

頻率配對法應用於台灣地區網格風速預報校正

Bias correction for numerical model output wind speed forecast in Taiwan using frequency matching method

陳昱璿¹ 劉承昕¹ 馮智勇¹ 林秉煜² 賈愛玫² 許乃寧²
多采科技有限公司¹ 中央氣象局預報中心²

摘 要

台灣本島地區民生發展與風速有著許多關聯，除了位處盛行風隨季節變換的季風氣候區外，又每每夏秋颱風季多有強風致災威脅，而生活上近年有綠能風機發電需求，漁業食品業等行業也需要不同的風力相助才能順利進行。有鑑於台灣地區地形崎嶇，在相同的盛行風下各細部區域的風向風速也有所不同，發展具有一定可靠度的鄉鎮格點風速預報有其需求性。

從前人的研究中可得知，以近日之風速誤差平均或者加權平均便可降低風速之預報誤差，但進一步分析會發現模式輸出的風速預報於不同風速區間有著不同的誤差值，又分析場中多數區域八成以上的資料都是以五級風(8 m/s)以下的風速案例為主，因此僅以上述方式進行的誤差修正有著對風速較強、資料量較少的短期事件無法有效反應的風險在，譬如颱風事件就是一例。

本研究嘗試以頻率配對校正法對台灣地區的風速網格預報進行修正，該方法假設由固定空間範圍內之格點風速預報與觀測時序資料有著相近型態(Pattern)，譬如相同時間點的網格預報與分析場網格在排序後具有對應性但是量值可能有所差異，因此可以選出一個範圍內時間與空間的觀測與分析場資料，將具有相同發生頻率的門檻累積值的預報與分析場進行配對，再將預報值向分析場調整。希望可對藉由給予不同風速區間各自不同的調整來達到對台灣地區風速網格預報較佳的調整效果。

關鍵字：風速預報、頻率配對法、誤差修正

一、前言

近年來隨著能源議題，風能所受到的重視度也隨之增加，而掌握平日風速所仰賴的氣象數值模式又因為台灣地區地形複雜與風向變化大等等因素而與實際觀測存在著一定的系統性偏差在。

Cheng and Steenburgh (2007)比較了MOS、移除誤差移動平均、卡門濾波三個方式用於美國西部的溫度、露點溫度、風速校正效果，此研究中所使用的模式為Eta/North American Meso(NAM)，觀測則是使用美國中西部的兩千個觀測站進行誤差移動平均與卡門濾波的測試，但是校驗時僅使用145個MOS有在使用的測站。從文中的圖文可以得知在整體風速校正上是以MOS的校正能力為最佳，卡門濾波次之。

Cassola et al (2012)使用卡門濾波進行數值模式的風速修正，該文中提到雖然MOS方法有著優秀的修正效果，但是對短時小尺度的事件掌握能力較差，該研究使用了兩年長度的預報與觀測資料，觀測使用了東

義大利的兩個風力測站的資料，在這篇研究中使用卡門濾波調整迴歸係數的方式來掌握誤差，以預報風速的不同次方構成四次多項式，建立與誤差之間的關聯性，有效的降低了風速預報的誤差。

Zhu and Luo (2015)以頻率配對校正法用於美國地區的GFS與GEFS預報修正上，有效降低了預報誤差。該方法的概念是從不同雨量門檻的累積分布函數進行誤差修正，假定由相同的時間範圍以及空間格點中所選出的資料有著相近型態(Pattern)，將預報的數值朝向觀測調整。

因雨量與風速的觀測分布為右偏的型態，較極端的大雨以及強風案例的出現頻率低，部分誤差修正方式可能無法同時處理不同風速的誤差，因此本研究嘗試以FMM方法用於風速預報誤差修正上，分析此方式對於風速較大的案例以及整體風速預報是否皆能有效降低預報誤差。

