

福衛三號資料對於區域天氣預報之影響

陳舒雅¹, 郭永潤², 馮欽賜¹, 郭英華^{2,3}, 滕春慈⁴, 潘琦¹

Meteorological Information Center, Central Weather Bureau, Taiwan¹
National Center for Atmospheric Research, USA²
University Corporation for Atmospheric Research, USA³
Marine Meteorology Center, Central Weather Bureau, Taiwan⁴

摘要

本研究主要探討福爾摩沙衛星三號 (FORMOSA Satellite #3 / Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate, 簡稱 FORMOSAT-3/COSMIC) 對於區域天氣預報之影響。目前國際間許多數值預報中心, 已將 GPS (Global Positioning System) 掩星 (radio occultation, RO) 觀測資料應用於數值模式預報作業中。由研究結果顯示, 於中央氣象局 (Central Weather Bureau, CWB) 作業用之區域模式範圍內, 同化 GPS RO 資料確實有助於區域天氣預報模擬, 然而針對 GPS RO 資料, 如何在目前的基礎上, 更進一步改善模式之初始分析場, 使得到更佳的預報模擬, 為我們所關注的議題。

在變分同化系統中, 誤差協方差矩陣差扮演了很重要的角色, 因此, 本研究針對 GPS 觀測誤差進行調整, 利用 Desroziers and Ivanov (2001) 的方法, 進行觀測誤差調整係數估計, 並測試使用不同觀測誤差對於資料同化之影響。經由與實際觀測資料進行校驗結果顯示, 同化 GPS 資料後明顯改善初始分析場, 進而改善模式預報場。隨著預報模擬時間增加, 模式預報之偏差(Bias)亦增加, 雖然 GPS 資料同化之改善程度隨模擬時間增加而減小, 就整體而言, 同化 GPS 資料可改善模式預報場約 10%–15%, 使用調整後之觀測誤差, 可得到更進一步的改善。另外, 簡化 GPS 資料之垂直解析度(data thinning), 並應用於 2008 年夏季及冬季各一個月之同化模擬實驗。由校驗結果顯示, 夏季之分析場於模式低層(約 5 公里以下)有些許改善, 但對於預報場則不然。

關鍵字: GPS RO、WRFDA

一、前言

福爾摩沙衛星三號(簡稱福衛三號)已於 2006 年 4 月成功發射, 至今已三年時間, 此 GPS 掩星觀測不但可提供高垂直解析度的資料, 其最大特性為觀測量是相位的變化, 因此不受雲、雨影響, 無校驗上的問題。目前國際間許多數值預報中心, 如歐盟(ECMWF)、美國(NCEP)、法國(Météo France)等(Healy and Thépaut 2006; Cucurull and Derver 2008; Poli et al. 2009), 已將 GPS 掩星觀測資料應用於數值模式預報作業中, 臺灣中央氣象局(CWB)於 2009 年 7 月亦將福衛三號資料正式應用於作業預報上。

比較有無同化 GPS (Global Positioning System) RO (radio occultation) 資料之預報模擬結果, 顯示於 CWB 之區域模式範圍內, 同化 GPS RO 資料有助於區域天氣預報模擬。因此, 本研究著重於如何準確的使用 GPS RO 資料, 應用於變分同化模式中, 使得到更進一步的改善。在資料同化模式中, 誤差協方差矩陣差扮演了很重要的角色, 本研究選用 2008 年夏季(6 月)及冬季(12 月)各一個月期間的福衛三號資料, 進行觀測誤差調整係數估計, 並將其應用於同化模式中, 使得到較佳的初始分析場, 並比較不同觀測誤差矩陣對於同化模擬之影響。

