

雷達定量降水預報外延技術之評估與改進

方偉庭¹ 王忠斌² 張保亮³

中央氣象局衛星中心¹ 資拓宏宇國際股份有限公司² 中央氣象局第四組³

摘要

中央氣象局自 2002 年起與美國劇烈風暴實驗室(NSSL)合作發展短期預報技術，建置劇烈天氣監測系統(QPESUMS)，以提供臺灣地區之雷達合成回波、定量降水估計以及定量降水預報等雷達相關產品。該降水預報技術利用影像處理技術，分析過去一段時間天氣系統的移動趨勢並計算其移動向量，再進一步以外延的概念，推估天氣系統未來 1 小時的位置，最後整合天氣系統移動軌跡上的降雨量，求得 0-1 小時極短時的雷達定量降水預報。為評估預報參數對於降雨預報的表現，本研究針對梅雨鋒面個案進行測試，藉由調整對流胞強度及尺度的門檻值以及追蹤之時間間隔等設定，評估其對於預報的效能，並提出較整體性的參數設定，以提升此降雨預報方法在不同尺度天氣系統之準確性。由梅雨鋒面個案的初步測試結果顯示，微調前述參數設定可得到更接近實際觀測資料的預報移動向量，以及更佳的預報表現，未來本研究將持續測試不同天氣系統個案，以提升雷達定量降水預報外延技術的準確度。

關鍵字：QPESUMS、QPF、雷達、降水預報、梅雨、短延時

一、前言

氣候變遷快速，各國都面臨極端氣候挑戰，台灣近年來也不時遭受暴雨侵襲等災害，造成民眾生命財產安全重大損失，國際間越來越重視對極端氣候的災害預防。雖然現今的天氣數值模式可以提供達 4 天以上的定量降水預報，但由於模式需要產生初始場與進行預報的時間，再加上模式初期需動力調整(spin-up time)，以致極短時預報(0~3 小時)之預報結果可信度較低，故雷達回波的外延預報技術即扮演相當重要的角色。中央氣象局長期與美國劇烈風暴實驗室合作發展短期預報技術，希望藉由結合台灣地區之雷達合成回波、定量降水估計的資訊，提供極短時定量降水預報(下文簡稱雷達 QPF，Quantitative Precipitation Forecast)，輔助政府相關單位作防災決策參考，民眾預先得知發生災害的可能位置。然而，台灣複雜的地形使天氣系統在接近或接觸台灣地形時常發生特殊的變化，應用時必須進行在地化的設定。因此，本研究將分析此類個案的特性，藉由一連串的實驗，以求得對台灣地區最佳化的參數設定。

二、雷達 QPF 技術介紹

雷達外延技術即是以天氣系統過去的移動趨勢，做為未來移動方向的參考，在求取天氣系統過去的移動趨勢時，則運用了影像辨識與處理的技術。雷達回波資料本身可看作簡單的二維圖檔資料，在觀測的依系列時間內的產出時間上相互關聯的二維圖檔，如同拍攝運動員的連續動作，然而做為預測天氣系統的未來短時發展，雷達 QPF 必須能夠「捕捉」到天氣系統的「趨勢」，此即技術核心所在。

本局目前所用的雷達 QPF 技術主要由 Lakshmanan 等人發展(Lakshmanan et al. 2003, 2007, 2009, 2010)，此技術其中一項特點在於將天氣系統區分為小、中以及大三種尺度(後文分別稱第 1、第 2 以及第 3 尺度)，分別計算過去的移動趨勢後加以外延，在尺度較大之系統亦具有較長之生命期的假設下，將三個尺度之結果加以合併，得到最終的預報結果。其資料處理流程首先對雷達回波資料進行前端處理(Pre-processing)，包括對回波進行平滑(Smoothing)與訊號過濾(Filtering)後，利用叢集演算法(K-means Clustering)依照設定的回波強度區間紀錄各門檻值所框選出之獨立對流胞範圍(Segmentation)，透過合併與修整(Merging and Pruning)將這些獨立對流胞整合成大(第 3)中(第 2)小

