

颱風路徑與侵臺風雨預報技術改進 2012 年研究成果

葉天降¹ 李清勝² 楊明仁³ 張保亮¹

簡國基¹ 洪景山¹ 鳳 雷⁴ 陳建河¹

¹中央氣象局 ²國立臺灣大學

³國立中央大學 ⁴台灣颱風洪水研究中心

摘 要

「颱風路徑與侵臺風雨預報技術發展」為國家科學委員會支助，由 2010 年 8 月起為期 3 年，以提升颱風路徑與風雨預報作業能力為目標之一整合型研究計畫，研究之進行包含「侵臺颱風環島雙都卜勒雷達風場合成分析之研究與作業化」、「侵臺颱風風雨及內核結構演變之中尺度模擬與分析」、「利用淺水方程模式探討臺灣地形對颱風路徑影響及改進颱風風力預報」、「改進區域數值天氣預報系統以提升臺灣地區颱風豪雨預報研究」、「系集預報系統對颱風路徑與臺灣地區定量降水預報之研究」、「颱風結構及與環境交互作用之影響」、「侵臺颱風發生西南部山區豪雨之觀測指標建立研究」、「異常結構之侵臺颱風的結構特徵與辨識法則」等 8 部分。

研究至 2012 年中主要成果，在作業應用方面，建立以上游風速估計臺灣西南部山區颱風降雨規模的預報方法，完成雙都卜勒雷達反演風場作業系統測試，即時產出雙都卜勒風場，以供颱風結構等之研判預報應用，引用 new trigger Kain-Fritsch 積雲參數化法，發展於分析時加入 ECMWF 部分分析場方法，改進 TWRP 模式預報，與發展颱風初始渦旋擾動場方法以改善 WRF 颱風系集路徑預報。在地形對颱風影響等之認知上，分析與了解臺灣地區異常降雨颱風之異常降雨指數分布，了解在地形以外之區域，傳統的 β 效應顯得較為重要，而颱風中心在地形西側的形成主要是來自於地形 β 效應與相對渦度平流的貢獻，也了解線狀強對流是導致颱風眼牆結構改變與路徑打轉的重要物理機制，而非對稱加熱作用以及颱風平均風場作用項是此時位渦加強的主要貢獻項，同時由研究也得知颱風紮實程度影響颱風內部結構之穩定度。

關鍵詞：颱風、颱風風雨預報、颱風路徑預報、數值天氣預報、資料同化、雙都卜勒雷達反演分析、概念模式、系集預報

一、前言

2013 年海燕颱風(Haiyan)以有紀錄以來最強登陸颱風的威力，直掃菲律賓中南部地區，造成嚴重之災害。歷年來，颱風也在臺灣造成很大影響，近 50 年平均每年因颱風所導致之經濟損失，超過新臺幣 100 億元，主要因為颱風所伴隨之豪雨常導致山崩、土石流、河水暴漲與淹水。

在臺灣地區實務上可發現，許多颱風在登陸臺灣前數小時之路徑偏向相當複雜，如：2001 年桃芝(Toraji)颱風即將登陸臺灣前，運動路徑由西北突然轉向偏西，因而使颱風中心的登陸地點，較預期的地點偏向南邊約 50 公里。另如 2005 年海棠(Haitang)、2007 年柯羅莎(Krosa)與辛樂克(Sinlaku)等颱風，其中心在登陸臺灣前數小時，運動速度皆明顯減慢，運動路徑則由原本偏向西行突然轉向偏南，隨後中心在臺灣東岸近海以逆時鐘方向繞行一圈後才登陸，導致臺灣遭受強烈颱風風雨肆虐的時間足足增長 8~12 小時。由於臺灣地形之特殊，使得颱風移動與風雨分布之特殊性，需要進一步之分析研究，才能有效提升預報準確度。

國家科學委員會推動防災科技，在氣象領域也以提升颱風路徑與風雨預報為重點研究課題。於上一階段葉等(2013)曾就颱風路徑動力模式之改進、應用都卜勒雷達觀測資料發展颱風伴隨強風即時分析和顯示之作業化技術、颱風降雨氣候模式的校驗、改進與整體風雨預報技術之落實等方

面進行研發，完成都卜勒雷達風場反演之作業化、氣象局全球數值模式於颱風路徑預報之改進、WRF 模式土壤過程之改進、TWRF 模式之作業應用、颱風定量降雨預報技術之改進等。為進一步滿足防災之需求，國家科學委員會進一步規劃，利用遙測等先進監測技術提升颱風與梅雨豪雨系統之觀測與診斷分析能力、發展雨量即時預報技術、易受災地區之梅雨季定量降雨預報技術的建立與改進、颱風路徑、強度與暴風半徑預報技術之研究與改進、颱風極端降雨與中尺度降雨整合預報技術之發展與應用等項，為 2010 至 2013 年之重點研究項目，「颱風路徑與侵臺風雨預報技術發展」乃依據上述規劃所進行之一整合性研究，期提升颱風 0-72 小時颱風路徑預報與 0~36 小時颱風伴隨風雨之中尺度預報技術，支援災害預警與應變的需求。

研究包含侵臺颱風環島雙都卜勒雷達風場合成分析之研究與作業化、侵臺颱風風雨及內核結構演變之中尺度模擬與分析、利用淺水方程模式探討臺灣地形對颱風路徑影響及改進颱風風力預報、改進區域數值天氣預報系統以提升臺灣地區颱風豪雨預報研究、系集預報系統對颱風路徑與臺灣地區定量降水預報之研究、颱風結構及與環境交互作用之影響、侵臺颱風發生西南部山區豪雨之觀測指標建立研究、異常結構之侵臺颱風的結構特徵與辨識法則等 8 子項，於後進一步說明各子項於 2010 年 8 月起至 2012 年 7 月之研究成果。

二、研究進行與主要成果

「侵臺颱風環島雙都卜勒雷達風場合成分析之研究與作業化」方面，張(2012)研究利用中央氣象局都卜勒雷達與空軍雙偏極化雷達資料，透過雙都卜勒雷達合成方法進行颱風反演風場之應用分析。都卜勒雷達風場合成之雷達包含：五分山-花蓮、五分山-清泉崗、七股-清泉崗、七股-墾丁、七股-馬公、清泉崗-馬公及墾丁-花蓮等 7 組，有關合成方法過去張(2010)已建立並顯示反演風場與那國島之觀測有高相關性，利用雷達反演之高空風場進行近地表的風力推估，在作業上有其可行性。由於雙都卜勒合成風場及其整合過程計算量相當龐大，其相關延伸產品的開發，均需進行作業化的前期規劃與設計，以確保現行作業系統能提供穩定的風場分析資訊。研究進行 2010 年的上線測試發現，中央氣象局劇烈天氣監測系統(QPESUMS)相關運算主機，能即時產生每 10 分鐘更新之雙都卜勒風場分析產品，同時傳送至政府單位的 QPESUMS 系統，提供防、救災決策判斷使用。由 2010 年颱風萊羅克(Lionrock)、莫蘭蒂(Meranti)、凡那比(Fanapi)、2011 年南瑪都(Nanmadol)，以及 2012 年蘇拉(Saola)等颱風的作業測試顯示，雙都卜勒風場合成分析提供颱風近中心、外圍雨帶區域的環流特性，亦可提供颱風中心位置、強度與暴風範圍的變化趨勢等有用資訊。測試同時也發現，當颱風強度超過都卜勒雷達折錯速度以上時，如反折錯程序處理失敗，將產生明顯不合理之風場。由於雙都

卜勒雷達合成風場作業化，徑向速度場的品質控制為一項相當重要的資料處理過程。未來可進一步應用 Rankine 渦旋的假設，將颱風中心定位資訊與颱風都卜勒速度反折處理程序進行整合，以進一步提升都卜勒速度場反折錯處理的成功率。

張(2012)進一步透過不同高度的反演風場整合，提供臺灣本島及鄰近海域大範圍的風場資訊，此大範圍的反演風場，除可應用於主觀的中心定位分析外，亦可發展環流中心的自動定位技術，在作業上有很好的參考價值，特別是在颱風登陸階段。颱風徑向風力分析除了提供最大風速半徑與環流強度外，亦可提供暴風範圍的大小，透過時間變化的分析，有助於對颱風環流強度演變趨勢的掌握，進而改善短時間的颱風風雨預報。圖 1 為凡那比颱風登陸前(9 月 18 日 2200 UTC)之徑向剖面風速分析，由圖可見，在颱風登陸前，最大風速半徑約位於半徑 30–40 km，最大平均風速值接近 60 m/s。在半徑小於 80 km，不同高度之風速平均差值大致皆大於 10 m/s，半徑大於 80 km 則差異較大，可達 20 m/s 以上。圖 2 為凡那比颱風登陸前至出海階段高度 4 公里相對於颱風中心之風速分布圖，圖中可見登陸前最大風速半徑約 40 km，最大平均風速約 55 m/s，在登陸時(9 月 19 日 0000 UTC) 最大風速半徑已縮至約 30 km，最大平均風速降至約 40 m/s。颱風登陸後，最大風速半徑並不易訂定，半徑 80 km 以內之風速值明顯減弱，半徑 80 km 以外之風速明顯較近中心區域

為強，但最大風速值並不強，約介於 20 至 25 m/s。颱風出海(9 月 19 日 1030 UTC)後，最大風速半徑出現在半徑約 120 至 130 km 附近，最大平均風速值約 35 m/s，且最大風速半徑隨時間有些微減弱的趨勢。此分析結果顯示，颱風登陸前環流結構相當完整，具有開放洋面上的特徵，颱風登陸後，近中心環流強度快速減弱，外圍環流部分的變化相對較為緩和，颱風出海後，環流開始重整，最大平均風速開始增強，但最大風速半徑明顯較登陸前為大。未來研究將持續進行颱風環流中心之自動化定位技術的發展，並進行颱風徑向與垂直風力剖面分析，同時透過高空與地表風力經驗公式的建立，將雙都卜勒風場的反演結果應用於海面與地面風力的推估，藉以提供颱風風雨預報作業與數值模式資料同化更多的風場參考資訊。