20170101 to 20190228, 00Z, TAU024, UTC-HH00

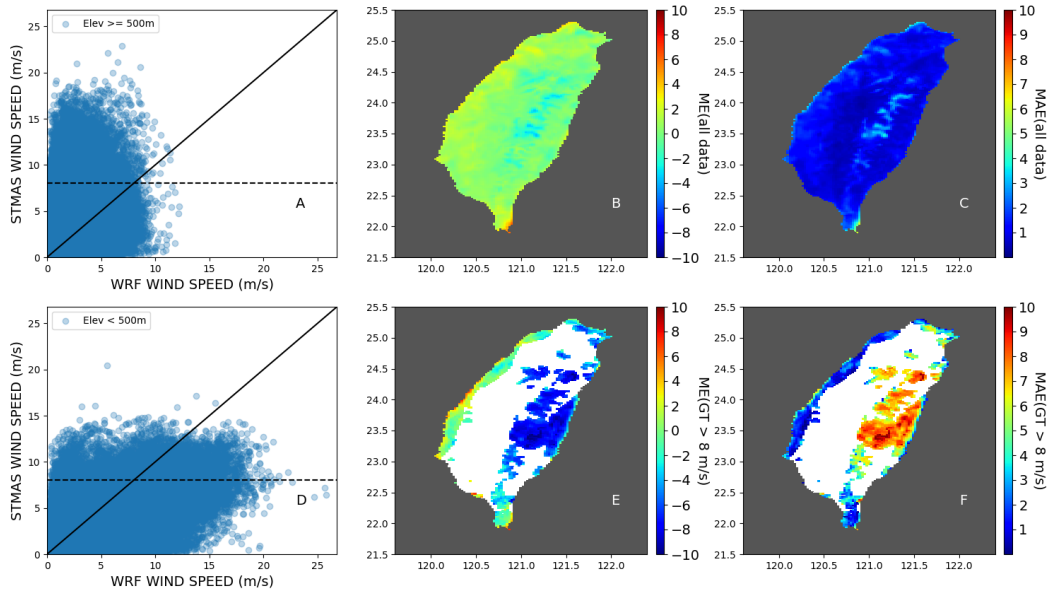


圖 1. WRF 預報在 20170101 到 20190228 的 00Z(每日 UTC 00:00)、預報時間 24 小時的風速誤差分布情形，1-A 是大於等於海拔 500m 的預報對分析場風速分布圖，1-D 是海拔 500m 以下的預報對分析場風速分布圖，1-B 與 1-C 是全部資料的平均誤差與平均絕對誤差，1-E 與 1-F 是分析場風速在 8m/s 以上的平均誤差與平均絕對誤差。

二、 使用資料以及誤差分析

本研究中所使用的觀測為中央氣象局所提供的 2.5 公里 GFE 網格點風速分析場，而預報則為中央氣象局作業用的 3 公里解析度 WRF 模式風速預報，在資料配對上先行以雙線性內插將 WRF 模式的格點預報內插至 GFE 網格點上再進行後續的比較。

預報資料能取得的時間範圍是 2017 年到 2019 年的 2 月底，而分析場的資料則是 2015 年到 2019 年的 2 月底，從分析場的逐時資料分布之中將全部台灣格點的資料按照由小到大排序，第 90 百分位的資料落在 4.4 m/s，第 99 百分位的資料落在 8.6 m/s，而風速最強的資料則是 51.7 m/s，資料明顯右偏。

圖 1 是 WRF 預報在 20170101 到 20190228 的 00Z、預報時間 24 小時的風速誤差分布情形，對應到的當地時間是每日的早上 8 點，其中 1-A 是台灣地海拔大於等於 500m 的預報對分析場分布情形，1-D 則是海拔小於 500m 的預報對分析場分布情形，可以看到山區大致上是偏低估觀測值，而平地則是偏高估。圖 1-B 與 1-E 是全部資料以及觀測大於 8m/s 時的平均誤差空間分布，從圖 1-B 中可以看到上述山區低估而平地高估的情形，其中高估又以西部南部沿海較明顯，低估區域則是中央山脈與海岸山脈附近，與圖 1-E 相比可見海岸與高山的平

均誤差趨勢不變但是誤差變得更加明顯，這些區域誤差隨觀測值增加而變大這點可以從對應到 1-B 與 1-E 但是以平均絕對誤差表現的圖 1-C 與 1-F 的中得知，表示這些區域誤差程度會隨著分析場的風速增加而增加。上述的趨勢在 12Z 的預報中也有出現。

