

# 物件基礎診斷校驗技術於中央氣象局區域模式定量降水預報能力之初步評估結果

陳白榆 李志昕 葉天降

中央氣象局

## 摘要

先進的空間校驗技術可提供預報場和觀測場特徵差異上更具意義的診斷資訊，如：預報能力在空間尺度的變化、涵蓋面積、系統位置及強度誤差等。本研究使用以物件為基礎的診斷校驗技術（MODE）評估中央氣象局WRF及WEPS區域模式5公里解析度定量降水預報誤差特性，並比較兩模式之決定性預報能力。期望能更全盤精確地檢視模式的預報表現，提供模式使用者詮釋預報結果及模式發展者改進模式的參考。

分析2012年6月6至24小時預報之梅雨個案6小時累積降水，初步結果顯示WRF及WEPS模式的ETS與MMI得分表現相當。WEPS模擬的降水物件與觀測相較，12小時內所預報的物件總數較少且平均涵蓋區域較大；WRF模擬的降水物件總數及面積與觀測較為接近。由整體預報物件的質心位移顯示，WRF模式降水於12小時內預報有偏東情況，且6小時內的偏東位移具統計顯著性。此外，應用MODE分析定量降水預報之強度偏差，發現WRF模式之預報偏強且隨降雨率增加，但與預報時間增長較無關係。

關鍵字：空間校驗技術、物件基礎診斷評估方法、定量降水預報

## 一、前言

以往對於模式預報定量降水預報（Quantitative Precipitation Forecast, QPF）的校驗皆採用傳統的列聯表及一般統計方法分析，即單純的點對點針對每個網格點進行校驗，並計算各種得分，如：偏倚得分（Frequency Bias, Bias）、公正預兆得分（Equitable Threat Score, ETS）…等（Wilks 2011），所得到的資訊為一個校驗得分數值，無法得知校驗的氣象場在空間上的分布特性，應用於對流尺度預報之校驗有其限制性（Baldwin et al. 2001）。近年來，國外有許多關於空間校驗技術之研究，其可針對預報的空間分布作校驗（Ebert 2008；Clark et al. 2010…等），此技術的發展是為解決傳統校驗方法在高解析度模式可能有較佳預報反而有得分較低的情形的雙重懲罰（Double penalty）問題。

以物件為基礎（Object-based）的診斷評估方法是空間校驗技術之一種（Gilleland et al. 2009），可校驗氣象場的位置、尺寸、強度等資訊。本研究引進由美國國家大氣科學研究中心轄下發展測試平台中心（National Center for Atmospheric Research/Developmental Testbed Center, NCAR/

DTC）所開發之模式評估工具（Model Evaluation Tools, MET）中以物件為基礎的診斷評估方法（Method for Object-based Diagnostic Evaluation, MODE；Davis et al. 2006a, b）評估本局模式在梅雨個案 QPF 之表現。

近年已有許多國外研究指出應用 MODE 分析高解析度模式 QPF 可提供診斷上相當有用之資訊，如：Davis et al.（2006b）用於評估 4 公里解析度天氣研究與預報模式（Weather Research and Forecasting Model, WRF）對美國地區降水預報之表現；Johnson and Wang（2013）也運用 MODE 比較 WRF 對流尺度模式系集成員的降水預報技術；Wolff et al.（2014）運用 MODE 與傳統方法比較全球預報系統（Global Forecast System, GFS）與北美中尺度模式（North American Mesoscale Model, NAM）之 QPF 表現。

本研究透過傳統與物件基礎的校驗方法，評估本局 5 公里解析度 WRF 模式之 QPF 表現。研究中除採用傳統的校驗方法：Bias 及 ETS 外，並應用以物件為基礎的 MODE 空間校驗技術，進一步針對模擬的 QPF 誤差特性進行分析，此先進的校驗技術在評估模式預報表現時，可提供比傳統校驗方法更多

