

防救災關鍵環節定量降水預報： 新世紀最嚴峻的天氣預報挑戰

陳泰然

國立台灣大學大氣科學研究所

摘要

本文回顧台灣災變天氣研究與社經發展之相關，指出目前面臨的氣象關鍵問題，定量降水預報能力的建立與提升。回顧美國 NMC（現 NCEP）在定量降水方面之改進與 USWRP 所揭示的定量降水預報改進之科學問題與契機。最後，對國內氣象界提出改進颱風、梅雨及豪雨定量降水預報之看法與建議。

一、前言

當 6 月奇比颱風重創澎湖並吹翻了 200 多艘漁船，事後檢討還在進行，7 月中旬潭美颱風卻已在高雄肆虐，造成大豪雨大淹水；當社會仍在關心為什麼小颱風潭美會造成這麼大的災害時，桃芝颱風又在 7 月下旬不按牌理，偏南登陸花蓮秀姑巒溪口，重創花投地區，並奪走上百條人命；當社會一片譁然，仍在檢討桃芝颱風造成重大災害之行政權責與氣象預報問題時，納莉颱風卻在台灣東北方海面虎視眈眈，並在 9 月中旬詭異向西南行進肆虐全台，造成千億元級的空前災害。

面對災變天氣對台灣社經造成衝擊面增廣，危害程度加劇，針對災變天氣研究與台灣社經發展之密切相關，政府、社會、國科會及氣象界，曾如何回應？現在與未來該怎麼回應？防救災體系裡關鍵環節的氣象問題為何是定量降水預報？新世紀裡最嚴峻的天氣預報問題為什麼是定量降水預報？這些可能都是我們所關心的、想知道的、而且更是急需面對的問題。

（一）走過從前

問題：面對災變天氣對社經發展的衝擊，國科會與氣象界曾怎麼回應？

- 1) 由國科會主辦“全國大氣科學學術研討會”(1976, 12, 11~13)與“台灣地區災變天氣研討會”(1978, 5, 27~28)談起：營造研究環境、提昇研究能力、

探討研究方向（災變天氣：颱風、梅雨、寒潮、乾旱）……

- 2) 由「桃竹苗五二八」(1981年5月28日)梅雨季豪雨災害事件談起：社經轉型與災害轉型、優先重點研究方向確定、科學研究價值與國家社會需求……
- 3) 由「台灣地區中尺度實驗計畫」(TAMEX)(1983~1993年)之規劃、實施及影響談起：專業分工與合作、國際化與本土化、對學術研究與氣象預報的影響……

（二）認識現在

問題：災變天氣對台灣社經危害加劇，國科會與氣象界該怎麼回應？

- 1) 由 1996 年 7 月賀伯颱風重創全台灣與 2001 年 6 月奇比颱風（重創澎湖）、7 月中旬潭美颱風（重創高雄）、7 月下旬桃芝颱風（重創花投）以及 9 月中旬納莉颱風（重創全台灣）談起：土石流、山崩、坍方、水庫洩洪、淹水…… → 急迫須要建立並提昇定量降雨預報的能力（颱風與梅雨季豪雨）
- 2) 由國科會、中央氣象局以及學術界共同規劃的「台灣天氣研究計畫」(Taiwan Weather Research Program: Taiwan-WRP)

(2001-2010 年)談起：學術研究與應用研究(預報技術發展)、TAMEX II 實驗(2005 年 5~7 月)、國際交流與合作、颱風與梅雨季豪雨…… → 提昇定量降雨預報與定量降雨估計能力

(三) 面對未來

問題：若要減輕災變天氣對台灣社經的危害，並增進經濟效益，我們該怎麼做？

1) 在氣象界方面：

結合國內外資源(人才、儀器設備、經費、組織…)，優先投入本土性和區域性氣象災害問題研究，落實 2001~2010 年的台灣天氣研究計劃，2005 年 5~7 月 TAMEX II 實驗計畫。