「侵臺颱風風雨及內核結構演變之中尺度模擬與分析」方面，藉由中尺度模式 WRF 模擬與分析，探討海棠颱風登陸臺灣前之眼牆深對流結構演變，不對稱結構發展，及其對颱風路徑之影響，結果顯示，線狀強對流是導致颱風眼牆結構改變與路徑打轉的重要物理機制之一。過去 Jian and Wu (2008) 的研究結果發現，峽管效應所引發之北風低層噴流造成海棠颱風登陸臺灣前路徑發生大幅向南偏向，而當颱風更靠近臺灣時，由於地形摩擦作用，北風噴流的強度迅速減弱，眼牆不對稱強風速區轉而在颱風眼牆的東南象限與東側象限。

簡(2012)分析結果發現，當海棠颱風逐漸進入臺灣東部近海時，颱風南側因為動力輻合導致垂直上升運動逐漸加強，該強上升運動區由原先的線狀分布逐漸被併入颱風眼牆的東側及東南側象限，導致颱風眼牆區的位渦場分布由原來接近圓形逐漸轉變成為橢圓形(圖 3)，低層水平輻合促進線狀強對流在眼牆南側發展，併入颱風眼牆東南象限與東側象限的過程中，伴隨有正位渦擾動量變率之相對極大值區，且此不對稱高位渦區亦伴隨局部強風速，因此形成不對稱強風速區。另外，線狀強對流完全併入眼牆東側(約發生於積分時間 30~31 小時)後約 2~3 小時，颱風內核中心逐漸開始轉向北移行，此運動北轉為海棠颱風內核完成逆時針打轉路徑的關鍵過程，未來將進一步研究眼牆東側之強位渦發展與海棠運動轉向北移行是否有顯著關聯，同時亦將探討其中的動力機制。

簡(2012)以雷達觀測與數值模擬結果亦顯示，颱風眼牆合併線狀強對流僅需約 2~3 小時，合併過程中眼牆對流與颱風強度均會短暫增強，此增強的過程在趨勢上是呈現振盪且強度漸漸加強之型態(圖 4)，此現象與 Montgomery and Enagonio (1998) 所提渦旋羅士培波可促使颱風內核強度增強的研究結果有相似之處。而透過位渦擾動量收支分析顯示，非對稱加熱作用下之位渦通量項，是線狀強對流伴隨局部位渦增強的主要貢獻項。由歷史颱風資料發現，颱風登陸臺灣東岸前，常可觀測

到類似上述之低對流層線狀強對流，海棠颱風個案很可能是因為侵臺時移動速度較慢，所以有較長的時間與眼牆進行交互作用，導致眼牆結構改變，簡(2012)推論移速過快的颱風不易出現內核打轉的現象，至於定量上的物理分析則有待進一步探討。

「利用淺水方程模式探討臺灣地形對颱風路徑影響及改進颱風風力預報」方面，係利用全球淺水方程波譜模式，探討不同垂直層平均氣流對於颱風路徑的影響，與探討不同的颱風結構對於其路徑預報的敏感性。模式的水平解析度為 T319(約

37 公里)，不同垂直層平均的氣流係以中央氣象局全球預報模式 T319L40 的 16 等壓面分析風場進行不同垂直層的平均，例如以 850、700、500、400、300 hPa 等 5 層組合而測試 31 種組合(見葉等，2012)。對 2010 年凡納比颱風的模擬，圖 5 顯示，各種不同層的平均流場，其颱風路徑的擴散程度相當大，這表示各平均流場可能存在差異性，但從不同的颱風個案顯示系集路徑預報的擴散程度不同，有的散度大，有的散度小，這也似乎顯示大尺度環境流場的多變及複雜性。

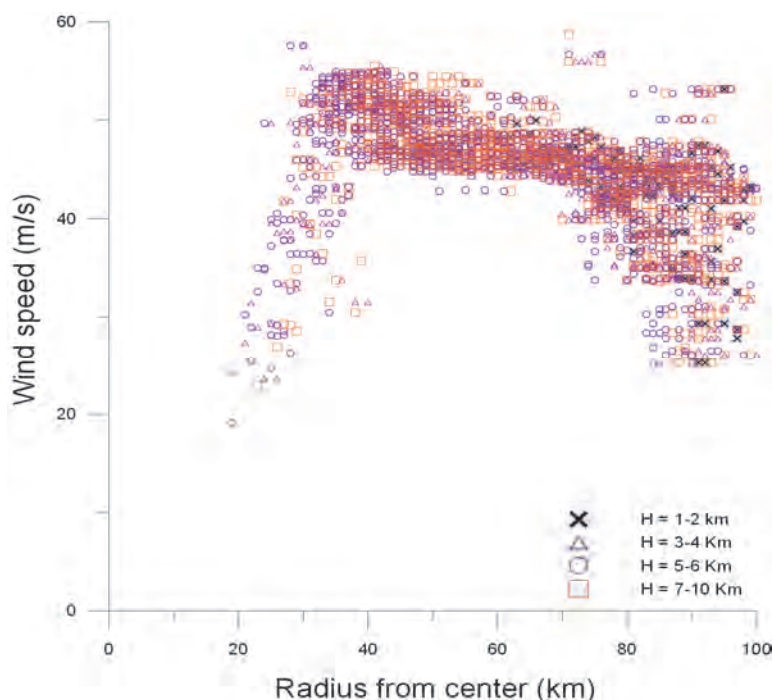


圖 1. 凡那比颱風登陸前(9 月 18 日 2200 UTC)於不同高度(見圖右下側說明)之風速隨半徑(橫軸)之分布。

Figure 1: 2200 UTC September 18 2010 radar retrieved wind speeds (m/s) on different heights (symbols in lower-right) and at different distances from center of Typhoon Fanapi (horizontal axis).

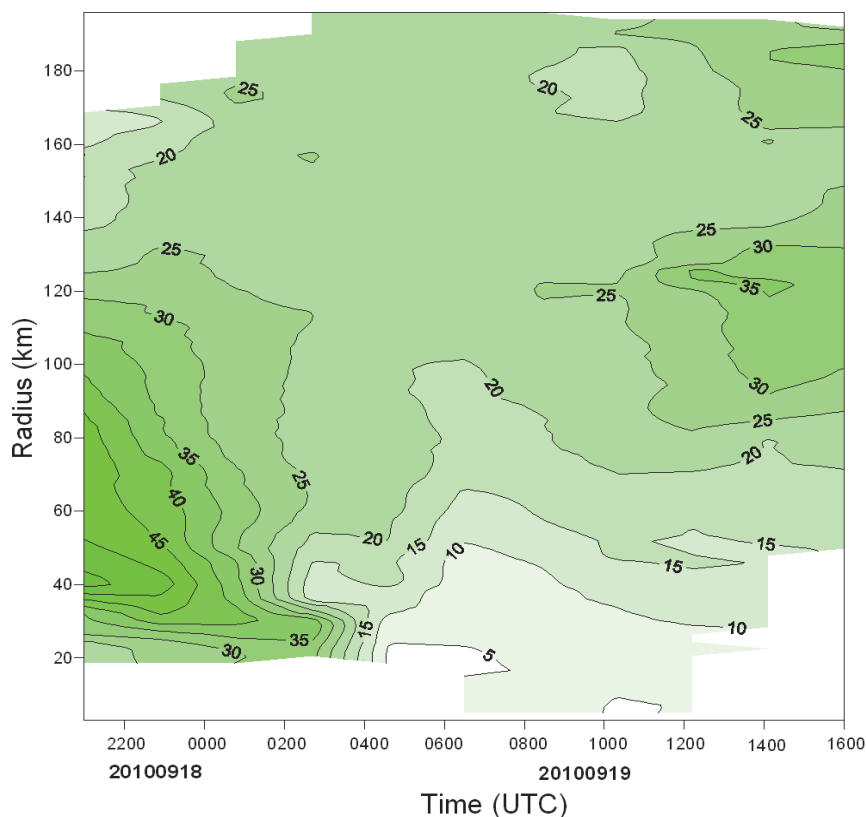


圖 2. 凡那比颱風登陸前至出海階段(橫軸)於高度 4 公里相對於颱風中心(縱軸)之風速 (m/s)演變。

Figure 2: Time evolution of the wind speeds (m/s) on 4 km height at a cross section from center of Typhoon Fanapi to a distance 200 km away from the center.

