

中央氣象局新一代高解析度區域模式介紹

江晉孝¹ 邵彥銘¹ 戴湘卉¹ 陳怡儒¹ 林伯勳¹ 魏士偉² 洪景山¹

黃小玲¹ 陳白榆¹ 蔡雅婷¹ 林勤芳¹ 李志昕¹ 馮欽賜¹

¹中央氣象局氣象資訊中心

²University at Albany

摘要

中央氣象局目前作業之區域預報模式為 WRF/WRFDA，此一系統於 2007 年 11 月 15 日正式上線作業至今，不斷對於資料同化策略、分析方法以及模式相關參數化進行深入研究與更新。鑒於中央氣象局新一代高速運算電腦與大量資料儲存系統之建置完成，提供更高速之運算效能與資源，讓我們有契機來提升現行作業 WRF 模式之水平、垂直解析度以及模式層頂高度；藉由此新一代高解析度區域模式與目前作業模式之表現進行比較與評估，獲得更多高解析度模式之經驗與其在對流尺度預報上所能帶來之效益，最後則對於此新一代高解析度 WRF 模式之未來發展作更進一步規劃。

本研究針對夏季(2015 年 8 月)與冬季(2015 年 12 月)各進行為期一個月的預報，並以美國國家環境預報中心(NCEP)的分析場作為格點校驗之基準，結果顯示此新一代高解析度區域模式在高度、溫度、風場之分析與預報皆有較佳的表現，且其預報降水之分布與極值之掌握亦較為合理與細緻。

關鍵字：變分資料同化、格點校驗、公正預兆得分、平均誤差、均方根誤差

一、前言

對流尺度的天氣分析與預報為各國區域模式預報所需面對之挑戰，而要能解析對流尺度的天氣現象則必須提高模式網格解析度；過往因為有限之高速運算效能與資源，僅能在綜觀尺度上進行天氣分析與預報；隨著本局新一代高速運算電腦之建置完成，大幅提升的運算效能與儲存資源，讓我們能藉由提高模式水平與垂直解析度來逐步實現對流尺度的天氣分析與預報，並進一步了解在對流尺度下高解析度模式所能提供之訊息與其未來改進之方向。

二、實驗說明

中央氣象局 WRF 模式(CWBWRF)已於 2007 年上線作業，每年皆進行版本更新與程式修正，目前舊版的作業模式(版本名稱為 WRF_M00)為三層巢狀網格區域，最外層的網格解析度為 45 公里，中層的網格解析度為 15 公里，內層的網格解析度為 5 公里，垂直層數為 45 層，模式層頂為 30 百帕。

本研究之新一代高解析度區域模式(版本名稱為 WRF_M04)，則使用二層巢狀網格區域，外層的網格解析度為 15 公里，內層的網格解析度為 3 公里，垂直層數增加為 52 層，模式層頂提高至 20 百帕，新舊模式網格涵蓋範圍與網格點數配置之資訊如(圖 1)，WRF_M04 已於 2016 年 7 月正式上線作業。

WRF_M00 與 WRF_M04 使用之資料同化方法皆為 WRF 三維變分資料同化(WRF 3 Dimension Variational analysis; WRF3DVar)，同時使用 Blending 技術將綜觀尺度與中尺度等相關訊息進行適當之結合，另外藉由渦漩移置(Relocation)的方法在颱風生成後對模式中颱風之位置進行調整。

本研究選擇夏季(2015 年 8 月)與冬季(2015 年 12 月)，各進行為期一個月的預報，並以 NCEP 分析場為校驗基準。所有實驗均使用 NCEP 分析場(0.5°x0.5°)為初始猜測場、NCEP 預報場為模式的邊界，採用 12 小時局部循環(12 hour partial cycle)，並分別在 00Z、06Z、18Z 進行 84 小時預報，而在 12Z 則進行 120 小時預報。

