

台灣北部降水量客觀預報法之研究

A Study Of An Objective Precipitation Prediction On

Northern Taiwan

俞家忠
C. C. Yu

一、前言：

因為天氣可以支配地球上一切植物之生長與動物之活動，所以自有人類以來，人們的生活起居就受了天氣的主宰。古時候逐水草而生活的遊牧民族，即是明顯之先例。現在，雖然科學異常昌明，一切均在神速進步之中，美國業經兩次登月成功，但我們人類一切的一切，均擺脫不了天氣的左右。相反的，隨着時代之進步，天氣對人類的關係却變得更為密切。以空軍而論，氣象為決定飛機活動之先決條件。尤其際此不斷發展飛行速度之超音速航空器時代，飛機在空中之耐航力係隨着速度之增加而減小，故空軍活動對氣象之需求愈為迫切，亦愈為嚴格。即令平日所稱之「全天候飛機」，其活動情形或多或少仍受了惡劣天氣的限制。因此，氣象人員稍一判斷不當，即可引起機毀人亡之失事慘案。再以地面軍事部署，海上艦艇活動，地面工程設施、交通、水利、農業、漁業、拍攝電影、外出旅行遠足……等等，或多或少均受了天氣之影響。天氣之於人類，其重要性由此可見一般。

在天氣諸要素中，「風」和「雨」兩項常為人們所特別關切，蓋大風可以摧毀建築物，大雨可引起水災，使人們帶來損失，以致有「談颱風而色變」之感。惟每年颱風侵襲次數不多，故「風」的問題比較簡單。而「降水一項」不僅限於颱風，任何情形下均可發生。尤有進者，一旦降水發生，必係陰雲密布，雲幕低垂，能見度惡劣，故對空中飛機，海上艦艇，以及各種地面活動，均大受其限制。惟適當之降水量，則為農田灌溉、水利、以及電力公司所期待。因此，降水預報為目前天氣預報中之最重要課題。筆者有鑑及此，於數年前即着手此項降水專題之研究，並獲致某些結論。惟以前研究所得之有關降水預報法則，多屬主觀性 (Subjective)。即製作天氣預報時，首先須對當時自地面 (Surface) 至高空各種天氣圖，有通盤澈底之瞭解，並對其未來之演變加以推測判斷，然後根據此種未來推斷所得之天氣圖模型，高低壓及界面系統之位置，作成天氣預報，是否發生降水？因此，此種主觀性之降水預報法，對缺乏預報經驗之新進人員

而言，應用上每遭遇某種程度之困難，以致預報成效難臻理想。筆者為彌補此種缺點，乃進而研究降水之客觀預報法。所謂「客觀預報法」(Objective Forecasting Method)，係指在不考慮當時地面及高空天氣圖之形勢與未來發展之主觀事實下，而純以客觀條件為依據之預報方法。此種客觀預報方法之重點，係利用過去有關資料，將其加以整理分析統計，求出與台灣北部降水有密切相關之氣象因子，亦即求出某地一種或一種以上之氣象因子，作為台灣北部降水之徵兆，當此種因子出現時，即顯示台灣北部行將下雨。否則，當此種因子不存在時，即顯示台灣北部將無降水發生。此種客觀預報法一經完成，不論預報員之素質與經驗為何，任何人均可應用自如。在相同之條件下，必可產生一致之預報結果。在預報程序上，簡單迅速而方便。故客觀預報法，實為提高一地降水預報成效之最佳工具。

二、研究月份二月份

一般而論，台灣天氣約可區分為熱季半年和冷季半年。熱季半年為太平洋氣團所控制，各地多西南風，其降水情形，除受颱風影響之大範圍降水外，大多為局部之氣團性雷陣雨，此種降水，藉探空分析可以預報其大概，但要求其相當準確，仍須依賴進一步之客觀研究。冷季半年，台灣地區為來自西伯利亞之極地大陸氣團所籠罩，各地多東北風，其降水情形，大多因界面過境兼之地形影響所引起。由於時序之改變，以致各月之大氣環流均不盡相同，亦即各月之平均天氣圖大勢均有出入，故客觀預報法須逐月研究，以完成每個月之預報法則。惟此項研究，整理及分析資料費時，短時間內實難全部做好，必須擇主要者先行研究，以後假以時日逐漸完成，成立一套完整可用之降水客觀預報法。

