

# 台灣地區降雨量分析與預測之討論

曲克恭

## 一、前言

大氣科學包含範圍極廣，但因降雨量（嚴格說應為降水量，但中低緯地方仍以降雨為主，如牽涉雨滴以外形式之降水則問題更趨複雜）直接關係著人類活動與生計，彷彿更被重視，却為最難解決的一個問題。預報人員首先接觸的問題是：會不會下雨，幾時下雨，何時雨停，雨量有多少。最近台灣連續遭受水災，而各地之雨量相差極大，所受災患之程度亦異，因之又多了另一個問題豪雨量之分佈如何。另一方面研究人員除涉及雨量預測技術，有關水資源及應用雨量分析於水利工程設計等問題外，更從基本物理科學方面研究此一複雜問題。

以目前處理降雨量之技術與方式尚不足以解決台灣特殊地理環境之雨量預測問題，當然輕言「解決」，談何容易，而我們似應該針對台灣之特殊狀況開始着手研究可行的方法。個人才淺學疏，不能深入每一個問題，謹願從處理降雨及雨量之現況探討台灣地區特別需要的雨量分析及預測，而最重要的還是豪雨量之「守視」與及時的迅速傳播「警告」。

## 二、簡述處理降雨及雨量概況

綜觀天氣學的預測法只能定性的推估降雨的可能性，為我們大多數預報人員所習用，有賴於綜觀天氣系統預測之準確性及預報人員經驗的累積。雖然綜觀天氣系統為促成降雨（包括豪雨）之重要原因，但僅憑之而預測下不下雨，似乎已不能滿足顧客的需求。現在我們所遭遇的困難問題是「何處、何時及何量」以及如何迅速的傳送這種報告。現在讓我們看一看國內外氣象界如何處理降雨及雨量問

題，並分析是否可以有助求台灣雨量問題之處理。綜合言之，大致可分為以下五方面：

### (一) 研究雲及降水發展之基本過程：

1 雲動力—研究促成空氣中所含水汽達到飽和及輸送水汽之因素，其幅度由數公尺至數百公里，大多選擇與垂直運動及輸送水汽有關之因子如風切、輻散及水汽平流等，應用直接分析或模擬方法研究雲塊之發展。

2 雲物理—從個別雲塊至促成降水質點之幅度方面研究，其目的在解釋雲質點如何從汽態凝結增大，並相互作用形成降水；並試驗各種不同凝結核之作用。此種研究多用模擬或在實驗室中執行。

3 觀測降雨雲之發展—應用氣象雷達（或都卜勒雷達）或飛機照像及採樣等技術測量回波強度、雲中氣流狀況、外形變化及雲中雨滴分佈等，瞭解雲之狀況及校驗模擬結果。

以上之研究係從理論及基本上探究雲之發展及降水之形成，但並非針對實際作業所需而研究，換言之，尚不能成爲一種作業的技術（operational technique）。

### (二) 雨量設計應用：

基本上是應用一些過去所發生的雨量，憑大氣科學上的理論及現象，藉某些發展的方法推估未來可能發生的雨量，以做水利工程之設計參考。此為安全機率之問題，在安全與經濟效益以及施工技術三方面之考慮下，必須冒一定限度的風險，因為人類實在不知道環繞地球運行不息的大氣在未來究竟

要創造什麼樣的紀錄。譬如就個人所知常用的風暴模式法、合成最大颶風法、風暴移置法、統計法及迴歸週期法等，皆有其優缺點，而且受許多基本上的限制。非關雨量之分析及預測，不擬詳論。

### (三) 降雨量分佈之研究：

這是一個早已存在的問題，我們如果想較準確的預測雨量，首先必須瞭解以下三個問題：

1 氣壓系統影響下之雨量分佈，尤其是對一特殊地形區域受鋒面及風暴侵襲下雨量之分佈，小幅度和短時間的豪雨分析最為重要。過去以一兩個雨量站之日雨量紀錄或一次風暴之總雨量為分析或預測一個區域之雨量，以最近數次水災經驗判斷，實在已不適合台灣之情況。台灣特殊之地形再加上近十餘年來之建設與近代生活之污染遺毒，自然環境已不似往者，一次豪雨數小時內即成災。而我們過去受種種限制，很少有這方面的分析研究。

