

# 中央氣象局全球預報系統

陳靜洵

滕春慈

傅娟娟

蔡清彥

中央氣象局

## 摘要

中央氣象局全球預報系統 (Global Forecast System ; GFS) 已於1988年七月一日正式啓用。GFS 包含了七大部分：地面分析、質量場分析、風場分析、初始化、內差程式、預報模式、輸出模式。預報模式為多層的全球網格點模式；四階的位渦度保守水平差分格式及具有區域性靜力一致性 (locally hydrostatic consistency) 的垂直差分格式；模式所具有的物理過程與一般網格點的大氣環流模式相似。

GFS 正式作業至今，小組人員所面臨的主要問題是：人造衛星資料的未能被納入觀測資料中加以客觀分析；海面溫度使用氣候資料；隨著預報時間的增長，天氣系統衰減過快。

GFS 的未來發展重點為發展全球波譜模式，配合最佳內插的客觀分析法和非線性正模初始化法，並改進各種物理過程，尤其是邊界層的物理過程，以配合發展全球波譜模式。

## 一、前言

中央氣象局為提高短期天氣預報的準確度及從事中期天氣預報，已針對各類天氣系統分別發展適用於台灣及附近地區之全球、區域、中尺度及颱風路徑等四個不同的預報系統。全球預報系統 (Global Forecast System ; GFS) 已於民國七十七年七月一日起在本局正式作業，並對外發表預報成品。GFS 是用較粗略的網格點系統來預測全球大尺度之大氣環流。主要目的在作四維時空資料的彙集以提供初始值給資料缺乏地區以及給有限區域預報系統之邊界條件，同時對大尺度環流提供三至七天的預報。

目前全球預報系統總共由七個模式組成，它們分別是：地面氣壓分析、高層質量場與風場的分析、初始化、內插、預報及輸出。本文即在概述此七大模式所使用的方法；第三節中即談到目前中央氣象局GFS

的一些作業性特徵及執行現況；第四節為寒潮個案的分析及校驗；第五節為GFS 的未來展望。

## 二、全球預報系統之模式種類及特性

有關GFS 的執行流程與各模式所使用的方法及控制方程式於Liou (1990) 中有較詳細的介紹。本文僅對分析、初始化及預報做簡單的說明。

### (一) 分析模式

於海平面氣壓分析中，GFS 先採用Barne's逐次修正法，再使用Field Information-Blending (FIB) 法。在FIB 法中，使用地面的風場觀測資料估計地面的氣壓梯度力，再採用變分法使經過Barne's 修正法分析過的海平面氣壓場及此氣壓梯度力的誤差平方和為最小。使用FIB 分析法的目的是保留較小天氣系統

的特性，使得分析結果能更趨近於觀測資料，及在資料較少之海上使用了風的觀測資料。另外，GFS 亦使用 Barne's 逐次修正法，在標準層上進行高層質量場與風場的分析。

目前GFS 所分析的氣象變數為：海平面氣壓場、高度場、溫度場及風場（含東西向及南北向二個分量）。垂直方向的分析層數共有11層：由1000hPa至100 hPa的標準層及925 hPa；水平網格間距為2.5 度×2.5 度。至於非分析層的觀測資料則以垂直向內插或外插至最近的標準層；非綜觀天氣（asynoptic）的地面氣壓觀測資料（如船舶報告）則以固定的權重關係加以運用。

## （二）初始化及內插

目前GFS 使用變分法進行分析資料的初始化，調整風場及高度場使其滿足平衡方程式且調整量的和達最小。

內插程式中，則採用bi-cubic spline 法將等壓坐標上的變數場內插到等 $\sigma$ 坐標，亦將分析場的水平格距（2.5 度×2.5 度）內插至預報模式的水平格距（3 度×2.4 度）。

## （三）預報模式

### 1. 模式的動力 (Model Dynamics)

#### （1）控制方程

目前GFS 所使用的預報模式是以UCLA的氣候模式為基本架構。所使用的垂直坐標為：

$$\sigma = \frac{P - P_t}{P_s - P} \quad P_t = 50\text{hPa}$$

預報 (prognostic) 變數為水平風分量U、V及溫度T、比濕q、地面氣壓Ps。它們是由動量方程 (momentum equation)、熱力方程 (thermodynamic equation)、水氣連續方程 (water vapor continuity equation)、連續方程 (continuity equation) 及靜力方程 (hydrostatic equation) 所控制。另外，模式中的地表溫度 (ground temperature) 及雪厚 (snow depth) 亦為預報變數，其預報方程分為地表能量收支方程 (surface energy budget equation) 及雪質量保守方程 (snow mass

conservation equation) (Blackadar, 1977)；地表潮溼度 (ground wetness)、地表反照率 (surface albedo) 及海面溫度 (sea surface temperature) 則使用月平均氣候值；地表粗糙度 (surface roughness) 則使用固定值 (陸地：45cm，海面：0.02cm加上海面風速之修正量；冰面：0.01cm)。