冷季半年之降水比較複雜，應列為優先。惟秋末至一月間，空氣中水汽含量不多，台灣北區降水量甚微。自二月份起，由於低層東北風與高層西風之間，已出現溫濕較高之西南季風。因此，台灣北部二月份之降水日數與降水量，均大見增加。此種型態之降水，不僅影響飛行活動與作戰計劃之實施頗鉅，且幾至可以引起台北地區水患之程度，故

將二月份例為最優先研究之對象，待此一研究完成後，再繼續研究其他各月份。

三、氣象因子之選擇：

前而業已言及，研究降水客觀預報法，其最重要之關鍵，係選定廣大地區之複雜氣象要素中，求出某些因子係與台灣北部之降水有密切相關，在整個研究過程中，此為異常困難而攸關研究成敗之步驟。此項選擇氣象因子工作，首先須藉理論並輔以預報經驗而加以判斷，然後根據判斷所定之方向與目標，去統計分析，去試驗求證，尋找出與台灣北部降水有密切的相關情形，所以必須細心從事。否則，如準備選擇因子之前，對方向及目標判斷錯誤，則往往會化費頗多時間與精力而徒勞無功，而必須再從頭研判、統計、分析與試驗做起。在此種一再無效之工作下，如研究者缺乏毅力與信心，必將導致半途而廢一無所獲，所以此步工作異常重要。

吾人知悉，一地之降水，可由增加空氣中之水汽或降低空氣中之溫度，使空氣中之水汽達到飽和凝結而獲得。降低溫度與增加水汽，可視氣流情況而決定；北來氣流，因係原於寒冷乾燥之西伯利亞地區，當其至也，必可使溫度下降。而溫濕較高之南來氣流，則將使一地之溫度與水汽均見增加。然而，從實際之工作經驗中得悉，有關溫度量之改變，往往不能與風之平流 (Advection) 情形相一致。因此，北來氣流每伴有向下之垂直運動 (Downward Vertical motion)，而南來氣流每伴有向上之垂直運動 (Upward Vertical motion)，並使水汽增多。此種上升或下降之垂直運動，因計算手續繁雜，很難求出溫度量之改變程度。故採用等壓面上實際溫度場情形，作為預報用之氣象因子，似乎可行。在筆者拙著「台灣北部降水問題之研究」中，曾提出下列有關之要點：

在700mb 高空圖上，如果北平與桃園間之大陸地區，等溫線密集而呈東西走向，則台灣北部為陰雨天氣。否則，如大陸上等溫線漸變稀疏而轉呈西北至東南走向，即預示台灣北部天氣將轉佳。

基於此種大陸地區溫度場對台灣北部降水問題之密切關係。同時，考慮到冷季降水時低層空氣遠較700mb 為飽和之事實，故試行採用850mb 等壓面上之溫度場，作為預報因子。經過多次選擇不同地

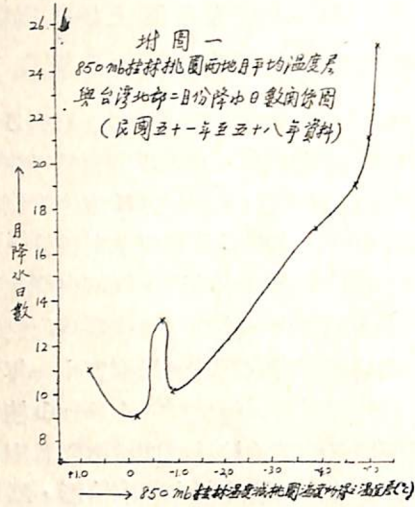
點之分析統計顯示，獲知850mb 圖上桂林與桃園兩地間之溫度變化，對台灣北部未來二十四小時內之降水，有相當密切之關係，故將之作更詳盡之分析研究。

