

# 颱風暨東北季風時期測站陣風預測之研究

陳怡玟<sup>1</sup>

于芃<sup>1</sup>

洪國展<sup>1</sup>

黃于盈<sup>2</sup>

林秉煜<sup>2</sup>

鄭安孺<sup>1</sup>

多采科技有限公司<sup>1</sup>

中央氣象局<sup>2</sup>

## 摘要

根據行政院「天然災害停止上班及上課作業辦法」，當氣象局氣象預報「颱風暴風半徑於四小時內可能經過之地區，其平均風力可達七級以上或陣風可達十級以上時」，即達到風災停止上班上課的標準。而颱風期間是否停班停課，係由各縣市政府自行決定。臺灣地區位於環太平洋沿海，易受颱風侵襲，民國105年尼伯特與莫蘭蒂颱風重創臺東地區，颱風所帶來的降雨及強風造成極大的災損，因此各界迫切需要氣象局提供精緻化區域性小尺度的風力觀測與預報資訊，惟以往尚缺有系統預測陣風的方法。本研究發展預測颱風以及東北季風時期，測站未來6小時內可能陣風級數之技術，將風向分為八個方位，取2010-2014年資料統計分析測站平均風對陣風以及測站平均風對WRF數值模式分析場的迴歸關係，建立測站陣風預測模型。以2015年資料進行驗證，結果顯示本模型颱風期間陣風預測準確率可達78.6%，而東北季風期間陣風預測準確率更高達93.5%，證實本研究提出之方法為可行，具有相當之可靠度。

關鍵字：陣風預測、數值模式、風級數

## 一、前言

根據行政院「天然災害停止上班及上課作業辦法」，當氣象局氣象預報「颱風暴風半徑於四小時內可能經過之地區，其平均風力可達七級以上或陣風可達十級以上時」，即達到風災停止上班上課的標準。而颱風期間是否停班停課，係由各縣市政府自行決定。臺灣地區位於環太平洋沿海，易受颱風侵襲，民國105年尼伯特與莫蘭蒂颱風重創臺東地區，颱風所帶來的降雨及強風造成極大的災損，因此各界迫切需要氣象局提供精緻化區域性小尺度的風力觀測與預報資訊。STMAS分析場需要測站觀測資料進行資料同化，近年氣象局應用風場模擬輔助新建站之選址，惟局部地區的地形建物等可能會阻礙風力觀測，各氣象站觀測資料是否可以真實反映區域風場，尚需要進一步驗證。對於觀測值始終過大或過小測站將予篩除或修正，只選擇具代表性的測站資料納入STMAS系統，以期獲得良好的風分析場。災難性的破壞可能是由於強烈陣風所導致，而關於陣風的分析，尤其是陣風相對於平均風的級數差異，亦是需要探討的議題。

本研究係根據氣象局所指定的劇烈颱風與東北季風事件，統整事件發生期間各氣象站風速資料，與數值模式比對，找出各區域在不同天氣系統下具代表性的測站，即其觀測風場與當地盛行風大致符合。接著，統計數值模式與代表風速測站資料在颱

風與東北季風不同天氣系統下的關係函式，以發展預測颱風以及東北季風時期，測站未來6小時內可能陣風級數之技術。

## 二、資料蒐集

觀測資料部分，根據氣象局所提供的資訊，人工站小時平均風紀錄方式為整點前10分鐘風速推移平均，小時陣風則是取整點前1小時內最大風速，因此人工站陣風紀錄時間不一定落於平均風紀錄時間內，理論上不同背景條件的資料無法混用；自動站無小時陣風紀錄，而小時平均風紀錄方式在早期平均風是為整點前15分鐘風速推移平均，近期才改為整點前10分鐘風速推移平均，因此自動站部分可以用來統計資料有限。

數值模式資料部分，江等(2016)研究中提到中央氣象局於2007年將WRF模式(CWBWRF)上線作業，並每年持續進行程式修正與版本更新作業，2016年7月前的作業模式(WRF\_M00、WRF\_M01)為三層巢狀網格區域，解析度分別為45/15/5公里(內層網格解析度為5公里)。2016年7月上線作業的新一代高解析度區域模式(WRF\_M04、WRF\_M05)則使用二層巢狀網格區域，解析度分別為15/3公里(內層網格解析度為3公里)，新舊模式網格範圍與網格點數配置如圖1所示。WRF\_M00及WRF\_M04資料同化方法皆為WRF三維變分資料同化(WRF 3 Dimension Variational analysis, WRF3DVar)；而WRF\_M01及WRF\_M05則為針對颱

