

雷達定量降水即時預報外延技術之改善

許佳諺¹ 方偉庭¹ 王忠斌¹ 張保亮² 林品芳¹
中央氣象局衛星中心¹ 中央氣象局資訊中心²

摘要

為了因應不同天氣系統之特性，本研究使用移動與準滯留線狀對流系統個案，嘗試以系集預報改善雷達定量降水即時預報(Quantitative Precipitation Nowcasting, QPN)外延技術之合理性。其中可分為系集參數測試與系集結果評估兩部分。前者測試的結果顯示，整體校驗統計結果顯示，-p2 及-O 參數在參數預設值表現最佳，越遠離預設參數時，校驗分數亦隨之下降，其餘參數並未凸顯各參數值的合理設定範圍；此外，極端的參數設定有較高機率會對應到不合理的預報結果。因此，由上述測試結果，本研究挑選較合理且較合乎氣象物理意義之參數，並將這些參數值所預報的回波場進行系集平均，結果顯示使用系集平均可彌補參數預設值預報未掌握到之降雨區域。

關鍵字：雷達定量降水即時預報、系集

一、前言

隨著電腦硬體運算效能的提升與數值方法技術的演進，現今數值模式已是提供各氣象變數預報資料的主要來源，其中定量降水預報(Quantitative Precipitation Forecast, QPF)在民生需求、農業灌溉以及防災應用上尤其重要。然而，模式初始化調整時間及完成預報所需的計算時間，仍使數值模式在 0-1 小時，甚至 0-2 小時的預報資料難以即時取得，因此，使用可快速計算的雷達外延技術及如何應用便顯得格外重要。雷達外延技術可應用於定量降雨即時預報，此外延技術雖在 0-1 小時的預報上已有初步成效，但天氣系統在受地形影響時，往往會有滯留或個別對流胞移動方向與雨整體天氣系統移動方向不一致的情況，並影響此外延方法計算的結果。因此，進行在地化的調整為必要工作。基於上述理由，本研究使用系集評估的測試來涵蓋預報的不確定性，但與模式不同的是，本研究所使用的系集乃是測試不同參數值使追蹤的對流區域也所不同，造成不同的回波移動場，以期能改善單一參數設定的回波外延預報。

二、研究方法

(一)外延方法說明

本研究使用之外延方法由 Lakshmanan 等人所發展

(Lakshmanan et al. 2003; 2007; 2009; 2010)；此方法使用雷達和成最大回波之數值進行對流區域之訂定與追蹤，以過去之移動趨勢推估未來天氣系統之移動。此方法之流程可分為回波平滑處理、個別對流區域之訂定、對流區域之合併與刪減、對流區域之追蹤，並可分別簡述如下：

1. 回波數值平滑處理 (-k none/gauss)

因雷達回波資料具有高空間解析度特性，可觀察到細微的局部變化，並藉由前後觀測資料影像分析比對來掌握系統整體移動方向，故將資料進行平滑後可減少因回波局部變化而影響計算結果，為了解平滑處理前後之效果，本研究針對不進行平滑處理與進行高斯平滑處理兩種參數設定進行測試。

2. 個別對流區域之訂定 (-d d1 d2)

本研究假設天氣系統由個別較小的對流區域所組成，即為整體天氣系統之最小單位，利用 K means clustering 方法進行個別對流區域的選取。其中 d1 與 d2 分別為定義對流區域回波值之下限與上限。

為了測試在不同回波強度區間，由考慮弱回波區到只關注強對流區，因此在 d1 參數挑選上，有 d1=5、10、15、20 及 30 等 5 個不同參數測試。

3. 對流區域之合併與刪減 (-p p1 p2)

為了分析不同的天氣系統尺度，此步驟利用步驟 2

中訂定之個別對流區域，並依照給定三種尺度的最低像素個數進行對流區域的合併，且為了避免孤立的對流區域影響計算結果，亦刪減此類孤立的小型對流區域。較小的 P 值得到的區域較零碎，雖能有助於捕捉到較小區域的天氣系統移動，但在計算過程中，較容易引入雜訊。為兼顧預報結果的連續性，本研究採用第二尺度的移動分布結果進行預報，亦對此參數設定進行測試。

