

Decaying average 方法在短波輻射預報優化的應用

黃麗蓉¹ 林宜萩¹ 蕭玲鳳¹ 周儷芬² 張志榮²
台灣颱風洪水研究中心¹ 台灣電力公司綜合研究所²

摘要

目前政府正加速推動能源轉型，最新的太陽光電推廣目標，預計在 2025 年達到 20GW 的裝置容量(原 6.2GW)，為增加幅度最高的再生能源。由於太陽光電屬於間歇性能源，發電的不確定性將增加電力調度困難及電網運轉投資與操作成本。因此發展太陽光電發電出力預測技術，將有助於調度單位掌握即時及次日太陽光電發電資訊，而相關日射量氣象資訊的取得將是太陽光電出力有效預測的關鍵因子。本研究採用系集預報技術，並透過 decaying average 方法進行偏差修正，提供後續建置太陽光電出力預測系統所需之長領前時間之氣象預報資訊。

關鍵字：太陽光電、系集預報、decaying average 偏差修正

一、前言

政府目前積極加速推動能源轉型，希望在 2025 年再生能源發電比例能達到 20% 的目標，且最新的太陽光電推廣目標，預計在 2025 年達到 20GW 的裝置容量(原 6.2GW)，是增加幅度最高的再生能源，對電力系統的影響將變得相當嚴峻。由於太陽光電屬於間歇性能源，發電的不確定性將增加電力調度困難及電網運轉投資與操作成本。因此發展太陽光電發電出力預測技術，將有助於調度單位掌握即時及次日太陽光電發電資訊，而相關日射量氣象資訊的取得將是太陽光電出力有效預測的關鍵因子。

目前國際上用來預報短波輻射的方法大致可分為統計預報法、觀測預報法及數值模式預報法(Diagne et al., 2013; Inman et al., 2013)。而以數值模式預報短波輻射，除了可保有高時間解析度的預報特性，亦可適用於大範圍甚至全球的短波預報。歐洲中期預報中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)利用其系集預報系統(Ensemble Prediction System, EPS)，針對義大利境內的 3 座發電廠，進行每 3 小時一次、0-72 小時的太陽能機率預報(Sperati et al., 2016)。其先將系集預報的結果，利用類神經網路(Neural Network, NN)減少模式偏差，再利用 variance deficit(VD)及 Ensemble Model Output Statistics (EMOS)等兩種統計方法，調整模式輸出以求得太陽能預報結果。將此兩種方法的預報結果與持續法(persistence ensemble, PE)的結果進行比較，結果顯示，在不同的氣候條件下，將 ECMWF 的系集預報系統結合 VD 與 EMOS 這兩種後處理方法，所得到的太陽能預報結果，皆較 PE 的結果表現好。未來，ECMWF 將會把這兩種方法拓展至其他不同條件的

地方進行測試。

本研究利用台灣定量降雨系集預報實驗(TAPEX)中之 15 組 WRF 模式成員預報結果，進行 72 小時短波輻射預報，並與實際觀測進行校驗。進一步透過 decaying average 偏差修正方法，優化系集平均的預報結果，提供後續建置太陽光電出力預測系統所需之短波輻射預報資訊。

二、短波輻射預報校驗

本研究首先針對台灣電力股份有限公司綜合研究所提供之三個光電站，自 2016 年 11 月至 2017 年 10 月之太陽日射觀測資料，進行校驗分析。表 1 為測站的基本資料表，空間分布則如圖 1。透過資料品質管控(Quality Control, QC)程序後，測站的逐時觀測資料共有 48,243 筆。由於每日日射量之變化對於太陽光電發電預測系統之發展影響甚鉅，本研究選取觀測日射量量測值大於 0 之時段進行校驗。

