

危害飛行氣象因素客觀預報之研究*

—雷雨部份—

林 則 銘

A Study on Practical Objective Forecast Method of Flying
Hazardous Weather : Thunderstorm

Tse-Ming Lin

Abstract

Thunderstorms and rainshowers occurred due to thermal and terrain effects in the period from June through September, are two of the most dangerous hazards for aircraft flight. Based on the rawinsonde observation data taken from 1971 to 1974 at Taoyuan, Makung, and Tungkong, and the surface observation data taken in the same period at Sungshan, Taoyuan, Hsinchu, Chin Chuan Kung, Chiayi, Tainan, and Pingtung S.B., and by use of the statistical and weather analysis methods, the objective forecast diagrams for each of the above mentioned seven surface stations have been obtained. By use of these diagrams, the probabilities of occurrence and nonoccurrence of thunderstorm and rainshower can be predicted more accurately. Thus, the flying safety of both military and civil aircrafts can be also insured.

一、前 言

結冰、濃霧、亂流、強風、及雷雨為對航空器最有危害之天氣。以臺灣本島為例，於最近三年內，因遭遇此等天氣而失事之軍用及民用飛機，已達七架以上，除造成千萬元美金以上之損失外，生命之喪失，對軍方戰力之損耗，對國家皆為不可彌補之損失。唯有對此等天氣精確之預報，始可防止此類空難事件之再度發生，且對空軍及陸軍航空部隊之訓練、演習、及作戰有極大之助益。我國軍民氣象機構對此類危害天氣之預報，雖亦有各別之方法，但主要均偏重預報人員經驗之主觀判斷，其效果亦不理想。其原因為研究之人較少，且未利用電子計算機，無法以有限之人力對以往之高空及地面資料做全盤性之配合研究，以求出其最適當之預報方法。

因空軍氣象聯隊已將最近（民國 58 年至 63 年）六年資料予以整理、打卡，並已錄入磁帶，已可能使用電子計算機以機械檢算法，將以往資料做全面之配合研究。故本計劃之構想為採用以往五年（民國 58 至 62 年）桃園、馬公、東港三地六月至九月之無線電探空資料，及臺北（松山）、桃園、新竹、清泉崗、臺中、嘉義、臺南等七地區之地面觀測資料，使用統計及圖解法，並利用電子計算機之機械檢算法，以尋求有效之純客觀預報方法，以適時預報以上七地區之雷雨及陣雨發生與否，及其可能發生及不可能發生之機率為若干，以確保軍用及民用航空器之安全，及維持我空軍及陸軍航空隊之戰力。

*本文承國科會補助方得完成

二、研究過程及方法

(一)資料整理

根據以往預報經驗及實際作業需要，本研究係使用前一日 1200Z 之探空資料及 2100Z 之地面資料，以預報次日 0000Z 至 2300Z 之雷、陣雨。故需將民國 58 年至 63 年六至九月份桃園、馬公、東港全部 1200Z 之探空資料，及松山、桃園、新竹、清泉崗、嘉義、臺南、屏東南機場（因欲瞭解東港之探空資料對本省西南部地區之代表性，故將臺中改為屏東南場，以爲明年繼續研究之參考）七地之全部 2100Z 地面觀測資料，予以蒐整重錄於磁帶中始能運用。於蒐整過程中，發覺馬公於民國 58 年係每日 0600Z 及 1800Z 舉行觀測，無 1200Z 資料。復因本研究欲找尋對每一地區最具有代表性之探空站 1200Z 資料均完整無缺之日期。因民國 59 年探空儀缺件，三探空站資料殘缺不全，故本研究僅能採用民國 60 至 63 年六至九月份計 348 日之高空及地面資料，其日期詳見附表 2-1。

(二)選用因子

因本研究僅考慮六月至九月份之熱雷雨、地形雷雨、及陣雨，按氣象學理其最主要之因素應爲各層風向、風速、濕氣含量、地面加熱程度、垂直穩定度，及是否受低壓等氣壓系統之影響，故本研究試選用下列諸氣象因子：

1. 地面因子：前一日 2100Z 之風向（度），風速（哩/時），溫度，露點，溫度露點差，總雲量（分三類，0-3, 4-6, 7-8）。
2. 高空因子：前一日 1200Z 之

$$K \text{ value} = (T_{850} - T_{500}) + T_{d850} - (T_{700} - T_{d700})$$

$$\text{Total index} = (T_{850} - T_{500}) + (T_{d850} - T_{500})$$

$$\text{Vertical index} = T_{850} - T_{500}$$

$$\text{Cross index} = T_{d850} - T_{500}$$
 LCL (Lifting Condensation Level) 之氣壓
 CCL (Convection Condensation Level) 之氣壓
 LFC (Level of Free Convection) 之氣壓
 以上 LCL、CCL、LFC 之氣壓值，皆係按照美空軍 AWS MANUAL 105-124-U se o skew T, log P diagram in analysis and forecasting 之標準自 SKEW T, LOG P 圖中求得之。
 溫度差：含 SFC-850mb、SFC-700mb、SFC-600mb、SFC-500mb 等四項。
 平均相對濕度：含 SFC-850mb、SFC-700mb、SFC-600mb、SFC-500mb 等四項。
 各層風向：含 850mb、700mb、500mb 等三項。
 各層風速：含 850mb、700mb、500mb 等三項。
 平均東西向風速 ($\bar{U}$)：SFC-850mb
 平均南北向風速 ($\bar{V}$)：SFC-850mb
3. 局部環流指數：

因每年六至九月間本島可能受冷鋒、半滯留鋒、ITC、熱帶低壓等影響，對雷雨之生成應有關連。但天氣圖型式複雜，本研究之人力無法對 348 日之天氣圖詳予分析，故採用局部環流指數（局部高度差）以顯示各地區是否受高空槽或脊之影響以代替之，以期尋求其與雷、陣雨發生之關係。其方法爲使用前一日 1200Z 之探空報告或高空圖求得：
 (1) 馬公至上海 850mb 及 700mb 高度差，及馬公至琉球 850mb 及 700mb 高度差，用之於尋求其與北部地區（含松山、桃園、新竹、清泉崗）發生雷雨之關係。

附表 2-1

雷 雨 研 究 基 本 資 料

年 月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
60	6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
61	6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
62	6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
63	6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

註：1. 凡標有「✓」之日期，爲地面七測站及高空三測站同時均有完整之資料者，共 348 天。
 2. 日期之分隔，係以世界標準時 (Z) 計算。
 3. 所採用高空之預報因子，係前一日 1200Z 之資料；地面之預報因子，係前一日 2100Z 之資料。

(2)香港至桃園 850mb 及 700mb 高度差，及菲律賓克拉克基地至桃園 850mb 及 700mb 高度差，用之尋求其與南部地區（含嘉義、臺南、屏東南機場）發生雷、陣雨之關係。
以上共試選用高空及地面氣象因子計 37 種。

(三)研究步驟

1. 資料校正：

因抄錄、打卡之錯誤，於磁帶資料中高空及地面資料均有甚多錯誤，故第一步工作即將磁帶中 348 日之桃園、馬公、東港三地探空資料，及松山等七地區之地面資料全部印出，逐一校對，發現有不合理之處，即以原始觀測資料校正或重新計算。

2. 資料分類及取舍：

將民國 60 年至 63 年之七地區各地 348 日之天氣分為四類，計①無天氣（好天氣），②雷雨，③陣雨，④小雨、毛雨、及連續雨。首先將各地高空及地面之 37 選用因子按此四類天氣分類（詳見附表2-2），統計每類天氣中其出現值之分佈情況，並計算其 Standard deviation 等值例見表。就其值於各類天氣中分佈情況之異同，判斷其對雷、陣雨發生之代表性，及是否有價值製作散佈圖（Scatter diagram）以為進一步之判斷。經此程序後，選定有價值作散佈圖之因子如下：

附表 2-2 各類天氣出現日數表

測 站 名 稱 及 編 號	臺 北	桃 園	新 竹	清 泉 崗	嘉 義	臺 南	屏 東
天 氣 類 別	(696)	(697)	(756)	(770)	(746)	(743)	(750)
無天氣（好天氣）	172	220	215	169	161	160	115
雷雨	73	49	35	66	100	98	149
陣雨	57	10	16	98	27	31	38
其他天氣（毛雨、小雨等）	46	69	82	15	60	59	46
總日數	348	348	348	348	348	348	348

(1)地面資料部份：

A、風向 B、風速 C、溫度 D、露點 E、溫度露點差

(2)高空資料部份：

F、850mb 風向 G、850mb 風速
I、700mb 風向 J、700mb 風速
K、500mb 風向 L、500mb 風速
M、地面至 850mb 平均西風風速 ($\bar{U}$)
N、地面至 850mb 平均南風風速 ($\bar{V}$)
O、地面至 850mb 平均相對濕度
P、地面至 700mb 平均相對濕度
Q、K value R、Cross index
S、Total index T、LCL之氣壓

U、CCL之氣壓 V、LFC之氣壓
W、局部環流指數（共八因子如上述）
共計29因子。

於此程序中共刪除總雲量、Vertical index、溫度差（含 SFC—850mb SFC—700mb SFC—600mb SFC—500mb）、平均相對濕度（含 SFC—600mb SFC—500mb）等八因子。刪除之原因，主要係因其值於無天氣、雷雨、陣雨、及毛雨等四種天氣內之分佈大致相若，無法用以判斷其差異，亦不能作為良好之預報因子。

3. 散佈圖（Scatter diagram）之製作：

使用上述程序所選定之29種因子，製作松山等七地區四類天氣之散佈圖。其製作方法為，將一地區之地面資料分別對三探空站之高空資料，並將地面及高空之全部29個因子互配，每二個因子作出四類天氣之散佈圖一張（每張含無天氣、雷雨、陣雨、及毛雨等天氣四小張），研判其於四類天氣中之分佈情況。如其分佈點於無天氣日及雷雨日分別落於不同之位置，或大多數雷雨日集中於某一位置而僅有部份無天氣日集中於該位置上時，表示該張散佈圖之因子對雷雨之發生最有關連。由散佈圖中不僅可知何種因子對雷雨之預報最具價值，且因每一地區皆對三探空站之高空資料作散佈圖分析，亦可判斷何一探空站之高空資料對該地區最具代表性。使用此方法對松山等七地區共作出散佈圖 2744 張（附圖從略），經研判皆以 K value—Total index、K value—LFC、K value—露點、850mb 風向—700mb風向、700mb風向—500mb 風向等數種散佈圖較佳。對松山等七地區而言，不論松山或屏東，三探空站之資料中皆以馬公最具代表性，而以馬公探空資料對各地區所作之 K value—Total index、K value—LFC 二種散佈圖最佳，可將95%以上之雷雨日及陣雨日限於一定值之區域內，而可將部份之無天氣日及毛雨日排除於該區域之外（其解釋及附圖詳見後文）。因此吾人根據此二種散佈圖定出各地最可能發生雷雨及陣雨之 K value、Total index及 LFC 之臨界值，並以機械檢算法將不合於此臨界值之日數予以剔除。凡不合於此臨界值者，可預報將不發生雷雨及陣雨，其成功機率可達95%以上，為本客觀預報之第一步方法。

