

WRF 與 WRF 中尺度動力降尺度系統 100 米處之風速預報校

驗分析

王惠民¹ 陳文軒^{1,2} 張恆文³ 黃麗玫¹ 任俊儒^{1,2}

中央氣象局科技中心¹ 資拓宏宇國際股份有限公司² 工業技術研究院³

摘 要

本文使用 2017 年 11 月至 2018 年 1 月中央大學及新屋之 100 米處風速之光達(Light Detection And Ranging; LIDAR)資料及 2017 年 11-12 月台中清水之測風塔(anemometer tower)100 處風速資料，分別對 WRF(Weather Research and Forecasting model; 簡稱 WRF)及 WRF 中尺度動力降尺度系統(Meso-scale Dynamic Downscaling System; 簡稱 MDWRF)在中央大學、新屋及清水之 100 米處的風速預報作校驗。

校驗結果顯示，平均絕對誤差(Mean Absolute Error)方面，WRF 及 MDWRF 00 和 12 UTC 預報誤差在中大最大，臺中清水次之，新屋較小。平均誤差(Mean Error)方面，MDWRF 00 和 12 UTC 在中大、新屋及臺中清水 100 處風速預報平均值小於觀測平均值，有預報偏弱的現象，以中大最明顯。WRF 00 和 12 UTC 在中大有明顯預報偏弱的現象，在新屋及臺中清水除了分析場有偏弱的現象外，其餘預報時段均有預報稍偏強的現象，但不明顯。預報與觀測相關(correlation)顯示，WRF 及 MDWRF 00 和 12 UTC 整體預報以臺中清水和觀測相關性最高、新屋次之，而中大較低。平均絕對百分誤差(Mean Absolute Percentage Error)顯示，WRF 及 MDWRF 00 和 12 UTC 預報誤差在中大較大；但 MDWRF 00 和 12 UTC 較 WRF 00 和 12 UTC 預報誤差小。WRF 及 MDWRF 00 UTC 在 48 和 72 兩個預報時段在臺中清水預報誤差較新屋稍大，其餘預報時段兩者差異不明顯。WRF 及 MDWRF 12 UTC 在臺中清水和新屋整體預報誤差差異約在 10% 內，差異不大。

關鍵詞: 平均絕對誤差、平均誤差、平均絕對百分誤差。

一、前言

近年來由於環保意識抬頭，乾淨能源的開發與應用遂為政府能源政策的重要施政方向。因此，綠能發電便成為能源開發與調度的重要選項，而風力發電即是綠能發電之一。由於，風能與風速的三次方成正比(陳，2017)。所以，風速預報誤差的資訊，對風力發電評估便有重要的影響。本文使用 2017 年 11 月至 2018 年 1 月中央大學及新屋之 100 處風速之光達(Light Detection And Ranging; LIDAR)資料及 2017 年 11-12 月台中清水之測風塔(anemometer tower)100 米處風速資料，分別對 WRF(Weather Research and Forecasting model; 簡

稱 WRF)及 WRF 中尺度動力降尺度系統(Meso-scale Dynamic Downscaling System; 簡稱 MDWRF)在中央大學、新屋及清水之 100 米處的風速預報作校驗，以瞭解數值模式所提供 100 米處的風速預報誤差特徵，作為風能評估之參考。

WRF 是美國近年來集合美國學術界及作業單位人力所發展之下一代中尺度數值模式，目前中央氣象局 WRF 區域模式水平解析度為 15 公里及 3 公里的巢狀網格設計(陳，2017)。本文所使用之 WRF 100 米處的風速預報為水平解析度 3 公里之預報產品，預報時段為 1 至 84 小時，每天預報 4 次，初始時間為 00、06、12 及 18 UTC。

MDWRF 是採用水平解析度為 3 公里之 WRF

的預報結果作為其邊界條件，採用追隨地勢座標下的純控制方程三維變分法，解出在靜態下因複雜地形產生的氣象場變化。此方法因利用較完整的中小尺度氣象物理方程式為變分法的控制方程，其結果在不同氣象變數間有相當大滿足其所使用之控制方程(陳，2017)。本文所使用之 MDWRF 100 米處的風速預報為水平解析度 2 公里之預報產品。

