

# 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

蕭志惠

中央氣象局氣象科技中心

## 摘要

本研究是利用中央氣象局第二代全球數值預報模式來測試次網格地形參數化對預報結果之影響。結果顯示，次網格地形參數化的加入對7天之預報有明顯的改進作用，尤其是表現在均方根誤差的減少方面。

## 一、前言

近十年來，由於數值預報模式水平解析度的不斷提高，因而突顯出次網格地形作用之重要性。根據 Miller et al.(1989)之文章指出：預報模式之系統性誤差與水平解析度有密切的關係。在早期解析度較粗時(UKMO 氣候模式，解析度 $5 \times 7 \frac{1}{2}$ 緯/經度)，系統性誤差主要在於南半球之系統均預報過弱。在增加解析度為 $2 \frac{1}{2} \times 3 \frac{3}{4}$ 緯/經度後，南半球之誤差不再存在，主要之系統性誤差轉變為在北半球之美洲及亞洲大陸中高緯度地區之西風預報過強。

而在高解析度模式中，次網格地形參數化的加入可有效地去除西風預報過強之系統性誤差。儘管參數化法有所不同，現行世界上幾個主要的數值天氣預報模式都有次網格地形參數化之加入。不論是從較長時間之季節預報或是中時間(Medium-range)之預報，次網格地形參數化都對預報結果有很好的改進作用。如 Palmer et al. (1986)在 UKMO GCM 之30天及90天預報，Miller et al. (1989)在 ECMWF、UKMO GCM 之90天積分及 ECMWF 作業模式之10天預報，Alpert et al. (1988)之 NMC MRF 模式 T80 的5天預報及 R40 之30天預報，及 Vernekar et al. 之 COLA GCM 的10天預報等。

本研究之目的在於測試次網格地形參數化是否能在中央氣象局第二代全球數值預報模式中，同樣地扮演著消除部分系統性誤差的角色。並且探討該參數化的植入，對模式7天預報能力得分之影響。在第二節中，首先檢討現行作業模式有些什麼系統性的誤差。第三節中簡單介紹測試中的次網格地形參數化方法。第四節為1994年2月18日個案之測試。第五節中將以三個個案7天積分之平均預報得分，來探討次網格地形參數化對7天預報之影響。最後為結論及討論。

## 二、中央氣象局第二代全球模式之系統性誤差

關於中央氣象局第二代全球模式之架構在陳建河等(1994)中有詳盡的介紹，在此不多贅敘。首先讓我們大致地了解中央氣象局第二代全球模式有些什麼樣的系統性誤差，在此以1994年9月之月平均為代表。

圖 1a、b 分別為 1994 年 9 月海平面氣壓之分析及 120 小時預報之月平均。其中最明顯的誤差發生於亞洲大陸、西太平洋及美洲大陸，在這幾個地區都有明顯地低壓系統預報過強的情形。與海平面氣壓相對應的是 850 百帕在低壓系統之南方，西風之

強度亦是清楚地預報過強(圖2a、b)。由全球平均之緯流風來看(圖3a、b)，120小時預報之西風中心強度明顯地過強，且在低對流層亦有過強之風速，因此造成在北半球中低緯度有較強之風速梯度。

由此可知，中央氣象局第二代全球模式與其他中心早期之高解析度模式一樣具有中緯度西風預報過強的系統性誤差，因此希望藉由次網格地形參數化之植入能有效地減少模式之預報誤差。

### 三、次網格地形參數化方法

次網格地形參數化的主要對象為次網格地形引發之重力波拖曳力(gravity wave drag)，故亦稱為重力波拖曳力參數化。在本研究中所採用的是Palmer et al. (1986)之參數化法。

首先定義一參考層(reference level)，並將參考層之應力(stress)參數化為

$$\tau_L = \kappa \rho_L N_L U_L f(h) \quad (1)$$

其中  $\kappa = 2.5 \times 10^{-5} m^{-1}$  為一常數， $\rho_L$ 、 $N_L$ 、 $U_L$  分別為參考層之密度、Brunt-Vaisala frequency 及風速。 $f(h)$  為參考層波的振幅，

$$f(h) = \min(h_1^2, h_2^2) \quad (2)$$

其中  $h_1^2$  為次網格地形之方差(variance)， $h_2^2$  為波碎(wave breaking)發生時之臨界波振幅

$$h_2^2 = [U_L(2\sqrt{\mu} - \mu)]^2 / N_L^2 \quad (3)$$

$$\mu = 2 + R_{iL}^{-1/2} \quad (4)$$

其中  $R_{iL}$  為參考層之里察遜數(Richardson number)。

接下來計算參考層以上各層之應力。首先假設上一層為穩定之大氣沒有波碎的發生，即

$$\tau_k = \tau_{k-1} \quad (5)$$

由此可求出此時之波振幅  $h_k$

$$h_k = \sqrt{\frac{\tau_k}{\kappa \rho_k N_k U_k^*}} \quad (6)$$

及波修正後的里察遜數  $R_{ik}^*$

$$R_{ik}^* = R_{ik} \frac{1 - [N_k h_k / U_k^*]}{\{1 + R_{ik}^{1/2} [N_k h_k / U_k^*]\}^2} \quad (7)$$

