

第4類侵臺路徑颱風降雨統計分析及尼伯特颱風(2016)個案模擬

陳政凱^{1,2}、汪建良²

¹空軍氣象聯隊

²國防大學理工學院環境資訊及工程學系

摘要

本研究首先針對過去20年侵襲臺灣路徑為第4類之颱風，分階段進行定性及定量的降雨統計，發現各地區降雨量因颱風侵襲階段的不同有著極大差異，東半部以及高屏地區為降雨顯著之區域。另外，本研究以尼伯特颱風(2016)為個案，使用天氣研究與預報模式(Weather Research and Forecasting model, WRF)，選擇1種單矩陣及5種雙矩陣微物理參數法對於颱風路徑、強度及降雨模擬的影響：(1)使用WRF Single-Moment 6-class scheme (WSM6)與WRF Double-Moment 6-class scheme (WDM6)進行單矩陣與雙矩陣微物理參數法之比較；(2)使用WRF Double-Moment 5-class scheme、WRF Double-Moment 6-class scheme、Morrison scheme、Thompson scheme及Thompson aerosol-aware scheme進行雙矩陣微物理參數法之間的比較。結果顯示使用不同的微物理參數法對颱風路徑及強度模擬無顯著不同，但在降雨模擬皆有統計上顯著的差異。單矩陣(WSM6)與雙矩陣(WDM6)微物理參數法比較結果證明雙矩陣參數法具有較好的雨量模擬能力，而Morrison在5種不同雙矩陣參數法中具有最佳的降雨預報能力。進一步分析各微物理參數法模擬的回波、風速、動力過程及水象粒子之颱風垂直結構分布，探討這些因子對降雨的影響。

關鍵字：第4類颱風侵臺路徑、WRF模式、單矩陣與雙矩陣微物理參數法

1. 前言

根據中央氣象局統計，颱風侵臺路徑可分為10類，以第1至5類路徑為大宗，其中第4類颱風中心通過臺灣南部地區(圖1)，因南部山脈地形較低，故颱風受地形破壞程度較為輕微，2003年莫拉克颱風、2010年凡那比颱風及2011年南瑪都颱風便屬此類型，對東部及南部地區造成顯著的降雨及災害。

在颱風影響過程中降水是我們最為關切的議題，模式中降水的模擬主要來自於積雲參數法與微物理參數法，然而近年來隨著模式解析度的增加，網格水平解析度逐漸提高，微物理參數法對於降水的模擬亦更顯得重

要。數值模式中模擬微物理參數法有兩種方法，第一種為細格法(bin-resolving method)，第二種為總體法(bulk method)，總體法相對簡單且在運算上更有效率，因此廣泛運用在數值模式上(圖2)。總體微物理法依據描述粒徑分布的變數量可分為兩種方案，單矩陣方案(single-moment approach)和雙矩陣方案(double-moment approach)，單矩陣方案利用特定分布的方程式來描繪每一類水象粒徑進而預報水象粒子的混合比，對於粒子濃度則是給予粒徑譜的診斷方程分析，不直接預報粒子濃度(個數)；雙矩陣方案則不只預測水象粒子的混合比，也預測水象粒子的濃度，因此總體微物理法的雙矩陣方案使得水象粒子大小的分布較有彈性，水象粒子

的粒徑譜對時間可以自由變化，粒徑大小的差異會使粒徑產生不同的終端速度，更會造成水象間不同的物理過程，會更接近真實的水象粒子現象。

本研究目的有以下2點：

- (1) 統計過去20年(1997-2016)侵襲臺灣路徑為第4類颱風的定性及定量特徵，建立具有參考價值之結果。
- (2) 以2016年尼伯特颱風為個案，探討微物理參數法對颱風路徑、強度及雨量模擬的影響。

2. 資料來源及實驗設計

2.1 資料來源

本研究使用中尺度模式WRF (Weather Research and Forecast model) V3.8版進行個案模擬，而觀測資料來源如下：

- (1) 颱風相關資料，透過中央氣象局及颱風資料庫取得。
- (2) 逐時地面測站觀測資料，透過大氣水文研究資料庫下載中央氣象局各氣象測站逐時資料。
- (3) 地面天氣圖、紅外線雲圖、雨量圖及雷達回波圖，透過文化大學劉清煌老師的網頁下載。
- (4) 中央氣象局測站經緯度資料，透過中央氣象局網頁取得。

2.2 實驗設計及研究方法

本研究針對2016年尼伯特颱風進行模擬，以美國國家環境與預報中心(NCEP)之全球預報系統(GFS)預報場做為本論文中WRF模式之初始場及邊界場，資料時間解析度為每6小時一筆。本研究採用兩層巢狀網格進行模擬(圖3)，除了微物理參數法外，餘皆參照空軍氣象中心WRF現行預報作業模式進行參數設定(表1)。

颱風資料統計方面，根據中央氣象局對於侵襲臺灣之颱風路徑分類之定義，針對過去20年(1997-2016)侵襲臺灣路徑為第4類颱風進行降雨分階段統計，颱風個數分別為潭美(2001)、利奇馬(2001)、莫拉克(2003)、寶發(2006)、帕布(2007)、凡那比(2010)

)、南瑪都(2011)及尼伯特(2016)等8個颱風；統計時段區分為(1)發布海上颱風警報至颱風中心登陸、(2)颱風中心登陸至颱風中心出海及(3)颱風中心出海至解除海上颱風警報三階段，最後統計發布海上颱風警報至解除海上颱風警報期間總降雨量。

尼伯特颱風個案模擬方面，模擬時間為2016年7月6日0000 UTC至2016年7月10日0000 UTC，共96個小時，模擬使用的兩層網格皆每小時輸出1筆預報資料，將針對颱風路徑、強度(最低氣壓及最大風速)及雨量進行校驗。

颱風路徑及強度校驗時間為2016年7月6日0000 UTC至2016年7月9日0000 UTC，共72小時。模式中以海平面最低氣壓進行颱風中心定位，採用中央氣象局尼伯特颱風最佳路徑進行路徑校驗，並以中央氣象局公布之颱風最低氣壓及近中心最大風速進行校驗，校驗方法採用平均誤差分析法，針對預報及觀測資料每12小時計算一次絕對誤差(Absolute Error, AE)，共計7次，最後再計算平均誤差值。

雨量校驗時間為2016年7月6日0700 UTC至2016年7月9日0700 UTC(警報發布期間)，共72小時，校驗方法則利用中央氣象局位於臺灣本島518個測站之實際累積雨量與相同經緯度模擬結果之雨量相比較(圖4)，降水校驗方法使用偏倚得分(Bias Score, BS)、公正預兆得分(Equitable Threat Score, ETS)、均方根差(Root-Mean-Square Error, RMSE)及迴歸分析(Regression Analysis)四種方法。

本篇研究中颱風路徑及強度的校驗使用WRF模式第一層網格的模擬結果，降雨的校驗則使用WRF模式第二層網格的模擬結果。

WRF V3.8提供32種不同的微物理參數法供選擇，本研究擇自其中1種單矩陣方案及5種雙矩陣方案的微物理參數法進行個案模擬，共進行6組模擬實驗，並進行(1)單矩陣方案與雙矩陣方案(WRF Single-Moment

6-class scheme 與 WRF Double-Moment 6-class scheme) 及 (2) 雙矩陣方案 (WRF Double-Moment 5-class scheme、WRF Double-Moment 6-class scheme、Morrison double-moment scheme、Thompson scheme 及 Thompson aerosol-aware scheme) 之間的模擬比較，其中 WRF Single-Moment 6-class scheme 為控制組，模擬的命名以該模擬選用的微物理參數法簡寫代表之 (表2)，並整理了本研究中使用的6種不同的微物理參數法，及預報的水象粒子質量混合比與粒子濃度 (表3)。

3. 資料統計分析及個案介紹

3.1 資料統計分析

本研究統計期間內之颱風中心由臺東成功至屏東恆春間登陸，並於濁水溪至屏東恆春間出海，雖然各別颱風的降雨量受颱風強度、環流分布及移動速度的不同有所差異，然而將8個颱風累積降雨依照不同階段平均後，從統計資料仍可歸納其相關性。發布海上颱風警報至颱風中心登陸的第一階段東半部位於颱風環流的迎風面，因此主要強降雨區接近分布在宜蘭南部至臺東中部 (颱風登陸點) 以北區域及恆春半島，平均累積雨量為150至200 mm，最大值位於花蓮中部山區，達258 mm，西半部在山區亦有20至60 mm降雨；隨著颱風中心登陸後，迎風面逐漸轉為南部地區，第二階段的強降雨區亦由東半部轉移至高雄及屏東一帶，最大累積雨量位於屏東山區，達309 mm，雲林至臺南地區降雨亦逐漸增加；第三階段颱風出海至警報解除階段，全臺降雨明顯趨緩，最大累積雨量仍位於迎風面的屏東山區，為167 mm。

綜觀發布颱風警報期間全臺累積雨量，強降雨區分為兩大區塊，分別為花蓮以及屏東至臺東山區一帶，最大累積降雨則位於屏東山區，達506 mm，整體而言在東半部及高屏地區累積降雨達200 mm以上，相較之下，位於背風面的桃園至雲林一帶，累積降雨為60 mm以下，臺中地區甚至不到20 mm (圖5)。另將本研究統計期間與1897至1997年統計年份，中央氣象局全臺27個地面氣象站平均總降雨量相比較 (圖6)，累積雨量達200 mm

以上之測站皆分布在花蓮、臺東及恆春測站，兩個統計年份區間無明顯差異，但近20年統計結果顯示花蓮、恆春及高雄測站雨量有明顯增加，其中以花蓮測站增加111 mm為最多，而成功及大武測站則有明顯減少情況，以成功測站減少98 mm為最多。

由雨量分布的統計分析可發現，侵臺路徑為第4類之颱風對於東半部及高屏地區影響層面最為劇烈，中北部地區影響層面較為輕微。

3.2 個案介紹

根據中央氣象局及颱風資料庫觀測資料，2016年7月3日0000 UTC原位於關島南方海面 (145.2°E、8.9°N) 熱帶性低氣壓增強為輕度颱風，由東京颱風中心正式命名為 NEPARTAK，國際編號1601，中文譯名為尼伯特，為2016年西北太平洋第一個生成之颱風。尼伯特颱風受到太平洋副熱帶高壓影響，穩定朝西北西方向行進。5日0000 UTC增強為中度颱風，颱風中心氣壓970 hPa，近中心最大風速33 m/s，並於1800 UTC再增強為強烈颱風，颱風中心氣壓降至925 hPa，近中心風速增至53 m/s。

6日0630 UTC中央氣象局發布海上颱風警報，1230 UTC發布海上陸上颱風警報，颱風中心氣壓降至905 hPa，近中心最大風速58 m/s，達到此颱風之強盛期。強烈颱風尼伯特中心於7日2150 UTC自臺東縣太麻里鄉登陸，8日0630 UTC自臺南市將軍區出海移入臺灣海峽，9日0500 UTC颱風中心由金門東北方進入中國大陸福建省，0630 UTC尼伯特颱風減弱為熱帶性低氣壓，中央氣象局解除颱風警報 (圖7)。在尼伯特颱風發布警報期間最大累積總雨量發生於花蓮縣秀林鄉布洛灣雨量站之620 mm (圖8)。

4. 模擬結果比較

4.1 單矩陣與雙矩陣微物理參數法比較

在路徑校驗方面，各成員路徑與實際路徑並無明顯差異 (圖9)，但隨著時間其誤差有加大趨勢，整體而言，各成員在路徑上的表現差異不大，72小時平均預報誤差介於

51.1至52.4 km (圖10)，其中以WSM6表現略佳。

強度校驗方面，從颱風最低氣壓及最大風速校驗分析，各成員初始時間其中心最低氣壓皆為959 hPa，較觀測氣壓高估44 hPa，最大風速皆為40 m/s，與觀測值53 m/s差距頗大，隨著模式調整後，各成員氣壓逐漸下降，最低氣壓介於941至944 hPa，與觀測值905 hPa有段差距，最大風速介於44至45 m/s，與觀測值最大風速58 m/s比較明顯低估。各成員72小時最低氣壓平均誤差介於30.8至31.5 hPa (圖11)，最大風速平均誤差介於10.8至11.3 m/s (圖12)，其中最低氣壓以WSM6表現略佳，最大風速則以WDM6表現略佳，整體而言，WSM6和WDM6在最低氣壓及最大風速強度上各有強弱，但模擬差異不大。

