

GPS 掩星折射率資料同化對於颱風模擬的影響

黃清勇 周 濤 郭勉之

國立中央大學大氣科學系

(中華民國九十五年九月十四日收稿；中華民國九十六年五月十八日定稿)

摘 要

本文使用 WRF 3DVAR，將 GPS 掩星觀測折射率資料及傳統觀測資料同化於 WRF 中尺度模式，以了解同化折射率對於數值模擬結果的影響。文中使用 CHAMP 衛星折射率觀測資料，選取兩個颱風個案海棠（2005）以及敏督利（2004）進行模擬。我們將每一個颱風作數組模擬，分為沒有及有同化 GPS 掩星折射率資料，及在模擬期間加入 GPS 掩星折射率觀測資料同化（即 cycling 3DVAR）。同化後，在差異增量上，折射率在水氣方面有較大的回饋，但在溫度方面回饋較小。WRF 模擬結果顯示，同化 GPS 掩星觀測折射率資料對於颱風路徑模擬的影響較小，對降雨模擬則有改善。CHAMP 衛星的掩星觀測只能提供水氣跟溫度，缺乏風場資訊，因此我們另使用 QuikSCAT 衛星所提供的海面風場作為觀測資料同化於模式中。同時同化 GPS 掩星資料及 QuikSCAT 風場資料的 WRF 模擬結果顯示，對路徑模擬誤差不大的個案，同化 QuikSCAT 風場後可改善累積降雨分布特徵。

關鍵詞：掩星觀測、折射率、三維資料同化

一、前言

西北大太平洋是全球熱帶氣旋活動最頻繁的地區，平均每年約有 25.7 個颱風生成。台灣位處於西北太平洋之濱、颱風路徑之要衝，平均每年約被大約 6 個左右颱風影響（謝等，1998）。而台灣和菲律賓位處副熱帶高壓範圍的邊緣，大範圍的氣流有向北流動的趨勢。每當颱風移到台灣附近的時候，路徑特別變化多端，有轉向北者，也有繼續向西行者，端視當時駛流所導引。對於台灣的侵台颱風預報，不管是在颱風強度或是降雨方面、路徑方面都相當難以掌握。

由於台灣地理位置特殊，除了對岸中國大陸，有密集的傳統探空觀測資料網外，其餘皆濱臨廣大洋面，以致於當颱風移近台灣周圍海域，除了偏重衛星與雷達的觀測，幾乎無其他傳統觀測資料。

相較於過去氣象衛星，觀測頻道的增加以及微波技術之發展，除可見光或紅外線資料外，近年尚增加 SSM/I (SSpecial Sensor Microwave/Imager)、GPS (Global Positioning System) 折射率掩星資料、QuikSCAT (NASA Quick Scatterometer) 等可觀測颱風結構及風場與水氣分布的資料。衛星資料的優點是可獲取大量的氣象資料，其水平解析度大於探空測站，特別是在海洋、沙漠和極區等地。GPS 折射率掩星資料的水平解析度雖嫌不足，但其垂直解析度是目前公認最高的一種(Ware et al. 1996)。過去學者利用 GPS/MET 提供的掩星觀測資料跟探空資料比較，分析結果非常相似。Kursinski et al. (1995)指出在低緯度地區，若使用 GPS/MET 資料，在高度六公里以下可以反演出誤差 10~20% 的水氣剖線，在邊界層中更可達到 5%。因此，如何有效利用這些資料於中尺度模式

中，以改善數值天氣預報準確度是相當重要的課題。

GPS 掩星資料可以分為相位延遲、偏折角、大氣折射率、溫度和濕度剖線。前三種資料並非傳統觀測的氣象變數，目前無法直接使用，必須利用變分資料同化的方法引入模式中。Zou et al. (1995) 率先利用 4DVAR (Four-Dimensional Variational) 將 GPS 折射率同化入模式中，並進行一系列的觀測系統模擬實驗(observing system simulation experiment; OSSE)，其結果可以有有效的反演出水氣的垂直剖面。Zou et al. (2000) and Liu et al. (2003) 也利用 GPS/MET 提供的掩星偏折角觀測資料來進行全球數值模擬研究，但並沒有做有關於颱風方面的研究。Huang et al. (2005)使用 MM5 3DVAR (Three-Dimensional Variational) 同化 GPS 掩星折射率資料，發現對於颱風模擬結果有正面的影響，尤其是在水氣補償的方面。

本文使用 WRF 三維變分 3DVAR 資料同化 (Three-Dimensional Variational Data Assimilation) 的方法對多種觀測資料進行資料同化，探討導入這些觀測資料對於侵台颱風模擬預報的影響。文章中所使用的資料包括 CHAMP (CHALLENGING Minisatellite Payload) GPS 折射率資料、QuikSCAT 海平面風場資料與傳統觀測資料。本研究選定 2005 年之海棠颱風及 2004 年之敏督利颱風進行個案探討，針對雨量及路徑模擬的表現來做比較。

二、研究方法

(一) 三維變分資料同化系統之簡介

WRF 3DVAR 是由 NCAR 所設計於 WRF 模式加入的三維變分資料同化系統，主要以 MM5 3DVAR 系統為基礎來建構。WRF 3DVAR 和

MM5 3DVAR 使用共同的觀測算子，細節請參考 Barker et al. (2003, 2004)。此系統可同化多種觀測資料進而改進模式的初始分析場，使其更接近於實際大氣狀態，提昇數值天氣預報之準確度 (Huang et al. 2002)。

WRF 3DVAR 是透過價值函數(cost function)的極小化來調整分析場，價值函數的定義為：

$$J = \frac{1}{2} \{ (x - x_b)^T B^{-1} (x - x_b) + [y_{obs} - h(x)]^T O^{-1} [y_{obs} - h(x)] \}$$

其中

x : 分析變數(n 維向量)，

x_b : 背景變數(n 維向量)，

y_{obs} : 觀測變數(m 維向量)，

B : 預報誤差協方差矩陣($n \times n$)，

O : 觀測誤差協方差矩陣($m \times m$)，

H : 非線性觀測算子，將分析的變數向量轉換成觀測向量。

價值函數 J 的極小值可使分析變數 x 與背景變數 x_b 的誤差在引進觀測資訊 y_{obs} 時有最佳調整。本文使用局地折射率觀測算子來進行 GPS 折射率掩星資料同化。

(二) 實驗設計

本文採用數值天氣預報模式 WRF 2.1.2 版模擬。WRF 模式的詳細介紹可以參考網站 (<http://www.wrf-model.org>) 或周 (2006)。本文共選取海棠 (Haitang) 颱風 (2005) 以及敏督利 (Mindulle) 兩個案模擬，初始分析場與邊界場皆使用 NCEP/AVN 分析資料。模式使用兩層網格，第一層和第二層皆為 151×151 的網格點，網格解析度分別為 30 公里和 10 公里。海棠個案從 2005

