

0-3小時雷達外延與數值模式融合技術

簡佑穎¹ 吳奕亨¹ 馮智勇¹ 王溫和²
多采科技有限公司¹ 中央氣象局衛星中心²

摘要

因雷達外延方法受限於天氣系統的變化程度，其效果隨時間增長而遞減，數值模式具有初始調整(spinnup)問題，融合雷達外延與數值模式技術兩者的優勢，預期可提升對劇烈天氣現象的極短期(0-3小時)預報能力。本研究目標為發展基於影像特徵即時融合雷達外延預報與數值模式預報之作業流程，並評估應用統計校驗結果調整融合權重以提高融合預報表現。不同於常見基於歷史預報表現的融合方式，基於影像特徵是以當下預報的逐時間無因次降雨強度進行融合，具有保留強降雨訊號的特性。

參考Hwang et al, (2015)建置線性權重係數融合預報(linear cross dissolve, Lin CD)和非線性權重係數融合預報(Salient cross dissolve, Sal CD)，透過二元預報技術統計指標來評估歷史個案，掌握原始雷達外延預報與數值模式預報能力，評估融合預報合理性並比較線性權重與非線性權重融合預報技術改善效益。以2021年午後對流和颱風事件作為案例分析，1小時累積雨量校驗結果顯示預報時間1hr的Lin CD與Sal CD預報能力相近，預報時間2hr和3hr的Sal CD預報能力略優於Lin CD；3小時累積雨量校驗結果顯示Sal CD的預報得分KS和POD值明顯優於Lin CD，Sal CD的預報能力優於原始雷達外延預報和Lin CD。

關鍵字：雷達外延、數值模式、融合技術、融合預報

Keyword: radar echo extrapolation, model prediction, blending technology, blending forecast

一、前言

區域氣象數值預報模式因考量質量守恆、動力平衡、熱力平衡、局部地形效應與各種現象參數化機制，加上近年資料同化技術亦趨成熟並且作業單位發展逐時模擬策略，因此大幅提升模式對於小尺度天氣系統生成與消散的預報能力。然而，模式受限於模擬啟動初期各項物理量未達成平衡狀態且運算時間較長，因此0~3小時內的模擬結果較不易有效掌握局部地區對流系統。基於高解析連續觀測資料所發展的雷達外延預報，限於天氣系統的變化程度，其效果隨時間的增長而遞減。有鑑於此，國內外氣象研究與作業單位積極發展整合兩者優勢之融合技術，常見依據預報時間不同而給予固定線性權重的方式，但往往發生高值低估與低值高估的現象，預報能力亦受天氣系統不同而異，也不易於空間上逐格點給予差異權重係數。

本研究評估國內外實作融合數值模式與雷達外延預報技術，將雷達與模式降雨預報空間分布視為

兩張影像，引進基於影像空間逐像素特徵差異所發展的非線性融合技術，發展作業化預報融合流程，以提升0至3小時的定量降水與雷達回波等預報的準確性，期能有效掌握劇烈天氣的強度變化，適時提供降水預報客觀指引。

二、資料彙整與分析方法

(一) 資料來源

本研究使用氣象局逐10分鐘臺灣雷達觀測之定量降水估計(Quantitative Precipitation Estimation, QPE)的降水資料，觀測時間間隔為10分鐘，資料範圍經度由東經118度至124度，緯度由北緯20度至27度，空間解析度為0.01度，水平網格數為601 x 701格。雷達外延預報採用氣象局逐10分鐘臺灣雷達觀測之定量降水預報(Quantitative Precipitation Forecast, QPF)，預報時間間隔為10分鐘，每次預報輸出未來3小時逐10分鐘預報結果，資料範圍同上述QPE觀測資料。數值模式預報採用CWB STMAS-WRF之逐時模式累積雨量資料(accumulated grid scale precipitation)，

資料範圍經度由東經114.24度至127.18度，緯度由北緯17.17度至29.61度，空間解析度為3公里，水平網格數為448 x 448格。考慮作業化流程可取得數值模式預報資料的時間，需使用模式用前一個小時模擬出來的1~4 hr與雷達外延預報資料的0~3 hr進行融合(如圖1)，蒐集雷達外延預報與模式資料後，將模式網格利用距離權重函數內插至雷達QPF網格，將其資料格式一致化。

(二) 融合技術

Hwang et al (2015)提到影像的融合通常是給予雷達外延預報與數值模式預報二者固定的線性權重，也就是把二張影像在變化時間上作線性的內插，此方法稱為線性權重融合技術(linear cross dissolve, Lin CD)，若有二張影像 I_1 表示源自雷達外延預報， I_2 表示源自數值模式預報，線性權重Lin CD融合後的影像 $C(x, y)$ 計算方式如下：

$$C(x, y) = wI_1(x, y) + (1 - w)I_2(x, y) \quad (1)$$

其中 w 為雷達外延的權重， $(1 - w)$ 為數值模式的權重，隨著預報時間步階的遞增，雷達外延的權重線性遞減，數值模式的權重線性遞增，無論在任何時間步階，二者權重係數總和皆為1。

為了改善線性權重融合後的影像易發生高值低估的現象，Hwang et al (2015)利用基於影像特徵 Salient cross dissolve(Sal CD)融合技術，權重 w_s 為基於雷達外延與數值模式預報正規化後之像素強度差異的二維函數，可有效保留原始預報資料的高強度值，避免發生高值低估的現象，Sal CD融合後的影像 $S(x, y)$ 計算方式如下：

$$S(x, y) = w_s I_1(x, y) + (1 - w_s) I_2(x, y) \quad (2)$$

其中 w_s 為二維函數，與 $w(t)$ 和 $r(x, y)$ 顯著性排序(ranked salience)相關，計算方式如下：

$$w_s = \frac{1}{2} \left[\frac{wr}{wr + (1-w)(1-r)} + \frac{\sqrt{r^2 + w^2}}{\sqrt{r^2 + w^2} + \sqrt{(1-r)^2 + (1-w)^2}} \right] \quad (3)$$

