

交通部中央氣象局

委託研究計畫期末成果報告

颱風及梅雨豪雨定量降水技術發展 -都卜勒雷達資料之應用(2/2)

計畫類別：☒氣象 ☐海象 ☐地震

計畫編號：MOTC-CWB-100-M-03

執行期間：100 年 1 月 1 日至 100 年 12 月 31 日

計畫主持人：周仲島教授

執行機構：國立臺灣大學大氣科學系

本成果報告包括以下應繳交之附件(或附錄)：

☐赴國外出差或研習心得報告 1 份

☐赴大陸地區出差或研習心得報告 1 份

☐出席國際學術會議心得報告及發表之論文各 1 份

中華民國 100 年 11 月

政府研究計畫期末報告摘要資料表

計畫中文名稱	颱風及梅雨豪雨定量降水技術發展-都卜勒雷達資料之應用(2/2)		
計畫編號	MOTC-CWB-100-M-03		
主管機關	交通部中央氣象局		
執行機構	國立臺灣大學大氣科學系		
年度	100年度	執行期間	100年1月1日至12月31日
本期經費 (單位：千元)	1,800千元		
執行進度	預定(%)	實際(%)	比較(%)
	100	100	0
經費支用	預定(千元)	實際(千元)	支用率(%)
	1800	1800	100
研究人員	計畫主持人	協同主持人	研究助理
	周仲島	李文兆	張文明
報告頁數	111	使用語言	中文
中英文關鍵詞	西南氣流實驗、中尺度邊界、副低壓、眼牆重組		
研究目的	本年度計畫針對 2008 年梅雨季期間，伴隨西南氣流的豪大雨事件進行分析研究，主要探討梅雨季期間降雨的時空特徵與季風氣流的關係、降水日夜變化的回波特徵、中尺度對流邊界、西南氣流內伴隨氣旋式環流的中尺度天氣系統等。另外凡那比颱風其所伴隨的一些中尺度天氣系統，包含快速發展雨帶、副低壓生成移動以及眼牆重組等，都是目前科學上需進一步了解及研究的重要議題，因此本年度計畫亦特別針對凡那比颱風個案進行分析。		
研究成果	在凡那比颱風個案中，19日下午位於南部地區的對流雨帶中同樣存在存在胞狀的對流回波結構，並在雨帶內側有系統的排列著(圖3.13a)，強回波區(40dBZ)主要分布在6公里高度以下，且隨高度略為向外傾斜，此特徵與Hence and Houze (2008)所提出開		

放洋面上颱風主要雨帶的概念模式相似；在氣流結構特徵部分，在七股雷達的垂直剖面圖中(圖3.14)，並沒有發現

如Hence and Houze (2008)概念模式中的翻轉上衝流，取而代之的是由雨帶北側以及南側的兩支徑向入流，在雨帶強回波區的內側輻合，北側氣流爬升至南側氣流上方，同時地面測站的相當位溫分析結果顯示，北側的氣流具有較高的不穩定度(相對較高的相當位溫)，這樣的氣流結構配置使得雨帶得以持續維持。

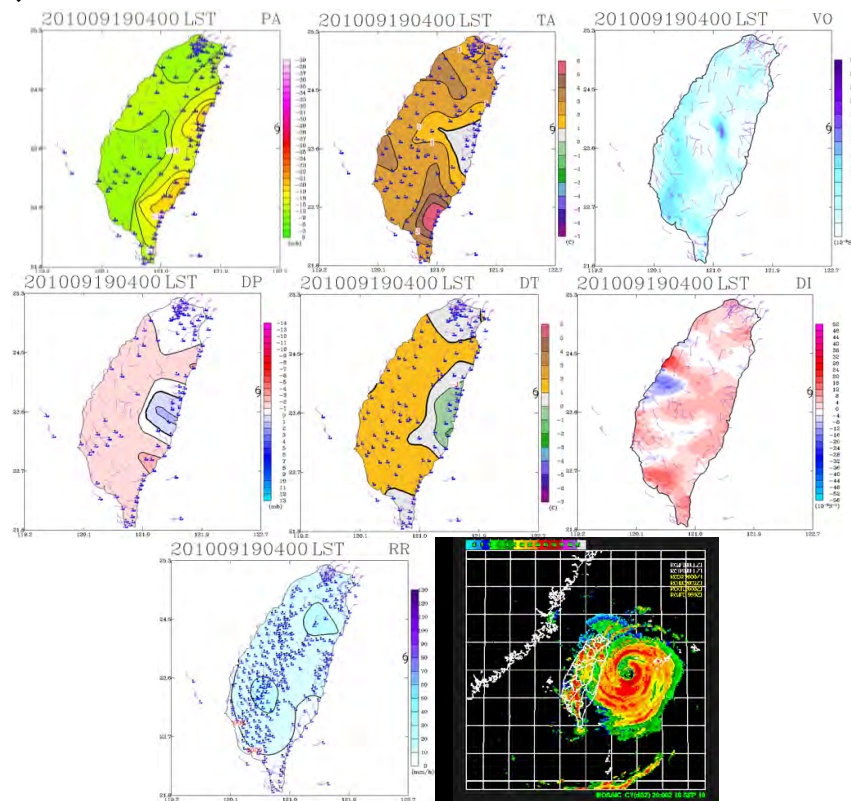


圖 3.14 201009190400LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。V0 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨

	量，單位為 mm/h。
具體落實應用情形	本年度計畫針對 2008 年梅雨季南部地區的降雨個案分析，探討梅雨季期間降雨的時空特徵與季風氣流的關係、降水日夜變化的回波特徵、中尺度對流邊界、西南氣流內伴隨氣旋式環流的中尺度天氣系統等；另外在颱風部分，則是針對 2010 年凡那比颱風伴隨的快速發展雨帶、副低壓以及中心重組等中尺度天氣過程進行分析，結論如下： 1. 在 2008 年的西南氣流實驗期間，可依降雨回波生成的位置將顯著連續降雨期分類為陸生型、海生型和混合型，同時配合海面上船舶的探空風場資料分析可以發現，陸生型的降水對應較弱的西南季風；海生型的降水則是對應較強的西南季風。海生型的降水具有較大的垂直風切，明顯的低層噴流，生命期較長、較大的閃電頻率以及較大的時間空間尺度。 2. 梅雨期間降雨有明顯的日夜變化特徵，日間降雨為午後對流，主要分布在山區；夜間(清晨)的降雨主要分布在海岸邊。 3. 2008 年西南氣流實驗期間第二個時期的中尺度降雨系統，具有較長延時、平原的降水量大於地形降水的特徵，此一海岸邊對流加強的主要原因，與低對流層的中尺度邊界有關。 4. 凡那比颱風登陸期間，位於台灣東南部地區伴隨焚風增溫的壓降中心，於颱風登陸時，北移至北台東一帶，即位於颱風中心西南側，此可能為造

	成颱風中心在登陸後持續往西南移動的原因 5. 凡那比颱風登陸期間，台灣西岸中部及北部副低壓的形成，都與氣流越過山脈造成的沉降增溫有關；中部副低壓往西南移動的過程中，造成氣流在西南部近海輻合，進而形成雨帶並快速發展，此一雨帶即為副低壓環流在颱風環流影響下提供了額外的輻合所造成。 6. 西南部雨帶中存在對流胞狀結構，並在雨帶中重複的出現，同時在雨帶北側以及南側存在兩支徑向入流，在雨帶強回波區的內側輻合，北側的氣流具有較高的不穩定度，這樣的氣流結構配置使得雨帶得以持續維持。
計畫變更說明	無
落後原因	無
檢討與建議 (變更或落後之因應對策)	無

(以下接全文報告)

交通部中央氣象局委託研究計畫期末報告

颱風及梅雨豪雨定量降水技術發展 -都卜勒雷達資料之應用(2/2)

計畫類別：☒國內 ☐國外

計畫編號：MOTC-CWB-100-M-03

執行期間：100年1月1日至100年12月31日

計畫主持人：周仲島教授

執行單位：臺灣大學大氣科學系

中華民國 100 年 11 月

摘要

(計畫執行內容說明)

本年度計畫針對 2008 年梅雨季期間，伴隨西南氣流的豪大雨事件進行分析研究，主要探討梅雨季期間降雨的時空特徵與季風氣流的關係、降水日夜變化的回波特徵、中尺度對流邊界、西南氣流內伴隨氣旋式環流的中尺度天氣系統等。另外凡那比颱風其所伴隨的一些中尺度天氣系統，包含快速發展雨帶、副低壓生成移動以及眼牆重組等，都是目前科學上需進一步了解及研究的重要議題，因此本年度計畫亦特別針對凡那比颱風個案進行分析。

2008 年梅雨季西南氣流實驗期間，可依降雨回波生成的位置將顯著連續降雨期分類為陸生型、海生型和混合型，同時配合海面上船舶的探空風場資料分析可以發現，陸生型的降水對應較弱的西南季風。其中實驗期間第二個時期的中尺度降雨系統，具有較長延時、平原的降水量大於地形降水的特徵，此一海岸邊對流加強的主要原因，與低對流層的中尺度邊界有關

凡那比颱風登陸期間，位於台灣東南部地區伴隨焚風增溫的壓降中心，於颱風登陸時，北移至北台東一帶，即位於颱風中心西南側，此可能為造成颱風中心在登陸後持續往西南移動的原因。凡那比颱風登陸期間，台灣西岸中部及北部副低壓的形成，都與氣流越過山脈造成的沉降增溫有關；中部副低壓往西南移動的過程中，造成氣流在西南部近海輻合，進而形成雨帶。西南部雨帶中存在對流胞狀結構，並在雨帶中重複的出現，同時在雨帶北側以及南側存在兩支徑向入流，在雨帶強回波區的內側輻合，北側的氣流具有較高的不穩定度，這樣的氣流結構配置使得雨帶得以持續維持。

關鍵詞: 西南氣流實驗、中尺度邊界、副低壓、眼牆重組。

目錄

摘 要	i
目錄	ii
表說	iii
圖說	iv
第一章. 前言	1
第二章. 西南氣流實驗與梅雨季豪大雨天氣	5
2.1 西南氣流觀測與豪雨預測實驗	5
2.2 SoWMEX/TiMREX 顯著連續降雨期	6
2.3 梅雨期間日夜變化特徵	7
2.4 中尺度邊界	8
2.4.1 對流外流邊界與豪雨	8
2.5 西南氣流內伴隨氣旋式環流的中尺度天氣系統	9
第三章. 凡那比颱風中尺度特徵分析	11
3.1 資料處理及分析方法	11
3.1.1 地面觀測資料處理	11
3.1.2 雷達資料處理	13
3.1.3 雷達資料分析方法	13
3.2 凡那比颱風概述	17
3.3 中心登陸前東南部焚風及中尺度低壓	18
3.4 中心登陸過程	21
3.5 西部副低壓及中心重組	23
3.5.1 中部副低壓	23
3.5.2 北部副低壓	24
3.5.3 中心重組	25
3.6 西南部降雨過程及雨帶結構特徵	26
3.6.1 西南部降雨過程	26
3.6.2 雨帶結構特徵	27
3.6.3 眼牆雨帶結構特徵	31
第四章. 討論與未來工作	34
4.1 討論	34
4.2 結論與未來工作	39
參考文獻：	41

表說

表 2.1 2008 年西南氣流實驗摘要.....	44
表 2.2 2009 年及 2010 年西南氣流實驗摘要.....	44
表 3.1 中央氣象局地面測站資訊.....	45
表 3.1 中央氣象局地面測站資訊(續 1).....	46
表 3.1 中央氣象局地面測站資訊(續 2).....	47
表 3.1 中央氣象局地面測站資訊(續 3).....	48
表 3.1 中央氣象局地面測站資訊(續 4).....	49
表 3.2 雷達基本資訊.....	50
表 3.3 中央氣象局焚風等級分類表.....	50
表 3.4 成功、台東、大武測站焚風發生時間列表.....	51
表 3.5 新竹測站焚風發生時間列表.....	51
表 4.1 凡那比颱風登陸期間中尺度天氣系統及南部地區強降雨時間序列表.....	52

圖說

- 圖 1.1 以 CReSS 模式模擬台灣中部附近地形對低層輻合之效應、對流發展及降雨分布之結果示意圖。(a)為真實地形高度模擬與(b)地形高度減半之模擬，陰影區為降雨量與發生位置，色階愈深，降雨量愈多(Wang et al.2005)。 .53
- 圖 2.1 梅雨鋒面雨帶中的中尺度對流系統以及西南氣流實驗的科學目標。53
- 圖 2.2 西南氣流實驗區域，以及 2008 年儀器配置和探空施放安排。54
- 圖 2.3 定義顯著連續降雨期和經向及緯向平均哈莫圖表。54
- 圖 2.4 台灣海峽南部船舶探空水平風量分布和變化，(a)緯向風和(b)經向風。 .55
- 圖 2.5 海生型和陸生型平均探空特徵及對流特性統計。55
- 圖 2.6 梅雨期間對流發生頻率之日夜變化，左圖為衛星資料 (20-40°N 平均，Wang et al. 2004)，右圖為雷達資料 (22.5-23.5°N 平均)。56
- 圖 2.7 2008 年 SoWMEX IOP4-6 期間飛機投落送分析 990hPa 虛溫分布。 。 .56
- 圖 2.8 2008 年 SoWMEX IOP8 期間降雨之緯緯向型態，船舶探空低層風場及虛溫變化，飛機投落送分析 990hPa 虛溫分布。57
- 圖 2.9 2008 年 SoWMEX IOP6 中尺度渦旋伴隨之逗點對流雲及螺旋雲帶。57
- 圖 2.10 2008 年 SoWMEX IOP6 中尺度渦旋經向風場分布及伴隨之對流回波，以及平均渦度分布時序。58
- 圖 2.11 雷達徑向風場觀測到 IOP6 中尺度渦旋內次渦的風速耦極。58
- 圖 2.12 2008-2011 年西南氣流內伴隨氣旋式環流的中尺度天氣系統及伴隨之 12 小時累積降水。38
- 圖 3.1 本文分析所使用的地面雨量站與雷達站位置分布圖。其中黑色點為自動氣象站及自動雨量站位置，計有 383 站；紅色點為綜觀測站位置，計有 33 站。雷達符號為馬公(RCMK)、七股(RCCG)、墾丁(RCKT)及花蓮(RCHL)雷達站，紅色實線區域(D1、D2)為馬公與七股雙都卜勒風場合成分析範圍；黑色實線區域(E1、E2、W1、W2、W3)分別為 5 個次分析區域。60
- 圖 3.2 分析北部(T1)、中部(T2)及南部(T3)地形平均高度所選取的區域範圍。 .61
- 圖 3.3 2010 年 9 月份中央氣象局高雄測站氣象參數時間序列。由上至下 4 個欄位分別為風向(黑色線條)風速(綠色線條)、溫度距平(紅色線條)與露點(藍色線條)、氣壓距平以及時雨量。62
- 圖 3.4 都卜勒徑向風場資料處理示意圖。以馬公雷達 0.5°仰角為例。63
- 圖 3.5 都卜勒徑向風場資料折錯處理異常情況。左圖為七股雷達 1.4°仰角，右圖為花蓮雷達 6.0°仰角。63
- 圖 3.6 VAD 方法幾何關係示意圖(Browning and Wexler, 1968)。64
- 圖 3.7 中央氣象局 201091720LST 地面天氣圖。64
- 圖 3.8 9 月 15 日至 20 日中央氣象局花蓮(圖 a)、台東(圖 b)、新竹(圖 c)、台中(圖 d)、台南(圖 e)及澎湖(圖 f)測站氣象參數時間序列。由上至下 4 個欄位

分別為風向(黑色線條)風速(綠色線條)、溫度距平(紅色線條)與露點(藍色線條)、氣壓距平以及時雨量。淡紅色區域為颱風中心在台灣陸地上的時間(091909LST-091918LST)，共計 9 小時。.....	65
圖 3.8 續。.....	66
圖 3.8 續。.....	67
圖 3.9 中央氣象局凡那比颱風路徑圖。.....	68
圖 3.10 201009190000LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為℃。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為℃。VO 為渦度場，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。.....	69
圖 3.11 201009190100LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為℃。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為℃。VO 為渦度場，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。.....	70
圖 3.12 201009190200LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為℃。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為℃。VO 為渦度場，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。.....	71
圖 3.13 201009190300LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為℃。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為℃。VO 為渦度場，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。.....	72
圖 3.14 201009190400LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系	

色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。.....73

圖 3.15 201009190500LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。.....74

圖 3.16 201009190600LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。.....75

圖 3.17 201009190700LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。.....76

圖 3.18 201009190800LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。.....77

圖 3.19 201009190900LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA

為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5} s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5} s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。.....78

圖 3.20 201009191000LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5} s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5} s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。.....79

圖 3.21 201009191100LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5} s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5} s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。.....80

圖 3.22 201009191200LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5} s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5} s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。.....81

圖 3.23 201009191300LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5} s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5} s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。.....82

- 圖 3.24 201009191400LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。83
- 圖 3.25 201009191500LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。84
- 圖 3.26 201009191600LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。85
- 圖 3.27 201009191700LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。86
- 圖 3.28 201009191800LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，

單位為 mm/h。	87
圖 3.29 201009191900LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為℃。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為℃。VO 為渦度場，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。	88
圖 3.30 201009192000LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為℃。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為℃。VO 為渦度場，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。	89
圖 3.31 201009192100LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為℃。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為℃。VO 為渦度場，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。	90
圖 3.32 201009192200LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為℃。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為℃。VO 為渦度場，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。	91
圖 3.33 201009192300LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為℃。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為℃。VO 為渦度場，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。DI 為輻散	

場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。.....	92
圖 3.34 凡那比颱風地面氣壓場分析。圖 a 為 09191200LST、圖 b 為 09191500LST、圖 c 為 09191600LST、圖 d 為 09192000LST。(中央氣象局侵台颱風資料庫).....	93
圖 3.35 201009190800LST 馬公(圖 a)及綠島(圖 b)探空。.....	94
圖 3.36 19 日 00 至 19LST E1(圖 a)及 E2(圖 b)次分區各氣象參數區域平均時間序列圖。由上至下 4 個欄位分別為，平均地面渦度(藍色線條)與輻散場(紅色線條)、平均氣溫距平、平均氣壓距平及平均時雨量與平均回波(次分區平均回波為七股雷達第 2 層仰角)。淡紅色區域為颱風中心在陸地上的時間(091909LST-091918LST)，共計 9 小時。.....	95
圖 3.37 19 日 00 至 23LST W1(圖 a)、W2(圖 b)及 W3(圖 c)次分區各氣象參數區域平均時間序列圖。由上至下 4 個欄位分別為，平均地面渦度(藍色線條)與輻散場(紅色線條)、平均氣溫距平、平均氣壓距平及平均時雨量與平均回波。淡紅色區域為颱風中心在陸地上的時間。.....	96
圖 3.37 續。.....	97
圖 3.38 D1 區域 3.5 公里高度雙都卜勒合成風場，圖 a、b 分別為 9191458LST 及 9191558LST。等值線為風速，單位為 m/s，色階部分為回波場，為七股雷達第 2 層仰角回波，縱座標及橫坐標為相對七股雷的距離。.....	98
圖 3.39 七股雷達 1.4 度仰角 PPI 回波圖及所對應時間地面測站時雨量、風向風速。左圖等值線為前 1 小時之累積雨量，風標為地面測站所觀測風向風速(單位為 knot)，颱風符號為氣象局最佳路徑之颱風中心位置；右圖色階部分為回波值大於 25dBZ 的區域。.....	99
圖 3.40 分析區域範圍內所地面雨量站分布(圖 a)與連續 6 小時累積雨量歷線圖(圖 b)。圖 a 中黑色十字代表平地地區雨量站，藍色十字代表山坡地區雨量站，紅色十字代表山地地區雨量站。圖 b 中 A1 代表平地地區，A2 代表山坡地區，A3 代表山地地區，條狀紅色區域代表區域極值，條狀藍色區域代表區域平均值，水平黑色線條為 300 毫米雨量門檻值。.....	100
圖 3.41 19 日 1158LST 七股雷達 1.4 度仰角雷達回波(圖 a)及都卜勒徑向風場(圖 b)分布圖。圖 c、d 分別為圖 a 中 C3 垂直剖面分析之都卜勒徑向速度(等值線實線為正值，代表出流；等值線虛線為負值，代表入流)及其對應之輻散場(等值線實線為正值，代表輻散；等值線虛線為負值，代表輻合)。圖 e、f 分別為 D1 及 D2 區域高度 3.5 公里雙都卜勒合成風場及輻合場(等值線)。	101
圖 3.42 19 日 1258LST 七股雷達 1.4 度仰角雷達回波(圖 a)及都卜勒徑向風場(圖 b)分布圖。圖 c、d 分別為圖 a 中 C3 垂直剖面分析之都卜勒徑向速度(等值線實線為正值，代表出流；等值線虛線為負值，代表入流)及其對應之輻散場(等值線實線為正值，代表輻散；等值線虛線為負值，代表輻合)。圖 e、	

f 分別為 D1 及 D2 區域高度 3.5 公里雙都卜勒合成風場及輻合場(等值線)。	102
圖 3.43 19 日 1406LST 七股雷達 1.4 度仰角雷達回波(圖 a)及都卜勒徑向風場(圖 b)分布圖。圖 c、d 分別為圖 a 中 C3 垂直剖面分析之都卜勒徑向速度(等值線實線為正值，代表出流；等值線虛線為負值，代表入流)及其對應之輻散場(等值線實線為正值，代表輻散；等值線虛線為負值，代表輻合)。圖 e、f 分別為 D1 及 D2 區域高度 3.5 公里雙都卜勒合成風場及輻合場(等值線)。	103
圖 3.44 19 日 1458LST 七股雷達 1.4 度仰角雷達回波(圖 a)及都卜勒徑向風場(圖 b)分布圖。圖 c、d 分別為圖 a 中 C3 垂直剖面分析之都卜勒徑向速度(等值線實線為正值，代表出流；等值線虛線為負值，代表入流)及其對應之輻散場(等值線實線為正值，代表輻散；等值線虛線為負值，代表輻合)。圖 e、f 分別為 D1 及 D2 區域高度 3.5 公里雙都卜勒合成風場及輻合場(等值線)。	104
圖 3.45 19 日 1458LST D2 區域內 2、3 及 4 公里高度雙都卜勒合成風場及輻合場。橫軸及縱軸座標為相對於七股雷達的距離。圖中色階部分為七股雷達回波場，等值線部分分別為風速值(單位為 m/s)及輻合場(單位為 $10^{-4} S^{-1}$)。	105
圖 3.46 19 日 2006LST 七股雷達 1.4 度仰角雷達回波(圖 a)及都卜勒徑向風場(圖 b)分布圖。圖 c、d 分別為圖 a 中 C1 垂直剖面分析之都卜勒徑向速度(等值線實線為正值，代表出流；等值線虛線為負值，代表入流)及其對應之輻散場(等值線實線為正值，代表輻散；等值線虛線為負值，代表輻合)。圖 e、f 則為 C2 剖面。	106
圖 3.47 19 日 2006LST D2 區域內 3 及 4 公里高度雙都卜勒合成風場，橫軸及縱軸座標為相對於七股雷達的距離。圖中色階部分為七股雷達回波場，等值線部分分別為風速值(單位為 m/s)及輻合場(單位為 $10^{-4} S^{-1}$)。	107
圖 3.48 19 日 2006LST D1 區域內 3 及 4 公里高度雙都卜勒合成風場，橫軸及縱軸座標為相對於七股雷達的距離。圖中色階部分為七股雷達回波場，等值線部分分別為風速值(單位為 m/s)及輻合場(單位為 $10^{-4} S^{-1}$)。	108
圖 4.1 開放洋面颱風主要雨帶之中尺度及對流尺度降雨及氣流結構概念模式。圖 a 灰階區域為颱風主要雨帶範圍，粗黑色線條為雨帶中層之強風軸，深灰色橢圓形為雨帶中之對流胞，虛線橢圓形代表消散階段對流胞。圖 b 為圖 a 細實線之垂直剖面，粗灰色箭頭為翻轉上衝流，虛線白色箭頭為中層以及內側下衝流。(Hence and Houze 2008)	109
圖 4.2 19 日 1458LST 地面測站相當位溫，單位 $^{\circ}K$ 。	110
圖 4.3 凡那比颱風中心登陸階段移動情況、中尺度低壓及雨帶形成時間及位置示意圖。	111

第一章. 前言

台灣地區位於歐亞大陸與太平洋的交界處，屬於溫帶與熱帶間的副熱帶季風區，天氣不但複雜多變，同時往往伴隨著能夠造成重大災害的天氣現象，其中颱風、梅雨所帶來的劇烈降雨，為造成台灣地區近年來重大天然災害最主要的因素之一。特別是這些劇烈降雨的強度、分布及延時，往往受到綜觀環境氣流、颱風環流與地形之間複雜的交互作用所控制，是目前氣象預報上最無法掌握，也是地方政府防救災工作上，所面臨最困難的挑戰。

2006 年 6 月初持續受到梅雨鋒面在台灣上空徘徊，西南氣流明顯，部份地區因連日大雨或豪雨而導致災情，期間又以 9 日至 10 日降雨最為顯著，中南部地區有超大豪雨以及大豪雨發生。根據氣象局雨量站資料顯示，9 日阿里山單日累積雨量達 811.5 毫米，創下歷年各氣象站梅雨季最大紀錄值；10 日最大單日累積雨量為玉山 398.5 毫米，而在平地的嘉義亦有 381.5 毫米的累積雨量。根據內政部天然災害損失統計資料，梅雨西南氣流帶來的劇烈降雨共造成 3 人死亡、4 人失蹤、農業損失 11 億以上。

而 2010 年 9 月的凡那比颱風，更是說明劇烈降雨難以掌握的最佳案例。9 月 19 日上午 9 時前後，凡那比颱風中心在花蓮登陸時，南部的高雄地區除了風勢稍強外，雨量不大，許多民眾甚至出外逛街，但 14 時起，突然降下每小時超過 100 毫米的超大豪雨，高雄市、高雄縣 10 個鄉鎮、屏東縣 11 個鄉鎮都淹大水，部分地區甚至快達一樓高，尤其晚上 20 時滿潮，豪大雨無法宣洩，造成高雄市愛河溢出河岸，受災民眾苦不堪言。19 日 12 時至 18 時期間，全台 6 小時內連續雨量前三名為屏東瑪家測站 626 毫米、高雄岡山測站 561 毫米、高雄鳳雄測站 524 毫米。總計凡那比只停在台灣本島 9 個多小時，但卻為高屏帶來驚人雨量，特別是在平地地區，這是各氣

象單位均始料未及的，氣象局更是數度上修南部地區的雨量，18 日晚間氣象局原本預測高屏山區雨量約 500 至 700 毫米，到了 19 日 13 時上修至 700 至 1000 毫米、19 日 19 時高雄再上修到 900 至 1200 毫米、屏東 1000 至 1400 毫米。

因此進一步了解颱風、梅雨與中南部地形交互作用產生劇烈降雨的關係，為現階段氣象界欲提升降雨預報能力，所面臨之重要研究課題之一。Lin et al.(2001)分析了許多因地形產生劇烈降雨的個案，歸納出幾個地形劇烈降雨發生時的綜觀和中尺度有利條件，包括：(1)具有條件性或潛在不穩定的氣流垂直於地形吹送。(2)非常潮濕的低層噴流(LLJ)。(3)高聳的山脈。(4)存在一綜觀尺度系統使得對流系統移動緩慢。文中並以 1959 年熱帶低壓(八七水災)以及 1999 年瑞琪兒颱風造成台灣西南部地區豪雨事件進行個案分析。結果顯示在 1959 年個案中，產生劇烈降雨的主因是位於台灣西北西方的熱帶性低氣壓受日本南方的艾倫颱風影響移動緩慢，同時配合低層強勁的西南噴流以及台灣陡峭地形造成，主要降雨集中在台灣西部和西南部地區，在 8 月 7 日 1700~8 月 8 日 0800(LST)期間降下了約 1000 毫米的雨量。而在 1999 年的瑞琪兒颱風個案中，與 1959 年情況類似，位於台灣西南方的瑞琪兒颱風受日本東南方的保羅颱風影響移動緩慢，並且配合低層西南噴流及台灣陡峭地形造成，主要降雨亦集中在台灣西南部地區，8 月 7 日 24 小時累積雨量超過了 175 毫米。

徐、曾(2004)及李等人(2004)針對民國 93 年 7 月造成七二水災的敏督利颱風進行分析研究，其中李等人(2004)使用 NCEP 全球分析資料分析南海地區的大氣環境特性，歸納出下列幾點：(一)颱風逐漸遠離期間，南海地區低層大氣為一暖濕濕且條件不穩定之環境，且對流可用位能偏高。低層自台灣海峽南部向西南延伸經大陸、華南沿海海南島附近有一明顯帶狀幅合。(二)由於南海地區不斷有對

流雲系生成及發展，配合颱風引進之西南氣流將形成於南海附近之對流系統傳送至台灣地區。(三)在西南氣流提供大量水汽的傳送過程中，受中央山脈地形的舉升對流雲系不斷移入的雙重效應下，使水汽能夠迅速堆積與凝結。徐(2005)則是利用中尺度數值模式探討敏督利離台期間，台灣西南部及山區受強烈西南氣流影響引發豪大雨事件的原因，結果顯示颱風出海時，其外圍環流與環境西南氣流在台灣西南側輻合，850hpa 高度上有中尺度低壓生成，氣壓梯度力提供風場加速度，造成西南氣流增強，因此在次低壓南側形成了 2 條東西向，由海上延伸至台灣南部陸地上的強對流雨帶，持續將南海地區大量水汽往北傳送，隨後有中尺度對流系統(MCS)生成，低層為強輻合之入流，高層則為輻散之外流區域，垂直結構發展完整，隨時間逐漸增強並移入台灣。

以雷達資料分析在颱風影響下地形劇烈降雨的觀測研究在過去並不多見，李及蔡(1995)使用地基雷達資料，分析了 4 個侵台颱風所伴隨雨帶在地形上的降雨特徵，結果顯示在 4 個個案中，皆有存在地形強降雨，且在山區呈現準靜止的狀態。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)的喬治颱風(Georges)，進行登陸前後降雨和氣流變化的觀測研究。喬治颱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，這樣的垂直結構與颱風登陸前不相同，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，探討當颱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，對於登陸颱風的定量降雨預報意義重大。Yu and Cheng(2008)則是利用五分山與中正機場雷達資料，探討 2000 年象神颱風侵台期間，外圍環流與台灣北部山區地形交互作用產生的地形強降雨。結果指出地形上的強降雨將會隨著上游風場風速的增強，而往下游移動，同時也伴隨著對流系統水平範

圍擴大，垂直發展加深以及強度的增強。

Wang et al.(2005)選取 2002 年 5 月 23 日發生在台灣海峽並造成台灣中北部地區豪雨之線狀對流個案，進行觀測與模擬研究。結果發現，中山山脈之地形阻擋效應使在地形迎風面上游之台灣海峽中北部產生線狀中尺度輻合帶以組織線狀對流。而地形對於上游低層輻合與產生之雲雨分布結果，可由圖 1.1 表示。當地形減半(Fr 增至約 0.5)，雖地形阻擋效應仍在，但迎風面高壓與離岸流較弱，結果使上游低層輻合較弱且較靠近海岸，致使該區對流在抵達中央山脈迎風坡前無法充分發展，因此最大降水發生在山區而非在沿海一帶。因此在現有中央山脈地形影響下，其上游之台灣海峽中北部在盛行西南季風氣流裡可形成中尺度線狀輻合區以激發、組織或增強線狀對流系統。

都卜勒雷達資料及觀測實驗期間收集到密集觀測資料將有助於對豪雨發展過程的了解，並改善定量降水預報。本年度計畫針對 2008 年梅雨季南部地區的降雨個案進行分析，探討梅雨季期間降雨的時空特徵與季風氣流的關係、降水日夜變化的回波特徵、中尺度對流邊界、西南氣流內伴隨氣旋式環流的中尺度天氣系統等。另外凡那比颱風其所伴隨的一些中尺度天氣系統，包含快速發展雨帶、副低壓生成移動以及眼牆重組等，都是目前科學上需進一步了解及研究的重要議題，因此本年度計畫亦特別針對凡那比颱風個案進行分析。

第二章. 西南氣流實驗與梅雨季豪大雨 天氣

2.1 西南氣流觀測與豪雨預測實驗

梅雨是台灣春末夏初的主要天氣現象。它是由歐亞大陸中高緯度來的乾冷氣團和從亞洲南方熱帶海域來的暖濕氣團，在華南及台灣地區交互作用的結果。梅雨現象最主要的特徵，包括在地面天氣圖有一滯留鋒，溫度梯度不明顯，在 850hPa 以風切線形式出現。風切線南側的西南氣流常帶來高相當位溫的潮濕空氣，造成風切帶附近顯著的水汽梯度，在衛星雲圖常可觀測一明顯濃密雲帶，由日本南方海面往西南延伸經台灣至華南地區。伴隨鋒面南側的西南氣流，經常有組織良好的中尺度對流系統發展於鋒面雲帶中，並且帶來局部的劇烈豪雨（圖 2.1）。

氣象局從 2008 年起連續五年針對西南氣流內可能造成台灣地區豪雨的中尺度對流系統進行西南氣流觀測與豪雨預測實驗（Southwest Monsoon Experiment, SoWMEX），實驗之目標為：經由同時對南海地區西南氣流熱動力特性的瞭解，和加強台灣本島複雜地形降雨過程的基礎認識，改進現有豪大雨天氣定量降雨技術發展，以達到災害預警和減災的功能。因此，西南氣流實驗針對梅雨季鋒面南側暖濕西南氣流內極易爆發的中尺度對流系統，也就是造成豪大雨的主要天氣系統，進行海陸空密集氣象觀測實驗。

2008 年的西南氣流實驗與美國科學家共同合作進行，又稱 TiMREX (Terrain-influenced Monsoon Rainfall Experiment)，實驗時間為 2008 年 5 月 15 日至 6 月 30 日，實驗地點為南中國海北部和台灣本島及臨近海域（圖 2）。實驗內容包括增加南中國海和台灣海峽大

氣探空（機載投落送和船舶探空），針對台灣梅雨季（東亞夏季西南季風肇始）探討南海西南氣流的熱動力性質；並利用環島都卜勒雷達，國科會新增車載 X 波段雙偏振雷達，美國 NCAR S-波段雙偏振雷達，以及測雨雷達、雨滴譜儀、自動氣象測站和地面 GPS 測站等儀器，進行西南季風環境下豪雨個案密集觀測和分析診斷研究，以深入了解西南氣流本身的熱動力特徵，引發豪大雨天氣系統的激發機制，以及中尺度對流系統（MCS）本身內部之雲微物理和雲動力結構。觀測期間包含 9 次密集觀測期，14 次飛機投落送任務（表 2.1）。除了 S-波段雙偏振雷達未參與之外，2009-2011 年亦持續進行西南氣流期間的密集觀測實驗（表 2.2）。

2.2 SoWMEX/TiMREX 顯著連續降雨期

在 2008 年的西南氣流實驗期間，從降雨量的時序可大致區分為兩個部分，第一個時期為 5 月 15 日至 6 月 2 日，這段期間降雨有比較明顯的午後對流特徵，且地形降水多於平原降水；第二個時期大略為 6 月 3 日至 6 月 30 日，這段期間的中尺度降雨系統帶來較長延時的降雨，約 5-6 天，平原的降水多於地形降水。

將主要降水區域做面積平均達到 5.5 mm h^{-1} 並持續 3 小時做為一個顯著連續降雨期（Significant Continuous Rainfall Periods, SCRPs，圖 2.3），共定義出 40 個顯著連續降雨期（Jou et al. 2011）。由雷達合成回波經向平均的緯向分布隨時間變化的 Hovmöller 圖表可將顯著連續降雨期區分出由海上發展東移至陸地上的回波和局地生成的回波，並根據其生成的位置將顯著連續降雨期分類為陸生型、海生型和混合型。不論是陸生型、海生型和混合型，降雨隨時間在經向上的移動小於緯向上的移動。使用 2008 年 SoWMEX 期間海上船舶探空風場資料將西南季風的強度的做分類（圖 2.4），可分為建立期（IOP1&2）、西風爆發期（EOP: IOP3-6）、短歇期

(IOP7)、南風期 (IOP8) 和結束期 (IOP9)；海上的西風爆發之後，陸地降水顯著增加。在季風強度較弱的建立期、短歇期和結束期，陸生型的降水為主要的持續降雨來源，主要為午後熱對流發展。在季風較強的西風爆發期和南風期，海生型的比例大幅度增加，然而中間亦相嵌陸生型的降水在其中，也就是說，與地形相關的局地加強，可能仍然影響地形降雨的加強甚至是初始新生對流。

由探空的平均風場 (圖 2.5)，海生型的深層緯向風速明顯大於陸生型，約 2-2.5 倍；平均經向風顯示海生型具有較大的垂直風切，有較明顯的低層噴流型態，在低層速度極值平均在於 850hPa。平均熱力場則顯示海生型和陸生型在 700hPa 以下皆具有條件性不穩定，然而陸生型的溫度直減率較大。陸生型的平均生命期較短，約 6.6 小時，海生型和混合型的生命期較長，約 12 小時；海生型有較大的閃電頻率，然而將其依回波面積常態化之後，陸生型擁有較大的閃電密度，由此亦可知，海生型和混合型的降水系統具有較大的時間空間尺度。然而將其降雨系統分為對流性降水和層狀陸水，三者的比值大約皆為 2/3，陸生型的比值稍小。

2.3 梅雨期間日夜變化特徵

梅雨期間降雨有明顯的日夜變化特徵，Wang et al. (2004)使用 1998-2001 年衛星雲頂溫度的資料做 20-40°N 的平均 Hovmöller 圖(圖 2.6)，圖中顯示華南梅雨較大的降水頻率發展於午後，特別是範圍從 107-124°E，降水系統延時至夜間，隨後有東移至海上並減弱的特徵，系統於清晨移行到 118°E 附近，並在 125°E 以東有再加強的趨勢。比較由台灣南部的雷達強回波(>40dBZ)平均日變化，亦可由地形上準滯留的降雨頻率看到山區午後對流的明顯特徵，海岸邊出現次大頻率發生在清晨，不論是午後或清晨的降水，皆有從海上往東移入頻率在陸地上增加的趨勢，這樣的趨勢在衛星資料上並沒有看

到，可能的原因除了前者在經向平均的範圍較大之外，亦指出地形上增加的強降雨不具有較低的雲頂溫度。

2.4 中尺度邊界

2.4.1 對流外流邊界與豪雨

如前述，2008 年 SoWMEX 第二個時期的中尺度降雨系統具有較長延時、平原的降水量大於地形降水的特徵，並具有較大的海生型比例。平原的豪雨預報是目前中尺度天氣模式的一大挑戰，特別對於海上移入的系統，數值模式傾向於在山區產生強降水，平原的降水相對較弱。Davis and Lee(2011)分析了西風爆發期和南風期造成海岸豪雨的海生型中尺度降水系統的海上探空資料，包括飛機投落送及船舶探空，並發現海岸邊對流的加強主要的與低對流層的中尺度邊界有關：即使綜觀環境沒有明顯的溫度梯度，在海岸附近卻有局地中尺度鋒生的情況發生。在西風爆發期中的 IOP4-6 (圖 2.7)，中尺度邊界主要出現在海岸邊，低層的虛溫分布顯示海岸邊有較低的虛溫，水平上伴隨較明顯的氣旋式環流，從回波的形態來看，低的虛位溫大致上與中尺度鋒面前側一定範圍的降水區域一致，可能的原因指向地形先期的降雨形成冷池或持續的厚雲可能造成陸地上局部的太陽輻射加熱不均勻。IOP8 發生在南風期 (圖 2.8)，前期沒有飛機投落送觀測，由船舶探空顯示低層虛溫在 6/14 12Z 時發生大幅度低溫的現象，與 3 小時前相比降低 3 度，且風向由西南風轉為西風，相當局部的中尺度鋒面性質。6/16 06Z 的投落送分析顯示此時的中尺度邊界發生在離岸的海面上，局地虛溫梯度較小，主要的大範圍降水回波發生在冷側，沒有明顯的氣旋式風切，低層風速大，然而垂直風切弱，海面探空顯示中尺度鋒面前後的風場沒有明顯差異，而是顯明於溫度場上，鋒面後側低層有沉降逆溫的溫濕剖面，

鋒面前側在 850hPa 以上的溫濕剖面與後側相仿，850hPa 以下較為均勻混合，近地層溫度較低，相應於冷側的大範圍回波，推測可能為暖區空氣爬升後到中尺度鋒面之上的結果。

2.5 西南氣流內伴隨氣旋式環流的中尺度天氣系統

如同上節所述在梅雨鋒面風切帶中生成的中尺度對流系統常觀測到有氣旋式環流。2008 年 SoWMEX IOP6 收集到中尺度渦旋個案，衛星可見光雲圖(圖 2.9)可見逗點狀雲系，在中尺度對流系統的北側發現螺旋狀雲帶，分析飛機投落送資料，顯示伴隨之渦旋的水平尺度約 200 公里，發展高度約為 6 公里，呈現向東傾斜的特徵；渦旋中心附近的大氣具有條件性不穩度及潛在不穩度，並顯示出前側潮濕後側逐漸乾化的強烈對比，降雨回波演變成不對稱型態，強降水的低層及其前側有冷池，最強暖心出現在 300-400 hPa，中低層伴隨有中尺度低壓(圖 2.10)，這方面的研究成果已發表 Lai et al. (2011)。在較強的線狀對流雨帶中，雷達徑向風場亦觀測到耦極特徵(圖 2.11)，為一個尺度較小的次渦旋，水平尺度大約 25-30 公里，最大的風切渦度可達 $3 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 。中尺度模式模擬結果之渦度分析顯示渦度由約 750 hPa 向上下增強，最大渦度的高度隨時間下降至近地層 (Lai 2011)，個別對流胞皆伴隨深而筆直的渦度熱塔，與熱帶低壓擾動常見的渦度熱塔相似。然而，觀測及模擬都證明在中對流層以上環境的深層垂直風切逐漸增強，限制了渦旋的垂直伸展至 6 公里以下，除此之外，暖且乾燥的中層後側入流被渦旋環流加強，渦旋後側及中心的乾化不只抑制層狀降水的生成，更使對流系統逐漸遠離渦旋中心。最終 IOP6 的副熱帶海洋性中尺度渦旋並沒有進一步形成颱風。

梅雨鋒面中像 2008 年 IOP6 的中尺度渦旋並不罕見，2009 年、

2010 年及 2011 年梅雨季雷達雙都風場合成都觀測到類似的中尺度氣旋環流，它們皆以東行偏北的路徑進入台灣陸地，登陸的位置大約在 22-23°N 之間(圖 2.12)。然而，由於其強度、距梅雨鋒面距離、和伴隨中尺度對流系統型態等因素的差異，所造成的降雨分布有極大的差異，2008 年豪雨發生在東西海岸；2009 年強降雨最局部，發生嘉南平原；2010 年豪雨發生在中南部山區；2011 年主要降雨發生在海上和雲嘉海岸。

第三章. 凡那比颱風中尺度特徵分析

凡那比颱風為 2010 年編號第 11 號颱風，為一西行颱風，中心登陸前其強度達中度颱風上限，結構發展紮實。凡那比颱風特別之處在於其侵台過程中伴隨許多中尺度天氣現象，包含颱風登陸前路徑偏折、台灣東南部背風中尺度低壓與焚風、台灣西部副低壓發展取代原颱風中心、快速發展的雨帶、颱風眼牆重組等，這些中尺度天氣現象主要為颱風環流與地形交互作用下所產生，往往造成局部地區環流在短時間快速變化並產生強降雨，而這些局部地區的動力場及熱力場的變化，也會對颱風的移向移速以及強度變化造成影響。掌握這些複雜的中尺度天氣現象及其物理機制，是目前科學上需進一步了解及研究的重要議題，也是提升颱風侵台期間風雨預測能力的關鍵。本章利用中央氣象局地面測站資料以及雷達資料，針對凡那比颱風侵台期間的各種中尺度天氣現象進行分析，嘗試描述其過程及形成機制，本章第一節為資料處理及分析方法，第二節為凡那比颱風概述，第三節為中心登陸前東南部焚風及中尺度低壓，第四節為中心登陸過程、第五節為西部副低壓及中心重組，第六節為西南部降雨過程及雨帶結構特徵。

3.1 資料處理及分析方法

3.1.1 地面觀測資料處理

地面觀測資料主要使用全台氣象局局屬綜觀測站(33 個)、自動氣象站以及自動雨量站(383 個)的每小時觀測資料，各測站位置分布如圖 3.1，測站資訊如表 3.1。主要分析氣象參數為測站氣壓、測站氣溫、露點溫度、平均風風向風速、累積雨量，各氣象參數在進行分析前須進行資料檢定確保資料品質。

資料檢定部分，主要有下面幾個步驟：1)移除特殊值。特殊值包含未觀測而無觀測資料(-9999)、不明原因或故障無觀測資料(-9997)、雨跡(-9998)及儀器故障(-9991)等。2)極值檢定。各氣象參數在移除特殊值後，仍有不合理的資料出現，如風速小於 0、風向大於 360 度、測站氣壓值超過 1400 毫巴或是溫度露點差為負值等，這些資料均予以移除。3)資料一致性檢定。若某一觀測時間的風向或風速有一項有缺值，則風向風速均設為缺值。

