

颱風路徑與侵臺颱風伴隨風雨 預報技術之發展研究2009年成果

葉天降¹ 李清勝² 楊明仁³ 馮欽賜¹ 張保亮¹ 何台華⁴

¹中央氣象局

²國立臺灣大學

³國立中央大學

⁴龍華科技大學

摘 要

提升颱風預報作業能力以減低災害損失為現階段防災研究之重點研究課題，「颱風路徑與侵臺颱風伴隨風雨預報技術之發展」則為此研究課題下行政院國家科學委員會支持之一整合型研究，以提升數值模擬加強颱風風雨預報力為整體目標，本文為此整合型研究2009年研究成果摘要報告。

研究之進行包含「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」、「全球數值模式於颱風路徑預報之應用與發展」、「颱風中尺度定量降雨預報技術之改進」、「颱風豪雨及洪水耦合預報技術之研究」、「臺灣東南近海颱風受地形影響的中尺度結構分析」與「建置WRF模式於颱風預報作業應用之研究」等6部分。

研究主要成果包括建立網連雷達回波資料品質控制程序、建立雙都卜勒雷達反演分析、建立日本嶼那國島剖風儀即時資料的接收與分析、改進中央氣象局全球預報模式之邊界層及積雲對流參數化、建立WRF模式4DVAR、了解WRF不同邊界層處理之颱風路徑預報差異、持續改進渦旋移置技術於颱風路徑預報作業應用、建立東北季風共伴類型之颱風降雨氣候模式、使用雷達觀測參數推估降雨進行模擬流量等。

關鍵詞：颱風、颱風雨量預報、颱風路徑預報、資料同化、渦旋移置技術、雙都卜勒雷達反演分析、東北季風共伴、流量模擬

一、前言

臺灣平均每年由颱風所造成的災害損失，超過新臺幣100億元。近年來，因颱

風所導致的損失似有增加之情況，如2001年，臺灣共受到9個颱風的影響；其中納莉更重創臺北捷運系統，桃芝颱風則重創臺灣東部與中部，2004年再有艾利颱風與

敏督利颱風，2005年有海棠颱風、泰利颱風與龍王颱風，2007年有柯羅莎颱風，2008年有辛樂克與卡玫基等颱風，2009年則有莫拉克颱風，這些颱風都造成難以估計的損失。因此，加強對侵臺颱風之研究，藉以提供正確之預報指引，進而改進預報技術與提高預警能力，是臺灣地區颱風防災課題中的重要工作。

颱風除伴隨之強風外，侵臺颱風所導致之災害，主要肇因於其所伴隨之豪雨。局部性之豪雨常導致該區域之山崩、土石流，較大區域之豪雨更會造成河水暴漲與淹水。近年颱風在臺灣所致之累積雨量動則逾1000毫米，2009年莫拉克颱風更在8月6至10日警報期間於嘉義與高屏山區累積雨量逾2500毫米，其中阿里山達2800毫米，屏東尾寮山約2600毫米，臺南山區及臺東山區亦有超過1500毫米之累積降雨量。期間高雄縣、嘉義縣、屏東縣等山區多處地方連續出現時雨量超過50毫米降雨，甚至亦出現小時雨量超過100毫米的強降雨現象。

伴隨颱風的降水有時亦是臺灣地區最重要的水資源，颱風未帶來足夠降水，可能使得水庫貯水量持續下降，造成缺水及限水的問題。因此，颱風的降水可能會釀成災害，但其亦是臺灣地區最重要的水資源，如何在颱風來襲時有效提供準確的颱風預報資訊，供大眾做好防災或水資源管理，是非常重要的工作。簡言之，就氣象防災之需求，最主要任務在提供正確的颱風路徑和伴隨風雨淹水之觀測和預報資訊，現階段氣象之防災科技應用研究，最

主要之重點在探討如何進一步提高颱風路徑預報的準確度與提升颱風豪雨的預警能力。

「颱風路徑與侵臺颱風伴隨風雨預報技術之發展」為提升數值模擬加強颱風風雨預報力為整體目標下，行政院國家科學委員會支持之一整合型研究，本文為2009年該研究成果摘要報告。研究進行包括3個主要部分，分別是颱風路徑動力模式之改進及颱風豪雨、洪水動力模式預報技術的建立；應用都卜勒雷達觀測資料，建立雷達颱風降雨氣候資料，並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，並由「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」、「全球數值模式於颱風路徑預報之應用與發展」、「颱風中尺度定量降雨預報技術之改進」、「颱風豪雨及洪水耦合預報技術之研究」、「臺灣東南近海颱風受地形影響的中尺度結構分析」與「建置WRF模式於颱風預報作業應用之研究」等6子研究組成。

二、研究進行與主要成果

「在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」方面，2009年度工作主要包括網連雷達回波資料品質控制程序的建立、雙都卜勒雷達反演分析、以及日本嶼那國島剖風儀即時資料的接收與分析，其中雙都卜勒雷達反演分析部分，係利用環島雷達網進行莫拉克(2009)颱風的雙都卜勒風場合成的個

案分析，使分析擴大至臺灣本島及鄰近的海域，有助於改善颱風近中心及外圍環流的風場觀測不足的問題。如圖1為2009年8月莫拉克颱風侵臺期間8日0614 UTC 七股與墾丁及1020 UTC之五分山與花蓮、五分山與七股、七股與清泉崗、七股與墾丁及墾丁與花蓮共5組雙都卜勒雷達合成風場。

由莫拉克颱風的雙都卜勒風場分析顯示，不同高度的風場整合結果，在颱風

登陸前可以有效分析出颱風近中心的環流結構；在颱風登陸期間，雖然缺乏低層的分析資料，透過高層分析資料，亦能清楚辨識颱風的環流結構，此資料可提供颱風登陸期間颱風中定位相當的幫助；在颱風出海後，莫拉克颱風環流結構的重整，在分析中亦可清楚顯示。

