

投落送與 QuikSCAT 資料同化對 WRF 模擬之影響

簡芳菁 謝章眉

國立台灣師範大學地球科學系

(中華民國九十六年十二月二日收稿；中華民國九十七年九月十日定稿)

摘 要

本文使用 WRF 模式三維變分同化方法，針對 2006 年碧利斯颱風、凱米颱風及 6 月中旬梅雨鋒面三個個案，將投落送資料、QuikSCAT 風場資料及傳統觀測資料同化於 WRF 中尺度模式中，藉以了解同化投落送與 QuikSCAT 資料對模式初始場及後續數值模擬的影響，並透過敏感度實驗來進行影響探討。

結果顯示，碧利斯颱風在加入投落送資料與 QuikSCAT 資料後，對模擬 6 至 72 小時的平均路徑誤差除分別有 52 km 及 16 km 的改進外，對雷達回波強度之模擬也有所改善，而凱米颱風在加入上述兩種資料後，對模擬路徑誤差之整體改進則分別達到 71 km 及 42 km；6 月中旬梅雨鋒面個案同化該兩種資料後之雷達回波模擬強度也有所改善，而與觀測較為接近。

從影響實驗研究發現，同化投落送及 QuikSCAT 資料後，碧利斯颱風個案於模擬後期具有較強的南風分量，使其模擬路徑不至於像未同化該兩種資料者過於偏南；凱米颱風個案同化投落送資料後於模擬後期具有較弱的南風分量，而同化 QuikSCAT 資料後則具有較強的南風分量，使其模擬路徑不至於像未同化投落送及 QuikSCAT 資料者過於偏北及偏南，而與觀測路徑較為接近。雷達回波強度方面，碧利斯颱風及 6 月中旬梅雨鋒面個案之模擬前期同化該兩種資料後，有較大的水氣混合比，因為有較大的溼度及較多雲水含量的緣故，使其模擬有較強的最大回波值，與觀測較為接近。

關鍵詞：投落送，QuikSCAT，WRF 模式三維變分同化

一、前言

台灣地處副熱帶，又位於歐亞大陸與太平洋交界地區，天氣變化相當明顯，最主要的雨季分別為五月中旬至六月中旬的梅雨季（王等，1985）以及七、八月間的颱風季（Chen and Chen 2003）。每年梅雨季平均約有 4~5 道鋒面系統影響台灣（Chen 1988；Chen and Chi 1978），所伴隨的豪雨常導致嚴重的災害（吳等，1984）。此外由於台灣地區位於西北太平洋颱風的主要移動路徑上，有鑒於颱風帶來之潛在威脅和屢屢重創台灣地區所造成之重大災害（Wu and Kuo 1999），因此颱風及上述梅雨鋒面之相關議題一直是國內學者相當重視的研究課題之一。但台灣除了其西方中國大陸上有密集的傳統探空觀測資料網外，廣大的洋面上的觀測資料並不多，因此全球模式所提供的初始場除了有解析度不足的問題之外，在資料缺乏區也很難準確反應真實大氣的狀態，以致於當梅雨鋒面及颱風位於台灣周圍海域時，模式的預報往往有相當程度的誤差，預報員只好仰賴衛星及雷達的觀測，這一直是國內氣象研究急待解決的問題之一。

先進國家如美國其實也有類似的問題，因此自 1982 年起他們開始針對可能威脅美洲的颶風利用 WP-3D 飛機投擲 Omega 投落送（Omega Dropwindsonde）進行觀測任務。在距離颶風中心一千公里的範圍，探測飛機飛行高度至地面之風、溫度及溼度的垂直剖面，資料在傳回飛機後立即透過衛星再傳送至熱帶預報中心（TPC）及國家環境預報中心（NCEP），提供即時之觀測資料作為預報的參考（Burpee et al. 1996）。自 1997 年起美國國家颶風中心（HRD）更開始利用具有全球衛星定位系統 GPS（Global Positioning System）投落送的高對流層噴射機來進行投落送觀測，大幅提升

水平風場觀測之準確度（Hock and Franklin 1999）。Aberson and Franklin (1999) 利用 GPS 投落送資料對於 GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) 颶風預報系統之 5 個大西洋及東太平洋颶風 48 小時的路徑及強度預報進行測試，結果可分別改進 32% 及 20%。台灣地區為了有效增加西北太平洋地區颶風周遭環境大氣資料之觀測，自 2003 年起展開侵台颶風之 GPS 投落送飛機觀測實驗，簡稱為「追風計畫」(DOTSTAR) (Wu et al. 2005)，藉此取得判別颶風強度及移動之關鍵氣象資料，並透過模式探討影響颶風路徑之氣象因子的時空分佈，有助於提升資料同化之研究（吳等，2004）。

Wu et al. (2007b) 針對追風計畫於 2004 年間執行 10 次颶風觀測任務之投落送資料的評估結果顯示，同化投落送資料可以使得海軍全球模式（NOGAPS）、美國全球預報系統（NCEP GFS）、及日本氣象廳全球波譜模式（JMA-GSM）於 0 至 72 小時平均颶風路徑預報誤差分別改進 14%、14% 及 19%，而考慮此三個全球模式之系集預報，可達 22% 的改進。Huang et al. (2006) 及黃 (2006) 則針對康森（Conson）及米雷（Meari）颶風，藉由位渦反演診斷來了解投落送資料如何經由資料同化方法改變模式的初始場，進而影響之後的颶風路徑預報。結果顯示，因康森與米雷颶風中貢獻最大的部份分別是位於台灣東北方延伸至西南方的正位渦距平以及位於颶風中心東南方的負位渦距平，使得此兩個案在加入投落送資料後分別使模擬 6 至 48 小時與模擬 6 至 72 小時之平均路徑誤差有 56% 及 63% 的改進。

為了有效改進颶風路徑與強度模擬，Chou and Wu (2008) 利用 MM5 3DVAR 結合渦旋植入與投落送資料之方法，應用於康森、米雷及梅姬三

個颱風個案進行模擬的結果顯示，同時進行渦旋植入與投落送資料同化可以達到最佳路徑模擬。而在 DOTSTAR 觀測任務進行的同時，決定飛行路徑時除了參考美國 NCEP 及 NOGAPS 利用不同方法求得敏感度區域外，Wu et al. (2007a)也使用 MM5 4DVAR 共軛 (adjoint) 原理發展出 ADSSV (Adjoint-Derived Sensitivity Steering Vector) 的方法求得影響颱風駛流的敏感區域。

此外，1999 年 6 月發射 QuikSCAT 衛星後，提供了觀測稀少的海面觀測資料，有助於提升對熱帶氣旋的研究。QuikSCAT 資料為衛星觀測的海面風場數據，除了可用於對颱風的定位和強度的評估之外，近來有愈來愈多研究將其用在數值模擬和預報中。Huang et al. (2006)針對 2002 年王峰 (Vongfong) 颱風的登陸進行模擬試驗，利用 MM5 模式中的 Nudging 法同化 QuikSCAT 資料，結果顯示同化 QuikSCAT 資料使得王峰颱風之模擬路徑與觀測更為接近。Chen (2007)則針對 2002 年 Isidore 颶風進行數值模擬試驗，利用 MM5 3DVAR 同化 SSM/I 及 QuikSCAT 資料，結果顯示同化 QuikSCAT 資料及 SSM/I 資料不論是在颶風的強度、路徑以及雷達回波帶的形狀，皆較無同化此兩種資料的模擬結果接近觀測。但整體而言同化 QuikSCAT 資料對數值模擬後期的改善最為明顯，顯示同化包含風向及風速訊息的 QuikSCAT 資料造成的數值模擬改善程度，會比只同化含有風速訊息的 SSM/I 資料之模擬結果大。周 (2007)則解釋同化 QuikSCAT 資料，造成梅姬颱風個案的路徑模擬有所改進的原因，可能因為該颱風屬於強度較弱的輕颱，其駛流層較偏於中低層，因此同化位在海表面層的 QuikSCAT 資料可能對於颱風中低駛流有正面的改善。本文使用 WRF 三維變分同化系統 (3DVAR)，來同化投

落送及 QuikSCAT 資料，除了解這些資料對模擬颱風與梅雨個案的改進程度外，也更深入的探討這兩種資料如何經由資料同化的方法改變模式的初始場，進而影響之後對颱風路徑及梅雨鋒面雷達回波強度的模擬。

二、個案簡介

(一) 碧利斯颱風個案

碧利斯颱風 (Bilis) 是 2006 年第 4 個在西北太平洋地區生成的颱風，於 7 月 9 日 0600 UTC 在關島西方海面發展為輕度颱風 (圖 1a)，當時的中心氣壓為 996 hPa，並往西北西方移動。7 月 11 日 1800 UTC 時，碧利斯的中心位置約位於北緯 20.1 度、東經 127.5 度，此時中央氣象局開始針對台灣東方海面發佈海上颱風警報，7 月 12 日 0000 UTC 進一步發佈陸上颱風警報。於 7 月 12 日 0600 UTC 之後，碧利斯路徑逐漸由西北轉西北西方向，通過台灣東方海面北上，於 7 月 13 日 0600 UTC 達到最大強度，中心氣壓為 978 hPa，近中心最大風速為 25 ms^{-1} ，並於 7 月 13 日 1400 UTC 登陸宜蘭頭城，同日 1700 UTC 由淡水附近出海。7 月 14 日碧利斯開始持續朝西北方往福建前進，最後於 7 月 15 日 0600 UTC 在中國大陸減弱為熱帶性低氣壓。追風計畫研究團隊針對碧利斯颱風於 7 月 11 日 1200 UTC 執行投落送觀測任務，總共投擲 15 枚投落送，其分佈位置如圖 1b 所示。碧利斯此時位於北緯 19.3 度，東經 128.4 度，約在鵝鑾鼻的東南方 830 公里的海面上，強度為輕度颱風。

(二) 凱米颱風個案

凱米颱風 (Kaemi) 是 2006 年第 5 號颱風，於 7 月 19 日 0600 UTC 於關島西方海面發展為輕度

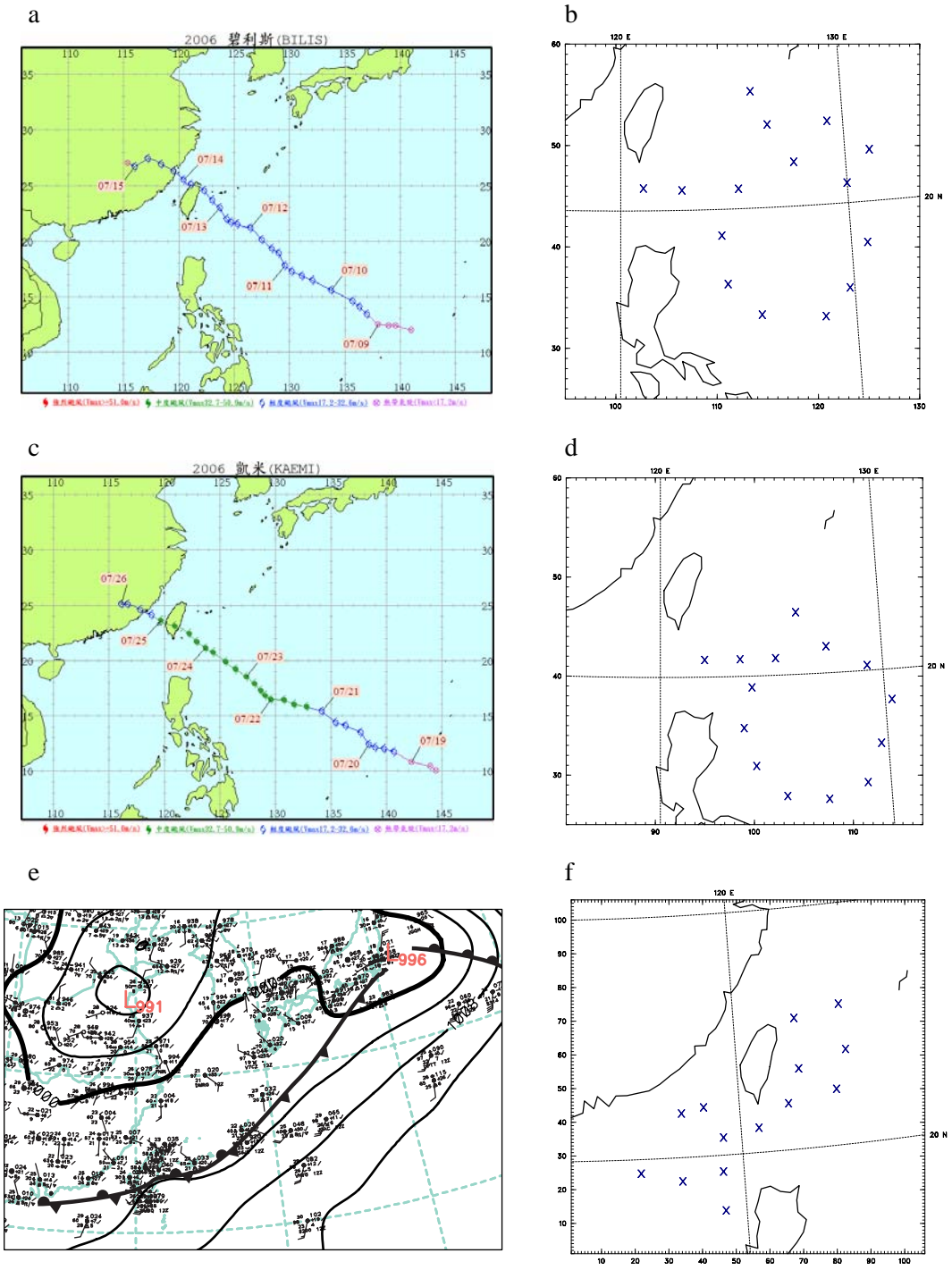


圖 1 (a)碧利斯颱風之最佳路徑圖(摘自中央氣象局網頁)，(b)國內追風計畫研究團隊於碧利斯颱風觀測任務所投擲之投落送位置分佈圖。(c)、(d)同(a)、(b)但為凱米颱風個案。(e) 2006 年 6 月 9 日 1200 UTC 地面綜觀天氣圖，(f)同(b)但為 2006 年 6 月中旬梅雨鋒面個案。

颱風(圖 1c)，當時的中心氣壓為 996 hPa，逐漸往西北西方向移動。凱米颱風於 7 月 21 日 0600 UTC 增強為中度颱風，中心氣壓降為 960 hPa，近中心最大風速為 38 ms^{-1} 。之後於 7 月 23 日，中央氣象局陸續針對台灣東方海面及陸上發佈海上颱風警報與陸上颱風警報。7 月 24 日 1500 UTC 從台東成功登陸後，朝西北西方向前進。7 月 25 日 0600 UTC，凱米颱風減弱為輕度颱風，最後於 7 月 26 日 0600 UTC 登陸中國大陸後轉為熱帶性低氣壓。追風計畫研究團隊針對凱米颱風於 7 月 23 日 0000 UTC 執行投落送觀測任務，總共投擲 14 枚投落送，其分佈位置如圖 1d 所示。凱米此時位於北緯 18.5 度，東經 127.4 度，約在鵝鑾鼻的東南方 770 公里的海面上，強度為中度颱風。

(三) 2006 年 6 月中旬梅雨鋒面個案

2006 年 5 月 26 日至 6 月 12 日滯留之梅雨鋒面為台灣帶來豐沛的降水以及嚴重的災情，其中又以 6 月 9 日的降水量最多，為中南部以及阿里山山區帶來大量降水。由 6 月 9 日 1200 UTC 的地面綜觀天氣圖(圖 1e)顯示在北緯 35 度，東經 140 度處有一強度為 996 hPa 的低壓，以時速 20 公里的速度向東北東移動，而鋒面由此中心向西南延伸至廣東海面，於台灣南部有西南風的強風速區。追風計畫研究團隊針對此鋒面個案於 6 月 9 日 1200 UTC 執行投落送觀測任務，總共投擲 14 枚投落送，其分佈位置如圖 1f 所示。