比較7月7日1600 UTC觀測與模擬的雷達最大回波 (column vector, CV) (圖13)，模擬與實際回波強度達15 dBz以上範圍 (颱風中心西側) 差異不大，在颱風西至西南象限觀測達50-55 dBz的最強回波，各成員模擬最強回波達60-70 dBz，其強度明顯高於實際觀測值。接下來比較方位角平均垂直剖面的回波模擬 (圖14)，WSM6及WDM6從底層到高層其回波水平及垂直範圍相似，但WSM6在近底層 (950-900 hPa) 及中層 (400 hPa) 區域模擬出較強的回波，其底層風速亦較WDM6偏強，再針對各成員所模擬的900及500 hPa方位角平均風速進行比較 (圖15)，顯示其最大風速半徑隨著高度有外延的情況，不管在颱風底層或中層，WSM6皆模擬出較強、範圍較大且持續時間較久的風速。另外WSM6在底層近眼牆模擬出較強的輻合現象，高層也有較強的輻散現象，並伴隨較強的上升及下沉運動 (圖16)。

接著比較各成員方位角平均垂直剖面水象粒子混合比分布 (圖17)，WSM6在近底層預報較多的雨水及雲水混合比，因此WSM6在近底層亦存在較強的回波，而WSM6在500-400 hPa處模擬較多的軟電混合比，其雲水混合比也較多，因此WSM6在此區模擬較強的回波。

雨量模擬部份 (圖18)，WSM6和WDM6所模擬的降雨範圍與觀測值相似，較強的累積雨量皆位於花蓮至屏東的山區，強度較觀測值強，最大累積雨量皆位於臺東山區，成員間模擬差異不大 (WSM6為957 mm、WDM6為932 mm)，較觀測值 (620 mm) 明顯偏高。在偏倚得分 (圖19) 部份，除了WSM6於門檻值250 mm及WDM6在門檻值250與350 mm不足預報外，餘各成員在其他門檻皆過度預報，顯示WSM6及WDM6對於模擬降水都有高估的情形，公正預兆得分及其平均值 (圖20) 顯示，WDM6的ETS平均得分為0.32，表現優於WSM6的0.27；方均根差部份以WDM6的平均偏差為較小，為88mm，WSM6則為91mm，以WDM6表現較佳；最後將各成員模擬的雨量與觀測值進行線性迴歸 (圖21)，以WDM6的0.5397相較於WSM6的0.5094為較佳。整體而言從各種雨量校驗結果看來，WDM6的雨量模擬相較於WSM6表現略勝一籌。

4.2 單矩陣與雙矩陣微物理參數法比較

首先在路徑校驗方面，比較各成員模擬與實際路徑圖 (圖22)，整體而言各成員在路徑上的表現差異不大，72小時平均預報誤差介於50.9至65.6 km (圖23)，其中以THOP表現略佳。

強度校驗方面，從颱風最低氣壓及最大風速校驗分析，各成員強度變化無顯著差異，最低氣壓介於941至948 hPa，最大風速介於41至45 m/s，與觀測值905 hPa及58 m/s比較明顯偏弱。各成員72小時最低氣壓平均誤差介於31.4至33.7 hPa (圖24)，最大風速平均誤差介於10.8至12.2 m/s (圖25)，強度校驗結果以WDM6表現略佳，但與其他成員差異不大。

比較7月7日1600 UTC觀測與模擬的雷達最大回波 (CV) (圖26)，MORR、WDM5及WDM6與觀測值比較颱風東側範圍，模擬與實際回波強度達15 dBz以上範圍差異不大，但THOP及THOP A-A半徑則較觀測值範圍偏大，在颱風西至西南象限觀測達50-55 dBz的最強回波，而各成員模擬最強回波達60-70

dBz，其強度明顯高於實際觀測值。接下來比較方位角平均垂直剖面的回波模擬（圖27），THOP及THOP A-A成員從600 hPa以上回波水平發展範圍及垂直高度較其他成員廣且高，除此之外，這兩個成員低層回波及風速表現上較其他成員強，而MORR在500-400 hPa的回波較其他成員強，WDM5底層風速模擬則是最弱的。再針對各成員所模擬的900及500 hPa方位角平均風速進行比較（圖28、29），THOP、THOP A-A及MORR這三個成員在900及500 hPa的平均風速較強，維持時間則以THOP及THOP A-A較其他成員久，風速表現最弱為WDM5。圖30顯示THOP、THOP A-A在底層靠近眼牆區域有較強的輻合作用，隨著高度增加其上升運動強度逐漸增強並向外傾斜，而WDM5在輻合作用及上升運動模擬呈現最弱。經過探討THOP、MORR、WDM5、WDM6及THOP A-A在氣壓、風速、回波及動力機制的強弱，根據颱風實際觀測資料校驗海平面最低氣壓及最大風速，以WDM6的強度模擬與實際最為接近，但是分析比較各成員的回波、風速及動力機制的垂直剖面結構，則以THOP與THOP A-A為最強，WDM5表現為最弱。

接續針對各成員方位角平均垂直剖面水象粒子混合比分布進行比較（圖31），THOP與THOP A-A在低層模擬較高的雨水和雲水混合比， 0° 線以上其雪混合比也較高，且分布較廣，與回波分布相符，其餘三個成員在低層的雨水和雲水混合比其強度就偏弱，雪混合比範圍較小，因此反應到回波的強度、高度和廣度上，而MORR在中層（400-500 hPa）的雲水混合比為最高，從圖27也可觀察到MORR在中層的回波強度上較其他成員強，由於THOP與THOP A-A對於雲冰的生成機制有較嚴苛的約束條件，因此雲冰混合比的模擬較其他三個成員少許多。

雨量模擬部份（圖32），各成員所模擬的降雨範圍與觀測值相似，但最大累積雨量模擬差異大，最高為WDM5模擬的1094 mm，最低為THOP A-A模擬的679 mm，皆高於觀測值的620 mm。針對各成員的模擬降雨進行校驗，在偏倚得分（圖33）部份，顯示WDM5及WDM6成員在小雨或大雨部份皆有高估情

況，公正預兆得分及平均ETS得分（圖34）顯示以MORR的0.33表現為最佳，WDM5的0.23為最差；方均根差部份亦以MORR的表現為最好，平均差異為73 mm，WDM5誤差達108 mm為最大，最後將各成員模擬的雨量與觀測值進行線性迴歸（圖35），以MORR的相關係數0.6107為最高，最低者為WDM5的0.4356。整體從各項雨量校驗結果看來，MORR的雨量模擬在5個成員中的表現最佳。

5. 結論

本研究首先針對過去20年（1997-2016）侵襲臺灣路徑為第4類之颱風進行降雨統計，並分析三個階段降雨的定性與定量特徵，發現臺灣各地區降雨隨著颱風侵襲階段的不同有明顯差異，平均最大累積雨量位於屏東山區，東半部以及高屏地區為降雨顯著之區域，結果亦說明此類路徑颱風對於東半部及高屏山區造成極高影響。

另外，本研究以尼伯特颱風為個案，藉由6種不同的微物理參數設定進行模擬，針對單矩陣與雙矩陣微物理參數法（WSM6與WDM6）及雙矩陣微物理參數法之間（WDM5、WDM6、MORR、THOP及THOP A-A）的模擬比較。

無論是單矩陣與雙矩陣微物理參數法的模擬比較，或是雙矩陣微物理參數法之間的模擬比較，顯示不同的微物理參數法對於颱風路徑及強度的模擬差異性不大，此結果再度證明前人的研究內容。然後對於降雨模擬而言，設定不同的微物理參數法對於結果皆有統計上的顯著差異。雙矩陣微物理參數（WDM6）表現較單矩陣微物理參數（WSM6）突出，而雙矩陣微物理參數法之間的比較以MORR模擬的結果較為接近觀測值。另一方面，所有成員對於山區所模擬的雨量及降雨極值與觀測值比較都明顯高估，原因可能是臺灣山區觀測站的密度較平地觀測站的密度小，或是高解析模式易預報過多的強降水的原因。

在分析的過程當中，各成員所模擬的颱風垂直結構，包含回波、風速以及水象粒子

分布分析，因為缺乏實際觀測資料比對，無法判定何種方案與實際值較相近，因此只能針對不同的模擬結果進行定性分析比較，本

論文僅以尼伯特個案進行探討，期望未來能針對更多颱風案例進行模擬，並以雙偏極化雷達之觀測資料進行分析探討。

6. 參考文獻

Conrad L. Ziegler, "Retrieval of Thermal and Microphysical Variables in Observed Convective Storms. Part 1 : Model Development and Preliminary Testing", *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 42, No. 14, pp. 1487-1509, 1985.

J. Reisner, R. M. Rasmussen, and R. T. Bruintjes, "Explicit forecasting of supercooled liquid water in winter storms using the MM5 mesoscale model", *Royal Meteorological Society*, Vol. 124, Issue 548, pp. 1071-1107, 1998.

Jean-Martial Cohard, and Jean-Pierre Pinty, "A comprehensive two-moment warm microphysical bulk scheme. I: Description and tests", *Royal Meteorological Society*, Vol. 126, Issue 566, pp. 1815-1842, 2000.

http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3.8/contents.html (2017.06.05)

<http://rdc28.cwb.gov.tw/TDB/ntdb/pageControl/typhoon?year=2016&num=201601&name=NEPARTAK> (2016.07.03)

Fang-Ching Chien, Ying-Hwa Kuo, and Ming-Jen Yang, "Precipitation Forecast of MM5 in the Taiwan Area during the 1998 Mei-yu Season", *Weather and Forecasting*, Vol. 17, No. 4, pp. 739-754, 2002.

Ming-Jen Yang, Fang-Ching Chien and Ming-Dean Cheng, "Precipitation Parameterization in a Simulated Mei-Yu Front", *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, Vol. 11, No. 2, pp. 393-422, 2000.

7. 圖表彙整

表1 模式相關設定。

WRF Domain	D1	D2
水平解析度	15 km × 15 km	3 km × 3 km
地形解析度	10 m + 30 s	30 s
網格數	426 × 290	445 × 443
垂直解析度 (eta座標)	51層	
投影法	Lambert	
投影中心	121°E、23.5°N	
微物理參數法 (mp_physics)	見表2.2	
積雲參數法 (cu_physics)	Kain-Fritsch scheme = 1	無
長波輻射參數法 (ra_lw_physics)	RRTMG scheme = 4	
短波輻射參數法 (ra_sw_physics)	Dudhia scheme = 1	
邊界層參數法 (bl_physics)	Yonsei University scheme = 1	
p_top_requested	10 hPa	
time_step	60 s	
feedback	無	

表2 微物理參數成員設定。

Simulation	Microphysics(mp_physics)	Moment
WSM6	WRF Single-Moment 6-class scheme	Single
WDM5	WRF Double-Moment 5-class scheme	Double
WDM6	WRF Double-Moment 6-class scheme (控制組)	Double
MORR	Morrison Double-Moment scheme	Double
THOP	Thompson scheme	Double
THOP A-A	Thompson Aerosol-Aware scheme	Double

表3 不同微物理參數化預報的水相粒子質量混合比和粒子濃度總個數比較。

Microphysics (mp_physics)	Mixing Ratio						Concentration (Number)
	v	c	r	i	s	g	
WRF Single-Moment 6-class scheme	√	√	√	√	√	√	none
WRF Double-Moment 5-class scheme	√	√	√	√	√		c, r, CCN
WRF Double-Moment 6-class scheme	√	√	√	√	√	√	c, r, CCN
Morrison Double-Moment scheme	√	√	√	√	√	√	r, i, s, g
Thompson scheme	√	√	√	√	√	√	r, i
Thompson Aerosol-Aware scheme	√	√	√	√	√	√	c, r, i, wfa, ifa

附註說明：

- 「√」代表預報該水象粒子。
- 水氣(v, vapor)、雲水(c, cloud water)、雨水(r, rain)、雲冰(I, cloud ice)、雪(s, snow)、軟雹(g, graupel)、雲凝結核(CCN, cloud condensation nuclei)、親水性氣溶膠(wfa, hygroscopic aerosol as a water friendly aerosol)、親冰性氣溶膠(ifa, non-hygroscopic ice-nucleating aerosol as ice friendly aerosol)。

