

台灣梅雨天氣預報之研究與實作理念

陳 泰 然

國立台灣大學大氣科學研究所

一、前言

現今梅雨期降水之正負面價值，已深受氣象從業同仁與社會大眾所體認。台灣地區除東北部外，其他地區冬季屬乾季，春季若無適當降水量則乾旱現象隨即發生，梅雨期之降水為大自然解除旱象之最有效方式。即使春季有正常降水量，但若該年呈現乾梅或梅雨不顯，則乾旱現象亦將發生。顯然，梅雨期適時適度之降水，在水資源使用上具有重要的正面價值。相反的，梅雨期降水之負面價值，即其導致之災害，更令人矚目。台灣地區（特別是中北部）第一期稻作成熟期適為氣候上的梅雨期，連續性下雨影響收割導致穀粒脫落發芽，對其他農作物亦造成損害。對農業而言，連續性下雨實為一項顯著的災變天氣，若有豪雨則災害當更加劇。最近 10 多年來，我國工商發達、經濟繁榮、人民富裕，已漸由開發中國家步入已開發國家之林。劇烈天氣導致的災害損失亦隨之增大，梅雨期間豪雨導致之災害則更為突顯，1981 年桃竹地區「5—28」水災、1984 年台北地區「6—3」與「6—10」水災等百億元級豪雨導致之暴洪，令人記憶猶新。

由上述梅雨之正負面意義及我國未來經濟之成長與社會之開放，各行各業及一般大眾對於梅雨預報之需求，相信將是「質」「量」兼俱的。在量的方面除預報內容要求更詳細外，更將要求不同長短期的預報。在質的方面，將要求各種預報均有較高的準確度。為了相同的理由，國科會推動了「台灣地區中尺度實驗計畫」(TAMEX) (陳, 1985 b; 1986; 吳與陳, 1987)，並在 1987 年 5~6 月實地作業完成後展開後續研究之推動工作 (陳, 1987; 蔡等, 1988)，而作業單位 (例如

：中央氣象局、民航局、空軍氣象聯隊……) 亦已展開必要的規畫與實施措施。面對未來的情勢，故趁氣象局召開「天氣分析與預報研討會」邀請個人對梅雨預報問題做專題報告之便，提出台灣梅雨天氣預報之研究與實作理念，以供氣象界從事預報問題研究或實作的同仁們參考。若因此引發同仁們對梅雨預報之研究，更大的興趣與更多的精力投入，更為個人所樂見。

二、一些概念

在未討論預報之研究與實作之前，需先認識預報類別、預報期限與預報研究現況等。在氣象上，預報通常區分為氣象預報 (或系統預報) 與天氣預報。氣象預報為，對描述環流系統 (可有不同尺度) 之氣象參數 (例如：大氣內部各層之氣壓 / 或高度、溫度、濕度、風向、風速等) 的預報。例如主宰逐日天氣變化的環流系統 (高低壓、鋒面、槽脊線、噴流……)，這種屬綜觀尺度的環流系統，現已由數值模式做十分正確的預報，此即數值預報 (NWP)。天氣預報則是為滿足使用者需求之氣象參數的預報。顯然，在此之氣象參數內容視使用者需求而定，例如：一般大眾對地面附近天氣有興趣，此時氣象參數可能包括：雲、雨、霧、風、溫、濕……等；漁民可能對風、浪與劇變天氣有興趣；飛行員可能對離進機場及飛行路線上之氣象條件有興趣……。這些為滿足使用者需求之天氣現象之預報，即為天氣預報。天氣現象主要由環流系統決定，顯然要做天氣預報需先有氣象預報，要改進天氣預報當然需要改進氣象預報，這也是為什麼作業單位要建立數值預報作業化系統之主要原因。另一方面，天氣現象除由上述環流系統決定之外，亦受局

部效應（例如：山脈、地形、海陸差異、局部環流、日夜變化……）、緯度、季節等複雜因素之影響，使同樣之環流系統可能有截然不同的天氣。這些複雜因素使天氣預報之困難度大為增加，亦使天氣預報之研究需求，因使用者需求之增加而增加。因天氣預報所牽涉到的複雜性，故天氣預報準確度的改進速率比氣象預報（NWP）的改進速率為慢，過去如此未來亦復如此，此即陳（1985 a）所謂的“天氣預報第二定律”。

