

交通部中央氣象局委託研究計畫成果報告

利用都卜勒雷達資料發展定量降水技術（二）

計畫類別：國內 國外

計畫編號：MOTC-CWB-98-2M-02

執行期間：98年1月1日至98年12月31日

計畫主持人：周仲島教授

執行單位：台灣大學大氣科學系

中華民國 98 年 12 月

摘 要

(計畫執行內容說明)

侵台颱風降雨氣候模式係利用雨量站資料針對不同颱風中心位置所做的統計分析，然而在相似路徑下個別颱風所造成的降雨分佈仍有明顯的差異性。顯然侵台颱風降雨分佈除了颱風中心位置外，尚有其他重要因子控制著降雨分佈。本計畫的主要目標是利用都卜勒大範圍的雷達回波及徑向速度觀測資料，萃取出代表颱風降雨壯度及環流影響範圍的量化指標值，並利用這些量化數值改進侵台颱風降雨氣候模式之降雨分佈。

利用 QPESUMS 降雨回波資料針對 2004~2009 年的 26 個臨台颱風進行颱風降雨結構及降雨壯度的分析研究，初步建立臨台颱風降雨分佈概念模式。利用 QPESUMS 都卜勒雷達徑向風場資料以及 GBVTD 方法，針對 9 個侵台颱風個案進行風場結構特徵分析，藉以瞭解颱風臨近台灣時之強度、大小的演變。

在颱風氣候降雨模式改進工作部分，為改善西行強烈颱風(泰利及海棠)氣候模式在南部地區雨量低估的情況，以新的權重方法來對雨量來進行增量，同時引入 TS 得分、ETS 得分、相關係數，標準化誤差(NB)、標準化偏估(NB)及均方根誤差(RMSE)等評估方法，量化氣候模式的修正結果。分析結果顯示，TS 及 ETS 得分海棠及泰利均有很好的改進。

關鍵詞： 降雨壯度(回波)、颱風強度、颱風壯度、颱風大小、颱風降雨氣候模式

目 錄

目錄	ii
表說	iv
圖說	v
第一章. 前言	1
第二章. 研究計畫回顧及總整理	7
第三章. 颱風降雨結構特徵分析	14
3.2 弱回波中心定位法(TCET).....	14
3.3 TCET 方法使用時機與限制.....	14
3.4 降雨壯度計算方法	16
3.5 歷史颱風降雨結構特徵分析	17
3.4.1 強烈颱風個案.....	18
3.4.2 中度颱風個案.....	25
3.4.3 輕度颱風個案.....	40
3.4.4 歷史颱風降雨結構特徵小結.....	43
第四章. 颱風風場結構分析	48
4.1 颱風切線風水平剖面分析	48
4.1.1 1996 年賀伯颱風.....	48
4.1.2 2001 年納莉颱風.....	49
4.1.3 2005 年海棠颱風.....	50
4.1.4 2005 年泰利颱風.....	50
4.1.5 2005 年龍王颱風.....	51
4.1.6 2007 年柯羅莎颱風.....	51
4.1.7 2007 年韋帕颱風.....	52
4.1.8 2008 年辛樂克颱風.....	53
4.1.9 2008 年薔蜜颱風.....	54
4.1.10 颱風切線風分析小結.....	54
第五章. 颱風降雨氣候模式改進測試	55

5.1 颱風降雨氣候模式改進之概念	55
5.2 颱風降雨氣候模式改進測試結果	56
第六章. 結論與建議	59
6.1 結論	59
6.2 討論及未來工作	61
附錄 定量降雨預報校驗	62
參考文獻：	68
附表	72
附圖	83

表說

表 2.1	2004~2007 分析颱風依據降雨壯度方法 3 分類表。.....	72
表 3.1	2004~2009 颱風個案分析時段及資料筆數一覽表。.....	73
表 3.2	強烈颱風個案特徵表。.....	74
表 3.3	中度颱風個案特徵表(1)。.....	75
表 3.4	中度颱風個案特徵表(2)。.....	76
表 3.5	輕度颱風個案特徵表(1)。.....	77
表 3.6	輕度颱風個案特徵表(2)。.....	77
表 3.7	颱風降雨結構特徵表。.....	78
表 6.1	颱風降雨壯度及降雨結構分布一覽表。.....	80
表 6.2	警報單數據資料與特徵分析數據資料對照一覽表。.....	82

圖說

圖 2.1	(a)200509010050LST 泰利颱風整合雷達回波圖。(b) 泰利颱風哈莫圖。色階為環狀平均回波值，橫軸與颱風中心距離(0-600 公里)，縱軸為時間(200508311200-200509010050LST)。	83
圖 2.2	颱風降雨壯度計算示意圖，以 2005 年 8 月 31 日 0650UTC 泰利颱風半徑 300 公里範圍內環狀回波平均值為例。圖(a)為方法一。圖(b)為方法二。圖(c)為方法三。	83
圖 2.3	(a)颱風降雨氣候資料庫圖形查詢界面(Microsoft Windows XP 作業系統下執行之情形)。(b)為海棠颱風累積雨量圖顯示於 windows XP 作業環境之情形。	85
圖 2.4	QPESUMS 系統整合回波產品扇型區域處理示意圖。(a)為未經刪除任何回波資料之整合回波產品。(b)為刪除 5 公里高度以上回波資料之整合回波產品。	86
圖 2.5	泰利颱風降雨壯度區間(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雨量增加 100%之分佈圖。	86
圖 3.1	TCET 颱風中心定位示意圖。圖 A 為初始猜測中心，R0 初始猜測眼半徑，B 與 C 點為疊代法計算之中心位置。(Chang et al. 2009).....	87
圖 3.2	TECT 方法中心定位路徑圖。	87
圖 3.3	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。(a)未經刪除任何回波資料之環狀平均回波壯度，圖(b)為刪除 5km 高度以上回波資料之回波壯度。	88
圖 3.4	蕃蜜颱風降雨特徵因子分析。	89
圖 3.5	辛樂克颱風降雨特徵因子分析。	90
圖 3.6	柯羅莎颱風降雨特徵因子分析。	91
圖 3.7	聖帕颱風降雨特徵因子分析。	92
圖 3.8	龍王颱風降雨特徵因子分析。	93
圖 3.9	泰利颱風降雨特徵因子分析。	94
圖 3.10	海棠颱風降雨特徵因子分析。	95
圖 3.11	芭瑪颱風降雨特徵因子分析。	96
圖 3.12	莫拉克颱風降雨特徵因子分析。	97
圖 3.13	鳳凰颱風降雨特徵因子分析。	98
圖 3.14	卡枚基颱風降雨特徵因子分析。	99
圖 3.15	韋帕颱風降雨特徵因子分析。	100
圖 3.16	珊珊颱風降雨特徵因子分析。	101

圖 3.17	桑美颱風降雨特徵因子分析。	102
圖 3.18	凱米颱風降雨特徵因子分析。	103
圖 3.19	卡努颱風降雨特徵因子分析。	104
圖 3.20	馬莎颱風降雨特徵因子分析。	105
圖 3.21	南瑪都颱風降雨特徵因子分析。	106
圖 3.22	納坦颱風降雨特徵因子分析。	107
圖 3.23	艾利颱風降雨特徵因子分析。	108
圖 3.24	蘭寧颱風降雨特徵因子分析。	109
圖 3.25	敏督利颱風降雨特徵因子分析。	110
圖 3.26	帕布颱風降雨特徵因子分析。	111
圖 3.27	寶發颱風降雨特徵因子分析。	112
圖 3.28	碧利斯颱風降雨特徵因子分析。	113
圖 3.29	海馬颱風降雨特徵因子分析。	114
圖 3.30	中央氣象局颱風路徑分類圖。	115
圖 4.1	賀伯颱風平均軸對稱切向風在距離颱風中心 0-80 km 半徑範圍內之分佈。紅色粗實線代表颱風中心距離雷達在 120-240 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差；藍色線條代表颱風中心距離雷達在 0-120 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差。	116
圖 4.2	納莉颱風平均軸對稱切向風在距離颱風中心 0-80 km 半徑範圍內之分佈。紅色粗實線代表颱風中心距離雷達在 120-240 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差；藍色線條代表颱風中心距離雷達在 0-120 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差。	117
圖 4.3	海棠颱風平均軸對稱切向風在距離颱風中心 0-80 km 半徑範圍內之分佈。紅色粗實線代表颱風中心距離雷達在 120-240 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差；藍色線條代表颱風中心距離雷達在 0-120 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差。	118
圖 4.4	泰利颱風平均軸對稱切向風在距離颱風中心 0-80 km 半徑範圍內之分佈。紅色粗實線代表颱風中心距離雷達在 120-240 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差；藍色線條代表颱風中心距離雷達在 0-120 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差。	119
圖 4.5	龍王颱風平均軸對稱切向風在距離颱風中心 0-80 km 半徑範圍內之分佈。紅色粗實線代表颱風中心距離雷達在 120-240 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差；藍色線條代表颱風中心距離雷達在 0-120 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為	

	各分析半徑上風速值之標準差。	120
圖 4.6	柯羅莎颱風平均軸對稱切向風在距離颱風中心 0-80 km 半徑範圍內之分佈。紅色粗實線代表颱風中心距離雷達在 120-240 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差；藍色線條代表颱風中心距離雷達在 0-120 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差。	121
圖 4.7	韋帕颱風平均軸對稱切向風在距離颱風中心 0-80 km 半徑範圍內之分佈。紅色粗實線代表颱風中心距離雷達在 120-240 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差；藍色線條代表颱風中心距離雷達在 0-120 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差。	122
圖 4.8	辛樂克颱風平均軸對稱切向風在距離颱風中心 0-80 km 半徑範圍內之分佈。紅色粗實線代表颱風中心距離雷達在 120-240 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差；藍色線條代表颱風中心距離雷達在 0-120 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差。	123
圖 4.9	蕃蜜颱風平均軸對稱切向風在距離颱風中心 0-80 km 半徑範圍內之分佈。紅色粗實線代表颱風中心距離雷達在 120-240 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差；藍色線條代表颱風中心距離雷達在 0-120 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差。	124
圖 5.1	(a)台灣地形圖及針對西行颱風之雨量增加權重分配之分隔線。(b)權重分隔線及各雨量站權重分配代碼(0, 1, 2)，粗橘線範圍內表示西南部特別加強區。	125
圖 5.2	雨量站雨量加權代碼 1(紅線)及 2(綠線)對應的雨量增加圖，左側為雨量增加之公式。	125
圖 5.3	(a)海棠颱風氣候模式雨量與觀測雨量散佈圖。(b)海棠颱風氣候模式 E 型增強結果與觀測雨量散佈圖。(c)海棠颱風氣候模式 ES 型增強結果與觀測雨量散佈圖。	126
圖 5.4	(a)泰利颱風氣候模式雨量與觀測雨量散佈圖。(b)泰利颱風氣候模式 E 型增強結果與觀測雨量散佈圖。(c)泰利颱風氣候模式 ES 型增強結果與觀測雨量散佈圖。	127
圖 5.5	(a)龍王颱風氣候模式雨量與觀測雨量散佈圖。(b)龍王颱風氣候模式 E 型增強結果與觀測雨量散佈圖。(c)龍王颱風氣候模式 ES 型增強結果與觀測雨量散佈圖。	128

第一章. 前言

台灣地處副熱帶，位於西北太平洋颱風主要行進路徑，幾乎每年都受到颱風的影響，颱風所經之處往往造成人民性命以及經濟財產的重大損失。2008 年卡玫基及辛樂克颱風由於降雨分佈與預期相差太大，災害防救單位因而未能針對豪大雨發生區域提出事先之預警，造成嚴重的人員及財物的損失，為此，氣象單位及水利單位都進行了數次深切的檢討。2009 年莫拉克颱風挾帶驚人的雨量重創台灣南部，光是在 8 月 8-9 日兩天，在南部山區就降下了超過 2000 毫米的雨量，相當於平地地區一年的雨量，同時也在山區引發了嚴重的土石流，造成重大傷亡。其最主要的原因，即為莫拉克颱風在侵台期間移動速度緩慢，加上颱風南側環流與南台灣山區地形交互作用，才會在南部山區降下破紀錄的雨量。由於近兩年幾個主要侵台颱風之風雨分佈與過往颱風之平均狀態有很大的不同。因此，深入瞭解登陸颱風的環流結構及降雨分佈，對颱風風力及降水預報是有絕對的必要性。

在颱風降雨分布與強度研究方面，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。但是在侵台颱風降雨結構的研究則相對較少(李與蔡 1995)。

Holland and Merrill (1984) 提出了衡量颱風結構的 3 個指數，分別是強度(intensity)、壯度(Strength)以及大小(size)。強度泛指颱風近

中心的最大風速或中心最低氣壓。壯度則是指颱風平均切向風在某一距離內的面積積分，壯度的量級係用來衡量颱風某一距離內風速的強弱。大小泛指颱風平均切向風 7 級風暴風半徑的大小。在 Holland and Merrill (1984) 的研究中發現，相同強度的颱風其壯度可以有相當顯著的差異。周等(2004)認為這樣的觀點，可以應用於颱風的降水上，降水強度 (Rainfall Intensity 泛指近中心最大環狀平均回波) 相似的颱風，其降水壯度 (Rainfall Strength 指最大環狀平均回波以外，某一環狀區域內平均回波值的大小) 可以有相當大的差異。

颱風降雨分佈特徵和強度也有密切關係，研究顯示包括颱風雙眼牆交替循環特徵(Willoughby et al. 1984)、眼牆內縮以及螺旋雨帶出現頻率與傳播速度等，都和颱風強度變化有關，但是彼此間關聯仍存在很多不確定性。由以上的討論我們可以發現颱風在海上的降雨結構特性和環境條件以及風場結構有密切關聯，但是明確的關係迄今並不清楚。衛星的觀測資料顯示颱風在加強或減弱時，降雨結構確實有顯著的變化，例如強降雨區內縮和雙眼牆的出現等，可以作為強度趨勢預報的重要指標。然而，受限於可用的資料，過去這些研究對於登陸中颱風降雨以及風場結構變化特徵的探討著墨較少。

Geerts et al. (2000) 利用機載都卜勒雷達，針對 1998 年 9 月 22 日登陸希斯盤紐拉島(多明尼加共和國)的喬治颶風(Georges)，進行登陸前後降雨和氣流變化的觀測研究。喬治颶風在登陸後的雷達回波垂直剖面顯示，回波強度在溶解層以下仍然隨高度遞減而增加，這樣的垂直結構與颶風登陸前不相同，顯示地形舉升對於低層降雨有明顯的增強作用。這次研究可能是第一篇利用高解析儀器，探討當颶風和複雜地形交互作用下，降雨與氣流結構變化的特徵描述，對於登陸颶風的定量降雨預報意義重大。

在颱風環流結構的研究方面，國內外已進行了許多研究工作。早

期的研究主要是利用飛機、探空和地面觀測進行分析(Shea and Gray, 1973)，隨著 80 年代後期機載都卜勒雷達被應用於分析颱風中心附近三維空間風場、降水回波場的結構和颱風內部的中尺度特徵。Marks and Houze(1987)利用擬雙都卜勒雷達(Pseudo Dual Doppler)方法分析 Hurricane Alicia(1983)，發現在主環流部份，最大風速半徑隨高度向外傾斜，次環流則是低層有入流高層有外流，最大上衝流則是位在最強回波區上方，其下則有對流尺度下衝流存在，上升氣流所產生之較大降水粒子在眼牆區落下形成強回波，小粒子則隨高層徑向外流迴旋轉出。Roux and Marks(1996)分析 Hurricane Hugo(1989)之軸對稱結構發現，其最大風速區在 5 公里以下幾乎為垂直發展，以上則稍微向外傾斜。Dodge et al.(1999)研究 Hurricane Gilbert(1988)也發現類似之結果。

Lee et al.(1994)利用 VTD(Velocity Track Display)方法，在 Hurricane Gloria(1985)的分析中發現，其 0.5 公里高度的非對稱結構主要集中在近中心的內核區，距離中心較遠主要為軸對稱結構主導。此外，其 3.5 公里高度呈現波數 1 的非對稱結構，且速度極值發生在移動之後方，也證明最大風速之位置不只會受颱風運動之影響，也會受到非對稱渦旋環流的影響。

由於飛機觀測大多局限在洋面上，限制了對於登陸中颱風環流結構的研究。而地基都卜勒雷達憑藉其高時空解析度的風場觀測資料而成為研究登陸颱風環流結構的主要工具。目前國內外主要利用單都卜勒雷達研究颱風環流結構特徵，其中較為成熟的是周等(1994)以及 Lee et al. (1999)發展的地基速度軌跡顯示法(Ground Based Velocity Track Display, GBVTD)。該方法利用幾何關係和傅式級數轉換，反演出颱風的主要環流結構。近年來，GBVTD 已被應用在多個登陸颱風的研究上。

張(2000)利用此法分析賀伯颱風發現，在登陸前其切向風環流具有明顯波數 2 非對稱結構，最大風速區也有隨高度向外傾斜的現象，在登陸階段，由於受到摩擦力的影響，最大風速區隨高度向外的傾斜角加劇，且非對稱結構有增強，且強回波之位置與風場非對稱結構配置相當一致。Lee et al.(2000)分析亞力士颱風(1987)則發現，颱風在登陸時呈現波數 1 非對稱結構，且非對稱結構隨時間也增強，大風速區則是位在移動之東方象限，隨著受地形影響加劇，最大風速半徑隨高度的傾斜也愈明顯。高(2003) 在 2001 年納莉颱風的分析中發現，非對稱結構從波數二轉變為波數一，而大風速區則位在移行之右前方或後方象限。由上述之研究可知，颱風在接近台灣陸地時，低層受摩擦力的影響，最大風速區會向內縮，高層的變化較不顯著，而使得最大風速區隨高度之傾斜加劇，此外非對稱之結構也會增強，而大風速區多位在移動之右側或後方象限。

台灣自 1989 年開始架設全省的自動雨量站網，使得地面自動雨量站的個數大幅提升至 360 餘站，隨後雨量站的佈建就放慢速度，現今氣象局局屬及接收其它單位的自動雨量站已超過 400 站。利用歷史資料，依據颱風中心所在位置統計各氣象測站降雨數據，發展出簡易颱風降雨氣候模式，對於侵台颱風降雨量的預估已有不錯的基礎 (Chang et al. 1993)。但是對於颱風降雨的強度、延時、以及影響範圍尚有很大改進的空間。侵台颱風個別降雨結構的特徵以及登陸前和登陸期間降雨特性的變化，在過去大量使用氣候統計模式時是較少被強調的。

颱風降雨氣候模式的使用相當方便，當颱風中心進入氣候模式之範圍，可以利用氣候資料庫得出每一個雨量站相對於此颱風中心位置的雨量，再沿著預報路徑疊加，就可得出整場颱風的預估累積雨量。但颱風降雨往往在數小時內有很大的變化，有時偏離氣候值甚遠，因此利用短時間之地面觀測累積雨量推估未來之降雨趨勢，這方法稱為

持續法(persistence)，可改善氣候模式最初數小時之預報結果。基於台灣所有流域中預報值與觀測值之平均相關係數進行測試，發現 3 小時之累積雨量能對短時距振盪變化部分有平均效果以減少預測誤差(葉等，1999; 黃等，2004)。

Cheung et al. (2008) 使用氣候值、持續值、颱風強度、Julian Date 記日、本地時間、七級風暴風半徑及颱風中心速度共 7 個預報參數進行多變量的複線性回歸(multiple linear regression)分析，並以 20 個傳統雨量站進行測試。各新增變量中以颱風強度、七級風暴風半徑及中心速度對預報之改善較顯著，其受改善之時數及相關係數之增加幅度皆較其它變量為多，顯示颱風結構參數在颱風降雨預報中比簡單的季節性因素或日夜對流差異來得重要。

台灣自 1987 年開始架設高解析度長距離之都卜勒雷達，至今包括四座 S 波段及四座 C 波段共八座作業用氣象雷達，其中有兩座為最新型 C 波段偏極化雷達。這些都卜勒雷達構成一個密集的環島觀測雷達網，利用此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)。中央氣象局、經濟部水利署及美國劇烈風暴實驗室(National Severe Storm Laboratory ; NSSL)共同開發之多重觀測工具之定量降水估計與分類技術(Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensors; QPESUMS)，利用雷達、衛星及雨量計等觀測資料，估計降雨型態及降雨強度，並透過分析技術的開發，提升劇烈或突變天氣發生之監測、分析與預警能力。

「都卜勒雷達資料應用於定量降水技術之研發」研究計畫最主要的目標為利用全台都卜勒雷達觀測網資料(QPESUMS)，找尋侵台颱風降雨特徵因子(強度、壯度及大小)，並嘗試建立颱風臨台時風雨分佈概念模式，進而將颱風降雨特徵因子融入颱風降雨氣候模式中，期望能夠對於颱風侵台期間定量降雨預報技術有所提升。

2009 年「都卜勒雷達資料應用於定量降水技術之研發(二)」為延續性計畫之第 4 年期程，本年度主要工作係以過去 3 年累積之研發作成果為基礎，做進一步延伸及細緻化，本文第二章即針對本研究計畫過去 3 年之工作成果，做一完整的回顧以及總整理。

在降雨結構特徵分析方面，為了能夠呈現颱風降雨結構在空間上不對稱分佈的特徵，將原本針對個別颱風所計算出之單一環狀平均降雨壯度值，進一步計算出以颱風平均移向為軸線的 4 個象限，以及以颱風中心為原點的 3 個距離範圍內的壯度值，同時並嘗試以 4 象限的降雨平均回波結構客觀定出颱風的範圍大小。本文第三章即展示目前已完成之 2004 年至 2009 年，侵台 26 個颱風個案之初步分析結果，並嘗試定義降雨壯度指數，做為改良颱風降雨氣候模式之參考依據。

在颱風環流結構分析部分，持續針對適合進行 GBVTD 分析的颱風個案進行水平切向風剖面分析。本文第四章新增了 05 年龍王以及 08 年薔蜜 2 個颱風的個案分析，同時並與期中已完成的 7 個颱風個案進行彙整以及分類討論。

第五章則是颱風降雨氣候模式改進的部分，本年度的主要工作為，以各種評估方法(TS 得分、ETS 得分、相關係數，標準化誤差(NB)、標準化偏估(NB)及均方根誤差(RMSE)等)來量化氣候模式的修正結果之外，同時亦嘗試以新的權重方法，來改善泰利及海棠颱風南部地區雨量低估的情況。最後第六章則是討論與未來工作。

第二章. 研究計畫回顧及總整理

2009 年「都卜勒雷達資料應用於定量降水技術之研發(二)」為延續性計畫之第 4 年期程，本年度主要工作係以過去 3 年累積之研發作成果為基礎，做進一步延伸及細緻化，故本章即針對計畫過去 3 年之工作成果，做一回顧以及總整理。

2.1 95 年度工作成果

「都卜勒雷達資料應用於定量降水技術之研發」研究計畫最主要的目標為利用全台都卜勒雷達觀測網資料(QPESUMS)，找尋侵台颱風降雨特徵因子(強度、壯度及大小)，並嘗試建立颱風臨台時風雨分佈概念模式，進而將颱風降雨特徵因子融入颱風降雨氣候模式中，期望能夠對於颱風侵台期間定量降雨預報技術有所提升。因此第一年的工作主要是著重在嘗試定義出一些颱風降雨結構特徵因子，如：環狀平均回波結構特徵、降雨強度和降雨壯度等，透過這些特徵因子，進一步瞭解侵台颱風降雨結構的變化特徵，來改善颱風降雨氣候模式的預報能力。95 年度主要工作成果如下：

(1) 計算環狀平均回波進行颱風結構特徵分析

由於雷達資料具有高時空解析度，因此在颱風侵台期間可以獲得密集的觀測資料，但也由於雷達掃描資料量相當龐大，直接針對每一筆觀測資料進行分析，實非有效率的作法。因此為了有效顯示大量雷達掃描資料以及了解颱風降雨結構隨時間變化特徵，採取哈莫圖 (Hovmöller diagram, Chang 1970) 方式 (時間-空間序列) 顯示颱風降雨結構之時空變化特徵 (圖 2.1)。此顯示方式縱軸為時間序列 (每 10 分鐘一組合成資料)，橫軸為距颱風中心

之距離（單位為 1 公里）。回波環狀空間平均計算方法是以颱風中心為原點，取固定半徑上所有資料點（360 個格點資料）做環狀平均，若選取半徑格點資料少於 90 個則不予分析。此時每一觀測時間之雷達資料即可予以簡化，此一環狀平均回波圖可以顯示颱風軸對稱降雨結構隨時間之變化特徵。

(2) 定義颱風降雨壯度計算方法

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。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。本研究依據降雨壯度定義，設計了三種颱風降雨壯度計算方式：

- 1) 距離颱風中心一定半徑距離範圍內(如 300 公里)，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 ($dBZ=10\times\log_0 Z$) 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 2.2 (a)。

- 2) 距離颱風中心一定半徑距離範圍內，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 2.2(b)。
- 3) 距離颱風中心一定半徑距離範圍內，由外向內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 2.2(c)。

(3) 歷史颱風降雨特徵因子分析

針對桃芝(2001)、艾利、納坦(2004)、海棠、泰利、龍王(2005)等六個侵台颱風之降雨結構特徵變化、降雨壯度及降雨強度等進行分析，主要結論如下：

- 1) 颱風接近陸地時眼牆降雨結構呈現內縮且回波值迅速增加，這可能是受到地表摩擦效應與地形舉升增強了氣流輻合的結果。
- 2) 颱風降雨壯度大小受颱風本身結構與地形交互作用影響來決定。當颱風接近陸地時降雨結構增強，其降雨壯度也會跟著增大，這表示颱風本身降雨結構強弱將會影響其降雨壯度的大小；此外颱風環流開始接觸陸地後將會產生地形雨帶的強回波特徵，也會使得颱風降雨壯度增加，因此地形效應是否顯著也會影響颱風降雨壯度的大小。

- 3) 降雨回波結構與降雨壯度有著很好的正相關，即伴隨著颱風接近陸地時降雨結構增強，其降雨壯度也會跟著增大，因此把降雨壯度變化趨勢有效運用在颱風接近陸地時降雨變化中，將可以提供做為颱風降雨預報的參考資料。

(4) 颱風降雨氣候模式之測試分析

使用 NCDR 颱風降雨氣候模式(資料為 2002_BARNES 版)，針對西行登陸(海棠、泰利及龍王颱風)以及西行從台灣北部海面穿越未登陸(馬莎及桑美颱風)等二類颱風之定量降雨預報，進行測試分析。

- 1) 西行登陸颱風。海棠、泰利及龍王三個颱風個案，氣候模式均能掌握東北部山區及中南部山區的大雨趨勢，東北部山區累積降雨量的掌握也相當不錯，但對中南部山區的大雨的累積雨量則有嚴重的低估，累積雨量極值的位置也有偏離實際位置的現象。
- 2) 西行從台灣北部海面穿越未登陸颱風。馬莎及桑美颱風的分析結果則是呈現颱風範圍大小對於降雨氣候模式影響的問題。馬莎颱風高於氣候平均值的環流結構，造成氣候模式嚴重低估實際降雨量；而桑美颱風則是具有低於氣候平均值的環流結構，因此氣候模式高估實際降雨量，甚至產生降雨分佈型態上完全不一樣的結果。
- 3) 分析結果顯示，颱風降雨氣候模式對颱風降雨具有一定的預報能力，特別是特徵接近氣候平均值的颱風；但是對於偏離氣候平均值的颱風，不論是降雨分佈型態或是降雨量就容易出現明顯的偏差。

2.2 96 年度工作成果

95 年度本研究計畫透過颱風降雨特徵因子的分析，已對臨台颱風降雨結構變化特徵已有初步概念以及基礎。96 年度本研究計畫一方面持續對歷史颱風個案進行降雨結構特徵分析，另一方面也完成了颱風降雨氣候模式關聯式資料庫之建置，並且嘗試利用颱風降雨壯度資訊來改進颱風降雨統計模式。96 年度主要工作成果如下：

(1) 建置颱風降雨氣候模式關聯式資料庫

完成颱風降雨及路徑等關聯式資料庫的建置，並開發利用圖形查詢界面快速分析個別颱風降雨分佈特徵的工具，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(圖 2.3)。

(2) 回波資料扇型區域處理

針對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進行改善。改善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。經評估測試後，本研究設定欲刪除之較弱回波值的門檻高度值為 5 公里，即網格點高度高於門檻值高度，則該網格點上的資料就予以刪除。此一資料處理方法的優點是可以減少因為冰相回波造成的低估現象，相對的雷達觀測降水回波的可用距離就必須減少（圖 2.4）。

(3) 歷史颱風壯度計算與分類

以回波資料扇型處理方法針對 2004-2007 年共 20 個歷史颱風個案重新進行降雨回波環狀平均以及環狀平均降雨壯度分析，並將 20 個颱風之壯度計算結果區分為偏低、平均值及偏高等三類（表 2.1）。

(4) 颱風降雨潛勢分析

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,共針對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)進行測試,作為未來應用降雨潛勢估計於侵台颱風的重要參考。

(5) 應用降雨壯度修正颱風降雨氣候模式之測試

由於颱風降雨氣候模式是利用歷史颱風在相同位置時的雨量站雨量平均值來估計降雨量,所以其所估計的雨量值是接近中間值的。根據過去應用經驗,它對中型中度颱風的估計比較理想,對強烈颱風則大多是嚴重低估的情形。

因此本計畫嘗試以颱風降雨壯度資訊改進颱風降雨統計模式,改進方法設定為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。以 2005 年海棠、泰利及龍王三個強烈颱風,進行颱風降雨統計模式雨量估計的改進測試。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(圖 2.5)。

2.3 97 年度工作成果

颱風降雨特徵因子除了回波分析之外,亦希望能夠利用QPESUMS 之都卜勒風場資料,進行颱風侵台時之風場結構特徵分析,藉以瞭解颱風臨台時強度、大小的演化,利用颱風臨台時強度與

大小的參數配合原先之降雨壯度值，作為颱風降雨氣候模式修正係數訂定的基礎。因此 97 年度本研究計畫主要工作著重在颱風環流結構的分析。97 年度主要工作成果如下：

(1) TCET 颱風中心弱回波定位方法自動化

使用 TCET 颱風中心弱回波定位方法(Chang et al., 2008)對 14 個颱風中心進行定位，此法可以對眼牆結構完整之颱風進行中心之自動定位，可提供高時空解析度之颱風中心位置資料。

(2) GBVTD-Simplex 中心定位方法

實作 Lee and Marks (2000)提出的 GBVTD-Simplex 方法，此方法除含有 GBVTD 風場分析能力外，並可以定出颱風中心位置。同時並與 TCET 颱風中心弱回波定位結果進行初步比較。

(3) 都卜勒風場反折錯自動化處理

本研究在進行自動反折錯後(Zhang and Wang 2005)，同時採取 Rankine -Like Vortex (RLV)的速度分布來進行的反折錯處理，進一步提高都卜勒速度反折錯的正確性。

(4) 颱風個案環流結構分析

利用 GBVTD 方法分析對 2007 年韋帕颱風、柯羅莎颱風、2008 年辛樂克颱風及薔蜜颱風的環流結構進行分析。

第三章. 颱風降雨結構特徵分析

3.2 弱回波中心定位法(TCET)

颱風中心定位方法主要是利用颱風中心為下沉運動造成在雷達回波場有一明顯弱回波區域的特性，並假設颱風眼為圓形狀的情況下，以雷達回波資料進行颱風中心定位。在颱風中心進入雷達觀測範圍內之後，給定一初始猜測之颱風中心位置以及颱風眼半徑後，TCET (Tropical Cyclone Eye Tracking)方法(Chang et al. 2009)即可針對眼牆結構完整之颱風進行中心之自動定位，圖 3.1 為 TCET 颱風中心定位示意圖。自動化的颱風中心定位方法可以提供高時空解析度之颱風中心位置資訊。TCET 定位方法請參照前期報告。

自動化的颱風中心定位是相當重要的課題，若能利用雷達回波觀測資料進行颱風中心自動定位，則隨後的颱風降雨壯度、颱風切向平均風剖線的求取也可以用自動化的方式產出，這對即時應用這些資訊是相當重要的一步。本計畫在颱風中心自動化定位上亦投入相當精力，期能在作業中早日使用。

3.3 TCET 方法使用時機與限制

當颱風眼牆未封閉區域太大，TCET 方法將無法收斂而失敗，此種情況容易出現在較弱的颱風或者是當颱風眼牆正經歷眼牆取代過程(Black and Willoughby 1992; Blackwell 2000)，以及颱風登陸後結構遭受破壞等情形(Wu et al. 1999)。另外，當颱風離雷達較遠時，由於雷達所觀測眼牆位於較高的高度，加上觀測體積較大，以及衰減效應，將使的雷達觀測到的眼牆回波強度較實際為弱，也可能使得眼牆呈現非封閉的情形，特別是遠離雷達端的眼牆部分，這些情況下皆可

能導致 TCET 方法無法收斂而失敗。雖然可以利用降低眼封閉率(ERE)的設定值而使 TCET 方法收斂，但當 ERE 太低時，TCET 方法亦可能無法收斂至一定數值(內定設定值 0.1 km)。雖然透過設定較高的收斂值可以增加中心定位的成功率，但可預期的，中心定位誤差將隨之增大，甚至可能產生導致錯誤的中心定位於非颱風眼區域。此外，由於 TCET 方法以圓形眼形為基本假設，但對於接近圓形眼颱風雖然仍可適用，不過出現眼形態與圓形有顯著差異時，如橢圓形，即可能產生無法收斂的情形。颱風中心定位是否收斂與眼牆區的對流寬度有關，當寬度太窄時，在高眼封閉率(ERE)的設定下，即可能產生無法收斂的現象。此時如將 ERE 降低，TCET 方法將在較小的眼半徑即能出現收斂的情形，由於弱回波區並未被完全覆蓋，可能產生與高 ERE 條件下較大的中心定位差距。

此外，不同回波門檻值(RT)是另外重要的參數，太高的門檻值設定，將可能產生非封閉的眼牆，使 TCET 無法收斂，此種情況最容易發生在中、高仰角的觀測，或在颱風眼牆離雷達較遠的地方。而門檻值太低時則可能使得颱風眼區太小，而產生中心定位偏離實際的中心位置，此種情形最容易發生在颱風接近陸地雷達的低仰角觀測，將因弱回波的區域增加而出現眼區變小，使得中心定位的不確定性增高。因此，在颱風距離雷達較遠時適合使用相對低之 RT (如 0 dBZ)，以及使用低仰角的回波觀測，當颱風接近陸地或雷達站時，則可使用相對高的門檻值 (如 20 dBZ)，回波觀測在兩者之間則可考慮 10 dBZ 當為內定值。當然，門檻值的設定如能依實際的颱風結構與回波強度進行來調整，將能獲致更長間與更精確的中心自動定位結果。

圖 3.2 則為利用 TCET 颱風中心自動定位方法定位的結果。由圖中可知，TCET 颱風中心自動定位可以在颱風中心(含眼牆部份)一進入雷達回波的觀測範圍內即可有效的執行定位工作，這與預報人員依據雷達回波主觀的颱風中心定位之範圍相當接近。此範例除表明

TCET 方法之可用性外，也突顯了，登陸颱風因環流結構破壞，此種客觀的定位方法就不再適用。TCET 方法只能提供至登陸前之定位路徑，但對於颱風登陸前則可提供自動化與精確度較高之中心定位資訊。

3.4 降雨壯度計算方法

本研究計畫設定 3 種不同計算壯度的方法，其計算概念如圖 2.2。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。

此外在進行回波環狀平均結構分析時發現，當颱風隨時間朝雷達靠近時，環狀平均回波會越來越強，造成這種結果可能有兩種原因。第一，颱風的環狀回波值真的增強了。第二，是因為颱風距離雷達遠時觀測回波所用的最低波束距地高度已高於融解層高度(約 5~5.5 公里)，而當颱風靠近後雷達之後，所使用的回波距地高度會逐漸降低。由於颱風雨帶的降雨在距地高度在融解層之下大致保持一個常數值，但融解層之上回波值會快速的遞減，而這樣的特性會造成颱風的壯度隨颱風接近陸地不斷的增強，進而模糊了颱風本身結構變化的訊號。故將回波高度 5 公里以上的回波進行濾除，重新計算颱風的壯度值。結果顯示，透過回波高度 5 公里以下的回波資料重新計算後的壯度變化較為穩定，原先壯度值隨颱風接近雷達而加強的現象，也獲得

改善(圖 3.3)。

另一方面在應用壯度值來修正西行強烈颱風的降雨氣候模式時，雖然整體而言有相當不錯的結果，但若詳細檢視可以發現在台灣東北角地區的降雨分布經由降雨壯度分類修正後，與實測結果有相當高的相關，但在中南部山區的降水分布，經由降雨壯度分類修正後，依舊有明顯的低估。這樣的結果在海棠以及泰利颱風案例中，可以清楚的發現。經由析，發現中南部山區的強降水，與颱風內核區(inner core)的降水無明顯相關，係由颱風的外圍雨帶與台灣地形交互作用後所造成的。

本年度在壯度計算方面，經評估考量後決定以方法三做為壯度計算的標準，方法一及方法二由於各有其限制性，因此暫時不予採用。同時為了能夠描述颱風不同區域範圍的結構變化情形，分別針對內核區(距中心 0~100km)、外圍 I 區(距中心 100~300km)以及外圍 II 區(距中心 300~600km)各別計算壯度值。此外為因應外圍雨帶較為寬廣的颱風(如 09 年莫拉克颱風)，計算壯度值時的搜尋半徑，由原本距離颱風中心 300 公里調整至 600 公里。

壯度計算除了區分與颱風中心不同距離之外，同時亦以颱風於分析時間中的平均移動方向圍軸，再予以區分第 I (移向右前方)、第 II (移向左前方)、第 III (移向左後方)以及第 IV 象限(移向右後方)，並嘗試在四象限中，以在各別分析時間中，由所設定的搜尋半徑往內搜尋第一個大於回波強度門檻值(25dBZ)的平均位置，定義出颱風在四象限大小範圍(size)的特徵因子。藉由此一計算分析方法，即能夠客觀描述每一颱風降雨結構的非軸對稱特性，同時藉由不斷的累積個案分析結果，希望能夠建立颱風降雨結構分佈的概念模式。

3.5 歷史颱風降雨結構特徵分析

本年度以新設定的壯度計算方式，針對過去所收集的 2004-2007

年 20 個颱風個案重新進行壯度分析，同時亦將 2008 年的卡枚基、鳳凰、辛樂克、薔蜜以及 2009 年的莫拉克以及芭瑪等 6 個颱風一併納入分析。26 個颱風個案中，若颱風中心有登陸者(計有 18 個)，其主要分析時段設定於颱風中心登陸前；而颱風中心沒登陸者(計有 8 個)，則時針對所蒐集之資料時段進行分析。所使用資料為 10 分鐘時間解析度之 QPESUMS 整合回波資料，以及經 TCET 中心定位方法，或是氣象局中心位置經內插處理後之 10 分鐘時間解析度颱風中心資料。颱風個案之分析時段及資料筆數如表 3.1。本小節即針對 26 個颱風個案以強度予以分類，進行降雨結構特徵分析。

3.4.1 強烈颱風個案

2008 年薔蜜颱風

薔蜜 (Jangmi) 颱風主要分析時間為颱風中心登陸前約 23 小時 (200809271700~200809281540 LST)，期間颱風從台灣東南方海面持續朝西北方向移動，其中心於 28 日 15 時 40 分左右在宜蘭縣南澳附近登陸 (圖 3.4a)。分析時間颱風強度皆維持為強烈颱風(強度於 27 日 20 時達最強)。

圖 3.4b 為分析期間環狀平均回波結構特徵分析，圖中顯示回波值大於 25dBZ 的區域主要是集中在距中心 300 公里內。在 27 日 17 時至 28 日 8 時期間，在距離中心 75 至 300 公里區域範圍內，有兩條明顯的外圍雨帶，並隨時間向外側傳播，外圍雨帶在 28 日 3 時起逐漸受地形影響有增強並且隨時間向內側移動的現象。28 日 8 時之後到中心登陸這段期間，眼牆結構非常明顯，眼牆半徑約 20~30 公里，眼牆回波強度隨著颱風中心逐漸接近陸地有明顯增強的情況，在颱風中心登陸時眼牆回波出現大於 50dBZ 的強回波，同時伴隨著眼強內縮。

圖 3.4c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km)

及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。在分析期間前半段外圍 I 區壯度值約由 25dBZ 增加 32dBZ，此即反應出外圍雨帶的增強。而在分析期間後半段，隨著颱風眼牆雨帶進入觀測範圍，內核區的壯度變化才得以完整分析。內核區壯度約在 28 日 2 時達 32dBZ，為一相對極值，此時內核區與外圍 I 區壯度值相當。隨後外圍 I 區壯度值則是持續減弱，至颱風中心登陸壯度值約由 32dBZ 降低至 22dBZ；而內核區壯度值則是先短暫減弱後，從 28 日 7 時 50 分開始快速增強，至颱風中心登陸壯度值約由 25dBZ 增加至 38dBZ，此時外圍 I 區壯度值已降低至 25dBZ。