(第 1)三種尺度。藉由分析過去一段時間之回波資料，即可計算三種尺度過去的移動與強度變化趨勢。為使計算結果具有更好的穩定性與完整性，取得移動分布後，利用卡爾曼濾波器(Kalman Filter)對移動分布平滑化，對缺乏移動向量的區域，則以周遭區域的移動向量作內插補上。最後，結合移動分布與強度變化趨勢，對回波與降雨率作 0~3 小時的外延預報，以第 1 尺度進行 0 到 30 分鐘，第 2 尺度進行 30 到 90 分鐘，第 3 尺度進行 90 分鐘以上的外延預報。然而，當各尺度間預報結果差異較大時，則會發生天氣系統移動不連續的狀況，為使預報結果更具合理性，目前僅採用第 2 尺度的移動分布進行外延預報。

三、研究成果

(一)個案簡介

本研究以 2014 年 5 月 15 日梅雨鋒面個案進行分析與研究。此個案的特點在於，在 1200~1700 UTC 時，鋒面上對流胞的移動方向為由西向東，但伴隨著對流胞消長(在鋒面系統西側生成，在中央山脈側消散)，使得鋒面整體的移動並非各別對流胞的由西向東，而是由北往南傳遞(圖 1a、b、c、d)；因此，此個案可用以檢驗雷達外延技術是否可針對該類特殊狀況計算出正確的移動向量。

(二) 參數介紹與最佳化

鋒面於 13:00 UTC 時，位於台灣中部地區並由北往南移動(圖 1，b)，本研究以此時間為例，以預設的參數設定產生 1 小時的雷達 QPF(圖 2a)，結果呈現了錯誤的移動方向(西南西方向)，顯示。下面針對可能影響雷達 QPF 計算系統移動分布的相關參數進行介紹與測試：

1. D 參數

前述雷達 QPF 技術使用叢集分群演算法，算法中必須設定要進行分群的回波值的上、下限與區間(分別稱為 D1、D2 與 D3)。如果去掉低值與高值，

只考慮中間主要區段的回波值，雖然可以捕捉主要的回波區域，但也失去了低回波與高回波區域的移動。而越小的區間值設定，意味著對回波值進行越細緻的分層，可能捕捉到天氣系統更細微的移動，但相對的也更容易引入雜訊。預設 D 參數為 00-60-6.66。

由於首要目的是掌握梅雨鋒面系統的移動，為了避免低回波值可能帶入的雜訊，以及避開由於地形因素造成的局部強回波影響，首先嘗試把下限從 0dBz 提高到 5dBz，上限從 60dBz 降低到 55dBz，調整後的移動分布雖有改變，但方向與量值仍不正確(圖 2b)。另外，本研究也嘗試提高回波區間值從 6.66dBz 到 10dBz，以避免細節過多的分層引入不必要的雜訊，但調整後的移動分布並無明顯改變(圖 2c)。

2. P 參數

在進行叢集分群演算法後，依照給定三種尺度的最低像素個數(分別稱為 P1、P2 與 P3)，對分層的區域進行合併與修整。較小的 P 值得到的區域會較為零碎，有助於捕捉到較小區域的天氣系統運動，但在計算移動分布時，也較容易引入雜訊。預設 P 參數為 20-200-2000。

為兼顧預報結果的連續性，目前只採取第 2 尺度得到的移動分布進行預報，本研究嘗試提高第 2 尺度的最低像素個數，以增加第 2 尺度區域的範圍，調整後的系統移速變小，但方向較正確(圖 2d)。

3. O 參數

雷達 QPF 在計算天氣系統過去移動趨勢時，預設使用每 10 分鐘 1 筆的資料時間間隔，此參數設定值可改變使用雷達回波資料的最短間隔時間，僅時間間隔大於 O 值的資料會納入計算。若 O 值過小容易在計算移動向量時引入雜訊；若 O 值過大，在系統變化快速時，可能造成影像辨識上的困難。

