

WRF3DVAR背景誤差調校方法

陳美心¹ 郭永潤² 馮欽賜¹

中央氣象局氣象資訊中心¹

美國國家大氣研究中心²

摘要

資料同化中，背景誤差與觀測誤差的正確設定對於分析結果相當重要，這兩個統計量決定了加入觀測資料後背景場將如何調整。雖然背景誤差是由一段時間之統計資料算出，在於實際應用之適用性上仍有調整的空間。本研究以單點測試及Hollingsworth & Lonnberg方法之結果為基礎，針對背景誤差CV3之設定進行調整，並進一步探討背景誤差對模式分析及預報之影響。結果顯示適當調整背景誤差有助於模式分析及增進預報能力。

一、前言

資料同化之目的在於使分析場更接近真實大氣狀態，基本方程如下 (Ide et al., 1997):

$$J(x) = J_b(x) + J_o(x) \\ = \frac{1}{2}(x - x^b)^T B^{-1}(x - x^b) + \frac{1}{2}(y - y^o)^T R^{-1}(y - y^o)$$

方程式中B表示背景誤差協方差，觀測資料對於分析場之影響主要由此項主導。背景誤差的計算是使用“NMC-method”得到，使用不同初始時間對於同一預報時間之預報場相差，進而計算出背景誤差(Parrish and Derber, 1992)。在WRF 3DVAR中，背景誤差之選擇有兩種：CV3及CV5。

CV3是NCEP發展，使用NCEP的GFS模式超過49組實驗進行長於一年的實驗，取48小時預報與24小時預報之相差所計算出，控制變數在物理空間。CV5由NCAR發展，可由使用者自行使用WRF模式針對模擬實驗範圍格點進行長於一個月的實驗模擬後，取24小時預報與12小時預報之相差所計算出，控制變數在特徵向量空間。

由NCEP模式所計算出之CV3背景誤差代表NCEP模式之統計特性，本文欲使CV3適用至氣象局之WRF模式，因此發展背景誤差之調校方法，將由NCEP模式所計算出的背景誤差CV3經過適當的調整後適用於氣象局之WRF模式。

二、調校方法理論概念

調校方法的理論概念來自於兩個方向，第一為Hollingsworth & Lonnberg方法(Hollingsworth and Lonnberg, 1985 ; Lonnberg and Hollingsworth, 1985)，此方法使用探空資料校驗模式之風場預報，藉以得到短期風場預報之統計結構，利用相同的概念，可計算出氣象局WRF模式之背景誤差統計結構，主要是變異量及尺度長度。第二為單點測試方法(single observation test)，由此法可計算出CV3統計結構之變異量，而尺度長度則須以估計的方法得到，估計方法如下：一般分析增量公式可寫為 $x^a - x^b = BH^T (HBH^T + R)^{-1}(y - Hx^b)$ 於單點測試中，由於針對一點給予該點之O-B為1，且觀測誤差為1，因此

$$H = (0, \dots, 1, \dots, 0), \quad Hx^b = x_i^b, \\ x^a - x^b = B_i[\sigma_b^2 + \sigma_o^2]^{-1}[y_i - x_i^b]$$

$$B_i = \begin{bmatrix} b_{1i} \\ \cdot \\ b_{ii} \\ \cdot \\ b_{mi} \end{bmatrix}, \quad [y_i - x_i^b] = 1.0, \quad b_{ii} = \sigma_b^2 = B(0)$$

$$(x^a - x^b)_{ii} = B(0)[\sigma_b^2 + \sigma_o^2]^{-1},$$

$$(x^a - x^b)_{i,i+k} = B(i, i+k)[\sigma_b^2 + \sigma_o^2]^{-1}$$

分析增量可改寫為上式。

假設B(r)為高斯分布，則 $B(r) = B(0) \bullet e^{-\frac{1}{8}(\frac{r}{s})^2}$

當設定距離等於尺度長度(r=s)，則

$$B(s) = B(0) \bullet e^{-\frac{1}{8}},$$

$$(x^a - x^b)_s = B(s)(\sigma_b^2 + \sigma_o^2)^{-1}$$

$$(x^a - x^b)_s = B(s)(\sigma_b^2 + \sigma_o^2)^{-1} = B(0) \cdot e^{-\frac{1}{8}(\sigma_b^2 + \sigma_o^2)^{-1}}$$

