

2017年6月1~4日梅雨鋒面個案模擬初步結果

羅明福¹ 葉信顯¹ 林彥岑¹ 崔怡楓¹

海軍大氣海洋局¹

摘要

今年(2017)首波最強的梅雨鋒面於6月1日~6月4日影響台灣地區,在鋒面與西南氣流雙重影響下,北部、中部、以及南部山區降下破紀錄的強降雨。所造成嚴重的淹水災情、土石崩落、道路中斷,農業損失達2億7,115萬元。本研究以2017年6月1~4日梅雨鋒面個案為例,使用海軍大氣海洋局新建置高速運算電腦進行中尺度數值天氣預報模式系統WRF(The Weather Research and Forecasting Model, WRF)及非靜力(Non-hydrostatic)版波譜模式MSM(Mesoscale Spectral Model),模擬鋒面伴隨之對流系統,並以觀測資料校驗與比對本局未來作業化大氣模式之初步降雨結果,希能提供未來模式精進之方向。

關鍵字: 高速運算電腦、WRF、MSM

一、前言

台灣位於西太平洋地區東北季風與西南季風盛行地區,特別是從東北季風轉換到西南季風之際,為台灣地區梅雨期。台灣地區5-6月梅雨季期間,鋒面狹長雲帶常伴隨中尺度對流系統,經常產生強陣風及短延時強降雨,然而,其形成與演變的機制掌握與豪大雨降水預報技術提升,需整合氣象觀測、氣象模式與氣候分析等技術。其中,使用WRF數值模式模擬鋒面伴隨之對流系統並分析對流發展成因,藉由分析2015年5月20日梅雨鋒面,WRF數值模式同化模擬結果顯示,GPS可降水量資料三維同化模擬結果,與觀測結果一致(宋偉國等,2015)。此外,在其他數值模擬研究台灣梅雨季期間定量降水預報研究方面,採用日本CReSS模式分析2012年612北部地區水災研究模擬後造型對流發展過程與動力機制,指出造成豪大雨的因素包括後造型對流系統(邱炳魁、王重傑,2014)。

本研究運用WRF模式3.7.1版與非靜力版波譜模式MSM(Non-hydrostatic Mesoscale Spectral Model),分析並比較6月2日~6月3日的降雨觀測結果,測試未來作業化大氣模式的預報結果,探討作業化大氣模式適用的物理參數。

二、研究方法

海軍大氣海洋局新一代HPC含有50台計算節點,最大計算資源1600 cores,結合EDR InfiniBand內部網路系統,全速運轉下浮點運算效能可達到57 Tflops,另外搭配650 Tb的DDN儲存系統以大量儲存每日作業化模式產品,儲存系統同時擁有IOR 10 Gb/s資料讀寫能力,增加HPC快速處理大量檔案的效率。

本研究使用WRFV3.7.1版及非靜力波譜模式做為測試作業化大氣模式,除每日固定時間提供最新資料讓預報人員整理預報大氣資訊,亦提供其他海洋、波浪作業化模式所需要的大氣驅動力。

WRF模式起源於二戰之後,由於計算機的技術突飛猛進,世界各氣象中心藉此發展出獨立的氣象預報系統,使大氣模式進入百家爭鳴的時代。然而不論對於商業應用或學術研究,皆不容易做到程式系統方面的整合,因此美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)與國家大氣研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)合作開發一套天氣預報模式(Weather Research and Forecasting, WRF),以統一商業與學術領域上的氣象預報系統。NCAR繼而又開發出優化版的ARW模式(Advanced Research WRF),加強WRF模式在固定區域上的預報能力,國內知名大型氣象中心(如中央氣象局,以下簡稱CWB)已使用ARW模式於每日的作業化系統。

海軍大氣海洋局非靜力波譜模式(NMOO-MSM)基於早期中尺度波譜模式(Juang, 2000)開發而成,同樣使用連續的正弦或餘弦波函數制定網格點,在MPP計算機運算時模式切網格時不像一般格點模式需要多餘的記憶體做外環給資料交換,故增加運算子而增多切割時卻不會增加總記憶體,而在動力和物理運算時,NMOO-MSM主要計算擾動量,並結合上游大氣資料的分析場或是預報場,得到模式的預報結果(Juang and Hong, 2001)。

