

臺灣及鄰近地區雷雨情況 預報之可能方法

林永哲¹ 亢玉瑾¹

胡仲英² 林民生² 林政宏³ 徐辛欽² 劉益靈¹ 陳熙揚²

(中華民國六十七年一月三十日收件，同年二月二十日修正)

摘 要

本文採用數值預報統計法，由日本氣象廳使用局部地區原始模式所繪之六十三、四年夏季五個月之數值預報圖中，讀取與臺灣附近(21°-27°N; 118°-124°E)雷雨有關之資料或其運算值為預報因子，並以在臺灣觀測之雷達回波為預報目標，求取研究範圍內十六個小區 0000 Z 與 1200 Z 之複迴歸方程。因所用資料之時間過短，且所讀預報因子及預報目標，復限於實際情況，不夠準確，所得 32 個方程，僅十個顯示雷達回波(表示有雷雨)與預報因子間有顯著相關。另以六十五年夏季三個月之資料，對所得公式，加以校驗，亦因全體與樣本數目僅為五與三之比，未獲滿意結果。但對引進新方法與先驅可行性研究而言則均已達成目的。且提供建議，為國內中幅度天氣現象數值預報，預舖良基。

一、前 言

雷雨系統之水平幅度，較綜觀系統之環流幅度小約一至兩個級量(Order of Magnitude)。而現行氣象觀測網尚不够完整以便觀測雷雨幅度範圍內氣象要素之變化，致影響數值預報模式的發展。氣象預報人員祇有憑其經驗，利用綜觀幅度氣象資料，以主觀方法從事雷雨預報。此外由過去觀測資料，利用統計方法研究雷雨，亦僅能推測形成雷雨之概要條件，缺乏預報意味。數年前美國海洋與大氣總署(National Oceanic & Atmospheric Administration 縮寫 NOAA)之技術發展室(Techniques Development Laboratory)首倡數值預報統計法(Model Output Statistics)，簡稱 M.O.S.，以改進此項缺點，使雷雨預報趨向客觀化，使用效果良好。其主要改進為用過去數值預報之資料，以統計方法，求出客觀預報之方程式。預報人員將數值預報之結果作為若干預報因子(Predictors)代入方程式，以求取預報目標

(Predictands)。臺灣夏季雷雨頻繁，因其對人生之影響至鉅，故對雷雨預報加以研究者，頗不乏人，惟仍無應用數值預報統計法者。本計劃旨在引入此項方法，一面在研究中深入瞭解其原理，並熟習其步驟。再則評估該法在臺灣應用之效果，使其立即或經改進應用於臺灣地區雷雨之預報，俾使雷雨預報趨於客觀與準確。

二、數值預報統計法概述

數值預報統計法之預報因子係由24小時數值預報的結果中選出，預報目標則係利用雷達回波。以逐步複迴歸法(Stepwise multiple regression method),(Draper & Smith 1966)導出預報因子與預報目標之關係。根據 Miller (1958), Glahn & Lowry (1972) 等氏之研究，因變數 Y (預報目標) 與自變數 X (預報因子) 間之相關，大體可由一線性方程式表之，即

$$\hat{Y} \equiv a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_kx_k \dots\dots\dots (1)$$

註：1 國立臺灣大學(林永哲為美國聖路易大學教授，本文工作進行前期為臺大客座教授)

2 中央氣象局

3 民航局

式中 \hat{Y} 為 Y 之最佳估計值， a_0 為一常數， a_k 為迴歸係數， k 代表自變數之個數， a_0 與各迴歸係數 a_k 可由 n ($n > k + 1$) 組 $Y - \hat{Y}$ 之值的平方求出，即

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \text{Minimum} \dots \dots \dots (2)$$

選擇最重要因子之原則，係根據變異數遞減 (RV) 之大小而定，通常可由下列公式求出：

$$RV = 1 - \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sigma_y^2} \dots \dots \dots (3)$$

(3)式中的 $\sigma_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$ ，係 Y_i 對

其平均值 \bar{Y} 之變異數 (Variance)， n 為所用資料之總數。由於 RV 本身等於複相關係數 (Multiple correlation coefficient) R

之平方，因此(3)亦可寫成

$$RV \equiv R^2 \dots \dots \dots (4)$$

$y, x_1 \dots x_k$

選擇重要預報因子時用逐步複迴歸法。首先由預報因子中選出與預報目標相關最高者，然後選取相關次高的因子，使合併後(1)式之估計值 \hat{Y} 較僅用一個預報因子時為佳，其結果將使 RV 值增加，亦即增加複相關係數。依此再增選接續之其他因子，直至下一增選出之預報因子，其增加 RV 之值為極微而止。但亦可用(3)式中之殘差均方

$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$ 隨因子增多而遞減極緩時為止。

由上述方法求出之 a_0 與 a_k 之值，構成一複迴歸方程式。預報員以數值預報方法所得有關預報因子之值代入該方程式，即可求得預報目標之數值。

三、資料之獲得及迴歸方程之計算

(一)、研究範圍：本研究的範圍為臺灣及鄰近地區，即 $118^\circ E \sim 124^\circ E$ ， $21^\circ N \sim 27^\circ N$ 所包圍之地區。如附圖一所示。

圖中顯示相隔一個半 (1.5°) 經緯度之網格點，全區共分爲16小區，其編號如圖一所示，小區邊

長各爲 165Km。此外並標示裝置有 WSR-64 型雷達之花蓮站及高雄站和馬公探空站之地理位置。

(二)、數值預報模式：由於中央氣象局之數值天氣預報，尚在發展階段，故不得不採用日本氣象廳 (Japan Meteorological Agency, 簡稱 J. M. A.) 之 6 層局部地區原始模式 (6-level fine-mesh limited area primitive equation model.) (J. M. A. 1974)，其水平網格差距爲 152.4 公里，以日本本島爲中心，模式之範圍爲 $5,600 \times 5,000$ 平方公里，包括本研究涵蓋的地區在內。模式周圍之邊界條件係由另一網格距離爲 304.8 公里之北半球 6 層地轉風模式 (N. H. 6-level quasi-geostrophic model, J. M. A. 1974) 所提供，每小時更新一次，俾能保持內部一致，同時減少邊界誤差對於預測結果之影響，使 6 層局部地區原始模式有較佳之預報結果。6 層局部地區原始模式之垂直劃分如附圖二，水平範圍如附圖三 (J. M. A. 1974)。

模式中已考慮海水表面可感熱與潛熱之交換、海面蒸發、大幅度運動及對流導致凝結所產生之潛熱、冷卻效應，Fickian 型側向擴散及地形影響等，日本氣象廳由該模式結果每日發佈 0000 Z 及 1200 Z 預報各一次。

(三)、預報因子之讀取：

1. 原始資料之讀取：由於日本氣象廳自 1974 年七月開始發佈前節所述數值預報，故本研究僅能使用包括 1974 年 7、8 月及 1975 年 6、7、8 月之數值預報天氣圖，讀取有關之擬用預報因子原始數據，詳如附表一：

附表一 雷雨可能有關之預測因子
Table 1 Possible predictors for thunder-storm forecast

層 次	名 稱	符 號	單 位
地面	降水量	QPF	mm
地面	氣壓	P_s	mb
850mb	溫度	T_{850}	$^\circ C$
850mb	高度	Z_{850}	gpm
700mb	露點差	$T_{700} - T_{D700}$	$^\circ C$
700mb	垂直運動速度	ω_{700}	$10^{-1} \text{mb hr}^{-1}$
500mb	相對渦旋	ξ_{500}	10^{-6}sec^{-1}
500mb	溫度	T_{500}	$^\circ C$
500mb	高度	Z_{500}	gpm

上述各數據均由日本氣象廳印行之預報天氣圖經實物投影機放大後讀取，全區中僅在九個網格點讀取，即附圖一中加○之九點。其餘 16 點由電子計算機以內插法求取，然後以此 5×5 網格點值，求取各小區四角數值平均作為該小區之代表值。

2. 預擬預報因子之讀算：本研究使用之預報因子為：

- X₁ : K指數 = T₈₅₀ + T_{D850} - (T₇₀₀ - T_{D700}) - T₅₀₀
- X₂ : T_{D850} (850mb 之露點溫度)
- X₃ : SI (蕭氏指數) = T₅₀₀ - T*
- X₄ : TTI (全指數) = T₈₅₀ + T_{D850} - 2T₅₀₀
- X₅ : QPF
- X₆ : P_s
- X₇ : T₈₅₀
- X₈ : Z₈₅₀
- X₉ : T₇₀₀ - T_{D700}
- X₁₀ : ω₇₀₀
- X₁₁ : ξ₅₀₀
- X₁₂ : T₅₀₀
- X₁₃ : Z₅₀₀
- X₁₄ : T₈₅₀ - T_{D850}
- X₁₅ : Z₅₀₀ - Z₈₅₀
- X₁₆ : VI (垂直指數) = T₈₅₀ - T₅₀₀
- X₁₇ : CI (交互指數) = T_{D850} - T₅₀₀

