

以 GSI 同化 GPSRO 資料對中央氣象局全球預報系統之影響

沈彥志¹ 馮欽賜² 陳雯美¹ 曹伶伶¹ 陳御群¹ 楊明仁³
中央氣象局氣象科技研究中心¹ 中央氣象局氣象資訊中心² 國立中央大學大氣科學系³
中央氣象局

摘要

格點統計內插(Gridpoint Statistical Interpolation, GSI)為目前美國環境預報中心(NCEP)之作業資料同化系統,分別運用於其全球數值預報模式(NCEP GFS)與區域數值預報模式(WRF-NMM),此資料同化系統亦為中央氣象局欲建置的下一代作業資料同化系統,以取代目前作業版之波譜統計內插(Spectral Statistical Interpolation, SSI)系統。GPSRO 掩星觀測資料則是以 GPS 技術為基礎以求得大氣中垂直方向的資料。GPSRO 觀測不受到陸地與海洋的限制,可均勻分布在全球各地。目前氣象局 GPSRO 資料最大的來源即為福衛三號衛星(FORMOSAT-3/COSMIC),其可提供全球各地每天約 2000-2500 筆掩星觀測資料。

本研究的目的即在於使用 GSI 同化系統以同化福衛三號之 GPSRO 觀測資料,來探討此一資料對於中央氣象局全球數值模式預報系統的影響。除了比較均以 GSI 同化系統為基礎的實驗組以外,另將比較以原先 SSI 為同化系統的作業版預報結果。此外,由於觀測資料的季節性差異,將以 2009 年 8 月作為夏季,2009 年 12 月作為冬季,探討 GPSRO 資料在不同季節對於中央氣象局全球預報系統的影響。

關鍵字：格點統計內插(GSI)、GPS 掩星資料(GPSRO)

一、前言

格點統計內插(Grid Statistics Interpolation, GSI)系統為目前 NCEP 所使用之新一代資料同化系統,分別應用於其全球數值預報模式(NCEP GFS)與區域數值預報模式(WRF-NMM)中。此資料同化系統亦為目前中央氣象局欲建置的下一代作業資料同化系統,以取代目前作業版之波譜統計內插(Spectral Statistical Interpolation, SSI)系統。中央氣象局已從 2009 年開始,針對全球預報模式方面測試 GSI 系統(吳等人 2009; 陳等人 2009),並預期在 2010 年 7 月作業上線。台灣所發射的福衛三號(Formosat-3/COSMIC)氣象衛星取得的 GPSRO 資料(包括折射率、彎角等)亦可透過 GSI 資料同化系統同化至 NCEP 的全球模式中。目前在 NCEP 全球模式的 GPSRO 同化相關技術已經建置完成,並且穩定運作中。

NCEP 之 GPSRO 資料同化技術在 2009 年初有重大改進(Cucurull 2010),並於 2009 年 12 月納入 NCEP 作業程序。這一次的改進包含:更新觀測算子與改進品質控管(Quality Control)。一般折射率所用的觀測算子兩項式,如下:

$$N = 77.6 \left(\frac{P}{T} \right) + 3.73 \times 10^5 \left(\frac{P_w}{T^2} \right) \quad (1.1)$$

(1.1) 式為目前大多數作業中心所使用。新的觀測算子則改進為三項,為:

$$N = k_1 \left(\frac{P_d}{T} \right) + k_2 \left(\frac{P_w}{T} \right) + k_3 \left(\frac{P_w}{T^2} \right) \quad (1.2)$$

(1.2) 式則為新的觀測算子 (Bevis et al. 2004)。其中可發現(1.1)第一項之壓力已經分出乾空氣與濕空氣壓力。而這些觀測算子中,最重要的就是決定其係數。由 NCEP 全球模式實驗結果,在獲得最好的一組係數組是 Bevis et al.(2004)所提出的,分別為 $k_1=77.60[\text{Kmb}^{-1}]$; $k_2=70.4[\text{Kmb}^{-1}]$; $k_3=3.739[105 \text{ K}^2\text{mb}^{-1}]$ 。(Cucurull 2010)

