

高解析度 CReSS 模式在臺灣 8 天颱風預報之系集應用

王重傑、黃心怡

(Chung-Chieh Wang, Shin-Yi Huang)

臺灣師範大學地球科學系

摘要

目前臺灣主要的天氣與定量降水預報方式是採用系集預報(預報長度多不超過 78 h)，其優點為可了解模式的不確定性，及透過散布來囊括颱風路徑的可能分布。但在臺灣，地形崎嶇複雜且人口密集，在颱風預報與減災策略上，最重要的是能提供高度真實的降水情境預報，而此必須藉由高解析度的模式來提供，才能獲得較佳的效果。由於所耗資源較多，雲解析模式一般僅能採單一模式之確定性預報，故常被認為無法提供機率資訊來量化預報的不確定性，且亦多有前置時間(lead-time)不足的缺點。因此，如何改進高解析度模式上述的兩個缺點，為本研究預報策略主要探討的問題。

為改善上述問題，本研究使用日本名古屋大學「雲解析風暴模式」(Cloud-resolving Storm Simulator；簡稱 CReSS)，自 2012 年開始進行臺灣之準作業化梅雨與颱風預報實驗。以 2.5 km 水平格點間距，區域範圍為 1860 × 1360 km²，持續進行每日 1 次(即 0000 UTC)之 8 天(192 h)預報實驗，並即時顯示於預報網頁(<http://vortex.es.ntnu.edu.tw/>)。模式初始與邊界條件由美國國家環境預報中心(NCEP)全球預報系統(GFS)之網格解析度為 1°×1°分析場與預報場資料。透過 2012 年颱風季的 8 天預報結果顯示，在所有 5 個侵臺颱風中(包括災情最大的蘇拉颱風)，模式在颱風侵台前 5~6 天，即可產生出相當不錯的 24 h 定量降水預報，顯著增加防災應變的前置時間(lead-time)。由於伴隨不同路徑的臺灣降水情境高度逼真，可藉由不同初始時間對同一天的預報來獲得系集資訊(稱為 time-lagged ensemble)，並同時達到高解析度的要求。另外，平均之路徑誤差也有隨時間變小的趨勢(即愈新之預報，誤差愈小)。因此，此 8 天預報可同時提供更真實之降雨、更長之潛在前置時間，及系集資訊，為有效改進颱風定量降水預報之方向。

關鍵字：臺灣、颱風、系集預報、CReSS、定量降水預報

一、前言

由於數值天氣預報技術與電腦科技快速發展，使數值天氣預報模式，已可提供相當高時空間解析度的定量降水預報(quantitative precipitation forecast, QPF)，且利用多成員之系集預報(ensemble forecast)產生機率定量降水預報(probabilistic QPF，例如：Yuan et al. 2007)以供政府單位與社會大眾參考與應用。然而，相較於綜觀強迫作用顯著的冷季，定量降水預報技術對於暖季(包括 5~6 月的梅雨季)仍舊普遍偏低，其平均預兆得分(Threat score; TS，或稱 CSI，例如：Stanski et al. 1989; Wilks 1995)僅約 0.2-0.25 左右

(Olson et al. 1995)。針對梅雨季內常造成災害的劇烈降水預報，亦是如此(陳等 1991)。因此，暖季 QPF 技術的改進，已被全世界各先進國家列為未來作業與研究單位的重點工作項目之一。

作者使用由日本名古屋大學(Nagoya University)地球水循環研究中心(Hydrospheric Atmospheric Research Center, HyARC)引進「雲解析風暴模式」(Cloud-Resolving Storm Simulator，簡稱 CReSS 模式；Tsuboki and Sakakibara 2007)，除進行中尺度降水系統之模擬研究頗有成果外(例如：Wang et al. 2009, 2011a; Wang and Huang 2009)，近年來也自行進行梅雨季、隨後拓展至颱風季的每日準作業化預報，顯示在許多

極端降雨事件中，該模式有相當不錯的預報能力。此模式在 2008 年梅雨季參與台美國際合作的「西南季風實驗」(South-West Monsoon Experiment, SoWMEX)，其預報表現也受到許多參與學者的肯定 (Wang 2008)。

目前臺灣主要的天氣與定量降水預報方式是採用系集預報 (預報長度多不超過 78 h)，其優點為可了解模式的不確定性，及透過散布來囊括颱風路徑的可能分布。但在臺灣，地形崎嶇複雜且人口密集，在颱風預報與減災策略上，最重要的是能提供高度真實的降水情境預報，而此必須藉由高解析度的模式來提供，才能獲得較佳的效果。由於所耗資源較多，雲解析模式一般僅能採單一模式之確定性預報，故常被認為無法提供機率資訊來量化預報的不確定性，且亦多有前置時間 (lead-time) 不足的缺點。本研究為改善上述缺點，自 2012 年開始使用 CReSS 進行臺灣之準作業化梅雨與颱風之 8 天預報實驗，該實驗設定為 2.5 km 水平格點間距，區域範圍為 $1860 \times 1360 \text{ km}^2$ ，持續進行每日 1 次 (即 0000 UTC) 之 8 天 (192 h) 預報實驗，並顯示於預報網頁 (<http://vortex.es.ntnu.edu.tw/>)，本文即針對 2012 年 5 個侵台颱風個案 (泰利、杜蘇芮、蘇拉、天秤、及杰拉華颱風)，探討各預報初始時間對颱風路徑與 24-h QPF 的表現。