圖 3.4d 為蕃蜜颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現蕃蜜颱風之平均非軸對稱狀態。圖中顯示蕃蜜颱風強降雨主要集中在內核區以及外圍 I 區，除了外圍 I 區第 4 象限外，壯度值皆在 30dBZ 以上，最大值出現在內核區第 4 象限，壯度值為 36.5dBZ。另外在範圍大小部分，除了在第 4 象限，因距離雷達較遠，大部份資料遭濾除，故計算出的颱風範圍較小之外，其它象限颱風範圍約在 350 公里左右。

2008 年辛樂克颱風

辛樂克 (Sinlaku) 颱風主要分析時間為颱風中心登陸前約 42 小時 (200809120800~200809140140 LST)，期間颱風往西北方向移動，其中心於 14 日 1 時 40 分左右在宜蘭登陸 (圖 3.5a)。分析時間其強度在 13 日 8 時之前為強烈颱風(強度於 13 日 5 時達最強)，13 日 8 時之後減弱為中度颱風。

圖 3.5b 為分析期間環狀平均回波結構特徵分析，圖中顯示回波值大於 25dBZ 的區域主要是集中在距中心 150 公里內。在 12 日 22 時之前，在半徑 150 至 280 公里之間存在一外圍雨帶，但隨著颱風中心逐漸接近，此一外圍雨帶即由眼牆雨帶取代。位於半徑 150 公里範圍內的眼牆雨帶於 13 日 5 時後開始明顯增強同時伴隨著內縮。在登

陸前最強回波值可達 45dBZ，同時大於 30dBZ 回波區域範圍也有增大的情況；眼牆內縮的情況約從初始分析時間的 75 公里內縮至最後分析時間的 10 公里。

圖 3.5c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km)及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。圖中顯示在整個分析期間，內核區的壯度都較外圍 I 區來得大，尤其是在 13 日 5 時之後，內核區的壯度隨時間明顯增強，最大壯度值可達 38dBZ；而外圍 I 區壯度值隨時間則是並無明顯變化，皆維持在 25dBZ 左右。此外將內核區壯度變化與颱風強度變化進行對應可以發現，在後半段分析期間，颱風強度是呈現減弱的趨勢，但是此時內核區的壯度則是明顯增強，由此可見登陸中颱風壯度變化跟颱風強度變化似乎並無正相關，因此推測登陸中颱風壯度增強現象似乎與颱風環流與地形交互影響作用有關。

圖 3.5d 為辛樂克颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現辛樂克颱風之平均非軸對稱狀態。圖中顯示辛樂克颱風強降雨主要集中在內核區，內核區 4 象限壯度值皆在 33dBZ 以上，最大值出現在第 4 象限，壯度值為 37.1dBZ；而在外圍 I 區，壯度明顯較內核區弱，4 個象限壯度值介於 25~28dBZ 之間。另外由於第 4 象限因距離雷達較遠大部份資料遭濾除，故計算出的颱風範圍較其它象限來得小。

2007 年柯羅莎颱風

柯羅莎 (Krosa) 颱風主要分析時間為颱風中心於宜蘭近岸開始打轉前約 15 小時 (200710060000~200710061500 LST)，分析期間前半段颱風往西北方向移動，6 日 10 時之後則由西北轉向西北西移動，颱風中心於接近台灣陸地時在宜蘭近岸沿海岸向南偏轉，並逆時鐘打轉一圈 (圖 3.6a)。分析時間颱風強度皆維持為強烈颱風。

圖 3.6b 為分析期間環狀平均回波結構特徵分析，圖中顯示回波

值大於 25dBZ 的區域主要集中在半徑 300 公里內，且面積涵蓋率相當高。分析時間前半段，位於半徑約 150 公里處的外圍雨帶相當厚實，且有隨時間向外傳播的特徵；在距離中心約 50 公里處的則是眼牆雨帶；外圍雨帶與眼牆雨帶之間，則是回波值較弱的回波壕溝區 (moat)。在 6 日 7 時之後，外圍雨帶逐漸開始與地形作用，此時位於半徑 150 公里處雨帶，隨時間則是有內縮的情況，同時伴隨著回波值短暫的增強；約在最終分析時間前 2 小時，外圍雨帶逐漸與眼牆雨帶合併，同時回波值亦快速增強，最大回波值可達 45dBZ。

圖 3.6c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km) 及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。於分析時段中，外圍 I 區壯度值約介於 28~35dBZ 間，期間共有兩波振盪起伏變化，振幅約 7dBZ；內核區壯度值則是呈現穩定增強的態勢，在最後 1/3 的分析時段中，內核區壯度值開始超越外圍 I 區壯度值，同時快速增加，最大壯度值可達 40dBZ。

圖 3.6d 為柯羅莎颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現柯羅莎颱風之平均非軸對稱狀態。圖中顯示柯羅莎颱風為一相當厚實的颱風，強降雨壯度區涵蓋內核區以及外圍 I 區，除外圍 I 區第 4 象限之外，其餘各分區降雨壯度值皆在 30dBZ 以上，最大值出現在內核區第 3 象限，壯度值為 39.0dBZ。

2007 年聖帕颱風

聖帕 (Sepat) 颱風主要分析時間為颱風中心登陸前約 16 小時 (200708171300~200708180500 LST)，期間颱風往西北方向移動，其中心於 18 日 5 時 40 分左右於花蓮秀姑巒溪口附近登陸 (圖 3.7a)。分析時段前 5 小時強度為強烈颱風，隨後的分析時段中強度則減弱為中度颱風。

圖 3.7b 為分析期間環狀平均回波結構特徵分析，圖中顯示回波

值大於 25dBZ 的區域主要是集中在距中心 300 公里內，且所佔面積比例相當大。在 17 日 13 至 17 時期間，除了在半徑約 75 公里處的眼牆雨帶之外，在半徑 300 公里以及 380 公里一帶，由於受地形影響，分別存在一主要及次要的外圍雨帶，並隨時間向外傳播。另外在眼牆及外圍雨帶之間約 150 公里半徑上，則有一連接雨帶，同樣隨時間向外傳播。17 日 17 時起出現雙眼牆特徵，內外眼牆分別在半徑約 10 以及 60 公里處。17 時至 20 時這段期間，外側眼牆回波強度有明顯增強的趨勢，同時位於半徑 150 公里處的外圍雨帶強度亦明顯增強。21 時之後外圍雨帶逐漸與外圍眼牆合併，同時伴隨著幾波強度的增減。內側眼牆結構特徵約在 18 日 1 時之後消失，隨後在颱風登陸前 4 小時，眼牆回波再度增強，最大平均回波值可達 40dBZ，並有略為內縮的情況。

圖 3.7c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km)及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。圖中顯示壯度值內核區大於外圍 I 區，以及壯度值隨時間平穩變化的特徵。在整各個分析時間當中，內核區壯度值雖約從 31 上升至 38dBZ，但其變化較為穩定緩和，壯度值增加速率較低；而在外圍 I 區的壯度變化，同樣也是呈現穩定變動不大的特徵，壯度值約在 25 至 32dBZ 間變化。

圖 3.7d 為聖帕颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現聖帕颱風之平均非軸對稱狀態。圖中顯示聖帕颱風與柯羅莎颱風類似，皆為一厚實的颱風，強降雨壯度範圍同樣涵蓋內核區以及外圍 I 區，兩區 4 象限共 8 個分區的降雨壯度值皆在 30dBZ 以上，最大值出現在內核區第 3 象限，壯度值為 39.5dBZ。

2005 年龍王颱風

龍王 (Longwang) 颱風主要分析時間為颱風中心登陸前約 1 小時 30 分至登陸前 11 小時 (200510011810~200510020330 LST)，主要

原因為花蓮雷達於 2 日 3 時 40 分起暫停觀測，因此整合回波資料中缺少距離颱風最近的花蓮雷達觀測資料，所以造成回波產品中回波值明顯減弱的現象，因此為避免壯度值分析受此影響，故分析時間僅止於中心登陸前 1 小時 30 分。分析期間颱風往西北西方向移動（圖 3.8a），分析時間颱風強度皆維持為強烈颱風。

圖 3.8b 為分析期間環狀平均回波結構特徵分析，圖中顯示回波值大於 25dBZ 的區域主要是集中在距中心 220 公里內，降雨結構非常厚實，且回波大於 40dBZ 之區域範圍相當廣大。1 日 23 時之前在 40 至 150 公里範圍間為主要雨帶，範圍廣且強，同時隨著時間向外傳播；而在 1 日 22 時左右，在半徑 75 公里處則是下一波雨帶向外傳播。2 日 1 時主要雨帶開始受地形影響，強度隨時間開始明顯增強。

圖 3.8c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km)及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。在分析時間初期，內核區及外圍 I 區壯度值約略相當，1 日 22 時之後內核區壯度值開始明顯快速增強，而外圍 I 區壯度值則是呈現略為減弱的情況。

圖 3.8d 為龍王颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現龍王颱風之平均非軸對稱狀態。圖中顯示龍王颱風強降雨結構同樣涵蓋內核區以及外圍 I 區，但其壯度值特別強，除了內核區第 2 象限最大壯度值 40.3dBZ 之外，在外圍 I 區壯度值最大仍可達 33.4dBZ。此外龍王颱風範圍較小，平均範圍大小為 245 公里。

2005 年泰利颱風

泰利 (Tailam) 颱風主要分析時間為颱風中心登陸前約 13 小時 (200508311200~200509010050 LST)，期間颱風往西北西方向移動，中心於 1 日 0 時 50 分左右於花蓮登陸 (圖 3.9a)。分析時間颱風強度皆維持為強烈颱風。

圖 3.9b 為分析期間環狀平均回波結構特徵分析，圖中顯示回波

值大於 25dBZ 的區域主要是集中在距中心 300 公里內且範圍廣大。在分析期間眼牆雨帶與外圍雨帶結構特徵非常明顯，在半徑約 60 公里處為眼牆雨帶，半徑 150 公里處的則是外圍雨帶，兩者之間有明顯的回波壕溝區(moat)。眼牆雨帶在 31 日 21 時之前，皆約略位於半徑約 60 公里處，回波強度有增強減弱的交替變化；31 日 21 時之後開始內縮並快速增強；外圍雨帶在 31 日 15 時至 21 時強度明顯增強，但其向外傳播的特徵並不明顯；31 日 21 時之後則逐漸開始與眼牆雨帶合併內縮。

圖 3.9c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km)及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。在大部份分析時間中，壯度值內核區皆高於外圍 I 區，惟在 31 日 16 時 30 分前後，兩者強度相當；在分析時間最後階段，內核區壯度值同樣有快速增強現象，壯度值最大約達 39dBZ。

圖 3.9d 為泰利颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現泰利颱風之平均非軸對稱狀態。圖中顯示泰利颱風強降雨同樣涵蓋內核區以及外圍 I 區，除外圍 I 區第 4 象限之外，壯度值皆在 30dBZ 以上，最大值在內核區第 2 象限，壯度值為 38.1dBZ。

2005 年海棠颱風

海棠 (Haitang) 颱風主要分析時間為颱風中心於花蓮外海打轉前約 11 小時 (200507172000~200507180640 LST)，期間颱風往西北方向移動，當其中心接近花蓮外海時，即開始轉向南南西開始打轉(圖 3.10a)。分析時間颱風強度皆維持為強烈颱風。

圖 3.10b 為分析期間環狀平均回波結構特徵分析，圖中顯示回波值大於 25dBZ 的區域主要是集中在距中心 220 公里內，雙眼牆特徵非常明顯，內眼牆半徑約 20 公里，外眼牆半徑約 65 公里。分析時間初期除內外眼牆之外，在半徑 150 至 300 公里間亦有一外圍雨帶，但

整體而言回波結構較為鬆散。分析時間中段，半徑 150 公里內之大於 25dBZ 門檻值回波區域變廣，同時在外眼牆外側的雨帶也有明顯增強的現象。18 日 5 時之後颱風開始往南打轉，近中心環流結構開始受到地形影響，此時內外眼牆合併，同時伴隨回波值快速增強，平均回波值可達 45dBZ 以上。

圖 3.10c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km)及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。在全部分析時間中外圍 I 區壯度值皆小於內核區壯度值，兩者在 18 日 3 時之前並無太大變化，而在 18 日 3 時之後，內核區壯度值則是明顯增強，壯度值由 31dBZ 增強至接近 40dBZ；而外圍 I 區壯度值則是略為減弱，壯度值約在 25dBZ 上下間小幅變動。

圖 3.10d 為海棠颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現蕃海棠颱風之平均非軸對稱狀態。圖中顯示海棠颱風主要降雨結構集中在內核區，4 象限降雨壯度值皆在 34dBZ 以上，最大值出現在內核區第 4 象限，壯度值為 37.3dBZ。相較於內核區，外圍 I 區降雨結構明顯較弱，壯度值約在 26dBZ 上下，最小值出現在第 3 象限，壯度值為 24.4dBZ。

3.4.2 中度颱風個案

2009 年芭瑪颱風

芭瑪(Parma)颱風中心並未登陸台灣陸地，主要分析時段為其中心由菲律賓呂宋島往西北進入巴士海峽滯留後，再轉向東南（圖 3.11a），期間共 63 小時（200910030800~200910052230 LST）。

由於芭瑪颱風於巴士海峽滯留期間，其外圍環流與東北風交互作用影響，在台灣東部及東北部沿海地區均有對流雨帶產生，而此一雨帶即位於距離颱風中心 300~600 公里的距離範圍內，因此為濾除這些

非颱風本身之降雨結構，芭瑪颱風之回波環壯平均以及後續之壯度分析，其分析半徑設定為 300 公里。

圖 3.11b 為分析期間環狀平均回波結構特徵分析，由於分析所使用之 QPESUMS 即時整合回波資料，受墾丁及七股雷達觀測不穩定影響，在部份分析時間，整合回波產品有缺漏資料，因此圖中有部分時段回波值隨時間有不連續分佈的情況。雖然如此，仍可以從圖中辨識出一些主要特徵。首先芭瑪颱風並無明顯眼牆結構，取而代之的反而是好幾波向外傳播的外圍雨帶，其主要原因應是芭瑪颱風近中心結構正好位於 QPESUMS 觀測範圍的邊界上，加上經過濾除 5 公里高度以上回波資料處理程序，因此近中心眼牆結構在圖中並不明顯。另外颱風外圍降雨結構並不扎實，幾波向外傳播的雨帶之間存在較大的弱回波空隙。

圖 3.11c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km)及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。由於颱風內核區近中心缺乏有效的分析資料，因此內核區與外圍 I 區主要接受到由內向外傳播的雨帶影響，因此內核區與外圍 I 區的壯度隨時間變化趨勢呈現相當高的一至性。且由於分析資料的不穩定，壯度值有上下跳動的情況。

圖 3.11d 為芭瑪颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小。由於芭瑪颱風正好位於觀測範圍邊界上，因此只有在颱風移動方向左側象限的降雨結構能夠解析，另一半則因資料不足，無法進行平均壯度分析。圖中顯示在芭瑪颱風第 4 象限中仍有相當強的平均壯度值，內核區與外圍 I 區皆為 30.4dBZ。

2009 年莫拉克颱風

莫拉克 (Morakot) 颱風主要分析時間為颱風中心登陸前約 31 小時 (200908061600~200908072350 LST)，期間颱風向西移動，在接

近台灣過程中，路徑出現上下擺盪的現象，同時移速變慢，中心於 7 日 23 時 50 分左右於花蓮登陸（圖 3.12a）。分析時間颱風強度皆維持為中度颱風。

圖 3.12b 為分析期間環狀平均回波結構特徵分析，圖中顯示回波值大於 25dBZ 的區域涵蓋範圍相當大。在分析時間初期，約在半徑 450 至 600 公里處即有一雨帶隨時間向外傳播。6 日 20 時之後，颱風主要降雨結構逐漸進入 QPESUMS 觀測範圍，回波值大於 25dBZ 的範圍，幾乎涵蓋從半徑 75 至 500 公里間 80% 的區域範圍。半徑 150 至 450 公里區域內，存在一範圍相當寬廣的外圍雨帶，並隨時間緩慢向外傳播。另在半徑 150 公里處有一相對較弱的回波區域，約略將眼牆雨帶與外圍雨帶區做一區隔，眼牆雨帶約在半徑 80 公里處，但結構並不扎實，在接近登陸前眼牆同樣有內縮且增強的特徵。

圖 3.12c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km) 及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。圖中最明顯的特徵為在大部分的分析時間中，外圍 I 區及外圍 II 區的壯度值皆高於內核區，6 日 23 時之後，外圍 I 區及 II 區的壯度值即呈現穩定增強的趨勢，壯度值皆在 25dBZ 以上，在最後分析階段，外圍 I 區及 II 區的壯度值皆達 31dBZ 以上。

圖 3.12d 為莫拉克颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現莫拉克颱風之平均非軸對稱狀態。圖中顯示莫拉克颱風主要降雨結構集中在南側象限(第 2、3 象限)外圍 I 區以及外圍 II 區，南側象限各區域壯度值皆在 29.5dBZ 以上，最大值出現在外圍 I 區第 4 象限 35.8dBZ，同時颱風範圍在南側相當大，在第 3 象限平均範圍達 510 公里，第 4 象限平均範圍達 377 公里。相較於南側，北側象限(第 1、4 象限)壯度值明顯偏弱且範圍小，外圍 I 區壯度值已在 21dBZ 以下。

2008 年鳳凰颱風

鳳凰 (Fungwong) 颱風主要分析時間為颱風中心登陸前約 23 小時 (200807270810~200807280640 LST)，期間颱風向西北西移動，中心於 28 日 6 時 40 分左右於花蓮靜浦與長濱之間登陸 (圖 3.13a)。分析時段全程颱風強度為中度颱風。

圖 3.13b 為分析期間環狀平均回波結構特徵分析，圖中顯示回波值大於 25dBZ 的區域主要是集中在距中心 300 公里內。在分析階段初期在半徑 300 以及 500 公里處的是外圍雨帶，其中在半徑 500 公里處的雨帶隨時間向內傳播。27 日 14 時之後，颱風近中心降雨結構逐漸進入觀測範圍，半徑 150 公里處之雨帶隨時間向外傳播；16 時在半徑 200 公里左右則是有一地形雨帶形成，隨時間逐漸向中心接近。眼牆雨帶相當明顯，約在半徑 30 公里處，回波值在 35dBZ 以上，到了登陸前 5 小時，眼牆雨帶開始與外圍地形雨帶合併增強，登陸前 1 小時眼牆回波快速增強，回波值達 40dBZ 以上，同時伴隨著眼牆內縮。

圖 3.13c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km) 及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。在分析時間當中，外圍 I 區的壯度值隨時間並無顯著變化，壯度值維持在 25dBZ 上下；內核區壯度值則是明顯較強，大部份分析時間其壯度值皆在 31dBZ 以上，並於登陸前快速增強，登陸時壯度值增強至 37.5dBZ。

圖 3.13d 為鳳凰颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現鳳凰颱風之平均非軸對稱狀態。圖中顯示鳳凰颱風強降雨集中在內核區，各象限壯度值皆在 34dBZ 以上，最大值為第 1 象限 36.4dBZ。外圍 I 區壯度值則介於 24 至 29dBZ 之間，最大值為第 3 象限 28.9dBZ。另外在第 3 象限的外圍 II 區亦有較高的壯度值(30.9dBZ)，主要是由颱風南側外圍的雨帶所造成。

2008 年卡枚基颱風

卡枚基 (Kalmaegi) 颱風主要分析時間為颱風中心登陸前約 20 小時 (200807170200~200807172140 LST)，期間颱風向北西北移動，中心於 17 日 21 時 40 分左右於宜蘭南部登陸 (圖 3.14a)。分析時段中，17 日 14 時之前為輕度颱風，17 日 14 時之後則為中度颱風。

圖 3.14b 為分析期間環狀平均回波結構特徵分析，圖中顯示卡枚基颱風為一範圍大但結構卻較為鬆散的颱風。回波值大於 25dBZ 範圍在半徑 450 公里內之區域範圍內廣泛分布，但結構相對較為鬆散。在 17 日 7 時之前除了明顯的眼牆結構之外，從眼牆至半徑 300 公里範圍內，有三條主要外圍雨帶，其間間隔著回波較弱的區域，這些外圍雨帶隨時間逐漸向外傳播，17 日 12 時之後，眼牆回波與外圍雨帶之間有一寬廣的弱回波區 (約半徑 150 公里處) 區隔，且外圍雨帶回波強度似乎較眼牆雨帶為強，特別是在中心即將登陸前，眼牆雨帶強度明顯較位於半徑約 300 公里處的雨帶為弱。

圖 3.14c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km) 及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。在大部份分析時間中，外圍 II 區的壯度值隨時間在 25dBZ 上下變化，惟在 17 日 17 時前後增強至 32dBZ。而內核區以及外圍 I 區的壯度值則是隨著時間逐漸減弱，特別是 17 日 17 時之後到登陸前，內核區壯度值明顯較內核 I 與 II 區壯度值為弱。

圖 3.14d 為卡枚基颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現卡枚基颱風之平均非軸對稱狀態。圖中顯示卡枚基颱風主要強降雨集中在南側象限(第 3 象限)，第 3 象限各區域範圍壯度值皆在 30dBZ 以上，最大值為內核區 37dBZ，同時在第 3 象限颱風範圍也最大，平均大小為 422 公里。而在第 1 及第 2 象限降雨結構明顯較弱，除內核區之外，其壯度值皆在 24dBZ 以下。

2007 年韋帕颱風

韋帕 (Wipha) 颱風路徑往西北移動從台灣西北海面通過，中心並未登陸台灣，主要分析時段為颱風中心從與石垣島南方海域往西北移動至台灣東北角外海期間 (200709180000~200709181100 LST)，共約 11 小時 (圖 3.15a)。分析時段中颱風強度皆為持為中度颱風。

圖 3.15b 為分析期間環狀平均回波結構特徵分析，圖中顯示回波值大於 25dBZ 的區域主要是集中在距中心 300 公里內。在分析時間當中半徑 150 公里內回波結構相當密實且持續存在，18 日 5 時後，眼牆雨帶進入觀測範圍後，在半徑 20 公里處的強回波結構清晰可見，同時徑向向外的回波梯度相當大。在半徑 150 公里之外則是外圍螺旋雨帶，共有兩波，第一波在分析時間初期，位於半徑 200 至 300 公里之間；第二波在分析時間後半段，位於半徑 150 公里處隨時間向外傳播。兩波外圍螺旋雨帶與內側主要雨帶間有明顯回波壕溝區 (moat) 區隔。

圖 3.15c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km) 及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。在分析時間中，外圍 I 區的壯度值隨時間並無顯著變化(約在 25dBZ 上下小幅振盪)。內核區壯度值明顯較外圍 I 區強，其壯度值平均較外圍 I 區高 6dBZ，內核區壯度值於 18 日 5 時 30 分前後有一明顯增強現象 (由 26dBZ 快速增強至 34dBZ)，隨後則是呈現緩慢減弱趨勢，壯度值約維持在 31dBZ 上下。

圖 3.15d 為韋帕颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現韋帕颱風之平均非軸對稱狀態。圖中顯示韋帕颱風強降雨主要集中在內核區，內核區各象限壯度值皆在 29.6dBZ 以上，最大值在第 3 象限 36.4dBZ。而在外圍 I 區及外圍 II 壯度值則呈現明顯不對稱分布，主要強度集中在第 3 象限，外圍 I 區壯度值為 32.5dBZ，同時颱風範圍也較大，平均大小為 391 公里。

2006 年珊珊颱風

珊珊 (Shanshan) 颱風路徑由北北西轉北北東移動，中心於台灣東部外海通過，主要分析時段為颱風中心在台東外海向北通過西表島後，轉北北東移動至宮古島北方海面的這段約 25 小時的時間 (200609151320~200609161440 LST) (圖 3.16a)。分析時段中颱風強度皆為持為中度颱風。

圖 3.16b 為分析期間環狀平均回波結構特徵分析，圖中顯示回波值大於 25dBZ 的區域主要是集中在距中心 230 公里內。在分析時間中半徑 230 公里內回波結構相當厚實且持續存在，尤其是在半徑 150 公里範圍內，回波值高於 35dBZ 的主要雨帶範圍相當寬廣，厚度約達 60 公里。同時亦有幾波雨帶從主要雨帶中向外傳播的特徵。

圖 3.16c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km) 及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。在分析時間中內核區壯度值明顯大於外圍 I 區壯度值，內核區壯度值約在 31 至 38dBZ 間變化；而外圍 I 區壯度值則是由 25dBZ 逐漸上升至 30dBZ，期間受到數波雨帶向外傳播影響，而有局部增強的情況。

圖 3.16d 為珊珊颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現珊珊颱風之平均非軸對稱狀態。由於觀測限制因素影響，颱風移動方向右側象限(1、4 象限)無法進行完整壯度分析計算，只有第 4 象限內核區能夠計算出平均壯度。圖中顯示珊珊颱風強降雨主要集中在內核區，最大壯度值在 2、3 象限皆為 36.5dBZ；而在外圍 I 區左側象限亦有相當強度之壯度值，第 2 象限中壯度值超過 30dBZ。

2006 年桑美颱風

桑美 (Saomai) 颱風路徑往西北西由台灣北部海面通過(圖 3.17a)，主要分析時段為 200608092230~200608101800 LST，前後約 20 小時。分析時段中颱風強度皆為持為中度颱風。

圖 3.17b 為分析期間環狀平均回波結構特徵分析，圖中顯示回波值大於 25dBZ 的區域主要是集中在距中心 150 公里內，大於 30dBZ 的回波範圍更集中在 110 公里之內。眼牆雨帶清楚可見，約位於半徑 20 公里處，強度在 10 日 3 時 20 分前後達最強，回波值超過 40dBZ；而在眼牆外側約半徑 40 至 75 公里處則是主要外圍雨帶，其回波強度與眼牆區回波強度相當，且在分析時間中持續存，10 日 13 時之後強度有增強的情況；同時在主要雨帶中亦有雨帶向外傳播的特徵存在。

圖 3.17c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km)及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。在分析時間中內核區壯度值明顯大於外圍 I 區壯度值，內核區壯度值在分析期間呈現逐漸增強的趨勢，約從 25dBZ 增加至 37dBZ 間變化；而外圍 I 區壯度值同樣是隨時間有上升的趨勢，且期間由於受雨帶向外傳播影響，故壯度值有明顯較大的振幅變化。

圖 3.17d 為桑美颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現桑美颱風之平均非軸對稱狀態。桑美颱風最主要的特徵為其降雨強度相當集中在內核區，內核區除第 1 象限之外，壯度值皆在 32dBZ 以上，最大值為 36.9dBZ；同時桑美颱風範圍非常小，4 象限中平均範圍最大者為第 2 象限的 183 公里。

2006 年凱米颱風

凱米 (Kaemi) 颱風主要分析時間為颱風中心登陸前約 14 小時 (200607241000~200607250000 LST)，期間颱風往西北移動，中心於 24 日 23 時 50 分左右於台東成功附近登陸 (圖 3.18a)。分析時間颱風強度皆維持為中度颱風。

圖 3.18b 為分析期間環狀平均回波結構特徵分析，圖中顯示回波值大於 25dBZ 的區域主要是集中在距中心 300 公里內。主要雨帶約介於半徑 50 至 150 公里之間，其間較強回波值則是出現在半徑 60 公

里處，且隨時間有增強減弱的變化；約在登陸前 3 小時，位於半徑 60 公里處的回波值開始增強並伴隨著內縮。在半徑 150 公里外側，則是於前半段分析時間中，存在有雨帶向外傳播的特徵。

圖 3.18c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km)及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。在最初分析時間中，內核區與外圍 I 區壯度值約略相當，在 24 日 13 時 30 分之後，外圍 I 區壯度值則開始明顯下降，此時內核區壯度雖也呈現減小趨勢，但降幅較小；內核區壯度值於登陸前同樣有著明顯增強的特徵。整體而言凱米颱風內核區壯度值高於外圍 I 區。

圖 3.18d 為凱米颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現凱米颱風之平均非軸對稱狀態。凱米颱風強降雨主要集中在移動方向左側象限(2、3 象限)，特別是在第 3 象限外圍 I 區的壯度值仍可達 34.6dBZ；右側象限(1、4 象限)，強降雨主要集中在內核區，而在外圍 I 區壯度值則是明顯減弱許多。

2005 年卡努颱風

卡努 (Khanun) 颱風路徑往西北西由台灣東北部海面通過(圖 3.19a)，主要分析時段為 200509100810~200509111400 LST，前後約 30 小時。分析時段中颱風強度皆為持為中度颱風。

圖 3.19b 為分析期間環狀平均回波結構特徵分析，圖中顯示回波值大於 25dBZ 的區域集中在半徑 110 至 225 公里的區域範圍內，且有隨時間向外傳播的現象；而在半徑 110 公里至颱風中心之間，其回波結構則相當鬆散。受觀測限制，只有在 10 日 22 時至 11 日 4 時這段期間眼牆結構得以分析，眼牆約位於半徑 30 公里處，結構鬆散且強度明顯較外圍雨帶弱。

圖 3.19c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km)及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。在所有分析時間

中，外圍 I 區壯度值皆較內核區壯度值大；在 10 日 23 時前後，由於受位於半徑 150 公里處雨帶增強影響，外圍 I 區壯度值於分析期間達最強，約 34dBZ。

圖 3.19d 為卡努颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現卡努颱風之平均非軸對稱狀態。由於觀測限制因素影響，颱風移動方向右側象限(1、4 象限)無法進行完整壯度分析計算，只有第 1 象限內核區能夠計算出平均壯度。圖中顯示卡努颱風強降雨主要集中在左側象限外圍 I 區，最大壯度值在第 3 象為 32.6dBZ；而在左側象限內核區壯度值明顯較外圍 I 區弱，壯度值皆在 25dBZ 以下。

2005 年馬莎颱風

馬莎 (Matsa) 颱風路徑往西北西由台灣東北部海面通過(圖 3.20a)，主要分析時段為 200508040800~200508051100 LST，前後約 27 小時。分析時段中颱風強度皆為持為中度颱風。

圖 3.20b 為馬莎颱風分析期間環狀平均回波結構特徵分析。圖中顯示馬莎颱風主要降雨結構範圍較廣，大於 25dBZ 回波範圍集中在半徑 380 公里範圍內。主要強降雨區為介於半徑 150 至 300 公里之間的雨帶，同樣有數波雨帶隨時間向外傳播。而在半徑 150 公里範圍之內，結構相對較為鬆散，在分析時間前半段，近中心眼牆回波雖然其結構較為鬆散且不連續，但仍可辨識；到了分析時間後半段，半徑 150 公里內之降雨結構更趨減弱，大範圍回波值皆低於門檻值 25dBZ。

圖 3.20c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km)及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。圖中顯示內核區壯度值除了在 4 日 21 時前後稍大於外圍 I、II 區之外，其餘分析時間皆小於外圍 I、II 區，在分析時間末段，外圍 I 區壯度值約高於內核區壯度值 11dBZ。

圖 3.20d 為馬莎颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中

之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現馬莎颱風之平均非軸對稱狀態。由於觀測限制因素影響，颱風移動方向右側象限(第 1、4 象限)的颱風範圍較小。馬莎颱風主要降雨結構集中在左側象限外圍 I 區，最大壯度值在第 3 象為 32.5dBZ，且內核區壯度值較外圍 I 區弱，壯度值皆在 27dBZ 以下。颱風範圍在第 3 象限最大，平均大小為 398 公里。

2004 年南瑪都颱風

南瑪都 (Nanmadol) 颱風主要分析時間為颱風中心登陸前約 16 小時 (200412032300~200412040800 LST)，期間颱風先往北北西移動進入巴士海峽，隨後轉向東北東，中心於 4 日 7 時 40 分左右於屏東枋寮附近登陸 (圖 3.21a)。分析時段全程颱風強度為輕度颱風。

圖 3.21b 為南瑪都颱風分析期間環狀平均回波結構特徵分析。圖中顯示南瑪都颱風主要降雨結構明顯區分為兩個區域，一為介於半徑 300 至 450 公里間之雨帶，另一為在半徑 80 公里內之颱風近中心主要雨帶，兩者之間則是大範圍的弱回波區，回波值皆在 25dBZ 以下。位於 300 至 450 公里間之雨帶，主要係由颱風環流與東北季風共伴效應所造成，隨時間逐漸向外側移動；而在半徑 80 公里內側才是颱風主要雨帶，中心處颱風眼不明顯，取而代之的是深對流雲，因此分析期間，中心處皆為較大回波值所填塞，同樣在颱風登陸前，近中心回波值有明顯增強的情況。

圖 3.21c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km)及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。圖中顯示，在分析時間中段三分之二的時間，外圍 II 區的壯度值最高，內核區壯度值次高，外圍 I 區的壯度值最小；在分析時間末段，由於外圍 II 區之雨帶移出觀測範圍，故外圍 II 區的壯度值快速減弱，而此時也由於颱風中心接近登陸階段，因此內核區的壯度值有明顯增強的情況。

圖 3.21d 為南瑪都颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限

中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現南瑪都颱風之平均非軸對稱狀態。由於颱風環流與東北季風共伴所產生的強降雨雨帶，主要位於颱風移動方向前方象限，因此在第 1、2 象限中除了颱風平均範圍明顯較大之外，強降雨降雨結構主要分布在外圍 II 區以及內核區，內核 I 區則是相對偏弱；另外在颱風移向後側象限（第 3、4 象限），降雨壯度則是集中在內核區，颱風範圍也明顯較前方象限小。

2004 年納坦颱風

納坦（Nock-ten）颱風主要分析時間為颱風中心登陸前約 29 小時（200410241800~200410251000 LST），期間颱風往北北西移動，中心於 25 日 10 時 30 分左右於頭城至三貂角間登陸（圖 3.22a）。分析時段全程颱風強度維持為中度颱風。

圖 3.22b 為納坦颱風分析期間環狀平均回波結構特徵分析。圖中顯示回波值大於 25dBZ 的區域主要是集中在距中心 150 公里內，且回波強度較強，回波值大於 30dBZ 以上區域占有相當高的比例。眼牆回波約位於半徑 75 公里處，回波值高於 35dBZ，隨時間有增強減弱等交替變化；25 日 2 時後，近中心結構逐漸受地形交互作用影響開始明顯增強，中心登陸前 2 小時眼牆雨帶快速增強並伴隨內縮，回波值大於 45dBZ。

圖 3.22c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km)及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。圖中顯示內核區壯度值明顯高於外圍 I 區壯度值。在分析期間，外圍 I 區壯度值皆維持在 25dBZ 上下振盪小幅變化，整體而言有略為上升的趨勢；而在內核區壯度值則是維持在 34dBZ 上下變化，在即將登陸之前壯度值則是增強至 39dBZ。

圖 3.22d 為納坦颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現納坦颱

風之平均非軸對稱狀態。圖中顯示納坦颱風降雨壯度值相當集中在內核區，內核區 4 象限壯度值皆在 34dBZ 以上，最大值為第 2 象限 38.2dBZ；外圍 I 區壯度值則相對較弱，最大值為第 1 象限 30.7dBZ。颱風範圍大小則是在颱風移動前方象限較大，平均大小約 290 公里左右。

2004 年艾利颱風

艾利 (Aere) 颱風路徑往西北移動，中心到達台灣東北方海面後緩慢偏西移動，通過台灣北部近海 (圖 3.23a)，主要分析時段為 200408240200~200408250750 LST，前後約 30 小時。分析時段中颱風強度皆為持為中度颱風。

圖 3.23b 為艾利颱風分析期間環狀平均回波結構特徵分析。圖中顯示回波值大於 25dBZ 區域範圍集中在半徑 280 公里內，主要降雨結構可分為兩部分，一為在半徑 80 公里處的眼牆雨帶，另一則是約在半徑 150 公里處之外圍主要雨帶，兩者之間有回波值較弱之回波壕溝區，約介於半徑 90 至 130 公里處，期間存在一些零星連接雨帶。在分析時間初期，存在一明顯雨帶由眼牆區向外傳播的特徵；24 日 10 時後由於外圍雨帶逐漸受地形影響，回波值開始逐漸增強，24 日 17 時左右半徑 150 公里處之回波值明顯增強，且此一大回波值隨時間呈現準滯留的現象；24 日 17 時之後外圍雨帶則是仍有向外傳播的訊號。分析時間末段，由於眼牆區逐漸接觸陸地，因此眼牆回波值明顯增強同時伴隨著內縮，近中心大於 30dBZ 的回波區域範圍亦明顯增大。

圖 3.23c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km)及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。圖中顯示在分析時間初期，內核區壯度值高於外圍 I 區。而在 24 日 9 時至 18 時之間，由於眼牆外側雨帶增強，因此外圍 I 區壯度值強度大於內核區。其後內核區受到地形影響開始明顯增強，壯度值可達 34dBZ。

圖 3.23d 為艾利颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現艾利颱風之平均非軸對稱狀態。圖中顯示艾利颱風降雨壯度值集中在內核區，內核區除第 1 象限之外，其餘象限壯度值皆高於 30dBZ；在外圍 I 區，壯度值則是集中在南側象限(第 2、3 象限)，其壯度值也接近 30dBZ。最大壯度值出現在內核區第 3 象限 34.8dBZ。整體而言颱風南側範圍較大，降雨壯度也較強。

2004 年蘭寧颱風

蘭寧 (Raninam) 颱風路徑往西北由台灣東北部海面通過(圖 3.24a)，主要分析時段為 200408120810~200408121910 LST，前後約 11 小時。分析時段中颱風強度皆為持為中度颱風。

圖 3.24b 為蘭寧颱風分析期間環狀平均回波結構特徵分析。圖中顯示回波值大於 25dBZ 區域集中在半徑 150 至 250 公里範圍內，此為颱風外圍雨帶，期間約在 12 日 14 時前後有增強的現象；另外由於颱風中心從台灣東北方海面約 250 公里處通過，因此近中心眼牆區在大部份分析時間中並未進入分析範圍，所以在半徑 150 公里內之大範圍弱回波區，為眼牆與外側雨帶間的回波壕溝區。另外在分析時間末段約在半徑 150 公里內側回波有增強現象，此為連接眼牆雨帶與外側雨帶間的連接雨帶。

圖 3.24c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km)及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。由於眼牆雨帶並未進入分析範圍，因此內核區壯度值代表性較低。分析期間外圍 I 區壯度值隨時間並無顯著變化，整體而言呈現略為減弱的情況，壯度值約由 31dBZ 減弱為 27dBZ。

圖 3.24d 為蘭寧颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現蘭寧颱風之平均非軸對稱狀態。由於觀測限制因素影響，颱風移動方向右側

象限(第 1、4 象限)的資料不足以進行壯度分析，同時又由於眼牆區亦未進入分析範圍中，因此內核區所計算出的壯度值代表性較低。因此只有在外圍 I 區的壯度分析較具有意義。左側象限具有較高壯度值，尤其在第 3 象限，壯度值為 32.4dBZ。

2004 年敏督利颱風

敏督利 (Mindulle) 颱風主要分析時間為颱風中心登陸前約 28 小時 (200406301800~200407012200 LST)，期間颱風往北朝向台灣東部移動，中心於 1 日 22 時 40 分左右於花蓮南方約 20 公里處登陸(圖 3.25a)。分析時段在 1 日 0 時之前颱風強度為中度颱風，而 1 日 0 時之後颱風強度減弱為輕度颱風。

圖 3.25b 為敏督利颱風分析期間環狀平均回波結構特徵分析。敏督利颱風降雨結構可以約略以半徑 300 公里做一區分。半徑 300 公里範圍內，在分析時間初期，介於半徑 150 至 300 公里向內傳播的為颱風外圍雨帶，結構較為零散，而半徑 150 公里內側則是大範圍弱回波區；1 日 1 時後，除外圍雨帶略為增強外，約在半徑 30 公里處則有眼牆雨帶形成，但結構相當鬆散；1 日 9 時起受地形影響半徑 150 公里處的外圍雨帶開始明顯增強，眼牆回波在登陸前 5 小時則是快速增強。而半徑 300 公里外側，在登陸前 5 小時出現的大回波則是颱風南側西南氣流的雨帶。

圖 3.25c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km)及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。圖中最明顯的特徵為內核區壯度值隨時間穩定增強，從初始分析時間約 5dBZ 上升至最終分析時間的 32dBZ；而外圍 I 區則是約在 25dBZ 上下變化，在登陸前有明顯增強的趨勢；外圍 II 區則是與外圍 I 區有相似的變化特徵。

圖 3.25d 為敏督利颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現敏督利颱風之平均非軸對稱狀態。圖中顯示敏督利颱風主要降雨壯度分布

