

同化福衛三號GPS RO觀測局地折射率探空 應用於中央氣象局全球預報系統之影響

陳御群¹ 楊明仁² 馮欽賜¹ 曾建翰¹

中央氣象局¹ 國立中央大學大氣科學系²

摘要

福爾摩沙衛星三號(FORMOSAT-3/COSMIC)所提供的垂直高解析度及水平全球均勻分布之GPS RO (GPS無線電掩星)觀測資料,已被世界各大中心納入作業同化分析,並對其預報結果產生正面影響。針對將福衛三號GPS RO觀測之折射率探空納入CWB/GFS同化,中央氣象局之GFS已完成了以建置局地折射率觀測算子之GFS/3DVAR,並以先於高解析度(T239L30)環境下同化非GPS觀測資料,再於低解析度(T79L30)環境下單獨同化GPS觀測資料的兩階段同化方式對GPS RO觀測進行同化分析及探討其影響。在應用了全球分區垂直向觀測權重函數,與充分使用資料的情況下(資料使用率達~75%),分別進行了2007年7月與2008年1月的post-run實驗,以代表夏天和冬天的表現。實驗結果顯示將GPS RO觀測資料納入中央氣象局全球預報系統進行分析後,其分析對於全球的短期預報結果,均可產生中性或偏正面影響,尤其對於南半球的重力位高度場、溫度場以及風場的預報普遍均有非常顯著的改善。基於上述結果,中央氣象局於今年(2009)7月正式將福衛三號GPS RO觀測局地折射率探空納入其全球預報系統進行三維資料同化分析作業。

關鍵字：福爾摩沙衛星三號、GPS無線電掩星、資料同化、局地折射率

一、前言

「福爾摩沙衛星三號」(FORMOSAT-3/COSMIC)已於2006年4月15日成功的發射了6顆微衛星群組升空,目前每天約可提供約1600~2200筆地球大氣層熱力、質量及水汽場的臨邊探空(limb sounding)觀測資料。針對將福衛三號GPS RO觀測之折射率探空納入CWB/GFS同化,中央氣象局已完成了以建置了局地折射率觀測算子之GFS/3DVAR,在全球預報模式T179L30的解析度下,已分別對2007年1月及7月進行過對預報的影響測試,測試結果指出將GPS RO觀測的折射率納入同化之後,對於南半球與北半球的預報結果具有統計顯著性的正面影響已集中性影響。

根據上述結果,預期在將GPS RO觀測納入同化之後,對於中央氣象局現行作業之CWB/GFS(解析度為T239L30)預報結果將有所提升,故本文的目的在於將GPS RO觀測的同化應用於現行作業版本之CWB/GFS,並在對預報維持於中性偏正面影響的前提下,於將GPS RO觀測納入同化之CWB/GFS正式上線作業(2009年7月)之前,作最後全面性的影響評估。本文主要分為四大部分,第一部分為前言,第二部份為實驗概況:說明實驗的設定,第三部份為實驗結果:探討模式預報得分的結果以,第四部份為結論。

