

CWB全球預測系統初始場的問題與改進

陳建河

中央氣象局資訊中心

摘要

從1991年1月及9月的幾個個案分析顯示CWB全球預測系統(GFS)的分析場在經過初始化及內插過程的處理後與原來的分析場相差甚大。GFS初始化的方法是採Barker(1982)的方法，以非線性平衡方程(non-linear balance equation)為高度場與風場的強制條件，用變方法(variational method)讓這兩個場的調整量達到最小。初始化後的溫度場則是由平衡後的高度場以靜力平衡公式(hydrostatic equation)計算而得。作業版的初始化是在非標準面(1000, 925, 800, 700, 600, 500, 400, 300, 200, 100mb)上計算，必須經過一次由標準分析面(1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100mb)的內插過程，因而會產生少許的誤差。為了減少誤差的來源，改由在標準分析面上做初始化，同時也改變變方法中係數 β 的值，讓高度場與風場的調整達到最佳的平衡。

另一個改進溫度場的方法是將初始化後的高度分析場經由內插模組(Interpolation module)內插至預報模式的 σ 坐標上再減去模式前12小時的12小時高度預報場，用此差值計算在 σ 面上的溫度差值，然後以Arakawa-Suraze的靜力平衡公式檢定，以確保兩者滿足靜力平衡，最後再將修正後的高度場及溫度場的差值分別加回到模式的前12小時的12小時預報場。此法的主要目的是要避免溫度場在P坐標到 σ 坐標的內插過程中產過多的誤差。

以1991年1月16日12Z的個案為例，比較修正後的初始場與實際分析場，從RMS及標準偏差的統計值發現二者的差異要比作業版的結果好很多，並且以此修正後的初始場經過預報模式的72小時預報，其預報結果要比作業版更接近歐洲預報中心(ECMWF)的預報結果。

關鍵詞：非線性平衡方程、變方法、初始化

一、引言

中央氣象局(CWB)的全球預測系統(GFS)自1988年7月1日起正式作業，GFS的主要目的是在提供區域預測系統(RFS)所需要的邊界值條件及5~7天的中期天氣預報指引。GFS由7個模組(module)所組成，分別是地面氣壓場分析，質量場分析，風場分析，初始化，內插，

預報模式，輸出。有關GFS的成效(performance)可見Liou et al (1989)的文章。

GFS從正式作業迄今已將三年，在模式的校驗人員及預報人員的使用之下也發現了一些問題，例如，哈德雷環流(Hadley circulation)預報過弱，副熱帶噴流強度過弱，模式的高層極區過冷，熱帶則預報過暖，底層全球預報過冷。另外，王等(1990)對GFS元

月及7月的預報場校驗結果發現850mb的溫度場預報傾向於在大陸地區偏冷，海洋上偏暖。而且我們也從一些個案發現，某些網格點上的溫度分析剖面，在經過初始化之後與實際分析在低層相差甚多。初始化後的溫度場經過內插到模式的 σ 坐標立即經過輸出程序回到分析面的P坐標上，發現與原來分析的溫度場差異頗大，尤其是在低層。

本文將著重於初始化及內插模組的討論與改進，希望能提供預報模式較正確的初始場進而提高模式預報的準確度。本文共分五節：第一節為引言，第二節敘述作業版初始化及內插模組的方法，第三節則敘述方法上的改進，第四節為改進後的測試結果與討論，最後一節為結論。

二、作業版初始化與內插模組之方法

GFS中初始化(initialization)所使用的方法是以非線性平衡方程(non-linear balance equation)為強制條件，採用變方法(variational method)讓高度場(Φ)與風場(V)之間的調整量最小(Barker, 1982)。即

$$F(\phi, V) = \int_A [\phi - \phi_0]^2 + \beta (V - V_0)^2 + 2 \lambda_B m(\phi, \psi) dA \quad (1)$$

λ = Euler-Lagrangian parameter

Φ = geopotential

ψ = stream function

V = balanced wind(non-divergent wind)

β = scale factor

$m(\phi, \Phi)$ = nonlinear balance equation

$$= \nabla \cdot (f \nabla \Phi) + 2 \cdot J(u, v) - \nabla^2 \Phi$$

J = Jacobian operator

由(1)式可以導出一組Euler-lagrange equation，而從這組方程組我們可以解得平衡後的高度場及風場。

進一步考慮資料的三度空間性，於是使用

經驗正交函數(Emperical Orthogonal Function (EOF))將來平及垂直向的資料串連起來。此EOF的求法是計算10層高度分析場之間的協方差(Covariance)而得到一個 10×10 的對稱矩陣，由此矩陣可求解得10個eigen mode而且每一個mode相對應於一個eigen-function。所以將(1)式的所有變數轉換到EOF的空間上，而且只要平衡前面4個mode就足以佔所有協方差的99%。

在EOF的空間上，以重複法(iterative method)解下列的方程組：

$$\nabla^4 (\lambda_B)_i^n - \frac{f^2}{\beta} \nabla^2 (\Delta \lambda_B)_i^n = m(\Phi_i^{n+1}, \psi_i^{n+1}) \quad (2)$$

$$(\nabla \Phi)_i^n = \nabla^2 (\Delta \lambda_B)_i^n \quad (3)$$

$$\nabla^2 (\Delta \psi)_i^n = \frac{f \nabla^2 (\Delta \lambda_B)_i^n + \nabla f \cdot \nabla (\Delta \lambda_B)_i^n}{\beta} \quad (4)$$

當得到平衡後的高度場之後，再以靜力平衡公式計算平衡後的溫度場。

在此我們不直接用觀測分析的溫度場，主要的原因是在原始方程組中，我們假設高度場(Φ)與溫度場(T)必須滿足靜力平衡，換言之，兩者之間必須有一個場是經由靜力平衡公式計算得之。所以在預報模式中，我們並不預報 Φ 的變化，因此如果在計算初始T時不考慮相對應的 Φ 值(下一節中敘述)則在模式中當積分T去求 Φ 時會造成 Φ 在積分上的誤差而使氣壓梯度($-\nabla \Phi$)的計算不正確而影響到預報的準確度。

在內插模組中將初始化後平衡變數場，其解析度為 2.5×2.5 度，以bi-cubicspline法內插到預報模式的 σ 坐標上，其解析度為 2.4×3.0 度(圖-1 垂直坐標)。內插完之後的溫度場與高度場由於考慮了地形效應而改變了原有的靜力平衡，因此用Arakawa-Lamb的靜力平衡公式：

$$\phi_s - \phi_{s+1} = C_p [P_{s+1} - P_s] \hat{\theta}_{s+1}$$

$$\phi_L - \phi_s = \sum_{\ell=1}^L \pi C_p \theta_\ell \frac{\partial P_L}{\partial \pi} \Delta \sigma_\ell \quad (8)$$

$$-\sum_{k=1}^{L-1} \hat{\sigma}_{k+1} (\phi_k - \phi_{k+1})$$

$$\theta_L = T_L / P_L,$$

$$\begin{aligned}\hat{\theta}_L &= \theta_L \ln\left(\frac{\theta_L}{\theta_{L+1}}\right) / \left(\frac{\theta_L}{\theta_{L+1}} - 1\right), \\ &\approx \theta_L \left[1 - C \left(\frac{\theta_L}{\theta_{L+1}} - 1\right)\right]\end{aligned}$$

$$C = 0.468982,$$

$$\pi = p_s - p_{TOP},$$

$$P_L = \left[\frac{1}{1+a} \frac{\hat{P}_L^{1+a} - \hat{P}_{L+1}^{1+a}}{\hat{P}_L - \hat{P}_{L+1}} \right]^{1/a},$$

$$\hat{\sigma}_L = \frac{p_L - p_{TOP}}{p_s - p_{TOP}},$$

$$\Delta\sigma_L = \hat{\sigma}_{L+1} - \hat{\sigma}_L,$$

$$k = R/C_p,$$

$$a = 0.2051,$$

ϕ : geopotential, T : temperature ,

p : pressure

L : lowest velocity level ,

C_p : specific heat

s : surface level R : gas constant

$\frac{1}{2}$: level

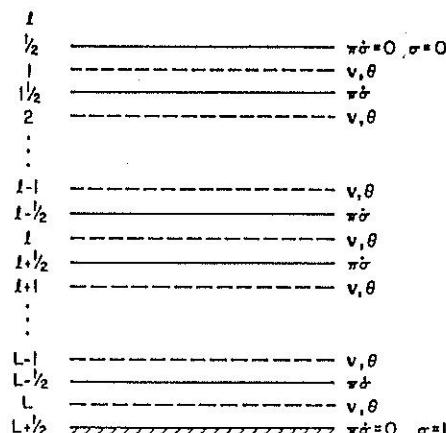


圖-1：垂直坐標示意圖

fig-1 : Vertical coordinate of model

π : $P_s - P_t$ (P_s :surface pressure,
 P_t :model top pressure)

$\dot{\sigma}$: $D\sigma / Dt$

θ : potential temperature
 v : horizontal velocity

為強制條件以變方法調整高度場與溫度場使二者滿足預報模式的靜力平衡條件，這是因為如果完全使用模式的靜力平衡公式以 Φ 計算 T 則會有“bucket”的問題產生(Barker, 1980)

