

梅雨季豪雨之短期與即時預報：TAMEX之 長程目標

陳泰然

國立台灣大學大氣科學研究所

摘 要

台灣地區中尺度實驗計畫 (TAMEX) 之長程目標，為改進台灣地區梅雨季豪雨之短期與即時預報能力。1992 年 5—6 月之豪雨預報實驗為 TAMEX 應用研究與技術發展成果的總結，亦為為期 10 年之 TAMEX 計畫階段性任務的達成。本文目的除探討中尺度預報之有關理念與中尺度預報之方法外，亦介紹梅雨季控制 0—24 h 天氣之有關中尺度環流系統與 1992 年預報實驗之規畫與準備工作。最後，對未來國內中尺度預報作業化之努力目標提出一點看法。

一、前言

TAMEX 的長程目標為：透過基礎研究與應用研究，增進對劇烈區域性豪雨之了解，以改進豪雨預報能力，減少豪雨帶來的損失，並增加水資源利用之經濟效益。在這個長程目標之下，TAMEX 實驗設計確定了確切的科學目的（包括基礎研究與應用研究），並在 1987 年 5—6 月實地作業圓滿達成第一階段的預期目標後，即進行第二階段的五年後續研究計畫。目前 TAMEX 實地作業期間所收集到的密集觀測資料，正透過各學術單位與氣象作業單位的專家學者們，分別在國科會自然處與企畫處以及氣象局科技中心支援下，進行基礎研究與應用研究。這些研究成果，如何落實到預報作業上，以改進梅雨期豪雨預報能力，減少損失，實為 TAMEX 計畫的終極目標。

在後續研究階段的主要活動，基礎研究方面包括三項：(1) 1989 年 6 月 22—30 日在台北舉辦的 Workshop on TAMEX Preliminary Scientific Results，共有 62 篇論文發表。已取得美國氣象學會期刊 *Mon. Wea. Rev.* 同意，出版 TAMEX 專輯，並邀請 NCAR 的 Dr. Lemone 與 NOAA 的 Dr. Jorgensen 擔任客座編輯，負責有關論文審查事宜。(2) 1990 年 9 月 24—28 日將在美國 NCAR 舉辦 TAMEX Scientific Workshop，已由學術小組在今 (79) 年氣象學會大會後的研討會遴選論文與會發表。(3) 中美雙方氣象學會已決定 1991 年 11 月在台北共同舉辦 International Conference on Mesoscale Meteorology and TAMEX，此項會議將總結大部份 TAMEX 科學研究成果。在應用研究方面，

1992年5—6月TAMEX預報實驗可視為TAMEX應用研究與技術發展成果的總結，亦為整個TAMEX計畫（1983—1992年前後10年）階段性任務的達成。

本文目的在探討台灣梅雨季發生之劇烈中尺度對流現象／豪雨，有關之短期與即時預報（即中尺度預報）問題，首先介紹中尺度預報之理念，其次探討中尺度現象之預報方法，最後說明梅雨季控制0—24 h天氣之中尺度環流系統以及有關1992年TAMEX預報實驗之準備工作。

二、中尺度預報之理念

(一)定義

“即時預報”（nowcasting）一詞，在1974—1976的「Chesapeake Bay Region Nowcasting Experiment」之後，即在氣象界廣為流傳，成爲一個熱門主題，並已漸爲氣象作業之一部份（Browning, 1982；Ray, 1986）。該即時預報實驗（Scofield and Weiss, 1977）之目標，在於利用高時間解析度之同步衛星雲圖、雷達與地面中尺度站網資料，以提供即時且詳盡的天氣資訊給局部地區之使用者。該即時預報實驗之主要目的，爲發展及測試中尺度分析與短期預報方法；次要目的，爲檢討在氣象作業上透過無線電台發佈天氣消息之可行性，以及探討是否可由同步衛星所見到的運動與熱力場分佈形式，以推求風場與溫度場結構。

國際氣象界對於即時預報與短期預報（short range forecast）或極短期預報（very short range forecast）之時段畫分，並無一致的標準。例如在Chesapeake 即時預報實驗裡，即時預報係指對現在天氣之描述，而短期預報則指對未來0—6 h之預報。Browning（1982, 1989）則採用世界氣象組織（World Meteorological Organization；WMO）的即時預報定義，即對現在天氣之詳細描述以及利用外延法求取之2 h預報（0—2 h）。他的極短期預報，則指不僅利用外延法，同時也利用諸如統計法、物理模式、概念模式與中尺度數值預報模式等來做未來0—12 h之預報。Zipser（1983）認爲，因爲不同天氣事件之時間尺度有很大不同，故

應對Browning之定義做些修改。他的即時預報定義爲，對於現在天氣狀態的描述與經由密集觀測之個別現象在外延法適用期限內之預報。極短期預報則指，在外延法適用期間以外至12 h以內之天氣預報。Mc Ginley（1986）則認爲，因爲極短期與即時預報有相同的時間尺度，且兩者使用之預報過程亦同，故未在預報時段上做刻意之畫分。Doswell（1986）則採用Zipser之觀念，唯認爲短期預報之預報時段以24 h爲上限。

台灣地區梅雨期豪雨／對流系統短期與即時預報之時段如何畫分，似以其生命期之四分之一做爲即時預報之上限較爲合理。陳等（1986）分析1981—83年5—6月東亞及西太平洋之中尺度對流系統，發現 α 尺度與 β 尺度生命期各爲14.6 h（104個案）與14.1 h（33個案）。而其導致之豪雨，在台灣地區（除東部與高山地區外）之生命期大都在12 h以內（陳與楊，1988）。因此，我們認爲台灣地區梅雨期豪雨／對流系統預報時段畫分，以0—3 h爲即時預報，0—12 h爲極短期預報，0—24 h爲短期預報之畫分，應屬合理，目前針對1992年梅雨期預報實驗之規畫工作，即以此種定義來進行。所謂中尺度預報，即是針對各中尺度現象，所做包含上述各不同時段之預報。

(二)所用資料

不論是進行即時預報或短期預報，首要條件即在於具有觀測中尺度現象之能力，這些包括逐時地面觀測、探空、雷達、衛星與剖風儀（wind profiler）等不同來源、不同形式、不同內容與不同性質之即時觀測。這些觀測資料當然需要一套有效率的即時預報系統，加以收集、處理、分析（包括計算）與顯示，預報員才能善加利用並在設定時間內做出理想的即時或短期預報。中尺度預報之主要問題，通常並非在於對個別來源資料所顯現意義之詮釋，而在於如何綜觀同化（assimilation）各不同來源資料，使對任一（天氣）現象之詮釋具有物理上一致性之圖案（coherent picture），最後更重要的是如何將此一致性圖案，套入衆多可能概念模式之一，以進行中尺度預報。作業單位在做中尺度預報時可用之資料，各國均有不同，以下僅就在1992年預報實驗時，國內實際上可用的資料做一簡單討論，國外（例如歐美）更先進之可用資料可參閱Browning（1989）。

