

颱風定量降雨技術發展與改進

于宜強、鄭兆尊、林李耀

國家災害防救科技中心

摘 要

台灣地區 7~10 月為颱風季節，分析颱風災害致災主因多為豪大雨引發的淹水與坡地災害。過去因應防災需求積極開發颱風定量降雨預報技術，其中包括了颱風氣候法與動力模式的定量降雨估計。颱風數值預報主要誤差的來源仍存在於數值預報的路徑、移動速度、颱風結構與降雨物理過程等等。NCDR 也針對改進定量降雨的誤差，發展出可供預報人員和防災人員使用的颱風路徑修正方法，改善定量降雨預報的品質。雖可以有效改善預報結果，但是仍有許多颱風個案無法獲得有效改善，說明此方法仍有不穩定的問題。本研究中，利用多模式定量降雨系集預報實驗平台的結果，進一步瞭解此方法限制與提出改良的想法，作為持續發展的依據。

一、前言

台灣地區主要的天然災害以颱風事件最為嚴重，根據氣象局的預報資料顯示平均每年發布警報次數 3~4 次，颱風中心直接登陸次數為 1~2 次。過去十年 (2001~2010) 因為颱風事件死亡或失蹤的總人數合計為 1258 人 (消防署, 2011)。分析過去颱風災害的成因，多為颱風期間所引發之豪雨導致淹水、山洪爆發、土石流、坡地大崩塌、道路坍方及斷橋等等，危害民眾生命財產。在防災工作，如何掌握及推估災害規模完全取決於雨量的估計與預測能力。

因應災害防救的需求的殷切，氣象局與 NCDR 過去積極尋求定量降雨技術的突破 (洪等, 2006; 簡等, 2006; Lee et al. 2006)，當中包括了颱風降雨氣候法推估系統的開發與動力數值預報模式的定量降雨估計，逐步建立台灣地區定量降雨技術與能

力。分析颱風數值預報成果的誤差，發現主要誤差的來源仍存在於數值預報的路徑、移動速度、颱風結構與降雨物理過程等等。但颱風降雨氣候法雖可以快速修正颱風路徑誤差，因為方法概念是利用颱風登陸時降雨平均的特性，無法有效掌握颱風極端降雨訊號。根據莫拉克 (2009) 的防災經驗，重大的災害發生，多為極端降雨事件所造成，在氣象資料中多屬於特例，也是防災工作最需要突破的瓶頸。于等(2010)整合氣候法與動力模式之優點改進現行定量降雨技術，提供颱風應變期間可以供預報人員與防災應變人員操作的定量降雨估計方法。此方法以獲得初步驗證，同時也技術轉移給氣象局開發颱風定量降雨預報系統 ETQPF。在 NCDR 過去颱風應變期間使用的經驗中，仍有一些的問題需要突破。

近年台灣地區在颱風中心召集下，啟動

『多模式定量降雨系集實驗平台計畫』，整合國內各作業單位、學術界具有相關技術實驗室及專家合作。在多模式資料提供下，考慮改進上一代定量降雨技術，本文為 NCDR 後續研究工作，透過此多模式資料希望瞭解該方法的限制與精進構想的開發。本文內容分為單一模式方法說明與評估，多模式結果評估及結論。

二、單一模式方法介紹與評估

由於 NCDR 並非氣象預報作業單位，並沒有足夠的電腦資源可以進行數值天氣預報作業，當時從事數值預報的發展僅為了應變技術研發的需求，因此僅能勉強維持一組例行數值預報作業系統運作。模式架構設定為三層：解析度分別為 45 公里、15 公里及 5 公里。時間積分間距為 225 / 75 / 25 秒；積分 72 小時；預報時所使用之全球初始場與邊界條件為 NCEP GFS 的分析與預報場資料。物理參數化的選擇，邊界層參數化使用 Yonsei University (簡稱 YSU, Hong and Pan 1996)、微物理參數化過程使用 WRF Single - Moment 5-Class (簡稱 WSM5, Hong et al. 2004) 及積雲參數化使 Kain-Fritsch (簡稱 KF, Kain and Fritsch 1990; 1993)，其他參數部分，長波輻射參數法為 RRTM scheme、短波輻射參數法為 Dudhia scheme、地表過程為 Monin-Obukhov scheme、陸地地表部分為 5-layer thermal diffusion。每日例行的數值預報系統，每日進行 00UTC、06UTC、12UTC 及 18UTC 四次預報。