在莫拉克颱風侵臺期間，臺灣西南部伴隨劇烈的颱風外圍環流，在分析中亦清楚顯示出環流結構隨時間的演變。未來此

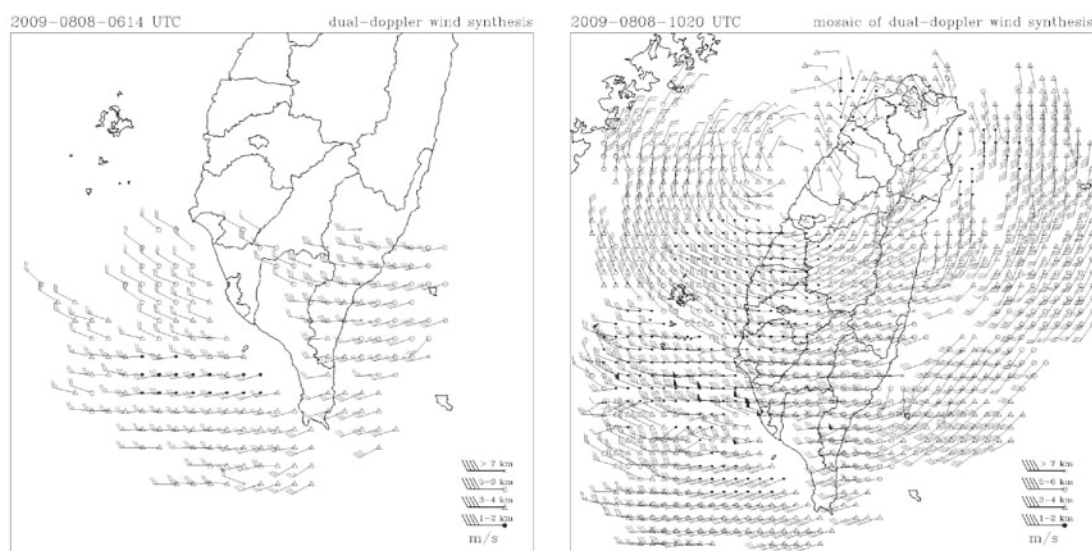


圖1. 2009年8月莫拉克颱風侵臺期間8日0614 UTC七股與墾丁(左圖)及1020 UTC之五分山-花蓮、五分山-清泉崗、清泉崗-馬公、清泉崗-七股、七股-馬公、七股-墾丁及墾丁-花蓮共7組雙都卜勒雷達合成風場。風標為整合各高度層之風場，風標起點符號代表高度如圖中所示。風標長桿為10 m/s，短桿為5 m/s。

Figure1. The dual Doppler radar wind analyses for Typhoon Morakot near Taiwan at 0614 UTC (left) and 1020 UTC (right) on 8 August 2009. The wind field shown at 0614 UTC was obtained from Chigu and Kenting radars where the wind field at 1020 UTC was obtained from 7 sets of dual Doppler radar wind analysis of Wufengshan-Hualien, Wufengshan-CCK, CCK-Markung, CCC-Chigu, Chigu-Markung, Chigu-Kenting, and Kenting-Hualien. Wind speeds indicate by wind bars with full/half bars 10/5 m/s. Different patterns indicate winds on different levels of height as shown at the lower-right corner of the figures.

部分之研究將持續進行相關的分析工作，以了解颱風之近中心中尺度結構特徵，並進行剖風儀觀測之風力垂直剖面分析，最後將雷達都卜勒速度的風場反演結果應用至海面與地面風力推估與進行作業上的應用，詳細情形見張 (2009)。

「全球數值模式於颱風路徑預報之應用與發展」方面，主要在改進氣象局全球預報模式，中央氣象局全球預報系統在2009年7月對邊界層及積雲對流參數化2項物理做大幅度的更動，由平行實驗分析這更動對熱帶地區模式預報之影響，結果顯示對熱帶風場的系統性誤差產生相當明顯的改進(見圖2)，新邊界層及積雲對流參

數化另外也改善了對副熱帶高壓預報過強的系統性誤差，使預報強度的掌握較為平穩。對舊版的積雲參數化容易過度預報熱帶低壓渦旋的問題也在新版獲得改善，不過相較之下新邊界層及積雲對流參數化在颱風系統強度的發展上有限，因此預報熱帶渦旋強度變化幅度要比過去小。以2008年7個測颱風個案分析此次物理參數化變動對颱風路徑預報之影響顯示(見圖2)，新邊界層及積雲對流參數化的路徑預報較舊版有所進步，但個案間有所差異，分析顯示誤差偏大的路徑與使用虛擬渦旋植入法作颱風初始化方案有關，進一步測試也發現新版的路徑預報效果對於植入不同虛擬

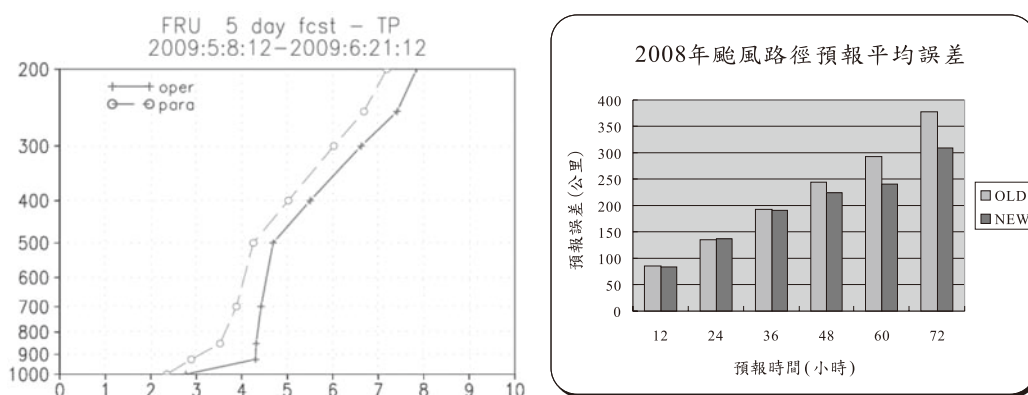


圖2. 改進中央氣象局全球預報系統中對邊界層及積雲對流參數化2項物理，分析這更動對南北緯20度間之熱帶地區模式預報之影響，左圖為舊模式(實線)與改進模式(虛線)在各高度(縱軸單位為百帕)東西向風速平均誤差(橫軸單位為每秒米)，右圖為舊模式與改進模式(標示見圖右側)對2008年7個測試颱風在不同預報時間之路徑預報誤差。

Figure 2. The impact of parameterizations in planetary boundary layer and cumulus precipitation on the performance of CWBGFS tropical circulation and typhoon track forecasts. On left, the root mean square errors of the zonal wind for day5 forecasts (horizontal axis, in m/s) from old (solid line) and new (dash line) versions of model. On right, mean typhoon track forecast errors of different forecast times from two versions of forecast model. The cases were selected from 7 typhoons in 2008.

