

都卜勒雷達資料應用於定量降水技術之研發（二）

Developing the Quantitative Precipitation Estimation techniques by using the Doppler radar data (II)

主管單位：中央氣象局

周仲島

Ben Jong-Dao Jou

國立台灣大學大氣科學系

摘要

侵台颱風降雨預報之氣候模式，主要是利用全省雨量站資料針對不同颱風路徑進行分類。然而在相同路徑下之個別颱風所造成的降雨有明顯的差異性，其技術仍有很大的改善空間。本計畫主要是利用全台都卜勒雷達觀測網資料 (QPESUMS)，期望對於颱風侵台期間定量降雨預報技術有所提升。

本研究計畫第一階段預計分二年進行。第一年的主要工作是利用歷史侵台颱風資料，定義颱風定量降雨預報分類特徵因子，如：環狀平均回波結構特徵、降雨強度和降雨壯度等，借由這些特徵因子結構的瞭解，進而改善颱風定量降雨預報的能力。第二年的主要工作則是建立應用颱風降雨特徵因子，改進現行颱風降雨氣候模式之概念模式。

關鍵詞： 颱風降雨壯度，定量降雨估計

Abstract

The rainfall forecast by the typhoon rainfall climate model is using the averaged raingauge rainfall data of sorted typhoon tracks. even in the same track, the typhoon rainfall has a lot of variation. The typhoon climate rainfall estimation technique still has large space to be improve. This project was using the Doppler radar data of CWB radar network (QPESUMS) to improve the typhoon rainfall estimation technique.

This is a two-year project. First year, using the Doppler radar data to define the characteristic factors relative to typhoon rainfall. The factors include ring average of the reflectivity structure of typhoon, typhoon rainfall strength, etc. In the second year, these factors are using to improve the typhoon climate rainfall estimation.

Keywords： Typhoon rainfall strength, Quantitative precipitation estimation

一、前言

近年來由於新一代都卜勒雷達(Next Generation Radar : NEXRAD)具備了長距離觀測之特性，可對接近陸地的颱風提供高時空解析度的觀測資料。隨著電腦的快速發展，其所收集的數據，也成為學術單位研究登陸颱風風雨分佈特徵的主要資料來源(Stewart and Lyons 1996, Blackwell 2002)。台灣自1987年開始架設第一部C波段都卜勒雷達開始，至今已包括S波段和C波段高解析度長距離之都卜勒雷達共有六座作業用和一座大學研究用都卜勒雷達。這些都卜勒雷達構成一個密集觀測雷達網，其觀測距離最遠達460公里，利用雷達網的觀測資料可以有效提升台灣近海與本島劇烈天氣預警的功能(周2001)。

林與徐(1988)針對1950年到1985年侵襲台灣的119個颱風作雨量分析，結果顯示台灣地區颱風降雨分佈以北部山區、中央山脈東麓以及中央山脈西麓三大區域最為顯著；同時指出颱風強度、颱風路徑與移動速度、以及季節性綜觀系統，對於各地區降雨量多寡都有明顯的影響。陳等(1993)歸納出颱風影響台灣期間，各地降雨分佈主要受到四個因素的影響：(1)颱風結構—包括環流大小、眼牆和螺旋狀雲系(包括中小尺度對流胞)特徵，(2)颱風之移速，(3)環境氣流特徵，以及(4)台灣地形。有關颱風豪雨相關的研究文獻相當多，尤其是不同路徑颱風對於台灣地區降雨強度和分佈都有不少研究。但是對於侵台颱風降雨結構的研究則相對較少(李與蔡 1995；許 1991)。

本年度期末報告完成颱風降雨關聯式資料庫建立，開發資料庫查詢系統雛型，弱回波颱風中心定位法移植至QPESUMS之回波整合產品上，各項環狀回波平均及颱風降雨狀態計算之改善，及引進熱帶降雨潛勢估計方法並套用至雷達觀測資料上。

報告中有關環狀回波平均及颱風降雨狀態之計算之改善是採取扇形區域資料處理法去除因冰相降水粒子造成低估之回波。為了將來自動化作業，已將回波環狀平均、四象限平均哈莫圖及颱風降雨狀態等方法改成使用QPESUMS合成回波。並利用泰利颱風瞭解經扇形區域資料處理法對各項颱風降雨特徵因子所造成的影響。

在熱帶降雨潛勢估計方法方面，已套用在QPESUMS系統之合成回波產品上，目前共測試了六個不同強度不同路徑侵台颱風個案，作為侵台颱風降雨潛勢估計的重要參考。本報告分析的六個颱風分別為(a)艾莉颱風，(b)納坦颱風，(c)海棠颱風，(d)泰利颱風，(e)龍王颱風，(f)桑美颱風。

未來在颱風降雨氣候模式改善方面則著重在颱風降雨關聯式資料庫的應用，期以收集完整的颱風降雨資訊及快速的查詢方法給予颱風降雨氣候模式額外的參考資訊。進一步將研發如何將颱風降雨特徵因子及颱風降雨狀態因子融入颱風降雨氣候模式中，以期能改善颱風定量降水估計與預報的能力。