藉由交叉比對 WRF_M00 與 WRF_M04 兩者的分析與預報結果，瞭解新一代高解析度模式所能帶來之效益與其對降水預報改善之程度。

三、模式計算資源之設定

WRF_M04 之外層(15 公里)水平網格點數為 662x386，內層(3 公里)為 1161x676，相較於 WRF_M00 的水平網格點數提升甚多，因此所需之計算資源亦大幅提升。在實際作業上，我們使用 108 個中央處理器、18 個節點進行 WRF3DVar，完成一次資料同化(二層)約耗時 10 分鐘；同時使用 1560 個中央處理器、51 個節點進行 WRF 模式的預報。模式預報 84 小時約需耗時 1 小時 45 分，若預報 120 小時則需 2 小時 20 分。

四、結果分析

(一) Domain1 之格點校驗結果

為了 WRF_M04 的 Domain1(15 公里)與 WRF_M00 的 Domain1(45 公里)格點校驗之公平性，我們先將 WRF_M04 的 15 公里之結果挑點降至 45 公里使其與 WRF_M00 的解析度一致後，再與 NCEP 分析場進行比對。

由夏季的實驗結果顯示，WRF_M04 與 WRF_M00 之高度場、溫度場、風場在分析時間時(圖 2)均方根誤差之差異不大，但可看出 WRF_M04 稍佳，而高度場平均誤差差異較大的部分在 200 hPa 以上。但預報 72 小時後(圖 3)，在高度場，中高層(700~200 hPa)WRF_M04 的均方根誤差比 WRF_M00 的均方根誤差稍低(圖 3a)，顯示其結果較佳，而 WRF_M04 在 300 hPa 以下預報的高度場平均誤差亦較 WRF_M00 的預報低，顯示其模式的高度場預報呈現較低的特性。溫度場，分別在 500~200 hPa 及 700 hPa 以下，WRF_M04 的均方根誤差比 WRF_M00 低(圖 3b)，顯示其結果較佳，而由平均誤差之結果亦發現，WRF_M04 隨預報時間增加，其溫度亦有偏暖之趨勢。U 風場，WRF_M04 的均方根誤差比 WRF_M00 稍低，而由平均誤差可發現，700 hPa 至 200 hPa 的西風預報 WRF_M04 較 WRF_M00 強，而在 V 風場，同時亦顯示 WRF_M04 在 300 hPa 以下的南風預報較 WRF_M00 強。

(二) 二維月平均場

500 hPa 二維月平均高度場與 NCEP 分析場之差值結果顯示(圖 4)，WRF_M04 在 domain 邊界處之誤差比 WRF_M00 小，且從初始到 72 小時預報其在太平洋上之預報亦較 WRF_M00 來得低。而由 850 hPa 二維月平均溫度場與 NCEP 分析場之差值結果(圖 5)，WRF_M04 在海面上有隨預報時間增加而偏暖之趨勢。

另外，冬季之格點校驗與二維月平均場之結果(圖略)與夏季之結果相仿，亦即 WRF_M04 之高度場預報較低、溫度場在洋面上預報較暖；但冬季之風場其西風與南風則沒有夏季來的強。

(三) 降水校驗結果

本次校驗選取 2015 年夏季(8 月 01 日至 05 日)，與冬季(12 月 05 日至 10 日)各 5 天於 WRF_M04 Domain2 之 3 公里解析度及 WRF_M00 Domain3 之 5 公里解析度預報資料作 12 小時之定量降水預報校驗。透過中央氣象局 572 個雨量站提供的觀測降雨量，以評估此次 WRF_M04 於水平解析度的提升對於降水預報的效益，本實驗將觀測雨量內插至模式 3 公里預報格點上(WRF_M00 是將觀測雨量內差至 5 公里)，透過台灣地區 12 小時降雨量水平分布與降雨量平均隨時間的變化趨勢，以判別模式預報降水的掌握能力。另計算 12 小時累積降雨量之公正預兆得分 ETS (Equitable Threat Score, Schaefer 1990) 及扣除誤報率 1-FAR (False

