

梅雨期間利用探空預報降水量之研究

陶 家 瑞 蘇 義 雄 葉 文 欽

(空軍通校氣象訓練班)

(空軍氣象聯隊)

摘 要

本研究乃利用民國67~76年(1978—1987)梅雨期間(5及6月份)台北(桃園)、東港等站之探空與12 hr 降雨量之資料,利用複相關逐步迴歸統計之方法,進行單站探空與其12 hr 降水量之分析。吾人利用探空資料內之溫度、露點值來求取大氣層內之降水指數(Precipitation Index),再求取四個因子(\bar{I}_9 , \bar{I}_4 , P_{1r} , T_{700}),並以此四個因子求與降水量間之關係。以最近三年之資料做取樣分析,並用TAMEX(76年5及6月)期間兩站的資料來驗證,其結果顯示;雖然四個因子與12 hr 雨量間之相關不是很高,但是其預測之結果却令人滿意。而本研究之最大優點乃是發展出一套能自動計算且客觀的12小時單站雨量之預測模式。

一 前 言

梅雨為台灣地區的特殊天氣現象之一,因此關於梅雨之研究甚多,而利用探空做為基本研究資料者亦頗多,如亢氏(1965)、王氏(1968)、葉氏(1984)、劉氏等(1985)等,均利用探空分析台灣上空風場、環流之變化特徵。其中葉氏(1987)對於梅雨季的探空因子加以分析,求得乾、濕梅雨的垂直風場分佈,並與平均探空進行比較之資料尤為豐碩。但上述之研究大多局限於對風場、環境場之分析,而少有針對探空與降雨二者的關係進行定量的研究。Schell(1946)首先提出單站探空降雨預報的法則,Drugan和Sant(1978、1982)利用單站探空對12小時降雨量進行統計迴歸研究,發展出令人滿意之結果。本研究乃是利用台灣梅雨期之雨量,使用迴歸分析之方法建立雨量預測之模式,供作預報參考。

在雨量預報之模式建立,乃利用四個熱力參數作為預報雨量相關之預測因子。雖然在降水發生的

機率與四個預測因子之相關上雖不甚明顯,但其結果却是令人有相當的滿意,此外另一個好處是;此種預報作業可以利用電子計算機來完成,以目前個人電腦(PC)之功能及普遍性,可以獨自建立一地區性雨量預測作業模式供做預報之參考。

二 預測因子之計算與分析

在區域性能代表降水的主要因素即為大氣中水汽之含量及抬升凝結作用。在不穩定或有輻合作用之條件下,如果有充足的水汽含量能夠致雨的話,則降水量應為水汽含量與舉升高度距離之函數。本研究利用600 mb以下之探空定壓層與特性層之溫度(T)、露點(T_d)與氣壓(P),求取三個預測因子:

- (1)地面至600 mb之間9層I值之平均值($SFC-600\text{ mb}$);
- (2)從地面最低4層I值之平均值($1000-850\text{ mb}$);

(3) 過渡層 (Transition layer) 之高度 ($P_{t,r}$) 。

各層之 I 值以下式得之

$$I = \frac{W}{L} \quad (1)$$

式中 W 為混合比 (g / kg) , L 為觀測層至其舉升凝結層 (LCL) 之氣壓差值, 以 c b 表示 (1 c b = 10 m b) , 因此混合比值愈大, 即愈易導致降水, 而抬升之高度愈大愈不易導致降水, 因此 I 值亦可稱之為「降水指數」 (Precipitation Index) 。在物理上, W 與 L 均非獨立變數 (Independent Variables) , 但在此它們却是吾人所欲知與易求的變數。

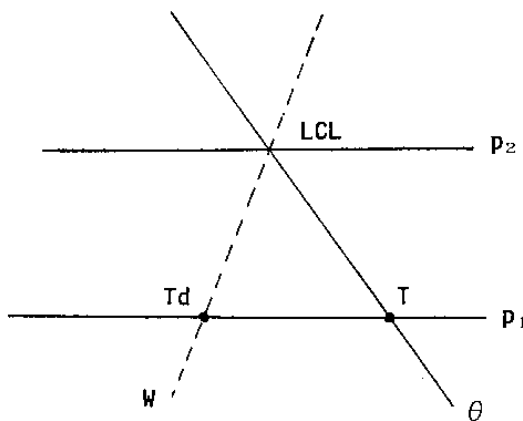
吾人所求之兩個預測因子, 一個是以九層 I 值之平均值 (\bar{I}_9) , 另一個為最近地面四層 I 值之平均值 (\bar{I}_4) 。

(一) I 值之計算

為求得自地面至 600 m b 內九層各層之 I 值, 各層之溫度之內插以下式求得

$$T = T_1 + \frac{(\ln P_2 - \ln P_1)(T_2 - T_1)}{\ln(P_2/P_1)} \quad (2)$$

式中 P 及 T 標 2, 1 分別代表上、下觀測層之氣壓與溫度, (1) 式中之混合比 (W) 由氣壓與露點溫度求得:



圖一 參數 L (= $P_1 - P_2$) 為兩氣壓層之氣壓差, 而 P_2 實際即是 P_1 層上 T 與 T_d 之 LCL 之高度。圖中 θ 為乾絕熱線, W 為混合比線。

$$W = 0.622 e / (p - e) \times 10^3 \quad (3)$$

式中 e 為水汽壓 (Vapor Pressure) , 得自於

Clausius - Clapeyron 方程式

$$\log e = 9.4 - 2353 / T_d,$$

$$e = 10^{(9.4 - 2353 / T_d)} \quad (4)$$

式中 T_d 為露點溫度 ($^{\circ}C$) , T_d 之內插亦可用公式(2)得出, 而 W 可由公式(3)中求得。

為方便計, (1) 式中之 L 可以用高度 (Z) 來取代, 假設空氣包由各觀測層至其 LCL 之高度的溫度遞減率 (γ) 為常數, 故

$$T = T_1 - \gamma Z, \quad T_d = T_{d1} - \gamma_d Z$$

T_1 與 T_{d1} 表示觀測層的溫度與露點, γ 與 γ_d 為溫度與露點之遞減率, ($\gamma - \gamma_d$) 之值接近 $0.8^{\circ}C / 100m$, 而在 LCL 上之 T 等於 T_d , 故可以用下式取代

$$Z = (T_1 - T_{d1}) / 0.8 = 1.25 (T_1 - T_{d1}) \quad (5)$$

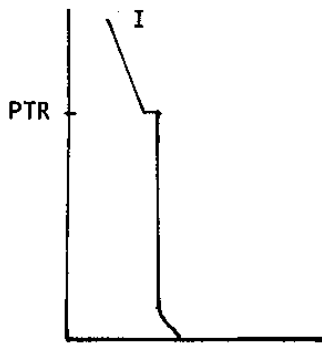
式中之 Z 以百公尺來計算, 將 Z 來取代(1)式之 L, (1) 式中 I 值之單位為 g / (kg · 100 m) , 此與原來之(1)式仍然保持相同的數量級 (order) , 利用(1)式, 即可求出各層之 I 值, Z 之值在空氣飽和或接近飽和時, 其 Z 值定為 1 (即在 100 m) , 以避免數學上無意義之現象產生。由 I 值所導出兩個預測因子為

$$\bar{I}_9 = (1/9) \sum_{i=1}^9 (W/Z)_i \quad (6)$$

$$\bar{I}_4 = (1/4) \sum_{i=1}^4 (W/Z)_i \quad (7)$$

(二) 過渡層 ($P_{t,r}$) 之計算

第三個預測因子為過渡層之高度, 此高度實仍為潮濕層之頂, 此過渡層乃是由 I 來決定, 當 I 值隨高度減小最大之處, 即為過渡層之高度 (如圖二) 以 m b 表示。Krown (1953) 曾指出 $P_{t,r}$ 之高度約在 $600 m b < P_{t,r} < 675 m b$ 時的確會



圖二 理想過渡層(Transition Layer)之剖面圖

表二 76年5月25日1200 Z, 無降雨日台北探空及各預測因子值

P (mb)	T (°C)	Td (°C)	W (g/kg)	Z (100m)	I (g/kg·100m)
1010	25.8	24.2	19.9	2.0	9.97
950	25.7	17.9	14.0	9.7	1.44
900	23.1	13.1	10.8	12.5	0.86
850	20.4	8.1	8.1	15.4	0.53
800	17.6	5.2	7.1	15.5	0.46
750	14.6	2.2	5.1	15.5	0.39
700	11.4	-1.1	5.1	15.6	0.33
650	7.2	-2.1	5.1	11.7	0.44
600	2.7	-3.2	5.1	7.4	0.69

產生降水，即表潮濕層深厚，但當 $700 < P_{tr} < 875$ m b 時，若要產生降水則 P_{tr} 24小時之變化應至少增加— 200 m b，或是 I 值至少增加 1，才會造成降水。

(三)降水指數 (I) 混合比 (W) 與抬升高度之關係

為顯示各預測因子，於各層探空中之結構，茲舉兩例說明：表一為台北76年5月5日1200 Z各層 W 值、Z 值、I 值之結果，當日12小時之累積降水(自5月5日1200 Z至5月6日2400 Z止)為 21.9 mm， \bar{I}_9 之值為 11.3 (g/kg·100m)， $\bar{I}_4 = 13.6$ (g/kg·100m)，過渡層之高度為 675 m b 表示有深厚的水汽層，由各層 W 與 I

表一 76年5月5日1200 Z (有降雨日)台北探空及各預測因子值

P (mb)	T (°C)	Td (°C)	W (g/kg)	Z (100m)	I (g/kg·100m)
1013	19.9	19.4	14.7	1.0	14.66
950	17.8	17.6	13.8	1.0	13.78
900	16.4	16.2	13.3	1.0	13.26
850	15.1	14.8	12.8	1.0	12.79
800	12.9	12.6	11.8	1.0	11.75
750	10.7	10.3	10.7	1.0	10.71
700	8.2	7.8	9.7	1.0	9.67
650	5.0	4.6	8.3	1.0	8.34
600	1.5	1.2	7.1	1.0	7.07

$\bar{I}_9 = 11.3$ g/(kg·100m) $\bar{I}_4 = 13.6$ g/(kg·100m)