本研究選取系集實驗中 15 個 WRF 成員，透過克利金法將水平解析度 5 公里之網格資料轉換至日射量觀測站，透過 15 個成員之平均，得到系集平均之預報結果。數值模式每次進行預報 78 小時，扣除前 6 小時計算與資料處理時間，有效時間為 72 小時。針對數值模式 3 天預報資料，比對觀測日射量與模式預報短波輻射量值，評估數值模式短波輻射預報能力。本研究校驗時採取均質化(homogeneous)校驗，即必須 15 個系集成員皆有預報值時，該筆資料才會納入比對。

表 1、光電測站資料。

代號	地點	緯度	經度
TPs002	台中電廠生水池	24.2087	120.4955
TPs003	永安鹽灘地	22.8382	120.2072
TPs008	大潭發電廠生水池	25.0322	121.0528

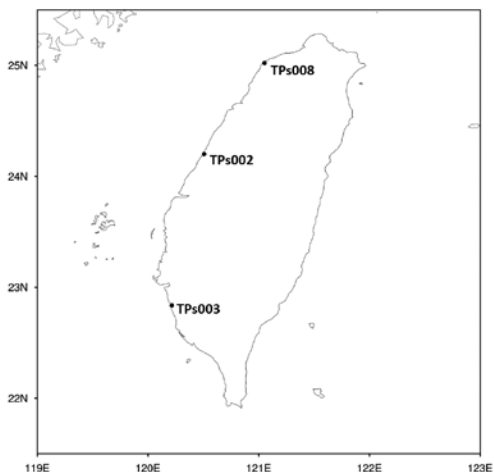
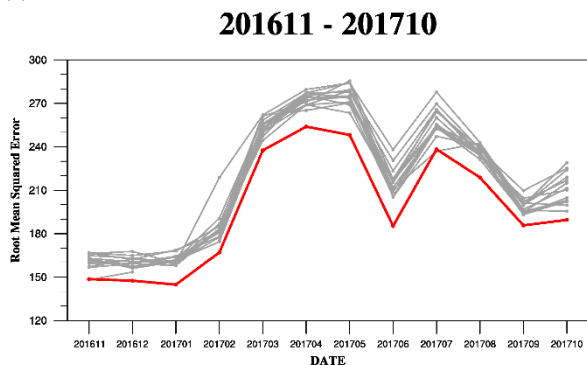


圖 1 光電測站位置分布圖。

圖 2(a)為 2016 年 11 月至 2017 年 10 月之逐月校驗結果，其中灰色為系集成員的逐月均方根誤差，而紅色為系集平均的結果。圖中顯示，系集平均的均方根誤差僅在 2016 年 11 月及 2017 年 7 月與其中一個系集成員接近，其他皆小於系集成員，顯示系集平均的預報結果優於單一成員。為了解不同預報起始時間之短波輻射預報能力，本研究進一步分別比對 00Z、06Z、12Z、18Z 等四個不同預報起始時間的模式預報結果與實際觀測之日射量。校驗的結果顯示(圖 2b)，在不同的預報初始時間仍以系集平均的表現最好，且以 12Z 和 18Z 為預報初始時間的均方根誤差明顯較 00Z 及 06Z 小。

(a)



(b)

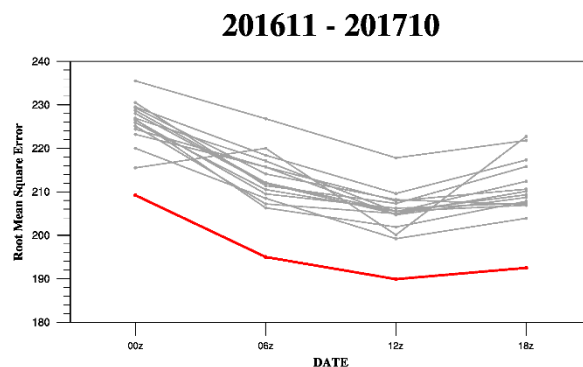


圖 2 2016 年 11 月至 2017 年 10 月，(a) 3 個觀測站之系集成員與系集平均之短波輻射預報資料與觀測值之均方根誤差，(b) 不同預報初始時間，系集成員與系集平均之短波輻射預報資料與觀測值之均方根誤差，紅色為系集平均，灰色為系集成員。