其中， $\rho_k$ 、 $N_k$ 、 $R_{ik}$  為第  $k$  層之密度、Brunt-Vaisala frequency 及里察遜數， $U_k^*$  為第  $k$  層風在參考層風向量上之投影風速。

如果波修正的里察遜數小於  $1/4$ ，則表示大氣為不穩定，因而有波碎發生。此時之波的振幅需重新計算，並令振幅不得大於波發生時之臨界振幅

$$h_k^2 = [U_k^*(2\sqrt{\mu} - \mu)]^2 / N_k^2 \quad (8)$$

$$\delta h^2 = \min(h_k^2, h_1^2) \quad (9)$$

。至此可求出第  $k$  層之應力為

$$\tau_k = \kappa \rho_k N_k U_k^* \delta h^2 \quad (10)$$

反覆計算(5)至(10)式即可求出自參考層以上至模式頂每一層之應力值。當環境大氣為穩定時，次網格地形引發之重力波可由地面保持相同大小之應力傳至上層。相反的，若是在傳遞之過程中遭遇到不穩定大氣，亦即波碎之發生區域時，則部分之應力會被擾動所吸收，於是此區域內應力在垂直方向上產生輻散。應力在垂直方向上之輻散，就對大氣產生了拖曳力(drag force)

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial t} = -g \frac{\partial \bar{\tau}}{\partial p} \quad (11)$$

由此可知，當模式中考慮次網格地形之作用時，若次網格地形引發之重力波有發生波碎的現象，則對大氣會有拖曳力(減速)之作用產生，因此可有效地減少在亞洲大陸及美洲大陸上所發生的系統預報過強的誤差。

## 四、個案測試：1994年2月18日

### 4-1、參考層之測試

前面提到參考層為次網格地形應力之最下層，在各模式中有不同的定義。在此測試三種不同的定

義方式，即取模式之最下層、倒數第二層及最下面三層之平均，測試何種方式較適合於本局模式。均方根誤差(r.m.s.e.)及距平相關(anomaly correlation)為二種常用來判斷模式預報得分的方法，在此同樣以此二種得分計算方式來表示模式預報結果的好壞。

圖4為三種選取參考層方法之海平面氣壓及500百帕高度場之均方根誤差及距平相關得分。其中PZ1為取模式最下層，PZA為模式之倒數第二層，PZC為最下層三層之平均。

結果顯示，在均方根誤差方面，取下面三層平均之結果顯然優於其他二種，尤其是在海平面氣壓；而在距平相關方面，則與參考層之選取方式無太大的差別。

基於減少均方根誤差以及模式穩定度之需求，因此決定在本局第二代模式中參考層定義為最下面三層之平均。

#### 4-2、預報結果

1994年2月18日-25日個案，事實上為東亞地區二個冷高壓系統南下間的轉換過程，對數值預報模式而言基本上並不是很容易掌握的一段時間。

2月18日12Z，大陸冷高壓已東移出海，高壓東方受阿留申低壓的阻擋作用，而向東南及南方擴展。高氣壓之東緣到達約 $160^{\circ}\text{E}$ ，南緣在臺灣北部。19日12Z冷高壓之東緣分裂為獨立之高壓中心，並繼續向東移出，此時高壓強度已開始減弱。緊接在分裂高壓之後的低壓系統在20日12Z形成，並於東移到日本途中快速加深，於22日在日本形成一中心氣壓為966百帕之強烈低壓。22日12Z也是東亞第二波冷高壓形成的時候。這一波的冷高壓受到日本附近低壓之阻擋，而在東亞大陸原地加強。23日12Z黃河一帶的冷高壓中心強度達1041百帕，而後向南擴展。至25日12Z時冷高壓已涵蓋整個臺灣甚至到達呂宋島北部。

圖5為1994年2月23日之北半球海平面氣壓、500百帕高度及平均緯向風南北垂直剖面分析圖。

圖6為中央氣象局第二代全球作業模式之第五天預報結果，此時並未加入次網格地形參數化。比較圖5及圖6，在海平面氣壓方面，最明顯的是東亞大陸上的冷高壓預報之向東移速度顯然過快，此時可能是因為太平洋上阿留申低壓之預報強度過弱，無法造成對高壓移行的阻擋作用所致。其他在高緯度及西半球，一般而言高低壓系統均預報偏強。

在500百帕高度場方面系統預報過強亦明顯可見，一般而言系統中心強度可偏高至70GPM左右；且在日本附近阿留申低壓並未掌握到，僅預報為一很深之低壓槽，此為此個案預報之重大缺失之一。由平均緯向風之垂直剖面圖來看，北半球西風軸中心強度顯然地預報偏弱，但在低對流層西風風速卻有預報過強的情形。而且西風軸之預報偏向高緯度，高緯度之東風預報範圍也較分析來得廣泛。

圖7為相同個案，但加入次網格地形參數化之第五天積分結果。與圖5、圖6比較，東亞大陸冷高壓東移速度過快的誤差在此獲得改善，其它高緯度及西半球系統預報過強的情況也獲得修正，但修正後之預報強度反而弱於分析場。

500百帕高度場之預報加入次網格地形參數化後顯然比未加之前接近分析值許多。此時除了阿留申低壓有被掌握到但差值仍約100GPM之外，其它各系統中心值與分析之差異縮減到約30GPM之內。對於西風軸的預報，加入次網格地形參數化後也有較好的表現。此時西風軸中心強度以達 $43.9\text{m/s}$ ，近似於分析值且中心軸位置也與分析非常接近，但在低對流層的風速上似乎太弱了。