有關預報期限之長短畫分，並無國際上統一之規定，僅有一些由理論與實作上考慮之基本共識而已。陳（1983）將過去國內（1967~1983）大氣科學之研究論文或研究報告，依其與天氣預報有直接關係者畫分成五類，即(1)天氣分析與即時預報（≤ 12 小時），(2)短期預報與分析及診斷研究（12~48 小時），(3)中期預報（2~5 天），(4)展期與長期預報（6 天~1 月）與(5)氣候統計分析。蔡等（1988）在 TAMEX 後續研究之規畫，有關梅雨期豪雨天氣預報之應用研究與技術發展裡，將預報期限再細分為(a)即時預報（0~3 小時），(b)極短時預報（3~18 小時）與(c)短期預報（1~2 天）。本文為方便討論，採用這些預報期限畫分方法，將梅雨期天氣預報期限分為下列七類：

- 第 1 類：即時預報：0~3 小時。
- 第 2 類：極短時預報：3~18 小時（或 24 小時）。
- 第 3 類：短期預報：1~2 天。
- 第 4 類：中期預報：2~5 天。
- 第 5 類：展期預報：5 天~1 月。
- 第 6 類：季節預報：> 1 月。
- 第 7 類：年際預報：年。

國內最近 20 年（1968~1987 年）來有關梅雨方面研究成果之論文與報告（陳,1983; 1988），若按上述七類預報期限區分，其論文（106 篇）之分佈如圖 1 所示。顯然，有一半（54 篇）為短期預報方面之研究。這種情況，在面對未來 NWP 作業化與豪雨極短期預報及即時預報之需求，將

會因部分研究人力之轉移而有所改變。考慮國內未來之預報需求、預報研究人力/經費與大氣可預報度之限制，個人預期未來 10 年之梅雨預報研究成果論文在各預報期限之百分比，將如圖 1 內虛線所示。由最長的年際預報往極短時預報增加，即時預報則僅次於極短時預報，亦即中尺度氣象方面之研究，將相當有效的透過預報研究反應到預報作業化系統上。圖 2 為最近 20 年來，每 5 年論文篇數分佈。顯見，1977 年之後梅雨研究成果的高度成長，1988~1992 年間因 TAMEX 後續研究，個人預期將有百篇研究成果論文發表。

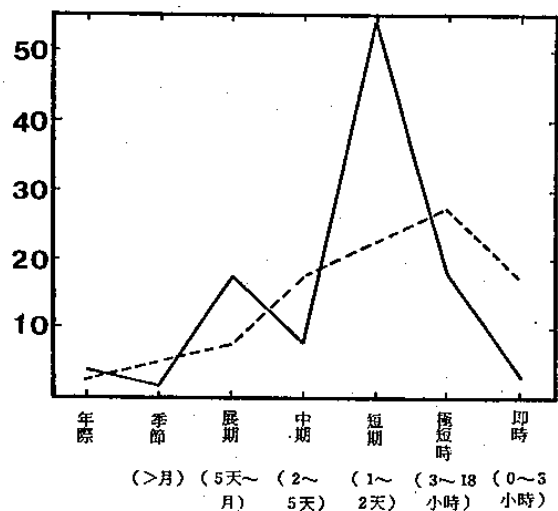


圖 1 1968~1987 年台灣梅雨各不同預報期限之研究論文/報告篇數 (Y 軸) 分佈 (實線) 與未來 10 年之預報研究成果預估 (Y 軸%) 分佈 (虛線)。

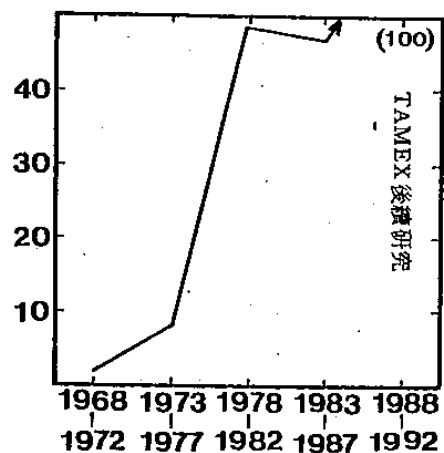


圖 2 1968~1987 年台灣梅雨研究論文/報告篇數 (Y 軸) 每 5 年之分佈及未來 5 年 (1988~1992) 預估。

有關台灣梅雨之基礎研究及應用研究，包括：氣候特徵、綜觀分析與診斷研究、豪雨、中尺度對流系統、中- α 尺度環流系統、地形效應與年際變化等，可參閱陳（1988）之回顧論文。梅雨預報技術發展及預報作業化之研究與檢討，可參閱曲與任（1985）之“梅雨季發生大雨之綜觀預報法”及戚（1987）之“預報梅雨鋒豪雨之南針”。劉（1986）則對氣象局現行豪雨預報技術進行評估及提出改進建議，由其表2所列1977~1986年間所發佈之豪雨（或大雨）預報，除12月外各月均有，其中梅雨季5~6月即占約45%。現將其表5所列各區之豪雨預報做一正確百分比分析，如表一所示。