二、資料及分析方法

本文校驗使用之觀測資料為 2017 年 11 月至 2018 年 1 月中央大學及新屋之 100 處風速之光達資料及 2017 年 11-12 月台中清水之測風塔 100 米處風速資料。預報資料為 WRF 及 MDWRF 初始時間 00 及 12 UTC 100 米處風速預報，尋找最接近中央大學、新屋及清水網格點之風速預報值。

平均絕對誤差(Mean Absolute Error; 簡稱 MAE)及均方根誤差(Root Mean Square Error; 簡稱 RMSE)是定量預報常用之平均誤差校驗方法。

Willmott and Matsuura(2005)比較分析 MAE 與 RMSE 發現，RMSE 在模式間個案數與誤差總和相同的情形下，會因模式間個案預報誤差大小分布頻率差異，而有不同的計算值發生。但是，MAE 的計算值均一致。因此，在定量預報校驗之平均誤差計算或是模式間平均預報誤差表現之比較，建議應採用 MAE。以下為本文校驗所使用之方法：

MAE 的計算方式如下：

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} |fcst_i - obs_i|}{n}$$

平均誤差(Mean Error; 簡稱 ME)的計算方式如下：

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (fcst_i - obs_i)}{n} = \overline{fcst - obs}$$

平均絕對百分誤差(Mean Absolute Percentage Error; 簡稱 MAPE)(Khair et al. 2017)計算方式如下：

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} |fcst_i - obs_i| / obs_i \times 100}{n}$$

預報與觀測相關係數計算方式如下：

$$\text{相關係數} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (fcst_i - \overline{fcst})(obs_i - \overline{obs})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} (fcst_i - \overline{fcst})^2 \times \sum_{i=1}^{i=n} (obs_i - \overline{obs})^2}}$$

其中 $fcst$ 代表預報值； obs 代表觀測值； n 代表有效個案數， \overline{fcst} 代表預報平均值； \overline{obs} 代表觀測平均值。由於，風力發電機啟動風速約為 3 公尺/秒。本文校驗，針對觀測風速在 3.0(含) 公尺/秒以上，依上述方法分別對 WRF 及 MDWRF 初始時間 00 及 12 UTC 在中央大學、新屋及清水之 100 米處的風速預報作校驗。

三、結果分析

圖 1 顯示，新屋及清水較靠近沿海，而中央大學則較近內陸。圖 2 發現，11-1 月新屋和 11-12 月清水測風塔 100 米處風速在 10 公尺/秒以上約佔 60-70%，而 11-1 月中大則在 35% 以下。11-12 月清水測風塔 100 米處平均風速 12.8 公尺/秒，11-1 月新屋 100 米處平均風速 9.7 公尺/秒，中大平均風速 7.5 公尺/秒，顯示清水及新屋 100 米處風速有較強的趨勢。

圖 3(a)顯示，MDWRF 00 UTC 在中大 100 米處風速預報之平均絕對誤差最大，約 3-3.5 公尺/秒，清水次之，約 2.5-3 公尺/秒，新屋最小，約 2-2.5 公尺/秒。圖 3(b)顯示，WRF 00 UTC 在中大 100 米處風速預報之平均絕對誤差最大，約在 3-4.5 公尺/秒，清水次之，約 1.5-3 公尺/秒，新屋最小，約 1.5-2.5 公尺/秒。圖 3(c)顯示，MDWRF 12 UTC 在中大 100 米處風速預報之平均絕對誤差最大，約 3-4 公尺/秒，清水次之，約 2-3.5 公尺/秒，新屋最小，約 1.5-2.5 公尺/秒。圖 3(d)顯示，WRF 12 UTC 在中大 100 米處風速預報之平均絕對誤差最大，約 3-4.5 公尺/秒，清水次之，約 1.5-3 公尺/秒，新屋最小，約 1.5-2.5 公尺/秒。