NOAA 繞極衛星之 TOVS (TIROS-N Operational Vertical Sounder) 溫度探空，雖在資料稀少區定義綜觀尺度系統方面相當有用，但因其準確度與垂直及時間解析度之限制，故對中尺度現象之描述用處不大。同步衛星 GOES 上之 VAS (Visible and infrared spin scan radiometer Atmospheric Sounder) 反求資料，雖在配合地面非綜觀時間之探空資料使用時可求取高層溫度場之中尺度結構，並可提供可降水量與穩定度指數等與對流有關之參數，但此種技術在 GMS 衛星之應用可能尚需相當時日。對國內而言，衛星資料之應用主要為其可見光與紅外線雲圖 (imagery)，預報員可依雲圖辨認雲的分佈、雲頂高度、雲的移動、對流與層狀雲屬與中尺度現象之特殊雲形。但是需要注意到一些基本原則，包括雲圖所顯示現象之時間連續性、雲圖與合成圖 (地面與高空觀測) 及預報圖 (風場、溫度場、渦度場) 之相互比對，以求得中尺度現象之物理一致性圖案。此外，利用紅外線數據化資料 (雲頂黑體輻射溫度)，以估計中尺度對流系統之降水量，亦為衛星資料重要之應用。

傳統雷達觀測到的回波，可提供降水強度之估計，預報員需能確認回波系統在形狀、排列方向、強度及速度等方面之改變，並能具有在已存中尺度環境之潛在危險位置，快速辨認新回波發展之能力。對於平面位置顯示器 (PPI) 之回波，預報員需注意觀察回波形狀 (例如: holes, notches, bowing, hooks, waves, banding) 之演變、不連續性 (即強烈梯度)、移動與強度等。而在距離高度顯示器 (RHI) 之回波，預報員可對個別降水系統加以分析，以決定其高度、垂直形狀、弱回波區、對流與層狀降水區、融解有關之強回波帶、懸垂回波 (overhang echo) 等現象。都卜勒雷達除提供回波資料外，更重要的是其相對於雷達之徑向速度 (radial velocity)，因其顯示目標區內之氣流，故可辨認中尺度現象，例如：風切線、中尺度氣旋、輻散與輻合、龍捲風等；並可利用非降水目標物之移動與密度不連續之觀測以偵測對流前之環境條件，例如：低層輻合區與平均垂直風切分佈等。

地面逐時觀測資料，可提供氣壓、溫度、露點、風向、風速、雲底高度與雲層等之現況與時間變化，而這些資料常可顯示局部環境裡所具有之高層

或低層強迫作用的訊息，並可顯示低層大氣的結構。因此，在實作上通常需要繪製上述各種參數之 1—3 h 變化圖，並辨認持續性在 ≥ 2 h 之逐時變化形式之中尺度現象。傳統探空觀測，通常在 0000 與 1200 UTC 之綜觀時間才有觀測資料，雖其時間解析度較差，但其顯示之垂直風場結構 (垂直風切) 與穩定度參數，常可為中尺度對流發生及演變預報之重要參數。預報員若能利用地面逐時溫度、露點、雲底與雲屬等觀測資料，常可估計近地層 1.5 km 內之即時探空分佈，對於中尺度對流系統之發生與演變預報很有用處。唯估計方法可因季節與區域而有所不同，Mc Ginley (1986) 所提美國地區的方法可供借鏡。剖風儀 (wind profiler) 因可提供連續之高空風剖面分佈，在診斷分析中尺度現象上十分有用，鋒面尺度之熱力結構亦可推論求得。中大之 VHF 特高頻雷達 (~ 50 MHz)，在近地層以上之高空風觀測若能自動化，對未來中尺度預報當大有助益。

(三) 診斷分析

中尺度預報的第一步工作，為對觀測資料做診斷分析。先由綜觀尺度結構診斷分析著手，再進行中尺度 (即次綜觀尺度) 結構之診斷分析。在綜觀尺度方面，最重要的是客觀分析圖之加強分析 (即再分析)，以提供預報員做為辨認特別需要注意的地區與情況之基礎。同時在主觀繪製等值線時，亦可使預報員對手上資料與天氣形勢增加認識。通常這種綜觀尺度客觀圖之再分析，可能包括在興趣區內以較小間距增繪等值線、對諸如槽脊線等加入特殊符號以強調其位置並加入其過去位置、對客觀分析圖無等值線之參數進行分析 (例如：乾溼區)。因係綜觀尺度結構之再分析，故可使用線性外延法預報，唯需注意現象之時間連續性。此外，綜觀尺度之再分析亦可做為了解數值模式預報好壞之依據。

在中尺度結構分析方面，主要係利用地面觀測、雷達資料、衛星資料與剖風儀資料，進行人為主觀之中尺度現象之診斷分析。通常必需考慮局部地形效應，以對不同來源資料做物理一致性之診斷分析，但需注意有時局部地形亦可直接或間接影響產生天氣之過程。概念 (或物理) 模式為在中尺度分析上非常有用的工具，這是與綜觀尺度分析最大不同之處。通常在綜觀尺度物理模式與資料有所衝突

時，預報員即需利用有限資料與某種中尺度概念模式以調和（或解釋）此種衝突。因此，中尺度之診斷分析除需有豐富之氣象知識之外，亦需有一些概念（物理）模式可供使用方能勝任。

四、預報員之角色

現今主宰逐日天氣變化的綜觀尺度系統已可由數值模式做出準確預報，但控制一天之內天氣變化的中尺度系統，在預報作業上仍未能由中尺度數值模式做出即時且可靠的結果。因此，中尺度預報可說是人為主觀天氣預報最後一個未開發的領域，預報員之角色也就格外重要且吃重。人為主觀預報過程非常複雜，不像客觀預報過程之單純，由初始觀測資料經由客觀分析、初始化、數值模式積分至預報結果，一組初始資料僅可獲得一個預報結果，因此過程與結果均可複製。在主觀預報裡，預報員並不對所有資料（四維）給予相同權重，而是利用圖形辨認方式來綜觀同化複雜之資料。通常預報員會利用其氣象經驗、理論、概念、猜測及所有可用資料，以形成他所想像但具有物理一致性的四維大氣圖案。雖然，這種想像但具有物理一致性的圖案可能不僅一組，但是每一組均需與觀測資料一致。由於預報員在構思其想像圖案過程之主觀性，故預報結果恰與客觀預報法相反，無法複製。在這種人為主觀預報過程裡，預報員利用圖形辨認方式以判斷天氣系統之演變傾向，連同對觀測資料的診斷分析以產生預報。不論在診斷分析或在預報時，預報員均利用他所想像大氣過程如何運作的概念模式做為橋樑。

在做中尺度預報時，雖需有一套有效率的即時預報系統，以收集、處理、分析、顯示高解析度之四維資料，但是如上所述，預報員對於大氣之中尺度結構與過程若無認識，則即使有很好的硬體設備亦無法發揮效益，做好中尺度預報。顯然，中尺度預報技術之提昇，需要透過不斷的學習與經驗累積，而中尺度預報之品質則取決於預報員對於大氣之辨認與直覺能力。在這方面，McGinley (1986) 提出三個努力方向值得借鏡。

- (1)分析之頻率：需逐時之偵測資料。
- (2)合成：需將所有來源之資料摘要成一張圖（表）。
- (3)事後分析 (post-forecast analysis)：以便對所預報天氣事件發生與否，進行中尺度預報之正確性評估。