另外在測站氣壓值分析部分，為避免利用測站氣壓估算海平面氣壓所造成的誤差(特別是在高海拔的山區)，因此所有分析時間之各測站氣壓均以氣壓距平表示，各測站在 24 小時不同觀測時間中的平均氣壓為該時間的月平均值(即 2010 年 9 月份)，如此即可將氣壓的半日波變化予以濾除；而測站氣溫值分析，亦同樣使用相同的方法計算各測站氣溫距平，並將氣溫日變化予以濾除，圖 3.3 為經處理過後的高雄測站時雨量、氣壓距平、氣溫距平、露點溫度、風向風速在 2010 年 9 月份的時間序列圖。

另外為清楚顯示各氣象參數在空間上的分布及變化，亦將上述經資料檢定處理過之全台測站資料，利用客觀分析方法內插至 QPESUMS $0.0125^{\circ} \times 0.0125^{\circ}$ 網格上，內插權重函數使用 Cressman(1959)方法，

$$W_k = \frac{R^2 - r_k^2}{R^2 + r_k^2}, \quad r_k < R$$

$$W_k = 0, \quad r_k \geq R$$

其中 r_k 為測站 k 到格點的距離、 R 為影響半徑，共進行 3 次掃描，影響半徑分別為 45、35 及 25 公里。

3.1.2 雷達資料處理

雷達資料主要使用中央氣象局 QPESUMS 系統七股、墾丁、花蓮以及空軍馬公雷達的單雷達體積掃描觀測資料，包含都卜勒徑向速度場及回波場資料，相關雷達資訊如表 3.2。雷達回波場資料為經 QPEUSMS 自動去除雷達雜波(Zhang et al. 2004)、地形雜波(Joe et al. 1995)、海面回波(Ryzhkov et al. 2002)及非正常傳播(Steiner and Smith 2002)等之品質控管資料，都卜勒徑向速度資料則為經 Automated 2-D Multi-Pass Doppler Radar Velocity Dealiasing Scheme (Zhang and Wang 2005) 自動折錯後的資料，但經仔細檢視，經自動折錯處理過後的都卜勒徑向速度資料，仍有部分區域資料有顯著的不連續，仍須透過人工進行處理，以馬公雷達 0.5° 仰角為例(圖 3.4)，在方位角 246-266 度間有一顯著的風場不連續訊號，在雷達東北側的都卜勒速度負極值區內亦存在有一風速正值的不連續區，另外也有一些零星的異常極值出現，這些異常資訊都需進一步以人工方式移除；而七股及花蓮雷達上述顯著不連續的資料情況較少，不過也有部分區域未經折錯處理或是折錯處理不完全的情況(圖 3.5)，當這資料有誤的區域過大時，則該層資料則予以濾除。

3.1.3 雷達資料分析方法

速度方位顯示(VAD)分析方法

Lhermitte and Atlas(1961)指出在水平空間上均勻的風場合降水條件下，由固定仰角的雷達波束作 360 度全方位角掃描所得到的平均徑向速度是掃描方位角的正弦函數曲線，此正弦曲線可以求得相對應掃描高度的水平風向，風速和粒子垂直速度，這種徑向速度對應方位角構成的曲線稱為速度方位顯示 (Velocity Azimuthal Display)，簡稱 VAD 方法。圖 3.6 為都卜勒雷達在波束方向上所測得的徑向速度 V_r (遠離雷達為正)，可寫成

$$V_r = V_h \cos(\theta - \beta) - W \sin(\alpha) \quad (1) \text{式}$$

其中 V_h , W 分別為粒子的水平和垂直速度(向下為正); α 為雷達波束和地面的夾角即仰角, β 為波束與 X 軸的夾角, 稱為方位角, θ 為水平速度和 X 軸的夾角。(1)式可改寫為

$$V_r(\beta) = u(\beta) \cos \beta \cos \alpha + v(\beta) \sin \beta \cos \alpha - W(\beta) \sin \alpha \quad (2) \text{式}$$

其中 u 、 v 分別為 X 、 Y 方向的水平速度分量。在高度 h 和固定仰角的徑向速度、水平和垂直速度可視為方位角的函數。

我們首先假設距雷達上空中心附近的 u 、 v 在 X 、 Y 方向是線性變化, 則 u 、 v 可表示成

$$u = u_0 + \frac{\partial u}{\partial x} x + \frac{\partial u}{\partial y} y \quad (3) \text{式}$$

$$v = v_0 + \frac{\partial v}{\partial x} x + \frac{\partial v}{\partial y} y \quad (3) \text{式}$$

其中 u_0 、 v_0 分別為雷達上空在 X 、 Y 方向的水平速度分量。其次假設粒子垂直速度能以粒子終端速度來近似, 即 $W = V_f - w \sim V_f$, 其中 w 為空氣的垂直速度, V_f 為粒子終端速度。並假設在高度 h 的粒子終端速度在水平方向為均勻分布, 及不為方位角的函數。將(3)式及 $x = r \cos \beta$, $y = r \sin \beta$ 代入(2)式並整理可得

$$\begin{aligned} V_r(\beta) = & \frac{1}{2} r \cos \alpha \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) - V_f \sin \alpha \\ & + u_0 \cos \alpha \cos \beta + v_0 \cos \alpha \sin \beta \\ & + \frac{1}{2} r \cos \alpha \left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \right) \cos(2\beta) \\ & + \frac{1}{2} r \cos \alpha \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \sin(2\beta) \end{aligned} \quad (4) \text{式}$$

對任一半徑 r 即任一仰角 α 的全方位角掃描波束, 所得到的徑向速度可用富氏級數展開成

$$V_r(\beta) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{n=1}^{N/2} (a_n \cos(n\beta) + b_n \sin(n\beta)) \quad (5) \text{式}$$

其中 N 為雷達掃描一圈的總方位角數, 富氏級數各項之細數可表示

成：

$$a_n = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N (V_r)_i \cos(n\beta)_i$$

$$b_n = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N (V_r)_i \sin(n\beta)_i$$

$$n = 0, 1, 2$$

(4)式和(5)式比較，富氏級數之各項係數又可寫成

$$a_0 = r \cos \alpha \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) - 2V_f \sin \alpha$$

$$a_1 = u_0 \cos \alpha, b_1 = v_0 \sin \alpha$$

$$a_2 = \frac{1}{2} r \cos \alpha \left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \right)$$

$$b_2 = \frac{1}{2} r \cos \alpha \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (6) \text{式}$$

$\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)$ 、 $\left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \right)$ 和 $\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)$ 分別為水平輻散，拉伸變形和風切變形

項。因此水平運動場的性質，可用富氏級數各項之係數表示。即

$$\text{輻散度：} \nabla \bullet V_h = \frac{a_0}{r \cos \alpha} + \frac{2V_f \tan \alpha}{r} \quad (7) \text{式}$$

$$\text{風速：} V_h = (a_1^2 + b_1^2)^{0.5} / \cos \alpha \quad (8) \text{式}$$

風向：

$$\text{當 } b_1 > 0 \text{ 時，} \theta = \frac{3\pi}{2} - \tan^{-1} \left(\frac{a_1}{b_1} \right)$$

$$\text{當 } b_1 < 0 \text{ 時，} \theta = \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \left(\frac{a_1}{b_1} \right) \quad (9) \text{式}$$

$$\text{總變形量：} 2(a_1^2 + b_1^2)^{0.5} / (r \cos \alpha) \quad (10) \text{式}$$

伸展軸方向：

當 $b_2 > 0$ 時， $r = \frac{3\pi}{2} - \frac{1}{2} \tan^{-1}\left(\frac{a_2}{b_2}\right)$

當 $b_2 < 0$ 時， $r = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \tan^{-1}\left(\frac{a_2}{b_2}\right)$ (11)式

由(5)式即(7)、(8)、(9)、(10)可知 VAD 富氏分析的第零個富氏級數與水平輻散度即粒子終端速度有關，第一個富氏級數的振幅和相位決定風速和風向，第二個富氏級數的振幅和相位則決定總變形量和伸展軸方向。

在本研究計畫中即利用七股、墾丁及花蓮雷達徑向風場資料進行 VAD 風場反演分析，反演風場在水平方向上，代表以雷達為中心半徑 60 公里範圍內的平均風向風速，在垂直高度上則為 0.5 公里至 15 公里，解析度 0.5 公里，共 30 個高度層的平均風場。

雙都卜勒風場合成

由兩座都卜勒雷達所提供的雷達徑向風場(V_{r1}, V_{r2})與三維風場(U, V, W)之間的幾何關係為：

$$V_{r1} = U \sin \beta_1 \cos \theta_1 + V \cos \beta_1 \cos \theta_1 + (W + V_t) \sin \theta_1 \quad (12) \text{式}$$

$$V_{r2} = U \sin \beta_2 \cos \theta_2 + V \cos \beta_2 \cos \theta_2 + (W + V_t) \sin \theta_2 \quad (13) \text{式}$$

其中 β_1 與 β_2 為相對於兩個雷達的方位角， θ_1 與 θ_2 為相對於兩個雷達的高度角， V_t 為粒子終端速度(可由雷達回波強度(dBZ)估計， $V_t = -4.32(\text{dBZ})^{0.0714286}$)，由(12)式與(13)式可解得水平風場(U, V)為：

$$U = U' + M_1 W_{air} \quad (14) \text{式}$$

$$V = V' + M_2 W_{air} \quad (15) \text{式}$$

其中

$$M_1 = \left(\frac{\cos \beta_1 \cos \theta_1 \sin \theta_2 - \sin \theta_1 \cos \beta_2 \cos \theta_2}{\cos \theta_1 \cos \theta_2 (\sin \beta_1 \cos \beta_2 - \cos \beta_1 \sin \beta_2)} \right) \quad (16) \text{式}$$

$$M_2 = \left(\frac{\sin \theta_1 \sin \beta_2 \cos \theta_2 - \sin \beta_1 \cos \theta_1 \sin \theta_2}{\cos \theta_1 \cos \theta_2 (\sin \beta_1 \cos \beta_2 - \cos \beta_1 \sin \beta_2)} \right) \quad (17) \text{式}$$

$$U' = \left(\frac{\cos \beta_2 \cos \theta_2 V_{r1} - \cos \beta_1 \cos \theta_1 V_{r2}}{\cos \theta_1 \cos \theta_2 (\sin \beta_1 \cos \beta_2 - \cos \beta_1 \sin \beta_2)} \right) + M_1 V_t$$

$$V' = \left(\frac{\sin \beta_1 \cos \theta_1 V_{r2} - \sin \beta_2 \cos \theta_2 V_{r1}}{\cos \theta_1 \cos \theta_2 (\sin \beta_1 \cos \beta_2 - \cos \beta_1 \sin \beta_2)} \right) + M_2 V_t$$

要求得完整水平風場 (U, V) 必需求得 W_{air} ，而 W_{air} 必須利用連續方程由上邊界或是下邊界積分求得，在凡那比個案分析時間中，由於低層(2 公里高度以下)及高層(8 公里高度以上)均嚴重缺乏資料， W_{air} 的計算結果會有相當大的誤差，因此在本分析個案中的水平風場反演部分即忽略 W_{air} ，計算求得的水平風場為(14)式及(15)式中的 U' 以及 V' 。圖 3.1 紅色實線區域為馬公七股及七股墾丁雙都勒合成分析範圍，區域範圍大小約 103km×103km，風場合成中終端速度 V_t 計算所需的回波值，為七股雷達的回波值。

3.2 凡那比颱風概述

凡那比颱風於 2010 年 9 月 15 日 20 時在琉球南方海面生成後，由於環境導引氣流不明顯，凡那比颱風在 15 日 20 時至 17 日 20 時期間，以緩慢的速度由東北轉向北移動，同時由於環境利於其發展，強度亦於 16 日 20 時增強為中度颱風。17 日 20 時之後凡那比西北側高壓快速建立，並與位於日本上空之高壓連結(圖 3.7)，凡那比受高壓南側東風導引將開始轉向，並加速往西北西移動，圖 3.8

為位於台灣東西兩側的花蓮及澎湖測站資料時間序列，花蓮及澎湖測站的氣壓變化從 15 日起即開始有逐漸下降的趨勢，16 日 12 時凡那比中心位於花蓮東方約 700 公里海面上，逐漸轉向北北西移動，此時台灣地區已明顯開始受到颱風的影響，花蓮及澎湖的氣壓距平先後由正值轉為負值，並持續下降。

17 日 23 時氣象局針對台灣北部海面、東北部海面及東南部海面發布海上颱風警報。18 日 5 時發布陸上颱風警報，18 日 8 時警戒區域含括全台陸上地區及鄰近海域，隨後其強度增強至中度颱風上限，結構紮實，同時颱風眼清晰可見。19 日 0 時凡那比暴風圈接觸台灣東北部陸地，花蓮測站此時風速開始明顯增強，且因環流與地形交互作用，開始有降雨發生(圖 3.8a)。19 日 2 時凡那比開始由往西轉為向西南西至西南方向移動，其暴風圈逐漸籠罩全台。19 日 8 時 40 分其中心在花蓮縣豐濱鄉附近登陸，強度略為減弱。19 日 11 時轉為向西移動，暴風圈逐漸進入澎湖地區。19 日 18 時中心進入台灣海峽。20 日 6 時左右暴風圈逐漸脫離本島。20 日 7 時颱風中心由福建進入大陸，並轉為向西南西移動。20 日 11 時減弱為輕度颱風，暴風圈縮小。20 日 14 時暴風圈脫離金門近海，氣象局解除陸上海上颱風警報。21 日 2 時凡那比減弱為熱帶性低氣壓。其路徑示意圖如圖 3.9 所示。

3.3 中心登陸前東南部焚風及中尺度低壓

在凡那比中心登陸前，最顯著的特徵即為台灣東南部地區的焚風現象，圖 3.10 至圖 3.18 為 19 日 0 時至 9 時凡那比中心登陸，全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖，東南部地區從 19 日 1 時起即開始有顯著的正氣溫距平，以每小時 1 至 3 度幅度增溫，至 19 日 4 時正氣溫距平最為顯著，自北台東至恆春半島的區域範圍內，增溫超過 3 度，增溫極值超過 5 度，範圍位於台東大武之間，

大武測站的溫度距平有非常顯著的增溫訊號(圖 3.8b)。19 日 5 時之後增溫趨勢開始減弱。19 日 8 時，原位於台東大武之間的正極值區往東北移動至台東成功之間，增溫極值約為 3 度。進一步利用中央氣象局的焚風分級方法(表 3.3)，來定義大武、台東、成功三個測站焚風的等級以及發生的時間(表 3.4)。表中顯示大武測站從 19 日 1 時至 7 時之間均達焚風標準，其中 1 時至 5 時氣溫均高於 30 度，溫度露點差在 8 度以上，焚風最大等級為 2c；台東及成功測站焚風發生的時間落後大武測站，在 19 日 7 時至 10 時之間，最強焚風出現在台東測站，7 時及 9 時台東測站的氣溫高於 32 度，溫度露點差超過 10 度。

另外由氣壓距平及氣壓趨勢的變化可以發現，在 19 日 1 至 5 時，在東南部地區的增溫區域伴隨著壓降，不過壓降中心相對於增溫中心略為偏北，19 日 4 時增溫中心在大武台東測站之間，而此時壓降中心則位於台東成功測站之間，氣壓距平極值約-20 毫巴，每小時氣壓降幅約-2 至-3 毫巴；19 日 7 時隨著颱風中心逐漸接近，主要的降壓中心在花蓮，但位於北台東與花蓮交界處同時存在另一個次壓降中心，此一次壓降中心相對於台東成功一帶的增溫中心，位置略為偏北；9 時颱風中心於花蓮豐濱登陸，整個東半部地區均為顯著負氣壓距平區域，此時壓降中心位於颱風登陸地點的西南側，壓降中心位置與台東成功間的增溫中心位置一致，隨後颱風中心即往此壓降中心方向移動。

焚風主要為氣流越過地形，在地形背風面氣流因絕熱增溫所形成，因此東南部地區焚風的強度及發生的位置與地形上游海峽南段的風向風速有密切的關係。澎湖測站(圖 3.8f)從 17 日 12 時起，風力即開始逐漸增強，主要風向為北北風偏北風；18 日 12 時之後風速達 5m/s 以上；19 日 0 時之後風向由偏北風轉為西北風，同時風速亦開始快速增強，19 日 9 時颱風中心在花蓮豐濱登陸時，澎湖的風

速達最強，為 10m/s。而位於地形上游陸地上的台南測站(圖 3.8e)的風向風速變化也有同樣的特徵，從 19 日 0 時起至 9 時，西北風從 7m/s 增強至 13m/s。另外在東部的大武測站(圖 3.8b)，19 日 1 時起風向由偏西北風轉為南南西風，且風速亦由 0-1m/s 快速增強，19 日 9 時，風速增強至 7m/s。將澎湖、台南及大武測站的風向風速變化情況與東部地區焚風發生的時間及位置(圖 3.10-3.19 及表 3.4)進行比對，當 19 日 1 時起地形上游風向轉為西北風且風力開始增強的同時，台東大武地區即開始出現焚風，同時風速也明顯增強，隨後隨著風向轉變及風速持續增強，東部地區的焚風現象也逐漸增強並往東北移動至台東成功一帶。另外從 19 日 8 時的綠島探空資訊(圖 3.35b)則是清楚的顯示出焚風的厚度，圖中最顯著的特徵為在 600 毫巴以下的大氣相當乾燥，溫度露點差最大值約在 13 度左右，位置在 850 毫巴(高度 1.3 公里)；850 毫巴高度以下風向為西南風及南南西風，850 毫巴高度以上則為偏西風。

Froude number($Fr=U/NH$ ， U 為上游風速， N 為穩定度參數， H 為地形高度)為評估氣流是否能夠越過地形的指標參數，當 Fr 大於 0.5 時，氣流較容易越過地形，而當 Fr 小於 0.5 時，則氣流較容易產生繞山的現象。利用 19 日 8 時的馬公探空資訊(圖 3.35a)，計算穩定度參數 N 為 $2.25 \times 10^{-2} S^{-1}$ ，上游風速 U 則約為 10m/s，中央山脈南段的平均地形高度(圖 3.2 T3 區域)為 750 公尺，計算所得 Fr 約為 0.6，即表示此時地形上游處的氣流已具有爬越山脈的能力

綜合上述分析，在凡那比中心登陸於花蓮登陸前 8 小時開始，台灣東南部地區即因氣流過山沉降增溫，出現焚風的現象，焚風最初位於台東及大武一帶，而後隨著颱風中心逐漸接近並於花蓮登陸時，發生的焚風區域北移至台東與成功之間，且達最強，由綠島探空的資料顯示，焚風的厚度約 1.3 公里。另外伴隨著焚風，同時有一中尺度低壓形成，低壓的位置亦隨著焚風的位置移動。

3.4 中心登陸過程

19 日 7 時至 9 時凡那比中心約從花蓮東南東方 40 公里處，轉往向西南移動，並於花蓮豐濱登陸，在此階段花蓮及台東地區具有顯著的氣壓負距平，最大值達-39 毫巴，同時氣壓趨勢也清楚顯示颱風中心持續往壓降中心移動，壓降中心氣壓降幅約每小時 5 至 6 毫巴，同時壓降中心與東部地面輻合區中心的位置也相當一致。(圖 3.17-3.19)。19 日 10 時，颱風中心約登陸 1 小時後，隨著中心持續在東部陸地上往西南移動，氣壓距平及氣壓變化趨勢清楚顯示颱風中心氣壓填塞的情況，最大氣壓負距平由前一小時的-39 毫巴上升至-32 毫巴，整個東部地區的氣壓趨勢也均為顯著上升的情況，升壓中心約在颱風中心登陸處，最大氣壓上升幅度約 13 毫巴；另外颱風中心位置也與地面渦度及輻合的相對極值中心一致。19 日 10 時至 12 時，氣壓負距平中心位於北台東，且氣壓持續上升，而台灣西岸中部地區則有一副低壓中心產生，與東部主中心氣壓差約為 4 毫巴，對應中央氣象局侵台颱風資料庫的地面氣壓分析圖(圖 3.34a)，登陸後颱風中心及台中副低壓的低壓環流特徵清楚呈現；19 日 13 時至 14 時，氣壓負距平中心北移至南花蓮，且氣壓持續上升，此時東部原颱風中心與西岸中部的副低壓中心，兩者氣壓值已接近相等，圖 3.34b 為 19 日 15 時的地面氣壓分析圖，此時東部的原颱風中心有略為往北移動。

圖 3.36 為東部兩個次分區 E1、E2(圖 3.1)內的各氣象參數區域平均隨時間的變化，對應比較兩個分區的氣壓變化趨勢亦可了解颱風中心登陸後在東部移動情況。19 日 1 時至 4 時，E1 及 E2 分區氣壓變化都呈現降低的趨勢，在 E2 分區具有相對較低的氣壓值，同時對應著正的溫度距平，此即為伴隨東南部焚風的局部低壓；4 時至 8 時 E1 分區氣壓值快速的降低了 18 毫巴，於 8 時達最低點(-33 毫巴)，隨後由於颱風近中心受地形破壞影響開始減弱，氣壓於中心登

陸(9 時)前即開始上升，從 8 時至 11 時，隨著颱風中心減弱及往南移動，氣壓快速上升 11 毫巴，11 時之後，氣壓上升趨勢則明顯趨緩，甚至在 11 時至 13 時之間氣壓隨幾乎並沒有隨時間變化；而在 E2 分區氣壓達最低點的時間是在 9 時，約落後 E1 分區氣壓最低點 1 個小時，最低氣壓值為-30 毫巴，此後氣壓隨時間穩定的上升。由 E1 及 E2 的氣壓變化可以合理推測中心在 E1 登陸之後往西南移動，隨後中心並沒有過山持續停留在東部，甚至轉而往東北移動，因此使 E1 分區在 11 時之後，氣壓上升趨勢則明顯趨緩。

E1 的地面渦度場及輻散場變化則更能清楚顯示登陸後中心移動的情況，19 日 4 時起對應氣壓值的快速降低，地面輻合值亦快速增加，8 時輻合值與負氣壓距平同時達到最大($-7 \times 10^{-5} S^{-1}$)，颱風中心登陸階段的 8 至 12 時，輻合值雖開始減弱，但仍具有相對較大的極值，而在此一時段，也對應著地面渦度場的極值區($5 \times 10^{-5} S^{-1}$)；12 時至 14 時，輻合值快速減弱，但在 14 時之後又開始增強，而對應的渦度值則也是在 14 時之後再略為增強，此一輻合值及渦度值在次增強的情況，推測為 14 時之後原颱風中心仍停留在東部的訊號。另外降雨極值發生的時間與氣壓及輻合極值的時間相對應，同時隨著降雨開始發生，氣溫距平也轉為負值，並於 13 時達最大，此時正對應著較弱的輻合甚至是輻散的時間。

綜合上述分析，颱風中心在花蓮登陸之後，由於伴隨焚風增溫的壓降中心北移至北台東一帶，即位於颱風中心西南側，此可能為造成颱風中心在登陸後持續往西南移動的原因，同時在移動過程中中心快速填塞，在登陸後 4 至 5 小時，原颱風中心氣壓已較位於西岸中部副低壓的氣壓值高，並且有往東北移動的情況，因此登陸後的颱風中心似乎並沒有越過中央山脈。

3.5 西部副低壓及中心重組

3.5.1 中部副低壓

19 日 1 時至 4 時，北台灣地區受颱風外圍環流影響，主要風向為北北風偏東北風，此時位於雪山山脈背風面的桃竹苗以及台中一帶均有顯著的正氣溫距平，同時伴隨著相對負氣壓距平極值區；6 時西部主要壓降中心位於台中一帶；進一步檢視台中測站的溫度露點變化(圖 3.8d)，在 19 日 1 時至 6 時這段期間，由於降雨的關係，溫度露點差並沒有很大的差距，約 1 至 2 度。利用板橋測站探空計算穩定度參數 N 為 $1.67 \times 10^{-2} S^{-1}$ ，北部地區雪山山脈平均地形高度(圖 3.2 T1 區域)為 560m，上游風速 U 則以彭佳嶼測站的風速為代表，約 10m/s，計算所得 Fr 約為 1.1，即表示此時地形上游處的氣流已具有顯著爬越山脈的能力。6 時之後隨著風向逐漸由東北風轉為東北東風，台中以北的增溫情況明顯減弱，8 時起氣溫轉為負距平。

8 時至 9 時，即颱風中心登陸前 1 小時至登陸，台中地區一局部副低壓開始發展，壓降趨勢約每小時 3 至 4 毫巴，負氣壓距平達 -22 毫巴，此一副低壓區的位置亦對應地面輻合區，同時地面渦度也具有相對極值；10 時至 12 時副低壓仍位於中部陸地上，壓降趨勢已明顯趨緩，強度並沒有明顯變化，所對應的輻散及渦度都有減弱的情況；13 時副低壓中心往西移動至近海沿岸處，同時氣壓負距平超過 19 毫巴的區域範圍有向南北擴展的情況，對應氣壓趨勢變化此時中部地區氣壓變化是上升的情況，而在西岸的北部及南部地區則是氣壓則是有下降的情況；15 時中部近海岸處副低壓中心強度略為增強，並取代位於東南部的原颱風中心；16 時至 17 時中部以南持續為壓降區，原位於中部的低壓中心也逐漸往南移動，圖 3.34 為 19 日 16 時所對應的中央氣象局地面氣壓分析圖，此時中部副低壓已增強並取代原颱風中心；18 時低壓中心移至南部沿岸，同時有增強的

情況，最大負氣壓距平達-22 毫巴。圖 3.38 為 D1 區域 3.5 公里高度七股與馬公雷達的雙都卜勒合成風場，在 1458LST，在彰化、雲林、嘉義沿海一帶有顯著的氣旋式氣流，風速值約 10m/s 左右，而在嘉義市區以東，風速則是明顯減弱，但仔細觀察，其仍具有氣旋式的環流特徵；1 小時後的 1558LST，氣旋式環流的特徵更為顯著，環流中心即位於嘉義市上方，氣旋式的環流特徵向上延伸至 4 公里高度。

圖 3.37b 為西部 W2 次分區內的各氣象參數區域平均隨時間的變化，19 日 0 時至 7 時，W2 區域內為 1 至 2 度的正溫度距平，同時伴隨著持續的壓降趨勢，氣壓距平約由-8 降至-15 毫巴；7 至 9 時降壓趨勢更為顯著，氣壓距平約由-15 降至-22 毫巴，此時對應的地面輻合及渦度都有明顯增強的情況，同時此一時對區域內也有降雨情況，不過區域平均時雨量偏小在 5mm/h 以下。W2 區域的氣壓距平從 9 時至 18 時持續維持在約-21 毫巴，並無明顯變化。

綜合上述分析，中部副低壓之生成主要是先由東北風越過雪山山脈，在山脈背風面下沉增溫，並伴隨局部地區的氣壓下降，在這樣的環境下，使得副低壓在中部地區形成；接著由於地面氣流在中部地區輻合並伴隨著降雨，使得副低壓逐漸發展，隨後中部副低壓增強取代原中心，並逐漸往南移動，雙都卜勒合成風場分析結果顯示，在雲林嘉義上方的氣旋式環流可發展至 4 公里高度。

3.5.2 北部副低壓

19 日 11 時宜蘭東偏東南東風開始增強，桃園新竹一帶氣溫開始有明顯上升的趨勢，升溫中心在新竹，增溫幅度約每小時 2-3 度(圖 3.21 及 3.22)；13 時至 14 時花蓮測站的東偏東南東風開始增強，此時整個北台灣地區均為增溫區，同時在桃園新竹為一壓降中心，壓降幅度約每小時 1 至 2 毫巴(圖 3.23 及 3.24)；隨後一直到 19 時桃園

新竹持續維持增溫及壓降的趨勢，而新竹地區則從 16 時開始出現明顯的正溫度距平，並於 20 時達最強，正氣溫距平達 5 度(圖 3.30)。表 3.5 為新竹測站 19 日 12 時至 21 時的溫度及溫度露點差列表，表中顯示從 13 時開始新竹測站已開始出現焚風，等級為 1a，隨後隨時間逐漸增強，最強焚風發生於 20 時，等級為 2d，焚風現象在 21 時之後消失。焚風發生期間，新竹地區從 15 時開始，也出現明顯的副低壓中心，負氣壓距平達-22 毫巴，並一直持續至 20 時，不過強度有略為減弱的情況。

圖 3.37a 為西部 W1 次分區內的各氣象參數區域平均隨時間的變化，因為 19 日 10 時之前有降雨發生，區域平均溫度距平於 10 時達最大，負距平極值達-3 度，隨後 10 時至 19 時降雨情況明顯趨緩，同時溫度開始顯著上升，同時氣壓趨勢也隨之降低，隨著氣壓的降低，地面渦度值也隨時間有增加的趨勢，即氣旋式環流隨著副低壓形成而開始發展。

綜合上述分析，北部副低壓之生成主要是在颱風中心於西部重新組織發展，且逐漸往西移動的過程中，東部花蓮以北的東南風增強，越過中央山脈，在山脈背風面下沉增溫，形成焚風，同時伴隨局部地區的氣壓下降，形成副低壓中心。

3.5.3 中心重組

19 日 16 時至 18 時中部以南持續為壓降區，原位於中部的低壓中心也逐漸往南移動(圖 3.26-3.28)；19 時低壓中心位於台南沿海一帶，同時有增強的情況，最大負氣壓距平達-22 毫巴，此時由雷達回波圖可以在台南近海處辨識出颱風中心(圖 3.29)，圖 3.34 為中央氣象局 19 日 20 時中央氣象局地面氣壓分析圖，此時颱風中心環流已在台南近海處重新發展；23 時颱風中心位於澎湖上空，同時眼牆雨帶已重新建立(圖 3.33)。圖 3.40c 為西部 W3 次分區內的各氣象參數

區域平均隨時間的變化，區域平均氣壓距平在 17 至 18 時之間有再次降低的情況，同時伴隨著地面輻合相對極值。

單獨檢視台南測站各氣象參數隨時間的變化(圖 3.8e)則能更清楚顯示颱風中心重組的特徵。台南測站氣壓距平在 19 日 17 時至 19 時之間有再度增強的情況，氣壓降幅約 2 毫巴，同時氣溫變化為增溫的情況，風速值快速減弱，降雨情況也明顯趨緩，19 日 19 時之後氣壓快速上升，同時伴隨著風向顯著轉變，風速快速增強，降雨量也明顯增加，此一變化特徵為颱風中心通過的訊號，即說明了颱風中心在台南沿海重新組織發展後，往西移動。

3.6 西南部降雨過程及雨帶結構特徵

3.6.1 西南部降雨過程

19 日 9 時左右凡那比中心於花蓮豐濱登陸之後，受近中心環流影響，台灣西南部地區西北風逐漸增強，中央山脈西側斜坡迎風面上的降雨回波逐漸開始形成發展。19 日 12 時西南部地區的地面風場約略可以北緯 23 度做為分野，北緯 23 度以北偏西北風，沿岸地區風速值可達 35 海浬，北緯 23 度以南則為偏西風及西南風，風速值則相對稍弱，此一地面風場分布顯示在西南部地區有明顯的風場輻合(圖 3.39a 左)，這時所對應的雷達回波圖(圖 3.39a 右)則顯示一條雨帶由山脈斜坡開始發展，並往西北延伸至近海，強降雨主要集中在屏東縣北側山區，最大時雨量為三地門上德文雨量站的 73.5 毫米。19 日 15 時左右，此一西北東南走向的雨帶發展達最強，由屏北山區往西北延伸至澎湖西側海面，長度約 150 公里(圖 3.39b 右)，雨帶北側地面風轉向偏北北西，雨帶南側則為偏西風及西南風，持續有顯著的風場輻合存在(圖 3.39b 左)，此時對應的地面雨量分布，隨著雨帶的發展增強，也由南部山區逐漸往平地地區移動，不過最

大時雨量仍位於山區，為瑪家雨量站的 117.5 毫米。19 日 19 時，隨著凡那比中心在西南部近海重組，原西北東南走向雨帶的東側開始逐漸往北北東發展，中心南側的眼牆雨帶逐漸成形(圖 3.39c)，受此雨帶影響，南部地區的降雨主要集中在屏東縣北側以及高雄縣，降雨分布由山區向西南延伸至平地地區，最大時雨量為屏東山地門古夏雨量站的 94.5 毫米，在西南部平地大部分地區時雨量也多在 40 毫米以上；19 日 22 時，中心北側的眼牆雨帶也形成，颱風中心已在澎湖海面重新組織發展，並逐漸往西移動，此時西南部地區的降雨由山區移動到平地近海處(圖 3.39d)。

為進一步了解台灣南部地區平地以及山區降雨情況隨時的變化，將位於東經 119-121 度以及北緯 22.25-23.75 度區域範圍內 143 個雨量站，以測站高度區分為平地(200m 以下)、山坡(200-1000m)以及山地(1000m 以上)等 3 個分區(圖 3.40a)，進行降雨分析。圖 3.40b 為 19 日 0 時至 20 日 23 時，共 48 小時期間 3 分區的連續 6 小時平均及最大累積雨量歷線圖，圖中顯示南部地區的降雨在一開始是集中在山區，但隨後強降雨即明顯發生在山坡及平地地區，特別是在平地地區，連續 6 小時累積雨量(極值)超過 300 毫米的時間超過 15 小時，最大值接近 650 毫米。此山坡及平地地區短延時的強降雨，即為快速發展增強的雨帶以及颱風中心重組後眼牆雨帶所造成。

3.6.2 雨帶結構特徵

在凡那比颱風雨帶發展增強以及眼牆重組階段，七股及馬公雷達位於較佳的觀測位置，因此本小節即利用距離方位顯示(Range Height Indicator)方法以及雙都卜勒合成風場，分析雨帶以及眼牆的回波與氣流結構。

19 日 1158LST 雨帶在西南部近海開始發展，雨帶主軸從高屏山區開始向西北延伸至澎湖，較強回波(回波值大於 45dBZ)區主要位於

西南部陸地上(圖 3.41a)。0.5 度仰角的徑向風場，可以發現位於七股雷達西方，及澎湖南方的海面上有明顯的徑向入流，此一徑向入流區可向西南延伸至距離七股雷達約 140 公里處，而位於七股雷達北側，則是徑向入流的極值區，最大風速超過每秒 33 公尺(圖 3.41b)；對應地面測站風場的資料(圖 3.39)，位於雨帶主軸處的台南、七股、東吉島及澎湖測站的風向均為西北風，位於雨帶主軸南側的高雄、小琉球測站，則是西風量，位於雨帶主軸北側的嘉義雲林一帶，則是有顯著的北風分量。

以七股雷達為中心，方位角 225 度做 RHI 剖面(圖 3.41c、d)，可以發現在雨帶的外側，從距離雷達約 18 公里處一直到 64 公里，有明顯的徑向入流訊號，徑向入流的厚度由內側的 0.5 公里向外增加至接近 1 公里，而在徑向入流層之上，則是徑向外流。輻合區主軸的位置與較大回波區位置相當一致，並且有向外側傾斜的情況，而在距離雷達約 32 公里處的相對大回波區的下方，高度 1.5 公里以下，則有一輻散區。

圖 3.41e、f 分別為雨帶北側(D1 區域)及雨帶南側(D2 區域)3.5 高度的雙都卜勒合成風場及輻合場。在雨帶北側嘉義雲林沿海一帶，氣流為偏北風且具氣旋式特徵；在雨帶南側，仍為顯著的北風，不過在兩條線狀雨帶中的弱回波區以及西南側線狀雨帶的外側，氣流明顯轉為偏西北風，風速值亦相對較弱，同時輻合區的位置與較強回波區的位置相當一致。

19 日 1258LST 雨帶主軸略為往南移動，同時強度明顯增強，回波值大於 45dBZ 的區域已由高屏陸地向外延伸至台南外海(圖 3.42a)。0.5 度仰角的徑向風場顯示，位於澎湖南方的海面的徑向入流區有向東南延伸並增強的趨勢，而雷達北側徑向入流極值區位於雲林沿海處，最大風速超過每秒 33 公尺(圖 3.42b)；地面風場部

分，隨著雨帶主軸南移，雨帶北側的台南一帶，風向由西北風轉北北西風，雨帶南側的高雄及小琉球仍為偏西風。以七股雷達為中心，方位角 225 度做 RHI 剖面(圖 3.42c、d)，此時徑向入流的厚度明顯增加，從距離雷達約 32 公里處一直向外，徑向入流厚度約達 1 公里，同時位於徑向入流上層的徑向外流強度也增強。輻合區主軸的位置仍與較大回波區位置一致並向外傾斜，同時隨著輻合的增強，回波強度也有增強並向上發展的趨勢。同樣位於 40 至 50 公里處大回波區的下方，高度 1.5 公里以下，也存在著一幅散區。在雨帶北側嘉義雲林沿海一帶，氣流轉為偏東北風，陸地上則仍為北風，氣流仍具氣旋式特徵；在雨帶南側，氣流分布與 1158LST 具有類似特徵，同時輻合區的位置與較強回波區的位置亦相當一致(圖 3.42e、f)。

19 日 1406LST 隨著徑向入流持續增強(厚度達 1 公里)，輻合增強，雨帶持續增強，並往西北延伸至澎湖西方海面(圖 3.43)。19 日 1458LST 雨帶發展達最強，由屏東縣北側山區往西北延伸至澎湖西南方海面上，水平範圍約 150 公里，此一雨帶強回波區在靠近北側具有很強的回波梯度，同時在雨帶內中有數個胞狀對流回波結構有系統的排列著，最強回波值超過 50dBZ(圖 3.43a)；在徑向風場圖中，對應雨帶的位置明顯有一強風軸存在，由雷達徑向風速值推估，風速超過每秒 20m/s(圖 3.46b)，在雨帶北側大範圍區域為徑向入流，即北風分量，最大風速值達每秒 27m/s。

圖 3.43c、d 為方位角 225 度的 RHI 剖面(圖 3.43a 中 C3 線條)，此時徑向入流由雨帶外側一直深入至回波梯度最強的區域(約距離雷達 27 公里處)，厚度達 1 公里，風速值達每秒 15 公尺以上，在距離雷達 47 公里之外的區域，徑向入流更後達 1.5 公里，風速值亦在每秒 15 公尺以上；回波值最強的區域約在距離雷達 32 至 37 公里之間，回波值大於 43dBZ 的區域向上發展達 4.5 公里高度，同時

在回波值最強區域的內側，伴隨著最大的回波梯度，回波值大於 43dBZ 區域的內緣，近乎垂直向上延伸至 3 公里高度；在最強回波區約 3 公里高度上，則是徑向出流中心。最大輻合區位於回波梯度最大的區域內，輻合區主軸亦向外側傾斜，在最大回波區內側，高度 3 至 4 公里處，有一顯著的輻散區，另外在最大回波區外側，距離雷達約 37 公里處，高度 2.5 公里以下也存在一輻散區。

在 19 日 1458LST 雨帶發展達最強的同時，位於雨帶北側，嘉義雲林一帶，有一略成東西向發展的弱回波區開始發展，此一特徵似乎為颱風眼開始重組發展的徵兆。圖 3.44e 為此一區域高度 3.5 公里的雙都合成風場，在雲林嘉義沿岸處為明顯的北風且風速值相對較強，而在陸地上，即嘉義市上方，此時已有微弱的氣旋式環流出現，此意味著颱風中心環流開始形成。

圖 3.45 為 1458LST 在 D2 區域內 2、3 及 4 公里高度，雙都卜勒合成風場及輻合場分布。在 2 公里高度上，在雨帶牆回波主軸內，為西偏北風，氣流走向約略平行雨帶主軸，而在雨帶北側回波較弱的區域內，則是偏北氣流，並伴隨著較強風速，最強風速超過 30m/s，氣流明顯在雨帶的內緣(北側)側輻合，這些雨帶內側的輻合區及對應著雨帶內側中胞狀強回波區。3 公里高度上，雨帶內側(北側)仍然是顯著的北風氣流，最大風速值同樣超過 30m/s，雨帶外側(南側)，也是西北偏西北風，風速也明顯較雨帶內側弱，與 2 公里高度上不同處在於，雨帶內氣流平行雨帶主軸的分量減少；3 公里高度輻合區則是沿著雨帶主軸分部，與強回波位置約略一致。4 公里高度上，雨帶內側仍是偏北風，雨帶外側風北風分量漸趨明顯，強風速區則與雨帶強回波主軸一致，對應圖 3.46 C3 剖面在高度至 4 公里上的徑向風速，雨帶強回波區內為一出流中心；4 公里高度的輻合區則移動到雨帶的偏外側，此一輻合區隨高度向雨帶外側傾斜的情況，與圖 3.46 C3 剖面輻合隨高度分部的情况一致。

3.6.3 眼牆雨帶結構特徵

雨帶發展達最強之後，在 19 日 15 時至 20 時之間，隨著海峽中部的副低壓中心往南移動，在嘉南近海處增強，原雨帶逐漸轉變圍繞著低壓中心的眼牆雨帶。19 日 20 時前後，眼牆雨帶已由中心西南側環繞至東北側，但眼牆強對流區仍主要集中在中心南側及東南側，在雨帶中仍有數個胞狀對流回波結構，其中位於位於西南部平地上的對流胞較強，強回波值超過 49dBZ(圖 3.46a)；在徑向風場圖中，對應眼牆雨帶的位置，都具有較大的徑向風速值，在南側眼牆雨帶徑向風速值最大超過每秒 21 公尺，東北側眼牆雨帶徑向風速值亦可超過每秒 21 公尺。

圖 3.46c、d 為眼牆雨帶垂直剖面圖，C1 剖面為位於南部陸地上眼牆雨帶中強對流胞的位置，C2 則為南側眼牆雨帶位於海面上強對流胞的位置。在陸地上的 C1 垂直剖面中，回波值大於 40dBZ 以上的強對流區，水平寬度約 30 公里，垂直發展高度可達 6 公里，同時有隨高度略為向外側傾斜的特徵，最強回波值(回波值超過 45dBZ)位於距離雷達 40 至 53 公里，高度 2.5 公里以下的區域範圍內。徑向風場則顯示在水平距離 35 里以外的地形上，有顯著且深厚的徑向入流，最大風速值約每秒 9 公尺，入流主軸在地形上隨高度向外傾斜，由水平距離 35 里內高度 1 公里以下的區域，向外隨高度逐漸延伸，在距離 71 里處徑向入流可達 5 公里；徑向出流主軸同樣隨高度向外傾斜，最大出流位於強對流回波上方，高度 5 公里處，最大風速值約每秒 12 公尺。徑向速度所對應的輻散場顯示，低層的輻合區位於眼牆雨帶的內側，在約距離雷達 20 至 35 公里處，並隨高度往外側傾斜，在水平距離 53 公里外的區域，高度可達 6 公里；輻散區則位於水平距離 50 公里外的地形上，同樣有隨高度向外傾斜的特徵。

在海面上的 C2 垂直剖面中，回波值大於 40dBZ 以上的強對流區，相較於陸上的 C1 對流，發展高度較低，高度在 5 公里以下，水平範圍也略微偏小，但雨帶低層靠近眼的一側回波梯度相當顯著，且強回波區隨高度向外側傾斜的特徵更為明顯，徑向風場則顯示在雨帶中高度 3 公里以下的區域均為徑向內流，最大入流值約為每秒 21 公尺，在 0.5 公里高度，徑向出流主軸此時則是位於雨帶強回波值上方，在 4 至 6 公里高度之間，且呈現水平分布，與 C1 剖面徑向外流顯著的傾斜分布特徵，有明顯的不同。徑向風場所對應的輻散場則顯示，在眼牆雨帶低層的內側，有相當強的輻合，且隨高度向外側傾斜，垂直發展高度不如 C1 剖面來得高，主要集中在 3 公里高度以下，在向外傾斜的強回波區下方，即水平距離約 45 公里處，則是有一局部的輻散區，而在水平 45 公里之外則是呈現輻合、輻散區間格分布的特徵。

19 日 2006LST 颱風中心位於澎湖上空，此時颱風中心偏西南側及東北側的颱風眼及部分眼牆雨帶分別位於 D1 及 D2 雙都卜勒分析區域範圍內，西南側的眼牆雨帶由原位於西南部近海之雨帶轉變而來，回波強度較強；而位於西北側陸地上的雨帶則整處於發展階段，回波強度較弱。

圖 3.47 為位於南側的 D2 區域 3 及 4 公里高度雙都卜勒合成風場及輻合場。3 公里高度上位於眼牆強回波區內側(北側)具有明顯的氣旋式的氣流，颱風眼內若回波區對應的風速值較弱，強回波區內對應的風速值較強；輻合場分析顯示，主要輻合區位於眼牆雨帶內側強回波及弱回波交界處。4 公里高度的分析結果也顯示同樣的特徵，但除了在眼牆強回波區對應有較大的風速區之外，在眼內也存在另一強風速區；4 公里輻合區的位置則與強回波相當一致。

圖 3.48 為位於北側的 D1 區域 3 及 4 公里高度雙都卜勒合成風場

及輻合場。3 公里高度上的強風軸主要沿著正逐漸發展的眼牆強回波區分布，風速以強風軸為中心分別向內側及外側遞減；輻合區的位置與胞狀對流結構的較強回波區位置相當一致，且分布在強回波區的內側(靠颱風眼一側)。4 公里高度上的特徵與 3 公里高度相當一致，強風軸位於正逐漸發展的眼牆強回波區分布，風速同樣以強風軸為中心分別向內側及外側遞減；輻合場的分布也與強回波區一致。