從圖 4(a)發現，MDWRF 00 UTC 在中大、清水及新屋 100 米處風速預報之平均風速均較觀測弱，其中，中大最明顯，平均約低於觀測 2-4 公尺/秒，清水次之，平均約低於觀測 0.5-2 公尺/秒，新屋最小，平均約 0-1 公尺/秒。從圖 4(b)發現，WRF 00 UTC 在中大 100 米處風速預報之平均風速較觀測弱，平均約低於觀測 2.5-4.5 公尺/秒。清水和新屋 100 米處風速預報之平均風速較

觀測略強(1-6 小時預報時段除外)，平均約高於觀測 0-1 公尺/秒。圖 4(c)顯示，MDWRF 12 UTC 在中大、清水及新屋 100 米處風速預報之平均誤差特徵和圖 4(a)相似。圖 4(d)顯示，WRF 12 UTC 在中大、清水及新屋 100 米處風速預報之平均誤差特徵和圖 4(b)相似，惟中大 100 米處風速預報之平均風速，平均約低於觀測 3-5 公尺/秒。

圖 5(a)顯示，MDWRF 00 UTC 在 100 米處風速預報與觀測之相關以清水最高，約 0.8-0.9，新屋次之，約在 0.6-0.85，中大較低，約 0.45-0.8。圖 5(b)顯示，WRF 00 UTC 在 100 米處風速預報與觀測之相關以清水最高，約 0.8-0.95，新屋次之，約 0.65-0.85，中大較低，約 0.55-0.8。圖 5(c)是 MDWRF 12 UTC 在 100 米處風速預報與觀測之相關，整體而言，以清水最高，約 0.75-0.95，新屋次之，約 0.4-0.8；其中，除 66 小時預報為 0.4 外，其餘大都在 0.7-0.8。中大較低，約 0.5-0.8。圖 5(d)顯示，WRF 12 UTC 在 100 米處風速預報與觀測之相關，整體而言，與圖 5(b)WRF 00 UTC 之相關特徵相似。

圖 6(a)顯示，MDWRF 00 UTC 在 100 米處風速預報之平均絕對百分誤差以中大最高，大都約 30-40%，清水次之，除了 72 小時預報為 40%外，大部份約 20-30%，新屋較小，約 20-30%。圖 6(b)顯示，WRF 00 UTC 在 100 米處風速預報之平均絕對百分誤差以中大最高，大都約在 30-50%，清水次之，除了 72 小時預報為 35%外，大部份約 20-30%，新屋較小，約 20-30%。圖 6(c)顯示，MDWRF 12 UTC 在 100 米處風速預報之平均絕對百分誤差以中大最高，大都約 30-45%，清水和新屋差異不大，平均絕對百分誤差大都約 20-30%。圖 6(d)顯示，WRF 12 UTC 在 100 米處風速預報之平均絕對百分誤差以中大最高，大都約 30-50%，清水和新屋差異不大，平均絕對百分誤差大都約 20-30%。

四、結論

本文使用 2017 年 11 月至 2018 年 1 月中央大

學及新屋之 100 米處風速之光達資料及 2017 年 11-12 月台中清水之測風塔 100 米處風速資料，分別對 WRF 及 WRF 中尺度動力降尺度系統在中央大學、新屋及清水之 100 米處的風速預報作校驗，結果發現，平均絕對誤差方面，WRF 及 MDWRF 00 和 12 UTC 預報誤差在中大最大，臺中清水次之，新屋最小。平均誤差方面，MDWRF 00 和 12 UTC 在中大、新屋及臺中清水 100 米處風速預報平均值小於觀測平均值，有預報偏弱的現象，以中大最明顯。WRF 00 和 12 UTC 在中大有明顯預報偏弱的現象，在新屋及臺中清水除了分析場有偏弱的現象外，其餘預報時段均有預報稍偏強的現象，但不明顯。預報與觀測相關顯示，WRF 及 MDWRF 00 和 12 UTC 整體預報以臺中清水和觀測相關性最高、新屋次之，而中大較低。平均絕對百分誤差顯示，WRF 及 MDWRF 00 和 12 UTC 預報誤差在中大較大；但 MDWRF 00 和 12 UTC 較 WRF 00 和 12 UTC 預報誤差小。WRF 及 MDWRF 00 UTC 在 48 和 72 兩個預報時段在臺中清水預報誤差較新屋稍大，其餘預報時段兩者差異不明顯。WRF 及 MDWRF 12 UTC 在臺中清水和新屋整體預報誤差差異約在 10%內，差異不大。