不同的颱風結構，則以 Rankine vortex $V(r)=V_m(\frac{r}{r_m})\exp\{\frac{1}{b}[1-(\frac{r}{r_m})^b]\}$ ，變動式中 V_m (近中心最大風速)， r_m (近中心最大風速半徑)， b (外圍風速曲率)，所得到的颱風結構參數，共得 75 種實驗組合進行模擬測試。以 2010 年 10 月 16 日 12UTC 梅姬(Megi) 颱風模擬路徑結果如圖 6，圖中三角形標示路徑為使用 $V_m=40\text{m/s}$ 、 $R_m=96\text{m}$ 、 $b=0.66$ 參數值的模擬路徑，此參數所得之渦旋類

似中央氣象局作業預報採用(Hsiao et al. 2010)之渦旋。圖 6 中雖然模擬的路徑與實際路徑差異很大，這是因所選擇的平均流場不足以代表颱風移動速度所導致，值得注意的是，圖中顯示不同颱風結構的路徑擴散程度相當的大，這在所有其他的個案實驗均顯示相同的結果，顯見颱風結構的不同，確實會影響颱風的路徑預報。

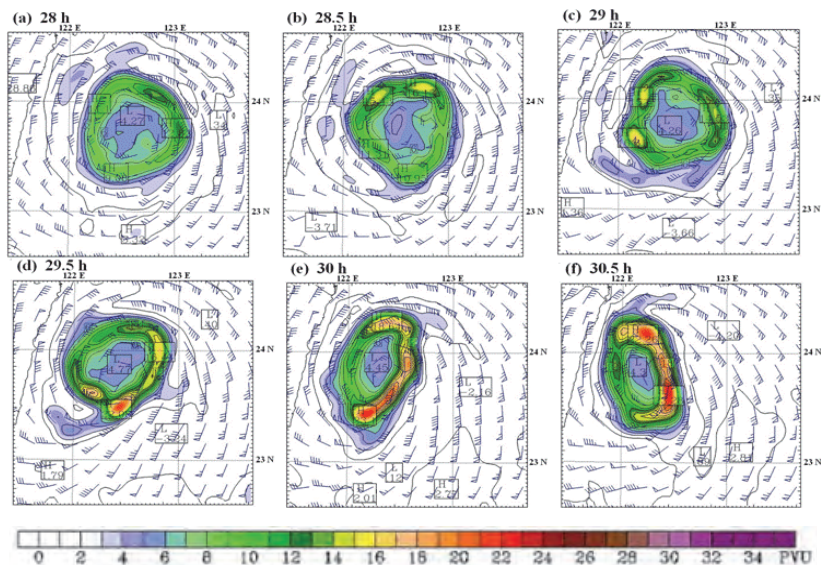


圖 3. 海棠颱風 WRF 模擬 900 hPa 水平風場與位渦場(標尺單位 $1 \text{ PVU} = 1 \times 10^{-6} \text{ K kg}^{-1} \text{ ms}^{-1}$)分布，積分時間分別在 (a) 28、(b) 28.5、(c) 29、(d) 29.5、(e) 30 及(f) 30.5 小時。

Figure 3: The horizontal wind (bars) and the potential vorticity (scale shown in lower panel, in units $\text{PVU} = 1 \times 10^{-6} \text{ K kg}^{-1} \text{ ms}^{-1}$) on 900 hPa for Typhoon Haitang (2005) at (a) 28, (b) 28.5, (c) 29, (d) 29.5, (e) 30, and (f) 30.5 hours of WRF model simulation.

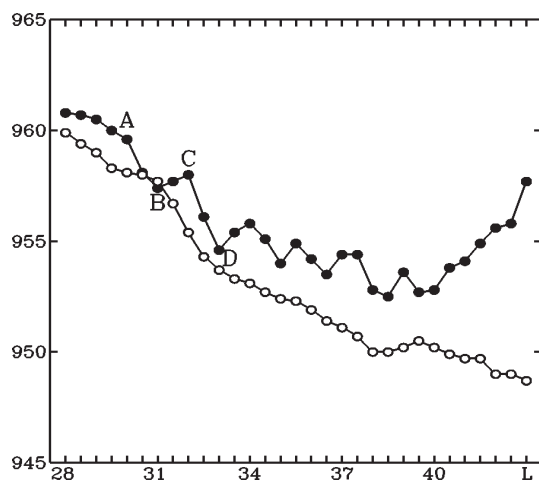


圖 4. 海棠颱風登陸臺灣前，數值模擬之最低海平面氣壓(縱軸、hPa)時間序列圖，圖中實心圓及空心圓線段分別為控制組實驗與無臺灣地形組實驗之模擬結果。A、B、C 與 D 點分別為模式積分 30、31、32 與 33 小時。

Figure 4: The simulated minimum sea level pressure (vertical axis, in hPa) before Typhoon Haitang (2005) made landfall (landfall time, in model integration hours, marked with L in horizontal axis) in Taiwan. Curves with dots and circles are results from simulations of with and without Taiwan terrain, respectively. A, B, C, and D mark the time at 30, 31, 32 and 33 hours, respectively, of model integration.

葉等(2012)以較高解析度正壓渦度方程全球預報模式(水平解析度為 T720, 格間距約 18.5 公里)探討颱風環流與地形之間的交互作用, 結果顯示, 當颱風西北方移動逐漸靠近臺灣地形東側時, 由於環流場與地形的交互作用, 地形 β 效應在臺灣東部地形的迎風面(背風面)為負的(正的)渦度變率, 說明地形對西向颱風的確有向南的作用力。此外, 地形 β 效應也造成了渦度場的變形, 同時間因而產生大小相等但作用相反的相對渦度平流, 抵銷掉大部分的地形 β 效應。即便如此, 直接把相對渦度平流與地形 β 效應相加後仍大於行星渦度平流 1 個數量級以上, 可見從颱風從開始登陸到離開臺灣的這段時間, 颱風中心在地形西側的形成是來自於地形 β 效應與

相對渦度平流的貢獻, 讓渦旋向西北移動, 並非由傳統的 β 效應所導致。由模擬不同大小及強度的颱風, 受臺灣地形影響時的路徑模擬, 探討不同風場結構的颱風受臺灣地形效應影響時, 其路徑改變的動力機制發現, 從颱風登陸到離開臺灣, 渦旋中心的移動主要是來自於地形 β 效應及相對渦度平流(非線性項)的貢獻, 但對於較大的渦旋而言, 臺灣地形可影響其渦度場的範圍相對較小, 因此在地形以外之區域, 颱風環流與渦度場相交所產生的相對渦度平流反而顯得更加重要(即傳統的 β 效應), 推動整個颱風渦旋繞過臺灣地形北部, 持續往西北方向移動, 詳見葉等(2012)。

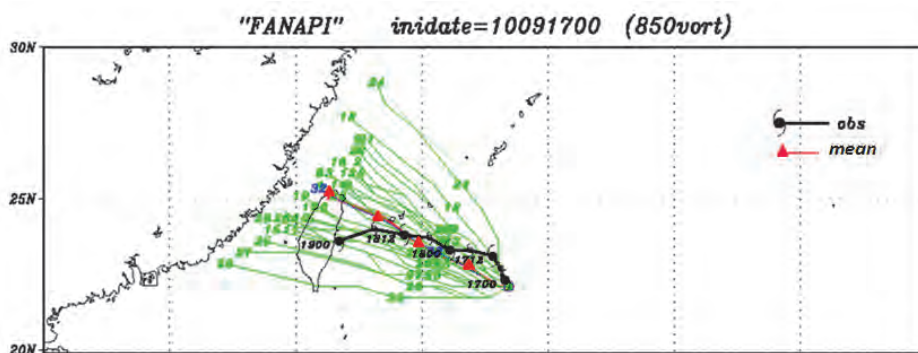


圖 5. 凡那比颱風 9 月 17 日 0000UTC 系集預報實驗結果, 黑色粗線為實際颱風路徑, 三角標示線為 850, 700, 500, 400, 300 hPa 共 5 層組合的平均流場模擬路徑, 其餘細線為各種不同層組合的平均流場模擬結果, 系集平均路徑與三角標示線幾乎重疊, 圖中不易顯示。

Figure 5: The ensemble typhoon track forecasts (thin lines) by shallow water equation model for Typhoon Fanapi initiated at 0000 UTC 17 September 2011 with the initial flow field from different combination of flow fields at 850, 700, 500, 400, and 300 hPa levels. Line with typhoon symbols is the best track and the line with triangular symbols is the shallow water equation model forecast track with initial flow from the vertical mean of flows at 850, 700, 500, 400, and 300 hPa levels.

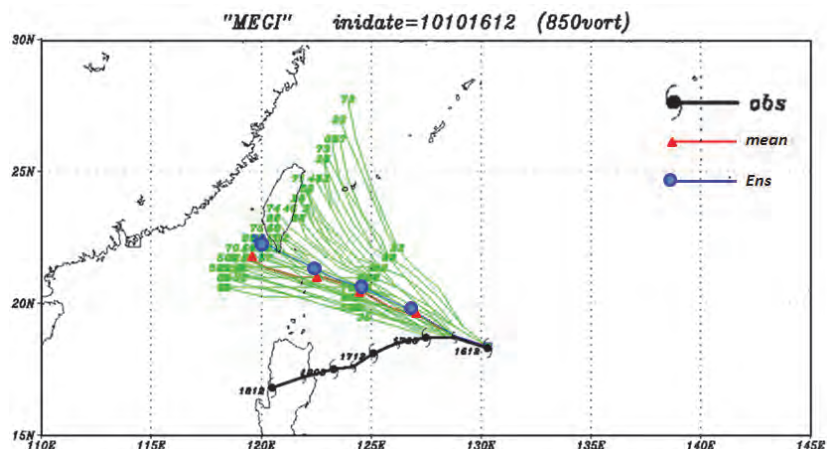


圖 6. 梅姬颱風 10 月 16 日 1200UTC，用不同颱風結構參數的系集預報實驗結果，黑色粗線為實際颱風路徑，三角標示線為颱風結構參數 $V_m=40\text{m/s}$ 、 $R_m=96\text{m}$ 、 $b=0.66$ 的模擬路徑，圓點標示線為不同颱風結構參數模擬路徑(其餘細線)的系集平均路徑。

Figure 6: The ensemble typhoon track forecasts (thin lines) by shallow water equation model for Typhoon Megi initiated at 1200 UTC 16 October 2010 with different vortex structures. Lines with typhoon symbols, circles and triangles are the best track, ensemble mean forecast track and the forecast track with mean vortex structure ($V_m=40\text{m/s}$, $R_m=96\text{m}$, $b=0.66$), respectively.