三、初始化與內插模組的改進

在作業版的初始化模組中，對於計算 EOF 所需要的 10 層高度場資料，1000、925、800、700、600、500、400、300、200、100mb 等有些是在非標準層上，也就是說必須經過一次內插將分析資料從標準層(1000、925、850、700、500、400、300、250、200、150mb、100mb) 內插到非標準層上，此過程難免會造成少許的誤差而且在非標準層上做初始化對於診斷分析而言並不十分方便。因此改由在標準層上做初始化不僅可以避免內插過程所造成的誤差，也可以將原來的 10 層分析增加為 11 層。

在上述(4)式中，係數 β 在現行的模組中為 $4E4m^2 sec^2$ ，這表示若有 $5m/sec$ 的風速變化則將會有至少 $30m$ 的高度變化。將係數 β 的值改為 $4E8m^2 sec^{-2}$ ，這是因為不希望讓風場的調整量過大以至破壞原有實際分析場所保有的特性。然而如此却會影響到溫度場的計算，不過我們在內插組中所做的修改會使誤差減至最小。再者，由於初始化的分析面由非標準層改為標準層，因此在用靜力平衡公式計算溫度時，對於溫度面的定義也將改變。以 Phillips (1974) 的方法：

$$P_L = \frac{1}{(\kappa + 1)p_0^\kappa} \left(\frac{p_{L+1/2}^{\kappa+1} - p_{L-1/2}^{\kappa+1}}{p_{L+1/2} - p_{L-1/2}} \right)$$

$$P_L = p_0 P_L^{1/\kappa}.$$

來計算溫度面

在內插模組中，為了減少直接內插溫度場所造成的誤差，我們不直接內插溫度場而改以內插完之後的高度場(Φ_σ°)減去前 12 小時的 12 小時高度預報場(Φ_σ^{-12})，用此差值($\Delta\Phi_\sigma^\circ$)以簡單的靜力平衡公式計算相對應的溫度修正量(

ΔT_σ°) 做為初始猜測值，接著改以 Arakawa-Suraze的靜力平衡公式(Arakawa & Suraze, 1983)

$$\phi_L - \phi_S = c_p \theta_L (P_S - P_L) \quad (9)$$

$$\phi_I - \phi_{I+1} = c_p \hat{\theta}_{I+1/2} (P_{I+1} - P_I). \quad (10)$$

$$\hat{\theta}_{I+1/2} = \frac{(\hat{P}_{I+1/2} - P_I)\theta_I + (P_{I+1} - \hat{P}_{I+1/2})\theta_{I+1}}{P_{I+1} - P_I},$$

$$\hat{P}_{I+1/2} = (\hat{P}_{I+1/2}/p_0)^r.$$

$$P_I = \frac{1}{1 + \kappa} \left[\frac{\hat{P}_{I+1/2} \hat{\theta}_{I+1/2} - \hat{P}_{I-1/2} \hat{\theta}_{I-1/2}}{\hat{P}_{I+1/2} - \hat{P}_{I-1/2}} \right]$$

爲強制條件，同樣以變方法做高度場與溫度場的調整。這是因爲理論上根據 Arakawa, Suraze (1982)的研究認爲，以 θ (位溫)及 θ^2 保持守恒所導出來的靜力平衡公式在最底層與地面之間具有非局部(non-local)形式，而此種非局部會影響到靜力平衡的差分式在計算上的準確度。最後再將調整之後的溫度及高度修正(ΔT_σ° , $\Delta \Phi_\sigma^\circ$)加回到前12小時的12小時預報場(T_σ^{-12} , Φ_σ^{-12})。以下列簡單的式子表示：

$$\begin{aligned} \text{Init} \Phi_p^\circ &\xrightarrow{\text{bi-cubic spline}} \Phi_\sigma^\circ \\ \Phi_\sigma^\circ - \Phi_\sigma^{-12} &= \Delta \Phi_\sigma^\circ \\ \Delta \Phi_\sigma^\circ &\xrightarrow{\text{hydrostatic equation}} \Delta T_\sigma^\circ \\ (\Delta T_\sigma^\circ, \Delta \Phi_\sigma^\circ) &\xrightarrow{\text{Arakawa-Suraze adjust}} \\ &(\Delta T_\sigma'^\circ, \Delta \Phi_\sigma'^\circ) \\ \Delta T_\sigma'^\circ + T_\sigma^{-12} &= T_\sigma^\circ \\ \Delta \Phi_\sigma'^\circ + \Phi_\sigma^{-12} &= \Phi_\sigma^\circ \end{aligned}$$

上列簡式中($\Phi_\sigma^\circ - \Phi_\sigma^{-12}$)= $\Delta \Phi_\sigma^\circ$ 即爲 Φ 場經分析，初始化後的修正值，而 Φ_σ^{-12} 即相對應於分析時在氣壓面上的初始猜測值，此 $\Delta \Phi_\sigma^\circ$ 經靜力公式算到相對應的 ΔT_σ° 再經過靜力

平衡力平衡的調整後($\Delta T_\sigma', \Delta \Phi_\sigma'$)滿足了模式的靜力平衡條件，再加回到模式的初始猜測場上(Φ_σ^{-12} , T_σ^{-12})，如此在物理上可以取得資料上的一致性(consistency) (從分析到初始化到內涵程序中)，而且可以避免氣壓梯度力的計算誤差(Sundqvist 1976)。

另外一點不做溫度內插的原因是內插溫度場要比內插高度場的誤差大很多，尤其是在有逆溫層的時候，其次高度場可以說是溫度場的垂直積分結果，其剖面要比溫度場來得平滑些，因此內插高度場的誤差較小。

四、測試結果及討論

把對初始化所做的修改合併對內插模組所做的修改，然後與作業版的GFS相比較。我們做如下的步驟：將初始化之後的溫度場及風場經內插模組之後，到了模式的 σ 坐標上就立即經輸出模組回到氣壓坐標上。比較輸出後的分析場與實際分析場之間的差異。以1991年1月16日12Z的個案爲例，圖-2分別是925、850、700、500mb的實際溫度分析，圖-3則是作業版GFS相對應的輸出溫度分析場。二者之間最明顯的差別可以850mb來說(圖-2 (b)，圖-3 (b))，以台灣附近地區而言，實際分析的9°C線通過台灣南部，而輸出的溫度分析其9°C線則在台灣的北部通過，對同一地區而言(如台灣北部)約有3°C的差異。圖-2減圖-3的結果如圖-4所示，溫度的差異非常的明顯，尤其是在低層的925mb、850mb。對925mb而言，170°W以西30°N以南的太平洋區及北半球的陸地幾乎是負值，這顯示進入預報模式的初始溫度場就已經比實際溫暖許多。850mb也有同樣的情形，然而在700mb上，海洋區的負值仍然存在但是陸地區域已轉爲正值，500mb與700mb類似不過數值上要小一點。

對修改版的測試結果而言，圖-5爲925、850、700、500mb的輸出溫度分析場。同樣比較850mb台灣附近地區，顯示9°C等溫線亦如實際分析一樣通過台灣南部，其他如0°C等溫線的分布也比作業版好很多。從實際溫度分

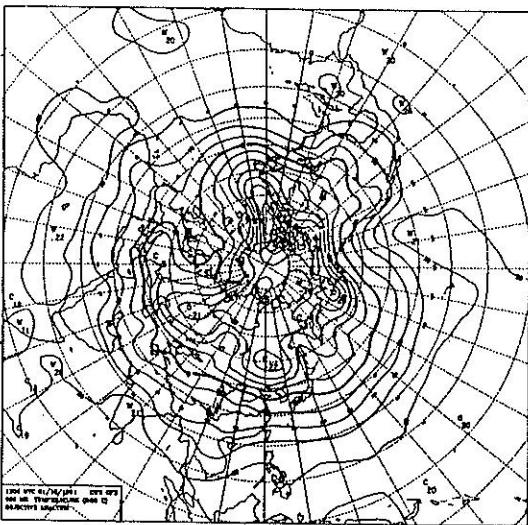


圖-2(a)：客觀分析後的實際溫度分析場：925 mb

fig-2(a) : Temperature field from objective analysis, 925 mb at 12z, JAN. 16, 1991.

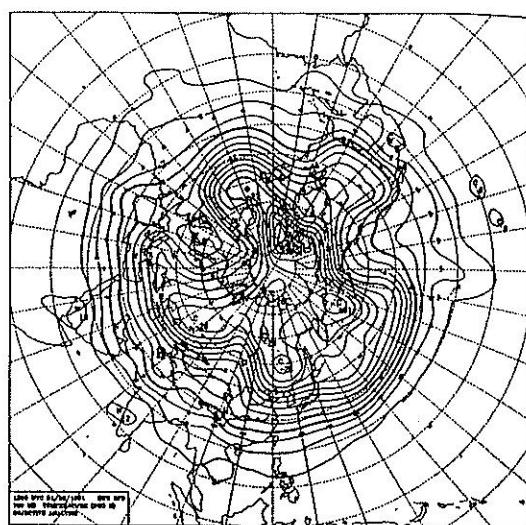


圖-2(c)：客觀分析後的實際溫度分析場：700 mb

fig-2(c) : Same as fig-2(a), except 700 mb.