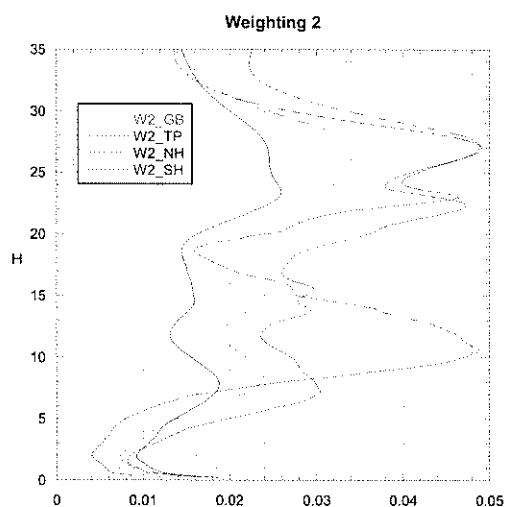
二、實驗概況

1. 分區觀測權重函數估算及其影響

研究指出,以全球均一之垂直向觀測權重函數同化GPS RO 局地折射率,對於預報的影響,幾乎無法取得對全球皆有正面或中性影響之均衡結果,因此,估算出全球分區的垂直向觀測權重函數以取代原本測試用之全球均一垂直向觀測權重函數為本文的重點之一。分區方式主要是將全球分為南半球(80°S~20°S)、熱帶地區(20°S~20°N)以及北半球(20°N~80°N)三大區域,分別統計估算各區域之觀測權重。垂直向觀測權重函數表示式如下

$$w_2(H) = \frac{1}{RMS(N_{mod}(H) - N_{obs}(H))^2} \cdot [\exp(-\frac{H}{7.7})]^2$$

上式中 w_2 即為垂直向觀測權重, H 為垂直高度(單位為公里), N_{mod} 為模式局地折射率初估值, N_{obs} 為觀測折射率, $RMS()$ 為均方根值運算子。統計 2006 年 10 月、2007 年 3 月、2007 年 7 月以及 2008 年 1 月福衛三號 GPS RO 觀測之局地折射率探空與相對應之模式初估值局地折射率探空,共計 136064 對資料,求得全球分區垂直向觀測權重函數,圖一即為所示,其中橫軸為函數值,縱軸為高度(單位公里)。圖中橙色線為全球不分區的估算結果,而紅色線為分區熱帶,藍色線為分區北半球,綠色線為分區南半球之結果。由圖可知以分區垂直向觀測權重函數方能將各區的(觀測-初估值)之差的垂直向特性表現出來,並呈現於對目標函數的貢獻。



圖一 分區估算垂直向觀測權重函數，橫軸為函數值，縱軸為高度(單位公里)。圖中橙色線為全球不分區的估算結果，而紅色線為分區熱帶，藍色線為分區北半球，綠色線為分區南半球之結果。

2. 提升解析度

配合中央氣象局 GFS 的水平解析度提升至 T239, 本文亦將 3DVAR 之水平解析度由 T179 提升至 T239。基本上，對於同化 GPS RO 觀測的局地折射率探空的作法，亦採用兩階段(two steps)方式進行同化。所謂兩階段方式同化，即第一階段(Step I)以高解析度的 SSI 同化不包含 GPS RO 觀測之資料，並以 2 個外迴圈(outer loop)及每個外迴圈分別內含 200 個與 100 個內迭代迴圈(inner loop)進行最佳化求解。第二階段(Step II)以低解析度的 SSI 單一同化 GPS RO 觀測。在第二階段(Step II)以 GPS RO 觀測局地折射率算子進行同化的部份，以 1 node/2 tasks 的計算機資源下，同化可用觀測 484 筆局地折射率探空(2009 年 5 月 13 日 18 時個案)僅需耗時約 6 分 50 秒即可完成，計算所需時間十分經濟，可配合作業進行 post-run。

3. 提高納入同化之 GPS RO 觀測數

楊(2008)實驗的結果指出，影響納入同化的 GPS RO 觀測數最關鍵者，為資料品質控制中對於探空資料垂直完整性的檢驗，未達地者在熱帶地區及北半球幾乎均被捨棄。根據其研究，未達地之觀測(最底層觀測資料高於平均海平面高度以上 200 公尺者)會在同化過程中透過靜力平衡的效應過度的改變地面氣壓場的分析增量(analysis increment)，進而影響到高層的分析與預報。對此，為了維持加入 GPS RO 觀測做同化對於預報仍能保持中性至正面影響，捨棄掉會導致預報出現負面影響的未達地觀測，然而此舉則會捨棄掉近 65% 的 GPS RO 觀測探空。但本文之實驗已對於未達地觀測在同化過程中透過靜力平衡的效應過度的改變