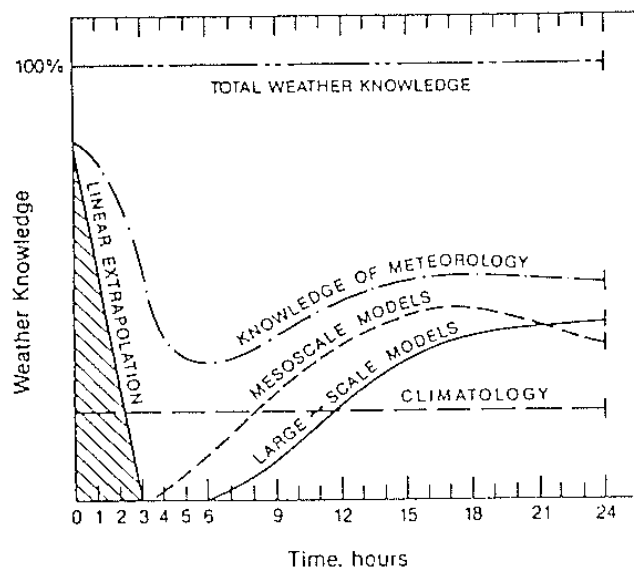


圖 1 不同預報方法在中尺度預報各預報期限（即事件發生前時數）之貢獻 (Boswell, 1986)

三、中尺度預報之方法

(一)學理上之預報方法分類

圖 1 為 Boswell (1986) 針對各種不同預報方法，在中尺度預報裡之不同預報期限，對於預報能力之貢獻所做之示意圖。其中對於中尺度預報有貢獻之方法，包括：線性外延、中尺度氣候、大尺度模式、中尺度模式與氣象知識。線性外延為針對已存在觀測到的現象做即時預報之方法，其外延期限端視該現象生命期長短而定。對大部份的中尺度現象而言，此法對預報之貢獻隨時間迅速減小，在 1 h 後對於預報所需之知識仍有約一半之貢獻，2 h 後約與氣候知識之貢獻相當，3 h 後之貢獻已趨近於零。

中尺度氣候所提供之知識，對於任一預報期限均相同，在中尺度預報裡之貢獻相當顯著，特別是在圖內所示 3—12 h 之“預報缺口”(forecasting gap)，該區線性外延與大尺度模式之預報能力非常有限，在中尺度模式未能作業化前，預報能力端視中尺度氣候與氣象知識而定。大尺度模式之貢獻，通常因為模式需要約 6 h 調整期，故在 6 h 後才開始有貢獻，約在 12 h 後超過中尺度氣候，12—24 h 間之貢獻十分顯著。中尺度模式之調整期較短，約在 3 h 後開始有貢獻，7—8 h 後可超過中尺度氣候，因為此種模式可填補一些“預報缺口”所需之知識，故其作業化在中尺度預報至為重要。

圖 1 內氣象知識，係指預報員利用物理概念模式及經驗定則，對中尺度預報所能提供之知識。這些氣象知識在“預報缺口”區內相對地減少，顯示我們目前對該區中尺度天氣過程仍缺乏基本了解。但是，在有效的人機對話即時預報系統裡，預報員可利用這些氣象知識，大幅改進單純依賴線性外延及模式所做之預報。

1. 線性外延

因為線性外延期限之有效性，端視所面臨現象生命期之長短而定，故此法對於有關之大尺度現象可能掌握之時間較長，對於已觀測到的中尺度現象之適用時間很短。不同的天氣過程有不同的線性外延有效期限，況且對於同一天氣過程的不同個案，線性外延有效期限亦可能不同。因此，通常需先在同一天氣過程的衆多個案裡，求取線性外延有效期限之平均值。圖 2 為線性外延與實際天氣過程演變之比較，在有效期限之後兩者之差（預報誤差）已不可接受。Austin and Bellon, 1982) 分析所用雷達資料來估計降水，發現在 $180 \text{ km}^2 \geq 3 \text{ mm h}^{-1}$ 之降水線性外延之有效期限無法超過 3 h。在即時預報 (0—3 h) 裡，對於個別中尺度現象線性外延之使用，最重要的可能是利用雷達與衛星資料做降水量估計之線性外延，國內在這兩方面之技術均急待建立。

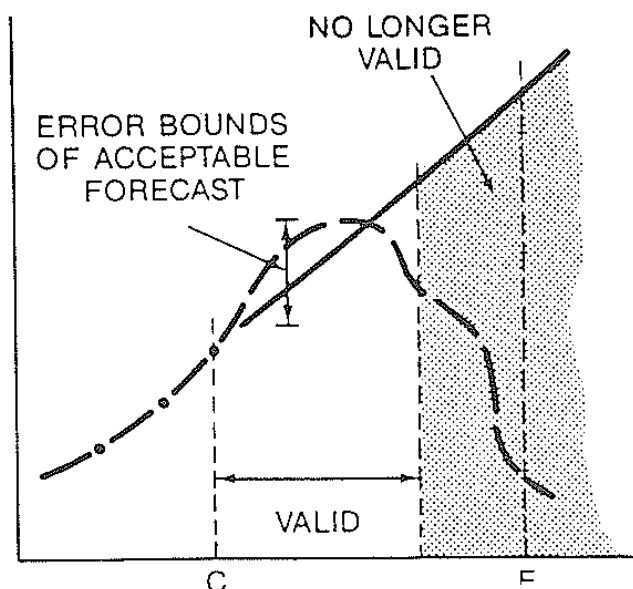


圖 2 在可接受的預報誤差範圍內，線性外延法之有效期定義。有效期與預報對象有關，且因一現象之不同個案間亦可不同。X 軸為時間，C 為現在時間，F 為預報時間；Y 軸為預報量（例如：降水量、移速、移向）。

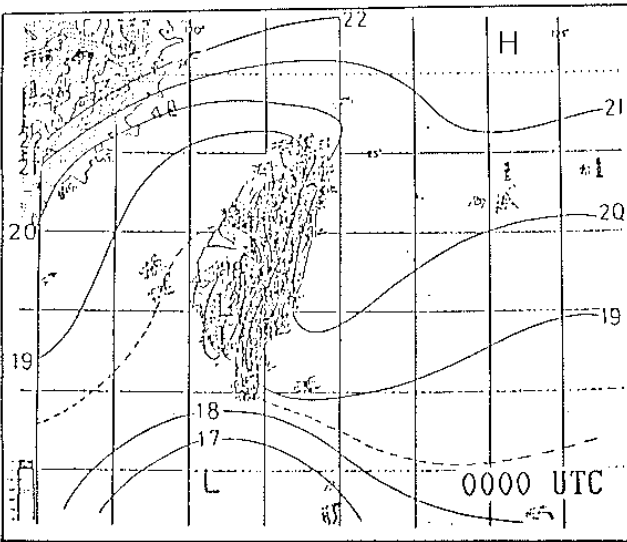
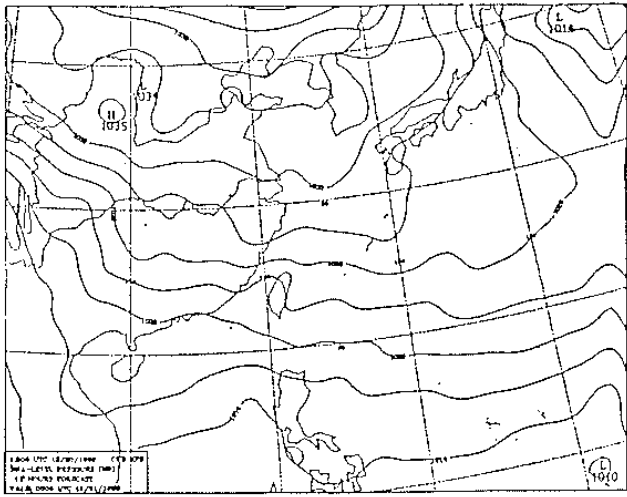
2. 中尺度模式