由圖 2(a)的結果顯示，自 2017 年 2 月開始，均方根誤差隨著時間快速增加，進一步透過分析觀測與系集平均之短波輻射月平均時間序列的結果顯示(圖 3)，觀測與系集平均的月平均短波輻射量值自 2017 年 2 月開始有增加的趨勢，但系集平均的上升趨勢明顯比觀測大，也因此造成均方根誤差有明顯增加的情形。圖 3 亦顯示，系集平均的預報值與實際觀測有一定的差距，顯示模式應存在著系統性誤差，因此本研究將進一步以「Decaying average」方法(Cui et al., 2012)，修正模式的系統性偏差進行短波輻射優化。

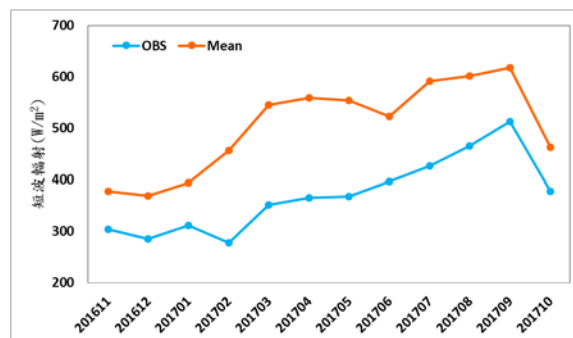


圖 3 2016 年 11 月至 2017 年 10 月觀測(藍色)與系集平均(橘色)之短波輻射月平均時間序列。

三、 優化方法及敏感度測試分析

數值模式會存在一定的系統性誤差，因此在應用數值天氣預報產品時，如何修正模式的系統性誤差一直以來都是重要的課題。「Decaying average」是一個簡單且節省計算時間與資料儲存空間的數學方法，可由一個係數調整權重分布進行模式偏差修正，越靠近分析時間的資料權重越大，反之則越小。decaying average 偏差修正的步驟為：(1)計算預報誤差，(2)以

decaying average 方法計算系統性偏差，(3)修正偏差。有關 decaying average 的詳細介紹與計算方法可參考 Cui et al.(2012)及陳與洪(2017)的內容。

由於短波輻射有日夜變化，因此利用 decaying average 方法進行偏差修正時，不同預報初始時間的系統性偏差將分開計算，即預報初始時段為 00Z 的系統性偏差皆以 00Z 的預報結果來計算，其他預報時段亦然。優化方法使用 2016 年 11 月至 2017 年 10 月，每日 00Z、06Z、12Z 及 18Z 的模式 78 小時短波輻射預報資料進行測試評估。觀測資料則使用前述的三個光電站，進行模式預報誤差計算。而在預報誤差的計算方面，以預報時段為 00Z 為例，若第一筆的預報時間為 2016 年 11 月 1 日 00Z，預報長度為 78 小時，則須要到 2016 年 11 月 5 日 00Z 的預報開始，方能利用 2016 年 11 月 1 日 00Z 的預報結果計算每一個預報時間的預報誤差(如圖 4)，即預報誤差的來源為前四天的預報誤差。