本研究將預設之 10 分鐘提高至 20 分鐘進行測試，調整後的移動分布(圖 2e)在中部地區的移動分

布較接近實際方向，但系統東側部份區域的移動方向與實際狀況仍有差異。

由上述討論發現提高第 2 尺度最低像素後所得到的移動分布最接近實際情況，增加所選用回波的時間間隔則有些微的改善，雖然提高回波上、下限值以及回波區間值後移動速度偏小，但方向正確，在參數的調整上是可以納入考慮的。把上述各種調整加以組合後得到的最佳參數組合為，回波下限值 5dBz，回波上限值 55dBz，回波區間值 10dBz，第 2 尺度最低像素個數 400，使用資料的時間間隔 20 分鐘，從調整後的移動分布(圖 2f)可以看到，鋒面系統的移動分布大部份一致，只有在台灣東北附近小區域有些不均勻，而移動分布朝南南西的方向本身反映了梅雨鋒面受到台灣中央山脈地形因素的影響，鋒面在地形上產生的對流消長的結果，整體表現出來就是 35dBZ 以上的回波區域移動方向平行中央山脈走向。

(三) 校驗結果

圖 3 為比較預設參數與最佳化參數於 1300UTC 時間，兩者進行 1 小時雷達 QPF 預報，在不同的回波門檻值上所得到的預兆得分(threat score, TS)圖，結果顯示相較預設參數，最佳化參數在所有門檻值上都有更好的預報表現，在 35dBz 高門檻值以上有顯著的增進。

為了比較雷達 QPF 在預設參數下以及最佳化參數下的整體預報表現，進一步以 1200 到 1700UTC 時間的個案資料進行雷達 QPF，比較兩種參數下所取得移動分布的正確比數。此處以對在台灣中部地區 35dBz 以上回波分布區域的預報移動向量，是否接近實際回波資料的移動方向做為判斷標準。統計 1200 到 1700UTC 回波資料共 31 筆中，預報參數下有 12 筆掌握正確移動向量，最佳化參數下有 17 筆，其中原本預設參數取得錯誤移動向量，最佳化參數後掌握正確移動向量的筆數有 9 筆，反之，原本預設參數掌握正確移動向量，最佳化參數後取得錯誤移動方向的筆數有 4 筆。

為了讓前述雷達 QPF 有定量的共同比較基礎，本研究利用持續法(persistence)做為參考基準。持續法是沒有技巧(no skill)的方法，簡單假設天氣系統沒有明顯的變化，把過去的觀測結果做為未來的預報，其他預報方法的表現至少需優於持續法，才具有預報技術。

將介於 0020 到 2350UTC 時間的個案觀測資料，以一小時的時間間隔計算 TS 值，得到將個案做持續法下的 TS 分布圖(圖 4)。橫軸是回波資料的觀測時間，縱軸是回波門檻值，圖中每一點表示，以觀測時間(OBSTIME)前 1 小時的回波資料，與觀測時間的回波資料，於所在回波門檻值，兩相比較計算的 TS 值。圖中 TS 值較高的區域，表示在所在回波門檻值以上的區域，回波分布在 1 小時以前的時間間隔內有較小的變化，回波呈現較多滯留的特性。

同樣將個案以預設參數作雷達 QPF 得到的 1 小時預報資料，與觀測資料比較計算 TS 值(圖 5)，結果顯示整體上維持與持續法相似的預報表現。進一步，把預設參數下的 TS 值減去持續法下的 TS 值，取得更細部的差異比較(圖 7)。結果顯示相較於持續法預報，預設參數下的雷達 QPF 對 0830UTC 時間以前的回波觀測資料有更好的預報表現，此時間區間回波的變化多為簡單平移，而在 1200 到 1700UTC 之間，多有局部滯留的強烈回波的時間內，則較無顯著的預報表現，顯示預報參數下的雷達 QPF 較難對滯留性回波的觀測資料進行外延預報。

同樣地，將個案以最佳化參數作雷達 QPF 得到的 1 小時預報資料，與觀測資料比較計算 TS 值(圖 6)，結果一樣顯示與持續法有相似的預報表現，以及與預報參數同樣在 0830UTC 時間以前的回波觀測資料有更好的預報表現。然而在 1200 到 1700UTC 時間之內，相較於預設參數，有幾筆預報資料表現的較差。把最佳化參數下的 TS 值減去持續法下的 TS 值，取得更細部的差異比較(圖 8)後，更清楚地顯示了前述提到的差異。然而，比較圖 7 與圖 8 在