首先為了瞭解數值預報系統在颱風期間

作業化能力，針對 2007~2009 年台灣地區致災颱風個案進行模擬系統評估 (8 個颱風個案、13 個日豪雨事件)。根據 Yaun et al. 2009 研究說明，我們例行的颱風定量降雨預報系統可以提供每日定量降雨 8 組不同初始的系集成員，透過 NCDR 單一模式亦可以建置簡單系集預報系統。上述每個颱風個案的系集預報中發現，系集平均的誤差比個別成員預報的結果誤差小。但是，極端降雨事件會因為進行系集平均，因而低估。分析所有系集成員預報誤差的來源發現，當模擬颱風中心誤差越大時，模擬結果的誤差就越大 (如圖 1)。

圖 1 為降雨結果與颱風路徑預報之關係，橫軸為颱風中心預報誤差，數字小表示誤差越小，上圖為 Pattern Correlation 數值越大表示雨量預報結果越好，下圖為 RMSE 均方根誤差值越大代表結果越差。說明在颱風期間當定量降雨與路徑預報的好壞有相當直接關連。

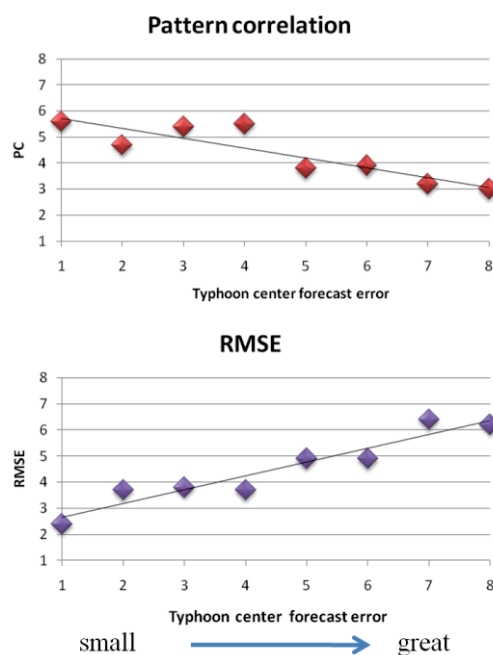


圖 1、降雨預報與路徑預報之關係。

上述颱風定量降雨預報結果較差計有辛樂克颱風與卡玫基颱風。根據于等人(2010)改進颱風期間定量降雨預報能力的研究，使用 WRF 模式作為定量降雨預報的基礎，利用氣候法可以任意選擇路徑的優點開發出應變期間可以修正路徑或進行災害管理評估的系統，作業流程如圖 2。利用此方法進行辛樂克與卡玫基颱風個案模擬。

首先檢視颱風路徑預報，發現颱風預報路徑與實際路徑有明顯的差異，圖 3 (左下) 為卡玫基颱風預報路徑比較，綠色部分為颱風路徑系集平均結果，紫色為颱風實際路徑，卡玫基實際是以氣象局分類之第二路徑通過台灣北部陸地。因此，颱風實際觀測主要降雨區(圖 3 右上)發生在台灣南部地區，系集預報(如圖 3 左上)的主要降雨則發生在台灣北部地區，且預報降雨量也比實際明顯偏小。

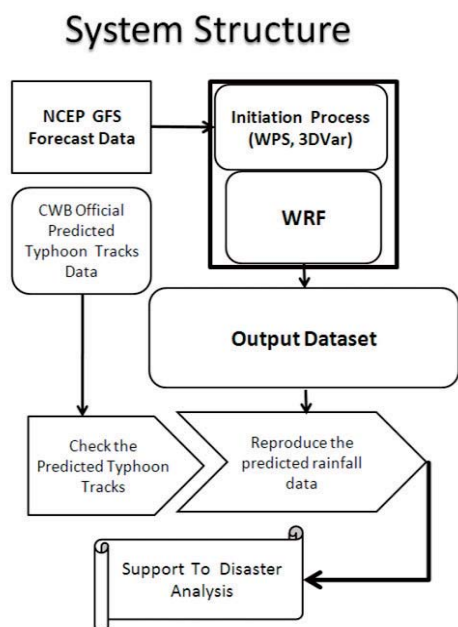


圖 2、颱風降雨預報模式改進方法架構。

使用于等(2010)發展的方法，利用每 12

小時颱風實際位置進行路徑修正(如圖中紅色)，修正後的降雨(右下)分布明顯與觀測較為接近，同時降雨強度也明顯增加，證明此方法，有助於每日定量降雨預報改進。辛樂克颱風亦有相同的結果，當路徑獲得大幅度修正之後豪雨當日定量降雨預報的分布與強度均可以得到較理想的改進。

