

STMAS-WRF極短期預報模式能力評估

王溫和 張惠玲 陳嘉榮 方偉庭
氣象衛星中心
中央氣象局

摘 要

本文利用時間與空間多尺度分析系統 (Space and Time Multiscale Analysis System, STMAS)整合各項觀測資料 (包括傳統的地面與高空觀測及非傳統資料的飛機、雷達、衛星觀測資料)，採用非絕熱初始化技術，避免數值模式所謂的“spinup”問題，提高模式在短期降水的合理性。STMAS 分析方法是採取連續多次的變分法，在具有計算效率高的多重網格上進行運算。STMAS 先將觀測資料分成不同波長，由長波到短波依序求解，並採用不同的約束條件，保留不同尺度的天氣特徵。同時配合 WRF 模式，進行每 3 小時 1 次之 0-12 小時天氣預報。本研究使用 2014 及 2015 年梅雨期間 (5、6 月) 個案，進行定量降水預報與校驗，評估 STMAS-WRF 0-12 小時的預報能力。

關鍵字：STMAS，非絕熱初始化

一、前言

本局為提升對劇烈天氣現象的短時(0-12 小時)預報能力，與美國海洋暨大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)之地球系統實驗室全球系統組(Earth System Research Laboratory / Global Systems Division, ESRL/GSD)技術合作，發展臺灣本土之時間與空間多尺度分析系統(Space and Time Multiscale Analysis System, STMAS)，期能有效掌握劇烈天氣的變化，適時提供短時定量降水預報指引。

STMAS 資料分析系統整合了各項觀測資料 (包括傳統的地面與高空觀測及非傳統資料的飛機、雷達、衛星觀測資料)，應用非絕熱初始化 (diabatic initialization) 技術，使模式初期即有降雨系統資訊 (如：雲水、雲冰…等等)，以改善傳統數值模式所謂的“spinup”問題，提高模式在短期降水的合理性。目前本局採用 ARW (Advanced Research WRF) /WRF (Weather Research Forecast)，配合 STMAS 所提供的初始值，進行每 3 小時 1 次之 0-12 小時天氣預報。

二、分析方法與資料處理

STMAS 分析方法採用連續多次的三維變分法 (Xie et al 2011 ;Xie et al 2005) 與一般使用的單次三維變分有所不同，傳統上的三維變分受限於是否可準確估計模式與觀測之 Error Covariance；此法不但需要更大量的計算，而且只能解析出 Error Covariance 所代表的尺度大小，就是因為無法準確的估計出變異數，所以常常會擷取錯誤的天氣特徵。而 STMAS

是使用連續多次的變分法，並在具有計算效率高的多重網格 (multigrid,圖 1) 上進行變分計算。STMAS 是以觀測網格可解析的天氣特徵，利用 Sin、Cos 為基底函數來近似觀測資料函數的觀念，先將觀測資料分成不同波長，由長波到短波依序求解出來，同時在針對不同的波長作逐次變分時，透過約束條件，將不同尺度下的天氣特徵保留下來。此外，地面觀測資料無論在時間上或空間上常具有非均值 (inhomogeneous) 的特性，若客觀分析的方法只有單一時間的資訊，將導至時間的不連續，而無法提供最真實的大氣狀況。為處理不同天氣系統的非線性現象，STMAS 採取的作法是，以連續的進行三維變分來逐漸逼近分析場，故其作後的分析結果，會優於傳統上只使用一次的三維變分。

由於 STMAS 雲的變分技術尚在發展當中，目前是使用 LAPS(Local Analysis and Prediction System)的分析方法。LAPS 之雲分析 (Albert et al ,1996) 是結合數值模式預報、衛星資料、雷達資料、飛機報告及地面觀測(圖 2)，以反演出模式所需之雲水、雲冰、雨、雪及冰雹等資訊。數值模式以此為初始條件，可進行所謂的非絕熱初始化，是為熱啟動 (hot start) 模式。相對的，若模式初期並無雲的資訊存在，而必須透過自己內部的微物理過程，逐漸醞釀產生，此時則為冷啟動(cold start)模式。圖 3 是 2015 年 5 月 24 日 18UTC 時，根據 LAPS 雲分析之雲冰、雪、雨及冰雹等資訊反演出的最大回波值(CV)，其型態、大小與實際的最大回波相近，可見 LAPS 雲分析結果，具一定程度的可靠性。圖 4 是比較 LAPS-WRF 在使用冷、熱啟動兩種不同方法，對定量降水預報的差異，可發現熱啟動的數值模式在初期的降雨預報，確實會比冷啟動的結果好。