二、 颱風降雨關聯式資料庫

本計畫第一年已說明如何利用雷達回波資料建立高時空解析度描述颱風特

微因子的各類產品。在建立這些產品前，雷達回波資料的選取經過仔細評估以及品質管制過程。同樣的，地面雨量資料在台灣地區複雜地形的條件下，降雨量的分佈相當的複雜。為了進一步的瞭解地理位置、地形、颱風中心位置，甚至於颱風雨帶(可由雷達回波的觀測而獲得)有著不同的相關。因此必須針對每個颱風個案建立一個可以快速查閱及分析的雨量及颱風關係的資料庫，作為研究和作業系統建置的重要依據。本章節著重在颱風降雨資料庫之建立及應用。

颱風降雨關聯式資料庫建立後即可使用SQL語法查詢所要的資料，一般可以文字界面方式直接鍵入SQL命令來查詢，但這對大部份的使用者是非常困難的。若使用圖形界面來設定查詢規則及轉換成查詢命令，最好能將查詢結果以圖形方式表式，那對一般使用者甚至對研究人員均是很大的進步。

本計畫利用wxPython描述語言建立圖形使用者界面，目前已完成路徑查詢之界面。使用者可以透過圖形界面很容易的查詢某一種颱風移行路徑的歷史個案，並以圖形方式顯示查詢結果。

使用者使用內定之選取方框(0.2度)在緯度24.1度，經度122.2度(24.1, 122.2)位置按下滑鼠左鍵，則底圖會出現一個0.2x0.2度的虛線方框，若使用者接著再按一下「print」鈕則DOS視窗內會輸出於資料庫中所有經過這個虛線方框的颱風位置。若再按下「plot」鈕則底圖上就會繪出所有經過這個虛線方框的颱風路徑，如圖2.3.5。

當颱風個案越來越多時，使用一個虛線方框的選取方式常會選出眾多的颱風個案，但有時我們只想選經過此方框的某一個移行方向的颱風，這時使用者就可再點選此點及另外的一點(23.7, 122.6)，此時程式會利用交集的方式列出通會方框1及方框2的颱風，圖2.3.6即為此例輸出(1994 GLADYS及 2005 HAITANG)。

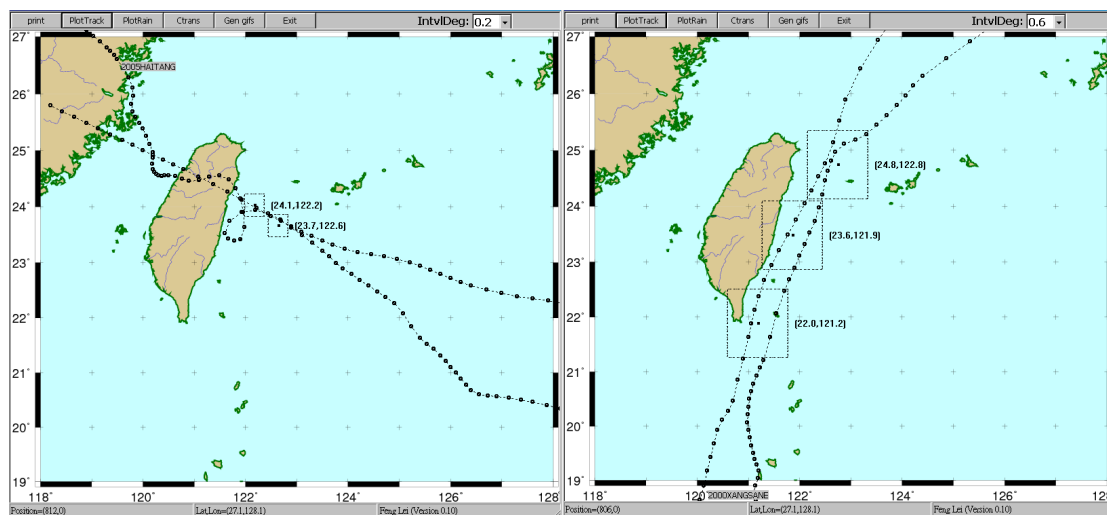


圖 2.3.6 雙選取方框輸出範例。

圖 2.3.7 三選取方框輸出範例。

利用這種方式，使用者可以很容易的找出在資料庫中的某一種特別路徑的颱風。例如使用者想要知道在資料庫中(1989~2005年)是否有類似2000年象神颱風(XANGSANE)路徑的颱風，就可以加大選取方框，並點選一個以上的位置，如

圖2.3.7點選三個位置，如此就可找到1998年的瑞伯颱風(ZEB)。

使用上述選取方框方式所選取的兩個颱風(象神及瑞伯颱風)後，即可按下「plot」功能鈕繪製累積雨量圖。圖2.3.8即為累積雨量圖顯示於windows XP作業環境之情形。利用這種互動式的方法可以很容易的將相似路徑的颱風分類並點選出來，逐一繪製累積雨量圖的功能，即可讓使用者對存在颱風降雨關聯式資料庫中的颱風個案累積雨量一目瞭然。這種即時查詢的方式可讓使用者明瞭在某種類式路徑下的颱風累積雨量是否具有有很高的相似性。這個資訊對於預測未來相似路徑下的颱風累積雨量具有很高的參考價值。圖2.3.8中的象神及瑞伯颱風雖然颱風中心與陸地的距離不一樣，但可看出這種由北向南的路徑具有很高累積雨量的相似性。