為了能因應不同天氣尺度的移動特性，本研究在-p2 參數值的挑選上有 20、60、100、200、400、600、800、1200 及 2000 等 9 個不同測試。其測試的水平尺度範圍由 Meso- α 至 Meso- γ ，以期能涵蓋不同中尺度對流特性。

4. 對流區域之追蹤 (-O dt)

根據步驟 3 經過合併與刪減所遺留下來的對流區域進行移動向量之計算，因雷達合成最大回波之時間解析度為 10 分鐘，故此參數在測試不同時間間隔下對於移動向量的結果影響。

本研究資料時間解析度為 10 分鐘，且為利用過去 1 小時的資料進行對流區域的追蹤計算出移動場，因此可分析不同時間解析度對於預報回波場的影響，在-O 參數值的挑選有 10、20、30 及 60 等 4 個不同時間解析度的測試。

經由上述步驟取得回波移動分布後，利用卡爾曼濾波器(Kalman filter)對缺乏移動向量的區域進行移動分布平滑化，以周圍區域的移動向量進行內插補齊。最後，便可得到整體區域的移動分布場。

(二)參數系集評估測試方法與校驗

根據使用者的需求，此方法可依上述步驟進行多項參數的調整，由於不同天氣系統在回波分布與範圍大小有不同特性，單一參數設定往往不易對所有類型天氣系統均具有最佳表現。因此，本研究進行多組參數組合的測試，評估以系集方式改善 QPN 結果的可行性，並期望能找出不合理的參數設定範圍，在參數合理區間內進行系集預報。對於所欲進行分析之個案，均使用表 1 所示的參數設定進行測試，當變動其中一項參數時，其餘參數則使用預設值(-d1=20；-p2=20；-k=none；-O=10)。

為了能量化及使系集評估具有一致性，本研究用

各參數所預報的回波場與觀測的回波場進行 Hanssen-Kuipers Skill Score (KSS)(Hanssen and Kuipers(1965))指數的比較，以挑選出較好的參數值。KSS 值介於-1 到 1 之間，當此值越接近-1 時代表預報結果較差；當此值越接近 1 時代表結果越好，當此值小於 0 時亦代表預報錯誤的比例較高，因此可將 0 來鑑別參數合理與否的門檻值。KSS 方程式如 2.1 式所示：

$$KSS = \frac{(ad - bc)}{[(a + c)(b + d)]} \quad (2.1)$$

上式中 a 代表預報命中，b 代表誤報，c 代表未命中，d 代表正確預報，為了要關注強回波區預報的命中率，此校驗方法所計算的 KSS 命中門檻值以回波值 $\geq 35\text{dbZ}$ 進行計算，本研究每十分鐘即可產生一筆回波的預報場，因此在天氣系統發生期間，將各參數值所預報出來的回波場跟觀測回波場之間的 KSS 指數以第一四分位數、中位數及第三四分位數表示，若是中位數的分數較高，代表此參數預報的結果較好；相對的，若是中位數較低，則此參數所預報的結果較差。

三、個案測試與結果

本研究初步測試兩種對流系統個案，依照系統特性可區分為以下兩種：

(a) 線狀、對流胞移動與系統整體移動不一致

以 2014 年 5 月 15 日梅雨個案為例，此個案特徵為在通過臺灣陸地時(1200 至 1600UTC)，鋒面主要對流區域移動方向為由西向東，且持續於鋒面系統西側生成，並在東側過山後消散，但鋒面整體移行方向為由北往南移動，約為東南東方至南方方位間(圖 1)。

(b) 線狀、對流胞移動與系統整體移動一致

以 2018 年 5 月 7 日飆線個案為例，此個案影響臺灣期間為 7 日 1600 至 8 日 0300UTC，主要對流區與系統移動方向一致，穩定由西往東移動(圖 2)。

本研究將針對上述兩個個案進行測試，希望能找出表現較差之參數設定範圍，並將選取參數之 QPN 結果與預設參數之 QPN 結果進行比較，以評估對回波合理預報的改善程度。

(一)各參數系集評估

(a) -d1 參數

分辨-d1 參數優劣如 2.2 節所述，為了檢視在這兩

個個案中是否有表現較合理的參數設定，因此將本研究兩個個案 d1 參數所預報 2 小時後的回波場與觀測場 KSS 指數計算結果進行校驗，若是以 d1=20 之中位數作為判斷優劣的基準，則兩個個案的整合校驗結果，較難判斷較合理的參數值範圍(圖 3a)。