四、850mb 定壓面圖上桂林與桃園溫度變化對台灣北部降水關係之調查：

現每日高空圖資料計有 0000Z 及 1200Z 兩次到 0000Z 資料於午前獲得，1200Z 資料於子夜前收。對翌日天氣預報而言，以1200Z 之探空資料為最佳，故採用每日之1200Z 資料為統計依據，台灣北部未來二十四小時內降水情形，係指自探空資料獲得後之二十四小時內，亦即指子夜零時起之未來二十四小時內是否有降水而言。民國五十一年至五十八年共八年的二月份，每日1200Z 850mb 桂林桃園溫度及其兩地溫度差 (桂林溫度減桃園溫度)，與未來二十四小時內台灣北部之降水情形，逐日統計詳如附表一所示，表中所列“√”表示有雨，“×”表示有毛雨，“T”表示有雷雨，“X”表示無雨，“M”代表缺少資料。

在過去八年二月份資料中，除民國五十一年二月二日及三日因缺漏桂林溫度棄而不計外，總共有二百二十四次紀錄其中未來二十四小時內台灣北部發生降水者計有一百二十五次，降水之百分率為 55.8%。此等降水，每年多寡不一，其中以民國五十七年二月份二十五次為最多，民國五十一年二月份九次 (實際上為十次，有一次因缺桂林溫度而不計) 為最少。如詳細觀測表一，則可發現桂林溫度減去桃園溫度所得之溫度差愈大，亦即桂林溫度較桃園溫度愈低，台灣北部未來二十四小時內愈有降水。否則，如桂林溫度較桃園溫度為高，台灣北部未來二十四小時鮮有降水，經過統計，一百二十五次降水情況之平均溫度差為負 5.1°C，而九十九次無降水情況之平均溫度差為正 0.8°C。如以整個月份而論，台灣北部降水日數之多寡，係與該月 850mb 桂林及桃園兩地之溫度差成比例，詳如附表二所示。為更明瞭此種關係，乃利用附表二所列資料，將其繪成曲線圖詳如附圖一，圖中以月降水日數為縱坐標，以850mb 桂林桃園兩地月平均溫度差 (桂林溫度減桃園溫度，以代數法行之) 為橫坐標。由此圖顯示，台灣北部二月份降水日數之多寡，與 850mb 桂林桃園兩地間溫度差有極其密切之相關。

除溫度差在負1°C 以下（指兩地溫度差較小）時，其相關情形不甚規則外，二月份降水日數均隨兩地溫度差之增大而加多，當兩地溫度差在負4.5°C 以上時，降水日數增多情形尤為顯著。



基於兩地溫度差與台灣北部降水密切相關之事實，而台灣北部之降水又與其本身溫度有關，故利用850mb 桃園溫度為縱坐標，850mb 桂林溫度減桃園溫度所得之溫度差(°C)為橫坐標，將附表一中所列之二百二十四次資料，逐一填入圖上，有雨時以「WL*」符號表示，無雨時以「○」表示，遂構成台灣北部降水分佈狀態圖，詳如附圖二所示。由此圖之降水分佈情形，可將其區分為A、B、C及D四區，茲分別扼要述之如下：

A區：此區內共有五十九次資料，全部均為下雨紀錄，故其降水或然率為 $\frac{59}{59} \times 100\% = 100\%$ ，此區為絕對有雨區。

B區：此區內共有六十六次資料，其中下雨紀錄為五十四次，而無雨紀錄為十二次，故其降水或然率為 $\frac{54}{66} \times 100\% = 81.8\%$ ，無雨或然率為 $\frac{12}{66} \times 100\% = 18.2\%$ 。

C區：此區內共有五十六次資料，全部均為無雨紀錄，故其降水或然率為 $\frac{0}{56} \times 100\% = 0\%$ ，為一絕對無雨區。

D區：此區內共有四十三次資料，其中有兩紀錄為一次，均為無降水量之毛毛雨。無雨紀錄為三十二次。此區內之降水或然率為

$\frac{11}{43} \times 100\% = 25.6\%$ ，無降水或然率為 $\frac{32}{43} \times 100\% = 74.4\%$ 。