本文使用 2014、2015 兩年的梅雨期間（5、6 月）資料，評估 STMAS-WRF 對定量降水預報的能力。同時也會將 STMAS-WRF 的預報結果與 ECMWF 及本局發展的 WEPS-PM(Probability-matched Mean)的預報相比較。STMA-WRF 與 WEPS-PM 的預報資料皆取 0-12 小時預報，而 ECMWF 則取前 12 小時 RUN 之 12-24 小時的預報資料，主要考慮的原因是在實際作業上，ECMWF 的預報資料，大約都要延誤 6 小時以上，故取其 12-24 的預報資料作為參考。又 STMAS-WRF、WEPS-PM 及 ECMWF 的解析度不同，分別是 3 公里、5 公里，及 12.5 公里，為求公平性與客觀性，需先將所有模式內插至 2.5 公里解析度上，再進行校驗。而對降雨個案的選取，主要是考慮臺灣陸地上的降雨，在 12 小時內降雨應大於 25mm，同時降雨的面積亦需大於整個陸地的百分之 3。由於目前只有 ECMWF 模式 00、12UTC 的預報資料，而依上述的選取標準，2014、2015 年 2 年梅雨期共可挑選出 64 個降雨個案。至於，地面上的雨量觀測，則以 QPESUMS 所估計的雨量作代表。

三、個案分析與校驗結果

圖 5 是 STMAS-WRF 分別於 2015 年 5 月 24 日 09UTC(09RUN)、12UTC(12RUN)、15UTC(15RUN) 及 18UTC(18RUN) 4 個不同的初始時間，對相同期間(5 月 24 日 18-21 UTC) 3 小時累積降雨的預報結果，18 RUN 是表示取 0-3 小時，15 RUN 是取 3-6 小時預報，12 RUN 是取 6-9 小時預報，而 09 RUN 則是 9-12 小時的預報結果。由圖上分析，顯示這幾個時間的預報，對高屏地區降雨的型態，都有不錯的掌握。其中又以最新 RUN(18UTC)的預報結果最好，而最晚的 09RUN 也可預測到未來 9-12 小時，高屏地區將會有較大降雨發生。而對相同降雨事件的預報，一般而言以最靠近事件的預報會比較準確，但有時也不見得皆會如此。以 2014 年 5 月 15 日 12-15UTC 3 小時的累積降雨為例(圖 6)，主要的降雨帶是發生在中部地區，比較 4 個不同初始時間(分別是 12UTC、09UTC、06UTC 及 03UTC)的預報結果，四者對此降雨型態的預報都不夠準確，離降雨事件最近的預報(12RUN)，預報的鋒面系統位置有點偏北，以致無法正確掌握到中部地區較大降雨的型態，反而是離降雨事件較遠的 03RUN 表現較好。至於 WEPS-PM 與 ECMWF 對此個案的預報結果(圖 7)，同樣的，也是無法掌握到中部地區較大降雨的特徵，似乎這個降雨個案的可預報度較小。

本文利用 TS(Threat Score)、POD(Probability of Detection)、FAR(False Alarm Ratio)及 BIAS 等校驗指標，評估 STMAS-WRF 的優劣。圖 8 是三種數值模式的 TS 指標成績，可知 STMAS-WRF 因有熱啟動的功能，故在 0-6 小時會有比較好的成績，而 WEPS-PM 是

屬於冷啟動，期前 6 小時的成績低於 STMAS-WRF，但在 6-12 小時的校驗成績，則優於 STMAS-WRF 及 ECMWF 的預報結果。而這種特徵也分別出現在 POD(圖 9)與 FAR(圖 10)上。利用 BIAS(圖 11)的大小，可以判別模式預報降雨是否有高、低估的趨勢。從圖上分析，顯示 ECMWF 在小降雨門檻會有高估，而大降雨門檻則有低估的現象。WEPS-PM 在所有的降雨門檻都有高估的表現，這應該是使用 PM 方法的共同特徵，所幸在 45mm/3hr 降雨門檻以下，降雨高估的幅度並不會太大。而 STMAS-WRF 在 3-12 小時有降雨低估的特性，但 0-3 小時的雨量預報，在 25mm/3hr 降雨門檻以下，BIAS 幾近於 1，顯示預報的雨量與實際雨量較一致，惟在大降雨門檻時，仍有低估的現象。