風預報所調教的模式成員，其WRF3Dvar之設定和颱風渦流處理程序不同(吳等,2014)。

由於自動站分鐘資料長度不足，且數值模式的輸出亦沒有分鐘結果，因此本研究之觀測資料將使用人工站的原始小時平均風及陣風紀錄為1997-2016年共20年資料進行分析。數值模式資料部分，考慮數值模式及觀測資料統計分析時需要足夠的資料筆數，故使用2009年5月至2016年5月5公里解析度(WRF\_M00及WRF\_M01)的U、V風場資料，以分析場及第6小時預報場的資料進行分析。

彙整WRF分析場風速風向資料時，需利用以下公式將UV方向風速資料換算成與測站觀測紀錄相同的風速及風向。

$$WS = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (1)$$

$$\text{if } u \geq 0, WD = 90 - \tan^{-1} \frac{u}{v} \quad (2)$$

$$\text{if } u < 0, WD = 270 - \tan^{-1} \frac{u}{v} \quad (3)$$

其中， $u$ 、 $v$ 分別為WRF分析場風場資料、 $WS$ 為風速、 $WD$ 為風向。

### 三、風觀測代表站篩選

為利用數值模式資料預報陣風發生範圍，本研究將探討氣象站觀測資料與區域風場是否相符，並依據氣象局指定的颱風及東北季風個案，以數值模式模擬的風場為對照參考，評估測站觀測資料之可靠度，完成代表站的篩選，並應用統計方法估計陣風與平均風的相關性。

代表站的篩選，首先針對風速表現始終過大或過小的站，以及風速隨時間遞減的站進行分析。統計2016年各測站日最大平均風風速分別達3級、4級、以及5級風以上的日數，得到分布結果如圖2所示，所有站日最大風速達3級風以上的平均日數約為158日，標準偏差117日；達4級風以上的平均日數約為50日，標準偏差70日；而達5級風以上的平均日數約為15日，標準偏差38日。

檢視圖2(a)的結果，篩選出其中日最大平均風風速達3級以上日數不足20日之測站，共篩選得60站。取1997年至2016年共20年的風觀測資料，分析此60個測站逐年之日最大平均風風速達3級以上日數，推測這些測站風速低之可能原因是受建物、地形遮蔽、植生或設備問題之影響，本研究將這些測站由代表站清單中移除。

進一步以2016年的風速達4級以上之日數做線性迴歸，篩選出其中取斜率小於-2.5，最大日數與最小日數差超過70日，且2016年日數小於50日之測站，共計篩選出14個站。這些測站早期之時日數高，日數遞減的原因，高山站推測是由於植生，而都市站

則可能新增建物遮蔽所致，本研究亦將這些測站從代表站清單中移除。

除風速過小之外的測站，風速過大的站也應予排除。檢視圖2(c)的結果，篩選出其中有日最大平均風風速達5級以上日數超過180日之測站，共篩選得8站，取1997年至2016年共20年的風觀測資料，分析此8個測站各年之日最大平均風風速達5級以上日數。其中，466950彭佳嶼、467300東吉島、以及467620蘭嶼站位於外島，467550玉山站位於高山，467050新屋站位於空曠海邊、資料應具代表性外，其他三站C0A870五指山站、C0A950 鼻頭角站、以及C0A970三貂角站應與設站地點正背山壁有關，此三站資料亦於代表站清單中移除。

以上分析目的為移除明顯不具代表性的測站，因為取的門檻值很高，並且門檻的取捨亦很主觀，因此在此階段未被篩選出之測站不必然為具代表性的測站，後續可配合其他氣象場資料進一步分析。