以上各因子均屬連續數值，係通常認為與雷雨相關較為密切者，故列為預報因子。其中 T_{D850} 供直接使用者有五次，供間接使用者有一次（求取 T*），然此項數據為日本氣象廳預報圖上所缺少者（參看附表一），不得已改由已知氣象數據導出其與 T_{D850} 之關係式。使用馬公探空資料求得 0000 Z 與 1200 Z 之迴歸方程式（陳氏 1977）為：

$$(T - T_D)_{850(000)} = -156.38 + 0.14P_s + 0.94T_{850} + 0.31(T - T_D)_{700} \dots\dots\dots(5)$$

$$(T - T_D)_{850(120)} = -177.16 + 0.17P_s + 0.71T_{850} + 0.37(T - T_D)_{700} \dots\dots\dots(6)$$

(5)式之複相關係數為 0.72 ；變異數被解釋之百分比為 52.17

(6)式之複相關係數為 0.74 ；變異數被解釋之百分比為 54.66

將各小區之 P_s, T₈₅₀, (T - T_D)₇₀₀ 之平均值代入(5)式或(6)式，即可求得各該時 T₈₅₀ - T_{D850} 之最佳估計值，然後由該值與讀取之 T₈₅₀ 值求取 T_{D850} 之值。至於 T* 則係經由 T_{D850} 之飽和混合比線與經由 T₈₅₀ 之乾絕熱線相交點處沿濕絕熱線上升，與 500mb 等壓面相交處之溫度即為所求之 T*。

(四)、預報目標之判讀：預報目標為實際觀測之雷達回波 (radar echo)，1 至 8 小區讀自高雄雷達回波圖，9 至 16 小區讀自花蓮雷達回波圖。讀取時距包括 0000 Z 或 1200 Z 之前後各六小時，亦即共長 12 小時，在該時區內判讀雷達回波之有 (1.0) 無 (0.0) (Alaka 等 1973, Reap & Foster 1975)。其標準為若某區之回波面積超過該區面積 50 % 者，或連續二圖（約一小時一張回波圖）之回波均在該面積 20 % 以上者，即視為有回波，採用數值 1.0 ；否則視為無回波而用數值 0.0，故預報目標為非連續值。

(五)、預報因子及複迴歸方程之選算：

本研究係採用逐步複迴歸法，先由各預報因子中，選取與預報目標相關最高者，僅用其數值，作臨界值 F 測試，視其顯著與否而定取捨。如取則繼續逐步選擇與預報目標複相關較高之次一因子，且作該預報因子之偏 F 值檢驗，並檢驗前已選入之預報因子是否依然顯著相關，而決定該等因子之留捨。如此繼續選取，直至無預報因子可被選入而止。為求能儘量多選入預報因子，所定之臨界值僅為 0.1 ；並曾以 F=2.2 選算，結果最多只能偶而選入 6 個因子，大多為 2~4 個，甚至無因子被選入，故不能採用為 F 值。逐步複迴歸模式之流程圖如附圖四。

四、各小區複迴歸方程選算結果

在計算複迴歸方程時，我們曾用 F=2.2 或 0.1 已如前述。前者因預報因子選入較少，甚至無因子被選入，不合使用；後者之選入係數及有關數據如附表二。

在附表二中選取因子之個數，係視加選某一因子後殘差均方減少之程度而定。如加選該因子後，殘差均方減少極小或甚至增加則捨棄該因子，而終

止選取。根據附表二可得各小區之迴歸方程式分別為：

$$[P = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_kx_k]_{01Z}^j \dots(7)$$

$$[P = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_kx_k]_{12Z}^j \dots(8)$$

式中 P 為發生雷雨回波之機率。括號外右上角數字 j (j=1, 2, 3, …… 16) 代表小區之編號，右下角之數字表示格林威治時間。

在此須特別說明者，即凡屬有顯著回波發生之日，吾人即可假定該回波所在地區該日有雷雨。美國技術研究發展室即用此假定，臺灣情況亦經花蓮雷達站有多年工作經驗者所認可。

將附表二各預報因子之係數代入 (7) (8) 二式，共可得 32 個迴歸方程式，為權衡各預報因子之重要性及其相關性質，特彙列各預報因子出現順序表如附表三。

表中縱座標為預測因子 X_n ，橫座標為小區編號 B_j 。二者形成之方塊再以自右上至左下之斜線分隔之。左上及右下三角內分別填入 0000 Z 及 1200 Z 該預報因子在該區出現之順序，順序前加 • 者表示該預報因子係數為負，此外加列

- (a)各小區出現預報因子統計，於表上方；
- (b)各預報因子係數正負統計，於表左方；
- (c)各預報因子出現順序統計，於表右方；

由附表三(a)可看出，每一迴歸方程之預報因子數目由 3 至 11 個不等，但以 5 至 8 個為多，佔 78 %，其中尤以 7 個為最多，佔 22 %。

由附表三(b)可看出，除極少情況外，每一預報因子之係數多為正負互見。推測其原因可能各預測因子間，有多重共線性 (Multicollinearity) (郭氏 1976)。加以常數 a_0 亦或正、或負，且數量級相差可達三個級量，而各預報因子之數量，亦有相差甚鉅者。凡此種種，均使原擬以物理觀點解釋相關關係之意圖，未能達成。

由附表三(c)可看出，各預報因子在 32 個方程式中出現達半數以上者，依順序為 QPF, Z_{850} , ξ_{500} , P_s , ω_{700} , $(T-T_D)_{700}$, T_{500} 。其中以 $(T-T_D)_{700}$ 雖僅出現 16 次，但首位出現者達 8 次，尤值注意。

五、各迴歸方程之驗判

各迴歸方程係由 1974 年 7、8 月及 1975 年

6、7、8 月之資料求取，已如前述。為求能驗判本身之正確程度，乃根據各該方程式，將有關之預報因子代入各小區，求得 (7)(8) 式之 P 值，並查對與其關聯之雷達回波圖，有 (1.0) 無 (0.0) 雷達回波？其結果經整理後列為附表四。

原求出之機率，包括小數點後二位數字。為求簡化，小數後之第二位數值在列入附表四之前已予四捨五入。

附表四各小區之數字亦頗參差，為求能易於顯示其關係起見，將之整理為附圖五。(限於篇幅只附四圖)

圖中橫座標為預報機率值，縱座標為百分比，平行於橫座標之虛線為無雷達回波之平均百分比，其上所餘百分比即為有雷達回波之平均百分比。表上方數字顯示每一機率下之總次數，計算並以實線標示各機率下實際無雷達回波之百分比值，其上點線即為有雷達回波之百分比值，由該二種線可顯示在某機率值下，有無雷達回波各自之機率，將二項比值分界點相連接，由該連接線可看出雷達回波隨機率增加之趨勢。如機率值與雷達回波出現之相關良好，該線應自左上斜向右下。超過與平均虛線相交處之機率值，發生雷達回波之機率高於其本身之平均值。在各種機率值下，發生與不發生雷達回波之機率，應為上下向點線長度與實線之比。

附圖五雖可略窺雷達回波隨機率值 (P) 之增大而增多的趨勢，但對各小區之預報因子及預報目標，是否有顯著之複相關，仍難確定。再照下式計算其個別之 F 值 (Panofsky & Brier 1963)：

$$F \equiv \frac{R^2_k}{1-R^2_k} \cdot \frac{n-1-k}{k} \dots\dots\dots (9)$$

並與 5 % 及 1 % 之 F 界值加以比較，其結果如附表五所示。

由附表五得結果如下：

超過 1 % F 界值之小區和時間分別為

第一小區	1200 Z
第十小區	1200 Z
第十三小區	0000 Z
	1200 Z

超過 5 % F 界值之小區和時間分別為

第一小區	0000 Z
第三小區	1200 Z
第四小區	0000 Z

第 四 小 區	1200 Z	第十四小區	0000 Z
第 八 小 區	0000 Z	上述有顯著複相關者共十個方程式，為：	

$$[P = 179.875 - 0.532X_{12} - 0.165X_6 - 0.013X_{11} + 0.029X_{13} + 0.010X_{10} - 0.032X_{15} - 0.026X_8 - 0.161X_9 - 0.404X_{17}]^{1_{12Z}} \dots\dots\dots (10)$$