三、多模式結果評估

過去的研究，都是使用單一模式進行。單一模式因為僅有單一物理組合，不一定符合每一個颱風的特性。因此，在部分颱風預報結果中，出現路徑修正後仍無法獲得更好的降雨預報結果。分析其中原因，發現與預報颱風路徑的系統性誤差以及模式物理過程有關。有些颱風預測的軌跡呈現與實際路徑完全不一樣的結果，與實際路徑相距相當遠無法進行路徑修正。或是，因為物理過程的不適合，出現預測颱風結構與實際颱風結構有明顯差距，都是修正方法無法有較好的表現的主要因素。

颱洪中心 2010 年開始積極推動颱風定量降雨系集預報實驗平台，提供了相同模式時空架構不同物理組合與初始過程的颱風多模式資料，供學術界使用與防災實務參考。在此，尋求改善現有發法的缺點，我們嘗試利用這組多模式資料進行測試與研究。由於，定量降雨系集預報實驗平台啟動時間不常，無法提供較多的颱風個案，目前僅能提供的 2010 年以後侵台颱風個案。本研究選擇使用造成台灣地區南部嚴重淹水的凡那比颱風進行比對與測試。使用 9 個不同物理組合的 WRF 預報結果(如表 1)。每一個不同物

理的模式，均可提供本身不同初始時間的 8 組每日降雨預報資料。

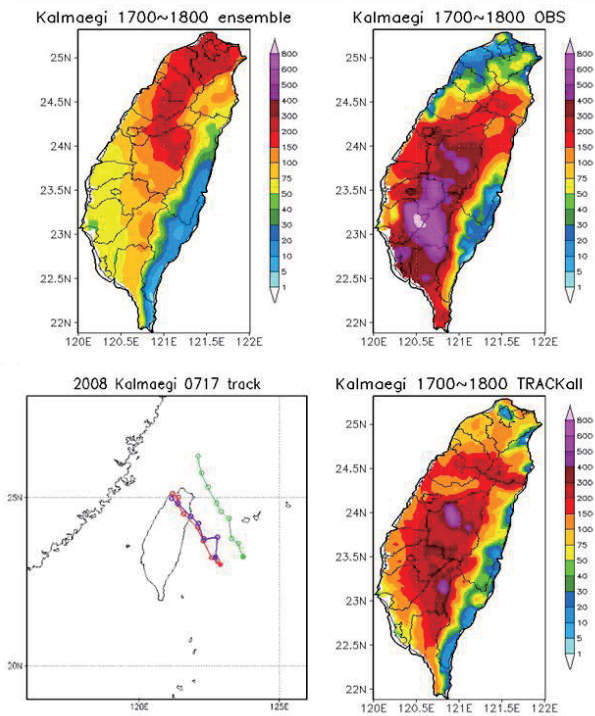


圖 3、卡玫基颱風 2008 年 0717 日總降雨之定量降雨預報比較，(左上) 為當日 real time 預報系集平均，(右上) 為觀測資料，(右下) 為路徑修正後降雨預測，(左下) 路徑比較，綠色為 real time 系集預測路徑；紅色為修正路徑；紫色為實際路徑。

表 1、系集實驗組別資料處理與物理參數。

Mem	Unit	DA	Bogus	CPS	MPS	PBL
Mem1	TTFRI	LC	CWB	GD	Goddard	YSU
Mem2	TTFRI	LC	CWB	G3	Goddard	YSU
Mem3	TTFRI	LC	CWB	BMJ	Goddard	YSU
Mem5	NTNU	NODA	WRF	KF	Goddard	YSU
Mem6	NTU	NODA	WRF	KF	WSM5	YSU
Mem7	CCU	NODA	WRF	KF	Lin	YSU
Mem8	NCU	NODA	WRF	KF	Goddard	MYJ
Mem9	NCU	NODA	WRF	KF	Goddard	ACM2
Mem18	NCDR	NODA	NO	KF	WSM5	YSU