二、資料與分析方法

本文所使用之資料，包括各個案期間之雨量分布方面，主要使用中央氣象局 (Central Weather Bureau, CWB) 自動降雨與氣象觀測站網在各個案期間之逐時雨量資料，其站網密度為全球之冠，密度雖非固定，但尚稱均勻，以及颱風個案之最佳路徑 (best track) 圖。

評估 2.5 km 水平格點間距的預報結果，所採用的範圍大小為 $1860 \times 1360 \times 40$ 可使多個 (西行或西北行) 之侵台颱風能儘早進入高解析度的模式區域，模式預報資料為 0000 UTC 初始者之 0-196 h 預報，含第 1 天 (0-24 h)、第 2 天 (24-48 h)、第 3 天 (48-72 h)、第 4 天 (72-96 h)、第 5 天 (96-120 h)、第 6 天 (120-144 h)、第 7 天 (144-168 h) 及第 8 天 (168-196 h) 之 QPF。所有預報均使用美國「國家環境預測中心」(National

Centers for Environmental Prediction, NCEP) 全球預報系統 (Global Forecast System, GFS) 之即時分析與預報 (解析度為 $1^\circ \times 1^\circ$ ，垂直向共 26 層)，內插至 CReSS 格點即進行預報。因此，未做任何額外的資料同化，或颱風渦旋強度、結構、或位置的調整。

所使用之傳統評估方法均為以 2×2 表格為基礎而建構的「分類統計方法」，也是傳統上最常用於評估區域模式 QPF 之得分項目。本文呈現預兆得分 (TS) 與偏倚得分 (BS) 的結果，並舉例與主觀判定比較。先將模式預報的 24 h 累積雨量內插至雨量站位置 (總數為 N)，在雨量站上評估，在任意降雨門檻值的在 2×2 列聯表中，正確預報出現 (命中)、觀測出現但未預報 (未命中)、預報有但實際未出現 (錯報)、及正確預報不出現等四類，分別以 H、M、FA、及 CN 表示 (其和為 N)，則 $TS = H/(H + M + FA)$ 而 $BS = (H + FA)/(H + M)$ 。前者為觀測與預報兩區交集除以聯集之比 ($0 \leq TS \leq 1$)，後者則度量模式預報兩區是否不足或過大 ($0 \leq BS < \infty$)。值得注意的是，一旦得分計算後，就僅剩兩區相對大小的資訊，而無法得知實際的大小。

三、實際預報舉例

本研究之 5 個個案之一，為 2012 年 7 月 31 日至 8 月 2 日影響並登陸臺灣的蘇拉颱風 (Saola)，編號 TY1209，其路徑如圖 1 所示。蘇拉颱風前身的熱帶低壓，於 7 月 27 日形成於菲律賓東方約 500 km 的海面上，之後在 28 日 0000 UTC 達到輕度颱風，並向北北西方緩慢移動，其間並於 7 月 31 日 0600 UTC 達到中度颱風等級，移速則持續均相當緩慢，大約為 $12\text{-}13 \text{ km h}^{-1}$ (圖 1)。蘇拉颱風是一個由東南方緩慢靠近臺灣，路徑飄忽且颱風中心有明顯的打轉現象的颱風，路徑較不易準確預報，最後在臺灣僅短暫登陸隨即又出海，但為 2012 年真正登陸的兩個颱風之一 (另一為天秤颱風)。

透過 2.5 km CReSS 的 8 天模式預報，針對 2012 年蘇拉颱風期間，初始時間為 7 月 27 日至 8 月 2 日每日 0000 UTC 預報結果顯示，模式已經可以在颱風影響臺灣之前第 5~6 天的初始時間 7 月 28 日預報颱風路徑可能向北北西移動 (圖 2a)，且颱風路徑誤差亦隨時間逐漸變小的趨勢，若將該 7 天高解析預報結果做

系集預報，亦可得出颱風平均路徑隨後向北北西移動的結果，與 TTFRI 系集預報（預報 78 h）結果一致（圖 2b），但 8 天預報卻可以在更早的時間（27 日）得到其預報路徑。另外，在降水方面，蘇拉颱風在臺灣造成 24 小時累積雨量最大值是發生在 8 月 2 日（圖 3r）。在模式初始時間 7 月 28 日結果顯示（圖 3a-c），雖然 8 月 2 日為預報時間第 6 天，但在 24 小時累積降水之掌握上有不錯的預報能力，量值亦與觀測相似，分別可達 200 mm 與 300 mm 以上，雖在 7 月 31 和 8 月 1 日未能掌握花東地區強降水事件，但亦顯示該颱風將會為臺灣帶來一定規模的降水量。降水分布整體而言，雖在 7 月 31 日與 8 月 2 日為預報不足，8 月 1 日為過度預報的結果，但皆有掌握到 7 月 31 日與 8 月 1 日的臺灣東部地區強降水以及 8 月 2 日全台豪大雨事件（除了初始時間 7 月 29 日 0000 UTC 外，因該預報之颱風路徑有顯著之誤差），因此 2.5 km CReSS 之 8 天預報對蘇拉颱風個案在降雨分布特徵，有一定程度的掌握（圖 3）。