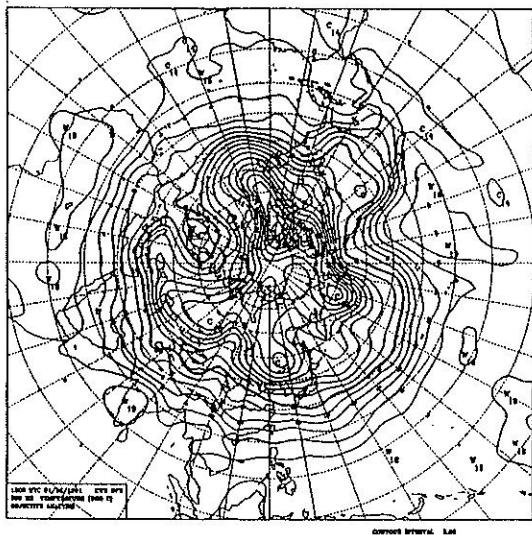


圖-2(b)：客觀分析後的實際溫度分析場：850 mb

fig-2(b) : Same as fig-2(a), except 850 mb.

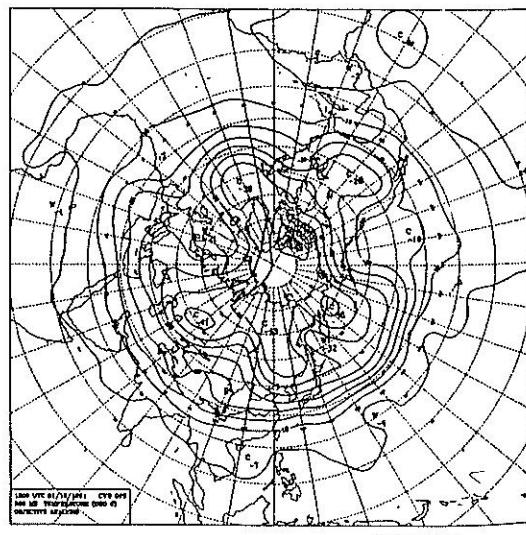
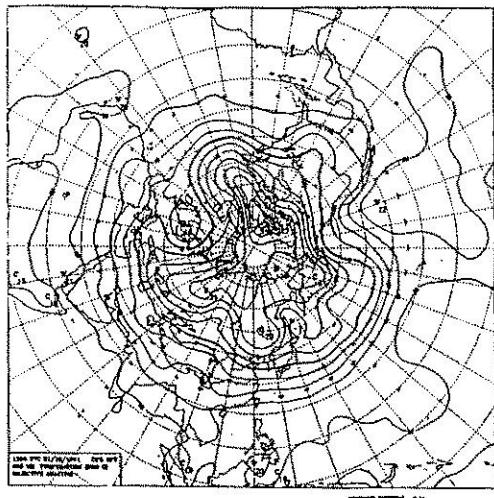


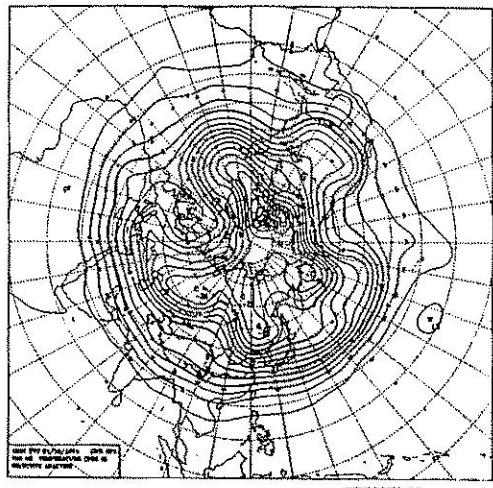
圖-2(d)：客觀分析後的實際溫度分析場：500 mb

fig-2(d) : Same as fig-2(a), except 500 mb.



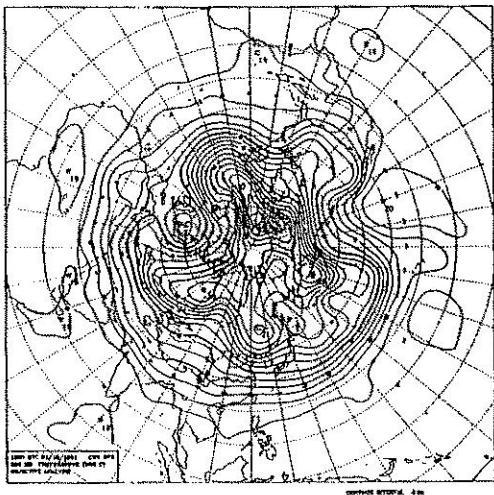
圖一 3 (a)：作業版，經輸出後的溫度分析場：925mb
，1991年1月16日12 Z

fig-3(a) : temperature field from output procedure, 925 mb, operational -run, at 12Z, JAN. 16, 1991.



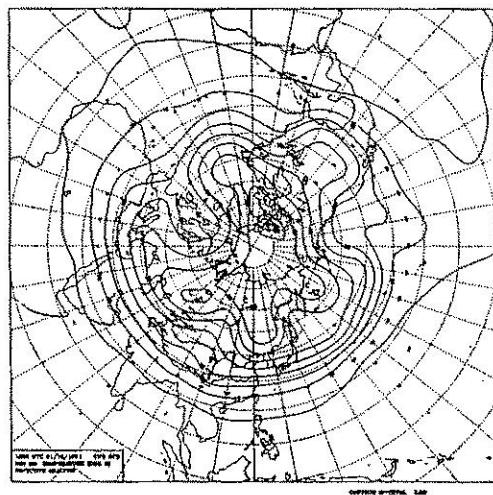
圖一 3 (c)：作業版，經輸出後的溫度分析場：700mb
，1991年1月16日12 Z

fig-3(c) : Same as fig-3(a), except 700 mb.



圖一 3 (b)：作業版，經輸出後的溫度分析場：850mb
，1991年1月16日12 Z

fig-3(b) : Same as fig-3(a), except 850 mb. fig-3(d) : Same as fig-3(a), except 500 mb.



圖一 3 (d)：作業版，經輸出後的溫度分析場：500mb
，1991年1月16日12 Z

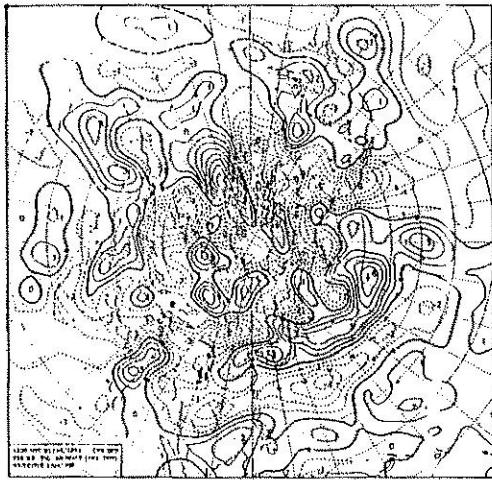


圖 - 4 (a) : 實際溫度分析減作業版輸出溫度分析之
差異圖：925mb，1991年1月16日12 Z

fig-4(a) : Temperature difference bewteen
objective analysis and output
procedure. 925 mb, operarional
-run, at 12Z, JAN. 16, 1991.

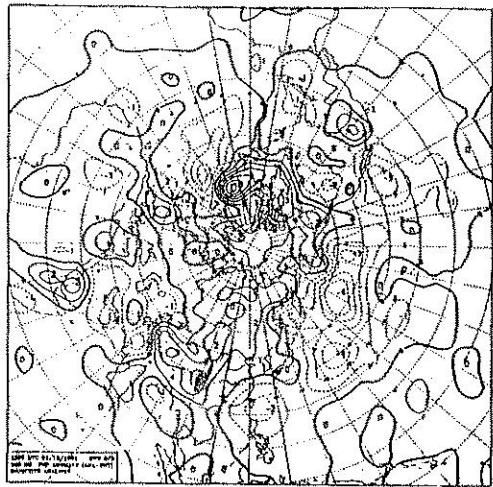


圖 - 4 (c) : 實際溫度分析減作業版輸出溫度分析之
差異圖：700mb，1991年1月16日12 Z

fig-4(c) : Same as fig-4(a),except 700 mb.

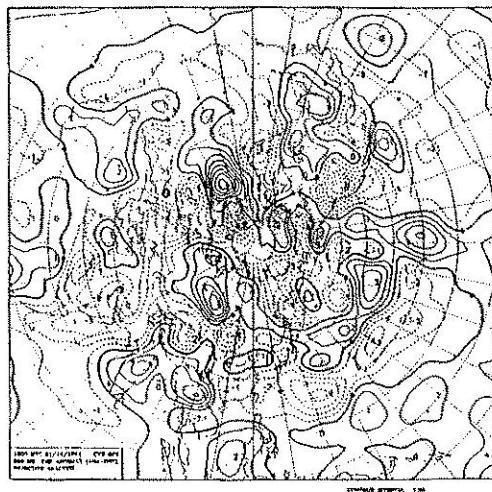


圖 - 4 (b) : 實際溫度分析減作業版輸出溫度分析之
差異圖：850mb，1991年1月16日12 Z

fig-4(b) : Same as fig-4(a),except 850 mb.