Browning and Harrold (1969) 曾分析英國之氣旋，發現在暖區中有受地形影響形成之陣雨帶。Austin and Houze (1972) 曾分析美國 New England 九次覆蓋大範圍之風暴，綜合其分析結果為：一綜觀幅度雨區（設為  $10^4 \text{ km}^2$  以上）常包含有許多中幅度雨區（設如  $100-400 \text{ km}^2$ ），而其中又有許多小幅度雨區（約在  $10 \text{ km}^2$  左右）。以其生命時間論，大幅度約在一天以上，中幅度約為一小時，小幅度不到半小時，以其平均強度論，中幅度之強度約為綜觀幅度之 4—8 倍，而小幅度雨區之強度較中幅度者大 2—10 倍。由之可知小幅度之雨量必須特別的分析研究，在台灣特殊之地形影響下，不但不可以用中幅度之雨量估計小幅度者，而且以現在之雨量站分佈狀況根本不能夠測出真正的豪雨分佈，不知過去，何談未來。Drufuca and Zawadzki (1975) 亦曾分析降雨率  $R=f(x, y, t)$  之關係，發現降雨率之空間與時間變化概以指數方式減小，減小至原始值之  $1/e$ ， $e=2.7183$ ，距離約為  $10 \text{ km}$ ，時間約為半小時。Cheng and Houze (1979) 分析 GATE 所獲雷達回波更發現在大西洋之雨雲中含有許多積雲幅度（ $1-10 \text{ km}^2$ ）之細胞雲，有時上沖至  $15-16$  公里高，另外較大範

圍之對流雲區（約  $10^2 \text{ km}^2$ ）之雨量已較中幅度之降雨量約大三倍，上沖之積雲降雨率將更大。曲克恭 (1979) 分析雷達回波強度與降雨量之關係時發現台灣各地時雨量有顯著之差異，以個案分析，可能為地形與降雨雲中突出細胞雲之所致。

2 雨量站分佈之代表性。過去已有許多討論的文章，根據 WMO 之規定，在地形複雜的海島上，雨量器之代表面積通常為  $25 \text{ km}^2$ ，但在特定目標之分析研究時，此密度仍嫌太小。Huff (1970) 發表之分析最有興趣及價值，在美國伊州用二密集測站網五年之資料分析測站雨量之代表性，一站網面積  $400 \text{ mi}^2$ ，有像網格點排列的 49 個雨量器，另一面積  $550 \text{ mi}^2$  亦有相等之雨量器，其分析結果可以綜合為：

- (1) 雨量器越密集，其平均抽樣誤差之絕對值越小；平均雨量越大，誤差越大；雨時越短，誤差越大。
- (2) 降雨的形式，雨量梯度與雲中之細胞雲影響抽樣雨量紀錄之誤差極大。
- (3) 很相似之風暴，而其抽樣誤差亦常相異。
- (4) 在一定之準確度標準下，陣性降雨量之測站需要加倍的密度。

以上為一平原地區之情況，在受地形影響下之情況更為嚴重，曲克恭 (1981) 取台灣地區臨近測站，比較時雨量之差異，發現在一定範圍內有一相對大雨中心，在此相對大雨中心附近之雨量梯度極大，分佈不均及密度不大之測站網常遺漏此大雨量或僅測到此大雨量而使小範圍中之真實平均雨量誤差極大。以中部地區 4 個測站（台中、水湳、清泉崗及梧棲）之平均狀況論，豪雨時（大於及等於  $20 \text{ mm/hr}$ ），若任一測站之雨量代表此 4 測站之平均則相對誤差可大至 70%，但因個案不多，只有初步的分析，將繼續探討此問題。

我們台灣有許多雨量站，但因為應用的目的不同，大多數只有日雨量之紀錄，如何能夠使發佈豪雨及洪水預報之機構在降雨當時及事後皆能夠及時的獲得足夠密度之每小時雨量（甚至每半小時之雨量報告）實為當務之急，否則連豪雨之分佈都探究不出，如何在一次可能引起豪雨之氣壓系統影響下發佈較詳盡而準確之雨量分布警告。概略性而且不及時的「中南部將有豪雨」的警告方式已經過時，

不能滿足防洪之需求。

3 雨量站雨量之時間分布，受降雨系統相對移動，降雨率改變以及局部地形之影響，為一極複雜之問題，僅憑統計方法尚難找出一定的關係。但是此一問題不予探討，對豪雨之久暫即難知其梗概，影響豪雨警告之效用。