的診斷資訊。

## 二、MODE 診斷校驗方法

MODE 是屬於較新的物件基礎診斷評估方法，比較與媒合預報與觀測場中的物件特性，校驗物件的位置、尺寸、形狀、強度和其他屬性，可以直覺化的闡釋校驗結果。此方法讓使用者能彈性地決定觀測場與預報系統要如何透過模糊邏輯理論 (Fuzzy logic) 進行合併和 / 或媒合，優點是提供位置誤差與某結構的誤差，有具體的意義，可直接得到關於小區域和大尺度的誤差特性，針對個別物件的特徵判斷命中、失誤或錯誤預報，提供豐富的資訊；缺點是常需要合併與媒合物件特徵，此過程微妙且具有複雜性，亦不易歸納總結。

MODE 可大致分為以下步驟：(一) 定義物件，在媒合天氣系統物件之前，會先透過摺積 (Convolution) 對降水場做平滑處理，並選定一個降水門檻值以定義物件範圍，再將物件內部的數值由原始資料取代，就可得到物件場。此定義物件之程序有兩個最重要的參數—影響半徑  $R$  和門檻值  $T$ ，此兩個數值決定控制整個解析原始資料場物件的過程。(二) 針對各個單一物件及兩兩成對的配對物件計算物件屬性 (Attributes)。單一物件的屬性有：面積 (Area)、質心 (Centroid) 軸線角 (Axis Angle)、長寬比 (Aspect Ratio) …等。單一物件屬性決定後，就可用這些屬性來計算配對物件之屬性，如：質心距離 (Centroid Distance)、角度差異 (Angle Difference)、交集面積 (Intersection Area)、對稱差異 (Symmetric Difference) …等。(三) 在物件的屬性估計完成後，會輸入到模糊邏輯引擎 (Fuzzy Logic Engine) 進行媒合與合併的動作。合併 (Merge) 是指將單一氣象場中的數個物件合併在一起；而媒合 (Match) 則是指將不同氣象場之間的物件相互配對，通常為預報場及觀測場。在比較時，即使預報系統和觀測系統非鄰近且相隔一段距離，仍可視為有相互媒合，即視為是同一個事件。(四) 針對每個物件屬性會給予一個純量權重，代表由經驗所得到的各屬性之相對重要性，最後總結集成一個數

值，我們稱為總興趣值 (Total Interest)，是由使用者自訂許多不同參數的函數總和，如：兩系統中心或邊緣距離、系統方向與偏移角度、面積大小、交集面積大小…等。Total Interest 的數值範圍從 0 (表示毫無興趣，即完全無相關) 到 1 (高度興趣，即高度相關)。

在完成 MODE 校驗後，會輸出一系列之綜合統計檔案，這些檔內含所有單一物件及合併集合物件的資訊和屬性，並會輸出媒合物件之 Total Interest 等資訊，可用來判斷各個物件之間的關係與差異，並進一步深入了解預報的能力與弱點。

## 三、模式與觀測資料

本研究使用的資料，包含：

### (一) 預報模式輸出

使用中央氣象局 WRF 模式與以 WRF 為基礎的系集預報系統 (WRF-based Ensemble Prediction System, WEPS) 之模式預報資料進行校驗分析。WRF 模式版本為 3.3.1 版，其動力模組使用 WRF ARW 方法，模式水平採三層巢狀網格，水平解析度分別為 45、15 和 5 公里，本研究只使用 5 公里解析度之模式預報降水資料。東西向與南北向的網格數為 222x128，投影法為藍伯特 (Lambert)。垂直層數設定為 45 層，模式層頂設為 30hPa。模式物理參數法包括 NOAH 土壤模式、Goddard 微物理參數法、YSU 邊界層參數法、Kain-Fritsch 積雲參數法、RRTMG 長波輻射和 RRTMG 短波輻射參數法等，各參數法之介紹詳見 WRF 使用手冊 (Skamarock et al., 2008)。本研究使用之 WRF 模式決定性預報稱為 WRFM00，資料同化策略採用部分循環法 (Partial cycle)，並使用 WRF 三維變分法 (WRF 3 Dimension Variational analysis, WRF3DVAR) 混合式 (Hybrid) 資料同化技術，側邊界則採用美國環境預報中心 (National Centers for Environmental Prediction, NCEP) 全球預報系統 (Global Forecast System, GFS) 預報場資料。