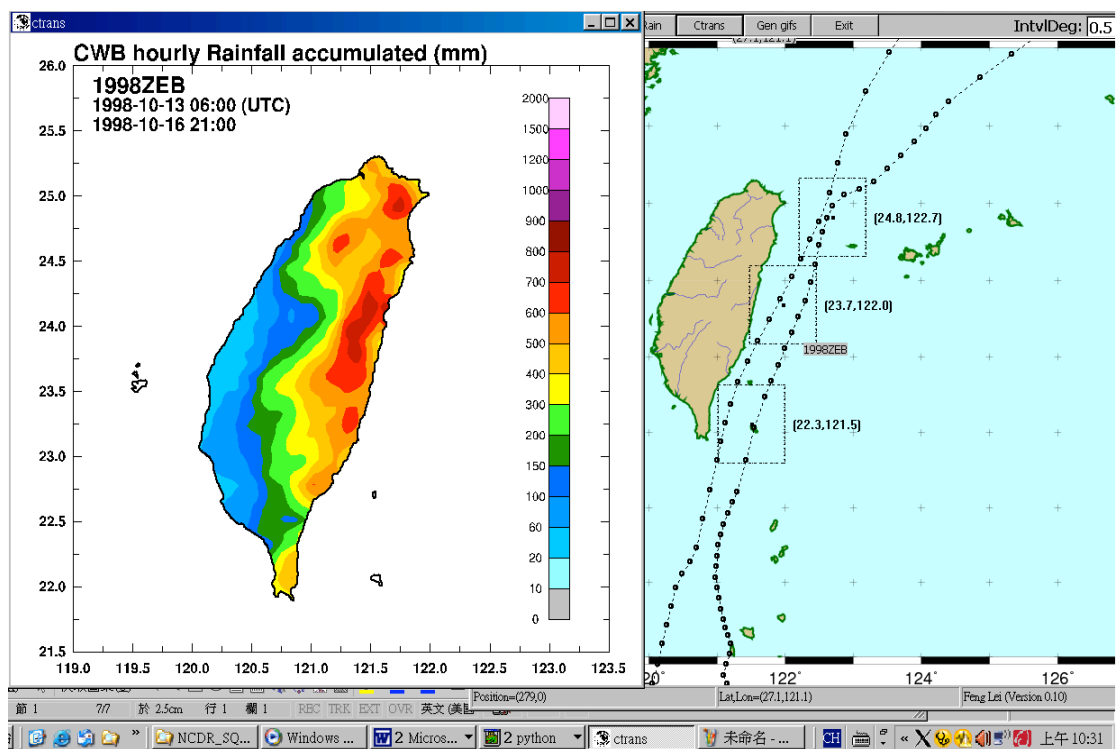


圖2.3.8 利用方框選取功能選定颱風後，所輸出(a)象神颱風及(b)瑞伯颱風(略)的累積雨量圖。

三、 颱風降雨特徵因子計算

在計算颱風降雨回波環狀平均值以及降雨壯度大小時，發現颱風在靠近陸地時會有很明顯的增強現象。由於這樣的現象在每個颱風都非常明顯，所以必須再以更細緻的資料處理方式來再次檢驗這樣的結論是否正確，因此必須去除對這個結論有影響的外在因子。由於靠近QPESUMS網格系統邊界處的這些來自較高觀測高度的弱回波值，會對後續計算回波環狀平均值以及壯度大小時有產生低估的現象，因此在計算之前須將此一弱回波區域予以去除。此外，雷達回波在陸地上常會與地形回波混雜在一起，因為QPESUMS系統本身即有內定的地形回波去除

功能，目前這部份再不增加額外的處理。

為了使所計算的颱風降雨回波環狀平均值以及降雨壯度大小不受上述 0°C 以上的高度的弱回波區的觀測值影響，就必須在做狀平均時預先去除低於 0°C 以上的高度的弱回波區。

壯度的觀念最早由Holland and Merrill(1984)提出，其意義是指最大切向風速半徑之外，某一環狀區域內平均切向風速值的大小。同時由研究結果發現幾乎相同強度的颱風(一般強度指的是最大風速或者是最低海平面氣壓而言)，其壯度經常有很大的不同。其後Weatherford and Gray(1988a&b)利用飛機觀測資料，討論不同颱風與外核壯度(outer core strength : OCS, 111-278km範圍)的關係，Croxford and Barns (2002)則是討論內核壯度(inner core strength : ICS, 65-140km範圍)與強度的關係。