圖 4 為蘇拉颱風個案期間，初始時間 7 月 28 日至 8 月 2 日各日 0000 UTC 之逐日（每 24 h）QPF 之兩項得分隨門檻值分佈圖。圖中顯示，7 月 28 日初始者（圖 4a），對 8 月 2 日（第 6 天）降雨的技術得分最高，在門檻值 250 mm 以下，TS 得分約達 0.6 以上，顯示該預報降水有不錯表現，另外 BS 當日預報在各門檻值約為 1 左右，表示 TS 得分為合理結果。29 日初始預報則顯示（圖 4b），對 8 月 1 日（第 4 天）降雨的技術得分表現最好，在門檻值 130 mm 以下，TS 皆達 0.4 以上，而 BS 顯示當日在門檻值 75 mm 以上有預報不足現象（圖 4b），且發生在花東地區（圖 3e）。在 30 日初始預報（圖 4c），則對 7 月 31 日（第 2 天）與 8 月 2 日（第 4 天）的 TS 得分表現最佳，在門檻值 100 mm 以下，TS 皆有 0.5 以上，BS 顯示在 31 日的各門檻值皆為過度預報，而 8 月 1 日則在中高門檻值有預報不足現象（圖 4c）。在 31 日初始預報（圖 4d），同樣在 8 月 2 日（第 3 天）的 TS 得分表現較佳，特別對於低門檻（100 mm 以下）皆有 0.4 以上的表現，在 BS 顯示，當日高門檻值為預報不足，而預報第 6~7 天為過度預報之表現。在 8 月 1 日初始預報（圖 4e），其對 8 月 2 日（第 2 天）的 TS 得分有顯著提昇，特別是 250

mm 以下的大豪雨門檻值處，均保持接近 0.6 或以上的好表現，至於 BS 顯示當天表現與 TS 一致，但在預報第 1 天（0-24 h）為過度預報，主要原因為模式預報降水在臺灣中南部地區有過度預報表現，整體而言，該初始時間（8 月 1 日）預報，仍較稍早數日內之預報者為佳。最後為 2 日初始預報，則以第 1 天之 QPF 結果，有高的 TS 得分（圖 4f），在 160 mm 處可達 0.6 以上，至 250 mm 處稍下降至 0.4 左右，而在 350 mm 門檻值處，則仍有 0.2 左右，不過與前一日所做預報相比，其整體的 TS 得分仍稍低一點。整體而言，由於蘇拉颱風路徑預報的難度高，CReSS 模式 8 天預報，自 7 月 28 日開始，已能對 8 月 1-2 日的超大豪雨逐漸做出好的預報，特別在高門檻值處，有一定的優勢存在，但受到預報路徑的誤差大小有異，仍使各初始時間在技術得分有顯著差異，但前置時間較長可在事件發生前 5~6 天，得到相當不錯的 24 h 定量降水預報，足可做出具有高度參考價值的 QPF。

個案二，為 2012 年 9 月 26 日至 28 日通過臺灣東方鄰近海面的杰拉華颱風（Jelawat），編號為 TY1217，為該年侵臺颱風中唯一的強烈颱風。如圖 5 所示，2012 年 9 月 20 日，一熱帶低壓於菲律賓東方海面形成，並逐漸向西移動，其在 20 日 1800 UTC 達到輕度颱風，命名為杰拉華。之後在 9 月 21-22 日，此颱風向西南緩慢移動，但在 23 日開始，轉向北北西轉西北移動，並達到中度颱風，接著在 24 日 0000 UTC 的一天以後，成為強烈颱風等級。隨後數日，杰拉華颱風逐漸由東南方接近臺灣，其移速雖逐漸略有增加，但仍屬緩慢，約 15-20 km h⁻¹。在 9 月 28 日最接近臺灣東南部，距離約 350 km，此時它已轉為向北，並繼續轉向東北加速移動，同時減弱為中度颱風，最後在 9 月 30 日 0600 UTC 左右，登陸日本本州的關西地區。由於為當年靠近臺灣最強的颱風，其通過時，有多接近臺灣陸地，甚或是否會登陸，為當時社會大眾所關注的預報焦點。

在杰拉華颱風期間，透過 8 天模式預報，初始時間為 9 月 20-28 日每日 0000 UTC 預報颱風路徑結果顯示（圖 6a），模式在 20-22 日颱風預報路徑皆表示該颱風由東南向西北移行，且會登陸臺灣，該結果與實際路徑不符合。但在 23-28 日颱風預報路徑皆顯示，