第四章. 討論與未來工作

4.1 討論

在第三章中我們針對凡那比颱風登陸前東南部中尺度低壓、登陸過程中颱風中心的移動、背風面副低壓、準滯留性雨帶、中心重組過程中的眼牆雨帶以及西南部地區劇烈降雨進行了各別的分析，但仔細檢視即可發現，這些天氣系統及現象之間彼此之間均有關聯性。表 4.1 為將上述中尺度天氣系統以及南部地區降雨狀況，依時間的先後進行整理，表中顯示，在 19 日 8 時中心尚未登陸時，台灣西側中部的副低壓即開始形成；19 日 12 時，隨著中部副低壓逐漸往西南移動，在台灣西南部陸地區的雨帶即開始逐漸成形；19 日 15 時，雨帶即發展達最強，此時西南部地區連續 6 小時的累積雨量也開始超過 300 毫米；19 日 15 時，中部副低壓在西部沿岸增強並取代原颱風中心逐漸往南移動；19 日 18 時，中心於台南近海處重新發展；19 日 22 時，颱風中心重組，眼牆雨帶形成，並逐漸往西移動；20 日 5 時之後，南部地區的連續 6 小時的累積雨量小於 300 毫米。圖 4.3 為上述各中尺度天氣現象之概念模式圖。

4.1.1 東南部中尺度低壓與登陸後颱風中心移動

凡那比颱風在登陸前 3 小時路徑有明顯南偏的現象，Yeh and Elsberry(1993a)分析了 1947 至 1990 年 53 個西行颱風並使用數值模式模擬，發現當颱風接近海岸 250 公里的區域範圍內的候時，由於受地形影響，產生的不對稱低層環流，會平流颱風中心，使颱風路徑產生偏移。模式結果顯示，當颱風接近台灣地形時會先往南偏，此南偏的行為可能是由於當颱風接近地形時，地形與颱風空間尺度縮小，透過管道效應(channeling effect)造成颱風西側往南風速增強，導致颱風向南偏折。另外由於伴隨焚風增溫的壓降中心，於颱風登

陸時，北移至北台東一帶，即位於颱風中心西南側，此可能為造成颱風中心在登陸後持續往西南移動的原因。

4.1.2 西部副低壓與南部雨帶增強

Lee et al. 2008 利用 MM5 模式，針對敏督利颱風侵台期間在海峽北側的副低壓生成與發展機制，進行了研究分析。結果指出，副低壓生成的主要因素有兩個，分別是 1)爬山氣流沉降絕熱增溫，造成低層負氣壓擾動。2)繞山流通過山脈北側產生風切渦度，此一風切渦度後續平流入原本因下沉增溫的負氣壓擾動區，兩者加乘使副低壓得以發展。另外文中也指出敏督利颱風侵台期間在南部地區發生的豪雨主要是由副低壓環流、颱風環流在環境西南風影響下提供了額外的輻合所造成。

在凡那比颱風個案中，台灣西岸中部及北部副低壓的形成，都與氣流越過山脈造成的沉降增溫有關。中部副低壓之生成主要是先由東北風越過雪山山脈，在山脈背風面下沉增溫，並伴隨局部地區的氣壓下降，在這樣的環境下，使得副低壓在中部地區形成；接著由於地面氣流在中部地區輻合並伴隨著降雨，使得副低壓逐漸發展，隨後中部副低壓增強取代原中心，並逐漸往南移動。而 Lee et al. (2008)所指副低壓生成發展的第二個因素:風切渦度平流，在本年度計畫中所使用的資料無法直接進行分析，不過由靠近海岸處以及海峽上的測站風速資訊可以發現，在海峽上存在一強風區，風速值可達每秒 20 公尺以上，因此在沿岸處有風切渦度存在，從地面渦度場的分析可以發現，在中部近海沿岸處有相對較大的渦度分布。而位於台灣北部新竹一帶副低壓之生成主要是在颱風中心於西部重新組織發展，且逐漸往西移動的過程中，東部花蓮以北的東南風增強，越過中央山脈，在山脈背風面下沉增溫，形成焚風，同時伴隨局部地區的氣壓下降，形成副低壓中心。

而在 19 日 12 至 15 時這段期間，中部副低壓發展增強並逐漸南移的過程中，使得西南部陸地及沿岸地區北風逐漸增強，同時由於在澎湖南側及西南側的海面上，為偏西北風，因此造成氣流在西南部近海輻合，進行形成雨帶，即此一雨帶為副低壓環流在颱風環流影響下提供了額外的輻合所造成。

4.1.2 雨帶與眼牆結構特徵

Barnes et al. (1983)分析飛機穿越 Hurricane Floyd (1981)主雨帶的資料，發現主雨帶的主要組成為與眼牆類似的向外傾斜對流胞，邊界層高 θ_e 的內流在雨帶區輻合上升後，轉為傾斜往外的氣流走向，眼牆中對流胞垂直運動的發展，受到眼牆的徑向外流影響，侷限在高度 8 公里以下。對流區內有顯著下衝流存在，同時將中層環境較低的 θ_e 空氣傳送至邊界層內，進入邊界層後的下衝流將低 θ_e 的空氣向颱風中心傳送，導致颱風發展潛力減低。

Houze et al. (2006)經由 RAINEX (Hurricane Rainband and Intensity Change Experiment)獲得更多高解析度的飛機雷達觀測資料。RAINEX 確認了 Barnes et al. (1983)提出的三維環流特徵，對流胞狀結構在雨帶中重複的出現，且每個颱風都可以觀察到類似結構，上衝流與下衝流分布非常接近而且糾結，當上衝流向上傳送高溼靜能的空氣時，下衝流同時也在向下傳送低溼靜能的空氣(圖 4.1)。這樣的對流尺度氣流結構配置，對於颱風的強度及發展同時具有正回饋以及負回饋的效應。正回饋效應:1) 將低層的風切渦度扭轉向上輸送，維持或增強雨帶中層強風軸的風速。2) 將角動量以及雨帶中內側產生的正位渦度，往颱風中心輸送，進而增強颱風強度。負回饋效應:1) 在雨帶內側的上升氣流阻擋了低層潮濕的內流空氣，減少颱風中心的能量來源。2) 雨帶內側低層下沉氣流，往颱風中心內輸送較低濕靜能(乾冷)空氣，減弱颱風的強度(Hence and Houze 2008)。

在凡那比颱風個案中，19 日下午位於南部地區的對流雨帶中同樣存在存在胞狀的對流回波結構，並在雨帶內側有系統的排列著，強回波區(40dBZ)主要分布在 6 公里高度以下，且隨高度略為向外傾斜，此特徵與 Hence and Houze (2008)所提出開放洋面上颱風主要雨帶的概念模式相似；在氣流結構特徵部分，在七股雷達的 RHI 垂直剖面圖中，並沒有發現如 Hence and Houze (2008)概念模式中的翻轉上衝流，取而代之的是由雨帶北側以及南側的兩支徑向入流，在雨帶強回波區的內側輻合，北側氣流爬升至南側氣流上方，同時地面測站的相當位溫分析結果顯示，北側的氣流具有較高的不穩定度(相對較高的相當位溫)，這樣的氣流結構配置使得雨帶得以持續維持。

雨帶後續隨著副低壓中心取代原中心重組，逐漸轉變為眼牆雨帶，此時垂直剖面的氣流結構顯示，雨帶南側的徑向入流變厚，高度約達 3 公里，徑向外流此時則位於徑向入流上方，主軸在 4 至 5 公里高度上，雨帶北側由低層至高層的大部分區域，為為弱的徑向入流，這樣的氣流結構配置與 Hence and Houze (2008)概念模式(圖 4.1b)相當類似。

4.1.2 雨帶與眼牆對流尺度結構特徵

Barnes et al. (1983)分析飛機穿越 Hurricane Floyd (1981)主雨帶的資料，發現主雨帶的主要組成為與眼牆類似的向外傾斜對流胞，邊界層高 θ_e 的內流在雨帶區輻合上升後，轉為傾斜往外的氣流走向，眼牆中對流胞垂直運動的發展，受到眼牆的徑向外流影響，侷限在高度 8 公里以下。對流區內有顯著下衝流存在，同時將中層環境較低的 θ_e 空氣傳送至邊界層內，進入邊界層後的下衝流將低 θ_e 的空氣向颱風中心傳送，導致颱風發展潛力減低。

Houze et al. (2006)經由 RAINEX (Hurricane Rainband and Intensity Change Experiment)獲得更多高解析度的飛機雷達觀測資料。

RAINEX 確認了 Barnes et al. (1983)提出的三維環流特徵，對流胞狀結構在雨帶中重複的出現，且每個颱風都可以觀察到類似結構，上衝流與下衝流分布非常接近而且糾結，當上衝流向上傳送高溼靜能的空氣時，下衝流同時也在向下傳送低溼靜能的空氣(圖 4.1)。這樣的對流尺度氣流結構配置，對於颱風的強度及發展同時具有正回饋以及負回饋的效應。正回饋效應:1) 將低層的風切渦度扭轉向上輸送，維持或增強雨帶中層強風軸的風速。2) 將角動量以及雨帶中內側產生的正位渦度，往颱風中心輸送，進而增強颱風強度。負回饋效應:1) 在雨帶內側的上升氣流阻擋了低層潮濕的內流空氣，減少颱風中心的能量來源。2) 雨帶內側低層下沉氣流，往颱風中心內輸送較低濕靜能(乾冷)空氣，減弱颱風的強度(Hence and Houze 2008)。

在凡那比颱風個案中，19 日下午位於南部地區的對流雨帶中同樣存在存在胞狀的對流回波結構，並在雨帶內側有系統的排列著(圖 3.13a)，強回波區(40dBZ)主要分布在 6 公里高度以下，且隨高度略為向外傾斜，此特徵與 Hence and Houze (2008)所提出開放洋面上颱風主要雨帶的概念模式相似；在氣流結構特徵部分，在七股雷達的垂直剖面圖中(圖 3.14)，並沒有發現如 Hence and Houze (2008)概念模式中的翻轉上衝流，取而代之的是由雨帶北側以及南側的兩支徑向入流，在雨帶強回波區的內側輻合，北側氣流爬升至南側氣流上方，同時地面測站的相當位溫分析結果顯示，北側的氣流具有較高的不穩定度(相對較高的相當位溫)，這樣的氣流結構配置使得雨帶得以持續維持。

雨帶後續隨著副低壓中心取代原中心重組，逐漸轉變為眼牆雨帶，此時垂直剖面的氣流結構(圖 3.18C2)顯示，雨帶南側的徑向入流變厚，高度約達 3 公里，徑向外流此時則位於徑向入流上方，主軸在 4 至 5 公里高度上，雨帶北側由低層至高層的大部分區域，為弱的徑向入流，這樣的氣流結構配置與 Hence and Houze (2008)概

念模式(圖 4.1b)相當類似。

另外從 19 日 2006LST 雙都卜勒合成風場的分析，可以獲得眼牆雨帶中層(3-6 公里)的水平風場資訊，結果顯示在雨帶中存在一強風軸，風速在水平方向上向外遞減，但在垂直方向上(3-6 公里)並沒有顯著的差異，此與 Hence and Houze (2008)所提概念模式中，雨帶中層存在一強風軸的結果類似。

4.2 結論與未來工作

4.2.1 結論

本年度計畫針對 2008 年梅雨季南部地區的降雨個案分析，探討梅雨季期間降雨的時空特徵與季風氣流的關係、降水日夜變化的回波特徵、中尺度對流邊界、西南氣流內伴隨氣旋式環流的中尺度天氣系統等；另外在颱風部分，則是針對 2010 年凡那比颱風伴隨的快速發展雨帶、副低壓以及中心重組等中尺度天氣過程進行分析，結論如下：

7. 在 2008 年的西南氣流實驗期間，可依降雨回波生成的位置將顯著連續降雨期分類為陸生型、海生型和混合型，同時配合海面上船舶的探空風場資料分析可以發現，陸生型的降水對應較弱的西南季風；海生型的降水則是對應較強的西南季風。海生型的降水具有較大的垂直風切，明顯的低層噴流，生命期較長、較大的閃電頻率以及較大的時間空間尺度。
8. 梅雨期間降雨有明顯的日夜變化特徵，日間降雨為午後對流，主要分布在山區；夜間(清晨)的降雨主要分布在海岸邊。
9. 2008 年西南氣流實驗期間第二個時期的中尺度降雨系統，具有較長延時、平原的降水量大於地形降水的特徵，此一海岸邊對流加強的主要原因，與低對流層的中尺度邊界有關。

10. 凡那比颱風登陸期間，位於台灣東南部地區伴隨焚風增溫的壓降中心，於颱風登陸時，北移至北台東一帶，即位於颱風中心西南側，此可能為造成颱風中心在登陸後持續往西南移動的原因
11. 凡那比颱風登陸期間，台灣西岸中部及北部副低壓的形成，都與氣流越過山脈造成的沉降增溫有關；中部副低壓往西南移動的過程中，造成氣流在西南部近海輻合，進而形成雨帶並快速發展，此一雨帶即為副低壓環流在颱風環流影響下提供了額外的輻合所造成。
12. 西南部雨帶中存在對流胞狀結構，並在雨帶中重複的出現，同時在雨帶北側以及南側存在兩支徑向入流，在雨帶強回波區的內側輻合，北側的氣流具有較高的不穩定度，這樣的氣流結構配置使得雨帶得以持續維持。

4.2.2 未來工作

本計畫未來預定工作目標如下：

1. 持續利用雷達資料以及地面測站資料，針對其他颱風個案進行分析，發展過山颱風減弱，在山脈背風面形成副低壓，之後由副低壓再度增強為颱風的概念模式。
2. 利用雷達回波資料，建立極短期定量降雨預報的技術。

參考文獻：

- 李正紀，2002:利用 VAD 技術及回波平流方成反演渦度場。國立中央大學大氣物理研究所碩士論文，共 67 頁。
- 李紀恩、呂木村、林裕豐、林得恩，2004: 敏督利颱風過後對台灣中南部地區造成豪大雨之個案探討。氣象預報與分析，181，25-34。
- 周仲島、洪景山及鄧秀明，1990:梅雨鋒面對流雨帶雙都卜勒雷達分析。大氣科學，18，239-264。
- 林昀瑱，2006:登陸颱風降雨回波中尺度結構特徵之分析與比較。國立臺灣大學大氣科學研究所碩士論文，共 70 頁。
- 徐天佑、曾鴻揚，2004: 敏督利颱風引起之西南氣流分析探討。氣象預報與分析，181，19-24。
- 徐文達，2005:伴隨敏督利颱風的強烈西南氣流引發豪大雨之個案探討。國立中央大學大氣物理研究所碩士論文，共 110 頁。
- 修榮光，2010:西南氣流實驗期間中尺度邊界與對流激發。國立台灣大學大氣科學 研究所碩士論文，共 135 頁。
- 陳泰然，2007:最近之梅雨研究回顧。大氣科學，35，261-286。
- 張文明，2009:西南氣流實驗探空資料特徵分析研究。國立臺灣大學大氣科學研究所碩士論文，共 135 頁。
- 張承傳，2003:瑞琪兒颱風(1999)引發台灣地區降水機制探討。國立臺灣大學大氣科學研究所碩士論文，共 70 頁。
- 蔡德攸，1993:侵台颱風所伴隨雨帶之分析。國立臺灣大學大氣科學研究所碩士論文，共 119 頁。
- 鄧秀明、周仲島，1995:廣泛式速度方位顯示方法之誤差分析與其在梅雨鋒面雨帶的應用。大氣科學，23，123-145。
- Barnes, G. M., E. J. Zipser, D. P. Jorgensen and F. D. Marks, 1983: Mesoscale and convective structure of a hurricane rainband. *J.Atmos. Sci.*, **40**, 2125–2137.
- Browning, K. A., and R. Wexler, 1968: The determination of kinematic

- properties of a wind field using Doppler radar. *J. Appl. Meteor.*, **7**, 105-113.
- Davis, C. A. and W.-C. Lee, 2011: Mesoscale analysis of heavy rainfall episodes from SoWMEX/TiMREX. *Submitted to JAS*.
- 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.
- Hence, D. A., and R. A. Houze Jr., 2008: Kinematic structure of convective-scale elements in the rainbands of Hurricane Katrina and Rita (2005). *J. Geophys. Res.*, **113**, D15108, doi:10.1029/2007JD009429.
- Houze, R. A., Jr., and Coauthors, 2006: The hurricane rainband and intensity change experiment: observations and modeling of Hurricanes Katrina, Ophelia, and Rita. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **87**, 1503–1521.
- _____, 2010: Clouds in tropical cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, **138**, 293–344.
- Lai, H.-W. Lai, C. A. Davis, and B. J.-D. Jou, 2011: A subtropical oceanic mesoscale convective vortex observed during SoWMEX/TiMREX. *Mon. Wea. Rev.*, in press.
- Lin, Y. L., and T. A. Wang, and L. K. Michael, and R. P. Weglarz, 2001: Some Common Ingredients for Heavy Orographic Rainfall. *Wea. Forecasting*, **16**, 633-660.
- Tong, C.-C., 2009: Precipitation characteristics and associated environment regimes during SoWMEX/TiMREX. *Master Thesis of Department of Atmospheric Science*, Natl. Taiwan Univ. Taipei, Taiwan, 90 pp.
- Wang, C. C., G. T. J. Chen, T. C. Chen, and K. Tsuboki, 2005: A numerical study on the effects of Taiwan topography on a convective line during the Mei-Yu season. *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 3217-3242
- Willoughby, H. E., F. D. Marks, Jr, and R. J. Feinberg, 1984: Stationary

and moving convective bands in hurricanes. *J. Atmos. Sci.*, **41**,3189-3211.

Yu, C. C., and L. W. Cheng,2008:Radar Observation of Intense Orographic Precipitation Associated with typhoon Xangsane(2000). *Bull. Ame. Meteor. Soc.*,**136**,497-521

表 2.1 2008 年西南氣流實驗摘要

IOP#	Date	Scientific objectives	Dropsonde mission/comments
1	06Z May 19 to 00Z May 22	Frontal circulation, Upstream environment for orographic convection, Model verification and data assimilation	mission #1 at 21Z May 20, C, 3:20/12-4. SOP was scheduled to start on 00Z May 15 and was delayed to 00Z May 19
2	06Z May 27 to 21Z May 29	Southwest flow interacting with the terrain, Upstream condition for mountain convection, Lee side vortex/shear zone	mission #2 at 21Z May 28, D, 2:35/13-6
3	21Z May 29 to 12Z May 31	Island effects on SW (LLJ) and the Mei-Yu front Upstream condition for heavy precipitation	mission #3 at 21Z May 29, Cn, 2:43/ 15-10, mission #4 at 21Z May 30, Cn, 2:55/ 13-0, EOP started on 21Z May 29 and scheduled to end on 21Z, June 4
4	21Z June 1 to 15Z June 3	Mesoscale convective systems, Shallow surface front, Mesoscale convective vortex	Mission #5 at 09Z June 3, Cn, 2:29/13-0 Astra nose radar malfunction, the flight was delayed (was scheduled on 21Z, June 1)
5	18Z June 3 to 12Z June 4	Mesoscale convective systems, Quasi-stationary front, Mesoscale convective vortex	mission #6, 21Z June 3, C, 3:47/14-2 mission #7, 05Z June 4, E, 2:08/12-0
6	18Z June 4 to 12Z June 6	Mesoscale convective systems; Quasi-stationary front; Mesoscale convective vortex	mission #8, 21Z June 4, C, 3:25/15-1; mission #9, 05Z June 5, E, 2:23/10-0; mission #10, 21Z June 5, D, 2:35/12-1; MCV landed and brought heavy rainfall to Kaohsiung, EOP ended at 18Z June 6 and SOP resumed.
7	00Z June 12 to 12Z June 13	Convection initiation, Orographic convection	UAV mission #1, 04Z and 06Z June 12, Astra engine oil leakage and grounded for a few days
8	00Z June 14 to 12Z June 17	Southwesterly flow interacting with the terrain, Upstream condition for mountain convection, low level jet, Mesoscale convective systems, Mesoscale convective vortex	mission #11, 09Z June 16, E, 2:15/10-1, mission #12, 21Z June 16, E, 2:25/12-0, mission #13, 04Z June 17, E, 2:29/14-1, Astra available after examining by Singapore engineer
9	06Z June 23 to 12Z June 26	Typhoon Fengseng track uncertainty, Typhoon induced southwesterly flow and related heavy rain systems	Dotstar flight at 08Z June 23, 2:30, A, mission #14 at 09Z June 25, E, 2:30/ 15SOP ends on 12Z June 26
Non-IOP	22-26 May; 7-11; 18-22, June	Afternoon thunderstorm systems and microphysics study	

表 2.2 2009 年及 2010 年西南氣流實驗摘要

SoWMEX 2009

SOP: 05/20 00Z ~ 06/20 00Z

EOP: 06/03 00Z ~ 06/16 00Z

Site ID (Name)	SOP	EOP	Total
46692 (Ban Ciao)	29	24	53
46699 (Hua Lian)	30	26	56
46734 (Ma Gong)	15	36	51
46741 (Tainan)	7	42	49
46750 (Ping Dong)	7	9	16
46810 (Dong Sha)	--	--	--
99748 (Dou Liou)	0	46	46
Dropsonde	0	141	141
Total :	88	324	412

SoWMEX 2010

SOP: 05/27 00Z ~ 06/17 00Z

IOP1: 05/28 00Z ~ 05/29 12Z

IOP2: 06/10 12Z ~ 06/13 12Z

Site ID (Name)	SOP	IOP1	IOP2	Total
46692 (Ban Ciao)	32	4	7	43
46699 (Hua Lian)	32	4	7	43
46734 (Ma Gong)	32	7	8	47
46750 (Ping Dong)	32	7	8	47
46780 (Green Island)	32	7	8	47
46810 (Dong Sha)	16	2	3	21
99744 (CHES)	3	7	7	17
Dropsonde	0	59	14	73
Total :	179	95	59	317

表 3.1 中央氣象局地面測站資訊

站名	代碼	經度	緯度	高度	站名	代碼	經度	緯度	高度
五分山	466850	121.772	25.073	766.0 M	白毛台	C1F9D0	120.727	24.068	613 M
板橋站	466880	121.434	24.999	9.7M	龍安	C1F9E0	120.879	24.160	537 M
淡水	466900	121.440	25.166	19.0M	伯公龍	C1F9F0	120.824	24.162	504 M
鞍部	466910	121.520	25.186	825.8M	慶福山	C1F9G0	120.841	24.274	782 M
臺北	466920	121.507	25.040	5.3M	烏石坑	C1F9H0	120.840	24.183	886 M
師院	466921	118.289	24.400	6.1M	大肚	C1F000	120.938	24.281	348 M
竹子湖	466930	121.536	25.165	607.1M	橫山	C1F990	120.564	24.155	138 M
基隆	466940	121.732	25.135	26.7M	東勢	C1F850	120.599	24.221	320 M
彭佳嶼	466950	122.070	25.629	101.7M	梨山	C0F860	120.825	24.248	1980 M
花蓮	466990	121.605	23.970	16.0M	新伯公	C1F910	121.251	24.257	440 M
蘇澳	467060	121.864	24.602	24.9M	石岡	C1F920	120.833	24.223	280 M
宜蘭	467080	121.748	24.766	7.2M	社子	C0A980	120.762	24.281	54 M
東吉島	467300	119.660	23.259	43.0M	大直	C0A9A0	121.461	25.111	49 M
澎湖	467350	119.555	23.567	10.7M	公館	C1A730	121.535	25.080	10 M
臺南	467410	120.197	22.995	13.8M	木柵	C1A690	121.531	25.016	260 M
臺南	467411	120.229	23.039	8.1M	關渡	C1A970	121.578	24.983	45 M
永康	467420	120.308	22.568	8.1M	內湖	C0A9F0	121.459	25.135	20 M
高雄	467440	119.923	26.169	2.3M	士林	C0A9E0	121.566	25.081	26 M
嘉義	467480	120.424	23.497	26.9M	石牌	C0A9B0	121.495	25.092	7 M
臺中	467490	120.676	24.147	34.0M	大崙尾山	C0A990	121.506	25.118	454 M
阿里山	467530	120.805	23.510	2413.4M	南港	C0A9G0	121.566	25.108	42 M
大武	467540	120.896	22.358	8.1M	天母	C0A9C0	121.595	25.058	63 M
玉山	467550	120.952	23.489	3844.8M	信義	C0A9H0	121.529	25.119	51 M
新竹	467570	121.006	24.830	34M	大屯山	C0AC40	121.559	25.031	1098 M
新竹	467571	120.738	22.005	34M	雙溪	C0A890	121.514	25.177	40 M
恆春	467590	121.365	23.099	22.1M	鼻頭角	C0A950	121.856	25.038	118 M
成功	467610	118.289	24.407	33.5M	大坪	C0A860	121.915	25.131	355 M
蘭嶼	467620	121.551	22.039	324.0M	三和	C0A930	121.625	25.168	200 M
日月潭	467650	120.900	23.883	1014.8M	金山	C0A940	121.586	25.237	49 M
臺東	467660	121.147	22.754	9.0M	石碇	C1A640	121.636	25.225	140 M
梧棲	467770	120.515	24.259	31.73M	火燒寮	C1A650	121.655	24.996	380 M
七股	467780	120.070	23.148	38M	三重	C0A9I0	121.734	25.004	18 M
墾丁	467790	120.847	21.903	42M	永和	C0A9D0	121.480	25.066	77 M
大坑	C1F970	120.728	24.173	170 M	下盆	C1A630	121.497	25.011	589 M
神岡	C1F9I0	120.651	24.274	189 M	福山	C0A560	121.530	24.773	455 M
炮子林	C1F980	120.801	24.090	600 M	坪林	C0A530	121.494	24.780	300 M
雙崎	C0F900	120.896	24.290	543 M	四堵	C0A540	121.701	24.940	401 M
大甲	C1F930	120.634	24.353	90 M	泰平	C0A550	121.738	24.894	460 M
上谷關	C1F870	121.011	24.205	1045 M	五股	C1A680	121.815	24.973	95 M
稍來	C1F890	120.993	24.267	2010 M	大尖山	C0A590	121.427	25.085	326 M
水湳	C1F960	120.644	24.223	125 M	五指山	C0A870	121.658	25.053	685 M
雪嶺	C1F940	121.019	24.282	2605 M	四十份	C1A9N0	121.600	25.134	312 M
白冷	C1F9C0	120.922	24.184	619 M	大豹	C0A510	121.585	24.936	590 M
中竹林	C1F9A0	120.743	24.106	425 M	山佳	C0A520	121.413	24.889	10 M
清水林	C1I180	120.812	24.073	723 M	富貴角	C0A920	121.394	24.976	229 M

表 3.1 中央氣象局地面測站資訊(續 1)

站名	代碼	經度	緯度	高度	站名	代碼	經度	緯度	高度
屈尺	C0A580	121.557	25.266	90 M	下營	C1X060	120.116	23.270	5 M
桶後	C0A570	121.538	24.924	387 M	七股寮	C1X090	120.271	23.240	17 M
瑞芳	C1A660	121.592	24.850	101 M	白河	C1X030	120.131	23.143	33 M
新莊	C1A670	121.793	25.115	9 M	東河	C1X050	120.421	23.326	19 M
南勢角	C1A700	121.434	25.046	197 M	佳里	C0X080	120.377	23.299	41 M
福隆	C0A880	121.482	24.983	6 M	新營	C0O910	120.137	23.175	69 M
林口	C1A710	121.934	25.019	238 M	東原	C1X040	120.314	23.294	232 M
三貂角	C0A970	121.370	25.078	116 M	關子嶺	C0X020	120.455	23.293	44 M
知本	C0S700	121.994	25.009	507 M	岸內	C1X010	120.504	23.329	15 M
太麻里	C0S690	120.997	22.687	522 M	善化	C0O900	120.252	23.332	64 M
金崙	C0S790	120.986	22.610	236 M	南澳	C0U770	120.289	23.114	5 M
大溪山	C0S770	120.959	22.540	375 M	東澳	C0U760	121.810	24.449	32 M
鹿野	C0S710	120.935	22.480	313 M	壯圍	C1U620	121.833	24.521	17 M
紅葉山	C0S680	121.115	22.919	1659 M	頭城	C1U590	121.781	24.746	6 M
向陽	C0S750	121.031	22.922	2280 M	北關	C1U580	121.806	24.854	8 M
下馬	C1S660	120.978	23.250	794 M	雙連埤	C1U520	121.865	24.909	517 M
都蘭	C1S630	121.062	23.152	23 M	大礁溪	C1U610	121.633	24.755	268 M
長濱	C0S830	121.221	22.880	288 M	礁溪	C0U600	121.670	24.788	10 M
東河	C0S810	121.404	23.289	65 M	龜山島	C0U750	121.759	24.820	398 M
綠島	C0S730	121.298	22.974	304 M	再連	C1U630	121.953	24.841	140 M
摩天	C1S670	121.475	22.654	1580 M	寒溪	C1U670	121.671	24.717	147 M
紅石	C0S760	121.019	23.201	2435 M	古魯	C1U510	121.708	24.636	492 M
池上	C0S740	121.120	23.071	22 M	冬山	C1U680	121.663	24.573	22 M
土阪	C1S620	121.202	23.121	122 M	新寮	C1U690	121.785	24.634	101 M
南田	C0S840	120.879	22.455	22 M	玉蘭	C0U650	121.743	24.628	494 M
華源	C1S800	120.882	22.292	80 M	太平山	C0U710	121.579	24.677	1810 M
金峰	C1S820	121.016	22.660	84 M	土場	C1U700	121.518	24.507	370 M
和順	C1O950	120.954	22.598	4 M	南山	C1U720	121.489	24.574	1260 M
南化	C0O890	120.137	23.078	167 M	思源	C0U730	121.373	24.439	2036 M
王爺宮	C1O840	120.481	23.044	144 M	羅東	C0U640	121.349	24.399	24 M
玉井	C0O930	120.391	23.222	33 M	牛鬥	C1U500	121.741	24.685	47 M
環湖	C1O850	120.452	23.128	44 M	三星	C1U660	121.565	24.639	103 M
大內	C1O860	120.410	23.150	61 M	靜浦	C0S720	121.646	24.673	92 M
曾文	C0O810	120.353	23.122	207 M	佳心	C0Z050	121.487	23.457	704 M
左鎮	C1O820	120.490	23.221	30 M	舞鶴	C0Z070	121.205	23.347	272 M
虎頭埤	C1O970	120.396	23.056	60 M	紅葉	C1Z030	121.366	23.470	218 M
媽祖廟	C1O990	120.340	23.023	23 M	玉里	C0Z060	121.331	23.495	130 M
崎頂	C1O960	120.285	22.993	80 M	豐濱	C0T910	121.310	23.346	214 M
沙崙	C1N000	120.361	22.961	25 M	加路蘭山	C0T9H0	121.506	23.580	746 M
新市	C1O980	120.301	22.938	76 M	月眉山	C0T9A0	121.519	23.684	511 M
大棟山	C1O870	120.291	23.064	1246 M	天祥	C0T820	121.540	23.826	550 M
關山	C1O880	120.514	23.313	223 M	慈恩	C1T810	121.488	24.181	2049 M
楠西	C1O920	120.586	23.175	150 M	洛韶	C1T800	121.380	24.194	1260 M
北寮	C1O830	120.476	23.185	105 M	布洛灣	C1T830	121.446	24.206	200 M
北門	C1X070	120.486	23.081	14 M	新城	C0T840	121.580	24.174	32 M

表 3.1 中央氣象局地面測站資訊(續 2)

站名	代碼	經度	緯度	高度	站名	代碼	經度	緯度	高度
富世	C0T9C0	121.598	24.001	109 M	奧萬大	C1I320	121.171	23.955	1275 M
鯉魚潭	C0T870	121.622	24.150	135 M	楓樹林	C1I330	121.068	23.989	1266 M
壽豐	C1T890	121.529	23.907	40 M	新興橋	C1I340	120.860	23.566	897 M
銅門	C1T860	121.500	23.871	125 M	東埔	C1I350	120.917	23.558	887 M
龍澗	C1T980	121.488	23.968	1306 M	樟湖	C1I220	120.839	23.907	1098 M
中興	C1T920	121.403	24.025	68 M	九份二山	C1I230	120.837	23.964	917 M
吉安	C1T850	121.491	23.771	50 M	外大坪	C1I240	120.910	23.961	725 M
吳全城	C1T880	121.555	23.975	27 M	埔里	C1I250	120.983	23.964	732 M
水源	C0T9B0	121.540	23.889	558 M	水長流	C1I190	120.853	24.064	660 M
鳳林山	C0T9G0	121.529	23.994	650 M	北坑	C1I260	120.999	23.926	601 M
光復	C0T960	121.421	23.748	140 M	水里	C1I270	120.846	23.834	593 M
鳳林	C1T930	121.417	23.663	130 M	埔中	C1I280	120.635	23.823	439 M
大觀	C1T940	121.438	23.745	539 M	豐丘	C1I290	120.879	23.670	1151 M
大農	C1T970	121.365	23.716	200 M	長福	C1H920	120.872	24.104	736 M
西林	C1T900	121.405	23.617	160 M	大肚城	C1H890	120.944	23.972	451 M
東壩	C1T910	121.410	23.809	653 M	北山	C1H930	120.866	23.987	393 M
太安	C1T950	121.397	23.856	1050 M	魚池	C1H910	120.921	23.903	724 M
大坑	C0T9E0	121.362	23.669	281 M	武界	C1I030	121.044	23.915	948 M
水璉	C0T9F0	121.584	23.899	283 M	文文社	C1I040	121.013	23.827	1693 M
明里	C1Z020	121.534	23.799	211 M	龍神橋	C1I160	120.864	23.782	339 M
高寮	C1T990	121.254	23.211	128 M	集集	C1I170	120.767	23.828	235 M
立山	C1Z040	121.349	23.396	434 M	中心倫	C1I200	120.704	23.730	661 M
卓樂	C1Z010	121.319	23.445	198 M	蘆竹湳	C1I210	120.804	23.936	566 M
大禹嶺	C0T790	121.264	23.299	2565 M	青雲	C1I150	120.941	23.801	393 M
和中	C0T9D0	121.308	24.188	7 M	和社	C1I070	120.881	23.593	825 M
神木村	C0H9A0	121.733	24.268	1595 M	信義	C1I080	120.843	23.691	536 M
萬大	C1I020	120.835	23.536	1555 M	望鄉	C1I060	120.903	23.621	2403 M
仁愛	C1H870	121.124	23.981	1113 M	丹大	C1I050	121.133	23.756	2568 M
合歡山	C0F950	121.123	24.021	3292 M	卡奈托灣	C1I140	121.080	23.756	1700 M
雙冬	C1H940	121.264	24.145	600 M	翠巒	C1H850	121.219	24.194	2297 M
中寮	C1H950	120.794	23.969	180 M	瑞岩	C1H860	121.175	24.126	1676 M
溪頭	C1I100	120.758	23.886	1771 M	翠峰	C1H000	121.197	24.111	1655 M
鳳凰	C0I090	120.799	23.663	878 M	昆陽	C0H990	121.265	24.123	3235 M
草屯	C1H960	120.779	23.730	75 M	廬山	C0I010	121.173	24.035	1562 M
六分寮	C1H970	120.655	23.999	425 M	潮州	C0R220	120.532	22.535	12 M
合歡山	C0F950	120.630	23.927	3430 M	麟洛	C1R210	120.544	22.659	54 M
阿眉	C1F880	120.986	24.128	1677 M	龍泉	C1R200	120.594	22.669	61 M
大鞍	C1I120	120.752	23.680	1528 M	屏東	C1R170	120.499	22.667	25 M
桶頭	C1I130	120.646	23.644	307 M	新園	C1R160	120.530	22.754	56 M
竹山	C0I110	120.678	23.765	151 M	阿禮	C1R130	120.736	22.744	1040 M
中興新村	C0H980	120.987	23.938	83 M	上德文	C1R120	120.696	22.765	820 M
凌霄	C1H880	121.007	24.019	1318 M	瑪家	C1R140	120.679	22.685	740 M
清流	C1H900	120.955	24.083	934 M	古夏	C1R110	120.637	22.771	140 M
上安橋	C1I300	120.866	23.730	781 M	尾寮山	C0R100	120.676	22.835	1018 M
西巒	C1I310	120.876	23.756	1001 M	里港	C1R090	120.489	22.801	42 M

表 3.1 中央氣象局地面測站資訊(續 3)

站名	代碼	經度	緯度	高度	站名	代碼	經度	緯度	高度
春日	C1R090	120.620	22.372	86 M	公館	C1E570	120.821	24.497	146 M
來義	C1R260	120.618	22.529	74 M	三義	C0E530	120.758	24.413	373 M
枋寮	C1R240	120.590	22.368	69 M	楊梅	C1C500	121.140	24.923	187 M
枋山	C0R380	120.653	22.249	36 M	新屋	C0C450	121.099	24.973	92 M
楓港	C1R330	120.685	22.192	63 M	中壢	C1C520	121.187	24.969	151 M
車城	C0R400	120.708	22.076	54 M	桃園	C1C480	121.315	24.994	105 M
壽卡	C1R320	120.851	22.242	489 M	埔心	C1C540	121.218	25.049	70 M
旭海	C1R310	120.879	22.198	20 M	五權	C1C470	121.064	25.019	94 M
牡丹池山	C1R300	120.842	22.168	504 M	大溪	C1C460	121.343	24.821	350 M
檳榔	C0R420	120.828	22.071	250 M	水尾	C1C510	121.079	24.942	106 M
石門山	C0R280	120.742	22.117	260 M	八德	C1C490	121.276	24.930	175 M
牡丹	C1R290	120.830	22.194	285 M	鳳森	C1V450	120.376	22.540	61 M
佳樂水	C0R340	120.837	21.994	94 M	左營	C1V430	120.287	22.679	13 M
鵝鑾鼻	C0R370	120.845	21.927	110 M	藤枝	C1V280	120.746	23.077	1533 M
墾丁	C0R390	120.794	21.948	5 M	大寮	C1V180	120.424	22.612	24 M
貓鼻頭	C0R360	120.728	21.924	49 M	大津	C1V340	120.638	22.890	190 M
力里	C0R350	120.620	22.430	91 M	吉東	C1V320	120.549	22.843	95 M
琉球嶼	C1R250	120.354	22.334	51 M	鳳雄	C1V420	120.344	22.753	55 M
赤山	C0R270	120.608	22.593	48 M	岡山	C1V410	120.290	22.757	31 M
三地門	C1R190	120.632	22.712	59 M	美濃	C0V310	120.511	22.901	46 M
南州	C0R150	120.509	22.494	20 M	表湖	C0V150	120.656	23.262	1163 M
苑里	C1R230	120.672	24.435	60 M	月眉	C1V260	120.532	22.973	112 M
後龍	C0E580	120.776	24.608	41 M	新發	C1V240	120.652	23.054	470 M
新開	C1E540	120.819	24.349	350 M	高中	C1V230	120.709	23.137	760 M
象鼻	C1E510	120.932	24.370	968 M	復興	C1V210	120.798	23.224	700 M
松安	C1E450	120.978	24.399	1400 M	新集	C1V290	120.786	23.037	1166 M
馬達拉	C1E460	121.182	24.494	1800 M	小關山	C1V220	120.805	23.156	1781 M
鳳美	C1E470	121.026	24.557	576 M	溪南	C1V270	120.798	23.078	1792 M
合流山	C1E480	121.051	24.354	2533 M	梅山	C1V200	120.815	23.269	860 M
馬都安	C1E490	120.922	24.453	850 M	甲仙	C0V250	120.582	23.082	270 M
卓蘭	C0E610	120.803	24.309	345 M	旗山	C1V330	120.486	22.880	63 M
大湖	C1E500	120.866	24.419	350 M	溪埔	C1V350	120.434	22.721	30 M
南勢山	C1E520	120.916	24.424	949 M	南天池	C1V190	120.904	23.276	2700 M
南湖	C1E680	120.829	24.403	770 M	排雲	C1V170	120.946	23.465	3340 M
八卦	C1E690	120.919	24.494	749 M	民生	C1V160	120.697	23.282	1040 M
馬拉邦山	C1E700	120.893	24.369	959 M	楠溪	C1V460	120.884	23.438	1949 M
泰安	C1E710	120.959	24.491	1333 M	路竹	C1V380	120.284	22.881	44 M
大河	C1E720	120.939	24.619	189 M	三爺	C1R180	120.272	22.838	35 M
竹南	C1E440	120.881	24.711	19 M	竹子腳	C1V400	120.335	22.815	51 M
南庄	C0E420	120.993	24.603	267 M	木柵	C1V360	120.458	22.977	94 M
南礦	C0E430	120.995	24.540	1209 M	尖山	C1V390	120.360	22.815	60 M
明德	C1E670	120.879	24.586	109 M	御油山	C1V300	120.707	23.004	1637 M
南勢	C1E550	120.726	24.574	150 M	古亭坑	C0V370	120.394	22.895	87 M
土城	C1E600	120.696	24.473	70 M	鳳山	C1V440	120.348	22.649	27 M
和興	C1E590	120.907	24.516	392 M	山豬湖	C1K380	120.593	23.589	649 M

表 3.1 中央氣象局地面測站資訊(續 4)

站名	代碼	經度	緯度	高度	站名	代碼	經度	緯度	高度
誼梧	C0K290	120.164	23.544	27 M	瀨頭	C1M390	120.646	23.498	1090 M
大埔	C0K300	120.597	23.643	369 M	芬園	C1G620	120.613	23.254	133 M
四湖	C0K280	120.217	23.631	23 M	下水埔	C1G690	120.567	23.408	159 M
虎尾	C0K330	120.433	23.721	38 M	彰化	C1G630	120.547	24.017	15 M
阿丹	C1K320	120.504	23.660	51 M	台西	C0G710	120.272	23.819	64 M
土庫	C1K340	120.382	23.690	33 M	草湖	C1G680	120.370	24.081	245 M
崙背	C1K250	120.311	23.757	59 M	中西	C1G700	120.344	23.851	15 M
西螺	C1K230	120.444	23.806	79 M	溪湖	C1G660	120.471	23.961	121 M
草嶺	C0K240	120.693	23.596	1138 M	溪州	C1G670	120.488	23.884	14 M
褒忠	C1K270	120.300	23.707	21 M	員林	C0G650	120.578	23.950	216 M
後安寮	C1K260	120.225	23.791	29 M	鹿港	C0G640	120.422	23.850	17 M
斗六	C1K310	120.508	23.707	40 M					
北港	C1K350	120.287	23.571	24 M					
新竹	C1D440	120.969	24.802	62 M					
觀霧	C0E410	121.105	24.508	2087 M					
關西	C1D390	121.166	24.800	146 M					
梅花	C0D360	121.200	24.680	523 M					
新埔	C1D380	121.029	24.847	65 M					
峨眉	C1D430	121.009	24.692	100 M					
太閣南	C1D420	121.152	24.635	1279 M					
湖口	C1D370	121.036	24.911	104 M					
烏嘴山	C1D400	121.276	24.721	839 M					
竹東	C0D470	121.101	24.722	229 M					
白蘭	C1D410	121.072	24.582	1290 M					
打鐵坑	C1D480	121.143	24.835	223 M					
馬頭山	C0M410	120.574	23.326	245 M					
豐山	C1M630	120.741	23.597	1052 M					
瑞里	C1M620	120.667	23.547	1252 M					
小公田	C1M540	120.573	23.364	768 M					
溪口	C1M460	120.396	23.606	24 M					
中坑	C1M450	120.508	23.581	132 M					
內埔	C1M490	120.556	23.487	130 M					
大湖	C1M570	120.613	23.477	722 M					
奮起湖	C0M530	120.691	23.496	1385 M					
朴子	C1M510	120.249	23.471	33 M					
鰲鼓	C1M470	120.140	23.507	23 M					
魚寮	C1M500	120.354	23.480	41 M					
中埔	C1M550	120.512	23.425	110 M					
南靖	C1M560	120.377	23.414	43 M					
東後寮	C1M520	120.240	23.371	19 M					
新高口	C1M440	120.870	23.481	2540 M					
樟腦寮	C1M480	120.599	23.539	798 M					
頭凍	C1M600	120.595	23.408	986 M					
石磐龍	C1M610	120.655		1083 M					
草嶺	C1M400	120.568		369 M					

表 3.2 雷達基本資訊

	七股(RCCG)	墾丁(RCKT)	花蓮(RCHL)	馬公(RCMK)
經度	120.0891°	120.8469°	121.6200°	119.6344°
緯度	23.1477°	21.9026°	23.9902°	23.5630°
高度	38m	42m	63m	48m
掃描 仰角	0.5° 1.4° 2.4° 3.4° 4.3° 6.0° 9.9° 14.6° 19.5° (9 層)	0.5° 1.4° 2.4° 3.4° 4.3° 6.0° 9.9° 14.6° 19.5° (9 層)	0.5° 1.4° 2.4° 3.4° 4.3° 6.0° 9.9° 14.6° 19.5° (9 層)	0.5° 1.4° 2.4° 3.4° 4.3° 6.0° 9.9° 14.6° 19.5° 25.0° (10 層)
掃描 範圍	第 1、2 層仰角 460km 3-9 層仰角 230km	第 1、2 層仰角 460km 3-9 層仰角 230km	第 1、2 層仰角 460km 3-9 層仰角 230km	160km
角 解析度	1°	1°	1°	0.93°
徑向 解析度	1km	1km	1km	1km
時間解 析度	7-8 分鐘	7-8 分鐘	7-8 分鐘	7-8 分鐘

※凡那比颱風期間所有分析時間，七股雷達均缺 9.9°仰角資料。

表 3.3 中央氣象局焚風等級分類表

最高 溫度	°C	28-29.9	30-31.9	32-33.9	34-35.9	36-37.9	≥38			
	代號	1	2	3	4	5	6			
溫度 露點差	°C	4-5.9	6-7.9	8-9.9	10-11.9	12-13.9	14-15.9	16-17.9	18-19.9	≥20
	代號	a	b	c	d	e	f	g	h	i