首先，針對上述 9 組預報結果進行 PC、

RMSE 及 ETS350 的評估校驗。表 2 為 9 組定量降雨系集評估結果，在空間分布相關係數部分 (PC) 在 0.83~0.64 之間，均方根誤差 (RMSE) 為 117.6~217.4 (mm)，預報日降雨 350mm 的技術得分為 0.1~0.25。同時，我們也針對此 9 組不同物理模式，利用路徑修正法進行定量降雨預報，利用相同方式進行降雨結果的評估如表 2。路徑修正後在空間分布相關係數中 9 組的降雨預報分數分布為 0.89~0.72 (優於原先的 0.83~0.64)，均方根誤差分布為 81.0~201.5 (mm)，日降雨 350mm 的 ETS 技術得分為 0.7~0.22，此方法不僅可改進不同物理組合定量降雨預報的平均結果，同時亦可以提升極端降雨的預報能力。

表 2、定量降雨校驗結果

PC	Mem 1	Mem 2	Mem 3	Mem 5	Mem 6	Mem 7	Mem 8	Mem 9	Mem 18
ensemble	0.80	0.83	0.73	0.73	0.68	0.69	0.72	0.68	0.64
Track modify	0.80	0.89	0.80	0.85	0.78	0.80	0.72	0.77	0.81

RMSE	Mem 1	Mem 2	Mem 3	Mem 5	Mem 6	Mem 7	Mem 8	Mem 9	Mem 18
ensemble	117.60	119.90	122.90	178.60	193.50	217.40	179.80	211.60	165.00
Track modify	110.10	81.00	110.40	129.10	190.10	201.50	196.90	185.50	142.90

ETS 350	Mem 1	Mem 2	Mem 3	Mem 5	Mem 6	Mem 7	Mem 8	Mem 9	Mem 18
ensemble	0.19	0.18	0.18	0.25	0.19	0.23	0.24	0.20	0.10
Track modify	0.27	0.70	0.44	0.41	0.30	0.29	0.22	0.28	0.34

詳細瞭解個別改進的結果，除了 Mem8 的物理組合的降雨無法透過路徑修正方法獲得改進外，其他各組的降雨預報均有大小不一的改良。Mem8 經過颱風路徑修正後，PC (0.72 修正前；0.72 修正後)，RMSE (179.8；196.9)，ETS350 (0.24；0.22) 除了空間相關係數持平外其他得分均略微下降。該組模擬在凡那比颱風預報中，路有無法修正的系統性誤差存在，使用此方法無法的到有效改善。在 Mem2 的物理組合下，使

用路徑修正後降雨結果改善最為明顯，空間相關接近 0.9 (相似性近九成)，整體降雨的誤差 (RMSE) 降至 81mm 為 9 組最低，日降雨 350mm 超大豪雨預報的準確率高達 0.7。另外，Mem1 修正後改善幅度不大，PC(0.8;0.8);RMSE(117.6;110.1);ETS350 (0.19 ; 0.27)，主要原因是，該組在原先的降雨空間分布與均方根誤差已優於其他各組，修正後 PC 與 RMSE 僅次於 Mem1 高於其他各組。比較降雨的空間分布 (如圖 4)，當日主要降雨極值出現在南部地區 (圖 4e)，Mem1 和 Mem2 降雨系集預報 (圖 4a、ac)，預報降雨主要分布在南部山區，南部平地降雨偏少。南部平地的降雨是此次凡那比颱風主要致災的降雨事件，透過颱風路徑修正後，Mem1 和 Mem2 南部平地的降雨預報明顯獲得修正 (圖 4c、4d)。豪雨的定量降雨預報能力，是防災迫切的需求，比較 ETS350 整體技術得分的結果，上述 9 組模式之 ETS350 由原先 0.1~0.25 改善為 0.22~0.7，僅有一組比原先退步，其他均獲得改善，說明路徑修正法，可以改善定量降雨豪大雨預報能力。

四、結論

使用動力模式模擬颱風，不同的個案適合的物理過程組合可能不同。但要維持一個穩定的作業的數值預報模式是相當不容易。以目前的經驗與知識，仍無法在事前瞭解哪一種組合是適合本次事件需要。因應防災的需求下，僅能利用多模式預報結果，透過災害管理與操作的方式，補足目前仍無法突破的困難。颱風路徑修正的方法，是可以有效

改進多模式各自的結果。但是，不同模式的預報結果中，仍存在相當大的差異。以凡那比颱風結果為例，利用路徑修正後的結果，在颱風大致的降雨分布與平均的趨勢都可以有效掌握，但是致災的極端降雨訊號仍有許多分歧。防災多半採料敵從寬的態度處理，在存在有可能致災的降雨訊號的潛勢下，未來我們可以利用多模式的預報結果，發展機率分布的處理方法，提醒可能災害發生之可能，作為防救災應變的參考。