(b) -p2 參數

為了找出是否有合理的參數範圍，將 p2 在這兩個個案預報 2 小時回波場與觀測回波場進行 KSS 指數計算(圖 3b)，整合結果顯示當 p2 參數值範圍為 600 至 2000 區間時，中位數之 KSS 值較低，約為 0.05；而在 60 至 400 區間可分別將中位數值提高至 0.1 左右。

(c) -k 參數

為了比較使用平滑與否和者為較不合理的設定，本研究亦對-k 參數進行測試，並將兩個個案-k 參數所預報兩小時的結果進行統整校驗，其結果顯示兩者的中位數值並無明顯差異(圖 3c)。

(d) -O 參數

將兩個個案之-O 參數值所預報 2 小時的回波場與觀測場進行 KSS 指數比較，整合結果顯示在 O=30 及 60 表現較易有較不穩定的情形(圖 3d)，這兩個參數值的中位數值亦較低，綜合兩個個案的結果測試，本研究在 O 參數的系集評估上，選用 O=10 及 20 較為合適。

在-d1、-p2、-k 及-O 參數之系集評估測試後，-p2 及-O 在參數預設值的表現最好，越遠離預設參數值時，所預報的回波場品質亦較低，而-d1 及-k 參數將兩個個案統整的分析結果較難得到明顯的趨勢。

有鑑於上述的評估結果，本研究在-p 及-O 參數將挑選較接近預設參數值進行系集，而-d1 及-k 參數則挑選較合乎氣象物理的參數值，由於每筆預報結果所需運算的時間約為 30 秒，因此在考量作業上的時效需求，本研究使用 10 組參數值進行計算，並將預報的回波場進行平均，與預設的參數設定值所預報的回波場來比較，檢視是否有改善，而本研究挑選的參數設定如表 2 所示。

(二)系集平均及搭配 PM 之測試結果

由於使用系集平均可能會造成極值處會被過度平滑，因此本研究亦測試系集平均搭配 Probability-Matched Mean(PM)(Ebert 2001)方法，重新分配系集平均結果。

均回波頻率分布，以期能掌握到回波預報極值。為了更能完整評估預報回波場的品質，本研究使用系集平均、系集平均搭配 PM 及預設參數值所預報的回波場與觀測回波場進行 Critical Success Index(CSI)指數的比較。CSI 值介於 0 到 1 之間，當此值越接近 1 時代表結果越好。CSI 方程式如 3.1 式所示：

$$CSI = \frac{a}{a + b + c} \quad (3.1)$$

上式中的 a、b 及 c 代表意義與 2.1 式相同，並針對不同回波命中門檻值進行比較，使評估更加完整。

(a) 2014 年 5 月 15 日梅雨鋒面個案

由不同回波命中門檻值的比較，在回波命中門檻值較弱的情形下(dBZ 小於 15)，使用系集平均搭配 PM 的表現較好，而當回波命中門檻值較強(dBZ 大於 20)時，系集平均及系集平均搭配 PM 有較好的回波預報場品質(圖 4)。在定性的比較上，三者 1210UTC 之所預報 2 小時的回波場(圖 5)，也可發現在中部強回波兩帶(黑圈處)，使用系集平均及系集平均搭配 PM 搭配 PM 的掌握明顯較參數預設值好。

(b) 2018 年 5 月 7 日颱風個案

在預報 2 小時回波場 CSI 指數校驗的結果上，在較小的命中門檻值表現上(dBZ 小於 25)，系集平均搭配 PM 的結果對於預報回波場有較好的掌握，而在較大的回波命中門檻值，系集平均及系集平均搭配 PM 的表現較好(圖 6)。三者 1710UTC 所預報 2 小時的回波場(圖 7)表現上，參數預設值在黑圈處強回波區域的表現明顯較系集平均及系集平均搭配 PM 的掌握較差，系集平均及系集平均搭配 PM 方法所預報的強回波區域分布較廣也較強，較相似於觀測的回波場。