表一 1977~1986年中央氣象局發佈台灣各地區豪雨/大雨預報次數(F)、豪雨/大雨出現(或觀測)次數(O)、預報正確(或應驗)次數(C)、前估(C/O)、後符(C/F)與TS得分統計。

區域	次數 預報 (F)	觀測 (O)	應驗 (C)	前估 (C/O)%	後符 (C/F)%	TS得分(0~1) (C/F+O-C)
北部	89	54	30	55.6	33.7	0.27
中部	110	45	34	75.6	30.9	0.28
南部	132	65	48	73.9	36.4	0.32
東北部	76	42	27	64.3	35.5	0.30
東部	18	37	7	18.9	38.9	0.15

三、國內現階段豪雨/大雨預報能力

表一內前估 (prefiguration) 為，在發生次數內被預報到的次數(C)與發生次數(O)之百分比，即 $C/O(\%)$ 。後符 (post agreement) 為，預報應驗次數(C)與預報次數(F)之百分比，即 $C/F(\%)$ 。Threat Score (TS 得分) 原為美國國家氣象中心 (NMC) 用來校驗定量降水預報 (QPF) 之方法，定義為某降水強度或降水量之正確預報面積(C)與預報面積(F)加觀測到的面積(O)減正確預報面積(C)之百分比，即 $C/F + O - C(\%)$ ，即量度在某區域內正確預報降水的相對頻率。表一內 TS 得分即依此原始定義，將面積改以次數而已，亦即為豪雨預報準確度之百分比量度。顯見，

除東部地區外，後符均較前估為低。各區預報有 30.9~36.4% 應驗 (後符)，而豪雨/大雨之發生有 55.6~75.6% 事先可預報到。對某些經濟效益而言，此兩項得分可能為最重要的校驗數值。例如：在水壩的洪水控制作業上，豪雨/大雨之後符與前估兩項資料均有價值，即豪雨/大雨預報的可信度 (即可能正確百分比) 與豪雨/大雨發生時可能被預報到的百分比。東部地區較其他地區特別低的前估 (18.9%)，可能因東來系統海上缺乏資料或熱帶系統可預報度較低或對該區豪雨之了解較少或預報員缺乏信心較少發佈預報等因素而來。TS 得分亦以東部最低，僅 0.15 而已，其他各區在 0.27~0.32 間。完全正確的預報，TS 得分為 1，前估與後符均為 100%。顯然，表一所示現階段對豪雨/大雨發生與否之預報能力仍然相當有限。陳 (1985 a) 所謂的“天氣預報第一定律”，即局部天氣預報之準確率與該天氣現象之劇烈 (程) 度成反比，過去如此未來亦復如此，豪雨這種劇烈中尺度天氣現象就是最好的例子。顯然，豪雨預報有很大的改進空間，這也就是為何在圖 2 內，個人預期未來為改進豪雨預報之短期、極短時與即時預報等三方面之研究，將有大量人力物力投入之主要因素之一。

四、綜觀尺度環流系統與 1~5 天逐日天氣預報

主宰逐日天氣變化的綜觀尺度環流系統，目前幾乎皆可由 NWP 來預報，雖理論上此種尺度環流之預報極限約在 10 天至 2 週之間，但目前全球各主要 NWP 作業中心之模式預報能力約僅 5 天左右。顯然在模式所做氣象預報方面仍有很大改進餘地，為使預報能力向理論極限趨近，未來全球氣象界努力的方向至少應包括以下三方面：

- 1 增加對於衛星、飛機及海上漂浮氣象站之利用，以改進全球觀測網。
- 2 透過特別設計的觀測實驗計畫 (例如：GATE, AMTEX, TAMEX, GALE, STORM