表 3.4 成功、台東、大武測站焚風發生時間列表

0919(LST)		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
成功	T	26.7	26.0	27.5	26.1	23.9	24.4	26.2	31.8	30.6	28.4
	T-Td	6.3	5.0	6.6	5.0	2.6	2.3	2.8	9.5	6.5	4.7
	等級								2c	2b	1a
台東	T	27.3	27.3	26.9	27.1	27.4	26.4	32.7	31.7	32.7	30.8
	T-Td	5.2	5.5	5.2	5.8	4.4	3.4	10.7	9.7	10.5	8.1
	等級							3d	2c	3d	2c
大武	T	31.0	31.0	30.7	30.1	31.2	29.6	29.5	25.5	25.3	25.6
	T-Td	9.3	9.1	9.2	8.8	9.6	7	8.8	1.9	1.5	2.4
	等級	2c	2c	2c	2c	2c	1b	1c			

表 3.5 新竹測站焚風發生時間列表

0919(LST)		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
新竹	T	28.2	28.7	29.5	30.0	30.2	30.3	30.7	30.4	31.1	28.6
	T-Td	3.8	4.5	6.0	6.8	7.0	8.5	9.6	9.4	10.7	6.0
	等級		1a	1b	2b	2b	2c	2c	2c	2d	1b

表 4.1 凡那比颱風登陸期間中尺度天氣系統及南部地區強降雨時間序列表

	副低壓	雨帶	南部地區強降雨
19.08LST	中部副低壓形成		
19.12LST		雨帶開始形成	
19.13LST	1. 中部副低壓往西移動(低壓中心仍位於陸地上) 2. 原颱風中心仍在東部	雨帶持續發展	
19.15LST	1. 中部副低壓往西南移動並增強取代東部原颱風中心 2. 北部副低壓形成	雨帶發展達最強	南部平地地區連續 6 小時累積雨量超過 300 毫米
19.18LST	中心於台南近海處重新發展		
19.22LST		眼牆雨帶形成(颱風中心重組)	
20.05LST			南部平地地區連續 6 小時累積雨量小於 300 毫米

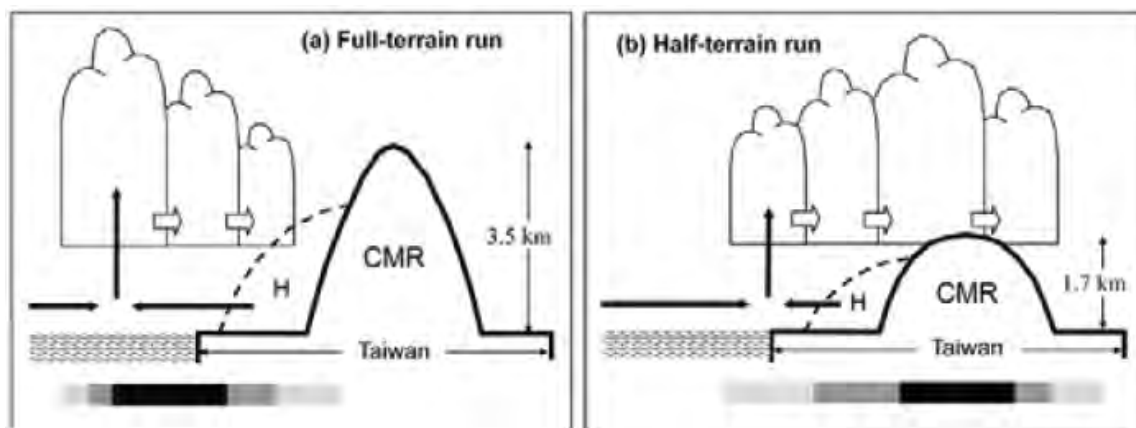


圖 1.1 以 CReSS 模式模擬台灣中部附近地形對低層輻合之效應、對流發展及降雨分布之結果示意圖。(a)為真實地形高度模擬與(b)地形高度減半之模擬，陰影區為降雨量與發生位置，色階愈深，降雨量愈多(Wang et al.2005)。

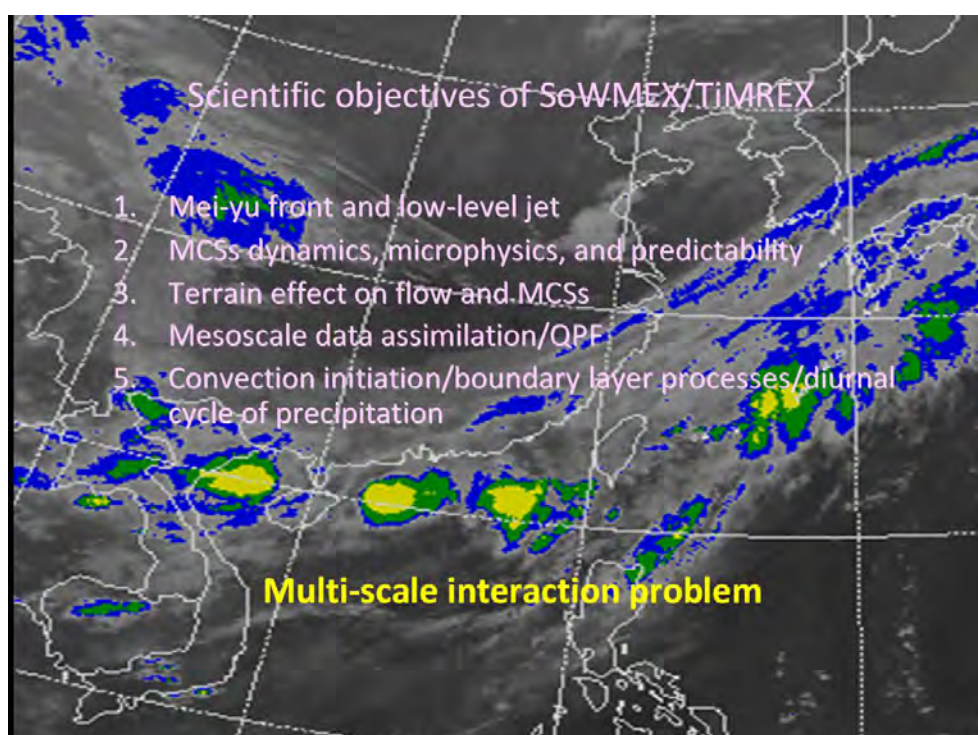


圖 2.1 梅雨鋒面雨帶中的中尺度對流系統以及西南氣流實驗的科學目標。

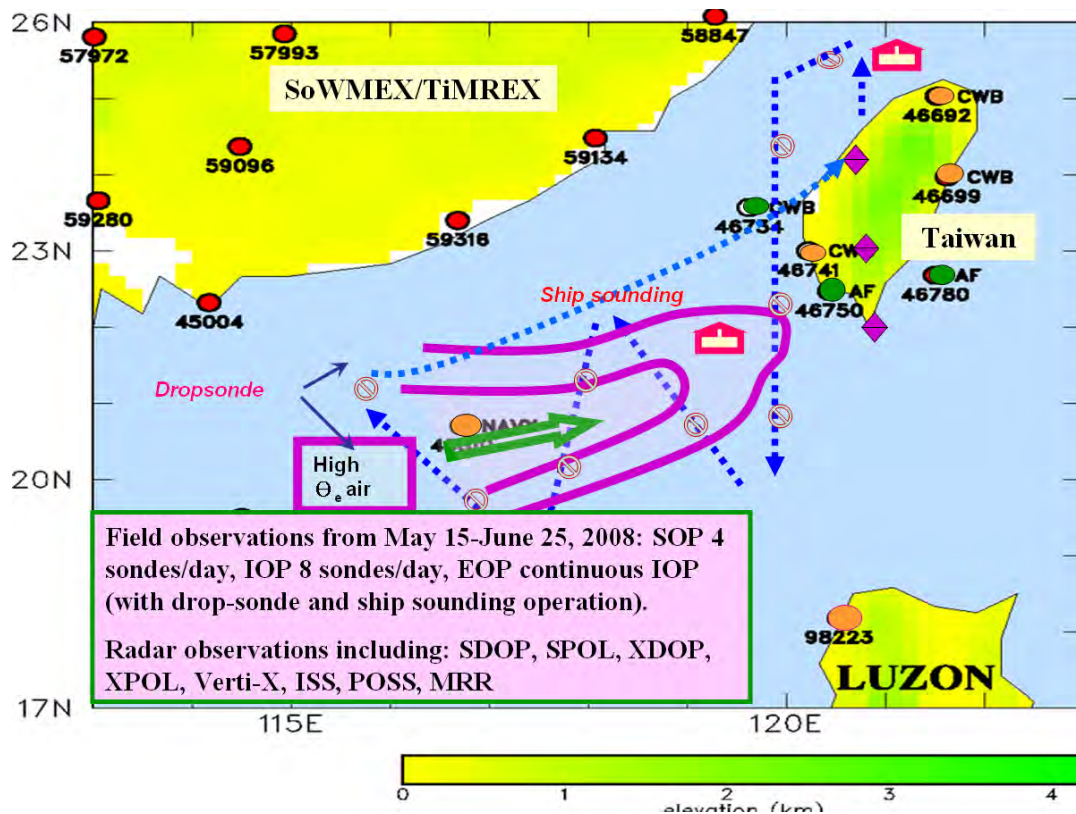


圖 2.2 西南氣流實驗區域，以及 2008 年儀器配置和探空施放安排。

Identify Significant Continuous Rainfall Periods (SCRPs)

■ Study period: SOP (05/19 ~ 06/26, 2008)

cases are selected by setting a threshold of 5.5 mm h⁻¹ domain-averaged rainfall for a successive 3-hour period. 40 significant continuous rainfall periods were identified. (Jou et al. 2011)

Land, ocean, and mixed type of SCRPs

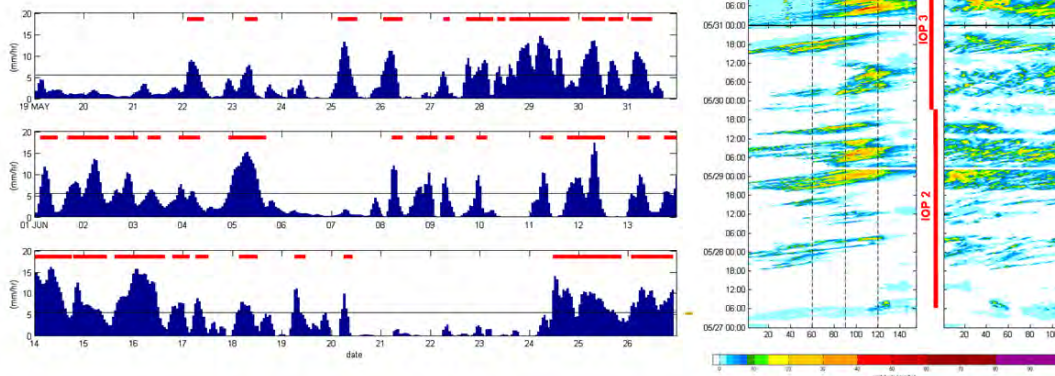


圖 2.3 定義顯著連續降雨期和經向及緯向平均哈莫圖表。

Significant Continuous Rain Periods (SCRPs) → land (18):ocean (17) and westerly wind surge observed by ship soundings

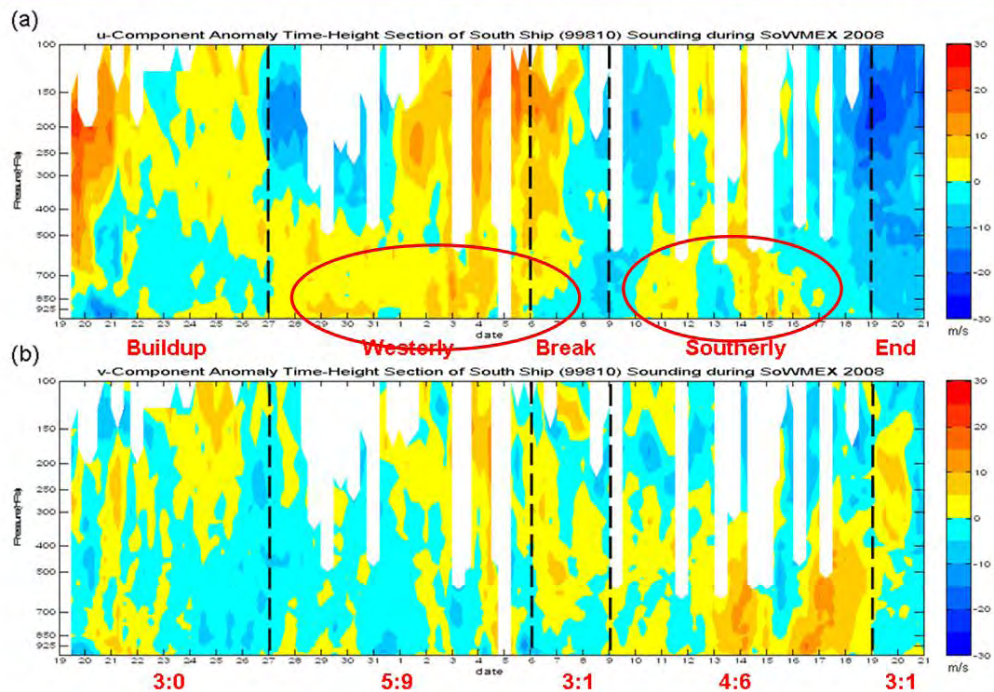
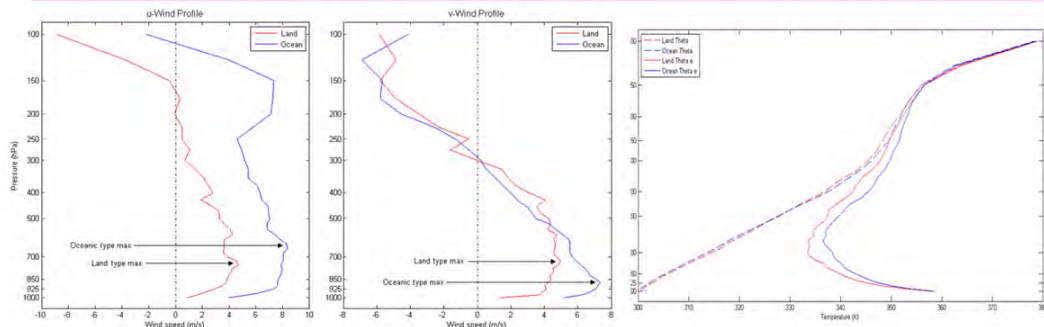


圖 2.4 台灣海峽南部船舶探空水平風量分布和變化，(a)緯向風和(b)經向風。

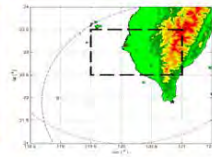
Environment and precipitation characteristics: U and V components of wind, theta, theta-e, lightning, and conv/stra partition for land and ocean events



Property MCSs	Duration (h)	Lightning Frequency (#/h)	Lightning Density (#/h 10 ³ km ²)	Conv / Stra rain area in %
All	9.6	95	92	59 / 41
Land (18)	6.6	48	181	64 / 36
Oceanic (17)	12.1	113	24	54 / 46
Mixed (5)	11.8	189	25	61 / 39

圖 2.5 海生型和陸生型平均探空特徵及對流特性統計。

Diurnal variability of occurrence frequency (%) of convective activity in southwest Taiwan during SoWMEX/TiMREX period (May 15~June 30, 2008; 22.5~23.5N, 119.5~121.0E)



Wang et al.
2004 MWR

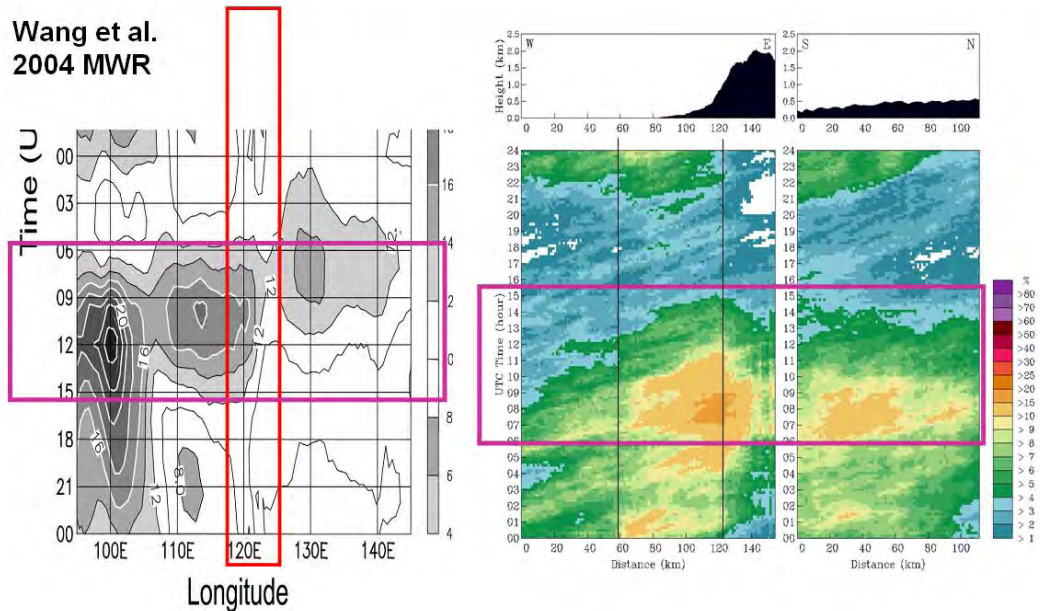


圖 2.6 梅雨期間對流發生頻率之日夜變化，左圖為衛星資料（20-40°N 平均，Wang et al. 2004），右圖為雷達資料（22.5-23.5°N 平均）。

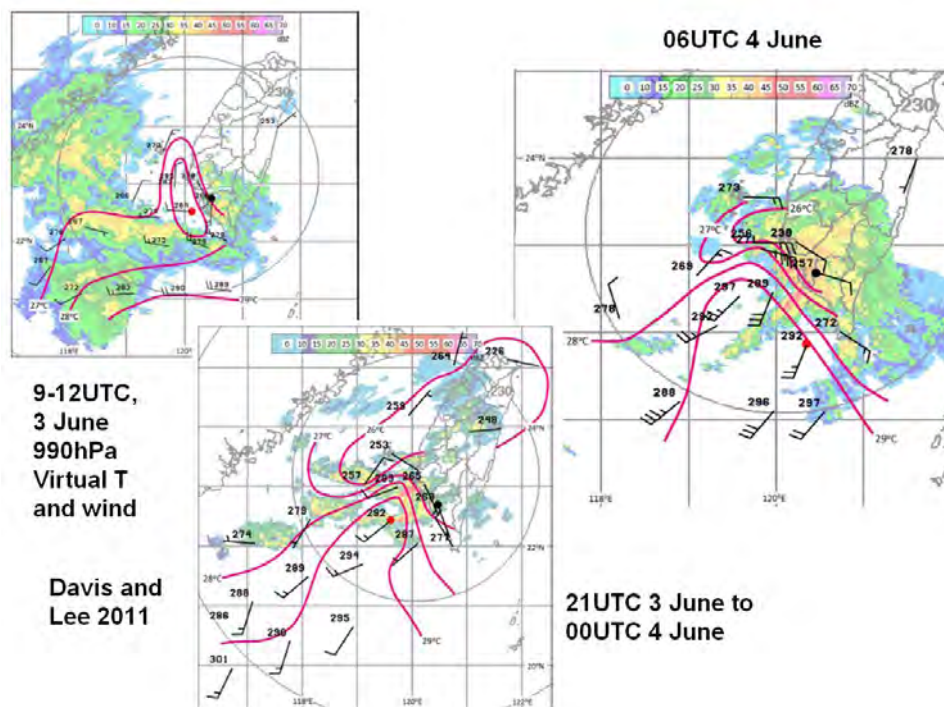


圖 2.7 2008 年 SoWMEX IOP4-6 期間飛機投落送分析 990hPa 虛溫分布。。

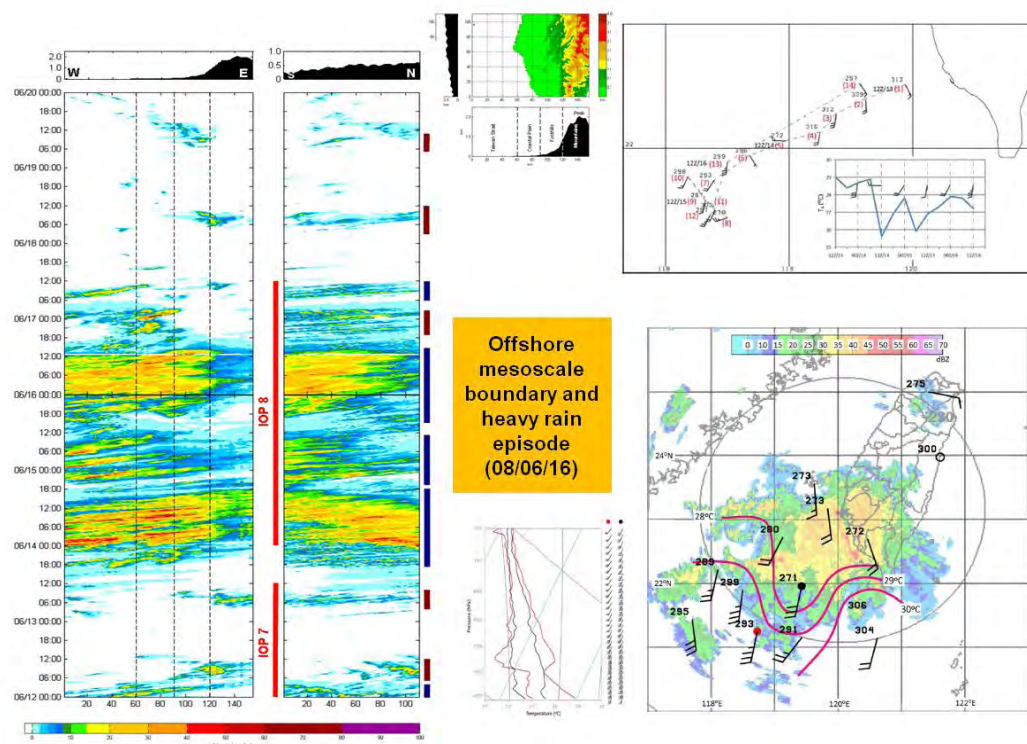


圖 2.8 2008 年 SoWMEX IOP8 期間降雨之緯緯向型態，船舶探空低層風場及虛溫變化，飛機投落送分析 990hPa 虛溫分布。

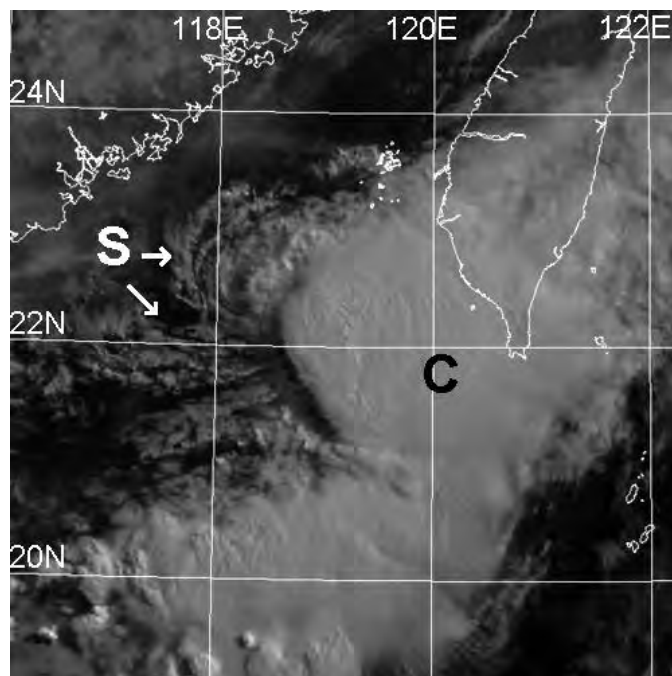


圖 2.9 2008 年 SoWMEX IOP6 中尺度渦旋伴隨之逗點對流雲及螺旋雲帶。

Vortex size is about 250 km and tilt to the SE with height. Vortex confined to lowest 8 km. Maximum wind speed at 850 hPa is close to 20 m/s and very moist air at lower troposphere.

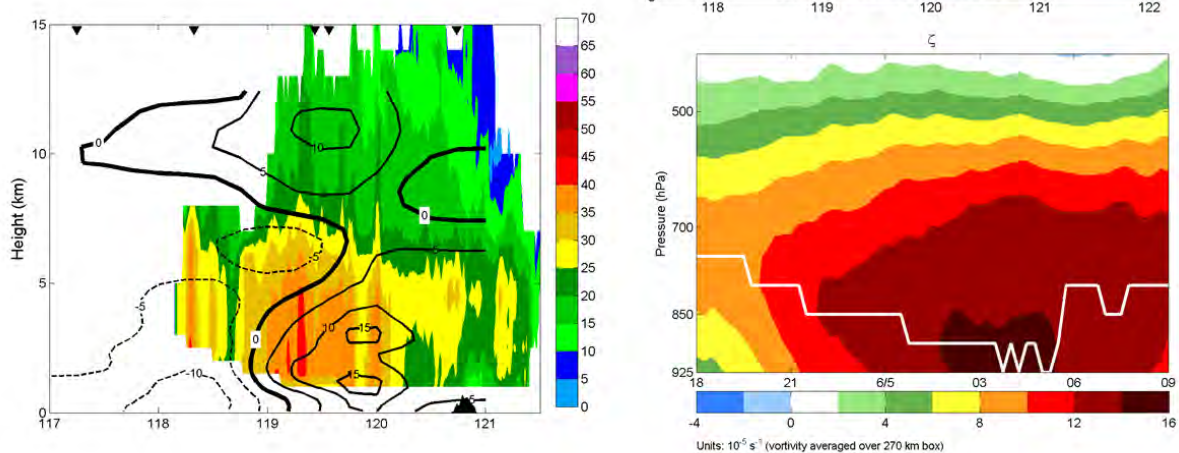


圖 2.10 2008 年 SoWMEX IOP6 中尺度渦旋經向風場分布及伴隨之對流回波，以及平均渦度分布時序。

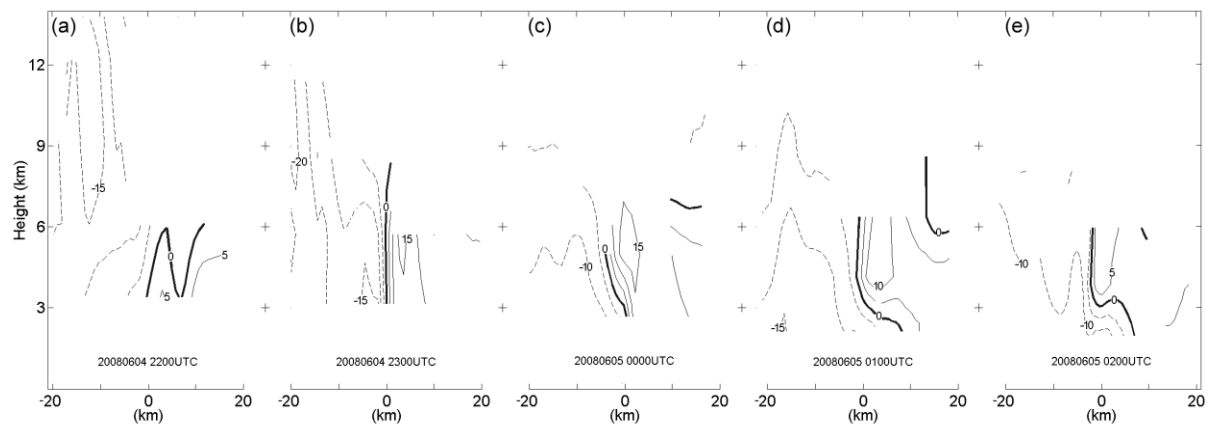


圖 2.11 雷達徑向風場觀測到 IOP6 中尺度渦旋內次渦的風速耦極。

Mesoscale convective vortices in the Taiwan Strait and heavy rain 2008/2009/2010/2011

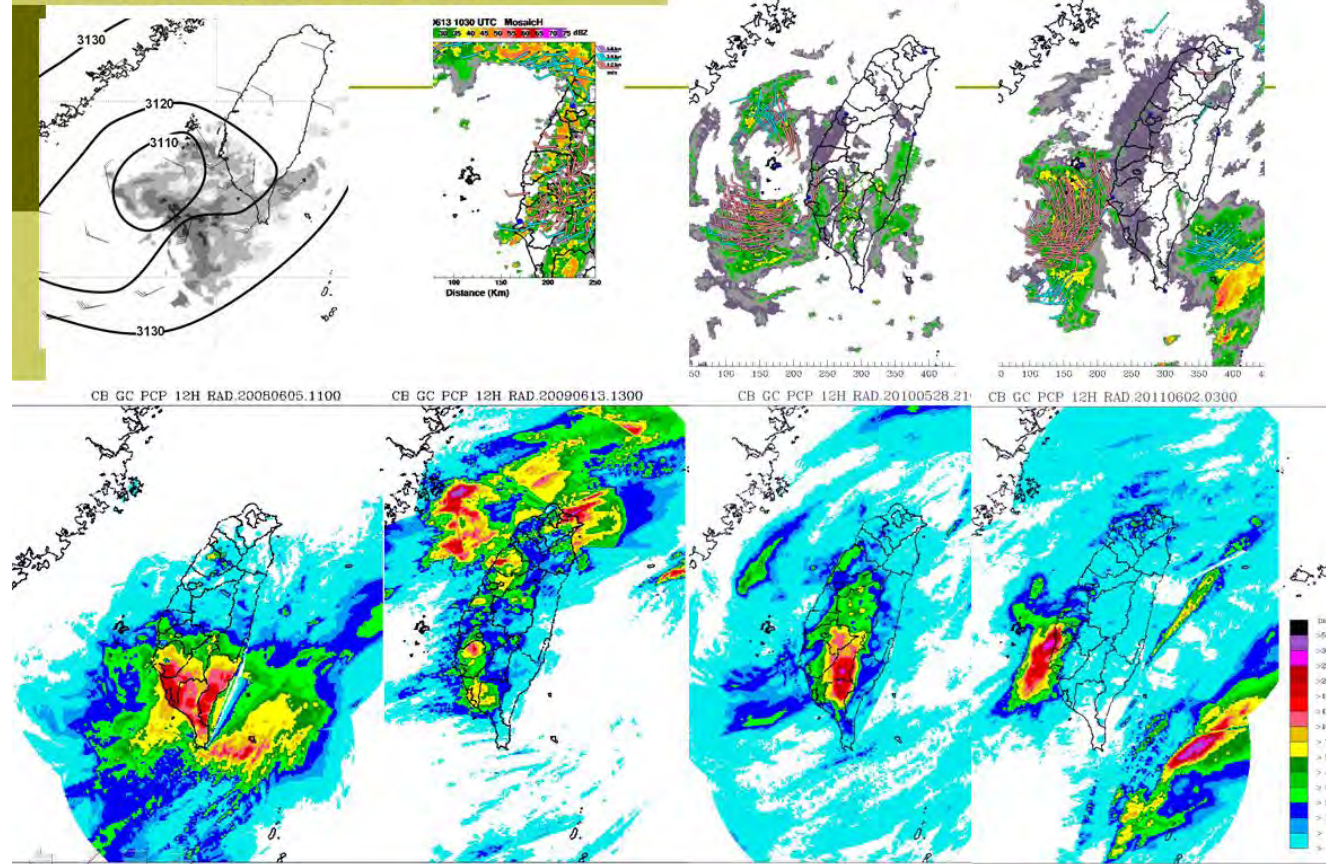


圖 2.12 2008-2011 年西南氣流內伴隨氣旋式環流的中尺度天氣系統及伴隨之 12 小時累積降水。

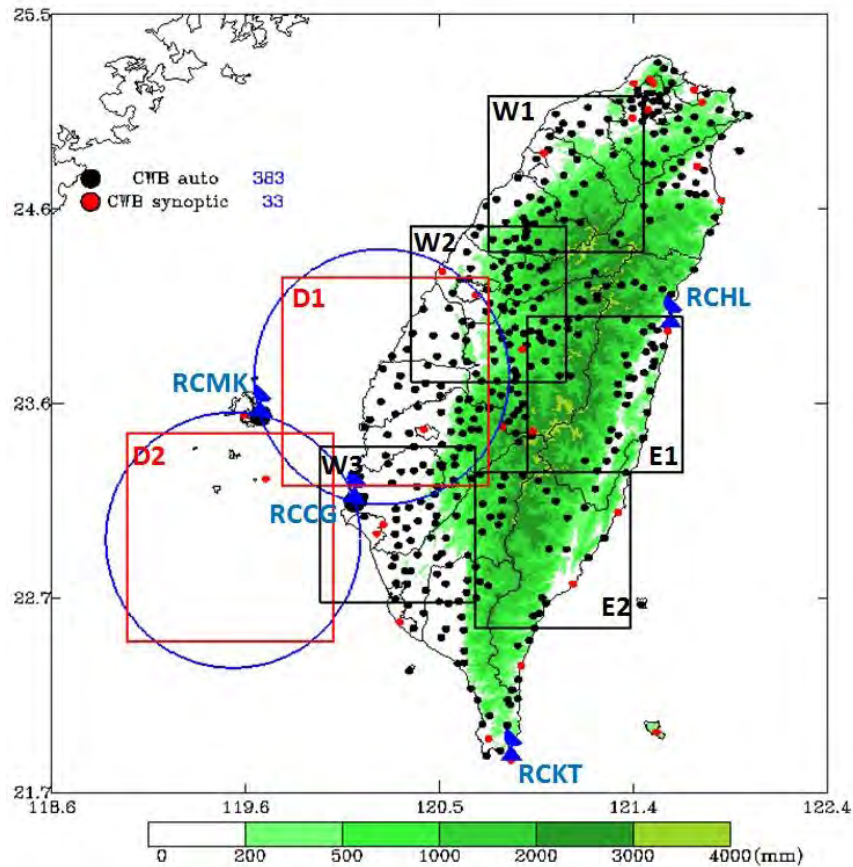


圖 3.1 本文分析所使用的地面雨量站與雷達站位置分布圖。其中黑色點為自動氣象站及自動雨量站位置，計有 383 站；紅色點為綜觀測站位置，計有 33 站。雷達符號為馬公(RCMK)、七股(RCCG)、墾丁(RCKT)及花蓮(RCHL)雷達站，紅色實線區域(D1、D2)為馬公與七股雙都卜勒風場合成分析範圍；黑色實線區域(E1、E2、W1、W2、W3)分別為 5 個次分析區域。

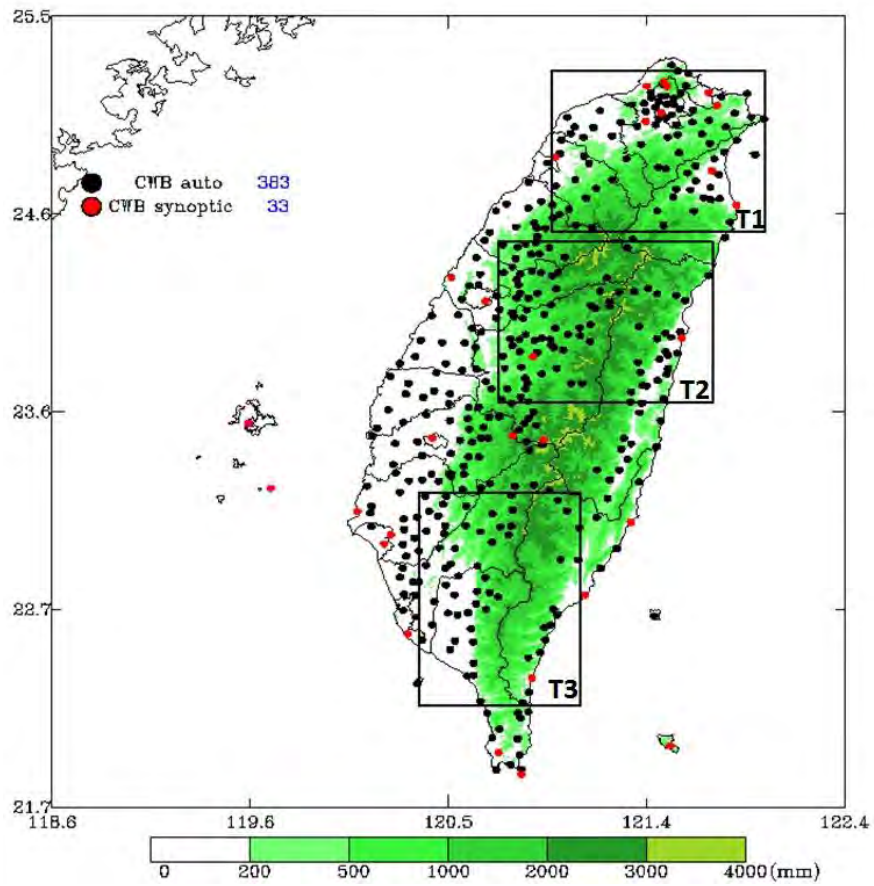


圖 3.2 分析北部(T1)、中部(T2)及南部(T3)地形平均高度所選取的區域範圍。

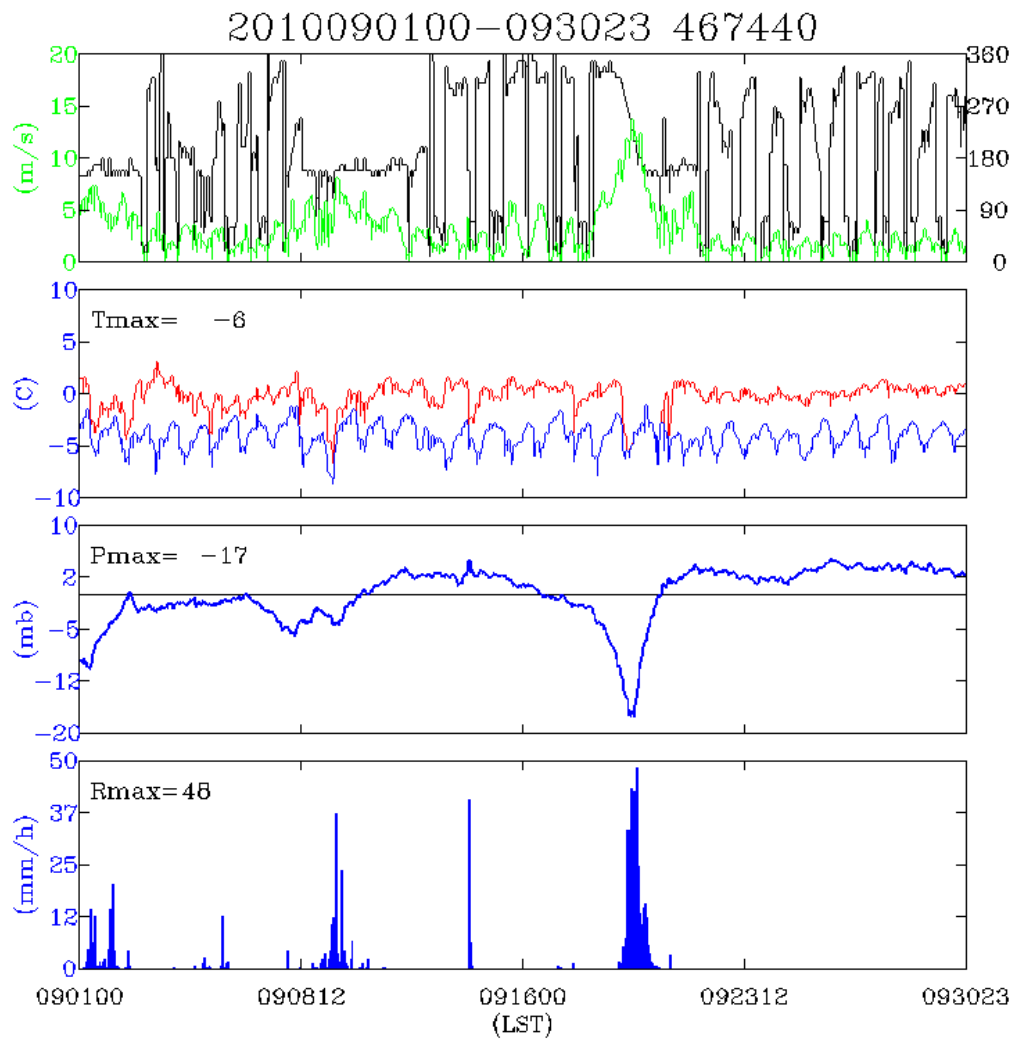


圖 3.3 2010 年 9 月份中央氣象局高雄測站氣象參數時間序列。由上至下 4 個欄位分別為風向(黑色線條)風速(綠色線條)、溫度距平(紅色線條)與露點(藍色線條)、氣壓距平以及時雨量。

