交通部中央氣象局

委託研究計畫期末成果報告

中央氣象局數值資料同化系統應用福衛3號掩星觀測資料之技術發展

計畫類別:■氣象 □海象 □地震

計畫編號: MOTC-CWB-100-M-15

執行期間:100年1月1日至100年12月31日

計畫主持人:楊明仁

研究助理:陳御群、曹伶伶、張惠琪

執行機構:國立中央大學

本成果報告包括以下應繳交之附件(或附錄):

■赴國外出差或研習心得報告1份

□赴大陸地區出差或研習心得報告1份

□出席國際學術會議心得報告及發表之論文各1份

中華民國 100 年 11 月 30 日

政府研究計畫期末報告摘要資料表

計畫中文名稱	中央氣象局數值資料同化系統應用福衛3號掩星觀測資料之技							
h h shah	術發展							
計畫編號	MOTC-CWB-100-M-15							
主管機關	交通部中央氣象局							
執行機構	國立中央大學							
年度	民國 100 年 執行其	期間 100 年 1 月 1 日	至100年12月31日					
本期經費 (單位:千元)	3,200 千元							
(平位· 一)) 劫行淮府	預定 (%)	寶際(%)	比較(%)					
机力建设	91.7%	84%	91.6%					
	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		支 用率(%)					
經費支用	2.935 千元	2.690 千元	91.6%					
	計畫主持人	協同主持人	研究助理					
爪 你 1 吕			陳御群					
研充入貝	楊明仁		曹伶伶					
			張惠琪					
報告頁數		使用語言	中文					
中英文關鍵詞	中央氣象局全球預報系統(CWB/GFS)、三維變分資料同化							
	(3DVAR)、全球定/ 預報	位系統無線電掩星觀測	l(GPSRO)、颱風路徑					
研究目的	本計劃的研究目的主要有三:一、深入探討同化 GPSRO 觀測對於影響台灣地區天氣甚鉅的颱風路徑預報的影響,以瞭 解 GPSRO 觀測對於颱風路徑預報的正面與負面影響,以及其 透過何種物理機制影響颱風路徑的預報。二、評估測試非福衛 三號 GPSRO 觀測資料納入於 CWB/GFS 系統進行資料同化的 可行性,以因應日後福衛三號的 GPSRO 觀測資料數量減少的 狀況。三、估算具有 CWB/GFS 模式特性的 GPSRO 資料觀測 誤差,以取代現行 GSI 系統的預設觀測誤差。							
研究成果	誤定 二 化并只有 CHD/GHD 快式机性的 GHDKO 具种截涡 誤差,以取代現行 GSI 系統的預設觀測誤差。 同化 GPSRO 折射率觀測資料對於颱風路徑預報的影響, 實驗顯示將 GPSRO 折射率觀測納入同化系統會對於路徑偏轉 型颱風的路徑預報有正面的影響,尤其是當颱風正處在路徑轉 彎的期間,此正面影響更易被突顯出來。這主要是因為同化 GPSRO 觀測資料改善了模式對綜觀尺度系統的掌握,而間接 地,改進了對路徑的預報。另外,在同化 GPSRO 觀測對於颱 風內部環流的直接影響上,若同化納入了不適用的(即不滿足 局地球對稱假設,掩星射線穿越大氣狀態具有較大水平梯度的 地區) GPSRO 折射率觀測資料,將會對模式之颱風路徑預報 有嚴重的負面影響。							

	對於將非福衛三號的 GPSRO 觀測納入同化系統,實驗結
	果顯示非福衛三號的重要性隨著時間將顯著地提高,將其資料
	同化的作業化也是勢在必行的趨勢。其對於分析的影響顯示與
	福衛三號觀測差異不大,僅在高層有較大的不確定性與在低層
	有負偏差;低層的負偏差乃是因為觀測平均的樣本數不足,以
	及現行對於低層資料品質控制的方法對其應用有明顯的影
	響,這些有待將來的研究繼續深入探討。對於模式預報的影
	響,基本上對於夏半球五天以後的預報表現以及熱帶高層的預
	報表現有出現負面影響,但是其影響不甚顯著,將來或可藉由
	改善觀測誤差的方式加以改進。
	由於目前 CWB/GFS 模式對於 GPSRO 觀測資料仍是使用
	GSI 系統內定的觀測誤差,對於 CWB/GFS 系統的分析預報表
	現在理論上並不一定合適。透過大量統計夏天與冬天各一個月
	的初始猜值與觀測差,以估得適合於 CWB/GFS 模式分別在北
	半球、南半球與熱帶地區的夏天和冬天之觀測誤差。此觀測誤
	差顯示將會比現行GSI系統內定的觀測誤差對於高層觀測有較
	小的 cost-function 貢獻,以及對於低層觀測有較大的
	cost-function 貢獻。這組觀測誤差於理論上將更適用於
	CWB/GFS 模式;然而,實際對於模式分析及預報的影響,仍
	有待將來的研究繼續深入探討。
且體落實應用	
<u>大</u> 温冶 吴 巡 八 情形	本計劃的成果在於瞭解 GPSRO 觀測資料如何影響模式之
	颱風路徑的預報,特別是驗證了某些 GPSRO 觀測其射線路徑
	穿過颱風內部環流水平梯度過大處,會造成對於模式之颱風路
	徑預報有負面的影響,這點可繼續研究,希望在將來運用於颱
	風預報作業時作為資料品管的條件之一。
	木計劃亦成功地將非福街三號的 GPSRO 觀測納入了
	CWB/GFS 同化系統,這對於同化 GPSRO 觀測的資料數目有長
	足的提升,將來可以將之運用於更多其他非福衛三號的 GPSRO
	觀測資料,以期能同化更多的 RO 觀測資料。
	對於嘗試以 CWB/GFS 模式之初始猜值與觀測值之差別來
	估算 GPSRO 折射率之觀測誤差已初步獲得成功,應用此技術
	可以於將來逐漸替換掉各種 GSI 系統原先預設值設定,改採具
	有 CWB/GFS 模式特色的各種觀測誤差。
計書戀更說明	(若有)
<u>· 三 ~ 八 ※ 八</u> 落後原因	(若有)
檢討與建議	
(變更或落後)	

摘要.		1
- 、	前言	3
二、	研究目的及意義	9
三、	研究方法	10
四、	具體成果	12
五、	結論	41
六、	參考文獻	42
七、	附錄	48

同化 GPSRO 折射率觀測資料對於颱風路徑預報的影響,實驗顯示將 GPSRO 折射 率觀測納入同化系統會對於路徑偏轉型颱風的路徑預報有正面的影響,尤其是當颱風正 處在路徑轉彎的期間,此正面影響更易被突顯出來。這主要是因為同化 GPSRO 觀測資 料改善了模式對綜觀尺度系統的掌握,而間接地,改進了對路徑的預報。另外,在同化 GPSRO 觀測對於颱風內部環流的直接影響上,若同化納入了不適用的(即不滿足局地 球對稱假設,掩星射線穿越大氣狀態具有較大水平梯度的地區)GPSRO 折射率觀測資 料,將會對模式之颱風路徑預報有嚴重的負面影響。

對於將非福衛三號的 GPSRO 觀測納入同化系統,實驗結果顯示非福衛三號的重要 性隨著時間將顯著地提高,將其資料同化的作業化也是勢在必行的趨勢。其對於分析的 影響顯示與福衛三號觀測差異不大,僅在高層有較大的不確定性與在低層有負偏差;低 層的負偏差乃是因為觀測平均的樣本數不足,以及現行對於低層資料品質控制的方法對 其應用有明顯的影響,這些有待將來的研究繼續深入探討。對於模式預報的影響,基本 上對於夏半球五天以後的預報表現以及熱帶高層的預報表現有出現負面影響,但是其影 響不甚顯著,將來或可藉由改善觀測誤差的方式加以改進。

由於目前 CWB/GFS 模式對於 GPSRO 觀測資料仍是使用 GSI 系統內定的觀測誤 差,對於 CWB/GFS 系統的分析預報表現在理論上並不一定合適。透過大量統計夏天與 冬天各一個月的初始猜測值與觀測差,以估得適合於 CWB/GFS 模式分別在北半球、南 半球與熱帶地區的夏天和冬天之觀測誤差。此觀測誤差顯示將會比現行 GSI 系統內定 的觀測誤差對於高層觀測有較小的 cost-function 貢獻,以及對於低層觀測有較大的 cost-function 貢獻。這組觀測誤差於理論上將更適用於 CWB/GFS 模式;然而,實際對 於模式分析及預報的影響,仍有待將來的研究繼續深入探討。

Abstract

Assimilation of GPS RO observational data will have certain impacts on the typhoon track prediction. Through a systematic comparison of sensitivity experiments, we find that the refractivity observation of the GPS RO data has a positive impact on the track forecasts of recurved typhoons, particularly during the period when the typhoons are recurving along their tracks. The positive impact on track forecast results from the better capture of the synoptic-scale flows as the GPS RO observations are assimilated into the model, thereby improving the prediction of the steering flow of typhoons. On the other hand, the negative impact on track forecast by the GPS RO refractivity data results from the violation of the spherical symmetry assumption of the local refractivity operator, as the GSP RO ray passes through a region with stronger horizontal gradient of temperature and moisture such as the inner core of typhoons.

When the GPS RO data from non-FS3 satellites are included in the data assimilation system, results show that these non-FS3 GPS RO data become more important as time increases, and it is essential to include these non-FS3 GPS RO data in the daily operation in the future. Through a comparison study between the FS3 and non-FS3 RO data, we find that their data impacts on daily weather forecast are similar, and the non-FS3 RO data have a larger uncertainty at upper levels and a slightly negative bias at low levels. The negative bias at low levels from non-FS3 RO data may result from the lower amount of sampling data and the higher sensitivity of data impact by the quality control algorithm. These non-FS3 GPS RO data may have a slightly negative impact on the day-5-and-longer forecasts of the CWB/GFS model for the summer hemisphere, but this slightly negative trend is not statistically significant and could be reduced by improving the observational error variance in the future.

The CWB/GFS observational error variance currently uses the default configuration in the GSI data assimilation system, which is based on the NCEP/GFS model characteristics, which may not be appropriate for the CWB/GFS. By performing the statistics of the refractivity difference between the model first guess and the observation in July and December 2010 (representing the summer and winter climate), we estimate the typical observational error variance of the CWB/GFS model among different seasons and different regions (northern hemisphere, southern hemisphere, and the Tropics). The CWB/GFS model observational error variance shows a smaller contribution to the cost function by upper-level GPS RO observations, compared to the GSI default setting for the NCEP/GSI, and a larger contribution to the cost function by lower-level GPS RO observational error variance should be more appropriate for the CWB/GFS model as assimilating the GPS RO data, and more in-depth research is needed in the future to consolidate this findings.

一、前言

(一) GPSRO 資料同化背景

天氣預報資訊早已成為人民生活中不可或缺的一部分,其主要依據來自於客觀的 「數值天氣預報」(Numerical Weather Prediction; NWP)。其中「數值天氣預報」的準確 與否,往往取決於其初始條件是否能愈接近「真實」的大氣狀態。台灣地區由於地理位 置特殊,除了西邊鄰近歐亞大陸有密集的傳統探空觀測網外,東邊濱臨廣大之太平洋, 幾無任何傳統探空觀測可言!因此就氣象分析與預報作業而言,非得大量借助於非傳統 之觀測如衛星、雷達等資料,以彌補傳統資訊之不足。

基於種種因素,中央氣象局(Central Weather Burea; CWB)之全球數值天氣預報系統 (Global Forecast System; GFS)一直深受未能大量利用衛星資料之苦,進而限制了其模式 的表現。事實上,CWB/GFS 模式目前的預報能力較 ECMWF 全球模式或 NCEP 全球模 式約相差1-2天。主要原因除 CWB/GFS 模式本身垂直與水平解析不如 ECMWF 或 NCEP 外,初始分析場所使用的非傳統觀測資料的質與量均較其他中心為少,尤其在衛星觀測 資料上更為不足。

CWB 於 2002 年自美國 NCEP 正式引入所謂的三維變分(3D-Var)資料同化系統, 即 Spectral Statistical Interpolation (SSI)系統(Parish and Derber 1992)。經過一連串的測試 後,CWB 於 2003 年中將三維變分資料同化系統正式上線作業(Wu and Chen 2003)。 在其測試實驗中,加入衛星 radiance 觀測後,模式預報結果雖仍不及前述 ECMWF 或 NCEP 等中心;但是所得到之預報能力提昇,足可媲美一般全球數值天氣預報模式改善 努力 10 多年的成效。足見在初始分析場中,缺乏大量的非傳統原始觀測資料之使用, 確為目前 CWB 全球模式預報成效有待提升的一大主因,所以,一個表現優秀的資料同 化系統以及同化非傳統原始觀測資料,正是目前 CWB 積極發展的工作項目。

然傳統衛星觀測雖覆蓋面廣,水平解析極高,卻存在垂直解析明顯不足的宿命缺 失,因而傳統探空觀測一直是模式初始分析最主要的資料來源,一般衛星觀測則為輔助 來源。事實上,傳統探空觀測也是目前咸認為最準確、最值得信賴的觀測資料。但其主 要缺失卻在分布不均,因為測站大都設在陸地上,而佔地表大部分的洋面上觀測則僅有 為數極少的船舶觀測。且近年來,因探空測站設備經費維持不易,探空資料量已然大幅 減少,目前平均僅維持有 500 多站有每日二次的定期觀測,為氣象分析之一大隱憂。

所幸利用 GPSRO 技術之衛星觀測有日漸盛行之趨。自 1995 年 MicroLab I 低軌繞 極衛星升空以來,取得先驅的 GPS/MET 資料(1995-1997),證明高低軌衛星間的 RO 觀測技術確實可行後,類似的探測計畫逐漸興起,如目前德國的 CHAMP、阿根廷的 SAC-C、美德合作的 GRACE、巴西的 EQUARS、美台合作的 COSMIC 和歐盟的 GRAS 等。由於其高垂直解析(200m~1 km,甚至可達 25 m!)之優勢,不受雲及降水影響 之特質,更可涵蓋傳統觀測方式不易取得的海上資訊,GPSRO 資料頗能彌補傳統探空 及一般衛星觀測之缺失,成為各氣象作業單位數值天氣預報系統絕佳的輔助分析資料來 源之一。

事實上,在財團法人國家實驗研究院國家太空中心(NSPO)的積極推動下,「福爾摩沙衛星三號」(即FOMOSAT-3/COSMIC)任務之6顆微衛星群已於2006年4月昇空。

3

這6顆低軌微衛星每日可提供約2400 筆大氣掩星折射觀測事件暨不同反演程度之導出 「偏折角」(bending angle)、或「折射率」(refractivity)探空。FOMOSAT-3/COSMIC 衛 星資料近乎全球均勻分佈之特性,恰能彌補傳統數值天氣預報系統極佳的初始分析輔助 資料來源。因此,本計畫的主要目的在於協助中央氣象局,使其全球模式資料同化系統 具有納入 GPSRO 觀測的能力,以達到福衛三號計畫希望其觀測資料能被即時應用到氣 象分析預報作業上的重要科學目標,此目標也於 2009 年正式將 FOMOSAT-3/COSMIC 的 GPSRO 折射率觀測納入 CWB/GFS 同化,其結果也如預期,顯示 GPSRO 納入同化 對於分析與預報結果普遍均有中性偏正面的影響。

簡單而言,RO 掩星折射觀測其工作原理即在:利用載於繞地球低軌衛星(low earth orbit, LEO) 上之 GPS 接收器所接收 GPS 訊號的時間延遲現象,來監測無線電波訊號 傳播在橫穿過地球大氣層所產生的折射情形,並可進一步利用模式反演推算出無線電波 訊號所經路徑上之電子密度和溫度、壓力、及水汽含量等資料,是一種不受天候影響之 主動大氣邊緣無線電波折射探測技術(如 Melbourne et al., 1994)。但就大氣參數而言, 其最大缺失為:在無其他觀測或分析的協助下,並無法獨立反演出低層大氣溫度與水汽 之垂直分布!