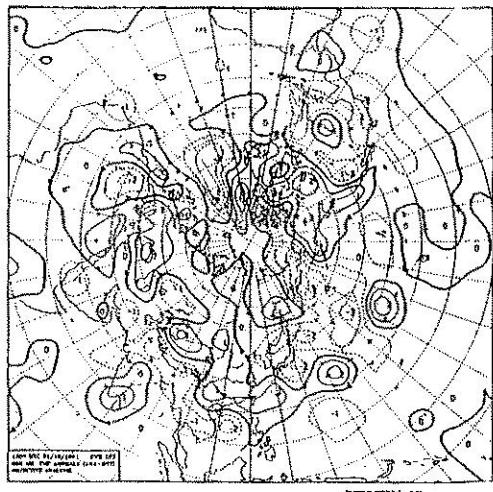
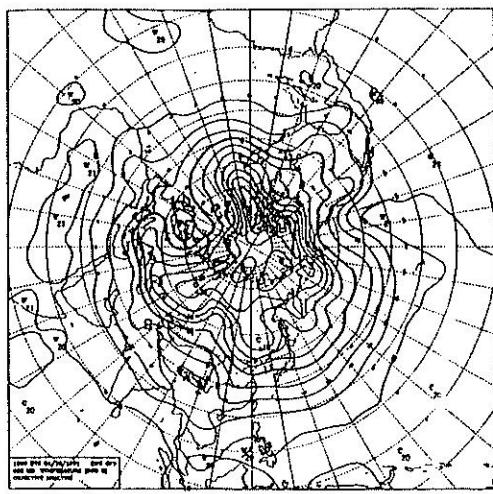


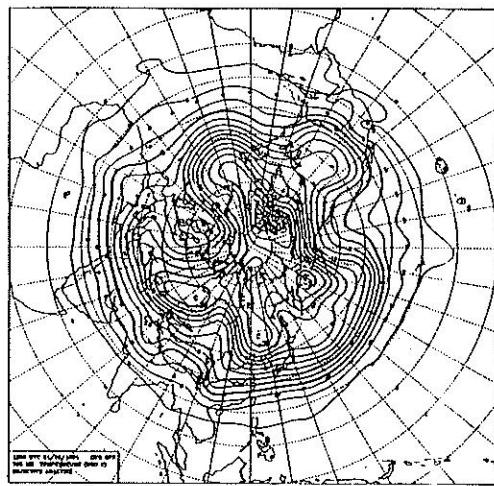
圖 - 4 (d) : 實際溫度分析減作業版輸出溫度分析之
差異圖：500mb，1991年1月16日12 Z

fig-4(d) : Same as fig-4(a),except 500 mb.



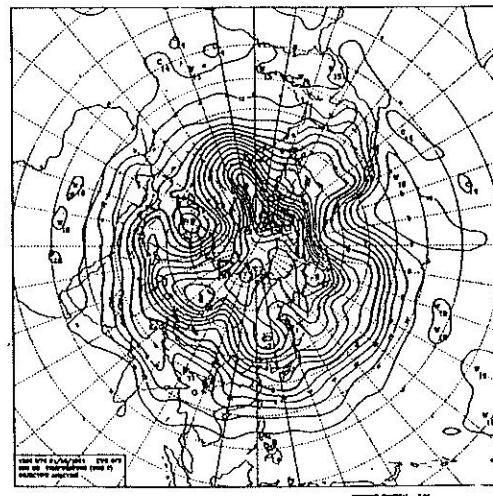
圖—5(a)：修改版，經輸出後的溫度分析場：925 mb
•1991年1月16日12 Z

fig-5(a) : temperature field from output procedure, 925 mb, modified-run,
at 12Z, JAN. 16, 1991.



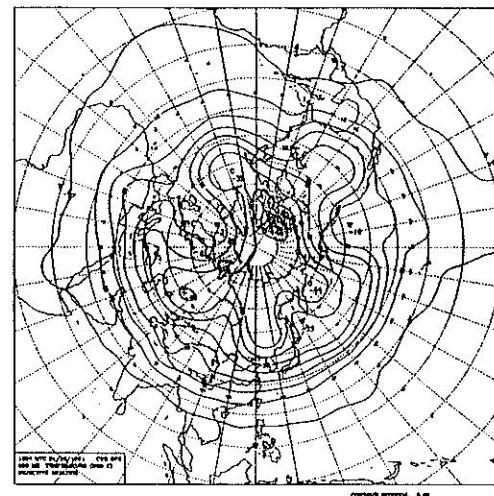
圖—5(c)：修改版，經輸出後的溫度分析場：700 mb
•1991年1月16日12 Z

fig-5(c) : Same as fig-5(a), except 700 mb.



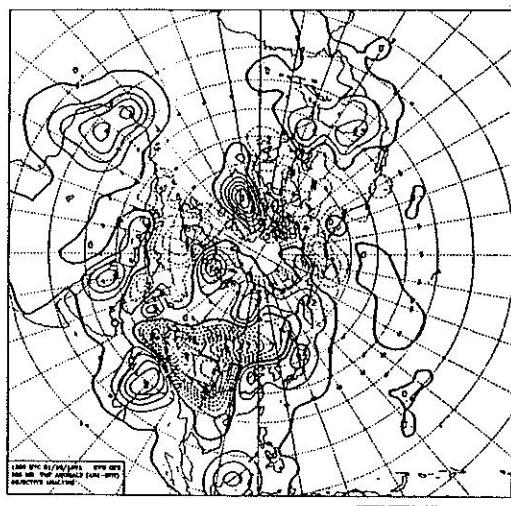
圖—5(b)：修改版，經輸出後的溫度分析場：850 mb
•1991年1月16日12 Z

fig-5(b) : Same as fig-5(a), except 850 mb.

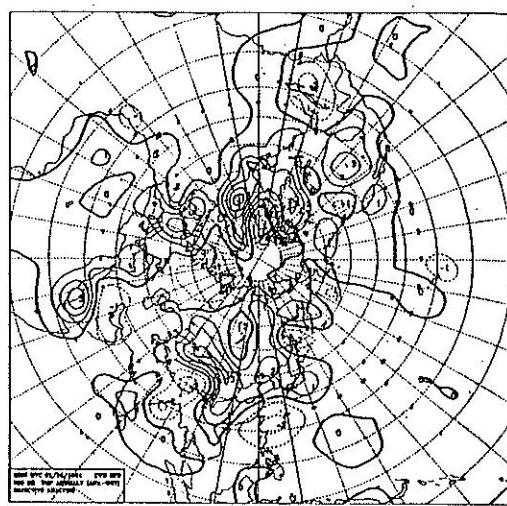


圖—5(d)：修改版，經輸出後的溫度分析場：500 mb
•1991年1月16日12 Z

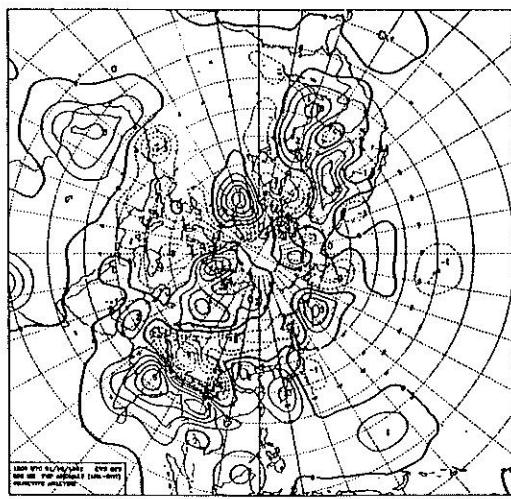
fig-5(d) : Same as fig-5(a), except 500 mb.



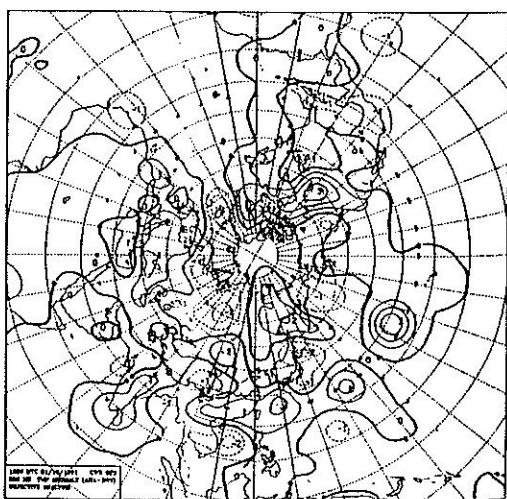
圖一 6 (a)：實際溫度分析減修改版輸出溫度分析之
差異圖：925 mb，1991年1月16日12 Z
fig-6(a) : Temperature difference bewtween
objective analysis and output
procedure. 925 mb,modified
-run, at 12Z,JAN. 16,1991.



圖一 6 (c)：實際溫度分析減修改版輸出溫度分析之
差異圖：700 mb，1991年1月16日12 Z
fig-6(c) : Same as fig-6(a),except 700 mb.



