

莫拉克颱風中尺度數值模式雨量預報校驗分析

張文明¹ 周仲島² 張茂興²

¹ 空軍氣象聯隊氣象中心

² 國立台灣大學大氣科學系大氣科學研究所

摘要

本研究利用 QPESUMES 即時降雨估計產品針對 WRF 模式於莫拉克颱風期間之定量降水預報產品進行校驗分析。由統計參數計算結果可知 WRF 模式預報之雨量值較實際偏小，平均降雨率與實際降雨觀測值比約 0.6。WRF 無法有效模擬在海上之降雨分布，但在台灣本島則大致能有效掌握，於中部及南部山區的降雨具有不錯的模擬能力。從列聯表預報評估指標可知，模式在小雨(< 8 mm 3 hr-1)時有較佳的預報能力，在大雨時則明顯低估。降雨低估的情形於後期預報有顯著好轉，可能是模式預報路徑偏南且颱風移動速度變慢之故。利用緊臨雨區誤差分解法可得知，造成預報誤差的主要來源是降雨分布誤差，約 50%，而位移誤差僅 4%。

關鍵詞：緊臨雨區誤差分解法

一、前言

莫拉克(Morakot)颱風於 8 月 4 日在菲律賓東北方約 1000 公里海面上生成，5 日增強為中度颱風並向西移動，逐漸向台灣東方海面靠近，7 日 5 時左右移動速度略為減慢，並朝西北西至偏西的方向移動，暴風圈逐漸籠罩台灣各地，23 時 50 分左右莫拉克颱風在花蓮市附近登陸，於 8 日 11 時左右莫拉克減弱為輕度颱風並往西北方向移動，14 時左右於桃園附近出海，並繼續向北北西緩慢移動，9 日 18 時 30 分左右在馬祖北方進入福建，台灣本島已脫離暴風圈，10 日 2 時左右強度持續減弱且暴風圈亦縮小，11 日凌晨減弱為熱帶性低氣壓。受颱風外圍環流與強烈西南氣流影響，其帶來的豪雨在中部及南部山區降下超過 1000 公厘的大雨，並在南部各地有土石流及多處崩塌等災情，損失極鉅。為求改善模式預報能力與瞭解所使用模式之定量降雨預報能力，故針對中尺度動力模式(WRF)進行校驗。

二、校驗方法

本研究所使用之校驗方法，計算基礎的統計參數如平均降雨率、最大降雨率、降雨面積、均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)、平均絕對誤差(Mean Absolute Error, MAE)及相關係數(Correlation coefficient)等。並計算列聯表預報評估指標，偏倚得分(Bias Score, BS)、可偵測機率(Probability of Detection, POD)、誤報率(False Alarm Ratio, FAR)與公正預兆得分(Equitable Threat Score, ETS)，其中 ETS 是為了計算排除無降水情形時，模式能正確預測降水的機率，若分數越高則越準確。以上參數主要描述預報與實際降雨之間的差異，綜合了量值誤差及分布誤差，主要反應降雨位置分布的不同。因此，利用緊鄰雨區誤差分解方法(Contiguous Rain Area error decomposition)，將誤差來源分解。此 CRA 誤差分解方法最早是由 Ebert and McBride 於 2000 年提出的概念，藉由平移預報場使平移後的預報場與觀測場達到最佳擬合，使得總誤差可分解為量值誤差、分布誤差及位移誤差，所謂量值誤差為預報降雨量與觀測降雨量值上的差異；分布誤差表示預報降雨細部分布位置與觀測降雨細部分布位置的差異；而位移誤差表示預報降雨區域位置與觀測降雨之區域位置的差異。