周等(2004)認為同樣的觀念也可應用在颱風降雨上，不同颱風雖有相近的降雨強度，但是降雨結構卻可以有非常顯著的差異。降雨強度(rainfall intensity指近中心最大環狀平均回波)相同的颱風，其降雨壯度(rainfall strength指最大環狀平均回波半徑之外，某一環狀區域內平均回波值的大小)可以有相當大的差異。

由於靠近QPESUMS網格系統邊界處的這些來自較高觀測高度的弱回波值，會對計算颱風降雨壯度大小時有產生低估的現象，因此在計算之前須將此一弱回波區域予以去除。根據第一年研究報告，共有三種颱風降雨壯度計算方式，本年度則是測試經扇形區域處理後的這三種颱風降雨壯度的差異。颱風降雨壯度的定義如下：

- (1) 距離颱風中心半徑300公里範圍之內，在分析半徑上的雷達反射率因子環狀平均值只要大於25dBZ門檻值，即將該回波環狀平均值 (dBZ) 透過公式 ($dBZ = 10 \times \log_{10} Z$) 轉換為雷達反射率因子線性值 (Z)，然後進行累加，並計算雷達反射率因子的算數平均值 (Z/大於門檻值個數)，再將平均雷達反射率因子轉換為雷達反射率因子的分貝值(dBZ)，所得之平均值即為此一分析時間的颱風降雨壯度，累加方式的示意圖如圖3.3.6 (a)。
- (2) 距離颱風中心半徑300公里範圍，所有的雷達反射率因子環狀平均值轉換為雷達反射率因子線性值後，乘上該分析半徑的標準化面積權重參數 ($\Delta R^2 / 300^2$) 並予以累加，再將累加之雷達反射率因子轉換為雷達反射率因子的分貝值(dBZ)結果即為此一分析時間的颱風降雨壯度，累加方式的示意圖如圖3.3.6 (b)。
- (3) 距離颱風中心半徑300公里範圍，由外向 搜尋環狀平均值第一個大於25dBZ門檻值的位置，此位置即為向內積分之參考半徑(radius)，參考半徑內的環狀平均雷達反射率因子值轉換為線性值後，乘上該分析半徑處的標準化面積權重參數 ($\Delta R^2 / radius^2$) 並予以累加，再將累加之轉換

為雷達反射率因子的分貝值(dBZ)結果即為此一分析時間的颱風降雨壯度，累加方式的示意圖如圖3.3.6 (c)。

方法一的壯度值主要是突顯出颱風中雨帶強度的變化，也因為並沒有進行面積權重處理，所以壯度值會較其他兩者來得大。方法二的壯度值為經過面積權重處理，較能夠代表在該分析時間整個颱風降雨壯度大小，但其缺點是在整個分析時間中，壯度計算半徑固定，半徑固定的壯度計算方式可能並不適用於登陸階段颱風個案中，因為通常登陸階段颱風的範圍大小有明顯的變動。而方法三的壯度值計算方式與方法二相同，唯一差別是在整個分析時間中，壯度值計算的半徑並不是固定的，因此以方法三所計算之壯度值，應該是較能夠客觀反應出每個颱風個案之整體降雨壯度特徵。