「改進區域數值天氣預報系統以提升臺灣地區颱風豪雨預報研究」方面，中央氣象局 TWRP 模式是以 WRF 模式為基礎，採用 Kain-Fritsch 積雲參數化法，資料分析含颱風 bogus 資料及使用 relocation scheme，同化過程則採用 partial cycling、cv5 背景誤差協方差及 outer loop 之三維變分資料同化(3DVAR)。因 Kain-Fritsch 積雲參數化法往往使 TWRP 熱帶渦流強度過強，因此葉等(2012)測試引進 Ma and Tan (2009) new trigger Kain-Fritsch 積雲參數化法於 TWRP 作業系統。針對 partial cycling 之應用，研究詳細比較 partial cycling 與 full cycling 預報誤差，選取 2008 年 9 月間(08 日 18UTC 至 28 日 00UTC)辛樂克(Sinlaku)、哈格比(Hagupit)與薔蜜

(Jangmi)三個颱風 78 個個案，進行 partial cycling 與 full cycling 預報比較。結果顯示 partial cycling 對颱風路徑預報之誤差較小，兩者分析場與 NCEP GFS 比較(如圖 7)顯示，partial cycling 之風場、溫度場較 full cycling 接近 NCEP GFS，特別是在溫度場的中層與風場的高層，此結果與 Rogers et al. (2009) 研究成果一致，兩者溼度的差異則較溫度場與風場之差異小。由於 partial cycling 在 300 hPa 風場與 700 hPa 溫度場有較顯著的影響，比較此兩變量層上 full cycling 與 partial cycling 的分析場(分別與 NCEP GFS 分析的差別)顯示，full cycling 在西北太平洋與印度洋有明顯的暖偏差。此偏差可能是因為區域模式 full cycling 缺乏衛星輻射資料同化，全球模式(NCEP

GFS)能使用衛星輻射資料，降低模式系統性的誤差(詳見葉等 2012)，使得 partial cycling 使用 NCEP GFS 資料，能有效改善洋面上的分析，較好的初始場，進而可以得到較好的颱風路徑預報。

針對 partial cycling 之改進，NCEP NAM (North American Mesoscale) 作業模式資料同化系統 NDAS (NAM model Data Assimilation System)使用由預報前 12 小時開始，每 3 小時 partial cycling 策略，葉等(2012)針對氣象局 TWRF 模式，透由平均絕對地面氣壓趨勢之變化，分析比較每 3 小時與每 6 小時 partial cycling 策略之優劣。平均絕對地面氣壓趨勢 N 為
$$N = \left(\frac{1}{IJ} \right) \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \left| \frac{\partial p_s}{\partial t} \right|_{ij}$$

其中 p_s 代表地面氣壓， I, J 分別表示模式層水平兩維格點數。因此 N 隨時間之變化可反映模式範圍內質量與風場之平衡狀況。圖 8 為 2008 年 9 月 26 日 1800 UTC 模式 TWRF 初始積分 9 小時氣壓趨勢的變化，可見初始 4 小時氣壓趨勢由 1.75 降至 1 hPa (3h)^{-1} ，之後 N 值大約穩定維持在 1 hPa (3h)^{-1} 左右，顯示 TWRF 3DVAR 在 CWB 環境下，模式變數間達到平衡需 4 小時以上。因此，TWRF partial cycling 使用 6 小時資料同化系統將較使用 3 小時資料同化系統為佳，以避免模式初期質量場與風場不平衡的因素影響隨後模式的背景場。

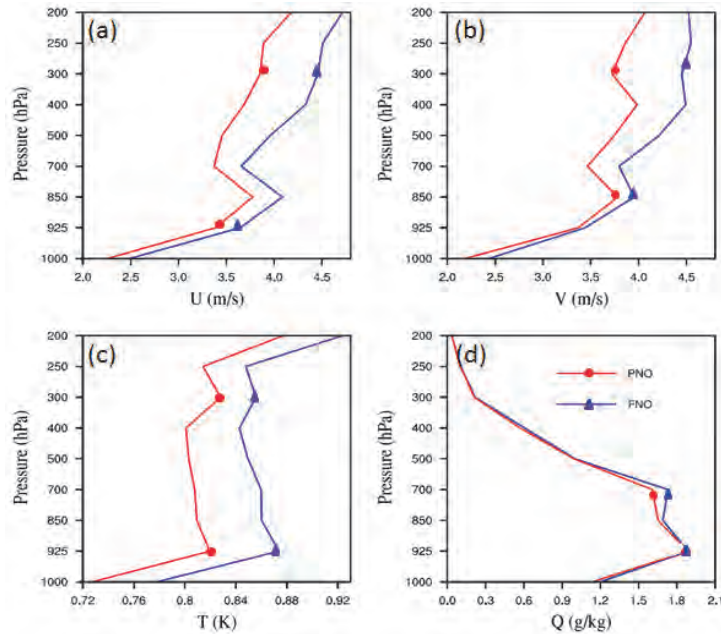


圖 7. (a)東西向風速、(b)南北向風速、(c)溫度與(d)水氣含量在 partial cycling (PNO，見 d 圖標示)與 full cycling (FNO)之分析場模式校驗 RMSE 隨等壓面(縱軸)分布。

Figure 7: The vertical distributions of the RMSE of (a) zonal component wind speed, (b) meridional component wind speed, (c) temperature, and (d) water vapor mixing ratio for partial cycling simulation (PNO) and full cycling simulation (FNO).

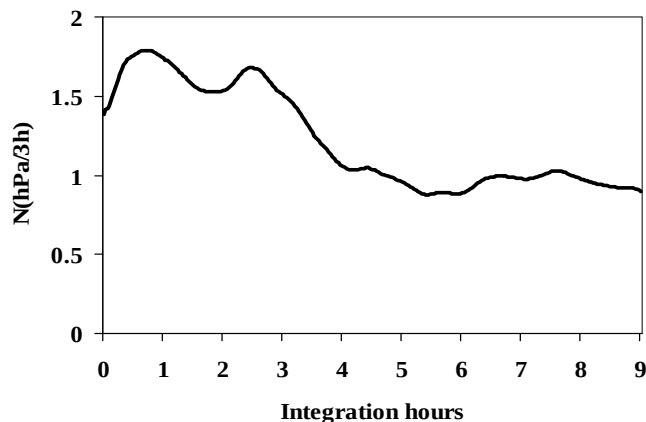


圖 8. TWRF 模式之平均絕對地面氣壓趨勢在前 9 小時積分時間的演變。

Figure 8: The 9-h evolutions of the mean absolute surface pressure tendency (hPa (3 h)^{-1}) averaged over the forecast domain of TWRF forecasts.

在模式初始資料方面，由於太平洋廣大海域缺乏傳統觀測資料，在 CWB 作業所能取得之數值天氣預報資料中，以 ECMWF 全球模式之預報最為穩定，因此葉等(2012)測試 TWRF 在 850、700、500、與 200 hPa 各層之風及 850 hPa 之溫度與相對溼度分析資料中，每 2.5° 加入 ECMWF 分析場之影響(稱 EC-bogus)。由 2009、2010 年西北太平洋的 12 個颱風，共計 191 個案結果顯示，平均而言加入 EC-bogus 資料使 TWRF 45km 與 15 km 網格在 24/48/72 小時預報皆有改進，由此測試結果，TWRF 加入 EC-bogus 資料的版本，已在 2011 年 5 月 5 日正式為 CWB 採納上線作業。而為了解 TWRF 之降雨預報，葉等(2012)也以 2010 年凡那比颱風進行測試分析，凡那比為西行颱風，受到台灣地形阻擋的影響，高屏的平地地區最大的累積雨量超過 700 毫米，而高屏山區，最大的累積降雨量甚至超過 1,000 毫米，其中屏東縣瑪家鄉自 19

日 13 時至 18 時共計降雨 626 毫米，創下台灣 6 小時最大累積雨量新紀錄，高雄市左營站及高雄縣岡山站 19 日之日雨量分別達 535 毫米及 872 毫米，均破該兩站建站以來的紀錄。比較實際降雨情形，TWRF 能掌握較大降雨區域，但東部地區降雨有過度預測的情形，而在西半部 TWRF 的主要降水中心在中南部山區，與實際雨量相似，在中南部平地的降雨則略微低估。

「系集預報系統對颱風路徑與臺灣地區定量降水預報之研究」方面，主要探討中央氣象局 WRF 區域模式系集預報系統對颱風路徑預報的效能及提出進一步的改進方案，期望系統能包含模式預報的不確定性，並且將不確定性量化，以提供未來的預報機率。中央氣象局 WRF 區域模式系集成員之產生係使用 WRF 三維變分資料同化技術製造初始場擾動，產生 20 組擾動初始場，再搭配不同邊界擾動和不同物理參數法擾動而得。洪(2012)針對莫拉克颱風

(2009年8月4日 0000 UTC至8月9日 0000 UTC 預報個案)和凡那比颱風(2010年9月16日 00 UTC至9月19日 1200 UTC 預報個案)進行預報實驗，以評估系集預報系統對颱風路徑預報的效能，校驗評估係透過計算系集路徑預報平均誤差，與計算系集成員和系集平均間的平均差異，此相當於系集路徑預報的離散度(spread)，一般較佳的系集預報系統，當系集平均路徑預報誤差大時，其 spread 也應該隨之增加，反之當系集平均路徑預報誤差小時，其 spread 也應該隨之減小。

分析結果顯示，在莫拉克颱風期間，系集平均路徑預報誤差在 72 小時約為 250 公里，平均誤差和離散度則相當接近，表示在莫拉克颱風期間，路徑預報之離散度合適。對凡那比颱風之系集路徑預報則顯示成員間路徑預報之離散度不足，如圖 9a 為 2010 年 9 月 16 日 12 UTC 之預報路徑，