Alarm Ratio) 兩種評估分數，於 WRF_M04 及 WRF_M00 進行不同降雨率門檻值之預報校驗；其中，ETS 及 1-FAR 分數愈接近 1 代表模式降雨預報愈準確。

圖 6 顯示在冬季 5 天，WRF_M04 以及 WRF_M00 於 24-36 小時之降水預報與觀測值之水平分布比對，我們發現 WRF_M04 之降水分布與極值較 WRF_M00 更接近觀測值，亦即 WRF_M04 有效改善 WRF_M00 在臺灣宜蘭至東部降水預報過度高估之狀況。

另由圖 7 台灣地區 12 小時累積降水平均隨時間分布結果得知，WRF_M04 預報降水與觀測的差異性於 24-36 小時，皆較 WRF_M00 預報降水結果來得佳，尤其是於 12 月 9 日強降水期間之改善更為明顯。

五、結論與展望

本次 WRF_M04 上線作業與舊版 WRF_M00 之主要差異為：更改巢狀網格局數、水平解析度、垂直解析度、模式層頂、3DVAR 不使用 Hybrid 及調整 GWDO 參數，其他模式設定及流程皆與 WRF_M00 相同。

預報效能分析：WRF_M04 在夏季整體預報表現皆較 WRF_M00 略佳；在冬季低層整體預報較 WRF_M00 好，中、高層部分預報結果則與 WRF_M00 相近。降水校驗結果：WRF_M04 其降水分布、極值掌握與降水得分之表現皆較 WRF_M00 佳；尤其是 WRF_M04 能有效的改善 WRF_M00 於東部地區降水過度高估的情形，且 WRF_M04 於夏季的大雨(大於 75 mm 門檻值)得分(圖略)亦有顯著的改進。

由此次新一代高解析度區域模式之結果顯示，提高網格局數確實能對於對流尺度的降水預報以及降水系統之移動狀態更有效地掌握，且其較細緻的地形與降水系統之間的交互作用能較正確地解析降水分布的型態進而改善極值出現的位置與量值；未來若能更進一步同化時空分布密集的雷達觀測資料，亦或是再提高網格局數，應能更進一步改進臺灣地區的降水預報，提升災害預警之能力與效益。

六、致謝

感謝中央氣象局 NWP 小組同仁之協助，使得此新一代高解析度區域模式能順利在 2016 年 7 月上線作業。

七、參考文獻

簡芳菁、洪景山、張文錦、周仲島、林沛練、林得恩、劉素屏、繆睿如、陳致穎，2006：WRF 模式之敏感度測試，第二部分：定量降水預報校驗，大氣科學，第 34 期，第 3 卷，261-276。

