

GPS 掩星與其它資料同化 對台灣地區颱風和梅雨模擬之影響

黃清勇^{1,2} 迓嘉欣¹

¹ 國立中央大學大氣科學系

² 國立中央大學全球定位科學與應用研究中心

(中華民國九十九年九月十三日收稿；中華民國一〇一〇年二月二十五日定稿)

摘 要

本文使用 WRF 模式和 WRFDA 同化方法，選取 2008 年兩個梅雨事件與三個颱風個案進行模擬。模擬中分別同化 FORMOSAT-3 GPS RO 折射率資料、追風計畫的投落送資料(dropsondes)、SSM/I、QuikSCAT 衛星觀測資料和 CWB 提供的傳統觀測資料(GTS)，並探討五種不同的觀測資料對模式初始場與數值天氣預報的影響。

觀測資料對模式初始場的增量結果顯示，同化 SSM/I 或 GTS 的濕度增量比同化其他觀測資料大，溫度增量方面則是同化 GPS RO 或 GTS 較多，同化 dropsondes 或 QuikSCAT 在風速差異值最為顯著。由梅雨與颱風個案模擬結果顯示，同化 GTS 或 SSM/I 資料對模擬結果改善最多，同化 QuikSCAT 資料對颱風預報也有正面的影響，同化 GPS RO 對颱風路徑改善並不明顯。降雨模擬方面，累積降雨預報中同化 GPS RO 或 SSM/I 結果最佳，沒有同化任何觀測資料的控制組降雨預報較差。

GPS RO 和其他觀測資料結合模擬結果方面，同時同化 GPS RO 和 dropsondes 時，可發現同化 dropsondes 資料對於模式模擬的影響較大。GPS cycling 實驗中，同時同化多種資料對模擬有顯著的改善。針對 GPS RO 資料點位置的敏感度實驗，結果顯示颱風環流附近的單一筆 GPS RO 資料，對於模式模擬結果有很大的影響。

關鍵字：颱風、WRF、GPS RO

一、前言

目前主要用來改善數值天氣預報準確度，除了減少模式本身誤差與增進參數化方法，改善模式初始場亦為一項重要的研究。本文期望利用資料同化方法改進模式的初始場，使其更接近於真實大氣狀態，進而提升天氣預報之準確度。颱風生成與發展通常發生於海面上，梅雨發展常受複雜的地形所影響，如高山、高原等，然而一般傳統觀測中，海面與高山上缺乏的傳統觀測資料，無法解析真實颱風和梅雨的結構與發展，只能仰賴雷達、衛星與飛機等觀測，希望可結合這些觀測方法所得資料，並利用資料同化技術，使模式初始場更接近真實提高預報準確度。

衛星資料的優點在於可以彌補傳統觀測所無法觀測地區之氣象資料，尤其在海面、沙漠與高山等。2006年發射福爾摩沙三號衛星，利用低軌道衛星接收全球衛星定位系統訊號(Global Positioning System, GPS)，經由無線電掩星方法估計電磁波穿過大氣圈時的偏折角，再算出大氣折射率的分布(黃與朱, 2004)，提供不受雲雨、陸地海洋分佈影響，垂直解析度高，且分佈均勻的大氣折射率資料。關於GPS掩星觀測資料的精確程度，已有許多研究加以證實如：Kursinski et al. (1995)、Ware et al. (1996)、Kuo et al. (2005)。加上其他氣象衛星利用透雲性較好的微波波段，配合不同特性頻道觀測反演出風場、水氣等氣象資料(如SSM/I、QuikSCAT)，能有效增加海面上的觀測資料。

早期，關於同化折射率的研究中，Zou et al. (1995)和Kuo et al. (1997)發現若將大氣折射率同化至模式中，有助於模式對溫、溼度的掌握，對預報結果有相當正面的影響。近期，Huang et al.

(2005)利用MM5 3DVAR，分別同化4至5筆的CHAMP (Challenging Minisatellite Payload)衛星GPS RO掩星觀測資料，針對2001年納莉(Nari)颱風和2002年納克莉(Nakri)颱風進行模擬實驗，發現加入GPS RO掩星觀測資料對於颱風路徑及降水預報皆有改善。陳(2008)利及Chen et al. (2009)用WRFDA同化GPS RO折射率資料，針對2006年珊珊(Shanshan)颱風進行模擬研究，同化27筆GPS RO折射率資料，發現使用非局地算子(nonlocal operator)之結果較局地算子(local operator)佳，GPS同化效益使模擬後期的大雨預報技術得分增加。Kueh et al. (2009)針對2006年碧莉斯(Bilis)颱風進行同化模擬研究，在同化窗區中只有2筆GPS資料，並針對這兩點資料分別進行敏感度實驗，發現太平洋上的觀測點位於颱風上游處，對於颱風路徑預報有相當正面的影響。黃與王(2008)利用MM5 3DVAR方法討論同化GPS RO、AMSU、QuikSCAT對於模擬2003年杜鵑和2004年敏督利颱風的影響，結果顯示GPS RO對水氣分佈有明顯改變，QuikSCAT有助於降雨預報，AMSU對路徑和強度有明顯改進。

台灣2002年開始進行追風計畫(Dropwindsonde Observations for Typhoon Surveillance near the Taiwan Region, DOTSTAR)，利用飛機投擲投落送，飛機投送觀測是機動性的觀測，可直接觀測出天氣現象周圍溫度、壓力、風速等垂直分佈的資料。Wu et al. (2007)針對多個台灣附近的颱風個案，同化DOTSTAR投落送資料進行模擬，發現颱風路徑預報皆有改善。簡與謝(2008)利用WRFDA進行同化實驗，研究發現同化QuikSCAT會使低層的初始風場強度和風向有明顯改變，同化投落送資料對初始風場強度和風向造成改變，模擬2006年碧莉斯颱風(Bilis)和凱米(Kaemi)颱

風對於路徑預報和雷達回波強度亦有所改善。

綜合以上研究結果可知資料同化對於模式預報的影響，資料同化對於模式模擬多有正面的影響，但上述研究多針對一種觀測資料或是單一颱風個案進行模擬討論，較少研究整合觀測資料以及多種個案進行討論，本文研究目的在於綜合上述觀測資料模擬的結果進行討論，以同化 GPS RO 掩星資料為主，模擬 2008 年梅雨和颱風個案。本研究使用 WRFDA (Weather Research and Forecasting model data assimilation system) 方法，同化 GTS 傳統資料、GPS RO 折射率資料、SSM/I 海平面風速與水氣資料、QuikSCAT 風向與風速資料、投落送觀測資料，討論同化不同觀測資料對於台灣地區颱風和梅雨模擬預報的改善程度。

二、資料來源與實驗設計

(一) 資料來源

1. FORMOSAT-3 GPS RO

2006 年台灣與美國共同合作的 FORMOSAT-3/COSMIC 計畫，於美國加州成功發射。因為大氣層的密度不同，造成電磁波偏折和速度的改變，使得低軌衛星上的 GPS 接收器接收電磁波的相位發生改變，在 GPS 和低軌衛星之間傳送的所發生的相位延遲稱做相位超出量(phase excess)，藉由這些相位超出量，透過都卜勒平移求得偏折角(bending angle)，再利用 Abel inversion 來計算得大氣折射指數 n (refractive index) 的垂直分佈，接下來利用 $N = (n-1) \times 10^6$ 求出折射率 N ，折射率與氣壓 P 、溫度 T 、水汽壓 P_w 之間存在一關係式：

$$N = 77.6 \times \left(\frac{P}{T} \right) + 3.73 \times 10^5 \left(\frac{P_w}{T^2} \right) \quad (1)$$

為局地折射率公式 (Smith and Weintraub, 1953)，若已知折射率可反演出相對應的氣壓、溫度，與溼度場，得出在近地點(tangent point)的溫度和水汽含量的垂直變化。

由於 GPS 所提供的觀測折射率是經過局地球對稱假設下的 Abel inversion 所得到，在資料同化系統中，使用經由局地格點上的氣壓、溫度與溼度計算出折射率，插分至觀測位置上，若掩星點恰巧處於大氣水平梯度很明顯的區域，會使模式所計算出的局地折射率與觀測值差異增大，因此 Sokolovskiy et al. (2005) 提出分別將模式與觀測之折射率，沿著射線方向積分 (dl)，將此積分值稱為溢相值(excess phase, S)，其定義為： $S = \int N dl$ ，此時模式與觀測皆考慮了近地點附近的水平梯度變化，使在進行同化模擬時模式與觀測相似，此方式稱之為非局地運算子(nonlocal operator)，也是本文所使用的運算子，此算子已應用於侵台颱風模擬，詳細的同化方法及模擬結果可見 Chen et al. (2009)。

2. SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager)

本文使用的 SSM/I 衛星資料是由美國國家海洋大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)所提供。SSM/I 為搭載於 DMSP(Defense Meteorological Satellites Program) 衛星上的被動式微波輻射計，其原理為被動式微波輻射計量測到的微波受到大氣中水氣、氧氣、和液態水的影響而衰減，藉此可以反演出不同的氣象參數。美國空軍於 1987 年發射 DMSP 系列的第一顆衛星 F-8，之後陸續發射了 F-9 ~ F-16 衛星，本文選取 F-13 和 F-14 衛星所觀測的海平面風場和可降水量資料，其空間解析度為 50 km。

3. QuikSCAT (Quick Scatterometer)

為搭載在 QuikSCAT 衛星上的 SeaWinds 散射計所觀測的資料，能在各種天氣狀況下測量近海面風速、風向的微波雷達，其原理為水面的短波可以很快對於風的改變做出反應，SeaWinds 儀器所發射出的微波被這些水面短波所散射，利用接收到的回波相位差和方位角可反演出二維近海面風場資訊（風向、風速），其空間解析度為 25 km。本研究的 QuikSCAT 資料是由美國國家大氣研究中心 (National Center for Atmospheric Research, NCAR) 所提供之 GTS 資料中截取出。

4. 投落送(dropsondes)

侵台颱風之飛機偵察及投落送觀測實驗 DOTSTAR，此計畫使用 ASTRA 飛機與機載垂直大氣探空系統(Average Volume Assured Pressure Support, AVAPS)設備，以每架次五小時時間直接飛到颱風周圍約 43000 ft 的高度投擲投落送，取得颱風周圍關鍵區域的大氣環境資料，包含了每枚投落送所在的經緯度，量測到的氣壓、溫度、溫度露點差和風向風速等資料。

5. 全球電信系統觀測資料 GTS

(Global Telecommunication System)

全球電信系統是世界氣象組織在 80 年代建立的全球氣象資訊整合系統，透過 GTS 可獲得全球各種氣象觀測及分析的資料。其資料種類繁多，包含傳統地面測站(SYNOP)、探空測站(TEMP)、船舶資料(SHIP、TEMPSHIP)、航空測站(METAR)、浮標(BUOY)、高空測風報(PILOP)、衛星(SATEM、SATOB)及飛機資料(AIREP)。本文的 GTS 資料為中央氣象局提供，所取得的資料中已確認無包含其他所同化的觀測資料(如 GPS RO、dropsondes、SSM/I 等)。

(二) 模擬實驗設計

本文採用天氣預報模式為 WRF 2.2 版，並使用 WRFDA 2.1 版同化系統進行資料同化，使用的背景誤差為 NCAR 所提供，針對不同區域統計的背景誤差(cv3)。選取 2008 年 6 月 13 日和 6 月 25 日兩個梅兩個案(分別簡稱 0613 和 0625 梅兩個案)，7 月卡玫基(Kalmaegi)颱風、鳳凰(Fung-Woug)颱風以及 9 月薔蜜(Jangmi)颱風三個颱風個案，分別進行討論。初始分析場和邊界條件皆使用 NCEP GFS 資料，解析度為 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。NCEP GFS 資料雖然有本文所使用的觀測資料，但經過全球的平滑，可能會失去對於區域變化的反應，故在區域模式中仍同化這些觀測資料。模式設定為三層槽狀網格[圖 1]，解析度為 45 km、15 km、5 km，水平網格點數皆為 151×151 ，垂直分層皆為 35 層，積分時間亦皆為 180 秒，其中第一層和第二層使用 Kain-Fritsch 的積雲參數化(第三層中沒有使用積雲參數化)，三層皆使用 YSU 邊界化。WRFDA 方法中，同化窗區時間選擇初始時

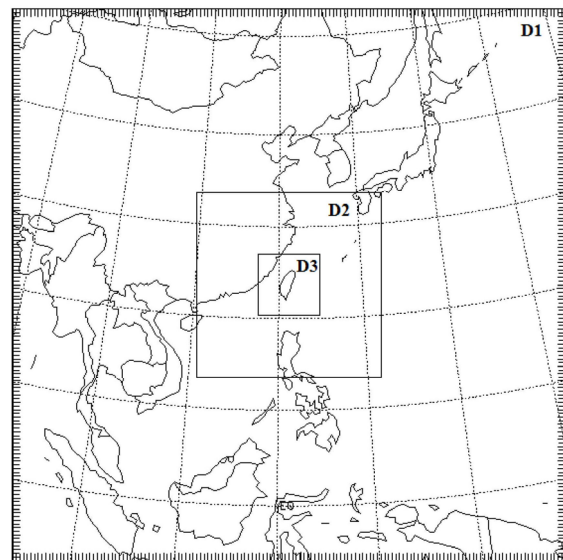


圖 1 三層巢狀網格模式範圍，解析度為 45km、15km、5km，水平網格點數皆為 151×151 。

層參數化和 WSM 3-class simple ice 微物理參數間前後三小時內所有觀測，即初始時間前後三小時的觀測資料皆視為初始時間的資料進行同化。

本研究實驗設計如表一，因窗區時間內有些個案的觀測資料缺少，其中 0613 梅兩個案沒有作 Drop 的實驗，QSCAT 的實驗只有針對卡玫基颱風和鳳凰颱風。五個個案分別同化了 15~43 筆不等的 GPS RO 資料。