校驗對象為 WRF 模式使用初始場時間 2009/08/07 00 UTC，預報莫拉克颱風期間 (2009/08/07 00 - 08/10 00 UTC) 之定量降雨產品，預報時間共 72 小時，每 3 小時輸出一 次預報結果，校驗主要針對第二網域，解析 度為 15 公里。使用參考基準為 QPESUMS 降 雨估計產品，係整合環島都卜勒雷達網，將 資料統一至 QPESUMS 座標系統呈現，解 析度為 0.0125°，每十分鐘輸出一筆資料， 其雨量估計是使用雷達最低可用仰角之回 波，經回波-降雨率(Z-R)關係式推算而得， 其採用之關係式為 Xin 等(1997)所提出： $Z=32.5 R^{1.65}$ 。本研究分別比較模式於不同降 雨門檻值與不同預報時段時之表現，以了 解在不同降雨強度時模式預報準確度，並 分析模式於 spin-up 之階段外，其它不同預 報時段之表現能力為何。

三、校驗結果

1、整體表現

如圖 1 所示，為莫拉克颱風期間之累積 雨量圖，左圖為 WRF 模式預報，右圖則 是 QPESUMS 實際觀測之累積雨量圖。由 累積雨量圖可見，WRF 模式在台灣本島 上的降雨分布大致有所掌握，實際累積 雨量極大值分布在台中、高雄及屏東山 區，但 WRF 模式預報之累積雨量值則 是明顯偏低，且大雨區域面積較小，於 QPESUMS 實際觀測累積雨量可見， 在中南部山區均有極大的累積雨量， 但模式的雨量值卻明顯低估，特別是在 台中山區的累積雨量約只有 QPESUMS 的 一半；在海上部份，WRF 模式之降雨分 布則明顯無法掌握，如東北方海面、台 東外海及恆春近海等地區，在 WRF 模 式上均沒有掌握到，預報累積雨量值更 是明顯低估很多。

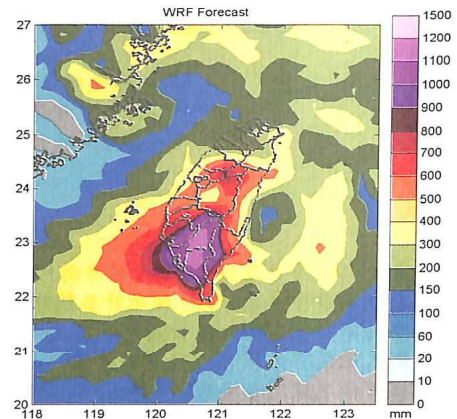


圖 1-1 莫拉克颱風期間之累積雨量圖。累積時間為 2009/08/07 00 - 08/10 00 UTC，圖上所示為 WRF 模式預報。

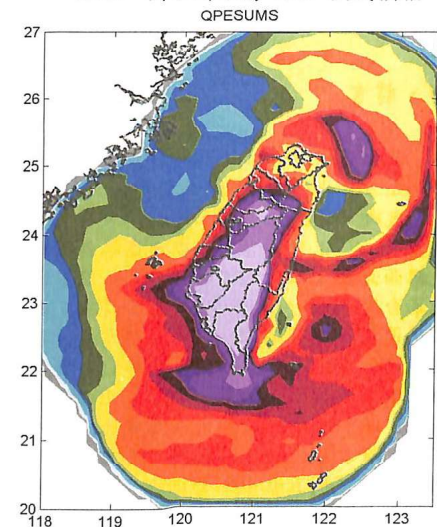


圖 1-2 莫拉克颱風期間之累積雨量圖。累積時間為 2009/08/07 00 - 08/10 00 UTC，圖上所示為 QPESUMS 觀測之累積雨量，尺標由 0-1500 mm。

利用統計參數檢視 WRF 模式預報結果，如表 1 所示，前三項分別列出平均降雨率、降雨面積與最大降雨率(左上格為 WRF 模式、右上格為 QPESUMS、下格為 WRF

除以 QPESUMS 之結果)；後三項為平均絕對誤差、均方根誤差及相關係數。檢驗時間為 WRF 模式預報 72 小時(2009/08/07 00 - 08/10 00 UTC)。由檢驗結果可見 WRF 模式之降雨有明顯低估的情況，無論是平均降雨率、最大降雨率的比值(WRF/QPESUMS)均只有 0.6，而降雨面積的比值則是 1.37，可見 WRF 模式所預報之降雨面積較大，但降雨量值明顯偏低；平均絕對誤差為 8.15、均方根誤差為 18.96，相關係數為 0.49，顯示 WRF 模式預報之降雨分布結果大致不錯，且與 QPESUMS 觀測結果有相當的關係性。