三、資料來源與研究方法

(一) 資料來源與模式設定

本研究所使用的資料分為觀測資料與模式資料兩部分，三維資料同化所加入的觀測資料為中央氣象局東亞地區地面測站、探空、投落送資料、

以及 QuikSCAT 衛星所接收的近海面風場資料。本文使用中尺度數值模式 WRF 來進行個案模擬，其模式設定分別如下：使用藍伯特地圖投影，模擬的範圍選取雙層巢狀網格，第一層(簡稱 D01)和第二層(簡稱 D02)的水平解析度分別為 45 公里、15 公里，相鄰兩層網格間的資料可透過雙向交互作用(two-way interactive)互相影響。本文的雲物理的設定參考 Chien et al.(2006)採用 WRF Singal-Moment 5-class scheme 雲微物理(簡稱 WSM5)搭配 New Kain-Fritsch 積雲參數法(簡稱 K-F)，邊界層參數則選用 Yonsei University scheme(簡稱 YSU)。

針對碧利斯(Bilis)颱風，凱米(Kaemi)颱風，以及 2006 年 6 月中旬梅雨鋒面個案，使用三維變分同化系統(WRF 3DVAR)將觀測資料同化至模式所選定的範圍中，而 WRF 3DVAR 系統主要是以 MM5 3DVAR 系統為基礎來建構。在 WRF 3DVAR 以及 MM5 3DVAR 所使用共同運算子的詳細細節請參考 Barker et al. (2004)。WRF 模式的初始場及邊界資料來自於 NCEP (National Center for Environmental Prediction)每 6 小時一筆的 GFS(Global Forecast System)分析場資料(水平解析為 $1^\circ \times 1^\circ$)，模擬長度達 72 小時。

(二) 實驗設計

由於上節所敘述個案的初始條件來源皆為 NCEP GFS 的分析場，但是由於追風計畫執行觀測任務時投落送資料會即時進入 NCEP GDAS (Global Data Assimilation System)，因此藉由一般管道取得的 NCEP GFS 資料都已包含投落送的訊息在內。本研究為探討有無投落送資料對模式預報的影響，因此使用前 12 小時初始時間的 12 小時預報場作為初始場，以排除全球模式初始場已

含有投落送觀測的問題。所有實驗設計如下（參考表一）：

表一 碧利斯颱風、凱米颱風以及 2006 年 6 月中旬梅雨鋒面個案之實驗設計說明。

Case	同化資料種類
控制組 (CNTL)	探空、地面測站、Dropsonde、QuikSCAT
實驗 NODROP (ND)	探空、地面測站、QuikSCAT
實驗 NOQSCAT (NQ)	探空、地面測站、Dropsonde

1. 控制組（以下簡稱 CNTL）：其初始場來自上一個預報的 12 小時預報場，在積分 12 小時後同化投落送、QuikSCAT 以及傳統觀測資料的實驗個案。採用 6 小時的 time window，也就是涵蓋初始時間前後 3 小時的資料來進行同化。針對碧利斯與凱米颱風個案，為了使初始氣旋中心的氣壓值較接近觀測值，我們另外加入中央氣象局所提供的 40 點虛擬渦旋(bogus vortex)探空資料進行同化。
2. 實驗 NODROP（以下簡稱 ND）：實驗設計與 CNTL 一致，但在資料同化時不包含投落送資料。
3. 實驗 NOQSCAT（以下簡稱 NQ）：實驗設定與 CNTL 一致，但在資料同化時不包含 QuikSCAT 資料。

設計上述三個實驗的目的在於利用 CNTL 與 ND 之差異，可探討投落送資料所造成的影響。而利用 CNTL 與 NQ 之差異，則可探討 QuikSCAT 資料所造成的影響。

四、碧利斯颱風

(一) 同化資料對模式初始風場之影響

圖 2 為碧利斯颱風 CNTL、ND 及 NQ 初始風場分佈情況，其中圖 2a 及 b 為投落送風場資料分別與 CNTL 及 ND 於 1000 hPa 的風場比較。圖中可見，加入了投落送資料修正了 ND 的風場（圖 2b），而得到 CNTL 的風場（圖 2a），例如在 CNTL 與 ND 風場差異最大處之颱風中心東方象限，其南、北兩枚投落送觀測資料使得此處過強的風速獲得修正，除了所解析的風場強度變弱約 3 ms^{-1} 外，該處風向也增加西北風分量而有所調整。此外，在颱風中心以北及以南之風場強度也因為同化投落送觀測資料而分別增強及減弱。

圖 2c 及 d 為 NQ 於 1000 hPa 的初始風場與涵蓋模式初始時間前後 3 小時(6-h time window) 的 QuikSCAT 風場資料的比較。圖中可見，加入了 QuikSCAT 資料修正了 NQ 的風場（圖 2c）而得到 CNTL 的風場（圖 2a），例如在菲律賓東方海面的 QuikSCAT 資料使得此處過強的風速獲得修正，除了所解析的風場強度變弱約 3 ms^{-1} 外，該處風向也增加北風分量而有所調整。此外，在颱風中心以北之風場強度也因為同化 QuikSCAT 資料而減弱，在菲律賓西方海面的風場強度則因而增強。

圖 3a 及 b 為 850 hPa 投落送風場資料分別與 CNTL 及 ND 的初始風場的比較。圖中可見，加入了投落送資料修正了 ND 風場（圖 3b），而得到 CNTL 的風場（圖 3a），例如在菲律賓東方海面的兩枚投落送資料使得該處過弱的風速獲得修正，除了所解析的風場強度變強約 5 ms^{-1} 外，該處風向也增加西南風分量而有所調整。此外，在颱風中心西方及東北方海面之風場強度也因為同化投落送觀測資料而減弱。

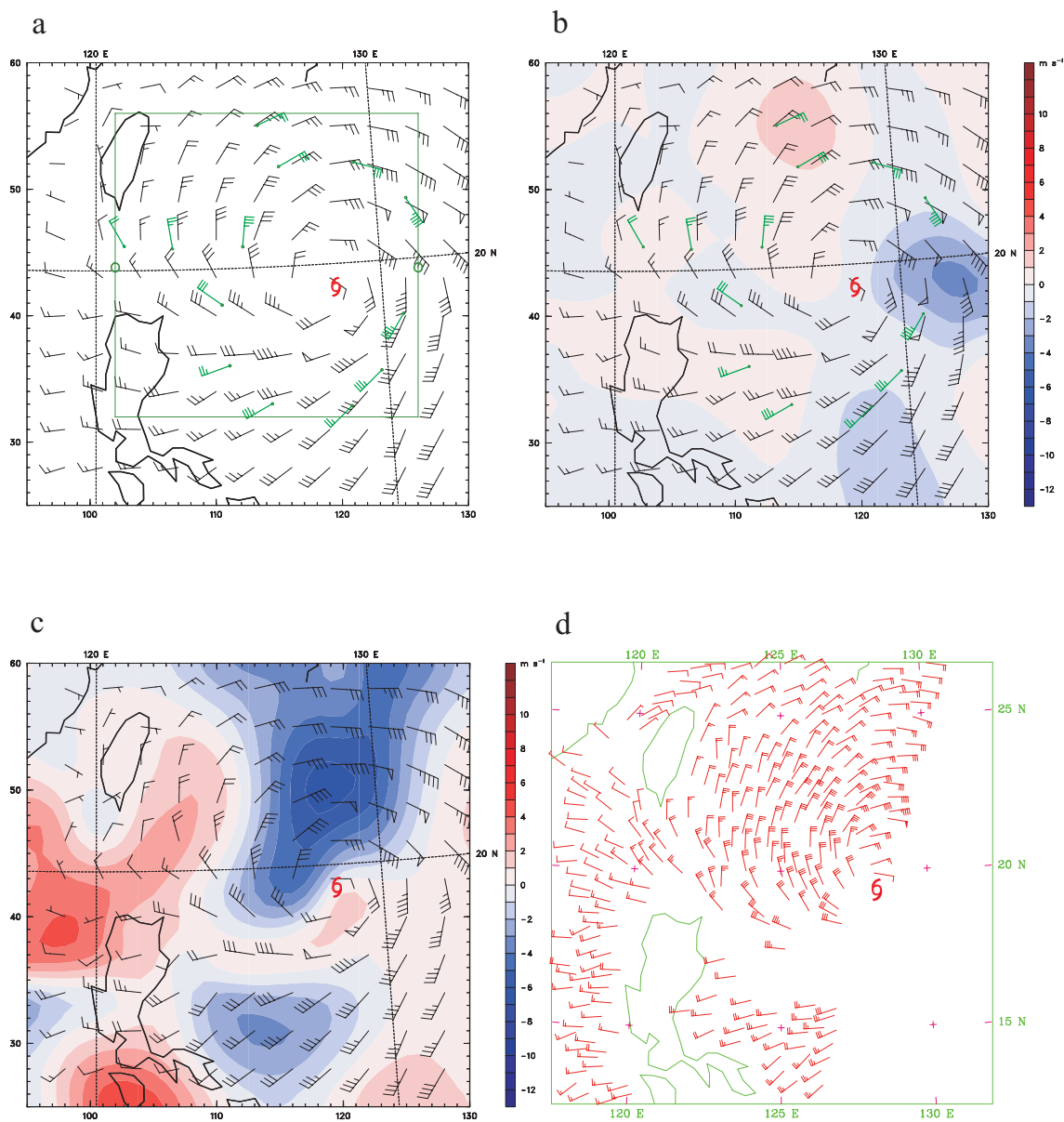


圖 2 碧利斯颱風(a)CNTL與(b)ND之模式初始風場(黑色)、投落送風場資料(綠色)於 1000 hPa 之分佈。(a)中綠框處為包含所有投落送資料之區域，而(b)中色階部份代表 CNTL 與 ND 於 1000 hPa 之初始風速差異；(c)同(b)但為 NQ 之模式初始風場於 1000 hPa 之分佈及 CNTL 與 NQ 於 1000 hPa 之初始風速差異；(d)涵蓋模式初始時間前後三小時(6-h time window, 2006年7月11日0900 UTC-1500 UTC)的 QuikSCAT 風場資料分佈。單位為 ms^{-1} ，風羽全桿表 5ms^{-1} 。

在 500 hPa 層 (圖 3c、d) 可發現, 加入了投落送資料修正了 ND 風場 (圖 3d), 而得到 CNTL 的風場 (圖 3c), 例如在菲律賓東方海面的數枚投落送資料使得此處過強的風速獲得修正, 除了所解析的風場強度變弱約 2 ms^{-1} 外, 該處風向也

增加東風分量而有所調整。綜合圖 2 及圖 3 可發現使用 WRF 3DVAR 同化投落送資料或 QuikSCAT 資料, 皆會使此兩種資料的訊息向外延伸, 造成颱風外圍環流有較大範圍的改變。

CNTL、ND 與 NQ 的模擬颱風路徑如圖 4a

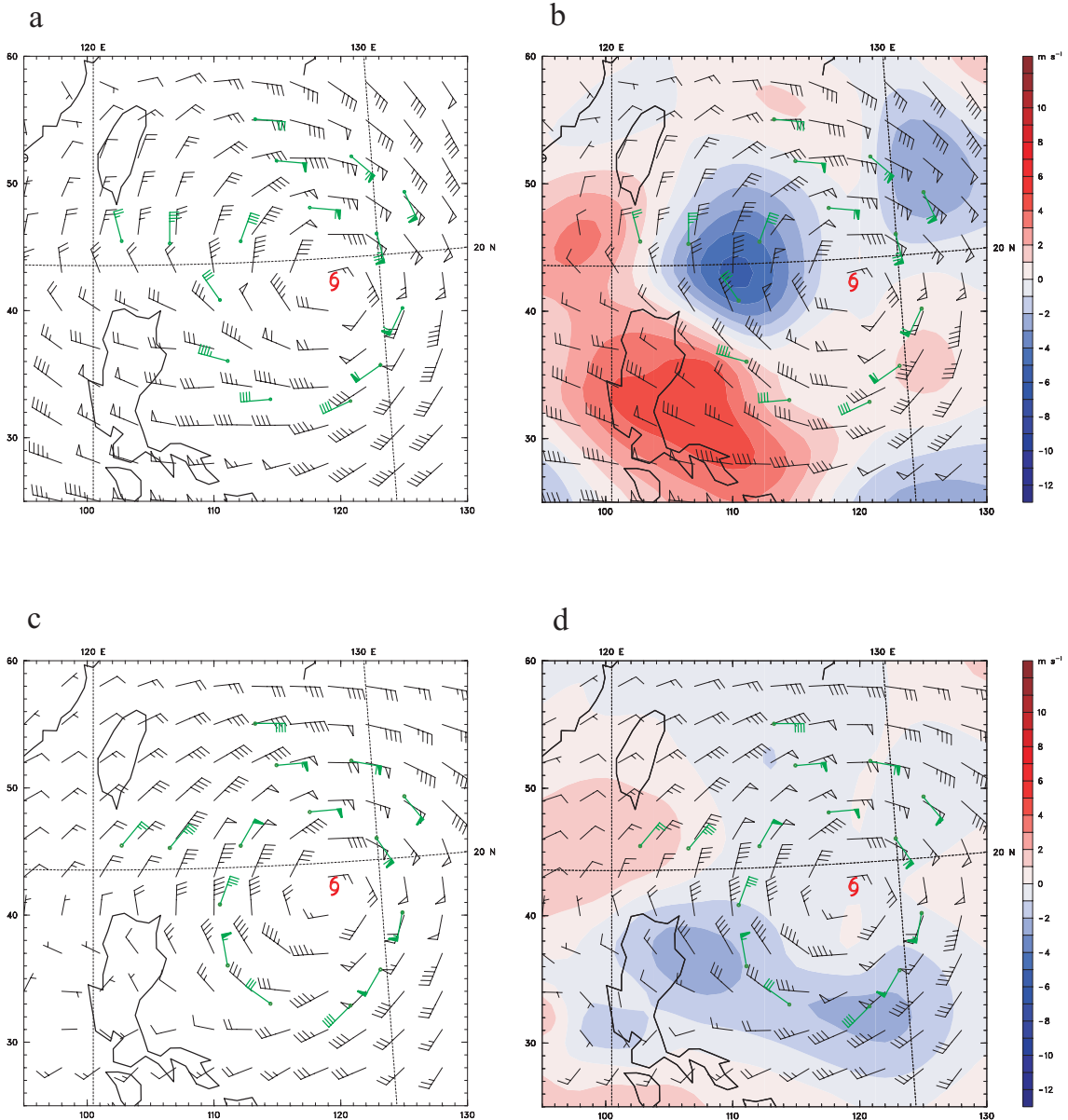


圖 3 同圖 2a 與 2b, 但(a)與(b)為 850 hPa 之分佈; (c)與(d)為 500 hPa 之分佈。

所示，CNTL 與 ND 兩者路徑模擬至 12 小時後，ND 所模擬的颱風開始較 CNTL 有緩慢偏南的趨勢；NQ 與 CNTL 的路徑模擬在 12 到 30 小時期間大致無差異存在，直至模擬 60 小時後，NQ 所模擬的颱風開始較 CNTL 略為偏南，因此 ND 及

NQ 與最佳路徑的差異較 CNTL 大。

比較 CNTL、ND 與 NQ 的模擬路徑誤差統計（圖 4b）可發現，整個模擬時期 CNTL 的路徑誤差大致較 ND 及 NQ 小。如進一步計算 6 至 72 小