### 四、數值模式與觀測風速關係函數分析

圖3為2015年蘇迪勒及杜鵑颱風期間玉山站觀測與WRF分析場風速時序圖，圖中黑色圓點為測站觀測風速、藍色十字為WRF分析場風速。由這兩組個案發現，觀測風速較低時，WRF分析場風速與觀測風速差異不大，但觀測風速較大時WRF分析場風速明顯低估。進一步檢視WRF分析場風速低估的時間其觀測風向多發生於南風及西南風的時候，將2009-2015年7-9月資料以目標風向±22.5度範圍做區分，目標風向定義為：北(N:0度)、東北(NE:45度)、東(E:90度)、東南(SE:135度)、南(S:180度)、西南(SW:225度)、西(W:270度)、以及西北(NW:315度)，並繪製不同風向的風速資料散布圖，如圖4所示，橫軸為WRF分析場風速、縱軸為觀測風速、圖中紅線為資料迴歸線。由散布圖發現，玉山站除觀測風向為東北風外，其餘風向WRF分析場風速皆低估，尤以東南風至西北風低估更明顯，而資料呈線性關係。假若不分風向將資料進行迴歸會使相關性較高的方位資料受到污染，因此後續研究將風向分為8個方位探討WRF分析場與觀測風速關係函數相關分析。

利用歷史風場資料，統計不同風向時觀測平均風速與WRF分析場風速的關係。迴歸統計時會將整年資料分為五期(12-2月、3-4月、5-6月、7-9月、及10-11月)，並將風向分為8方位。為求各期資料完整性，將取2010-2014年資料進行迴歸，以2015年個案作驗證。假若資料量若過少時，統計結果不具代表性，故其平均風風速大於靜風(0.2m/s)的資料筆數應至少超過30筆才進行迴歸統計。

以測站上空最近一點WRF分析場風向為基準，將歷史資料分成8個方位並以線性迴歸方程式  $Y = b_1 X$  進行迴歸，其中X為WRF分析場風速、Y表觀測風速、 $b_1$ 為斜率，建立各期所有測站迴歸參數檔。計算估計風速的方法是取得當下測站上空最近一點WRF分析場或預報場風速及風向資料後，以該時間點WRF分析場風速套用該目標風向的迴歸式進行估算，假若該目標風向無迴歸資料則使用不分風向的迴歸式。

風向資料原擬以該目標風向 $\pm 22.5$ 度為界線歸類，例如東風範圍為 $67.5 \leq \text{風向} < 112.5$ 度，當WRF風向為 $112.5$ 度時將會被歸類為東南風( $112.5 \leq \text{風向} < 202.5$ 度)，為避免剛好在交界線的資料被強迫歸類至下一風向並增加資料樣本數，本研究另將各風向範圍略為擴大成以目標風向 $\pm 45$ 度為界(北風設定為 $-45 \sim 45$ 度、東北風 $0 \sim 90$ 度、東風 $45 \sim 135$ 度、東南 $90 \sim 180$ 、南 $135 \sim 225$ 度、西南 $180 \sim 270$ 度、西 $225 \sim 315$ 度、以及西北 $270 \sim 360$ 度)，重新將資料分類後迴歸。利用2015年6場颱風個案紅霞、蓮花、昌鴻、蘇迪勒、天鵝及杜鵑颱風比較兩組目標風向範圍所得估計風速與觀測風速相關係數。

分析結果顯示兩種分類相關係數皆大於0.7，而467650日月潭站相關性最低僅0.78。圖5分別為6場颱風事件日月潭站風速資料時序圖，圖中，黑色菱形為觀測風速、灰色圓點為WRF分析場風速、藍色圓點及綠色十字分別為目標風向 $\pm 22.5$ 度與目標風向 $\pm 45$ 度範圍迴歸式所估計的風速。由時序圖發現日月潭站多筆資料低估，推測係由於日月潭站周圍有較高的地勢將其包圍，使得此站觀測風速始終較低，而WRF模式無法反映現實測站周圍環境，其中風向 $\pm 45$ 度範圍之估計風速相較於 $\pm 25$ 度範圍更接近觀測值。

上述分析綜合得知，擴大各風向範圍進行迴歸後所得之迴歸式較適合，因此本研究以WRF分析場風向，配合目標風向 $\pm 45$ 度範圍區分觀測與WRF分析場資料，建立各期各站迴歸式。

## 四、陣風預報方法

利用1997-2016年歷史颱風期間(海上警報發布至海上警報結束)風觀測資料，統計當颱風中心經過東經 $117 \sim 131$ 度、北緯 $19 \sim 31$ 度範圍，不同風向下陣風與平均風的關係。由於颱風期間氣象局預報人員主要針對3、4級風以上的風進行風場預報，因此本研究於颱風時期僅取平均風速達 $5.5\text{m/s}$ 以上(4級風)的資料進行迴歸。假若資料量若過少時，統計結果不具代表性，故其平均風風速大於 $5.5\text{m/s}$ 的資料筆數應至少超過30筆才進行迴歸統計。