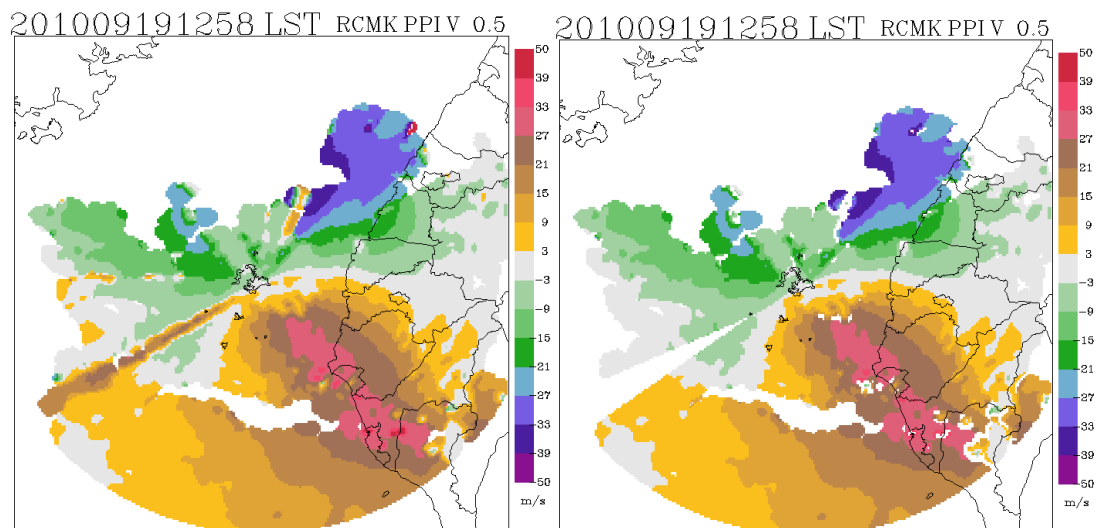


圖 3.4 都卜勒徑向風場資料處理示意圖。以馬公雷達 0.5° 仰角為例。

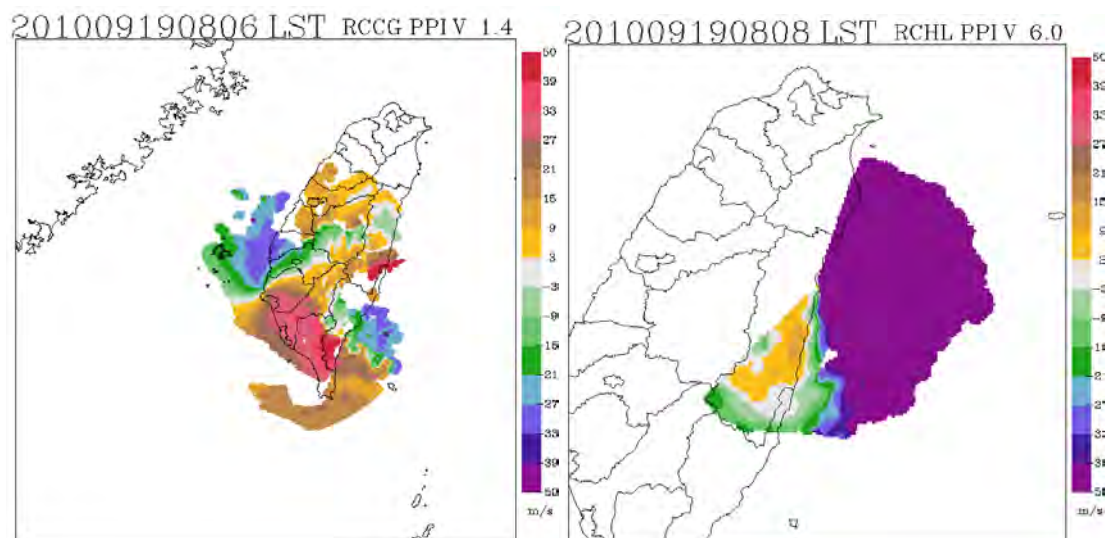


圖 3.5 都卜勒徑向風場資料折錯處理異常情況。左圖為七股雷達 1.4° 仰角，右圖為花蓮雷達 6.0° 仰角。

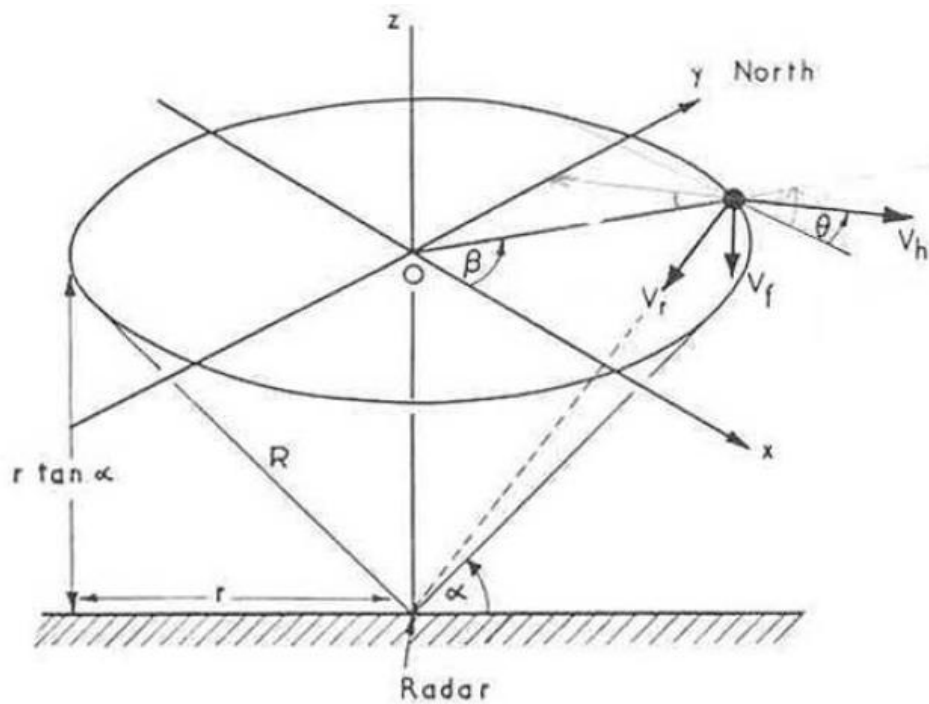


圖 3.6 VAD 方法幾何關係示意圖(Browning and Wexler, 1968)。

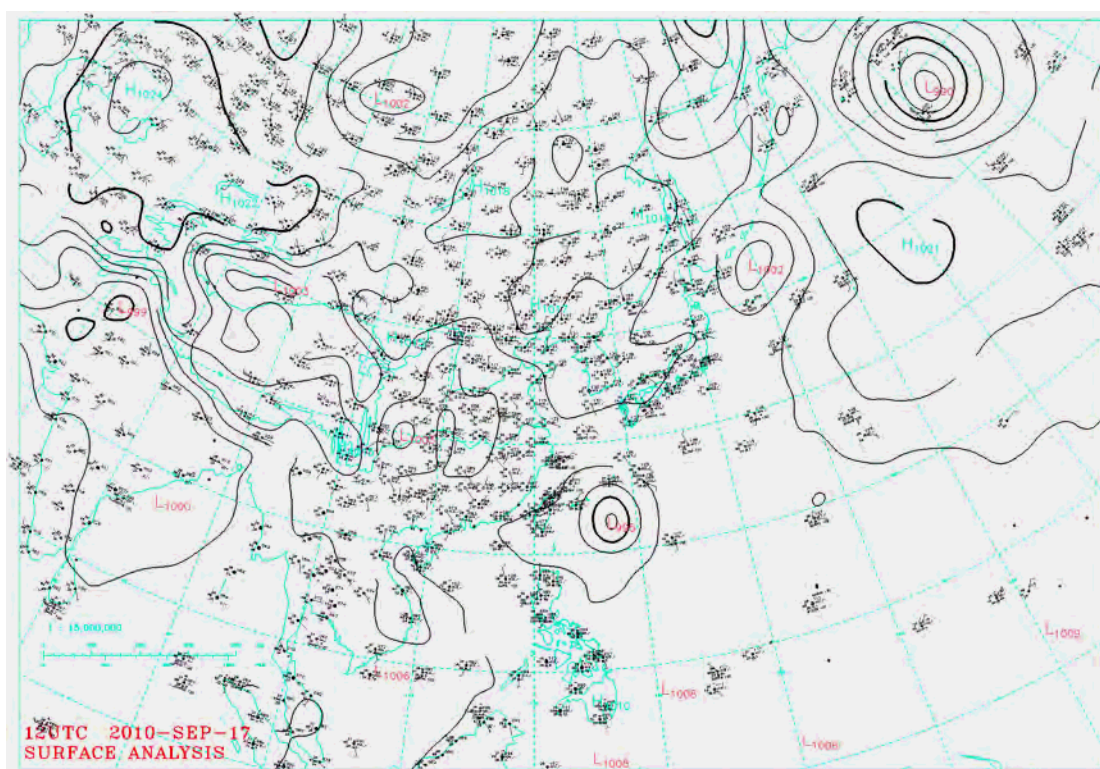


圖 3.7 中央氣象局 201091720LST 地面天氣圖。

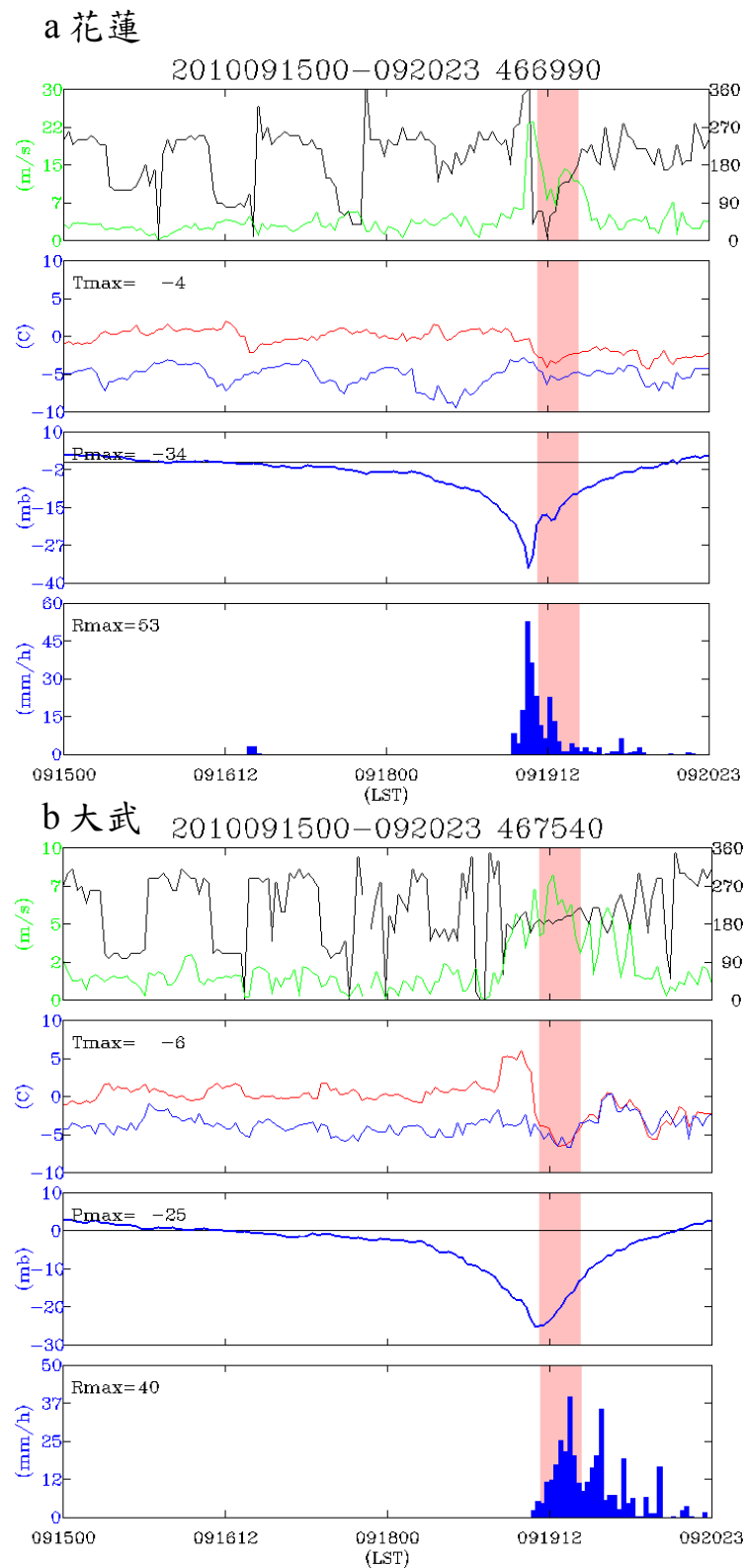
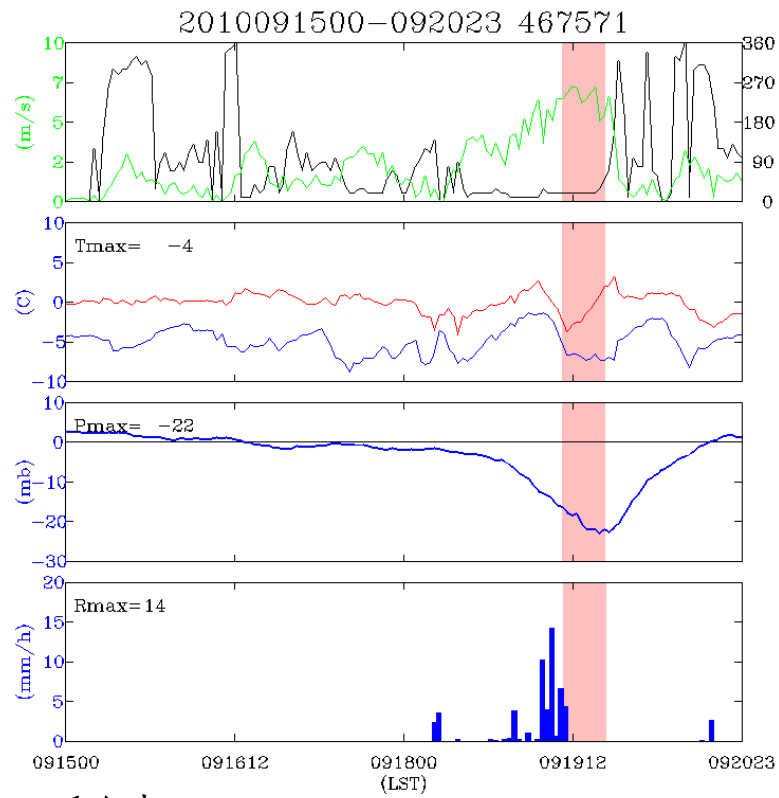


圖 3.8 9 月 15 日至 20 日中央氣象局花蓮(圖 a)、台東(圖 b)、新竹(圖 c)、台中(圖 d)、台南(圖 e)及澎湖(圖 f)測站氣象參數時間序列。由上至下 4 個欄位分別為風向(黑色線條)風速(綠色線條)、溫度距平(紅色線條)與露點(藍色線條)、氣壓距平以及時雨量。淡紅色區域為颱風中心在台灣陸地上的時間(091909LST-091918LST)，共計 9 小時。

c 新竹



d 台中

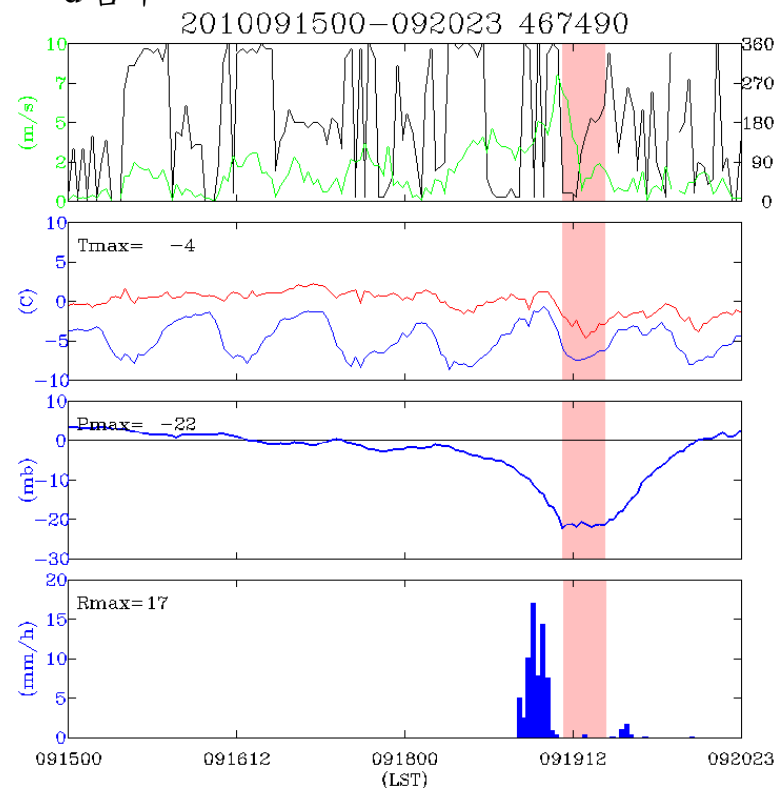
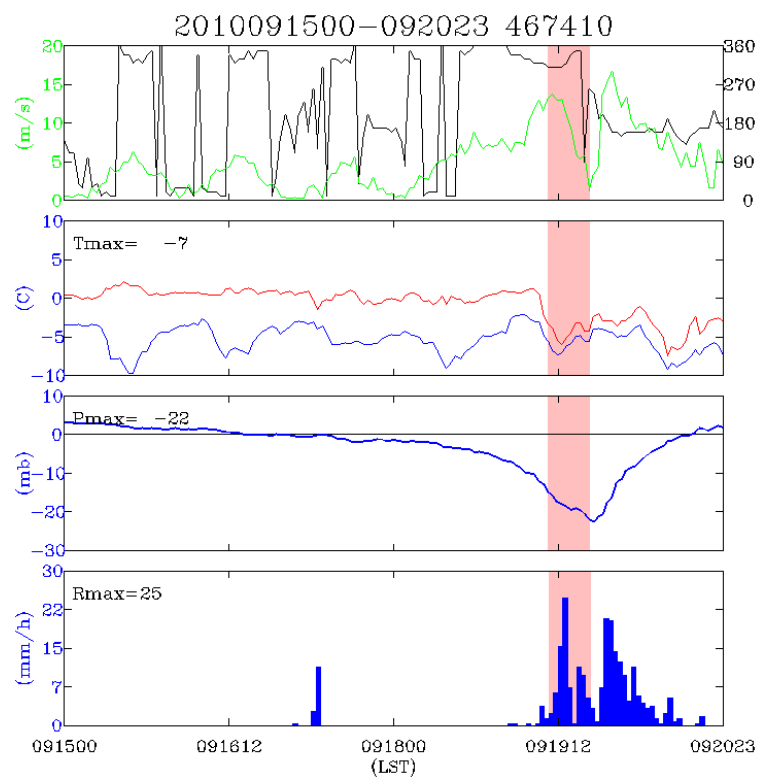


圖 3.8 續。

e 台南



f 澎湖

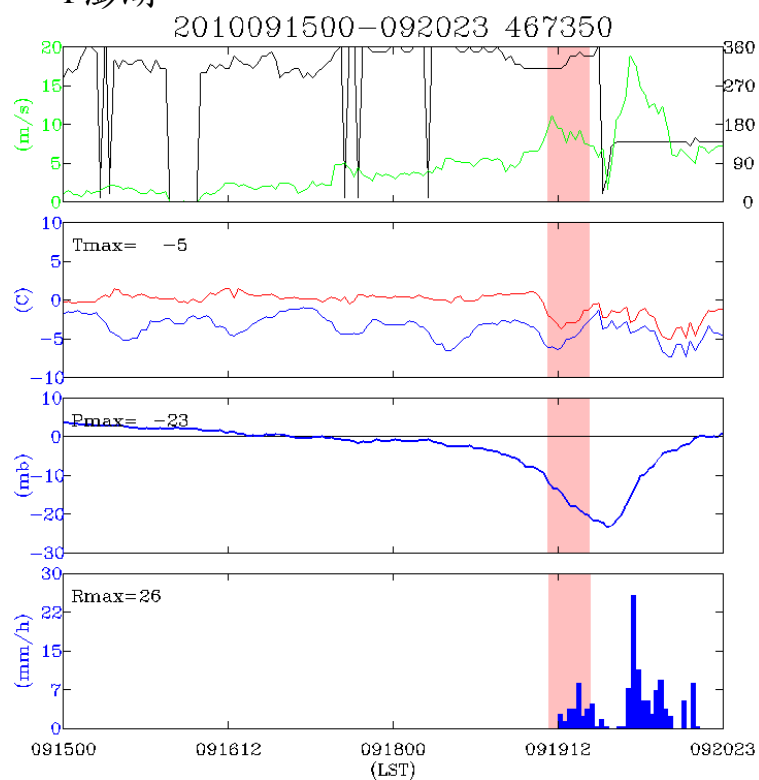


圖 3.8 續。

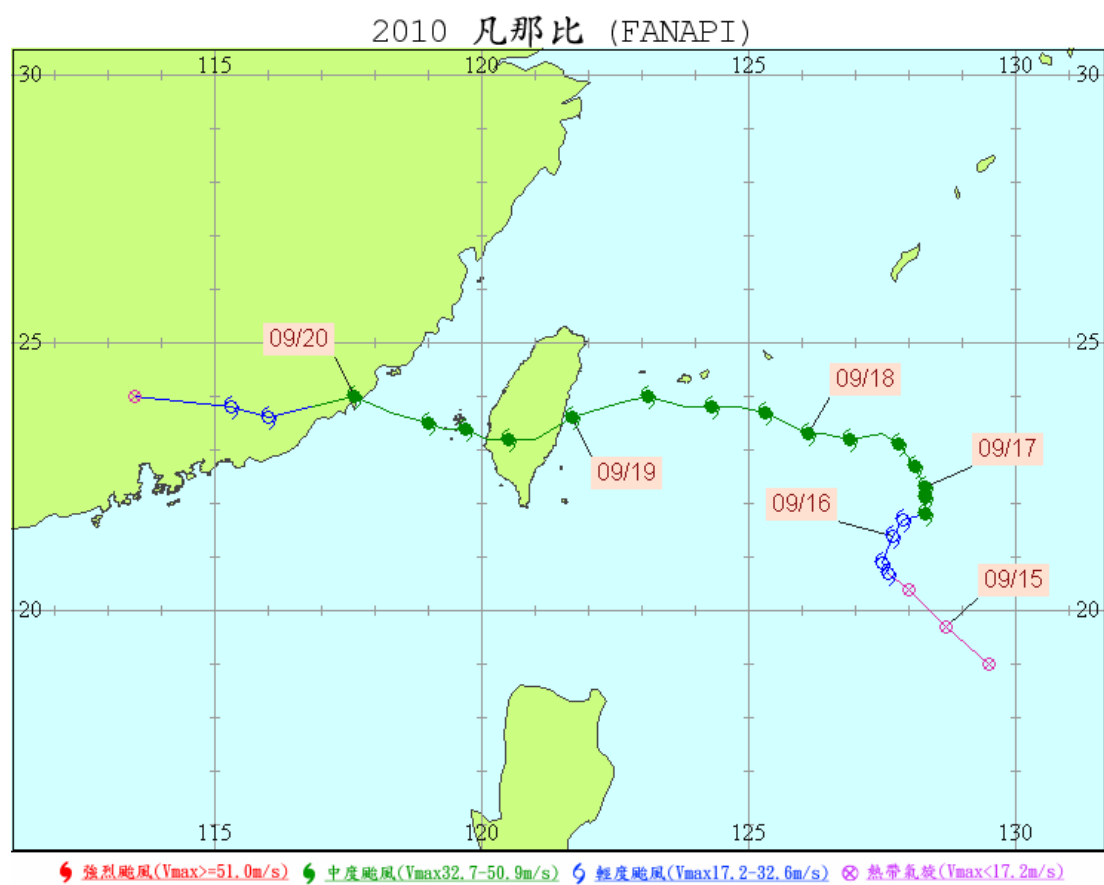


圖 3.9 中央氣象局凡那比颱風路徑圖。

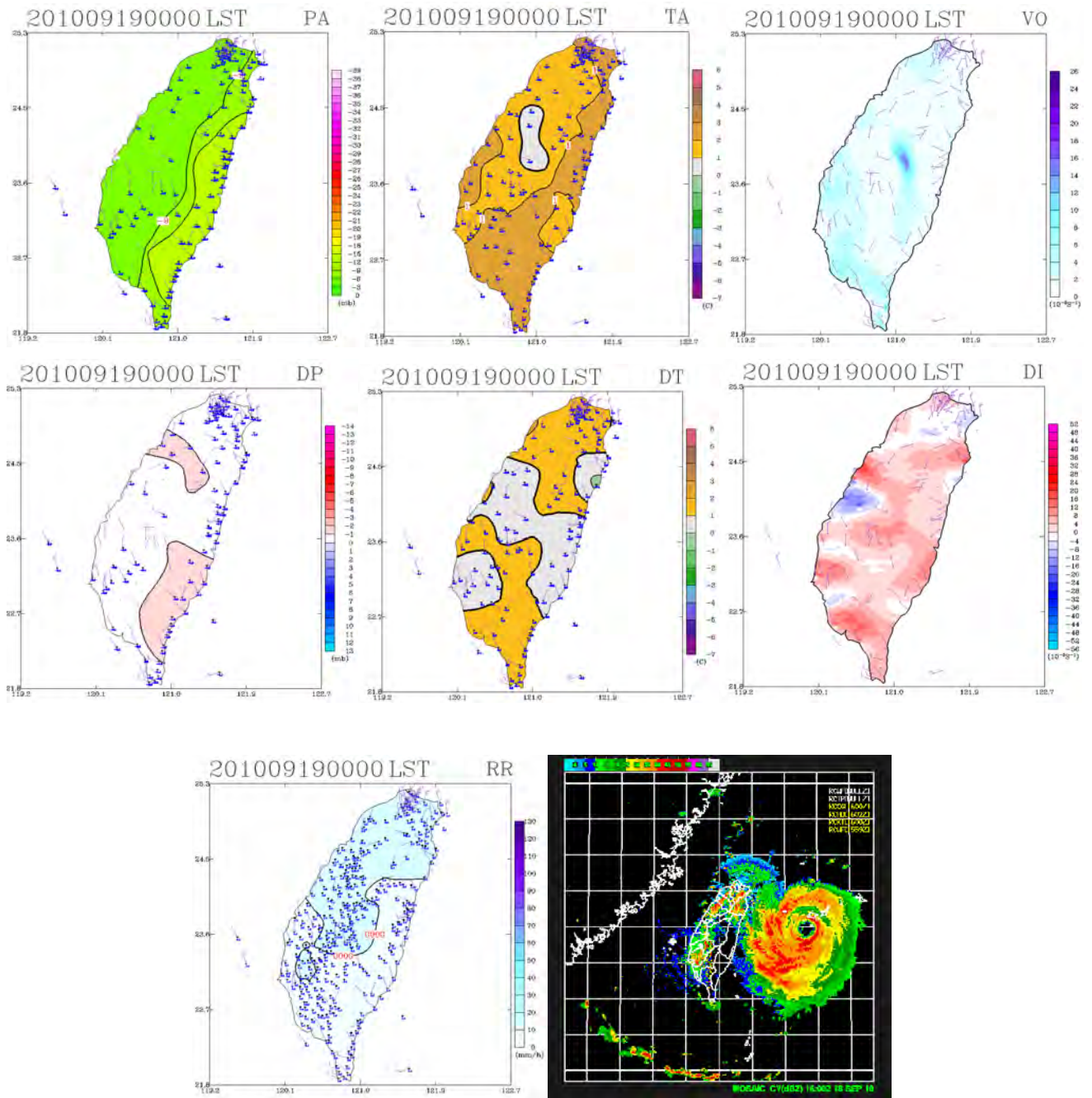


圖 3.10 201009190000LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。

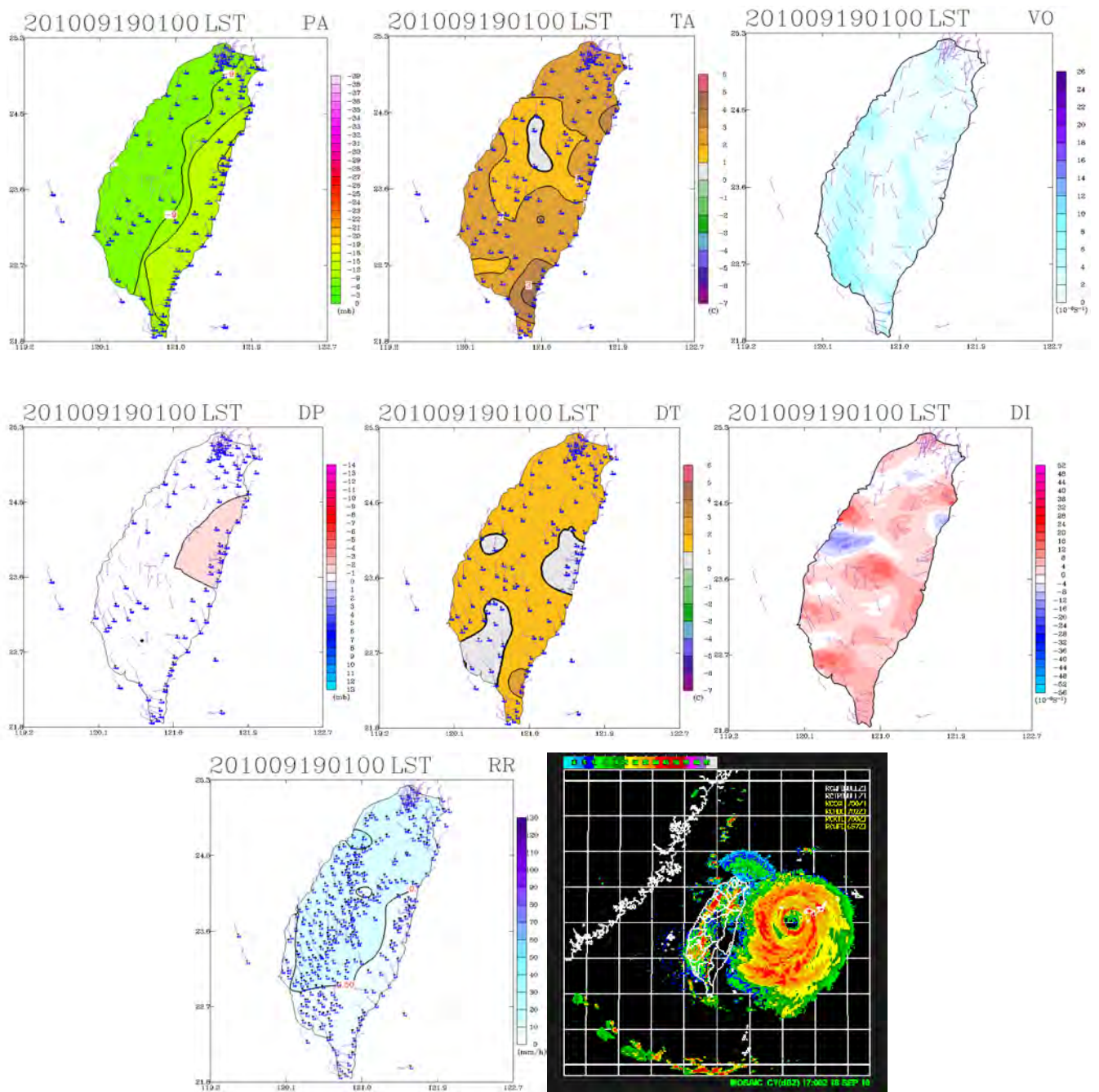


圖 3.11 201009190100LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}C$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}C$ 。VO 為渦度場，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。

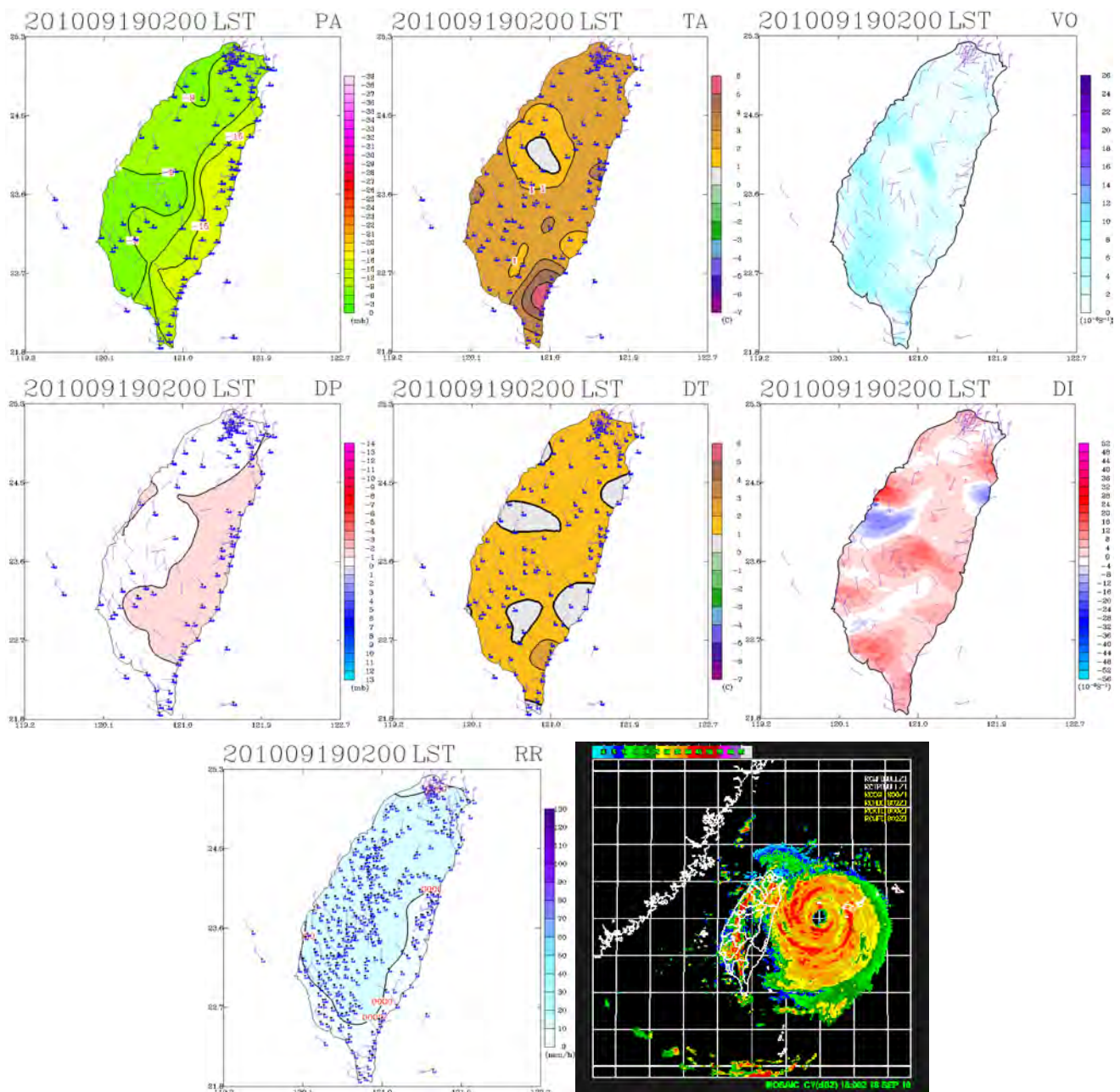


圖 3.12 201009190200LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。

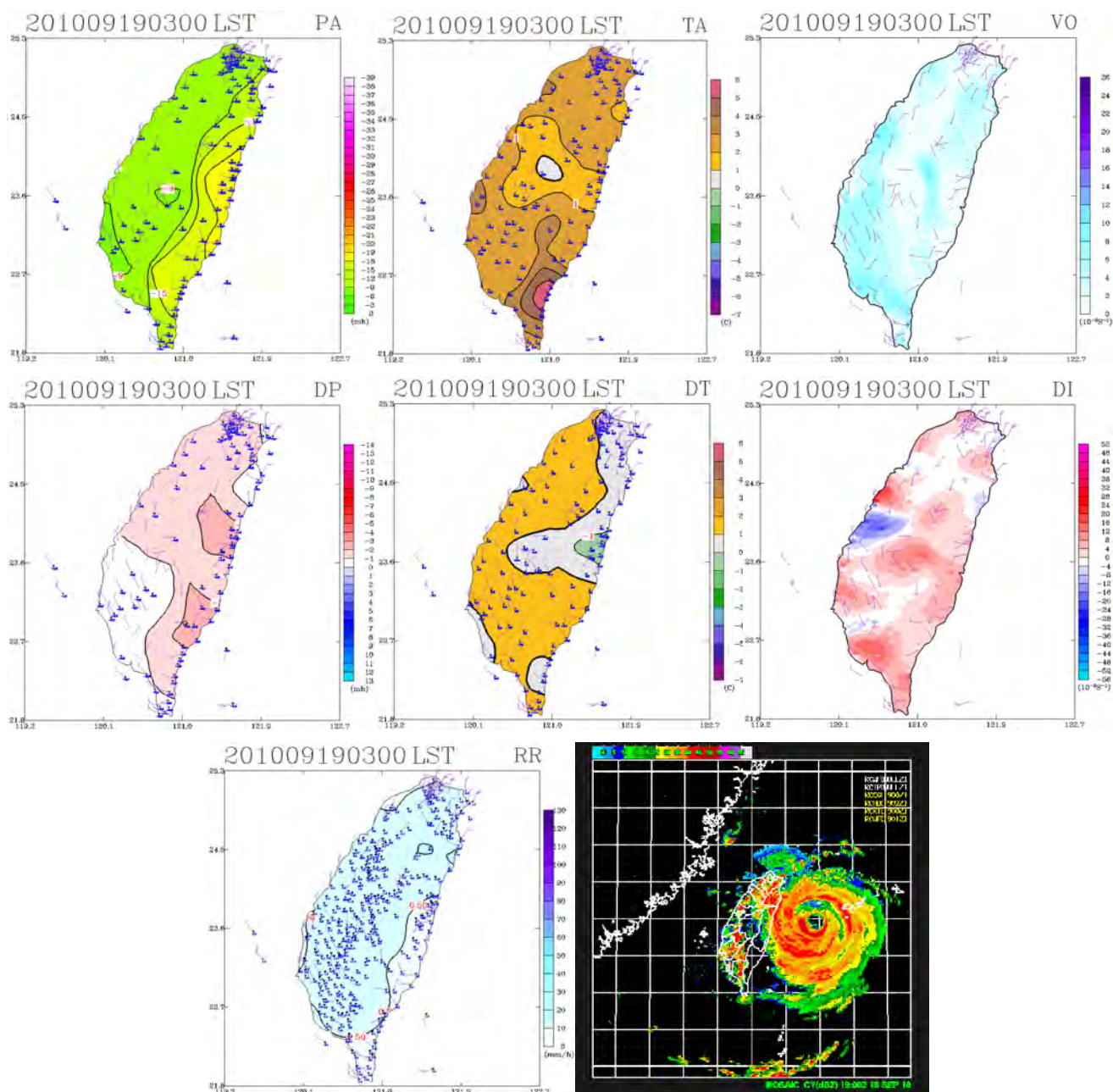


圖 3.13 201009190300LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。

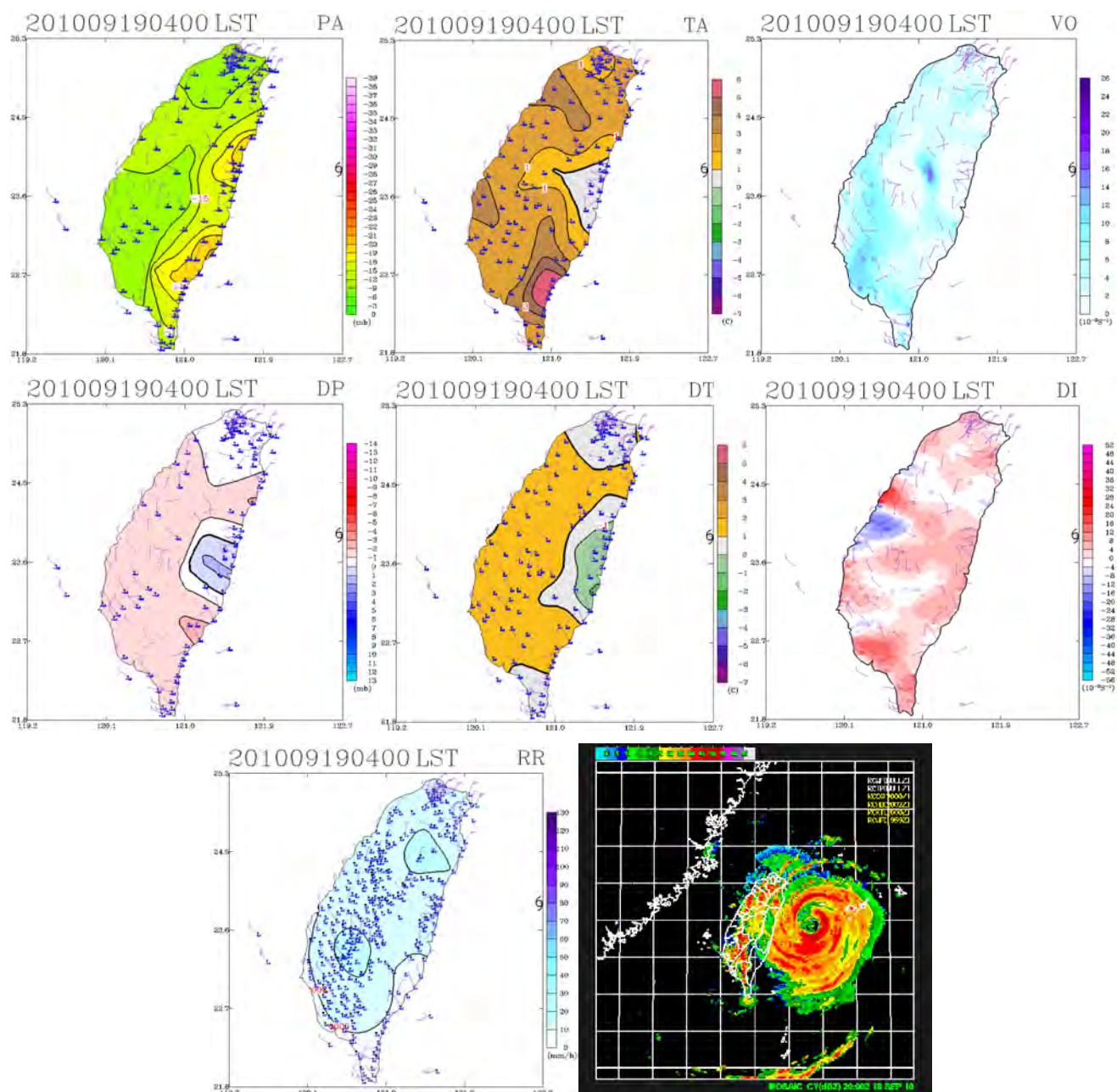


圖 3.14 201009190400LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。

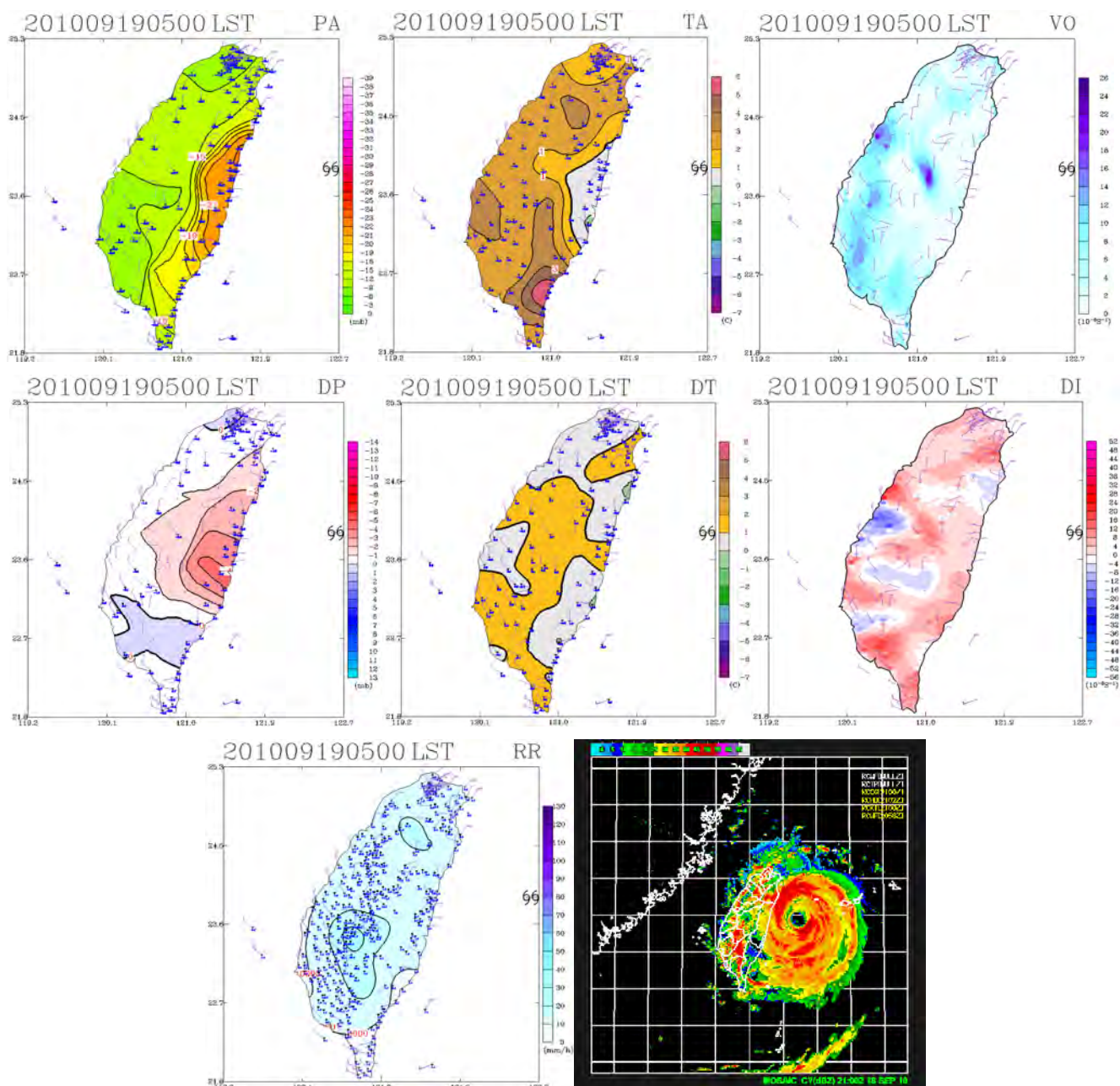


圖 3.15 201009190500LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 °C。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 °C。VO 為渦度場，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。