由此降水分佈圖中，更可看出850mb 桂林桃園兩地地溫度差與台灣北部降水間之密切關係。當兩地溫度差在負5°C以上（指負6°C，負7°C……）時，不論桃園本身溫度為何，未來二十四小時內台灣北部均為有雨天氣，在過去八年中，從無例外。隨着兩地溫度差異之減小，台灣北部下雨機會亦隨之而稍減。當850mb 桂林溫度反較桃園溫度為高時，即兩地所得之溫度差在正值以上時，除桃園溫度在10°C以上偶可發生短暫而無降水量之毛雨外，台灣北部降水機會已甚少。若850mb 桂林溫度較桃園溫度高5°C以上時，則台灣未來二十四小時內天氣良好，無降水現象發生。

五、台灣北部二月份降水客觀圖解預報法之應用與評估

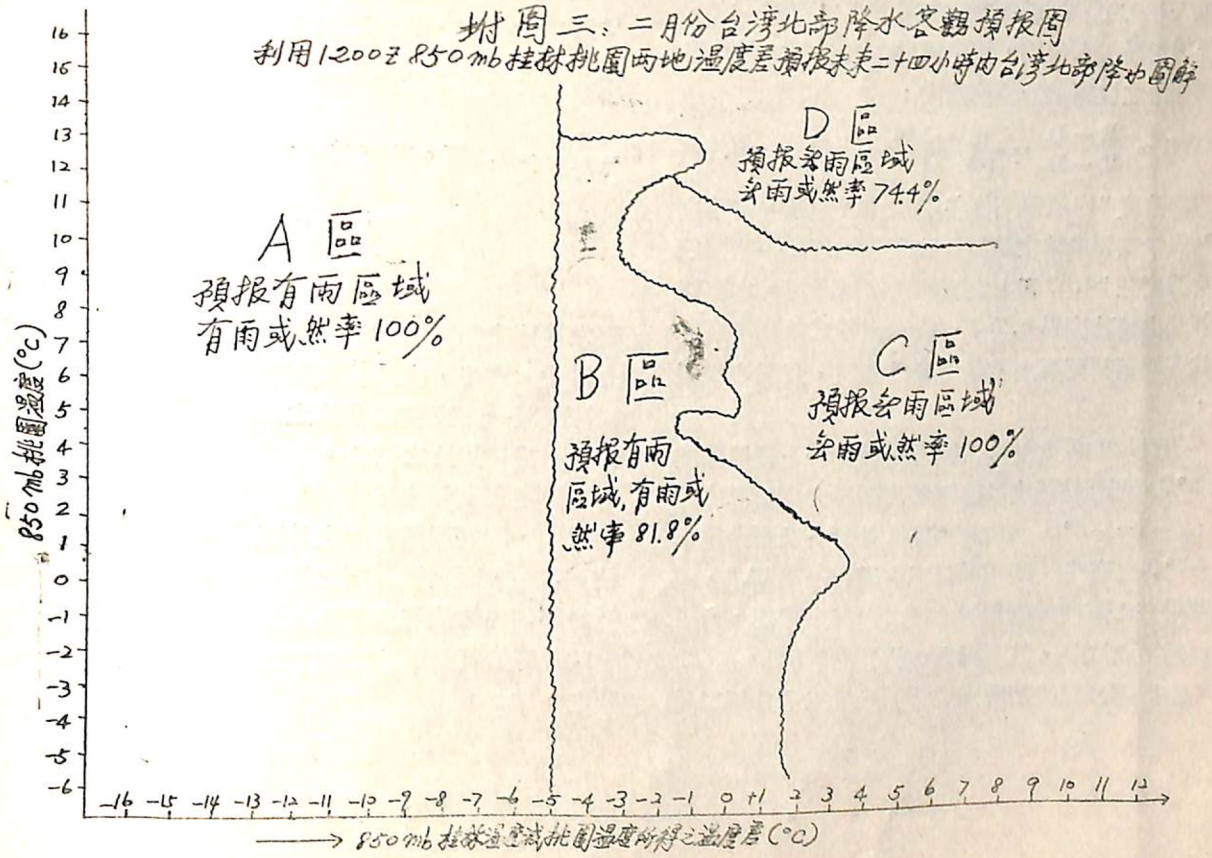
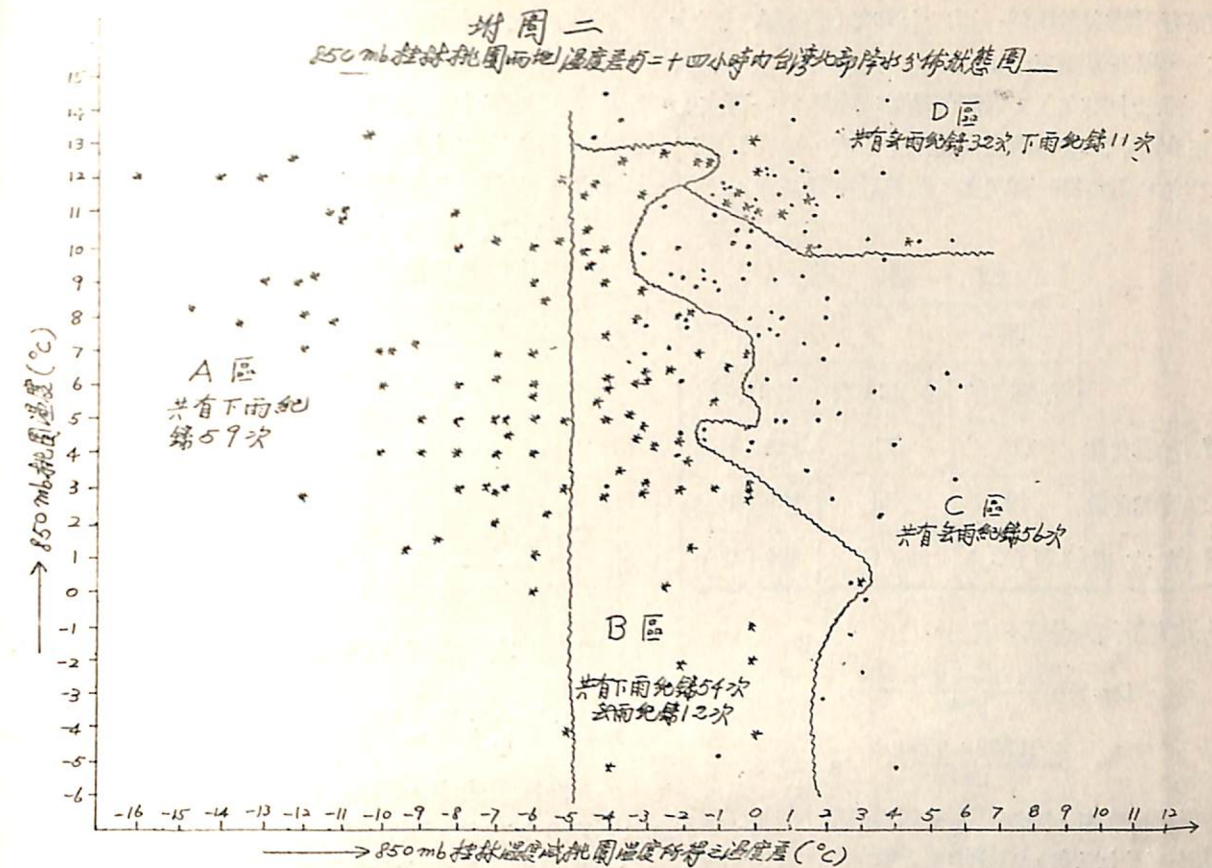
經過上述調查，獲知850mb 桂林與桃園兩地溫度差對台灣北部之降水，其相關情形異常良好，故依照附圖二之降水分佈及區分情形，將其製成台灣北部二月份降水客觀預報圖解，詳如附圖三所示，以供客觀預報之依據。該圖共分有為A、B、C及D四區，A區及B區為預報有雨區域，C區及D區為預報無雨區域。在每一區域中，均標明或然率，應用時簡單而迅速。

