

短時天氣預報運用 大氣環流模式之初步探討

李紀恩 易安成 謝安邦 曾世任
空軍氣象聯隊

摘要

大氣環流模式的設計主要是以七個氣象基本方程式為其架構，以波譜的方法(T42)將大氣環流內尺度較小的擾動予以濾除，配合部份參數化的過程，進行時間積分，從而計算各個時間的物理量場如氣壓、溫度、垂直速度等因子；是以該模式不但具有模擬氣候特徵之能力，也同時針對綜觀天氣系統的移動進行短時較有物理依據的推算；是以，本文之目的便在利用其後者特性，針對鋒面系統南移至本省之兩組個案，進行實際觀測資料與預報場的比較，以期得到較佳的預測效果，並進一步引入線上預報作業，以增進預報品質。

今年入春以來，天氣即變化多端，北部地區在3月1日以前，幾乎是細雨綿綿不斷，中南部地區則久旱不雨，一直到4月19日時，全省各地才普降甘霖，因此，吾人願就此兩個個案的演變情形，分別就其系統的移動與模式的預測結果進行比較，以深入分析其原理，從而作為吾人提昇預報準確率之參考依據。

一、前言

近年來，數值預報的方法及模式結果，不論在短時的天气預報或氣候變遷的模擬應用，都早已百家爭鳴，各具成效(Juang and Kanamitsu, 1994; 陳等人, 1994; 盧, 1994, 謝, 1995)，不論是區域性、特殊性或全球的模式亦都先後推陳出新，使氣象預報的技術更加客觀，也更準確。人們不但把基本物理方程巧妙地融入了數值方法，更累積了多年的模式經驗，逐一調節模式中的誤差，以提昇模式的準確率，從而擴大應用範圍，使國軍均能享有快速、準確的天氣預報。

大氣環流模式是本軍首次引用台大大氣科學系的全球波譜模式，配合現有的電腦裝備，經過局部的調整與修改，始完成初步的測試作業，它可以在輸入全球初始化之資料後，立即進行24、48小時或更長時間的積分，且均能維持其穩定性；因此，吾人乃期望借由該模式的運轉，一方面作為天氣預報的重要參考依據，使預報作業更客觀化，另一方面可刺激吾人對數值方法之研究，以瞭解模式中的物理條件及積分原理，從而改善作業的時效，提昇服務飛安之品質。

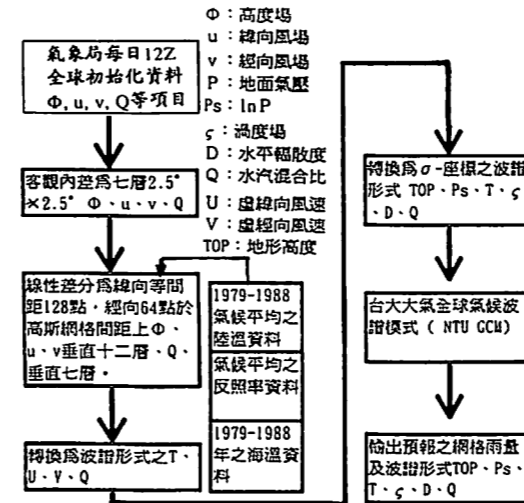
由於模式產品的普及發展，且資訊網路的日益發達，吾人除有感於國內外氣象作業單位早已將模式天氣預報應用於日常作業，且確實發揮極大功效；因此，吾人在試圖引入此一模式的研究過程中，不單是將模式預測結果與實際天氣圖進行比較，同時亦參考了中央氣象局(CWB)、歐洲天氣預報中心(ECMWF)及日本氣象廳(JMA)等單位所發展之模式輸出結果，發現此模式在短期間24小時的運算過程中，其模式輸出(Model Output)會定性的較48小時之結果為佳，且可與歐洲及日本的模式相抗衡；因此，吾人願就此模式特性，針對兩組個案(分別是85年4月19日及3月1日)的天氣變化，進行較深入的分析與比較，以瞭解模式對移動天氣系統的敏感度及天氣

系統(鋒面)移入時所造成的天氣變化，從而改善吾人之預報準確率；是以本文的第二節，首先描述模式所使用的物理機制與數值方法，可讓讀者瞭解其架構；第三節則針對個案及模式輸出結果進行定性地描述與探討，使模式結果的優缺點更加清晰，同時也使預報作業及模式研發人員能充分配合，早日完成線上作業；第四節再就模式的未來發展及最後一節的結論進行歸納與整理，以期將來能更成長、更進步。

二、模式結構

模式的基本原理乃是運用大氣的運動方程組及流體靜力平衡等原理，考慮全球的範圍，針對模式中各層中的高度、溫度及水汽含量等重要氣象因子，以數值方法進行長時間積分，以試圖瞭解未來的天氣演變(相關流程如圖一)，從而改進傳統的「人為主觀預報」，使吾人可更有效地掌握天氣之變化。