品質控管(Quality Control)是此次更新中最大的改進,舊有技術以地區及高度來判別是否通過品質控管,新技術更進一步加入溫度的參數。若是觀測與模式計算得出的折射率差異百分比超過門檻值(threshold)的 3 倍,則此一觀測會被濾除不予使用。門檻值則根據模式與觀測差異一段時間的統計得來。此一改進將大幅提升中低層的同化率,尤以熱帶為最。(Cucurull 2010)

本研究即以此 NCEP GSI 最新作業版本,同化福衛三號 GPSRO 資料,其對於中央氣象局全球預報模式(此後簡稱為 CWB-GFS)的影響。

二、實驗設計

本研究所使用的模式為 CWB-GFS。現行作業版本的水平解析度為 T240,垂直 σ 座標共 30 層。由於觀測資料取得完整性問題,在預報策略上分為後執行(post run)與主執行(major run),此兩種均為同化循環,不同之處在於,後執行會等到所有觀測資料均取得後才開始進行同化與預報,而主執行會受限於預報

發布時間，在 3 小時內將所有已取得之資料同化進全球模式並做預報。在初步想了解 GPSRO 資料對於其餘觀測較完整情況下的影響，因此本研究將以後執行的預報結果為準。

實驗期間為 2009 年 7 月 22 日至 2009 年 12 月 31 日，2009 年 7 月 22 日至 2009 年 7 月 31 日視為調整期。實驗進行 6 小時之資料同化循環(update cycle)，並於每天 0000UTC 以及 1200UTC 進行兩次五天的預報。結果將聚焦於 2009 年 8 月(夏季月份)與 2009 年 12 月(冬季月份)的五天預報表現，包含模式五天預報及分析場計算之距平相關(Anomaly Correlation, AC)以及均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)。實驗所使用的觀測包含 EC 分析場、傳統觀測資料、NOAA15 之 AMSUA 衛星資料(AMSUA-N15)與 GPSRO 資料。有關 EC 分析場的使用，在後執行部分，將 2.5 x 2.5 度 EC 分析場中 850hPa 溫度場與 850hPa, 700hPa, 500hPa, 200hPa 風場作為觀測資料同化進入 CWB-GFS 分析場，而主執行部份，亦使用相同的層場，不同處在於同化進入的是 EC 24 小時的預報場。實驗共有三組，第一組為使用 GSI 同化 GPSRO 與其餘觀測的 GPS 實驗；第二組為使用 GSI 同化非 GPSRO 之其餘觀測的 CNTL 實驗；第三組為目前使用 SSI 同化系統的作業版本 OPS 實驗。

此外，在本研究所使用的 GPSRO 資料僅來自於福衛三號衛星，尚未包含 GRACE-A 與 GRAS 之 GPSRO 資料，此二來源的 GPSRO 資料影響將會在未來繼續研究。

三、實驗分析

GPSRO 觀測資料在 CWB-GFS 下，使用 GSI 同化系統，2009 年 8 月(夏季月份)平均同化率為 72.79%；2009 年 12 月(冬季月份)平均同化率為 73.78%。相對於 NCEP-GFS 的 GPSRO 同化率而言 75~80%，在中央氣象局所得的同化率可視為良好的結果。

圖 1 為 2009 年 8 月 GPSRO 觀測值與背景場之差異統計。其中，比例值(ratios)的定義為：

$$\text{ratio} = \frac{\text{obs_N} - \text{model_N}}{\text{O}} \quad (3.1)$$

即為觀測折射率(obs_N)減去模式反演而得之折射率(model_N)，除以所給定的觀測誤差(O)。在給定的觀測誤差中，包含了儀器誤差(instrument error)與代表性誤差(representativeness error)。然而觀測與模式的差值除了包含此兩種誤差外，尚有模式誤差(model error)存在，因此此比例值的大小應落在 1.0 至 2.0 之間，若非，則代表給定的觀測誤差不適當，比例值過大表示過於相信觀測，過小表示過於相信背景。而根

據經驗，比例值落於 1.2 至 1.4 之間為最佳情形。圖 1 顯示北半球 4 至 7 公里處比例值偏大，熱帶地區 5 至 10 公里處偏大，南半球 13 至 19 公里處偏大。在初步了解使用 GSI 同化 GPSRO 資料對於 CWB-GFS 影響的前提下，目前實驗所使用的觀測誤差(O)為 NCEP 所使用的預設值，尚未根據氣象局全球模式統計求得，所以會有部份區域比例值偏大的情形。