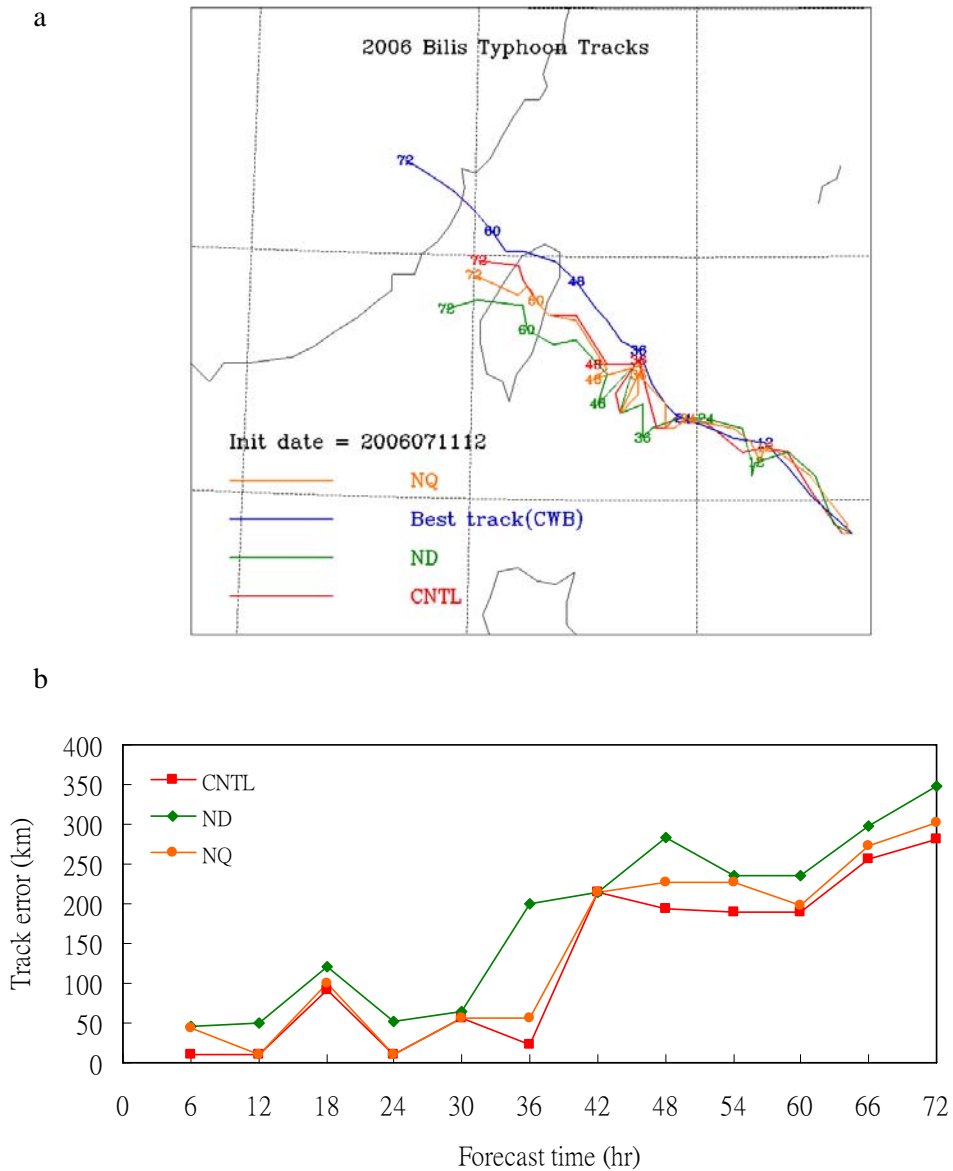


圖 4 (a)碧利斯颱風之最佳路徑 (CWB, 藍線), 與 CNTL (紅線)、ND (綠線) 以及 NQ (橙線) 的模擬路徑。(b) CNTL、ND 及 NQ 的路徑誤差, 單位為公里。

時的平均路徑誤差則顯示此個案因同化投落送及 QuikSCAT 資料分別改進約 52 km 及 16 km。

為了解同化投落送與 QuikSCAT 資料是否對模式模擬的雷達回波強度造成影響，我們利用中央氣象局所提供的雷達回波圖與 CNTL、ND、NQ

這三個組別所模擬出來的雷達回波進行比較。圖 5a、b 及 c 為 CNTL、ND 及 NQ 模擬 48 小時的雷達回波場與 1000 hPa 風場的分佈。由這三個實驗組所模擬的結果與圖 5d 的 2006 年 7 月 13 日 1200 UTC 雷達回波圖比較可發現，因這三個組別

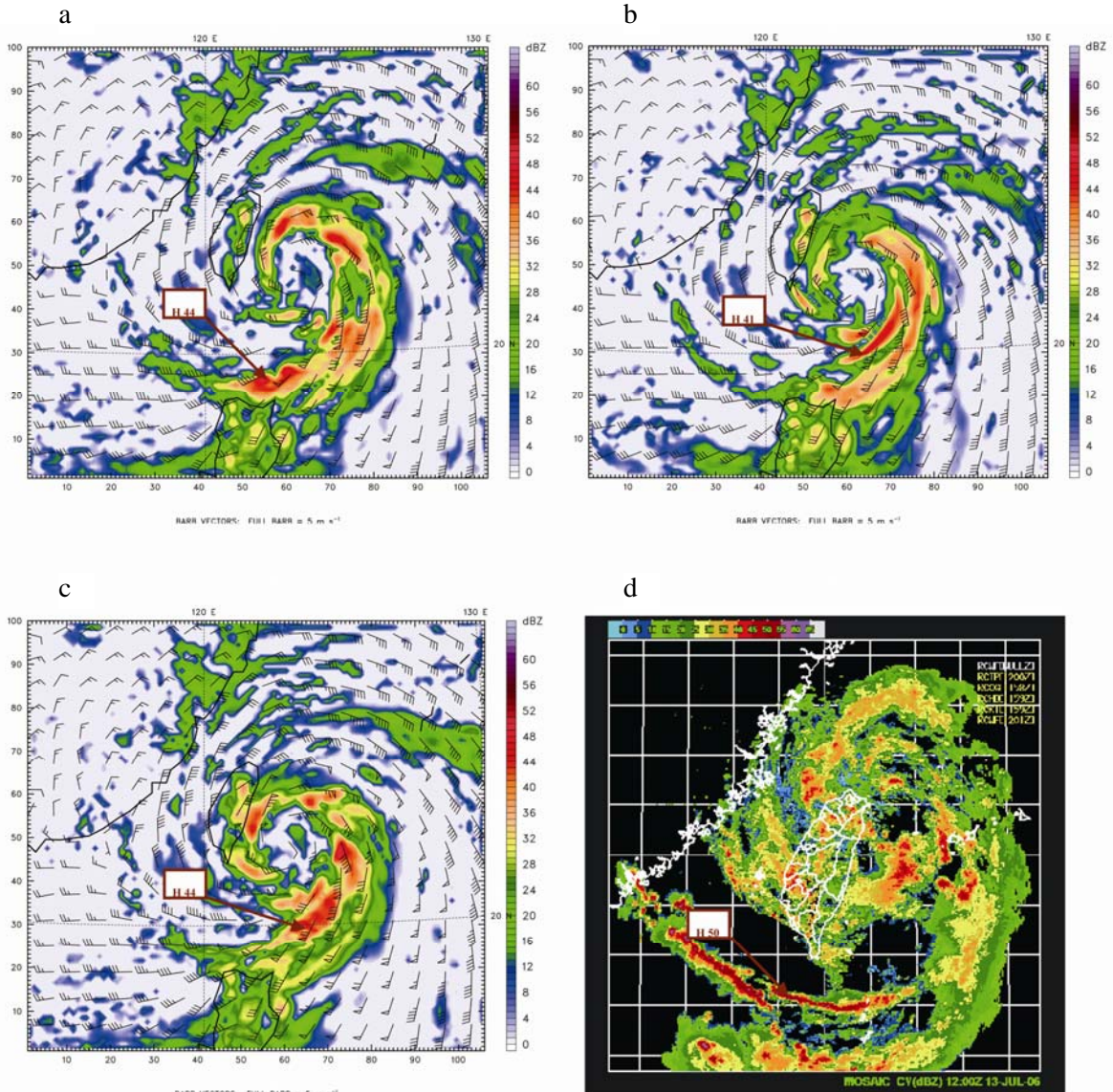


圖 5 (a)、(b)與(c)分別為 CNTL、ND 與 NQ (模擬 48 小時)之雷達回波場(色階部份)及 1000 hPa 風場。風場單位為 ms^{-1} ，風羽全桿表 5ms^{-1} 。(d)則為中央氣象局於 2006 年 7 月 13 日 1200 UTC 的雷達回波圖。

颱風的移動速度皆較觀測略為偏慢，所以較強的回波帶的位置與觀測資料相比皆偏向東南方。由圖 5a 可看出此時碧利斯颱風的強回波帶鬆散，大致上分佈於颱風的第二、三象限處，而此時 CNTL、ND 與 NQ 的強回波帶分別分佈於颱風的第二、三，一、四與二、四象限處，可知 CNTL 的強回波區分佈較其他兩個組別更接近於觀測。而由回波強度的比較可看出此時 CNTL 與 NQ 的最大回波值皆為 44 dBZ，較實驗 ND 的 41 dBZ 更接近觀測的 50 dBZ，整體比較而言，CNTL 無論是在強回波區的分佈或最大回波值的大小皆較其他兩組更接近觀測。

(二) 影響實驗結果之探討

為進一步了解在同化投落送與 QuikSCAT 資料後對路徑模擬差異的原因，特別選取包含投落送資料的一矩形區域（參考圖 2a），利用此範圍各層風場求取水平平均隨時間之演變情況來分別探討投落送與 QuikSCAT 資料所造成的影響。圖 6a 為 CNTL 與 ND 之南北風分量差異區域平均的演變情形。圖中可見 CNTL 與 ND 之南北風分量差異經過區域平均後，於模擬中、後期，從底層至高層大致皆為正值。對照碧利斯颱風路徑（圖 4a）可發現，由於 CNTL 在模擬的中、後期從底層至高層大致較 ND 有較強的南風分量，使得 CNTL 的路徑不至於像 ND 偏南，而與觀測路徑較為接近。再由圖 6b 的 CNTL 與 NQ 之南北風分量差異可發現模擬至 60 小時後，CNTL 較 NQ 於中、低層有較強的南風分量，使得 CNTL 在模擬後期的路徑不至於像 NQ 偏南，而與觀測路徑較為接近（圖 4a）。

至於為何利用風場差異的平均來探討影響颱風路徑移動的主因，Wu et al. (2006) 使用 MM5

4DVAR 對於虛擬渦旋資料同化 (bogus data assimilation, BDA) 提供很好的解釋。其研究顯示對於緯度較低或是強度較弱的渦旋系統，由於具有較大的羅士比變形半徑 (Rossby deformation radius)，地轉適應的過程將由風場所主導，也就是質量場將調整至風場。因此其研究中僅同化氣壓場於模擬初期即迅速消散，而同化風場的實驗颱風強度則能有效維持，與本研究的動力概念一致。

圖 6c 為 CNTL 與 ND 之水氣混合比差異的垂直區域平均。圖中可見 CNTL 大致較 ND 有較大的水氣混合比，表示 CNTL 因為有較大的溼度及較多雲水含量的緣故，而造成圖 5 中，CNTL 有較 ND 為強的最大回波值，與觀測較為接近。從圖 6d 可發現雖然 QuikSCAT 資料於模擬的初始時間只包含近底層的風場影響，並無包含溼度場的影響，但隨著模式時間的累積，使得風場的影響間接影響到水氣的多寡。因此於圖 6d 中，CNTL 除初始時間之外，整段模擬時期大致較 NQ 有稍大的水氣混合比，這就是為何於圖 5 中，CNTL 大致在所有的模擬時期皆較 NQ 有較強的最大回波值的情況。而由圖 6c 及 d 可看出，雖然同化投落送與 QuikSCAT 資料皆對水氣有較好的掌握，使整段模擬時期 CNTL 皆略較 ND 與 NQ 有較強的最大回波值，而與觀測較為接近，但比較可發現同化投落送資料對水氣模擬造成的影響比同化 QuikSCAT 資料大，可見對於碧利斯個案而言，同化三維的投落送資料對於水氣的模擬所造成的影響，較同化二維的 QuikSCAT 資料大，顯示投落送資料因為於模擬初始時間就已經包含溼度場等影響，且資料分佈於各層，所以比僅分佈於近地層之 QuikSCAT 風場資料的影響大。

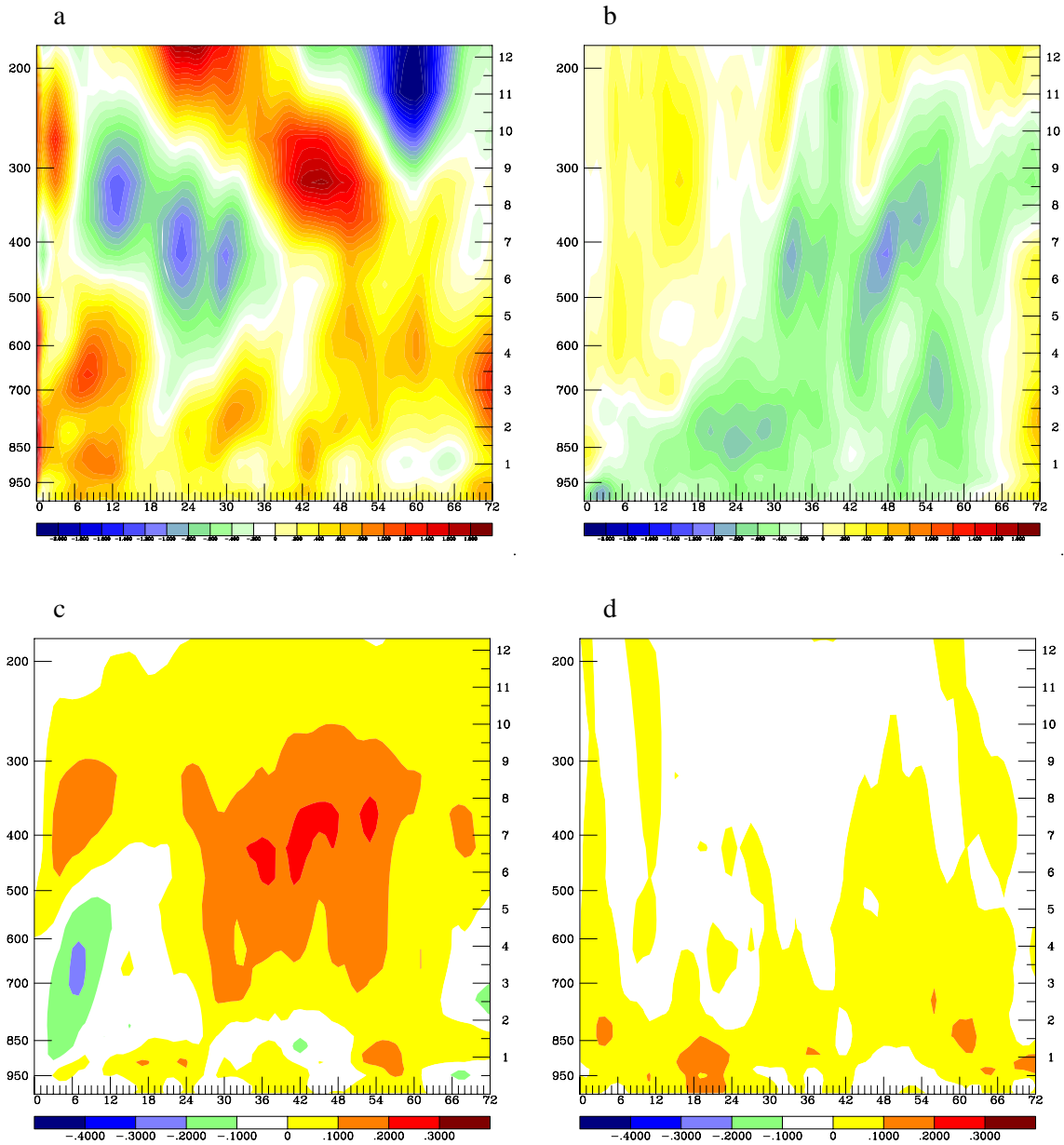


圖 6 (a)碧利斯颱風 CNTL 與 ND 之南北風分量差異於圖 2a 中選取範圍的各層區域平均演變情形。單位為 ms^{-1} 。圖中橫座標部分代表時間，單位為 hr。左右兩側的縱座標皆代表高度，單位分別為 hPa 與 km；(b)同(a)但為 CNTL 與 NQ 差異的區域平均之演變。(c)同(a)但為 CNTL 與 ND 之水氣混合比差異於圖 2a 中選取範圍的各層區域平均演變情形。單位為 g kg^{-1} ；(d)同(c)，但為 CNTL 與 NQ 差異的區域平均之演變。