地面氣壓場的分析增量的現象採取了一些措施予以修正，如以模式初估值彌足未達地觀測缺資料的部份，以及壓抑中高層垂直向觀測權重函數對目標函數的貢獻而採用 w2 觀測權重函數，故在觀測資料品質控制中對於探空資料垂直完整性的檢驗，應可以不再採用，藉此，也可以在大量的提高納入同化之 GPS RO 觀測數量，以發揮 GPS RO 在水平向全球均勻分布的優勢。

4. 以新版 GFS 預報模式進行 update-cycle 及預報

CWB/GFS 系統即將於今(2009)年 7 月以新版本的 GFS 全球預報模式，連同本文所建置 GPS RO 局地折射率觀測算子之 GFS/3DVAR 同時正式上線作業。為能模擬評估實際上線作業後的分析場對預報之影響，本文亦採用新版 GFS 預報模式進行 update-cycle 及預報。新版預報模式最主要是修改了積雲參數化，改採以 simplified Arakawa-Schubert (SAS)積雲參數化法取代舊版 Relaxed Arakawa-Schubert 積雲參數化法，以及行星邊界層參數化採用 Troen and Mahrt (1986)的邊界層參數化法。

三、實驗結果

以上一節所提，應用重新估算的分區垂直向觀測權重函數、水平解析度提升至 T239、取消觀測資料品質控制中對於探空資料垂直完整性的檢驗，以及採用新版 GFS 預報模式進行 update-cycle 及預報，吾人對 2007 年 7 月與 2008 年 1 月作一整個月之 post-run，分別代表夏季與冬季，進行福衛三號 GPS RO 觀測局地折射率同化實驗。實驗設計之 GPS RO 觀測資料品質控制條件如下：

- 捨棄 z-score 過大者；
- 觀測資料水平空間分佈互相距離在一網格距內者，保留較早發生之探空，其餘捨棄；
- 捨棄強迫（即初估值與觀測值的差值）過大者；
- 捨棄初估值與觀測有垂直向系統性誤差者；
- 捨棄觀測最底層資料高度低於高度過濾函數者；
- 在南半球地區（20°S 以南）未達地之探空以模式初估值彌足；
- 在熱帶地區（20°S~20°N）未達地之探空以模式初估值彌足；
- 在北半球地區（20°N 以北）之觀測探空於平均海平面高度上 5 公里以下之觀測值以初估值取代。

圖 2 為實驗期間福衛三號觀測 GPS RO 探空數統計圖，可看出取消了資料品質控制對未達地探空的限制之後，納入同化的觀測探空數大為提高，兩實驗

納入同化分析的 GPS RO 觀測數量約佔總接收可用觀測數量的 67%與 73%。此數量已達到與 NCEP 作業所納入同化的 GPS RO 觀測資料相近的資料使用率。

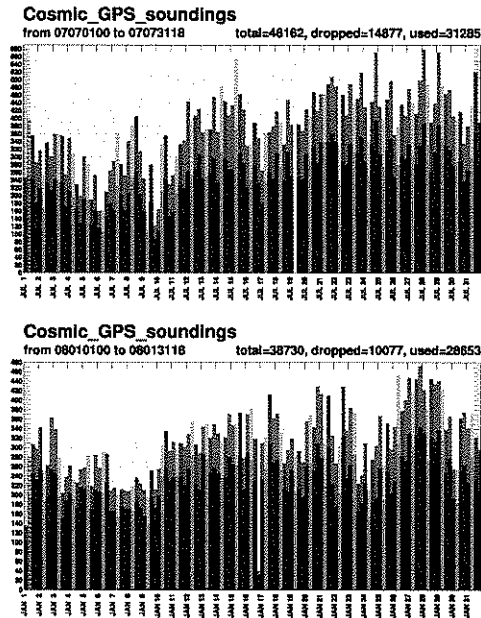


圖 2：上圖為 200707 實驗之統計結果，下圖為 200801 實驗之統計結果，兩圖皆為一整個月期間皆收到的福位三號 GPS RO 探空觀測總數(淺色)與納入同化觀測數(深色)。紅色柱，綠色柱、藍色柱與紫色柱分代表 00 時、06 時、12 時與 18 時的同化時窗。