$$[P = 548.31 - 1.602X_9 - 1.348X_7 + 0.013X_{15} + 4.927X_{16} - 0.016X_{13} + 4.821X_3 - 0.602X_6]^{10_{12Z}} \dots\dots\dots (11)$$

$$[P = 38.195 - 0.241X_9 - 0.645X_2 - 0.007X_8 - 0.005X_{10} = 0.004X_{15} + 0.091X_7 + 0.072X_5]^{13_{00Z}} \dots\dots\dots (12)$$

$$[P = - 81.497 + 0.133X_5 - 0.008X_{10} + 0.540X_7 - 0.006X_{11} + 0.003X_{15} + 1.323X_3 + 1.310X_7 + 0.031X_6 + 0.047X_9]^{13_{12Z}} \dots\dots\dots (13)$$

$$[P = 618.25 + 0.028X_{11} - 1.451X_9 - 4.129X_{17} - 0.55X_6 - 4.129X_{12}]^{1_{00Z}} \dots\dots\dots (14)$$

$$[P = 35.574 - 0.442X_2 - 0.005X_{11} + 0.054X_5 - 1.539X_3 - 0.752X_4 + 0.001X_{15} + 0.002X_{10}]^{3_{12Z}} \dots\dots\dots (15)$$

$$[P = 0.731 + 0.289X_5 + 0.030X_{12} + 0.053X_1 - 0.001X_8 + 0.044X_3 + 0.001X_{11}]^{4_{00Z}} \dots\dots\dots (16)$$

$$[P = 34.561 + 23.244X_2 - 0.210X_5 - 0.047X_1 - 22.966X_7 + 0.008X_8 - 0.008X_{13} + 22.932X_{14}]^{4_{12Z}} \dots\dots\dots (17)$$

$$[P = 27.296 - 0.142X_9 - 0.119X_8 - 0.274X_6 - 0.004X_{14} - 0.180X_7]^{8_{00Z}} \dots\dots\dots (18)$$

$$[P = - 29.42 + 0.081X_{17} + 0.048X_6 - 0.02X_9 - 0.003X_{13} - 0.005X_{10} + 0.003X_{11} - 0.001X_8]^{14_{00Z}} \dots\dots\dots (19)$$

由附圖五各有關圖裏，仍難看出其相關之特點為何。茲再根據附表四有關數字繪製「機率及其累積百分頻率圖」如附圖六。各小圖中縱座標為百分比，以全部天數（152天）為100%。橫座標為機率值P，每一小圖中包括三條曲線，即：

- 曲線 1：根據預測各種機率出現次數（包括 0.0 及 1.0）之累積百分比，以粗實線表之。
- 曲線 2：各種機率下實際無回波出現次數（0.0）佔全部次數累積百分比，以細實線表之。
- 曲線 3：各種機率下實際有回波出現次數（1.0）佔全部次數累積百分比，以點線表示之。

此外曲線 2, 3 各分別以 O, X 及口標示其下四分位（25%），中位（50%）和上四分位（75%）之位置，以略示各曲線之特性。

各圖同一機率值時，曲線 3 與橫座標間之距離一定等於曲線 1 與曲線 2 間之距離。

上述超過 5% F界值各圖可約略歸納成三種形式為(1)機率值 P=0.0 時，總次數不多(10%以下)，曲線 1 及 2 則快速隨機率值之增加而增高，其後曲線 3 有較大之增加率，包括附圖 6 c 至 g 和 j 等

圖。(2)機率值 P=0.0 時，曲線 1 和曲線 2 均有較高之百分比值（20~30%），二者隨機率值增高而急增，但相差不多，其後曲線 3 亦有較大之增加率，如附圖 6 b 及 i。(3)機率值 P=0.0 時曲線 1 及 2 有更高之百分比值（40~50%），曲線 1 和 2 間之百分比差漸增如圖 6 的 a 和 h。綜合而言，曲線 1 和 2 間之差值，隨機率值之增高增加愈多，愈有較顯著之複相關。若曲線 2、3 大部重疊，或隨機率增加之斜率相近時，相關則較小，如附圖 7。

六、迴歸方程式之校驗

使用上(五)節同樣的方法，讀取 1976 年 6、7、8 月之預報因子資料，並查看有無雷達回波，求得類似附表四之 1976 年 6、7、8 月雷達回波與其機率值（P）統計表如附表六。

自附表六中將有顯著相關之 10 區時的資料照附圖五、附圖六之方法，分別繪製「各種機率下有無雷達回波之百分比」（見附圖五之右側）及「機率與有無雷達回波累積百分比頻率圖」（圖未刊出）。將之與同區時之附圖五及附圖六，詳加比

較，頗難找出原始資料所具完美關係之跡象。換言之，用 1974 年 7、8 月與 1975 年 6、7、8 月之有限原始（不獨立）資料所求得之迴歸方程式(10)至(19)，如再以 1976 年 6、7、8 月之獨立資料代入有關方程加以校驗時，其成績頗難滿意。

七、檢討與建議

(一)、檢討：本研究係初次自國外引進，主旨為深入瞭解其內涵及熟悉其進行步驟與方法。自資料讀取，程式研擬及複迴歸方程計算等，中間雖小有困難，但均經克服，大體上可謂進行順利。其次為驗證其在臺灣地區之可用性，由第六節中可知校驗效果並不理想，但此並非意味該種方法不能應用於臺灣地區。該項校驗欠佳，至少有下列原因：

1. 研究所使用之日本氣象廳 6 層局部地區原始模式之預報準確度，直接影響複迴歸方程之正確程度，該模式之預報以日本附近為最佳，愈接近邊界，其可靠性愈形減低，臺灣及其鄰近地區即位於邊界附近。

2. 預報因子及預報目標係人為讀取，似尚欠精確，茲分述如下：

(1) 預報因子係自日本氣象廳發佈之預報天氣圖讀取，即將各圖放大照射於有網格之研究區域內，讀取九個點上之數值（參閱附圖一），此項由圖中等值線以內插法讀取之數值，與實際值當有出入，再經內插法求得其餘 16 點之值，自更難與實際值相符合。

(2) 850 mb 露點溫度，係利用 (5) (6) 二式，以地面氣壓，850 mb 氣溫與 750 mb 溫度露點差求得，自不能與真實值完全一樣。

(3) 預報目標讀取，以 0.0 及 1.0 值之兩分法（binary）劃分雷達回波之標準，殊難認定，照本研究所用標準（參閱三、四節）讀取，取捨恐難盡允當。

3. 資料時間過短：本研究因限於資料起始於 1974 年 7 月，故僅能用五個夏季月 152 天之資料以計算各小區之複迴歸方程式，以如此短暫之時期，殊難符合統計學上取樣（Sampling）之要求，

此在附圖五中已可明顯看出，各種機率值出現之次數（圖上方加註之次數），有甚多為一次或有零次者，故圖五曲線有過於曲折者。此外，由 1976 年夏季三個月之資料以檢驗 1974、1975 年夏季五個月所求得之複迴歸方程式，獨立與不獨立（dependent & independent）資料之次數比例甚不恰當，尤以六月份二者都各為一個月為甚，難怪校驗結果不佳。此點必須假以時日，增加資料樣本，始能改善。

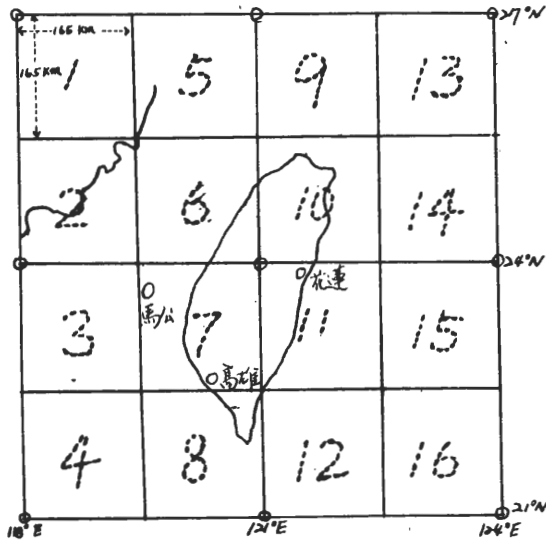
(二)、建議：天氣預報方式，勢必採用客觀數值天氣預報。故國內應加速數值天氣預報之發展，以使天氣預報更臻客觀與科學化。

本究研校驗雖不理想，但屬意料中事，其原因已如前述。然而此法仍屬中小幅度天氣預報最佳方法之一。在我國數值天氣預報效果未彰前，仍應使用日本氣象廳數值模式，惟應設法自該廳索取各網格點有關之預報因子數值。如能取得 850 mb 露點溫度更佳。如有困難，則將現有網格點改變為該廳 6 層局部地區原始模式相同之網格點。此外，花蓮、高雄二雷達站，利用視頻積分處理器（V. I. P）析像，使預報目標（雷達回波）有一定之標準，以減少人為誤差。俟改進後加長資料時間，以業已熟練之現法，另求取複迴歸方程式。