五、凱米颱風

(一) 同化資料對模式初始風場之影響

圖 7 為凱米颱風 CNTL、ND 及 NQ 之初始風場分佈，其中圖 7a 及 b 為投落送風場資料分別與

CNTL 及 ND 於 1000 hPa 的風場比較。圖中可見，CNTL 藉由 WRF 3DVAR 同化投落送資料後，因觀測與 ND 已經相當近似，於底層之風場強度及風向的影響並不顯著。

圖 7c 及 d 為 NQ 於 1000 hPa 的初始風場與

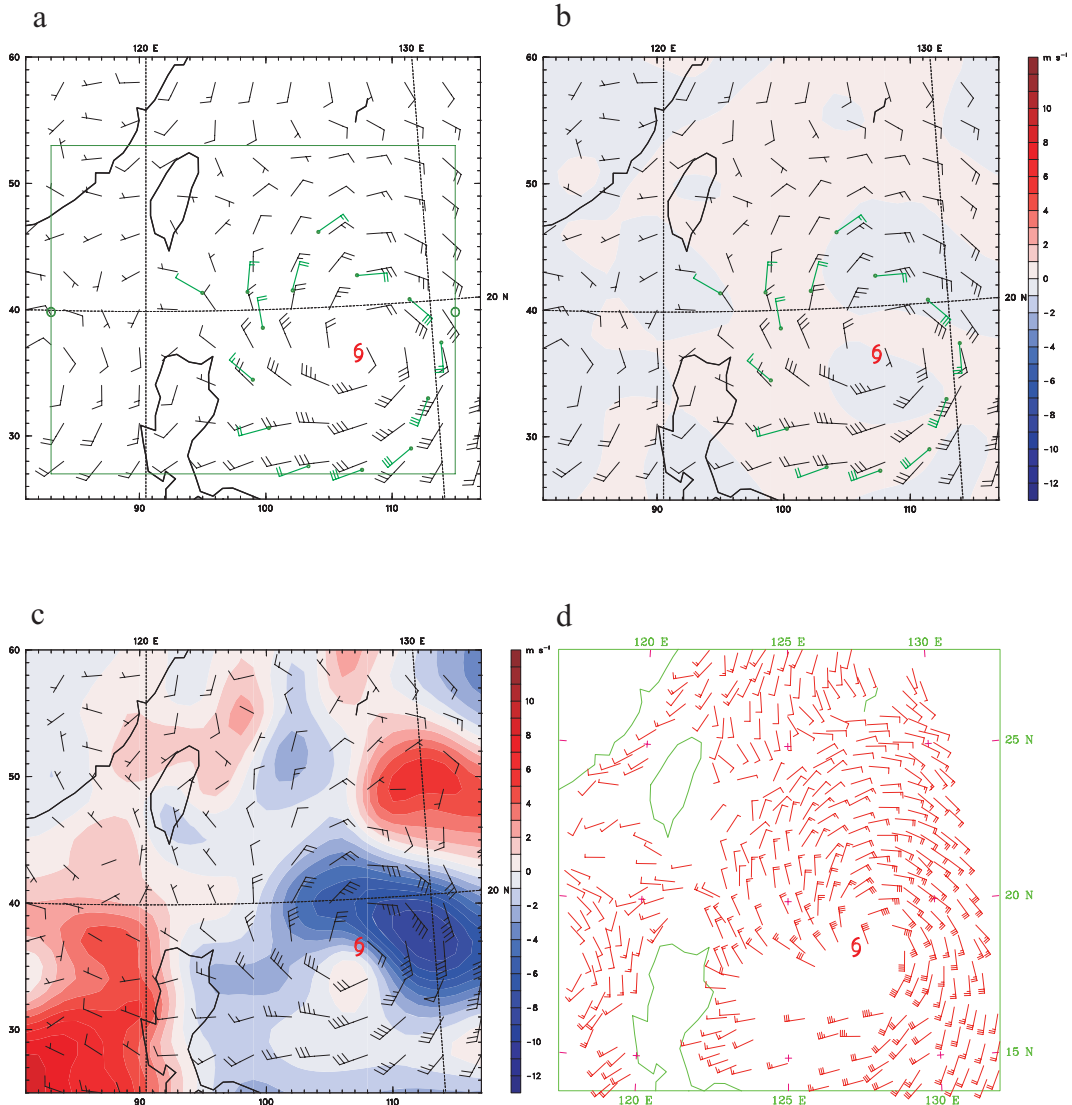


圖 7 凱米颱風(a)CNTL 與(b)ND 之模式初始風場 (黑色)、投落送風場資料(綠色)於 1000 hPa 之分佈。(a)中綠框處為包含所有投落送資料之區域，而(b)中色階部份代表 CNTL 與 ND 於 1000 hPa 之初始風速差異；(c)同(b)但為 NQ 之模式初始風場於 1000 hPa 之分佈及 CNTL 與 NQ 於 1000 hPa 之初始風速差異；(d)涵蓋模式初始時間前後三小時 (6-h time window, 2006 年 7 月 22 日 2100 UTC - 23 日 0300 UTC) 的 QuikSCAT 風場資料分佈。單位為 ms^{-1} ，風羽全桿表 5ms^{-1} 。

涵蓋模式初始時間前後 3 小時(6-h time window) 的 QuikSCAT 風場資料的比較。圖中可見，加入了 QuikSCAT 資料修正了 NQ 的風場 (圖 7c) 而得到 CNTL 的風場 (圖 7a)，例如在颱風中心東南至西北側海面的 QuikSCAT 資料使得此處過強的風速獲得修正，除了所解析的風場強度變弱約 8 ms^{-1} 外，該處風向也增加西風分量而有所調整。

此外，在台灣東側外海及菲律賓西方海面附近的風場強度除了同化 QuikSCAT 資料而增強外，該二處風向也分別增加東南風分量及南風分量而有所調整。

圖 8a 及 b 為 850 hPa 投落送風場資料分別與 CNTL 及 ND 的初始風場的比較。圖中可見，加入了投落送資料修正了 ND 風場 (圖 8b)，而得

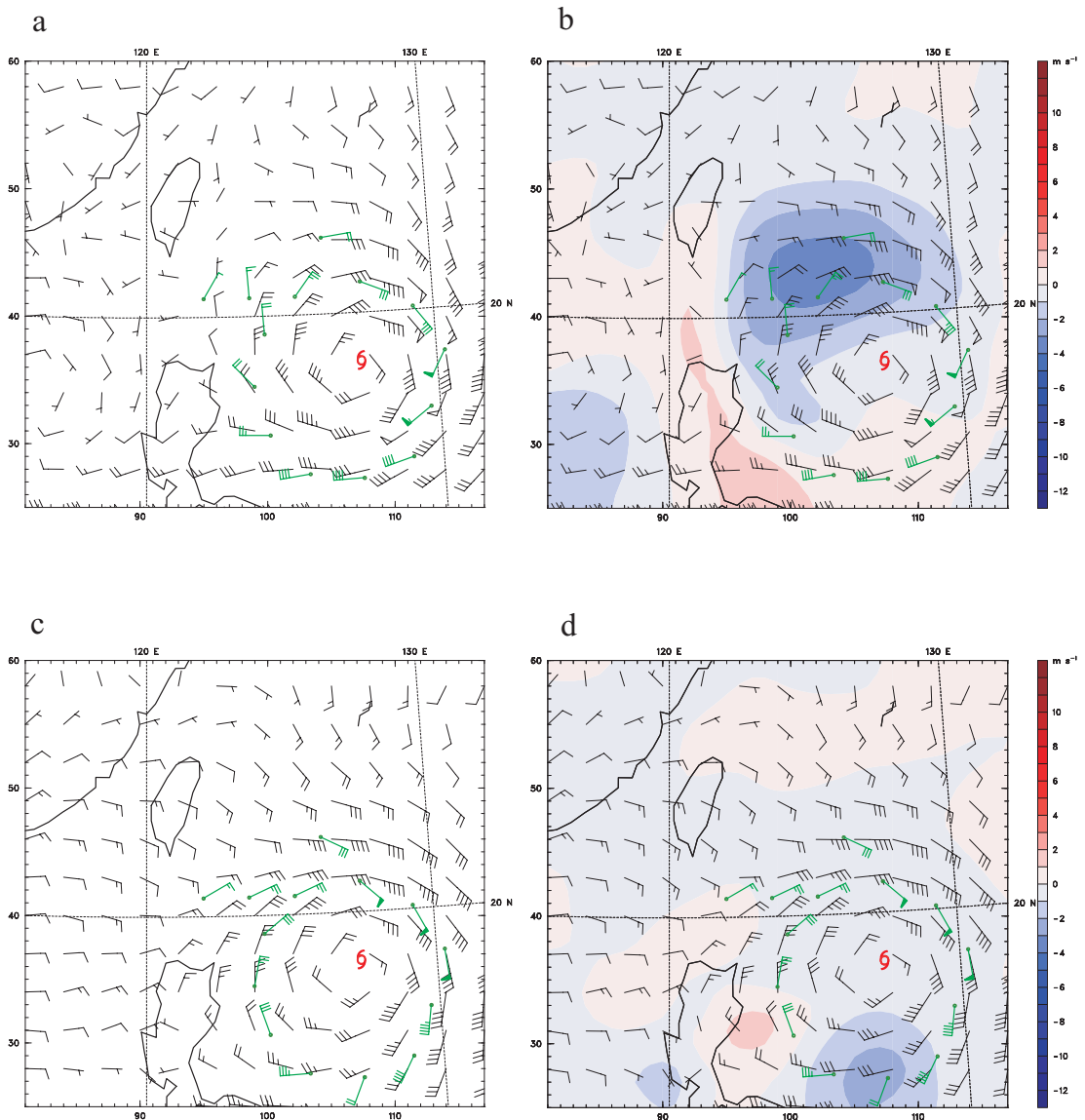


圖 8 同圖 7a 與 b，但(a)與(b)為 850 hPa 之分佈；(c)與(d)為 500 hPa 之分佈。

到 CNTL 的風場 (圖 8a)，例如在台灣東南側海面的數枚投落送資料使得該處過強的風速獲得修正，除了所解析的風場強度變弱約 3 ms^{-1} 外，該處風向也增加西南風分量而有所調整。

在 500 hPa 層 (圖 8c、d) 可發現，加入了投落送資料修正了 ND 的風場 (圖 8d)，而得到 CNTL 的風場 (圖 8c)，例如在菲律賓東方海面颱風中心正南方的數枚投落送資料使得該處過強的風速獲得修正，除了所解析的風場強度變弱約 2 ms^{-1} 外，該處風向也增加東南風分量而有所調整。綜合圖 7 及圖 8 可發現使用 WRF 3DVAR 同化投落送資料或 QuikSCAT 資料，皆會使此兩種資料的訊息向外延伸，造成颱風外圍環流有較大範圍的改變，此種情形與碧利斯颱風個案類似 (圖 2 及圖 3)。

CNTL、ND 與 NQ 的模擬颱風路徑如圖 9a 所示，ND 於模擬 12 小時之後，颱風路徑開始較 CNTL 及 NQ 有明顯偏南的情形，此情形持續至模擬 36 小時之後開始趨於緩和，而模擬至 48 小時之後於屏東南方外海處持續北上，沿著中央山脈西側穿越台灣。CNTL 及 NQ 之路徑雖然皆較觀測略為偏慢，但於模擬 48 小時之前，兩者所模擬的路徑大致上皆與觀測類似，直至模擬 54 小時後，CNTL 及 NQ 的路徑逐漸偏南，與觀測之差異才逐漸增大，但整體而言，CNTL 所模擬之颱風路徑於後期偏南的情況較 NQ 小，因此 ND 及 NQ 與最佳路徑的差異皆較 CNTL 大。

比較 CNTL、ND 與 NQ 的模擬路徑誤差統計 (圖 9b) 可發現，整個模擬時期 CNTL 路徑差異較 ND 及 NQ 小。如進一步計算 6 至 72 小時的平均路徑誤差則顯示此個案因同化投落送及 QuikSCAT 資料分別改善約 71 km 及 42 km，改進的程度相當明顯。

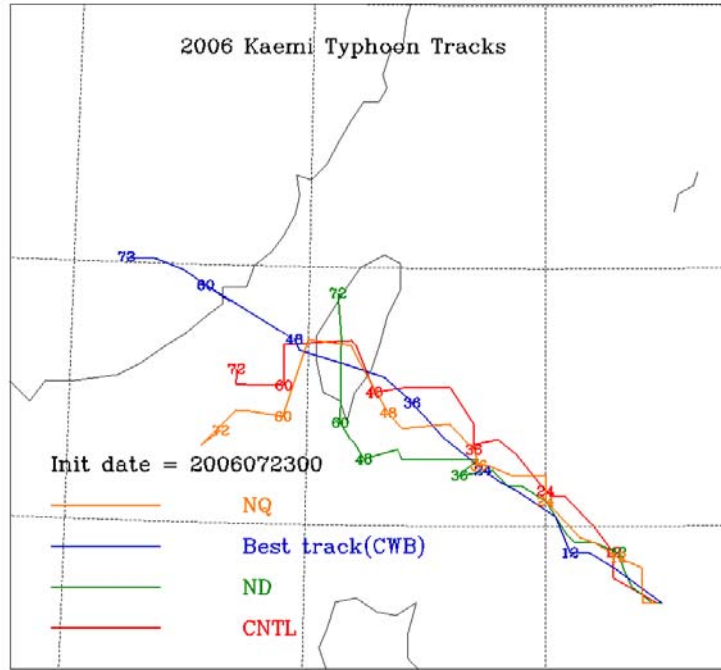
圖 10a、b 及 c 為 CNTL、ND 及 NQ 模擬 24 小時的雷達回波場與 1000 hPa 風場的分佈。由這三個實驗組所模擬的結果與圖 10d 的 2006 年 7 月 24 日 0000 UTC 雷達回波圖比較可發現，因這三個組別颱風的移動速度皆較觀測偏慢，所以較強的回波帶的位置與觀測資料相比皆偏向東南。此時 CNTL 因颱風的位置略比 ND 與 NQ 接近觀測 (圖 9a)，以致於強回波區的位置較接近觀測，大致分佈於第三象限處。但由於在初始時間同化投落送資料與 QuikSCAT 資料後，減弱颱風中心附近海面的風場強度 (圖 7 及圖 8)，使得 CNTL 除了強回波區範圍和強度較 ND 及 NQ 小外，分佈也較為零散。

利用模擬 48 小時 (圖 11a、b、c) 之結果與 2006 年 7 月 25 日 0000 UTC 雷達回波圖 (圖 11d) 比較可發現，較強回波帶的位置與觀測資料相比皆偏向東南方。由圖 11d 可看出此時凱米颱風的強回波帶鬆散，大致上分佈於颱風的第三象限處，此時 CNTL 與 NQ 的強回波帶皆分佈於颱風的第三象限處，而 ND 的強回波帶則分佈於第四象限，可知該時期 CNTL 與 NQ 之強回波區分佈皆較 ND 接近於觀測。由圖 11a、b 與 c 之間回波強度的比較可看出此時 CNTL 的最強回波值為 42 dBZ，較 ND 的 48 dBZ 與 NQ 的 44 dBZ 小，而此時觀測的最大雷達回波值大約為 50 dBZ 左右 (圖 11d)，反而是 ND 與觀測的最強回波值較為接近，這和模擬至 24 小時的情況類似。

