOS 或混合統計模式等)，各模式內容則包含了需求預報項目的預報作業檔案(詳細示意於圖 5)。每一組檔案均記載了各別測站的迴歸預報方程(預報因子、迴歸係數及變數變量值)、特殊預報因子所需的處理控制參數與該方程的測試經驗修正對應參考值(如所預報的 PoP 值大於 50%，一律增加 20%)等三部分。其中，特殊預報因子處理部分，為預設之作業維護窗口，便於由系統外界直接處理不同型式的新增或特殊用途的預報因子，以維護模式的正常運作。

(三)WINS 統計預報作業系統流程

本子系統為日常預報作業的主要運作核心，功能在於處理所有支援預報員所需的各式預報指引。此系統主要架構在 WINS 天氣服務系統下執行，以每一小時自動啟動的方式，檢查該項作業時段(00Z 或 12Z)的統計預報程序是否已經完成。若統計預報作業已完成或該時段之 NWP 預報作業尚未結束，則系統會回復靜止狀態，等待下一小時再起動檢查。否則進入系統，並執行統計預報作業程序。

按 WINS 統計預報作業系統運作規劃指示，執行時以同一個特定動力數值模式項下的所有統計預報模式，為進出系統運作流程的基本運作架構。因此，預報作業系統依尋圖 5 所

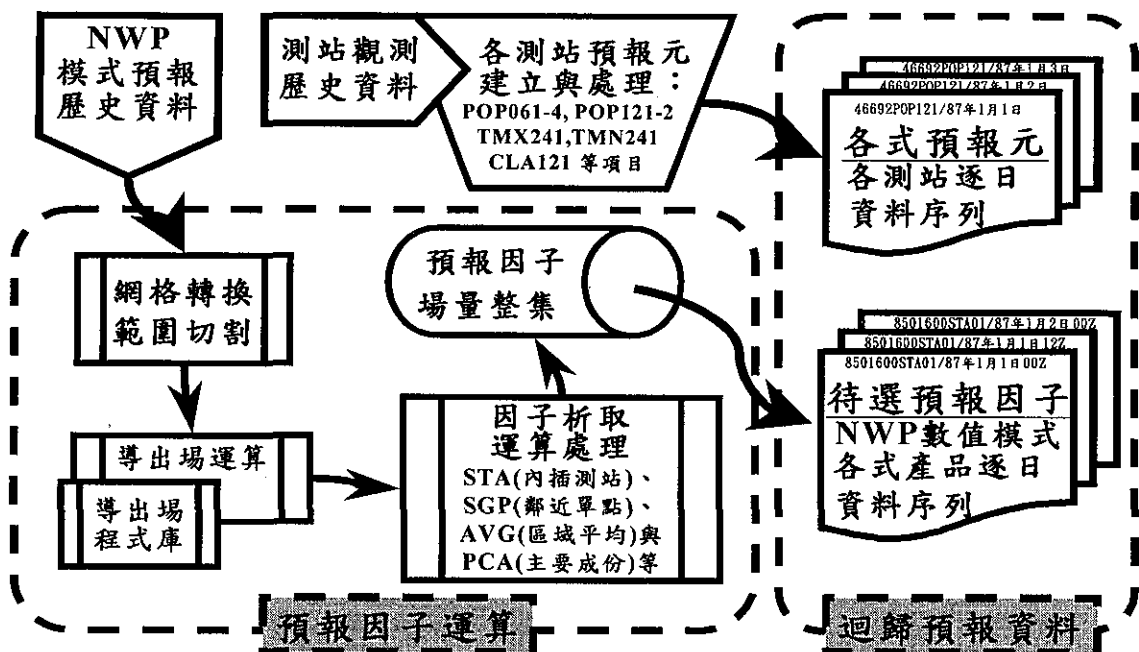


圖 3 統計預報資料整集系統流程

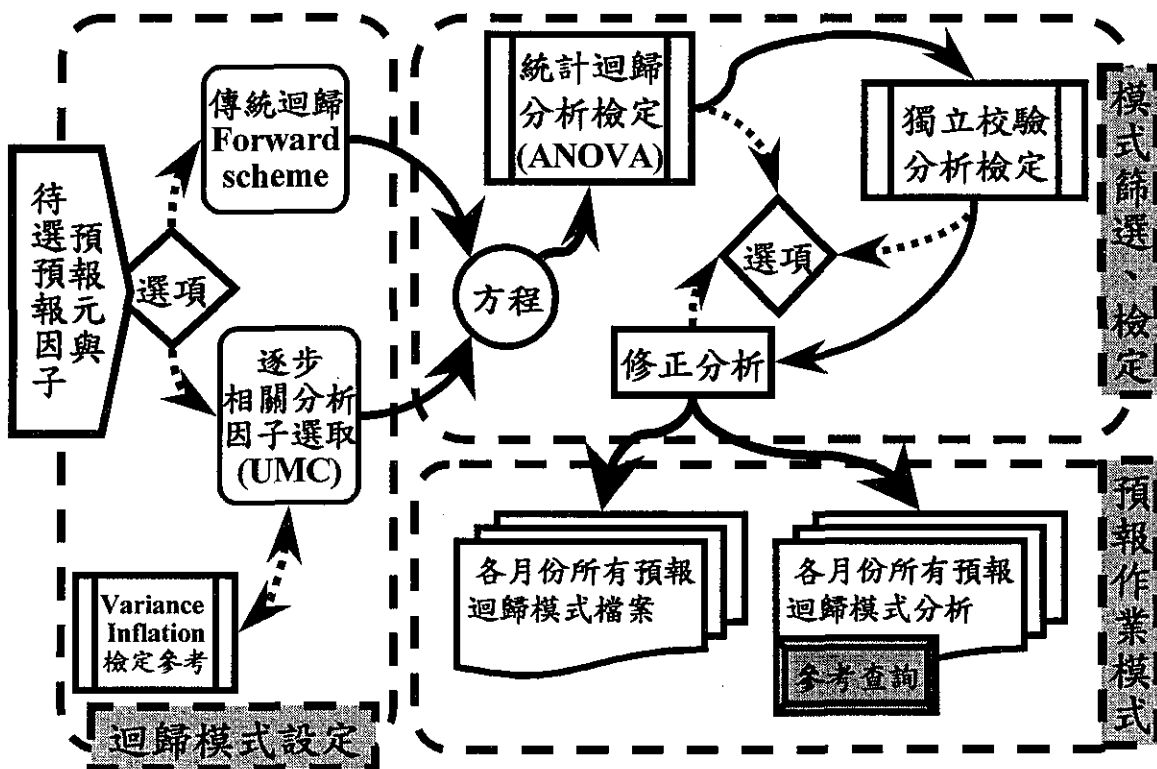


圖 4 統計預報模式建立流程

示的 NWP 模式(i)，逐一載入預報方程檔案，進出圖六的作業系統流程，進行各別的統計預報運算。

此系統執行流程劃分為三個部分(參見圖 6)，分別為預報因子轉換、迴歸預報運算與預報指引/因子儲存。當該月的統計預報作業檔案與檔案 0 (由外部控制宣告相容之預報因子)載入預報因子轉換部分後，在檔案 0 的配合下，對同一動力數值模式下的所有統計預報模式(PP 或 MOS 等)之共同預報因子進行摘要整理，區分出共同的基本場、導出場與共同的預報因子等三組暫存的資料檔案清單。當前置作業完成的 NWP 預報產品載入時，即根據基本場與導出場兩組檔案清單，選取出統計預報作業所需的共同場量；當輸入的 NWP 模式產品和統計預報因子處於不同網格投影格式時，系統先將網格轉換成預報因子所需之投影網格格式，再進行網格資料範圍的截取。其次若存在數值模式未提供之導出場，系統會自動聯結導出場副程式庫完成運算，同時結束第一部分的作業流程程序。

第二部分為迴歸預報運算，根據所整理出的共同預報因子檔案，並透過因子分析運算處理程序，逐一的由所截取網格範圍內的基本場與導出場量，析取出所需的各種預報因子；其中若含有特殊預報因子，需進行特殊方式個別處理，則參考檔案中所附的“特殊預報因子處理參數值”予以計算。當所需預報因子處理完成後，按照輸入此系統的統計預報作業檔案內容的各別迴歸方程，計算出各個預報項目的預報值；若預報方程有提供“測試經驗/預報維護修正的對照資料”，即可對該預報值進行對照修正，進一步調整已存在的系統性誤差，完成

預報指引的運算。並依照預報人員所需的預報指引參考形式組合，展示於 WINS 的顯示系統上，或整理印製成預報單型式，提供預報作業參考。

第三部分為儲存上線預報的結果，在迴歸預報運算部分中所使用的各個預報因子、預報值與由經驗修正的預報值，均依據圖 7 所示的途徑(與圖 5 所示一致)與格式歸類儲存，以備校驗系統進行預報驗證與結果分析。在各個歸檔的方式上，預報值與修正預報值按全省各測站順序排列，每站依逐日的 00Z 及 12Z 預報順序，存入 NWP 模式所提供的客觀分析場(Obj)與各超前預報時段(12h, 24h, 36h, 48h)的預報結果；預報因子的儲存格式內容與預報值的內容一致。

(四)統計預報校驗系統流程

此一系統的功能，在於儲存與校驗上線預報的結果。主要程序計有彙集資料庫、預報校驗分析與分析諮詢參考三部分(參見圖 8)。首先，預報結果資料庫的建立，負責收集、整理與儲存前一個子系統所執行完成的統計預報產品，與各個測站的各預報項目的觀測資料，並整理轉換成所相對應的預報元之形式，準備提供各式校驗項目取用。

第二部分：預報校驗分析，主要規劃有兩個校驗區間。其一為自動校驗區間，功能在於對所有儲存的各種預報值與預報因子，執行例行性(逐月或季)的自動校驗評比分析。其二為開發分析技術使用，不僅提供某預報項目在個別特殊事件期間的校驗分析，亦可供給資料進行新的校驗技術之開發測試使用；而此一校驗技術的開發成果，經驗證肯定後，可列入自動校驗程序中，成為校驗作業的執行校驗項目之一。

最後為校驗分析諮詢參考部分，接續前一

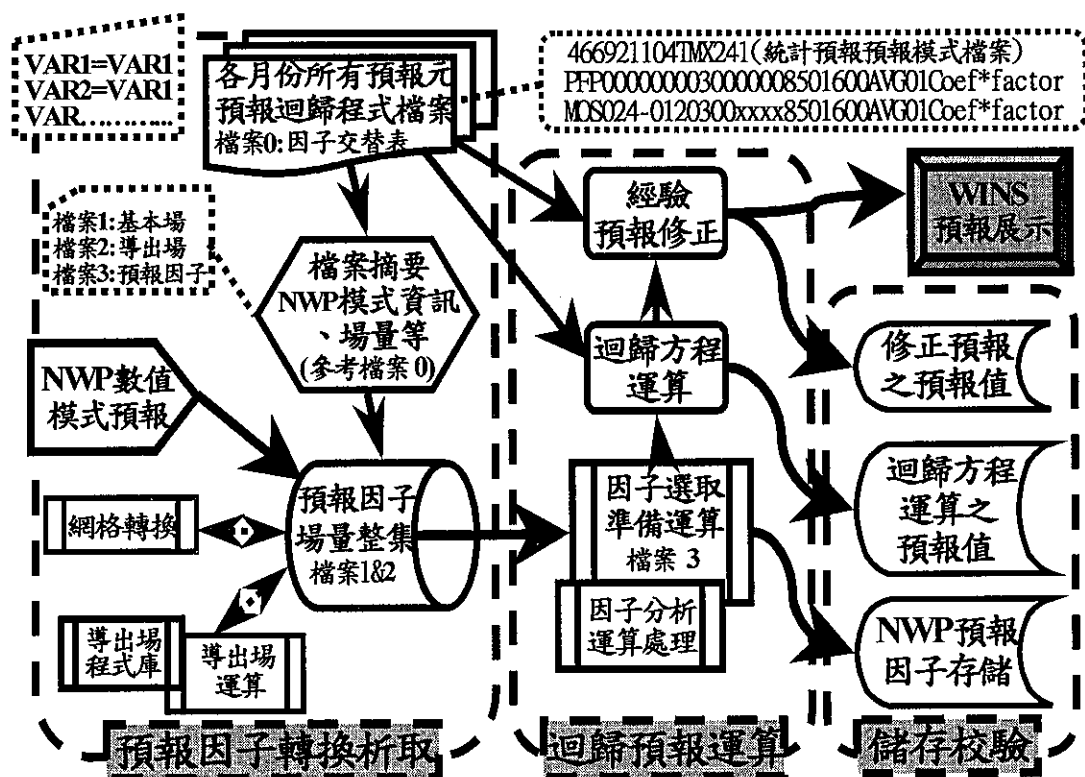
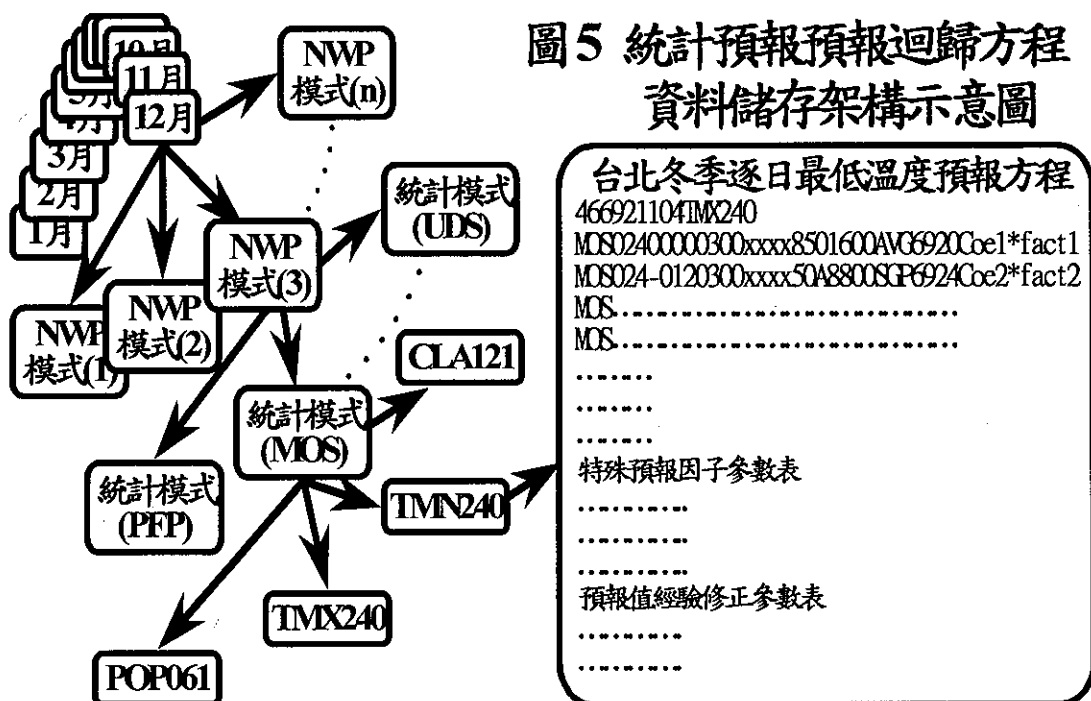


圖6 WINS統計預報作業系統流程

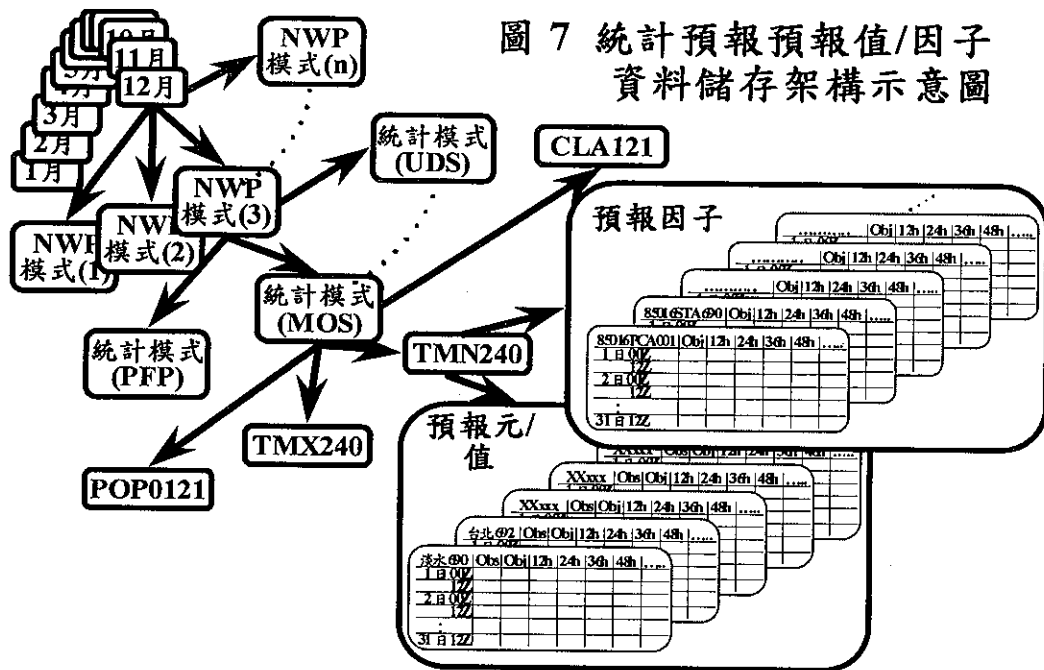


圖 7 統計預報預報值/因子資料儲存架構示意圖

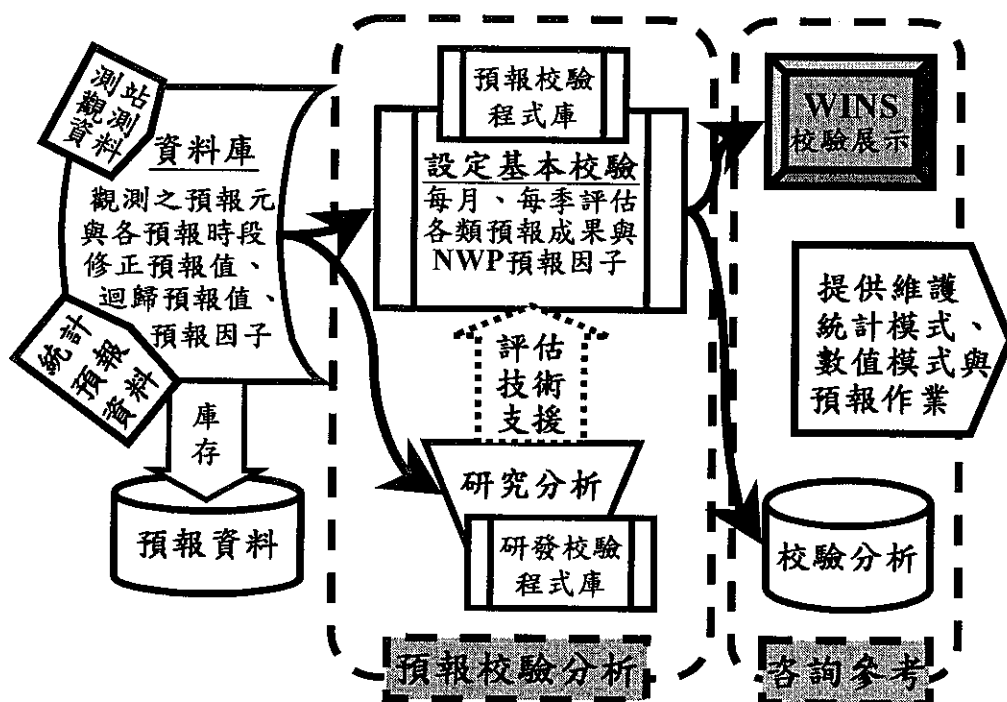


圖 8 統計預報校驗系統流程

部分的例行自動作業的預報值與預報因子之評估分析結果，展示在 WINS 系統的顯示窗口下，隨時提供預報作業人員、動力數值模式與統計預報技術發展人員參考諮詢，做為預報值的修正與模式維護之依據。並且將分析結果予以存儲，以備需要時查驗。

五、 未來展望

統計預報的存在，主要是為了協助預報員瞭解與應用動力數值天氣預報模式的預報特性於日常天氣預報上，達到提升預報服務品質之效果。此外於無形中，統計預報亦可成為監測動力數值模式持續發展的有效工具之一。

中央氣象局未來在短期統計預報作業技術的開發上，有兩個主要的開發方向。其一為完整預報作業支援所需的統計預報指引，首先開發更多基礎性的預報指引，如定量降水分類、風向、風速及能見度等(請參考表一)，以滿足日常天氣預報的基礎需求；另外，應積極開發與台灣(各個)地區特殊天氣變化相關之可能預報指引項目，如梅雨季的豪大雨機率預報、夏季的最高溫度及冬季的最低溫度發生機率預報(如低於 10°C/農業寒害參考)、區域性強風分類預報等。其二為應變動力數值模式的變化，例如因為 CWB_LAFS 數值模式的持續維護與改進，必須進行調整或重新建立各個相對應的各種統計模式所提供之預報指引的預報方程；抑或未來因應新的 CWB_NFS 數值模式上線後，配合需求所建立的統計預報模式，除了提供前述統計預報指引項目外，亦應運用 CWB_NFS 數值模式的中、小尺度特性於統計預報項目開發上，例如結合密集的全省的自動雨量站觀測網，發展涵蓋全台灣地區(主要彌補偏遠地點及山區)有關降水等方面的預報指引項目。

在中期統計預報作業的開發上，為配合協助 CWB_GFS 數值模式的繼續發展，將採用 PP 統計預報模式，以 ECMWF 的客觀分析場為依據，建立起提供各類預報指引所需的各個測站的相關預報方程，應用於 CWB_GFS 數值模式的超前時段(12 至 168 小時)預報上。進而由監測的結果，判定建立 MOS 統計預報模式的時機。隨著動力數值預報與統計預報技術的逐漸提升，未來在長期預報作業發展上，亦可應用氣候動力數值預報模式的預報產品，建立起長期預報作業所需的長期統計預報預報指引。

六、 誌 謝

本作業系統的規劃，經中央氣象局統計預報小組同仁，共同參與研商及規劃而成，且逐步持續建立起此一作業系統。在此，致上最真誠的謝意予服務於美國國家氣象局科技實驗室的蘇長春博士，長期諮詢建議及實際技術開發上的指導。

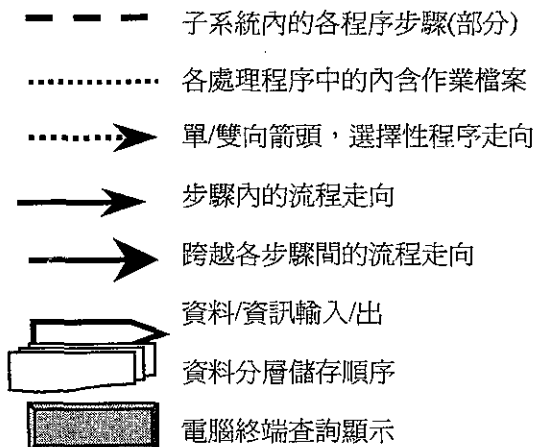
參考文獻

- Brunet, N., R. Verret, and N. Yacowar, 1988 : An objective comparison of Model Output Statistics and "Perfect prog" systems in producing numerical weather element forecasts. *Wea. Forecasting*, **3**, 273-283.
- Carter, G. M., J. P. Dallavale, and H. R. Glahn, 1989 : Statistical forecasts based on the National Meteorological Center's numerical weather prediction system. *Wea. Forecasting*, **4**, 401-412.
- Dallavale, J. P., 1988 : An evaluation of techniques used by the National Weather Service to produce objective maximum/minimum temperature

- forecasts. *Eighth Conference on Numerical Weather Prediction*, Baltimore, Amer. Meteor. Soc., 572-579.
- Erickson, M. C., 1988: Development and evaluation of perfect prog guidance based on output from the nested grid-model. *Eighth Conference on Numerical Weather Prediction*, Baltimore, Amer. Meteor. Soc., 565-571.
- Glahn, H. R., and D. A. Lowry, 1972: The use of model output statistic (MOS) in objective weather forecasting. *J. Appl. Meteor.*, **11**, 1203-1211.
- Jacks, E., J. B. Bower, V. J. Dagostaro, J. P. Dallavalle, M. C. Erickson, and J. C. Su, 1990: New NGM-based MOS guidance for maximum/minimum temperature, probability of precipitation, cloud amount, and surface wind. *Wea. Forecasting*, **5**, 128-138.
- Klein, W. H., 1971: Computer prediction of precipitation probability in the United States. *J. Appl. Meteor.*, **10**, 906-915.
- Klein, W. H., and G. A. Hammons, 1975: Maximum/minimum temperature forecasts based on model output statistics. *Mon. Wea. Rev.*, **103**, 796-806.
- Kung, E. C., and H. Tanaka, 1985: Long-range forecasting of temperature and precipitation with upper air parameters and sea surface temperature in a multiple regression approach. *J. Meteor. Soc. Japan*, **63**, 619-631.
- Lemcke, C., and S. Kruizinga, 1988: Model output forecasts: three years of operational experience in the Netherlands. *Mon. Wea. Rev.*, **116**, 1077-1090.
- Neter, J., W. Wasserman, and M. H. Kutner, 1983: *Applied linear regression models*. Richard D. Irwin INC., Homewood, Illinois, 547pp.
- Ross, G. H., 1992: Model Output Statistics using an updatable scheme. *Twelfth Conference on Probability and Statistics in the Atmospheric Sciences*, Toronto, Amer. Meteor. Soc., 225-230.
- Vislocky, R. L., and G. S. Young, 1989: The use of perfect prog forecasts to improve model output statistics forecasts of precipitation probability. *Wea. Forecasting*, **4**, 202-209.
- 李惠明與陳振楠，1986：結構化程式設計 FORTRAN 77，第五版。萬人出版社，台北市，706 頁。
- 陳重功、羅存文與王惠民，1997：影響台灣地區冬季最高/低溫度變化之相關天氣因子分析。天氣分析與預報研討會論文集編，中央氣象局，台灣，台北，481-490。
- 陳重功、羅存文與呂國臣，1998：冬季最高/低溫度統計預報測試分析。天氣分析與預報研討會論文集編，中央氣象局，台灣，台北，255-260。
- 戚啓勳與陳孟青，1995：臺灣之氣候。中央氣象局出版，台灣，台北，531 頁。

附 錄

圖示使用圖樣說明：



* 其餘圖示符號，請參考結構化程式設計 FORTRAN77(李惠明與陳振楠，1986)及 Microsoft Office 97 之 PowerPoint 快捷圖案的流程圖

THE DEVELOPMENT OF THE STATISTICAL FORECAST SYSTEM IN THE CENTRAL WEATHER BUREAU

Jong-Gong Chern, Twen-Wen Lo, and Huei-Min Wang

Research and Development Center
Central Weather Bureau

Jieh-Guei Ho
Weather Forecast Center
Central Weather Bureau

Abstract

In the current stage of model development of NWP, it becomes as a necessity to advance the application and to arouse possible potentiality of NWP products. The development of statistical forecast technique is one of the advanced utilization of NWP products. Because of statistical forecast guidances, which are extracted from the synoptic weather signal of NWP forecasts, the forecaster can learn a better future features of variation and intensity of the local weather elements.

In the third phase of CWB meteorological forecast modernization, the development of the statistical forecast system has been initiated. To support the future development of NWP model in CWB, this development of the system is designed to provide a flexible environment, which offer prompt process to maintain and to form the statistical forecast model. This system is mainly designated to execute multiple statistical forecast schemes (PP, MOS, etc) for different NWP models simultaneously. Also, to prevent the interruption of the WINS operation system caused by model maintenance, the external windows have been concerned to input the maintenance parameters. Four consecutive

sub-systems are included in this system : (1) collecting and preparing input data, (2) developing forecast equations, (3) operating the WINS statistical forecast system and (4) verifying the forecast products. The mutual working procedures among the four sub-systems have been described deeply and detailedly in this paper.

Currently, three forecasting guidances, which based on the CWB_LAFS products, are developing. They are 12-hour PoP, daily maximum/minimum temperatures and daytime cloud cover amount. Not only this system is highly expected to improve the service performance of CWB short-range forecast, but the technical forecast schemes will be migrated to support the median- and long-range forecast programs in the future.

Key words : Statistical forecast

中央氣象局颱風路徑數值預報模式 三天預測之初步結果

陳得松 葉天降 黃康寧 謝信良
中央氣象局

彭順台
美國海軍研究院

摘 要

在台灣地區，颱風是所有天氣系統中為害最烈者，因此颱風預報一直是中央氣象局最重要的任務之一。在颱風路徑預報方面，由於中央氣象局颱風路徑預報模式(Typhoon Track Forecast System, TFS)之預測誤差近年已有所改善(葉等，1999)，其預測結果已是作業所參考之主要依據之一。然而以往 TFS 僅進行至 48 小時之預測，本研究之主要目的在了解以 TFS 進行至 72 小時之路徑預測誤差情形。經過對 1996 年及 1997 年 54 個個案之模擬測試結果顯示，TFS 對此 54 個個案平均之 72 小時路徑預測誤差為 332 公里，較 48 小時平均誤差 255 公里擴增 77 公里，顯示 TFS 延長至 72 小時之預測仍具參考價值。將此功能擴建在中央氣象局之作業系統中，於 1999 年颱風季時，共進行 15 個颱風作業性測試，其 72 小時平均預測誤差為 503 公里，較 CLIPER 預測誤差 643 公里為小，但對兩大類颱風之預測誤差明顯偏大，仍有待進一步改善。

關鍵詞：颱風路徑預報

一、前 言

在台灣地區，颱風是所有氣象災害中為害最烈者，每年夏秋季節常造成極嚴重之生命財產損失，如 1996 年賀伯(Herb)颱風、1997 年溫妮(Winnie)颱風及 1998 年瑞伯(Zeb)颱風等都會相繼在台灣地區造成重大災害。因此颱風預報一直是中央氣象局最重要的任務之一。在颱風路徑預報方面，以中央氣象局之主觀預報而言，其 24 小時之平均預報誤差約為 178 公里(葉等，1998)，和以統計方法為依據的颱風路徑預報如 CLIPER 與 HURRAN 之預報誤差以及國際間其他先進國家颱風路徑預報誤差相近。對較長時間之颱風移動路徑預報，統計方法所得結果之誤差逐漸增加，因此動力預報模式成為颱風預報作業中很重要的客觀參考指引，如 Kurihara et al.(1995)所發展之模式以及中央氣

象局颱風路徑預報模式 (Chen et al., 1997)等都展現動力數值模式之路徑預報參考價值。

中央氣象局颱風路徑預報系統(Typhoon Track Forecast System, 簡稱 TFS)在 1997 年之預報校驗結果較 1996 年為佳(黃康寧等，1998)。主要原因在於改進了颱風初始流場處理技術(陳得松等，1996)，其中包括修正虛擬颱風環流結構及引進濾波技術。過去，一方面受限於電腦資源，一方面是模式預測誤差仍待改進，因此 TFS 僅進行至 48 小時之預測作業。在模式預測誤差逐漸改善，而電腦資源也即將獲得擴充時，了解與擴充 TFS 在 48 小時後之預測能力，成為相當有意義的課題。本節之主要目的在闡述如何將 TFS 由原來 48 小時預報延長至 72 小時預報之初步測試結果，於後第二節將進一步說明我們所使用之模式與研究方法，第三節是結果與討論，最後一節則是結論。

二、預報模式與研究方法

本研究所用颱風路徑預報模式是中央氣象局於 1994 年發展完成，往後並經由數年逐步改進之作業模式 (Chen et al., 1997)。此模式是建構在原始方程組之有限差分模式，垂直解析度共 20 層，水平解析度為 45 公里，涵蓋東亞與西北太平洋廣大地區。在模式之物理方面包含高解析之地表邊界層 TKE $E-\epsilon$ 參數處理，Kuo 氏積雲參數化、大尺度飽和降水、以及簡單只考慮地表溫度變化之輻射作用等。預報模式在中央氣象局預報中心認為有必要時，於觀測時間 00UTC 或 12UTC 啟動，各進行 48 小時預報。以 1999 年為例，當年共有 23 個颱風在西北太平洋生成，此颱風路徑預報模式共對其中 15 個颱風進行 83 次預報，平均 24 小時預報誤差為 161 公里，48 小時預報誤差為 270 公里。

模式預報之側邊界值是由中央氣象局全球預報模式提供，其初始場是經過分析與非線性正模初始化處理後之結果，而分析則是以全球預報模式之分析場，經人為修正渦旋結構後之結果為分析之初始猜測值 (first guess)，透過 GTS 內(含探空等)所得之觀測資料進行最佳內插 (Optimal Interpolation) 分析。在人為修正渦旋結構之作法方面，則是首先以類似 Kurihara et al. (1993) 之方法濾除不完整之颱風渦旋，而後於觀測之颱風中心所在處 1000hPa 至 300hPa 間加入可控制七級風暴風半徑、最大暴風半徑、及中心最大風速之對稱渦旋，再由相當正壓模式以相同渦旋水平結構經 48 小時模擬所得因 β 效應所造成之非對稱 β -gyres，詳見葉等 (1999)。

在探討 TFS 由 48 小時預測延長至 72 小時預測之可行性方面，主要是由 1996 年與 1997 年西北太平洋颱風個案中，挑選 48 小時模式預報表現較良好者(大部分誤差少於 250 公里)，與颱風路徑在 48 小時內未轉彎而在 48 小時後出現變化者為測試個案，應用 TFS 進行 72 小時模擬，分析其預測誤差。在由此兩年之颱風中

共挑選 54 個個案，詳細個案資料以及預測誤差如表一，這些個案包括湯姆(Tom)等 13 個颱風，其中艾文(Ivan)與瓊恩(Joan)兩颱風有較完整測試，各有 12 個案，而戴兒(Dale)，爾尼(Ernie)，彼得(Peter)、安珀(Amber)、與賓英(Bing)則僅有一個案。由於中央氣象局全球預報模式於 1996 年及 1997 年的 00UTC 作業並未做 48 至 72 小時預報，因此本研究所做 48 至 72 小時預測方面，是以固定邊界條件進行模擬。

三、結果分析與討論

對所選取的 54 個案，TFS 72 小時路徑預報結果之平均誤差如圖 1，54 個案之 48 小時平均預測誤差為 199 公里，與 1997 年颱風季 180 個案之 48 小時平均誤差 264 公里比較，此 54 個案之平均誤差較小，不過其中也有約四分之一的個案其 48 小時預測誤差超過 250 公里。60 小時與 72 小時之平均路徑預報誤差分別為 255 公里與 332 公里，誤差增加的幅度較 48 小時內為明顯，尤其是 60 小時至 72 小時間又較 48 小時至 60 小時為多。不過整體而言，72 小時預測誤差 332 公里仍然是屬具參考價值之預報產品。

本研究對所選取 54 個案 48/24 小時及 72/48 小時 TFS 預報誤差對比如圖 2a 及圖 2b，在圖 2a 中大部分對應點皆落於中間斜軸兩側 100 公里內，顯示第二天預測較第一天預測未有誤差突然增加之情形；其中有 5 個案落於較偏離中間斜軸之圖右下方處，分別為 96091400UTC 魏萊特 (Violet) 颱風、96110812UTC 戴兒(Dale)颱風、97062412UTC 彼得(Peter) 颱風、97101900, 97102012UTC 艾文(Ivan)颱風，對這些個案而言，TFS 對 24-48 小時預測掌握得較 0-24 小時好，此種情形大部分原因為模式未能正確處理颱風附近駛流場，導致模式預測初期誤差較大，而經模式調整後才掌握颱風動向。圖 2b 中大部分對應點也皆落於中間斜軸兩側 200 公里內，顯示第三天預測較第二天預測亦未有誤差突然增加之情形；但

TYPHOON	DATE	24HR	48HR	72HR	TYPHOON	DATE	24HR	48HR	72HR
Tom	96091400	235	293	418		97101700	93	228	276
	96091412	165	151	224		97101712	102	217	158
	96091500	75	122	302		97101800	226	346	154
	96091512	54	60	46		97101812	193	190	257
Violet	96091400	264	280	268		97101900	267	275	591
	96091412	116	126	204		97101912	145	233	335
	96091500	91	221	453		97102000	112	193	292
	96091512	124	233	236		97102012	266	215	233
Dale	96110812	204	154	280		97102100	236	308	435
Ernie	96111012	193	197	359		97102112	168	228	193
Peter	97062412	251	157	38	Joan	97101600	70	78	172
Rosie	97072012	77	80	145		97101612	116	113	105
	97072100	65	54	270		97101700	126	263	358
	97072112	70	94	490		97101712	131	192	255
	97072200	46	91	616		97101800	182	326	556
	97072212	94	112	571		97101812	168	401	452
	97072300	45	253	607		97101900	73	39	262
Winnie	97081400	95	75	73		97101912	106	61	260
	97081412	60	46	101		97102000	22	104	301
	97081500	125	182	114		97102012	97	307	437
	97081512	61	89	74		97102100	171	390	635
Amber	97082612	130	197	167		97102112	186	388	
Bing	97083112	204	310	267	Keith	97110212	149	246	393
Ginger	97092512	142	182	514		97110300	164	245	678
	97092600	129	256	623		97110400	108	279	551
Ivan	97101600	201	286	411		97110412	54	220	807
	97101612	84	134	234		97110500	33	194	

表一：中央氣象局颱風路徑預報模式對 72 小時預測所選取之 54 個案一覽表及其 24/48/72 小時路徑預測誤差(公里)

Table 1 :Date , typhoon name & 24/48/72 hours TFS forecast errors(km) of 54 selected cases

TFS Forecasting Errors

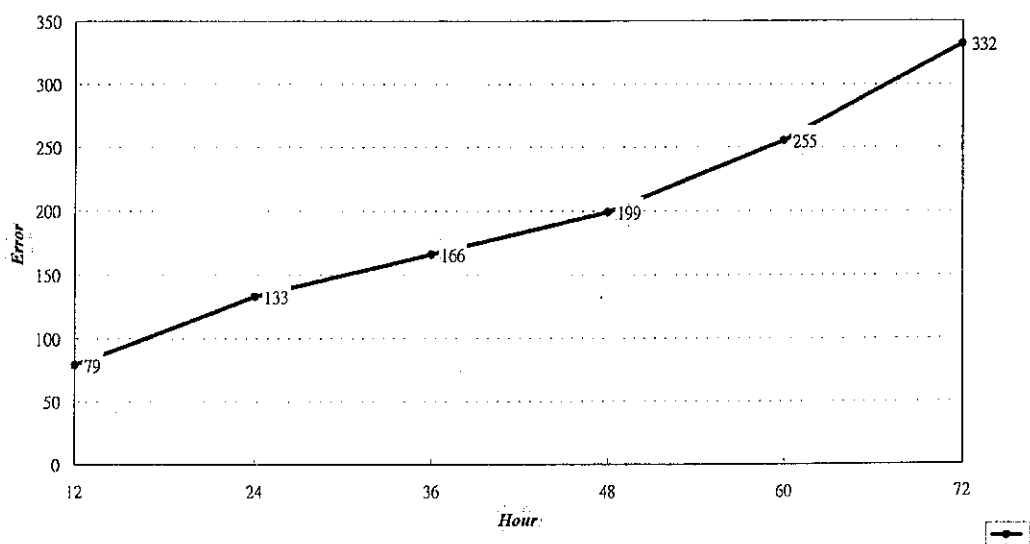


圖 1 中央氣象局颱風路徑預報模式對 54 個個案 72 小時路徑預測誤差。

Figure1. 72hours forecast errors of TFS for 54 cases.

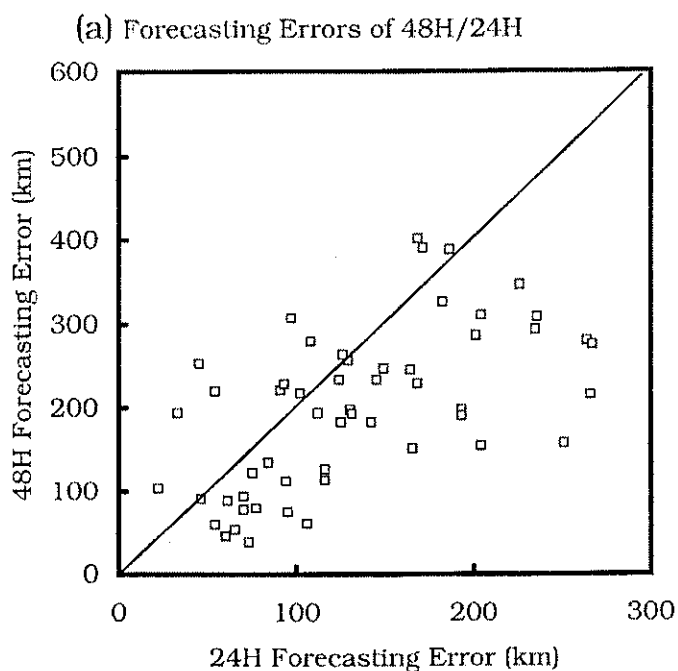


圖 2a 中央氣象局颱風路徑預報模式對 54 個個案之 48/24 小時路徑預測誤差對照圖。

Figure2a. 48/24hours comparison forecast errors of TFS for 54 cases.

其中 5 個案落於較偏離中間斜軸之圖左上方處，分別為 97072112,97072200,97072212UTC 羅西(Rosie) 颱風及 97110300,97110412UTC 凱斯(Keith)颱風，對羅西(Rosie)颱風而言，第三天誤差增大原因為預報方向不對，對凱斯(Keith)颱風則是移速預測過慢。

關於模式對各個案之詳細預測情形，我們將以魏萊特(Violet)、溫妮(Winnie)、琥珀(Amber)、艾文(Ivan)以及前述羅西(Rosie)與凱斯(Keith)等颱風為例做進一步說明。

(一)魏萊特(Violet) 颱風

本研究以颱風路徑預報模式對 1996 年 9 月 14 日 12UTC 魏萊特(Violet)颱風之 72 小時之路徑預測結果如圖 3 所示，由圖 3 中可發現模式在前 48 小時預測中表現出魏萊特(Violet)颱風將由西北轉往北北西方向移動，48 小時後之預報則更轉向東北方行進。而颱風實際移動路徑的確在 9 月 14 日 12UTC 後 36 小時內先由西北轉向北北西方向，36 小時後則以頗大角度轉往東北方向前進，並遠離台灣附近海域。在此個案中，模式預測 48 小時誤差為 126 公里，誤差相當小，但移速偏慢，而且沒有在 36 小時至 48 小時間預測路徑有轉向的趨勢，因此若只預測 48 小時，則無法提供預報人員其後颱風將以較大角度轉向東北行進的趨勢。延長模式預測至 72 小時則見預測路徑在 48 小時後轉向東北方，遠離台灣，預測魏萊特颱風之移動稍慢，轉向稍晚，但提供正確的轉向趨勢。

(二)溫妮(Winnie) 颱風

颱風模式對 1997 年 8 月 14 日 12UTC 溫妮(Winnie)颱風之 72 小時之路徑預報結果如圖 4 所示，溫妮颱風移動路徑自 8 月 14 日 12UTC 後 3 天皆以穩定速度朝西北西方向移動，中央氣象局颱風路徑預報模式之作業預測，從 14 日 00UTC 至 15 日 12UTC 間都有很穩定而準確的預測，四次平均之 48 小時預測誤差為 98 公里。而由圖 4 可見，模式從 14 日 12UTC 起所做 72 小時之預測亦顯示出模式預測和觀測路徑非常相近，48 小時預測誤差為 46 公里，主要誤差

為中心偏南。72 小時之路徑預測則顯示，溫妮颱風仍繼續維持其移向逐步逼進台灣，48 小時至 72 小時之速度稍為高估，但仍相當準確，72 小時之預測誤差為 101 公里。事實上對溫妮颱風從 14 日 00UTC 至 15 日 12UTC 間模式 72 小時之預測誤差也都很小，四次平均 72 小時預測誤差僅為 91 公里，和四次平均 48 小時預測誤差 98 公里相近而稍小。

(三)琥珀(Amber) 颱風

颱風路徑預報模式對 1997 年 8 月 26 日 12UTC 琥珀(Amber)颱風之 72 小時之路徑預測結果如圖 5 所示，前 48 小時預測路徑偏慢，誤差為 197 公里，而且似乎模式顯示颱風在最後階段有較明顯向北之移動，72 小時之路徑預測結果顯示，由 48 小時至 72 小時琥珀颱風加速並大致維持原來方向直撲台灣而來，實際觀測所得琥珀颱風之移動亦顯示該颱風在 8 月 28 日 12UTC 後加速衝向台灣，模式 72 小時路徑預測誤差為 167 公里，位置偏南速度稍慢。

(四)艾文(Ivan)颱風

颱風路徑預報模式對 1997 年 10 月 18 日 12UTC 艾文(Ivan)颱風之 72 小時路徑預測結果如圖 6 所示，艾文颱風從菲律賓東方海面，穩定的以西北向朝呂宋島東北部移動，19 日 12UTC 接近登陸前有較大偏北移速，中心掠過呂宋東北角後於 20 日 00UTC 至 12UTC 間近似滯留，而後轉向東北。前 48 小時模式預測路徑顯示，在 0 至 12 小時內有較大誤差，使中心偏南，12 小時後之預測方向則較正確，移速則偏慢，但 48 小時之預測誤差僅為 190 公里，整體而言可大致預測艾文颱風在此段期間朝西北方向前進。48 小時至 72 小時之預測結果，則顯示艾文颱風之移向有所改變，雖然觀測艾文颱風轉向後以很快速度向東移動，而預測之移向偏北，不過模式似已正確預測移向有所改變，只是未能完全正確預測改變之量。對艾文颱風 12 個測試中其他時間之預測情形，除了 16 日 00UTC, 19 日 00UTC 與 21 日 00UTC 三個案所得 72 小時預測誤差較大外，其他九個案之平均

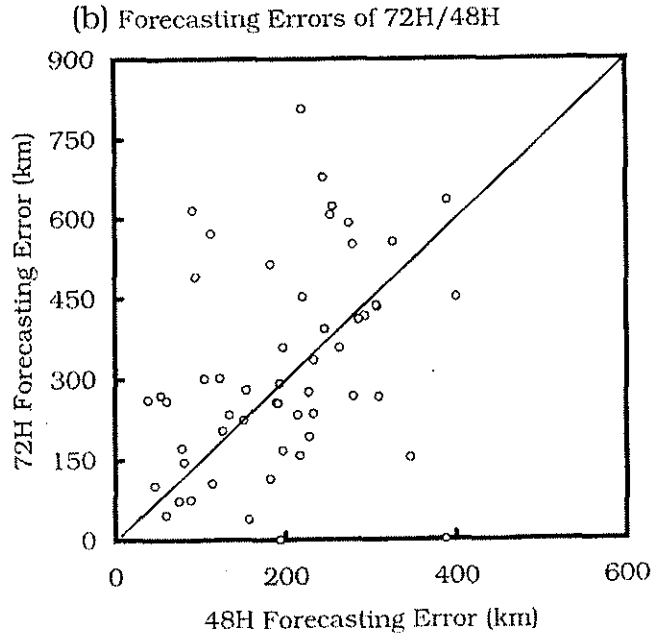


圖 2b 中央氣象局颱風路徑預報模式對 54 個個案之 72/48 小時路徑預測誤差對照圖。
Figure2b. 72/48hours comparison forecast errors of TFS for 54 cases.

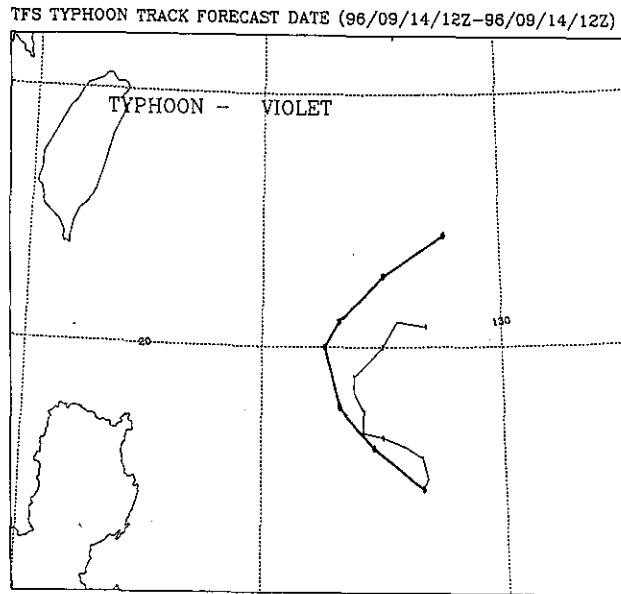


圖 3 中央氣象局颱風路徑預報模式對 1996 年 9 月 14 日 12UTC 魏萊特(Violet)颱風之 72 小時預測路徑(細線)與觀測路徑(粗線)。

Figure3. 72 hours forecast track(thin line) of TFS and best track (coares line)for typhoon Viloet(1996/09/14/00 UTC).

TFS TYPHOON TRACK FORECAST DATE (97/08/14/12Z-97/08/14/12Z)

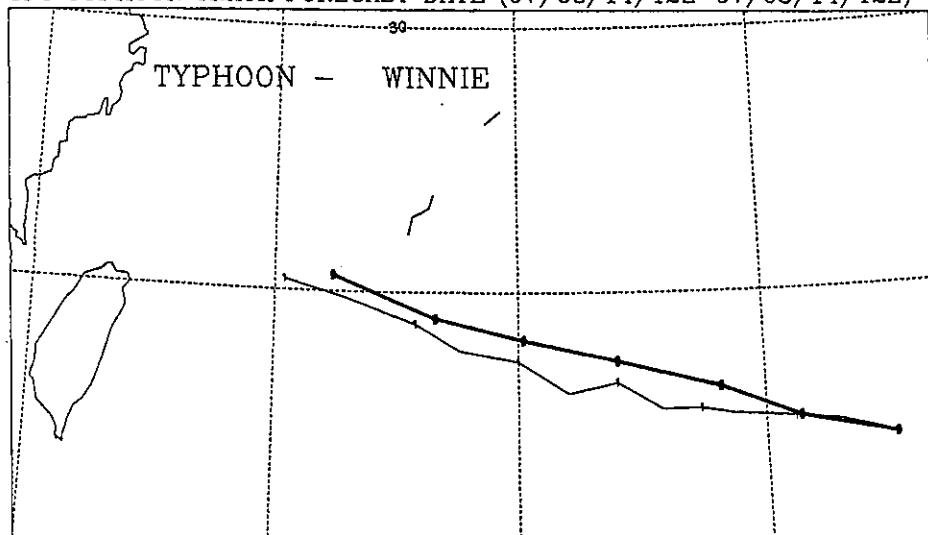


圖 4 中央氣象局颱風路徑預報模式對 1997 年 8 月 14 日 12UTC 溫妮(Winnie)颱風之 72 小時預測路徑(細線)與觀測路徑(粗線)。

Figure4. 72 hours forecast track (thin line) of TFS and best track (coarse line) for typhoon Winnie(1997/08/14/12UTC)

TFS TYPHOON TRACK FORECAST DATE (97/08/26/12Z-97/08/26/12Z)

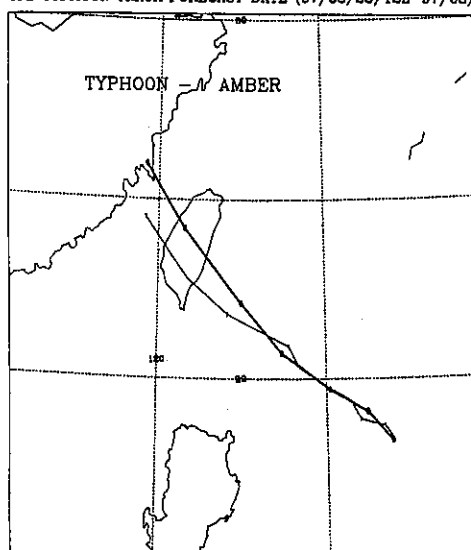


圖 5 中央氣象局颱風路徑預報模式對 1997 年 8 月 26 日 12UTC 安珀(Amber)颱風之 72 小時預測路徑(細線)與觀測路徑(粗線)

Figure5. 72 hours forecast track(thin line) of TFS and best track(coarse line)for typhoon Amber(1997/08/26/12UTC).

TFS TYPHOON TRACK FORECAST DATE (97/10/18/12Z-97/10/18/12Z)

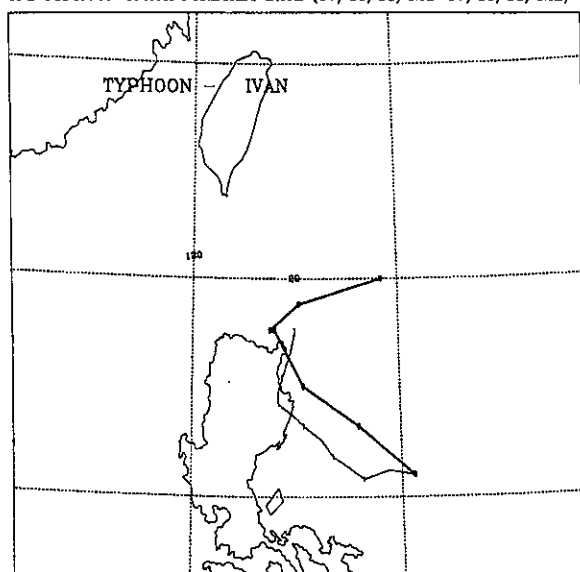


圖 6 中央氣象局颱風路徑預報模式對 1997 年 10 月 18 日 12UT 艾文(Ivan)颱風之 72 小時預測路徑(細線)與觀測路徑(粗線)

Figure5. 72 hours forecast track(thin line) of TFS and best track(coarse line)for typhoon Ivan(1997/10/18/12UTC).

誤差為 237 公里，較一般為小。19 日 00UTC 所進行 72 小時預測之誤差高達 591 公里，我們發覺其中前 24 小時之誤差即達 267 公里，因此部分個案模式在初始處理方面似乎仍存有部分待改善的地方。

(五)羅西(Rosie)颱風

TFS 對羅西(Rosie)颱風自 97072012UTC 至 97072300UTC 之預測路徑如圖 7，此颱風形成於菲律賓東方海面約 1200 公里處，生成後先往北北西移動，經過北緯 20 度後轉向北北東進行，過北緯 30 度後則持續北進登陸日本，其 24/48/72 小時平均預測誤差為 60/114/450 公里，模式之預測誤差在第 3 天明顯增加。由圖可見，TFS 對此颱風之預測在進入 48-72 小時後，路徑幾乎皆有偏左趨勢，顯示在這段時間 TFS 未能掌握綜觀環境之特性，其是否因為在 48-72 小時預測時採用固定側邊界條件所造成，有待進一步測試。

(六)凱斯(Keith)颱風

TFS 對凱斯(Keith)颱風自 97110212UTC 至 97110500UTC 之預測路徑如圖 8 所示，凱斯颱風之路徑呈順時針方向拋物線形，在轉過北緯 20 度後加速向東北方向前進。對此颱風，TFS 之 24/48/72 小時平均路徑誤差為 102/237/607 公里，第 3 天之誤差明顯增加，由圖可見，TFS 有能力預報凱斯颱風之轉向趨勢以及其移向，但對颱風轉向東北後開始加速遠離之情形則不能掌握，這種誤差在其它 TFS 作業測試也常見，可能由於颱風強度預測錯誤，以致無法反應颱風進入西風帶後與中高層氣流之交互作用。

綜合而言，中央氣象局颱風路徑預報模式，對所選取的 54 個個案所做 72 小時路徑預測結果之平均誤差為 332 公里，雖然這些個案是先針對 48 小時預測誤差較小者，不過也包含 48 小時之後才轉向的個案，對這些轉向的個案，模式預測仍然沒有擴大誤差，顯示模式有初步能力進行 72 小時之颱風路徑預測。

TFS TYPHOON TRACK FORECAST DATE (97/07/20/12Z-97/07/23/00Z)

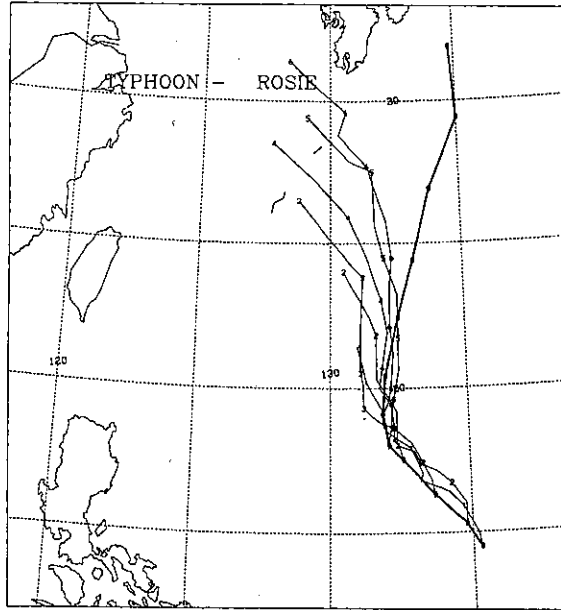


圖 7 中央氣象局颱風路徑預報模式對羅西(Rosie)颱風自 97072012UTC 至 97072300UTC 之每 12 小時所進行之 72 小時預測路徑(細線)與觀測路徑(粗線)。

Figure7. 72 hours forecast track(thin line) of TFS and best track (coarse line) for typhoon Rosie (from 1997/07/20/12 to 1997/07/23/00 UTC, intervals 12 hours)

TFS TYPHOON TRACK FORECAST DATE (97/11/02/12Z-97/11/05/00Z)

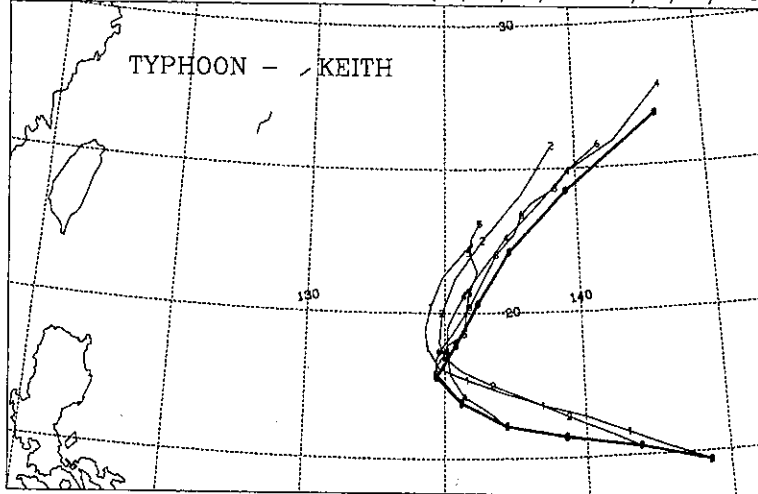


圖 8 中央氣象局颱風路徑預報模式對凱斯(Keith)颱風自 97112012UTC 至 97110500UTC 之每 12 小時所進行之 72 小時預測路徑(細線)與觀測路徑(粗線)。

Figure8. 72 hours forecast track (thin line) of TFS and best track (coarse line) For typhoon Keith(from 1997/11/02/12 to 1997/11/05/00 UTC, intervals 12 hours)

在經過以上之測試和誤差分析後，本研究已將中央氣象局颱風路徑預報模式，進行 72 小時預測所需的各種必要擴充，加在中央氣象局的作業環境中，1999 年颱風季在西北太平洋及南海地區共有 23 個颱風形成，其中生命史短於一天者有赫姐(Hilda)、艾瑞絲(Iris)、賈可比(Jacob)、瑞琪兒(Rachel)及琪亞(Zia)等 7 個，另譚亞(Tanya)發生於東經 175 度，中央氣象局颱風路徑預報模式未做預報，故模式真正可校驗其誤差者共有 15 個颱風，其 24、48 及 72 小時路徑預報誤差分別為 161 公里(83 個個案)、270 公里(55 個個案)及 503 公里(34 個個案)。對 24 與 48 小時而言，中央氣象局颱風路徑預報模式之準確度與中央氣象局官方預報(24/48 小時誤差為 170/299 公里)比較，真結果相當而稍好，並皆優於 CLIPER 法(24/48 小時誤差為 207/423 公里)。在 3 天預報方面，中央氣象局颱風路徑預報模式之誤差相對於 48 小時預報有明顯增加現象，顯示模式在這一部分尚待研究改進，但即使如此，仍然較 CLIPER 法(72 小時誤差為 643 公里)之誤差為小。至於中央氣象局官方預報目前只做 48 小時之颱風路徑預報，故無法比較。

再進一步分析中央氣象局颱風路徑預報模式對 1999 年 15 個颱風之預測結果後，發現對凱特(Kate)、瑪姬(Maggie)、山姆(Sam)、約克(York)、巴特(Bart)與葛樂禮(Gloria)等 6 個颱風，模式 72 小時之誤差達到 670 公里。而誤差可分為兩類，一是颱風移速預測偏慢，如對凱特(Kate)、巴特(Bart)及葛樂禮(Gloria)颱風之預測，此部分可能因模式預報目前仍無法完全掌握颱風強度，在颱風移入中緯度西風帶後，因垂直風切加大而使模式中之颱風強度減弱更快，但實際颱風之移行則因受中緯度地區中高層西風帶駛流牽引而快速地往東北方行進，因而模式常有預報速度偏慢之誤差。另一類則是颱風發生或經過南海區域時，中央氣象局颱風路徑預報模式常有偏北誤差，如對瑪姬(Maggie)、山姆(Sam)及約克(York)颱風之預報，這可能與西南季風

預報過強有關。

四、結語

颱風對廣大地區之天氣造成重要影響，由於數值模式之發展逐漸成熟，而使其路徑預報逐漸受重視。國內作業所用颱風路徑預報模式經近年之改善也已有相當之準確度(Chen et al., 1997)，其預測結果已是作業所參考之主要依據之一。然而以往因模式預測準確度及電腦資源之限制，颱風路徑預報模式只進行 48 小時之預測。由於模式預測誤差近年已有所改善(葉等 1999)而電腦資源也即將擴充，因此值得進一步了解模式在 3 天預測之準確度。

在延長模式進行 48 小時至 72 小時預測方面，經過對 1996 年及 1997 年 54 個個案之模擬結果顯示，中央氣象局颱風預報模式對此 54 個個案平均之 72 小時路徑預測誤差為 332 公里，較 48 小時平均誤差 255 公里擴增 77 公里。這些個案，雖大多是 48 小時預測誤差較小的，但也包含一些在 48 到 72 小時間發生轉向之颱風，而模式預測並沒有擴大誤差，整體而言，延長至 72 小時之預測能提供具參考價值之資訊。而在 1999 年作業測試之 15 個颱風個案裡，平均 72 小時預測誤差 503 公里，較所選取 54 個個案平均誤差 332 公里為大，但較 CLIPER 法之預測誤差 643 公里為小，作業測試個案也發現對兩大類颱風路徑預測誤差偏大，其一是進入西風帶後，颱風模式之預測往往嚴重偏慢，另一是颱風位於南海地區，模式往往有偏北之預測誤差，這些問題值得各界再進一步研究。

參考文獻：

- 陳得松、黃康寧、彭順台、葉天降，1996：中央氣象局颱風路徑預報模式初始場之改進。天氣分析與預報研討會論文集編(85)，411-415。
- 黃康寧、陳得松、葉天降、彭順台、張偉正，1998：1997 年中央氣象局颱風路徑預報

模式之表現與檢討。天氣分析與預報研討
會論文集編(87)，309-314。

葉天降，1998：初始不確定性對颱風預報之影響(I)。 *國科會研究報告* NSC87-2621-P-052-005，37 頁。

葉天降，吳石吉與謝信良，1998：台灣附近颱風路徑預報校驗與統計方法之應用。 *大氣科學*，26，227-248。

葉天降、陳得松、黃康寧、彭順台與謝信良，1999：颱風路徑數值預報模式初始場處理：兩種方法對模式預測誤差之比較。 *大氣科學*，27，171-189。

Chen, D.-S., M.S. Peng, T.-C. Yeh, S.W. Chang, and K.-N.Huang, 1997：Performance of the Typhoon-Track Forecast System in the Central Weather Bureau in Taiwan. Preprints, *22nd Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, A.M.S., Ft. Collins, Colorado, USA, May 19-23, 1997*, 248-249.

Kurihara Y., M.A. Bender, R.E. Tuleya, and R.J. Ross, 1995：Improvements in the GFDL Hurricane Prediction System. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 2791-2801.

PRELIMINARY RESULT FOR 3-DAY FORECAST OF THE TYPHOON TRACK FORECAST SYSTEM IN THE CENTRAL WEATHER BUREAU

Der-Song Chen, Tien-Chiang Yeh, Kang-Ning Huang, and Shinn-Liang Shieh
Central Weather Bureau

Melinda S. Peng
Naval Research Laboratory, U.S.A.

Abstract

Typhoons often cause the most damage among all weather systems in the Taiwan area. So typhoon forecast is one of the most important tasks to the Central Weather Bureau (CWB). There are two reasons that we try to study the feasibility of extending the forecast range of the typhoon track forecast system (TFS) from current 48 hours to 72 hours. One is that the CWB's TFS performance has improved in recent years; the forecast product of TFS now has become the major guidance to the CWB's forecasters in typhoon seasons. The other one is that the computer resource was upgraded in 1999. In this study, 54 cases are selected from 1996 and 1997 for TFS simulations. The results show that TFS is able to perform the reasonable forecast to 72 hours. The mean 72 hours track forecast error of 54 cases is 332 km. The mean increment of errors is 77 Km from 48 hours forecasts to 72 hours forecasts. Since the new function of extending the forecast range to 72 hours shows positive results to TFS, it has been implemented in the TFS operational environment. The operational tests started in the 1999 typhoon season.

Key words : Typhoon Track Forecast System.

1999 年中央氣象局颱風路徑數值預報模式作業概況

黃康寧、陳得松、葉天降、謝信良

中央氣象局

摘 要

中央氣象局颱風路徑數值預報模式(Typhoon Track Forecast System, TFS)自正式上線以來,於每年颱風季時皆提供預報人員客觀之颱風路徑預報指引。1999 年起 TFS 將預報天數由兩天增為三天,並對發生於西北太平洋中 15 個颱風做路徑預報。此外,1999 年 TFS 與往年之差異為:(1)增加植入渦旋時主觀選項,(2)初始場及側邊界條件採用解析度提高至 T120 之中央氣象局全球波譜預報模式(GFS)的分析場及預報場,另外 GFS 之分析則包含衛星風及加入滕(1998)之人為修正渦旋部分。與中央氣象局官方預報(CWB)及 CLIPER 統計預報法相較之下,TFS 於 48 小時內的平均預報表現最佳,48 小時之預報路徑距離誤差為 276 公里,甚至較 CWB 的 296 公里稍優。TFS 於第三天的 516 公里雖仍較 CLIPER 法的平均預報誤差 643 公里好,但其誤差增幅則顯著增大。TFS 於 1999 年較大的預報誤差主要出現在轉彎過慢、往東北進入西風帶時預報的移速太慢,以及從較低緯度向西行經南海的颱風之偏北誤差。

關鍵詞:植入渦旋、初始場、側邊界條件

一、前 言

自從 1996 年賀伯(Herb)颱風在台灣北部與中部地區造成慘重災情後,接著在 1997 年和 1998 年又相繼有溫妮(Winnie)與瑞伯(Zeb)颱風造成多人傷亡和鉅額財物損失,因此颱風於台灣地區早已成為民眾心中印象十分深刻的天然災害系統。

中央氣象局第一代颱風數值預報模式(Typhoon Track Forecast System, 簡稱 TFS)於 1989 年建置完成(Peng et al. 1993),而第二代模式則自 1994 年正式上線作業(Chen et al. 1995),於每年颱風季期間提供預報人員客觀的模式預報颱風路徑資料。第二代 TFS 從 1994 年至 1998 年颱風季之作業平均預報情況(圖 1)

顯示,24 小時內的預測誤差,每年間的差距最大不超過 50 公里,但 48 小時預報,1995 年(412 公里)與 1997 年(250 公里)則相差 150 公里以上,亦即隨預報時間增加,年際間的預測誤差差異愈大。若去除 1998 年的預測誤差,則可看出 1997 年起的誤差相較於 1996 年(含)之前的誤差有明顯改善,其主要原因可能在於自 1997 年起改進了颱風初始流場處理技術,其中包括修正虛擬颱風環流結構及引進濾波技術(黃等 1998)。至於 1998 年的預報誤差再度增大,主要是因 TFS 對 1998 年 8 月下旬發生的雷克斯(Rex)颱風掌握不佳所致(Chen et al. 1998),其 48 小時預報誤差達 510 公里(共 22 個個案),若去掉 Rex 颱風的誤差,則 1998 年 24/48 小時平均誤差降至 170/302 公里,與 1997 年及 1999

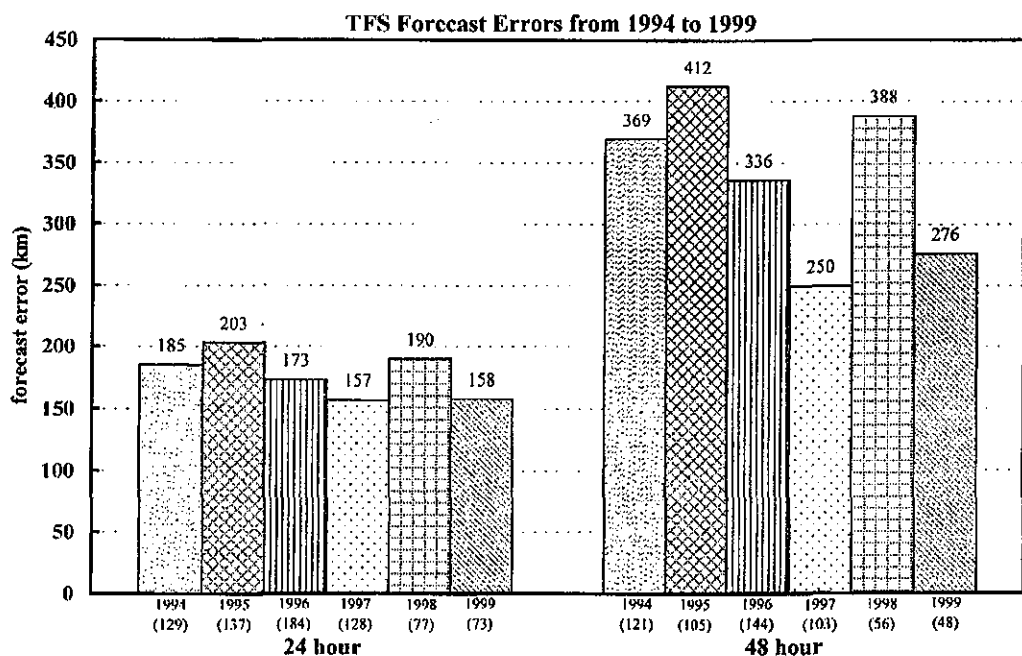


圖 1 1994 年至 1999 年 TFS 之颱風預測路徑平均距離誤差。橫軸括弧內為颱風個案數。

年之差距縮小許多，亦較 1997 年之前各年份表現好。

中央氣象局颱風路徑數值預報模式在往年以前僅進行 48 小時之預測作業，陳等(2000)評估此模式延長預報至三天仍具參考價值，因此於 1999 年颱風季時，將延長預報至三天之功能正式擴建於作業系統中。本文之主要目的在檢討中央氣象局颱風路徑數值預報模式於 1999 年對實際颱風的路徑預測情形，於後第二章對中央氣象局颱風路徑數值預報模式做簡要說明，同時簡介 1999 年發生於西北太平洋之颱風個案，第三章討論模式之預測情形及產生誤差之可能原因，最後一章則為結論。

二、預報模式簡介及颱風個案

(一)模式簡介

中央氣象局目前所使用之第二代颱風路徑數值預報模式(TFS)於 1994 年發展完成，往後逐年改進(Chen et al. 1998)。TFS 架構為一原始方程組之有限差分模式，其水平解析度為 45

公里，垂直解析度共 20 層，預報範圍包括東亞與西北太平洋廣大地區。至於所使用之物理參數化部分及人為修正颱風渦旋結構之作法，詳見葉等(1999)。

由於葉等(1999)研究初始不確定性對颱風路徑預測之影響發現，若在加入虛擬渦旋前，所用之濾波方法未能有效去除初始場所含不完整之颱風渦旋時，可能使模式颱風路徑預測誤差增大，此時引用類似 DeMaria(1987)之方法修正駛流，似能減少預測誤差。此外，他們也發現對較弱颱風之路徑是由高或低層駛流導引颱風行進，亦因個案而異，因此中央氣象局颱風路徑數值預報模式於 1999 年在初始場處理方面加入兩種選擇：(1)是否啟動 DeMaria 修正駛流法，(2)兩種不同權重之垂直渦旋結構，可依不同之情形由主觀研判而啟動此二選項。

至於模式預報之初始場及側邊界值是由來自中央氣象局全球波譜預報模式(GFS)之分析場及預報場，而中央氣象局全球波譜預報模式於 1999 年將其解析度從 T79(水平解析度 1.5

度)提高到 T120(水平解析度 1 度),並於 7 月開始在客觀分析中亦加入了衛星風及人爲修正颱風渦旋結構的部分(滕等 1998)。

(二)颱風個案

1999 年西北太平洋共計發生 23 個颱風,颱風之發生時間以及生命期見表一,至於颱風之生成位置及移行路徑如圖 2。西北太平洋地區每年發生颱風個數之平均值爲 25.7 個(McBride 1995),因此 1999 年的生成颱風個數是屬於偏低的。除此之外,其中有 7 個颱風 Hilda, Iris, Jacob, Rachel, Zia, Eve, Frankie 之生命期少於 24 小時,唯一曾經達到強烈颱風強度的只有 9 月下旬的巴特(Bart)颱風,其餘颱風的強度皆屬於輕度至中度。中央氣象局研判 6 月初的瑪姬(Maggie)颱風、8 月中下旬的山姆(Sam)颱風及 10 月上旬的丹恩(Dan)颱風等三個颱風可能對台灣地區有較大影響,因此對此三

個颱風發布海上陸上颱風警報。

TFS 針對 1999 年發生在東經 105 度至 160 度、北緯 10 度至 40 度間,且生命期超過一天的颱風進行每 12 小時一次作業預測,共計對 15 個颱風分別進行 2 次至 12 次,總共 95 次的作業預測(表一)。

三、模式之預報情形

(一)整體表現

圖 3 爲 TFS 與中央氣象局官方預報(CWB)及 CLIPER 統計預報方法的 1999 年全年均勻個案之颱風平均預測路徑距離誤差比較。於兩天內的預報, TFS 的 24/48 小時預測誤差爲 158/276 公里,皆較 CWB(162/296 公里)及 CLIPER(207/423 公里)爲佳,且隨預測時間差距增加。至於 72 小時的預測誤差, TFS(516 公里)雖仍比

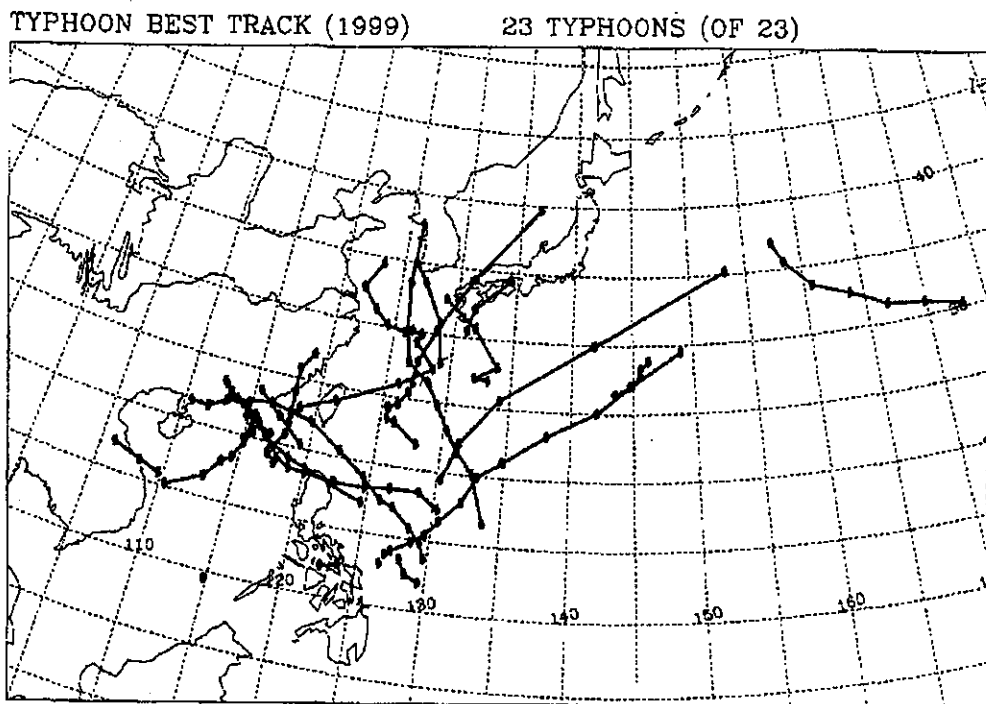


圖 2 1999 年西北太平洋颱風之移行路

表一、1999 年發生於西北太平洋地區的颱風編號、名稱、發生時間、是否啟動中央氣象局颱風路徑數值預報模式(TFS)及其啟動次數。

颱風編號	颱風名稱	起訖時間 (UTC)	啟動 TFS	啟動次數
9901	赫妲 (Hilda)	1999/01/07/00 — 01/07/00		
9902	艾瑞絲 (Iris)	1999/02/17/06 — 02/18/06		
9903	賈可比 (Jacob)	1999/04/09/00 — 04/09/00		
9904	凱特 (Kate)	1999/04/23/00 — 04/28/18	√	10
9905	李歐 (Leo)	1999/04/28/12 — 05/02/18	√	8
9906**	瑪姬 (Maggie)	1999/06/02/06 — 06/07/18	√	10
9907	尼爾 (Neil)	1999/07/25/18 — 07/27/00	√	2
9908	歐佳 (Olga)	1999/07/30/00 — 08/03/12	√	8
9909	保羅 (Paul)	1999/08/04/18 — 08/07/00	√	3
9910	瑞琪兒 (Rachel)	1999/08/08/00 — 08/08/06		
9911**	山姆 (Sam)	1999/08/19/06 — 08/23/00	√	7
9912	譚亞 (Tanya)	1999/08/20/06 — 08/23/12		
9913	威奇爾 (Virgil)	1999/08/25/12 — 09/27/12	√	4
9914	溫蒂 (Wendy)	1999/09/03/00 — 09/03/18	√	2
9915	約克 (York)	1999/09/13/12 — 09/17/06	√	7
9916	琪亞 (Zia)	1999/09/14/00 — 09/15/06		
9917	安恩 (Ann)	1999/09/16/06 — 09/19/18	√	6
9918	巴特 (Bart)	1999/09/19/00 — 09/24/18	√	10
9919	凱姆 (Cam)	1999/09/24/00 — 09/26/00	√	3
9920**	丹恩 (Dan)	1999/10/03/00 — 10/09/12	√	12
9921	伊芙 (Eve)	1999/10/19/00 — 10/19/18		
9922	法藍奇 (Frankie)	1999/11/08/12 — 10/09/00		
9923	葛樂禮 (Gloria)	1999/11/14/06 — 11/16/12	√	3
合計	23 個颱風		15 個颱風	95

註：「**」表示中央氣象局發布海上、陸上警報的颱風

CLIPER(643 公里)誤差小，但比其 48 小時預測誤差增加了 240 公里，約為 24 小時至 48 小時預測誤差增幅的兩倍。

1994 年至 1999 年西北太平洋上颱風發生之個數分別為 25、30、31、17 與 23 個，1995 年(25 個)、1998 年(17 個)及 1999 年(23 個)的颱風個數皆低於平均值，此三年之颱風生成與活動範圍多侷限於東經 155 度以西，生命期較短，且強度多屬輕或中度颱風，1995 年、1998 年及 1999 年強度達強烈颱風的颱風個數分別僅有 3 個、1 個及 1 個。圖 1 中顯示，不論在 1997 年改進 TFS 颱風初始流場處理技術之前或後，1995 年及 1998 年的平均預測誤差皆屬同一類颱風初始流場處理技術中預測最差者，1999 年預測表現雖不錯，但仍較 1997 年稍差。各別個案校驗結果顯示(圖未示)，TFS 對強度較弱的颱風誤差較大，因此弱颱風個案居多的 1995 年及 1998 年，TFS 表現亦較差。造成預測誤差的原因，除了 TFS 模式未盡完善之外，模式的初始資料亦是可能產生誤差的來源之一(葉等，1999)。為解決此問題，TFS 於 1999 年嘗試納入 DeMaria 修正駛流方法及不同權重之垂直渦旋結構的選擇，於適當時機啟動此二方法。除此之外，亦採用加入人為修正颱風渦旋結構、水平解析度提高至 T120 的中央氣象局全球波譜預報模式的分析場及預報場做為初始資料及邊界條件，因此 1999 年雖也是弱颱風個案居多，但 TFS 的預測誤差仍沒有明顯增加。

1999 年 TFS 的整體預測誤差雖未明顯增加，但對部分個案誤差仍大。圖 4 及圖 5 顯示 TFS 有明顯偏北誤差，且隨預測時間增長偏北誤差增大，預測路徑在颱風實際路徑右側之誤差值偏大。與圖 6 比較可看出，颱風生成在較低緯度且向西/西北移行時，TFS 的預測路徑有提早北偏的趨勢；當颱風進入南海而仍向西/西北往中國大陸移動時，TFS 亦有提早北偏的趨勢；若為由西北轉向東北行進匯入西風帶的颱風，則有轉彎太慢(偏左誤差)及轉彎後預測颱風移速偏慢(圖 6 東緣的偏差向量)的誤差。

分析 TFS 於 1999 年預測的 15 個颱風，發現瑪姬(Maggie，圖 7)、山姆(Sam，圖 8)及約克(York，圖未示)三個颱風，在西行經南海進入中國大陸時，有明顯北偏之誤差，屬於預測結果不佳的個案，其中 Maggie 與 Sam 颱風，中央氣象局曾對其發布海上陸上颱風警報。圖 9 顯示 TFS 對 Maggie 颱風 48 小時內的預測雖有偏北的誤差，但誤差值 24/48 小時誤差為 137/273 公里不是特別大，但至 72 小時誤差則快速增加至 618 公里，主要為方向上的偏差(偏北)所致。導致 Maggie 颱風預測方向偏差之主要原因為 TFS 對影響颱風運動的中低層西南風場預報過強(圖未示)，以致於颱風偏北行進的分量加大。對 Maggie 颱風，中央氣象局官方預報(CWB)的 24/48 小時預報誤差是 170/294 公里，CLIPER 統計方法之 24/48/72 小時誤差則為 234/626/1131 公里，TFS 誤差為三者中最小的。另一發布警報的颱風 Sam，TFS 三天的預測誤差皆很大(圖 8、圖 9)，24/48/72 小時誤差為 189/424/778 公里，造成此偏北誤差的因素為 TFS 以類似 Kurihara et al. (1993) 之方法處理初始資料後，仍殘存渦旋結構，且殘存渦旋位置與實際颱風位置有達 4~5 個經度的偏左差異，因此植入之颱風渦旋一開始即處於錯誤向北的駛流場中，隨預測時間增加，Sam 颱風的預報路徑偏北的誤差亦隨之增大。CWB 對此 Sam 颱風之 24/48 小時預測誤差是 126/349 公里，CLIPER 法之 24/48/72 小時誤差則為 120/213/315 公里，TFS 於三者中誤差最大，但其他各種數值預報模式如日本區域模式、日本颱風模式、ECMWF 全球模式、美國海軍全球模式(NOGAPS)與颱風路徑預報模式(GFDL)模式等，對此颱風路徑預測亦和 TFS 相同，有明顯偏北誤差。

至於凱特(Kate)、巴特(Bart，圖 10)與葛樂禮(Gloria)等 3 個颱風皆是如前述向東北移動、預測方向與實際較接近但預報移速偏慢，亦屬於預測結果較差的個案。此類颱風誤差產生之主要原因在於颱風向東北移動進入西風帶時，TFS 對颱風結構與強度掌握不夠，以致於與北

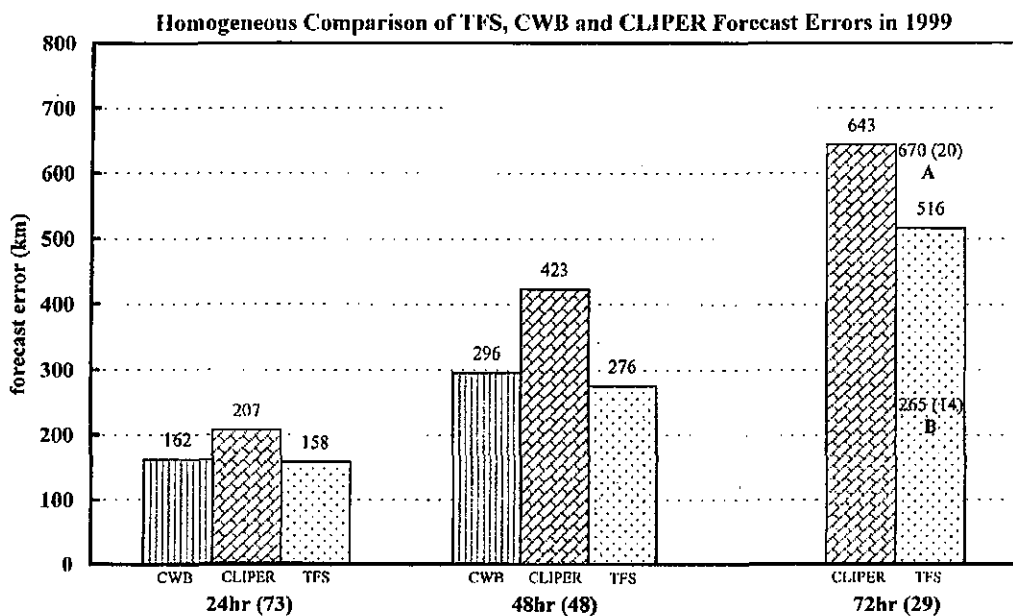


圖 3 CWB、CLIPER 及 TFS 對 1999 年均勻個案之 24、48 及 72 小時颱風預測路徑平均距離誤差。中'A'表示 TFS 對 72 小時預測誤差較大 6 個颱風之誤差平均值，'B'則是 TFS 全數誤差減去'A'之值。橫軸括弧內為颱風個案數。

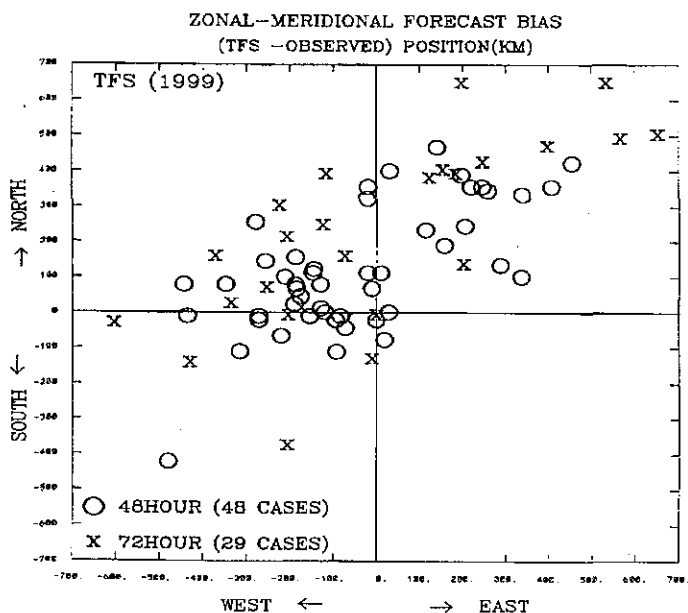


圖 4 1999 年 TFS 的 48 及 72 小時颱風路徑預測誤差(單位為公里)在東、西、南、北分量上之分布圖。

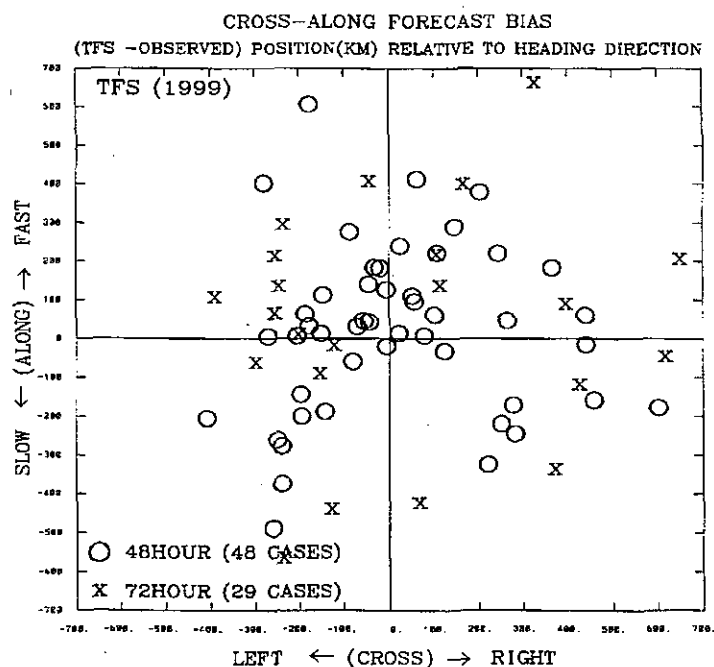


圖 5 1999 年 TFS 的 48 及 72 小時颱風路徑預測誤差(單位為公里)在沿著颱風路徑(along-track)與垂直颱風路徑(cross-track)分量上之分布圖。

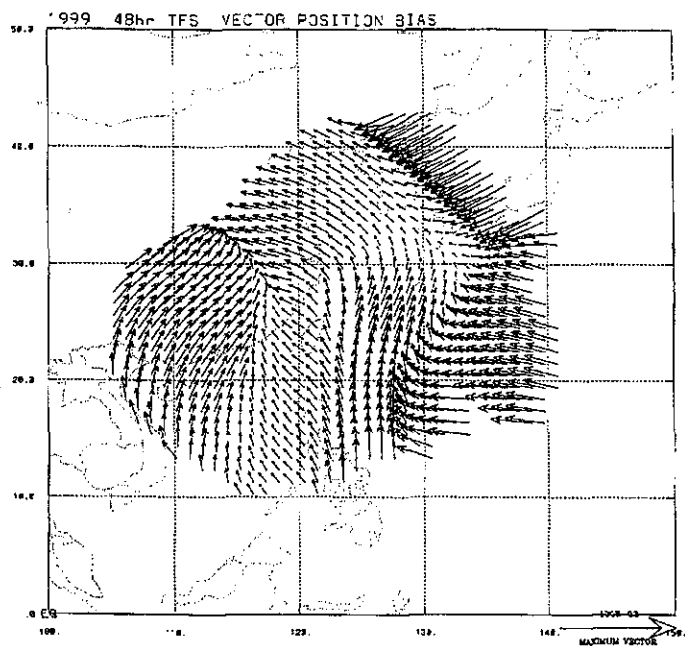


圖 6 1999 年 TFS 的 48 小時預測位置之偏差向量。

TFS TYPHOON TRACK FORECAST DATE (99/06/02/12Z-99/06/07/00Z)

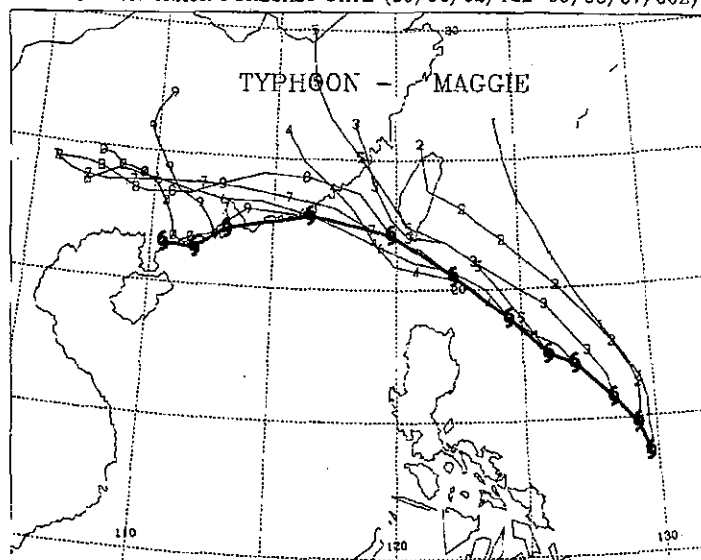


圖 7 TFS 對 1999 年 Maggie 颱風所做之預測(細線)與實際(粗線)路徑，各次預測之時間間隔為 12 小時。

TFS TYPHOON TRACK FORECAST DATE (99/08/19/00Z-99/08/22/12Z)

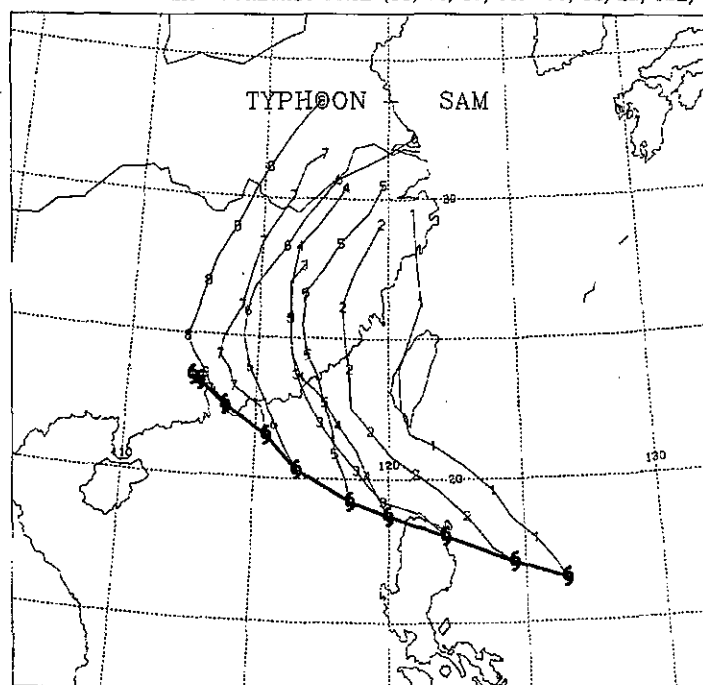


圖 8 同圖 7，唯對 Sam 颱風。

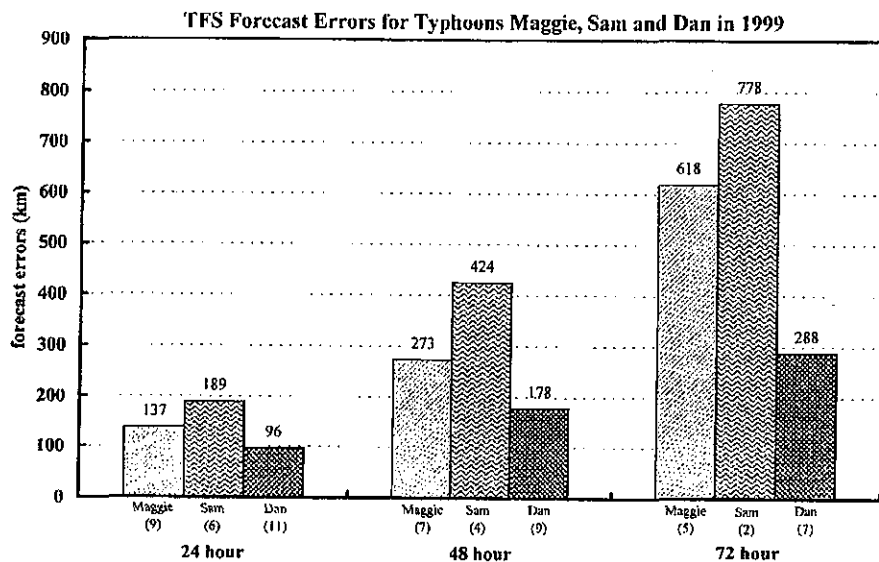


圖 9 TFS 對 1999 年 Maggie、Sam 及 Dan 颱風之颱風預測路徑平均距離誤差。橫軸括弧內為颱風個案數。

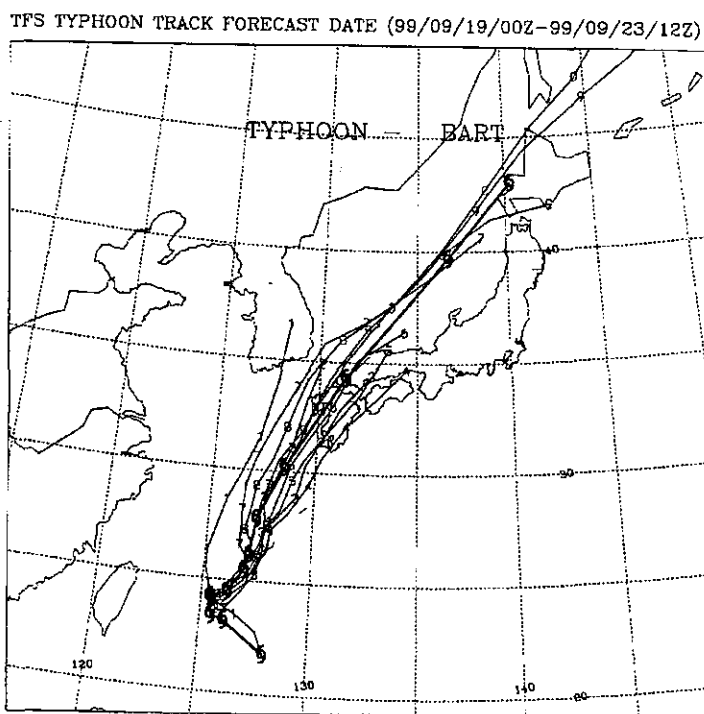


圖 10 同圖 7，唯對 Bart 颱風。

邊槽脊系統間之交互作用不足導引颱風快速移動。

1999 年 TFS 仍有預測誤差較小的個案，包括李歐(Leo)、歐佳(Olga)、保羅(Paul)、威奇爾(Virgil)、安恩(Ann)與丹恩(Dan) 等 6 個颱風，對其雖亦有系統性預測偏差出現，但其 24/48 小時之平均預測路徑距離誤差為 138/174 公里，72 小時誤差甚至只有 265 公里。中央氣象局曾對其中的 Dan 颱風(圖 11)發布海上陸上颱風警報，圖 9 顯示 TFS 對 Dan 颱風的預測為三個發布警報的颱風中誤差小，其 24/48/72 小時誤差為 96/178/288 公里。CWB 對此颱風之 24/48 小時預測路徑誤差為 117/278 公里，CLIPER 法之 24/48/72 小時誤差則是 150/329/483 公里，TFS 誤差遠較 CWB 與 CLIPER 法為之誤差小。如圖 11 所示，TFS 於 10 月 4 日 12UTC(註標 4)即已預測 Dan 颱風將轉向的趨勢，一天後(註標 6)則預測出與實際颱風移動類似接近 90 度轉彎及轉向時速度減慢之情形，可惜颱風轉向之後 TFS 的預測出現偏左之誤差，此乃因 TFS 預測太平洋高壓有增強趨勢所致。對颱風轉向之時機與其後之行進，日本區域模式與日本颱風模式表現亦不錯，美國海軍 NOGAPS 及 GFDL 模式則有較 TFS 更為明顯偏左之預測誤差。