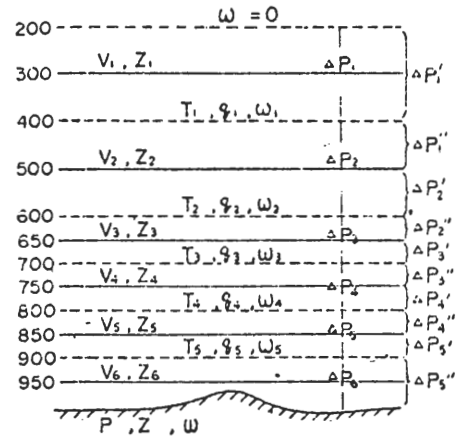
國內開始數值預報作業時，應研究近地層模式，考慮將 850 mb 之露點溫度（ T_{D850} ），定為預報要素之一。俟數值預報效果良好之後，即利用本國數值預報模式，求取複迴歸方程式，但應採用數值預報所定之同樣網格點，以求省時、省事並能增加輸入值之正確度。

八、結 論

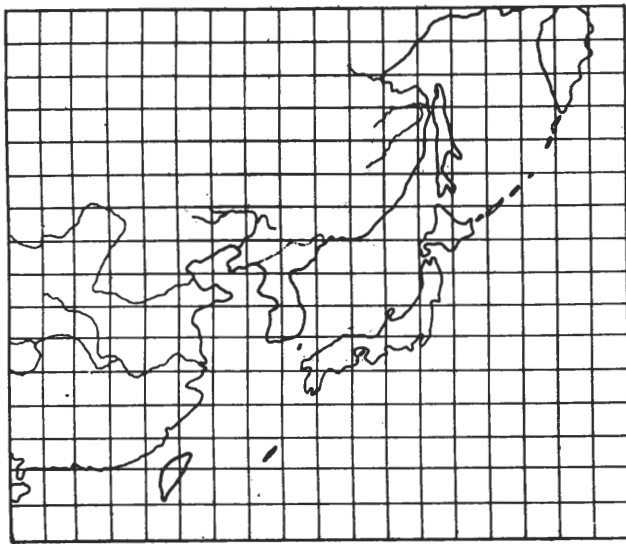
本研究採用 MOS 方法，以日本氣象廳 6 層局部地區原始模式求取之資料中與臺灣附近雷雨有關之要素為預報因子，計算其與預報目標雷達回波之複迴歸方程。16 小區分 0000 Z 與 1200 Z 共求得 32 個方程式，其中十個具有統計顯著性復相關，其何以相關較高亦加以分析。因所用記錄僅二年中之 5 個夏季月，致與接續一年之三個月記錄，校驗不如理想。惟參與人員於此種引進方法已能詳悉熟練，且對研究不理想原因多方分析檢討，提供改進意見，為今後實施中小幅度天氣預報之先驅。一俟資料隨年代增加後，當可更增進其應用價值。