可以發現大部分成員之預報路徑皆相當相似且南偏，使得平均路徑也出現南偏的情況。中央氣象局原有 WRF 系集預報颱風渦旋初始化的流程，未能使颱風渦旋產生擾動。為能增加離散度，藉由進行颱風渦旋植入時，透過 WRF 三維變分資料同化系統中之變異量(variance)和尺度 (length scale)之調整，使颱風渦旋呈現出不同的強度和大小，達到颱風初始渦旋之擾動。圖 9b 為經此處理 2010 年 9 月 16 日 12 UTC 凡那比颱風路徑預報結果，顯示各成員間路徑預報之離散度增加，颱風往南的預報誤差有所改善，這也使得系集平均路徑預報誤差減小。圖 10 為凡那比颱風所有測試個案在使用渦旋擾動後系集平均路徑預報誤差和系集離散度的分布，原系統在使用颱風初始渦旋擾動後，不僅增加路徑離散度，更使系集路徑預報誤差降低，詳見洪(2012)。

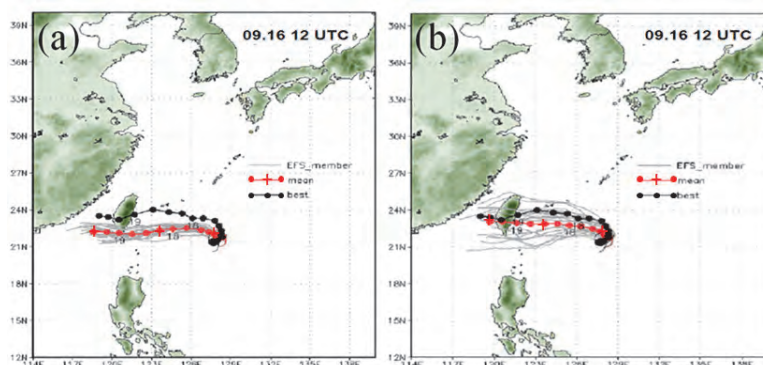


圖 9. 凡那比颱風 9 月 16 日 1200 UTC (a)原系集預報系統與(b)初始渦旋擾動實驗之路徑預報結果。圖中點線(best)為觀測最佳路徑、點+線(mean)為系集平均路徑，餘細線(EFS_member)為系集成員之預報路徑。

Figure 9: The ensemble typhoon track forecast for Typhoon Fanapi initiated at 1200 UTC 16 September 2011 for the experiments (a) without, and (b) with the initial vortex perturbation. Dot-line (best), Dot+ line (mean), and thin line (EFS_member) stands for the best track, ensemble mean, and individual ensemble track forecast, respectively.

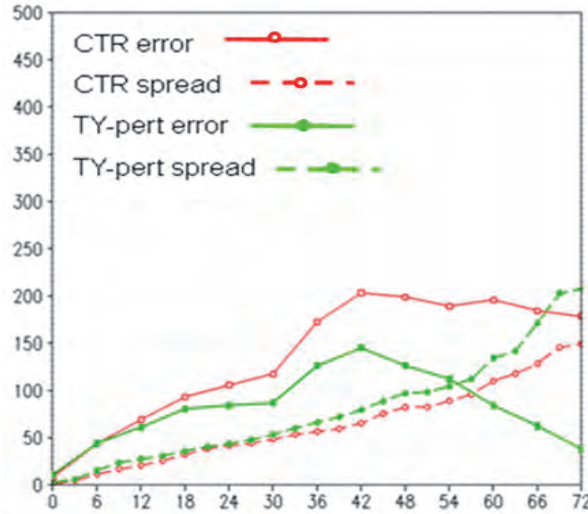


圖 10. 凡那比颱風在有颱風初始渦旋擾動(TY-pert 實點線)與無颱風初始渦旋擾動(CTR 圓圈線)之 72 小時模擬(橫軸)系集路徑誤差(實線)和路徑離散度(虛線)。縱軸單位為公里。

Figure 10: The 0-72-hr ensemble mean track forecast error (solid line) and the ensemble spread (dashed line) for the experiment with (solid dot) and without (open circle) initial perturbation in Typhoon Fanapi. The unit is kilometer in vertical, and forecast length (hour) in the horizontal.

「颱風結構及與環境交互作用之影響」方面，李(2012)係針對結構紮實的特殊類型颱風及與環境交互作用產生強降雨的颱風，利用 WRF 數值模式模擬其結構變化過程和降雨分布，透過數值模擬和診斷分析，瞭解導致該類型颱風伴隨降雨特徵的物理機制、環流條件及過程，並發展該特殊類型颱風降雨之預報指引。研究完成個案之定量選取方法，選取係依據颱風降雨與颱風降雨氣候預報法預報結果之差異，若颱風降雨量落在「類型颱風氣候雨量」一個標準差之外，定義該颱風在某流域造成了超乎常態的劇烈降雨。另亦使用 QuickSCAT 海表面風場觀測資料 S 參數

$$S = \frac{V_{t_{2RMW}}}{V_{t_{max}}} \times \frac{(RMW \times V_{t_{max}})}{(V_{t_{2RMW}} \times RMW)_{ave}} \\ = \frac{V_{t_{2RMW}} \times RMW}{(V_{t_{2RMW}} \times RMW)_{ave}},$$

來量化颱風之紮實程度特徵(S 參數之說明詳見 Chen et al. 2011)。若 S 參數等於 1 則表示該颱風之紮實程度與平均值相同，若 S 參數小於 1 則表示該颱風較平均值來得更紮實，S 參數越小則颱風越紮實。結果顯示紮實結構颱風個案之對流具有較強、高度軸對稱且集中在近中心之特色，在颱風增強的時期，其結構通常較為紮實，而當颱風成熟或開始減弱時，其結構會變得較為鬆散。利用 WRF 數值模式模擬 2007 年紮實颱風個案-玉兔颱風(Yutu)與鬆散颱風個案-萬宜颱風(Man-yi)，並藉由分析模式模擬結果顯示，紮實颱風個案之慣性穩定度(圖 11a)通常較高，故颱風內部動力過程對其發展扮演重要角色。而鬆散颱風個案之慣性穩定度(圖 11b)通常較低，故此類颱風發展時易受外在環境影響(詳見李 2012)。

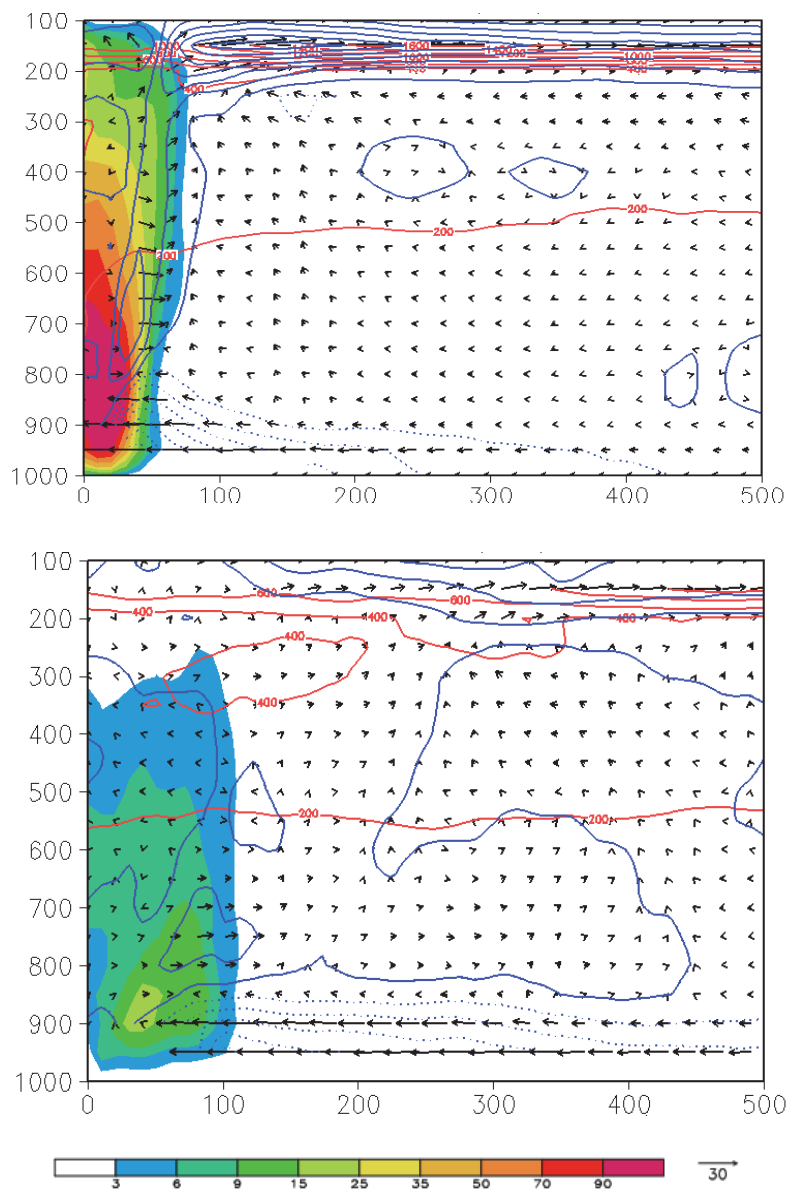


圖 11. 對玉兔颱風模擬 48 小時(上圖)與萬宜颱風模擬 96 小時(下圖)之平均徑向風(虛線表向中心流，無標示之實直線表向外流，線距為 4 秒米)、靜穩定度(線標示數值，單位 $10^{-8}\text{m}^4\text{s}^2\text{k}$)、慣性穩定度(色調區，尺標於圖下方，單位 f^2)與風向量(風標，單位秒米，尺度於圖下方)在壓力面(左軸，單位 hPa)上隨半徑(橫軸，單位公里)之分布情形。

Figure 11: Radial-pressure (hPa) distribution of the simulated azimuthally average radial wind (contours without labels, intervals in 4 m s^{-1} , dash lines for inflow), static stability (contours with labels, units in $10^{-8}\text{m}^4\text{s}^2\text{k}$), inertial stability (shaded, units in f^2) and radial-vertical wind field (arrows) for (upper panel) Typhoon Yutu at 48 h, and (lower panel) Typhoon Manyi at 96 h.