渦旋結構頗為敏感，誤差偏大的個案可透過虛擬渦旋植入法的調修獲得改善，顯示颱風初始化方案在模式物理特性變動後，颱風渦旋初始化方式有必要再做調整。

在進行TPARC實驗(WMO/WWRP Observation System Research and Predictability Experiment (THORPEX) Pacific-Asian Regional Campaign)飛機加強觀測資料對辛樂克颱風侵臺前路徑預報的影響分析方面，研究發現新邊界層及積雲對流參數化能比舊版發揮更大的資料效益。在那段加強觀測期間，新版的72小時內路徑預報，因飛機投落送資料加入可改善10-18%的誤差，舊版只有2-8%。而且不論是傳統觀測資料較充裕的00/12 UTC或傳統觀測資料匱乏的06/18 UTC，飛機投落送資料對新版均有減小路徑誤差的顯著效果，但舊版在兩個階段的資料效益並不均勻，只在00/12呈現改善效果，06/18 UTC則反而出現負面影響。兩者的資料效果在06/18 UTC出現顯著差異，可能與新版模式的預報對大尺度環流的掌握較佳，在此時能提供較佳的猜測場幫助飛機資料在分析過程發揮更好的效用，有助突顯額外資料對颱風路徑預報的改進程度，詳細情形見馮 (2009)。

「颱風中尺度定量降雨預報技術之改進」方面，2009年度主要在建立東北季風共伴類型之颱風降雨氣候模式，並運用衛星降雨資料改進颱風降雨模式。研究之進行係利用過去與東北季風產生共伴之颱風個案，建立共伴颱風降雨氣候模式，並利用1989-2006年相依個案及2007年獨立

個案進行校驗。對相依個案校驗結果，圖3顯示，不論是個別測站或流域平均之總累積雨量預估結果，都以共伴模式表現較好，即共伴模式似有改善原始氣候模式低估雨量的情形。然而2007年獨立個案校驗結果顯示，不論是降雨量值或降雨分布，共伴模式的表現反而較差。顯示颱風外圍環流與東北季風交互作用產生之共伴效應，常僅侷限於較小的範圍，而且不同個案的共伴效應所影響之區域，很可能亦不相同。在利用SSM/I衛星觀測之颱風降雨量建立侵臺颱風衛星降雨氣候方面，研究分析個別颱風侵臺前之降雨潛勢，並發展依據衛星降雨潛勢修正颱風降雨模式之方法，與利用2007年及2008年獨立颱風個案，分別針對颱風登陸前24小時及陸上颱風警報期間進行降雨預估之校驗；結果顯示，不論在定性及定量上，應用衛星降雨潛勢修正颱風降雨氣候模式，可改善原始氣候模式常低估之狀況(見圖3)，尤其是降雨潛勢較大之颱風個案，詳細情形見李 (2009)。

在辛樂克颱風降雨以WRF的模擬上，模式表現的降水分布和觀測相似，皆有東南部以及西南部沿岸降水較少的情形，且主要的降水從北部延伸到中部山區，模式在北部區域的累積雨量和觀測較接近，但在中部地區的雨量大則為低估，而不同雲微物理參數對於颱風路徑和降水分布亦有不同的影響，值得進一步分析，詳見李 (2009)。另針對2007柯羅莎颱風個案，使用WRF模式探討在臺灣地形影響下，邊界層過程對颱風路徑與強度的影響，結果顯

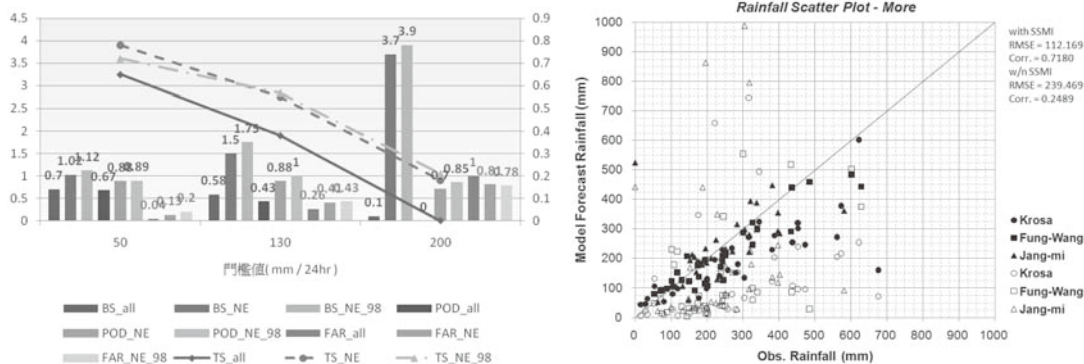


圖3. 左圖為利用氣候模式預報2007年颱風個案，各別測站之24小時累積雨量，在不同門檻值的預報校驗結果。長條圖部份(左側座標，圖下標示)，其中含原始模式(all)，東北季風共伴氣候模式(NE)與集水區颱風降雨模式(NE_98)之偏倚評分，可偵測機率及誤報率；線段部份(右側座標)則為預報得分(threat score)，其中實線代表原始模式，虛線為東北季風共伴氣候模式，點虛線為集水區颱風降雨模式。右圖實心點為經用1989~2007年SSM/I衛星資料之降雨強度產品，建立颱風衛星降雨氣候資料庫，調整後模式結果與單純氣候模式(圈)對多雨型颱風模式預估雨量與實際雨量之散佈圖。

Figure 3. Left panel shows the 24-hour accumulated rainfall verification of the independent cases in 2007 by using three different rainfall models. Solid line represents the threat score (right axis) on three thresholds (horizontal axis) of the original model (all), dashed line the northeasterly monsoon model (NE), dashed-point line the customized model (NE_98). The bars (left axis) are, in sequence, the bias scores, probabilities of detection, and the false alarm rates of the three models on different thresholds. Right panel shows the scatter plot of observation rainfall and model forecast rainfall. The solid symbols represent forecast model with SSM/I data. The hollow symbols represent forecast model without SSM/I data. Different shape symbols represent different typhoons.