表一 模擬實驗設計

實驗名稱	同化的資料
None	無資料同化
EPH	同化福爾摩沙三號衛星 GPS RO 資料
Drop	同化 DOTSTAR 投落送資料
CGTS	同化中央氣象局 GTS 資料
SSM/I	同化 SSM/I 資料
QSCAT	同化 QuikSCAT 資料

三、模式模擬結果討論

(三) 初始場增量

首先討論各種資料同化後實驗組初始場與控制組 None 初始場之間的差異，將分別探討在溫度場、濕度場與風場之間差異量值和分佈。接下來初始場增量的探討主要為模式第 28 層(距離地面約 1.3 km)，因增量最大值多在此層，以下討論是以五個個案綜合而言，因篇幅關係只放入鳳凰颱風的結果圖〔圖 2、圖 3〕。

同化 FORMOSAT-3 GPS RO 資料:EPH-None 溫度增量〔圖 2(a)〕，可看出 GPS RO 資料分佈不固定，所以修正量的位置也不固定，低高層同化 GPS RO 資料有增溫效果，中層則有降溫效果，水汽混合比增量集中在中低層〔圖 2(b)〕多為負

增量，表示在此層同化 GPS RO 資料濕度較 None 乾，風速修正最大值在距離地面 1~2 km，台灣附近修正量值皆低於 10 m/s，超過 10 m/s 的區域幾乎皆位於高緯。同化 DOTSTAR 投落送資料: Drop-None 溫度和水汽混合比增量〔圖 2(c)〕，由於 dropsondes 觀測方法的限制，使觀測位置侷限於台灣附近，修正量的位置亦於台灣附近。溫度、濕度場增量的垂直變化因個案而異，但修正量值都不大，主要的改變在於風場之差異。

同化 CWB GTS 資料: GTS 資料種類多分佈廣，觀測資料幾乎涵蓋整個模式範圍，溫度增量方面，卡玫基颱風多為正增量(圖未示)，其他個案則不固定〔如圖 3(a)〕。水汽混合比增量在海面上大多為負值〔如圖 3(b)〕，表示在低層同化 GTS 資料濕度比 None 乾，尤其在台灣附近中低層多為負增量。同化 SSM/I 資料: SSM/I 資料分佈在海面上，主要的修正量在所觀測的海面上，溫度增量很小，水汽混合比增量〔圖 3(c)〕台灣以北比 None 濕，以南比 None 乾，五個個案都有這樣的特徵，最大風速修正值都在 1 m/s 以下。同化 QuikSCAT 資料: QuikSCAT 資料分佈也是在海面上，主要的修正量在所觀測的海面上，溫度增量在低層都是正的〔圖 3(d)〕，中高層也有類似的結果，表示同化 QuikSCAT 有增溫的效果，水汽混合比增量很小，主要的改變在於風場，最大風速差值約 11 m/s。

上述所探討的五種觀測資料進行同化調整後對於溫度場、濕度場、風場的增量範圍大小不一定，統計比較如表二，結果發現溫度增量以同化 GPS RO 或 GTS 變動幅度最大，濕度增益量為同化 SSM/I 或 GTS 變動幅度最大，最大風速差異則是同化 dropsondes 或 QuikSCAT。

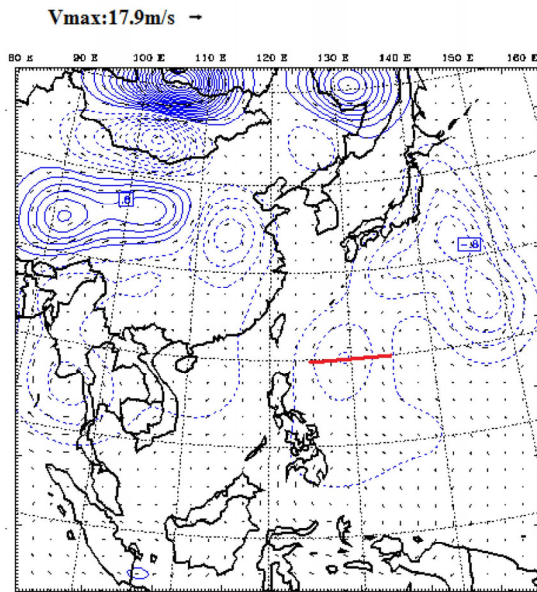
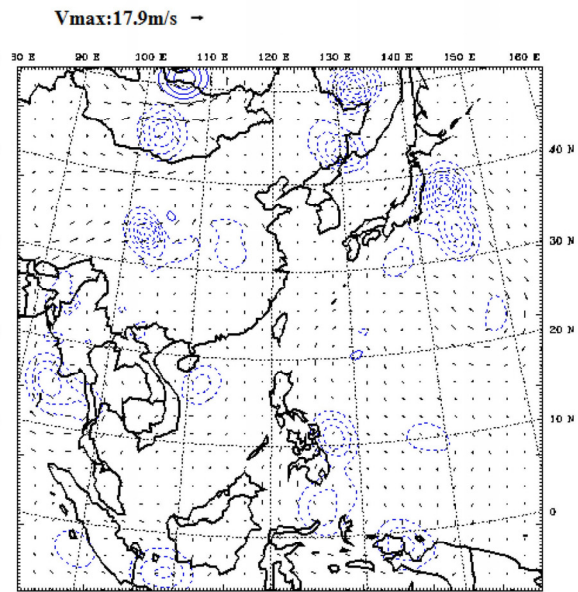
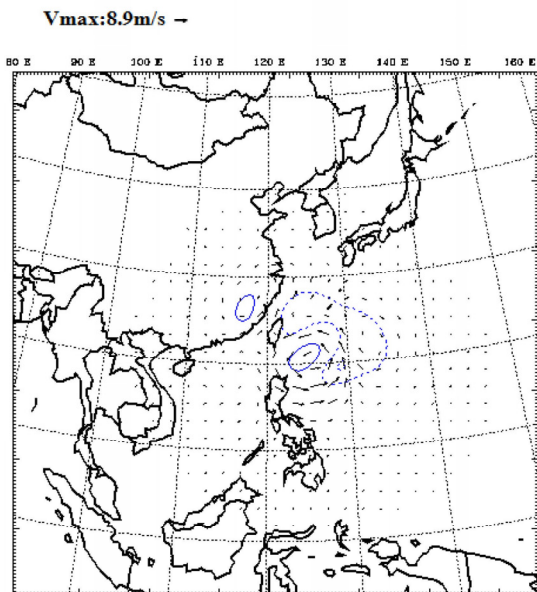
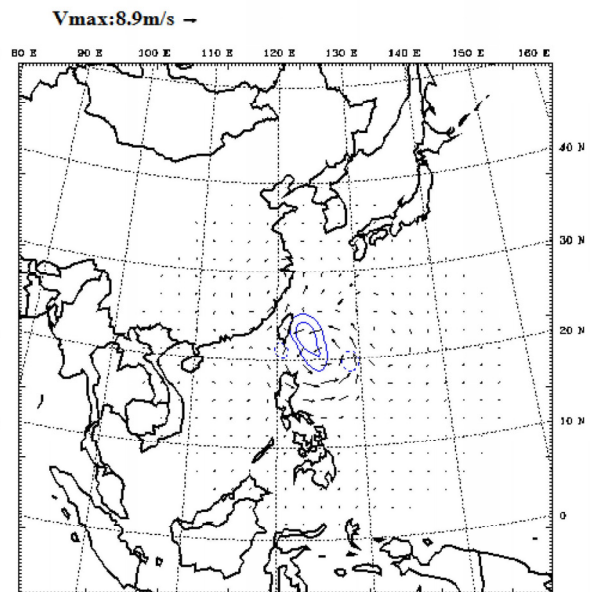
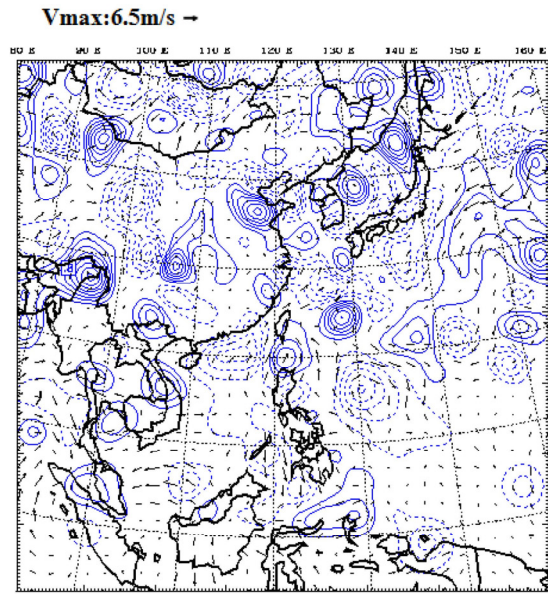
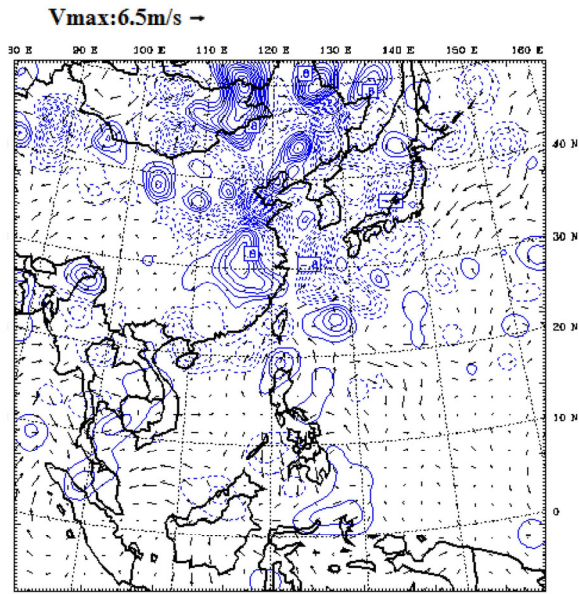
(a) *EPH-None* 溫度增量(b) *EPH-None* 水汽混合比增量(c) *Drop-None* 溫度增量(d) *Drop-None* 水汽混合比增量

圖2 鳳凰颱風初始時間(7月16日0000 UTC)使用WRFDA同化五種資料和控制組(*None*)在模式第28層(約1.3km高)溫度、水汽混合比和風場增量圖。(a)(b) *EPH-None*、(c)(d) *Drop-None*。等值線表示溫度(單位: °C, 間距: 0.2)、水汽混合比(單位: g/kg, 間距: 0.1)增量, 實線為正值, 虛線為負值, 箭頭表示風場差異(單位: m/s)。

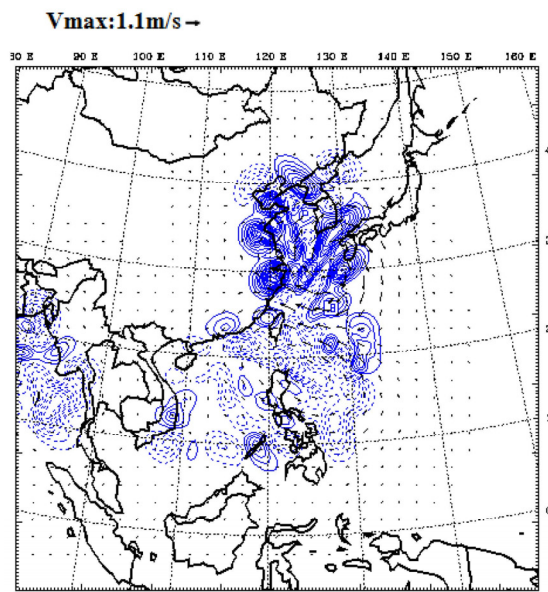
(a) CGTS-None溫度增量



(b) CGTS-None水汽混合比增量



(c) SSMI-None水汽混合比增量



(d) QSCAT-None溫度增量

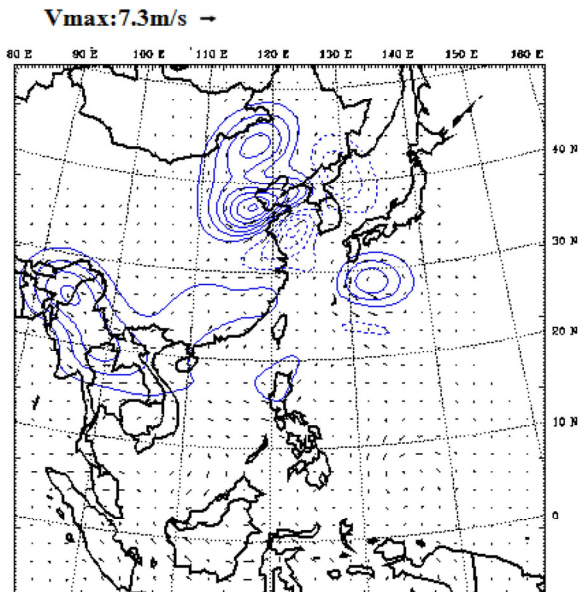


圖3 同圖2，(a)(b) CGTS-None、(c)SSM/I-None、(d) QSCAT-None。

表二 五個個案五個實驗組(*EPH*、*Drop*、*CGTS*、*SSMI*、*QSCAT*)初始場與控制組(*None*) 初始場溫度(**T**)、水汽混合比(**Q**)、最大風速(**Vmax**)增量值範圍，括號內為取 domain 2 範圍之最大風速增量值