圖一 6 (b)：實際溫度分析減修改版輸出溫度分析之
差異圖：850 mb，1991年1月16日12 Z
fig-6(b) : Same as fig-6(a),except 850 mb.



圖一 6 (d)：實際溫度分析減修改版輸出溫度分析之
差異圖：500 mb，1991年1月16日12 Z
fig-6(d) : Same as fig-6(a),except 500 mb.

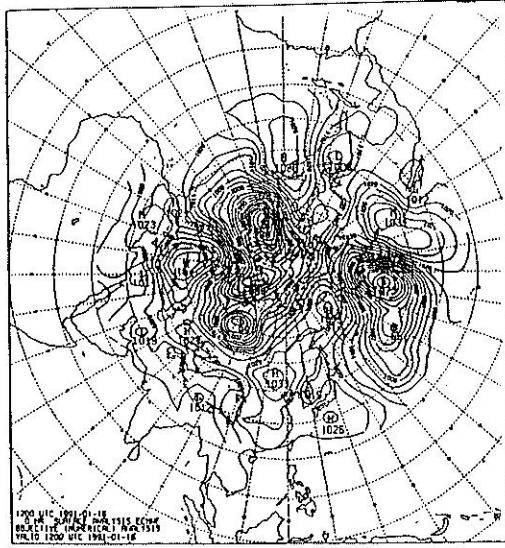


圖 - 7 (a) : ECMWF 地面氣壓預報：00分析
• 1991年1月16日12 Z

fig-7(a) : sea level pressure of ECMWF.
0-hour analysis , at 12Z, JAN.
16, 1991.

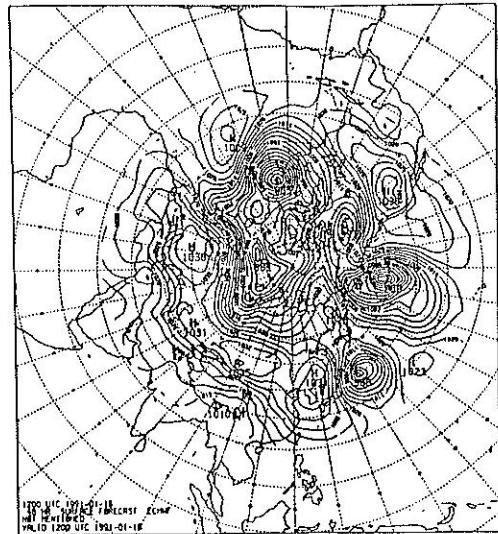


圖 - 7 (c) : ECMWF 地面氣壓預報：48小時預報
• 1991年1月16日12 Z

fig-7(c) : Same as fig-7(a) , except 48-hour
forecast.

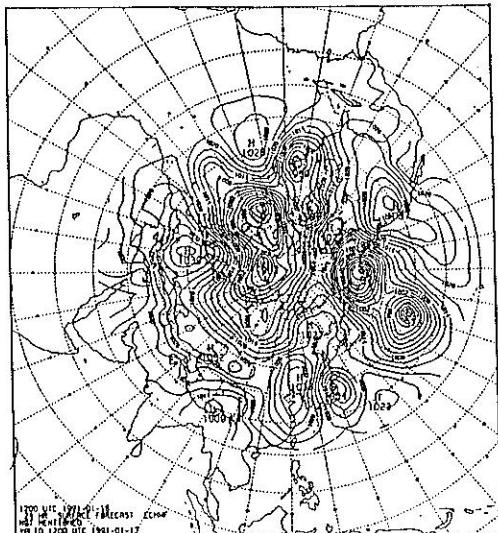


圖 - 7 (b) : ECMWF 地面氣壓預報：24小時預報
• 1991年1月16日12 Z

fig-7(b) : Same as fig-7(a) , except 24-hour
forecast.

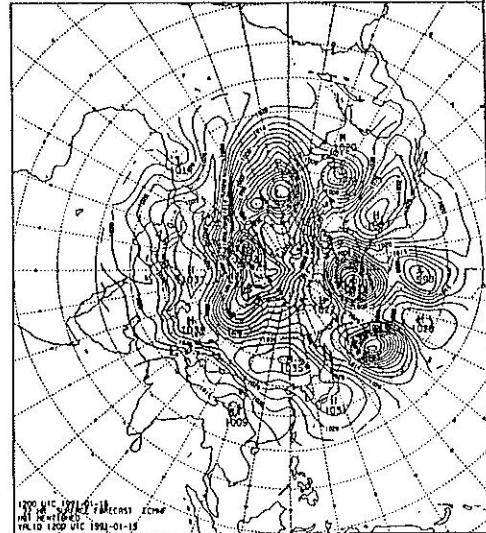


圖 - 7 (d) : ECMWF 地面氣壓預報：72小時預報
• 1991年1月16日12 Z

fig-7(d) : Same as fig-7(d) , except 72-hour
forecast.

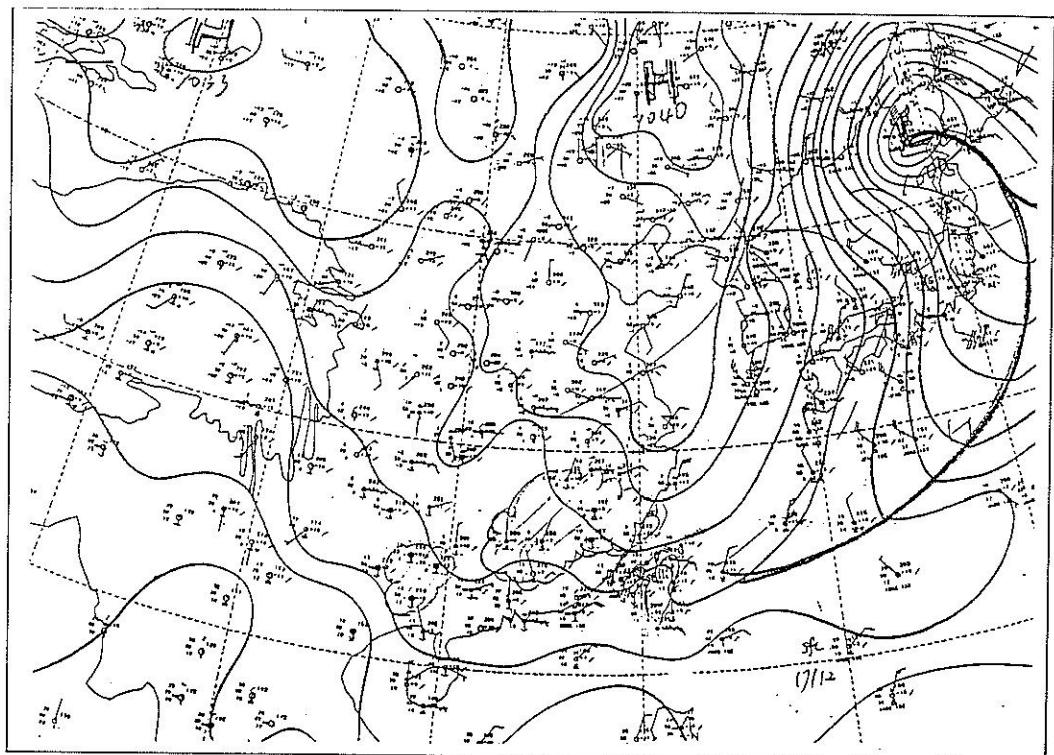


圖 - 8 : 實際手繪地面分析圖，1991年1月16日12 Z

fig-8 : sea level pressure analysis of manual
at 12Z JAN. 16, 1991.

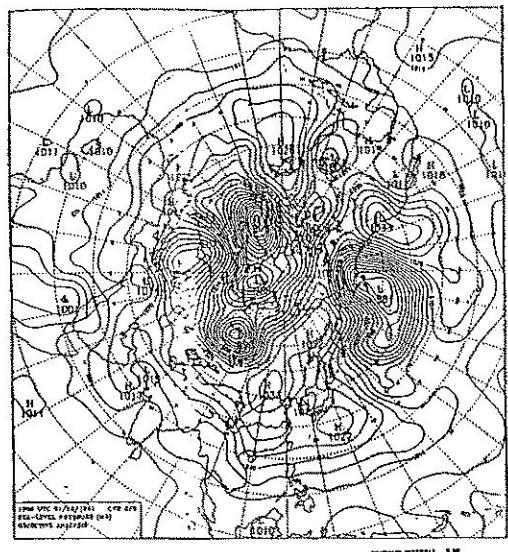


圖 - 9 (a)：作業版，地面氣壓預報：00 分析
，1991年1月16日12 Z

fig-9(a) : sea level pressure of operational run, 0-hour analysis at 12Z, JAN. 16, 1991.