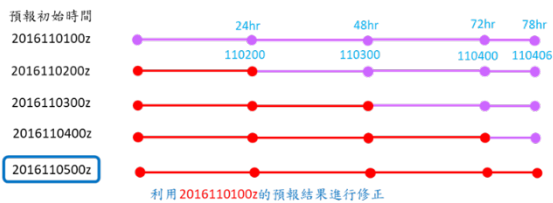


圖 4 預報誤差計算方法示意圖。

除了預報誤差的計算之外，在使用 decaying average 方法修正模式系統性偏差時，權重係數可決定過去一段時間的系統性偏差和目前預報誤差所佔的比例，因此將透過敏感度測試，嘗試找出最適當的權重係數，使短波優化有最佳的效果。本研究將權重係數由 0.01、0.02、0.03... 逐漸增加至 0.1，並以均方根誤差評估偏差修正的成效。圖 5(a)為 2016 年 11 月至 2017 年 10 月、系集平均及利用不同權重進行 decaying average 偏差修正之短波輻射預報值與觀測值之均方根誤差。結果顯示，不論權重係數為多少，進行 decaying average 偏差修正後的均方根誤差明顯小於系集平均的均方根誤差，即利用 decaying average 進行系統性偏差修正的預報結果優於系集平均值。進一步將不同權重係數的均方根誤差由 2016 年 11 月至 2017 年 10 月進行平均，結果顯示(圖 5b)，當權重係數由 0.01 開始增加時，均方根誤差會先明顯的快速降低，而當權重係數大於 0.06 之後則開始緩慢增加。

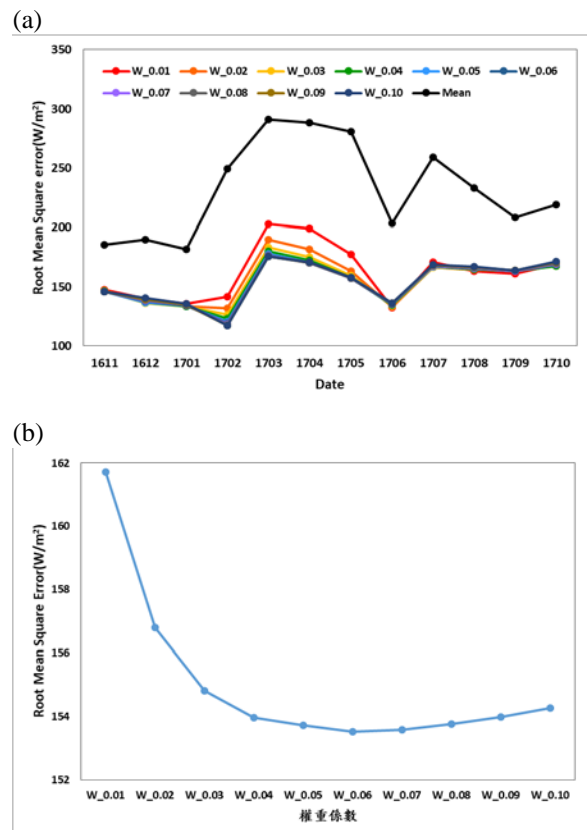


圖 5 2016 年 11 月至 2017 年 10 月，(a)系集平均與利用不同權重進行偏差修正之短波輻射預報資料與觀測值之均方根誤差，(b)不同權重測試之平均均方根誤差，橫軸為不同權重之敏感度實驗。

透過以上的分析結果顯示，利用 decaying average 方法修正模式系統性偏差進行短波輻射預報的結果明顯優於系集平均的預報結果，且當權重係數為 0.06 時，可得到最佳的短波輻射預報結果。本研究進一步利用此方法針對 2017 年 11 月至 2018 年 4 月的短波輻射進行優化結果評估，而其中的系統性偏差則是由 2016 年 11 月 1 日開始進行計算累積而來。

圖 6(a)為 2017 年 11 月至 2018 年 4 月利用系集平均及 decaying average 偏差修正之短波輻射預報值與觀測值之均方根誤差，結果顯示，利用 decaying average 偏差修正之短波輻射之均方根誤差，明顯小於系集平均的均方根誤差，顯示利用 decaying average 偏差修正優化方法可以改進系集平均的短波輻射預報結果。圖 6(b)為 2017 年 11 月至 2018 年 4 月，觀測、系集平均及 decaying average 偏差修正方法之短波輻射月平均時間序列。月平均的短波輻射時間序列的結果顯示，利用 decaying average 偏差修正方法對於原本系集平均明顯高估的短波輻射有很好的修正效果，使得短波輻射預報值更接近實際觀測值。此結果顯示，利用 decaying average 偏差修正方法應用於短波輻射的優化，有非常良好的效果。