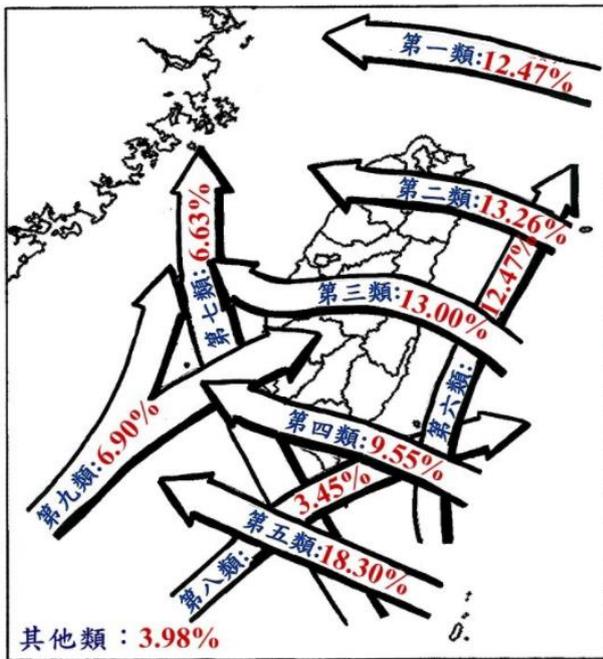


圖1 1911至2016年影響臺灣地區颱風路徑分類圖（摘自中央氣象局）。

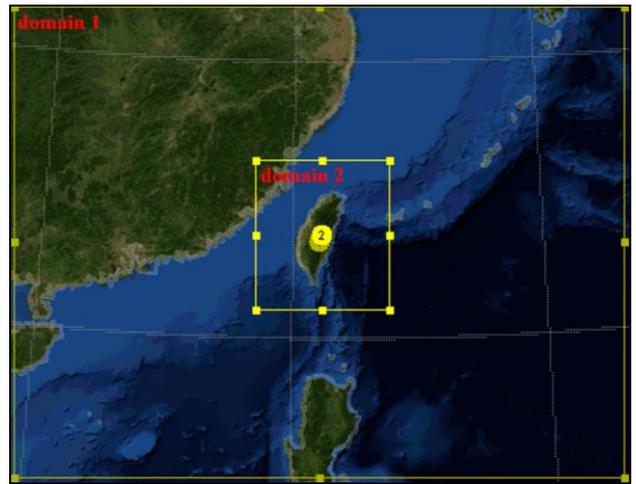


圖3 巢狀網格區域設定。

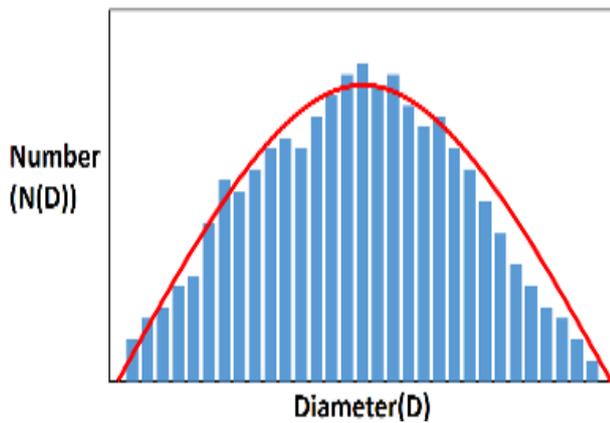


圖2 細格法與總體法示意圖。細格法為藍色長條圖，總體法為紅色曲線圖。

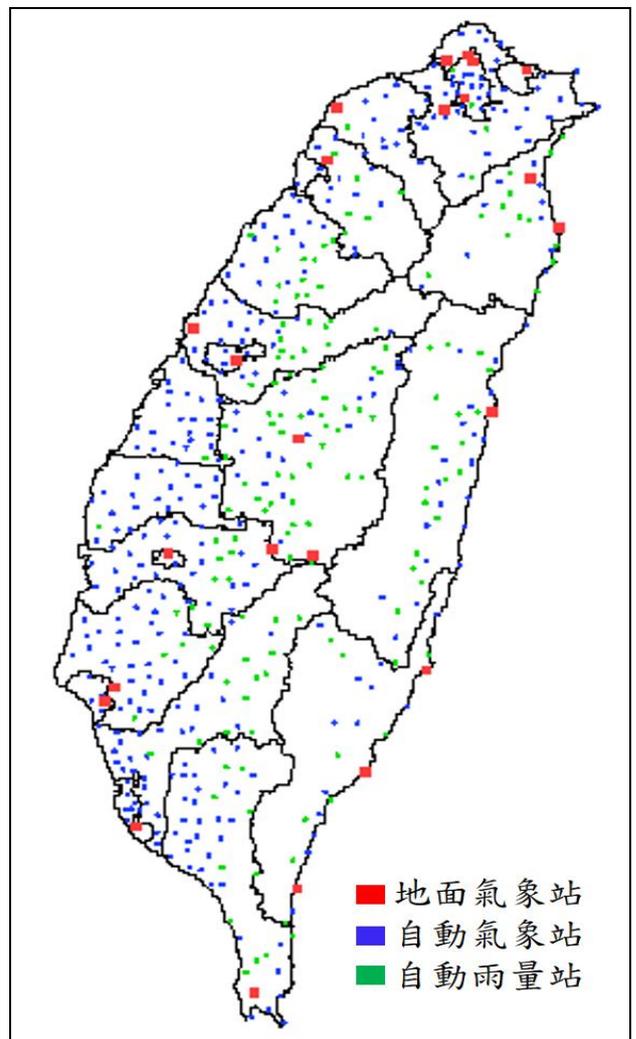


圖4 中央氣象局地面測站。

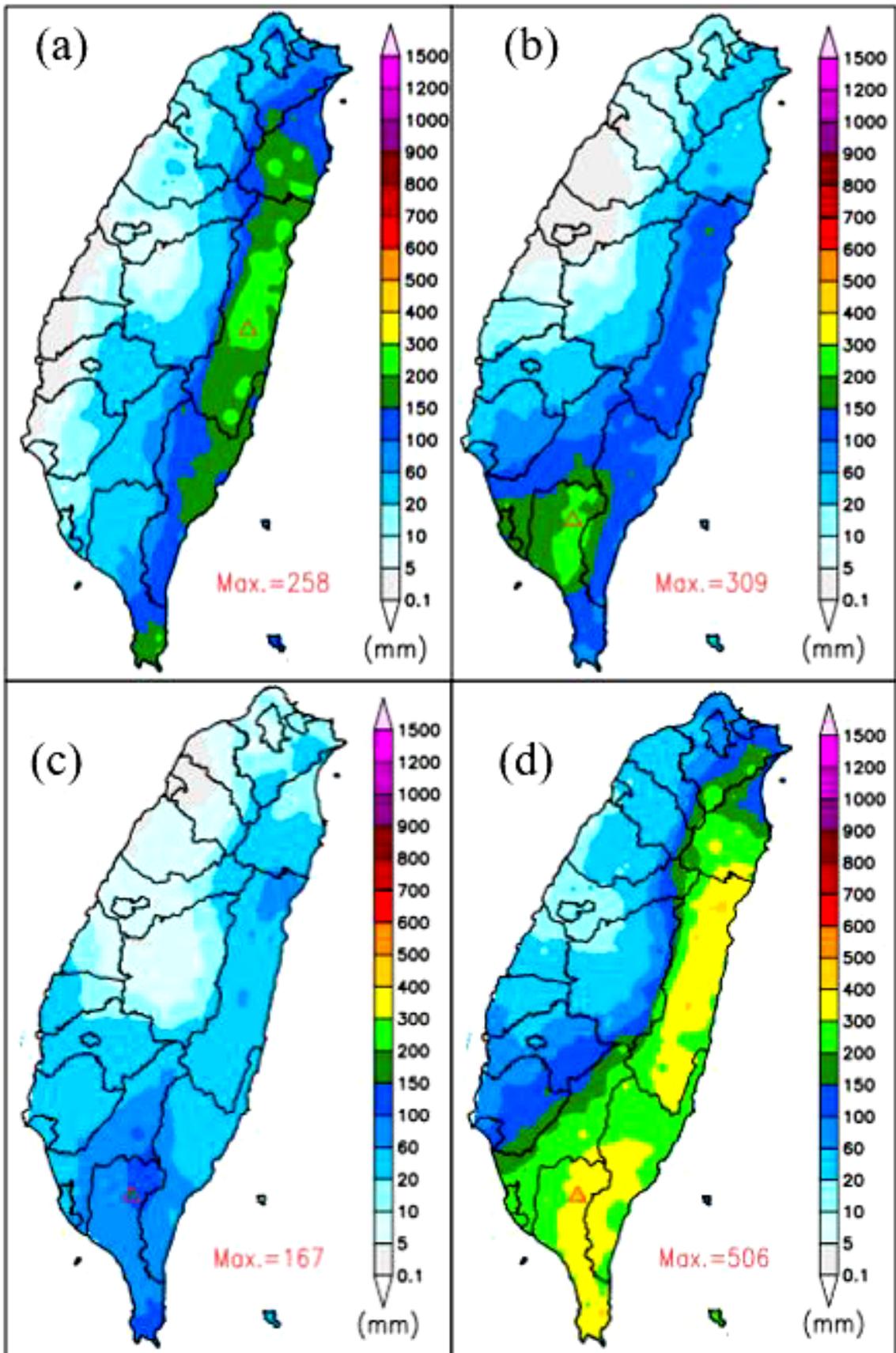


圖5 颱風統計各階段累積降雨：(a) 第一階段累積降雨；(b) 第二階段累積降雨；(c) 第三階段累積降雨；(d) 颱風警報期間之累積降雨。

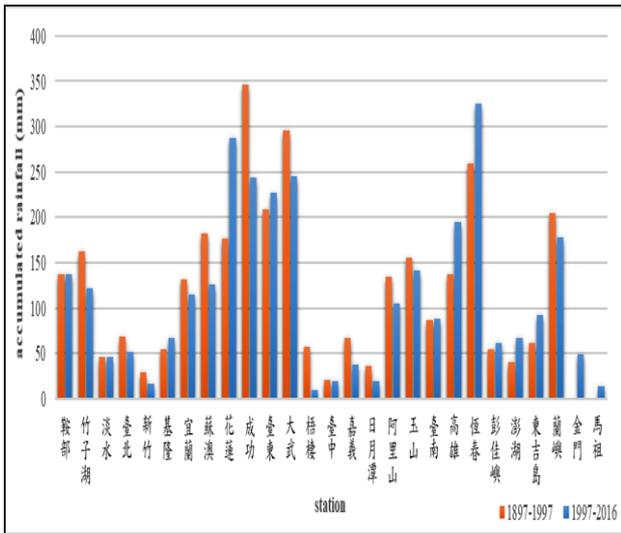


圖6 中央氣象局各測站平均總雨量。紅色統計年份為1897至1997年(資料摘自颱風預報輔助系統網頁), 藍色統計年份為1997至2016年。

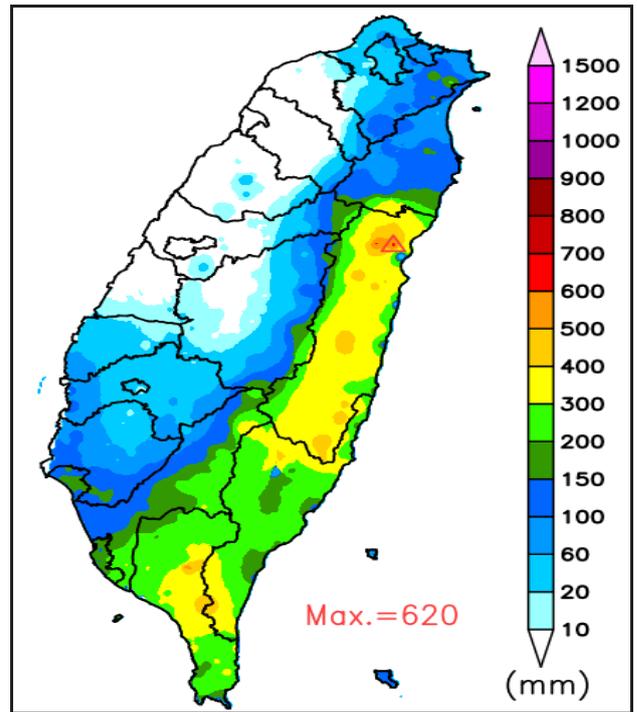


圖8 颱風警報期間累積雨量圖 (7月6日1500 LST至7月9日1500 LST)。

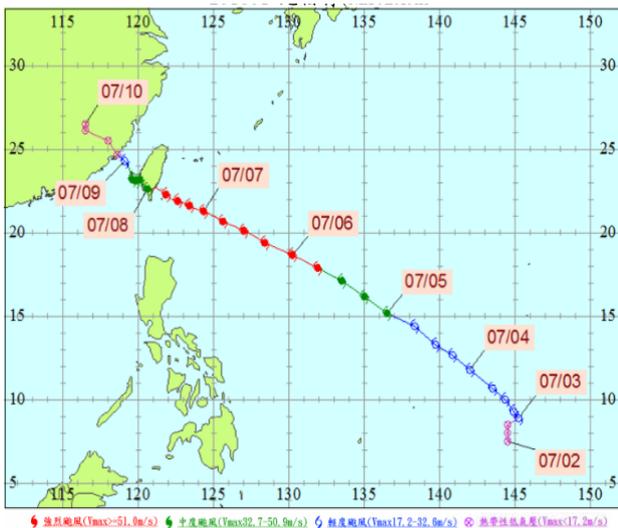


圖7 中央氣象局分析之尼伯特颱風路徑圖。