第二步方法為將合乎 K value 等臨界值之四類天氣，使用露點、850mb 風向等因子再作散佈圖。用此方法可找出其他因子之臨界值，做第二步之過濾。凡不合乎臨界值者亦予剔除，如此可增加預報不發生雷雨之成功機率。

經第二步方法之合乎臨界值者，可按散佈圖之分佈情況，預報發生雷雨及雷陣雨之機率，為本客觀預報之第三步。因本文對雷雨及陣雨之區分，係按國際定義行之，凡測站聞雷聲或見閃電聲及閃電，故雷雨及陣雨甚難嚴格區分，因此本文除對雷雨預報外，並將雷雨及陣雨歸為一類而預報之。各地區之預報程序及圖表將於後文四中詳予討論之。

三、電子計算機處理與計算過程

本研究所使用之地面觀測及探空資料，係取自空軍氣象聯隊歷年「自動資料處理」所整理之磁帶紀錄檔。為配合研究需要，經選取民國六十至六十三年各年六至九月份之資料。探空紀錄包括桃園、東港、馬公三測站，資料內容為每隔 50mb 定壓面之高度值、溫度、相對濕度、風向及風速，資料時間為每日 1200Z。地面測站計選用臺北、桃園、新竹、清泉崗、嘉義、臺南、屏東七處每日 2100Z（0500L）之觀測紀錄。茲將資料整理及計算過程分別說明如後：

(一)資料整理

1. 磁帶資料：

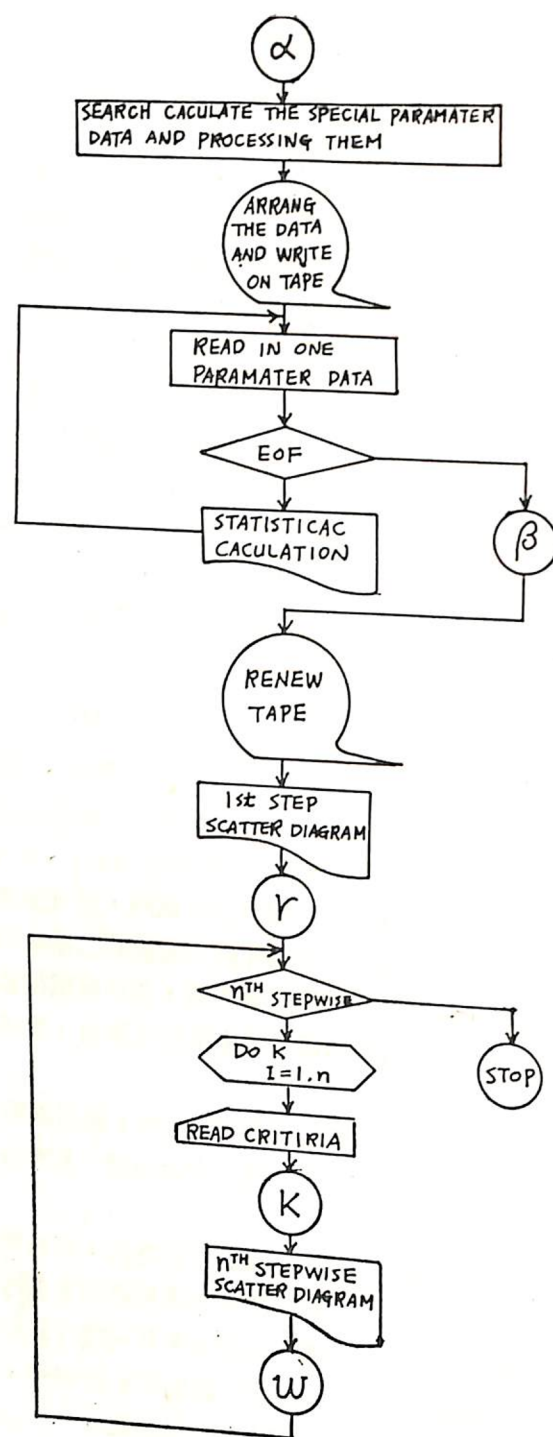


圖3—1 電子計算機統計計算與製做散佈圖之流程圖

- (1)分別從探空及地面各年磁帶中，選取所需資料，讀入一新磁帶。
- (2)分別按測站、日期、時間順序，重行排列，以便檢查有否缺漏及錯誤。
- (3)對照地面及探空資料，將缺漏資料相對剔除，再按序排列，以備計算使用。
2. 天氣分類：
 - (1)按上述磁帶整理順序排列之日期，以四類天氣分別標示之：即「1」代表無天氣日，「2」代表雷雨日，「3」代表陣雨日，「4」代表其他毛雨、小雨等天氣日。
 - (2)天氣分類完成後，以地面測站為單元，分別製成卡片，以與地面及探空資料配合統計之用。
3. 計算 LFC, LCL, 及 CCL：

因磁帶存儲之探空資料為每隔 50mb 選取之定壓面，無特性層，故與實際探空曲線略有出入，致用電子計算機所計算之該數項因子數值，部份較不正確。故該項資料係另用人力計算，然後

打製卡片，讀入磁帶備用。

4. 局部環流指數：

該項資料係用人力從高空圖中讀出，然後製卡讀入磁帶備用。

(二)統計計算與繪製散佈圖

附圖 3—1 (流程圖) 中 α 表示接前述完成之磁帶資料。本研究之計算分為二類：首先由上述整理之資料中計算特定因子，分門別類錄入磁帶，再將每一特定因子資料，按每一測站之不同天氣分類予以統計列表。EOF 即查證是否每一因子都已計算完畢。當計算完成後，則到 β 。此時研判所有因子之統計分佈及參數，判定那些因子較具代表性。經過初步之過濾，將較有代表性之因子重作整理，以備做第二類工作，即做散佈圖 (Scatter diagram)。為徹底瞭解各因子間相互之關係，吾人採用任意配取法，由二個因子，分四類天氣，算出其散佈圖，再由所有散佈圖中，選出較好之因子，做為下一次之計算因子，並且選出一些最好之因子，做為標準因子，由標準因子對雷雨日特殊條件的數值定為次步散佈圖的計算準則。在第二步散佈圖之計算中，除了第一次之較佳因子，再加入其他因子，如局部環流指數，如此反復計算，直至求出最佳結果為止。圖中 r 即表示第一步計算結果之判斷， K 即第 n 次逐步散佈圖 (Stepwise scatter diagram) 之判斷。

四、各地雷雨預報方法及圖表

(一)序 論

於本研究過程中，曾分別以桃園、馬公、及東港三地之探空資料對各地天氣之關係分別予以統計分析，以尋出對每一地區最有代表性之探空站。使用本文「二」中所述各探空站之高空因子及各地之地面觀測因子，分別對各地所發生之四類天氣作散佈圖以比較之。於所有之散佈圖中，以 K value-Total index 及 K value-LFC 兩種圖為最佳，可將 95% 以上之雷雨歸納於圖中一定值之範圍內。於分析中發現，無論本島北部或南部地區，皆以馬公之探空資料最有代表性。

以本研究七地區中最南端屏東之 K value-Total index 散佈圖為例，屏東之雷雨總日數為 149 日，陣雨為 38 日，馬公之探空資料顯示有 146 日雷雨及 34 日陣雨，亦即 98% 之雷雨日及 96% 之雷雨日，係在 K value ≥ 21.3 及 $Total\ index \geq 35.3$ 之範圍內，但與屏東最近之東港資料顯示，僅有 140 日雷雨及 33 日陣雨，亦即僅 90.4% 之雷雨日及 90.2% 之雷雨日，集中於 K value ≥ 24.4 及 $Total\ index \geq 36.3$ 之範圍中，顯然馬公探空資料對屏東雷、陣雨之關連較東港者為佳。桃園之探空資料對屏東之代表性更差，僅有 135 日雷雨及 30 日陣雨，亦即僅 90.0% 之雷雨日及 88.0% 之雷雨日，集中於 K value ≥ 21.9 及 $Total\ index \geq 34.9$ 之範圍中。究其原因：本研究係使用前一日 1200Z 之探空資料預報次日之雷雨，桃園之探空過於偏北，六至九月又多盛行南來風，以平均風速 15-20 哩/時計，至次日 0000Z 時其空氣已移至 $26^\circ N$ 以北，故代表性最差。東港之探空於次日 0000Z 後，亦移至距離屏東東北三個緯度以上之遙。馬公因處於海上，受地形影響較小，其探空資料對西南洋面移來之空氣較有代表性，故結果較佳。但嚴格論之，馬公探空亦不能代表屏東及臺灣西南部各地區上游之高空資料，僅係較桃園及東港為優而已。東沙島探空站位於本省西南約 235° 方向 240 哩之處，應對本省西南各地最具代表性，惜其探空資料尚未加整理、打卡、及錄存於磁帶中，故本研究無法使用。於不得已情況下，屏東、嘉義、臺南三地之研究，均係採用馬公之探空。

由於上述之理由，因馬公恰位於本島北部及中部之西南方，應對此等地區最有代表性，經分析結果亦與事實吻合。以臺北松山為例，於馬公探空資料之 K value-Total index 散佈圖中，所有之雷雨日皆集中於 K value > 21.3 及 $Total\ index > 35.3$ 之區域中，LFC 之值皆大於 675mb，對發生雷雨之高空因子，劃出一極明顯之範圍。新竹地區以馬公資料所作出之 K value-Total index 散佈圖更佳，清泉崗亦復相同，馬公較桃園探空更有代表性，故於本研究中，北部及中部四地區皆採用馬公探空。

(二) 臺北 (696)