資料種類	氣象場	0613	0625	卡玫基	鳳凰	薔蜜
GPS RO	T(°C)	-3.6~2.2	-3.4~1.2	-4.0~1.2	-2.0~1.0	-2.2~2.0
	Q(g/kg)	-1.2~0.8	-1.4~0.6	-1.2~0.8	-2.0~1.0	-1.4~1.6
	Vmax(m/s)	17.4(4.2)	11.6(5.3)	13.3(7.7)	19.2(4.5)	14.5(7.6)
dropsondes	T		-0.4~0.8	-0.6~1.2	-0.6~0.4	-1.2~0.8
	Q		-4.6~0.6	-1.8~0.4	-0.4~1.0	-1.6~1.8
	Vmax		11.3	9.7	13.3	15.6
GTS	T	-3.2~2.2	-2.8~3.2	-1.8~2.0	-2.4~2.4	-2.2~2.6
	Q	-2.8~2.0	-2.6~3.2	-2.2~3.8	-3.8~2.6	-1.8~1.8
	Vmax	13.0(6.1)	16.1(13)	10.6(5.7)	13.7(6.4)	10.7(7.7)
SSM/I	T					
	Q	-3.2~2.0	-2.4~3.2	-1.8~2.8	-2.6~2.8	-2.2~1.4
	Vmax	0.5	0.7	6.6(0.5)	1.3	0.7
QuikSCAT	T			-0.2~1.2	-0.8~1.4	
	Q			0.0~0.2	-0.4~0.0	
	Vmax			11.2(0)	13.9	

(四) 個案模擬結果

1. 0613 梅雨個案

本個案共有四組實驗，分別為 *None*、*EPH*、*CGTS* 與 *SSMI*，模擬初始時間為 6 月 13 日 0000 UTC，共預報 96 小時。分析場與實驗結果顯示(圖未示)，模擬第 12 小時海平面氣壓結構相似，但經過 24 小時模擬後，實際觀測低壓位置往東移動出海，模擬實驗卻往北移動，模擬之鋒面皆位於實際觀測的北方。實際鋒面持續緩慢向東移動，*EPH* 與 *CGTS* 鋒面快速向北移動，而 *None* 與 *SSMI*

則快速向東北移動，模擬結果與實際觀測皆相差甚遠。推論本個案模擬結果不佳原因，為上層槽脊模擬結果不佳，四組實驗模擬出之槽線移動較快，使模擬出的鋒面快速向北或東北移動，但實際觀測的槽線移動速度則較緩慢。

2. 0625 梅雨個案

本個案共有五組實驗，分別為 *None*、*EPH*、*Drop*、*CGTS* 與 *SSMI*，模擬初始時間為 6 月 25 日 0000 UTC，共預報 96 小時。6 月 25 日 1200 UTC 梅雨鋒面模擬結果海平面氣壓圖〔圖 4〕，由模擬

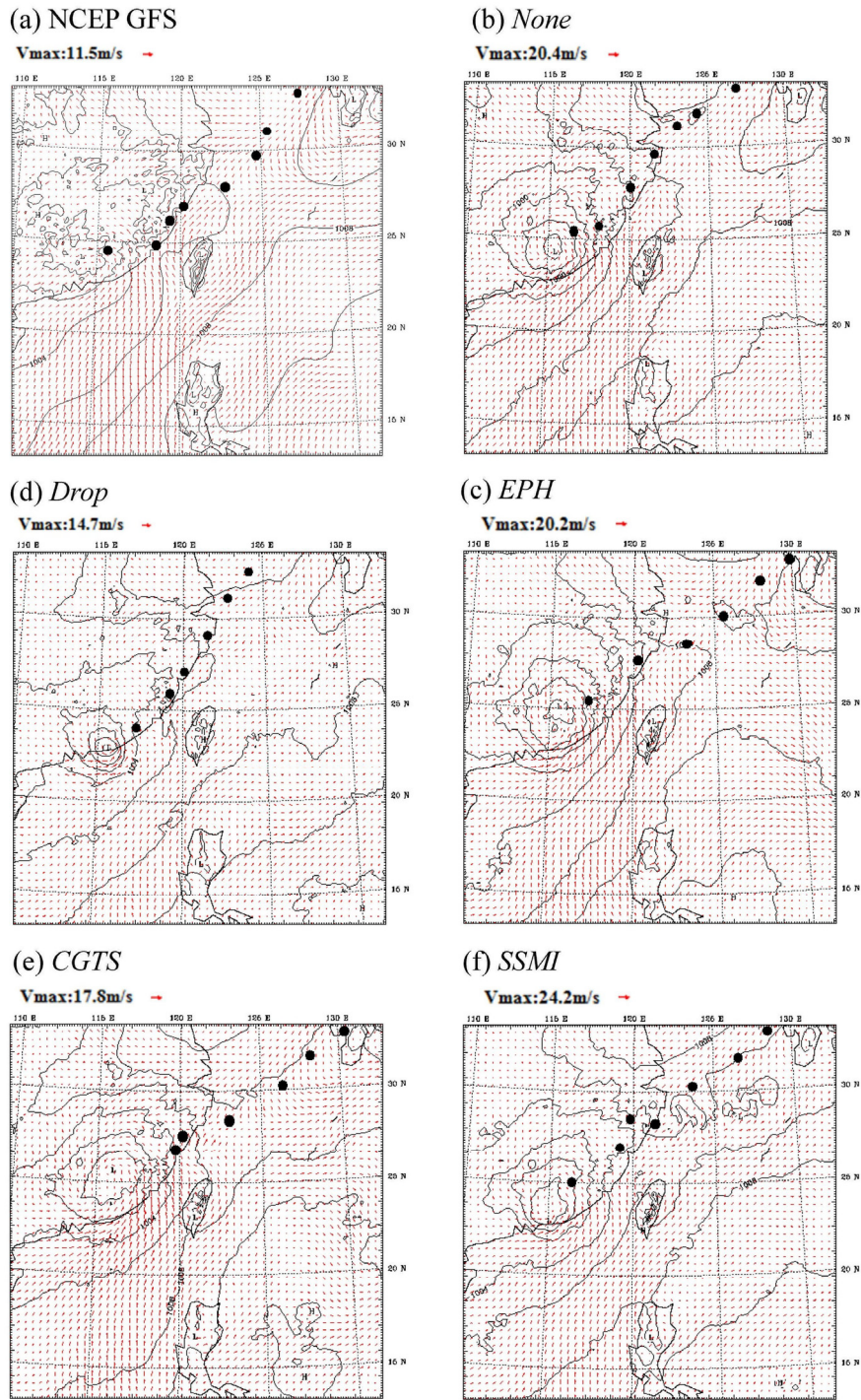


圖4 0625 梅雨模擬結果之6月25日1200 UTC 海平面氣壓(實線單位:hPa)和風場圖,實線為海平面氣壓值(單位:hPa,間距:2),箭頭為風場(單位:m/s)。(a) NCEP GFS、(b) None、(c) EPH、(d) Drop、(e) CGTS、(f) SSMI,圓點表示鋒面帶上的低壓隨時間的移動位置,每12小時標記一點。

結果可知，模擬第 12 小時前海平面氣壓的結構各實驗與分析場相似，主要差異為低壓的位置，低壓中心位置以最低海平面氣壓來訂定，*None* 與 *EPH* [圖 4(b)(c)] 低壓位置最接近分析場，其次是 *Drop* 與 *SSMI* [圖 4(d)(f)]，最差為 *CGTS* [圖 4(e)] 其低壓位置較偏北，此時實驗模擬發展之低壓強度皆較分析場強。之後觀測低壓受鋒面帶牽引往東北方向移動，約在 27 日 0000 UTC 出海，*EPH* 與 *CGTS* 低壓的移動較快，發展也較強，*Drop* 與 *SSMI* 模擬之低壓位置和分析場最接近，*None* 則較偏北。鋒面低壓出海後持續往東北方面移動，以 *EPH* 與 *SSMI* 結果最佳，其次是 *Drop* 與 *CGTS*，其低壓和鋒面位置皆偏北，*None* 結果最差。

3. 卡玫基颱風

本個案共有六組實驗，分別為 *None*、*EPH*、*Drop*、*CGTS*、*SSMI* 與 *QSCAT*，模擬初始時間為 7 月 16 日 0000 UTC，共預報 72 小時。卡玫基颱風模擬路徑圖 [圖 5]，模擬第一天真實颱風向西北方向移動，模擬實驗除了 *Drop* 快速向東北方向移動外，其他實驗模擬出的路徑相似，皆為向北移動，六組實驗與觀測一開始就有很大的誤差，模擬至第 6 小時路徑誤差約為 200 km。第二天颱風持續往北北西方向移動朝臺灣東部海面靠近，*CGTS* 與 *QSCAT* 有轉為向北北西移動，但由於第一天實驗結果和觀測之間的誤差很大，移動方向雖正確但路徑仍有很大誤差，*None*、*EPH* 與 *SSMI* 則持續向北移動。第三天颱風往西北方向移動登陸台灣，六組實驗模擬結果則是往東北方向移動，與最佳路徑之誤差越來越大。

推論造成本個案模擬結果不佳之原因，在於模式所模擬的副熱帶高壓位置與伸展和真實相差很多，加上所模擬出的颱風強度太弱，同化觀測

資料後也無改善。然而，其中以 *CGTS* 模擬結果最好，主要因為同化 *GTS* 在西太平洋上有增溫的效果，使副高的發展較其他實驗相近於觀測，但仍有很大的誤差。各組實驗模擬之強度一開始就和實際觀測相差 10 hPa，觀測於初始時間中心氣壓為 990 hPa，模擬則皆為 1000 hPa，之後真實颱風持續增強至模擬第 30 小時達到最低中心氣壓 960 hPa，但六組模擬都沒有增強的現象，最低中心氣壓仍維持在 1000 hPa 上下。路徑誤差變化方面，除了 *Drop* 外其他實驗在前 36 小時路徑誤差接近於一定值，約為 200 km，模擬 36 小時後才開始快速增加。本個案颱風本身較弱，主導颱風移動的作用為太平洋副熱帶高壓，推論此個案副高附近的觀測資料可能比颱風附近的觀測資料更為重要。

4. 鳳凰颱風

本個案共有六組實驗，分別為 *None*、*EPH*、*Drop*、*CGTS*、*SSMI* 與 *QSCAT*，模擬初始時間為 7 月 26 日 0000 UTC，共預報 72 小時。鳳凰颱風模擬路徑圖 [圖 6]，模擬第一天真實颱風向西移動，各組實驗模擬結果大致上都是往西移動，除了 *SSMI* 與 *QSCAT* 外，其他實驗都有南北震盪的現象，使剛開始模擬時誤差較大，初始時間觀測的中心氣壓為 985 hPa，模擬出的中心氣壓則是 995 hPa，因初期模擬之颱風強度較弱，容易造成颱風中心位置擺動的現象，*SSMI* 與 *QSCAT* 有同化涵蓋到整個颱風之風場資料，對初期颱風之模擬有好的影響。第二天颱風轉向西北移動登陸台灣，六組實驗模擬之結果皆與最佳路徑相似，只有 *EPH* 路徑稍微偏南，模擬之颱風強度以 *CGTS* 與 *Drop* 最接近真實觀測，但仍和真實觀測相差約 10 hPa，最差為 *EPH* 與 *SSMI* 和真實觀測相差約 16 hPa。

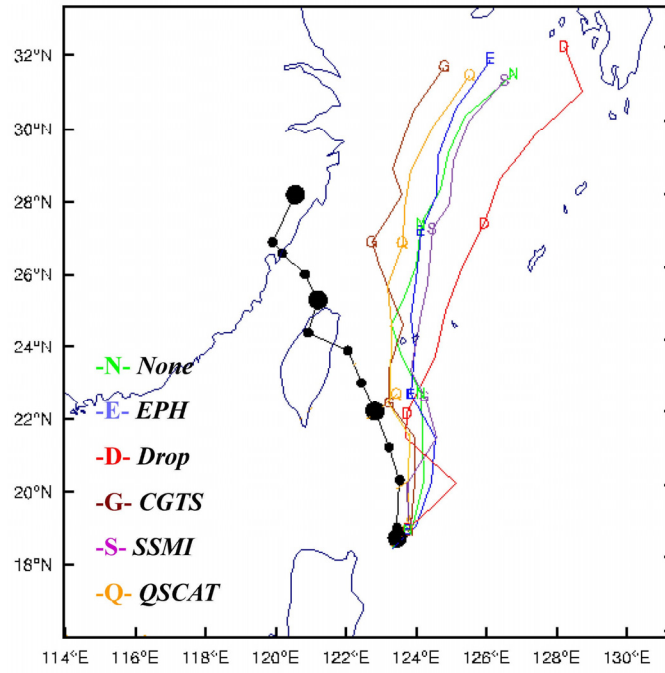


圖 5 卡玫基颱風最佳路徑（圓點）與模擬實驗之路徑圖。標記 N 為模擬實驗 *None*、E 為 *EPH*、D 為 *Drop*、G 為 *CGTS*、S 為 *SSMI*、Q 為 *QSCAT* 之模擬路徑，每 24 小時標記一點。