杰拉華颱風在接近臺灣東南部前將轉為向北移行，隨後並轉向東北移動，此與 WRF 系集預報初始時間 26 日 1800 UTC 相符 (圖 6b)，但 CReSS 卻可以比 WRF 提前 3~4 天獲得該警訊。表示 CReSS 可在颱風影響臺灣 (即 28 日) 之前 5~6 天預報颱風路徑可能向東北移動，且颱風路徑誤差亦隨時間變小的趨勢 (圖 6a)。該結果與蘇拉颱風相同，可見 8 天預報能提早預報颱風轉向的特徵。在降水方面，杰拉華颱風在臺灣造成 24 小時累積雨量最大值是發生在 9 月 28 日的宜花地區 (圖 7q)。在模式初始時間 23-27 日皆可模擬到當天該地區有顯著累積雨量，約可達 250 mm 左右，兩區與觀測接近，但雨量則有過度預報的傾向 (圖 7)，顯示模式在颱風侵台前 5 天，對 24 h 定量降水及降雨區域皆有不錯的預報結果。

圖 8 為杰拉華颱風個案期間，初始時間為 9 月 23-28 日各日的 0000 UTC 之逐日 (每 24 h) QPF 之兩項得分隨門檻值分佈圖。圖中顯示，9 月 23 日初始預報 (圖 8a)，對 28 日 (第 6 天) TS 得分表現最好，在 0.05-100 mm 的低到中門檻值處，得分約為 0.4 以上，由 BS 清楚顯示，對 27 日與 28 日的各門檻值，皆有過度預報的現象 (圖 8a)。在 24 日初始預報 (圖 8b)，整體 TS 得分皆較低，由 BS 可見有較嚴重的過度預報 (主要發生東部與東南部) 與實際觀測雨量不符，導致 TS 得分下降。在 25 日初始預報 (圖 8c)，對 28 日 (第 4 天) 門檻值 200 mm 以下皆有不錯的表現，其 TS 約在 0.2-0.6 之間，由 BS 顯示當天門檻值 50 mm 以下有過度預報，但在 75 mm 以上有良好表現。在 26 日初始預報 (圖 8d)，同樣對 28 日 (第 3 天) 降雨預報技術得分的表現最佳，TS 得分在 0.05-200 mm 處保持至少有接近 0.4 或以上，已經為非常好的表現，而 BS 則顯示，模式對 28 日的降雨在各門檻值為過度預報，主要是花東地區有過度預報現象。在初始時間 27 日 (圖 8e) 顯示，一樣以 28 日 (第 2 天) 降雨預報技術得分的表現最佳，各門檻值 TS 皆維持 0.2-0.5 之間，由 BS 顯示，當天各門檻值約在 2.0 左右為過度預報，其原因由圖 7m-o 可知，雖模式預報降雨區域與實際降雨區一致，但其值有過度預報趨勢。最後在初始預報時間 28 日 (圖 8f) 顯示，當天預報為降雨預報技術得分的表現最佳日 (即為降雨最多日)，TS 得

分各門檻值皆介於 0.3-0.6 之間，配合 BS 來看，當天預報為良好預報，BS 值約接近 1 左右，雖在高門檻值處 (160-200 mm) 有預報不足，但整體表現為良好的降水預報。

四、總結

由於臺灣主要的天氣與定量降水預報方式是採用系集預報，但臺灣因地形崎嶇複雜且人口密集，在颱風預報與減災策略上，最重要的是提供高度真實的降水情境預報，為此必須藉由高解析度的模式來提供，才能獲得較佳的效果。而雲解析模式卻因所耗資源較多，一般僅能採單一模式之確定性預報，故常被認為無法提供機率資訊來量化預報的不確定性，且亦多有前置時間 (lead-time) 不足的缺點，本研究為改善上述缺點，故使用高解析 CReSS 模式之 8 天預報，探討 2012 年 5 個侵臺颱風個案包括泰利、杜蘇芮、蘇拉、天秤、及杰拉華颱風之預報路徑與 24-h QPF 的表現。

研究結果，CReSS 模式在颱風侵台前 5~6 天，即可產生出相當不錯的 24 h 定量降水預報及颱風路徑，顯著增加防災應變的前置時間 (lead-time)。由於伴隨不同路徑的臺灣降水情境高度逼真，可藉由不同初始時間對同一天的預報來獲得系集資訊 (稱為 time-lagged ensemble)，並同時達到高解析度的要求。另外，颱風平均之路徑誤差也有隨時間變小的趨勢。在降雨預報技術得分方面，模式對於較為多雨的蘇拉與杰拉華等颱風，均有普遍較高的預報能力與技術得分，在這些颱風最大降雨 (或相似規模之降雨) 發生當天前約 5~6 天，即開始有好的掌握，並能獲得很高的 QPF 技術得分，且可一直持續到事件真正發生當日的預報 (針對第 1 天)，而對較少降雨的颱風 (例如：杜蘇芮) 則得分普遍偏低，此一特性一方面是由於兩區大小的不同所致。因此，2.5 km CReSS 8 天預報可同時提供更真實之降雨、更長之潛在前置時間，及系集資訊，為有效改進颱風定量降水預報之方向，若能有效利用，將對強降雨的預報與防災應用大有助益。