$P_{tr} = 675$ mb

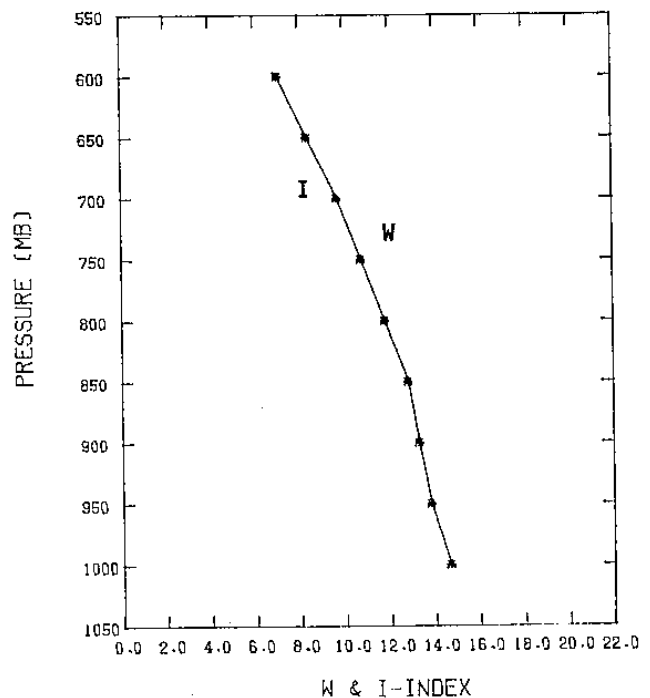
$R_{12} = 21.9$ mm

$\bar{I}_9 = 1.7$ g/(kg·100m) $\bar{I}_4 = 3.2$ g/(kg·100m)

$P_{tr} = 975$ mb

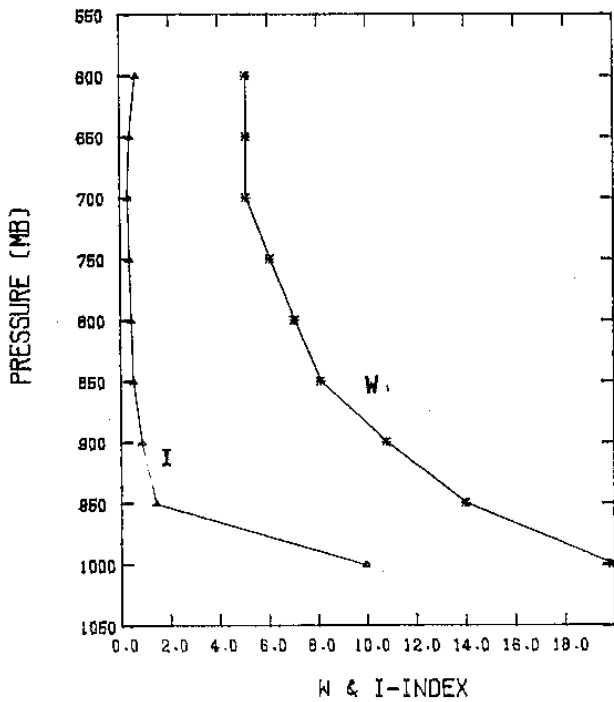
$R_{12} = 0$ mm

值看出垂直分布相當均勻，而且 I 值與 W 值一致，而到 700—650 m b 時 I 值遞減較大，故取 P_{tr} 為 675 m b，而抬升高度均為很小。表二為76年5月25日1200 Z之探空，當日12小時之雨量為 0 mm，由 $\bar{I}_9 = 1.7$ (g/kg·100m)， $\bar{I}_4 = 3.2$ (g/kg·100m) 與表一之值相比顯然相差甚多，而且水汽層之厚度亦甚淺 975 m b 最明顯之差在於 Z 值，無降水日之 Z 值較降水日之 Z 值顯然大於其十多倍。700 m b 之溫度於表一中偏低而表二中偏高，



圖三 76年5月5日1200 Z台北探空 W 與 I 之垂直剖面 (△: I 指數, * : 混合比)

圖三與圖四分別為表一、二中W與I值之垂直分佈剖面圖。由圖三中顯示I指數與W值重合，Z值均為1，顯示各層空氣中水汽均已飽和無須抬升即可產生凝結作用。因此會導致較大的降水量，而圖四中I指數曲線與W相離甚遠，抬升高度Z值在850—700 MB之間達1550公尺，空氣中水汽才能凝結，顯示該層空氣相當乾燥，而且需要極大的能量才會導致凝結作用，故產生降水的機會極小。由以上可知，W、I、Z三個參數對於由大氣探空分析降水具有相當明顯之代表性。