針對颱風環流與綜觀尺度環境產生交互作用而導致劇烈降雨的颱風，由分析顯示此類暴雨通常以中尺度對流系統(MCS)的型態出現，當這些有組織的 MCS 形成時，會在短時間內提供極大量的降水，李(2012)利用 IR1 紅外線衛星雲圖與多顆繞極衛星之微波頻道觀測(Passive microwave ice-scattering channel observations; PMW)，定義和颱風相關之不對稱劇烈對流事件。利用 IR1 與 PMW 影像，篩選出由颱風外圍雨帶(distant rainbands)組織發展而成的「颱風外圍型中尺度對流系統(outer-MCS)」個案。經利用客觀方法挑選1999至2009年間165個在颱風環流南側之長生命期劇烈對流系統，並依據對流特徵將之分為兩類，其中85個為颱風外圍型中尺度對流系統類(outer-MCS)與80個為加強型雨帶類。颱風外圍型中尺度對流系統為一獨立於颱風內核區對流外之線性對流系統，具有相對於颱風中心向外移動的特性，而加強型雨帶係由主雨帶發展而來，其對流線向颱風中心旋入並與眼牆區聯結。經分類分析之研究(圖12)結果顯示，加強型雨帶發生後，颱風強度增強速率維持不變，但暴風半徑將顯著增加，在颱風外圍型中尺度對流系統發生後，颱風強度增強速率將減慢，但對暴風半徑之改變並無顯著影響。

為對颱風期間於臺灣西南部山區造成超大豪雨之特殊型態，發展利用低層平均水平風來估計山區降雨規模的預報方法，

鳳(2012)進行「侵臺颱風發生西南部山區豪雨之觀測指標建立研究」，其針對侵臺颱風及造成西南部山區劇烈降雨事件之2005年海棠及泰利、2007年柯羅莎及2009年莫拉克等4颱風，進行雷達資料及雨量資料之整理與分析。他定義西風分量為七股雷達0.5公里至3.0公里每0.5公里一筆的雷達VAD (Velocity-Azimuth Display)方法風場之平均值。山區平均雨量的範圍如圖13內方框所示區域，此區面積約3,300平方公里，平均雨量則為區內29個雨量站雨量的算數平均。圖13為莫拉克颱風及海棠與泰利颱風在臺灣西南部山區平均時雨量與上游低層平均西風分量的關係圖。圖中之直線為各別颱風的線性迴歸線，莫拉克颱風迴歸線的斜率略大於其它兩颱風迴歸線的斜率，此3颱風的西風分量與山區平均雨量的相關係數均相當高，分別為0.89、0.80及0.84。利用莫拉克颱風西風分量與山區平均時雨量的關係，可以得到一個線性方程式 $R = 1.756 \times U_x - 4.16$ ，其中 U_x 為上游氣流的西風分量(單位 m/s)，而 R 則為臺灣西南部山區的平均時雨量(單位 mm/h)。利用此關係式，就可以使用觀測之平均西風分量進行山區平均時雨量估計。圖14即為利用海棠颱風的觀測平均西風分量來估計其在臺灣西南部山區之平均時雨量時間序列圖，由此圖可見，此法對海棠颱風在西南部山區發生超大豪雨之降雨趨勢與量值有相當不錯之掌握，更詳細之討論請參見鳳(2012)。

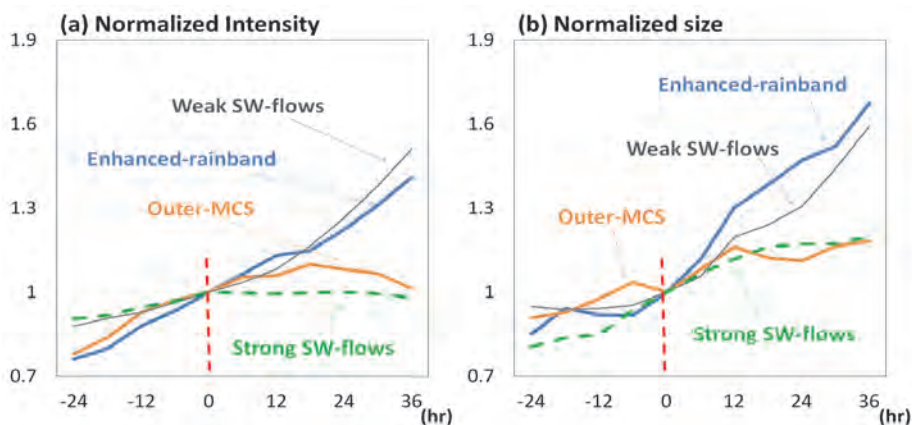


圖 12. 颱風有外圍型中尺度對流系統發展(outer-MCS)與有加強型雨帶發展(Enhanced-rainband)之颱風(a)標準化強度與(b)標準化大小隨時間之變化情形。颱風在強西南氣流環境(Strong SW-flows)或弱西南氣流環境(Weak SW-flows)時之變化情形亦列示供比較。

Figure 12: Composite time series of the (a) normalized intensity and (b) normalized size for typhoons with the outer mesoscale convection system (Outer-MCS), the enhanced rainband (Enhanced-rainband) and that encountered strong/weak south-westerly flows (Strong /Weak SW-flows).

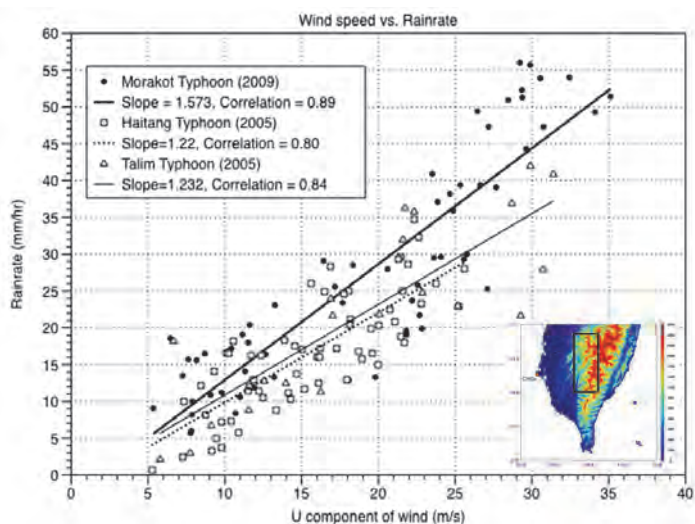


圖 13. 莫拉克(Morakot)、海棠(Haitang)及泰利(Talim)颱風在臺灣西南部山區平均雨量及上游低層平均西風分量的關係圖。臺灣西南部山區列示於圖內方框。

Figure 13: Scattering plots and the regression lines between the mean observation rainfall rates (vertical axis) and the mean low level westerly wind speeds (horizontal axis) over the mountain area of southwestern Taiwan (area shown in lower-right) for Typhoons Morakot (2009), Haitang (2005) and Talim (2005).

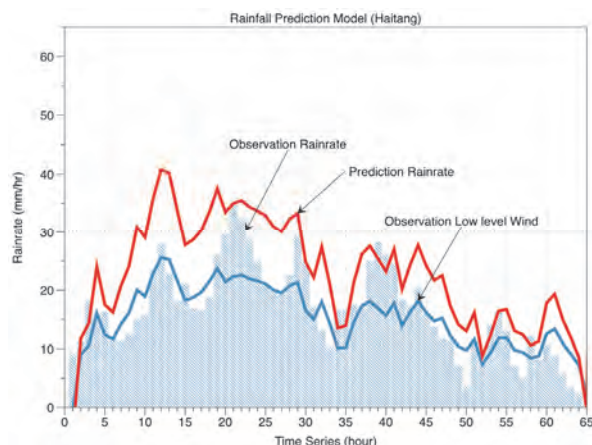


圖 14. 海棠颱風臺灣西南部山區之的觀測平均時雨量(直條)、西風分量(下曲線，縱軸唯單位為 m/s)及透由平均西風估計平均雨量(上曲線)時間序列。

Figure 14: Time series of the averaged observation rainfall rate (bars, in units of mm/h), the low level westerly wind speed (lower curve, in units of m/s), and the corresponding prediction rainfall rates (upper curve) over the mountain area of southwestern Taiwan for Typhoon Haitang (2005).