(二) 影響實驗結果之探討

為進一步了解在同化投落送與 QuikSCAT 資料後對路徑模擬差異的原因，特別選取包含投落送資料的一矩形區域 (參考圖 7a)，利用此範圍各層風場求取水平平均隨時間之演變情況來分別

a



b

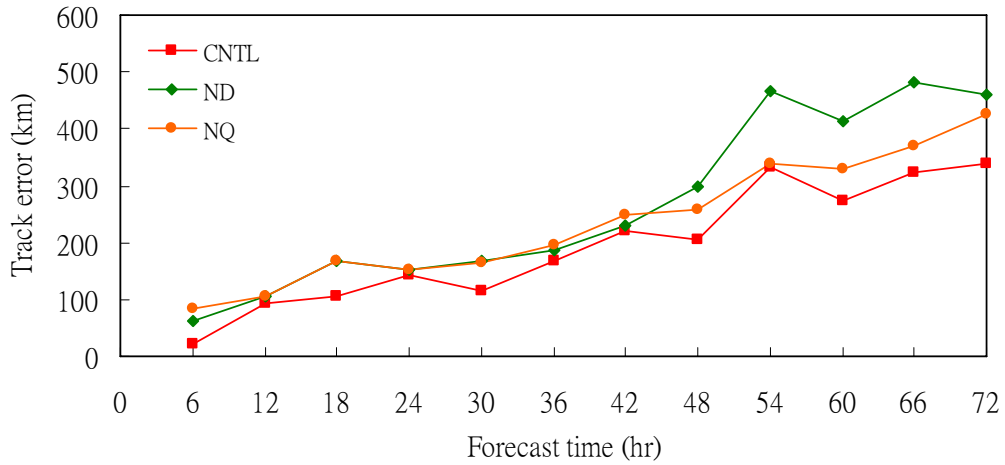


圖 9 (a)凱米颱風之最佳路徑 (CWB, 藍線), 與 CNTL (紅線)、ND (綠線) 以及 NQ (橙線) 的模擬路徑。(b) CNTL、ND 及 NQ 的路徑誤差, 單位為公里。

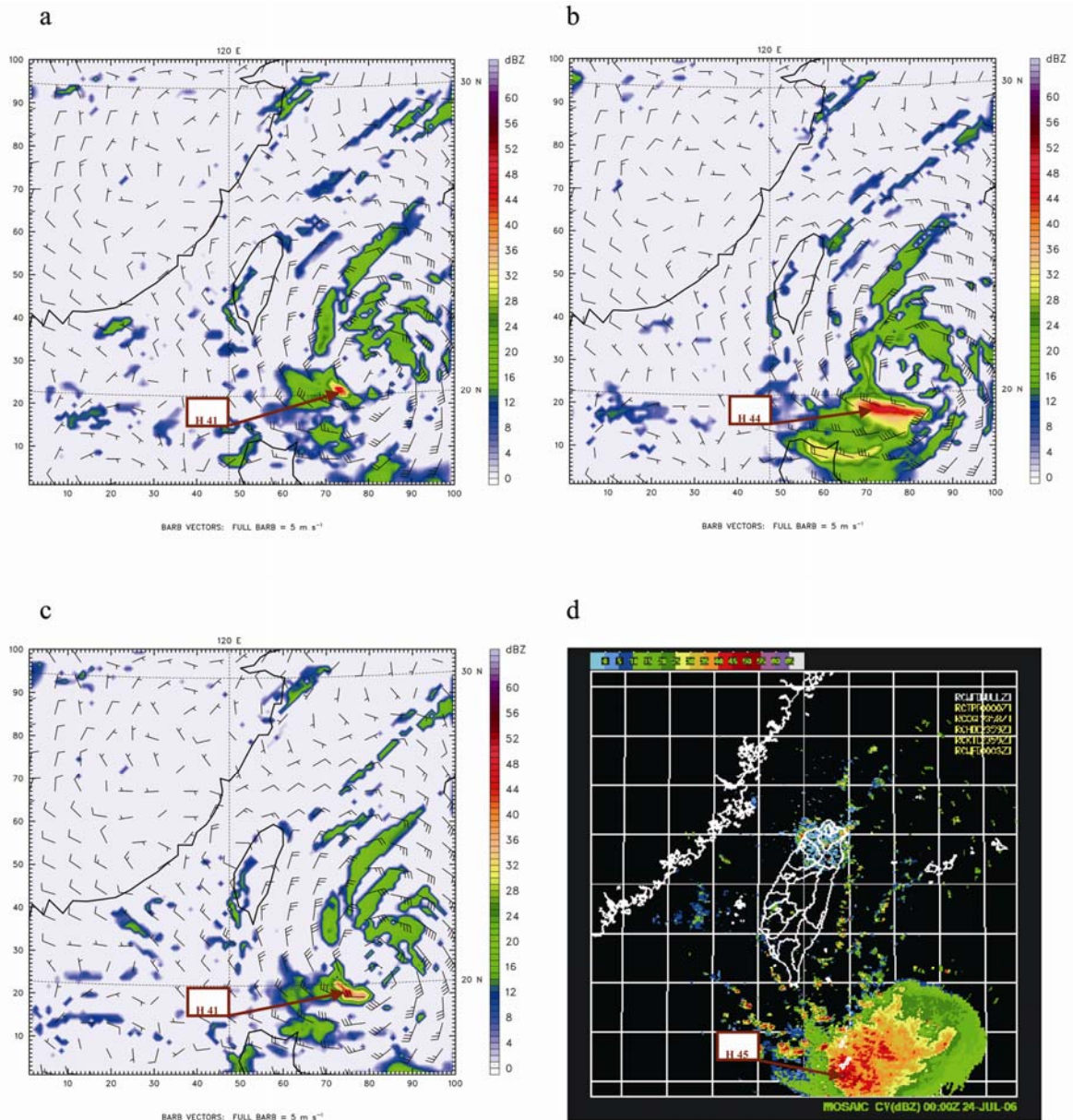


圖 10 (a)、(b)與(c)分別為 CNTL、ND 與 NQ (模擬 24 小時) 之雷達回波場 (色階部份) 及 1000 hPa 風場。風場單位為 ms^{-1} ，風羽全桿表 5ms^{-1} 。(d)則為中央氣象局於 2006 年 7 月 24 日 0000 UTC 的雷達回波圖。

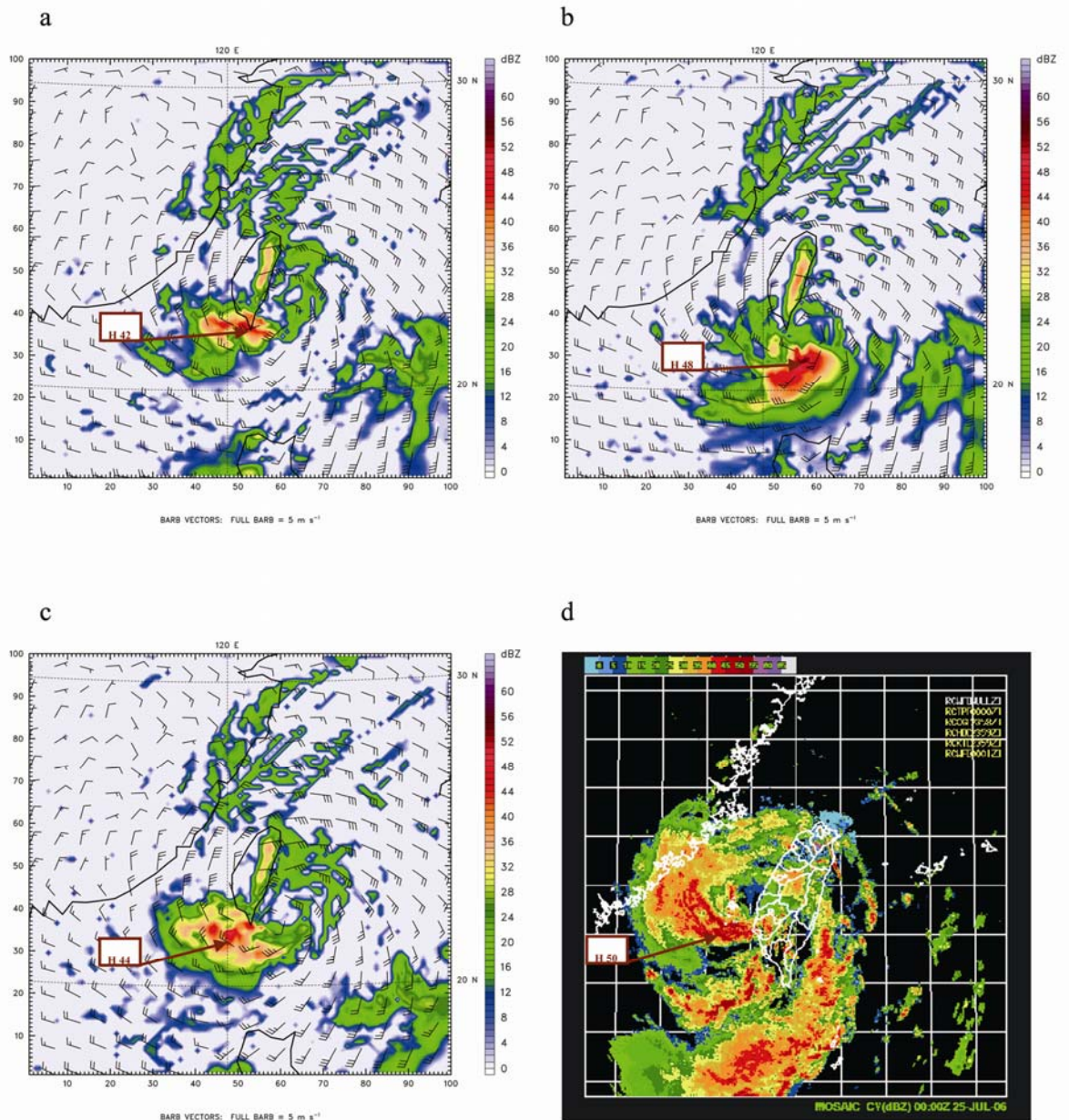


圖 11 (a)、(b)、(c)同圖 10a、b、c，但為模擬 48 小時之情形。(d)同圖 10d，但時間為 2006 年 7 月 25 日 0000 UTC。

探討投落送與 QuikSCAT 資料所造成的影響。圖 12a 為 CNTL 與 ND 之南北風分量差異區域平均的演變情形。圖中可見於模擬 36 小時之前從底層至高層大致皆為正值，但在模擬 36 小時之後於中、低層大致上都轉為負值。對照凱米颱風路徑（圖 9a）可發現，由於 CNTL 在模擬前期與後期分別有較 ND 強的南風及北風分量，使得 CNTL 於該兩段時期的路徑模擬不至像 ND 那麼偏南及偏北，而與觀測路徑較為接近。再由圖 12b 的 CNTL 與 NQ 之南北風分量差異可發現，整個模擬時期 CNTL 比起 NQ 有較強的南風分量，使得 CNTL 在模擬後期的路徑不至於像 NQ 那麼偏南，而與觀測路徑較為接近（圖 9a）。

圖 12c 為 CNTL 與 ND 之水氣混合比差異的垂直區域平均演變情形。圖中可見 CNTL 於模擬中期之前與模擬後期皆較 ND 有較小的水氣混合比，因為有較小的溼度及較少雲水含量的緣故，造成圖 10 中，CNTL 於模擬中期之前有較 ND 為弱的最大回波值。從圖 12d 也可看出雖然 QuikSCAT 資料於模擬的初始時間只包含近底層的風場影響，並無包含溼度場的影響，但隨著模式時間的累積，使得風場的影響間接影響到水氣的多寡。因此於圖 12d 中，CNTL 除初始時間之外，於模擬中、後期比起 NQ 有較小之水氣混合比，這就是為何於圖 11 中，CNTL 於模擬中、後期較 NQ 有較弱的最大回波值之原因。由此可知對於凱米個案而言，由於在初始時間同化投落送資料與 QuikSCAT 資料後，減弱颱風中心附近海面的風場強度（圖 7 及圖 8），使 CNTL 於整個模擬時期之水氣混合比大致皆較 ND 及 NQ 小，造成最強回波區範圍和強度較 ND 及 NQ 小，而與觀測之最強回波值有較大差異，推測其原因可能為凱米颱風 NCEP GFS 資料對颱風外圍環境掌握

本來就較佳，但對颱風的強度與結構解析仍不足，且投落送資料位置多半在半徑 400 公里之外，可能無法有效提升颱風內部結構的初始分析，而 QuikSCAT 資料只分佈於海表面，並無大氣垂直剖面的資料，因此對於颱風垂直結構的改善可能有限，使強度模擬並無顯著改善，另外對於本來就掌握較好的外圍環境風場，投落送及 QuikSCAT 資料也較無法突顯出其影響。

六、梅雨鋒面個案

(一) 同化資料對模式初始風場之影響

圖 13 為 2006 年 6 月中旬梅雨鋒面個案之 CNTL、ND 及 NQ 初始風場分佈，其中圖 13a 及 b 為投落送風場資料分別與 CNTL 及 ND 於 1000 hPa 的風場比較。圖中可見，加入了投落送資料修正了 ND 的風場（圖 13b），而得到 CNTL 的風場（圖 13a），例如在台灣東方外海的投落送資料使得此處過弱的風速獲得修正，除了所解析的風場強度變強約 5 ms^{-1} 外，該處風向也增加南風分量而有所調整。此外，在台灣東方海面的風場強度除了增加東南風分量外，該處風速也因為同化投落送觀測資料而增強，即與地面綜觀天氣圖（圖 1e）所示台灣東方外海的風向及風場強度較為接近。

圖 13c 及 d 為 NQ 於 1000 hPa 的初始風場與涵蓋模式初始時間前後 3 小時(6-h time window) 的 QuikSCAT 風場資料的比較。圖中可見，加入了 QuikSCAT 資料修正了 NQ 的風場（圖 13c）而得到 CNTL 的風場（圖 13a），例如在菲律賓西方外海的 QuikSCAT 資料使得此處過強的風速獲得修正，除了所解析的風場變弱約 3 ms^{-1} 外，該處風向也增加東風分量而有所調整。