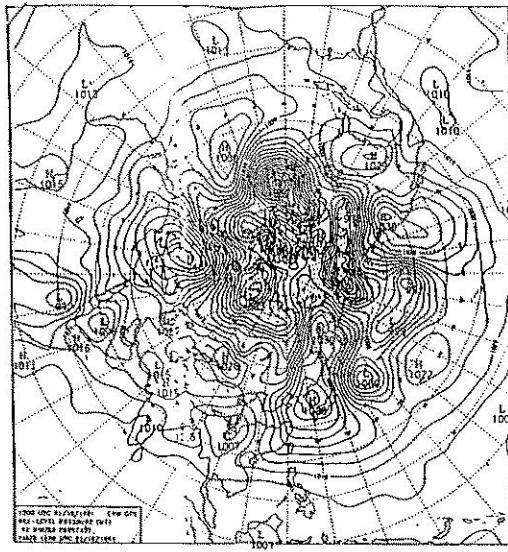


圖 - 9 (c)：作業版，地面氣壓預報：48小時預報
，1991年1月16日12 Z

fig-9(c) : Same as fig-9(a), except 48-hour forecast.

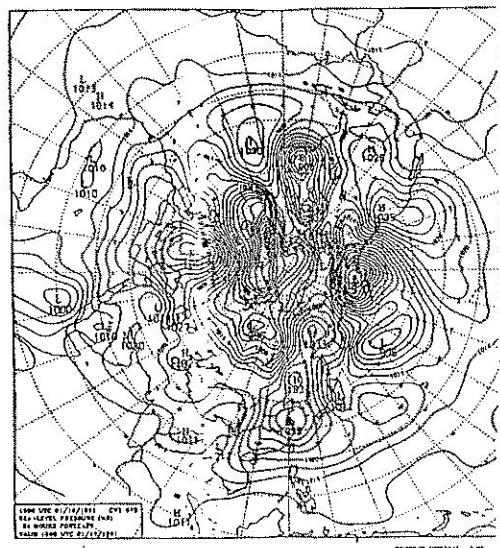


圖 - 9 (b)：作業版，地面氣壓預報：24小時
預報，1991年1月16日12 Z

fig-9(b) : Same as fig-9(a), except 24-hour forecast.

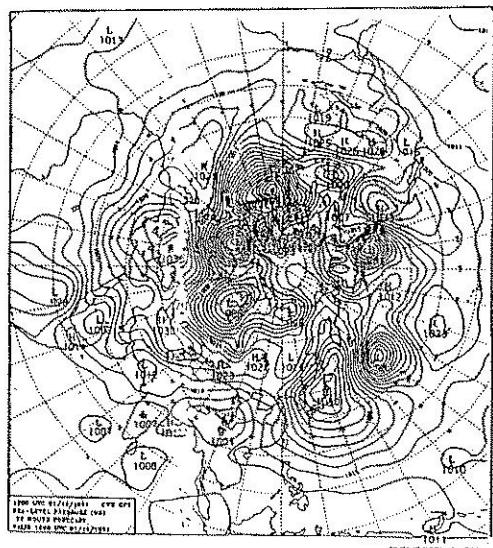


圖 - 9 (d)：作業版，地面氣壓預報：72小時預報
，1991年1月16日12 Z

fig-9(d) : Same as fig-9(a), except 72-hour forecast.

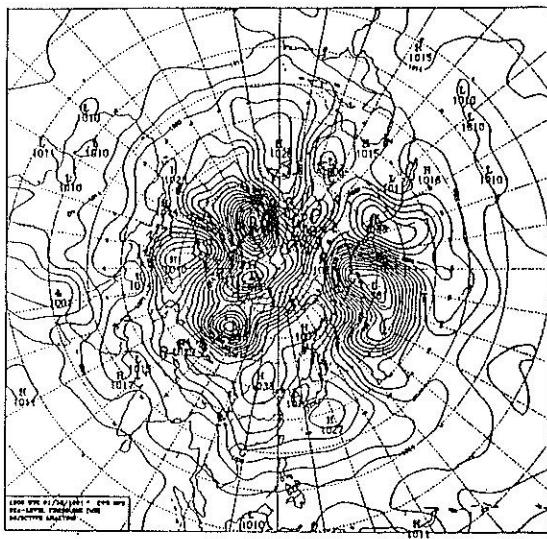


圖 - 10 (a)：修改版，地面氣壓預報：00分析
，1991年1月16日12 Z

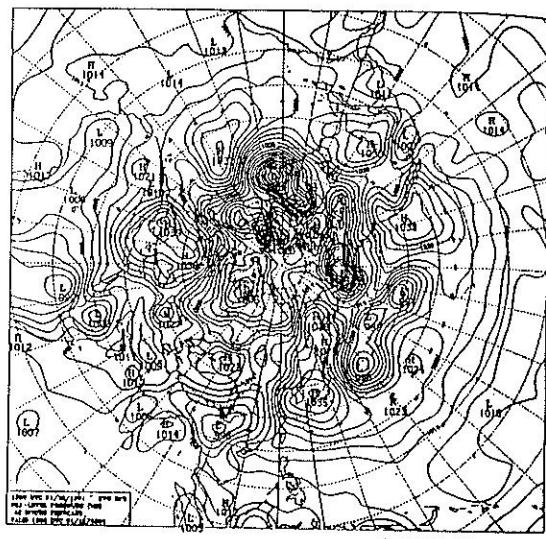


圖 - 10(c)：修改版，地面氣壓預報：48小時預報
，1991年1月16日12 Z

fig-10(a) : sea level pressure of modified run , 0-hour analysis at 12Z, JAN. 16, 1991.

fig-10(c) : Same as fig-10(a), except 48-hour forecast.

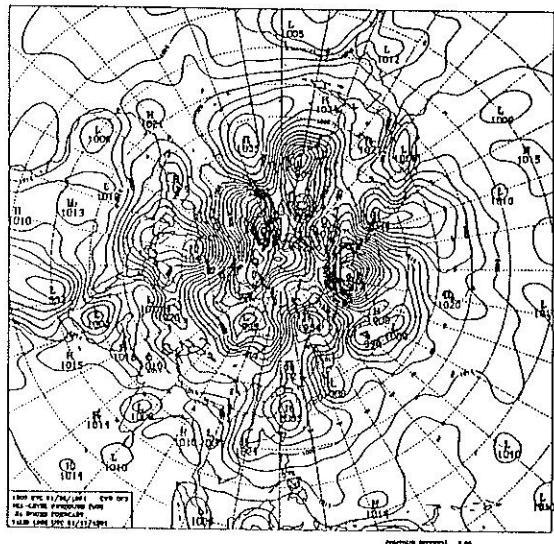


圖 - 10 (b)：修改版，地面氣壓預報：24小時
預報，1991年1月16日12 Z

fig-10(b) : Same as fig-10(a), except 24-hour forecast.

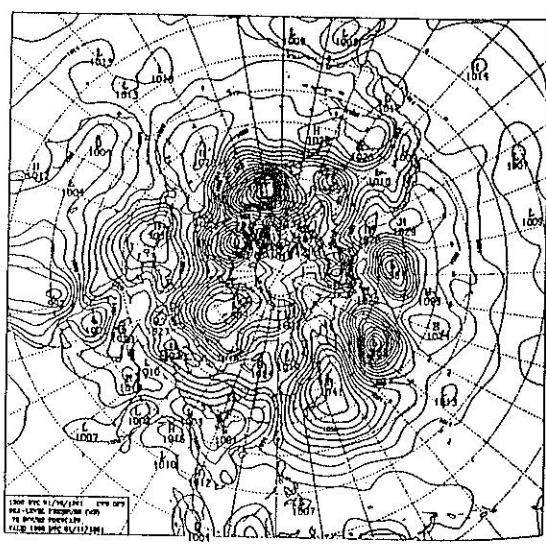


圖 - 10 (d)：修改版，地面氣壓預報：72小時預報
，1991年1月16日12 Z

fig-10(d) : Same as fig-10(a), except 72-hour forecast.

析減輸出分析的結果（圖－6）顯示在925mb（圖－6(a)）上從庫頁島、日本到韓國一帶及以南的洋區為正值，表示修改版對這一帶的溫度表現偏冷，而東亞大陸區則與作業版同樣顯示偏暖，然而從整個半球來看修改版顯然要比作業版的差異小很多。在700mb（圖6-(c)）東亞大陸區溫度的變化則由下層（925, 850mb）的負債轉為正值，這顯示在內插過程中對於地形的處理似乎不夠好。到了500mb，修改版與作業版的差別就不是很大了（圖6-(d)，圖-4(d)）。因此，修改版與作業版從整個北半球差異圖看，二者之間的差別最明顯的地方是在低層，而且是修改版要比作業的結果好很多。同年，9月18日，19日12Z的個案亦具有相同的結果（圖略）

表-1(a)是作業版的輸出分析溫度減去實際的分析溫度在北半球三個緯度帶上的統計誤差值，包括均方根(RMS)，標準偏差(STD)，平均誤差(MEAN ERR)，絕對值平均誤差(ABS-MEAN ERR)。表-1(b)是修改版相對應的統計誤差值。比較兩者的RMS值。可知修改版在低緯度地區有明顯的改進。中、高緯度則除了第1層(1000mb)及第10層(150mb)的值，修改版略高以外其他各層均也顯示要以修改版的值較低。比較兩者的STD值除修改版的第1層值略高以外，其他各層均顯示有較低的值。表-1(c)為同年9月18、19日12Z北半球的統計誤差結果，與表-1具有相同的結果，即修改版的第1層與第10層的RMS值較高外其他各層的值均低於作業版，而STD值以1, 9, 10層略高於作業版，我們認為第1層的誤差可能以靜力平衡公式計算溫度時受到下邊界的影響，而9, 10層可能是上邊界對流頂逆溫的影響。