### (四) 氣象雷達與衛星測定雨量：

雷達測定雨量仍待努力研究，關於雷達測量雨量之綜合評介，Wilsm 等 (1979) 有詳細的報告，彼等指出雷達可及時的獲得大範圍之雨量資料，但 30 年來在實用上之改善却甚微，而雷達所測大範圍上之平均雨量與單點雨量之偏差可能在二倍或二倍以上。偏差之發生乃由於：

- 1 雷達反射能量與降雨率間之關係非為一定。
- 2 雨滴降落地面之蒸發及平移。
- 3 雷達波柱之異常傳播。

這些因素皆不易確定，唯一可以改進雷達測量降雨量之技術為用雨量器紀錄校準，但必須用密度夠大之雨量紀錄，但是此增加之雨量測站本身已足夠導致所希望之準確度，曲克恭 (1981) 在研究 WSR-74C 雷達上之 DVIP 測定台灣地區豪雨量時且發現 DVIP 維有用雷腦處理的六個降雨率等級，但在台灣陸上小範圍內測定豪雨量仍須予以校準，而且對天綫邊緣最大發射電力 ( $P_{max}$ ) 及最小接收電力 ( $P_{min}$ ) 必須定時的予以測量與校準，否則使 DVIP 之功效全失。

雖然雷達之定量測定雨量仍遜於分布密度大之雨量器（雨量器亦有其缺點，但為人類過去、目前以及可見的將來唯一可測定雨量之工具），但雷達除對雨量站稀少或無雨量站之地區可提供參考性之雨量外，還可分析回波之強度資料及時的提供可能發生豪雨之位置及時間，對洪水警告仍為有效的方法。

氣象衛星測定雨量僅在起步，現在僅可提供大範圍大氣中水汽及可降水量之資料，僅為形成雨量之一個因子。大部份之研究皆用統計方法求得雨量，估計大範圍上之平均雨量，誤差仍大，無實用上

之價值。進一步的評介參閱曲克恭 (1980)，不再細述。

### (五) 雨量之預測：

雨量預測可說是天氣預報中最困難的預測目標之一，尤其是對局部性之豪雨可能還沒有適切有效的方法，現有各種方法皆對大範圍之平均雨量，如果我們希望獲得一小範圍的逐時雨量預測，實不可能，即使應用方法勉強預測，其準確度亦難達可應用之標準。現在預測大範圍平均雨量之方法大致可分為三種，即數值模式法，統計法與模式輸出統計法（即所謂之 MOS）。

數值模式法受網格點上輸入資料之限制，不可能預測小範圍及短時間之雨量分布，即以最基本的水汽收支模式而論，我們必須知道模式各分層中之水汽輸送（包括平流及垂直輸送）與可降水量之局部變化，而這些資料僅可由探空資料中獲得，而以前每 12 小時一次報告與其稀疏的測站密度，如何能夠知道逐時及小範圍的水汽變化。但是發生於小範圍上短時間中之豪雨一定有其特出的原因，上升氣流之輸送變化可能是主要的因素。

統計法乃選定促成降雨之氣壓系統之某些預測因子與一地區之雨量，應用統計方法獲得統計上之關係，而是用過去已發生之事實引伸未來，成功與否有賴於預測因子之準確度及統計所需之穩定度，而且有其一定的限制，譬如迴歸法所獲之結果，並非指一定的雨量數值，而是一平均數，且此一平均數乃一常態分配之平均數，雨量分配偏態極顯。故統計法僅可以機率示其可信度，以為應用之參考。

模式輸出統計法 (MOS) 可簡稱之為模輸法，為今日美國 NWS 預測雨量之方法，最初亦僅應用於預測發生降雨之機率，於 1978 年始應用 233 個測站過去之雨量資料，將美國本土分為 8 個區域，按照雨量等級（共分  $\geq 0.25 \text{ in}$ ， $\geq 0.50 \text{ in}$ ， $\geq 1.0 \text{ in}$  及  $\geq 2.0 \text{ in}$  四個等級，分冷暖二季，應用模輸法預測各降雨等級之發生機率，預測有效期間為六小時及廿四小時。模輸法所用之預測因子為 LFM 及 PE 模式所輸出之預測氣象因素，如所選各層之相對濕度，可降水量、垂直速度、等壓面高度、水汽輻合，穩定度指數，24 及 48 小時大範圍預



測雨量等，應用綫性復迴歸法，計算降雨或各等級降雨量之發生機率。關於模輸法之詳情可參閱 G1-ahn (1972)，Bermowifz 等 (1978) 及 Lund (1955)，Lund 且對解綫性復迴歸方程有詳細的說明及舉例。