四、結論及展望

由前面的分析結果，可知 STMAS-WRF 在採用熱啟動時，0-6 小時之定量降水預報，確實優於其他模式。然而有時對某些個案的降雨預報，仍不夠準確，原因可能是來自於 LAPS 雲分析所得之水相，尚不足代表真實的大氣。STMAS 正積極發展雲變分技術，當此技術完成後，應該可提高降雨預報的品質。另一原因，有可能是歸因於可預報度的問題。因此，定量降水預報完全依賴單一(決定性)預報，是有其風險。目前正著手建立 STMAS-WRF 的系集預報，並依此發展 STMAS-WRF 的 PM 技術，以改善降雨低估的特性。而 WEPS-PM 在 6-12 小時的降雨預報表現最佳，在實際作業上，應可結合 STMAS-WRF 及 WEPS-PM 的優點，即 0-6 小時的降雨預報可參考 STMAS-WRF 模式，而 6-12 小時的降雨則改採 WEPS-PM 的預報結果。

參考文獻

- Albers, S., J. McGinley, D. Birkenheuer, and J. Smart, 1996: The Local Analysis and Prediction System(LAPS): Analyses of clouds, precipitation, and temperature. *Wea. Forecasting*, 11, 273-287.
- Xie, Y., S.E., Koch, J.A. McGinley, S. Albers, and N. Wang, 2005: A sequential variation analysis approach forecast mesoscale data assimilation. 21st Conf. on Weather Analysis and Forecasting / 17th Conf. on Numerical Weather Prediction.
- Xie, Y. F., S. Koch, J. McGinley, S. Albers, P. Beringer, M. Wolfson, and M. Chan, 2011: A Space-Time Multiscale Analysis System: A Sequential Variational Analysis Approach. *Monthly Weather Review*, 139, 1224-1240.

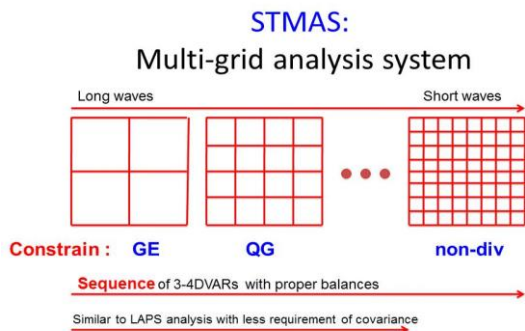


圖1. STMAS使用多重網格(摘自 NOAA/GSD/STMAS)。

LAPS 雲分析方法

結合數值模式預報、
衛星資料、雷達資料、
飛機報告、地面觀測。
使模式初期即有雲水、
雲冰、雪、雨、冰雹等
資訊。

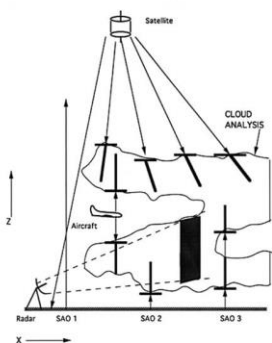
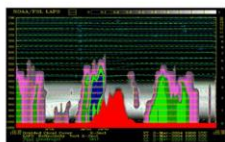