三、 以 FMM 方法修正 WRF 預報之方式

圖 2 是 FMM 運作方式的簡易示意圖，假定我們先從分析場與預報中取出相同位置同段時間的資料點，分別按照各自超越不同風速門檻的比例繪製出圖 2 之中黑色與藍色的線段，假設今天有一組新的預報需要修正，需要修正的區域與建立圖 2 累積分布函數圖的區域相同，並且其中一個格點的預報值為 6.1 m/s，6.1 m/s 在預報中對應到的累積分布函數值是 0.467，而分析場的累積分布函數線段在頻率為 0.467 的對應數值為 0.461 m/s，因此該格點的預報值被下修到 0.461 m/s。

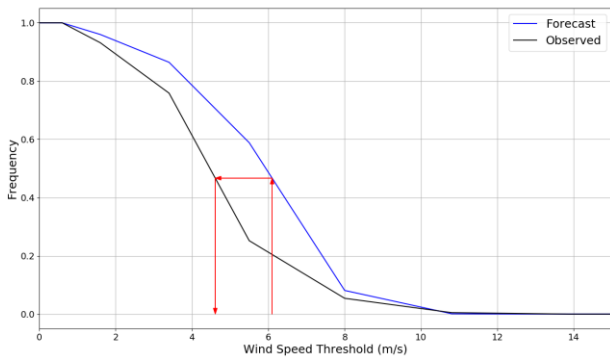


圖 2. FMM 運作方式示意圖，藍色是預報的累積分布函數，黑色是觀測的累積分布函數，紅色箭頭示意了預報為 6.1 m/s 時的修正結果。

我們有初步以整個台灣地區進行FMM修正，但是發現效果不夠理想，看過結果後認為是模式對地形掌握度不足，導致空間上的型態(pattern)掌握度不足所導致，因此後續的研究將頻率的配對改為逐格點進行，將預報與觀測的歷史事件的強度頻率配對並且對預報進行調整。

時間的處理部分，參考(Zhu and Luo, 2015)之中的作法，將累積分布函數地估計方法使用式子(1)中的方式進行，某個格點(或區域)的最新累積分布函數(CDF)在t步驟的估計值，是前一步驟的估計值乘上(1-w)，這裡的w是時間上的權重常數，再加上最新一筆的CDF乘上w所構成，使用此算式來作為加權移動平均的方式，w介於0到1之間，本文的權重選用0.05，此權重大約可以理解為近期大約14天的資料佔了累積分布函數的50%，大約近兩個月的資料佔了累積分布函數的95%。

$$\overline{CDF}_t = (1-w)\overline{CDF}_{t-1} + w(CDF_t) \quad (1)$$

在FMM的門檻選定上，本研究中以蒲福風級的各級門檻作為FMM的使用門檻。

四、 結果與討論

本文中使用的WRF 3KM解析度資料包含2017年1月1日到2019年2月28日，因為此方法在運作時是以連續時間序列逐步修正誤差的方式進行，因此將2018年3月1日之前的資料作為訓練期使用，對2018年3月1日到2019年2月28日的修正結果進行討論。

圖3是00Z預報24小時的誤差分析結果，上方的圖3-A、C、E是修正後的資訊，下方的則是修正前的。比較圖3-A與3-D，修正後與修正前的預報對分析場風速分布情形，可以發現原本低估的高山區域(藍色)，以及原本低估的平地區域(橘色)，在FMM調整完之後系統性偏差被移除，中心位置移動到預報等於觀測的對角線上，但是山區的預報在修正後散布度大，並且不論修正前後，在WRF為零以及觀測場為零的圖框左側以

及下側兩個區域皆有數值存在，表示修正前後的模式預報皆存在一定程度的誤差在。

圖3-E與3-B是修正前後的MAE分布，可以看到誤差比較大的南部沿岸，中央山脈，以及西部北部沿海地區的誤差有縮小，整體而言誤差也有下修，比對圖3-F與3-C是對應於3-E與3-B但是分析場風速在8 m/s以上資料的MAE分布情形。以FMM修正後的8 m/s以上誤差分布在沿海地區以及山區的誤差皆有下降，但是在中央山脈偏東側有個誤差大的區塊沒有在修正後下降。

圖4是12Z的FMM誤差分析圖，在趨勢上呈現了與00Z相同的修正效果，從分布圖4-A可以看到系統性偏差被移除，並且從1-B看到山脈與海岸的誤差下降，但是在1-C的較大風速平均絕對誤差分布圖之中，可以看到北海岸的部分反而被放大誤差，這部分推測是突發的颱風事件所導致，本研究所使用的資料只有橫跨2017到2019年初，在累積分布函數中並未記錄了足夠量的颱風行為，很可能是因此導致修正的方向在碰到紀錄中尚未發生過的事件時會向錯誤的方向修正，或者是對於此類強風模式的掌握能力較不穩定導致累積分布函數無法正確反應該修正的方向與幅度。