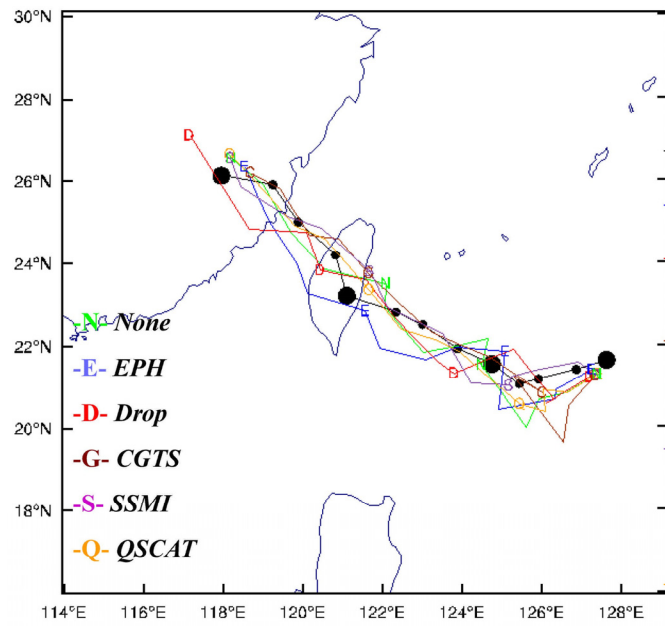


圖 6 鳳凰颱風最佳路徑（圓點）與模擬實驗之路徑圖。標記 N 為模擬實驗 *None*、E 為 *EPH*、D 為 *Drop*、G 為 *CGTS*、S 為 *SSMI*、Q 為 *QSCAT* 之模擬路徑，每 24 小時標記一點。

第三天颱風登陸台灣後氣壓減弱，颱風先轉向北北西，出海後再轉回西北方向移動，*SSMI* 與 *QSCAT* 持續往西北移動，*None*、*Drop* 與 *EPH* 則是先轉向西移動，出海後才轉回西北方向移動。模擬第 48 小時颱風登陸台灣，以登陸位置來看，只有 *EPH* 偏南，其他實驗皆偏北，其中 *None* 的誤差最大。以路徑誤差討論，第一天 *SSMI* 和 *QSCAT* 結果最佳，誤差在 50 km 左右，第二、三天則是 *QSCAT* 結果最佳，誤差在 70 km 以下，整體而言，六組實驗在模擬的三天內誤差幾乎不超過 150 km。本個案 *None* 本身結果不錯，六組實驗路徑預報差異並不大，主要的差異在於降雨的分佈和登陸位置。

5. 薔蜜颱風

本個案共有五組實驗，分別為 *None*、*EPH*、*Drop*、*CGTS* 與 *SSMI*，模擬初始時間為 9 月 26 日 1200 UTC，共預報 72 小時。薔蜜颱風模擬路

徑圖〔圖 7〕，模擬第一、二天颱風向西北移動，以 *Drop* 之預報結果最佳，但移速較真實颱風快約 6 小時，*None*、*CGTS* 與 *SSMI* 結果路徑偏南，*EPH* 向西移動結果最差。本個案同化 GPS RO 資料造成很大的誤差，關於此部分將會在後面進行探討。第三天颱風在登陸台灣後轉向北移動，*Drop*、*None*、*CGTS* 與 *SSMI* 皆持續向西北移動，只有 *EPH* 模擬沒有登陸台灣，使第三天的誤差快速增加。薔蜜颱風為強颱風，觀測在初始時間中心氣壓為 940 hPa，五組實驗模擬皆為 993 hPa，模擬之颱風強度遠低於觀測值，真實颱風持續增強到 910 hPa，實驗組中以 *CGTS* 發展最強，但只有 967 hPa，直到模擬颱風登陸台灣後強度減弱模擬才與真實颱風較為接近。第一天路徑誤差五組實驗皆低於 100 km，第二天誤差皆低於 200 km，其中 *CGTS* 結果最佳，在第三天路徑誤差則快速增加至 300~400 km。模擬第 54 小時為颱風登陸

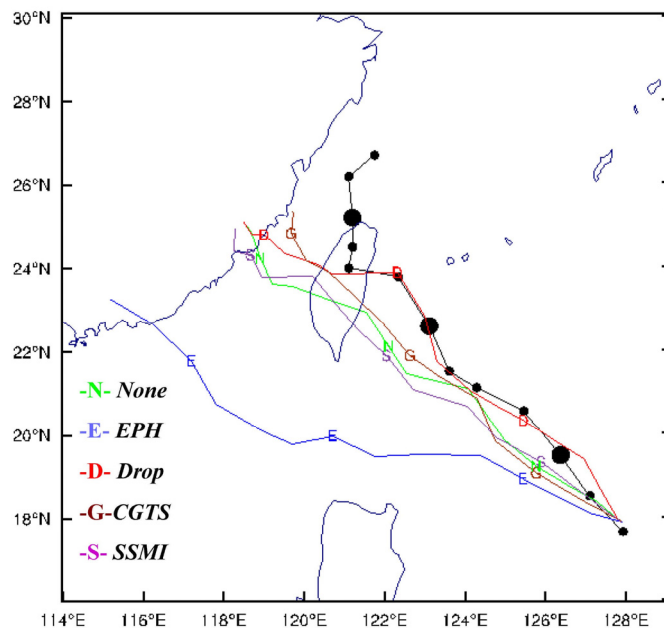


圖 7 薔蜜颱風最佳路徑(圓點)與模擬實驗之路徑圖。標記 N 為模擬實驗 *None*、E 為 *EPH*、D 為 *Drop*、G 為 *CGTS*、S 為 *SSMI* 之模擬路徑，每日 0 時標記符號。

台灣的時間，CGTS 與 Drop 較 None 佳，SSMI 則與 None 相似，EPH 最差。

為了直接瞭解同化觀測資料對於模式模擬是否有改善，將模擬颱風實驗組(EPH、Drop、CGTS、SSMI、QSCAT)和控制組(None)路徑誤差計算比值，比較同化觀測資料的結果是否優於控

制組(None)，表三為颱風個案之個別的模式路徑誤差與 None 路徑誤差的比值。卡玫基颱風模擬結果，EPH、CGTS、SSMI、QSCAT 較 None 佳；鳳凰颱風模擬結果，CGTS、SSMI、QSCAT 較 None 佳；薔蜜颱風模擬結果，CGTS、Drop 較 None 佳，SSMI 與 None 相似。梅兩個案模擬方面，0613 梅兩個案只有 SSMI 與 None 結果相似，EPH 與 CGTS

表三 三個颱風個案實驗組(EPH、Drop、CGTS、SSMI、QSCAT)和控制組(None)預報路徑誤差的比例(實驗組/控制組)。比值小於 1 (陰影) 表示優於控制組

	卡玫基					鳳凰					薔蜜			
	EPH	Drop	CGTS	SSMI	QSCAT	EPH	Drop	CGTS	SSMI	QSCAT	EPH	Drop	CGTS	SSMI
0h	0.98	1.67	0.92	0.97	0.91	1.02	1.42	1.15	1	1.05	1.02	1.37	1.07	0.99
6h	0.96	1.34	1.01	1.01	1.00	1.12	1.81	1.46	1.01	0.33	1.71	3.65	0.75	1.55
12h	0.91	1.66	0.73	0.91	0.85	1.26	1.26	3.35	0.54	0.45	1.64	1.87	1.13	0.75
18h	0.84	1.89	0.74	0.73	0.81	0.74	0.78	0.22	0.85	0.23	1.76	1.63	1.2	1.09
24h	0.80	2.20	1.07	1.14	0.69	1.76	3.67	5.5	4.64	2.6	10.9	5.87	1.36	2.69
30h	0.94	2.83	0.76	0.88	0.58	0.05	0.71	1.03	0.16	1.15	2.66	1.43	0.29	0.93
36h	0.93	2.50	0.68	1.04	0.70	1.23	1.05	0.42	0.79	0.76	3.22	1.35	0.79	1.15
42h	0.96	2.14	0.80	0.99	0.75	3.53	3.91	0.89	1.56	0.82	4.11	1.38	1	1.39
48h	0.95	2.07	0.64	1.06	0.77	0.59	0.9	0.77	0.56	0.82	3.15	0.54	0.35	0.63
54h	0.97	1.96	0.78	1.01	0.77	2.57	1.99	0.87	1.07	1.63	2.35	0.77	0.54	1.07
60h	0.98	1.93	0.74	1.01	0.80	3.27	3.83	1.39	0.39	0.95	2.13	0.89	0.63	1.08
66h	0.95	1.89	0.81	0.97	0.84	3.89	5.88	0.88	1.17	3.31	2.18	1	0.59	1.22
72h	0.95	1.94	0.78	0.94	0.85	1.24	2.52	1.43	1.13	0.97	2.06	1.01	0.68	1.08

較 *None* 差；0625 梅雨個案四組實驗(*EPH*、*Drop*、*CGTS*、*SSMI*)皆優於 *None*。

(三) 降雨模擬結果

降雨模擬的討論只針對結果較佳之個案，因為天氣系統的位置不同直接影響降雨之分佈，接下來將分別討論 0625 梅雨個案、鳳凰颱風、薔蜜颱風模擬第二、三天的降雨模擬結果。降雨校驗評估方法：1. 偏倚評分 BS (Bias Score)，當 BS 值大於 1 時，表示模式過度預報(over prediction)；相反的，當 BS 值小於 1 時，表示模式預報不足(under prediction)。2. ETS 得分(Equitable Threat Score)，當 ETS > 0 表示有技術得分的預報，ETS = 1 表示完美的預報，ETS < 0 則是代表沒有技術得分的預報。依中央氣象局雨量分級定義：24 小時

累積雨量 0~1 mm 稱為小雨，1~50 mm 稱為中雨，50~130 mm 稱為大雨，130~200 mm 稱為豪雨，200~350 mm 稱為大豪雨，大於 350 mm 稱為超大豪雨。

1. 0625 梅雨個案

模擬第二天觀測降雨在台灣西南部〔圖 8(a)〕，最大雨量為 72 mm，五組實驗皆成功預報出正確降雨位置，但最大雨量都過大，尤其是 *EPH* 雨量最大值高達 269 mm〔圖 8(c)〕，*SSMI* 最大雨量值為 85 mm 最接近真實〔圖 8(d)〕。雨量校驗方面如表四，在中、小雨部分 *SSMI* 之 ETS 得分最高，ETS 得分最高有 0.52，大雨則為 *EPH* 之 ETS 得分最高(0.46)，BS 得分評估中，除了 *SSMI* 在中雨不足預報外，其他實驗皆為過度預報，*Drop* 和 *CGTS* 過度預報最大，其中 *EPH* 與 *SSMI* 降雨模

表四 0625 梅雨個案模擬第二天(Day2)和第三天(Day3)之 24 小時累積降雨預報得分。粗體表示 Equitable Threat Score 最高，陰影表示 Bias Score 大於 2 的過度預報

Day2	Equitable Threat Score					Bias Score				
Rainfall (mm)	1	5	10	20	50	1	5	10	20	50
<i>None</i>	0.21	0.33	0.33	0.26	0.21	1.24	1.43	1.48	1.34	1.05
<i>EPH</i>	0.28	0.30	0.38	0.50	0.46	1.25	1.44	1.37	1.14	0.79
<i>Drop</i>	0.12	0.17	0.23	0.29	0.33	1.76	2.17	2.17	2.05	1.18
<i>CGTS</i>	0.18	0.13	0.08	0.08	0.24	1.71	2.21	2.03	1.94	1.28
<i>SSMI</i>	0.30	0.52	0.52	0.52	0.34	0.85	1.06	1.05	0.94	0.48
Day3	Equitable Threat Score					Bias Score				
Rainfall (mm)	1	5	10	20	50	1	5	10	20	50
<i>None</i>	0.25	0.17	0.09	0.01	0.00	0.57	0.38	0.19	0.04	0.00
<i>EPH</i>	0.22	0.16	0.13	0.08	0.00	0.47	0.39	0.32	0.23	0.04
<i>Drop</i>	0.38	0.32	0.24	0.20	0.10	1.03	1.00	0.83	0.74	0.37
<i>CGTS</i>	0.42	0.41	0.40	0.43	0.38	1.08	1.25	1.22	1.38	1.35
<i>SSMI</i>	0.37	0.34	0.32	0.29	0.05	0.88	0.85	0.73	0.62	0.11