對於預報結果的影響整月平均如圖 3、圖 4、圖 5、及圖 6 所示。圖 3 為重力位高度場的 AC score，圖 4 為重力位高度場的 r.m.s.e.，圖 5 為溫度場的 r.m.s.e.，圖 6 為 U 風場的 r.m.s.e.。各圖中之左圖為實驗 200707 (夏天)的結果，右圖為實驗 200801 (冬天)的結果；由上至下分別為北半球、南半球與熱帶地區。各區域預報得分分別都有 7 個子圖表示第 1 天預報到第 7 天預報的月平均結果，每個橫軸為預報得分的百分比差異(fractional difference)；AC score 定義為 $[(\text{gps 實驗}-\text{nogps 實驗})/(\text{nogps 實驗})] \times 100\%$ ，r.m.s.e 定義為 $[(\text{nogps 實驗}-\text{gps 實驗})/(\text{nogps 實驗})] \times 100\%$ ，故正值代表將 GPS RO 觀測納入同化會對於預報結果有正面影響。注意每個子圖橫軸大小範圍不一，縱軸為高度，上子圖中藍色曲線即為預報得分分數差隨高度的改變，紅色方塊的左右區間為其整月平均之 Student's t 分配的 95%信賴區間。

在重力位高度場 AC score 的預報表現上(圖 3)，夏天與冬天在北半球表現類似，除第七天預報有明顯的負面影響外，其餘一至六天均為中性影響，而冬天的負面影響要比夏天顯著。南半球在夏天與冬天均有顯著的正面影響，而最大的差異在於第七天預報，夏

天時的第七天預報偏向中性影響，然而冬天卻有非常顯著的正面影響，可說冬天南半球有一致的正面影響，且隨預報時間的延長影響更為顯著。熱帶地區在夏天時預報影響微正面影響，稍有中性影響，在冬天的一至六天預報均為中性影響，第七天預報有稍微不顯著的負面影響。

在重力位高度場 r.m.s.e.的預報表現上(圖 4)，北半球夏天顯著的中性偏正面影響，尤其有顯著的正面影響一致的出現在高層 70hPa 以上，冬天五天預報以前則一率都是中性影響，在第六天與第七天以後中低層則出現些微負面影響。南半球的夏天均有很顯著的正面影響，且除了第七天預報外垂直向上差異不明顯，冬天則在中低層有極為顯著且持續的正面影響，而在 50hPa 以上也有正面影響，然隨預報時間延長而趨向中性偏負的影響，另外在 100hPa~30hPa 間，自第三天至第七天為負面影響。在熱帶地區，夏天一開始預報即出現極為顯著的正面影響，然隨預報時間延長而越來越趨向中性影響，冬天則在第四天預報以前為中性偏正面影響，第四天預報以後為中性偏負面影響。

在溫度場 r.m.s.e.的預報表現上(圖 5)，北半球的冬天和夏天均由正面影響逐漸演變為中性影響，在夏天時垂直向上的差異比在冬天時來的明顯。南半球的結果則十分一致，夏天與冬天普遍均有持續性且顯著的正面影響。熱帶地區的影響也是十分的一致，夏天與冬天普遍均有持續性且顯著的正面影響，然隨著預報時間的延長而稍微偏向中性影響。

在 U 風場 r.m.s.e.的預報表現上(圖 6)，北半球的夏天在六天預報以前均為中性影響，第七天預報在高層為正面影響，在低層則為負面影響，冬天則是一開始預報實為正面影響，但是正面影響隨預報時間的延長而逐漸消失，終至第六天預報以後出現負面影響。南半球的表現則是十分一致，夏天和冬天均有極為顯著的正面影響，夏天之正面影響稍較冬天來的顯著。在熱帶地區，夏天的影響維持一致中性，而冬天則是中性偏正面影響。