參考文獻

- 陳泰然、謝信良、陳來發及陳清得，1991：臺灣地區現階段豪（大）雨預報能力。《大氣科學》，19，177~188。
- Olson, D. A., N. W. Junker, and B. Korty, 1995: Evaluation of 33 years of quantitative precipitation forecasting at the NMC. *Wea. Forecasting*, 10, 498~511.
- Stanski, H. R., L. J. Wilson, and W. R. Burrows, 1989: Survey of common verification methods in meteorology. World Weather Watch Tech. Rep. 8, WMO, Geneva, Switzerland, 114 pp.
- Tsuboki, K., and A. Sakakibara, 2007: Numerical Prediction of High-Impact Weather Systems. The Textbook for Seventeenth IHP Training Course in 2007. HyARC, Nagoya University and UNESCO, 273 pp.
- Wang, C.-C., 2008: Evaluation of model quantitative precipitation forecast (QPF) in Taiwan during the field phase of SoWMEX/TiMREX 2008. First SoWMEX/TiMREX Science Workshop, 5~7 November 2008, Taipei, Taiwan, 43.
- Wang, C.-C., and W.-M. Huang, 2009: High-resolution simulation of a nocturnal narrow convective line off the southeastern coast of Taiwan in the Mei-yu season. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L06815, doi:10.1029/2008GL037147.
- Wang, C.-C., G. T.-J. Chen, and S.-C. Yang, and K. Tsuboki, 2009: Wintertime supercell thunderstorms in a subtropical environment: Numerical simulation. *Mon. Wea. Rev.*, 137, 2175~2202.
- Wang, C.-C., G. T.-J. Chen, and S.-Y. Huang, 2011a: Remote trigger of deep convection by cold outflow over the Taiwan Strait in the Mei-yu season: A modeling study of the 8 June 2007 Case. *Mon. Wea. Rev.*, 139, 2854~2875.
- Wilks, D. S., 1995: Statistical methods in the atmospheric sciences. Academic Press, 467 pp.

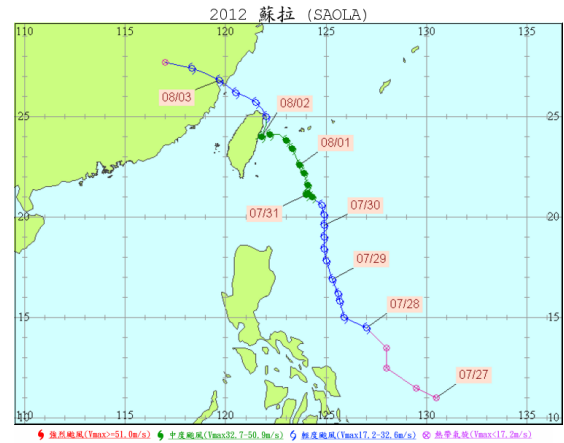


圖 1 中央氣象局之 2012 年蘇拉 (Saola) 颱風 (TY1209, 2012 年 7 月 27 日至 8 月 3 日) 最佳路徑資料 (每 6 h, UTC)。不同顏色表示颱風風速與強度等級(如下方說明標示)。

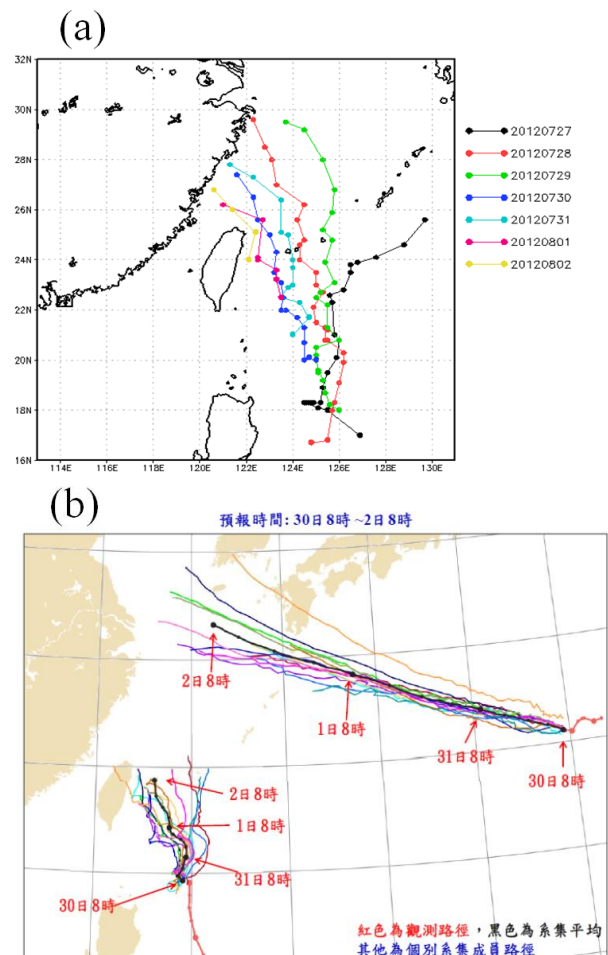


圖 2 蘇拉颱風期間模式預報的颱風路徑(a) 2.5 km CReSS 模式初始時間為 7 月 27 日至 8 月 2 日 0000 UTC 的 8 天預報。(b) TTFRI 系集成員在初始時間 7 月 30 日 0000 UTC 的 3 天預報。