再回頭來看圖5中之GA1及PZC線，GA1及PZC分別為未加及加入次網格地形參數化後之得分。由圖可知加入次網格地形參數化之效果，在積分第二天就可明顯地表現在均方根誤差上面，隨著積分時間的增加改進的效果就愈明顯。

由以上之比較可知，次網格地形參數化的加入對模式預報之均方根誤差有明顯的改進，但修正之作用對此個案而言似乎稍嫌過強了些。

## 五、其他個案測試

為使本研究更具有代表性，在此同樣對個案1994年3月18日及1994年10月12日作七天之積分，比較加入及未加入次網格地形參數化之得分情形。圖8為1994年2月18日、3月18日及10月12日七天積分之平均均方根誤差及距平相關得分。

結果顯示在平均均方根誤差方面，不論是海平面氣壓或500百帕高度場，次網格地形參數化的加入均能有效地降低均方根誤差，積分時間愈長效果愈明顯。但在距平相關方面則作用並不顯著，在短時間內(3-5天)之預報，次網格地形參數化之作用會使距平相關減少約0.05，而較長時間(5天以上)則距平相關增加。

## 六、結論與討論

本研究係利用中央氣象局第二代全球數值預報模式來探討次網格地形參數化對預報結果之影響。

本局目前正在發展的次網格地形參數化是以Palmer et al.(1986)之方法為主，參考層之選取為以模式最下面三層之平均。將1994年2月18日、3月18日及10月12日三個個案分別作七天之積分，比較其在未加入及加入次網格地形參數化時之均方根誤差及距平相關得分。結果顯示次網格地形參數化的加入對海平面氣壓及500百帕高度場之均方根誤差都有明顯的減少的作用，其作用在較長時間(4天以上)積分尤其明顯。對於距平相關之得分則次網格地形參數化對其無明顯正面的作用。

由於本研究僅作了三個個案之測試，恐仍嫌未具代表性，因此某一段時間與作業版模式之平行測試是必需的。希望藉由平行測試之結果能幫助我們了解現行的參數化法是否有過度修正的現象？對距平相關會不會有負面的作用？以及了解何種天氣系統下之預報誤差是次網格地形參數化能較好修正的，何種是較不好修正的等等。

未來仍需繼續進行次網格地形參數化的改進工作。如次網格地形之走向對下層應力之影響、下層短波之作用、及詳細的次網格地形特徵對參數化之

影響等，都預期在將來逐一加入於參數化法之中。

## 參考文獻

- 陳建河等，1994：對中央氣象局第二代全球模式的介紹。天氣分析與預報研討會論文集編。
- Alpert J.C., M. Kanamitsu, P.M. Caplan, J.G. Sela, G.H. White and E. Kalnay, 1988: Mountain induced gravity wave drag parameterization in the NMC medium - range forecast model. Preprints of the Eighth Conference on NWP, February 22-26, Baltimore, Maryland. 726-733.
- Miller, M. J., T. N. Palmer, and R. Swinbank, 1989: Parameterization and influence of subgridscale orography in general circulation and numerical weather prediction models. *Metcorol. Atmos. Phys.*, 40, 84-109. 28 pp.
- Palmer, T. N., G. J. Shutts and R. Swinbank, 1986: Alleviation of a systematic westerly bias in general circulation and numerical weather prediction models through an orographic gravity wave drag parameterization. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 112, 1001-1039.
- Vernekar, A., B. Kirtman, J. Zhou, and D. Dewitt, : Orographic gravity-wave drag effects on medium-range forecasts with a General Circulation Model. 295-307.