1. 選用之預報因子及理由：

根據本文二及本節序言之討論，臺北之雷雨預報，係以馬公之探空為依據。於 K value-Total index 之散佈圖中，總數 72 日雷雨之全部 (100%)，57 日陣雨中之 50 日 (87.7%)，總數 129 日雷陣雨中之 122 日 (94.5%) 係集中於 K value ≥ 21.3 與 < 41.8 、Total index ≥ 35.3 與 < 49.9 之範圍內，而總數 173 日無天氣日中僅 147 日 (85.0%)，219 毛雨日中僅 192 日 (88%) 係落於此範圍內。顯然此散佈圖中之 K value 值及 Total index 值對雷雨之生成極有關連。又於 K value-LFC 之散佈圖中，亦有 72 日之雷雨 (100%)，52 日之陣雨 (91.2%)，124 日之雷陣雨 (96.1%)，係集中於 K value ≥ 21.3 < 41.8 、LFC ≥ 675 mb 之範圍內，而僅有 187 之無天氣及毛雨日 (85.4%) 係集中於此區域，故 LFC 之值亦應為預報雷雨之極佳因子。因此決定採用 K value ≥ 21.3 < 41.8 、Total index ≥ 35.2 < 52.0 、LFC ≥ 675 mb，為最重要之第一步預報因子之臨界值。

次一步驟係使用電子計算機驗算，將四類天氣中不合於上述臨界值者予以剔除。凡不合於臨界值者即預報可能無雷雨及雷陣雨 (詳見後文)。因根據前文二 (三) 3 之敘述，吾人已知 K value-露點、850mb-700mb 風向、700mb-500mb 風向之散佈圖亦極有代表性，故將其合乎臨界值者以露點、850mb、700mb 及 500mb 風向為因子製作第二步 (Second step) 之散佈圖。

於 Second step 之六張散佈圖中，經研判結果，以 850mb-700mb 風向之散佈圖為最佳。合於 K value、Total index 及 LFC 之臨界值者有 72 雷雨日，122 雷陣雨日。其中有 47 雷雨日 (66.2%) 及 74 雷陣雨日 (60.1%) 係位於 850mb 132.5° 至 290° 之風系中 (詳見附圖 4-1A 及 4-1B)。但合於臨界值之無天氣之 140 日中僅有 77 日 (55%) 位於此同一風系區域內，與理論甚為吻合，亦能將雷陣雨與無天氣日予以部份區分，故可用為第二步之預報圖。

在 850mb-700mb 風向之散佈圖中，雷雨及陣雨極明顯係集中於 A、B 及 C (見附圖 4-1) 三區，其中尤以 A 區內 850mb 風向 185° 至 237.5° 間最為顯著，好天氣之分佈則不盡然。故 K value、Total index 及 LFC 合於臨界值，而其 850mb 及 700mb 風向如下落於此等區域中，發生雷雨之機會亦極少，故仍可預報「無雷陣雨發生」。事實上經此步驟過濾後，可將另一部份之好天氣濾除而增加不發生雷雨之機率。於全部各種天氣之 348 日中，有 106 日 (佔總日數之 30.5%) 使用此方法預報不發生雷雨之準確率高達 100%，預報不發生雷雨及陣雨，其準確率亦高達 94.3%，為本研究之最大成就 (詳見附表 4-1)。故可用為預報之第二步驟。

於 850mb-700mb 之散佈圖中，最多之雷雨日 ($\frac{54}{72}$) 係位於 A 區內，其中有 64.8% 發生於風向隨高度順轉之 A_a 區內，而僅有 35.2% 係出現於風向隨高度逆轉之 A_b 區中，蓋在 A_a 區中有明顯之上升氣流，故利於雷雨之發展。在 A_b 範圍內，於 850mb-700mb 層中雖顯示有冷平流而仍有雷雨發生，主要係潮濕氣流受地形迫舉作用所引起。由此顯示，A 區中之雷雨，應屬典型之熱雷雨及地形雷雨。

於 B 區中，850mb 皆為東北風而 700mb 亦多為東北風至東風，且大多顯示有風向隨高度而順轉之暖平流，此等情況大多由於馬公以南地區有熱帶性低壓或 ITCZ 等大規模不穩定現象所引起，不應歸屬於熱雷雨範圍內。於 C 區中，850mb 風向為西北至北，且雷雨既可發生於風向隨高度而順轉之情況亦可發生於風向隨高度而逆轉之情況，故可判定係由大規模環流系統所帶來，亦不屬於熱雷雨之範圍。

由附圖可知，各區中亦出現有好天氣及毛雨小雨等天氣。此等非對流性之降水現象，可能係夏初或秋初冷鋒影響及槽線過境所形成，故參看當時天氣圖對預報將大有裨益。

綜合以上所述，凡 K value、Total index 及 LFC 之值皆在臨界值之內，且 850mb 及 700mb 之風向亦落於圖中之 A、B、C 等區以內者，即預報可能生成雷雨或雷陣雨。其預報方法、圖表及程序將於下文論及。

2. 預報之程序及圖表：

就以上之討論已製成臺北地區雷雨及雷陣雨客觀預報表一種 (見附表 4-1)，按此客觀預報表及附圖 4-1B，即可製作臺北地區之雷雨客觀預報，其程序如下：

(1) 第一步驟：

凡不合第一步驟之 K value、Total index 及 LFC 臨界值者 (參看附表 4-1)，即預報不發生雷雨。其合乎臨界值者，預報可能發生雷雨，再作第二步之檢查。

(2) 第二步驟：

凡 850mb 及 700mb 風向不落於附圖 4-1B 之 A、B、C 區域內者，亦預報不發生雷雨。其落於 A、B、C 區內者，預報可能發生雷雨，再作第三步之檢查。

(3) 第三步驟：

按附表 4-1 第三步驟所列 850mb 風向區分，可分別預報雷雨、雷雨及陣雨、雷雨陣雨及其他雨出現之機率。

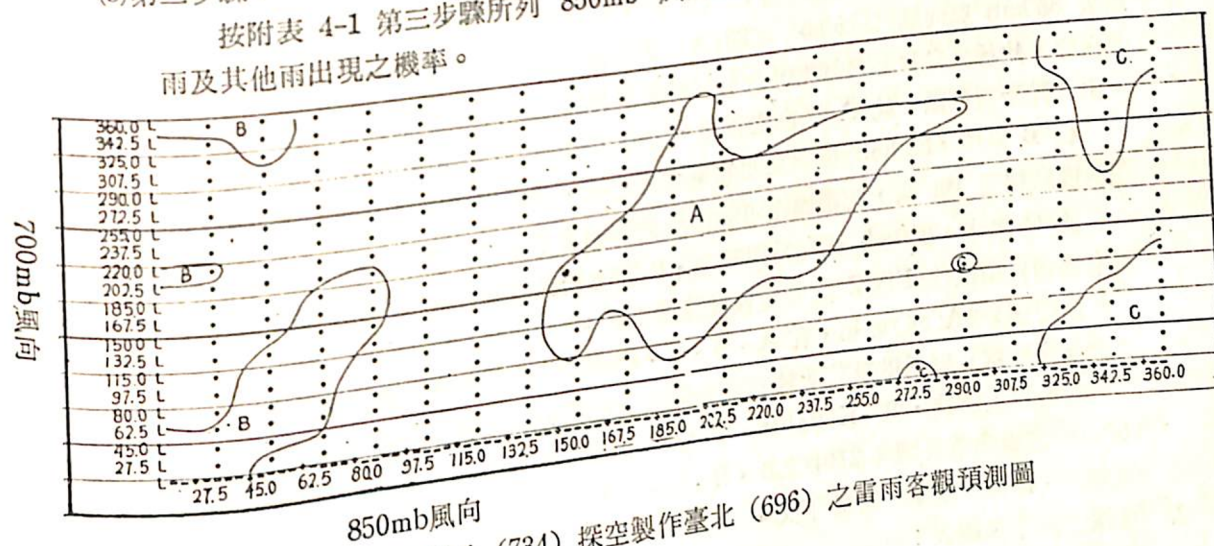


圖 4-1B 利用馬公 (734) 探空製作臺北 (696) 之雷雨客觀預測圖

(三) 桃園 (697)

1. 選用之預報因子及理由：

根據本文二及本節序言之討論，桃園之探空資料對當地之雷雨預報，尚不及馬公探空資料佳，故桃園之雷雨預報係以馬公之探空為依據。於 K value-Total index 之散佈圖中，總數 49 日雷雨中之 47 日 (95.9%)，10 日陣雨中之 9 日 (90%)，總數 59 日雷陣雨中之 56 日 (94.9%) 係集中於 K value ≥ 24.8 < 41.8 、Total index ≥ 37.4 < 49.9 之範圍內，而總數 220 日無天氣日中僅 171 日 (77.7%)，289 毛雨日中僅 231 日 (79.9%) 係落於此範圍內。顯然此散佈圖中之 K value 值及 Total index 值對雷雨之生成極有關連。又於 K value-LFC 之散佈圖中，亦有 47 日之雷雨 (95.9%)，9 日之陣雨 (90%)，56 日之雷陣雨 (94.9%)，係集中於 K value ≥ 24.8 < 41.8 、LFC ≥ 675 mb 之範圍內，而僅有 231 日之無天氣及毛雨日 (80.0%) 係集中於此區域，故 LFC 之值亦應為預報雷雨之極佳因子。因此決定採用 K value ≥ 24.8 < 41.8 、Total index ≥ 39.5 < 52.0 、LFC ≥ 675 mb，為最重要之第一步預報因子之臨界值。次一步驟係使用電子計算機驗算，將四類天氣中不合於上述臨界值者予以剔除。因根據前文二 (三) 3 之敘述，吾人已知 K value-露點、850mb-700mb 風向、700mb-500mb 風向之散佈圖亦極具代表性，故將其合乎臨界值者以露點、850mb、700mb 及 500mb 風向為因子製作第二步之散佈圖。

於第二步 (Second step) 之六張散佈圖中，經研判結果，以 850mb-700mb 風向之散佈圖為最佳。合於 K value、Total index 及 LFC 之臨界值者有 47 雷雨日，56 雷陣雨日。而在 47 雷雨日之中有 35 日 (74.4%)，56 雷陣日中有 39 日 (69.8%) 係位於 850mb 150° 至 237.5° 之南來風區域之中 (附圖略)，但合於臨界值之無天氣日為 165 日中僅有 73 日 (44.2%) 位於此同一區域之內。與理論甚為吻合，亦能將雷陣雨日與無天氣日 (好天氣) 予以部份區分。