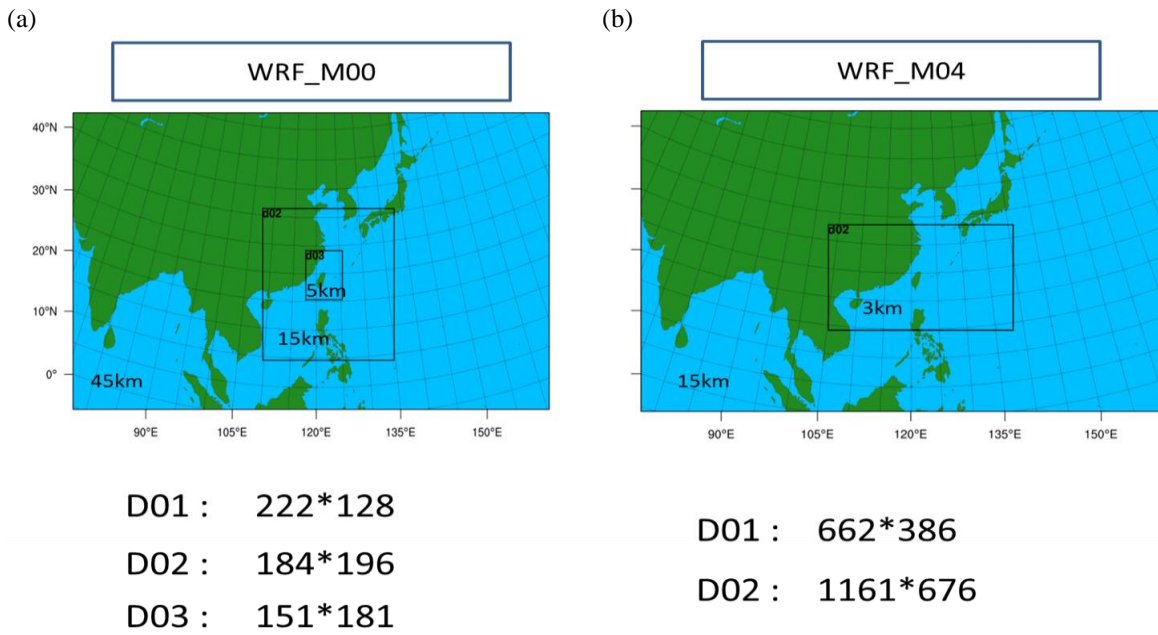


圖1：新一代高解析度WRF模式與舊版WRF作業模式之網格設定，(a)舊版WRF_M00 (b)新一代WRF_M04，圖上可知WRF_M04的15公里與WRF_M00的45公里其網格涵蓋範圍一致。

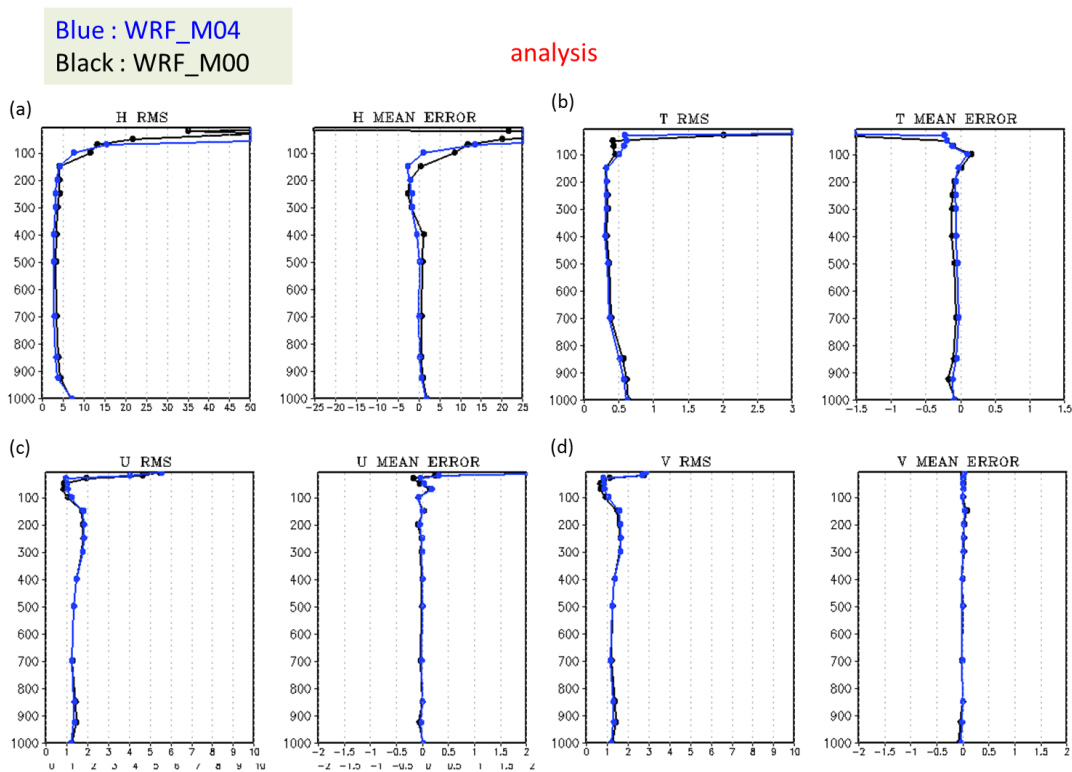


圖2：Domain1 在2015年8月，模式分析場與NCEP分析場校驗之均方根誤差(左圖)和平均誤差(右圖)，藍線為WRF_M04、黑線為WRF_M00。(a)高度場，(b)溫度場，(c)U風場，(d)V風場。