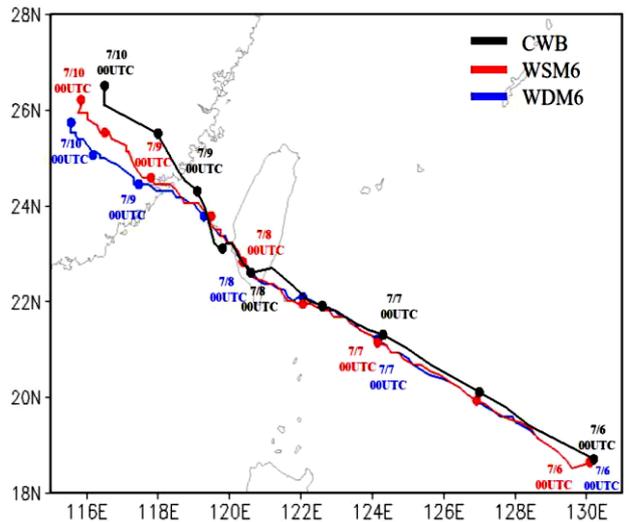


圖9 CWB及各成員路徑圖。

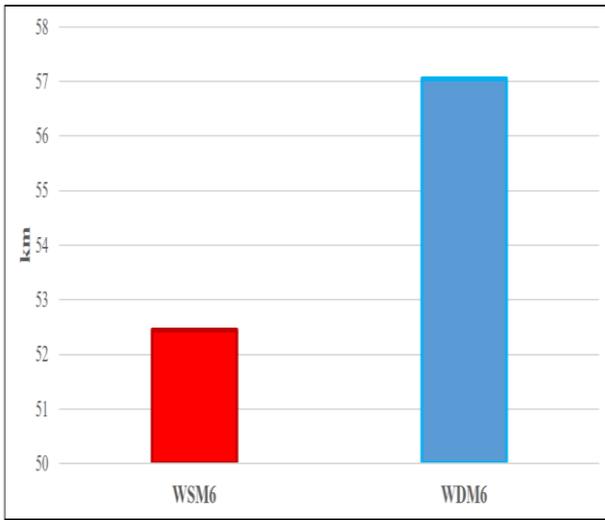


圖10 各成員路徑平均誤差。

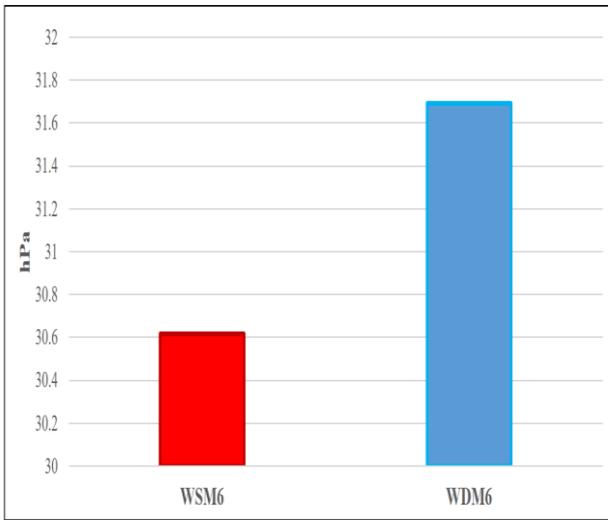


圖11 各成員最低氣壓平均誤差。

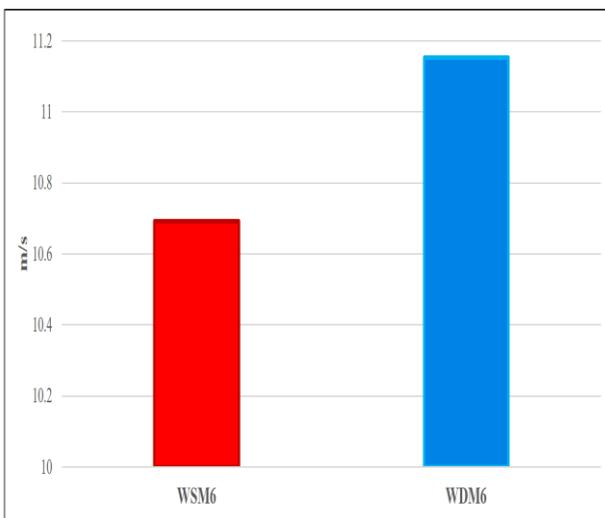


圖12 各成員最大風速平均誤差。

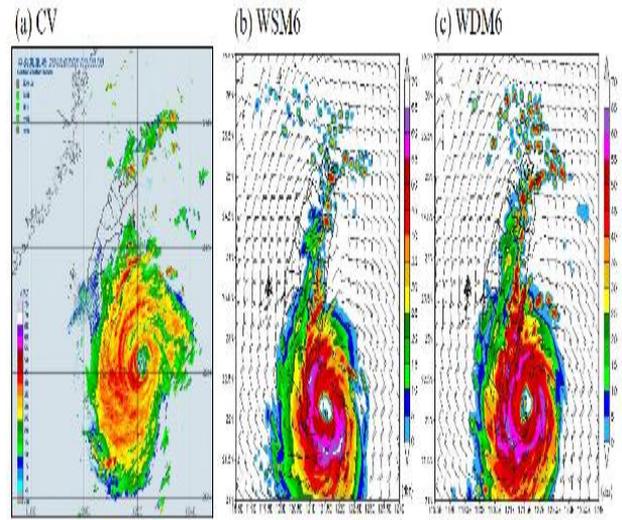


圖13 觀測及各成員模擬回波（7月7日1600 UTC）。

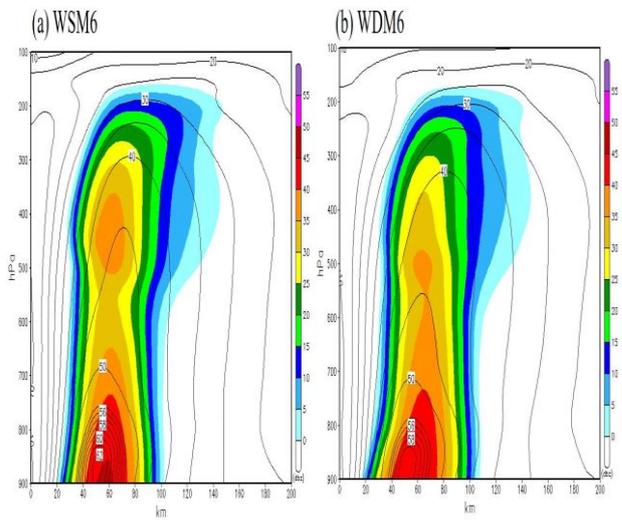


圖14 各成員方位角平均垂直剖面回波圖。

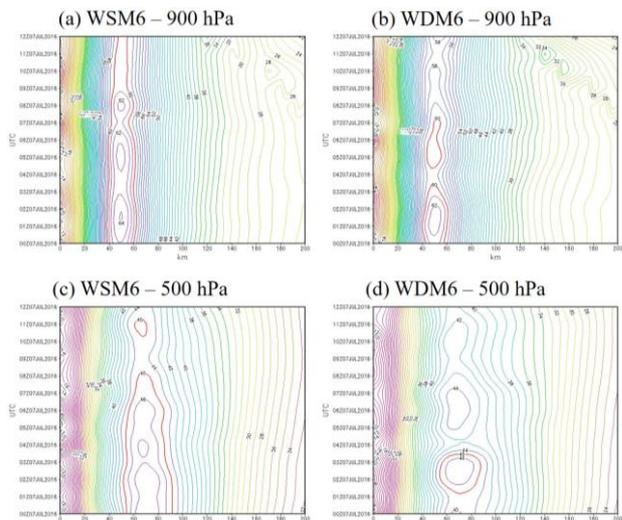


圖15 各成員900 hPa及500 hPa方位角平均風速圖。

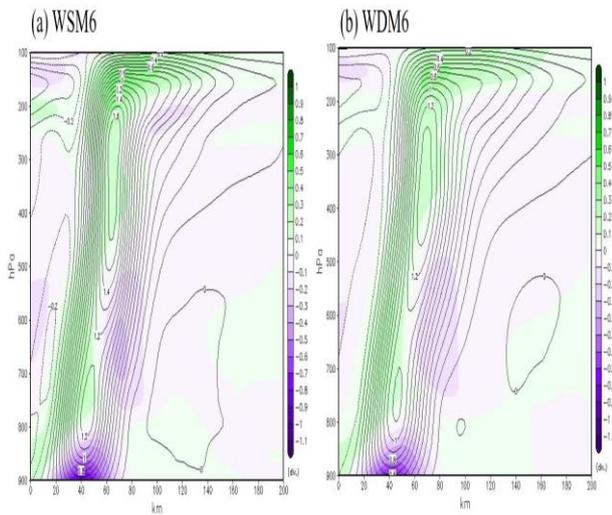


圖 16 各成員方位角平均垂直剖面輻合輻散圖。色階為輻散場，黑實線為上升運動，黑虛線為下沉運動。

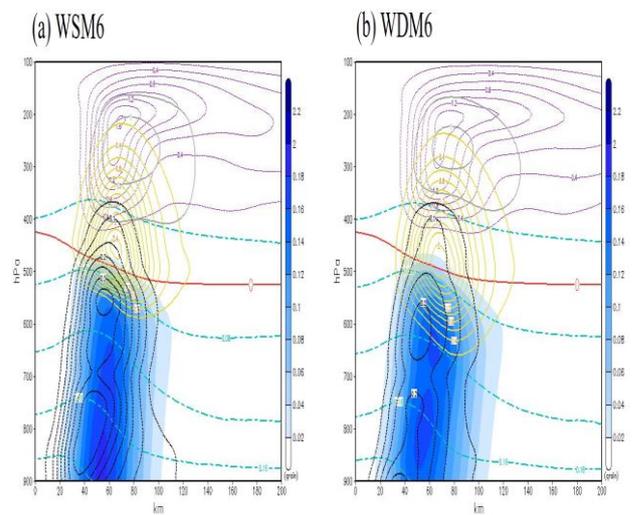


圖 17 各成員方位角平均垂直剖面水象粒子混合比。色階為雨水混合比；藍色虛線為水氣混合比；黑色虛線為雲水混合比；紫色虛線為雲冰混合比；灰色實線為雪混合比；黃色實線為軟雹混合比；紅色實線為零度線。