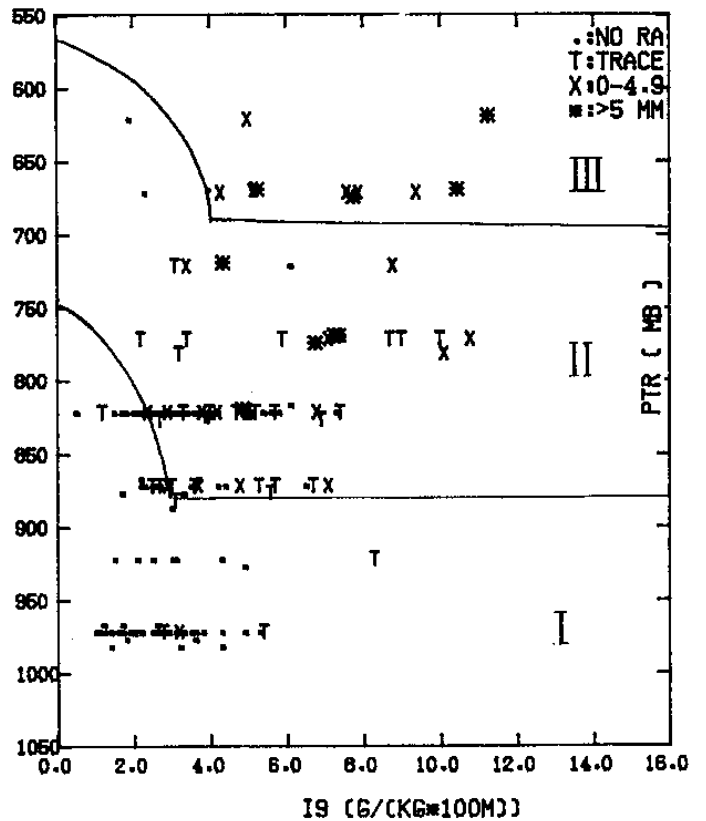


圖四 76年5月25日1200 Z台北探空W與I之垂直剖面(△：I指數，*：混合比)

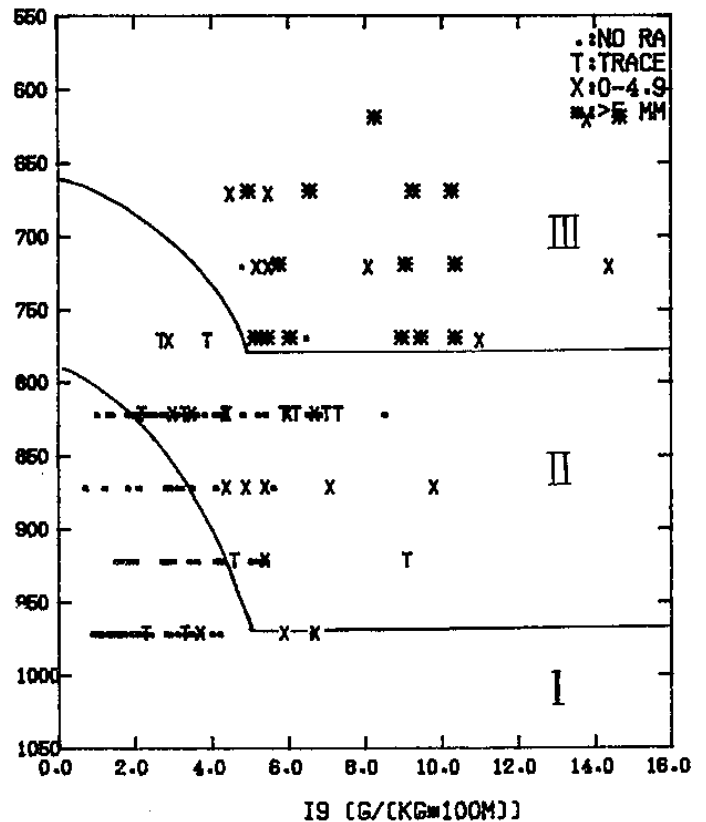
三 各降水參數與降雨量間之關係

本研究利用台灣區台北(桃園)及東港最近三年(74、75、76年)五月和六月1200 Z梅雨季之12小時累積降水量與探空資料分析，各站各種參數與降水量之關係，每站各計算183組資料，首先將降水量分成四個階段。

- (1) 無降水
- (2) 有雨無量(T)
- (3) 0—4.9 mm
- (4) 大於5 mm



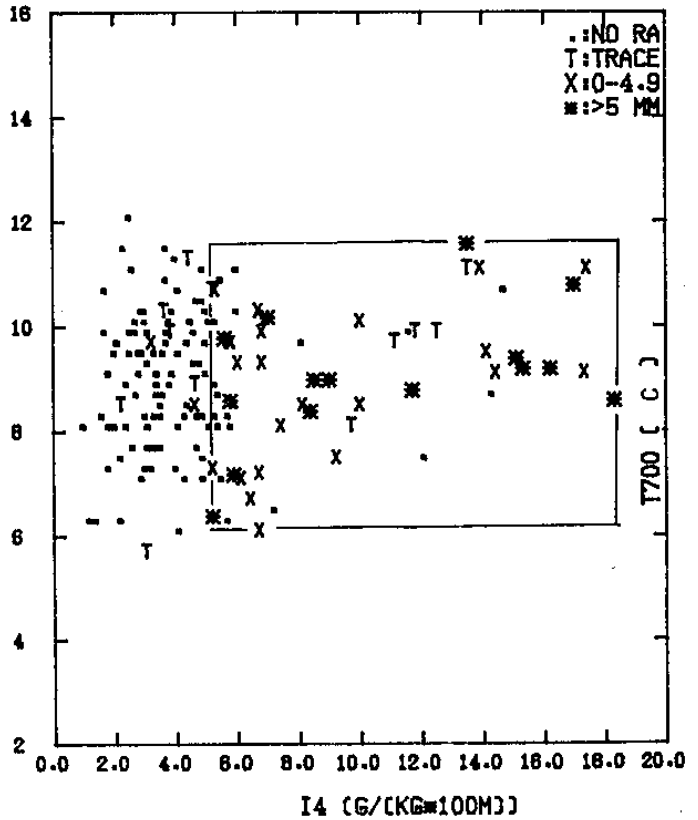
圖五 台北最近三年梅雨季(5及6月)1200 Z 183組12小時累積降水量與 \bar{I}_9 和 P_{12} 之關係。(圖中符號●：0 mm，T：有雨無量，X：1—4.9 mm，*：>5 mm)