，故可用為第二步之預報圖。

於850mb—700mb 風向之散佈圖中，雷雨及陣雨全部係分佈於 A、B、C 及 D 四區。因此，K value、Total index 及 LFC 合於臨界值，若其 850mb 及 700mb 風向不落於此四區中，則可報不發生雷雨。於全部各種天氣之 348 日中，有 174 日（佔總日數之 50%）可使用此方法預報不發生雷雨及雷陣雨，其準確率高達 98.3% 及 97.7%，效果極為理想（詳見附表 4-2）。由圖中顯示，850mb 風向 $\geq 80.0^\circ$ $< 132.5^\circ$ 之範圍內，為絕對不發生雷雨之區域，主要係因此等氣流經過中央山脈至桃園機場，有顯著之下沉作用，而限制對流性雲發展之故。

於 850—700mb 風向之散佈圖中，最多之雷雨日（ $\frac{34}{46}$ ）係位於南來風之 A 區中。如將此 A 區以 850mb—700mb 無風向切變之直線劃分為二（附圖略），則直線上方之 Aa 區為風向隨高度之順轉區，根據熱風原理為暖平流區，應有顯著之上升氣流，故 A 區內之雷雨有 58.8% 係分佈於 Aa 範圍內。直線下方之 Ab 區，風向隨高度而逆轉，顯示此層內有冷平流，但此時馬公 850mb 風向為 $\geq 150.0^\circ$ $< 237.5^\circ$ ，在正常之氣流配置情況下，桃園 850mb 風向應為南至西南西，此種來自海上之氣流所含水汽必相當豐沛，且受顯著之地形迫舉作用，故仍有雷雨發生。由此點事實判斷，此 A 區內之雷雨，大多應屬典型之熱雷雨及地形雷雨。

在 B 區中，850mb 風向為北北東至東北東，此區之雷雨絕大部份（83.3%）均發生於風向隨高度順轉之 Ba 區，此種雷雨可能由馬公西南方至東南一帶之熱帶性低壓或 ITCZ 所引起。於 C 區中，850mb 風向為西至北，均發生於風向隨高度順轉之情況下，此種雷雨大多由附近熱帶性環流或 ITCZ 之大規模氣流所引起。

由附圖 4-2A(略)可知，在 A、B、C、D 四區中亦出現有好天氣及毛雨、小雨等天氣，此等天氣多係槽線、副低壓及其他較弱之熱帶性環流所引起，故參考當時天氣圖對預報將大有裨益。

綜合以上所述，凡 K value、Total index 及 LFC 之值皆在臨界值之內，且 850mb 及 700mb 之風向落於圖 4-2B 中之 A、B、C、D 各區以內者，即預報可能生成雷雨或雷陣雨，其預報方法、圖表、及程序詳如下文。

2. 預報之程序及圖表：

按以上討論已製成桃園地區雷雨及雷陣雨客觀預報表一種（見附表 4-2），依此客觀預報表及附圖 4-2B，即可製作桃園地區之雷雨客觀預報，其程序及步驟與前述臺北地區者相同。

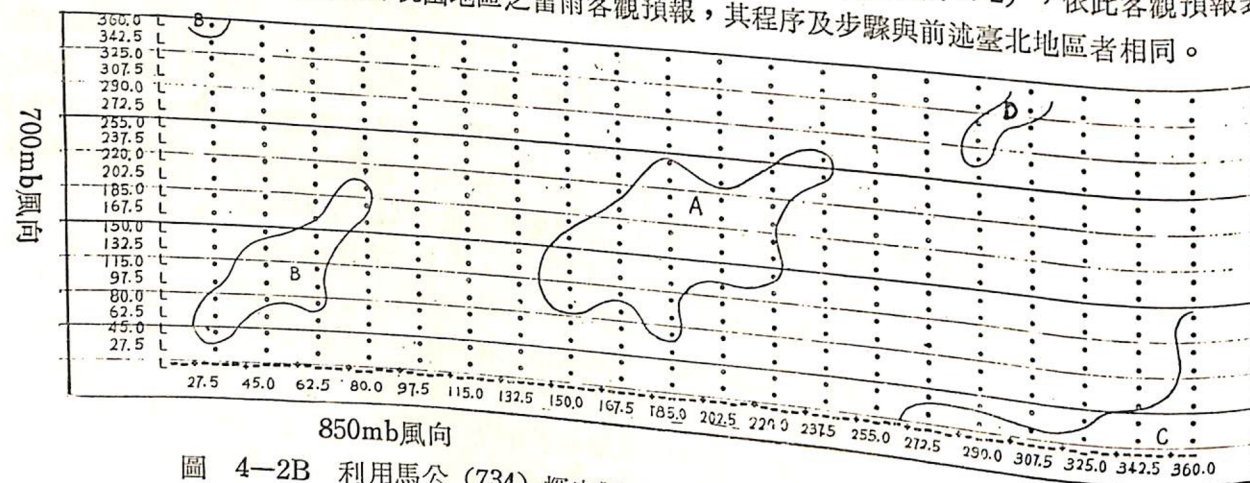


圖 4-2B 利用馬公 (734) 探空製作桃園 (697) 之雷雨客觀預測圖

(四) 新竹 (756)

1. 選用之預報因子及理由：

新竹之雷雨預報，如本文二及本節序言所論，亦係以馬公之探空資料為依據。檢查 K value—Total index 散佈圖中，總數 35 日雷雨日之全部，16 日陣雨中之 13 日（81.3%），51 日雷陣雨中之 48 日（94.1%）係集中於 K value ≥ 24.8 與 < 41.8 及 Total index ≥ 35.3 與 < 49.9 之範圍內，而總數 214 日無天氣日中僅 170 日（79.4%），296 日無天氣及毛雨日中之

245 日（82.8%）係落於上述範圍內。顯然此散佈圖中之 K 值及 Total index 值對雷雨之生成極有關連。尤有進者，根據前述附圖，吾人可將 K value 上限修訂採用 < 38.4 ，此時雷雨日數雖有一日落於上述範圍外，但相對亦有無天氣日 10 日，無天氣及毛雨日 25 日落於範圍之外，顯然提高 K value 及 Total index 值與雷雨發生之關連性甚多。又於 K value—LFC 之散佈圖中，亦有 34 日之雷雨（97.1%），13 日之雷陣雨（81.3%），47 日之雷陣雨（92.2%），係集中於 K value ≥ 24.8 與 < 38.4 、LFC ≥ 675.0 mb 之範圍內，而僅有 216 日之無天氣及毛雨日（73.0%）係集中於此範圍內。就該圖中吾人亦可發現，K value 愈大時，可發生雷雨之 LFC 亦愈高，與學理極相配合，此係因馬公正處於新竹之西南方，對新竹地區最有代表性之故。因此決定採用 LFC ≥ 675.0 mb、K value ≥ 24.8 < 38.4 及 Total index ≥ 35.3 < 49.9 為最重要之第一步預報因子之臨界值。

第二步驟 (Second step) 檢算及研判結果，亦發現 850mb—700mb 風向之散佈圖與雷雨發生之關係最佳。如附圖 4-3A (略) 所示，前述合於第一步條件之 34 日雷雨日，47 日雷陣雨日均落於圖中 A、B、C 三區之範圍內，而原集中於第一步臨界值內之 157 日無天氣日中僅 51 日（32.5%），216 日無天氣及毛雨日中僅 74 日（34.3%），係落於 A、B、C 區之範圍內，故知 850mb 至 700mb 厚度內之風向變化，對雷雨及無天氣日之分辨力甚大，可作為第二步之預報因子。凡 850mb 及 700mb 風向不落於 A、B、C 區域中者，即預報將不發生雷雨，及雷陣雨。按本研究之統計，於全部各類天氣之 348 日中，有 216 日（佔總日數之 62.1%）可使用此方法預報不發生雷雨，其準確率高達 99.5%，如預報不發生雷雨及陣雨，其準確率亦可高達 98.2%，結果極為理想（詳見附表 4-3）。

於 850mb—700mb 風向散佈圖中，雷雨極明顯係集中於圖中 A 區（28/34），亦即在 850mb 南來風（ 132.5° 至 255.1° ）範圍內，而相對之無天氣及毛雨日僅 77（77/213）日在同一範圍內。其他集中區尚有 B、C 二區，其中又以 B 區集中較明顯，但二區之總和雷雨日數亦僅 6（6/34）日，不但所佔比例甚少，且由風向垂直分佈可知，此雷陣雨應非熱對流性者。按 B 區中雷陣雨總共僅 10（10/47）日，其中有 6 日 850 至 700mb 均為東北至東風，700mb 則分別為東北至東風而 700mb 為東南至南風。至於 C 區 850mb 均吹西至西北風，700mb 則分別為西至西北及東北風，此等風系分佈似屬南海低壓、颱風副低壓、或界面系統所致。同時由於 B、C 二區中雷雨之發生非純由熱力所致，參考當時天氣圖將大有助於預報。又 A 區亦可沿 850mb 及 700mb 等風向線（無風向切變線）一分為二，直線上方為順轉（Aa）區，下方為逆轉（Ab）區，Aa 中發生雷陣雨之機會略大於 Ab 區。

又由附圖 4-3B 中可見，當 850mb 風向在 ≥ 80 度至 < 150 度範圍內時，新竹地區無雷雨及陣雨發生，此與該地區地形有密切關係，因新竹地區正當上述風向之背風面。綜上所述，新竹地區雷雨預報因子亦為 K value、Total index、LFC 及 850—700mb 風向，其預報方法、程序及圖表將於下文討論之。