我們現在探討的是以上這三種方法是否適合於台灣地區之雨量預測，特別是針對在數小時內豪雨可造成的洪水。無論數值模式法，統計法或模輸法皆適合應用於大範圍平均雨量之預測，而且皆受預測因子資料時間之限制，不可能預測每小時之雨量。我們不否認數值模式法及模輸法是從形成降雨之基本理論上着手，有其堅強的根據與合理的演繹，但是皆為初值問題，最後的結果受初值的影響極大。而我們分析台灣地區之豪雨無論在空間及時間方面皆屬小幅度，如何用綜觀幅度之空間與時間的間隔資料而推算小幅度的狀況，實不可能。尤其促成台灣地區雨量分布之因素為水汽分布，平流風速及垂直速度等若以雨量分布之不均勻（空間及時間二方面）判斷，此三者可能在台灣地區降雨時有很大的局地性，平均狀態似不可能顯示其特徵，很遺憾的，現在尚沒有任何一種可靠的實用方法和技術能告訴我們水汽、風速及垂直速度在三度空間中的逐時分布。

我們在應用國外所廣播或發表的預測結果時，當然此預測之範圍包括台灣在內，常常忽略考慮其時間及空間誤差對台灣實際上發生之影響有多大。很簡單的說，在一張北半球圖上，預測一條鋒面或一條綫，位置差了兩個緯度或者五日預測只差了 12 小時，已經屬於難能可貴的結果，可是對台灣地區應用者而言，是不可被容忍的錯誤。

總之，憑我們今天氣象人員的本領想要在每次豪雨發生前即能較準確的（不敢說準確）指出地區及時間，如果只憑預測的技術，無論用國外的技術或預測結果（包括圖表及文字）以及國內的預測，恐皆無法圓滿達成任務。

### 三 如何補救雨量分析及預測之缺失，俾益防洪

豪雨（局部性的雷陣雨不計）之發生必受綜觀

幅度氣壓系統之直接影響或間接之牽引，譬如颱風之侵襲，梅雨鋒或鋒上氣旋之移近以及因氣旋系統相對位置所引進的暖濕不穩定氣流等，而這些氣壓系統皆屬綜觀幅度者，其預測之準確度已達滿意的程度。換言之，氣象人員在一段時間及一個較大的範圍內已可以較大的成功機率預測其發生，也就是今天我們可以做到的發布豪雨的方式，但是不能滿足顧客之需要。我們在預測技術上尚無法突破前節所述之困難時，個人冒昧的建議以下數點，深望氣象界先進與學者專家們指正。

#### (一) 豪雨分析方面：

1 分析豪雨之小幅度雨量分布，包括日雨量、12 小時雨量、6 小時雨量及每小時雨量之分布，以明瞭台灣地區特殊之地形究竟會形成什麼樣的豪雨分布狀況，而豪雨集中或發生頻率最多之地區必定有其特殊之原因，同時在一小幅度範圍內雨量亦有相當大的差異。我們台灣河流之流域面積小，洩洪急速，數小時集中之豪雨可以完全由山谷內排山倒海的滾滾而下，每一條河流之上游必有其發生豪雨及豪雨分布之特性，如果希望知道一次豪雨如何分布，過去的瞭解實屬必要。

2 雨量測站之整頓。根據水資會雨量站站況表中所列之台灣本島民用雨量站有 433 處，分別屬於有關機構（據說曾有一千多處，無資料參考，不敢妄言），大多數屬日雨量紀錄測站，日雨量有其農業上之應用價值，對短急河流域之水文分析及防洪預警上之應用仍值不大。我們應該在豪雨可能發生地區，規劃密度足夠大，且分布均勻之時雨量測站，以期詳盡的分析明瞭豪雨之分布狀況。

#### (二) 豪雨預測及警告方面：

1 繼續研究促成台灣地區豪雨氣壓系統之研究。雖然豪雨由氣壓系統影響而生，但相似之系統並非必然形成豪雨，其間之原因尚須徹底探究，俾使一般性的豪雨預測及警告發布更趨準確。

2 豪雨發生之詳盡預測及警告。根據氣壓系統之狀況及過去之分析瞭解，研判台灣地區那些區域或流域有豪雨，其量多少，其機率如何。欲做到此

點，必須完成充分而可靠的小幅度豪雨分布之分析。

3 以上之預測皆為統計或藉助於部分數值模式之結果，正如前節所述，必有其缺失，但應視為豪雨及洪水之預警，為了減少國家及民間之損失（一次豪雨及洪水損失實在驚人），不應該懷疑預警的準確性，在預估豪雨區全體動員防洪。