高門檻值上的 TS 值，顯示相較於預設參數，最佳化參數下的雷達 QPF 在回波值 30dBz 以上有更多較佳的預報表現。

為了進一步比較，在 1200 到 1700UTC 之間，在掌握更多觀測資料的正確移動向量的最佳化參數，相較於預設參數，在 TS 值是否也有較佳的預報表現，將前述兩種參數個別與持續法比較 TS 值的圖 7 與圖 8，結合前述兩種參數做雷達 QPF 得到的正確移動向量筆數統計後(圖 9 與圖 10)，發現在相較於預設參數下沒有取得正確移動向量、而最佳化參數後掌握正確移動向量的時間點(圖 10 中垂直軸上有▲的時間)，之中兩個(OBSTIME1300、1630)的 TS 值反而表現較差，比較對應的預報資料與觀測資料後，發現兩個時間點的預報向量雖然方向正確，但因為預報速度太快，以及原本藉以外延的對流胞已經消失，同時也無能掌握到新生成的對流胞。另外，在 1500 到 1700UTC 之間，最佳化參數的預報表現較差，因為在該時間內，35dBz 以上的回波區域的對流胞的消長所表現出來的移動趨緩，接近滯留狀態，最佳化參數下的雷達 QPF 如同預設參數，同樣較難掌握滯留性強烈回波區域的正確移動向量。

四、結論與未來工作

為了補足數值模式無法提供極短時預報的不足，中央氣象局與美國劇烈風暴實驗室長期合作發展雷達 QPF 技術，而因台灣獨特的中央山脈地形，使得像是梅雨鋒面等天氣系統，在遭遇到台灣中部地形阻礙時，產生局部滯留的強烈回波，造成捕捉天氣系統運動的困難度，因此在應用這套雷達 QPF 技術時，必須要進行在地化的工作。

本研究選擇典型的梅雨鋒面做為個案，討論雷達 QPF 的預報表現，藉由調整對流胞強度及尺度的門檻值以及追蹤之時間間隔等設定，得到更為接近觀測資料的移動分布。在校驗方面，以持續法做為

比較對象，結果顯示雷達 QPF 具備一定的預報能力，而經過參數最佳化後，在高回波門檻值有較佳的預報表現，得到較為整體性的參數設定。然而在處理含有局部滯留強烈回波的觀測資料時，參數化前後的雷達 QPF 皆較難掌握正確預報向量。

未來將持續測試局部滯留強烈回波的個案，以及颱風與短延時強降雨等不同天氣系統，以提升雷達定量降水預報外延技術的預報表現。此外，亦將對雷達 QPF 如何與數值模式預報結合進行相關研究(Huang et al. 2015)，以期進一步提升短期預報之能力。

參考文獻

- 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
- Lakshmanan, V., R. Rabin, and V. DeBrunner, 2003: Multiscale storm identification and forecast. *J. Atm. Res.*, 367-380.
- , K. Hondl, and R. Rabin, 2009: An efficient, general-purpose technique for identifying storm cells in geospatial images. *J. Ocean. Atmos. Tech.*, **26**, 523-37
- , and T. Smith, 2010: An objective method of evaluating and devising storm tracking algorithms, *Wea. Forecasting*, **29**, 721-729
- , T. Smith, G. J. Stumpf, and K. Hondl, 2007: The warning decision support system - integrated information, *Wea. Forecasting*, **22**, 596-612
- 黃蕨芃, 2004: 多雷達資料合成技術開發-0 至 1 小時定量降水預報。行政院及所屬各機關出國報告。