TFS 對前述 6 個預測較差的颱風之 24/48/72 小時平均預測路徑距離誤差為 185/351/670 公里，72 小時誤差增幅非常大(見圖 3)，幾乎為 48 小時誤差之兩倍。但若將 1999 年預報的 15 個颱風個案減去上述 6 個預測較差的颱風個案，則 24/48/72 小時平均誤差降低至 137/174/265 公里。至於對 3 個發布警報的颱風之平均預測誤差比較(圖 12)，TFS 的 24/48 小時誤差為 133/269 公里，於三種預報方法中誤差最小，甚至優於 CWB 之主觀預報(139/302 公里)，至於 TFS 的 72 小時之預測亦較 CLIPER 為佳，預測誤差為 500 公里。但 TFS 對此三個颱風之預測仍有如對其他個案之預測，對第二天至第三天之預測誤差增幅較兩天內之預測誤差明顯增大，達 231 公里。

綜合上述，TFS 於 1999 年之平均表現，在兩天內之預測相當具可信度，48 小時之預測誤差可維持在 280 公里內，但 48 至 72 小時之預測誤差則增長很快，72 小時誤差已超過 500 公里。雖然如此，除對通過南海的颱風個案有明顯偏北之預測誤差外，TFS 的三天預測在方向上仍具有參考價值。

(二)、個案討論

為進一步改進 TFS，我們在颱風季後曾對 Maggie、Sam、York 等部分個案做一些模擬比較，以了解較大預測誤差能否透過初始場處理或較高模式解析度得到改善。

因中央氣象局全球波譜預報模式(GFS)於 1999 年 7 月才開始加入衛星風及人為修正颱風渦旋結構(滕等 1998)，6 月上旬 Maggie 颱風於 GFS 分析場中的位置與實際颱風位置有較大差距。Maggie 颱風生成初期約位於東經 130 度、北緯 14 度之海面上，觀測資料缺乏，GFS 分析場的颱風中心位置位於實際位置北方超過 600 公里處，隨颱風逐漸往西移動，觀測資料增多，二者間的差距逐漸縮減為 200 公里內，但分析場中颱風位置多有逐漸偏西誤差。因此當 TFS 以 GFS 之分析場做為初始資料，雖經由類似 Kurihara et al. (1993) 之方法處理，仍殘存錯誤的渦旋結構，因此其後植入之颱風渦旋一開始即處於往北錯誤的駛流場中。TFS 於作業中啟動了 DeMaria 修正駛流之方法，嘗試縮小誤差。圖 13 為 1999 年 6 月 5 日 00UTC 的 Maggie 颱風個案，如圖所示啟動 DeMaria 方法確實對預測偏北誤差減少及移速加快有所幫助。但在 Maggie 颱風生成初期，因錯誤渦旋位置與實際位置差距過大，雖加入 DeMaria 方法，TFS 預測路徑偏北誤差仍明顯(圖 7)。TFS 至 48 小時預測靠啟動 DeMaria 方法得到不錯的預測結果(48 小時平均誤差 273 公里)，但之後預測誤差則快速增加(72 小時平均誤差 618 公里)，顯示後期誤差之成長，未能因引進不同初始處理方法而減小。

雖然 GFS 已於 1997 年 7 月納入人為修正

TFS TYPHOON TRACK FORECAST DATE (99/10/03/00Z-99/10/09/00Z)

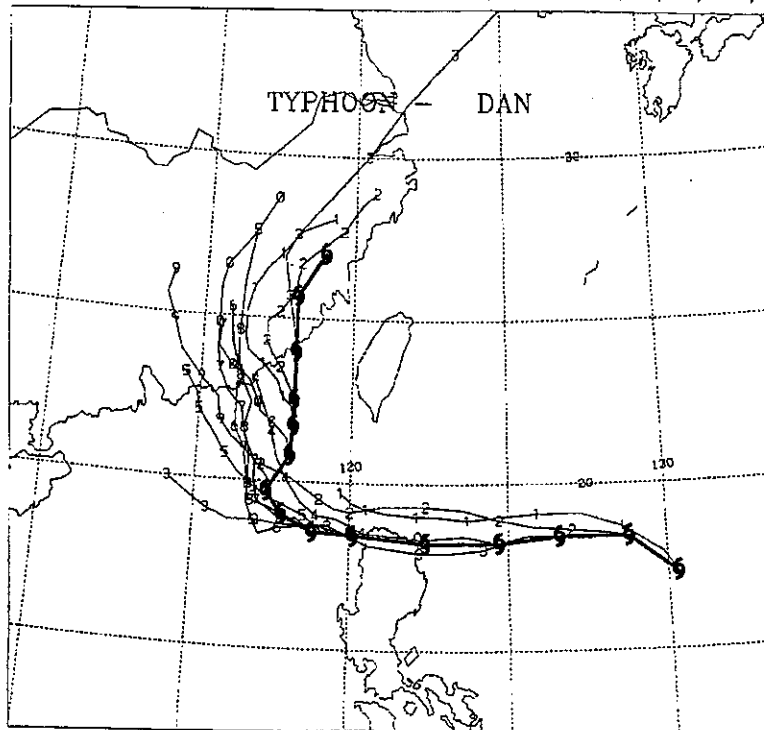


圖 11 同圖 7，唯對 Dan 颱風。

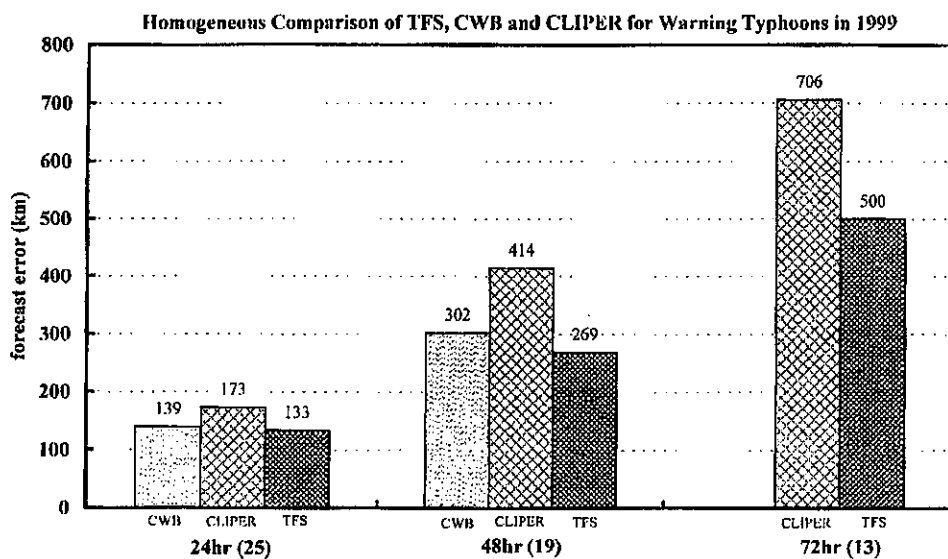


圖 12 CWB、CLIPER 及 TFS 對 1999 年中央氣象局發布警報的颱風均勻個案之預測路徑平均距離誤差。橫軸括弧內為颱風個案數。

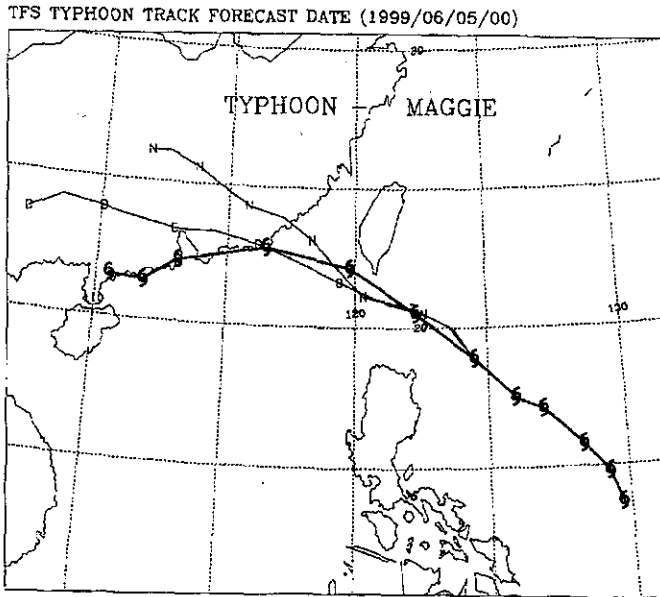


圖 13 啟動(註標'D')與未啟動(註標'N') DeMaria 修正法之 TFS 對 1999 年 6 月 5 日 00UTC Maggie 颱風個案所做之預測路徑。粗黑線為實際颱風路徑，兩相鄰標示位置之時間間隔為 12 小時。

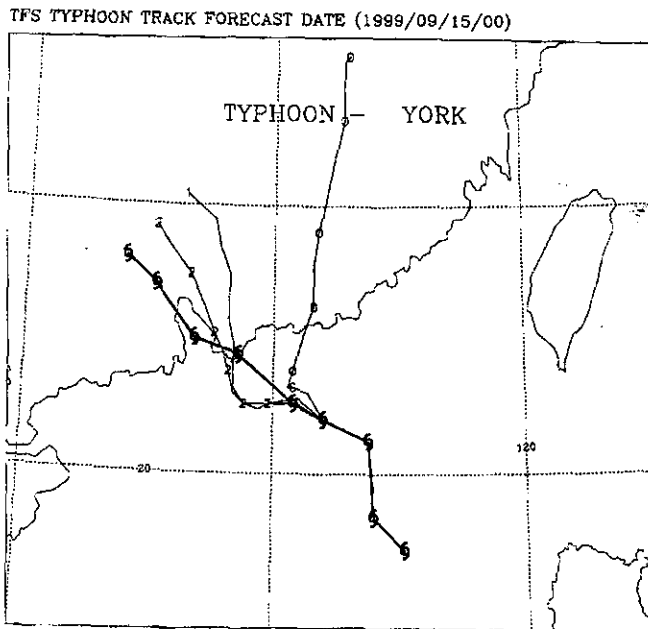


圖 14 TFS 對 1999 年 9 月 15 日 00UTC York 颱風個案所做之作業預測(註標'O')與改變模式水平解析度為 20 公里(註標'1'未微調模式中的消散項，註標'2'微調模式中的消散項)之模擬預測路徑。粗黑線為實際颱風路徑，兩相鄰標示位置之時間間隔為 12 小時

颱風渦旋結構處理於客觀分析過程中，但有時仍無法完全修正颱風附近初始資料及颱風所在位置，Sam 颱風即是一個例子(圖未示)。TFS 以類似 Kurihara et al. (1993) 方法處理來自 GFS 的分析場中後，如同上述 Maggie 颱風個案，仍無法完全去除錯誤的渦旋結構，以致於錯誤向北的駛流場一開始即導引所植入之颱風渦旋移動，TFS 雖以 DeMaria 方法修正駛流，但成效仍舊有限，預測路徑誤差明顯偏北(圖 8)。

另一預測路徑誤差北偏的颱風 York，初始資料中並無類似 Maggie 及 Sam 颱風有明顯錯誤的駛流(圖未示)，因此 TFS 作業時不需啟動 DeMaria 修正法。預報出偏北路徑之主要原因為 TFS 對此輕度颱風掌握不佳，因此將模式水平解析度從 45 公里提高至 20 公里，並微調預報模式中的消散項(Diffusion term)，企圖得到較好的颱風結構及其與周遭大尺度環流之交互作用。圖 14 為對 1999 年 9 月 15 日 00UTC York 颱風的結果，圖中顯示提高模式解析度改善 York 颱風預測路徑之偏北誤差，再加入消散項之調整則使誤差更小。

四、結論

颱風為影響台灣地區的重要災變天氣之一，因此提供民眾準確之颱風預報路徑以發揮預警效果為中央氣象局的重點工作，而中央氣象局颱風路徑數值預報模式(TFS)則提供預報人員客觀的颱風預測路徑參考資料。1999 年為第二代 TFS 啓用的第六年，並於此年將預測天數由兩天增為三天。TFS 對 1999 年發生於西北太平洋的 23 個颱風中的 15 個颱風做路徑預報，其兩天內的預測在與中央氣象局官方預報(CWB)及統計預報法 CLIPER 三者比較下，TFS 平均誤差最小，48 小時之預測路徑距離誤差為 276 公里，較 CWB 主觀預報 296 公里稍小。於第三天的預測雖仍較 CLIPER 好，但 TFS 之誤差增幅則顯著增加。TFS 對 1999 年所預測颱風的誤差主要在於對從較低緯度向西行經南海的颱風預測有明顯偏北誤差、對轉向東北行進颱

風的轉彎速度預測太慢造成偏左誤差，以及當颱風即將匯入西風帶時，TFS 的預測移速偏慢的情形。

經由每年颱風季作業預報及嘗試改進，TFS 於 1997 年大幅更動人為修正颱風渦旋結構之作法，而第二代 TFS 亦自此年開始路徑預測誤差有一明顯改善。統計 TFS 從 1994 年至 1999 年的誤差，在年際差異上，TFS 傾向於在颱風發生個數少、生命期短且強度弱之年份預測誤差大。1999 年屬於颱風發生個數較少且弱的年份，TFS 之 48 小時預測誤差雖不及 1997 年時 250 公里好，但仍維持在 276 公里，其原因可能是 TFS 在處理初始資料時納入 DeMaria 修正駛流之方法及不同權重的垂直渦旋結構之主觀決定，以及採用加入了衛星風與人為修正颱風渦旋結構於客觀分析中、同時將解析度提高到 T120 之中央氣象局全球波譜預報模式(GFS)的分析場及預報場做為 TFS 之初始資料及邊界條件。

TFS 於 1999 年的第三天的預測誤差較前 48 小時有明顯增長，由第三章個案討論可知，除初始資料可能引起的誤差外，預報模式本身未盡完善可能是主要原因之一，另外對偏北誤差、轉彎過慢以及往東北進入西風帶時移速太慢等問題，則是未來改進此模式時主要的工作。

參考文獻

- 陳得松，葉天降，黃康寧，謝信良，與彭順台，
2000：中央氣象局颱風路徑數值預報模式
三天預測之初步結果。氣象學報審查中。
黃康寧，陳得松，葉天降，彭順台，與張偉正，
1998：1997 年中央氣象局颱風路徑預報
模式之表現與檢討。87 年天氣分析與預
報研討會論文彙編(I)氣象，309-314。
葉天降，陳得松，黃康寧，彭順台，與謝信良，
1999：颱風路徑數值預報模式初始場處
理：兩種方法對模式預測誤差之比較。

大氣科學，27，171-189。

葉天降，黃康寧，與陳得松，1999：颱風模式
初始場不確定性對路徑預測影響之初步
研究。大氣科學，27，215-233。

滕春慈，劉其聖，與馮欽賜，1998：氣象局全
球颱風路徑數值預報系統。88 年天氣分
析與預報研討會論文彙編，210-214。

DeMaria, M., 1987: Tropical cyclone track
prediction with a barotropical spectral
model. *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 2346-2357.

Chen, D.-S., T.-C. Yeh, K.-N. Huang, M. S. Peng,
and S. W. Chang, 1995: A new operational
typhoon track prediction system at the
Central Weather Bureau in Taiwan.
Preprints, 21st Conference on Hurricanes
and Tropical Meteorology, AMS, 51-52.

Chen, D.-S., K.-N. Huang, T.-C. Yeh, M. S. Peng,
and S. W. Chang, 1998: Performance of the
typhoon forecast system in Taiwan in 1998.

88 年天氣分析與預報研討會論文彙編，
144-146.

Kurihara, Y., M. A. Bender, and R.J. Ross, 1993:
An initialization scheme of hurricane
model by vortex specification. *Mon. Wea.
Rev.*, **123**, 2791-2801.

McBride, J.L., 1995: Tropical cyclone formation.
Chapter 3, Global Perspectives On Tropical
Cyclones. Technical Document Report No.
TCP-38, WMO, 63-105.

Peng, M. S., B.-F. Jeng, and C.P. Chang, 1993:
Forecast of typhoon motion in the vicinity
of Taiwan during 1989-90 using a
dynamical model. *Wea. Forecasting*, **8**,
309-325.

THE OPERATIONAL FORECASTS OF THE TYPHOON TRACK FORECAST SYSTEM IN THE CENTRAL WEATHER BUREAU IN 1999

Kang-Ning Huang, Der-Song Chen, Tien-Chiang Yeh, and Shinn-Liang Shieh
Central Weather Bureau

ABSTRACT

The Typhoon Track Forecasting System (TFS) has provided 48 hours objective typhoon track forecast guidance since 1994 (Chen et al. 1995). Some changes of the forecast system in year 1999 are: (1) The forecasting range was extended from 48 hours to 72 hours. (2) The initial conditions and the lateral boundary conditions were from a higher resolution global forecasting model of T120. (3) The derived winds from satellite observations and synthetic observations (Terng et al. 1998) were included in the global model analysis. (4) A subjective selection function was included in the initial typhoon vortex bogussing procedure.

TFS has provided the operational forecast for 15 typhoons over the Western North Pacific in 1999. The averaged 48 hours distance error is 276 km. In homogeneous comparison, the error is smaller than both the CLIPER forecasting error (423 km) and the official forecasting error (296 km) of the Central Weather Bureau. For the 72 hours forecasts, the averaged distance error is 516km. Although the error is still smaller than that of CLIPER error, however the error is significant grown from 48 hours forecasts to 72 hours forecasts. Large forecasting errors were found for cases of typhoons in recurving, moving into the westerly, and in the lower latitude over the South China Sea. TFS tends to forecast too late for recurving, and too slow when moving into the westerly. Large right side errors were also found for the forecasts of the typhoons moving westward in the lower latitude when they were over the South China Sea.

Key words : vortex bogussing, initial condition, lateral boundary condition.

颱風觀測分析與統計預報整合型研究 1999 年成果摘錄

謝信良 葉天降

中央氣象局

摘 要

颱風是影響台灣最嚴重的災變天氣系統，為有效增進對其之預報與災害防治能力，行政院國家科學委員會將防颱防洪列為我國災害防治領域之國家型整合研究重點，颱風觀測分析與統計預報整合型研究則是配合此研究重點為國家科學委員會所資助之整合型研究計畫。研究方式是從衛星觀測資料之應用、統計預報方法之發展、颱風路徑數值預報之改進、颱風風雨分布之分析模擬以及無人飛機探空(aerosonde)觀測技術之引進與應用等方面進行各項研究測試，嘗試從加強颱風之觀測、分析與統計預報等三方面來提昇颱風預報能力。本報告扼要說明此整合研究之構想與執行方法，並摘述在 1998 年 8 月至 1999 年 7 月期間，共十項研究所達成之主要成果。

關鍵詞：颱風，統計預報

一、前 言

颱風是最具破壞力的天氣系統，也是影響台灣最嚴重的災變天氣，但是其所帶來的雨量卻是台灣地區最重要的水資源。因此，颱風預報技術之提昇是強化台灣地區防颱防災與水資源管理的重要工作，也是中央氣象局向來十分重視的課題。然而，一方面由於颱風生命期之主要部分係在海洋上，而海洋上又缺乏完整觀測資料，因此吾人現今對其生成、發展以及細部結構都難稱充分瞭解。另外，也因為科學界對影響其移動與強度改變之諸多因子，如地球自轉、水氣交互作用、雲效應、熱帶天氣系統、以及中緯度天氣影響等整體性的作用尚未完全瞭解，因此現今對其路徑預報仍有相當程度的誤差，24 小時與 48 小時平均距離誤差達到 110 與 220 海里，而風雨強度之預報則更缺乏精確之客觀方法，需要繼續從多方面之研究才得以改善。

在國內，氣象專業人才與可用之資源相當有限，因此必須針對影響本地區最重要的天氣系統，考慮國內學者專長與環境之特異性，集中資源進行整合研究，才能有較明顯的成果。

基於此，行政院國家科學委員會環發會災害防治之諮詢委員與工作小組曾於民國 85 年 11 月 23 日討論我國災害防治領域未來研究重點，由於颱風所致災害為臺灣地區氣象災害之冠，因此將如何提升防颱能力與提升防震能力和防災體系，三者並列為現階段災害防治任務導向之國家型科技整合研究之重點計畫(顏等 1997)。其中防颱部分之研究規劃，除包含防洪與土石流等研究領域外，在氣象領域方面則包含颱風資料庫之建立、颱風預報與警報作業流程之評估改進、颱風觀測技術之強化、颱風侵台期間之密集觀測與資料傳輸能力之加強、以及颱風路徑與風雨預報準確度之提升等研究項目(李 1997)。

颱風觀測分析與統計預報整合研究則是依前述規劃之研究項目，邀集作業單位與學校教授共同朝增進颱風之觀測、分析與統計預報進行以作業應用為導向之研究，本文為此項研究工作進行第一年之工作執行情形與成果之摘要報告，其中第二節將進一步說明研究內容，第三節說明工作執行情形與成果，最後為結論與建議。

二、研究內容

為增進氣象防颱，提升颱風觀測分析與預報之目標，國內氣象學者曾組成颱風研究群，擬訂五項重要的研究課題，各課題則在研究資源與需求性之考慮下，規劃不同數目之研究子計畫，形成完整之整合型計畫。此五項重要研究課題分別是考慮了國內作業單位(包括中央氣象局、民航局以及空軍氣象聯隊)現今作業之瓶頸與需求以及目前較易落實之新技術而訂定。

第一項課題是進行衛星觀測資料應用研究，由於海面上傳統觀測資料之不足，使得作業上對颱風之定位、風雨分布以及颱風附近流場皆缺乏準確的資料做為預報依據，此課題最主要之目的在探求引用衛星資料以彌補這項缺失。第二項課題是進行統計預報方法之研究，現今數值預報雖在颱風移動路徑上已具有一定的預報能力，但其預測準確率仍和統計預報法之結果相當，而在風雨強度之預報方面，數值模式預報結果則尚不足以完全取代統計預報法之結果，因此進一步強化統計預報法也是颱風研究的重點目標。第三項課題則為颱風路徑數值預報之改進研究，由於數值模式預報方法，是現今公認最有可能直接改進颱風預報的客觀技術，因此需要針對中央氣象局現有颱風路徑數值預報模式，在初始化處理以及模式架構上之弱點，研發改進措施，如此將可有效的提昇其預報準確度。第四項課題為進行風雨分布之分析模擬與預報，此課題主要是進一步利用雷達觀測分析以及數值模式，期對颱風之風雨細部結構有更進一步了解，並得由此發展預報方法。最後一項課題則是研究無人飛機探空(aerosonde)觀測應用於作業之可行性，主要是因自 1987 年 9 月後，西北太平洋即無颱風飛機觀測，因此颱風定位、風暴範圍等都缺乏較精確資料，嚴重影響颱風預報作業，由於無人飛機探空成本較低，因此值得我們進一步研究將此項新觀測工具應用到颱風預報作業之可行

性。

以上各研究課題雖屬於一整體性之工作目標，但為使各研究更易於推動，乃劃分為兩個整合型研究計畫：其一專注於颱風數值模式與模擬研究，另一即為「颱風觀測分析與統計預報整合研究」。

1999 年「颱風觀測分析與統計預報整合研究」，包含前述第一、二、五、及部分第四類課題，共有十項研究。在第一類課題主要包含之研究有下列三項：(1)國立中央大學太空及遙測中心劉振榮教授所主持之「衛星微波資料估算颱風參數之研究」，主要利用 MSU(Microwave Sounding Unit)衛星遙測資料估算颱風位置、強度、與暴風半徑等颱風參數。(2)中央氣象局衛星中心顏泰崇主任所主持之「同步衛星風場求取在颱風上的應用」，此項研究主要目的在參考美國 NESDIS(National Environmental Satellite Data and Information Service)之方法，研究以建立利用 GMS-5 衛星之水汽頻道估計雲導風場技術。(3)空軍氣象聯隊徐天佑聯隊長所主持之「應用衛星觀測資料預報颱風路徑與降水之研究」，此項研究主要之目的在引用 GMS-5 衛星與落雷資料，探討其與颱風移動和降水量之相關性，以提高對颱風降水的預報能力。

第二類課題包括下列兩項研究：(1)文化大學劉廣英院長所主持之「異常颱風與台灣地區豪大雨分布之研究」，此研究是針對較特異路徑颱風之降水分布與特性做詳細之分析與歸納，使能對此類颱風之降水有進一步認識並供預報參考。(2)即作者所主持之「應用統計與類比法在颱風路徑與風雨預報之研究」，此項研究主要在彙整中央氣象局現有之觀測資料與颱風降水統計預測方法，計算以了解此預測方法之預報誤差特性。另外也嘗試做改進，以提升颱風降水預報之準確度。

第三類課題皆是包含於「颱風數值模擬與預報整合研究」，第四類課題主要包括下列四項研究：(1)民航局飛航服務總台氣象中心李金萬主任所主持之「侵台颱風降雨量客觀預報研究-

都卜勒雷達資料之應用」，主要利用中正機場都卜勒雷達觀測之颱風降水回波資料，以及地面觀測之降水量資料，歸納以得 Z-R 關係式，從而得以利用此關係式，對往後侵台颱風所伴隨之降水量，由都卜勒雷達回波觀測資料，得到較準確之颱風降水估計值。(2)中央氣象局楊明仁博士所主持之「侵台颱風伴隨強風豪雨之雷達資料分析研究」，此項研究主要引用 CFAD (Contoured Frequency by Altitude Diagram) 方法，分析颱風侵台時所伴隨強風豪雨之特性，並進一步整理出侵台颱風伴隨風雨之典型特徵和其演變的經驗法則，往後相似颱風侵台時可依此經驗法則，做為颱風風雨預報的參考。(3)文化大學劉清煌教授主持之「地形阻擋效應影響颱風環流及降水之研究」，此項研究主要利用花蓮雷達資料，研究颱風受地形影響所造成的雨帶變化及降水區之分布。(4)台灣大學李天浩教授所主持之「應用雷達資料與統計氣候模式建立北台灣定量降水預報模式研究」，主要利用風場資料與氣候模式，發展颱風降水預報方法，以提昇颱風降水預報能力。

第五類課題是由台灣大學李清勝教授主持之「台灣地區颱風實驗- 1999 年無人飛機探空觀測」，主要在培植國內負責無人飛機探空之操作、維護、觀測、與資料分析的團隊，以做為利用無人飛機探空於颱風預報作業應用之先期研究。

三、主要研究成果

以上十項研究，分別從資料彙整、觀測資料分析、統計方法建立以及加強颱風觀測等方面進行研發，主要完成之工作將分衛星觀測資料應用、統計降水預報、應用雷達觀測於颱風降水估計與分析、以及引進無人飛機探空觀測等方面扼要敘述如後：

(一)衛星觀測資料應用研究方面

在國立中央大學劉振榮教授主持之衛星微波資料估算颱風參數之研究工作裡，他們主要利用 MSU 微波頻道反演各層溫度值，並擴充

Kidder et al. (1980)所發展之理論基礎，以估算颱風在不同方向所可能出現之最大平均風速。MSU 資料是由中央氣象局與美國 Satellite Active Archive 所提供，研究則針對 1990 年的楊希(Yancy)及亞伯(Abe)兩個中度颱風及 1996 年強烈颱風賀伯(Herb)所進行。

在颱風中心之決定上，他們並不考慮眼的大小及形狀，而是直接以眼區內紅外線亮度溫度最高的視場定為颱風的中心位置。而無眼時，則直接利用反演所得之 250hPa 溫度場定出暖心中心，並以此中心為颱風中心。以賀伯颱風為例，利用 MSU 資料經由此方法所推估的颱風中心，和中央氣象局官方定位之結果相近。

在颱風環境距離的估算上，他們是從颱風中心算起，尋找其溫度梯度開始趨於平緩的位置，而定此距離即為颱風之範圍，再以 250hPa 之暖心為圓心，每 15 度定一個方向，計算出各方向上每 0.5 度經緯度距上的溫度距平量。由此溫度距平再依 Kidder et al. 所發展之理論，結合劉教授他們進一步以溫度梯度來表示壓力梯度之作法，得到不同颱風半徑之風速由 MSU 第三頻道資料的估算方程，以導出颱風不同半徑的風速。由亞伯颱風反演結果顯示，他們已能得到在颱風中心附近各方向的風速與暴風範圍。

另外，他們的研究也發現當颱風 850 hPa 冷心與高層暖心中心重合時，代表此時大量的潛熱釋放集中於系統中心，故為系統增強的前兆。而對於發展前期為西進的颱風，當深對流長時間滯留於系統的東南方，並使此處高層溫度場的溫度梯度遽增且呈極度不對稱的情形時，可能使颱風路徑向西北轉向。而對於作業單位所採用的 T-number 法決定颱風強度時，當無颱風眼出現，而中心被大量冷雲覆蓋的個案會出現較嚴重的中心定位誤差及強度誤判。此時，若能利用 MSU 資料監測此類型颱風之暖心結構發展，將對颱風強度之掌握有所幫助。

對大尺度風場之估計方面，由衛星觀測索取雲導風主要包括四項工作：(1)目標區擇選、

追蹤與目標區的位移向量計算，(2)決定雲導風向量所在之高度，(3)對雲導風向量做品質管制，與(4)計算效率之提昇與作業系統之建立。中央氣象局在國科會資助下，已完成了第一項工作(陳等 1999)。他們對雲導風目標區擇選與追蹤方法，是在處理衛星觀測的導航誤差問題後，以局部對比法來擇定目標區，然後利用二維樹叢分析法以過濾一些難以指定高度的目標區。而在追蹤方法上，是利用所謂型態相似分析法，在間隔半小時的雲圖中，若有一目標區其亮度溫度分布與第一張雲圖目標區之亮度溫度分布相似，則此兩目標區之位移即為此段時間之雲導風向量。利用兩組間隔半小時的三張雲圖可得兩組風向量，可利用此兩組風向量做初步正確性之研判。

1999 年度由中央氣象局顏泰崇主任主持之同步衛星資料估計風場在颱風上的應用研究，主要在決定雲導風向量所在之高度與建立初步雲導風向量品質管制方法，對雲導風向量所在高度之決定，現行高度之指定主要有紅外線窗區頻道法、二氧化碳頻道分層法、與水氣截取法等三種方法，其中紅外線窗區頻道法是最早期的雲高指定法，其將目標區內最冷的 20% 諸像元(pixel)之平均亮度溫度代表該目標區之雲頂溫度，將此雲頂溫度與數值預報模式產品中相近地理位置的溫度剖面分布相比較，便可得出該雲頂溫度所對應之高度。此法簡單方便，因此他們目前採用此方法，並利用中央氣象局區域數值預報模式分析場之溫度資料，在水平方向以雙拋物線內插法，垂直方向用氣溫與對數氣壓值呈線性關係的方式，來指定初步雲導風向量所在之高度。

對初步雲導風向量做品質管制的工作方面，他們的研究並已完成一簡單的方法，其將區域數值預報分析場之風場，以雙拋物線內插及利用風速與氣壓值呈線性關係的方式，求得初步雲導風向量所在之高度與地理位置上數值模式所呈現之風向量場，當初步雲導風向量的風速與風向與模式分析風場之內插值差異分別

在 14 m/s 或 30 度以上時，即自動剔除該誤差過大之雲導風，以維持雲導風向量之品質。他們認為更嚴格的品質工作可加入三維回歸過濾分析，依據數值預報模式之資料，透過變分法解經驗性的懲罰函數(penalty function)以進一步拉近雲導風場與數值預報模式分析場，並由此結果再執行回歸過濾分析。

對颱風伴隨降水之估計方面，由空軍氣象聯隊徐天佑聯隊長主持之應用衛星觀測資料預報颱風路徑與降水之研究裡，特別針對閃電與颱風降水間之關係做仔細分析，主要利用 1998 年七月妮寇爾(Nichole)颱風與八月奧托(Otto)颱風侵台期間衛星觀測所得雲系、閃電及台灣地區降水量等資料，分析閃電和颱風雲系與降水間之關係。研究結果顯示，颱風接進或侵襲台灣時，所產生之閃電次數之多寡與颱風發展之強度及半徑大小並不一定有關，但其與颱風所產生之對流雲系有密切相關，閃電發生次數在颱風週邊強對流雲系附近之密度最大，而非在颱風眼附近。

觀察正負電荷之分布，他們發現當颱風眼尚未登陸前，所產生之閃電以負電荷為主。當颱風眼登陸後，閃電逐漸由正電荷取代，直到颱風中心將出海時，負電荷又逐漸取代正電荷，當颱風移到外海時，閃電又轉為以負電荷為主。而閃電與颱風降水量間之關係則顯示，降水量之增加與減少和正電荷閃電次數之增加與減少有相關，正電荷閃電次數增加後降水量明顯變大，正電荷閃電次數減少後降水量逐漸變小，正電荷閃電次數變化大致超前兩小時。

(二)統計降水預報方面

中央氣象局將颱風路徑分為十大類，其中第六類颱風是從臺灣東方近海北上，此類颱風由於中心距離臺灣較近，路徑些微的偏轉皆會對臺灣地區的天氣造成完全不同之結果。中國文化大學劉廣英院長所主持之異常颱風與臺灣地區豪大雨分布之研究(I)：東部北上颱風之研析，即針對此類颱風加以深入探討。他們使用國科會副熱帶資料庫所蒐集從 1979 至 1993 年

共十五年，每日有四筆之歐洲中期氣象預測中心(ECMWF)再分析資料，參照謝等(1998)所訂第六大類颱風，依颱風中心在 121°E 至 125°E 間(61-64 小類)，與 125°E 至 129°E 間之颱風(65-69 小類)，分成東、西兩類颱風，共選出二十一個個案，進行各種高度層之高度場與流場合成分析，以瞭解環境場對颱風移動的貢獻，以及如何選定最佳駛流層。另外針對北上颱風對臺灣降雨的影響做分析。

由他們對從臺灣東方近海北上颱風在臺灣降雨之分析結果顯示，中心在 125°E 以西的颱風對臺灣降雨影響較大，其中又以臺灣北部發生降雨的次數較多，而降水型態大多呈現在台灣北部以及中部山區有較大中心的“雙峰”的特性。而在颱風之移動上，從臺灣東方近海北上颱風在自東向西移動至 20°N 左右轉向北行進時，下對流層副熱帶高壓必定會東退，且隨著颱風北上出現該副高南落的特徵。待颱風中心移至 30°N 以後，是否繼續北上則視副高中心與中緯度槽線槽前，最大正渦度平流之強度與所到達之區域而定。而由上下層之合成圖對比顯示，從臺灣東方近海颱風向北移動時，副熱帶高壓與西藏高壓可呈現出上下分離的特徵，亦即“阻擋”在上對流層颱風中心北方的高壓脊，實際是地面增溫所形成之西藏高壓東伸的一部分，與副熱帶高壓在垂直方面並不直接銜接，亦即此類颱風的運動路徑在長江口以南期間是由其東方的太平洋高壓脊所主導，至於後續是否繼續向北行進，則視太平洋高壓西伸狀況與北方西風主槽的位置與深度而定。

關於應用統計法在颱風降水預報方面，1999 年主要進行之工作包括：(1)擴充原有影響台灣地區各颱風路徑與雨量資料使包含 1949 至 1998 年。(2)擴充電腦化颱風路徑與降水量統計預報作業雛型系統的功能。(3)進行平均法(如王等 1986)颱風降水量預報法之建立並以相關係數、均方根誤差、與 Equitable Treat Score (ETS)進行預測誤差校驗。(4)研發與測試其他簡單統計颱風降水量預報法。關於颱風有關資料方

面，謝(1999)曾彙整 1949 至 1996 年之資料，在今年度研究期間擴充之颱風資料包括：1997 至 1998 年中央氣象局颱風最佳路徑與中心強度資料，1997 至 1998 年美國聯合颱風警報中心(Joint Typhoon Warning Center)颱風最佳路徑與中心強度資料，以及 1997 至 1998 年中央氣象局各測站時降水量資料。

謝(1999)曾在個人電腦上以 Visual Basic 程式發展電腦化颱風路徑與降水量統計預報作業雛型系統，1999 年之功能擴充主要完成之工作包括：(1) 颱風搜尋，能依所設定的區域範圍、颱風強度、以及颱風發生的時間區間為搜尋條件，搜尋歷年曾發生之颱風。(2)雨量預報，能對全省測站以氣候平均法進行颱風降水量預測。(3)回報位置、標記位置與文字註記，使各圖形之顯示功能更清楚。(4)輸入颱風路徑使達到作業預測之目的。(5)www 網頁顯示功能，透過網路進行功能操作。(6)列印圖表，使路徑預報、路徑檢索與雨量預報等圖形資料皆能利用此功能列印資料。(7)檢索新近颱風之雨量資料，系統可即時讀取中央氣象局之雨量觀測資料供查詢與預測使用。

在進行颱風降水統計預測模式預測準確度之校驗與新方法發展方面，我們完成從 1961 年至 1996 年共 36 年之颱風時降水量資料，詳細校驗以平均法預測台灣地區颱風時降水量之預測能力，同時引用持續性之概念進一步測試其它的簡單統計降水預測方法在颱風時降水量之預測能力。

由我們之分析校驗結果可見，平均法對台北颱風時降水量有部分預測能力。不過，也見平均法因引用平均值，雖不致使時降水量之預測值明顯偏高，但確使部分時降水量預測值偏小，以防災之觀點，此將造成危險度之低估。我們的研究結果也顯示，不論是平均法或持續法，對超過三小時以後之時降水預測結果誤差皆相當大。由颱風之時降水分布可見，颱風降水有非常明顯短時距之振盪變化，因此不易準確的達到定時定量預測。累積降水能對短時距

振盪變化部分有平均的效果，能減少對短時距降水振盪變化不確定性之影響，因此減少預測誤差，提高預測能力。

為結合平均法與持續法，我們曾嘗試所謂差異持續法與比差法，其中差異持續法是以平均法為基礎，持續性是考慮降水與平均值差異之持續而非降水量之持續，而比差法是將降水與平均值之差異量，先以平均標準差做標準化後，再考慮其持續性。由台北颱風降水個案之預測校驗結果顯示，比差法與差異持續法兩者之預測結果相似，仍未能有效提高時降水量預測能力，但對累積降水預測則能綜合平均法與持續法之優點而提高預測能力。以西行颱風為例，對 3/6/12/18 與 24 小時累積降水預測結果之相關係數值 (R_{xy}) 已可分別提高為 0.61/0.61/0.62/0.54 與 0.45，而對達到 25/75/150/200 與 200mm 等較大降水之 ETS 值則可達 0.22/0.23/0.25/0.22 與 0.04，對 18 小時以內之累積降水量預測已有參考價值。

比較地區之差異性，我們的分析顯示，若以平均法對時降水量之預測而言，西進颱風中阿里山降水預測之 R_{xy} 值最高，可達 0.56，高雄降水預測之 R_{xy} 值最低，只有 0.26，台南則次低， R_{xy} 值為 0.33。其它東南部地區颱風降水預測之 R_{xy} 值則較西北部地區為小，西部地區嘉義以北颱風降水預測之 R_{xy} 值都在 0.40 以上，東部地區花蓮以南颱風降水預測之 R_{xy} 值都在 0.40 以下。北進颱風仍以阿里山颱風降水預測之 R_{xy} 值最大，但各地颱風降水預測 R_{xy} 值之差異較少，除阿里山為 0.40 外，大致在 0.24 至 0.35 之間。

比較不同路徑類別颱風之降水預測，分析結果顯示以對北進颱風降水之預測較困難，以平均法而言，嘉義以南地區，西進與北進兩類颱風時降水量預測結果之相關係數之差約在 0.05 左右，而嘉義(含)以北地區，兩相關係數之差則在 0.1 以上，其中以台中站相差最多，對西進颱風降水預測之 R_{xy} 值為 0.48，而對北進颱風降水預測之 R_{xy} 值則僅為 0.25。

前述有關台灣地區颱風降水量預報之研究主要是處理與應用傳統之觀測資料，對雷達資料之統計應用研究則由民用航空局李金萬主任負責，在 1999 年裡他們曾整理 1987 年至 1996 年，中正機場都卜勒氣象雷達觀測所得亞力士 (Alex 1987)、歐菲莉 (Ofelia 1990)、楊希、愛麗 (Ellie 1991)、葛拉絲 (Gladys 1994)、賀伯與瑞伯颱風 (Ze^b 1998) 等七個侵台颱風個案。他們利用這七個颱風氣象雷達的回波強度資料，加上中央氣象局所屬東北角、淡水河流域以及桃園與新竹等台灣北部地區自動雨量站觀測所得之逐時雨量資料，採用徐昇氏法 (Thiessen polygons method) 的精神，轉換各地時雨量資料為地面面積雨量。以此兩項資料，應用連續性降雨系統、對流陣性降雨系統、與對流雷暴降雨系統等三種簡單 Z-R 關係式，發展應用雷達觀測資料客觀估計颱風降雨量之方法。此三種簡單 Z-R 關係是 $Z=aR^b$ ，當連續性降雨系統使用 $a=200$ ， $b=1.6$ 、對流陣性降雨系統使用 $a=800$ ， $b=1.6$ 、對流雷暴降雨系統則使用 $a=486$ ， $b=1.37$ 。由此七個颱風 110 次個案之雷達估計雨量和地面觀測所得面積雨量，校驗估計雨量和觀測雨量之比值。結果顯示，強度當面積雨量大於 50 公釐/時，上述三種 Z-R 關係中以連續性降雨系統的 Z-R 關係較適用，其中 $a=200$ ， $b=1.6$ ，結果再乘上 27.9，可做為颱風降雨估計量之參考值。

(三)應用雷達觀測於颱風降水估計與分析方面

颱風誘發豪大雨的中尺度天氣系統，經常不能被傳統氣象觀測系統所掌握，雷達具有在空間與時間做高密度觀測的能力，可以彌補傳統氣象觀測之不足。中央氣象局楊明仁博士主持之侵台颱風伴隨強風豪雨之雷達資料分析研究，是利用中央氣象局五分山雷達及民航局中正機場雷達的觀測資料，應用雙都卜勒分析及 Yuter and Houze (1995) 所發展 CFAD 分析方法，探討賀伯颱風螺旋狀雨帶對流系統內各種物理量的系集變化。其中雙都卜勒分析範圍主要位於臺灣北部海岸北方約 5-20 公里之海面上，100 公里 x 70 公里的矩形區域，水平及垂

直解析度均為 1 公里。

由雙都卜勒雷達分析賀伯颱風伴隨雨帶之垂直速度場、雷達回波場、東西風速、及南北風速之 CFAD 分析圖顯示，螺旋雨帶對流系統內的整體性垂直質量通量，是由中等強度的上升下降氣流所決定，而非由強烈的上升下降氣流所決定。此研究結果，與 Yuter and Houze 已往之發現相似。就垂直分布而言，低層有較多上升氣流，而高層有較多下降氣流；兩者的分界高度約在 5 公里，此與降水粒子的溶化層高度一致。另外由雷達回波場之 CFAD 分析圖，也顯示出對角化的分布，即雷達回波於水平向的分布極為一致，高層為弱回波區，低層為強回波區，表示此為層狀降雨。風速場之 CFAD 分析圖，則顯示出東西向有強烈的東西氣流穿越雨帶，穿越雨帶之南北氣流則較弱。在垂直分布上，似有三組不同的結構：3 公里以下低層有較多東北風，中層流速較慢，而 7 公里以上高層又有較強東南風，顯示水平風場有強烈垂直風切，而會限制上升氣流的垂直發展。

由颱風眼牆範圍內的雷達回波 CFAD 圖則顯示，賀伯颱風於 7 月 31 日 1601 LST 時，眼牆區域內各種強度的雷達回波都有，表示眼牆範圍內的對流胞處於各個不同的生命期。於 1902 LST 時，眼牆區域內的雷達回波開始逐漸呈現對角化的趨勢。於 2150 LST 時，眼牆區域內之對角化分布更為明顯，其中在 7 公里以上之高層雖然垂直速度偏弱，但仍然有許多大於 20 dBZ 回波值。由此可見颱風環流能夠很有效地將降水粒子從颱風外圍傳送至眼牆內部。此外，雷達回波 CFAD 分布圖也呈現出對流系統生命期演變中之「成熟期」或「緩慢衰弱期」的典型特徵，表示賀伯颱風雨帶發展至此時已臻於成熟，而颱風環流能夠很有效地將水氣從颱風外圍傳送至眼牆內部，因此帶來豪雨。

同樣應用雷達觀測資料，中國文化大學劉清煌教授主持的地形阻擋效應影響颱風環流及降水研究，則是以中央氣象局花蓮雷達站資料

於 1998 年所觀測四個颱風資料進行分析，此四個案為 8 月 4 日奧托颱風，9 月 27 日楊妮(Yanni)颱風，10 月 15 日瑞伯颱風，與 10 月 26 日巴比絲(Babs)颱風。這四個颱風除巴比絲颱風由台灣海峽進入台灣地區外，其他三個颱風均由台灣東南部海面侵襲台灣，花蓮雷達站正好可以有有效的掌握這三個颱風的動態。分析這三個颱風之雷達觀測資料發現，當颱風外圍雨帶逐漸移進台灣地區時，由於雨帶受到地形的阻擋與抬升，使得回波有增強的趨勢。如奧托颱風於 8 月 4 日 00 UTC 左右經過綠島，由花蓮到台東中間登陸，花蓮雷達觀測資料顯示此颱風外圍環流於 22:01:24 UTC 時已經到達花蓮地區。隨颱風的移近回波增強，於 23:01:24 UTC 時奧托颱風中心位置於綠島東南方海面上，有一條較強的的回波帶位於台灣東部沿海，此回波乃由於雨帶受到地形擠壓作用，於東部沿海地區漸漸加強而形成一較強之回波帶。由自動雨量站的資料顯示於 8 月 3 日 23:00 UTC 到 8 月 4 日 06:00 UTC 間，台灣地區各地均有大雨發生。楊妮颱風侵台時也有類似的現象，楊妮颱風於 04:32:30 UTC 最強，且在東部地區造成相當大的降水。由前三小時之雷達回波及颱風之移動方向與速度，可以估計出這條雨帶將於 2 至 3 小時左右移動到台灣沿海附近。由自動雨量站的觀測值顯示，在花蓮以北地區於 9 月 28 日 00 至 06 UTC 間出現相當大的降水。由此歸納可見如果雷達回波所表示之雨帶，由外海逐漸移到陸地時，全省各地均可能產生大雨。

對集水區即時降水之預報，國立台灣大學李天浩教授主持之應用雷達資料與統計氣候模式建立北臺灣定量降水預報模式之研究，在 1999 年的研究工作主要包括兩大項，一為利用柯利京內插法(Kriging Method)建立一完整的台灣西部沿海風場，並討論颱風侵台期間，此風場與降雨量之關係。另一方面為建立雨量與風場主成份間之迴歸關係式。他們選取彭佳嶼、基隆、台北、新竹、梧棲、嘉義、台南、高雄、恆春等九個沿海較疏又不等間距之測站觀測資

料，透過柯利京法進行內插，以求沿台灣西岸連線之完整風場。在雨量與風迴歸模式之建立上，則是選擇阿里山站附近的梧棲、台中、日月潭、嘉義、阿里山、玉山、台南等七個測站的風速、風向資料進行主成份分析，再與阿里山站的降水量進行迴歸，建立一颱風降水量與測站風主成份的線性關係式。

他們的研究顯示，利用柯利京法所求得之颱風期間台灣地區完整之風場，配合累積降水量與地形輪廓繪圖，使得風場、降水與地形作用間的相互關係，更方便於觀察。而由賀伯颱風期間的觀察中發現，台灣東部為背風面，風小且幾乎無降水。相對的，台灣西部為迎風面，風大雨勢也大，尤其新竹、苗栗一帶與阿里山區，地勢較陡峭且河谷地形明顯，使得潮濕空氣容易沿河谷逐漸舉升，而在山區產生長時間而明顯的降水，其降水量與附近測站之風速、風向有密切之關係。

在颱風降水利用風進行迴歸模式分析方面，他們的結果顯示，主成份分析可分離風場個別獨立之型態，在利用風場建立其與降水間之迴歸模式時，可藉由其正交之特性，利用 F 檢定，將統計上不顯著的部分去除。由此所建立之颱風降水風迴歸模式，對賀伯颱風期間在阿里山站的降水量估計值與觀測值之相關係數可達 0.9。但對台灣北部的石門站與福山站之降水迴歸模式估計值，可能因地形效應不如阿里山站明顯，同時淡水站未引用較密集風場資料，影響模式估計之準確度。而由瑞伯颱風期間石門與福山站的測試中也發現，颱風降水之由風場所發展之迴歸模式，對於風速小但水氣含量豐沛的颱風以及伴隨有強盛東北季風或西南氣流等情形時之降水，仍無法有效掌握，未來應考慮納入水氣含量等其他因子，使更能反映當時實際的天候狀況，進而增進颱風降水預報的準確性。

(四)引進無人飛機探空觀測方面

為引進新的觀測技術以獲得颱風預報所需資料，而進行無人飛機探空觀測研究。由於

首次進行嘗試因此有相當多的問題需要克服，如飛機之保養與軟硬體維護需有相關經驗之技術人員，飛機之操控需要有經驗與熟練之操作人員，適宜無人飛機探空起降之場地需要安排、飛行空域之申請及通訊頻道使用等都需逐一克服。在國立台灣大學李清勝教授主持下，透過中央氣象局、台灣大學大氣科學系以及中山科學研究院三方面多次協議下，在 1999 年已組成台灣地區無人飛機探空工作團隊，使無人飛機探空之維護、保養與觀測基地等基本問題獲得解決。同時於 1999 年 5 月 31 日至 6 月 4 日舉行「無人飛機探空飛行操控技術暨資料分析應用研討會」，隨後於 1999 年 9 月 12 至 17 日假中山科學研究院屏東九鵬基地，進行第一次完全由國人掌握操控之無人飛機探空試飛活動。飛行活動期間，適逢約克(York)颱風位於恆春西南西方約 500 公里海面上，在颱風外圍環流的陣雨天氣中，工作團隊仍順利地試用九鵬基地的場地條件包括專用跑道、廠棚、氮氣的供應設備、基地的食宿條件等需求，以及試驗無人飛機探空團隊的機動性、無人飛機探空起降與維護所有流程。另外則是試驗氣象觀測儀器(sensor)的加掛、驗證無人飛機探空在惡劣天氣中執行的能力、以及完成 Local mode 切換成 TDMA mode 的空中測試。其中 TDMA 是 Time Difference Multi-Access 的簡稱，是進行無人飛機探空長程飛行與地面控制站的通訊方法，是調度無人飛機探空進行長程飛行的關鍵。而此次成功的演練，也為引用無人飛機探空於進一步的觀測實驗，奠定更穩固的基礎。

四、結論與建議

颱風觀測分析與預報整合型研究在 1999 年執行期間，分別從資料彙整、觀測資料分析、統計方法建立以及加強颱風觀測等方面進行 10 項研究，以期提昇對颱風之預報能力。由於事前完整之策劃並在 10 位研究主持人與各參與研究人員有效的推動下，都能完成年度預定工作，和展現初步之成果，主要完成之工作摘要

如下：

在衛星觀測方面：完成以 Microwave Sounding Unit 資料估算颱風中心位置、暴風半徑及最大風速之方法，與建立以美國 National Environmental Satellite Data And Information Service 所發展雲導風估算方法為基礎之雲導風估算方法，同時初步分析得知正電荷閃電次數與颱風降水之增減有明顯相關，閃電次數變化超前 1 至 2 小時。

統計降水預報方面：(1)彙整颱風降水與地面觀測資料到 1998 年。(2)對平均法颱風降水預測做完整校驗並發展比差法以及利用風場建立迴歸颱風降水估計方法，提高颱風降水預測之準確度。(3)建立颱風預報作業系統之雛形，使其含網路查覽之功能。(4)了解北進颱風降水與路徑預報之特性。

在應用雷達觀測於颱風降水估計與分析方面：(1)利用中正機場雷達資料發展颱風降水 Z-R 式能較準確估算颱風降水。(2)完成 CFAD (Contoured Frequency by Altitude Diagram) 雷達資料分析方法之建立。(3)初步得到颱風雨帶呈現「成熟期」與「緩慢衰弱期」之典型特徵，並得知颱風雨帶靠近地形會受地形擠壓而使回波增強。

在引進無人飛機探空觀測方面：(1)成立工作團隊，培養我們的飛航、維修、保養與資料分析能力。(2)採購設備，並研習飛航技術與飛行觀測路徑之設計，為進行觀測實驗奠定基礎。

最後，我們認為本文僅是扼要的對各研究做說明，以期達到宣導和推廣的目的，進一步更詳細的資料可以從各研究之國科會報告得知。對部分研究成果，如統計降水預測方法、Z-R 關係式、CFAD 雷達颱風觀測分析方法等等，我們認為其雖能顯示在作業應用之價值，但應儘速送交作業單位做作業性之測試與建置後才能為實際作業應用，以確實發揮研究成效，提升颱風預報品質。另外，部分研究則需進一步擴充其功能後才能達到實際作業應用之目的，如雲導風之估算需擴充其高度訂定與品

管功能，無人飛機探空需實際進行觀測實驗等。這些工作正在國科會對我們後續研究計畫之資助下進行，預期經全期三年研究之執行，將在 2001 年左右逐一把各研究成果落實於實際作業使用。

致 謝

本文在國科會 NSC88-2621-Z-052-012 資助下完成，感謝中央大學劉振榮教授、中央氣象局顏泰崇主任、空軍氣象聯隊徐天佑聯隊長、中國文化大學劉廣英教授、楊明仁教授與劉清煌教授、民航局李金萬主任、台灣大學李天浩教授與李清勝教授，提供他們的研究成果供彙整，並感謝兩審查者提供寶貴建議使本文更完整。

參考文獻

- 王時鼎、顏清連、陳泰然與謝信良，1986：台灣颱風降雨特性及其預報研究(三)。國科會防災科技研究報告 74-51 號，152pp。
- 李清勝，1997：防災國家型科技計畫規劃報告-防颱組氣象部分。顏清連等著防災國家型科技計畫規劃報告，附錄 1，1-12。
- 陳嘉榮，顏泰崇，與謝信良，1998：地球同步衛星雲導風場之推演與應用(I):推演部分。氣象學報，42，313-330。
- 謝信良，1999：颱風觀測分析與預報整合研究。八十七年度防災專案計畫成果研討會論文集第一冊氣象防洪與地下水，國科會永續發展研究推動委員會，1-10。
- 謝信良，王時鼎，鄭明典，與葉天降，1998：百年(1897-1996)侵台颱風路徑圖集及其應用。中央氣象局專題研究報告 CWB86-1M-01，497 頁。
- 顏清連，蔡義本，陳亮全，李清勝，許銘熙，林美玲，與羅俊雄，1997：防災國家型科

技計畫規劃報告。國科會，47 頁暨附錄。

Kidder S. Q., W. M. Gray, and T. H. Vonder Hear,
1980: Tropical cyclone outer surface winds
derived from satellite microwave sounder
data. Mon. Wea. Rev., 108, 144-152.

Yuter, S. E., and R. A. Houze, Jr., 1995:

Three-dimensional kinematic and
microphysical evolution of Florida
cumulonimbus. Part II: Frequency
distributions of vertical velocity,
reflectivity, and differential reflectivity.
Mon. Wea. Rev., 123, 1941-1963.

THE SUMMARY OF TYPHOON OBSERVATION ANALYSIS AND STATISTICAL FORECAST STUDIES IN 1999

Shinn-Liang Shieh and Tien-Chiang Yeh
Central Weather Bureau

ABSTRACT

Typhoon is one of the most severe weather systems in the Taiwan area. The associated strong winds and heavy rainfalls caused the most loss of human life and property among meteorological disasters in the area. To reduce the impact of the destructive typhoon, the study of improving typhoon forecasts and flood mitigations was selected by the over the National Science Council as the highest priority over the National Science-Technology Research Program. "The Summary of Typhoon Observation, Analysis and Statistical Forecast Studies" is one of the integrated research project under the Program. This report briefly introduces the objectives and the approaches of the studies. Major achievements of the studies during the period of from August 1998 to July 1999 are also summarized.

Key word: Typhoon, statistical forecast

Meteorological Bulletin

(Quarterly)

CONTENTS

Articles

- Moment tensor inversion using body waves recorded
by broadband seismometers in the Taiwan Region.....Chi-Fong Chang (1)
Masataka Ando
- The development of the Statistical Forecast System in the
Central Weather Bureau.....Jonq-Gong Chern (18)
Twen-Wen Lo
Huei-Min Wang
Jieh-Guei Ho
- Preliminary result for 3-day forecast of the Typhoon
Track Forecast System in the Central Weather Bureau.....Der-Song Chen (34)
Tien-Chiang Yeh
Kang-Ning Huang
Shinn-Liang Shieh
Melinda S. Peng
- The operational forecasts of the Typhoon Track Forecast
System in the Central Weather Bureau in 1999Kang-Ning Huang (46)
Der-Song Chen
Tien-Chiang Yeh
Shinn-Liang Shieh
- The summary of Typhoon Observation Analysis And
Statistical Forecast studies in 1999.....Shinn-Liang Shieh (61)
Tien-Chiang Yeh

行政院新聞局出版事業登記證局版台誌字 第〇九七六號
中華郵政臺字第一八九三號登記為第一類新聞紙類

統 一 編 號
〇〇九〇三八八〇〇四七

ISSN 0255-5778



CENTRAL WEATHER BUREAU
64 Kung-Yuan Road, Taipei, Taiwan
Republic of China

氣象學報

季刊

第四十三卷 第三期

目次

研究論文

- 集集大地震之宏觀分析 ----- 呂佩玲 蕭文啓 (1)
辛在勤 張建興
- 中央氣象局降雨機率預報校驗分析----- 呂國臣 謝信良 (17)
- 中央氣象局降水機率統計預報之校驗分析：
88年4月1日至6月30日期間----- 王惠民 陳重功 (29)
蘇長春
- 民國八十七年颱風調查報告－妮蔻兒颱風(9801)----- 丘台光 (49)
- 民國八十八年颱風調查報告－瑪姬颱風(MAGGIE, 9906)--- 徐辛欽 (63)

出 版 者	中央氣象局氣象學報社	台北市公園路六十四號
發 行 人	謝 信 良	電 話：(02)23491091
社 長	謝 信 良	
編輯委員會	鄭 明 典	
主任委員	王 乾 盈 陳 泰 然	
委 員	李 汴 軍 隆 男	
	李 清 勝 文 廣 思	
	林 賢 文 生 永 英	
	林 松 錦 義 田	
	柯 文 雄 葉 典	
	陳 台 琦 葉 鄭	
幹 事	黃 玉 絲 韓 素 蘭	

(按姓氏筆劃排列)

集集大地震之宏觀分析

呂佩玲 蕭文啓 辛在勤 張建興

中央氣象局地震測報中心

摘要

中央氣象局於一九九二年至一九九七年期間推動「強地動觀測計畫」，一九九八年起繼續推行「強地動觀測第二期計畫—建置強震速報系統」，截至八十八年度止，在全台灣共設置了六百三十七個自由場強地動觀測站，五十六座結構物（包括橋樑及建築物）強震監測系統。集集大地震發生後，立即至震央區收集強震資料進行分析，並提供學術界及工程界，從事防震工程及耐震規範的研究，俾供工程主管單位修訂建築物耐震設計規範的參考。

1. 本次九二一大地震，中央氣象局於地震發生後一分鐘左右即可得知各地震度資料，三分鐘完成地震規模及震央位置的研判作業，五分鐘內即可透過網際網路、呼叫器、傳真存轉等多重管道迅速對外發布完整的地震消息。分析所收集之主震強震資料發現，在主震發生後的一分鐘內，阿里山及其南方各發生一次規模大於 6.0 之誘發性淺層地震，隨後在新竹和苗栗間也觸發另一個規模約 6.0 的淺層地震，三個誘發性淺層地震說明了初步等震度圖的差異及大範圍餘震分布情形。
2. 在震源區所記錄的強震資料，有兩個測站分別測得約 1G 的最大加速度值，且由強震資料所推算之位移量充分顯示與地面破壞和建築物毀損有密切的關係，其在震源區內位移分布情形與由衛星影像處理之結果甚為吻合。目前此組資料已引起國際地震界及工程界之注目。另外，在 TCU068 和 TCU052 兩測站之位移資料顯示清楚的彈性回彈現象應可解釋豐原至東勢間之複雜地表破裂情形。

關鍵詞：集集大地震、誘發性淺層地震、等震度圖、彈性回跳

一、前言

一九九九年九月二十一日一時四十七分（世界標準時間為九月二十日十七時四十七分），在台灣的中部發生一次芮氏規模 7.3 的地震。由於震央位於南投縣集集鎮，故命名為集集大地震。該地震為台灣近百年來發生於島上規模最大的地震。經由交通部中央氣象局地震監測網自動作業初步定位為：震央位置為北緯 23.85° ，東經 120.82° ，震源深度為 1 公里，

後由所收錄之強震資料修正震源深度為 8 公里。截至一九九九年十月十三日官方的發布資料，該地震造成 2,333 人死亡，10,002 人受傷，超過 100,000 棟房屋全毀或半毀。此次地震引起車籠埔斷層之地表破裂長度約 80 公里，最大垂直位移達 5 公尺。

本研究主要是利用中央氣象局地震監測網及台灣地區自一九九二至一九九七年建置之密佈全島的強地動觀測網，所偵測集集大地震系列之強震資料，從地震學觀點探討該地震系

列之特性。

二、歷史地震活動度

台灣位於菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊互相撞擊區，花東縱谷即是兩板塊的交界。集集大地震恰位於台灣西部中段，該地區至少有三條第四紀南北向，且向東傾斜的斷層，由西向東，分別為彰化、車籠埔及雙冬斷層。

分析台灣東部地區地震活動及構造，主要因板塊互相撞擊及隱沒作用所造成的許多的地震，但從災害觀點而言，歷史資料卻顯示：發生於西部地區的較大地震，往往是震源深度較淺、且緊鄰人口密集區活斷層，以致造成嚴重的災害。集集大地震就是一個典型的案例。圖一所示中央氣象局地震季報蒐錄台灣地區自一九〇〇年至一九九九年規模大於 6.0 的地震震央分布圖。星形符號代表發生在九月二十一日後的地震震央；圓形符號則是集集大地震前的地震震央分布。分析集集大地震的震央位置，可發現該地震發生於全島地震活動度較低的區域，甚至還低於曾發生兩次規模 7.1 的西南部地區。

三、現代化地震監測

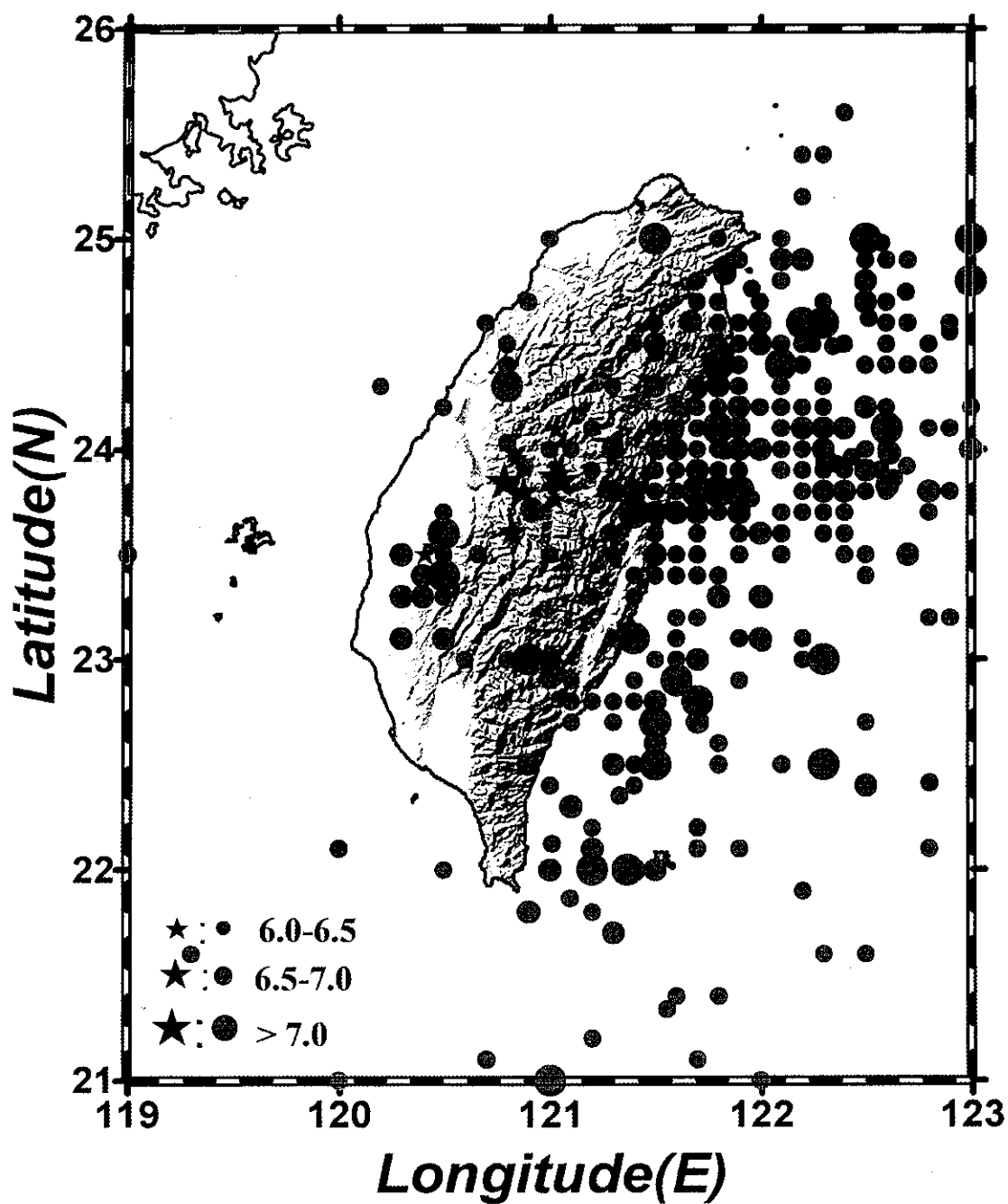
一九九〇年代初期，中央氣象局開始擴建地震監測網，達到 73 個測站。圖二所示為台灣地區地震網測站分布圖。依循地震監測標準作業，利用三分量、短週期的速度型地震感應器，並數位化傳遞及記錄地震的資料。一九九二年，中央氣象局在原有地震網上各測站加設三分量、高品質的強震儀，如圖二中星號所示。強震訊號並隨同一條數據專線即時傳回台北中心站(李和辛, 1997)。此新系統命名為 RTD (強震即時數位傳輸系統)。每一強震儀具有 -2G 至 +2G 的動態記錄範圍，並兼具即時資料蒐集及作業處理之功能。此台灣地區之即時加速度型地震監測網已可作業形態就震央於島上之中、大型地震發生過後 60 秒左右(鄧等, 1997; 吳等, 1997)，順利的計算並發布該地震的震央、

規模、等震度分布圖。此地震測報的快速反應能力是居於全世界第一位，並已獲國際地震界的肯定。

四、主震分析

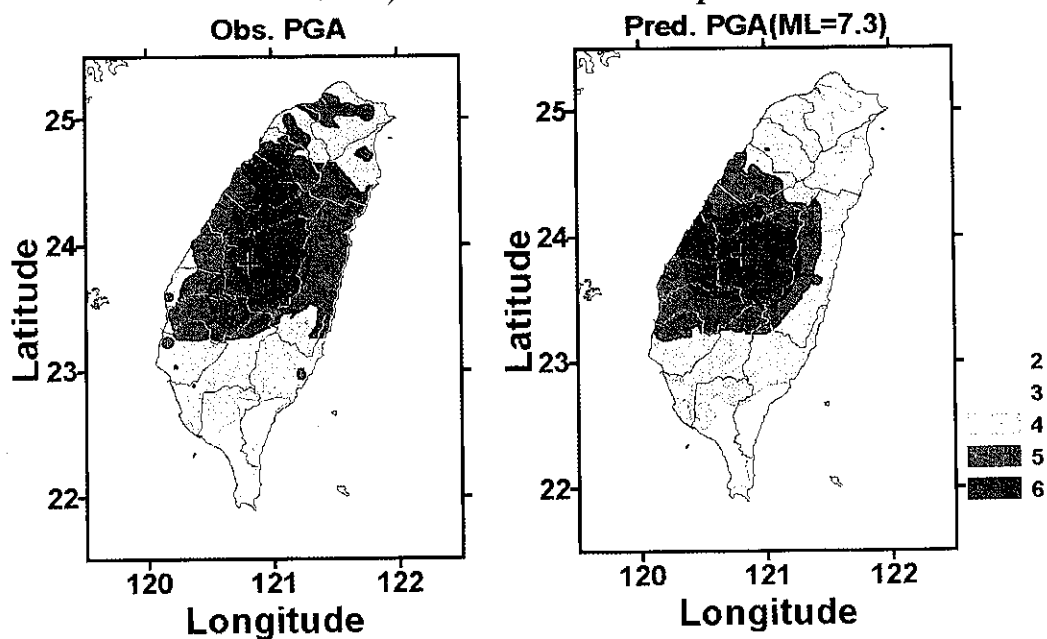
集集大地震的相關資訊(包括發震時間、震央、規模)在地震發生後二分鐘內計算出(正確時間是 102 秒)，並立即經由台灣地震速報發布系統將資訊傳遞至相關防救災單位。另中央氣象局在地震後 3 分鐘內，利用近乎即時數位化加速度資料及辛(1998)所發展之 PGA 衰減曲線以台灣地區震度分級，畫出初步等震度分布圖，由此圖可快速就最大震度 VI 級區，涵蓋台中、彰化、南投、雲林、嘉義等地，研判可能發生嚴重災害的範圍。地震後的災害調查結果證實此圖正確的反應出地震災害情況。

圖三為比較初步等震度分布圖與利用近一個月時間蒐錄強地動資料繪製等震度分布圖。值得注意的是，強地動資料繪製的等震度分布圖六級震度區在南北有延伸的現象。仔細檢視該南北二個較大震度異常區的強震資料，發現在主震後一分鐘內至少發生三次誘發地震。由於陸續發生的誘發性地震時間間隔甚短，導致主震與三次誘發地震的訊號紀錄皆混合一起，無法清楚辨識，所以誘發地震的詳細位置與大小是很難以一般的測報作業模式計算出。圖四左下角的地震紀錄是主震南邊 32 公里的測站 CHY080 所記錄的強震垂直分量，可清楚判讀出兩組 P、S 波到時。圖四右下角的地震紀錄則是在測站 CHY080 西北方，震央距離同為 32 公里的測站 CHY028 所記錄，所有主震與誘發地震的地震紀錄都混雜在一起，無法清楚判讀兩組 P、S 波到時。圖中左上則是主震北邊 94 公里的測站 TCU095 的地震紀錄，箭頭所指即由 t_s 與 t_p 很短的時間差(約 2 秒)來判斷有一極靠近該測站的地震。同時測站 TCU045、NST 和 TCU047 等皆可找到類似的資料。利用 t_s 與 t_p 的時間差並佐以區域 PGA 分布，研判在南端發生二次誘發地震，分別位於東經

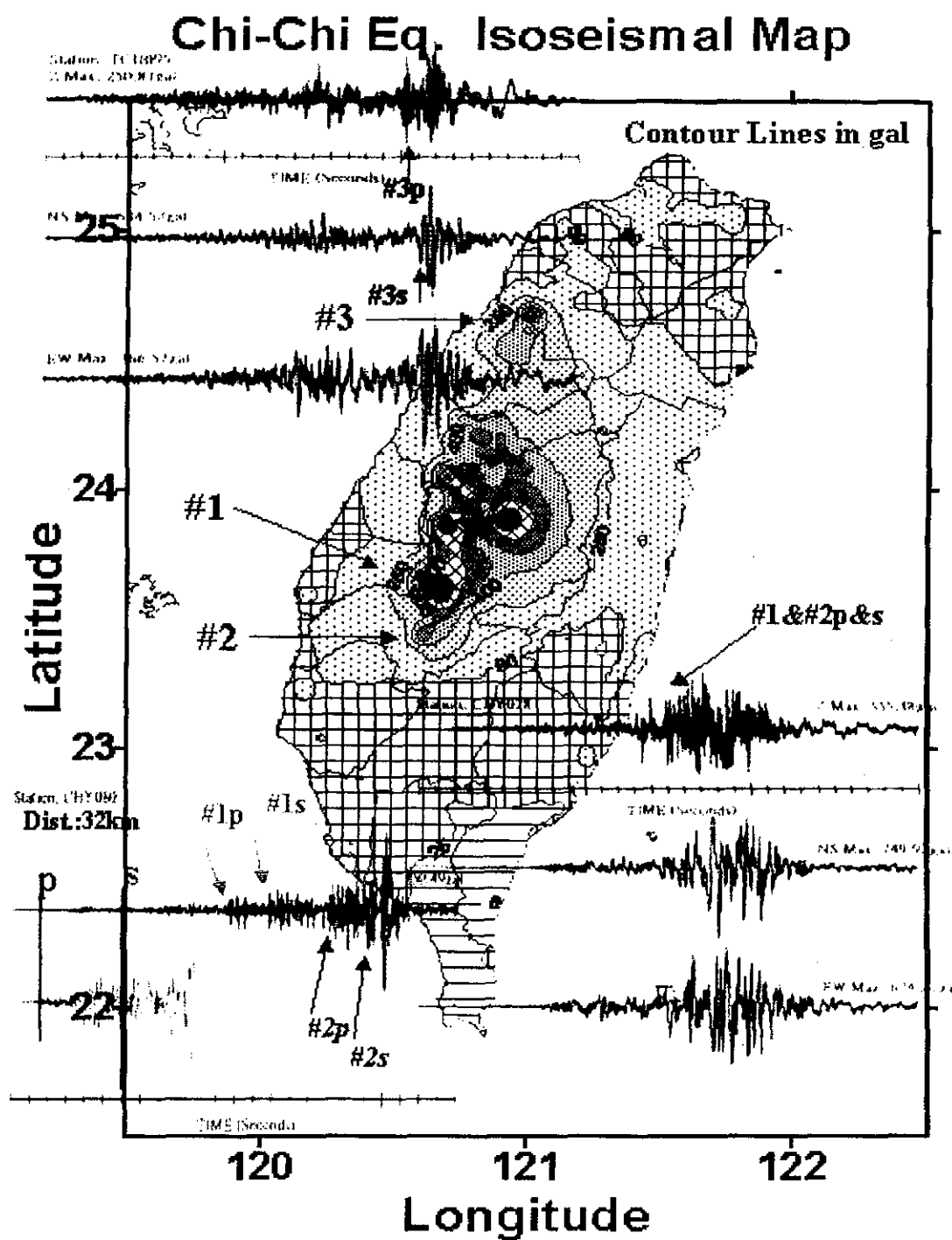


圖一：台灣地區自 1900 至 1999 年間地震規模大於 6 的震央分布。實心圓代表 1999 年 9 月 21 日之前發生的地震震央。星形符號代表該日之後發生的地震震央。

Comparison of Observed and Predicted Iseismal Map 1999,0921 Chi-Chi Earthquake



圖三：比較觀測與預估的等震度分布圖。預估等震度分布圖是利用即時加速度資料及 1998 辛所發展衰減曲線於主震發生 3 分鐘內繪出。觀測值等震度分布圖則是由蒐錄所有強震站的資料所繪製，這二者間之差異將於文章中討論。



圖四：檢視三次誘發地震發生之證據。其分別以#1、#2、#3表示，三組P、S的到時則以箭頭表示。有關三次誘發地震的詳細資訊將於文章中討論。

120.66°、北緯 23.61° 和東經 120.78°、北緯 23.45°，其規模大約 6.0-6.5。這二次誘發地震或可用來解釋在該地區附近所發生山崩及土壤液化的現象。另外一次誘發地震則發生於東經 121.01°、北緯 24.69°，其規模約為 6.0 左右。有關規模則是比較過去相似震央距離且類似淺層地震所記錄地表振動最大值之分布來估算。一次誘發地震所造成區域性最大地動加速度可解釋此地震初步等震度分布圖與餘震分布之間的差異。另外值得注意的是，三次誘發地震的最大強震加速度值都是在強震紀錄的南北分量，有別於主震的最大強震加速度值大部分發生在強震紀錄的東西分量。由此亦可判斷集集大地震與三次誘發地震的震源機制是不同的。進一步利用短週期地震紀錄及強震紀錄的初動來探討主震之震源機制為兩個近乎南北走向，向東傾斜約為 35 度的斷層面（Dip:35°；Strike:5°；Rake:65°），該組機制與地震後在震源區所作地質勘察破裂露頭及餘震之分布相當吻合。

五、餘震分析

集集大地震之餘震中較大有感、且經強震即時數位傳輸系統（RTD）定位之分布如圖五，其餘震分布範圍大約為 30×100 平方公里。截至二〇〇〇年二月中央氣象局地震測報中心所分析該地震之餘震計超過九千（其中一九九九年九、十、十一月之資料尚未完成）。將這些餘震及數個較大餘震之斷層面解同時繪於沿北緯 23.8° 之速度剖面如圖六（上圖以 3D 之 P 波速度構造為底，下圖以 3D 之 S 波速度構造為底）。由於車籠埔斷層是向東傾斜，故大部分餘震都偏於斷層東邊發生。仔細檢視所有餘震分布狀況，車籠埔斷層西側有一群淺層餘震其斷層面解都是正斷層型態，主震之震源區則為逆斷層型態，並可發現一特殊現象，即餘震群分布向東延伸至台灣中央山脈即消失，但在中央山脈東側亦有明顯的餘震群發生，這些餘震的斷層面解都是正斷層型態。相對而言，餘震大

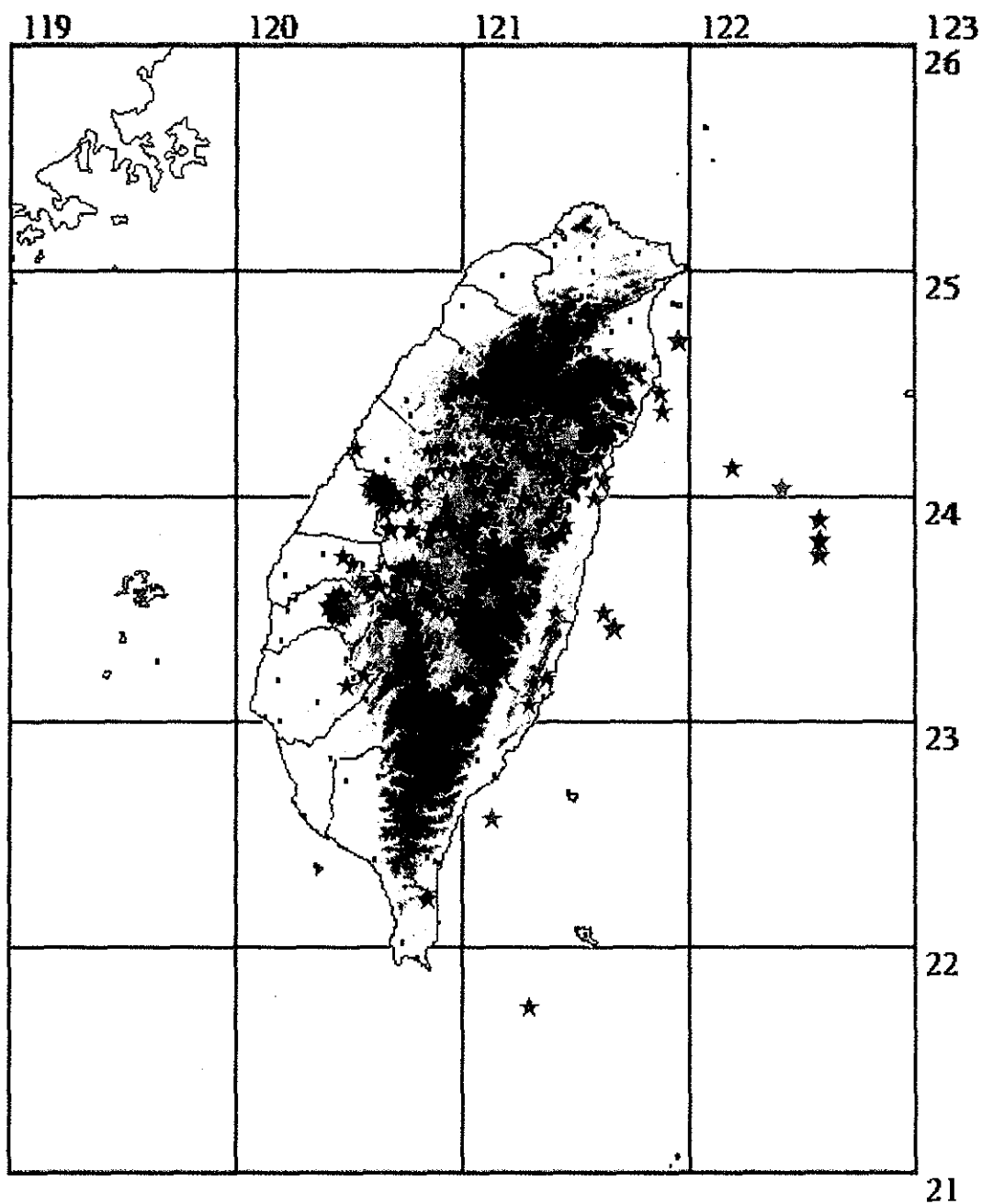
多位於中央山脈西側。其中還發生 3 次規模大於 6 的餘震，而中央山脈東側之餘震規模則較小。此現象可能因中央山脈下部係由相對較柔軟性物質組成，地震能量不易累積，但卻能將能量由中央山脈西側傳遞到東側，形成中央山脈兩側皆有餘震發生。至於發生在中央山脈西側之餘震分布，顯示出非常重要有關破裂與台灣主要構造（中央山脈）間之關係，有待累積更多該地區之斷層面解作更進一步之探討。

餘震分布最南及最北兩端是屬於三次誘發地震所造成，由於其震源機制似乎不同於主震源區或相對應之破裂機制，應可歸類為各自不同的獨立地震系列。另外，餘震分布中，密集發生於嘉義地區的餘震應屬於一九九九年十月二十二日，規模 6.4 的嘉義地震所造成。

六、自由場強震資料分析

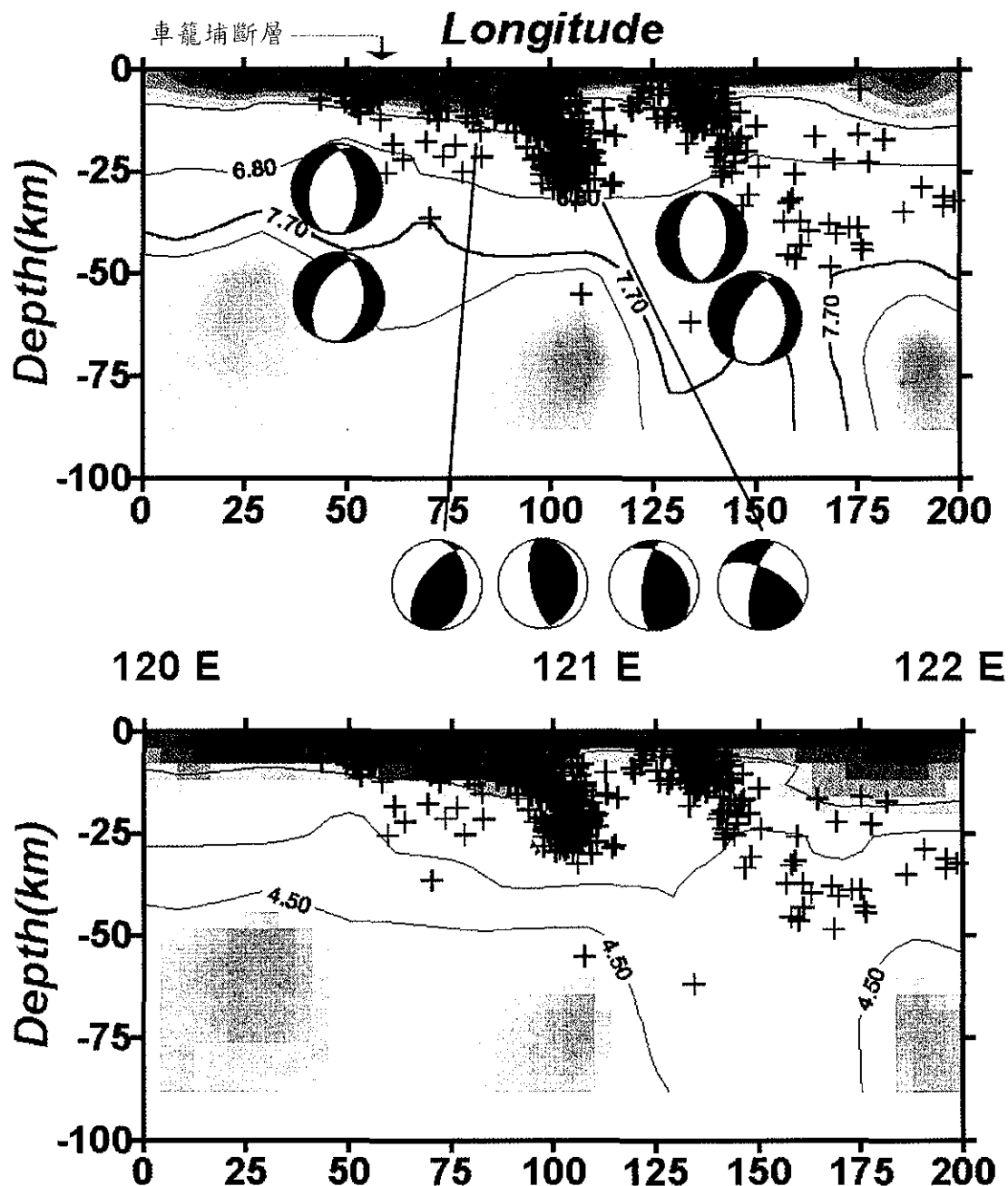
集集大地震發生之後的兩週內，許多震央附近的自由場強震資料都被快速的蒐集，其中兩個測站：TCU129 及 TCU089 所蒐集的東西向最大加速度值皆超過 1G，見圖七。測站 TCU089 水平地震紀錄中有較低頻的訊號，推測可能是因該站位於小丘陵的斜坡上所引起之地質效應。由自由場強震資料所繪製的強震等震度圖中（圖三），可看到地表振動沿著斷層線有明顯放大，且斷層上盤的地表振動比下盤更為強烈，資料所顯示，除與地表較嚴重破壞的範圍是一致，並與由初動所解得的震源機制及實際的野外勘查車籠埔斷層區域等也都是相符。地表振動之位移可由加速度的記錄，移除全波跡的趨勢項兩次積分而得。圖八是車籠埔斷層最北測站 TCU068 所記錄的強震資料，由上而下分別為加速度、速度、位移的波跡，速度及位移記錄分別由強震資料一次及二次積分所得（鍾和平, 1999）。蒐集震央附近的斷層線上的強震資料，即可描繪出斷層附近永久位移的分布圖，如圖九所示。其結果與人造衛星影像所拍攝得之災區的位移分布相當一致。

分析集集大地震沿著車籠埔斷層之永久

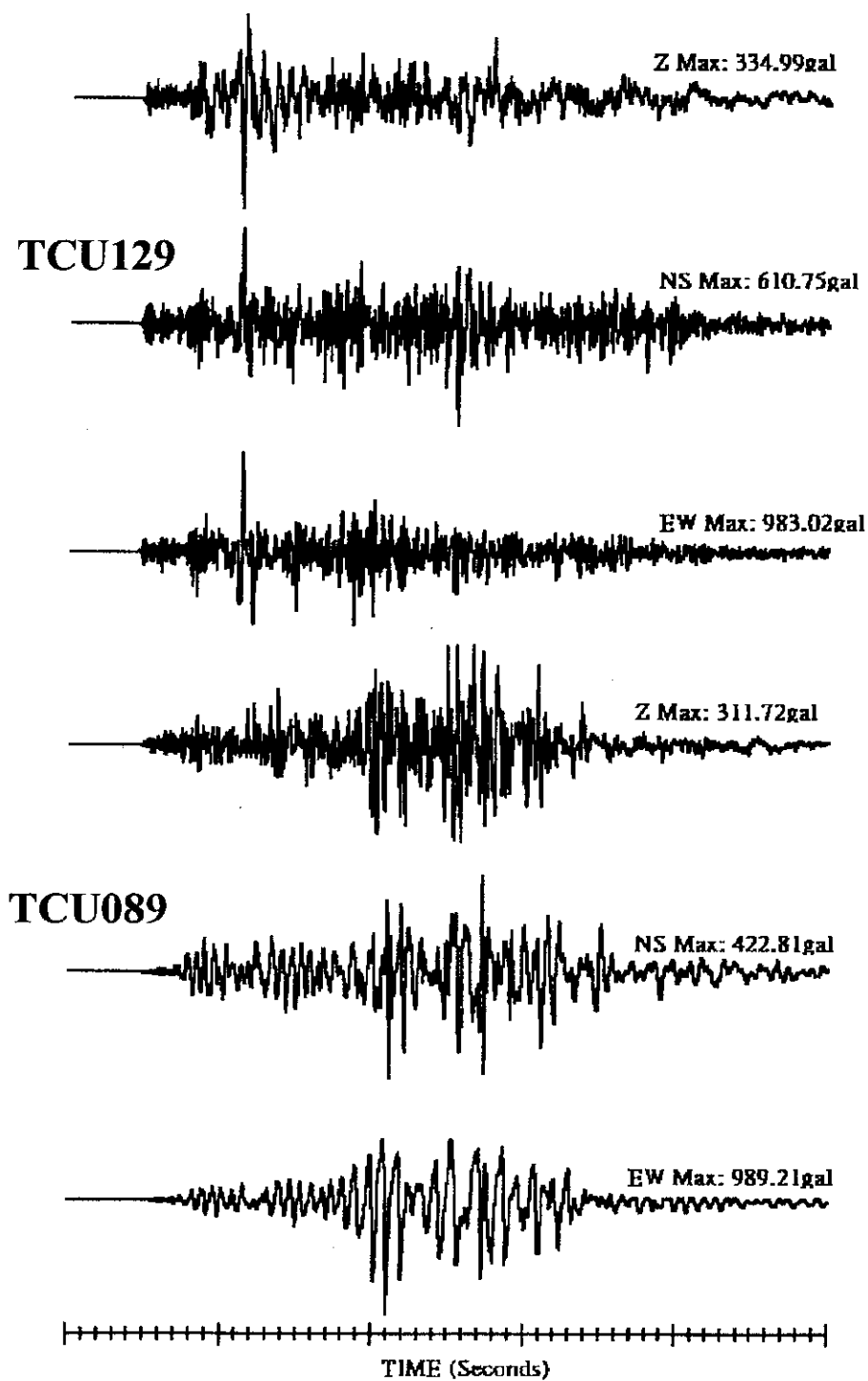


圖五：集集大地震後所發生的有感餘震分布圖。這些地震都是經由強震即時數位傳輸（RTD）系統觸發定位。嘉義地區附近較密集的地震分布是 1999 年 10 月 22 日嘉義地震的餘震。

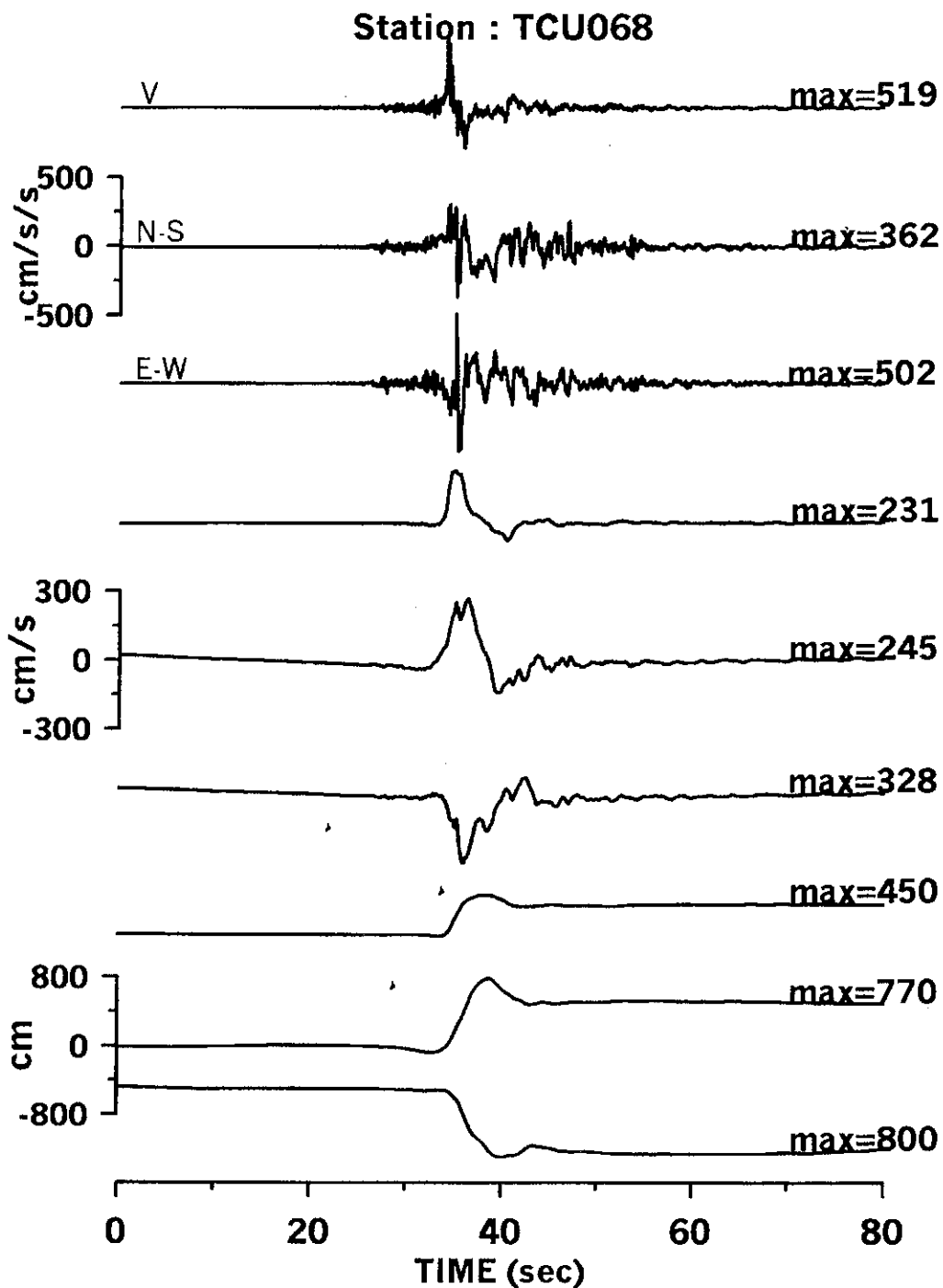
Chi-Chi Earthquake Sequence Along 23.8 N



圖六：集集大地震後餘震剖面分布圖。

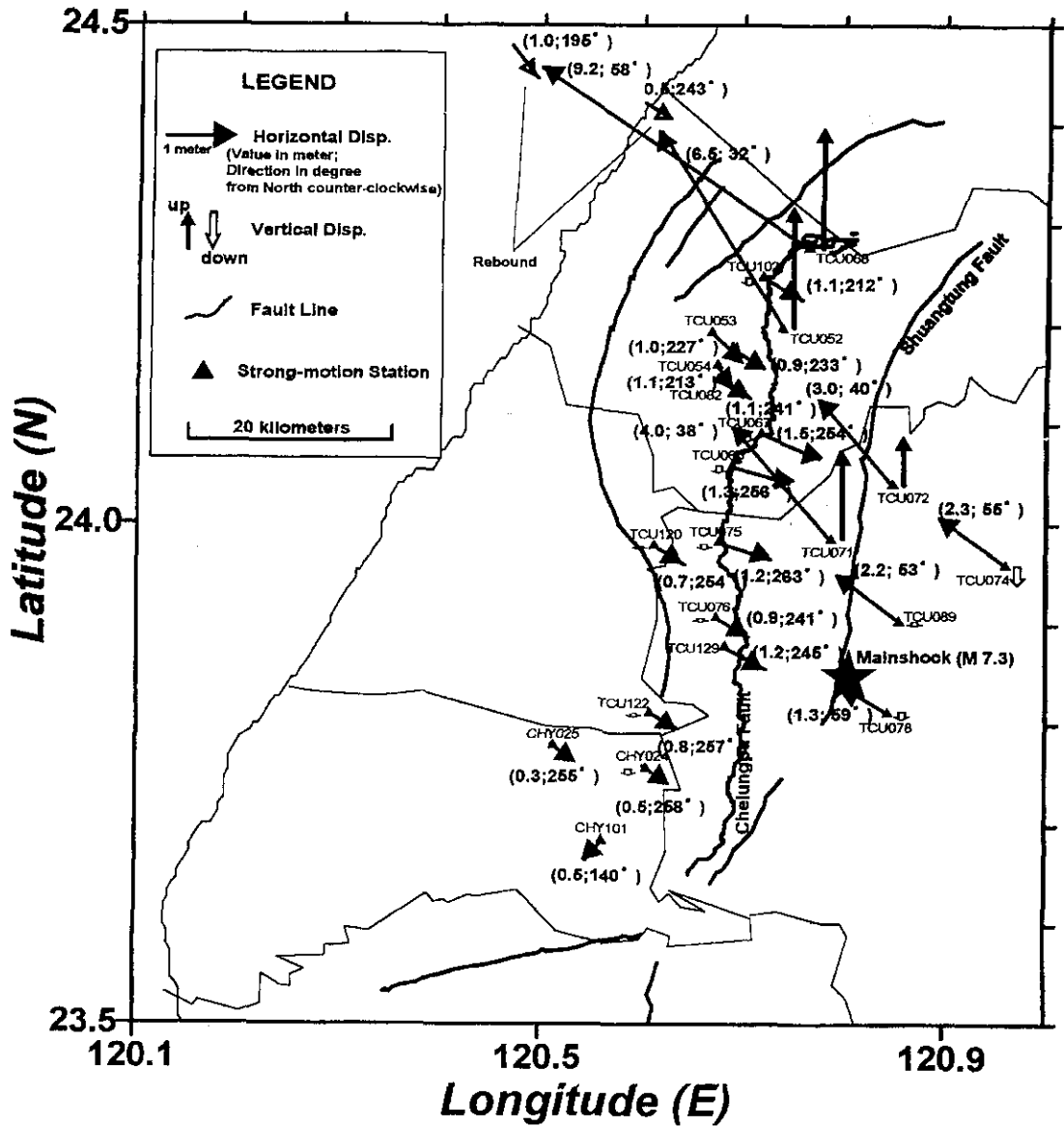


圖七：九二一地震中兩組有最高加速度值（超過 1G）的強震紀錄，其中測站 TCU089 水平成分加速度紀錄有較低頻的現象，應源於測站地質效應。



圖八：強震資料處理的例子。由上而下為測站 TCU068 加速度紀錄再經由積分所得之速度、位移紀錄。

Final Displacement Distribution 21 Sep. 1999 Chi-Chi Earthquake



圖九：向量化永久位移分布圖。整體而言，永久位移分布與衛星影像及野外調查是一致的。括弧裡的兩個數字分別代表水平位移及方向（由北順時鐘方向計算）。另車籠埔斷層的最北端的兩個測站(TCU068 和 TCU052)，用箭頭顯示出彈性回跳的位移與方向。

位移之分布，在斷層最南端向西逆衝，沿著斷層向北移，逆衝量愈來愈大，直至斷層最北端開始轉彎，以致形成平移斷層。亦即斷層錯動方向是由原來的東西向，漸漸變為南北向。進一步發現，其上盤上升量沿斷層線向東遞減，特別是向東至埔里區域時，變成下陷現象。相對地在斷層的下盤也觀察到有向東南下陷運動並呈現遞減。而上盤比下盤有明顯較大的運動量。測站 TCU068 的加速度紀錄經由二次直接積分所得之永久位移量顯示，先有西北方向 9.2 公尺位移運動，然後退回 1 公尺，即達到最後的平衡狀態。類似的位移情形中斷層北端的測站皆可發現（圖八），並以箭頭表示該回彈跳結果。

七、結論

1. 中央氣象局所發展之「台灣地區地震速報系統」，對於台灣島上的地震，有一至三分鐘內即可發布地震消息的能力。其所發布的資訊包括：地震的發震時間、震央、震源深度及等震度分布圖。此等快速發布地震消息能力，在當今世界地震測報工作而言是處於領先地位。此項成果奠定發展強震即時警報系統良好的基礎。中央氣象局發展強震即時警報系統之目標是當台灣東部發生大地震時，在強烈振動未抵達台灣北部及西部都會區以前，藉由該警報系統可提供約 5-10 秒的預警，供重大公共工程進行應變措施。

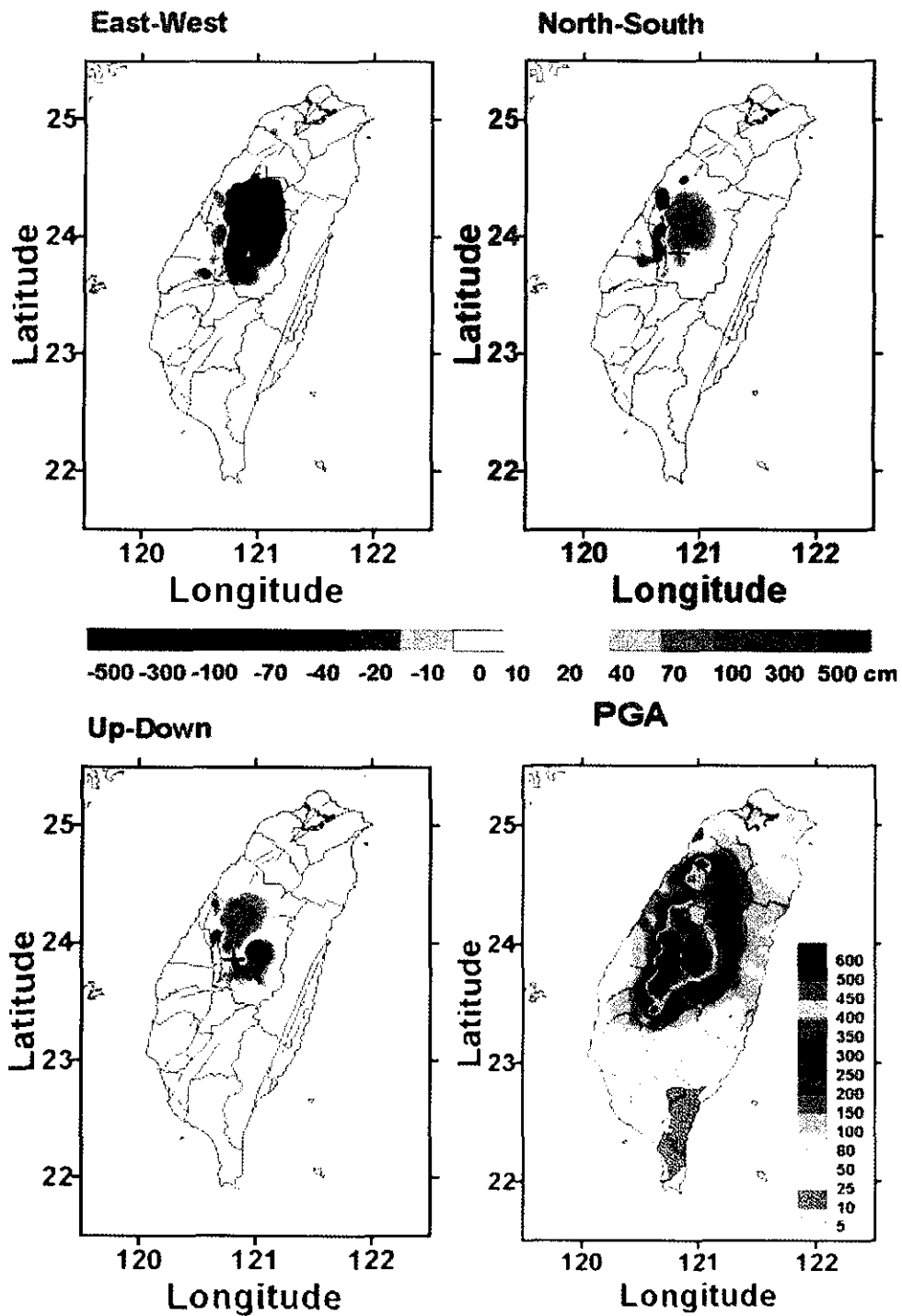
2. 九二一集集大地震的破裂過程比由一般地震測報結果所得複雜，利用台灣地區強震觀測網（TSMIP）所記錄地震資料分析，在主震發生後一分鐘內至少發生三次誘發地震，此結果說明了該地震之等震度圖有南北延伸的現象。而主震其餘震的分布如此廣，與其誘發地震有關。

3. 從自由場強震資料分析所得永久位移，與野外實地調查及衛星遙測的斷層破裂結果是一致的。圖十為集集大地震所造成三向永

久位移分布圖，紅色顯示正向位移即分別向東、北、上，藍色顯示負向位移即分別向西、南、下。主震東南地區雖與車籠埔斷層東邊地區皆有相同西北方向之永久位移，但卻是向下坍塌有別於主震西北地區之舉升，此亦說明集集大地震之宏觀破裂與震源區地殼應變情形。另外，檢視由豐原與東勢間強震測站所推算之永久位移皆存在彈性回跳現象，可解釋該地區複雜的地表破裂。

八、參考資料

- Chung, J.K. and T.C. Shin (1999). Implications of rupture processes from the displacement distribution of strong ground motions recorded during the 21 September Chi-Chi, Taiwan earthquake. Accepted by TAO.
- Lee, W.H.K. and T.C. Shin (1997). Realtime seismic monitoring of buildings and bridges in Taiwan, in "Structural Health Monitoring: edited by F.K. Chang, p. 777-787, Technomic Pub. Co, Lancaster, PA.
- Shin, T.C. (1998). A preliminary study of the earthquake early warning system in the Taiwan area. Meteor. Bull. Vol.42, p. 118-134. (in Chinese).
- Teng, T.L., Y.M. Wu, T.C. Shin, Y.B. Tsai, and W.H.K. Lee (1997). One minute after: strong motion map, effective epicenter, and effective magnitude, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 87, p. 1209-1219.
- Wu, Y.M., T.C. Shin, C.C. Chen, Y.B. Tsai, W.H.K. Lee, and T.L. Teng (1997). Taiwan rapid earthquake information release system, Seism. Res. Letters, Vol. 68, p. 931-943.