「異常結構之侵臺颱風的結構特徵與辨識法則」方面，主要目的在分析歷年來臺灣地區異常(非典型)颱風的中尺度結構特徵及其伴隨風雨分佈，並建立起概念模式，以協助氣象人員提早辨識。楊(2012)依中央氣象局的定義，將中心經過 119°E 至 125°E、21°N 至 26°N 區域之颱風，根據其行進路線，分成九類(不含特殊路徑颱風)，這 9 類路徑在 1987 年後的侵臺颱風共有 81 個。降雨之分析係用中央氣象局 400 個自動雨量站與 26 個人工測站所得資料。楊(2012)進一步定義各站異常降雨指數為陸上颱風警報期間，該站累積降雨量較該路徑類型平均累積降雨量差值與該路徑類型累積降雨量標準差之比值。總異常降雨指數則係累積該颱風所有站異常降雨指數大於 1 之異常降雨指數值。各路徑類型極端降雨颱風定義為，總異常降雨指數超過

該路徑類別總異常降雨指數平均值 1 個標準差以上者。依此定義，得到共有 12 個極端降雨颱風，分別是路徑類型 1 艾利颱風(Aere, 2004)、路徑類型 2 辛樂克颱風、路徑類型 3 海棠與莫拉克颱風、路徑類型 4 凡那比颱風、路徑類型 5 杜鵑颱風(Dujuan, 2003)、路徑類型 6 瑞伯(Zeb, 1998)與敏督利颱風(Mindulle, 2004)、路徑類型 7 葛樂禮颱風(Gloria, 1996)、路徑類型 8 賴恩颱風(Ryan, 1995)、路徑類型 9 納克莉(Nakri, 2002)與南瑪都颱風(Nanmadol, 2004)。

楊(2012)針對各路徑類型完成平均累積降雨量分布之整理，並對 2000 年後有較完整資料部分進行分析。圖 15 為主要路徑類型颱風平均降雨量，圖 16 為異常降雨颱風異常降雨指數分布，圖顯示第 1 類路徑颱風平均降雨主要集中在臺灣北部山區，

艾利颱風累積雨量比平均雨量大許多，並且在中南部地區也比平均雨量來得高，因此降雨異常指數的分布圖中有大於一個標準差以上。第 2 類路徑颱風的平均降雨主要分佈在臺灣中、南部山區，辛樂克颱風的降雨主要在臺灣北部地區，因此其降雨異常指數，主要的異常降雨集中在臺灣中部與北部地區，南部屏東地區的降雨甚至是低於颱風路徑平均雨量的。第 3 類路徑的颱風平均累積雨量主要集中在花蓮北部與臺灣南部山區，海棠颱風在北部山區也帶來了許多雨量，因此於降雨異常指數的圖中可以看出海棠颱風於北部山區有較高值。第 4 類路徑的颱風主要累積降雨出

現在花蓮北部地區及臺灣南部山區，凡那比颱風在屏東北部山區有較多的降雨，且西北部地區的降雨量也較平均多，因此降雨異常指數圖上可以看見於臺灣西部平地及山區都有著較高的值。第 6 類與第 9 類路徑颱風雨量分別主要在臺灣東部地區與東南部山區有較大的雨量，敏督利颱風主要在中南部平原及山區，有較大的異常降雨值，而南瑪都颱風遍布全臺都有超過 1 的異常降雨值。其他更完整之討論與各類路徑颱風之綜觀尺度特徵詳見楊(2012)，有關更細部在颱風尺度下的異常狀況與環境場與颱風間交互作用造成異常降雨，則待接續進行進一步探討。

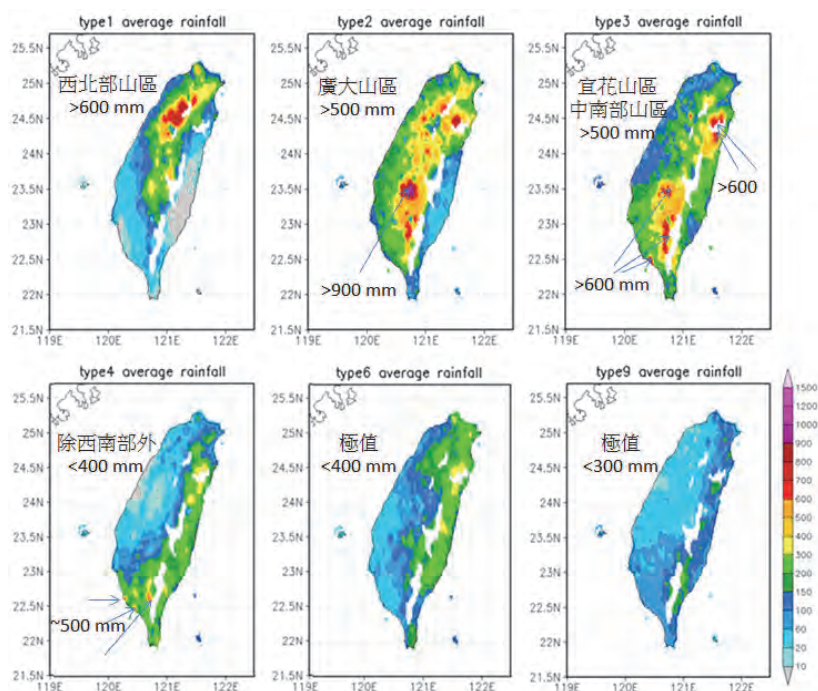


圖 15. 由左至右由上自下分別為第 1、2、3、4、6、9 類型路徑颱風陸上警報期間平均累積雨量(尺標於左下，單位毫米)。陸上空白處無雨量觀測。

Figure 15: Average accumulated rainfalls (in units of mm; shown in the color bar) on Taiwan for typhoons in track-type 1, 2, 3, 4, 6, and 9 during the typhoon warning periods. White colors over land indicate areas of no rainfall observations.

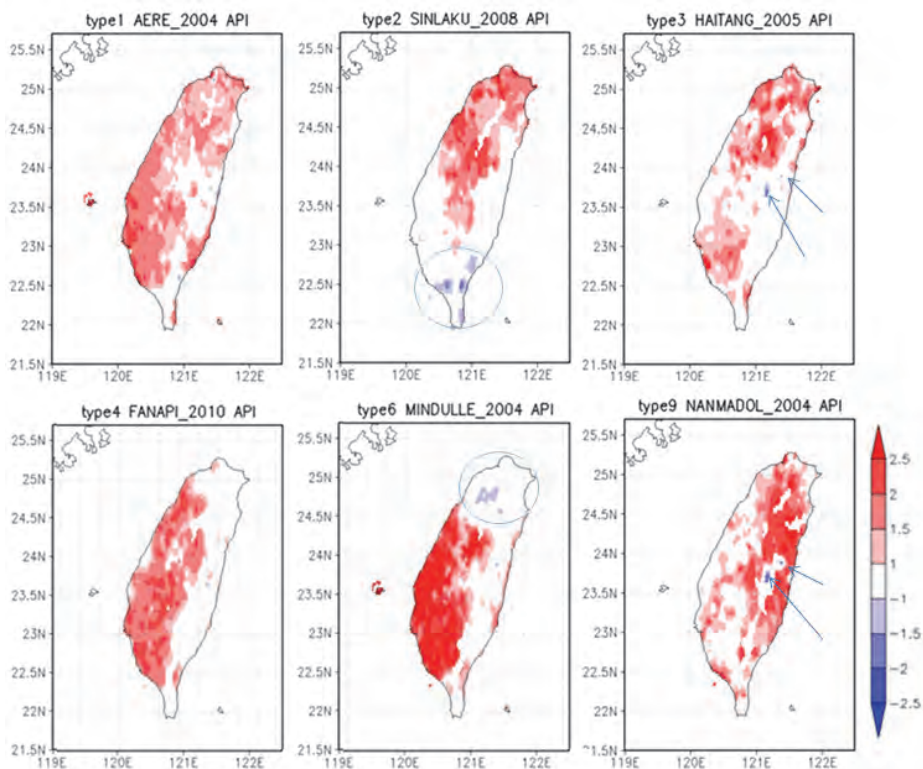


圖 16. 由左至右由上自下分別為第 1、2、3、4、6、9 類型路徑異常降雨颱風(艾利、辛樂克、海棠、凡那比、敏督利、南瑪都)異常降雨指數分佈 (尺標於右下，明顯小於 -1 處圈出或以箭頭指示)。

Figure 16: Abnormal precipitation index (API in the scale of standard deviation; shown in the color bar) for Typhoons Aere (track-type 1), Sinlaku (track-type 2), Haitang (track-type 3), Fanapi (track-type 4), Mindulle (track-type 6), and Nanmadol (track-type 9). Accumulated rainfall less than one standard deviation among typhoons in each track is indicated by either arrows or circles.

三、結語

為提升颱風預報能力、增進氣象防災效能，進行颱風路徑與侵臺風雨預報技術之發展整合研究。研究之進行包含「侵臺颱風環島雙都卜勒雷達風場合成分析之研究與作業化」、「侵臺颱風風雨及內核結構演變之中尺度模擬與分析」、「利用淺水方

程模式探討臺灣地形對颱風路徑影響及改進颱風風力預報」、「改進區域數值天氣預報系統以提升臺灣地區颱風豪雨預報研究」、「系集預報系統對颱風路徑與臺灣地區定量降水預報之研究」、「颱風結構及與環境交互作用之影響」、「侵臺颱風發生西南部山區豪雨之觀測指標建立研究」、「異常結構之侵臺颱風的結構特徵與辨識法

則」等 8 子項。2010 年 8 月起至 2012 年 7 月主要之成果包括：

由「侵臺颱風環島雙都卜勒雷達風場合成分析之研究與作業化」，完成雙都卜勒雷達合成颱風反演風場之作業測試，即時產生每 10 分鐘更新之雙都卜勒風場，除有助研判最大風速半徑與環流強度外，亦可提供暴風範圍的大小分析，並透過時間變化，掌握颱風環流強度演變趨勢，改善颱風風雨預報。另由凡那比颱風分析結果顯示，颱風登陸後，近中心環流強度快速減弱，外圍環流部分的變化相對較為緩和，颱風出海後，環流開始重整，最大平均風速增強，但最大風速半徑明顯較登陸前為大。

「侵臺颱風風雨及內核結構演變之中尺度模擬與分析」方面，觀測顯示海棠颱風中心靠近臺灣時，眼牆南側象限有線狀對流加強且逐漸旋繞併入颱風眼牆，使颱風內核區之對流增強。本研究數值模擬的位渦分析發現，非對稱加熱作用下之位渦通量項以及颱風平均風場作用下之位渦擾動通量項是導致眼牆東側位渦加強的主要貢獻項；線狀強對流併入眼牆時，颱風強度會短暫增強，趨勢上則呈現振盪且漸漸增強之型態，線狀強對流是導致颱風眼牆結構改變與路徑打轉的重要物理機制。

「利用淺水方程模式探討臺灣地形對颱風路徑影響及改進颱風風力預報」顯示，流場與渦旋結構都對颱風移動有很大影響，在地形效應上，颱風登陸到離開臺灣的期間，颱風中心在地形西側的形成主