四、結論與未來工作

雷達外延技術應用於定量降雨即時預報，在數值模式初始化尚未完全成熟的狀況下，其快速計算的特性顯得格外重要。因為外延方法假定天氣系統未來移動的趨勢將依循過去的移動速度與方向，且系統強度無明顯變化，一般而言 0 至 1 小時的預報能力最佳，1-2 與 2-3 小時的預報能力可能因天氣系統強度或系統移動發生變化而快速遞減。本研究嘗試針對雷達外延方法進行演算法調整與資料後續整理，以改善整體預報

本研究所評估之參數分別為-d1、-p2、-k 及-O，

並以 2014 年 5 月 15 日梅雨鋒面個案及 2018 年 5 月 7 日飈線個案兩個不同類型天氣個案進行測試，其移動特徵分別為線狀對流胞移動與系統不一致與線狀對流胞移動與系統一致。本研究第一部分針對不同參數之系集進行測試，將不同個案之參數進行合併分析後，在-p2 及-O 參數值越接近預設值時，表現有較好的情形，其餘參數則發現較難得到合理之參數設定範圍，因此-p2 及-O 參數挑選較接近預設參數值；而其餘參數則挑選較合乎氣象物理意義之參數值且將這些參數值所預報之回波場進行平均及將平均結果搭配 PM 方法與預設參數值設定來比較預報品質的優劣。在經由兩種不同天氣系統分析與評估後，使用參數預設值設定所預報之回波場，其雨帶的分布範圍較窄，且對於強對流區域的掌握較差；進行系集平均所預報之回波場顯示，使用系集可涵蓋較多預報的可能性，對流範圍明顯較單一決定性預報大，但相對地亦可補足決定性預報漏報之區域，而系集平均搭配 PM 方法可改善系集平均在弱對流區過度預報的情形。因此使用系集參數平均搭配 PM 方法可使對流區域預報準確度有所提升。

未來將持續進行更多不同天氣型態個案的測試，以了解使用系集平均參數設定對於預報結果之影響，並將跑出來的結果拿 QPE 作雨量校驗。

參考文獻

方偉庭、王忠斌與張保亮，2017：雷達定量降水預報

外延技術之評估與改進。2017 年天氣分析與預報研討會。

- Buizza, R., 1997: Potential forecast skill of ensemble prediction and spread and skill distributions of the ECMWF ensemble prediction system. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 99–119.
- Ebert, E. E., 2001: Ability of a Poor Man's Ensemble to Predict the Probability and Distribution of Precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 2461–2480.
- Hanssen, A. W., and W. J. A. Kuipers, 1965: On the relationship between the frequency of rain and various meteorological parameters. *Koninklijk Ned. Meteor. Instit., Meded. Verhand.*, **81**, 2–15.
- Lakshmanan, V., R. Rabin, and V. DeBrunner, 2003: Multiscale storm identification and forecast. *J. Atm. Res.*, **67**, 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.

表 1 QPN 各參數之測試設定，底線表示預設值。

參數	參數值
-d1	5、10、15、 <u>20</u> 、30
-d2	<u>60</u>
-p1	<u>20</u>
-p2	20、60、100、 <u>200</u> 、400、600、800、1200、1600、2000
k	<u>none</u> 、gauss
O	<u>10</u> 、20、30、60