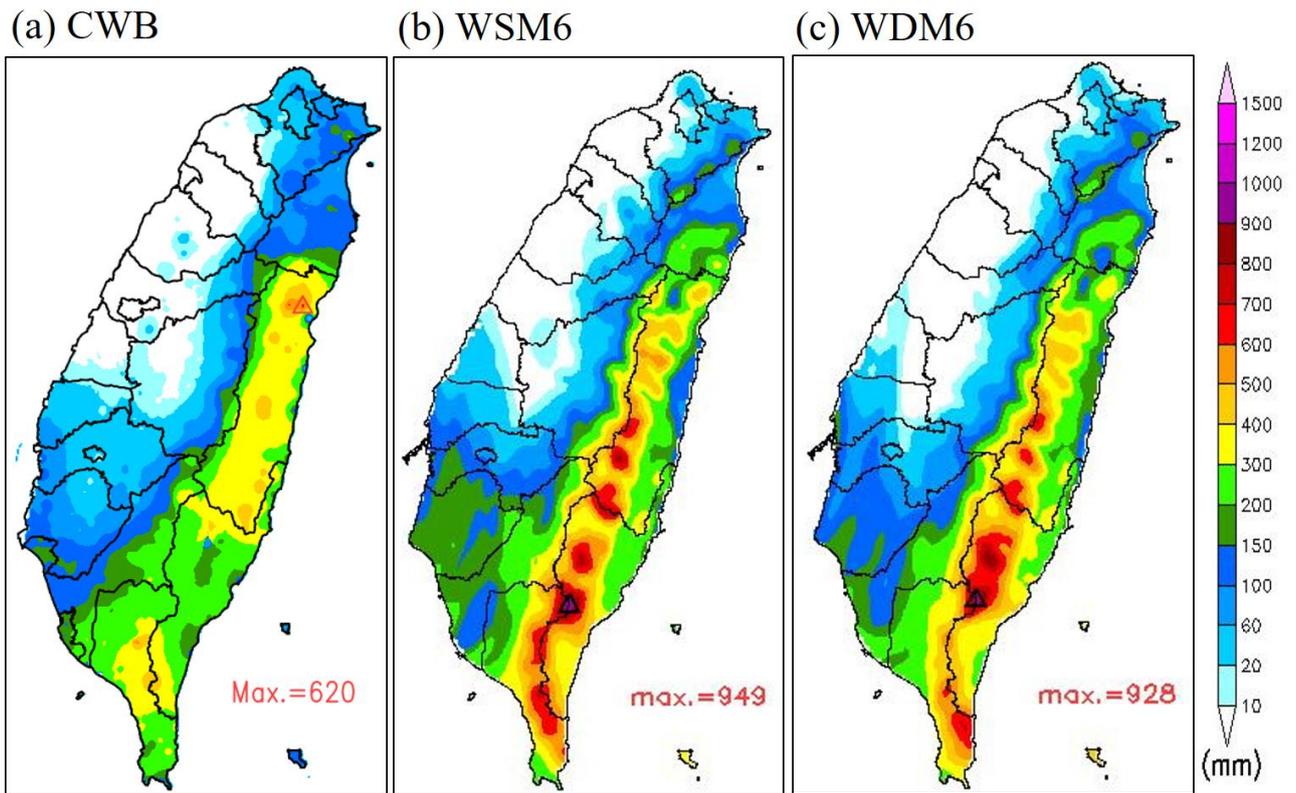
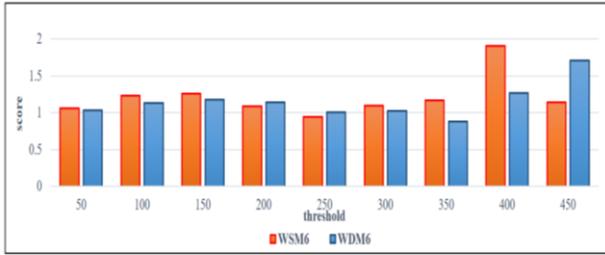


圖 18 CWB及各成員雨量圖，三角型為最大累積雨量位置。

(a) Bias Score



(b) Equitable Threat Score

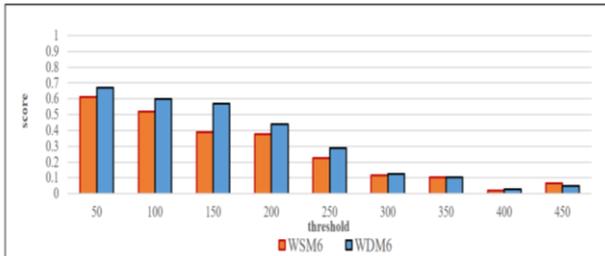
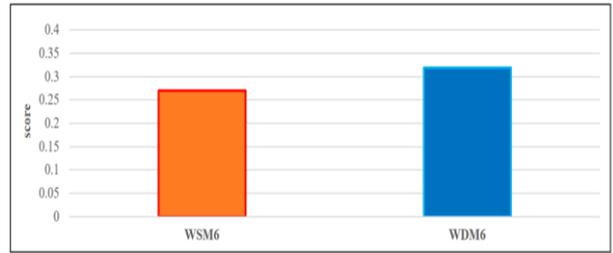


圖19 各成員BS及ETS得分。

(a) average ETS



(b) RMSE

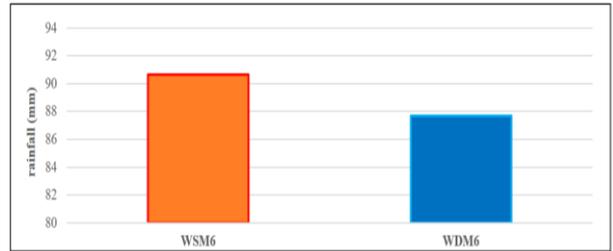
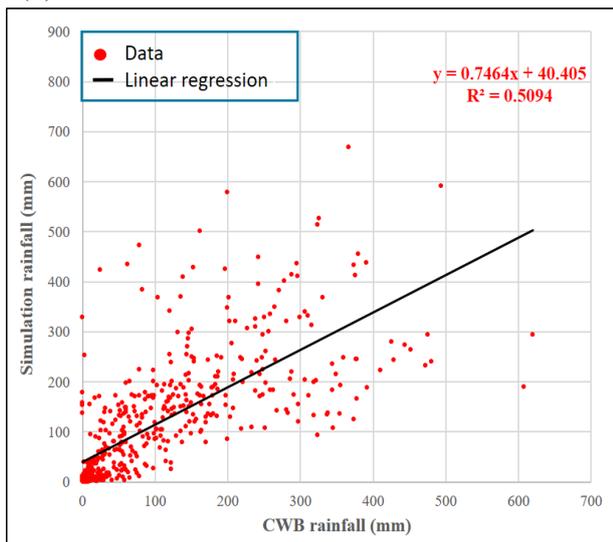


