

中國文化大學地學研究所大氣科學組

碩士論文

台灣東南沿海對流線雷達觀測之
氣候特徵分析

指導教授：游政谷 博士

研究生：林哲佑

中華民國 96 年 6 月

摘要

本研究利用綠島都卜勒雷達資料來探討1998年~2004年間發生於台灣東南沿海對流線之氣候特性。檢視1998~2004年雷達資料，共找出了211個對流線個案。分析顯示，對流線多發生在台灣東南沿海地區，且在成功測站沿海附近對流線發生的次數與降水回波強度明顯比其他沿海地區高，此特性似乎與台灣東南部獨特的地形有關。對流線發生期間，台灣東南沿岸大部分為離岸氣流(offshore flow)，而大環境風場則為向岸氣流(onshore flow)居多，其中當沿海地區吹離岸氣流時，大環境吹向岸氣流的情形最常出現，且對流線內部之低層徑向風場也有相同之分佈情形發生。此外，統計結果也顯示離岸氣流與伴隨大環境之向岸氣流所產生的輻合對於對流線生成的重要性，當輻合越強時，對流線之降水回波也相對較大。

另一方面，對流線之平均生命期為 3.5 個小時。季節統計結果顯示，對流線個案在冬季最常發生，其次為春季與夏季，夏季最少；對流線降水回波強度在冬季達到最強，其次為春季與夏季，到了秋季最弱。每小時的統計結果顯示，對流線結構完整最常發生在夜間 10 點到 12 點，在中午 12 點到 2 點最少發生；對流線降水回波強度在清晨 6 點達到最強，到了中午 1 點最弱。而在個案發生期間，台灣東南部陸地的累積降雨量明顯的比西南部要高，且最大值集中在台灣東南沿岸，顯示對流線仍會對於沿岸地區的降雨造成一定的影響。

誌謝

本論文得以完成，首先要感謝我的指導老師游政谷博士在這三年的指導與照顧，從老師身上，我不僅對學習到與研究有關的知識，對於工作上應有的態度與做人處事的道理也有了更深的了解。此外，還要感謝口試委員劉清煌老師與王重傑老師的細心審閱，有了他們的寶貴建議，使得本研究更加完整、充實。

研究所的求學過程中，感激林得恩學長、高聿正學長與台大大氣研究資料庫的楊明錚先生提供大量的雷達資料與地面觀測資料。感謝玉秀學妹幫我整理眾多的研究個案、凌文毫無保留的傳授程式撰寫的技巧、什麼都會的邱品竣學長在電腦技術上的分享、助理韶鈺嚴謹的校稿、班上同學的鼓勵與系上所有指導過我的老師。

學校的學長、同學與學弟妹們都是在課業之餘不可或缺的好伙伴，多虧有在一起相互鼓勵的凌文、在各種模型上提供專業知識的振璋學長、金門所架設完整且豐富的 FTP、三不五時發現美味餐廳的奕霖、相約去聽張懸與旺福演唱會的阿蛙、常常需要人幫忙的淡容、從大學時就很熟的阿倫、吃什麼就長什麼的怡蕙、說到賽車就醒過來的早餐店老闆和修、時常削水果給大家吃的國娟學姊、跑跑卡丁車高手偉銘、喜歡突然大叫把大家嚇半死的怡文以及離職有一段時間的助理佳玲，讓我在求學的過程中留下難忘的回憶。

家人的支持是我完成論文最大的動力，由衷感謝我的父母，因為有他們無怨無悔的支持與關懷，使得我能無後顧之憂將心思專注在課業上，再次感謝他們對我的照顧以及曾幫助過我的人，在此一併致上十二萬分謝意。