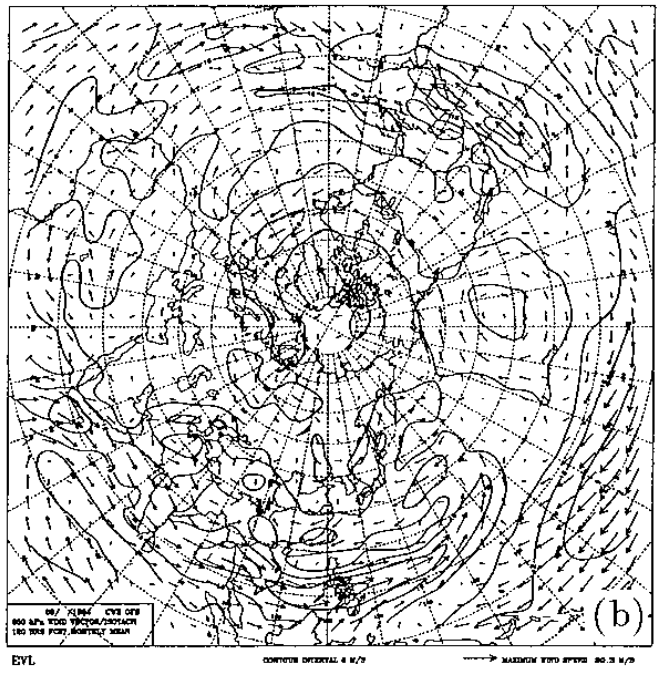
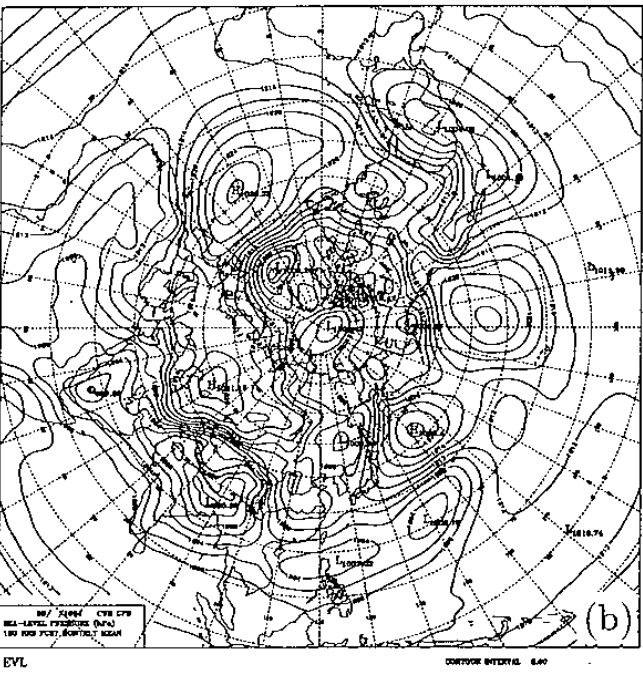
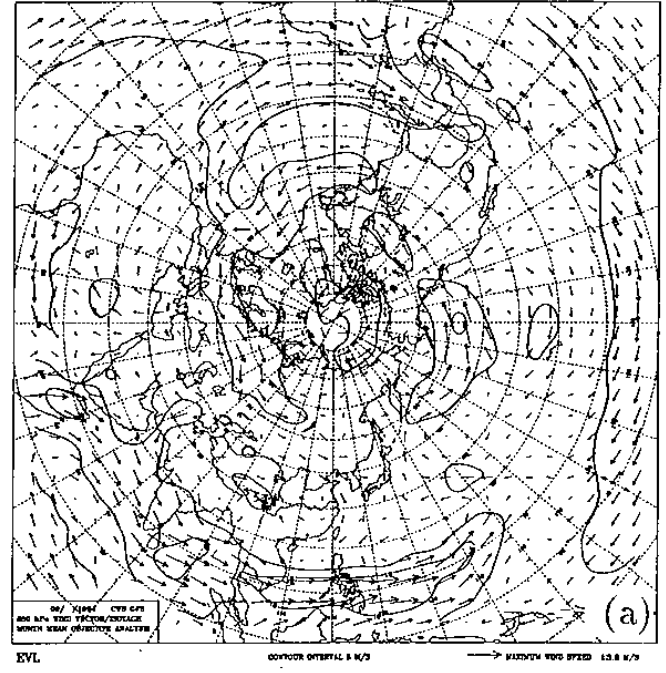
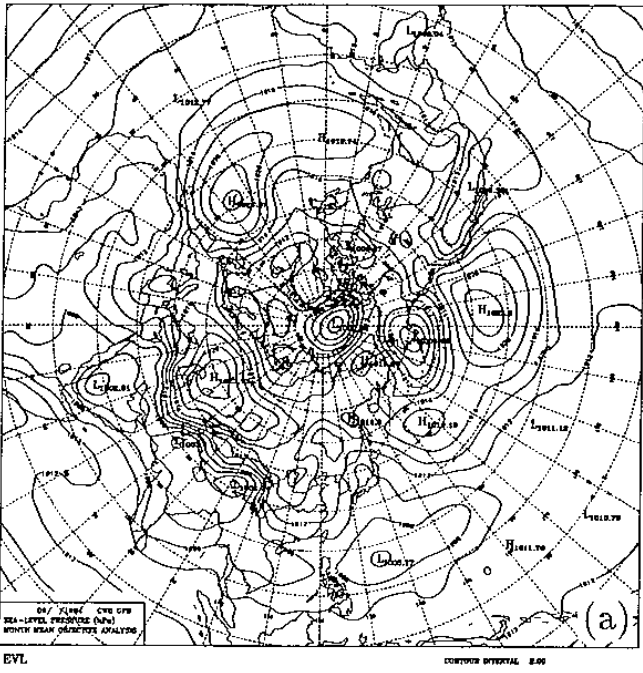