年 7 月 16 日 06 時開始模擬，而敏督利個案從 2004 年 6 月 28 號 06 時開始模擬，模擬時間皆為 72 小時，每六小時輸出一筆資料。模式所用的物理分別為：積雲參數化使用 Grell-Devenyi ensemble scheme (Grell and Devenyi 2002)，邊界層參數化使用 YSU scheme (Hong and Pan 1996)，雲微物理參數化則使用 Lin et al. scheme (Lin et al. 1983)。除了敏感度測試之外，海棠颱風和敏督利個案所使用的網格設置和參數設定皆相同。

本文使用傳統觀測資料（文章之後統稱 GTS）、GPS 折射率掩星資料（文章之後統稱 GPSRF）及 QuikSCAT 近海面風場作為同化資料。GTS 資料為傳統探空資料，每筆 GPS 資料為一筆大氣折射率剖線，可反演溫度和氣壓值，亦可視為一筆探空資料。由於 CHAMP 衛星的掩星觀測只能提供水氣跟溫度，缺乏風場資訊，因此我們另使用 QuikSCAT 衛星所提供的海面風場作為觀測資料同化於模式中。QuikSCAT 近海面風場資料距海平面 10 km，水平解析度 25 公里。模式在同化資料時有兩種作法，其一是在模擬初始時間使用 3DVAR 來改善初始場，另一方式是使用 cycling 3DVAR 同化資料，也就是先以作完 3DVAR 的初始場放入模式積分若干小時後，再將結果拿出來以當時的資料再做一次 3DVAR，接著將此 3DVAR 的資料當作模式的初始場繼續積分下去。

海棠颱風的模擬共有五個個案（表一）。其中個案 HG 為初始場同化入 GTS；個案 HGR 是同時將傳統觀測資料和 GPSRF 同化進初始場。個案 HGR_h24r 是個案 HGR 在積分 24 小時後，再加入當時的 GPSRF 資料作 cycling 3DVAR，接著繼續積分至 72 小時。個案 HGRQ 是在初始場同時同化入 GTS、GPSRF 和 QuikSCAT 近海面風

表一 海棠個案模擬情形。

個案編號	模 擬 情 形
HG	利用 GTS 在 07/16/06 同化初始場
HGR	利用 GTS+RF 在 07/16/06 同化初始場
HGR_h24r	利用 GTS+RF 在 07/16/06 同化初始場，07/17/06 做 cycling
HGRQ	利用 GTS+RF+QSCAT 在 07/16/06 同化初始場
HGRQ_h24q	利用 GTS+RF+QSCAT 在 07/16/06 同化初始場，07/17/06 做 cycling

表二 海棠個案所使用的掩星事件資訊。

HAITANG	Initialization	2005-07-16_06:52:17	(22.247,134.585)
		2005-07-16_06:54:28	(32.576,123.125)
	Cycling	2005-07-17_07:18:06	(19.260,131.324)
		2005-07-17_07:20:24	(26.707,120.552)
		2005-07-17_08:45:58	(5.537,110.963)
		2005-07-17_08:48:17	(15.890,111.483)
		2005-07-17_08:53:15	(32.345,109.039)

場資料。而個案 HGRQ_h24q 是個案 HGRQ 在積分 24 小時後加入當時的 QuikSCAT 近海平面風場資料作 cycling 3DVAR。海棠颱風的所有模擬個案均選擇 2005 年 7 月 16 日 06 UTC 作為模擬的起始時間，因為在 06 UTC 的前後 3 小時時間窗區才有 GPS 的掩星資料（表二）。

在 2005 年 7 月 16 日，全球共有 133 筆掩星事件發生。在 06 UTC 這段觀測窗區共有兩筆掩星事件發生在模式範圍內。另外在 7 月 17 日 06 UTC，有五點 GPSRF 資料可供 cycling 3DVAR 使用（表二）。個案 HGRQ 將 2005 年 7 月 16 日 06 UTC 正負 4 小時時間窗區的 QuikSCAT 資料同化入模式中，選擇此時間窗區是因當時只有 08 UTC 到 10 UTC 有資料。個案 HGRQ_h24q 則是個案 HGRQ 在 7 月 17 日 06 UTC 時，cycling 當時時間窗區內的 QuikSCAT 資料。在此二時間窗區內

落在模式範圍的 QuikSCAT 資料分佈均涵蓋颱風所在位置（圖未示，可參考周(2006)）。

敏督利颱風個案的設計和海棠颱風個案相似，也有 5 個個案（表三）。其中個案 MG 為初始場同化入 GTS；個案 MGR 為初始場同化入 GTS 與 GPSRF 兩種資料。個案 MGR_h12r 是在 MGR 積分 12 小時後加入當時的 GPSRF 做 cycling 3DVAR。個案 MGRQ 為初始場同時同化入 GTS、GPSRF 和 QuikSCAT 近海平面風場資料；MGRQ_h24q 個案則在 MGRQ 積分 24 小時後加入 QuikSCAT 近海平面風場資料 cycling 3DVAR。此個案的 QuikSCAT 資料時間窗區也是 4 小時時間窗區。在初始和 cycling 兩個同化時間窗區內，落在模式範圍內的 QuikSCAT 資料分佈亦涵蓋颱風所在位置（圖未示，可參考周(2006)）。表四為敏督利颱風個案所使用的掩星事件資訊。

表三 敏督利個案模擬情形。

個案編號	模 擬 情 形
MG	利用 GTS 在 06/28/06 同化初始場
MGR	利用 GTS+RF 在 06/28/06 同化初始場
MGR_h12r	利用 GTS+RF 在 06/28/06 同化初始場，06/28/18 做 cycling
MGRQ	利用 GTS+RF+QSCAT 在 06/28/06 同化初始場
MGRQ_h24q	利用 GTS+RF+QSCAT 在 06/28/06 同化初始場，06/29/06 做 cycling

表四 敏督利個案所使用的掩星事件資訊。

模擬個案	模擬目的	時 間	位置（緯度，經度）
MINDULLE	Initialization	2004-06-28_05:17:06	(12.128,127.727)
		2004-06-28_08:20:10	(18.790,109.416)
	Cycling	2004-06-28_18:28:37	(18.735,139.284)
		2004-06-28_18:35:09	(44.109,107.002)

(三) 雨量校驗方法

本文採用 ETS 評分(Equitable Threat Score)
(Schaefer 1990)進行雨量校驗：

$$ETS = \frac{H - R}{F + O - H - R}$$

對某一特定雨量門檻值，*F* 代表校驗區域內
模式雨量值大於門檻值的網格點數，*O* 代表校驗
區域內觀測雨量值大於門檻值的網格點數，*H* 為
模式雨量值和觀測雨量值均大於門檻值的網格點
數。*R* 代表隨機預報正確的網格點數：

$$R = \frac{F \times O}{N}$$

其中 *N* 代表校驗區域內的總網格數。若在校
驗區域內的實際降雨未被模式所預報，或是模式
降雨位置偏移，均會降低 ETS 分數。當 ETS>0
表示有技術得分，ETS=1 表示完美預報，而 ETS<0