表 1 莫拉克颱風期間 WRF 模式預報統計參數檢驗結果。

CASE	mean Rain Rate (mm/3 hrs) (WRF/QPESUMS)		Rain Area (%) (WRF/QPESUMS)		Max Rain Rate (mm/3 hrs) (WRF/QPESUMS)		MAE	RMSE	Corr. coeff.
	WRF	QPESUMS	WRF	QPESUMS	WRF	QPESUMS			
MORAKOT	4.78	8.03	0.85	0.62	274.1	449.41	8.15	18.96	0.49
	0.6		1.37		0.61				

進一步利用列聯表預報評估指標結果，對 WRF 模式之預報進行校驗，表 2 為莫拉克颱風 WRF 模式預報之列聯表預報評估指標結果。分別列出偏倚得分、可偵測機率、誤報率與公正預兆得分。因本研究主要針對大雨事件，且為配合之後緊鄰兩區誤差分解方法的主要降雨區之圈選，故門檻值設為 25 mm 3 hr⁻¹。由偏倚得分可知，在降雨門檻值為 25 mm 3 hr⁻¹ 時，WRF 模式預報降雨嚴重偏低，僅 0.3，甚至不到 QPESUMS 實際觀測的一半；可偵測機率只有 0.15、誤報率為 0.49，顯示 WRF 模式預報在此降雨門檻值時，無法有效掌握降雨預報，其公正預兆得分為 0.12。

表 2 莫拉克颱風 WRF 模式預報之列聯表預報評估指標結果。

Contingency Table			
BS	0.3	POD	0.15
FAR	0.49	ETS	0.12

2、不同降雨強度之校驗

檢視列聯表預報評估指標在不同門檻值之變化，如圖 2 所示，由上至下分別為偏倚

得分、可偵測機率、誤報率與公正預兆得分。由偏倚得分可知，WRF 模式預報在較小的降雨率(門檻值 8 mm 3 hr⁻¹ 以下)時有輕微高估，但隨降雨率增加，模式預報之降雨率明顯偏低，在大於 30 mm 3 hr⁻¹ 以上之大雨時更只有實際降雨的五分之一(偏倚得分約 0.2)，可偵測機率亦有相同的情況，在小雨時的得分較高，但隨著降雨率的增加可偵測機率逐漸下降，在大降雨率時幾乎無法有效掌握，然而在誤報率方面可見，於小雨時有較高的誤報率，特別是在 10 mm 3 hr⁻¹ 時誤報率最高，配合前述結果顯示，WRF 模式在預報莫拉克颱風降雨時，常預報較實際觀測為大的降雨面積，而降雨率明顯偏低，故無法有很好的得分，在公正預兆得分隨門檻值變化部份，在不同門檻值時的得分皆不超過 0.2，最高僅約 0.17，落在降雨門檻約為 7 mm 3 hr⁻¹ 時，總體而言，WRF 模式在小雨時有較佳的模擬能力，但隨著降雨率增加公正預兆得分越低，顯示模擬的效果越差。