圖1. 1994年9月平均海平面氣壓：(a)分析場，(b) 120小時預報場。

圖2. 1994年9月平均850百帕風速：(a)分析場，(b) 120小時預報場。

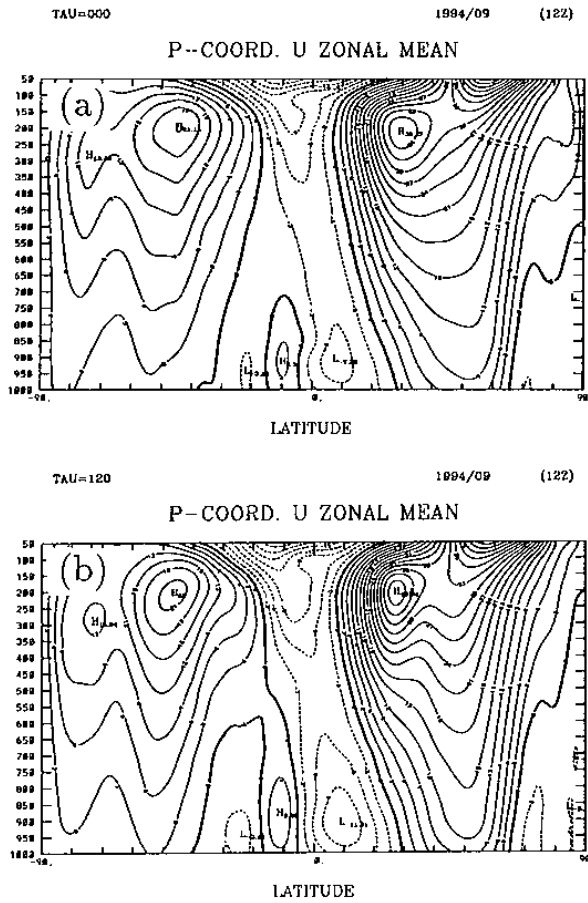


圖3. 1994年9月平均緯向風垂直剖面圖：(a)分析場，(b)120小時預報場。

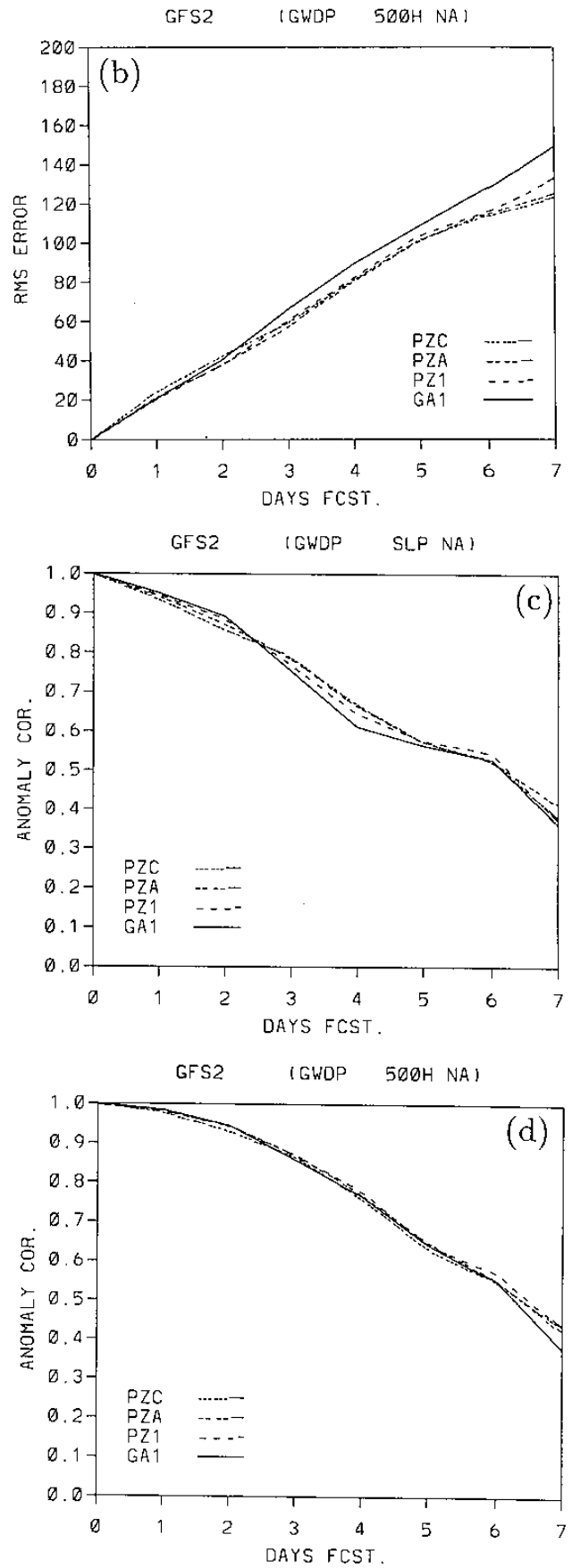
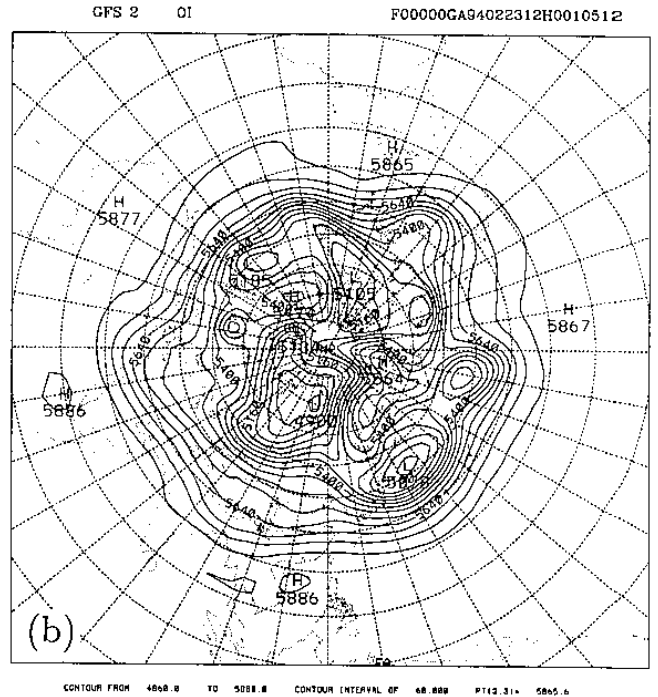
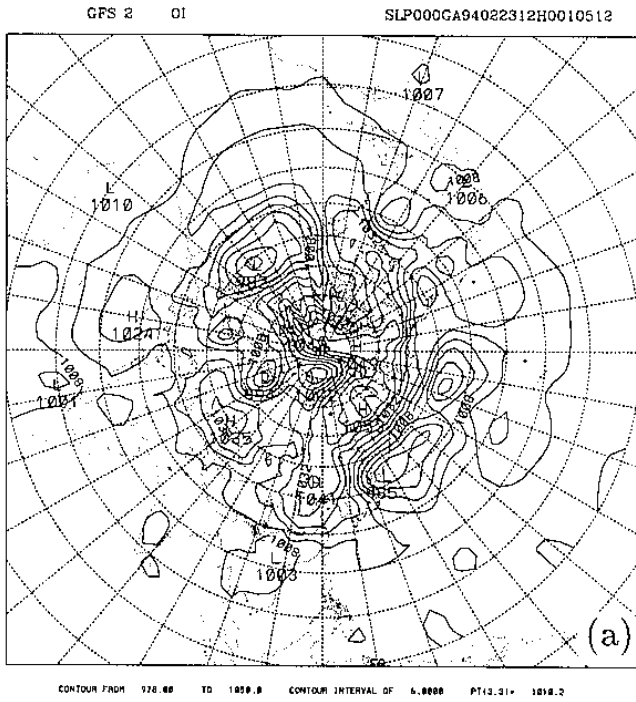