2) 在社會(輿論、民意)與政府(行政機關、民意機關)方面：

面對氣象災害加劇，體認增加災變天氣基礎研究和預報技術發展的經費支持力道的必要性和急迫性，特別是颱風、豪雨、定量降水，是因應方案的關鍵環節。

3) 在具體建議方面：

成立國家氣象科技中心，建置先進氣象觀測能力(氣象飛機、偏極化都卜勒雷達、人才)，落實氣象模擬研究基礎建設(電腦、網路、人才)，以提昇定量降雨預報能力。

二、 定量降水預報現況

自美國國家氣象中心(NMC;現在改為NCEP)在 1960 年 9 月正式進行定量降水預報(Quantitative Precipitation Forecast; QPF)至今，定量降水預報能力雖有提升，但幅度不若 NWP 模式所預報之氣象參數(諸如：氣壓、高度、溫度、風等)改進之大。QPF 能力的改進，與 NWP 模式改進、觀測系統改進、科學研究以及預報員理念、知識、方法的演進息息相關。由 NMC 的 QPF 校驗(Qison et al. 1995)，可了解 QPF 能力的演變趨勢與未來改進 QPF 的關鍵問題所在。其校驗係依預報某定量降水範圍(面積；F)、觀測到的該定量降水範圍(面積；φ)

以及正確預報範圍(面積；C)所定義的下述參數而來：

T 得分 (Threat Score)

$$T = \frac{C}{F + \phi - C} \dots\dots\dots (1)$$

偏倚 (Bias)

$$B = \frac{f}{\phi} \dots\dots\dots (2)$$

前估 (Prefigurance)

$$PF = \frac{C}{\phi} = \frac{T(1+B)}{1+T} \dots\dots\dots (3)$$

後符 (Postagreement)

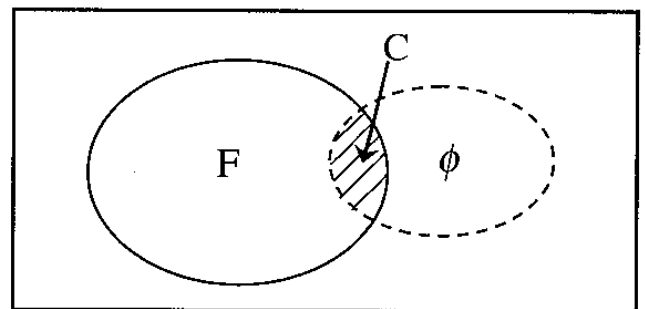


圖 1 T 得分之概念示意圖。F 為預報定量降水的範圍，φ 為觀測到的定量降水範圍，C 為正確預報範圍。

$$PA = \frac{C}{F} = \frac{T(1+B)}{B(1+T)} = \frac{\phi}{B} \dots\dots\dots (4)$$

T 得分可由圖 1 所示了解，即正確面積與預報和觀測面積所包絡之面積比，顯見無預報能力時 TS = 0，完美預報時 TS = 1。偏倚可顯示過度預報 (overforecast) 或不足預報 (underforecast) 之情況，前估為在發生(或觀測)的面積裡事先可預報之比例，後符則為在預報的面積裡實際觀測(或應驗)的比例，即偵測機率(Probability of Detection; POD)。

圖 2 為日雨量 ≥ 25.4 mm (1.0 吋) TS 之逐年分布，顯然自 1960 年發佈 QPF 之後，不同預報時段均有改進，現階段 TS 第 1 天稍大於 0.2，第 2 天稍大於 0.15。1971 年 LFM 模式 (Limited-Area Fine Mesh Model) 作業化使模式對降水預報改進，反映在隨後 TS 之增大趨勢顯而易見。此外，過去 20 年來第 1 天與第 2 天 TS 之差距顯著縮小，顯然 1990