顯著性排序 $r(x, y)$ 為正規化影像像素差異之累積密度函數(cumulative density function)，計算方式如下：

$$r(x, y) = \Phi[N_1(x, y) - N_2(x, y)] \quad (4)$$

其中 Φ 為累積密度函數， $N_1(x, y)$ 和 $N_2(x, y)$ 為經過正規化之影像， $N_1(x, y) = I_1(x, y)/\text{Max}[I_1]$ ， $N_2(x, y) = I_2(x, y)/\text{Max}[I_2]$ ，逐格剔除上該影像最大值。

(三) 校驗方法

將針對觀測資料和預報資料的量值是否有大於門檻值區分成Hits(h)、Misses(m)、False Alarm(f)和Correct Negatives(c)四個區域(如圖2)，1小時累積降雨量門檻1、5、10、15、20和40mm/hr，3小時累積降雨量門檻1、5、10、15、20、40、60和100mm/3hr。校驗時只針對數值模式(STMAS-WRF)原始3km格點進行校驗，避免受多數內插結果影響。各項量化校驗統計值公式參考Nurmi(2003)如下：

偏離係數(Bias score, Bias):

$$Bias = \frac{h+f}{h+m} \quad (5)$$

公正預兆得分(Equitable threat score, ETS):

$$ETS = \frac{h_d}{h_d + m + f}; h_d = h - h_{rdm}; h_{rdm} = \frac{O_y}{N} F_y \quad (6)$$

式中 h_{rdm} 為因隨機而預報命中的次數估計值， N 為總資料筆數， O_y 為觀測發生事件(達門檻值)的次數， F_y 為預報發生事件的次數。

誤報比(False alarm ratio, FAR):

$$FAR = \frac{f}{h+f} \quad (7)$$

Kuiper score:

$$KS = \frac{h}{h+m} - \frac{f}{f+c} \quad (8)$$

可預測率(Probability of detection, POD):

$$POD = \frac{h}{h+m} \quad (9)$$

預兆得分(Threat Score, TS):

$$TS = \frac{h}{h+m+f} \quad (10)$$

三、個案分析與結果討論

(一) 午後對流個案

針對2021/08/20~08/24每日的04~10UTC午後對流個案的1小時累積雨量QPF進行校驗評估，在降雨門檻1、5、10、15、20和40 mm/hr的ETS校驗得分(如圖3)，圖中的橫軸Fcst(hr)為預報時間1、2和3小時，縱軸為校驗得分，預報第1小時LinCD的表現略優於SalCD，而預報第2和3小時兩者表現相近；在KS校驗得分(如圖4)，SalCD表現則是優於LinCD。

針對2021/08/20~08/24午後對流個案的3小時累積雨量QPF(如圖5)進行校驗評估,各項校驗指標得分圖(如圖6),橫軸為降雨門檻1、5、10、15、20、40、60和100 mm/3hr,縱軸為校驗得分,SalCD的Bias普遍會略高於LinCD,ETS、FAR和TS得分二者相近,而POD和KS得分則皆以SalCD較優。以Performance Diagram呈現各降雨門檻逐次預報的校驗結果(如圖7),SalCD的Bias略高於LinCD,TS指標顯示二者的預報能力相近,在降雨門檻 ≤ 15 mm/3hr的TS得分約0~0.4,在降雨門檻 ≥ 40 mm/3hr的TS得分約0~0.2。

(二) 盧碧颱風個案

針對2021/07/31~08/07盧碧颱風所引發的西南氣流個案的1小時累積雨量QPF進行校驗評估,在降雨門檻1、5、10、15、20和40 mm/hr的ETS校驗得分(如圖8),圖中的橫軸Fcst(hr)為預報時間1、2和3小時,縱軸為校驗得分,預報第1小時LinCD的表現略優於SalCD,預報第2和第3小時則以SalCD的表現較優;在降雨門檻1、5、10、15、20和40 mm/hr的KS校驗得分(如圖9),SalCD的表現優於LinCD。

針對2021/07/31~08/07盧碧颱風個案的3小時累積雨量QPF(如圖10)進行校驗評估,各項校驗指標得分圖(如圖11),SalCD的Bias的得分普遍會比LinCD略高估,SalCD的POD和KS得分優於LinCD,LinCD的FAR得分優於SalCD,ETS和TS得分二者相近。以Performance Diagram呈現各降雨門檻的校驗結果(如圖12),SalCD的Bias比LinCD略高估,TS指標顯示二者無論在低降雨門檻或是高降雨門檻的預報能力相近,在降雨門檻 ≤ 15 mm/3hr的TS得分約0.2~0.7,在降雨門檻 ≥ 40 mm/3hr的TS得分約0~0.4,在降雨門檻 $=100$ mm/3hr的1-FAR、POD和TS得分幾乎等於0。

四、結論

透過二元預報技術統計指標來評估2021年午後對流和颱風歷史個案Lin CD與Sal CD預報表現,1小時累積雨量校驗顯示,預報時間1hr兩者能力相近,預報時間2hr和3hr的Sal CD預報能力略優。3小時累積雨量校驗結果顯示,Sal CD的KS和POD得分明顯優於Lin CD,Sal CD的預報能力優於原始雷達外延預

報和Lin CD。此外,本研究分析之歷史個案皆顯示數值模式預報能力偏低,推測可能導致SalCD表現略低於雷達外延預報,且Bias得分普遍偏高的原因,若可取得預報能力較佳的模式預報,基於影像特徵融合的SalCD技術應可針對第2、3小時預報提供較佳的融合預報指引。

五、參考文獻

1. Hwang, Y., A. J. Clark, V. Lakshmanan, and S. E. Koch, (2015), Improved nowcasts by blending extrapolation and model forecasts. *Wea. Forecasting*, 30, 1201–1217.
2. Nurmi, (2003), Recommendations on the verification of local weather forecasts. *ECMWF Tech, Mem*, 430.
3. Roberts, N. M., and H. W. Lean, (2008), Scale-selective verification of rainfall accumulations from high-resolution forecasts of convective events. *Mon. Weather Rev.*, 136, 78–97.