WEPS 有 20 組成員，使用了初始擾動、邊界擾動和模式擾動。初始擾動為使用 WRFM00 之前 6 小

時預報場，透過 WRF3DVAR 加入隨機亂數，產生 20 組擾動初始場；而邊界擾動則是由 NCEP 全球系集預報系統（Global Ensemble Forecast System，GEFS）獲得擾動邊界條件；模式擾動是由不同之模式物理參數法之設定產生。模式擾動主要針對積雲參數法、邊界層參數法和微物理參數法進行不同參數法之組合。使用之積雲參數法包含：Grell、Tiedtke、Betts-Miller-Janjic、Kain-Fritsch、Old SAS 及 New SAS；邊界層參數法包含：Yonsei University（YSU）、Mellor-Yamada-Janjic（MYJ）、ACM2 及 MYNN2；微物理參數法則包含：Goddard 與 WSM5。透過機率密度分布函數（PDF），可得知未來最有可能發生的情況為何，在假設頻率分布為高斯分布的狀況下，系集平均通常會是發生頻率最高的地方，也因此系集平均是廣為使用的系集預報產品。然而，使用系集平均之 QPF 卻有極值低估的問題。PM（Probability-Matched Mean）的發展，即是為了能改善系集平均的缺點，重新分配所有系集降水頻率分布，期望能掌握到預報極值，並能擁有與系集平均 QPF 相似之空間分布。本研究中所使用的 WEPS 決定性預報即為 PM 產品。

#### （二）觀測降水資料

本研究用以校驗模式資料之真值為中央氣象局劇烈天氣監測系統（Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor，QPESUMS）多重觀測工具之定量降水估計產品，此降水估計是利用雷達最低可用仰角回波觀測，以 Z-R 關係式將回波換算成估計降雨，並經過雨量站修正陸地上之資料，原始資料解析度為  $0.0125^\circ$ ，再利用 Barnes 客觀分析方法內插至模式 5 公里之網格點，使觀測與模式資料之解析度一致，以便進行校驗分析。

#### （三）個案選取

分析 2012 年 6 月 10 日 06UTC 至 6 月 15 日 18UTC 梅雨個案共 5 天期間的 6 小時累積降水，模式初始時間為 00、12UTC，評估 WRF 及 WEPS(PM) 模式 0~6、6~12、12~18 及 18~24 小時 QPF 特性，並比較兩模式之結果表現。

## 四、定量降水預報特性評估

在評估 QPF 特性時，首先使用傳統之校驗方法，得到降水事件之整體預報偏差與得分表現情形。接著，再應用空間校驗技術，分析預報表現在空間上的分布狀況，透過兩者之相互搭配，才能對於模式 QPF 之特性有全盤了解。

### （一）傳統校驗結果

採用傳統列聯表之一般統計方法進行偏倚得分（Bias）、公正預兆得分（ETS）之計算，並使用拔靴法（Bootstrap）計算得分的 95% 信賴區間（重複取樣數為 1500 次）。

#### 1. 偏倚得分

不同預報時間和降水門檻值的 PM Bias 加信賴區間幾乎皆小於 1.0，表示 PM 有降水低估情況，且有統計顯著性。而 WRFM00 之 0~12 小時預報 Bias 無偏差狀況，但 12~24 小時預報則有明顯低估現象，12~18 小時低估情況甚至比 PM 嚴重。整體而言，雖然兩模式之 Bias 有些許差異，但因各預報小時的兩模式信賴區間皆有重疊，故很難判定何者有較佳表現。

#### 2. 公正預兆得分

以 0~6、6~12 小時預報來說，兩模式之 ETS 表現差異並無統計顯著性，而 12~18、18~24 小時預報於某些門檻值之信賴區間差異皆為正值，表示 PM 有較佳 ETS 得分，且具有統計上的顯著性。

