

福衛三號及其他觀測資料同化對台灣地區颱風和梅雨模擬之影響

黃清勇 莊嘉欣

國立中央大學大氣物理研究所

摘要

本文使用WRF模式和三維變分資料同化方法，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於數值天氣預報的影響。此外，持續針對2009年五個颱風個案進行同化GPS RO觀測資料實驗。

由2008年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對颱風路徑改善並不明顯，而同化投落送資料模擬的天氣系統移速較快。針對2009年的颱風個案同時比較GPS RO 資料 local operator(REF) 和 nonlocal operator(EPH)對颱風預報的影響，整體而言，同化GPS RO nonlocal operator資料的結果優於同化GPS RO local operator資料。莫拉克颱風模擬結果顯示，有同化GPS RO資料在路徑和雨量預報上皆優於沒有同化GPS RO資料。

一. 前言

福爾摩沙衛星三號(FORMOSAT-3 / COSMIC) 氣象研究目標主要在充分使用GPS 掩星觀測資料同化於預報模式，藉以了解其對區域天氣預報及全球分析或預報改善之程度。

目前在GPS 資料同化研究上係以三維、四維變分(3DVAR、4DVAR)為主軸。Zou et al. (1995)和 Kuo et al. (1997)發現如果將大氣的折射率同化至模式中，會有助於模式對溫、溼度的掌握，因此對預報的結果有相當正面的影響。黃等人(2009)、Chen et al. (2009) 及 Kueh et al. (2009) 同化數點至數十點不等的COSMIC 折射率探空，發現對侵台颱風路徑及雨量預報皆有正面的影響。Cururull(2007,2008)與 Cururull et al. (2007)亦使用 NCEP 之全球預報作業模式，利用 GSI

3DVAR 來同化折射率及局地偏折角，亦得到正面的效益。本文著重於區域模式同化模擬，以使用 WRF 為模擬工具，進行 WRF 3DVAR 同化福衛三號及其他觀測資料之研究。

二. 研究方法

2008 年的實驗模擬採用數值天氣預報模式為 WRF 2.2 版，選取 2008 年 6 月 13 日和 6 月 25 日兩個梅雨個案，三個颱風個案，卡玫基(Kalmaegi)、鳳凰(Fung-Woug)、薔蜜(Jangmi) 颱風同化五種不同觀測資料進行討論。2009 年的颱風個案則是為了比較 GPS RO 資料 local operator(REF)和 nonlocal operator(EPH) 對颱風預報的影響，同時使用 WRF 2.2 版和 WRF 3.1 版進行模擬，選取的颱風個案為莫拉菲(Molave)、芭瑪(Parma)和米勒(Melor)、盧碧(Lupit)颱風。模式設定皆為三層槽狀網格，解

析度分別為 45 km、15 km、5 km，水平網格數以及垂直分層隨不同個案有所不同。模式中加入 NCEP GFS (Global Forecast System)資料做為模式的初始氣象場，其解析度為 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ ，所有個案皆使用 WRF 3DVAR 資料同化方法進行模擬。

三. 模式模擬結果討論

(1).2008 年侵台之颱風和梅雨

2008年兩個梅雨事件(0613、0625)和侵襲台灣的三個颱風個案(卡玫基、鳳凰、薔蜜)，分別同化FORMOSAT-3 GPS RO 折射率資料(EPH)、追風計畫投擲的 dropsonde 資料(Drop)、SSM/I(SSMI)、QuikSCAT衛星觀測資料(QSCAT)與CWB提供的傳統觀測資料GTS(CGTS)，以及無同化資料的控制組實驗(None)共六種實驗。

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資料點不固定，dropsonde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、GTS、dropsonde資料皆較無同化資料乾，同化SSM/I資料則有台灣以北較濕、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，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