目錄

摘要.....	I
誌謝.....	II
目錄.....	III
圖表說	IV
第一章 前言.....	1
(一) 文獻回顧.....	1
(二) 研究動機與目的.....	3
第二章 資料及研究方法.....	5
(一) 資料.....	5
1. 資料來源.....	5
2. 綠島都卜勒雷達之特性與處理.....	5
(二) 研究方法.....	7
1. 對流線之選取與定義.....	7
2. 離岸氣流、向岸氣流與輻散值之計算.....	7
第三章 對流線發生期間之大尺度環境特徵.....	9
(一) 水平風場.....	10
(二) 垂直分佈.....	11
第四章 對流線之基本特性.....	13
(一) 對流線發生頻率與位置之探討.....	13
(二) 伴隨對流線之環境風場特性與對流線內部風場之分佈.....	16
第五章 對流線發生期間之降水分析.....	19
第六章 結論與未來展望.....	23
參考文獻.....	26

圖表說

表1 1998~2004年間211個對流線個案之編號與發生時間(LST)。

表2 1998~2004年211個對流線個案發生期間內成功、台東與蘭嶼地面觀測站之離岸風與向岸風所佔比例與平均風速。

表3 1998~2004年211個對流線個案發生期間內成功、台東與蘭嶼地面觀測站之離岸風與向岸風經交叉統計後所佔比例與平均風速。

表4 15個對流線個案中未受到海面雜波影響且線狀結構最完整之綠島雷達資料時間。

圖1.1 1998年5月(a)11日0130 LST、(b) 11日0337 LST、(c)13日2030 LST與(d)15日0330 LST之綠島PPI(1°仰角)雷達回波圖，灰階部分為雷達回波(單位為dBZ)，間距顯示在圖右方，圖中CK、TT、TW、LY、、TK分別代表成功、台東、大武、東港與蘭嶼地面觀測站所在位置，GI與HC代表綠島雷達與墾丁雷達之位置(圖摘取自 Yu and Jou 2005)。

圖1.2 1998年5月14~15日(a) 1930 LST；(b) 2130 LST；(c) 2330 LST；(d) 0130 LST；(e) 0330 LST；(f) 0530 LST；(g) 0730 LST；(h) 0930 LST之綠島PPI(1°仰角)雷達回波序列圖，灰階部分為雷達回波(單位為dBZ)，間距顯示在圖右方，圖中CK、TT、TW、LY、、TK分別代表成功、台東、大武、東港與蘭嶼地面觀測站所在位置，GI與HC代表綠島雷達與墾丁雷達之位置(圖摘取自 Yu and Jou 2005)。

圖1.3 1998年5月14~15日發生於台灣東南沿海之對流線垂直剖面生成示意圖，此剖面方向約垂直於海岸，呈西北東南之走向，粗箭頭表示此剖面主要氣流分量之行進方向，在海面上之灰色區域代表對流線之生成位置，在陸地上之灰色區域代表沿岸地區之地形，粗虛線為離岸氣流之邊界層，以L來代表離岸氣流之

水平尺度，圖中右方箭頭為此剖面的水平氣流分量隨高度之變化(圖摘自 Yu and Jou 2005)。

圖 2.1 (a)2000 年 7 月 9 日 0406 LST 啟德(KAI-TAK)颱風之綠島 PPI(1.7°仰角)雷達回波圖與 (b)2003 年 8 月 4 日 0337 LST 莫拉克(MORAKOT)颱風之綠島 PPI(1.4°仰角)雷達回波圖，色階部分為雷達回波(單位為 dBZ)，間距顯示在圖右方，圖中箭頭所指之處為衰減之雷達電磁波波束位置

圖 2.2 同圖 2.1，但為校正過後之雷達回波。

圖 2.3 阻礙綠島雷達電磁波之當地電視塔台，位於綠島雷達觀測站東北方之另一個山頭上。

圖 3.1 對流線發生期間內(a)1000 mb 等壓面上綜觀環境之重力位高度場與風場合成圖，圖中等值線為重力位高度(單位為公尺)，間距為 5 公尺，(b)同(a)，但等壓面為 850 mb，(c)同(a)，但等壓面為 500 mb，重力位高度之等值線間距為 10 公尺，(d)同(a)，但等壓面為 200 mb，重力位高度之等值線間距為 50 公尺，風向風速以箭頭表示，單位標示在圖右下方。