二、模式簡介及實驗設計

本研究使用 WRFDA (Weather Research & Forecasting Data Assimilation) 三維變分同化模式 3.1 版, 及 WRF 模式 3.0.1.1 版, 進行同化模擬實驗。使用單一模式範圍, 網格數為 222x128x45, 水平網格解析度 45 公里(如圖一)。選取 2008 年 6 月(夏季)及 12 月(冬季)各一個月期間, 進行 6 小時的 updated cycle, 同化時間窗為 6 小時, 每一天的 00 時及 12 時皆預報 72 小時。使用與上線作業模式相同之參數化設定, 比較有無同化 GPS RO 之預報模擬結果, 實驗設計如表一。實驗 6h_NG_OE1 之 6h 為 6-h updated cycle, NG 意指僅同化 GTS 資料, OE1 為不改變觀測誤差, 意即使用與作業模式相同之觀測誤差協方差矩陣; 實驗 6h_WG_OE1 同實驗 6h_NG_OE1, WG 指除了 GTS 資料外, 並加入 GPS RO 資料, 實驗 6h_WG_OE2 之 OE2 則是使用估計出之觀測誤差調整係數。其中觀測誤差矩陣之調整, 使用 Desroziers and Ivanov (2001) 的方法, 選取相同月份之 GPS RO 資料。不論夏季或冬季, 於模式範圍內之 GPS RO 資料皆超過 4000 筆, 而後進行觀測誤差的估計, 則得出兩組誤差調整係數, 0.63589(夏季)及 0.64422 (冬季), 並將其應用於個別月份的同化模擬實驗中(如表一)。

三、模擬結果

將預報模擬結果與 GPS 掩星觀測資料進行校驗(如圖一)，顯示同化 GPS 資料後明顯改善模式之初始分析場，不論是對偏差(Bias)或是均方根誤差(RMSE)之校驗。由圖一 a、b 發現無同化 GPS RO 資料(實驗 6h_NG_OE1)約於 3 公里處有一偏差極值，同化 GPS 資料後(實驗 6h_WG_OE1)可減低偏差值，於高層之改善更顯著。冬季期間，同化 GPS 資料不但改善高層的正偏差，且對於低層(1 公里以下)之負偏差亦有明顯助益，其偏差最大值由-1.5 降低至-0.6。又使用調整後的觀測誤差(實驗 6h_WG_OE2)，可得到更進一步的改善，約 2% - 5%。由均方根誤差校驗顯示，不論夏季或冬季(圖一 c, d)，同化 GPS 資料對於初始分析場皆有正面影響。比較夏季及冬季之校驗結果顯示，夏季之誤差皆較冬季大，如：夏季最大誤差(RMSE)約 9.5 N-units，冬季則約 6.5 N-units，其是因為受到低層水汽影響，夏季水汽含量多，期間又包含颱風影響，模式之代表性誤差增加，因而夏季誤差較冬季期間顯著。

圖二則顯示 2008 年 6 月之模式預報場，於各預報時間(12h、24h、48h 和 72h)之偏差校驗。由圖顯示隨預報模擬時間增加，模式預報之偏差亦增加，而 GPS 資料同化之改善程度亦隨模擬時間增加而減小，然而就整體而言，同化 GPS 資料可改善模式預報場約 10%-15%。另外，由均方根誤差(圖未示)亦顯示，同化 GPS 資料對於模式預報場，於 5 公里以下可改善約 10%。本研究針對冬季期間，亦設計一組與夏季相同之同化模擬實驗，結果顯示與夏季相似，但平均之偏差及均方根誤差皆較小。

為了解觀測誤差對於預報模擬之影響，針對夏季個案進行兩組敏感度實驗(如表一)，一為使用 12 月之調整誤差係數(實驗 6h_WG_OE3)，二為將 6 月及 12 月之誤差係數取平均值(0.64006)，即為實驗 6h_WG_OEC。將模式預報與探空資料進行校驗(圖三)，發現使用不同觀測誤差對於溫度場之影響差異(Bias)很小，對於 500 hPa 以下之水汽場的影響則較明顯。於短期預報時(如 12h 及 24h 預報)，使用當月直接估計出之觀測誤差調整係數，即實驗 6h_WG_OE2，對於模式預報場有最佳的影響，其次為使用平均之觀測誤差調整係數(6h_WG_OEC)，而後為不調整之觀測誤差(6h_WG_OE1)，最後為使用冬季資料所估計出之調整係數(6h_WG_OE3)。此結果說明使用適當之觀測誤差對於短期水汽預報偏差之影響，由於不同係數間差異很小，因此為使將來作業化簡單便利，未來考慮使用平均之觀測誤差調整係數(0.64006)做為後續之研究所需。由上述結果說明同化福衛三號資料對於區域預報模擬之正面影響。

每年之鋒面梅雨和颱風季節，為台灣的主要雨水來源，因此本研究另針對此夏季期間之颱風個案，及無颱風發生期間進行分析校驗。2008 年 6 月期間共有兩個颱風娜克莉(Nakri)及風神(Fengshen)位於模式範圍內，簡稱實驗 NAK 和 FEN，其中娜克莉颱風自 5 月 27 日形成，但本研究僅取 6 月期間，因此僅選取 5