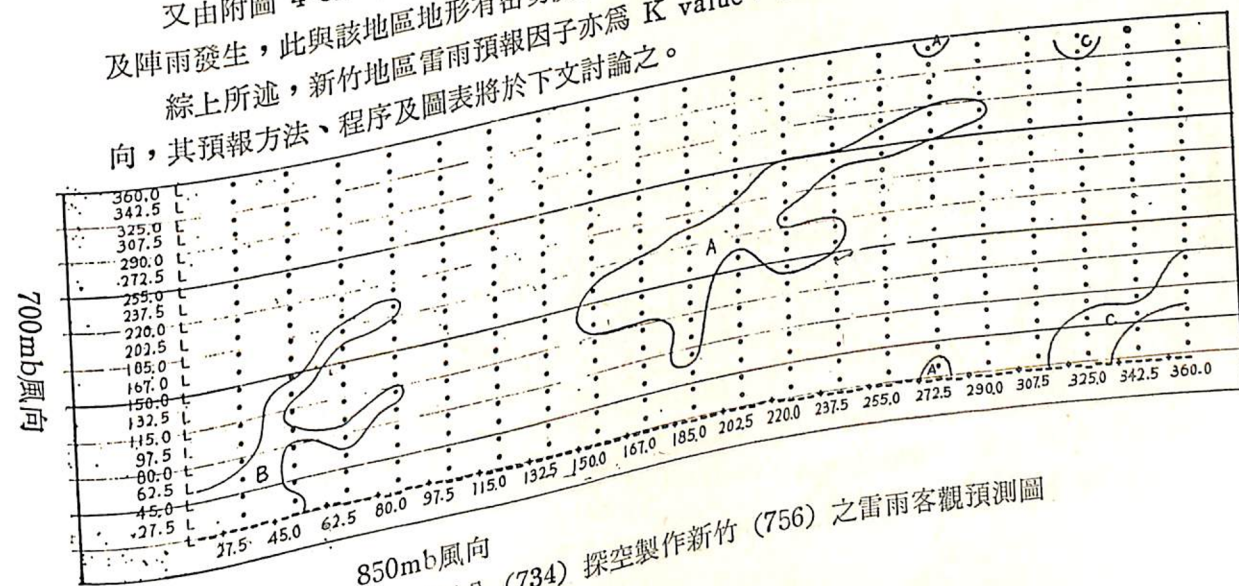


圖 4-3B 利用馬公 (734) 探空製作新竹 (756) 之雷雨客觀預測圖

2. 預報程序及圖表：

就以上討論可製成新竹地區雷雨及雷陣雨客觀預報表一種（見附表 4-3），按此表及附圖 4-3B，即可製作新竹地區之雷陣雨客觀預報，其程序與臺北地區者相同。

(四) 清泉崗 (770)

1. 選用之預報因子及理由：

如前文所述，清泉崗之雷雨預報，亦以利用馬公之探空為優。於 K value—Total index 散佈圖中，總數 66 日雷雨之全部 (100%)，98 日陣雨中之 88 日 (91%)，總數 162 日雷及陣雨中之 153 日 (94%) 係集中於 K value $\geq 21.3 < 41.8$ 、Total index $\geq 35.3 < 52.0$ 之範圍內，而總數 171 日無天氣中僅 146 日 (85%)，186 日無天氣及毛雨日中僅 160 日 (86%) 係落於此範圍內。由此分佈情形可知，K 值及 Total index 對雷雨之生成具有相當關連性。又於 K value—LFC 之散佈圖中，亦係 66 雷雨日之全部 (100%)，98 日陣雨中之 88 日 (89.8%)，162 日之雷及陣雨中之 153 日 (94%)，係集中於 K value $\geq 21.3 < 41.8$ 、LFC $\geq 675\text{mb}$ 之範圍內，而無天氣日却有 29 日 (較 K value—Total index 散佈圖多 4 日) 不在此範圍內，故 LFC 之值亦應為預報雷雨之良好因子。因此，對清泉崗地區決定採用 K value $\geq 21.3 < 41.8$ 、Total index $\geq 35.3 < 52.0$ 及 LFC $\geq 675\text{mb}$ 為最重要之第一步預報因子之臨界值。

第二步驟係使用電子計算機檢算，將四類天氣中不合於上述條件者剔除，凡被剔除者即可預報無雷雨及陣雨發生。經檢算後，再根據前文所述可能對預報雷雨及陣雨有助之因子作第二步之散佈圖。

清泉崗與其他基地情況相同，於第二步中亦以 850mb—700mb 風向散佈圖最具可用性。由附圖 4-4 (略) 可知，合於第一步臨界值條件之 66 日雷雨及 88 日陣雨，仍集中於圖中曲線範圍內，而原落於臨界範圍內之 146 日好天氣有 71 日 (49%)，無天氣及毛雨天氣之 160 日有 78 日 (49%)，係落於第二步臨界範圍之外，有此可見 850mb—700mb 風向之散佈情況，對清泉崗雷雨或雷陣雨之發生，極具影響。又由該風向分佈圖中可見，絕大部分之雷雨 (64%) 及雷雨和陣雨 (67%) 係在 850mb 南來風範圍內，此點亦符合熱雷雨之原理。

清泉崗之 850mb—700mb 散佈圖中，顯見雷雨 (30/66) 及陣雨 (35/88) 多發生於風向順轉 (暖平流) 條件下，相對發生於冷平流條件下者 (19/63、24/88) 較少，此結果亦與理論極相配合。

上述風向散佈圖亦可分為 A、B、C 三區，其中以 A 區，尤其是 Aa 區中發生雷及陣雨之機率最大，C 區之機率則甚少。故預報員對馬公探空指示 850mb 有南來風，而風向又屬順轉者應特別注意。反之，當探空指示屬 B、C 區情況時，應配合天氣圖，以探討北來風發生雷雨之天氣因素。

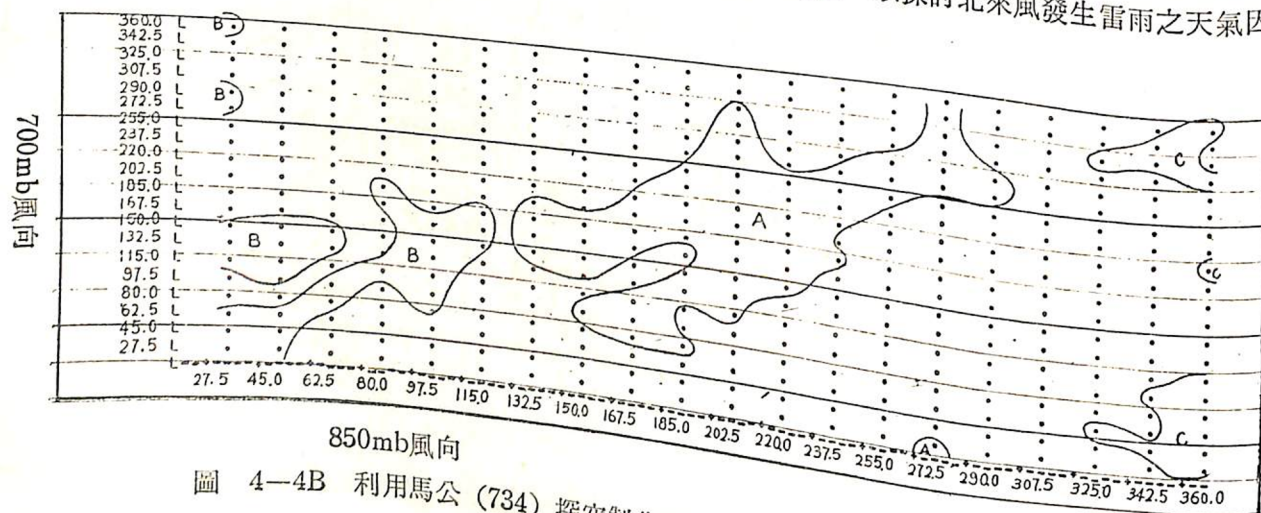


圖 4-4B 利用馬公 (734) 探空製作清泉崗 (770) 之雷雨客觀預測圖

綜上所述凡 K value、Total index 及 LFC 之值皆在臨界值內，且 850mb—700mb 之風向分佈亦落於 A、B、C 區內，即可預報有雷雨或陣雨發生之可能。反之，可預報不會有雷雨或陣雨之發生。於全部 348 日各種天氣中，有 106 日 (佔總日數之 30.5%) 可使用此方法預報不發生雷雨，其機率高達 100%，如預報不發生雷雨及陣雨，其機率亦可達 86.8% (詳見附表 4-4)，成效極佳。

2. 預報之程序及圖表：

就以上之討論已製成清泉崗地區雷雨及雷陣雨客觀預報表一種 (詳見附表 4-4)，根據此表及附圖 4-4B 即可製作該地區之客觀預報，其方法及程序與臺北地區者相同。

(四) 屏東 (750)

1. 選用之預報因子及理由：

根據本文二及本節序言之討論，屏東之雷雨預報係以馬公之探空為依據。於 K value—Total index 之散佈圖中，總數 149 日雷雨中之 146 日 (98%)，38 日陣雨中之 34 日 (89.5%)，總數 187 日雷陣雨中之 180 日 (96%) 係集中於 K value $\geq 21.3 < 41.8$ 、Total index $\geq 35.3 < 52.0$ 之範圍內，而總數 115 日無天氣日中僅 97 日 (84.3%)，161 日無天氣及毛雨日中僅 139 日 (86.3%) 係落於此範圍內。顯然此散佈圖中之 K value 值及 Total index 值對雷雨之生成極有關連。又於 K value—LFC 之散佈圖中，亦有 146 日之雷雨 (98%)，34 日之陣雨 (89.5%)，180 日之雷陣雨 (96%)，係集中於 K value $\geq 21.3 < 41.8$ 、LFC $\geq 675\text{mb}$ 之範圍內，而僅有 132 日之無天氣及毛雨日 (82%) 係集中於此區域，故 LFC 之值亦應為預報雷雨之極佳因子。因此決定採用 K value $\geq 21.3 < 41.8$ 、Total index $\geq 35.3 < 52.0$ 、LFC $\geq 675\text{mb}$ 為最重要之第一步預報因子之臨界值。

次一步驟係使用電子計算機檢算，將四類天氣中不合於上述臨界值者予以剔除。凡不合於臨界值者即預報可能無雷雨及雷陣雨。因根據前文二 (三) 3 之敘述，吾人已知 K value—露點、850mb—700mb 風向、700mb—500mb 風向之散佈圖亦極有代表性，故將其合乎臨界值者以露點、850mb、700mb 及 500mb 風向為因子製作第二步 (Second step) 之散佈圖。

於 Second step 之六張散佈圖中，經研判結果，以 850mb—700mb 風向之散佈圖最佳。合於 K value、Total index 及 LFC 之臨界值者有 144 雷雨日，178 雷陣雨日，而在此 144 雷雨日之中有 92 日 (64%)，178 雷陣雨日中有 115 日 (64.6%) 係位於 850mb 132.5° 至 237.5° 之南來風區域之中 (詳見附圖 4-5A 略)，但合於臨界值之無天氣日為 92 日中僅有 42 日 (45.7%) 位於此同一區域之內。與理論甚為吻合，亦能將雷陣雨日與無天氣日 (好天氣) 予以部份區分，故可用為第二步之預報圖。

於 850mb—700mb 風向之散佈圖中，雷雨及陣雨極明顯係集中於 A、B、C 三區，並有極少數散佈於 D 區之中，好天氣則不盡然。故雖 K value、Total index 及 LFC 合於臨界值，若其 850mb 及 700mb 風向如不落於此四區之中，發生雷雨之機會亦極少，故仍可報不發生雷雨，事實上經此步驟過濾後，可將另一部份之好天氣濾除而增加不發生雷雨之機率，故可用為預報之第二步手續。