伍、參考文獻

- 陳嘉榮，2017：綠能科技前瞻研究計畫-氣象資訊在綠能開發之應用服務子計畫。科發基金管理會補助計畫成果報告。MOST 106-3114-Y-052-003。
- Khair, U., H. Fahmi, S. A. Hakim, R. Rahim, 2017: Forecasting error calculation with mean absolute deviation and mean absolute percentage error. **J. Phys.:Conf. ser.** 930 012002, 1-6.
- Willmott, C.J., K. Matsuura, 2005: Advantages of the mean absolute (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. **Climate Research** 30:79-82

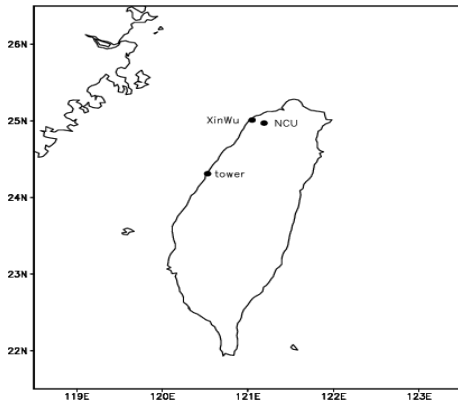


圖 1 中央大學、新屋及清水地理位置。