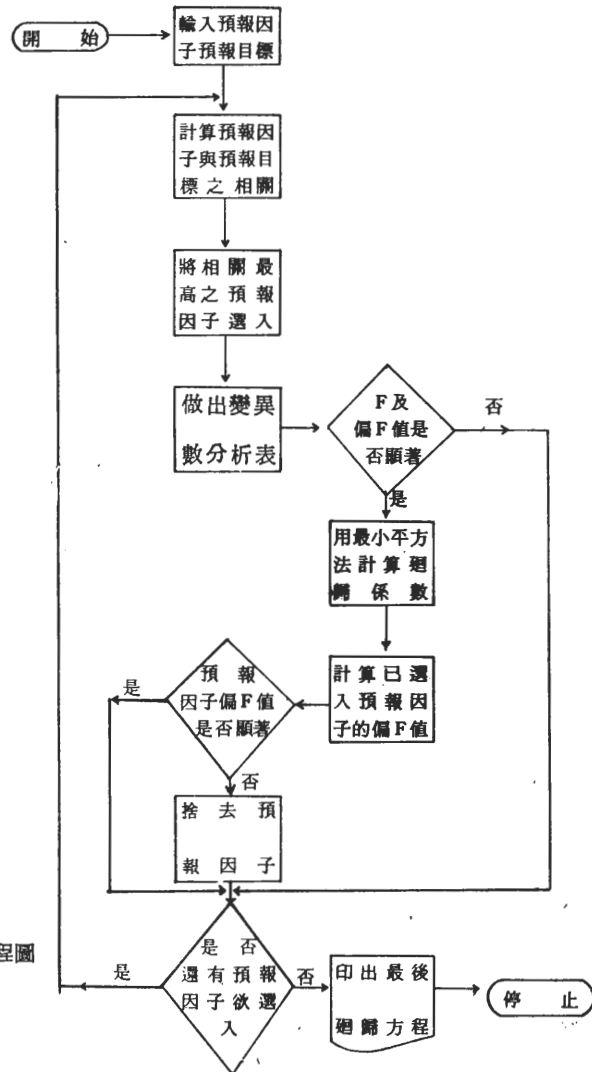
附圖一 研究範圍
Fig. 1 Domain of research



附圖二 垂直結構
Fig. 2 Vertical structure



附圖三 水平網格
Fig. 3 Horizontal grid structure



附圖四 逐步複迴歸模式的流程圖
Fig. 4. Flow chart

附表二 (A) 計算所得之迴歸係數及有關資料 (0000Z, F=0.1)
Table 2A Multiple regression coefficients

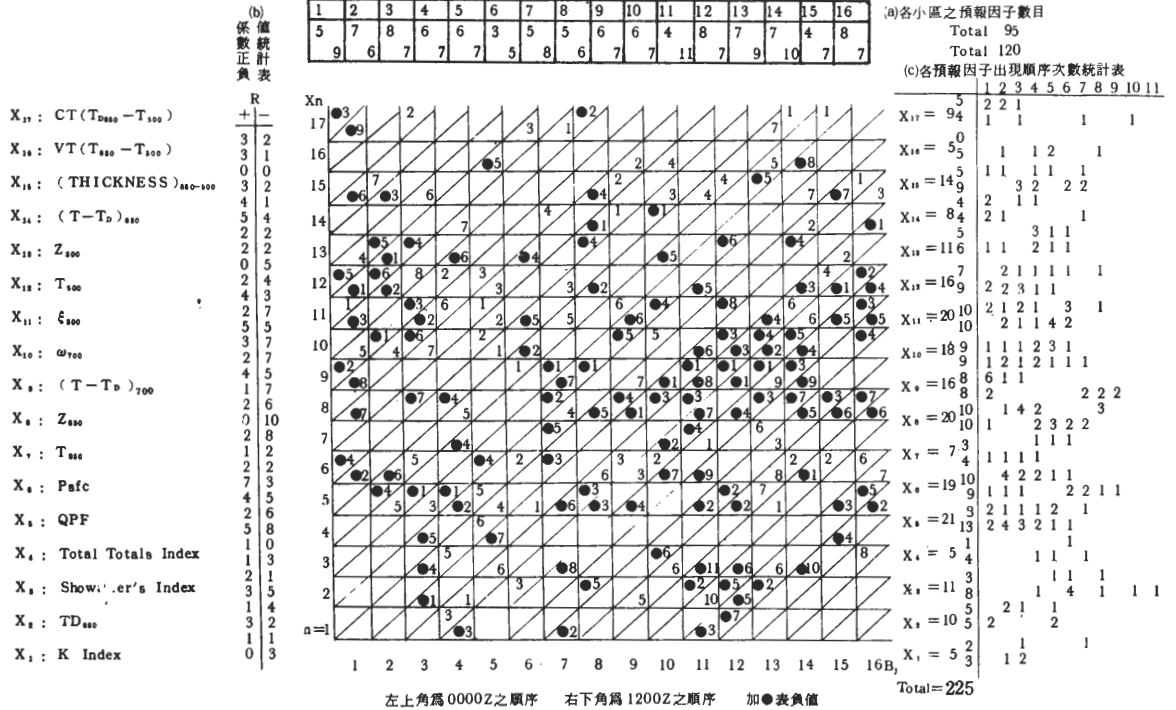
Box. No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
複相關係數	0.42	0.27	0.37	0.38	0.28	0.32	0.21	0.41	0.21	0.34	0.35	0.31	0.48	0.43	0.30	0.26	
常數項 a_0	616.25	5.073	-34.02	0.731	1.053	-1385.204	151.404	27.296	-10.360	-30.323	6.627	-3.387	38.195	-29.42	-41.817	-22.104	
迴歸係數及出現順序	1	$a_{11}=0.028$ $a_{12}=-0.007$	$a_{13}=-0.183$ $a_{14}=0.289$	$a_{15}=0.001$ $a_{16}=3.370$	$a_{17}=-0.483$ $a_{18}=-0.142$	$a_{19}=0.024$ $a_{20}=-0.105$	$a_{21}=-0.117$ $a_{22}=-0.110$	$a_{23}=-0.241$ $a_{24}=-0.110$	$a_{25}=-0.081$ $a_{26}=0.081$	$a_{27}=-0.099$ $a_{28}=0.099$	$a_{29}=0.005$ $a_{30}=0.005$						
	2	$a_{31}=-1.451$ $a_{32}=-0.007$	$a_{33}=0.150$ $a_{34}=0.030$	$a_{35}=0.002$ $a_{36}=1.223$	$a_{37}=-0.003$ $a_{38}=0.119$	$a_{39}=0.0005$ $a_{40}=0.035$	$a_{41}=-0.205$ $a_{42}=-0.386$	$a_{43}=-0.645$ $a_{44}=0.048$	$a_{45}=0.046$ $a_{46}=0.046$	$a_{47}=-0.050$ $a_{48}=-0.050$							
	3	$a_{49}=-4.129$ $a_{50}=-0.070$	$a_{51}=-0.006$ $a_{52}=0.053$	$a_{53}=0.006$ $a_{54}=0.006$	$a_{55}=-0.127$ $a_{56}=-0.274$	$a_{57}=0.010$ $a_{58}=-0.002$	$a_{59}=-0.002$ $a_{60}=-0.002$	$a_{61}=-0.015$ $a_{62}=-0.007$	$a_{63}=-0.025$ $a_{64}=-0.004$	$a_{65}=-0.004$ $a_{66}=-0.006$							
	4	$a_{67}=-0.550$ $a_{68}=-0.095$	$a_{69}=-0.002$ $a_{70}=-0.001$	$a_{71}=-0.001$ $a_{72}=-0.001$	$a_{73}=1.360$ $a_{74}=-0.004$	$a_{75}=-0.001$ $a_{76}=-0.002$	$a_{77}=-0.029$ $a_{78}=0.004$	$a_{79}=-0.005$ $a_{80}=-0.003$	$a_{81}=-0.003$ $a_{82}=0.030$	$a_{83}=-0.005$ $a_{84}=-0.005$							
	5	$a_{85}=-4.129$ $a_{86}=-0.001$	$a_{87}=0.046$ $a_{88}=0.044$	$a_{89}=0.006$ $a_{90}=0.006$	$a_{91}=-1.207$ $a_{92}=-0.180$	$a_{93}=-0.001$ $a_{94}=0.002$	$a_{95}=-0.135$ $a_{96}=-0.004$	$a_{97}=-0.005$ $a_{98}=-0.005$	$a_{99}=-0.001$ $a_{100}=0.003$	$a_{101}=-0.001$ $a_{102}=0.003$							
	6	$a_{103}=0.001$ $a_{104}=-0.002$	$a_{105}=-0.003$ $a_{106}=0.001$	$a_{107}=0.001$ $a_{108}=0.002$			$a_{109}=0.001$ $a_{110}=-0.011$	$a_{111}=-0.002$ $a_{112}=0.091$	$a_{113}=0.003$ $a_{114}=-0.001$	$a_{115}=-0.001$ $a_{116}=0.003$							
	7		$a_{117}=0.001$ $a_{118}=-0.002$								$a_{119}=-0.022$ $a_{120}=0.072$	$a_{121}=0.072$ $a_{122}=-0.001$					
	8			$a_{123}=0.182$									$a_{125}=-0.003$				$a_{126}=0.013$
	9																
	10																
	11																
	12																
變異數被解釋之百分比	17.27	7.21	13.7	14.33	7.75	10.52	4.37	16.58	4.38	11.50	12.04	9.55	22.65	18.58	9.12	6.66	
殘差的標準差	0.27	0.40	0.45	0.46	0.08	0.36	0.49	0.46	0.16	0.46	0.47	0.49	0.35	0.45	0.46	0.34	
標準誤差佔Y值的百分比	303.89	195.53	198.85	122.34	1208.34	211.04	81.70	80.55	608.99	133.57	118.09	111.93	190.16	119.68	136.42	247.78	

附表二 (B) 計算所得之迴歸係數及有關資料 (1200Z, F=0.1)
Table 2B Multiple regression coefficients

Box. No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
複相關係數	0.54	0.27	0.38	0.41	0.35	0.27	0.26	0.34	0.20	0.48	0.40	0.33	0.50	0.39	0.32	0.24	
常數項 a_0	179.875	38.929	35.574	34.561	-3.160	3.596	5.245	0.827	-13.233	548.31	886.626	50.158	-81.497	42.453	38.427	-8.917	
迴歸係數及出現順序	1	$a_{11}=-0.532$ $a_{12}=-2.002$	$a_{13}=-0.442$ $a_{14}=23.244$	$a_{15}=0.003$ $a_{16}=0.121$	$a_{17}=0.194$ $a_{18}=0.117$	$a_{19}=-0.002$ $a_{20}=-1.602$	$a_{21}=16.487$ $a_{22}=-0.080$	$a_{23}=0.133$ $a_{24}=-0.027$	$a_{25}=-0.148$ $a_{26}=-0.148$	$a_{27}=-0.044$ $a_{28}=-0.044$							
	2	$a_{29}=-0.165$ $a_{30}=-0.039$	$a_{31}=-0.005$ $a_{32}=0.210$	$a_{33}=0.002$ $a_{34}=0.006$	$a_{35}=-0.254$ $a_{36}=-0.050$	$a_{37}=0.008$ $a_{38}=-1.348$	$a_{39}=-0.274$ $a_{40}=-0.330$	$a_{41}=-0.008$ $a_{42}=0.822$	$a_{43}=0.040$ $a_{44}=-0.078$								
	3	$a_{45}=-0.013$ $a_{46}=-0.003$	$a_{47}=0.054$ $a_{48}=-0.047$	$a_{49}=0.051$ $a_{50}=0.018$	$a_{51}=0.018$ $a_{52}=0.172$	$a_{53}=0.192$ $a_{54}=0.015$	$a_{55}=0.013$ $a_{56}=-16.474$	$a_{57}=-0.013$ $a_{58}=0.540$	$a_{59}=-0.586$ $a_{60}=-0.090$	$a_{61}=0.003$ $a_{62}=0.003$							
	4	$a_{63}=-0.029$ $a_{64}=0.004$	$a_{65}=-1.539$ $a_{66}=-22.966$	$a_{67}=0.017$ $a_{68}=0.001$	$a_{69}=0.002$ $a_{70}=-0.003$	$a_{71}=-0.017$ $a_{72}=4.927$	$a_{73}=0.002$ $a_{74}=-0.003$	$a_{75}=-0.003$ $a_{76}=0.006$	$a_{77}=-0.008$ $a_{78}=-0.008$	$a_{79}=-0.034$ $a_{80}=-0.028$							
	5	$a_{81}=-0.010$ $a_{82}=0.062$	$a_{83}=-0.752$ $a_{84}=0.008$	$a_{85}=-0.017$ $a_{86}=0.002$	$a_{87}=0.002$ $a_{88}=0.002$	$a_{89}=-0.003$ $a_{90}=0.029$	$a_{91}=-0.015$ $a_{92}=-13.832$	$a_{93}=-0.788$ $a_{94}=0.003$	$a_{95}=-0.003$ $a_{96}=-0.002$	$a_{97}=-0.002$ $a_{98}=-0.005$							
	6	$a_{99}=-0.032$ $a_{100}=-0.015$	$a_{101}=-0.001$ $a_{102}=-0.008$	$a_{103}=-0.034$ $a_{104}=-0.034$	$a_{105}=-0.034$ $a_{106}=0.016$	$a_{107}=0.001$ $a_{108}=4.821$	$a_{109}=0.004$ $a_{110}=-1.530$	$a_{111}=1.323$ $a_{112}=0.005$	$a_{113}=-0.045$ $a_{114}=-0.045$	$a_{115}=-0.006$ $a_{116}=-0.006$							
	7	$a_{117}=-0.026$ $a_{118}=0.002$	$a_{119}=22.932$ $a_{120}=0.094$	$a_{121}=-0.180$ $a_{122}=-0.335$			$a_{123}=-0.007$ $a_{124}=-0.754$	$a_{125}=1.310$ $a_{126}=0.002$	$a_{127}=-0.046$ $a_{128}=0.006$								
	8	$a_{129}=-0.161$							$a_{129}=-18.272$ $a_{130}=0.031$								
	9	$a_{131}=-0.404$							$a_{131}=-0.752$ $a_{132}=0.047$								
	10								$a_{133}=9.239$								
	11								$a_{135}=-2.744$								
	12																
變異數被解釋之百分比	28.64	7.29	14.77	16.29	12.03	7.38	6.64	11.45	3.93	22.91	15.77	10.94	24.54	14.95	10.43	5.52	
殘差的標準差	0.32	0.38	0.43	0.43	0.08	0.37	0.49	0.48	0.16	0.44	0.46	0.47	0.30	0.45	0.44	0.31	
標準誤差佔Y值的百分比	196.98	207.46	146.26	144.43	1184.14	216.18	87.27	85.54	612.53	118.11	121.74	128.76	237.78	134.75	152.34	291.10	