由於模式的範圍是全球性的，雖然可避免水平方向的邊界(Boundary Condition)問題，但相對卻有差分法與極地不連續(Singular Point)之情況困擾吾人，因此，運用座標轉換方式，可將運動方程改寫成高度及輻散的型態，再利用球面座標上解拉將曲多項式(Legendre Polynomial)的方法，找到解析解(Analytic Solution)，如此一來，模式中水平方向即可採用波譜方式加以計算，再配合垂直方向取12層以 σ 座標為底的差分法，即可完成初始場的診斷分析；之後模式在進行時間積分時，為使之能長時間計算，必須採用半隱式技巧(Semi-Implicit Scheme)，才能達到平衡狀態(Equilibrium State)與滿足穩定度(Stability)的條件；舉例來說：運動方程式中的平流項(屬於低頻部份的天氣波動，如鋒面低壓系統)採顯性方式(Explicit Scheme)，重力波項(屬於高頻部份的慣性重力波，如Gravity Wave)，則採隱性方



圖一：大氣環流模式的預報流程(摘自謝, 1995)。

式(Implicit Scheme)，即可使積分的時間間距加長，以節省電腦計算時間，增加預報效果。

此外，模式亦採用了四種參數化過程，使較複雜的物理過程可透過量化的技巧，加以有效地分析，它們分別是：(1)邊界層參數化，(2)水汽參數化，(3)次網格點的消散作用(蕭, 1994)，及(4)雲與輻射效應之參數化(Ou and Liou, 1988)。

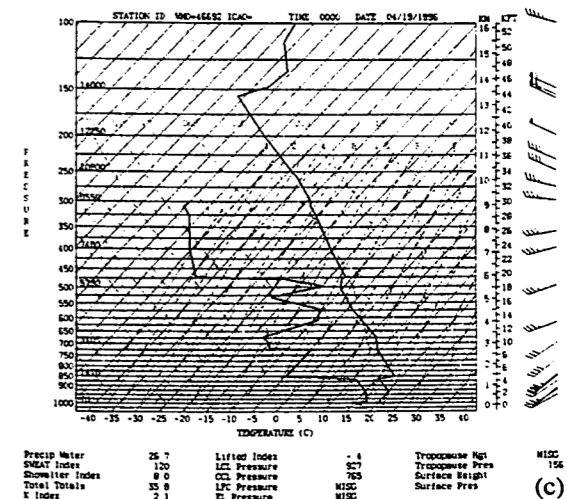
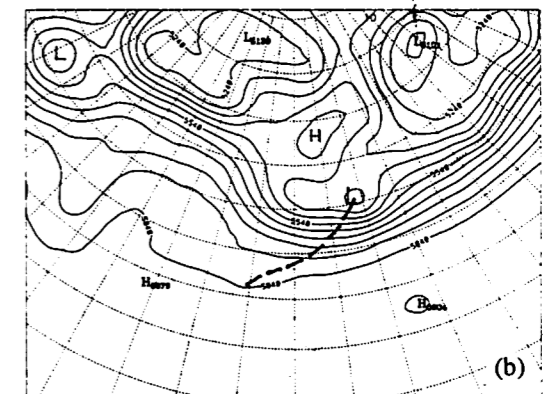
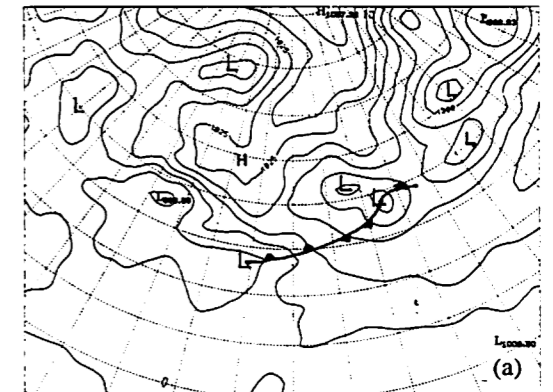
此時，吾人須再依據可用的電腦資源，以決定解析度的高低，經過選擇比較後，以三角形截斷法(Triangular Truncation)的T42，既可兼顧到適當的解析度，又不致於使運算產生假像誤差；在此情況下，每個緯度圈即至少須有128個網格點(網格間距約經度2.5度)，而每個經度則須有64個網格點(以高斯緯度Gaussian Latitude為基準)，始能透過快速傅氏轉換(Fast Fourier Transform)，將網格點上的非線性網格值或參數化資料，進行波譜波數與物理網格點之換算，以期進一步加以運用。

STATION	12	13	14	15	16	17	18	19
北山 696 RCSS	22.0	21.0	20.0	19.0	18.0	17.0	16.0	15.0
桃園 697 RCCM	22.0	21.0	20.0	19.0	18.0	17.0	16.0	15.0
清泉崗 770 RCMQ	22.0	21.0	20.0	19.0	18.0	17.0	16.0	15.0
金門 751 RCLG	22.0	21.0	20.0	19.0	18.0	17.0	16.0	15.0
花蓮 763 RCYU	22.0	21.0	20.0	19.0	18.0	17.0	16.0	15.0
台北 782 RCCS	22.0	21.0	20.0	19.0	18.0	17.0	16.0	15.0