在南側象限(第 3、4 象限)，內核區 3、4 象限以及外圍 I 區第 4 象限，壯度值皆超過 30dBZ。而在外圍 I 區第 3 象限颱風範圍較寬廣，平均大小達 274 公里，此即顯示出西南氣流的特徵。

3.4.3 輕度颱風個案

2007 年帕布颱風

帕布 (Pabuk) 颱風路徑往西移動，8 日 2 時左右中心通過恆春半島(圖 3.26a)，主要分析時段為 200708071400~200708080210 LST，前後約 12 小時。分析時段中颱風強度皆為持為輕度颱風。

圖 3.26b 為帕布颱風分析期間環狀平均回波結構特徵分析。圖中顯示回波大於 30dBZ 的區域主要集中在半徑 150 公里內，分析時間初期位於半徑 75 公里處的為近中心主要雨帶，而在 7 日 17 時後，位於半徑 30 公里處的眼牆雨帶才較為明顯，7 日 20 時後由於颱風近中心逐漸接近陸地，因此眼牆雨帶開始逐漸增強，當中心通過恆春半島時最大回波值大於 45dBZ。另外在半徑 300 公里處，亦存在一大回波區域，此為位於颱風北側的外圍螺旋雨帶，在 7 日 20 時前後，由於此雨帶開始接觸台灣東部陸地，因此回波值有明顯增強的情況。

圖 3.26c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km)及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。圖中顯示內核區壯度值皆高於外圍 I 區，惟在 7 日 20 時前後，因外圍螺旋雨帶增強，外圍 I 區壯度值與內核區壯度值約略相當。而在颱風中心通過陸地階段，內核區壯度值則是明顯增強，壯度值約 37.5dBZ。

圖 3.26d 為帕布颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現帕布颱風之平均非軸對稱狀態。圖中顯示帕布主要降雨壯度集中在內核區，內核區各象限壯度值皆在 32dBZ 以上，最大值在第 2 象限 40.8dBZ；另外也由於颱風北側顯著的螺旋雨帶，因此在外圍 I 區北側象限(第

1、4 象限)有較高的壯度值(壯度值耶都在 30dBZ 以上)，同時颱風範圍也較大。

2006 年寶發颱風

寶發 (Bopha) 颱風路徑往西移動，在接近台灣過程中再轉向西南西，9 日 3 時 20 分左右中心在台東成功附近登陸(圖 3.26a)，主要分析時段為 200608080900~200608090000 LST，前後約 15 小時。分析時段中颱風強度皆為持為輕度颱風。

圖 3.27b 為寶發颱風分析期間環狀平均回波結構特徵分析。圖中顯示分析時間中一直存在於半徑 150 公里內之大回波區域即為近中心主要雨帶，其中回波值高於 30dBZ 的區域亦占有很高的比例，而且隨時間有增強減弱相間的變化，同時在中心接近陸地的過程中，主要雨帶同樣也有內縮增強的情況。而分析時間初期，在半徑 300 公里處的強回波值，則是位於颱風移動前方象限的螺旋雨帶，此雨帶在 8 日 11 時左右開始受地形影響而有略為增強的情況，但隨後此一雨帶即隨時間逐漸消失。

圖 3.27c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km)及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。圖中顯示除了在初始分析時間，因外圍螺旋雨帶受地形影響使得外圍 I 區壯度值較高之外，其餘時間中內核區壯度值明顯高於外圍 I 區以及外圍 II 區。

圖 3.27d 為寶發颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現寶發颱風之平均非軸對稱狀態。圖中顯示寶發主要降雨壯度集中在颱風移動象限，在內核區壯度值皆在 36dBZ 以上，外圍 I 區壯度值則是約 27dBZ。而在移動方向後側象限壯度值則是明顯偏弱，最大壯度值為第 4 象限的 27.8dBZ，此外颱風範圍也較小，第 4 象限平均大小更是不到 100 公里。

2006 年碧利斯颱風

碧利斯 (Bilis) 颱風主要分析時間為颱風中心登陸前約 15 小時 (200607130800~200607132250 LST)，期間颱風往西北移動，中心於 13 日 22 時 20 分左右於宜蘭頭城附近登陸 (圖 3.28a)。分析時段中颱風強度皆為持為輕度颱風。

圖 3.28b 為碧利斯颱風分析期間環狀平均回波結構特徵分析。圖中顯示回波大於 25dBZ 的區域主要集中在半徑 300 公里以外的區域，分析時間中在半徑 450 公里處有兩波強回波兩帶隨時間向外傳播。半徑 300 公里之內回波結構相當鬆散，只有在半徑 75 公里處有一些零星較大回波值。

圖 3.28c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km) 及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。圖中顯示最強壯度值是在外圍 II 區，大部份分析時間壯度值皆在 25dBZ 以上；內核區除部分時間壯度值接近外圍 II 區外，其餘時間皆較外圍 II 區低。

圖 3.28d 為碧利斯颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現碧利斯颱風之平均非軸對稱狀態。圖中顯示碧利斯降雨壯度主要集中在移動方向左側象限的內核區以及外圍 II 區，最大壯度出現在外圍 II 區第 3 象限，但最大壯度值只有達 29.8dBZ。外圍 I 區以及整各右側象限壯度值則是更為偏弱，壯度值皆在 22dBZ 以下。

2004 年海馬颱風

海馬 (Haima) 颱風於台灣東部外海形成後，北移進入台灣北部海面 (圖 3.29a)，主要分析時段為 200409112300~200409130350 LST，前後約 29 小時。分析時段中颱風強度皆為持為輕度颱風。

圖 3.29b 為海馬颱風分析期間環狀平均回波結構特徵分析。圖中顯示回波值大於 25dBZ 區域主要集中在半徑 75 公里內，以及部分 225 公里外圍之區域，整體而言降雨結構較為鬆散。在分析階段初期，海馬颱風由一大範圍低壓帶中初生成，深對流雲係集中在颱風近中心區

域，而且相當接近陸地，其中心即在花蓮外海約 30 公里海面上，因此在 12 日 8 時之前，大回波區域主要分布在半徑 75 公里之內區域，最大回波值可達 40dBZ 以上；12 日 8 時之後，颱風中心逐漸進入台灣北部海面，此時颱風中心弱回波結構較為明顯，原近中心大回波值以由 15dBZ 以下弱回波區域取代，在半徑 40 至 50 公里處則是有零星大於 25dBZ 回波存在，在此一階段主要大回波值是位於半徑 225 公里外側，此為位於颱風南側的外圍雨帶所造成。

圖 3.29c 則是分析期間，內核區(0~100km)、外圍 I 區(100~300km)及外圍 II 區(300km~)的平均壯度值隨時間的變化。圖中顯示內核區壯度值隨時間並沒有顯著變化，約在 25dBZ 上下小幅振盪；外圍 I 區壯度值也大約維持在 25dBZ 上下，惟在 12 日 21 時前後有增強的情況。

圖 3.29d 為海馬颱風在分析時間中，不同區域範圍及不同象限中之平均壯度值，並於 4 個象限中分別定出颱風平均大小，呈現海馬颱風之平均非軸對稱狀態。圖中顯示海馬降雨壯度主要集中在移動方向南側象限的內核區以及第 4 象限外圍 I 區，最大壯度值在內核區第 4 象限 29.9dBZ。另外颱風範圍除在第 4 象外圍 I 區可達 252 公里之外，其餘各象限皆小於 170 公里，整體而言海馬為一範圍較小的颱風。

3.4.4 歷史颱風降雨結構特徵小結

本章以雷達回波資料針對 2004 至 2009 年間 26 個侵台或是臨台颱風個案，進行降雨結構特徵、降雨壯度變化以及非軸對稱結構特徵分析，並以強度予以分類，歸納整理出一些特徵，分述如下：

強烈颱風特徵

7 個強烈颱風皆從台灣東部侵襲，颱風中心皆有登陸；依據氣象局路徑分類(圖 3.30)，4 個(龍王、聖帕、泰利、海棠)屬於第 3 類路徑，3 個(柯羅莎、辛樂克、薔蜜)屬於第 2 類路徑；5 個(柯羅莎、泰利、海棠、辛樂克、薔蜜)颱風在登陸前有打轉的現象。

降雨結構特徵 (表 3.2): **1)皆具有眼牆結構**。7 個颱風皆具有明顯眼牆結構，其中聖帕與海棠更具有雙眼牆結構，颱風眼大小介於 18~49 公里之間，平均大小約 34 公里，眼牆在登陸階段有內縮以及回波值增強現象。**2)降雨結構集中在半徑 300 公里內**。7 個颱風主要降雨結構皆集中在半徑 300 公里之內，其中龍王、聖帕、柯羅莎及泰利在半徑 150 公里內，雨帶結構更為厚實廣大且具有強回波值。**3)壯度值內核區較外圍 I 區大**。7 個颱風在半徑 0~300 公里內具有高壯度值，但又特別集中在內核區(0~100km)，內核區平均壯度值為 34.9dBZ，外圍 I 區(100~300km)平均壯度值為 29.1dBZ，兩區域相差 5.8dBZ。同時內核區壯度值於登陸期間皆有明顯增強現象，平均壯度值可增強至 40.1dBZ。**4)非軸對稱結構較不明顯**。剔除受觀測因素限制影響的第 4 象限，7 個強烈颱風的降雨壯度在徑向上呈現內高外低分布外，在切向上除海棠颱風外圍 I 區外，大致呈現較高的軸對稱分布；在範圍大小部分，各象限大小雖不同但差異並不大 (扣除第 4 象限)，整體而言同樣是呈現較高軸對稱性的結構，以 25dBZ 門檻值訂出的颱風平均範圍大小約為 324 公里。

中度颱風特徵

中度颱風共有 15 個個案，依其不同降雨結構特徵可區分為 3 組進行討論。第 1 組為降雨結構集中型，計有 8 個颱風個案；第 2 組則是降雨結構寬廣型，計有 5 個颱風個案；第 3 組則是為颱風中心以較遠的距離通過雷達觀測網，因此只有部分颱風結構有進入觀測範圍，計有 2 個颱風個案。

第 1 組有鳳凰、韋帕、卡努、桑美、珊珊、凱米、納坦及艾利 8 個颱風，除了鳳凰、凱米、納坦中心有登陸之外，其餘 5 個颱風中心皆無登陸；依據氣象局路徑分類(圖 3.30)，2 個 (鳳凰、凱米) 屬於第 3 類路徑，4 個 (桑美、韋帕、艾利、卡努) 屬於第 1 類路徑；1 個 (納坦) 屬於第 6 類路徑，珊珊則不屬於氣象局的路徑分類中之

任一類。降雨結構特徵：**1) 皆具有眼牆結構**。8 個颱風皆具有眼牆結構，颱風眼大小介於 8~45 公里之間，平均大小約 27 公里，眼牆在登陸階段有內縮以及回波值增強現象。**2) 降雨結構集中在半徑 150 公里內**。8 個颱風主要降雨結構皆集中在半徑 150 公里之內，尤其是納坦、桑美以及珊珊颱風，回波值大於 25dBZ 區域幾乎完全集中在半徑 150 公里之內，半徑 150 公里外側則是部分零星雨帶；而鳳凰、凱米、韋帕、卡努及艾利在半徑 150 公里之外則是仍有顯著外圍雨帶的特徵。**3) 壯度值內核區較外圍 I 區大**。8 個颱風壯度值主要集中在內核區 (0~100km)，內核區平均壯度值為 32.0dBZ，外圍 I 區 (100~300km) 平均壯度值為 26.7dBZ，兩區域相差 5.3dBZ。**4) 非軸對稱結構明顯**。降雨壯度已有明顯的非軸對稱分布特徵，納坦集中在移動方向前方象限，桑美集中在後方象限，凱米、韋帕、艾利則是在左側象限；韋帕內核區較具軸對稱性分布，但外圍 I 區則是明顯非軸對稱分布，主要集中在南側象限。

第 2 組有莫拉克、卡枚基、南瑪都、馬莎及敏督利 5 個颱風，除馬莎颱風之外，其餘颱風中心皆有登陸；依據氣象局路徑分類(圖 3.30)，莫拉克屬於第 3 類路徑，卡枚基屬於第 2 類路徑，南瑪都屬於第 9 類路徑，敏督利屬於第 6 類路徑，馬莎屬於第 1 類路徑。降雨結構特徵：**1) 眼牆結構較為鬆散**。5 個颱風皆沒有明顯的眼牆結構，特別是莫拉克、馬莎以及敏督利颱風，在登陸前以外的時間中，近中心降雨結構明顯較為鬆散。**2) 主要降雨結構在半徑 150 公里之外**。颱風外圍雨帶的回波強度明顯高於內核區，亦或在半徑 150 公里以外區域，回波值大於 25dBZ 的範圍占有較高的比例。莫拉克、馬莎以及卡枚基颱風即為在外側具有大範圍雨帶的代表個案，而南瑪都颱風則是降雨強度集中在半徑 150 公里外側之雨帶。**3) 壯度值外圍區與內核區相當**。內核區 (0~100km) 平均壯度值為 26.5dBZ，外圍 I 區 (100~300km) 平均壯度值為 26.1dBZ，外圍 II 區 (300~600km) 平均壯度

值為 26.7dBZ。雖然壯度值仍然是內核區最高，但外圍區的內核區壯度值與內核區相當，尤其是在外圍 II 區，其壯度值與內核區僅相差 0.3dBZ。4)非軸對稱結構顯著。降雨壯度呈現顯著的非軸對稱分布特徵，除南瑪都集中在移動方向前方象限之外，其餘 4 個颱風個案皆是集中在南側象限。在範圍大小部分，除南瑪都之外，其餘都是明顯在颱風南側象限具有較廣大的區域，特別是莫拉克颱風，在第 2 象限其平均範圍大小可達 510 公里。

第 3 組有蘭寧以及芭瑪 2 個颱風，颱風中心皆無登陸；依據氣象局路徑分類(圖 3.30)，蘭寧屬於第 1 類路徑，芭瑪則不屬於氣象局的路徑分類當中。由於颱風中心以較遠的距離通過雷達觀測網，同時加上經過濾除 5 公里高度以上回波的資料處理程序，因此只有部分颱風結構的得以進行分析，所以本組颱風的分析結果並無法客觀呈現颱風降雨特徵。以蘭寧颱風為例，在降雨壯度非軸對稱分析結果中顯示外圍 I 區壯度值明顯較內核區強，但造成此一結果的主要因為，在分析時間中僅南側外圍雨帶進入觀測範圍，而近中心區域則是在觀測範圍之外，此為受觀測限制因素所導致的結果，並非颱風實際的結構特徵。所以在本組颱風即不進行特徵歸納整理。

輕度颱風特徵

中度颱風共有 4 個個案，依其不同降雨結構特性可區分為 2 組進行討論。第 1 組為降雨結構集中型，計有 2 個颱風個案；第 2 組則是降雨結構鬆散型，共有 2 個颱風個案。

第 1 組有帕布、寶發颱風，兩者颱風中心皆有登陸；依據氣象局路徑分類(圖 3.30)，兩者皆屬於第 4 類路徑。降雨結構特徵：1) 降雨結構集中在半徑 300 公里內。半徑 150 公里內為主要雨帶，半徑 150 至 300 公里內則是為外圍雨帶。2)壯度值內核區較外圍 I 區大。壯度值集中在內核區(0~100km)，內核區平均壯度值為 33.2dBZ，外圍 I 區(100~300km)平均壯度值為 25.7dBZ，兩區域相差 7.5dBZ。同時內

核區壯度值於登陸期間皆有明顯增強現象，平均壯度值可增強至 36.6dBZ。**3)非軸對稱結構顯著。**帕布颱風主要是集中在移動方向右側象限，而寶發颱風則是集中在移動方向前方象限，同時在範圍大小部分，也呈現同樣情況的非軸對稱分布。

第 2 組有碧利斯、海馬颱風，碧利斯颱風中心有登陸，海馬則無；依據氣象局路徑分類(圖 3.30)，碧利斯屬於第 2 類路徑，海馬屬於第 6 類路徑。降雨結構特徵：**1) 半徑 300 公里內降雨結構鬆散。**半徑 300 公里內降雨結構鬆散，僅有零星雨帶分布，回波值低於 25dBZ 範圍區域廣大。**2)內核區外圍 I 區壯度值相當。**壯度值內核區(0~100km)略大於外圍 I 區，內核區平均壯度值為 23.2dBZ，外圍 I 區(100~300km)平均壯度值為 21.8dBZ，兩區域相差 1.4dBZ。**3)非軸對稱結構顯著。**碧利斯颱風主要是集中在移動方向左側象限，而海馬颱風則是集中在移動方向後方象限，同時在範圍大小部分，也呈現同樣情況的非軸對稱分布。

降雨結構特徵小結

將上述強烈、中度以及輕度颱風中的分析結果整理至表 3.7 中，即可發現，若依據颱風的降雨結構特徵來區分，大致上可以簡單區分為降雨結構分布集中型以及寬廣型兩類。降雨結構分布集中型颱風，在各種強度颱風中皆有，主要特徵為降雨壯度值集中在內核區，並向外遞減，同時各區域壯度值原則上與颱風強度成正比；而降雨結構分布寬廣型則主要出現於中度以及輕度颱風中，主要特徵為內核區與外圍 I 區壯度值相當，且各區域壯度值同樣與颱風強度成正比。

第四章. 颱風風場結構分析

4.1 颱風切線風水平剖面分析

本研究利用中央氣象局五分山及花蓮雷達之都卜勒徑向風場資料，以 GBVTD 方法分析颱風登陸前近中心內核區(0-80 km 範圍內)環流結構變化特徵，主要分析時段區分為：階段一(颱風中心距離雷達 120-240 km)及 階段二(颱風中心距離雷達 0-120 km)兩階段。颱風環流結構變化特徵之分析主要以 GBVTD 方法所反演之軸對稱切向風分量為主，計算兩分析時段中所有分析時間軸對稱切向風在不同半徑上之平均值，同時搭配標準差分析，作為評估軸對稱切向風代表性之依據。

本文選取 1996 年賀伯、2001 年納莉、2005 年海棠、泰利、龍王 2007 年韋帕、柯羅莎以及 2008 年辛樂克、薔蜜等 9 個颱風個案進行分析，其中賀伯、海棠、泰利、龍王即薔蜜颱風為強烈颱風；納莉、韋帕颱風為中度颱風；柯羅莎與辛樂克颱風則是在登陸過程中由強烈颱風轉為中度颱風。個別颱風之環流結構變化特徵分析分述如下：

4.1.1 1996 年賀伯颱風

賀伯颱風具有強度集中之特徵。圖 4.1 中平均軸對稱切向風隨半徑分佈曲線明顯呈現，在兩分析階段颱風強度主要集中在距離中心 30-60 km 半徑的範圍內。在階段一(中心距離雷達 120-240 km 範圍)，平均軸對稱切向風最大值位於距颱風中心半徑 39 km(最大風速半徑 RMW)處，其風速值約為 48 m/s。在半徑 39 km 之外軸對稱切向風速值隨距離遞減，在距中心半徑 80 km 處時風速值已降低至 39 m/s 左右，半徑 39-80 km 之風速遞減率為每公里 0.22 m/s。標準差分析結果

顯示在半徑 47 km 之內之標準差約在 2-3 m/s 之間，而在半徑 47 km 外之標準差在 1 m/s 以下，整體而言在此階段所分析之平均軸對稱切向風代表性佳。

當颱風中心進入至雷達 0-120 km 範圍內時（階段二），受制於 GBVTD 方法本身之限制，其可進行風場反演分析之半徑已縮小至 70 km 以下，其軸對稱切向風最大值約為 52 m/s，位於距颱風中心半徑 42 km 之處，半徑 42 km 之外風速隨距離遞減，尤其是在半徑 60 km 之外其風速隨距離遞減之趨勢更加明顯，半徑 42-70 km 之風速遞減率為每公里 0.43 m/s。標準差分析結果顯示在此階段軸對稱切向風速值之分佈範圍相對較廣，平均而言標準差值約在 4-14 m/s 之間，相較於階段一平均軸對稱切向風代表性較低。比較兩階段平均軸對稱切向風的變化，可以清楚發現賀伯颱風強度隨著中心逐漸接近台灣陸地有明顯增強的特徵，軸對稱切向風速最大值由 48 m/s 增加至 52 m/s，同時風速值在半徑 34-60 km 的區間範圍內約增強 3-4 m/s。最大風速半徑(RMW)並無內縮的情況。

4.1.2 2001 年納莉颱風

納莉颱風具有大風速區分布範圍較廣，亦即颱風近中心內核區強度分布較為均勻的特徵。圖 4.2 顯示平均軸對稱切向風速值主要分佈在 40 m/s 以下，且強度集中在距離中心 20-50 km 半徑區域範圍內。在階段一時（颱風中心距離雷達 120-240 km 範圍），平均軸對稱切向風之風速極值約為 40 m/s 左右，其分佈範圍介於 35-45 km 半徑之間，半徑 45 km 之外風速值隨距離緩慢遞減，在距中心半徑 80 km 處時風速值降低至 30 m/s 左右，半徑 35-80 km 之風速遞減率為每公里 0.22 m/s。標準差分析結果顯示，在各分析半徑上之標準差皆在 2 m/s 以下，代表在此階段平均軸對稱切向風代表性佳。

當颱風中心進入至雷達 0-120 km 範圍時(階段二)，在半徑 80 km

範圍內之軸對稱切向風幾乎皆可進行分析。颱風強度在此階段略微增強，其風速極值略增至 42 m/s 左右，同時最大風速區亦有些微內縮之趨勢，風速值大於 40 m/s 的區域內縮至半徑 27-45 km 之間。半徑 45 km 之外風速開始隨距離遞減，在半徑 35-80 km 之風速遞減率同樣為每公里 0.22 m/s。標準差分析結果顯示，除了在半徑 20-40 km 區域內約有 4 m/s 左右的標準差值之外，外其餘各分析半徑之標準差均在 2 m/s 以下，代表此階段平均軸對稱切向風亦具有較佳之代表性。納莉颱風在逐漸接近台灣陸地的過程中，颱風環流結構的特徵並無明顯變化，但強度則是有略為增強的趨勢，其強度在半徑 29-80 km 範圍內約略增強 2 m/s，同時伴隨著最大風速半徑(Radius of Maximum Wind, RMW)的略為內縮。

4.1.3 2005 年海棠颱風

海棠颱風具有大風速區分布範圍廣，且有一次風速極值區之特徵。圖 4.3 顯示平均軸對稱切向風速值皆超過 40 m/s 以上的區域由半徑 20 km 可向外延伸至 80 km。海棠颱風之分析時段主要集中在階段二(颱風中心距離雷達 120-240 km 的區域範圍內)，平均軸對稱切向風風速極值約為 48 m/s，位於半徑 34 km 處；風速次大值區域則是在半徑 43-52 km 範圍內，風速極值約為 46 m/s。在半徑 34-80 km 範圍中，軸對稱切向風速值則是隨著距離增加逐漸遞減，在半徑 34-80 km 之風速遞減率為每公里 0.20 m/s。標準差分析結果顯示，除了在次風速極值範圍內的標準差值較小外(約為 4 m/s)，而在其餘分析半徑中都偏大，標準差值約在 5-10 m/s 之間，代表此階段平均軸對稱切向風較不具有代表性。

4.1.4 2005 年泰利颱風

泰利颱風之平均軸對稱切向風分析主要集中在階段二(颱風中心

進入距離雷達 0-120 km 範圍內)，半徑為 20-65 km 的範圍內(圖 4.4)，分析結果顯示泰利颱風具有大風速區分布平均之特徵，平均軸對稱切向風風速極值約為 48 m/s，位於半徑 43 km 以及 56 km 處。在半徑 43-65 km 範圍內，軸對稱切向風速值隨半徑雖有小振幅之變化，但整體而言並未減弱(在半徑 65 km 處風速值仍達 47 m/s)。標準差分析結果顯示，在分析半徑中標準差值約介於 5-8 m/s 之間，代表此階段平均軸對稱切向風較不具有代表性。

4.1.5 2005 年龍王颱風

龍王颱風之平均軸對稱切向風分析主要集中在階段二(颱風中心進入距離雷達 0-120 km 範圍內)，半徑為 40-75 km 的範圍內(圖 4.5)，分析結果顯示龍王颱風具有大風速區分布集中之特徵，平均軸對稱切向風風速極值約接近為 60 m/s，位於半徑 47 km 處。在半徑 47-75 km 範圍內，軸對稱切向風速值隨半徑逐漸遞減，半徑 75 km 處風速值約為 50m/s。標準差分析結果顯示，在分析半徑中標準差值約介於 2-6 m/s 之間，代表此階段平均軸對稱切向風代表性佳。

4.1.6 2007 年柯羅莎颱風

柯羅莎颱風亦具有大風速區分布範圍廣，且有一次風速極值區之特徵。圖 4.6 顯示平均軸對稱切向風速值皆超過 40 m/s 以上的區域由半徑 22 km 向外延伸至 80 km。柯羅莎颱風之平均軸對稱切向風分析主要集中在階段二(颱風中心進入距離雷達 0-120 km 範圍內)，平均軸對稱切向風風速極值約為 52 m/s 左右，位於半徑 40 km 處，在半徑 40-66 km 範圍內軸對稱切向風速值則是隨著距離增加略微遞減，在半徑 66 km 處風速值降為 47 m/s，而在半徑 66 km 之外軸對稱切向風則有隨距離增加的趨勢，在半徑 80 公里處則是出現另一風速極值，風速值約為 50 m/s。標準差分析結果顯示在半徑 18-28 km 區域

內之標準差值相對較大，約為 9 m/s，而在其餘分析半徑中，標準差值約在 4-6 m/s 之間，結果顯示在在半徑 28 km 以外區域的平均軸對稱切向風代表性較佳。

4.1.7 2007 年韋帕颱風

韋帕颱風具有強度集中之特徵。圖 4.7 中平均軸對稱切向風隨半徑分佈曲線明顯呈現，在兩分析階段颱風強度主要集中在距離中心 10-30 km 半徑的範圍內。在颱風中心距離雷達 120-240 km 範圍時(階段一)，平均軸對稱切向風最大值位於距颱風中心半徑 22 km 處，其風速值約為 51 m/s。平均軸對稱切向風速值從半徑 22 km 處向外隨距離快速遞減，在距中心半徑 80 km 處時風速值已降低至 27 m/s，半徑 22-80 km 之風速遞減率為每公里 0.50 m/s。標準差之分析結果顯示，除半徑 20 km 以內標準差值約為 4 m/s 之外，在其餘分析半徑上標準差值均在 2 m/s 以下，代表此一階段平均軸對稱切向風相當具有代表性。

當颱風中心進入至雷達 0-120 km 範圍時(階段二)，其軸對稱切向風最大值約為 47 m/s，同樣位於距颱風中心半徑 22 km 處，半徑 22 km 之外風速隨距離快速遞減，在距中心半徑 80 km 處時風速值已降低至 25 m/s，半徑 22-80 km 之風速遞減率為每公里 0.38 m/s。標準差分析結果顯示，在此階段各分析半徑上之標準差值約在 2-4 m/s 之間，相較於階段一雖略為增加，但其平均軸對稱切向風仍屬於具有代表性。

韋帕颱風中心並未登陸台灣陸地，而是從台灣東北部海面掠，比較階段一與階段二之分析結果，韋帕颱風平均軸對稱切向風速值在半徑 36 km 範圍之內略為降低，最大風速值約降低 4 m/s，在半徑 36-66 km 範圍中無明顯變化，而在半徑 66 km 範圍內之外則是略為降低 0-2 m/s 左右。整體而言平均軸對稱切向風隨半徑分布特徵在兩個分析時

段中並無顯著的變化。

4.1.8 2008 年辛樂克颱風

在颱風中心距離雷達 120-240 km 範圍時(階段一)，平均軸對稱切向風最大值位於距颱風中心半徑 49 km 處，其風速值約為 46 m/s。平均軸對稱切向風速值從半徑 49 km 處向外隨距離緩慢遞減，在距中心半徑 80 km 處時風速值降為 42 m/s，半徑 49-80 km 之風速遞減率為每公里 0.13 m/s。標準差之分析結果顯示，在 60 km 半徑外之標準差值較小(約在 2.8 m/s 以下)，而在半徑 60 km 半徑之內，標準差值則是略為增加，約為 3-4 m/s 之間(圖 4.8)。

當颱風中心進入至雷達 0-120 km 範圍時(階段二)，其軸對稱切向風最大值約為 43 m/s，位於距颱風中心半徑 42 km 處。半徑 42 km 之外風速隨距離增加逐漸遞減，在距中心半徑 80 km 處時風速值降低至 36 m/s，半徑 42-80 km 之風速遞減率為每公里 0.25 m/s。標準差分析結果顯示，在此階段各分析半徑上之標準差值均偏大，最小值在半徑 80 km 處，約為 5.6 m/s，其餘分析半徑中標準差值皆在 8 m/s 以上，最大值可達 15 m/s，代表其軸對稱切向風分布範圍相當廣，平均值代表性較低(圖 4.8)。

辛樂克颱風在接近台灣過程中由強烈颱風轉為中度颱風，比較階段一與階段二之分析結果，平均軸對稱切向風最大值從 46 m/s 降為 43 m/s，且分析在半徑 42 km 以外平均軸對稱切向風之分布變化，亦顯示風速值有明顯減弱之趨勢。除了風速減弱之外最大風速半徑也有內縮的情況。伴隨颱風強度減弱的則是，平均軸對稱切向風隨半徑分布特徵的明顯改變，在階段一大風速區分布範圍廣，平均風速值超過 40 m/s 區域涵蓋半徑 37 km 以外之範圍；而在階段二，平均軸對稱切向風則是轉變為強度集中之特徵，強度主要集中在半徑 30-50 km 範圍內。

4.1.9 2008 年薔蜜颱風

薔蜜颱風亦具有大風速區分布集中，且有二個風速極值區之特徵。薔蜜颱風之平均軸對稱切向風分析主要集中在階段二（颱風中心進入距離雷達 0-120 km 範圍內），平均軸對稱切向風風速極值約為 46 m/s 左右，位於半徑 29 km 處，在半徑 30-60 km 範圍內軸對稱切向風速值則是隨著距離增加略微遞減，在半徑 60 km 處風速值降為 33 m/s，而在半徑 60 km 之外軸對稱切向風則有隨距離增加的趨勢，在半徑 80 公里處則是出現另一風速極值，風速值約為 39 m/s。標準差分析結果顯示，各分析半徑上之標準差值均偏大，最小值約為 5m/s，大部份分析半徑中標準差值皆在 10 m/s 以上，最大值可達 15 m/s，代表其軸對稱切向風分布範圍相當廣，平均值代表性較低（圖 4.9）。

4.1.10 颱風切線風分析小結

從上述 9 個颱風個案分析結果中，若依平均軸對稱切向風在距離颱風中心半徑上的分布特徵來分類，大致上可分為三種類型：(1)強度分佈集中型:賀伯、韋帕、龍王及薔蜜颱風。(2)強度分佈平均型:納莉、海棠、泰利及柯羅莎。(3)強度分佈由平均型轉為集中型:辛樂克颱風。

在強度集中型颱風中，其主要特徵為強度主要集中在最大風速半徑(RMW)前後 15-26 km 的範圍之內，且在最大風速半徑以外具有較大之平均風速遞減率（約每公里 0.4-0.5 m/s）。而強度平均型颱風，其主要特徵為強度分佈較平均且範圍廣，通常在最大風速半徑外至半徑 80 km 處，颱風強度無明顯減弱，亦即具有較低的平均風速遞減率（約每公里 0.1- 0.2 m/s）。未來藉由不斷的累積個案分析，並建立資料庫，在統計上找出侵台颱風的環流分佈變化特徵，將有助於進一步掌握侵台颱風之特性，進而提升颱風風雨預報之準確性。

第五章. 颱風降雨氣候模式改進測試

5.1 颱風降雨氣候模式改進之概念

葉等(1999、2000)利用 1961-1996 年共 36 年之降水資料，詳細校驗平均法、持續法、差異持續法與比差法在台灣各地降雨預報之情形。其研究結果顯示，平均法對颱風降雨之預報具有基本參考價值。Lee et al. (2006) 採用王等(1983、1985)之平均法，利用 1989-2001 年中央氣象局所屬台灣地區氣象站、自動雨量站及水利署所屬之雨量站合計 371 站，發展颱風降雨氣候模式。本文中採用國家災害防救科技中心的颱風降雨氣候資料庫。

2007 年「都卜勒雷達資料應用於定量降水技術之研發(二)」延續前一年度的研發成果，改進了降雨壯度的計算方法。也對歷史颱風降雨壯度值進行計算，並以「偏高」、「平均」、「偏低」三個等級分類，透過分類結果對颱風降雨統計模式的輸出進行修正。由泰利颱風的修正結果顯示，原先颱風降雨統計模式所估計的雨量呈現嚴重低估，當雨量經由降雨壯度分類修正後，統計模式的降水分布與實際觀測之結果呈現相當接近的結果(圖 2.5)。證明應用颱風降雨壯度值用來修正西行強烈颱風(高降雨壯度值)的颱風降雨統計模是雨量有相當不錯的效果。

詳細檢視泰利颱風經由降雨壯度分類修正後的降雨統計模式結果，可以發現台灣東北角地區的降雨分布經由降雨壯度分類修正後，與實測結果有相當高的相關，但在中南部山區的降水分布，經由降雨壯度分類修正後，依舊有明顯的低估。這樣的結果在海棠颱風的修正結果，也可清楚的發現。經由分析，發現中南部山區的強降水，與颱風內核區(inner core)的降水無明顯相關，係由颱風的外圍雨帶與台灣地形交互作用後所造成的。如何透過降雨壯度值，獲得台灣外圍雨帶

降水特性的資訊，進而對距離颱風內核區較遠處的颱風降雨統計模式結果進行修正，則是本報告的重要工作之一。

為解決上述問題，颱風降雨壯度之計算方式在本年度計畫中再次修正(詳見第三章)，為的就是希望能夠將颱風外圍雨帶降雨強度的資訊於予量化。此外，颱風外圍環流(風速資訊)對地形性降雨亦扮演極重要之角色，這個部份在第四章以 GBVTD 方法取得颱風環流徑向風速之剖線分佈，雖其可解析的距中心距離只有 80 公里，但由於風速剖線之型態似乎已能展現，未來可應於外延方式向外推估風速影響半徑。如何應用颱風降雨壯度及風速影響半徑之量化數值，改進颱風降雨氣候模式之低估問題，仍待持續之努力。

5.2 颱風降雨氣候模式改進測試結果

泰利颱風經由降雨壯度分類修正後的降雨統計模式結果，可以發現台灣東北角地區的降雨分布經由降雨壯度分類修正後，與實測結果有相當高的相關，但在中南部山區的降水分布，經由降雨壯度分類修正後，依舊有明顯的低估。這樣的結果在海棠颱風的修正結果，也可清楚的發現。經由分析，發現中南部山區的強降水，與颱風內核區(inner core)的降水無明顯相關，係由颱風的外圍雨帶與台灣地形交互作用後所造成的。為使降雨壯度較強之颱風在氣候模式中的雨量能正確的增加故以新的權重方法增加雨量。

為測試依不同權重增加雨量值的方法，首先針對西行強烈颱風個案進行測試，目前選取 2005 年的海棠、泰利及龍王颱風進行測試。圖 5.1(a)為台灣地形圖，圖上藍色實線為主要山脈的稜線，在稜線的左側 40 公里範圍內的雨量站權重代碼設定為 2；40~70 公里範圍內的雨量站權重代碼設定 1；其它地方的雨量站 權重代碼設定為 0，詳細分佈情形如圖 5.1(b)。圖 5.1(b)中 粗橘線範圍內表示西南部特別加強區。

設定雨量站權重代碼後尚需定義不同權重代碼的雨量增加幅度，圖 5.2 即為不同加權代碼(1:紅線)及(2:綠線)對應的雨量增幅圖，西南部的特別增強區(ES)則依權重代碼增加固定的值，詳細規則如下：

全省增強區(E)：

代碼 0：氣候模式雨量 R，維持原狀不增加。

代碼 1：氣候模式雨量 R，增幅如下

$$R > 15 \text{ 時， } R' = 15 + (R - 15) * 1.1$$

$$R > 200 \text{ 時， } R' = 227.8 + (R - 200) * 1.5$$

$$R > 600 \text{ 時， } R' = 807.8 + (R - 600) * 1.15$$

代碼 2：氣候模式雨量 R，增幅如下

$$R > 15 \text{ 時， } R' = 15 + (R - 15) * 1.3$$

$$R > 200 \text{ 時， } R' = 237 + (R - 200) * 1.9$$

$$R > 600 \text{ 時， } R' = 997 + (R - 600) * 1.3$$

西南部的特別增強區(ES)：

代碼 0：氣候模式雨量 R 增加 25 mm。

代碼 1：氣候模式雨量 R 增加 50 mm。

代碼 1：氣候模式雨量 R 增加 100 mm。

圖 5.3 ~ 圖 5.5 分別為海棠、泰利及龍王颱風之(a)氣候模式雨量與觀測雨量散佈圖，(b)氣候模式 E 型增強結果與觀測雨量散佈圖及(c)海棠颱風氣候模式 ES 型增強結果與觀測雨量散佈圖。圖中可見海棠颱風的 ES 型增強有最好的改進，泰利颱風次之，龍王颱風則變成高估。整體而言，若使用雨量增強，對西行強烈颱風氣候模式雨量估計的整體表現是優於原始版本的。

為將三個颱風評估結果以量化方式表示，除利用氣象界常用之預報得分方法(TS 得分及 ETS 得分，定義詳見附錄)，也用更嚴格的相

關係數、標準化誤差(NB)、標準化偏估(NB)及均方根誤差(RMSE)表示，各評估方法之結果列於表 5.1 ~ 表 5.3。

由分析結果可見，TS 及 ETS 得分海棠及泰利均有很好的改進，而龍王颱風則是相反的結果。在相關系數、標準化誤差(NB)、標準化偏估(NB)及均方根誤差(RMSE)的表現也是相同的結果。初步解讀是龍王颱風的氣候模式雨量與實際觀測雨量非常接近，顯示該颱風已不需要再執行增強模式。為何龍王颱風不屬於強降雨壯度或風速影響大的颱風，仍需再進一步的研究。

第六章. 結論與建議

6.1 結論

「都卜勒雷達資料應用於定量降水技術之研發」研究計畫最主要的目標為利用全台都卜勒雷達觀測網資料(QPESUMS)，找尋侵台颱風降雨特徵因子(強度、壯度及大小)，並嘗試建立颱風臨台時風雨分佈概念模式，將颱風降雨特徵因子融入颱風降雨氣候模式中，進而能夠對於颱風侵台期間定量降雨預報技術有所提升。

降雨特徵因子分析成果

本研究計畫利用 2004 年至 2009 年臨台 26 個颱風的雷達回波資料，進行了降雨結構、降雨壯度及非軸對稱結構等分析，同時也使用都卜勒風場資料搭配 GBVTD 方法，針對 7 個颱風個案進行了颱風環流結構分析，初步勾勒出颱風臨台時的風雨分佈概念模式。

在降雨結構分析部份，結果顯示颱風的降雨結構特徵大致上可以簡單區分為降雨結構分布集中型以及寬廣型兩類。降雨結構分布集中型颱風，在各種強度颱風中皆有，主要特徵為降雨壯度值集中在內核區，並向外遞減，同時各區域壯度值原則上與颱風強度成正比；而降雨結構分布寬廣型則主要出現於中度以及輕度颱風中，主要特徵為內核區與外圍 I 區壯度值相當，且各區域壯度值同樣與颱風強度成正比。

在降雨壯度分析部份，利用本研究所開發的壯度計算方法，針對 26 個颱風分別求出一具有代表性的降雨壯度值，並予以分類，做為以降雨程度來描述颱風的一個參考指數。另外再將颱風細分為 3 組不同區域範圍以及 4 個象限，以各區域中降雨壯度來分析颱風降雨結構的非軸對稱性特徵。表 6.1 為 26 個颱風依壯度值大小排列並搭配其非軸對稱降雨結構分布圖，所建立的初步颱風降雨分佈概念模式。

環流結構分析成果

從 9 個颱風個案的颱風切線風剖線分析結果中發現，若依平均軸對稱切向風在距離颱風中心半徑上的分布特徵來分類，大致上可分為三種類型，1)強度分佈集中型:賀伯、韋帕、龍王及蕃蜜颱風。2) 強度分佈平均型:納莉、海棠、泰利及柯羅莎。3)強度分佈由平均型轉為集中型:辛樂克颱風。在強度集中型颱風中，其主要特徵為強度主要集中在最大風速半徑(RMW)前後 15-26 km 的範圍之內，且在最大風速半徑以外具有較大之平均風速遞減率（約每公里 0.4-0.5 m/s）。而強度平均型颱風，其主要特徵為強度分佈較平均且範圍廣，通常在最大風速半徑外至半徑 80 km 處，颱風強度無明顯減弱，亦即具有較低的平均風速遞減率（約每公里 0.1- 0.2 m/s）。