於 850—700mb 風向之散佈圖中，最多之雷雨日 (144) 皆位於 850mb 為南來風之 A 區中。如將 A 區以 850—700mb 無風向變化之直線分割為二 (附圖 4-5 略)，則直線上方之 Aa 區為風向隨高度順轉區，根據 ω 公式應有較強之上升氣流，故 850mb 風向偏西至 $\geq 290^\circ$ 及 $< 307.5^\circ$ 仍可生雷雨。直線下方之 Ab 區為風向隨高度之逆轉區，按理論及屏東之地形需有南至西南風始有充沛之水汽且為山脈阻擋而生上升氣流而生雷雨，於 Ab 區中多數之雷雨皆位於 850 風向為 $\geq 167.5^\circ < 220.0^\circ$ 之區域，亦與理論極相吻合。又於 A 區之中，發生雷雨最多之頻率係位於 850—700mb 風向順轉 $0-35^\circ$ 及 850mb 與 700mb 皆為西南風之區域，以此判斷 A 區中之雷雨應屬典型之熱雷雨及地形雷雨。

於B區及C區中 850mb 皆為東北風，顯見此等雷雨係因馬公東南方之南海、巴士海峽、或太平洋上有熱帶性低氣壓，或臺灣西海岸至馬公南方間有因颱風而形成之副低壓所形成，應屬大規模上升氣流之產物而不應歸於熱雷雨，故 850mb—700mb 間風向隨高度順轉及逆轉皆可生雷雨，但於圖中明顯可見風向隨高度順轉時雷雨之頻率遠較逆轉時為多。

於散亂之D區，850mb 之風向為西北風，此等雷雨多由馬公東北方有熱帶性低壓或副低壓所引起，亦不屬熱雷雨。

由附圖可知 B.C.D 三區中亦出現有好天氣及毛雨、小雨等天氣，因 850mb 及 700mb 多為北來風，此等天氣多係六月初及九月底因冷鋒影響，850mb 槽線過境所形成，其生成原因與附圖A區中之雷雨迥然不同，故參看當時天氣圖對預報將大有所益。

綜合以上所述凡 K value、Total index 及 LFC 之值皆在臨界值之內，且 850mb 及 700mb 之風向亦落於圖中之 A、B、C、D 各區以內者，即預報可能生成雷雨或雷陣雨，其預報方法、圖表、及程序將於下文論及之。

2. 預報之程序及圖表：

根據以上之討論，已製成屏東地區雷雨及雷陣雨客觀預報表一種（詳見附表 4-5），用此客觀預報表及附圖 4-5B，即可製作屏東地區之雷雨客觀預報，其程序及步驟與前述臺北地區者相同。

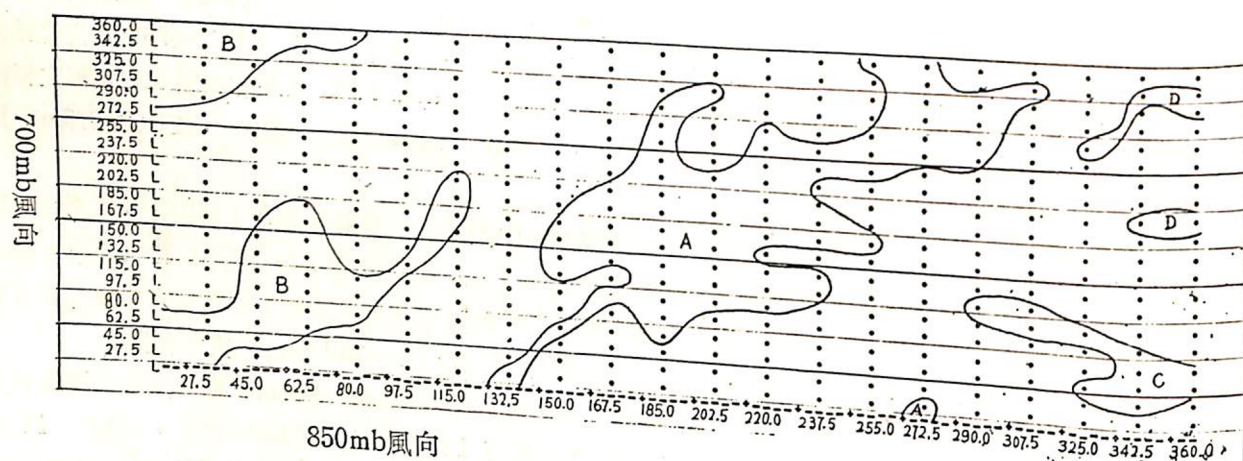


圖 4-5B 利用馬公 (734) 探空製作屏東 (750) 之雷雨客觀預測圖

(七) 臺南 (743)

1. 選用之預報因子及理由：

根據馬公之探空資料顯示，於 K value—Total index 之散佈圖中，臺南總數98日雷雨中之96日 (98%)，總數31日雷雨中之30日 (97%)，皆集中於 K value $\geq 21.3 < 41.8$ 、Total index $\geq 35.3 < 49.9$ 之範圍內。又於 K value—LFC 之散佈圖中，總數 98日雷雨中之 96日 (98%)，總數31日雷雨中之30日 (97%)，係集中於 K value $\geq 21.3 < 41.8$ 、LFC $\geq 675\text{mb}$ 之範圍內。故採用 K value $\geq 21.3 < 41.8$ 、Total index $\geq 35.3 < 49.9$ 、LFC $\geq 675\text{mb}$ 為第一步預報因子之臨界值。凡不合於此臨界值者，即預報將不發生雷雨、陣雨。其不發生雷雨之機率達 90.7%，不發生雷陣雨之機率為 88.4%。

將不合於臨界值之資料剔除後，於 Second step 所作之散佈圖中，與屏東相同，仍以 850—700mb 風向之散佈圖為最佳（詳見附圖 4-6略），且基於與屏東相同之理由，雷雨及陣雨仍極明顯集中於 A、B 及 C 區。故雖 K value、Total index 及 LFC 之值皆在臨界值範圍之內，如 850mb 及 700mb 風向不落於 A、B、C 區內時，將仍預報不發生雷、陣雨，其不發生雷雨之機率達 96.8%，不發生雷陣雨之機率達 94.4%。其落於 A、B、C 區內者，則按統計機率預報將

2. 預報之程序及圖表：

按以上之討論已製成臺南地區雷雨及雷陣雨客觀預報表乙種（附表 4-6），按此預報表及附圖 4-6B 即可製作臺南之雷雨客觀預報。其預報之程序與臺北者相同。

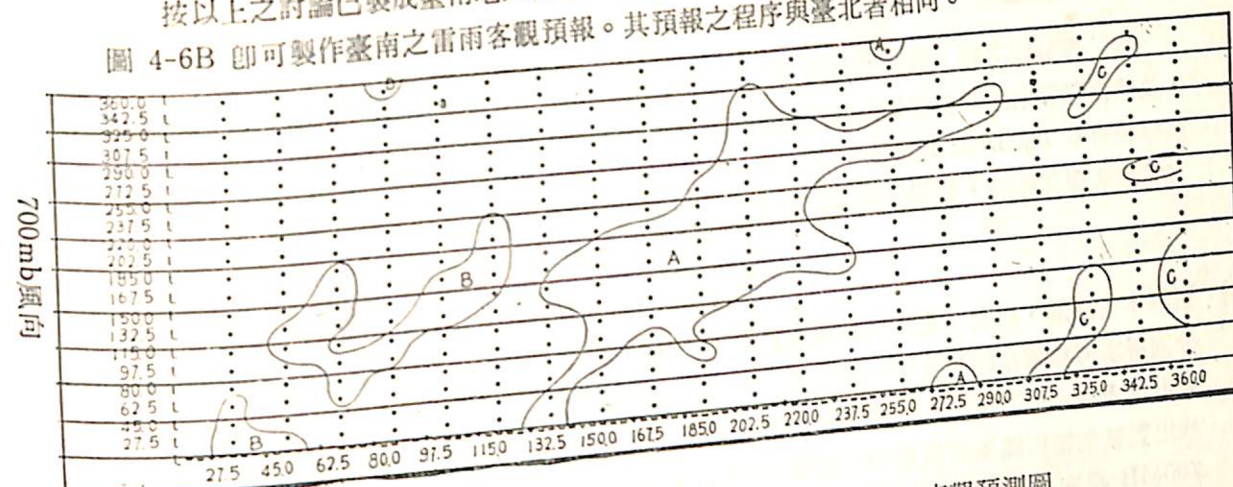


圖 4-6B 利用馬公 (734) 探空製作臺南 (743) 之雷雨客觀預測圖

(八) 嘉義 (746)

1. 選用之預報因子及理由：

根據馬公之探空資料顯示，於 K value—Total index 之散佈圖中，嘉義總數 100日雷雨中之 97 日 (97%)，總數 27 日陣雨之全部 (100%)，皆集中於 K value $\geq 21.3 < 41.8$ 、Total index $\geq 37.4 < 52.0$ 之範圍內。又於 K value—LFC 之散佈圖中，總數 100 日雷雨中之 96 日 (96%)，總數 27 日陣雨中之 26 日 (96.3%)，皆集中於 K value $\geq 21.3 < 41.8$ 、LFC $\geq 675\text{mb}$ 之範圍內。故採用 K value $\geq 21.3 < 41.8$ 、Total index $\geq 37.4 < 52.0$ 、LFC $\geq 675\text{mb}$ 為第一步預報因子之臨界值，凡不合於此臨界值者即預報將不發生雷雨及陣雨。其不發生雷雨之機率為 89.4%，不發生雷陣雨之機率為 87.2%。

將不合於臨界值之資料剔除後，於 Second step 所作之散佈圖中，仍以 850mb—700mb 風向圖為最佳，其分佈形態與屏東類似（詳見附圖 4-7A略）。其理由亦與屏東相似，不再贅述。凡 850mb 及 700mb 不落於附圖之 A、B、C 區域中者，將預報不發生雷雨。於全部各類天氣之 348 日中，有 118 日 (佔總日數之 33.9%) 可使用此方法預報不發生雷雨。故採用為第二步之預報因子。凡 K value、Total index 及 LFC 之值皆在臨界值之內，且 850mb 及 700mb 風向落於 A、B、C 區域中者，即預報可能生成雷雨。

2. 預報之程序及圖表：

根據以上討論已製成嘉義地區雷雨客觀預報表一種（詳見附表 4-7），使用此預報表及附圖 4-7B，即可製作嘉義地區之雷雨客觀預報，其程序及步驟與前述臺北地區者相同，不再贅述。