圖二：85年4月19日之天氣一覽圖，其中桃園及台北地區午後發生雷陣雨持續約3-4小時。

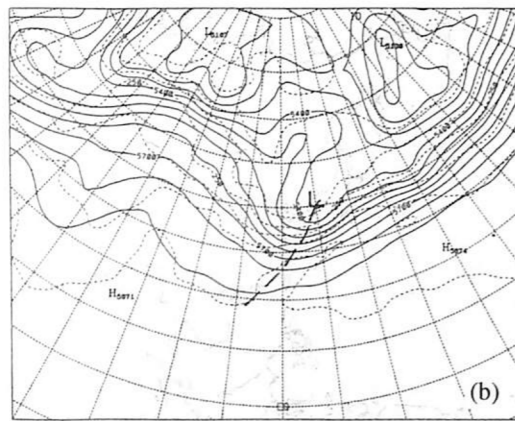
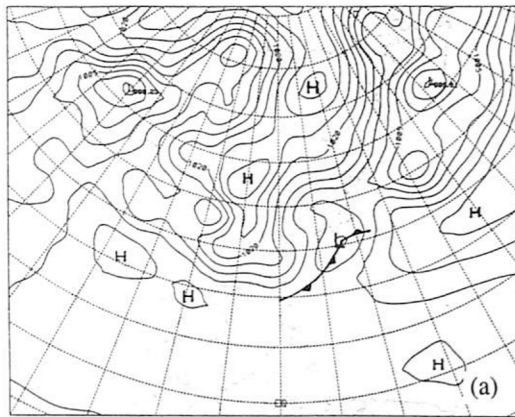
三、個案選取與結果討論

有了前述預報天氣的工具，吾人即期望以模式方法分別進行兩種天氣變化狀況(特別是天晴轉天雨及天雨轉天晴)之模擬，以瞭解其預測效果，首先是今年4月19日的全省性陣雨及雷雨(如圖二之天氣一覽圖)，它不但是今年入春以來首



圖三：85年4月18日12Z之地面圖(a)與500hPa之高空氣圖(b)，當時大氣之斜壓性明顯；(c)圖則是4月19日00Z板橋測站之探空曲線，當時大氣之垂直結構尚屬穩定。

次南下至本省南部的鋒面系統，同時也帶來相當的雨量，暫時舒緩了中南部地區水庫的旱象；圖三(a)則是該個案中4月18日12Z的地面天氣圖、(b)500hPa 高空圖及(c)次日00Z的板橋探空曲線圖，當時華南地區底層的雲雨帶及鋒面系統綿恆在長江口南緣附近，大陸極地高壓則自西伯利亞向南延伸至華北一帶，大股的冷空氣勢力正蓄勢待發，配合著華南低壓所帶來的暖濕空氣，恰巧在台灣本島地區匯流集中，此時再配合高空圖即將移入之槽線，適時助長了斜壓性的發展，而準備降雨，但是相對的板橋探空曲線，基本上，其大氣垂直結構尚屬穩定 ($-\frac{\partial T}{\partial z} < \Gamma_d$)，相對溼度亦不高，即使大尺度之環境有利於降水，局地較小尺度之大氣卻未必能配合此一型勢，使得預報人員稍不慎即不易掌握該系統可確實入侵本省之時

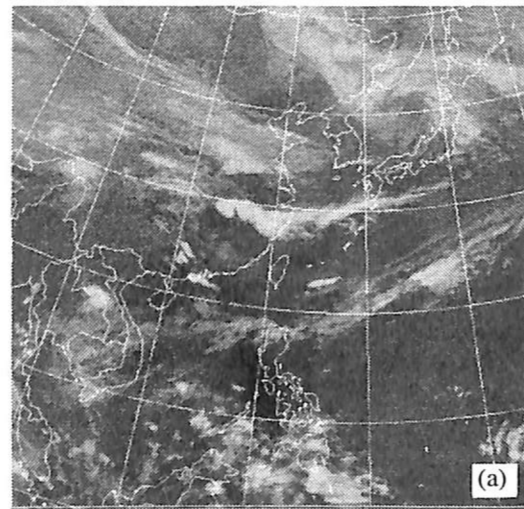


圖四：85年4月18日12Z預測24小時後之(a)地面圖，蒙古附近之冷高壓系統勢力向東南延伸至台灣附近，迫使其前緣附近之鋒面帶南移至巴士海峽；(b)500hPa之高空圖，槽線通過本省北部上空，且呈西北東南走向之暖舌涵蓋在台灣附近。