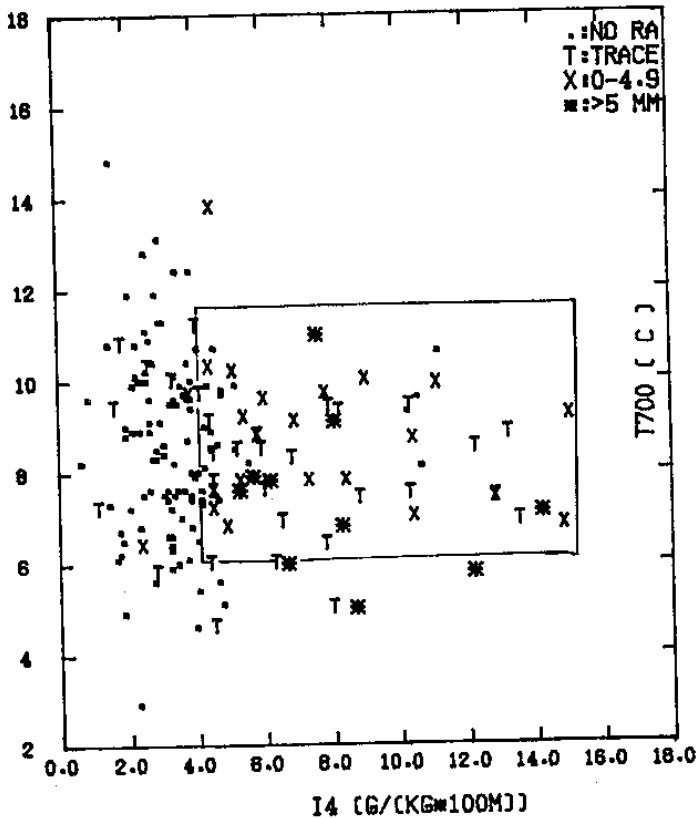
圖七 東港最近三年梅雨季(5及6月)1200 Z

183 組 12 小時累積降水量與 \bar{I}_4 、 P_{tr} 之關係。(圖中符號與圖五、六同)

將其分別點於各參數所形成之座標圖中。圖五與圖七為台北及東港最近三年 5—6 月 1200 Z，9 層平均降水指數 (\bar{I}_9) 與過渡層 (P_{tr}) 及降水量之關係，由圖中雨量之分布，大致可分成三個區域：區域 1 中 80% 的 Case 均為無雨，少部份為有雨無量，區域 2 中約 60% 的 Case 為有雨，在區域 3 中有 95% 均為有降水。圖中可以明顯的看出來，無降雨日的 \bar{I}_9 值與 P_{tr} 之值均集中於左下角之 \bar{I}_9 值小但 P_{tr} 值大(低)之處(區域 I)，而有較大降雨日均分佈於 \bar{I}_9 值偏高且 P_{tr} 值小(高)之處(區域 III)而在區域 II 中，兩者幾乎兼而有之，但以有雨者偏多，因此我們可以稱區域 II 為一過渡層。



圖八 東港最近三年梅雨季(5及6月)1200 Z 12小時累積降水量與 \bar{I}_4 、 T_{700} 之關係。(圖中符號與圖五、六同)



圖六 台北梅雨季(5及6月)1200 Z 183 組 12 小時累積降水量與 \bar{I}_4 和 700 MB 溫度之關係。(圖中符號 • : 0 mm, T : 有雨無量, X : 1—4.9 mm, * : > 5 mm)

圖六與圖八分別為台北與東港 1000—850 mb 最低 4 層 I 值，(\bar{I}_4) 平均與 700 MB 溫度之分布，圖中方框內，大部份均有降水，但較大雨量之 \bar{I}_4 值則較高，此亦顯示降水與低層之水汽分佈有著密不可分之關係。

四 預測方程式

(一) 逐步複迴歸 (Step-wise Multiple Regression)

本研究資料採用 74、75、76 三年 5—6 月(梅雨季)台北、東港 1200 Z 之資料計 183 組探空剖面，及各站 12 小時之累積雨量，為了便於統計；有雨無量 (Trace) 將其以 0.05 mm 來計，在迴歸方程中，以 12 小時累積雨量為因變數 (Dependent Variable)。

表三及表四為各預測因子之簡單相關與複相關之關係，由表中可看出，正如吾人所預料的 \bar{I}_9 與 \bar{I}_4 與降雨量均有正的相關，而 T_{700} 均為負相關，而多重相關係數較簡單相關顯然有所改進。

表三 台北逐步多重迴歸統計表

Step	Predictor	Single Correlation Coefficient	Multiple Correlation Coefficient
1	\bar{I}_9	0.43	0.62
2	\bar{I}_4	0.42	0.59
3	T_{700}	-0.17	-0.32
4	P_{tr}	0.14	0.28