為了進一步確認FMM對不同門檻，我們參考Bo Cui et al (2012)所使用的Decaying averaging bias correction方法(以下簡稱DCA)，該方法是卡門濾波器的簡化型，實作上類似對誤差以時間權重來估計系統性偏差，使用一樣的資料與校驗時間進行實驗，時間移動平均的權重為0.05，用意是測試使用不照風級純追蹤整體系統性偏差的效果與FMM的差異，呈現於圖5與圖6，分別對應到圖3與圖4。

將00Z與12Z的兩組時間互相比較，可以發現在風速大於8 m/s的部分，FMM做出來的數值分布較集中於代表預報等於觀測的對角線上，而DCA所做出來的則是較為分散，推測是因為DCA所掌握的系統性偏差是以占大多數的風速較小的誤差為主要組成，導致在風速較大的區域效果較差，但是在海拔大於500m的區域(藍色點)則會發現DCA做出的修正不會有FMM做完之後明顯由低估修正到高估的情況出現，上述的情形在各圖的B與E圖中也可以看出來，在海拔較低的地方FMM的效果較好，而山區則是DCA處理後的誤差較小，但是在圖C與F中可以看到分析場風速較大的部分是FMM處理後的誤差較小，有改進的部分集中在沿岸，以及部分山區的區域，山區有改進的部分無規律。這部分推估是山區的預報掌握度比較差，建立的累積分布函數無法有效對應到分析場的累積分布函數，這點可以從圖1-A中看出來，分析場的風速從0到近20 m/s都有資料存在，但是預報卻多數集中在10 m/s以內的區域，導致單純的平移(增減)預報數值在整體上的修正效果比FMM好，但是在風速較大的區域依然多數是FMM較佳。

五、 結論

本研究從結果中可以得知FMM能移除風速預報的誤差，在整體以及5級風門檻為邊界以上的風速皆有成效，而5級風以上的資料FMM的修正效果又優於DCA方法所做的誤差修正結果，少部分誤差值未下降的區域以及改進幅度不及DCA的區域必須要進一步逐區域分析才能了解原因。

未來將更關注於測試評估觀測風速更大的事件，譬如颱風事件的風速修正效果，這部分待資料更齊全後可以進行更完整的分析。

六、 參考文獻

1. Cassola, F, Burlando, M (2012): Wind speed and wind energy forecast through Kalman filtering of Numerical Weather Prediction model output. *Applied Energy* 11(99): 154–166.
2. Cheng, W. Y. Y., and W. J. Steenburgh, (2007): Strengths and weaknesses of MOS, running mean bias removal, and Kalman filter techniques for improving model forecasts over the western United States. *Wea. Forecasting*, 22, 1304–1318, doi:10.1175/2007WAF2006084.1
3. Cui, B., Z. Toth, Y. Zhu, and D. Hou, 2012: Bias correction for global ensemble forecast. *Wea. Forecasting*, 27, 396–410, doi:10.1175/WAF-D-11-00011.1
4. Zhu, Y., and Y. Luo, 2015: Precipitation calibration based on the frequency-matching method. *Wea. Forecasting*, 30, 1109–1124, doi:10.1175/WAF-D-13-00049.1.