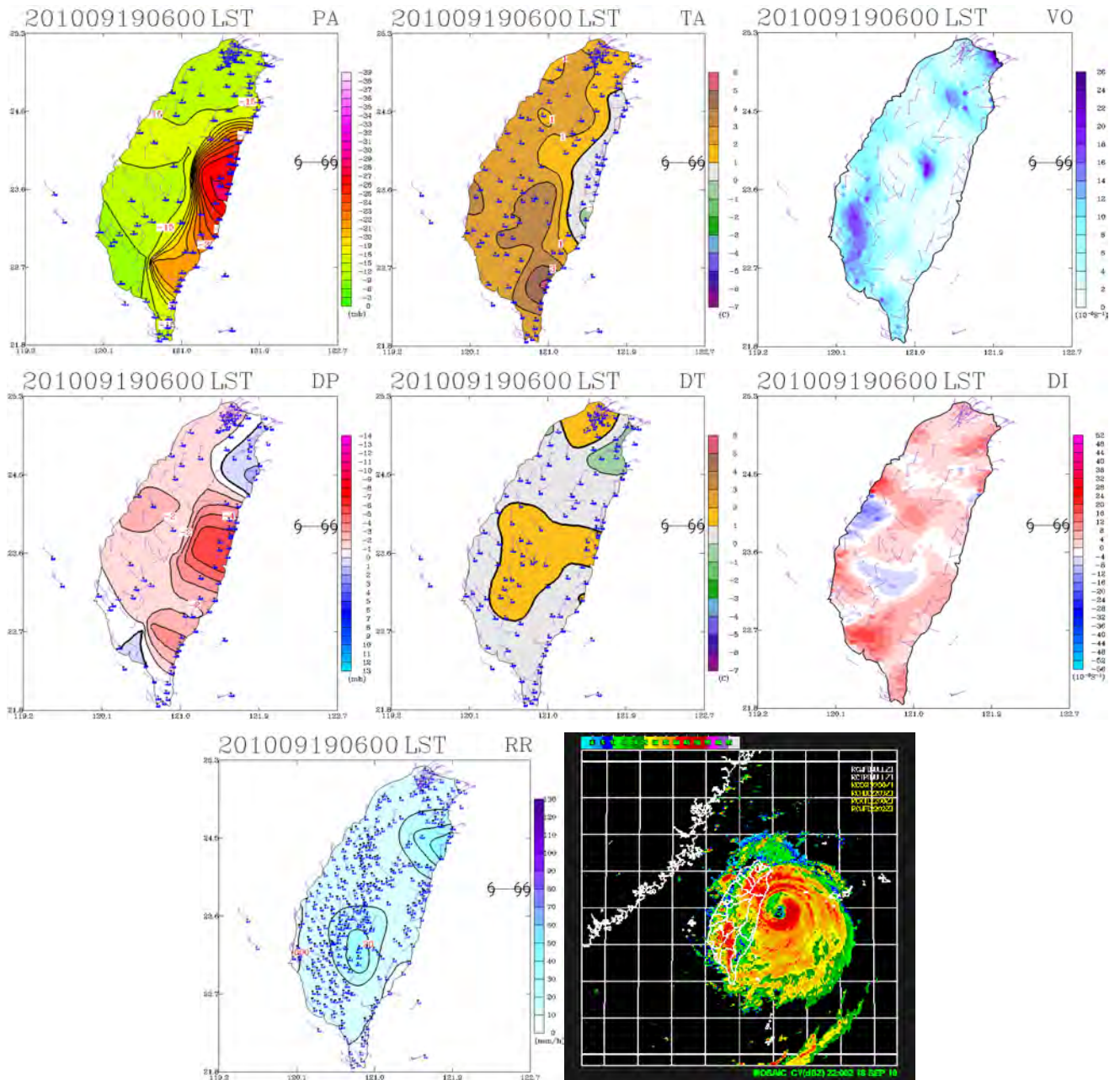


圖 3.16 201009190600LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。

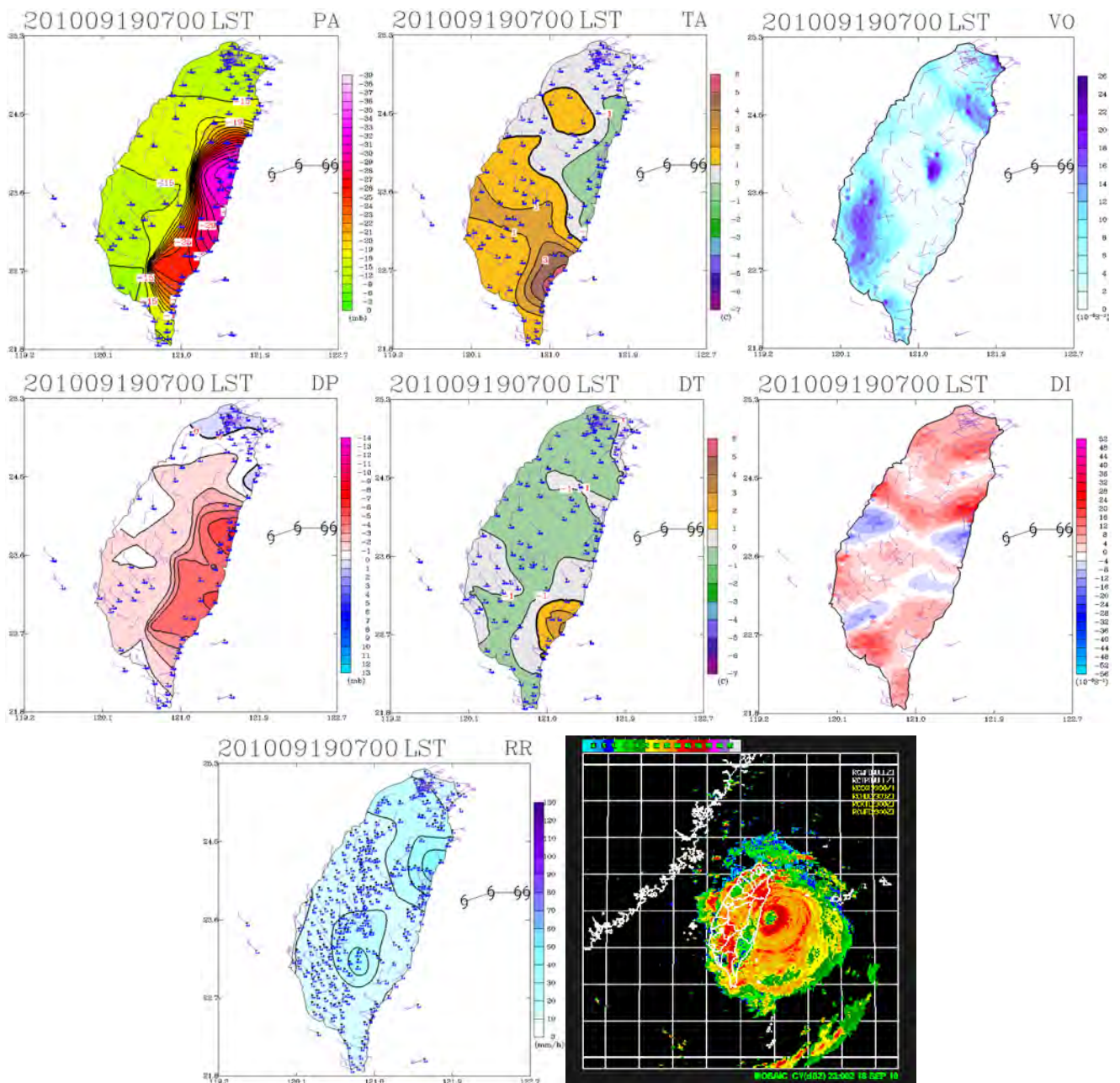


圖 3.17 201009190700LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。

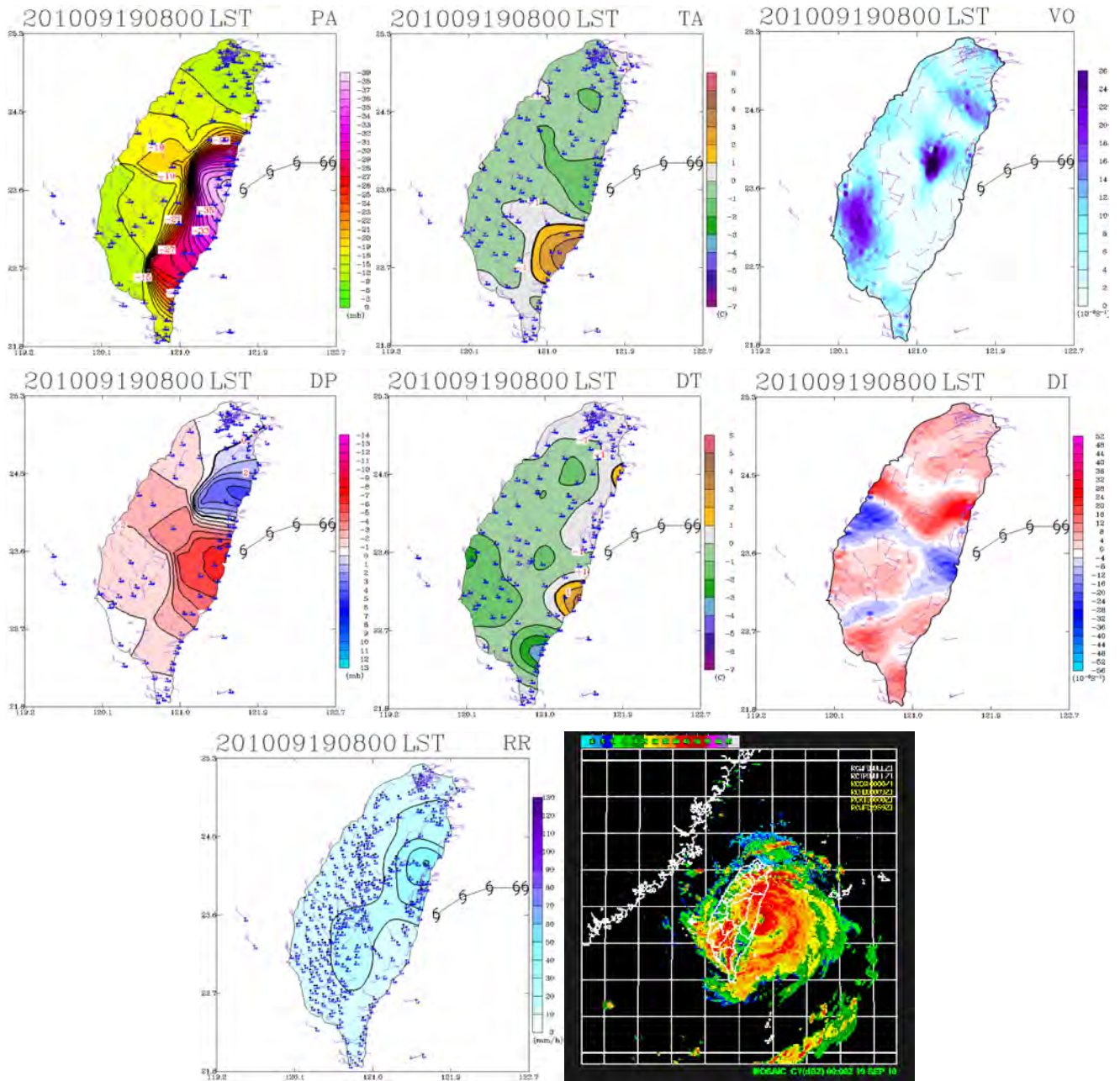


圖 3.18 201009190800LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。

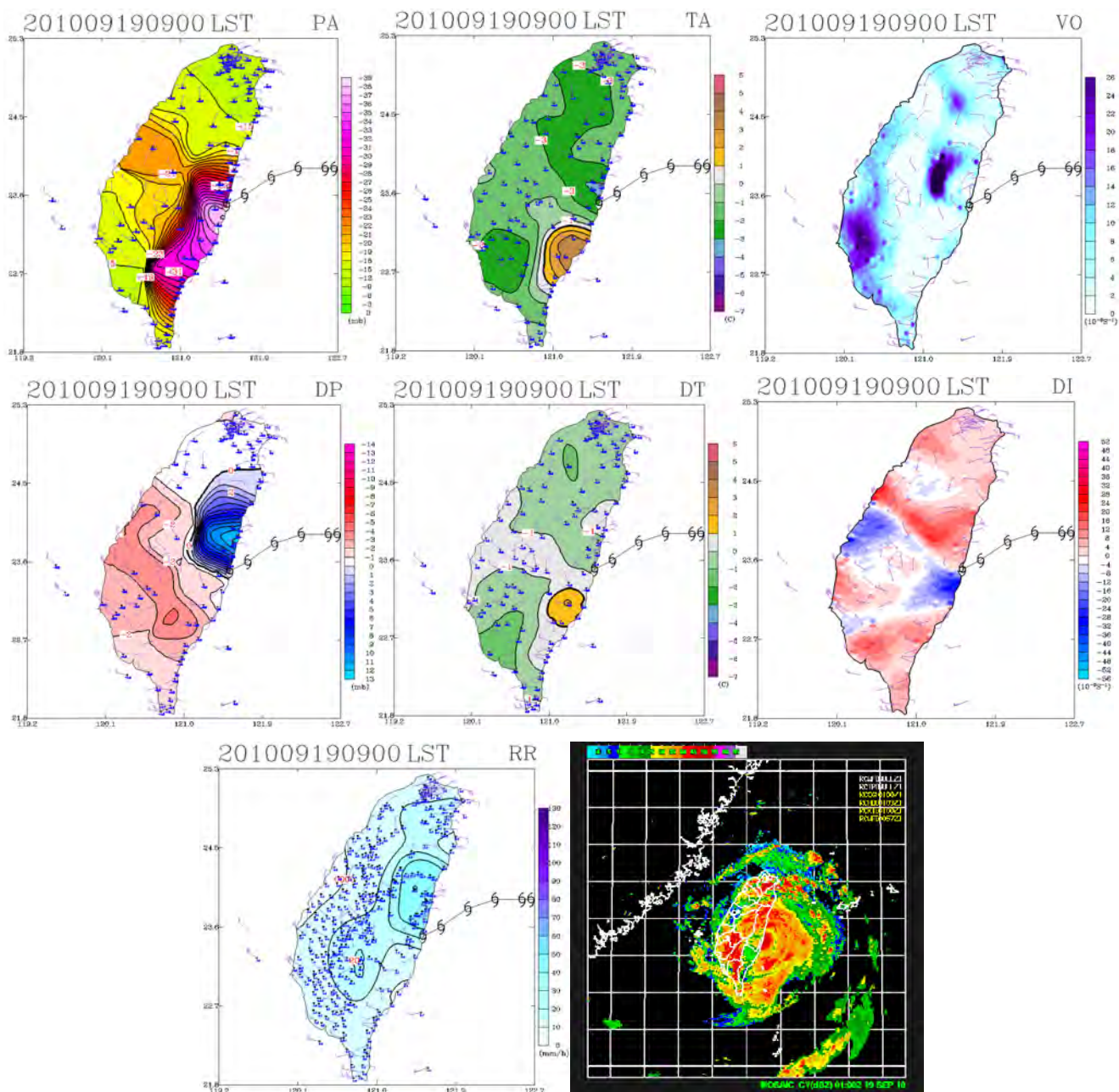


圖 3.19 201009190900LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}C$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}C$ 。VO 為渦度場，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。

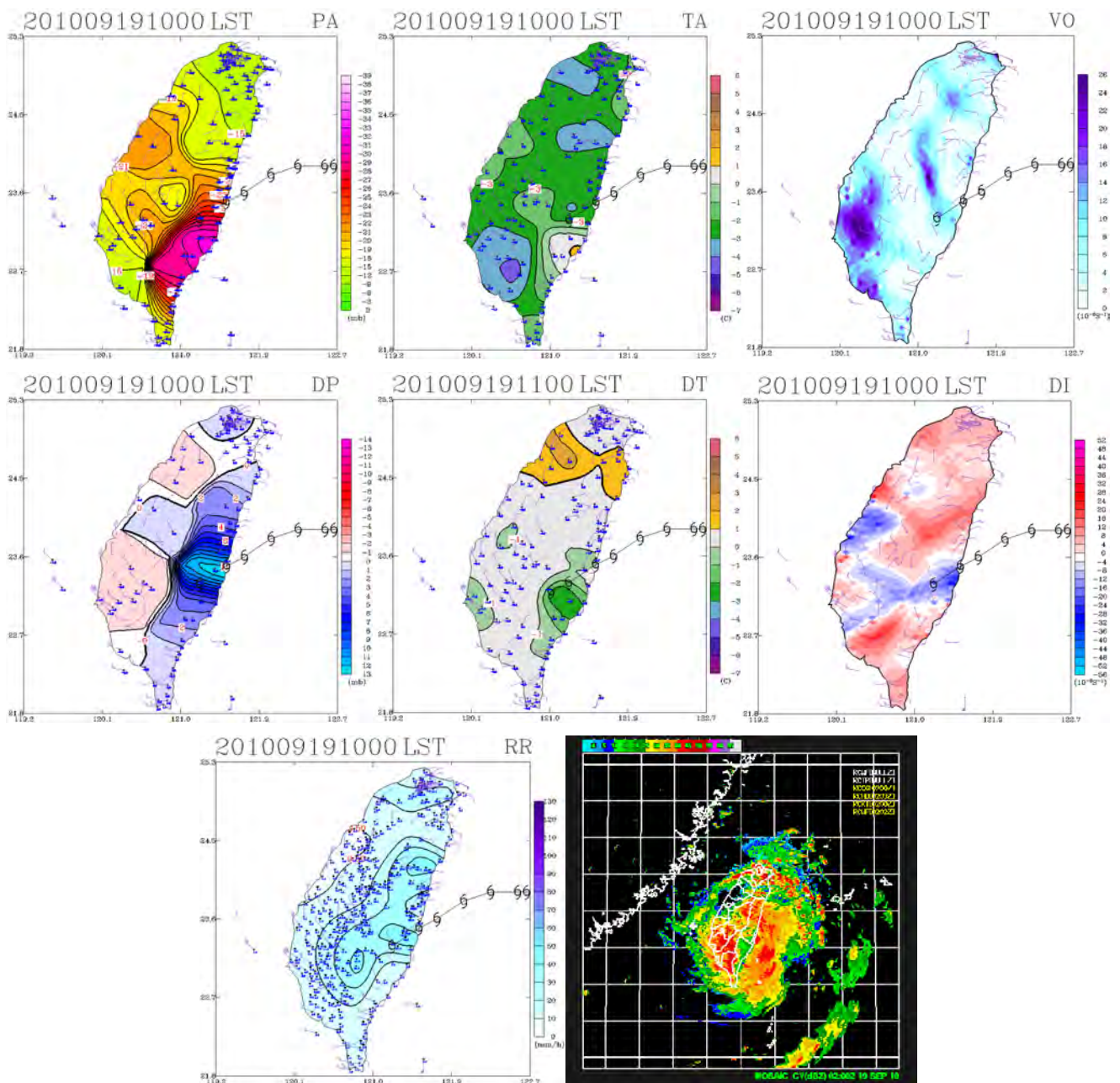


圖 3.20 201009191000LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。

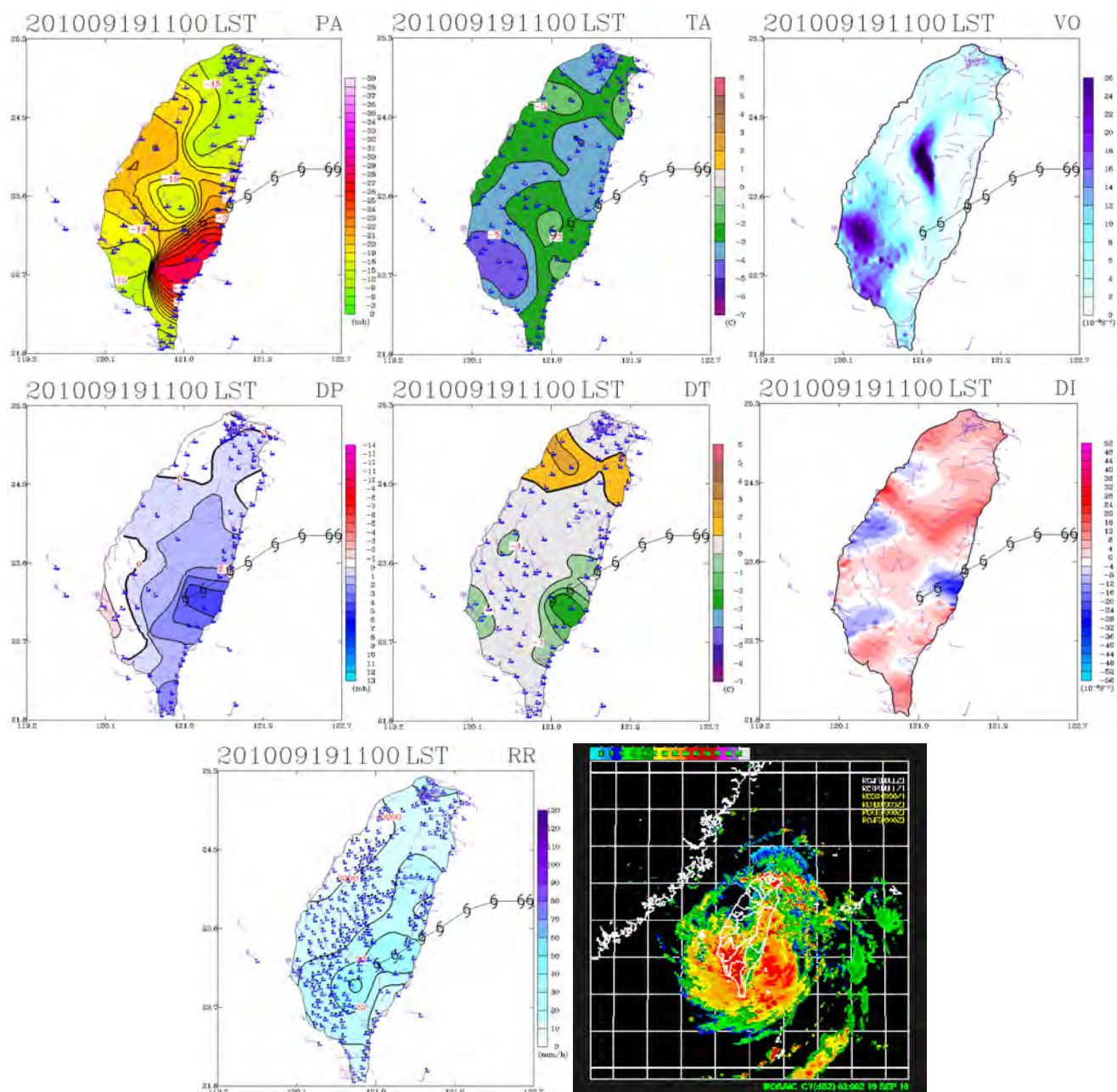


圖 3.21 201009191100LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}C$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}C$ 。VO 為渦度場，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。

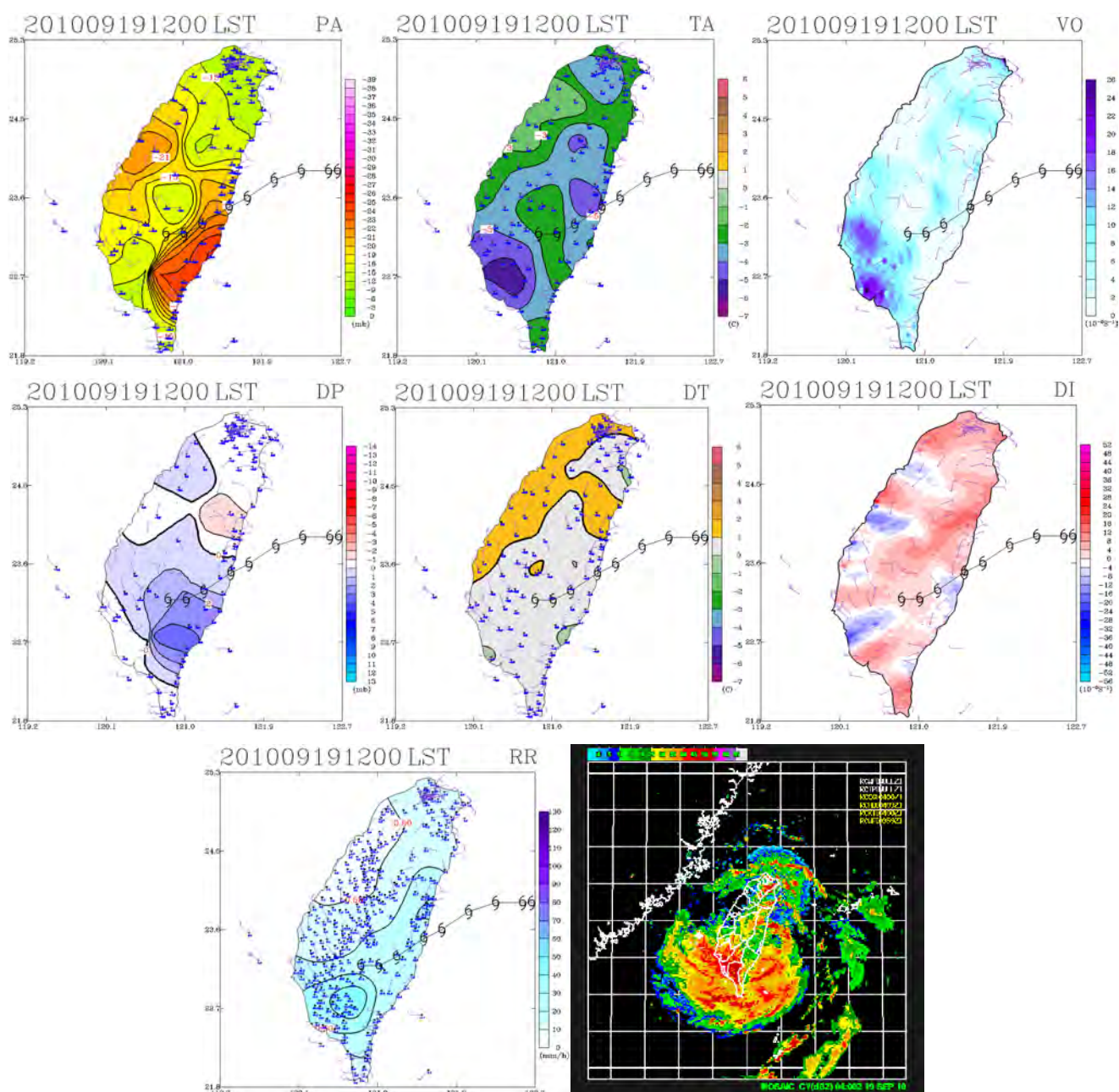


圖 3.22 201009191200LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。

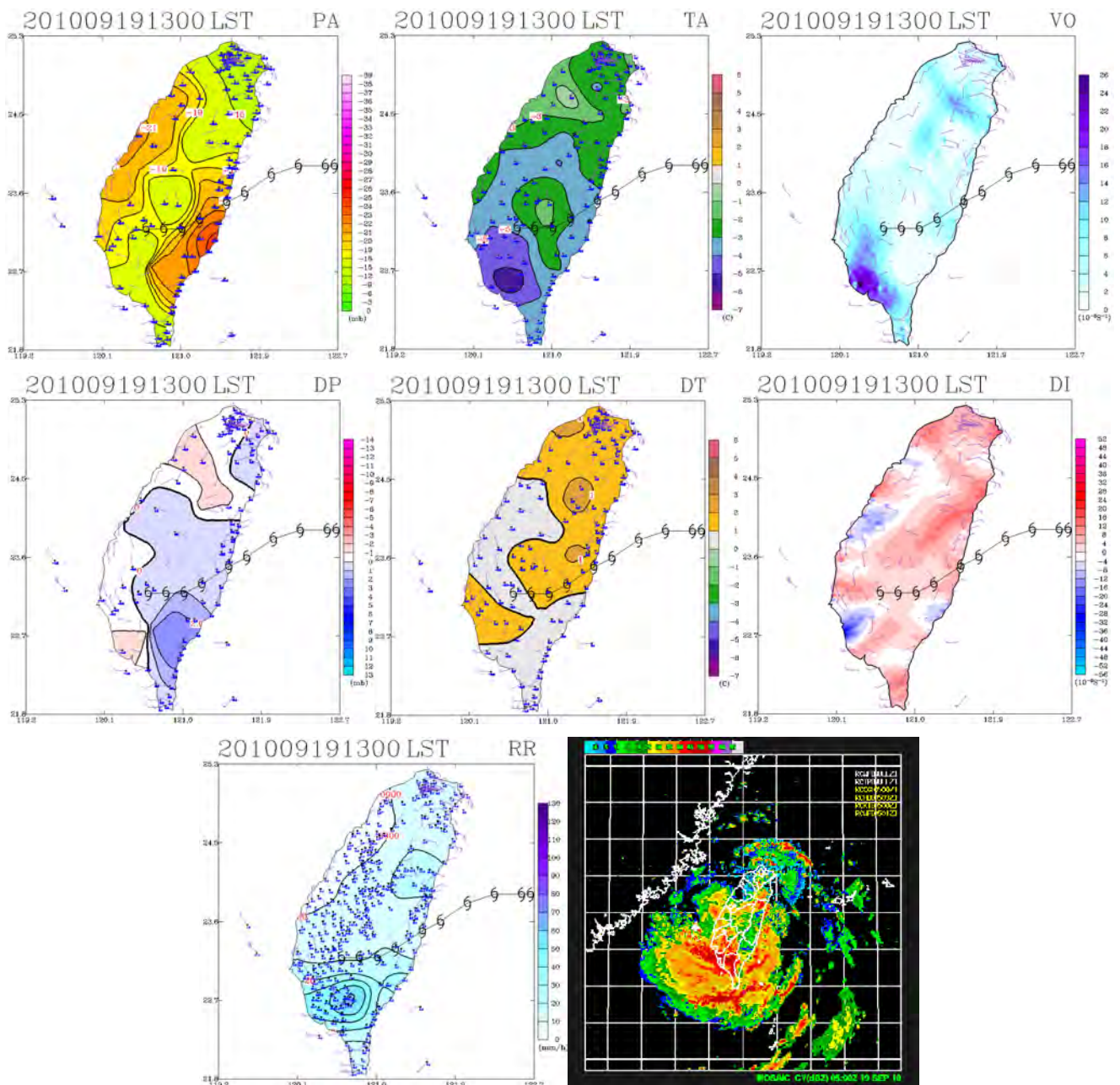


圖 3.23 201009191300LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。

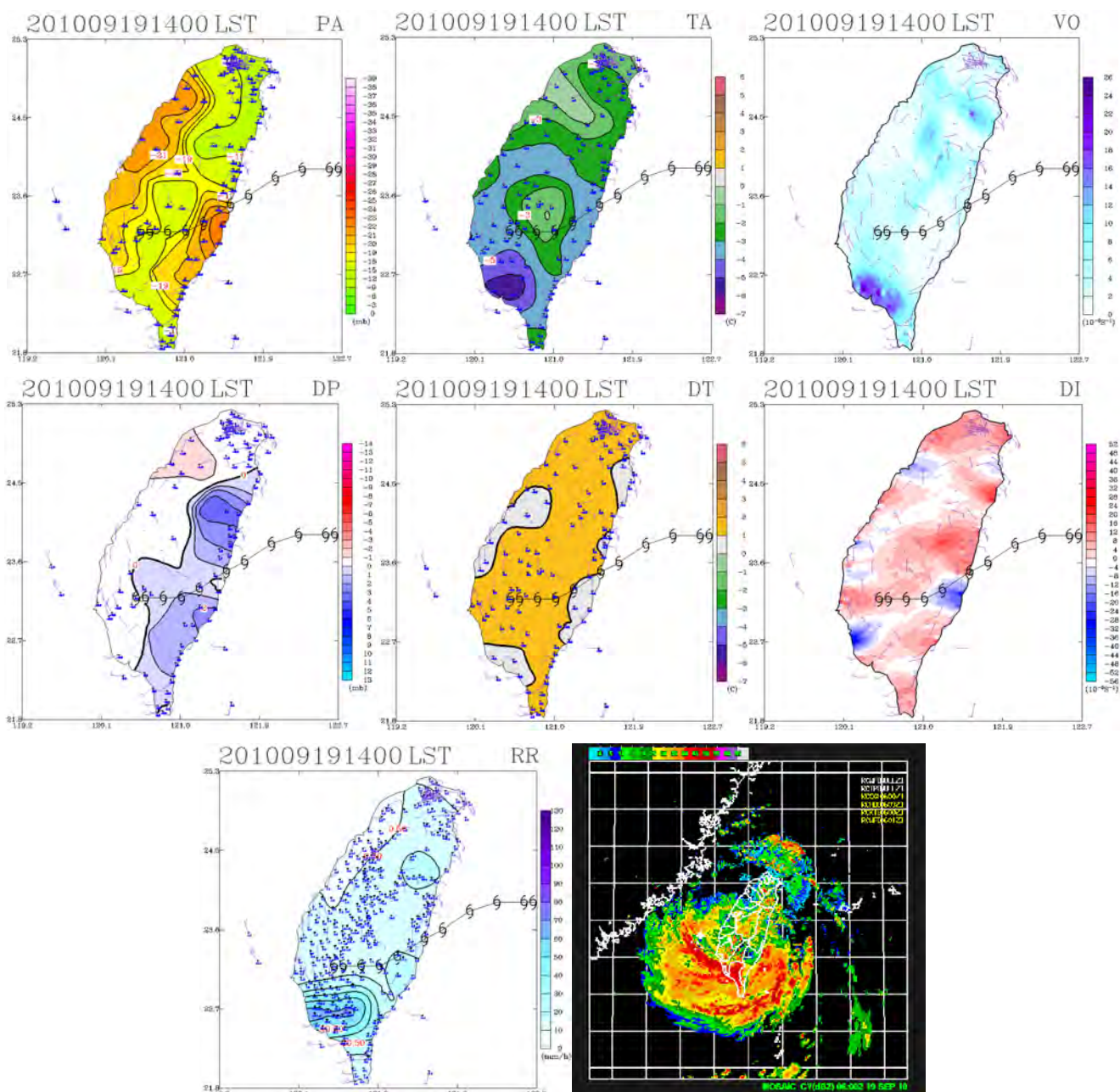


圖 3.24 201009191400LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。

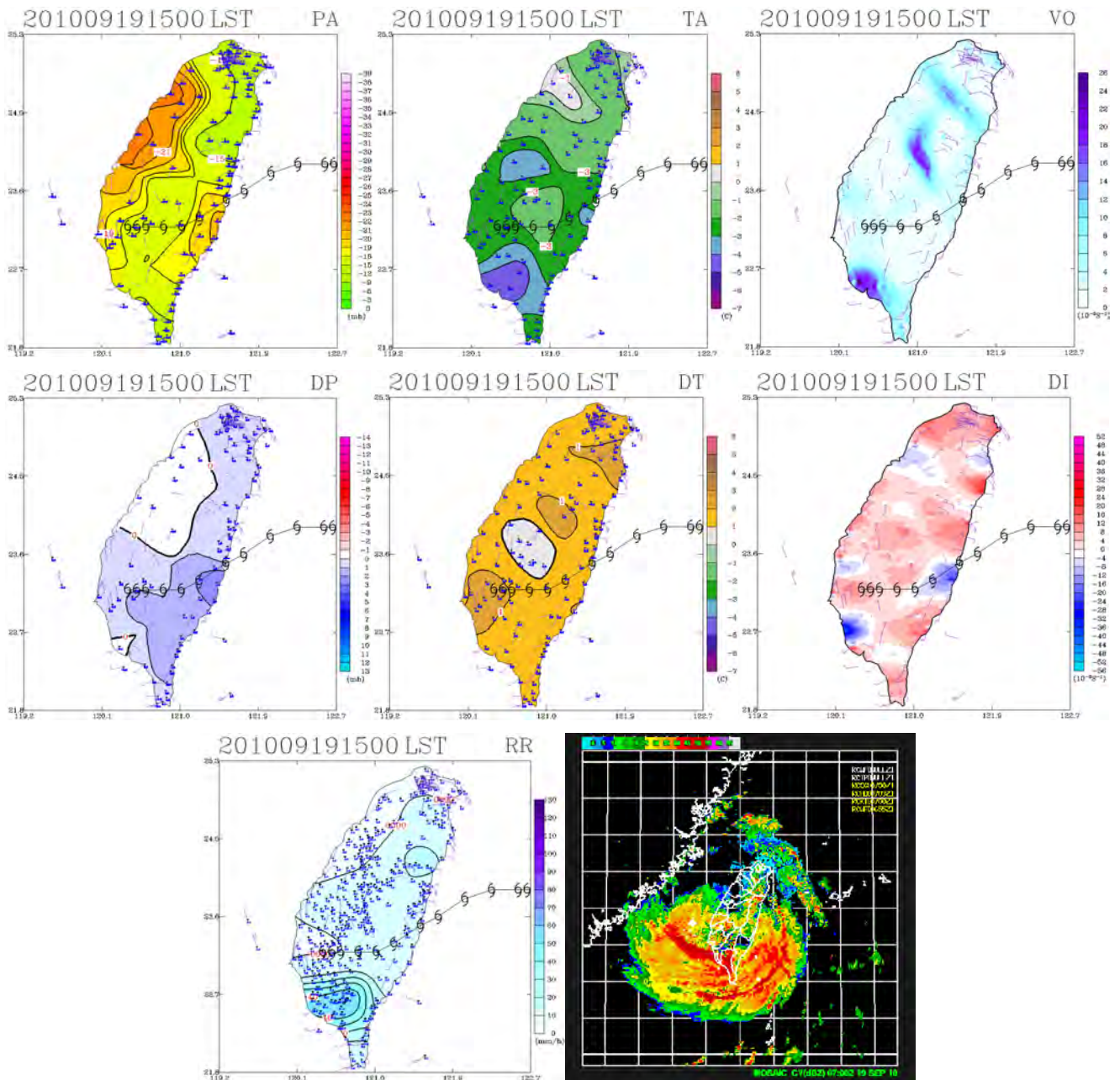


圖 3.25 201009191500LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。

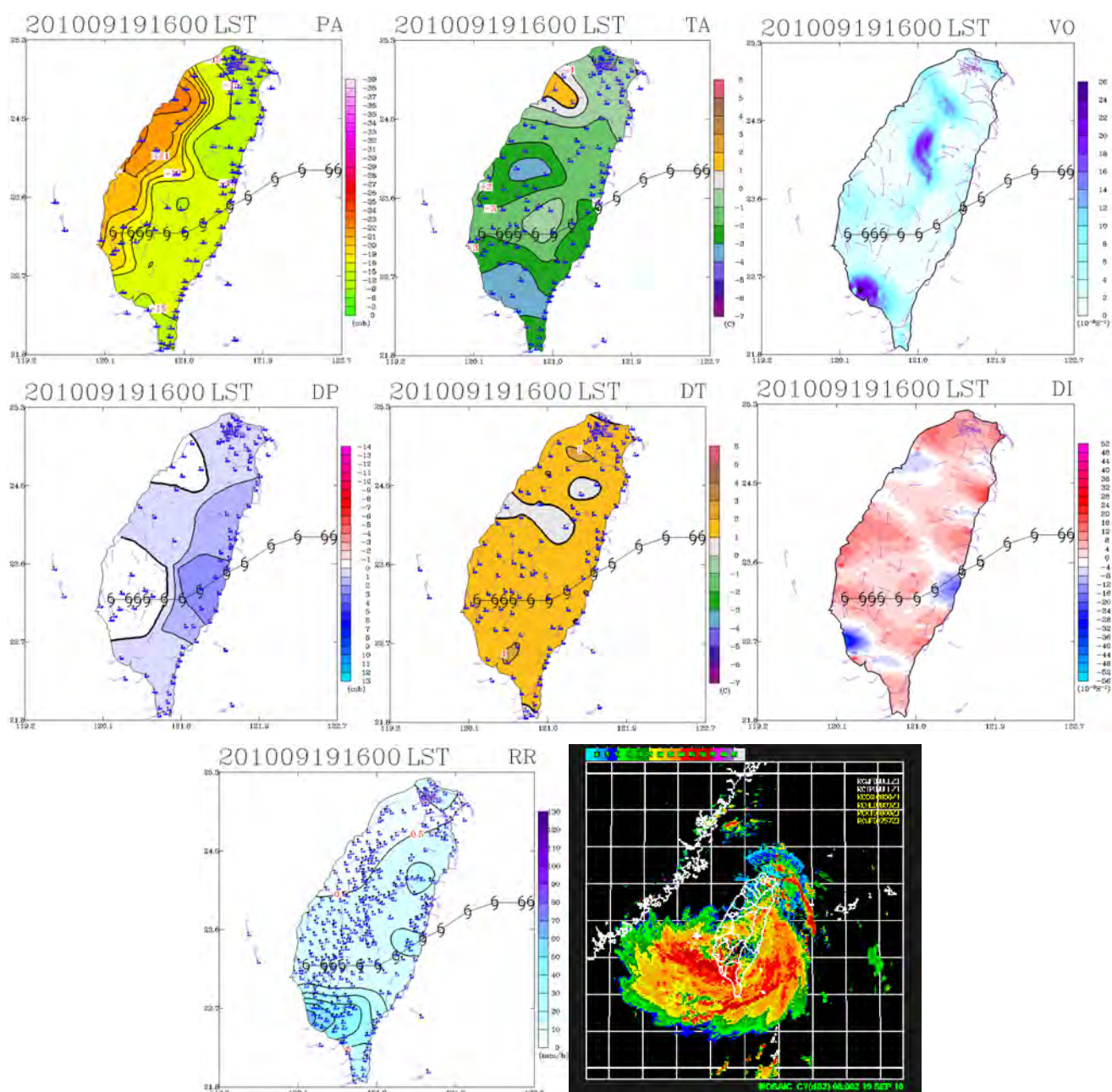


圖 3.26 201009191600LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。

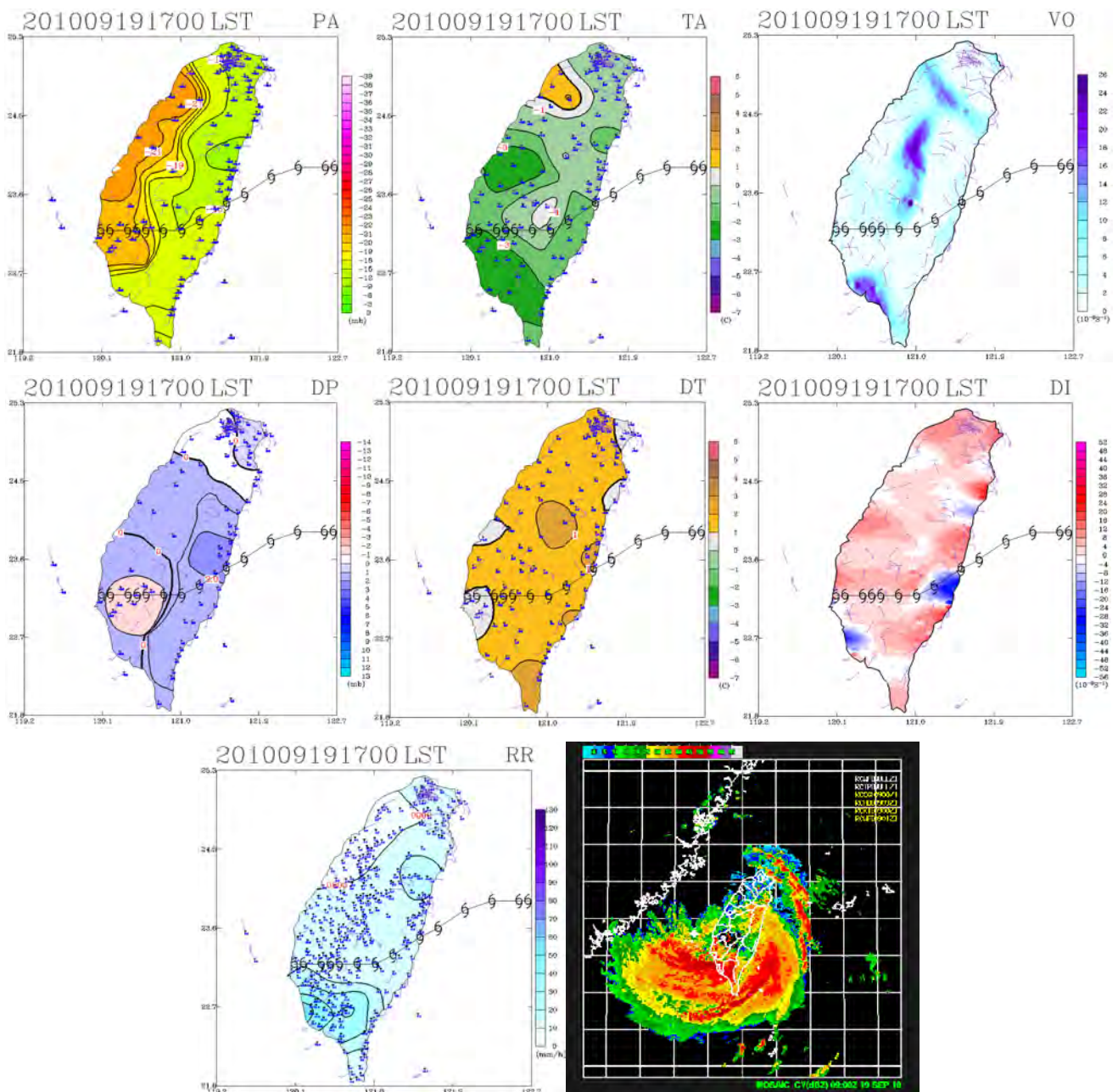


圖 3.27 201009191700LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。

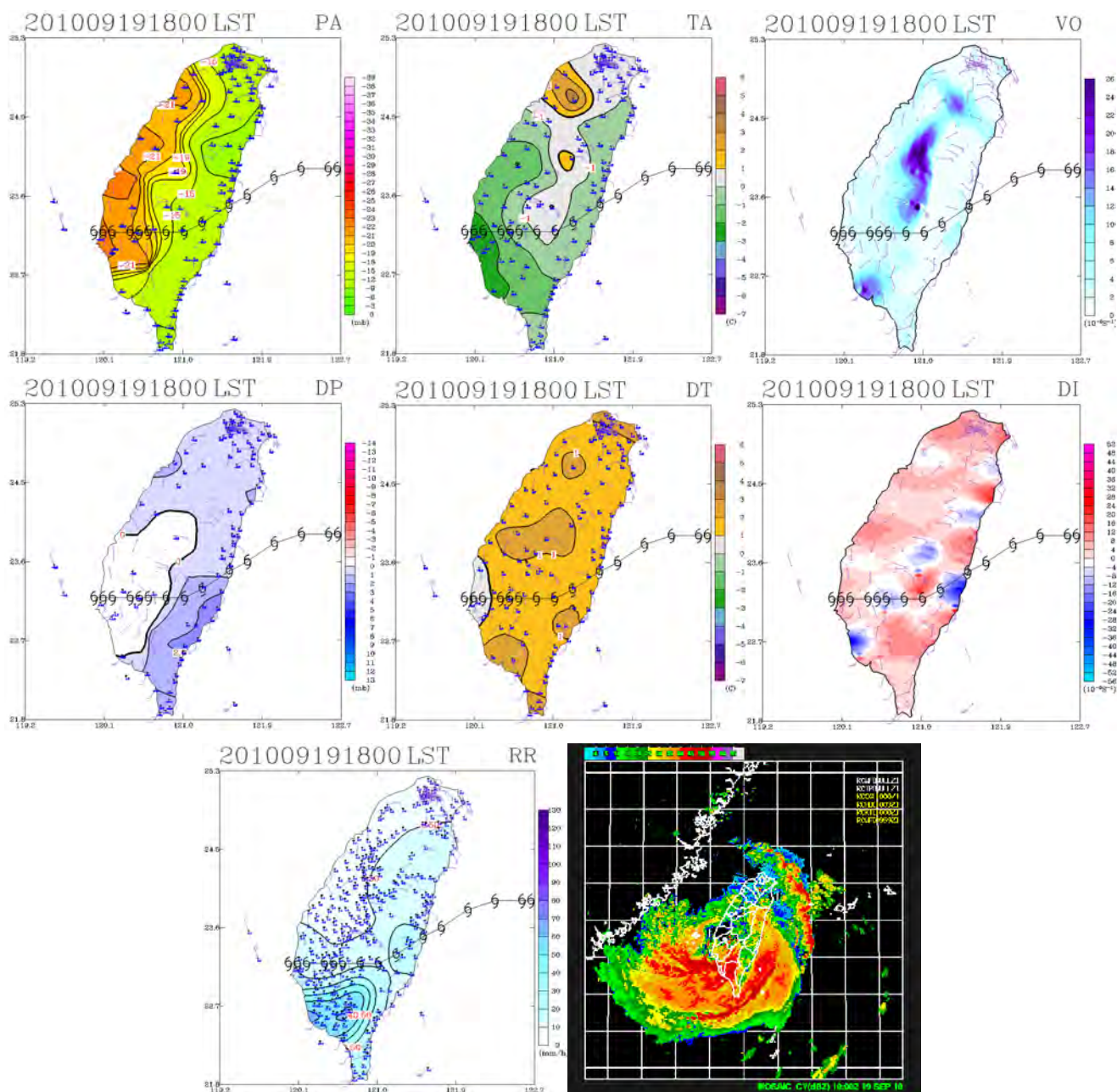
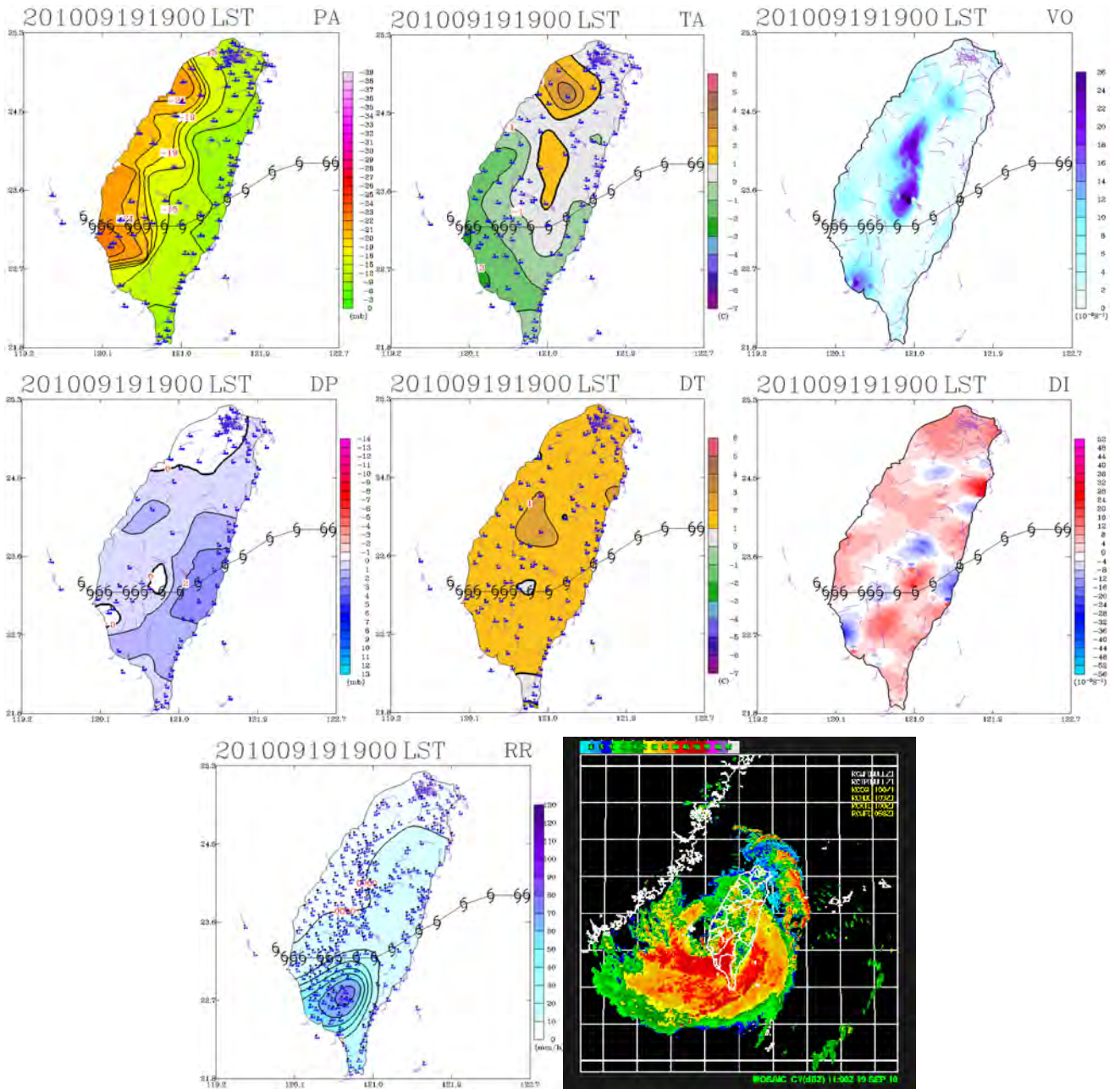