圖6所示為鞍部站於北風及南風區間當平均風風速大於 $5.5\text{m/s}$ 時，平均風對陣風風速散布圖，由圖

中可觀察到陣風對平均風風速大致呈線性關係(紅色實線)，因此令迴歸方程式為

$$G = b_0 + b_1 W \quad (4)$$

其中，G代表陣風風速；W代表平均風風速； $b_0$ 和 $b_1$ 為迴歸參數。假設差值為常態分佈，則99.95%信心區間上邊界(3.27倍標準偏差)為如圖6中的紅色虛線所示。但圖中可觀察到差值分佈為負偏態(negative skewness)，其原因可能是因為小時平均風速與陣風取樣時間不一致的緣故，所以取3.27倍標準偏差，信心區間將會低於99.95%，恐將無法預報到極值。故本研究改以方盒圖分析方法估計上邊界。計算不同風向時陣風到迴歸線(圖6紅色實線)的差值，將所有差值由大到小排序後，取其中第三個四分位( $Q_3$ ，排序第3/4大的值)，以及第一個四分位( $Q_1$ ，排序第1/4大的值)，計算四分位距為

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (5)$$

則陣風預報的上邊界可取為 $Q_3 + 1.5IQR$ ，如圖6所示之藍色實線為颱風期間鞍部站風向方位為北風及南風之陣風上邊界。

假若資料量若過少時，無法順利統計陣風與平均風的關係式，以鞍部站為例，由於風向為東北、及西南時，風速大於4級風的資料筆數過少甚至沒有，無法進行統計，建議可使用不分風向資料統計得之結果作為該風向迴歸方程式及陣風預報上邊界。

東北季風期間將取12月至2月資料亦依照上述方法進行迴歸建置方程式及誤差上邊界。

## 四、陣風預報準確率分析

陣風預報準確率計算以前述迴歸方式取2010-2014年WRF分析場與測站觀測資料，風向區分範圍為該目標風向 $\pm 45$ 度，建置8個風向的迴歸式及參數檔後，取WRF預報場風速及風向資料估計觀測風速，以此估計值預估颱風或東北季風期間陣風範圍，並取包含預報場時間點前6小時的最大實際觀測陣風判斷是否落於陣風預估範圍內。舉例說明，以06Z WRF預報場推估06Z時觀測估計值，並以此觀測估計值預報陣風範圍，然後取01-06Z中最大觀測陣風資料比對是否落於預報陣風範圍內，若是，則符合，反之，則判斷預報高估或低估。

圖7為以2015年6場颱風個案進行陣風預報準確率分布圖，其中，橫軸為人工站、縱軸為發生頻率(次數)，紅色表預報低估、綠色為預報正確、藍色為預報高估。由於陣風預報主要針對平均風4級風以上的資料進行預報，因此部分風向會有測站無法分析。

分別統計所有人工站於2015年颱風期間及東北季風陣風預報率，其中，颱風期間預報準確率達

78.6%、低估率為15.4%、高估率有6.0%；東北季風期間預報準確率達93.5%、低估率僅3.9%、高估率僅2.6%。部分陣風預報低估的個案，是在利用WRF預報場進行平均風估計時即低估，由此可知，WRF預報品質明顯影響陣風預報結果。

## 五、結果與討論

本研究以氣象局人工站小時平均風與陣風資料篩選代表站後，再計算颱風與東北季風系統下，各測站八個風向的測站資料與數值模式資料之迴歸關係式及誤差上限值，再以2015年颱風期間資料進行驗證。驗證結果顯示本研究之方法可有效利用WRF預報場推估未來陣風預報範圍。

由於數值資料有限，目前僅能以WRF5公里資料進行統計分析，若能取得更高解析度WRF的資料，以同樣方法進行統計分析，預期可獲得更好的預報成效。

## 六、參考文獻

中央氣象局氣象預報中心計畫「106年度小區域暨災害性天氣資料分析與應用建置案-強化小尺度地面氣象分析場」。

江晉孝等，2016：中央氣象局新一代高解析度區域模式介紹，105年天氣分析與預報研討會，A2-3。

吳蕙如、張庭槐、林宗翰、李淑玲，2014：中央氣象局數值天氣預報作業控制系統現況介紹，103年天氣分析與預報研討會，A2-50。

王時鼎，1987：台灣颱風風力特性及其預報研究(一)，行政院國家科學委員會防災科技研究報告，74-46，63。

王惠民、葉天降，2015：臺灣地區颱風風速與最大瞬間風速之統計迴歸分析，氣象學報，52(1)，1-18。

蔡清彥、周根泉、陳正改，1981：台灣地區之颱風風速分布，氣象預報與分析，89，1-9。

謝信良，2000：颱風觀測分析與統計預報整合型研究：應用統計與類比法在颱風路徑與風雨預報之研究(二)，行政院國家科學委員會專題研究成果報告，NSC89-2625-Z-052-002，74。