從單點測試的分析增量剖面圖中，分析增量等於 $(x^a - x^b)_s$ 的點和該單點距離即為尺度長度。

因此，可透過 Hollingsworth & Lonnberg 方法得到屬於氣象局 WRF 模式之背景誤差統計特性，再透過單點測試方法得到 CV3 之背景誤差統計特性，而這兩者之差別則是調校 CV3 背景誤差之基礎參考。

三、調校實作與實驗結果

本文先使用 2008 年 06 月的模擬資料透過 Hollingsworth & Lonnberg 方法計算出各變數之變異量及尺度長度如表一。另使用 CV3 進行單點測試後計算及估計出各變數之變異量及尺度長度如表二。因此想要透過背景誤差參數的調整使 CV3 各變數之變異量及尺度長度能夠趨近於模擬資料透過 Hollingsworth & Lonnberg 方法所計算出之結果。

原始背景誤差調整係數設定如表三，可調整係數之變數為： ψ (psi) 為 stream function， χ (chi_u) 為 unbalanced potential velocity， t_u 為 unbalanced temperature， q/qsg 為 pseudo relative humidity， $psfc_u$ 為 unbalanced surface pressure，在 WRF3DVAR 中可針對以上變數之變異量及水平、垂直尺度係數進行調整。由於 Hollingsworth & Lonnberg 方法及單點測試方法得到的均為風場、溫度場、壓力場..等等物理量之變異量及尺度，而和背景誤差調整之實作上被調整的變數略有不同，特別是風場及流函數、速度勢無法直接對應，因此利用單點測試尋找變數間的對應關係。由圖一可知改變 Psi、Chi_u 之變異量係數會使 U 之變異量成正比改變且水平尺度不受影響，由圖二可知改變 Psi、Chi_u 之水平尺度係數會使 U 之水平尺度成正比改變，但變異量也會被影響。由圖三可知同時改變 Psi、Chi_u 之變異量及水平尺度係數會使 U 之水平尺度成正比改變，但變異量之改變並非絕對正比關係。調校時另一個問題是可調整之參數中有三項為非平衡項，所謂非平衡項表示該項與流函數 ψ 無關

的部分。由於這三項參數可調整的都是非平衡的部分，因此若平衡項之貢獻佔較大比例時，可調整的空間就會變的有限。根據以上經驗，將原本之背景誤差調校係數(表三)調整如表四。

以調整前後之背景誤差調校係數進行 2008 年 6 月模擬實驗，再以 ECMWF 分析場為基準做校驗，得到結果如圖四。適當調整背景誤差調校係數後明顯改善高度場、溫度場及風場之分析場，其均方根(RMS)均明顯下降。由圖五，調整背景誤差調校係數後使 500hPa 高度場對太平洋高壓掌握較調整前好。調整背景誤差調校係數後之分析場的優勢約可延續至預報 12 小時後，

四、結論

背景誤差雖然是由統計資料所得出，但仍可能因為不同區域範圍或因為統計時間不夠長等原因，使得應用於模式時仍有調整之空間。本文發展背景誤差之調校方法，使調整背景誤差調校係數時有參考之依據。實驗結果顯示調整後改善模式分析及預報能力。

本文調整後之背景誤差之統計結構與 Hollingsworth & Lonnberg 方法所計算出之統計結構仍有所不同，因此尚有進一步再調整之空間，進而得到更適用之背景誤差。對於不同的天氣系統所適合之背景誤差也可能不相同，亦可針對台灣地區之颱風、梅雨等劇烈天氣系統調整適當之背景誤差以增進模式預報能力

五、參考文獻

- Guo, Y.-R., H. Kusaka, D. M. Barker, Y.-H. Kuo, and A. Crook, 2005: Impact of Ground-based GPS PW and MM5-3Dvar Background Error Statistics on Forecast of a Convective Case. SOLA, Vol. 1, 073-076, doi: 0.2151/sola.
- Ide, K., P. Courtier, M. Ghil, and A. C. Lorenc, 1997: Unified notation for data assimilation: Operational, sequential and variational. J. Met. Soc. Japan, 75, 181-189.
- Parrish, D. F., and J. C. Derber, 1992: The National Meteorological Center's Spectral Statistical Interpolation analysis system. Mon. Wea. Rev., 120, 1747-1763.
- Hollingsworth, A., and P. Lonnberg, 1985. The statistical structure of short-range forecast errors as determined from radiosonde data. Part I: The wind

field.