## （2）數值格式

GFS 預報模式在水平差分時使用四階位過度保守格式 (Arakawa and Lamb, 1981)，此法在極區及較高地形區優於Arakawa 原有的2 階角動量保守格式；垂直向差分計算則採具有能量保守及區域靜力一致性 (local hydrostatic consistency) 的差分格式 (Arakawa and Suraze, 1983)；時間積分則是使用 Matsuno (1966) 及Leapfrog (Lepas等, 1974) 格式。水平網格點變數的放置法採用Arakawa C 網格 (Arakawa, 1972)；水平解析度為3 度×2.4度；垂直解析度則從地面到50hPa共有9 層 $\sigma$ 層。

## （3）極區的處理

使用網格點在球面坐標時，南北兩極為單點 (singular points) 的性質，在此兩點上，速度分量的值無法定義，因而，在極區附近，我們需要特別處理。GFS 預報模式的處理之法為：

- i 極點附近水平差分法的修正。(此法的詳細描述請見Arakawa and Lamb, 1981)。
- ii 在極點附近，針對預報方程中某些項做經向平均。

為了抑制在極區由於使用較小的時間積分間距所引起的計算性不穩定 (computational instability)，GFS在預報模式中針對動量方程式中的氣壓梯度力及緯向質量通量兩項做修勻的處理。所使用的修勻算符 (smoothing operator  $S_j(k)$ )，基本上為緯度 ( $\theta$ ) 及緯向波數 ( $K$ ) 的函數，其定義式為：

$$S_j(k) = \frac{\Delta\lambda}{\Delta\theta} \left[ \frac{\cos \theta}{\sin(k \frac{\Delta\lambda}{2})} \right]$$

## 2. 模式的物理處理 (Model Physics)

GFS 預報模式中有關非絕熱的物理處理過程包括大尺度降水處理、乾絕熱調整、溼對流調整、邊界層參數化、積雲參數化及輻射參數化。大氣邊界層的處

理基本上是假設邊界層為均勻混合層 (well-mixed layer)，地表通量是依據Deardroff (1972) 的方法，而邊界層參數化是使用Randall的方法 (Randall, 1976)。邊界層透過兩種方法與自由大氣產生交互作用：(1) 積雲雲底的質量通量；(2) 邊界層頂的亂流逸入 (turbulent entrainment)。目前，預報模式中的邊界層厚度由邊界層及自由大氣之間的質量交換來決定，最淺不能低於5hPa，最深不能超過模式中的最低 $\sigma$ 層。積雲參數化採用Arakawa-Schubert參數法 (Arakawa and Schubert, 1974)，雖然較為複雜，但較具物理意義。輻射參數化對短波輻射及長波輻射均做處理，所使用的參數法詳見於Katayama (1974) 與Schlesinger (1976)。

### 三、GFS作業化的特徵與現況

現行的GFS 每天執行兩次，在00Z 時，系統做72小時的預報，12Z 則做6 天的預報。就目前的預報模式而言，時間的積分間距為150 秒，而45分鐘才做一次非絕熱項的處理，每預報一小時大約需花費一·一分鐘 (指 lock time)；資料截斷 (Data Cut) 時間是在每個綜觀時間 (格林威治時的00Z及12Z) 後的3.5 小時。本局GFS 亦採用了四度空間的資料同化，在每個綜觀時間後的10.5小時再做一次資料截斷，並重做一次12小時的預報，使較晚收到的觀測資料能進入分析及預報模式中。

GFS 已在中央氣象局正式使用近二年，根據國外一些數值預報中心 (如NMC, ECMWF, UKMET, FNO) 的經驗，要使GFS 的預報結果更趨正確，一些必要的修正是必需的，而這些適當的修正亦是需要一段相當長的時間。現行GFS 面臨二個重要問題：其一為觀測資料量的多少及被使用率。就目前而言，GFS 無法利用現有的海平面溫度之觀測資料做即時且正確的海平面溫度分析場，因此，現行的預報系統是使用海平面溫度的月平均氣候值。其二為人造衛星資料的未被使用。由於尚缺乏將人造衛星資料轉換成爲可用資料的軟體設備，GFS 尚未將人造衛星資料納入分析模式中。由於此問題的存在，使得原本即缺乏傳統觀測資料的廣大洋面的資料量更加減少。上述兩種缺失將會對