測資料的結果是否較控制組佳，表1為三個颱風個案每個實驗模擬路徑誤差與None路徑誤差的比值。卡玫基颱風模擬結果，EPH、CGTS、SSMI、QSCAT皆較None佳，Drop則較None差。鳳凰颱風模擬結果，CGTS、SSMI、QSCAT皆較None佳，EPH、Drop則較None差。薔蜜颱風模擬結果，CGTS、Drop較None佳，SSMI與None相似，EPH較None差。梅雨個案模擬方面，0613梅雨只有SSMI與None結果相似，EPH與CGTS較None差，0625梅雨四組實驗(EPH、Drop、CGTS、SSMI)皆優於None。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，表示水氣和風場的修正對模擬結果很重要。同化GPS對路徑改善並不明顯，同化dropsonde 天氣系統的移動度速較其他實驗快。

降雨模擬方面，取三個結果較佳的個案(0625梅雨、鳳凰颱風、薔蜜颱風)進行討論，模擬第二天累積降雨預報中同化GPS的結果最佳，第三天則是同化SSM/I，同化dropsonde或GTS的結果次之，沒有同化任何觀測資料(None)的降雨預報較差，表示水氣的修正對降雨模擬有正面影響。此外，GPS資料分佈位置和數量不固定，影響模擬結果的程度也不同，不過在水氣修正方面對模式有正面的影響。

(2).2009 年侵台之颱風

同時比較GPS RO 資料 local operator(REF)和 nonlocal operator(EPH) 對颱風預報的影響，針對 2009 年的颱風個案同時使用 WRF V2.2 和 WRF V3.1 進行模擬。莫拉菲模擬初始時間為 7/16 0000UTC，盧碧颱風模擬初始時間為 10/21 0000UTC 和 10/22 0000UTC，芭瑪和米勒颱風同時進行模擬(同為一個模擬實驗)模擬初始時間為 10/2 0000UTC 和 10/3 0000UTC，皆模擬 72 小時，分別同化了 18~45 筆 GPS RO 資料點。模擬實驗設計 V2_nogps

和 **V3_nogps** 表示未同化 GPS RO 資料，WRF 模式分別為使用 V2.2 和 V3.1，**V2_EPH** 表示使用 WRFV2.2 同化 GPS RO nonlocal operator (EPH) 資料，**V3_REF** 表示使用 WRFV3.1 同化 GPS RO local operator (REF) 資料。

同樣為了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 (**V2_EPH**、**V3_REF**) 和控制組 (**V2_nogps**、**V3_nogps**) 路徑誤差計算比值，比較同化觀測資料的結果是否較佳，表 2 為莫拉克、芭瑪、米勒、盧碧颱風個案每個實驗路徑誤差的比值。莫拉菲颱風的模擬結果，同化 EPH 結果第一天模擬優於 **V3_nogps**，模擬第二天之後則是較沒有同化 GPS RO 資料差，其中以 **V2_nogps** 較佳，**V3_REF** 較差。芭瑪颱風初始時間為 10/2 0000UTC 之模擬結果，第 48 小時之前預報路徑走向與最佳路徑相似，第 48 小時後接觸陸地路徑預報開始有較大不同，其中 **V3_nogps** 的預報結果最佳，同化 REF 資料結果較差。初始時間為 10/3 0000UTC 之模擬結果，模擬第一天模擬結果皆與最佳路徑走向相近，但登陸位置較最佳路徑偏北，路徑誤差都在 100 公里以下。模擬第二天，最佳路徑在呂宋島東北部登陸後持續向西北移動，進入巴士海峽後中心呈現滯留打轉，模擬實驗結果都是快速轉向東北方向移動，往台灣東部外海移動，路徑誤差開始快速增加，有高達 650 公里的誤差，其中 **V2_EPH** 結果較佳，但仍與最佳路徑相差甚遠。此時太平洋海面上還有米勒颱風，模式模擬出的結果有受到米勒颱風影響向北遷移，但實際上颱風是滯留於巴士海峽。

米勒颱風初始時間為 10/2 0000UTC 之結果，真實颱風向西移動，模擬結果皆向西移動，但較為偏北，不論有無同化 GPS RO 資料對模式模擬影響不大，主要是因為在此颱風附近資料點很少，模擬第一天誤差都在 100 公里