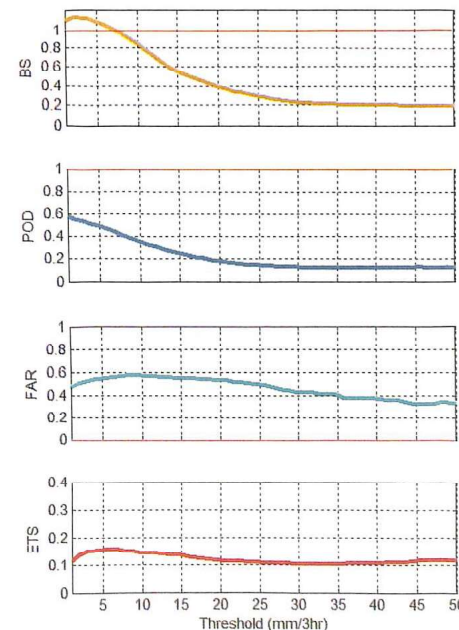


圖 2 莫拉克颱風 WRF 模式預報之列聯表預報評估指標隨門檻值的變化。由上至下

分別為偏倚得分(BS)、可偵測機率(POD)、誤報率(FAR)與公正預兆得分(ETS)。

3、不同預報時段之校驗

若檢視 WRF 模式隨預報時間的結果，如圖 3、圖 4 分別為偏倚得分及公正預兆得分隨預報時間之變化，由偏倚得分可見，模式在預報起始的 15 小時有過分低估的情形，得分均低於 0.2，之後預報 18-48 小時的時間仍是明顯低估，得分僅在 0.4 上下，至預報 48 小時之後，低估的情況略為好轉，但實際上使低估情形減輕的原因，是因為 WRF 模式預報之颱風路徑較實際偏南並且偏慢，如圖 5 所示，其中藍色線為 WRF 模式預報之颱風路徑，每 3 小時一次，綠色線則是中央氣象局颱風觀測路徑，每 1 小時一次，路徑時間皆是從 8 月 7 日-10 日 00 UTC。在公正預兆得分的結果顯示，在預報 24-48 小時之間有較高的得分，雖然模式預報降雨量偏低，但降雨位置分布大致仍有所掌握。

分布，由本例可見，模式預報之最大降雨區位置略為偏南，並有嚴重低估的情形，亦未掌握到恆春地區的大降雨，在本例主要之誤差來源同樣是分布誤差(55%)，其次為量值誤差(38%)。

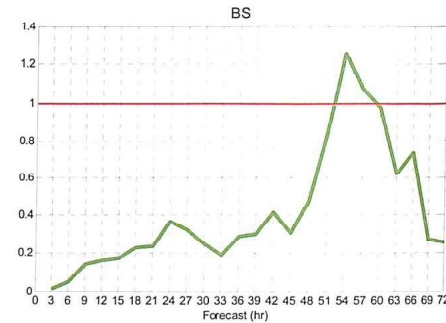


圖 3 莫拉克颱風 WRF 模式預報之偏倚得分隨預報時間變化。

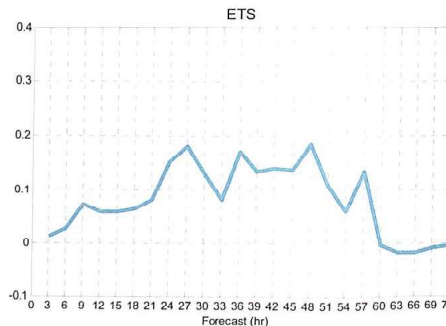


圖 4 莫拉克颱風 WRF 模式預報之公正預兆得分隨預報時間變化。

4、緊鄰兩區誤差分解結果

表 3 為莫拉克颱風 WRF 模式預報之緊鄰兩區誤差分解結果。由上而下分別列出平移前、平移後之相關係數(original correlation、after shift correlation)、量值誤差(volume error)、分布誤差(pattern error)及位移誤差(displacement error)。門檻值為 25 mm 3 hr⁻¹。在此使用此門檻值是為了有效圈選最大降雨區，以盡可能的使圈選的區域完整，不會有太多的不規則或突起，如圖 6 所示，圖為 WRF 模式預報 24 小時(2009/08/08 00 UTC)之 3 小時累積雨量圖，左圖黑色粗實線為圈選 25 mm 3 hr⁻¹ 門檻值，右圖則為圈選 18 mm 3 hr⁻¹ 門檻值之降。由圖可見，在本例莫拉克颱風的個案中，若選取之門檻值過低，則圈選區域不規則，容易影響平移計算相關性的結果，而造成計算誤差。

利用緊鄰兩區誤差分解方法，可見造成 WRF 模式預報莫拉克颱風降雨的誤差最主要來源是分布誤差，約 50%，其次是 46% 的量值誤差，而位移誤差僅有 4%，如圖 7，為 WRF 模式預報 8 月 8 日 03 UTC 時之降雨