則表示沒有技術得分。做校驗時，首先將中央氣
象局的 362 個自動雨量站觀測雨量值差分至模式
網格點上。客觀分析方法為 Cressman scheme，選
用 20km 作為影響半徑。

三、模擬結果與討論

(一) 海棠 (Haitang) 颱風

圖 1 是海棠颱風模擬路徑，各個個案的模擬
路徑類似。首先討論 GPSRF 資料對模擬路徑和
雨量的影響。以下分析折射率、水氣和溫度的差
異增量，以討論模式模擬路徑與實際觀測差異。

為探討 GPSRF 資料對於颱風路徑模擬之影
響，將個案 HGR 的 domain 1 初始場減去個案 HG
的 domain 1 初始場，以獲得同化 GPSRF 資料後
的差異量。由圖 2a 可見，兩個掩星事件點中，在
台灣東方洋面的北緯 22.25，東經 134.59 的掩星
事件點有明顯折射率增量。此增量的水平範圍大

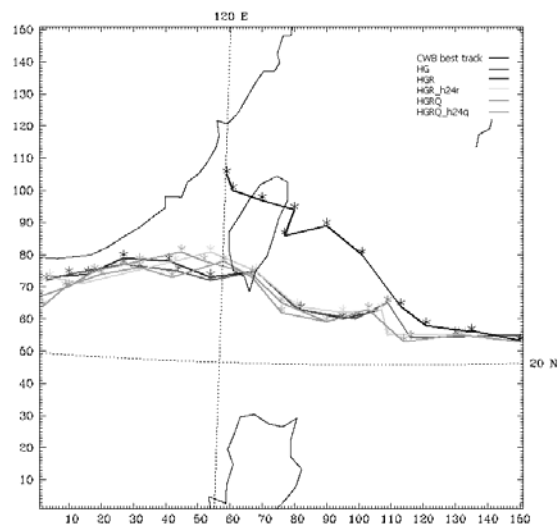


圖 1 海棠(2005)個案路徑圖，其為六小時一個間隔。

約 500~600 公里，這是 3DVAR 對於單一觀測探空的典型調整反應 (Huang et al. 2005)。折射率增量的大小約為 18 個 N-units (圖 2a)。水氣增量的分布與折射率增量的分佈相當類似，水氣增量最大值在約 3 公里，量值約為 3.5 g kg^{-1} (圖 3a)。此二變數的增量伴隨著微弱的反氣旋性風場增量，最大風速增量僅約 0.1 ms^{-1} 。

在此個案中，CHAMP 掩星事件所反演的大氣折射率，在 5 公里以下可達 200 N-units，在近地面最大可達 300 N-units (圖未示)。因此圖 2a 中的最大增量大約可佔大氣折射率觀測量的百分之六以上。折測率增量會隨時間變化、擴散而影響模擬目標，這點隨後會討論 (圖 5 說明)。

在水氣增量部分，3 公里高的水氣量值約為 $5\text{--}8 \text{ g kg}^{-1}$ ，因此此高度的最大水氣增量約佔水氣觀測量可達百分之四十。至於此掩星事件點的最大溫度增量在約 1 公里處，僅約 0.28°C 左右，此最大增量約僅佔該高度之溫度觀測量的百分之一，而所伴隨的反氣旋性風場增量也非常微弱 (圖 4a)。由此掩星事件點隨高度剖面圖可以看出，折

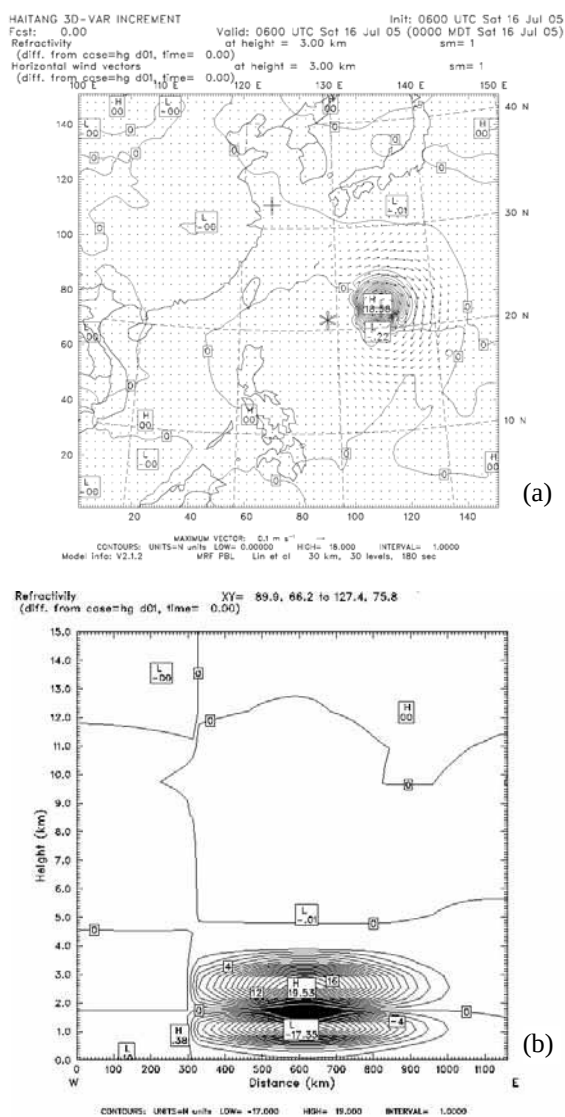
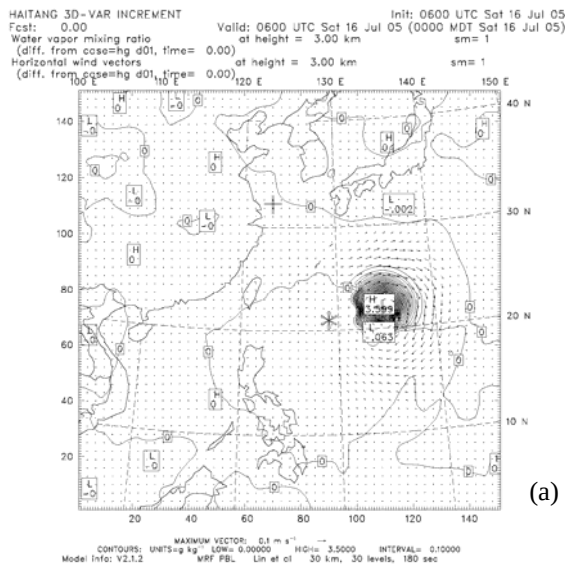
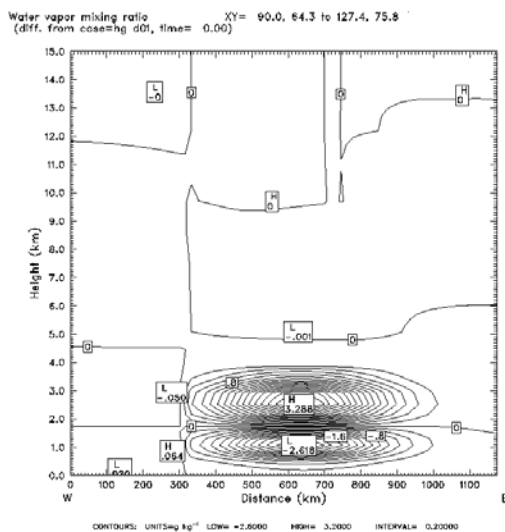