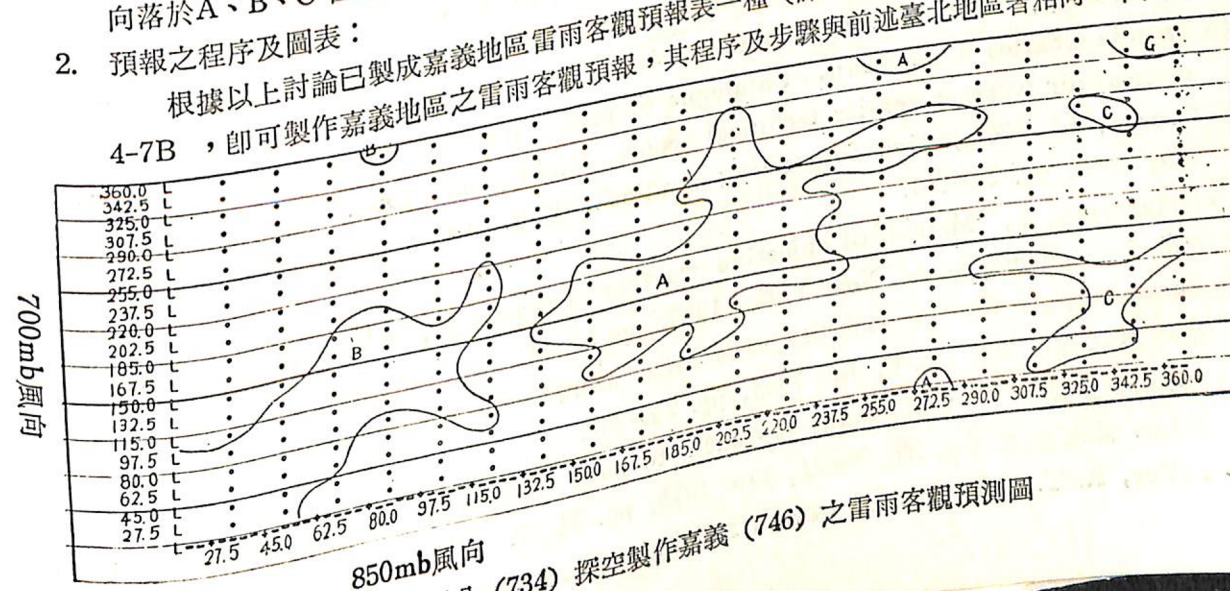


圖 4-7B 利用馬公 (734) 探空製作嘉義 (746) 之雷雨客觀預測圖

(九) 預報方法之校驗

本計劃製作之時，原擬將民國 57 年之資料留為預報方法校驗之用，但研究結果臺灣北部，中部，及西南部等七地區皆以馬公探空最具代表性，為始料之未及，而馬公探空站於民國 57 年（含）以前係於每日 0600Z 及 1800Z 施放探空，故無 1200Z 資料可供校驗。擬於明（65）年度續作其他地區之雷雨客觀預報時，使用民國 64 年度之馬公探空資料校驗之。

五、結 論

- (一) 研判本省桃園、馬公、東港三站探空資料，及臺北松山等七地區之地面觀測之全部原始及計算資料，分別尋求何種氣象因子及何一探空站之資料，對臺灣西北部、中部、及西南部地區之雷、陣雨之發生最有代表性。已證明馬公之探空資料對本省西海岸、北、中、南各地發生之雷雨關係最為密切，且已找出對發生雷雨關係最為密切之氣象因子為 K value、Total index、LFC、850MB 風向、700MB 風向。與地面觀測資料之關係似不大。
- (二) 因以往國內氣象學家對雷雨預報之研究僅限雷雨日，尚無人對雷雨日與其他天氣日之比例，做全面之研究。本研究係使用電子計算機統計及分析多量之預報因子，以逐步（Stepwise）方法，將雷雨及陣雨日與其他天氣分隔，尋求雷雨及陣雨發生及不發生之真正機率，製成客觀預報圖，以為氣象機構實際製作雷雨預報之參考。使用（一）中所述因子已製成臺北松山、桃園、新竹、清泉崗、嘉義、臺南、屏東等七地區雷雨及陣雨發生與否之機率客觀預報圖表共十四張，以供各軍民氣象單位之參考，對保障飛行之安全應有所助益。
- (三) 經使用局部環流指數，即 850mb 及 700mb 之高度差，以代替複雜之天氣類型，使雷雨之客觀預報更為精確。但此一嘗試未有結果，其原因為影響本省之天氣系統複雜，似需設計其他參數以代替之。以上係就臺灣各地探空及地面資料所求得各參數對各地雷雨客觀預報之研究。因雷雨之發生受天氣系統之影響甚大，故於明（65）年度之研究中擬增列天氣系統之因子，如鋒面、間熱帶輻合區（ITCZ）、熱帶低壓及颱風、高空氣壓系統、及地面氣壓變差等，並將資料時限盡量增長，當可獲得更佳之結果。

致謝：作者除感謝行政院國家科學委員會對本研究計劃之支持與補助外，並對劉民樂、俞家忠、王時鼎、應思妙、鍾孝林、劉廣英、徐士哲及鍾振瓊諸同仁之協助致謝。

重要有關文獻：

- 一、林則銘譯：斜溫圖於天氣分析及預報上之應用。空軍總部印，民國 55 年 10 月。
- 二、俞家忠：臺北地區雷雨之研究。氣象預報與分析第 50 期，Feb. 1972。
- 三、Allen, R.A. and Vernon, E.M., "Objective weather forecasting" in compendium of meteorology, Amer. Met. Soc., Boston, Mass., 1951, pp. 796-801.
- 四、Captain Charles S. Cushman, "Catalogue of predictors used in local objective forecast studies" air weather service technical report, USAF, July 1960.
- 五、George, J.J., "Objective forecasting studies", Bull. Amer. Met., Vol. 33, No. 5, May 1952, pp. 199-201.
- 六、Gringorten, I., "Method of objective weather forecasting", advances in geophysics, Vol. 2, academic press, New York, 1955, pp. 57-92.
- 七、Showalter, A. K., "A stability index for thunderstorm forecasting", Bull. Amer. Met. Soc. Vol. 34, No. 6, Jan 1953, pp. 250-252.
- 八、Sortor, J. D., "A systematic approach to local objective forecast studies", Bull. Amer. Met. Soc. Vol. 39, No. 1, Jan. 1958, pp. 21-27.
- 九、Telfer, R. T., "A practical way to make air mass thunderstorm forecasting easier

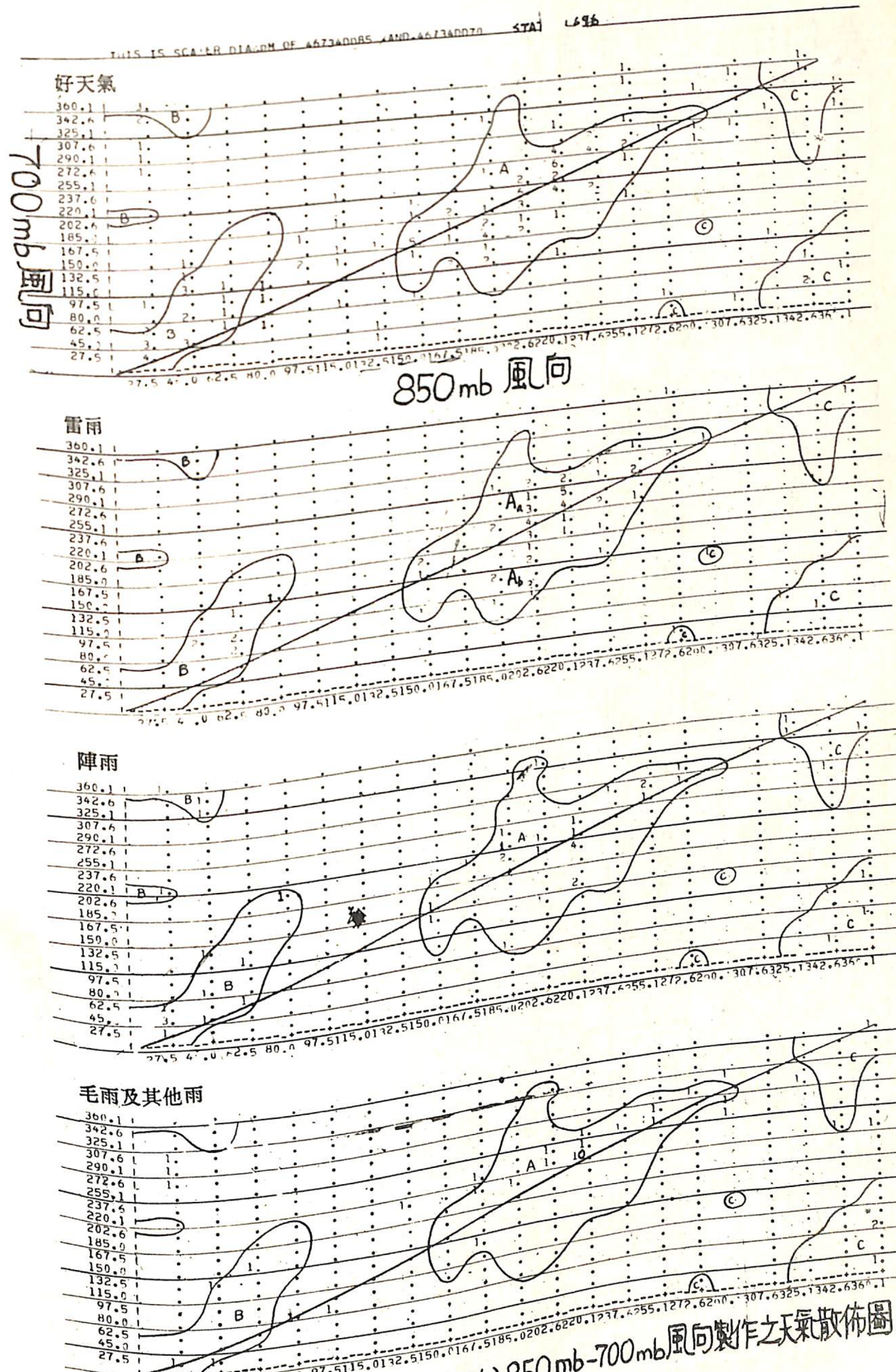


圖4-1A：台北(696)測站利用馬公(734)850mb-700mb風向製作之天氣散佈圖

表4-1 台北(696) 地區雷雨及雷陣雨客觀預報表

第一步驟	預報條件		雷		雨		雷		雨		反		陣		雨																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	734 探空 K VALUE $\geq 21.3 < 41.8$ TOTAL INDEX $\geq 35.3 < 49.9$ LFC $\geq 675\text{mb}$		合		不 合		合		不 合		合		不 合		合																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
			可能 有		機 率 $\frac{41}{41} \quad \frac{100}{100}$		可能 有		機 率 $\frac{35}{41} \quad \frac{85.4}{100}$		可能 有		機 率 $\frac{100}{106} \quad \frac{94.3}{100}$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
第二步驟	734 探空 850mb及700mb風向 是否落於ABC區		是		否		是		否		是		否		是																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
第三步驟	734 探空 850mb風向 落於A區		發		生		機		率		雷		雨		+ 陣雨 + 其他雨																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
			雷		雨		雷		雨 + 陣雨		雷		雨 + 陣雨 + 其他雨																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
			115-132		133-149		150-167		168-184		185-202		203-219		220-237		238-254		255-272		273-289		平 均																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											</