颱風降雨氣候模式改進成果

在 96 年度本研究計畫報告書中，即針對 2005 年海棠、泰利及龍王 3 個強烈颱風，利用降雨壯度資訊值對氣候模式雨量預測進行修正測試，結果顯示具有相當不錯的修正效果，此即說明了以降雨壯度值來修正降雨氣候模式此一概念，確實有助於提升颱風降雨氣候模式之預報能力，唯上述報告僅展示修正方法之概念，並未量化改進之程度。因此在本年度的工作中除了以各種評估方法(TS 得分、ETS 得分、相關係數，標準化誤差(NB)、標準化偏估(NB)及均方根誤差(RMSE)等，詳附錄資料)來量化氣候模式的修正結果之外，同時亦嘗試以新的權重方法，來改善泰利及海棠颱風南部地區雨量低估的情況。

分析結果顯示，TS 及 ETS 得分海棠及泰利均有很好的改進，而龍王颱風則是相反的結果。在相關係數、標準化誤差(NB)、標準化偏估(NB)及均方根誤差(RMSE)的表現也是相同的結果。初步解讀是龍王颱風的氣候模式雨量與實際觀測雨量非常接近，顯示該颱風已不需要再執行增強模式。為何龍王颱風不屬於強降雨壯度或風速影響大的颱風，仍需再進一步的研究。

6.2 討論及未來工作

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。

未來工作計畫：

- 1) 颱風降雨結構特徵因子以及環流結構特徵的個案分析，除了能夠使我們對於臨台颱風的降雨以及環流結構特徵有進一步的了解之外，亦可透過這些實際分析資料針對颱風警報發布期間，警報單中的一些估計數據(如近中心最大風速及 7 級風暴風半徑等)進行比對及校驗(表 6.2)，並進一步做為當颱風進入雷達觀測範圍內時，適時修正颱風警報單相關估計資料的參考依據。未來本計畫將持續增加侵台颱風降雨結構以及 GBVTD 個案分析，以逐漸建立完整之颱風降雨結構與登陸階段環流變化資料庫。
- 2) 由於目前颱風降雨統計模式，只使用到颱風中心的資料，並未包含颱風其它資訊，如颱風降雨多寡(可由雷達回波資料推估)及環流強度與大小(可由雷達徑向風場推估)。前期計畫中已展示如何利用颱風降雨壯度的資訊來改進強降雨壯度颱風的雨量低估問題，但如何在颱風降雨統計模式中，進一步利用非軸對稱降雨結構特性，或者是颱風環流強度與大小資訊(如颱風強度、最大風速半徑或颱風風速壯度)來改進颱風降雨估計，則是未來需持續努力的工作。
- 3) 目前颱風降雨氣候模式所使用的資料庫中，僅納入 2004 年之前的歷史颱風雨量站資料，未來將持續將擴充資料庫中的雨量資料。

附錄 定量降雨預報校驗

評估預報結果的好壞，需使用一些客觀的方法來表示。這裡使用下列數個概念：「誤差」、「正確率」、「得分」來表示預報結果的好壞。由於雨量之觀測值總是以地面雨量計的觀測值代表真值，此處亦遵行這樣的慣例。

颱風降雨氣候模式之預報仍利用過去發生過的颱風降雨事件加以平均後的狀態。但颱風降雨除了與地形有關的降雨外，還有會隨著颱風演變的移動性雨帶。颱風降雨氣候模式無法顯現雨帶移經過測站的現象，僅能表示平均狀態。但地面雨量站的觀測確會忠實的反應雨帶經過時的強降雨現象。因此，以小時為時間單位來校驗颱風降雨氣候模式的預報結果常有很大的變異性。為了避免這類的校驗問題，此處的校驗是以整場颱風事件或至少 6 小時以上的時間單位來校驗預報結果。

颱風侵襲期間，地面雨量站常會有不同原因的故障發生。為了避免將此類雨量站的觀測也進行校驗，這裡在校驗時會把雨量站觀測總雨量為零的站剔除。雖然這可能會把總雨量為零的正確觀測站排除，但預期對預報校驗成績之反應應相當的輕微。因為颱風降雨氣候模式具有總雨量低估的特性，將總雨量值為零的站排除之結果，反應在校驗成績上的效果應該會使校驗成績略為下降。此外，颱風降雨定量估計之目的是希望能正確評估大雨的預報結果，對小雨的預報能力是較不在意的，乎略總雨量為零的站是可以接受的。由於氣候模式可預報的雨量站約 365 站，通常我們會把所有可用的雨量站來校驗一個颱風事件的預報結果。各種校驗的表示法如下：

一、誤差(error)

誤差為測量值和真實值的差異。在颱風降雨氣候模式降雨預報的校驗時，模式的輸出值即為測量值，地面雨量計的觀測值則代表真值，誤差即為兩者偏離的程度。誤差的表示方式有很多種，對單一雨量站的校驗可分成「絕對誤差」及「相對誤差」。

- 絕對誤差(absolute error, AE)：絕對誤差是測量值對真值偏離的絕對大小

$$\text{絕對誤差}(AE) = |\text{測量值} - \text{真實值}| \quad (1)$$

- 相對誤差(relative error, RE)：相對誤差則是絕對誤差與真值的比值 (以百分數表示)

$$\text{相對誤差}(RE) = \text{絕對誤差} / \text{總雨量觀測值} \quad (2)$$

對多站的校驗常用的方法為：標準差(standard deviation)、均方根誤差(root mean square error, RMSE)、標準化誤差(Normalized error, NE)、偏估(mean bias)、標準化偏估(normalized bias, NB)。此外，預報值與觀測值間也常使用相關係數來表示兩者之間的關係。

- 標準差(standard deviation)：統計名詞，表示數據樣本的分散或變異情形。可解釋成某樣本分配平均值的平均差距(也就是平均值的代表性)。比較精確的是，指樣本到分佈平均值的差距的平方和之方根，(以某種公式求平均值均方的方根)標準差也是變異數的平方根。

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (R_i - \bar{R})^2}{N}}$$

- 均方根誤差(root mean square error, RMSE)：當對某一量進行甚多次的測量時，取這一測量列誤差的均方根差(誤差平方的算術平均值再開方)，稱為均方根誤差 RMSE。RMSE 反映了測量

數據偏離真實值的程度，RMSE 越小，表示測量精度越高，因此可用 RMSE 作為評定這一測量過程精度的標準。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (R_{forecast} - R_{gauge})^2}{N}} \quad (3)$$

- 標準化誤差(Normalized error, NE)：標準化誤差類似於均方根誤差是表示絕對誤差的一種方法，但誤差的總量會再除以總觀測量來進行標準化。對不同總雨量之颱風個案比較時，這種方法的立足點較為一致。

$$NE = \frac{\left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^N |R_{forecast} - R_{gauge}|}{\left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^N R_{gauge}} \quad (4)$$

- 平均偏估(mean bias, MB)：偏估(或稱為偏倚)可顯示預報值過高或不足之情況，當 ME 為負值時代表模式預報較觀測為低，反之，則為偏高。

$$MB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R_{forecast} - R_{gauge}) \quad (6)$$

- 標準化偏估(normalized bias, NB)：標準化偏估類似於偏估，是表示絕對誤差的一種方法，標準化偏估是誤差的總量會再除以總觀測量來進行標準化。

$$NB = \frac{\left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^N R_{forecast} - R_{gauge}}{\left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^N R_{gauge}} \quad (6)$$

- 相關係數(Coefficient of Correlation, r)：相關係數的主要任務，是針對兩個「疑似」存在線性關係的(隨機)變量，計算出一個

數字，以反映出它們的關係有多線性，或曰，它們的直線關係有多強。當總體相關係數的絕對值愈接近 1，兩變量的直線關係便愈強烈。對完全(直線)相關(perfect correlation)的兩變量，可以證明 $r = 1$ 或 -1 。預報結果若與觀測結果愈接近則相關係愈高，若兩者完全相等時相關係數等於 1。

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{Y})^2}} \quad (7)$$

二、正確率(Accurate rate)：

- 評估颱風事件預估總雨量值與實際觀測總雨量值之優劣也可以用「正確數」表示，根據張等(2008)之正確數定義如下：

$$| \text{誤差率(rate)} | < 25\% \quad (8a)$$

$$| \text{誤差值(error)} | < 50 \text{ mm} \quad (8b)$$

- 滿足上述兩條件即屬整場颱風總雨量預估正確。除了使用單一測站進行正確率評估外，仍可整合數個測站或全部測站之平均雨量進行評估。

國家災害防救科技中心(張等，2008)利用此種方法對評估 1989-2004 年颱風降雨氣候模式預報對不同流域之正確率評估，颱風總個案數為 78 個，正確率平均值為 0.65。

二、得分(score)：

氣象作業及研究單位於區域模式定量降水預報(quantitative precipitation forecasts；QPF)的評估，則多利用 T 得分(Threat score)；

ETS)、公正預兆得分 (Equitable Threat score ; ETS)、偏倚得分(bias score ; BS, 即平均誤差)、命中率(probability of detection ; POD)、錯報率(false alarm ratio ; FAR)等方式評估。T 得分之概念示意圖 如圖 1。

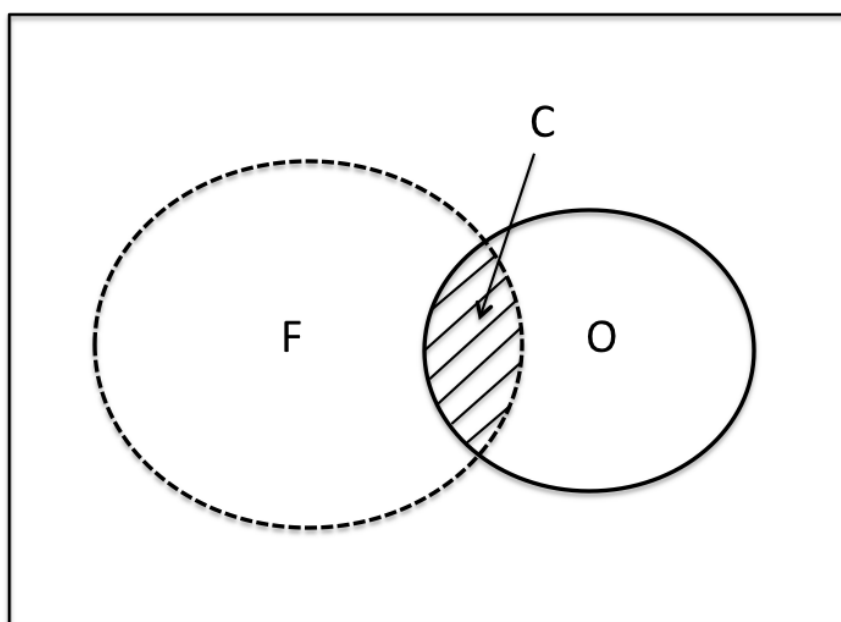


圖 1 各種得分之概念示意圖。F 為預報定量降水的範圍，O 為觀測到的定量降水範圍，C 為正確預報範圍。

得分之校驗係依預報達到某定量降水值的發生範圍 (面積 ; F)、觀測達到的該定量降水值的範圍 (面積 ; O) 以及正確預報範圍 (面積 ; C) 所定義的下述參數而來 :

- T 得分(Threat Score) :

$$T = \frac{C}{F + O - C} \quad (9)$$

- 前估(Prefigurance) :

$$PF = \frac{C}{O} \quad (10)$$

- 後符(Postagreement) :

$$PA = \frac{C}{F} \quad (11)$$

- 偏估(Bias)：

$$B = \frac{F}{O} \quad (12)$$

T 得分可由圖 1 所示了解，即正確面積與預報和觀測面積所包絡之面積比，顯見無預報能力時 $TS=0$ ，完美預報時 $TS=1$ 。偏倚可顯示過度預報(overforecast)或不足預報(underforecast)之情況。前估為在發生(或觀測)的面積裡事先可預報之比例，即偵測機率(Probability of Detection；POD)。後符則為在預報的面積裡實際觀測(或應驗)的比例，此值與誤報率(False alarm ratio；FAR)相加正好等於 1。

公正預兆得分 ETS (Equitable Threat Score，Schaefer 1990) 是近期廣被氣象作業及研究單位所採用的降水預報校驗方法。ETS 是在計算除了模式與觀測皆無降水且不是隨機猜中的情況下，模式正確預測降水的機率，ETS 分數愈高代表模式降雨預報愈準確，其定義如(13)式，

- ETS 得分(Equitable Threat Score)：

$$ETS = \frac{C - R}{F + O - C - R} \quad (13)$$

式中的 F 為預測降雨的次數，O 為觀測降雨的次數，H 代表預報與觀測皆有降雨的次數， $R = FO / N$ 為隨機可正確預測降水的次數，N 為預報次數與觀測次數之和。綜合 ETS 與偏估(Bias) 得分的結果，可判斷降水預報的正確性。

參考文獻：

- 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。
- 周仲島、張保亮、李文兆，1994：都卜勒雷達在颱風環流中尺度結構分析的應用。大氣科學，22，2，163-188。
- 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。
- 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。
- 周仲島，2001：台灣天氣研究計畫與綠島中尺度實驗簡介。科學發展月刊，29，568-578。
- 張保亮，2000：登陸颱風環流變化分析：賀伯 (1996) 個案研究。國立台灣大學大氣科學研究所博士論文，共 158 頁。
- 高聿正，2003：納莉颱風近中心環流結構特徵分析。國立臺灣大學大氣科學研究所碩士論文，共 105 頁。
- 李宗融，2006：都卜勒雷達在颱風環流結構與平均風反演之應用。國立臺灣大學大氣科學研究所碩士論文，共 103 頁。
- Black, M. L., and H. E. Willoughby, 1992: The concentric eyewall cycle of Hurricane Gilbert. *Mon. Wea. Rev.*, **120**, 947 – 957.
- Blackwell, K. G. 2000: 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.
- Burpee, R. W., and M. L., Black, 1989: Temporal and spatial variations of rainfall near the centers of two tropical cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, **117**, 2204-2218.
- Chang, P. -L., B. J. -D. Jou, and J. Zhang, 2008: An Algorithm for

- Tracking Eyes of Tropical Cyclones. *Wea.Forecasting*. (in press)
- 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.
- 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.
- Dodge, P., R. W. Burpee and F. D. Marks Jr., 1999 : The kinematic structure of a hurricane with sea level pressure less than 900 mb. *Mon Wea. Rev.*, **127**, 987–1004.
- Eilts, M. D., and S. D. Smith, 1990: Efficient dealiasing of Doppler velocities using local environment constraints. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **7**, 118–128.
- Jou, B. J. -D., W. -C. Lee, S. -P. Liu, and Y. -C. Kao, 2008: Generalized VTD Retrieval of Atmospheric Vortex Kinematic Structure. Part I: Formulation and Error Analysis. *Mon. Wea. Rev.* **136**, 995–1012.
- Frank, W. M., 1977: The structure and energetics of the tropical cyclone. Part I: Storm structure. *Mon. Wea. Rev.*, **105**, 1119-1135.
- Geerts, B., G. M. Heymsfield, L. Tian, J. B. Halverson, A. Guillory, and M. I. Mejia, 2000: Hurricane Georges's landfall in the Dominican Republic: Detailed airborne Doppler radar imagery. *Bull. Ame. Meteor. Soc.*, **81**, 999-1018.
- Lee, W.-C., F. D. Marks Jr., and R. E. Carbone, 1994 : Velocity Track Display—A technique to extract real-time tropical cyclone circulations using a single airborne doppler radar. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **11**, 337–356.
- Lee, W.-C., and B. J.-D. Jou, P. -L. Chang, and S. -M. Deng, 1999: Tropical cyclone kinematic structure retrieved from single Doppler radar observations. Part I: Interpretation of Doppler velocity patterns and the GBVTD technique. *Mon. Wea. Rev.*, **127**, 2419–2439.
- _____, F. D. Marks, 2000: Tropical cyclone kinematic structure retrieved

- from single Doppler radar observations. Part II: The GBVTD-simplex center finding algorithm. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 1925–1936.
- _____, B.J.-D. Jou, P.-L. Chang and F. D. Marks Jr., 2000: Tropical cyclone kinematic structure retrieved from single-doppler radar observations. Part III : Evolution and structures of typhoon Alex (1987). *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 3982–4001.
- Marks., F. D. ,Jr. and R. A. Houze, Jr., 1987 : Inner core structure of hurricane Alicia from airborne doppler radar observations. *J. Atmos. Sci.*, **44**, 1296–1317.
- _____, _____, and J. F. Gamache, 1992 : Dual-aircraft investigation of the inner core of hurricane Norbert. Part I : Kinematic structure. *J. Atmos. Sci.*, **11**, 919–942.
- Nelder, J. A., and R. Mead, 1965: A simplex method for function minimization. *Comput. J.*, **7**, 308–313.
- Rodgers, E. B., S. W. Chang, and H. F. Pierce, 1994a: A satellite observational and numerical study of precipitation characteristics in western north Atlantic tropical cyclones. *J. Appl. Meteor.*, **33**, 129-139.
- Roux, F., and F. D. Marks Jr., 1996 : Extended Velocity Track Display (EVTD): An improved processing method for doppler radar observations of tropical cyclones. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **13**, 875–899.
- Shea, D. J., and W. M. Gray., 1973 : The hurricane’s inner core region. I. Symmetric and asymmetric structure. *J. Atmos. Sci.*, **30**, 1544–1564.
- Willoughby, H. E., F. D. Marks, and R. J. Feinberg, 1984: Stationary and moving convective bands in hurricanes. *J. Atmos. Sci.*, **41**, 3189-3211.
- Wu, C.-C., and Y. -H. Kuo, 1999: Typhoons affecting Taiwan: Current understanding and future challenges. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **80**, 67-80.
- Zhang, J., and S. Wang, 2005: An automated 2-D multi-pass Doppler

radar velocity dealisaing scheme. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **23**,
1239-1248.

附表

表 2.1 2004~2007 分析颱風依據降雨壯度方法 3 分類表。

STRENGTH (dBZ)	2004 – 2009 TYPHOON (20 CASES)				
偏高 (30~)	Longwang(05) 34.3	Sepat(07) 33.7	Krosa(07) 33.0	Nock-ten(04) 32.5	Shanshan(06) 32.2
	Tailam(05) 32.1	Soamai(06) 31.8	Pabuk(07) 30.8		
平均值 (25~30)	Haitang(05) 29.2	Karmi(06) 29.0	Wipha(07) 28.5	Rananim(04) 28.2	Khanun(05) 28.2
	Bopha(06) 28.2	Aere(04) 28.0	Matsa(05) 26.5	Nanmadol(04) 26.2	
偏低 (~25)	Mindulle(04) 24.8	Bilis(06) 24.7	Haima(04) 23.9		

表 3.1 2004~2009 颱風個案分析時段及資料筆數一覽表。

颱風	分析時段(LST)	資料筆數
'04 敏督利	200406301800~200407012200 (28 小時 10 分)	169
'04 蘭寧	200408120810~200408121910 (11 小時 10 分)	67
'04 艾利	200408240200~200408250750 (30 小時 00 分)	180
'04 海馬	200409112300~200409130350 (29 小時 00 分)	174
'04 納坦	200410241800~200410251000 (29 小時 00 分)	97
'04 南瑪都	200412032300~200412040800 (16 小時 10 分)	55
'05 海棠	200507172000~200507180640 (10 小時 50 分)	65
'05 馬莎	200508040800~200508051100 (27 小時 10 分)	163
'05 泰利	200508311200~200509010050 (13 小時 00 分)	78
'05 卡努	200509100810~200509111400 (30 小時 00 分)	180
'05 龍王	200510011810~200510020330 (09 小時 30 分)	58
'06 碧利斯	200607130800~200607132250 (15 小時 00 分)	90
'06 凱米	200607241000~200607250000 (14 小時 10 分)	85
'06 桑美	200608092230~200608101800 (19 小時 40 分)	118
'06 寶發	200608080900~200608090000 (15 小時 10 分)	91
'06 珊珊	200609151320~200609161440 (25 小時 30 分)	153
'07 帕布	200708071400~200708080210 (12 小時 00 分)	72
'07 聖帕	200708171300~200708180500 (15 小時 40 分)	94
'07 韋帕	200709180000~200709181100 (11 小時 10 分)	67
'07 柯羅莎	200710060000~200710061500 (15 小時 10 分)	91
'08 卡枚基	200807170200~200807172140 (19 小時 50 分)	119
'08 鳳凰	200807270810~200807280640 (22 小時 40 分)	136
'08 辛樂克	200809120800~200809140140 (41 小時 50 分)	251
'08 薔蜜	200809271700~200809281540 (22 小時 40 分)	137
'09 莫拉克	200908061600~200908072350 (30 小時 50 分)	185
'09 芭瑪	200910030800~200910052230 (62 小時 40 分)	376

表 3.2 強烈颱風個案特徵表。

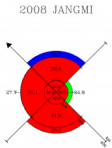
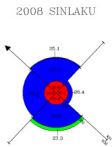
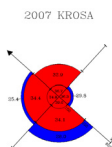
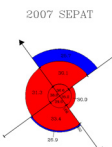
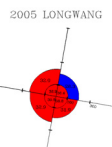
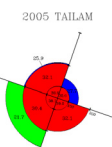
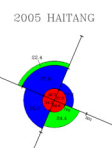
颱風	颱風眼 大小	壯度值(dBZ)			平均範圍	非軸對 稱結構
		內核	外 I	外 II		
薔蜜	18km	32.0	29.5	27.0	314km	
辛樂克	31km	33.9	25.2	20.7	331km	
柯羅莎	27km	34.2	33.1	24.1	317km	
聖帕	45km	37.1	30.1	23.7	373km	
龍王	31km	37.2	30.9	18.9	245km	
泰利	36km	35.3	29.9	21.0	430km	
海棠	49km	34.6	25.1	20.5	256km	
平均	34km	34.9	29.1	22.3	324km	

表 3.3 中度颱風個案特徵表(1)。

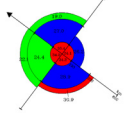
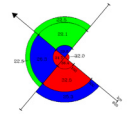
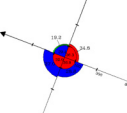
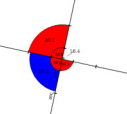
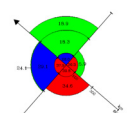
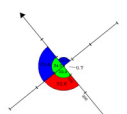
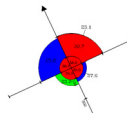
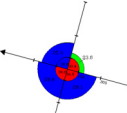
颱風	颱風眼 大小	壯度值(dBZ)			平均範圍	非軸對 稱結構
		內核	外 I	外 II		
鳳凰	31km	33.5	24.7	20.6	367km	2008 FUNGWONG 
韋帕	9km	31.3	25.4	19.1	334km	2007 WIPHA 
桑美	13km	34.0	26.5		194km	2006 SAOMAI 
珊珊	12km	36.4	27.9	23.2	285km	2006 SHANSHAN 
凱米	27km	32.5	25.8	19.5	411km	2006 KAEMI 
卡努	8km	22.6	30.0		225km	2005 KHANUN 
納坦	36km	35.6	25.7	18.9	247km	2004 NOCK-TEN 
艾利	45km	30.1	27.2	20.9	254km	2004 AERE 
平均	27km	32.0	26.7	20.1	290km	

表 3.4 中度颱風個案特徵表(2)。

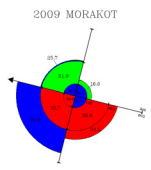
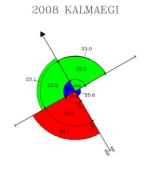
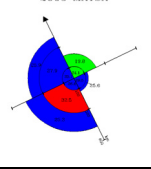
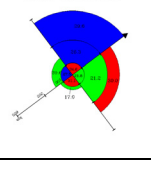
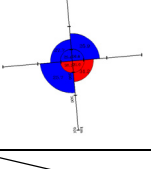
颱風	颱風眼 大小	壯度值(dBZ)			平均範圍	非軸對 稱結構
		內核	外 I	外 II		
莫拉克		27.8	30.1	28.9	510km	
卡枚基		27.7	26.4	26.5	430km	
馬莎		24.8	28.6	24.7	428km	
南瑪都		25.8	22.1	28.5	553km	
敏督利		26.3	23.4	24.7	377km	
平均		26.5	26.1	26.7	460km	

表 3.5 輕度颱風個案特徵表(1)。

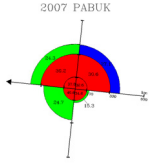
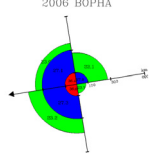
颱風	颱風眼 大小	壯度值(dBZ)			平均範圍	非軸對 稱結構
		內核	外 I	外 II		
帕布	18km	34.4	26.4	24.2	427km	
寶發		31.9	24.9	22.3	443km	
平均		33.2	25.7	23.3	435km	

表 3.6 輕度颱風個案特徵表(2)。

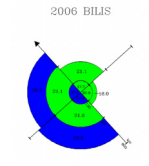
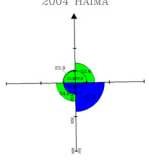
颱風	颱風眼 大小	壯度值(dBZ)			平均範圍	非軸對 稱結構
		內核	外 I	外 II		
碧利斯		22.2	19.9	28.1	480km	
海馬		24.1	23.6		187km	
平均		23.2	21.8		334km	

表 3.7 颱風降雨結構特徵表。

颱風等級	颱風眼 大小	壯度值(dBZ)			平均範圍
		內核	外 I	外 II	
強烈(集中)	34km	34.9	29.1	22.3	324km
中度(集中)	27km	32.0	26.7	20.1	290km
中度(寬廣)		26.5	26.1	26.7	460km
輕度(集中)		33.2	25.7	23.3	435km
輕度(寬廣)		23.2	21.8		334km

表 5.1 颱風降雨統計模式修正前後 TS(Threat Score)得分表。

Typhoon	50 mm	150 mm	250 mm	350 mm
Haitang	0.88	0.11	0.01	-0.01
Haitang E	0.89	0.24	0.04	0.00
Haitang ES	0.90	0.40	0.19	0.16
Talim	0.29	-0.01	-0.01	0.00
Talim E	0.34	0.02	-0.03	-0.03
Talim ES	0.40	0.16	0.04	-0.03
LongWang	0.38	0.02	0.04	0.00
Longwang E	0.41	0.03	-0.09	0.01
Longwang ES	0.38	-0.02	-0.19	-0.26

表 5.2 颱風降雨統計模式修正前後 ETS(Equitable Threat Score)得分表。

Typhoon	50 mm	150 mm	250 mm	350 mm
Haitang	0.94	0.40	0.17	0.06
Haitang E	0.94	0.52	0.27	0.12
Haitang ES	0.95	0.65	0.47	0.41
Talim	0.55	0.13	0.04	0.03
Talim E	0.59	0.22	0.05	0.03
Talim ES	0.64	0.44	0.26	0.03
Longwang	0.63	0.30	0.19	0.00
Longwang E	0.65	0.35	0.16	0.10
Longwang ES	0.63	0.28	0.09	0.06

表 5.3 颱風降雨統計模式修正前後預報值與觀測值之相關係數、標準化 誤差 (NB)、標準化偏估(NB)及均方根誤差(RMSE)表。

Typhoon	Corr. Coeff.	NE	NB	RMSE(mm)
Haitang	0.42	55%	-45%	219
Haitang E	0.53	50%	-37%	198
Haitang ES	0.70	39%	-23%	158
Talim	0.41	67%	-59%	156
Talim E	0.45	63%	-54%	149
Talim ES	0.62	52%	-36%	119
Longwang	0.72	48%	-12%	72
Longwang E	0.69	49%	-2%	71
Longwang ES	0.47	81%	36%	104

表 6.1 颱風降雨壯度及降雨結構分布一覽表。

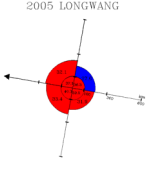
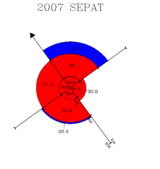
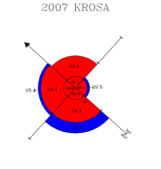
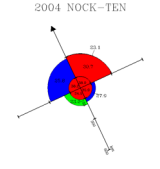
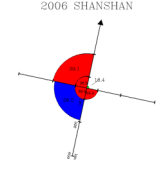
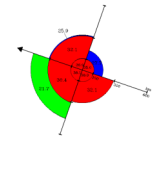
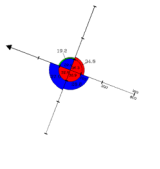
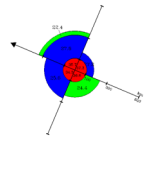
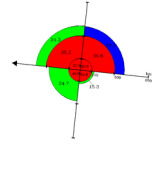
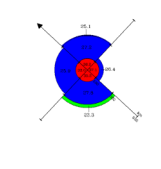
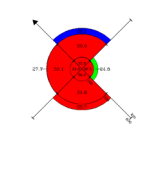
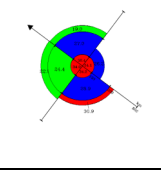
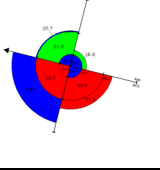
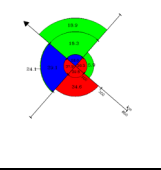
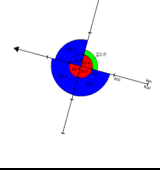
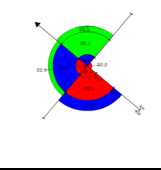
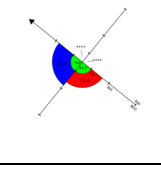
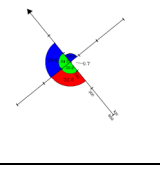
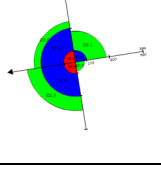
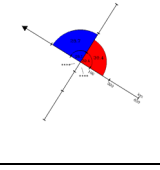
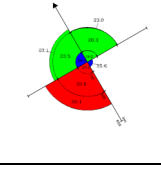
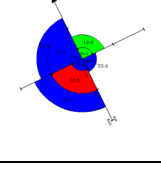
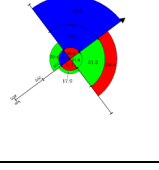
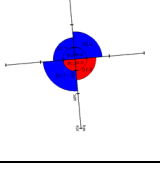
STRENGTH (dBZ)	2004 – 2009 TYPHOON (26 CASES)				
30-	2005Longwang 34.7 2005 LONGWANG 	2007Sepat 33.7 2007 SEPAT 	2007Krosa 33.0 2007 KROSA 	2004Nock-ten 32.5 2004 NOCK-TEN 	2006Shanshan 32.9 2006 SHANSHAN 
	2005Tailam 32.1 2005 TAILAM 	2006Saomai 31.8 2006 SAOMAI 	2005Haitang 31.6 2005 HAITANG 	2007Pabuk 30.8 2007 PABUK 	2008Sinlaku 30.6 2008 SINLAKU 
	2008Jangmi 30.0 2008 JANGMI 				
25-30	2008Fungwong 29.5 2008 FUNGWONG 	2009Morakot 29.1 2009 MORAKOT 	2006Kaemi 29.0 2006 KAEMI 	2004Aere 28.8 2004 AERE 	2007Wipha 28.5 2007 WIPHA 
	2004Rananim 28.2 2004 RANANIM 	2005Khanun 28.2 2005 KHANUN 	2006Bopha 28.2 2006 BOPHA 	2009Parma 28.0 2009 PARMA 	2008Kalmaegi 26.9 2008 KALMAEGI 
	2005Matsa 26.5 2005 MATSA 	2004Nanmadol 26.2 2004 NANMADOL 	2004Mindulle 26.1 2004 MINDULLE 		

表 6.1 颱風降雨壯度及降雨結構分布一覽表(續)。

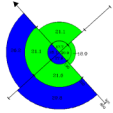
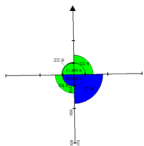
STRENGTH (dBZ)	2004 – 2009 TYPHOON (26 CASES)				
-25	<p style="text-align: center;">2006Bilis 24.7</p> <p style="text-align: center;">2006 BILIS</p> 	<p style="text-align: center;">2004Haima 23.9</p> <p style="text-align: center;">2004 HAIMA</p> 			

表 6.2 警報單數據資料與特徵分析數據資料對照一覽表。

颱風	CWB 警報單數據		特徵分析數據		特徵分析數據	
	近中心 平均最 大風速	7 級風 半徑	RMW 切 向風速 (GBVTD)	平均範 圍大小 (25dBZ)	RMW 大小 (GBVTD)	眼牆 半徑
薔蜜	51m/s	280km	46m/s	314km	29km	36km
辛樂克	51m/s	250km	43m/s	331km	42km	49km
柯羅莎	51m/s	300km	52m/s	317km	40km	45km
聖帕	53m/s	250km		373km		53km
龍王	51m/s	200km	60m/s	245km	47km	58km
泰利	53m/s	250km	48m/s	430km	43km	45km
海棠	55m/s	280km	48m/s	256km	34km	22km
鳳凰	43m/s	220km		367km		40km
韋帕	48m/s	200km	51m/s	334km	22km	18km
珊珊	43m/s	200km		285km		18km
桑美	48m/s	180km		194km		18km
凱米	38m/s	200km		411km		45km
卡努	43m/s	200km		225km		16km
納坦	38m/s	250km		247km		53km
艾利	48m/s	200km		254km		60km
莫拉克	40m/s	250km		510km		
卡枚基	33m/s	120km		430km		
馬莎	40m/s	250km		428km		
南瑪都	45m/s	200km		553km		
敏督利	45m/s	250km		377km		
蘭寧	40m/s	250km		227km		
芭瑪	43m/s	250km		274km		
帕布	28m/s	150km		427km		31km
寶發	25m/s	100km		443km		
碧利斯	25m/s	300km		480km		
海馬	18m/s	100km		187km		

附圖

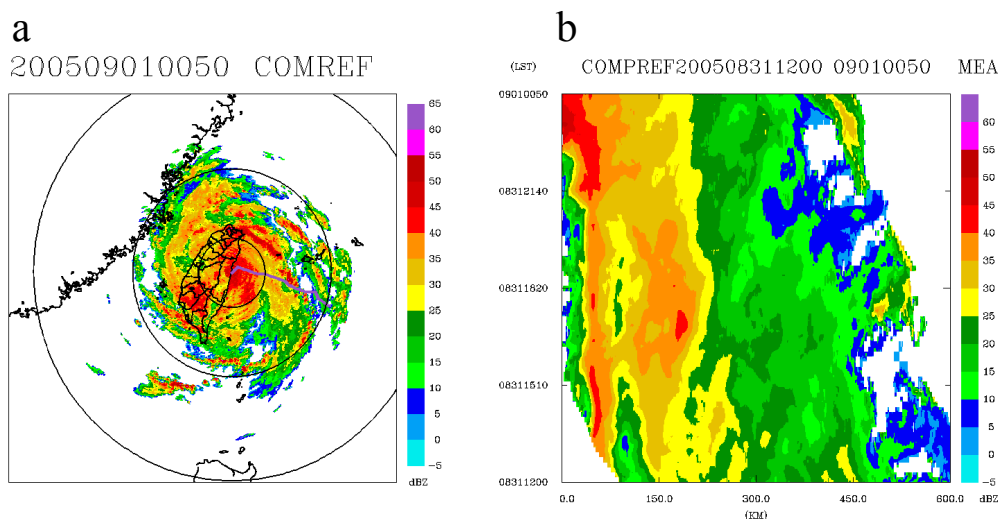


圖 2.1 (a)200509010050LST 泰利颱風整合雷達回波圖。(b) 泰利颱風哈莫圖。色階為環狀平均回波值，橫軸與颱風中心距離(0-600 公里)，縱軸為時間(200508311200-200509010050LST)。

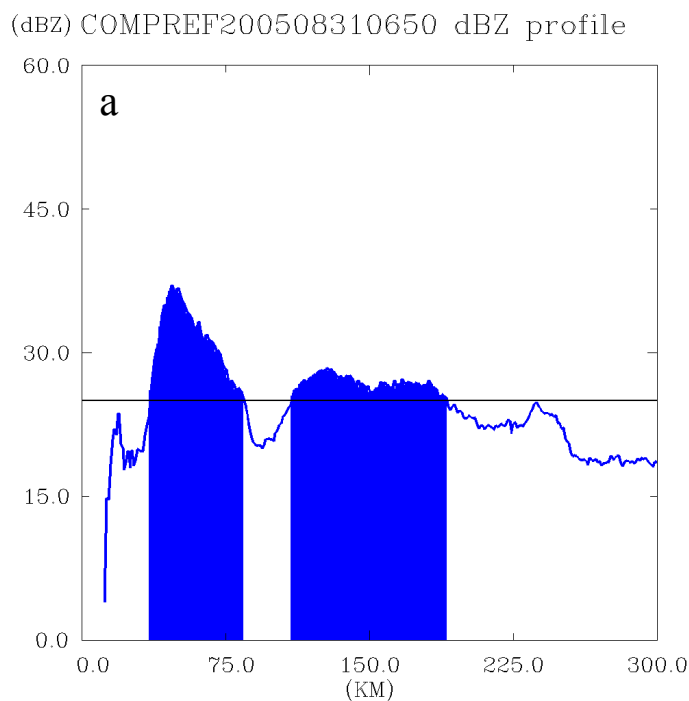
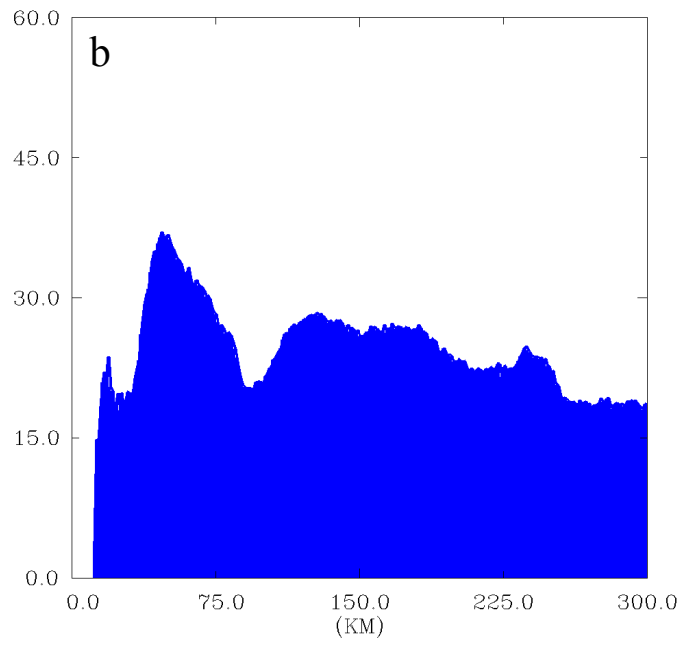


圖 2.2 颱風降雨強度計算示意圖，以 2005 年 8 月 31 日 0650UTC 泰利颱風半徑 300 公里範圍內環狀回波平均值為例。圖(a)為方法一。圖(b)為方法二。圖(c)為方法三。