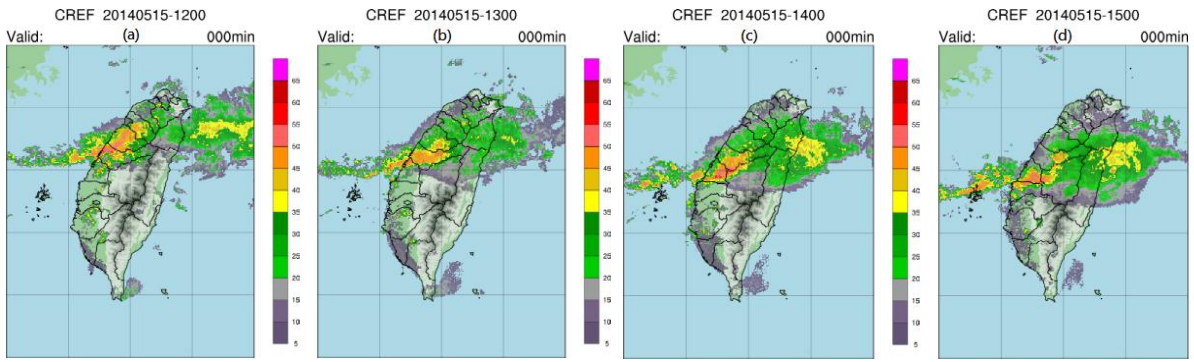


圖 1 本文分析個案，2014 年 5 月 15 日。

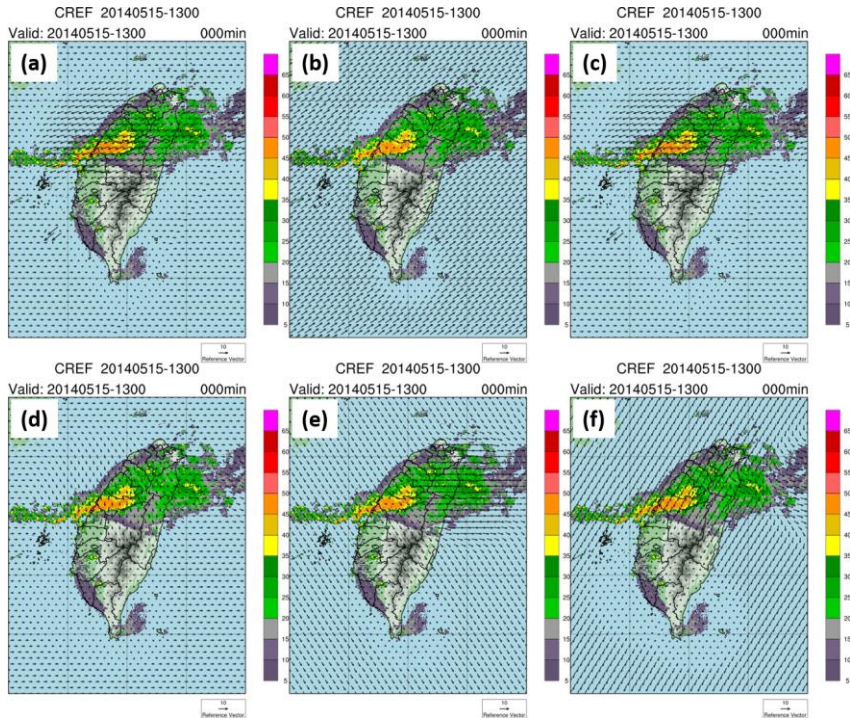


圖 2 利用(a)預設參數 D 參數 00-60-6.66，P 參數 20-200-2000，O 參數 10(預設)，(b)更改 D 參數為 05-55-6.66，(c)更改 D 參數為 00-60-10，(d) P 參數為 20-400-2000，(e) O 參數為 20，(f)更改 D 參數 05-55-10，P 參數 20-400-2000，O 參數 20，所計算之移動向量。