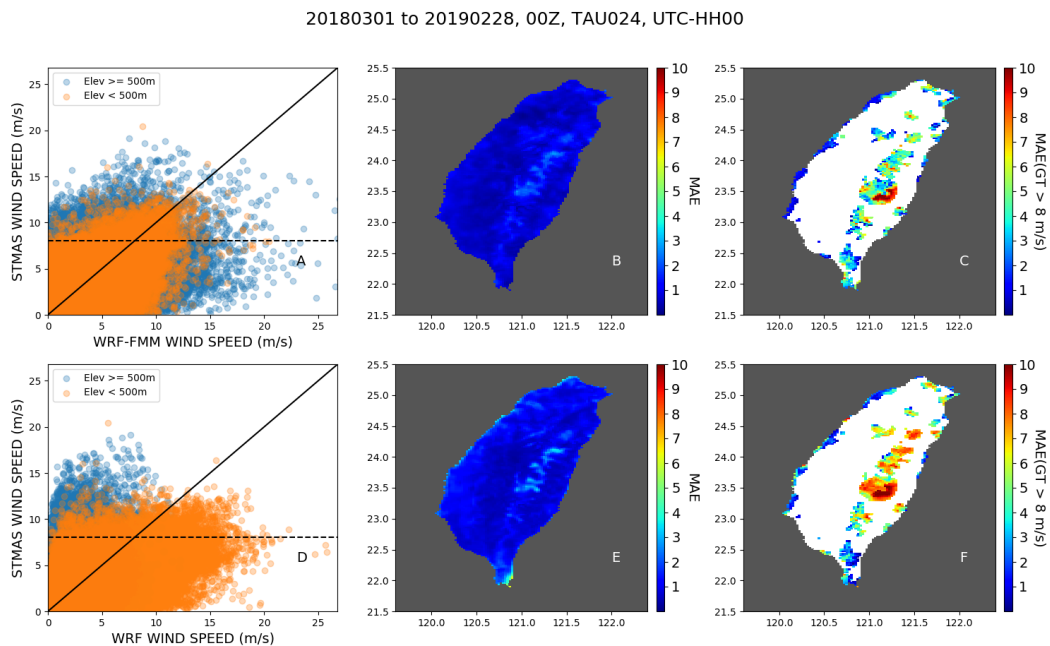


圖3. 模式風速經FMM方法修正前後的誤差分析圖，時間是20180301到20190228的每日00Z，預報時間長度是24小時，3-A、3-B、3-C分別是修正後的預報對觀測分布圖、各格點的MAE分布圖、各格點分析場大於8 m/s的MAE分布圖，3-D、3-E、3-F則是對應的修正前的資訊。

