

GPS掩星觀測同化對數值模式區域天氣預報之影響

周宜萍¹ 林沛練¹ 洪景山² 陳柏榮²
國立中央大學大氣物理研究所¹ 中央氣象局²

摘要

福爾摩沙三號(Formosat-3)之近地球軌道微衛星在今年 4 月中已發射，可接收 24 顆全球定位 (GPS) 衛星發射之訊號，並形成所謂的掩星觀測網，預計每日可提供全球均勻分布的掩星觀測數目達 2500 個。

至 2006 年 8 月底為止，5 月到 8 月每日之 GPS 掩星觀測資料接收量平均分別為 40、150、400 與 700 筆。本研究利用 Weather Research and Forecast model 同化 Formosat-3 之 GPS 掩星觀測資料，以進行區域天氣數值預報實驗，在模式積分範圍內平均每日之 GPS 掩星觀測資料接收量在 5 到 8 月分別是 4、9、16 筆與 40 筆，其產品呈現於(<http://pblap.atm.ncu.edu.tw/rafs/>)專屬網頁。

本研究針對碧利斯颱風個案探討加入 GPS 對路徑預報的影響，其分析結果顯示加入 GPS 掩星觀測資料對初始颱風定位及 48 小時以後之颱風路徑預報有所改善。

一、前言

目前氣象資料的蒐集，主要仍仰賴來自世界各地探空站所測量每天約 900 筆的資料，但是這些觀測大都侷限在陸地，傳統氣象衛星雖然可以提供寬廣範圍的高時間解析度觀測，可是無法提供大氣垂直分層的資訊，因此如果探空站的數目能夠增加，且均勻分布於全球，預期對數值天氣預報必能有所改善，利用「福爾摩沙衛星三號計畫」所進行的掩星觀測就是以這樣的理念為目標。

「福爾摩沙衛星三號計畫」是一大型的台美雙方國際合作計畫，由台灣之國家太空中心與美方的美國大學大氣研究聯盟共同合作執行，以建立全球大氣即時觀測網之先進技術發展計畫，又稱之為「氣象、電離層及氣候之衛星星系觀測系統」(Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate)，簡稱為 FORMOSAT-3/COSMIC 計畫。FORMOSAT-3 衛星自民國 95 年 4 月 15 日自美國范登堡基地成功發射後即提供 Global Positioning System (GPS) 掩星觀測資料。此一資料內含大氣層之溫度、壓力、及水汽含量等相關資訊。

近年數值預報系統資料同化分析方法的演進過程，逐漸由直接同化最原始觀測資料的變分法主導。變分法可以透過“運算子”將觀測變數與分析變數結合，減少觀測資料在轉化過程中產生誤差，使觀測資料的準確度增加，資料的可用性也增加，顯著的提升數值預報系統的預報能力。Zou et al. (1995) 和 Kuo et al. (1997) 發現將大氣的折射率同化至模式中有助於模式對溫、溼度的掌握，對預報的結果有相當正面的影響。因此本研究希望能透過 GPS 掩星觀測資料，結合適當的反求技術，取得更真實三維氣象場結構於初始條件中，望能改善如颱風路徑和定量降雨預報之準確度，進一步提供防災的需求。

本研究為探討 FORMOSAT-3 GPS 掩星觀測資料同化對即時 Weather Research and Forecast model (WRF) 模式區域天氣預報之影響。除了分析 GPS

掩星觀測資料接收的統計、發展 3DVAR 之 WRF 區域天氣預報系統，執行 FORMOSAT-3 GPS 掩星觀測資料即時資料同化，進行 72 小時之區域天氣預報之外，並比較分析有無 FORMOSAT-3 掩星觀測之資料同化對東亞區域天氣預報之影響。其數值預報產品於區域天氣預報系統之專屬網站 (<http://pblap.atm.ncu.edu.tw/rafs/>) 所示。