由傳統校驗結果顯示，不論是 Bias 或 ETS 得分，在較長時間（12~24 小時）的預報上，PM 皆有較佳表現。

### （二）MODE 校驗結果

關於 MODE 建構檔的設定，已透過一系列的敏感度測試決定適用於臺灣地區 QPF 校驗之最佳化設定，其中影響半徑 R 設為 5 公里，只對原始降水場作些微的平滑處理，並取  $T \geq 30\text{mm}$  門檻值進行分析。以對 2012 年 6 月 10 日 12UTC 校驗的前 18~24 小時預報累積降水為例，圖 1 (a) ~ (d) 為觀測、WRFM00 及 PM 預報在 2012 年 6 月 10 日 06 ~ 12UTC 的 6 小時累積降水。經由 MODE 分析，可得到 WRFM00 的降水預報物件 (e)，與其對應之降水觀

測物件 (f)；及 PM 的降水預報物件 (g)，與其對應之降水觀測物件 (h)。相同顏色的預報與觀測物件表示兩者有媒合，即有預報到；藍色的預報物件表示誤報 (False Alarms)、觀測物件表示失誤 (Misses) 的狀況。可注意到圖 1 (f) 和 (h) 雖是相同的觀測降水物件，但會隨著與之比對的預報場不同，而得到不同的物件合併或媒合結果。

使用 MODE 分析 5 天的降水個案，首先，圖 2 (a)、(b) 為此段梅兩個案期間各預報時間所有單一物件個數、面積分布圖，PM、WRFM00 與觀測值分別以紅色、藍色與灰色表示。由圖 2 (a) 可知，PM 於所有預報時間之物件預報個數皆比觀測少，WRFM00 物件預報個數較接近觀測。由圖 2 (b) 可知，WRFM00 的物件面積較接近於觀測，物件面積中位數與觀測相當接近，在 0~6、6~12 小時預報的物件面積 75 百分位數亦與觀測相當接近；而 PM 之 0~6 及 6~12 小時預報物件面積則明顯比觀測大，可能是因為 WEPS 模擬的天氣系統維持較久、對流胞較寬的原因。雖然 PM 所預報之各個物件面積較觀測大，但 PM 所有預報物件之面積總和仍不及觀測面積總和 (未圖示)。

針對媒合物件之屬性，比較整體預報物件相對於觀測物件之質心位移，其結果如圖 3 所示。圖 3 (a)、(b) 分別為 WRFM00、PM 模式之質心位移，圖中實線為 X 方向位移，正值表示偏東、負值表示偏西；虛線為 Y 方向位移，正值表示偏北、負值表示偏南。由圖可知，WRFM00 模式於 0~6 小時預報之偏東位移有統計顯著性，且隨預報時間 0~18 小時有偏東北往偏西南位移之傾向；而 PM 模式於 6~12 及 18~24 小時預報之偏南位移有統計顯著性，且亦有隨預報時間偏西往偏東位移之傾向。

應用 MODE 除了可瞭解兩模式 QPF 之尺度與位置誤差特性外，亦可分析 QPF 之強度誤差。本研究比較每個單一降水物件中 (包含在某區域內) 的降水強度分布，取 10、25、50、75、90 百分位數的降水強度，以預報值減去觀測值算出強度誤差 (單位為 mm)，其結果如圖 4 所示。顯示 WRFM00 於 25 百分位數後之強度誤差皆為正值，即 WRFM00 之降水預報強度偏強，且偏強情況隨降雨率增加而更加

明顯，但不一定隨預報時間增長就有較大之強度偏差。此偏強情況可能是由於模式 MCS 較慢消散，或是雨量站資料分布不均、雷達涵蓋範圍存在空隙，而無法觀測到某些極值降水的緣故。