客觀預報法完成後，應藉校驗以判斷此項研究結果之成效，此即所謂評估，此步評估工作，在整個研究過程中，非常重要。評估可用精確之程度或稱技術得分 (Skill Score) 及機遇表 (Contingency Table) 衡量之。技術得分或精確程度之公式：

$$S = \frac{F - D}{T - D}$$

式中 F 為預報準確之次數，T 為預報總次數，D 為根據其確實機遇次數計算而得之因子，即 $D = \frac{C_1 R_1 + C_2 R_2 + \dots}{T}$ ，式中 C_1 為預報有雨總次數， C_2 為預報無雨總次數， R_1 為實際有雨總次數， R_2 為實際無雨總次數。

在本研究中，總次數 J 為二百二十四次，預報有雨總次數 C_1 為125（參看附圖二，落在A區五十九次，落在B區六十六次，總共為一百二十五次），預報無雨總次數 C_2 為九十九次（落在C區為五十六次，落在D區為四十三次，總共為九十九次），



實際有雨總次數 R_1 為一百二十四次（落在A區五十九次，落在B區五十四次，落在D區十一次，總共為一百二十四次），實際無雨總次數 R_2 為一百次（落在B區十二次，落在C區五十六次，落在D區三十二次，總共為一百次）。茲將詳細資料列入機遇表如下：

機 遇 表

		預 報		
		有雨次數	無雨次數	總 次 數
實 際	有雨次數	113	11	124 (R_1)
	無雨次數	12	88	100 (R_2)
	總 次 數	125 (C_1)	99 (C_2)	224 (T)

將上述資料代入公式，求出

$$D = \frac{125 \times 124 + 99 \times 100}{224} = \frac{15500 + 9900}{224} = 113$$

從機遇表中，獲知預報有雨而實際有雨之準確次數為一百十三次，預報無雨而實際無雨之準確次數為八十八次，故預報準確次數 F 為二百零一次。將各項資料代入公式，即可求出台灣北部二月份客觀預報法之技術得分或精確度：

$$S = \frac{F - D}{T - D} = \frac{201 - 113}{224 - 113} = \frac{88}{111} = 0.793$$

精確度“1”表示所作各次預報皆準確，精確度“0”表示預報準確次數與失敗次數相等。一般而論，精確度在“0.5”以上之預報法即可應用。本客觀預報法之精確度為0.793，表示預報成效相當良好。此客觀預報圖解法，應用頗為方便，茲舉例說明之：

某日1200Z 850mb桃園溫度為 8°C ，桂林溫度為 2°C ，則桂林溫度減桃園溫度所得之兩地溫度差為： $2 - 8 = -6^{\circ}\text{C}$ 。根據桃園溫度 8°C 及兩地溫度差 -6°C 之條件，即可附圖三中獲得一點“A”，該點落點在A區內，故預示未來二十四小時內，台灣北部為下雨天氣，其下雨之可能性為100%。

本客觀預報法研究完成後，並於五十九年二月

份實際預報中加以使用，其結果亦極為優良，茲將應用情形述之如後：

民國五十九年二月份850mb 桂林及桃園兩地溫度差與未來二十四小時內台灣北部情形詳如附表三所示。本月份共有資料二十八次，其中有降水之紀錄為十五次，無降水紀錄十三次，將此等桂林桃園兩地溫度差及桃園溫度分別應用，客觀預報圖解後，其所得之機遇表如下：

機 遇 表

		預 報		
		有雨次數	無雨次數	總 次 數
實 際	有雨次數	13	2	15 (R_1)
	無雨次數	0	13	13 (R_2)
	總 次 數	13 (C_1)	15 (C_2)	28 (T)

$$D = \frac{C_1 R_1 + C_2 R_2}{T} = \frac{13 \times 15 + 15 \times 13}{28} = \frac{195 + 195}{28} = 14$$

從機遇表中，獲知預報有雨而實際有雨之準確次數為十三次，預報無雨而實際無雨之準確次數十三次，故預報準確次數 F 為二十六次。預報總次數 T 為二十八次，故民國五十九年二月份應用此客觀預報法之技術得分或精確度：

$$S = \frac{F - D}{T - D} = \frac{26 - 14}{28 - 14} = \frac{12}{14} = 0.857$$

其預報成效更為優異。

六、結 語

經過相當時日研究完成之本客觀預報法，因所獲之精確度頗高，對未來台灣北部之降水預報必大有裨益。同時，由於此研究有良好效果，使筆者對繼續發展一套完整而準確之台灣降水客觀預報法之抱負，提供無比之信心。

本客觀預報法雖然成效不錯，但仍不無尚待改進之處，例如預報有雨之B區中，其無雨或然率尚佔18.2%，而預報無雨之D區中，其有毛雨之可能性為25.6%如能尋求其他因子，作更一進步之研究，或可臻於更為準確之理想地步，筆者對此已注意及之。