表 2 較合乎氣象物理意義之參數設定。

參數	參數值
-d1	5、20、30
-p2	100、200、1200
-k	none、gauss
-O	10、20

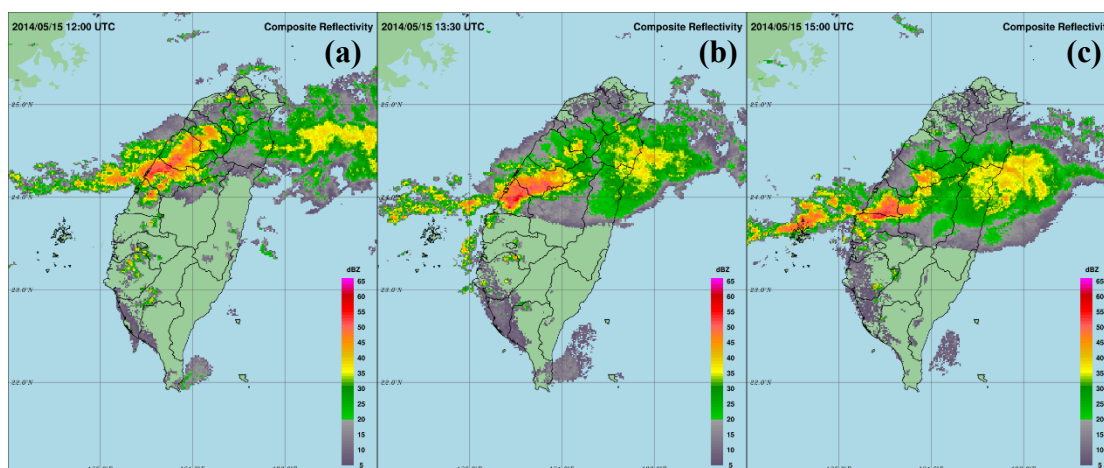


圖 1 2014 年 5 月 15 日(a)1200 UTC；(b)1330 UTC 及(c)1500 UTC 整合回波場。

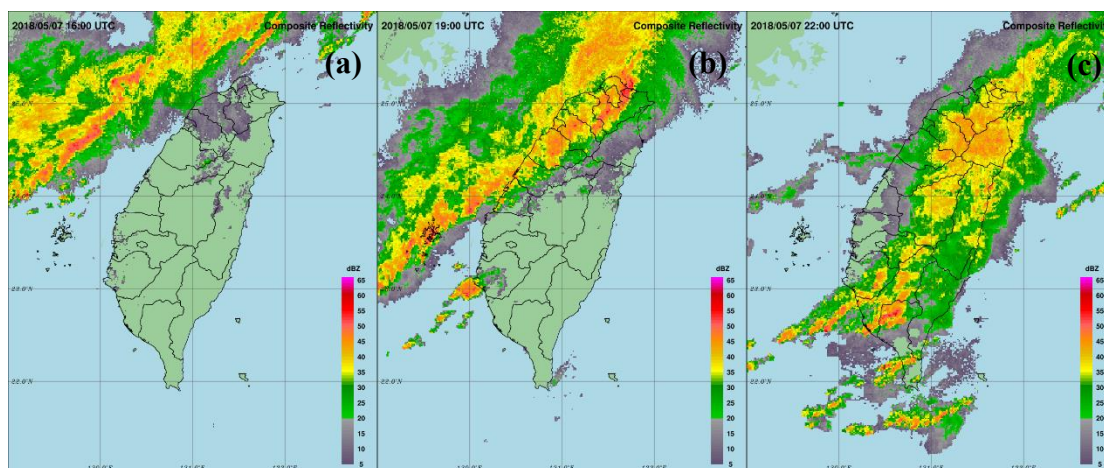


圖 2 2018 年 5 月 7 日(a) 1600 UTC；(b) 1900 UTC 及(c) 2200 UTC 整合回波場。