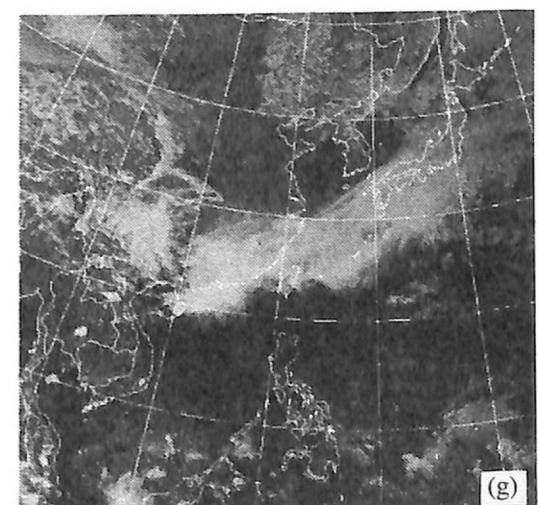
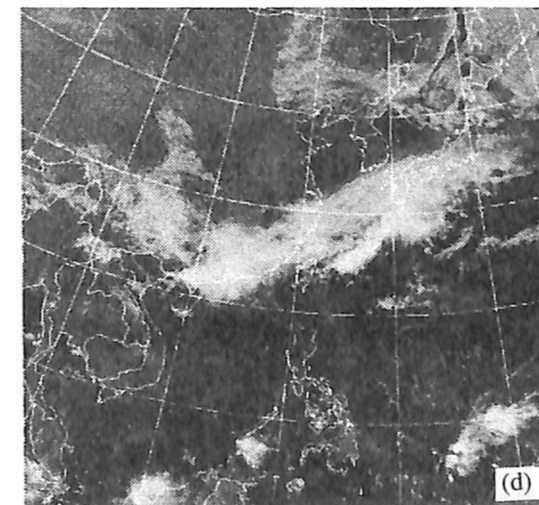
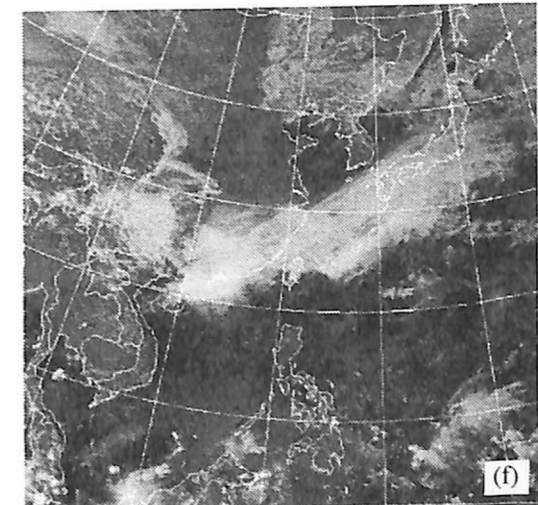
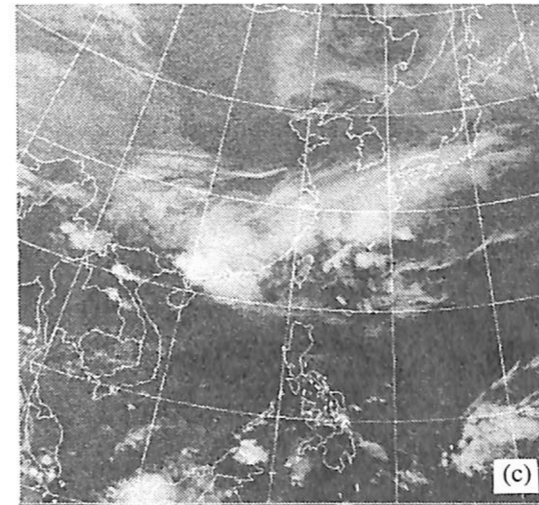
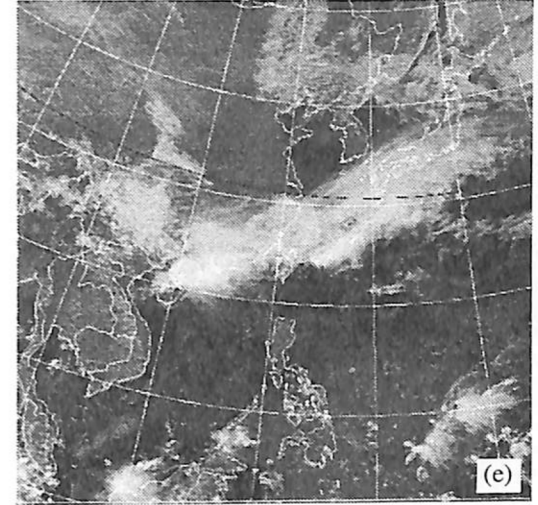
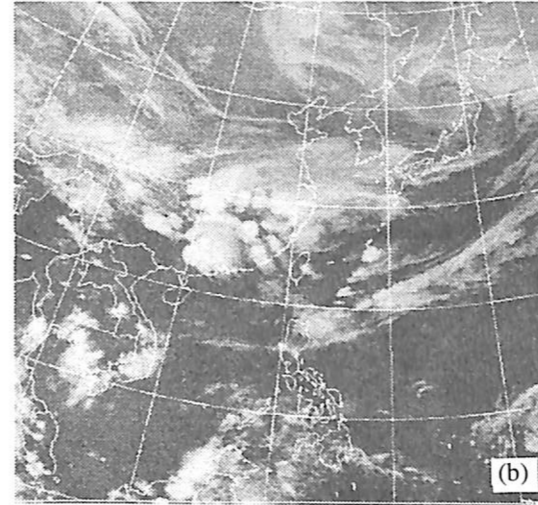
間、型態及強度。