年 度	日 子	23	24	25	26	27	28	29
五 十 一 年	桂林溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	5.2	13.5	6.0	5.0	3.2	3.2	
	桃園溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	0.2	13.2	10.5	9.5	6.2	10.2	
	兩地溫度差 (桂林減桃園)	5.0	+0.2	-4.5	-4.5	-3.0	-7.0	
	台灣北部24小時內降水情形		✓	✓	✓	✓	✓	
五 十 二 年	桂林溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	5.8	7.8	9.5	9.2	10.5	12.2	
	桃園溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	8.8	1.5	5.8	3.2	-2.2	6.0	
	兩地溫度差	3.0	+0.3	+3.7	+6.0	+12.7	+6.2	
	台灣北部24小時內降水情形		×	×	×	×	×	
五 十 三 年	桂林溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	5.8	-7.0	-6.6	-3.5	3.2	3.2	6.8
	桃園溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	7.8	1.5	8.2	2.2	6.2	4.5	11.5
	兩地溫度差	3.6	-8.5	-14.8	-5.7	-3.0	-1.3	-4.7
	台灣北部24小時內降水情形		✓	✓	✓	×	×	✓
五 十 四 年	桂林溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	0.2	3.2	3.2	1.2	4.2	6.8	
	桃園溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	3.2	3.2	6.2	4.5	6.5	9.8	
	兩地溫度差	3.0	0	-3.0	-3.3	-2.3	-3.0	
	台灣北部24小時內降水情形		✓	✓	✓	✓	×	
五 十 五 年	桂林溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	2.2	3.5	4.9	9.0	8.8	12.5	
	桃園溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	0.2	7.5	10.2	12.5	13.2	11.5	
	兩地溫度差	2.4	-4.0	-5.3	-3.5	-4.4	+1.0	
	台灣北部24小時內降水情形		✓	✓	✓	×	×	
五 十 六 年	桂林溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	5	2	-1	-4	-3	-2	
	桃園溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	9	10	12	8	5	4	
	兩地溫度差	-4	-8	-13	-12	-8	-6	
	台灣北部24小時內降水情形		✓	✓	✓	✓	✓	
五 十 七 年	桂林溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	1	1	-1	1	6	6	7
	桃園溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	7	-3	3	5	8	8	7
	兩地溫度差	-6	+4	-4	-4	-2	-2	0
	台灣北部24小時內降水情形		×	×	✓	✓	×	✓
五 十 八 年	桂林溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	0	0	6	4	3	2	
	桃園溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	11	11	10	10	11	3	
	兩地溫度差	-11	-11	-4	-6	-8	-1	
	台灣北部24小時內降水情形		T	✓	✓	✓	✓	

實際有九次，為一百落在B十二次表如下

實	有
際	無
總	總

將上述預

從次數為一數為八將各項觀預報法

S

精確“0”表示，精確度預報法之。此客觀之：

某日為 2°C，為：2-8差-6°C點落點在北部為下本客

附表二 民國五十一年至五十八年二月份降水日數與 850mb 桂林桃園兩地月平均溫度差 (°C) 關係統計

年	度	51	52	53	54	55	56	57	58
降水日數		9	11	19	13	10	17	25	21
兩地月平均溫度差		-0.2	+0.8	-4.6	-1.2	-0.9	-3.9	-5.2	-4.8

附表三 民國五十九年二月份 850mb 桂林及桃園兩地溫度差與未來二十四小時台灣北部降水關係表

日期	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
因子說明																												
桂林溫度	4	7	5	2	4	8	9	4	4	4	3	7	10	10	4	8	9	10	13	6	12	12	13	14	15	9	5	5
桃園溫度	3	6	8	5	2	10	10	9	1	5	7	9	12	12	6	6	9	9	12	11	11	12	15	14	16	14	13	5
兩地溫度差	+1	+1	-3	-3	+2	-9	-1	-5	+3	-1	-4	-2	-2	-2	+2	+2	0	+1	+1	-5	+1	0	-2	0	-1	-5	-8	0
台灣北部 24小時內降水情形	×	×	✓	✓	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	✓	×	×	×	×	✓	✓	×	×	×	×	✓	✓	×