4 如何補救預測之不足，雖然氣象衛星雲圖及氣象雷達仍不能指出一定的雨量，但其雲圖及回波對豪雨之移動或豪雨所在位置仍可有所顯示。此外，時雨量觀測網之資料分析亦可顯示雨量之分布及變化。應用以上之資料可稱之為「豪雨守視」，異常重要。但欲發揮守視之功能，執行豪雨預測及發視，異常重要。但欲發揮守視之功能，執行豪雨預測及發布警告之機構必須迅速的及時收到所需之各種資料，而且能藉各種可能的有效通信工具不斷的告知有關防洪的機構，如果可能應該藉大眾傳播工具，廣播給人民知道。

#### 四 結語

今年兩次嚴重水災，有人稱之為桃竹苗「五二

八水災」及南部「九三水災」，各方分析檢討及指責頗多，當然山坡地之濫墾、河川地之濫用、灌溉排水設施維護太差、水土保持欠妥、都市溝渠堵塞等都是促成或加強水災之原因，可以說乃人為的因素；但主要的還是自然的因素—豪雨，而且是雨量集中之豪雨。無可諱言的，水災是不可能完全防止的，包括世界上任何受水災的國家，但是多一分準備會減少一些損失，適時的「豪雨警告」與「豪雨守視」乃提醒大家重視豪雨與防洪的棒喝，且可因為各種防洪準備之周全與及時的堵塞與救援而減少災害損失。如果僅憑報紙上、電視台以及廣播電台定時的嚴防豪雨報告，彷彿已經成為官樣文章，實不知有多少人重視過這一句話。

往者已矣，來者可追。台灣地處東亞季風之東緣及西太平洋颱風西進路徑之末梢，每年從五月起至十月止，可以說皆有遭受豪雨水災之可能，同時由於天然洩洪面積日益縮小，相同之雨量所造成之洪水不但不易宣洩，而且洪水覆蓋面積上之高度必然較過去為高。換言之，今年不致形成災害之豪雨，幾年以後也許會造成嚴重的災害，我們不能不警惕！

#### 參考文獻

Austin, P.M. and R.A. Houze (1972): Analysis of the structure of precipitation patterns in New England, JAM 11, 926-935.

Bermowitz, R. J. and E. A. Eurdorfer (1978): Automated guidance for predicting quantitative precipitation, Mon. Wea. Rev., 107, 122-128.

Browning, K. A. and T. W. Harrold (1969): Air motion and precipitation growth in a wave depression, Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 95, 288-309.

Cheng, C. P. and R. A. Houze, Jr. (1979): The distribution of convection and mesoscale precipitation in GATE radar echo patterns, Mon. Wea. Rev., 107, 1370-1381.

Drufuca, G and I. I. Eawadeki (1975): Statistics of rain gauge data, JAM 14, 1419-1429.

Glahn, H. R. and D. A. Lowry (1972): The use of Model Output Statistics (MOS) in objective weather forecasting, JAM 11, 1203-1211.

Huff, F. A. (1970): Sampling errors in measurement of mean precipitation, JAM 9, 35-44.

Lund, I. A. (1955): Estimating the probability of a future event from dichotomously classified predictors, Bull. Amer. Meteor. Soc. 36, 325-328.

Wilson, J.W. and E.A. Brander (1979) : Radar measurement of rainfall-a summary, Bull. Amer. Meteor. Soc., 60, 1048-1058.

曲克恭 ( 1979 ) : 氣象雷達 WSR-74C 測定台灣地區暴雨量之研究, 氣象預報與分析, 78, 1-18.

曲克恭 ( 1980 ) : 近年來國外颱風雨量研究之評介, 中華民國颱風預報討論會論文彙編, 中央氣象局, 157-162.

曲克恭 ( 1981 ) : 應用氣象雷達之 DVIP 測定台灣地區豪雨量, 氣象預報與分析, 87, 1-11.

## Analysis and Prediction of Rainfall on Taiwan Island - A Discussion

Chu Ko-Kung

### ABSTRACT

The deficiency of analysis and prediction of rainfall on Taiwan Island was discussed from the point of view of the modern approaches for precipitation and rainfall. Possible procedures and necessary measures for forecasting and warning of heavy rainfall were also suggested.