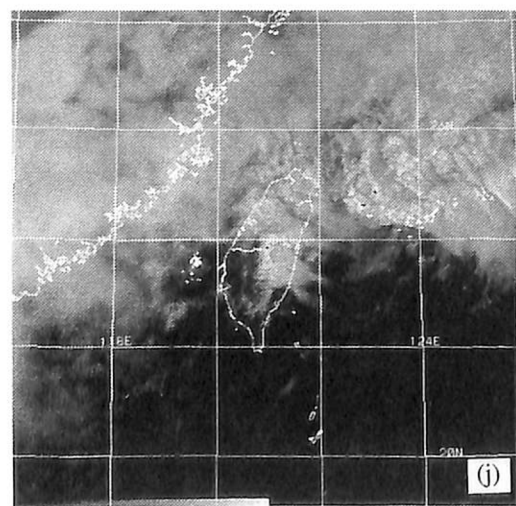
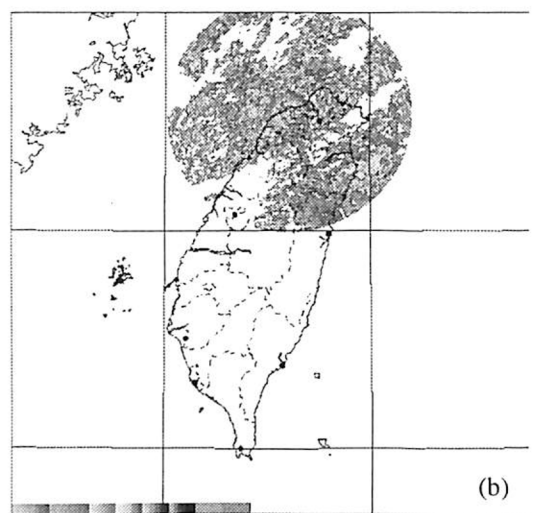
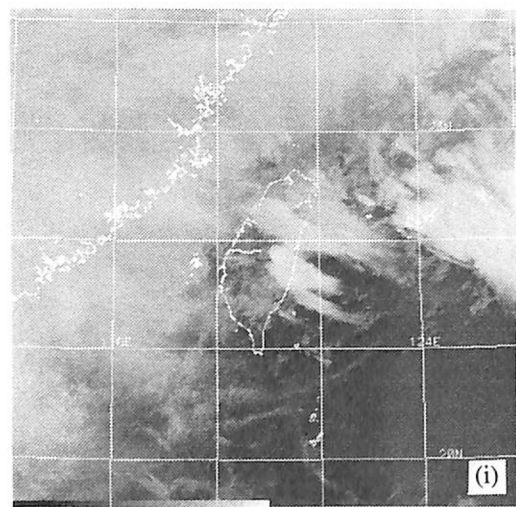
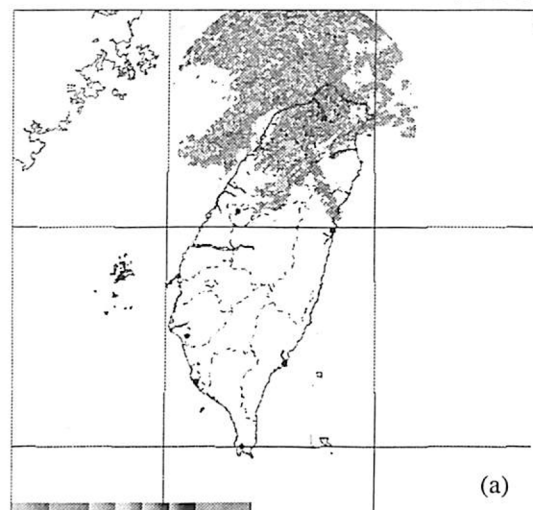
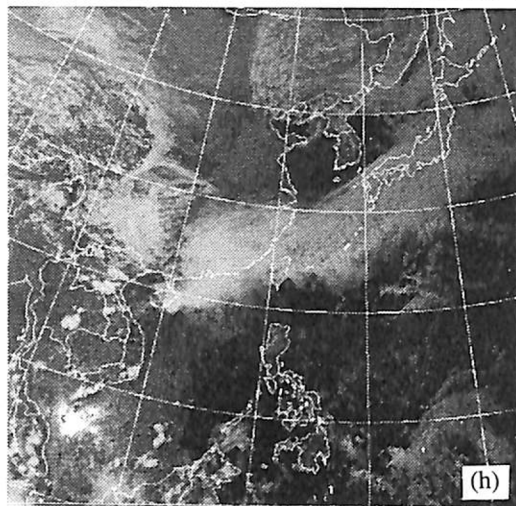
為此，吾人即期望透過模式之輸出亦能產生相近但肯定的結果，以證明其短時預報之能力。果然圖四的24小時預測圖即顯示：在地面圖中，北邊的冷高壓系統已迫使鋒面帶南移至巴士海峽(圖a)，且高空槽線已到達本省北部的上空(圖b)，尤其值得一提的是整個台灣地區有一強度極強的暖舌帶從西南向東北延伸至槽前的位置，形成「槽前暖平流，槽後冷平流」，使得不穩定度急速增加，潛熱迅速釋放，再加上南來水汽充份的供應，無怪乎全省各地在次日下午2至5點之間形成間歇性的劇烈陣雨。

為使此模式之結果更具有應用及參考價值，吾人亦蒐集了當時的衛星雲圖及雷達回波圖，以明瞭天氣系統的變化情形(吳等人, 1994)，其中18日的雲圖(圖五(a),(b)及(c))是每隔12小時一張，可以看出其鋒面雲帶南移之狀況，至19日03Z時(d圖)，雲帶已達到北部上空，隨後在05至08Z的逐時雲圖中，(e至h圖)分別証實了台北、桃園、新竹、花蓮及佳山等地均出現了雷陣雨現象(i及j圖)；入夜後，則清泉崗、嘉義、台南等地亦分別出現了強弱不等的陣性降雨；圖六則是中正機場在鋒面通過時05Z(a)及07Z(b)所看到的強烈回波情形，其中由於灰階的情況並不理想，但仍可區別灰中轉白的區域即是各地出現雷陣雨之情形，且間斷維持了3-4小時之久。