天進行校驗，而風神颱風期間皆發生於 2008 年 6 月，因此選取共計 9 天的時間進行校驗，另將無颱風發生期間(簡稱實驗 NTY)，共計 11 天，做為有無颱風發生期間之比較，並評估整個月平均之誤差(實驗 JUN)。比較各期間之平均的偏差及均方根誤差表現(圖未示)。發現無颱風期間之誤差較小，最大約 9.5 N-units，而有颱風發生期間之誤差則較大，約 11 N-units，使用整個月的資料，則顯示其誤差介於中間值，約 10 N-units。同化 GPS 資料後，實驗 NTY 之誤差改善程度非常明顯，實驗 FEN 則相對影響較小，然而其改善程度尚有約 7%。由前述實驗結果，說明同化 GPS 資料可改善模式初始場，進而改善模式預報，而給定適當的觀測誤差，對於模擬結果可得更進一步改善。

由 Desroziers and Ivanov (2001)中提到，若使用一適當的觀測誤差矩陣，則最後價值函數應與觀測數量成比例為 0.5。又 GPS RO 提供高垂直解析度資料，應用於三維資料同化系統中，恐有資料過度使用之慮，因此我們另針對 GPS 資料進行資料稀化(data thinning)，僅同化最近模式垂直層之觀測資料，並比較於品質控制(Quality Control, QC)前後進行 data thinning 之差異。結果顯示 data thinning 後之平均價值函數(價值函數/觀測數)較無 thinning 之實驗接近 0.5。因此再將此方法應用於一個月之同化模擬實驗中，並與觀測資料進行校驗，結果如圖四，說明 data thinning 後之分析場與觀測校驗，於低層約 5 公里以下有效降低 Bias 和 RMSE，然而，於預報結果(圖未示)顯示，data thinning 在 QC 後與無 data thinning 之校驗結果相近，然而在 QC 前進行 data thinning，與觀測資料校驗，校驗結果顯示較差。

四、結論

本研究選取 2008 年 6 月和 12 月各一個月期間，進行同化模擬實驗，並與實際觀測資料進行校驗。主要藉由對於福衛三號資料之觀測誤差估計及資料稀化等方法，探討 GPS RO 資料對於分析及預報之影響。結果顯示一合適的觀測誤差矩陣，不僅可改善初始分析場，對於預報模擬結果亦有相當之影響。資料稀化後，對於低層之分析場影響較明顯，然而經過一段時間之預報模擬後，則效果不顯著亦或較差。本研究主要針對觀測誤差進行調整，而資料品質控制對於同化結果亦有相當之影響，因此未來將參考國際其他作業中心之方法，做進一步的 QC 檢測，使能更適當地應用 GPS 資料於同化系統中，以得到更佳的模擬預報。

五、參考文獻

- Cucurull, L., and J. C. Derber, 2008: Operational implementation of COSMIC observations into the NCEP's global data assimilation system, *Wea. Forecasting*, **23**, 702-711.
- Desroziers, G. and S. Ivanov, 2001: Diagnosis and adaptive tuning of observation-error parameters in a

variational assimilation. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **127**, 1433-1452.

Healy, S. B., and J.-N. Thépaut, 2006: Assimilation experiments with CHAMP GPS radio occultation measurements. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **132**, 605-623.

Poli, P., P. Moll, D. Puech, F. Rabier, and S. B. Healy, 2009: Quality control, error analysis, and impact assessment of FORMOSAT-3/COSMIC in numerical weather prediction. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, **20**, 101-113.