預報模式產生很強的負效應，尤其是對南半球及72小時之後的預報影響最大。

GFS 啓用至今，對於預報系統不完善的地方，做了數項修正：

- (一) 在質量分析模式中，修改了權重函數 (weighting function) 的分佈及資料品質的控制標準。
- (二) 將乾對流調整過程由原來每45分鐘執行一次改爲每150秒執行一次。
- (三) 減小極區修勻的面積。
- (四) 修改積雲參數內電腦程式不一致之地方。
- (五) 修改因輻射參數化所造成之低層溫度過冷之現象。
- (六) 增加預報模式中，程式向量化的百分比。

### 四、個案分析與校驗

本節將介紹GFS 於1988年11月的一個強烈寒潮南侵的預報個案。

由1988年11月24日12Z到29日12Z的分析圖 (圖1) 顯示：24日12Z，在西伯利亞地區有一呈東北、西南走向，略爲狹長的高壓中心，其中心值爲1042hPa；同一時間在日本也有一中心值爲995hPa的低壓中心。24小時之後 (圖1 - b)，西伯利亞高壓中心開始分裂爲二，主高壓中心位於蒙古地區，中心值仍爲1042hPa；在日本地區的低壓中心此時已略向北移並加深至992hPa。隨後在48小時的發展過程中，日本之低壓先分裂爲二並向東北方向移動且逐漸減弱，蒙古高壓中心位置維持原位，中心值略爲降低，冷氣團約在27日12Z 抵達台灣地區 (圖1 - d)。圖2 爲GFS 由24日12Z 所做的120 小時預報圖，24小時的預報圖 (圖2 - b) 顯示蒙古高壓中心及日本低壓中心的位置和實際分析位置相近，但中心值皆較觀測值低四hPa。就整個120小時的預報而言，GFS 對高壓中心的位置及值的預報雖與分析場有些許的偏離，但對最重要的天氣發展特性 (25日12Z 的高壓分裂及26日12Z 的低壓分裂) 則預報的相當理想。

對於高壓中心過弱的原因，可能是因爲極區均勻效應過大而導致。GFS 小組人員已將均勻範圍從南北緯37° 移至南北緯57°，開始做均勻效應的處理；而

積分的時間間距亦相對的由225秒改成150秒，由於此番修改，使得Cyber 205 所花費的CPU time亦跟隨著增加。

雖然現行GFS 所使用的觀測資料量不能與世界上其它數值預報中心的全球預報系統相比擬，但其統計性誤差卻可與許多已設立完整或是解析度更佳的其它NWP 中心相較。圖3是GFS由北緯20° 到北緯80° 500 hPa 高度場均方根誤差(Root mean square error; RMSE) 由1988年7 月到1989年12月的月平均值變化圖。以11月份的變化情形為例，1989年11月之RMSE較1988年11月少4m，此點說明GFS 小組人員對GFS 的修正使得GFS 的預報成效趨於更好。圖4是1988年在Baltimore 舉行的第八屆NWP 研討會所發表有關於NASA GLAS網格點大氣環流模式500 hPa 高度場均方根誤差之冬季季平均值隨預報時間的變化圖。該模式的解析度(2° ×2.5°) 較現行GFS (2.4° ×3°) 優，而其所使用的是較多觀測資料量的FGGE資料做初始場去預報，它48小時的均方根誤差大約是52，與現行GFS 的得分相同。

圖5是1983年在Boston 舉行的第六屆NWP研討會所發表NMC 低解析度(30波)全球波譜模式的500 hPa 高度場均方根誤差。假如以四個網格點(最少的點數) 來代表一個波動，則30個波的波譜模式的解析度與現行GFS 相近，也就是說，若以傳統的近似法以一以6個網格點代表一個波動，則30個波的波譜模式解析度較現行GFS 好。由圖5顯示，此模式48小時的均方根誤差亦是52。

## 五、全球預報系統之未來展望

目前氣象局不僅在硬體上引進了超大型的Cyber 205 電腦，同時由於數值天氣預報的計劃而培育了不少的人才，在這樣的環境配合下，同時體認到所有從事數值天氣預報的作業中心都在逐年改進自己的模式，以求能獲得更好的模式結果，提供預報人員更好的預報作業資訊。我們也對全球預報系統的將來鉤出一分藍圖，下面分別就分析、初始化、預報三方面談談。

### (一) 分析：

Barne's 分析方法，是一種一個變數之分析法，就是高度的分析僅使用高度的觀測，並沒有利用溫度或風的觀測，現在已證實，愈多種資訊一起使用更能掌握分析場，因而，未來GFS 準備發展最佳內插分析法以執行觀測資料的分析作業。另外，亦將進行海面溫度及水氣場的客觀分析。