圖 3.2 同圖 3.1，但為對流線個案發生在春季時(3 月、4 月、5 月)綜觀環境之重力位高度場與風場合成圖。

圖 3.3 同圖 3.1，但為對流線個案發生在夏季時(6 月、7 月、8 月)綜觀環境之重力位高度場與風場合成圖。

圖 3.4 同圖 3.1，但為對流線個案發生在秋季時(9 月、10 月、11 月)綜觀環境之重力位高度場與風場合成圖。

圖 3.5 同圖 3.1，但為對流線個案發生在冬季時(12 月、1 月、2 月)綜觀環境之重力位高度場與風場合成圖。

圖 3.6 1998~2004 年伴隨 211 個對流線個案之徑向風場分佈圖，色階部分為徑向風場(單位為 m s^{-1})，間距顯示在圖上方，灰階部分表示地形高度(單位為公尺)，間距顯示在圖左方，圖中 CK、TT、TW、LY 分別代表成功、台東、大武與蘭嶼地面觀測站所在位置，GI 代表綠島雷達之位置。

圖3.7 1998~2004年伴隨211個對流線個案之徑向風場在(a)春季；(b)夏季；(c)秋季；(d)冬季時之分佈情形，色階部分為徑向風場(單位為 m s^{-1})，間距顯示在圖上方，灰階部分表示地形高度(單位為公尺)，間距顯示在圖左方，圖中CK、TT、TW、LY分別代表成功、台東、大武與蘭嶼地面觀測站所在位置，GI代表綠島雷達之位置。

圖3.8 (a)NCEP/NCAR之風場資料選取位置，圖中選取位置以圓圈表示(b)對流線發生期間內台灣地區大環境風場隨高度之變化，圖中垂直於海岸之氣流分量(U，單位為 m s^{-1})以實線表示，平行於海岸之氣流分量(V，單位為 m s^{-1})以虛線表示，右側風標為各個高度實際的風向風速 (half bar = 2.5 m s^{-1} ，full bar = 5 m s^{-1})。

圖3.9 對流線發生期間在(a)春季；(b)夏季；(c)秋季；(d)冬季時台灣地區大環境風場隨高度之變化，圖中垂直於海岸之氣流分量(U，單位為 m s^{-1})以實線表示，平行於海岸之氣流分量(V，單位為 m s^{-1})以虛線表示，右側風標為各個高度實際的風向風速 (half bar = 2.5 m s^{-1} ，full bar = 5 m s^{-1})。

圖3.10 對流線發生期間內之平均斜溫圖，圖中溫度以藍色實線表示，露點溫度以紅色實線表示，右側風標為水平風隨高度之變化 (half bar = 2.5 m s^{-1} ，full bar = 5 m s^{-1})。

圖3.11 1998~2004年211個對流線個案之(a)LFC(自由對流層)高度(單位為公里)隨季節之變化與 (b)EL(平衡層)高度(單位為公里)隨季節之變化，平均高度由虛線表示，標準差顯示在圖上方。

圖4.1 1998~2004年伴隨211個對流線個案較強回波(大於15dBZ)發生之次數分佈圖，色階部分為回波大於15dBZ之次數，間距顯示在圖上方，灰階部分表示地形高度(單位為公尺)，間距顯示在圖左方，圖中CK、TT、TW、LY分別代表成功、台東、大武與蘭嶼地面觀測站所在位置，GI代表綠島雷達之位置。