二、數值預報實驗設計

本研究採用 WRF 模式進行數值預報實驗以探討 FORMOSAT-3 衛星之掩星觀測對預報的影響。為直接將研究成果提供給中央氣象局數值預報天氣小組參考，本研究之資料同化系統使用和中央氣象局 nonhydrostatic forecast system (NFS) 一樣的積分範圍 (如圖 1)，內部內嵌兩個較高解析度的細網格系統，網格間距及格點數目分別為 45 (222×128)、15 (184×196) 及 5 (94×124) 公里，垂直分層共 41 層。本預報實驗每日進行 4 次預報，分別於 0000 UTC、1200 UTC 預報 72 小時，0600 UTC、1800 UTC 預報 6 小時，並配合中央氣象局 NFS 作業時間即時啟動進行預報，因此本研究幾乎是以準作業型態進行，極具作業化之參考價值。

本研究 WRF 模式預報所需的邊界條件使用中央氣象局的全球預報系統，客觀分析所使用的是 WRF 3DVAR，初始猜測場來自上一個 (前 6 小時) WRF 模式產生的預報場，亦即 update cycle run。分析資料包括中央氣象局所有的觀測，如 SYNOP、SHIPS、METAR、PILOT、SOUND、SATEM SATOB、AIREP、GPSRF、wind profiler、和 BUOY 等資料。

本研究之預報實驗分為 2 組，控制組使用如前述之所有觀測資料，對照組除了使用所有觀測資料之外並加入 GPS 掩星觀測資料。

模式物理參數化分別採用 WSM 5-class 雲微物理參數法 (Hong et al., 1998)、rrtm 長波輻射參數法 (Mlawer et al., 1997)、Goddard 短波輻射參數

法 (Chou and Suarez, 1994)、YSU 邊界層參數法 (Hong and Pan, 1996) 及 Kain-Fritsch (new Eta) 積雲參數法 (Kain and Fritsch, 1990, 1993) 等。

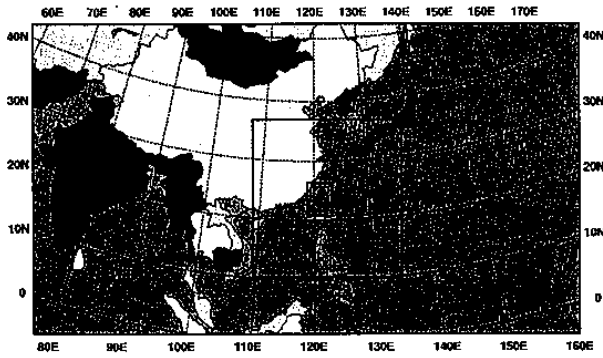


圖 1 模式積分的範圍。

三、 GPS 資料接收統計分析

福衛三號 FORMOSAT-3/COSMIC 六顆低軌道微衛星的資料，原預計由衛星觀測到釋出 GPS 掩星觀測資料約 100 分鐘，由於目前 FORMOSAT-3/COSMIC 6 顆微衛星軌道尚未完全散開，因此 FORMOSAT-3 GPS 掩星觀測資料目前自衛星下載至 COSMIC Data Analysis and Archive Center 需費時甚久，下載後再經 Taiwan Analysis Center for COSMIC (TACC) 處理並送至使用單位，有些 GPS 掩星觀測資料甚至會延遲達 5 小時。由於本研究具有準作業特性，舉例來說，0000 UTC 的預報在 0300 UTC 開始執行，然而這時可能只接收到來自 TACC 所處理部份微衛星之 0100 UTC 的資料，因此實際進入預報作業的觀測資料量和最後接收到的完整資料量會有一段差距，如圖 2 顯示，兩者之間的資料差量最高達 300 個觀測點以上。預計於 2007 年下半年 6 顆微衛星之軌道部署完成後，屆時接收數量之差距便可改善。

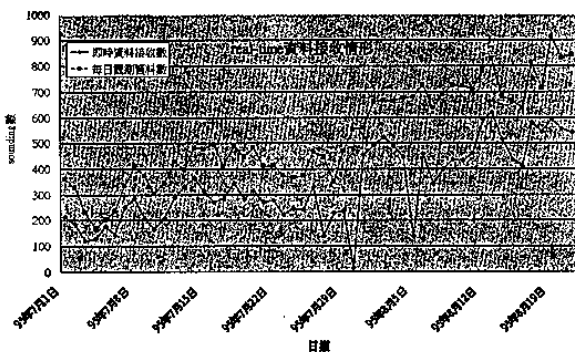


圖 2 自 7 月 1 日起，TACC 每日提供後處理過之 GPS 掩星觀測資料總數 (粉紅色) 與模式每日即時接收 GPS 掩星觀測資料總數 (藍色) 之時間序列。