### (二) 初始化

在變分法中，我們必需事先決定一個常數來控制各種變數間調整量的關係，但是，實際的大氣在不同尺度與緯度有不同的調適方式，人為的決定通常不能完全掌握真正的情況。目前比較先進的數值預報中心大都採用正模初始化方式，這是由控制方程組來決定風場與質量場的調整量。對模式而言，此法所得的結果是真正能和預報模式在動力上充分配合的初始值。GFS 的第二代初始化法希望能採用二維或三維的正模初始化。

### (三) 預報模式

#### 1. 發展全球波譜模式

目前CWB 之全球預報模式為網格點模式差分法，考慮了能量與位渦度守恆之特性，但因經向及緯向網格間距為3度及2.4度之等度數間距，故靠近極區時水平網格距離就變為很小，因而產生了計算上的困難及限制，而波譜模式卻可避免此缺點。一般而言，全球預報模式採用波譜模式有下面幾點好處，(1) 可避免在極區附近差分法所遭遇的問題。(2) 對動能及渦度擬能皆有保守性。(3) 可使用時間間距較大之半隱性時間積分法。(4) 可減小波動的相位差。再者目前許多預報及作業中心也紛紛從網格點模式改成波譜模式如ECMWF, FNOC, JMA, NMC 等，但波譜模式一般而言需要較大之電腦容量，而目前CWB 之電腦硬體尚不能配合，故當CWB 之電腦硬體擴充後，GFS 希望能配合目前預報模式之基本架構發展波譜模式。

#### 2. 物理過程之修訂及效率之提高

未來CWB 之全球預報系統將以波譜模式為主，而波譜模式與網格點差分模式之最大差異在於水平微分項之處理，前者直接在波譜函數空間上計算而後者利用差分法直接在物理空間上計算，因而此二模式之網格點安排與計算過程會不一致。未來全球波譜模式之

積雲與輻射參數化部份仍將沿用現行網格點差分模式之方法，但因上述之差異此二部份必須做修訂以便能配合全球波譜模式，再者此二部份在實際預報時佔用了相當多的CPU 時間，如何提高此二部份之效益以降低CPU 之使用時間，亦是修訂的目標之一。

### 3 · 多層次邊界層之發展

現行CWB GFS 有關邊界層效應之參數化是假設此層為全混合，地表通量是依照 Deardroff (1972) 而參數化是依照Randall (1975)。上述方法可節省電腦記憶容量及縮短計算時間且可表現邊界層之效應但不算太精確，較理想狀況是直接去計算邊界層之垂直變化而非全混合，未來GFS 有關於邊界層參數化的改善即在研究多層次邊界層之設計與發展。

### 4 · 增加模式之垂直解析度

一般而言在數值預報模式內若其垂直解析度愈高則其預報的精確度會增加，但相對的其電腦所需之時間也會提高。目前GFS 因受電腦硬體之限制，預報模式在垂直只有9 層，利用此9 層來描述整個大氣之垂直結構是稍嫌粗糙。若電腦硬體設備能如後續計劃之建議而擴大時，則模式垂直解析度之增加亦是重要課題之一。