圖 2 (a)個案 HGR 減去個案 HG 的離地表 3 公里處所得的折射率增量(N-units)，星號(*)為當時颱風中心，十字(+)為兩個掩星事件點。(b)以台灣東方洋面上的掩星事件點 (緯度 22.25；經度 134.59) 為中心的東西向高度剖面圖。

射率、水氣和溫度增量主要分布 4km 以下的中低層大氣 (圖 2b、圖 3b 和圖 4b)。折射率增量和水氣增量呈現相似的垂直分布，最大增量正值(負值)出現在約 3km (1km) 附近，但是溫度最大增量正



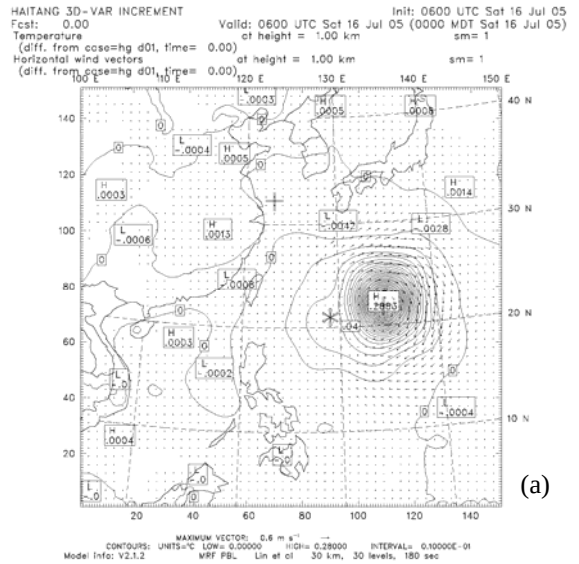
(a)



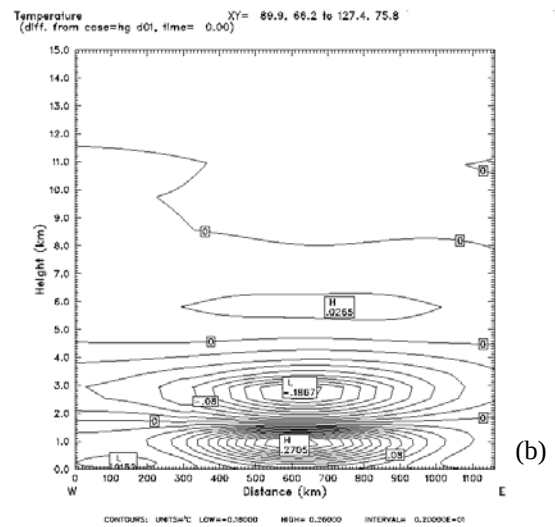
(b)

圖3 (a)個案 HGR 減去個案 HG 的離地表 3 公里處所得的水氣增量 (g kg^{-1})，星號(*)為當時颱風中心，十字(+)為兩個掩星事件點。(b)以台灣東方洋面上的掩星事件點 (緯度 22.25；經度 134.59) 為中心的東西向高度剖面圖。

負值之垂直分布正好相反。另外，個案 HGR_h24r 與個案 HGR 相減的增量有三處明顯增量 (相減時間為 7 月 17 日 06UTC，圖未示)，折射率增量的最大值大小約為 13 個 N-units。水氣增量最



(a)



(b)

圖4 (a)個案 HGR 減去個案 HG 的離地表 1 公里處所得的溫度增量 ($^{\circ}\text{C}$)，星號(*)為當時颱風中心，十字(+)為兩個掩星事件點。(b)以台灣東方洋面上的掩星事件點 (緯度 22.25；經度 134.59) 為中心的東西向高度剖面圖。

大值約 2.6 g kg^{-1} (約 3 公里處)，溫度增量約為 $0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。水氣的增量跟折射率增量的分佈也相當接近。

由各增量的量值大小和其所佔相應觀測量比

例來看，可表示加入 GPSRF 探空，對於初始場調整有較大的水氣補償，至於溫度補償則比較小，此和 Huang et al. (2005)的結果是一致的。Kuo et al. (1997)利用 4DVAR 對於冬季渦旋做同化折射率，也顯示相似特性。此外，由圖 2 可知，颱風中心的位置與掩星觀測點有一定距離，加上掩星點數量不足，助益有限。這可能是造成各個個案的模擬路徑差異不大的因素。

在雨量方面，爲了比較侵台颱風其颱風環流所造成在台灣地區的降水，本個案挑選 2005 年 7 月 17 日 06 UTC 到 2005 年 7 月 18 日 06 UTC 在台灣地區二十四小時累積降水作討論。

從觀測資料可以看出降雨集中在台灣東北部，宜蘭附近到達降雨量大於 600 mm (圖 5d)。個案 HGR 與個案 HGR_h24r 的降水比個案 HG 增強。例如個案 HG 的台灣東部的降水最大值有 261 mm (圖 5a)，個案 HGR 達到 269.9 mm (圖 5b)，個案 HGR_h24r 則約 268.7 mm，比個案 HGR 略少了 1.2mm (圖 5c)。但是，個案 HGR_h24r 在台灣南方海面的降雨兩極值均比其他兩個案明顯增加了約 20mm。此結果顯示同化 GPS 折射率資料具有補償水氣的作用 (Huang et al. 2005)，並且以 cycling 方式多加入 GPSRF 探空後，模式積分範圍內的可再度獲得水氣補償。從折射率增量隨時間變化得知，折射率增量呈現往西傳的趨勢 (圖 6)，在積分二十四小時後影響到台灣上空，應對水氣補償有正貢獻 (圖 6e)。不過，在初始時間之後的風場增量相當凌亂而微弱。加入 QuikSCAT 資料後的模擬路徑亦無太大的改善 (圖 1)。表示 QuikSCAT 單層風場對於颱風風場的調整仍不足。雖然路徑方面調整不大，但是同化 QuikSCAT 資料對累積雨量極值模擬的仍有改