而在 2009 年 12 月 GPSRO 觀測值與背景場之差異統計圖中(圖未示)，北(南)半球的比例值垂直分布則和 2009 年 8 月南(北)半球類似，尤以 7 公里以下的中低層最明顯。顯示比例值垂直分布存在季節變化特性。

另外圖 1 可看出各區域，平均誤差在 17 至 20 公里間均有變號的情形，此一原因是因為對流層頂在這個高度附近。

此外，有無同化 GPSRO 資料對於同化衛星觀測資料的校正亦有幫助。圖 2 顯示在未加入 GPSRO 觀測資料的 CNTL 實驗中，在實驗進行至 2009 年 8 月下旬時，AMSUA_N15 衛星資料亮溫在南半球開始產生偏差，最大值發生在 2009 年 9 月中，約為-1.8 度，直至 10 月中才漸漸調整至正常。反觀加入 GPSRO 觀測資料的 GPS 實驗，在此期間並未發生太大的偏差值。在缺乏傳統觀測資料的南半球，GPSRO 觀測資料在此區域不僅能提供觀測資料，更能幫助衛星資料的校正。

四、實驗結果

圖 3 為 2009 年 8 月(夏季月份)三組實驗在 500mb 高度之五天預報高度場的距平相關。首先比較 CNTL 和 GPS 實驗的差距，在北半球，兩組實驗的五天預報表現大致相仿，CNTL 實驗雖些微較佳，但已可視為相近(neutral)。而在南半球，GPS 實驗則有大幅改進，比 CNTL 多了約 0.02，相當於在第五天預報中有 4 到 6 小時的預報改進。進一步比較 GPS 實驗與作業版 OPS 實驗，無論在南北半球均可看出改進，北半球約有 0.005，南半球約有 0.023 的改進，此外由圖 3 還可看出，GPS 實驗對於數個 CNTL 或是 OPS 實驗會有的 AC 急速下降個案都有很好的改進。至於其餘各層方面(圖未示)，北半球在低層(850mb)處，GPS 實驗較 CNTL 實驗稍差，但仍然優於作業 OPS 實驗。中高層(300mb)處，CNTL 和 GPS 實驗大致相仿，且優於 OPS 實驗。高層(100mb)處，GPS 實驗優於 CNTL 實驗，且 CNTL 實驗優於 OPS 實驗。在中高層以下，GPS 實驗會和 CNTL 實驗相近甚至稍差的原因，可能是因為在此區的比例值偏大的原因(如圖 1 左上)。而在南半球方面，GPS 實驗在垂直各層均比 CNTL 實驗和 OPS 實驗好，顯示 GPSRO 觀測資料在南半球的重要性。

圖 4 為 2009 年 12 月(冬季月份) 三組實驗在 500mb 高度之五天預報高度場的距平相關。在北半球方面，三組實驗的表現非常接近，不過 GPS 實驗仍稍微好一些，比 CNTL 多了約 0.001，比 OPS 多了約 0.004。在南半球方面也有同樣的結論，GPS 實驗較 CNTL 好了 0.006，較 OPS 好了 0.023。至於其餘各層方面(圖未示)，北半球在低層(850mb)處，亦是 GPS 實驗優於 CNTL 實驗，再優於 OPS 實驗。中高層(300mb)處，CNTL 和 GPS 實驗大致相仿，且優於 OPS 實驗。高層(100mb)處，GPS 實驗優於 CNTL 實驗，再優於 OPS 實驗。南半球方面，和夏季一樣的結果，GPS 實驗在垂直各層的表現都較好。

圖 5 是 2009 年 8 月(夏季月份)三組實驗五天預報之垂直各層溫度的均方根誤差。在南半球與熱帶地區，GPS 實驗的溫度均方根誤差都是三組實驗中最小的。在北半球地區，除了在部份中高層外(400, 300, 250mb)，GPS 實驗的溫度均方根誤差一樣也是最小的。圖 6 是 2009 年 12 月(冬季月份) 五天預報之垂直各層溫度的均方根誤差，所得到的結論與夏季類似，但 GPS 實驗誤差較 CNTL 高的是在南半球的同樣高度。由圖 1 與上一節所述，可知在夏半球的中低層觀測與背景場差異所得的比例值(ratio)偏大，可能就是讓夏半球這些高度誤差較 CNTL 大的原因之一。