四、結論

經過逐步的修改與調整以 CWB/GFS 對 GPS RO 觀測進行同化分析，使之在對於預報的影響保持在至少中性偏正面影響的原則下，整個系統已趨於完備，並且在與即將上線作業版本的 CWB/GFS 相同的條件下實驗模擬上線作業之後對預報的影響，所得的結果大致上亦能維持中性偏正面的影響，甚至也有非常顯著的正面影響。在對質量場的預報表現，北半球與熱帶普遍都維持中性影響，南半球有顯著的正面影響；對於溫度場預報的表現，北半球有正面偏中性的影響，南半球有顯著的正面影響，熱帶地區亦有正面影

響；對於運動場的預報表現，北半球為中性影響，南半球有顯著的正面影響，熱帶則為中性影響。如此的實驗結果已足以作為上線作業的依據，並顯示對於以 CWB/GFS 系統將 GPS RO 觀測納入同化分析的技術至此已臻於成熟，並已達到能夠上線作業的要求。

五、參考文獻

張忍成，2003：華衛三號衛星 COSMIC 子計畫三：GPS 導出大氣折射資料的驗證與同化研究。國科會國家太空計畫實驗室專題研究計畫報告 (NSC 90-NSPO(B)-RS3-FA07-01-C)，46 頁。

楊明仁，2008：GPS 掩星觀測資料對於全球模式之影響研究。財團法人國家實驗研究院國家太空中心專題研究計畫報告(97-NSPO(B)-SP-FA07-02(F))，59 頁。

Anthes R, Berhardt P, Chen Y, Cucurull L, Dymond K, Ector D, Healy S, Ho S-P, Hunt D, Kuo Y-H, Liu H, Manning K, McCormick C, Meehan T, Randel W, Rocken C, Schreiner W, Sokolovskiy S, Syndergaard S, Thompson D, Trenberth D, Wee YK, Yen N, Zhang Z. 2008. The COSMIC/FORMOSAT-3 mission: early results. Bulletin

of the American Meteorological Society 89: 313-333.

Chang, J.-C., C.-H. Tseng, and Y.-C. Chen, 2003: Some preliminary results on variational data assimilation of GPS/MET bending-angle profiles. In 2003 ROCSAT-3/COSMIC Science Workshop, Sept. 8, 2003, Taipei, Taiwan, 43-51.

Chang, J.-C. J, Y.-C. Chen, L.-B. Chu, C.-H. Lu, X. Zou, C.-H. J. Tseng, C.-T. Fong, W. M. Chen, M.-D. Cheng, and M.-J. Yang, 2007: Preprint, The 2007 FORMOSAT-3/COSMIC Workshop, Long-Tan, Taoyuan County, 17 May 2007, National Space Project Office.

Yang, M.-J., J. J.-C. Chang, X. Zou, Y.-C. Chen, C.-H. Tseng, and M.-D. Cheng, 2008: Assimilation of global positioning system radio occultation observations into the CWB's global forecast system. Preprints, The 5th AOGS Annual General Meeting, Busan, Korea, 16-20 June 2008, Asian Oceania Geoscience Society (AOGS).

Zou, X.; Zeng, Zhen., A quality control procedure for GPS radio occultation data, J. Geophys. Res., Vol. 111, No. D2, D02112.