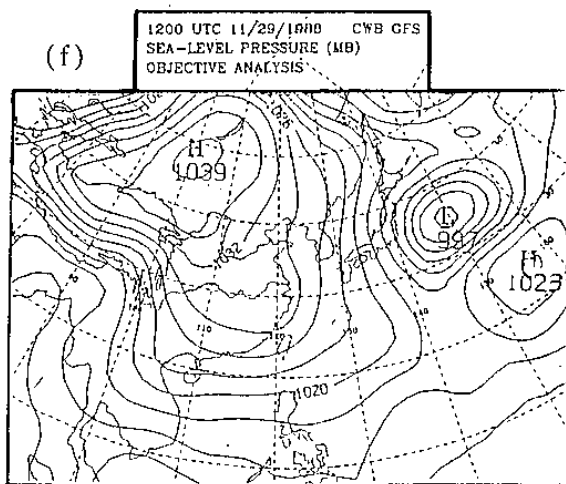
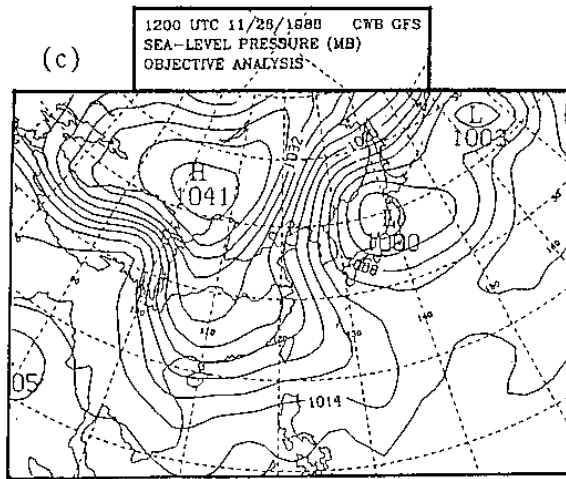
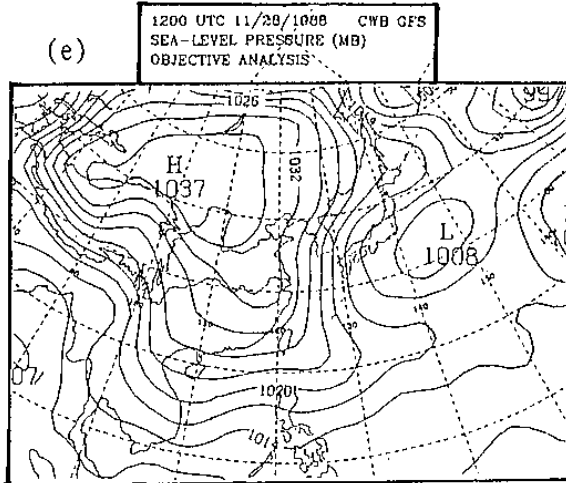
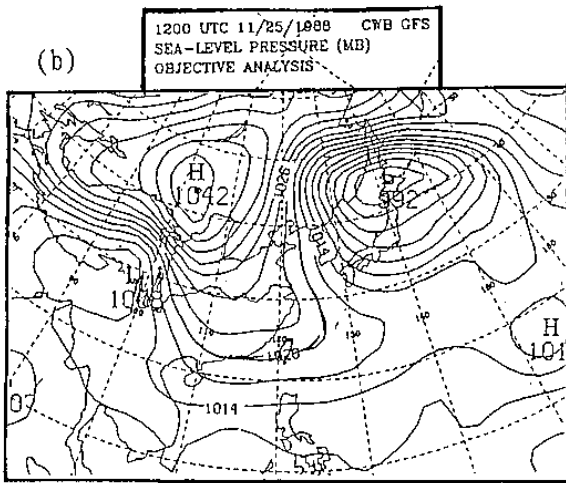
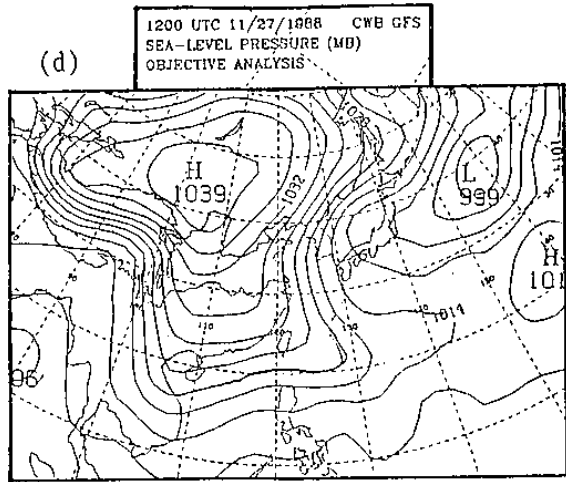
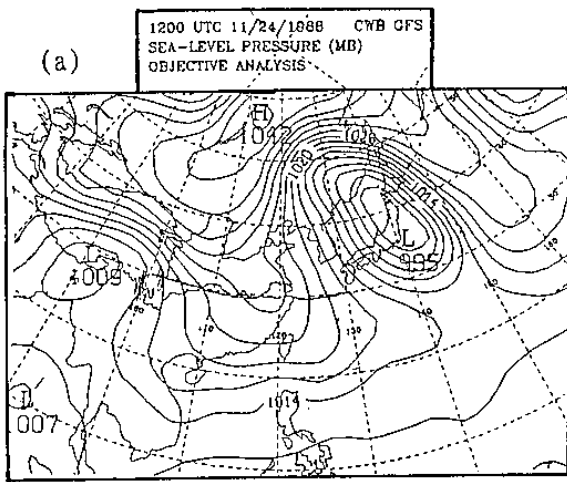
### 5 · 地形效應之處理