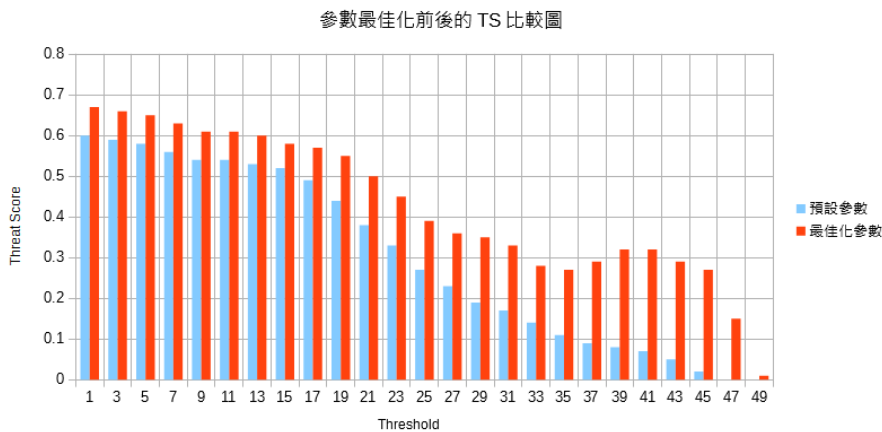


圖 3 1300UTC 個案在預設參數與最佳化參數下做雷達 QPF 的 TS 比較圖。

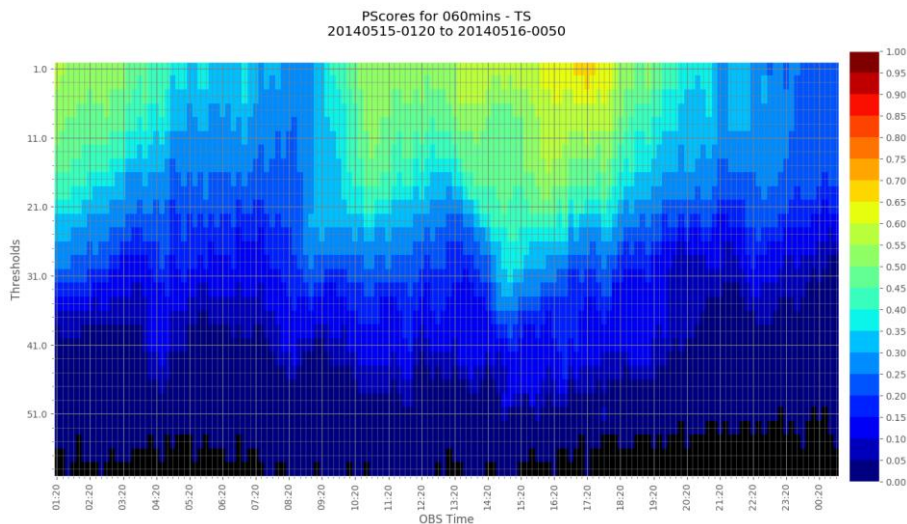


圖 4 個案做持續法後的 TS 分布圖，橫軸是回波資料觀測時間，縱軸是回波門檻值。

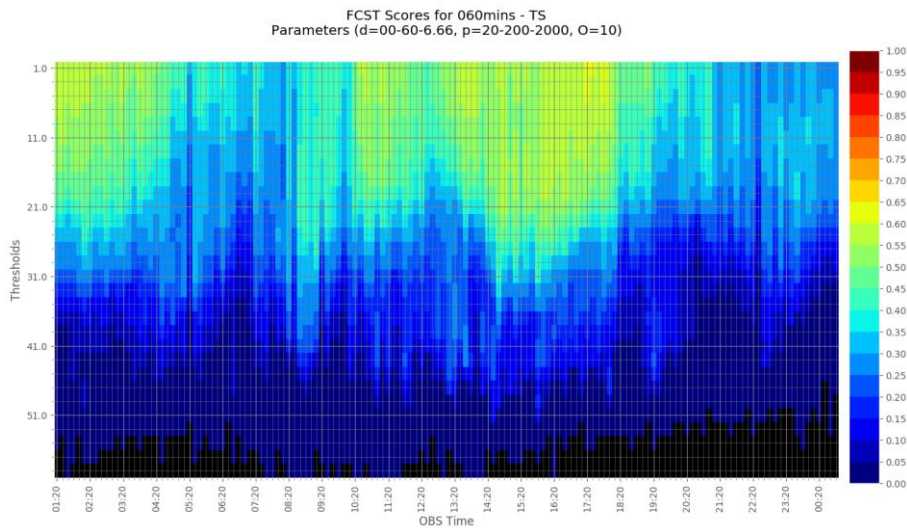


圖 5 資訊同圖 4，但為預設參數。