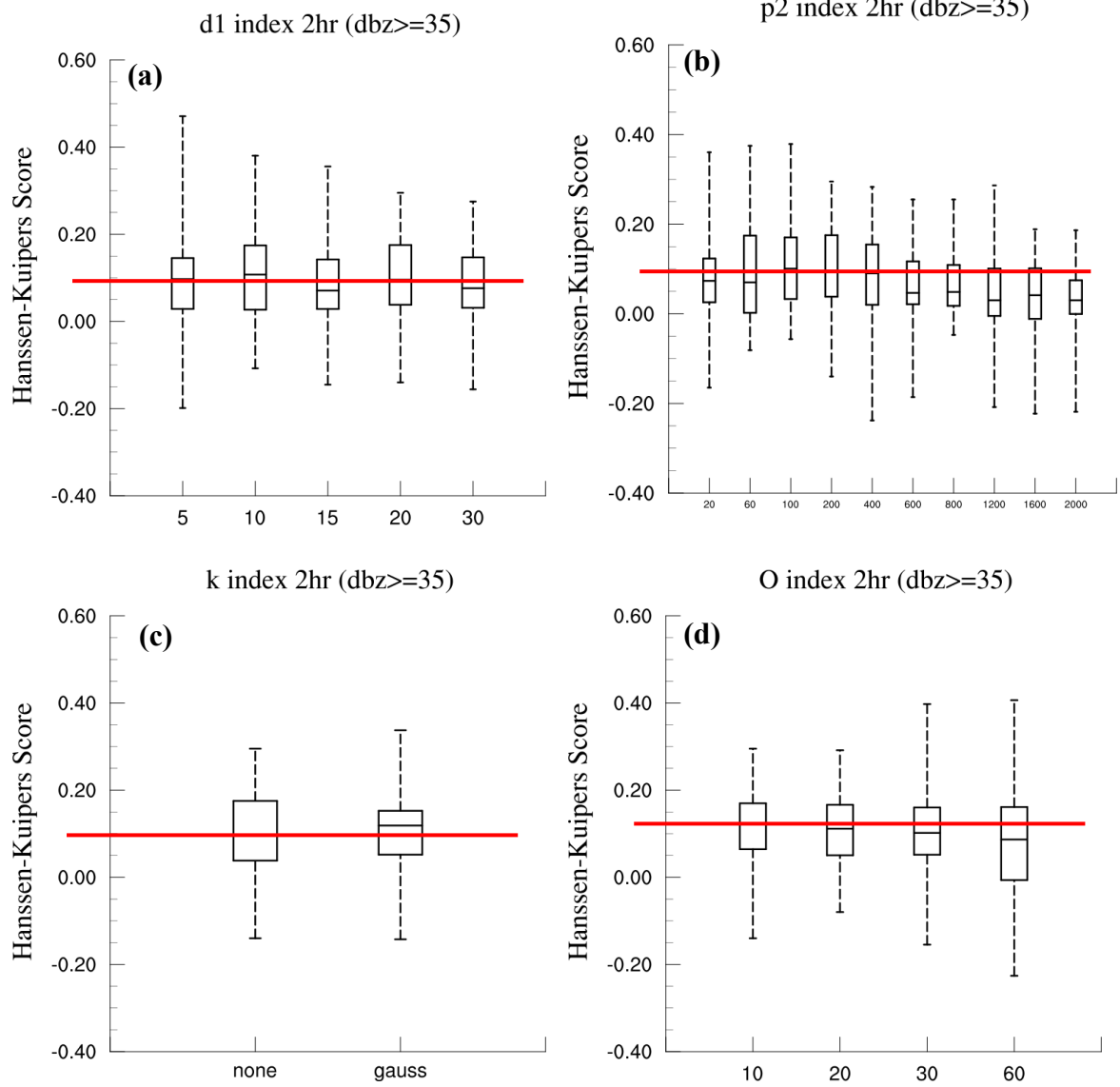


圖 3 整合兩個案之(a)-d1；(b)-p2；(c)-k 及(d)-O 參數系集評估，紅線為各參數預設值所對應到的中位數值。

20140515 Thresholds CSI (2hr)

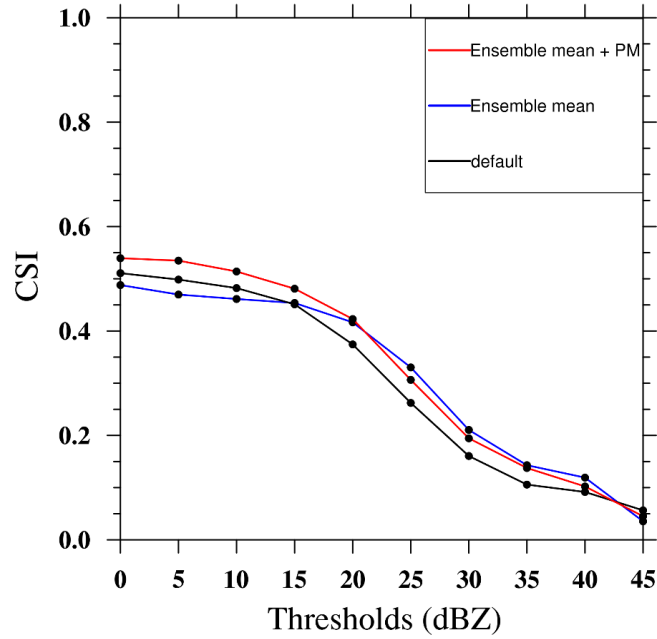


圖 4 2014 年 5 月 15 日個案在不同回波命中門檻值之 CSI 指數評估，縱軸代表預報回波場外延兩小時與觀測回波場間的 CSI 指數；橫軸代表回波命中門檻值；紅線為系集平均搭配 PM 方法結果；藍線為系集平均結果；黑線為參數預設值結果。