FORMOSAT-3 於 4 月 21 日成功的接收到 GPS 掩星觀測資料，根據實際即時接收並進入預報作業的 GPS 掩星觀測資料分析，如圖 3 所示，4 月與 5 月 GPS 掩星觀測資料相當少，每日平均有 40 筆 GPS

掩星觀測資料。6 月 GPS 掩星觀測資料有些微的增加，每日平均約有 150 筆 GPS 掩星觀測點分佈於全球。6 月底開始，GPS 掩星觀測資料分別於 4 個時段的接收量都有成長的趨勢，其以 06 與 18 兩個時段增加量更為明顯，7 月平均每日接收達 400 筆，8 月 4 個時段的資料量成長有 7 月資料量的 2 到 4 倍之多，每日接收平均達 700 筆，06 時段與 18 時段所接收的全球平均 GPS 掩星觀測點數甚至是 00 所接收全球平均掩星觀測點數的 2 倍以上。至 8 月 20 日以前，單日 GPS 掩星觀測資料量最高有達 999 筆資料。

圖 4 為進一步統計實際即時接收於模式積分範圍 (222×128) 內之 GPS 掩星觀測資料數量統計分析，4 月與 5 月 GPS 掩星觀測資料每日平均有 4 筆。6 月 GPS 掩星觀測資料每日平均成長至 9 筆左右。7 月平均每日接收達 16 筆，8 月平均每日接收有 40 筆。模式積分範圍內的資料量和全球觀測量相差有一個數量級，GPS 掩星觀測頻率先在 06 與 00 兩個時刻較多，然後轉為落在 18 與 06 時刻較多。

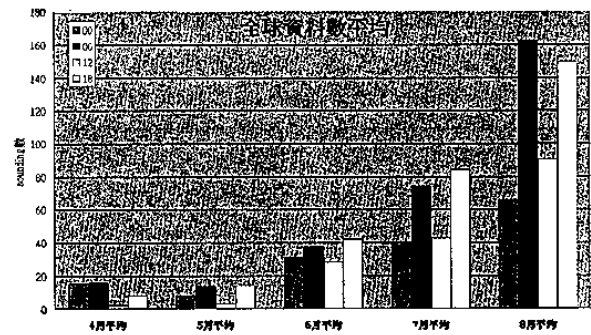


圖 3 世界時間每日的 00 時、06 時、12 時、18 時 4 個時段的全球資料數平均，前一天 21 時到 03 時內的觀測資料是屬於 00 時段的資料，03 時到 09 時之間則屬於 06 時段內的觀測資料，09 時到 15 時是 12 時段內的觀測資料，15 時到 21 時則是 18 時段內的觀測資料。

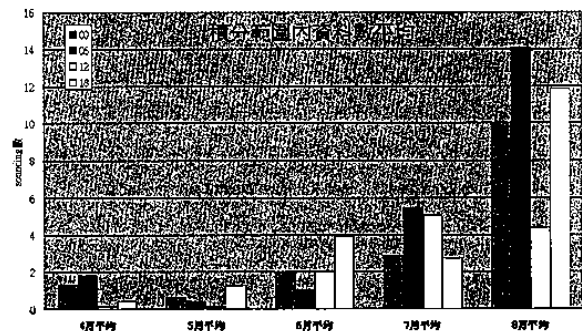


圖 4 世界時間每日的 00 時、06 時、12 時、18 時 4 個時段，在模式積分範圍內之資料數平均。

四、 個案分析

4-1 碧利斯(BILIS)