圖2. LAPS雲分析方法。右邊是雲分析時，所採用的觀測資料三度空間示意圖(摘自 NOAA/GSD/LAPS)。

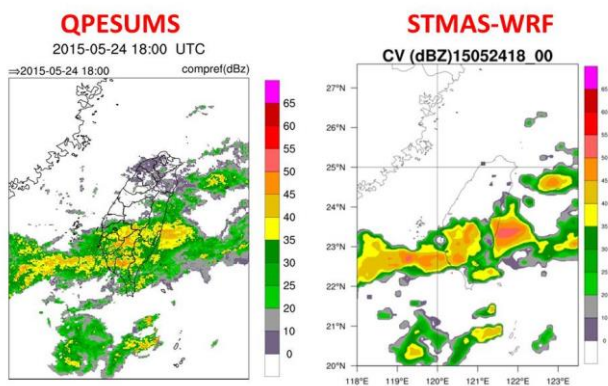


圖3. 2015年5月24日18UTC最大回波值(CV)，左邊是QPESUMS的觀測資料，右邊是利用LAPS分析結果求得之回波。

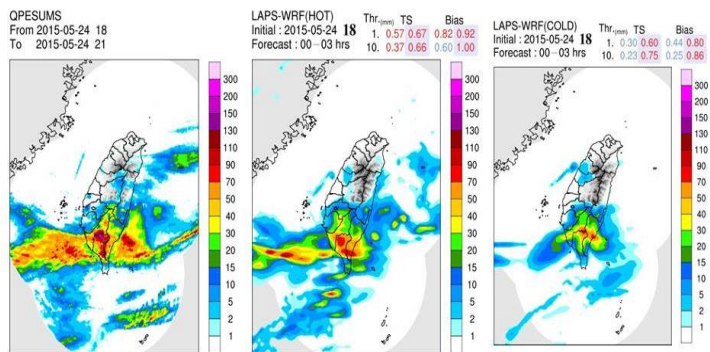


圖4. 2015年5月24日18-21UTC 3小時累積雨量。左邊是QPESUMS雨量估計，中間是使用熱啟動預報結果，右邊是使用冷啟動預報結果。

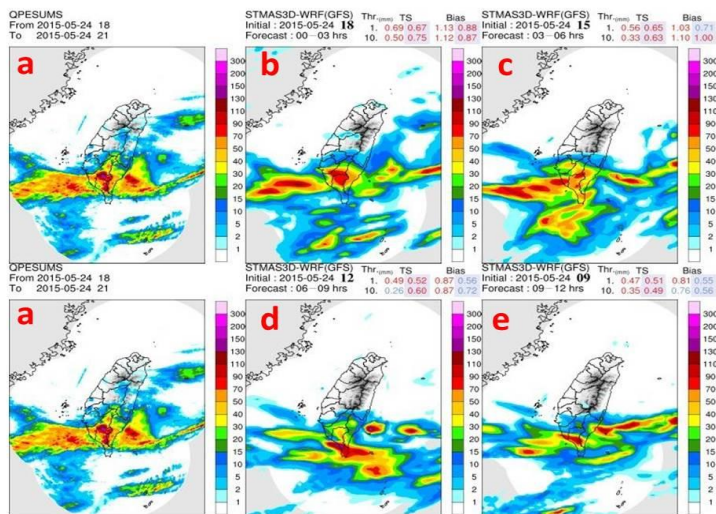


圖5. 2015年5月24日18-21UTC 3小時的累積雨量。(a)是QPESUMS的雨量估計值，(b)是18RUN，(c)是15RUN，(d)是12RUN，(e)是09RUN。

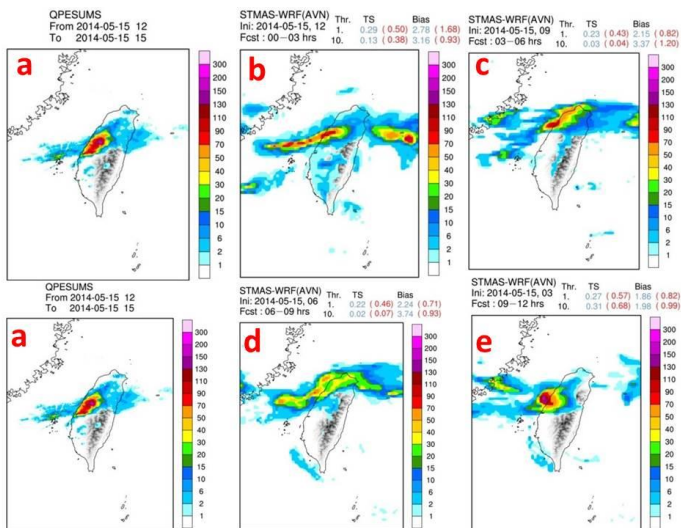


圖6. 同圖5，惟個案是2014年5月15日12-15UTC 3小時累積雨量。

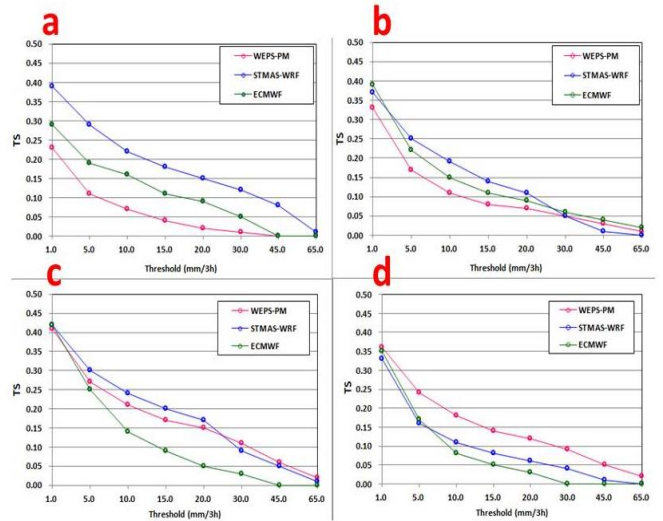


圖8. 三種模式的TS校驗成績，藍色是STMAS-WRF，綠色是ECMWF，紅色是WEPS-PM。(a)是0-3小時，(b)是3-6小時，(c)是6-9小時，(d)是9-12小時。