以下，第二天 **V3_nogps** 和 **V3_REF** 的預報較優於 WRF V2.2 的實驗結果，誤差也都控制在 150 公里上下。初始時間為 10/3 0000UTC 的結果與 10/2 的結果一樣，有無同化 GPS RO 資料對結果沒有什麼影響，最佳路徑往西北方向移動，預報結果都北偏過多。

盧碧颱風初始時間為 10/21 0000UTC 之結果，最佳路徑在模擬前兩天往西南方向移動，到了第三天轉向東北方向移動，有大幅度的轉向，模擬結果也有類似的結果，但在轉向過程中移動較緩慢，與最佳路徑約有六小時誤差，其中 **V2_EPH** 的結果較差。第 48 小時之前路徑誤差都在 50 公里上下，轉向後 **V2_EPH** 誤差開始增加到達 300 公里，其他實驗則是在 150 公里左右，此個案有同化 GPS RO 資料的預報較無同化來的差。初始時間為 10/22 0000UTC 的預報結果，颱風轉向後持續往東北方向移動，模擬結果較 10/21 結果差，轉向都沒有預報出，只有類似旋轉的結果，但之後仍類似最佳路徑向東北移動。其中 48 小時之前 **V2_EPH** 結果最佳，模擬最後一天則是 **V3_nogps** 的模擬結果較佳。

整體而言同化 GPS RO nonlocal operator (EPH) 資料改善較明顯，同化 GPS RO local operator (REF) 資料改善較不明顯。

(3). 莫拉克 (Morakot) 颱風個案

莫拉克颱風於 2009 年 8 月 4 日在菲律賓東北方約 1000 公里海面上生成，5 日轉向西北方向移動，移速仍然緩慢，暴風圈已籠罩台灣各地，23 時 50 分左右在花蓮市附近登陸，8 日 14 時左右於桃園附近出海，並繼續向北西緩慢移動。受颱風外圍環流和西南氣流影響，連日超大豪雨造成南部嚴重水患，包括淹水、土石流、道路中斷，截至目前為止計有 461 人死亡，192 人失蹤，農業產物估計損失及民間設施毀損計 158 億 10 萬元。

這部分實驗是採用數值天氣預報模式為

WRF3.1 版以及 3DVAR 資料同化方法進行模擬，選取不同初始時間，一為 8/6 0000 UTC(同化了 13 筆 GPS RO 資料點)，二為 8/6 1200 UTC (同化了 27 筆 GPS RO 資料點)，皆模擬 72 小時，實驗分為有同化 GPS RO 資料稱為 **GPS**，以及沒有同化 GPS RO 資料稱為 **NOGPS**。模擬結果如圖 1，(a)為初始時間 8/6 0000 UTC，結果顯示在模擬第一天有無同化 GPS RO 資料差異不大，兩者都很接近於最佳路徑，到了模擬第二天最佳路徑持續向西走登陸台灣，**NOGPS** 在第 24 小時就開始東北方向轉，**GPS** 在此則是向西北方向轉，相較之下 **GPS** 結果較優於 **NOGPS**，但都沒有登陸台灣。(b)為初始時間 8/6 1200 UTC，模擬第一天 **NOGPS** 較最佳路徑偏北，**GPS** 則是與最佳路徑相近，模擬第二天真時颱風在花蓮外海有轉則向北北西移動登陸台灣，模擬結果也有類似的轉折，但轉折位置都在台灣東南部，**GPS** 在此處直接登陸台灣後向北移動，**NOGPS** 則是沿著東部海岸線向北移動。兩個初始時間不同模擬作比較，8/6 0000 UTC 結果優於 8/6 1200 UTC。選取初始時間為 8/6 0000 UTC 的預報結果，進行 72 小時總雨量的比較(圖 1(c))，實際觀測雨量極值集中在南部山區，其次是中部山區，總雨量高達 2403.5 mm，兩個模擬實驗的主要降與位置都與實際觀測相同，但總雨量上都高估了，**GPS** 的結果較接近於觀測。

四. 總結與未來展望

本文使用 WRF 模式和 3DVAR 資料同化方法進行模擬，針對 2008 年兩個梅雨事件和侵襲台灣的三個颱風個案，探討五種不同資料對數值天氣預報的影響。2009 年三個颱風個案則是探討同化 GPS RO 資料 local operator(REF) 或 nonlocal operator(EPH) 對颱風預報的影響。