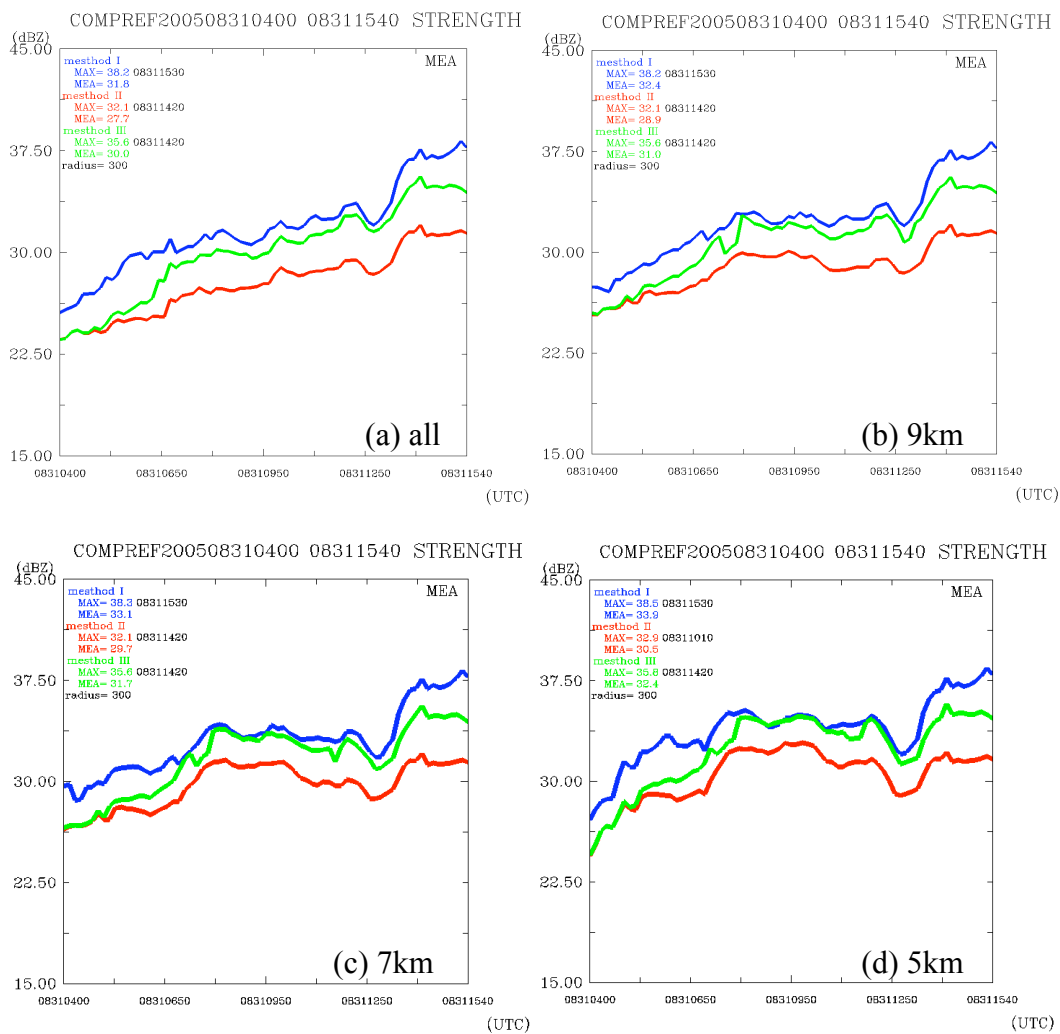


圖3.3.7 以經扇形區域資料處理之整合回波所計算之環狀平均回波壯度，不同色線代表不同壯度計算方法。圖(a)則是未經刪除任何回波資料之環狀平均回波壯度，圖(b)、(c)、(d)分別為刪除9、7、5km高度以上回波資料之回波壯度。

四、案個分析分析範例

泰利 (Talim) 颱風於2005年8月26日0000Z在北緯12.6度、東經144.0度形成輕度颱風，向西北方向移動，28日颱風轉向西北西方向朝台灣移動。泰利颱風於30日0000Z增強為強烈颱風，中央氣象局也於同一時間發佈海上颱風警報 (強烈颱風)；根據日本氣象廳資料顯示，泰利颱風於29日1800Z強度達到最強，其最低海平面氣壓為925hPa，最大估計風速95kts。圖5.2.5為泰利颱風的路徑圖，泰利颱風於9月1日凌晨颱風結構受到地形破壞，強度已減弱為中度颱風，並且以分裂過山型式登陸台灣地區，其低層中心在花蓮南方近海，呈現滯留的現象，高層中心於31日1700Z進入花蓮縣立霧溪，隨後低層中心於31日2330Z在宜蘭、花蓮之間登陸，其環流中心減弱消失，並且由位於台中西方近海形成之副低壓中心取代，朝西北方向移動，於1日0700Z由馬祖附近登陸福建，隨後減弱為熱帶低壓。

泰利颱風降雨特徵因子分析選取的時間為20050831 0400UTC ~ 20050831 11540UTC，圖5.2.6(a)是利用弱回波中心定位方法訂定的分析時間期間颱風路徑圖，圖5.2.6(b)則是泰利颱風的環狀平均回波結構特徵圖(哈莫圖)，圖中可知，分析期間泰利颱風也呈現明顯雙眼牆結構，內眼牆約位於半徑50公里左右，其颱風眼比海棠颱風來得大，內眼牆環狀平均回波可達40dBZ以上，外眼牆約位於半徑150~225公里之間，兩眼牆間同樣存在一相對較弱的回波區域 (moat)，在08311250UTC以後，外眼牆向內縮小取代內眼牆，隨後眼牆向內收縮且增強，環狀平均回波可達40dBZ以上，且強回波範圍也較先前廣。圖5.2.6(c)則是泰利颱風於分析期間強度隨時間的變化，圖中顯示，於分析初期泰利颱風降雨壯度呈現性增加，此一加強與內眼牆回波增強有關，隨後壯度值無明顯變化，於08311250UTC以後壯度值因眼牆合併且回波受地形影響的關係再度增強，整體而言，泰利颱風的降雨壯度變化趨勢與海棠颱風類似，隨著颱風接近路地呈現增強的趨勢。