六、附圖

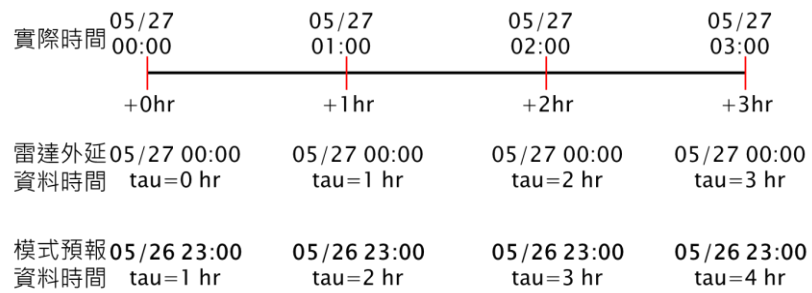


圖 1 選取模式預報時間示意圖

Forecast \ Observed	Yes ≥ 門檻值	No < 門檻值	Total
Yes ≥ 門檻值	Hits	False Alarms	Forecast Yes
No < 門檻值	Misses	Correct Negatives	Forecast No
Total	Observed Yes	Observed No	Total

圖 2 列聯表分析示意圖

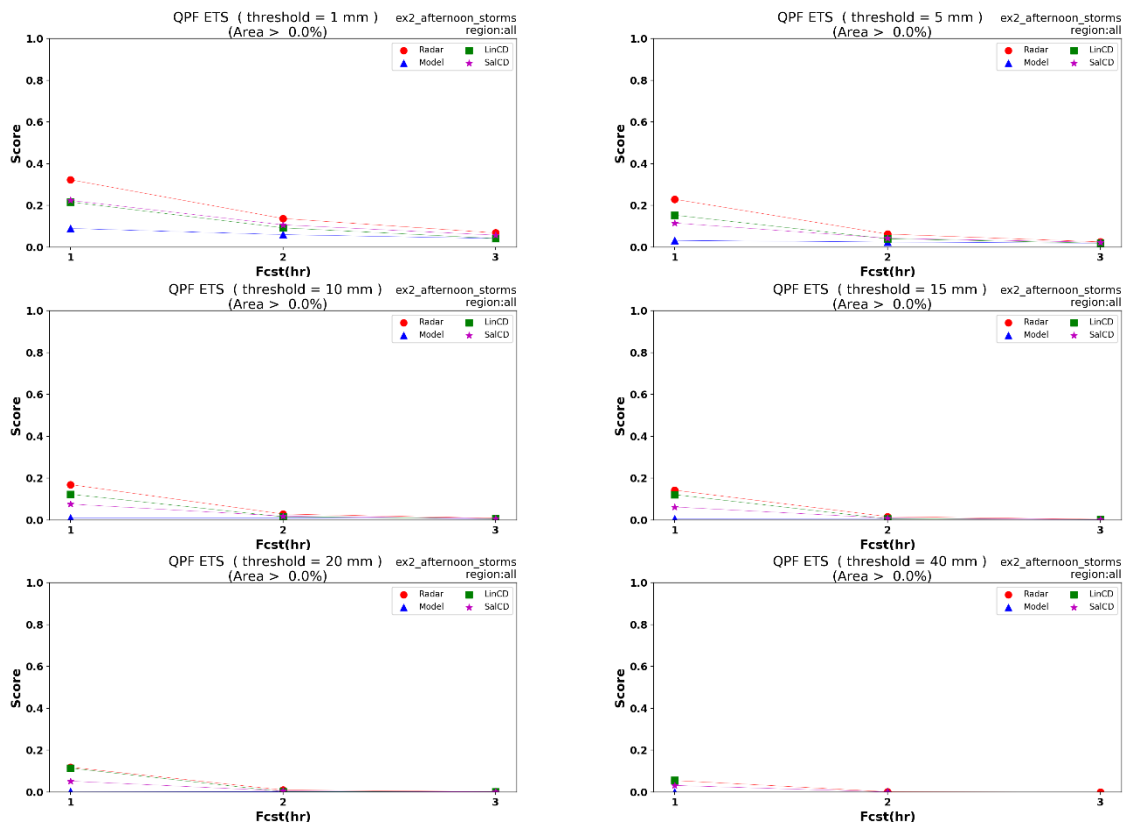


圖 3 午後對流個案 1 小時累積雨量 ETS 校驗得分

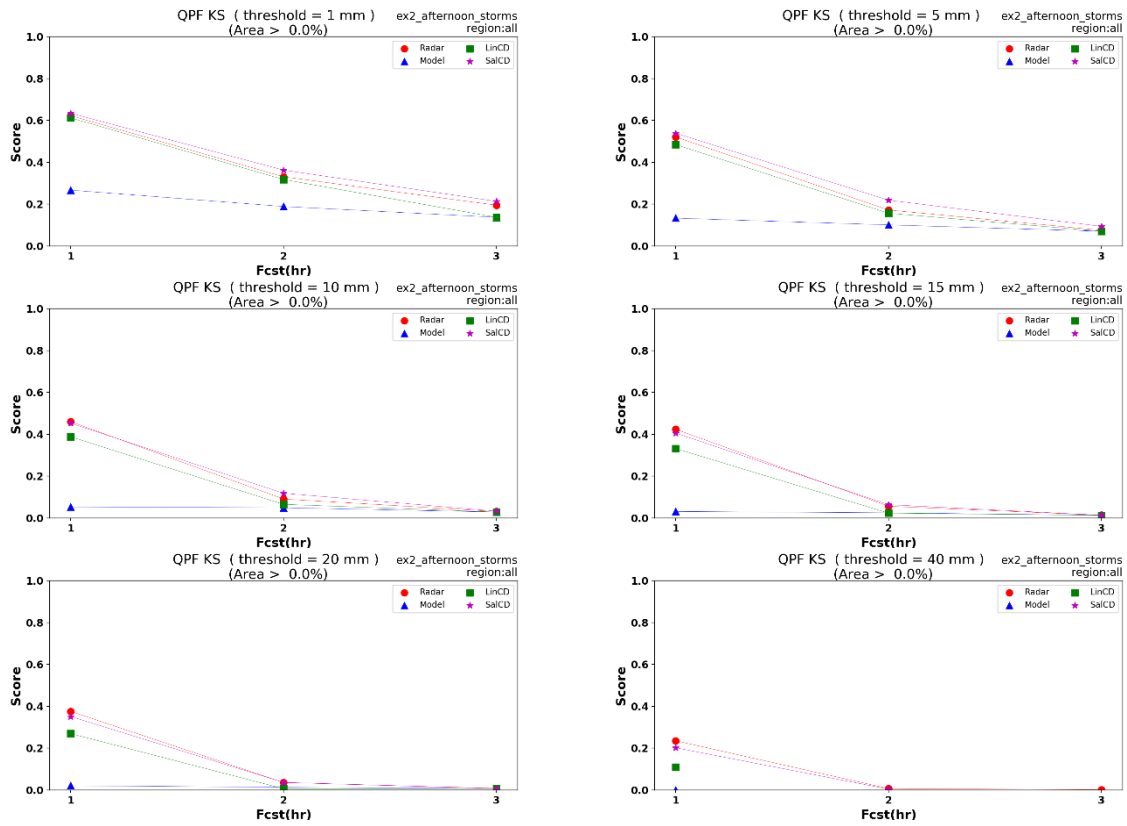


圖 4 午後對流個案 1 小時累積雨量 KS 校驗得分

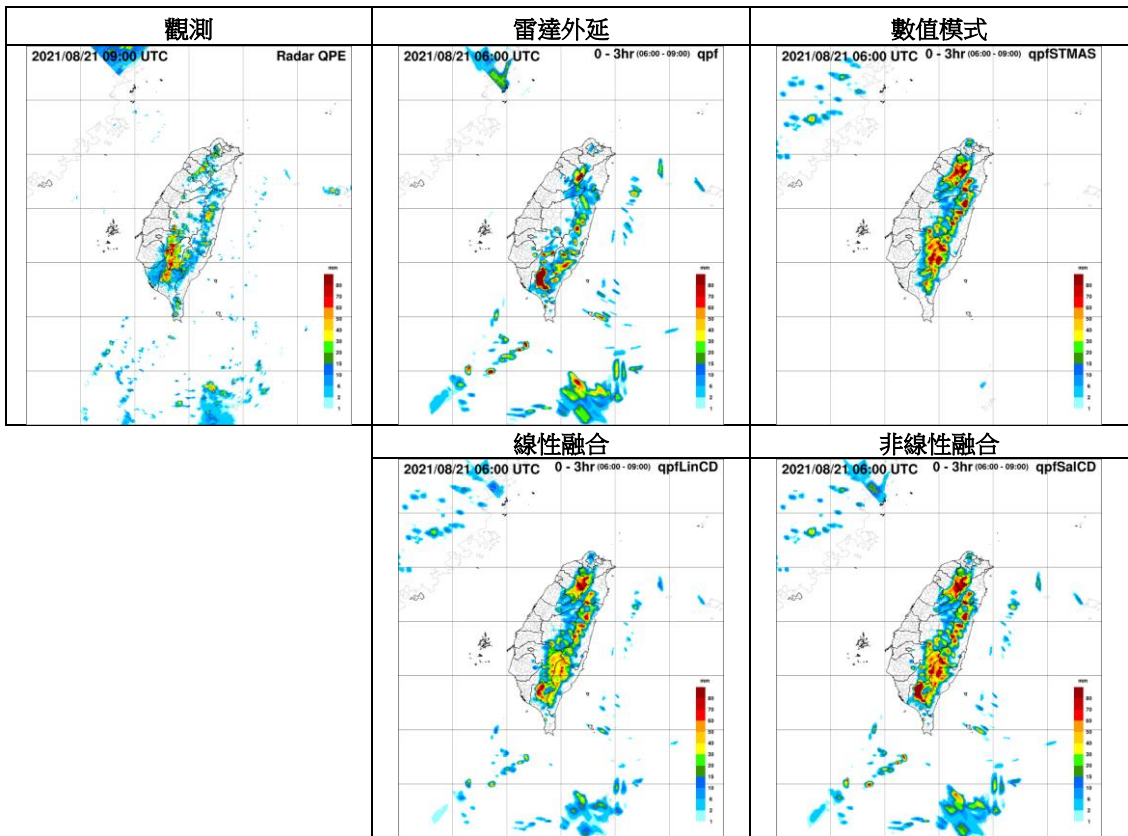


圖 5 午後對流個案之逐 1 小時雨量融合 3 小時累積 QPF(案例時間 08/21 06:00 Fcst=0~3hr)