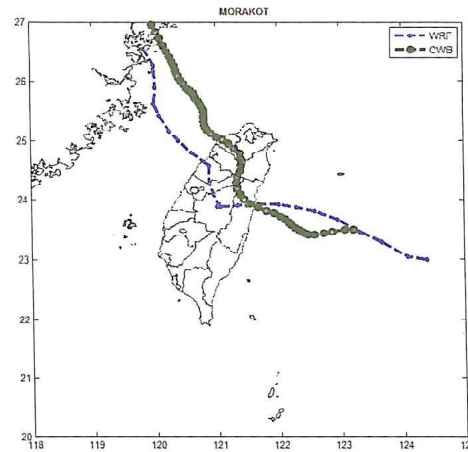


圖 5 莫拉克颱風 WRF 模式與中央氣象局颱風路徑預報之比較。藍色線為 WRF 模式預報之路徑，每 3 小時一次，綠色線則是中央氣象局颱風觀測路徑，每 1 小時一次，時間均從 8 月 7 日至 10 日。

表 3 莫拉克颱風 WRF 模式預報之緊鄰兩區誤差分解結果。

Contiguous Rain Area error decomposition	
Original correlation	0.26
After shift correlation	0.33
Volume Error	46 %
Pattern Error	50 %
Displacement Error	4 %

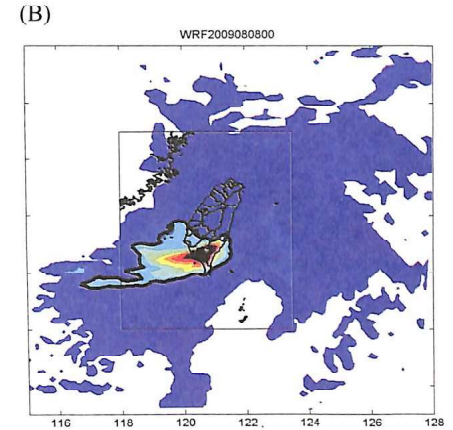
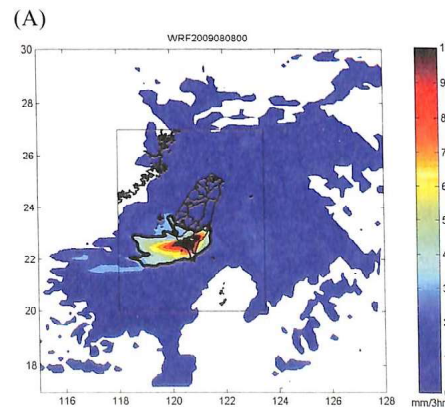
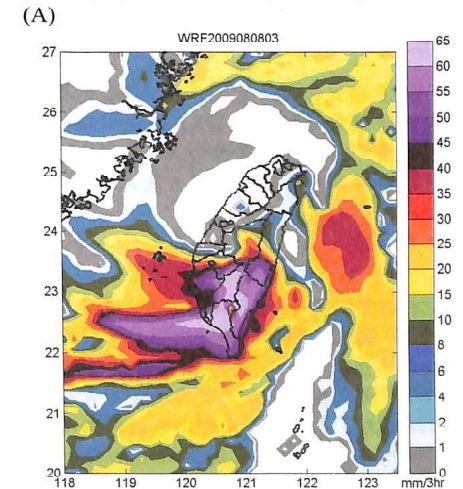
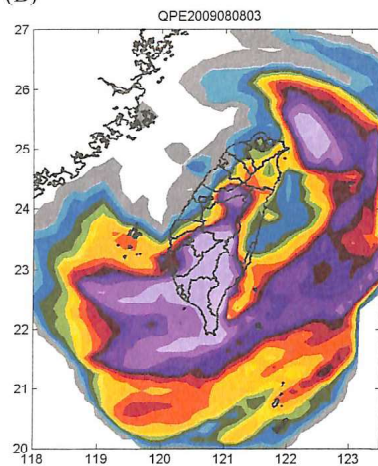


圖 6 圈選主要降雨區之範例圖。圖為 WRF 模式預報 24 小時(2009/08/08 00 UTC)之 3 小時累積雨量圖，(A)圖黑色粗實線為圈選 25 mm 3 hr⁻¹ 門檻值，(B)圖為圈選 18 mm 3 hr⁻¹ 門檻值之降。