20180301 to 20190228, 12Z, TAU024, UTC-HH12

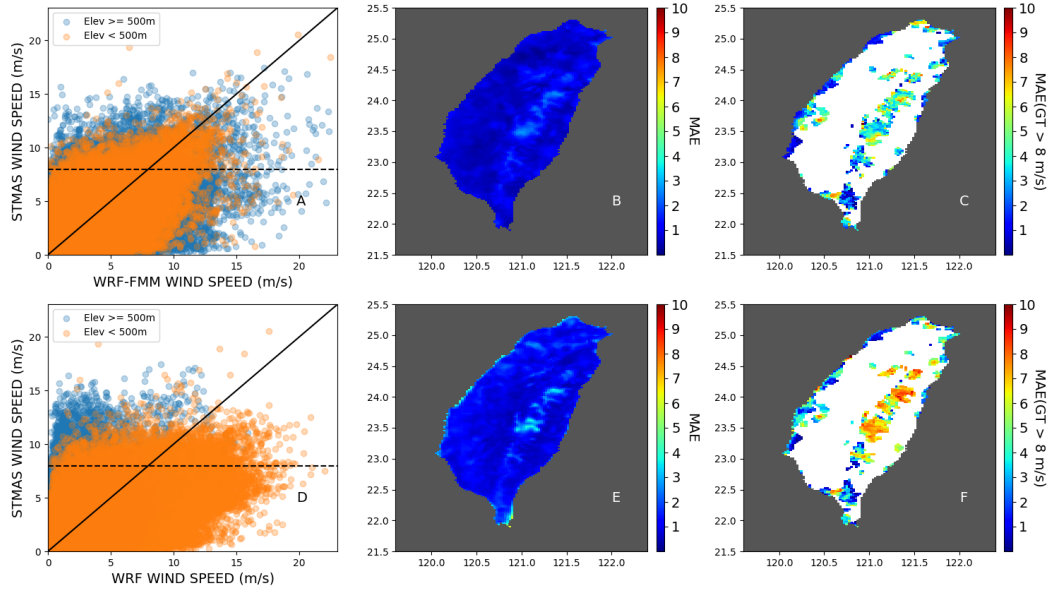


圖4. 同圖3，但是預報時間是每日的12Z

20180301 to 20190228, 00Z, TAU024, UTC-HH00

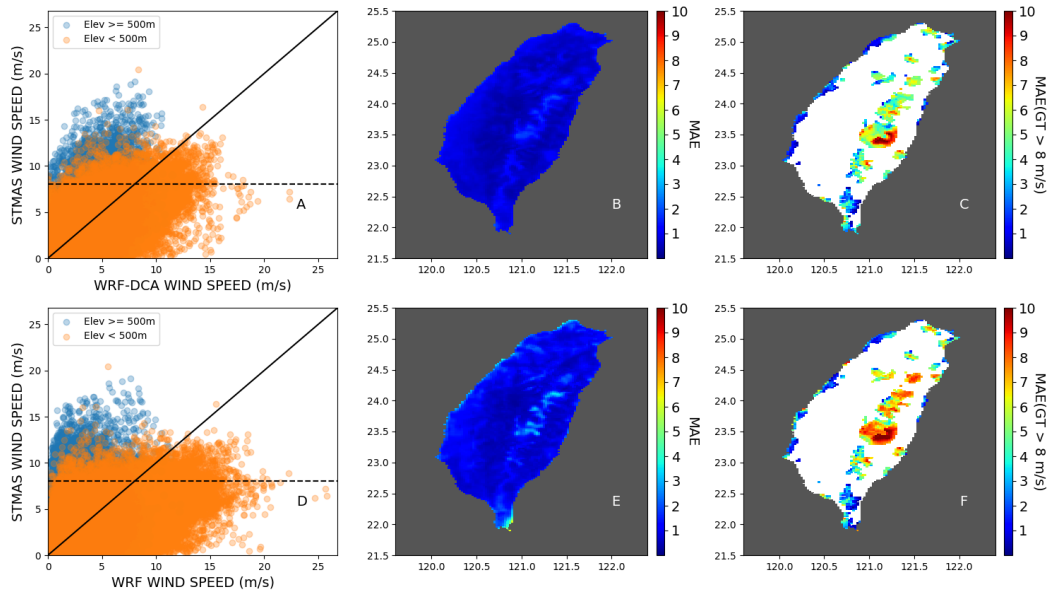


圖5. 同圖3，但是是以Decaying averaging bias correction處理模式預報值

20180301 to 20190228, 12Z, TAU024, UTC-HH12

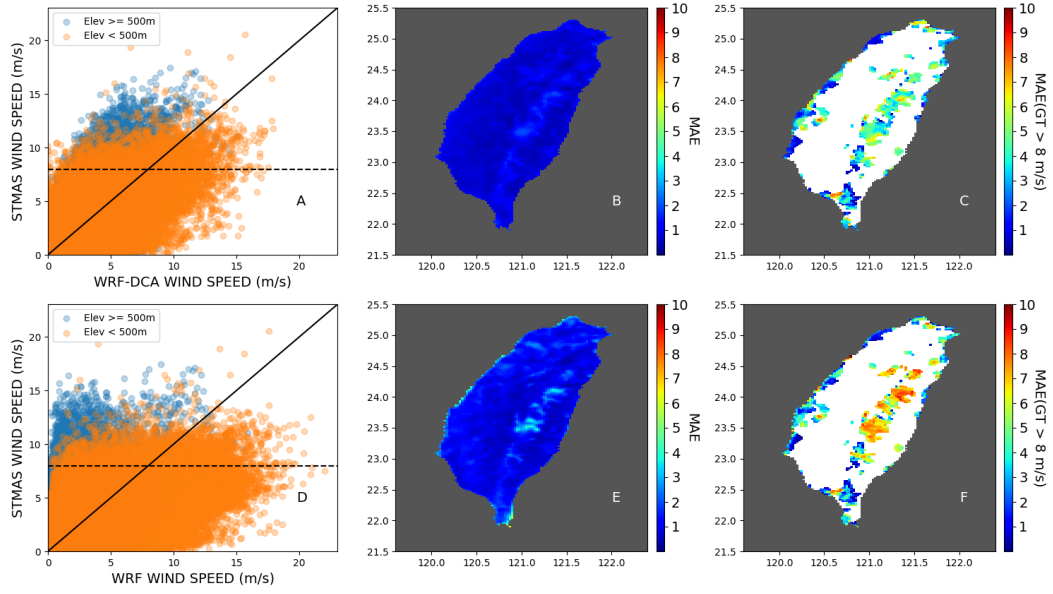


圖6. 同圖4，但是是以Decaying averaging bias correction處理模式預報值