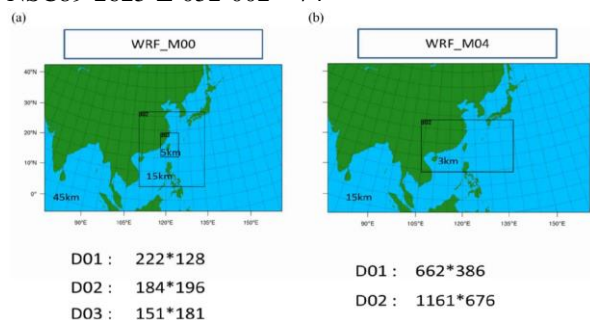


圖1 新舊 WRF 作業模式網格設定(a)舊版 WRF\_M00 (b)新版 WRF\_M04(截自江2016)

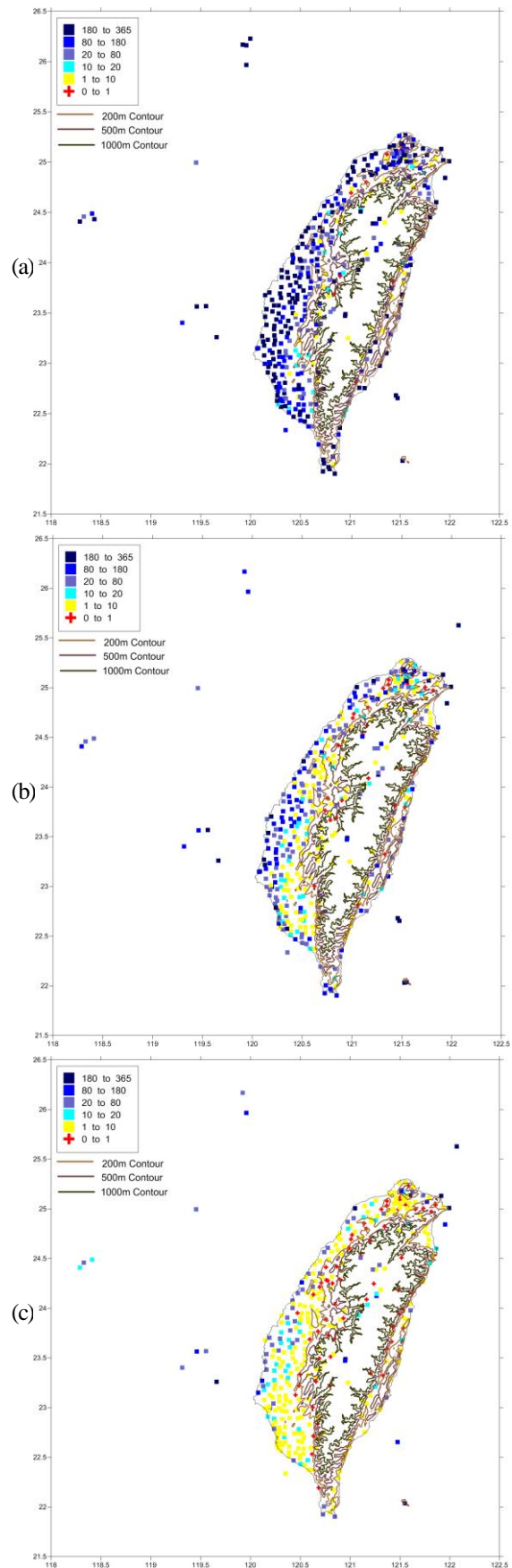


圖2 新舊 WRF 作業模式網格設定(a)舊版 WRF\_M00 (b)新版 WRF\_M04(截自江2016)