圖十：集集大地震所造成三向永久位移分布圖。紅色顯示正向位移即分別向東、北、上，藍色顯示負向位移即分別向西、南、下。右下小圖為 PGA 等值圖，相關標示如圖所示。

SOME SEISMOLOGICAL ASPECTS OF THE CHI-CHI EARTHQUAKE

Peih-Lin Leu, Wen-Chi Hsiao, Tzay-Chyn Shin and Chien-hsin Chang
Seismology Center, Central Weather Bureau

ABSTRACT

The Chi-Chi earthquake is the largest inland earthquake in Taiwan in the 20th century. It caused severe damage in central Taiwan. Three possible induced earthquakes triggered by mainshock are being examined from strong ground motion data. The occurrence of these three triggered events can be used to explain the difference of preliminary isoseismal map issued basing on real-time data and the final one. They can also explain why a wide area of aftershock distribution was observed. On the other hand, the overshoot of ground motion at those stations located near the northern end of ChelungPu fault is probably the reason of complex surface ruptures observed between FengYuan and TungShih.

Keywords: Chi-Chi earthquake, Induced earthquake, Isoseismal map, Overshot

中央氣象局降雨機率預報校驗分析

呂國臣 謝信良
中央氣象局

摘要

本文主要在分析中央氣象局氣象預報人員的降雨機率預報的整體表現情況，利用可靠度分析、技術得分及白氏計分方式探討各地區之降雨機率預報特性，並針對不同月份、不同地區發布的預報結果進行校驗分析，以了解在不同條件下，降雨機率預報之整體表現情形。

經分析校驗 1993 年至 1998 年中央氣象局降雨機率預報，結果發現在逐年的降雨機率預報技術得分方面，有逐年提高之趨勢，顯示氣象局對台灣地區之降雨機率預報之預報技術逐年提升。在台灣各分區之技術得分方面，有北高南低，西高東低，冬季較夏季高的現象。另外，相較於各地區之降雨機率預報的誤差特性，顯示出台灣東半部地區之預報有明顯偏濕現象。由各季節的誤差分布特性發現，三月及五月之整體技術得分最高，而在季節轉換之月份（如四月及十一月）預報技術得分有下降的情形。

關鍵詞：降雨機率預報、技術得分。

一、前言

自有天氣預報以來，便有預報校驗，以驗證天氣預報的準確率。隨著時代昌明、科技發達及社會多元化，民眾對天氣資訊的需求也愈精細，愈多樣化，以天氣預報的種類而言，從定性預報到定量預報，從二分法預報到機率預報，甚至對定點定時預報的需求更感興趣等等，也顯示天氣預報的表示方式亦將愈趨細膩。然而任何資訊收集旨在於採取因應對策，以減少災害損失，換言之，收集資訊的目的在預測，預測的目的在謀對策。反過來說，預防災害的效益繫乎對策的成敗，對策的好壞在於預測的對錯，預測的判斷則來自資訊的準確性（或可信性），所以資訊扮演了決策成敗的重要角色。當然，既然是預報就必須容忍誤差的存在，而且決策者對誤差的量化更不能忽視。當使用者在利用天氣預報資料時也將面對同樣的

問題，天氣預報「準」或「不準」？預報命中率有多少？而透過長期的預報校驗統計結果反應出來的誤差度，將可提供應用天氣預報者決策的重要考量，也是本文討論的目的。

事實上，許多國家發布降雨機率預報已經行之多年，例如美國及日本分別在 1960 及 1982 年起發布實施，對於預報的結果及校驗也有若干成果發表（Winkler and Murphy 1976; Schaefer and Livigston 1990; 立平良三 1990）。中央氣象局從 1993 年起發布降雨機率預報（Probability of Precipitation，簡稱 POP），正式走進機率預報時代，降雨預報由降雨與否之二分法定性預報增加定量的降雨機率預報，有了定量機率預報，便可以做量化的校驗。林（1993）、呂和吳（1995）亦曾對於中央氣象局發布之降雨機率預報進行分析，惟當時校驗資料年限較少，代表性仍稍嫌不足。本文利用六年（1993 至 1998 年）之預報資料，由各種不同角度探討預報準

確度及預報技術得分狀況，以期能更加回饋於降雨機率預報使用者及預報員預報降雨機率時之參考。

由於台灣地區位於亞熱帶，冬天有鋒面降雨，春天有春雨，春夏間有梅雨，夏天即使沒有颱風也常有午後雷陣雨，一年四季各有截然不同的降雨型態。此外，受到中央山脈特殊地形影響下，各地區降雨分布更有明顯差異，深深影響到降雨機率之時空分布。第二節將敘述降雨機率預報實施現況及校驗方法；第三節則描述台灣各地區降雨頻率特性及降雨機率預報值分布特性，藉此可以判斷預報的可信度；第四節主要計算各類型預報誤差及預報技術得分結果之時空分布情形；最後一節係對於歷年（1993-1998 年）現行降雨機率預報的綜合討論。

二、資料收集與分析方法

（一）、資料來源

天氣預報校驗的基本資料，因校驗之預報內容不同而有不同之需求。以降雨機率預報而言，基本上，須要收集預報期間的降雨資料，以判斷有沒有下雨事件發生，另一方面則須要發布之降雨機率預報值以資校驗，依據以上兩種資料便能計算出降雨機率預報的絕對誤差值。而在本文採樣之 1993 至 1998 年期間，氣象局發布降雨機率預報值。資料類型及來源茲簡介如下：

1.降雨資料：氣象局現行降雨機率預報以 12 小時為一時段，以清晨或晚上八點為起始時間，時段內累積雨量達 0.1 公釐以上者判定為有雨，否則為無雨（包含雨跡）。本文取自氣象局 1993 至 1998 年發布降雨機率預報期間，氣象局時雨量資料轉換之降雨事件資料。

2.降雨機率預報值：1993 至 1998 年間，氣象局共 4282 次降雨機率預報，每次包含十六個預報區域未來三個時段的降雨機率預報值，每個預報區域包含一個或兩個氣象觀測站，由於本文採用單點校驗方式，也就是針對氣象站

之降雨機率做校驗，所收集的降雨機率預報值視為各氣象站之預報機率。預報機率以百分之十為單位，由零到一百共十一個等級機率。氣象局發布之降雨機率預報主要取自各值班預報員之預報平均值。

3.月氣候持續降雨頻率：使用 1961 至 1990 年間氣象局各氣象站時雨量資料，計算各氣象站月持續降雨頻率值及持續不降雨頻率值，並考慮月氣候降雨頻率值之日夜差異。例如預報當時之時段已經發生降雨（或未降雨），取樣其未來三個時段（每時段 12 小時）發生降雨之頻率為當月氣候持續降雨頻率。

目前在氣象局預報作業上，以預報觀測點（氣象站）的降雨機率來代表區域降雨機率，如果該區域有兩個氣象站，則取兩者平均值。氣象預報員必須預報包含有 24 個氣象站未來三個時段（每十二小時為一時段）的降雨機率預報值，其中 19 個氣象局所屬的氣象站，5 個為空軍或民航局機場氣象台，共涵蓋十六個預報區域。所以本文採用單點校驗方式，對各氣象站做降雨機率預報值校驗。不過，目前尚未建立空軍及民航局機場氣象台降雨氣候頻率資料，所以本文僅對台灣地區氣象局所屬之 19 個氣象站做校驗分析。

（二）、分析方法

為了解各地區降雨機率預報值的分布特性，將分別討論非條件機率分布和條件機率分布。而在校驗降雨機率預報準確度（絕對誤差）方面，採用均方差代表機率預報準確度，或者稱為白氏計分（Brier Score, 簡稱 BS）。然而預報準確度高，也未必就是有預報技術，例如在沙漠中 100 天之中，僅有一天降雨，即使從來不預報降雨，也有 99% 的預報準確度，但是，準確度未必可以代表具有預報技術。所以是否有預報技術，必須從氣候條件的相對性來分析相對誤差。換言之，比較預報機率值與氣候降雨機率（或某客觀資料），以計算其預報之技術得分，才能判斷預報的好壞。以下將簡要介紹本文分析的方法：

1. 機率預報值非條件及條件分布：非條件分布 $P(f)$ 及 $P(x)$ 表示預報機率值及降雨頻率的出現機率，其中 f 及 x 分別代表降雨機率預報值及有雨 ($x=1$) 或無雨 ($x=0$) 實際發生之事件 (Event)，機率預報值的非條件分布代表各地區分區的預報特性 (為討論方便，下文中 P_0 、 P_{10} ... P_{100} ，分別代表 POP 值為 0%、10%...100%)。而本文在分析降雨機率值條件分布中，分 $P(f|x)$ 及 $P(x|f)$ 兩種，其中 $P(x|f)$ 表示降雨機率值 f (0~100%) 出現時，有雨或無雨的出現機率代表可靠度分布， $P(f|x)$ 同理得之，代表對有雨或無雨事件中，各降雨機率預報值之預報分布比例。

2. 絕對誤差：本文採取白氏計分方式表示預報準確度，計算方式如下：

$$BS = \overline{(P - E)^2}$$

其中 P 為機率預報值 (0%~100%)， E 為實際觀測值 (有雨為 1，無雨為 0)。BS 是一種絕對誤差值，其值介於 0 與 1 之間，預報準確度愈高其值愈低。

3. 相對誤差：採用技術得分 (Skill Score，簡稱 SK)，公式如下：

$$SK = \frac{BS_r - BS_f}{BS_r} \times 100\%$$

其中 BS_r 及 BS_f 分別代表客觀降雨機率

及降雨機率預報值之白氏計分，本文採用之客觀機率預報值為氣候持續機率。技術得分表示機率預報與客觀機率之比較，SK 大於零表示預報較客觀機率好。

三、分區降雨機率預報之頻率分布

台灣地區受中央山脈影響，地區性氣候降雨頻率的分布差異甚大，對各地區發布之降雨機率值的分布情形亦有明顯不同，台灣北部及東北部地區平均年降雨頻率較大，其中以基隆及蘇澳地區 46% 最高，中部、南部及外島地區

降雨頻率較低，東吉島 13% 最低，降雨頻率高低分布有北高南低和東高西低之特徵。以下將分析各地區之降雨機率預報值之頻率分布情況。

(一) 北部地區：

以台北氣象站為校驗點，由 POP 值分布情形 (圖 1a) 發現， P_{10} ($f=10\%$ 之出現頻率) 占全部 POP 值之 20% 最多，隨 f 值增加而遞減。由各 POP 值的可靠度分析發現，各值誤差皆小於 5%，顯示可靠度表校驗誤差度不大。在有雨及無雨的條件分配上 (圖 1b)，無雨個案中之分布較有雨個案之分布集中度高，無雨個案中之分布以 P_{10} 占 25% 最多，隨 f 值增加而遞減，有雨個案則以 P_{40} 及 P_{70} 較大，分布皆在 15% 以下。

(二) 中部地區：

此地區以台中氣象站為校驗點。由 POP 值分布情形 (圖 2a) 發現， P_0 占全部 POP 值 37% 最多， P_{10} 占約有 23% 次之， P_{20} 以後則隨 f 值增加而遞減，其中 P_{40} 以上皆在 5% 以下。由各 POP 值的可靠度分析發現，除 P_{90} 及 P_{100} 之外，皆有預報偏乾之現象，其中 P_{70} 及 P_{80} 偏差較大。在有雨及無雨的條件分配上，無雨的個案中以 P_0 占 47% 最多， P_{10} 有 24% 的占有率 (圖 2b)， P_{20} 以上則隨 f 值增加而迅速遞減。有雨的個案則分布較為均勻， P_{10} 至 P_{60} 皆占 10% 左右，其中以 P_{30} 占 15% 最多， P_{90} 及 P_{100} 較少預報，約僅 2 至 3% 左右。

(三) 南部地區：

此地區以高雄氣象站為校驗點，由 POP 值分布情形 (圖 3a) 發現， P_0 占全部 POP 值 40% 最多， P_{10} 占約有 25% 次之， P_{20} 以後則隨 f 值增加而遞減，其中 P_{40} 以上皆在 5% 以下。由各 POP 值的可靠度分析發現，各預報值間偏差皆不大，並無明顯預報偏乾或偏濕現象。在有雨及無雨的條件分配上，無雨的個案中以 P_0 占 48% 最多， P_{10} 有 26% 的占有率 (圖 3b)。有雨的個案中 P_{10} 至 P_{30} 皆占有 15% 左右，其中以 P_{10} 占約 17% 最多，不過 P_{60} 也有近 10%

的占有率。

（四）東北部地區：

此地區以宜蘭氣象站為校驗點。由 POP 值分布情形（圖 4a）發現，全部 POP 值分布較均勻，除 P0 及 P100 占約在 5%以下外，其他 POP 值皆在 10%左右。由各 POP 值的可靠度分析發現，除 P0 預報偏乾外，其他 POP 值皆預報偏濕，其中 P20、P40、P50、P60 及 P90 偏差 5%以上，整體來講，有預報偏濕的現象。在有雨及無雨的條件分配上（圖 4b），有雨及無雨曲線相當對稱，無雨的個案中以 P10 占 22% 最多，且向 P100 緩慢遞減。有雨的個案中 P80 最多，且向 P0 遞減，顯示對有雨及無雨的預報信心度大。

（五）東部地區：

此地區以花蓮氣象站為校驗點。由 POP 值分布情形（圖 5a）發現，POP 值主要分布在 P10 至 P40 間，其他 POP 值皆占 10%以下。由各 POP 值的可靠度分析發現，除 P60 以下預報偏濕，P70 以上預報偏乾，而且有多數的 POP 值偏差在 5%以上，其可靠度並不理想。在有雨及無雨的條件分配上（圖 5b），其曲線雖然相當明朗，但是有雨與無雨的個案分布曲線相差並不大，由於大多數預報值落在 P10 至 P40 之間，且在在有雨的個案中由 P30 向兩邊遞減，無雨個案由 P20 亦向兩邊遞減，顯示對有雨及無雨的預報信心度不高。

（六）東南部地區：

此地區以台東氣象站為校驗點。由 POP 值分布情形（圖 6a）發現，POP 值主要分布在 P10 至 P30 間，其他 POP 值皆占 10%以下。由各 POP 值的可靠度分析發現，除 P0、P70 及 P90 預報偏乾，其他 POP 值皆預報偏濕，而且大多數的 POP 值偏差在 5%以內。在有雨及無雨的條件分配上（圖 6b），無雨的個案數較集中，P20 最多，約占 35%，且向兩邊迅速遞減，有雨的個案中也是 P20 最多，約占 23%，但向兩邊遞減較慢，顯示對有雨及無雨的預報信心度不大。

由台灣各分區各 POP 值 $P(f)$ 分布特性發現，各地區之預報值有其分布之特性，在台灣北部及東北部地區（台北及宜蘭）較為類似，其中各 POP 值分配較為均勻，各預報值皆在 20%以下；中南部地區則另具特性，由 P0 至 P50 快速遞減，P60 以上則預報量不大，皆在 5%以下；東部及東南部地區也較類似，以 P20 的份量較多，且向兩側遞減。此結果顯示 $P(f)$ 有其區域性之特性，如果以降雨機率代表預報人員對降雨與否的信心度，則中南部地區降雨機率預報值為 0% 的次數在總預報數百分比為 40% 左右，表示，預報人員對於該地區預報不降雨的信心度較各地方大，相對於其他地區，則較有保留。

在可靠度分析而言，北部地區各 POP 值之可靠度差值大多不大（表 1）；中部地區則有多數地方在 P80 及 P90 有預報偏乾現象，尤其在台中地區，有明顯預報偏乾之誤差；其他 POP 值可靠度則誤差較小；東半部地區 P30 至 P60 間普遍預報偏濕，且大多誤差 5%以上，但是部分地區在 P70 及 P80 又有預報偏乾情形；恆春的可靠度分布類似東半部地區有預報偏濕現象；東吉島也有預報偏濕現象，且在 P40 以下其誤差皆在 5%以上，預報有明顯偏濕。由以上現象顯示，對於較不確定之降雨情況（P30~P70），東半部地區之降雨預報有過度悲觀的現象，而對於中部地區之不降雨現象有過度樂觀的現象。

在有雨及無雨個案預報值分配方面，東北部地區有較明顯的乾濕差異，無雨的分布偏向 P0，有雨的分布偏向 P100，顯示預報人員對於此地區之降雨現象有較明確的分辨能力；在西半部地區，無雨部分雖然其分布偏向 P0，但是有雨部分則分布較均勻，且由北向南有逐漸偏向 P0 的現象，可能與氣候降雨頻率由北向南遞減有關；東部及東南部地區兩者分布之差異較模糊，甚至在台東無雨個案中以 P20 占的份量最多，有雨的個案中也以 P20 占最多，顯示預報人員對此地區之降雨與否之辨析能力較差。

四、降雨機率預報之誤差分析

(一)、技術得分

技術得分代表預報值與另一參考值之間之相對誤差。在技術得分之空間分布方面：自 1993 至 1998 年這六年來各地區技術得分(圖 7)皆大於零，顯示相對於氣候降雨機率而言皆有預報技術。就技術得分地理分布來說，北部高於南部，而西部高於東部，本島部分以基隆 24 最高，而以恆春 9 最低。離島之東吉島之技術得分最低，僅為 6。就預報分區而言，技術得分較高者，為北部及東北部，中部次之，其次為南部地區，再其次為東部及東南部。技術得分之地理分布即是對各地區降雨預報技術的優劣，結果顯示，這六年來對於東南部、東部及南部地區降雨的掌握能力較差。

在技術得分之時間序列分布方面：以台灣地區平均技術得分逐年變化而言，1993 年至 1998 年逐年各測站技術得分平均來代表台灣地區平均技術得分，顯示五年來台灣地區對降雨預報技術仍有穩定的成長(圖 8)。其中以第一年(1993)之技術得分較低，可能因為預報人員當時尚未適應的降雨機率預報之預報項目。

台灣地區平均技術得分的逐月變化(圖 9)顯示，兩個高峰值分別出現在三月和五月，分別是台灣地區氣候上的春雨及梅雨季；此外，逐月變化亦顯示，兩個谷值出現在四月和十一月，在氣候上則分別是台灣春雨和梅雨轉換時期，以及秋末入冬之際，這兩個谷值意味著，不同季節性降水型態間的過渡時期，也是降雨預報困難度最高的時期。逐月變化亦顯示，進入冬季後技術得分即逐漸提高，至春季三月達最高值，此反應出台灣地區在氣候上冬季至春季較規律之天氣系統(如鋒面)，所造成的降雨較容易掌握，四月份技術得分則降至 15，可能與台灣地區時值季節交替有關。

(二)、白氏計分

白氏計分代表預報與實際降雨情況間之絕對誤差，其值越大代表誤差越大，換言之也

代表預報準確度越低。

在白氏計分之空間分布方面：圖 10 顯示台灣地區之白氏計分分布情形，中、南部地區以及外島地區(澎湖及東吉島)較低，而北部及東北部地區則較高，其中以成功 0.18 最高。若比較氣候降雨頻率，降雨頻率高的地區其白氏計分也有較高的趨勢，而與技術得分之空間分布比較，可看出西半部地區技術得分較高而白氏計分較低，東半部則相反。

在白氏計分之時間序列分布方面，由台灣地區白氏計分之逐月分布(圖 11)顯示，以冬季之白氏計分較低，夏季較高。換言之，冬季之預報絕對誤差量較小，夏天預報誤差量較大。

五、結論

由 1993 至 1998 年降雨機率預報技術得分顯示，經過 1993 年之適應期後分數較低外，1994 年以後技術得分漸漸穩定成長。顯示整體預報人員對台灣局部地區降雨特性之掌握能力逐漸提升。但因台灣各地區區域性之降雨氣候特性差異很大，所以各地區之降雨機率預報誤差特性也大不相同，尤其在台灣東半部地區有明顯之預報偏濕現象。

由於台灣各地區降雨特性與季節變化相關性頗高，由降雨機率技術得分之逐月變化發現，在季節轉換的月份，技術得分有下降的現象。由降雨機率之預報誤差和技術得分之空間分布分析發現，預報誤差有由北往南，由西往東增加的現象，顯示南部和東部地區之降雨特性仍須更進一步研究。

目前氣象局發布之降雨機率預報主要仍以個別預報人員之主觀預報為主，雖然預報人員完成預報之前已經參考各類預報資訊，但不同預報人員對於相同天氣系統仍常有相左之看法。所以提供較具預報能力之客觀降雨機率預報，可望更能提升降雨機率預報技術。

本文對於降雨機率預報之分析，仍有多方未能深入探討。有未臻完善的地方，或有遺漏部分，還請不吝惠予指教。

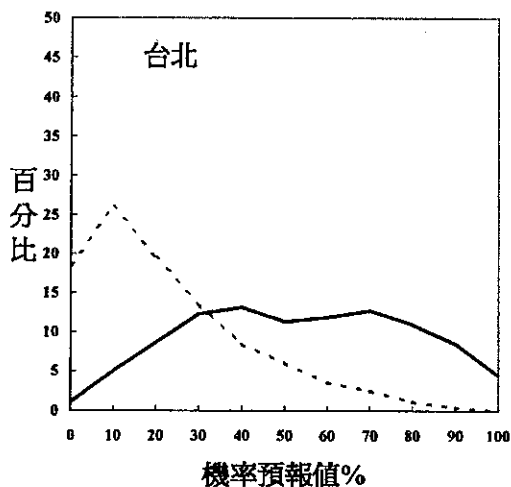
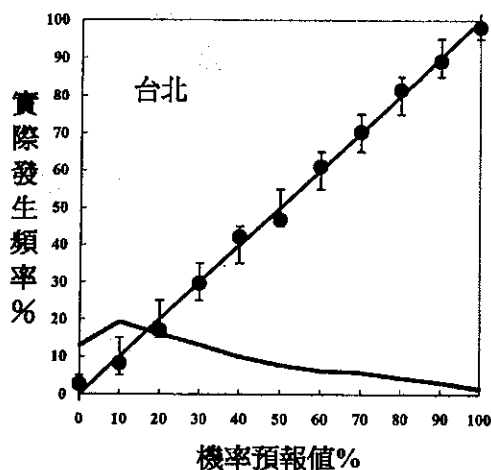
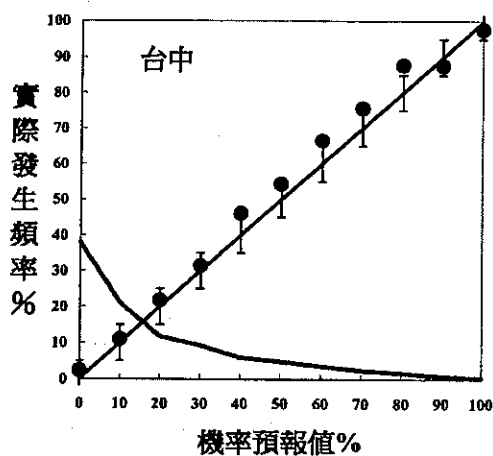
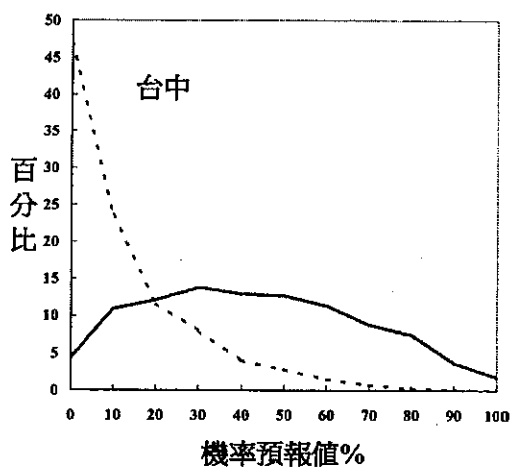


圖 1. 台北(a)各 POP 值所占總預報次數百分比 $P(f)$ (實線)及其可靠度 $P(x=1|f)$ (相對應之點, 對線縱參考差值 $\pm 5\%$) 分布圖(b)有雨 $x=1$ (實線)及無雨 $x=0$ (虛線)之各 POP 值占其預報總數之百分比 $P(x|f)$ 分布圖

Fig1. (a) The reliabilities and percentages of each POP increment for Taipei. (the referenced small vertical axes along the diagonal are $\pm 5\%$) (b) The percentage of each POP increment on the condition of rain solid line or no rain (dashed line).



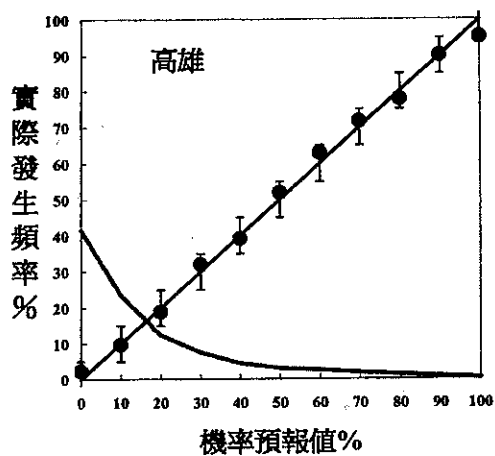
(a)



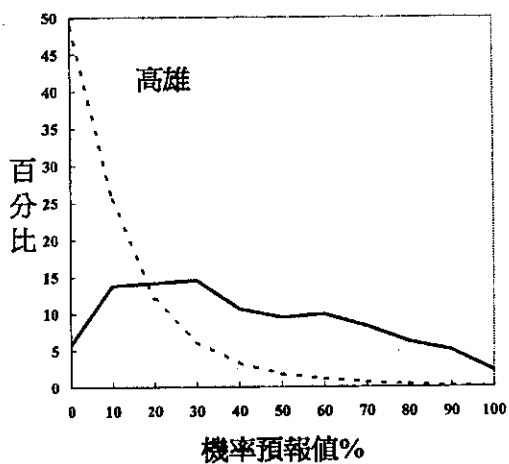
(b)

圖 2. 台中各 POP 值分布(a),(b)圖說如圖 1

Fig2. Same as Fig1., but for Taichung.

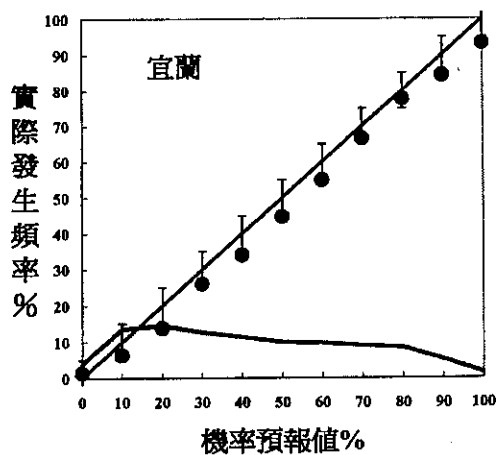


(a)

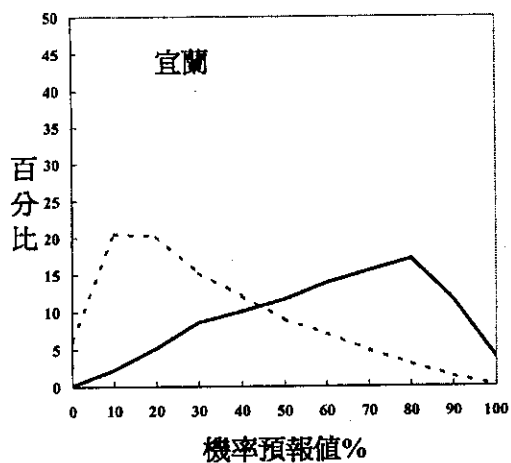


(b)

圖 3. 高雄各 POP 值分布(a),(b)圖說如圖 1
Fig3. Same as Fig1., but for Kaohsiung.

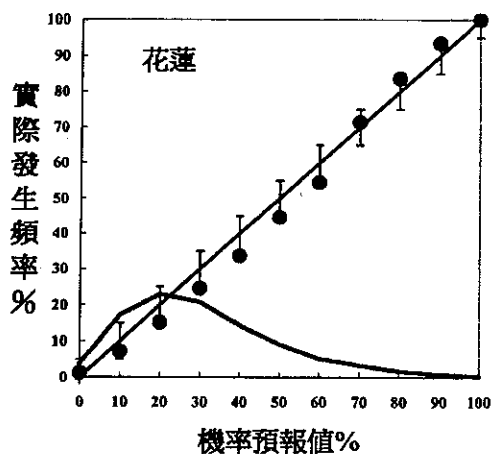


(a)

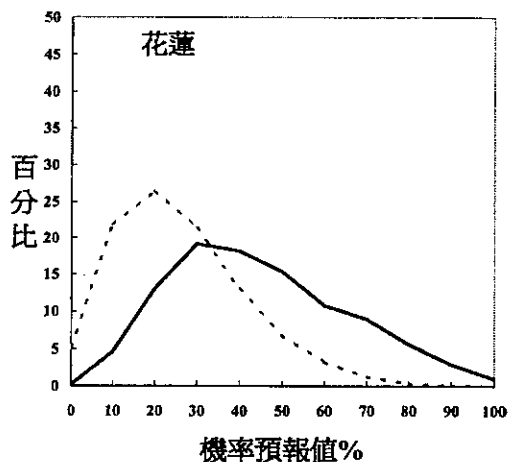


(b)

圖 4. 宜蘭各 POP 值分布(a),(b)圖說如圖 1
Fig4. Same as Fig1., but for Ilan.

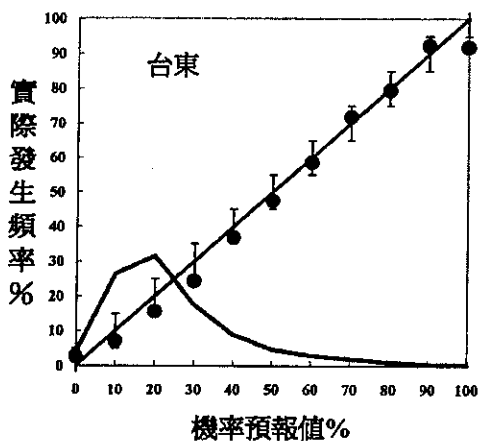


(a)

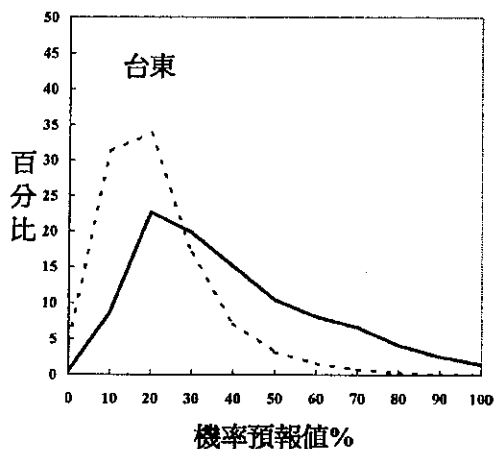


(b)

圖 5. 花蓮各 POP 值分布(a),(b)圖說如圖 1
Fig5. Same as Fig1., but for Hualien.



(a)



(b)

圖 6. 台東各 POP 值分布(a),(b)圖說如圖 1
Fig6. Same as Fig1., but for Taitung.

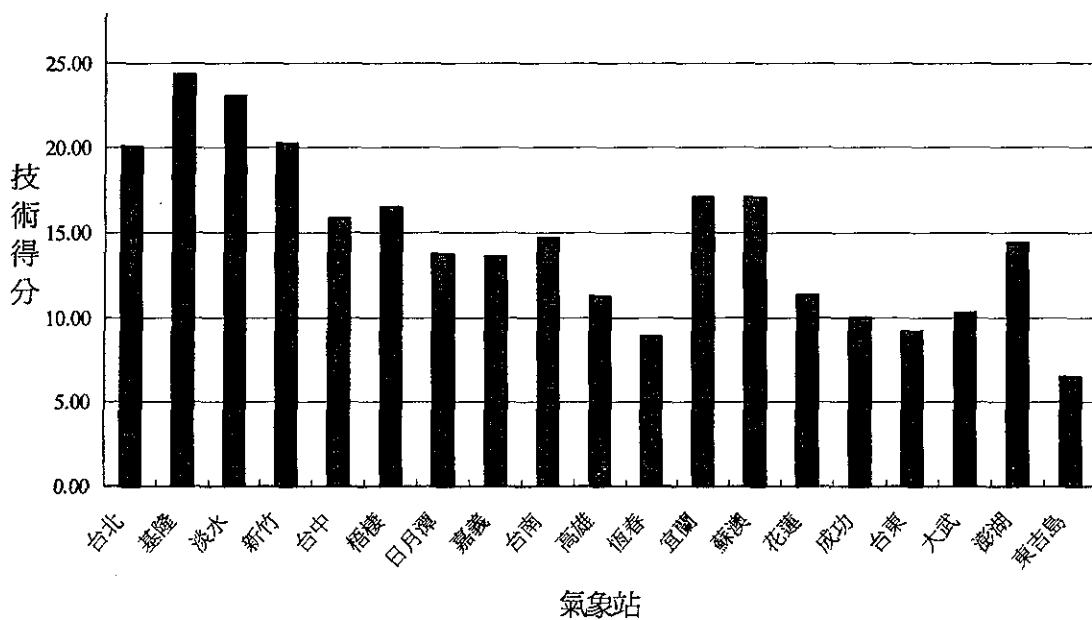


圖 7. 台灣各地區降雨機率預報技術得分分布圖(單位 0.01)

Fig7. The distribution fo skill score on each weather station site (unit=0.01).

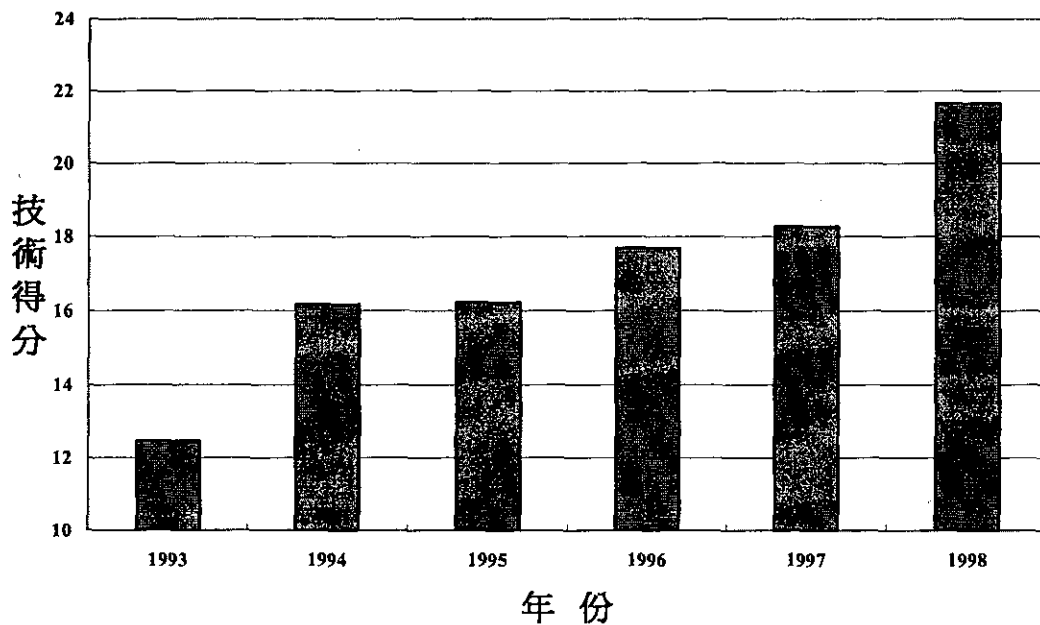


圖 8. 降雨機率預報技術得分逐年分布圖(單位 0.01)

Fig8. The distribution of yearly mean skill score. (unit=0.01).

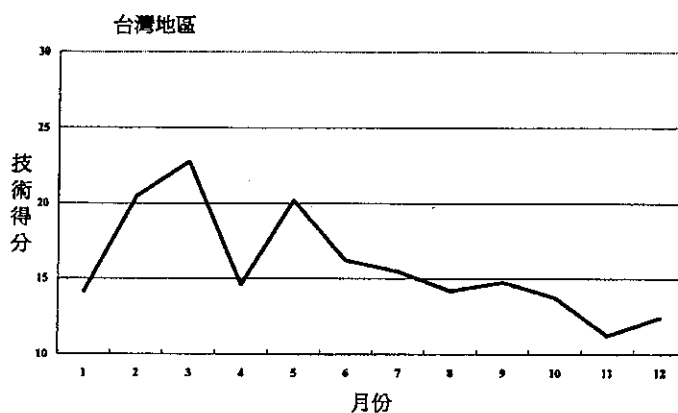


圖 9. 降雨機率預報技術得分平均分分布圖(單位 0.01)

Fig9. The distribution fo monthly mean skill score. (unit=0.01).

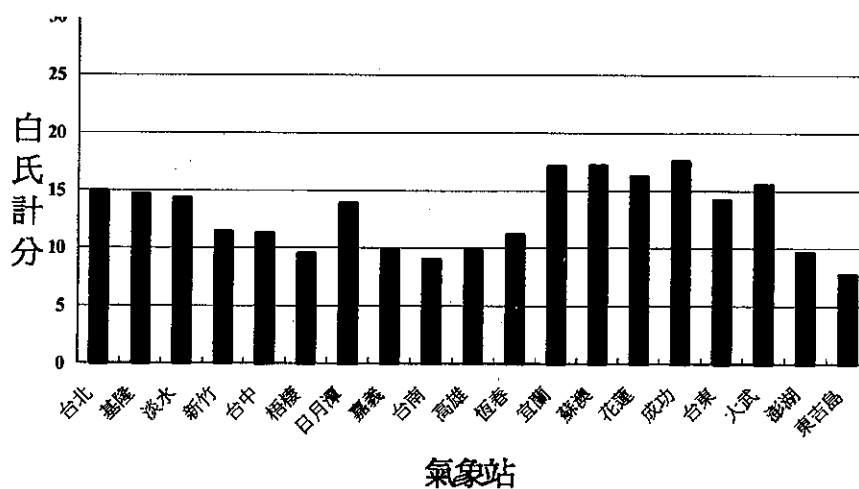


圖 10. 台灣各地區降雨機率預報白氏計分布圖(單位 0.01)

Fig10. The distribution of the Brier score for each weather station site (unit=0.01).

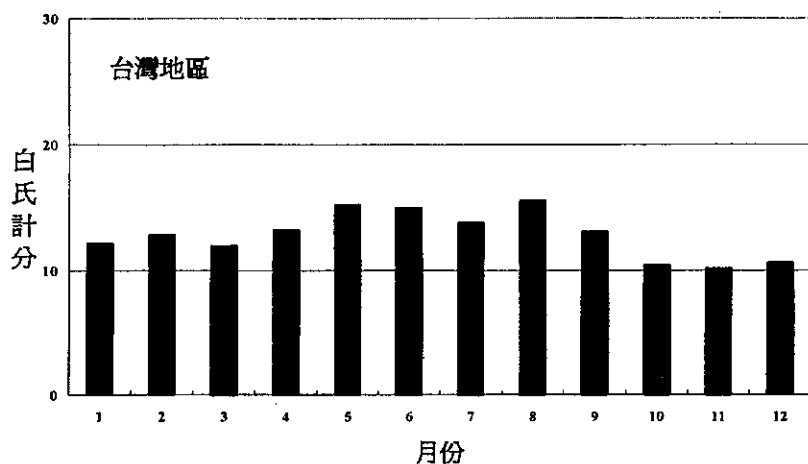


圖 11. 台灣地區白氏計分逐月平均分布圖(單位 0.01)

Fig11. The distribution of monthly mean Brier score. (unit=0.01).

氣象站	P20	P30	P40	P50	P60	P70	P80	P90	P100
台北									
基隆	●	●							
淡水						○	○		
新竹									
台中			○		○	○	○		
梧棲								●	
日月潭								○	
嘉義								●	
台南									
高雄									
恆春		●							●
宜蘭	●		●	●	●			●	●
蘇澳									●
花蓮		●	●	●	●			○	
成功			●	●		●	○		●
台東		●							●

表 1. 各氣象站之降雨機率預報可靠度誤差示意表(●及○分別表示該 POP 值預報偏濕及偏乾 5% 以上者)

Tab1. The error statistics of reliability for each weather station site (●and○ stand for wet bias and dry bias greater than 5 % separately)

參考文獻

- 立平良三,1990:機率預報與即時預報,戚等合譯,氣象局科技中心,94 頁
- 呂國臣和吳德榮,1995:現行降雨機率預報之校驗。天氣分析與預報暨海象測報研討會論文集編,131-141
- 林秀雯,1993:中央氣象局降水機率預報之發展與校驗,天氣分析與預報檢討會論文集編,387-400
- 陳泰然與吳明進,1978:台灣五大城市氣候特性分析,大氣科學,第 5 卷,第 2 期,1-16
- Brier,G.W.,1950: Verification of forecasts expressed in terms of probability, Mon. Wea. Rev., 78, 1-3
- Murphy,A.H.,1988: Skill scores based on the mean square error and their relationships to correlation coefficient. Mon. Wea. Rev., 115, 2417-2424
- Schaefer, J.T. and R.L. Livigston 1990: Operational Implication of Precipitation. Weather and Forecasting, 5, 354-356
- Winkler, R.C. and A.H.Murphy 1976: Point and area precipitation probability forecasts: some experiential results. Mon. Wea. Rev., 104, 86-95

A VERIFICATION ON THE CWB'S PROBABILITY OF PRECIPITATION

Kuo-Chen Lu and Shinn-Liang Shieh
Central Weather Bureau

ABSTRACT

The skill score, Brier score, and reliability of the CWB'S Probabililty of Precipitation (POP) for the period of 1993-1998 were calculated to evaluate the forecasters' performance. Verifications of the POP for each local area and the overall performance for Taiwan were also analyzed.

The result shows that the overall skill score was increasing year by year. By comparing the skill scores of the local area forecasts, we found that the skills used for northern Taiwan are higher than those for southern Taiwan, and those for western Taiwan are better than those for eastern Taiwan. A seasonal difference shows the wintertime skill score is better than that of the summer time. But during the periods of seasonal change, e.g. April and November, the forecast skill is much lower than its seasonal average. According to the spatial distribution of wet and dry biases, we found that a wet bias is signnificantly on the east side of Taiwan and some dry bias on the west side of Taiwan.

Keywords: Probability of Precipitation , Skill Score.

中央氣象局降水機率統計預報之校驗分析： 88 年 4 月 1 日至 6 月 30 日期間

王惠民 陳重功
中央氣象局科技研究中心

蘇長春
美國國家氣象局系統發展辦公室
技術發展實驗室

摘 要

降水機率統計預報之完全預報(Perfect Prog.)自 1998 年四月在本局 WINS 系統線上作業至今已一年多，本文爲了進一步了解其預報表現，針對去年四至六月份降水機率統計預報作校驗。

從預報偏差校驗結果發現在 12、24、36 小時的預報都有明顯的預報偏濕現象，由可靠度分析也發現相同情形，這種誤差主要是由於本局 LAFS 模式在 700 百帕相對濕度場、500 百帕相對濕度場預報偏濕之系統性誤差所致。在此預報期間的平均預報技術得分方面是 7.22；較現行預報作業指引所參考的氣候持續法預報高 7.22%。經過此次校驗得到一值得參考的結論：發展模式輸出統計法(Model Output Statistics)，將是提高目前降水機率統計預報準確度最好的方法。

關鍵詞：完全預報、模式輸出統計法。

一、前言

統計降水機率預報自 1968 年在美國國家氣象局(National Weather Service；NWS)發展至今已三十餘年歷史(Harry R. Glahn；1991)，在發展技術及作業經驗方面已經成熟。本局統計降水機率預報之完全預報(Perfect Prog.；以下簡稱 PP)自 1998 年四月在本局 WINS (Weather Integration and Nowcast System 之簡稱)線上作業至今才一年多，兩相比較下，在發展技術及作業應用之瞭解仍有相當值得改進的空間。在 PP 上線作業一年後，模式曾作過修改，基於此點，本文先就去年梅雨期間統計降水機率預報之表現作校驗，比較全省各個區域間之差異。日後待資料搜集完整後，再陸續針對其他月份作校驗，以比較不同季節預報結果表現之差異，並作為未來發展

MOS(Model Output Statistics 之簡稱)之評估與參考。本局統計降水機率預報之完全預報其發展的方法係利用 1985-1995 年 ECMWF 之 00UTC 及 12UTC 之高度場、溫度場、相對濕度場、風場(U、V 分量)之客觀分析場(Objective analysis；簡稱 Obj)及利用這些 Obj 場所算出之導出場(如渦度場、輻合/輻散場、相對濕度垂直平均場及溫度平流場)作為預報因子(Predictor)及本局 25 個地面觀測站之時雨量資料作為預報元(Predictand)，用統計線性迴歸方法分別發展本局全省 25 個地面觀測站之統計降水機率預報之線性迴歸方程。再利用本局區域細網格模式(Limited Area Forecast System；之簡稱 LAFS)之 12、24、36 小時預報所提供之高度場、溫度場、相對濕度場、風場(U、V 分量)及利用上述變數所算出之導出場作為統計降水機率預報線性迴歸方程所需之預報

因子，代入方程式中求出降水機率預報之預報值，再透過本局 WINS 系統在工作站上提供預報參考(王；1995)。

二、資料來源與校驗方法

本文所使用之資料為 1999 年四至六月份本局局屬 25 個測站逐時雨量資料及同時間本局 LAFS 之客觀分析場及 12、24、36 小時預報場，代入線性迴歸方程所得之降水機率(Probability of Precipitation; 以下簡稱 PoP)值。校驗共分三部分：(1)預報偏差：用 LAFS 12、24、36 小時預報結果代入迴歸方程所得之 PoP 值，減去預報相同時間用 Obj 代入相同迴歸方程所得之 PoP 值之差值作為迴歸方程在 12、24、36 小時預報結果之偏差。(2)預報可靠度：在 4-6 月期間如果預測 60% 的所有個案，正確結果應當是每 100 次有 60 次觀測到下雨；如此，我們統計所有預報降水機率為 60% 的個案中，降雨的個案占有 4-6 月間降雨個案之百分比，若大於 60% 即代表預報偏乾；反之偏濕。因此，0% 至 100% 便有 11 種情形，再分別統計 11 種情形中，偏濕及偏乾之個案數，便可得知某測站預報偏差狀況。(3)技術得分：

$$BS \text{ (Brier Score)} = \overline{(P - E)^2}$$

P：降水機率預測值 E：實際觀測值(有雨為 1，無雨為 0)

$$\text{Skill Score} = \frac{100(BS_c - BS_f)}{BS_c}$$

BS_c ：氣候持續法之 Brier Score

BS_f ：預報之 Brier Score

白氏計分法(Brier Score)是機率預報的平方差的平均(詳細方法請參考氣象局編印之八十二年度氣象預報業務輔導教材)。

三、結果與討論

(1)預報偏差：在預報偏差方面因限於篇幅，本文僅就台灣平地五個分區(北部、中部、南部、東北部、東部)各選一測站代表。北部以台北代表，中部以台中，南部以台南，東北部以宜蘭，東部以花蓮為代表。主要目的想瞭解在迴歸模式發展當初，根據各測站十一年(1985-1995 年)月雨量統計資料所作之分季及分區後，降水機率預報結果是否有季節及區域性的明顯差異。圖一至圖五是統計降水機率預報在此五個地區日間(08-20 LST)及夜間(20-08 LST)12 小時預報偏差，由於 PoP 值算出後作了四捨五入，所以原本就有 10% 的誤差；再加上如果我們容許 10% 的誤差，則 -20% 至 20% 間的誤差可被視為可接受之誤差範圍。如果比 Obj 場代入所得之 PoP 值高出 20% 以上則視為偏濕，低於 20% 以下則視為偏乾。圖中橫座標 20 代表 0 至 20 之間；40 代表 20 至 40 之間，其餘類推，此乃畫圖時橫座標因空間有限無法將所有區間在座標軸上標出所採用之變通方法。由圖一至圖五可發現在 12 小時預報偏差方面，五個代表測站不論是有下雨或沒下雨，均出現預報偏濕較偏乾明顯的現象(偏差值正 20% 以上所占之百分比大於負 20% 以上所占之百分比；本文視預報偏差在正負 20% 之間為可接受之誤差範圍)，此種現象本文視為預報偏濕。圖六至圖十是 24 小時預報偏差，同樣發現偏濕較偏乾明顯，同時預報偏差較 12 小時預報有擴大的現象(偏差值正 20% 以上所占之百分比增加)。圖十一至圖十五是 36 小時預報偏差，仍然是有偏濕的預報誤差。由上述可得到一初步的結論，那就是無論是 12、24、36 小時預報，迴歸模式預報均為偏濕且分布上並無區域性的差異，亦即五個地區所出現偏濕的預報偏差是一致的，同時預報偏差幅度隨著預報時段增長而增加，即 24 小時預報偏濕的情形較 12 小時明顯而 36 小時預報偏濕又較 24 小時明顯。

(2)可靠度(Reliability)分析：表一是用客觀分析場代入迴歸方程所得到 PoP 之可靠度，表中'*'代表偏濕；'#'代表偏乾與偏濕個案相等；其餘為偏乾。由表中可看出大部分測站都是偏乾的。表二至表四是 12、24、36 小時預報之可靠度。從表中可發現除 12 小時預報外，其餘大都是預報偏濕測站數明顯多於預報偏乾的測站數。這與利用客觀分析場所作預報結果正好相反，這隱含著迴歸模式所用的預報因子對 PoP 預報在多數測站可能偏濕，也就是說 LAFS 模式預報的某些預報場預報可能偏濕。

(3)技術得分：表五是 4-6 月份 12、24、36 小時預報之技術得分統計，表中正值表示統計預報較氣候持續法預報好，反之則差。表中發現除了五月份外，日間的預報都比夜間的預報好，這是否因 LAFS 模式預報有日夜變化的現象存在，抑或受氣候持續法預報有日夜變化影響所致，便不得而知，而五月份的預報結果是 4-6 月其間表現最好的，同時預報技術得分隨著預報時段的增長而增加；後者發生的原因可能是氣候持續法預報之準確度隨著預報時間增長而減低，也就是當作 PoP 預報時，若以此為參考，其預報之技術得分會隨時間增長而降低，且其技術得分減低之幅度比統計降水機率預報之技術得分減低之幅度大，故而造成此現象。另外，4-6 月份用客觀分析場代入迴歸方程所作 PoP 預報的技術得分比預報場的技術得分高，這說明如果 LAFS 模式的預報偏差被消除則統計降水機率預報之技術得分應可再提高。

從以上分析可得到一個結論即 LAFS 某些預報場可能存在著預報偏濕的系統性誤差(因 12、24、36 小時預報之偏差情形及五個地區之偏差情形均一致；亦即預報偏濕之情形不因地區或是預報時段之不同而改變)，導致迴歸模式使用這些預報場作為預報因子所作之降水機率預報產生偏濕的預報誤差而影響預報技術得分。這是發展 PP 所不願見到但也是無法避免的。接著我們將進一步檢視預報因子以瞭解

可能是那些預報因子所造成之預報偏濕的結果。表六至表九是統計預報迴歸方程在二至六月所選取之預報因子頻率分佈；X1 是迴歸方程所選取的第一個因子，同理 X2 就是第二個因子，其餘以此類推。0001600 是因子的代碼，前三碼代表層如 000 代表 1000 百帕，而 850 就是代表 850 百帕，4 至 5 碼代表變數，例如 '50' 代表輻合/輻散場，'51' 代表渦度場，'88' 代表相對濕度場，'60' 代表溫度平流場，'01' 代表高度場，'16' 代表溫度場，'48' 代表 U 場，'49' 代表 V 場，'50A88' 代表 500 百帕至 1000 百帕平均相對溼度場。由表六我們發現頻率最高的前三個因子分別是 1000 百帕輻合/輻散場(17 次)、500 百帕濕度場(15 次)、700 百帕濕度場(13 次)；從表七可發現頻率最高的前三個因子分別是 700 百帕濕度場(17 次)、1000 百帕輻合/輻散場(16 次)、500 百帕濕度場(13 次)；而表八頻率最高的前三個因子分別是 700 百帕濕度場(27 次)、850 百帕渦度場(13 次)、1000 百帕輻合/輻散場(12 次)；表九頻率最高的前三個因子分別是 850 百帕渦度場(22 次)、500 百帕濕度場(19 次)、700 百帕濕度場(14 次)。綜合這些預報場再找出頻率最高的前三個因子分別是 700 百帕濕度場(71 次)、500 百帕濕度場(47 次)及 1000 百帕輻合/輻散場(45 次)，由此推論預報偏濕的主要預報誤差來源可能由於 700 百帕濕度場、500 百帕濕度場預報偏濕及 1000 百帕輻合/輻散預報偏"強"所致。為了確認上述推論是否正確，我們進一步分析 LAFS700 百帕及 500 百帕相對濕度之 12、24、36 小時之預報場與其 Obj 場之偏差情形。圖十六至圖十七是 LAFS700 百帕 00 UTC 及 12 UTC 12、24 及 36 小時相對濕度預報場減去 Obj 場所得之偏差值散佈圖(圖中橫座標為資料序號，在此省略)。若以 10%至-10%視為可接受之誤差範圍，從圖十六至圖十七之分析發現無論是 00UTC 或是 12UTC 在零軸以上的點數都較零軸以下稍多，這表示在 700 百帕濕度場預報稍為偏濕。圖十八至圖十九是

500 百帕的情形，從圖分析也發現相同情形但預報偏濕的現象更明顯。由此可知，不管是 00UTC 或者是 12UTC，LAFS 之相對濕度場在 700 百帕及 500 百帕有偏濕的系統性誤差，而在 500 百帕預報偏濕的誤差較 700 百帕大。至於 1000 百帕輻合/輻散部分因當時資料未儲存，故無法做進一步校驗分析。由這些校驗分析可讓我們相信預報誤差的主要原因是 LAFS 在 700 及 500 百帕濕度場預報偏濕的結果。

四、結論與建議

1、從預報偏差校驗及可靠度分析發現，迴歸模式預報結果偏濕。這種預報偏差主要是由於 LAFS 在 700 百帕及 500 百帕相對濕度場，預報偏濕之系統性誤差所致。

2、對於預報技術得分，呈現隨預報時段增長而高的現象，此應是氣候持續法預報之準確度隨預報時間增長而減低之結果，而在此預報期間的平均預報技術得分方面是 7.22；較現行預報作業指引所參考的氣候持續法預報高 7.22%。

3、未來提高統計迴歸降水機率預報準確度，應著重在如何減低數值模式預報產生之系統性誤差所造成之負面影響，而發展 MOS 應是

較可行且能符合此一需求的方法。

五、誌謝

感謝賀介圭及羅存文小姐所提供之資料和協助使本文能順利完成。

六、參考文獻

王惠民，1995：赴美接受模式統計預報訓練報告書。

中央氣象局，1993：八十二年度氣象預報業務輔導教材。

Glanh，H，R.，1991：The evolution and use of statistical guidance forecasts in the United States. WMO training workshop on the interpretation of NWP products in terms of local phenomena and their varifications.

表一 4-6 月統計迴歸降水機率預報客觀分析場預報可靠度分析

Table 1. Reliability analysis of statistical regression forecasts on PoP using LAFS objective analysis data during Apr. through Jun. In 1999.

站名	個案 時段	夜間 (20-08)		日間 (08-20)		總數	
		W	D	W	D	W	D
台北		2	5	2	5	4	9
# 基隆		2	5	5	2	7	7
* 淡水		4	3	5	4	9	7
* 新竹		7	2	6	2	13	4
# 台中		2	5	5	2	7	7
* 梧棲		3	3	5	2	8	5
日月潭		1	9	3	3	4	12
* 嘉義		3	4	5	3	8	7
台南		2	6	5	4	7	10
* 高雄		4	3	3	2	7	5
恆春		2	4	2	5	4	9
宜蘭		1	7	4	4	5	11
蘇澳		2	7	3	6	5	13
花蓮		2	6	5	2	7	8
成功		0	7	3	4	3	11
台東		2	5	1	5	3	10
大武		0	6	2	6	2	12
* 澎湖		3	4	5	3	8	7
# 東吉島		4	4	3	3	7	7
鞍部		4	5	2	4	6	9
竹子湖		3	4	2	3	5	7
彭佳嶼		2	5	3	4	5	9
阿里山		0	9	5	2	5	11
玉山		0	7	3	6	3	10
* 蘭嶼		4	5	5	3	9	8

* 偏濕個案較多

偏濕個案與偏乾個案數相等

其餘為偏乾個案較多

W:偏濕

D:偏乾

附註: 偏濕: 7 偏乾: 15 偏濕與偏乾相等: 3

表二 同表一，但為 12 小時預報

Table 2. Same as Table 1, except for LAFS on 12-h projection.

站名	個案 時段	夜間 (20-08)		日間 (08-20)		總數	
		W	D	W	D	W	D
# 台北		W:4	D:4	W:5	D:5	W:9	D:9
* 基隆		W:3	D:5	W:5	D:2	W:8	D:7
* 淡水		W:4	D:4	W:7	D:2	W:11	D:6
* 新竹		W:7	D:1	W:7	D:3	W:14	D:4
* 台中		W:3	D:4	W:6	D:2	W:9	D:6
* 梧棲		W:3	D:4	W:5	D:1	W:8	D:5
* 日月潭		W:5	D:3	W:4	D:4	W:9	D:7
* 嘉義		W:3	D:4	W:6	D:1	W:9	D:5
* 台南		W:3	D:5	W:6	D:0	W:9	D:5
高雄		W:3	D:4	W:3	D:3	W:6	D:7
恆春		W:2	D:3	W:2	D:3	W:4	D:6
宜蘭		W:2	D:6	W:4	D:4	W:6	D:10
蘇澳		W:3	D:2	W:2	D:5	W:5	D:7
# 花蓮		W:1	D:3	W:4	D:2	W:5	D:5
成功		W:1	D:7	W:5	D:2	W:6	D:9
台東		W:1	D:3	W:1	D:4	W:2	D:7
大武		W:1	D:5	W:0	D:4	W:1	D:9
* 澎湖		W:4	D:6	W:6	D:2	W:10	D:8
# 東吉島		W:2	D:4	W:5	D:3	W:7	D:7
鞍部		W:3	D:6	W:3	D:3	W:6	D:9
竹子湖		W:2	D:3	W:3	D:4	W:5	D:7
彭佳嶼		W:2	D:4	W:1	D:2	W:3	D:6
* 阿里山		W:4	D:3	W:6	D:1	W:10	D:4
玉山		W:3	D:4	W:4	D:4	W:7	D:8
* 蘭嶼		W:4	D:3	W:4	D:4	W:8	D:7

符號說明同表一

附註: 偏濕: 11 偏乾: 11 偏濕與偏乾相等: 3

表三 同表一，但為 24 小時預報

Table 3. Same as Table 1, except for LAFS on 24-h projection.

<div> <div>時 段</div> <div>個 案</div> <div>站 名</div> </div>	夜 間 (20-08)		日 間 (08-20)		總 數	
* 台 北	W: 4	D: 3	W: 5	D: 4	W: 9	D: 7
* 基 隆	W: 6	D: 3	W: 2	D: 3	W: 8	D: 6
* 淡 水	W: 5	D: 2	W: 4	D: 4	W: 9	D: 6
* 新 竹	W: 7	D: 1	W: 6	D: 2	W: 13	D: 3
* 台 中	W: 8	D: 1	W: 3	D: 5	W: 11	D: 6
* 梧 棲	W: 8	D: 0	W: 2	D: 2	W: 10	D: 2
* 日 月 潭	W: 5	D: 2	W: 6	D: 3	W: 11	D: 5
* 嘉 義	W: 8	D: 1	W: 4	D: 5	W: 12	D: 6
* 台 南	W: 8	D: 1	W: 3	D: 5	W: 11	D: 6
* 高 雄	W: 6	D: 1	W: 3	D: 6	W: 9	D: 7
# 恆 春	W: 4	D: 3	W: 3	D: 4	W: 7	D: 7
* 宜 蘭	W: 6	D: 1	W: 2	D: 5	W: 8	D: 6
蘇 澳	W: 3	D: 6	W: 4	D: 4	W: 7	D: 10
花 蓮	W: 4	D: 2	W: 1	D: 4	W: 5	D: 6
成 功	W: 5	D: 2	W: 1	D: 6	W: 6	D: 8
台 東	W: 2	D: 4	W: 2	D: 3	W: 4	D: 7
大 武	W: 5	D: 4	W: 3	D: 6	W: 8	D: 10
* 澎 湖	W: 7	D: 1	W: 3	D: 3	W: 10	D: 4
* 東 吉 島	W: 7	D: 2	W: 2	D: 4	W: 9	D: 6
鞍 部	W: 3	D: 4	W: 1	D: 6	W: 4	D: 10
竹 子 湖	W: 3	D: 4	W: 3	D: 6	W: 6	D: 10
* 彭 佳 嶼	W: 5	D: 3	W: 3	D: 4	W: 8	D: 7
* 阿 里 山	W: 8	D: 1	W: 5	D: 4	W: 13	D: 5
玉 山	W: 7	D: 4	W: 2	D: 7	W: 9	D: 11
* 蘭 嶼	W: 4	D: 2	W: 4	D: 5	W: 8	D: 7

符號說明同表一

附註: 偏濕: 16 偏乾: 8 偏濕與偏乾相等: 1

表四 同表一，但為 36 小時預報

Table 2. Same as Table 1, except for LAFS on 36-h projection.

站名	個案 時段	夜間 (20-08)		日間 (08-20)		總數	
		W	D	W	D	W	D
* 台北		W:5	D:3	W:4	D:2	W:9	D:5
* 基隆		W:5	D:4	W:6	D:3	W:11	D:7
# 淡水		W:3	D:4	W:5	D:4	W:8	D:8
* 新竹		W:7	D:2	W:7	D:2	W:14	D:4
* 台中		W:4	D:4	W:8	D:1	W:12	D:5
* 梧棲		W:5	D:2	W:6	D:2	W:11	D:4
* 日月潭		W:5	D:1	W:5	D:4	W:10	D:5
* 嘉義		W:2	D:4	W:8	D:1	W:10	D:5
* 台南		W:3	D:4	W:8	D:1	W:11	D:5
# 高雄		W:1	D:5	W:5	D:1	W:6	D:6
* 恆春		W:4	D:2	W:5	D:3	W:9	D:5
宜蘭		W:2	D:6	W:5	D:3	W:7	D:9
蘇澳		W:4	D:4	W:2	D:5	W:6	D:9
花蓮		W:1	D:4	W:3	D:1	W:4	D:5
* 成功		W:3	D:6	W:7	D:1	W:10	D:7
* 台東		W:4	D:5	W:5	D:2	W:9	D:7
大武		W:2	D:5	W:5	D:4	W:7	D:9
* 澎湖		W:3	D:3	W:6	D:1	W:9	D:4
東吉島		W:1	D:5	W:6	D:4	W:7	D:9
鞍部		W:4	D:5	W:4	D:4	W:8	D:9
* 竹子湖		W:6	D:3	W:3	D:5	W:9	D:8
* 彭佳嶼		W:4	D:3	W:5	D:4	W:9	D:7
* 阿里山		W:5	D:3	W:8	D:1	W:13	D:4
* 玉山		W:3	D:4	W:7	D:3	W:10	D:7
* 蘭嶼		W:4	D:3	W:3	D:3	W:7	D:6

符號說明同表一

附註: 偏濕: 17 偏乾: 6 偏濕與偏乾相等: 2

表五 四至六月統計迴歸降水機率預報技術得分

Table 5. Overall skill score of statistical regression forecasts on PoP during Apr. through Jun. in 1999.

4 月份統計迴歸降水機率預報技術得分

技術得分 預報時段 \ 時段	日 間(08-20)	夜 間(20-08)
12 小時預報	-1.30	-9.73
24 小時預報	1.44	-1.46
36 小時預報	4.73	0.63

5 月份統計迴歸降水機率預報技術得分

技術得分 預報時段 \ 時段	日 間(08-20)	夜 間(20-08)
12 小時預報	9.0	14.28
24 小時預報	8.27	17.45
36 小時預報	13.80	15.66

6 月份統計迴歸降水機率預報技術得分

技術得分 預報時段 \ 時段	日 間(08-20)	夜 間(20-08)
12 小時預報	-2.2	-11.13
24 小時預報	3.23	-7.65
36 小時預報	5.14	0.2

4 - 6 月份統計迴歸降水機率預報與客觀分析場降水機率預報技術得分之比較

12 小時預報	0.72	客觀分析場預報
24 小時預報	7.27	_____
36 小時預報	12.59	_____
總 分	7.22	10.81

表六 二、三、四月份 08-20 降水機率預報因子頻率分析（代號說明請見內文）

Table 6. Predictors selected by regression equations for PoP forecasts in the period of 08-20 LST during Feb. through Apr. in 1999.

因子 \ 順序	Total	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
0001600	1				1				
0004800	6		3		1		1	1	
0004900	7	1	2	3			1		
0005000	17		1	9	1	3	1	1	1
0005100	5		4		1				
0006000	3		1			2			
8500100	4		2			2			
8504800	5					2	2	1	
8504900	2				1			1	
8505000	1					1			
8505100	5		3	1	1				
8506000	3				1		2		
8508800	5	3			2				
7000100	6	1	1	1	3				
7001600	2							2	
7004800	6		2	2		1	1		
7004900	4		1		2	1			
7006000	6			2		2	2		
7008800	13	7	2	1	2		1		
5004800	1						1		
5004900	8			2	2	3			1
5006000	1			1					
5008800	15	7	3	2	1	1	1		
50A8800	9	6		1	1				1

表七 二、三、四月份 20-08 降水機率預報因子頻率分析

Table 7. Same as Table 6, except for 20-08 LST.

因子 \ 順序	Total	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
0001612	1				1			
0004812	4		2			2		
0004912	5	1	3				1	
0005012	16		2	8	1	3	2	
0005112	5		1		3	1		
0006012	1				1			
8500112	5		3		1		1	
8504812	1							1
8505012	7		2	2	1	1	1	
8505112	4		1		1	1	1	
8506012	4		2		2			1
8508812	5	3		2				
7000112	10	2	5	1	2			
7001612	1					1		
7004812	3		1	1	1			
7004912	1							1
7008812	17	10	1	2	4			
5001612	1					1		
5004912	1			1				
5008812	13	3	2	6		2	1	
50A8812	7	6			1			

表八 二、三、四月份 08-20 降水機率預報因子頻率分析

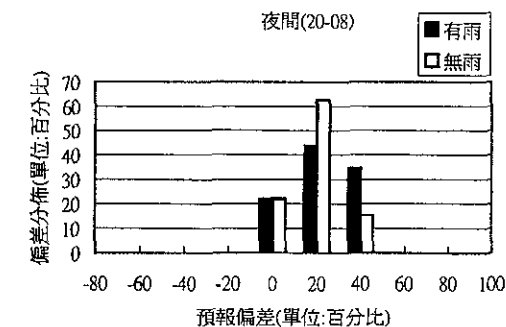
Table 8. Same as Table 6, except for May. Through Jun. in 1999.

順序 因子	Total	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
0000100	5	1	2	1	1				
0001600	2				1		1		
0004800	7	1	2	3				1	
0004900	4		2			1		1	
0005000	12		6	1	1	3	1		
0005100	2			1					1
0006000	3			1	1			1	
0008800	7				1	4	1	1	
8500100	1	1							
8501600	1				1				
8504800	6				1	1	2	2	
8504900	7		4			1	1		1
8505100	13	5	1	2	1	2	2		
8506000	4				2		1		1
8508800	6	2		1	1	2			
7000100	6	2		2	1	1			
7001600	1				1				
7004900	9		3	5	1				
7005000	3			1		1	1		
7005100	2	1					1		
7006000	1				1				
7008800	27	12	4	4	6	1			
5000100	2				2				
5001600	1						1		
5004800	3			1	1	1			
5004900	5		1	2	1	1			
5005000	4						2	1	1
5005100	2					1	1		

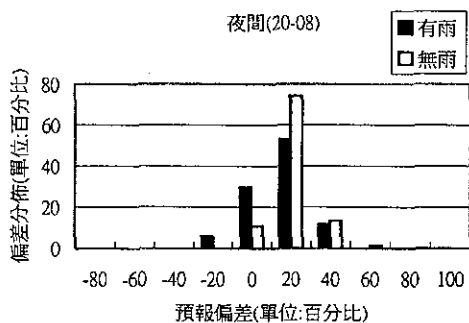
表九 五、六月份 20-08 降水機率預報因子頻率分析

Table 9. Same as Table 8, except for 20-08 LST.

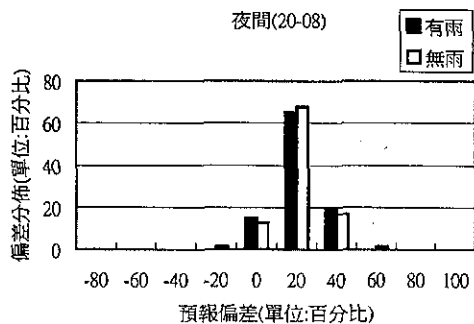
順序 因子	Total	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
0001612	4		1	1		2			
0004812	5				1	3		1	
0004912	9	1	3	2	1	2			
0005012	7			3	3	1			
0005112	7	1		1	1	3	1		
0006012	3				1	1		1	
0008812	2				1		1		
8501612	2			1		1			
8504812	4				1		3		
8504912	7		3	2		1	1		
8505012	2						1		1
8505112	22	6	9		3	2	1		1
8508812	8	2		2	2			2	
7001612	2		1		1				
7004812	2		1	1					
7004912	7			3	3	1			
7005012	1						1		
7005112	2		1		1				
7008812	14	11		2	1				
5000112	6		3		1	2			
5001612	4			2		2			
5004812	1						1		
5005012	1						1		
5008812	19	4	3	5	3	1	2		1



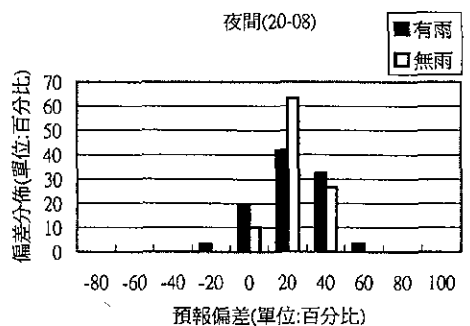
圖一 台北測站夜間及日間12小時降水機率預報偏差
Fig 1. Forecasting bias of 12-h PoP forecasts for 12-h projection of Taipei during night time and day time.



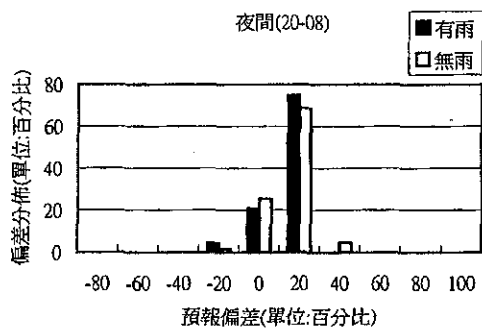
圖三 同圖一,但為台南測站
Fig 3. Same as fig 1,except for Tainan.



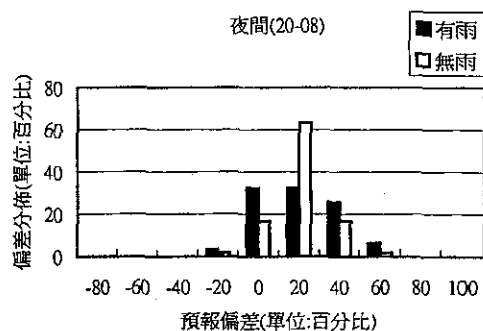
圖二 同圖一,但為台中測站
Fig 2. Same as fig 1,except for Taichung.



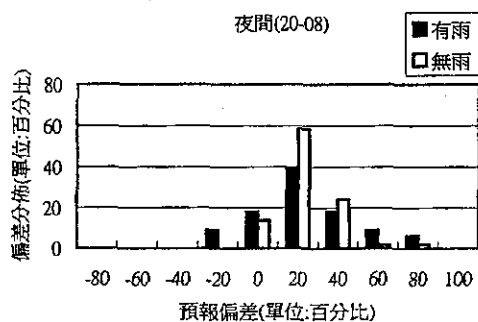
圖四 同圖一,但為宜蘭測站
Fig 4. Same as fig 1,except for Ilan.



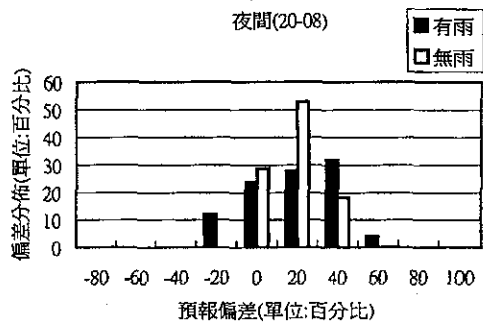
圖五 同圖一,但為花蓮測站
Fig 5. Same as fig 1, except for Hualien .



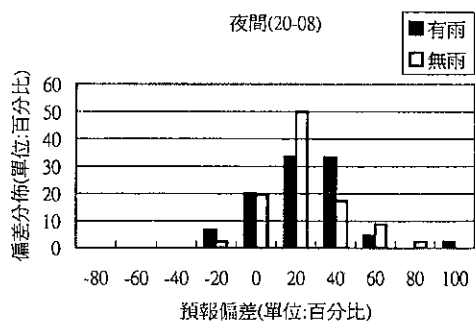
圖七 同圖六,但為台中測站
Fig 7. Same as fig 6, except for Taichung .



圖六 同圖一,但為24小時預報
Fig 6. Same as fig 1, except for 24-h projection .

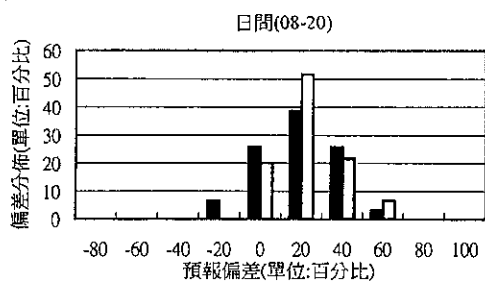


圖八 同圖六,但為台南測站
Fig 8. Same as fig 6, except for Tainan .



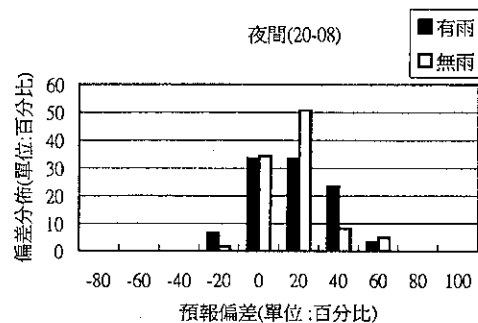
圖九 同圖六,但為宜蘭測站

Fig 9. Same as fig 6, except for Ilan.



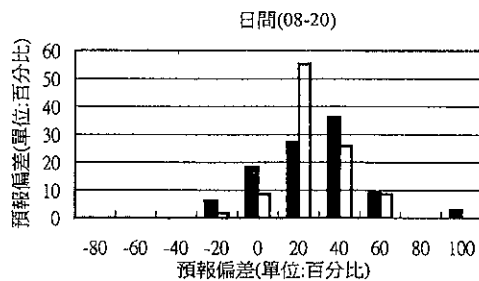
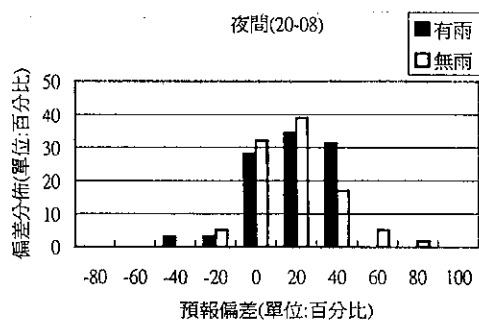
圖十 同圖六,但為花蓮測站

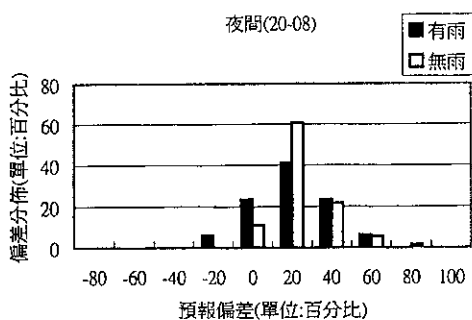
Fig 10. Same as fig 6, except for Hualien.



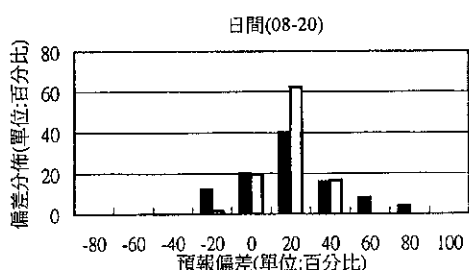
圖十二 同圖十一,但為台中測站

Fig 12. Same as fig 11, except for Taichung.

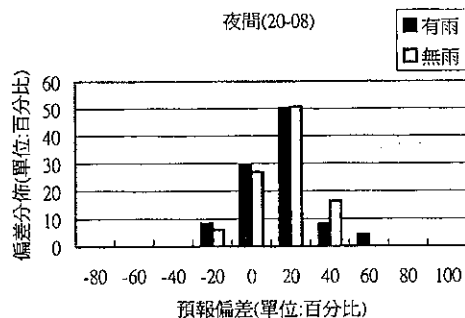
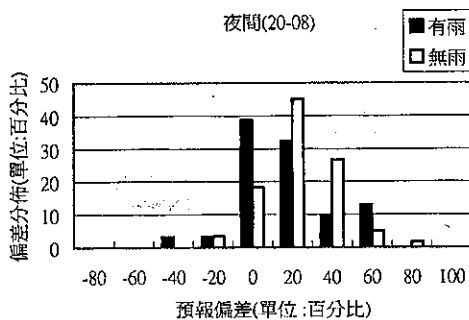




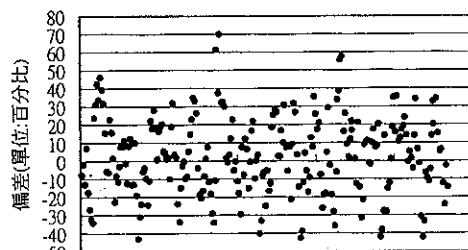
圖十三 同圖十一,但為台南測站
Fig 13. Same as fig 11,except for Tainan.



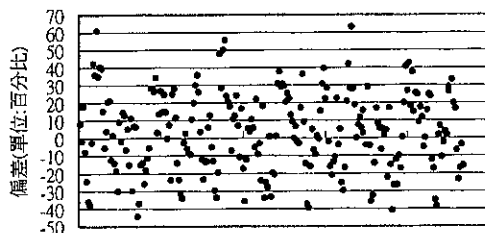
圖十四 同圖十一,但為宜蘭測站
Fig 14. Same as fig 11,except for Yilan.



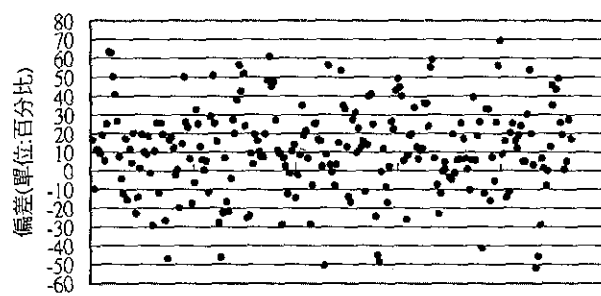
圖十五 同圖十一,但為花蓮測站
Fig 15. Same as fig 11,except for Hualien.



圖十六 00 UTC 12,24,36小時700百帕相對濕度
場預報與obj.場偏差之散佈圖
Fig 16. Scatter diagram of bias between forecast and
obj. field on 700 hPa relative humidity of 00 UTC for
12-h,24-h and 36-h projections.

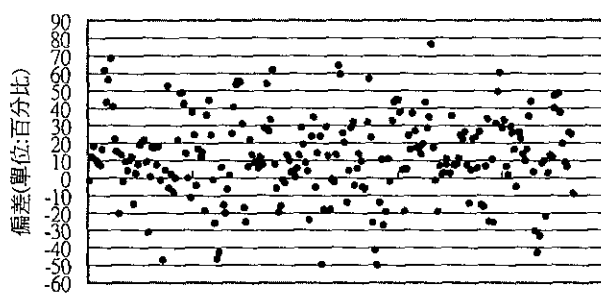


圖十七 同圖十六,但為12 UTC
Fig 17. Same as fig 16,except for 12 UTC.



圖十八 同圖十六,但為500百帕

Fig 18. Same as fig 16,except for 500 hPa .



圖十九 同圖十八,但為12 UTC

Fig 19. Same as fig 18,except for 12 UTC .

AN EXAMINATION ON THE PROBABILITY OF PRECIPITATION STATISTICAL PREDICTION OF THE CENTRAL WEATHER BUREAU : DURING THE PERIOD FROM 1 APRIL TO 30 JUNE 1999

Huei Min Wang and Jong Gong Chern
Research & Development Center, Central Weather Bureau
James C. Su
Techniques Development Laboratory
Office of Systems Development
National Weather Service • NOAA

ABSTRACT

The perfect prog of probability of precipitation statistical prediction guidance implemented on the WINS system of the Central Weather Bureau and operated in April 1998 has been over one year. With the purpose of knowing the performance, this article verified the output of probability of precipitation statistical prediction guidance from April to June 1999.

From the forecasting verification, we found that the regression model for 12-h, 24-h and 36-h projections had a wet bias. The reliability analysis also revealed the same bias. This systemic error was caused by the LAFS output overforecasting of 700 hPa relative humidity, 500 hPa relative humidity. During this period, the overall skill score was 7.22 which means the performance of regression model improved over climatology persistence forecasting guidance was 7.22%. Through this examination, we conclude that the MOS (Model Output Statistics) development in the future is the best way to improve the accuracy of precipitation prediction.

Keywords: Perfect Prog, Model Output Statistics.

民國八十七年颱風調查報告—妮蔻兒颱風(9801)

丘台光
中央氣象局氣象衛星中心

摘 要

妮蔻兒(NICHOLE)颱風為 87 年西北太平洋第一個生成的颱風，原為滯留在南海的低壓擾動，隨著太平洋高壓逐漸東退，低壓擾動沿著高壓邊緣北上進入東沙島海域，而於 7 月 8 日 14 時增強為熱帶性低氣壓，移動方向仍持續向北，9 日 8 時發展為輕度颱風妮蔻兒往東北移動，9 日 20 時更轉向東北東移動，妮蔻兒颱風於 10 日凌晨 1 時 40 分左右在台南安平港附近登陸，其中心在台南附近呈現打轉現象且強度逐漸減弱；10 日 5 時開始緩慢往北移動，於 10 日 7 時左右由嘉義附近出海，強度減弱為熱帶性低氣壓，並轉向北北西移動，逐漸遠離台灣陸地。中央氣象局對妮蔻兒颱風的 24 小時預報位置誤差為 129 公里，而相對於其他各種預報結果，仍為較佳的表現。妮蔻兒雖為輕度颱風，但卻對南部台南、高雄地區帶來豪雨及強風，造成農業損失新台幣兩億六千九百萬元。

關鍵字：輕度颱風、登陸、豪雨

一、前言

妮蔻兒(NICHOLE)颱風，編號 9801 號，為 87 年西北太平洋第一個生成的颱風，也是中央氣象局第一次發布颱風警報的颱風。妮蔻兒颱風原為滯留在南海的低壓擾動，隨著太平洋高壓逐漸東退，低壓擾動沿著高壓邊緣北上進入東沙島海域，而於 7 月 8 日 14 時增強為熱帶性低氣壓，移動方向仍持續向北(圖 1)。隨後此熱帶性低氣壓於 9 日 2 時開始轉向北北東，9 日 8 時發展為輕度颱風妮蔻兒往東北移動，9 日 20 時更轉向東北東移動，妮蔻兒颱風於 10 日凌晨 1 時 40 分左右在台南安平港附近登陸，其中心在台南附近呈現打轉現象且強度逐漸減弱；10 日 5 時開始緩慢往北移動，強度仍持續減弱。妮蔻兒颱風於 10 日 7 時左右由嘉義附近出海，強度也減弱為熱帶性低氣壓，並轉向北北西移動，逐漸遠離台灣陸地。其最佳路徑如圖 1 及表 1。

妮蔻兒颱風在接近台灣西部海面時，雖已

增強為輕度颱風，但其強度一直維持在 35kts，並且轉向東北東至偏東方向登陸台灣陸地，其風速僅東吉島及台南出現七級風之外，其他地區均未超過六級，但卻造成東吉島及台灣南部台南、高雄發生豪雨。

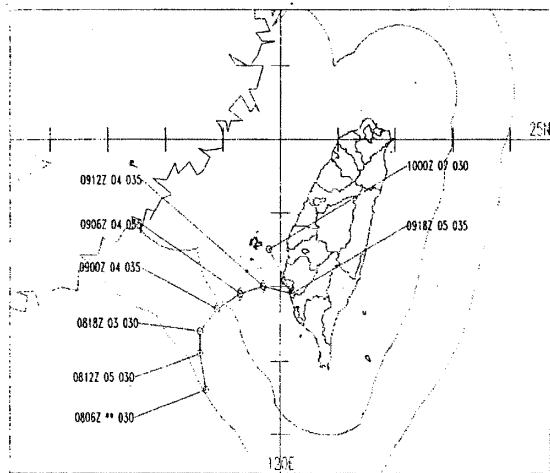


圖 1. 妮蔻兒颱風最佳路徑圖。

Fig1. The best track for tropical storm NICHOLE.

表 1. 妮蔻兒颱風最佳路徑、強度變化及動向資料表

Table1. The best-track positions , intensity and movement of typhoon Nichole.