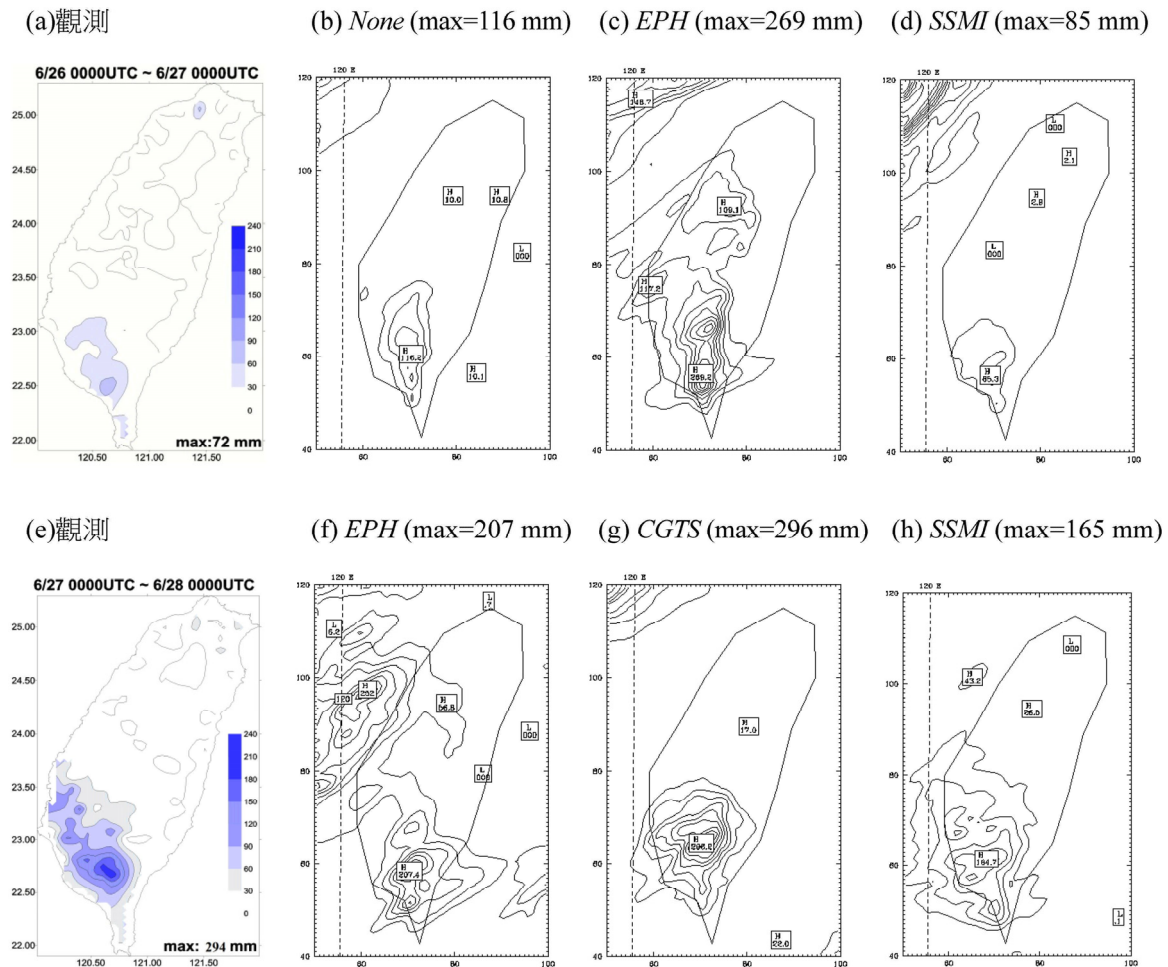


圖 8 0625 梅兩個案實驗模擬降雨量圖。(a)-(d)依序為觀測、None、EPH、SSMI 模擬第二天 24 小時(6 月 26 日 0000 UTC ~ 6 月 27 日 0000 UTC) 累積雨量，(e)-(h)依序為觀測、EPH、CGTS、SSMI 模擬第三天 24 小時(6 月 27 日 0000 UTC ~ 6 月 28 日 0000 UTC) 累積降雨量，觀測與模擬雨量等值線間距皆為 30 mm。

擬最佳。

模擬第三天觀測降雨一樣在台灣西南部〔圖 8(e)〕，最大雨量為 294 mm，五個實驗組中只有 None 沒有模擬出降雨(圖未示)，EPH 降雨位置偏東〔圖 8(f)〕，CGTS 與 SSMI 成功預報出正確的降雨位置〔圖 8(g)(h)〕，其中 CGTS 最大雨量為 296 mm 與實際觀測最接近。雨量校驗如表四在小、中雨都是 CGTS 之 ETS 得分較高(0.43)，SSMI 次之，BS 評分除了 CGTS 之外，其他實驗皆不足

預報，尤其是 None，其中以 CGTS 與 SSMI 降雨模擬最佳。

2. 鳳凰颱風

模擬第二天觀測降雨主要在東部和東北部地區〔圖 9(a)〕，最大降雨量為 464 mm，六組實驗模擬皆成功預報出降雨分佈。None、Drop、CGTS、SSMI 之結果在南部都有模擬出大量的降雨，但實際觀測南部並無降雨，只有 EPH 與 QSCAT 之結果接近於實際觀測〔圖 9(c)(d)〕，主

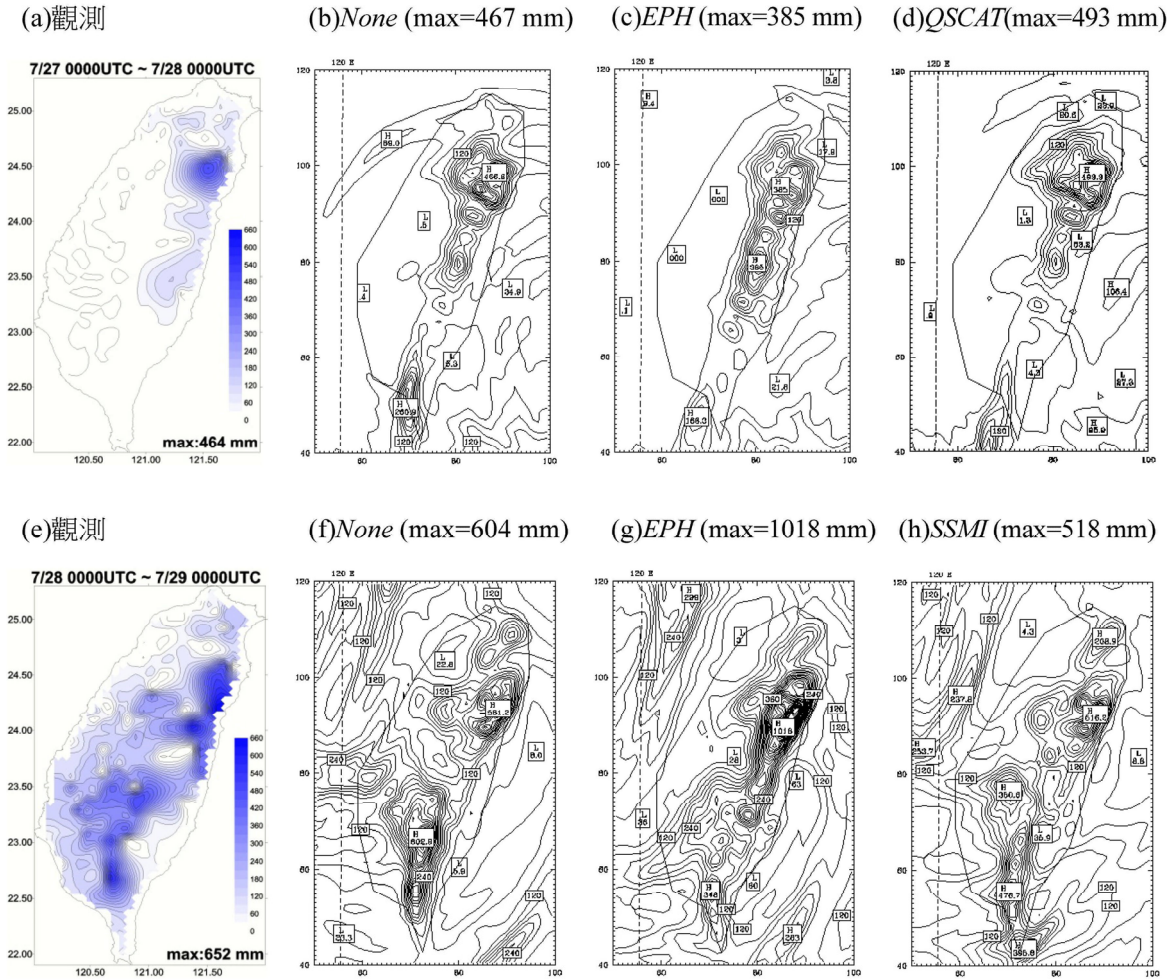


圖 9 鳳凰颱風實驗模擬降雨量圖。(a)-(d)依序為觀測、None、EPH、QSCAT 模擬第二天 24 小時 (7 月 27 日 0000 UTC ~ 7 月 28 日 0000 UTC) 累積雨量, (e)-(h)依序為觀測、None、EPH、SSMI 模擬第三天 24 小時 (7 月 28 日 0000 UTC ~ 7 月 29 日 0000 UTC) 累積降雨量, 觀測與模擬雨量等值線間距為 30 mm。

要因模擬出的颱風路徑準確度, EPH 與 QSCAT 登陸台灣的位置最接近於觀測, 其他實驗路徑稍微偏北, 使眼牆上的強對流降雨發生於南部地區, 而 EPH 與 QSCAT 路徑偏南使強降雨降在海面上, 實際觀測結果亦是如此。雨量校驗方面如表五, 中、大雨部分 EPH 之 ETS 得分最高, ETS 得分最高 0.45, 大豪雨則是 QSCAT 得分較高 (0.3), BS 得分評估中, 各個實驗皆有稍微高估之現象, 顯示 EPH 與 QSCAT 降雨模擬最佳。

模擬第三天觀測降雨分佈全台〔圖 9(e)〕, 主要降雨極值在東北部和南部山區, 最大降雨量為 652 mm, 六組實驗皆成功模擬出正確的降雨位置, 但南部山區的降雨皆偏大, 只有 EPH 與 SSMI 雨量值較接近於真實觀測〔圖 9(g)(h)〕, 推測因同化 SSM/I 與 GPS RO 資料使得南海附近濕度較 None 乾的影響。雨量校驗中如表五, SSMI 的 ETS 得分都較高, BS 得分評估中, 除了 SSMI 以外其他實驗在大豪雨皆為過度預報, 整體而言 SSMI

表五 同表四，為鳳凰颱風模擬第二天(Day2)和第三天(Day3)之 24 小時累積降雨預報得分

Day2	Equitable Threat Score								Bias Score							
Rainfall(mm)	1	5	10	20	50	130	200	350	1	5	10	20	50	130	200	350
<i>None</i>	0.03	0.04	0.25	0.30	0.28	0.23	0.22	0.29	1.03	1.00	1.06	1.32	1.51	1.31	1.07	1.07
<i>EPH</i>	0.01	0.15	0.35	0.42	0.36	0.45	0.28	0.15	0.92	0.86	0.93	1.19	1.26	1.51	1.16	0.85
<i>Drop</i>	0.06	0.28	0.32	0.15	0.23	0.17	0.21	0.29	1.06	1.05	1.17	1.58	1.60	1.65	1.24	1.70
<i>CGTS</i>	0.08	0.15	0.24	0.23	0.20	0.19	0.25	0.29	1.07	1.00	1.08	1.38	1.71	1.69	1.03	0.93
<i>SSMI</i>	0.08	0.03	0.06	0.12	0.18	0.15	0.18	0.21	1.07	1.16	1.37	1.74	1.61	1.45	1.19	1.22
<i>QSCAT</i>	0.05	0.15	0.23	0.38	0.35	0.33	0.28	0.30	1.05	1.06	1.02	1.27	1.42	1.25	0.83	0.89
Day3	Equitable Threat Score								Bias Score							
Rainfall(mm)	1	5	10	20	50	130	200	350	1	5	10	20	50	130	200	350
<i>None</i>	0.10	0.08	0.06	0.04	0.15	0.15	0.17	0.06	1.06	1.07	1.12	1.20	1.17	1.12	1.46	2.53
<i>EPH</i>	0.10	0.07	0.05	0.16	0.10	0.08	0.11	0.00	1.06	1.06	1.09	1.15	1.09	1.06	1.58	3.00
<i>Drop</i>	0.10	0.05	0.08	0.15	0.07	0.00	0.09	0.02	1.06	1.05	1.07	1.11	0.96	0.94	1.35	2.81
<i>CGTS</i>	0.10	0.09	0.06	0.03	0.01	0.12	0.14	0.02	1.06	1.07	1.11	1.18	1.21	1.36	2.14	6.86
<i>SSMI</i>	0.10	0.08	0.05	0.31	0.26	0.20	0.18	0.13	1.06	1.07	1.10	1.11	1.08	0.85	1.06	1.16
<i>QSCAT</i>	0.10	0.08	0.05	0.03	0.03	0.11	0.17	0.06	1.06	1.07	1.12	1.20	1.23	1.36	2.28	6.35

降雨模擬最佳。

3. 薔蜜颱風

模擬第二天觀測降雨在東部和東北部地區〔圖 10(a)〕，最大降雨量為 665 mm。因 *None*、*CGTS* 與 *SSMI* 模擬出的颱風路徑偏南，使降雨分佈在整個東部地區，其中 *EPH* 因錯誤之路徑預報，造成降雨位置與降雨量與實際觀測相差甚遠〔圖 10(b)〕，*Drop* 因颱風移動速度較快，颱風在模擬第二天已通過中央山脈，造成南部山區也有降雨〔圖 10(c)〕。BS 得分評估結果如表六，各組實驗在豪大雨部分皆過度預報，ETS 得分中、小雨為 *Drop* 較高(0.27)，主要是因為中南部的降雨只有 *Drop* 有預報到，豪、大雨以上則是 *CGTS* 得分較高(0.29)，其中以 *Drop* 與 *CGTS* 降雨模擬