## 五、結論

隨著電腦計算資源的擴充，NWP 模式勢必往更高解析度與提供更精細的預報邁進，針對高解析度模式需使用較先進的校驗技術才能有效益的評估預報之優劣性，這些技術在國外已有許多研究使用，但在國內研究上仍相當缺乏，故本研究主要目的為引進國外較新的空間校驗技術，運用於本局模式之 QPF 表現評估上，提供傳統方法所無法得到的診斷校驗資訊。未來將使用 MODE 校驗其他不同降水門檻值的預報表現，並選取較長時間的梅兩個案以降低結果之不確定性。亦需評估運用 MODE 於不同天氣系統降水事件 QPF 校驗之能力，如：冬季鋒面、颱風、午後對流等，期望 MODE 能提供我們預報於不同天氣型態的系統性誤差資訊，如：於臺灣各地區之預報誤差特性，或各天氣系統預報有何位置上的偏差。

## 六、參考文獻

- 李志昕與洪景山，2014：“區域系集定量降水預報之應用與分析研究”。天氣分析與預報研討會，中央氣象局，A2-19。
- Baldwin, M. E., S. Lakshmiarahan, and J. S. Kain, 2001: “Verification of mesoscale features in NWP models”. Preprints, Ninth Conf. on Mesoscale Processes, Ft. Lauderdale, FL, Amer. Meteor. Soc., 255-258.
- Clark, A. J., R. G. Bullock, and M. L. Weisman, 2010: “Neighborhood-based verification of precipitation forecasts from convection-allowing NCAR WRF model simulations and operational NAM”. *Wea. Forecasting*, 25, 1495-1509.

Davis, C., B. Brown, and R. Bullock, 2006a: “Object-based verification of precipitation forecasts. Part I: Methodology and application to mesoscale rain areas”. *Mon. Wea. Rev.*, 134, 1772-1784.

— — , — — , and — — , 2006b: “Object-based verification of precipitation forecasts. Part II: Application to convective rain systems”. *Mon. Wea. Rev.*, 134, 1785-1795.

Ebert, E. E., 2008: “Fuzzy verification of high-resolution gridded forecasts: A review and proposed framework”. *Meteor. Appl.*, 15, 51-64.

Johnson, A., and X. Wang, 2013: “Object-based evaluation of a storm-scale ensemble during the 2009 NOAA Hazardous Weather Testbed Spring Experiment”. *Mon. Wea. Rev.*, 141, 1079-1098.

Skamarock, W. C., and Coauthors, 2008: A description of the Advanced Research WRF version 3. NCAR Tech Note NCAR/TN475+STR, 113 pp.

Wilks, D. S., 2011: Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. 2nd ed. Elsevier, 704 pp.

Wolff, J.K., M. Harrold, T.L. Fowler, J.E. Halley Gotway, L.B. Nance, and B.G. Brown, 2014: “Beyond the basics: Evaluating model-based precipitation forecasts using traditional, spatial, and object-based methods”. *Weather and Forecasting*, 29, 1451-1472.