地表上各種地形的效應，對於天氣現象的影響皆非常大。事實上，包含行星尺度在內的各種尺度運動，皆可因地形效應而引起，因此在描述大氣運動的數值模式中，地形效應的正確模擬為一重要工作。現行GFS 由於垂直解析度不足表現由垂直傳送之重力波在臨界層 (critical level) 被平均流所吸收之現象，所以對高層大氣而言地形之效應幾乎沒有顯現出來而使得緯流過於平滑。本部分即在考慮如何參數化地形效應使其能影響到高層之大氣之長波運動，以增進GFS 對行星尺度天氣系統的預報能力。

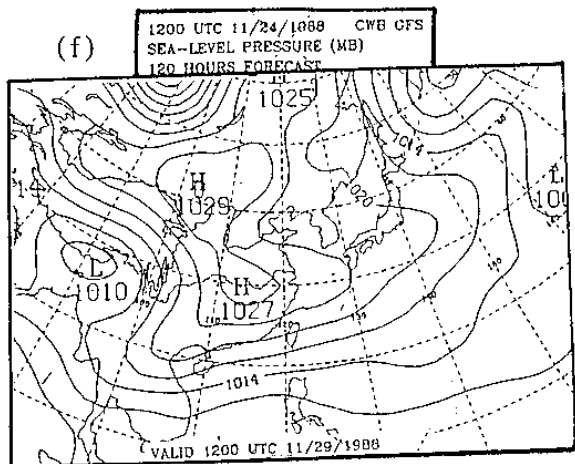
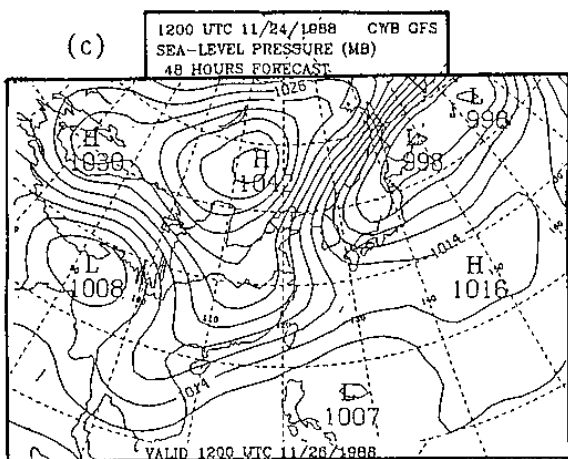
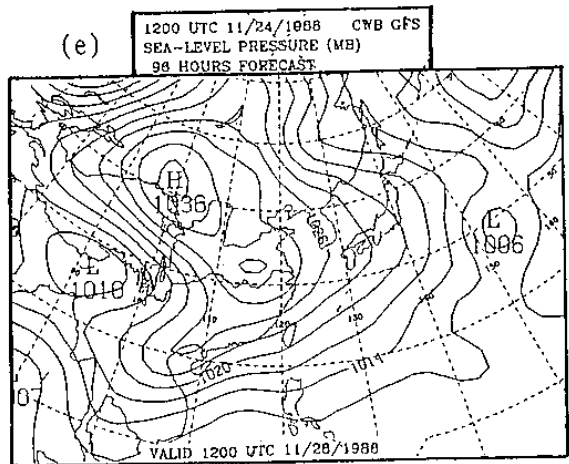
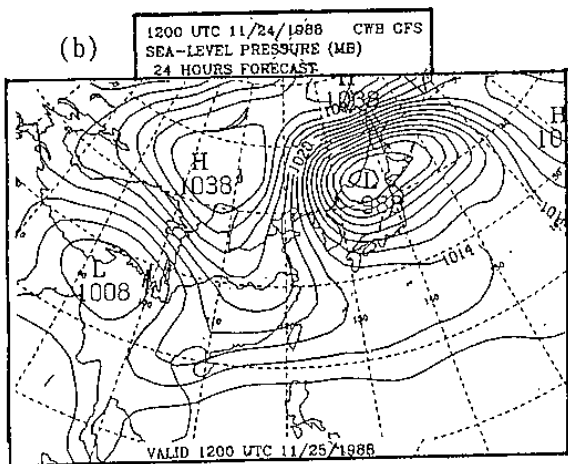
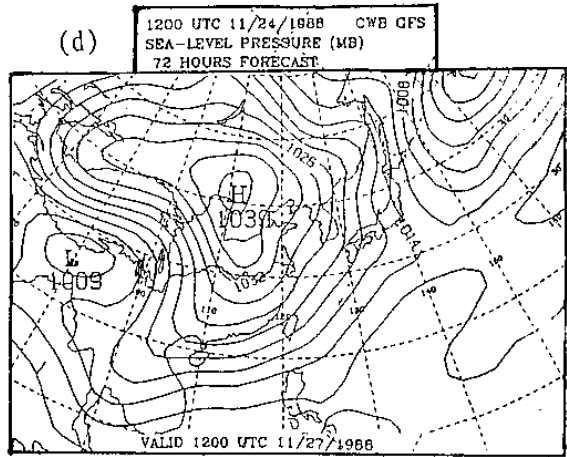
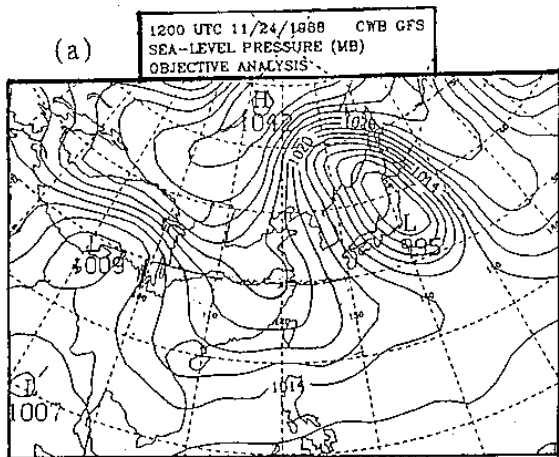
## 參考文獻