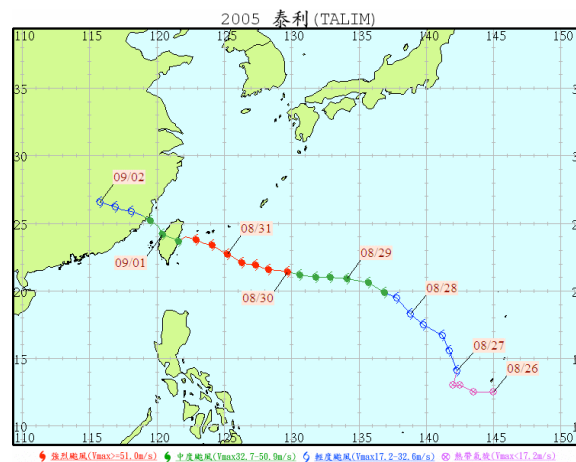


圖5.2.5 泰利颱風路徑圖(圖取自氣象局網頁)。

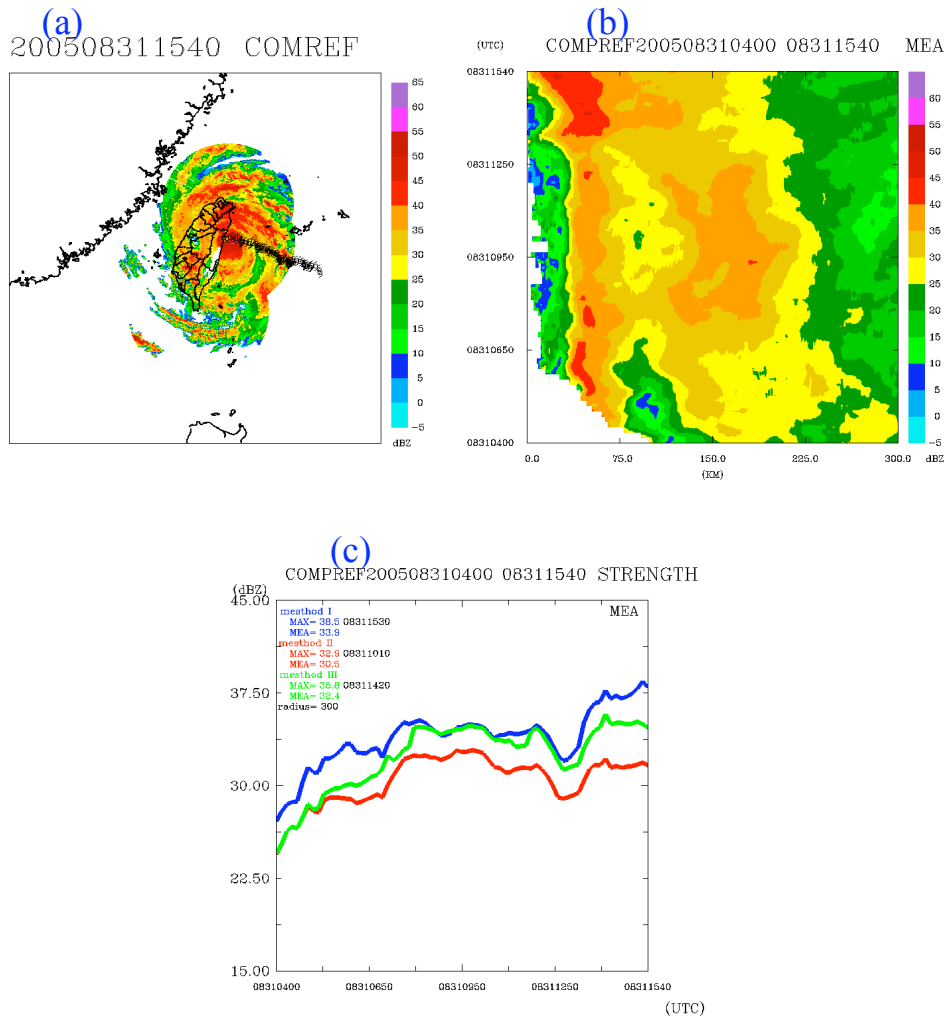


圖5.2.6(a) 利用弱回波中心定位方法訂定之泰利風路徑圖。(b) 泰利颱風哈莫圖。縱軸表時間(UTC)，橫軸表距中心距離(公里)。(c) 泰利颱風狀度隨時間變化歷線。藍、紅、綠線分別表方法1、2、3。

五、結果與討論

前文本研究分析了2004~2007年共20個颱風個案的降雨特徵因子，同時也利用3種不同的降雨壯度計算方法計算分析時間內颱風降雨壯度隨時間的變化，將20個颱風依其降雨壯度值進行分類，並初步討論降雨壯度值於氣候模式之應用。

由於颱風降雨壯度值可視為一種度量颱風降雨強度的一種指標，為了簡化這種指標的使用方式，我們採用颱風降雨強度的三級制，即平均值、偏低及偏高三種情況。若颱風的降雨壯度值是處於平均值的區間，則不對颱風降雨統計模式進行任何修正，若是處於偏低的區間則對颱風降雨統計模式估計的雨量進行減量，若是處於偏高的區間則對颱風降雨統計模式估計的雨量進行增量。初步的測試中

對於偏高的颱風降雨壯度分別增量 50%及 100%。

圖 5.5.5 為依海堂颱風降雨壯度區間(偏高值區間)修正颱風降雨統計模式估計雨量之分析圖，(a) 為地面實際觀測雨量分佈圖，(b) 為颱風降雨統計模式估計之雨量分佈圖，(c) 為颱風降雨統計模式估計雨量增加50%之分佈圖，(d) 為颱風降雨統計模式估計雨量增加100%之分佈圖。雨量觀測最大值在台灣東北角，蘭陽平原雨量較低，大雨集中在山區，最大值超過200mm。颱風降雨統計模式之降雨分佈與觀測值相似，但雨量最大值嚴重低估，約100mm左右。雨量修正後(增加100%)降雨極值可達相同水準。