附表三 各小區預報因子出現順序表

Table 3 Sequence of predictors in various subregions



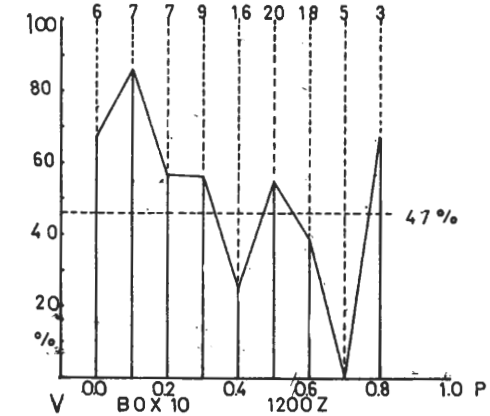
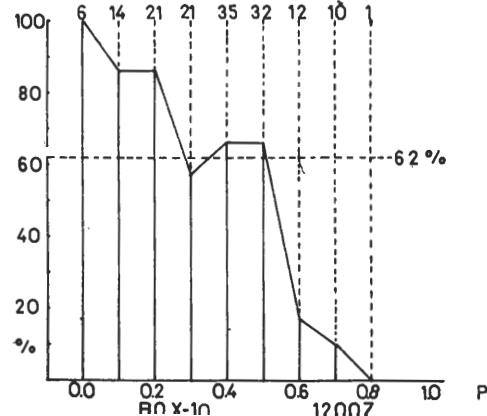
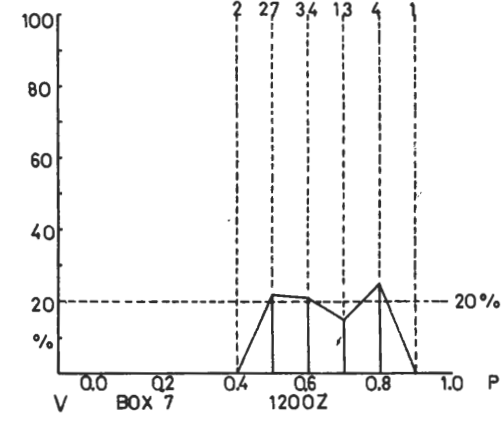
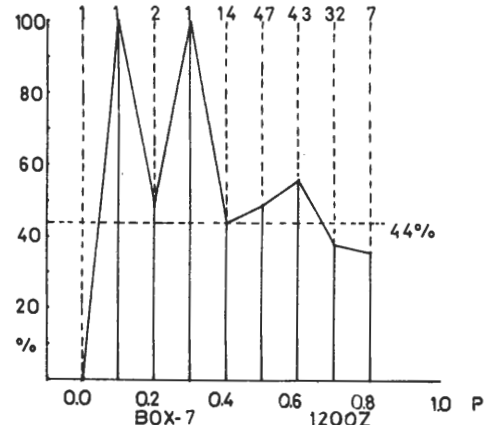
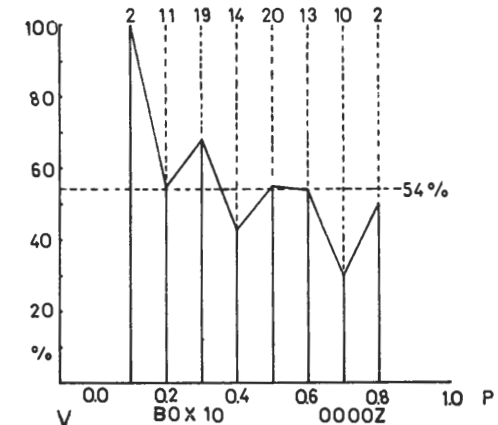
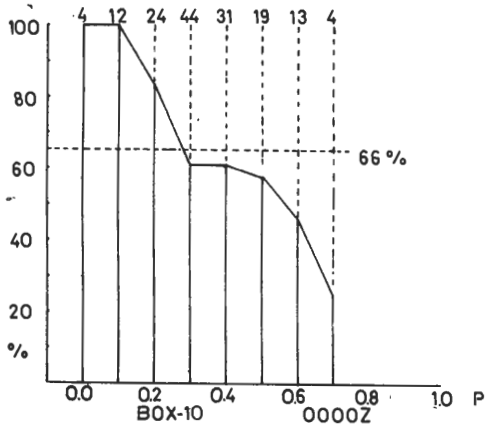
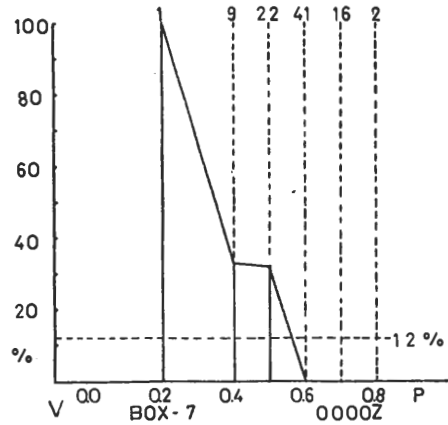
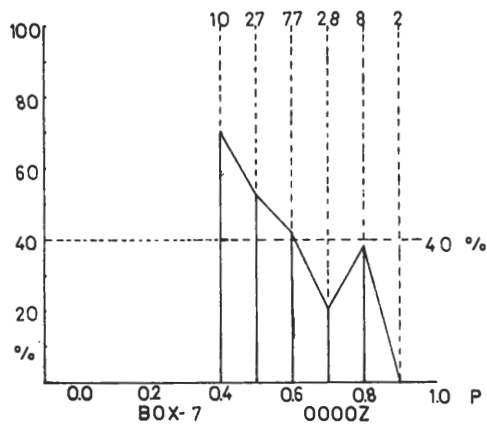
附表四 雷達回波及其機率(P)統計

Table 4 Radar echoes and probability

TIME	Probability	Box. No.																															
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16	
		echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo		
0.0	4	67	7	9	2	4	144	10	52	1	2	1	110	4	1	5	34	49	11	62	13	2											
0.1	2	12	6	31	2	9	3	8	1	7	3			1	2	3	38	12	5	5	1	2	13	7	2	15	5	19					
0.2	1	15	8	49	5	23	6	13			1	7		5			4	20	1	11	9	6	1	6	2	17	4	17	13	55			
0.3	1	3	14	29	10	27	11	27			2	4		4	8			17	27	8	22	4	11	3	10	7	19	11	27	3	47		
0.4	3	8	1	4	15	23	20	19			1	4	3	7	6	10		12	19	19	20	4	6	2	11	10	13	16	23	9			
0.5	5	1	1	8	9	12	14				5	13	14	16	14			8	11	14	20	1	1	3	19	13	10	14	1				
0.6	8	1	5	2	4	4					1	3	45	32	21	12		7	6	10	7	2	3	2	7	12	9	6	3				
0.7	4		2	1	5						2	5	22	6	20	8		3	1	6	2	2	3	3	3	6	2	1	1				
0.8	1	6		1							1	8	5	3	9	2		1	1		2	4	1	2	1	2							
0.9	1	2		1							6	2	4	2							1	2	1	2									
1.0	1	8									7	30		5							2	1	1	5									
Total	14	198	31	121	39	113	58	94	1	151	25	127	90	62	87	65	4	148	52	100	60	92	66	86	28	124	57	95	60	92	21	131	
%	9	91	20	80	26	74	38	62	1	99	16	84	60	40	57	43	3	97	34	66	39	61	43	57	18	82	38	62	39	61	14	86	
0.0	1	39	15	11	1	9	138	6	1		1	1	110	6	4	13	1	4	1	42													
0.1	1	35	4	34	1	19	1	16	1	13	17	53		1	1	1	3	38	2	12	3	2	4	44	1	12	2	19	7	66			
0.2	2	26	10	46	7	23	7	15			65	1	1				3	18	6	12	10	13	5	31	5	18	8	32	4	42			
0.3	5	14	12	25	10	23	8	28			4	6	1	8			9	12	6	13	16	19	3	10	7	28	11	26	3				
0.4	4	5	2	4	11	15	10	12			1	1	8	23	11	10		12	23	10	13	20	45	3	5	15	20	11	20				
0.5	10	6		7	14	8	21				1	24	24	14	21			11	21	4	7	5	14	1	1	13	12	9	9				
0.6	2		5	1	7	6					1	1	19	9	21	14		10	2	6	11					7	2	3	1				
0.7	1		3	1	2	1					1	23	2	22	9			9	1	7	8				1	1	3						
0.8	1		1									9		13						7	3				1								
0.9													3	2							2	1											
1.0																					3	1											
Total	24	128	28	124	45	107	44	108	1	151	26	126	85	67	86	66	4	148	57	95	38	94	55	97	19	133	50	102	44	108	16	136	
%	16	84	18	82	30	70	29	71	1	99	17	83	56	44	57	43	3	97	38	62	38	62	36	64	13	87	33	67	29	71	11	89	