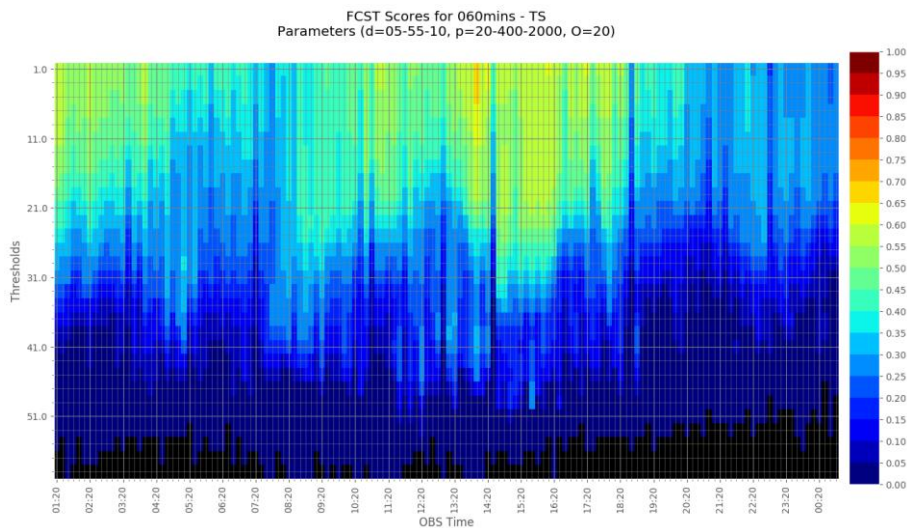


圖 6 資訊同圖 4，但為最佳化參數。

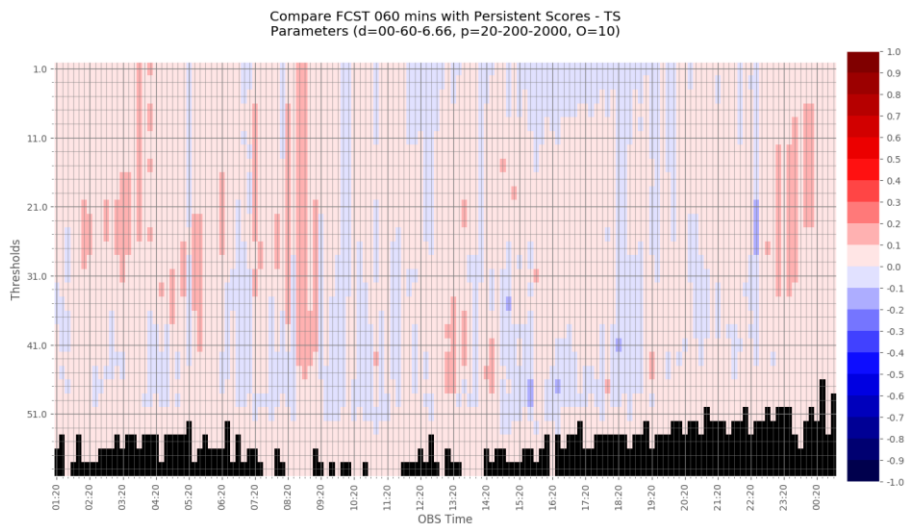


圖 7 個案在預設參數下做雷達 QPF 的 TS 值減去持續法下的 TS 值的比較圖。

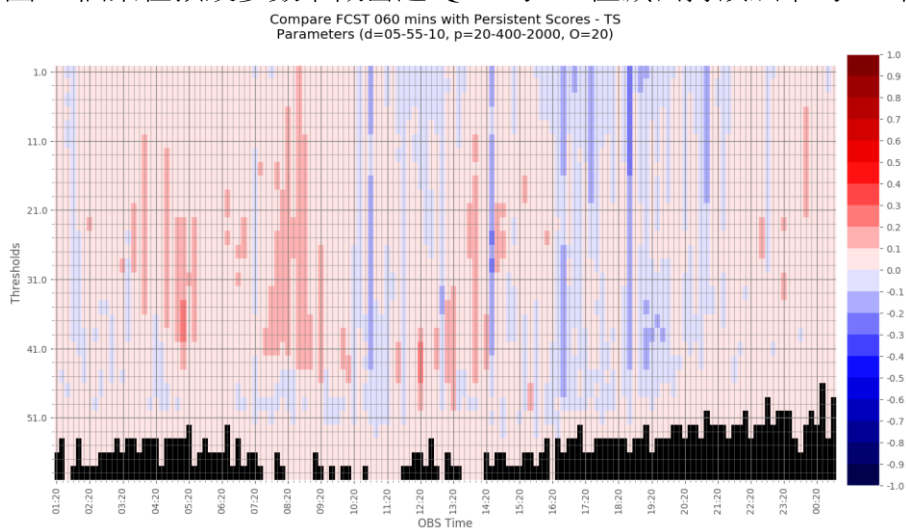


圖 8 資訊同圖 7，但為最佳化參數減去持續法之結果。