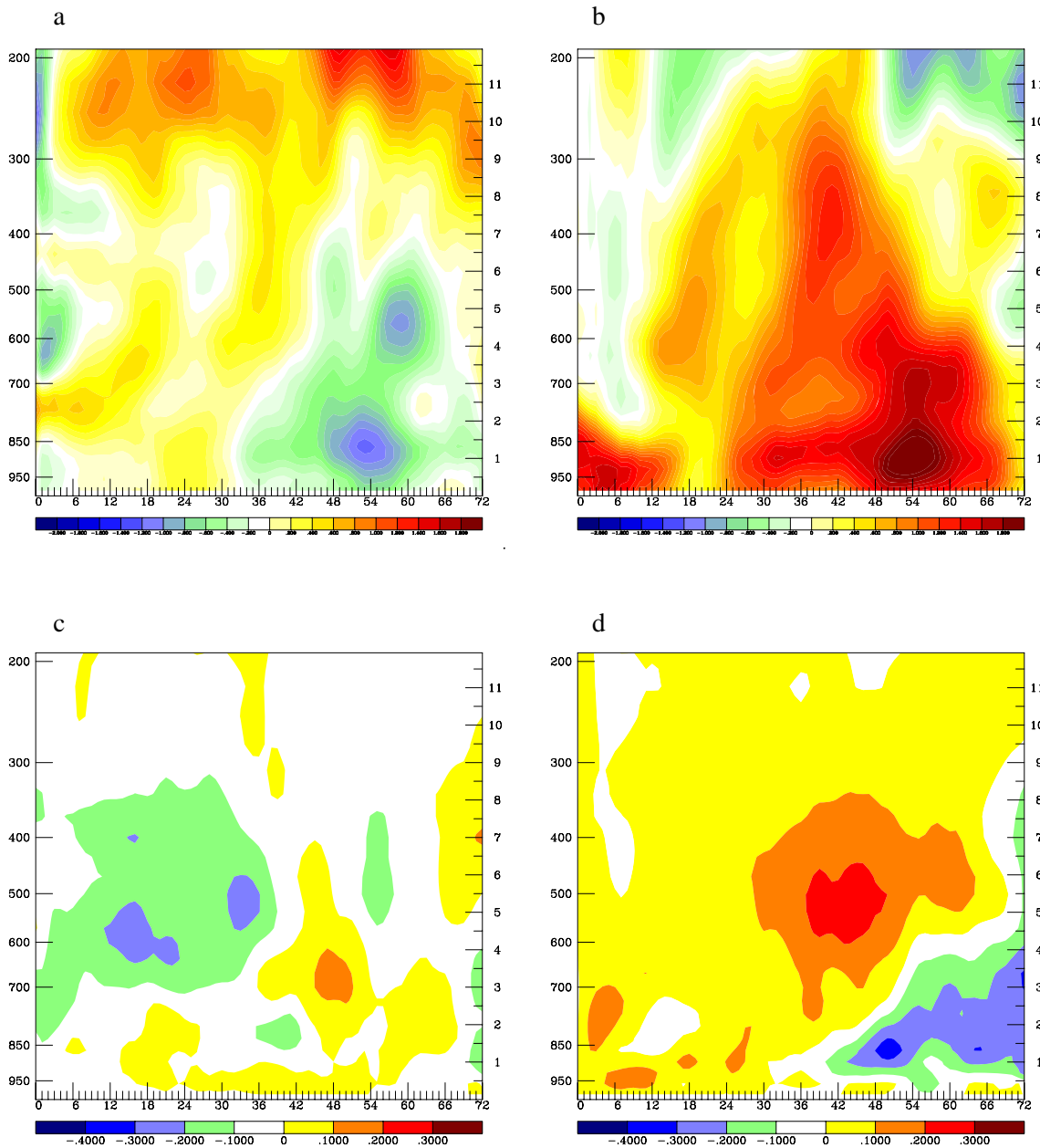


圖 12 (a)凱米颱風 CNTL 與 ND 之南北風分量差異於圖 7a 中選取範圍的各層區域平均演變情形。單位為 ms^{-1} 。圖中橫座標部分代表時間，單位為 hr。左右兩側的縱座標皆代表高度，單位分別為 hPa 與 km；(b)同(a) 但為 CNTL 與 NQ 差異的區域平均之演變。(c) 同(a)但為 CNTL 與 ND 之水氣混合比差異於圖 7a 中選取範圍的各層區域平均演變情形。單位為 g kg^{-1} ；(d)同(c)，但為 CNTL 與 NQ 差異的區域平均之演變。

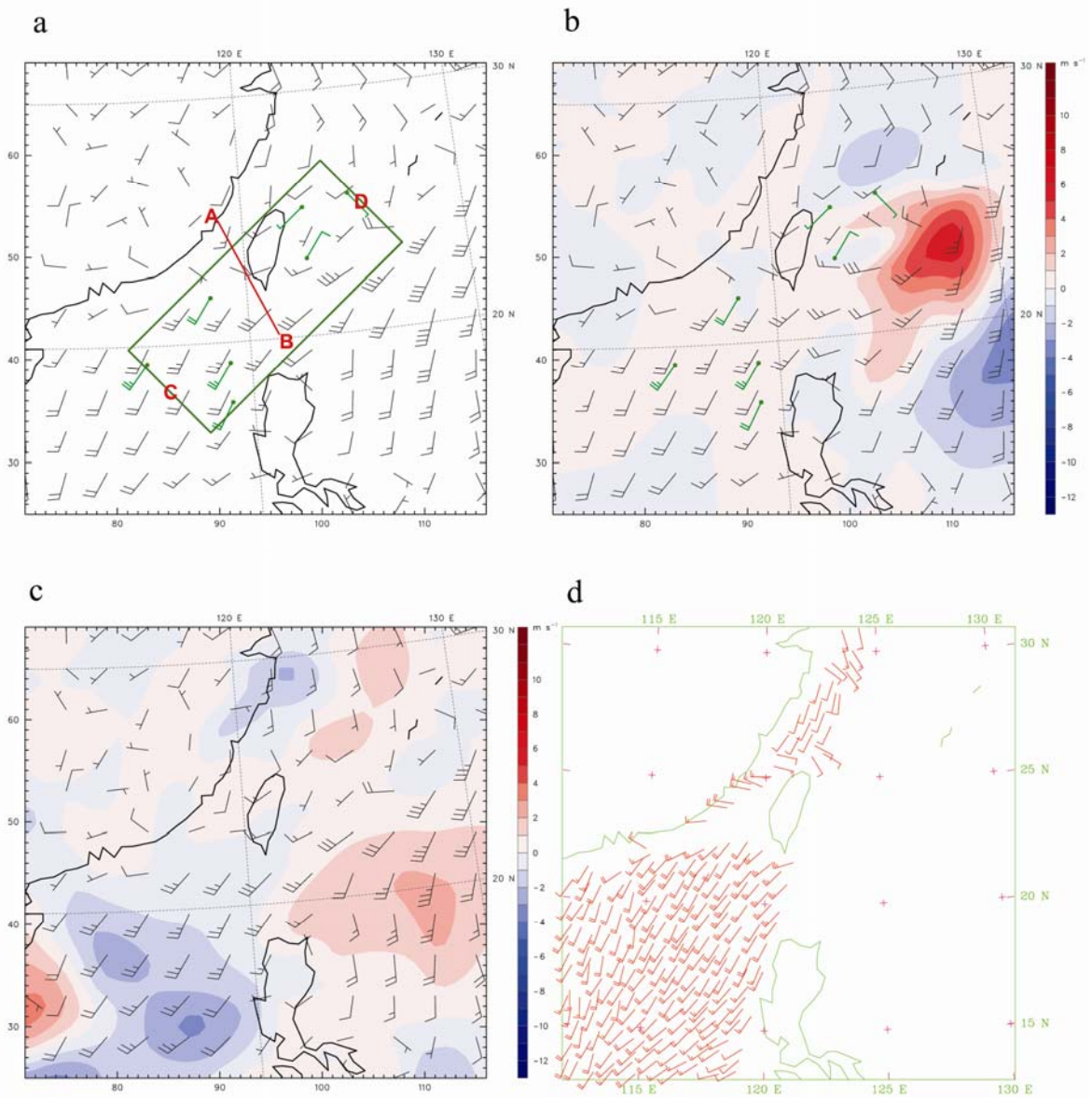


圖 13 2006 年 6 月中旬梅雨鋒面(a)CNTL 與(b)ND 之模式初始風場 (黑色)、投落送風場資料 (綠色) 於 1000 hPa 之分佈。(a)中綠框處為包含所有投落送資料之區域, 以及紅色剖面 AB 與 C、D 兩點的相對位置, 而(b)中色階部份代表 CNTL 與 ND 於 1000 hPa 之初始風速差異; (c)同(b)但為 NQ 之模式初始風場於 1000 hPa 之分佈及 CNTL 與 NQ 於 1000 hPa 之初始風速差異; (d)涵蓋模式初始時間前後三小時 (6-h time window, 2006 年 6 月 9 日 0900 UTC - 1500 UTC) 的 QuikSCAT 風場資料分佈。單位為 ms^{-1} , 風羽全桿表 5ms^{-1} 。

圖 14a 及 b 為 850 hPa 投落送風場資料分別與 CNTL 及 ND 的初始風場的比較。圖中可見，加入了投落送資料修正了 ND 風場（圖 14b），而得到 CNTL 的風場（圖 14a），例如在在菲律賓西方海面的數枚投落送資料使得該處過弱的風速獲得修正，除了所解析的風場強度變強約 7 ms^{-1} 外，該處風向也增加西南風分量而有所修正。此

外，在台灣東北方海面的風場強度也因為同化投落送觀測資料而減弱，而在台灣南方海面處的風向則增加南風分量而有所調整。

在 500 hPa 層（圖 14c、d）可發現，加入了投落送資料修正了 ND 風場（圖 14d），而得到 CNTL 的風場（圖 14c），例如在菲律賓西方海面

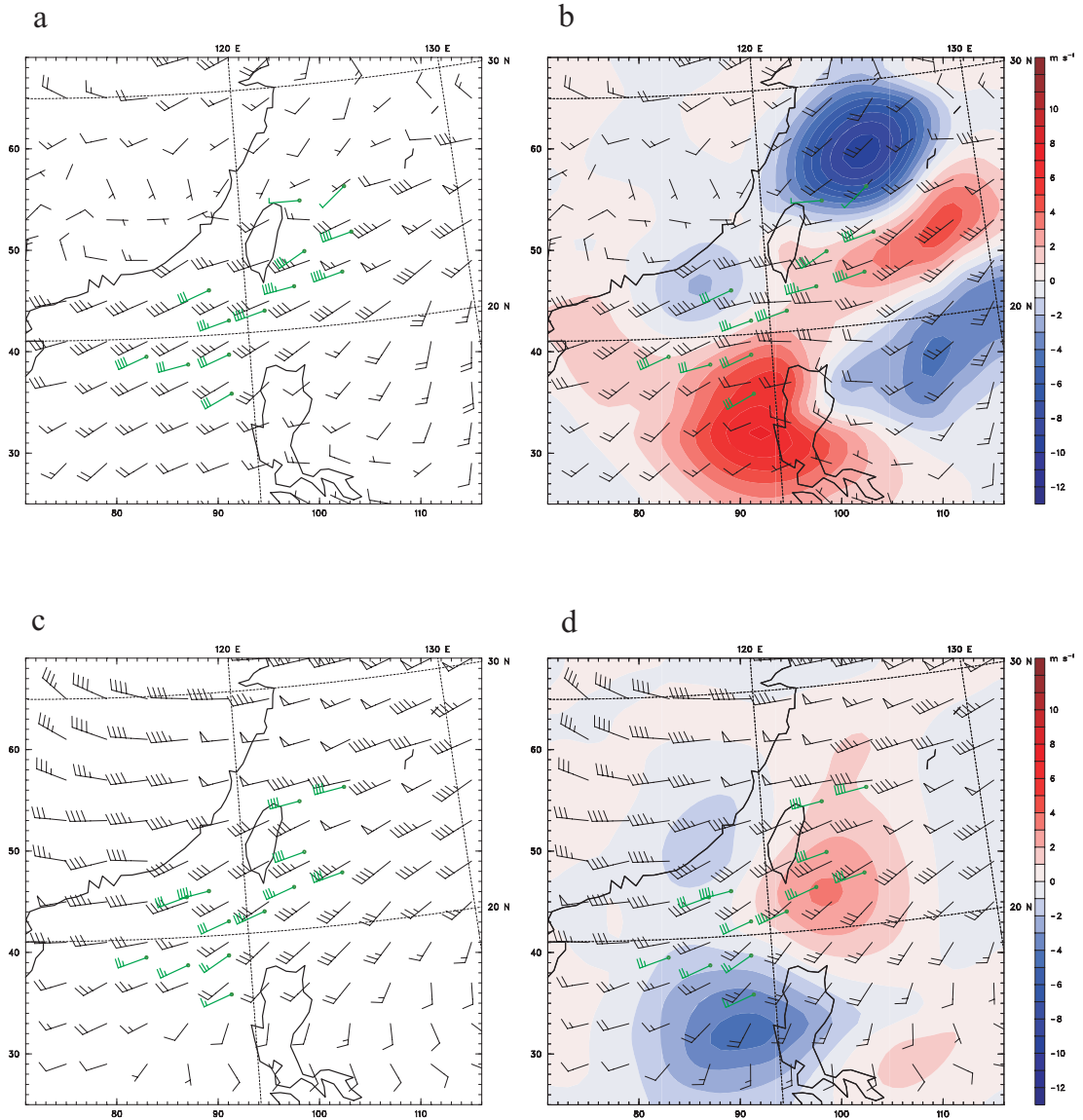


圖 14 同圖 13a 與 b，但(a)與(b)為 850 hPa 之分佈；(c)與(d)為 500 hPa 之分佈。

的數枚投落送資料使得此處過強的風速獲得修正，除了所解析的風場強度變弱約 4 ms^{-1} 外，該處風向也增加北風分量而有所修正。此外，在台灣東南方海面之風場強度除了同化投落送觀測資料而增強外，該處風向也增加南風分量而有所調整。綜合圖 13 與圖 14 可發現使用 WRF 3DVAR 同化投落送資料或 QuikSCAT 資料，皆會使此兩

種資料的訊息向外延伸，造成梅雨鋒面之外圍環流有較大範圍的改變，此種情形與碧利斯颱風及凱米颱風之個案類似（圖 2 至 3 及圖 7 至 8）。

圖 15a、b 及 c 為 2006 年中旬梅雨鋒面個案 CNTL、ND 及 NQ 模擬 12 小時的雷達回波場與 1000 hPa 相當位溫及風場的分佈。由這三個實驗

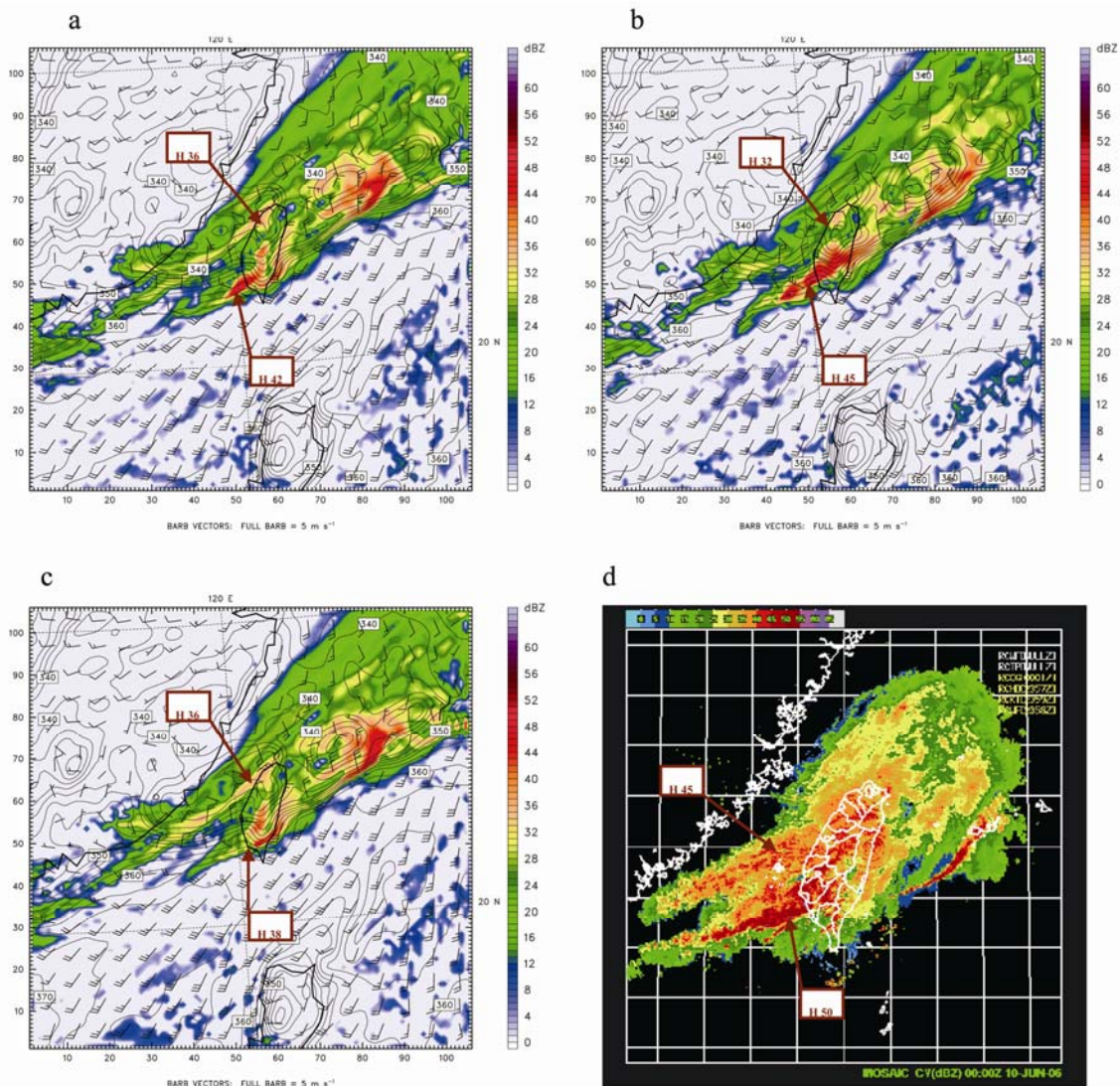


圖 15 (a)、(b)與(c)分別為 CNTL、ND 與 NQ (模擬 12 小時)之雷達回波場(色階部份)、1000 hPa 之相當位溫(實線部份)及 1000 hPa 之風場。相當位溫間隔為 2.5，單位為 K。風場單位為 ms^{-1} ，風羽全桿表 5 ms^{-1} 。(d)則為中央氣象局於 2006 年 6 月 10 日 0000 UTC 的雷達回波圖。