附圖五 各種機率下有無雷達回波之百分比

Fig. 5 Percent of having or no radar echoes under various probabilities



附表五 各小區 F 值與 F 界值比較表
Table 5 Comparison between F values and significant level values

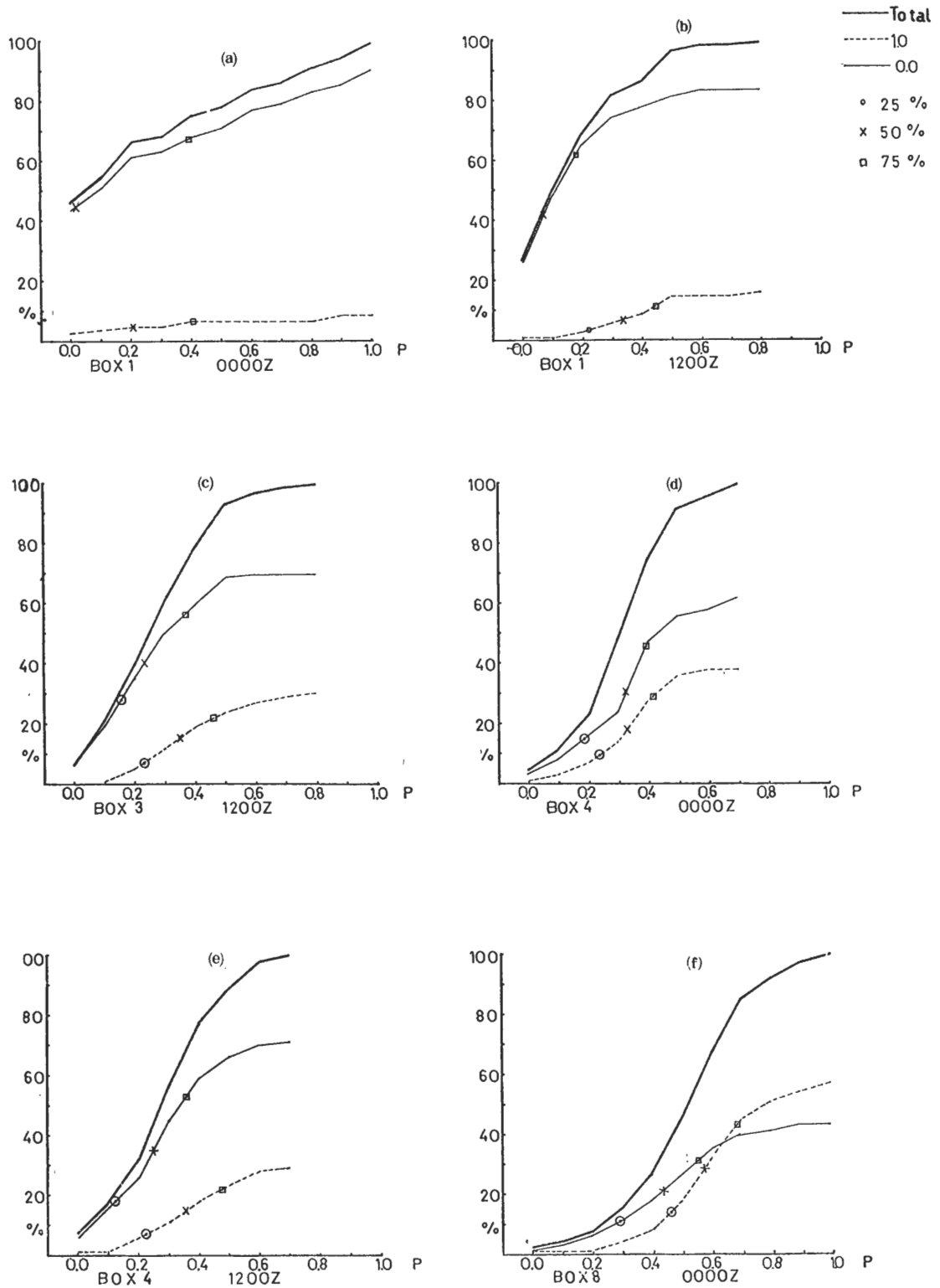
Zone	Time	K	F	5%F	1%F
1	00Z	5	5.98	> 4.39	9.10
1	12Z	9	6.44	> 2.74	> 4.39
2	00Z	7	1.55	3.26	5.72
2	12Z	6	1.82	3.70	6.97
3	00Z	8	2.91	~ 2.97	4.93
3	12Z	7	3.63	> 3.26	5.72
4	00Z	6	3.93	> 3.70	6.97
4	12Z	7	3.92	> 3.26	5.72
5	00Z	6	2.10	3.70	6.97
5	12Z	7	2.82	3.26	5.72
6	00Z	3	5.48	8.55	26.20
6	12Z	5	3.36	4.39	9.10
7	00Z	5	1.21	4.39	9.10
7	12Z	8	1.35	2.97	4.93
8	00Z	5	5.78	> 4.39	9.10
8	12Z	6	3.04	3.70	6.97
9	00Z	6	1.01	3.70	6.97
9	12Z	7	0.86	3.26	5.72
10	00Z	6	3.30	3.70	6.97
10	12Z	7	6.14	> 3.26	> 5.72
11	00Z	4	5.01	~ 5.65	13.55
11	12Z	11	2.42	~ 2.44	3.68
12	00Z	8	1.99	2.97	4.93
12	12Z	7	2.54	3.26	5.72
13	00Z	7	6.14	> 3.26	> 5.72
13	12Z	9	5.26	> 2.74	> 4.39
14	00Z	7	4.83	> 3.26	5.72
14	12Z	10	2.45	~ 2.57	3.98
15	00Z	4	3.63	5.65	13.55
15	12Z	7	2.09	3.26	5.72
16	00Z	8	1.35	2.97	4.93
16	12Z	7	1.31	3.26	5.72

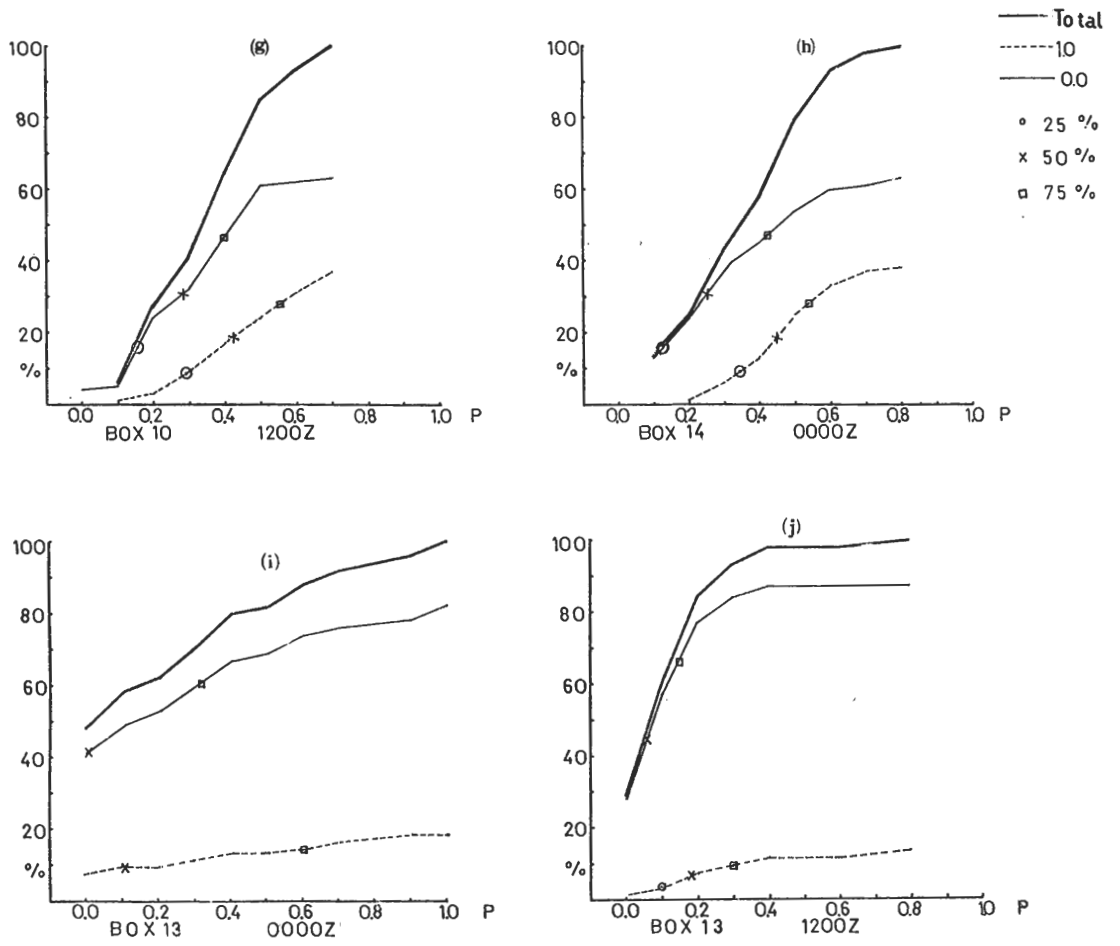
附表六 1976 年 6, 7, 8 月雷達回波與其機率值 (P) (Verification)
Table 6 Radar echoes and its probability in June, July and August, 1976