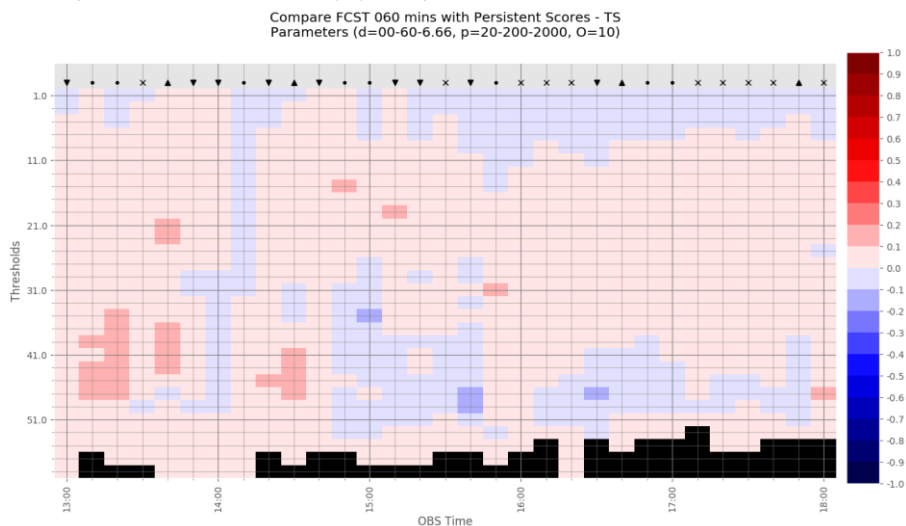


圖 9 資訊同圖 7，但增加移動向量正確與否之資訊；x 為皆無掌握正確移動向量，• 為皆有；▲ 為預報參數有掌握到，而最佳化參數沒有，▼ 則反之。

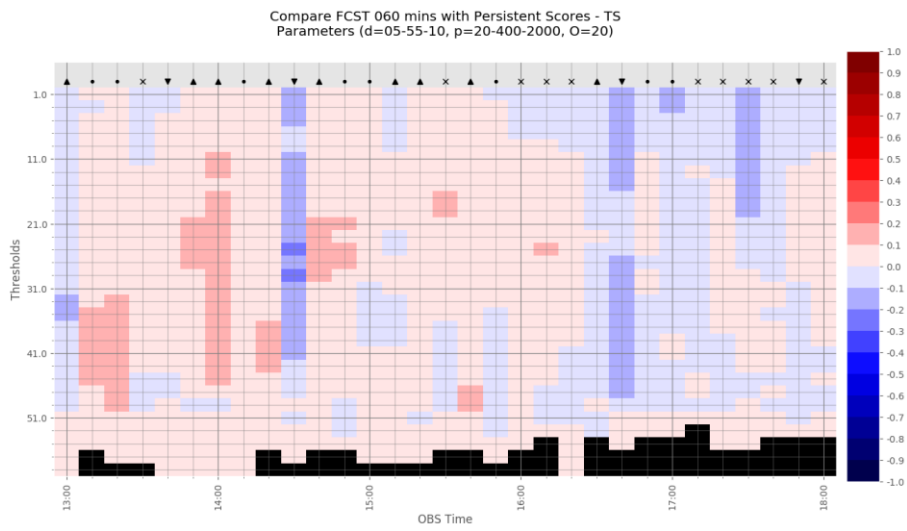


圖 10 資訊同圖 8，但增加移動向量正確與否之資訊；x 為皆無掌握正確移動向量，●為皆有；▲為最佳化參數有掌握到，而預報參數沒有，▼則反之。