組所模擬的結果與圖 15d 的 2006 年 6 月 10 日 0000 UTC 雷達回波圖比較可發現，此三實驗組強回波帶的位置和觀測差異不大。然而比較可發現，NQ 於台灣南部相當位溫梯度最大處之回波強度達 38 dBZ，較 CNTL 的 42 dBZ 及 ND 的 45 dBZ 小，此時該處觀測的最大回波值大約為 50 dBZ 左右，與 NQ 所模擬的結果差異最大。另外

ND 於台灣中北部相當位溫梯度次大處之回波強度達 32 dBZ，較 CNTL 及 NQ 的 36 dBZ 小，此時觀測的最大回波值大約為 45 dBZ 左右，而與 ND 所模擬的結果有較大之差異。

至模擬 36 小時（圖 16a、b、c）與 2006 年 6 月 11 日 0000 UTC 雷達回波圖（圖 16d）比較可發現，強回波帶的位置仍與觀測差異不大。然而

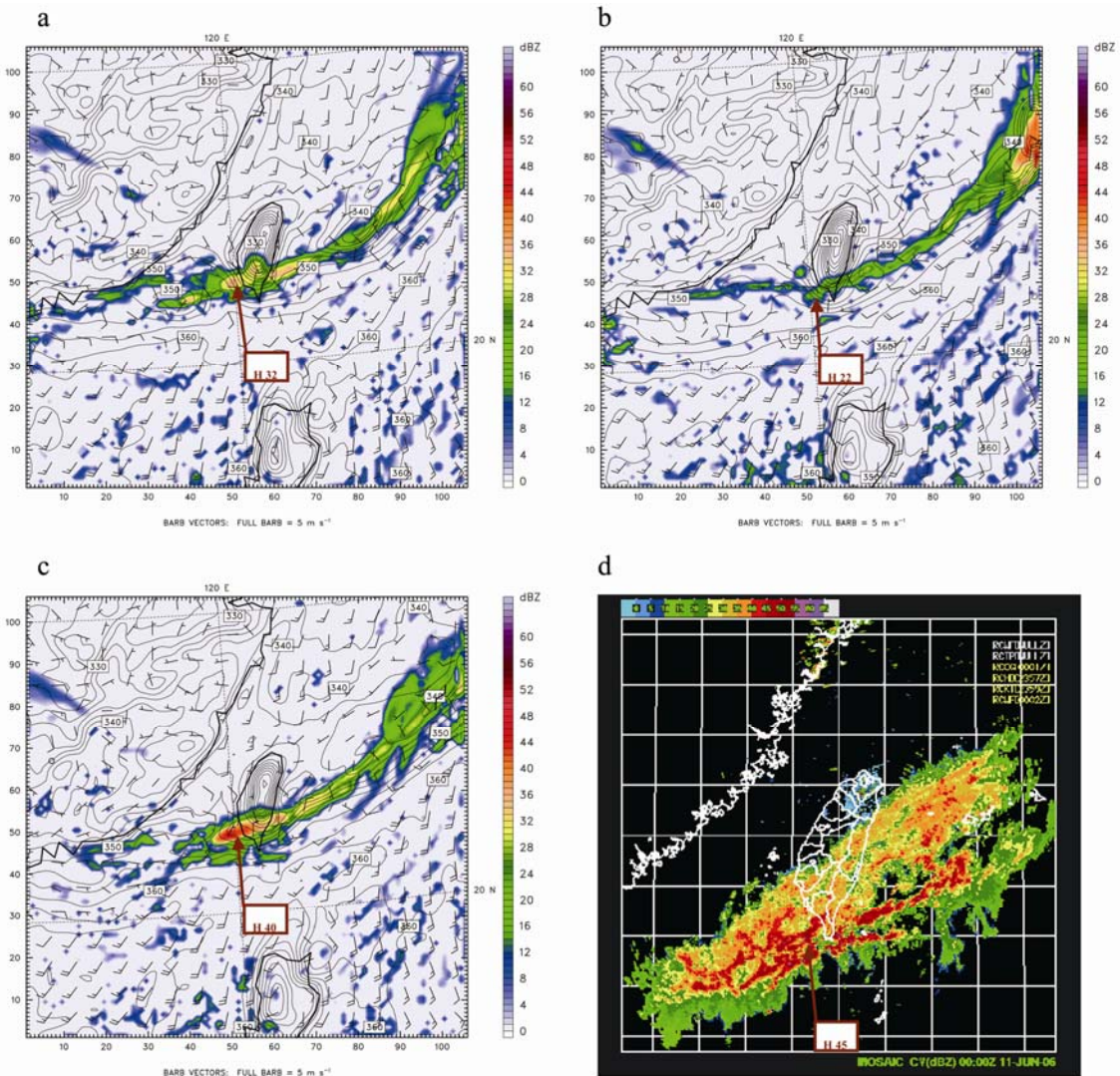


圖 16 (a)、(b)、(c)同圖 15a、b、c 相同，但為模擬 36 小時之情形。(d)同圖 15d，但時間為 2006 年 6 月 11 日 0000 UTC。

ND 於台灣南部相當位溫梯度最大處之回波強度達 22 dBZ，較 CNTL 的 32 dBZ 及 NQ 的 40 dBZ 為小，此時該處觀測的最大回波值大約為 45 dBZ 左右，與 ND 所模擬的結果差異最大。

(二) 影響實驗結果之探討

為了解三組鋒面實驗之雷達回波強度及移動狀況的演變，我們在台灣西側切一剖面 AB (圖

13a)，來觀察鋒面之演變情況。圖 17a 至 c 分別為 CNTL、ND 及 NQ 沿著剖面 AB 之最大雷達回波強度時間序列圖。比較可發現，三實驗組之鋒面皆於模擬初期有往南移動的情形，直至模擬 24 小時後，鋒面開始有滯留的情形發生。而由最大雷達回波強度可看出於模擬 12 小時，NQ 在大約 300 km 處之主要回波帶，較 CNTL 及 ND 者為弱，但在大約 150 km 處之次大回波帶，反倒是

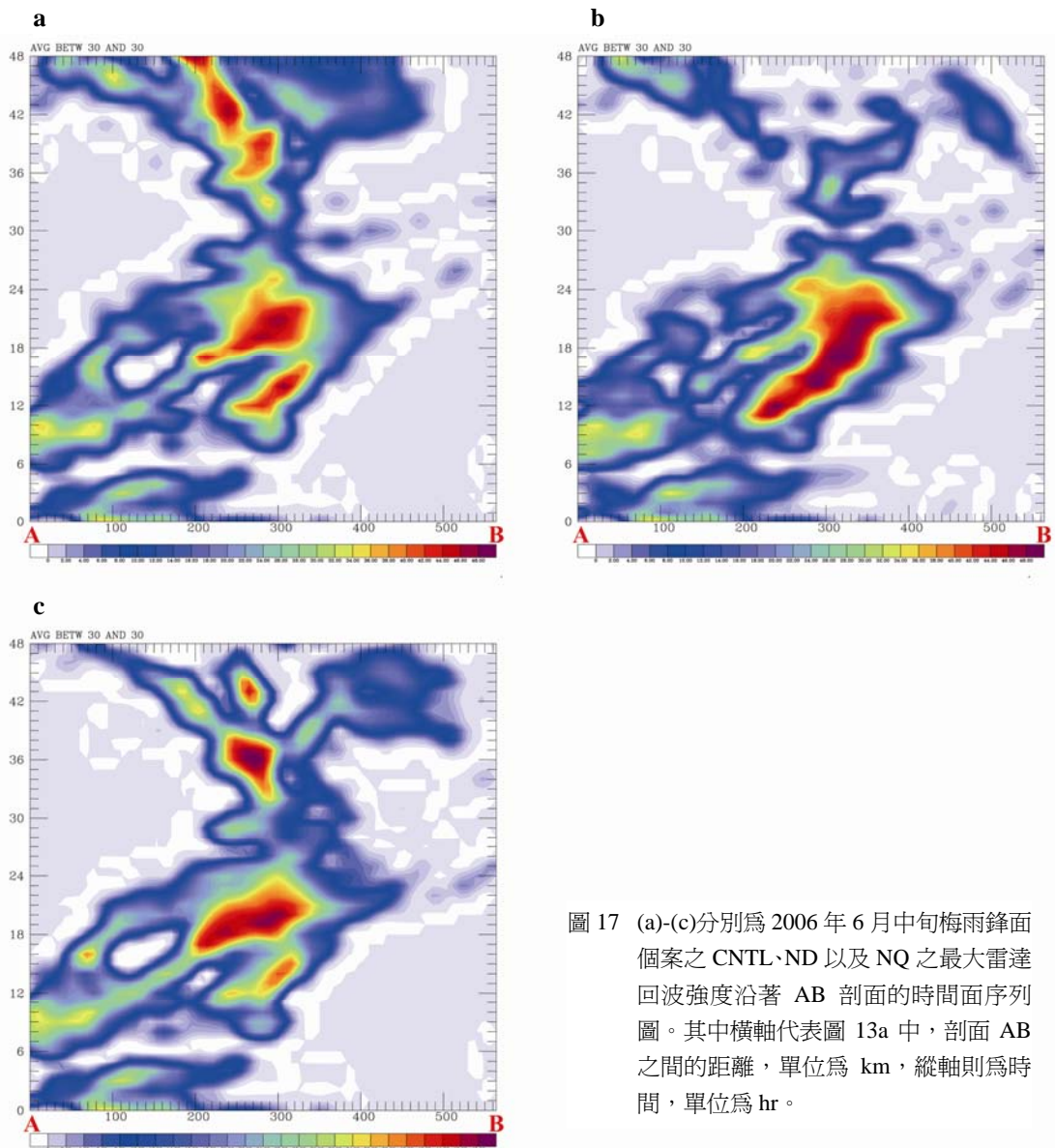


圖 17 (a)-(c)分別為 2006 年 6 月中旬梅雨鋒面個案之 CNTL、ND 以及 NQ 之最大雷達回波強度沿著 AB 剖面的時間面序列圖。其中橫軸代表圖 13a 中，剖面 AB 之間的距離，單位為 km，縱軸則為時間，單位為 hr。

ND 較 CNTL 及 NQ 者為弱，可見此時 NQ 及 ND 分別在主要回波帶與次大回波帶（圖 15a）有較大之差異。模擬至 24 小時，三實驗組之間的差異並不明顯，但模擬至 36 小時，可明顯看出此時 ND 在 300 km 附近處之主要回波帶，較 CNTL 及 NQ 者為弱，可見此時 ND 於主要回波帶處，與觀測（圖 16a）有較大之差異。

為進一步了解在同化投落送與 QuikSCAT 資料後對梅雨鋒面之雷達回波模擬之影響，我們選取包含投落送資料的一矩形區域（參考圖 13a），探討此範圍各層水氣混合比平均之演變情況。圖 18a 與圖 18b 為 CNTL 分別與 ND 及 NQ 之水氣混合比差異區域平均演變情形。可見 CNTL 在整段模擬時期於低層及高層大致有較 ND 強的水氣混合比，而於中層有略弱的水氣混合比，表示 CNTL 因為有較大的溼度及較多雲水含量的緣故，而造成與圖 15 中，CNTL 較 ND 略強的最大回波值，與觀測較為接近。從圖 18b 可發現 CNTL 於模擬 24 小時前的水氣混合比大致較 NQ 為強，但之後反而較為弱，表示 CNTL 分別於模擬前期和中、後期有較大及較小的溼度，因分別有較多及較少雲水含量的緣故，造成圖 15 及圖 16 中，CNTL 分別在模擬 12 及 36 小時有較 NQ 略強及略弱的最大回波值之情形。

為瞭解圖 18a 中，CNTL 模擬至 36 小時主要鋒面帶之最大雷達回波（圖 15）較 ND 大的原因，我們利用 CNTL 與 ND 之水氣混合比差異於圖 13a 中沿 C 點至 D 點剖面左右各 255 公里的網格點計算水平與垂直平均隨時間之演變情形（圖 18c）。由圖 18c 可看出模擬至 12 小時，從 C 點至 D 點處的水氣混合比差異平均為正值，代表由 C 點至 D 點間所涵蓋範圍 CNTL 之水氣混合比均較 ND 大，可見圖 18a 中 CNTL 雖然在模擬 12

小時於中層之水氣混合比略較 ND 小，但整體而言經由垂直平均後，依然有較大水氣混合比，因有較大的溼度及較多雲水含量的緣故，而造成圖 15 中 CNTL 在模擬 12 小時於所選取的區域平均範圍內有略較 ND 強的最大雷達回波值。而模擬至 36 小時，可發現 CNTL 雖然在距離 C 點約 400 km 處有較 ND 有弱的水氣混合比，但於距離 C 點約 500 km 至 1000 km 處的主要鋒面帶處則反而有較 ND 強的水氣混合比，表示 CNTL 因為有較大的溼度及較多雲水含量的緣故，而造成圖 16 中 CNTL 在模擬 36 小時於主要鋒面帶有較 ND 強的最大回波值，而與觀測較為接近。

同樣由 CNTL 與 NQ 之水氣混合比差異於 C 點至 D 點間的水平與垂直平均演變情形（圖 18d）可看出雖然於模擬 24 小時前，CNTL 由 C 點至 D 點所涵蓋範圍之水氣混合比差異的垂直平均皆較 NQ 強，但之後倒是有較弱的水氣混合比，表示 CNTL 於模擬 24 小時之前後分別有較大及較小的溼度，因分別有較多及較少雲水含量的緣故，造成 15 及圖 16 中，CNTL 分別在模擬 12 及 36 小時有較 NQ 略強及略弱的最大回波值之情形。顯示對於 2006 年 6 月中旬梅雨鋒面個案而言，同化投落送及 QuikSCAT 資料皆對雷達回波強度的模擬有所改善，使模擬的結果不會與觀測差異太大。

七、結論與未來展望

本研究選取 2006 年之三個有投擲投落送資料的個案，利用 WRF 模式及其三維變分同化系統(3DVAR)，同化投落送資料與 QuikSCAT 資料，藉由不同於位渦反演診斷(Huang et al. 2006)的區域平均對模式初始場及後續颱風路徑、梅雨鋒面雷達回波強度模擬進行影響探討。