善。在台灣上空，個案 HGRQ 的模擬 24 小時累積雨量最大值爲 312.8 mm (圖 7a)，個案 HGRQ_h24q 的結果爲 315.7 mm (圖 7b)。比起個案 HGR 與 HGR_h24r 的模擬累積降雨量，均增加了 40 mm 左右 (圖 5d)。

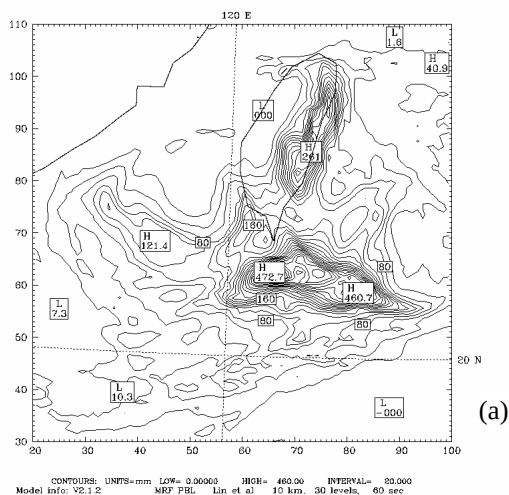
此外，個案 HGRQ_h24q 在台灣南方洋面的模擬 24 小時累積雨量最大值也比個案 HGRQ 的結果多了約 30 mm。這也顯示，以 cycling 方式將更多的 QuikSCAT 同化入模式中，對模式中的水氣量，乃至於模擬的累積雨量均有正補償效應。

爲了較量化的討論這些個案所模擬的雨量分布之表現，對 2005/07/17/06 到 2005/07/18/06 的 24 小時累積雨量作雨量校驗。由於各個案的模擬路徑差異不大，因此 ETS 值也很相近 (圖 8)。整體來看，隨著門檻值提高，ETS 值也逐漸下降。但仔細分析 ETS 值仍可發現同化 QuikSCAT 資料後，模式雨量模擬獲的改善的現象。相對於其他個案，個案 HGRQ 和個案 HGRQ_h24q 均具有相對較高的 ETS 值。在門檻值小於 1.0 mm 時以個案 HGRQ 稍佳，而門檻值 5.0 mm 和 10.0 mm 則個案 HGRQ_h24q 轉爲較好。此外，在大於 50 mm 的門檻值部份，個案 HGRQ 的表現再度領先。綜合而言，雨量校驗分析顯示，同化入兩種衛星資料，對路徑模擬的改善並不明顯，但確實有助於改善模式模擬雨量的表現，並以同化 QuikSCAT 資料之改善較多。這與 Huang et al. (2005)的結果一致，即加入同化 QuikSCAT 風場改善降雨模擬。

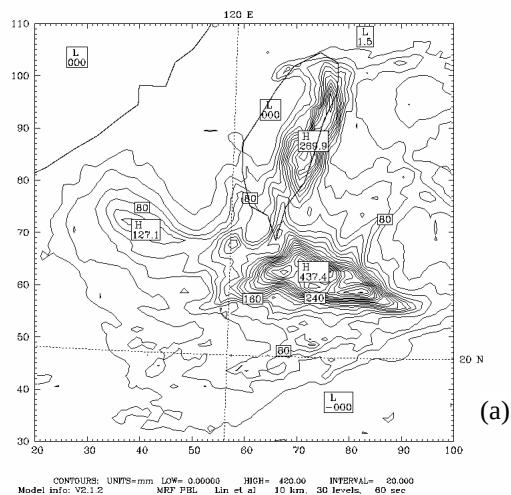
(二) 敏督利 (Mindulle) 颱風

個案 MG、個案 MGR 與個案 MGR_h12r 的路徑基本上差異不大 (圖 9)。但是有加入 GPSRF 資料的個案在模擬第 18 小時的時候，皆有北偏現

Dataset: hg d02 RIP: hg d02 rain Init: 0600 UTC Sat 18 Jul 05
 Post: 48.00 Valid: 0600 UTC Mon 18 Jul 05 (1500 LDT Mon 18 Jul 05)
 Total precip. in past 24 h



Dataset: hgr RIP: hgr d02 rain Init: 0600 UTC Sat 18 Jul 05
 Post: 48.00 Valid: 0600 UTC Mon 18 Jul 05 (1500 LDT Mon 18 Jul 05)
 Total precip. in past 24 h



Dataset: hgr cyc RIP: hgr cyc rain Init: 0600 UTC Sun 17 Jul 05
 Post: 24.00 Valid: 0600 UTC Mon 18 Jul 05 (1500 LDT Mon 18 Jul 05)
 Total precip. in past 24 h

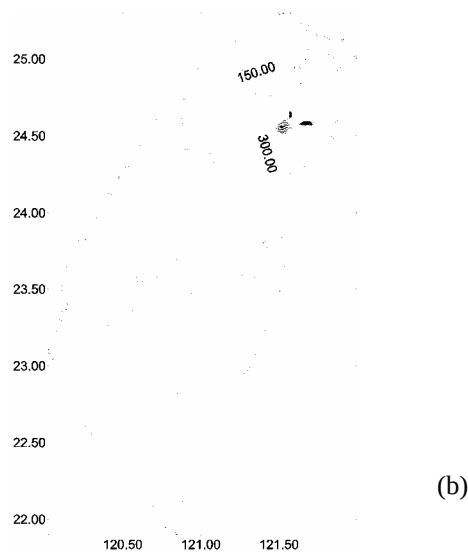
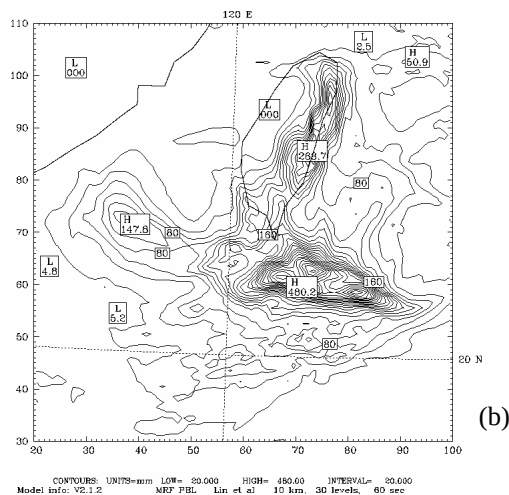
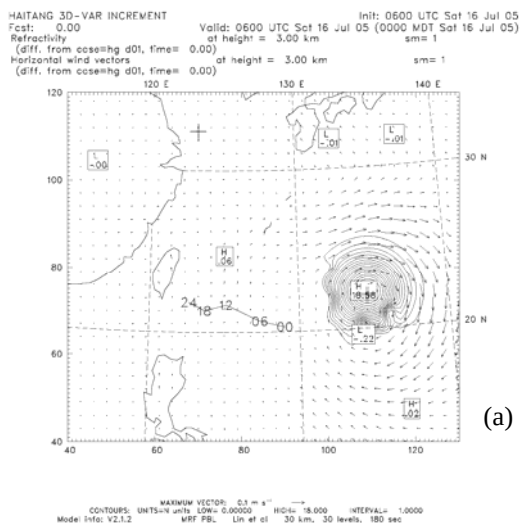