圖五：GMS-5紅外線(IR)雲圖(a)85年4月18日00Z，(b)12Z，(c)19日00Z，與可見光(Vis)雲圖(d)03Z，(e)05Z，(f)06Z，(g)07Z，及(h)08Z，與NOAA-14 0545Z之紅外線(i)及可見光(j)雲圖，當時鋒面雲帶綿恆在長江口南緣附近並往南移至本省一帶。



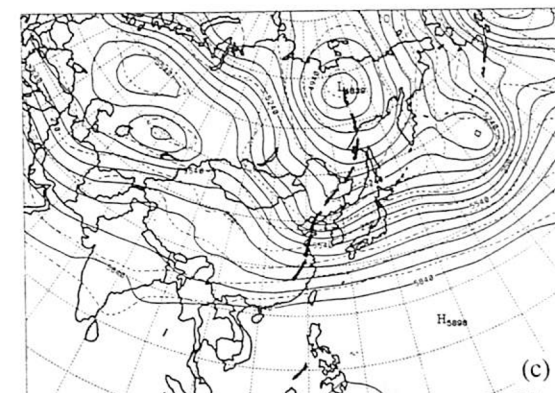
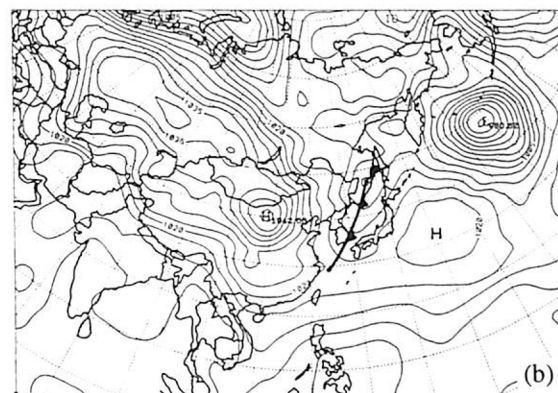


圖六：民航局中正機場雷達站4月19日(a) 05Z,及(b)07Z之水汽回波(仰角為2.4°之PPI圖)，當時強烈回波正朝本省北部地區移入，並造成雷雨。

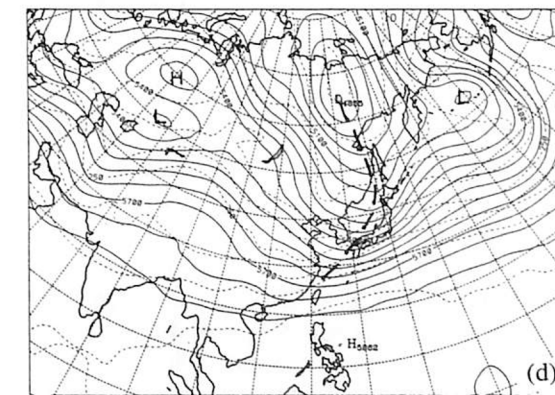
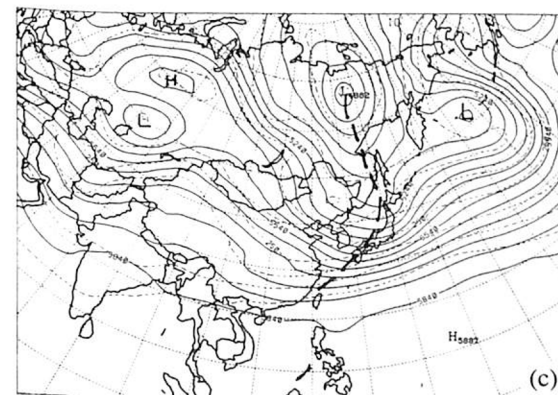
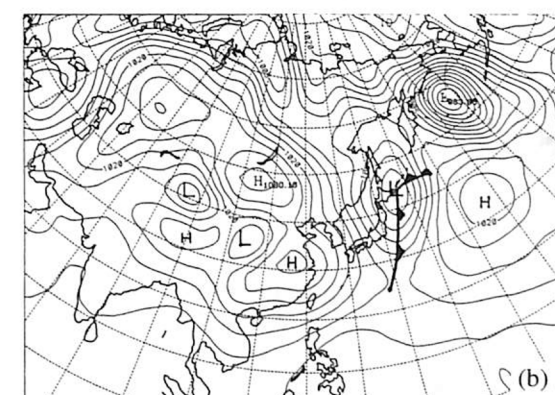
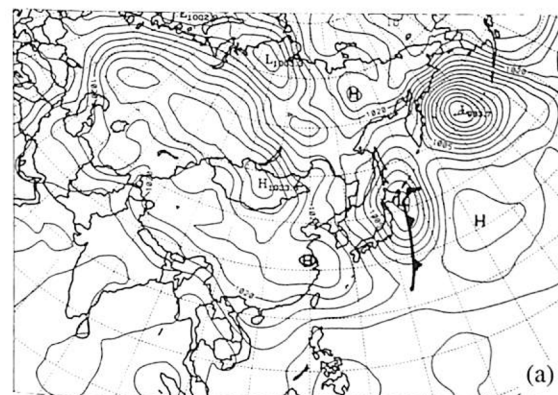
由以上的說明，證實此個案，不但人為主觀的預報多能掌握其天氣變化，模式輸出結果也幾乎吻合當時天氣系統的移動情形，再配合雷達回波與衛星雲圖的逐時觀測，終能即時發佈天氣的預警，避開惡劣天氣時的任務執行，使危險情況降至最低。