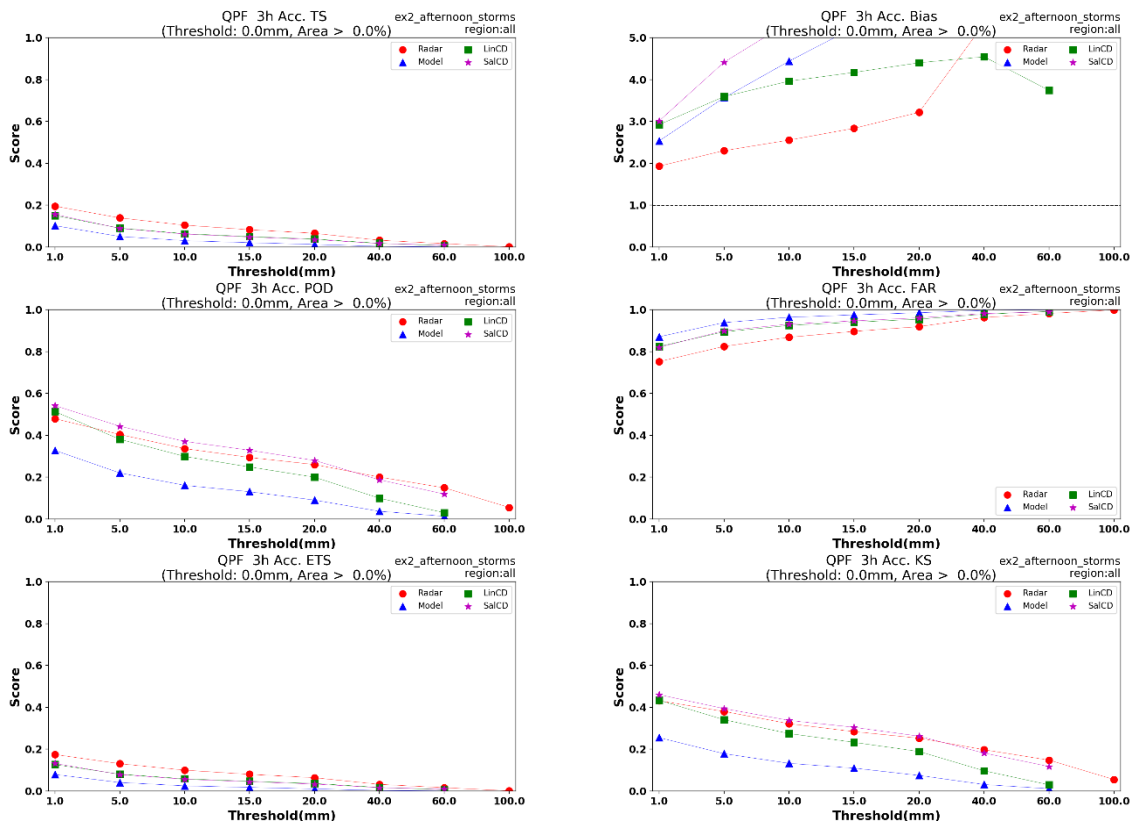


圖 6 午後對流個案 3 小時累積雨量校驗比較

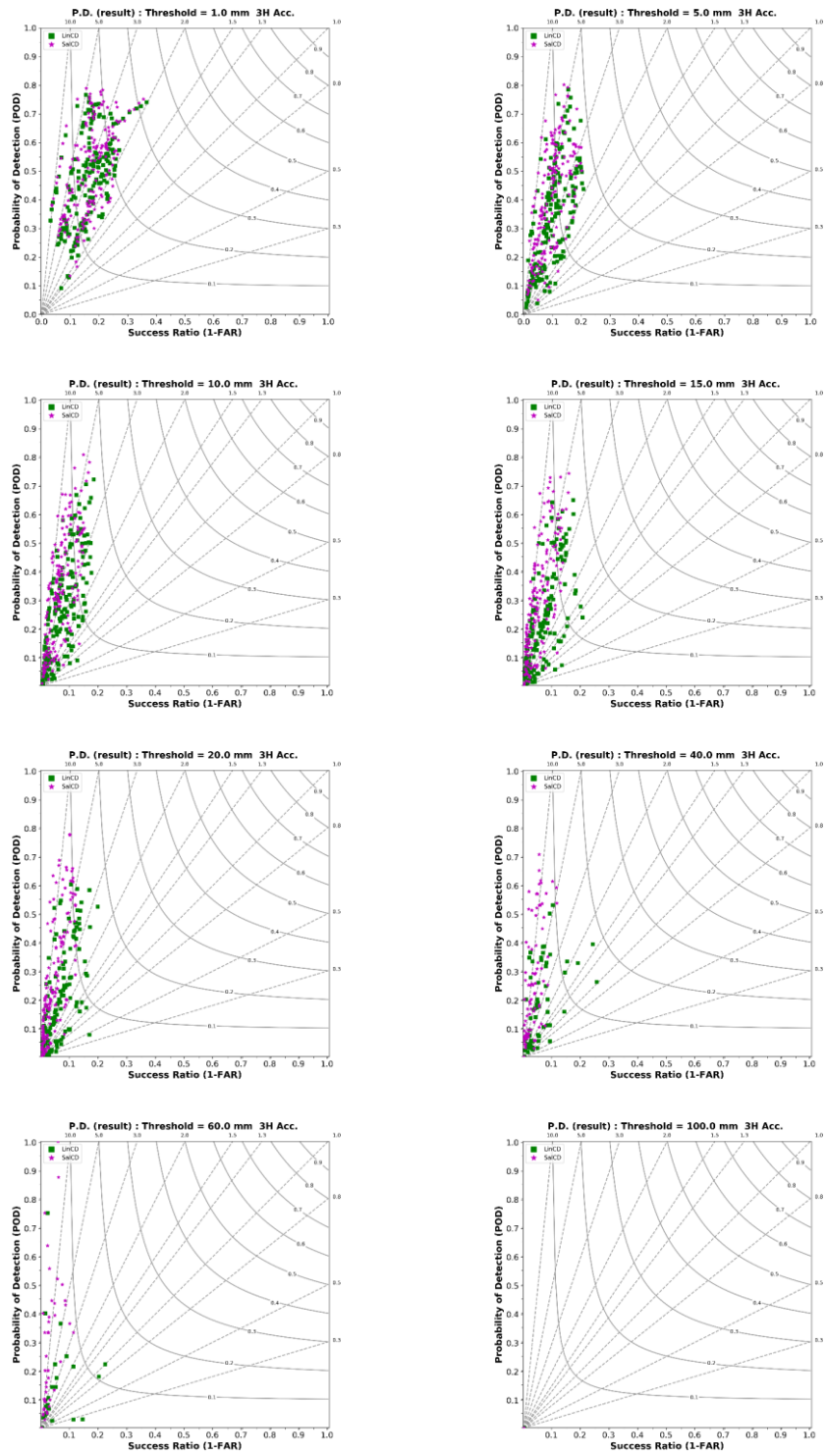


圖 7 午後對流個案 3 小時累積雨量校驗 PD 圖