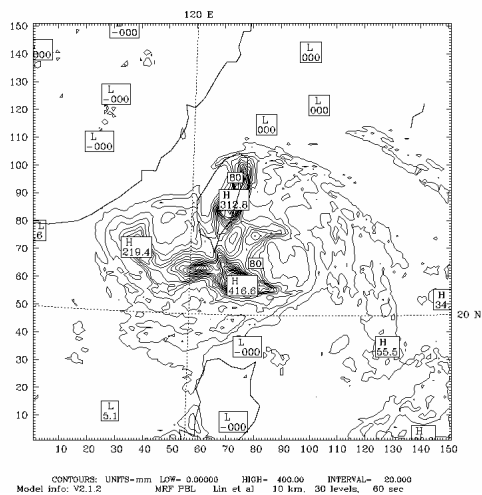
圖 5 (a)個案 HG 在 2005/07/17/06 到 2005/07/18/06 的二十四小時累積雨量。(b)同(a) 但為個案 HGR, (c)同(a)但為個案 HGR_h24r。(d)氣象局雨量站在 2005/07/17/06 到 2005/07/18/06 的二十四小時累積雨量。

象，較符合觀測現象。只是加入 QuikSCAT 資料的，在後期路徑反而偏離觀測更遠。以下同樣分析增量以討論其差異性。使用個案 MGR 的 domain 1 初始場減去個案 MG 的 domain 1 初始場，以獲得對於 GPSRF 的差異量。在海南島附

近的 GPSRF 探空，其折射率增量的大小不超過 13 個 N-units (圖 10)。水氣的增量跟折射率增量的分佈相當接近。水氣增量最大值在約 2 公里左右，約達 2.28 g kg^{-1} (圖 11)。另外，在 1 公里處可得最大溫度增量，僅約 0.03°C 左右 (圖 12)。



Dataset: hgrq d02 RIP: hgrq d02 rain Init: 0600 UTC Sat 16 Jul 05
 Fcst: 48.00 Valid: 0600 UTC Mon 18 Jul 05 (1500 LDT Mon 18 Jul 05)
 Total precip. in past 24 h



Dataset: hgrq cyc 24 d02 RIP: hgrq cyc 24 d02 Init: 0600 UTC Sun 17 Jul 05
 Fcst: 24.00 Valid: 0600 UTC Mon 18 Jul 05 (1500 LDT Mon 18 Jul 05)
 Total precip. in past 24 h

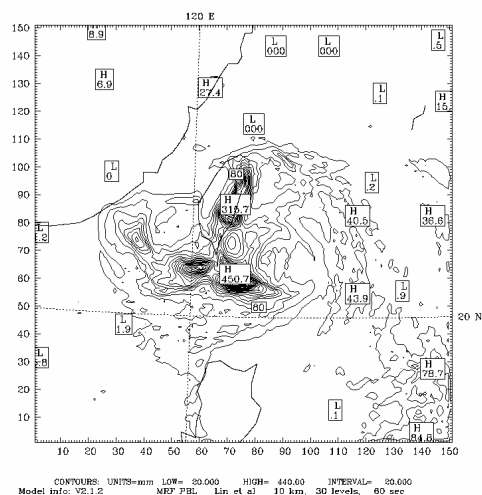


圖 7 (a)個案 HGRQ 在 2005/07/17/06 到 2005/07/18/06 的二十四小時累積雨量。(b)同(a)但個案為 HGRQ_h24q。

以上對三個變數增量的量值之分析，所得結論也和海棠颱風個案相近，即同化 GPSRF 探空後，模式初始場可得較大水氣補償。另外，個案 MGR_h12r 與個案 MGR 相減後可以得到一處明顯增量，不過此掩星點落在邊界附近且距離模擬目標過遠，對於颱風的影響很小（圖未示），所以

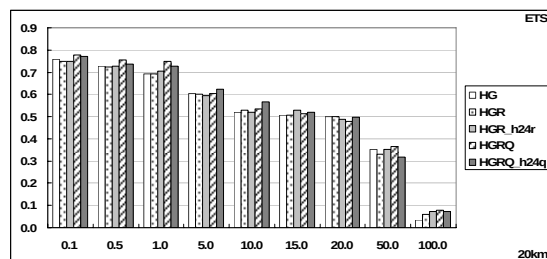


圖 8 海棠(2005)個案的 ETS 分布。此為 2005/07/17/06 到 2005/07/18/06 的二十四小時累積雨量所作的雨量校驗。縱軸為 ETS，橫軸為累積雨量門檻值。

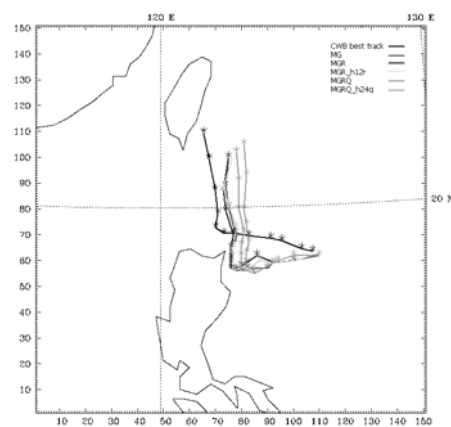


圖 9 敏督利(2004)颱風路徑，其間隔為六小時。

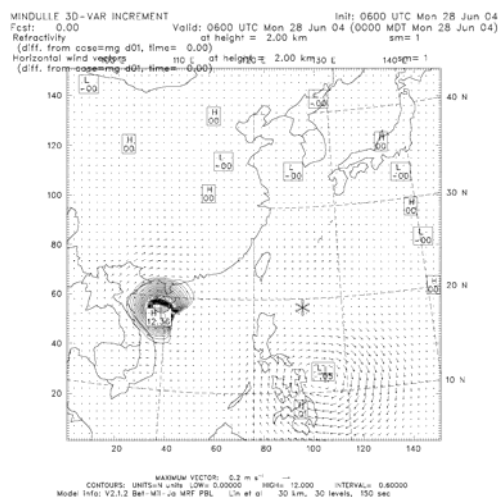


圖 10 使用個案 MGR 減去個案 MG 的離地二公里的折射率增量(N-units)在 00h 的增量圖。零值線不畫。星號(*)為當時颱風中心，十字(+)為掩星事件點。