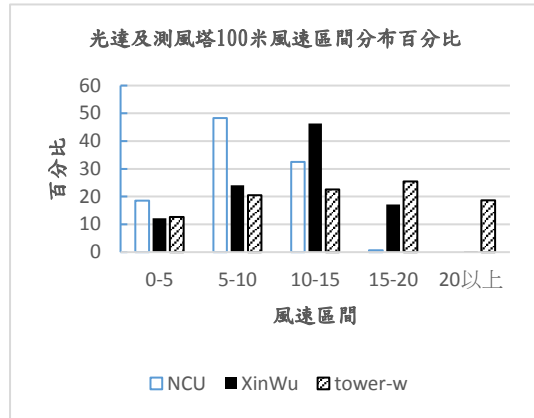


圖 2 中央大學(空心長條)、新屋(黑色實心長條)及清水(斜線長條)風速區間分布百分比。

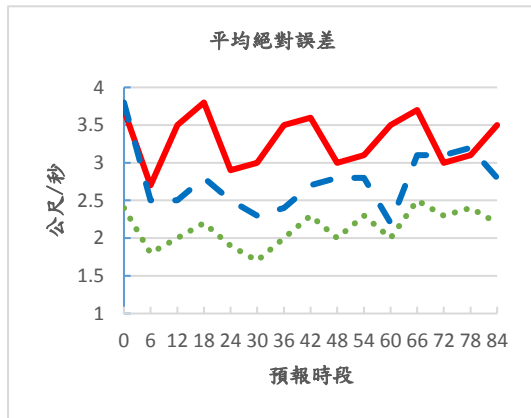


圖 3 (a) MDWRF 00 UTC 在中央大學(紅色實線)、新屋(綠色點線)及清水(藍色虛線),100 米處風速預報之平均絕對誤差。

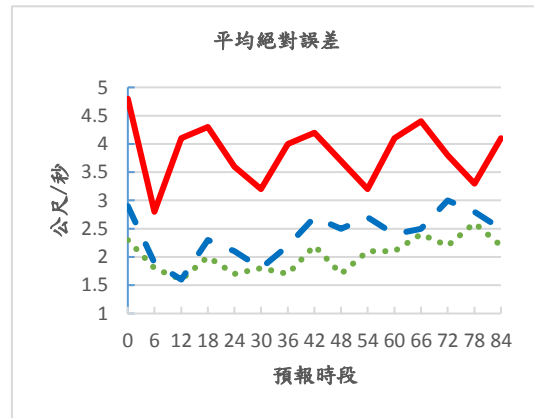


圖 3 (b) 同圖 3 (a),但為 WRF。

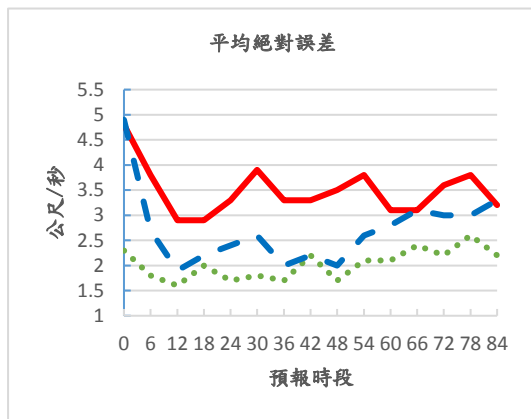


圖 3 (c) 同圖 3 (a),但為 12 UTC。

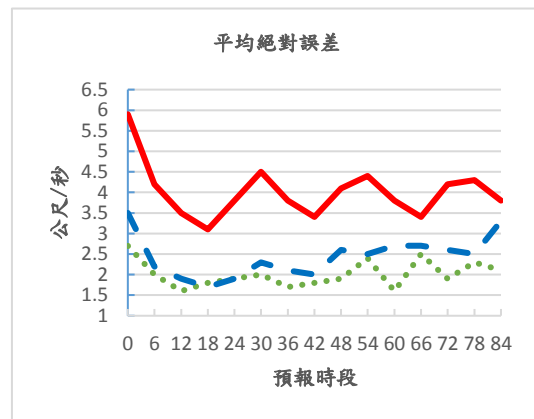


圖 3 (d) 同圖 3 (b),但為 12 UTC。

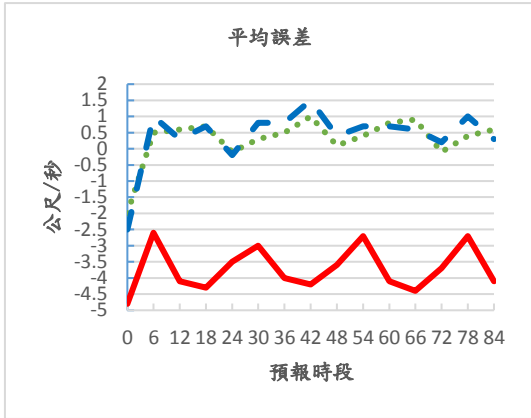
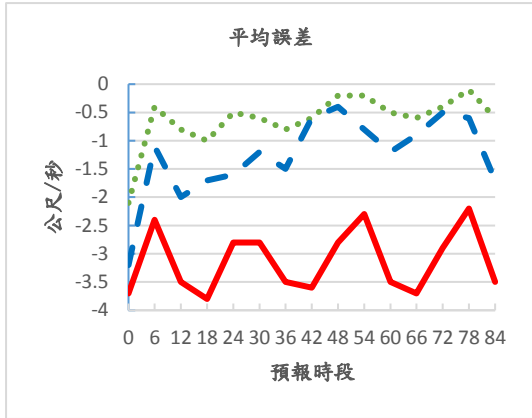