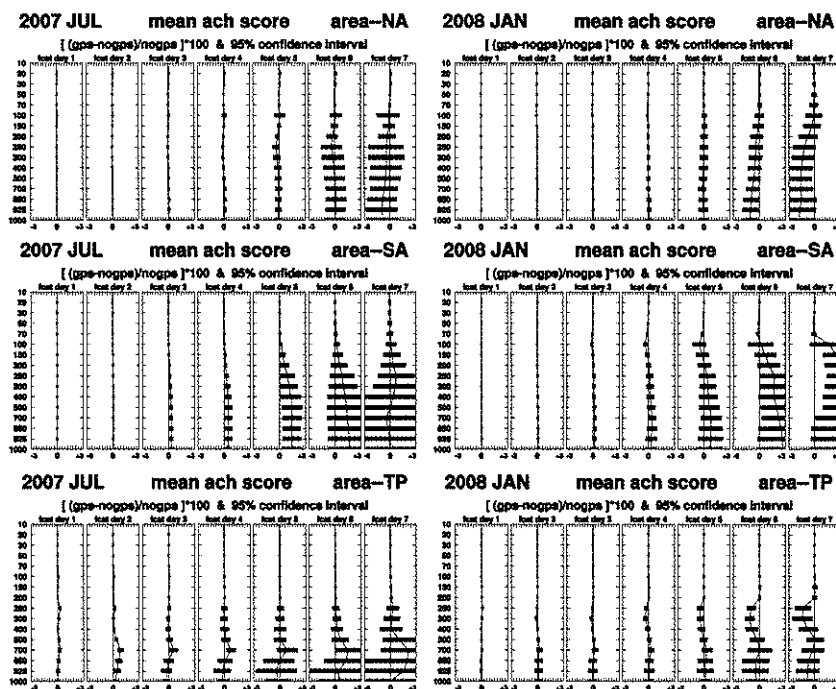


圖 3：實驗 200707 (左圖)與實驗 200801 (右圖)的重力位高度場 AC score 預報得分分數差，由上到下分別為北半球、南半球與熱帶地區。

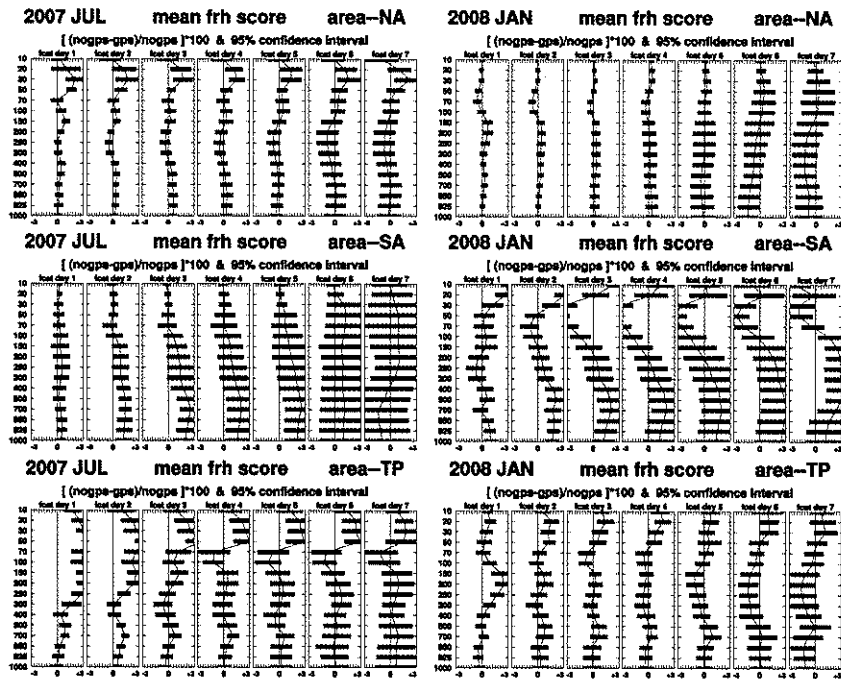


圖 4：實驗 200707 (左圖)與實驗 200801 (右圖)的重力位高度場 r.m.s.e.預報得分數差，由上到下分別為北半球、南半球與熱帶地區。