Lonnberg, P., and A. Hollingsworth, 1985. The statistical structure of short-range forecast errors as determined from radiosonde data. Part II : The

covariance of height and wind errors.

Wu, W-S., and R. J. Purser, 2002. Three-Dimensional Variational Analysis with Spatially Inhomogeneous Covariances.

六、附錄圖表

	variance	Scale (km)
U	2.681079	300.04389
T	0.433372	339.30475
Q	0.00000025	407.41389
P	12955.86	252.96080

表一、Hollingsworth&Lonnberg方法計算出各變數之變異量及尺度長度。

	variance	Scale (km)
U	10.63132	423.75000
T	0.696924	296.25000
Q	0.000000109	294.37500
P	16871.41	495.00000

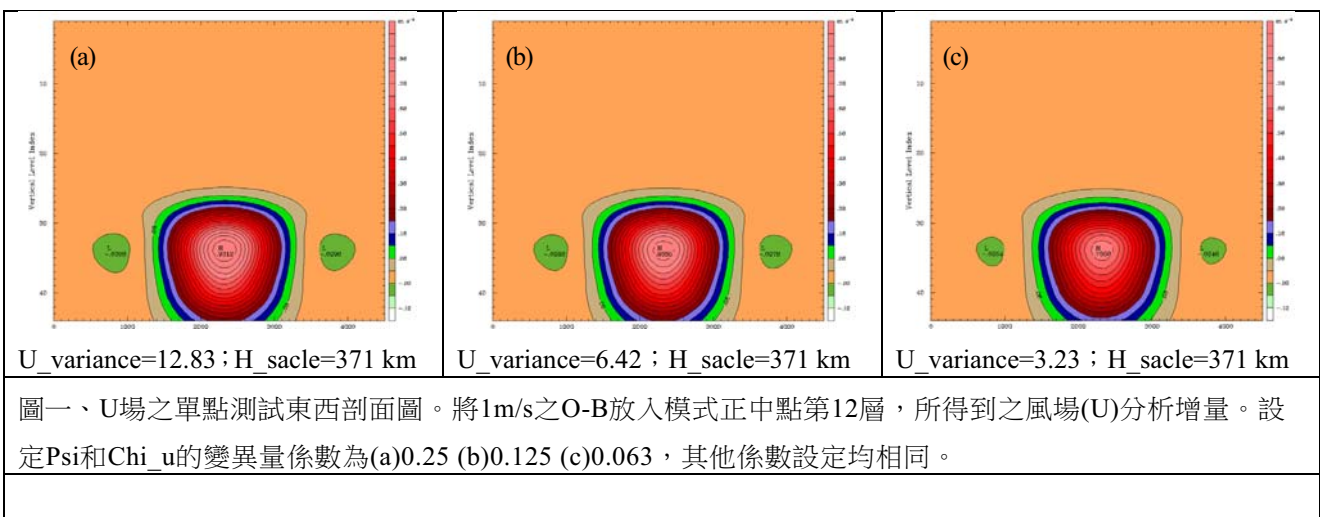
表二、單點測試後計算及估計出各變數之變異量及尺度長度。

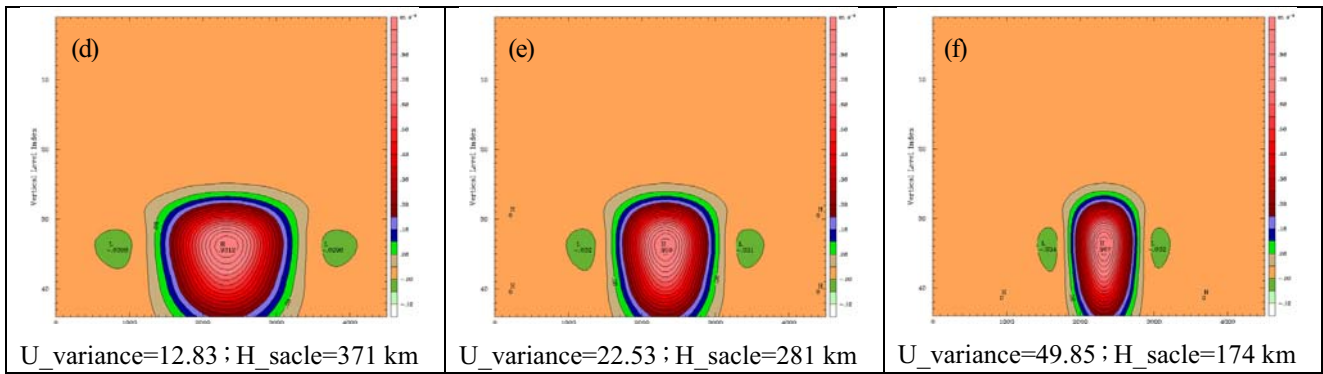
	Variance	Horizontal scale	Vertical scale
as1 (psi)	0.25	1.0	1.5
as2 (chi_u)	0.25	1.0	1.5
as3 (t_u)	0.35	1.0	1.5
as4 (q)	0.1	1.75	1.5
as5 (Psfc_u)	0.35	1.0	1.5