(B)



Original correlation	0.49
After shift correlation	0.58
Volume Error	38 %
Pattern Error	55 %
Displacement Error	7 %

圖7 WRF 模式預報8月8日03 UTC之降雨校驗結果。(A)圖為WRF模式預報，(B)圖為QPESUMS實際觀測，下表為此時間之緊鄰兩區誤差分解方法校驗結果。

四、結論

本研究利用QPESUMS雨量估計產品針對WRF模式在莫拉克颱風期間之定量降雨預報產品進行校驗。由校驗分析的結果顯示，WRF模式在台灣本島之降雨分布有相當的模擬能力，在中部及南部山區的大降雨情形均有所掌握，然而在海上地區的降雨分布，如台灣東北部海域、台東外海及恆春近海等地則無法有效模擬，而降雨量值的預報更是明顯偏低。模式在小雨($< 8 \text{ mm } 3 \text{ hr}^{-1}$)時輕微高估，BS約1.1，但在大雨($> 30 \text{ mm } 3 \text{ hr}^{-1}$)時則是過份低估，BS僅有0.2，ETS亦是在小雨時有較高的得分，於簡等(2006)針對WRF模式台灣地區梅雨季降雨校驗結果亦有相似的情形，然而，仔細比較模式預報

之降雨面積與實際觀測之差異可知，模式預報之降雨面積較實際觀測大，但量值偏低，特別是大雨區域之範圍都較實際觀測小，量值更僅有實際觀測的一半。在此個案中，即使忽略預報起始的0-12小時spin-up階段，其它預報時段降雨預報的表現仍是明顯低估的情況，而在預報48小時之後偏低情況好轉，甚至有輕微高估，則是因為模式預報之颱風路徑較為偏南，且行徑速度偏慢之故，故在此時的ETS得分亦不高。

造成模式預報誤差的來源，經由CRA誤差分解方法的結果可知，誤差的主要來源為分布誤差(50%)與量值誤差(46%)，而位移誤差僅4%。從雨量分布的比較分析可見，模式預報之大降雨位置略為偏南，特別是在恆春近海地區，受颱風登陸後外圍環流與西南氣流影響，在該區亦有豪雨發生，但模式卻不能有效的模擬，致使模式降雨分布與實際情形略有差異。

致謝

本研究在水利署研究計畫MOEAWRA0980281支助下完成。感謝中央氣象局提供研究期間所需之資料，使本文得以順利完成。

參考文獻

- Ebert, E. E., and J. L. McBride, 2000: Verification of precipitation in weather systems: Determination of systematic errors. *J. Hydrology*, **239**, 179-202.
- Ebert, E. E., U. Damrath, W. Wergen and M. E. Baldwin, 2003: The WGENE assessment of short-term quantitative precipitation forecasts. *Bulletin Amer. Meteor. Soc.*, **84**, 481-492.
- 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》，第34期，261-274。

Verification of WRF Precipitation Forecast Using QPESUMS in Typhoon Morakot

Wen-Ming Chang¹ Ben Jong-Dao Jou² Mou-Hsiang Chang²

¹Weather Center, Weather Wing, C.A.F.

²Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

This study using QPESUMS real-time rain accumulation data to verify WRF precipitation forecast during the typhoon Morakot period. Compare with the QPESUMS accumulation, the WRF precipitation forecast had underestimate, the forecast mean rain rate is lower about 40%. And the WRF precipitation forecast can not simulated good rain pattern at the ocean area, but have better result at the land area, especially at middle and southern part of Taiwan. From index of forecast evaluation, we can see the WRF have better result in small rain rate ($< 8 \text{ mm } 3 \text{ hr}^{-1}$), but in heavy rain rate had noticeable underestimate. This underestimate condition had improved in later period, because the forecast of typhoon track lean on south, and move slowly. From contiguous error decomposition method result, the forecast major error caused by pattern error, about 50%, and the displacement error just 4%.

keyword: contiguous error decomposition meth