TIME	All echo	Box. No.																																	
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16			
		echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo	echo	no-echo		
0000Z	0.0	10	32	8	6	12	4	3	8	88	26	23		2	17	43		2	2	2	3	5	12	3	3					7	6				
	0.1	2	3	12	10	1	1	12		3	1						2	28													3	10	21		
	0.2	1	4	8	13	6	4	2	9			2			1	5					1	5	6	3	3	3	2	9	18	3	2	3	7	14	21
	0.3	2	3	8	16	24			6	8			2			4					6	13	9	3	8	10	4	6	8	2	14	9	6	1	
	0.4	1	2	5	9	15	6	13	8			1	6	3	6					8	6	14	5	16	7	5	5	19	2	22	6	2	1		
	0.5	4	2	1	2	1	6	7					2	15	7	10				9	11	17	8	16	5	1	2	8	2	14	4	1	1		
	0.6	2				5	4	2			1	2	4	12						6	7	11	4	7	3	2	12	7	4	1					
	0.7	2				1		1	1				3	16	13					7	3	5	1	1	2	1	1	5	1	1					
	0.8	6										2	1	2	6					1	1	1		1	1	1	1	1	1			1			
	0.9	6										2	2																1	1					
	1.0	14										5	16																2						
Total	14	77	34	57	70	21	36	55	0	91	39	52	80	11	61			19	72	42	49	63	28	35	36	39	52	65	26	60	31	40	51		
%	15	85	37	63	77	23	40	60	0	100	43	57	88	12	67			21	79	46	44	69	31	60	40	43	57	71	29	66	34	44	56		
1200Z	0.0	4	24	6	4	4	4	9	18	3	70	1	1		10	4	11	70	2	4	18	9	17		3	13	1	2	12	1	17	16			
	0.1		23	8	28	10	5	2	5		11	18	6			1	1	9	1	6	8		2	2	4	18	4	2	6	3	13	19			
	0.2	3	15	7	20	9	6	4	11		7	22	9			2		3	4	3	2	2	2	7	8	7	6	10	12	10	13				
	0.3	9	7	7	13	6	8	8			8	4				3	9		4	5	5	2	15	5	5	7	9	3	15	6	2	1			
	0.4	1	3	2		13	3	10	3		2	1	2	1	3				12	4	9	2	13	6		5	17	3	10	4					
	0.5		5	1	1	4	7	6	3		3		29	8	3	6			9	11	8	4	15	6	2	2	10	5	4	2					
	0.6					4		1	1				27	7	11	5			11	7	3	3	5	1	2	13	2	1			2	1			
	0.7	2				3							11	2	8	4			5		3	1						5	3						
	0.8	2						1	1				3	1	12	3			1	2	3								1						
	0.9												1		5	1							4	1					3						
	1.0											10	6											3											
Total	8	83	31	60	60	31	41	50	3	88	64	27	73	18	53	38	12	79	48	43	67	24	69	22	29	62	64	27	62	29	42	49			
%	9	91	34	66	66	34	45	55	3	97	70	30	80	20	58	42	13	87	53	47	74	26	76	24	32	68	70	30	68	32	46	54			

附圖六 各種機率下有無雷達回波之百分比

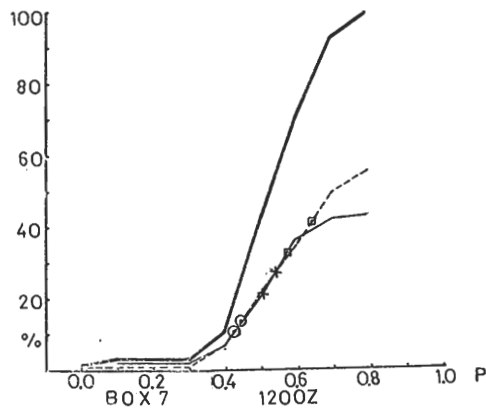
Fig 6 Percent of having or no radar echoes under various probabilities





附圖七 各種機率下無雷達回波之百分比

Fig. 7 Percent of having or no radar echoes under various probabilities



誌謝

本研究係由國家科學委員會所資助，研究編號為 NSC-66M-202-01 (03)。特致誠摯之謝意。

參考文獻

- Alaka, M. A., et al., 1973: Objective techniques for forecasting thunder-storms & severe weather. *Final Rep. to FAA, Rep No. FAA-RD-73-117, Grant No. FA67 WAI-131 97 rp.*
- Draper, N. R. & H. Smith 1966: *Applied Regression Analysis*. Page 169~172.
- Glahn, H. R., & D. A. Lowry 1972: The use of Model Output Statistics (MOS) in objective weather forecasting. *J. Appl. Meteor.* 11, 1203~1211.
- Japan Meteor. Agency 1974: Outline of operational numerical weather prediction at Japan Meteor. Agency.
- Miller, R. G. 1959: The screening procedure studies in statistical weather prediction. *Final Rep. Contract AF19 (604)-1590, The Travelers Research Center. Inc. Hartford Conn. Page 86~95.*
- Panofsky H. A. and G. W. Brier, 1965: *Some Applications of Statistics to Meteorology*. The Penn. State Univ. pp. 224.
- Reap, R. M., 1972: An operational three-dimensional trajectory model. *J. Appl. Meteor.* 1193~1202.
- Reap, R. M., & D. S. Foster 1975: New operational thunderstorms & severe storm probability forecasts based on Model Output Statistics (MOS) *Proc. 9th Conf. on Severe Local Storm*. Amer. Meteor. Soc., Page 53~63.
- 林永哲 1976: 臺灣及鄰近地區雷陣雨客觀預報方法簡介。科學發展, 4卷11期, 52。
- 林永哲 1977: 預報臺灣及鄰近地區雷陣雨發生之可行方法。科學發展, 5卷2期, 132~137。
- 陳熙揚 1977: 運用數值預報統計法預測臺灣西南部夏季雨量之研究。氣象學報 24卷第1期。
- 郭明哲 1976: 預測方法——理論與實例。中興管理顧問公司, P. 26。

A Possible Method (M. O. S.) of Forecasting General Thunderstorm Situation in Taiwan and its Vicinity

ABSTRACT

Method of model output statistics has been used to develop multiple regression equations for thunderstorm forecasting at 0000 Z and 1200 Z in the 16 subregions in the domain (21°-27°N; 118°-124°E). Predictors were interpolated from prognostic charts of 5 summer months (July-August 1974, June-August 1975) by 6-level fine mesh limited area primitive equation model published by the Japanese Meteorological Agency and predictands were radar echoes observed in Taiwan. Since the data time was much too short and the readings were not accurate enough, only 10 out of 32 equations showed significant correlation between radar echoes (thus thunderstorm) and their predictors. Verifications with data in June-August 1976 were not satisfactory because the number ratio between population and sample was only 5:3 which is certainly statistically nonrepresentative. However, we have, as expected, completed the pilot feasibility study and laid a primary foundation for meso-scale weather forecasting.