示，若不使用邊界層參數化法時，模式無法維持颱風的持續發展，顯示邊界層過程對於颱風發展有著關鍵性的影響。在不同邊界層參數化法的預報結果比較上，使用Mellor-Yamada-Janjic參數化法，對柯羅莎颱風路徑模擬較使用Yonsi University參數化法為佳，詳見何(2009)。

「颱風豪雨及洪水耦合預報技術之研究」方面，2009年度計畫研究目的為使

用雷達觀測參數推估降雨進行模擬流量，藉以瞭解雷達參數推估降雨輸入至分散式水文模式(CASC-2D)後之流量模擬的適用性。對2001年納莉颱風個案，研究顯示利用中央氣象局WSR-88D (NEXRAD)機型雷達搭配降雨回波關係式推估降雨，其推估雨量結果明顯的低估。而雷達估計降雨修正值經過計算後的結果其比值為3.77。若用雷達估計降水關係式反推雷達回波值

需增加約為7.3dBZ左右，經由修正後的雷達推估降雨可以改善降雨估計結果。將修正過後的雷達推估雨量輸入至水文模式模擬逕流，於第1個洪峰流量受到雨量低估以及土壤入滲的影響而明顯低估。而從下游到上游不同位置的模擬流量評估結果可以看出，越上游模擬流量的結果較使用觀測雨量搭配降雨內插方法來的穩定。

於2005年龍王颱風個案，研究使用中央大學大氣物理研究所雙偏極化雷達資料，利用不同的雷達回波參數推估降雨。由結果可以看出使用KDP雷達回波參數推估降雨計算降雨量，雖然與實際觀測雨量比較是為低估，但與其他雷達回波參數比較有較好的結果，ZDR雷達推估降雨則有明顯高估的現象。另外，不同CAPPI高度的雷達參數回波推估降雨結果，會由於雨帶沿著山區而傾斜，導致於不同高度雷達回波估計降雨量的位置也會不同，因而影響到流量模擬結果。另外，將不同CAPPI高度(3公里、3.5公里、及4公里)之四種雷達參數推估降雨之系集平均與觀測值比較可以看出其降雨推估結果有明顯改善(圖4)，但輸入至水文模式其模擬流量依然高估(圖4)，可能原因為4種雷推估方法中有3種顯著高估流量(僅KDP雷達參數推估法低估估計流量)，以至於系集平均結果依然高估流量。

分析2006年碧莉斯颱風個案與2005年龍王颱風個案的不同點，在於實際觀測雨量上其雨量較小，平均降雨率小於15mm/hr。由雷達推估降雨結果可以看出在KDP、ZH、DSD等雷達回波推估降雨

皆低估於實際雨量觀測值，ZDR雷達回波推估降雨則較為接近實際雨量觀測。在模擬流量結果於7/15 00:00~24:00有兩個洪峰流量值，原因在於7/15 00:00~24:00時有一雨帶從西南往東北移動，因而造成雷達推估降雨上明顯看出2個洪峰雨量，進而造成流量上2個洪峰流量出現的情況。

總結以上的分析，可見使用雷達參數推估降雨對於集水區的雨量分布有明顯的改善，使用雙偏極化雷達回波參數推估降雨的結果於不同颱風個案中有顯著的差異。應用雷達KDP參數推估降雨，雖然於雨量推估上與觀測值比較有低估的現象，其雨量估算結果與其餘雷達回波參數推估雨量來比較較為穩定。而雷達ZDR參數推估降雨則明顯的高估，對於實際雨量值較小的個案上反而有較好的結果。因此對於雨量推估上，是以於大雨量個案的雨量推估應用雷達KDP回波參數，而小雨量個案的雨量推估應用雷達ZDR回波參數較為適合。但若將此結論應用於降雨估算作業上會存在著雨量大小的評估問題，所以必須配合即時觀測雨量資訊做為雨量大小的評斷標準，以提供各雷達回波參數推估降雨方法於不同雨量大小個案的綜合運用。逕流模擬受到雨量分布情況及累積雨量值的多寡影響相當大，若雨量差異±14mm/h左右，則流量明顯的差異約為±1000m³/h。假使再加上土壤及土地利用的不同而導致流量差異，整體來說可以達到±1000~2000 m³/h左右的流量變化，詳見楊(2009)。

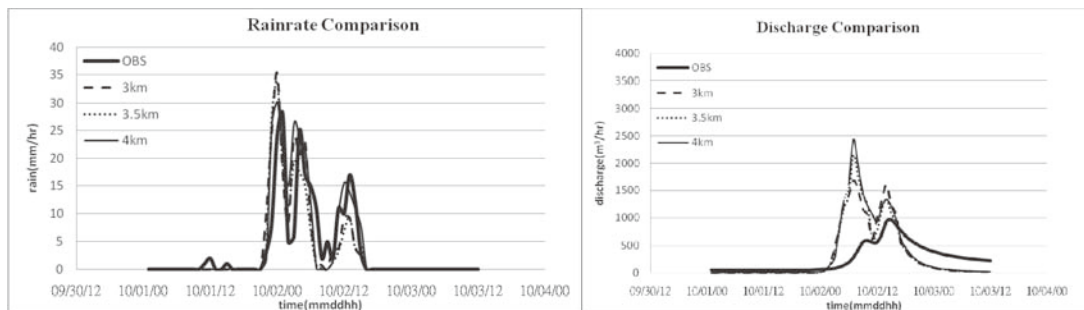


圖4. 2005年龍王颱風(左)總和4種不同雷達參數推估降雨之不同CAPPI高度(3 km、3.5 km、及4 km)平均降雨與雷雲實際觀測降雨比較圖與(右)4種雷達參數推估降雨平均雨量之模擬流量於不同高度CAPPI (3 km、3.5 km、及4 km)比較圖。

Figure 4. Rainfall rate (on left) and discharge (on right) comparisons of the ensemble average estimation using four radar polarimetric parameters at three CAPPI heights (3 km, 3.5 km, and 4 km) and the corresponding observations (OBS) over the Hsia-Yun watershed for Typhoon Longwong (2005) case.