- 柯文雄，滕春慈，陳靜洵與蔡清彥，1989：中央氣象局數值天氣預報全球預報系統簡介。中華民國氣象學會會刊，30，5—7。
- Arakawa, A., 1972: Design of the UCLA general circulation model. Numerical Simulation of Weather and Climate, Dept. of Meteorology, University of California, Los Angeles, Tech. Rept. 7, 116 pp.
- Arakawa, A., and Y. Mintz, 1974: The UCLA Atmospheric General Circulation Model. Notes distributed at the workshop, 25 March-4 April, 1974, Dept. of Meteorology, UCLA Los Angeles.
- Arakawa, A., and W. H. Schubert, 1974: Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large-scale environment, Part I, J. Atmos. Sci., 31, 674-701.
- Arakawa, A., and V. R. Lamb, 1981: A potential enstrophy and energy conserving scheme for the shallow water equations, Mon. Wea. Rev. 109, 18-36.
- Arakawa, A., and M. Suraze, 1983: Vertical differencing of the primitive equations in sigma coordinates. Mon. Wea. Rev., 111, 34-45.
- Barnes, S. L., 1964: A Technique for Maximizing Details in Numerical Weather Map Analysis. J. Appl. Meteor., 3, 396-409.
- Barker, E. H., 1980: Solving for Temperature using Unnaturally Latticed Hydrostatic Equations. Mon. Wea. Rev., 108, 1260-1268.
- Barker, E. H. 1982: A Comparison of Two Initialization Methods in Data Assimilation. PH.D. Dissertation, Naval Postgraduate School, Monterey, CA, 160pp.

- Katayama, A., 1974: A simplified scheme for Computing Radiative Transfer in the Troposphere. Tech. Rep. No.6, Dept. of Meteorology, UCLA, Los Angeles, 77pp.
- Lepas, J., M. Benlareche, J. Coiffier, L. Funbe and A. Tagnit-Hammou, 1974: Primitive equations model-implicit method for numerical integration. The GARP program on Numerical Experimentation, Rept. 4, 65pp.
- Liou, C. S., C. T. Treng, W. S. Kau, T. E. Rosmond, C. S. Chen, J. H. Chen, C. Y. Tsay, 1990: Global Forecast System at Taiwan Central Weather Bureau, Papers in Meteor. Res. (accepted)
- Lord, S. J., 1978: Development and observational verification of a cumulus cloud parameterization. Ph.D. thesis, UCLA.
- Helfand, H. M, Y. C. Sud, L. L. Takacs, J. C. Jusem and A. M. Molod, 1988: Assessment of Recent Resolution and parameterization Change in the GLA Fourth order GCM. Preprints of Eighth Conference on NWP, Baltimore p320-327.
- Randle, D. A., 1976: The Interaction of the Planetary Boundary Layer with Large-scale Circulations. PH.D. Thesis, Dept. of Atmos. Sci., UCLA, Los Angeles, 247pp.
- Schlesinger, M. E. (1976): "A Numerical Simulation of the General Circulation of Atmospheric Ozone." Ph.D. Thesis, Dept. Atmos. Sci., University of California, Los Angeles.
- Tracton, M. S. 1983: On Isolating the Factors Relevant to Successful Numerical Weather Prediction. Preprints of Sixth Conference on Nwp, Omaha, p259-265.
- Matsuno, T., 1966: Numerical integrations of the primitive equations by a simulated backward difference method, J. Meteor. Soc. Japan, 44, 76-84.
- Takano, K. and M. G. Wurtele, 1982: A fourth order energy and potential enstrophy conserving difference scheme. Final Report No. AFGL-TR-82-0205. Dept. of Atmos. Sci., UCLA, Los Angeles, CA 90024, 85pp.