時間 (UTC)	緯度	經度	中心氣壓 (hPa)	最大風速 m/s	暴風半徑 km	移動方向 degree	移動速度 km/hr
98070812	22.1	118.6	1000	15		350	9
98070818	22.4	118.6	1000	15		000	5
98070900	22.7	118.9	998	18	100	045	7
98070906	22.9	119.3	998	18	100	060	7
98070912	23.0	119.7	998	18	100	075	7
98070918	22.9	120.2	998	18	100	100	9
98071000	23.5	119.8	1000	15		330	13

本報告在第二節為妮蔻兒颱風的發生與經過的綜觀分析；第三節則討論妮蔻兒颱風侵台期間的各種氣象要素分析及風雨分析情況；第四節為災情報告；第五節為颱風路徑預報誤差的檢討；第六節為討論及結論。

二、妮蔻兒颱風的發生與經過

妮蔻兒(NICHOLE)颱風最早為民國 87 年 7 月 6 日至 7 日滯留在南海的低壓擾動，8 日 0000UTC(00Z)隨著太平洋高壓逐漸東退，低壓擾動沿著高壓邊緣北上進入東沙島海域，雲系結構正在組織當中(如圖 2)，在東沙島附近形成低壓擾動，移動方向受低對流層平均氣流(500mb/700mb/850mb)導引持續向北(圖 3a)，而於 8 日 0600UTC 增強為熱帶性低氣壓，8 日 1200UTC 持續增強，移動方向仍受低對流層平均氣流(500mb/700mb/850mb)導引持續向北(圖 3b)移動。由於其強度有繼續增強為颱風的趨勢且中心接近台灣海峽南部海域，中央氣象局於當(8)日 12 時(0400UTC)發布熱帶性低氣壓特報，提醒民眾密切注意其動向；中央氣象局高雄雷達站在 8 日 20 時(1200UTC)已開始觀測到熱帶性低氣壓中心位置。隨後此熱帶性低氣壓於 8 日 1800UTC 雲系發展至 9 日 0000UTC 時發展為輕度颱風，由於副熱帶高壓東退，引進西南氣流，移動方向受低對流層平均氣流導引往東北移動(圖 3c)，中央氣象局於是上午 5 時

55 分發布妮蔻兒颱風海上陸上颱風警報，並透過媒體呼籲在台灣海峽、巴士海峽及金門海面航行及作業船隻應嚴加戒備，陸上警戒區域為澎湖及金門地區並嚴防豪雨。高雄雷達站於 13 時傳回新的回波資料顯示颱風暴風圈邊緣逐漸接近台灣西南部沿海(如圖 4)，中央氣象局遂於 13 時 40 分對台中至高雄地區發布陸上颱風警報，並呼籲台中以南地區應嚴加戒備並防豪雨，西南部沿海今晚至明上午間適逢大潮，沿海低窪地區注意防範海水倒灌，同時通知南部氣象站迅速聯絡地方政府做好防颱措施。17 時從綜觀氣象條件及衛星雷達資料顯示妮蔻兒颱風低層中心受到西南氣流影響，移動方向由北轉為東北東緩慢移動，同時暴風圈已進入台灣西南部地區，除繼續呼籲警戒區域應防豪雨外，在嘉義、台南、高雄地區亦將有九至十級陣風出現，9 日 20 時妮蔻兒更轉向東北東移動，妮蔻兒颱風於 10 日凌晨 1 時 40 分左右在台南安平港附近登陸，其中心在台南附近呈現打轉現象且強度逐漸減弱；10 日 5 時開始緩慢往北移動，強度仍持續減弱。妮蔻兒颱風於 10 日 7 時左右由嘉義附近出海，強度也減弱為熱帶性低氣壓，受到大陸低壓影響並轉向北北西移動，逐漸遠離台灣陸地，中央氣象局於 10 日 9 時 45 分解除妮蔻兒颱風海上陸上颱風警報，詳細的颱風警報發布經過可參見表 2。

三、妮蔻兒颱風侵台期間各地氣象要素分析

(一) 氣壓

妮蔻兒颱風侵台期間，以平地氣象站而言，台灣各地最低氣壓出現時間以東吉島氣象站在 9 日 17 時 00 分的 995.7 百帕最低，其次是台南氣象站在 10 日 01 時 42 分的 997.3 百帕，其他均高於 1000 百帕如表 3 所示。因颱風中心由台南西南方移近，由圖 5 逐時的氣壓趨勢可看出東吉島及台南氣象站的氣象變化最明顯，颱風首先最接近東吉島而後接近台南。

(二) 風速

圖 6 為高雄、台南、嘉義、東吉島及澎湖五個氣象站在妮蔻兒颱風侵台期間之風速變化，圖中顯示東吉島在 9 日 8 時以後風速逐漸增強，在 19 時達到最強，最大風速為 20m/s，隨著颱風遠離朝向台南移動而逐漸減弱，其次為台南站於 10 日 2 時出現，確切最大風速發生時間(如表 3)在 10 日 2 時 24 分，台南最大為 14.8m/s，由於颱風中心由台南附近登陸，因此台南地區風力最強，平均風力有 7 級、最大陣風 10 級，發生時間亦在颱風登陸之後立刻發生，其它各地出現之最大陣風如下：東吉島 10 級、高雄 9 級、鞍部及北部山區 8 級、蘭嶼 8 級。

(三) 雨量

妮蔻兒颱風強度僅發展至輕度颱風的下限，在侵台期間，就降雨而言，台灣中部彰化、雲林地區除外圍環流影響外，另受午後對流降雨，有較大的雨勢出現；而台灣南部地區則為颱風帶來的豪雨(表 3 及圖 7)，就雨量之時間分布分析，降雨集中在 9 日(表 3)；空間分布則以台灣南部高雄、台南及東吉島為最多(圖 7)。茲就妮蔻兒颱風侵台期間(9 日 00 時至 10 日 08 時)所有雨量站含水文氣象站之累積雨量較多之地區如下：高雄三爺 230mm、高雄左營 218mm、高雄鳳山 170mm、高雄岡山 168mm；

台南和順 197mm、永康 140mm、新市 86mm。

四、妮蔻兒颱風的災情報告

妮蔻兒颱風造成之重大災害如下：

依據農林廳統計農業總損失新台幣兩億六千九百萬元。

(一)農作物損失新台幣兩億三千六百萬元。

(二)畜產損失新台幣兩千六百萬。

(三)魚產損失新台幣七百萬元。

其中以高雄縣損失最多為新台幣兩億兩千五百八十四萬八千元。

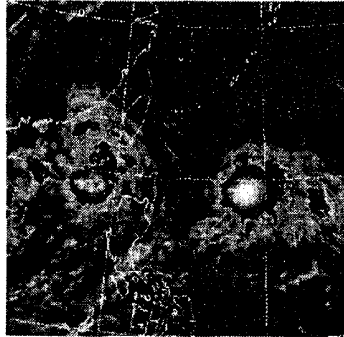
五、妮蔻兒颱風的路徑預報校驗

由於妮蔻兒颱風生命期較短，僅維持大約 1 天左右，因此可供校驗之個案較少，本局的預報結果顯示 24 小時預報位置誤差有 129 公里(表 4)，而相對於其他各種預報結果如日本之客觀預報 133 公里、廣州之客觀預報 159 公里、香港之客觀預報 185 公里及中央氣象局 CLIPER 統計模式預報 185 公里，仍為較佳的表現。若就中央氣象局數值預報模式 24 小時預報誤差比較，結果為 37 公里表現最好，唯僅一次預報比較，尚不具代表性。

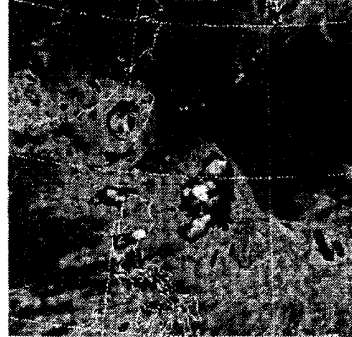
六、結論

妮蔻兒(NICHOLE)颱風於 7 月 8 日 14 時增強為熱帶性低氣壓，向北移動，9 日 8 時發展為輕度颱風妮蔻兒往東北移動，9 日 20 時更轉向東北東移動，妮蔻兒颱風於 10 日凌晨 1 時 40 分左右在台南安平港附近登陸，其中心在台南附近呈現打轉現象且強度逐漸減弱；10 日 5 時開始緩慢往北移動，於 10 日 7 時左右由嘉義附近出海，強度減弱為熱帶性低氣壓，並轉向北北西移動，逐漸遠離台灣陸地。妮蔻兒雖為輕度颱風，但卻對南部台南、高雄地區帶來豪雨及強風，造成農業損失新台幣兩億六千九百萬元。妮蔻兒颱風本局的預報結果顯示 24 小時預報位置誤差有 129 公里，而相對於其他各種預報結果，仍為較佳的表現。

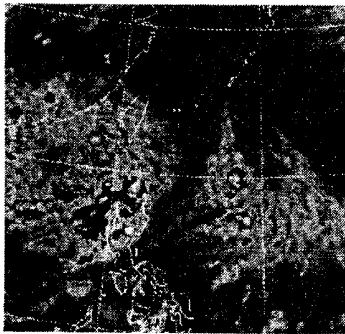
98070800Z



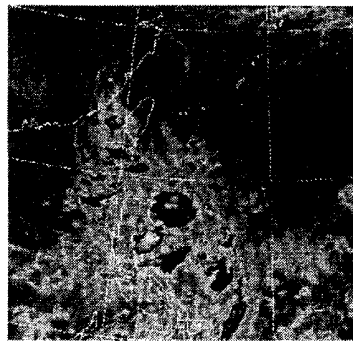
98070912Z



98070812Z



98071000Z



98070900Z

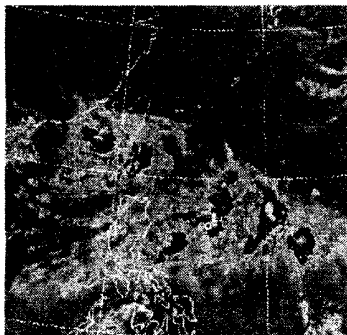


圖 2. 妮蔻兒颱風雲系變化之每隔 12 小時
色調強化衛星雲圖，時間為 87 年 7 月 8 日 8 時至 10 日 8 時止。

Fig 2. The enhancement curve(BD) satellite imageries for tropical storm NICHOLE, the data is from 0000UTC July 8 to 10,1998.

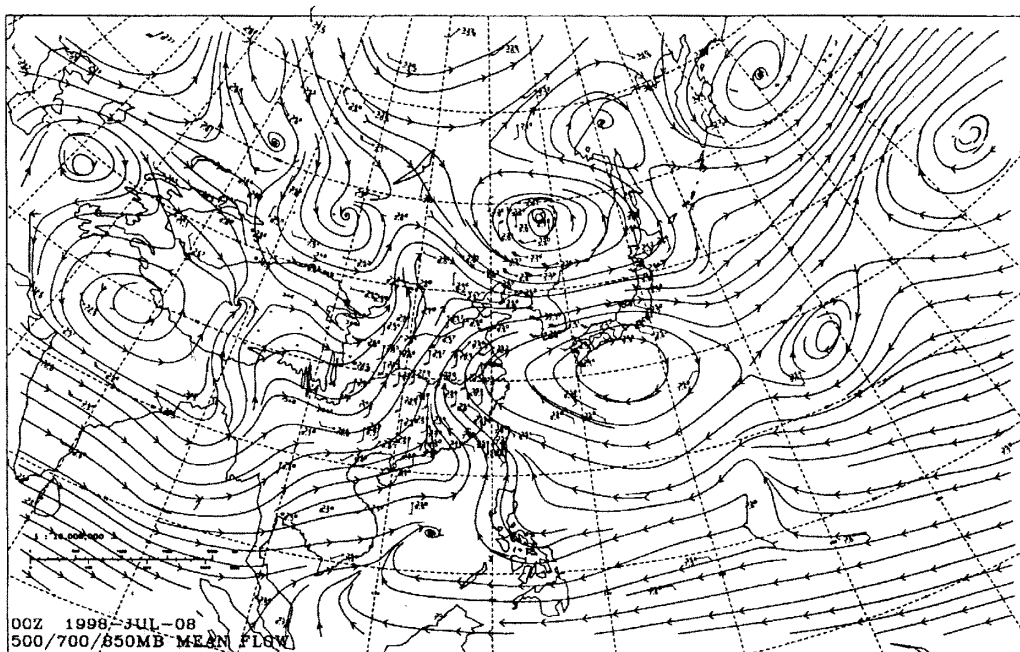


圖 3a. 87 年 7 月 8 日 8 時之低對流層(500/700/850MB)平均氣流場分析。

Fig 3a. The streamline analysis of mean flow(500/700/850MB) at 0000UTC on 8th of July, 1998.

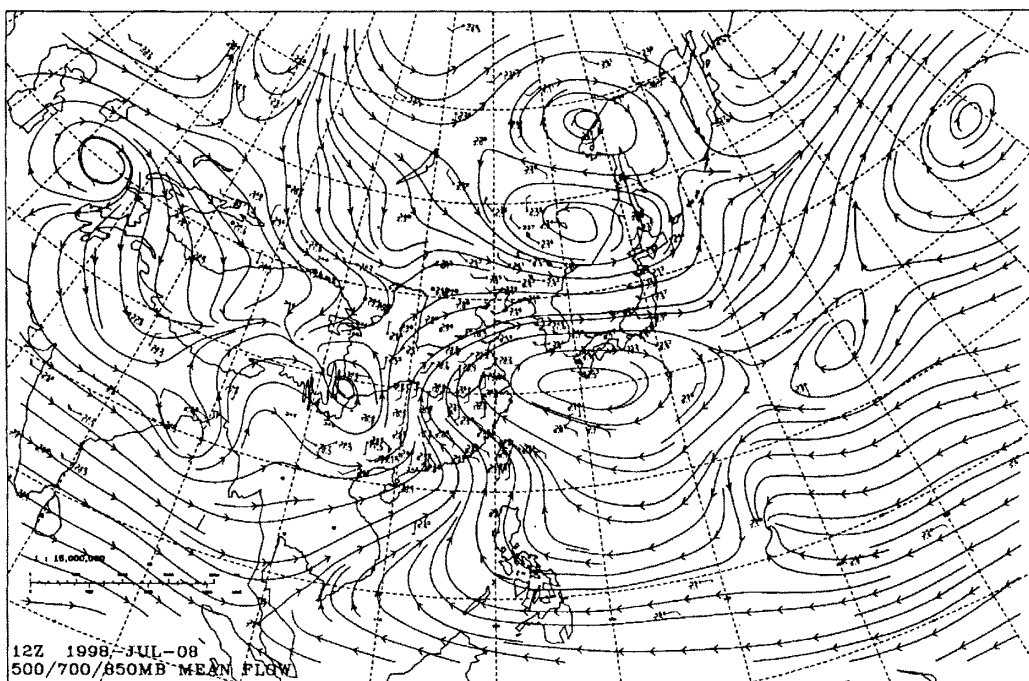


圖 3b. 如圖 3a，唯為 87 年 7 月 8 日 20 時。

Fig 3b. Same as Fig 3a, except for 1200UTC on 8th of July, 1998.

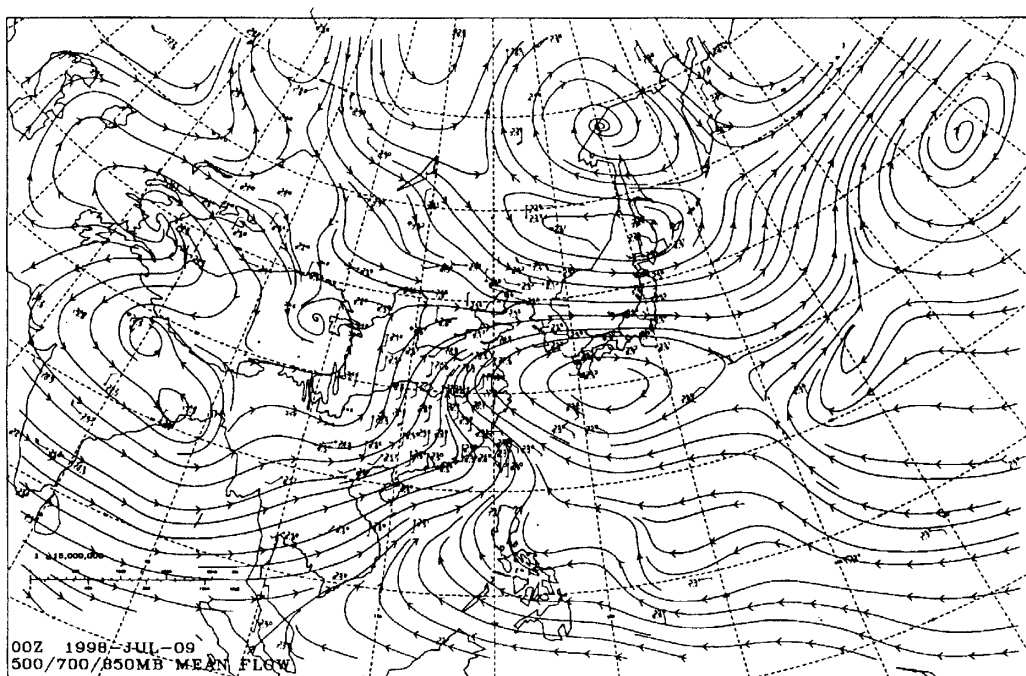


圖 3c. 如圖 3a，唯為 87 年 7 月 9 日 8 時。

Fig 3c. Same as Fig 3a, except for 0000UTC on 9th of July, 1998.

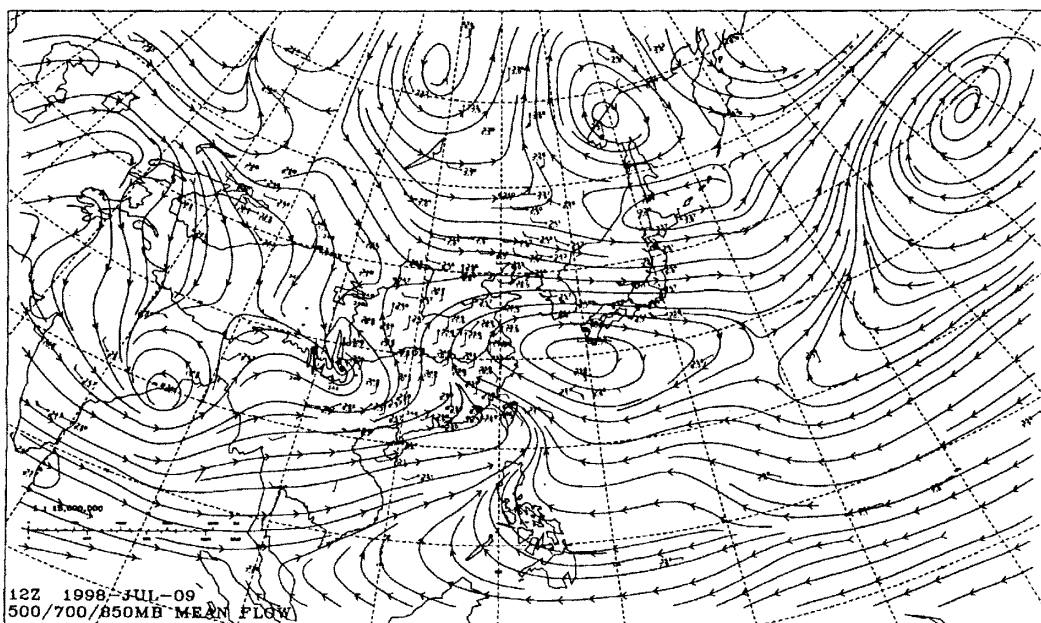


圖 3d. 如圖 3a，唯為 87 年 7 月 9 日 20 時。

Fig 3d. Same as Fig 3a, except for 1200UTC on 9th of July, 1998.

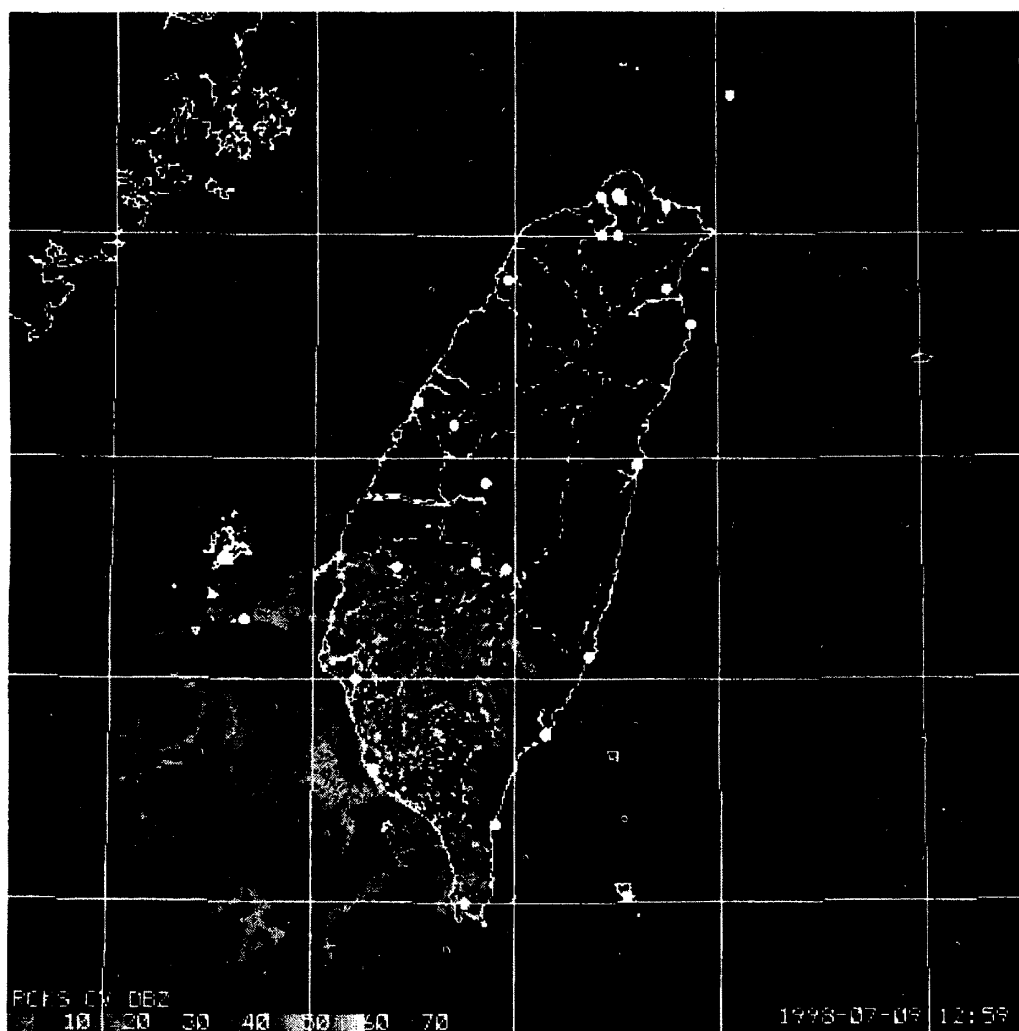


圖 4. 87 年 7 月 9 日 13 時之高雄氣象雷達站回波圖。

Fig 4. The radar echo of Kaohsiung Meteorological Radar station at 0500UTC on 9th of July, 1998.

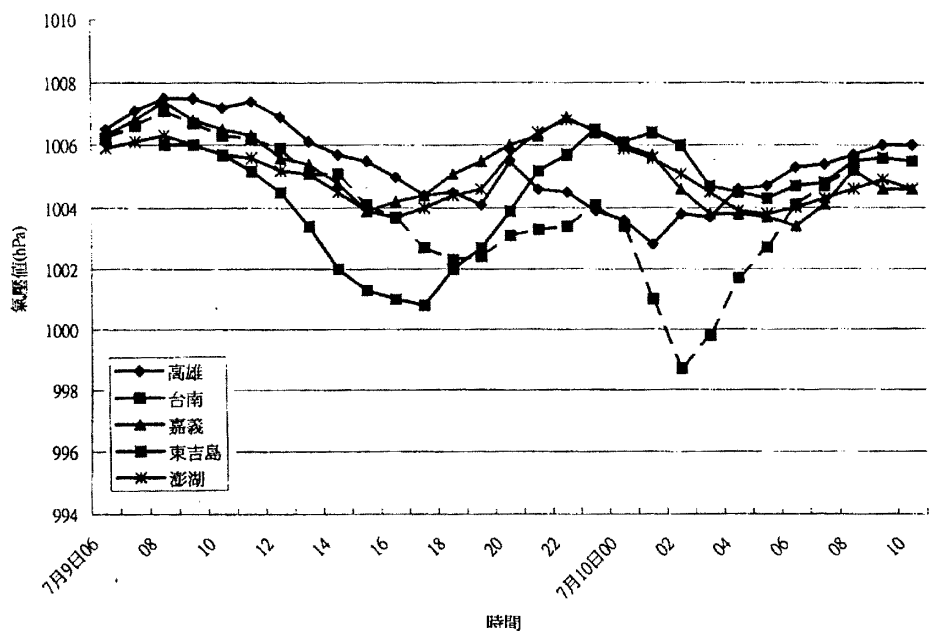


圖 5. 高雄(46740)、台南(46741)、嘉義(46748)、東吉島(46730)及澎湖(46735)氣象站逐時氣壓趨勢圖。

Fig 5. The hourly pressure of station 46740, 46741, 46748, 46730 and 46735.

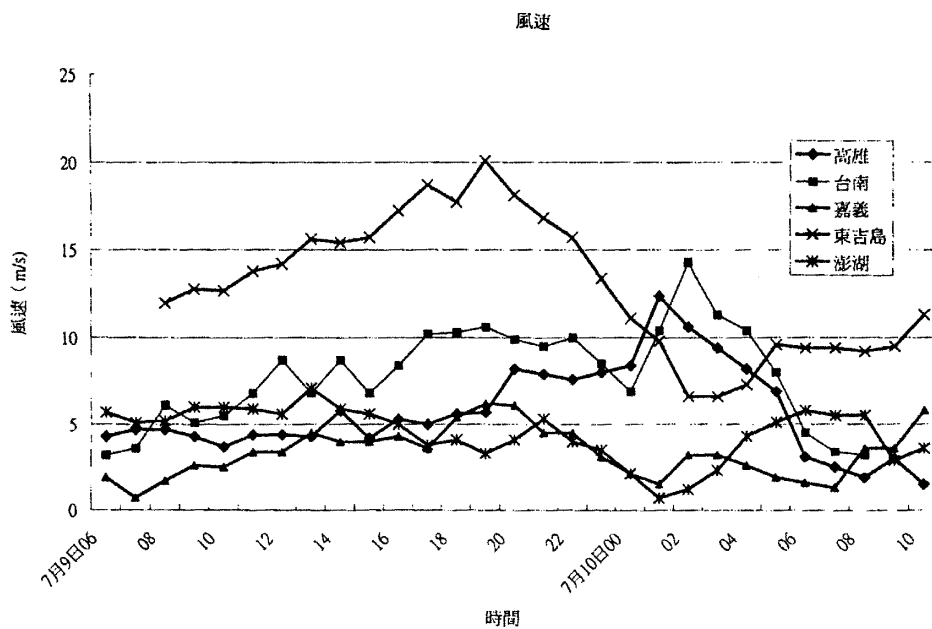


圖 6. 高雄(46740)、台南(46741)、嘉義(46748)、東吉島(46730)及澎湖(46735)氣象站逐時風速分布圖。

Fig 6. The hourly mean wind speed of station 46740, 46741, 46748, 46730 and 46735.

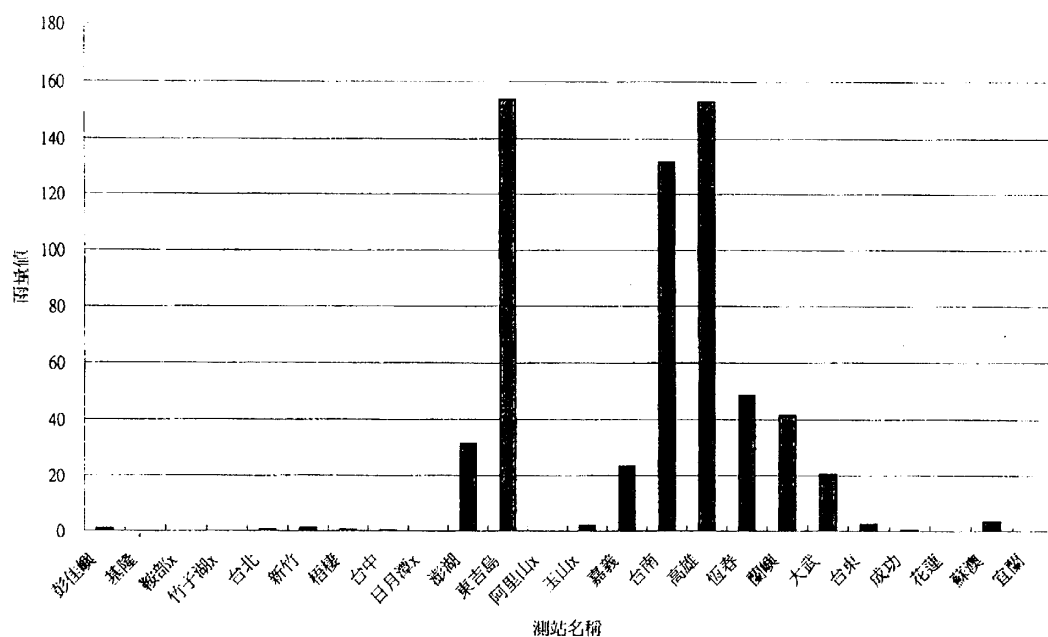


圖 7. 妮蔻兒颱風侵台期間中央氣象局各站總雨量圖。

Fig 7. The total rainfalls of all CWB'S weather stations.

表2. 妮蔻兒颱風警報發佈經過一覽表

Table 2. Warnings issued by CWB for typhoon "NICHOLE"

種類	次序			發佈時間			警戒區域		備註
	號	報	日	時	分		海上	陸上	
海上	1	1	9	5	55		台灣海峽、巴士海峽及金門海面	澎湖及金門	輕度
海上	1	2	9	8	30		台灣海峽、巴士海峽及金門海面	澎湖及金門	輕度
海上	1	2-1	9	9	20		台灣海峽、巴士海峽及金門海面	澎湖及金門	輕度
海上	1	2-2	9	10	10		台灣海峽、巴士海峽及金門海面	澎湖及金門	輕度
海陸	1	3	9	11	45		台灣海峽、巴士海峽及金門海面	澎湖及金門	輕度
海陸	1	3-1	9	12	20		台灣海峽、巴士海峽及金門海面	澎湖及金門	輕度
海陸	1	3-2	9	13	40		台灣海峽、巴士海峽及金門海面	澎湖、台中、彰化、雲林、嘉義、台南、高雄及南投地區	輕度
海陸	1	4	9	14	40		台灣海峽、巴士海峽及金門海面	澎湖、台中、彰化、雲林、嘉義、台南、高雄及南投地區	輕度
海陸	1	4-1	9	15	15		台灣海峽、巴士海峽及金門海面	澎湖、台中、彰化、雲林、嘉義、台南、高雄及南投地區	輕度
海陸	1	4-2	9	16	20		台灣海峽、巴士海峽及金門海面	澎湖、台中、彰化、雲林、嘉義、台南、高雄及南投地區	輕度
海陸	1	5	9	17	50		台灣海峽、巴士海峽及金門海面	澎湖、台中、彰化、雲林、嘉義、台南、高雄及南投地區	輕度
海陸	1	5-1	9	18	20		台灣海峽、巴士海峽及金門海面	澎湖、台中、彰化、雲林、嘉義、台南、高雄及南投地區	輕度
海陸	1	5-2	9	19	15		台灣海峽、巴士海峽及金門海面	澎湖、台中、彰化、雲林、嘉義、台南、高雄及南投地區	輕度
海陸	1	6	9	20	45		台灣海峽、巴士海峽及金門海面	澎湖、台中、彰化、雲林、嘉義、台南、高雄及南投地區	輕度
海陸	1	6-1	9	21	20		台灣海峽、巴士海峽及金門海面	澎湖、台中、彰化、雲林、嘉義、台南、高雄及南投地區	輕度
海陸	1	6-2	9	22	20		台灣海峽、巴士海峽及金門海面	澎湖、台中、彰化、雲林、嘉義、台南、高雄及南投地區	輕度
海陸	1	7	10	23	45		台灣海峽、巴士海峽及金門海面	澎湖、台中、彰化、雲林、嘉義、台南、高雄及南投地區	輕度
海陸	1	7-1	10	0	30		台灣海峽、巴士海峽及金門海面	澎湖、台中、彰化、雲林、嘉義、台南、高雄及南投地區	輕度
海陸	1	8	10	3	40		台灣海峽、巴士海峽及金門海面	台南、高雄、澎湖、台中、彰化、雲林、嘉義及南投地區	輕度
海陸	1	8-1	10	4	55		台灣海峽及巴士海峽	台南、高雄、澎湖、台中、彰化、雲林、嘉義及南投地區	輕度
海陸	1	9	10	6	15		台灣海峽及巴士海峽	台南、高雄、澎湖、台中、彰化、雲林、嘉義及南投地區	輕度
海陸	1	9-1	10	6	45		台灣海峽及巴士海峽	台南、高雄、澎湖、台中、彰化、雲林、嘉義及南投地區	輕度
海上	1	9-2	10	7	45		台灣海峽及巴士海峽	台南、高雄、澎湖、台中、彰化、雲林、嘉義及南投地區	輕度
解除	1	10	10	9	45		對台灣陸地及海面威脅解除		熱帶性低氣壓

表 3.妮蔻兒颱風侵台期間氣象要素統計表

Table 3. The meteorological of CWB's station during typhoon Nichole passage.

測站站名	最低氣壓 (hPa)		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(m/s)	
	數值	時間	風速	風向	時間	氣壓	氣溫	濕度	風速	風向	時間	時間始迄	一小時	時間始迄	十分鐘	時間始迄	數量	時間始迄
彭佳嶼	1003.8	10/17:07	16.9	NNE	10/07:53	1005.7	28.0	88%	11.8	NNE	10/07:57	10/07:57-10/14:00	0.5	10/07:55	0.5	10/07:55	0.9	9/10:25-10/09:05
基隆	1001.3	10/03:11	9.3	SSE	9/09:59	1006.3	32.9	49%	5.1	NE	9/15:10	—	—	—	—	—	—	—
鞍部x	1450.8	10/03:54	18.7	S	10/02:13	1455.3	22.2	80%	10.3	S	10/03:13	10/03:13-10/03:31	—	—	—	—	—	—
竹子湖x	1004.7	10/11:00	7.8	N	10/08:00	1005.5	25.7	76%	2.9	N	09/15:00	—	—	—	—	—	—	—
台北	1003.7	10/09:00	11.0	SE	10/09:00	1003.7	32.0	61%	5.7	ESE	10/10:00	—	0.3	9/17:15	0.3	9/17:15	0.3	9/17:15-9/17:20
新竹	1003.2	10/14:25	6.9	WNW	9/12:15	1006.6	31.6	71%	3.6	WNW	9/12:20	—	1.0	9/15:58	0.7	9/15:58	1.2	9/15:42-9/16:48
橋樑	1002.4	10/05:25	8.8	N	9/18:06	1005.1	28.7	79%	6.2	NE	9/15:03	—	0.5	9/16:55	0.3	9/17:22	0.5	9/16:15-9/18:15
台中	1003.6	10/05:16	9.8	NNE	9/14:59	1005.1	30.4	69%	3.7	N	9/15:08	—	0.2	10/02:30	0.2	10/02:33	0.2	10/02:30-10/03:10
日月潭x	1443.0	10/03:34	3.8	WSW	9/13:23	1472.0	24.4	84%	2.5	SSW	9/00:26	—	T	9/17:10	T	9/17:10	T	9/17:10-9/17:20
澎湖	1003.5	9/17:15	12.8	SSE	9/12:42	1005.2	28.9	81%	7.1	ESE	9/12:43	—	10.0	10/03:00	7.0	10/03:40	31.5	9/08:55-10/10:00
東吉島	995.7	9/17:00	26.5	E	9/16:23	1001.0	26.3	91%	20.1	ENE	9/18:54	9/08:00-10/00:00	22.0	10/01:04	6.5	10/10:14	153.8	9/06:01-10/11:52
阿里山x	759.9	10/03:11	6.6	S	10/08:10	761.5	17.0	80%	2.7	SSE	10/08:39	—	—	—	—	—	—	—
玉山x	3102.9	10/04:00	—	—	—	—	—	—	12.2	SSE	9/23:20	9/22:20-9/23:20	1.2	9/17:30	0.3	9/18:00	2.1	9/17:30-10/07:00
嘉義	1003.0	10/05:37	10.0	ESE	9/21:31	1006.3	24.7	98%	6.2	NE	9/18:51	—	12.5	9/21:26	7.6	9/21:26	23.5	9/19:15-10/09:45
台南	997.3	10/01:42	27.7	ENE	10/01:54	1001	24.9	83%	14.8	NE	10/02:24	9/17:00-10/04:00	32.0	9/18:07	10.0	9/18:38	131.5	9/12:30-10/08:30
高雄	1002.4	10/00:51	22.8	W	10/00:29	1002.8	24.8	100%	12.4	WSW	10/00:37	10/00:30-10/01:48	40.0	9/19:50	18.0	9/20:02	153.0	9/06:25-10/08:45
恆春	1004.6	10/04:47	12.9	NW	9/14:59	1006.3	26.8	83%	6.4	W	9/15:04	—	15.0	10/02:40	4.5	10/02:50	48.5	9/07:00-10/08:12
蘭嶼	1004.7	10/05:01	22.0	WNW	10/02:49	1005.8	—	—	14.5	W	9/16:31	—	16.0	9/04:54	8.0	9/05:04	41.5	9/03:48-10/04:36
大武	1003.3	09/15:38	7.2	NNE	9/11:51	1005.1	27.8	78%	3.2	NNE	9/15:50	—	6.5	10/00:00	5.0	10/00:02	20.5	9/06:52-10/05:32
台東	1004.1	10/05:20	5.8	NNE	9/11:00	1007.2	28.0	84%	2.2	NNE	9/10:39	—	1.5	9/21:05	1.0	9/21:22	2.5	9/21:05-10/03:20
成功	1002.6	10/16:06	13.3	SW	9/11:27	1006.1	27.7	88%	9.4	SW	9/11:30	—	0.3	9/08:10	0.2	9/08:10	0.3	9/08:10-9/08:30
花蓮	1003.1	10/09:00	4.3	ESE	10/10:21	1005.6	32.0	68%	3.0	ESE	10/10:23	—	—	—	—	—	—	—
蘇澳	1003.4	10/15:47	12.9	SSE	9/09:31	1007.2	30.6	65%	9.0	NS	9/11:17	—	1.6	10/23:25	1.4	10/23:28	3.4	10/19:18-11/00:00
宜蘭	1004.8	10/03:12	8.4	E	9/12:44	1006.3	34.0	61%	4.5	ENE	9/11:40	—	—	—	—	—	—	—

註：x-表該站屬高山測站

24-HOUR MEAN FORECAST ERROR (KM)

	CLIP		CWB		HURA		PGTW		RJTD		BCGZ		VHHH	
CLIP	2	185												
	185	0												
CWB	1	137	1	129										
	129	-7	129	0										
HURA	2	185	1	129	2	203								
	203	18	177	48	203	0								
PGTW	2	185	1	129	2	203	2	201						
	201	16	162	33	201	-1	201	0						
RJTD	1	137	1	129	1	177	1	162	1	133				
	133	-3	133	3	133	-44	133	-29	133	0				
BCGZ	1	137	1	129	1	177	1	162	1	133	1	159		
	159	22	159	29	159	-16	159	-3	159	25	159	0		
VHHH	1	137	1	129	1	177	1	162	1	133	1	159	1	185
	185	48	185	55	185	7	185	22	185	51	185	25	185	0

A	B
C	D

A表示X和Y預報時間相同的次數

B表示X軸上預報方法之24小時誤差(KM)

C表示Y軸上預報方法之24小時誤差(KM)

D表示Y軸預報方法比X軸預報方法好的程度

表 4. 各預報單位對妮蔻兒颱風二十四小時預測誤差之比較，其中 CLIP：中央氣象局統計模式預報，CWB：中央氣象局官方預報，HURA：中央氣象局統計模式，PGTW：關島之客觀預報，RJTD：日本之客觀預報，BCBZ：廣州之客觀預報，VHHH：香港之客觀預報。

Table 4. 24-hour forecast error statistics for tropical storm NICHOLE, in the table, forecast errors from objective forecast techniques and different official forecasts from the Central Weather Bureau and other centers are included.

REPORT ON TROPICAL STORM “NICHOLE” OF 1998

Tai-Kuang Chiou

Meteorological Satellite Center, Central Weather Bureau

ABSTRACT

Tropical Storm Nichole was the first typhoon occurred over the northwest Pacific Ocean in 1998. The system was first found over the south China sea; it developed and moved northward along the western edge of the Pacific Subtropical High. After moving around Pratas Island, it intensified into a tropical storm intensity at 0000UTC on the 9th of July and then moved northeastward. Later, Nichole turned east-north-eastward; finally it landed on the Tainan area and the intensity gradually dissipated and later moved away to the sea from the Chiayi area at 2300UTC on the 9th of July. The averaged 24hr track forecast error of the Central Weather Bureau was 129 km, and was the best among all official track forecasts. Although Nichole was a tropical storm and had only one-day lifecycle, it brought torrential rainfall and strong gust wind on southern Taiwan and caused serious damages.

Keywords: tropical storm, Landfall, torrential rainfall

民國八十八年颱風調查報告一

瑪姬颱風(MAGGIE, 9906)

徐辛欽

中央氣象局氣象預報中心

摘 要

瑪姬(Maggie)颱風為 1999 年第一個侵台颱風，其於 6 月 2 日 06UTC 在菲島東方海面形成颱風後，先以偏北方向轉為西北方向前進，至台灣海峽南部後再轉為向西移動，直至廣東再沿著海岸向西南進行，至 8 日 00UTC 在廣東雷州半島減弱為熱帶性低壓。

瑪姬颱風中心未登陸台灣陸地，其帶來的雨量主要集中在東部、東南部和屏東地區，其中以台東的 192.5mm 為最多，恆春亦有 156.6mm。強風方面，則以恆春出現 42.0m/s 瞬間風速最大，其次是蘭嶼的 41.8m/s，在路徑預測方面，中央氣象局的 24 和 48 小時平均誤差分別為 170 公里和 305 公里，而動力模式預測則 TFS 模式表現優於 EBM 模式。

關鍵詞：颱風路徑預報誤差

一、前言

瑪姬(Maggie)颱風為 1999 年在西北太平洋形成的第一個侵台颱風，其於 6 月 2 日 06UTC 形成輕度颱風，在 3 日 18UTC 增強為中度颱風，6 日 18UTC 減弱為輕度颱風，至 8 日 00UTC 再減弱為熱帶低壓，其生命期共 6 日（見表 1），瑪姬颱風中心並沒有登陸台灣本島，但穿過台灣南端近海，對台灣南部及南部山區帶來不少雨量，造成該地區農漁業災害和交通中斷等，也造成人民財產不少損失。

瑪姬颱風影響台灣期間，在降雨方面，以花蓮台東地區較多，均超過 100mm，台東達 193mm 為最多。風力方面，則以恆春、玉山和蘭嶼均達 14 級陣風為最大，另基隆、鞍部、東吉島均出現超過 10 級陣風。

本報告將討論瑪姬颱風的發生經過，侵台期間中央氣象局處理情形、路徑變化、氣象要素分析及對瑪姬颱風預報之校驗。

二、颱風發生經過及處理情形

6 月 1 日 00UTC，在距菲律賓中部西方約 400 公里海面形成一熱帶性低氣壓，此熱帶性低氣壓發展緩慢，直至 2 日 06UTC 才增強為輕度颱風，命名為瑪姬(Maggie)，其中心位置在北緯 13.1 度、東經 129.8 度（見圖 1 及圖 9），中心氣壓 998hPa，以偏北方向前進，其速度每小時 14 公里。此颱風未受其西北方海面的太平洋高壓影響，也無其他天氣系統的導引或牽制，在駛流不顯著下，以偏北的方向進行。

至 3 日 18UTC(0402L)，中央氣象局預測瑪姬颱風將於 5 日起影響台灣地區，於是即密切注意此颱風的動態，此時瑪姬颱風威力再增強為中度颱風，進行方向改為向西北，4 日上午中央氣象局更研判台灣地區在瑪姬颱風環流影響下，南部、東部山區將有豪雨發生的機會，便先行發布颱風消息，透過媒體提醒上述地區將有較大雨勢。下午瑪姬颱風中心在呂宋島東方海面，逐漸向巴士海峽東方海域接近，經由

時間 (UTC)			中心位置 (度)		中心氣壓 (百帕)	移動方向 (DEG)	移動速度 (km/hr)	近中心最大風速 (m/s)		暴風半徑 (km)	
月	日	時	北緯	東經				平均	瞬間	七級風	十級風
6	2	6	13.1	129.8	998	360	20	20	25	80	-
		12	13.4	129.1	998	360	24	23	30	100	-
		18	14.3	129.3	990	350	6	23	30	150	-
	3	00	14.8	129.3	985	350	6	25	33	180	-
		06	15.3	129.0	980	350	13	28	35	200	-
		12	15.8	128.4	978	340	13	30	38	200	-
		18	16.6	127.9	970	320	15	33	43	220	80
	4	00	17.1	127.0	965	310	17	35	45	250	100
		06	17.4	126.4	965	300	17	38	48	250	100
		12	17.5	126.0	965	270	15	38	48	250	100
		18	17.9	125.2	965	290	15	38	48	250	100
	5	00	18.9	124.5	965	315	17	38	48	250	100
		06	19.6	123.7	965	315	17	38	48	250	100
		12	20.5	122.3	965	305	24	38	48	250	100
		18	20.9	121.1	965	285	24	38	48	250	100
	6	00	22.1	119.8	965	315	24	38	48	250	100
		06	22.5	118.2	970	290	22	35	45	250	100
		12	22.8	116.5	975	280	22	33	43	200	80
		18	22.7	114.7	975	270	22	30	38	150	-
	7	00	22.2	113.5	985	250	21	25	33	150	-
		06	21.6	112.6	985	250	17	25	33	150	-
		12	21.4	111.8	990	265	15	23	28	150	-
		18	21.4	111.3	992	270	10	20	28	100	-
	8	00	21.5	110.5	994	270	8	-	-	-	-

表 1. 瑪姬颱風最佳路徑、強度變化及動向資料表

Table1. The best-track positions, intensity and movement of typhoon MAGGIE.

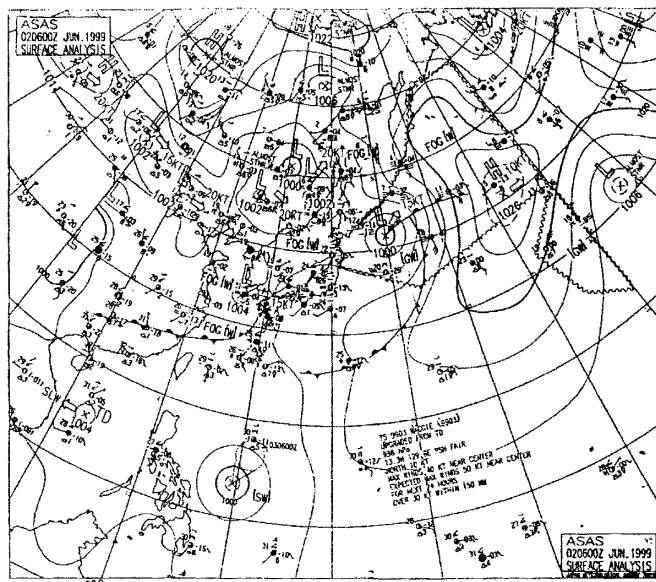


圖 1. 1999 年 6 月 2 日 0600UTC 地面氣圖

Fig1. The surface analysis chart at 0600UTC June 2 of 1999

預報資料的綜合分析判斷，瑪姬颱風侵襲台灣的機會相當高，中央氣象局遂於 4 日 14 時 30 分對巴士海峽及台灣東南部海面發布海上颱風警報，並將此一訊息透過各媒體及氣象局各種資訊傳輸管道迅速傳送，提醒民眾、各防災單位、水庫及台灣電力公司等有關單位注意。

5 日上午瑪姬颱風暴風圈進入巴士海峽，繼續向西北西方向移動，對恆春半島及台東地區可能構成威脅，中央氣象局隨即於 8 時 40 分（地方時）發布陸上颱風警報，指出恆春半島、台東及花蓮地區 5 日下午起受颱風環流影響，將有局部大雨或豪雨發生，請各界注意防範落石、坍方或土石流，另外台灣東部沿海及恆春半島將有 10 至 11 級陣風出現，台北地區受地形影響，亦將有 9 級陣風出現。5 日 14 時瑪姬颱風繼續向西北西移動，至恆春半島東南方約 420 公里之海面上，北部及東半部地區有較強陣風出現，同時雨勢逐漸明顯，隨後此颱風仍繼續往西北西方向移動，朝恆春半島接近，5 日 17 時中央氣象局更將警戒區域擴大至嘉義以南及花蓮以南等地區。

6 日清晨瑪姬颱風行徑略為偏北，其颱風中心逐漸接近恆春半島，於是中央氣象局更加強與台南及高雄等防災單位聯繫，並透過媒體廣播，提醒在南部地區之民眾，將有豪雨及強風出現，請注意防範災害。6 日瑪姬颱風繼續往西北西方向移動，暴風圈逐漸脫離台灣地區，對台灣地區的威脅減輕，6 日中午起中央氣象局逐步解除台灣本島部分陸地之陸上警報，晚上瑪姬颱風繼續往大陸汕頭地區接近，惟其結構受到地形破壞，強度逐漸減弱，暴風圈縮小，中央氣象局遂於 6 日 22 時 24 分解除颱風警報。

總計中央氣象局針對瑪姬颱風共發布七次海上颱風警報，十二次海上陸上颱風警報（見表 2）。

三、颱風路徑及強度變化

瑪姬颱風於 6 月 2 日 06UTC 形成後，由

於太平洋高氣壓偏東，其勢力未影響颱風，又颱風的附近亦沒有其他的明顯天氣系統來導引，颱風的最初走向是以偏北緩慢移動，時速只有 6 公里，暴風半徑 100 公里。至 3 日 00UTC 時，颱風的勢力漸增強，中心附近最大風速已增至 25ms，暴風半徑亦擴大至 180 公里，進行方向是朝西北西，在地面天氣圖上（圖 2）仍顯示太平洋高氣壓仍無顯著影響，而南海的低氣壓距其約 1300 公里，有逐漸發展的趨勢。在海水溫度方面（圖 3a），在菲律賓群島的東西兩邊均是暖區，其海水溫度均在 30℃ 以上，尤其東邊最暖，很適合熱帶低氣壓或颱風的發展。

海平面氣壓圖（圖 3b）上，在北緯 30 度以南，東經 140 度以西是一個大低壓區，內有二個低壓中心，分別位於菲島的東方與西方近海，而在 500hPa 高空圖上（圖 3c）卻是一東西走向的輻合中心帶，此帶東西長度超過 1300 公里，顯示兩個低緯度系統連在一起，而輻散中心（高壓）則在華南地區，與輻合中心相距只有 1000 公里左右。在等高線圖（圖 3d）上，則顯示北緯 20 度以南是一大低壓帶，高壓帶橫跨在 20° N~30° N 間，脊線在 25° N 附近，與太平洋高壓相連。3 日 06UTC 的衛星雲圖（圖 4）上，瑪姬颱風的主要雲系在其西方和西南方，顯示南方來的水氣旺盛，而且瑪姬仍是處於發展階段的颱風，在其東北象限雖有鬆散雲系相連，但在地面圖上，颱風的北方及東北方無明顯的天氣系統。

6 月 3 日 18UTC 瑪姬颱風進行方向略有改變，由原來的西北轉為向西北西前進，時速略增加，同時威力也由輕度颱風增強為中度颱風，七級風暴風半徑擴增至 220 公里，十級風半徑有 80 公里，此時行進方向朝向巴士海峽。

4 日 00UTC 颱風的勢力範圍再擴大，七級風半徑增至 250 公里，十級風半徑亦增至 100 公里。06UTC 時，瑪姬颱風發展至最強盛階段，中心附近最大風速 38m/s，瞬間最大風速 48m/s，進行方向仍向西北西前進，此時在其東北方的太平洋高氣壓和北方的鋒面系統都未影

表 2. 瑪姬颱風警報發布經過一覽表

Table 2. Warnings issued by CWB for typhoon Maggie.

種類	次序		發布時間			警戒區域		備註
	報	號	日	時	分	海	陸	
海上	1	1	4	14	30	巴士海峽及東南部海面		
海上	1	2	4	17	45	巴士海峽及東南部海面		
海上	1	3	4	20	49	巴士海峽及東南部海面		
海上	1	4	4	23	18	巴士海峽及東南部海面		
海上	1	5	5	2	30	巴士海峽及東南部海面		
海上	1	6	5	5	15	巴士海峽及東南部海面		
陸上	1	7	5	8	04	巴士海峽東南部海峽南部東沙海面	恆春半島、台東、綠島、蘭嶼	
陸上	1	8	5	11	27	巴士海峽東南部海峽南部東沙海面	恆春半島、台東、綠島、蘭嶼	
陸上	1	9	5	14	42	巴士海峽東南部海峽南部東沙海面	恆春半島、花蓮以南綠島蘭嶼	
陸上	1	10	5	17	50	巴士海峽東南部海峽南部東沙海面	花蓮以南、嘉義以南、澎湖	
陸上	1	11	5	20	22	巴士海峽東南部台灣海峽東沙金門	花蓮以南嘉義以南、澎湖金門	
陸上	1	12	5	23	26	巴士海峽東南部台灣海峽東沙金門	花蓮以南嘉義以南、澎湖金門	
陸上	1	13	6	2	37	巴士海峽東南部台灣海峽東沙金門	花蓮以南嘉義以南、澎湖金門	
陸上	1	14	6	6	2	巴士海峽東南部台灣海峽東沙金門	花蓮以南嘉義以南、澎湖金門	
陸上	1	15	6	8	52	巴士海峽東南部台灣海峽東沙金門	花蓮以南嘉義以南、澎湖金門	
陸上	1	16	6	11	42	台灣海峽東沙金門巴士海峽東南部	嘉義以南、澎湖金門台東恆春	
陸上	1	17	6	14	43	台灣海峽、金門、東沙、巴士海峽	嘉義以南、澎湖、金門	
陸上	1	18	6	17	46	台灣海峽、金門、東沙、巴士海峽	澎湖、金門	
海上	1	19	6	2	45	台灣海峽、金門、東沙		
解除	1	20	6	22	24	(解除)		

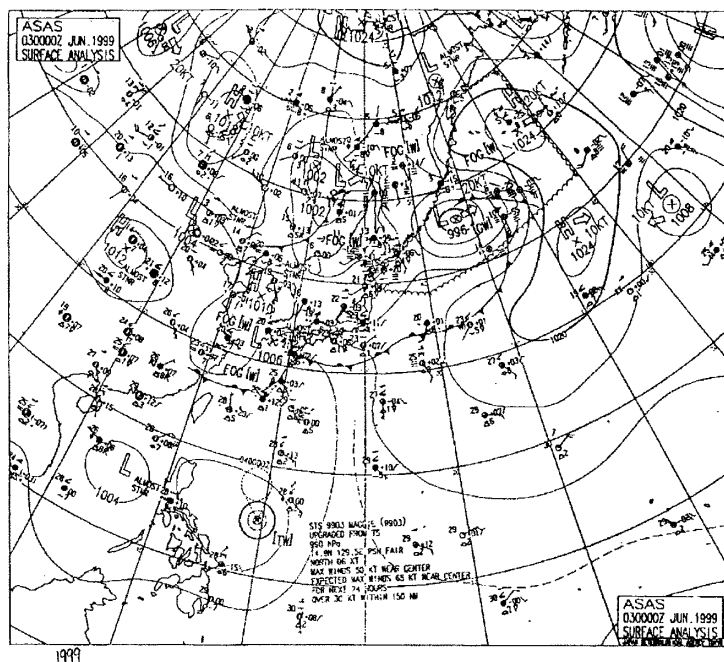


圖 2. 1999 年 6 月 3 日 0000UTC 地面氣圖

Fig2. The surface analysis chart at 0000UTC June 3 of 1999

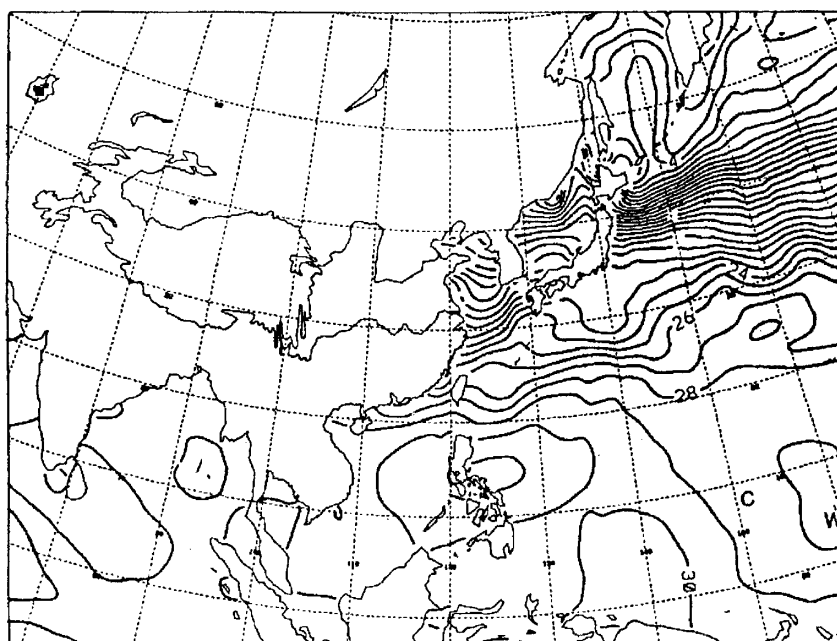


圖 3a. 1999 年 6 月 3 日 0000UTC 海水溫度圖

Fig3a. The sea surface temperature chart at 0000UTC June 3 of 1999.

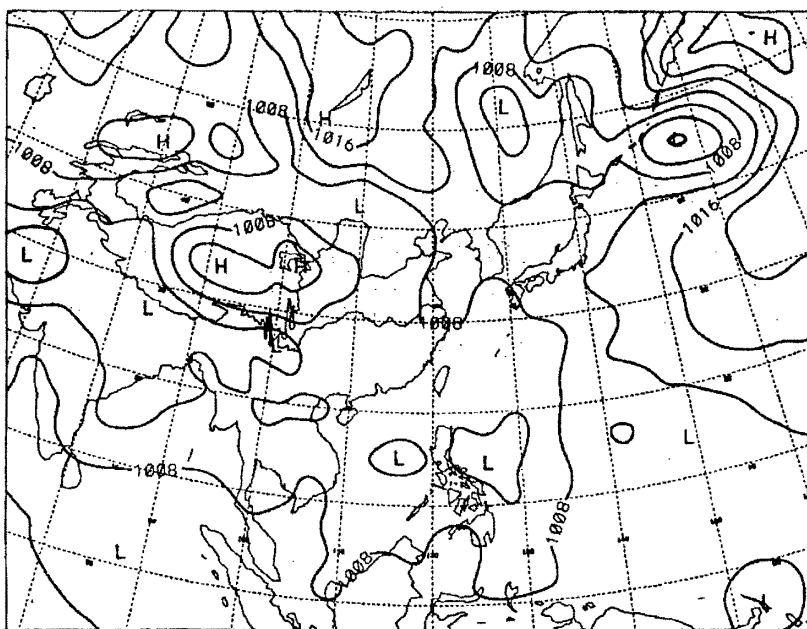


圖 3b. 1999 年 6 月 3 日 0000UTC 海平面氣壓圖

Fig3b. The sea-level pressure chart at 0000UTC June 3 of 1999.

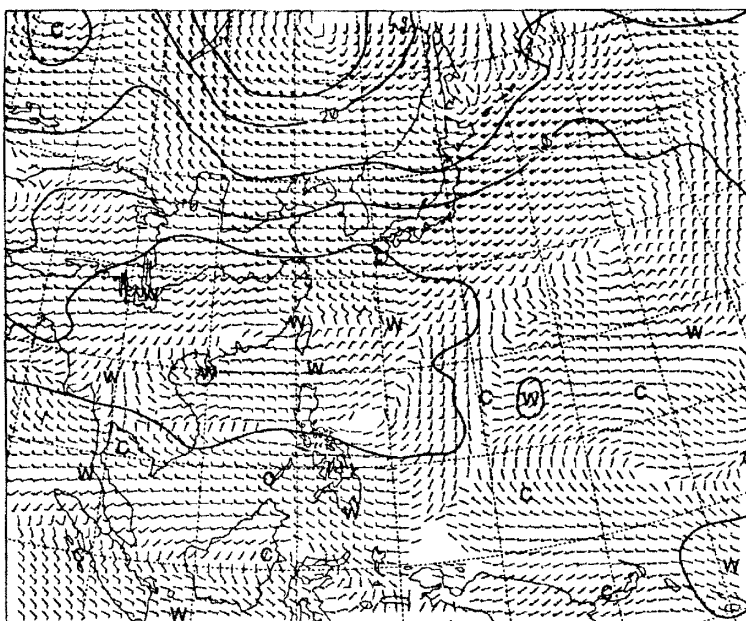


圖 3c. 1999 年 6 月 3 日 0000UTC 500 百帕溫度與風向圖

Fig3c. The 500hPa temperature and wind arrow chart at 0000UTC June 3 of 1999

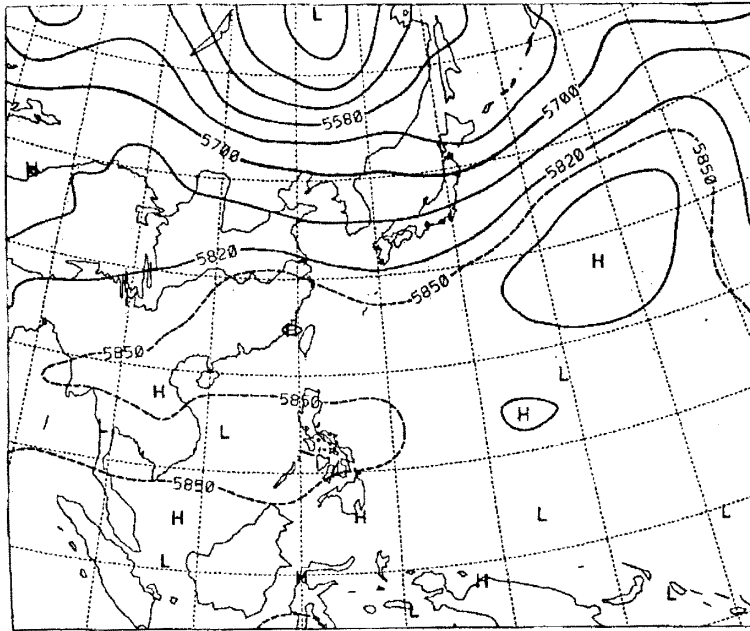


圖 3d. 1999 年 6 月 3 日 0000UTC 500 百帕高度場圖

Fig3d. The 500hPa height chart at 0000UTC June 3 of 1999.

中華民國 88 年 06 月 03 日 14 時紅外線衛星雲圖

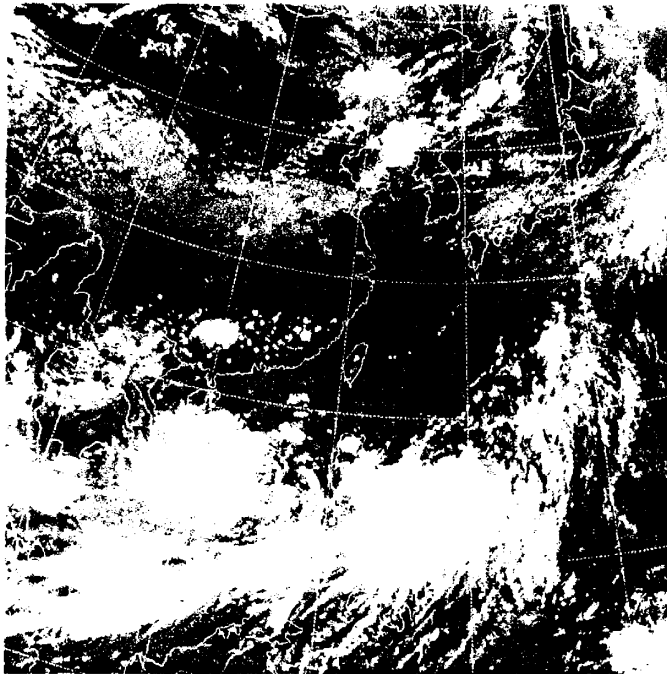


圖 4. 1999 年 6 月 3 日 0600UTC 紅外線衛星雲圖

Fig4. The GMS IR image chart at 0600UTC June 3 of 1999.

響到颱風的動態，至 5 日 00UTC 瑪姬颱風已移至呂宋島東北方附近海面，其與西南方 1000 公里外（在南海）的熱帶性低氣壓發生藤原效應，使此原來向西移動的熱帶低氣壓改向東緩慢移動（圖 5）。

5 日中午以後，瑪姬颱風已進入巴士海峽，對台灣的威脅亦逐漸增強，颱風的外圍雲系漸漸籠罩台灣全島，但較強烈的對流雲團仍在巴士海峽，未影響到台灣（圖 6），在圖 6 的衛星雲圖更顯示西南氣流帶來的水氣仍然旺盛，颱風威力仍強。

6 日清晨，瑪姬颱風通過巴士海峽，5 時（地方時）逼近恆春半島南端海面，其中心位置在 21.3°N 、 120.8°E ，距恆春只有 80 公里，此時仍朝西北西方向進行，時速增快至 24 公里。00UTC(0800L)時，其地面天氣圖（圖 7）顯示南海中部的熱帶性低氣壓和瑪姬颱風有合併的趨勢，北方的鋒面仍在北緯 30 度以北，無法牽引颱風，而太平洋高壓仍對此颱風動向無明顯的作用。此時在新竹地區則有副低壓發生（圖 8a），在海平面氣壓場（圖 8b）上顯示，颱風和熱帶性低氣壓已組成大低壓帶區，其範圍廣大，涵蓋北緯 30 度以南的東亞地區，籠罩的範圍包括台灣、南海及菲島等地，太平洋高壓中心則遠在 25°N 、 150°E 。

在高空 500hPa 面（圖 8c）上，台灣地區及其以南地區包括菲島北部及南海均為一大低壓帶，低壓中心在台灣的正南方，而此低壓帶的北方未見任何槽線可導引此颱風，可見到的是高壓帶的盤距，高壓脊線在 30°N 附近，都是阻止颱風朝北移動的原因。

6 日 00UTC 以後，由於上述高壓的阻擋，颱風的走向由西北西改為朝西前進，速度仍維持每小時 24 公里，至 12UTC 颱風已到汕頭南方近海，環流受陸地破壞，威力減弱成為輕度颱風，暴風半徑縮小為 200 公里，同時行進方向略偏南（西南西），沿著福建廣東沿海移動，經過香港近海至雷州半島才衰減為熱帶性低氣壓。

四、瑪姬颱風侵台期間各種氣象

要素分析

（一）氣壓（見表 3）

瑪姬颱風以第 3 類（通過台灣南部及南部附近海面向西或西北西進，見颱風百問）侵台路徑侵襲台灣（圖 9），颱風中心從台灣南端近海通過，故台灣地區最低氣壓的出現和距颱風中心的遠近息息相關（圖 10）。以平地而言，恆春 6 月 6 日 5 時 21 分（地方時）出現最低氣壓 974.8hPa，另在高雄和台南亦相差 30 分鐘到 1 小時後出現 982.8hPa 和 985.6hPa 的最低氣壓，顯示在 6 日早上 5 時至 7 時間（地方時）瑪姬颱風中心位置最接近台灣陸地。另外，出現最低氣壓的地點依序是台灣東南部的蘭嶼、台東、大武、成功，然後才是台灣西部，最後是東北部和北部地區。

（二）降雨分析

在累積雨量方面（表 3 和圖 11），以中央山脈以東的地區較多，中央山脈以西的地區較少，二者有明顯差異（圖 12），此與颱風路徑及地形有關，在迎風面降雨較多。以中央氣象局氣象站雨量做比較，在颱風侵台期間，以台東站累積雨量 192.5mm 為最多，其次為恆春和成功，分別為 156.5mm 和 154.0mm，花蓮亦有 122.0mm。山區則以大武和玉山為多，分別有 137.3mm 和 108.0mm。台灣南部只有高雄較多，有 69.0mm，台南以北雨量均不多，在中部幾乎沒下雨。

（三）風力分析

瑪姬颱風在通過巴士海峽時，已發展為中度颱風，雖然颱風中心並未登陸台灣，但各地所出現的風力都不小，尤其在高山離島所出現的最大瞬間風速多在 30m/s 以上（見表 3），平均最大風速亦在 15m/s 以上。在瞬間最大風速方面，最靠近颱風中心的恆春出現 42.0m/s（14 級）為最大，其次蘭嶼出現 41.8m/s，玉山有 41.1m/s，鞍部有 36.8m/s，均不小，平地方面則

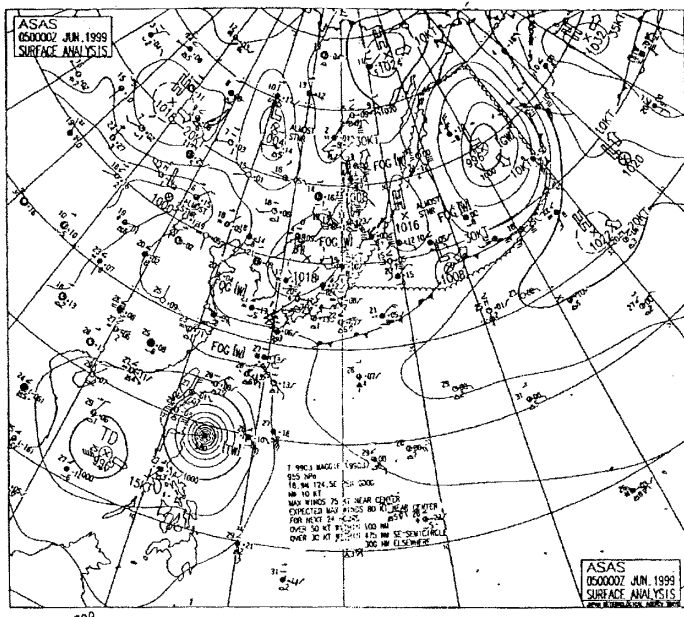


圖 5. 1999 年 6 月 5 日 0000UTC 地面天氣圖

Fig5. The surface analysis chart at 0000UTC June 5 of 1999.

中華民國 88 年 06 月 05 日 20 時 BD 色調強化雲圖

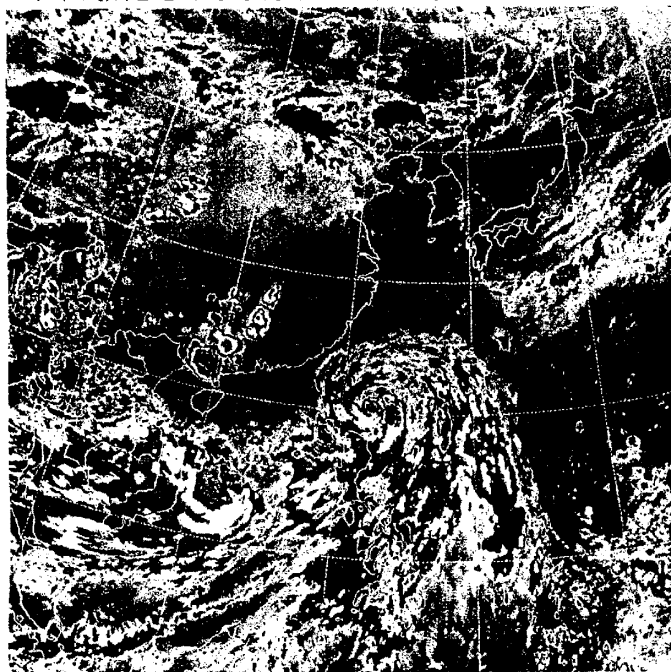


圖 6. 1999 年 6 月 5 日 1200UTC BD 色調強化雲圖

Fig6. The BD color image chart at 1200UTC June 5 of 1999.

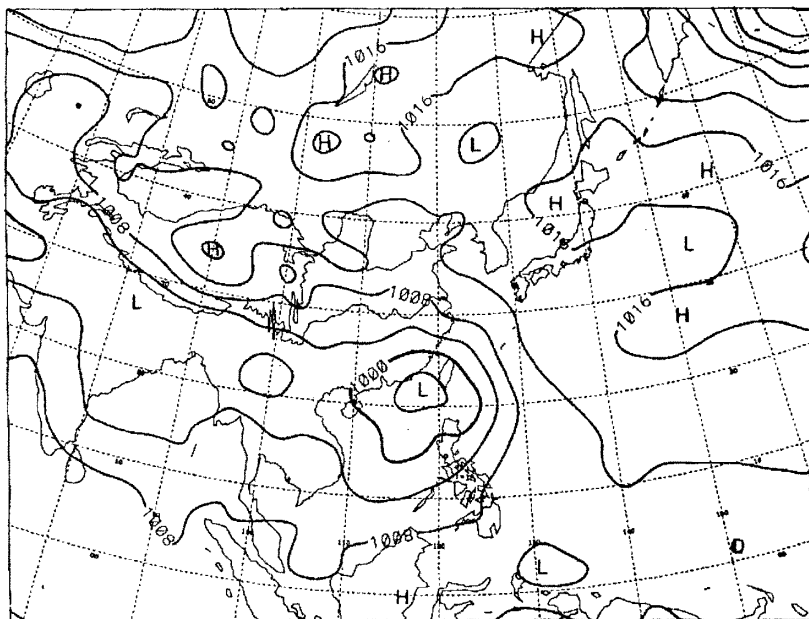


圖 8b. 1999 年 6 月 6 日 0000UTC 海平面氣壓圖

Fig 8b. The sea-level pressure(hPa) chart at 0000UTC June 6 of 1999.

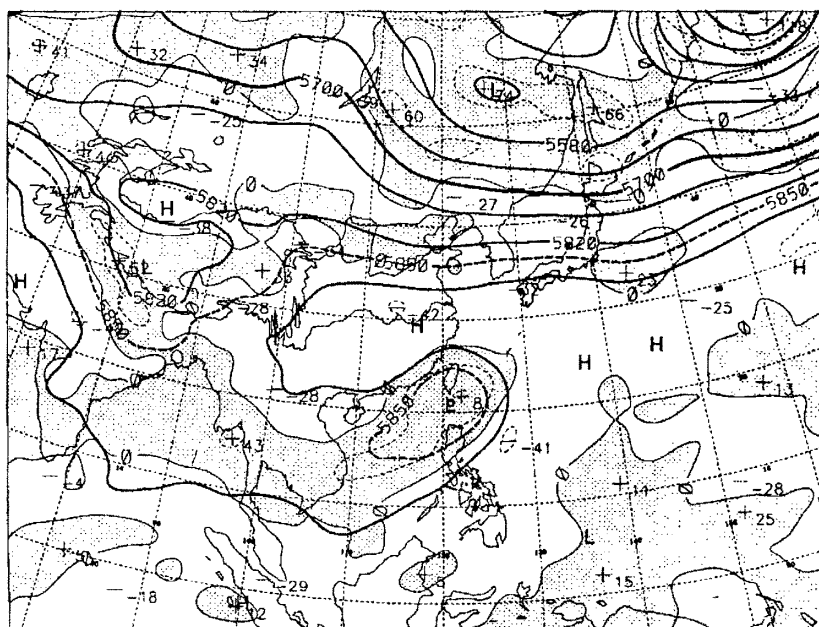


圖 8c. 1999 年 6 月 6 日 0000UTC 百帕高度圖

Fig 8c. The 500 hPa height chart at 0000UTC June 6 of 1999.

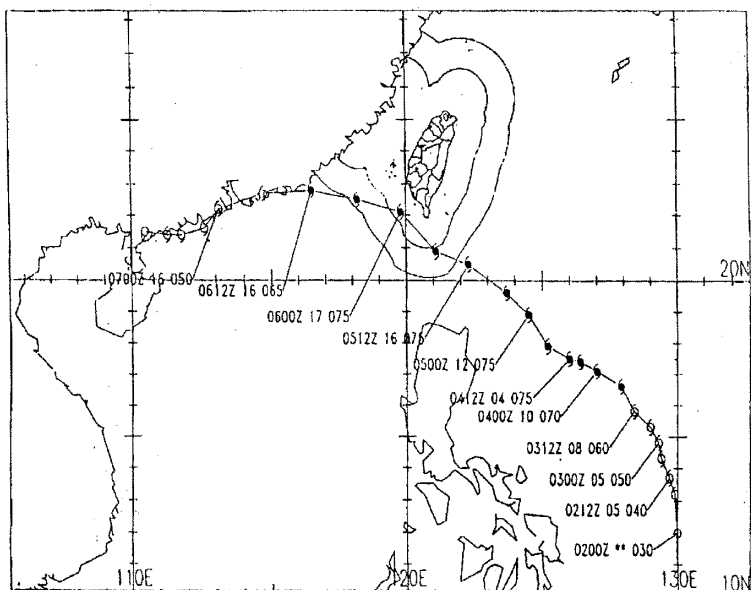
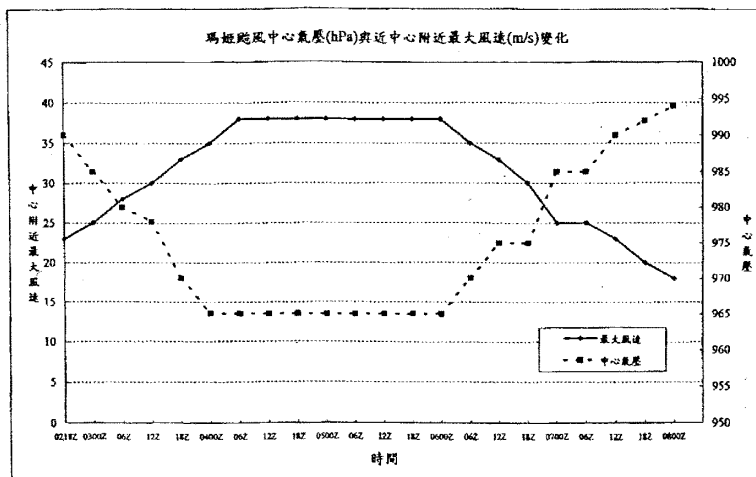


圖 9. 1999 年瑪姬颱風之路徑圖

圖中空心代表強度為輕度風風，實心代表中度以上颱風，每 24 小時之標示資料，由左至右分別為 UTC 時間、移速(kts)及近中心最大風速(kts)

Fig9. The best track of typhoon Maggie(1999).



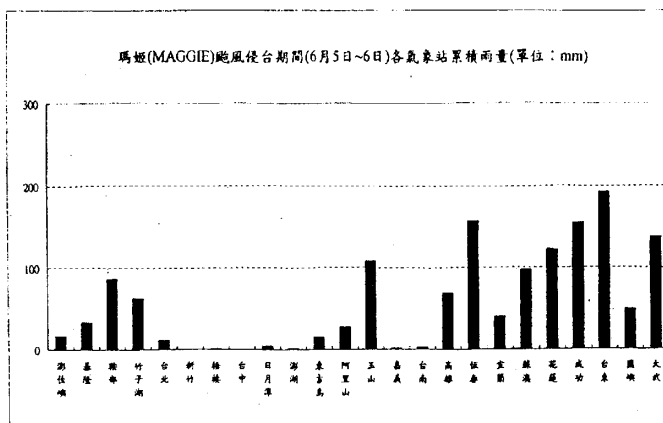


圖 11. 瑪姬颱風(Maggie)侵台期間圖(6 月 5 日~6 日)各氣象站累積雨量
Fig11. The accumulated precipitation at CWB stations during typhoon Maggie's passage(1999).

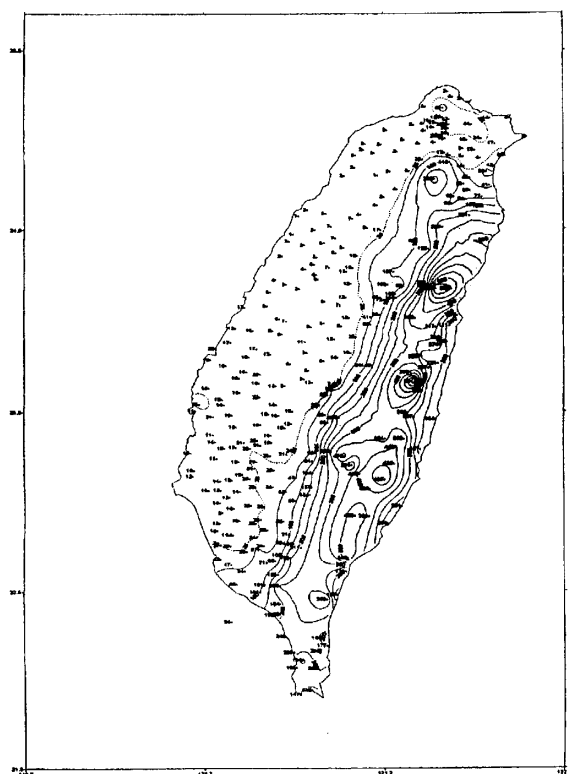


圖 12. 瑪姬颱風侵台期間(1999 年 6 月 5 日 8 時~7 日 8 時)自動雨量站測得之雨量分布圖
Fig12. The distribution of accumulated rainfall in the Taiwan area during typhoon Maggie's Passage(1999).

表 3. 瑪姬颱風侵台期間氣象要素統計表

Table 3. The meteorological summary of CWB's stations during the passage of typhoon MAGGIE.

測站 站名	最低氣壓(hPa)		瞬間最大風速(m/s)			最大風速(m/s)			最大降水量(mm)				降水總量(mm)	
	數值	時間	風速	風向	時間	風速	風向	時間	一小時	時間始迄	十分鐘	時間始迄	數量	時間始迄
彭佳嶼	999.0	06/14:57	29.8	S	06/13:23	22.3	SE	06/09:00	9.2	06/07:00	5.6	06/07:49	16.4	05/14:42~06/18:00
基隆	994.2	06/13:59	29.5	SW	06/14:07	13.9	SSE	06/14:10	6.5	06/05:05	2.5	06/05:23	32.9	05/08:48~06/14:50
鞍部 *	1348.0	06/10:01	36.8	S	06/08:19	18.7	S	06/11:25	12.0	05/16:43	4.0	05/18:46	86.6	05/08/30~06/20:05
竹子湖	993.9	06/13:23	18.3	S	06/01:10	3.2	NE	05/05:13	12.5	05/16:44	3.5	05/17:19	52.9	05/09:05~06/23:00
台北	992.6	06/13:10	23.8	S	06/07:13	11.8	NNE	06/13:17	2.5	05/16:42	1.5	05/16:50	11.2	05/08:05~06/21:00
新竹	983.4	06/07:36	26.2	NE	05/10:59	13.1	NE	05/11:00	-	-	-	-	-	-
梧棲	987.0	06/05:43	22.9	NE	05/15:02	15.5	N	05/14:53	1.0	06/20:40	0.5	06/20:40	1.0	06/20:40~06/21:40
台中	986.3	06/05:38	10.1	ENE	06/17:52	4.5	NE	06/18:12	-	-	-	-	-	-
日月潭*	1324.5	06/05:55	20.7	SE	06/08:59	8.8	SE	06/09:45	3.5	06/20:15	1.0	06/22:56	4.1	06/03:35~06/22:06
澎湖	987.6	06/05:28	24.1	SW	06/15:50	12.5	SE	06/13:49	1.0	06/15:50	0.4	06/16:10	1.0	06/13:50~06/19:30
東吉島	986.5	06/07:05	32.0	SE	06/11:33	22.2	SE	06/14:11	5.0	06/20:05	3.0	06/18:20	15.5	06/15:40~06/21:35
阿里山*	2995.0	06/03:50	23.6	SW	06/09:03	8.2	S	06/08:38	6.5	06/06:00	3.5	06/06:40	27.5	06/01:40~06/21:05
玉山	968.3	04/04:15	41.1	SE	06/06:40	17.7	E	06/14:03	15.0	06/08:00	3.8	06/08:00	108.0	05/16:30~06/24:00
嘉義	996.6	06/04:34	12.1	SW	06/13:42	5.9	SSW	06/13:47	1.0	06/18:58	0.5	06/19:38	1.0	06/18:30~06/20:40
台南	985.6	06/06:10	25.8	SSW	06/12:14	16.1	S	06/16:57	1.4	06/13:10	0.4	06/13:22	2.9	06/05:20~06/14:10
高雄	982.8	06/06:32	23.8	S	06/08:08	11.2	SE	06/09:30	36.5	06/11:55	9.0	06/12:15	69.0	06/00:30~06/17:10
恒春	974.8	06/05:21	42.0	S	06/06:24	19.4	SE	06/06:26	25.0	06/06:12	11.0	06/06:40	156.5	05/15:00~06/17:42
宜蘭	996.8	06/08:10	16.6	S	06/06:37	6.5	SE	06/06:09	12.0	06/04:15	3.8	06/14:16	40.1	05/09:40~06/22:24
蘇澳	997.8	06/08:59	25.0	SW	06/09:06	13.7	SSE	06/08:30	21.8	06/19:43	6.0	06/20:21	97.0	05/10:18~06/24:00
花蓮	999.4	06/07:50	16.3	SSE	06/07:57	11.0	SSE	06/08:34	27.0	06/19:17	5.0	06/19:25	122.0	05/14:15~06/20:45
成功	996.4	06/04:04	23.2	NE	05/15:08	12.2	SE	06/09:29	37.0	06/18:08	14.0	06/18:33	154.0	05/14:41~06/20:40
台東	993.3	06/03:31	18.6	ESE	06/03:43	7.4	E	06/04:34	46.5	06/08:40	14.5	06/18:56	192.5	05/17:15~06/20:10
蘭嶼	983.0	06/02:26	41.8	NE	06/02:23	31.1	NE	06/02:29	7.5	06/00:23	2.5	06/00:38	48.8	05/12:03~06/16:59
大武	989.2	06/03:24	25.1	SE	06/01:48	12.6	E	06/06:04	30.5	06/17:23	14.0	06/17:50	137.3	05/06:36~06/19:36

: * - 表該站屬高山測站

以台南的 25.8m/s，新竹的 26.2m/s 較大。侵台期間各地出現最大風速的風向，一般是南風或偏南風，只有蘭嶼和新竹是東北風，而最大風速出現的時間大都在 6 日清晨或上午，顯示出當時瑪姬颱風中心最接近台灣陸地。

五、最佳路徑及各種預報方法之

校驗

由於瑪姬颱風接近呂宋島附近海面時，已增強為中度颱風，其時衛星定位之準確度已較佳（表 4），路徑亦較穩定。以下則針對中央氣象局之統計模式(HURRAN 和 CLIPER)預報與日本(RJTD)、廣州(BCGE)、菲律賓(RPMM)、關島(PGTW)、香港(VHHH)及中央氣象局(CWB)所發布之主觀預測，分別就瑪姬颱風 24 小時及 48 小時預報位置之校驗加以比較討論，並針對中央氣象局的動力模式之預報結果加以探討。

（一）24 小時的預報平均誤差

如表 5 所示，中央氣象局(CWB)官方發布 24 小時預報位置之平均誤差為 170 公里，若和統計模式比較，CLIPER 和 HURRAN 均較 CWB 的預測為差；若和其他國家和地區的主觀預測比較，BCGE 和 PGTW 的預測比 CWB 的預測為佳，其平均誤差分別只有 151 公里和 153 公里，而 VHHH 和 RPMM 的預測平均誤差則遜於 CWB 之預報。

（二）48 小時平均誤差

如圖 6 所示，中央氣象局(CWB)之 48 小時預測平均誤差為 305 公里，若和統計模式比較，則顯著優於 CLIPER 和 HURRAN；若和國外的主觀預報比較則稍遜。

（三）EBM 和 TFS 模式的預報誤差

圖 13a 和圖 13b 分別為 EBM（相當正壓模式）和 TFS 模式（中央氣象局颱風預報模式）預報路徑和瑪姬颱風的最佳路徑比較，其預報誤差如表 7，由表列資料顯示，EBM 模式的預報路徑有偏南特性，颱風過台灣海峽後則偏北且稍快，其 24 和 48 小時的預報誤差分別為 162

公里和 267 公里。而 TFS 模式預報路徑一般都有偏北特性，而且速度較快，其 24 和 48 小時的預報誤差各為 138 公里和 270 公里。二者比較，在 24 小時預測方面 TFS 模式表現較 EBM 模式為佳，但 48 小時預測方面，二者誤差相近。

六、災情

瑪姬颱風中心雖然沒有登陸台灣，只在巴士海峽掠過，但其挾帶的強風豪雨，仍造成台灣南部及東南部不少災害，尤其屏東縣損失最嚴重，其主要災情如下：

（一）人員及房屋：根據內政部消防署統計，有一人死亡，四人失蹤，房屋半倒一戶。

（二）⁴³農業：據台灣省農林廳統計，農作物、農田、漁業及水利工程等共損失 8 億 8 仟 8 百萬元，以農作物損失 5 億 9 千 6 百萬元最多，受害地區以屏東損失最嚴重，達 5 億 2 千 3 百萬元。

（三）交通與民生：在公路方面，屏東花蓮、台東部分公路坍方而中斷，包括花東公路，南橫與中橫。在鐵路方面，花東鐵路受土石流影響而中斷。在空中運輸方面，則由於高雄及離島的蘭嶼、綠島、澎湖機場曾經關閉，部分航線受影響。在電力方面，全台 25 萬戶一度供電中斷，停電用戶在屏東的車城、枋寮及恆春半島就有 10 萬餘戶，高雄縣市約有 13 萬戶，另台東卑南、大武約 1 萬戶。

七、結論

瑪姬颱風為 1999 年第一個侵台颱風，其特性和對台灣地區之影響可歸納為以下幾點：

（一）瑪姬颱風自發展成為颱風後，即以西北方向前進，至巴士海峽又轉為偏西方向移動，至廣東沿海又改為向西南西進行，其生命期總共只有五天又六小時，未有足夠時間發展為強烈颱風，終其一生最大平均風速只有 38m/s。

（二）瑪姬颱風之運動方向，初期與南海之低壓產生藤原效應，至巴士海峽時，受北方高

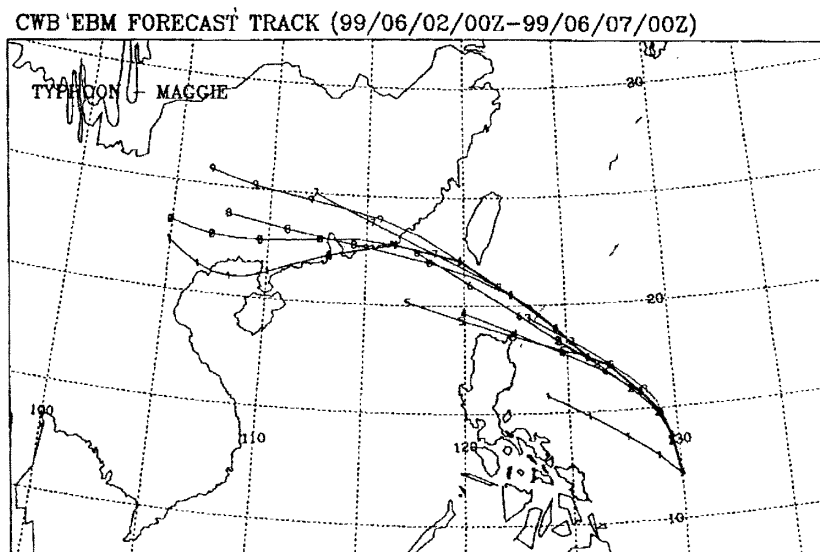


圖 13a. EBM 模式之預報路徑與瑪姬颱風最佳路徑比較圖

Fig 13a. The forecasts of EBM model and the best track of typhoon Maggie (060200UTC~060700UTC)

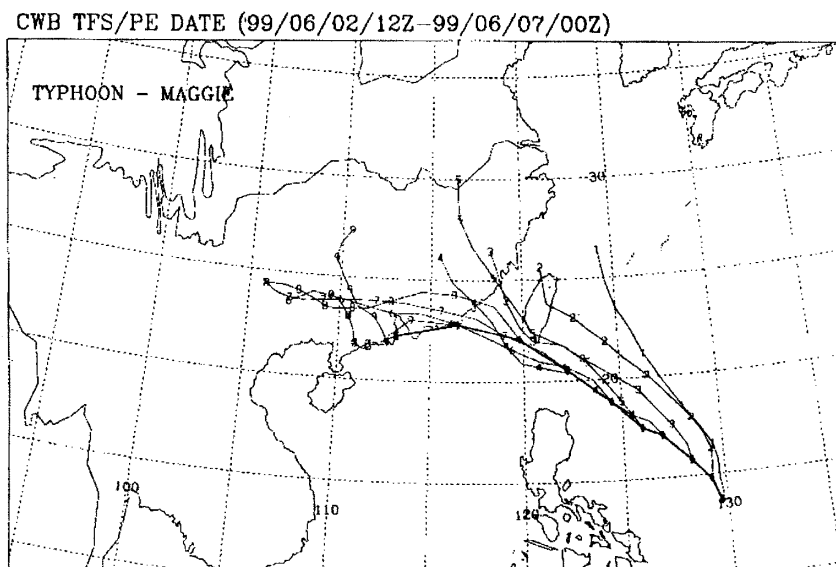


圖 13b. TFS 模式之預報路徑與瑪姬颱風最佳路徑比較圖

Fig13b. The forecasts of TFS model and the best track of typhoon Maggie (060200UTC~060700UTC)

表 4. 中央氣象局衛星中心對瑪姬颱風定位及強度估計資料表

Table 4. Center locations and intensities of Typhoon Maggie estimated by the Satellite Center of CWB.

時間			震圖 種類	中心位置		定位 準確性	強度估計 T/CI/DSW/hr	移動方向及速 度 / 針算時間	七級風半徑 (KM/象限)	十級風半徑 (KM/象限)	降水潛勢 (mm)
月	日	時		緯度	經度						
6	2	6	E/V	13.1	129.8	Poor	2.5/2.5/D/6hr	107/9/6hr			
		9	E/V	13.2	129.5	Poor	2.5/2.5/S/3hr	163/6/3hr			
		12	E/I	13.4	129.1	Poor	2.5/2.5/D/6hr	290/14/6hr			
		15	E/I	13.6	129.3	Poor	2.5/2.5/D/6hr	330/10/6			
		18	E/I	13.8	129.3	Poor	3.0/3.0/d/6hr	020/10/6hr			
		21	E/I	14.1	129.2	Poor	3.0/3.0/d/6hr	350/11/6hr			
6	3	0	E/V	14.6	129.1	Poor	3.5/3.5/D/6hr	345/8/6hr			
		3	3.5/	15	129	Poor	3.5/3.5/D/6hr	350/9/6			
		6	E/V	15.3	129	F	3.5/3.5/S/6	350/8/6			
		9	E/V	15.8	128.8	F	3.5/3.5/S/6	345/8/6			
		12	E/I	15.8	128.5	F	3.5/3.5/S/6hr	340/6.5/6hr	170/NW		
		15	E/I	15.9	128.1	F	3.5/3.5/S/6hr	280/7.0/6			
		18	E/I	16.5	127.8	F	3.5/3.5/S/6hr	315/9.0/6hr			
		21	E/I	16.8	127.5	F	3.5/3.5/S/6hr	330/10.0/6hr			
	4	0	E/V	17.1	127.1	Good	4.0/4.0/D/6hr	320/9/6hr	170/NW		
		3	E/V	17.3	126.7	Good	4.0/4.0/D/6hr	315/9/6hr			
		6	E/V	17.4	126.4	Good	4.5/4.5/D/6hr	295/7/6hr	230/NW		
		7	E/V	17.5	126.3	Good	4.5/4.5/D/7hr				
		8	E/V	17.5	126.2	Good	5.0/5.0/D/3hr	295/8/3			
		9	E/V	17.5	126.1	Good	5.0/5.0/D/3hr	290/6/6			
		10	E/V	17.5	126	Good	5.0/5.0/D/3hr				
		11	E/I	17.4	126	Good	5.0/5.0/D/6	270/4/6	250/AVG		
		12	E/I	17.4	125.9	Good	5.0/5.0/D/6	270/4.5/6			
		13	E/I	17.4	125.8	Good	5.0/5.0/S/6				
		14	E/I	17.4	125.7	Good	5.0/5.0/S/6				
		15	E/I	17.5	125.6	Good	5.0/5.0/S/6	270/4.5/6			
		16	E/I	17.6	125.5	Good	5.0/5.0/S/6				
		17	E/I	17.7	125.4	Good	5.0/5.0/S/6	290/5.5/6			
		18	E/I	17.9	125.2	Good	5.0/5.0/S/6	305/8/6			
		19	E/I	18.1	125	Good	5.0/5.0/S/6	310/10/6			
		20	E/I	18.3	124.9	Good	5.0/5.0/S/6	320/10/6			
		21	E/I	18.3	124.8	Good	5.0/5.0/S/6	315/10.5/6			
		22	E/I	18.4	124.8	Fair	5.0/5.0/S/6	310/10/6			
		23	E/V	18.7	124.7	Fair	5.0/5.0/S/6	315/11/6	250/avg		
6	5	0	E/V	18.9	124.5	Fair	5.0/5.0/S/6	325/11/6	230/avg		
		1	E/V	18.9	124.3	Fair	5.0/5.0/S/6	330/10.0/6hr			
		2	E/V	19	124.2	Fair	5.0/5.0/S/6	320/9.5/6hr			
		3	E/V	19.1	124.1	Fair	5.0/5.0/S/6	325/10.0/6hr	230/avg		
		4	E/V	19.3	124	Fair	5.0/5.0/S/6	320/11.0/6gr			
		5	E/V	19.4	123.9	Fair	5.0/5.0/S/6	315/10.0/6hr			
		6	E/V	19.6	123.7	Fair	4.5/5.0/w/6	315/10.5/6hr			
		7	E/V	19.8	123.5	Fair	4.5/5.0/w/6	320/11.5/6hr			
		8	E/V	19.9	123.4	Fair	4.5/5.0/w/6	320/10/6hr			

表 4. (續)

		9	E/V	20.1	123.2	Fair	4.5/5.0/w/6	320/12.5/6hr			
		10	E/I	20.2	123	Fair	4.5/5.0/w/6	315/12/6hr			
		11	E/I	20.4	122.7	Fair	4.5/5.0/w/6	310/15/6hr	220/w		
		12	E/I	20.5	122.3	Fair	4.5/5.0/S/6	305/15/6hr			
		13	E/I	20.5	122	Fair	4.5/5.0/S/6	295/15/6hr			
		14	E/I	20.5	121.9	Fair	4.5/5.0/S/6	295/15/6hr			
		15	E/I	20.6	121.7	Fair	4.5/5.0/S/6	290/14/6hr			
		16	E/I	20.7	121.5	Fair	4.5/5.0/S/6	290/14/6hr			
		17	E/I	20.8	121.2	Fair	4.5/5.0/S/6	285/14/6hr	220/nw	40/nw	
		18	E/I	20.9	120.9	Fair	4.5/5.0/S/6	285/13/6hr			
		19	E/I	21	120.7	Fair	4.5/5.0/S/6	290/13/6hr			
		20	E/I	21.1	120.7	poor	4.5/5.0/S/6	295/12.5/6hr			
		21	E/I	21.4	120.6	Fair	4.5/5.0/S/6	310/13/6hr			
		22	E/V	21.5	120.4	Fair	4.5/5.0/S/6	310/12.5/6hr			
		23	E/V	21.8	120.3	Fair	4.5/5.0/S/6	320/12/6hr			
6	6	0	E/V	22.2	119.8	Fair	4.5/5.0/S/6	325/15/6hr	155/nw	80/nw	
		1	E/V	22.3	119.4	Fair	4.5/5.0/S/6	320/17/6hr			
		2	E/V	22.3	118.9	Fair	4.5/5.0/S/6	305/19/6hr			
		3	E/V	22.3	118.7	Fair	4.5/5.0/S/6	300/19/6hr	180/w	75/w	
		4	E/V	22.3	118.5	Fair	4.5/5.0/S/6	295/19/6hr			
		5	E/V	22.4	118.4	Fair	4.5/5.0/S/6	290/17/6hr			
		6	E/V	22.5	118.1	Fair	4.5/5.0/S/6	285/15/6hr	240/nw	70/nw	
		7	E/V	22.6	117.9	Fair	4.5/5.0/S/6	280/14/6hr			
		8	E/V	22.7	117.6	Fair	4.5/5.0/S/6	290/12.5/6hr			
		9	E/I	22.7	117.3	Fair	4.5/5.0/S/6	285/12.5/6hr	200/nw		
		10	E/I	22.7	117.1	Fair	4.5/5.0/S/6	285/13/6hr			
		11	E/I	22.8	116.7	Fair	4.5/5.0/S/6	285/15/6hr			
		12	E/I	22.8	116.5	Fair	4.0/5.0/s/6	280/15/6hr			
		13	E/I	22.8	116.3	Fair	4.0/5.0/s/6	275/14/6hr			
		14	E/I	22.8	115.8	Fair	4.0/5.0/s/6	270/15/6hr			
		15	E/I	22.8	115.6	Fair	4.0/5.0/s/6	270/15/6hr			
		18	E/I	22.7	114.6	poor	3.5/4.5/w/6	270/17/6hr			
		21	E/I	22.5	113.6	poor	3.5/4.5/w/6	260/17/6hr			
6	7	0	E/V	22.2	112.9	f	3.0/4.0/w/6	250/16/6			
		3	E/V	21.7	112.8	f	3.0/4.0/w/6	220/10/6			
		6	E/V	21.5	112.7	f	3.0/4.0/s/6	195/7/6			
		9	E/V	21.3	112.4	f	3.0/4.0/s/6	225/5/6			
		12	E/I	21.4	111.8	poor	2.5/3.5/W/6	265/7.5/6			
		15	E/I	21.6	111.8	poor	2.5/3.5/W/6	300/5.5/6			
		18	E/I	21.7	111.8	poor	2.5-/3.5-/W/	360/3.5/6			
		21	E/I	21.7	111.3	poor	2.0/3.0/W/6	280/5.0/6			
6	8	0	E/I	22.6	111.6	poor	2.0/3.0/W/6	100/9.0/6			
		6	E/V	23.3	111.2	poor	2.0/2.5/W/6				
		12	E/I	24.5	110.4	poor	2.0/2.5/W/6				
		18	E/I	24.5	109	poor	1.5/2.0/W/6				

E: 紅外線色調強化圖

G: Good 10-30km

D: Developing

V: 可見光雲圖

F: Fair 30-60km

S: Steady

I: 紅外線雲圖

P: Poor >60km

W: Weakening

例: 325/10/6 → 325° / 10KHS / 6hr

T/Ci/DSW/hs : 1.5/1.5/D/6hrs → T: number, Ci: number 均為 1.5

EBM 模式預報誤差〔單位：公里〕

日期	12hr	24hr	36hr	48hr
060212	17	51	63	176
060300	26	12	119	157
060312	39	132	215	262
060400	132	223	288	348
060412	69	117	136	121
060500	72	135	163	324
060512	160	218	253	483
060600	153	297	498	-
060612	94	272	-	-
060700	182	-	-	-
平均	94	162	217	267

TFS 模式預報誤差〔單位：公里〕

日期	12hr	24hr	36hr	48hr	60hr	72hr
060212	44	135	185	401	511	688
060300	111	173	279	344	281	381
060312	61	202	275	227	206	424
060400	94	107	127	70	138	511
060412	52	113	79	326	734	1064
060500	11	84	23	157	318	-
060512	93	113	201	363	-	-
060600	157	212	245	-	-	-
060612	106	100	-	-	-	-
060700	36	-	-	-	-	-
平均	77	138	177	270	365	613

表 7. 中央氣象局 EBM 模式和 TFS 模式對瑪姬颱風的預報誤差比較

Table 7. The forecast errors of EBM model and TFS model for typhoon Maggie.