圖4. 參考層之測試，其中GA1表無次網格地形參數化，PA1、PZA及PZC分別為次網格地形參數化時參考層為模式最下層、最下第二層及最下面三層之平均。(a)(b)為海平面氣壓及500百帕高度場之均方根誤差，(c)(d)為海平面氣壓及500百帕高度場之距平相關得分。



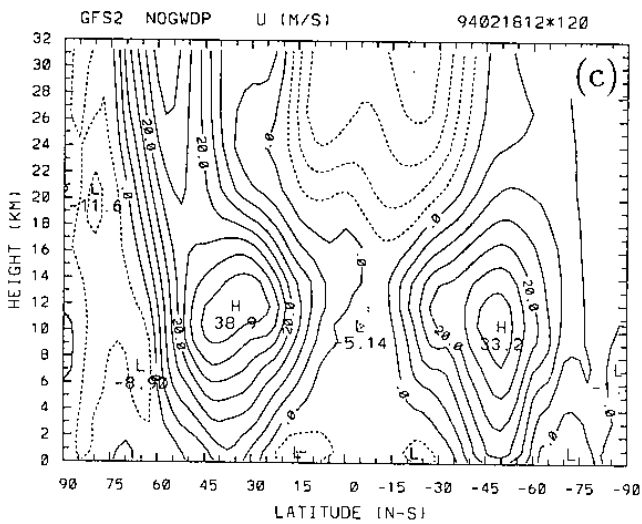
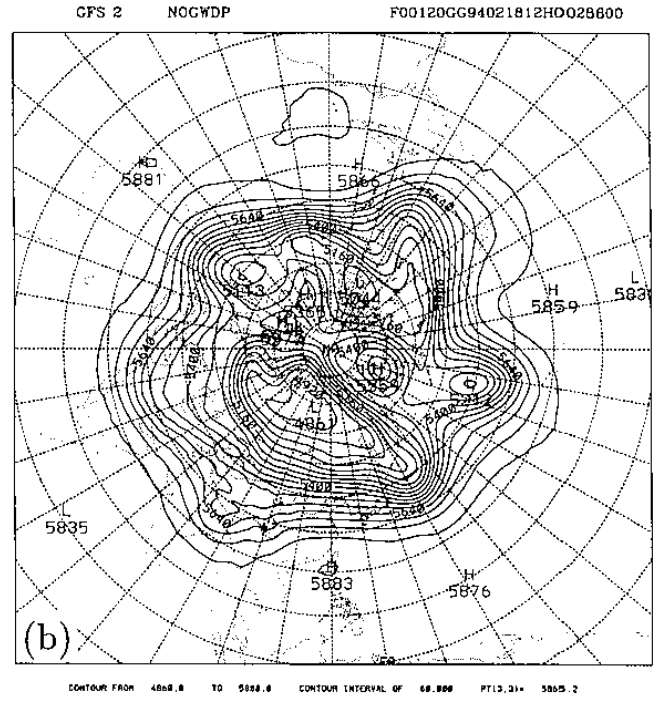
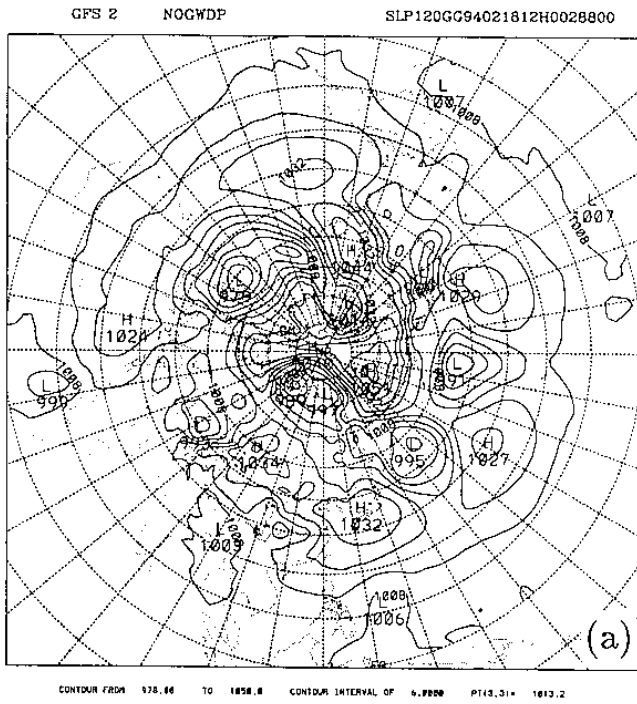