4-1.1 天氣概況

4-1.1 天氣概況

碧利斯颱風於 2006 年 7 月 9 日 14 時，其中心位置在北緯 13.4 度，東經 137.0 度，即在關島西方 840 公里之海面上，由熱帶性低氣壓增強為輕度颱風，穩定地向西北方向移動，朝台灣前進。13 日 22 時 20 分左右由宜蘭頭城附近登陸。14 日 13 時左右由馬祖附近進入福建，15 日減弱為熱帶性低氣壓。詳細的路徑可參考圖 5。碧利斯颱風暴風半徑達 300 公里，有多重中心，卻沒有颱風眼，是個結構鬆散的颱風。此外，雲雨不對稱是碧利斯颱風的另一個特色。受北方太平洋高壓的牽制，碧利斯颱風北邊雲層薄，南邊雲層卻很厚實。

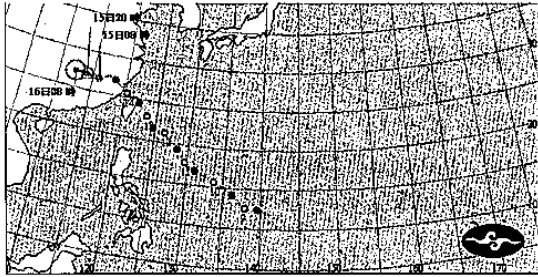


圖 5. 碧利斯颱風路徑圖(摘錄自中央氣象局)

4-2.2 分析討論

本預報實驗使用 6 小時 update cycle run，雖然沒有植入颱風渦流的機制，但是初始場的颱風結構仍可以經由初始猜測場中獲得維持，以 2006 年 7 月 11 日 1200 UTC 為例，如圖 6 所示，控制組的初始場中心氣壓為 966 hPa，對照組的初始場中心氣壓為 964 hPa，與圖 7 之觀測紅外線雲圖相較，可看出控制組與對照組之 24 小時預報場颱風中心與觀測接近，48 小時預報場颱風中心則有偏南登陸之情形，72 小時預報場相較於觀測紅外線雲圖有完整的颱風環流結構。圖 8 為此個案控制組與對照組之颱風路徑預報之誤差數據。此個案數據結果顯示加入 GPS 掩星觀測資料可減少模式在 24、48 與 72 小時之颱風中心預報誤差