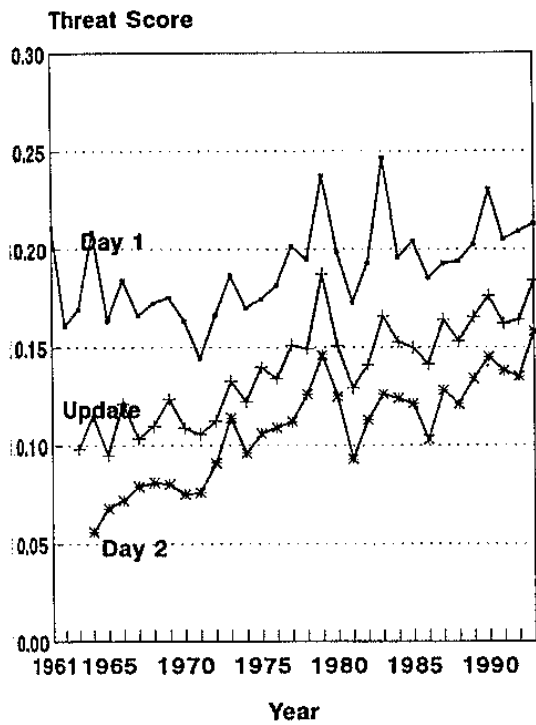


圖 2 預報員對日雨量 ≥ 1.0 吋預報第 1 天 (12-36 小時)、修正預報 (24-48 小時) 及預報第 2 天 (36-60 小時) T 得分 (Olson et al. 1995)。

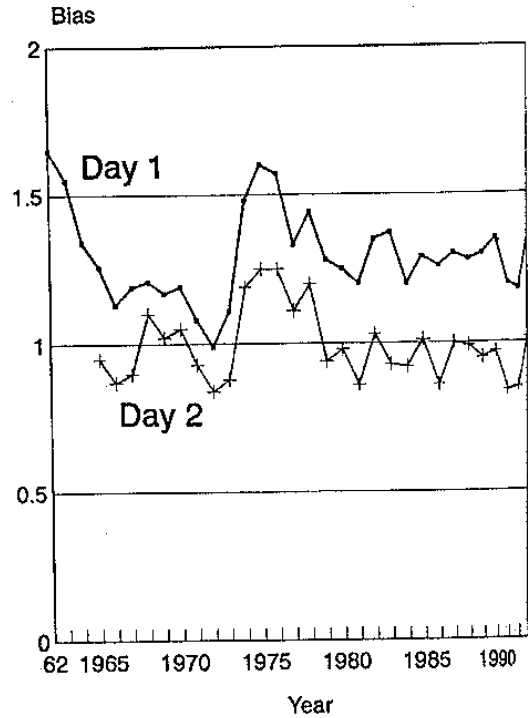


圖 4 預報員日雨量 1.0 吋等雨量線預報第 1 天與第 2 天之年偏倚 (Olson et al. 1995)。

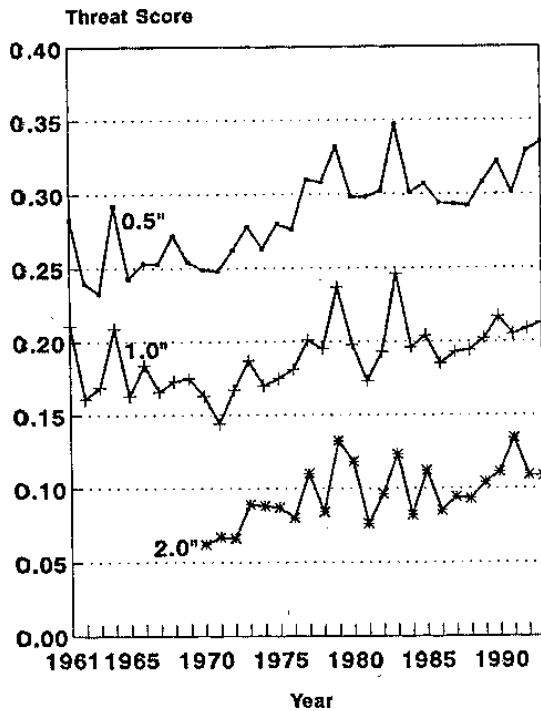


圖 3 預報員之日雨量 0.5、1.0、2.0 吋預報第 1 天之 T 得分 (Olson et al. 1995)。

年代第 2 天之 TS 已有 1970 年代第 1 天 TS 的水準。圖 3 之不同日降雨強度 QPF，亦顯示改進趨勢，日雨量 0.5 吋之 TS 現約接近 0.35，1.0 吋之 TS 稍大