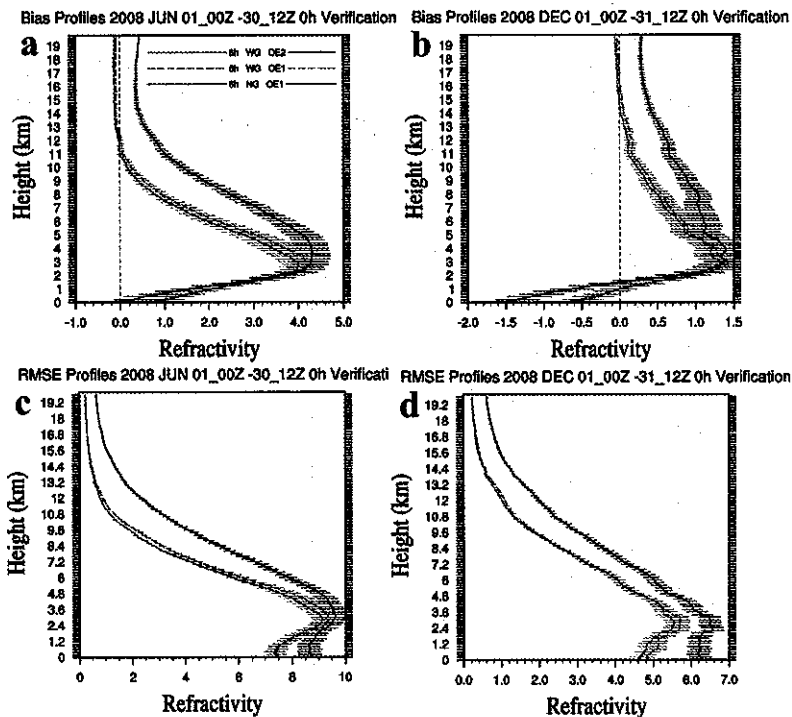
六、圖表

表一：觀測誤差調整係數之實驗設計

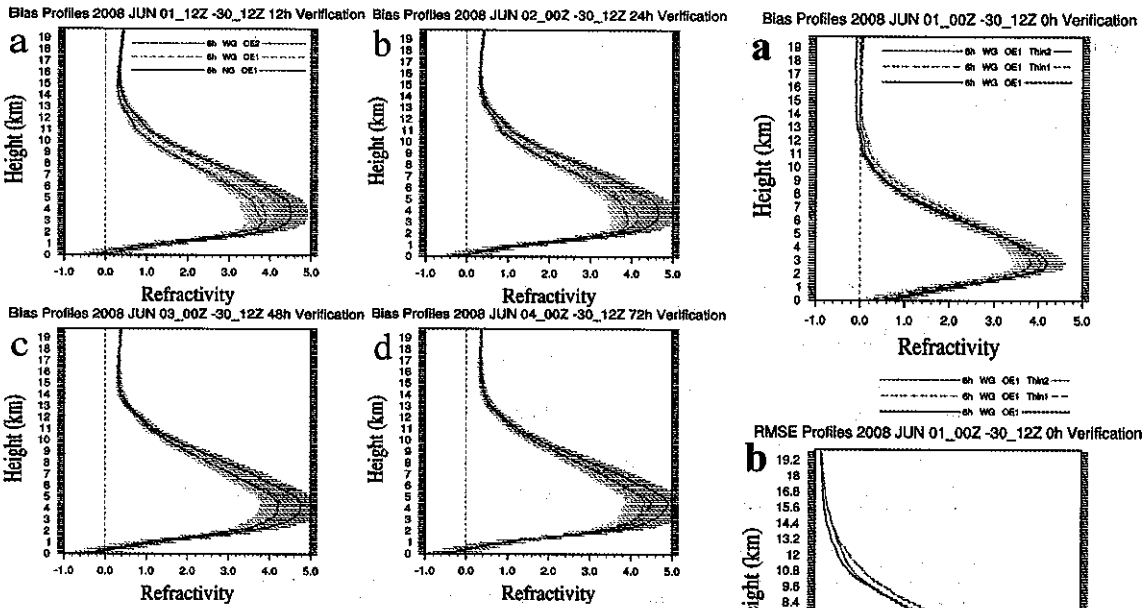
<i>EXP NAME</i>	<i>Obs. data</i>	<i>Observational error</i>
2008 Jun./Dec.		
6h_NG_OE1	GTS	Same as in the operation
6h_WG_OE1	GTS+GPS	"
6h_WG_OE2	GTS+GPS	With error tuning for GPS RO (Jun./Dec.)
Sensitivity Test (Jun.)		
6h_WG_OE3	GTS+GPS	With error tuning for GPS RO (Dec)
6h_WG_OEC	GTS+GPS	Use the averaged coefficient in Jun and Dec