由不同觀測資料對數值天氣預報的結果

顯示，同化 SSM/I 或 GTS 對初始場濕度修正量比同化其他觀測資料大，溫度修正量方面則是同化 GPS 或 GTS 修正量較多，同化 dropsonde 或 QuikSCAT 在風速修正量值最為顯著。個案模擬結果，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 對路徑改善並不明顯，同化 dropsonde 天氣系統的移速都比其他實驗來的快。降雨模擬方面，累積降雨預報中同化 GPS 或 SSM/I 結果較佳，上述結果顯示觀測資料點的分佈和水氣、風場的修正對模擬結果很重要。

在比較 GPS RO nonlocal operator (EPH) 和 GPS RO local operator (REF) 對模式模擬影響方面，因不同個案有不同的結果，但整體而言同化 EPH 資料改善較 REF 資料多。莫拉克颱風的實驗持續顯示同化 GPS RO 資料對於數值天氣預報有明顯的改善。在未來會持續針對 2010 的梅雨和颱風個案進行同化 GPS RO 資料對模式預報影響的實驗。

五. 參考文獻

- 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，**36**，249-274。
- 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.
- Cururull, L., Operational use of COSMIC observations at NOAA. Second FORMOSAT-3/COSMIC Data Users Workshop, October, 22-24, 2007, UCAR, Boulder, CO.
- Cucurull, L., J. C. Derber, R. Treadon, and 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.

Kueh, M.-T., C.-Y. Huang, S.-Y. Chen, S.-H. Chen and C.-J. Wang, 2008: 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

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.