最佳。

模擬第三天觀測降雨分佈全台〔圖 10(e)〕，主要降雨極值在南部山區，最大降雨量為 833 mm，只有 *Drop* 與 *CGTS* 有預報到南部山區的降雨〔圖 10(g)(h)〕，但雨量都過小，其他實驗因登陸後路徑預報的誤差，造成降雨位置預報錯誤〔如圖 10(f)〕，若以 *Drop* 預報第 24 小時與最佳路徑第 18 小時的颱風中心位置作比較，*Drop* 模擬出的降雨量與分佈位置和實際觀測最相近。因本日預報累積降雨量誤差較大，故省略雨量校驗之結果。

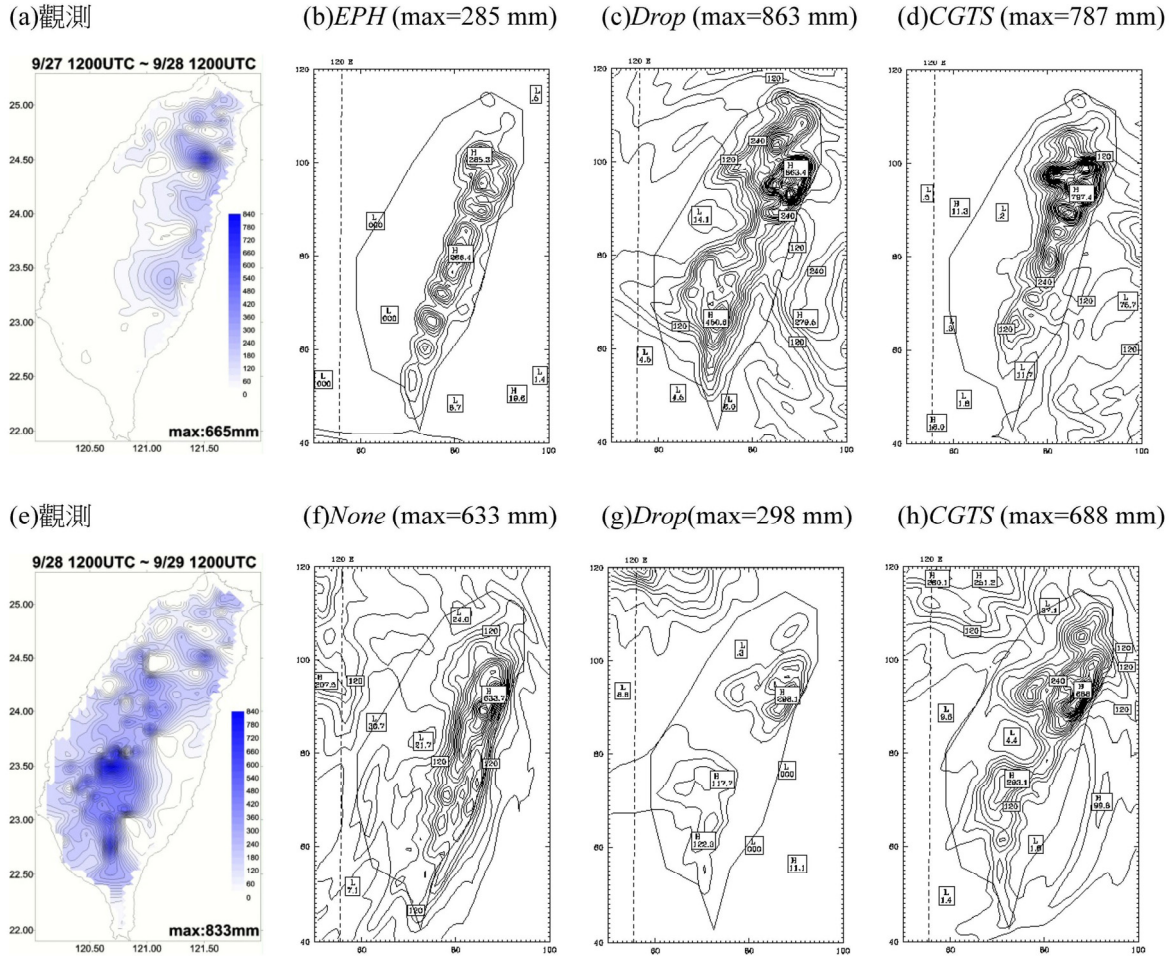


圖 10 薔蜜颱風實驗模擬降雨量圖。(a)-(d)依序為觀測、EPH、Drop、CGTS 模擬第二天 24 小時（9 月 27 日 1200 UTC ~ 9 月 28 日 1200 UTC）累積雨量，(e)-(h)依序為觀測、None、Drop、CGTS 模擬第三天 24 小時（9 月 28 日 1200 UTC ~ 9 月 29 日 1200 UTC）累積降雨量，觀測與模擬雨量等值線間距為 30 mm。

表六 同表四，為薔蜜颱風模擬第二天(Day2)之 24 小時累積降雨預報得分

Day2 Rainfall(mm)	Equitable Threat Score								Bias Score							
	1	5	10	20	50	130	200	350	1	5	10	20	50	130	200	350
None	0.04	0.00	0.00	0.01	0.14	0.24	0.15	0.05	1.02	0.89	0.82	0.80	0.97	2.12	4.54	12.67
EPH	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.18	0.12	0.00	0.64	0.56	0.52	0.49	0.47	0.64	1.02	0.00
Drop	0.10	0.10	0.11	0.18	0.27	0.15	0.10	0.07	1.06	1.06	1.07	1.12	1.32	2.73	5.98	11.20
CGTS	0.03	0.00	0.00	0.05	0.23	0.29	0.27	0.11	1.00	0.82	0.76	0.74	0.78	1.47	2.87	7.47
SSMI	0.09	0.00	0.00	0.04	0.14	0.24	0.15	0.04	1.05	0.96	0.89	0.83	0.92	2.08	4.55	14.47

四、FORMOSAT-3 GPS RO 觀測資料 測試

前面所作的模擬皆為同化單一觀測資料之實驗，為了更瞭解 FORMOSAT-3 GPS RO 觀測資料對於模擬的影響，將進行其他資料與 GPS RO 資料結合的實驗，探討 GPS RO 資料在結合觀測資料模擬實驗中所扮演的角色為何。另外一方面，增加 GPS RO 資料點數的模擬實驗，利用 cycling 的方法在模擬前 12 小時增加資料量，想藉此了解這個方法對模擬是否有幫助，以上的測試將選取模擬結果最佳的鳳凰颱風進行模擬討論。此外，在蕃蜜颱風個案模擬結果中發現 *EPH* 之模擬結果與其他實驗相差甚遠，將進行 GPS RO 觀測點位置敏感度的測試，希望瞭解誤差來源為何。

(一) GPS RO 與其他觀測資料結合同化

模擬實驗設計以 GPS RO 資料為主，分別同化兩種至五種的觀測資料，舉例來說：同化兩種觀測資料之實驗 *K2_ED* 表示同化表中 *EPH* 和 *Drop* 的資料，即同時同化 GPS RO 和 *dropsondes* 資料；同化三種觀測資料之實驗 *K3_EDC* 表示同時同化 GPS RO、*dropsondes* 和 *GTS* 資料；同化四種觀測資料之實驗 *K4_EDCS* 表示同時同化 GPS RO、*dropsondes*、*GTS* 和 *SSM/I* 資料；同化五種觀測資料之實驗 *K5_EDCSQ* 表示同時同化 GPS RO、*dropsondes*、*GTS*、*SSM/I* 和 *QuikSCAT* 資料，以此類推共有 15 組實驗。

以模擬路徑結果來看〔圖 11、圖 12、圖 13〕，15 組實驗皆相似於最佳路徑的走向。模擬第一天只有 *K2_EC* 和 *K3_EDC* 向西北移動，其他 13 組實驗皆相似於最佳路徑向西南移動，南北震盪現象仍存在，主要是因為同化多種資料後，對於颱

風中心強度變化並無改善。模擬第二天之後可將模擬結果大致上分為兩類，第一類為有同化 *dropsondes* 資料之實驗，第二類為無同化 *dropsondes* 資料之實驗。

第一類由鳳凰颱風模擬路徑圖〔圖 11、圖 12〕顯示，只要同時同化 GPS RO 與 *dropsondes* 的實驗結果皆較最佳路徑偏北，最佳路徑在模擬第 24 小時後開始轉向西北移動，但 *K3_EDS*、*K4_EDCS*、*K5_EDCSQ* 在模擬第 12 小時後就開始轉向西北方向移動，造成這三組實驗在模擬第 12 小時後誤差開始增大。其他有同化 GPS 和 *dropsondes* 的實驗個案在模擬第 24 小時之後都與最佳路徑相似向西北移動，但北偏的幅度皆大於最佳路徑，使誤差開始明顯增加，其中 *K3_EDC*、*K3_EDS*、*K3_EDQ* 北偏幅度較小，*K2_ED*、*K4_EDCS*、*K3_EDCQ*、*K4_EDSQ*、*K5_EDCSQ* 北偏幅度較大，使得模擬之颱風中心登陸台灣位置有很大的誤差，真實颱風在靜浦與長濱之間登陸，模擬結果則為在宜蘭與花蓮交界處登陸，其中 *K2_ED* 和 *K5_EDCSQ* 於東北角登陸，誤差最大。模擬第三天，真實颱風出海後轉為向北北西移動，各個模擬結果持續向西北移動，使第三天的誤差比第二天誤差小如表七。

第二類由鳳凰颱風模擬路徑圖〔圖 13〕顯示，無同化 *dropsondes* 資料的實驗路徑誤差較小如表七，其中 *K2_ES* 與 *K2_EQ* 模擬出的路徑較最佳路徑偏南，類似於 *EPH* 之結果，其他實驗則是較最佳路徑偏北，其中以 *K2_EC* 和 *K4_ECSQ* 結果最佳。模擬第一天誤差仍然較大，除了 *K2_ES* 向西北方向移動外，其他個案都向西南移動。模擬第二天 *K3_ECS* 與 *K3_ECQ* 向北北西移動，*K2_ES* 與 *K2_EQ* 則是向西移動，*K2_EC*、*K4_ECSQ* 與 *K3_ESQ* 向西北移動與最佳路徑相

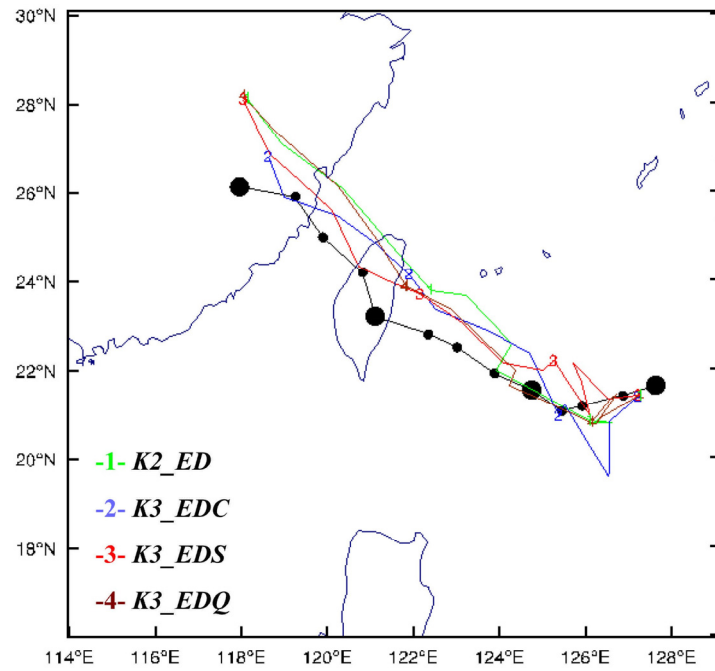


圖 11 鳳凰颱風最佳路徑 (圓點) 與模擬實驗之路徑圖。標記 1 為 $K2_ED$ 、2 為 $K3_EDC$ 、3 為 $K3_EDS$ 、4 為 $K3_EDQ$ 。每 24 小時標記一點。

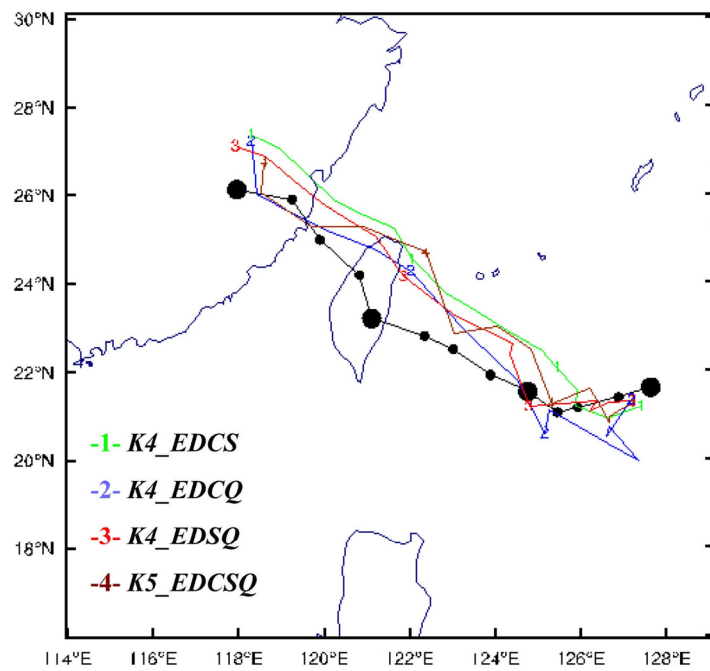


圖 12 鳳凰颱風最佳路徑 (圓點) 與模擬實驗之路徑圖。標記 1 為 $K4_EDCS$ 、2 為 $K4_EDCQ$ 、3 為 $K4_EDSQ$ 、4 為 $K5_EDCSQ$ 。每 24 小時標記一點。