Blue : WRF_M04
Black : WRF_M00

72 hour forecast

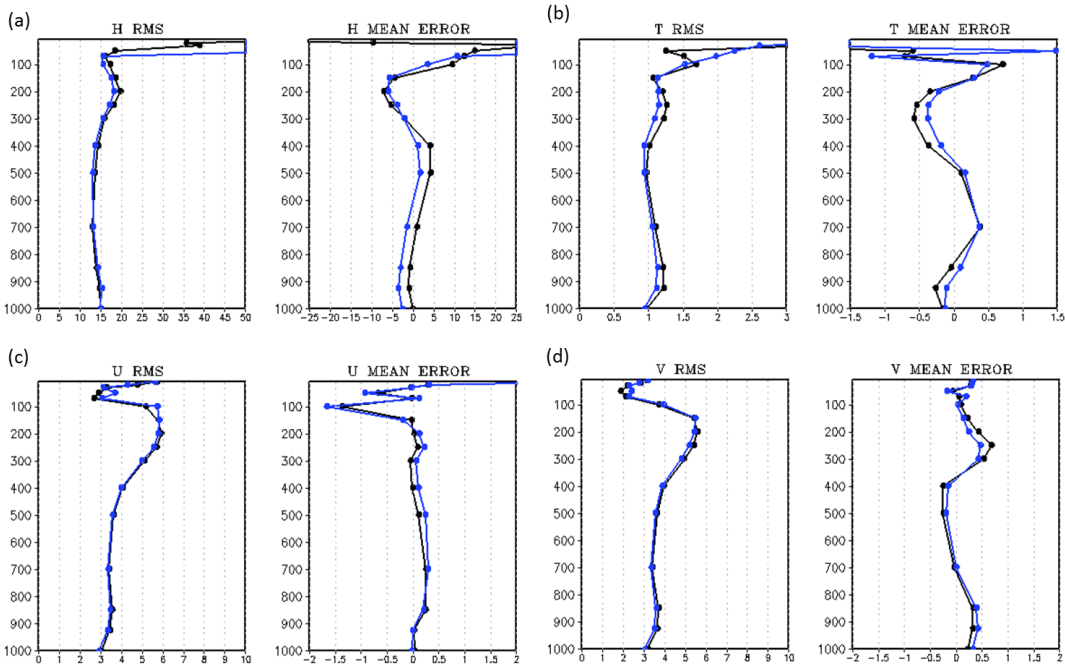


圖3：Domain1 在2015年8月，72小時預報場與NCEP分析場校驗之均方根誤差(左圖)和平均誤差(右圖)，藍線為WRF_M04、黑線為WRF_M00。(a)高度場，(b)溫度場，(c)U風場，(d)V風場。