若要將 FOMOSAT-3/COSMIC 計畫中的 GPS/RO 折射觀測應用於氣象上,除使用 在掩星折射事件點(即 perigee point)上反演而得的 T和q外,嚴格說來,最好是直接 同化掩星觀測點上之反演折射率(N),甚或是更原始的導出偏折角(α)。由於該二者 均非模式分析變數,無法利用所謂的 OI 系統,而必須使用更先進的變分同化系統;且 必先建構一所謂的觀測算子及其伴隨算子,將 NWP 模式變數轉換成與觀測變數相當之 「模擬觀測」(pseudo-observation),方能順利將這類資訊植入一變分同化系統中。前者 之建構較簡單而直接,故同化所需電腦資源尚稱廉價;而後者則相當繁複,電腦需求相 對提高。但前者乃將經 Abel 轉換反演而得之 GPSRO 折射率視作在射線切點(近地點) 之局地觀測,故假設多,可靠性低,若無強水平梯度,效果甚佳,但在對流層內之誤差 則恐怕不小(誤差估計工作參見:Gurvich and Sokolovskiy (1985), Sokolovskiy (1986), Gorbunov and Sokolovskiy (1993), Gorbunov et al. (1996), Kursinski et al. (1997), Ahmad and Tyler (1999))。如欲降低其誤差,則必須選擇同化偏折角,或者必須考慮水平梯度 效應。另一方面,就資料影響範圍僅在局部區域,前者不若後者在無線電波訊號所經路 徑上附近之所有格點,皆可受到影響。若電腦資源可以負荷,在考慮現有 COSMIC 架 構下,掩星觀測點水平解析在數百公里以上,應以同化較原始的偏折角為佳。

原則上,溢相位(excess phase)或偏折角為三維折射率場之非線性函數,故其觀 測算子為非線性。在實際作業考慮下,或可以線性化(即固定射線路徑)以簡化之,但 即便如此,在對流層內亦可造成相當程度之誤差。是以Eyre (1994)、Zou et al. (2000) 和 Gorbunov and Kornblueh (2003)等人建議以疊代法尋找適當射線路徑來解決。本研究 計畫最早之目標即架構在此一思維上。但其電腦需求的確甚大,在兼顧精確度與方便作 業的雙重考慮下,以非局地折射率場權重組合為基礎精神之線性觀測算子,乃孕育而 生。如 Gorbunov (1990)、Ahmad (1998) 以及 Ahmad and Tyler (1998)等人,率先提倡: 利用線性算子將模式格點折射率先轉成溢相位或偏折角,再以 Abel 轉換得模擬之反演 折射率場。Syndergaard et al. (2004)的非局地線性折射率觀測算子即根據此一原理。其 優點除能大量簡化觀測算子之設計外,在 NWP模式內之模擬毋須再使用其他高層的(即 模式層頂外) 輔助資訊。 在正式將 FORMOSAT-3/COSMIC 的 GPS 折射資料植入氣象局的作業系統前,我 們先要深入了解在加入該項觀測後,對模式分析及預報表現是否可有正面的效益?為達 到此目的,首要任務在協助氣象局建立具有同化至 GPS 偏折角資料的能力。是以,所 謂的二維 GPS ray-tracing 觀測暨伴隨算子模組(Gorbunov, 1996; Zou et al. 1999)在 氣象局全球模式架構上的建置為主要的工作項目。另一方面,即使原始如偏折角資料, 仍是由無線電波訊號的相位差經球對稱假設輾轉反演而來,不同處理方式可導致不太一 樣的結果,是以反演資料的正確與否,精度如何?則是資料使用者最為關切的問題。

自 MicroLab-1 於 1995 年 4 月 3 昇空以來,在 1995-1997 年間,已蒐集了不下 70,000 筆 GPS/MET 折射探空資料。國外亦陸續有許多研究比較 GPS/MET 的反演溫度垂直分 布與其他觀測或模式分析,如: Ware et al. (1996), Kursinski et al. (1996, 1997), Rocken et al. (1997), Kuo et al. (1998)等。Leroy (1997)則在了解由 GPS/MET 觀測導出的重力位高度之精度。

另外,早在 GPS/MET 概念證明實驗尚未開始前,Zou et al. (1995)即曾利用乾 絕熱版的 MM5 伴隨模式系統,著手進行所謂的模擬觀測系統實驗(Observing System) Simulation Experiment; OSSE) 來了解 GPS 折射率(refractivity) 場對預報模式的可能 影響研究。其結果顯示:折射觀測的加入,對改善模式水汽場的分析有相當正面的影響; 但非常依賴觀測的水平密度!此外,Zou et al. (1999)運用變分同化技術進行同化「較 原始」之 GPS 偏折角資料的實驗。由比較觀測與模擬折射角之結果,兩者差別在 8-20 公里處約為平均觀測曲線(62個 GPS/MET 探空)之 5-10%左右;而中、低對流層之差 異則更形顯著(張 1999)。Zou et al. (2000)進一步利用該觀測算子於 NCEP 的三維變 分資料同化系統(即 SSI)中,從事 GPS/MET 折射資料觀測系統實驗(OSE)測試。 初步結果顯示:縱然只有少量 GPS/MET 資料(6小時中僅有 30 筆探空)可用,對折射 率、温度、水汽、甚至水平風場之分析,均可有所影響;局部地區的分析改變,可相當 大。而即使在傳統資料豐富地區,亦可有微量改善,但水汽分析則優劣互見。再者Liu et al. (2001) 以連續十天的 6 小時同化更新循環, 在持續納入 800 多個 GPS/MET 偏折 角探空資料後,初步評估指出其對 NCEP 模式短期天氣預報結果可有微幅的正面影響, 尤以南半球為然。隨著 COSMIC 計畫的推展,提供了更多 GPSRO 折射資料,我們使 用 CHAMP 任務以及 COSMIC 偏折角資料的初步結果均顯示:對全球模式的預報是可 有相當顯著之幫助(張 2006; Chang et al. 2006)。延續此成果,透過冬季月份(2008年 1月)及夏季月季(2007年7月)完整2個月的資料評估,我們明確得知納入 GPSRO 資料 做同化分析對於 CWB/GFS 南北半球的預報都有正面的影響(即改善預報), 而且在南半 球的改善幅度明顯大於北半球的改善幅度。經過統計檢驗評估(Student-t test),這些改善 幅度皆達到 95%的可信度空間(confidence level)以上。所以福衛星三號資料,已於 2009 年7月5日正式納入 CWB 模式預報作業。因此我們預期,更加完善的資料同化系統以 及對 GPSRO 觀測同化技術精進,對氣象局全球模式的預報表現,應可有相當程度的正 面貢獻。

(二) GPSRO 資料同化作業現況

Cucurull et al. (2007)指出加入 GPSRO 資料後,對於美國 NCEP 的全球模式資料 分析及預報系統會有所改進。其結果顯示,加入 GPSRO 資料,由於 NCEP 全球模式資 料同化系統的背景誤差相關性(background error correlation)的影響,使得模式預報在 溫度、濕度、及風場等,都有正面改進效益(positive impact)。 Cucurull et al. (2007)指出,當同化入折射率N的資料時,對於南半球 200hPa 溫 度場的距平相關(Anomaly Correlation; AC)係數可以改進0.01。在熱帶地區之高層大 氣,溫度場的距平相關(AC)係數可以改進0.02。在低層大氣,GPSRO 資料只有少許 的正面效益或是中性影響(neutral impact),亦即無顯著改進。在北半球的上對流層或 是平流層區域,引進GPSRO 資料反而對NWP 預報造成少許變差(slight degradation)。 這可能是由於北半球GPSRO 資料的資料品管(Quality Control; QC)流程(algorithm) 不恰當或是由於早期的NCEP 資料同化系統解析度過於粗糙所致。就全球而言,NCEP 模式同化入GPSRO 資料後,模式偏差(model bias)被大幅修正,而且其均方根誤差 (root-mean-square error)也減少許多。

Cucurull et al. (2007) 及 Cucurull and Derber (2008) 也討論 GPSRO 資料對於 模式低層大氣濕度場的影響。整體而言,GPSRO 資料對於低層大氣的影響還是相當正 面 (positive impact)。GPSRO 資料有一明顯趨勢是可減少模式偏差,而且當同化偏折 角 α 時此種改進趨勢更為顯著。Cucurull et al. (2007) 的測試結果顯示,加入 GPSRO 資料,可以改進 500hPa 高度場的距平相關 (AC) 得分約 0.01。對於熱帶地區 200hPa 的風場,其模式偏差變小而距平相關 (AC) 得分也有改進,顯示 GPSRO 資料可能有 潛力改進對於熱帶天氣系統 (如颱風或 Madden-Julian Oscillation) 的發展及移動之預 報!

福衛三號衛星取得的 GPSRO 資料(包括偏折角或折射率等),可透過 GSI 資料同 化系統同化至全球模式中,中央氣象局對 GPSRO 資料的同化方法乃延用 NCEP 最新的 作業版本。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 的 GSI 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)。前者是將一般折射率所用的觀測算子兩項式升級為三 項,將算子中乾空氣與濕空氣壓力的影響處理地更精確。至於品質控管則是此次更新中 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。

之前(2010年)的研究在 CWB/GFS 預報模式無更動的情況下,進行 GSI 資料同 化系統的準作業平行測試。平行測試期間由 2009 年 7 月 22 日至 2010 年 1 月 31 日,模 擬作業情況。夏季月份測試期間為 2009 年 8 月與 9 月,冬季月份測試期間為 2009 年 12 月與 2010 年 1 月。實驗結果顯示如下:





圖 1:夏季 2009 年 8 至 9 月 GSI 與作業版 SSI post run 的 500 hPa ACH 隨預報天數的預報表現,縱軸為 ACH,橫軸為預報天數。藍色線為 GSI 系統,紅色線為作業版預報表現。

對於夏季月份 500 hPa 的預報如圖 1 所示,在北半球,兩系統的預報表現大致相仿, 5 天預報後 GSI 則變得稍佳。而南半球則可明顯看出,GSI 系統的預報表現則較作業版 SSI 好,進步隨著預報天數增加而增加。



圖 2:2009 年 8 月至 9 月期間, 垂直各層北半球(左)與南半球(右)5 天與 7 天預報高度距平相關比較。 圖中共分兩組線, 右邊數值較高組為 5 天預報, 左邊數值較低組為 7 天預報。藍色線為 GSI 系統, 紅 色線為作業版 SSI 預報表現。

南北半球垂直各層高度距平相關,由圖 2 指出,不論是 5 天預報或是 7 天預報, GSI 實驗在南北半球結果均優於作業版 SSI 預報表現。北半球較佳的高度約為中層 500 hPa 至 300 hPa,尤以 7 天表現最好。南半球則是 400 hPa 以下有非常明顯的改進。冬季 月份測試結果與夏季月份相同,即在北半球兩系統的預報表現大致相仿,5 天預報後 GSI 則變得稍佳。而南半球則可明顯看出,GSI 系統的預報表現則較作業版 SSI 好,進 步隨著預報天數增加而增加。

下表為全實驗期間(2009年8月至2010年1月)GSI實驗減去SSI作業版實驗的 post-run 5天預報在垂直4層的ACH表現。可以看出無論是在5天或是7天預報,在此 垂直4層上,GSI做為資料同化系統的預報表現皆優於SSI作業版。北半球大致上有愈 高愈好的趨勢,南半球則是愈低愈好。

	5 days	5 days	7 days	7 days
g-0	NA	SA	NA	SA
100hPa	0.0102	0.0098	0.0145	0.0136
300hPa	0.0046	0.0129	0.0102	0.0151
500hPa	0.0038	0.0147	0.0058	0.0207
850hPa	0.0064	0.0214	0.0086	0.0295

此外,對於溫度均方根誤差表現,在5天預報方面,垂直各層的溫度均方根誤差 均有減少,南半球減少的幅度相對於北半球而言更大。而7天預報方面,除普遍的也均 有改進。

由以上結果可看出,在預報表現上,無論是夏季或是冬季,GSI系統對於北半球的 預報表現有略好的影響,對於5天之後的預報改進較為明顯。而南半球則有相當大的改 進,這可能是因為 GPSRO 在 GSI 同化系統中,使用了較為標準的同化進程所致。而對 預報結果來說,無論是在 ACH 或是溫度與風場的均方根誤差,除了少數層外,幾乎都 是正向的影響。

基於上述實驗結果顯示 GSI 系統相對於舊的 SSI 系統的持續性正向改善,加上 GSI 能再進一步同化更多的衛星資料,中央氣象局於 2010 年 7 月正式採用 GSI 為其資料同 化作業系統。

GSI 在處理背景誤差統計上有很大彈性,能考慮異質性(inhomogeneity)與非等向性 (anisotropy)的誤差特性,使資料同化過程更易精確反應觀測資料在局部空間的影響範圍 以及受不同尺度天氣系統的作用。GSI 利用遞推濾波器(recursive filters)將背景場誤差定 義在網點物理空間之中,可使協方差(error covariance)成為異質性,更接近於真實大氣 的狀態。經由比較證明,GSI 相較於原本 SSI 於波譜空間的作法,可對熱帶地區的分析 品質獲得良好的改進效果(Wu et al. 2002)。另外,GSI 可同化許多新一代觀測儀器帶來 的觀測資料(例如 NOAA-18 及 AIRS 衛星所提供的衛星輻射觀測等),可進一步改善分 析場,獲得更好的數值天氣預報。NCEP/GSI 資料同化系統已經建置了 GPSRO 之折射 率及偏折角的資料同化模組。NCEP 發現同化福衛三號觀測的結果(Cucurull et al. 2007),能對模式預報之溫度場、高度場與水氣場等系統性誤差(bias)與均方根誤差 (RMSE)以及距平相關(anomaly correlation)產生顯著的改進,尤其資料相對缺乏的南半 球有更大的助益。因此 NCEP 將 GSI 上線作業時,同時也將 GPSRO 觀測資料納入於其 全球資料同化作業系統之中,成為其常態使用下的一種觀測資料。

中央氣象局以 NCEP/GSI 取代掉日前 CWB/GFS 在進行 3d-Var 的 SSI,而福衛三號 資料應用的目的在於協助中央氣象局對於 GPSRO 觀測的實際應用,同時也移植到 GSI 系統上。本計畫將持續深入探討同化 GPSRO 觀測對於影響台灣地區天氣極為重要的颱 風路徑預報的影響,並更多加利用 GPSRO 觀測的優點,測試評估將更多非福衛三號觀 測的 GPSRO 觀測納入同化的可行性,且對於精進 GSI 同化 GPSRO 的表現從分析的準 確度著手,以改進觀測誤差的方式達成。

二、研究目的及意義

自從福衛三號衛星於 2006 年 4 月成功發射後,6 顆低軌道衛星(Low Earth Orbit; LEO)在正常運作情形下每日產生近2000個分布全球的GPSRO觀測。GPSRO觀測資 料則是以 GPS 技術為基礎以求得大氣中垂直方向的剖面資料, GPSRO 觀測不受到陸地 與海洋的限制,可均匀分布在全球各地。國際間重要的數值預報作業中心,如:歐盟 (ECMWF)、美國 (NCEP)、法國 (Meteo France)、英國 (UKMO)、加拿大 (MSC) 等國數值預報作業中心均證實, GPSRO 的偏折角或折射率觀測,透過數值資料同化過 程,可以改善全球數值模式的溫度及高度場等初始場結構,從而提高數值天氣預報的預 報準確度。研究結果顯示,ECMWF 指出同化 GPSRO 資料之所以減少高層溫度偏差, 便是因為同化 GPSRO 資料可以減少衛星輻射量觀測偏差量所致。此外,新近 ECMWF 比較各類觀測對減少模式預報誤差的貢獻,也指出 GPSRO 資料列為具有顯著貢獻程度 的第5位,其與數值模式目前最仰賴之氣象繞極衛星資料所發揮的效果比較並不遜色! 但是 GPSRO 觀測資料的全球密度遠不及傳統繞極氣象衛星,由此顯見 GPSRO 能提供 精確大氣温溼剖面的特性,有利在同化過程發揮資料的效益!由於使用福衛三號衛星資 料的成功經驗,美國及歐盟均有興趣對於 GPSRO 觀測衛星做更多的投資及研究,由此 可預見 GPSRO 資料在數值天氣預報系統將被更廣泛的應用,對於推動數值天氣預報品 質進一步的提升將可扮演關鍵的角色。

目前 GSI 系統所同化的 GPSRO 資料方法為局地折射率(local refractivity),在此同 化方法下使用了一球面對稱假設(Spherical Symmetry Assumption)。此一假設在一般的 大氣狀況下可滿足,但若 GPSRO 觀測資料座落在折射率梯度大的地方(亦即代表溫度 與壓力、高度梯度大的地方)時,如颱風系統附近,此種同化方法所使用之球面對稱假 設將不成立,而致使得同化結果不如預期。因此,基於同化局地折射率之球面對稱假設 成立前提下,若能移除或是減低在颱風系統附近的 GPSRO 觀測資料,對於颱風路徑預 報可能會有正面影響。