「臺灣東南近海颱風受地形影響的中尺度結構分析」方面，2009年度計畫是針對2000年強烈颱風碧利斯，以綠島雷達分析颱風在外海期間降水雨帶之結構變化。研究結果顯示，颱風愈接近臺灣東南部山區，地形效應也愈明顯，且其眼牆特性在逐漸接近臺灣東南部地形時也有明顯變化，第1、2象限所呈現的低層風速有減弱趨勢。觀測資料亦顯示颱風中心距綠島雷達站約120 km至160 km時，外圍雨帶受臺灣地形明顯影響，外圍雨帶上之降水回波，呈合併發展狀況，並且移入外眼牆回波處，使得外眼牆降水強度增強。中心更接近時，外眼牆與外圍雨帶降水區域增大，外眼牆降水強度增強到最大的狀況。

由風場顯示在碧利斯颱風正朝西北方向接近臺灣東南陸地時，在綠島、成功和臺東測站均出現西北風，而蘭嶼測站則為

強北北東風，顯示證明地形阻擋效應與管道效應的存在。同時間，墾丁測站出現北北西風，結合蘭嶼測站的北北東風，在臺灣最南端與蘭嶼之間的廣大海域存在著顯著的合流現象，也驗證颱風中心環流場在此有加強作用，對流持續旺盛與發展。圖5為2000年8月22日1100 UTC 強烈颱風碧利斯的中尺度主觀地面氣流與2km定高面雷達回波(dBZ)合成圖，說明在第3、第4象限颱風外眼牆與雨帶跟氣流輻合區相當接近，對眼牆與雨帶的結構加強有相當作用。而同時間的中尺度主觀地面氣流與2km定高面徑向風場合成圖，再次說明在第3、第4象限颱風外眼牆與雨帶跟氣流輻合區相當接近，對眼牆內的風速加強與雨帶的擴張有相當作用，進一步討論見何(2009)。

「建置WRF模式於颱風預報作業應

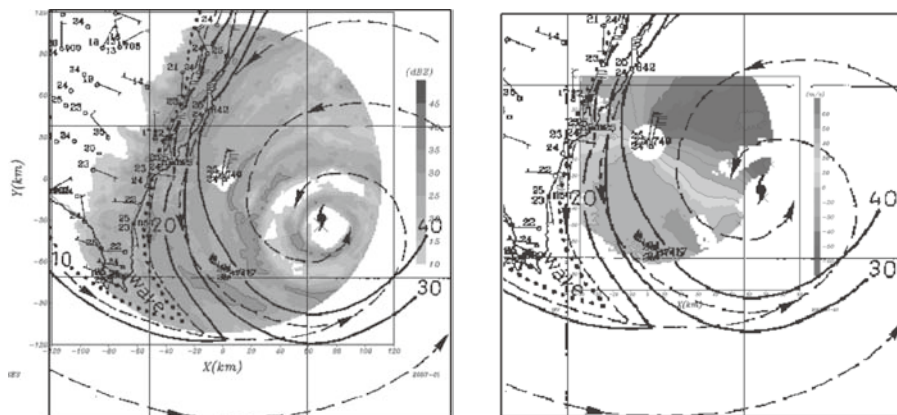


圖5. 在2000年8月22日1100 UTC 強烈颱風碧利斯的中尺度主觀地面氣流、風速與2km定高面雷達回波(dBZ)合成圖(左圖)及2km定高面徑向風場合成圖(右圖)。X代表颱風中心位置，+代表離開臺灣東南海岸33km之綠島雷達站位置，虛線是氣流線，實線是等風速線。

Figure 5. The composite CAPPI in reflectivity (dBZ) (left panel) and Doppler velocity (m/s) (right panel) at 2 km level with surface flow pattern analysis for the Severe Typhoon Bilis (2000) over Taiwan area at 1100 UTC on 22 August 2000. Symbol “X” represents the typhoon center and symbol “+” stands for the radar site about 33 km away from the Taiwan coastal line. The dash lines are the streamlines and the solid contours are the isotachs.

用之研究」則探討以颱風渦旋移置技術和4DVAR資料同化技術改進WRF模式颱風渦旋初始化流程。在颱風渦旋移置技術(relocation)研究方面，以WRF模式預報颱風路徑往往會發現初始颱風位置和觀測位置差異過大的情形。此研究利用發展完成的颱風移置技術測試2008年辛樂克與薔蜜颱風共58個個案，結果顯示颱風6小時預報的中心位置大致上皆超過1個網格點的誤差，更突顯颱風移置技術的重要性。此研究設計有無使用颱風移置技術探討其颱風路徑預報，結果發現分析場的颱風初始位置差別最大，採用颱風移置技術有超過50%的改進能力(圖6)。在預報方面，平均則有38%颱風路徑預報的提升，最少的亦

有改進28%。進一步分析與探討颱風移置技術改進颱風預報的原因，其中海平面氣壓分析場可見颱風移置技術的建置使颱風環流結構較呈現圓形分布且較為紮實。反之，若未使用颱風移置技術颱風結構有明顯拉伸變形的趨勢。此結果說明颱風初始位置和同化颱風資料的位置距離較大時，分析場則呈現扭曲的颱風中心，導致模式初期需積分一段時間以達到模式動力和物理平衡。甚者，亦可發現預報前期12小時颱風路徑異常偏折的現象。因此，預報結果72小時颱風路徑預報亦較使用颱風移置技術為差，而在分析颱風垂直結構上，可以得到相同的結論。

對4DVAR之應用方面，在單點實驗測

試中，即可發現4DVAR較3DVAR為優，特別在分析增量中有flow-dependent與背景誤差協方差隨時間變化的特徵。此研究亦利用WRF 4DVAR探討同化颱風渦旋植入資料對颱風路徑與結構的影響，對辛樂克颱風個案在分析中加入同化植入質量場和動量場的渦旋，其路徑和結構有較好的模擬結果(圖略)。在各類觀測資料大幅增加，資料同化技術更顯重要，其中又以四維變分資料同化模式最具代表性。今年度此研究主要在進行建置WRF 4DVAR系統於中央氣象局環境並完成測試。研究並以

海棠颱風登陸臺灣前之個案，使用美國NCEP全球模式做為初始場與邊界條件，對WRF模式(45公里解析度)進行4DVAR、3DVAR以及未作變分分析(no_VAR)的測試。結果顯示海棠颱風於臺灣東方外海繞圈的路徑，4DVAR的實驗模擬出此異常路徑。目前WRF-4DVAR已於中央氣象局系統中建置完成，並可使用央氣象局全球模式(CWBGFS)和美國NCEP全球模式(NCEPGFS)的資料作為初始場和邊界條件，惟尚需進一步分析，才能作業應用。