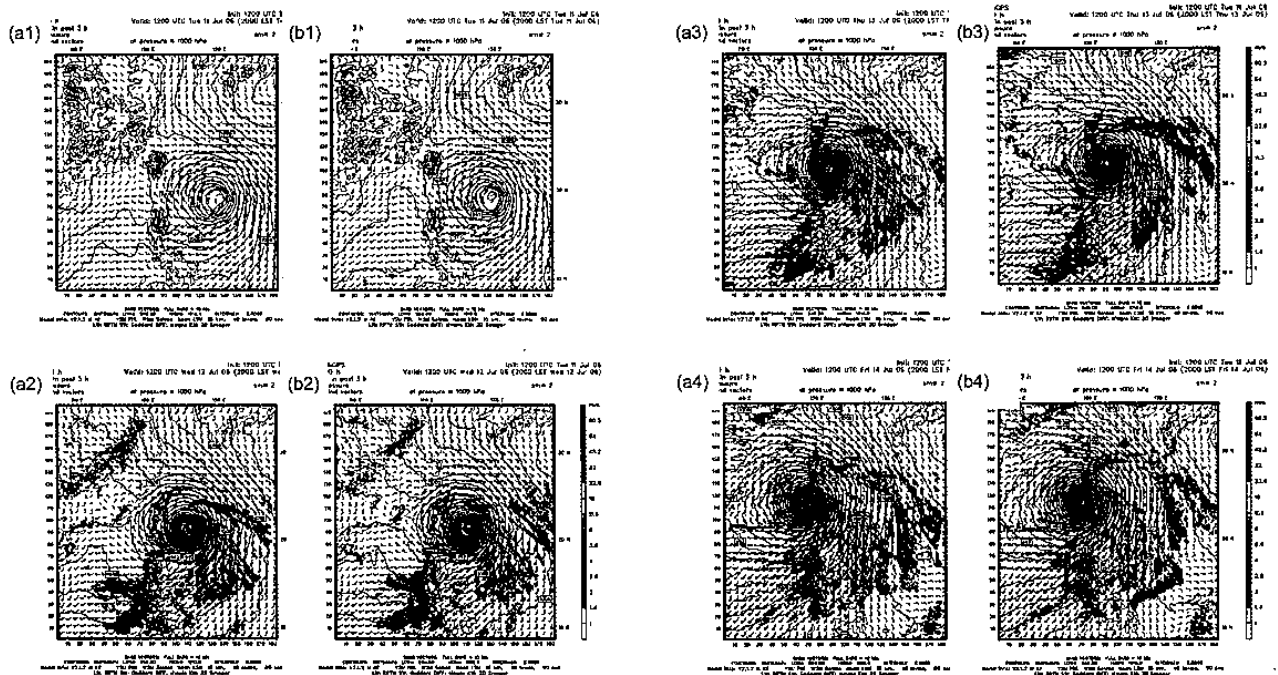


圖 6 2006 年 7 月 11 日 1200 UTC 個案之模擬，(a1)~(a4) 組為控制組之分析場、24 小時預報場、48 小時預報場、72 小時預報場，(b1)~(b4) 組為對照組之分析場、24 小時預報場、48 小時預報場、72 小時預報場。

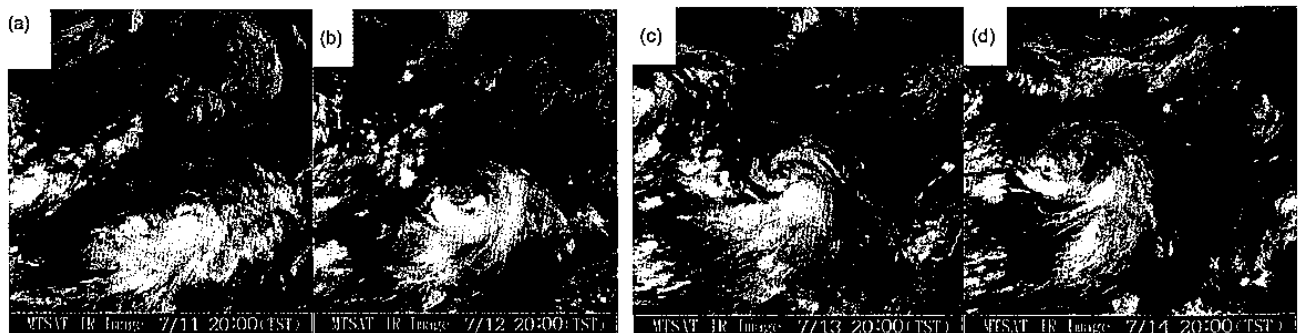


圖 7 (a) ~ (d) 為 2006 年 7 月 11 日 1200 UTC、7 月 12 日 1200 UTC、7 月 11 日 1300 UTC、7 月 14 日 1200 UTC 之紅外線衛星雲圖，分別對應圖 6 之各組預報場的預報時間。

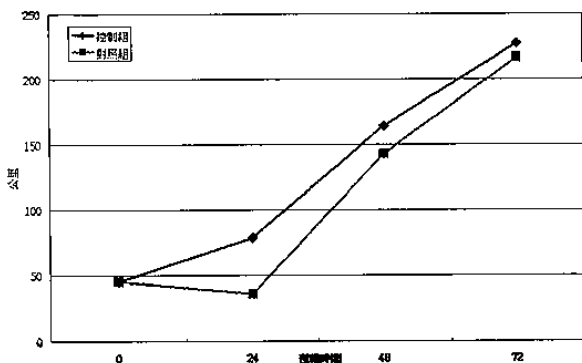


圖 8 2006 年 7 月 11 日 1200 UTC 個案控制組與對照組之颱風路徑預報之誤差。

圖 9 為初始場從 2006 年 7 月 11 日 0000 UTC 到 7 月 15 日 0000 UTC，每隔 12 小時共有 9 組預報之路徑預報分析。由於本研究沒有植入颱風，也沒有颱風中心之 relocation，因此經由 update cycle run，模式颱風路徑預報誤差會經由初始猜測場累積在初始場中。如圖 9，初始場中控制組之颱風中心誤差為 85 公里，但對照組為 68 公里，因此同化 GPS 掩星觀測資料可以減少模式初始場中之颱風中心定位誤差達 17 公里。24 小時的預報共有 7 組個案，控制組平均誤差是 105 公里，對照組平均誤差則是 106 公里；48 小時的預報共有 5 組個案，控制組平均誤差是 172 公里，對照組平均誤差則是 183 公里；72 小時的預報共有 3 組個案，控制組平均誤差是 248 公里，對照組平均誤差則是 196 公里。總而言之，加入 GPS 掩星觀測資料，24、48、72 小時的預報誤差分別改善-1、-11、52 公里。