表一是 2009 年 8 月 1 日至 2010 年 1 月 25 日共近六個月的五天預報之高度距平相關差異在各高度的表現。由表中可以得知，相對於 OPS 作業而言，GPS 實驗在南北半球各高度均獲得較好的結果，僅在北半球 300mb 處略低於 CNTL 實驗的表現，其餘均有相仿或是良好的結果。

五、結論

GSI 同化系統是現行 NCEP 作業的三維變分資料同化系統，亦是中央氣象局擬在今(2010)年中更新以取代 SSI 的新系統。本研究使用 GSI 系統探討 GPSRO 觀測資料的影響，並比較目前中央氣象局作業中的 SSI 系統。

使用 GSI 系統同化 GPSRO 觀測資料的同化率約為 73 至 74%之間，與美國國家環境預測中心的 75 至 80%之間相比，氣象局所得的同化率實屬良好的結果。而因為初步了解 GPSRO 觀測資料對於 CWB-GFS 的影響，給定的觀測誤差(O)暫時使用 NCEP 所給定的預設值。在此情況之下，夏、冬兩季的比例值大致落在 1.0 至 2.0 之間，尚屬合理，然部分高度略為偏大，有待日後進一步修改觀測誤差以調整至最好的狀況。此外，加入 GPSRO 觀測資料亦有助於其他衛星資料(如 AMSUA-N15)的校正。

由實驗結果得知，在同為 GSI 系統下，GPSRO 對於 CWB-GFS 的影響多屬正面，尤其是在南半球更

對於模式預報表現有良好的影響。在北半球則是中立(neutral)至良好的表現，愈高層表現愈佳。大致來說，GPSRO 觀測資料對於南半球在 500mb 的高度距平相關的五至六天預報表現，增進了約 4 至 6 小時的改進。若進一步與目前的 SSI 作業系統比較，則加入 GPSRO 資料的實驗在南北半球垂直各層均明顯看出改進。同樣地亦減低各層的溫度均方根誤差。

在下一步的相關研究中，將會調整所給定的觀測誤差，使觀測與背景場的差異達到理想的狀況，讓分析系統可適當地同化各地各高度的 GPSRO 觀測資料。此外，還會加入福衛三號衛星以外的 GPSRO 資料，包含 GRACE-A 與 GRAS 之 GPSRO 資料，將可發揮出 GPSRO 觀測的最大效益。

參考文獻

- 吳家苓, 陳雯美, 沈彥志, 吳婉淑, 2009: “GSI 應用於中央氣象局全球數值預報系統之初步研究”, 天氣分析研討會
- 陳雯美, 吳家苓, 沈彥志, 吳婉淑, 2009: “GSI 中 TLNMC 對中央氣象局全球數值預報系統之影響”, 天氣分析研討會
- Bevis, M., S. Businger, S. Chiswell, T. A. Herring, R. A. Anthes, C. Rocken, and R. H. Ware, 1994: “GPS Meteorology: Mapping Zenith Wet Delays onto Precipitable Water”, *J. App. Meteor*, 33, 3, 379-386.
- Cucurull, L., 2010: “Improvement in the use of an operational constellation of GPS Radio-Occultation receivers in weather forecasting”, *Weather and Forecasting*, in press.

NH	GPS	CNTL	SH	GPS	CNTL
100hPa	0.010	-0.003	100hPa	0.010	-0.004
300hPa	0.004	0.006	300hPa	0.013	0.004
500hPa	0.004	0.004	500hPa	0.014	0.007
850hPa	0.006	0.005	850hPa	0.021	0.012

表一：2009 年 8 月 1 日至 2010 年 1 月 25 日五天預報之高度距平相關差異在各氣壓層的表現，表中數字為 GPS 與 CNTL 實驗在此區域此高度減去 OPS 實驗之高度距平相關值。正值代表有正向影響，負值則否。