壓脊線阻擋，無法繼續朝北移動，只得以偏北後轉西南西之方向前進。

(三)瑪姬颱風中心未登陸台灣，所帶來的雨量主要集中在迎風面的東部、東南部和屏東地區，其中以台東最多達 192.5mm，其次是恆春為 156.6mm。以風速而言，恆春出現 42.0m/s 的瞬間風速最大，其次是蘭嶼的 41.8m/s（均達 14 級）。

(四)比較 24 小時中央氣象局(CWB)的預測與各主觀、客觀預報位置誤差結果，統計模式的 CLIPER 與 HURRAN 均較 CWB 為差。在

主觀預測方面，廣州和關島之主觀預測較 CWB 之預測佳，但香港、日本、菲律賓之主觀預測較 CWB 之預測為差。動力模式方面，在 24 小時預測誤差上，TFS 模式表現較 EBM 模式佳，48 小時預測誤差上，二者相差不多。

參考文獻

中央氣象局，1997：颱風百問

TYPHOON REPORT: TYPHOON MAGGIE OF 1999

Hsin-chin Hsu
Weather Forecast Center
Central Weather Bureau

ABSTRACT

Typhoon Maggie(9906) originated over the ocean east of the Philippines, and moved northwest toward the Bashi Channel on the fifth of June, then turned westward. After passing through the Taiwan Strait, it moved westnorthwestward along the southeastern Coast of Canton to the Hong-kong area, and decreased its intensity to a tropical depression around southern Canton.

The observation shows that there was a peak gust of 42.0 m/s at Hengchun. Owing to the topography of Taiwan, the precipitation accumulated at the eastern part of Taiwan and the maximum accumulated rainfall of 192.5mm was observed at Taitung.

The 24 hr and 48 official forecast errors of the Central Weather Bureau were 170km and 305km respectively.

Keywords: Errors of typhoon track forecasting.

Meteorological Bulletin

(Quarterly)

CONTENTS

Articles

- | | | |
|--|---|------|
| Some Seismological Aspects of the Chi-Chi Earthquake..... | Peih-Lin Leu
Wen-Chi Hsiao
Tzay-Chyn Shin
Chien-hsin Chang | (1) |
| A Verification on the CWB'S Probability of Precipitation | Kuo-Chen Lu
Shinn-Liang Shieh | (17) |
| An Examination on The Probability of Precipitation Statistical
Prediction of The Central Weather Bureau : During The Period from 1 April
to 30 June 1999 | Huei-Min Wang
Jong-Gong Chern
James C. Su | (29) |
| Report on Tropical Storm "Nichole" of 1998 | Tai-Kuang Chiou | (49) |
| Typhoon Report: Typhoon Maggie of 1999 | Hsin-chin Hsu | (63) |

行政院新聞局出版事業登記證局版台誌字第〇九七六號
中華郵政臺字第一八九三號登記為第一類新聞紙類

統 一 編 號
〇〇九〇八三八九〇二四二

ISSN 0255-5778



CENTRAL WEATHER BUREAU
64 Kung-Yuan Road, Taipei, Taiwan
Republic of China

氣象學報

季刊

第四十三卷 第四期

目次

研究論文

- 中央氣象局系集預報系統-----張庭槐 曾建翰 (1)
張忍成
- 87年度最高/低溫度統計預報成果分析-----羅存文 陳重功 (12)
- 民國八十七年颱風調查報告--芭比絲颱風(9812)-----丘台光 (29)
- 國八十九年颱風調查報告--中度颱風第4號
(國際命名: Kai-tak, 中文譯名: 啓德) -----劉復誠 (45)
- 民國八十九年颱風調查報告--第19號雅吉(Yagi)颱風-----劉復誠 (78)

出版者 中央氣象局氣象學報社

發行人 謝信良

社長 謝信良

編輯委員會 鄭明典

主任委員 王乾盈

委員 李李李林林柯陳黃

王乾盈 陳張莊劉葉葉鄭

李李李林林柯陳黃 泰隆文廣永義明

李李李林林柯陳黃 然男思英田雄典

李李李林林柯陳黃 韓素蘭

李李李林林柯陳黃 韓素蘭

李李李林林柯陳黃 韓素蘭

李李李林林柯陳黃 韓素蘭

李李李林林柯陳黃 韓素蘭

李李李林林柯陳黃 韓素蘭

台北市公園路六十四號

電話: (02)23491091

(按姓氏筆劃排列)

中央氣象局系集預報系統

張庭槐
中央氣象局氣象資訊中心

曾建翰 張忍成^註
中央氣象局氣象科技研究中心

摘 要

尋找初始場中對後續天氣變化影響最大的擾動，與探究模式預報結果所可能產生最大的分歧性，掌握天氣可能的變化，以增加對模式預報結果的信心，是發展系集預報（ensemble forecast）最主要的目標。

中央氣象局的系集預報在短期（5 天以內）和展期（5 天以上至 30 天）的系統上，分別是建構在多模式（multi-model）及延遲平均法（lagged average method）的基礎上，本研究詳述了系統的結構及發展過程。

分析 1999/2000 年冬季和 2000 年夏季，500 hPa 高度場的預報結果顯示，多模式系集預報（multi-model ensemble forecast）的準確度和中央氣象局的全球模式預報相較，不論是冬天或夏天，均有長足的進步，甚至優於部分國外作業中心單一預報模式的預報結果。

關鍵字：系集預報、延遲平均法、多模式系集預報

一、前言

進行數值天氣預報，其所選定的初始場是否就是大氣的真實狀況？永遠是個謎。大氣運動為非線性的系統，選擇差異極小的初始場，則可能得到差異極大的結果，整個過程可用下面的示意圖（圖 1）表示，圖中的星號代表完美的初始場，其餘的為模式預報時可能選定的初始場，在剛開始時，彼此差異不大，但是隨預報時間演化，其間差距愈趨明顯。

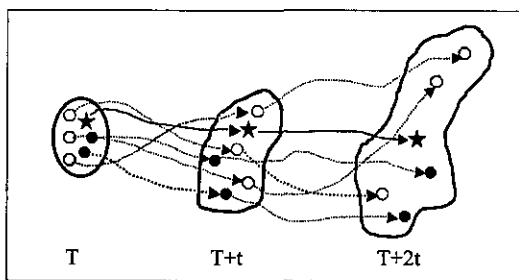


圖 1：微小的初始值差異，往往可能造成預報值不可忽略的誤差。

系集預報的精神主要在於：不改變現有模式的架構下，藉由多個彼此差異不大的初始場進行重複的預報，期望能增加對預測結果的信心度，或是，提供另外一種可能發生的天氣形態之預報。換言之，如果系集預報的產品有類似於圖 1 的狀況發生，則此次的數值預報可信度降低，但更重要的是，真實大氣的演化很有可能出現分歧的發展，此時應用模式結果應特別留心是否有此分歧發展的可能性。

二、系統簡介

中央氣象局（CWB）進行展期預報的系集預報系統是建構在延遲平均法的基礎上，利用此方法採用多組具有時間延遲（time lag）的初始場，重複利用該局發展的全球波譜模式，在模式解析度為 T79L18 下，對同一個預報目標時間（target time），產生多組的預報結果（如圖 2），再將這些預報結果整理，提供幾種較具有參考價值的物理量，如在 500 hPa 等壓面上的 5700m、5880m 等重力位高度線變化，供中央氣象局預報員參考。同時，對較短期的預

^註 張忍成現任教於中國文化大學大氣科學系

報也引進國外氣象作業中心模式的預報結果，配合中央氣象局的預報，針對短期的天氣進行多模式的系集預報。

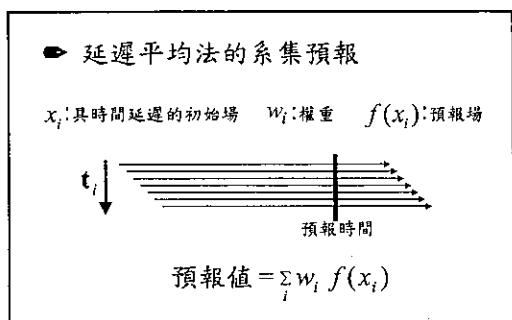


圖 2：延遲平均法的系集預報示意圖。

系集預報系統的目標在進行 30 天以內的預報，執行方式主要分成兩個部分，第一部分是針對前 5 天的預報，第二部分是 5 天以上至 30 天的預報。

前 5 天的預報，是以多模式系集預報的方法進行，將中央氣象局的模式預報，加上自 GTS (Global Telecommunication System) 所接收之歐洲中期預報中心 (ECMWF)、美國國家環境預報中心 (NCEP)、日本氣象廳 (JMA) 等其他預報中心的預報結果，共同組成樣本空間，對空間內之樣本以適當的權重 (weighting) 求取系集平均，進行每天輸出的預報。

中央氣象局目前尚未取得國外的預報中心所提供預報時間更長而且完整的預報資料，所以第二部分的預報則是完全依賴中央氣象局的全球預報模式。每天進行 35 天的預報輸出，對具時間延遲的 5 個初始場之預報結果，給予相對應的權重，針對預報的時間進行每 5 天平均的預報結果輸出，主要檢視預報結果的分散度 (spread) 並比較預報結果和氣候參考值的差異，最後也輸出 30 天平均的預報結果，提供長期預報的參考。

由預報的方法顯示模式在發展建立的階段，主要的工作在於權重的設計與決定，然而權重的設計與決定需先對各預報中心的預報結果進行檢測與評估，以期求得最合理的權重分配。

三、系統設計與建立

採用延遲平均法的架構發展展期系集預報系統，主要是希望能對既有的資源及設備，進行最有效的利用，而此方法的優越性早在 Hoffman and Kalnay (1983) 的研究中即有明確的結論，他們指出延遲平均預報法的預報結果優於單一的動力預報。

為了達成對各中心預報結果評估的目的，首先進行資料的收集。在資料收集的初期，因程式不盡完善加上衛星資料接收時間偶有延遲，影響了資料接收的完整性，後來在中央氣象局氣象資訊中心應用軟體課 (現為數值預報課) 的負責成員協助下已獲得充分的解決。但是遷就當時的硬體設備，並無充分的磁碟容量來存放收集的資料，在考量長期預報及大尺度環流的特徵下，預報因子僅先選取 500 hPa 之重力位高度場進行分析。

(一) 資料收集與檢定

首先，就收集的資料進行完整性和一致性的檢測。收集期間為 1996 與 1997 兩年，由收集的資料發現冬季 (當年 12 月到翌年 2 月，簡稱 DJF) 的資料完整性最佳，故選取接收情形較穩定的冬季資料先行評估，同時，為了比較模式在冬季和夏季的表現差異，亦選取夏季 (6、7、8 月，簡稱 JJA) 的資料一併探討。

CWB、ECMWF、NCEP 與 JMA 等各預報中心所提供的資料在涵蓋的範圍及空間解析度上均有相當大的差距，為了求資料的一致性，我們選取各預報中心的資料均能符合的條件，即在進行診斷之前，將各預報中心的資料調整至與 ECMWF 具有相同解析度 ($5^\circ \times 5^\circ$)，同時捨棄極區附近的區域，涵蓋的範圍為北緯 20° 至 80° 。再者，於預報時間的選擇上是以預報目標時間為選取條件，CWB 與 ECMWF 均以 12UTC 的預報為主預報，資料收集即以此預報為主，每隔 24 小時選取一次預報場至 120 小時，即 5 天的預報，NCEP 的主要預報是以 00UTC 為初始場，所以從預報 36 小時至 132 小時間，每隔 24 小時選取一次預報場，在進行

評估時，亦將其視為第 1 天至第 5 天的預報。如此，雖然三組不同模式有兩組不同的預報初始時間，但是對預報的目標時間是相同的。至於 JMA 的資料在其時尚未有完整的資料，所以在初步評估時尚未納入。

(二) 資料評估

將大氣運動遵循的非線性方程組以差分方程表示，並藉助電腦的快速運算進行數值天氣預報，預報和實際天氣間將存有誤差，而此誤差之大小與性質會因預報時間之長短及模式本身的特性而不同。為了有效運用各中心模式的預報資料，事前對其預報資料的校驗與評估更有其重要性。

對於數值天氣預報之校驗方法，方與陳（1989）及陳等人（1989）均有詳盡的介紹與評估，Simmons（1995）曾採用均方根誤差及異常相關係數的方法針對 ECMWF 1994/95 DJF 的預報資料進行評估。在此，僅就本文所採用的校驗方法概略介紹。

1. 平均誤差（mean error：ME）

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^N M_i (F_i - A_i)}{\sum_{i=1}^N M_i}$$

其中：

$$M_i = \cos \phi_i, \quad \phi_i = \text{緯度}$$

式中 F_i 及 A_i 分別是校驗點（以足標 i 表示）上之預報值及分析值（或觀測值）， M_i 為校驗點的權重，在此取緯度的餘弦值，其隨校驗點所在緯度增加而減少。

2. 均方根誤差（root mean square error：RMSE）

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N M_i (F_i - A_i)^2}{\sum_{i=1}^N M_i}}$$

式中符號的意義和 ME 的意義相同，ME 雖然代表模式預報的偏差傾向，但常會低估模

式預報誤差的大小，RMSE 則代表模式預報誤差的大小。一般模式預報的成績還得看預報場的型態（pattern）分佈，而 RMSE 只是模式誤差大小的指標，為模式的一種統計特性，所以無法直接代表預報的好壞，此為 RMSE 的缺點。

3. 異常相關係數（anomaly correlation coefficient：ACC）

$$ACC = \frac{\sum_{i=1}^N M_i (F_i - C_i)(A_i - C_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N M_i (F_i - C_i)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N M_i (A_i - C_i)^2}}$$

式中符號的意義和 ME 的意義相同，式中 C_i 代表氣候值，若不減去氣候值，此指數代表預報場與分析場（觀測場）的相似程度，若預報完全正確，則相關係數為 1。此指數不僅可用於預報場與觀測場，也可用於預報值變化的相關，即將預報值和觀測值減去氣候場再求相關（如上式）。此指數同樣的也是對整個預報區域求平均，對於判別天氣系統之預報是否準確仍有其限制。

ME 的大小可探究模式預報的系統性誤差，RMSE 表示預報誤差的大小，ACC 為預報值和分析值相位的相似程度，均具評估的代表意義。底下的展示圖即是對所收集資料的評估結果，圖中粗實線為 CWB、細點線為 NCEP、虛線為 ECMWF 的結果。計算時以 CWB 的初始資料分析場，選用的氣候場有二，一是 CWB 所儲存的氣候資料，一是 ECMWF 1985/86～92/93 DJF 及 1986～93 JJA 的平均場。

圖 3 為 1996/97 年經時間平均後冬季預報的平均誤差，CWB 和 ECMWF 的預報都有負的偏差（bias），NCEP 則有正的偏差。偏差值均隨預報時間的增長而加大，預報至第 5 天時，ECMWF 預報的偏差值約為 2 m，NCEP 預報的偏差值約為 6.5 m，CWB 預報的偏差值約為 10 m。圖 4 的均方根值代表誤差的真正大小，各中心的值及預報差異均隨預報時間的增長而加大，預報至第 5 天時，ECMWF 預報的均方根值約為 68 m，NCEP 為 77 m，CWB 的誤差值約為 97 m。審視各中心誤差值的成長

趨勢，均約略隨預報時間呈線性增加。

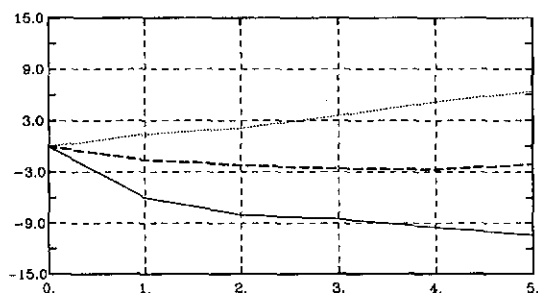


圖 3：1996/97 冬季以中央氣象局全球初始資料為分析場，各預報中心 500hPa 高度場的預報平均誤差隨預報時間的演化圖，橫座標為預報天數，縱座標為平均誤差，單位為 m。圖中粗實線表 CWB，細點線為 NCEP，虛線表 ECMWF。

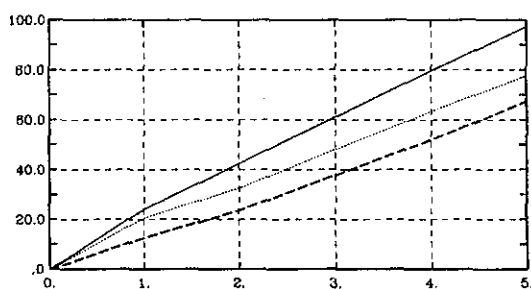


圖 4：同圖 3，但為均方根誤差。

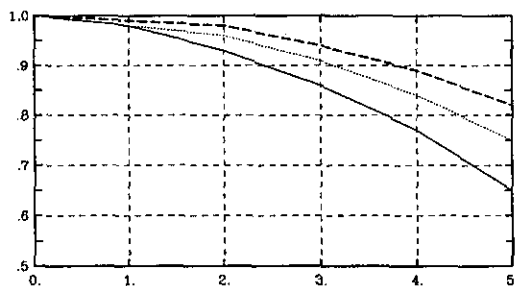


圖 5：同圖 3，但為以中央氣象局儲存之氣候資料推算而得的異常相關係數。

就異常相關係數而言，Miyakoda 等人（1972）和 Rauno（1983）均指出，此相關係數的值必須在 0.6 以上，模式的預報才具參考價值。圖 5 為以中央氣象局儲存之氣候資料計算而得的異常相關係數，預報至第 5 天時，CWB 的預報係數仍達 0.65，顯然中央氣象局的全球

預報模式對北半球緯度 20° 以北，500hPa 重力為高度場的預報在 5 天內均有參考價值，但和 ECMWF 的 0.8 及 NCEP 的 0.75 相較，仍有改進的空間。如果將平均場置換為 ECMWF 1985/86~92/93 DJF 的平均場時，其數值和隨時間的演化和圖 5 相近（圖略）。

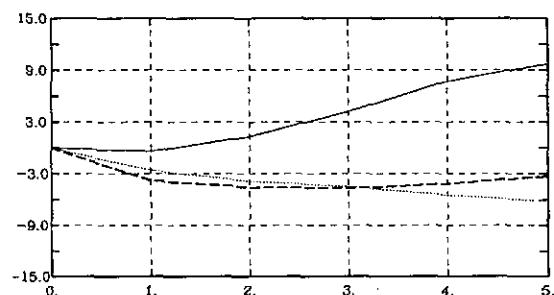


圖 6：同圖 3，但為 1997 JJA 的結果。

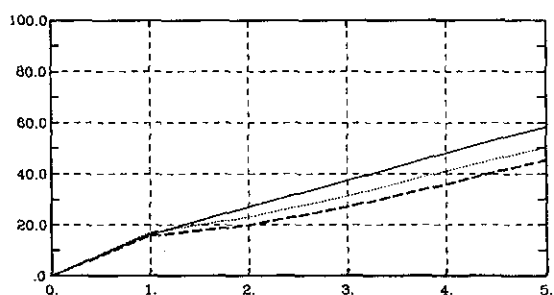


圖 7：同圖 4，但為 1997 JJA 的結果。

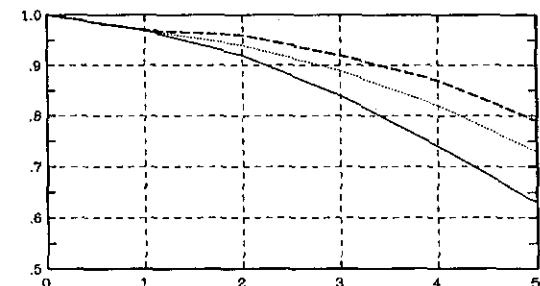


圖 8：同圖 5，但為 1997 JJA 的結果。

由夏季資料的評估顯示，平均誤差（圖 6）和冬季相較，除了 ECMWF 仍維持負的偏差值外，CWB 和 NCEP 的偏差符號均和冬季相反，CWB 由負轉正，NCEP 則由正轉負。雖然預報至第 5 天時，CWB 的偏差絕對值比 ECMWF 及 NCEP 大，但在前三天，CWB 的預報準確性並不亞於前兩者。均方根誤差（圖 7）的表現，

各預報中心的值均比冬季小，預報至第 5 天時，三者都介於 45m 至 60m 之間。圖 8 的異常相關係數分布顯示，至第 5 天時的相關係數值均較冬季小，ECMWF 值下降至 0.8 以下，只達 0.78，NCEP 值為 0.72，CWB 值為 0.64，但是仍具參考價值，若將平均場置換為 ECMWF 的平均場時，結果仍然和圖 8 相近（圖略）。

（三）權重制定

由評估的結果發現，CWB 全球模式預報結果的表現雖然不如 ECMWF、NCEP，但在 5 天內的預報仍值得信賴。形成如此結果的原因相當多，例如預報模式的解析度不同（資料收集當時 ECMWF 為 T213、NCEP 為 T159、CWB 僅為 T79）與觀測資料不夠完整等都將造成差異，而在尋求模式預報結果的改進上均已將這些工作列為重點。Baumhefner（1996）的研究指出，低解析度模式預報的系集平均，其精確度不亞於高解析度的單一預報。其實，這正也是發展系集預報的主要原因之一。

透過對預報資料評估所得的結果，並考量模式預報的季節性差異，我們選取 RMSE 及 ACC 的結果，以下列的方法分別對冬季及夏季制定權重，ME 的結果顯示模式預報的偏差，提供我們在使用模式的資料時所應注意與修正的參考。

第一種形式的權重，是以各個模式在評估期間所得的異常相關係數值為準，將各個模式所得的 ACC 值除以所有樣本模式 ACC 值的總和即為各個模式預報的權重，表示式如下，式中 i 代表模式種類，t 代表預報時間：

$$W_{i,t} = (ACC)_{i,t} / \sum (ACC)_{i,t}$$

第二種形式的權重，是以各個模式在評估期間所得的均方根誤差值為準，先求取各個模式所得的 RMSE 值的倒數，除以所有模式 RMSE 值倒數的總和即為各個模式的權重，其表式是如下：

$$W_{i,t} = (IRMSE)_{i,t} / \sum (IRMSE)_{i,t}$$

$$(IRMSE)_{i,t} = 1 / (RMSE)_{i,t}$$

由權重的設計顯示，權重不僅和模式有關，亦會隨預報時間改變，而且不同季節依據評估結果的差異權重亦不相同。但是，兩種形式的權重，彼此的預報結果差異相當有限，在下一節的校驗中，多模式系集預報的結果僅取第一種形式權重的預報結果進行討論。

四、系統預報結果

多模式系集預報的方法可以下列計算式表示：

$$ENS_t = \sum W_{i,t} f_{i,t}$$

式中 $f_{i,t}$ 為預報時間 t 時各模式(i)的預報值， $W_{i,t}$ 則是各模式在預報時間 t 時相對應的權重。

5 天以上至 30 天的延遲平均系集預報，樣本來源雖然僅有 CWB T79 的預報，而我們選取了 5 個具有時間延遲的初始場，依其預報結果進行延遲平均的計算，所以預報樣本有 5 個，權重制定方式如前，預報公式如下：

$$ENS_t = \sum W_{j,t}(cwb) f_{j,t}(cwb)$$

式中 $f_{j,t}$ 為預報時間 t 時各樣本(j)的預報值， $W_{j,t}$ 則是各樣本在預報時間 t 時相對應的權重。

以此所建立之模式（簡稱為 CWB ENS），採用 1996 至 1997 年預報資料評估的結果所制定的權重，自 1999 年 12 月 1 日開始於中央氣象局的超級電腦 Fujitsu VPP300E 上進行平行測試，於後針對 1999/2000 DJF 及 2000 JJA 的預報結果進行分析探討，校驗的區域為東亞地區，選取的範圍為北緯 20° 至 60°、東經 60° 至 140°。而為了有更客觀的校驗，在計算 ACC 及 RMSE 的過程中，分析值取 ECMWF 的格點資料，氣候參考值則採用 NCEP 1961~1990 年的平均值。

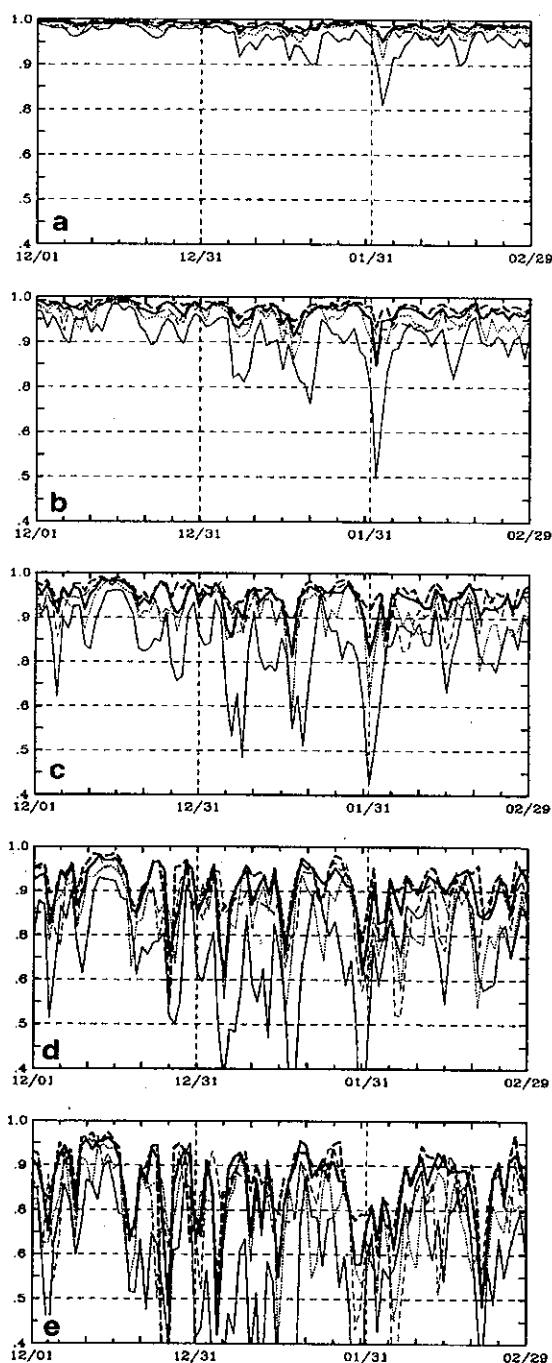


圖 9：1999/2000 冬季各預報中心預報場，以 ECMWF 格點資料為分析場、NCEP 平均場為氣候參考值，求得之 ACC 時間序列圖，橫座標為日期，縱座標為 ACC 值。圖 a 至 e 分別是第一日至第五天的結果，圖中細實線表 CWB，粗實線表 CWB ENS，細虛線表 JMA，粗虛線表 ECMWF，點線為 NCEP。

（一）前 5 天的預報校驗

1. 1999/2000 DJF

前 5 天的預報輸出時間間隔為 24 小時，首先檢視冬季的預報結果，圖 9 是 1999/2000 DJF 各個模式預報值和分析值之間 ACC 的時間序列，由圖顯示 CWB 的預報穩定程度較不如其它模式，相同的預報間隔時間，ACC 的值起伏範圍較大，例如第 1 天預報的 ACC 值，除了針對 2 月 3 日的預報外，均在 0.99 至 0.90 之間。而針對 2 月 3 日的預報，所有模式的預報均不理想，值得注意的是，雖然所有模式在 5 天內的預報上均不如其一般的水準，但 ECMWF 是在第 1 天的預報仍相當好，自第 2 天後才失去其原有的水準。

圖 9 也顯示 1999 年 12 月的預報優於 2000 年，1、2 月的預報，前 3 天的預報差異最為明顯，第 4 天後，2000 年 1 月的結果最差。此現象存在於所有的模式預報結果，而以 CWB 的預報結果最顯著。顯示各個模式的預報表現，在不同的時間仍存在著變異。比較 CWB ENS 與其它模式預報結果則顯示 CWB ENS 的預報不僅遠比 CWB 單一模式 (T79) 的預報優異，也優於 JMA 及 NCEP 單一預報模式的預報結果，而針對第 5 天的預報也有相當多的個案預報結果是優於 ECMWF。

就 ACC 的整個季節平均而言 (圖 10)，若以 0.6 的標準檢視，至第 5 天的預報時，CWB 的預報雖然仍具有參考的價值 (0.610)，但是 CWB ENS 的預報更將 ACC 值提高至 0.821，遠高於 NCEP 的 0.749 及 JMA 的 0.772，而與 ECMWF 的 0.828 不分軒輊，顯然達到了原先預期“在不增加成本的前提下，提高本局數值模式預報能力”的目的。

CWB ENS 不僅由 ACC 值的分布變化顯示其預報之價值，在季節平均後的 RMSE 隨預報時間的演變上也降低許多 (圖 11)，第 5 天預報的 RMSE 值由 CWB 的 71.1 m 降至 42.8 m，也較 NCEP 值 53.1 m 及 JMA 值 51.7 m 為小，而和 ECMWF 值 42.3 m 相近，顯示 CWB ENS 的預報在整個校驗區域的相位及平均誤差都有相當的改善。

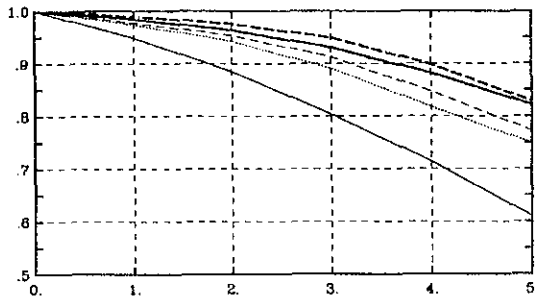


圖 10：1999/2000 冬季各中心預報場的平均 ACC 隨預報時間的演化圖，橫座標為預報天數，縱座標為 ACC 值。圖中細實線表 CWB，粗實線表 CWB ENS，細虛線表 JMA，粗虛線表 ECMWF，點線為 NCEP。

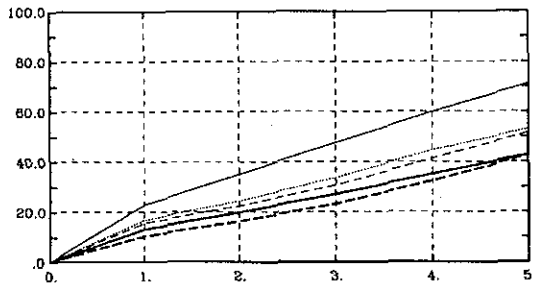


圖 11：同圖 10，但為 RMSE。

2. 2000 JJA

圖 12 是 2000 JJA 各模式預報 ACC 值的時間序列圖。就選取的東亞地區而言，夏季的預報結果和冬季相較，顯然有相當程度的落差。

但是，許多模式在預報冬季時發生的現象，夏季仍存在，例如 CWB 的預報穩定程度不如其他模式、各模式的 ACC 值在不同的時間存在著相當程度的變異、CWB ENS 的預報準確度比部份單一模式如 CWB、JMA 及 NCEP 的準確度高等，顯示這些現象是模式一般的表現，而非屬於季節性的變異。

就整個夏季而言，6 月的預報優於 7 月，8 月最不理想，所有的模式預報成績最好的時段，都是在六月中、下旬，模式的預報表現不如冬季，隨時間存在的變異也比冬季大。

就整個季節平均而言（圖 13），若仍以 ACC 為 0.6 的標準檢視，至第 5 天的預報時，

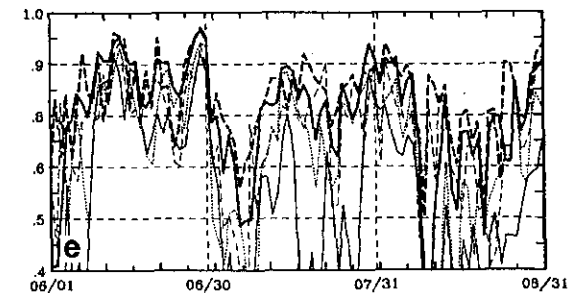
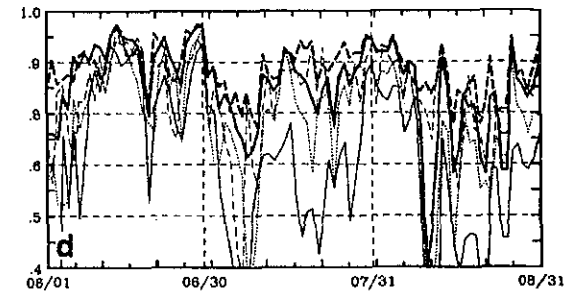
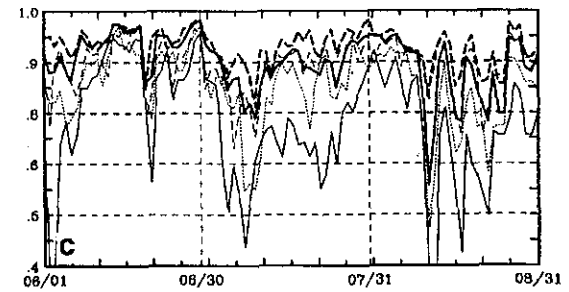
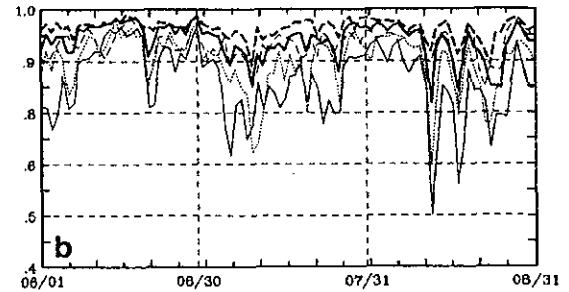
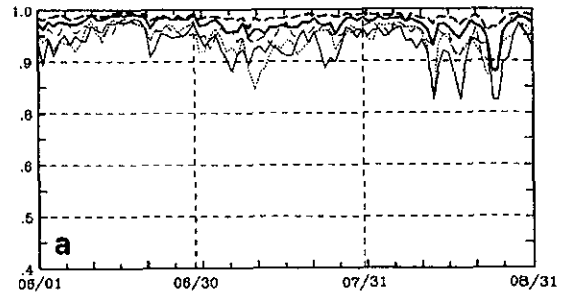


圖 12：同圖 9，但為 2000 JJA。

CWB 的值僅達 0.540，已不具特殊參考價值，在第 4 天的預報則是參考的極限（0.626）。而 CWB ENS 的預報，第 5 天的 ACC 值仍達 0.761，雖然不及 ECMWF 的 0.803，但是仍高於 NCEP 的 0.656 及 JMA 的 0.712。由平均後的數據可以發現，模式預報存在明顯的季節與季內的變化，各個模式針對東亞地區的預報，夏季的準確度顯然都不如冬季，顯示，增進模式對東亞地區夏季天氣的預報能力，是值得模式改進時的思考方向。

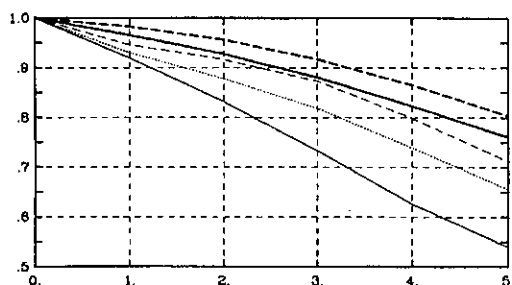


圖 13：同圖 10，但為 2000 JJA。

在季節平均後的 RMSE 隨預報時間的演變上(圖 14)，CWB ENS 第 5 天預報的值由 CWB 的 50.3 m 降至 32.7 m，較 NCEP 值為 42.7 m、JMA 值為 38.2 m 都小，而和 ECMWF 值為 30.7 m 相近，亦有相當的改善。

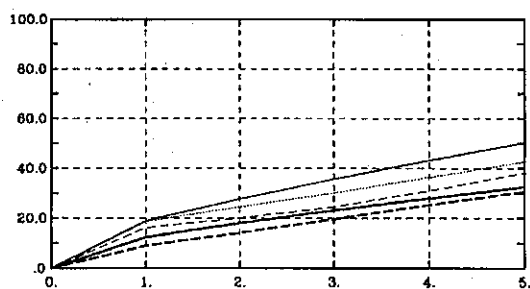


圖 14：同圖 11，但為 2000 JJA。

在校驗預報結果的過程，我們也採用過 CWB、NCEP 的分析場及 CWB、ECMWF 的氣候場，所求得的 ACC 和 RMSE 值和前述的結果差異並不大。值得一提的是在校驗的預報期間，各中心作業預報模式的解析度都相繼提高，NCEP 為 T170、JMA 為 T213、ECMWF

為 T319，而 CWB ENS 的預報準確度已媲美 ECMWF 的預報，顯示多模式系集預報的產品是相當值得參考的。

(二) 5 天以上至 30 天的預報產品

針對 5 天以上的預報，系集預報的樣本來源僅有 CWB T79 每天所提供的 35 天預報，結果採每 5 天的平均輸出，系統最初的产品僅針對 500 hPa 繪出 5700 gpm 與 5880 gpm 的等值線變化及系集預報結果與氣候參考值的差異分布。因為資料擴及全球，所以繪圖的範圍南伸至赤道。

以 2000 年 8 月 31 日的預報為例，圖 15 為預報第 6 至第 10 天平均的輸出圖。圖 15a 是 500 hPa 上 5700 gpm 與 5880 gpm 的等值線變化，其中細實線為每天的預報場（由 8 月 27 至 31 日每天分別針對 9 月 6 至 10 日的預報平均），粗實線為樣本依前述第一種形式的權重計算而得的系集平均。圖中顯示不同的地區。預報的結果會有相當大的差異，在東太平洋及美洲地區，5 個預報樣本的預報結果相當分歧，雖然系集預報的結果可以提供一個參考的分布，但是在利用中央氣象局的模式預報探究此時這些地區的天氣現象時仍是需要特別小心的，因為微小的初始值差異，往往可能造成轉折性的改變，使天氣系統產生極大的改變。相對而言，在東亞地區樣本預報結果的一致性較高，具有差異的初始場，模式預報的結果卻是相當一致，顯示模式對此時此區的預報結果是比較一致的，系集預報結果的可參考性提高。

圖 15b 是系集平均和氣候參考值（NCEP 的平均值）的差異分布，圖中的淺色表高於氣候值的部份，深色是低於氣候值的部分，配合圖 15a 的分散圖提供預報員進一步的參考。

五、結論與討論

尋求“在不增加成本的前提下，提高數值模式預報能力”的目標，系集預報的結果顯然達到了預期的目標。

中央氣象局的系集預報在短期（5 天以內）和展期（5 天以上至 30 天）的系統上，分別是

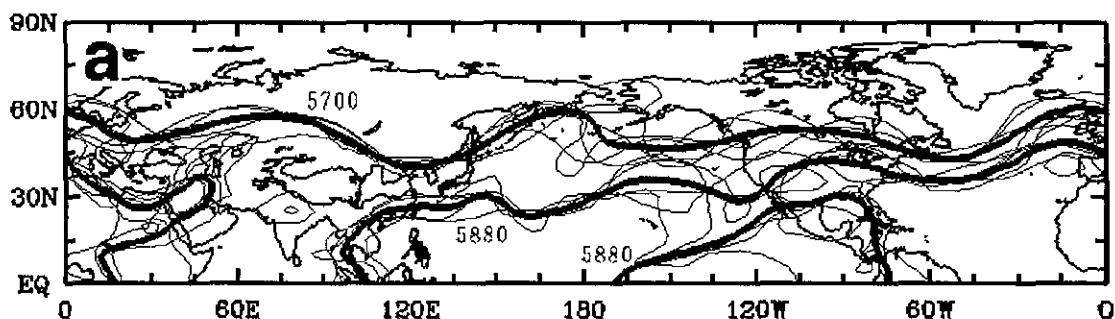


圖 15: 以 2000 年 8 月 31 日為起始時間, 預報第 6~第 10 天的平均輸出。圖 a 是 500hPa 上 5700m、5880m 的等值線變化, 其中細實線為每天的預報場, 粗實線為模式的系集平均, 圖 b 是系集平均和氣候參考值的差異分布。(單位 m)

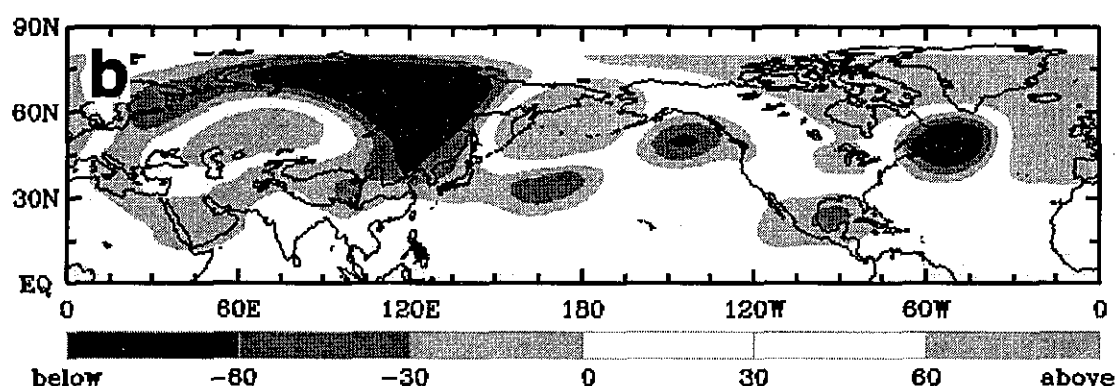


圖 15: (續)

建構在多模式及延遲平均法的基礎上。短期的多模式系集預報, 首先利用收集的歷史資料進行評估, 依據評估的結果, 進而針對預報群體中的每個樣本模式, 在不同的預報時間給予適當的權重, 進而由樣本模式的權重及預報場求出系集預報場; 延遲平均法的展期系集預報, 則是採用多組具時間延遲的初始場, 重複利用中央氣象局解析度為 T79 的全球波譜模式, 對同一個預報時間, 產生多組的預報結果, 再利用歷史資料評估後所給的權重進行系集預報。

由 1999/2000 年冬季和 2000 年夏季 500hPa 高度場的預報結果顯示, 多模式系集預報由對亞洲地區進行的評估結果顯示, 多模式系集預報的準確度和中央氣象局全球模式的預報相較, 不論是冬天或夏天, 多模式系集預報的誤差皆較小, 甚至優於中央氣象局所接收得到國外作業中心如 NCEP 及 JMA 的單一預報模式的預報結果。

由預報校驗的結果顯示, 長期(季)平均的 ACC 值分布, 多模式系集預報的結果並無法超越 ECMWF 的預報水準, 但是由 ACC 值的時間序列圖(圖 9、12)可以發現, 多模式系集預報在許多個案的預報表現是優於 ECMWF 的預報, 尤其是第 5 天的預報, 1999 年 12 月預報的平均 ACC 值, 多模式系集預報即高於 ECMWF (圖 16), 顯示 CWB ENS 的產品仍具參考價值。

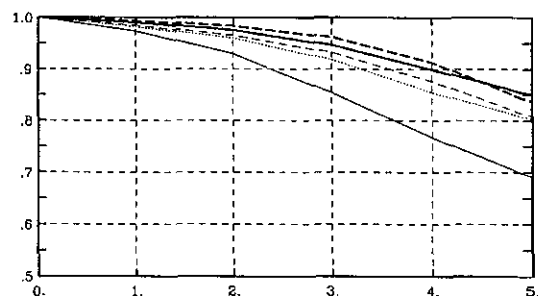


圖 16: 同圖 10, 但為 1999 年 12 月。

利用中央氣象局模式為預報樣本模式的展期系集預報，提供第 6~30 天之間，每 5 天平均的預報。針對系集預報產品的應用，我們所要強調的是它並非僅只提供一個精確的答案，更重要的是提供給預報員更多的思考方向，以文中所提，由 2000 年 8 月 27 至 31 日對 9 月 6 至 10 日的預報為例，預報的結果顯示在亞洲地區預報樣本的分散程度較小，模式在此時此區域的預報結果是比較值得信賴的，但是此時，其它地區預報樣本的分散度較大，運用時則需要特別小心，尤其要注意天氣型態轉變的可能性。

中央氣象局系集預報系統雖已初步建置完成，初期限於電腦資源及人力的缺乏，建立的系統在許多方面仍待改進。例如：在權重的建立方面，既然權重的決定取決於過去歷史資料的統計結果，收集更長時間、更完整的資料進行評估是必需的。而系統在權重的建立過程中，對各個模式預報表現的評估是以整體的區域進行考量，由預報的結果觀察，如此的評估過程顯然是不夠精細，如何建立更精確的評估系統，將是提高系集預報能力主要的關鍵。

系集預報的構想來自於統計上的中央極限定理（central limit theorem），預期當預報樣本的數目夠多時，其值會收斂到樣本數無限多所收斂的真值（true value）上。但是，究竟多少的樣本數才夠多，其結果才更值得信賴呢？ECMWF 的系集預報系統採用 51 個樣本，JMA 採用 25 個，甚至在 DEQUE（1997）的研究中指出，要達到最佳的效果，隨著預報目的的差異，系集預報所需最少的樣本數也不同，以中緯度地區的高度場為例，需要 20 個樣本，但是針對熱帶地區的降水預報，僅需要 3 個樣本，可是想預報好歐洲地區的溫度場，卻需要 40 個樣本，差異極大。無論如何，針對東亞地區的預報，現今延遲平均系集預報系統的 5 個樣本數，顯然是不夠的，配合中央氣象局未來的電腦資源，必能增加系集預報系統的樣本數，而尋找如何有效地增加樣本數的方法，是努力的方向。

另外，延長多模式系集預報的預報時間及

加入更多的預報因子，如 850 hPa 的溫度場與海平面氣壓場等皆是接續的目標。

六、致謝

感謝兩位審查委員提供寶貴意見。

參考文獻

- 方力脩與陳慧貞，1989：數值天氣預報之校驗方法綜評。《氣象學報》，**35**，48~63。
- 陳雯美、林松錦與蔡清彥，1989：中央氣象局全球數值天氣預報系統 1988~1989 預報校驗評估。《氣象學報》，**35**，263~280。
- Baumhefner, D. P., 1996：Numerical extended-range prediction : Forecast skill using a low-resolution climate model. *Mon. Wea. Rev.*, **124**, 1965-1980.
- Buizza, R., 1997：Potential forecast skill of ensemble prediction and spread and skill distributions of the ECMWF Ensemble Prediction System. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 99-119.
- Colucci, S. J., D. P. Baumhefner, and C. E. Konrad., 1999：Numerical prediction of a cold-air outbreak : A case study with ensemble forecasts. *Mon. Wea. Rev.*, **127**, 1538-1550.
- Deque, M., 1997：Ensemble size for numerical seasonal forecasts. *Tellus*, **49A**, 74~86。
- Hoffman, R., and E. Kalnay, 1983：Lagged average forecasting, an alternative to Monte Carlo forecasting. *Tellus*, **35A**, 100~108。
- Miyakoda, K., G. D. Hembree, R. F. Strickler, and I. Shulman, 1972：Cumulative results of extended forecast experiments, I : Model performance for winter cases. *Mon. Wea. Rev.*, **100**, 836~855。
- Nieminen, R., 1983：Operational verification of ECMWF forecast fields and results for 1980-1981. *ECMWF Technical Report NO. 36*, 40pp。

Simmons, A. J., 1995 : The skill of 500hPa height forecasts. *Seminar on predictability volume I, ECMWF, 4-8 September 1995* 19~68.

The Ensemble Forecast System of the Central Weather Bureau

Ting-Huai Chang¹, Chien-Han John Tseng² and J.-C. Joseph Chang^{2 *}

¹ Computer Center, Central Weather Bureau

² Research and Development Center, Central Weather Bureau

ABSTRACT

The most principal aim of developing the ensemble forecast is to look for the largest perturbations inherent in the initial fields that influence the weather changes for the following weather scenario, and to investigate the occurrence of the largest diversity inherent in the model forecasts in order to enhance the confidence on the forecast results of the models.

The Ensemble Forecast System of the Central Weather Bureau, for the short term (within 5 days) and the extended term (over 5 days up to 30 days) respectively, is based on the multi-model and the lagged average method. And this research clearly elaborates the structures and the developing process of the Ensemble Forecast Model.

The analysis on the 500hPa geopotential height forecast results during 1999/2000 DJF and 2000 JJA shows that no matter whether it is in the winter or in the summer, the accuracy of the multi-model ensemble forecasts compared to those of the global-model forecasts has increased to a large amount; and even superior to forecasts made by portions of the foreign operation centers.

Key Words : Ensemble Forecast, Lagged Average Method, Multi-Model Ensemble Forecast

* Current affiliation : Department of Atmos. Sci., Chinese Culture University

87 年度最高/低溫度統計預報成果分析

羅存文 陳重功
中央氣象局科技中心

摘 要

於 87 年 7 月 1 日至 88 年 6 月 30 日期間，中央氣象局(CWB)開始使用 Perfect prog (PP)統計預報模式，進行日常最高/低溫度預報指引作業。經預報校驗結果顯示，最高與最低溫度的各項預報狀態評比，皆十分近似。就預報準確度而言，多呈現隨預報時段的增長，準確度下降。其中以冬季(11 月至 1 月)平均絕對誤差值(MAE)最大，而梅雨季(5、6 月)與夏季(7、8 月)為最低。在偏差(Bias)分析上，除梅雨季呈現微弱的暖偏差(Warm bias)，其餘各季節均以較強的冷偏差(Cold bias)出現，其中冬季的情況最甚。對於預報散度與趨勢的變化分析結果，則以冬、春季(2-4 月)的預報最佳，預報指引的可信程度最好；然而夏季的預報趨勢，卻十分不理想，個別表現僅達到 50%左右。

在冬季與梅雨季期間預報差異的地理分布上，中央山脈的高聳地形仍然是影響分布情勢的最主要因素。而隨著預報時段的增長，預報誤差分布形勢的演變近乎一致。主要的地理差異，在於預報模式建立及測試階段的校驗分布形式，和預報作業時的分布變化相差頗大，從而突顯出 ECMWF 的客觀分析場與 CWB 區域動力數值模式本質的差異。

台北測站的預報與觀測對應分布情形顯示，冬季的最高溫度相對應分布最為一致，然最低溫度則顯出在趨近低溫的極端區間時，即出現預報不足的現象。梅雨季最高/低溫度在低於觀測區間的中間值部分，預報呈現嚴重的偏暖(預報不足)現象。

關鍵詞：統計預報、預報指引，絕對平均誤差、偏差

一、前言

統計預報指引在日常預報作業上之應用，已成為氣象先進國家預報作業上不可或缺的工作。主要的原因可歸因於，統計預報指引能夠對某一特定點，提供實質上的定量預報，突破了動力數值預報的區域定性預報的限制；並且經由透過統計預報指引產生的協助，可以有效地降低動力數值預報模式所產生的系統性誤差，進而達到提高預報準確度的目的。

最高/低溫度(T_{max}/T_{min})的預報指引需求，自起始初期(1968)即為美國 NMC 納入官方的主要預報作業指引項目之一(Klein and Lewis, 1970)，統計預報模式的技術的發展，亦由 Perfect prog 的應用，持續發展至今日的 MOS

預報系統。中央氣象局為落實動力數值預報模式的應用，在最高/低溫度統計預報指引的研發過程上，規劃出數個循序漸進的步驟。首先，對影響台灣地區的最高/低溫度的主要因子進行探討(陳等 1997)；並更進一步建立最高/低溫度的 Perfect prog 預報迴歸方程，以瞭解本局的 LAFS(Limited Area Forecast System)動力數值模式的預報特性(陳等 1998)。經過上述的逐步研究分析後，於民國 87 年 7 月 1 日起，應用 LAFS 預報產品於 Perfect prog 統計預報模式，對全省各個氣象局所屬測站，進行正式上線統計預報最高/低溫度的預報指引運算，提供預報員進行官方預報作業的參考。

本文即對於民國 87 年 7 月 1 日至 88 年 6 月 30 日期間，統計預報所提供之全省最高/低

溫度預報指引進行校驗分析。根據盧與陳(2000)的研究分析所指出，在此期間臺灣地區均處於持續偏暖的長期高溫現象；尤其以 87 年 9 月至 12 月期間，全省的氣象局各個測站的月均溫均突破 50 年來的最高溫度紀錄。然而相較於此上線作業的校驗期間，Perfect prog 統計預報模式的建立與測試期間，民國 74 年 7 月 1 日至 84 年 12 月 31 日，全省的平均溫度是處於較低溫的氣候期間。

表一所呈列為各季的最高/低溫度在上線預報作業期間全省觀測平均值，與統計預報模式建立期間(民國 74 年 7 月 1 日至 83 年 12 月 31 日)的差值。據表一中顯示，除了 5、6 月(梅雨季)的季平均溫有變冷的現象存在，大部分的季節都是變得更暖。最高溫度由 11 月至 4 月(冬、春季)，增溫程度均大於 1°C，以春季的增溫程度最高(1.24°C)；最低溫度只有 11 月至 1 月(冬季)期間，增溫大於 1°C，差異高達 1.88°C。因此，是否季節年際變化的差異，會導致統計預報指引的預報偏差呢？如果前述問題是成立的，那麼季節上的年際差異對預報誤差的貢獻程度達到多少？均值得去探討。

表一、預報模式上線與建立期間，各季最高/低溫度全省觀測平均值的差異。

月份 差值		月份				
		07-08	09-10	11-01	02-04	05-06
項目						
最高溫度	74－84 年	30.33	27.25	20.98	21.88	28.15
	87－88 年	31.23	27.92	22.03	23.12	27.49
	差 異	+0.90	+0.67	+1.05	+1.24	-0.66
最低溫度	74－84 年	23.55	21.13	14.68	15.45	21.75
	87－88 年	24.33	21.99	16.56	16.27	21.08
	差 異	+0.78	+0.86	+1.88	+0.82	-0.67

以下文中茲就各季預報指引的準確度、平均偏差狀態、分布散度變化與預報趨勢等各個方面，進行季節性預報的評比分析。並針對冬季與梅雨季預報指引的預報特徵，作更深入的瞭解。

二、資料與研究方法

本文中所討論的最高/低溫度的統計預報指引分析，採用 Perfect prog 統計預報模式。雖然以目前的技術發展評比，在理論與實際應用上皆證實 MOS 較 Perfect prog 有更準確的預報成果(Eli, J., J. Bower *et al.* 1990)，但對於監測動力數值模式預報之穩定程度而言，則 Perfect prog 統計預報模式顯然更能敏銳地反應出誤差的變化特質。

(一)、模式資料

Perfect prog 統計預報模式的迴歸方程建立部分，與陳(1997)的冬季最高/低溫度統計預報測試分析中的建立方式相似；在預報因子部分以 ECMWF 的 2.5° x 2.5° 客觀分析場(00Z)為迴歸方程發展的基礎，以 500 百帕以下各個大氣環流變數為主要的因子考量；其中預報因子所代表的空間變化特性，包含了以東亞區域大範圍(PCA/Principal Component Analysis)、台灣附近鄰近 4 個單一網格點(SGP/Single Grid Point)及其平均值(AVG/Average)所代表的局地區域等不同天氣系統尺度的變化要素。

各個預報元為本局的 25 個氣象觀測站的逐日最高/低溫度。資料期限起自 1985 年 7 月 1 日至 1995 年 12 月 31 日。預報區域(台灣地區)的季節劃分，以 7、8 月代表夏季，9、10 月為秋季，11 月至隔年 1 月份則為冬季，2 至 4 月代表春季，而 5、6 月則為梅雨季。

當各測站之最高/低溫度統計迴歸模式確立後，即取用中央氣象局的 LAFS 數值模式 00Z 客觀分析場與 00Z 初始化的 24、48 小時的預報場產品及 12Z 初始化的 12、36 小時的預報場產品，對各個測站進行不同時段的最高/低溫度統計預報指引之運算。最高/低溫度統計預報模式，所使用的主要預報因子列於表二，其中以 850 百帕至 1000 百帕間的厚度場為主要的預報因子，而 500 百帕以下的各層平均相對濕度場為最高溫度變化的次要預報因子；其餘的則為最高或最低溫度在某特定季節內，代表某地區之各個測站的重要預報因子。表二中預報因子

的代碼，請詳細參閱陳、羅等(2000)的統計預報系統發展該文中之表四。

表二、最高/低溫度所的主要預報因子

場量	預報因子	最高溫度	最低溫度	備註
熱力	00801PCA01	1 st	1 st	全年
	00801AVG01	1 st	1 st	
	00801SGP03	1 st	1 st	
	00701AVG01		1 st	春季
	80701AVG01		1 st	夏季
動力	溫度	85016AVG01	1 st	冬季除外
	U	85048AVG01	2 nd	冬季
	溫度	85051AVG01	1 st	夏季
	70051AVG01	2 nd		梅雨、秋季
濕度	濕度	50A88AVG01	2 nd	全年

附註：1. 如 1st 為預報方程第一位預報因子；2nd 代表高過於第二個預報因子。

2. 表中斜體字代表所示斜體數字的含意。

(二)、分析方法

迴歸方程的建立，主要使用 Forward 選取相關迴歸因子方式(Neter *et al.* 1983)。而因子的析取過程中，使用的分析方式有 PCA、區域平均值(AVG)與單獨的網格點(SGP)等。PCA 的分析方式詳述於陳(1997)的分析方法一節中，目的在於析取出東亞區域的綜觀天氣系統的主要變化因素。

對於此一期間的最高/低溫度的統計預報結果，所採用的預報分析方式有：各季的平均絕對誤差(MAE；Mean Absolute Error)、偏差(Bias)，標準差(Std；standard deviation)與相關程度(Cor；Correlation)等運算。其中平均絕對誤差與偏差的運算公式如下：

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f_i - o_i|$$

$$Bias = \bar{f} - \bar{o}$$

此處 f_i 與 o_i ，分別代表第 i 次之某時段統

計預報值及相對應於該預報時段的實際觀測值；而 \bar{f} 與 \bar{o} 則分別為某時段的預報值與對應實際之觀測值的季平均值。平均絕對誤差的應用目的，在於評比出各個時段預報的準確度；而季偏差的計算，則在顯明預報平均的差異狀態。

在除去偏差分析後，藉著透過標準差的分析，檢驗各個不同時段預報的分布散度；並由相關程度的情形，瞭解各個預報的預報趨勢變化狀況。文中應用上述的分析方式，比較不同季節的各個時段統計預報的差異評比。分析過程中，並引用各個時段預報的季平均誤差值，除以相對應實際觀測的標準差值(常態化)，藉以瞭解各季統計預報方程間的預報準確程度能力的相對優劣表現。

三、各季預報校驗評比分析

(一)、平均絕對誤差(MAE)

在最高溫度的預報準確度(MAE)分析中(見圖 1(a))，7、8 月與 5、6 月之各個時段的預報誤差度均小於 1.5 °C，9、10 月期間則顯示在 1.5 °C 附近徘徊；而 11 月到 4 月，各時段的預報誤差值約均高過 1.5 °C，且隨著預報時段的增加誤差程度迅速加大，其中以 48 小時的預報誤差高達 2.3 °C 以上。但在圖 1(b)所顯示的為圖 1(a)中的各個預報時段的預報誤差經過常態化處理，亦即個別除以相對應的觀測值的標準差；其目的在於顯出各季預報方程的實際預報能力。顯示出 5、6 月期間的常態化誤差值比率仍然表現最好，各段值均低於 0.5。而 11 月至 1 月及 2 月至 4 月兩季，其表現則與圖 1(a)的情形完全相反，各段變化約集中於 0.5 附近；7、8 月及 9、10 月兩季的表現，則顯得大於 0.5，以 7、8 月的比率最大，數值將近達到 1 左右。

最低溫度的預報準確度分析部分，顯示於圖 2(a)。除 11 月至 1 月期間的變化分布和最高溫度的情形一致外，其餘各季的預報誤差，均比最高溫度的表現佳；其中 7、8 月、9、10 月及 5、6 月部分預報誤差量均小於 1.2 °C；而 2 月至 4 月間則預報誤差值約集中於 1.2 至 1.5 °C 之間，較最高溫度的案例約降低了 0.5 °C。

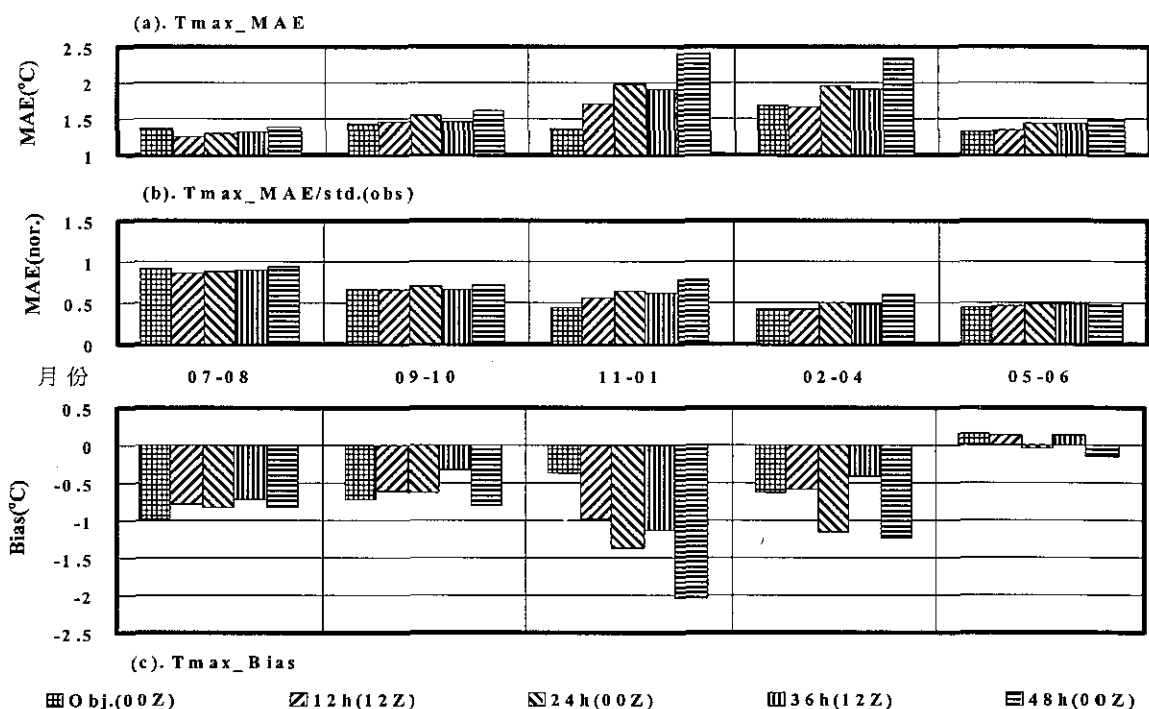


圖 1. 全省最高溫度各季節之各個預報時段的預報校驗，(a)平均絕對誤差分布、(b)常態化平均絕對誤差分布與(c)偏差度的分布，(民國 87 年 7 月至 88 年 6 月)

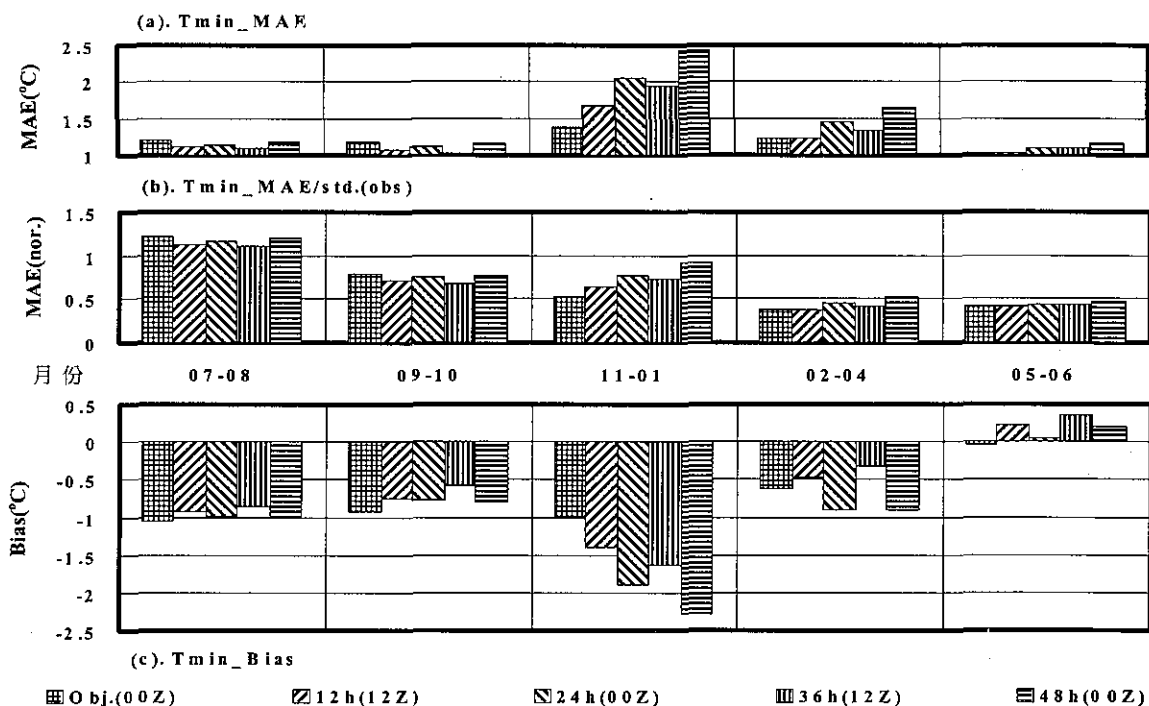


圖 2. 全省最低溫度各季節之各個預報時段的預報校驗，(a)平均絕對誤差分布、(b)常態化平均絕對誤差分布與(c)偏差度的分布，(民國 87 年 7 月至 88 年 6 月)

圖 2(b)所示為 2(a)案例的常態化比例分布情形，其中顯見各季的分布與最高溫度案例的分布形式近乎一致，而僅 7、8 月的比率值提升至 1.2，較最高溫度案例中高出 0.3。

由以上的分析結果可知，各季的預報準確度的優劣評價與各季預報方程的預報能力評比，有很大的差異。以預報準確度而言，7、8 月表現最佳，而 11 至 4 月的表現最差。然而就預報方程的預報準確能力上，情形截然相反，

其中 7、8 月反而是表現最差的季節，11 至 4 月的表現卻較好。

同時，在本節所分析的圖中清晰的反應出，動力數值預報存在著明顯的日、夜變化的差異。12(12Z)、36(12Z)及 24(00Z)、48(00Z)分別兩組不同初始時間的預報，展現出各自不同的預報誤差成長變化率。因此，亦造成 36(12Z)小時預報的誤差反而較 24(00Z)小時的為低，其中以 11 至 2 月的情形最突出。

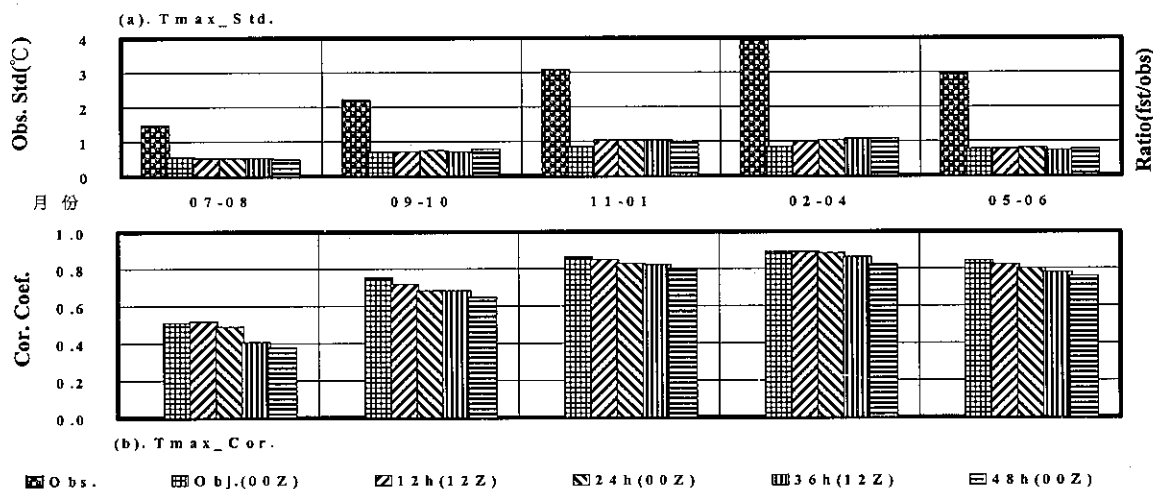


圖 3. 全省最高溫度各季之各個預報時段的統計預報校驗，(a)標準差(Obs./左側)及相對標準差比值(obj.、12h、24h、36h 及 48h/右側)、(b)相關係數的分布。(民國 87 年 7 月至 88 年 6 月)

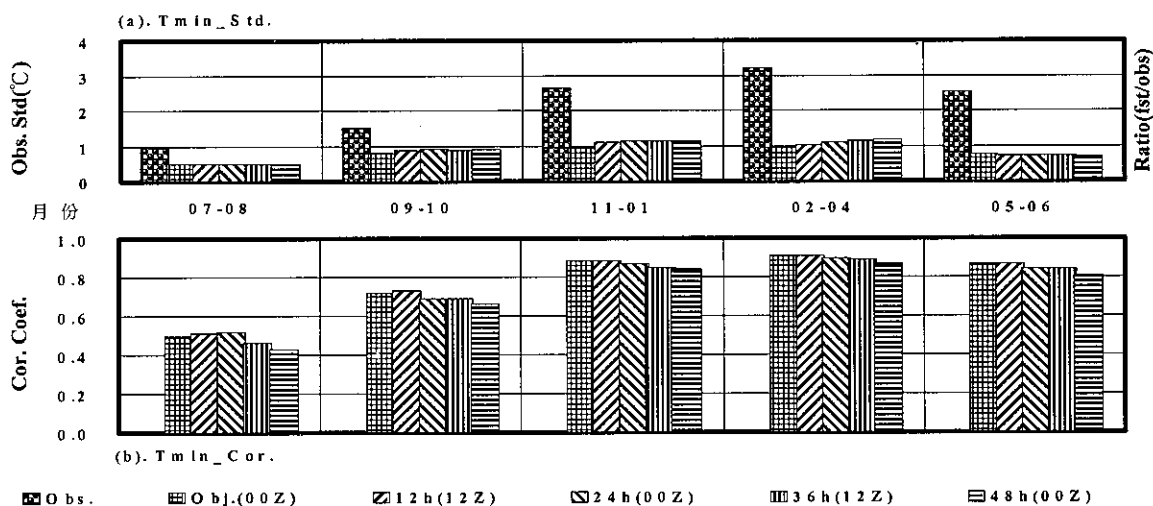


圖 4. 全省最低溫度各季之各個預報時段的統計預報校驗，(a)標準差(Obs./左側)及相對標準差比值(obj.、12h、24h、36h 及 48h/右側)、(b)相關係數的分布。(民國 87 年 7 月至 88 年 6 月)

基本上，各季平均絕對誤差的表現，在最高/低溫度均顯示出，隨著預報時段的增加，誤差的變化有遞增的趨勢；若冬季除外，各季的最低溫度的預報準確度均較最高溫度為佳。

(二)、偏差(Bias)

圖 1(c)及 2(c)分別為最高/低溫度各季的偏差(bias)分布，由圖中明顯地顯示出 5、6 月為唯一略呈暖偏差(warm bias)的季節，並且在各季中偏差程度最小。其餘各季均為冷偏差(cold bias)，且都大過 -1°C ，其中以 11 月至 1 月期間的冷偏差值最大(均小於 -1°C)，48 小時預報的冷偏差值達到最深，最高溫度的案例為 -2°C ，最低溫度時為 -2.5°C 。對各個預報時段而言，最高溫度均較最低溫度略暖了 0.5°C 左右。

日、夜變化所產生差異現象，更明顯的呈現在偏差度的分析圖中。如春季的偏差度部分，obj.(00Z/08LST)、24 與 48 小時的預報偏差度值有漸趨冷的現象，而 12Z(20LST)初始的 12、36 小時預偏差度則呈現漸趨暖表現。冬季(11-1 月)亦存在類似的日、夜初始差異所造成的影響，但均呈現漸趨冷的趨勢，唯 00Z 初始的預報(24、48 小時)偏差度比 12Z 初始的預報(12、36 小時)偏差度值的增加率較大。

(三)、標準差(Std)

圖 3(a)與 4(a)分別為各季的最高/低溫度的觀測標準差值，與各個預報時段的相對標準差比率(對比於觀測標準差)。各季的觀測標準差的分布如圖中所示，7、8 月(夏季)呈現出最低值，至 2 月至 4 月(春季)達到最高大，再下降至梅雨季標準差值。最高與最低值兩季間的差異程度，在最高/低溫度的案例中，約差了 2.2°C 。就整體而論，最高溫度的觀測標準差，在各個季節中均較最低溫度多出約 0.4°C 以上；其中以 9、10 月的差距達 0.7°C 為最多，而 2 至 4 月達到 0.6°C 次之。

最高/低溫度的預報表現上，圖中顯示 11 月至 1 月與 2 月至 4 月兩季的分布散度變化比率最大，各時段均達到 1，和觀測的分布散度相同。5、6 月及 9、10 月的預報散度變化比率值

次之，數值約在 70%至 85%的範圍內。7、8 月的比率值最小，顯示出夏季各預報時段的預報分布散度變化度都嚴重不足，僅表達了 50% 的實際觀測現象而已。各季的各個預報時段的比率變化均相當一致，並無極端的差異現象出現在同一季的不同預報時段間。

(四)、相關程度(Cor)

在預報趨勢變化的相關程度分析上，圖 3(b)及 4(b)分別代表，最高/低溫度各季的實際觀測與各個預報時段預報的相關係數的分布。基本上，最高/低溫度的逐季分布情況近乎一致，均存在相關趨勢隨著預報時段的增長，呈現出漸減的現象，且遞減的程度約在 10% 以內。其中 7、8 月間的相關程度表現最低，約自 0.5 降至 0.4。而 9、10 月間的變化，則約由 0.75 降至 0.65。在 11 月至 1 月期間的情形，約由 0.87 降至 0.8。至於 2 月至 4 月間，為相關係數最高的季節，約由相關係數 0.9 降至 0.82；5、6 月期間，則由 0.85 降至 0.77。

由上述的各個季節表現可知，夏季(7、8 月)各個預報時段的預報變化趨勢，表現的可信度不足，致使預報趨勢指引的可用性較為低。而其餘各季的情形都比較好，11 月至 6 月期間，各個預報時段的預報趨勢導引，均呈現出肯定的預報參考價值，其中以春季的表現為最好。在標準差與相關程度的分析中，日、夜變化所產生的影響並不十分的明顯。

經由本節上述分析，採用預報模式的特性與實際預報評比，兩個不同的觀點來探究其表現的優劣。首先，就預報模式建立優劣的觀點而論，5、6 月的梅雨季期間的預報模式有較優的建立可信度及預報穩定度。因為，常態化的平均絕對誤差值最小，季偏差最少，且預報的標準差及相關趨勢都達到相當高的可信程度。反之，夏季(7、8 月)間，常態化平均絕對誤差值最大，剩餘項目中除季偏差表現居中外，分布散度與相關程度均不足以可信，且模式預報的穩定度不佳。但若考量實際預報評比的觀點，則因冬季(11 月至 1 月)的平均絕對誤差及季偏差都是預報表現最差的，反倒不是夏季。然而，

梅雨季在此二項卻仍是預報評比最佳的季節。

四、冬季與梅雨季的預報誤差分布

本於實際預報參考的需求，預報準確與否成為判定該預報模式的預報指引使用價值的重要指標。因此，本節茲就前段之實際預報的各項評比綜合之，就最優及最差的冬季及梅雨季，進行區域性預報誤差與偏差的探討與分析。藉以瞭解台灣各個地區在此一統計預報模式，所展現出的個別特徵。

(一)、冬季(87年11月至88年1月)

1、最高溫度

冬季最高溫度統計預報模式建立的背景分析，主要有(1)建立期間各個預報觀測站的平均絕對誤差(MAE)分布狀態(圖 5(a) 中的短實線)，與(2)模式測試期間的 MAE (虛線)及偏差度(實線)。在平均絕對誤差的比較上，模式建立與測試期間的區域分布情形是一致的，誤差最大區域集中在中央山脈高峰區(玉山一帶)，誤

差約達到 1.5°C 。並且向各個方向遞減。其中以向東部地區的遞減梯度最大，向北部的遞減梯度最小。其中東南沿海沿伸至西南部沿海誤差值到達 1°C ，其餘沿海地區則有 1.25°C 的誤差。在測試期間之偏差度的分布上，除彭加嶼、淡水至新竹一帶、玉山與大武為暖偏差(+)外，全省均呈現冷偏差(-)的狀態。

圖 6(a)至(e)分別為最高溫度模式上線作業期間的客觀分析場(00Z)、12(12Z)、24(00Z)、36(12Z)及 48(00Z)小時的預報平均絕對誤差(黑虛線)與偏差度(灰實線)分布。大部分的區域都顯現受預報冷偏差所掌控，由客觀分析至 36 小時預報，僅在北部地區有暖偏差出現。至 48 小時預報，結果顯現出全省均籠罩在冷偏差的掌控中。

對於平均絕對誤差分布，客觀分析場呈現出以阿里山區域的誤差值(2°C)最大，向四方遞減。唯 1.5°C 誤差等值線，集中於桃園沿海至雲林、嘉義一帶，而中部山區與花蓮一帶及部分台南、高屏區域則介於 1.25°C 與 1.5°C 之間，恆春半島的誤差則小於 1°C ，形成由東向西及

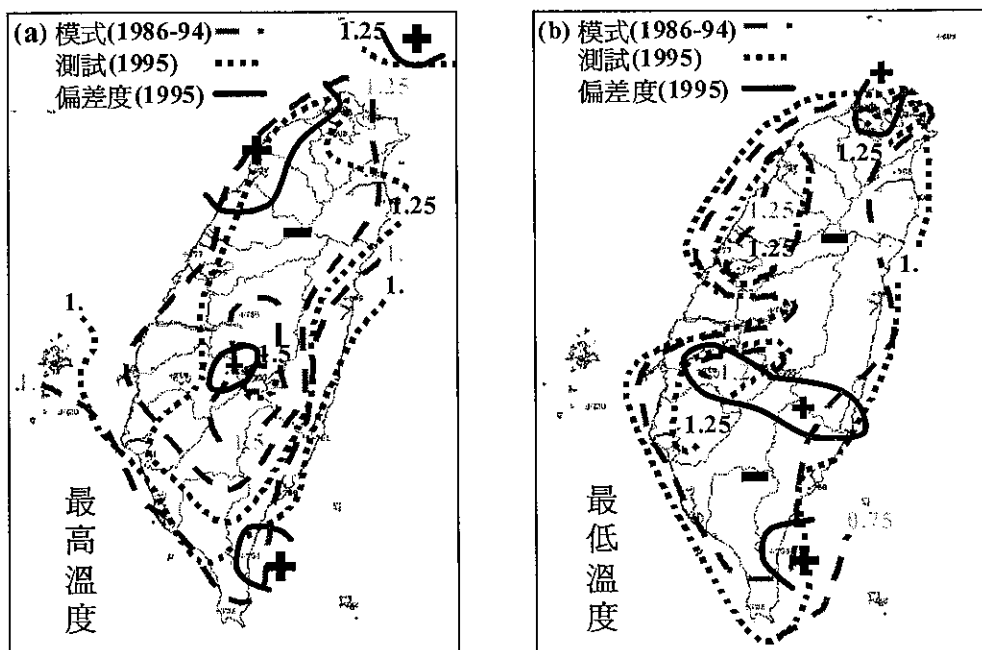


圖 5. 冬季期間統計預報模式(EC客觀分析-00Z)的絕對誤差與偏差度分布，(a)最高溫度與(b)最低溫度。

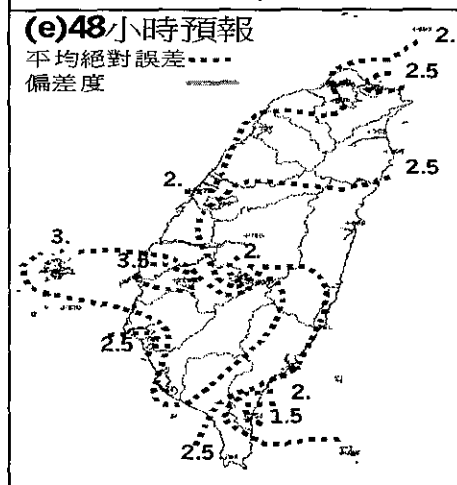
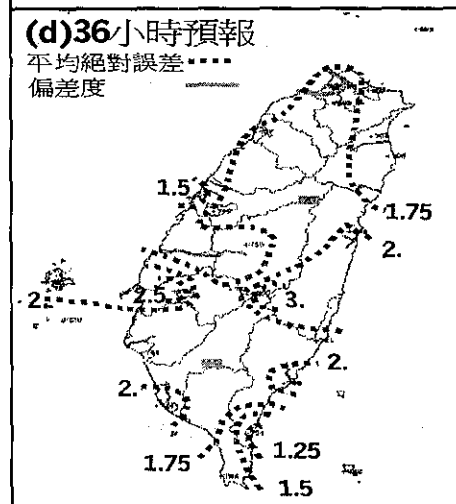
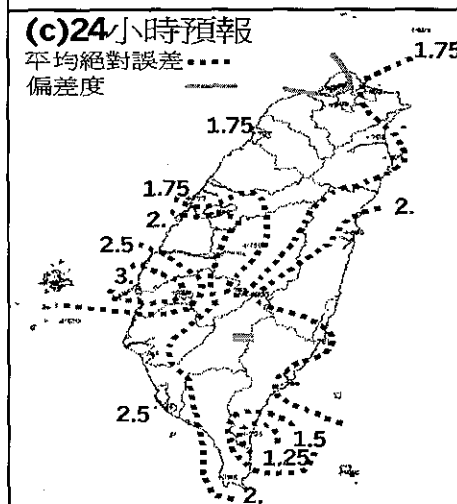
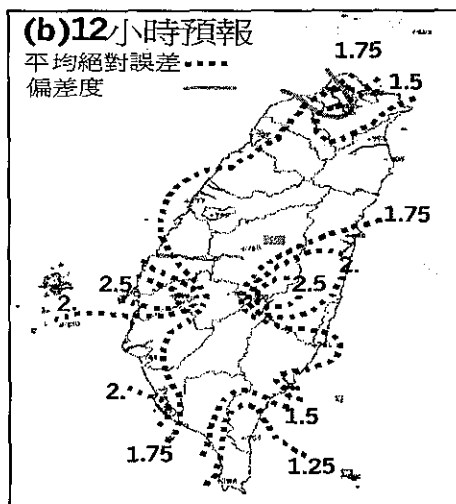
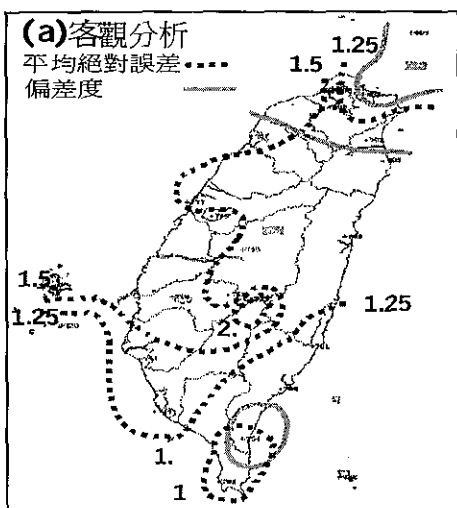


圖 6. 冬季最高溫度統計預報之(a)客觀分析、(b)12(12Z)、(c)24(00Z)、(d)36(12Z)與(e)48(00Z)預報的平均絕對誤差及偏差度校驗(民國87年11月1日至88年1月31日)。

由北向南遞減的分布。而 12、24、36 及 48 小時的預報平均絕對誤差的分布情形，則近似呈現東西對立且由北向南遞減的形式。最大的誤差值分布多出現在西部的雲林、嘉南一帶及對應的東部花蓮南面附近。此亦突顯出最大值出現區域和初始時段的關係，00Z 初始預報的 24 及 48 小時段預報分析顯示，西部的誤差值(分別為 3°C 與 3.5°C)較東部的值高出約 1°C 以上；然 12Z 初始預報的 12 小時的預報誤差分析指示出，東部地區的誤差值和西部地區呈現一致的強度(2.5°C)，但 36 小時(為 3°C)東部地區的誤差值則高出西部的值約 0.5°C。由北向南的遞減情形，北部最高值主要分布圍繞北部濱海地區，而南部地區集中於台東南面相近與屏東交界處。就整體而言，隨著預報時間的增加，預報誤差程度有加大的情勢。北南預報誤差值的差異，由客觀分析場預報、12 小時預報至 48 小時預報的變化，從 0.25°C 增加至 1°C。

2、最低溫度

最低溫度統計預報模式建立與測試的背景分布，如圖 5(b) 所示。預報誤差的最大值(大於 1.25°C)，主要出現在北部至西部區域，包含了台北盆地北部山區、竹、苗、台中一帶與嘉南地區。並逐漸向各個方向遞減，其中以向西部沿海岸的遞減梯度最大，而向東、南沿海地區的遞減變化較為和緩。經穿越中央山脈到達東部及南部沿海地區，準確度提升約 0.25°C。最低溫度的誤差分布狀態，似乎與最高溫度的案例相反，明顯地呈現出以中央山脈為分界的東、西向對比的差異分布。

而在模式測試期間的偏差度的分布上，除台北盆地北部山區、阿里山至嘉義一帶及大武附近為暖偏差(+)外，其餘全省各地皆籠罩在冷偏差(-)中。

圖 7(a)至(e)分別為最低溫度預報模式，上線作業期間的客觀分析場(00Z)、12(12Z)、24(00Z)、36(12Z)及 48(00Z)小時的預報平均絕對誤差與偏差度分布。圖中顯示出，各個時段全省均表現出冷偏差(-)狀態的存在。

各時段的季平均絕對誤差的分布情形，主要以中央山脈為分界，較大的預報誤差值出現

在西部及北部地區，越過中央山脈向東南部遞減。在最低溫度的案例，日、夜不同初始的預報，並未突顯出分布的差異。西部地區的最大誤差值，主要出現在中央山脈西麓的南投及嘉義一帶，以 48 小時的預報誤差達到最大量 3°C。而北部地區的最大值則出現在台北盆地的東北區附近，於 12、24 及 48 小時的預報時段，誤差度分別達到 4°C、5°C 及 4°C。基本上，本段所述的分布特徵和圖 5(b) 模式建立與測試時的分布十分一致。此和最高溫度的案例的以中央山脈分界，成東、西部對立的分布，是截然迥異的。

(二)、梅雨季(88 年 5、6 月)

1、最高溫度

梅雨季的最高溫度統計預報模式的建立與測試背景分析，全省的變化分布見於圖 8(a)。在季平均絕對誤差方面，模式建立(短實線)與測試期間(點虛線)的分布特徵與值量，均十分的一致。主要的最大誤差值沿著中央山脈由北向南貫穿台灣地區，並向兩側海岸緩慢遞減，遞減差值約達 0.25°C 至 0.5°C 左右。在測試偏差度的分布上，冷、暖偏差約平均支配全省區域。冷偏差(實線；-)盤據台灣中部，含括台中、南投、宜蘭、彰化、雲林與嘉南區域一帶，和北部頂點的極小部位。其餘皆為暖偏差區(+)。

對於上線預報的各個預報時段的誤差分析，分別顯示於圖 9(a)至(e)，分別為客觀分析場、12(12Z)、24(00Z)、36(12Z)及 48(00Z)小時預報。客觀分析場的預報誤差分布，與模式建立及測試部分的地理配置近乎一致。沿中央山脈由北向南，向兩側山麓遞減，最大值分置於北部的台北與桃竹一帶、阿里山及台東南部地區，均達到 1.5°C 以上。冷、暖偏差的分配情形，與測試期間的分配十分一致。台北盆地一帶為暖偏差(+)，約沿著 23.5°N 線，以北為冷偏差，而以南則呈現暖偏差狀態。

對於各個超前預報時段的誤差主要配置情形，均和圖 8(a)所陳述的一致。誤差值由北部台北盆地沿中央山脈西麓經桃、竹、苗地區伸向中部的南投山區，漸向南部、西南部與花東

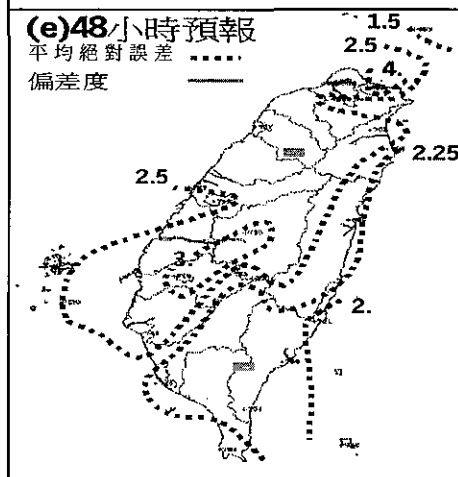
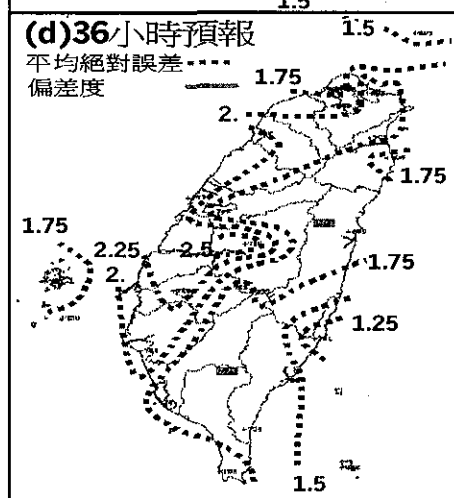
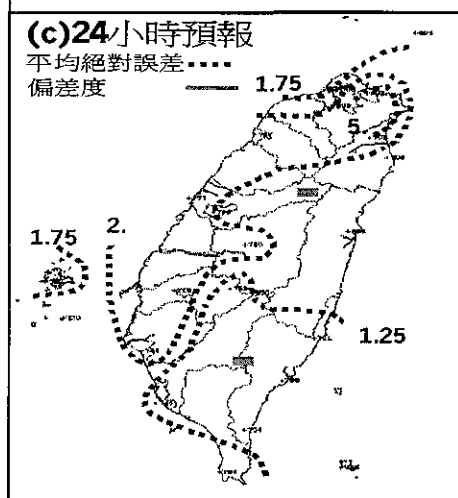
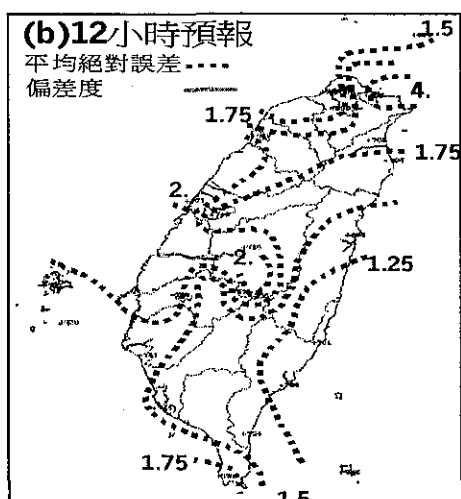
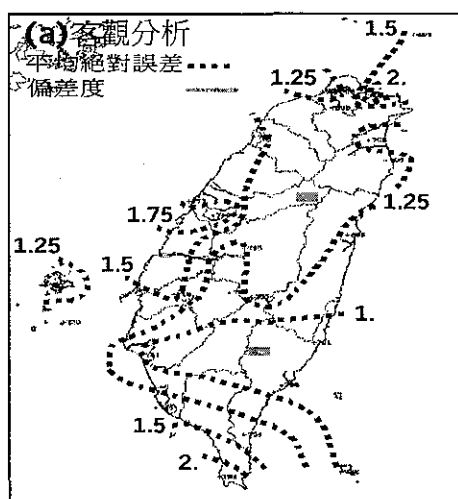


圖 7. 冬季最低溫度統計預報之(a)客觀分析、(b)12(12Z)、(c)24(00Z)、(d)36(12Z)與(e)48(00Z)預報的平均絕對誤差及偏差度校驗(民國87年11月1日至88年1月31日)。

沿海一帶遞減。而誤差值量的變化，僅隨著預報時段的增長，漸漸的增加。在偏差度的表現上，各個預報時段的分布狀態，和模式測試、客觀分析場的分配是一致的。然而高、屏沿海地區，在各個預報時段均出現冷偏差的情形。

2、最低溫度

圖 8(b)所示，為最低溫度統計預報模式建立與測試的季平均絕對誤差及偏差度的分布。模式的誤差分布情形，全省幾乎十分一致，在 0.75°C 左右。偏差度的分配上，除了花蓮、台東及高、屏一帶為冷偏差外，餘皆為暖偏差。

圖 10(a)至(e)為客觀分析場、12(12Z)、24(00Z)、36(12Z)及 48(00Z)小時預報誤差、偏差度的分布狀況。由圖中顯示，對於預報誤差度的分布，幾乎各個時段都不相同，而隨著預報時段的加長，各個區域的誤差值漸加大的現象仍然存在。與冬季的案例相比較，顯得誤差值均不大。對於客觀分析場的分布情形，最大值在阿里山附近(1.5°C)，除東北部、花蓮地區及恆春半島的誤差小於 1°C ，餘皆介於 1°C 至

1.5°C 之間。12 小時預報的誤差分布，僅彭加嶼及梧棲附近大於 1.25°C ，而彰化、雲林、南投西部及高雄、屏東地區為小於 1°C ，其餘的區域皆介於 1°C 至 1.25°C 之間的平均絕對誤差值變化。在 24 小時的預報誤差分布，則顯示出淡水及金山一帶為最大值區(大於 1.25°C)。宜蘭、竹、苗及台中與南投中央山脈的山區、以及澎湖和 23.2°N 以南，誤差值均小於 1°C ；其餘地區的誤差值，均介於 1°C 至 1.25°C 。36 小時的誤差分布，最大值(1.5°C)，發生在北面的彭佳嶼。梧棲沿海及北部沿海區域，誤差值大於 1.25°C 。而宜蘭至南投、澎湖與西南及南部地區，均小於 1°C ；全省剩餘的區域都是介於 1°C 至 1.25°C 之間。及至 48 小時的預報誤差顯示，彭佳嶼仍是處於 1.5°C 的最大誤差值區。而大於 1.25°C 的區域，除了涵蓋 36 小時的範圍，並更深入內陸的外，亦包含東吉島與高、屏交界沿海區。而小於 1°C 的地區僅出現在台南、高雄相鄰地區與大武、蘭嶼一帶；其餘地區的誤差變化介於 1°C 至 1.25°C 。