圖20 各成員平均ETS得分及RMSE。

(a) WSM6



(b) WDM6

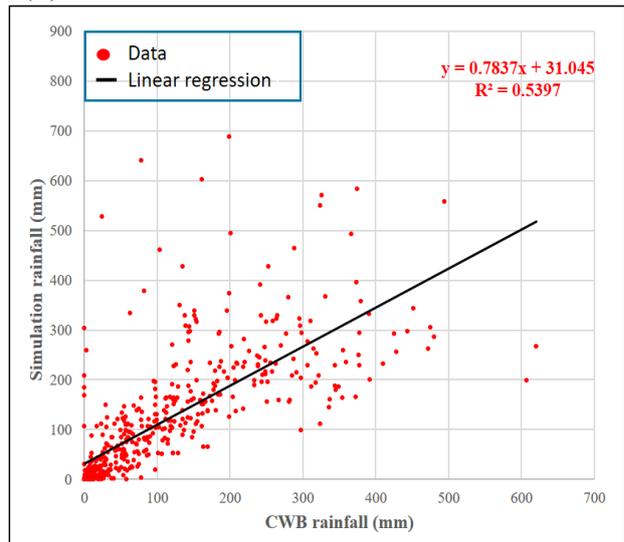


圖21 各成員雨量模擬與觀測值之線性迴歸相關係數。

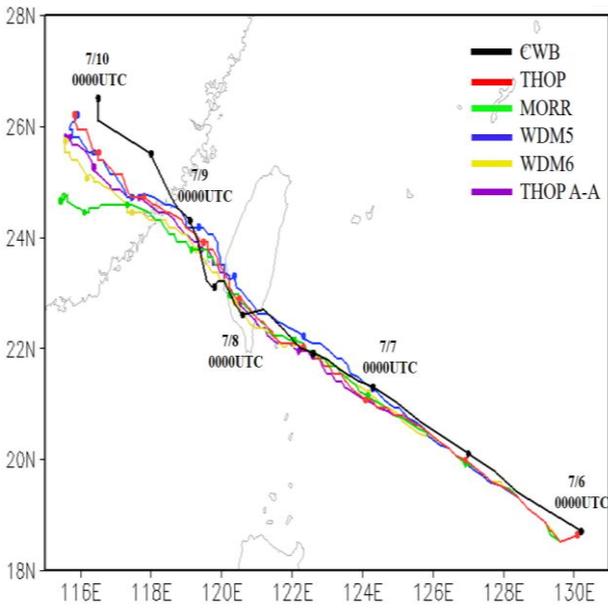


圖22 CWB及各成員路徑圖。

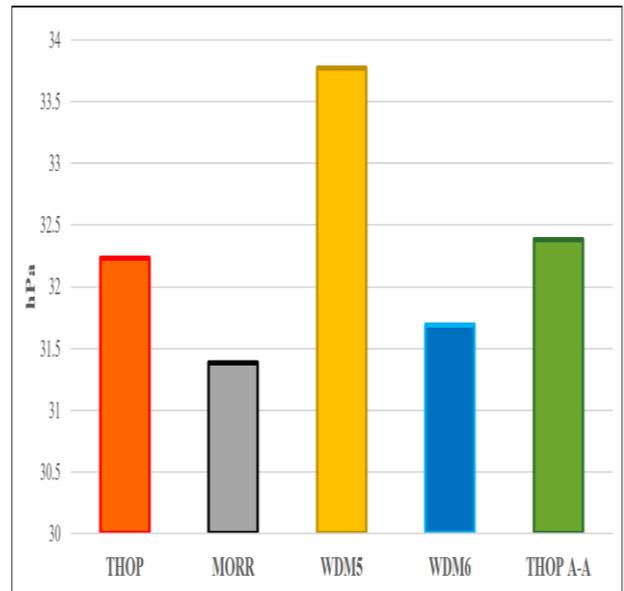


圖24 各成員最低氣壓平均差異。

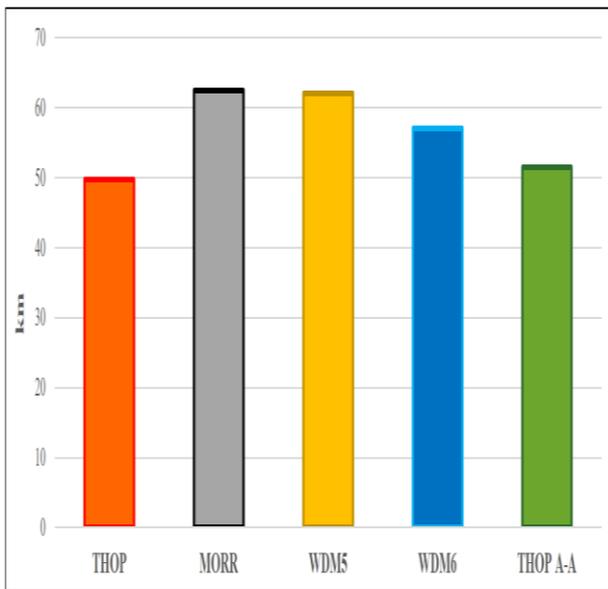


圖23 各成員路徑平均誤差。

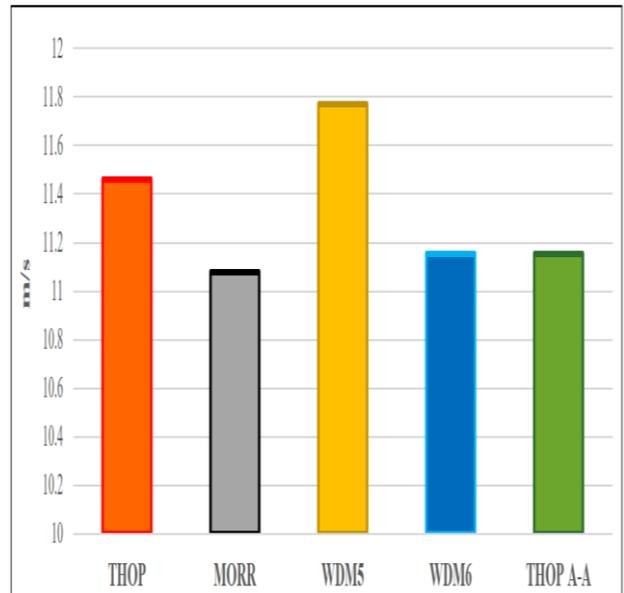


圖25 各成員最大風速平均差異。

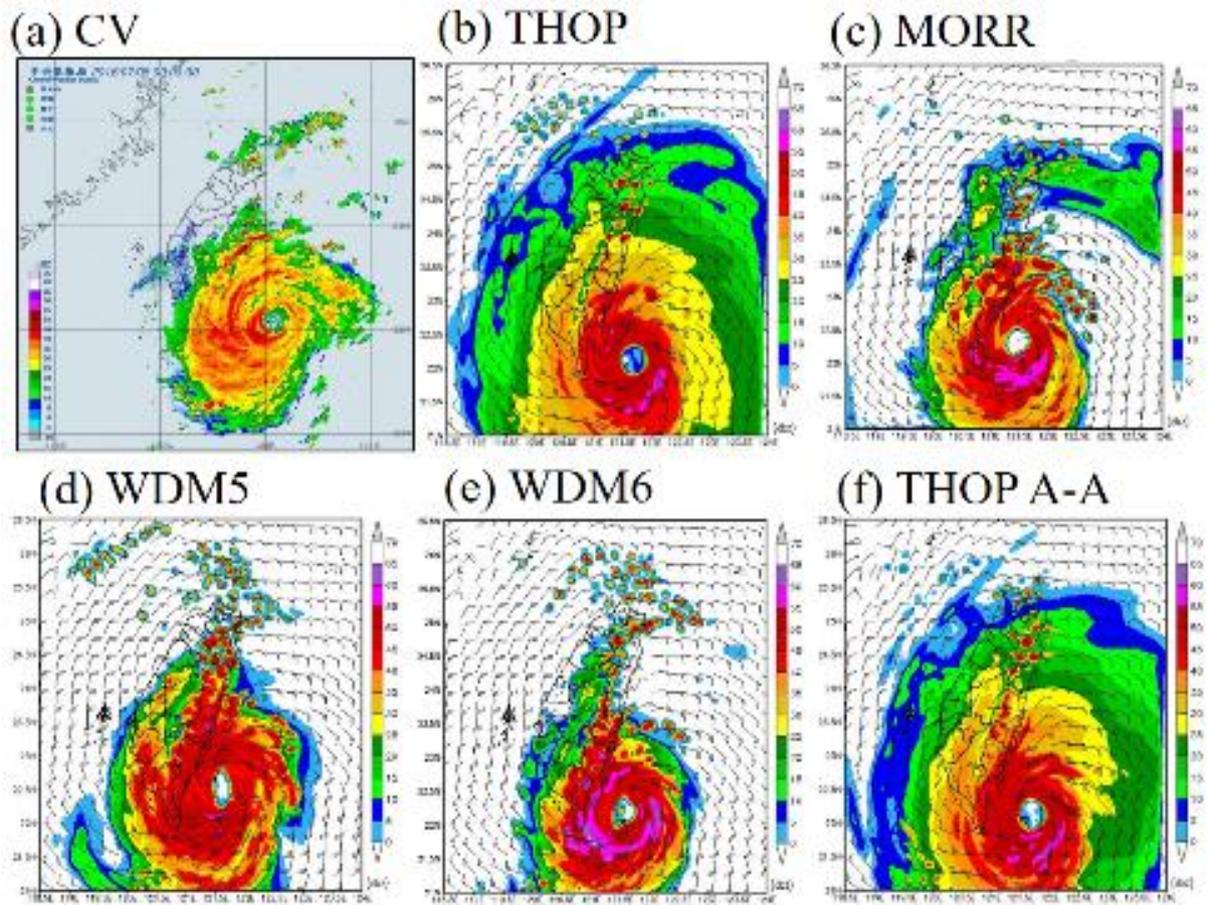


圖26 各成員觀測及模擬回波圖（7月7日1600 UTC）。