然而,與早期的版本相比,NMOO-MSM水平解析度限制從10公里以上提高至數10公尺,且在計算上可以使用經向與緯向的快速傅立葉轉換,增加模式運算的效率,因此可以達到海軍獲得快速且詳細的大氣資訊之目的。

此外，NMOO-MSM 不像一般格點模式將邊界條件定在預報範圍的最外圈，而是輸入整個上游資料的分析場作為基底去做運算，並將邊界條件定為上游資料的預報場，因此只要在上游資料的空間範圍內，NMOO-MSM 可以在同一個預報案例中移動預報範圍，得到不同區域的預報場資料，使用者可以使用此功能預報特定航線上高解析度的大氣資訊，並節省資料儲存空間以及計算資源。

三、模擬設計

本次研究使用 NCEP-GFS 全球大氣模式作為 WRF、NMOO-MSM 的初始場與邊界場，水平解析度 0.5 度，垂直方向從 1000 hpa 至 1 hpa 共 31 層，時間範圍從 2017 年 5 月 31 日至 6 月 4 日。模式設置部分，WRF 設置三層巢狀網格將作業化區域的水平尺度以 3 倍放大倍率，由外到內逐漸提高網格點的水平解析度。

NMOO-MSM 雖然是以波函數制定模式區域，但在轉換成波函數之前模式以格點方式設置預報區域，設計上與 WRF 一樣為三個區域，不過最外層的預報區域直接從全球大氣資料擷取，再將大氣資料輸入給下兩層的預報區域(網格詳細設定請參閱表一)。

圖 1 顯示兩個模式在地圖上的作業化預報範圍，最外層預報範圍從印度洋至東太平洋，並包含整個青藏高原以減少高山地形對模式邊界的干擾，中層預報範圍考慮作業化系統下游的海洋模式之邊界問題，故包含整個南海區域，最內層台灣周遭海域為本案作業化最著重區域，除給予高解析之外也設置較多的格點數，亦以台灣為預報範圍的中心，東至西太平洋黑潮上游海域、西至大陸廣州福建、南至呂宋島、北至西太平洋黑潮下游海域皆包含在最內層作業化預報區域裡。

降雨現象與雲層變化密不可分，而大氣模式的雲層主要由微物理項以及積雲參數項控制，然而兩者在空間尺度變化相距甚大，因此，本次研究的主要目的在探討如何設定這兩種參數控制項的組合，作為 WRF 與 NMOO-MSM 模式所適用的參數項。

表二顯示本次研究在 WRF 模式選擇三組降雨的積雲參數與微物理參數組合，其中 Kain-Fritsch (KF)方案以及 Betts-Miller-Janjic (BMJ)方案分別是 WRF 模式常用在預報降雨的積雲參數，其中，KF 方案在模擬雲層時同時考慮上升與下降對流，並在雲層上升與下降時進行修正。BMJ 方案在模擬雲層的時候沒有加入其他微物理現象。就 WRF 模式而言，在網格解析度高的地區微物理參數就能模擬出雲層，故第三組方案則完全不考慮加入任何的積雲參數(WRF-NaN)。

在 NMOO-MSM 模式的積雲參數設定上，選擇

與 NCEP-GFS 作業化模式同樣使用 Simplified Arakawa Schubert (SAS)積雲參數，以及早期 CWB 使用的 Relaxed Arakawa Schubert (RAS) 方案。MSM-NaN 則完全不採用任何積雲參數。

本研究將上述這六組參數輸出結果與 CWB 在 2017 年 6 月 2 日至 3 日的日累積雨量之觀測結果比較，以探討兩種模式對於不同的積雲參數或者不採用積雲參數，對梅雨期間的降雨預報結果，進行比較與討論。