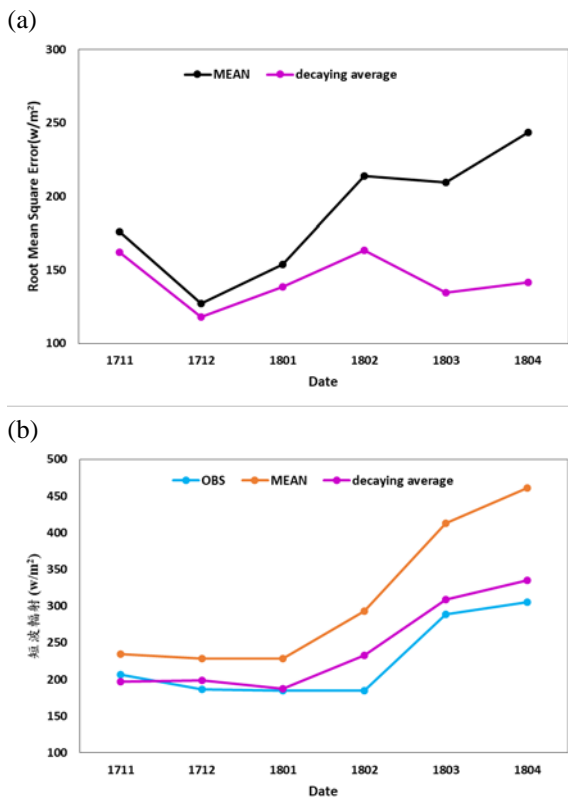


圖 6 2017 年 11 月至 2018 年 4 月，(a)利用系集平均(黑色)及 decaying average 偏差修正(粉紅色)之短波輻射預報值與觀測值之均方根誤差，(b)觀測(藍色)、系集平均(橘色)及 decaying average 偏差修正方法(粉紅色)短波輻射月平均時間序列。

四、 結論

本研究利用台灣定量降雨系集預報實驗(TAPEX)中之 15 組 WRF 模式成員預報結果，進行 72 小時短波輻射預報，與實際觀測進行校驗的結果顯示，系集平均的預報結果優於單一成員。而分析觀測與系集平均之短波輻射月平均時間序列的結果顯示，系集平均的預報值明顯高於實際觀測，顯示模式應存在著系統性誤差，因此以 decaying average 偏差修正方法，優化系集平均的預報結果。敏感度測試分析的結果顯示，利用 decaying average 方法修正模式系統性偏差進行短波輻射預報的結果優於系集平均的預報結果，且當權重係數為 0.06 時，可得到最佳的短波輻射預報結果。進一步利用此方法針對 2017 年 11 月至 2018 年 4 月的短波輻射進行優化，評估結果顯示，decaying average 偏差修正方法可修正系集平均高估的短波輻射，使短波輻射預報值更接近實際觀測，對於提供後續建置太陽光電出力預測系統所需之長領前時間的短波輻射預報資料有實質的幫助。

五、 參考文獻

- 陳怡儒、洪景山，2017：應用 decaying average 方法進行地面溫度預報偏差修正之研究。《大氣科學》，**45**，25-42。
- Cui, Bo, Zoltan Toth, Yuejian Zhu, Dingchen Hou, 2012: Bias Correction for Global Ensemble Forecast. *Wea. Forecasting*, **27**, 396–410.
- Diagne, M., M. David, P. Lauret, J. Boland, and N. Schmutz (2013), Review of solar irradiance forecasting methods and a proposition for small-scale insular grids, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **27**, 65-76.
- Inman, R. H., H. T. C. Pedro, and C. F. M. Coimbra (2013), Solar forecasting methods for renewable energy integration, *Prog. Energy Combust. Sci.*, **39**(6), 535-576.
- Sperati, S., S. Alessandrini, and L. Delle Monache (2016), An application of the ECMWF Ensemble Prediction System for short-term solar power forecasting, *Solar Energy*, **133**, 437-450.