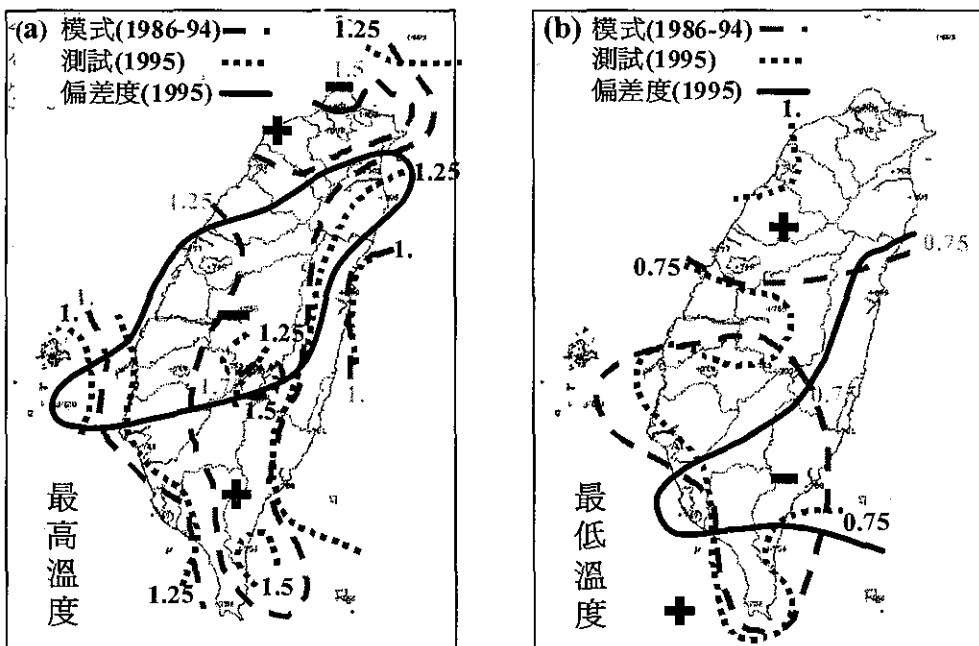


圖 8. 梅雨季期間統計預報模式(EC客觀分析-00Z)的絕對誤差與偏差度分布，(a) 最高溫度與(b)最低溫度。

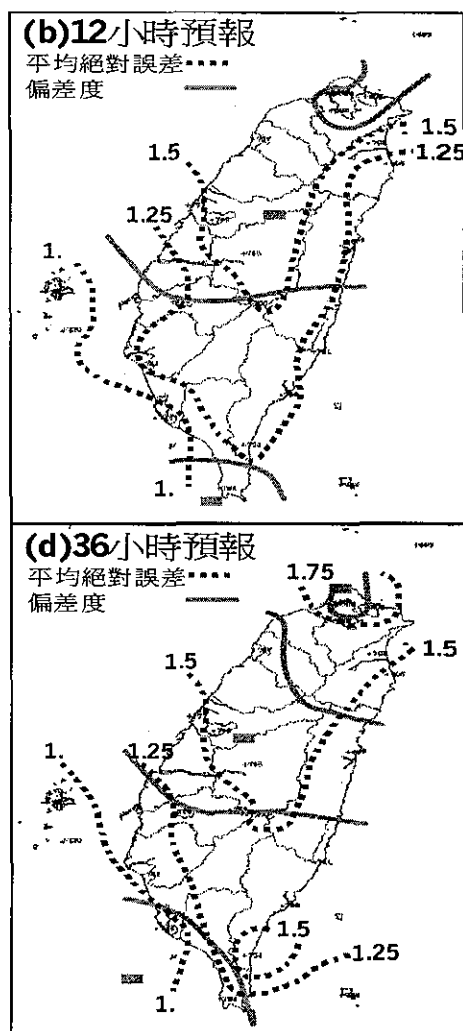
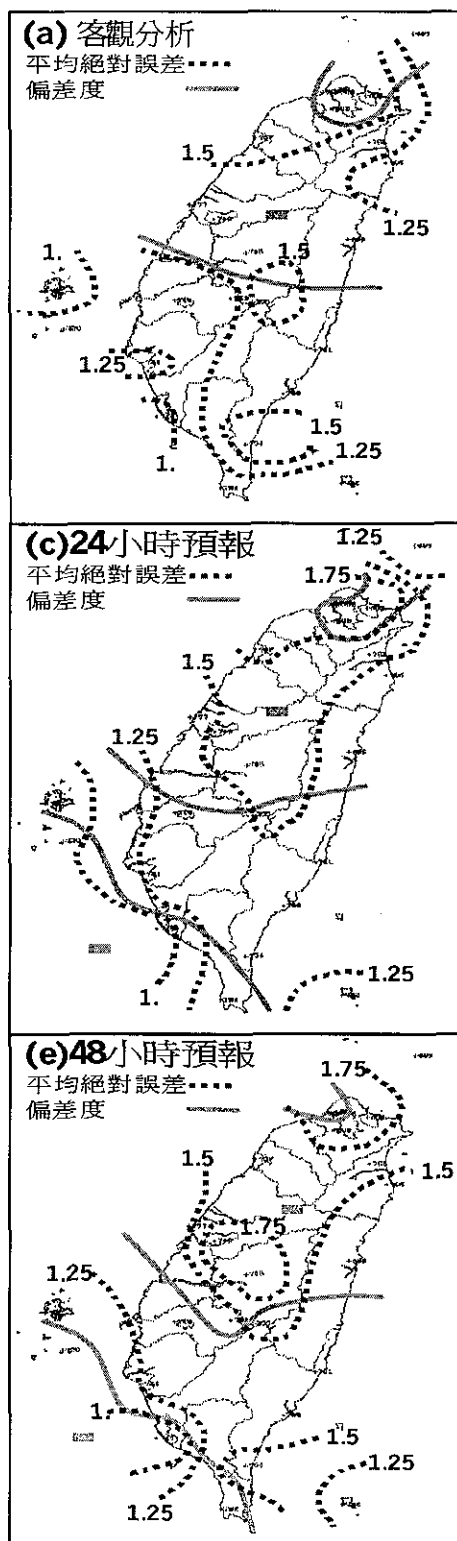


圖 9. 梅雨季最高溫度統計預報之
(a)客觀分析、(b)12(12Z)、
(c)24(00Z)、(d)36(12Z) 與
(e)48(00Z)預報的平均絕對誤
差及偏差度校驗(民國88年5月
1日至6月30日)。

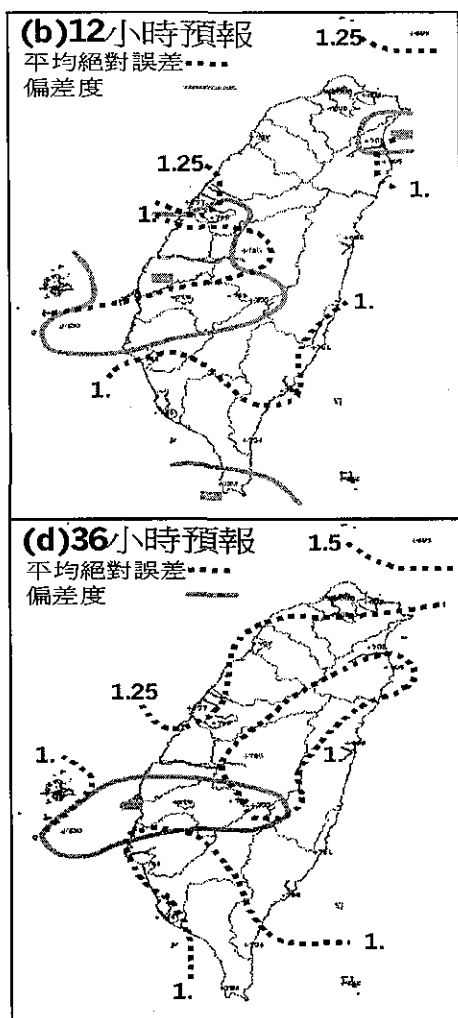
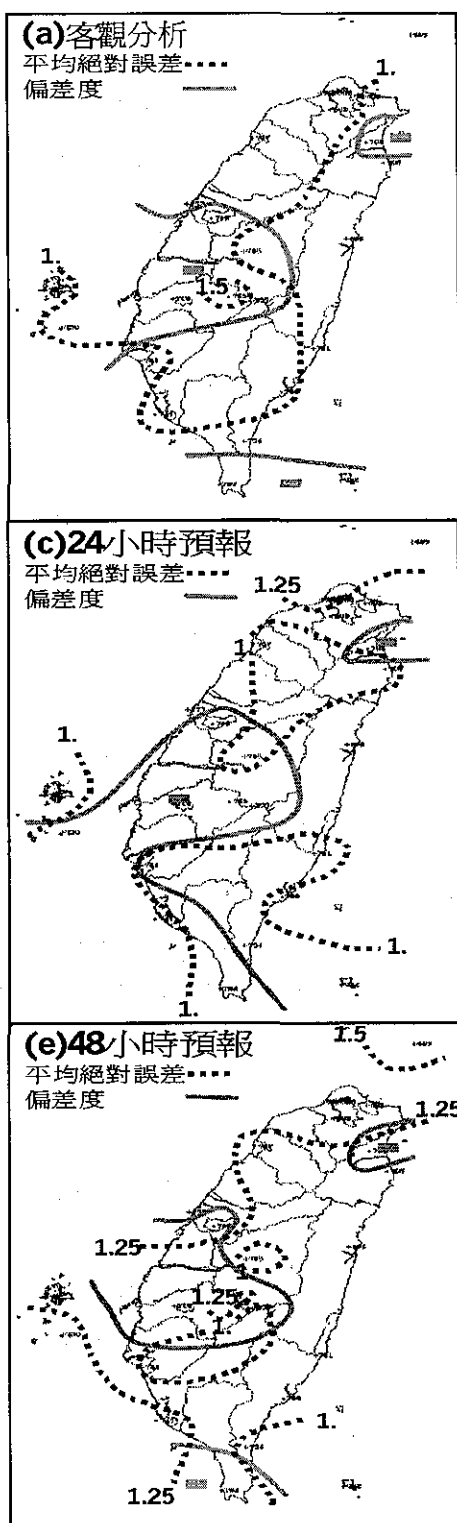


圖 10. 梅雨季最低溫度統計預報之
(a)客觀分析、(b)12(12Z)、
(c)24(00Z)、(d)36(12Z) 與
(e)48(00Z)預報的平均絕對誤
差及偏差度校驗(民國88年5月
1日至6月30日)。

對於偏差度的分布狀況，由客觀分析、12(12 Z)、24(00Z)、36(12Z)至 48(00Z)，都顯示出一致的分配形式。冷偏差區域，包含了蘇澳、宜蘭與恆春半島、西部的雲林與嘉義一帶附近；而其餘地區都處於暖偏差的狀態。此與模式測試時的偏差度分布有很大的差異，其中以冷偏差區幾乎處於東西對立的互補情勢最為突出。

五、台北測站的冬季與梅雨季的預報分布

由上述兩節的分析顯示，在 MAE 及 Bias 的分析上，冬季(11-1 月)最差，而梅雨季(5、6 月)為最佳。然在標準差與相關程度分析，則顯示此二季節，均呈現較優的表現。以下茲就台北測站在這兩個季節的最高/低溫度的各個預報時段與觀測的對應分布，進行深入的探討。

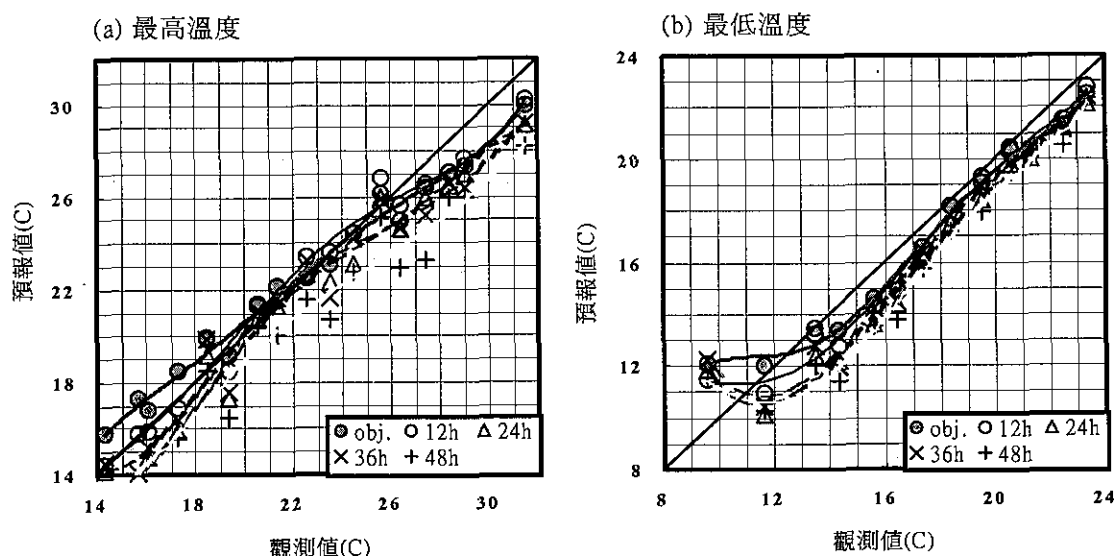


圖 11.冬季台北測站(a)最高溫度與(b)最低溫度的預報相對應觀測分布

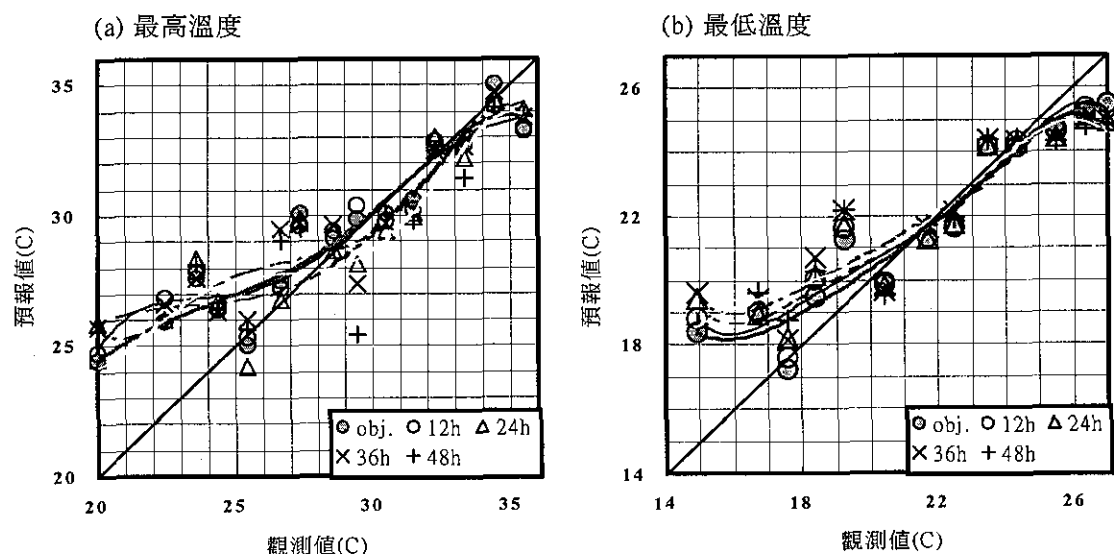


圖 12.梅雨季台北測站(a)最高溫度與(b)最低溫度的預報相對應觀測分布

圖 11(a)及 12(a)，分別為台北測站冬季與梅雨季最高溫度的預報與觀測相應分布情形。圖中以觀測區間，每兩度間的各時段的所有預報值平均值為相對應的代表，粗實線代表 obj.(00Z) 的分布，細實線為 12 小時預報分布，虛線則為 24 小時的分布，點虛線為 36 小時的案例，淡實線則代表 48 小時的預報分布情形。梅雨季(5、6 月)期間，實際觀測溫度區間由 20 °C 至 36 °C，相對應的預報值區間則由 24 °C 增至 35 °C。

11-1 月(冬季)期間，實際觀測溫度區間由 14 °C 至 32 °C，然相對應的預報變化區間則由 14 °C 至 30 °C。圖 11(a) 中存在明顯的，隨預報時段增加而預報越加偏冷的趨勢。而整體的表現有預報不足(偏冷)的情形。由圖 12(a) 的分布顯示，溫度約 28 度以下統計預報各時段均有預報不足，產生偏暖的現象；除 34 °C 以上預報偏冷的情形較為明顯些，28 °C 至 34 °C 度間偏冷的情形較不明顯。比較此二季的分布，冬季的分布較對稱，而且集中，梅雨季期間則分布的對應散度較大。

最低溫度的觀測值與各個預報值的相對應狀況，見圖 11(b) 及 12(b)。冬季(11-1 月)最低溫度的觀測分布區間，由 9 °C 至 24 °C，而預報值的分布區間則由 10 °C 至 23 °C，然 12 °C 以下則有預報略偏暖，且無線性相關的現象存在。基本上，除了在極低溫的時候，預報不足外，大致分布狀態和最高溫度的情形類似，均出現隨預報時段增長，而漸趨偏冷的現象。5、6 月(梅雨季)期間實際觀測值的區間變化由 14 °C 至 27 °C，而相對應的各個預報時段的預報值則由 17 °C 至 26 °C。在 21 °C 以下呈現預報不足(偏暖)的情形，21 °C 至 25 °C 間預報的對應十分穩定，25 °C 以上則有預報偏冷的現象。

六、結語

本研究係基於 PP 統計預報模式的架構下，於 87 年 7 月 1 日至 88 年 6 月 30 日期間，對最高/低溫度的統計預報指引進行校驗分析。對預報準確度方面，實際預報的評比分析，以 5、6 月(梅雨季)與 7、8 月(夏季)為預報準確程度表現最優的季節，11-1 月(冬季)則為預報最差的季

節；但就預報模式的預報能力評比而論，2 至 4 月(春季)及 5、6 月為模式預報能力表現最佳的季節，然而 7、8 月的模式預報能力表現卻是最差的季節，情形則有別於前述的評比。

就平均預報狀態的分析，清晰地呈現出台灣地區有明顯偏冷的情形存在，以 5、6 月預報偏差量最小，11 至 1 月的偏差最嚴重。並且 00Z 與 12Z 不同時間的初始預報時段，各季均有不同的變化趨勢差異；同樣地，在準確度的分析中，亦有相同的情形。對於預報分布散度與趨勢的分析，反應出 LAFS 動力數值模式的 7、8 月預報表現極弱，而 11 至 1 月和 2 至 4 月兩季的預報狀況最好。

而造成預報差異的形成因素，可能基因於氣候變化所導致季平均的差異，如表一中所示；亦或者由於氣候變化造成預報因子的相關貢獻程度(迴歸係數)的改變所導致。然而，在本研究中最主要的預報誤差因素，可能是根源於 ECWMF 模式的客觀分析場與中央氣象局 LAFS 模式的客觀分析場及預報場的模式性質差異所造成的。但因為不易取得 ECMWF 的客觀分析場，因此難以判斷預報失誤貢獻的來源。

以冬季及梅雨季為對象的預報準確度地域分布之分析，無論是冬季最高溫度的東西對比、最低溫度的西北至東南遞減，或梅雨季時最高溫度的北南順減走向，至最低溫度的均勻分布，對於中央山脈所造成的地形效應，似乎仍是主要的掌控機制。但是此 25 個測站主要都位於環島平地區域，因此山區測站點的欠缺，會造成更加突顯上述分析的效應程度。偏差的地域分布，冬季均呈現冷偏差，梅雨季時除台灣中間區域為冷偏差，餘皆為暖偏差狀態。

在進一步探討預報與觀測的對應分布狀況，以台北測站的分析為例。冬季最高/低溫度預報相對於觀測值的分布，較梅雨季顯示出較高的對應程度。其中以冬季的最高溫度的分布最為一致，最低溫度部分，僅在於極低溫區段缺乏預報的能力，而呈預報偏暖的不足現況。基本上，冬季的預報各區段均處於略為偏冷狀況。而梅雨季的案例，最高/低溫度分布明顯的呈現出兩組不同對應比率的樣品，分別在 28 °C

至 29 °C 及 21 °C 至 22 °C 以下的區段，呈現模式方程預報不足的過暖狀態；而在此值以上，則對應程度與冬季的分布類似，唯冷偏差程度極弱。中央氣象局的 LAFS 動力數值預報模式的統計預報分析結果顯示，除夏季外，其餘季節均存在著相當程度的預報穩定性與系統性誤差。足以使用 LAFS 的產品發展 MOS 統計預報模式，來提升統計預報的穩定性與準確性。

七、誌謝

本文作者誠摯的感謝預報中心長期預報課賀介圭小姐，協助提供本文分析研究所使用的測站觀測資料與統計預報預報指引等資料，使分析得以順利完成。

八、參考文獻

- Dallavalle, J. Paul, 1988: An evaluation of techniques used at the National Weather Service to produce objective Maximum/Minimum temperature forecasts. The 8th conference on NWP, Baltimore. Amer. Meteor. Soc., p572-579.
- Klein, W. H., and F. Lewis, 1970: Computer forecasts of maximum and minimum temperatures. J. Appl. Meteor., 9, p350-359.
- Massie, D. R., and M. A. Rose, 1997: Predicting daily maximum temperatures using linear regression and Eta geopotential thickness forecasts. Wea. Forecasting, 12, p799-807.
- Maglaras, G. J., F. Lewis, and H. R. Glahn, 1985: Development of an experimental system to forecast precipitation using empirical orthogonal functions. TDL Office Note 85-4, National Weather Service, NOAA, U.S. Department of Commerce, 13pp.
- Neter, J., W. Wasserman, and M. H. Kutner, 1983: Applied linear regression models. Richard D., Irwin INC., Homewood, Illinois, 547pp.
- 陳重功, 1997: 氣象統計預報作業的發展與應用。 第二屆交通統計應用分析研討會論文，交通部統計處，台灣，台北，24 頁。
- 陳重功、羅存文與王惠民, 1997: 影響台灣地區冬季最高/低溫度變化之相關天氣因子分析。 天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局，台灣，台北，481-490 頁。
- 陳重功、羅存文、王惠民與賀介圭, 2000: 中央氣象局統計預報系統的發展。 氣象學報，41，p18-33。
- 陳重功、羅存文與呂國臣, 1998: 冬季最高/低溫度統計預報測試分析。 天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局，台灣，台北，255-260 頁。
- 盧孟明與陳雲蘭, 2000: 1997/2000 台灣氣候異常特徵與大尺度環流關係之回顧。 天氣分析與預報研討會論文彙編 (89)大氣，中央氣象局，台灣，台北，462-465 頁。

Statistical Forecast Guidance Analyses of Daily Maximum/Minimum Temperature During July '98 – June '99

Twen – Wen Lo and Jonq – Gong Chern
Research and Development Center
Central Weather Bureau

Abstract

The statistical forecast guidance of daily maximum/minimum temperature (T_{max}/T_{min}) by the Perfect Prog. Scheme, was officially operated in the Central Weather Bureau during July 1 '98 to June 30 '99. In according to the forecast analysis, the same characters of model behaves are found in both variables (T_{max} and T_{min}). In the measurement of accuracy, forecast MAE was increasing while forecast increment increasing. Also during this period, cold bias was one of the major dominated phenomena for which the winter season has the strongest cold bias, except a weak warm bias existed in the Mei-Yu season. From the point of forecast distribution and tendency, the most reliable guidance was appeared in winter and spring seasons, while summer season shows lowest forecast confidence.

In the cases of winter and Mei-Yu seasons, the central mountain plays as the major mechanism factor to drive the geographical forecast difference consistently for all extended forecast evolutions. However, the geographical forecast difference between the statistical forecast model developing and forecasting stages shows the different essence between ECMWF objective analysis and LAFS (Limited Area Forecast System) forecast fields.

In winter, the scattered distribution among observations and different extended forecasts of Taipei station, are of consistence in the case of T_{max} , while the case of T_{min} shows forecast deficiency in the lower extreme range. As to the Mei-Yu season, serious warm biases in the range under median value of observations are observed in most of the forecast events.

Key words: statistical forecast, forecast guidance, MAE and bias

民國八十七年颱風調查報告-芭比絲颱風(9812)

丘台光
中央氣象局氣象衛星中心

摘 要

芭比絲 (BABS) 颱風為民國 87 年北太平洋西部生成的第十二個颱風。芭比絲颱風於 10 月 15 日 20 時在關島西南方海面形成，以偏西的路徑行進，19 日颱風移至菲律賓東方近海時，開始轉向西北移動。芭比絲颱風於 20 日 8 時增強為中度颱風，繼續向西北移動，23 日通過菲律賓呂宋島，進入南海，24 日晚起轉向北北西方向移動。25 日 20 時颱風移至東沙島西南方近海，26 日 8 時芭比絲颱風轉向北北東移動且強度受到東北季風影響已開始減弱，26 日下午減弱為輕度颱風，27 日 23 時強度減弱為熱帶性低氣壓，逐漸遠離台灣。芭比絲颱風之中央氣象局 (CWB) 24 小時預報位置誤差為 116 公里，比 1971 年至 1991 年的平均誤差 177 公里為優。芭比絲颱風外圍環流及東北季風雙重影響，北部、東北部及東部地區出現豪雨及強風，共造成三人死亡、三人失蹤，房屋全倒五棟、半倒九棟，所造成全省農業損失達四億八千萬元。

關鍵詞：颱風外圍環流及東北季風雙重影響

一、前言

芭比絲 (BABS) 颱風，編號 9812 號，是民國 87 年北太平洋西部生成的第十二個颱風，也是中央氣象局於當年發布颱風警報的第五個颱風。芭比絲颱風於 10 月 15 日 20 時在關島西南方海面形成，以偏西的路徑行進(如圖 1)，19 日移至菲律賓東方近海時，開始轉向西北移動。於 20 日 8 時增強為中度颱風，繼續向西北移動，於 23 日通過菲律賓呂宋島後進入南海，24 日晚起轉向北北西方向移動。25 日 20 時颱風移至東沙島西南方近海，26 日 8 時轉向北北東移動，對金門及澎湖地區構成威脅，中央氣象局遂發布陸上颱風警報。此時芭比絲颱風強度受到東北季風影響，已開始減弱，26 日下午減弱為輕度颱風。雖然芭比絲颱風逐漸接近台灣，但是其強度卻持續減弱中，至 27 日 23 時減弱為熱帶性低氣壓，並且逐漸遠離台灣。其最佳路徑如圖 1 及表 1。

台灣地區自 24 日起至 27 日止受到芭比絲颱風外圍環流及東北季風雙重影響，北部、東北部及東部地區出現豪雨，自 10 月 24 日 0 時至 10 月 27 日 20 時止，東北部、東部及北部地區，雨量大多在 500 公釐以上。就風力而言，

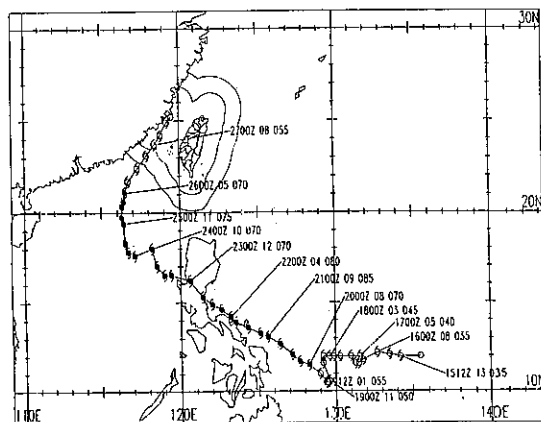


圖 1. 芭比絲颱風最佳路徑圖。

Fig 1. The best track for tropical storm BABS.

表 1. 芭比絲颱風最佳路徑、強度變化及動向資料表。

Table 1. The best track positions, intensity and movement of typhoon BABS.

時間 (UTC)	緯度	經度	中心氣壓 (hPa)	最大風速 m/s	暴風半徑 km		移動方向 degree	移動速度 km/hr
98101512	12.0N	134.2E	998	18	100		WNW	18
98101518	12.1N	133.5E	998	18	100		WNW	17
98101600	12.2N	132.7E	998	18	100		WNW	15
98101606	11.8N	131.8E	998	18	100		W	15
98101612	11.6N	131.5E	995	20	100		W	10
98101618	12.0N	131.3E	995	20	100		W	10
98101700	12.0N	131.6E	995	20	100		W	10
98101706	12.0N	131.0E	995	20	100		W	10
98101712	12.0N	130.3E	990	23	120		W	10
98101718	12.0N	129.9E	990	23	120		W	10
98101800	12.0N	129.6E	990	23	120		W	10
98101806	12.0N	129.2E	990	23	120		W	10
98101812	12.0N	129.2E	990	23	120		W	10
98101818	11.6N	129.2E	990	23	120		W	10
98101900	10.6N	129.6E	985	25	120		WNW	SLY→8
98101906	10.5N	129.5E	980	28	150		WNW	5
98101912	10.5N	129.4E	980	28	150		WNW	5
98101918	11.0N	129.0E	975	30	180		WNW	5
98102000	11.5N	128.3E	970	35	200	80	WNW	10
98102006	11.7N	127.7E	960	40	200	80	WNW	15
98102012	12.1N	127.2E	950	43	200	80	WNW	15
98102018	12.7N	126.4E	950	43	220	100	NW	15
98102100	13.1N	125.6E	950	43	250	100	NW	15
98102106	13.3N	125.1E	950	43	250	100	NW	15
98102112	13.6N	124.3E	950	43	250	100	NW	12
98102118	13.9N	123.5E	950	43	250	100	NW	12
98102200	14.2N	123.2E	960	40	250	100	NW	10
98102206	14.6N	122.6E	960	40	250	100	NW	12
98102212	14.9N	122.0E	960	40	250	100	NW	12
98102218	15.3N	121.4E	960	40	250	100	NW	12
98102300	16.2N	120.6E	970	35	250	100	NW	15
98102306	16.5N	119.4E	970	35	250	100	NW	15
98102312	16.5N	119.0E	970	35	250	100	NW	15
98102318	17.0N	118.5E	970	35	250	100	NW	11
98102400	18.0N	118.2E	970	35	250	100	NW→NNW	11
98102406	17.6N	117.1E	970	35	250	100	NNW	11
98102412	17.8N	116.7E	965	38	250	100	NNW	11
98102418	18.3N	116.5E	965	38	250	100	NNW	9
98102500	19.4N	116.4E	965	38	250	100	NNW	9
98102506	19.7N	116.3E	965	38	250	100	NNW	9
98102512	20.3N	116.3E	965	35	250	100	N	9
98102518	20.6N	116.4E	965	35	250	100	N	9
98102600	21.1N	116.5E	965	35	250	100	NNE	9
98102606	21.7N	116.7E	975	30	250	100	NNE	9
98102612	22.4N	117.3E	975	30	250		NNE→NE	13
98102618	23.1N	117.9E	975	30	250		NE	13
98102700	23.7N	118.4E	980	28	200		NE	15
98102706	24.2N	118.8E	990	20	150		NE	15
98102712	24.9N	119.2E	995	18	100		NE	15

警報期間各地出現最大陣風如下：彭佳嶼 11 級，東吉島及蘇澳 10 級，新竹、梧棲及蘭嶼 9 級，台北、台南、高雄、澎湖及金門 8 級。

本報告第二節為芭比絲颱風的發生與經過的綜觀分析；第三節則討論芭比絲颱風侵台期間的各種氣象要素分析及風雨分析情況；第四節為災情報告；第五節為颱風路徑預報校驗；第六節為結論。

二、芭比絲颱風的發生與經過

芭比絲 (BABS) 颱風，編號 9812 號，是民國 87 年北太平洋西部生成的第十二個颱風，也是本局於當年發布颱風警報的第五個颱風。芭比絲颱風於 10 月 15 日 20 時在關島西南方海面形成，移動方向受低對流層平均氣流(500hPa/700hPa/850hPa)導引，以偏西的路徑行進(圖 2a)，19 日颱風移至菲律賓東方近海時，開始轉向西北移動。20 日 8 時颱風移動方向受低對流層平均氣流(500hPa/700hPa/850hPa)導引持續向西北移動(圖 2b)，中央氣象局當時預測芭比絲將於 24 日起影響台灣地區的天氣，即密切注意颱風的動態。芭比絲颱風於 20 日 8 時增強為中度颱風，其雲系發展如圖 3 所示，颱風中心繼續向西北移動，22 日中央氣象局研判台灣地區在芭比絲颱風環流及東北季風雙重影響之下，北部及東北部地區將有豪雨發生的機會，便主動以電話通知翡翠、石門水庫可能降雨的情形。23 日上午先透過媒體提醒當日將有較大雨勢，下午隨即發布豪雨特報，強調 24 日至 27 日北部及東北部地區將有豪雨發生，並將此一訊息透過各媒體及氣象局各種氣象資訊管道迅速傳送，提醒民眾、各災害防救單位、水庫及台灣電力公司等單位注意。芭比絲颱風於 23 日通過菲律賓呂宋島進入南海，雲系重新發展且範圍擴大，颱風北邊外圍雲帶(如圖 4)尤著，24 日晚起至 25 日 8 時受低對流層平均氣流(500hPa/700hPa/850hPa)導引轉向北北西方移動(圖 2c)，而颱風東部及東北部已受到颱風及東北季風雙重影響開始下雨(如圖 4)。25 日 20 時颱風移至東沙島西南方近海，中央氣象局預測其未來移動方向有轉向北北東的可能，

遂即發布海上颱風警報。26 日 8 時芭比絲颱風移動方向受低對流層平均氣流(500hPa/700hPa/850hPa)導引轉向北北東移動(圖 2d)，對金門及澎湖地區構成威脅，並且由高雄雷達站觀測其伴隨降水回波(圖 5)已開始影響台灣本島，遂發布陸上颱風警報。此時芭比絲颱風強度受到東北季風影響，已開始減弱(圖 4)，26 日下午減弱為輕度颱風，氣象局預計其強度有繼續減弱且移動方向有轉向東北的趨勢。當芭比絲颱風逐漸接近，暴風範圍將可能涵蓋台灣各地時，乃將警戒區域擴展至全台各地。由於芭比絲強度持續減弱，暴風圈逐漸縮小，對台灣地區威脅性減輕，27 日下午起氣象局逐步解除台灣本島部分地區之陸上警報，至晚上時陸上警報之警戒區僅存金門及馬祖地區。芭比絲颱風於 27 日 23 時強度減弱微熱帶性低氣壓，逐漸遠離台灣陸地，對金門及馬祖地區的威脅亦解除，中央氣象局遂解除颱風警報。氣象局對芭比絲颱風發佈警報之經過情形請參見表 2。

三、芭比絲颱風侵台期間各地氣象要素分析

(一) 氣壓

芭比絲颱風於 26 日 8 時轉向北北東移動，逐漸靠近台灣本島，以平地氣象站而言，台灣各地最低氣壓出現時間以澎湖氣象站在 26 日 14 時 03 分的 1003.7 百帕最低，其次是高雄氣象站在 26 日 13 時 04 分的 1004.2 百帕，其他如台南、東吉島氣象站均低於 1005 百帕，如表 3 所示。因颱風中心由台南西南方移近，由圖 6 為台北、梧棲、嘉義、台南、澎湖、高雄及恆春七個氣象站在芭比絲颱風靠近期間之逐時的氣壓趨勢可看出，台灣西部測站均受到颱風靠近影響，氣壓逐漸降低且均出現日變化之影響而呈現起伏之情形，其中又以澎湖及台南氣象站的氣壓變化最明顯。

(二) 風速

就風力而言，警報期間各地出現最大陣風如表 3 所示，其中以彭佳嶼 11 級最大，東吉島及蘇澳 10 級其次，新竹、梧棲及蘭嶼 9 級，台北、台南、高雄、澎湖及金門 8 級。而各地出

現之最大風速仍以彭佳嶼及東吉島 8 級最大，蘇澳 7 級其次，梧棲及蘭嶼 6 級，台北、基隆、新竹、台南、高雄、澎湖及宜蘭 5 級，其餘測站風速均不大。圖 7 為台北、梧棲、嘉義、台南、澎湖、高雄及恆春七個氣象站在芭比絲颱風靠近期間之平均風風速變化，圖中顯示芭比絲颱風北上進入台灣海峽時，西部各氣象站除梧棲出現將近 6 小時 6 級風外，台南及高雄出現將近 6 小時之 5 級風外，其餘測站風速均不大。

（三）雨量

台灣地區自 24 日起受到芭比絲颱風外圍環流及東北季風雙重影響，北部及東北部地區已開始出現豪雨，自 10 月 24 日 0 時至 10 月 27 日 20 時止本局各氣象站累積雨量統計如圖 8 所示，可由圖中很清楚看出北部、東北部及東部地區之氣象站均出現較大雨勢；而自動雨量站更測得較大雨量如新寮 1306 公（宜蘭縣）、太安 949 公釐（花蓮縣山區）、東河 729 公釐（台東縣）、五堵 688 公釐、火燒寮 766 公釐（台北縣山區）；而以降雨量空間分布來看，本局自動雨量站資料所繪等雨量線（圖 9）亦顯示主要降雨在東北部、東部及北部地區，雨量大多在 500 公釐以上。

四、芭比絲颱風的災情報告

根據新生報 10 月 28 日刊登內政部消防署的統計，芭比絲颱風共造成三人死亡、三人失蹤，房屋全倒五棟、半倒九棟。而依據台灣省交通部公路局的統計，全省計有三十四處公路坍方，公路損失部分至少需要二億多元的修復經費。另根據中央日報 10 月 29 日刊登行政院農業委員會的災害統計，芭比絲颱風所造成全省農業損失達四億八千萬元，其中在農田損失八千三百萬元、農作物損失一億五千八百萬元、畜產損失三百萬元、漁業損失二千八百萬元、林業損失三百萬元，以及水土保持損失一億三千二百萬元。

五、芭比絲颱風的路徑預報校驗

根據中央氣象局衛星中心及高雄氣象雷達

站之颱風定位資料(表 4 及表 5)與颱風最佳路徑資料比較(表 1)，均顯示衛星及雷達在颱風定位方面均存在相當的誤差，尤其颱風環流不清楚時，誤差更大。而芭比絲颱風的行徑預報結果，相當接近氣象局研判，且氣象局預報豪雨發生時間，與實際狀況亦相當符合。圖 10 為各國在 10 月 25 日 0000UTC 預報芭比絲颱風 24 及 48 小時之颱風路徑分布圖，由圖中可以很清楚看出在颱風轉向之關鍵時刻，氣象局之預報最接近颱風之未來動態。綜觀在芭比絲颱風警報發布期間，中央氣象局（CWB）24 小時預報位置誤差為 116 公里（表 6），而氣象局數值模式 24 小時預報位置誤差為 158 公里，明顯地要比 1971 年至 1991 年的平均誤差 177 公里為優。與日本之客觀預報誤差 105 公里、廣州之客觀預報誤差 114 公里差不多，而比關島颱風警報中心之客觀預報 125 公里、香港之客觀預報 124 公里及 CLIPER 統計模式預報誤差 212 公里，仍為較佳的表現。

六、結論

芭比絲（BABS）颱風於 10 月 15 日 20 時在關島西南方海面形成，以偏西的路徑行進，19 日颱風移至菲律賓東方近海時，開始轉向西北移動。20 日 8 時增強為中度颱風，繼續向西北移動，23 日通過菲律賓呂宋島，進入南海，24 日晚起轉向北北西方向移動。25 日 20 時颱風移至東沙島西南方近海，26 日 8 時芭比絲颱風轉向北北東移動且強度受到東北季風影響已開始減弱，26 日下午減弱為輕度颱風，27 日 23 時強度減弱為熱帶性低氣壓，逐漸遠離台灣。芭比絲颱風外圍環流及東北季風雙重影響，北部、東北部及東部地區出現豪雨及強風，芭比絲颱風共造成三人死亡、三人失蹤，房屋全倒五棟、半倒九棟，所造成全省農業損失達四億八千萬元。芭比絲颱風之中央氣象局（CWB）24 小時預報位置誤差為 116 公里，比起 1971 年至 1991 年的平均誤差 177 公里要為佳。

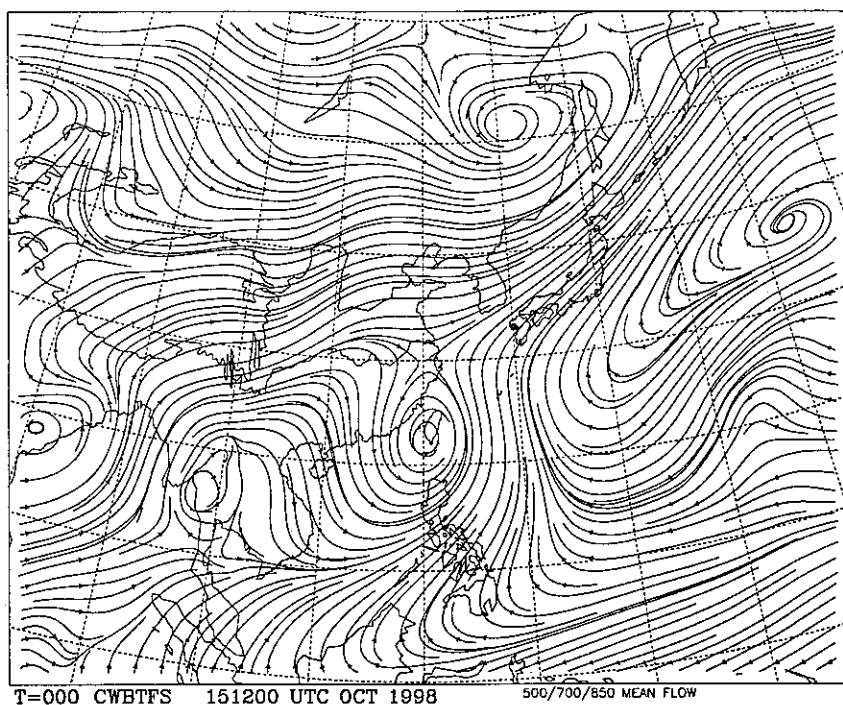


圖 2a. 87 年 10 月 15 日 20 時之低對流層(500/700/850hPa)平均氣流場分析。

Fig 2a. The streamline analysis of mean flow(500/700/850hPa) at 1200UTC on 15th of October, 1998.

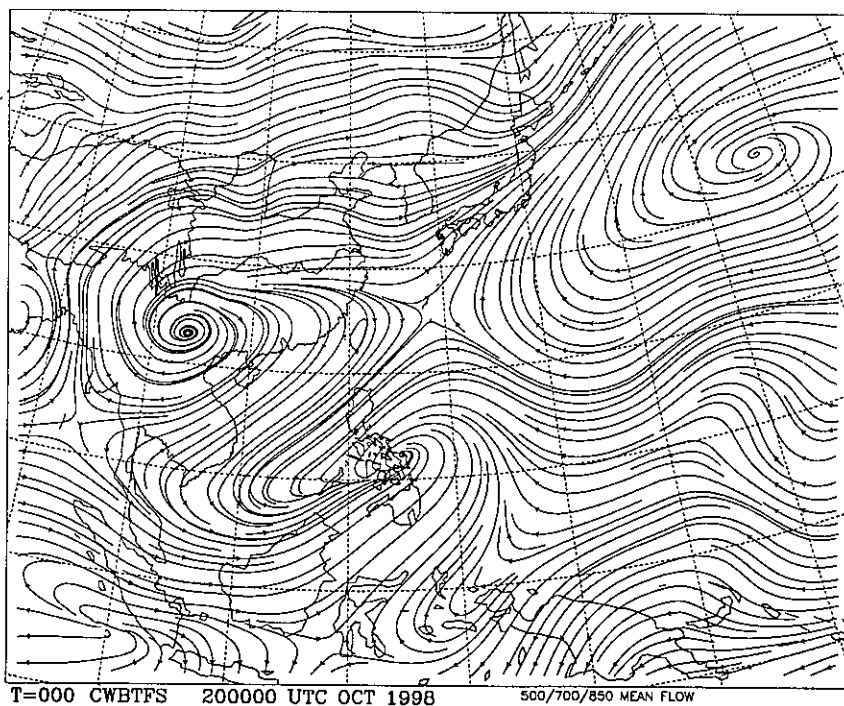


圖 2b. 如圖 2a，唯為 87 年 10 月 20 日 8 時。

Fig 2b. Same as Fig 2a, but for 0000UTC on 20th of October, 1998.

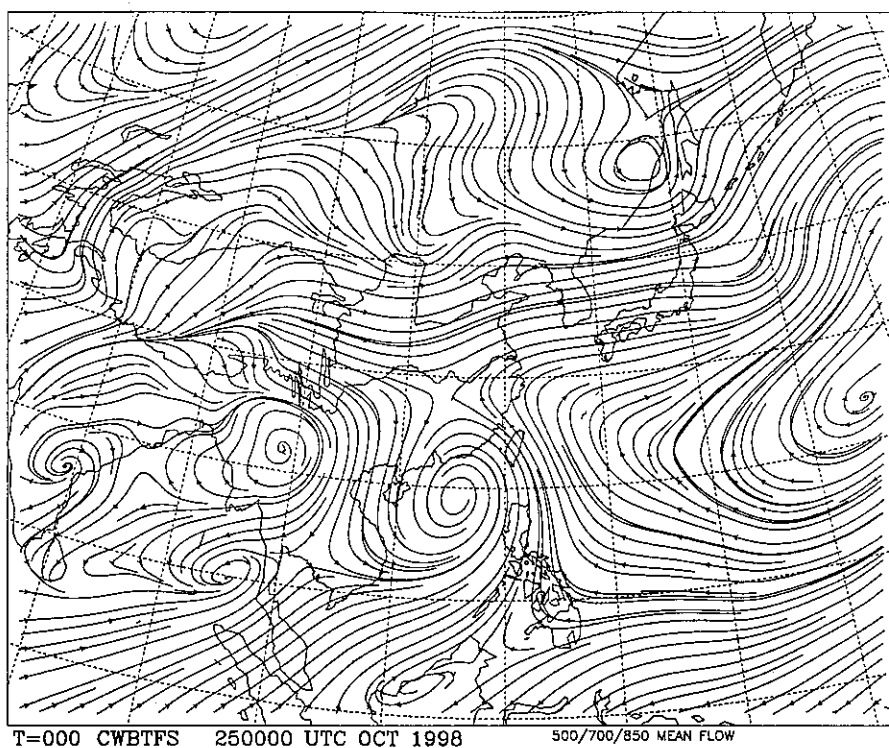


圖 2c. 如圖 2a，唯為 87 年 10 月 25 日 8 時。

Fig 2c. Same as Fig 2a, but for 0000UTC on 25th of October, 1998.

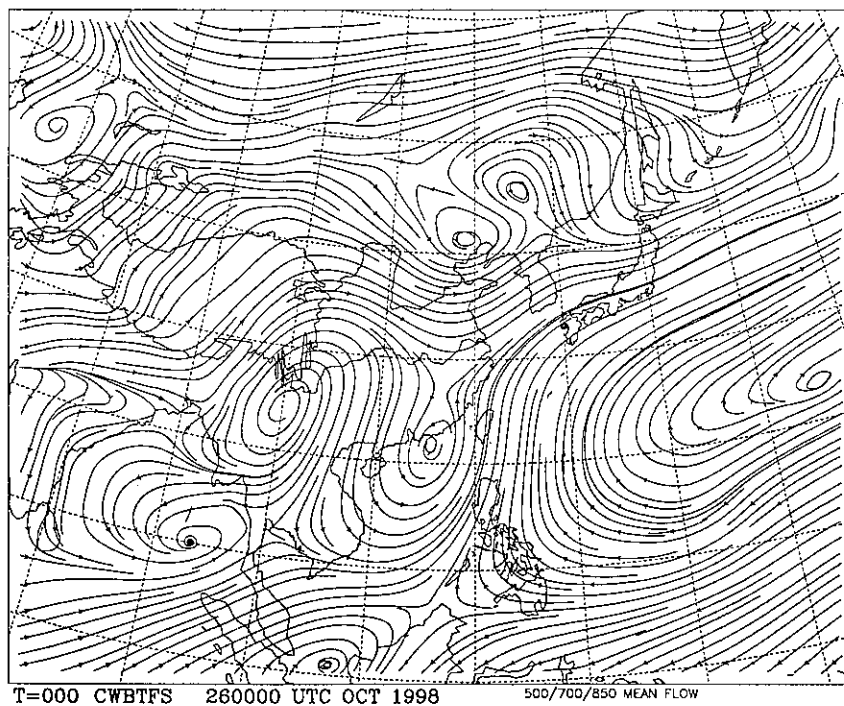


圖 2d. 如圖 2a，唯為 87 年 10 月 26 日 8 時。

Fig 2d. Same as Fig 2a, but for 0000UTC on 26th of October, 1998.

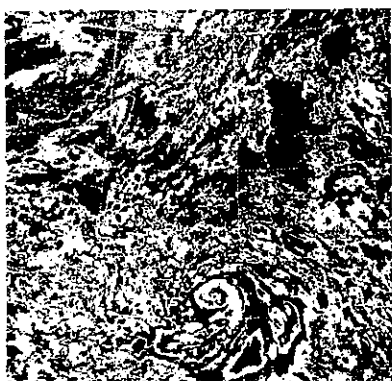
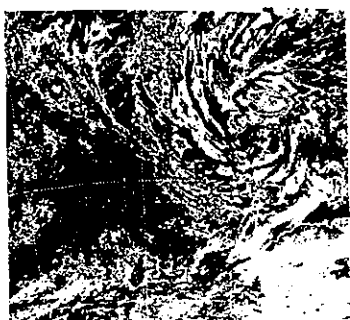


圖 3. 芭比絲颱風雲系之色調強化衛星雲圖，時間為 87 年 10 月 20 日 8 時。

Fig3. The enhancement curve(BD) satellite imagery for typhoon BABS, its time is 0000UTC on 20th of October, 1998.



0000UTC 23th of October



0000UTC 24th of October



0000UTC 25th of October



0000UTC 26th of October



0000UTC 27th of October

圖 4. 芭比絲颱風雲系變化之每天色調強化衛星雲圖，時間為 87 年 10 月 23 日 8 時至 27 日 8 時止。

Fig 4. The enhancement curve(BD) satellite imagerys for typhoon BABS, from 0000UTC on 24th of October to 0000UTC on 27th of October, 1998.

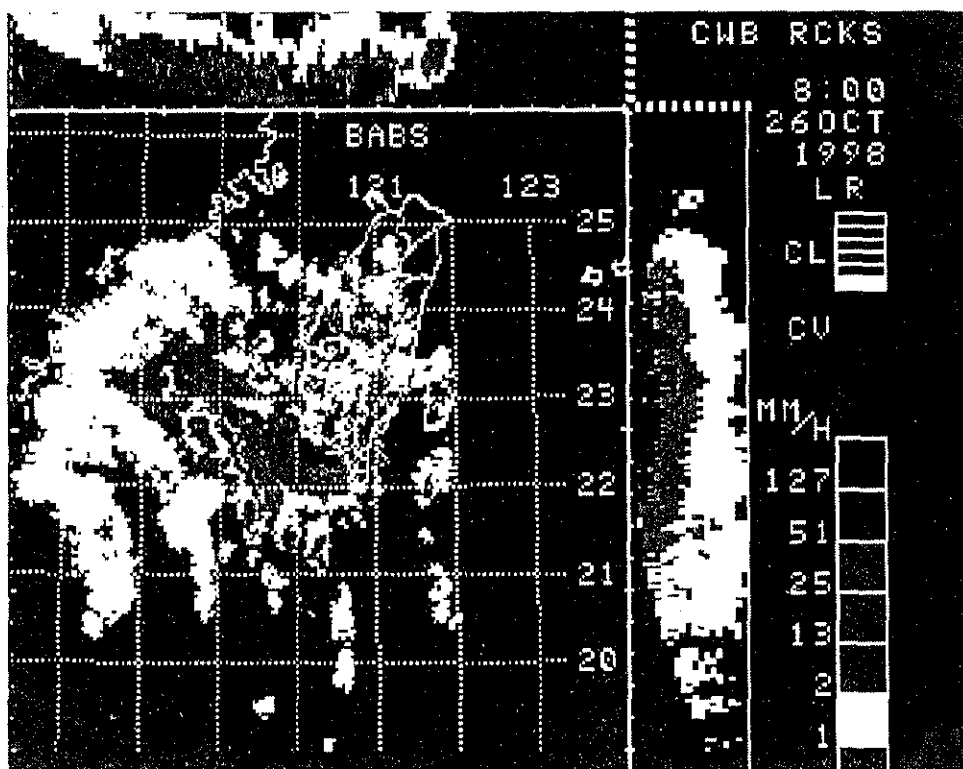


圖 5. 87 年 10 月 26 日 8 時之高雄氣象雷達站回波圖。

Fig 5. The radar echo of Kaohsiung Meteorological Radar station at 0000UTC on 26th of October, 1998.

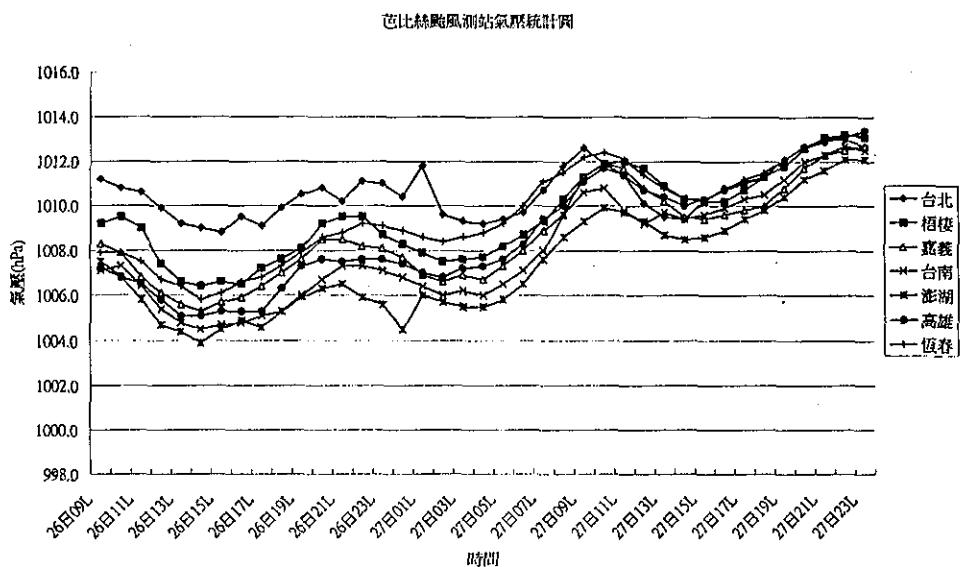


圖 6. 台北(46692)、梧棲(46777)、嘉義(46748)、台南(46741)、澎湖(46735)、高雄(46744) 及恆春(46759)氣象站逐時氣壓趨勢圖。

Fig 6. The hourly pressure of station 46692, 46777, 46748, 46741, 46735, 46744 and 46759.

芭比絲颱風風速統計圖

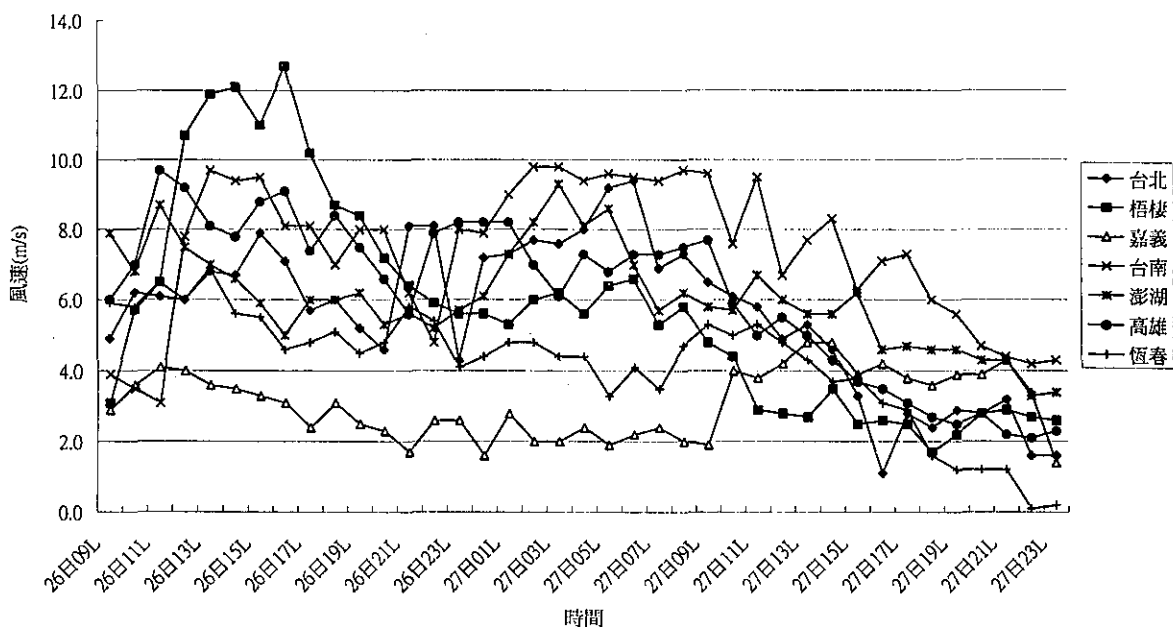


圖 7. 台北(46692)、梧棲(46777)、嘉義(46748)、台南(46741)、澎湖(46735)、高雄(46744) 及恆春(46759)氣象站逐時風速分布圖。

Fig 7. The hourly mean wind speed of station 46692, 46777, 46748, 46741, 46735, 46744 and 46759.

芭比絲颱風測站雨量統計圖 (87年10月24日00時至27日02時)

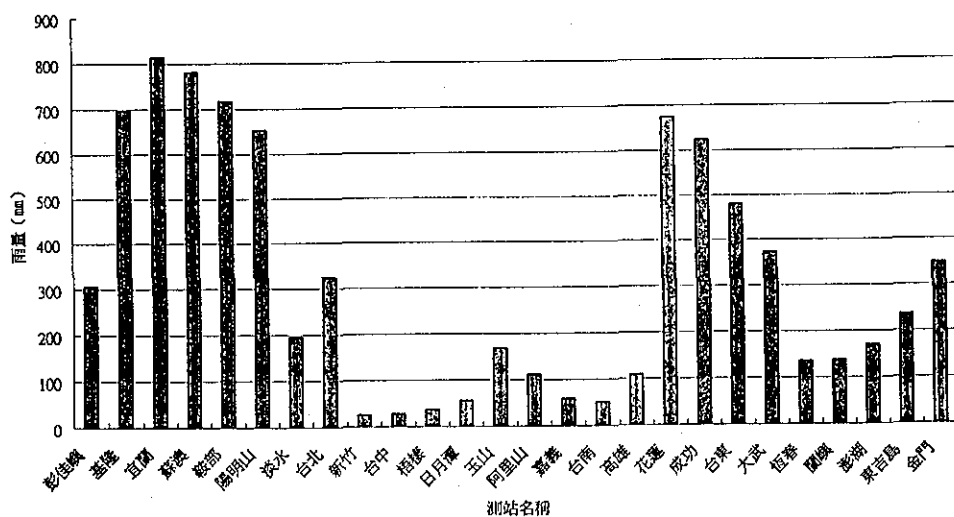


圖 8. 芭比絲颱風侵台期間中央氣象局各站總雨量圖。

Fig 8. The total rainfall of all CWB's weather stations during typhoon Babs' passage.



圖 9. 芭比絲颱風侵台期間中央氣象局各自動雨量站總雨量圖。

Fig 9. The total rainfall distribution of all CWB's automatic rain gage stations during typhoon Babs' passage.

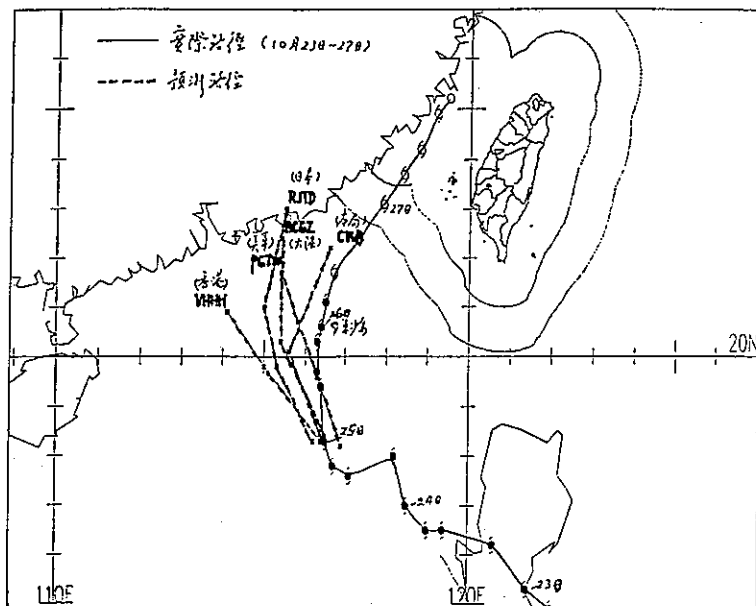


圖 10. 各國根據 10 月 25 日 0000UTC 資料發布未來 24 及 48 小時芭比絲颱風路徑預報比較圖。

Fig 10. A comparison of 24-hour and 48-hour forecast tracks issued by different operation centers for typhoon BABS based on data of 0000UTC on 25th of October, 1998.

表 2. 芭比絲颱風警報發布經過一覽表。

Table 2. Warnings issued by CWB for typhoon BABS.

種類	次序		發佈時間			警戒區域		備註
	號	報	日	時	分	海上	陸上	
海上	5	1	25	20	40	東沙島海面、台灣海峽、巴士海峽及金門海面		中度
海上	5	2	25	23	45	東沙島海面、台灣海峽、巴士海峽及金門海面		中度
海上	5	3	26	2	45	東沙島海面、台灣海峽、巴士海峽及金門海面		中度
海上	5	4	26	5	40	東沙島海面、台灣海峽、巴士海峽及金門海面		中度
海陸	5	5	26	8	50	東沙島海面、台灣海峽、巴士海峽及金門海面	金門及澎湖	中度
海陸	5	5-1	26	9	10	東沙島海面、台灣海峽、巴士海峽及金門海面	金門及澎湖	中度
海陸	5	5-2	26	10	10	東沙島海面、台灣海峽、巴士海峽及金門海面	金門及澎湖	中度
海陸	5	6	26	11	35	東沙島海面、台灣海峽、巴士海峽及金門海面	金門及澎湖	中度
海陸	5	6-1	26	12	10	東沙島海面、台灣海峽、巴士海峽及金門海面	金門及澎湖	中度
海陸	5	6-2	26	13	10	東沙島海面、台灣海峽、巴士海峽及金門海面	金門及澎湖	中度
海陸	5	7	26	14	50	東沙島海面、台灣海峽、巴士海峽及金門海面	金門及澎湖	輕度
海陸	5	7-1	26	15	15	東沙島海面、台灣海峽、巴士海峽及金門海面	金門及澎湖	輕度
海陸	5	7-2	26	16	15	東沙島海面、台灣海峽、巴士海峽及金門海面	金門及澎湖	輕度
海陸	5	8	26	17	25	東沙島海面、台灣海峽、巴士海峽、金門海面、馬祖海面及台灣北部海面	金門、澎湖、馬祖、台中以南及花蓮以南地區	輕度
海陸	5	8-1	26	18	10	東沙島海面、台灣海峽、巴士海峽、金門海面、馬祖海面及台灣北部海面	金門、澎湖、馬祖、台中以南及花蓮以南地區	輕度
海陸	5	8-2	26	19	05	東沙島海面、台灣海峽、巴士海峽、金門海面、馬祖海面及台灣北部海面	金門、澎湖、馬祖、台中以南及花蓮以南地區	輕度
海陸	5	9	26	20	55	東沙島海面、台灣海峽、巴士海峽、金門海面、馬祖海面及台灣北部海面	台灣各地區、金門及馬祖地區	輕度
海陸	5	9-1	26	21	35	東沙島海面、台灣海峽、巴士海峽、金門海面、馬祖海面及台灣北部海面	台灣各地區、金門及馬祖地區	輕度

表 2. 芭比絲颱風警報發布經過一覽表。(續)

Table 2. Warnings issued by CWB for typhoon BABS. (Cont.)

海陸	5	9-2	26	22	15	東沙島海面、台灣海峽、巴士海峽、金門海面、馬祖海面及台灣北部海面	台灣各地區、金門及馬祖地區	輕度
海陸	5	10	26	23	35	台灣附近各海面、東沙島海面及巴士海峽	台灣各地區、金門及馬祖地區	輕度
海陸	5	10-1	27	0	10	台灣附近各海面、東沙島海面及巴士海峽	台灣各地區、金門及馬祖地區	輕度
海陸	5	10-2	27	1	05	台灣附近各海面、東沙島海面及巴士海峽	台灣各地區、金門及馬祖地區	輕度
海陸	5	11	27	3	10	台灣附近各海面、東沙島海面及巴士海峽	台灣各地區、金門及馬祖地區	輕度
海陸	5	11-1	27	3	35	台灣附近各海面、東沙島海面及巴士海峽	台灣各地區、金門及馬祖地區	輕度
海陸	5	11-2	27	4	05	台灣附近各海面、東沙島海面及巴士海峽	台灣各地區、金門及馬祖地區	輕度
海陸	5	12	27	5	50	台灣附近各海面、東沙島海面及巴士海峽	台灣各地區、金門及馬祖地區	輕度
海陸	5	12-1	27	6	15	台灣附近各海面、東沙島海面及巴士海峽	台灣各地區、金門及馬祖地區	輕度
海陸	5	12-2	27	7	20	台灣附近各海面、東沙島海面及巴士海峽	台灣各地區、金門及馬祖地區	輕度
海陸	5	13	27	8	40	台灣附近各海面	台灣各地區、金門及馬祖地區	輕度
海陸	5	13-1	27	9	25	台灣附近各海面	台灣各地區、金門及馬祖地區	輕度
海陸	5	13-2	27	10	15	台灣附近各海面	台灣各地區、金門及馬祖地區	輕度
海陸	5	14	27	11	55	台灣附近各海面	台灣各地區、金門及馬祖地區	輕度
海陸	5	14-1	27	12	40	台灣附近各海面	台灣各地區、金門及馬祖地區	輕度
海陸	5	14-2	27	13	25	台灣附近各海面	台灣各地區、金門及馬祖地區	輕度
海陸	5	15	27	14	55	台灣海峽及台灣北部海面	新竹以北、基隆、宜蘭、澎湖、金門及馬祖地區	輕度
海陸	5	15-1	27	15	40	台灣海峽及台灣北部海面	新竹以北、基隆、宜蘭、澎湖、金門及馬祖地區	輕度
海陸	5	15-2	27	16	10	台灣海峽及台灣北部海面	新竹以北、基隆、宜蘭、澎湖、金門及馬祖地區	輕度
海陸	5	16	27	17	55	台灣海峽及台灣北部海面	新竹以北、基隆、宜蘭、澎湖、金門及馬祖地區	輕度
海陸	5	16-1	27	18	40	台灣海峽及台灣北部海面	新竹以北、基隆、宜蘭、澎湖、金門及馬祖地區	輕度
海陸	5	16-2	27	19	15	台灣海峽及台灣北部海面	新竹以北、基隆、宜蘭、澎湖、金門及馬祖地區	輕度
海陸	5	17	27	21	05	台灣海峽及台灣北部海面	金門及馬祖地區	輕度
解除	5	18	27	23	05	對台灣陸地及海面威脅解除		熱帶性低氣壓

表 3. 芭比絲颱風侵台期間氣象要素統計表。

Table 3. The meteorological of CWB's station during typhoon Babs' passage.

測站站名	最低氣壓(hPa)		瞬間最大風速(m/s)						最大風速(m/s)			強風(10m/s以上) 時間始迄	最大降水量(mm)				降水總量(m/s)	
	數值	時間	風速	風向	時間	氣壓	氣溫	濕度	風速	風向	時間		一小時 起始時間	十分鐘 起始時間	數量	時間始迄		
台北	1008.4	26/14:3	18.3	ESE	27/05:0	1009.4	23.9	86	9.4	ENE	27/05:1	---	27.5	26/20:29	10.0	26/20:56	201.4	26/08:00-27/16:35
基隆	1008.9	26/14:0	15.6	NE	26/11:0	1011.9	24.0	96	10.1	NNE	26/10:0	6/10:00-26/11:0	58.0	26/09:00	15.0	---	244.0	26/09:00-27/16:40
竹子湖x	1009.6	26/12:4	16.1	NNE	27/04:4	1011.1	20.6	100	7.9	NNE	26/17:0	---	27.5	26/21:08	8.5	26/21:23	169.1	26/09:00-27/16:12
鞍部x	1478.6	26/13:3	23.2	S	27/04:2	1491.8	18.6	98	10.3	SE	27/07:1	7/07:11-26/08:0	24.0	26/21:23	5.5	26/21:23	291.9	26/00:00-27/16:36
新竹	1006.7	27/02:0	15.3	NNE	27/02:5	1006.7	24.2	88	8.4	NE	27/02:2	---	0.9	26/08:53	0.5	26/08:53	3.4	26/03:10-27/14:15
台中	1005.0	26/15:3	7.7	E	26/12:0	1006.3	29.4	72	3.3	N	26/14:3	---	1.8	27/11:00	1.2	27/11:48	6.0	26/10:55-27/14:15
梧棲	1005.6	26/15:4	20.3	NE	26/13:1	1006.6	26.2	78	12.7	NNE	26/15:1	6/12:00-26/18:0	7.0	27/11:51	3.0	27/12:04	25.5	26/10:40-27/22:30
日月潭x	1462.0	26/15:2	8.1	SW	26/00:4	---	---	---	4.6	SW	27/00:3	---	5.7	26/02:35	1.3	26/02:58	15.2	26/00:30-27/14:10
嘉義	1005.1	26/13:4	9.3	S	27/12:5	1010.8	25.7	83	4.8	SSE	27/13:0	---	8.8	27/09:20	2.2	27/09:20	36.0	25/20:20-27/14:10
阿里山x	3122.0	26/03:0	15.6	SSW	27/14:5	3151	12.9	92	5.1	SSE	27/16:5	---	3.0	26/12:50	1.5	26/13:01	14.0	26/09:20-27/14:40
玉山x	3117.9	26/15:0	26.5	S	26/14:0	3118.9	4.0	100	10.8	S	26/22:0	6/20:00-26/22:0	---	---	---	---	---	---
台南	1004.5	26/13:0	17.5	S	27/01:4	1006.4	27.4	73	9.8	SSE	27/02:0	---	5.5	27/08:10	3.0	27/08:15	24.5	26/14:10-27/20:10
高雄	1004.2	26/13:4	17.2	S	26/10:2	1006.8	30.4	69	9.7	SSE	26/10:4	---	29.0	27/10:41	10.0	27/08:28	66.5	26/11:25-27/11:30
恒春	1005.8	26/14:0	14.4	ENE	26/12:4	1006.7	30.2	79	7.3	ENE	26/12:3	---	10.5	26/14:26	6.5	26/14:26	10.5	26/14:26-26/15:04
大武	1005.3	26/15:3	11.2	NNE	26/21:5	1008.1	25.6	90	4.5	NNE	26/16:0	---	42.0	26/03:20	18.5	26/01:02	138.1	26/00:01-27/03:00
台東	1006.5	26/14:2	10.5	NNE	26/06:1	---	---	---	4.4	NNE	27/17:2	---	72.5	26/01:03	21.0	26/01:40	156.3	26/00:05-27/08:25
成功	1006.6	26/14:1	14.4	W	26/18:2	1007.8	26.8	97	7.4	SW	26/18:2	---	34.6	26/04:31	12.2	26/05:17	159.4	26/00:00-27/05:40
花蓮	1007.8	26/13:3	7.8	SSW	27/14:3	1009.5	28.5	83	5.2	S	27/14:3	---	49.5	26/06:40	15.0	26/07:20	673.0	24/00:00-27/16:48
蘇澳	1006.8	24/04:1	25.1	E	26/04:1	1008.7	24.8	98	16.0	E	26/02:5	6/19:00-27/14:0	44.0	26/03:12	8.0	26/03:57	179.6	26/00:00-27/20:30
宜蘭	1008.0	26/13:4	14.1	NE	27/09:2	1012.2	24.6	99	8.9	N	27/08:0	---	89.0	27/07:36	23.5	27/08:15	226.3	26/20:40-27/23:05
彭佳嶼	1008.8	26/14:1	28.4	ESE	27/16:3	1009.9	24.8	92	19.2	NE	27/12:1	6/01:00-27/23:0	13.4	26/10:20	4.7	27/10:30	64.1	26/09:00-27/17:00
澎湖	1003.7	26/14:3	19	ENE	26/10:4	1006.8	25.1	93	9.3	SSE	27/02:5	---	37.5	26/23:35	10.0	27/04:44	126.0	26/09:45-27/18:50
東吉島	1004.7	26/12:5	26.8	SSW	27/02:4	1005.7	25.6	100	18.2	S	27/02:5	6/09:00-27/20:0	24.5	27/02:05	11.5	27/02:12	80.5	26/09:00-27/23:00
蘭嶼	1006.8	26/03:4	20.8	S	26/05:5	---	---	---	13.2	S	26/08:1	6/09:00-27/15:0	12.3	26/05:17	4.0	26/05:45	18.2	26/00:00-26/23:00

註：其中風力 5 級(8.0-10.7m/s)、6 級(10.8-13.8m/s)、7 級(13.9-17.1m/s)、8 級(17.2-20.7m/s)、9 級(20.8-24.4m/s)、10 級(24.5-28.4m/s)、11 級(28.5-32.6m/s)

表 4. 中央氣象局氣象衛星中心芭比絲颱風定位及強度估計資料表，其中 T#/CI#表示颱風雲貌/颱風氣流強度

Table 4. Center locations and intensities of typhoon BABS observed by the Satellite Center of CWB.

時間 (UTC)	緯度	經度	精確度	T#/CI#	10270700	24.3N	118.8E	P	2.0/2.5
10250000	19.5N	116.4E	P	3.5/4.0	10270800	24.4N	118.8E	P	2.0/2.5
10250300	19.7N	116.0E	P	3.5/4.0	10270900	24.5N	118.9E	P	2.0/2.5
10250600	19.9N	115.6E	P	3.5/4.0	10271000	24.6N	119.0E	P	2.0/2.5
10250900	20.0N	116.3E	P	3.5/4.0	10271100	24.7N	119.1E	P	2.0/2.5
10251200	20.3N	116.2E	P	3.5/4.0	10271200	24.8N	119.2E	P	1.5/2.0
10251300	20.3N	116.2E	P	3.5/4.0	10271300	25.0N	119.3E	P	1.5/2.0
10251400	20.4N	116.2E	P	3.5/4.0	10271400	25.1N	119.4E	P	1.5/2.0
10251500	20.5N	116.2E	P	3.5/4.0	10271500	25.3N	119.6E	P	1.0/1.5
10251600	20.5N	116.3E	P	3.5/4.0					
10251700	20.7N	116.3E	P	3.5/4.0					
10251800	20.7N	116.3E	P	3.5/4.0					
10251900	20.8N	116.3E	P	3.5/4.0					
10252000	20.8N	116.3E	P	3.5/4.0					
10252100	20.9N	116.4E	P	3.5/4.0					
10252200	20.9N	116.4E	P	3.5/4.0					
10252300	20.9N	116.4E	P	3.5/4.0					
10260000	21.1N	116.5E	P	3.5/4.0					
10260100	21.3N	116.6E	P	3.5/4.0					
10260200	21.4N	116.6E	P	3.5/4.0					
10260300	21.5N	116.7E	P	3.5/4.0					
10260400	21.6N	116.7E	P	3.5/4.0					
10260500	21.7N	116.8E	P	3.5/4.0					
10260600	21.8N	116.9E	P	3.5/4.0					
10260700	21.9N	116.9E	P	3.5/4.0					
10260800	22.0N	117.0E	P	3.5/4.0					
10260900	22.1N	117.2E	P	3.5/4.0					
10261000	22.2N	117.2E	P	3.5/4.0					
10261100	22.4N	117.2E	P	3.0/3.5					
10261200	22.5N	117.3E	P	3.0/3.5					
10261300	22.6N	117.4E	P	3.0/3.5					
10261400	22.7N	117.5E	F	3.0/3.5					
10261500	22.8N	117.6E	F	3.0/3.5					
10261600	22.9N	117.7E	F	3.0/3.5					
10261700	23.0N	117.8E	F	3.0/3.5					
10261800	23.1N	117.9E	F	3.0/3.5					
10261900	23.2N	117.9E	F	3.0/3.5					
10262000	23.2N	117.9E	F	3.0/3.5					
10262100	23.3N	118.0E	F	3.0/3.5					
10262200	23.4N	118.1E	F	2.5/3.0					
10262300	23.6N	118.1E	F	2.5/3.0					
10270000	23.7N	118.2E	F	2.0/2.5					
10270100	23.8N	118.3E	F	2.0/2.5					
10270200	23.9N	118.4E	P	2.0/2.5					
10270300	23.9N	118.5E	P	2.0/2.5					
10270400	24.0N	118.6E	P	2.0/2.5					
10270500	24.1N	118.7E	P	2.0/2.5					
10270600	24.2N	118.8E	P	2.0/2.5					

表 5. 芭比絲颱風中心之雷達定位表

Table 5. Center locations of typhoon BABS observed by the Kaohsiung Meteorological Radar station.

時間 (UTC)	緯度	經度	精確度
102610	21.4N	116.5E	5
102611	21.5N	116.6E	5
102612	21.6N	116.7E	5
102613	21.6N	116.8E	5
102614	21.7N	116.8E	5
102615	21.8N	116.9E	5
102616	22.0N	117.0E	5
102617	22.1N	117.1E	5
102618	22.2N	117.2E	5
102619	22.3N	117.3E	5
102620	22.4N	117.4E	5
102621	22.5N	117.4E	5
102622	22.6N	117.5E	5
102623	22.7N	117.5E	5
102700	22.8N	117.6E	5
102701	22.9N	117.6E	5
102702	22.9N	117.7E	5
102703	23.0N	117.8E	5
102704	23.2N	118.0E	5
102705	23.4N	118.1E	5
102706	23.5N	118.2E	5
102707	23.6N	118.3E	5
102708	23.7N	118.5E	5
102709	23.8N	118.5E	5
102710	23.9N	118.6E	5
102711	24.0N	118.7E	5
102712	24.2N	118.8E	5
102713	24.2N	119.1E	5
102714	24.2N	119.1E	5

表 6. 各預報單位對芭比絲颱風二十四小時預測誤差之比較，其中 CLIP：中央氣象局統計模式預報，CWB：中央氣象局官方預報，HURA：中央氣象局統計模式，PGTW：關島之客觀預報，RJTD：日本之客觀預報，BCBZ：廣州之客觀預報，VHHH：香港之客觀預報，RPMH：菲律賓之客觀預報。

Table 6. 24-hour forecast error statistics for tropical storm BABS, in the table, forecast errors from objective forecast techniques and different official forecasts from the Central Weather Bureau and other Centers are included.

24-HOUR MEAN FORECAST ERROR (KM)															
	CLIP		CWB		HURA		PGTH		RJTD		BCGZ		VHHH		RPMH
CLIP	45 212	212 0													
CWB	45 114	212 -98	46 116	116 0											
HURA	43 205	212 -7	43 205	116 88	43 205	205 0									
PGTH	44 125	212 -87	45 125	116 9	42 127	205 -77	46 125	125 -77							
RJTD	45 105	212 -107	46 105	116 -11	43 105	205 -100	46 103	125 -22	47 105	105 0					
BCGZ	34 114	137 -22	34 114	109 5	33 116	142 -25	33 112	122 -9	34 114	107 7	34 114	114 0			
VHHH	15 124	131 -7	15 124	90 33	15 124	155 -31	15 124	135 -11	15 124	87 37	13 114	88 25	15 124	124 0	
RPMH	5 155	146 9	6 411	127 283	5 155	177 -22	6 411	137 274	6 411	150 261	5 155	127 27	2 144	64 79	411 0

A	B
C	D

- A 表示 X 和 Y 預報時間相同的次數
 B 表示 X 軸上預報方法之 24 小時誤差(KM)
 C 表示 Y 軸上預報方法之 24 小時誤差(KM)
 D 表示 Y 軸預報方法比 X 軸預報方法好的程度

REPORT ON TYPHOON “BABS” OF 1998

Tai-Kuang Chiou

Meteorological Satellite Center, Central Weather Bureau

ABSTRACT

Typhoon BABS was the twelfth typhoon occurred over the northwest Pacific Ocean in 1998. The system formed at 1200UTC on 15th October 1998 southwest to Guam, it developed and moved westward along the southern edge of the Pacific Subtropical High. After it moved near the Philippine Island, it intensified to a typhoon intensity at 0000UTC on 20th October and then moved northwestward. Later, it moved into the South China Sea, it turned north-north-eastward and the intensity gradually downgraded by felling of northeasterly monsoon at 0000UTC on 26th October. Finally it turned northeastward and the intensity decreased to a tropical depression and moved far away from Taiwan area at 1500UTC on 27th October. The averaged 24hr track forecast error was 116 km and was lower than 177km (mean error of official track forecast from 1971 to 1991). Although it did not make landfall over the Taiwan area and dissipated gradually, it created torrential rainfall and strong wind because of combination flow typhoon circulation and northeast monsoon over the areas of the northern, northeastern and eastern Taiwan and caused serious damages..

Key words : combination flow of typhoon circulation and northeast monsoon

民國八十九年颱風調查報告--中度颱風第 4 號 (國際命名：Kai-tak，中文譯名：啟德)

劉復誠
中央氣象局氣象預報中心

摘 要

本文之主要目的在探討民國八十九年第 4 號颱風啟德 (Kai-tak) 的發生經過、路徑、強度變化、侵台期間的氣壓、風速及降雨量分布，以及各種主、客觀颱風路徑預報的誤差校驗分析，最後就第 4 號颱風侵台時台灣各地區之災情予以說明。

第 4 號颱風在菲律賓呂宋島西北方近海形成後，隨即以西北西呈滯留打轉，之後向東北再轉向北移動，其中心於 7 月 9 日 9 時 30 分 (LST) 從台東縣成功鎮登陸後，沿台灣東部北進，於同日下午 3 時 30 分自基隆北海岸附近出海，並加速向北移動而遠離台灣，撲向中國大陸東海岸。

就第 4 號颱風侵台期間的氣壓及風雨分析，最低氣壓及十分鐘平均最大風速均出現在蘭嶼，各為 978.2hPa 及 54.5m/s；就各地區風力分布比較，以東南部、東部及東北部風力較大，最大陣風除蘭嶼為 17 級外，其餘均達 10 級；在降雨量方面，則以距颱風中心較近並為迎風面的東南部、東部及東北部最多，尤以山區之屏東檳榔 4 天累積雨量最多，高達 638mm，背風面的中南部降雨量較少。由於第 4 號颱風於其暴風圈觸及台灣後不久強度即減弱，因此帶來之災害不大，全台灣有一人死亡，六人受傷，交通方面有部分航空及鐵公路中斷，萬戶停電，農業總損失新台幣五千四百萬元以上。

就颱風路徑預報誤差校驗比較，中央氣象局 24 小時及 48 小時預報之平均距離誤差分別為 162 公里及 466 公里，而中央氣象局 TFS/PE 模式之 24 小時及 48 小時預報之平均距離誤差各為 140 公里及 262 公里，顯示此模式對此颱風之路徑預報表現尚佳。

關鍵詞：啟德颱風、颱風路徑

一、前言

89 年第 4 號颱風(國際命名 Kai-tak，中文譯名啟德)為在北太平洋西部發生的第 4 個颱風(編號 0004)，也是該年第一個侵襲台灣地區的颱風。第 4 號颱風乃衍生於呂宋島西北方近海的熱帶性低氣壓 (Tropical Depression; T.D.)，於 7 月 5 日 1800UTC 發展為輕度颱風，原為偏向北或西北移動，至 7 月 6 日 1800UTC 移速突然減慢，至 7 月 8 日 0000UTC 間幾乎是

在原地附近滯留打轉，至 7 月 8 日 0600UTC 才開始向東北朝巴士海峽移動。4 號颱風之強度在 7 月 7 日 0600UTC 轉變成中度，7 月 9 日 0600UTC 再變成輕度，終向北迅速行進及侵入中國東海岸，於 7 月 11 日 0000UTC 減弱為 T.D.。

4 號颱風啟德於 7 月 5 日 1800UTC 形成後，即以每小時 3 至 5 公里緩慢速度向北移動，有威脅台灣附近海面之趨勢，中央氣象局乃於 7 月 6 日 11 時 43 分首度對巴士海峽、東沙島、

台灣東南部海面及台灣海峽南部發布海上颱風警報，至7月8日清晨鑑於4號颱風可能對恆春半島、屏東、高雄、台東及蘭嶼地區構成威脅，乃於5時45分首度對前述地區發布海上陸上颱風警報，至7月9日23時5分解除陸上警報，7月10日3時0分因4號颱風迅速向北移動，遠離台灣附近海域，因此解除海上颱風警報。

大體言之，4號颱風啟德屬於北進型颱風，颱風中心於7月9日9時30分左右在台東縣成功鎮附近登陸，其強度亦於11時由中度減弱為輕度，並繼續沿台灣東部海岸北移至宜蘭後轉向北北西，於7月9日15時30分左右在基隆北海岸附近出海。由於4號颱風在侵台後強度迅速減弱，並向中國大陸東海岸揚長而去，故未在台灣地區釀成重大災情。4號颱風的生命期從7月5日1800UTC至7月11日0000UTC達5天6小時，屬於生命期較短且路徑特異的颱風。

本文之主要目的為報告4號颱風啟德發生經過、強度及路徑變化、颱風侵襲台灣期間各地氣象站之氣壓與風雨等氣象要素特徵、中央氣象局颱風路徑預測模式的預報結果檢討、各種主觀與客觀颱風路徑預報結果之校驗、以及災情統計資料等，以作為爾後調查或研究之參考。

為提供進一步調查分析之用，本文所採用的資料來源包括：

1. 中央氣象局各氣象站的觀測報告。
2. 中央氣象局花蓮、高雄及台北五分山氣象雷達站的觀測報告。
3. 中央氣象局氣象衛星中心的颱風中心定位及強度估測報告。
4. 中央氣象局發布第4號颱風的颱風警報資料。
5. 國外有關4號颱風的氣象資料：包括美國夏威夷聯合颱風警報中心（JTWC）、日本氣象廳（RJTD及JMH）、琉球美國空軍基地（RODN）等之氣象衛星颱風中心定位及海溫資料。
6. 中央氣象局的各種數值預測圖、颱風路徑預

測模式預測圖及各種主、客觀颱風路徑預測資料。

7. 內政部消防署中央災害防救中心及行政院農業委員會發布的災情報告。

本文中所使用國際時均加註UTC，而地方時（LST）為UTC+8。

二、第4號颱風的發生及經過

第4號颱風啟德為89年第4個在北太平洋西部形成的颱風，亦是該年在南海生成的第1個颱風，前面三個颱風依序為0001的丹瑞（Damrey）、0002的龍王（Longwang）、0003的奇洛基（Kirogi）。4號颱風原為位在呂宋島西方近海的熱帶雲簇（Tropical clusters），經不斷的對流活動，當其東方的3號颱風奇洛基於7月3日0600UTC形成後，他亦於同日1800UTC變成熱帶性低氣壓（T.D.），中心位置在北緯16.0度、東經117.5度（參考圖1），之後於7月5日1800UTC由T.D.發展為輕度颱風（圖2），並經國際命名為啟德（Kai-tak），編號0004，當時之中心位置在北緯19.0度、東經120.0度，中心氣壓992hPa，近中心最大風速65km/h（18m/s），最大陣風100km/h（28m/s），中心近似滯留，7級風暴風半徑120公里。有關4號颱風啟德之最佳路徑（Best track）資料如圖3及表1，這些資料主要是綜合氣象雷達觀測報告（表2a）與中央氣象局氣象衛星中心衛星定位資料（表2b，另含採1975年Dvorak強度估測之結果）而得。

研判4號颱風之發展，與7月1日至10日十天平均海面溫度之暖區（28℃至29℃）及距平有關（圖4），加上間熱帶輻合區（Intertropical Convergence Zone）正位於北緯10度至20度之間，提供了4號颱風形成的有利條件。就4號颱風強度的發展來說，由於它衍生於呂宋島西方、南海海域一帶，其外圍環流原與3號颱風奇洛基相互牽制，後於7月7日0600UTC時，3號颱風以時速37公里向北北東移動，4號颱風立刻增強為中度颱風，其時中心位置在北緯19.5度、東經118.6度，中心氣壓970hPa，近中心最大風速120km/h（33m/s），最大陣風

155km/h(43m/s)，仍在原地滯留打轉，暴風半徑 150 公里。之後 6 小時，爾後 4 號颱風強度達於最高峰，於 7 月 7 日 1200UTC 至 7 月 8 日 1200UTC 期間，近中心最大風速均達 170km/h(35m/s)，再者 4 號颱風因登陸受地形摩擦效應影響而迅速減弱，於 7 月 9 日 0600UTC 變為輕度颱風，中心位置在北緯 24.6 度、東經 121.6 度，中心氣壓 975hPa，近中心最大風速 110km/h (30m/s)，繼續向北移動，時速 26 公里，暴風半徑 150 公里（圖 5a）。4 號颱風在維持了 126 小時之生命期後，於 7 月 11 日 0000UTC 減弱為 T.D.，中心氣壓 996hPa，並向北北東迅速前進（圖 5b）。

4 號颱風啟德形成後，由於與其相距約 1200 公里的第 3 號颱風奇洛基略有牽制，起初移動方向不穩定，速度又慢，故先向北、西北移動，後又打轉，再向東北移動，最後循北、北北東方向遠離台灣。歷經 7 月 6 日 1800UTC 至 7 月 8 日 0000UTC 打轉後，便與 3 號颱風奇洛基分離，開始循平均氣流場（圖 6a 及 6b）先向東北行進，後循 500hPa 高度場（圖 6c）轉北撲向台灣本島而來，其速度亦由時速 8 公里增加至 7 月 9 日 1200UTC 的 34 公里，之後迅速進入台灣北部海面繼續向中國大陸東海岸移動，7 月 9 日 1500UTC 中心位置在北緯 27.0 度、東經 121.3 度，中心氣壓 980hPa，近中心最大風速 100km/h(28m/s)，瞬間最大陣風 130km/h(35m/s)，暴風半徑 150 公里，由於暴風圈已脫離台灣陸地中央氣象局遂先解除陸上颱風警報。

從 4 號颱風的移動路徑與台灣東部成功及台東氣象站之觀測資料顯示，因受地形吸引，颱風中心於 7 月 9 日 9 時 30 分左右在台東縣成功鎮附近登陸並繼續偏北移動，隨後於當日下午 3 時 30 分左右，從基隆北海岸附近出海，因強度減弱，中心位置模糊（圖 7），故對本省所造成的災害大為減少。

三、中央氣象局對 4 號颱風發布警報經過

中央氣象局人員從 7 月 6 日 0300UTC 的地

面天氣圖及其他氣象資料（圖 8a）研判 4 號颱風啟德之動向，在未來 24 小時有可能對台灣附近海域作業船隻構成威脅，乃於 7 月 6 日 11 時 43 分首度對巴士海峽、東沙島海面、台灣東南部海面及台灣海峽南部發布了 89 年度第 4 號第一報啟德颱風海上警報（圖 8b 及表 3），依據當時最新颱風動態資料（表 1），6 日 0300UTC 第 4 號輕度颱風啟德之中心位置在北緯 19.6 度、東經 119.8 度，中心氣壓 990hPa，近中心最大風速 85km/h(23m/s)，瞬間最大陣風 110km/h(30m/s)，以每小時 5 公里的速度向北緩慢移動，暴風半徑 120 公里。之後，第 4 號颱風啟德即以緩慢的速度（時速 3-5 公里）向西北移動，至 7 月 6 日 1800UTC 開始呈滯留打轉現象，因此至 7 月 8 日 5 時中央氣象局一直維持發布海上颱風警報階段，至 7 月 8 日 5 時 45 分，因鑑於 4 號颱風已開始向東北移動，並研判可能影響台灣陸地，乃首度對恆春半島、屏東、高雄、台東及蘭嶼地區發布海上陸上颱風警報（圖 8c），並呼籲該地區民眾嚴加戒備，防範豪雨與強風。隨後 4 號颱風啟德移動方向由東北轉北且加速向台灣本島直撲而來，所以，中央氣象局發布的陸上警報區域亦逐步擴及台南、花蓮、宜蘭、基隆、台北、桃園、新竹及綠島地區（見第 4 號第 23 報海上陸上颱風警報單，圖略）。迨至 7 月 9 日 20 時 40 分，因台灣陸地已脫離 4 號颱風暴風圈之影響，故解除陸上颱風警報。7 月 10 日 3 時 0 分 4 號颱風暴風圈對海上之威脅亦已完全解除，乃解除颱風警報。

總計，中央氣象局對 4 號颱風啟德共發布了海上颱風警報 30 報，海上陸上颱風警報 14 報，前後歷經 86 小時。有關 4 號颱風啟德中央氣象局發布警報概況紀錄，請參見表 3。

四、第 4 號颱風啟德侵台期間各種氣象要素分析

（一）氣壓：

第 4 號啟德颱風係以第六類（中央氣象局，2000）颱風路徑侵襲台灣（參考圖 3 及圖 9），主要受到太平洋副高壓及其右方 3 號颱風

奇洛基北上後殘存之雲系吸引，使它移動方向由西北、北、北北東，從台東縣成功鎮登陸，強度旋即迅速減弱，以致台灣地區各氣象站氣壓未進一步加深。以平地氣象站而言，各地出現之最低氣壓以蘭嶼站最低，該站於 7 月 9 日 6 時 0 分測得之最低海平面氣壓為 978.2hPa，顯示颱風中心正在蘭嶼附近，台灣地區測得海平面氣壓最低之氣象站為恆春站，該站於 9 日 4 時 10 分測得 981.9hPa，次於蘭嶼站；成功站於 9 日 7 時 59 分測得 982.4hPa，排名第三；其餘各氣象站在颱風侵襲期間測得之最低氣壓資料則如表 4 所示。由表 4 分析，當 4 號颱風啟德行進至宜蘭、基隆後，颱風強度由中度減為輕度（9 日 0600UTC），近中心最大風速由 120km/h(33m/s)減至 110km/h(30m/s)，導致台灣北部、東北部及東部各氣象站如台東站、花蓮站、宜蘭站及基隆站等之海平面氣壓迅速回升 2 至 7hPa（圖 10）。

（二）風速：

由於第 4 號颱風啟德中心於 9 日上午接近台灣時（圖 9），其強度已自中度轉為輕度（近中心最大風速由 120km/h 減為 110km/h，中心氣壓自 970hPa 升為 975hPa）。是以台灣地區各氣象站測得之瞬間最大風速與平均最大風速除蘭嶼外，已不是 4 號颱風之最強盛階段（指 7 月 7 日 0600UTC 至 7 月 9 日 0000UTC 中度颱風階段）。

就 4 號颱風侵台期間，台灣地區各氣象站（山區除外）之瞬間最大風速比較，以最接近颱風中心的蘭嶼站（圖 11）最大，測得西南西風 54.5m/s（16 級），出現在 7 月 9 日 6 時 28 分，再次為颱風中心登陸點的成功站（圖 10b），測得東北風 31.0m/s（11 級），出現時間在 9 日 7 時 59 分。其餘各氣象站觀測到之瞬間最大風速介於 8.0 至 27.2m/s 間（5 至 10 級），顯示各地受颱風影響出現之風力已因颱風強度減弱而跟著減弱。有關各地氣象站出現之瞬間最大風速可參考表 4 與表 5。

至於各氣象站之十分鐘平均最大風速，由表 4 及表 5 可知，以蘭嶼站最大，為西南風 34.9m/s（12 級），出現時間在 9 日 6 時 30 分；

其次是彭佳嶼站，為東南東風 27.8m/s（10 級），出現時間在 9 日 15 時 29 分，再次為颱風中心登陸點的成功站（圖 10b），為南南西風 19.1m/s（8 級），出現時間為 9 日 10 時 51 分。其餘各氣象站之十分鐘平均最大風速則介於 4.5 至 18.1m/s（3 至 8 級）間。

（三）雨量：

4 號颱風啟德因移動路徑對台灣而言為偏北走向，故雨量以颱風環流雨及地形雨居多，從 7 月 6 日海上警報發布後，台灣東南部、東部及東北部即陸續降雨，隨著颱風的接近，累積雨量亦愈來愈多。

從 7 月 8 日 00 時至 9 日 21 時解除陸上警報，各地累積雨量如表 5。由表 5 知，較大雨量集中在台灣東南部、東部及東北部，其中以花蓮站 259mm 最多，成功站 258mm 次之，蘇澳站下了 257mm，居第三。台灣北部及中南部平地雨量均未超過 100mm，但山區則超過 100mm，如玉山 166mm，阿里山 104mm。其他專用氣象站亦觀測到相當大的降雨量，如從 6 日 00 時至 9 日 23 時屏東縣檳榔 638mm、台東縣綠島 436mm、花蓮縣玉里 415mm、宜蘭縣礁溪 314mm、台北縣下盆 308mm。

從面積雨量空間分布（圖 12）研析可知主要降雨帶均分布在東部，分為幾個大雨中心，雨量大都高達 200mm 以上，尤其東南部及恆春半島更超過 600mm 以上。桃園之大雨中心也大於 200mm 以上，西南部大雨中心則位在台南縣。

由表 4 中顯示，最大十分鐘降雨量以蘇澳站的 20.5mm 最大，彭佳嶼站的 18.5mm 次之，蘭嶼站的 15.5mm 第三。而一小時最大降雨量以 9 日 6 時 57 分在成功站所測得的 67.0mm 最大，8 日 21 時 53 分於蘭嶼所測的 47.0mm 次之，另於 9 日 17 時 21 分在彭佳嶼所測的 40.0mm 第三。就累積總降雨量比較分析，（表 4），以恆春站所測得之總雨量最高，從 6 日 1 時 05 分至 9 日 11 時 0 分共下了 485.4mm；第二為在台東站所測得，從 6 日 9 時 50 分至 9 日 14 時 20 分共下了 334.0mm；第三是成功站所測得，從 6 日 5 時 42 分至 9 日 15 時 20 分共下

了 311.7mm。

從 4 號颱風啓德的強度與偏北路徑研判，因氣候型態或季節（7 月）因素，其主要降雨全來自颱風環流及地形雨，故都集中在東北部山區、東北部、東部及東南部各縣市（參考雷達回波圖 13），因而淹水地區及災害亦都集中在這些地區。

五、第 4 號颱風路徑預報檢討

（一）此次 4 號颱風啓德之路徑預報掌握，中央氣象局除了參考各種主、客觀預報資料外，中央氣象局颱風路徑預報模式（TFS/PE）亦發揮了很大的助益，尤其當 4 號颱風移至恆春南方海面時（8 日 1200UTC，中心位置在北緯 20.5 度、東經 120.4 度），中央氣象局颱風模式即已預測 4 號颱風未來有轉北並沿東海岸北上之趨勢（圖 14）。而造成 4 號颱風北上的最適氣象條件，乃是太平洋高壓西伸的結果。

（二）檢視相當正壓模式之預測（表 6）可知，4 號颱風 24 小時及 48 小時預報距離誤差分別為 242 公里及 407 公里，其誤差顯示有偏大現象。

（三）4 號颱風路徑誤差校驗

此次被列為 4 號颱風路徑預報的主要參考報告分別為：1、主觀（官方）預報方面，包括（1）中央氣象局（CWB）（2）日本（RJTD）（3）香港（VHHH）（4）夏威夷（JTWC）（5）中國大陸廣州（BCGZ）及（6）菲律賓（RPM）等。2、客觀（統計或動力模式）預報方面，包括（1）CLIPER（氣候與持續法）、（2）TFS（中央氣象局颱風路徑預測模式）、（3）EBM（相當正壓模式）及（4）類比法（HURRAN）等。

以上這些主觀與客觀預報的 24 小時及 48 小時路徑預報誤差，經選取前 9 種作電腦校驗，其結果列於表 7a 及表 7b。

由表 7a 中可知，24 小時的預報之距離誤差以 TFS 的 140 公里最少（6 個個案），中央

氣象局（CWB）的官方預報次之，距離誤差為 162 公里（18 個個案），日本（RJTD）的 164 公里（18 個個案）居第三，其餘主客觀預報誤差介於 214 至 333 公里之間，可見各種主觀預報誤差之差異甚大。

另由表 7b 可知 48 小時的路徑預報誤差，最小的為 TFS 的 262 公里（5 個個案），日本的 RJTD 為 459 公里（14 個個案）第二，中央氣象局的 CWB 為 466 公里（14 個個案）第三，其他各種模式之誤差則介於 524 至 655 公里。由以上各種模式誤差均偏大來看，可能與 4 號颱風在 7 月 6 日至 7 日間的緩慢移動及打轉後又急速北上移動有關（圖 15）。

六、災情

4 號颱風啓德先以緩慢移動並經打轉後加速向北北西或偏北移動，其強度在 9 日中心登陸後迅速由中度減弱為輕度，因而未使災情進一步擴大。檢視重大災區都發生在風強雨驟的北部山區、東北部、東部及東南部靠近 4 號颱風暴風圈的地方，如宜蘭、花東及屏東。茲依據內政部消防署中央災害防救中心及行政院農業委員會發布的災情綜列如下：

（一）民眾傷亡情形：1 死、6 傷。

（二）房屋損失情形：受損三戶。

（三）農業總損失：約新台幣五千四百萬元（最嚴重的花蓮縣占二千四百萬元），其中以台東番荔枝落果最嚴重。

（四）鐵公路及航空部分中斷，包括宜蘭蘇花公路、花東鐵路南迴線、阿里山森林鐵路路基流失，屏東與台東機場關閉。

（五）電力方面：宜蘭、屏東、花蓮及台東等 4 縣市，共有近萬戶發生用電中斷。

（六）其他：（1）屏東牡丹水庫洩洪。（2）宜蘭壯圍鄉於 10 日受小型龍捲風侵襲，三戶人家建築物受損。

七、結論

由上述之分析及探討，可歸結如下數點結論：

（一）民國 89 年第 4 號颱風啓德為該年第一個

侵台颱風，亦為 89 年於南海形成的第一個颱風。

- (二) 就 4 號颱風之發展、強度變化及移動方向研判，首先因受制於奇洛基颱風及導引氣流不強，故先呈滯留或緩慢移動，至 7 月 9 日因太平洋高壓西伸及導引氣流明顯化始迅速偏北移動，進入中國大陸東海遠離台灣。
- (三) 4 號颱風侵台期間，蘭嶼出現最低的海平面氣壓 978hPa，而十分鐘平均最大風速及瞬間最大風速亦同時出現在蘭嶼，各為 34.9m/s 及 54.5m/s。再次風力以較接近颱風中心的成功 11 級、台東、大武及恆春均為 10 級與海島的彭佳嶼 11 級及東吉島 10 級較大，其他介於 6 至 9 級間。累積總雨量分布則集中在迎風面的東北部、東部及東南部，山區尤大。中南部則因背風面影響，雨量較小。
- (四) 颱風路徑預報誤差校驗結果（非相同個案），24 小時路徑預報誤差以中央氣象局 TFS/PE 的 140 公里最優，中央氣象

局官方的 162 公里次之，日本（RJTD）的 164 公里第三。48 小時路徑誤差亦以中央氣象局 TFS/PE 的 262 公里最佳，其他依序為日本（RJTD）的 459 公里及中央氣象局官方的 466 公里。

- (五) 災害損失總計一人死亡，六人輕重傷。房屋受損三戶，農業總損失在新台幣五千四百萬元以上。

誌謝

本文之完成，謝謝中央氣象局各單位提供之觀測資料，以及第三組楊慧玉技正幫忙謄稿及繪製圖表，謹此誌謝。

參考文獻

- 中央氣象局，2000：颱風百問。中央氣象局，74pp。
- Dvorak, V. F., 1975: Tropical cyclone intensity, analysis and forecasting from satellite imagery. Mon. Wea. Rev., 103, 420-430.