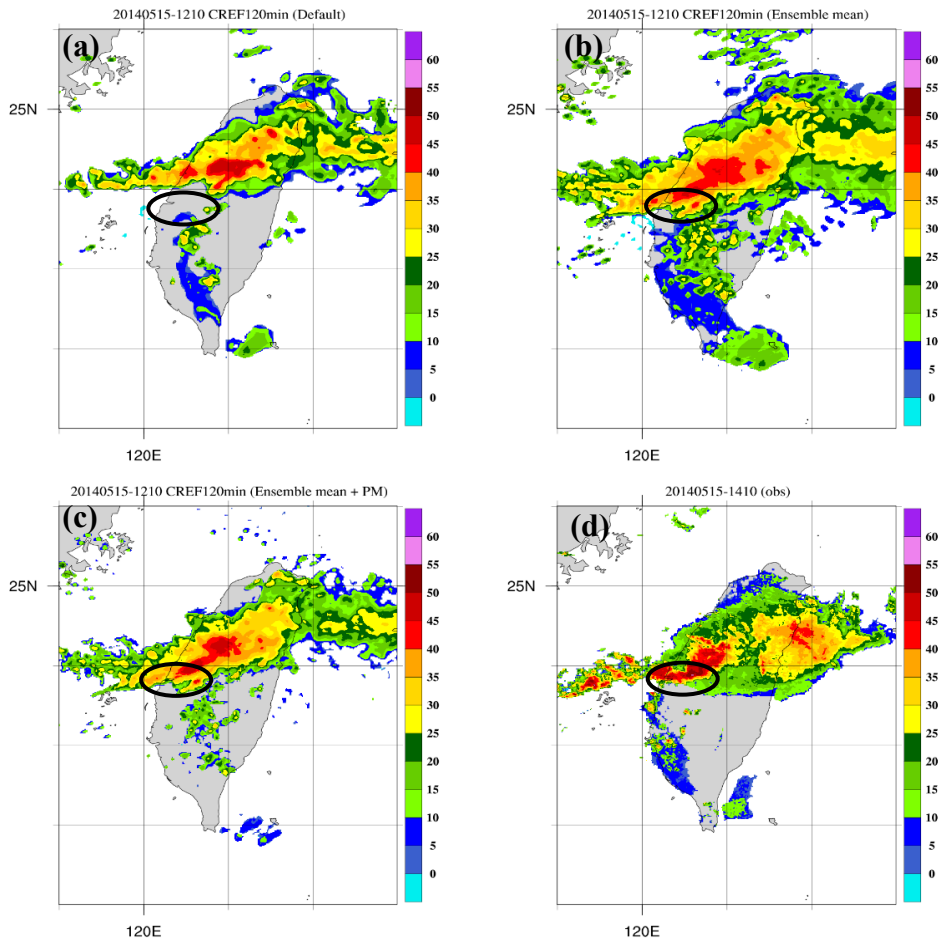


圖 5 為 2014 年 5 月 15 日 1210UTC 在(a)使用參數預設值與(b)系集平均及(c)系集平均搭配 PM 所預報 2 小時之回波場，而(d)為 1410UTC 觀測回波場，黑圈為觀測回波場強對流區極值位置。