圖 4 (a) MDWRF 00 UTC 在中央大學、新屋及清水,100 米處 圖 4 (b) 同圖 4 (a),但為 WRF。
風速預報之平均誤差。

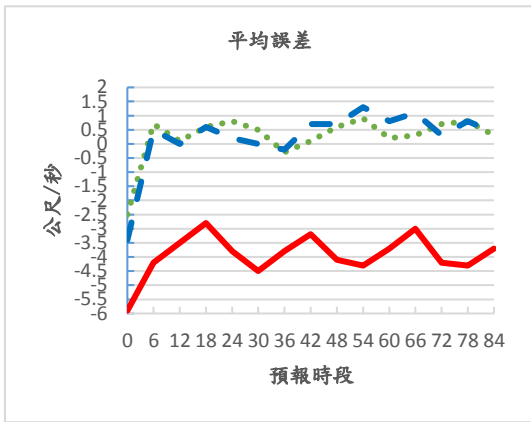
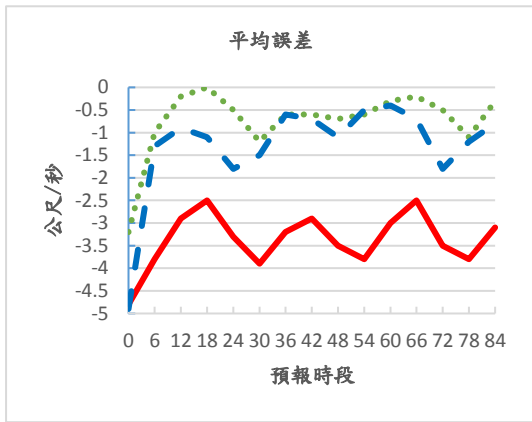


圖 4 (c) 同圖 4 (a),但為 12 UTC。 圖 4 (d) 同圖 4 (b),但為 12 UTC。

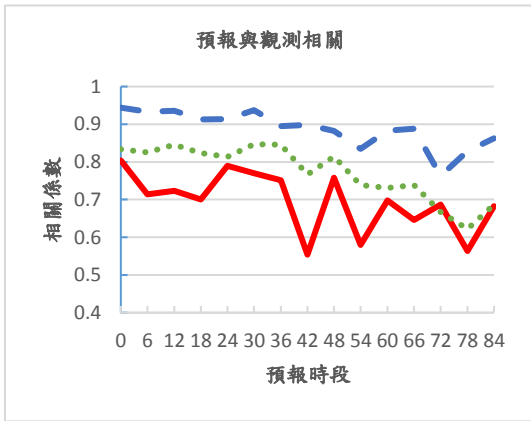
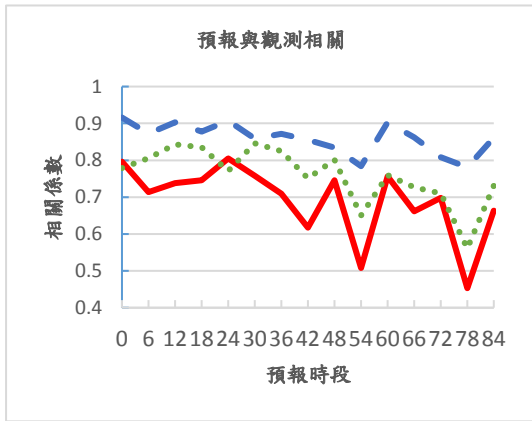