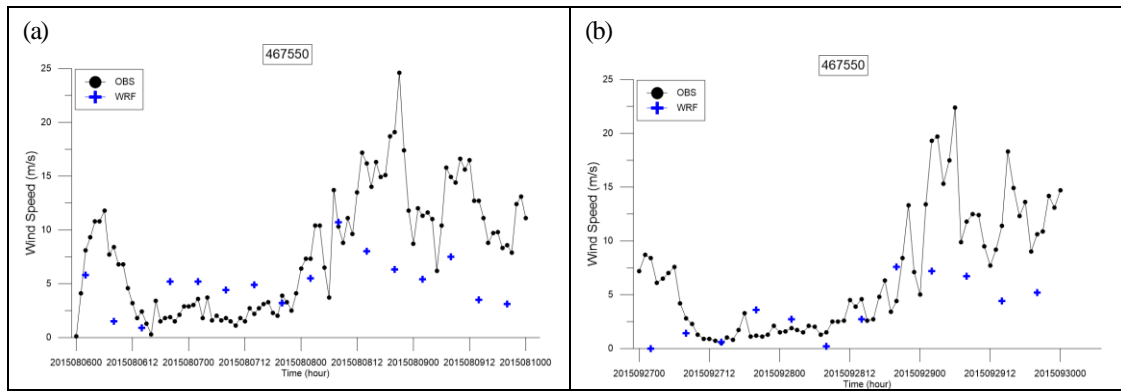


圖 3 2015 年蘇迪勒(a)及杜鵑颱風(b)期間玉山站觀測與 WRF 分析場風速時序圖

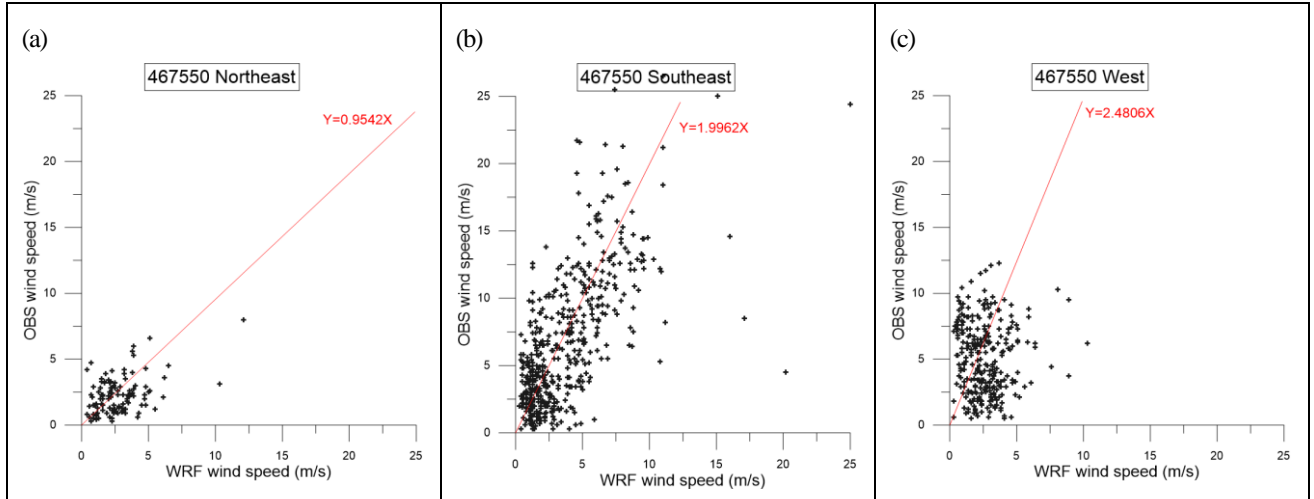