(dBZ) COMPREF200508310650 dBZ profile



(dBZ) COMPREF200508310650 dBZ profile

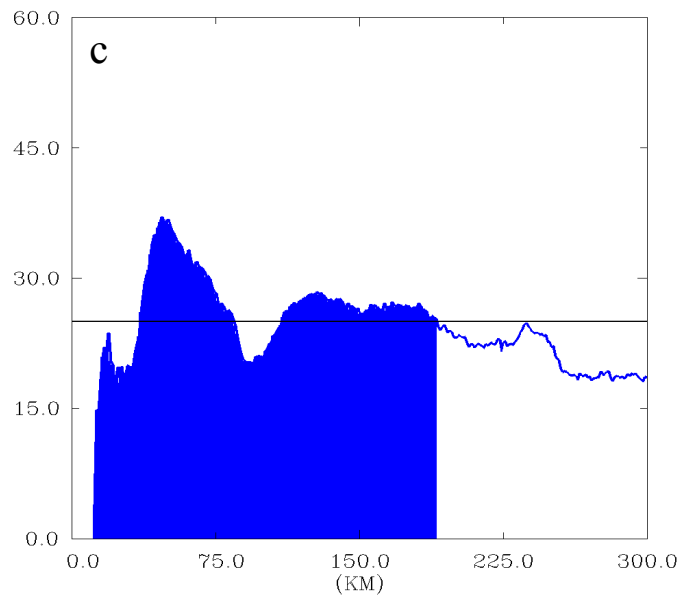


圖 2.2 (續)。

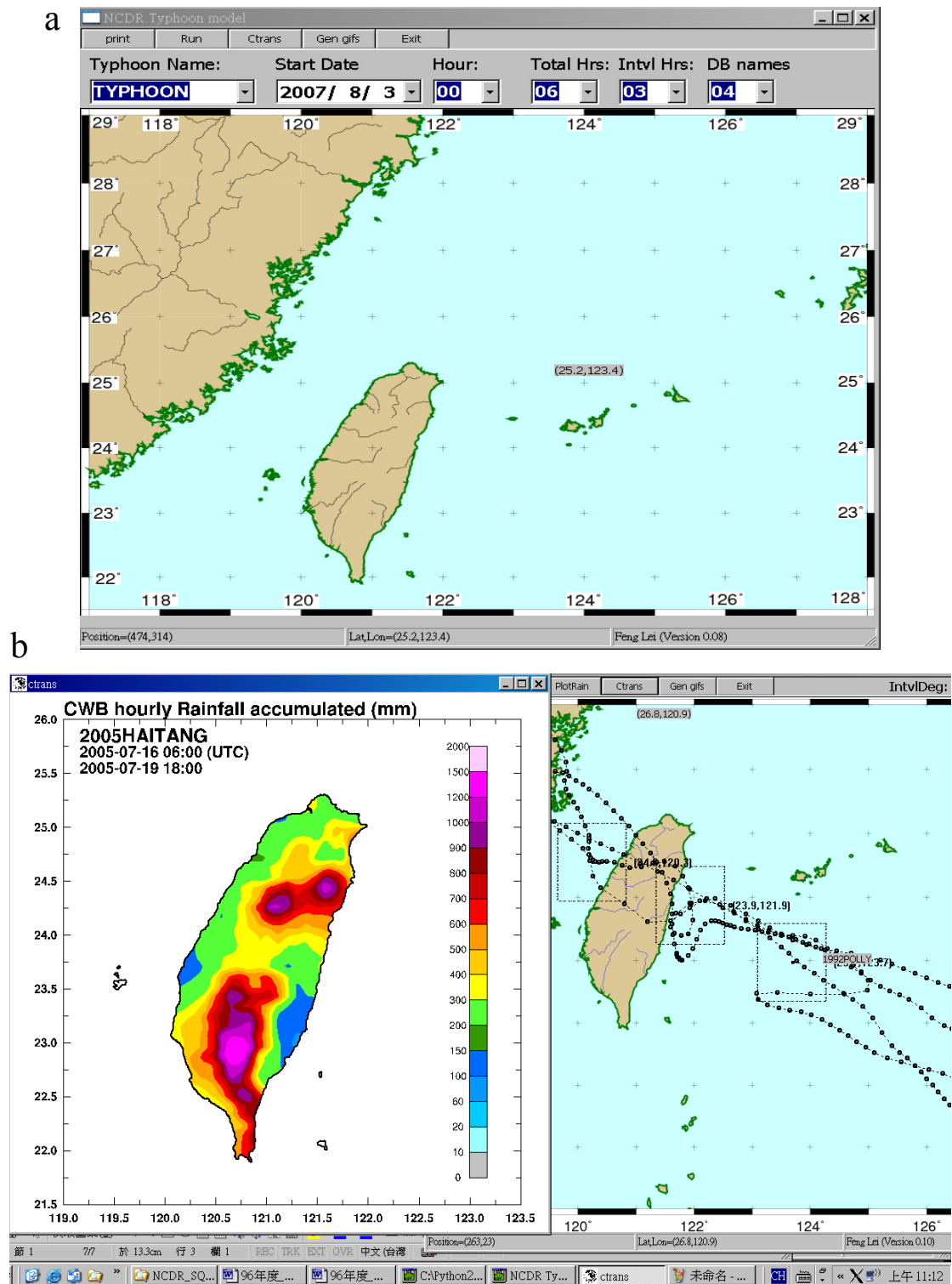


圖 2.3 (a)颱風降雨氣候資料庫圖形查詢界面(Microsoft Windows XP 作業系統下執行之情形)。(b)為海棠颱風累積雨量圖顯示於 windows XP 作業環境之情形。

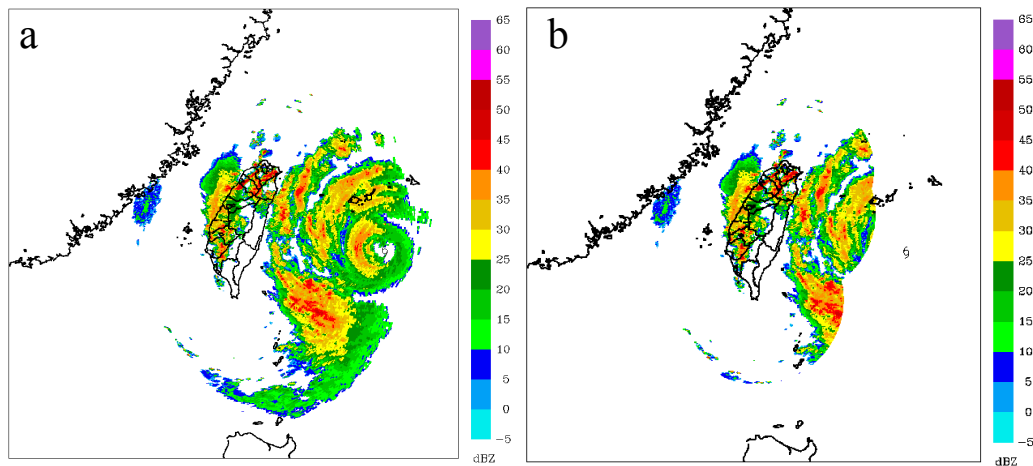


圖 2.4 QPESUMS 系統整合回波產品扇型區域處理示意圖。(a)為未經刪除任何回波資料之整合回波產品。(b)為刪除 5 公里高度以上回波資料之整合回波產品。

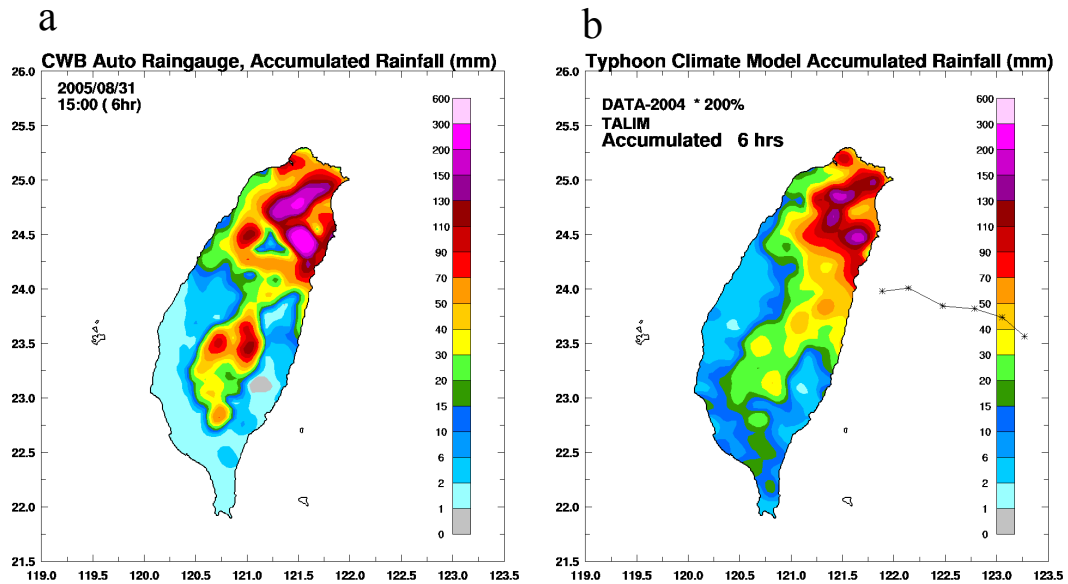


圖 2.5 泰利颱風降雨壯度區間(偏高值區間)修正颱風降雨統計模式估計雨量之分析圖。(a)為地面實際觀測雨量分佈圖。(b)為颱風降雨統計模式估計雨量增加 100%之分佈圖。

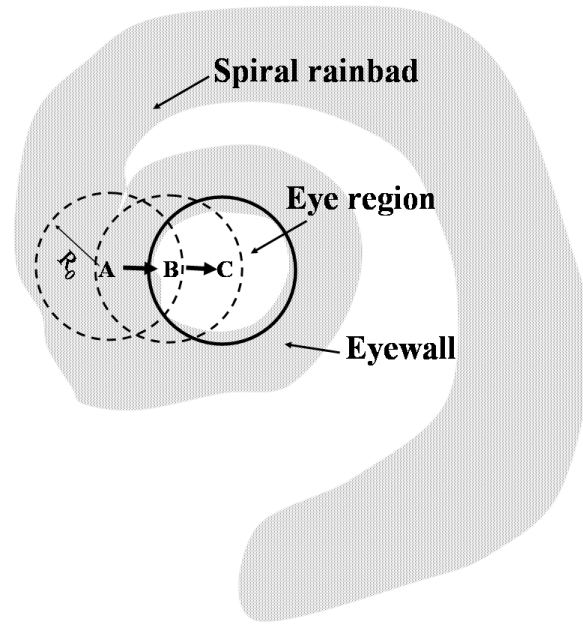


圖 3.1 TCET 颱風中心定位示意圖。圖 A 為初始猜測中心， R_0 初始猜測眼半徑，B 與 C 點為疊代法計算之中心位置。(Chang et al. 2009)

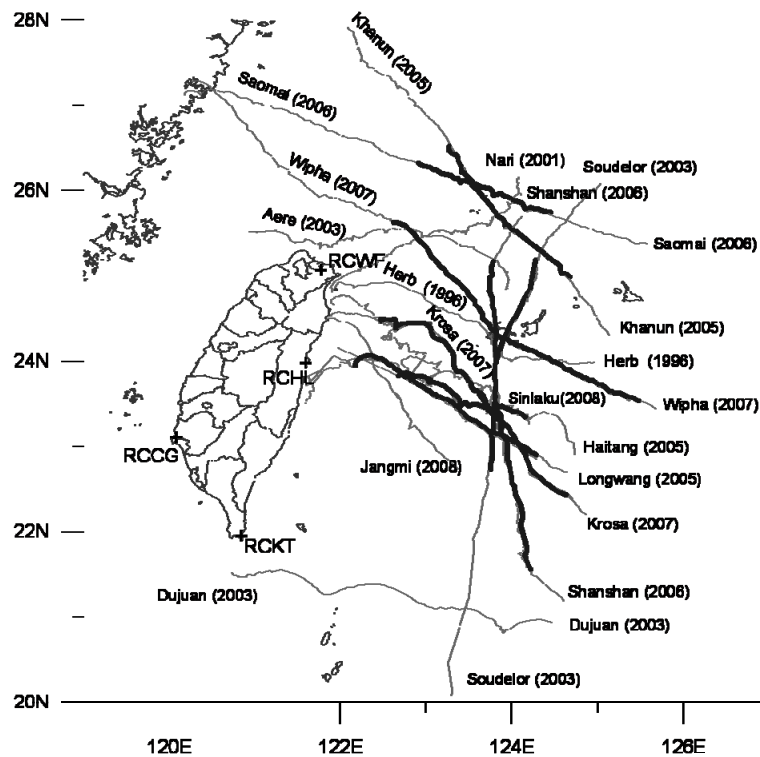


圖 3.2 TECT 方法中心定位路徑圖。

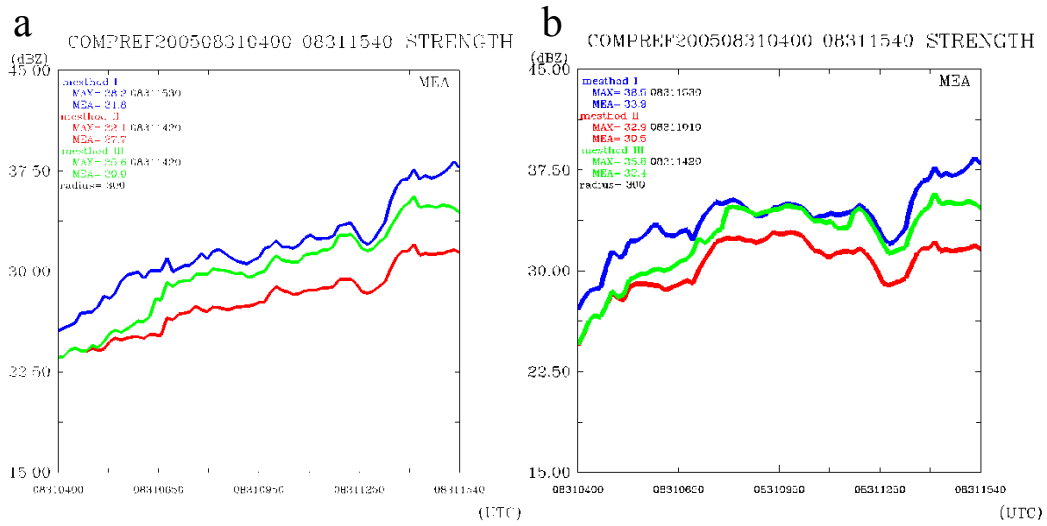


圖 3.3 以經扇形區域資料處理之整合回波所計算之環狀平均回波壯度，不同色線代表不同壯度計算方法。(a)未經刪除任何回波資料之環狀平均回波壯度，圖(b)為刪除 5km 高度以上回波資料之回波壯度。

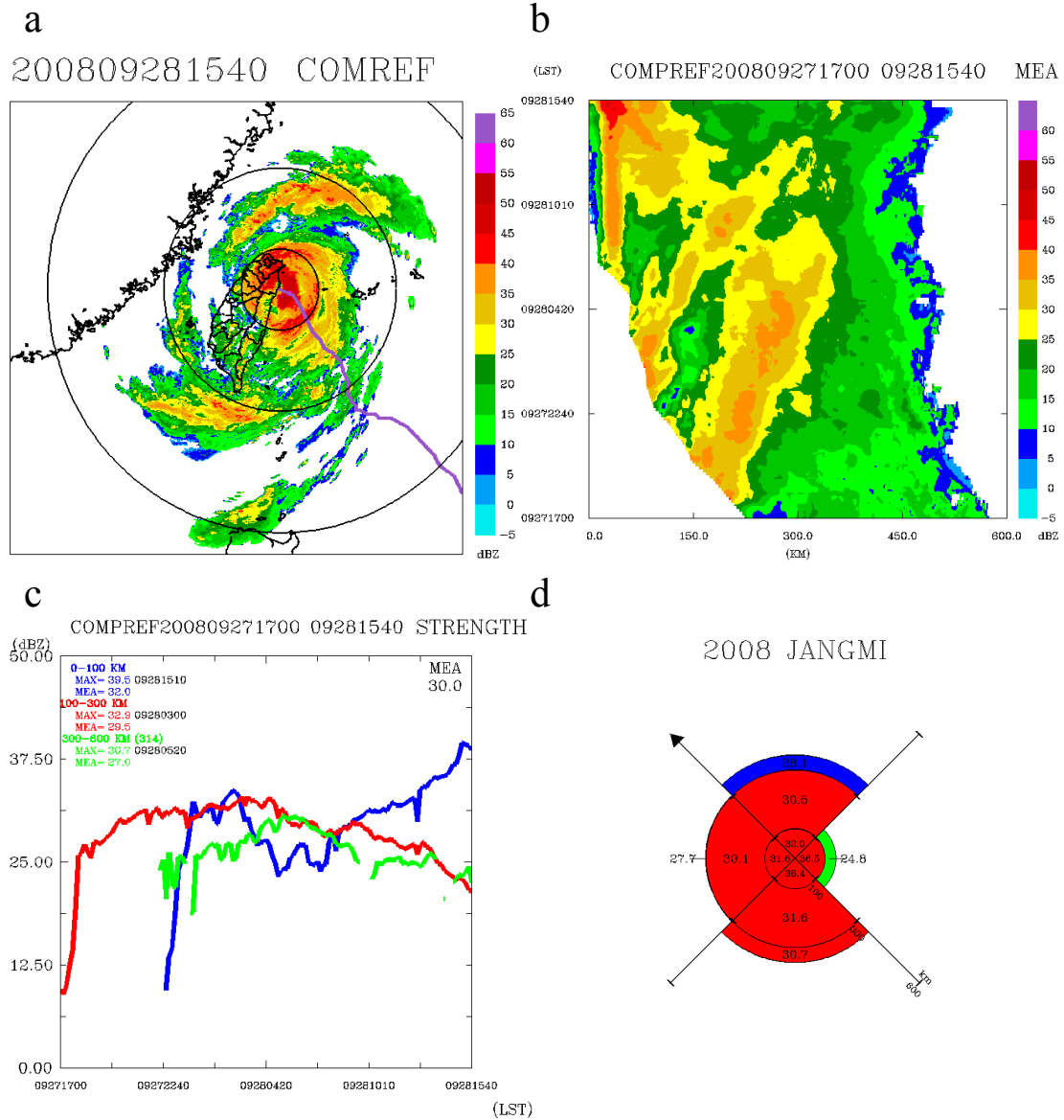


圖 3.4 薈蜜颱風降雨特徵因子分析。(a)200809281540LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度，橫軸為與颱風中心距離，縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km，藍色線條)、外圍 I 區(0~100km，紅色線條)、外圍 II 區(100~300km，綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為薈蜜颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含)，藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ，綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向，軸上刻度為與颱風中心距離。

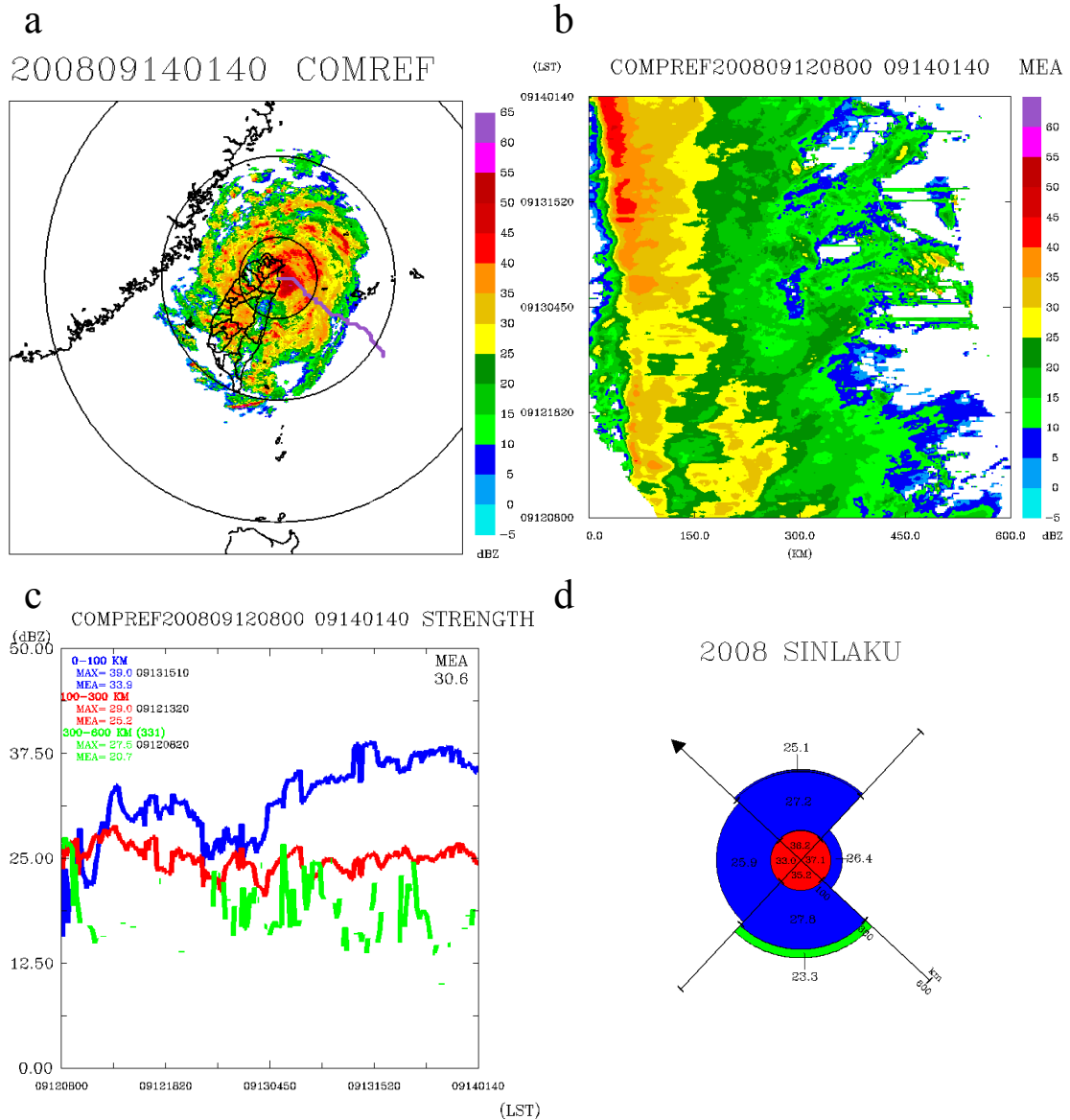


圖 3.5 辛樂克颱風降雨特徵因子分析。(a)200809140140LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度，橫軸為與颱風中心距離，縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km，藍色線條)、外圍 I 區(0~100km，紅色線條)、外圍 II 區(100~300km，綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為辛樂克颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含)，藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ，綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向，軸上刻度為與颱風中心距離。

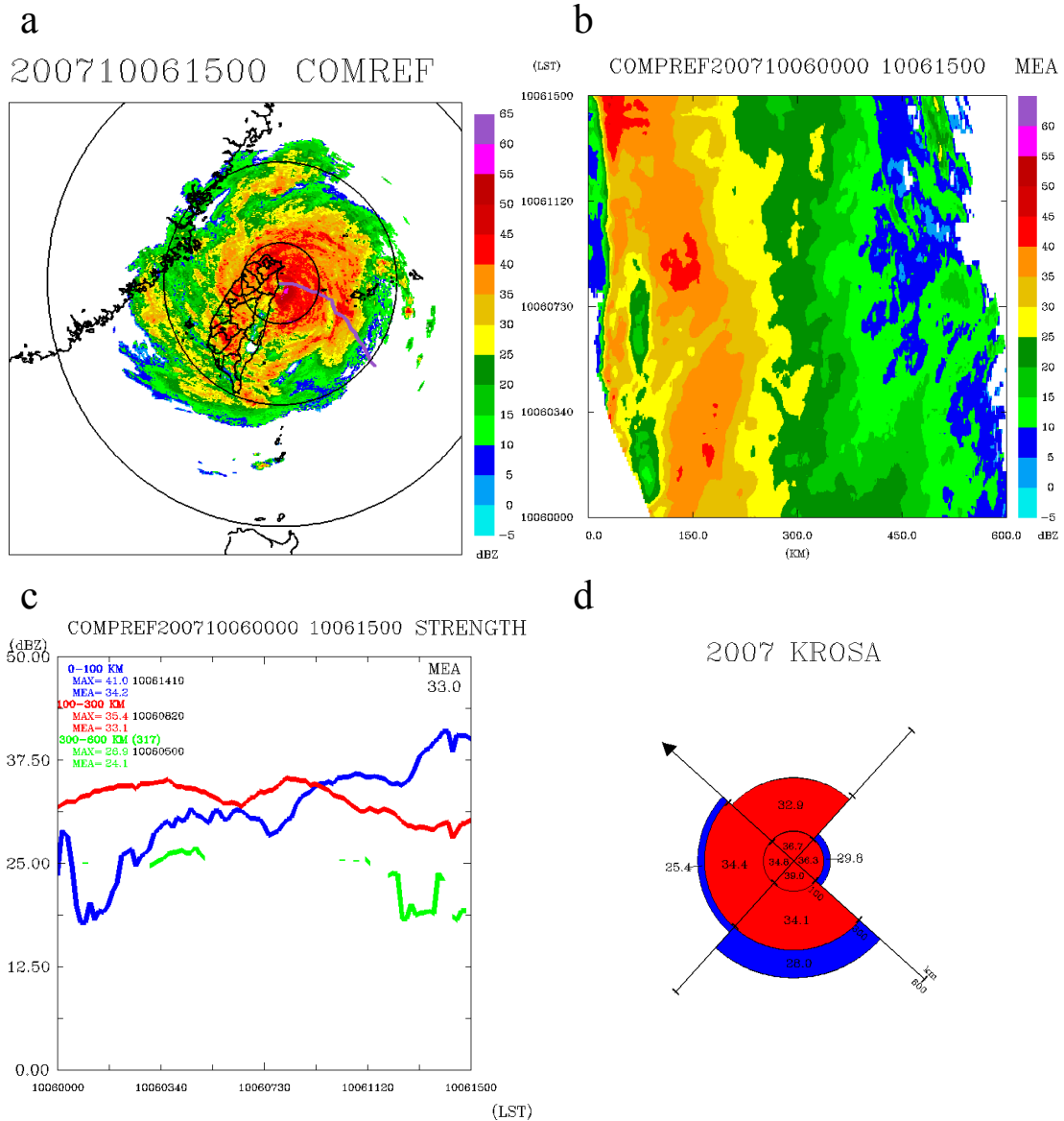


圖 3.6 柯羅莎颱風降雨特徵因子分析。(a)200710061500LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度，橫軸為與颱風中心距離，縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km，藍色線條)、外圍 I 區(0~100km，紅色線條)、外圍 II 區(100~300km，綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為柯羅莎颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含)，藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ，綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向，軸上刻度為與颱風中心距離。

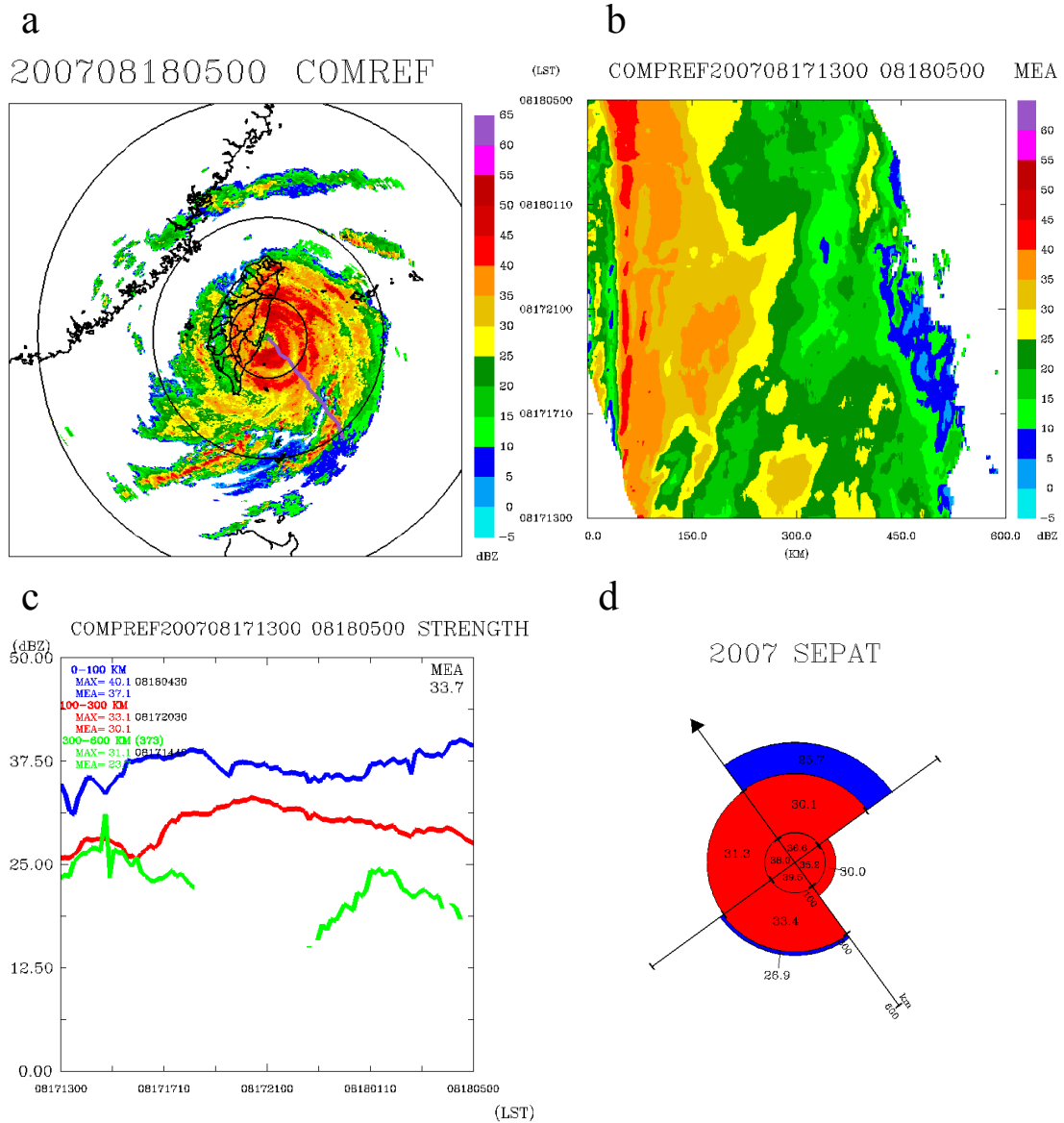


圖 3.7 聖帕颱風降雨特徵因子分析。(a)200708180500LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度，橫軸為與颱風中心距離，縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km，藍色線條)、外圍 I 區(0~100km，紅色線條)、外圍 II 區(100~300km，綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為聖帕颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含)，藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ，綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向，軸上刻度為與颱風中心距離。

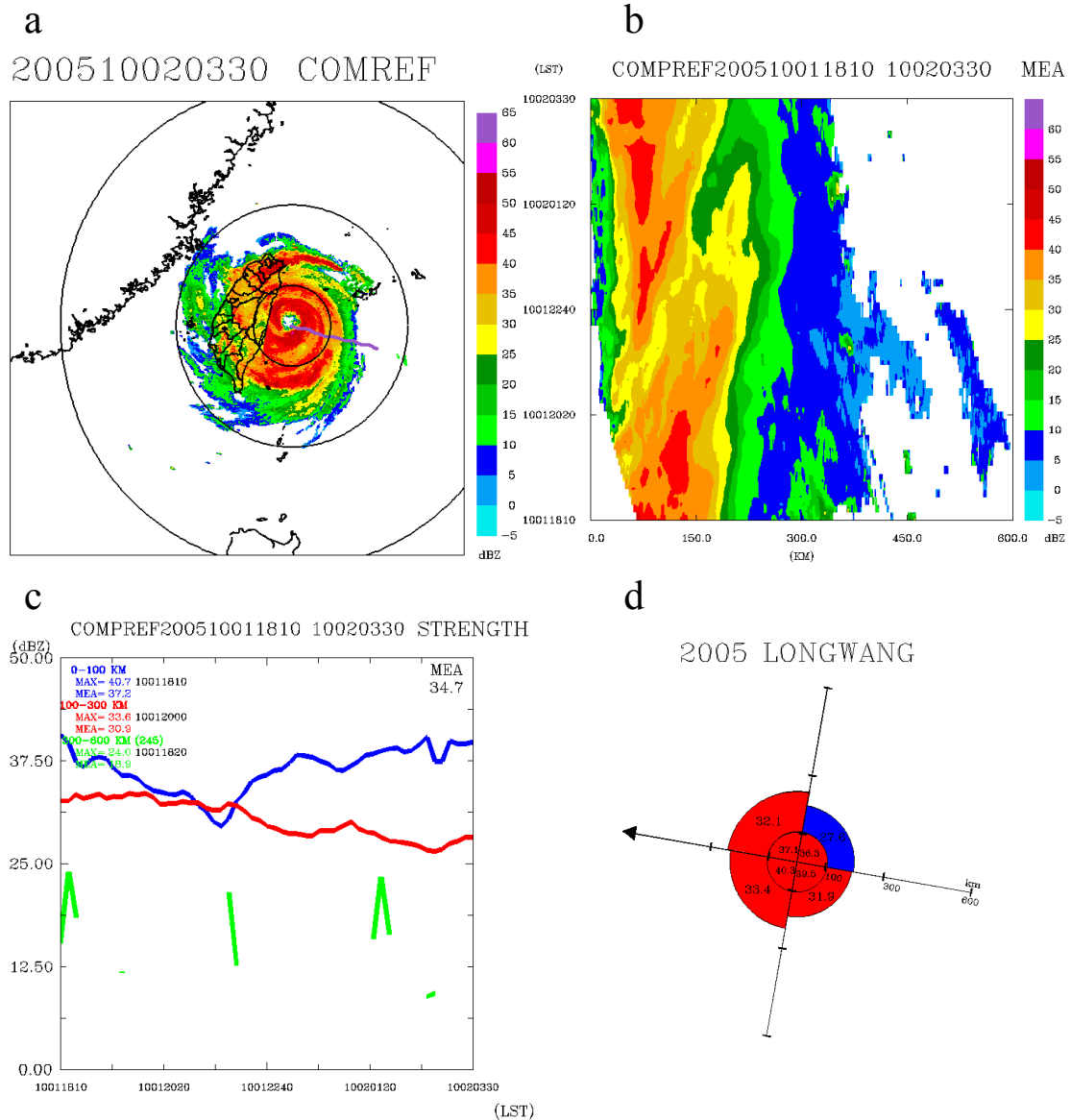


圖 3.8 龍王颱風降雨特徵因子分析。(a)200510020330LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度，橫軸為與颱風中心距離，縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km，藍色線條)、外圍 I 區(0~100km，紅色線條)、外圍 II 區(100~300km，綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為龍王颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含)，藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ，綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向，軸上刻度為與颱風中心距離。

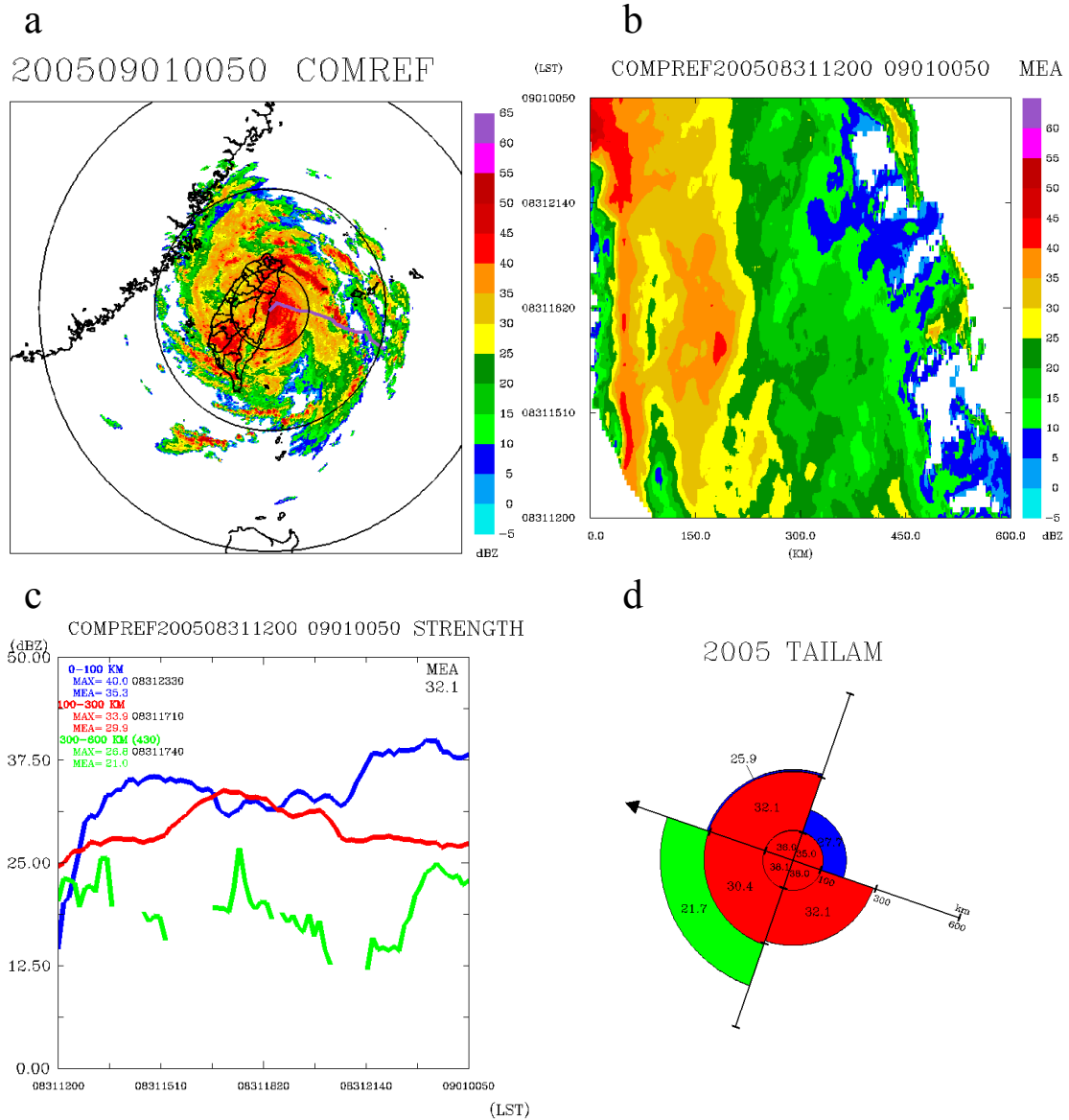


圖 3.9 泰利颱風降雨特徵因子分析。(a)200509010050LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度，橫軸為與颱風中心距離，縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km，藍色線條)、外圍 I 區(0~100km，紅色線條)、外圍 II 區(100~300km，綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為泰利颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含)，藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ，綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向，軸上刻度為與颱風中心距離。

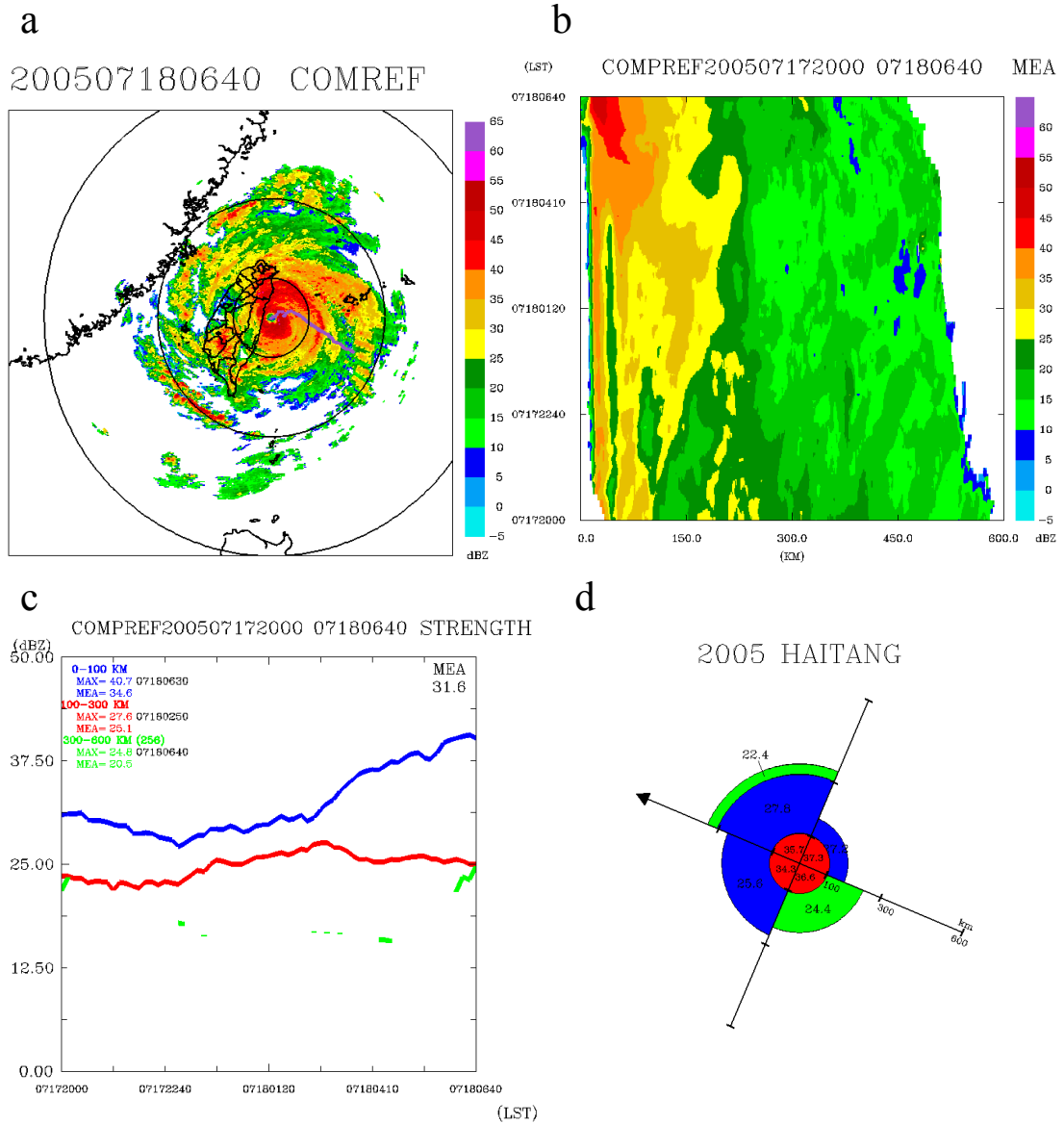


圖 3.10 海棠颱風降雨特徵因子分析。(a)200707180640LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度，橫軸為與颱風中心距離，縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km，藍色線條)、外圍 I 區(0~100km，紅色線條)、外圍 II 區(100~300km，綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為海棠颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含)，藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ，綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向，軸上刻度為與颱風中心距離。