圖 5 (a) MDWRF 00 UTC 在中央大學、新屋及清水,100 米處 圖 5 (b) 同圖 5 (a),但為 WRF。
風速預報與觀測之相關。

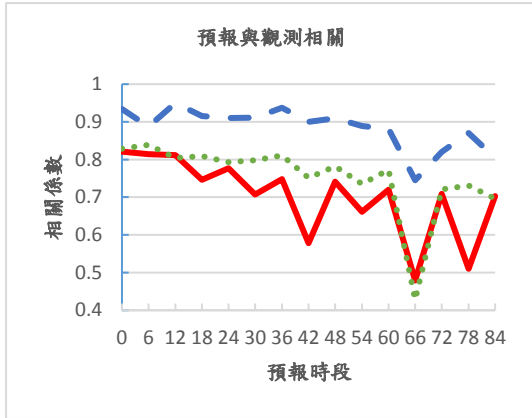


圖 5 (c) 同圖 5 (a), 但為 12 UTC。

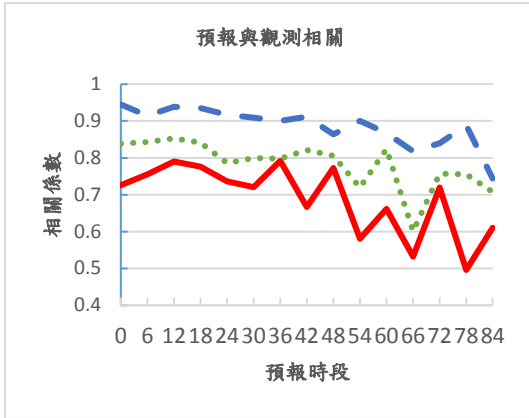


圖 5 (d) 同圖 5 (b), 但為 12 UTC。

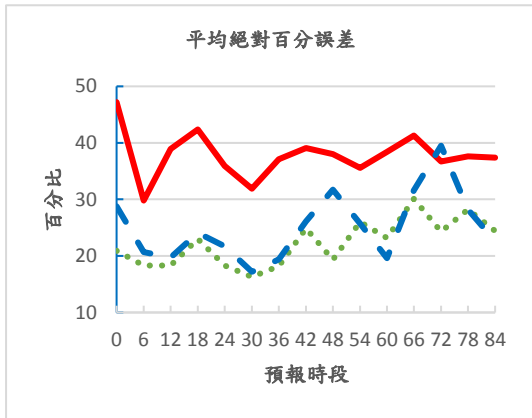


圖 6 (a) MDWRF 00 UTC 在中央大學、新屋及清水, 100 米處
風速預報之平均絕對百分誤差。

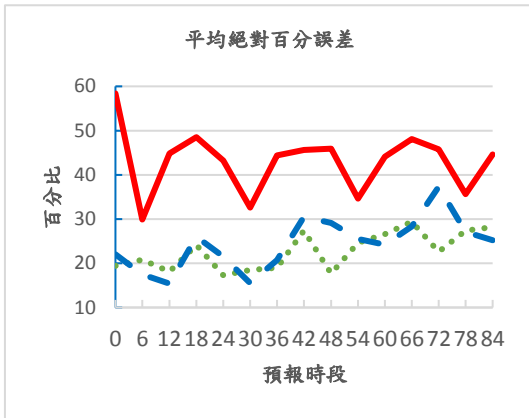


圖 6 (b) 同圖 6 (a), 但為 WRF。

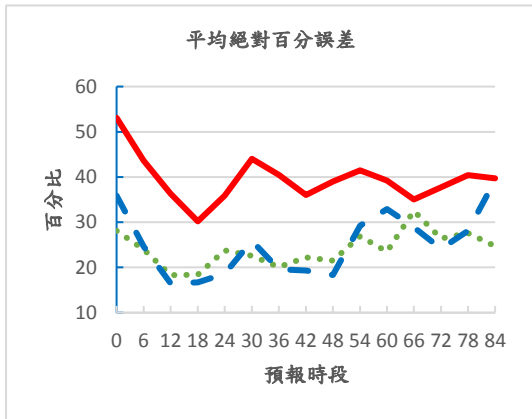


圖 6 (c) 同圖 6 (a), 但為 12 UTC。

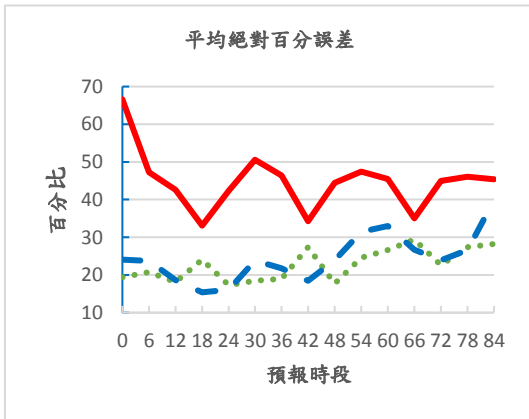


圖 6 (d) 同圖 6 (b), 但為 12 UTC。