四、模式模擬結果

中央氣象局的雨量觀測資料覆蓋台灣區域(圖 2、圖 3)，如果將圖 1 所顯示的模式範圍 WRF-d01、WRF-d02、RSM-d01 以及 RSM-d02 的結果放大到與觀測圖對齊，解析度會稍顯不足，故本次研究直接分析 WRF-d03、MSM-d03 的模式結果。

圖 4 顯示 WRF-KF 模擬結果，WRF-KF 在 6 月 2 日之累積降雨量明顯強過觀測累積雨量大約 50-100 mm，中部與南部為主要預報偏強區域，觀測中北部出現的強降雨在 WRF-KF 結果則是預報偏低。圖 5 顯示 WRF-KF 在台灣中間山地區域也是有明顯的強降雨，然而與觀測結果相比累積雨量大約少 50 mm，且南北區域的強降雨集中在南部區域，北部區域預報結果偏低。

WRF-BMJ 的 6 月 2 日累積降雨分布與觀測結果相比也出現南北相反的現象，而降雨強度差別大約 50 mm (圖 6)，6 月 3 日時在中南部山地區域的平均累積降雨量與觀測結果相近，然而一樣南北雨量分布與觀測結果相反(圖 7)。

WRF-NaN 部分在 6 月 2 日期間的累積雨量與觀測結果相近，在台灣中間的中部至南部降雨同為最強降雨地區，且最大累積雨量介於 150-300 mm 之間，北部地區在 00 時至 08 時降雨強度也與觀測相近，但在 16 時至 23 時的降雨強度則偏低，西南部平地與觀測結果一樣為累積雨量最少地區(圖 8)。WRF-NaN 在 6 月 3 日與觀測一樣主要降雨集中在中部與南部山區，累積雨量與觀測相比結果偏低，北部累積降雨變化於 6 月 3 日一直介於 10-20 mm 之間，與觀測結果北部 70-150 mm 的累積雨量差異大(圖 9)。

MSM-SAS 在 6 月 2 日的預報結果顯示台灣中部至南部為主要降雨區域，觀測結果中北部的強降雨情形在 MSM-SAS 中不明顯，而南部平地觀測累積雨量 0-15 mm 的區域在 MSM-SAS 中上升至 10-300 mm (圖 10)，6 月 3 日 MSM-SAS 主要降雨一樣位於西南區域，與觀測結果相比，強降雨區域從山地區域變成平地區域(圖 11)。

MSM-RAS 在 6 月 2 日的中部與南部的累積降

兩分佈與觀測結果相似，主要降雨區域集中在山區，最大累積降雨在 00 時至 08 時之間差異大約 20 mm，而北部區域的強降雨現象在 MSM-RAS 預報結果中並不明顯(圖 12)，到 6 月 3 日 MSM-RAS 預報強降雨區域仍然主要在中部與南部山區，但北部與東部區域的最大累積降雨強度與觀測相比，分別降低大約 100 mm 以及 60 mm 左右(圖 13)。

最後 MSM-NaN 的預報結果與觀測結果相比，在 6 月 2 日一樣北部區域沒有明顯的強降雨情形，南部平地反而比觀測結果高出 10-120 mm 的累積雨量(圖 14)，6 月 3 日期間除北部累積降雨偏低，中部和南部的強降雨分佈與觀測結果相反(圖 15)。

五、討論

WRF-KF 方案採用 WRF 模式常用在預報降雨的 Kain-Fritsch 積雲參數，此參數在模擬雲層時同時考慮上升與下降對流，並在雲層上升與下降時進行修正，所以理論上可以獲得較好的模擬對流降雨。然而，就 WRF 模式而言，在網格解析度高的地區微物理參數就能模擬出雲層，這時再使用積雲參數模擬雲層，可能會出現兩種模擬的雲層在預報區域裡，影響模式的降雨分佈與強度，因此 WRF-KF 出現比觀測更強的降雨。