圖 4 玉山站不同風向觀測及 WRF 分析場風速散布圖(a)東北風(b)東南風(c)西風

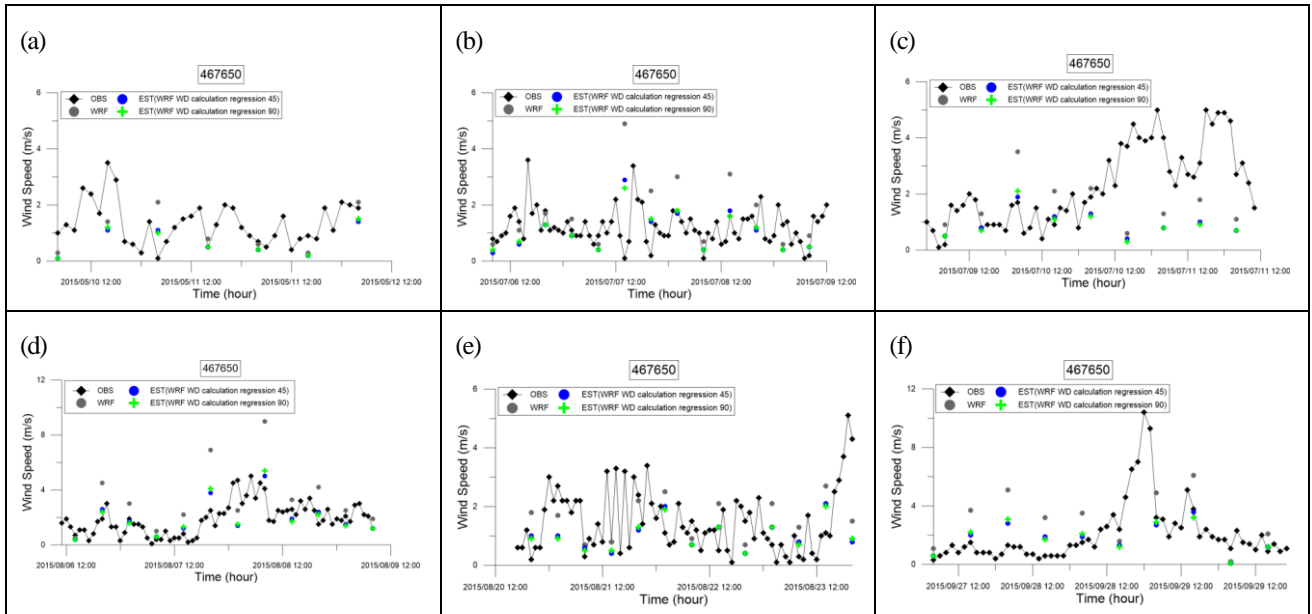


圖 5 467650 日月潭站 2015 年颱風個案風速時序圖(a)紅霞颱風(b)蓮花颱風(c)昌鴻颱風(d)蘇迪勒颱風(e)天鵝颱風(f)杜鵑颱風