表四 東港逐步多重迴歸統計表

Step	Predictor	Single Correlation Coefficient	Multiple Correlation Coefficient
1	\bar{I}_9	0.45	0.60
2	\bar{I}_4	0.40	0.58
3	T_{700}	-0.2	-0.32
4	P_{tr}	0.12	0.35

(二) 預測方程式

由以上統計之結果，可知用逐步多重迴歸可以提出其相關之係數，因此用多重迴歸法求取四個預測因子之間關係數，其預測方程如下：

台北預測方程式

$$QPF_{(TP)} = -12.5 + 2.3 \bar{I}_9 + 0.18 \bar{I}_4 - 0.87 T_{700} + 0.0238 P_{tr} \quad (8)$$

東港預測方程式

$$QPF_{(MJ)} = -16.81 + 2.1 \bar{I}_9 + 0.3 \bar{I}_4 - 0.81 T_{700} + 0.0238 P_{tr} \quad (9)$$

式中預測降水量(QPF)單位以mm計， \bar{I}_9 與 \bar{I}_4 之單位為g/(kg·100m)， T_{700} 單位為°C， P_{tr} 為mb， \bar{I}_4 之係數為正，表示當850mb以下之I值大時，有利於降水，而 T_{700} 之係數為負值，顯示 T_{700} 之值對於QPF有正的貢獻。雖然此預測方程式能夠求出降水量，然而此降水量無法直接運用，必須靠另一判別函數(Discrimin-

ant Function)，來說明此QPF量是否可靠。

(三) 判別分析(Discriminant Analysis)

為判別QPF值之可信度，特別利用一判別函數來判斷，求法如逐步多重迴歸來統計，首先將所有降水案例分類為2大類：

(1) 0—5mm

(2) 大於5mm

判別函數(DF)之決定如下，台北判別函數如下：

$$DF_{TP} = 2.9 + 0.04 \bar{I}_9 + 0.04 \bar{I}_4 - 0.2 T_{700} + 0.0001 P_{tr} \quad (10)$$

東港判別函數：

$$DF_{MJ} = 3.4 + 0.33 \bar{I}_9 - 0.13 \bar{I}_4 + 0.18 T_{700} + 0.002 P_{tr} \quad (11)$$

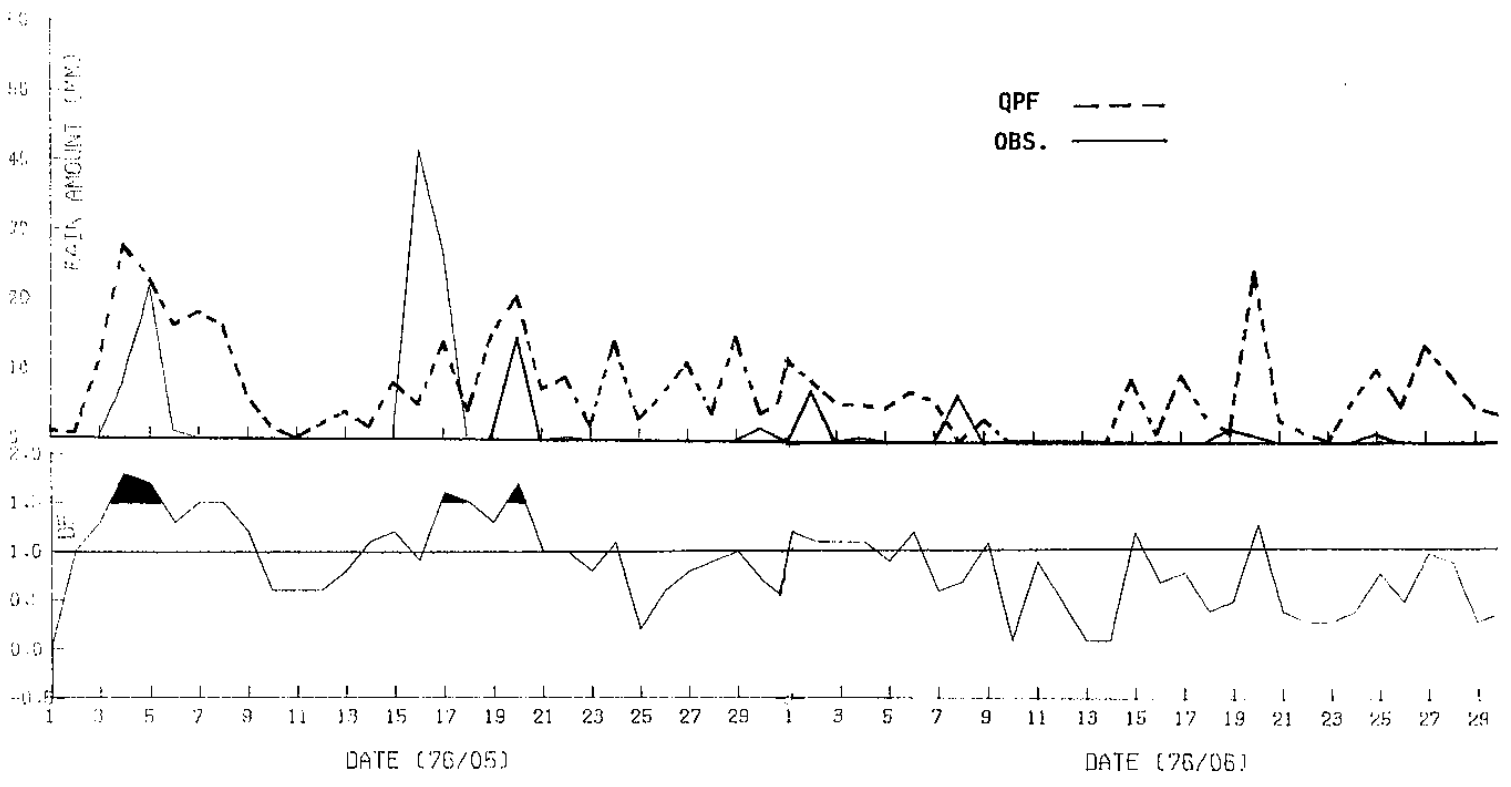
經檢驗證結果，當 $DF \leq 1.0$ 時為無雨之情況，而 $1.5 \leq DF < 1.0$ 時為小雨(Light rain)， $DF > 1.5$ 時其雨量超過5mm。