一般積雲參數在模擬雲層變化時也會加入微物理的影響，讓大尺度的雲層變化更接近真實情況，然而 BMJ 方案所採用的 Betts-Miller-Janjic 積雲參數，在模擬雲層的時候沒有加入其他微物理現象，所以雖然在大尺度的預報區域力 BMJ 方案並不適合，但在小尺度預報區域裡，與微物理參數產出的雲層相互影響相對比較小，因此 WRF-BMJ 預報的降雨強度比 WRF-KF 更接近觀測結果。

然而此兩組參數預報出的雨量強度以及雨量分佈，皆與實際觀測結果相距甚遠，因此第三組 WRF-NaN 方案不考慮積雲參數影響，而單純只考慮微物理參數 Purdue Lin et al. 方案所模擬的雲層降雨。從模擬結果可知，除北部區域以外，其他地區的預報累積雨量不論在降雨分佈或強度皆與觀測結果較接近，因此對於海軍大氣海洋局的 WRF 模式而言，在解析度 3 公里的 WRF d03 模式預報區域上，採用只使用微物理參數項來模擬雲(WRF-NaN 方案)會有較好的結果。

MSM-SAS 方案的 SAS 積雲參數與 AS 一樣模擬大尺度深積雲的雲層變化，與早期 CWB 使用的 RAS 方案相比，SAS 加強考慮下沖流與雲滴於雲頂捲出等物理現象，使雲層對流降雨的現象更加穩定(汪 et al. 2009)。然而，MSM-SAS 實驗結果明顯與觀測結果相異甚遠，不過本次研究發現 MSM-SAS 與 MSM-NaN 的預報結果，不論降雨分佈與降雨強度皆完全一致，由此可見對 3 公里解析度的 MSM 模式而言，SAS 方案很難在預報區域裡產生雲層，

更遑論積雲降雨。

另一方面，在 NMOO-MSM 模式中 MSM-NaN 使用的微物理參數，執行的效果並不好。以 RAS 方案作為基雲參數的 MSM-RAS 實驗結果在本次研究中最貼近 2017 年 6 月初的強降雨個案，該方案一樣主要模擬大尺度深積雲變化，然而修改模式模擬雲的逸入關係，以及可以在雲頂釋放多餘的雲變化，使模擬的雲層穩定(Moorthi et al., 1992)，雖然在台灣北部以及彰化雲林預報降雨偏低的現象尚未能分析出結果，但藉由與這次強降雨個案的比較 RAS 方案適用於 NMOO-MSM 模式 3 公里解析度預報區域。

六、結論

本次研究在於討論 WRF 以及 NMOO-MSM 適合模擬雲層降雨的參數組，結論對 3 公里的預報區域而言，WRF 只使用 Purdue Lin et al. 方案並關掉積雲參數，NMOO-MSM 在使用 RSA 方案的條件下，與觀測的降雨變化最為接近，未來作業化模式可將此兩組參數加入 WRF 和 NMOO-MSM。實驗亦發現兩個模式對於北部區域的預報降雨都有偏低情形，未來將先測試其他的微物理參數，期望能進一步分析出可能原因，精進大氣作業化模式。

參考文獻

1. 宋偉國、王信閔、饒瑞鈞，2016：“2015 年 5 月 20 日梅雨鋒個案模擬分析”，105 年天氣分析與預報研討會，A2-27
2. 邱炳魁、王重傑，2014：“臺灣梅雨季後造型雨帶個案模擬研究：對流胞擾動氣壓之角色”，103 年天氣分析與預報研討會，A2-41
3. Juang, Hann-Ming Henry. "The NCEP mesoscale spectral model: A revised version of the nonhydrostatic regional spectral model." *Monthly weather review* 128.7 (2000): 2329-2362.
4. Juang, Hann-Ming Henry, and Song-You Hong. "Sensitivity of the NCEP regional spectral model to domain size and nesting strategy." *Monthly weather review* 129.12 (2001): 2904-2922.
5. 汪鳳如，馮欽賜. "氣象局全球模式之積雲降水及邊界層參數化的更新評估." 天气分析与预报研讨会 (2009): 45-49.
6. Moorthi, Shrinivas, and Max J. Suarez. "Relaxed Arakawa-Schubert. A parameterization of moist convection for general circulation models." *Monthly Weather Review* 120.6 (1992): 978-1002.