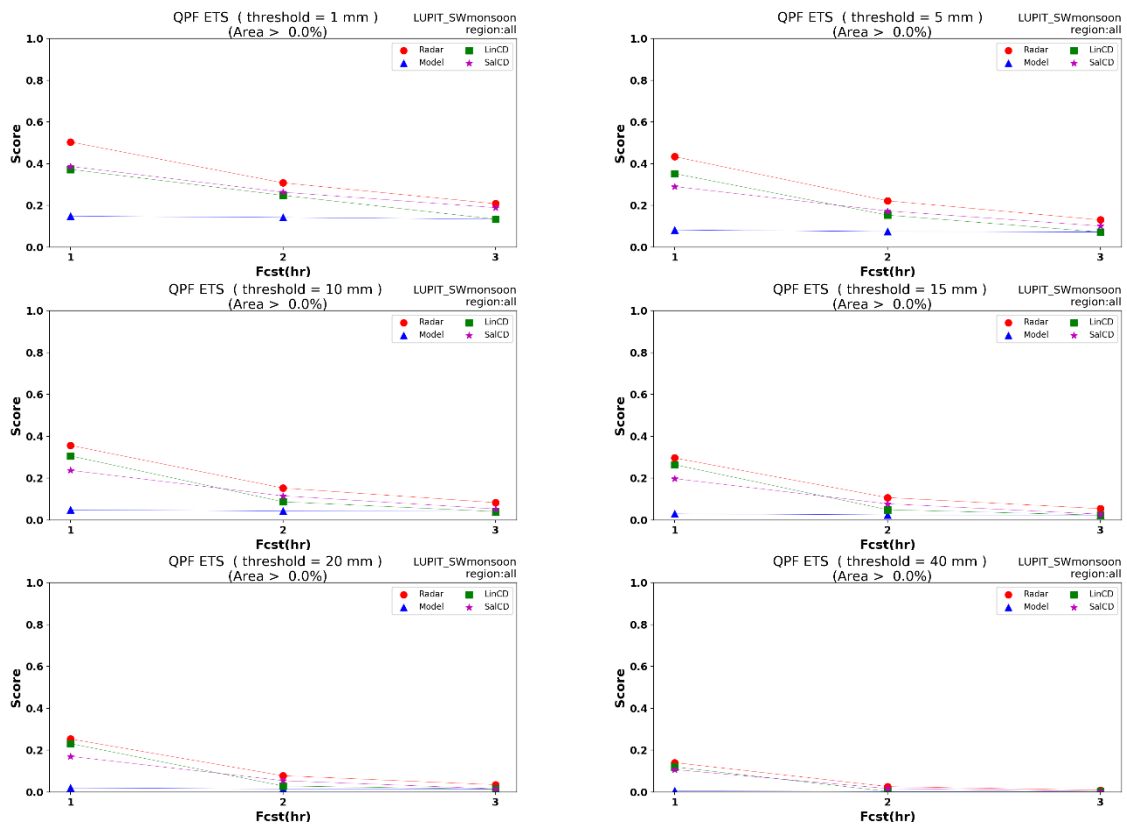


圖 8 盧碧颱風個案 1 小時累積雨量 ETS 校驗得分

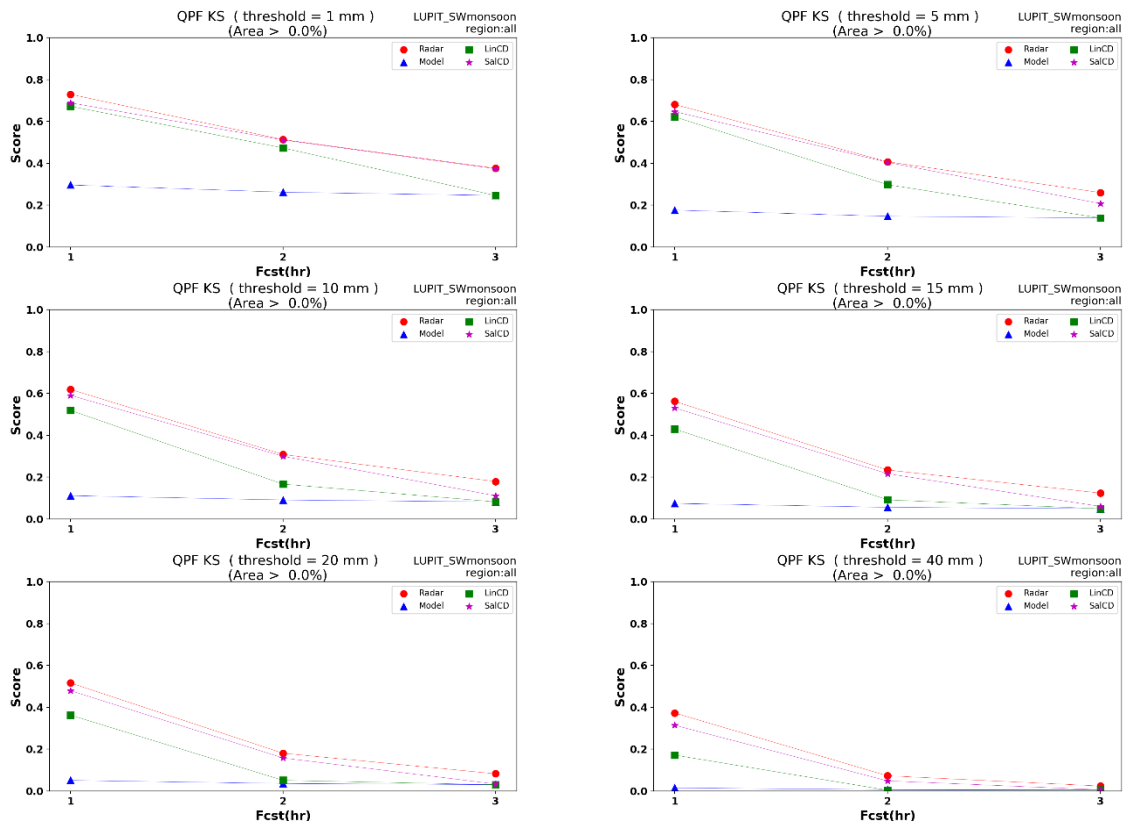