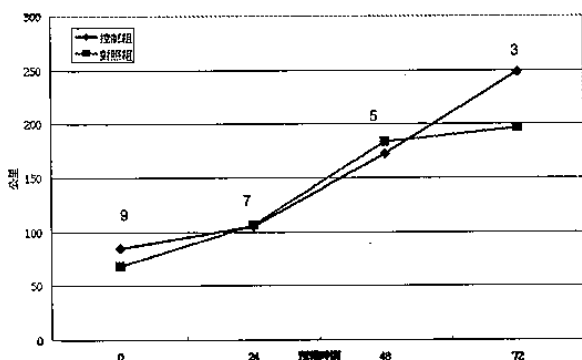


圖 9 控制組與對照組之颱風路徑預報之誤差，圖中數字為校驗之個案(7 月 11 日 0000 UTC~7 月 15 日 0000 UTC)數目。

五、 結論與展望

本研究主要分析 FORMOSAT-3/COSMIC 衛星升空後有關 GPS 掩星觀測資料接收現況，並利用

WRF 模式探討即時 GPS 掩星觀測資料對颱風路徑預報的影響。

在 GPS 掩星觀測資料接收情形方面，4 月到 8 月每日平均接收量從 40 筆提高到 700 筆。模式積分範圍內則是從 4 筆提高到 40 筆。TACC 每日提供之 GPS 掩星觀測資料數據和實際即時的接收數量差量最高達 300 個觀測點以上。預計於 2007 年下半年 6 顆微衛星之軌道部署完成後，即時接收數量會越來越接近 TACC 每日提供之數據。

針對碧利斯颱風資料對數值預報模式的影響，預報結果顯示，在加入 GPS 掩星觀測資料於分析場之颱風定位以及 24、48、72 小時的預報誤差分別改善-1、-11、52 公里。本研究未來將進行更多的預報校驗，以評估 GPS 掩星觀測資料數值預報之能力。

六、 參考文獻

- Chou M.-D., and M. J. Suarez, 1994: An efficient thermal infrared radiation parameterization for use in general circulation models. NASA Tech. Memo. 104606, 3, 85pp.
- Hong, S.-Y., and H.-L. Pan, 1996: Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model. *Mon. Wea. Rev.*, **124**, 2322-2339.
- Hong, S.-Y., H.-M. H. Juang, and Q. Zhao, 1998: Implementation of prognostic cloud scheme for a regional spectral model, *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 2621-2639.
- Kain, J. S., and J. M. Fritsch, 1990: A one-dimensional entraining/detraining plume model and its application in convective parameterization. *J. Atmos. Sci.*, **47**, 2784-2802.
- Kain, J. S., and J. M. Fritsch, 1993: Convective parameterization for mesoscale models: The Kain-Fritsch scheme. The representation of cumulus convection in numerical models, K. A. Emanuel and D.J. Raymond, Eds., Amer. Meteor. Soc., 246 pp.
- Kuo, Y.-H., X. Zou, S. J. Chen, W. Huang, Y.-R. Guo, R. A. Anthes, M. Exner, D. Hunt, C. Rocken, and S. Sokolovskiy, 1997a: A GPS/MET sounding through an intense upper-level front, *Bulletin of the Amer. Meteor. Soc.*, **79**, 617-626.
- Mlawer, E. J., S. J. Taubman, P. D. Brown, M. J. Iacono, and S. A. Clough, 1997: Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM, a validated correlated-k model for the long-wave. *J. Geophys. Res.*, **102(D)**, 16663-16682.
- Zou, X., Y.-H. Kuo, and Y.-R. Guo, 1995: Assimilation of atmospheric radio refractivity using a nonhydrostatic adjoint model. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 2229-2249.