圖 3.28 201009191800LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。



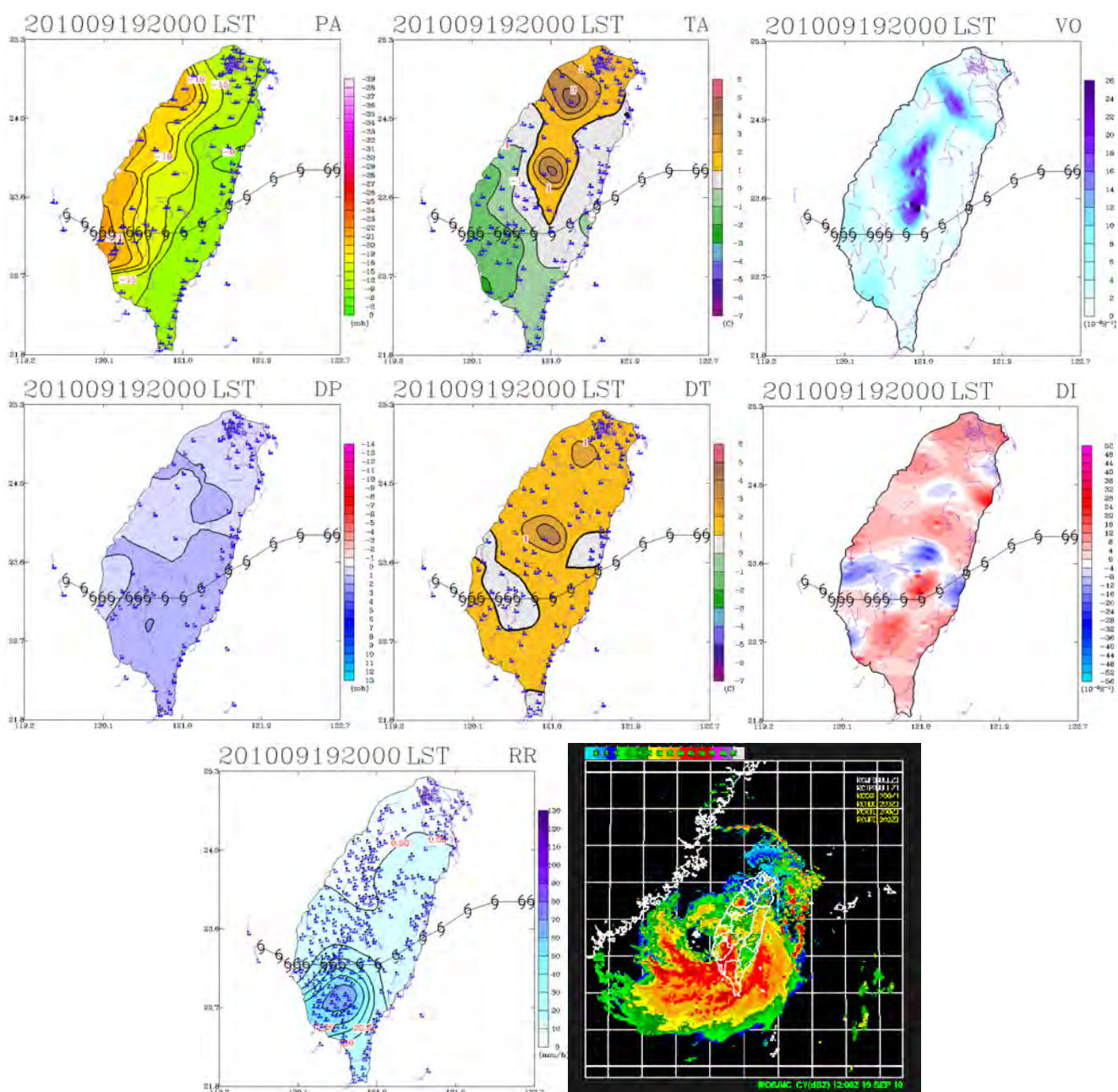


圖 3.30 201009192000LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}C$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}C$ 。VO 為渦度場，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 $10^{-5} s^{-1}$ 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。

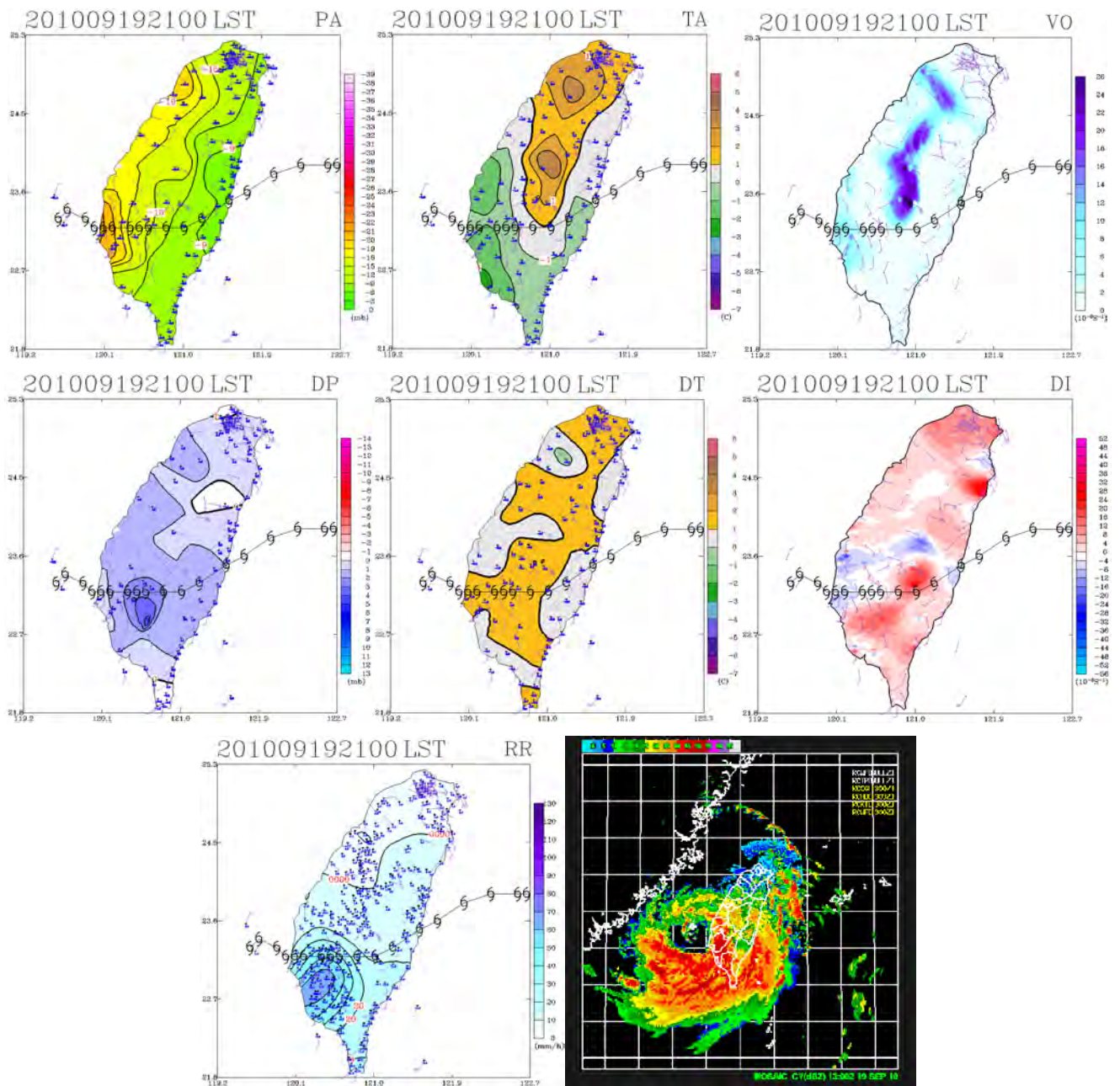


圖 3.31 201009192100LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。

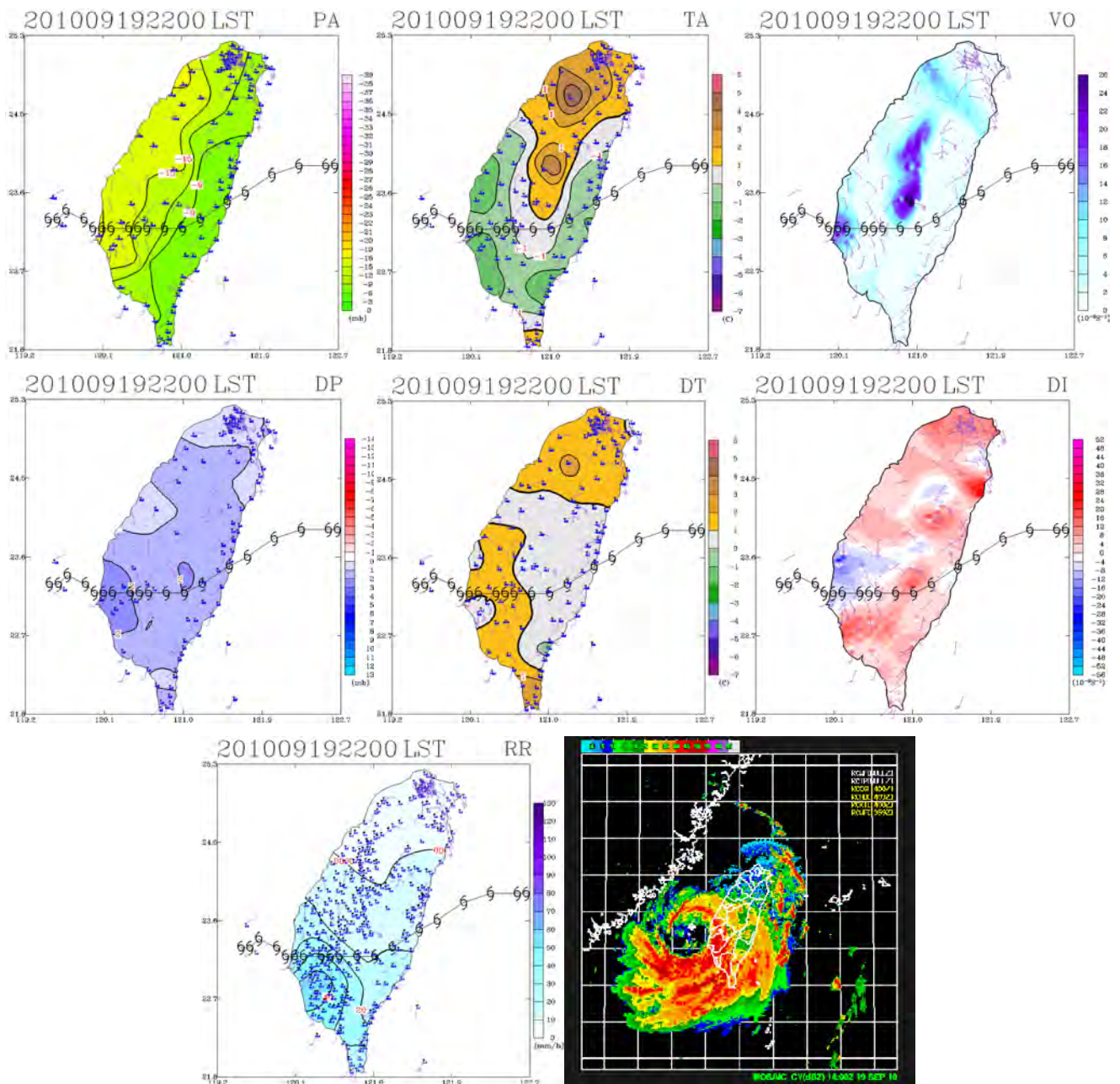


圖 3.32 201009192200LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。

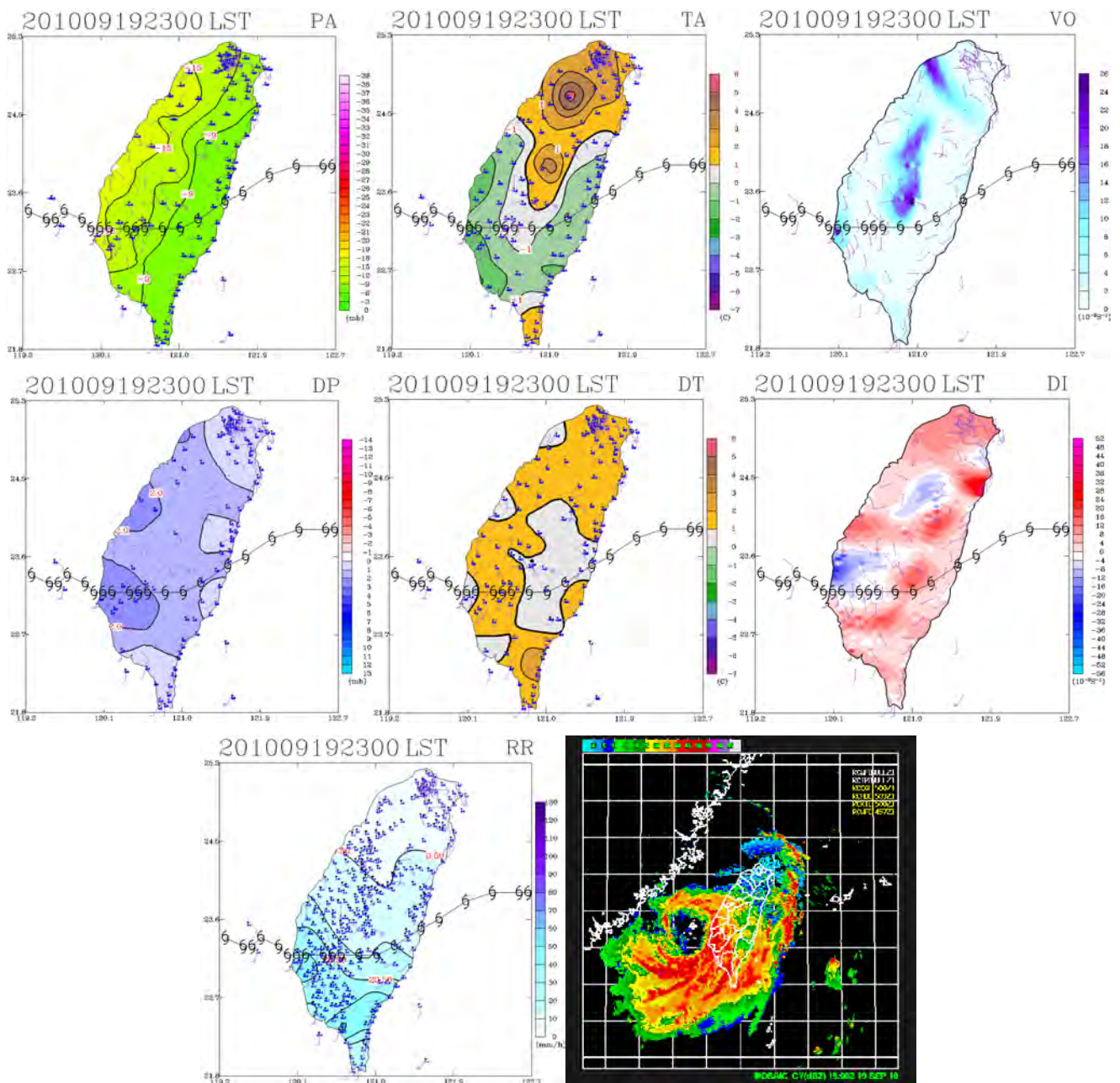


圖 3.33 201009192300LST 全台地面測站氣象參數及合成雷達回波分布圖。PA 為氣壓距平，單位為 mb。DP 為 1 小時氣壓趨勢，暖系色階為壓降，冷系色階為壓升，單位為 mb。TA 為氣溫距平，暖系色階為正距平，冷系色階為負距平，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。DT 為 1 小時溫度變化趨勢，暖系色階為正溫差，冷系色階為負溫差，單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。VO 為渦度場，單位為 10^{-5}s^{-1} 。DI 為輻散場，暖系色階為輻散，冷系色階為輻合，單位為 10^{-5}s^{-1} 。RR 為時雨量，單位為 mm/h。

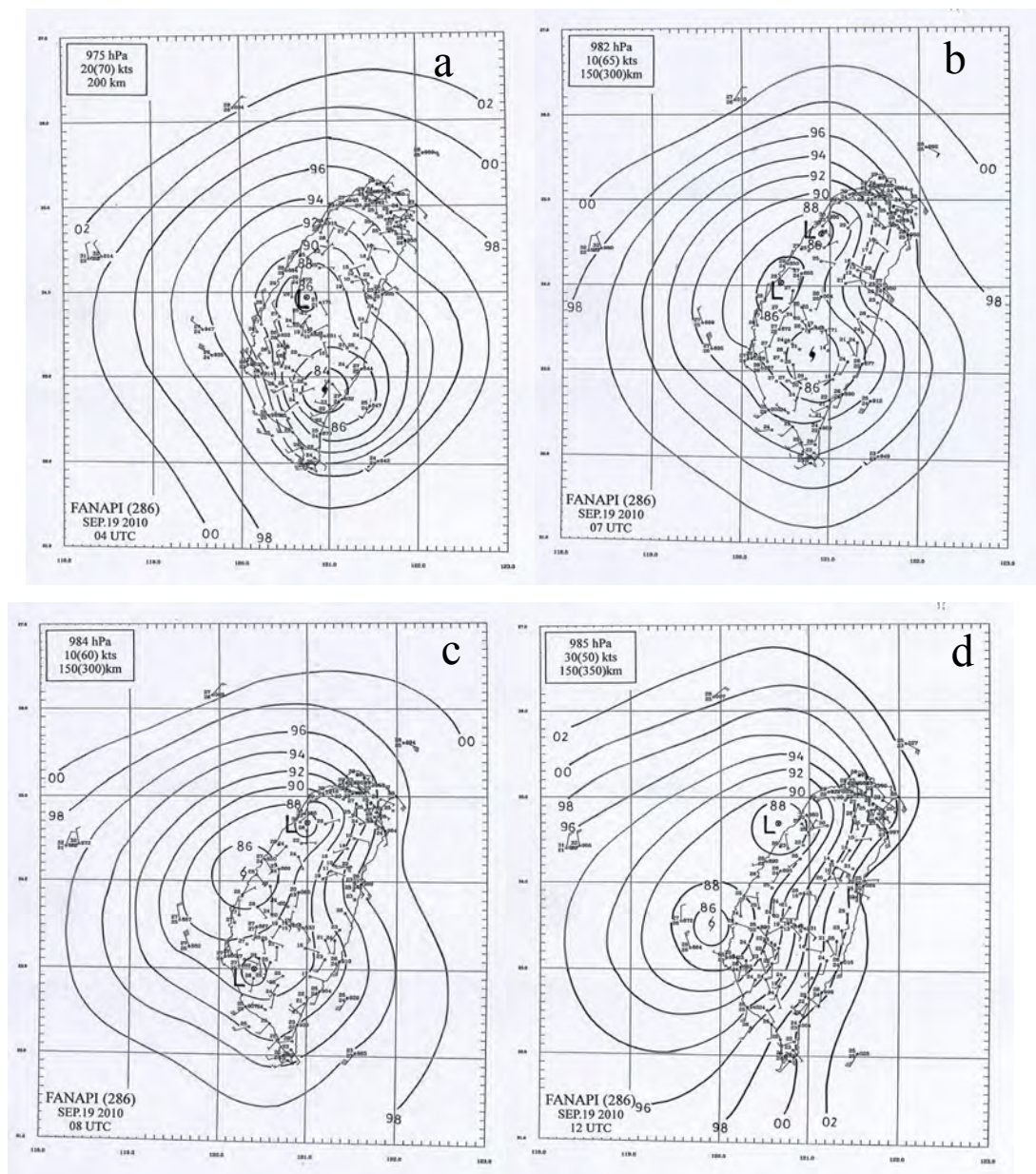


圖 3.34 凡那比颱風地面氣壓場分析。圖 a 為 09191200LST、圖 b 為 09191500LST、圖 c 為 09191600LST、圖 d 為 09192000LST。(中央氣象局侵台颱風資料庫)

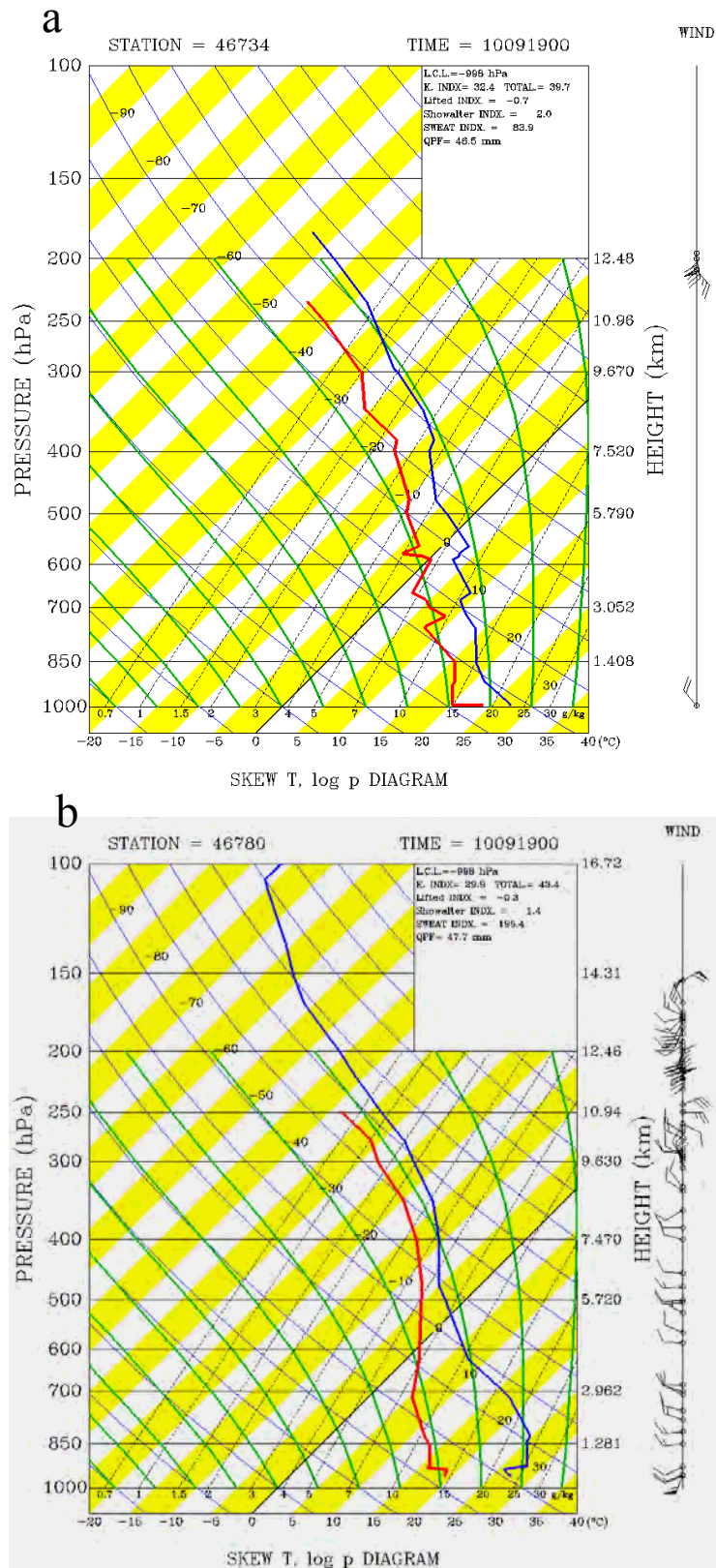


圖 3.35 201009190800LST 馬公(圖 a)及綠島(圖 b)探空。

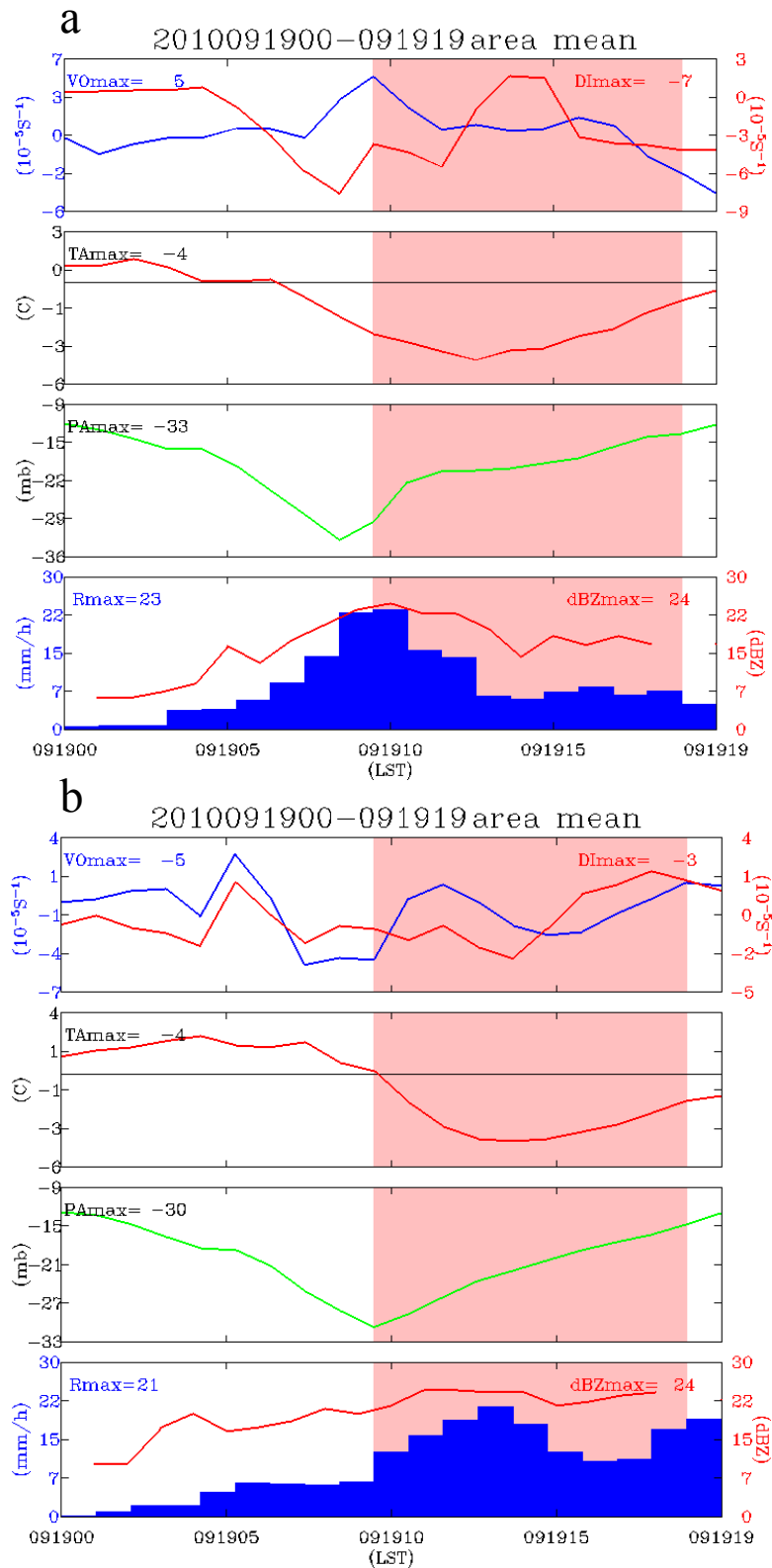


圖 3.36 19 日 00 至 19LST E1(圖 a)及 E2(圖 b)次分區各氣象參數區域平均時間序列圖。由上至下 4 個欄位分別為，平均地面渦度(藍色線條)與輻散場(紅色線條)、平均氣溫距平、平均氣壓距平及平均時雨量與平均回波(次分區平均回波為七股雷達第 2 層仰角)。淡紅色區域為颱風中心在陸地上的時間(091909LST-091918LST)，共計 9 小時。

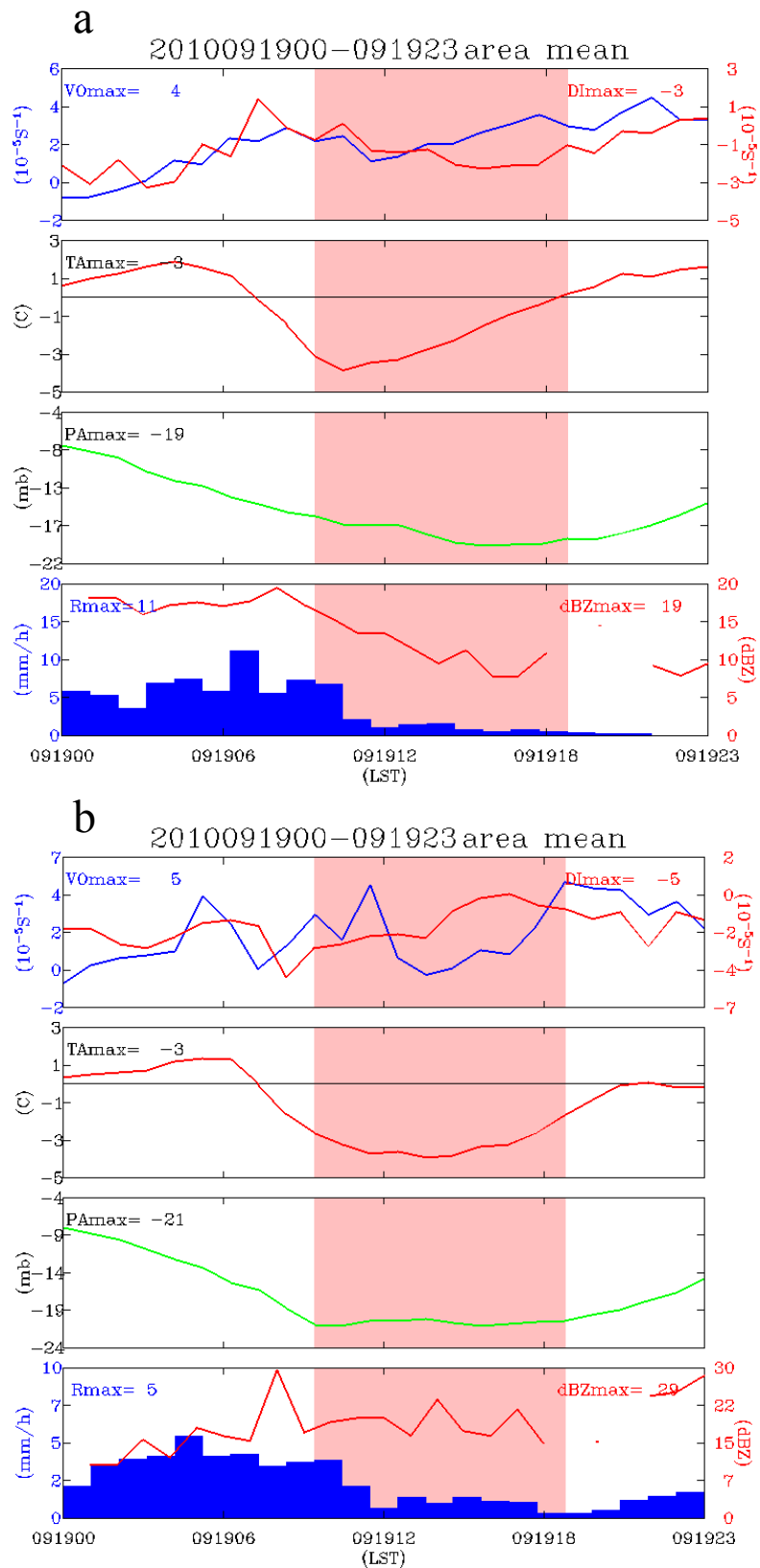


圖 3.37 19 日 00 至 23LST W1(圖 a)、W2(圖 b)及 W3(圖 c)次分區各氣象參數區域平均時間序列圖。由上至下 4 個欄位分別為，平均地面渦度(藍色線條)與輻散場(紅色線條)、平均氣溫距平、平均氣壓距平及平均時雨量與平均回波。淡紅色區域為颱風中心在陸地上的時間。

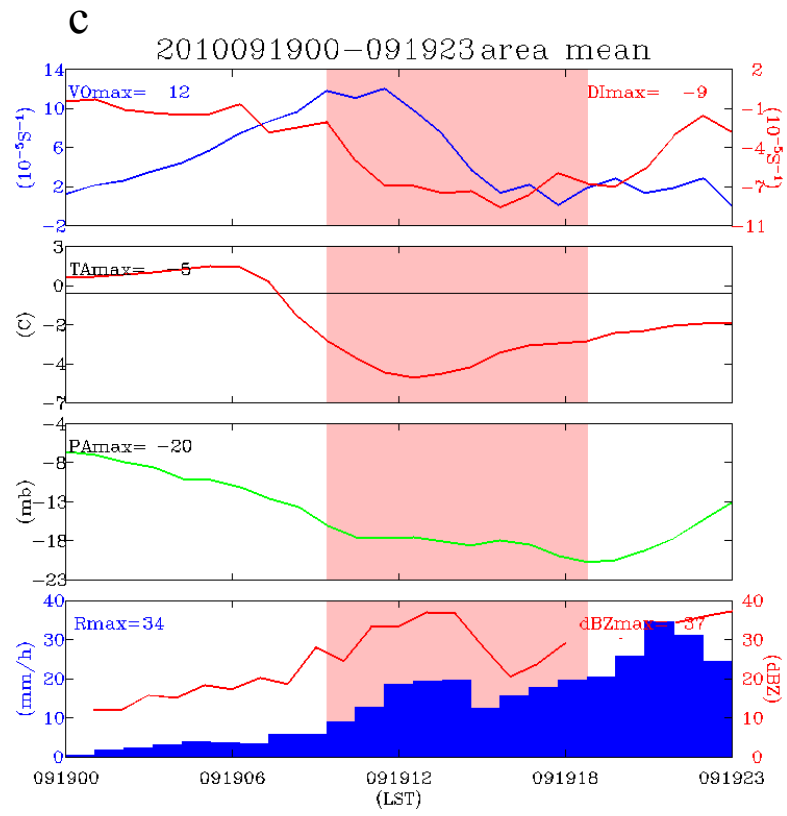


圖 3.37 續。

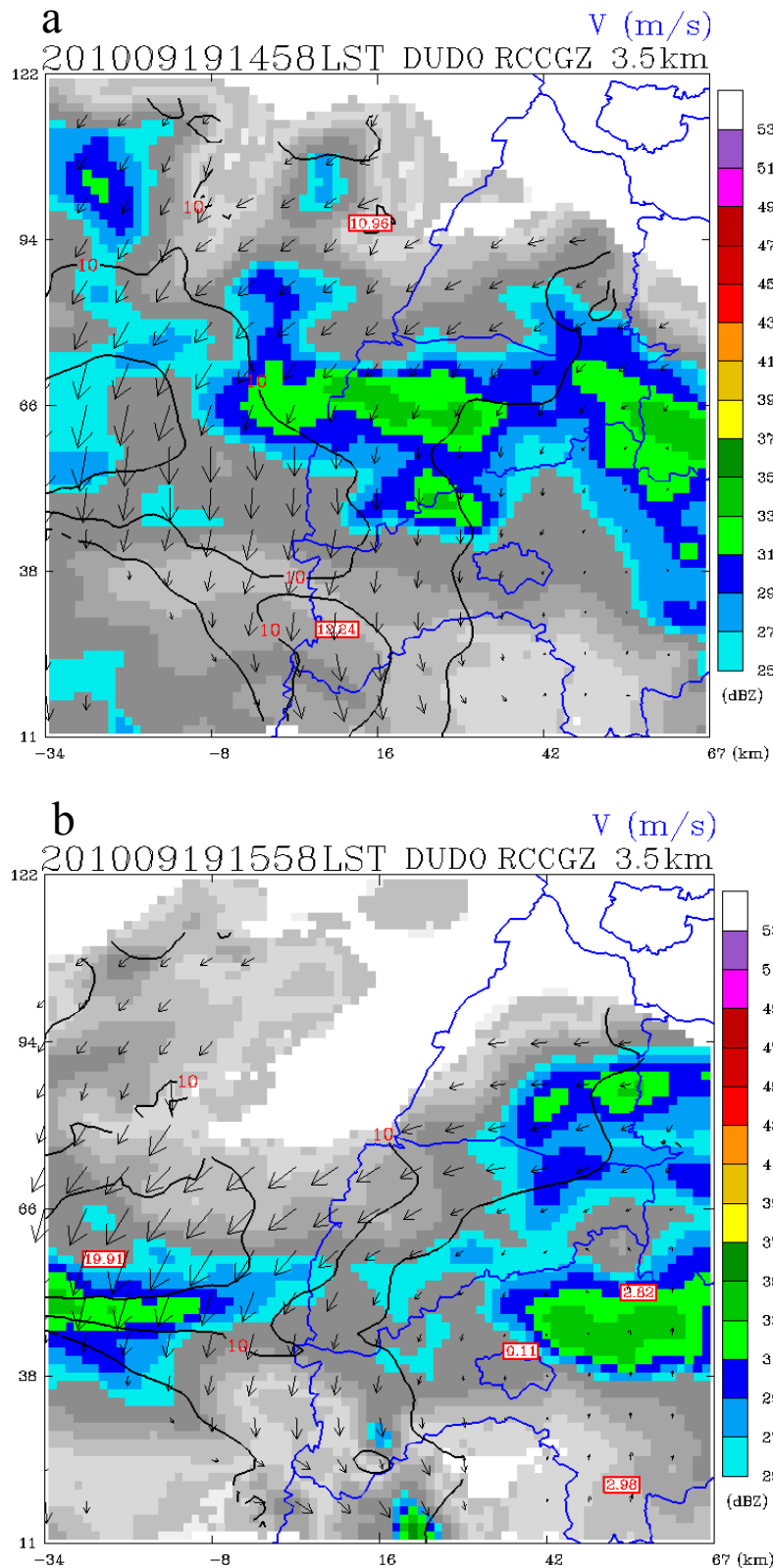


圖 3.38 D1 區域 3.5 公里高度雙都卜勒合成風場，圖 a、b 分別為 9191458LST 及 9191558LST。等值線為風速，單位為 m/s，色階部分為回波場，為七股雷達第 2 層仰角回波，縱座標及橫坐標為相對七股雷的距離。

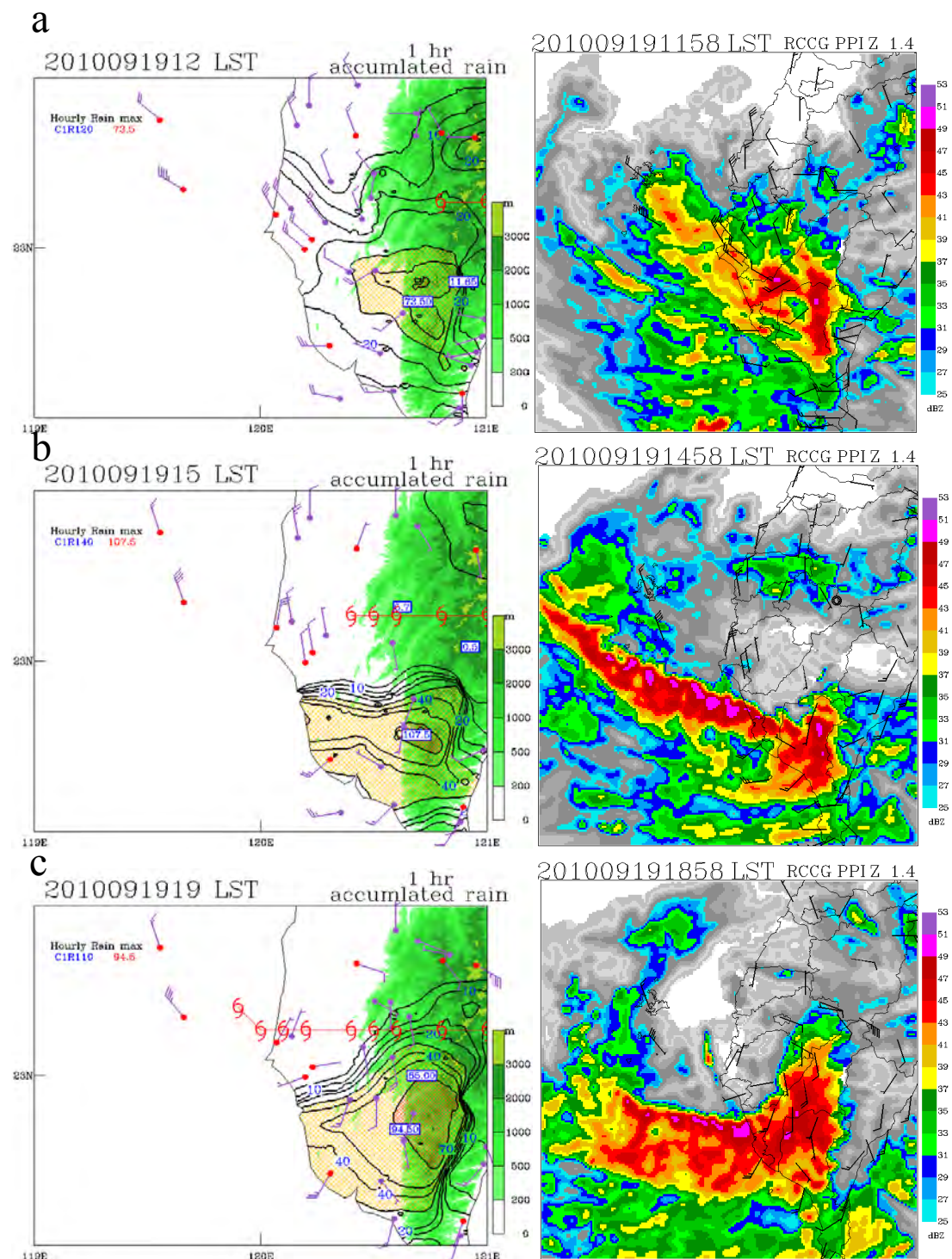


圖 3.39 七股雷達 1.4 度仰角 PPI 回波圖及所對應時間地面測站時雨量、風向風速。左圖等值線為前 1 小時之累積雨量，風標為地面測站所觀測風向風速(單位為 knot)，颱風符號為氣象局最佳路徑之颱風中心位置；右圖色階部分為回波值大於 25dBZ 的區域。