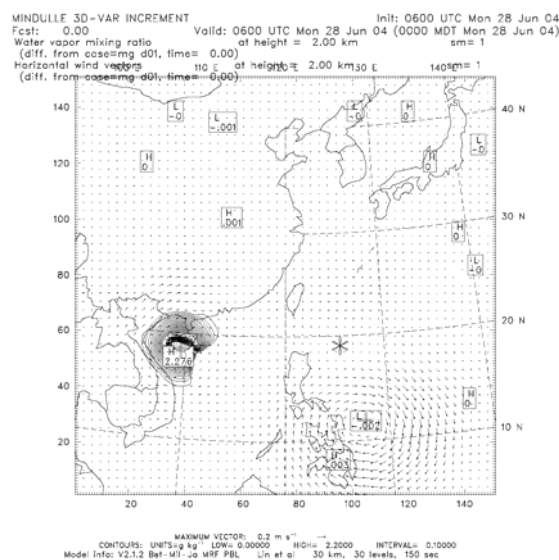


圖 11 同圖 10 但為使用個案 MGR 減去個案 MG 的離地表二公里處所得的水氣增量(g kg^{-1})在 00h 的增量圖。

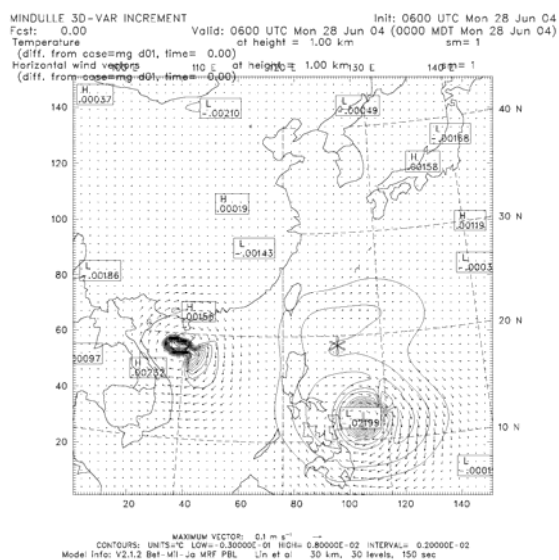


圖 12 同圖 10 但為使用個案 MGR 減去個案 MG 的離地一公里處所得的溫度增量($^{\circ}\text{C}$)在 00h 的增量圖。

個案 MGR_h12r 與個案 MGR 的模擬結果幾乎相當接近。

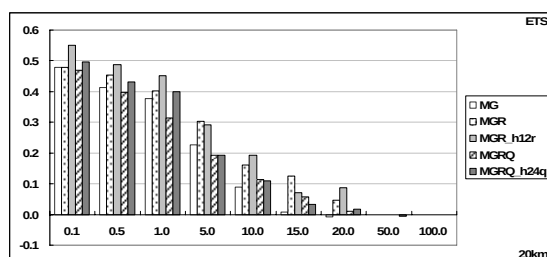


圖 13 敏督利(2004)個案的 ETS 分布。此為 2004/06/29/06 到 2004/06/30/06 的二十四小時累積雨量所作的雨量校驗。縱軸為 ETS，橫軸為累積雨量門檻值。

在雨量校驗部份，由圖 13 可發現，個案 MGR_h12r 具有較佳雨量模擬。加入 QuikSCAT 資料的個案的表現則明顯遜色，由模擬路徑可發現，加入 QuikSCAT 資料的個案 MGRQ 與個案 MGRQ_h24q，路徑反而偏離觀測更遠（圖 9），並以 MGRQ_h24q 的路徑偏差較為顯著。

造成數值模擬差異原因很多，其中包含資料同化過程的影響。我們猜測可能是當數值模式存在誤差時，進行 cycling 資料同化處理，會將數值模式誤差轉移到優化後的模式初始場中。這時，cycling 3DVAR 所得到的最優初始場並不是真實大氣的初始狀態，而是適應於該數值模式預報的初始狀態。這時所得到的模擬結果，實質是利用有誤差的初始場和有誤差的數值預報模式所進行的模擬結果。

(三) 敏感度測試

數值模式水平解析度、模式邊界或模式範圍的選取，或是物理過程如積雲參數化法的選擇，皆會對模擬路徑的結果造成影響。本節針對海棠個案跟敏督利個案的模擬路徑，進行模式邊界（範圍）和模式水平解析度的敏感度實驗。

將個案 HGR 的 domain 1 固定不變，而 domain 2 網格改為 178x142 長方形網格，比較圖 14a 與

圖 1 可發現，在改變 domain 2 範圍後，模擬的颱風路徑較為平直，但主要前進方向沒有太大差異，仍然有台灣南端陸地通過。只是，在通過台灣後其路徑維持向西北方向，而非轉向西南。

而將 HGR 個案的 domain 1 及 domain 2 往右移四個經緯度，同時將解析度改為 45km 及 15km，發現模擬路徑幾乎未登陸（圖 14b）。此實驗同時改變邊界和水平解析度，由於之前改變邊界的實驗並未改變颱風登陸台灣南端的路徑分布，推測降低水平解析度，是導致模擬路徑未登

陸的重要因素。

接著將個案 MGR 的 domain 1 固定不變，並將 domain 2 往上移四個緯度，測試此個案對於 domain 2 位置的敏感度。比較圖 15a 和圖 9 可知模擬路徑結果差不多。表示 domain 2 的邊界對於結果影響不大。另外，將 domain 1 和 domain 2 的解析度分別改成 45km 及 15km，並將 domain 的範圍放大。其模擬的路徑結果顯示，在靠近呂宋島後北上移速變慢（圖 15b）。綜合以上分析推

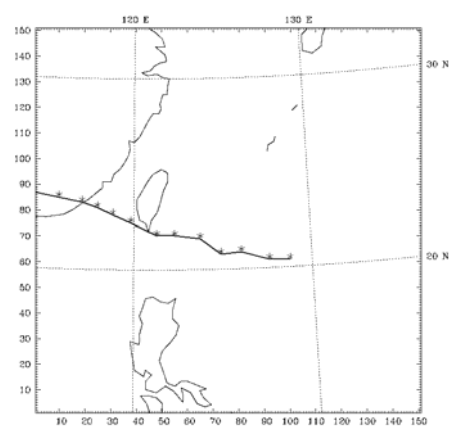
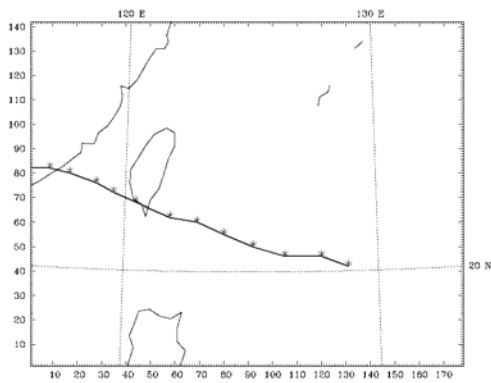


圖 14 (a)將 HGR 個案的 domain 1 固定不變，而 domain 2 網格改為 178x142 長方形的網格。
(b)將 HGR 個案的 domain 1 及 domain 2 往右移四個經緯度，同時將解析度改為 45km 及 15km。