500 hPa GHT

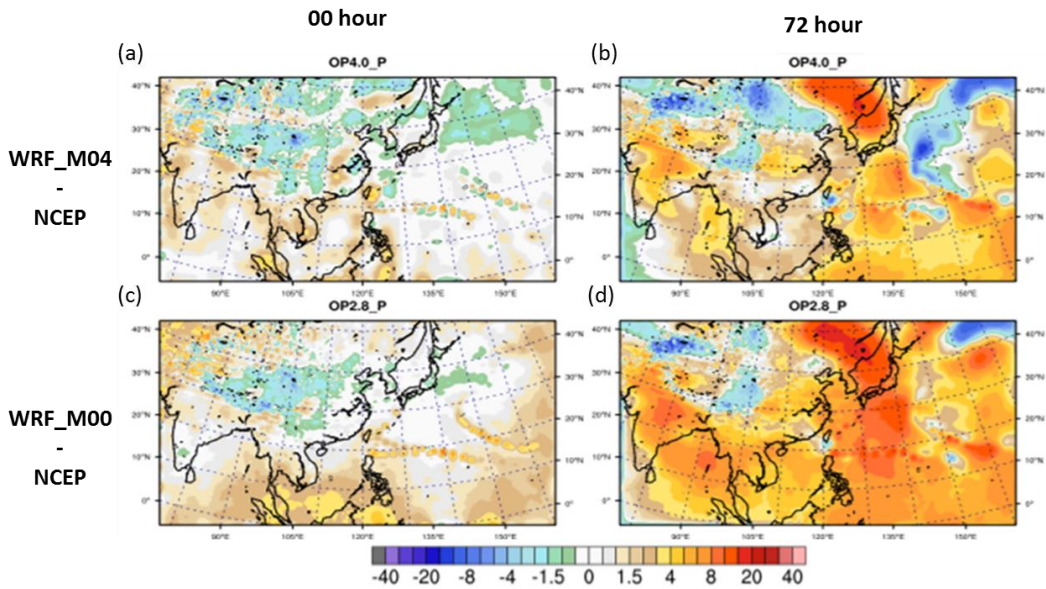


圖4：Domain1 在2015年8月，WRF_M04、WRF_M00之模式分析與72小時預報其各自的500 hPa高度場與NCEP 500 hPa分析場的月平均差值。

850 hPa Temperature

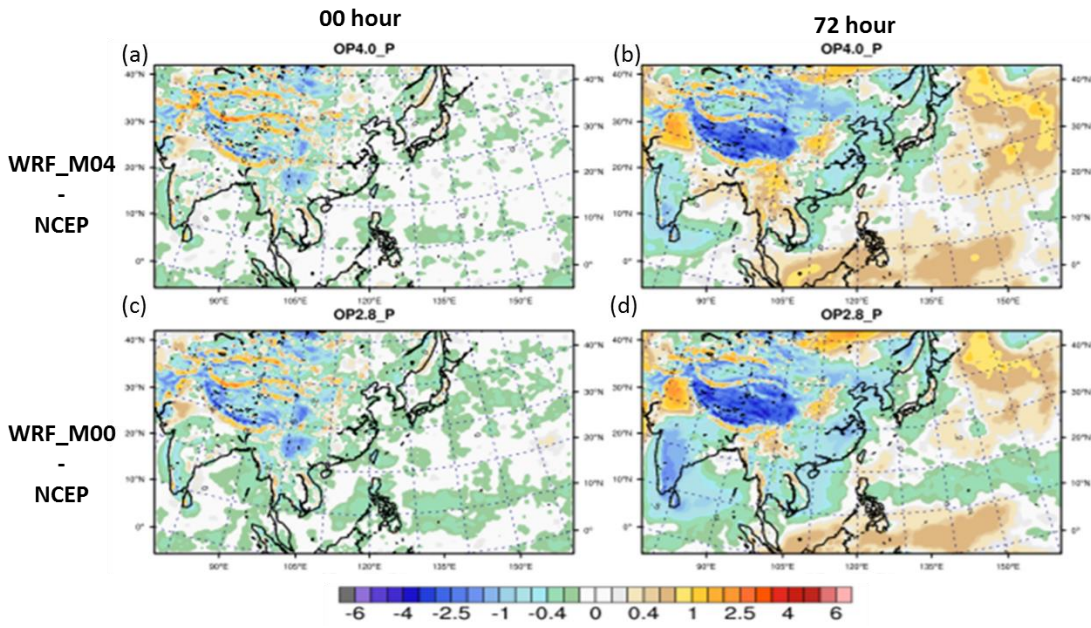


圖 5：Domain 1 在 2015 年 8 月，WRF_M04、WRF_M00 之分析與 72 小時預報其各自的 850 hPa 溫度場與 NCEP 850 hPa 分析場的月平均差值。