近年來在中尺度模式發展方面雖有很大的進展，但大部份模式仍為研究模式，真正已在作業上應用的有如鳳毛麟角，英國氣象局 3 維非靜力平衡原始方程模式即為其中之一，採用垂直 32 層水平 15 km 間距 (Golding, 1987)。現中央氣象局作業化之中尺度預報系統，則採用垂直 12 層水平 45 km 間距之靜力平衡原始方程。中尺度模式作業化急需解決的問題之一為初始值之取得，最近雖然在中尺度現象觀測技術上有快速的發展，但這些中尺度資料如何應用在做為中尺度模式初始值的問題猶待解決，其中如何將有關中尺度觀測諸如雲、降水之資料轉換成諸如溫度、溼度、風等動力變數並非易事，而如何將剖風儀之風場納入模式以提供初始值的問題亦有待進一步研究 (Gal-Chen, 1988; Kuo et al., 1987)。

中尺度資料在決定中尺度模式預報結果是否有用方面，則視不同之氣象條件而定。若中尺度現象之主要強迫作用為地形效應，例如：海陸溫度對比、地形舉升，則大氣初始條件不必太過詳細，可能由大尺度模式提供初始值即可。圖 3 為氣象局中尺度模式 1989 年 12 月 21 日 0000 UTC 之 12 h 預報與觀測，對台灣及鄰近可能由地形引發之中尺度高壓脊與低壓槽均有相當合理的預報，當天傍晚在台灣海峽中北部產生的颱風系統與此中尺度低壓槽關係密切 (紀與陳, 1990)。但若中尺度現象係由其內在動力所驅動，例如：中尺度對流系統、鋒面雨帶，則在模式初始值裡必須包含有對這些中尺度現象很詳細的觀測。此外，雖然綜觀尺度強迫作用亦可在中尺度模式裡發展出中尺度現象，例如：變形作用導致鋒生、輻合線區導致中尺度對流系統，但若無中尺度資料做為模式初始值，則模式並不一定可以得到這種中尺度發展將在何時何地發生的可靠預報。

3. 中尺度氣候

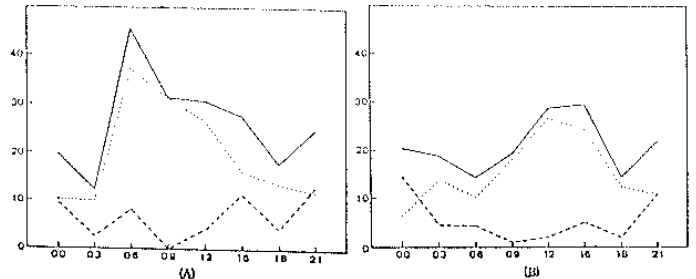
如圖 1 所示，中尺度氣候知識在中尺度預報上具有顯著的貢獻，特別是在“預報缺口”區域。在這區域要做出較氣候值更好的預報有時亦非易事，例如：在夏季無顯著強迫作用之大尺度綜觀形勢下，在具有豐富水氣與不穩定條件的廣大區域內，預報對流系統在何時何地發展十分困難。這時，與其不知如何預報而任意猜測，不如以氣候值機率來做



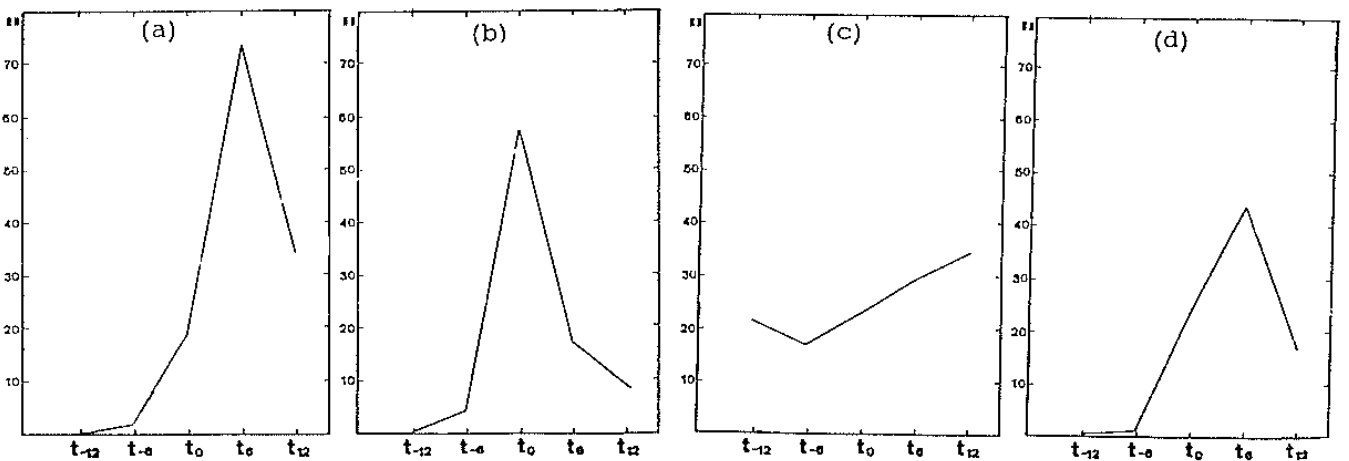
■ 3 1989年12月21日0000 UTC (a) 氣象局中尺度模式12h 海平面氣壓 (msl) 預報圖與 (b) 海平面氣壓分析 (msl)。

預報。當然，我們不希望每天都依賴氣候值來做預報，而是希望能夠透過預報員利用各種方法來改進僅由氣候值所做的預報。因此，只有在預報員之診斷分析無法掌握未來天氣事件之可能演變情況下，才完全依賴氣候值來做預報（或完全依客觀指引，例如：NWP，MOS，來做預報）。

地形除了在產生中尺度現象方面非常重要之外，例如梅雨期中尺度低壓，在決定與低層氣流及穩定度息息相關之天氣發生位置上亦舉足輕重，例如局部性地形降水。因此，發展條件性中尺度氣候，在中尺度預報上有很高之參考應用價值，例如：在不同盛行風及穩定度條件之中尺度降水量分佈。圖4為梅雨期豪雨若發生在中尺度低壓範圍內，台灣各區降水強度之改變，可為豪雨時降水量預報之參考（陳，1989）。圖5為梅雨期中尺度對流系統（MCS）初生期與加強期出現頻率之日夜變化，



■ 5 1981~1983年5~6月（1981年6月缺）台灣梅雨期東亞及西太平洋區（100~130° E, 15~35° N）之中尺度對流系統各階段之頻率日夜變化。（A）初生期，（B）加強期，點線為陸地，虛線為海上，實線為總數，X軸為GMT，Y軸為個數，部份缺失資料已經調整使易比較（陳等，1988）。



■ 4 豪雨發生在中尺度低壓區內，(a) 北部地區（淡水、台北、竹子湖、四十分），(b) 中部地區（梧棲、台中、嘉義），(c) 中部山區（日月潭、玉山、阿里山）與 (d) 南部地區（台南、高雄、恆春），在低壓出現前後各12小時間（X 軸）之合成降雨（mm/6h）變化（陳，1989）。