修改後的初始場對預報的影響，我們可以拿作業版與修改跟ECMWF的24, 48, 72小時的地面氣壓預報來說明。圖-7 ECMWF的地面氣壓預報(0-72小時)，分析(圖7(a))顯示大陸主高壓1033mb在115E, 55N左右，低壓

1019mb位於103E, 50N於130° E, 50° N附近。24小時後，高壓東移至韓國北部並增強為1038mb，低壓則移至日本中部並加深至1004mb。圖-8(a)為實際手繪分析圖顯示24小時後低壓位於日本北部強度則為1000mb，兩者僅差4mb，高壓的位置與ECMWF相同強度為1040mb。48小時預報顯示低壓持續東移至150° E, 50° N強度加深至988mb，高壓則東移減弱為1034mb，台灣地區等壓線可向為東南—西北走向，72小時預報(圖7(d))顯示高壓東移合併且在日本南部形成分裂強度為1031mb。而低壓則持續的東移至160° E並增強為980mb。作業版的地面氣壓預報如圖-9所示，分析圖(圖-9(a))顯示低壓的位置比ECMWF的低壓位置約為偏南強度也較弱2mb。高壓位置則略為偏西，強度則相同。24小時預報顯示高壓東移但是卻在長江口有一分裂高壓形成。低壓則移至日本東側強度1011mb，比實際手繪分析的1000mb弱很多(ECMWF的預報為1004mb)。48小時預報顯示高壓的強度與ECMWF相同但位置則偏南，台灣附近的等壓線走向為東西向。低壓系統則持續東移強度為1000mb，仍比CEMWF的預報(988mb)弱很多。72小時預報高壓仍然完整，東移至日本北部，低壓則更往東移至170° E，強度983mb接近ECMWF的預報980mb。

圖10為修改版的預報結果，24小時預報顯示低壓強度1008mb比作業版更接近實際。48小時預報低壓的強度比作業版加深4mb，同時台灣附近的等壓線為東南—西北走向，較接近ECMWF的預報。圖10(d)為72小時的預報，顯示低壓的預報強度比作業版更接近ECMWF的預報結果，高壓的預報測則與作業版相同。

五、結論

我們對GFS中初始化及內插模組做一些改進，讓模式預報時的初始溫度場更接近實際分析的溫度場。這些改進包括(1)初始化的分析面由非標準1000、925、800、700、600、500、

OPS	LATITUDE	BAND	0-30	ON T_FIELD	
	RMS		MEAN_ERR	ABS_MEAN_ERR	STD
LVL= 1	2.60		1.55	1.70	2.09
LVL= 2	1.42		-0.31	1.13	1.38
LVL= 3	1.45		-0.36	1.16	1.40
LVL= 4	0.97		-0.32	0.07	0.91
LVL= 5	0.83		-0.33	0.64	0.76
LVL= 6	1.01		-0.07	0.75	1.01
LVL= 7	1.19		0.69	0.97	0.96
LVL= 8	1.71		1.30	1.47	1.12
LVL= 9	1.72		1.26	1.41	1.17
LVL=10	1.38		-0.03	1.04	1.30
LVL=11	3.32		-2.11	2.56	2.56

0 ° ~30 °

OPS	LATITUDE	BAND	30-60	ON T_FIELD	
	RMS		MEAN_ERR	ABS_MEAN_ERR	STD
LVL= 1	3.16		1.21	2.35	2.29
LVL= 2	2.68		-0.44	2.13	2.64
LVL= 3	2.09		-0.59	1.61	2.01
LVL= 4	1.67		-0.27	1.27	1.65
LVL= 5	1.28		-0.13	1.05	1.27
LVL= 6	1.22		0.31	0.99	1.18
LVL= 7	1.31		0.42	1.08	1.24
LVL= 8	1.69		0.17	1.39	1.68
LVL= 9	2.64		0.51	2.25	2.60
LVL=10	2.16		1.05	1.77	1.89
LVL=11	3.21		-0.03	2.64	3.21

30 ° ~60 °

OPS	LATITUDE	BAND	60-90	ON T_FIELD	
	RMS		MEAN_ERR	ABS_MEAN_ERR	STD
LVL= 1	3.34		-0.80	2.73	3.25
LVL= 2	2.68		-0.68	2.00	2.59
LVL= 3	2.30		-0.30	1.75	2.36
LVL= 4	1.69		1.05	1.31	1.33
LVL= 5	1.27		0.02	0.95	1.28
LVL= 6	1.17		-0.26	0.90	1.14
LVL= 7	1.40		-0.33	0.10	1.36
LVL= 8	1.81		0.53	1.35	1.73
LVL= 9	2.61		1.58	2.24	2.07
LVL=10	1.66		1.17	1.37	1.18
LVL=11	2.59		-0.56	2.16	2.53

60 ° ~90 °

OPS	LATITUDE	BAND	N.H.	ON T_FIELD	
	RMS		MEAN_ERR	ABS_MEAN_ERR	STD
LVL= 1	2.90		1.14	2.05	2.67
LVL= 2	2.11		-0.40	1.58	2.07
LVL= 3	1.82		-0.43	1.39	1.77
LVL= 4	1.35		-0.14	0.97	1.34
LVL= 5	1.06		-0.22	0.82	1.04
LVL= 6	1.11		0.04	0.85	1.11
LVL= 7	1.26		0.47	1.03	1.17
LVL= 8	1.72		0.81	1.43	1.51
LVL= 9	2.20		1.04	1.80	1.94
LVL=10	1.73		0.49	1.33	1.66
LVL=11	3.20		-1.19	2.54	2.97

表 - 1 (a)：作業版，實際溫度分析與輸出溫度分析之統計誤差值
北半球

table-1(c) : statistic value of temperature field
in north hemersphere at 12Z, SEP. 18, 19
, 1991. (modify and operational version)

MODIFY	LATITUDE	BAND	0-30	ON T_FIELD	
			RMS	MEAN_ERR	STD
LVL= 1			2.68	1.46	2.25
LVL= 2			1.10	0.21	1.08
LVL= 3			1.10	0.23	1.08
LVL= 4			0.65	-0.10	0.64
LVL= 5			0.64	0.02	0.64
LVL= 6			0.77	-0.30	0.72
LVL= 7			0.70	-0.34	0.61
LVL= 8			0.82	0.14	0.81
LVL= 9			1.21	0.48	1.11
LVL=10			0.96	0.27	0.93
LVL=11			1.87	-1.18	1.45

0 ° ~30 °

MODIFY	LATITUDE	BAND	30-60	ON T_FIELD	
			RMS	MEAN_ERR	STD
LVL= 1			3.60	0.10	3.60
LVL= 2			2.20	-0.84	2.03
LVL= 3			1.58	-0.31	1.54
LVL= 4			1.34	0.65	1.17
LVL= 5			0.98	0.18	0.97
LVL= 6			0.85	-0.17	0.83
LVL= 7			1.12	0.09	1.12
LVL= 8			1.68	0.36	1.64
LVL= 9			2.71	1.24	2.42
LVL=10			2.76	2.13	1.76
LVL=11			2.95	1.11	2.73

30 ° ~60 °

MODIFY	LATITUDE	BAND	60-90	ON T_FIELD	
			RMS	MEAN_ERR	STD
LVL= 1			3.21	-0.82	3.11
LVL= 2			1.95	0.13	1.95
LVL= 3			1.61	0.20	1.60
LVL= 4			1.31	0.25	1.29
LVL= 5			1.22	-0.36	1.17
LVL= 6			0.94	-0.19	0.93
LVL= 7			1.01	-0.03	1.01
LVL= 8			1.69	1.00	1.37
LVL= 9			2.78	2.10	1.81
LVL=10			1.75	1.40	1.06
LVL=11			1.61	-0.76	1.42

60 ° ~90 °

MODIFY	LATITUDE	BAND	N.H.	ON T_FIELD	
			RMS	MEAN_ERR	STD
LVL= 1			3.10	0.71	3.02
LVL= 2			1.67	-0.17	1.66
LVL= 3			1.35	0.04	1.35
LVL= 4			1.03	0.20	1.01
LVL= 5			0.86	0.03	0.86
LVL= 6			0.82	-0.24	0.79
LVL= 7			0.91	-0.15	0.89
LVL= 8			1.30	0.32	1.26
LVL= 9			2.07	0.94	1.84
LVL=10			1.86	1.06	1.55
LVL=11			2.28	-0.33	2.26

表 - 1 (b)：修改版，實際溫度分析與輸出溫度分析之統計誤差值

北半球

table-1(b) : statistic value of temperature field(analysis minus output) in four latitude band. (modify version)

OPS	LATITUDE	BAND	N.H.	ON T FIELD			STD
				RMS	MEAN_ERR	ABS_MEAN_ERR	
LVL= 1	3.16	1.31	2.05	2.88			
LVL= 2	2.27	0.63	1.66	2.18			
LVL= 3	2.21	1.13	1.72	1.90			
LVL= 4	1.06	0.05	0.79	1.06			
LVL= 5	1.02	-0.03	0.79	1.02			
LVL= 6	0.96	-0.03	0.75	0.96			
LVL= 7	0.96	-0.01	0.76	0.96			
LVL= 8	1.28	0.41	0.94	1.21			
LVL= 9	1.88	0.94	1.34	1.63			
LVL=10	1.47	0.28	1.16	1.44			
LVL=11	2.45	-0.77	1.95	2.33			