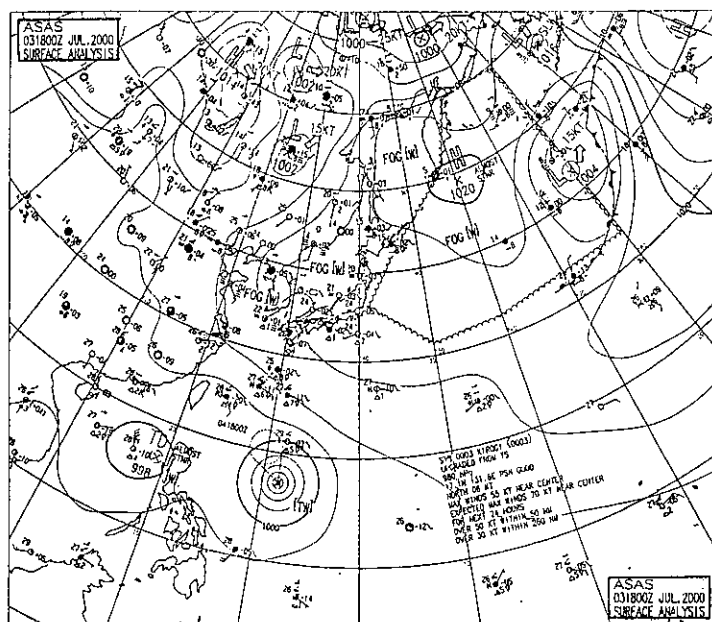


圖 1. 2000 年 7 月 3 日 1800UTC 亞洲區地面天氣分析圖。

Fig. 1. The surface analysis at 1800UTC 3 July of 2000.

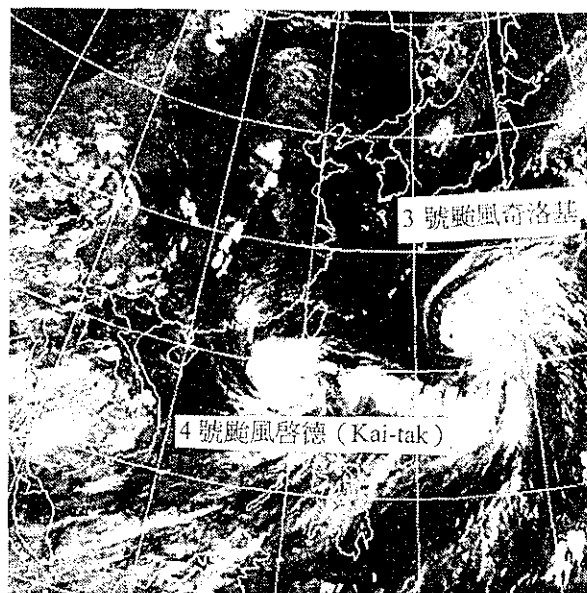


圖 2. 2000 年 7 月 5 日 1800UTC 紅外線衛星雲圖。

Fig. 2. The infrared satellite imagery at 1800UTC 5 July of 2000.

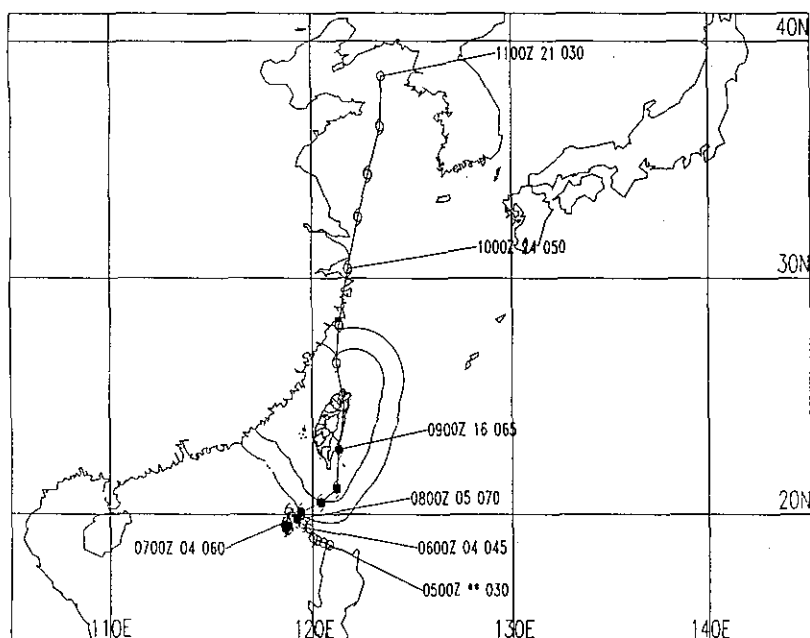


圖 3. 2000 年 4 號颱風啟德最佳路徑圖。

圖中空心代表強度為輕度颱風，實心代表中度颱風以上，每隔 24 小時之標示資料，由左至右分別為 UTC 時間、移速 (kts) 及近中心最大風速 (kts)。

Fig. 3. The best track of typhoon 0004 (Kai-tak).

表 1. 第 4 號颱風（啓德 Kai-tak）最佳路徑中心位置及其他動態資料

Table 1. The best track center positions, intensity and movement of the typhoon Kai-tak.

日	時 (UTC)	北 緯 (度)	東 經 (度)	中心 氣壓 (hPa)	近中 心最 大風 速 (km /hr)	近中 心最 大風 速 (m/s)	強度	颱風 進行 方向	時 速 (公里)	7 級風 暴風 半徑 (公里)	10 級 風暴 風半 徑(公 里)	警報種類	備註
7 5	00	18.7	120.8	995	---	15	T.D.	NE	10	---	---		
	06	18.9	120.5	995	---	15	T.D.	滯留	---	---	---		
	12	18.9	120.2	995	---	15	T.D.	滯留	---	---	---		
	18	19.0	120.0	992	65	18	輕	滯留	---	120	---		生成
7 6	00	19.4	119.8	990	85	23	輕	滯留	---	120	---		
	03	19.6	119.8	990	85	23	輕	N	5	120	---	海上	
	06	19.6	119.5	985	90	25	輕	NW	3	150	---		
	12	19.9	119.0	975	110	30	輕	NW	4	150	---		
	18	20.1	118.8	975	110	30	輕	打轉	---	150	---		
7 7	00	19.7	118.7	975	110	30	輕	打轉	---	150	---		
	06	19.5	118.6	970	120	33	中	打轉	---	150	---		
	12	19.4	118.6	965	130	35	中	打轉	---	150	---		
	18	19.5	118.8	965	130	35	中	打轉	---	150	---	海上陸上	
7 8	00	19.8	118.6	965	130	35	中	打轉	---	150	---		
	06	20.1	119.4	965	130	35	中	NE	8	150	---		
	09	20.3	120.0	965	130	35	中	NE		150	---		
	12	20.5	120.4	965	130	35	中	NE	9	150	---		
	18	21.1	121.2	970	120	33	中	N	12	150	---		
7 9	00	22.7	121.3	970	120	33	中	N	23	150	---		
	06	24.6	121.6	975	110	30	輕	N	26	150	---		
	12	26.4	121.2	980	100	28	輕	N	34	150	---		
	15	27.0	121.3	980	100	28	輕	N	35	150	---	海上	
	18	28.0	121.3	980	100	28	輕	N	38	150	---	解除	
7 10	00	30.4	121.8	985	90	25	輕	NNE	40	150	---		
	06	32.6	122.3	990	83	23	輕	NNE	42	150	---		
	12	34.4	122.8	993	72	20	輕	NNE	41	150	---		
	18	36.4	123.4	995	65	18	輕	NNE	41	150	---		
7 11	00	38.5	123.5	996	54	15	T.D.	ENE	30	150			衰減

表 2a. 第 4 號颱風侵台期間中央氣象局 (a) 高雄雷達站、(b) 花蓮雷達站及 (c) 五分山雷達站
颱風中心定位資料

Table 2a. Radar fixes of the center location of typhoon Kai-tak from (a)Kaohsiung(46744),
(b)Hualien(46699), and (c)Wufensan(46685).

(a) 第 4 號颱風中心高雄雷達站(46744)定位及移動資料

時間(地方時 (月日時))	緯度	經度	Ac (正確度)	DsDs (去向:度)	FsFs (移速:kts)
070807	20.1	119.1	5	---	---
08	20.1	119.2	5	90	10.7
09	20.1	119.2	5	0	0
10	20.2	119.4	5	53	19.6
11	20.2	119.4	5	---	---
12	20.2	119.4	5	---	---
13	20.2	119.4	5	---	---
14	20.2	119.5	5	65	7.0
15	20.3	119.6	5	60	10.7
16	20.3	119.7	5	69	12.5
17	20.4	119.9	4	66	27.0
18	20.5	120.2	5	71	28.6
19	20.6	120.4	1	50	30.0
20	20.6	120.4	1	0	0
21	20.6	120.4	1	0	0
22	20.6	120.5	1	80	7.1
23	20.7	120.6	1	64	10.7
24	20.8	120.8	1	60	17.9
070901	21.0	121.0	1	42	35.7
02	21.2	121.2	1	43	35.0
03	21.3	121.4	1	---	18.0
04	21.4	121.4	2	---	10.7
05	21.6	121.4	1	---	21.4
06	21.9	121.4	4	---	32.1
07	22.2	121.4	4	---	32.1
08	22.7	121.4	4	---	33.5

(b) 第4號颱風中心花蓮雷達站(46699)定位及移動資料

時間(地方時 (月日時))	緯度	經度	Ac (正確度)	DsDs (去向:度)	FsFs (移速:kts)
070903	21.23	121.35	3	---	---
04	21.22	121.40	3	103	4.9
05	21.40	121.50	3	37	24.0
06	21.98	121.38	2	346	67.0
07	22.38	121.42	2	5	44.5
08	22.85	121.46	1	5	52.2
09	23.13	121.55	1	17	31.9
10	23.36	121.51	1	---	---

(c) 第4號颱風中心五分山雷達站(46685)定位及移動資料

時間(地方時 (月日時分))	緯度	經度	Ac (正確度)	DsDs (去向:度)	FsFs (移速:kts)
07090900	23.0	121.4	5	20	20.0
0930	23.0	121.4	5	20	20.0
1010	23.1	121.4	5	15	20.0
1030	23.3	121.3	5	15	20.0
1100	23.5	121.5	2	15	25.0
1130	23.5	121.4	5	15	25.0
1200	23.6	121.5	5	15	27.0
1230	24.0	121.5	5	5	30.0
1300	24.4	121.8	1	5	30.0
1330	24.8	121.8	5	5	30.0
1400	24.6	121.6	5	5	27.0
1430	24.8	121.6	5	5	27.0
1500	24.4	121.8	7	0	30.0
1600	25.5	121.5	2	340	35.0
1700	25.7	121.4	2	340	35.0
1800	25.9	121.3	2	340	30.0
1900	26.1	121.5	2	340	35.0
2000	26.3	121.3	2	350	35.0
2100	26.5	121.3	2	0	38.0
2200	26.7	121.3	2	0	38.0

表 2b. 中央氣象局氣象衛星中心對第 4 號颱風啓德之中心定位與強度估計資料

Table 2b. Center location and intensity of typhoon 0004(Kai-tak) analyzed by the Satellite Center of CWB.

月	日	時	雲圖種類	颱風 雲型	中心 緯度	中心 經度	定位 準確度	T 值	CI 值	Zr 值	強度 變化	強度間隔 時間	警報種類
7	3	18	EIR/IR		16.00	119.10	Poor	1.50	1.50				
7	3	21	EIR/IR		16.20	119.10	Poor	1.50	1.50				
7	4	00	IR/EIR/VIS		16.30	119.00	Poor	1.50	1.50				
7	4	03	IR/EIR/VIS		16.70	119.40	Poor	1.50	1.50				
7	4	06	IR/EIR/VIS		17.70	120.20	Poor	2.00	2.00		發展	6	
7	4	09	IR/EIR/VIS		18.20	120.60	Poor	2.00	2.00		發展	6	
7	4	12	IR/EIR		18.50	120.60	Poor	2.00	2.00		持續	6	
7	4	15	EIR/IR		18.50	120.60	Poor	2.00	2.00		持續	6	
7	4	18	EIR/IR		18.50	120.70	Poor	2.00	2.00		持續	6	
7	4	21	EIR/IR		18.60	120.70	Poor	2.00	2.00		持續	6	
7	5	00	IR/EIR/VIS		18.60	120.70	Poor	2.00	2.00		持續	6	
7	5	03	IR/EIR/VIS		18.70	120.70	Poor	2.00	2.00		持續	6	
7	5	06	IR/EIR/VIS		18.80	120.70	Poor	2.00	2.00		持續	6	
7	5	09	IR/EIR/VIS		18.80	120.70	Poor	2.00	2.00		持續	6	
7	5	12	EIR/IR		18.90	119.80	Poor	2.50	2.50	5.10	發展	6	
7	5	15	EIR/IR		19.00	119.70	Poor	2.50	2.50	3.80	發展	6	
7	5	18	EIR/IR	CB	19.10	120.30	Poor	2.50	2.50	5.40	發展	12	
7	5	21	EIR/IR	CB	19.20	120.20	Poor	2.50	2.50	3.50	發展	12	
7	6	00	IR/EIR/VIS	CDO	19.40	120.00	Fair	2.50	2.50	3.50	持續	6	
7	6	03	IR/EIR/VIS	CDO	19.50	119.80	Fair	2.50	3.00	3.70	持續	6	
7	6	06	IR/EIR/VIS	ECP	19.50	119.70	Fair	3.00	3.00	4.50	發展	6	海上警報
7	6	09	IR/EIR/VIS	ECP	19.50	119.50	Fair	3.50	3.50	3.90	發展	6	海上警報
7	6	12	EIR/IR	CB	19.90	118.90	Fair	3.50	3.50	3.60	發展	6	海上警報
7	6	15	EIR/IR	CB	20.10	118.80	Fair	3.50	3.50	3.90	持續	6	
7	6	18	EIR/IR	CB	20.00	118.60	Fair	3.50	3.50	4.50	持續	6	
7	6	21	EIR/IR	CB	19.70	118.50	Fair	3.50	3.50	5.60	持續	6	
7	7	00	IR/EIR/VIS	CB	19.70	118.60	Fair	3.50	3.50	4.50	持續	6	海上警報
7	7	03	IR/EIR/VIS	CB	19.70	118.60	Fair	3.50	3.50	4.80	持續	6	海上警報
7	7	06	IR/EIR/VIS	EYE	19.60	118.70	Fair	4.00	4.00	4.20	發展	6	海上警報
7	7	09	IR/EIR/VIS	EYE	19.60	118.70	Fair	4.00	4.00	4.70	發展	6	海上警報
7	7	12	EIR/IR	EYE	19.60	118.80	Fair	4.00	4.00	4.80	持續	6	海上警報
7	7	15	EIR/IR	EYE	19.70	118.90	Fair	3.50	4.00	3.50	減弱	6	海上警報
7	7	18	EIR/IR	EYE	19.70	119.00	Fair	3.50	4.00	4.10	減弱	6	海上警報
7	7	21	EIR/IR	EYE	19.80	119.10	Fair	3.50	4.00	4.10	持續	6	海上陸上警報
7	8	00	IR/EIR/VIS	EYE	20.00	119.30	Fair	3.50	4.00	4.20	持續	6	海上陸上警報
7	8	03	IR/EIR/VIS	EYE	20.00	119.40	Fair	3.50	4.00	3.50	持續	6	海上陸上警報
7	8	06	IR/EIR/VIS	EYE	20.20	119.70	Fair	3.50	4.00	3.80	持續	6	海上陸上警報
7	8	09	IR/EIR/VIS	EYE	20.30	119.70	Fair	3.50	4.00	4.00	持續	6	海上陸上警報
7	8	12	EIR/IR	EYE	20.50	120.50	Fair	3.50	4.00	4.00	持續	6	海上陸上警報
7	8	15	EIR/IR	EYE	20.70	120.60	Fair	3.50	4.00	3.60	持續	6	海上陸上警報
7	8	18	EIR/IR	EYE	21.20	121.00	Fair	3.50	4.00	4.30	持續	6	海上陸上警報
7	8	21	EIR/IR	EYE	21.90	121.30	Fair	3.50	4.00	4.20	持續	6	海上陸上警報
7	9	00	IR/EIR/VIS	EYE	22.70	121.30	Fair	3.50	4.00	4.00	持續	6	海上陸上警報
7	9	03	IR/EIR/VIS	EYE	23.50	121.40	Fair	3.50	4.00	4.30	持續	6	海上陸上警報
7	9	06	IR/EIR/VIS	CDO	24.50	121.70	Fair	3.00	3.50	4.30	減弱	6	海上陸上警報
7	9	09	EIR/IR	CDO	25.60	121.40	Fair	3.00	3.50	4.20	減弱	6	海上陸上警報
7	9	12	EIR/IR	CB	26.30	121.10	Fair	3.00	3.50	4.40	持續	6	海上陸上警報
7	9	15	EIR/IR	CB	27.10	121.20	Fair	3.00	3.50	4.10	持續	6	海上警報
7	9	18	EIR/IR	CB	28.00	121.30	Fair	3.00	3.50	3.50	持續	6	解除警報
7	10	00	IR/EIR/VIS	CB	30.40	121.80	Fair	2.50	3.00	4.00	減弱	6	
7	10	03	IR/EIR/VIS	CB	31.30	122.00	Fair	2.50	3.00	3.50	持續	6	
7	10	06	IR/EIR/VIS	CB	32.60	122.30	Fair	2.50	3.00	3.50	持續	6	
7	10	09	IR/EIR/VIS	CB	33.70	122.80	Fair	2.50	3.00	3.50	減弱	6	
7	10	12	EIR/IR	CB	34.50	124.00	Fair	2.00	2.50	3.90	減弱	6	
7	10	15	EIR/IR	CB	35.60	124.70	Fair	1.50	2.00	0.00	減弱	6	
7	10	15	EIR/IR	CB	35.30	123.30	Poor	2.00	2.50	0.00	減弱	6	
7	10	18	EIR/IR	CB	36.00	123.60	Poor	1.50	2.00	0.00	減弱	6	
7	10	21	EIR/IR	CB	37.00	123.80	Poor	1.50	2.00	0.00	減弱	6	
7	11	00	EIR/IR	CB	38.80	124.20	Poor	1.50	2.00	0.00	減弱	6	

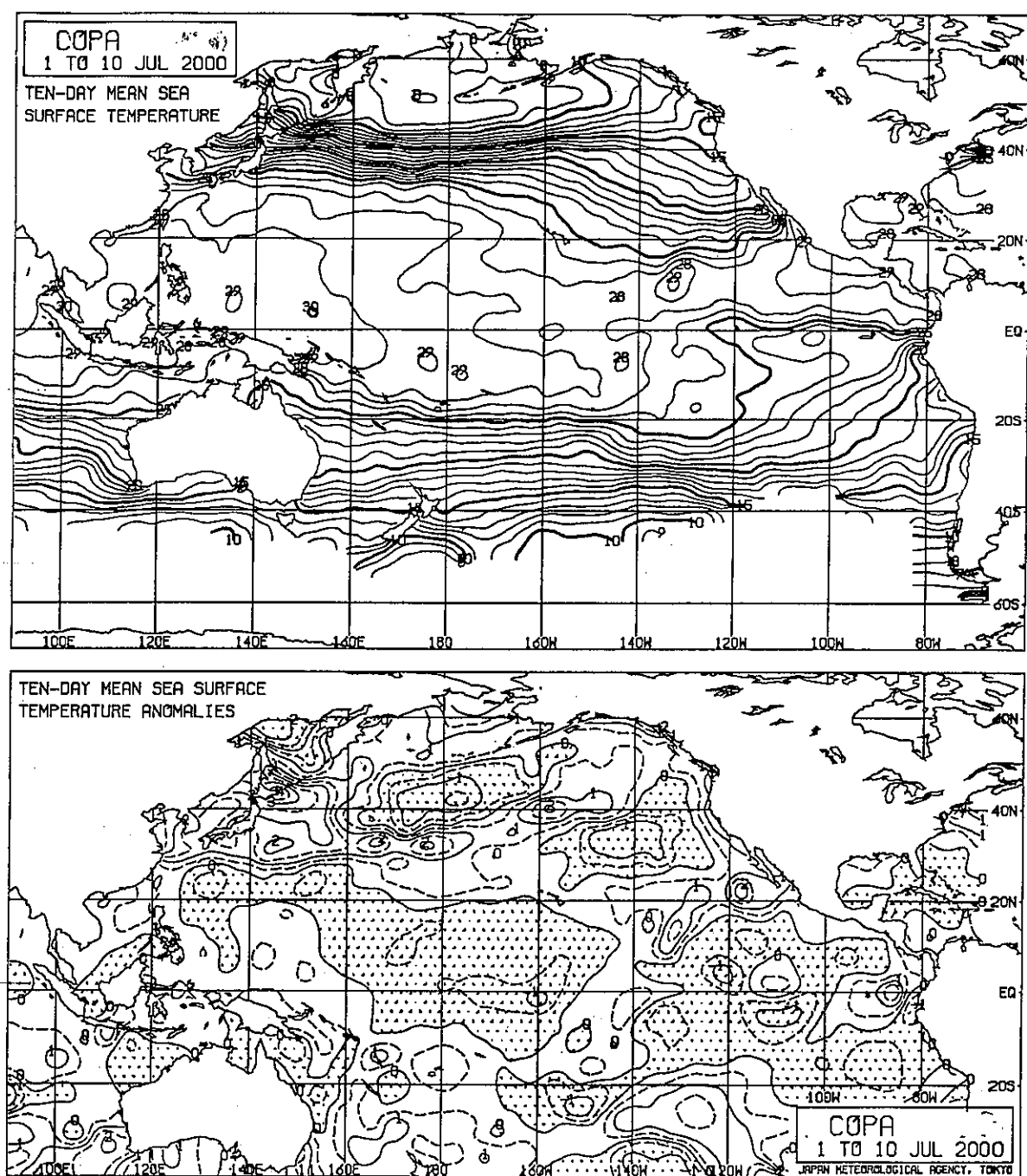


圖4. 2000年7月1日至10日太平洋區域海溫（上）與海溫距平（下）圖。

Fig. 4. The ten-day (1 to 10, July of 2000) mean sea surface temperature (top) and anomalies (bottom) over the Pacific area.

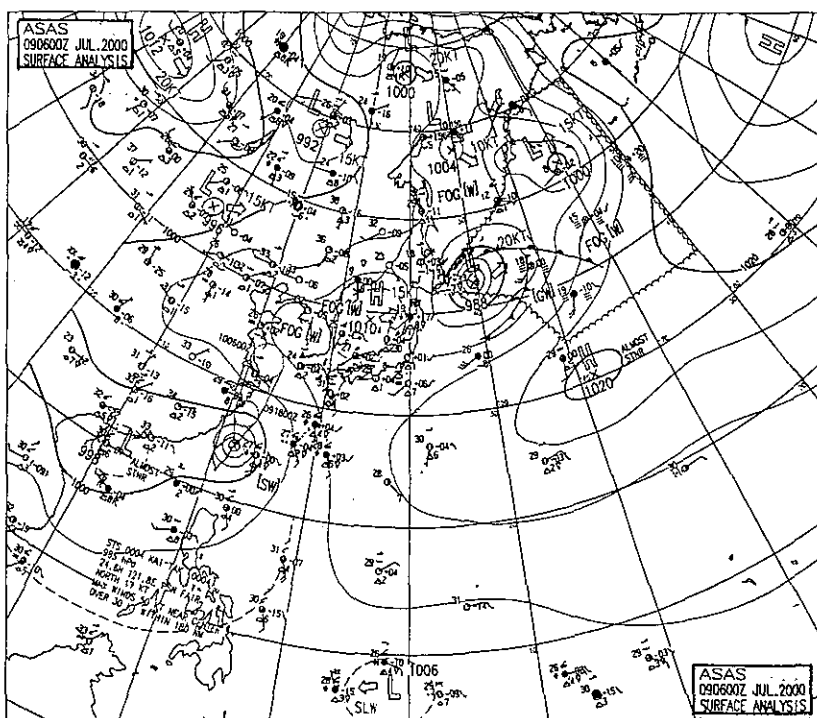


圖 5a. 2000 年 7 月 9 日 0600UTC 亞洲區地面天氣分析圖。

Fig. 5a. The surface analysis at 0600UTC 9 July of 2000.

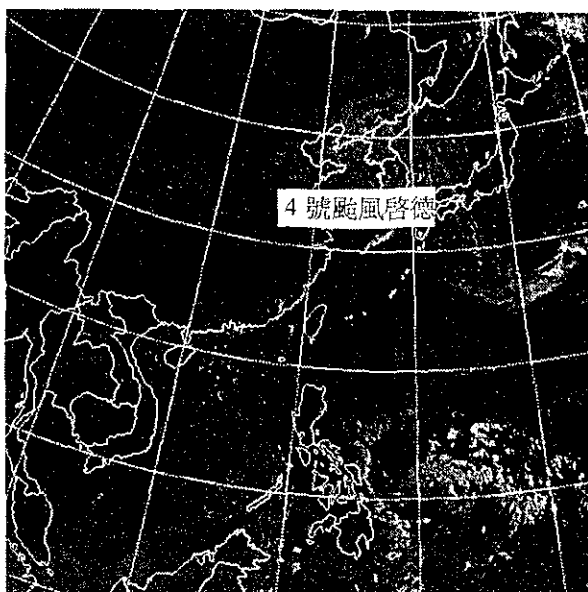


圖 5b. 2000 年 7 月 11 日 0000UTC 可見光衛星雲圖。

Fig. 5b. The visible satellite imagery at 0000UTC 11 July of 2000.

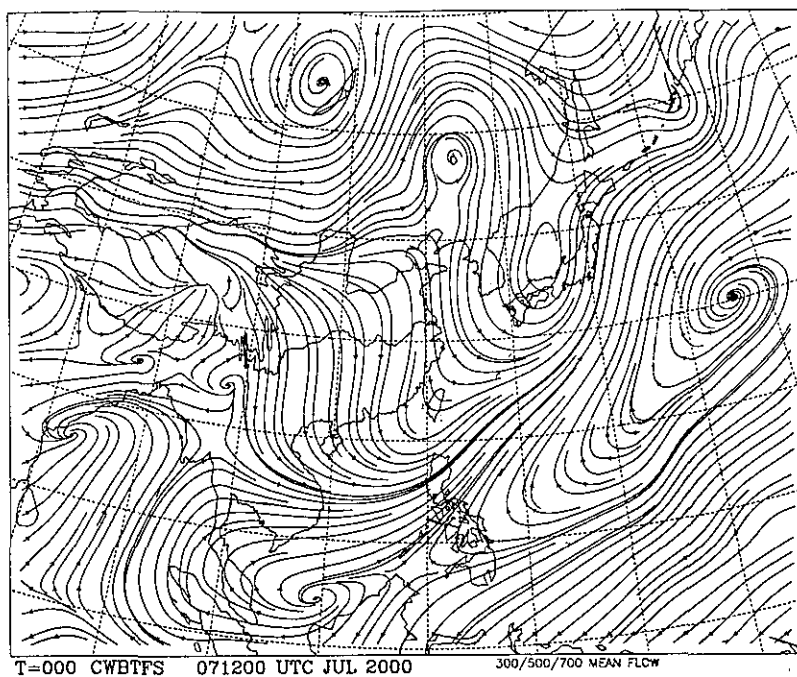


圖 6a. 2000 年 7 月 7 日 1200UTC 300/500/700 百帕（高空圖）平均氣流圖。
 Fig. 6a. The 300/500/700 hPa mean flow streamlines at 1200UTC 7 July of 2000.

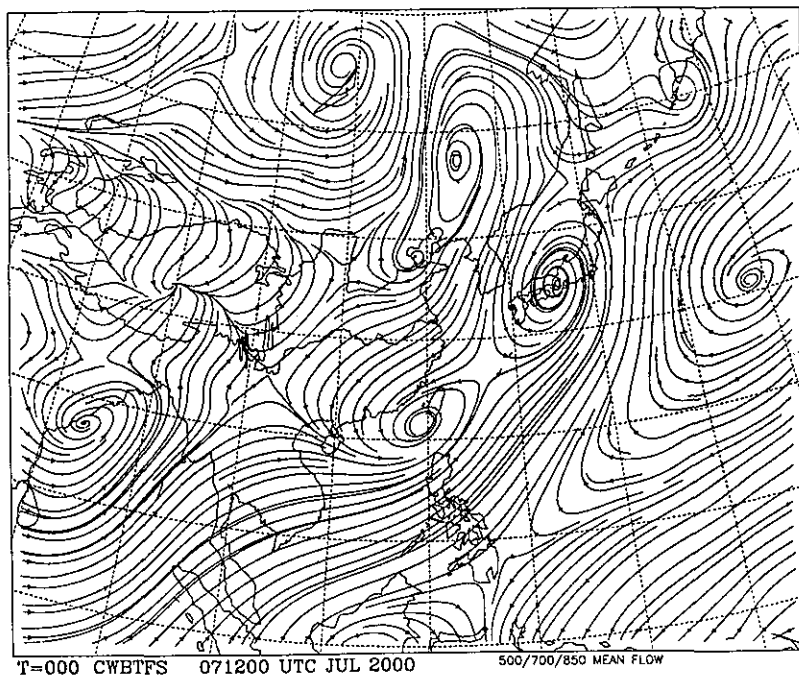


圖 6b. 2000 年 7 月 7 日 1200UTC 500/700/850 百帕（高空圖）平均氣流圖。
 Fig. 6b. The 500/700/850 hPa mean flow streamlines at 1200UTC 7 July of 2000.

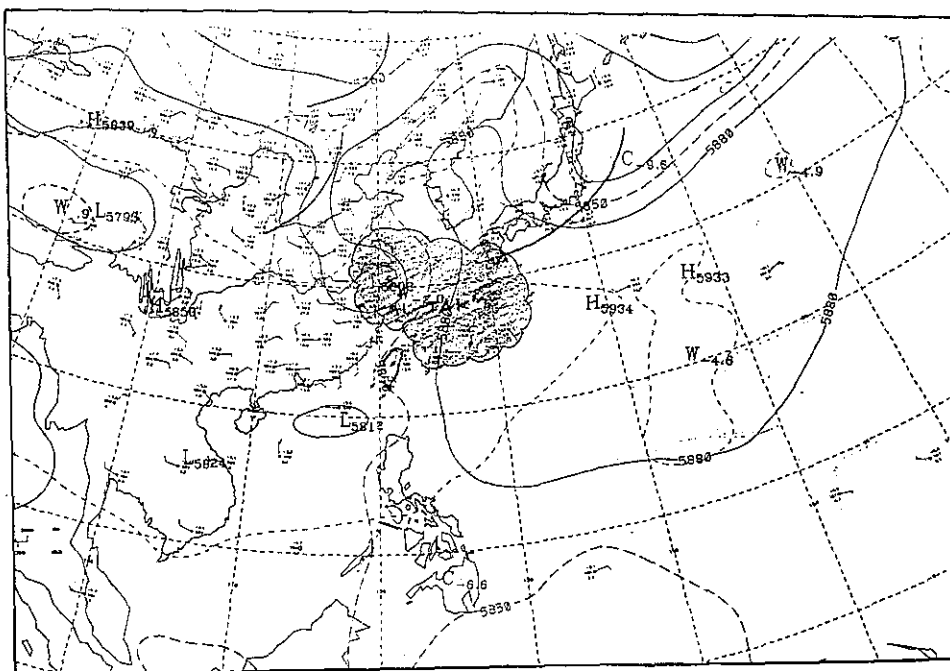
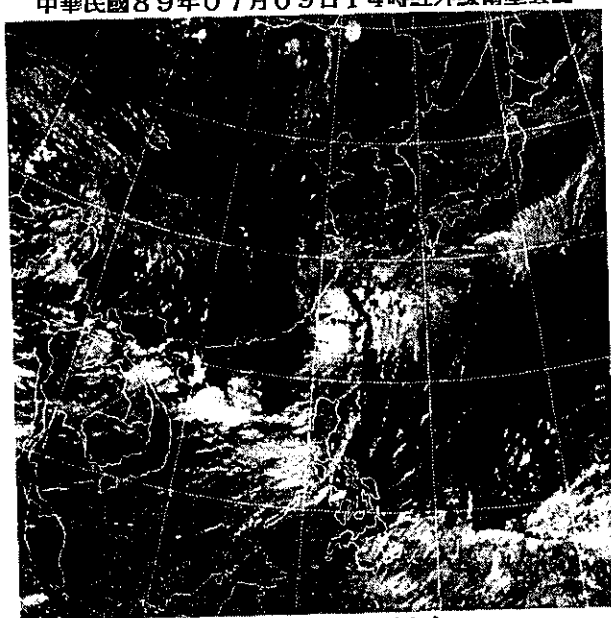


圖 6c. 2000 年 7 月 10 日 0000UTC 500 百帕高空圖。

Fig. 6c. The 500 hPa analysis chart at 0000UTC 10 July of 2000.

中華民國 89 年 07 月 09 日 14 時紅外線衛星雲圖



中央氣象局氣象衛星中心

圖 7. 2000 年 7 月 9 日 0600UTC 紅外線衛星雲圖。

Fig. 7. The infrared satellite imagery at 0600UTC 9 July of 2000.

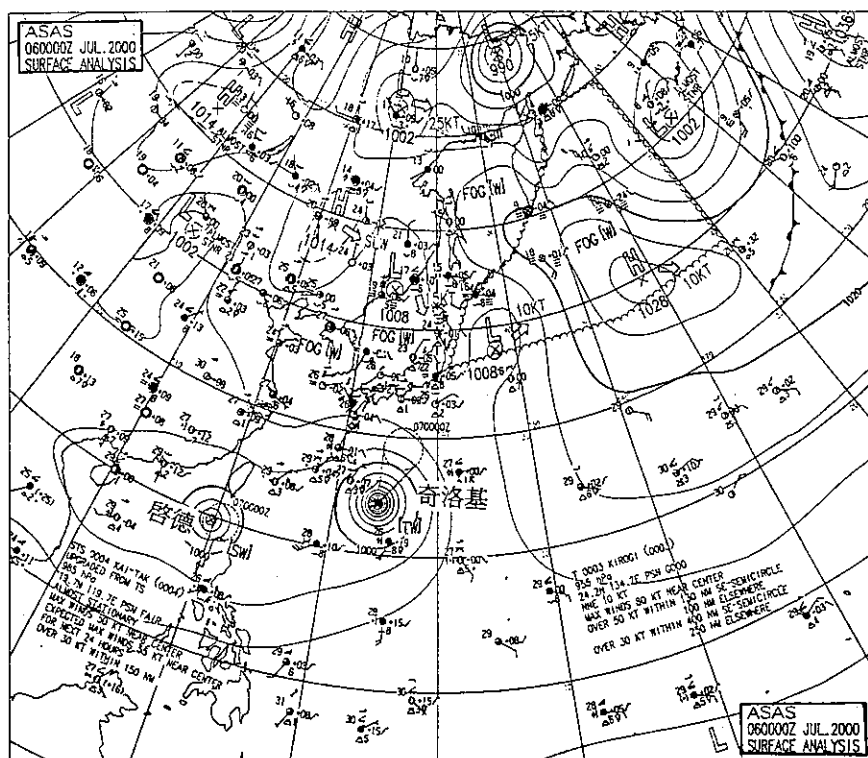


圖 8a. 2000 年 7 月 6 日 0000UTC 亞洲區地面天氣分析圖。

Fig. 8a. The surface analysis at 0000UTC 6 July of 2000.

海上颱風警報

中央氣象局 民國 89 年編號第 4 號颱風警報 第 1 報

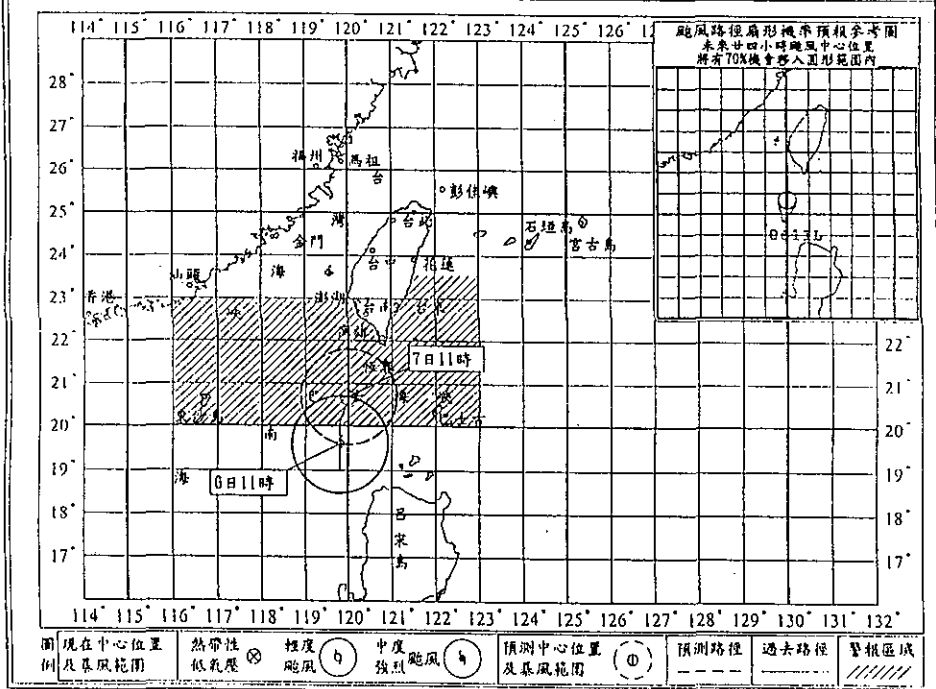
7 月 6 日 11 時 43 分發布

颱風強度及命名：輕度颱風，國際命名：KAI-TAK，中文譯名：啟德。
 中心氣壓：990 百帕。
 中心位置：6 日 11 時的中心位置在北緯 19.6 度，東經 119.8 度，即在鵝鑾鼻的南南西方約 290 公里之海面上。
 暴風半徑：七級風暴風半徑 120 公里，十級風暴風半徑 一 公里。
 預測速度及方向：以每小時 5 公里的速度，向北緩慢進行。
 近中心最大風速：每小時 85 公里(約每秒 23 公尺)，相當於 9 級風。
 瞬間之最大陣風：每小時 110 公里(約每秒 30 公尺)，相當於 11 級風。
 預測位置：7 日 11 時的中心位置在北緯 20.7 度，東經 120.0 度，即在鵝鑾鼻的南南西方約 170 公里之海面上。
 颱風動態：原位於呂宋島西北方近海之熱帶性低氣壓，已於今日清晨增強為輕度颱風，編號第四號。目前向北緩慢移動，已對巴士海峽構成威脅，對台灣東南部海面及台灣海峽南部亦將構成威脅。預計此颱風強度將有增強的趨勢。

警戒區域及事項：巴士海峽、東沙島海面、台灣東南部海面及台灣海峽南部航行及作業船隻應嚴加戒備。

附註：台灣地區受到第四號颱風外圍環流影響，今明天東部、東南部及南部地區有局部性大雨或豪雨發生，請注意防範。

下次警報預定發布時間：7 月 6 日 15 時。



註：最新颱風動態，請隨時收聽 166、167 氣象電話。

圖 8b. 2000 年中央氣象局發布之第 4 號颱風警報第 1 報海上颱風警報。

Fig. 8b. The first warning of typhoon 0004 issued by CWB.

海上陸上颱風警報

中央氣象局 民國 89 年編號第 4 號颱風警報 第 15 報

7 月 8 日 5 時 45 分發布

颱風名稱及命名：中度颱風，國際命名：KAI-TAK，中文譯名：啟德。

中心氣壓：965 百帕。

中心位置：8 日 5 時的中心位置在北緯 19.8 度，東經 110.0 度。

即在鵝鑾鼻的西南方約 310 公里之海面上。

暴風半徑：七級風暴風半徑 150 公里，十級風暴風半徑 50 公里。

預測速度及方向：近距離留後，以每小時 10 公里的速度，向東北進行。

近中心最大風速：每小時 130 公里(約每秒 35 公尺)，相當於 12 級風。

瞬間之最大陣風：每小時 165 公里(約每秒 45 公尺)，相當於 14 級風。

預測位置：9 日 5 時的中心位置在北緯 20.8 度，東經 110.9 度。

即在鵝鑾鼻的西南西方約 160 公里之海面上。

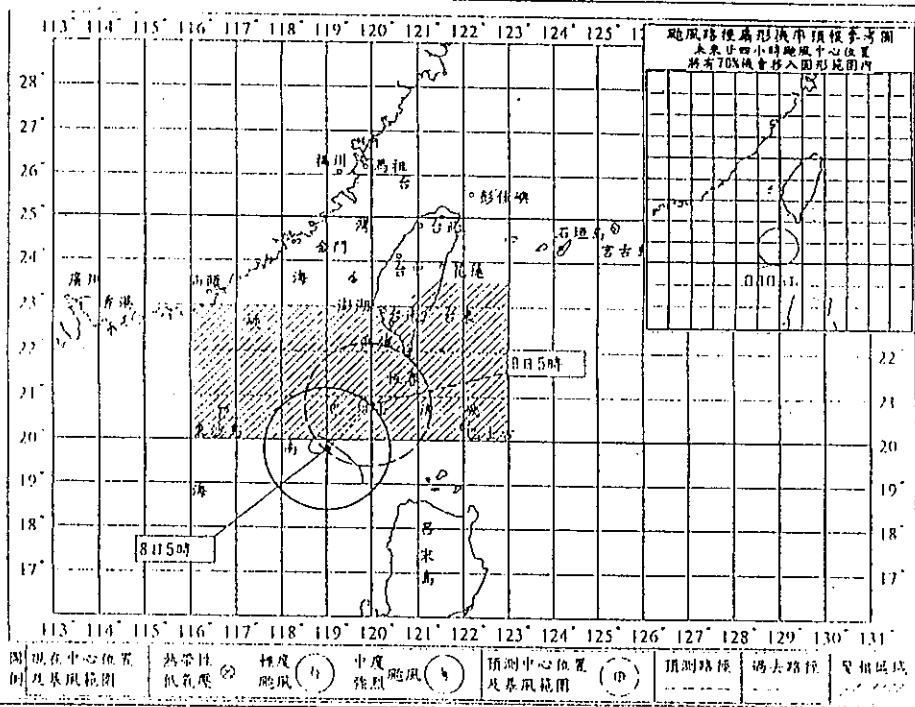
颱風動向：根據最新氣象資料顯示，第四號颱風目前仍在東沙島東方海面原地附近徘徊，預計此颱風未來日將有向東北移動的趨勢，即將對恆春半島、屏東、高雄及台東地區構成威脅。

警戒區域及事項：陸上：恆春半島、屏東、高雄、台東及蘭嶼地區均應加強防範豪雨及強風。

海上：巴士海峽、東沙島海面、台灣海峽南部及台灣東南部海面航行及作業船隻應加戒備。

附註：暴雨特報：今、明兩天花蓮、宜蘭地區及北部、中部山區受到颱風外圍環流影響，有局部性豪雨，請注意防範落石、坍方及土石流發生。自六日 0 時至八日 5 時止，累計最大雨量地區如下：屏東縣牡丹 291 公厘，台東縣大溪山 172 公厘，花蓮縣中興 156 公厘，宜蘭縣三星 103 公厘及台北縣下盤 166 公厘。

下次警報預定發布時間：7 月 8 日 9 時。



註：最新颱風動態，請隨時收聽 166、167 氣象電路。

圖 8c. 2000 年中央氣象局發布之第 4 號颱風警報第 15 報海上陸上颱風警報。

Fig. 8c. The 15th warning of typhoon 0004 issued by CWB.

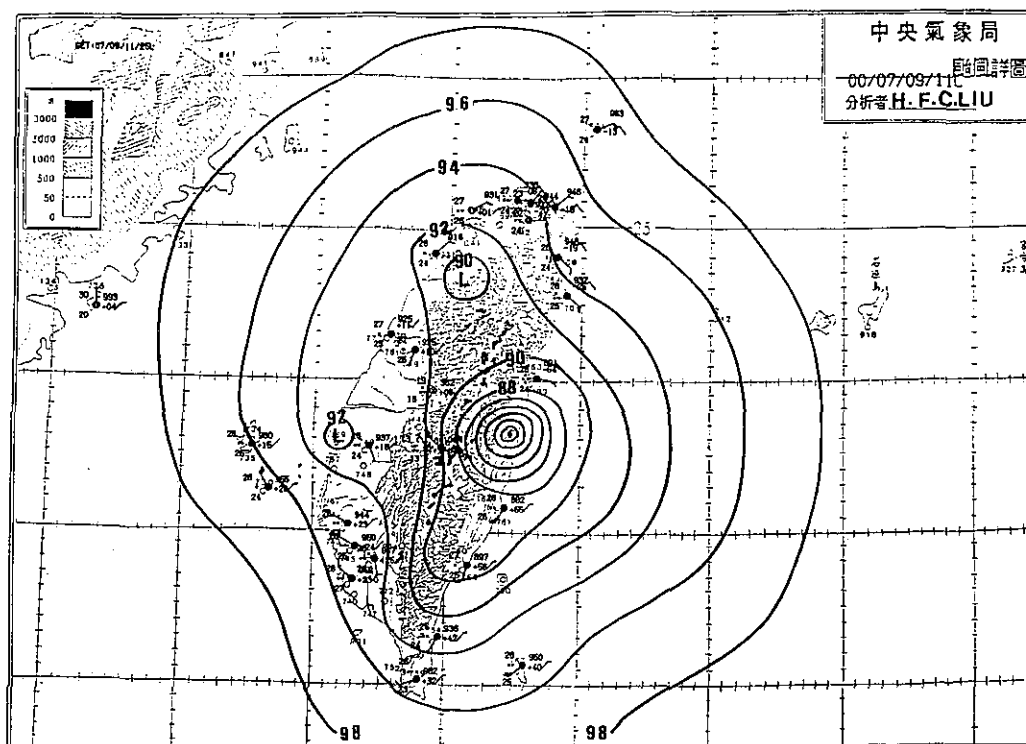


圖 9. 2000 年 7 月 9 日 0300UTC (11 : 00 LST) 台灣地區地面分析圖。

Fig. 9. The surface analysis over Taiwan area at 0300UTC 9 July of 2000.

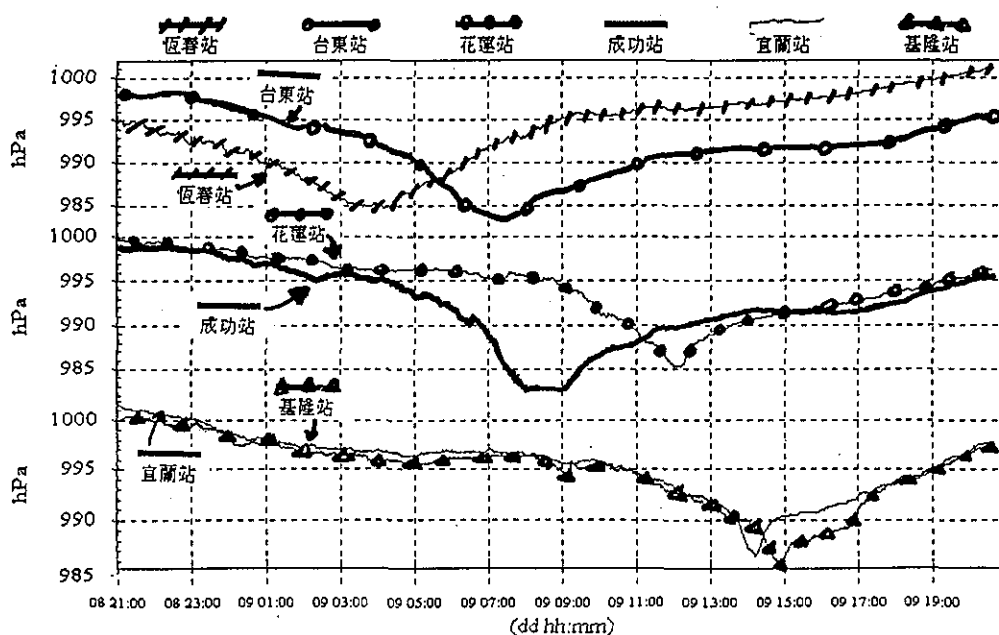


圖 10a. 2000 年 7 月 8 至 9 日中央氣象局東部及東北部各氣象站啓德颱風經過前後氣壓趨勢圖。

Fig. 10a. Tracing typhoon Kai-tak's passage at the eastern and northeastern meteorological station of CWB by using continuous pressure chart from 8 to 9 July of 2000.

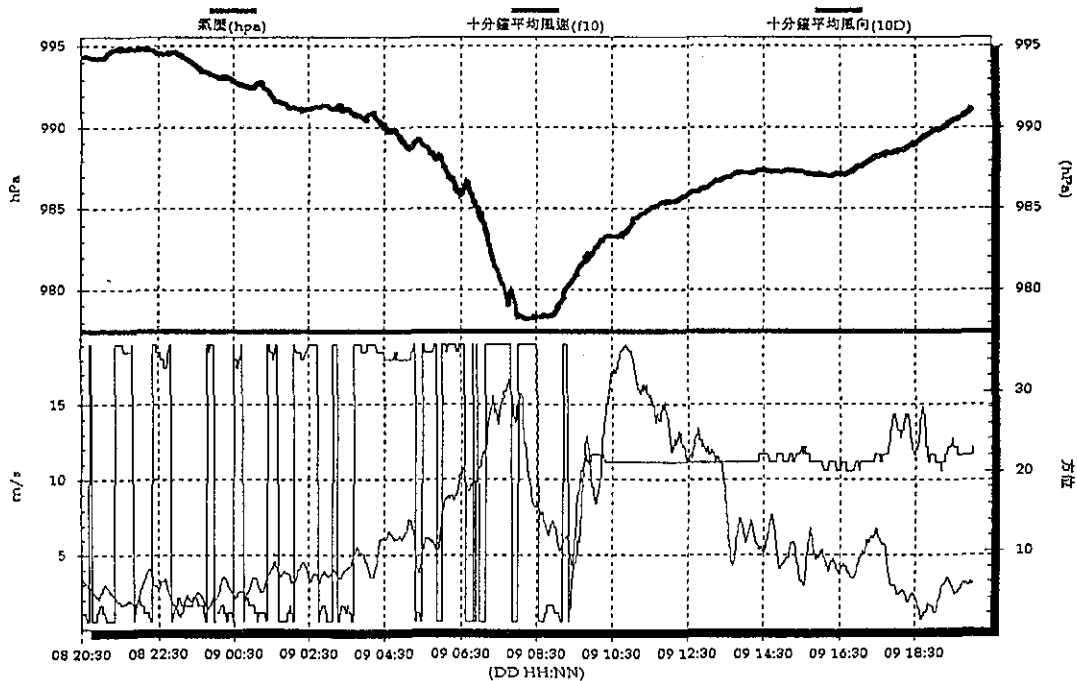


圖 10b. 同圖 10a，但為成功站。

Fig. 10b. Same as Fig. 10a, but for Chengkung station (upper) and wind speeds matched for comparison (Lower)

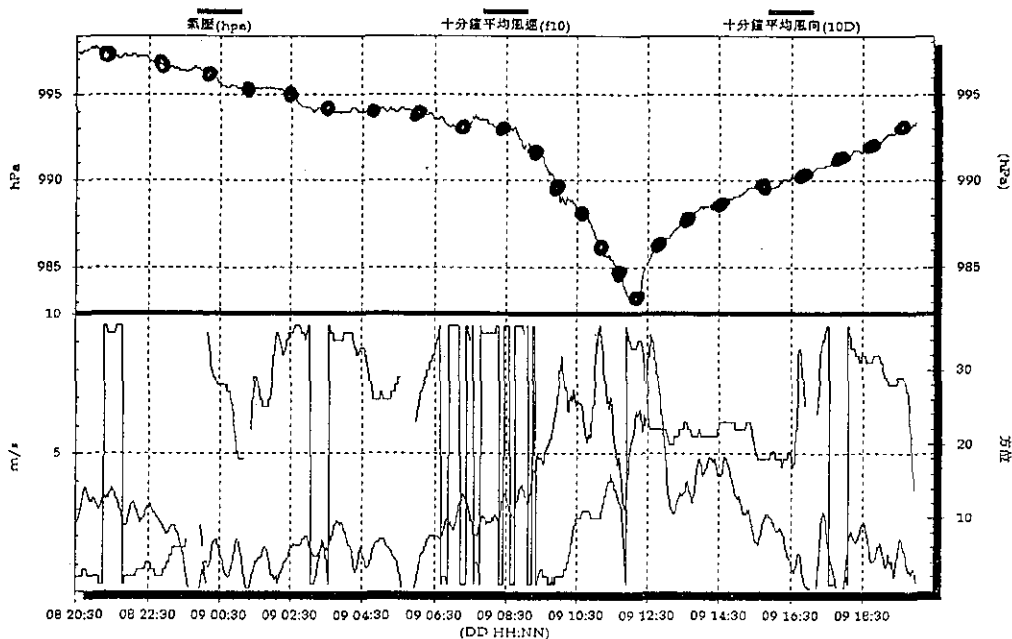


圖 10c. 同圖 10a，但為花蓮站。

Fig. 10c. Same as Fig. 10a, but for Hualien station (upper) and wind speeds matched for comparison (Lower)

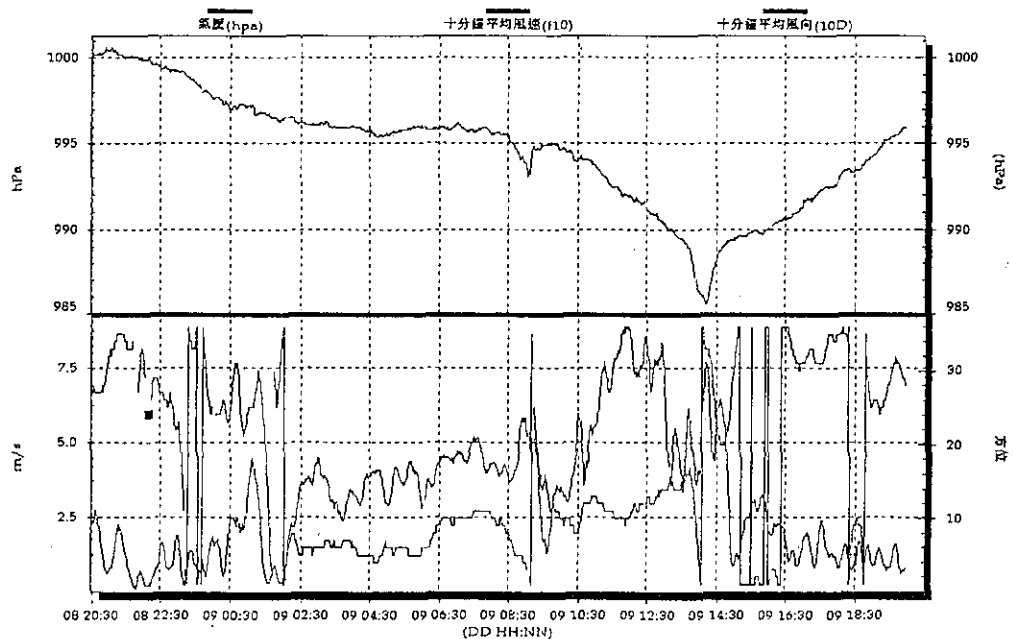


圖 10d. 同圖 10a，但為宜蘭站。

Fig. 10d. Same as Fig. 10a, but for Ilan station (upper) and wind speeds matched for comparison (Lower)

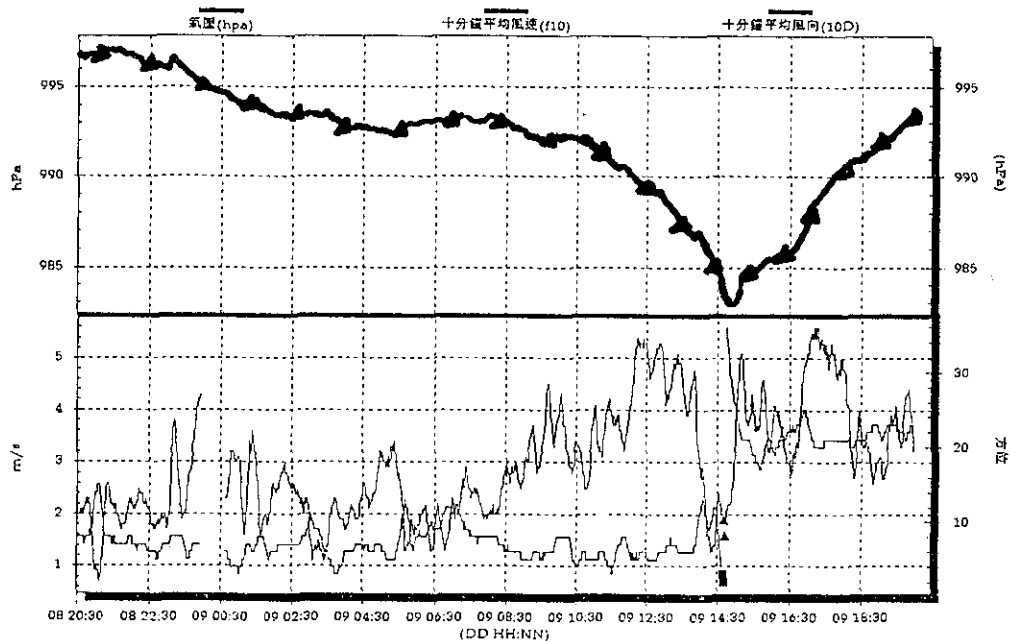


圖 10e. 同圖 10a，但為基隆站。

Fig. 10e. Same as Fig. 10a, but for Keelung station (upper) and wind speeds matched for comparison (Lower)

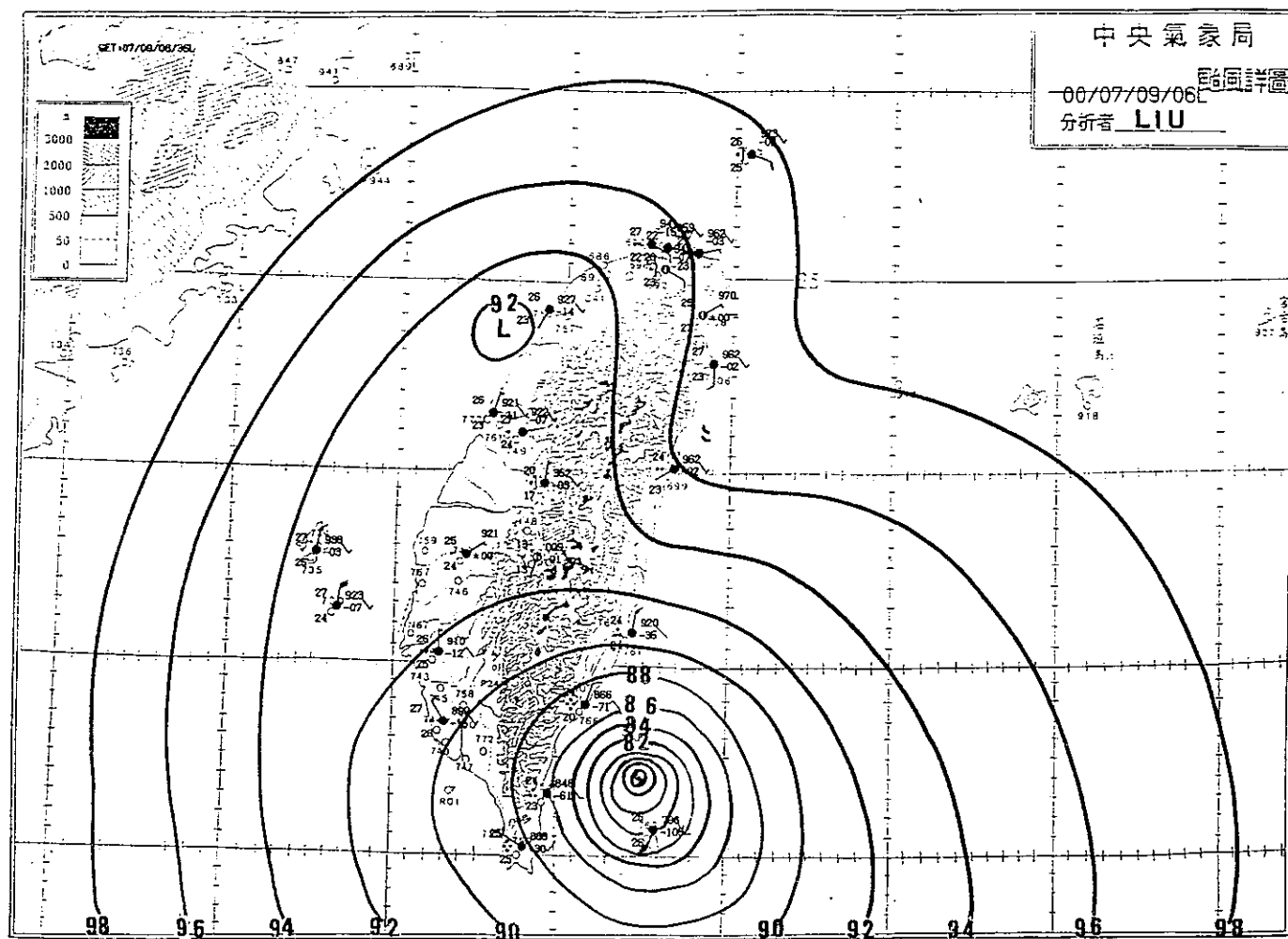


圖 11. 2000 年 7 月 9 日 2200UTC (06 : 00 LST) 台灣地區地面分析圖。

Fig. 11. Surface analysis for the Taiwan area at 2200UTC 9 July of 2000.

表 3. 啓德颱風中央氣象局發布警報概況紀錄

Table 3. Warnings issued by CWB for typhoon Kai-tak.

種 類	次序		發 布 時 間				警 戒 地 區		備 註
	號	報	月	日	時	分	海 上	陸 上	
海上	4	1	7	6	11	43	巴士海峽、東沙島海面、台灣東南部海面及台灣海峽南部	---	豪雨特報：恆春半島、台東、花蓮地區
海上	4	2	7	6	15	24	同上	---	同上
海上	4	3	7	6	17	25	同上	---	同上
海上	4	4	7	6	20	30	同上	---	同上
海上	4	5	7	6	23	5	同上	---	同上
海上	4	6	7	7	3	22	同上	---	同上
海上	4	7	7	7	5	5	同上	---	同上
海上	4	8	7	7	8	55	同上	---	同上
海上	4	9	7	7	11	10	同上	---	同上
海上	4	10	7	7	14	50	同上	---	豪雨特報增加宜蘭地區
海上	4	11	7	7	17	25	同上	---	豪雨特報增加宜蘭地區
海上	4	12	7	7	20	40	同上	---	豪雨特報增加北部山區
海上	4	13	7	7	23	5	同上	---	同上
海上	4	14	7	8	3	0	同上	---	同上
海上陸上	4	15	7	8	5	45	同上	恆春半島、屏東、高雄、台東及蘭嶼地區	豪雨特報增加中部山區
海上陸上	4	16	7	8	8	40	同上	同上	
海上陸上	4	17	7	8	11	20	同上	同上	
海上陸上	4	18	7	8	14	25	同上	恆春半島、屏東、台東、高雄、台南、蘭嶼及綠島地區	
海上陸上	4	19	7	8	17	15	同上	恆春半島、屏東、台東、高雄、台南、蘭嶼、綠島及花蓮地區	
海上陸上	4	20	7	8	20	15	巴士海峽、東沙島海面、台灣海峽、台灣東南部海面及台灣東北部海面	恆春半島、屏東、台東、高雄、台南、蘭嶼、綠島、花蓮及宜蘭地區	
海上陸上	4	21	7	8	23	30	同上	同上	
海上陸上	4	22	7	9	3	5	巴士海峽、台灣海峽、台灣東南部海面、台灣東北部海面及台灣東北部海面	恆春半島、屏東、台東、高雄、台南、蘭嶼、綠島、花蓮、宜蘭、基隆及台北地區	
海上陸上	4	23	7	9	5	40	同上	同上	
海上陸上	4	24	7	9	8	25	同上	恆春半島、屏東、台東、高雄、台南、蘭嶼、綠島、花蓮、宜蘭、基隆、台北、桃園及新竹地區	
海上陸上	4	25	7	9	11	35	同上	同上	
海上陸上	4	26	7	9	14	0	台灣東北部海面、台灣東北部海面、台灣東南部海面及台灣海峽北部	花蓮、宜蘭、基隆、台北、桃園及新竹地區	
海上陸上	4	27	7	9	17	35	台灣東北部海面、馬祖海面、台灣東北部海面及台灣海峽北部	宜蘭、基隆、台北、桃園及新竹地區	
海上陸上	4	28	7	9	20	40	同上	馬祖、基隆及台北地區	
海上	4	29	7	9	23	5	台灣北部及馬祖海面	---	
解除	4	30	7	10	3	0	---	---	

表 4. 2000 年 4 號颱風侵台期間中央氣象局各氣象測站氣象要素統計表。

Table 4. Meteorological summary at each CWB observation station during the passage of typhoon 0004 (Kai-tak).

測站	最低氣壓(hPa)		瞬間最大風速(m/s)			最大風速(m/s)			單位時間內最大降水量(mm)				降水總量(mm)	
	數值	時間(L)	風速	風向	時間(L)	風速	風向	時間(L)	一小時	起始時間(L)	十分鐘	起始時間(L)	數值	時間(開始-終止)(L)
台北	987.2	09/14:41	17.6	W	09/16:33	7.5	ESE	09/05:47	15.0	09/16:25	5.0	09/16:30	72.0	08/10:50-09/23:05
竹子湖	987.8	09/14:54	27.1	ENE	09/16:56	5.8	SW	09/16:57	18.0	09/17:29	6.5	09/13:54	85.5	08/12:30-09/23:45
鞍部	1300.3(GPM)	09/16:41	22.4	SW	09/04:42	11.8	S	09/16:37	28.5	09/17:32	9.5	09/18:18	154.5	08/08:50-09/23:55
新竹	991.3	09/14:15	17.1	ESE	09/00:34	9.2	NE	09/01:09	23.0	09/15:34	7.0	09/16:09	51.5	09/08:05-09/18:30
台中	991.3	09/09:03	8.3	NNE	09/18:57	3.7	NNW	09/18:49	10.3	09/20:00	4.3	09/16:49	37.0	08/07:55-09/22:20
梧棲	988.1	09/09:30	18.1	NNW	09/18:02	12.0	NW	09/18:10	18.5	09/12:59	6.5	09/13:00	40.5	08/08:20-09/20:25
日月潭	884.0	09/08:40	11.3	WSW	09/10:59	6.1	SSW	09/11:26	10.0	09/17:48	6.1	09/11:26	46.1	08/06:44-09/23:14
嘉義	991.6	09/06:31	8.0	W	09/16:21	5.1	WSW	09/16:23	9.0	09/17:00	4.5	09/17:11	29.0	08/14:05-09/22:30
阿里山	750.0	09/08:12	12.4	NW	09/17:00	4.5	WNW	09/16:01	15.5	09/16:15	8.5	09/16:15	111.5	08/03:40-09/24:00
玉山	2999.1(GPM)	09/09:33	22.5	NNW	09/15:22	15.8	ENE	09/21:21	28.2	09/10:00	5.5	09/10:40	165.5	08/05:00-09/23:00
台南	990.8	09/05:41	16.4	WNW	09/16:00	9.3	W	09/16:39	21.5	09/15:56	9.0	09/16:00	48.0	08/12:30-09/23:30
高雄	989.0	09/04:54	13.6	NNW	09/13:43	8.6	NNW	09/15:22	2.5	09/00:56	1.5	09/01:46	19.0	08/12:05-09/13:40
恆春	981.9	09/04:10	27.2	NNE	09/03:29	12.6	NNE	08/19:53	35.0	09/01:47	8.5	09/07:09	485.4	06/01:05-09/11:00
基隆	986.4	09/14:48	12.8	SW	09/17:15	5.6	SSW	09/17:10	19.0	09/16:47	7.0	09/13:54	133.4	08/10:20-09/20:43
蘇澳	985.3	09/13:38	26.4	SSE	09/13:31	17.6	SE	09/13:33	34.6	08/18:00	20.5	09/08:40	243.7	08/06:55-09/21:50
宜蘭	986.5	09/14:12	17.7	SSE	09/12:41	8.9	E	09/11:49	36.0	09/00:00	13.0	09/09:07	204.8	08/00:00-09/22:20
花蓮	985.2	09/12:11	16.1	ENE	09/09:53	9.6	E	09/11:08	27.5	09/06:30	10.5	09/08:30	159.0	08/02:05-09/14:50
成功	982.4	09/07:59	31.0	NE	09/07:59	19.1	SSW	09/10:51	67.0	09/06:57	14.5	09/07:45	311.7	06/05:42-09/15:20
台東	983.0	09/07:24	23.8	WNW	09/09:50	9.7	SSW	09/09:27	32.5	09/05:32	10.0	07/01:02	334.0	06/09:50-09/14:20
大武	983.8	09/05:39	23.9	NE	09/04:45	9.9	NNE	09/04:47	39.2	09/03:47	6.5	09/00:33	185.0	08/04:40-09/14:52
蘭嶼	978.2	09/06:11	54.5	WSW	09/06:28	34.9	SW	09/06:30	47.0	08/21:53	15.5	08/22:37	153.5	08/07:01-09/14:54
彭佳嶼	988.2	09/15:58	41.9	SE	09/15:27	27.8	ESE	09/15:29	40.0	09/17:21	18.5	09/17:52	176.9	08/05:45-09/23:00
澎湖	993.6	09/03:32	17.4	ENE	09/07:44	9.4	NW	09/13:27	18.5	09/13:29	8.0	09/13:43	42.2	08/07:10-09/17:55
東吉島	992.2	09/05:00	24.0	NW	09/14:44	18.1	NNW	09/16:05	30.0	09/14:04	8.0	09/15:55	68.5	08/13:55-09/19:07

表 5. 中央氣象局所屬各氣象站於 2000 年 7 月 8 日 00 時（地方時）至 7 月 9 日 21 時（地方時）期間之風雨統計。

Table 5. The maximum winds, gust and rainfall observed at CWB stations on July 8-9, 2000.

啓德颱風(KAI-TAK)

編號 0004

7 月 8 日 00 時至 7 月 9 日 21 時之累積雨量及最大陣風統計表

站名	累積雨量 (mm)	最大平均 風速(Kts) 五級以上	對應級數	出現時間 (地方時)	最大陣風 (Kts)	對應級數	出現時間 (地方時)
彭佳嶼	177	50	10	0917	84	14	0916
基隆	123						
宜蘭	194						
蘇澳	257	26	6	0912	53	10	0914
鞍部	151				45	9	0905
陽明山	85				27	6	0908
淡水	54				35	8	0917
台北	57				35	8	0917
新竹	52	19	5	0818	34	8	0901
台中	37						
梧棲	41				36	8	1919
日月潭	46				23	6	0911
玉山	166	23	6	0911	45	9	0917
阿里山	104						
嘉義	27						
台南	48				33	7	0917
高雄	19				27	6	0914
花蓮	259				32	7	0911
成功	258	37	8	0911	62	11	0908
台東	198				48	10	0911
大武	165				48	10	0905
恆春	246	24	6	0820	54	10	0904
蘭嶼	154	61	11	0907	109	17	0908
澎湖	42				35	8	0908
東吉島	67	39	8	0917	48	10	0915

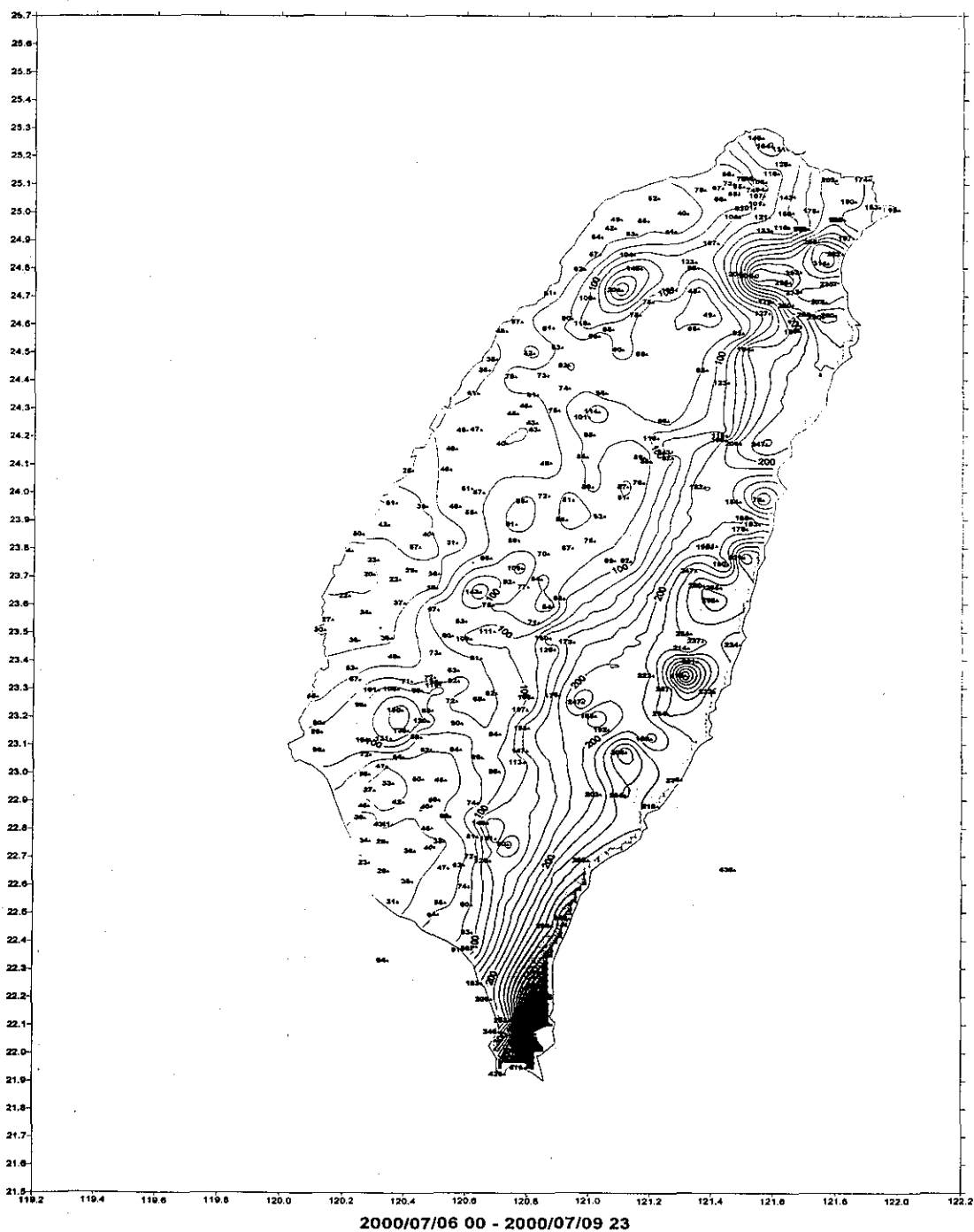


圖 12. 2000 年 7 月 6 日 00 時 (LST) 至 7 月 9 日 23 時 (LST) 4 號颱風侵台期間累積雨量等值線距 20mm。

Fig. 12. The accumulated rainfall(in intervals of 20 mm) from 6 (00LST) to 9 (23LST) July of 2000.

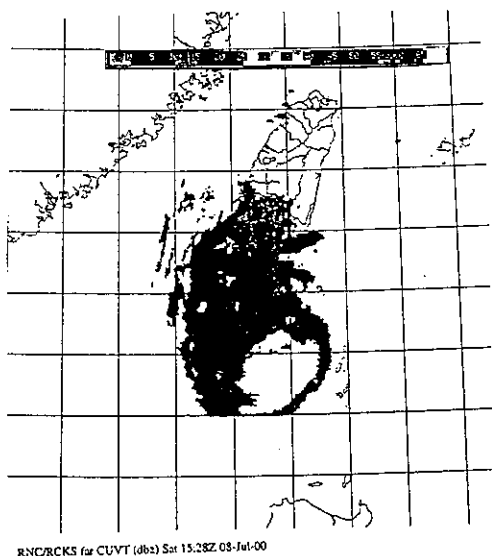


圖 13a. 2000 年 7 月 8 日 1528UTC 高雄雷達站所觀測之降水回波圖。

Fig. 13a. The radar echoes from Kaohsiung station at 1528 UTC 8 July of 2000.

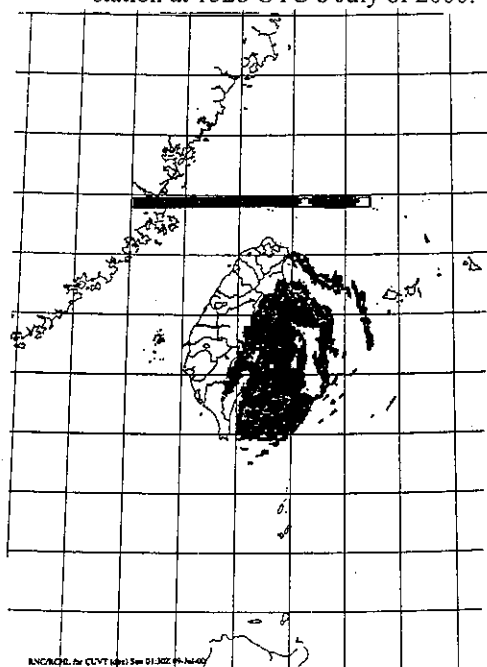


圖 13b. 2000 年 7 月 9 日 0000UTC 花蓮雷達站所觀測之降水回波圖。

Fig. 13b. The radar echoes from Hualien station at 0000 UTC 9 July of 2000.

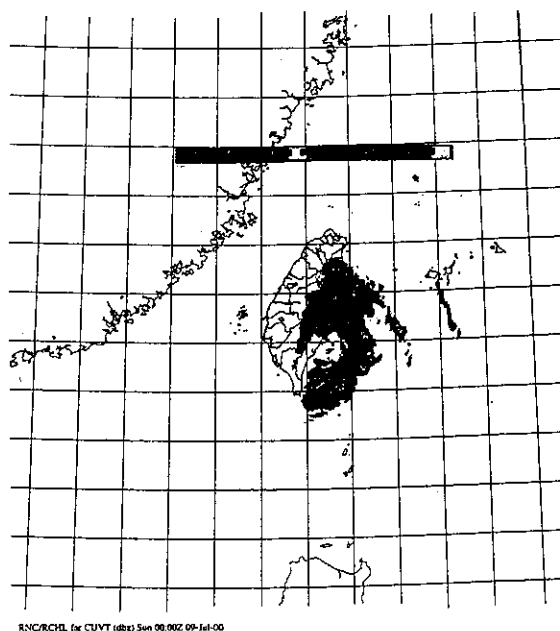


圖 13c. 同圖 13b，但時間為 0130UTC。

Fig. 13c. Same as Fig. 13b. but for 0130 UTC.

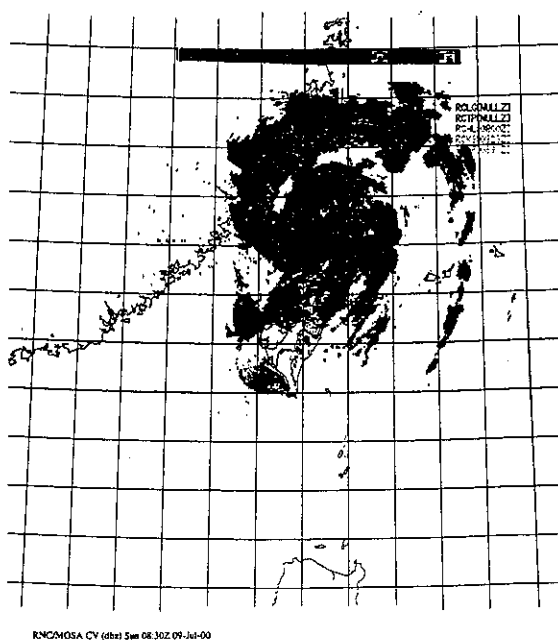
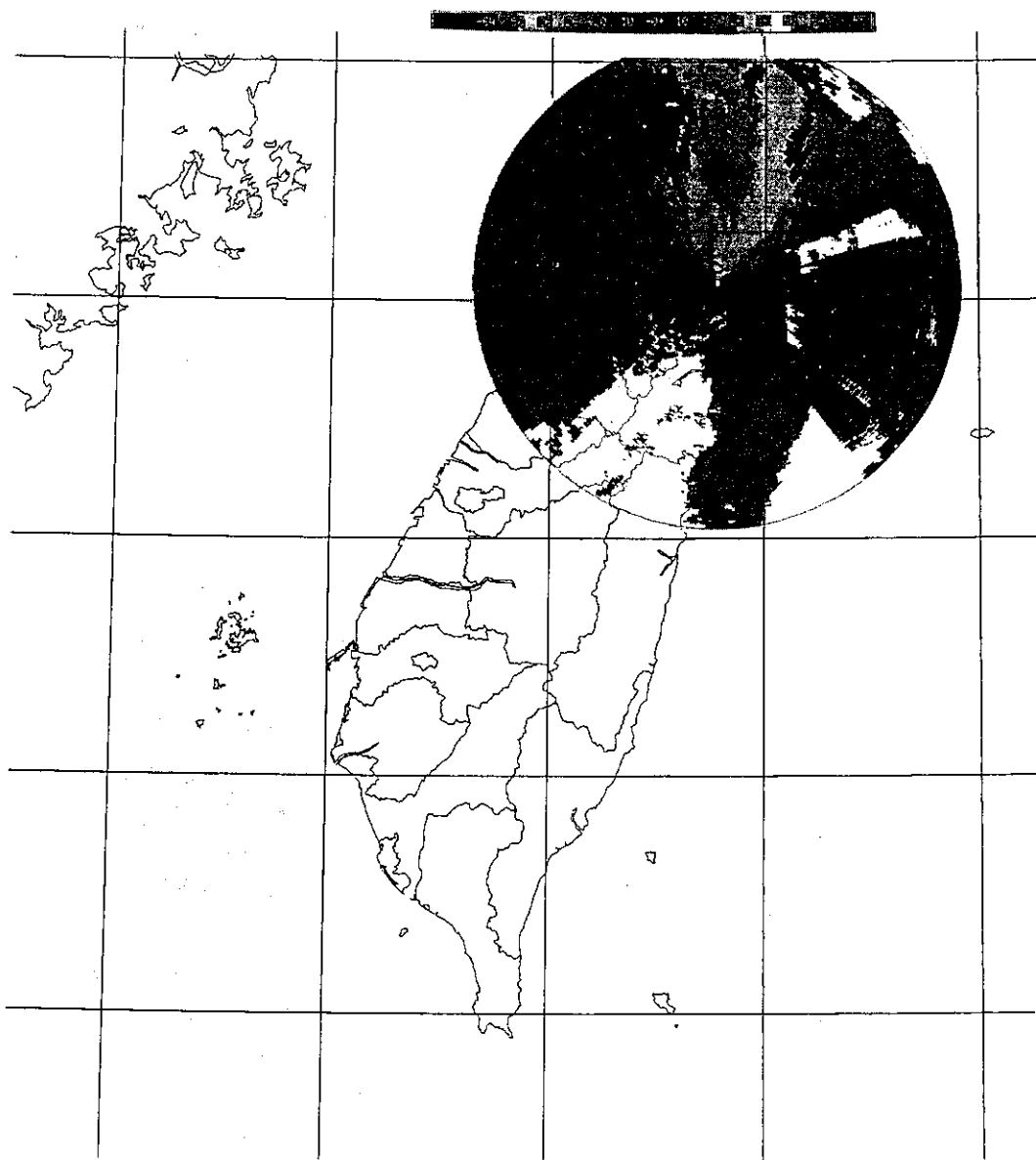


圖 13d. 2000 年 7 月 9 日 0830UTC 整合台灣三個雷達站所觀測之降水回波圖。

Fig. 13d. The radar echo composite chart at 0830 UTC 9 July of 2000.



RCWF 0.5 Velocity (kts) Sun 08:31Z 09-Jul-00

圖 13e. 2000 年 7 月 9 日 0831UTC 五分山雷達站所觀測之風場資料。

Fig. 13e. The 0.5 velocity (Kts) data for Wufensan (46685) station of CWB at 0831 UTC 9 July of 2000.

CWB TFS/PE DATE (00/07/08/12Z) OPERATION

BY 500 hPa H

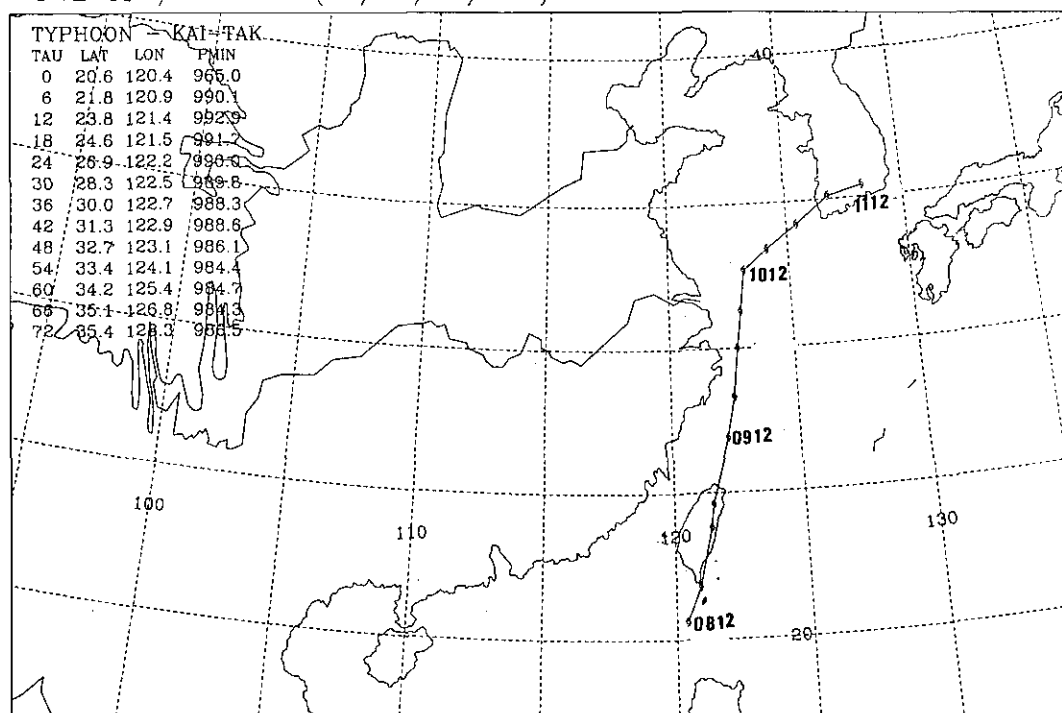


圖 14a. 中央氣象局颱風模式以 500 百帕高度為中心，於 0812UTC 對 4 號颱風（啓德）之路徑預報。

Fig. 14a. The stepwised track forecasts of CWB TFS/PE model (500hPa height centers) for typhoon Kai-tak.

CWB TFS/PE DATE (00/07/06/00Z-00/07/08/12Z) OP PS

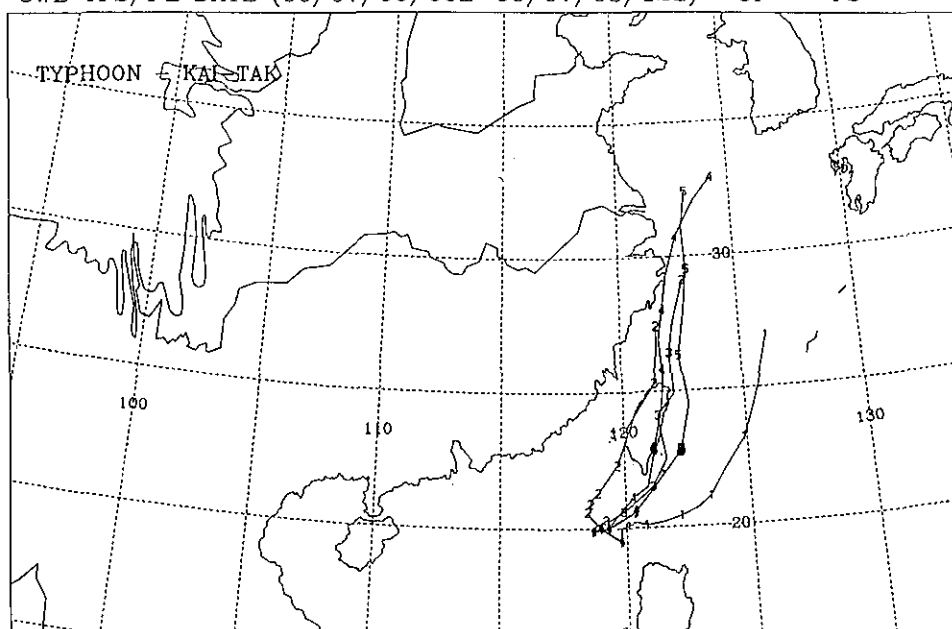


圖 14b. 中央氣象局颱風模式以地面氣壓為中心，各時間對 4 號颱風（啓德）之路徑預報。

Fig. 14b. The stepwised track forecasts of CWB TFS/PE model (surface pressure centers) for typhoon Kai-tak.

表 6. 相當正壓模式對 4 號颱風 (啓德) 之路徑預報平均誤差。

Table 6. Mean track forecast errors of typhoon Kai-tak from EBM model.

EBM model forecast error (2000op)																
KAI-TAK																
ERRORS	12HR				24HR				36HR				48HR			
	DIST	ANG	SPD	D90	DIST	ANG	SPD	D90	DIST	ANG	SPD	D90	DIST	ANG	SPD	D90
00070600	111.	47.	4.	59.	259.	54.	8.	136.	428.	60.	10.	221.	557.	24.	11.	138.
00070612	147.	61.	11.	76.	337.	100.	12.	175.	523.	-136.	13.	-188.	732.	-107.	11.	-346.
00070700	54.	-129.	1.	-15.	178.	-75.	5.	-96.	351.	-64.	5.	-188.	416.	-42.	5.	-224.
00070712	73.	-39.	4.	-37.	236.	-55.	4.	-128.	339.	-40.	3.	-181.	263.	-19.	0.	-137.
00070800	125.	-39.	5.	-67.	201.	-26.	4.	-106.	103.	-8.	-1.	-54.	188.	-3.	-4.	-28.
00070812	84.	-1.	7.	-3.	84.	7.	1.	44.	126.	5.	-2.	47.	285.	4.	-6.	48.
00070900	21.	-4.	-1.	-16.	151.	-10.	-1.	-78.	317.	-14.	-4.	-157.	*****			
00070912	231.	-26.	7.	-122.	491.	-31.	2.	-263.	*****				*****			
00071000	221.	-20.	10.	-109.	*****				*****				*****			
NCASE :	9	9	9	9	8	8	8	8	7	7	7	7	6	6	6	6
MEAN :	118.	-12.	5.	-26.	242.	-11.	4.	-39.	312.	-23.	4.	-72.	407.	-20.	3.	-92.
ABSMEAN :		37.	5.	56.		44.	5.	128.		42.	5.	148.		30.	6.	153.

表 7. 各種主觀預測、模式預測及氣候統計法之 (a) 24 小時與 (b) 48 小時颱風路徑預報平均誤差檢驗分析比較表。

7a 24-HOUR MEAN FORECAST ERROR (KM)

	CLIP	CWB	TFSS	HURA	PGTW	RJTD	BCGZ	VHHH	RPMM
CLIP	16 283 283 0								
CWB	16 283 164 -118	18 162 162 0							
TFSS	5 253 125 -127	6 148 140 -7	6 140 140 0						
HURA	14 298 248 -50	14 168 248 79	5 125 240 114	14 248 248 0					
PGTW	16 283 220 -62	18 162 214 51	6 140 218 77	14 248 231 -16	18 214 214 0				
RJTD	16 283 157 -125	18 162 164 1	6 140 211 70	14 248 166 -81	18 214 164 -50	18 164 164 0			
BCGZ	13 268 242 -25	15 177 235 57	5 127 250 122	11 259 250 -9	15 227 235 7	15 177 235 57	15 235 235 0		
VHHH	14 287 222 -64	16 175 216 40	5 127 220 92	12 255 227 -27	16 233 216 -16	16 175 216 40	14 248 211 -37	16 216 216 0	
RPMM	6 307 342 35	7 203 333 129	2 116 346 229	6 275 342 66	7 272 333 61	7 231 333 101	7 262 333 70	7 209 333 124	7 333 333 0

7b: 48-HOUR MEAN FORECAST ERROR (KM)

	CLIP		CWB		TFSS		HURA		PGTN		RJTD		BCGZ		VHHH	
CLIP	12	655														
	655	0														
CWB	12	655	14	466												
	518	-137	466	0												
TFSS	4	616	5	464	5	262										
	212	-403	262	-201	262	0										
HURA	10	685	10	507	4	212	10	642								
	642	-42	642	135	588	375	642	0								
PGTN	12	655	14	466	5	262	10	642	14	601						
	657	1	601	135	609	346	675	33	601	0						
RJTD	12	655	14	466	5	262	10	642	14	601	14	459				
BCGZ	12	655	14	466	5	262	10	642	14	601	14	459	14	575		
	642	-12	575	109	616	353	650	7	575	-25	575	116	575	0		
VHHH	12	655	14	466	5	262	10	642	14	601	14	459	14	575	14	524
	551	-103	524	57	544	281	531	-111	524	-77	524	64	524	-51	524	0

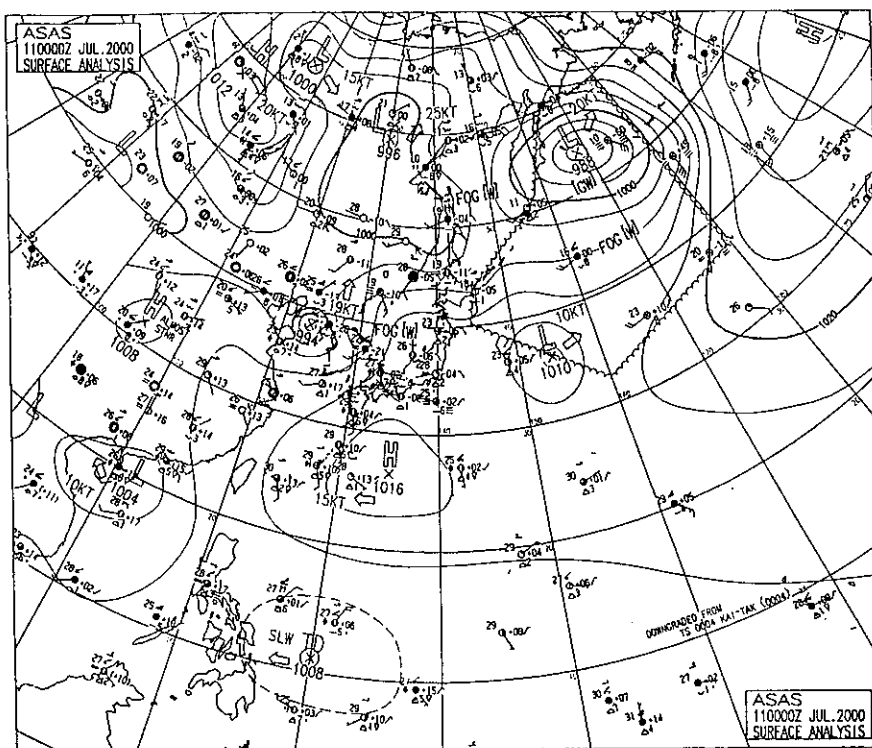
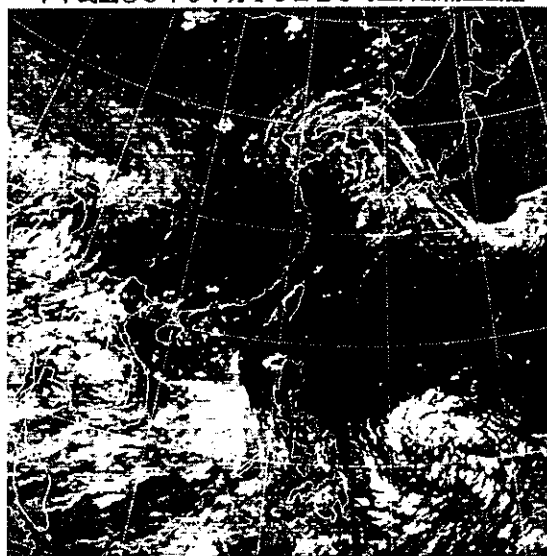


圖 15a. 2000 年 7 月 11 日 0000UTC 亞洲區地面天氣圖。

Fig. 15a. Surface analysis over the Asia area at 0000UTC 11 July of 2000.