可見在陸地上午後形成與午夜前加強之趨勢十分明顯(陳等, 1986), 可供MCS 預報之參考。

4. 氣象知識

(1) 經驗定則

雖然發展客觀的外延法及中尺度數值預報, 在未來的中尺度預報作業上將會日趨重要, 但是經驗定則所提供之資訊, 在預報上仍有很大貢獻。此處經驗定則, 係指長期累積有關之綜觀條件與中尺度現象關係之經驗法則, 故通常較缺乏具組織與定量之中尺度現象之訊息。圖6 為春末夏初預報颶線與鋒面雷雨之經驗定則(謝, 1985), 850 mb 潮溼與最大高度下降區即為這些中尺度對流現象發展之潛勢區。Mc Ginley (1986) 綜合美國地區預報雷雨發生之經驗定則, 他所提出辨認可導致雷雨發展之不穩定度增強區 (area of destabi-

lization) 之經驗定則, 如圖7 所示, 包括: 鋒面、乾線、外流邊界、變形場/鋒生區、高層噴流條與低層噴流等之相關區域。

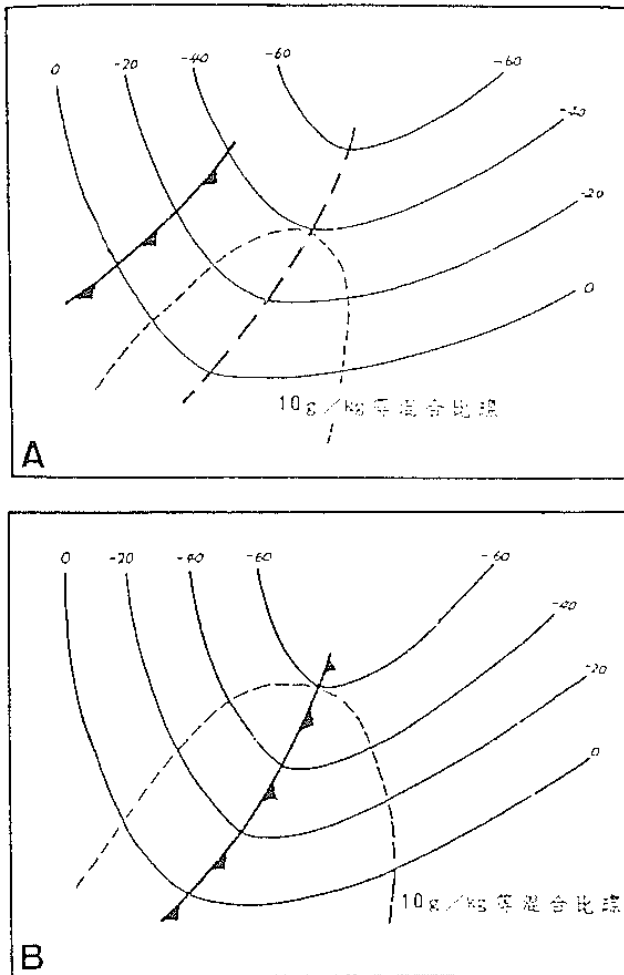


圖 6 有利於發生 (A) 颶線及 (B) 鋒面雷雨之合成天氣型態。實線為 850mb 等高線, 粗斷線表等變高線槽位置, 虛線為 850mb 等混合比線 (謝, 1985)。

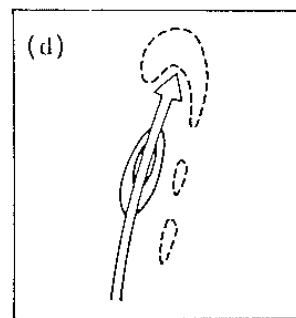
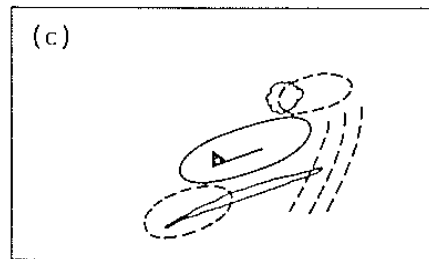
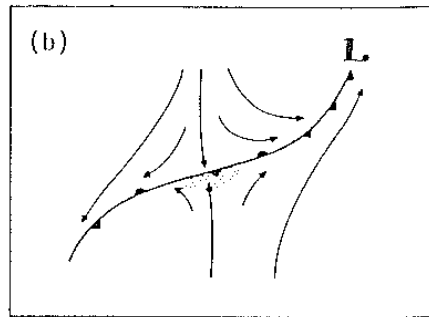
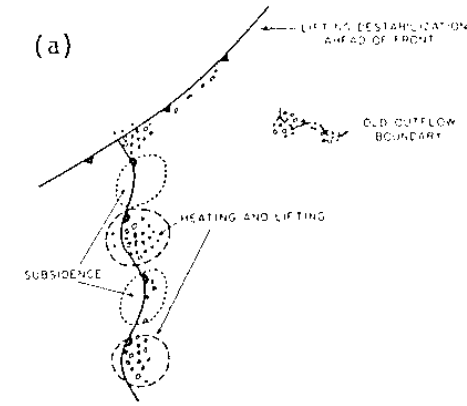


圖 7 辨認不穩定度增強區 (area of destabilization) 之經驗定則 (McGinley, 1986)。(a) 在鋒面、乾線與外流邊界上之不穩定度增強區, 塊狀積雲為舉升作用可能發生之最先跡象, 持續 2-3h 之區域應屬危險區。(b) 相對於變形場與鋒生之不穩定度增強區, 此

區可能僅有微弱高層強迫作用及微弱地面風。(c) 相對於高層噴流條 (實線) 之不穩定度增強區 (虛線), 噴流條右前方亦可能由重力波導致舉升。卷雲條常出現在噴流條南側, 中雲則在出區左側。(d) 相對於低層噴流 (實線等風速線與箭頭) 之不穩定度增強區, 對流活動常在噴流反旋式風切場某些區域發展

(2) 概念模式

在此概念模式，係指在對觀測到的中尺度現象有關之結構、機制與生命史有所了解後，對該現象所提出之物理一致性圖案，常可用來改進外延法之預報。因此，在中尺度預報裡常可利用概念模式來詮釋由衛星或雷達觀測到的中尺度現象，以判斷其結構及生命史所處階段。圖 8 為 McGinley (1986) 所提出在美國常造成暴雨/暴洪之中尺度對流系統生命史概念模式。這種系統開始發展時通常是一羣對流風暴，然後彼此漸漸結合成一個範圍大的對流系統。當系統漸形組織後，內部中尺度上升運動即開始發展，以維持持續之降水並迫使低層氣流輻合進入系統之內。這時組織性外流則提供產生新對流的機制，而持續性內流則提供穩定的水氣來源。當這種系統在弱風環境裡形成時，通常需向東南移動才能維持，此乃因新對流胞在外流南側邊界形成而舊對流胞則幾乎帶留之故。但若這種系統在較強垂直風切之環境裡形成時，系統可能並不移