目前中央氣象局使用 GSI 系統同化 GPSRO 資料,所使用的絕大部分之參數設定為 NCEP 之原始預設值。換言之,這些參數是針對 NCEP 之全球數值預報模式所擬定,應 該對於中央氣象局全球模式(CWB/GFS)之特性加以調整改進,或是在觀察分析後保留 不需調整的部分。在過去的經驗累積之下,從為數眾多的資料中我們已經初步地掌握了 觀測誤差的估算技術,故可以估算具有 CWB/GFS 模式特性的觀測誤差,以期將來能由 此方向改善 CWB/GFS 分析與預報的表現。

福衛三號衛星自 2006 年 4 月發射,迄今(2011 年 11 月)運作了五年多,已超過 其當初設計時所設定的有效使用年限。隨著硬體機件逐漸老化,有部份福衛三號衛星已 無法正常運作,資料接收的狀況非常不穩定。由於 GPSRO 資料已證明對於模式之分析 與預報表現均有很正面的影響,在新的下一代福衛七號衛星發射之前,福衛三號衛星觀 測資料量漸漸減少之際,將其他非福衛三號之 LEO 衛星所觀測到的 GPSRO 資料納入 進行同化,對於彌補福衛三號減少的 GPSRO 觀測量是極為重要的。因此本(2011)年度 之計畫部份重要的工作之一即是評估非福衛三號衛星所觀測到的 GPSRO 資料對於 CWB/GFS 分析與預報的影響。故此計劃的目的之一在於協助 CWB 因應將來有更多 GPSRO 觀測資料時,能夠有足夠的經驗與能力將之納入同化作業。

三、研究方法

(一) GPSRO 折射率觀測算子

GPSRO 的折射率觀測乃是經 Abel 轉換反演偏折角而得, Abel 轉換則牽涉到局部 球對稱假設,因此可知觀測的折射率將較於觀測的偏折角有較多的誤差,因此,同化偏 折角觀測在理論上能夠獲得較準確的分析場。

在作業的觀點上評估由同化折射率轉換為同化偏折角,則必須先了解透過局地折 射率觀測算子和一維折射率觀測算子對於大氣分析場的影響有何差異,因此比較此兩不 同觀測的分析結果為本期計畫的重點之一。

以下分別簡述局地折射率觀測算子與折射率觀測算子之方法。

根據光學幾何原理,GPS 出射線之偏折角的大小取決於行經路徑之折射率 (refractivity)場分布,而折射率的定義為:

 $N = (n-1) \times 10^6$,

其中, n 為大氣折射指數 (index of refraction)。而 N 為氣壓 (p)、溫度 (T)、水 氣壓 (e) 等之函數,即;

 $N = 77.6 \frac{p_d}{T} + 70.4 \frac{e}{T} + 3.739 \times 10^5 \frac{e}{T^2}$

上式大氣折射率根據 Bevis (1994) 之定義。運用此定義,可作為局地折率的觀測 算子。

(二)GSI 三維變分資料同化系統:

格點統計內插 (Gridpoint Statistical Interpolation; GSI) 是目前美國國家環境預報中 心 (National Centers for Environmental Prediction; NCEP) 作業的三維變分分析系統。中 央氣象局也於去(2010)年中以 GSI 取代為的 SSI,成為新一代的作業資料同化系統。GSI 系統建立在之前 NCEP 所使用的波譜統計內插分析 (Spectral Statistical Interpolation; SSI) 系統的基礎上,利用遞推濾波器 (recursive filters) 處理背景場誤差。因此,可以在有限 的計算機資源下,於物理網格進行三維變分分析,使得原本在波譜空間定義的背景場誤 差也可以直接在物理空間中定義。

GSI系統在處理背景誤差統計較 SSI系統有更大的彈性,最主要的差異在 GSI系統 的背景場誤差在物理空間中定義可為非均勻性 (inhomogeneity) 與非均向性 (anisotropy),可更接近於真實大氣的狀態。此外,經由實驗證明 (Wu et al., 2002),在 非熱帶地區於物理空間所處理的三維變分同化效率上,相較於波譜空間中有些微的改 進,而在熱帶地區則有良好的改進。GSI系統可同化許多新觀測儀器或是新觀測參數, 除了傳統觀測資料與 SSI系統可同化之衛星觀測資料外,GSI系統亦可同化如: NOAA-18 衛星所提供的衛星觀測資料、雷達觀測資料、AIRS 所提供的輻射資料、福衛 三號 (FORMOSAT-3/COSMIC) 所提供的折射角 (bending angle) 及折射率 (refractivity) 資料等等。

GSI 最小化下列之目標函數:

$$J = \frac{1}{2} \left\{ \left(\mathbf{x}_a - \mathbf{x}_b \right)^T \mathbf{B}^{-1} \left(\mathbf{x}_a - \mathbf{x}_b \right) + \left(H \mathbf{x}_a - \mathbf{o}_o \right)^T \mathbf{O}^{-1} \left(H \mathbf{x}_a - \mathbf{o}_o \right) \right\} + J_c$$

其中 \mathbf{x}_a 為分析場; \mathbf{x}_b 為背景場; \mathbf{B} 為背景誤差協方差矩陣 (background error covariance matrix); H 為觀測算子; $\mathbf{0}_o$ 為觀測; \mathbf{O} 為觀測誤差協方差矩陣 (observation error covariance matrix); 而 J_c 是附加約束條件項。定義變數場分析增量為 $\mathbf{x} = \mathbf{x}_a \cdot \mathbf{x}_b$, 則上式 變為

$$J = \frac{1}{2} \left\{ \mathbf{x}^T \mathbf{B}^{-1} \mathbf{x} + (H(\mathbf{x}_b + \mathbf{x}) - \mathbf{o}_o)^T \mathbf{O}^{-1} (H(\mathbf{x}_b + \mathbf{x}) - \mathbf{o}_o) \right\} + J_c$$

假設 H 為一個線性算子時,則上式可改寫成

$$J = \frac{1}{2} \left\{ \mathbf{x}^T \mathbf{B}^{-1} \mathbf{x} + (H\mathbf{x} - (\mathbf{o}_o - H\mathbf{x}_b))^T \mathbf{O}^{-1} (H\mathbf{x} - (\mathbf{o}_o - H\mathbf{x}_b)) \right\} + J_c$$

定義觀測革新量(observation innovation)為 $\mathbf{o} = \mathbf{o}_o - H\mathbf{x}_b$,則上式可改寫為

$$J = \frac{1}{2} \left\{ \mathbf{x}^T \mathbf{B}^{-1} \mathbf{x} + (H\mathbf{x} - \mathbf{o})^T \mathbf{O}^{-1} (H\mathbf{x} - \mathbf{o}) \right\} + J_c$$

GSI 最小化目標函數的先決條件是透過定義一個新的變數,y=B⁻¹x 來進行的,於 是上式變成

$$J = \frac{1}{2} \left\{ \mathbf{y}^T \mathbf{B}^{-1} \mathbf{y} + (H \mathbf{B} \mathbf{y} - \mathbf{o})^T \mathbf{O}^{-1} (H \mathbf{B} \mathbf{y} - \mathbf{o}) \right\} + J_c$$

而目標函數背景與觀測的部分,分別考慮對 $\mathbf{x} \otimes \mathbf{y}$ 變化的梯度可表示成以下兩式: $\nabla_{\mathbf{x}} J = \mathbf{B}^{-1} \mathbf{x} + \mathbf{H}_{\mathbf{x}}^{T} \mathbf{O}^{-1} (H\mathbf{x} - \mathbf{o})$

$$\nabla_{\mathbf{y}} J = \mathbf{B}^T \mathbf{y} + \mathbf{B}^T \mathbf{H}_{\mathbf{x}}^T \mathbf{O}^{-1} (H \mathbf{B} \mathbf{y} - \mathbf{o}) = \mathbf{B} \nabla_{\mathbf{x}} J$$

上式中的 $\mathbf{H}_{\mathbf{x}}$ 為 H 相對於背景場的正切線性算子, 即 $\mathbf{H}_{\mathbf{x}} = \frac{\partial H}{\partial \mathbf{x}}\Big|_{\mathbf{x}_{b}}$, 而 $\mathbf{H}_{\mathbf{x}}^{\mathrm{T}}$ 即其所對

應之伴隨觀測算子。GSI最佳解的求解方法,同樣是採用共軛梯度法 (Conjugate-gradient),實際求解程序則使用以下之迭代最小化步驟:

首先假設 $\mathbf{x}^0 = \mathbf{y}^0 = 0$,接下來重複迭代以下步驟n次

$$\nabla_{\mathbf{x}} J^{n} = \mathbf{B}^{-1} \mathbf{x}^{n-1} + \mathbf{H}^{T} \mathbf{O}^{-1} (H \mathbf{x}^{n-1} - \mathbf{o}) = \mathbf{y}^{n-1} + \mathbf{H}^{T} \mathbf{O}^{-1} (H \mathbf{x}^{n-1} - \mathbf{o})$$
$$\nabla_{\mathbf{y}} J^{n} = \mathbf{B} \nabla_{\mathbf{x}} J^{n}$$

上式目標函數梯度的最小值所在之x即為最佳解。

定義最佳解搜尋方向 (searching direction) 導數如下式

 $Dir \cdot \mathbf{x}^{n} = \nabla_{\mathbf{y}} J^{n} + \beta Dir \cdot \mathbf{x}^{n-1}$ $Dir \cdot \mathbf{y}^{n} = \nabla_{\mathbf{y}} J^{n} + \beta Dir \cdot \mathbf{y}^{n-1}$

其解與上一次迭代所得之解的關係式如下

 $\mathbf{x}^{n} = \mathbf{x}^{n-1} + \alpha Dir \cdot \mathbf{x}^{n}$ $\mathbf{y}^{n} = \mathbf{y}^{n-1} + \alpha Dir \cdot \mathbf{v}^{n}$

如此重複以上迭代直到最大迭代次數或者是梯度已達到充分的最小化為止。

以上迭代過程即是共軛梯度求解法,其中
$$\beta = \frac{\left(\nabla_{\mathbf{x}}J^{n} - \nabla_{\mathbf{x}}J^{n-1}\right)^{T}\nabla_{\mathbf{y}}J^{n}}{\left(\nabla_{\mathbf{x}}J^{n} - \nabla_{\mathbf{x}}J^{n-1}\right)^{T}Dir\cdot\mathbf{x}^{n}}$$
,而 α 即為

每次迭代求解的步長 (stepsize)。

四、具體成果

由前人的研究結果顯示,同化 GPSRO 觀測資料對於 CWB/GFS 模式的分析與預報 均有正面影響,延續此結果,本(2011)年度計畫研究的具體成果依照工作目標分為以下 三大部分:(1)深入探討同化 GPSRO 觀測對於颱風路徑預報的影響,(2)評估將非福衛 三號之 GPSRO 觀測納入同化後對於 CWB/GFS 的影響,(3)為提升 CWB/GFS 同化 GPSRO 觀測的表現,估算由 CWB/GFS 產生之初始猜測值所統計的觀測誤差。另外, 本年度計畫派遣研究助理曹伶伶赴美研習同化 GPSRO 對於衛星 radiance 觀測的影響亦 為重點工作成果之一,此部份並入附錄一,在其出國報告中詳述。

(三)同化 GPSRO 觀測對於颱風路徑預報的影響

1. 颱風個案與統計結果

首先由四個颱風個案來探討 GPSRO 觀測資料對於路徑預報的影響。選取四個颱風,分別為2008 年薔蜜、2009 年莫拉克、2010 年梅姬、凡那比,設計兩組實驗,為控制組(CNTL)與實驗組(GPS),兩實驗完全一樣,唯GPS 實驗多加入了 GPSRO 觀測資料。 圖 1 為兩組實驗的颱風路徑預報誤差。



圖 1:分別為 2008 年薔蜜(Jangmi, 左上)、2009 年莫拉克(Morakot, 左下)、2010 年梅姬(Megi, 右上)、凡那比(Fanapi, 右下)的颱風路徑預報誤差。紅色線為 CNTL, 藍色線為 GPS。縱軸為路徑誤差,單位為公里,橫軸為預報時間,單 位為小時。

由上圖四個案知,加入 GPSRO 資料後,對於路徑預報有正向影響,至遲至 36 小時可看出差異。但對於部份個案則有不良影響,如圖 2。2008 年卡玫基及 2009 年芭瑪 颱風,加入 GPSRO 資料後則使預報變差。



圖 2:分別為 2008 年卡玫基(Kalmaegi, 左)及 2009 年芭瑪(Parma, 右)的颱風路徑 預報誤差。紅色線為 CNTL, 藍色線為 GPS。縱軸為路徑誤差,單位為公里, 橫軸為預報時間,單位為小時。

而對於 2008 至 2010 年共 11 個颱風個案(如下表 1)的統計來說,藍色代表 RO 資料對於颱風路徑預報有不良的影響,紅色則代表有正向影響,黃色代表影響不大。個 別個案的結果如表 1 所示,但對於統計結果來說,則如圖 3。

颱風	期間	強度	移動方向	RO 資料影響
卡玫基(Kalmaegi)	08071506-08071806	中度	北行	Negative
鳳凰(Fung-Won)	08072506-08072806	中度	轉彎	Neutral
如麗(Nuri)	08081800-08082112	中度	西行	Neutral
辛樂克(Sinlaku)	08090818-08091918	強烈	轉彎	Negative
哈格比(Hagupit)	08091912-08092406	中度	西行	Positive
薔蜜(Jangmi)	08092412-08092800	強烈	轉彎	Positive
莫拉克(Morakot)	09080318-09080912	中度	轉彎	Positive
芭瑪(Parma)	09092900-09101012	中度	西行	Negative
米勒(Melor)	09092912-09100800	強烈	轉彎	Neutral
凡那比(Fanapi)	10091512-10092000	中度	轉彎	Positive
梅姬(Megi)	10101312-10102212	中度	轉彎	Positive

由圖 3 可知,統計結果顯示 GPSRO 資料對於颱風路徑資料並無顯著影響。兩實驗 組的路徑預報誤差平均而言近乎一致。但仔細研究上表,當颱風移動方向為轉彎類型 時,GPSRO 資料的影響則偏向正向(共 7 個轉彎個案,其中 1 個為不良,2 個為近乎不 變,4 個為正向影響)。因此,可針對其中轉彎個案來研究其綜觀天氣系統與颱風的配 置,另外,還可進一步將路徑預報誤差分為 along 與 cross 誤差。並可分析環境駛流場, 以瞭解綜觀尺度情形。



圖 3:2008 至 2010 年共 11 個颱風個案路徑預報誤差統計。紅色線為未加入 GPSRO 資料實驗組(CNTL),藍色線為加入 GPSRO 資料實驗組(GPS)。橫軸為預報時間, 單位為小時,縱軸為路徑預報誤差,單位為公里。



2. 個案之深入討論

圖 4:分別為 2010 年梅姬(Megi)的 along(左)與 cross(右)颱風路徑預報誤差。紅色線為 CNTL, 藍色線為 GPS。縱軸為路徑誤差,單位為公里,橫軸為預報時間,單位為小時。

在討論颱風路徑預報誤差時,可將其分為 along 路徑誤差及 cross 路徑誤差。along 路徑誤差可代表颱風路徑速度預報誤差, cross 路徑誤差則代表颱風路徑方向預報誤 差。由以上個案中,挑選梅姬颱風作為分析案例,圖 4 為梅姬颱風的 along、cross 路徑 誤差。對照梅姬全路徑誤差(圖 1 右上),此颱風個案顯示 GPSRO 資料對於颱風路徑預 報誤差有所改進,進一步將路徑誤差分為 along 與 cross 時,如圖 4 顯示,可知 GPSRO 資料在此個案中,主要貢獻在降低 cross 誤差。此原因可能為 GPSRO 觀測資料改善了 分析場的綜觀天氣系統配置,進而使模式模擬其移動較為準確。

以梅姬颱風期間,2010年10月18日00時為例,如圖5。圖中顯示,CNTL實驗 模擬的副高較GPS實驗西伸,此外,在華南一帶的相對高壓,CNTL實驗也較GPS實 驗來得強。在這樣的綜觀環境下,會導致CNTL實驗所模擬的颱風路徑會比較偏西, 且較慢轉彎。而GPS實驗的颱風則較趨近於實際路徑。