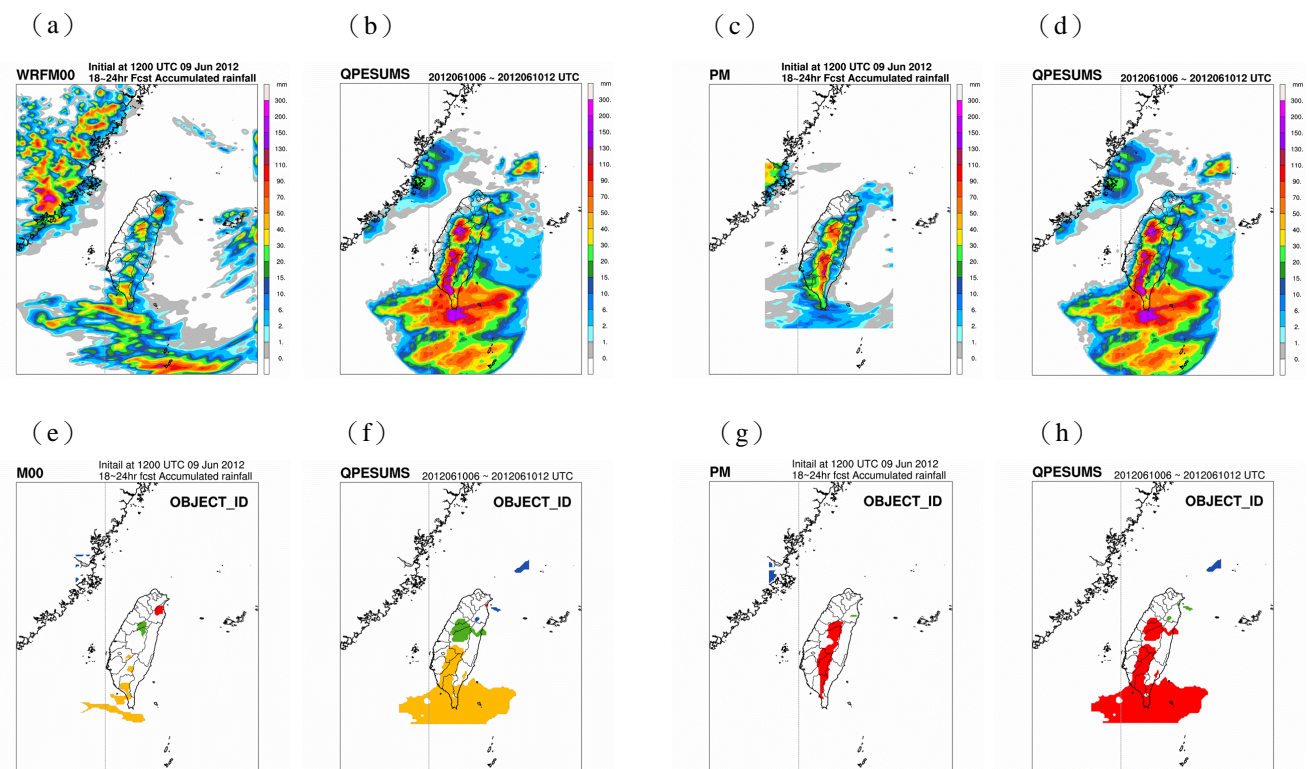


圖 1: 2012 年 6 月 10 日 06 ~12 UTC 之 6 小時累積降水。(b)及(d)為觀測降水，兩圖相同；(a)為 WRFM00、(c)為 PM 之前 18 ~ 24 小時預報降水。經由 MODE 分析，可得到 WRFM00 的降水預報物件 (e)，與其對應之降水觀測物件 (f)；及 PM 的降水預報物件 (g)，與其對應之降水觀測物件 (h)。

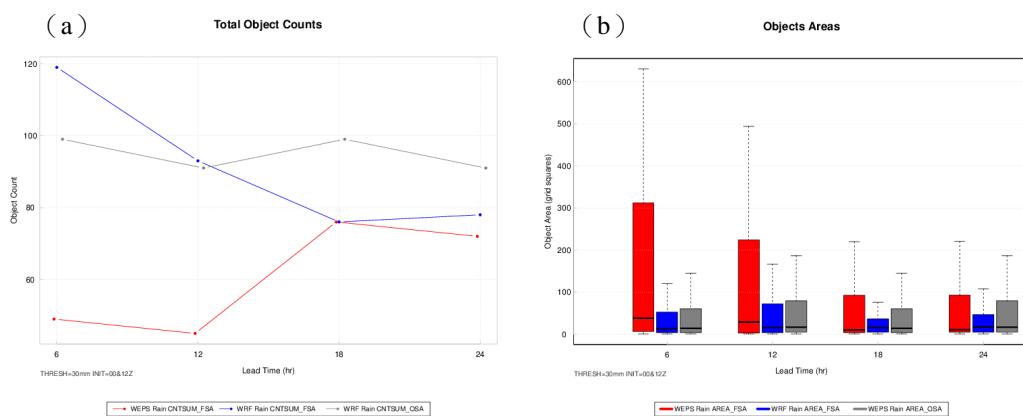


圖 2：MODE 輸出物件個數與面積比較。PM、WRFM00 與觀測值分別以紅色、藍色與灰色表示，橫軸為預報時間。(a) 為所有物件個數；(b) 為物件面積分布盒鬚圖。