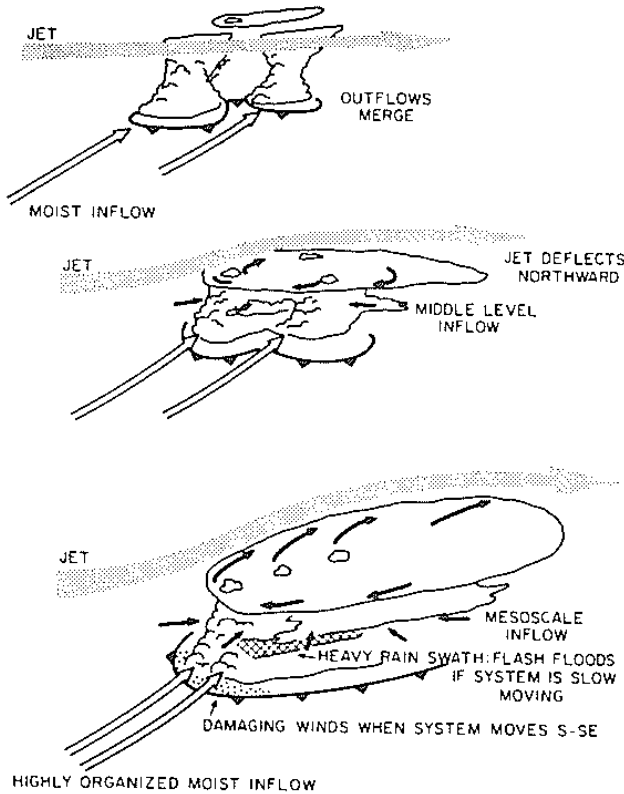


圖 8 北美常造成暴雨/暴洪之中尺度對流系統之生命史概念模式 (McGinley, 1986)。上圖為對流胞結合，中圖為對流胞開始組織中尺度，下圖為新對流胞在外流邊界西南側發展，使得沿對流胞路徑產生暴雨，亦可產生強風。在此 6h 間噴流產生彎曲。

動，此乃因新對流胞在外流之南側或西南側邊界形成後，即進入系統向東移動。前者可能較常伴有危害性強風，後者則最常產生暴雨/暴洪。圖 9 為 Chen and Chou (1989) 所提 TAMEX 期間在台灣海峽觀測到的成熟期強線性對流系統 (圖線) 與弱線性對流系統之概念模式，兩者主要差異似在於環境氣流垂直風切之大小及系統前中層內流之強弱。

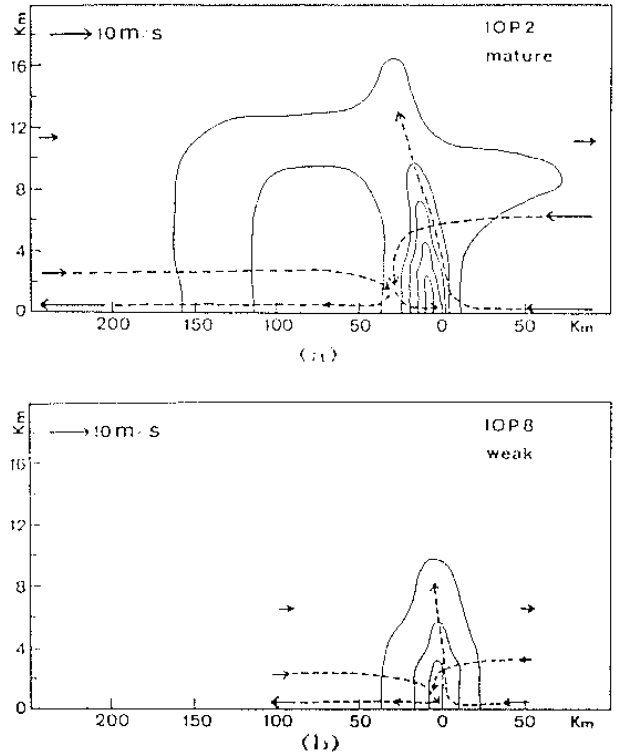


圖 9 TAMEX 觀測到的 (a) 強線性對流系統 (圖線) 與 (b) 弱線性對流系統在成熟期之概念模式。其中 (a) 在 IOP 2 所觀測，(b) 在 IOP 8 所觀測。圖內實線雷達回波強度等值線由 level 1 (0-12dBZ) 至 level 5 (36-41dBZ)，箭頭為相對於系統之風速，虛線為推論之環流 (Chen and Chou, 1989)。

(二) 實作上之預報方法分類

1. 利用氣候值預報

如前所述，中尺度氣候在中尺度預報裡有相當之貢獻，特別是在“預報缺口”區域。但除非診斷分析無法判斷未來天氣將如何演變，否則中尺度預報不應僅利用氣候值而已。

2. 非線性之短期預報

即時預報係利用線性外延法，針對已存在現象而做；短期預報則可針對已存在現象或尚未發生之現象而做，需利用非線性方法方可勝任 (Zipser

，1983；Doswell，1986）。以下將針對如何利用氣象知識以預報已存在現象、如何進行深入之診斷分析以預報將發生之現象以及如何使用客觀指引於中尺度預報等三方面做簡要討論。

(1) 已存在之現象

實際上天氣現象只是大氣過程運作的顯現，故與這些過程有關之科學知識（氣象知識）均可提供在預報上有用之訊息，至少可使預報較純氣候值預報為佳。若對已存在現象演變過程已有掌握而僅使用線性外延，則問題較為單純；但若需用非線性方法預報，則問題將較複雜，這時預報至少必須考慮到(a)有無大尺度過程在支持這個系統（現象）？

NWP 對該現象之有關過程之預報為何？(b)地形對該系統之影響為何？(c)近地層日夜變化對該系統演變之影響？(d)該系統是否有一物理概念模式可供使用以做預報？一個預報員需利用其氣象知識來回答這些與已存在現象有關之問題，以便提出一個在理論上及觀測上具有物理一致性之假說，亦即物理一致性圖案。

(2) 尚未存在而即將發生之現象

當產生天氣之顯著系統尚未存在時，通常預報員需判斷天氣系統是否將發展，也就是在好天氣情況下，需做深入之診斷分析，因為此時才有充裕時間做好深入診斷分析，以便能對導致天氣改變之有關過程加以守視，故此種分析甚為重要。

(3) 客觀指引

在中尺度模式尚未作業化之前，客觀指引係指大尺度 NWP 產品及利用模式結果與觀測到的天氣所做之 MOS 迴歸方程。雖然 NWP 模式並不直接預報對流，但却可提供與對流有關之大尺度過程之訊息（例如：鋒面、噴流條、短波槽）。MOS 雖可提供直接客觀之各種天氣預報，但因其統計性質，使用時仍需依賴預報員加以調整修正。

3. 結構式預報 (structured forecasting)

在結構式預報裡，預報過程之次序及／或規則均已事先訂定，以使得在診斷分析與預報裡之重要因子不致於被忽略，其形式可能為標準作業程序 (Standard Operating Procedure; SOP)、參數檢查表 (parameter checklist)、決定樹 (decision tree) 或專家系統 (expert system)。這些方法都可視為預報員做判斷之輔助工具，對於沒有經驗的預報員特別有用。雖然結

構式預報有其價值，但這種方式的預報不可視為不可變更的最後預報，預報員在做最後決定時，應能很自由地使用其氣象知識。因此預報員最好採取完全自由（毫無結構）與毫無自由（結構式）兩個極端之間的預報模式。