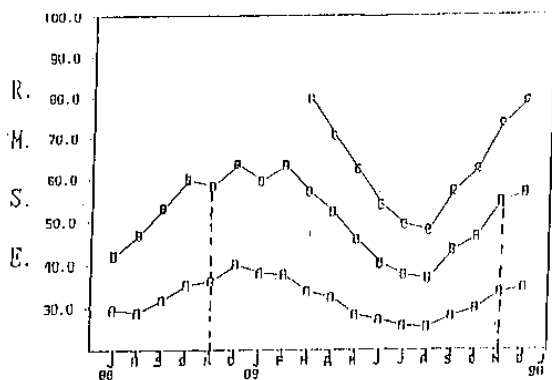
圖一 1988年11月24日12Z至11月29日12Z海平面氣壓分析圖



圖二 1988年11月24日12Z之分析圖及預報圖

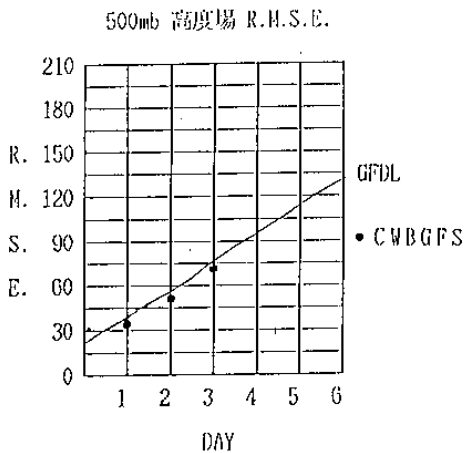


500mb 高度場 R.M.S.E.



圖三 北半球500hPa R.M.S.E.之月平均變化圖

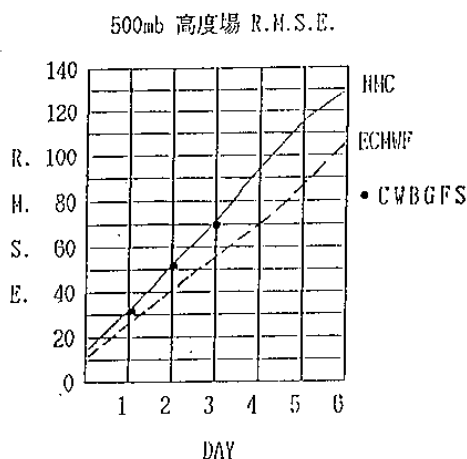
(A : 24小時預報 ; B : 48小時預報 ; C : 72小時預報)



GFDL: 美國國家海洋大氣總署  
地物流力實驗室  
2° × 2.5°  
FGGE Research Data

CWBGFS: 交通部中央氣象局  
全球預報系統  
3° × 2.4°  
Real-Time Operational Data

圖四 : GFDL與CWBGFS之500hPa  
高度場R.M.S.E.隨預報  
時間之變化圖



NMC : 美國氣象中心  
spectral model 30 wave

ECMWF : 歐洲數值預報中心  
spectral model 106 wave

圖五 : NMC, ECMWF, CWBGFS之  
500hPa高度場R.M.S.E.  
隨預報時間之變化圖

OVERVIEW OF THE GLOBAL FORECAST SYSTEM  
AT CENTRAL WEATHER BUREAU

Ching-Shun Chen

Chuen-Teyr Terng

Chuan-Chuan Fu

Ching-Yen Tsay

Central Weather Bureau

ABSTRACT

A Global Forecast System (GFS) has been officially became operational on July 1, 1988. The GFS consists of seven components: Surface analysis, Mass analysis, Wind analysis, Initialization, Interpolation, Forecast and Output. The forecast model is a multi-level global model with 4-th order potential entropy conservation scheme in the horizontal and locally hydrostatic consistency scheme in the vertical difference calculations. The model has physical processes commonly associated with grid point GCM's.

The main problems we are facing now for the GFS are the followings: satellite data can not be merged into the objective analysis, sea surface temperature (SST) is still obtained from monthly mean values of SST climatology, and the forecasting weather system is rapidly decay as the forecast time increases.

As the computer hardware is planned to be upgraded in a near future, all models of the GFS are considered to be upgraded. In our current plans, we will develop a global spectral model based on the present GFS framework. In association with the development of spectral model we will also develop optimum interpolation scheme, nonlinear normal mode initialization method and modify the current physical processes, especially the boundary layer parameterization.