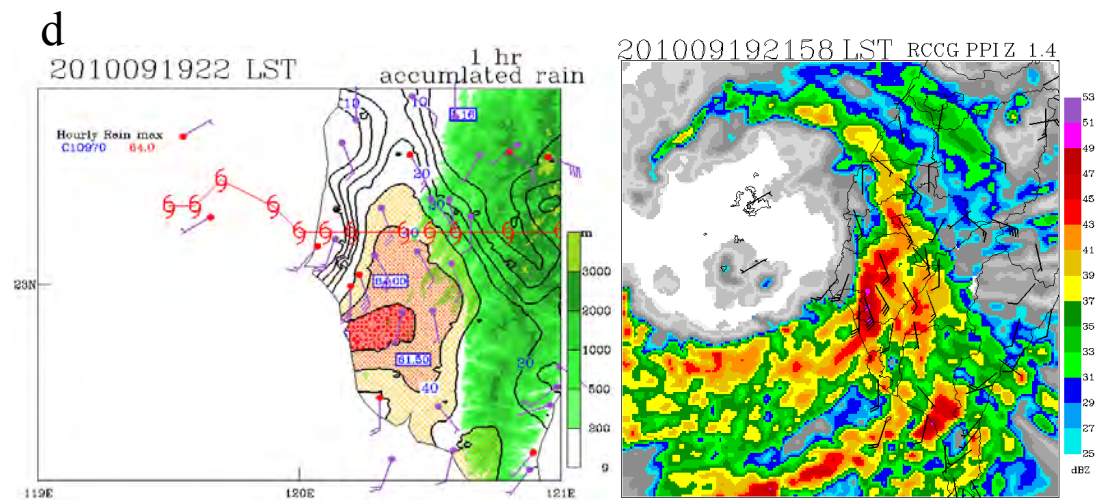


圖 3.39 續。

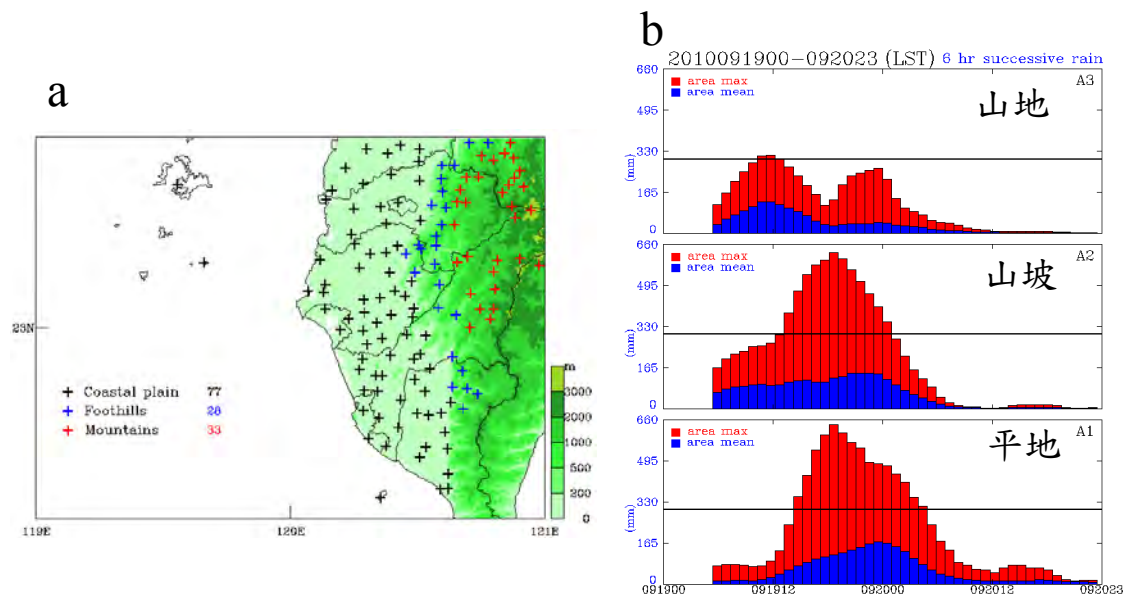


圖 3.40 分析區域範圍內所地面雨量站分布(圖 a)與連續 6 小時累積雨量歷線圖(圖 b)。圖 a 中黑色十字代表平地地區雨量站，藍色十字代表山坡地區雨量站，紅色十字代表山地地區雨量站。圖 b 中 A1 代表平地地區，A2 代表山坡地區，A3 代表山地地區，條狀紅色區域代表區域極值，條狀藍色區域代表區域平均值，水平黑色線條為 300 毫米雨量門檻值。

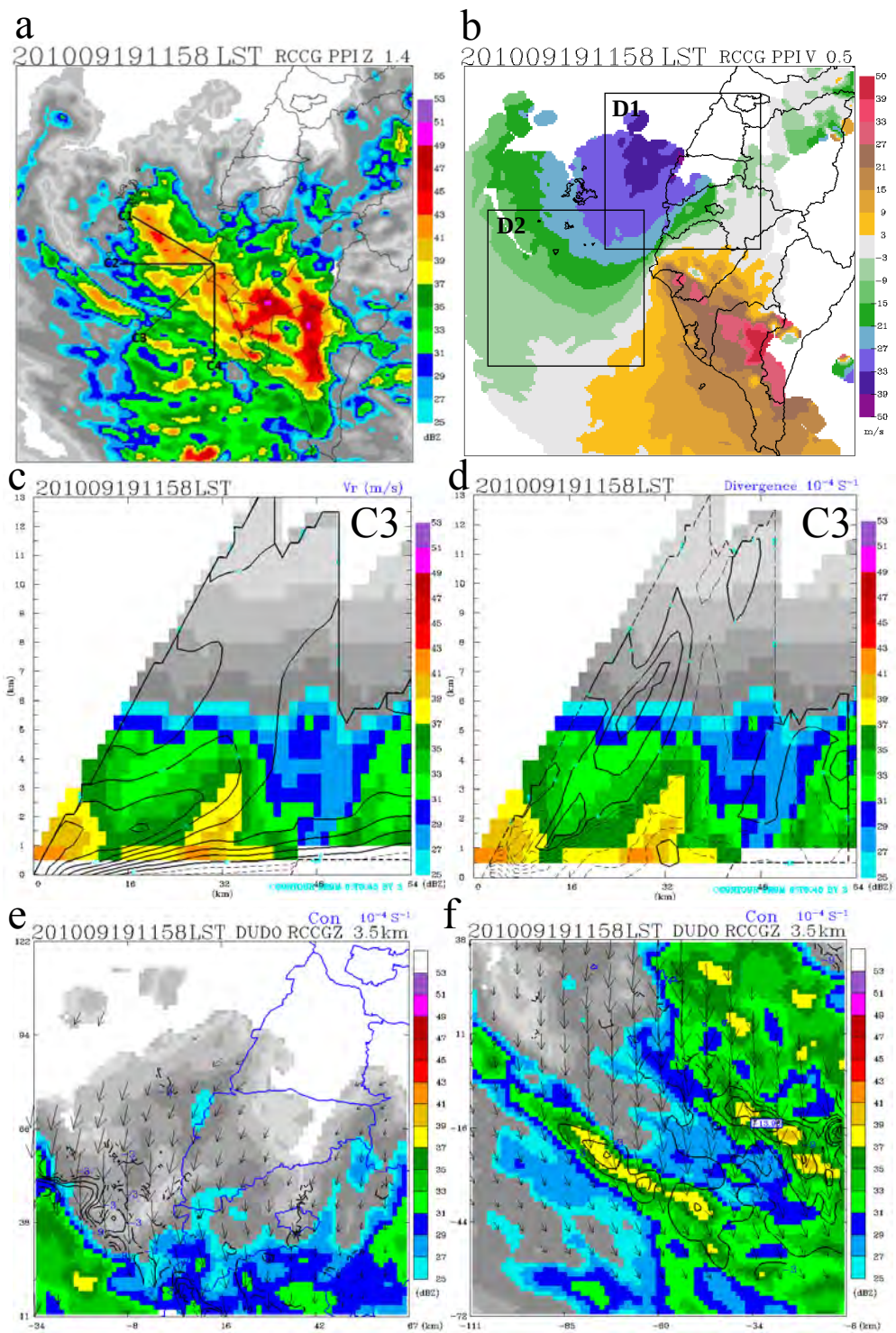


圖 3.41 19 日 1158LST 七股雷達 1.4 度仰角雷達回波(圖 a)及都卜勒徑向風場(圖 b)分布圖。圖 c、d 分別為圖 a 中 C3 垂直剖面分析之都卜勒徑向速度(等值線實線為正值，代表出流；等值線虛線為負值，代表入流)及其對應之輻散場(等值線實線為正值，代表輻散；等值線虛線為負值，代表輻合)。圖 e、f 分別為 D1 及 D2 區域高度 3.5 公里雙都卜勒合成風場及輻合場(等值線)。

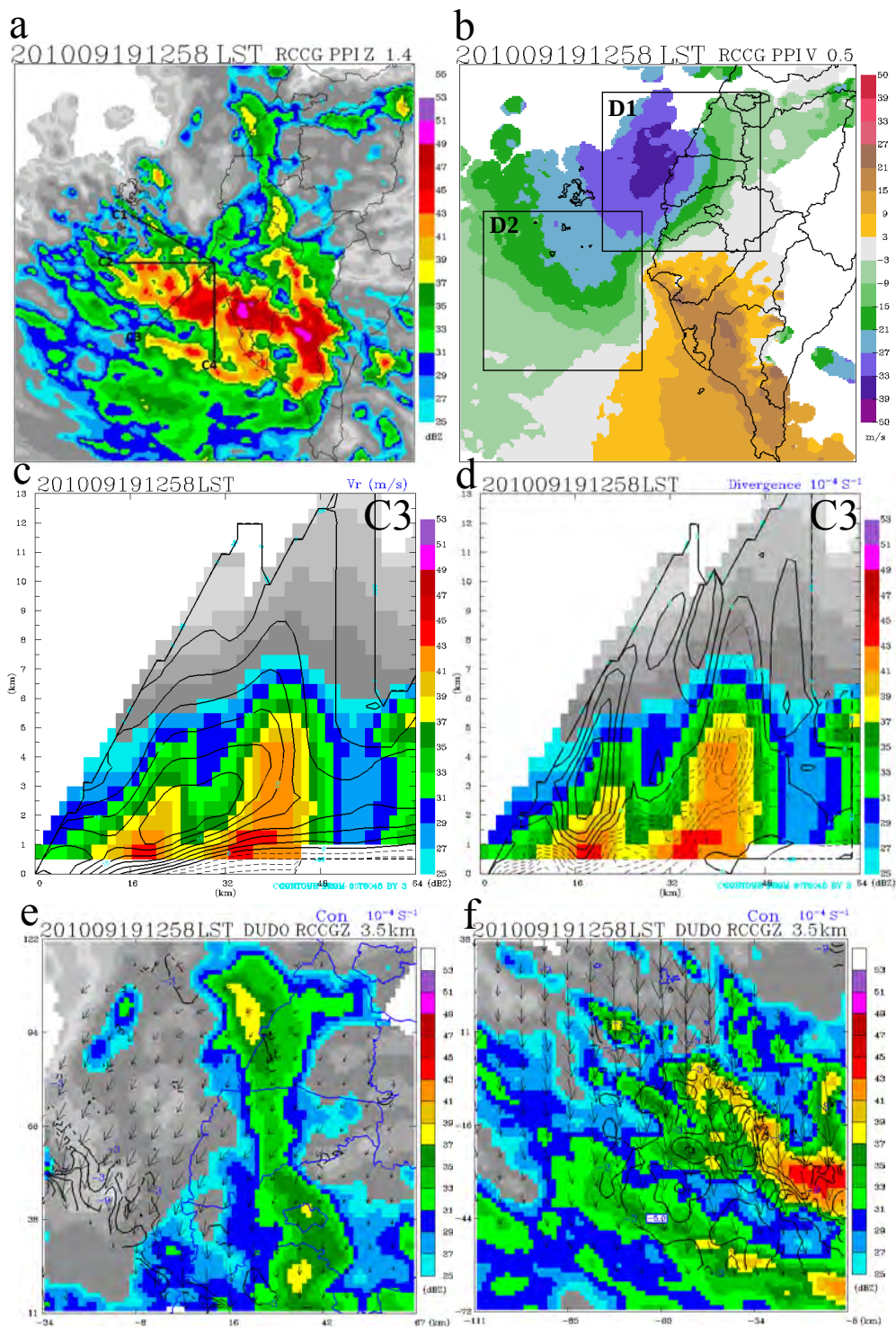


圖 3.42 19 日 1258LST 七股雷達 1.4 度仰角雷達回波(圖 a)及都卜勒徑向風場(圖 b)分布圖。圖 c、d 分別為圖 a 中 C3 垂直剖面分析之都卜勒徑向速度(等值線實線為正值，代表出流；等值線虛線為負值，代表入流)及其對應之輻散場(等值線實線為正值，代表輻散；等值線虛線為負值，代表輻合)。圖 e、f 分別為 D1 及 D2 區域高度 3.5 公里雙都卜勒合成風場及輻合場(等值線)。

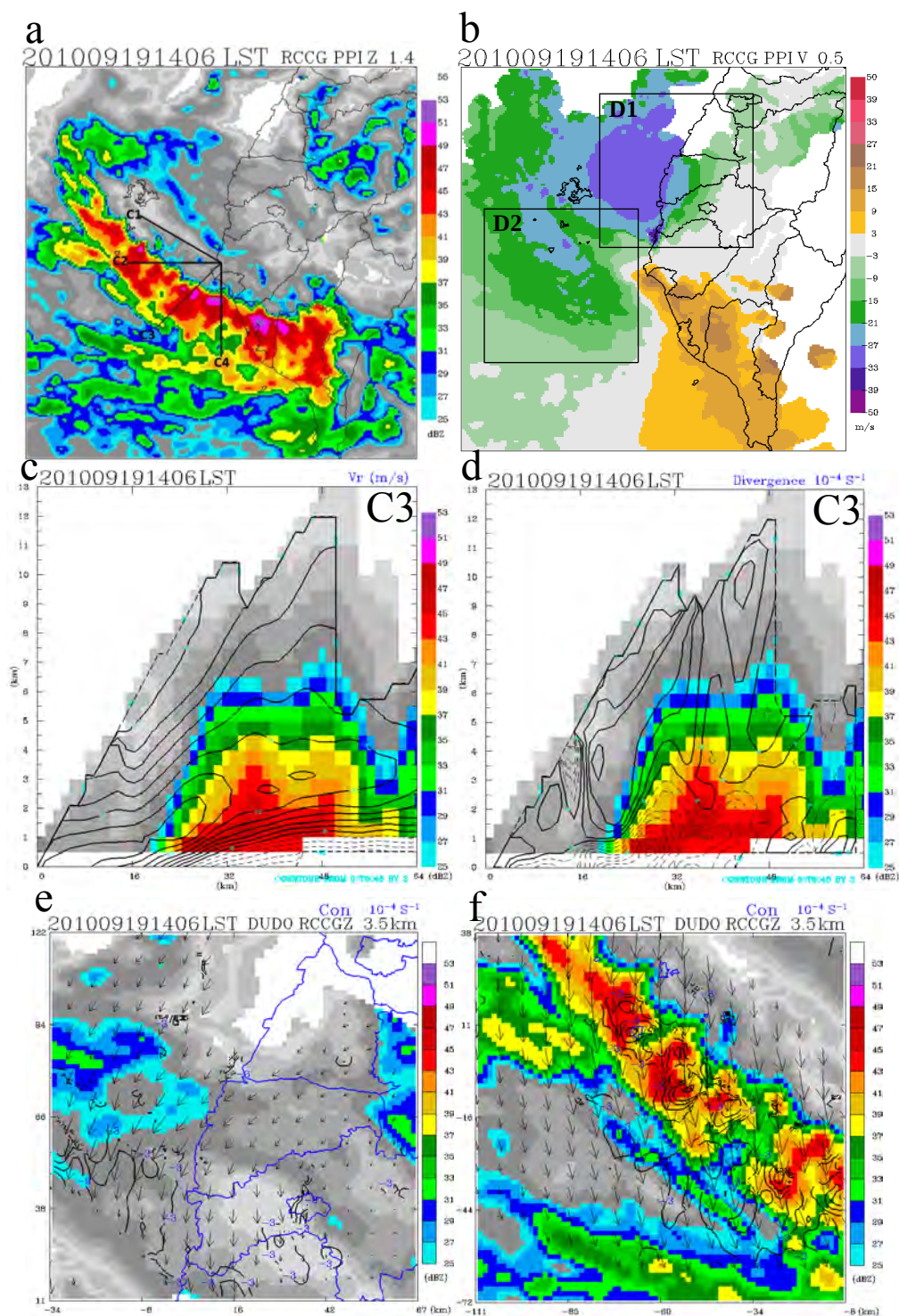


圖 3.43 19 日 1406LST 七股雷達 1.4 度仰角雷達回波(圖 a)及都卜勒徑向風場(圖 b)分布圖。圖 c、d 分別為圖 a 中 C3 垂直剖面分析之都卜勒徑向速度(等值線實線為正值，代表出流；等值線虛線為負值，代表入流)及其對應之輻散場(等值線實線為正值，代表輻散；等值線虛線為負值，代表輻合)。圖 e、f 分別為 D1 及 D2 區域高度 3.5 公里雙都卜勒合成風場及輻合場(等值線)。

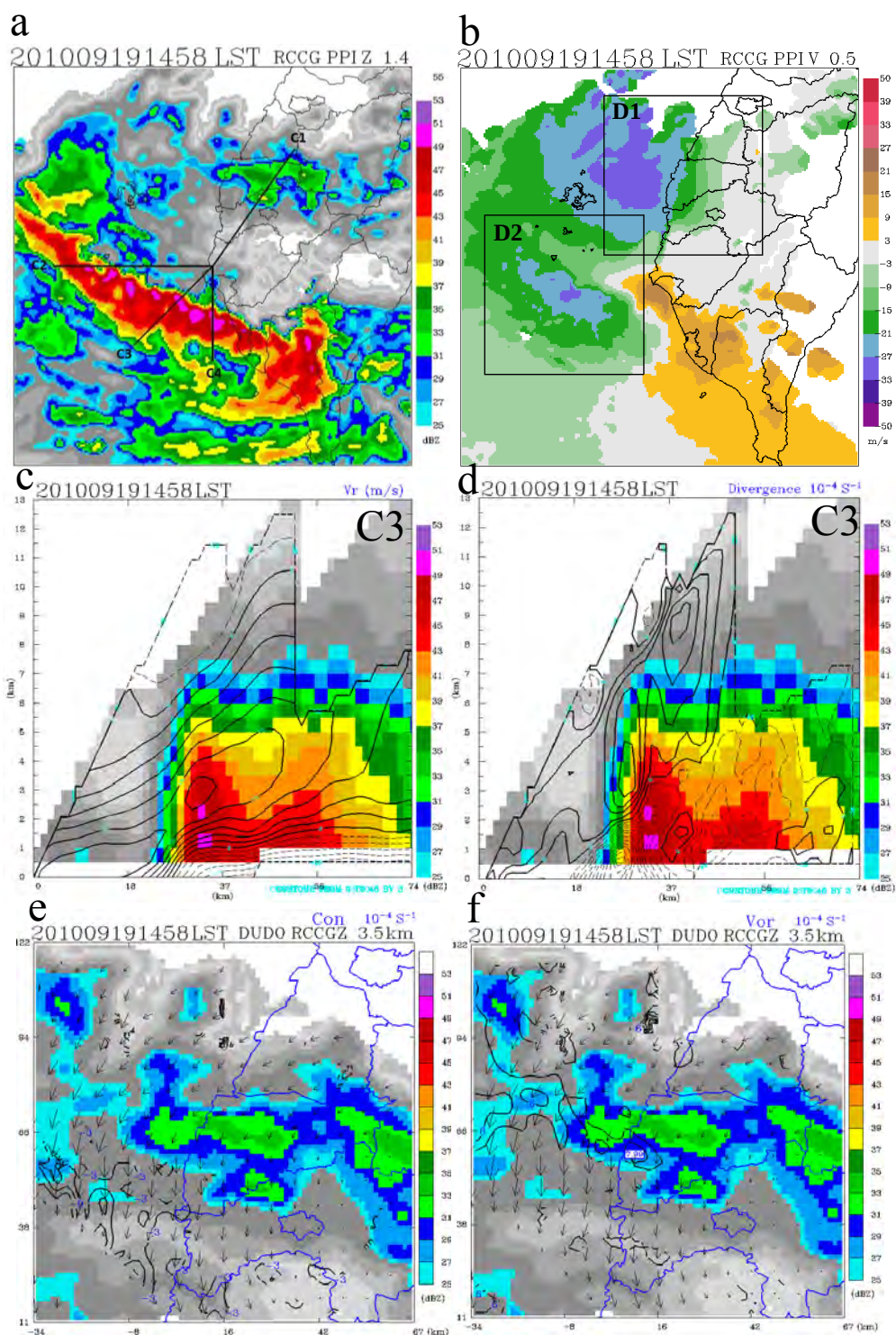


圖 3.44 19 日 1458LST 七股雷達 1.4 度仰角雷達回波(圖 a)及都卜勒徑向風場(圖 b)分布圖。圖 c、d 分別為圖 a 中 C3 垂直剖面分析之都卜勒徑向速度(等值線實線為正值，代表出流；等值線虛線為負值，代表入流)及其對應之輻散場(等值線實線為正值，代表輻散；等值線虛線為負值，代表輻合)。圖 e、f 分別為 D1 及 D2 區域高度 3.5 公里雙都卜勒合成風場及輻合場(等值線)。

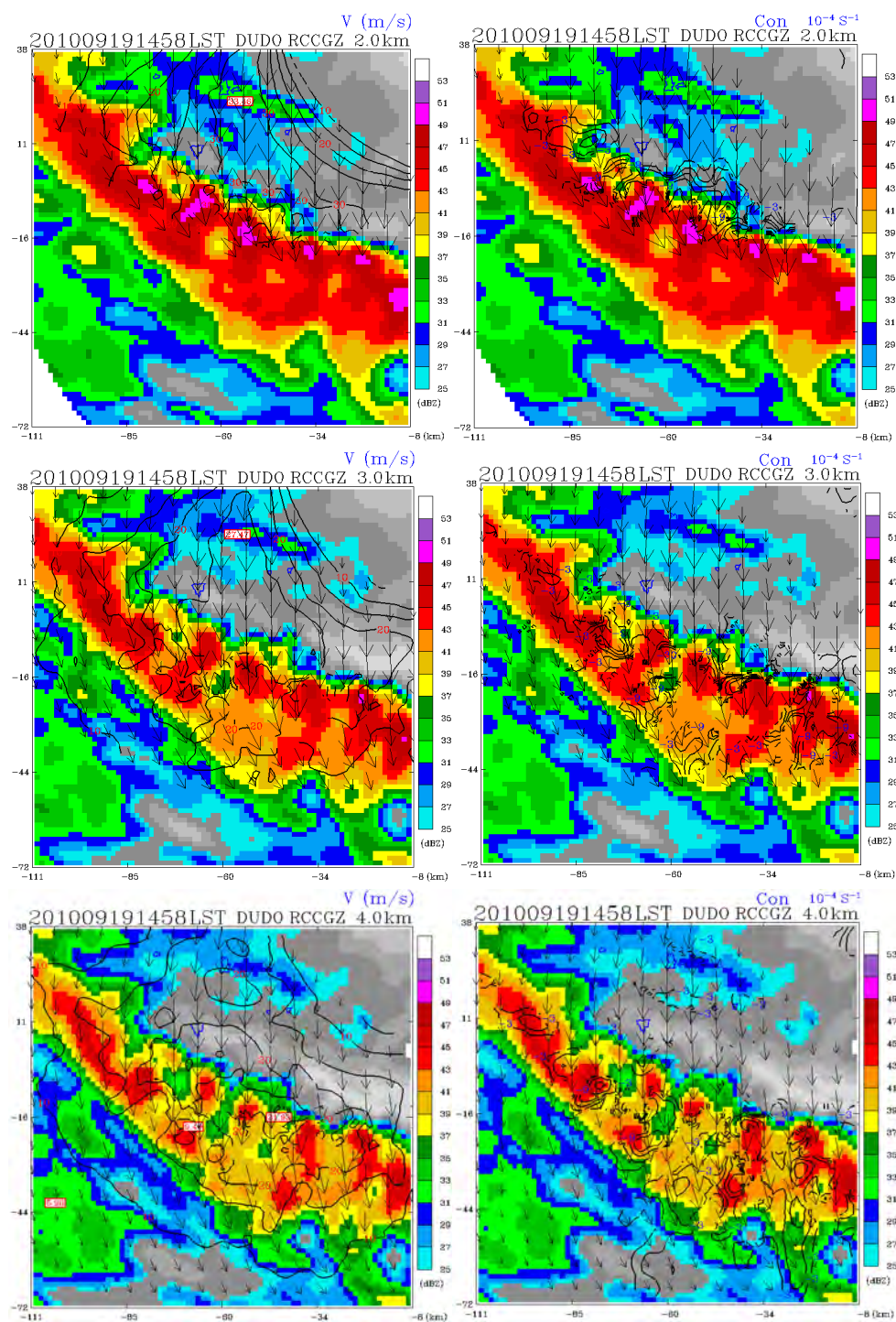


圖 3.45 19 日 1458LST D2 區域內 2、3 及 4 公里高度雙都卜勒合成風場及輻合場。橫軸及縱軸座標為相對於七股雷達的距離。圖中色階部分為七股雷達回波場，等值線部分別為風速值(單位為 m/s)及輻合場(單位為 $10^{-4} S^{-1}$)。

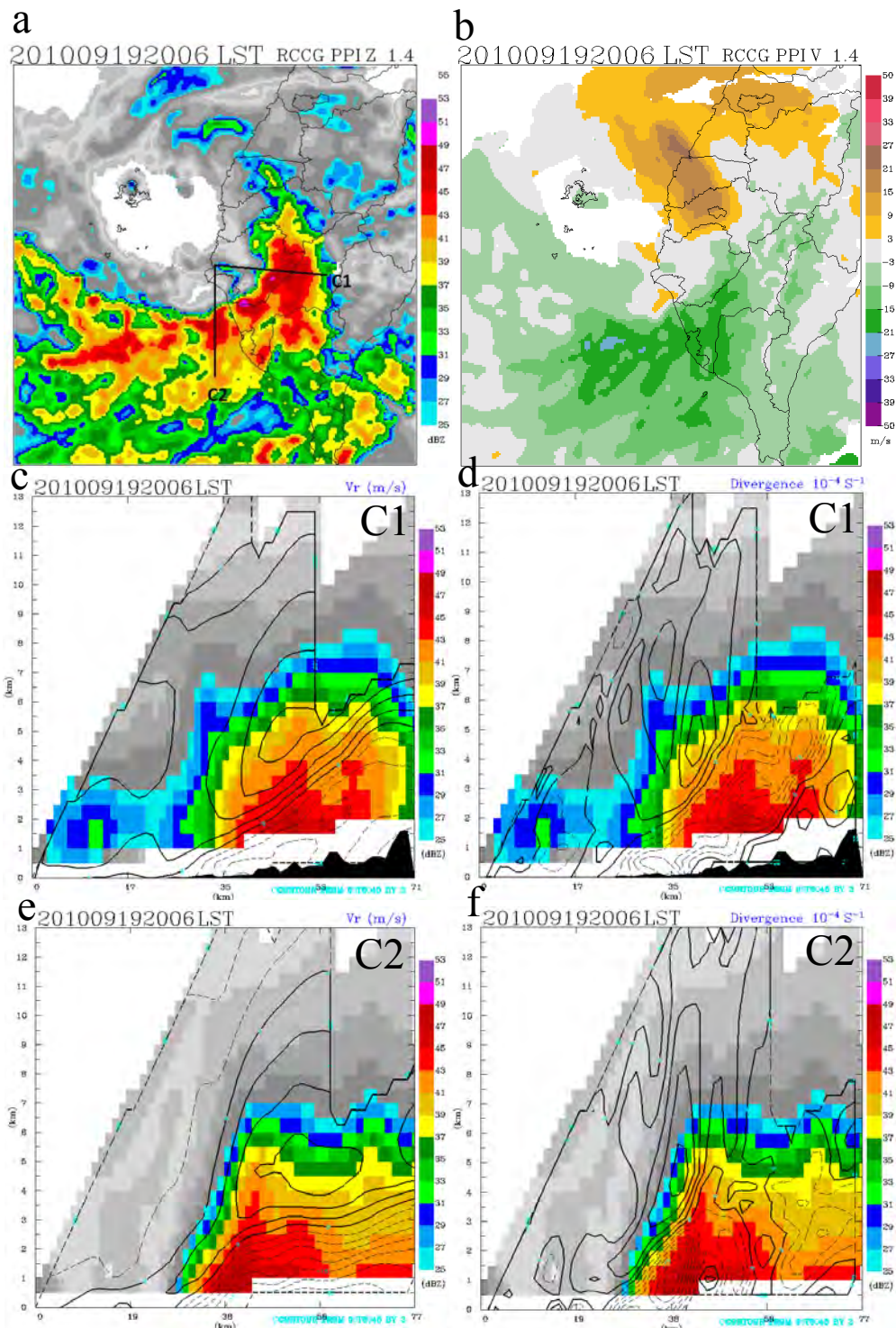


圖 3.46 19 日 2006LST 七股雷達 1.4 度仰角雷達回波(圖 a)及都卜勒徑向風場(圖 b)分布圖。圖 c、d 分別為圖 a 中 C1 垂直剖面分析之都卜勒徑向速度(等值線實線為正值，代表出流；等值線虛線為負值，代表入流)及其對應之輻散場(等值線實線為正值，代表輻散；等值線虛線為負值，代表輻合)。圖 e、f 則為 C2 剖面。

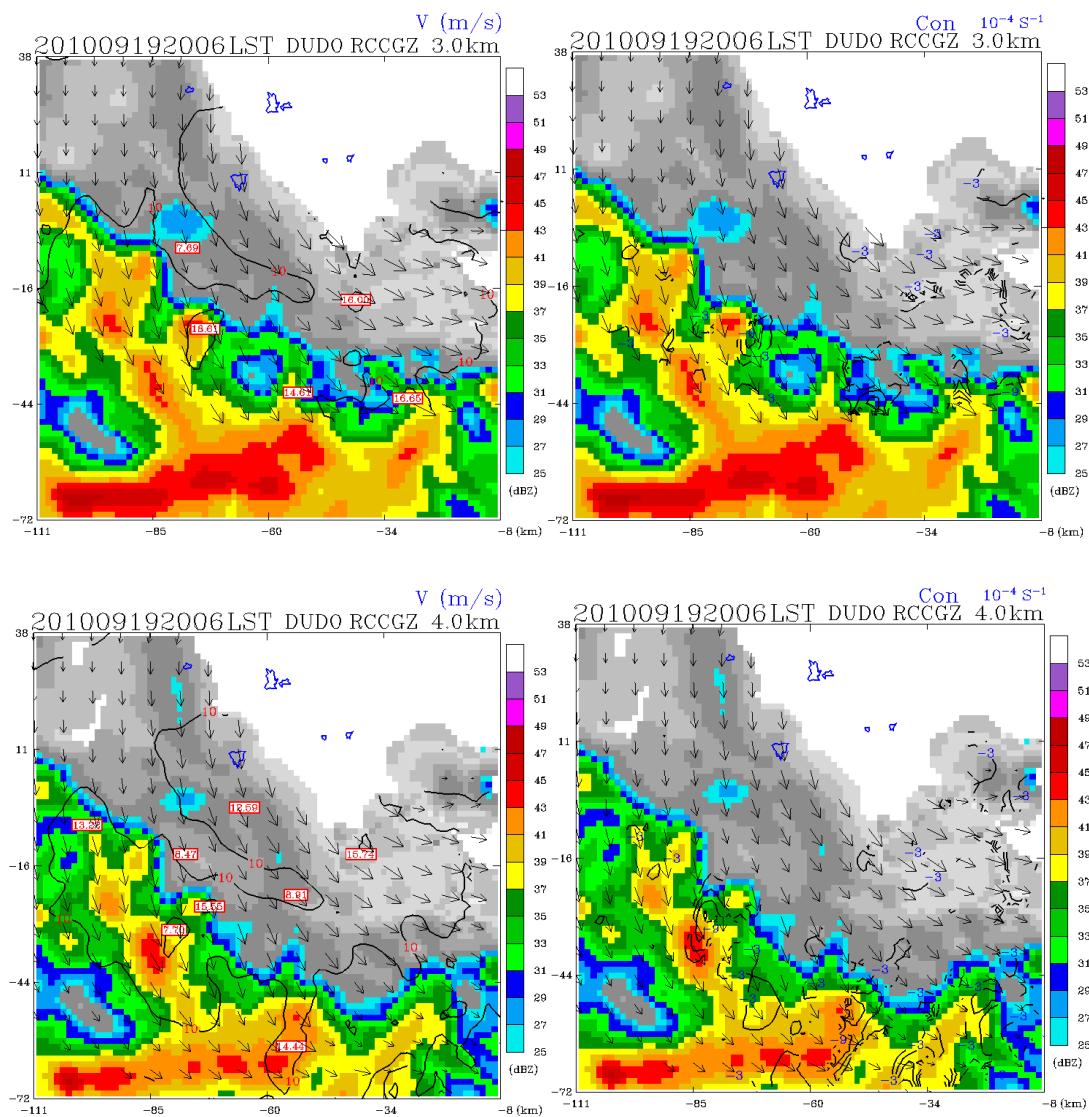


圖 3.47 19 日 2006LST D2 區域內 3 及 4 公里高度雙都卜勒合成風場，橫軸及縱軸座標為相對於七股雷達的距離。圖中色階部分為七股雷達回波場，等值線部分別為風速值(單位為 m/s)及輻合場(單位為 $10^{-4} S^{-1}$)。

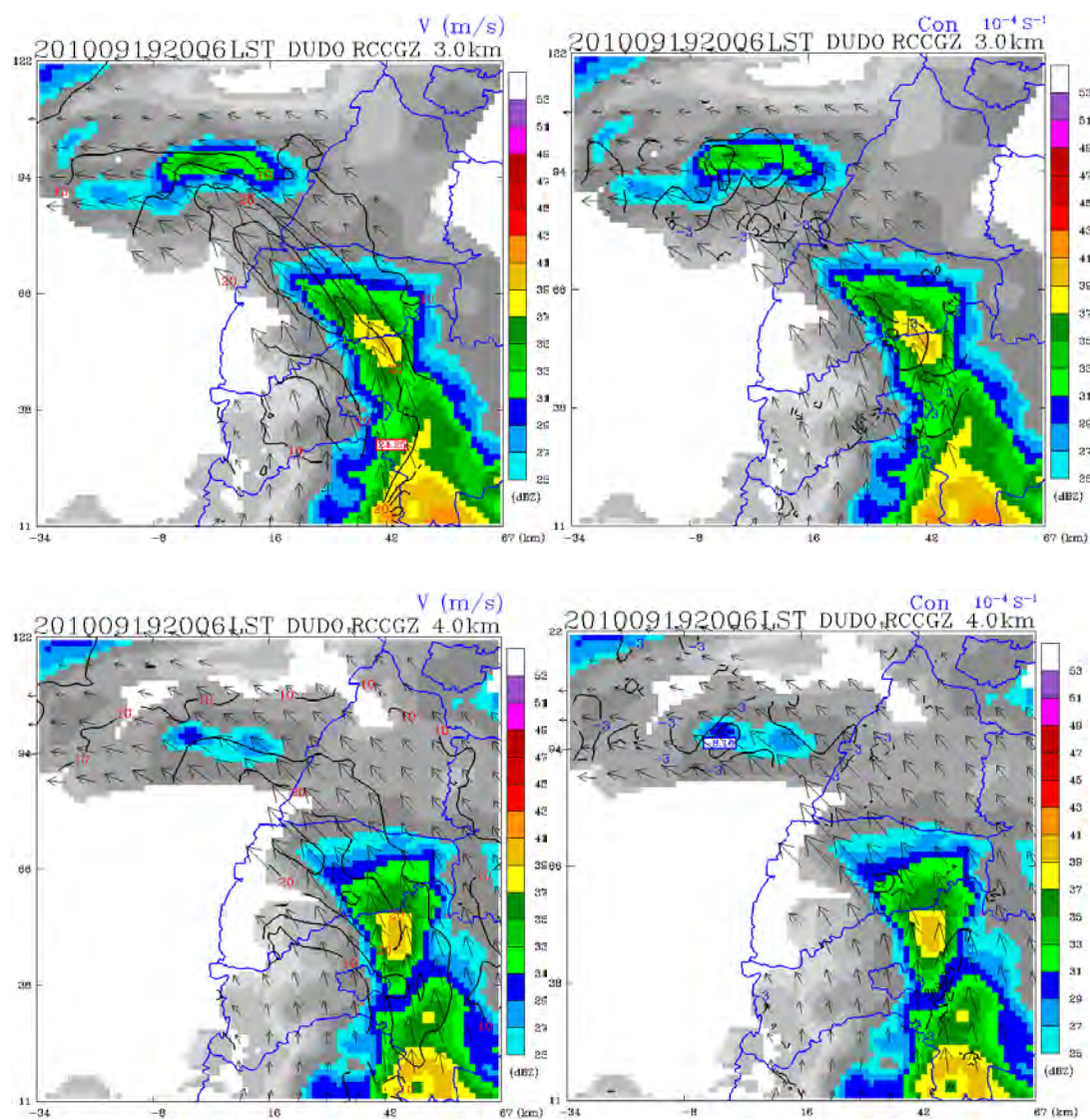


圖 3.48 19 日 2006LST D1 區域內 3 及 4 公里高度雙都卜勒合成風場，橫軸及縱軸座標為相對於七股雷達的距離。圖中色階部分為七股雷達回波場，等值線部分別為風速值(單位為 m/s)及輻合場(單位為 $10^{-4} S^{-1}$)。

201009191458 LST RCCG PPIZ 1.4

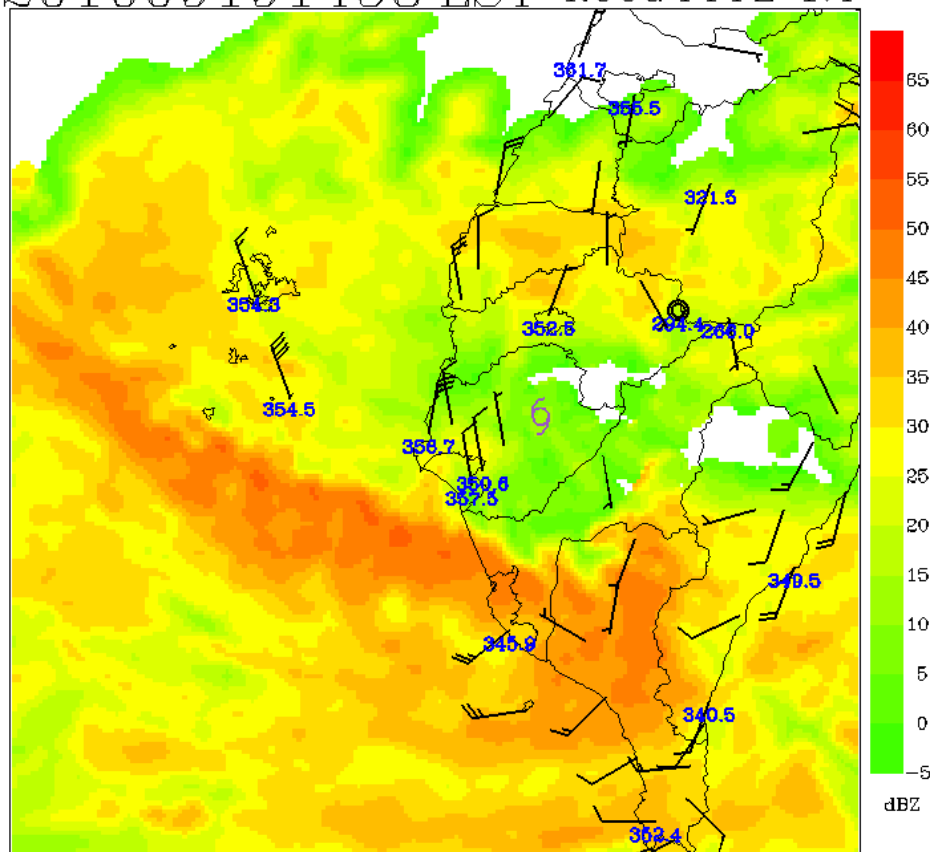


圖 4.2 19 日 1458LST 地面測站相當位溫，單位 °K。

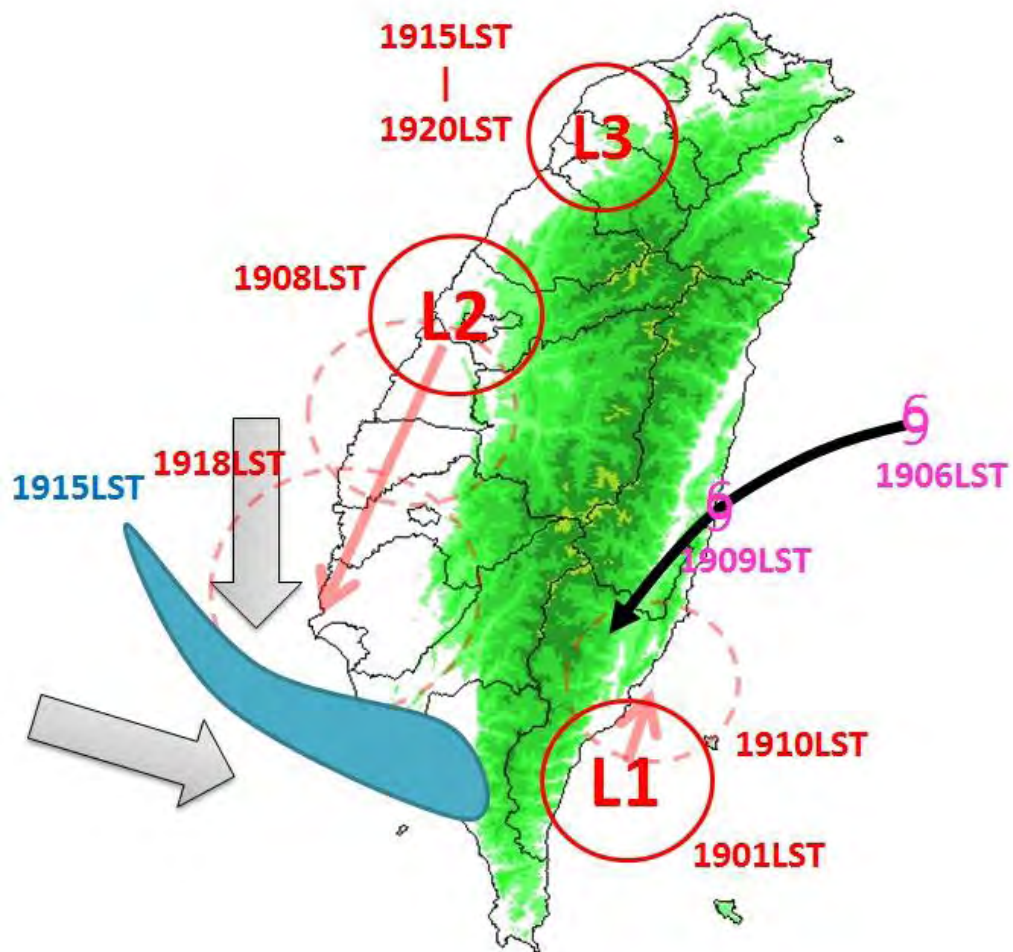


圖 4.3 凡那比颱風中心登陸階段移動情況、中尺度低壓及雨帶形成時間及位置示意圖。