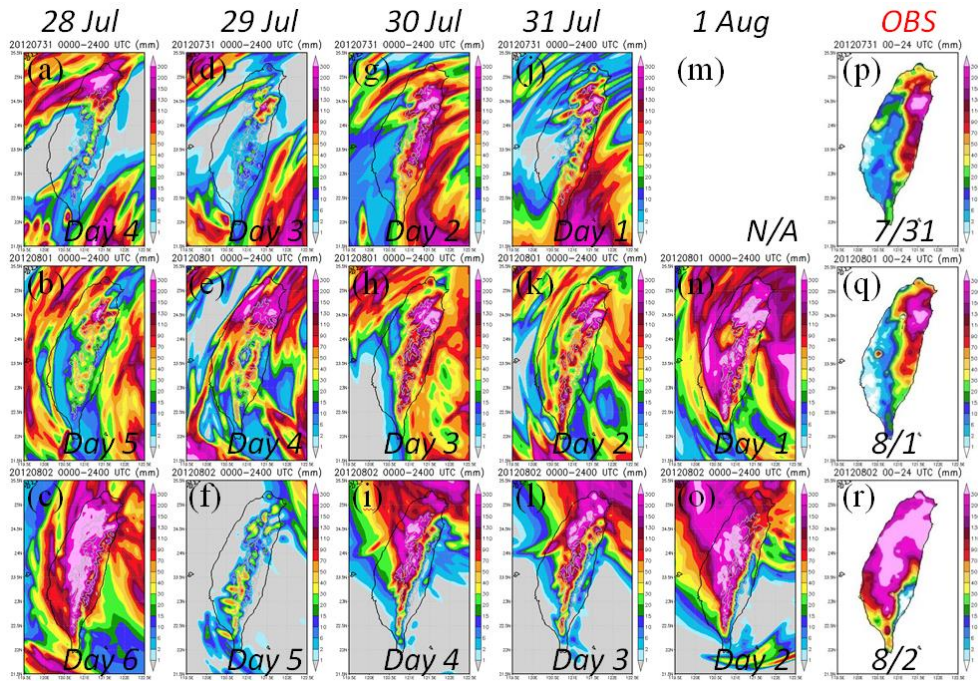


圖 3 分別為 2.5-km CReSS 模式之 8 天預報在初始時間 7 月(a)-(c) 28 日第 4-6 日降雨、(d)-(f) 29 日第 3-5 日降雨、(g)-(i) 30 日第 2-4 日降雨、(j)-(l) 31 日第 1-3 日降雨、(m)-(o) 8 月 1 日第 1-2 日降雨，以及 7 月 31 日至 8 月 2 日觀測逐日雨量 (mm)。