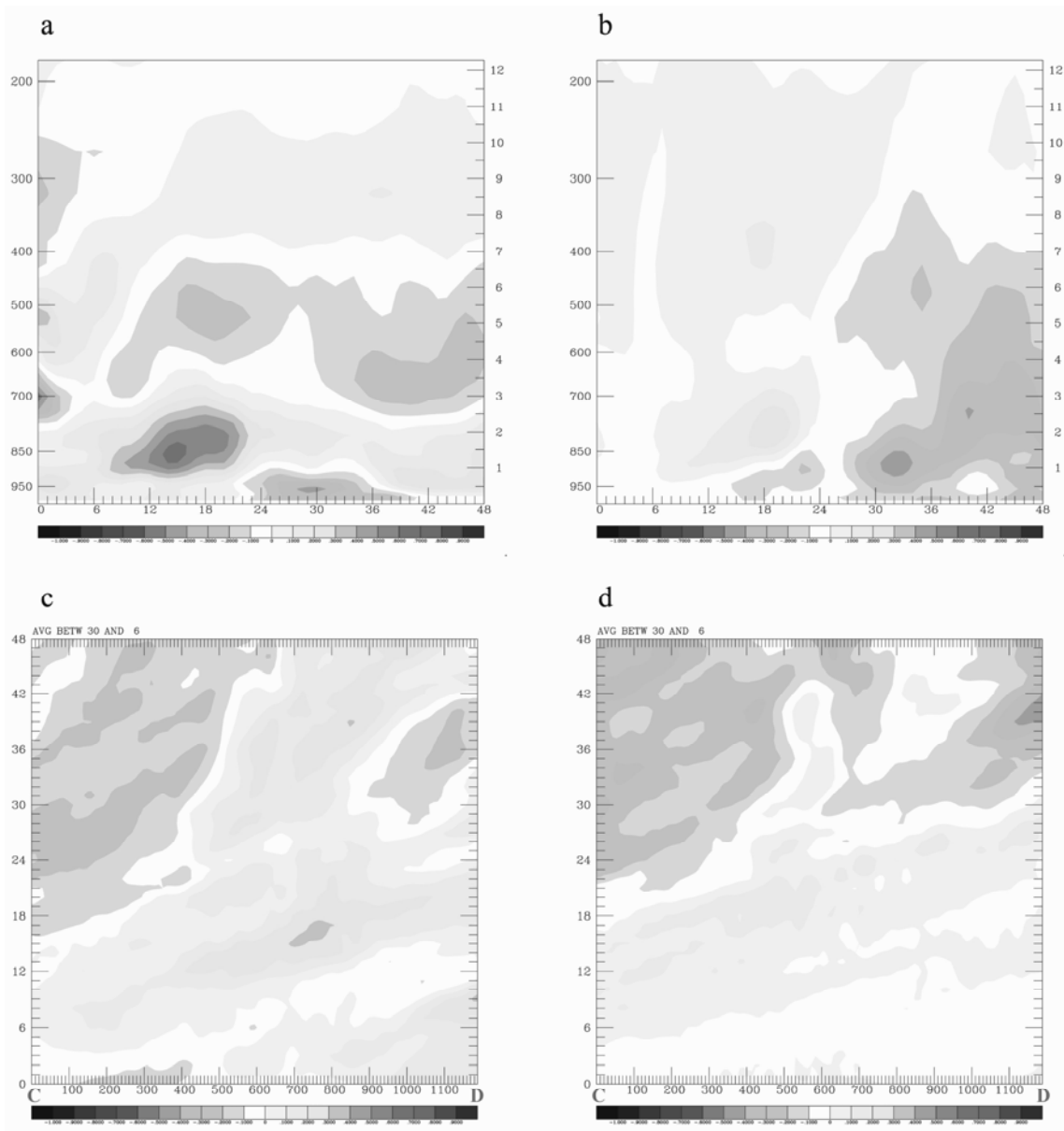


圖 18 (a) 2006 年 6 月中旬梅雨鋒面 CNTL 與 ND 之水氣混合比差異於圖 13a 中選取範圍的各層區域平均演變情形。單位為 g kg^{-1} 。圖中橫座標部分代表時間，單位為 hr。左右兩側的縱座標皆代表高度，單位分別為 hPa 與 km。(b)同(a)，但為 CNTL 與 NQ 差異的區域平均之演變。(c)同(a)但為圖 13a 中 C 點至 D 點左右各 255 公里之水平與垂直平均演變情形，單位為 g kg^{-1} 。圖中橫座標部分代表 C 至 D 點間的距離，單位為 km。縱座標代表時間，單位為 hr。(d)同(c)，但為 CNTL 與 NQ 差異的水平及垂直平均之演變。

研究發現，碧利斯颱風、凱米颱風、以及 2006 年 6 月中旬梅雨鋒面個案於初始時間同化投落送資料後，對初始風場之強度及風向造成影響，尤其以中層的變化程度最為明顯。而同化 QuikSCAT 資料則會使底層的初始風場強度及風向有明顯的改變，顯示投落送及 QuikSCAT 資料在此三個案中於初始場的影響相當顯著。

就路徑模擬而言，碧利斯颱風在加入投落送資料與 QuikSCAT 資料後，對模擬 6 至 72 小時的平均路徑誤差分別有 52 km 及 16 km 的改進，而凱米颱風在加入上述兩種資料後，平均路徑誤差則分別有 71 km 及 42 km 的改進。此結果反映投落送資料及 QuikSCAT 資料透過 WRF 3DVAR 系統對 WRF 之颱風路徑預報有正面的影響，與(Wu et al. 2007b)、(黃, 2006) 及 (周, 2007) 所提出的結論類似。深入探討發現，在碧利斯颱風個案於模擬後期具有較強的南風分量，使其模擬路徑不至於像未同化該兩種資料者過於偏南；凱米颱風個案同化投落送資料後於模擬後期具有較弱的南風分量，而同化 QuikSCAT 資料後則具有較強的南風分量，使其模擬路徑不至於像未同化投落送及 QuikSCAT 資料者過於偏北或偏南，而與觀測路徑較為接近。

就雷達回波的模擬而言，碧利斯颱風與梅雨鋒面個案在加入投落送資料與 QuikSCAT 資料後，於模擬後期有較強的最大回波值，而與觀測較為接近。此二個案同化這兩種資料後於模擬後期有較大的水氣混合比，因為有較大的溼度及較多雲水含量的緣故，使其模擬有較強的最大回波值，與觀測較為接近。而 QuikSCAT 資料的同化雖然在模擬的初始時間只包含近底層風場的影響，但隨著模式時間的累積，風場的影響間接影響到水氣的多寡，而改變了雷達回波的模擬。凱

米颱風個案則因同化該兩種資料而減弱颱風中心附近海面的風場強度，使得模擬後期有較小的水氣混合比，因為有較小的溼度及較少雲水含量的緣故，造成最強回波區範圍和強度較觀測來的小，在模擬上仍有改進的空間。

精確的數值模式預報結果之取得，除了模式物理的增進及模式解析度的增加外，同時還必須配合資料同化的發展及觀測資料的增加(Burpee et al. 1996)。在本研究中使用 WRF 3DVAR 的方法，結果顯示同化近似三維分佈的投落送資料及二維分佈的 QuikSCAT 資料可以有效的掌握颱風及梅雨鋒面的環境訊息，對於颱風的路徑預報及梅雨鋒面的水氣掌握有一定程度的影響。但是對於凱米颱風之結構及水氣掌握等模擬，仍無法有明顯的改善，其原因可能為凱米颱風 NCEP GFS 的初始分析場原本就相當準確，故投落送資料對於外圍環境流場的改變較小，且投落送資料位置多半在半徑 400 公里之外，因此對颱風內部結構影響亦小，而 QuikSCAT 資料只分佈於海表面，並無大氣垂直剖面的資料，因此對於颱風垂直結構的改善可能有限，使強度模擬部分也無明顯改善。而 Wu et al. (2006) 利用 MM5 4DVAR 進行改良的 Bogus Data Assimilation (BDA) 方法，希望得到一動力更平衡的初始場，使得颱風的模擬能夠獲得更大的改善，這也將是未來值得投入更多研究的方法之一。

另外，Zou et al. (1995) 和 Kuo et al. (1997) 發現將大氣折射率同化至模式中有助於模式對溫、溼度的掌握。由台灣與美國共同合作之 FORMOSAT-3/COSMIC 計劃除了提升衛星研發技術外，其主要目標是建立全球大氣重要參數之衛星及時觀測網，以 6 顆 LEO 衛星接收 GPS 衛星訊號，每日可提供全球分佈之大氣溫、溼度及

太空電離層垂直探空資料達 2500 筆。因此未來若嘗試整合投落送資料、QuikSCAT 海表面風及 FORMOSAT-3/COSMIC 等資料進行同化，相信對於颱風及梅雨鋒面之預報有相當的影響。

致 謝

本研究在國科會永續會研究計劃 NSC95-2625-Z-003-001，與自然處研究計劃 NSC95-2111-M-003-001-AP2 支助下完成。感謝國內追風(DOTSTAR)研究團隊針對本文所探討颱風個案進行特殊飛機觀測所取得的投落送資料及中央氣象局提供研究期間所需之資料，使得本文得以順利完成。

參考資料

王時鼎、鄭俠、徐晉淮及丘台光，1985：五、六月台灣地區暴雨之環境條件。天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局，55-77。

吳宗堯、陳泰然、謝信良、喬鳳倫、陳正改、蕭長庚及朱曙光，1984：台灣地區春至初夏之局部性豪雨及其對水稻災害之初步分析。大氣科學，**11**，29-44。

吳俊傑、林博雄、林依依與葉天降，2004：「侵台颱風之 GPS Dropsonde 飛機偵查觀測實驗」(追風計畫)與「颱風及海洋物理及生物地球化學交互作用研究」之研究回顧。大氣科學，**32**，275-292。

黃蕙芃，2006：投落送資料對颱風路徑模擬評估研究—康森及米雷颱風個案分析。國立台灣大學大氣科學系博士論文，168pp。

周婉婷，2007：DOTSTAR 投落送資料與其他衛星觀測資料對颱風路徑模擬影響之探討—梅姬與卡努颱風個案研究。國立台灣大學大氣科學系碩士論文，92pp。

Aberson, S. D., and J. L. Franklin, 1999: Impact on hurricane track and Intensity forecasts of GPS dropwindsonde observations from the first-season flights of the NOAA gulfstream-IV Jet Aircraft. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **80**, 421-427.

Barker, D. M., 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.

Burpee, R. W., J. L. Franklin, S. J. Lord, R. E. Tuleya, and S. D. Aberson, 1996: The impact of Omega dropwindsondes on operational Hurricane track forecast models. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 925-933.

Chen, C.-S., and Y.-L. Chen, 2003: The rainfall characteristic of Taiwan. *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 1323-1341.

Chen, G. T.-J. and S. S. Chi, 1978: On the meso-scale structure of Mei-Yu front in Taiwan. *Atmos. Sci.*, **5**, 1, 35-47.

_____, 1988: On the synoptic-climatological characteristics of the East Asian Mei-Yu front. *Atmos. Sci.*, **16**, 435-446.

Chou, K.-H., and C.-C. Wu, 2008: Development of the typhoon initialization in a mesoscale model – Combination of the bogus vortex with the dropwindsonde data in DOTSTAR. *Mon. Wea. Rev.*, **136**, 865-879.

Chen, S.-H., 2007: The impact of assimilating SSM/I and QuikSCAT satellite winds on Hurricane Isidore simulations. *Mon. Wea. Rev.*, **135**, 549-566.

- Chien, F.-C., J.-S. Hong, W.-J. Chang, B. J.-D. Jou, P.-L. Lin, T.-E. Lin, S.-P. Liu, H.-J. Miou, C.-Y. Chen, 2006: A sensitivity study of the WRF Model partII: Verification of quantitative precipitation Forecasts. *Atmos Sci.*, **34**, 261-276.
- Hock, T. F., and J. L. Franklin, 1999: The NCAR GPS dropwindsondes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **80**, 407-420.
- Huang, J.-H., J.-N. Li, X.-L. Wei, S.-K. Fong, A.-Y. Wang, 2006: Assimilation of QuikSCAT data and its impact on prediction of Typhoon Vongfong(2002). *Act. Sci. Natur. Uni. Sun.*, **45**, 116-120.
- Huang, W.-P., C.-C. Wu, P.-H. Lin, and K.-H. Chou, 2006: The impact of the dropwindsonde data from DOTSTAR on the track prediction of typhoon Conson (2004). Proc., 27 th Conf. on Hurricanes and Tropical Meteorology. American Meteorological Society, Monterey, CA.
- 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, 1997: A GPS/MET sounding through an intense upper-level front. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **79**, 617-626.
- Wu, C.-C., and Y.-H. Kuo, 1999: Typhoons affecting Taiwan: current understanding and future challenges. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **80**, 67-80.
- _____, P.-H. Lin, S. Aberson, T.-C. Yeh, W.-P. Huang, K.-H. Chou, J.-S. Hong, G.-C. Lu, C.-T. Fong, K.-C. Hsu, I.-I. Lin, P.-L. Lin, and C.-H. Liu, 2005: Dropwindsonde Observations for Typhoon Surveillance near the Taiwan Region(DOTSTAR): An overview. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **86**, 787-790.
- _____, K.-H. Chou, Y. Wang and Y.-H. Kuo, 2006: Tropical cyclone initialization and prediction based on four-dimensional variational data assimilation. *J. Atmos. Sci.*, **63**, 2383-2395.
- _____, J.-H. Chen, P.-H. Lin, and K.-S. Chou, 2007a: Targeted observations of tropical cyclones based on the adjoint-derived sensitivity steering vector. *J. Atmos. Sci.*, **64**, 2611-2626.
- _____, K.-H. Chou, P.-H. Lin, S. D. Aberson, M. S. Peng, and T. Nakazawa, 2007b: The impact of dropwindsonde data on typhoon track forecasts in DOTSTAR. *Weather and Forecasting*, **22**, 1157-1176.
- Zou, X., F. Vandenberghe, B. Wang, M. E. Gorbunov, Y.-H. Kuo, S. Sokolovskiy, J. C. Chang, J. G. Sela, and R. Anthes, 1999: A Raytracing operator and its adjoint for the use of GPS/MET Refraction angle measurements. *Jour. Geo. Res. Atmos.*, **104**, 22,301-22,318.

An Impact Study of Dropsonde and QuikSCAT Data on WRF Simulations

Fang-Ching Chien Chang-Mei Hsieh

Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University

(Manuscript received 2 December 2007; in final form 10 September 2008)

ABSTRACT

This study uses the Weather Research and Forecasting (WRF) model and its variational data assimilation (WRF-Var) system to examine the impact of dropsonde and QuikSCAT data on numerical simulations. Three cases, including Typhoon Bilis (2006), Typhoon Kaemi (2006), and a Mei-yu rainfall event, are tested. These cases are chosen because there were special data collections of dropsonde observations.

The results show that the simulated track of Bilis has about 39% and 16% improvement averaged during the 72 h forecasts after the assimilation of dropsonde and QuikSCAT data, respectively. The simulation of radar reflectivity is also improved. Similarly, the simulated track of Kaemi is improved by 26% and 21% by assimilating dropsonde and QuikSCAT data, respectively. However, the data assimilation appears to have no improvement in terms of radar reflectivity simulation for the Kaemi case. As for the mid-June 2006 Mei-yu case, the assimilation of both kinds of data can help the simulation of radar reflectivity.

Further investigations show that the assimilation of dropsonde and QuikSCAT data produces stronger southerly environmental winds in the Bilis case, resulting in a better simulated track than the runs without these data. In these runs, the simulated tracks are too far to the south compared with the observed. In the Kaemi case, the tracks of simulations without dropsonde/QuikSCAT data assimilation were shifted to the north/south of the observed track, respectively. With the assimilation of dropsonde/QuikSCAT data, the simulated environmental flow becomes more northerly/southerly, resulting in better tracks. The data assimilation also helps to produce better water vapor mixing ratio in the simulations of the Bilis and Mei-yu cases. As a result, the radar reflectivity is better captured in the simulations.

Key words: Dropsonde, QuikSCAT, WRF-Var