(1) 檢查表

所謂參數檢查表，係指有經驗的預報員對於與預報問題有關之參數，按其重要性所定之表格。當預報員在使用檢查表於預報而將所有參數求得時，除非每一參數均有相同之指示，最主要的問題在於不知如何詮釋結果，亦即某些參數有利而某些參數不利於現象之發生。故檢查表並非完全客觀，而可由一組資料做多種可能預報，這時通常由參數重要性來決定預報。另一問題在於檢查表參數之先後次序排定亦屬主觀，並無對各參數之定量權重，再者即使給予權重亦無法同時涵蓋典型與非典型之情況。

(2) 決定樹

在實作上，決定樹包含對於有關現況的一連串問題，每一問題均需預報員作一決定，而該決定即確定了下一個問題。這些問題的答案形式，可能為參數值（有如檢查表），也可能需做圖形辨認。決定樹實際上可視為在模擬預報員之思考過程，但僅能求得有限數目之預報結果，故決定樹乃主觀地綜合多種客觀方法。

(3) 專家系統

專家系統（或稱人工智慧）之預報，主要依賴對該預報問題之專家所提供之判斷。在實作上，該專家對預報所需之參數給予權重（可能由檢查表獲知），以提供對事件發生可能性之定量估計。雖權重之給予為主觀的，但權重確定之外所有過程均屬客觀，僅得一個預報結果，且通常為事件發生之機率大小。

4. 經驗預報

無可否認，現今從事天氣預報的一項重要方法就是利用經驗，即經驗預報。進行局部研究 (local study)，實為寫出經驗以使他人能分享經驗的最好方法，亦可對局部天氣如何運作增加了解。

四、1992年TAMEX預報實驗之準備

1992年5—6月TAMEX預報實驗的主要目

標，在於應用TAMEx 基礎研究與應用研究的成果，以建立梅雨季豪雨之短期與即時預報能力。確切而言，該預報實驗之目的有三：

1. 改進中尺度對流系統與豪雨之預報期限。
2. 評估有關定量降水估計與預報之方法。
3. 評估不同方法之中尺度預報能力。

為了能順利執行此預報實驗，以落實TAMEx 研究成果於氣象預報作業，達到改進豪雨預報之目標，目前規畫與準備工作正在氣象學術單位與作業單位之通力合作下積極展開。早在78年11月22日在國科會召開，由自然處沙晉康處長與企劃處馬難先處長共同主持的「TAMEx 後續研究現況報告及規劃會議」上，即已產生「1992年TAMEx 預報實驗」規劃小組，成員包括：台大陳泰然教授，中大洪秀雄教授，文大曲克恭教授，氣象局預報中心謝信良主任與衛星中心紀水上副主任。隨後於1989年12月15日在國科會企劃處馬處長召開的預報實驗規劃小組會議，成立「預報實驗計劃辦公室」以推動有關1992年預報實驗之準備工作，並由台大陳泰然教授擔任召集人，氣象局謝信良主任擔任副召集人，台大周仲島教授擔任執行秘書。規劃小組成員除正副召集人外，包括中大洪秀雄教授、文大曲克恭教授與氣象局紀水上副主任。1989年12月30日成立8個工作小組，目前由52位小組成員展開有關規劃工作及實驗之準備工作。目前各小組召集人及成員如下：（隨時歡迎加入工作小組行列）

1. 綜觀經驗定則組：（7位）

召集人：吳宗堯、俞家忠

成員：蔣為民、鄭月娥、葉文欽、張儀峰、左信義。

2. 概念模式組：（8位）

召集人：林民生、周仲島

成員：陳景森、何台華、蒲金標、王建國、郭鴻基、柳再明。

3. 中尺度氣候組：（6位）

召集人：曲克恭、王時鼎

成員：丘台光、林熺閔、林雨我、謝維權。

4. 衛星資料應用組：（5位）

召集人：紀水上、李清勝

成員：顏泰崇、劉文俊、吳倩雯。

5. 雷達資料應用組：（8位）

召集人：陳台瑞、陳景森

成員：林沛練、周仲島、曾憲瑗、李金萬、林宏聖、許皓淳。

6. 數值預報應用與專家系統開發組：（9位）

召集人：洪秀雄、吳清吉

成員：林沛練、許武榮、江火明、徐月娟、潘大綱、陳熙揚、周思運。

7. 預報設計組：（5位）

召集人：謝信良、陳來發

成員：吳德榮、周蘭芬、李育祺。

8. 預報評估校驗組：（5位）

召集人：任立渝、李泮軍

成員：王惠民、盛修慈、陳清得。

各小組之任務如下：

1. 經驗定則（rules of thumb）組

評估並整理已存，具可信度且可供梅雨季0—24小時MCS／豪雨時空潛勢預報應用或預報參考之研究結果以及個人累積之預報經驗／定則，製作易於使用之簡明預報合成圖及文字說明。

2. 概念模式組

評估並整理在文獻上已存有關各種MCS形成、發展與消散等演變過程之概念模式或研究結果，以提出可供梅雨季0—3小時及0—12小時MCS預報之概念模式，做為MCS運動、強度及降水量傾向預報之應用或參考。製作易於使用之簡明概念模式圖及文字說明。（可考慮加入中尺度環流系統之概念模式）

3. 中尺度氣候組

評估並整理已存具可信度之梅雨季與MCS／豪雨有關之中尺度氣候研究結果，製作可供0—12小時，0—24小時MCS／豪雨定性或定量預報應用或預報參考之簡明圖表及文字說明。

4. 衛星資料應用組

評估並整理已存具可信度之衛星資料降水量估計技術（方法）及MCS形成與演變之研判技術，以建立可供0—3小時，0—12小時定量降水及MCS之形成、移動與演變等預報應用之方法，並製作易於使用之簡明圖表及／或可供即時使用之應用軟體程式。

5. 雷達資料應用組

評估並整理（或發展）具可信度之雷達回

波資料降水量估計技術及 MCS 演變之研判技術，以建立可供 0—3 小時定量降水及 MCS 移動與演變等預報應用之方法，並製作易於使用之簡明圖表及／或可供即時使用之應用軟體程式。

6. 數值預報應用與專家系統開發組

評估並整理具可信度且可供梅雨季 0—12 小時，0—24 小時 MCS／豪雨時空潛勢或傾向預報應用之數值預報產品應用研究成果，製作易於使用之簡明預報合成圖及文字說明。發展並建立可供 MCS／豪雨預報之預報決定樹 (decision tree) 形式之應用軟體及自行評估之方法。

7. 預報設計組

規畫並研擬預報實驗區域與分區及各分區之不同預報時段 (0—3 小時，0—12 小時，0—24 小時) 有關 MCS／豪雨之預報內容與作業方法，並整合各種預報方法以便實驗時可供即時應用。製作必要之圖表以供實驗時使用。

8. 預報評估校驗組

研擬並執行預報實驗有關之各預報時段 (0—3 小時，0—12 小時，0—24 小時) 之各項預報內容之評估校驗方法，並校驗氣象局過去對梅雨季豪雨／大雨預報能力以供比較參考。設計並製作有關圖表，供實驗期預報評估校驗之用。

除上述 8 個任務編組之外，目前並已由中央氣象局預報中心與衛星中心成立第 9 小組，即梅雨季豪雨預報訓練小組，集合該兩中心目前有關之預報與分析人員，以研習在中尺度預報方面有關之知識與技術，包括綜觀尺度之分析與預報、中尺度之分析與預報、衛星資料應用與雷達資料應用等。