圖 5:兩實驗組模擬 2010 年 10 月 18 日 00 時梅姬颱風之 500 百帕高度場。藍色線為 GPS 實驗,紅色線為 CNTL 實驗,黑色線為 NCEP 分析場,橘色點為 GPSRO 觀測資料 (profile)位置。每個颱風標記相隔為 12 小時,黑色颱風標記代表颱風之 Best Track, 藍色與紅色颱風標記分別為 GPS 與 CNTL 實驗預報之颱風位置。左上為 GPS 實驗與 NCEP 分析場比較,左下為 CNTL 實驗與 NCEP 分析場比較,右圖為 GPS 實驗與 CNTL 實驗比較。

因此由上述可知,GPSRO 觀測資料可以改善分析場的綜觀天氣系統配置,尤其是 颱風進入轉彎期間時更可看出影響。但若看一個颱風全期間的平均路徑預報誤差,可能 會因為有時好有時壞的情形而平均後接近不變。是故,若進一步將颱風預報誤差的時間 序列繪出來討論,則可更明顯地區分出 GPSRO 觀測資料的貢獻。

圖 6 為梅姬颱風與薔蜜颱風三天路徑預報誤差隨時間的演變。由圖可知,梅姬颱風 在 2010102000 至 2010102212 有較佳的預報表現,尤其是 cross 誤差,而適逢此期間為 梅姬颱風的轉彎期間。薔蜜颱風則是在 2008092806 至 2008093000 期間為轉彎期,此時 亦為薔蜜颱風的轉彎期。除了平均表現較佳的颱風之外,對於平均表現較差的颱風,亦 可看出 GPSRO 資料對於颱風轉彎期間的幫助,如圖 7。



圖 6:梅姬(上)與薔蜜(下)颱風三天路徑預報誤差隨時間的演變。圖中長條為 GPS 實驗誤差減去 CNTL 實驗誤差,因此負值代表有正向影響。橘色長條為 along 誤差, 綠色長條為 cross 誤差。縱軸為誤差相差,單位為公里,橫軸為預報時間,每一 刻度代表 6 小時。

圖 7 為辛樂克颱風的三天路徑預報與實際路徑圖。辛樂克颱風整在加入 GPSRO 資料後,平均而言的表現偏差。但若是以時間序列來表示各個預報時間的表現,則可看出 在颱風接近台灣的轉彎期間,加入 GPSRO 資料有效地降低颱風的路徑預報誤差,尤其 以 cross 預報誤差為佳。由以上個案與此個案顯示,GPSRO 資料對於模式綜觀天氣系 統的分析有所助益,因而改善了大尺度系統的模式預報,從而影響颱風路徑。

然而對於加入 GPSRO 資料後表現變差的個案來說,可能是因為 GSI 所使用的 GPSRO 同化方式為一維折射率(1D refractivity)。利用這種方法同化 GPSRO 資料時,是 預設在觀測點附近的大氣環境為球對稱假設,但若有一個觀測資料位於颱風中心附近, 且射線方向穿越颱風中心時,其觀測點附近的大氣環境就不為球對稱假設,在這種情況 下,同化此觀測反而會使分析變差,從而影響預報結果。關於以上假設的進一步實驗將 在後面闡述。



圖 7:上圖為辛樂克(Sinlaku)颱風三天路徑預報誤差隨時間的演變,兩黑色虛線所涵蓋 的範圍為颱風接近台灣陸地的轉彎期。圖形定義如圖 6。下圖為辛樂克颱風的路 徑圖。

3. 對於颱風駛流的改變

從前述的實驗結果,我們確認同化 GPSRO 折射率觀測會改變對颱風路徑的預報, 由於颱風的移動又受到駛流的影響,因此,同化 GPSRO 應當同樣會對颱風駛流造成影響。本文中駛流的定義為自 925hPa 至 250hPa 每層颱風內部環流非對稱平均風向量的垂 直平均,其中,各垂直層的非對稱平均風向量的求法如下: (1)將uv風場資料自直 角坐標系轉換至以颱風中心為原點的圓柱坐標系;(2)將圓柱坐標系上的uv風場韓 換成徑向風 V_i 與切向風 V_i ;(3)由中心以1度緯度為間距,延圓周以每 2.5 度角求得環 平均 $\overline{V_r}$ 與 $\overline{V_t}$,此為對稱流;(4)將對稱流 $\overline{V_r}$ 與 $\overline{V_t}$ 轉換回uvv風場,得到對稱流 \overline{u} 、 \overline{v} ; (5)以原來的風場uv與對稱流 \overline{u} 、 \overline{v} 相減,得到非對稱流 u_av_a ,(6)分別平均 $u_av_v_a$,並將其平均合成為非對稱平均風向量。



圖 8 梅姬颱風 2010 年 10 月 20 日 00UTC 的 48 小時預報非對稱平均風向量與駛流。 圖左為實驗控制組 (CNTL)之結果,圖右為實驗組 (GPS)之結果,圖中紅色 箭頭為各層非對稱平均風向量,藍色箭頭即為各垂直層非對稱平均風向量平均 後所得的駛流

圖 8 為駛流計算的實例,此例為 2010 年梅姬颱風(Megi),圖所示為 10 月 20 日 00UTC 的 48 小時預報結果,此時也正是梅姬颱風的路徑由穩定向西移動轉換成向北移 動前的方向轉換時期。圖左為實驗控制組(CNTL)之結果,圖右為實驗組(GPS)之 結果,圖中紅色箭頭為各層非對稱平均風向量,藍色箭頭即為各垂直層非對稱平均風向 量平均後所得的駛流,駛流箭頭長短與各層非對稱平均風向量箭頭長度無關,不代表駛 流速度,僅指示駛流方向。圖中可見,將 GPSRO 折射率觀測納入同化(GPS 實驗)後 對於颱風駛流(藍色箭頭)的影響與控制組(CNTL 實驗)在速度與方向上均有明顯的 差異,同化了 GPSRO 觀測使得梅姬颱風的駛流方向較控制組增強了向北的分量,同時 也減弱了向東的分量。而且,對於某些垂直層上的非對稱平均風向量更有著極為顯著的 差異。圖中低層 925hPa 的非對稱平均風向量兩實驗差異不大,自 850hPa 向上至 250hPa,每層的非對稱平均風向量的差異就十分明顯,尤其是 400hPa 的非對稱平均風 向量,在控制組實驗中為向西北西的方向,而在 GPS 實驗卻是朝向北北西的方向。

這結果顯示,在同化了 GPSRO 觀測後對於颱風預報的駛流方向產生了差異,這是 由於預報初始場-亦即分析場-的差異所引起。而且由於各層的非對稱平均風向量有顯 著的差異,這勢必顯著影響到颱風本身內部的風場結構,也將會影響到接下來預報颱風 的移動。



圖 9 分析時間 2010 年 10 月 18 日 00UTC 及後續 72 小時預報的駛流。圖中灰色颱風 福號為觀測颱風路徑,紅色箭頭為控制組實驗的颱風駛流,藍色箭頭為 GPS 實 驗的颱風駛流,每個箭頭間隔 12 小時。

整體的來看同化 GPSRO 在梅姬颱風路徑轉彎期間的影響,圖 9 為分析時間 2010 年10月18日00UTC及後續72小時預報的駛流。圖中灰色颱風符號為觀測颱風路徑, 紅色箭頭為控制組實驗的颱風駛流,藍色箭頭為 GPS 實驗的颱風駛流,每個箭頭間隔 12 小時,圖中右邊小圖為局部的放大圖。在預報初始時(即分析場)的駛流,兩實驗 僅有極不顯著的差異,方向幾乎完全相同。預報12小時候,即可發現GPS實驗的駛流 速度已較 CNTL 實驗的駛流慢,預報 24 小時 GPS 實驗駛流速度減慢更明顯,不僅如此, 還增強了向南的分量,這樣的移動方向,較 CNTL 實驗結果更接近觀測路徑。到了預 報 36 小時,由於之前 GPS 實驗的駛流速度持續比 CNTL 減慢,此時颱風中心位置已有 顯著的差異了, GPS 實驗的颱風中心位置更是非常接近觀測。預報 24 至 36 小時的觀 測颱風中心位置先向南迅速偏移後又向西北偏轉,使得 GPS 實驗的 36 小時預報中心位 置顯得較觀測偏西,但是 CNTL 實驗的中心位置則更是比觀測偏西南,且如上面所提, 預報 24 小時的 GPS 實驗駛流有較 CNTL 實驗駛流更強的向南分量,這樣的路徑移動模 擬更是比 CNTL 實驗教接近觀測。預報 48 至 60 小時,兩實驗同時顯現出颱風中心位 置的滯留且方向向北偏轉,然而 GPS 實驗的颱風中心位置同樣的較接近觀測中心位 置,且駛流方向的轉變也比 CNTL 實驗有更強的向北與向東的分量,此時 CNTL 實驗 的颱風中心位置已完全偏離觀測。到了預報 72 小時 GPS 實驗的駛流較 CNTL 實驗更偏 北,且中心位置也非常明顯的比 CNTL 實驗更接近於觀測颱風中心位置。

由上述結果可知,在將 GPSRO 觀測納入同化之後,在預報颱風路徑轉彎時,不僅 使的颱風移動的速度更接近於觀測,也使得颱風移動時方向的改變更接近於觀測,因而 對於颱風駛流的預報有更佳的掌握,並且進而提升了颱風在轉彎時的路徑預報準確度。

4. 間接影響 — 對於綜觀尺度系統的修正

雖然 COSMIC 衛星提供了每六小時約有 500 個 GPSRO 臨邊探空 (limb soundings) 觀測,但是對於颱風本身結構及動力的影響,這樣的水平解析度顯然還是十分不足的。 因此,同化 GPSRO 觀測對於颱風路徑預報的影響是透過影響綜觀尺度系統而間接影響 到颱風路徑的。故而,若能更佳的掌握對於中緯度槽脊系統與西北太平洋副熱到高壓系 統的分析,則能夠進而更加改進對於颱風路徑的預報。

同樣的,以梅姬颱風分析時間 2010 年 10 月 18 日 00UTC 為個案,探討同化 GPSRO 影響綜觀系統,進而影響對颱風路徑的預報,此分析時刻正好有第 37、50、53 號 GPSRO 探空觀測恰好坐落於中緯度槽後以及西南季風區,如圖 10 所示。因此,以同化所有 GPSRO 觀測為控制組 (GPS 實驗),另外以剔除 37、50、53 號 GPSRO 探空為實驗組 (EXP 實驗),來探討這三個 GPSRO 探空對颱風路徑預報的影響。



圖 10 梅姬颱風分析時間 2010 年 10 月 18 日 00UTC 的東亞地區 GPSRO 觀測臨邊探 空分佈圖。紅色圓圈所標示之三個探空為實驗組(EXP)所剔除之觀測。

實驗結果的颱風預報路徑誤差如圖 11, 左圖為 total track error,中圖為 along track error,右圖為 cross track error,圖中藍色曲線為納入所有 GPSRO 觀測同化的控制組 GPS 實驗之結果,紅色曲線為剔除掉第 37、50、53 號 GPSRO 探空觀測同化的實驗組 EXP 實驗之結果。由圖中的 total track error 結果可看出剔除掉第 37、50、53 號 GPSRO 探空 觀測使得總體路徑預報誤差變大了;在 along track error 同樣的也全面的變大;而在 cross track error 方面,除了第 12 小時與第 30 小時之預報外,其餘預報的路徑誤差也都變大。 這樣的結果顯示,若在綜觀尺度系統的區域缺少了 GPSRO 觀測來改進分析場的話,對 於影響颱風路徑的綜觀尺度系統的預報就無法有更佳的掌握,連帶的影響了颱風路徑預 報的準確度。兩實驗的同化觀測資料只相差了 3 個 GPSRO 臨邊探空,然而,卻會導致 總體路徑誤差最大相差了近 10km。其中,在颱風移動速度的掌握上全面的變差,而在 颱風移動方向的掌握上也大部分變差,值得注意的是,在影響梅姬颱風路徑由向西轉換 為向北的關鍵預報時刻一分析時間 2010 年 10 月 18 日 00UTC 的第 36 至第 60 小時預報 一無論是在移動速度或是移動方向上的掌握均都較差,尤其在移動方向上的掌握,幾乎 達到誤差相差的極大值。



圖 11 梅姬颱風分析時間 2010 年 10 月 18 日 00UTC 同化所有 GPSRO 觀測與剃除掉 第 37、50、53 號 GPSRO 探空觀測同化對於颱風路徑預報誤差的比較圖。左圖 為 total track error,中圖為 along track error,右圖為 cross track error,藍色曲線 為 GPS 實驗之結果,紅色曲線為 EXP 實驗之結果。

在颱風生成的海洋上,綜觀系統的西北太平洋副熱帶高壓,其強度以及其分布的位 置對於颱風形成的所在位置、颱風的大小與強度的維持、颱風移動的速度與方向,均有 極為重要的影響,尤其其風場分布更是時常用來做為颱風駛流的判斷依據。因此,若能 掌握好對於西太平洋副熱帶高壓的預報,對於颱風路徑的預報更是會有極為顯著的助 益。根據上述的實驗結果,將 GPSRO 觀測納入同化會對於路徑偏轉型的颱風的路徑預 報有正面的影響,且對於颱風移動方向正在轉彎期間的路徑預報更能降低路徑預報誤 差。我們推論這是由於同化 GPSRO 觀測改善了西北太平洋副熱帶高壓預報的掌握所 致,此推論由以下所述的統計結果得到證實。

在評估西北太平洋副熱帶高壓的預報表現上我們以在 115°E~155°E、10°N~30°N 區域內的預報得分作為依據,如圖 12 黑色方框所示,藍色等值線為 ECMWF Analysis 500hPa 重力位高度場在 2010 年 8 月的月平均,可看出所選取作為預報得分依據的區域 是位在西北太平洋副熱帶高壓的西南象限。



圖 12 黑色方框所示區域內的預報得分作為評估西北太平洋副熱帶高壓預報表現的 依據,藍色等值線為 ECMWF Analysis 500hPa 重力位高度場在 2010 年 8 月的 月平均。

表 2 為所本研究中所有路徑偏轉型颱風在颱風生命期內以及其路徑偏轉期間的西 北太平洋副熱帶高壓於 00UTC 時及 12UTC 時的預報表現統計。表內各欄位的統計數字 分別為重力位高度場的 AC score、U 風場的 RMSE score、V 風場的 RMSE score 的 1 天至 3 天預報得分。由上至下四列統計數字分別為控制組(CNTL 實驗,未將 GPSRO 觀測納入同化)在颱風生命期內、實驗組(GPS 實驗,同化所有 GPSRO 觀測)在颱風 生命期內、控制組在颱風路徑偏轉期間、實驗組在颱風路徑偏轉期間的預報得分。表中 黃色底色表格顯示出控制組與實驗組相比較結果較佳者。由表一的統計顯示,在納入了 GPSRO 觀測同化之後,對於西北太平洋副熱帶高壓重力位高度場的 AC score 均有改 善,無論是在整個颱風生命期內或者是路徑偏轉期內。然而,對於西北太平洋副熱帶高 壓風場的預報表現,納入了 GPSRO 觀測同化顯然的並沒有太大的助益。

00,12	AC score of H		RMSE score of U			RMSE score of V			
	fcst day1	fcst day2	fcst day3	fcst day1	fcst day2	fcst day3	fcst day1	fcst day2	fcst day3
ctrl_total	0.928216	0.841123	0.739873	3.664027	4.844031	<mark>5.404164</mark>	3.473203	<mark>4.525462</mark>	<mark>5.284455</mark>
gps_total	<mark>0.931507</mark>	<mark>0.846873</mark>	<mark>0.754943</mark>	<mark>3.654233</mark>	<mark>4.818333</mark>	5.445377	<mark>3.412644</mark>	4.532016	5.317377
ctrl_recurve	0.9374	0.83625	0.70015	3.3188	5.16615	6.35375	3.14965	4.49225	5.43195
gps_recurve	0.94285	0.8472	<mark>0.721684</mark>	3.3003	5.14545	6.563842	3.11685	4.5019	5.554579