表一

名稱	WRF d01	WRF d02	WRF d03	RSM d01	MSM d02	MSM d03
範圍	70E~170W 22S~65N	100E~142W 2N~37N	115E~130E 14N~29N	70E~170W 22S~65N	100E~142W 2N~37N	115E~130E 14N~29N
解析度	27 km	9 km	3 km	27 km	9 km	3 km
垂直層數	30	30	30	42	42	42
IC BC	NCEP-GFS	WRF d01	WRF d02	NCEP-GFS	RSM d01	RSM d01

表二

名稱	微物理項	積雲參數項
WRF-KF	Purdue Lin et al. scheme	Kain-Fritsch scheme
WRF-BMJ	Purdue Lin et al. scheme	Betts-Miller-Janjic scheme
WRF-NaN	Purdue Lin et al. scheme	沒有積雲參數項
MSM-SAS	Non-mixed phase of qc, qi, qr, qs	Simplified Arakawa Schubert (SAS) scheme
MSM-RAS	Non-mixed phase of qc, qi, qr, qs	Relaxed Arakawa Schubert (RAS) scheme
MSM-NaN	Non-mixed phase of qc, qi, qr, qs	沒有積雲參數項

Terrain Height (m)

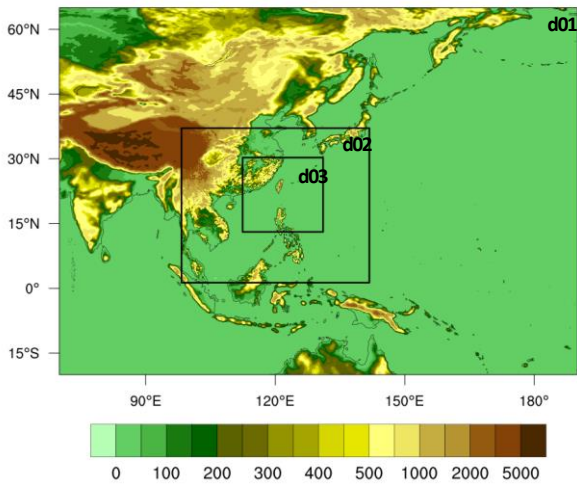


圖 1. NMOO-MSM、WRF 模式預報區域示意圖

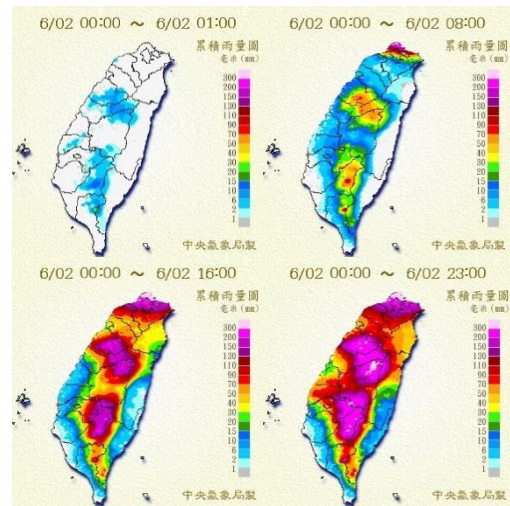


圖 2. CWB 於 6 月 2 日的日累積雨量觀測。

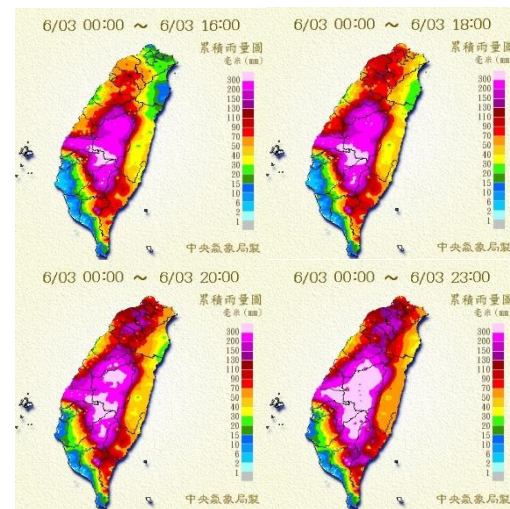


圖 3. CWB 於 6 月 3 日的日累積雨量觀測。

2017-06-02 00:00-23:00

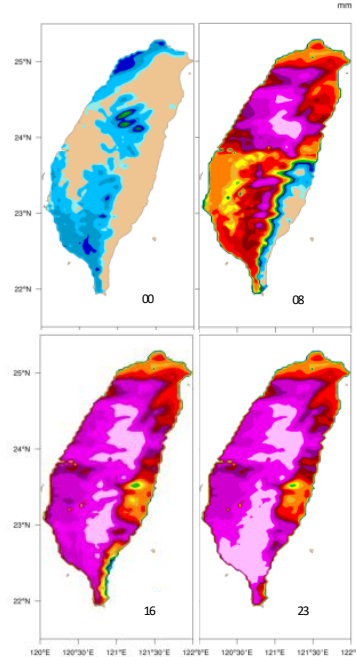


圖 4. WRF-KF (3 公里)於 6 月 2 日的日累積雨量。

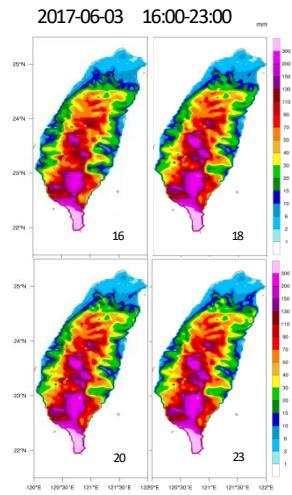


圖 5. WRF-KF (3 公里)於 6 月 3 日的日累積雨量。

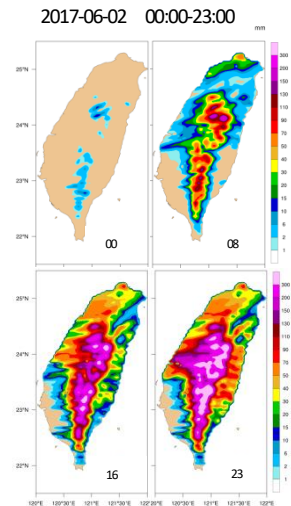


圖 8. WRF-NaN (3 公里)於 6 月 2 日的日累積雨量。

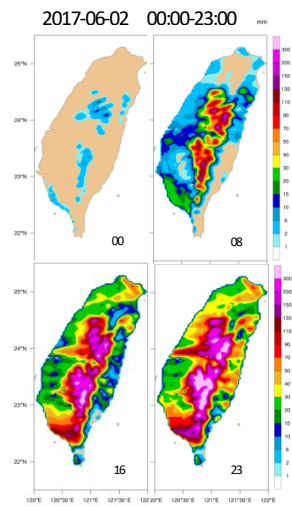


圖 6. WRF-BMJ (3 公里)於 6 月 2 日的日累積雨量。

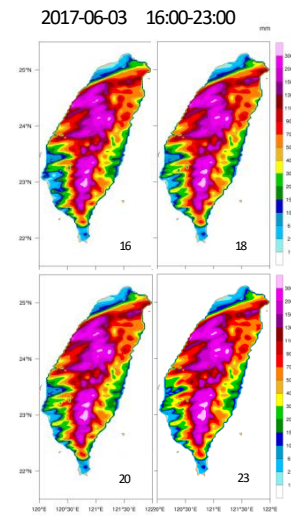


圖 9. WRF-NaN (3 公里)於 6 月 3 日的日累積雨量。