圖6. 1994年2月18日12Z未加入次網格地形參數化時之120小時預報。(a)海平面氣壓，(b)500百帕高度場，(c)平均緯向風垂直剖面圖。



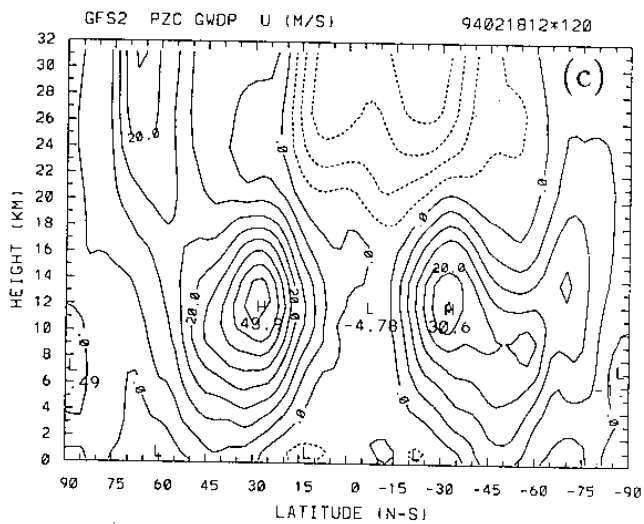
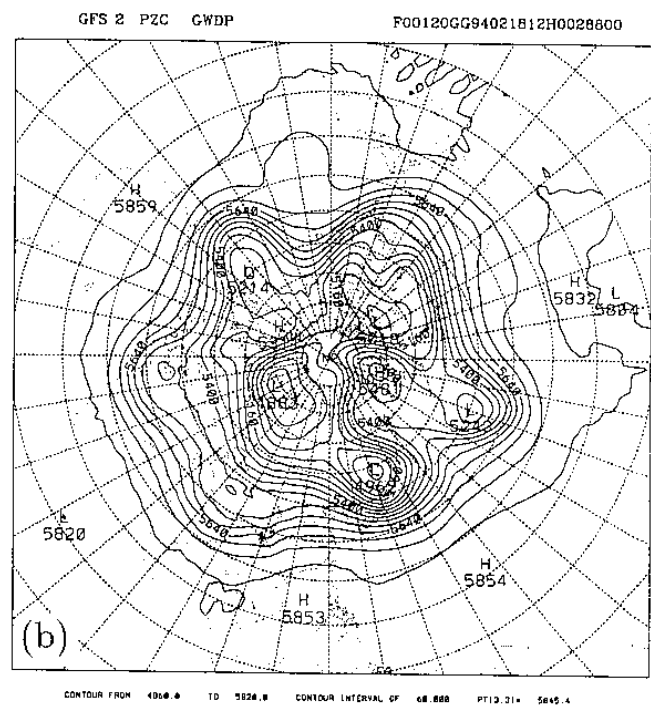
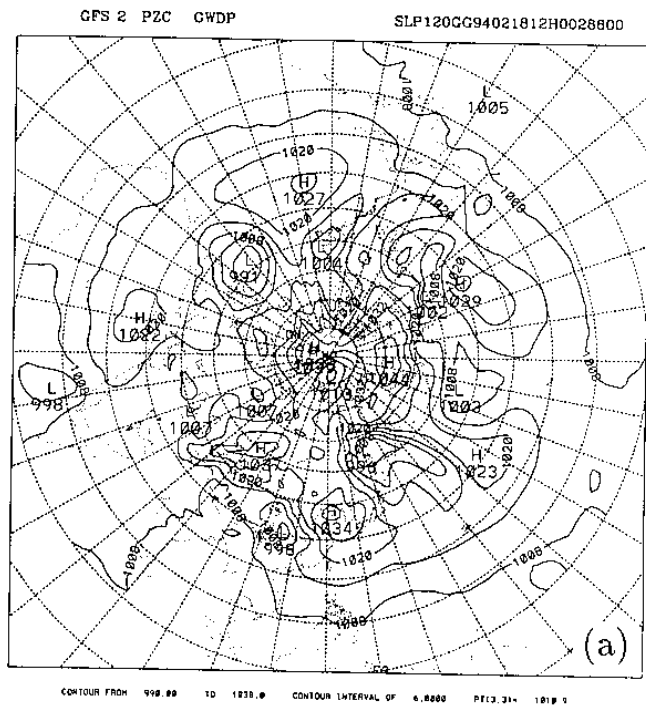