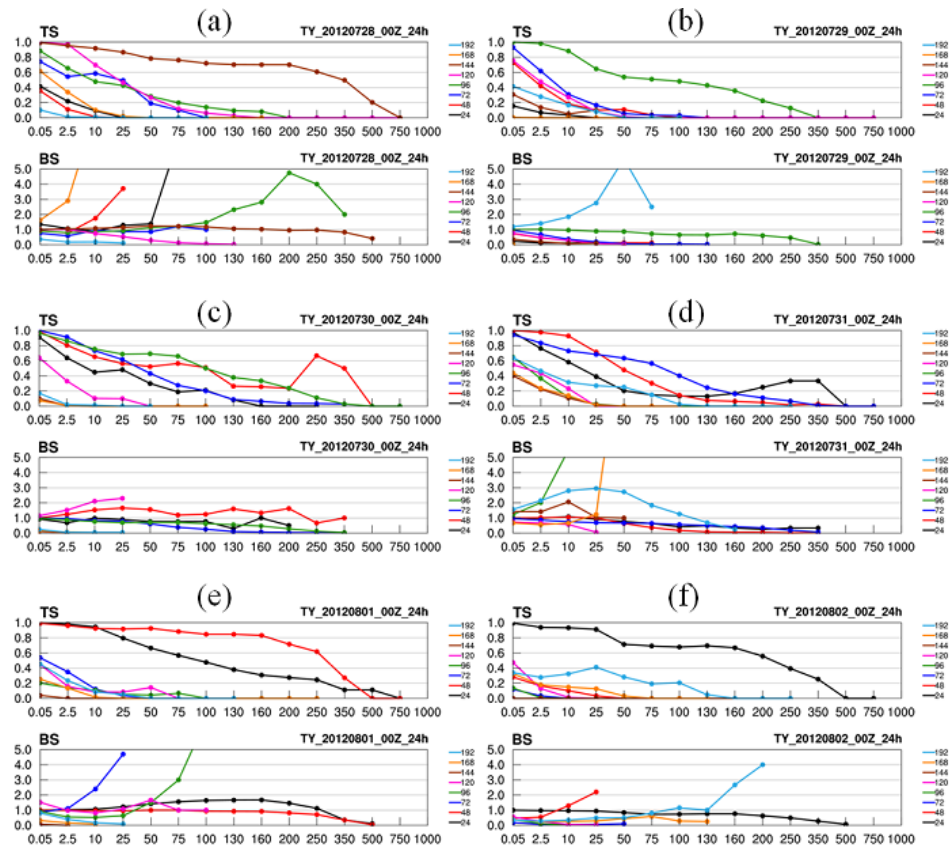


圖 4 2.5-km CReSS 模式之 8 天預報在初始時間 (a) 7 月 28 日至 (f) 8 月 2 日 0000 UTC (每次共 196 h) 所做之逐日 24 h (0000-2400 UTC) 累積 QPF 之預兆得分 (TS, 上) 與偏倚得分 (BS, 下) 隨降水門檻值 (mm) 之分佈。不同顏色曲線表示各 24 h 期限之結束時間 (h)，如右側標示。

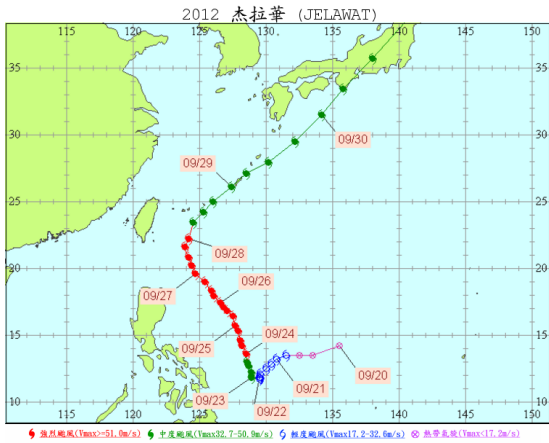
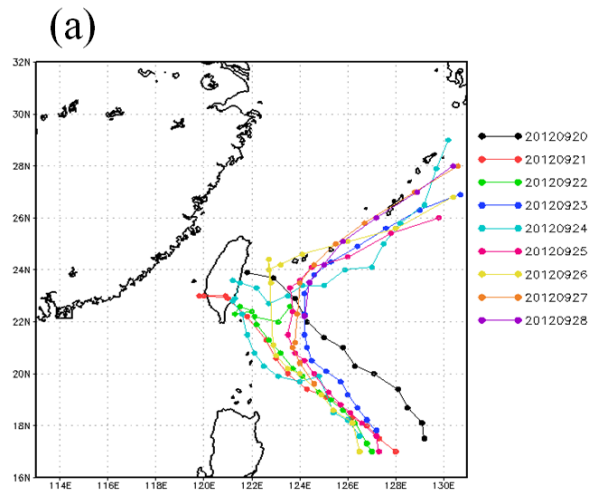


圖 5 中央氣象局之 2012 年杰拉華 (Jelawat) 颱風 (TY1217, 2012 年 9 月 20 日至 30 日) 最佳路徑資料 (每 6 h, UTC)。不同顏色表示颱風風速與強度等級 (如下方說明標示)。



(a) 預報時間: 27日2時~30日2時

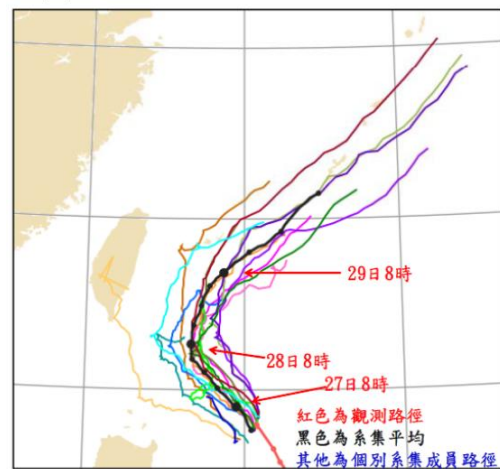


圖 6 杰拉華颱風期間模式預報的颱風路徑(a) 2.5 km CReSS 模式初始時間為 7 月 27 日至 8 月 2 日 0000 UTC 的 8 天預報。(b) TTFRI 系集成員在初始時間 7 月 26 日 1800 UTC 的 3 天預報。