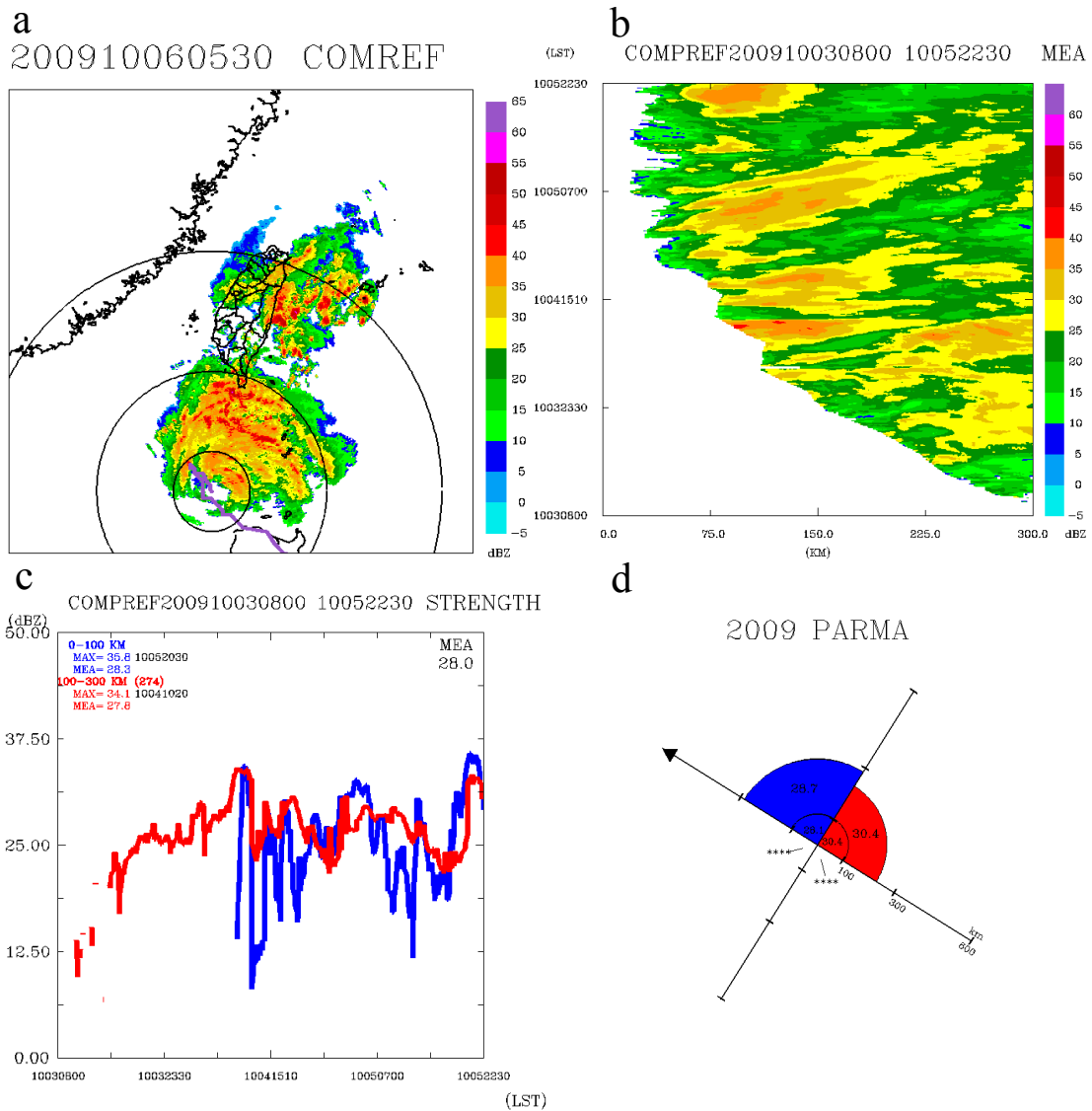


圖 3.11 芭瑪颱風降雨特徵因子分析。(a)200910060530LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度,橫軸為與颱風中心距離,縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km, 藍色線條)、外圍 I 區(0~100km, 紅色線條)、外圍 II 區(100~300km, 綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為芭瑪颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含), 藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ, 綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向,軸上刻度為與颱風中心距離。

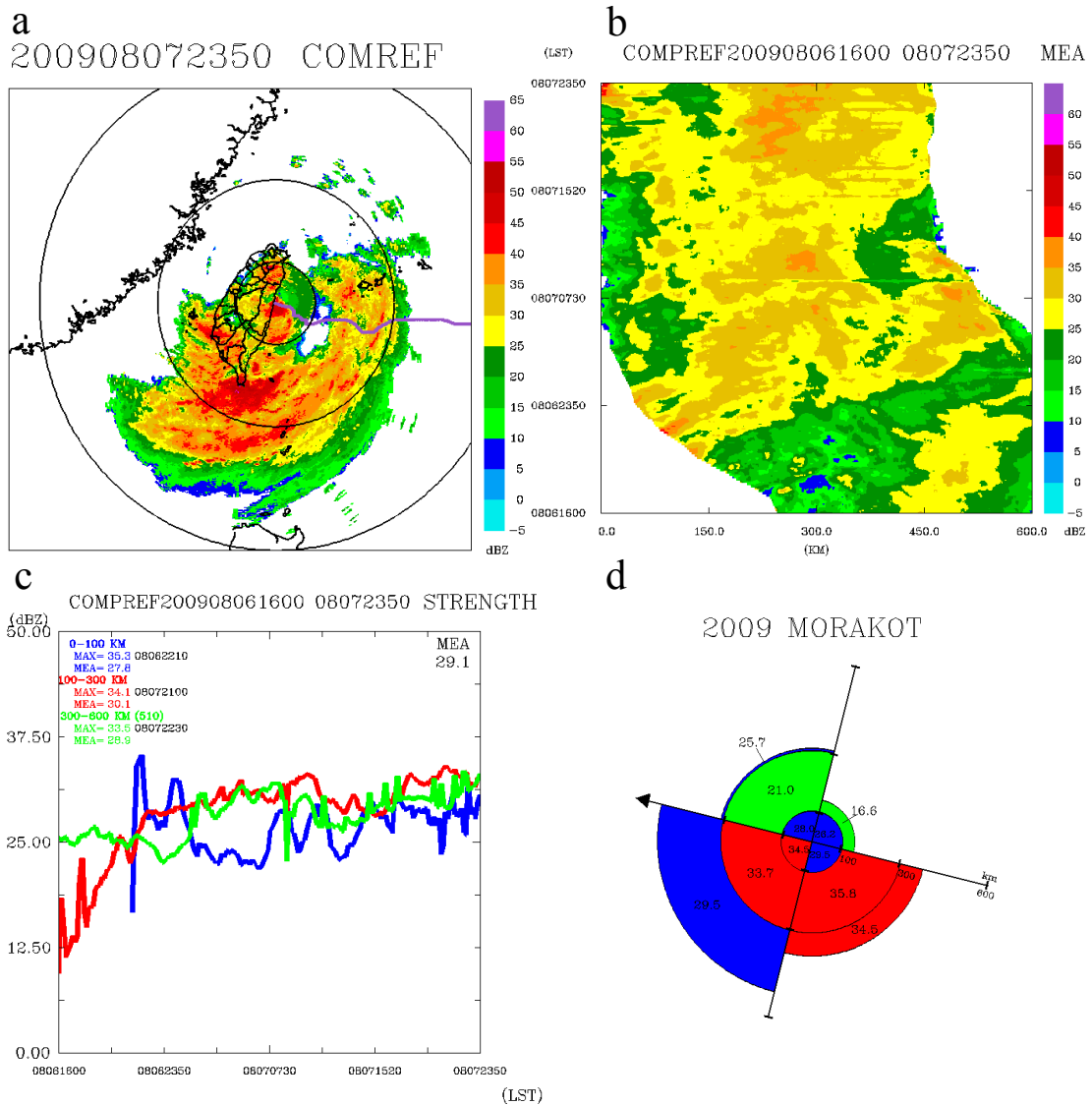


圖 3.12 莫拉克颱風降雨特徵因子分析。(a)200908072350LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度，橫軸為與颱風中心距離，縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km，藍色線條)、外圍 I 區(0~100km，紅色線條)、外圍 II 區(100~300km，綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為莫拉克颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含)，藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ，綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向，軸上刻度為與颱風中心距離。

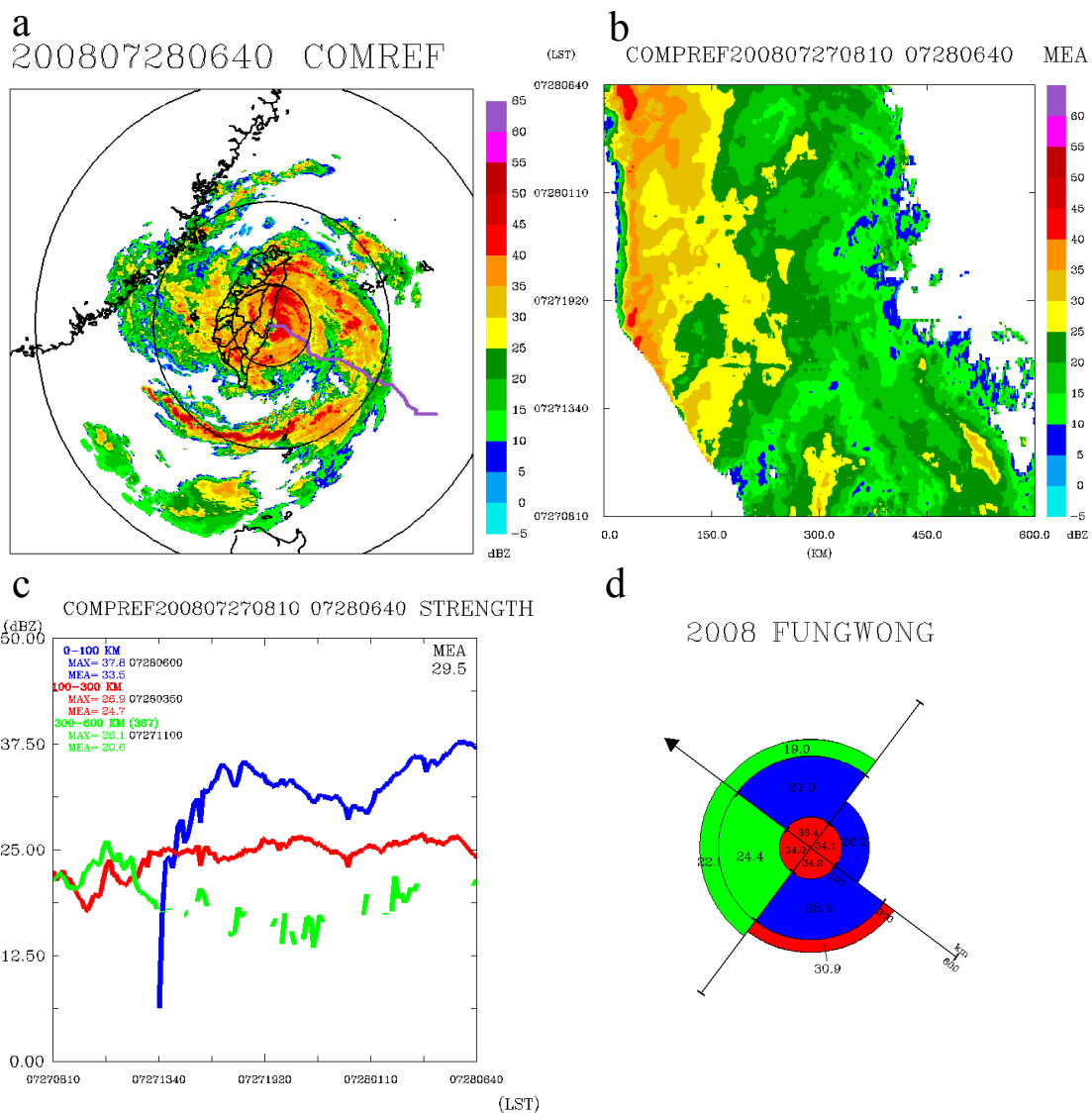


圖 3.13 鳳凰颱風降雨特徵因子分析。(a)200807280640LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度,橫軸為與颱風中心距離,縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km, 藍色線條)、外圍 I 區(0~100km, 紅色線條)、外圍 II 區(100~300km, 綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為鳳凰颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含),藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ,綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向,軸上刻度為與颱風中心距離。

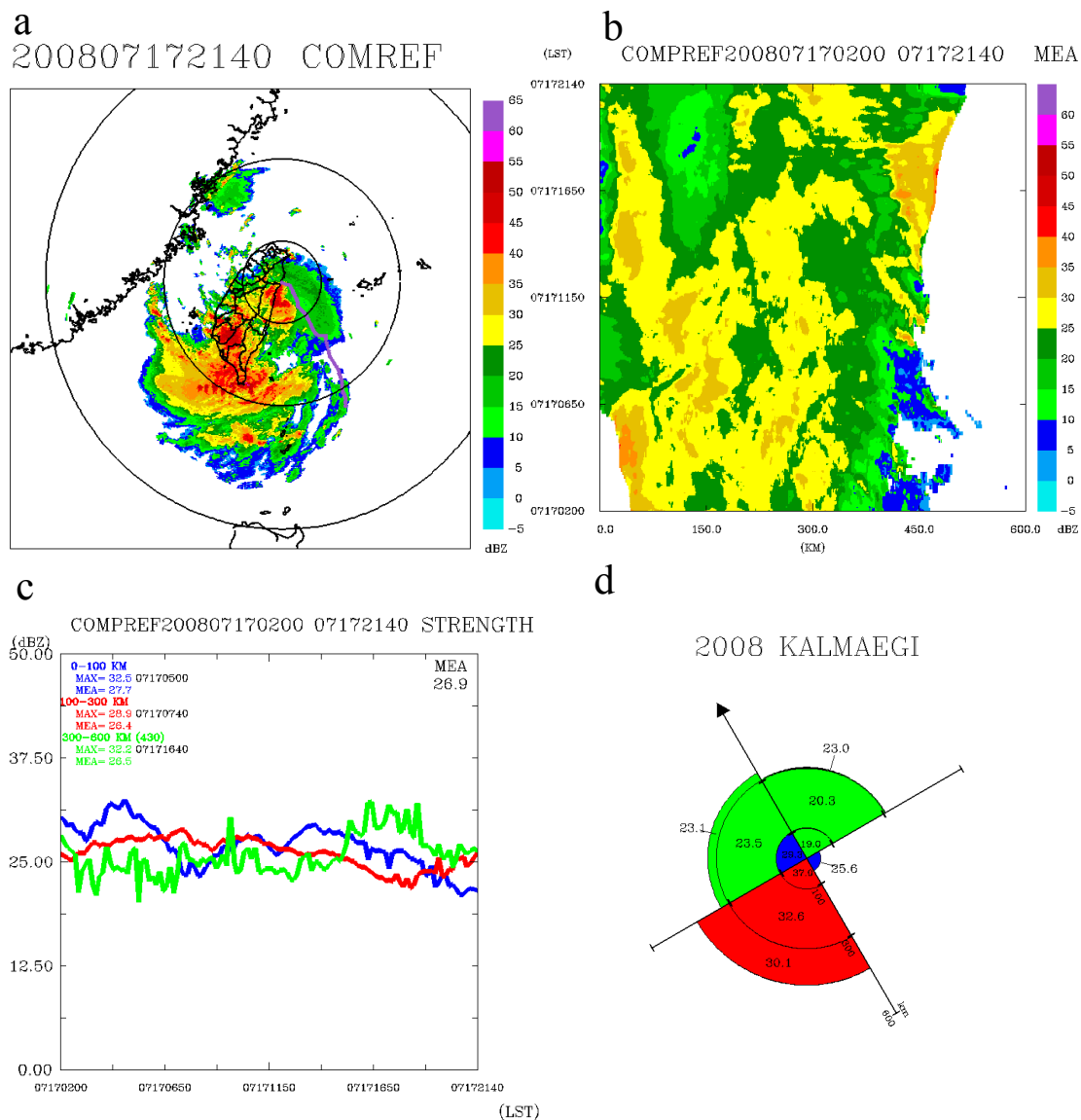


圖 3.14 卡枚基颱風降雨特徵因子分析。(a)200807172140LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度，橫軸為與颱風中心距離，縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km，藍色線條)、外圍 I 區(0~100km，紅色線條)、外圍 II 區(100~300km，綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為卡枚基颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含)，藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ，綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向，軸上刻度為與颱風中心距離。

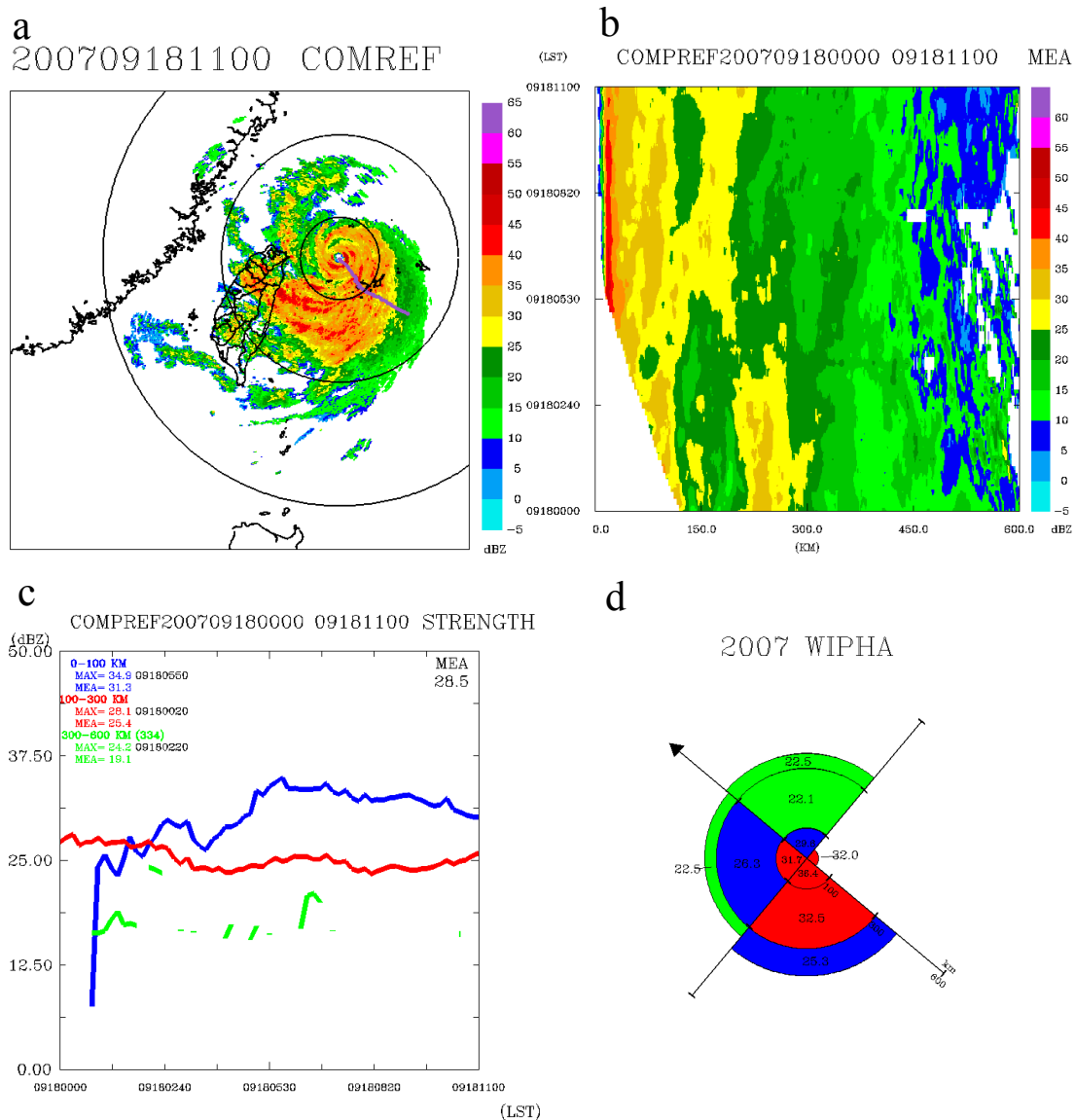


圖 3.15 韋帕颱風降雨特徵因子分析。(a)200709181100LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度，橫軸為與颱風中心距離，縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km，藍色線條)、外圍 I 區(0~100km，紅色線條)、外圍 II 區(100~300km，綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為韋帕颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含)，藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ，綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向，軸上刻度為與颱風中心距離。

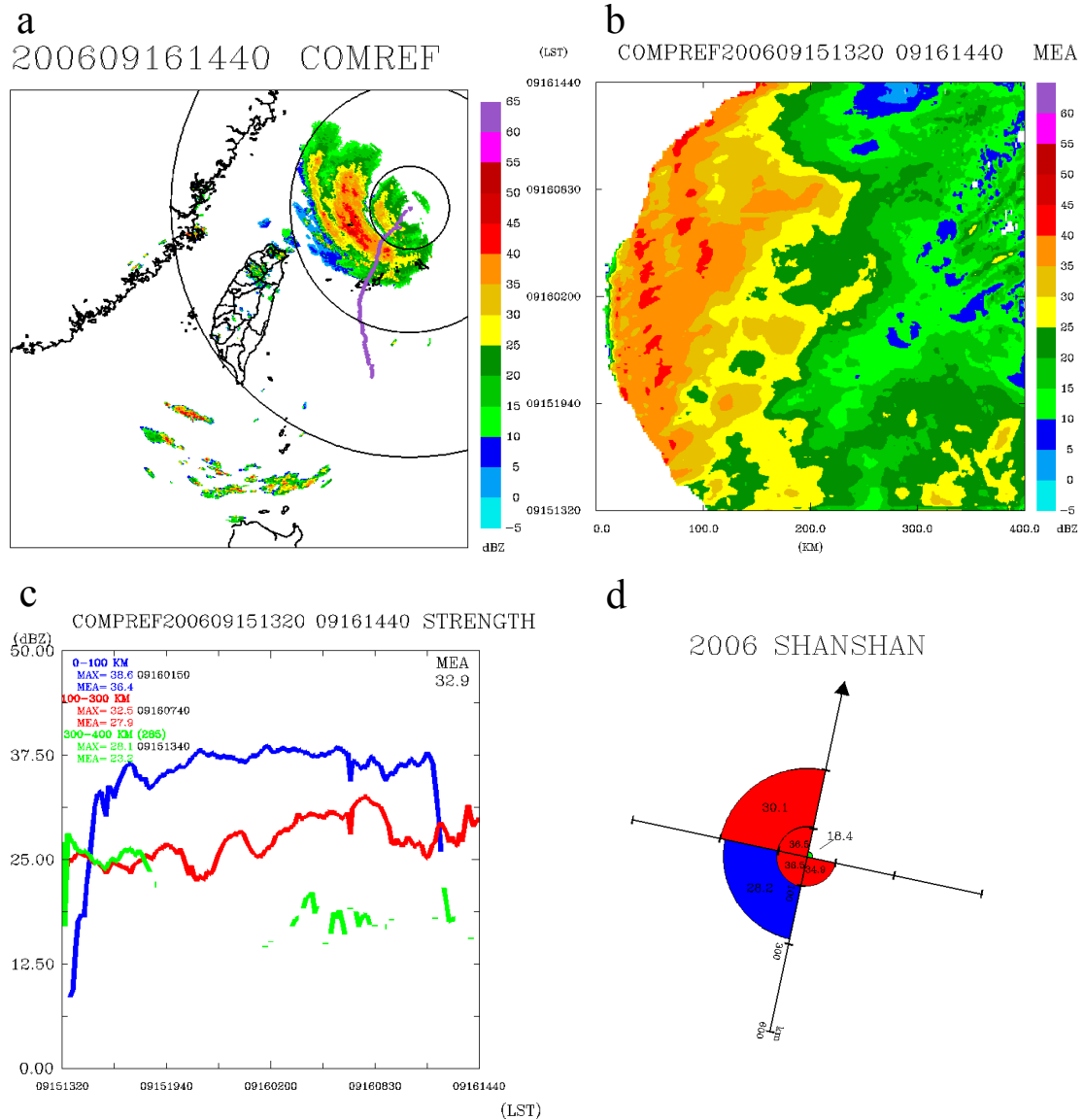


圖 3.16 珊珊颱風降雨特徵因子分析。(a)200609161440LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度,橫軸為與颱風中心距離,縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km, 藍色線條)、外圍 I 區(0~100km, 紅色線條)、外圍 II 區(100~300km, 綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為珊珊颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含), 藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ, 綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向,軸上刻度為與颱風中心距離。

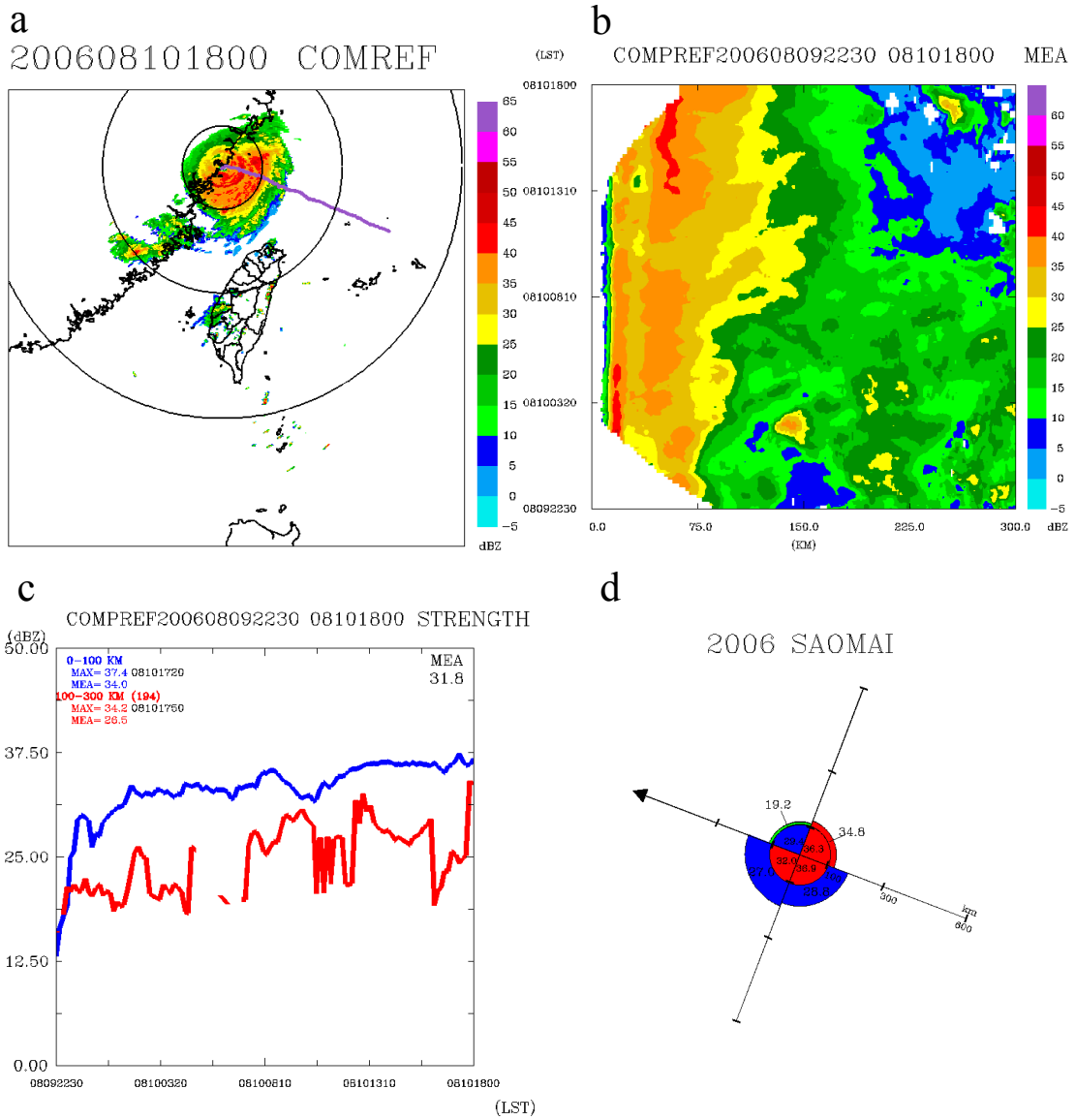


圖 3.17 桑美颱風降雨特徵因子分析。(a)200608101800LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度,橫軸為與颱風中心距離,縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km, 藍色線條)、外圍 I 區(0~100km, 紅色線條)、外圍 II 區(100~300km, 綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為桑美颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含), 藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ, 綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向,軸上刻度為與颱風中心距離。

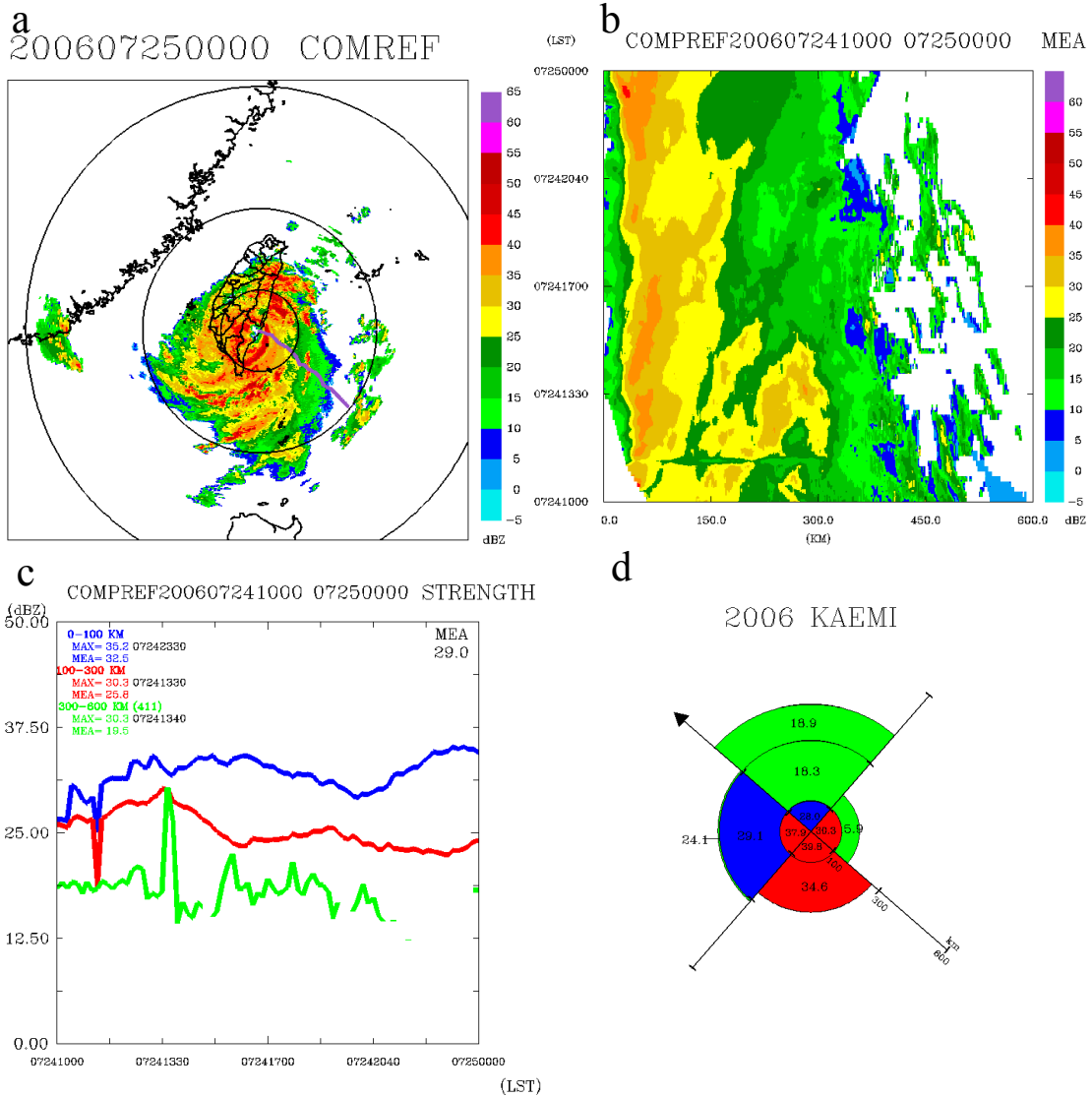


圖 3.18 凱米颱風降雨特徵因子分析。(a)200607250000LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度，橫軸為與颱風中心距離，縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km，藍色線條)、外圍 I 區(0~100km，紅色線條)、外圍 II 區(100~300km，綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為凱米颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含)，藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ，綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向，軸上刻度為與颱風中心距離。

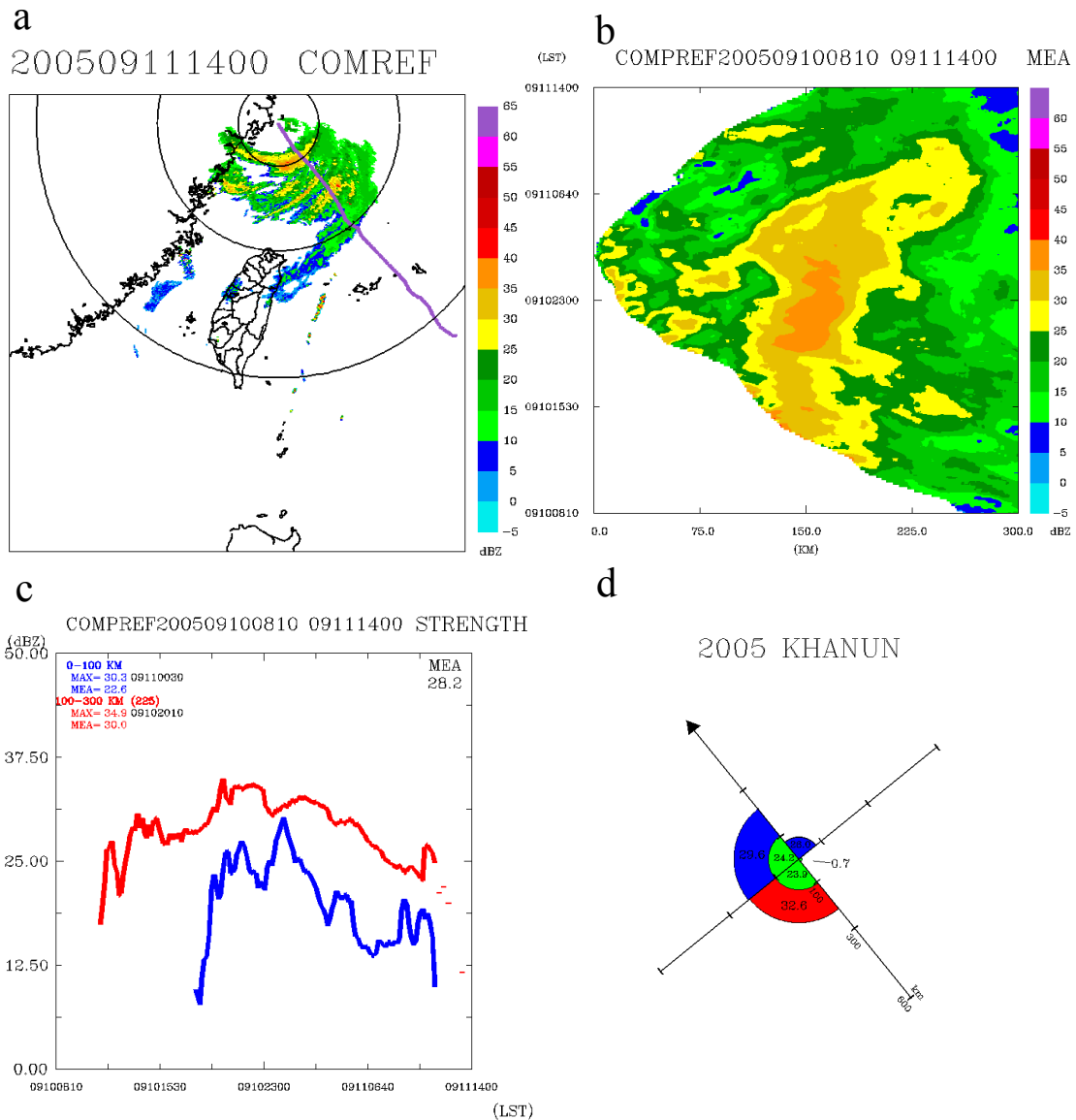


圖 3.19 卡努颱風降雨特徵因子分析。(a)200509111400LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度，橫軸為與颱風中心距離，縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km，藍色線條)、外圍 I 區(0~100km，紅色線條)、外圍 II 區(100~300km，綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為卡努颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含)，藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ，綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向，軸上刻度為與颱風中心距離。

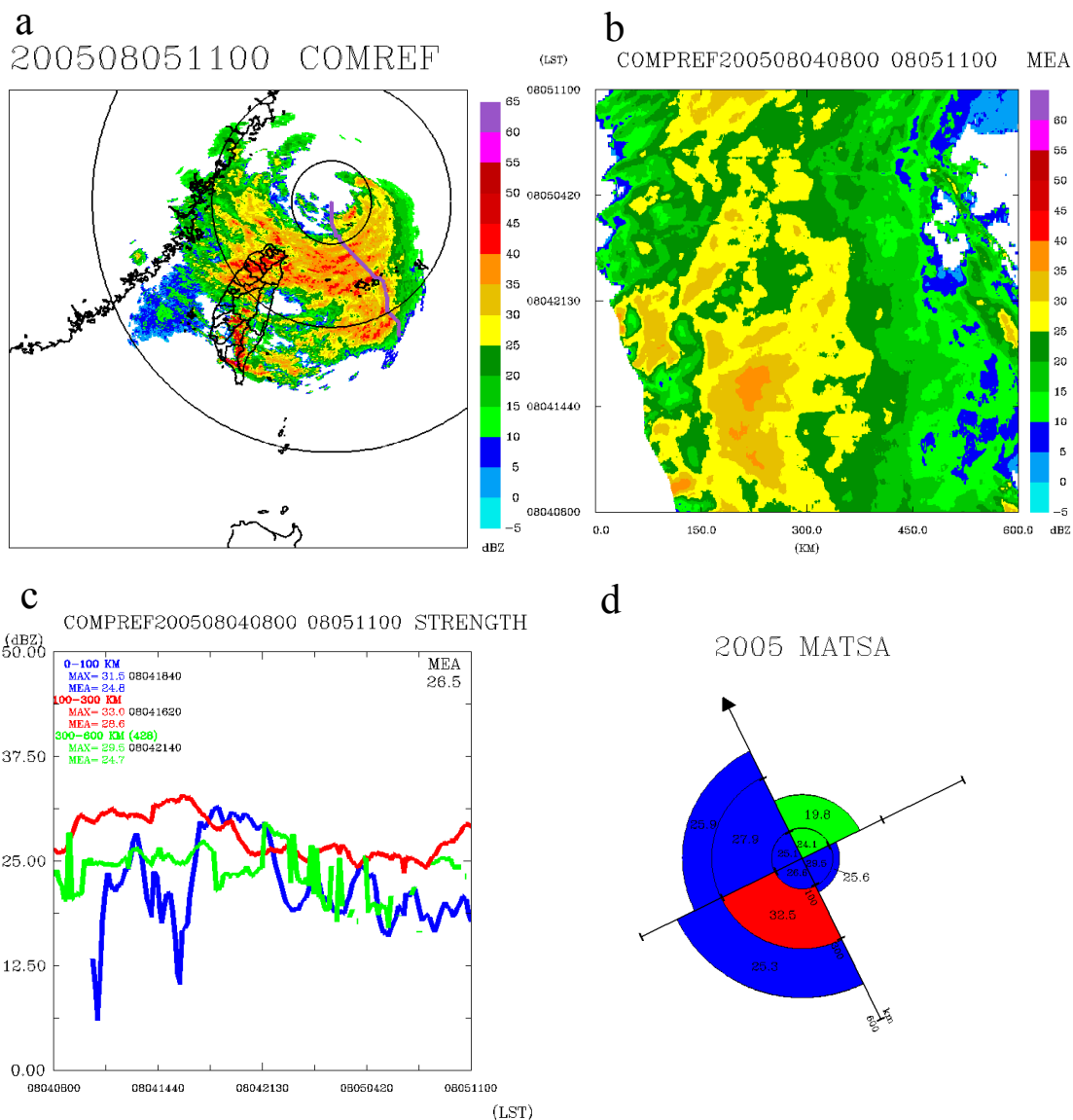


圖 3.20 馬莎颱風降雨特徵因子分析。(a)200508051100LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度，橫軸為與颱風中心距離，縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km，藍色線條)、外圍 I 區(0~100km，紅色線條)、外圍 II 區(100~300km，綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為馬莎颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含)，藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ，綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向，軸上刻度為與颱風中心距離。