表 2 為所本研究中所有路徑偏轉型颱風在颱風生命期內以及其路徑偏轉期間的西 北太平洋副熱帶高壓於 00UTC 時及 12UTC 時的預報表現統計。

表 2 所示的結果並未顯示出同化 GPSRO 觀測改善了西北太平洋副熱帶高壓預報的 掌握,那是由於表 2 僅是統計了 00UTC 時及 12UTC 時的預報表現。在又將 06UTC 與 18UTC 時的預報表現一併也納入統計之後,所得到的結果歸納於表 3 中。表 3 即清楚 的顯示出同化 GPSRO 觀測後,在整個颱風生命期間內,對於西北太平洋副熱帶高壓的 重力位高度場及風場的 1 天至 3 天預報結果均有改善,而在颱風路徑偏轉期間內,大多 也都能提升對西北太平洋副熱帶高壓的預報表現。顯然的,這是因為同化 GPSRO 觀測 後,在 06UTC 與 18UTC 時的預報明顯的比在 00UTC 時及 12UTC 時的預報表現有更顯 著的正面影響,引此提升了整體的統計表現結果,原因是在 06UTC 與 18UTC 時的傳統 地面觀測及探空觀測的資料數量比 00UTC 時及 12UTC 時少了很多,因此相形之下, GPSRO 觀測在 06UTC 與 18UTC 時重要性就明顯的提升許多,其特性與優勢也更容易 顯現出來。這個結果證實了同化 GPSRO 觀測對於綜觀尺度系統(西北太平洋副熱帶高 壓)預報的掌握有所提升,進而間接的改進了對於颱風路徑的預報表現。

00,06,12,18	AC score of H			RMSE score of U			RMSE score of V		
	fcst day1	fcst day2	fcst day3	fcst day1	fcst day2	fcst day3	fcst day1	fcst day2	fcst day3
ctrl_total	0.933856	0.85225	0.76563	3.72689	4.906102	5.479222	3.563027	4.634031	5.310093
gps_total	<mark>0.938493</mark>	<mark>0.864437</mark>	0.788131	3.700329	<mark>4.901357</mark>	5.44128	<mark>3.522479</mark>	<mark>4.608286</mark>	5.28572
ctrl_recurve	0.947897	0.858513	0.726872	3.389513	5.169897	6.573	3.559537	<mark>4.517538</mark>	5.538949
gps_recurve	<mark>0.953692</mark>	<mark>0.871564</mark>	<mark>0.758395</mark>	<mark>3.335897</mark>	<mark>5.137692</mark>	6.629132	3.209051	4.531179	<mark>5.537289</mark>

表 3 同表一,將 06UTC 與 18UTC 時的預報表現一併也納入統計。

5. 直接影響 — 對於颱風內部結構的改變

前述實驗的結果雖顯示將GPSRO觀測納入同化對於路徑偏轉型之颱風的路徑預報 普遍的有正面的影響,然而,還是有些個案出現中性影響甚至負面影響。對照於上一節 的結果—同化 GPSRO 觀測對於綜觀尺度系統預報的掌握均有所提升,進而間接的改進 了對於颱風路徑的預報表現—路徑預報結果表現不佳的個案有可能是導因於同化 GPSRO 觀測對於颱風內部環流本身的直接影響。位於颱風內部環流的 GPSRO 觀測透 過變分同化的過程,都會對於颱風內部的氣象變數場有所調整,這樣的調整就會直接導 致颱風本身內部結構的變化。

在本實驗的所有路徑偏轉型颱風中,有 GPSRO 觀測恰好位在颱風內部環流內的個 案並不多,但是仍能找出具有代表性的例子。有兩個具有代表性的個案分別為:(1) 梅姬颱風,分析時間為 2010 年 10 月 15 日 00UTC 時,此個案顯示同化颱風內部環流內 的 GPSRO 觀測會使得颱風路徑預報有正面影響;(2) 米勒颱風,分析時間為 2009 年 10 月 03 日 00UTC 時,此個案顯示同化颱風內部環流內的 GPSRO 觀測對於颱風路徑預 報會有負面影響。

在詳述上述兩個案的結果前,先說明同化 GPSRO 的折射率觀測特性。本研究以局 地折射率觀測算子來同化 GPSRO 的折射率觀測,這種同化策略在觀測算子方面以及觀 測資料本身上有兩大特色。首先,就觀測算子方面來看,我們知道局地折射率觀測算子 所推導得的僅是掩星射線近地點所在位置的大氣折射率,然而 GPSRO 的折射率觀測則 是以掩星射線穿過大氣層時累積所有折射現象來代表掩星射線近地點處的大氣折射 率,因此實際上,局地折射率觀測算子對於 GPSRO 折射率觀測的代表性誤差會影響到 分析的結果。但研究指出,雖有上述的代表性誤差在,基於局地折射率觀測算子僅需很 小的計算機資源的優勢,以之來同化 GPSRO 折射率觀測在實際應用上仍能對大尺度的 分析和預報有正面的影響,這樣的同化策略在作業上具有其價值。

其次,就 GPSRO 折射率觀測本身方面來看,GPSRO 折射率觀測是以 Abel transform 反演式由掩星射線偏折角推演而得,然而 Abel transform 反演式是成立在偏折角和折射 率的分布至少满足局部球對稱的基本假設條件之下,也就是說,在掩星射線切平面上, 射線在近地點處出射與入射兩端的偏折角沿射線積分總量必須相等。若掩星射線穿越之 處的大氣狀態有很強的水平方向梯度時,則會嚴重的背離上述所提的局部球對稱基本假 設,因而所推演而得的 GPSRO 折射率觀測也會有較大的誤差,導致同化分析的結果偏 離大氣真實狀態。所以,這樣的觀測資料最好能在同化分析之前的程序中予以剔除。然 而,以目前實際運用的情況而言,這樣的觀測資料品質控管有一定的難度在,並不容易 實踐。

以下的兩代表性個案的實驗結果均是以所有 GPSRO 觀測均納入同化的 GPS 實驗 為控制組,而以單獨剔除掉位在颱風內部環流內臨邊探空觀測的同化之 EXP 實驗為實 驗組,比較兩實驗的差異來探討 GPSRO 觀測對於颱風路徑預報的影響。



圖 13 觀測颱風路徑與 GPSRO 臨邊探空觀測所在位置,分析時間為 2010 年 10 月 15 日 00UTC。橘色圓點為臨邊探空所在的平均位置,平均位置兩旁的圓點代表該 臨邊探空最上層觀測與最底層觀測的所在位置,其上的箭頭則標示出掩星射線 的方向

圖 13 為第一個代表性個案一梅姬颱風,分析時間為 2010 年 10 月 15 日 00UTC 時 一的觀測颱風路徑與 GPSRO 臨邊探空觀測所在位置,圖中橘色圓點為臨邊探空所在的 平均位置,平均位置兩旁的圓點代表該臨邊探空最上層觀測與最底層觀測的所在位置, 其上的箭頭則標示出掩星射線的方向,指向 GPS 衛星的方位。此圖中桃紅色橢圓所圈 住的臨邊探空即為實驗組所剔除的觀測,可看出探空位置雖位在颱風內部環流內,然而 其掩星射線方向卻近乎與等重力位高度線相切,在颱風內部環流結構完整對稱的情形 下,這樣的射線所行經的大氣狀態基本上還是接近於滿足局部球對稱的假設。

故而在圖 14 的實驗結果中,比較兩實驗的預報路徑誤差,顯示在剔除掉颱風內部 環流內的臨邊探空觀測不納入同化後,使得颱風路徑預報誤差普遍的皆有增加的情況。 在移動速度上,第 24 至第 36 小時預報的表現變差;在移動方向上,第 24 至第 48 小時 預報的表現變差。在圖 13 中可看出第 24 至第 48 小時預報期間,剛好是颱風移動方向 緩慢由西北轉換至西南的階段,由於 EXP 實驗於同化分析時刻在颱風內部環流內缺少 了可用的觀測,導致往後的路徑預報表現上不如 GPS 實驗。兩實驗的總預報路徑誤差 的差異可以達到最大約 60km,可知位於颱風內部環流內的可用 GPSRO 觀測對於颱風 路徑預報的影響之重大。



圖 14 同圖 11,分析時間為 2010 年 10 月 15 日 00UTC 時, 籃色曲線表示控制組 GPS 實驗的預報路徑誤差,綠色曲線表示實驗組 EXP 實驗的預報路徑誤差。

第二個代表性個案為於米勒颱風期間,分析時間為2009年10月03日00UTC時, 在圖15的臨邊探空分佈圖可以看出,有兩個林邊探空位在颱風內部環流內。然而偏颱 風中心東方未標有平均位置(橘色圓點)的探空在資料上游處理時,已由觀測資料品質 控管程序予以剔除,並不是可用觀測,故 GPS 實驗及 EXP 實驗均未曾將之納入同化。 另外位在颱風中心偏南的颱風內部環流內有一可用臨邊探空觀測,此觀測的射線方向近 似於垂直的再颱風中心附近穿過重力位高度場等直線,在此種情況下,射線行經之處的 大氣狀態具有強烈的水平向梯度,因此這個臨邊探空觀測嚴重違反了局部球對稱的基本 假設,觀測本身之誤差較大。

圖 15 的實驗結果顯示了此個案控制組與實驗組兩實驗的颱風預報路徑誤差之差 異,結果與圖 14 截然不同。在總路徑誤差的比較上,剔除掉颱風內部環流內的臨邊探 空觀測不納入同化後,僅在第 6 小時預報的總路徑誤差有些許的表現變差外,往後第 12 至第 72 小時預報的總路徑誤差均十分顯著的改善!且表現最佳時總路徑誤差比控制 組減小了將近 50km。在預報颱風移動速度的表現上,自第 30 小時預報以後均有顯著 的正面影響;在預報颱風移動方向的表現上,第 18 小時以後之預報有非常優秀的表現。 有此可知,GPSRO 折射率觀測的同化對於颱風路徑預報的表現上,僅只要將一個不適 用的觀測臨邊探空觀測納入同化,即會對路徑預報的表產稱極大的負面影響。



圖 15 同圖 13,分析時間為 2009 年 10 月 03 日 00UTC 時。



圖 16 同圖 11,分析時間為 2009 年 10 月 03 日 00UTC 時, 籃色曲線表示控制組 GPS 實驗的預報路徑誤差,綠色曲線表示實驗組 EXP 實驗的預報路徑誤差。

(四)同化非福衛三號 GPSRO 觀測對於 CWB/GFS 之影響

福衛三號衛星自 2006 年 4 月發射,迄今(2011 年 11 月)運作了五年多,已超過 其當初設計時所設定的有效使用年限。隨著硬體機件逐漸老化,有部份福衛三號衛星目 前已無法正常運作,資料接收的狀況非常不穩定。 由於 GPSRO 資料已經證明對於模式之分析與預報表現均有很正面的影響,在新的 福衛七號衛星發射之前,福衛三號衛星觀測資料量漸漸減少之際,將其他非福衛三號之 LEO 衛星所觀測到的 GPSRO 資料納入同化作業,對於彌補福衛三號減少的 GPSRO 觀 測量是極為重要的。因此本(2011)年度之計畫部份重要的工作之一,即是評估非福衛三 號衛星所觀測到的 GPSRO 資料對於 CWB/GFS 分析與預報的影響。

目前,CWB/GFS 模式所使用的 GPSRO 觀測資料已將部分非福衛三號衛星的 GPSRO 觀測加以編號,並處理成和福衛三號觀測相同格式,適合納入 GSI 同化系統進 行同化。這些衛星包括有:MetOP-A-1(satid: 003)、MetOP-A-2(satid: 004)、MetOP-A-3 (satid: 005)、Oersted (satid: 040)、Champ (satid: 041)、Gras (satid: 401)、Grace-A (satid: 722)、Grace-B (satid: 723)、SUNSAT (satid: 800)、SAC-C (satid: 820)。

為了評估非福衛三號衛星的 GPSRO 資料對於 CWB/GFS 模式預報與分析的影響, 本計畫以 2010 年 7 月與 2010 年 12 月各一個月的期間,分別代表夏天與冬天之特性進 行 post-run 實驗。實驗設計之控制組 COSMIC 實驗除了目前 CWB/GFS 作業已納入同 化的傳統觀測與衛星觀測外,僅同化福衛三號衛星之 GPSRO 觀測。另外, allro 實驗組 除了將與 cosmic 實驗完全相同的觀測納入同化之外,另外將非福衛三號衛星之 GPSRO 觀測亦納入同化,比較兩實驗的結果以探討非福衛三號衛星之 GPSRO 觀測資料對於 CWB/GFS 模式預報與分析的影響。

1. 對於分析之影響

201007			201012
	003	MetOP-A-1	
	004	MetOP-A-2	\checkmark
	005	MetOP-A-3	
	040	Oersted	
	041	Champ	
	401	Gras	
	722	Grace-A	\checkmark
	723	Grace-B	
	800	SUNSAT	
	820	SAC-C	\checkmark
	740	Cosmic-1	\checkmark
	741	Cosmic-2	
(√)until 20100706	742	Cosmic-3	
	743	Cosmic-4	()
	744	Cosmic-5	(√)
	745	Cosmic-6	

表 4 2010 年 7 月與 2010 年 12 月實驗期間可用之 GPSRO 觀測。打勾符號為可納入 同化的觀測,其中有括號者表示有逾 1/3 的天數無資料。

上表 4 顯示 2010 年 7 月與 2010 年 12 月實驗期間可用之 GPSRO 觀測資料。打勾

符號為可納入同化的觀測,其中有括號者表示有逾 1/3 的天數無資料。由上表可知,到 了 2010 年 12 月時,福衛三號的第 3 號 LEO 衛星已完全無法運作,且非福衛三號衛星 之 GPSRO 觀測從 2010 年 7 月的兩種觀測可用,到了 2010 年 12 月已增加到了四種可 用。



圖 17 2010 年 7 月與 2010 年 12 月實驗期間福衛三號 GPSRO 與非福衛三號 GPSRO 觀測的全球數量統計圖。

圖 17 為統計 2010 年 7 月和 2010 年 12 月實驗期間福衛三號與非福衛三號 GPSRO 觀測的全球數量統計圖, 左半部圖為 2010 年 7 月之統計結果, 右半部圖為 2010 年 12 月之統計結果, 上半部圖所顯示的是福衛三號的狀況, 下半部則是非福衛三號的狀況。 圖中分別以紅、綠、藍、紫直條代表 00 時、06 時、12 時、18 時之數量, 淺色直條為 可用觀測數量, 深色直條為納入同化之數量。圖 17 顯示福衛三號之觀測數量從 7 月到 12 月有顯著地減少, 相對的非福衛三號衛星的觀測數量則顯著的在增加當中, 到了 12 月時已約與福衛三號的觀測數量相當。資料的同化率在 7 月時為: 福衛三號 71.6%, 非 福衛三號 72.8%; 12 月時為: 福衛三號 73.3%, 非福衛三號 70.9%。

就區域的觀測數量而言,北半球與南半球的情況與全球的狀況類似,福衛三號之觀 測數量從7月到12月顯著減少,非福衛三號衛星的觀測數量則顯著增加,到了12月時 已約與福衛三號的觀測數量相當。資料同化率在北半球與南半球的情況也是與全球的狀 況類似,7月時非福衛三號大於福衛三號,12月則是福衛三號大於非福衛三號。然而熱 帶地區的狀況就比較特別,圖18顯示為熱帶地區的狀況,配置同圖17。熱帶地區的非 福衛三號觀測數量到了12月時已經超越了福衛三號的數量,這是由於不同LEO衛星軌 道面傾斜角度不同的緣故。資料同化率則仍然維持與全球的狀況相同,7月時非福衛三 號大於福衛三號,12月則是福衛三號大於非福衛三號。



圖 18 同圖 17,但為熱帶地區的數量統計。

對於折射率分析的影響顯示於圖 19, 左圖為 2010 年 7 月的結果, 右圖為 2010 年 12 月的結果, 此圖統計了實驗期間全球納入同化的 GPSRO 觀測增量(即(O-B)/O)的 垂直分佈,圖中藍色線為福衛三號之統計, 紅色線為非福衛三號之統計,實線表示平均, 虛線則為標準差,淺綠色圓圈為福衛三號之觀測數量,深綠色線為非福衛三號之觀測數 量。圖中顯示福衛三號與非福衛三號的分析增量平均值以及標準差都十分接近,僅有在 近地面處的非福衛三號有較大的負偏差,且其變異(標準差)也相對較大,然 10 公里 以上兩者均很一致, 而到了 12 月兩者之間的差異更縮小了,這是由於 10 公里以上平均 的樣本數在 12 月時兩者就非常的接近,這顯示出了 GPSRO 觀測的特性之一,即不同 接收器彼此之間不需校準。然而同時亦可發現, 福衛三號資料在觀測數量的垂直分佈上 從 5 公里以下才明顯向地面遞減, 而非福衛三號則是從 10 公里以下就開始明顯向地面 遞減,這點可於將來深入探討相同的資料品質控管條件對於福衛三號與非福衛三號的 GPSRO 觀測是如何的影響。