)所獲得的資料，經由觀測分析、模擬試驗與理論研究，以改進NWP模式之物理。

3. 改進模式使用之計算程序(方法)及電算機之速度與容量。

除了上述努力以改進NWP之氣象預報能力外，因梅雨期間主宰逐日天氣變化之綜觀尺度環流，例如：梅雨鋒面、鋒後高壓、華西或季風低壓、太平洋高壓脊、中緯度槽脊系統……，或因較淺、或因較弱、或因所處緯度較低或因海上資料缺乏等，將使模式預報能力大受限制。因此，模式預報校驗以求得環流系統預報之系統性誤差，使預報員在使用NWP預報產品時能做適當之修正與取捨並提供改進模式之參考，將為今後改進梅雨逐日天氣預報必需考慮的重要研究課題，Chen et al.(1987)對1983年東亞梅雨季(5~7月)日本與美國海軍NWP模式之高低壓系統預報校驗與王(1987)對1986年5~7月日本NWP模式之850mb梅雨鋒面與低層噴流預報校驗，即是這方面研究典型的例子。

蔡等(1988)TAMEX後續研究之規畫裡，應用研究與技術發展部分所規畫之豪雨綜觀環境之分析與預報，即屬本節討論之範疇，包括以下子題：

- (1)華中、華南鋒面形成，以及中低緯度共存鋒面系統動態預報之研究。
- (2)華中、華南鋒面後方控制高壓生成、動態、強度變化以及副熱帶高壓對梅雨鋒面動態預報之研究。
- (3)伴隨華中、華南地區低壓及鋒面系統前後低層噴流(LLJ)形成、動態及其強度變化預報之研究。
- (4)鋒面及其伴隨系統與強烈降水相關之預報研究。
- (5)梅雨期間控制台灣天氣轉晴因子之預報研究。
- (6)孟加拉(印度)季風低壓與中南半島及南海環流對台灣梅雨鋒面降水影響之研究。
- (7)中緯度阻塞系統對台灣梅雨鋒面顯著降水影響之研究。

(8)NWP產品成果校驗與評估。

五、控制一天內天氣變化之中尺度環流系統

梅雨期主宰一天內天氣變化之極短時與即時預報牽涉的中尺度(中- α)環流系統，已知者有下列10種，這些亦為豪雨/中尺度對流系統之可能激發機制(陳, 1986)。

- (1)地面與850mb鋒面。
- (2)700mb與500mb短波槽。
- (3)低層噴流。
- (4)鋒上中尺度低壓擾動。
- (5)鋒前移行或準滯性中尺度低壓。
- (6)海陸風環流。
- (7)近地層上下坡風(drainage flow)。
- (8)地形影響之風場。
- (9)中尺度對流系統之外流邊界。
- (10)中尺度高壓。

這些中尺度環流系統，目前雖有各種模式可做模擬研究，但作業化之NWP模式尚在發展階段，系統預報能力急待建立。對於改進未來梅雨期間此預報期限之天氣預報能力，在TAMEX後續研究之規畫裡，有關豪雨之即時與極短時預報技術發展及預報系統之建立，將為不可或缺之工作項目，包括以下子題：

- (1)中- α 尺度環流系統與豪雨關連之預報技術發展。
- (2)中- α 尺度環流系統及其伴隨豪雨與地形交互作用之分析與預報研究。
- (3)中尺度對流演進之觀念模式及預報模式之建立。
- (4)氣象雷達及衛星資料之降水強度估計。
- (5)地面雨量觀測之降水特性分析。
- (6)即時及極短期降水預報系統之建立。
- (7)即時天氣預報系統硬體、軟體設備之建置。
- (8)人機對話系統豪雨預報技術研究發展。
- (9)即時預報系統決策程序之建立。

(10)即時預報系統之測試。

在即時預報方面，利用稠密的地面自動測站網、數字化雷達資料（傳統與都卜勒）與氣象衛星資料，透過外延觀念（運動的與動力的）及人機對話系統（man-machine interactive system），此種組合將為未來各國作業化之趨勢。在極短時預報方面，利用NWP及MOS（Model Output Statistics）產品指引，並配合綜觀法技術之人機組合系統（Man-Machine Mix）將為未來之主流。

六、長期天氣預報

由目前對大尺度海洋——大氣交互作用的研究、海洋——大氣系統之全球性觀測（Tropical Ocean and Global Atmosphere Program; TOGA）以及適當數值模式之應用（General Circulation Model; GCM）等觀點來判斷，未來展期（平均）、季節（平均）與年際（平均）預報之能力將可改進。這種長期預報，即使預報能力僅有一些改進，對經濟效益也將有非常顯著的影響。梅雨降水長期預報之水資源運用經濟價值顯而易見，透過物理關連觀念（海溫、距平、特性環流……）以統計方法求得迴歸預報，勢將為未來梅雨長期預報研究之主要課題。最近一些有關梅雨年際變化、梅雨降水多寡之環流特徵與系統間環流特徵差異方面之研究（陳，1988），可能為梅雨長期預報研究提供一些物理關連參數取捨之參考依據。