雷達觀測資料被認為是當前應用於定量降水估計及預報的最佳利器，對於都卜勒雷達資料應用於侵台颱風定量降水估計及預報技術的研發之重要性不可言喻。希望藉由雷達觀測資料分析與討論，增進颱風定量降水估計及預報的能力為目標。

本年度計畫改善了第一年計畫中所定義的環狀回波平均及颱風降雨壯度之計算方法。改善的方法是採取扇形區域資料處理法去除因冰相降水粒子造成低估之回波。為了將來自動化作業，已將回波環狀平均、四象限平均哈莫圖及颱風降雨壯度等方法改成使用QPESUMS合成回波，同時也將弱回波颱風中心定位法移植至QPESUMS之回波整合產品上。並利用泰利颱風瞭解經扇形區域資料處理法對各項颱風降雨特徵因子所造成的影響。

本計畫展現了以颱風降雨壯度資訊改進颱風降雨統計模式的概念，完成了2004年至2007年侵台的20個颱風降雨壯度個案分析。並以海堂、泰利及龍王三個強烈颱風作為測試個案，進行颱風降雨統計模式雨量估計的改進測試。初步分析結果顯示，颱風降雨壯度資訊對西行的強烈颱風具有很好的修正效果。

引進衛星熱帶降雨潛勢預報(TRaP)方法應用在雷達估計降雨上，初步評估了熱帶降雨潛勢預報方法在雷達資料的可行性。在熱帶降雨潛勢估計法方面，已套用在QPESUMS系統之合成回波產品上，目前共測試了六個不同強度不同路徑侵台颱風個案(艾莉、納坦、海棠、泰利、龍王及桑美颱風)，作為未來應用降雨潛勢估計於侵台颱風的重要參考。

未來在颱風降雨氣候模式改善方面則著重在颱風降雨關聯式資料庫的應用，期以收集完整的颱風降雨資訊及快速的查詢方法給予颱風降雨氣候模式額外的參考資訊。進一步將研發如何將颱風降雨特徵因子及颱風降雨壯度因子融入颱風降雨氣候模式中，以期能改善颱風定量降水估計與預報的能力。本年度報告已建立颱風降雨關聯式資料庫及資料庫圖形界面查詢系統之雛型。