至於北半球(圖 20)、南半球(圖 21)的狀況則都與全球的狀況非常類似,較為特別的是在熱帶地區(圖 22)。由於熱帶地區的非福衛三號觀測在7月時5公里以下的觀測數量相對的非常稀少,則使其平均值與標準差均有很大的變異,然而這樣的結果並不具代表性,因為到了5公里以下時,其樣本數已僅有約4百,到了1公里以下甚至全無觀測。



圖 19 2010 年 7 月與 2010 年 12 月實驗期間全球納入同化的 GPSRO 觀測增量(即 (O-B)/O)的垂直分佈。



圖 20 同圖 19,但為北半球的統計。



圖 21 同圖 19,但為南半球的統計。



圖 22 同圖 19,但為熱帶地區的統計。

2. 對於預報之影響

本實驗對於 2010 年 7 月與 2010 年 12 月的每日 00 時與 12 時的初始場均做 7 天預 報,並分別估算其 AC score、RMSE score 來探討非福衛三號 GPSRO 觀測對於預報的 影響。圖 23 為北半球 500hPa 重力位高度場 AC score 逐日得分與月平均,圖 24 為南半 球 500hPa 重力位高度場的 AC score 逐日得分與月平均,圖 25 為熱帶地區 700hPa 溫度 的 RMSE score 逐日得分與月平均,圖 26 為熱帶地區 100hPa 溫度的 RMSE score 逐日 得分與月平均。圖中左半部為 2010 年 7 月的結果,右半部為 2010 年 12 月的結果,上 半部圖為逐日得分,下半部圖為月平均得分。實線表示 cosmic 實驗,虛線為 allro 實驗。 逐日得分的1天至7天預報分別以紫、靛、藍、綠、黃、橙、紅色線來表示。由圖中可 以發現預報得分的月平均幾乎沒有顯著的差異,allro 實驗僅在南半球冬天的 500hPa 重 力位高度場 AC score 與熱帶高層(100hPa)的溫度場 RMSR score 稍有負面影響,然而 對比於完全不同化 GPSRO 觀測的實驗,仍然均還是有正面影響(無附圖)。



圖 23 2010 年 7 月與 2010 年 12 月北半球 500hPa 重力位高度場 AC score 的逐日得 分與月平均得分。



圖 24 2010 年 7 月與 2010 年 12 月南半球 500hPa 重力位高度場 AC score 的逐日得 分與月平均得分。



圖 25 2010 年 7 月與 2010 年 12 月熱帶地區 700hPa 溫度場 RMSE score 的逐日得分 與月平均得分。



圖 26 2010 年 7 月與 2010 年 12 月熱帶地區 100hPa 溫度場 RMSE score 的逐日得分 與月平均得分。

另外針對預報表現在垂直方向的影響,圖 27 顯示重力位高度場的 AC score 在北半球各高度層的月平均,上半部為 2010 年 7 月,下半部為 2010 年 12 月,每組圖由左至 右的子圖分別是1天至7天 cosmic 實驗和 allro 實驗預報得分比較之月平均(藍色線) 的垂直分佈,各層紅色橫條為 95%的信賴區間,平均值為正值代表同化非福衛三號觀 測對於預報有負面影響。圖 28 同圖 27,為南半球的結果,圖 29 為熱帶地區的溫度 RMSE score 的各層預報得分月平均,同樣的平均值為正值代表同化非福衛三號觀測對於預報 有負面影響。從圖中可看出,對於重力位高度場,將非福衛三號 GPSRO 觀測納入同化 會使得夏半球(北半球7月與南半球12月)的預報有較大的負面影響,所幸在五天預 報以前的影響均十分不顯著。另外,對於熱帶地區溫度預報的影響可以發現,在中低層 (400hPa 以下)的預報影響不顯著,然而對於高層,則會出現負面影響,在 100hP 以 上的預報負面影響似乎有隨著預報時間的增加而減小的趨勢。



圖 27 allro 與 cosmic 實驗在 2010 年 7 月與 2010 年 12 月北半球重力位高度場 AC score 的月平均得分比較。



圖 28 同圖 27,但為南半球的結果。



圖 29 allro 與 cosmic 實驗在 2010 年 7 月與 2010 年 12 月熱帶地區溫度場 RMSE score 的月平均得分比較。

(五) CWB/GFS 同化 GPSRO 折射率的觀測誤差

觀測誤差對於同化系統的表現影響至為重要,它代表著觀測值相對於真實值的不確 定性。然而因為真實值無法得知,因此,估算觀測誤差均是基於無偏差(unbias)模式 誤差的假設,由初始猜測值與觀測的差來求得。由此可知,觀測誤差的準確度和產生初 始猜測值的模式預報是息息相關。由於目前 CWB/GFS 模式系統同化 GPSRO 折射率觀 測仍是沿用 NCEP/GSI 中內定預設的觀測誤差,它是由 NCEP/GFS 模式所產生的初始 猜測值與觀測的差所估算而得,因此若將之運用於 CWB/GFS 模式則會產生代表性的問 題。為提升 CWB/GFS 模式同化 GPSRO 折射率觀測的表現,經由 CWB/GFS 模式得出 初始猜測值與觀測差間所估得的觀測誤差則是必然需要的。

本研究為了配合將來將非福衛三號觀測的 GPSRO 資料納入同化作業,以擁有所有 可得的 GPSRO 觀測,統計 2010 年 7 月(代表夏天情況)與 2010 年 12 月(代表冬天 情況)兩個月內納入同化作業的所有 GPSRO 觀測及其對應的 CWB/GFS 模式初始猜測 值,分別對全球、北半球、南半球、熱帶地區來估算觀測誤差。

圖 30 顯示夏天(左圖)與冬天(右圖)觀測增量比率平均與現行 CWB/GFS 加權

觀測增量比率標準差的垂直分佈圖,縱軸為高度(單位 km),實線即為觀測增量比率 平均,虛線即為 CWB/GFS 加權觀測增量比率標準差,黑色線為全球平均,藍色線為北 半球平均,綠色線為南半球平均,紅色線為熱帶地區平均。就觀測增量比率平均來看, 除了熱帶地區之外,其餘都無顯著的季節性變化,夏天與冬天在 10 公里以下均為負偏 差。就現行 CWB/GFS 加權觀測增量比率標準差來看,全球和熱帶地區無顯著的季節變 異,然而北半球與南半球就出現了很顯著的季節變異,幾乎是以 10 公里為分界,在夏 天 10 公里以下北半球大於南半球,10 公里以上則南半球大於北半球;冬天的結果剛好 是與夏天相反。

一般而言,在GSI 資料同化系統中,加權觀測增量比率最好是落在1.2~1.4 之間, 這樣的大小較容易使得觀測增量有顯著的貢獻。然而圖 30 顯示,現行的 CWB/GFS 加 權,在 22 公里以上均小於1,如此可知高層的觀測 GPSRO 相對地對於同化系統會有較 小的貢獻。



圖 30 2010 年 7 月與 2010 年 12 月 GPSRO 折射率觀測的觀測增量平均與加權比率的標準差。

在 GSI 系統中,觀測誤差是以下列式子來表示:

$$\mathbf{O}^{-1}(i,i) = O^{-1}(i) = \left[\frac{1}{|repe_gps(i)|} \times factor(l)\right]^2$$

O⁻¹為觀測誤差斜方差矩陣,假設各個觀測間均無相關,則僅有矩陣對角線元素有值,其中*repe_gps(i)*為權重函數,*factor(l)*為各模式層標準化觀測數量的函數,為模式層內觀測觀測數量倒數的平方根。

現行的權重函數在熱帶外為

 $repe = 1/|\exp(-1.321 + 0.341 * H - 0.005 * H^2)|$

在熱帶 10km 以下為

 $repe = 1/|\exp(-1.18 + 0.058 * H + 0.025 * H^2)|$

10km 以上為

 $repe = 1/|\exp(2.013 - 0.060 * H + 0.0045 * H^2)|$

此權重函數位於分母自然指數內的多項式為統計 2008 年 3 月 20 日 06UTC 至 2008 年 4 月 1 日 00UTC 期間由 NCEP/GFS 模式初始猜測值與觀測差所估算而得的統計曲線,以 4 階多項式近似法(Polynominal approximation)所求得的曲線擬合(Curve fitting) 高度函數。

所以使用類似的方法,本研究以 CWB/GFS 模式初始猜測值與觀測差統計於 2010 年7月與 2010 年 12 月的結果而得圖 31 的觀測誤差權重。左圖為夏天,右圖為冬天, 圖中黑色曲線為全球統計而得,藍色曲線為北半球統計、綠色曲線為南半球統計、紅色 曲線為熱帶地區統計。對比於由 NCEP/GFS 模式所得的熱帶地區統計(圖 32;取自 Lidia Cucurull),同樣地兩者在 10 公里至 20 公里之間均可見一不隨高度增加的區段。且在高 層的值 CWB/GFS 模式所求得的比 NCEP/GFS 模式所得的還要大。



圖 31 以 CWB/GFS 模式初始猜測值與觀測差統計 2010 年 7 月與 2010 年 12 月 GPSRO 折射率觀測誤差權重。



圖 32 現行 GSI 由 NCEP/GFS 模式所估得的熱帶地區觀測誤差權重(取自 Cucurull)。

由於高階多項式函數逼近的計算並不太耗計算機資源,因此本研究以南北半球 7 階、熱帶9階的多項式近似法來求以高度為函數的曲線擬合,希望獲取更為精準、更足 以表現出誤差隨高度變化的狀況觀測誤差權重。所求得之多項式近似法各項系數如下面 表5所示。

	201007			201012			
	NA	SA	ТР	NA	SA	ТР	
M0	-2.1368	-2.6744	-2.3801	-2.5076	-2.206	-2.435	
M1	0.12108	-0.32676	-0.37179	-0.080998	-0.091963	-0.26287	
M2	-0.13451	0.23778	0.56819	0.09203	0.018873	0.51225	
M3	0.047625	-0.033037	-0.24018	-0.0044053	0.01505	-0.23001	
M4	-0.0053384	0.0022361	0.04995	-0.00039644	-0.0023472	0.049287	
M5	0.00027621	-7.8568e-5	-0.0054702	4.5374e-5	0.00013995	-0.0054805	
M6	-6.8036e-6	1.3626e-6	0.00033555	-1.5339e-6	-3.7639e-6	0.00033902	
M7	6.4601e-8	-9.0915e-9	-1.1634e-5	1.7549e-8	3.8068e-8	-1.1809e-5	
M8			2.1332e-7			2.1701e-1	
M9			-1.6095e-9			-1.6383e-9	

表 5 2010 年 7 月與 2010 年 12 月觀測誤差權重多項式近似法曲線擬合的各項系數。

以此法所估得的各項係數(M0~M9)來比較現行由 NCEP/GFS 模式所估得和由 CWB/GFS 模式所估得的 1 repe_gps(i) 顯示於圖 33,圖中黑色線為 NCEP/GFS 估得、紅 色線為 CWB/GFS 估得的夏天結果、藍色線為 CWB/GFS 模式估得的冬天結果,左圖為 溫帶地區(中高緯度),實線表示北半球,虛線表示南半球;右圖為熱帶地區。由圖中 可以看出,以 CWB/GFS 模式估得的權重係數將會使得高層觀測比現行的 GSI 觀測誤 差對於 cost-function 貢獻更小,這或許是由於相對地高層模式之初始猜測值有較大的不 確定性;而相對地,以 CWB/GFS 模式估得的權重將會使得低層觀測比現行的 GSI 預 設之觀測誤差對於 cost-function 貢獻更大。



圖 33 現行 GSI 由 NCEP/GFS 所估得以及由 CWB/GFS 所估得的權重函數倒數項比較。

五、結論

總而言之,同化 GPSRO 折射率觀測資料對於模式之颱風路徑預報影響,經由實驗 比較顯示,將 GPSRO 折射率觀測納入資料同化會對於路徑偏轉型颱風的路徑預報有正 面的影響,尤其是當颱風正處在路徑轉彎的期間,其正面影響更易被突顯出來。這主要 是因為同化 GPSRO 觀測改善了模式對綜觀尺度系統的掌握,間接改進了對路徑的預 報。另外,在同化 GPSRO 觀測對於颱風內部環流的直接影響上,若資料同化納入了不 適用的(即不滿足局地球對稱假設,例如掩星射線穿越大氣狀態具有較大水平梯度的地 區) GPSRO 折射率觀測,將會對颱風路徑預報有嚴重的負面影響。

對於將非福衛三號的 GPSRO 觀測納入資料同化作業,實驗比較結果顯示非福衛三號的重要性隨著時間將顯著的提高,將其納入同化作業也是勢在必行的趨勢。其模式對於分析的影響顯示與福衛三號觀測差異不大,僅有在高層有較大的不確定性與在低層有負偏差,低層的負偏差乃是起因於觀測平均的樣本數目不足,以及現行對於低層 GPSRO 資料品質控制的方法對其有明顯的影響所致,這些有待於未來的研究繼續深入探討。對於預報的影響,基本上非福衛三號的 GPSRO 觀測對於夏半球五天以後的預報表現以及熱帶高層的預報表現有出現負面影響,但是其影響於統計上不甚顯著,將來或可藉由改善觀測誤差的方式加以改進。

由於目前 CWB/GFS 同化系統 GSI 對於 GPSRO 觀測仍是使用原先 GSI 內定的觀測 誤差(參考 NCEP/GFS/特性),對於 CWB/GFS 系統的分析預報表現在理論上並不合適。 透過大量統計於夏天與冬天各取一個月(7月及2月)的模式初始猜測值與觀測誤差, 以估得適合於 CWB/GFS 模式分別在北半球、南半球與熱帶的夏天和冬天觀測誤差。此 觀測誤差顯示會比現行的觀測誤差對於高層觀測有較小的 cost-function 貢獻,以及對於 低層觀測有較大的 cost-function 貢獻。這組觀測誤差理論上更適用於 CWB/GFS 模式, 然而實際上對於模式之分析以及預報的影響,仍有待未來研究繼續深入探討。

六、參考文獻

- 吴俊傑、張忍成、滕春慈,1999:變分同化及GPS/MET資料之研究。國科會專題研究 計畫報告(NSC-88-NSPO(B)-RS3-FA01-01),109頁。
- 沈彦志、馮欽賜、陳雯美、曹伶伶、陳御群、楊明仁,2010:以GSI同化GPS RO資料對 中央氣象局全球預報系統之影響,九十九年天氣分析與預報研討會,台北市,2010 年6月28日至30日,中央氣象局主辦,247-252。
- 沈彦志、陳御群、楊明仁、馮欽賜、陳雯美,2011:GPSRO資料對中央氣象局全球模式 之颱風路徑預報的影響,建國百年天氣分析預報與地震測報研討會,台北市,2011 年9月20日至22日,中央氣象局主辦,90-93。
- 馮欽賜、楊明仁、陳御群、曾建翰,2009: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,九十八年天氣分析與預報研討會,台北市, 2009年9月8日至10日,中央氣象局主辦,62-67。
- 陳御群、楊明仁、張忍成、曾建翰,2008:同化GPS無線電掩星觀測應用於中央氣象局 全球預報系統之影響,九十七年天氣分析與預報研討會,台北市,2008年9月9日 至11日,中央氣象局主辦,45-50。
- 張忍成,1999:NCEP客觀分析場與GPS/MET探空觀測之初步比較。中華衛星三號 COSMIC研討會論文彙編。Apr. 29-May 1,1999,台北,台灣。49-51頁。
- 張忍成,2001:模式導出偏折角剖線與GPS/MET觀測之比較。第七屆全國大氣科學學 術研討會論文彙編,277-281。
- 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。
- 楊明仁、馮欽賜、曾建翰,2010:全球定位科學應用研究中心計畫-GPS掩星觀測資料 對於全球模式之影響完整報告,98-NSPO(B)-IC-FA07-01(E),52頁。

- 楊明仁、馮欽賜,2011:全球定位科學應用研究中心計畫-FORMOSAT-3 GPS掩星觀 測資料對於全球模式之影響研究完整報告,NSPO-S-099010(B),55頁。
- 鄒曉蕾、曾建翰、張忍成,1997:設計及研發全球伴隨波譜模式(I)。交通部中央氣象 局委託計畫成果報告,133頁。
- Ahmad, B., 1998: Accuracy and resolution of atmospheric profiles obtained from radio occultation measurements. Sci. Rep. No. DPD811-1988-1, Center for Radar Astronomy, Stanford, CA, 123 pp.
- Ahmad, B., and G.L. Tyler, 1999: Systematic errors in atmospheric profiles obtained from Abelian inversion of radio occultation data: Effects of large-scale horizontal gradients. J. Geophys. Res., 104, 3971-3992.
- 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.
- Ao, C. O., T. K. Meehan, G. A. Hajj, and A. J. Mannucci, 2003: Lower troposphere refractivity bias in GPS occultation retrievals. *J. Geophys. Res.*, **108**, D18, 4577.
- Aparicio, J. M., G. Deblonde, L. Garand, and S. Laroche, 2009: Signature of the atmospheric compressibility factor in COSMIC, CHAMP, and GRACE radio occultation data, J. Geophys. Res., 114, D16114, doi:10.1029/2008JD011156
- Chang, J.-C. J., C.-H. J. Tseng, H.-L. Liu, X. Zou, and M.-D. Cheng, 2000: Comparison of CWB's global analysis using a GPS ray-tracing operator with GPS/MET observation. COSMIC International Workshop, Sept. 27-29, Wanli, Taipei, Taiwan.
- 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.
- Cucurull, L., J. C., Derber, R. Treadon, R. J., Purser, 2007: Assimilation of Global Positioning System Radio Occultation Observations into NCEP's Global Data Assimilation System, *Mon. Wea. Rev.*, **135**, 3174-3193
- Cucurull, L., J. C. Derber, R. Treadon, R. J. Purser, 2008: Preliminary Impact Studies Using Global Positioning System Radio Occultation Profiles at NCEP. *Mon. Wea. Rev.*, **136**, 1865–1877.
- Davis, R. S. 1992: Equation for the determination of the density of moist air (1981/91), *Metrologia*, **29**, 67-70, doi:10.1088/0026-1394/29/1/008.
- Engeln, A. v., G. Nedoluha, G. Kirchengast, and S. Buhler, 2003: One-dimensional variational (1-D Var) retrieval of temperature, water vapor, and a reference pressure from radio

occultation measurements: A sensitivity analysis. J. Geophys. Res., 108D, 4337-4349.