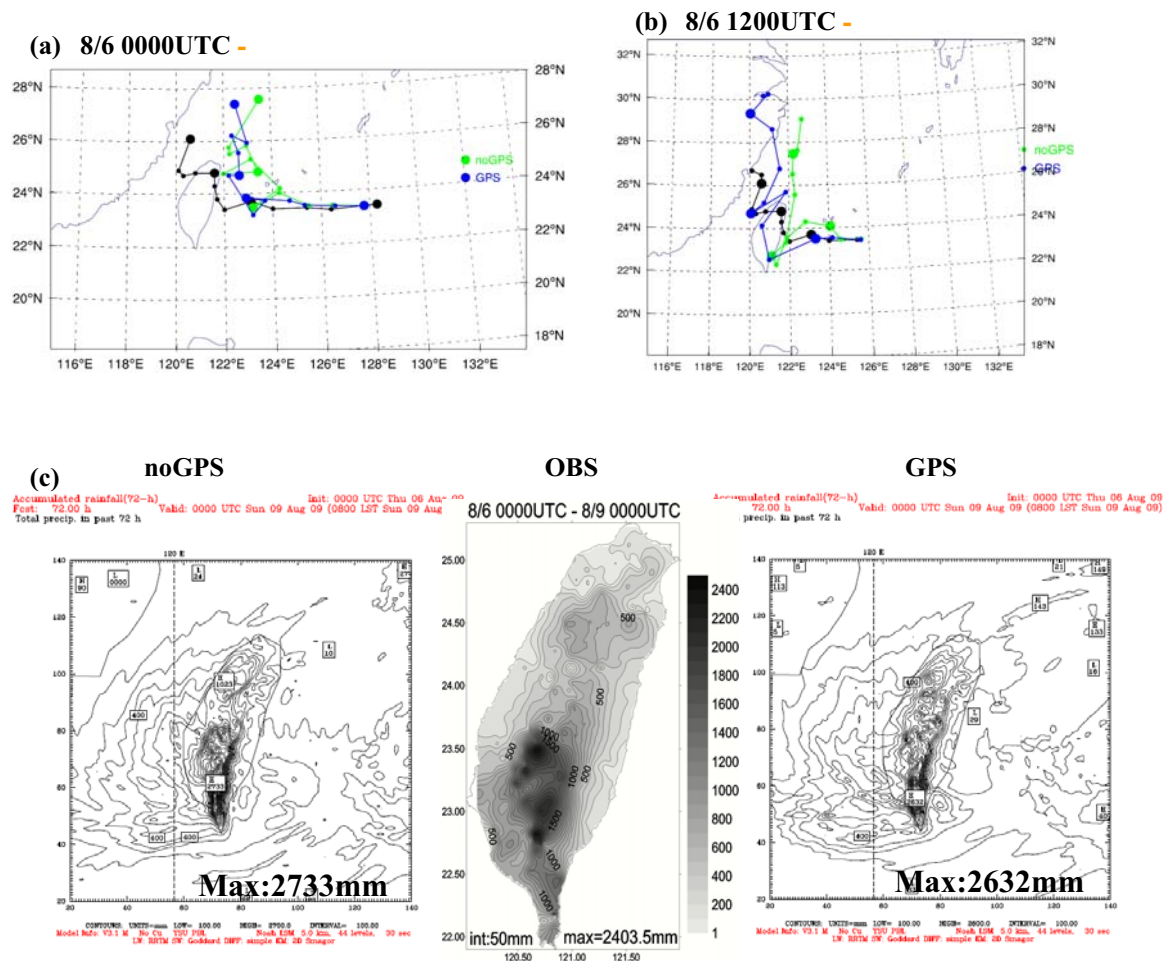


圖 1. 莫拉克颱風(2009)模擬實驗之路徑圖(a)、(b)。(c)為模擬初始時間為 8/6 0000UTC 預報結果之 72 小時累積雨量圖。

表 1. 2008 年三個颱風個案實驗組(EPH、Drop、CGTS、SSMI、QSCAT)和控制組(None)預報路徑誤差的比率(實驗組/控制組)。陰影值為較佳。

	Kalmaegi					Fung-Wong					Jangmi			
	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

表 2. 2009 年四個颱風個案實驗組(V2_EPH、V3_REF)和控制組(None)預報路徑誤差的比例(實驗組/控制組)。陰影值為較佳。

	Molave		Parma_02		Parma_03		Melor_02		Melor_03		Lupit_21		Lupit_22	
	EPH	REF	EPH	REF	EPH	REF	EPH	REF	EPH	REF	EPH	REF	EPH	REF
0h	0.95	0.97	0.96	1.04	1.00	1.00	0.99	0.33	0.63	0.17	1.03	1.05	0.99	1.03
6h	0.78	1.07	0.89	1.23	0.98	0.99	0.82	0.36	0.99	0.33	1.67	1.19	1.07	1.02
12h	0.47	1.45	1.67	1.25	0.99	0.98	1.48	1.50	0.82	0.36	1.03	1.04	0.82	1.02
18h	0.53	1.01	1.60	7.37	0.79	1.67	1.13	0.87	1.48	1.50	0.59	1.04	0.74	0.96
24h	5.45	0.38	2.46	1.77	0.81	1.22	0.92	0.99	1.13	0.87	0.58	1.36	0.88	1.07
30h	1.87	0.55	0.92	0.67	0.68	1.10	1.03	1.07	0.92	0.99	1.25	0.81	0.77	1.04
36h	2.01	1.23	0.77	1.14	0.69	1.21	1.09	1.06	1.03	1.07	3.44	1.60	0.80	1.03
42h	1.77	1.14	1.10	1.23	0.74	0.93	1.15	1.12	1.09	1.06	9.84	0.28	0.88	1.01
48h	1.24	1.32	1.62	2.41	0.83	1.12	1.15	1.13	1.15	1.12	2.94	0.90	0.87	1.04
54h	1.37	1.26	0.90	2.70	0.89	1.04	1.17	1.18	1.15	1.13	1.88	0.93	0.72	1.39
60h	1.38	1.46	0.96	2.41	0.92	1.00	1.16	1.21	1.17	1.18	2.52	0.20	0.80	1.45
66h	0.85	1.60	1.24	2.20	0.95	1.09	1.12	1.22	1.16	1.21	10.96	1.41	0.88	1.65
72h	0.78	1.59	1.00	1.97	1.03	1.03	1.42	1.00	1.12	1.22	2.71	1.43	0.90	9.34