對中央氣象局模式路徑預報校驗與改

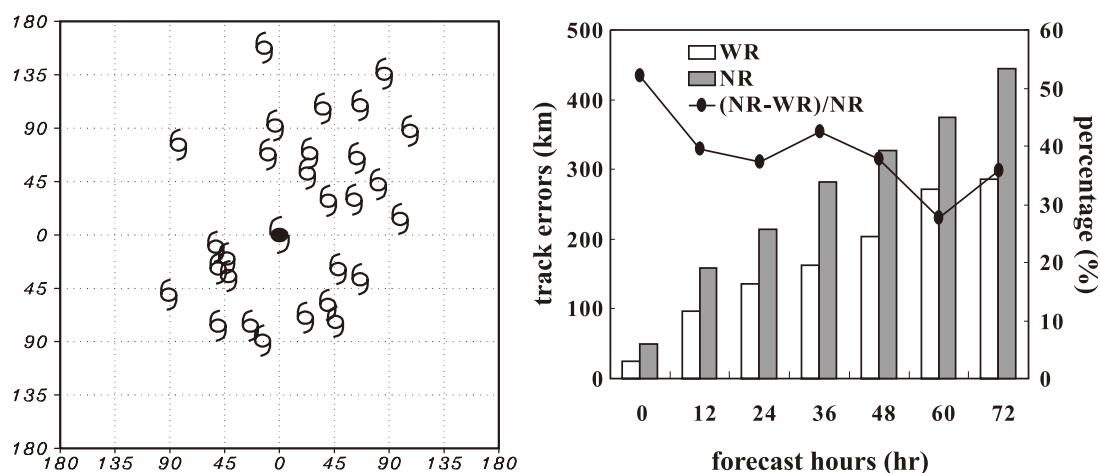


圖6. 左圖為28個達到使用颱風移置技術的個案，模式颱風中心位置(空心颱風標記)與觀測中心(實心颱風標記)相對位置(單位為公里)。右圖為颱風中心未移置(白色)與移置(黑色)實驗各小時(橫軸)平均路徑預報誤差(左座標，單位為公里)與颱風移置技術改進的比例(實線，右座標，單位為百分比)。

Figure 6. The 28 cases of relative positions (left panel, units in kilometer) of the model analyzed centers (hollow typhoon symbols) to the observed typhoon centers (solid typhoon symbol). The improvement of the vortex relocation process on typhoon track forecast (right panel). Horizontal axis is the forecast time (unit of hour). Bars are track position errors (left axis, unit of km) of forecasts with (hollow) and without (solid) relocation process. Curve is the percentage of the error reductions (right axis, unit of %).

進方面，在2008年中央氣象局NFS_Kuo(使用Kuo積雲參數化之中央氣象局非靜力區域模式)、WRF與EN(NFS與WRF系集預報)明顯不如2007年的表現，但中央氣象局官方颱風路徑預報於2008年的表現亦不如2007年。而除了WRF_M01(使用NCEPGFS分析場)外，WRF模組在2009年誤差繼2008年再度增加，WRF版本的更動，是誤差產生的可能原因之一。更詳細對中央氣象局2008年颱風與2009年颱風模式各預報方法之校驗結果如圖7，詳細之討論見葉(2009)。

在颱風於臺灣地區之降雨方面，此研究再次整理降雨隨颱風中心位置分布之氣候平均，所引用之資料為1991年至2008年中央氣象局所有長時間觀測之287個自動雨量站資料，圖8顯示颱風中心於21°N到27°N, 119°E到123°E間，每1°x1°之平均降雨分布，這分布圖可以更詳細的看到颱風侵臺時各地可能之降雨量，詳細之討論見葉(2009)。

三、結論

本整合計畫研究之進行包含「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」、「全球數值模式於颱風路徑預報之應用與發展」、「颱風中尺度定量降雨預報技術之改進」、「颱風豪雨及洪水藕合預報技術之研究」、「臺灣東南近海颱風受地形影響的中尺度結構分析」與「建置WRF模式於颱風預報作業應用之研究」等6部分。

「在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」方面，2009年度完成網連雷達回波資料品質控制程序的建立、雙都卜勒雷達反演分析、以及日本嶼那國島剖風儀即時資料的接收與分析。

「全球數值模式於颱風路徑預報之應用與發展」方面，主要在對中央氣象局全球預報系統邊界層及積雲對流參數化2項物理做研究改進，研究結果顯示2009年度之改變對熱帶風場的系統性誤差產生相當明顯的改進，此新版模式也改善了舊版對副熱帶高壓預報過強的系統性誤差，使預報強度的掌握較為平穩，也使模式對飛機加強觀測資料的效應更為明顯。

「颱風中尺度定量降雨預報技術之改進」方面，2009年度主要在建立東北季風共伴類型之颱風降雨氣候模式，並運用衛星降雨資料改進颱風降雨模式。個案校驗結果顯示，不論是個別測站或流域平均之總累積雨量預估結果，都以共伴模式表現較好，即共伴模式似有改善原始氣候模式低估雨量的情形。

「颱風豪雨及洪水藕合預報技術之研究」方面，2009年度計畫研究目的為使用雷達觀測參數推估降雨進行模擬流量，藉以瞭解雷達參數推估降雨輸入至分散式水文模式(CASC-2D)後之流量模擬的適用性。結果顯示使用KDP雷達回波參數推估降雨計算降雨量，與其他雷達回波參數比較有較好的結果。另外，不同CAPPI高度的雷達參數回波推估降雨結果，會導致於不同高度雷達回波估計降雨量的位置也會不同，因而影響到流量模擬結果。另外，