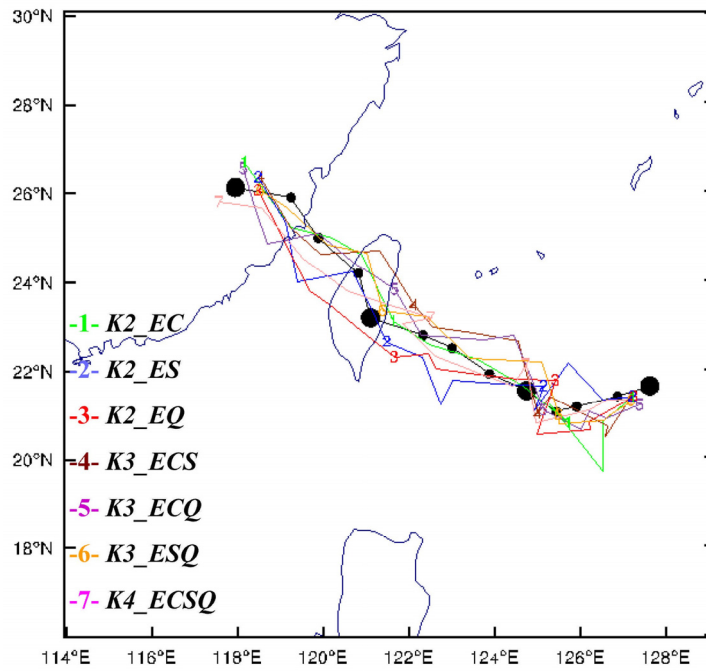


圖 13 鳳凰颱風最佳路徑 (圓點) 與模擬實驗之路徑圖。標記 1 為 K2_EC、2 為 K2_ES、3 為 K2_EQ、4 為 K3_ECS、5 為 K3_ECQ、6 為 K3_ESQ、7 為 K4_ECSQ。每 24 小時標記一點。

表七 鳳凰颱風第一類有同化 dropsondes 資料及第二類無同化 dropsondes 之實驗，模擬第一天(Day1)、第二天(Day2)、第三天(Day3)平均路徑誤差 (單位：公里)

第一類	K2_ED	K3_EDC	K3_EDS	K3_EDQ	K4_EDCS	K4_EDCQ	K4_EDSQ	K5_EDCSQ
Day1	104	93	65	116	60	111	51	69
Day2	132	98	115	100	149	92	112	135
Day3	149	70	109	157	131	82	108	85
第二類	K2_EC	K2_ES	K2_EQ	K3_ECS	K3_ECQ	K3_ESQ	K4_ECSQ	
Day1	102	62	79	60	77	46	67	
Day2	62	92	77	74	81	81	67	
Day3	56	66	98	56	66	63	44	

似。在登陸位置方面， $K3_ECS$ 和 $K3_ECQ$ 較偏北， $K2_EQ$ 偏南， $K2_EC$ 、 $K2_ES$ 、 $K3_ESQ$ 、 $K4_ECSQ$ 與實際觀測相似。颱風出海後只有 $K2_ES$ 實驗結果轉為向西南移動，其他實驗都與最佳路徑相同向西北移動。

在 GPS RO 和其他觀測資料結合同化實驗中可知 $K2_EC$ 和 $K4_ECSQ$ 的結果最佳，為了更加瞭解 GPS 所扮演的角色重要性，而外增加 $K3_CSQ$ 的實驗，即同時同化 GTS、SSM/I 與 QuikSCAT 的模擬實驗，將與 $K4_ECSQ$ 進行比較，結果顯示有同化 GPS 之 $K4_ECSQ$ 結果較無同化 GPS 之 $K3_CSQ$ 結果佳，結合 GPS 和 GTS 資料的模擬($K2_EC$)亦較分別單獨同化 GPS (EPH)或 GTS ($CGTS$)的結果好。

整體而言，GPS RO 資料對於模式模擬的結果有好的貢獻，若同時同化 dropsondes 資料，經過比較後發現同化 deopsondes 資料對於模式模擬的影響大於同化 GPS RO 資料，但在鳳凰颱風個案卻是負面的影響。不過在與其他資料結合模擬結果，有同化 GPS RO 則有明顯的改善，尤其是同時同化 GTS 資料，其次則是同化 SSM/I 資料，GPS RO 資料與這兩種資料同時同化的模擬結果最好。此外同化所有觀測資料的結果並不是最好的($K5_EDCSQ$)，資料之間的互相影響仍有很大的研究空間。

(二) GPS cycling run

利用 cycling 的方法在模式模擬前 12 小時增加 GPS RO 資料量，在模擬一開始同化 43 筆 GPS 觀測資料，模式積分到第 06 時將預報結果取出作為 WRFDA 的背景場，同化新的 GPS 觀測資料 (20 筆) 後的分析場當作模式初始場繼續積分，到了模擬第 12 時再重複上述動作，再次同化新的

GPS 觀測資料 (31 筆)。首先模擬只同化 GPS RO 資料的 cycling 實驗，簡稱為 EPH_CYC ，之後在將模擬結果最佳的 $K2_EC$ 和 $K4_ECSQ$ 作 GPS cycling 的實驗，分別簡稱為 $K2_EC_CYC$ 和 $K4_ECSQ_CYC$ ，其中其他觀測資料並無進行 cycling 的步驟，只在模擬一開始進行同化。

GPS cycling run 模擬實驗之路徑圖 [圖 14]，顯示模擬第一天的誤差仍存在，路徑誤差值都偏大，但第二天之後 $K2_EC_CYC$ 與 $K4_ECSQ_CYC$ 和最佳路徑相似，尤其是 $K2_EC_CYC$ ，皆向西北移動，路徑誤差皆在 100 km 以下。第三天兩組實驗更接近於真實觀測，路徑誤差皆低於 50 km。兩組實驗模擬結果皆優於原本無 GPS cycling 實驗之模擬($K2_EC$ 、 $K4_ECSQ$)，模擬路徑誤差亦隨模擬時間變化越來越小，表示 GPS cycling run 過程對於同時同化多種資料之模擬有好的貢獻，但 EPH_CYC 模擬的結果反而比 EPH 結果差，顯示於 cycling run 實驗中只同化 GPS 資料結果不佳，在經過與其他觀測資料的調整才有較好的結果。

(三) GPS RO 觀測位置敏感度實驗

由薔蜜颱風模擬路徑圖 [圖 7] 顯示 EPH 模擬結果誤差很大，初始時間 EPH 所定位的颱風中心較最佳路徑偏北，模擬開始後最佳路徑和其他實驗皆向西北移動， EPH 則向西北西移動，隨著時間變化 EPH 路徑與最佳路徑比較南偏越來越多，由風場增益量可知模擬的初始時間台灣附近之 GPS RO 資料點使台灣東側風場與 $None$ 增益量有向南的風向差異 (北風)，模擬第 6 個小時台灣東側風場的增益量依然有很明顯的向南的風向差異，其他實驗 ($Drop$ 、 $CGTS$ 、 $SSMI$) 與 $None$ 皆無向南的風向差異，由此可知台灣附近的資料應

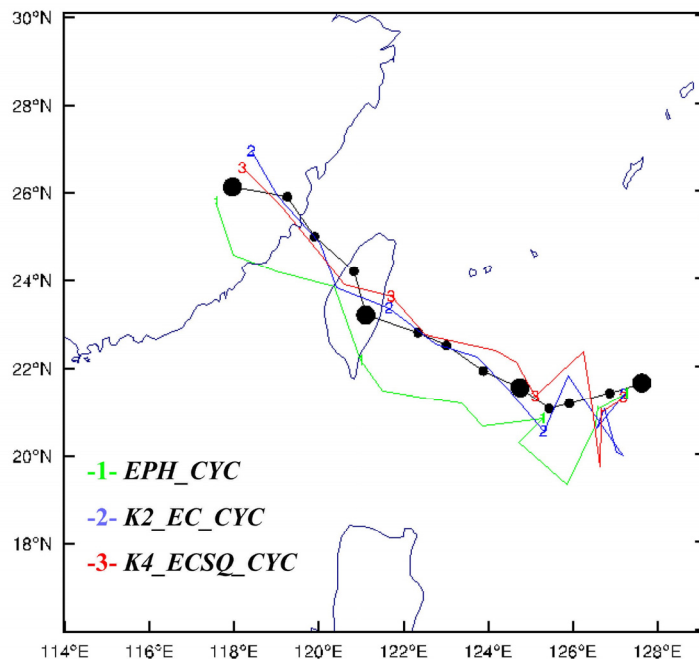


圖 14 鳳凰颱風最佳路徑(圓點)與 cycling run 模擬實驗之路徑圖。標記 1 為 EPH_CYC、2 為 K2_EC_CYC、3 為 K4_ECQS_CYC。每 24 小時標記一點。

該是造成模擬誤差之主因。

由薔蜜颱風同化 GPS RO 資料近地點(tangent point)之分佈圖〔圖 15〕, 共有 39 筆觀測, 其中台灣附近有四筆分別標記為 1 (33.31N, 124.18E)、2 (28.95N, 123.38E)、3 (30.70N, 115.96E)、4 (22.57N, 122.16E), 四筆資料的經緯度為掩星資料近地點位置。GPS RO 觀測位置敏感度測試實驗分別去除四筆中三筆, 如 P1 表示同化 1 和其他 35 筆 GPS RO 資料, 即沒有同化 2、3、4 的實驗; 除去四筆中兩筆, 如 P12 表示同化 1、2 和其他 35 筆 GPS RO 資料, 即沒有同化 3、4 的實驗; 除去四筆中一筆, 如 P123 表示同化 1、2、3 和其他 35 筆 GPS RO 資料, 即沒有同化 4 的實驗; 四筆皆去除的實驗稱為 N1234, 即只同化其他 35 筆 GPS RO 資料, 以此類推共有 15 組實驗, 加上單獨同化 4 的實驗稱為 ONLYP4, 藉

此可瞭解這四筆 GPS RO 觀測對於模式模擬結果之影響。

薔蜜颱風最佳路徑與 GPS RO 資料位置敏感度模擬實驗之路徑圖〔圖 16〕, 去除三筆觀測的模擬結果〔圖 16(a)〕, P1 結果最佳與 None 相似, 其次為 P3 和 P2, 最差的是 P4, 由此可知同化 4 會使模擬結果變最差。去除兩筆觀測的模擬結果〔圖 16(b)〕, 模擬結果皆較 None 差, P12、P13、P23 比 None 偏南, P14、P24、P34 和 EPH 結果相似, 與最佳路徑相差甚遠。去除一筆觀測的模擬結果〔圖 16(c)〕, 除了 P123 稍佳外, 其他實驗(P124、P134、P234) 皆與 EPH 結果相似。去除四筆和只同化 4 的模擬結果〔圖 16(d)〕, 結果顯示 N1234 模擬結果最佳, 優於 None, ONLYP4 的結果相似於 EPH, 甚至較 P4 結果差, 表示有同化其他 35 筆觀測資料對模擬結果仍有好的影

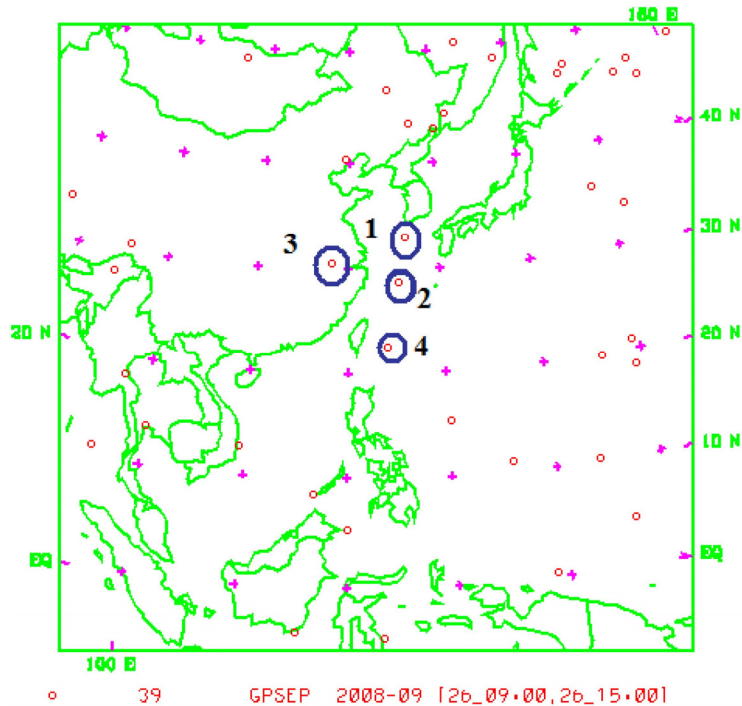


圖 15 蕃蜜颱風同化 GPS RO 資料點近地點分佈圖。其中特別標示數字的觀測點為敏感度實驗所測試的四筆 GPS RO 觀測資料。1 (33.31N,124.18E)、2 (28.95N,123.38E)、3 (30.70N,115.96E)、4 (22.57N,122.16E)。

響。綜合以上結果顯示去除四點所模擬出的結果最佳，其中只要有同化 4 結果都會變很差，造成的誤差幅度很大，其次是 2，造成的誤差幅度較小，同時同化 2、4 會使模擬結果變更差，對於模擬有負面的影響，當不同化 2、4 會有很明顯的改善，以上結果只有 *P1*、*NI234* 與最佳路徑相近。