圖7. 1994年2月18日12Z加入次網格地形參數化時之120小時預報。(a)海平面氣壓，(b)500百帕高度場，(c)平均緯向風垂直剖面圖。

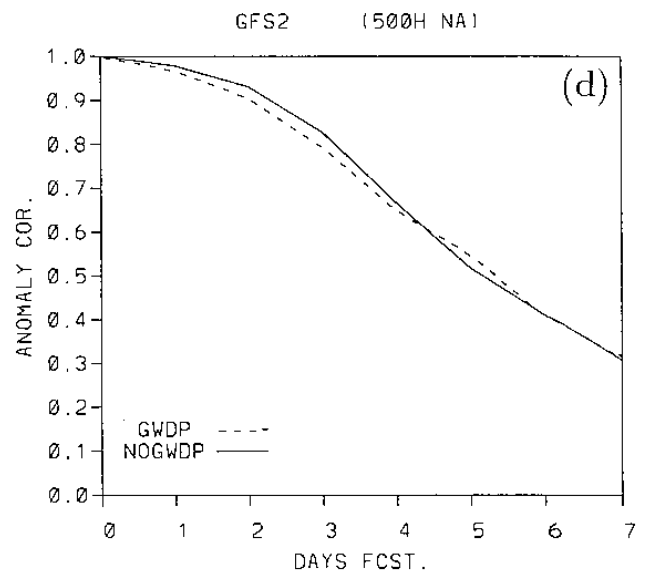
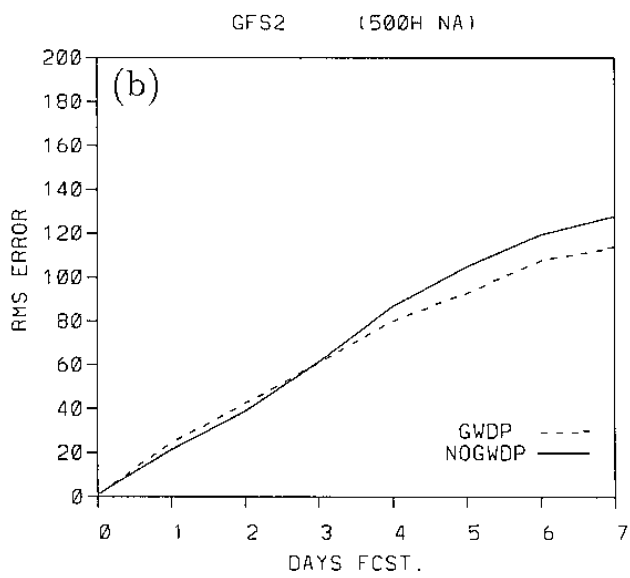
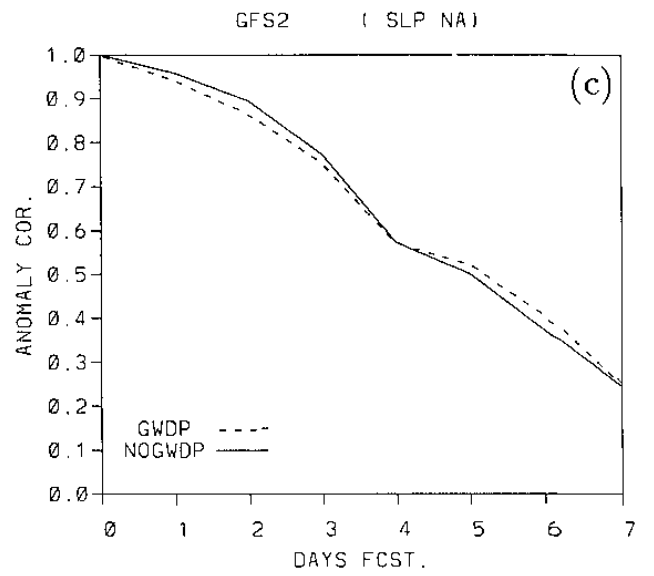
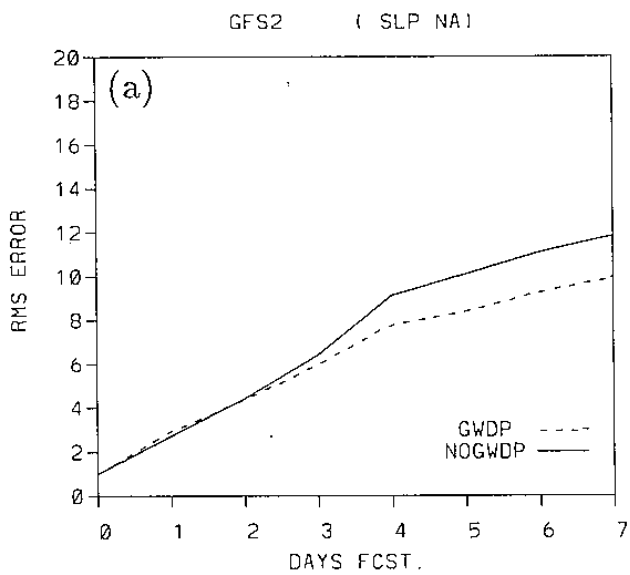


圖8. 1994年2月18日、1994年3月18日及1994年10月12日之平均(a)(b)為海平面氣壓及500百帕高度場之均方根誤差，(c)(d)為海平面氣壓及500百帕高度場之距平相關得分。