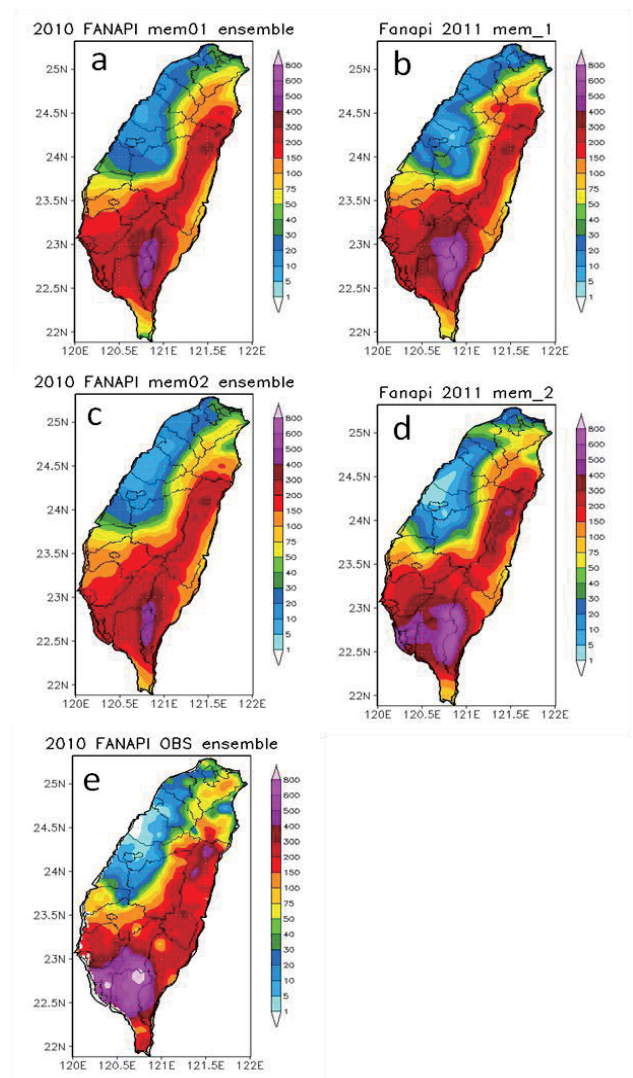


圖 4、凡那比颱風 (2010) 9 月 19 日日累積降雨預測之比較，(a) 為 Mem1 系集預報，(b) Mem1 路徑修正，(c) 為 Mem2 系集

預報 · (d) Mem2 路徑修正 · (e) 觀測 。

參考文獻

于宜強、張智昇、陳永明、鄭兆尊 (2010) :

颱風定量降雨技術發展 · 國研科技 · 28 ·
116-123 。

洪景山 林得恩 簡芳菁 劉素屏 周仲島 林

沛練 張文錦 繆璿如 陳致穎 雷銘中 ·
2006: WRF 模式之敏感度測試 · 第一
部分：探空測站上的校驗 · 大氣科學 ·
241-260 。

簡芳菁、洪景山、張文錦、周仲島、林沛練、

林得恩、劉素屏、繆璿如、陳致穎 · 2006:
WRF 模式之敏感度測試第二部份：定量
降水預報校驗 · 大氣科學 · 261-276 。

台灣地區天然災害損失統計資料 · 消防署 ·

2011 。

Lee, C. -S., L. -R. Huang, H. -S. Shen, and S.

-T. Wang, 2006: A Climatology Model
for Forecasting Typhoon Rainfall in
Taiwan. *Natural Hazards*, 37, 87-105.

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.

——, J. Dudhia and S.-H. Chen. 2004: A

revised approach to ice
microphysical processes for the Bulk
parameterization of clouds and
precipitation. *Mon. Wea. Rev.* 132,
103 – 120.

Kain, J. S., and J. M. Fritsch, 1990: A

one-dimensional entraining/
detraining plume model and its

application in convective
parameterization, *J. Atmos. Sci.* 47,
2784 – 2802.

——, and J. M. Fritsch, 1993: Convective
parameterization for mesoscale
models: The Kain-Fritsch scheme,
The representation of cumulus
convection in numerical models, K. A.
Emanuel and D.J. Raymond, Eds.,
Amer. Meteor. Soc., 246

Yuan, Huiling, Chungu Lu, John A.

McGinley, Paul J. Schultz, Brian D.
Jamison, Linda Wharton, Christopher
J. Anderson · 2009: Evaluation of
Short-Range Quantitative
Precipitation Forecasts from a
Time-Lagged Multimodel Ensemble.
Weather and Forecasting, 24, 18-38.