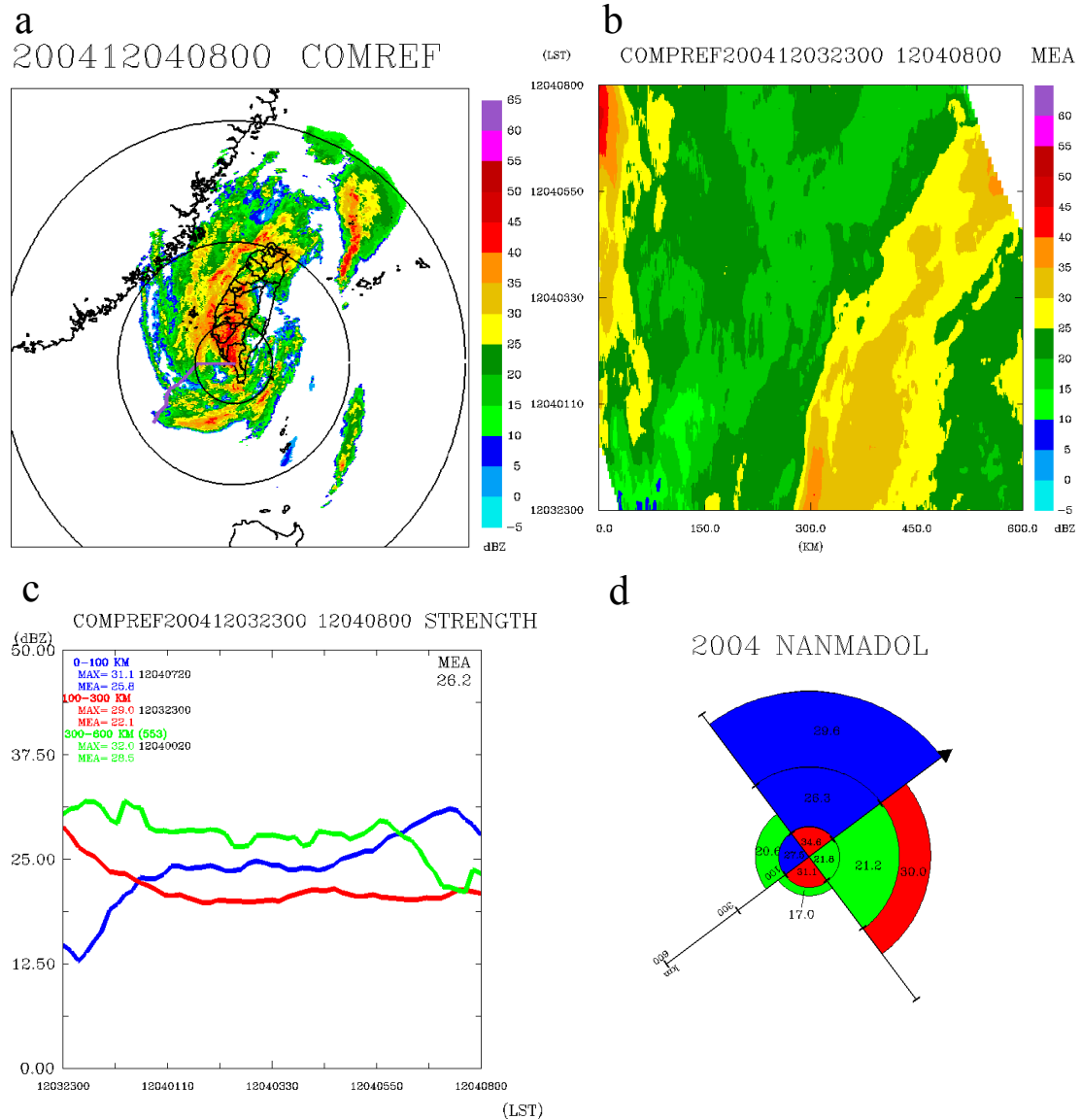


圖 3.21 南瑪都颱風降雨特徵因子分析。(a)200412040800LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度,橫軸為與颱風中心距離,縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km, 藍色線條)、外圍 I 區(0~100km, 紅色線條)、外圍 II 區(100~300km, 綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為南瑪都颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含), 藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ, 綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向,軸上刻度為與颱風中心距離。

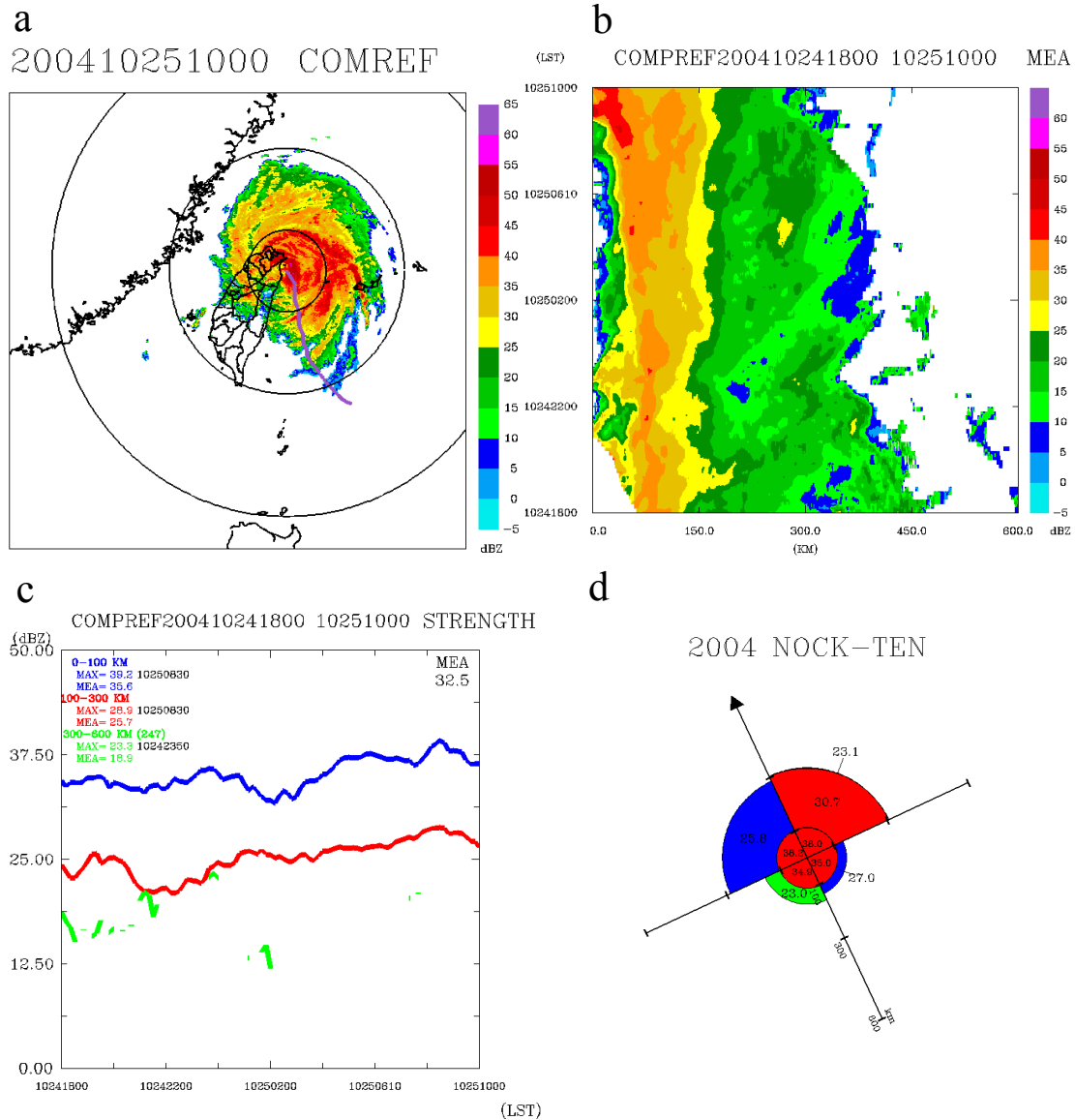


圖 3.22 納坦颱風降雨特徵因子分析。(a)200410241800LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度，橫軸為與颱風中心距離，縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km，藍色線條)、外圍 I 區(0~100km，紅色線條)、外圍 II 區(100~300km，綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為納坦颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含)，藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ，綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向，軸上刻度為與颱風中心距離。

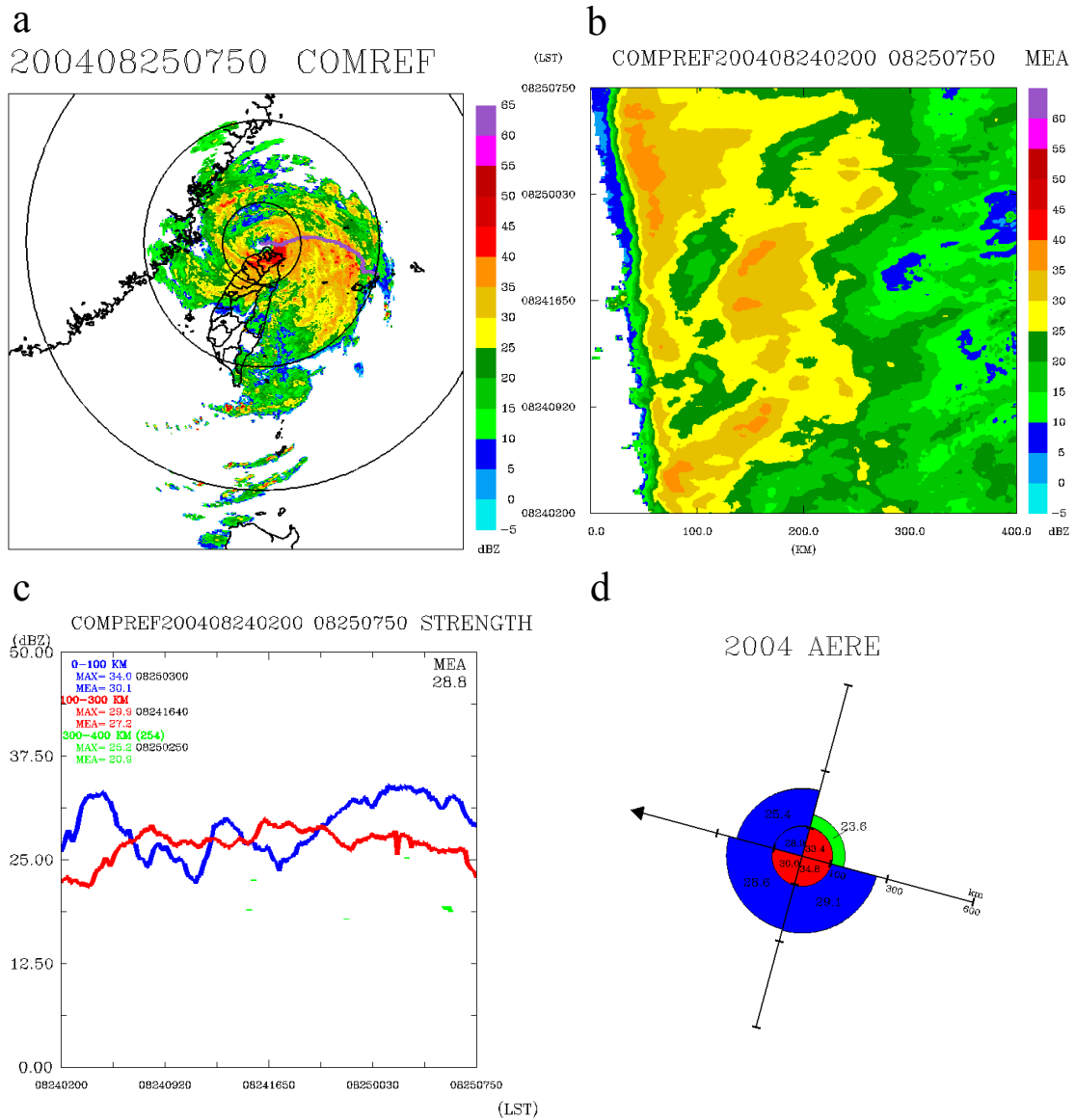


圖 3.23 艾利颱風降雨特徵因子分析。(a)200408250750LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度，橫軸為與颱風中心距離，縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km，藍色線條)、外圍 I 區(0~100km，紅色線條)、外圍 II 區(100~300km，綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為艾利颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含)，藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ，綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向，軸上刻度為與颱風中心距離。

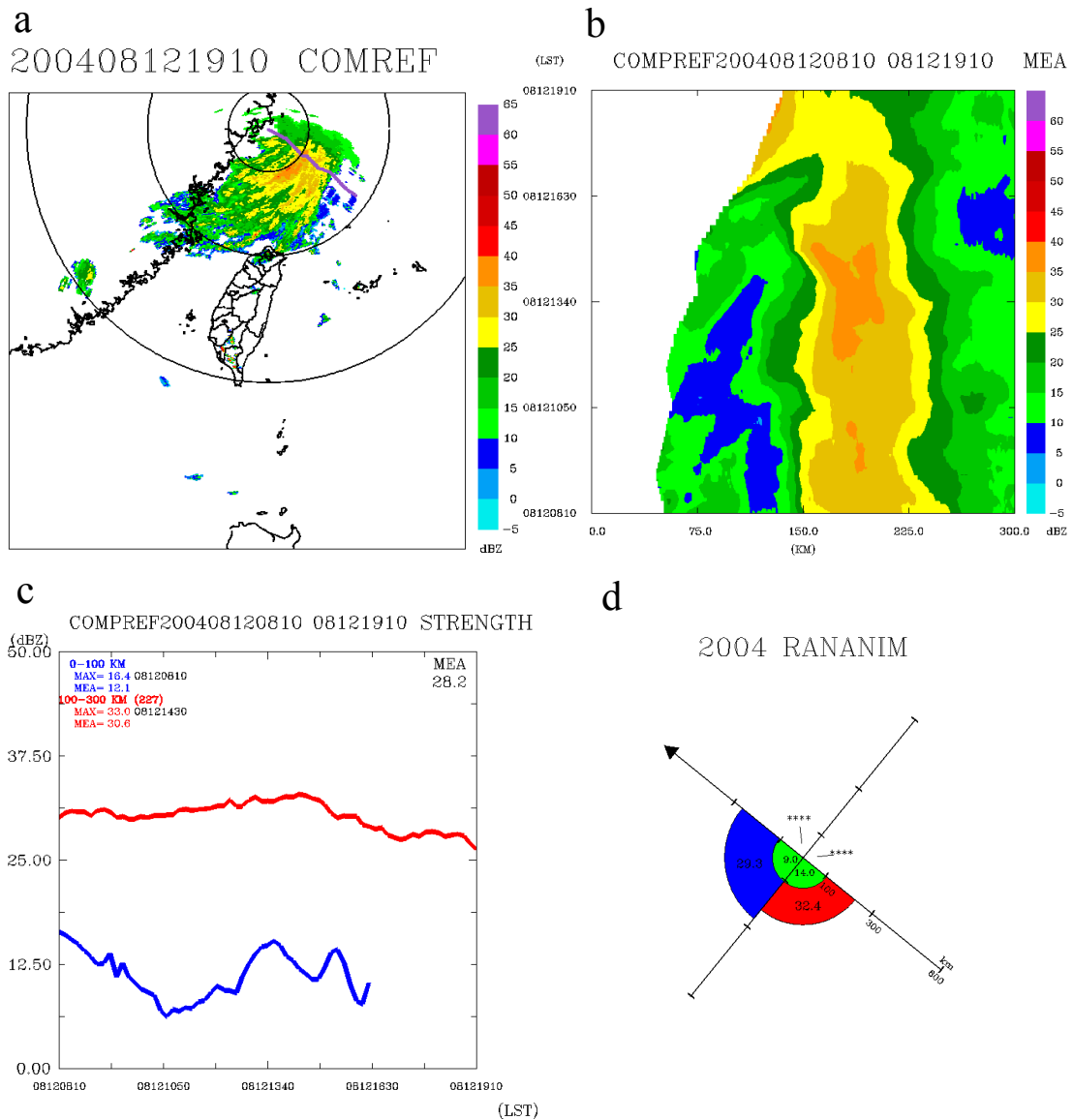


圖 3.24 蘭寧颱風降雨特徵因子分析。(a)2004108121910LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度, 橫軸為與颱風中心距離, 縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km, 藍色線條)、外圍 I 區(0~100km, 紅色線條)、外圍 II 區(100~300km, 綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為蘭寧颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含), 藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ, 綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向, 軸上刻度為與颱風中心距離。

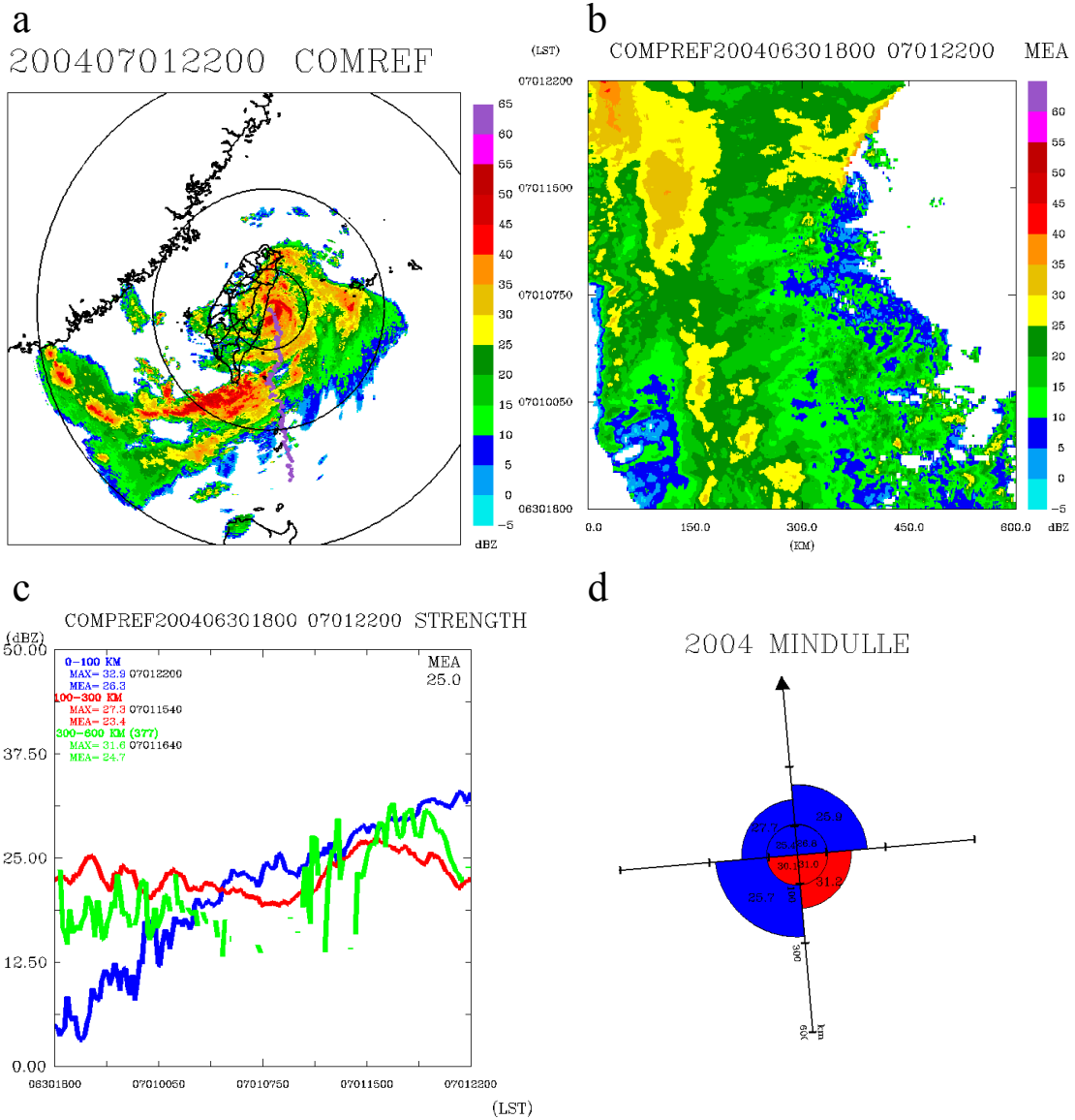


圖 3.25 敏督利颱風降雨特徵因子分析。(a)200407012200LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度，橫軸為與颱風中心距離，縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km，藍色線條)、外圍 I 區(0~100km，紅色線條)、外圍 II 區(100~300km，綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為敏督利颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含)，藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ，綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向，軸上刻度為與颱風中心距離。

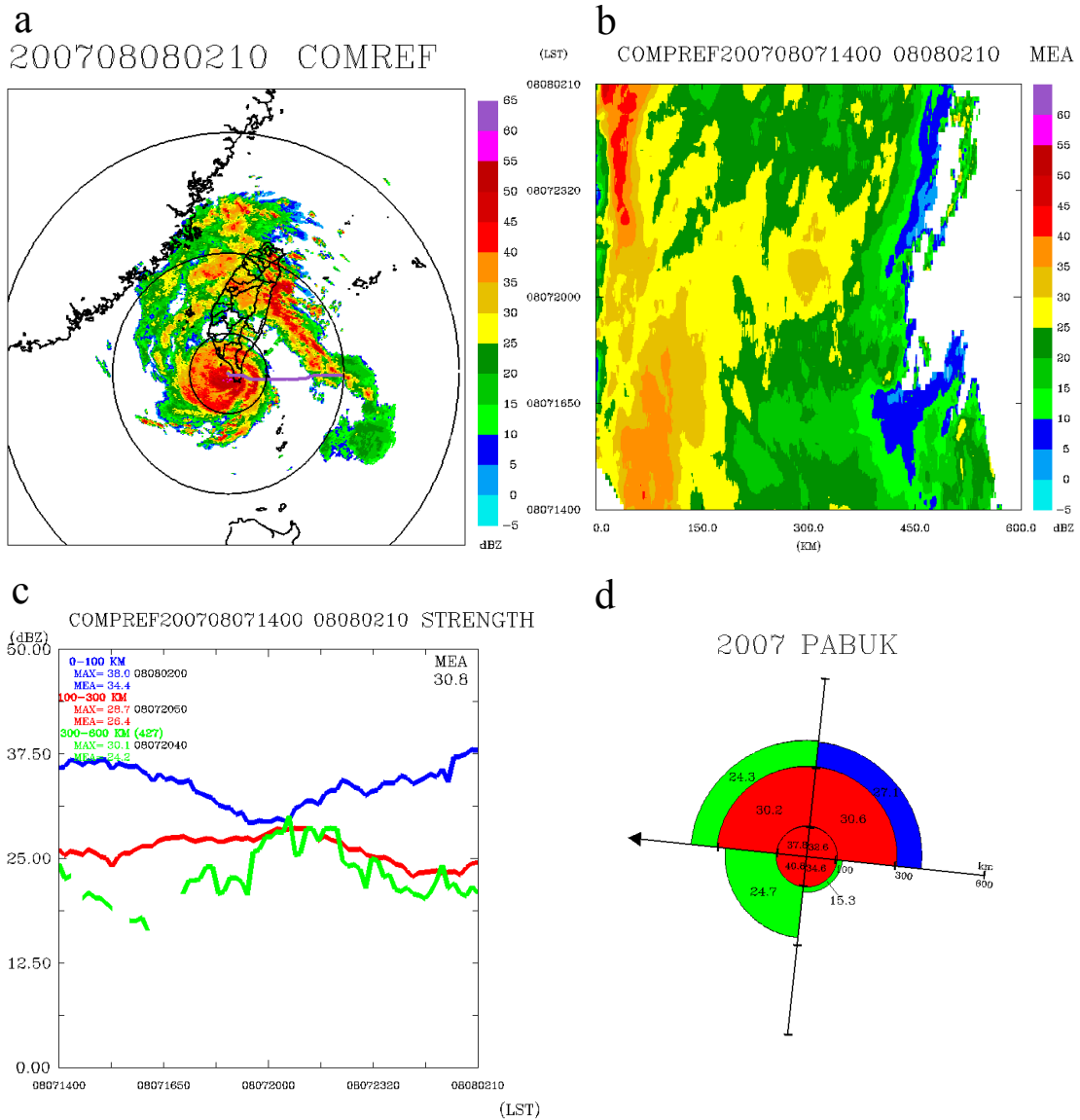


圖 3.26 帕布颱風降雨特徵因子分析。(a)200708080210LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度,橫軸為與颱風中心距離,縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km, 藍色線條)、外圍 I 區(0~100km, 紅色線條)、外圍 II 區(100~300km, 綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為帕布颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含), 藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ, 綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向,軸上刻度為與颱風中心距離。

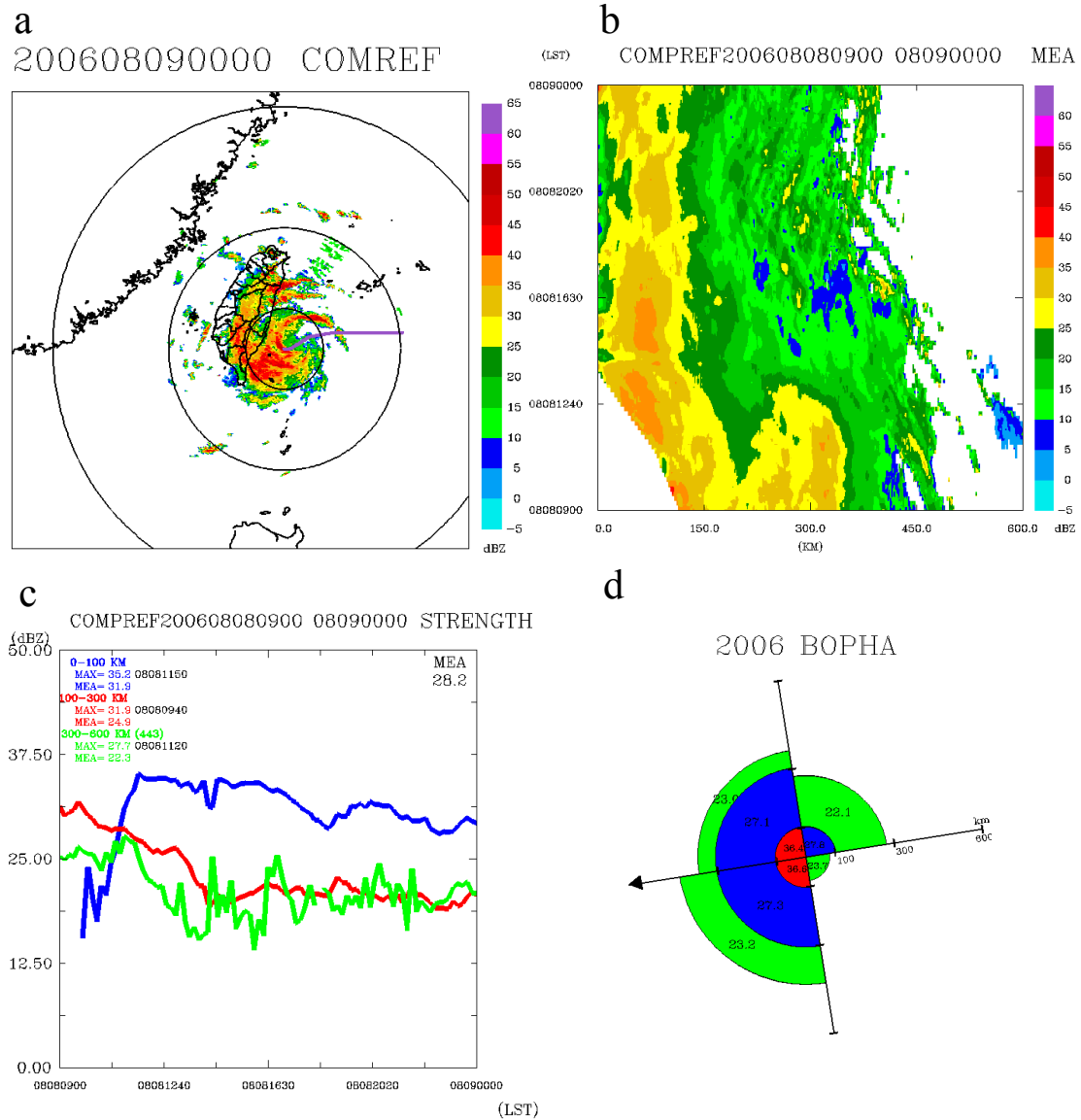


圖 3.27 寶發颱風降雨特徵因子分析。(a)200608090000LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度,橫軸為與颱風中心距離,縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km, 藍色線條)、外圍 I 區(0~100km, 紅色線條)、外圍 II 區(100~300km, 綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為寶發颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含), 藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ, 綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向,軸上刻度為與颱風中心距離。

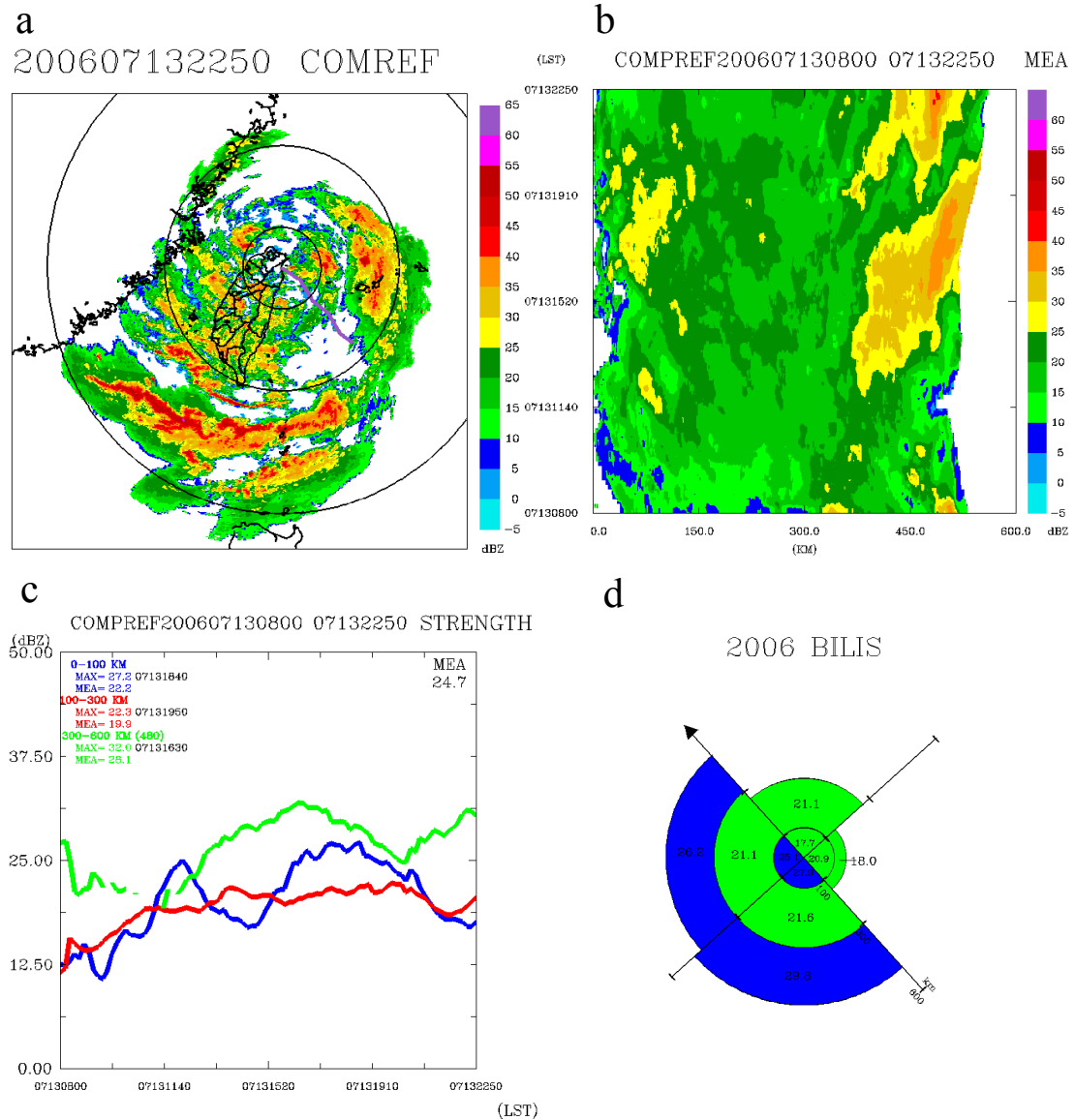


圖 3.28 碧利斯颱風降雨特徵因子分析。(a)200607132250LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度，橫軸為與颱風中心距離，縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km，藍色線條)、外圍 I 區(0~100km，紅色線條)、外圍 II 區(100~300km，綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為碧利斯颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含)，藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ，綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向，軸上刻度為與颱風中心距離。

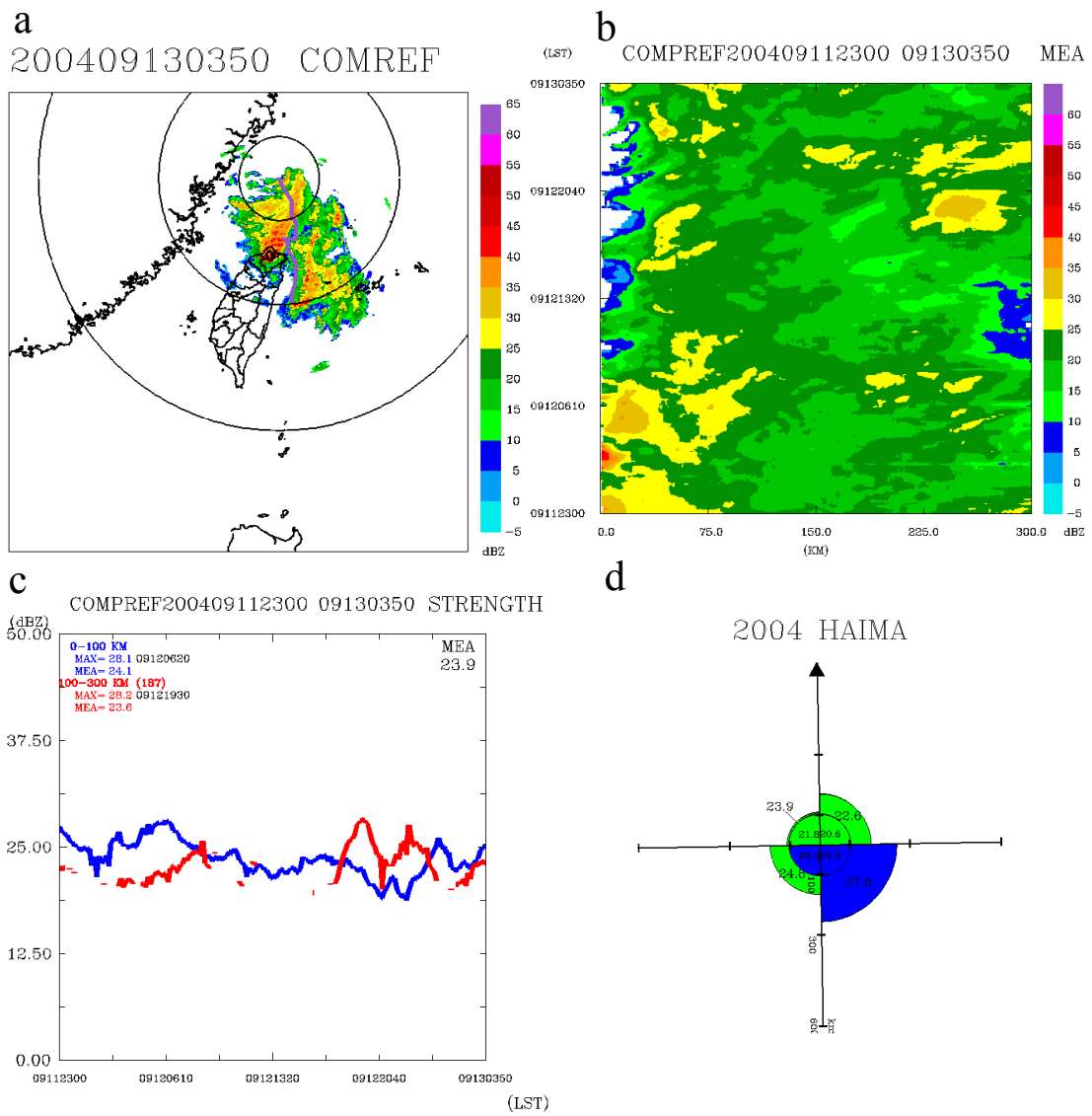


圖 3.29 海馬颱風降雨特徵因子分析。(a)200409130350LST 雷達整合回波及颱風路徑圖。內圈為半徑 100 公里區域範圍、第二圈為半徑 300 公里區域範圍、最外圈為半徑 600 公里區域範圍。圖(b)回波環狀平均結構時間序列圖(哈莫圖)。色階為回波強度,橫軸為與颱風中心距離,縱軸為時間。圖(c)為內核區(0~100km, 藍色線條)、外圍 I 區(0~100km, 紅色線條)、外圍 II 區(100~300km, 綠色線條)壯度值隨時間變化。圖(d)為海馬颱風分析期間平均非軸對稱壯度分布圖。紅色區域為壯度值大於 30dBZ(含), 藍色區域為壯度值大於 25dBZ(含)小於 30dBZ, 綠色區域為壯度值小於 25dBZ。箭頭為分析期間颱風平均移動方向,軸上刻度為與颱風中心距離。

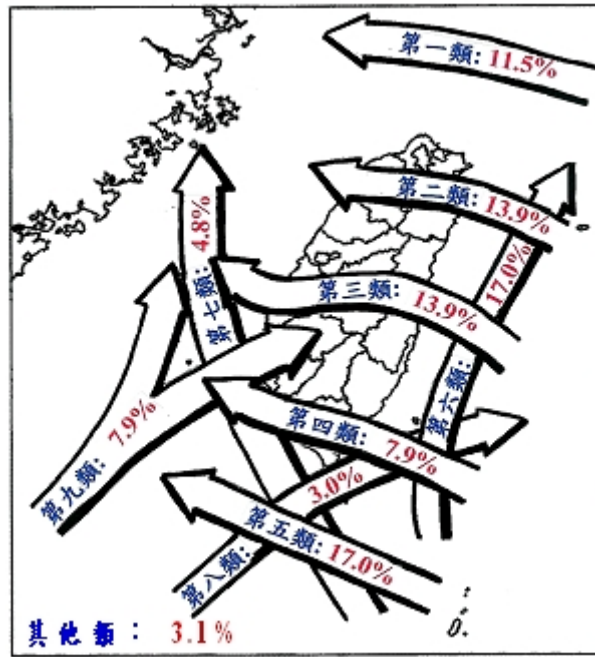


圖 3.30 中央氣象局颱風路徑分類圖。

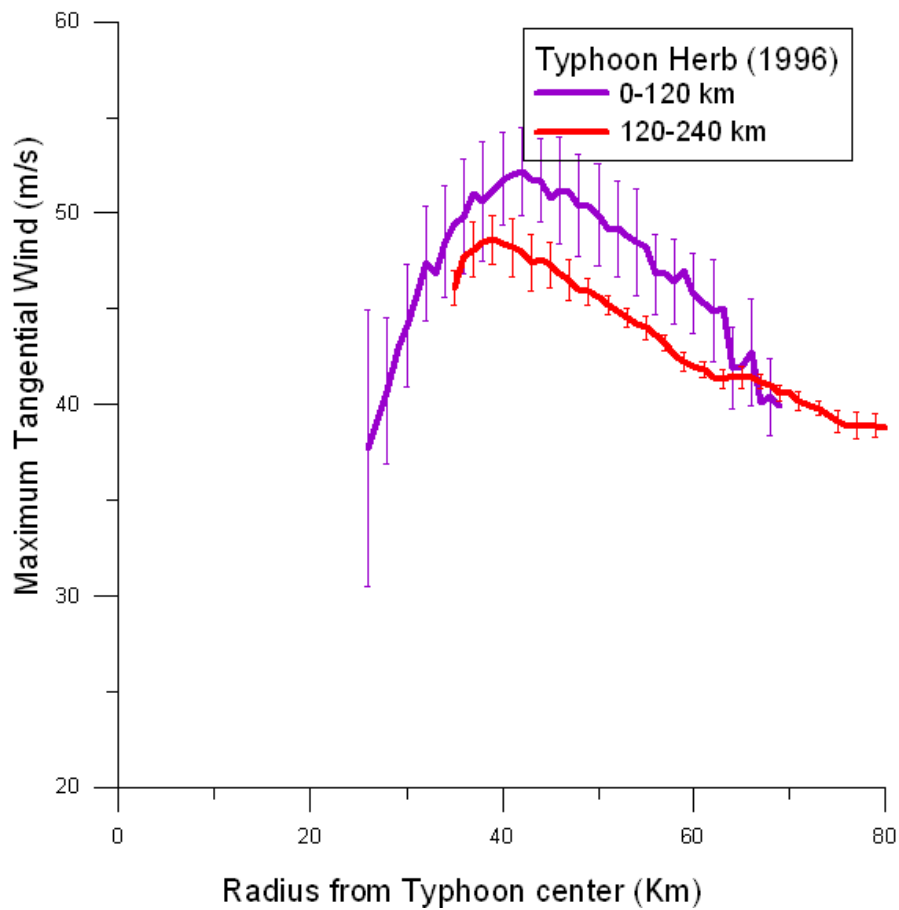


圖 4.1 賀伯颱風平均軸對稱切向風在距離颱風中心 0-80 km 半徑範圍內之分佈。紅色粗實線代表颱風中心距離雷達在 120-240 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差；藍色線條代表颱風中心距離雷達在 0-120 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差。