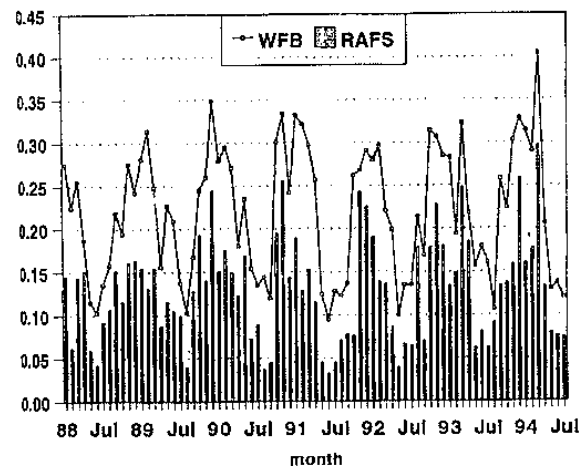


圖 5 預報員 (WFB) 與 RAFS 模式日雨量 1.0 吋預報第 1 天之月 T 得分 (Olson et al. 1995)。

於 0.2、2.0 吋之 TS 稍大於 0.1，顯然降水強度愈大，預報能力愈差，但是皆有隨時間不斷改進之趨勢。圖 4 為日雨量 ≥ 1.0 吋之第 1 天與第 2 天偏倚分佈，1960 年代初與 1970 年代中之過度預報現象，透過預報校驗反饋使預報員得於隨後調整，1970 年代後期偏倚情況已趨穩定，現今第 2 天偏倚稍小於 1，第 1 天之偏倚約為 1.2~1.25，即 QPF 面積較實際觀測者約有 20%~25%之過度預報。1986 年 RAFS