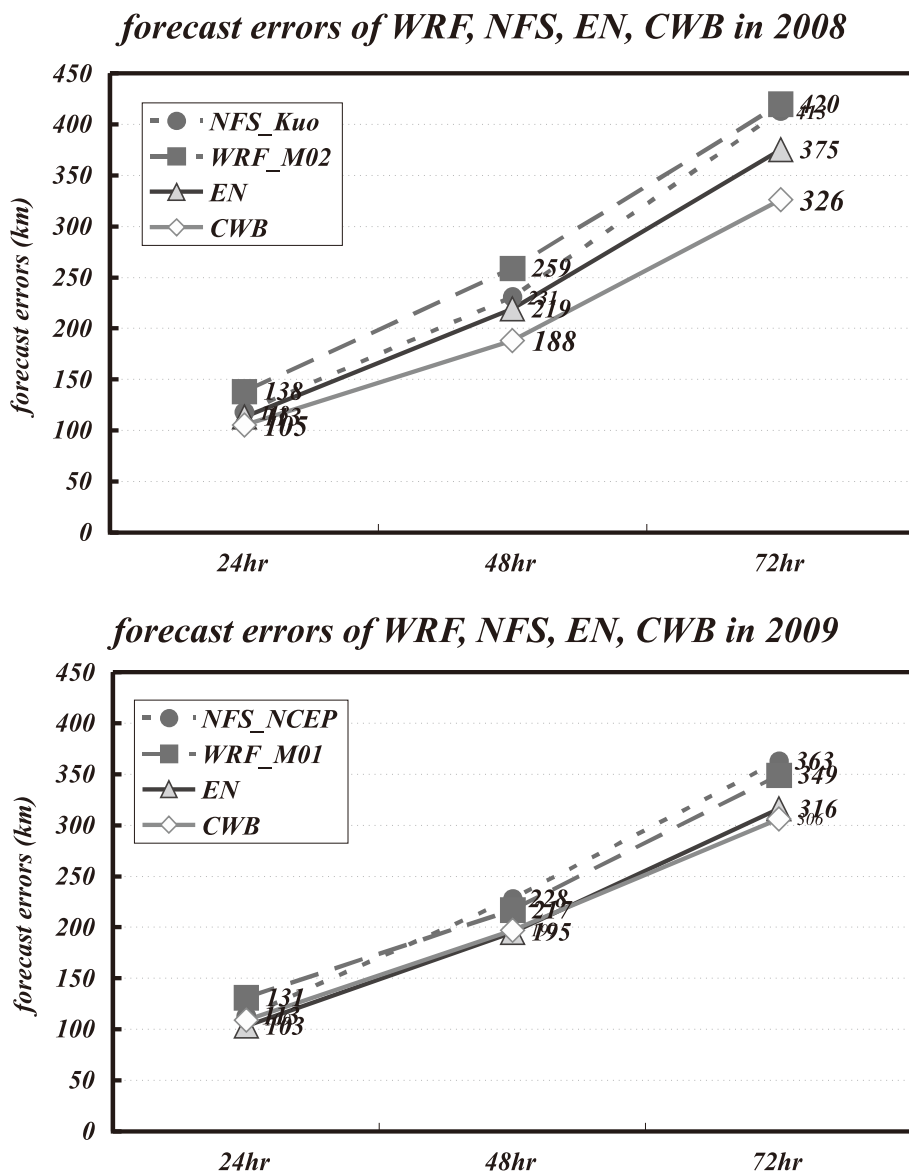


圖7. 為NFS、WRF、EN(NFS與WRF系集預報)與中央氣象局官方預報(CWB)對2008年(上圖)與2009年(下圖)的颱風進行均勻個案的24、48、72小時颱風預測路徑平均距離誤差。其中，NFS於2008年與2009年係分別以 NFS_Kuo、NFS_NCEP為作業版，WRF則分以 WRF_M02、WRF_M01為作業版，詳見葉(2009)。

Figure 7. The mean forecasting errors (vertical axis, units in kilometer) of NFS, WRF, and EN models and the Central Weather Bureau official forecast (CWB) for typhoons in years 2008 (up panel) and 2009 (down panel). Horizontal axis is the time range, from 24 hours to 72 hours, of the track forecasts. EN represents the ensemble forecast from NFS and WRF models. In year 2008, the Central Weather Bureau used NFS_Kuo and WRF_M02 as operational models those be changed to NFS_NCEP and WRF_M01. Details refer to Yeh (2009).

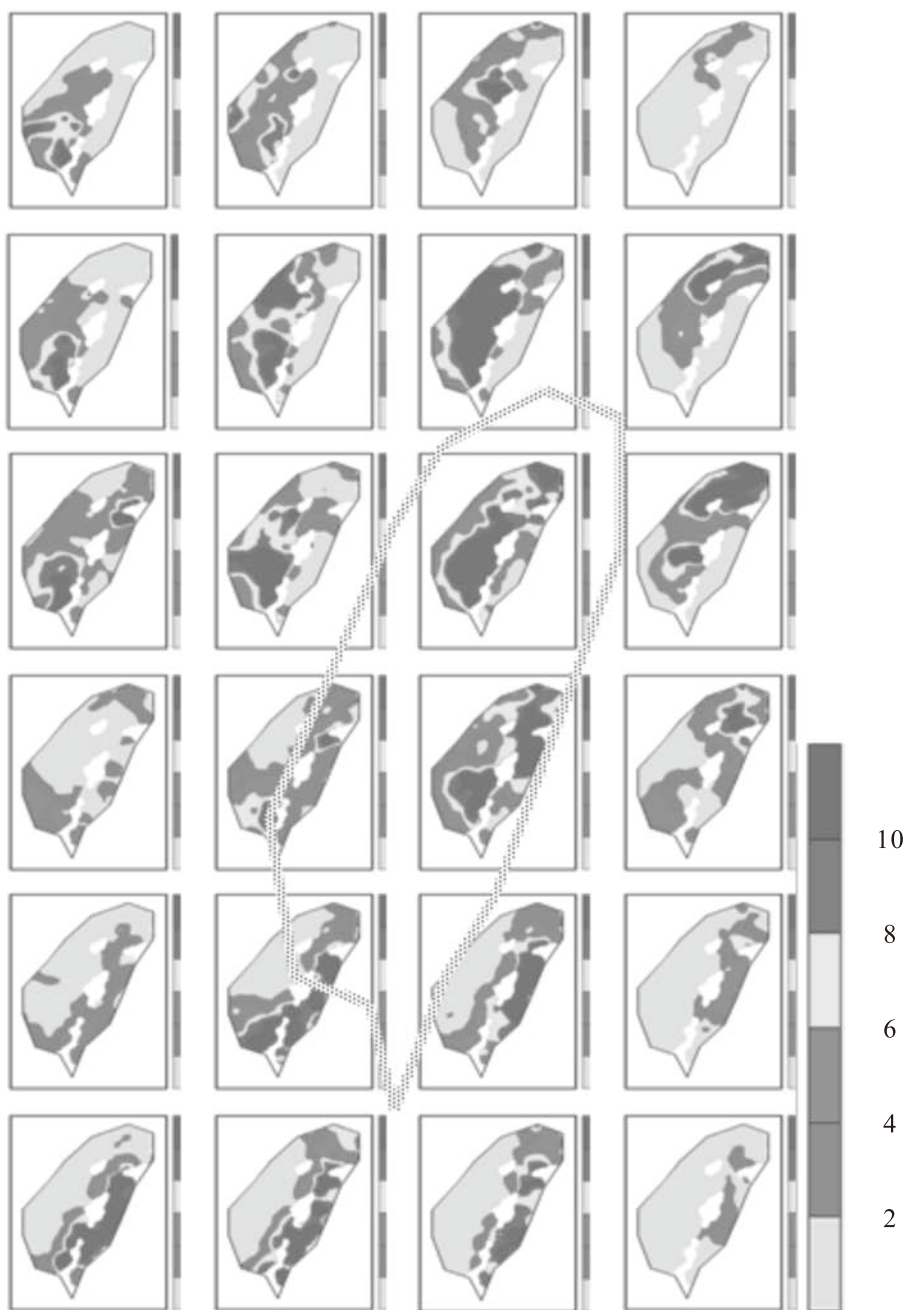


圖8. 由1991至2008年287個雨量觀測點資料所得颱風中心位於 21°N 到 27°N , 119°E 到 123°E 間，每 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 之平均降雨分布。雨量之尺標(單位為毫米)見圖右下角。

Figure 8. The mean hourly rainfall over Taiwan for cases of typhoon in 1991 to 2008 with its eye locates at the 1 degree by 1 degree areas from 21°N to 27°N , 119°E to 123°E . The rainfall scale (in mm) is shown on the right bottom corner.