QPF與DF對於降水量有相當高之相關，但是QPF無法預測出各地之極端降水值，因為梅雨期間許多中尺度系統之移動頻繁，由於時間之限制，雖有許多中尺度之系統經過，但探空對於此種中尺度之系統甚難捕捉。

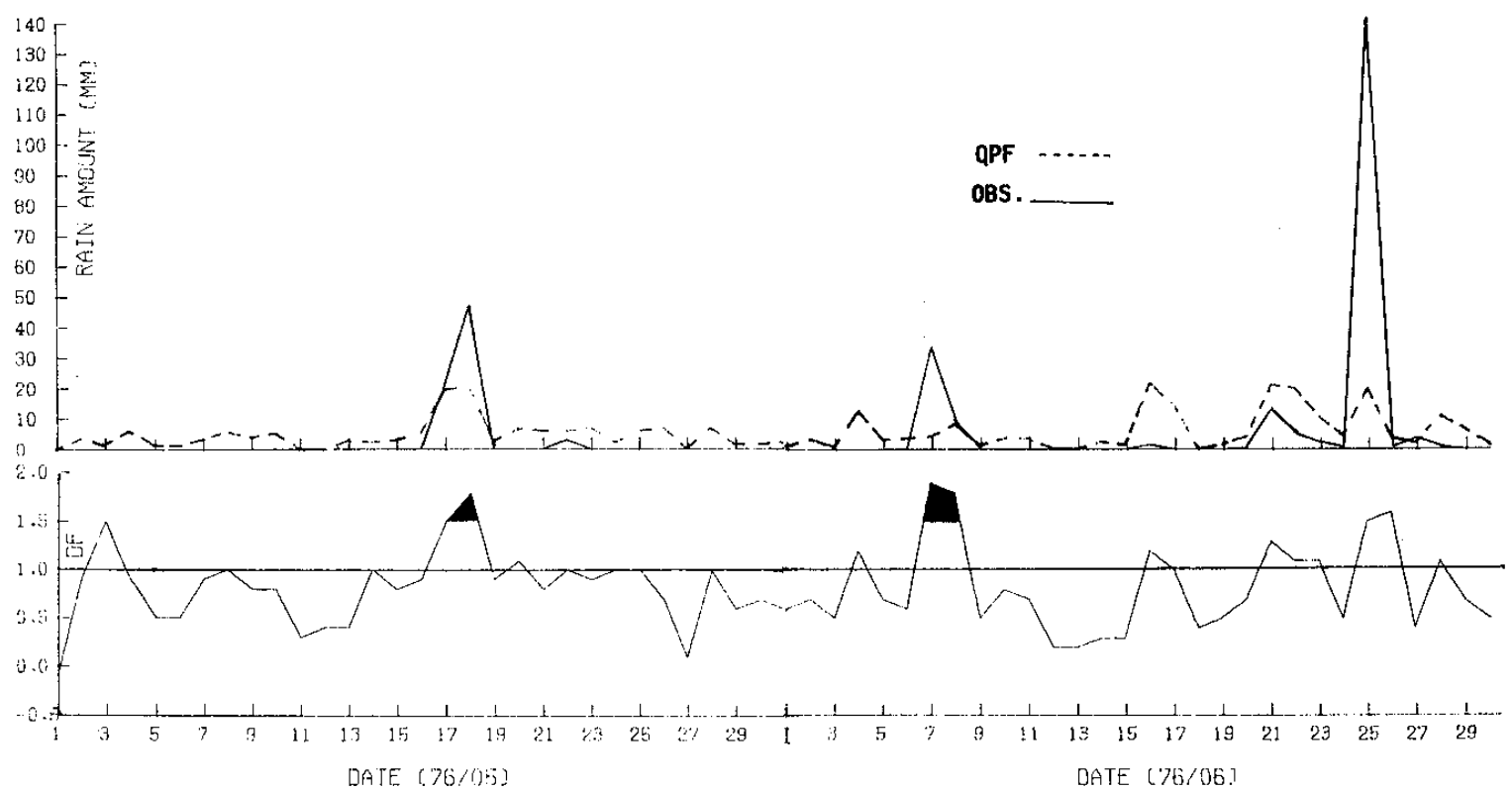
五 校 驗

由(8)–(11)式，驗證74—76年183組梅雨期之資料顯示台北實際降雨日74天，而估計降雨日為62天，達83%，東港之雨量利用屏東降雨日驗證結果其實際降雨日有63日，而估計降水日51天，達80%。