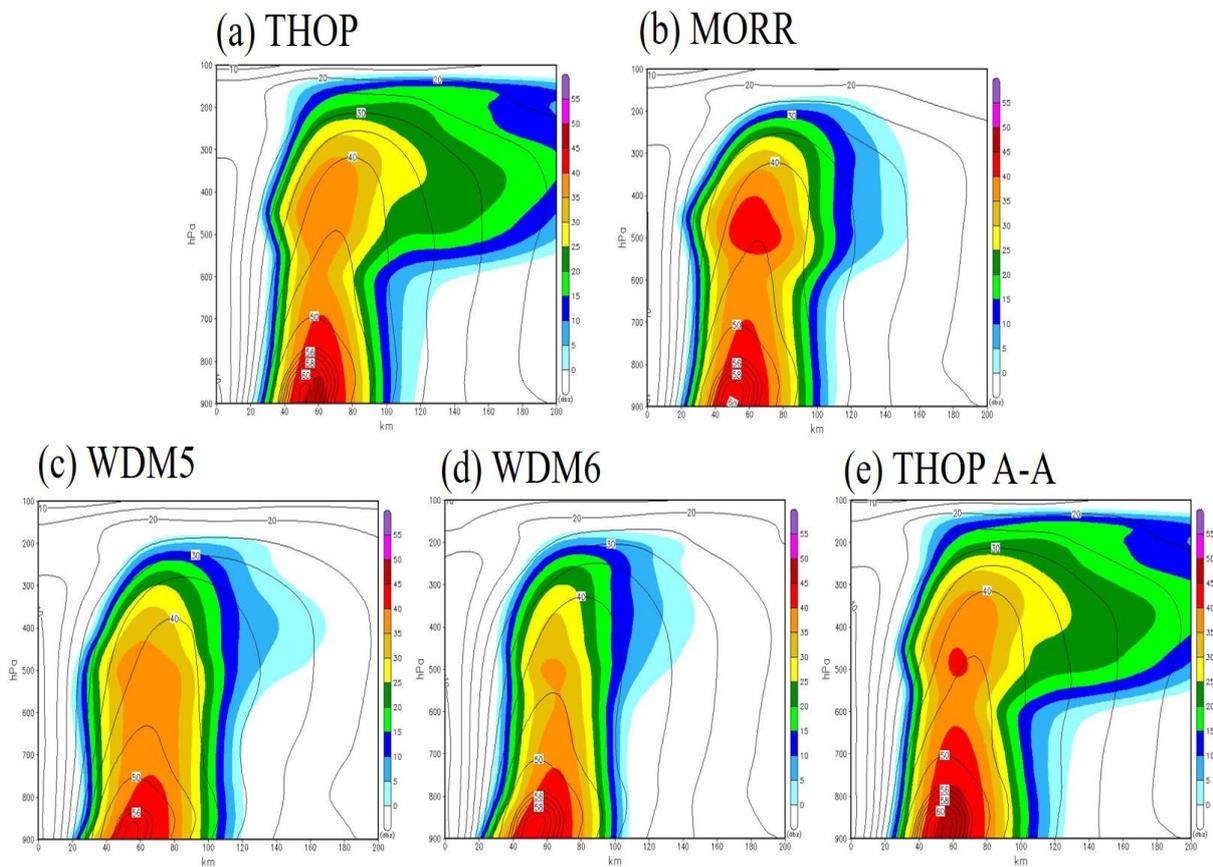


圖27 各成員方位角平均垂直剖面回波圖。

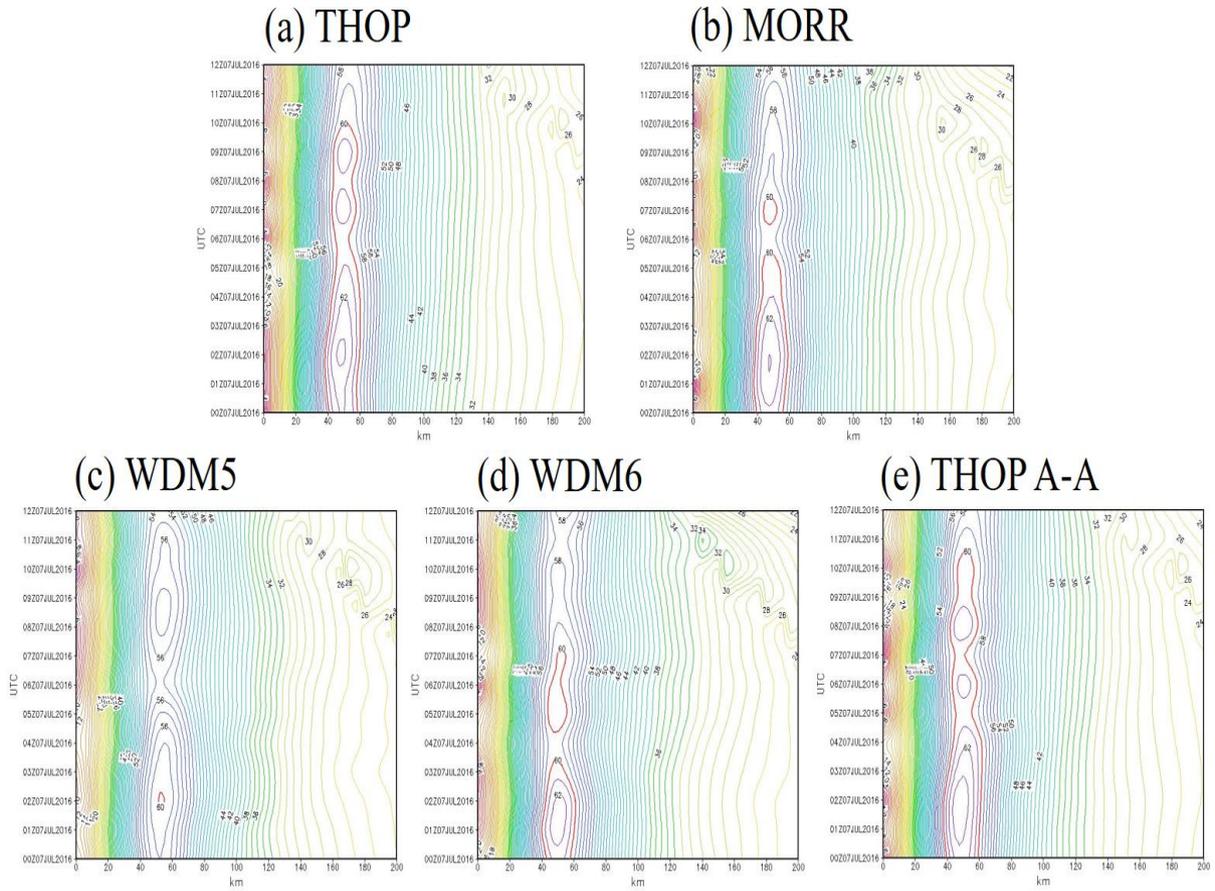


圖28 各成員900 hPa方位角平均風速圖。

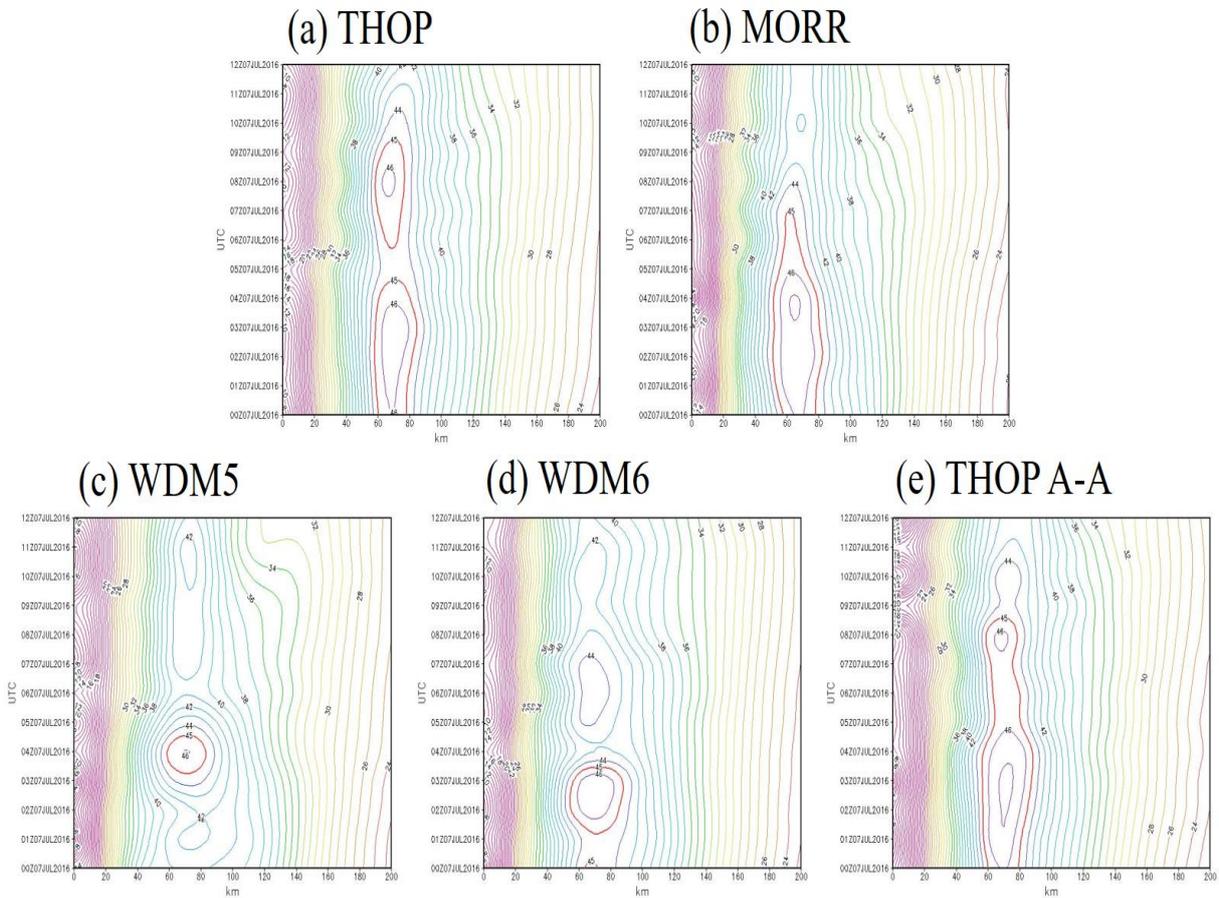


圖29 各成員500 hPa方位角平均風速圖。

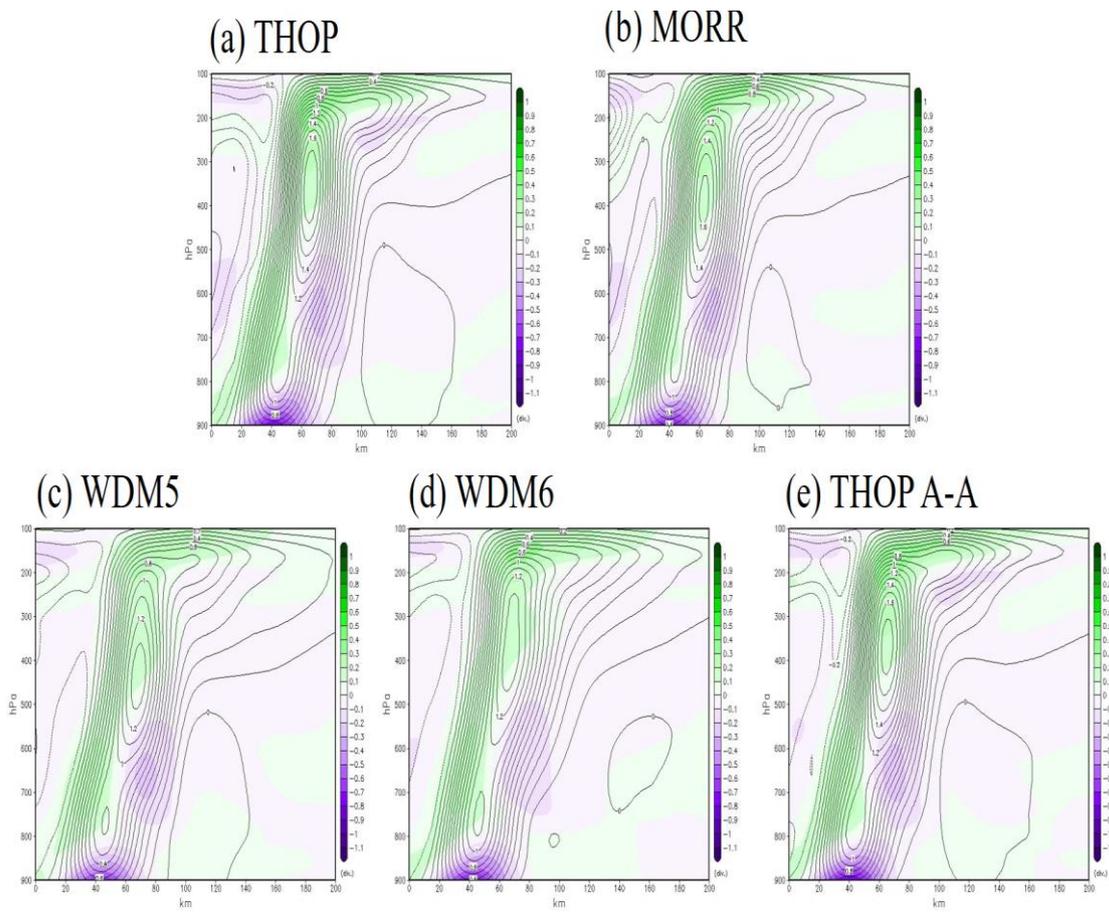


圖30 各成員方位角平均垂直輻合輻散圖。

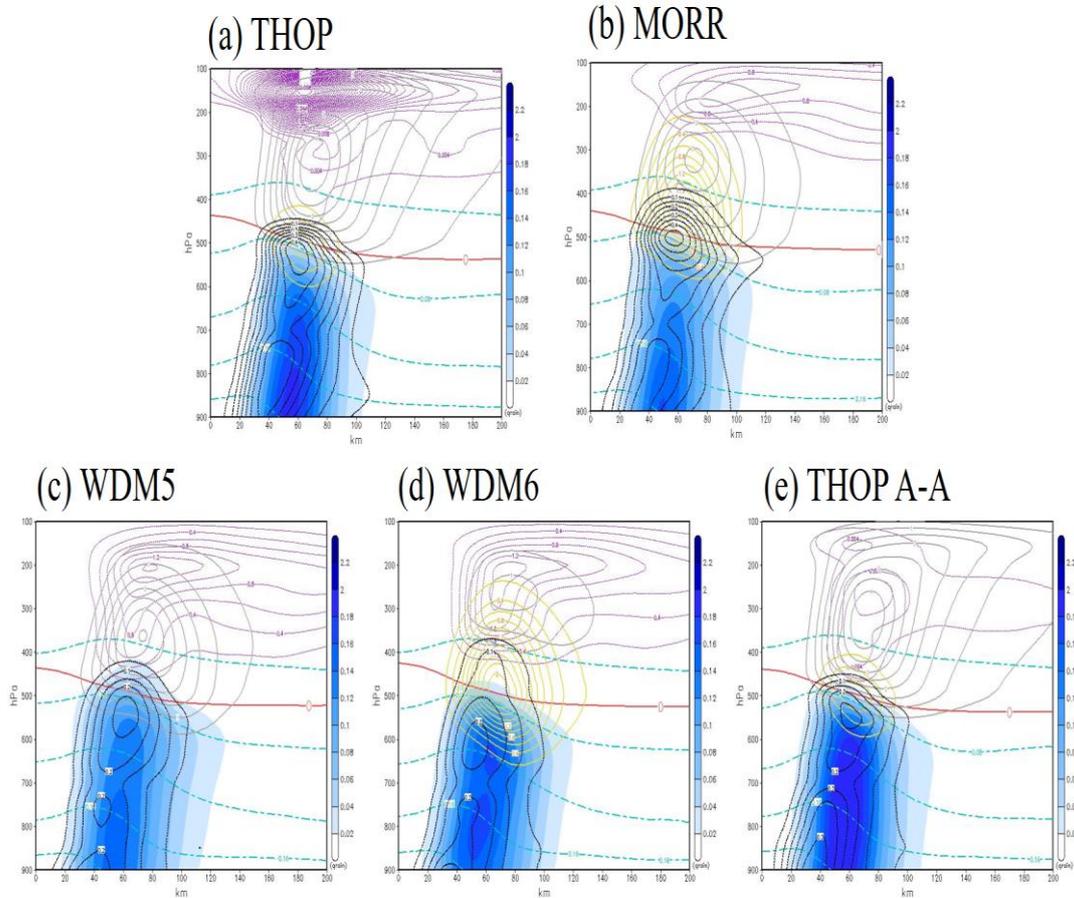


圖31 同圖17，各成員方位角之平均垂直水象粒子。

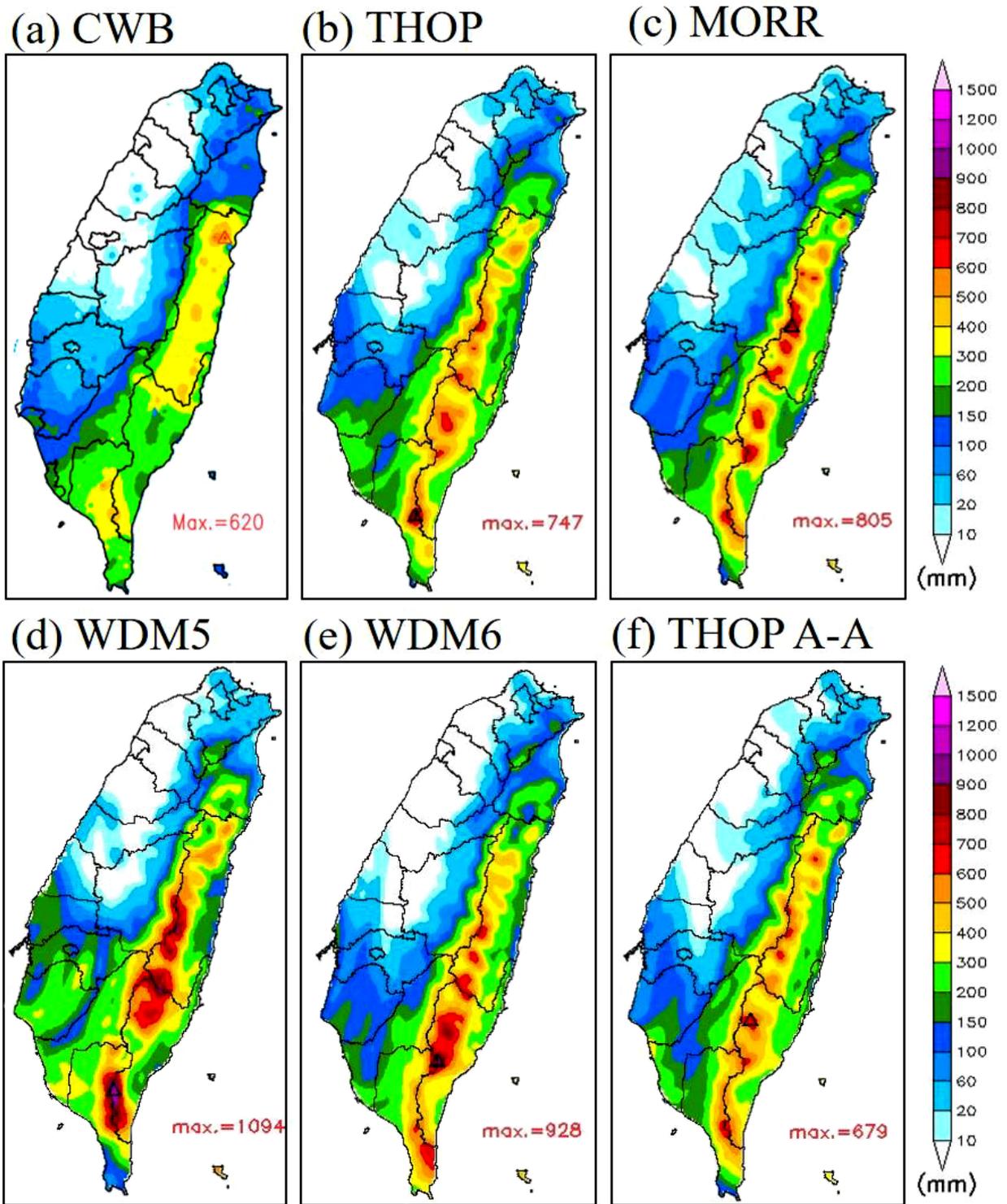
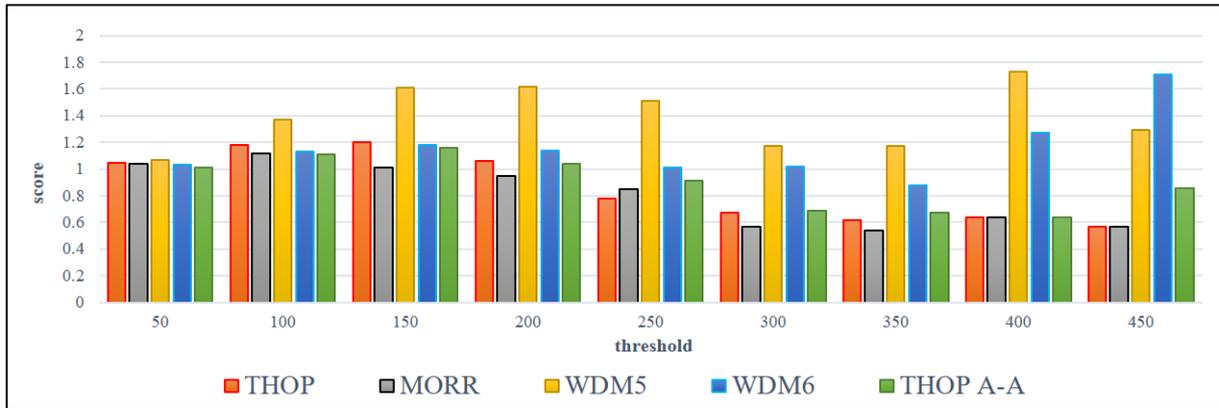