要是來自於地形 β 效應與相對渦度平流的貢獻，使渦旋向西北移動，並非由傳統的 β 效應所導致，而對於較大的渦旋，臺灣地形可影響其渦度場的範圍相對較小，因此在地形以外之區域，傳統的 β 效應顯得較為重要。

「改進區域數值天氣預報系統以提升臺灣地區颱風豪雨預報研究」進一步確認 TWRF 模式採用 partial cycling 預報之長處與其在中央氣象局作業應用應採用之處理時距為 6 小時，另經測試顯示，TWRF 引用 new trigger Kain-Fritsch 積雲參數化法，以及在中央氣象局作業環境若加入 ECMWF 模式之部分分析場，能改進颱風路徑預報。針對 TWRF 颱風降雨預報，由凡那比個案結果顯示，TWRF 能提供定性之較大降雨區供參考，在雨量極值上仍有高估或低估情形。

「系集預報系統對颱風路徑與臺灣地區定量降水預報之研究」方面，研究評估中央氣象局 WRF 區域模式系集預報系統對颱風路徑預報的效能，結果顯示，原系統對颱風路徑預報結果之離散度較小，此可能因為颱風渦旋初始化的流程中，未能使颱風渦旋產生擾動有關，藉由進行颱風渦旋植入時，透過 WRF 三維變分資料同化系統中之變異量(variance)和尺度 (length scale)之調整，使颱風渦旋呈現出不同的強度和大小，達到颱風初始渦旋之擾動。經測試發現，在使用此方法後，不僅可使預報系統增加路徑離散度，更使系集路徑平均預報誤差降低，能改進此系統效能。

「颱風結構及與環境交互作用之影響」方面，採用量化之颱風紮實程度，顯示紮實颱風個案之慣性穩定度較高，故颱風內部動力過程對其發展扮演重要角色，而鬆散颱風個案之慣性穩定度較低，故此類颱風發展時易受外在環境影響。在依據颱風對流特徵進行分類，研究結果顯示，颱風在加強型雨帶發生後，強度增強速率維持不變，但暴風半徑將顯著增加，而在外圍型中尺度對流系統發生後，颱風強度增強速率將減慢，但對暴風半徑之改變則無顯著影響。

「侵臺颱風發生西南部山區豪雨之觀測指標建立研究」主要成果為建立估計西南部山區降雨規模之量化指標，針對颱風侵襲期間於臺灣西南部山區造成超大豪雨之特殊型態，研究顯示低層(0.5 至 3 km)平均風速可為山區降雨規模的有效指標，並依此完成利用七股雷達低層平均水平風來估計西南部山區降雨規模的預報方法。

「異常結構之侵臺颱風的結構特徵與辨識法則」方面，則在研究定義異常降雨颱風，並依此篩選有較完整資料之異常降雨颱風，分析異常降雨颱風之異常降雨指數分布，討論各類路徑颱風之綜觀尺度特徵，有關更細部、颱風尺度下的異常狀況與環境場與颱風間交互作用造成異常降雨情形，正進行探討中。

誌謝

感謝行政院國家科學委員會 NSC99-2625-M-052-003-MY3 對本整合研

究計畫之資助與中央氣象局對資料及電腦系統資源之提供。第一作者另要感謝中央氣象局陳得松、黃康寧、鄭浚騰、馮欽賜與王惠民及台灣颱風洪水研究中心蕭玲鳳博士之協助與參與。

參考文獻

- 李清勝，2012：颱風路徑與侵臺風雨預報技術發展--子計畫：颱風結構及與環境交互作用之影響，國家科學委員會 101 年期中進度報告，NSC99-2625-M-002-013-MY3，14pp。
- 洪景山，2012：颱風路徑與侵臺風雨預報技術發展--子計畫：系集預報系統對颱風路徑與臺灣地區定量降水預報之研究，國家科學委員會專題研究計畫 101 年期中進度報告，NSC99-2625-M-052-006-MY3，25pp。
- 張保亮，2010，颱風路徑與侵臺颱風伴隨風雨預報技術之發展--子計畫：颱風都卜勒速度觀測與地面風力關係之研究及都卜勒風場反演之作業化(III)，國家科學委員會研究報告，NSC 98-2625-M-052-005，21pp。
- 張保亮，2012：颱風路徑與侵臺風雨預報技術發展--子計畫：侵臺颱風環島雙都卜勒雷達風場合成分析之研究與作業化，國家科學委員會專題研究計畫 101 年期中進度報告，NSC99-2625-M-052-004-MY3，17pp。
- 葉天降、蕭玲鳳與陳建河，2012：颱風路徑與侵臺風雨預報技術發展--總計畫暨子

- 計畫:改進區域數值天氣預報系統以提升臺灣地區颱風豪雨預報研究，國家科學委員會專題研究計畫 101 年期中進度報告，NSC99-2625-M-052-003-MY3，26pp。
- 葉天降、李清勝、楊明仁、何台華、馮欽賜、洪景山、鳳雷與張保亮，2013：颱風路徑與侵臺颱風伴隨風雨預報技術之發展研究成果。氣象學報，50，59-85。
- 楊明仁，2012：異常結構之侵臺颱風的結構特徵與辨識法則，國家科學委員會專題研究計畫 101 年期中進度報告，NSC 99-2625-M-008 -005 -MY3，17pp。
- 簡國基，2012:侵臺颱風風雨及內核結構演變之中尺度模擬與分析，國家科學委員會專題研究計畫 101 年期中進度報告，NSC99-2625-M-052-005-MY3，11 pp。
- 鳳雷，2012:侵臺颱風發生西南部山區豪雨之觀測指標建立研究，國家科學委員會專題研究計畫 101 年期中進度報告，NSC99-2625-M-492-002-MY3，8 pp。
- Chen, D. Y., K. K. W. Cheung, C.-S. Lee, 2011: Some Implications of Core Regime Wind Structures in Western North Pacific Tropical Cyclones. *Wea. Forecasting*, **26**, 61–75.
- Hsiao, L.-F., C.-S. Liou, T.-C. Yeh, Y.-R. Guo, D.-S. Chen, K.-N. Huang, C.-T. Terng, and J.-H. Chen, 2010: A vortex relocation scheme for tropical cyclone initialization in advanced research WRF. *Mon. Wea. Rew.*, **138**, 3298–3315.
- Jian, G.-J. and C.-C. Wu, 2008: A numerical study of the track deflection of Supertyphoon Haitang (2005) prior to its landfall in Taiwan. *Mon. Wea. Rev.* **136**, 598-615.
- Ma, L. M. and Z. M. Tan, 2009: Improving the behavior of the cumulus parameterization for tropical cyclone prediction: Convection trigger. *Atmos. Res.*, **92**, 190-211.
- Montgomery M. T., and J. Enagonio, 1998: Tropical cyclogenesis via convectively forced vortex Rossby waves in a three-dimensional quasigeostrophic model. *J. Atmos. Sci.*, **55**, 3176–3207.
- Rogers, E., and Coauthors, 2009: The NCEP North American Mesoscale modeling system: Recent changes and future plans. Preprints, 23rd Conf. on Weather Analysis and Forecasting/19th Conf. on Numerical Weather Prediction, Omaha, NE, Amer. Meteor. Soc., 2A4. [Available online at <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/154114.pdf>.]

Study on the Improvements of Typhoon Track, Winds and Rainfall Forecasts over Taiwan Area--Some Findings in Year 2012

T.-C. Yeh¹, C.-S. Lee², M.-J. Yang³, P.-L. Chang¹,
G.-J. Jian¹, J.-S. Hong¹, L. Feng⁴, J.-H. Chen¹

¹Central Weather Bureau

²National Taiwan University

³National Central University

⁴Taiwan Typhoon and Flood Research Center

ABSTRACT

“A study on the technical development of typhoon track, winds and rainfall forecast over Taiwan area” is a three-year integrated research project supported by the National Science Council beginning from 2010, which aims to enhance the capability of typhoon forecast over Taiwan area. Topics of the study include: dual-Doppler synthetic analysis of typhoon circulations based on Taiwan radar network and its applications to real-time operation, mesoscale modeling and analysis of the inner-core structure changes and rainfall associated with a typhoon affecting Taiwan, a study on Taiwan terrain effect on typhoon motion by using a shallow water model, a study on the improvement of mesoscale numerical model to enhance typhoon heavy rainfall forecast in Taiwan area, typhoon track and rainfall forecast in an ensemble forecast system, typhoon structure and its interactions with ambient environment, building the indicator of heavy rainfall for Typhoon in Southwest mountainous area of Taiwan, the characteristics and identification principles for landfall typhoons with abnormal structures.

Major achievements through the middle of 2012 on operational use include refinement of the TWRF model, refinement of WRF ensemble model on typhoon track forecast with taking in vortex structure perturbation in initial fields, heavy rainfall estimation over Southwest mountainous Taiwan using upstream wind speed, and development of an operational system for dual Doppler radars wind fields. Those are very helpful to the Central Weather Bureau operational typhoon forecast. As to the improvement in our understanding of typhoon motion and structural change, the study shows when a typhoon encounters mountainous terrain, terrain beta effect and advection effects are the dominant

terms to affect the typhoon motion near the terrain. On the Typhoon Haitang's (2005) looping motion before its landing in Taiwan, the study finds that the forming of the strong band-structured convection system acts as a critical mechanism, and the asymmetric heating effect of the convection contributes to the potential vorticity change. The study also finds that the compactness is a useful index to categorize typhoons as whether the central structure is easily modified by the environment.

Key words: typhoon, typhoon winds and rainfall forecast, typhoon track forecast, numerical weather prediction, data assimilation, dual Doppler radars analysis, mesoscale conceptual model, ensemble forecast