圖九與圖十為用台北與東港之預測公式來校驗TAMEX期間台北與屏東雨量之結果，圖中之虛線為預測之雨量，實線為實際觀測值，一般而言，QPF值高於實際值，但是却低於一些極端值，此乃由於統計之關係。整體上看來，於TAMEX期間之梅雨並不很明顯，由DF之曲線上來看， $DF > 1$ 對於整個降雨之掌握，可說相當不錯，尤其在較大



圖九 以76年5及6月(TAMEX)期間之探空測試台北地區之預測方程式之結果
 上圖之虛線為預測雨量，實線為實際觀測值，下圖為DF值，陰影區為DF > 1.5。



圖十 東港76年5及6月(TAMEX)探空測試屏東12小時QPF預測之結果
 上圖中虛線為預測之QPF，實線為實際雨量，下圖之曲線為DF值，陰影區
 為DF > 1.5

雨量 ($DF > 1.5$)。台北地區在76年5月有三個較大降水高峯， DF 值均能夠顯示出來，而東港地區三個降水高峯， DF 值大1.5的僅顯示出兩個，但 DF 值仍然大於1.0，在較少的降水量上， DF 值亦能有良好的表現，由圖九與圖十上可以看出以 QPF 與 DF 兩者相互配合之方式，做雨量之預報具有相當高之預報價值。

因梅雨期間，鋒面天氣中，小尺度降水系統產生頻繁，且時間短暫，以現在探空時距12hr來講，有時難以捕捉，以致在圖九與圖十中，會有 $DF < 1.0$ 而却有降水產生之現象。

六 結 論

一個預報員，由探空資料裏計算四個預測因子 ($\bar{I}_9, \bar{I}_4, T_{700}, P_{tr}$) 僅需花上幾分鐘的時間。由此研究顯示12hr之客觀降水預報，均可達到80%左右之準確率，不但優於一般主觀預報之結果，且有根據並且穩定之特性。而此方法主要之運作功效尚有：

- (一)方法簡單，僅需要單站探空資料即可做12hr累積雨量之預測，此法可應用於任何季節、任何測站獨自建立自己的客觀降水預測，再累積其經驗作必要之調整後，將有效提高地區性降水預報之準確度，對國防及民生提供更具體快捷之服務。
- (二)本研究所使用之預測程式(詳列如附錄)可建立於任何電腦系統內，做為短期預報雨量之參考。尤其對日益普及的個人電腦(PC)之運用，提供更便捷的數據資訊，有助於氣象預報電腦化作業之推廣與應用。

致謝

本研究承國科會補助(NSC77-0202-M113-01)，並蒙空軍氣象中心、第七天氣中心東港探空站提供雨量及探空資料，此外胡志望、劉水泉等教官之協助整理資料及氣象班陳彙主任之審稿，才使本研究得以順利完成，特此一併致謝。

參考文獻

- Drugan, L., 1978: Objective 12hr Precipitation Forecasts using a Single Radiosonde. BAMS, Vol.59, p.1438-1441.
- Drugan, L., 1982: Automated Precipitation Forecasts using a Single-Station Radiosonde Profile. BAMS, Vol.63, p.499-502.
- Krown, L., 1953: Detailed Radiosonde Analysis in Local 12hr Forecasting of Precipitation at Lydda Airport. State of Israel Meteorological Service, Series A Meteorological Notes, No.8, 8pp.
- Schell, I.I., 1946: Single-Radiosonde Analysis in Local 8-hr Forecasting of Precipitation. BAMS, Vol.27, p.164-168.
- 郭俊桔，1976：微電腦統計應用技術，全華科技圖書公司。
- 劉廣英等，1985：台灣區探空氣象因子量氣候參考值之分析。國科會研究報告NSC-74-0202-M072-05。
- 亢玉謹，1965：台灣上空大氣緯流之初步研究。氣象預報與分析，23期，p.1—p.12。
- 王時鼎，1968：台灣區域環流與長期天氣預報。氣象預報與分析，34期，p.1—p.9。
- 葉文欽，1984：台灣區垂直區域環流特徵與心戰空飄作業之關係。空軍氣象中心研究報告026號。
- 葉文欽，1987：台灣區梅雨季探空因子量之對比研究。國科會研究報告NSC-75-0202-M072-06。

A Study of Objective Precipitation Forecasts Using a Single Radiosonde in Mei-Yu Season

Chia-Reay Tao Yi-Shisung Su

Wen-Ching Yeh

(Weather Training Division C&E)

(Weather Wing)

ABSTRACT

The purpose of this study is to forecast the precipitation using the radiosonde in Mei-Yu season. The latest ten years (1978 - 1987) radiosonde and 12hr precipitation data of Taoyuan, Tungkung, and Taipei are used in this study, the TAMEX data are also included. Radiosonde profiles of temperature and dew point at Taoyuan (Taipei) and Tungkung are used to develop and test an objective procedure for making 12 hours forecasts of precipitation by a set of Prognostic equation and discriminant function. Testing shows good correlation between predictions and observations but also the need for adjusting.