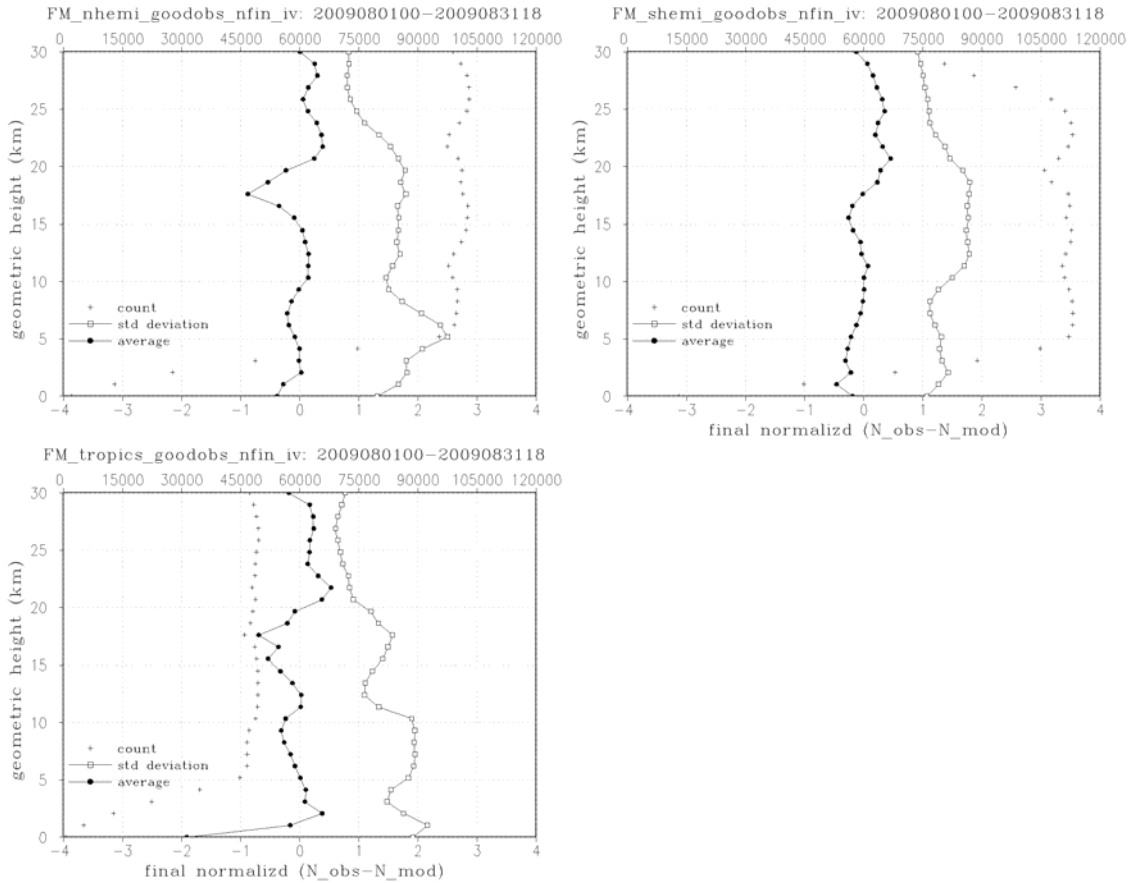


圖 1：2009 年 8 月 GPSRO 觀測資料與背景場之差異。實心圓線為平均差異值，已經過標準化處理。空心方線為比例值。十字點為每公里所同化的觀測數目。左上圖為北半球，左下圖為熱帶區域，右上圖為南半球。