- Eyre, J. R., 1994: Assimilation of radio occultation measurements into a numerical weather prediction system. ECMWF Tech. Memo., 199, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Geneva. 34pp.
- Fjeldbo, G., G. A. Kliore and V. R. Eshleman, 1971: The neutral atmosphere of Venus as studied with the Mariner V radio occultation experiments. *Astron. J.*, **76**, 123-140.
- Glassner, A. S., 1990: Graphics Gems, Boston, MA, Academic Press, 466pp.
- Gorbunov, M.E., 1990: Solution of inverse problems of remote atmospheric refractometry on limb paths. Izvestiya, *Atmos. Ocean. Phys.*, **26**(2), 86-91.
- Gorbunov, M.E. and L. Kornblueh, 2003: Principles of variational assimilation of GNSS radio occultation data. Max-Planck Institute for Meteorology, Report No. 350, 34pp.
- Gorbunov, M.E. and S.V. Sokolovskiy, 1993: Remote sensing of refractivity from space for global observation of atmospheric parameters. Max-Planck Institute for Meteorology, Hamburg, Report No. 119, 58 pp.
- Gorbunov, M.E., S.V. Sokolovskiy, and L. Bengtsson, 1996: Space refractive tomography of the atmosphere: modeling of direct and inverse problems. Max-Planck Institute for Meteorology, Hamburg, Report No. 210, 59 pp.
- Gurvich, A.S. and S.V. Sokolovskiy, 1985: Reconstruction of a pressure field by remote refractometry from space. Izv., *Atmos. Ocean. Phys.*, **21**(1), 7-13.
- Healy, S. B. and J. R. Eyre, 2000: Retrieving temperature, water vapor and surface pressure information from refractivity-index profiles derived by radio occultation: A simulation study. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **126**, 1661-1683.
- Kuo, Y.-H., S. Sokolovskiy, R. Anthes, and F. Vandenberghe, 2000: Assimilation of GPS radio occultation data for numerical weather prediction. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Science (TAO)*, 11, 157-186.
- Kuo, Y.-H., T.-K. Wee, S. Sokolovskiy, C. Rocken, W. Schreiner, D. Hunt, and R.A. Anthes, 2004: Inversion and error estimation of GPS radio occultation data. J. Meteor. Soc. Japan, 82(1B), 507-531.
- Kuo, Y.-H., X. Zou, S.-J. Chen, W. Huang, Y.-R. Guo, R. Anthes, D. Hunt, M. Exner, C. Rocken, and S. Sokolovskiy, 1998: A GPS/MET sounding through an intense upper-level front. *Bull. Amer. Met. Soc.*, **79**, 617-626.
- Kuo, Y.-H., X. Zou, and W. Huang, 1997: The impact of GPS data on the prediction of an extratropical cyclone: An observing system simulation experiment. J. Dyn. Atmos. Ocean., 27, 439-470.
- Kursinski, E. R., G. A. Hajj, W. I. Bertiger, S. S. Leroy, T. K. Meehan, L. J. Romans, J. T. Schofield, D. J. McCleese, W. G. Melnourn, C. L. Thornton, Y. P. Yunck, J. R. Eyre, and R. N. Nagatani, 1996: Initial results of radio occultation observations of earth's atmosphere using the global position system. *Science*, **271**, 1107-1110.

- Leroy, S. S., 1997: The measurement of geopotential heights by GPS radio occulation. J. *Geophys. Res.*, **102**, 6971-6986.
- Liu, H. and X. Zou, 2003: Improvements to a forward GPS raytracing model and their impacts on assimilation of bending angle. J. Geophy. Res., **108**, D17, 4548.
- Liu, H., X. Zou, H. Shao, R.A. Anthes, J.C. Chang, J.-H. Tseng, and B. Wang, 2001: Impact of 837 bending angle profiles on assimilation and forecasts for the period June 20-30, 1995. J. Geophys. Res., 106(D23) 31,771-31,786.
- Melbourne, W. G., E. S. Davis, C. B. Duncan, G. A. Hardy, E. R. Kursinski, T. K. Meehan, L. E. Young and T. P. Yunck, 1994: The application of spaceborne GPS to atmospheric limb sounding and global change monitoring. JPL Publication 94-18, National Aeronautics and Space Administration and Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, California, 147pp.
- Palmer, P. I., J. J. Barnett, J. R. Eyre and S. B. Healy, 2000: A non-linear optimal estimation inverse method for radio occultation measurements of temperature, humidity and surface pressure. *J. Geophy. Res.*, **105**, 17, 513-17,526.
- Palmer, P. I. and J. J. Barnett, 2001: Application of an optimal estimation inverse method to GPS/MET bending angle observations. *J. Geophy. Res.*, **106**, 17,147-17,160.
- Parrish, D. F. and J. Derber, 1992: The National Meteorological Center's spectral and statistical-interpolation analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, **120**, 1747-1763.
- Picard, A., R. S. Davis, M. Gläser, and K. Fujii, 2008: Revised formula for the density of moist air (CIPM-2007), *Metrologia*, **45**, 149-155, doi:10.1088/0026-1394/45/2/004.
- Poli, P., J. Joiner and E. R. Kursinski, 2002: 1DVAR analysis of temperature and humidity using GPS radio occultation refractivity data. J. Geophy. Res., **107D**, 4448-4467.
- Rocken, C., R. Anthes, M. Exner, D. Hunt, S. Sokolovskiy, R. Ware, M. Gorbunov, W. Schreiner, D. Feng, B. Herman, Y.-H. Kuo, and X. Zou, 1997: Analysis and validation of GPS/MET data in the neutral atmosphere. J. Geophys. Res., 102, 29849-29866.
- Rocken, C., Y.-H. Kuo, W. S. Schreiner, D. Hunt, S. Sokolovskiy, and C. McCormick, 2000: COSMIC system description. *TAO*, **11**, 21-52.
- Rüeger, J. M., 2002: Refractive Index Formulae for Radio Waves, FIG XXII International Congress, 19-26 April 2002, Washington, D.C. USA.
- Shao H. and X. Zou, 2003: On the observational weighting and its impact on GPS/MET bending angle assimilation. J. Geophy. Res., 107, ACL 19, 1-28.
- Sokolovskiy, S.V., 1986: Possibility for remote refractometric sensing of the atmosphere using FGGE data: numerical experiment. Izvestia, *Atmos. Ocean. Phys.*, **22(8)**, 691-693.
- Sokolovskiy, S., Y.-H. Kuo, W. Wang, 2004: Assessing the accuracy of linearized observation operator for assimilation of the Abel-retrieved refractivity: case simulations with high-resolution model. *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 2200-2212.

- Sokolovskiy, S., Y. -H. Kuo, W. Wang, 2005: Evaluation of a Linear Phase Observation Operator with CHAMP Radio Occultation Data and High-Resolution Regional Analysis. *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 3053-3059
- Syndergaard, S., E.R. Kursinski, B.M. Herman, E.M. Lane, and D.E. Flittner, 2004: A refractive index mapping operator for variational assimilation of occultation data. *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 2650-2668.
- Syndergaard, S., D. Flittner, R. Kursinski, and B. Herman, 2003: Simulating theinfluence of horizontal gradients on refractivity profiles from radio occultations. Proceedings of the 4th Oersted Intnl. Sci. Team Conf. (OIST-4), Copenhagen, 245-250.
- Thayer, D., 1974: An improved equation for the radio refractive index of air, *Radio Sci.*, **9**, 803-807
- Tsuda, T., M. Mishida, C. Rocken, and R. Ware, 2000: A global morphology of gravity waves activity in the stratosphere revealed by the GPS occultation data (GPS/MET). *J. Geophys. Res.*, **105**, 7257-7273.
- Ware, R., M. Exner, D. Feng, M. Gorbunov, K. Hardy, B. Herman, Y.-H. Kuo, T. Meehan, W. Melnourn, C. Rocken, W. Schreiner, S. Sokolovskiy, F. Solheim, X. Zou, R. Anthes, S. Businger, and K. Trenberth, 1996: GPS soundings of the atmosphere from low earth orbit: Preliminary results. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, **77**, 19-40.
- Wickert, J., C. Reigber, G. Beyerle, R. Konig, C. Marquardt, T. Schmidt, L. Grunwaldt, R. Galas, T. K. Meehan, W. G. Melbourne, and K. Hocke, 2001: Atmosphere sounding by GPS radio occultation: First results from CHAMP. *Geophys. Res. Lett.*, 28, 3263-3266.
- Wu. W.-S., R. J. Purser, and D. F. Parrish, 2002: Three-dimension variational analysis with spatially in homogeneous covariances. *Mon. Wea. Rev.*, 130, 2905-2916.
- 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).
- Yunck, T. P., C. H. Liu, and R. Ware, 2000: A history of GPS sounding. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Science*, **11**, 1-20.
- 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.
- Zou, X., F. Vandenberghe, B. Wang, M. E. Gorbunov, Y.-H. Kuo, S. Sokolovskiy, J.-C. Chang, J. G. Sela, and R. A. Anthes, 1999: A raytracing operator and its adjoint for the use of GPS/MET refraction angle measurements. J. Geophys. Res., 104, 22,301-22,318.
- Zou, X., B. Wang, H. Liu, R.A. Anthes, T. Matsumura, Y.J. Zhu, 2000: Use of GPS/MET refraction angles in three-dimensional variational analysis, *Q. J. Royal Met. Soc.*, 126(570), 3013-3040.
- Zou, X., H. Liu, and R. A. Anthes, 2002: A statistical estimate of errors in the calculation of radio occultation bending angles caused by a 2D approximation of ray tracing and the

assumption of spherical symmetry of the atmosphere. J. Atmos. Oceanic Technol., 19, 51-64.

Zou, X., and H. Liu, 2002:On the Assimilation of GPS Occultation Measurements. Radio Occultation Science Workshop. August 21-23, 2002, 2-1.

七、附錄

曹伶伶出國工作報告

-GPS 掩星觀測對同化衛星輻射資料在 GSI 系統中之影響

報告人: 曹伶伶

一、目的

良好的背景場對數值天氣預報系統的預報成果提升有顯著的影響,近年來發展的資料同化技術在改進初始場上有相當大的幫助,世界各大預報中心及研究單位都針對此技術進行研發。

中央氣象局引進由美國環境預報中心 (NCEP)研發之格點統計內插 (Gridpoint Statistic Interpolation, GSI) 變分系統,且於民國 99(2010)年7月正式上線成為全球預報 模式之資料同化系統。為銜接 GSI 系統發展最新資訊,特派員至美國環境預報中心進行研習,主要研習主題為在 GSI 同化系統中 GPS 掩星觀測對於衛星輻射觀測資料之影響。

二、工作成果說明:

太陽同步衛星(繞極衛星)所接收的觀測值為各頻道由地表至觀測儀器間之輻射累 積量(亮度溫度),能對全球做近均勻且週期性的觀測,約每12小時能經過同一地點附 近,提供了大量傳統觀測資料無法得到的大氣資訊;GPS 掩星的觀測值為相位延遲量 (時間差),不需校正,具有高準確性、高垂直解析度,且不受雲雨影響,此兩種觀測 資料皆為缺乏傳統觀測資料的海洋、高空區提供了資訊,這些資訊的使用在全球各大天 氣預報作業中心有效地提升了預報結果。現今所使用的衛星輻射觀測具有高地面解析 度,但垂直解析度則是由各觀測儀器的頻道個數決定,又由於觀測值是一積分量,並不 是只由特定高度之大氣所決定,頻道間是互相關聯的,要反演出其所測得的大氣狀態仰 賴良好的 Forward model,頻道數多會增加反演的困難性;而 GPS 掩星觀測有高垂直解 析度,兩者同時使用,可望能對衛星輻射觀測資料的使用有所提升。

本研究基於此,對GSI系統中同化GPS 掩星觀測資料對衛星輻射(radiance)觀測 資料同化之影響進行探討。

三、實驗設定:

在本研究中,進行了平行測試實驗及個案研究,實驗所使用的預報模式為 NCEP/GFS,同化系統為GSI,水平解析度T382,垂直共64層。預報上分為gdas(early run)及gfs(final run),gfs在每日0時會進行8天預報,gdas則是每隔6小時、一天 共4次,進行6小時預報,提供分析場給gfs及gdas使用。

平行測試實驗部分,共進行了兩組實驗,以探討 GPS 掩星觀測對於衛星輻射觀測 的影響。實驗期間為 2007 年 12 月 1 日 0 時至 2008 年 2 月 29 日 12 時,共 3 個月,兩 組實驗分別為 gps 及 nogps,兩實驗設定與 NCEP 作業版本相同,差異為 gps 同化 GPS 掩星觀測,而 nogps 不同化。所同化衛星輻射觀測資料皆與 NCEP 預設相同,使用資料 如表 1 所示。

共進行6個個案研究,分析時間為2008年2月29日18時,背景場由 nogps 中2008 年2月29日12時的6小時預報而來。模式解析度與平行測試實驗一樣,皆使用傳統觀 測資料,而各個案衛星觀測資料使用列於表2。

四、實驗結果:

(1)衛星輻射觀測資料

模式與觀測間存在的偏差 (Bias=Y_{obs}-H(X_b), Y_{obs}:觀測, H:Forward Model, X_b: 背景場), 而偏差可能來自於觀測本身、儀器誤差、Forward Model 的不足及模式背景場 的誤差,理想狀態下希望這些誤差不存在, 而偏差的大小很有可能比可用資訊本身來得 大,所以偏差校正 (Bias Correction) 是必要的。在 GSI 系統中,使用了此技術來移除 由觀測、儀器及 Forward Model 產生的誤差,目前針對衛星輻射觀測資料使用了兩項偏 差校正,分別針對衛星掃描角度 (Scan Angle Correction) 及大氣狀態 (Air Mass Correction)進行校正。衛星掃描角度校正根據衛星觀測時掃描線上不同的視場 (Field-Of-View)來進行訂正;大氣狀態校正則使用預測算子 (predictor) 與係數來做 訂正 ($b^{air mass} = \beta P$, $b^{air mass}$: air mass bias, β :預測算子之係數, P:預測算子),目前 NCEP 作業版本所使用了5個預測項,分別為: constant、scan angle、cloud liquid water、 lapse rate 及 square lapse rate。