20180507 Thresholds CSI (2hr)

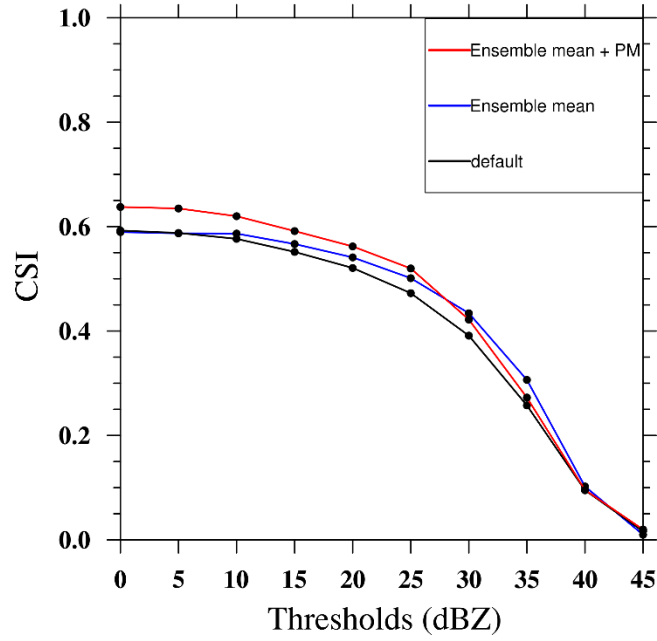


圖 6 同圖 4，但為 2018 年 5 月 7 日個案之結果。

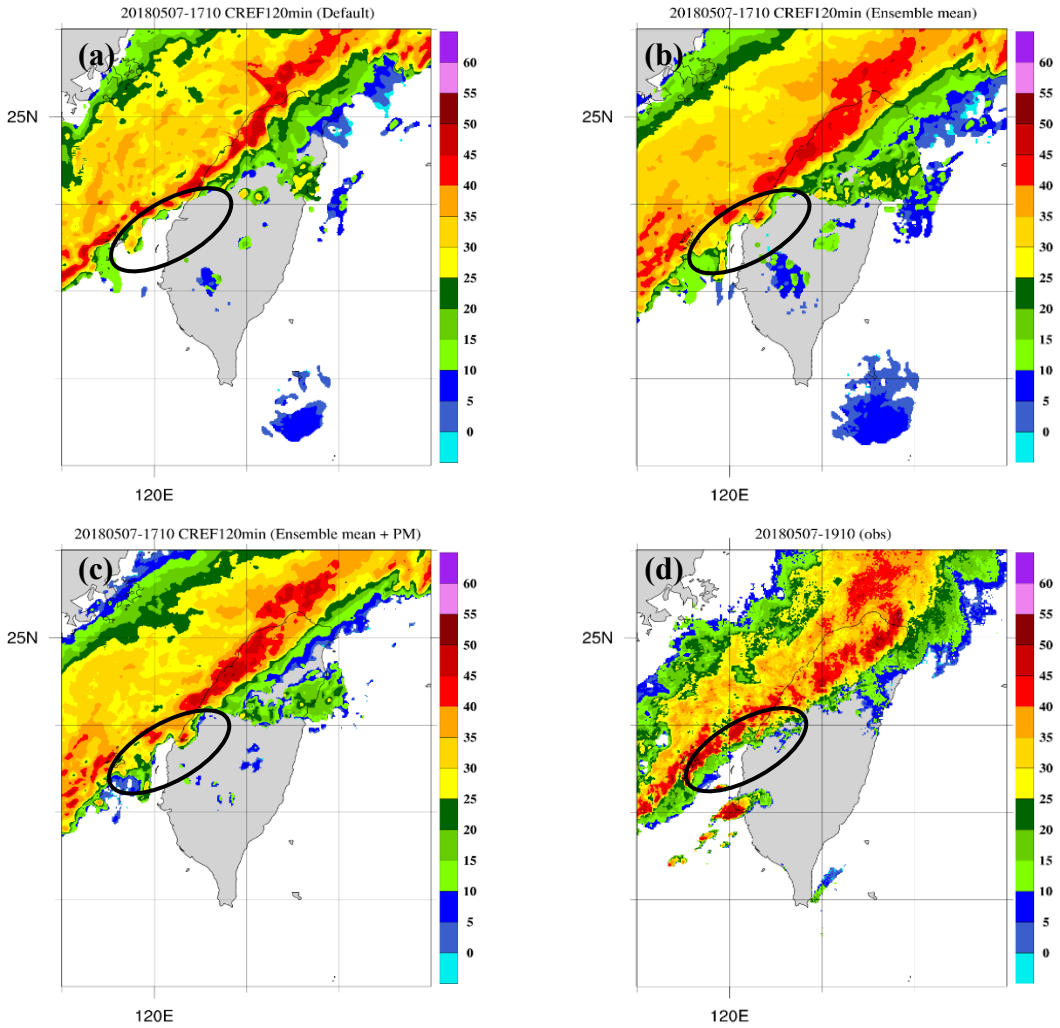


圖 7 同圖 5，但為 2018 年 5 月 7 日個案之結果，黑圈為觀測場南部沿海強對流區位置。