作業版 1991 年 9 月 18 日 12 Z

MODIFY	LATITUDE	BAND	N.H.	ON T FIELD			STD
				RMS	MEAN_ERR	ABS_MEAN_ERR	
LVL= 1	3.19	1.22	2.04	2.94			
LVL= 2	1.60	0.48	0.85	1.53			
LVL= 3	1.38	0.25	0.82	1.35			
LVL= 4	0.76	-0.11	0.48	0.75			
LVL= 5	0.74	-0.24	0.51	0.70			
LVL= 6	0.83	-0.40	0.55	0.72			
LVL= 7	0.80	-0.35	0.56	0.72			
LVL= 8	1.07	0.03	0.62	1.07			
LVL= 9	1.80	0.67	1.03	1.67			
LVL=10	1.65	0.58	1.11	1.55			
LVL=11	1.73	-0.15	1.18	1.73			

修改版 1991 年 9 月 18 日 12 Z

OPS	LATITUDE	BAND	N.H.	ON T FIELD			STD
				RMS	MEAN_ERR	ABS_MEAN_ERR	
LVL= 1	3.40	1.51	2.33	3.04			
LVL= 2	2.46	0.73	1.88	2.35			
LVL= 3	2.14	0.83	1.64	1.97			
LVL= 4	1.09	-0.13	0.78	1.09			
LVL= 5	1.13	-0.01	0.89	1.13			
LVL= 6	1.12	-0.17	0.87	1.11			
LVL= 7	0.99	-0.11	0.76	0.98			
LVL= 8	1.55	0.49	1.17	1.47			
LVL= 9	2.00	1.25	1.52	1.57			
LVL=10	1.40	0.38	1.10	1.34			
LVL=11	2.53	-0.68	1.96	2.43			

作業版 1991 年 9 月 19 日 12 Z

MODIFY	LATITUDE	BAND	N.H.	ON T FIELD			STD
				RMS	MEAN_ERR	ABS_MEAN_ERR	
LVL= 1	3.41	1.47	2.32	3.08			
LVL= 2	1.60	0.42	0.93	1.54			
LVL= 3	1.54	-0.06	1.04	1.54			
LVL= 4	0.90	-0.19	0.63	0.88			
LVL= 5	0.83	-0.16	0.58	0.82			
LVL= 6	0.87	-0.26	0.63	0.83			
LVL= 7	0.89	-0.33	0.64	0.83			
LVL= 8	1.22	0.05	0.78	1.22			
LVL= 9	1.84	0.79	1.06	1.66			
LVL=10	1.58	0.48	1.08	1.51			
LVL=11	2.03	-0.25	1.40	2.02			

修改版 1991 年 9 月 19 日 12 Z

表 - 1(c) : 作業版與修改版在北半球的統計誤差比較

table-1(c) : statistic value of temperature field in north hemersphere
(modify and operational version)

400、300、200、100mb等10層改在標準層1000、925、850、700、500、400、300、250、200、150、100mb等11層上，這是為了減少非標準層內插到標準所造成的誤差。同時將變方法中對風場調整係數 β 值由 $4E4m^2\ sec^{-2}$ 增為 $4E8m^2\ sec^2$ ，使得風場的調整不致於太大讓平衡後的風場儘量保有原來風場的特性且又不致於因為與質量場的不平衡而產生重力波讓模式不穩定而爆掉。(2)在內插模組中，不直接做溫度的內插而改以內插完之後在 σ 坐標上的高度場減去前12小時的12小時預報場，用此差值去計算溫度的修正量。並且將調整高度場與溫度場滿足靜力平衡的強制條件由Arakawa-Lamb的靜力平衡公式改為Arakawa-Suraze的公式，是為了避免靜力平衡公式在差方程式時non-local性造成計算上的誤差，最後將調整之後的高度場及溫度場的差值加回到前12小時的12小時預報。

以1991年1月16日12Z的資料測試的結果發現，修改版的溫度場由平面分析顯示，要比現行作業版的溫度場更接近實際的分析溫度，另外從實際分析與輸出分析的差異圖發現，修改版與作業版在低層(925、850mb)有最大的不同，此種不同隨高度而減少，在比較上顯然要以修改版在海洋區有顯著的改進。從統計誤差值的比較上也發現，不管是風場或溫度場，修改版均要比作業版的誤差小，顯示愈接近實際分析的場。

另外比較修改版及作業版與ECMWF 72小時地面氣壓場預報的結果，由此個案發現修改版對於日本附近的低壓西移加深的強度顯然要比作業版好很多，至於對大陸冷高壓的預報則兩者相差不多，均是隨預報而東移強度也增強與ECMWF的預報(減弱並分裂)正好相反，比較實際分板(圖略)顯然是ECMWF較準確。

整體而言，本文所做的改進完全是集中於對預報的初始場，這是因為GFS使用Barnes客觀分析法，是屬於單變數的分析法，也就是說，風場與質量場之間並沒有任何關係存在，

因此必須經初始化過程使兩者之間達到平衡，然而以非線性平衡方程為強制條件的初始化結果，是否能夠使風場與質量場達到預報模式所真正能接受的程度足以堪憂，因為不平衡的初始場會讓預報模式在預報初期進行調整的過程中產生所謂的重力波(gravity wave)，此重力波不僅會影響預報的準確度，更嚴重時會讓預報模式爆掉。所以最理想的情況是分析與初始化模組均能與預報模式結合在一起，讓初始場的不平衡程度達到最小。目前以OI(optimal Interpolation)是大家認為較好客觀分析方法，此為多變數的客觀分析法，可以讓風場及質量場在分析後達到某種程度的平衡，經過初始化(目前認為最佳的方法為非線性正模初始化，而且能與波譜模式結合在一起)不致會對分析場有太大的調整。然而我們從表一、表二的統計誤差值發現，特別是風場與原觀測的分析相差甚大。並且以非線性平衡方程的初始化方法的另一缺點是初始化後的風場中並不含有輻散度(Divergence)，這是因為在方程式中已令輻散度的時間變化為零(即 $\frac{\partial D}{\partial t} = 0$)，如此會影響到預報的準確性。因此未來尚未使用OI及非線性正模初始化(CWB二期計劃)之前，除了第三節中所敘述的改進之外，另一個改進的方法是以風場的差值(wind perturbation)去做初始化，如此不僅可以保留風場中的輻散度，也可以減少內插風場的全值(full value)時，所造成的誤差，這是未來進行的項目之一。

參考文獻

- 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.
- , and M. Suraze, 1983: Vertical differencing of the primitive equations in sigma coordinates. Mon. Wea. Rev., 111, 34–45.
- Barker, E., H., 1980: Solving for Temperature

- using Unnaturally Latticed Hydrostatic Equations. *Mon. Wea. Rev.*, 108, 1260–1268.
-
- _____, 1982: A Comparison of Two Initialization Methods in Data Assimilation. Ph. D. Dissertation, Naval Postgraduate School, Monterey, CA, 160 pp.
- Liou, C.-S., T. Terng, W. S. Kao, T. Rosmond, C. Chen, J. H. Chen, and C. Y. Tsay, 1989: Global forecast at Central Weather Bureau. *Papers in Meteor. Res.*, 12, No. 2, 205–228.
- Philips, N. A., 1974: Natl. Meteor. Cent. Off. Note 104. Natl. Weather Service, Washington, D. C.
- Sundqvist, H., 1976: On vertical interpolation and truncation in connexion with use of sigma system models. *Atmosphere*, 14, 37–52.

誌謝

感謝劉其聖教授對本論文之指導，特此誌謝。

THE PROBLEM AND IMPROVEMENT OF INITIAL FIELDS OF THE CENTRAL WEATHER BUREAU GLOBAL FORECAST SYSTEM (CWB GFS)

Jen-her Chen
Central Weather Bureau

ABSTRACT

Many cases have shown that the initial fields of CWB GFS has much difference between the results which are before and after initialization and interpolation procedure. The operational GFS does initialization at non-standard levels whose data must be interpolated from standard levels and some error will generate. In order to avoid the error, we do initialization at standard levels; at the same time, we change β -value, the coefficient used in variational method to make the height and wind field in a more balance state.

From p to σ coordinate, the interpolation error of temperature is larger than height. To reduce the error, we compute the difference (ΔH) between analysis and 12-hour forecast of last 12 hour model forecast of height on σ level. We use ΔH to compute temperature correction (ΔT), then use Arakawa-Suaze hydrostatic equation to make this two fields be of hydrostatic balance. Finally, we add the ΔT back to 12-hour forecast of last 12 hour model forecast of temperature on σ level.

Comparing the RMS and STD of initial fields of modified-run with operational-run, it has shown that modified-run had smaller value than Operational-run, and the modified-run has better forecast results than operational-run on 72 hour forecast.

Keywords: Initialization, Interpolation