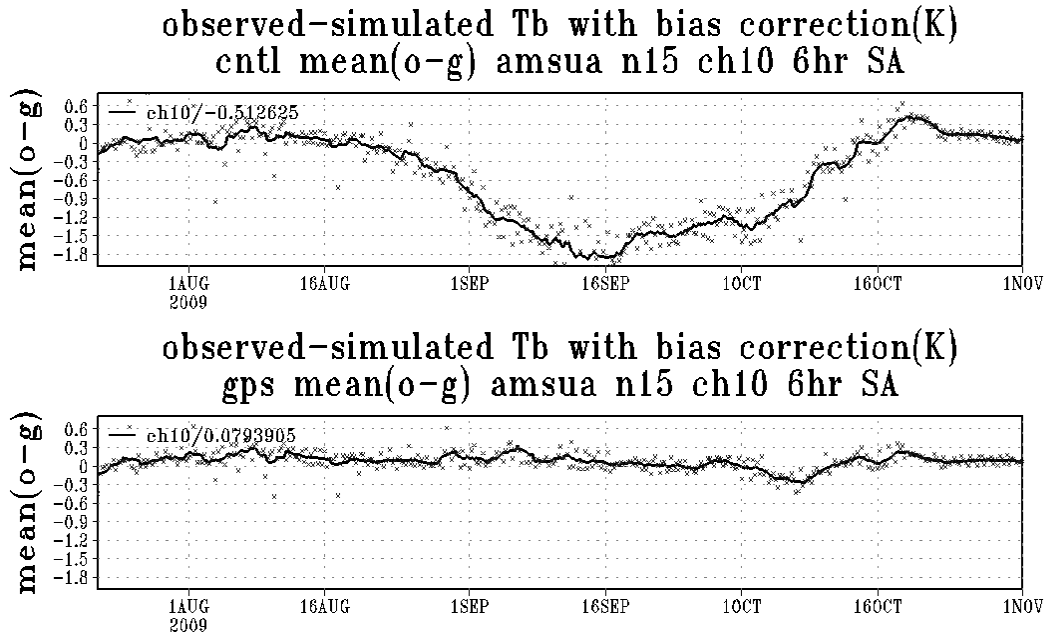


圖 2：AMSUA_N15 衛星資料亮溫，在南半球 2009 年 7 月 22 日至 11 月 1 日期間隨時間的校正(觀測與背景場之差值)，頻道為第 10 頻道，觀測高度自 10 至 40 公里，尖峰值在 20 至 21 公里處。上圖為 CNTL 實驗南半球亮溫隨時間的校正，下圖為 GPS 實驗。星點為每六小時校正平均值，黑色實線為移動平均。

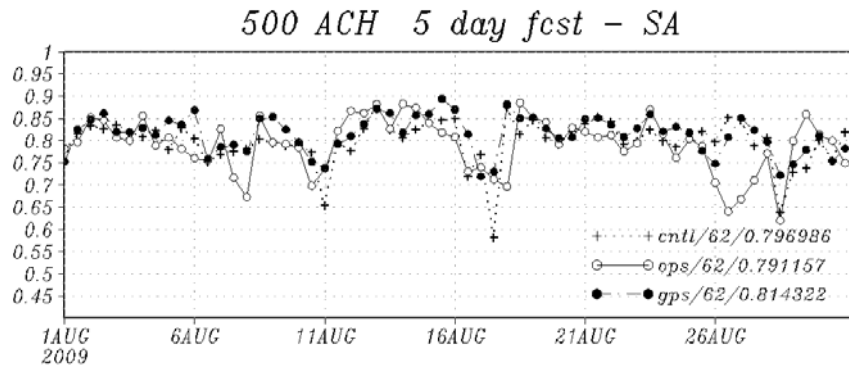
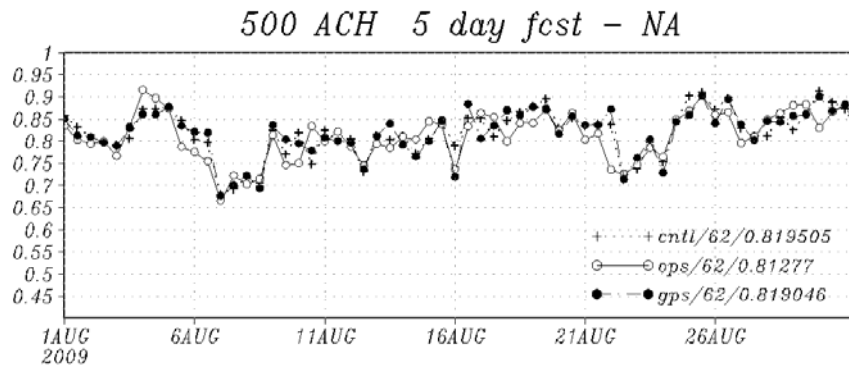