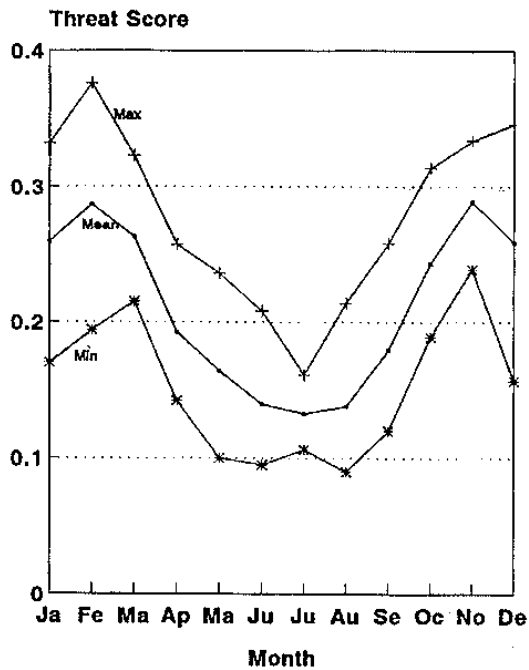


圖 6 預報員日雨量 1.0 吋預報第 1 天之月 T 得分最大值、最小值及平均值 (Olson et al. 1995)。

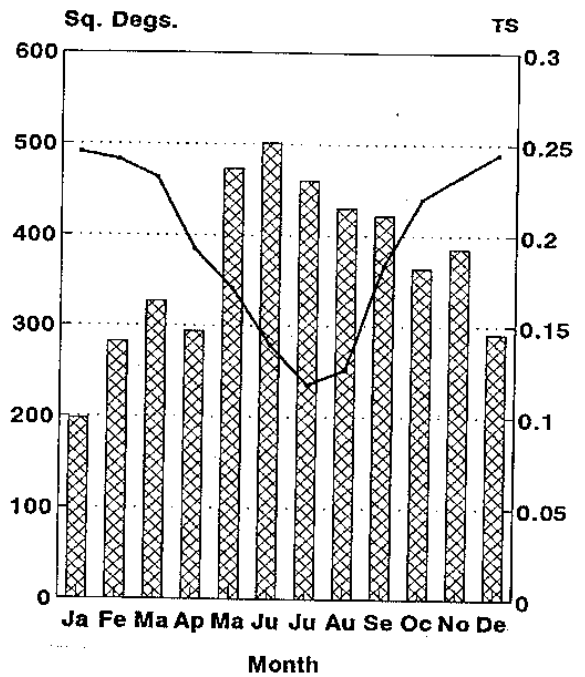


圖 7 日雨量 1.0 吋預報第 1 天之月平均面積 (緯度度數平方; 直條) 月平均 T 得分 (實線) (Olson et al. 1995)。

模式 (Regional Analysis and Forecast System) 正式作業, 隨後該模式在 QPF 表現上較平行運轉之作業模式 (LFM, ETA, AVN) 為佳, 圖 5 為預報員在利用該模式產品指引所做的日雨量 ≥ 1.0 吋時, 第 1 天 QPF 和 RAFS 之 QPF 比較, 顯見不論什麼月份、什麼季節, 預報員之 QPF 皆較 RAFS 者為佳, 且顯示 RAFS 與預報員之 TS 有顯著正相關, 均在冷季較佳, 暖季較差, 冷季較暖季之改進趨勢明顯; 預報第 2 天兩者的比較結果相似。圖 6 為日雨量 ≥ 1.0 吋時 QPF 之月平均 TS 之最大值、最小值及平均值之季節變化, 顯見降水系統之性質與尺度在冷季與暖季之差異, 反映在 TS 之大小上, 即暖季 NWP 與預報員之 QPF 之 TS 均低 (參見圖 5)。圖 7 為日雨量 ≥ 1.0 吋時面積之月平均與月平均 TS 之關係, 顯見暖季降水較冷季為多, 但 TS 則較小, 是故加權結果使年平均 TS 較低。上述諸項校驗結果顯示, 過去 30 多年來雖 QPF 有改進, 但暖季降水較多而 QPF 之 TS 則較低, 且暖季改進趨勢較不明顯。

陳與謝等 (1991) 曾利用上述 (1)、(2)、(4) 定量降水預報校驗概念, 分析台灣地區豪 (大) 雨預報能力, 發現對颱風豪 (大) 雨預報之 TS 為 0.6, 前估為 0.62, 後符為 0.83; 而對梅雨季之豪 (大)

雨預報則 TS 為 0.2, 前估為 0.18, 後符為 0.57。顯然, 針對豪 (大) 雨預報能力現況、改進空間以及問題所在, 梅雨與颱風有很大的差異。

三、科學問題與研究挑戰

美國天氣研究計畫 (USWRP) 科學諮詢委員會已將 QPF 訂為三個最高優先研究課題之一, 為了發展一套研究指引, 專家群組曾於 1996 年 9 月 24-26 日在 Boston 研商, 依 USWRP Director Dr. William Hooke 和首席科學家 Dr. Richard Carbone 提出之三項任務, 分成 4 個工作小組, 探討並提出看法與建議 (Fritsch et al. 1998), 其中很多意見、看法及建議雖係針對美國本土而言, 但對我們台灣地區所面臨的科學研究與預報作業問題, 頗多值得深思、借鏡, 特別是台灣地區面對災變天氣對社經衝擊加劇, 定量降水預報能力的建立與提升成為防救災體系關鍵環節, 未來 10 年 (2001~2010 年) 台灣天氣研究計畫 (Taiwan WRP) 在科學目標、科學問題、預報問題及解決策略等不同層次且相互交錯的複雜問題裡, 更值得深思與借鏡。茲將上述三項任務陳述如下:

- 1) 辨認並勾畫出為改進降水估計、短期降

水預報及相關水文方面所浮現的研究契機，研討事項應包括產生中緯度豪雨之中尺度現象，例如伴隨溫帶氣旋之鋒面和中尺度對流系統。

- 2) 在 0~6 小時極短期預報主要依賴觀測和 6~48 小時短期預報主要依賴中尺度模式之考量下，到底是什麼因素限制豪雨預報能力進展，建議應努力的方向為何。
- 3) 建議在改進利用 WSR-88D 雷達、剖風儀及衛星資料之自適應 (adaptive) 可解析雲之預報模式之模式初始化和模式校驗之技術。

由於上述三項任務之錯綜複雜，該專家群組將整體問題區分為下列四個基本主題，並分成四個工作小組分別探討，提出意見、看法及建議。

- 1) 雨暴之基本物理
- 2) 綜觀過程與地面邊界之效應
- 3) QPF 技術
- 4) 為了預報校驗之降水估計 (QPE)

工作小組針對上述四個基本主題，所形成的意見、看法和具體建議共識，其實環繞著六個主要理念，包括：1) 中尺度 PV 異常 (距平) 在 12~48 小時預報之重要性；2) WSR-88D 研究用途之觀測策略和軟體改進與偏極化都卜勒雷達在改進極短期 QPF 與 QPE 之重要性；3) 未來實驗計畫實地作業所得觀測資料與高解析度模式準即時相互比較，以改進實驗效率並立即反饋作業系統之概念；4) 極須未來進行實驗計畫以改進對降雨系統生命史之了解；5) 因大氣固有的渾沌性質 (特別是降水過程)，故要改進 QPF 能力，QPF 問題需由傳統的確定性 (Deterministic) 觀點轉變為機率性 (Probabilistic) 觀點；6) 不同類型新資料同化技術之開發，目前仍處初始階段。