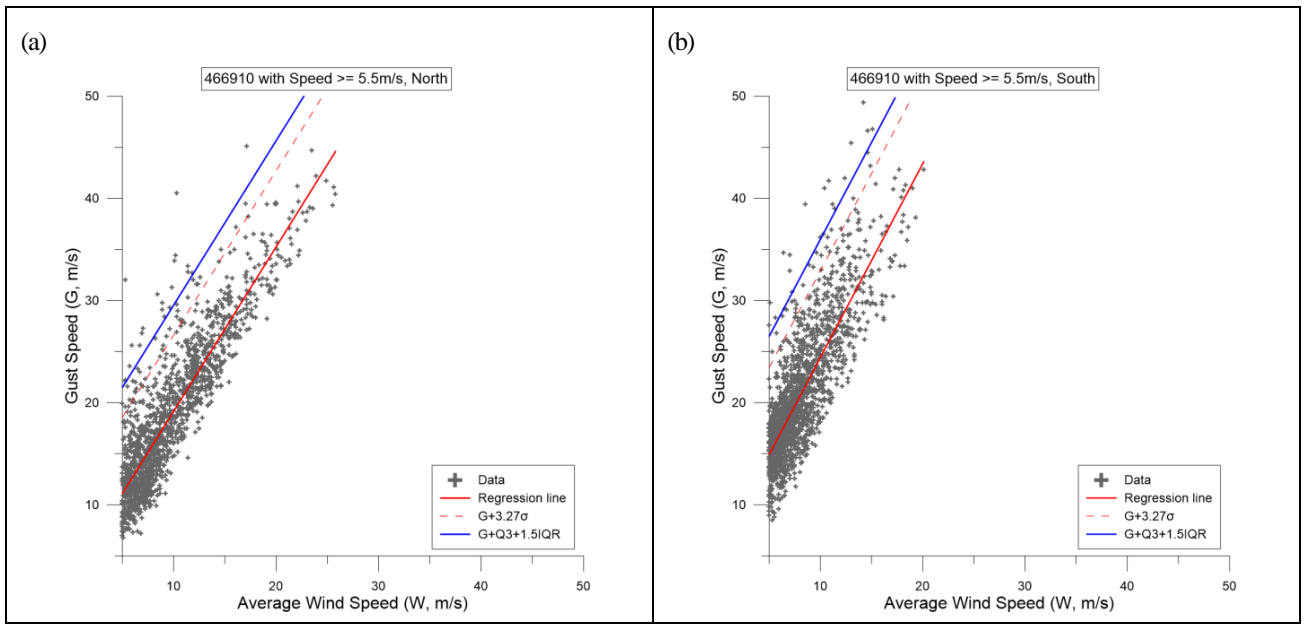


圖 6 鞍部站不同風向時平均風速與陣風散布圖

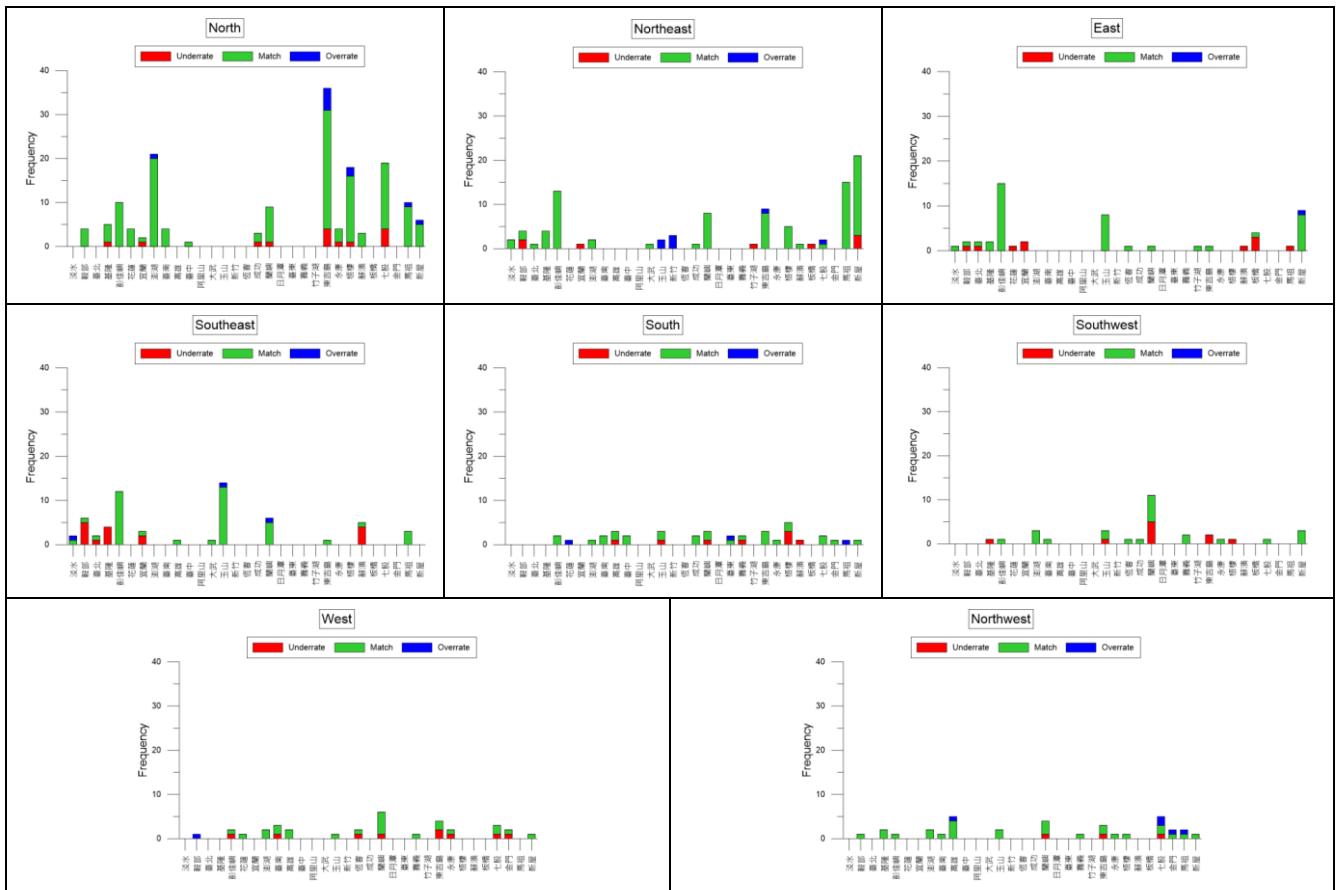


圖 7 2015 年颱風個案陣風預報準確率