圖 9 盧碧颱風個案 1 小時累積雨量 KS 校驗得分

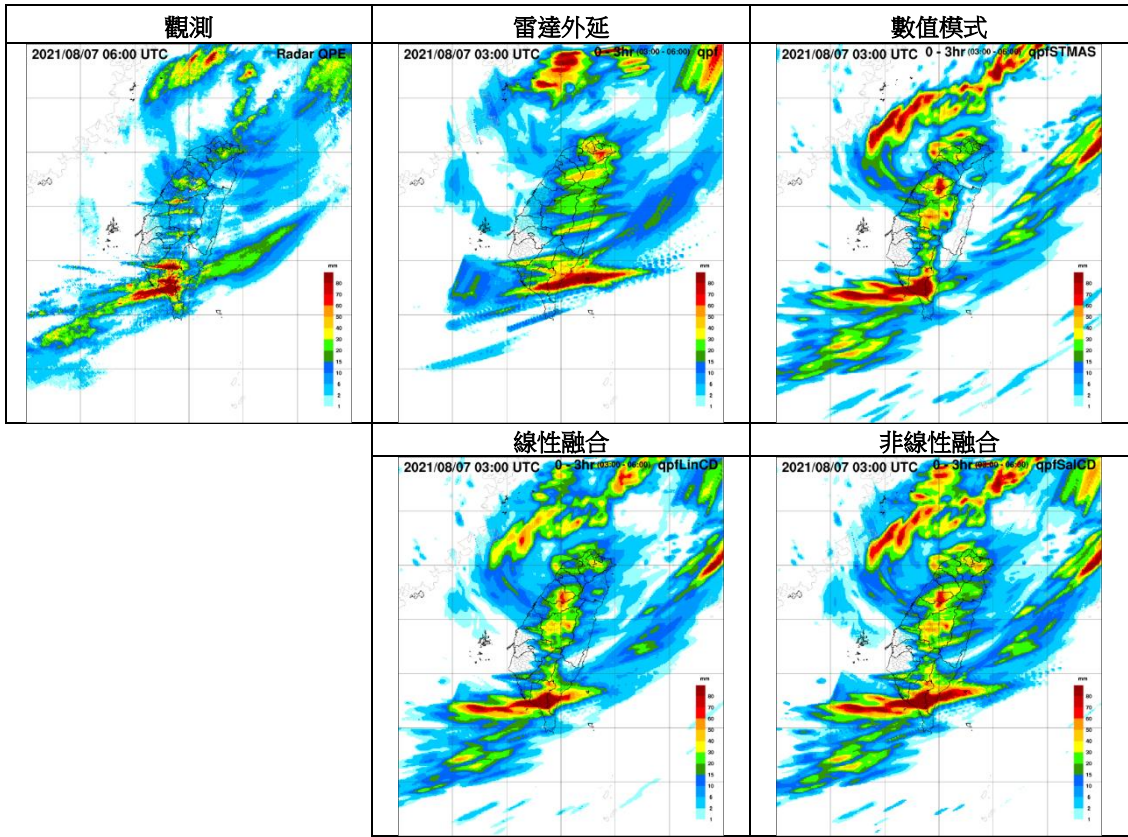


圖 10 盧碧颱風個案之逐 1 小時雨量融合 3 小時累積 QPF(案例時間 08/07 03:00 Fcst=0~3hr)