圖 3：2009 年 8 月三組實驗在 500mb 高度之五天預報高度場的距平相關隨時間的變化。十字點線為 CNTL 實驗；空心圓實線為作業版本，OPS 實驗；實心圓虛線為 GPS 實驗。上圖為北半球，下圖為南半球，每十二小時一筆資料。

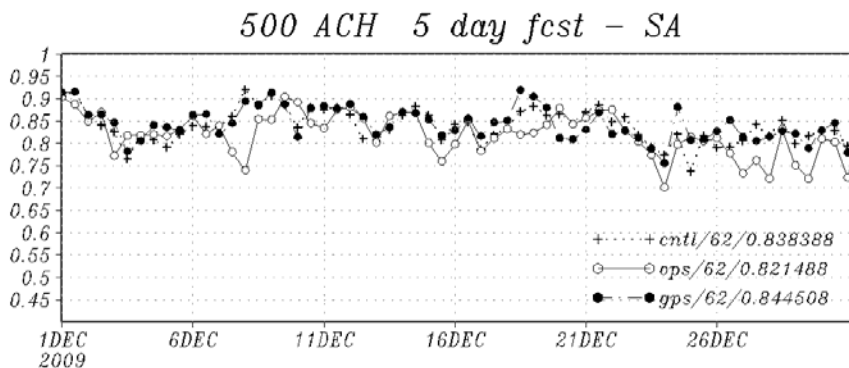
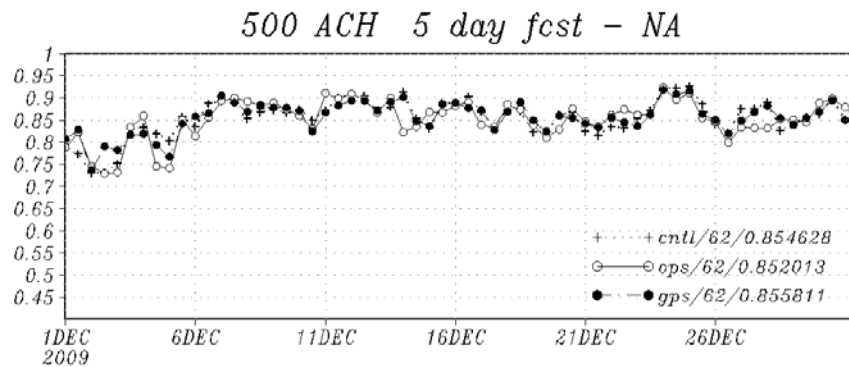