在偏差校正之後,進行品質控管(Quality Control)步驟來濾除不好的觀測資料,以防止這些觀測進入同化系統中,很可能降低分析場品質,進而影響預報成效。在GSI系統中,針對不同的儀器、頻道、地表形態、地勢、地區、雲覆蓋量等皆有不同的品質 控管方式。

圖1及圖2分別為衛星輻射觀測NOAA-15 AMSU-A (微波)頻道12(權重函數 峰值位於10hPa)及NOAA-17 HIRS-3(紅外輻射)頻道2(權重函數峰值位於50hPa) 觀測與模擬觀測亮溫差異量(Observation-minus-Background, O-B)及觀測之偏差校正 量。由圖中可見無論是微波或是紅外輻射觀測,在經過偏差校正後,觀測與模式間差異 (O-B)值都接近於零,而偏差校正量則使用GPS掩星觀測之實驗gps,其觀測及模式 間的差異較未使用之實驗 nogps 來得小,經過2個月的調整後,兩實驗之差異量可達 0.5K,說明gps之背景場較貼近觀測;再比對背景場與 radiosonde 之觀測(圖3、4), 可知使用GPS 掩星觀測讓模式之背景場及分析場皆與觀測值較為接近, radiosonde 為現 地(in-situ)量測,為可信度較高、較為貼近真實大氣狀態之觀測,由此可知GPS 掩星 觀測資料的使用能夠有效提升背景場及分析場,在衛星輻射觀測部分所需之偏差校正量 也較少。 GPS 掩星觀測對衛星輻射觀測資料,除了在偏差校正量上有明顯的差異外,在同 化率上也有明顯的影響,圖 5 為兩實驗之 METOP-A HIRS-4 各頻道觀測通過品質控管 數量的差異量百分比,若數值為正數表示 gps 實驗中通過品質控管數量比 nogps 多,反 之,則為 nogps 同化較多。由圖可知使用 GPS 掩星觀測之 gps 實驗其同化率提升, METOP-A HIRS-4 有較多的觀測資料能進入同化系統中。

(2)預報成效

預報校驗部分,使用高度場距平相關(Anomaly Correlation)及溫度場分別使用了 實驗本身的分析場及 Consensus 分析場(NCEP/GFS、ECMWF 及 UK 分析場平均值) 做計算。對實驗本身分析場做計算所得的高度場距平相關(Anomaly Correlation),兩 實驗北半球預報在各層都大致相當,南半球 gps 實驗則有明顯正向提升。以 500hPa 為 例(圖 6),在北半球兩實驗之預報得分相當,而在南半球則是 2 至 5 天 gps 的預報得 分明顯優於 nogps。使用 Consensus 分析場做計算所得的距平相關,無論是在溫度場及 高度場,gps 實驗在各氣壓層都較於 nogps 為佳(圖未示)。

溫度場誤差及均分根誤差部分,使用實驗本身分析場計算所得結果,無論在各緯度 都出現高層 gps 實驗較 nogps 誤差大的情形,南半球及熱帶地區較為明顯。以 500hPa 為例 (圖 7),其溫度場之均方根誤差,可看出使用 GPS 掩星觀測都能有效降低誤差, 尤以南半球地區較為明顯。

在本研究中,使用實驗本身分析場及 Consensus 分析場計算所得之溫度場在南半球 及熱帶地區高層有明顯差異,由於預報得分是利用分析場及預報場做比對,分析場及預 報場相似的情況下就會得到較好的預報分數,對預報本身的好壞不絕對的相符,因此以 相同分析場計算得分較為適合。基於校驗結果,使用 GPS 掩星資料對預報得分有正向 的影響,並且在熱帶及南半球有明顯的改進。

(3) 個案研究

在平行測試實驗結束後,將未使用 GPS 掩星觀測之 nogps 實驗在 2008 年 2 月 29 日 12 時之 6 小時預報場當作背景場來進行個案研究,藉由 one-cycle 之實驗來看 GPS 掩星觀測對分析場之影響。衛星輻射觀測資料選用微波觀測之 NOAA-15 AMSU-A 及紅 外輻射觀測 NOAA-17 HIRS-3,圖 8 為觀測資料分布,各實驗之衛星觀測使用列於表 2。

圖 9 為個案研究 scl 至 6 之溫度場分析增量(Analysis Increment), 左半部 3 個案 scl、sc3 和 sc5 皆未同化 GPS 掩星觀測, 右半部 3 個案 sc2、sc4 和 sc5 有使用, 可看 出使用 GPS 掩星觀測, 無論是否有使用衛星輻射觀測, 在高層大氣及熱帶地區皆產生 了將近 1 度(K, Kelvin)的增量; 由於所使用之背景場由 nogps 而來, 經過 3 個月未使 用 GPS 掩星觀測, 在高層缺乏可信度高的觀測資料, 分析場極有可能傾向於模式氣候 場,因此在缺乏傳統觀測資料的高層大氣及南半球產生將近 1K 的溫度增量。將個案 scl 及 sc2 在 σ 座標為 0.107777 之水平層場繪出(圖 10), 顯示 sc2 之分析增量大於 sc1 之 分析增量, 且分析場與 GPS 掩星觀測折射率之差異量則是 sc1 大於 sc2, 根據 GPS 掩 星觀測具有不需校正之特性, 提供之訊息應當能較貼近真實大氣, 也再次說明未使用 GPS 掩星觀測會使模式分析場產生偏差。

接著選取3筆在不同緯度皆由 COSMIC-4 衛星所觀測之掩星資料,接近這3筆觀 測之模式格點溫度場分析增量如圖10所示,使用 GPS 掩星觀測之個案,由於其高垂直 解析度之特性,分析增量在不同高度上變化較為劇烈,且整體而言,增量也較大,由其 以缺乏傳統觀測資料之高層大氣及熱帶地區最為明顯。

五、結論:

GPS 掩星觀測為不需校正,具有高準確性、高垂直解析度,且不受雲雨影響之觀 測,但在水平解析度上較為缺乏;繞極衛星之輻射觀測具有高水平解析度,觀測均勻分 布全球,但由於觀測本身為一由地表至大氣層頂之輻射強度積分量,各頻道間有高度相 關,在垂直解析度上較為缺乏;兩者皆提供有用的大氣狀態資訊,特別是在缺乏傳統觀 測資料的高空及海洋區有莫大的助益。

由本研究中顯示, GPS 掩星觀測有效的提升了預報成效,並且降低了預報誤差, 尤其在高層大氣及南半球特別顯著;能夠有效牽引分析場,使其不偏向模式氣候場,也 使衛星輻射觀測資料獲得較好的偏差校正,同時也提升輻射觀測資料之使用效率。

六、參考文獻:

- Auligné, T., and A. P. McNally, 2007: Interaction between bias correction and quality control. Q. J. R. Meteorol. Soc. 133, 643–653.
- Collard, A. D., and S. B. Healy, 2003: The combined impact of future space-based atmospheric sounding instruments on numerical weather prediction analysis fields: A simulation study. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **129**, 2741–2760.
- Cucurull, L., J. C. Derber, 2008: Operational Implementation of COSMIC Observations into NCEP's Global Data Assimilation System. *Wea. Forecasting*, **23**, 702–711.
- Cucurull, L., 2010: Improvement in the Use of an Operational Constellation of GPS Radio Occultation Receivers in Weather Forecasting. *Wea*. Forecasting, **25**,749-767.
- Dee, D. P., 2005, Bias and data assimilation. Q. J. R. Meteorol. Soc. 131, 3323-3343.
- Derber, John C., Wan-Shu Wu, 1998: The Use of TOVS Cloud-Cleared Radiances in the NCEP SSI Analysis System. *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 2287–2299.

Instrumen t	Platform	Channel usage	
	NOAA-15	1-10, 12-13, 15	
	NOAA-18	1-8, 10-13, 15	
AMSU-A	METOP-A	1-13, 15	
	AQUA	6, 8-13	
	NOAA-15	1-3, 5	
AMSU-B	NOAA-16	1-5	
	NOAA-17	1-5	
MHS	NOAA-18	1-5	
MIIS	METOP-A	1-5	
HIRS-3	NOAA-17	2-15	
HIRS-4	METOP-A	2-15	
AIRS	AQUA	120 channels	
SNDRD1- 4	GOES11,12	1-15	

表1 平行測試實驗所同化之衛星輻射觀測資料。

表 2 個案研究之衛星資料使用

Exp Obs	sc1	sc2	sc3	sc4	sc5	sc6
GPS	X	0	Х	0	X	0

RO						
NOA A-15 AMSU-A	Х	Х	0	0	Х	Х
NOA A-17 HIRS-3	Х	Х	Х	Х	0	0



圖1 平行測試期間 NOAA-15 AMSU-A 頻道 12 觀測與背景場模擬觀測亮溫差異量 (Observation-minus-Background, O-B)及觀測之偏差校正量。黑線與綠線分別 代表 gps 及 nogps 實驗 O-B 隨時間變化;紅線與藍線分別代表 gps 與 nogps 實驗 偏差校正量 8 點移動平均隨時間變化圖,在紅、藍線旁之圓點表偏差校正量實際 值。由上而下分別為全球、北半球、南半球及熱帶之觀測資料。



圖 2 平行測試期間 NOAA-17 HIRS-3 頻道 2 觀測與背景場模擬觀測亮溫差異量 (Observation-minus-Background, O-B)及觀測之偏差校正量。配置同圖 1。



圖 3 模式溫度場與 radionsonde 校驗之偏差與均方根誤差垂直剖面圖 (左),右為 radiosonde 觀測數量。虛線為 gps,實線為 nogps, 紅色表背景場,黑色表分析 場。



圖 5 gps與nogps其METOP-A HIRS-4 各頻道觀測資料通過品質控管數量差異百分比 (%)之月平均。紅、橙、藍色分別為2007年12月、2008年1月及2008年2 月之月平均。縱軸為百分比,橫軸為各頻道代號。



圖 6 2007年12月至2008年1月500hPa之0至8天預報高度場距平相關(上)及顯 著性測試(下)。左為北半球,右為南半球。上圖黑線表 nogps,紅線為 gps;下 圖紅線為 gps 減去 nogps,紅色框為95%顯著性門檻。







圖 8 2008 年 2 月 29 日 18 時個案研究中所使用之衛星觀測資料分布。淺綠色為 NOAA-15 AMSU-A,觀測總數為 11759; 淺藍色為 NOAA-17 HIRS-3,觀測總數 為 8189; 散布的圓點為 GPS 掩星觀測資料,各顏色表示由不同衛星觀測。



圖9 6個案研究之經向平均之溫度場分析增量(Analysis Increment)緯向及垂直分布 圖。橫軸為緯度,縱軸為σ座標。左上為 sc1,右上為 sc2,左中為 sc3,右中為 sc4,左下為 sc5,右下為 sc6。



-1.05-0.9-0.75-0.6-0.45-0.3-0.150.15 0.3 0.45 0.6 0.75



-1.05 -0.9 -0.75 -0.6 -0.45 -0.3 -0.15 0.15 0.3 0.45 0.6 0.75 (×10-2)

圖 10 在 σ 座標為 0.107777 高度層場之溫度場分析增量(上)和分析場與 GPS 掩星觀 測折射率之差異圖(下)。左為 sc1,右為 sc2。



(c)Lat: -0.394 Lon: 24.684



(b)Lat: -54.714 Lon: 43.404

圖 11

單一模式格點上之溫度場分析增 量。(a)-(c)格點分別位於北半球、南半球 及熱帶地區。淺藍、紅和深藍代表未使用 衛星輻射觀測資料、使用 NOAA-15 AMSU-A 及使用 NOAA-17 HIRS-3。虛線 為未使用 GPS 掩星觀測,實線有使用。 縦軸為σ座標,橫軸為溫度。

中央政府各機關(含基金、事業、機構、學校)委辦計畫出國預算編列及執行情形調查表

主管機關名稱:交通部

年度别:100

							r							r					IN TE D					
委辦機關 (基金、事 業、機構、 學校)名稱	預算 年度 別	委辦計 畫名稱	委辦計 畫執行 期間		委託方 〔請勾選	式 里)	委辦經費		核定委辦計畫內容		出國言	實際出國 人員		是否攜眷 (勾選)		出國機票是 否採用共同 供應契約(勾 選)		委辨計畫 月 所提出國報 月 告 2		委辦計畫 所提出國 出國計畫是否達 報告是否 成預期效益(勾選) 公開(勾選)				
				行政 委託	依府購辦委	其(詳說委方他請細明託式)	科目	金額	出國計畫內 容	國外旅費金 額	出國人數	實支金額	出國期間 出國地 (起迄年 點 (地 月日) 區)	單位職 稱姓名	人數	是 <u>計構及</u> <u>講者由感 支出</u> <u>數</u> <u></u> <u></u> <u></u> <u></u> <u></u> <u></u> <u></u> <u></u> <u></u> <u></u>	否	是	否 (請說明 原因)	名稱	提出日期	是请明開方)	否 (請 是 說明 (請說明 原 達成情形) 因)	否 (請說 明原因)
中央氣象局 氣象科技研 究中心	100	中象值同統福號觀料術 央局資化應衛掩測之發 氟數料系用 3 星資技	100年1 月1日 至12月 31日		V		委辦費	3,200,000	赴星化研同掩資關 美資聯習化星料技 國料合 GPS 觀之術	526,400	1	458,376	100年1 月23日美國華 至10月區 2日	氣科心研曹 象技助究伶	1		V		由旅行 社代訂	GPS 觀同星資 GAN 新加加 GPS 觀同星資 GAN 新同星資 GAN 新加加 新加加 新加加 新加加 新加加 新加加 新加加 新加加 新加加 新加		期 末告	GSI 新進了 留SI 新進子 別 編 資 響 影 約 術 及 星 衛 觀 之 析	
合 計								3,200,000		526,400	1	458,376												

註:填表前請務必參閱下列填表說明。

1、請各機關就本機關及所屬(包含基金、事業、機構、學校)於民國100年度以本機關及所屬經費辦理之委辦計畫(含委外研究案)中,核定有出國計畫者,均請查填本表,並請主管機關彙整所轄單位資料,就 每一機關(基金、事業、機構、學校)之相關數據加總作一小計,再就主管機關加總合計。

2、所稱委辦計畫(含委外研究案)係指:機關及所屬處理經常一般公務或特定工作計畫所需,委託其他政府、機關、學校、團體及個人等進行學術研究或辦理屬本機關法定職掌之相關業務;該委託業務依雙方約 定契約內容支付各項費用,並依照法律、契約及「行政院所屬各機關委託研究計畫管理要點」及「行政院及所屬各機關推動業務委託民間辦理實施要點」等規定辦理。

3、本表請由編列經費之委託機關查填。例:A機關編列經費委託B機關辦理相關業務,其中包含出國計書及出國相關經費,則由A機關查填。

4、凡於民國100年度執行之委外研究案中,核定有出國計畫者,均請分年度填列本表,每年度1張;「預算年度別」欄位請依據預算所屬年度查填(例:99年度保留至100年度執行之預算,請填於100年度之表 格,惟「預算年度別」欄位請填「99」)。

5、請依所辦理之出國計畫逐一填列,原編有預算但未執行、原未核定但因故新增之出國案件,亦須查填;原核定有出國預算但未執行之案件,有關出國實際執行情形之相關欄位免予查填,惟請於「出國計畫執行情 形」欄說明未執行之原因;原未核定但新增辦之出國案件,無須查填核定委辦計畫內之出國計畫內容、國外旅費金額、出國人數,惟請於「出國計畫內容」欄說明新增辦出國計畫原因、未經核定即辦理之依據。 6、所稱行政委託係指:行政機關依行政程序法第15、第16條之規定,將權限之一部分委任(委託)其他機關、團體、個人執行(辦理)者。

7、核定或簽約之委辦計畫之「核定之出國計畫內容」查填範例:赴○○國訪問※※大學並至◎◎實驗室進行研究實驗。

8、「出國人員之單位職稱姓名」之查填範例:經濟部會計處專員黃00。出國人員如非本機關人員(如其他機關人員或民間人士),亦須查填。

9、無需提出出國報告者,報告名稱及公開方式等欄無須查填,惟請於「出國報告名稱」欄註明無需提出報告,並說明無需提出之依據。

10、出國報告如有公開,公開方式之查填範例:已上傳至行政院研考會建置之「公務出國報告資訊網」。

11、出國計書如達成預期效益,說明達成情形之查填範例:已如原預期目標與00基金會簽署合作契約。

單位:新台幣元