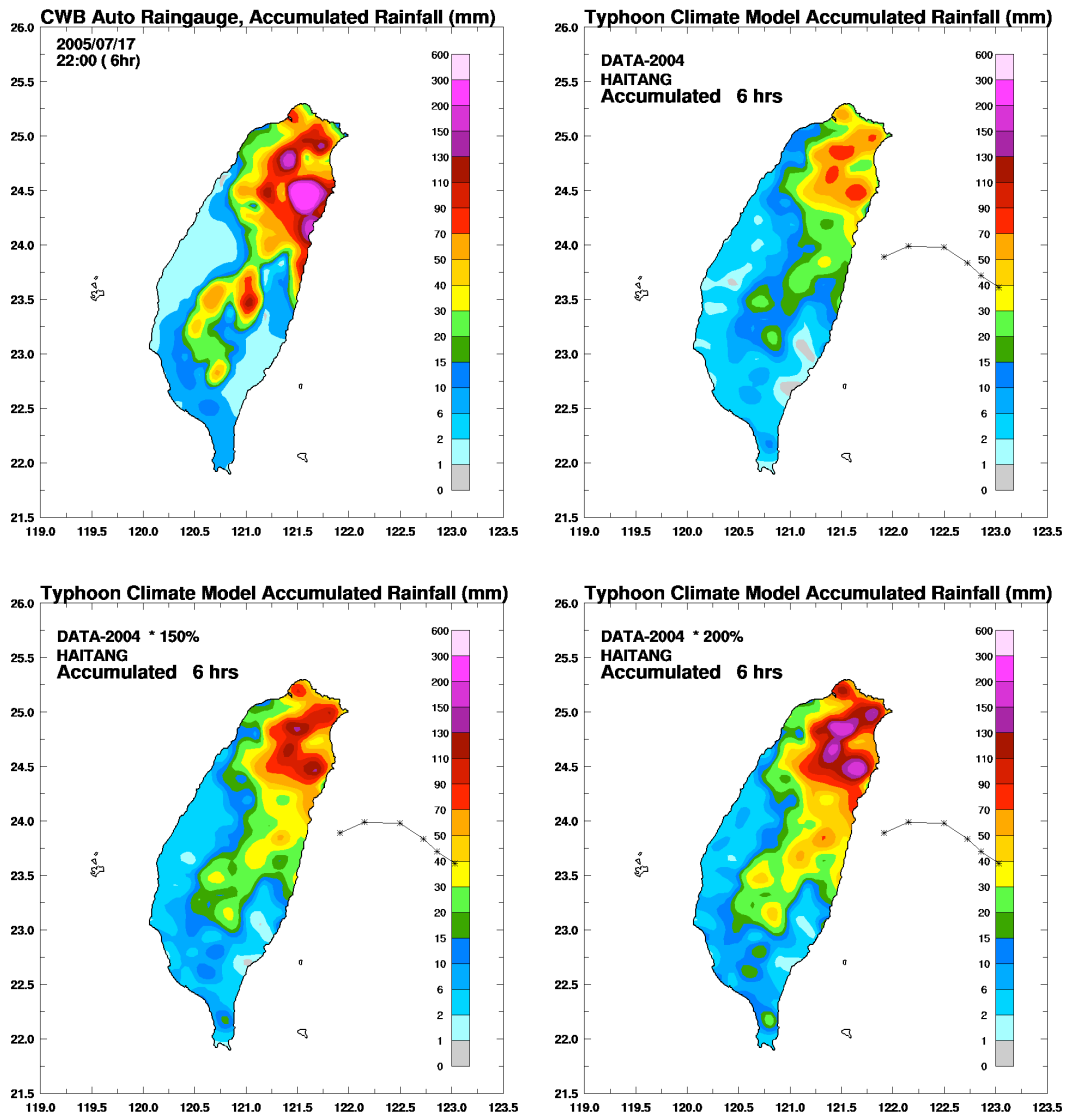


圖5.5.5 依海棠颱風降雨強度區間(偏高值區間)修正颱風降雨統計模式估計雨量之分析圖，(a) 為地面實際觀測雨量分佈圖，(b) 為颱風降雨統計模式估計之雨量分佈圖，(c) 為颱風降雨統計模式估計雨量增加50%之分佈圖，(d) 為颱風降雨統計模式估計雨量增加100%之分佈圖。

參考文獻

1. 周仲島、顏健文、趙坤，2004：台灣地區登陸颱風降雨結構之雷達觀測。大氣科學，32，3，183-204。
2. 王時鼎、陳泰然、謝信良，1983：台灣颱風降雨特性及其預報研究（一），行政院國家科學委員會防災科技研究報告，72-13號，54頁。
3. 王時鼎、陳泰然、謝信良，1985：台灣颱風降雨特性及其預報研究（二），行政院國家科學委員會防災科技研究報告，73-47號，100頁。

4. 李清勝、蔡德攸，1995：利用CAA都卜勒雷達資料分析四個侵台颱風伴隨雨帶之特徵。 *大氣科學*，23，209-235。
5. 林雨我、徐晉淮，1988：侵襲台灣颱風之分析研究。 *氣象學報*，34，4，196-215。
6. 陳泰然、李清勝、王時鼎、紀水上、周仲島，1993：豪雨預報技術改進之研究—颱風部分研究計畫。交通部中央氣象局82年度委託研究計畫報告，CWB82-2M-10。
7. 葉天降、吳石吉、謝信良，1999：簡單統計方法於台灣地區颱風降水預測之研究(一)預測方法與台北颱風降水之預報校驗。 *大氣科學*，27，395-412。
8. 葉天降、謝信良、吳石吉，2000：簡單統計方法於台灣地區颱風降水預測之研究(二)預測結果隨區域之分佈。 *大氣科學*，28，263-279。
9. Blackwell, K. G., 2002: The evolution of hurricane Danny (1997) at landfall: Doppler-observed eyewall replacement, vortex contraction/intensification, and low-level wind maxima. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 4002-4016.
10. Chang, C.-P., Yeh, T.C., and Chen, I. M., 1993: Effects of terrain on the surface structure of typhoons over Taiwan. *Mon. Weather Rev.*, 121, 734-752.
11. Corbosiero, K. and J. Molinari, 2002: The effect of vertical wind shear on the distribution of convection in tropical cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, 130, 2110-2123.
12. Corbosiero, K. and J. Molinari, 2003: The relationship between storm motion, vertical wind shear, and convective asymmetries in tropical cyclones. *J. Atmos. Sci.*, 60, 366-376.
13. Frank, W. M., 1977: The structure and energetics of the tropical cyclone. Part I: Storm structure. *Mon. Wea. Rev.*, 105, 1119-1135.
14. Holland, G. J., and R. T. Merrill, 1984: On the dynamics of tropical cyclone structural changes. *Q. J. Royal Meteor. Soc.*, 110, 723-745.
15. Lee, C. S., Huang, L. R., Shen, H. S. and Wang, S. T., 2006: A Climatology Model for Forecasting Typhoon Rainfall in Taiwan. *Natural Hazards*, 37:1-21-2, 87-105.
16. Marks, Jr. F. D., R. A., Houze Jr., and J. F. Gamache, 1992: Dual-aircraft investigation of the inner core of hurricane Norbert. Part I: Kinematic structure. *J. Atmos. Sci.*, 49, 919-942.
17. Stewart, S. R., and S. W., Lyons, 1996: A WSR-88D radar view of tropical cyclone Ed. *Wea. Forecasting*, 11, 115-135.
18. Willoughby, H. E., F. D. Marks, and R. J. Feinberg, 1984: Stationary and moving convective bands in hurricanes. *J. Atmos. Sci.*, 41, 3189-3211.