圖 4：2009 年 12 月三組實驗在 500mb 高度之五天預報高度場的距平相關隨時間的變化。圖形相關定義如圖 3。

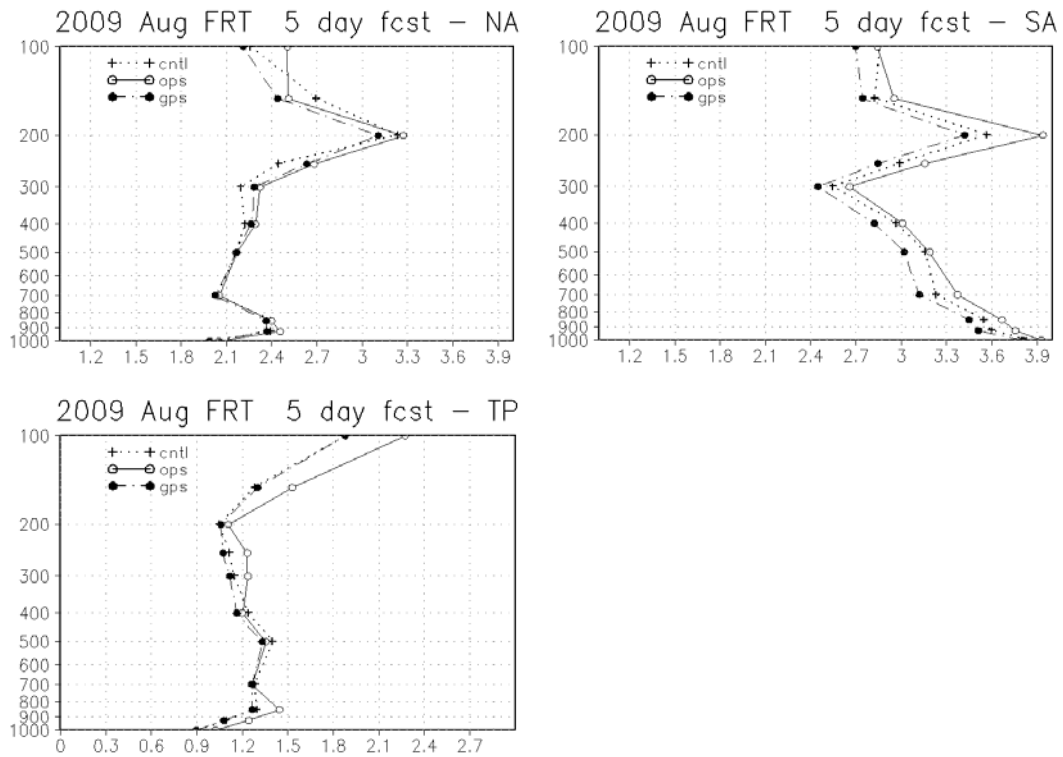


圖 5：2009 年 8 月三組實驗五天預報的溫度均方根誤差隨氣壓的變化。縱軸為氣壓，單位是 mb。十字點線為 CNTL 實驗；空心圓實線為作業版本，OPS 實驗；實心圓虛線為 GPS 實驗。左上圖為北半球，左下圖為熱帶區域，右上圖為南半球。

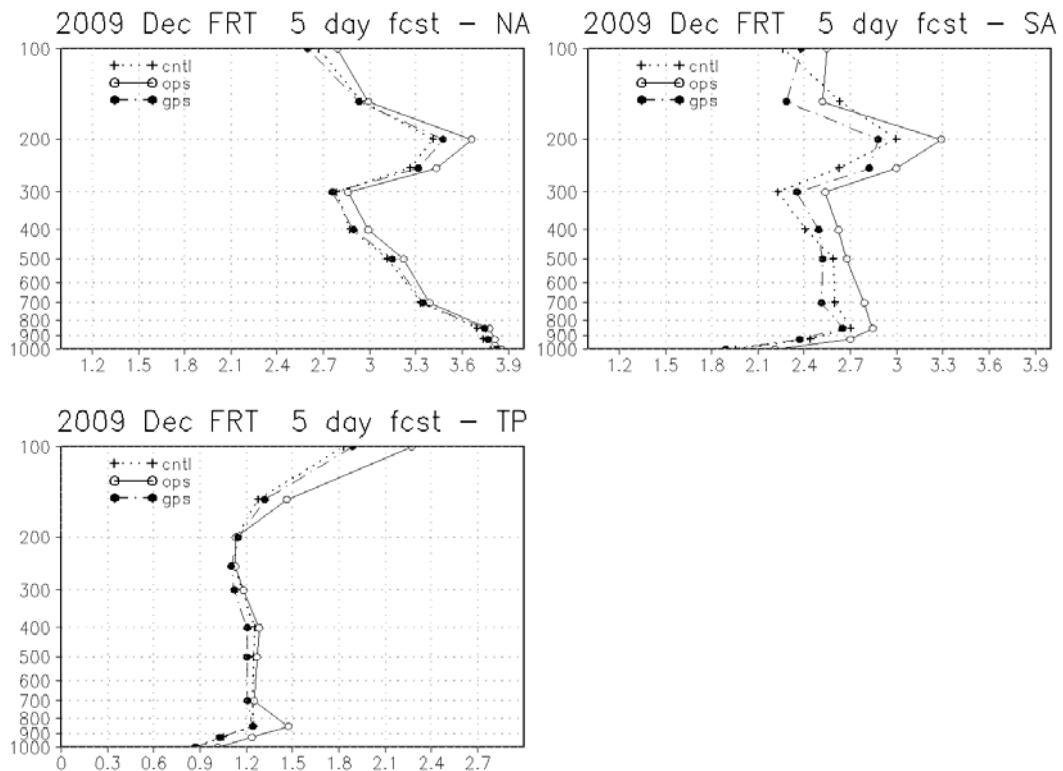


圖 6：2009 年 12 月三組實驗五天預報的溫度均方根誤差隨氣壓的變化。圖形定義如圖 5。