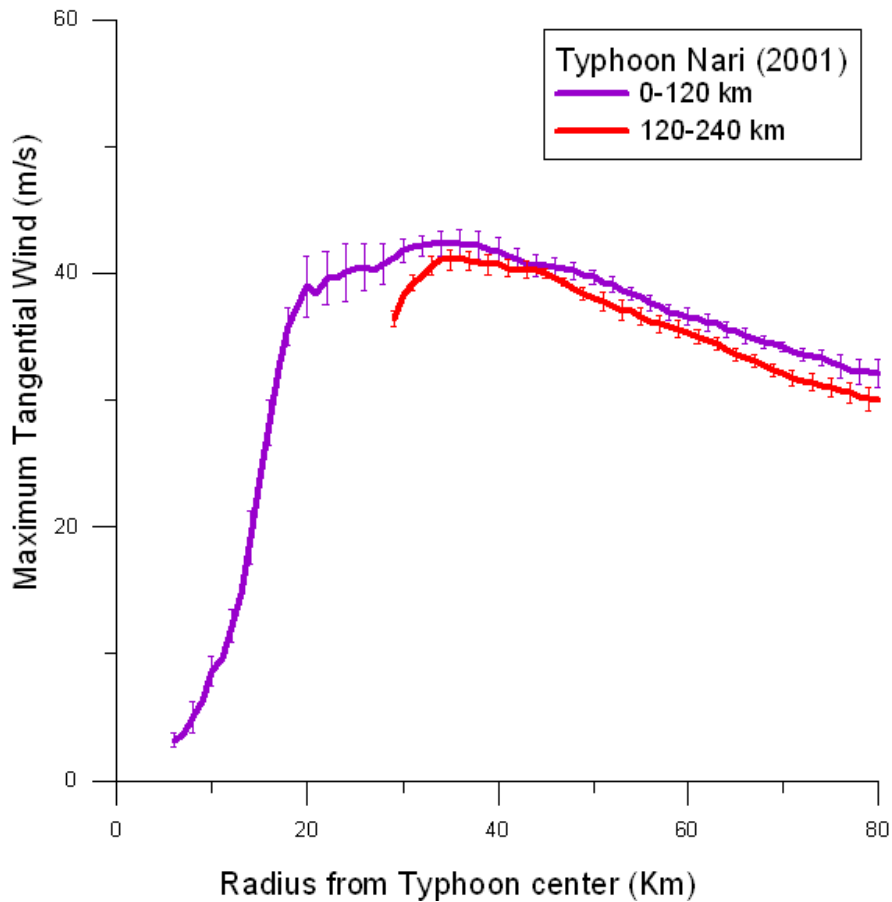


圖 4.2 納莉颱風平均軸對稱切向風在距離颱風中心 0-80 km 半徑範圍內之分佈。紅色粗實線代表颱風中心距離雷達在 120-240 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差；藍色線條代表颱風中心距離雷達在 0-120 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差。

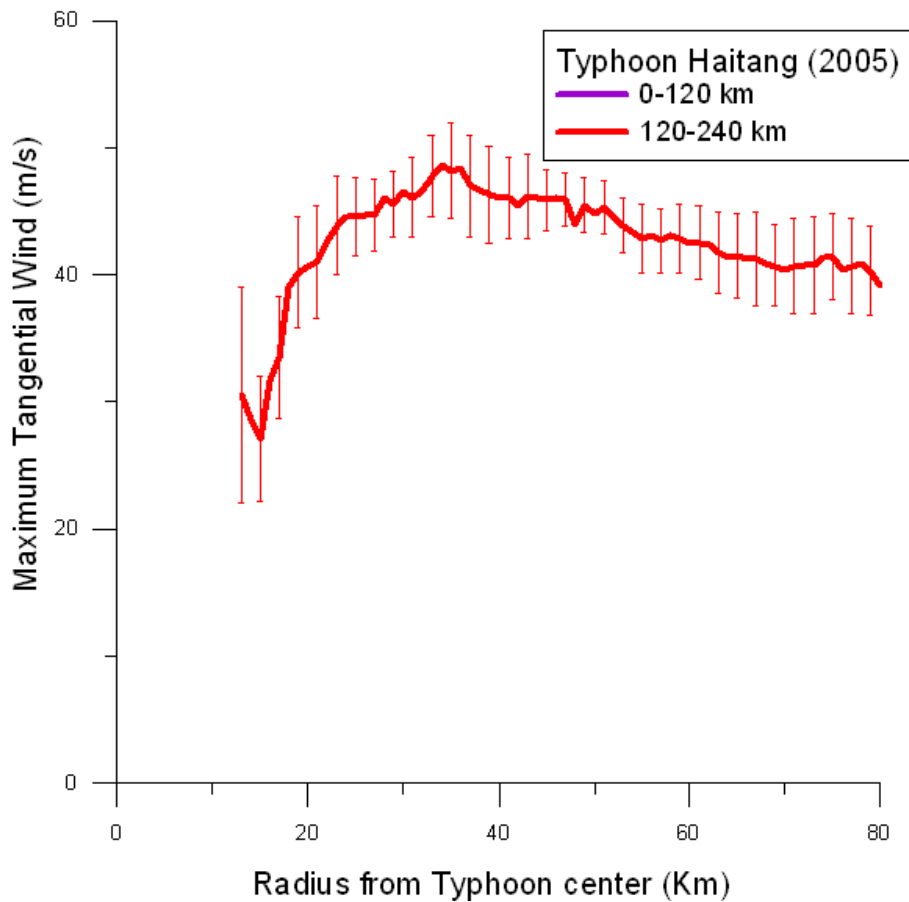


圖 4.3 海棠颱風平均軸對稱切向風在距離颱風中心 0-80 km 半徑範圍內之分佈。紅色粗實線代表颱風中心距離雷達在 120-240 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差；藍色線條代表颱風中心距離雷達在 0-120 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差。

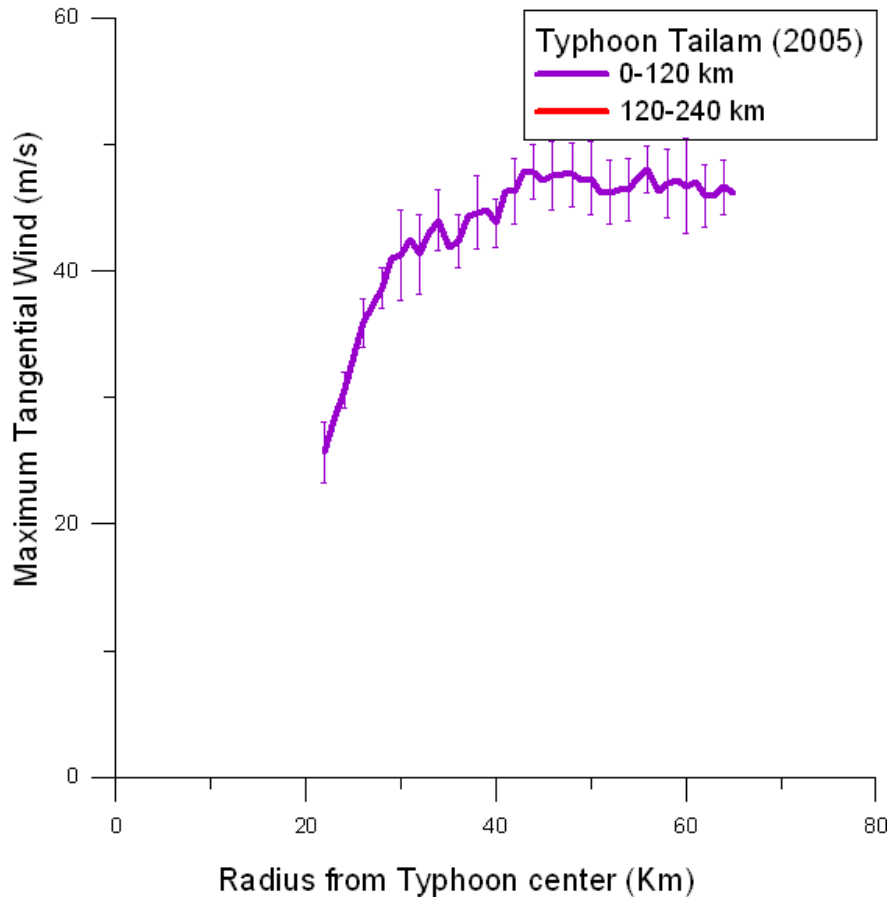


圖 4.4 泰利颱風平均軸對稱切向風在距離颱風中心 0-80 km 半徑範圍內之分佈。紅色粗實線代表颱風中心距離雷達在 120-240 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差；藍色線條代表颱風中心距離雷達在 0-120 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差。

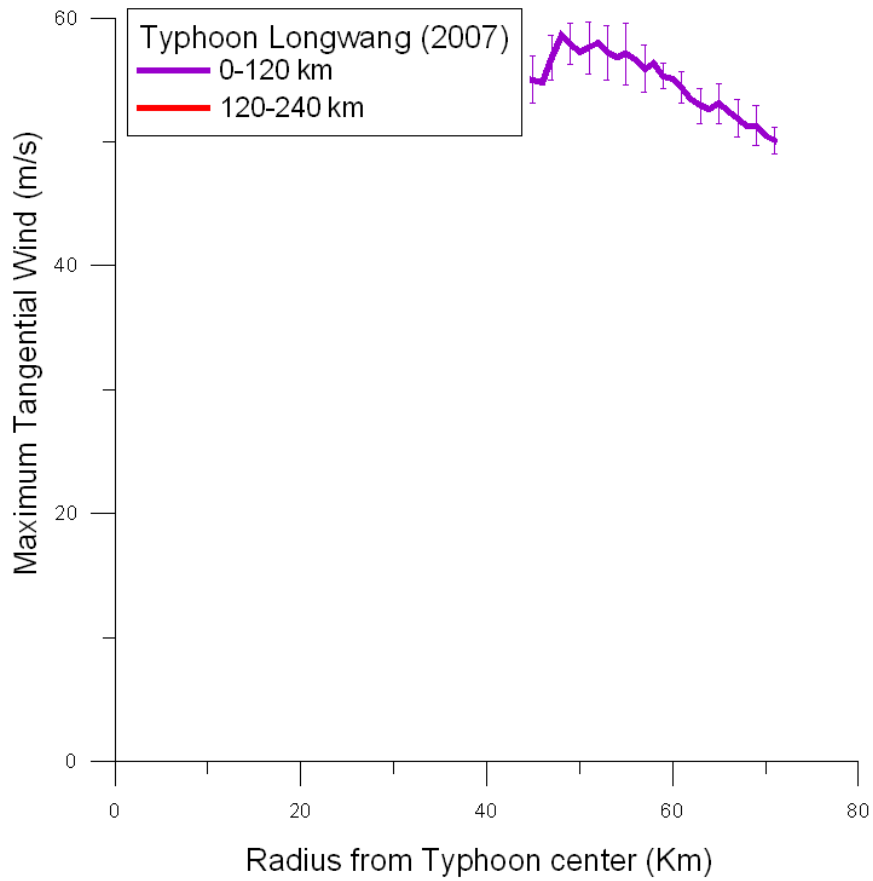


圖 4.5 龍王颱風平均軸對稱切向風在距離颱風中心 0-80 km 半徑範圍內之分佈。紅色粗實線代表颱風中心距離雷達在 120-240 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差；藍色線條代表颱風中心距離雷達在 0-120 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差。

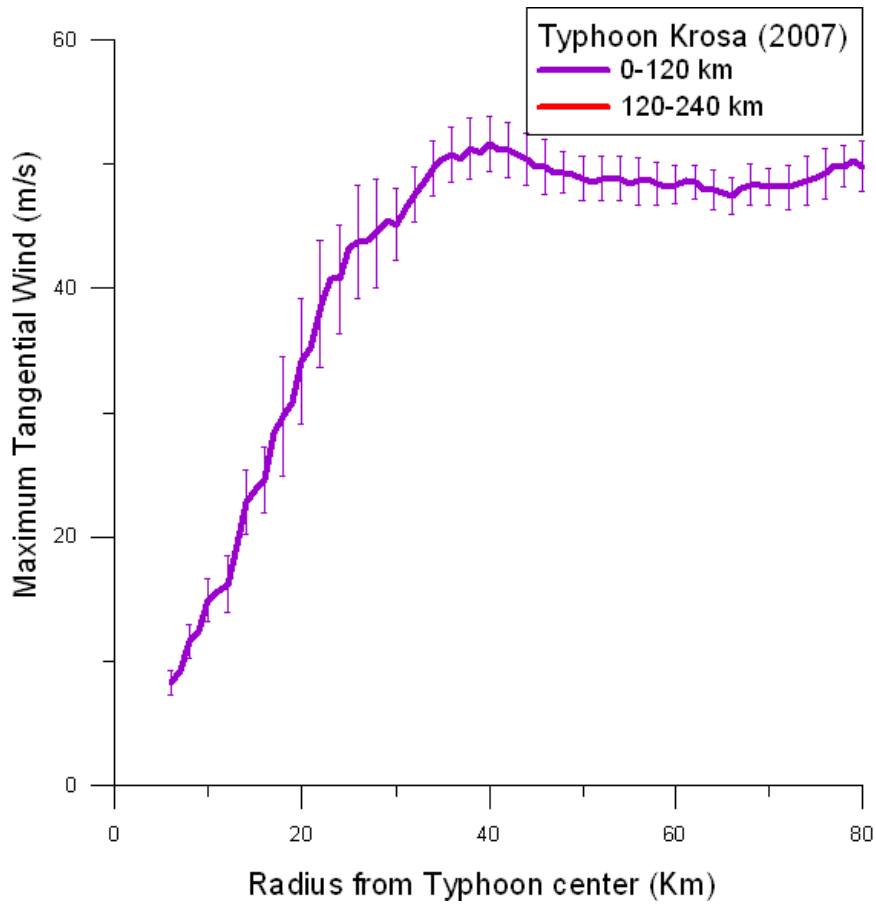


圖 4.6 柯羅莎颱風平均軸對稱切向風在距離颱風中心 0-80 km 半徑範圍內之分佈。紅色粗實線代表颱風中心距離雷達在 120-240 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差；藍色線條代表颱風中心距離雷達在 0-120 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差。

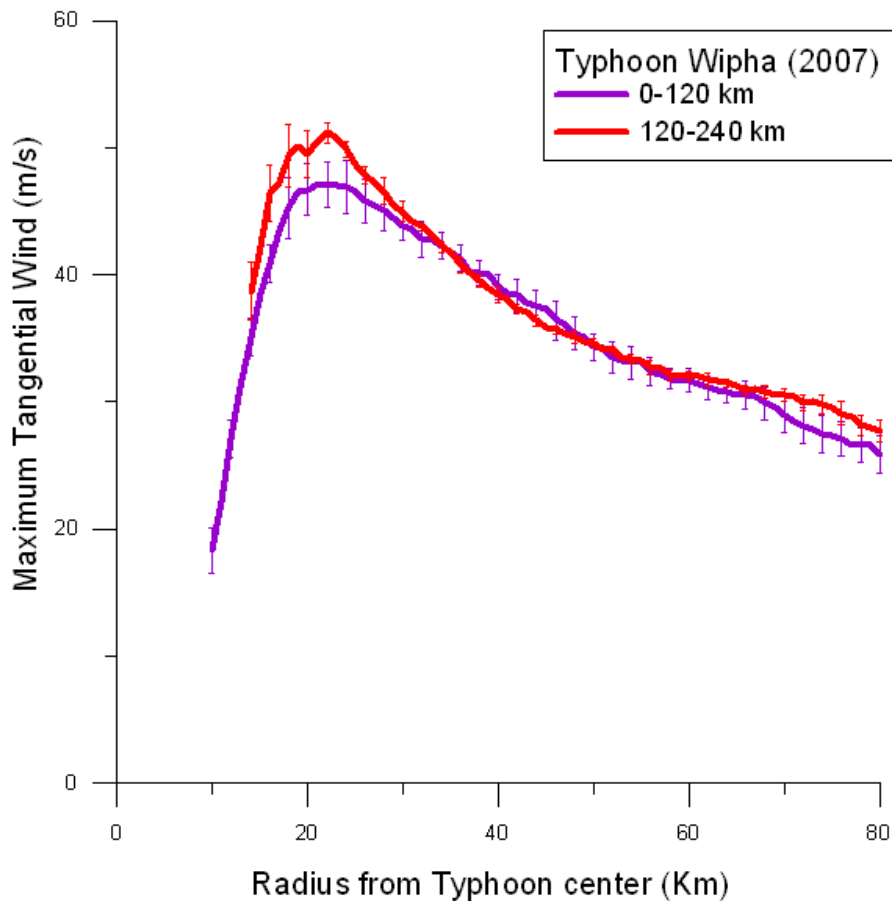


圖 4.7 韋帕颱風平均軸對稱切向風在距離颱風中心 0-80 km 半徑範圍內之分佈。紅色粗實線代表颱風中心距離雷達在 120-240 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差；藍色線條代表颱風中心距離雷達在 0-120 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差。

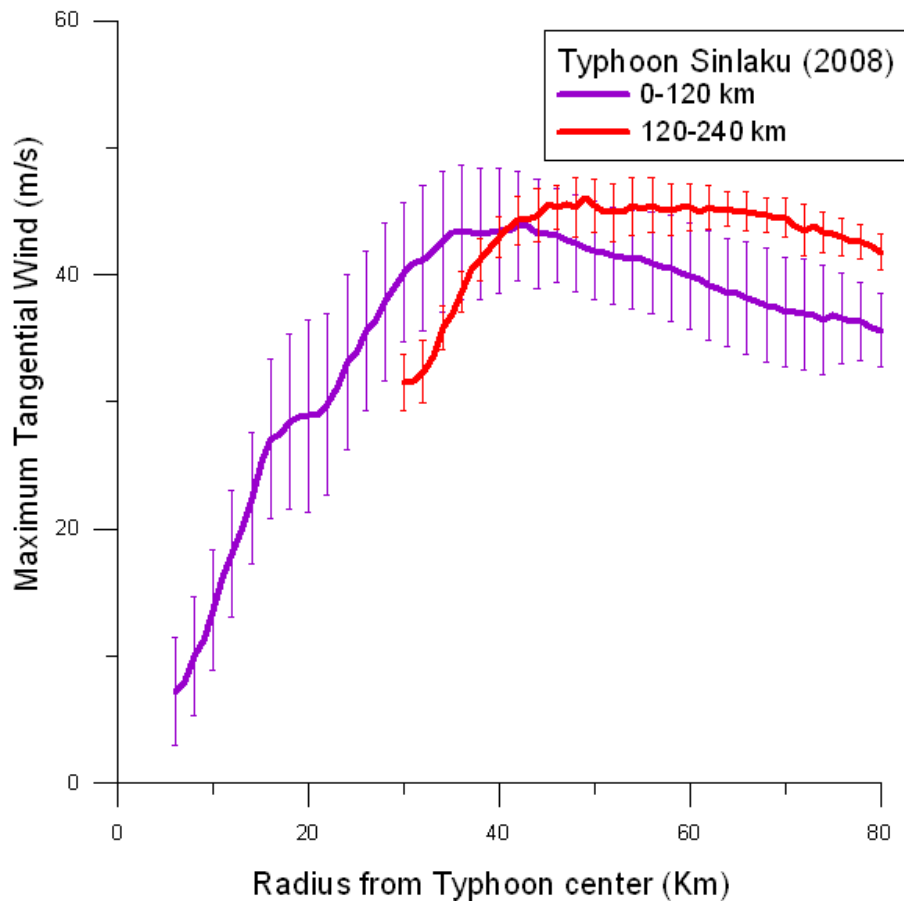


圖 4.8 辛樂克颱風平均軸對稱切向風在距離颱風中心 0-80 km 半徑範圍內之分佈。紅色粗實線代表颱風中心距離雷達在 120-240 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差；藍色線條代表颱風中心距離雷達在 0-120 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差。

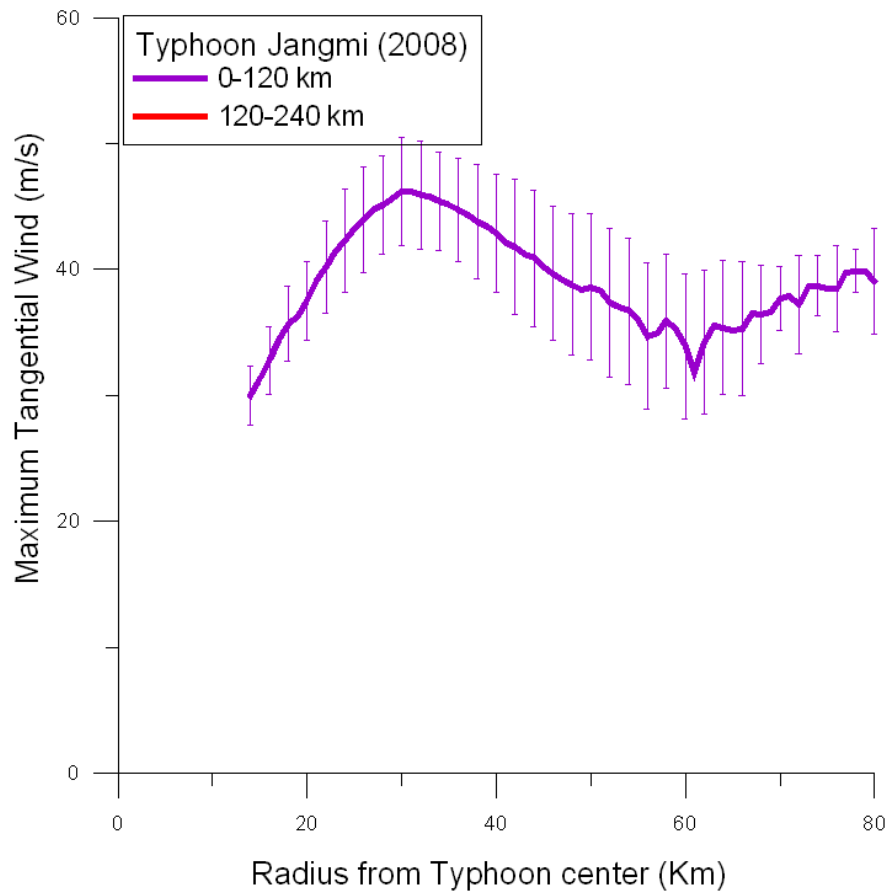


圖 4.9 薔蜜颱風平均軸對稱切向風在距離颱風中心 0-80 km 半徑範圍內之分佈。紅色粗實線代表颱風中心距離雷達在 120-240 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差；藍色線條代表颱風中心距離雷達在 0-120 km 時之平均軸對稱切向風分佈，垂直線為各分析半徑上風速值之標準差。

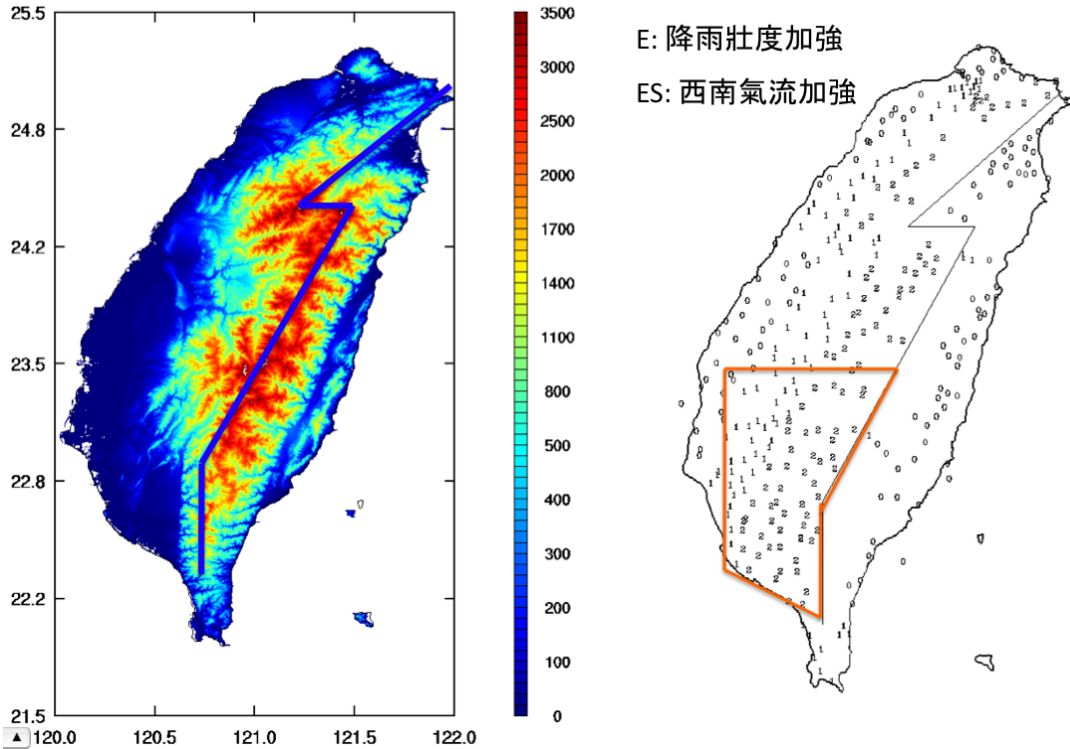


圖 5.1 (a)台灣地形圖及針對西行颱風之雨量增加權重分配之分隔線。(b)權重分隔線及各雨量站權重分配代碼(0, 1, 2)，粗橘線範圍內表示西南部特別加強區。

```

IF (IFCTR .EQ. 1) THEN ! medium
  IF (RR .GT. 600) ACC2(i) = 807.8+ (RR - 600)*1.15
  IF (RR .GT. 200) ACC2(i) = 227.8+ (RR - 200)*1.5
  IF (RR .GT. 15) ACC2(i) = 15 + (RR - 15)*1.1
END IF

IF (IFCTR .EQ. 2) THEN ! strong
  IF (RR .GT. 600) ACC2(i) = 997 + (RR - 600)*1.3
  IF (RR .GT. 200) ACC2(i) = 237 + (RR - 200)*1.9
  IF (RR .GT. 15) ACC2(i) = 15 + (RR - 15)*1.3
END IF

IF ( IFCTR .EQ. 0 .AND. ISoWMEX.EQ.1) STADD(25)
IF ( IFCTR .EQ. 1 .AND. ISoWMEX.EQ.1) STADD(50)
IF ( IFCTR .EQ. 2 .AND. ISoWMEX.EQ.1) STADD(100)T

```

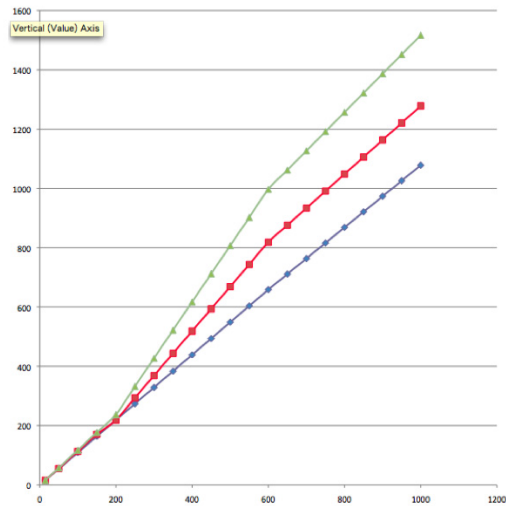


圖 5.2 雨量站雨量加權代碼 1(紅線)及 2(綠線)對應的雨量增加圖，左側為雨量增加之公式。

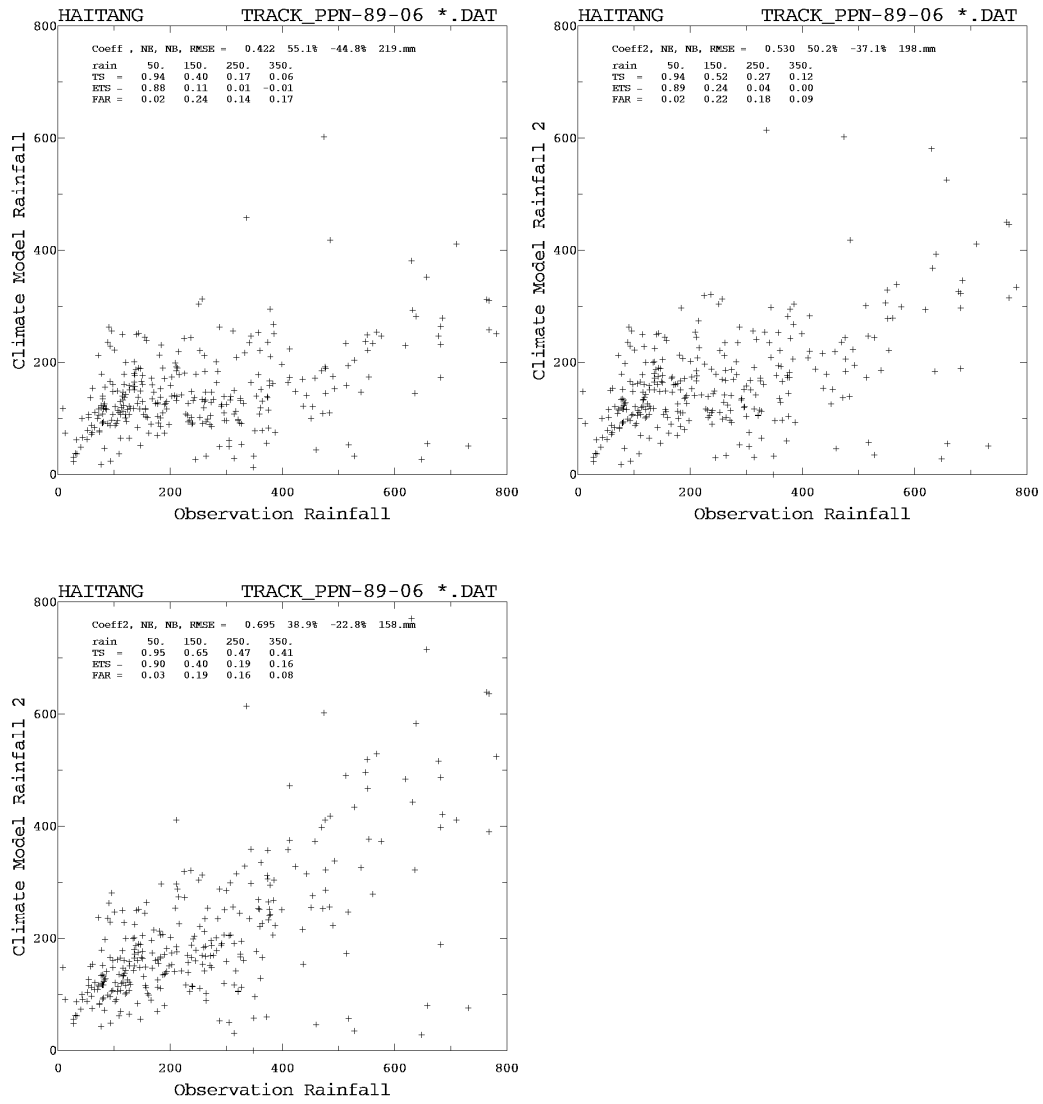


圖 5.3 (a)海棠颱風氣候模式雨量與觀測雨量散佈圖。(b)海棠颱風氣候模式 E 型增強結果與觀測雨量散佈圖。(c)海棠颱風氣候模式 ES 型增強結果與觀測雨量散佈圖。

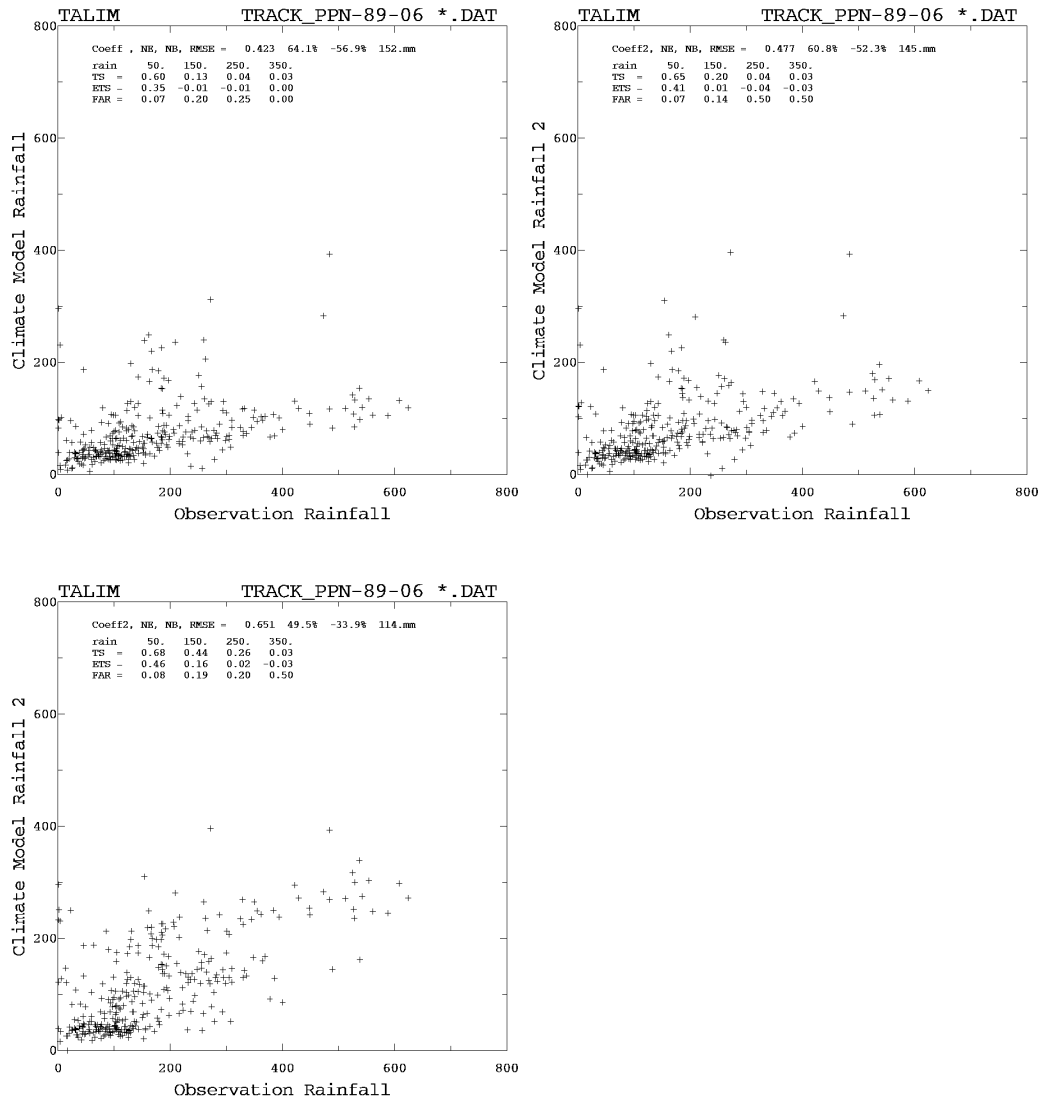


圖 5.4 (a)泰利颱風氣候模式雨量與觀測雨量散佈圖。(b)泰利颱風氣候模式 E 型增強結果與觀測雨量散佈圖。(c)泰利颱風氣候模式 ES 型增強結果與觀測雨量散佈圖。

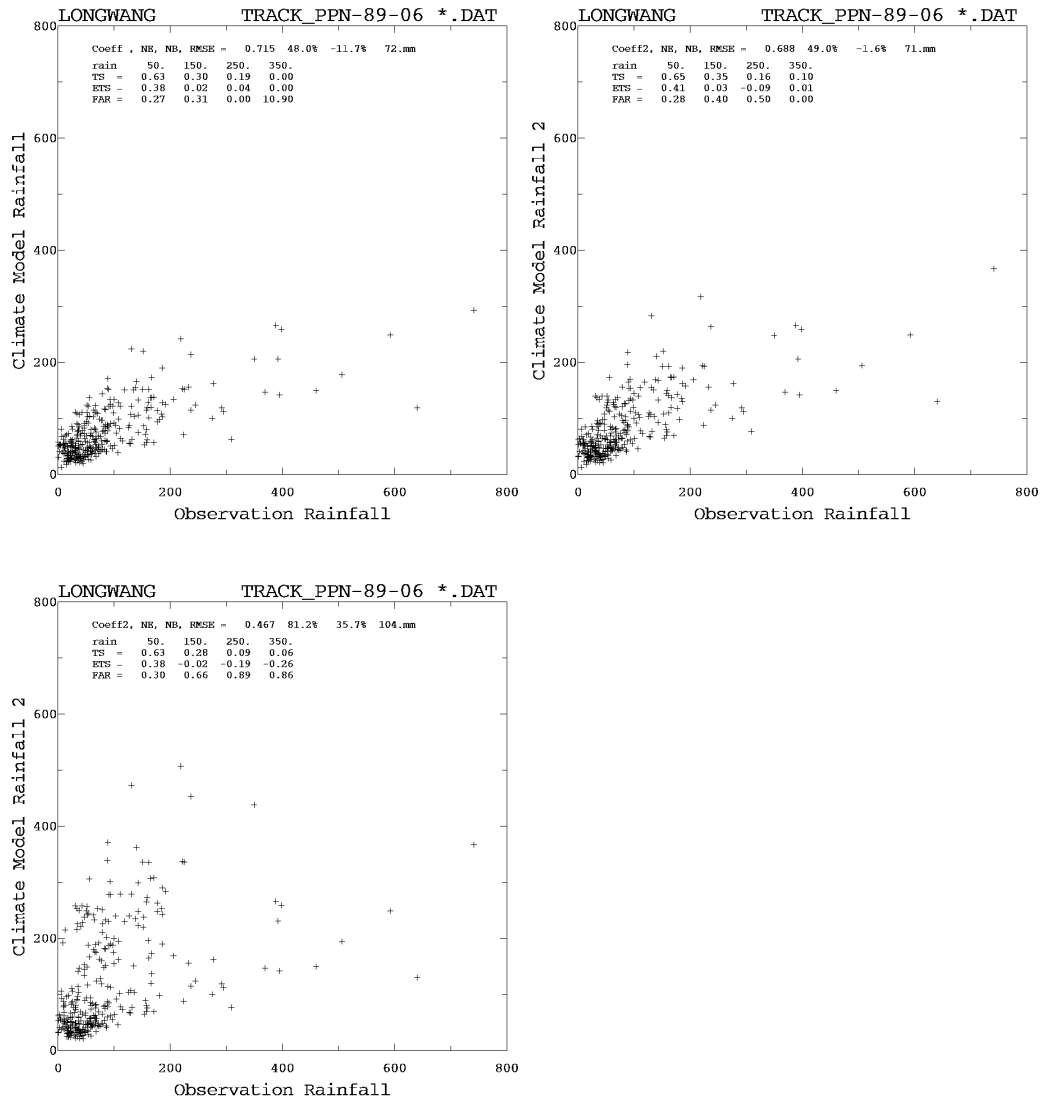


圖 5.5 (a)龍王颱風氣候模式雨量與觀測雨量散佈圖。(b)龍王颱風氣候模式 E 型增強結果與觀測雨量散佈圖。(c)龍王颱風氣候模式 ES 型增強結果與觀測雨量散佈圖。