個案二則是今年稍早，但卻是鋒面迅速通過本省的情況，當時的天氣現象是多雲轉陰雨，並在北部及東部造成約3-6個小時的降水，之後天氣情況遂逐漸轉佳；圖七(a)是3月1日的天氣一覽圖、(b)是2月29日12Z的地面圖及(c)500hPa高空圖，當時極地大陸冷高壓自蘇俄向東南延伸至

站名	3	4	5	6	7	8	9	10
山	18	18	15	15	14	14	15	16
Sungshan	18	18	15	15	14	14	15	16
桃園	18	18	15	15	14	14	15	16
Taoyuan	18	18	15	15	14	14	15	16
中正機場	18	18	15	15	14	14	15	16
Chong Cheng	18	18	15	15	14	14	15	16
新竹	18	18	15	15	14	14	15	16
Hsinchu	18	18	15	15	14	14	15	16
花蓮	18	18	15	15	14	14	15	16
Hualien	18	18	15	15	14	14	15	16
763 RCYU	18	18	15	15	14	14	15	16



圖七：85年3月1日之(a)天氣一覽圖，其中北部及東部地區上午曾發生間歇性陣雨約3-6小時；配合前一日12Z之(b)地面圖與(c)500 hPa高空圖的斜壓性，形成降雨。



圖八：85年3月1日12Z實際觀測與對應前一日12Z預測24小時後之地面圖(a)與(b)，及500hPa之高空圖(c)與(d)；其中地面圖的分裂高壓中心已達長江口的南京附近，鋒面則已東移離開。

繼續受後(西)方地面變性高壓之擠推，雲雨帶即會東移並減弱，俟分裂高壓完全出海後，天氣現象即可轉佳。

很幸運地，吾人的模式結果，亦幾乎與實際情況相吻合，經過了24小時演變，模式預測地面圖中的分裂高壓中心已達長江口的南京附近，鋒面位置則東移至日本東方的洋面上，與實際天氣系統位置幾乎完全一樣，惟強度稍有不同(圖八a與b)，同樣的情形，高空槽線的走向及位置亦幾乎雷同，只有太平洋上的小高壓中心才略有出入(圖八c與d)，但也並不足以影響本省地區的天氣變化；是以，從一個預報員預報天氣的立場，本模式對兩個案鋒面系統的掌握，已趨於穩定，唯一所缺的即是統計性結果與定量誤差的比較；因此，如何使模式順利上線作業及加強預報結果之統計比較，遂成爲吾人當前的課題，以期能早日發揮數值預報之功效，提昇氣象服務品質。

四、未來展望

「預報數值化、測報自動化」一直是本聯隊作業自動化的最主要目的之一，透過數值模式的分析，吾人不但擁有較客觀的天氣預報方法，更落實了技術紮根的原則，同時也使得電腦資源的應用更有效率，爲此，吾人應有以下幾點期許與作法：

(一) 增加模式之解析度：由於全球T42之波譜模式在水平方向的網格間距約是2.5°經度，許多較小尺度之擾動均經過濾波，而無法完全展現出大氣所應具有的各種特徵，導致長時間的預報積分，成效較不理想，因此，提昇解析度至T63，將是吾人下一步急須達成之目標。

(二) 引入溫度場日變化效應(Diurnal Effect)：在本文兩組個案的模式探討過程中，由於考慮絕熱(Adiabatic Heating)因素，而忽略溫度場的日變化結果，因此，當天氣現象出現明顯的天氣轉變時，其絕熱關係即有可能在模式持續積分時，形成過於簡化的結果，而與實際天氣產生較大的偏差；因此，考慮日變化效應遂成改善模式結果之另一重要方法。

(三) 採用定量的統計方法：目前模式結果與實際天氣型態之比較，多偏重於定性的槽脊線位置、走向及強度，若能改用固定區域的交叉相關法(Cross Correlation)，相信其統計所得之結果，將更爲客觀。

(四) 考量四維同化(4D Data Assimilation)：在模式積分的過程中，每間隔6小時的時間積分階段，可隨時加入綜觀尺度的觀測場資料，並利用初始化程序，消弭模式中的不連續現象，使模式結果融入實際的天氣觀測資料(陳及李, 1993; 蒲及李, 1995)，則應可改善吾人在長時間積分時偏離實際大氣的不準確性，使本模式從目前較準確

的24小時預報得以延伸至72小時或更長，以符合實際需要。

(五) 增加非綜觀尺度時段導出量場之分析：由於吾人可在綜觀尺度的時段之外，持續獲得衛星雲圖及雷達回波圖之觀測結果，透過其雲層及水汽含量之分析，與模式非綜觀尺度時間(如18Z, 20Z)的垂直速度(ω)及雨量累積之結果進行比較，則更可增加預報員對天氣預報之信心。

(六) 提昇模式長時間預報之品質：不論本聯隊未來任務如何，長時間的天氣預報，始終有其必要性，雖然長時間的預報準確率本就與積分時間之長短成反比，然而現今國內外各種模式輸出結果亦多可長達7,8日之久，對展期天氣之預報助益良多，尤其軍中任務的繁重，更須即刻自我提昇，使任務得以進行。