表三、背景誤差調校係數調整前之設定。

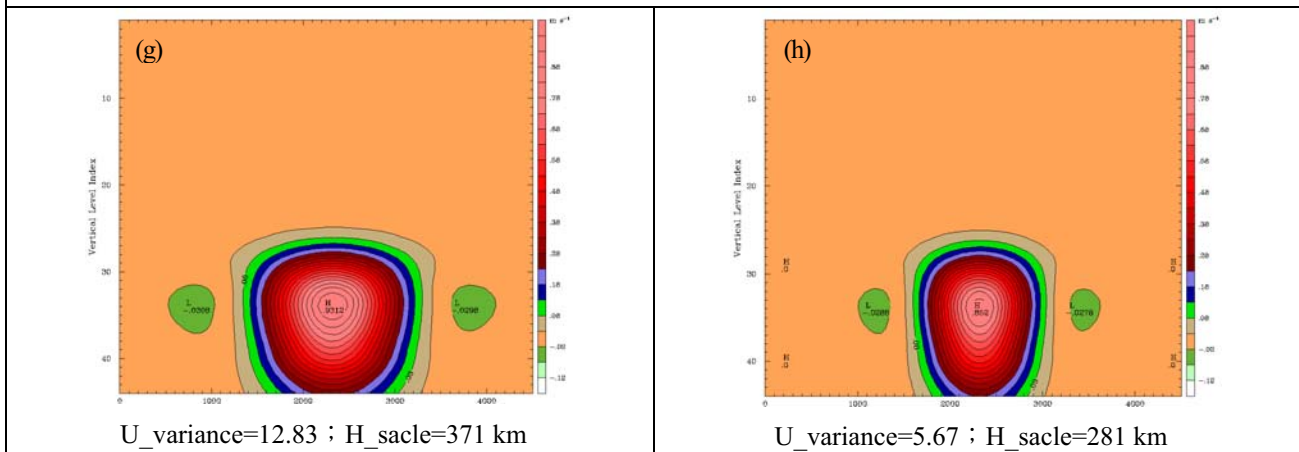
	Variance	Horizontal scale	Vertical scale
as1 (psi)	0.063	0.75	1.5
as2 (chi_u)	0.063	0.75	1.5
as3 (t_u)	0.22	1.0	1.5
as4 (q)	0.23	2.0	1.5
as5 (Psfc_u)	0.27	0.5	1.5