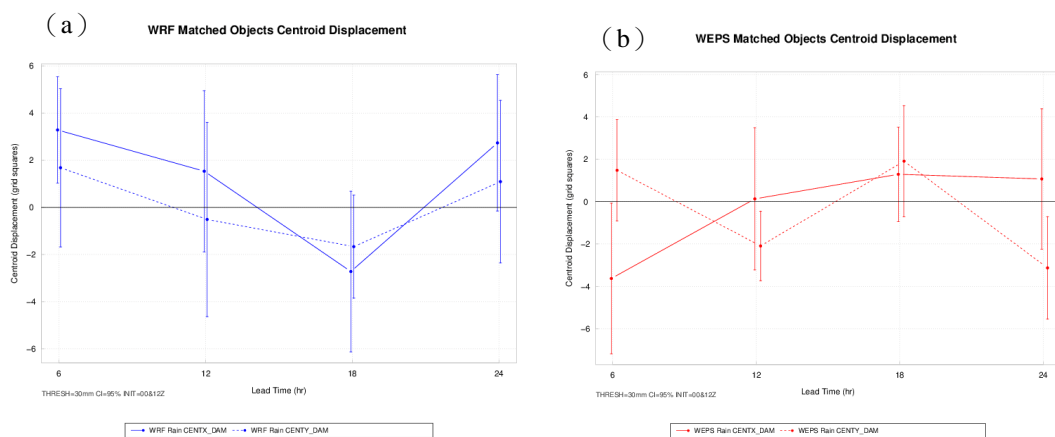


圖 3：MODE 輸出媒合物件之質心位移，橫軸為預報時間。(a) 為 WRFM00 整體預報物件相對於觀測物件之質心位移；(b) 為 PM 整體預報物件相對於觀測物件之質心位移。圖中實線為 X 方向位移，正值表示偏東、負值表示偏西；虛線為 Y 方向位移，正值表示偏北、負值表示偏南。

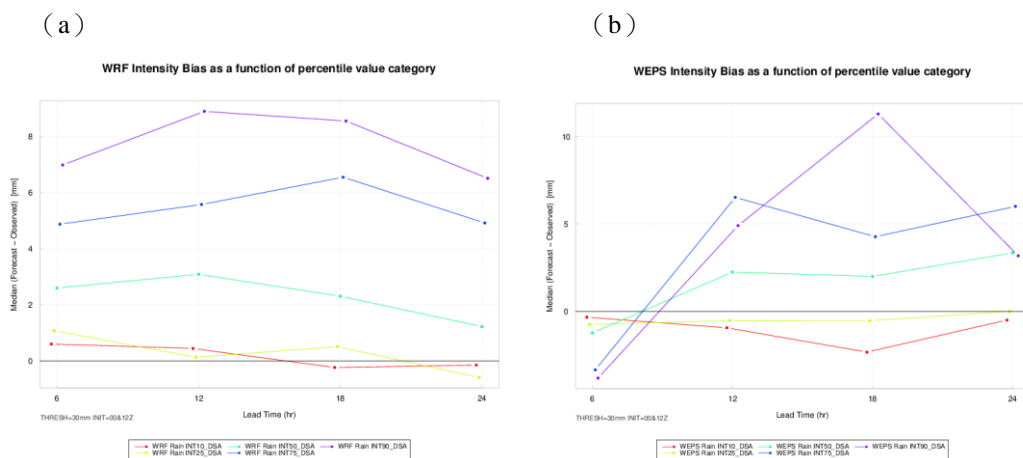


圖 4：MODE 分析輸出的 QPF 之強度誤差。(a) 為 WRFM00、(b) 為 PM 預報值減去觀測值算出的強度誤差（單位為 mm），正值表示強度高估、負值表示強度低估，橫軸為預報時間。圖上紅、黃、綠、藍、紫線分別為 10、25、50、75、90 百分位數的降水強度誤差。