中華民國89年07月10日23時紅外線衛星雲圖



中央氣象局氣象衛星中心

圖 15b. 2000 年 7 月 10 日 1500UTC 紅外線衛星雲圖。

Fig. 15b. The infrared satellite imagery at 1500UTC 10 July of 2000.

REPORT ON TYPHOON 0004 (KAI-TAK) OF 2000

Henry Fu-cheng Liu
Weather Forecast Center, Central Weather Bureau

ABSTRACT

This article mainly deals with typhoon 0004 (KAI-TAK) of 2000 about its evolution, movement, rainfall and central pressure observed over the Taiwan area. Discussions on the verifications of various subjective and objective track forecasts are also included.

Typhoon Kai-tak formed over the ocean northwest of the Philippine Islands and moved northward toward Taiwan. The typhoon center landed Taiwan at Chengkung, and moved north to north-northeast toward the East China Sea after invading Taiwan. Finally, it dissipated as a tropical depression.

The observations showed that there was heavy rainfall over the northern, northeastern and eastern parts of Taiwan when Kai-tak invaded or was nearby. Owing to the the rainbands within the northeast quadrant of typhoon Kai-tak and the effects of the topography of Taiwan, the maximum accumulated rainfall of 638mm was observed at the Binglong station during the period of Kai-tak's invasion. In addition, a peak gust of 54.5m/s and a minimum pressure of 978 hPa were also observed at the Lanyu station. The total losses were about US\$ 1.8 million.

Of all subjective track forecasts for typhoon Kai-tak by the Central Weather Bureau, the averaged 24hr track forecast error is 162km in distance and 466km for the 48hr track forecasts. Among all track forecasts available at CWB, the TFS/PE model presented the smallest track forecast error; its mean distance errors are 140km for 24hr forecast and 262km for 48hr forecasts.

Key words: typhoon Kai-tak, track forecast.

民國八十九年颱風調查報告---第 19 號雅吉 (Yagi) 颱風

劉復誠
中央氣象局氣象預報中心

摘 要

本文之主要目的在探討民國 89 年第 19 號雅吉 (Yagi) 颱風的發生經過、路徑、強度變化，台灣地區警報期間的氣壓、風速及降雨量分布，以及各種主、客觀颱風路徑預報的誤差校驗分析結果，並作檢討說明。

第 19 號颱風於 10 月 22 日在呂宋島東北方海面形成後，隨即加速向西再轉西北西方向朝台灣接近，其中心於 10 月 25 日距台灣最近，約在宜蘭東方 280 公里海面向北進行，並未登陸或侵襲本島。

颱風警報期間，觀測到之最低氣壓以成功 1008.6hPa 最低，瞬間最大風速以蘇澳的 16.5m/s 最大，最大平均風速以梧棲的 13.3m/s 最強。一小時最大降水量出現在台東站為 15.5 公釐，累積最大降水量以鞍部的 86.0 公釐最多。

就颱風路徑預報誤差校驗比較，中央氣象局 24 小時及 48 小時平均預報誤差分別為 188 公里及 464 公里，而 CWB TFS/PE 模式之 24 小時及 48 小時平均路徑預報誤差各為 162 公里及 301 公里，顯示氣象局對此颱風之路徑預報表現不佳。

關鍵詞：颱風、氣壓、降雨量分布、熱帶性低氣壓、路徑預報。

一、前言

89 年第 19 號雅吉颱風於 10 月 22 日 0600UTC (14 時) 在呂宋島東北方海面形成，並以西至西北西方向於 25 日接近台灣東南東方海面，再向北移動移入台灣東北方海面後轉向東北東前進，到琉球海面後，於 26 日 1800UTC 偏向東南後滯留衰減。

中央氣象局於 23 日鑑於第 19 號雅吉颱風之移動方向可能對台灣東南部海面、台灣東北部海面及巴士海峽航行與作業船隻構成威脅，乃於 20 時 20 分 (地方時) 正式發布該颱風第 1 報海上颱風警報，至 24 日 14 時 50 分對宜蘭、基隆、花蓮、台北及桃園地區發布陸上颱風警報，26 日 3 時 25 分解除陸上警報，26 日 8 時 50 分解除颱風警報。

雅吉颱風雖屬「秋颱型」颱風，但因颱風中心始終未接近台灣，未帶來局部豪 (大) 雨

及強風，故未有災情發生。警報期間累積較多雨量之處，集中在北部山區，以鞍部 86 公釐最大、大坪 66 公釐、火燒寮 65 公釐次之。出現之最大陣風，以彭佳嶼及東吉島的 9 級最大，鞍部、蘭嶼及梧棲的 8 級次之。

本文之主要目的為報導雅吉颱風的發生經過、強度及路徑變化、颱風警報期間台灣各地 (氣象站) 之氣象要素特徵 (尤其氣壓及風雨狀況)。中央氣象局颱風路徑預報之檢討、各種主觀、客觀颱風路徑預報方法之校驗，以及災情統計等，以作為進一步調查或研究之參見。

本文所採用的資料來源包括：

1. 中央氣象局及空軍氣象中心所屬各氣象站的觀測報告。
2. 中央氣象局五分山氣象雷達站的觀測報告。
3. 中央氣象局氣象衛星中心的颱風中心定位及強度估測報告。
4. 中央氣象局發布第 19 號颱風的各號次颱風

警報。

5. 國外有關第 19 號颱風的氣象資料：包括美國夏威夷聯合颱風警報中心（JTWC）、日本氣象廳（RJTD 及 JMH）、琉球美國空軍卡地那基地（RODN）等之氣象衛星颱風中心定位及海溫資料。
6. 中央氣象局氣象資訊中心的各種數值預測圖、颱風模式預測圖及各種主、客觀颱風路徑預測資料。

本文中指世界標準時均以 UTC 表示，而地方時（LST）則為 UTC+8。

二、雅吉颱風的發生及經過

第 19 號雅吉颱風為 89 年入秋（9 月）以來形成的第 6 個颱風，前 5 個依序為 0014 的桑美（Saomai）、0015 的寶發（Bopha）、0016 的悟空（Wukong）、0017 的蘇納姆（Sonamu）及 0018 的珊珊（Shanshan）。

雅吉颱風原為位在呂宋島東北方海面的小型雲簇（cloud clusters），於 21 日 1200UTC 形成熱帶性低氣壓（Tropical Depression，簡稱 T.D.），21 日 1800UTC 中心位置在北緯 21.0 度、東經 141.0 度，中心氣壓 1000hPa，向西移動，時速 20 公里（圖 1），至 22 日 0600UTC 正式發展為輕度颱風，並經命名為雅吉（Yagi），編號 0019，其時中心位置在北緯 21.3 度、東經 137.5 度，中心氣壓 998hPa，近中心最大風速 65km/h(18m/s)，向西快速移動，時速 25 公里，7 級風暴風半徑 100 公里。有關第 19 號颱風之最佳路徑（Best track）（參見圖 2 及表 1），主要以 Dvorak(1975)方法應用衛星觀測（表 2a）及五分山雷達觀測資料（表 2b）而得。

雅吉號颱風之形成，與十天平均海溫之暖區（約 29℃左右）有關（圖 3），隨後對流加強，颱風快速發展，再受北方太平洋 500hPa 高壓脊（圖 4）之影響，偏西快速移動。至 24 日 1800UTC 一度增強為中度颱風，中心氣壓 970hPa，中心位置在北緯 24.1 度、東經 125.4 度，近中心最大風速 120km/h（33m/s），向西北西移動，時速 17 公里，10 級風暴風半徑 50

公里，7 級風暴風半徑 180 公里（圖 5a、5b），此時甚接近台灣本島。但雅吉颱風因先天能量來源不足，以致 6 小時後馬上減弱為輕度颱風，移動方向變為西北、北，並在 25 日 1200UTC 轉為北北東至東北東移動（參見圖 6a、6b），近中心最大風速亦很快減弱，至 26 日 1800UTC 時近中心最大風速減為 72km/h(20m/s)，並轉向東南移動，7 級風暴風半徑 120 公里（圖 6c、6d），中心位置在北緯 26.6 度，東經 126.9 度，中心氣壓 995hPa。

雅吉颱風在維持了 114 小時（4 天又 18 小時）生命期後於 10 月 27 日 0000UTC 減弱為 T.D.（圖 7）。

三、中央氣象局發布雅吉颱風警報經過情形

中央氣象局從 10 月 23 日 20 時（1200UTC）的地面分析天氣圖（圖 8a）研判雅吉颱風之動向，在未來 24 小時有對台灣東南部海面及巴士海峽構成威脅之可能，遂於該日 20 時 20 分對上述海域發布的第 19 號第 1 報海上颱風警報（表 3），中心位置在北緯 22.6 度、東經 130.3 度，中心氣壓 990hPa，近中心最大風速 85km/h（23m/s），瞬間最大風速 110km/s（30m/s），以每小時 23 公里速度向西進行，7 級風暴風半徑 150 公里。

之後，雅吉颱風以穩定的速度（時速 17 至 23 公里）與方向（西北西）繼續朝台灣而來，經研判 18 小時後其暴風圈將會威脅到台灣附近海域及陸地，中央氣象局於是在 24 日 14 時 50 分首度對宜蘭、基隆、花蓮、台北及桃園地區發布陸上警報，並將海上警戒區域擴大至台灣東北部、台灣東南部海面及台灣北部海面（見圖 8b）。

隨著雅吉號颱風之前進，中央氣象局發布警報之警戒海域及陸上地區亦略有調整（參見表 3），至 26 日凌晨，因雅吉號颱風已不對本省陸地產生威脅，故於 3 時 25 分解除陸上警報，至 26 日 8 時確定雅吉颱風轉向東北東遠離台灣東北方海面（圖 9a），因而解除海上颱風警報。

總計，中央氣象局對第 19 號雅吉颱風共發布了海上颱風警報 21 報，陸上颱風警報 12 報，前後歷時 66 小時，由於此颱風之轉向，除使局部海域（台灣海峽北部、台灣北部海面及台灣東北部海面）風浪略為增大外，未對陸上地區產生任何影響。

有關中央氣象局針對雅吉颱風發布颱風警報之概況紀錄，請參見表 3。

四、雅吉颱風陸上警報期間各地氣象要素分析

由於雅吉颱風之中心距台灣陸地最近點為宜蘭，日期為 10 月 25 日，距離亦高達 280 公里（圖 9a），不在颱風 7 級風暴風半徑 150 公里之範圍內，因此對台灣陸地的風雨影響很小（參見表 4 及圖 9b），以下謹概述出現的（1）最低氣壓（2）最大之瞬間最大風速（3）最大之平均風速（4）一小時最大降水量及（5）最大降水總量地點及出現時間，其餘詳細資料請參見表 5。

- （1）最低氣壓：成功站 1008.6hPa，出現在 25 日 3 時 52 分。
- （2）最大瞬間最大風速：平地：蘇澳站 16.5m/s（東南風），出現在 25 日 11 時 32 分，海島：彭佳嶼站 22.4m/s（東北風），出現在 26 日 1 時 12 分。
- （3）最大平均風速：平地：梧棲站 13.3m/s（北北西風），出現在 25 日 11 時 22 分，海島：東吉島站 15.9m/s，出現在 25 日 18 時 16 分。
- （4）一小時最大降水量：台東站 15.5 公釐，出現在 26 日 1 時 9 分。
- （5）總降水量：鞍部站 86.0 公釐，出現在 24 日 14 時 50 分至 26 日 3 時 25 分。

由以上分析，顯見雅吉颱風造成之強風（外圍環流影響）僅限於海上及海島的彭佳嶼、梧棲、蘭嶼及東吉島等測站。雨量分布亦集中於台灣北部的基隆、山區之鞍部、陽明山、台東及大武一帶，其他地區降雨顯然相當微小（圖 9c）。

五、雅吉颱風路徑預報誤差校驗與檢討分析

（一）颱風路徑預報誤差校驗

颱風路徑之變化受周遭環境場的影響甚大，所以預報員必須小心謹慎，考慮各種可能對颱風之影響因子，進而做出最正確的颱風路徑預報。

基本上，此次雅吉颱風路徑預報可資校驗之報告為：1、主觀（官方）預報：（1）中央氣象局（CWB）、（2）日本（RJTD）、（3）香港（VHHH）、（4）夏威夷（PGTW）、（5）中國大陸廣州（BCGZ）及（6）菲律賓（RPM）。2、客觀（統計或動力模式）預報：（1）氣候與持續法 CLIPER（或更簡為 CLIP）、（2）中央氣象局颱風模式 TFS、（3）相當正壓模式 EBM（如圖 12a）、（4）類比法 HURRAN（或更簡為 HURA）。

以上這些主觀與客觀預報的 24 小時及 48 小時路徑預報誤差，均經採用電腦從事校驗，其結果列於表 6a、6b。

由表 6a 中可知，24 小時路徑預報誤差以 CLIP 的 116 公里（14 個個案）最小，夏威夷（PGTW）的 150 公里（16 個個案）次之，中央氣象局 TFS 的 162 公里（7 個個案）排名第三，CWB 官方預報誤差則高達 188 公里（16 個個案），高於近十年（1990-1999 年）平均的 164 公里。

由表 6b 中可知，48 小時路徑預報誤差亦以 CLIP 的 288 公里（11 個個案）最小，中央氣象局 TFS 的 301 公里（6 個個案）次之，HURA 的 303 公里（11 個個案）排名第三，CWB 官方預報則更高達 464 公里（12 個個案），顯見誤差隨預報期限拉長而加大。

（二）檢討分析

雅吉颱風初期（21 日-24 日）因位處 200hPa 高壓脊內（圖 4），故其動向一直在變化，迨至 25 日 1200UTC 走出 500hPa 中心後其動向始明朗化（圖 10a、10b 及圖 11a、11b、11c）。24 小時平均距離誤差為 188 公里，48 小時平均距離誤差為 464 公里，檢視不同氣象單位在此

次颱風路徑預報中，皆有明顯偏西分量之誤差產生。如圖 11 所示，在 22 日至 25 日間雅吉颱風實際朝西北西移動，但各氣象單位仍以偏西之方向預報，25 日晚上颱風開始偏北移動，除夏威夷（PGTW）修正其預報外，其餘單位仍認為颱風之低層中心會受到東北季風增強影響，仍有偏西移動的趨勢，甚至 26 日清晨颱風受到其北方槽線牽引開始轉向東北移動，中央氣象局方修正颱風預報路徑為朝向東北移動，並解除颱風警報，惟仍有其他氣象單位認為颱風還是會轉向西南移動，可見中央氣象局在關鍵時刻對颱風動向的掌握較佳。

造成此次颱風預報誤差偏大（指各國）的原因，分析如下：

1. 大陸高壓強度的掌握未如預期：

此颱風的路徑，原本預測受太平洋高壓駛流導引會以偏西的方向行進，而當颱風接近台灣時，適逢大陸高壓南下，東北季風增強，使得原西行之颱風進而轉向西南移動，而後當北方槽線東移，導致太平洋高壓減弱，使原向西移動的颱風，逐漸轉向西北西且移速明顯變緩，當時認為此颱風仍有轉向西南之可能，但大陸高壓之南下卻無預料中強，以致颱風並未轉向西南朝台灣接近，而在持續受北方槽線導引下，轉而向北移動，進入西風帶後向東北移動遠離台灣。所以大陸高壓南下時機雖如預期，但強度的掌握未如預期是造成誤差原因之一。

2. 太平洋高壓與槽線間交互作用的掌握未如預期：

因為太平洋高壓位於資料較少之洋面上，其強弱變化難測是世界各氣象單位公認的事實。當槽線接近時，各數值預報模式大都反映位於此颱風北邊的太平洋高壓並無明顯減弱的跡象，與事實有明顯出入。

六、災情

因雅吉颱風之暴風圈未侵入台灣本島，除台灣北部及東北部地區受其外圍環流影響，下了一些大雨，刮了一些強風外，並未傳出重大災情。

七、結論

由上述之分析及探討，可歸結下列數點結論：

- （一）雅吉颱風是八十九年中唯一經中央氣象局發布陸上颱風警報卻未侵台的颱風。
- （二）雅吉颱風之發展及動向一直受到太平洋 500hPa 高壓脊場之牽制，以致動向捉摸不定。
- （三）因未侵台，實測風雨均不大，最大陣風風力出現在海上及海島，僅 8 至 9 級；較大雨量出現在台灣東部、北部及北部山區，亦僅有 65 至 86 公釐。
- （四）受颱風動向不明影響，各國官方及颱風路徑模式預報誤差均有偏大現象。

誌謝

本文之完成，謝謝中央氣象局各單位與五分山雷達站提供之觀測資料，以及第三組楊慧玉小姐幫忙謄稿與繪製圖表，謹此誌謝。

參見文獻

Dvorak, V. F., 1975: Tropical cyclone intensity analysis and forecasting from satellite imagery. *Mon. Wea. Rev.*, 103, 420-430.

表 1. 雅吉颱風最佳路徑中心位置及其他動態資料

Table 1. The best track center positions, intensity and movement of Typhoon Yagi.

月	日	時 (UTC)	北 緯 (度)	東 經 (度)	中心 氣壓 (hpa)	近中 心最 大風 速 (km /hr)	近中 心最 大風 速 (m/s)	強度	颱風進行 方向	時 速 (公里)	7 級風 暴風 半徑 (公里)	10 級 風暴 風半 徑(公 里)	警報種類
10	21	12	20.0	143.0	1004			T.D.	W	20	---	---	
		18	21.0	141.0	1002			T.D.	W	20	---	---	
10	22	00	21.0	139.0	1000			T.D.	W	20	---	---	
		06	21.3	137.5	998	65	18	輕	W	25	100	---	
		12	21.4	135.9	996	75	20	輕	W	25	100	---	
		18	22.3	133.8	996	75	20	輕	W	25	100	---	
10	23	00	22.3	132.4	995	75	20	輕	W	23	100	---	
		06	22.4	131.3	990	85	23	輕	W	23	120	---	
		12	22.6	130.3	990	85	23	輕	W	23	150	---	海上
		18	22.9	129.1	990	90	25	輕	W→WNW	19	150	---	
10	24	00	23.0	128.2	985	90	25	輕	WNW	19	150	---	
		06	23.3	127.2	980	100	28	輕	WNW	19	180	50	海上陸上
		12	23.7	126.1	975	110	30	輕	WNW	19	180	50	
		18	24.1	125.4	970	120	33	中	WNW	17	180	50	
10	25	00	24.7	124.9	970	110	30	輕	NW	15	180	50	
		06	25.1	124.4	975	110	30	輕	N	13	180	50	
		12	25.6	124.4	975	110	30	輕	NNE	10	180	50	
		18	26.1	125.3	980	100	28	輕	ENE	5	180	---	海上
10	26	00	26.3	125.3	980	100	28	輕	ENE	16	180	---	解除
		06	26.5	126.1	985	90	25	輕	ENE	15	180	---	
		12	26.7	126.7	985	90	25	輕	ENE	13	150	--	
		18	26.6	126.9	995	75	20	輕	SE	10	120	---	
10	27	00	26.0	126.5	1004	59	15	T.D.	SW	滯留			

表 2a. 中央氣象局衛星中心雅吉颱風之中心定位與強度資料。

Table 2a. Center locations and the related intensity of Typhoon Yagi analyzed by Satellite Center of CWB.

颱風編號	中文名稱	英文名稱	年	月	日	時	觀測種類	颱風警發	中心緯度	中心經度	定位標準	風速	風速	風速	強度變化	強度間隔時間	警報種類	備註
0019	雅吉	Yagi	2000	10	22	06	IR/EIR/VIS	CB	21.0	137.6	Poor	2.0	2.0	0.0	持續	6		關島於06Z發布增強為颱風
0019	雅吉	Yagi	2000	10	22	09	IR/EIR/VIS	CB	21.2	136.7	Poor	2.0	2.0	0.0	持續	6		無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	22	12	EIR/IR	CB	21.5	135.8	Poor	2.0	2.0	0.0	持續	6		無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	22	15	EIR/IR	CB	22.1	135.0	Poor	2.5	2.5	0.0	發展	6		無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	22	18	EIR/IR	CB	22.5	133.7	Poor	2.5	2.5	0.0	發展	6		無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	22	21	EIR/IR	CB	22.6	133.7	Poor	2.5	2.5	0.0	持續	6		無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	23	00	IR/EIR/VIS	CB	22.0	132.5	Poor	2.5	2.5	3.5	持續	6		VIS修正定位
0019	雅吉	Yagi	2000	10	23	03	IR/EIR/VIS	CB	22.2	132.1	Poor	2.5	2.5	4.4	持續	6		
0019	雅吉	Yagi	2000	10	23	06	IR/EIR/VIS	CB	22.3	131.2	Poor	2.5	2.5	3.8	發展	6		
0019	雅吉	Yagi	2000	10	23	09	EIR/IR	CB	22.5	130.8	Poor	3.0	3.0	4.1	發展	6		無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	23	12	EIR/IR	CB	22.7	130.2	Poor	3.0	3.0	4.5	持續	6	海上警報	CWB發布海上警報
0019	雅吉	Yagi	2000	10	23	13	EIR/IR	CB	22.8	130.1	Poor	3.0	3.0	4.1	持續	6	海上警報	CWB發布海上警報
0019	雅吉	Yagi	2000	10	23	14	EIR/IR	CB	22.9	129.9	Poor	3.0	3.0	4.5	持續	6	海上警報	CWB發布海上警報
0019	雅吉	Yagi	2000	10	23	15	EIR/IR	CB	22.9	129.7	Poor	3.0	3.0	0.0	持續	6	海上警報	無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	23	16	EIR/IR	CB	22.9	129.6	Poor	3.0	3.0	0.0	持續	6	海上警報	無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	23	17	EIR/IR	CB	23.0	129.4	Poor	3.0	3.0	0.0	持續	6	海上警報	無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	23	18	EIR/IR	CB	23.0	129.2	Poor	3.0	3.0	0.0	持續	6	海上警報	無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	23	19	EIR/IR	CB	23.0	129.0	Poor	3.0	3.0	4.5	持續	6	海上警報	CWB發布海上警報
0019	雅吉	Yagi	2000	10	23	20	EIR/IR	CB	23.0	128.9	Poor	3.0	3.0	4.1	持續	6	海上警報	無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	23	21	EIR/IR	CB	23.0	128.8	Poor	3.0	3.0	3.8	持續	6	海上警報	無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	23	22	EIR/IR	CB	23.0	128.5	Poor	3.0	3.0	4.2	持續	6	海上警報	無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	23	23	IR/EIR/VIS	CB	23.0	128.4	Poor	3.0	3.0	3.6	持續	6	海上警報	無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	24	00	IR/EIR/VIS	CB	23.0	128.2	Poor	3.0	3.0	3.5	持續	6	海上警報	
0019	雅吉	Yagi	2000	10	24	01	IR/EIR/VIS	CB	23.1	128.1	Fair	3.0	3.0	3.7	持續	6	海上警報	
0019	雅吉	Yagi	2000	10	24	02	IR/EIR/VIS	CB	23.1	127.9	Fair	3.0	3.0	4.0	持續	6	海上警報	
0019	雅吉	Yagi	2000	10	24	03	IR/EIR/VIS	CB	23.2	127.7	Fair	3.0	3.0	4.5	持續	6	海上警報	
0019	雅吉	Yagi	2000	10	24	04	IR/EIR/VIS	CB	23.2	127.5	Fair	3.0	3.0	4.5	持續	6	海上警報	
0019	雅吉	Yagi	2000	10	24	05	IR/EIR/VIS	CB	23.3	127.4	Fair	3.0	3.0	3.9	持續	6	海上警報	
0019	雅吉	Yagi	2000	10	24	06	IR/EIR/VIS	CB	23.3	127.2	Fair	3.5	3.5	3.5	發展	6	海上警報	

表 2a. 中央氣象局衛星中心雅吉颱風之中心定位與強度資料。(續 1)

Table 2a. Center locations and the related intensity of Typhoon Yagi analyzed by Satellite Center of CWB. (Continued 1)

年	中文名稱	英文名稱	年	月	日	時	衛星觀測	衛星類型	經度	緯度	風速	風速等級	強度變化	強度等級	資料來源	
2019	雅吉	Yagi	2000	10	24	07	IR/EIR/VIS	CB	23.4	127.0	Fair	3.5	3.5	3.5 發展	6	陸上警報
2019	雅吉	Yagi	2000	10	24	08	IR/EIR/VIS	CB	23.5	126.8	Fair	3.5	3.5	5.3 發展	6	陸上警報
2019	雅吉	Yagi	2000	10	24	09	IR/EIR/VIS	CB	23.5	126.7	Fair	3.5	3.5	6.2 發展	6	陸上警報
2019	雅吉	Yagi	2000	10	24	10	EIR/IR	CB	23.6	126.5	Fair	4.0	4.0	6.8 發展	6	陸上警報
2019	雅吉	Yagi	2000	10	24	11	EIR/IR	EYE	23.6	126.4	Fair	4.5	4.5	6.3 發展	6	陸上警報
2019	雅吉	Yagi	2000	10	24	12	EIR/IR	EYE	23.8	126.2	Fair	4.5	4.5	6.3 發展	6	陸上警報
2019	雅吉	Yagi	2000	10	24	13	EIR/IR	EYE	23.8	126.1	Fair	4.5	4.5	5.9 發展	6	陸上警報
2019	雅吉	Yagi	2000	10	24	14	EIR/IR	EYE	23.9	126.0	Fair	4.5	4.5	6.3 發展	6	陸上警報
2019	雅吉	Yagi	2000	10	24	15	EIR/IR	EYE	24.0	125.8	Fair	4.5	4.5	6.3 發展	6	陸上警報
2019	雅吉	Yagi	2000	10	24	16	EIR/IR	EYE	24.0	125.7	Fair	4.5	4.5	6.5 發展	6	陸上警報
2019	雅吉	Yagi	2000	10	24	17	EIR/IR	EYE	24.1	125.5	Fair	4.5	4.5	5.9 持續	6	陸上警報
2019	雅吉	Yagi	2000	10	24	18	EIR/IR	EYE	24.2	125.4	Fair	5.0	5.0	6.2 發展	6	陸上警報
2019	雅吉	Yagi	2000	10	24	19	EIR/IR	EYE	24.3	125.3	Fair	5.0	5.0	6.0 發展	6	陸上警報 無
2019	雅吉	Yagi	2000	10	24	20	EIR/IR	EYE	24.3	125.3	Good	5.0	5.0	5.9 發展	6	陸上警報 無
2019	雅吉	Yagi	2000	10	24	21	EIR/IR	EYE	24.4	125.3	Good	5.0	5.0	5.8 發展	6	陸上警報 無
2019	雅吉	Yagi	2000	10	24	22	EIR/IR	EYE	24.5	125.2	Good	5.0	5.0	6.1 發展	6	陸上警報 無
2019	雅吉	Yagi	2000	10	24	23	EIR/IR	EYE	24.6	125.1	Good	5.0	5.0	6.1 發展	6	陸上警報 無
2019	雅吉	Yagi	2000	10	25	00	EIR/IR	EYE	24.8	124.9	Good	5.0	5.0	3.5 發展	6	陸上警報 無
2019	雅吉	Yagi	2000	10	25	01	IR/EIR/VIS	EYE	24.9	124.8	Good	5.0	5.0	3.5 發展	6	陸上警報 無
2019	雅吉	Yagi	2000	10	25	02	IR/EIR/VIS	ECP	25.0	124.7	Good	4.5	5.0	4.2 減弱	6	陸上警報 無
2019	雅吉	Yagi	2000	10	25	03	IR/EIR/VIS	ECP	25.0	124.6	Fair	4.5	5.0	3.8 減弱	6	陸上警報 無
2019	雅吉	Yagi	2000	10	25	04	IR/EIR/VIS	ECP	25.0	124.5	Fair	4.5	5.0	3.5 減弱	6	陸上警報 無
2019	雅吉	Yagi	2000	10	25	05	IR/EIR/VIS	ECP	25.0	124.4	Fair	4.0	4.5	3.5 減弱	6	陸上警報 無
2019	雅吉	Yagi	2000	10	25	06	IR/EIR/VIS	ECP	25.1	124.3	Fair	4.0	4.5	4.8 減弱	6	陸上警報 無
2019	雅吉	Yagi	2000	10	25	07	IR/EIR/VIS	ECP	25.2	124.3	Fair	4.0	4.5	4.7 減弱	6	陸上警報 無
2019	雅吉	Yagi	2000	10	25	08	IR/EIR/VIS	ECP	25.3	124.4	Fair	4.0	4.5	4.5 減弱	6	陸上警報 無
2019	雅吉	Yagi	2000	10	25	09	EIR/IR	ECP	25.3	124.4	Fair	4.0	4.5	4.9 減弱	6	陸上警報 無
2019	雅吉	Yagi	2000	10	25	10	EIR/IR	ECP	25.4	124.4	Fair	4.0	4.5	4.3 減弱	6	陸上警報 無
2019	雅吉	Yagi	2000	10	25	10	EIR/IR	ECP	25.4	124.4	Fair	4.0	4.5	4.3 減弱	6	陸上警報 無

表 2a. 中央氣象局衛星中心雅吉颱風之中心定位與強度資料。(續 2)

Table 2a. Center locations and the related intensity of Typhoon Yagi analyzed by Satellite Center of CWB. (Continued 2)

颱風編號	中文名稱	英文名稱	年	月	日	時	觀測種類	颱風警報	中心緯度	中心經度	定位準確度	下值	C值	強度變化	強度間隔時間	警報種類	備註
0019	雅吉	Yagi	2000	10	25	11	EIR/IR	ECP	25.5	124.4	Fair	4.0	4.5	4.3持續	6	陸上警報	無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	25	12	EIR/IR	ECP	25.6	124.5	Fair	4.0	4.5	4.7持續	6	陸上警報	無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	25	13	EIR/IR	ECP	25.6	124.5	Fair	4.0	4.5	4.9持續	6	陸上警報	無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	25	14	EIR/IR	ECP	25.7	124.5	Fair	4.0	4.5	4.5持續	6	陸上警報	無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	25	15	EIR/IR	ECP	25.8	124.4	Fair	4.0	4.5	4.6持續	6	陸上警報	無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	25	15	EIR/IR	ECP	25.8	124.4	Fair	4.0	4.5	4.5持續	6	陸上警報	無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	25	16	EIR/IR	ECP	25.8	124.4	Fair	4.0	4.5	5.5持續	6	陸上警報	無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	25	17	EIR/IR	ECP	25.8	124.4	Fair	4.0	4.5	4.5持續	6	陸上警報	無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	25	18	EIR/IR	ECP	25.9	124.5	Fair	4.0	4.5	5.1持續	6	陸上警報	無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	25	18	EIR/IR	ECP	25.9	124.5	Fair	4.0	4.5	5.1持續	6	陸上警報	無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	25	19	EIR/IR	ECP	26.0	124.6	Fair	4.0	4.5	4.7持續	6	陸上警報	無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	25	20	EIR/IR	ECP	26.1	124.7	Fair	4.0	4.5	4.7持續	6	陸上警報	無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	25	21	EIR/IR	ECP	26.1	124.8	Fair	4.0	4.5	4.3持續	6	海上警報	無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	25	22	EIR/IR	CB	26.2	124.9	Fair	4.0	4.5	4.9持續	6	海上警報	無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	25	23	EIR/IR	CB	26.3	125.0	Fair	4.0	4.5	4.6持續	6	海上警報	無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	26	00	IR/EIR/VIS	CB	26.4	125.2	Fair	4.0	4.5	4.7持續	6	海上警報	無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	26	03	IR/EIR/VIS	CB	26.6	125.6	Fair	3.5	4.0	4.1減弱	6		無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	26	06	IR/EIR/VIS	CB	26.6	126.0	Poor	3.5	4.0	4.3持續	6		無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	26	09	IR/EIR/VIS	CB	26.6	126.4	Poor	3.5	4.0	4.1持續	6		無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	26	12	EIR/IR	CB	26.7	126.8	Poor	3.5	4.0	4.5持續	6		無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	26	15	EIR/IR	CB	26.9	127.2	Poor	3.5	4.0	4.1持續	6		無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	26	18	EIR/IR	CB	27.0	127.5	Poor	3.0	3.5	3.5減弱	6		低層中心, 25.8N, 126.3E
0019	雅吉	Yagi	2000	10	26	21	EIR/IR	CB	27.1	128.3	Poor	3.0	3.5	3.5減弱	6		低層中心, 26.2N, 126.6E
0019	雅吉	Yagi	2000	10	27	00	EIR/IR/VIS	CB	27.2	129.1	Poor	2.5	3.0	3.5減弱	6		CWB down to TD
0019	雅吉	Yagi	2000	10	27	06	EIR/IR/VIS	CB	25.2	126.2	Poor	2.0	2.5	4.4減弱	6		
0019	雅吉	Yagi	2000	10	27	12	EIR/IR	CB	25.0	125.5	Poor	1.5	2.0	4.4減弱	6		
0019	雅吉	Yagi	2000	10	27	18	EIR/IR	CB	25.1	124.8	Fair	1.5	2.0	4.4持續	6		無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	28	00	IR/EIR/VIS	CB	25.1	124.3	Poor	4.0	4.0	4.3持續	6		無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	28	06	VIS	CB	25.3	123.2	Fair	1.5	1.5	4.4持續	6		無

表 2a. 中央氣象局衛星中心雅吉颱風之中心定位與強度資料。(續 3)

Table 2a. Center locations and the related intensity of Typhoon Yagi analyzed by Satellite Center of CWB. (Continued 3)

颱風編號	中文名稱	英文名稱	年	月	日	衛星觀測種類	颱風等級	中心緯度	中心經度	定位準確度	訂正	訂正	訂正	強度變化	強度間隔時間	警報種類	備註
0019	雅吉	Yagi	2000	10	28	09 VIS	CB	25.3	123.0	Poor	1.5	2.0	0.0	持續	6		無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	28	12 EIR/IR	CB	24.9	122.6	Poor	1.5	2.0	0.0	持續	6		無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	28	15 EIR/IR	CB	25.0	122.4	Poor	1.5	2.0	0.0	持續	6		無
0019	雅吉	Yagi	2000	10	28	18 EIR/IR	CB	25.6	122.8	Poor	1.5	2.0	0.0	持續	6		無

表 2b. 五分山雷達站觀測雅吉颱風中心定位報告

Table 2b. Radar fixes of the center location for Typhoon Yagi by Wufensun station (46685)

日期	UTC	定位位置		Ac	移向 (度)	移速 (浬/時)
		北緯	東經			
10 月 24 日	15	23.8	125.9	2	313	21
	16	23.9	125.7	2	317	17
	17	24.0	125.6	2	302	17
	18	24.1	125.5	2	300	18
	19	24.2	125.4	2	330	18
	20	24.3	125.4	2	335	10
	21	24.4	125.3	2	330	16
	22	24.5	125.1	2	300	20
	23	24.6	125.0	2	310	16
10 月 25 日	00	24.6	124.9	2	306	15
	01	24.7	124.8	2	300	12
	02	24.8	124.7	2	327	17
	03	24.9	124.6	2	304	10
	04	25.0	124.5	2	323	15
	05	25.1	124.5	2	359	12
	06	25.2	124.5	2	359	7
	07	25.2	124.5	2	285	4
	08	25.2	124.5	2	343	7
	09	25.3	124.4	2	330	10
	10	25.4	124.4	2	348	10
	11	25.5	124.4	2	360	10
	12	25.6	124.4	2	343	7
	13	25.6	124.4	2	350	6
	14	25.7	124.3	3	355	13
	15	25.8	124.4	2	37	10
	16	25.8	124.5	2	79	11
	17	25.9	124.6	2	37	17
	18	26.1	124.6	2	360	12
	19	26.1	124.6	2	42	3
	20	26.0	124.7	2	96	6
	21	26.1	124.9	2	80	12
	22	26.1	125.1	2	82	23
	23	26.1	125.2	2	90	10
10 月 26 日	00	26.3	125.3	2	16	24

表 3. 中央氣象局發布雅古颱風警報概況

Table 3. Warnings issued by CWB for Typhoon Yagi.

種 類	次序		發 布 時 間				警 戒 地 區	
	號	報	月	日	時	分	海 上	陸 上
海上	19	1	10	23	20	20	台灣東南部海面、台灣東北部海面及巴士海峽	---
海上	19	2	10	23	23	30	同上	---
海上	19	3	10	24	2	45	同上	---
海上	19	4	10	24	5	25	同上	---
海上	19	5	10	24	8	20	同上	---
海上	19	6	10	24	11	5	台灣東北部海面、台灣東南部海面、台灣北部海面及巴士海峽	---
海上陸上	19	7	10	24	14	50	台灣東北部海面、台灣東南部海面及台灣北部海面	宜蘭、基隆、花蓮、台北及桃園地區
海上陸上	19	8	10	24	17	40	台灣東北部海面、台灣東南部海面、台灣北部海面及台灣海峽北部	同上
海上陸上	19	9	10	24	20	55	同上	宜蘭、基隆、花蓮、台北、桃園、新竹及苗栗地區
海上陸上	19	10	10	24	23	20	同上	同上
海上陸上	19	11	11	25	2	55	同上	同上
海上陸上	19	12	11	25	5	30	同上	同上
海上陸上	19	13	11	25	8	20	同上	同上
海上陸上	19	14	11	25	11	25	同上	同上
海上陸上	19	15	11	25	14	40	同上	同上
海上陸上	19	16	11	25	17	30	同上	宜蘭、基隆、台北、桃園及新竹地區
海上陸上	19	17	11	25	20	45	台灣東北部海面及台灣海峽北部	宜蘭、基隆、台北及桃園地區
海上陸上	19	18	11	25	23	20	台灣東北部海面及台灣北部海面	同上
海上	19	19	11	26	3	25	同上	---
海上	19	20	11	26	5	25	同上	---
解除	19	21	11	26	8	50	---	---

表 4. 10 月 25 日 00 時至 26 日 08 時 (LST) 台灣地區累積雨量統計表、平均風速及最大陣風。

Table 4. The rainfall, maximum winds and gust observed at CWB stations from 00LST 25 to 08LST 26 October of 2000.

10月25日00時至 10月26日08時止 累積雨量及最大陣風統計表

站名	累積雨量	最大平均風速	對應級數	出現時間	最大陣風	對應級數	出現時間
彭佳嶼	0	30	7	2601	45	9	2602
基隆	22	-	-	-	29	7	2603
宜蘭	0	-	-	-	22	6	2603
蘇澳	0	-	-	-	33	7	2512
鞍部	86	22	6	2601	37	8	2608
陽明山	24	-	-	-	22	6	2506
台北	4	-	-	-	-	-	-
新竹	1	-	-	-	27	6	2513
台中	0	-	-	-	-	-	-
梧棲	0	24	6	2512	40	8	2512
日月潭	0	-	-	-	-	-	-
玉山	0	-	-	-	-	-	-
阿里山	0	-	-	-	-	-	-
嘉義	0	-	-	-	-	-	-
台南	0	-	-	-	-	-	-
高雄	0	-	-	-	-	-	-
花蓮	丁	-	-	-	-	-	-
成功	0.3	-	-	-	-	-	-
台東	42	-	-	-	-	-	-
大武	24	-	-	-	-	-	-
恆春	丁	-	-	-	-	-	-
蘭嶼	0	24	6	2502	40	8	2501
澎湖	0	-	-	-	32	7	2602
東吉島	0	31	7	2519	43	9	2608

附註：

1. 累積雨量單位為公釐(mm)。
2. 最大平均風速與最大陣風單位為kts。
3. 出現時間為地方時(Local Time)。
4. 此資料僅提供內部參考，不對外提供。

表 5. 第十九號颱風（雅吉）侵台期間中央氣象局各氣象站氣象要素統計表

Table 5. Meteorological summary of CWB's observation stations during the passage of Typhoon YAGI.

測站	最低氣壓(hPa)		瞬間最大風速(m/s)			最大風速(m/s)			最大降水量(mm)				降水總量(mm)	
	數值	時間(L)	風速	風向	時間(L)	風速	風向	時間(L)	一小時	起始時間(L)	十分鐘	起始時間(L)	數值	時間(開始-終止)(L)
台北	1011.4	24/14:53	11.9	WSW	24/15:45	6.7	E	24/15:45	0.7	25/17:10	0.4	25/13:35	2.0	24/14:50-26/03:25
竹子湖	1012.5	24/14:50	11.0	N	25/05:19	3.2	NW	25/05:01	2.5	25/14:34	0.5	25/14:37	20.0	25/10:48-26/03:25
按部	1510.4(GPM)	25/14:00	17.6	N	26/01:24	11.4	N	26/01:03	10.0	26/00:16	2.5	25/23:11	73.0	24/14:50-26/03:25
新竹	1010.0	24/14:18	14.2	NE	24/16:48	8.8	NNE	25/10:54	0.5	26/02:32	0.5	26/03:22	1.5	25/23:30-26/08:30
台中	1009.7	24/14:50	8.7	NNE	25/14:46	4.1	N	25/14:59	—	—	—	—	—	—
梧棲	1009.8	24/14:34	20.0	N	25/11:19	13.3	NNW	25/11:22	—	—	—	—	—	—
日月潭	1508.0(GPM)	24/02:48	4.4	NNW	25/12:13	2.9	S	26/01:43	—	—	—	—	—	—
嘉義	1009.8	24/14:26	6.6	NNE	25/17:18	3.4	N	25/14:40	—	—	—	—	—	—
阿里山	764.8	25/03:35	5.2	E	25/02:14	2.7	ENE	25/01:57	—	—	—	—	—	—
玉山	3180.0(GPM)	24/02:11	10.1	E	24/23:04	6.7	NE	24/02:09	—	—	—	—	—	—
台南	1009.4	24/15:01	7.8	N	26/19:54	5.0	NNW	26/16:44	—	—	—	—	—	—
高雄	1009.7	24/14:06	7.6	N	24/13:18	5.2	NW	24/13:38	—	—	—	—	—	—
恆春	1010.3	24/14:22	11.7	NE	24/21:49	5.8	NE	24/18:15	—	—	—	—	—	—
基隆	1012.3	25/13:50	14.4	ENE	26/02:22	7.5	N	26/02:24	9.5	26/02:01	3.5	26/02:24	15.8	24/14:50-26/03:25
蘇澳	1010.7	25/14:13	16.5	SE	25/11:32	6.1	NE	25/10:41	—	—	—	—	—	—
宜蘭	1011.1	25/14:39	9.4	E	26/13:44	7.3	E	24/15:10	—	—	—	—	—	—
花蓮	1008.6	25/13:53	6.8	ESE	25/13:19	4.3	E	25/13:25	—	—	—	—	—	—
成功	1009.6	25/03:52	15.0	NE	26/23:14	8.3	NNE	26/22:25	3.0	26/08:09	0.7	26/08:33	4.2	26/07:45-26/10:20
台東	1010.1	25/04:00	8.5	SSE	24/16:27	3.9	ENE	24/13:37	15.5	26/01:09	6.0	25/20:12	41.0	25/19:54-26/03:00
大武	1010.4	25/03:56	6.4	E	24/16:07	3.2	WNW	25/21:31	1.8	25/21:46	1.6	25/21:46	2.7	24/14:50-26/03:25
蘭嶼	1009.3	25/03:49	20.1	NE	25/00:42	14.6	NE	25/01:40	—	—	—	—	—	—
彭佳嶼	1011.2	25/15:39	22.4	NE	26/01:12	15.6	NE	26/01:18	—	—	—	—	—	—
澎湖	1011.3	25/03:50	16.1	ENE	26/01:22	7.8	NE	25/13:59	—	—	—	—	—	—
東吉島	1010.3	25/03:46	21.2	NE	25/17:55	15.9	NNE	25/18:16	—	—	—	—	—	—

表 6. 各種主觀預測、模式預測及氣候統計法之 (a) 24 小時與 (b) 48 小時颱風路徑預報平均誤差檢驗分析比較表

Table 6. Errors of selected (a)24hr and (b)48hr track forecast techniques for Typhoon Yagi.

(a) 24-HOUR MEAN FORECAST ERROR (KM)

	CLIP		CWB		TFSS		EBM		HURA		PGTH		RJTD		BCGZ		VHHH		RPMH	
CLIP	14	116																		
	116	0																		
CWB	14	116	16	188																
	190	74	188	0																
TFSS	7	109	7	188	7	162														
	162	53	162	-25	162	0														
EBM	7	109	7	188	7	162	7	196												
	196	87	196	7	196	33	196	0												
HURA	14	116	14	190	7	162	7	196	14	170										
	170	53	170	-20	172	9	172	-24	170	0										
PGTH	14	116	16	188	7	162	7	196	14	170	16	150								
	159	42	150	-38	146	-16	146	-50	159	-11	150	0								
RJTD	14	116	16	188	7	162	7	196	14	170	16	150	16	211						
	214	98	211	22	192	29	192	-3	214	44	211	61	211	0						
BCGZ	6	105	6	270	3	127	3	227	6	216	6	238	6	288	6	274				
	274	168	274	3	246	118	246	12	274	57	274	35	274	-14	274	0				
VHHH	3	157	3	298	1	412	1	311	3	250	3	196	3	359	1	388	3	427		
	427	270	427	129	457	44	457	146	427	177	427	231	427	68	400	11	427	0		
RPMH	5	101	5	227	3	109	3	211	5	148	5	216	5	220	3	296	0	0	5	270
	270	168	270	42	233	124	233	22	270	122	270	53	270	50	342	46	0	0	270	0

NUMBER OF CASES	X-AXIS TECHNIQUE ERROR
Y-AXIS TECHNIQUE ERROR	ERROR DIFFERENCE Y-X

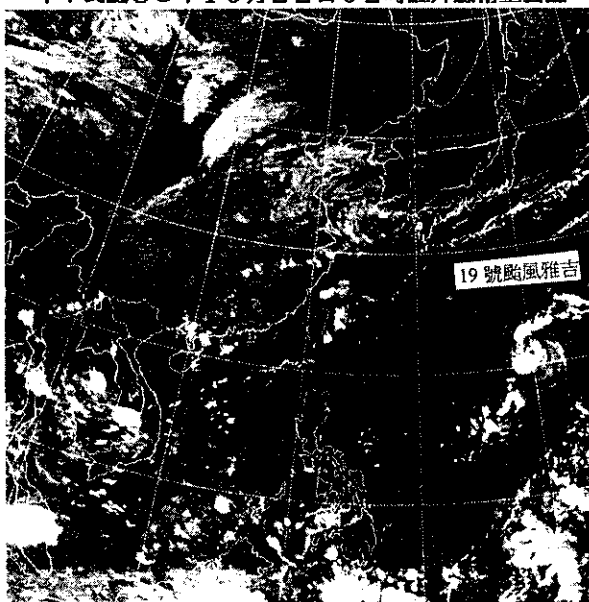
(b) 48-HOUR MEAN FORECAST ERROR (KM)

	CLIP		CWB		TFSS		EBM		HURA		PGTH		RJTD		BCGZ		RPMH	
CLIP	11	288																
	288	0																
CWB	11	288	12	464														
	494	205	464	0														
TFSS	6	305	6	498	6	301												
	301	-3	301	-196	301	0												
EBM	6	305	6	498	6	301	6	350										
	350	44	350	-148	350	48	350	0										
HURA	11	288	11	494	6	301	6	350	11	303								
	303	14	303	-190	342	40	342	-7	303	0								
PGTH	11	288	12	464	6	301	6	350	11	303	12	411						
	433	144	411	-53	429	127	429	79	433	129	411	0						
RJTD	11	288	12	464	6	301	6	350	11	303	12	411	12	437				
	462	174	437	-27	453	151	453	103	462	159	437	25	437	0				
BCGZ	5	220	5	675	3	316	3	500	5	470	5	614	5	635	5	707		
	707	487	707	31	670	353	670	170	707	237	707	92	707	72	707	0		
RPMH	1	272	1	379	0	0	0	0	1	92	1	492	1	451	0	0	1	346
	346	74	346	-33	0	0	0	0	346	253	346	-146	346	-105	0	0	346	0

NUMBER OF CASES	X-AXIS TECHNIQUE ERROR
Y-AXIS TECHNIQUE ERROR	ERROR DIFFERENCE Y-X

NUMBER OF CASES	X-AXIS TECHNIQUE ERROR
Y-AXIS TECHNIQUE ERROR	ERROR DIFFERENCE Y-X

中華民國89年10月22日02時紅外線衛星雲圖



中央氣象局氣象衛星中心

圖 1. 2000 年 10 月 21 日 1800UTC 紅外線衛星雲圖。

Fig. 1. The satellite infrared imagery at 1800UTC 21 October of 2000.

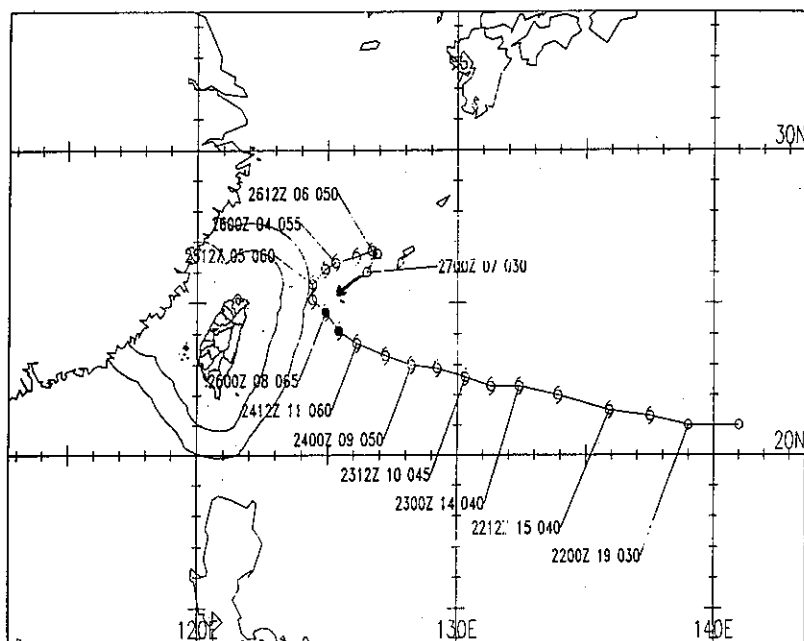


圖 2. 2000 年 19 號颱風雅吉 (Yagi) 最佳路徑圖

圖中空心代表強度為輕度颱風，實心代表中度颱風以上，每隔 24 小時之標示資料，由左至右分別為 UTC 時間、移速 (kts) 及近中心最大風速 (kts)。

Fig. 2. The best track of typhoon Yagi (2000).

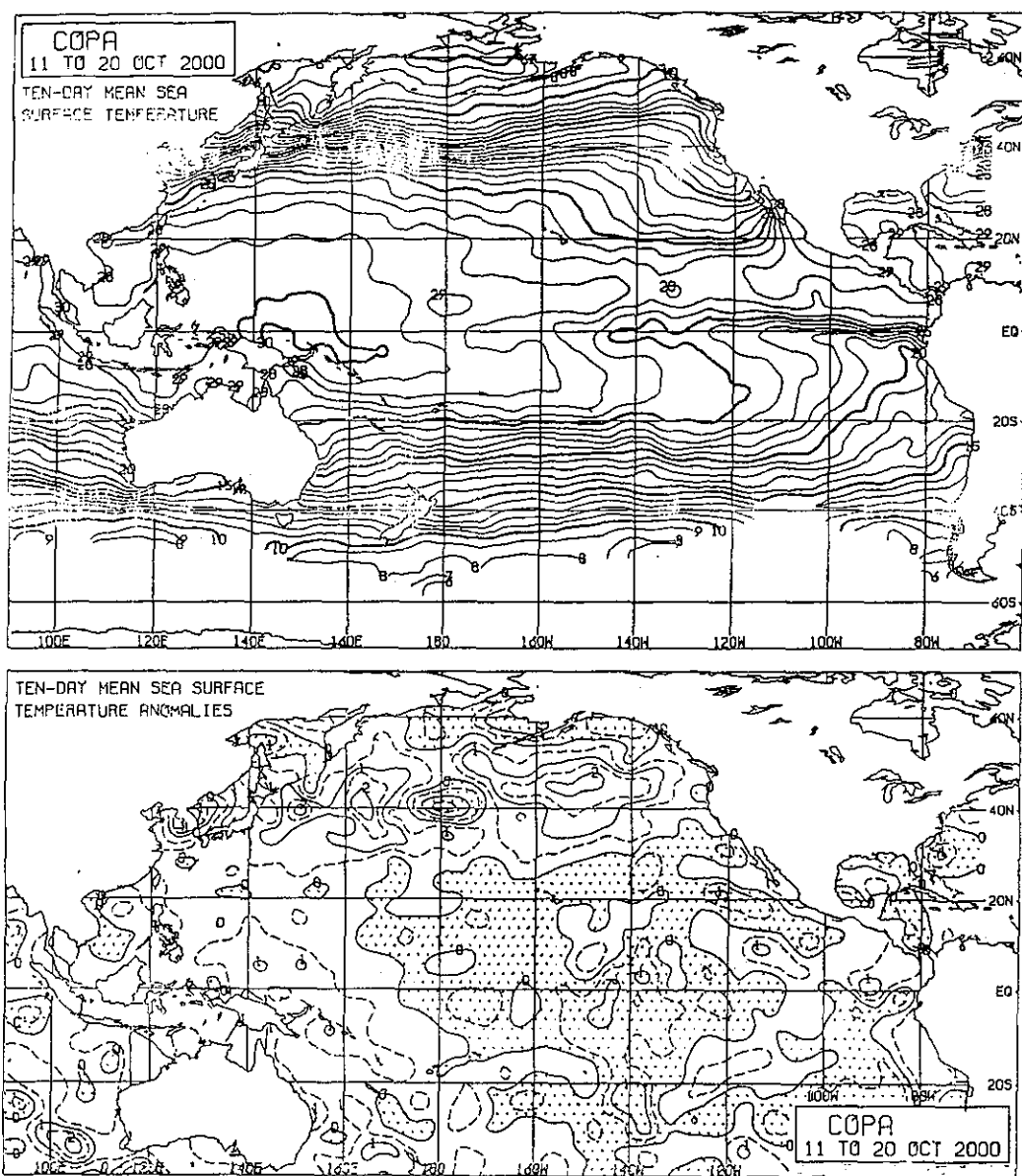


圖 3. 2000 年 10 月 11 日至 20 日太平洋區域海洋（上）與海溫距平（下）圖。

Fig. 3. Ten-day (11 to 20, October of 2000) mean sea surface temperature (top) and anomalies (bottom) over the Pacific area.

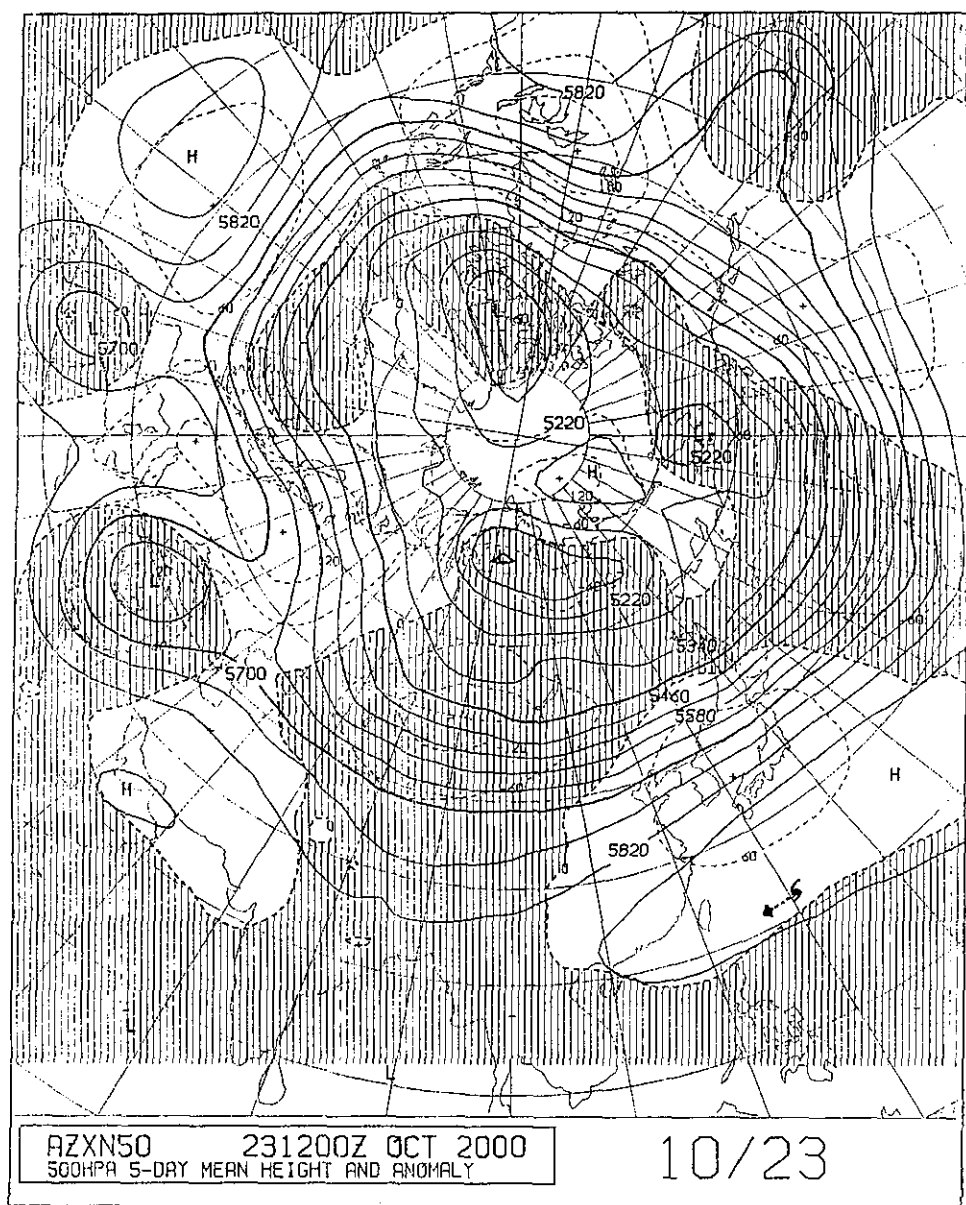


圖 4. 2000 年 10 月 23 日 500 百帕五日平均高度及距平，由圖中顯示太平洋高壓脊線很強，導致雅吉颱風快速偏西移動。

Fig.4. 500 hPa 5-day mean height and anomaly chart for 23 October of 2000.

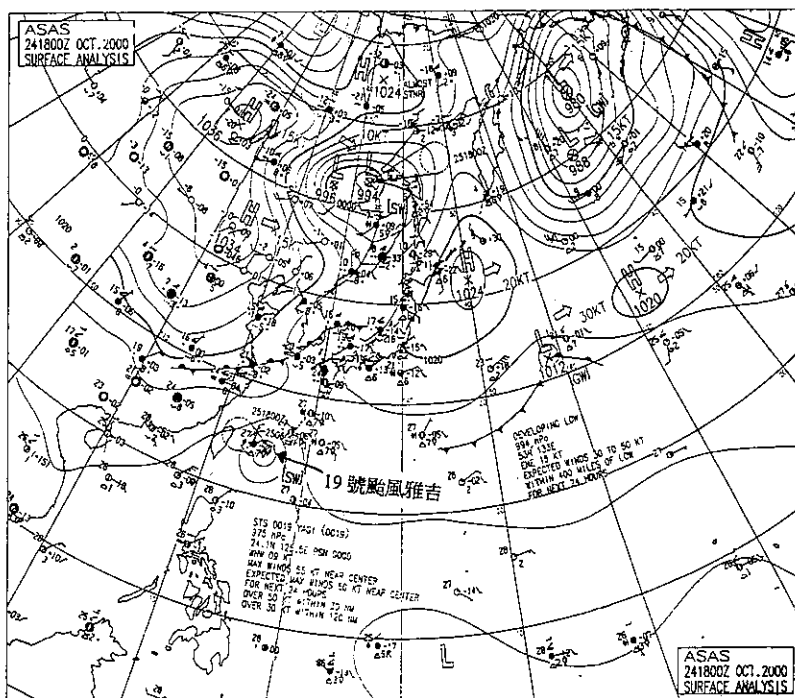
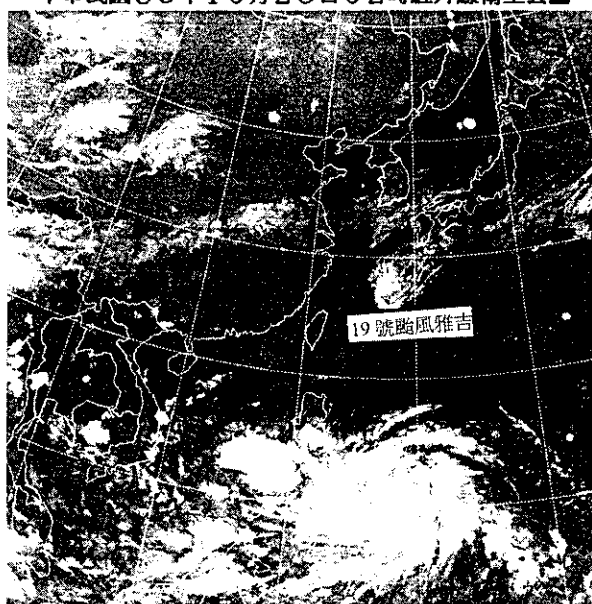


圖 5a. 2000 年 10 月 24 日 1800UTC 亞洲區地面天氣圖。

Fig. 5a. Surface analysis over the Asia area at 1800UTC 24 October of 2000.

中華民國 89 年 10 月 25 日 02 時紅外線衛星雲圖



中央氣象局氣象衛星中心

圖 5b. 2000 年 10 月 24 日 1800UTC 紅外線衛星雲圖。

Fig. 5b. The satellite infrared imagery at 1800UTC 24 October of 2000.

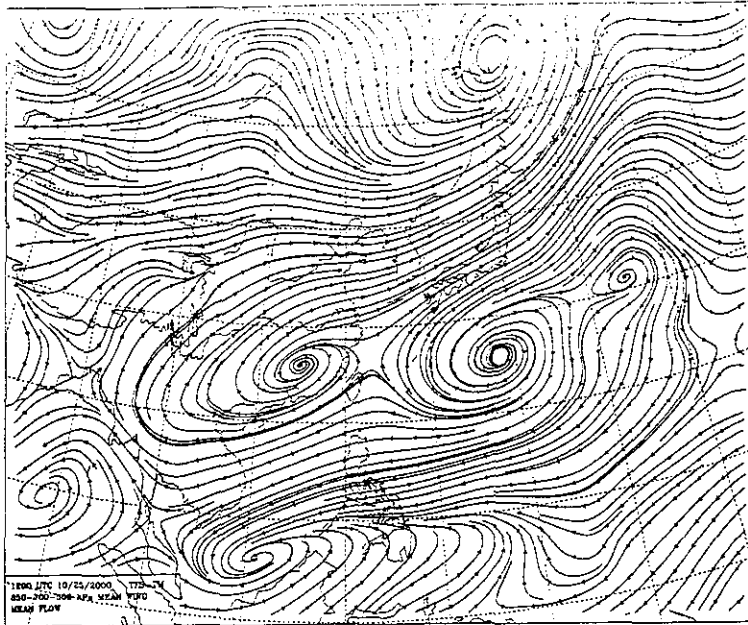


圖 6a. 2000 年 10 月 25 日 1200UTC 500/700/850 百帕（高空圖）三層平均氣流圖。

Fig. 6a. The 500/700/850 hPa mean flow at 1200UTC 25 October of 2000.

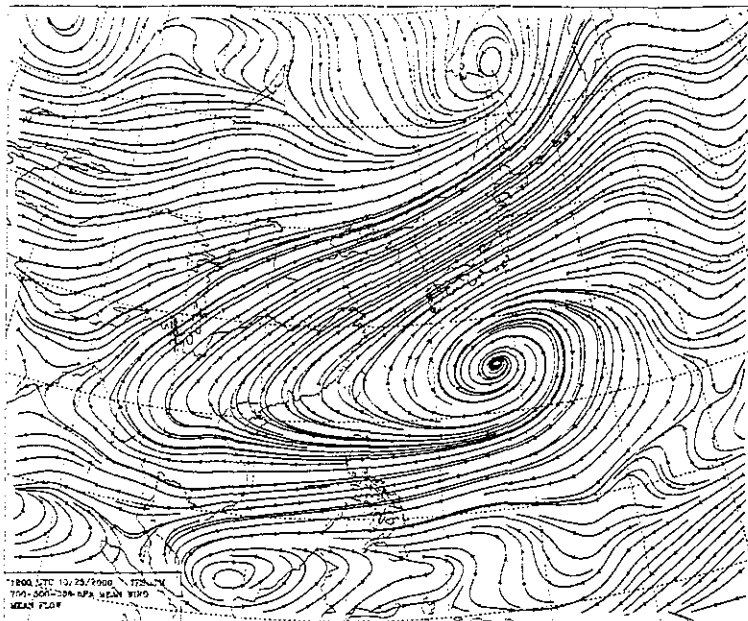


圖 6b. 2000 年 10 月 25 日 1200UTC 300/500/700 百帕三層平均氣流圖。

Fig. 6b. The 300/500/700 hPa mean flow at 1200UTC 25 October of 2000.

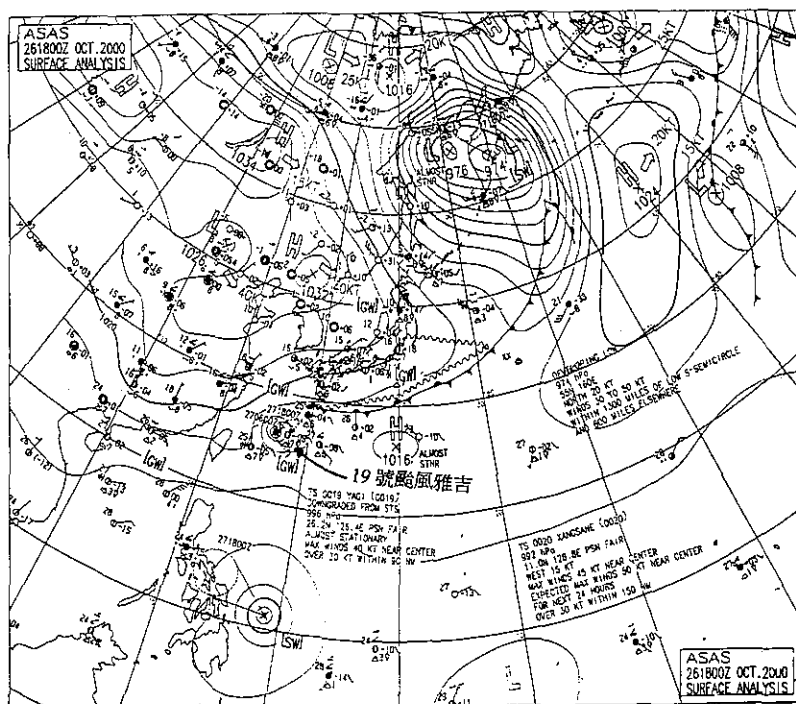
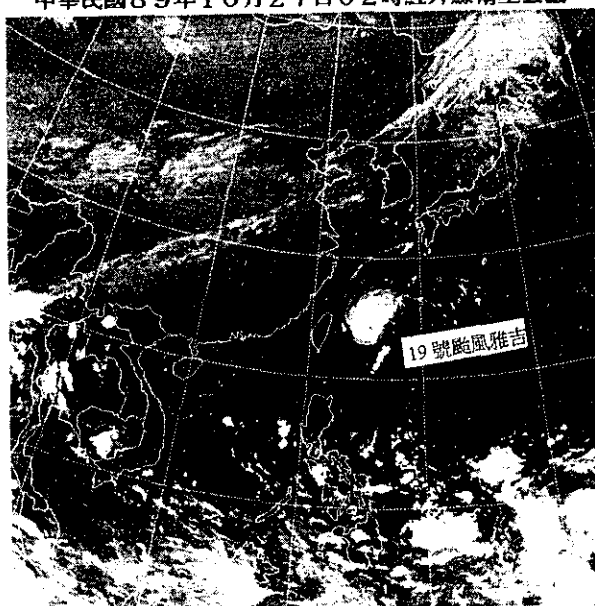


圖 6c. 2000 年 10 月 26 日 1800UTC 亞洲區地面天氣圖。

Fig. 6c. Surface analysis over the Asia area at 1800UTC 26 October of 2000.

中華民國 89 年 10 月 27 日 02 時紅外線衛星雲圖



中央氣象局氣象衛星中心

圖 6d. 2000 年 10 月 27 日 2 時(1800UTC)紅外線衛星雲圖。

Fig. 6d. The satellite infrared imagery at 1800UTC 27 October of 2000.

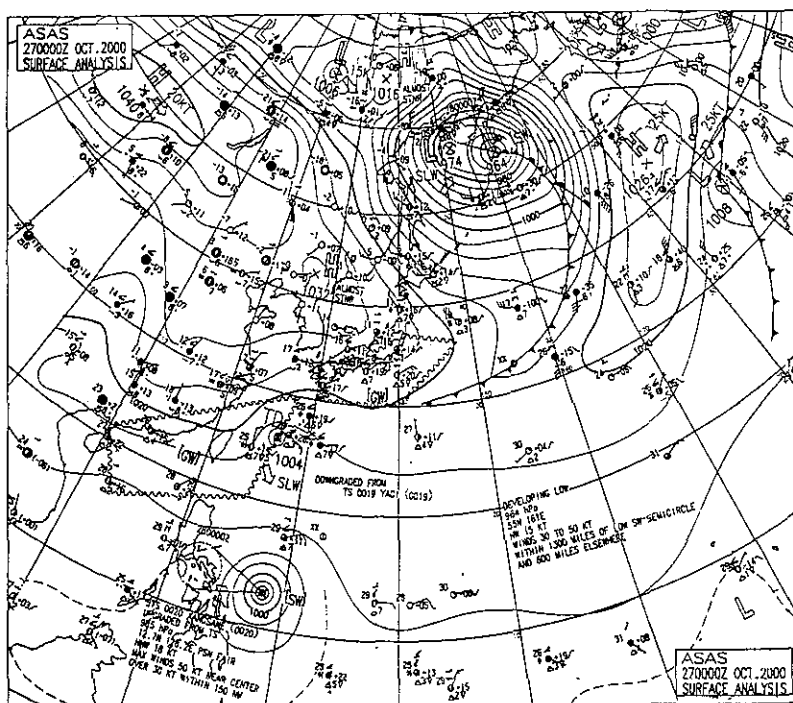


圖 7. 2000 年 10 月 27 日 0000UTC 亞洲區地面天氣圖。

Fig. 7. The surface analysis over the Asia area at 0000UTC 27 October of 2000.

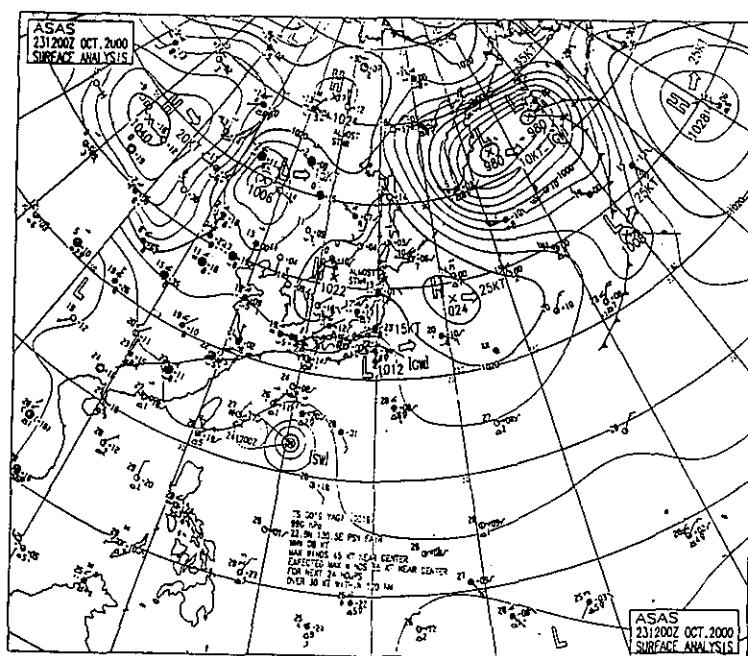


圖 8a. 2000 年 10 月 23 日 1200UTC 亞洲區地面天氣圖。

Fig. 8a. The surface analysis over Asia area at 1200UTC 23 October of 2000.

海上陸上颱風警報

中央氣象局 民國 89 年編號第 19 號颱風警報 第 7 報

10 月 24 日 14 時 50 分發布

颱風強度及命名：輕度颱風，國際命名：YAGI，中文譯名：雅吉。

中心氣壓：980 百帕。

中心位置：24 日 14 時的中心位置在北緯 23.3 度，東經 127.1 度，即在花蓮的東方約 570 公里之海面上。

風半徑：七級風暴風半徑 150 公里，十級風暴風半徑 一 公里。

預測速度及方向：以每小時 19 公里速度，向西進行。

近中心最大風速：每小時 100 公里(約每秒 28 公尺)，相當於 10 級風。

瞬間之最大陣風：每小時 130 公里(約每秒 35 公尺)，相當於 12 級風。

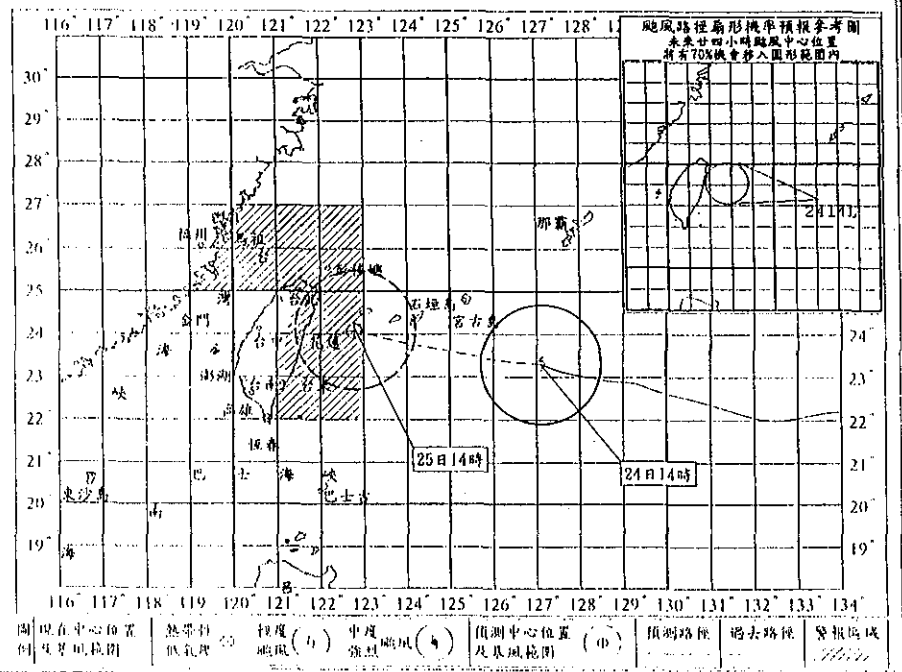
預測位置：25 日 14 時的中心位置在北緯 24.1 度，東經 122.8 度，即在花蓮的東方約 130 公里之海面上。

颱風防務：根據最新氣象資料顯示，第十九號颱風過去三小時強度稍有增強，預計其暴風範圍將有擴大的趨勢。目前此颱風在琉球那霸南方海面，繼續偏西移動，逐漸接近台灣東部海面，對台灣東北部、北部及東部陸地亦將構成威脅。

警戒區域及事項：海上：台灣東北部海面、台灣東南部海面及台灣北部海面航行及作業船隻應戒備。
陸上：宜蘭、基隆、花蓮及台北桃園地區應嚴加戒備，並慎防豪雨及強風。

附註：受到第十九號颱風環流影響，明(25)日下午起至 26 日台灣北部及東北部地區將有豪雨發生，尤其山區應嚴防坍方、落石、土石流及山洪暴發，河川下游慎防河水暴漲。

下次警報預定發布時間：10 月 24 日 18 時。



註：最新颱風動態，請隨時收聽 166、167 氣象電話。

圖 8b. 中央氣象局於 2000 年 10 月 24 日 14 時 50 分(地方時)發布之第 19 號第 7 報海上陸上颱風警報。

Fig. 8b. The numbered 19-7 land and sea warning issued by CWB for Typhoon Yagi at 14:50 LST 24 October of 2000.

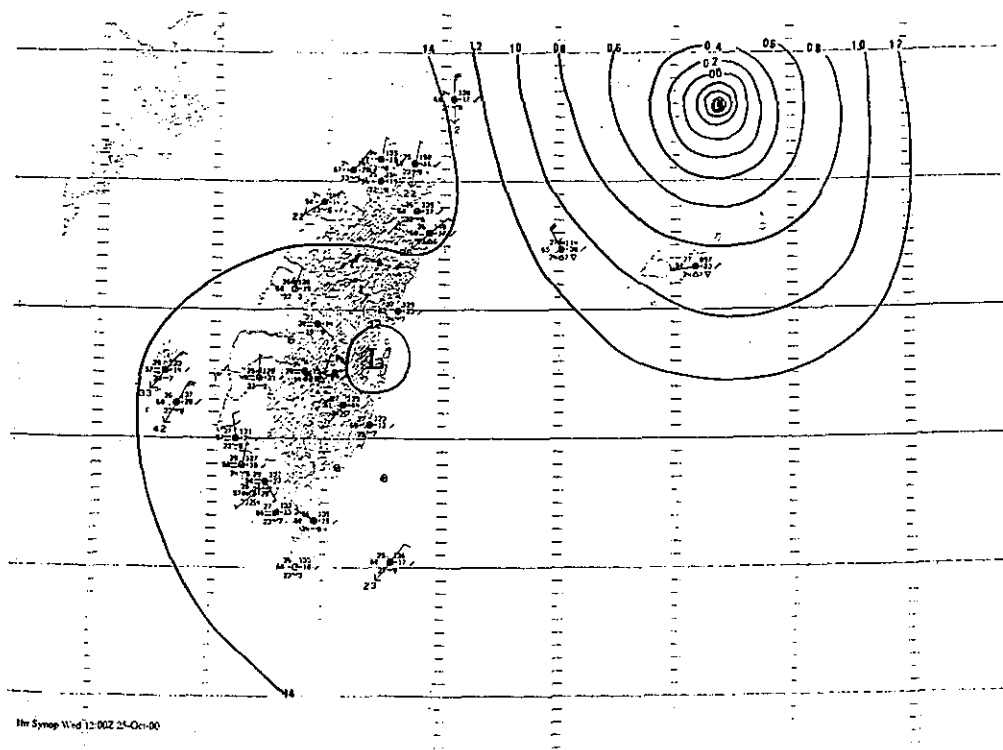


圖 9a. 2000 年 10 月 25 日 1200UTC 台灣地區小型地面天氣圖。

Fig. 9a. Surface analysis over the Taiwan area at 1200UTC 25 October of 2000.

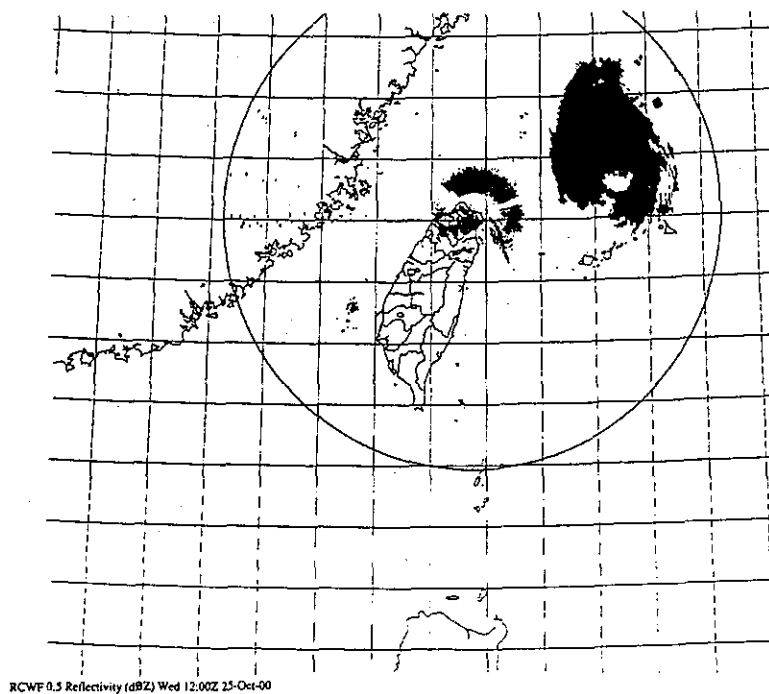


圖 9b. 2000 年 10 月 25 日 1200UTC 台北五分山氣象雷達站觀測到之降水回波圖。

Fig. 9b. Radar echoes detected by RCWF radar station at 1200UTC 25 October of 2000.

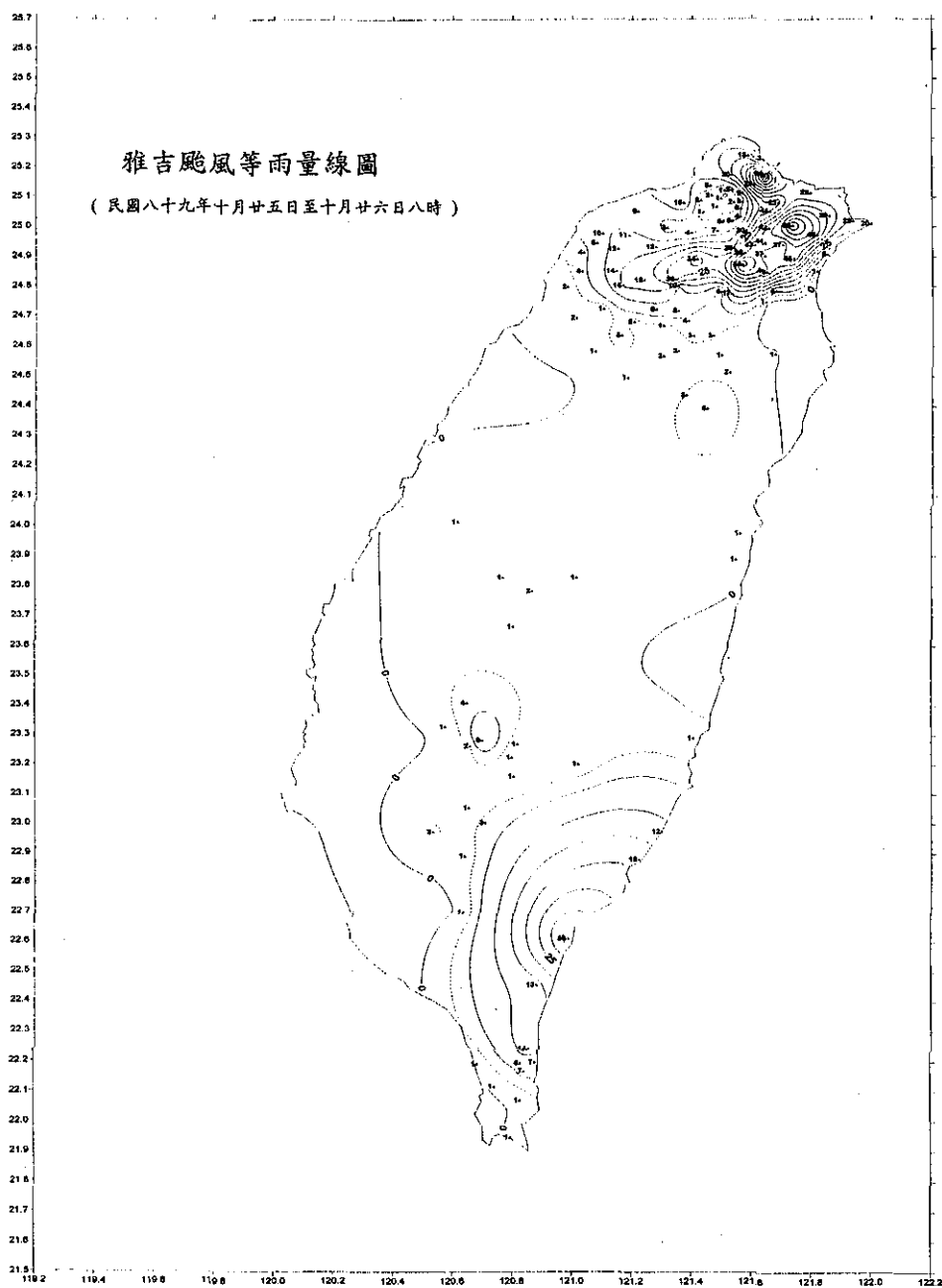


圖 9c. 19 號颱風雅吉等雨量線圖 (2000 年 10 月 25 日 00 時-26 日 08 時)

Fig. 9c. The isohyets (accumulated rainfall over the Taiwan area) for the period of 00LST 25 to 08LST 26 October of 2000.

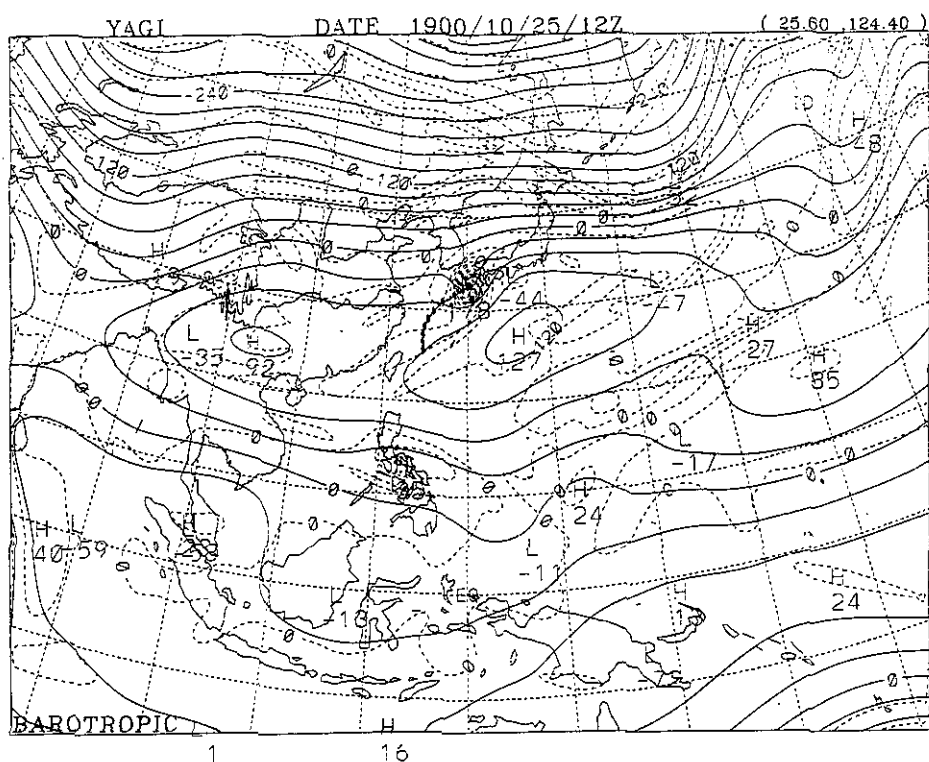


圖 10a. 2000 年 10 月 25 日 1200UTC 正壓模式分析圖。

Fig. 10a. Barotropic analysis for 1200UTC 25 October of 2000.

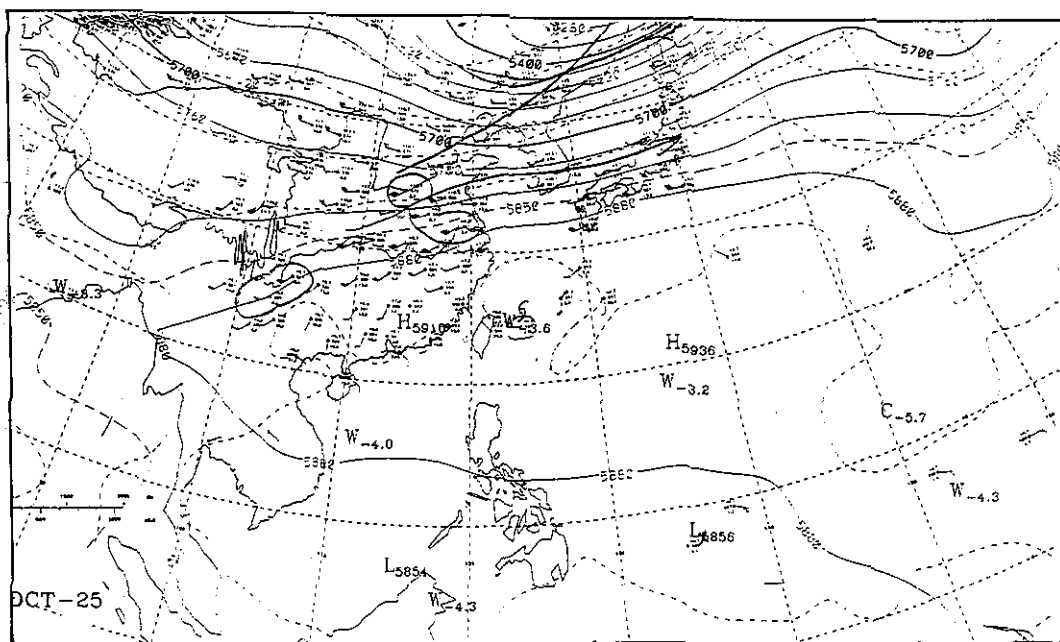


圖 10b. 2000 年 10 月 25 日 1200UTC 500 百帕高空分析圖。

Fig. 10b. The 500 hPa upper-air analysis at 1200UTC 25 October of 2000.

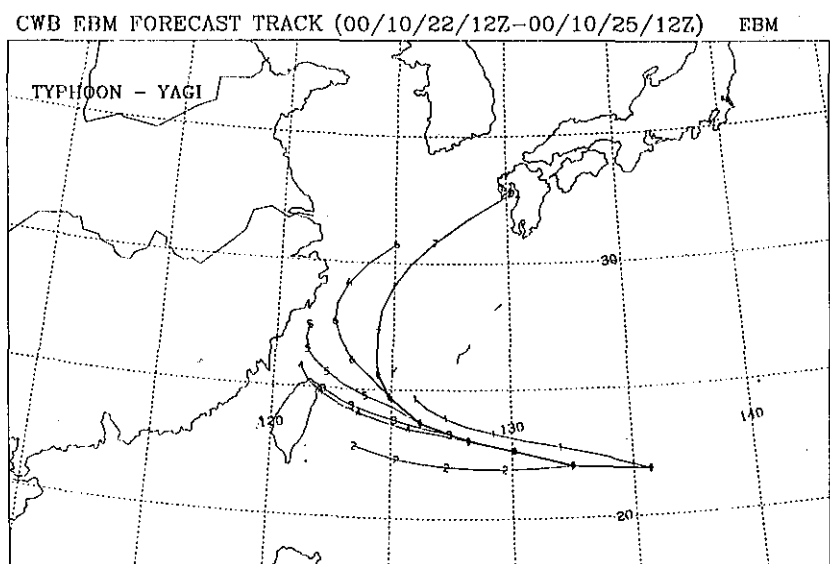


圖 11a. 中央氣象局雅吉颱風相當正壓模式預測圖。

Fig. 11a. CWB EBM forecast track for Typhoon Yagi (Date: 00/10/22/12UTC-00/10/25/12UTC)

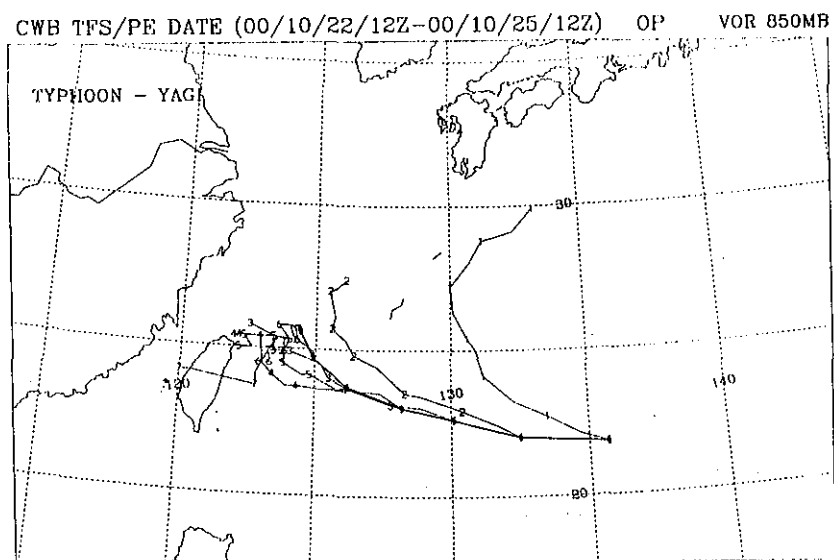


圖 11b. 中央氣象局雅吉颱風 TFS/PE 模式預測圖(以 850 百帕渦度為主)。

Fig. 11b. CWB TFS/PE forecast track for Typhoon Yagi (Date: 00/10/22/12UTC-00/10/25/12UTC)

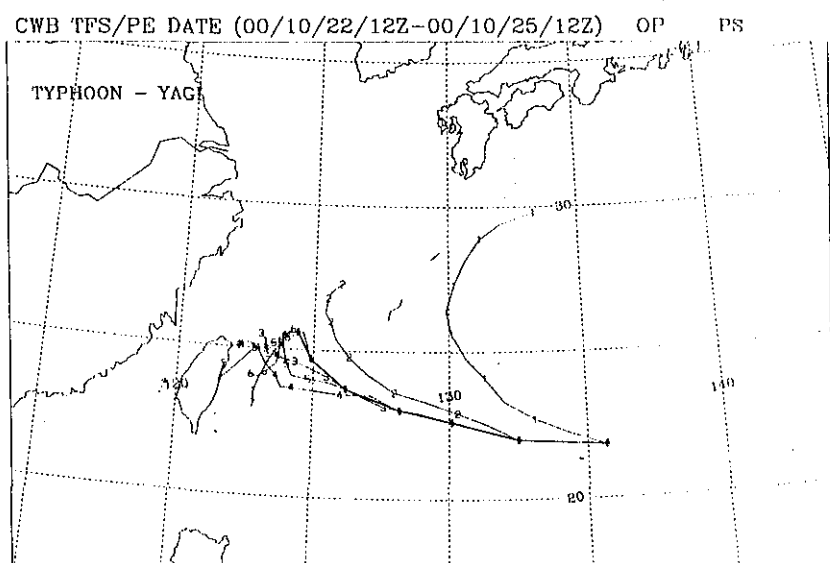


圖 11c. 中央氣象局雅吉颱風 TFS/PE 模式預測圖(以地面氣壓為主)。

Fig. 11c. CWB TFS/PE forecast track for Typhoon Yagi (Date: 00/10/22/12UTC-00/10/25/12UTC) operated by PS.

REPORT ON TYPHOON YAGI OF 2000

Henry Fu-Cheng Liu
Weather Forecast Center, Central Weather Bureau

ABSTRACT

This article mainly deals with typhoon Yagi's evolution, movement, rainfall and central pressure observed over the Taiwan area. *Discussions on the verifications of various subjective and objective track forecasts are also included.*

Typhoon Yagi formed over the northeastern ocean of the Philippine Islands and then moved westnorthwestward toward Taiwan. Its center did not make landfall on Taiwan but passed by some 280 km east to the eastern coast of Taiwan and later on moved northnortheast toward Japan, and finally dissipated as a tropical depression over the Ryuku islands.

Observation data showed that there was heavy rainfall over the northern, northeastern and eastern parts of Taiwan when typhoon Yagi was nearby. The maximum accumulated rainfall of 86mm was observed at the Anpu station during the period of Yagi's approaching to this island. In addition, a peak gust of 16.5m/s was observed at the Suao station and a minimum pressure of 1008.6 hPa was observed at the Chengkung station. There were no damages to Taiwan.

As to the subjective track forecasts for typhoon Yagi done by the Central Weather Bureau, the averaged 24hr position forecast error is 188km and the averaged 48hr position forecast error is 464km. Among all track forecasts available at CWB, the TFS/PE model presented best. Its position errors are only 162km and 301km for 24hr and 48hr forecasts, respectively.

Key words: typhoon, pressure, distribution of rainfall, tropical depression, track forecast

Meteorological Bulletin

(Quarterly)

CONTENTS

Articles

- | | | |
|--|---|------|
| The Ensemble Forecast System of
the Central Weather Bureau | Ting-Huai Chang
Chien-Han John Tseng
J.-C. Joseph Chang | (1) |
| Statistical Forecast Guidance Analyses
of Daily Maximum / Minimum Temperature
During July '98 - June '99 | Twen - Wen Lo
Jonq - Gong Chern | (12) |
| REPORT ON TYPHOON "BABS" OF 1998 | Tai-Kuang Chiou | (29) |
| REPORT ON TYPHOON 0004 (KAI-TAK) OF 2000 | Henry Fu-Cheng Liu | (45) |
| REPORT ON TYPHOON YAGI OF 2000 | Henry Fu-Cheng Liu | (78) |

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

二〇〇四〇〇〇一
統 一 編 號

ISSN 0255-5778



CENTRAL WEATHER BUREAU
64 Kung-Yuan Road, Taipei, Taiwan
Republic of China