觀測 4 在此模擬實驗影響最大，與附近的 *dropsondes* 觀測點作比較，此點在觀測值上並無問題，可能經過 WRFDA 的同化調整使此觀測點有負面的影響，此方面的影響因素有很多，同化資料系統和觀測資料之間的調整，觀測誤差以及背景誤差的設定，都會產生誤差，進入模式調整後也會有誤差，同時此點為颱風上游距離颱風最近的一觀測點，但真正的主要原因尚未釐清，能確定的是同化此點會有負面影響。

五、總結與未來展望

本研究使用 WRF 模式和 WRFDA 同化方法進行模擬。選取 2008 年五個天氣個案，分別同化 FORMOSAT-3 GPS RO 折射率資料、追風計畫投擲的 *dropsondes* 資料、SSM/I、QuikSCAT 衛星觀測資料與傳統觀測資料，探討五種不同觀測資料對模式初始場和數值天氣預報的影響。

初始場增益量受到每種資料的觀測位置所影響，修正量值的大小也因不同觀測資料而有所不同。GPS RO 資料點不固定，*dropsondes* 資料局限於台灣地區附近，SSM/I 和 QuikSCAT 在海面上才有資料，GTS 資料種類多分佈範圍廣，造成修正量的分佈上有很大的不同。濕度增益量方面，模式低層因同化 GPS RO、GTS、*dropsondes* 資料皆較無同化資料乾，同化 SSM/I 資料則有台灣以

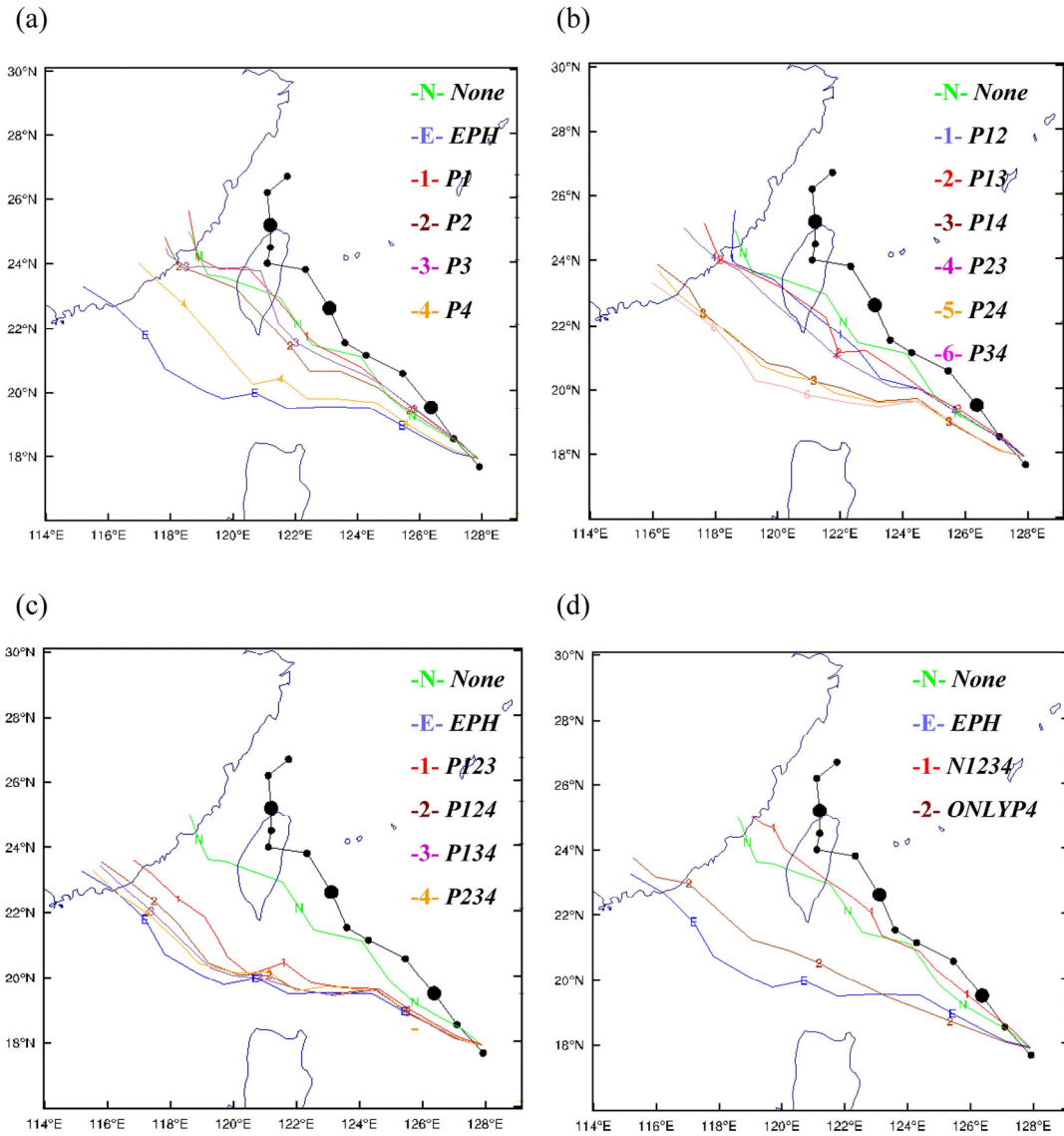


圖 16 薔蜜颱風最佳路徑 (圓點) 與 GPS RO 資料點敏感度模擬實驗之路徑圖。標記 N 為模擬實驗 *None*、E 為 *EPH*，(a) 去除 3 筆資料的模擬實驗，標記 1 為 *P1*、2 為 *P2*、3 為 *P3*、4 為 *P4*。(b) 去除 2 筆資料的模擬實驗，標記 1 為 *P12*、2 為 *P13*、3 為 *P14*、4 為 *P23*、5 為 *P24*、6 為 *P34*。(c) 去除 1 筆資料的模擬實驗，標記 1 為 *P123*、2 為 *P124*、3 為 *P134*、4 為 *P234*。(d) 去除 4 筆資料以及只有同化 4 的模擬實驗，標記 1 為 *N1234*、2 為 *ONLYP4*。每日 0 時標記符號。

北較濕、以南台灣較乾之現象，其中以同化 SSM/I 或 GTS 資料所修正的量值最大。溫度增益量方面，同化 GPS RO 資料在低、高層有增溫，中層則是降溫的現象，同化 GTS 資料在陸地上也有增溫的現象，同化其他觀測資料則因個案不同而異，以同化 GPS RO 和 GTS 修正量值最大。風速增益量方面則是同化 dropsondes 或 QuikSCAT 的修正量值最大。

個案模擬結果，0613 梅雨個案和卡玫基颱風模式模擬結果不佳，同化觀測資料後改善並不明顯。模擬 0625 梅雨個案，以同化 GPS RO 或 SSM/I 結果最佳，None 的模擬結果則最差。鳳凰颱風的模擬實驗皆與真實颱風相似，同化 GTS、SSM/I 或 QuikSCAT 皆較 None 結果佳，就登陸位置而言，各個實驗都比 None 佳。薔蜜颱風除了同化 GPS RO 資料後結果較差外，其他實驗在颱風登陸台灣之前的模擬都稍偏南，同化 dropsondes 模擬路徑預報最佳，但移速較真實路徑快 6 小時。整體來說，同化 GTS 或 SSM/I 資料模擬結果最佳，同化 QuikSCAT 資料也有改善路徑預報，同化 GPS RO 資料對路徑改善並不明顯，而有同化 dropsondes 資料的模擬，天氣系統的移速都比其他實驗來的快。

GPS RO 和其他觀測資料結合模擬結果方面，同時同化 GPS RO 和 dropsondes 的實驗結果都稍差，路徑都會比觀測偏北，比較後顯示同化 dropsondes 資料對於模式模擬的影響大於同化 GPS RO 資料，但在鳳凰颱風個案卻是負面的影響。然而，GPS RO 與其他觀測資料結合模擬中，有同化 GPS RO 則有明顯的改善。利用 cycling run 方法增加 GPS RO 資料筆數，當單獨同化 GPS RO 資料時對模式模擬結果反而變差，但在同時同化多種資料時卻有明顯的改善，即兩組模擬

(K2_EC_CYC、K4_ECSQ_CYC)結果皆優於原本無 GPS cycling 實驗的模擬。針對 GPS RO 資料位置的敏感度實驗，觀測 4 在此模擬實驗主導了整個模式的結果，對於模式有負面的影響，顯示颱風上游的觀測點對於模式模擬結果有很大的影響，一筆 GPS RO 資料就能對模式模擬的結果產生顯著影響。

本文所使用的多種觀測資料在資料量和分佈位置上有很大的不同，未來可以利用觀測系統模擬實驗(OSSE)來討論各種資料對於模式預報之影響，可以控制觀測資料點數的多寡、分佈位置、密集度與資料品質等，希望可以更了解不同觀測對於模式預報的影響。目前天氣預報模式對於短期對流尺度天氣系統的預報能力還是相當有限，加強的密集資料（如 GPS 地面觀測、雷達觀測）可以呈現中小尺度對流系統，如何結合這些資料同化至模式以增加模式的預報能力，值得未來進一步探討。

參考文獻

- 黃清勇、朱延祥，2004：FORMOSAT-3/COSMIC 科學研究簡介。大氣科學，第 32 期，第 3 號，293-328。
- 陳舒雅，2008：GPS 掩星觀測資料同化及對區域天氣預報模擬之影響。國立中央大學，大氣物理研究所，博士論文，共 137 頁。
- 簡芳菁、謝章眉，2008：投落送與 QuikSCAT 資料同化對 WRF 模擬之影響。大氣科學，第 36 期，第 3 號，217-247。
- 黃清勇、王潔如，2008：衛星遙測資料三維變分同化對於颱風模擬的影響。大氣科學，第 36 期，第 4 號，249-273。

- Chen, S.-Y., C.-Y. Huang, Y.-H. Kuo, Y.-R. Guo and S. Sokolovskiy, 2009: Typhoon predictions with GPS radio occultation data assimilations by WRF-VAR using local and nonlocal operators. *Terr. Atmos. Ocean*, **20**, 133-154.
- Huang, C.-Y., Y.-H. Kuo, S.-H. Chen, and F. Vandenberghe, 2005: Improvements on typhoon forecast with assimilated GPS occultation refractivity. *Weather and Forecasting*, **20**, 931-953.
- Kueh, M.-T., C.-Y. Huang, S.-Y. Chen, S.-H. Chen, and C.-J. Wang, 2009: Impact of GPS radio occultation soundings on prediction of Typhoon Bilis (2006) landfalling Taiwan. *Terr. Atmos. Ocean*, **20**, 115-131.
- 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
- Kuo, Y.-H., W. S. Schreiner, J. Wang, D. L. Rossiter, and Y. Zhang, 2005: Comparison of GPS radio occultation soundings with radiosondes. *Geophys. Res. Letter*, **32**, L05817, doi:10.1029/2004GL021443.
- 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**, 2365-2368.
- Sokolovskiy, S., Y.-H. Kuo, and W. Wang, 2005: Assessing the accuracy of linearized observation operator for assimilation of the Abel-retrieved refractivity: Case simulation with high-resolution weather model. *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 2200-2212.
- Ware, R., and Co-authors, 1996: GPS soundings of the atmosphere from low earth orbit: Preliminary results. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 19-40.
- Wu, C.-C., K.-H. Chou, P.-H. Lin, S. D. Aberson, M. S. Peng, and T. Nakazawa, 2007: The impact of dropwindsonde data on typhoon track forecasts in DOTSTAR. *Weather and Forecasting*, **22**, 1157-1176.
- 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.

Impact of GPS RO and Other Data Assimilation on Typhoon and Mei-yu Predictions in the Vicinity of Taiwan

Ching-Yuang Huang and Chia-Hsin Tso

Department of Atmospheric Sciences, National Central University

(manuscript received 13 September 2010 ; in final form 25 February 2011)

ABSTRACT

This study uses the Weather Research and Forecasting (WRF) model and its data assimilation system (WRFDA) to assimilate various observations (including FORMOSAT-3 GPS RO data, DOTSTAR dropsonde soundings, SSM/I, QuikSCAT, and GTS conventional soundings) for understanding the impact of these data on numerical weather prediction. Five cases in 2008, including two Mei-yu cases and three typhoon cases, are selected for this impact study.

The model initial increments show that assimilation with SSM/I data (both surface wind speed and precipitable water) or GTS data produces more humidity increments than those from other observations. Temperature increments, however, are larger for assimilation with GPS RO data or GTS data than other observations. Assimilation with dropsonde soundings or QuikSCAT data (near-surface oceanic wind velocity) obtains the most significant wind increments. Based on the results of Mei-yu and typhoon simulations, assimilation with GTS data or SSM/I data appears to give the best performance, while QuikSCAT data also have some improvement on typhoon forecasts. Assimilation with GPS RO data does not have a clear impact on typhoon track forecast. However, assimilation with GPS RO data or SSM/I data appears to give the improved performance for rainfall prediction. The simulation without assimilating observations in general gives the worst rainfall prediction.

Dropsonde soundings show more dominant impacts when the GPS RO data are also assimilated. In cycling experiments with the GPS RO data, significant improvement in prediction is also found in combination with other observations. From the sensitivity tests, single GPS RO sounding in the vicinity of typhoon circulation may have a considerable impact on typhoon prediction.

Key Words: Typhoon, WRF, GPS RO