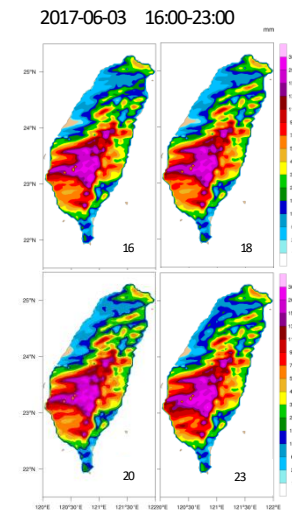


圖 7. WRF-BMJ (3 公里)於 6 月 3 日的日累積雨量。

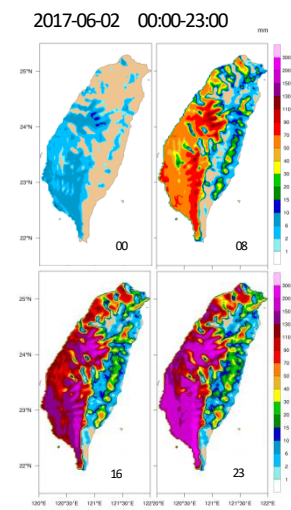


圖 10. MSM-SAS (3 公里)於 6 月 2 日的日累積雨量。

2017-06-03 16:00-23:00

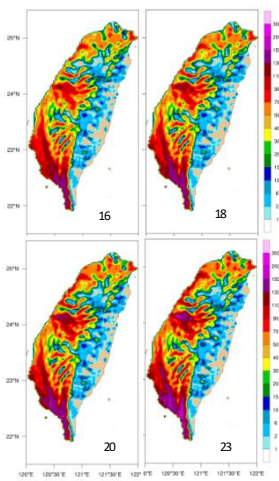


圖 11. MSM-SAS (3 公里)於6月3日的日累積雨

2017-06-02 00:00-23:00

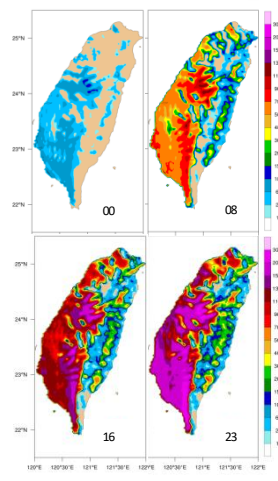


圖 14. MSM-NaN (3 公里)於6月2日的日累積雨量。

2017-06-02 00:00-23:00

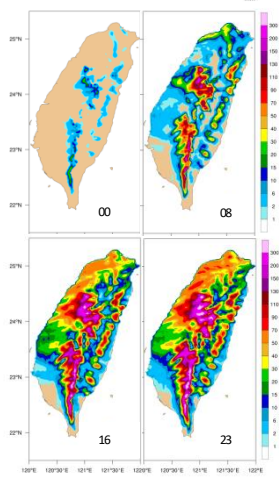


圖 12. MSM-RAS (3 公里)於6月2日的日累積雨量。

2017-06-03 16:00-23:00

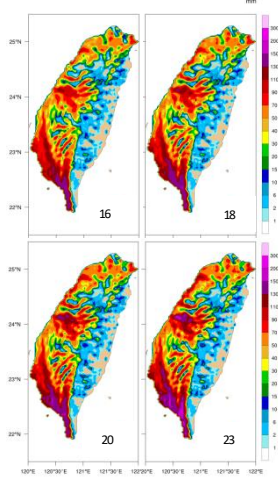


圖 15. MSM-NaN (3 公里)於6月3日的日累積雨量。

2017-06-03 16:00-23:00

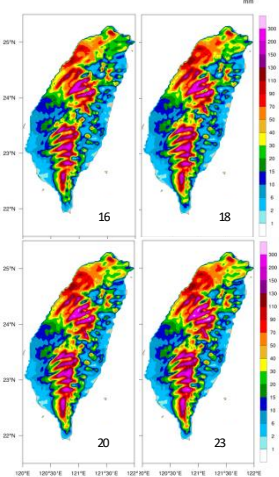


圖 13. MSM-RAS (3 公里)於6月3日的日累積雨量。