2015/12/05 00 to 12/10 00 24-36 h 預報

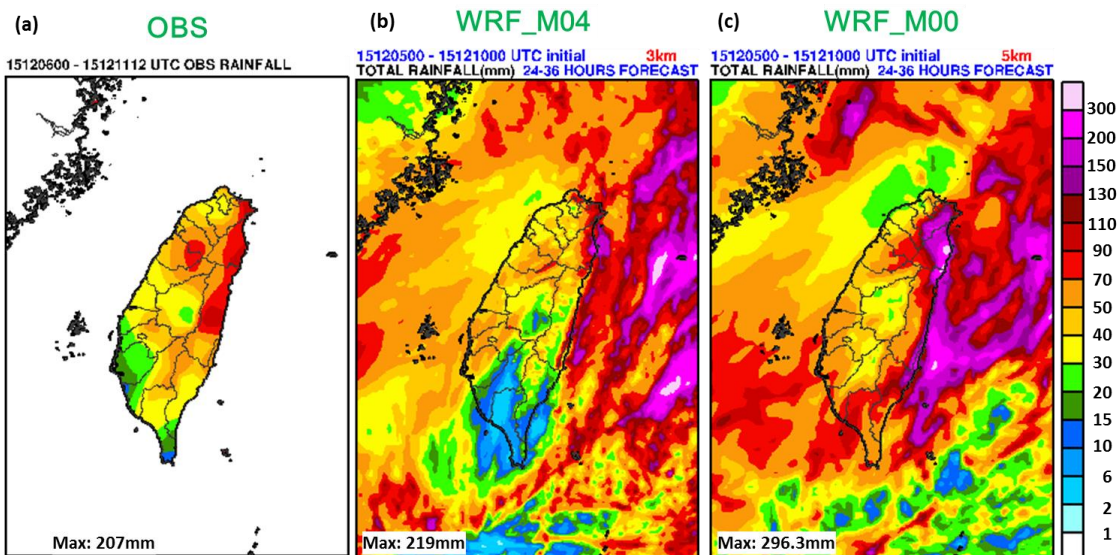


圖 6：2015 年 12 月 05 日至 10 日 12 小時降水預報校驗於 24-36 h 預報之水平分布圖。(a)觀測值，(b)WRF_M04，(c)WRF_M00。

24-36hr forecast accumulated rainfall from 2015120500

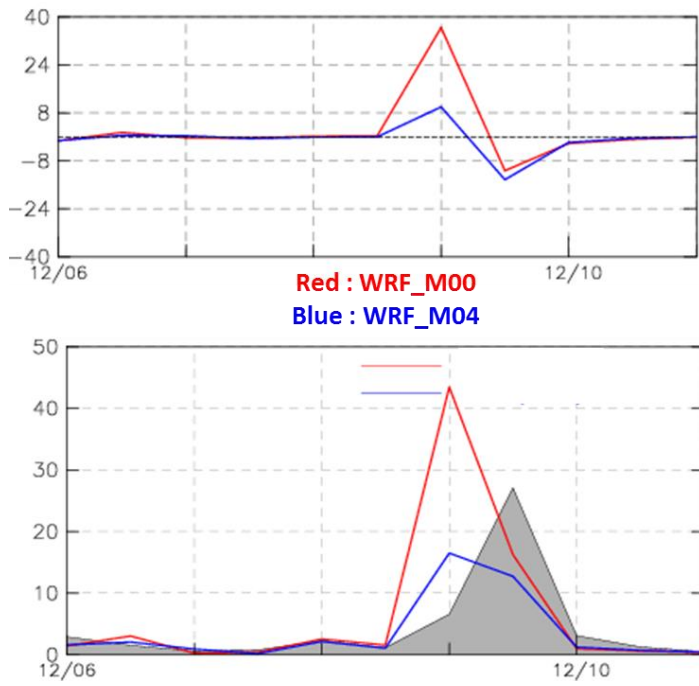


圖7：2015年12月05日至10日12小時降水預報校驗之24-36h預報於台灣區域平均與觀測資料的比較。其中，紅色、藍色實線分別為WRF_M00、WRF_M04之降水預報，灰色區域則為觀測值。