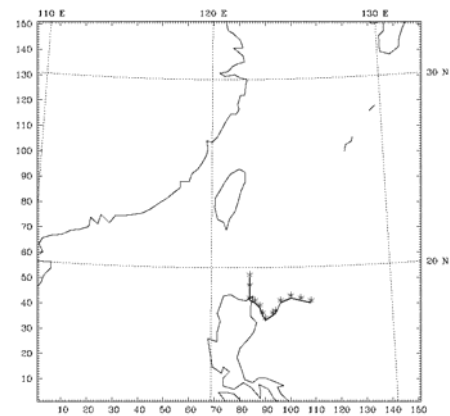
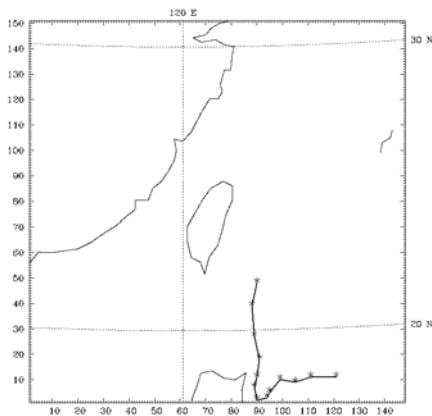


圖 15 (a)將 MGR 個案的 domain 1 固定不變，將 domain 2 往上移四個緯度模擬路徑結果。(b)將 MGR 個案的 domain 1 和 domain 2 的解析度分別改成 45km 及 15km 模擬路徑結果。

測，模式的水平解析度對颱風路徑模擬的影響較為明顯。

四、結論與未來展望

本文使用 WRF 3DVAR，將 CHAMP GPS 掩星觀測折射率資料及傳統觀測資料同化於 WRF 中尺度模式，以了解同化折射率對於數值模擬結果的影響。由於 CHAMP 衛星的掩星觀測只能提供水氣跟溫度，缺乏風場資訊，因此我們另使用 QuikSCAT 衛星所提供的海面風場作為觀測資料同化於模式中。

我們選取海棠（2005）以及敏督利（2004）兩個颱風個案進行模擬。研究結果顯示，加入 GPS 折射率資料，在敏督利以及海棠兩個颱風個案的模擬，對於路徑方面的助益較小。可能是因為目前掩星觀測點較少。而同化折射率對於水氣補償、乃至雨量模擬方面有較正面的影響。其中海棠颱風個案加入 QuikSCAT 資料後，對於累積雨量模擬的改善較為明顯。至於敏督利颱風個案，加入 QuikSCAT 資料後降雨模擬並未獲改善，原因是其模擬路徑偏離較為明顯。此外，敏感度測試的結果顯示，這兩個個案的模擬颱風路徑對模式水平解析度較為敏感。

本文結果顯示加入多種衛星觀測資料對預報模擬有正面效應，但並不算顯著。未來擬針對更多個案加以探討及分析，期能進一步深入的評估。同時我們也預期福衛三號掩星資料量之提升，可對同化預報模擬之改善有所提升。

五、參考文獻

周濤，2006：利用 WRF 3DVAR 同化 GPS 折射率資料探討對於颱風預報的影響。國立中央大學碩士論文，93 頁。

謝信良、王時鼎、鄭明典、葉天降，1998：百年侵台颱風路徑圖集及其應用。中央氣象局，台北。

Barker, D., W. Huang, Y.-R. Guo, A. J. Bourgeois, and Q. N. Xiao, 2004: A three-dimensional variational data assimilation system for MM5: Implementation and initial results. *Mon. Wea. Rev.*, 132, 897–914.

Barker, D., W. Huang, Y.-R. Guo and A. J. Bourgeois, 2003: A Three-Dimensional Variational (3DVAR) Data Assimilation System for Use with MM5. *NCAR Technical Note* (NCAR/TN-453+STR), 68 pp.

Grell, G. A., and D. Devenyi, 2002: A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. *Geophys. Res. Lett.*, 29(14), Article 1693.

Huang, C.-Y., Y.-H. Kuo and W. Huang, 2002: Numerical simulations with MM5 3D-VAR initialization. *TAO*, 13, 417–448.

Huang, C.-Y., Y.-H. Kuo, and S.-H. Chen, 2005: Improvements on Typhoon Forecast with Assimilated GPS Occultation Refractivity. *Weather and Forecasting*, 20, 931–953.

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.

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, 413-439.
- Kursinki, E. R., G. A. Hajj, K. R. Hardy, L. J. Romans, and J. T. Schofield, 1995: Observing tropospheric water vapor by radio occultation using the global positioning system, *Geophys. Res. Letter*, 22, No. 17, 2365-2368.
- Lin, Y.-L., R. D. Farley, and H. D. Orville, 1983: Bulk parameterization of the snow field in a cloud model. *J. Climate Appl. Meteor.*, 22, 1065-1092.
- Liu, H., and X. Zou, 2003: Improvements to GPS radio occultation ray-tracing model and their impacts on assimilation of bending angle. *J. Geophys. Res.*, 108 (D17), 4548, doi: 10.1029/2002JD003160.
- Schaefer, J. T., 1990: The critical success index as an indicator of warning skill. *Weather and Forecasting*, 5, 570-575.
- Ware, R., and Coauthors, 1996: GPS Sounding of the Atmosphere from Low Earth Orbit: Preliminary results. *Bull. of the Amer. Meteorol. Soc.*, 77, 19-40.
- 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., B. Wang, H. Liu, R. A. Anthes, T. Matsumura, and Y.-J. Zhu, 2000: Use of GPS/MET refraction angles in 3D variational analysis. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 126, 3013-3040.

Impact of GPS Radio Occultation Refractivity Data Assimilation on Typhoon Prediction

Ching-Yuang Huang Tao Chou Mien-Tze Kueh

Department of Atmospheric Sciences, National Central University

(Manuscript received 14 September 2006; in final form 18 May 2007)

ABSTRACT

This study utilizes WRF 3DVAR to assimilate GPS radio occultation (RO) refractivity and conventional observations into model for assessment on the impact of these refractivity data on numerical prediction with WRF. The RO observations from CHAMP were used for assimilation. Two typhoons impinging Taiwan were chosen for simulations with no assimilation, with initial GPS RO observations and the GPS observation at later prediction times (i.e., cycling). With assimilation of GPS refractivity, the moisture field has relatively larger initial increments than the temperature field. The simulation results show less impact on typhoon track prediction but more on rainfall prediction.

For sake of lack of wind information associated with CHAMP RO observations, the QuikSCAT near-surface wind observations over the ocean were assimilated into the model for comparisons. With both GPS RO refractivity and QuikSCAT wind assimilated, the distributions of accumulated rainfall for the WRF prediction have been improved.

Key words: Occultation observation, Refractivity, Three-Dimensional Variational Data Assimilation