圖32 CWB及各成員雨量圖，三角型為最大累積雨量位置。

(a) Bias Score



(b) Equitable Threat Score

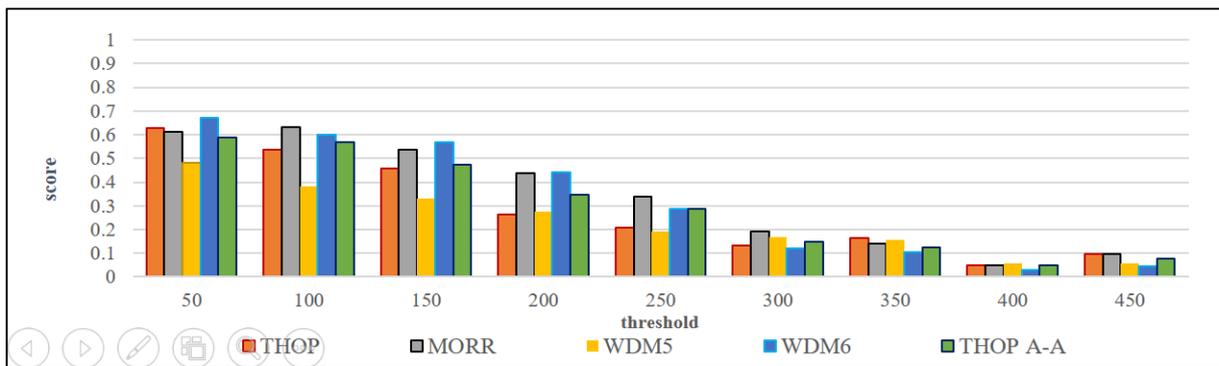
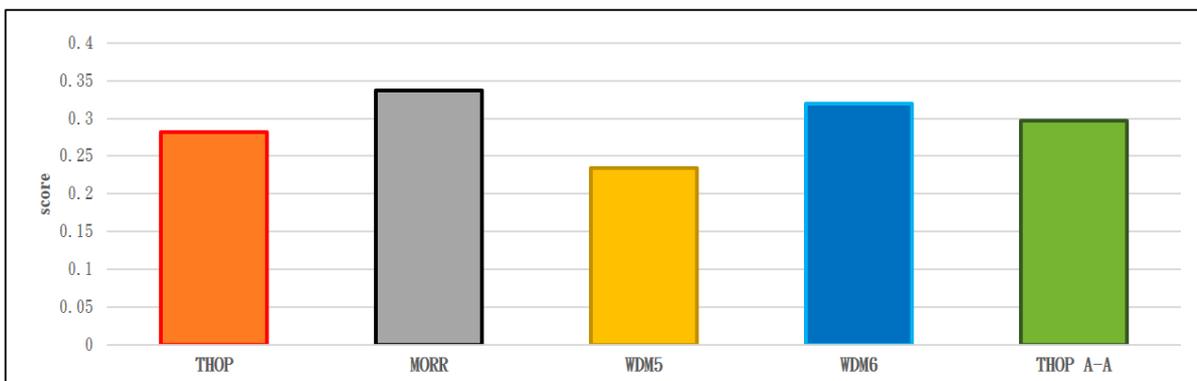


圖33 各成員BS及ETS得分。

(a) average ETS



(b) RMSE

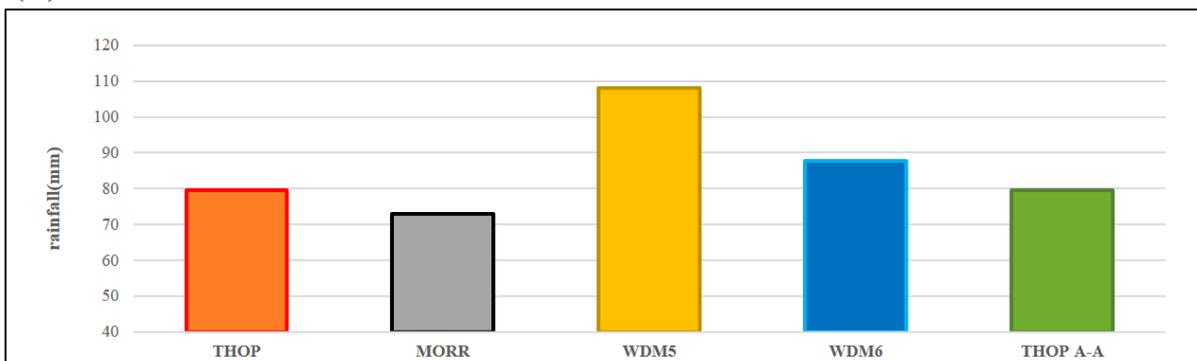


圖34 各成員平均ETS得分及RMSE。

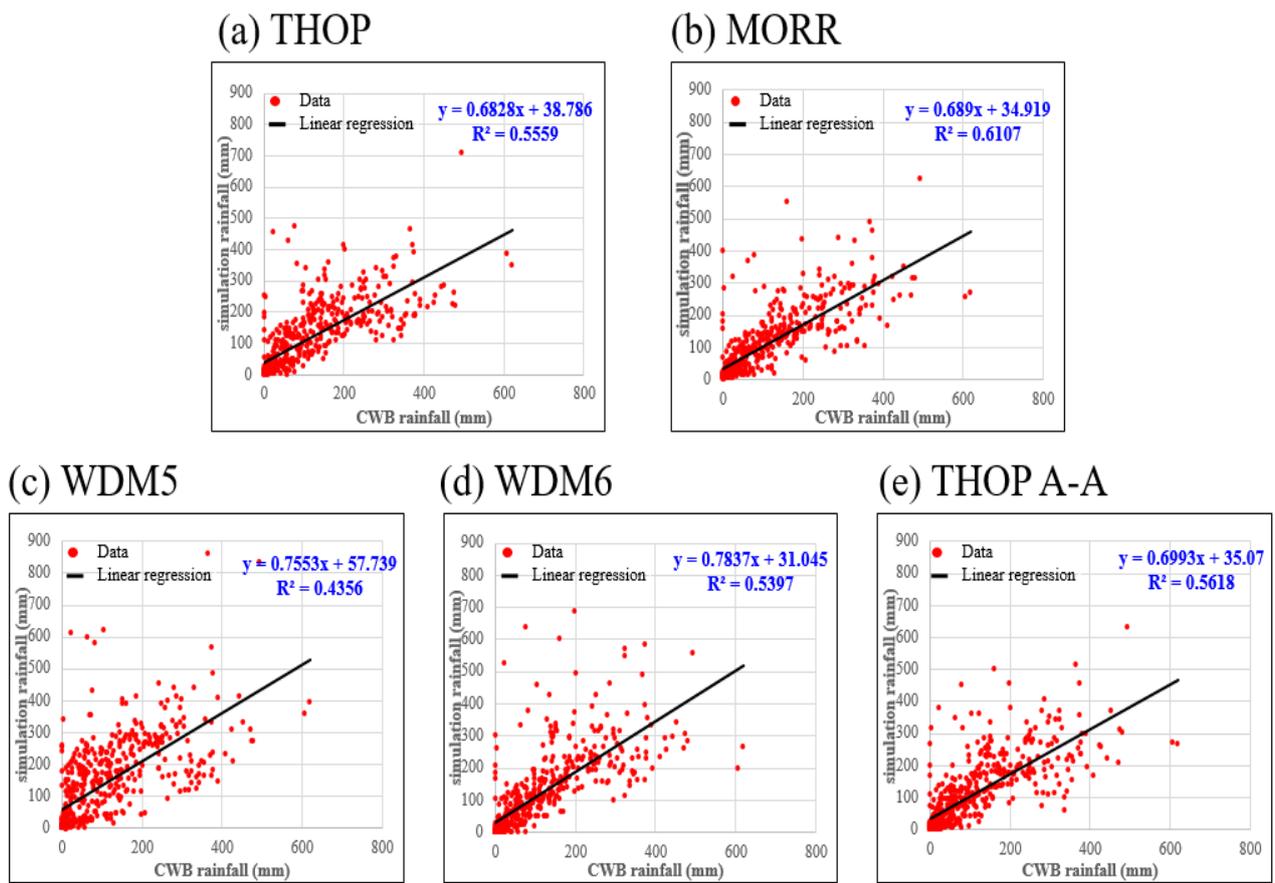


圖35 各成員雨量模擬與觀測值之線性迴歸相關係數。

Qualitative Statistical Characteristics for Rainfall of Typhoons Affecting Taiwan along the 4th Track and Simulations of Typhoon Nepartak (2016)

Jheng-Kai Chen^{1,2} and Jian-Liang Wang²

¹The Weather Wing R.O.C.A.F.

²Department of Environmental Information and Engineering, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University, Taiwan

Abstract

First, this study examines the quantitative and qualitative statistical rainfall characteristics by stages for typhoons affecting Taiwan along the 4th track in the past 20 years. It is shown that the accumulated rainfall pattern varies with respect to the relative locations of typhoon centers and the eastern regions, Kaohsiung, and Pingtung are areas where accumulated rainfalls are significant. The WRF model is then used to simulate Typhoon Nepartak (2016) to compare the effects of six MPs on the track, intensity and rainfall of the typhoon. These six MPs include one single-moment scheme [WRF Single-Moment 6-class scheme (WSM6)] and five double-moment schemes [WRF Double-Moment 6-class (WDM6), WRF Double-Moment 5-class, Morrison, Thompson and Thompson aerosol-aware schemes]. The comparison has two folds: (1) between single- and double-moment schemes (WSM6 and WDM6); (2) among the other five double-moment schemes. It is shown there is no obvious difference in the track and intensity of typhoon among simulations using different MPs, but the associated rainfalls have statistically significant difference. WDM6 scheme reveals a better performance on rainfall simulation for the comparison between single- and double-moment MPs. Morrison scheme results in the best similarity of rainfall to observations for the comparison of the 5 double-moment MPs. The details of the simulated vertical structures of radar reflectivities, wind velocities, dynamic processes, and the distribution of hydrometeors have been further analyzed and compared among different MPs.

Keywords: 4th-track typhoon, WRF, Single- and Double-Moment Microphysics Scheme