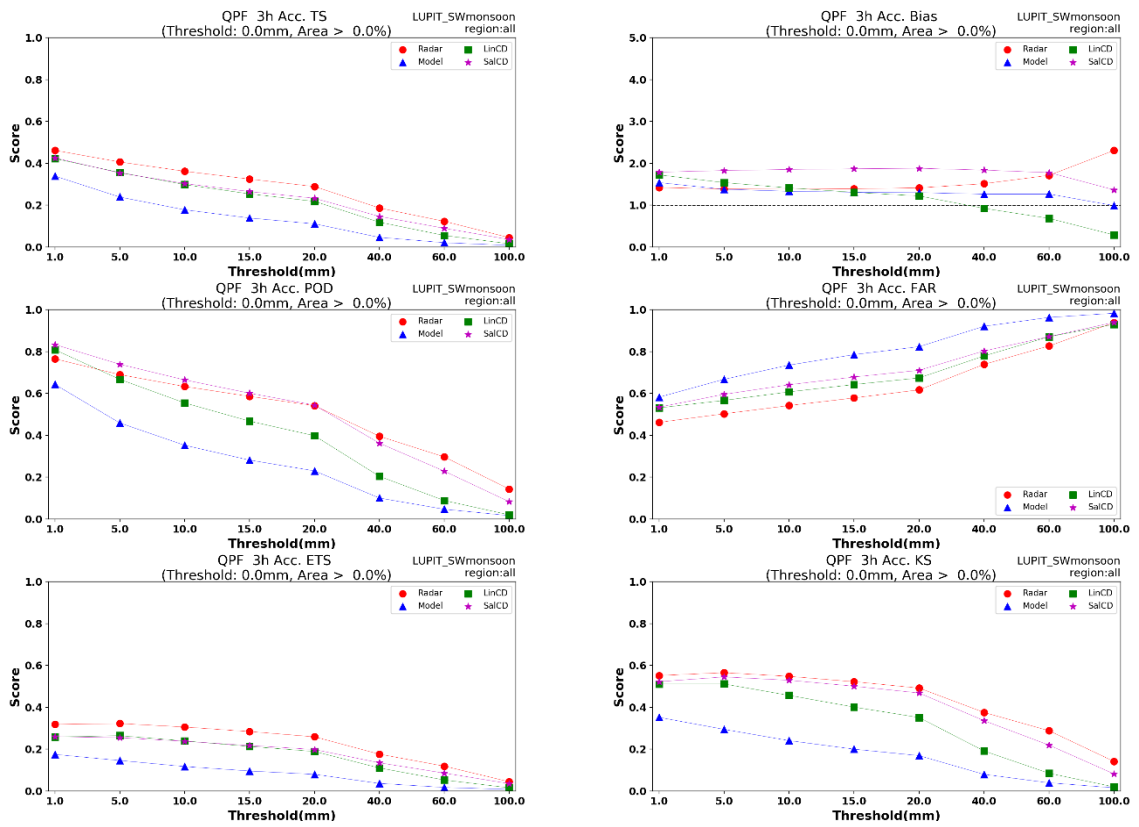


圖 11 盧碧颱風個案 3 小時累積雨量校驗比較

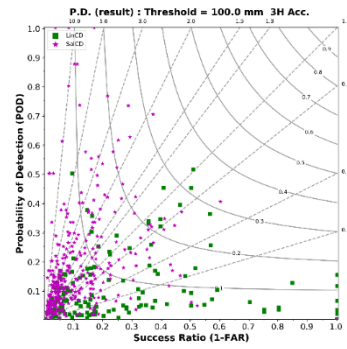
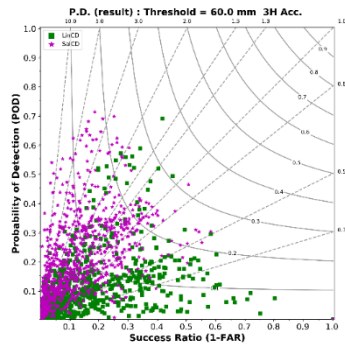
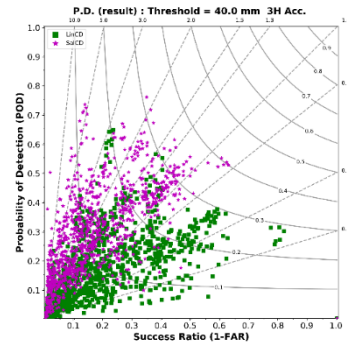
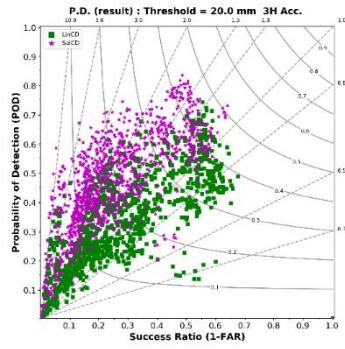
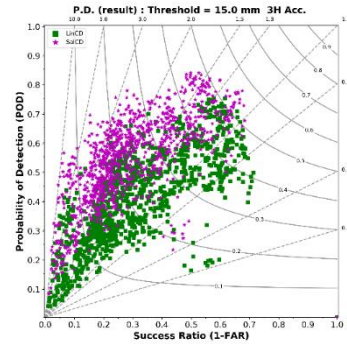
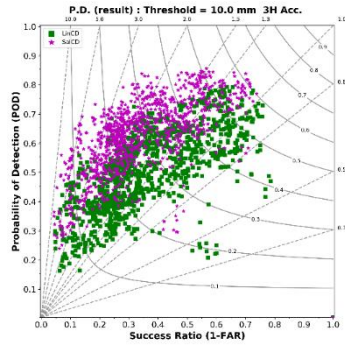
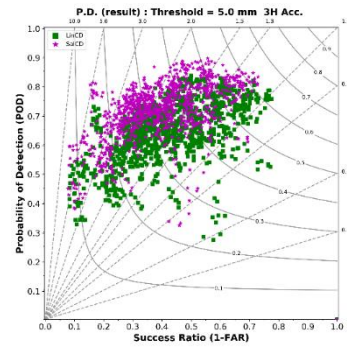
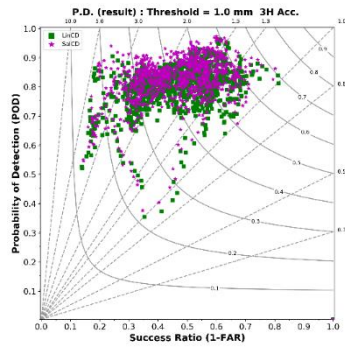


圖 12 盧碧颱風個案 3 小時累積雨量校驗 PD 圖

0-3 hour extrapolation and model forecasts blending technology

Yu-Ying Chien¹, Yi-Heng Wu¹, Chih-Yung Feng¹, Wen-Ho Wang²

¹Manysplendid Infotech, Co. Ltd.

²Meteorological Satellite Center, Central Weather Bureau

Abstract

Due to the radar echo extrapolation is limited by the weather system, its effect decreases with time. The numerical weather prediction (NWP) model forecast has the problem of spinup (model initialization). The combination of the advantages of extrapolation and model technology is expected to improve very short-term (0-3 hours) forecasting capability. In this study, a real-time fusion operation process of extrapolation and model forecasts based on the image feature is developed. In contrast to the common fusion method based on historical forecast skill, the image feature is based on the current forecasted time-by-time dimensionless rainfall intensity, has properties to remain heavy rainfall signals. Two kinds of blending strategies were used and the results were compared: (1) linear cross dissolve (Lin CD) and (2) salient cross dissolve (Sal CD) (Hwang et al. 2015). The statistical skill of Lin CD and Sal CD for historical events is compared to extrapolation forecasts and forecasts from STMAS-WRF. Verification of thunderstorm cases and typhoon cases in 2021 shows that Lin CD is similar to Sal CD at 1-h lead time, and the forecast skill of Sal CD are slightly better than Lin CD at 2-3-h lead time in 1-hour rainfall accumulation. In 3-hour rainfall accumulation, the KS and POD skill scores of Sal CD are significantly better than Lin CD, and the forecast skill of Sal CD performed better than the extrapolation and Lin CD.

Keyword: radar echo extrapolation, model prediction, blending technology, blending forecast