表二：資料稀化(Data thinning)之實驗設計

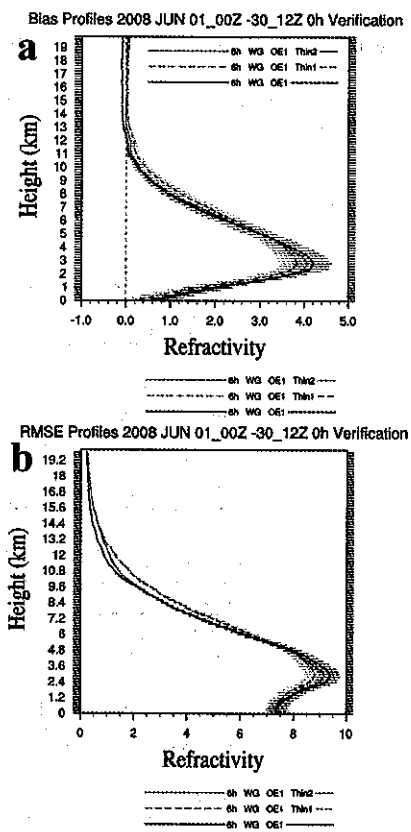
<i>EXP NAME</i>	<i>Obs. data</i>	<i>Obs. error and data thinning</i>
2008 Jun.		
6h_WG_OE1	GTS+GPS	Same obs. error as in the operation
6h_WG_OE1_Thin1	GTS+GPS	With data thinning (before QC)
6h_WG_OE1_Thin2	GTS+GPS	With data thinning (after QC)



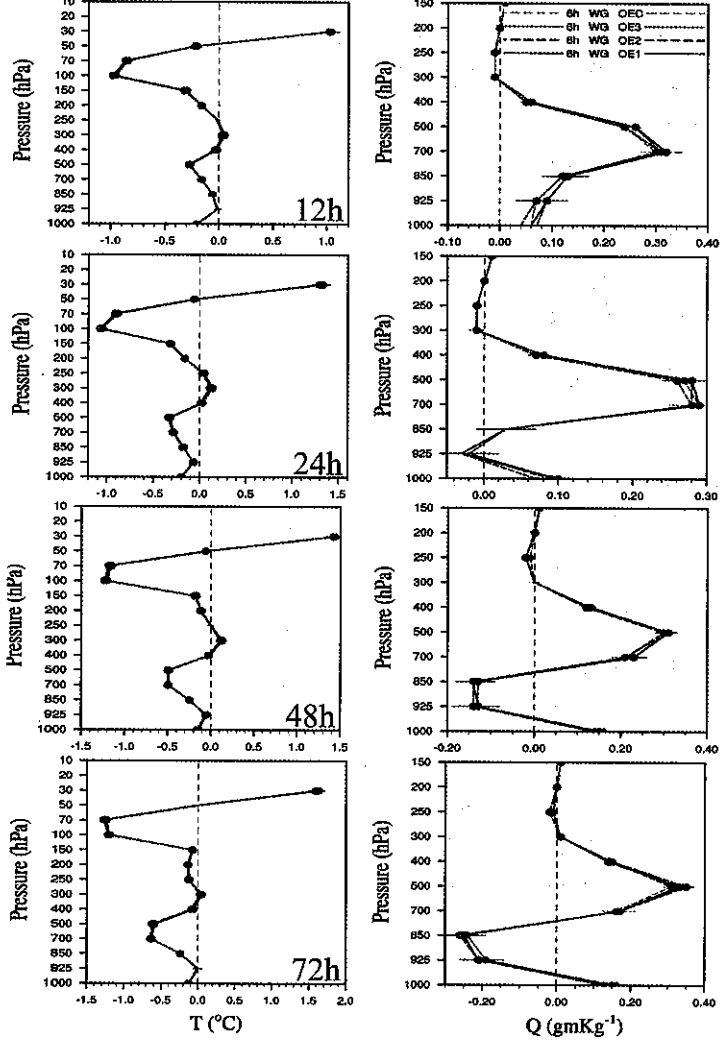
圖一：(a) 6月和(b) 12月之各實驗分析場與 GPS RO 掩星觀測的偏差(Bias)校驗。(c)和(d)同(a)和(b)，但為均方根誤差(RMSE)之校驗。



圖二：(a)12h、(b)24h、(c)48h、及(d)72h之模式預報場與GPS RO觀測資料之偏差(Bias)校驗。



圖四：針對GPS RO資料進行資料稀化之同化後分析場，與GPS RO之(a)Bias和(b)RMSE的校驗結果。



← 圖三：2008年6月之實驗個案，使用不同GPS觀測誤差調整係數(6h_WG_OE1/OE2/OE3/OEC)之模式預報場(12h、24h、48h和72h)，對於探空資料之溫度與水汽場的偏差校驗。