七、結語

本文討論台灣梅雨天氣預報之研究與實作理念，事實上這些理念對於台灣地區之所有天氣預報亦可適用。除了回顧過去國內對梅雨預報研究之結構及評估未來趨勢外，並將預報期限依理論與實作考慮區分。評估現階段豪雨預報能力，並討論未來即時與極短時預報之研究與實作。此外，在TAMEX後續研究與中央氣象局NWP作業化的基礎上，討論梅雨逐日預報之研究與實作。最後亦對長期預報

之未來趨勢，提供一些見解。

在不同預報期限之預報，不論研究與實作，除硬體建置（例如：電算機、傳統與都卜勒雷達、氣象衛星、地面自動測站網……）與軟體發展（例如：NWP作業化與改進、各種預報方法/模式、即時資料處理……）外，最重要的應是參與天氣預報的研究人員與實作人員對其自身在整個天氣/氣象預報作業體系所扮演角色的認定。圖3為未來在各不同預報期限，預報員需要且可能利用其氣象學識與經驗，在其所做預報裡主觀判斷之百分比估計，提供天氣預報之研究人員與實作人員參考。

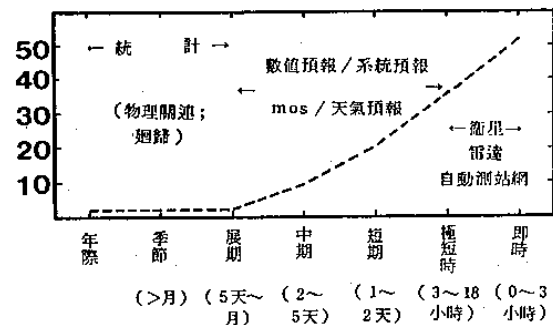


圖3 未來各不同預報期限，預報員需要且可能利用其氣象學識與經驗做主觀判斷部份，占所做預報之百分比估計（Y軸；%），其餘為客觀預報（NWP，統計）及觀測資料（衛星、雷達、自動觀測）所提供資訊對預報所占之百分比。

致 謝

感謝楊進賢先生與黎定華小姐在繪圖、校稿與編排方面之協助。

參考文獻

- 王惠民，1987：梅雨期東亞及西太平洋850 mb數值預報之系統性誤差。台大天氣科學研究所碩士論文，122頁。
- 曲克恭與任立渝，1985：梅雨季發生大雨之綜觀預報法。國科會防災科技研究報告74-01號，55頁。

- 吳宗堯與陳泰然，1987：台灣地區中尺度實驗計畫。國科會防災科技研究報告76-19號，133頁+5附錄。
- 戚啓勳，1987：預報梅雨鋒豪雨之南針。氣象學報，33，1~14。
- 陳泰然，1983：國內近年大氣科學研究成果納入實際氣象預報作業之可行性研究。國科會防災科技研究報告72-09號，台大大氣科學研究所，113頁。
- 陳泰然，1985 a：美國豪雨預報之研究發展及作業評介。天氣分析與預報研討會，中央氣象局，167-182。
- 陳泰然，1985 b：「劇烈區域性豪雨觀測與分析實驗計畫」之可行性研究。國科會防災科技研究報告73-42號，32頁。
- 陳泰然，1986：「台灣地區中尺度實驗」(TAMEX)之“實驗設計”。國科會防災科技研究報告75-01號，台大大氣科學研究所，93頁。
- 陳泰然，1987：「台灣地區中尺度實驗計畫」(TAMEX)之回顧與展望。科學發展月刊，15，1740-1752。
- 陳泰然，1988：台灣梅雨研究的回顧。科學發展月刊，16，239-266。
- 蔡清彥，洪秀雄與陳泰然，1988：TAMEX 後續研究之規畫。國科會NSC-77-0202-M002-11報告，39頁。
- 劉復誠，1986：現行豪雨預報技術之評估與改進研究。中央氣象局研究報告第154號，70頁。
- Chen, G.T.J., Y.J. Wang and C.P. Chang, 1987: Evaluation of the surface prognoses of cyclones and anticyclones of the JMA and FNOC models over East Asia and the Western Pacific during the 1983 Mei - Yu season. Mon. Wea. Rev., 115, 235-250.