表四、背景誤差調校係數調整後之設定。

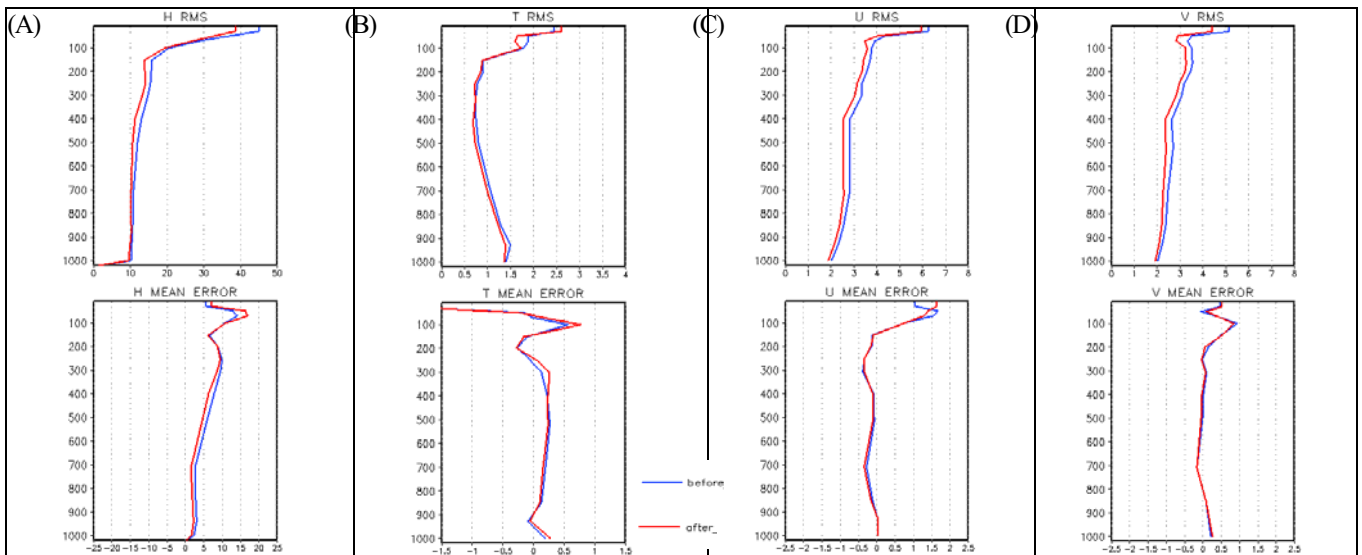




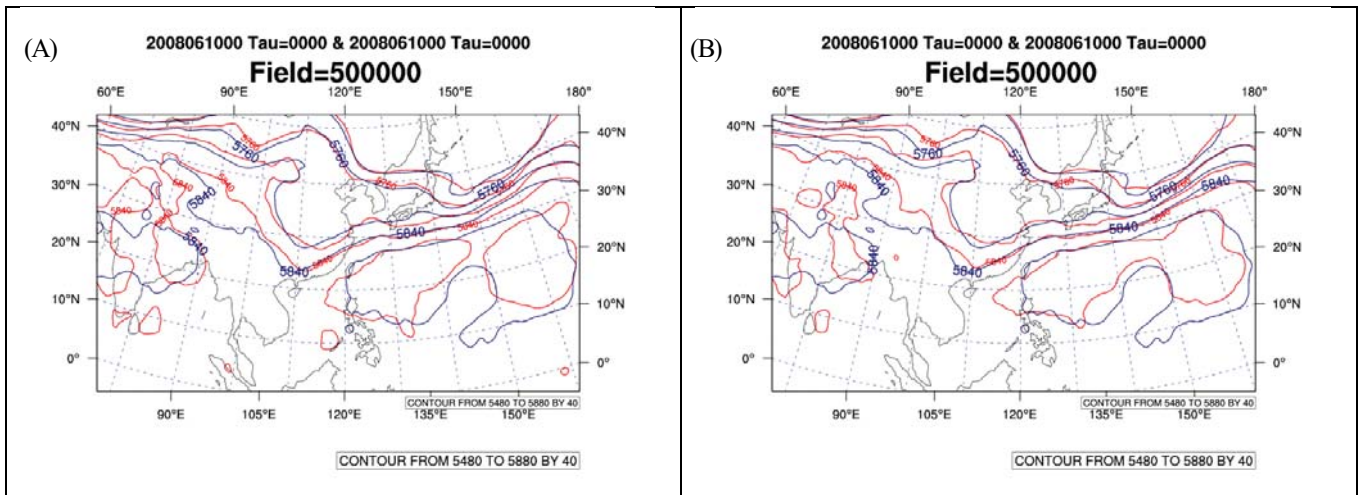
圖二、U場之單點測試東西剖面圖。將1m/s之O-B放入模式正中點第12層，所得到之風場(U)分析增量。設定Psi和Chi_u的水平尺度係數為(d)1.0 (e)0.75 (f)0.5，其他係數設定均相同。



圖三、U場之單點測試東西剖面圖。將1m/s之O-B放入模式正中點第12層，所得到之風場(U)分析增量。設定Psi和Chi_u的變異量係數為(g)0.25 (h)0.063，水平尺度係數為(g)1.0 (h)0.75，其他係數設定均相同。



圖四、分析場格點校驗結果 (A)高度場 (B)溫度場 (C)風場U (D)風場V。藍線為調整背景誤差調校係數前，紅線為調整背景誤差調校係數後。



圖五、200861000UTC 500hPa高度場。(A)紅線為調整背景誤差調校係數前之實驗，藍線為EC分析場。(B)紅線為調整背景誤差調校係數後之實驗，藍線為EC分析場。