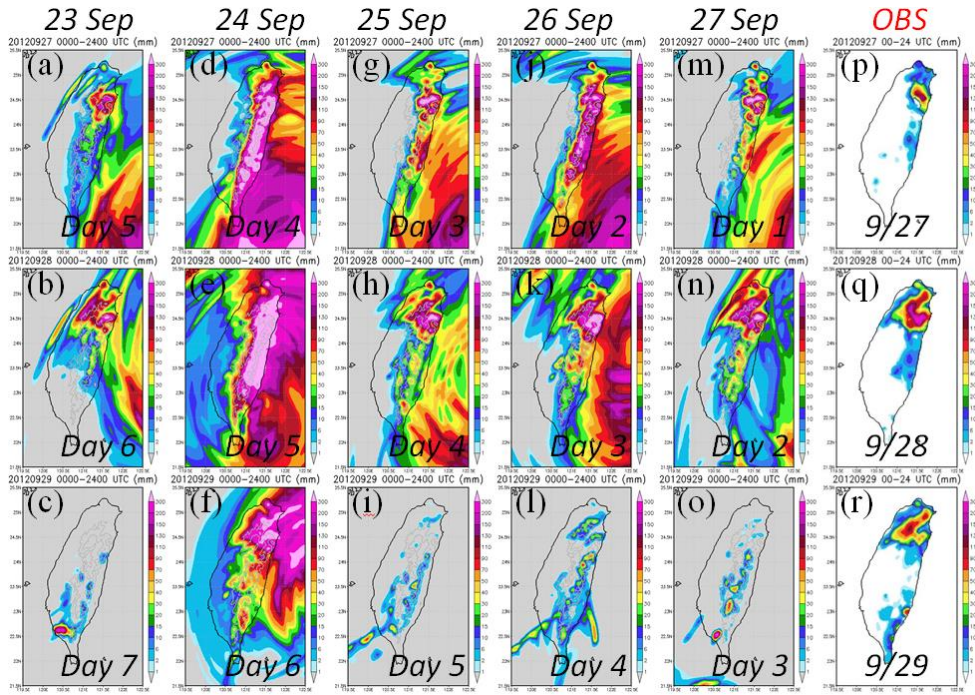


圖 7 分別為 2.5-km CReSS 模式之 8 天預報在初始時間 9 月(a)-(c) 23 日第 5-7 日降雨、(d)-(f) 24 日第 4-6 日降雨、(g)-(i) 25 日第 3-5 日降雨、(j)-(l) 26 日第 2-3 日降雨、(m)-(o) 27 日第 1-3 日降雨，以及 9 月 27 至 29 日觀測逐日雨量(mm)。

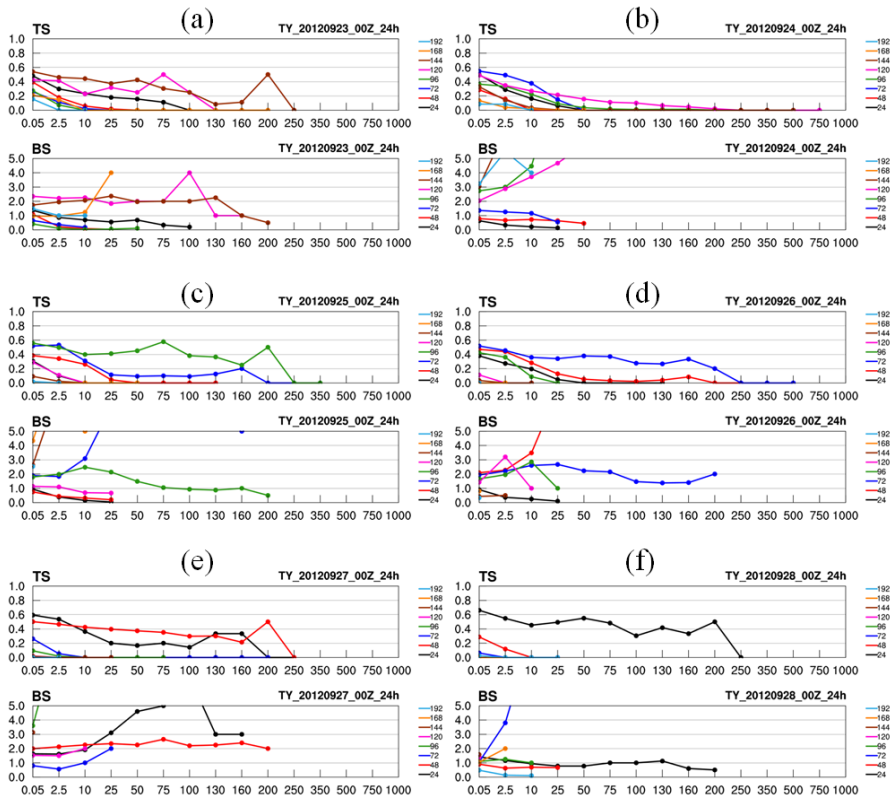


圖 8 2.5-km CReSS 模式之 8 天預報在初始時間 (a) 9 月 23 至 (f) 28 日 0000 UTC (每次共 196 h) 所做之逐日 24 h (0000-2400 UTC) 累積 QPF 之預兆得分 (TS, 上) 與偏倚得分 (BS, 下) 隨降水門檻值 (mm) 之分佈。不同顏色曲線表示各 24 h 期限之結束時間 (h)，如右側標示。