將不同CAPPI高度(3公里、3.5公里、及4公里)之4種雷達參數推估降雨之系集平均與觀測值比較可以看出其降雨推估結果有明顯改善，惟輸入至水文模式其模擬流量依然高估情形。

「臺灣東南近海颱風受地形影響的中尺度結構分析」方面，2009年度主要在以綠島雷達分析颱風在外海期間降水雨帶之結構變化。研究結果顯示，颱風愈接近臺灣東南部山區，地形效應也愈明顯，且其眼牆特性在逐漸接近臺灣東南部地形時也有明顯變化，第1、2象限所呈現的低層風速有減弱趨勢，有地形阻擋效應與管道效應的存在，同時在臺灣最南端與蘭嶼之間的廣大海域存在著顯著的合流現象。

「建置WRF模式於颱風預報作業應用之研究」方面，主要成果包括測試與建立WRF模式4DVAR、持續改進渦旋移置技術於颱風路徑預報作業應用，同時詳細計算與分析中央氣象局非靜力區域模式(NFS)、WRF模式對2008年與2009年颱風路徑預報之誤差，並以不同初始與邊界條件組成系集預報。結果顯示此種簡單的系集預報作法之平均誤差較各個別預報之平均誤差小，能供作業應用。另外，進行以平均法分析颱風侵襲期間降雨量分布之特性，以進一步建立雨量預報方法。

綜合而言，2009年度研究從颱風路徑動力模式之改進、颱風豪雨、洪水動力模式預報技術的建立、應用都卜勒雷達觀測資料、建立雷達颱風降雨氣候資料，計畫按時完成，達成計畫原定目標，更詳細之研究成果請參見參考文獻中之各行政院國

家科學委員會研究報告。

四、誌謝

感謝行政院國家科學委員會對本整合研究計畫之資助。第一作者另要感謝中央氣象局蕭玲鳳、陳得松、黃康寧與王惠民之協助與參與。

五、參考文獻

李清勝，2009，颱風路徑與侵臺颱風伴隨風雨預報技術之發展—子計畫：颱風中尺度定量降雨預報技術之改進(II)，行政院國家科學委員會研究報告NSC97-2625-M-002-002，172PP。

何台華，2009，颱風路徑與侵臺颱風伴隨風雨預報技術之發展—子計畫：臺灣東南近海颱風受地形影響的中尺度結構分析，行政院國家科學委員會研究報告NSC97-2625-M-262-001，30PP。

張保亮，2009，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(II)，行政院國家科學委員會研究報告，NSC 97-2625-M-052-005，48頁。

馮欽賜，2009，颱風路徑與侵臺颱風伴隨風雨預報技術之發展—子計畫：全球數值模式於颱風路徑預報之應用與發展(II)，行政院國家科學委員會研究報告，NSC97-2625-M-052-003，47頁。

葉天降，2009，颱風路徑與侵臺颱風伴隨風雨預報技術之發展-子計畫：建置WRF模式於颱風預報作業應用之研究(II)，行政院國家科學委員會研究報告，NSC97-2625-M-052-002，108頁。

楊明仁，2009，颱風路徑與侵臺颱風伴隨風雨預報技術之發展-子計畫：颱風豪雨及洪水藕合預報技術之研究，行政院國家科學委員會研究報告，NSC97-2625-M-008-003，53頁。

The Study on Forecast Technique Development of the Typhoon Track, Rainfall and Winds over Taiwan Area in Year 2009

¹T.-C. Yeh, ²C.-S. Lee, ³M.-J. Yang, ¹C.-T. Fong, ¹P.-L. Chang, ⁴T.-H. Hor

¹Central Weather Bureau

²National Taiwan University

³National Central University

⁴Lunghwa University of Science and Technology

ABSTRACT

To improve the capability of typhoon forecasting and thus to reduce the damage loss induced by destructive typhoons are top priority research topics of the National Science and Technology Program for Hazards Mitigation supported by the National Science Council. “The Forecast Technique Development Studies on Typhoon Track, Rainfall and Winds over Taiwan Area” is one of the integrated research themes under this Program and aimed to improve forecasts of the track, heavy rainfall and strong winds for a typhoon striking Taiwan. This paper summarizes the outcomes of the integrated study in year 2009.

Tasks of the study include: Doppler radar wind analysis and implementation of the wind analysis scheme into the Central Weather Bureau (CWB) operational environment, development and application of a global numerical model for typhoon track forecast, improvement of the typhoon mesoscale quantitative precipitation forecast, study of the forecasting technique for typhoon-associated heavy rainfall and severe flooding, study on the implementation of WRF typhoon forecasting component in the operational environment of CWB, study on the Taiwan terrain effect on structures of the invading typhoons.

The results of the studies are fruitful, which include a Doppler radar data control procedure and the dual Doppler radars wind analysis algorithm which have been successfully implemented in CWB operational environment. The physical packages of the planetary boundary layer and the cumulus parameterization of the CWB global numerical model and the vortex relocation procedure of CWB WRF model have been refined. A WRF 4Dvar system also has been implanted in CWB. For improving typhoon rainfall forecast, typhoon rainfall climatological model for typhoons coupling with the northeasterly monsoon has been developed. The typhoon rainfall climatological model also has been improved by using the satellite data-derived typhoon rainfall climatology. A scheme to integrate rainfall estimated by using improved radar analysis algorithm, into the water flow simulation has been developed.

Key words: typhoon, typhoon rainfall forecast, typhoon track forecast, data assimilation, vortex relocation, dual Doppler radars analysis, typhoons coupling with the northeasterly monsoon, water flow simulation