五、結語

本聯隊「裝備更新案」的目的即在提昇預報準確率、加強服務品質，從而使空軍在戰場上獲得關鍵性的制勝先機，爲達此目的，唯有加強數值的研究與應用，才能提昇品質，擴大服務對象，以確保國軍戰力。

經由不斷地研究，本文已可運用較簡易之方法，將模式結果呈現在預報人員之眼前，使資料的運用更具有親和性，再透過統計與比較，預報準確率自然爲之提昇。

此外，模式的發展與應用，其關係一直是密不可分，兩者相輔相成，互爲因果；也由於此，本文目的之一即是爲深入此模式，瞭解其物理機制與數值方法，從而得到短時預報之產品(Juang, 1996)，在其結果之運用過程中，吾人發現：

(一) 氣壓場(P)的分佈與實際天氣型態相較，它在24至36小時的短時預測時效中，會有較理想的運用價值，尤以高層槽線的移動與強度變化最足以採信。

(二) 溫度場(T)的預測分佈情形，具有可信度，但不如氣壓場來的理想。

(三) 模式中超過48小時的預測結果，目前雖不理想，但若增加研究個案的數量與統計，則可根據模式特性找出與實際天氣型態有最大秉性相關之種類(如槽脊線位置或鋒面系統)，以進一步提供預報人員參考。

六、誌謝

模式結果的成效如何，固然關係到天氣預報的準確率，然而，此模式的運用與推廣卻是本聯隊的先例，透過台大大氣科學系許冕雄與柯文雄老師的熱心指導，終使該模式得以在本聯隊萌芽、成長，也期望藉重本文在短時天氣預報的應用，能使之早日完成線上作業，並繼而能夠拋磚引玉，蔚成更多的研究風氣與環境，使此模式能

夠繼續茁壯。

七、參考文獻

Juang, H.-M. H., 1996: Experimental daily forecast over Hawaii islands by the NCEP regional spectral model. CAS/JSC Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modeling, report No. 22.

Juang, H.-M. H., and M. Kanamitsu, 1994: The NMC nested regional spectral model. Mon. Wea. Rev., 122, 3-26.

Ou, S. C., and K. N. Liou, 1988: Development of radiation and cloud parameterization programs for AFGL global models AFGL-TR-88-018.

吳倩雯、苟潔予、紀水上、蔡清彥, 1994: 應用氣象衛星雲圖及數值預報產品建立天氣模式之初步研究。天氣分析與預報研討會論文集(83), 中央氣象局, 291-310。

陳雯美、李尚武, 1995: 四維資料同化週期對全

球預報模式結果之影響。天氣分析與預報研討會論文集(84), 中央氣象局, 251-258。

陳建河, 劉其聖, 馮欽賜, 汪鳳如, 蕭志惠, 1994: 中央氣象局第二代全球波譜模式之介紹。天氣分析與預報研討會論文集, 中央氣象局(83), 1-10。

蒲金標、李金萬, 1995: 四維資料同化航空氣象資料之整合。八十四年氣象雷達應用與四維資料同化研討會, 民航局, 251-258。

盧孟明, 1994: 一九九四年夏季中央氣象局全球波譜模式之初步結果。天氣分析與預報研討會論文集(83), 中央氣象局, 255-268。

蕭志惠, 1994: 次網格地形參數化對中央氣象局第二代全球模式預報之影響。天氣分析與預報研討會論文集(83), 中央氣象局, 143-152。

謝安邦, 1995: 台大大氣環流模式對北半球夏季環流數值模擬。碩士論文, pp. 88.

The Preliminary Study in Short Range Weather Forecasting by Using the NTU GCM

Chi-En Lee An-Cherng Yih An-Bang Shei Shih-Jen Tzeng
Weather Central, CAF

Abstract

The NTU (National Taiwan University) GCM (Global Circulation Model) is developed mainly based on seven basic meteorological equations. The spectral analysis method is applied to filter out some small scale disturbances in the atmosphere. Some meteorological fields can also be parameterized in the desired time step to simplify the computation during the time integration. As a result, some output fields, such as: pressure (P), temperature (T), vorticity (ζ), and vertical velocity (ω)...etc can be easily obtained. With these capabilities, the model not only can simulate the climatic characteristics, but also can estimate the movement of a synoptic scale system for a short time period (usually less than 48 hours). One of the purposes of this report is trying to apply the second capability to examine the movement of the frontal system (or the cloud band). After comparing the model outputs with the observed weather fields in two case studies (different kind of weather phenomena), we found that the model results are quite well with the real atmosphere qualitatively. We then expect to introduce this model forecasting result to our on-line operational meteorological system. Furthermore, to improve our forecasting skill score and to promote the quality of our service to pilots are then possible.

The weather phenomenon is always changeable all the time since the beginning of this year. It's rainy (or drizzle) almost everyday (before the March 1st.) in the northern Taiwan area. However, it's very drought in the south part of Taiwan. Till the April 19th, the rainband accompanied with the frontal system covers almost the whole area of Taiwan and caused the shower with a time lag from north to south. With these special phenomena, we are then interesting to study these two different cases in order to understand the relationship between the movement of the weather system and the model output results as well as the maximum range to the point of the southern Taiwan area of the rainband. Therefore, to make the weather prediction more objective and confident is then possible.