四、QPF 能力提升策略

NMC (現 NCEP) 之 QPF 改進，除有賴科學理論研究之進展與 NWP 作業系統不斷的改進之外，QPF 預報系統與校驗支援系統之建立與作業化亦是關鍵環節。1960~1985 期間 NMC 有專責單位

負責豪雨和大雪預報，開始時叫做定量降水組 (Quantitative Precipitation Branch; QPB)，1981 年改名為豪雨組 (Heavy Precipitation Branch; HPB)，1985 年之後人為降雨預報由 NMC 氣象作業處 (Meteorological Operations Division; MOD) 內更大之天氣預報組 (Weather Forecast Branch; WFB) 來執行，除 QPF 之外，WFB 並發布) 中期預報 (3~5 天)，2) 基本天氣預報 (12~48 小時地面預報圖，包括雲和天氣預報)，3) 北美和北半球地面分析，4) 預報圖討論。1966 年 6L-PE 模式作業化前之 QPF 主要依個別預報員之專長經驗，因 6L-PE 預報降水量，故預報員開始以模式預報之氣象場與降水量作為指引並做主觀修正以產生 QPF。現今之 QPF 預報過程，實際上是針對觀測、分析及模式產品的連續同化和評估過程，包括：1) 填繪資料分析，2) 在工作站上連續審視動態的衛星雲圖影像，3) 連續播放審視全國和區域雷達回波合成影像，4) 詳細審視並評估最近模式產品 (RAFS、AVN、ETA、LFM 及任何實驗型模式)。NCEP 面對 QPF 與豪雨預報問題之處理方式，包括專責單位、作業流程、預報員之研究工作及專業成長等，頗值借鏡。或許中央氣象局除改進觀測系統與 NWP 作業系統之外，可考量 QPF 與豪 (大) 雨預報之專責單位 (或小組) 與專責人員之常態性設置，而專責人員除例行預報作業之外，更需不斷進行研究工作和不斷的專業成長。這種 QPF 預報系統的建立，當需輔以 QPF 校驗系統，以了解預報品質、發覺預報弱點 (偏倚、傾向)、辨認預報錯誤之事件以進行研究及提供模式開發者改進意見等。

五、總結

定量降水預報是防救災體系裡之關鍵環節，也是新世紀最嚴峻的天氣預報挑戰。面對近年來颱風、梅雨、豪雨等災變天氣對於社經衝擊與造成人員財物損失之加劇，定量降水預報技術的建立與能力的提升，實為氣象學術界與作業單位需最優先面對之當務之急。本文在回顧 NMC (現 NCEP) 之定量降水預報能力演進與 USWRP 所關心之相關科學問題和研究挑戰之外，期待中央氣象局能借鏡 NCEP 經驗，考量 QPF 預報系統與 QPF 校驗系統之建立，更期待氣象界共同合力做好 Taiwan WRP

之規劃工作與具體落實 TAMEX II 實驗計畫。在中長程方面，成立國家氣象科技中心，建置先進氣象觀測能力與計算能力，以提升定量降水預報準確度和品質，是氣象界與有關單位（國科會、交通部）應優先思考的面向。

致謝

感謝鄧耀民先生與林傳傑先生協助本文之完成，本文在國科會專案計劃 NSC90-2625-Z-002-006 支持下完成。

參考文獻

陳泰然，謝信良，陳來發及陳清得，1991：台灣地區現階段豪（大）雨預報能力。《大氣科學》，**19**，177-188。

Fritsch, J. M., et al., 1998: Quantitative precipitation forecasting: Report of the Eighth Prospectus Development Team, U. S. Weather Research Program. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **79**, 285-299.

Olson, D. A., N. M. Junker, and B. Korty, 1995: Evaluation of 33 years of quantitative precipitation forecasting at the NMC. *Wea. Forecasting*, **10**, 498-511.