表4-2 桃園(697) 地區雷雨及雷陣雨客觀預報表

表4-2挑園(697)地區雷雨及雷雨		雷雨		雷雨		雷雨					
第一步驟	預報條件	雷雨		雷雨		雷雨					
		合	不合	合	不合	合	不合				
		可能	無	可能	無	可能	無				
第二步驟	734探空 K VALUE $\geq 24.8 < 41.8$ TOTAL INDEX $\geq 37.4 < 49.9$ LFC $\geq 675\text{mb}$	可能	無	可能	無	可能	無				
								66	95.7	65	94.2
								69	100	69	100
第三步驟	734探空 850mb及700mb風向 是否落於ABCD區	是	否	是	否	是	否				
								可能	無	可能	無
								171	98.3	174	97.7
第四步驟	734探空 850mb風向 落於A區	發生率	發生率	發生率	發生率	發生率	發生率				
								100	100	100	100
								100	100	100	100
第五步驟	734探空 850mb風向 落於B區	發生率	發生率	發生率	發生率	發生率	發生率				
								100	100	100	100
								100	100	100	100
第六步驟	734探空 850mb風向 落於C區	發生率	發生率	發生率	發生率	發生率	發生率				
								100	100	100	100
								100	100	100	100
第七步驟	734探空 850mb風向 落於D區	發生率	發生率	發生率	發生率	發生率	發生率				
								100	100	100	100
								100	100	100	100

表4-3 新竹(756)地區雷雨及雷陣雨客觀預報表

第一步驟	預報條件		雷雨		雷雨反陣雨	
	734 探空 K VALUE $\geq 248 < 38.4$ TOTAL INDEX $\geq 35.3 < 49.9$ LFC $\geq 675\text{mb}$		合	不合	合	不合
第二步驟	734 探空 850mb及700mb風向 是否落於ABC區		可能	無	可能	無
			率	率	率	率
第三步驟	734 探空 850mb風向 落於A區		215 216	99.5 100	212 216	98.2 100
			215 216	99.5 100	212 216	98.2 100
第一步驟	734 探空 850mb風向 落於B區		215 216	99.5 100	212 216	98.2 100
	734 探空 850mb風向 落於C區		215 216	99.5 100	212 216	98.2 100

表4-4 清泉崗(770)地區雷雨及雷陣雨客觀預報表

第一步驟	預報條件		雷雨		雷雨反陣雨	
	734 探空 K VALUE $\geq 213 < 41.8$ TOTAL INDEX $\geq 35.3 < 49.9$ LFC $\geq 675\text{mb}$		合	不合	合	不合
第二步驟	734 探空 850mb及700mb風向 是否落於ABC區		可能	無	可能	無
			率	率	率	率
第三步驟	734 探空 850mb風向 落於A區		106 106	100 100	92 106	86.8 100
			106 106	100 100	92 106	86.8 100
第一步驟	734 探空 850mb風向 落於B區		106 106	100 100	92 106	86.8 100
	734 探空 850mb風向 落於C區		106 106	100 100	92 106	86.8 100

表4-5 屏東 (750) 地區雷雨及雷陣雨客觀預報表

第一步驟	預報條件		雷雨		雷雨反陣雨	
	734 探空 K VALUE $\geq 21.3 < 41.8$ TOTAL INDEX $\geq 35.3 < 52.0$ LFC $\geq 675\text{mb}$		合	不合	合	不合
第二步驟	734 探空 850mb及700mb風向 是否落於ABC區	是	可能	無	可能	無
			33 38	86.8 100	29 38	76.3 100
第三步驟	734 探空 850mb風向 落於A區	是	發	生	率	
			雷雨	雷雨+陣雨	雷雨+陣雨+其他雨	
第四步驟	734 探空 850mb風向 落於B, C區	是	發	生	率	
			雷雨	雷雨+陣雨	雷雨+陣雨+其他雨	
第五步驟	734 探空 850mb風向 落於D區	是	發	生	率	
			雷雨	雷雨+陣雨	雷雨+陣雨+其他雨	
第六步驟	B, C, D 區	平均	發	生	率	
			雷雨	雷雨+陣雨	雷雨+陣雨+其他雨	

表4-6 台南 (743) 地區雷雨及雷陣雨客觀預報表

第一步驟	預報條件		雷雨		雷雨反陣雨	
	734 探空 K VALUE $\geq 21.3 < 41.8$ TOTAL INDEX $\geq 35.3 < 49.9$ LFC $\geq 675\text{mb}$		合	不合	合	不合
第二步驟	734 探空 850mb及700mb風向 是否落於ABC區	是	可能	無	可能	無
			39 43	90.7 100	38 43	88.4 100
第三步驟	734 探空 850mb風向 落於A區	是	發	生	率	
			雷雨	雷雨+陣雨	雷雨+陣雨+其他雨	
第四步驟	734 探空 850mb風向 落於B區	是	發	生	率	
			雷雨	雷雨+陣雨	雷雨+陣雨+其他雨	
第五步驟	734 探空 850mb風向 落於C區	是	發	生	率	
			雷雨	雷雨+陣雨	雷雨+陣雨+其他雨	
第六步驟	平均	平均	發	生	率	
			雷雨	雷雨+陣雨	雷雨+陣雨+其他雨	

表4-7嘉義(746) 地區雷雨及雷陣雨客觀預報表

第一 步驟	預報條件		雷		雨		雷 雨 及 陣 雨					
	734 探空 K VALUE $\geq 21.3 < 41.8$ TOTAL INDEX $\geq 37.4 < 52.0$ LFC $\geq 675 \text{mb}$	可能 有	合	不 合	合	不 合						
			無	無	無	無						
第二 步驟	734 探空 850 mb及700mb風向 是否落於ABC區	可能 有	是	否	是	否						
			無	無	無	無						
			機 率	機 率	機 率	機 率						
第 三 步 驟	734 探空 850mb風向 落於A區	734 850mb 風向(度)	發 生 機 率									
			雷 雨		雷 雨 + 陣 雨		雷 雨 + 陣雨 + 其他雨					
			雷	雨	雷	雨	雷	雨				
			115-132	1	100	1	100	1	100			
			133-149	7	46.7	7	46.7	10	66.7			
			150-167	3	42.9	15	100	15	100			
			168-184	7	100	3	42.9	3	42.9			
			185-202	12	66.7	12	66.7	7	100			
			203-219	18	100	18	100	13	72.2			
			220-237	12	32.4	15	40.5	18	100			
			238-254	37	100	37	100	22	59.5			
			255-272	19	99.6	26	54.2	37	100			
			273-289	48	100	48	100	30	62.5			
			平 均	3	20.0	6	40.0	48	100			
			0-27	15	100	15	100	7	46.7			
			28-44	2	100	6	100	15	100			
			45-62	10	100	10	100	8	80.0			
			63-79	3	42.9	5	71.4	10	100			
			80-97	7	100	7	100	6	85.7			
			98-114	1	100	1	100	7	100			
			平 均	1	100	1	100	1	100			
						0-27	63	100	82	100	101	100
						28-44	159	39.6	159	51.6	159	63.5
45-62	3	100				4	100	7	43.8			
63-79	16	18.8				16	25.0	16	100			
80-97	4	100				6	100	8	50.0			
98-114	16	25.0				16	100	16	100			
平 均	7	100				8	57.1	10	71.4			
273-289	4	100				4	100	14	100			
290-307	4	100				4	100	4	100			
308-324	1	100				2	100	4	100			
325-342	3	33.3				3	66.7	3	100			
343-359	3	100				3	100	3	100			
平 均	3	100				3	100	3	100			
273-289	3	100				3	100	3	100			
290-307	3	100				3	100	3	100			
308-324	3	100				3	100	3	100			
325-342	3	100				3	100	3	100			
343-359	3	100				3	100	3	100			
平 均	3	100				3	100	3	100			
						273-289	22	100	27	100	35	62.5
			290-307	56	39.3	56	48.2	56	100			
			308-324	1	100	1	100	1	100			
			325-342	1	100	1	100	1	100			
			343-359	1	100	1	100	1	100			
			平 均	4	75.0	4	75.0	4	75.0			
			273-289	3	100	3	100	3	100			
			290-307	3	100	3	100	3	100			
			308-324	3	100	3	100	3	100			
			325-342	3	100	3	100	3	100			
			343-359	3	100	3	100	3	100			
			平 均	3	100	3	100	3	100			
			273-289	2	100	2	100	2	100			
			290-307	2	100	2	100	2	100			
			308-324	2	100	2	100	2	100			
			325-342	2	100	2	100	2	100			
			343-359	2	100	2	100	2	100			
			平 均	2	100	2	100	2	100			
						273-289	10	100	11	100	12	75.0
						290-307	16	62.5	16	68.8	16	100
308-324	1	100				1	100	1	100			
325-342	1	100				1	100	1	100			
343-359	1	100				1	100	1	100			
平 均	1	100				1	100	1	100			
273-289	1	100				1	100	1	100			
290-307	1	100				1	100	1	100			
308-324	1	100				1	100	1	100			
325-342	1	100				1	100	1	100			
343-359	1	100				1	100	1	100			
平 均	1	100				1	100	1	100			
273-289	1	100				1	100	1	100			
290-307	1	100				1	100	1	100			
308-324	1	100				1	100	1	100			
325-342	1	100				1	100	1	100			
343-359	1	100				1	100	1	100			
平 均	1	100				1	100	1	100			