有關「預報實驗」之工作時程，1990 年 1—6 月屬於規劃階段，除人員編組、工作小組成立、工作任務確定、工作內容項目以及工作時程等不斷透過小組召集人會議研討修訂外，更在 2 月 26 日至 3 月 3 日舉辦「Planning workshop on 1992 Post-TAMEX Forecast Exercise」，邀請美方專家與會做專題報告並進行中美雙方專家對談交換意見。美方專家包括 Dr. John A. Flueck / University of Nevada - Las Vegas

，Dr. John A. McGinley / NOAA / ERL / FSL / PROFS，Dr. Rod A. Scofield / NOAA / NESDIS / SAL 等人。未來「1992 年 TAMEX 預報實驗」之推動，將由「預報實驗計畫辦公室」來負責，目前所規劃之工作時程為期三年。第一年由 1990 年 8 月至 1991 年 7 月，將執行「預報實驗之設計與預報技術發展計畫」。第二年由 1991 年 8 月至 1992 年 7 月，將執行「預報實驗之預報系統整合與實驗執行計畫」，此計畫將分三階段：階段 A 為 1991 年 8 月至 1992 年 1 月，將完成各小組專業任務；階段 B 為 1992 年 2—4 月，將完成預報系統之整合與實驗進行之準備；階段 C 為 1992 年 5—6 月，此為預報實驗作業期。第三年由 1992 年 8 月至 1993 年 7 月，將執行「預報實驗之評估計畫」。

五、梅雨季控制 0—24 h 天氣之中尺度環流系統

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 850 mb 鋒面。
- (2) 700 mb 與 500 mb 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 後續應用研究裡，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，實為不可或缺之工作項目，陳 (1988) 認為它們至少應該包括以下子題：

- (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)中尺度對流演化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)人機對話系統暴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。

上列(1)–(6)項將由預報實驗工作小組，於1990年8月至1992年4月間完成，第(7)項則依中央氣象局現階段規畫大部份將於1992年4月底前完成，第(8)–(10)項則在1992年5–6月完成或測試。

六、結 語

TAMEX是一個多重目標的中尺度實驗計畫，在基礎研究方面將以1991年11月在台北舉辦的「國際中尺度氣象與TAMEX研討會」做為科學成果的部份總結，而在應用研究與技術發展方面將以1992年5–6月預報實驗做為整個計畫（1983–1992年前後10年）階段性任務的達成。

我們認為在即時預報方面，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）及人機對話之即時預報系統（man-machine interactive nowcasting system）來做預報，此種組合將為未來各國作業化之趨勢。在極短期與短期預報方面，利用NWP及MOS（Model Output Statistics）產品指引、中尺度氣候與氣象知識，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。希望1992年5–6月預報實驗及其先期準備工作，能為未來國內中尺度氣象與中尺度預報應該努力的目標，提供思考與改進的方向。

國內氣象界的團隊精神、高昂的士氣及刻苦耐勞的敬業態度，過去讓我們看到1987年5–6月實地作業順利地達成原訂目標，現在亦讓我們看到整個氣象界正向1992年預報實驗大力邁進，大家一致的目標即為了改進暴雨預報能力，減少損失，這種為國家為鄉土所做的努力，除讓我們氣象界同仁自覺驕傲外，亦將深獲國人的敬佩。

致謝

感謝吳運育先生與李啓昌先生在校稿與編輯方面之協助，本文在國科會專案計畫NSC 79-0202-M 052-07 支援下完成。

參考文獻

- 紀水上與陳泰然，1990：冬至前夕台灣地區颶線系統之初步分析；1989年12月21日個案。（本研討會論文彙編）
- 陳泰然，1988：台灣梅雨天氣預報之研究與實作理念。天氣分析與預報研討會，氣象局，19–24。
- 陳泰然，1989：台灣梅雨季中尺度低壓與降水之研究(二)。國科會防災科技研究報告78-06號，89頁。
- 陳泰然、吳倩雯與紀水上，1986：梅雨期東亞及西太平洋中尺度對流系統之氣候特徵。大氣科學，13，33–45。
- 陳泰然與楊進賢，1988：台灣梅雨期暴雨之時空分佈特徵。大氣科學，16，151–162。
- 謝信良，1985：伴隨鋒面劇烈天氣現象之研究。中央氣象局研究報告126號，77頁。
- Austin, G.L., and A. Bellon, 1982: Very short range forecasting of precipitation by the objective extrapolation of radar and satellite data. Nowcasting, Ed. by K.A. Browning, Academic Press, 177-190.
- Browning, K.A., 1982: Nowcasting. Academic Press, 255pp.
- Browning, K.A., 1989: The mesoscale data base and its use in mesoscale forecasting. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 115, 717-762.
- Chen, G.T.J., and H.C. Chou, 1989: Squall lines observed during TAMEX. Proc. Workshop on TAMEX Preliminary Scientific Results, Taipei, June 22-30, 35-42.
- Doswell, C.A. III, 1986: Short-range forecasting. Mesoscale Meteorology and Forecasting. Amer. Meteor. Soc. Ed. by P. Ray, 689-719.
- Gal-Chen, T., 1988: A theory for the retrievals of virtual temperature from remote measurements of horizontal winds and thermal radiation. *Mon. Wea. Rev.*, 116, 1302-1319.
- Golding, B.W., 1987: Short range forecasting over the United Kingdom using a mesoscale forecasting

- system. Short and medium range weather prediction. Ed. T. Matsuno, Meteor. Soc. of Japan, 563-572.
- Kuo, Y.H., E.G. Donall and M.A. Shapiro, 1987: Feasibility of short-range numerical weather prediction using observations from a network of profilers. *Mon Wea. Rev.*, *115*, 2402-2427.
- McGinley, J.A., 1986: Nowcasting mesoscale phenomena. *Mesoscale Meteorology and Forecasting*. Amer. Meteor. Soc., Ed. by P. Ray, 657-688.
- Ray, P.S., 1986: *Mesoscale meteorology and forecasting*. Amer. Meteor. Soc., 793pp.
- Scofield, R.A., and C.E. Weiss, 1977: A Report on the Chesapeake Bay Region Nowcasting Experiment. NOAA Tech. Memo. NESS 94, 52pp.
- Zipser, E.J., 1983: Nowcasting and very-short-range forecasting. In the National STORM Program: Scientific and Technological Bases and Major Objectives. Univ. Corp. for Atmos. Res., Boulder, Colo. 6-1 to 6-30.

Short-Range Forecasting and Nowcasting the Heavy Rainfall in Mei-Yu Season : A Long Term Goal of TAMEX

George Tai-Jen Chen

Department of Atmospheric Sciences
National Taiwan University

Abstract

The long-term goal of the Taiwan Area Mesoscale Experiment (TAMEX) is to improve the short-range forecasting and nowcasting capability of the heavy rainfall events over Taiwan in the Mei-Yu season. The Forecast Experiment of heavy rainfall in the Mei-Yu season of 1992 will conclude the 5-year TAMEX follow-up program of applied research and forecast technique development. It is also a completion of the 10-year TAMEX program. The purpose of this paper is to discuss the concepts in mesoscale forecast and the methods used in making a mesoscale forecast. In addition, the relevant mesoscale circulation systems responsible for the 0-24 weather changes in the Mei-Yu season and the planning works for 1992 Forecast Experiment are presented. Finally, the future direction of the operational mesoscale forecast in Taiwan is proposed.