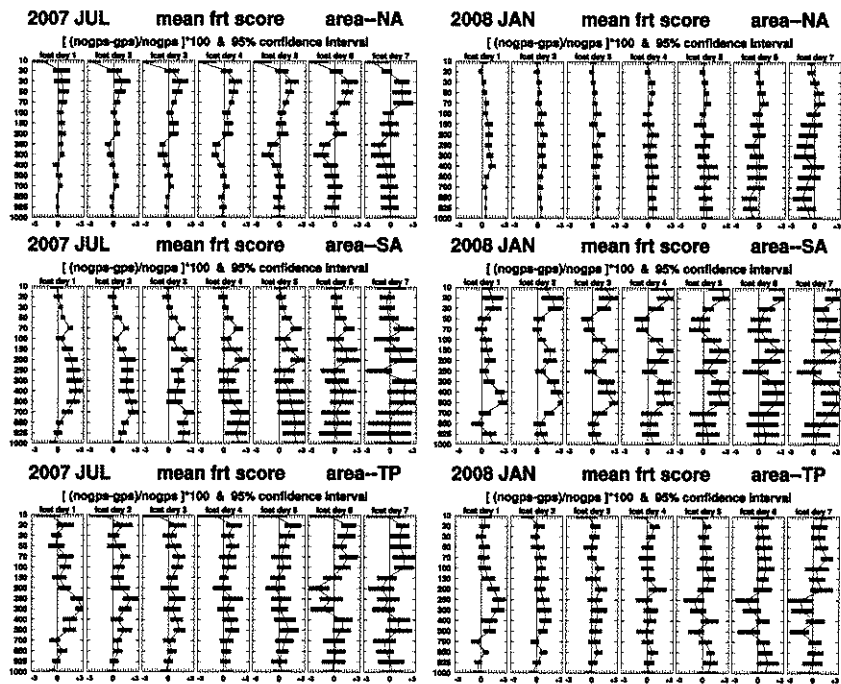


圖 5：實驗 200707 (左圖)與實驗 200801 (右圖)的溫度場 r.m.s.e.預報得分數差，由上到下分別為北半球、南半球與熱帶地區。

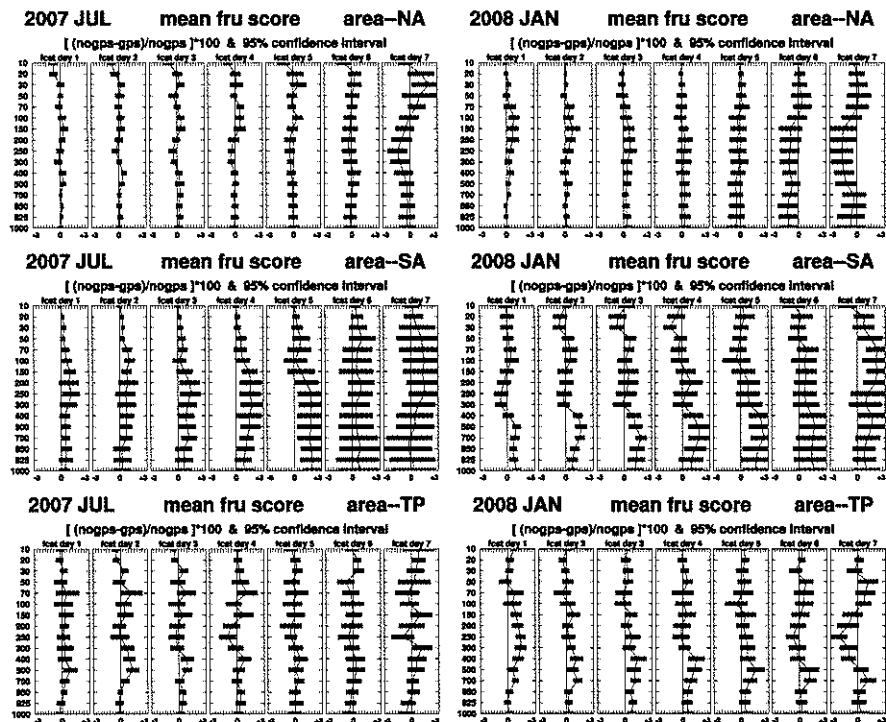


圖 6：實驗 200707 (左圖)與實驗 200801 (右圖)的 U 風場 r.m.s.e.預報得分數差，由上到下分別為北半球、南半球與熱帶地區。