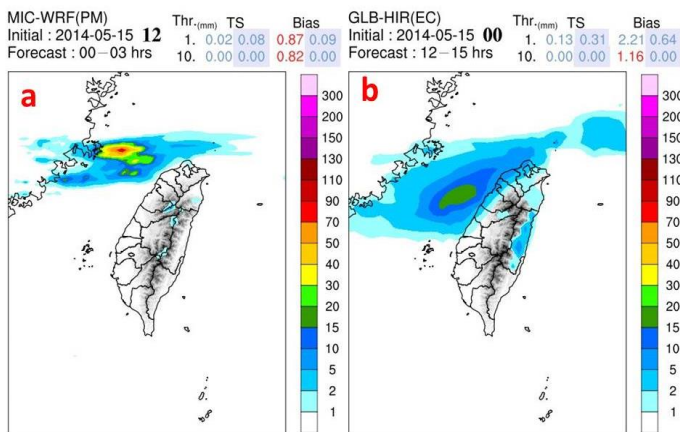


圖7. 與圖6同一個案，(a)是WEPS-PM預報結果，(b)是ECMWF預報結果。

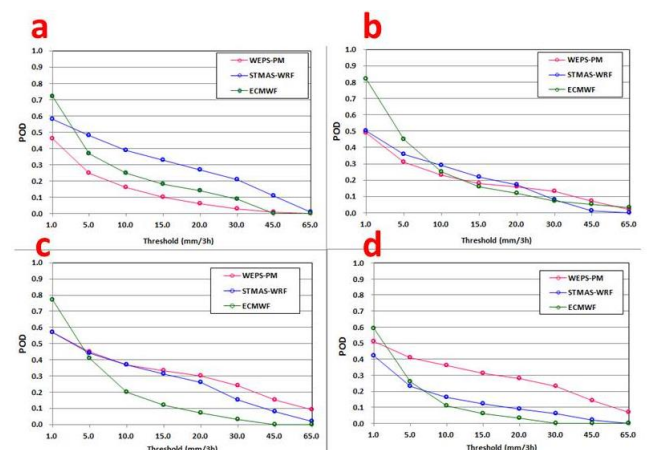


圖9. 與圖8同，但為POD校驗成績。

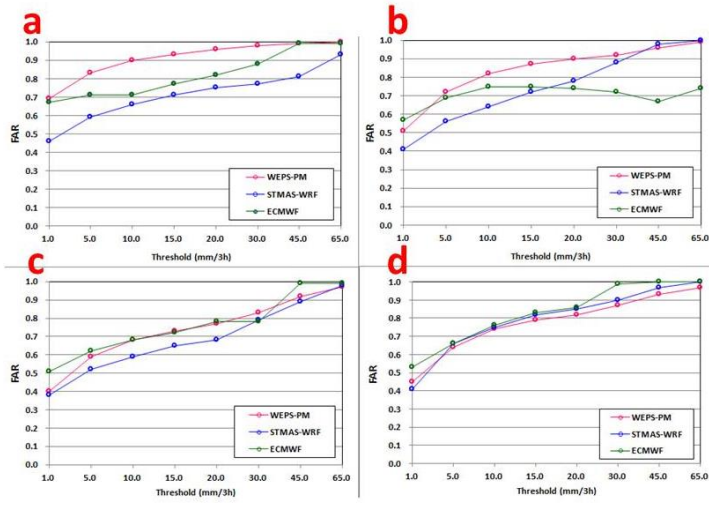


圖10.與圖8同，但為FAR校驗成績。

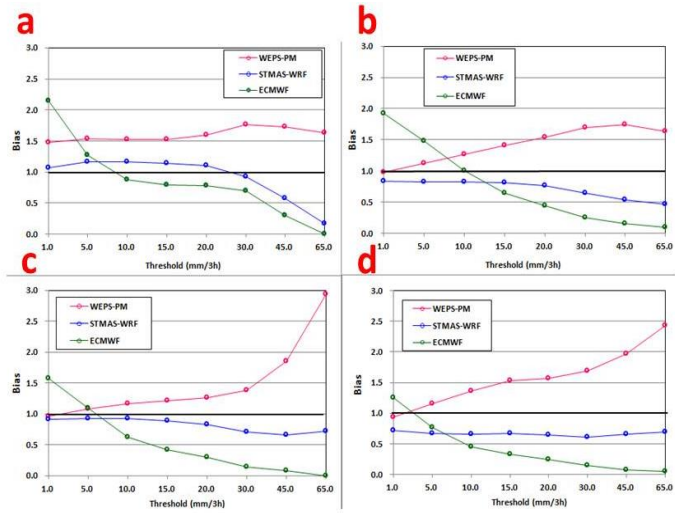


圖11.與圖8同，但為BIAS校驗成績。