圖4.2 平行於台灣東南沿岸內陸10公里以內的地形平均斜率與離海岸40公里內對流線出現次數最大值之南北剖面圖，灰色區域為

地形平均斜率，黑色實線表示出現次數最大值，圖中CK、TT、TW分別代表成功、台東與大武地面觀測站之位置。

圖4.3 1998~2004年伴隨211個對流線個案較強回波(大於15dBZ)發生在台灣東南沿海風場為(a)輻合與(b)輻散兩種情形下之頻率分佈圖，色階部分為回波大於15dBZ之頻率(單位為%)，間距顯示在圖上方，灰階部分表示地形高度(單位為公尺)，間距顯示在圖左方，圖中CK、TT、TW、LY分別代表成功、台東、大武與蘭嶼地面觀測站所在位置，GI代表綠島雷達之位置。

圖4.4 1998~2004年伴隨211個對流線個案較強回波(大於15dBZ)發生於(a)春季；(b)夏季；(c)秋季；(d)冬季時之頻率分佈圖，色階部分為回波大於15dBZ之頻率(單位為%)，間距顯示在圖上方，灰階部分表示地形高度(單位為公尺)，間距顯示在圖左方，圖中CK、TT、TW、LY分別代表成功、台東、大武與蘭嶼地面觀測站所在位置，GI代表綠島雷達之位置。

圖4.5 2003~2004年112個對流線個案在各個月分之發生頻率，圖中頻率以黑色實線表示。

圖4.6 1998~2004年211個對流線個案在一天內線狀結構最為完整之時間次數統計圖，黑色粗實線表示在各個時間線狀結構較為完整發生之次數，時間間距為2個小時。

圖4.7 1998~2004年211個對流線個案之生命期統計圖，黑色粗實線表示在每個小時內對流線生命期發生之次數，時間間距為1個小時。

圖4.8 對流線發生期間成功(Chengkung)，台東(Taitung)與蘭嶼(Lanyu)地面觀測站每小時之平均離岸風與向岸風之變化圖，黑色實線表示離岸風(單位為 m s^{-1})，虛線表示向岸風(單位為 m s^{-1})，風標為各個測站實際的平均風向風速 (half-bar = 2.5 m s^{-1} , full bar = 5 m s^{-1})。

圖4.9 (a)15個未受到海面雜波影響且線狀結構最完整之對流線個案的徑向風場資料擷取位置，圖中擷取位置以黑色實線表示，色

階部分為地形高度(單位為公尺)，間距顯示在圖上方。(b)15個對流線個案之內部徑向風場分佈情形，圖中X軸為15個對流線之平均寬度(共10公里)，藍色圓點為徑向風速，紅色實線表示每公里之平均徑向風速。

圖5.1 (a)雷達降水回波投影範圍(黑色實線包圍處)與投影長度(180公里)，色階部分為地形高度(單位為公尺)，間距顯示在圖上方。(b)1998~2004年伴隨211個對流線個案降水回波投影至台灣東南沿岸之平均最大值與平行於台灣東南沿岸內陸10公里以內的平均地形斜率分佈圖，色階表示雷達回波(單位為dBZ)，間距顯示在圖上方，黑色實線為X軸方向之平均回波值，黑色虛線為季節之分界，棕色區域代表地形平均斜率，圖中CK、TT、TW分別代表成功、台東與大武地面觀測站之位置。。

圖5.2 (a)雷達降水回波投影範圍(黑色實線包圍處)與投影長度(80公里)，色階部分為地形高度(單位為公尺)，間距顯示在圖上方。(b)1998~2004年伴隨211個對流線個案降水回波投影至垂直於台灣東南沿岸之平均最大值分佈圖，色階部分表示雷達回波(單位為dBZ)，間距顯示在圖上方，黑色實線為Y軸方向之平均回波值，黑色虛線為季節之分界。

圖5.3 1998~2004年伴隨211個對流線個案降水回波最大值與輻合輻散之關係圖，色階部分表示雷達回波(單位為dBZ)，間距顯示在圖上方，黑色實線為Y軸方向之平均回波值。

圖5.4 1998~2004年伴隨211個對流線個案降水回波最大值與輻合輻散隨季節變化之關係圖，色階部分表示雷達回波(單位為dBZ)，間距顯示在圖上方，黑色實線為每個季節之平均回波值，棕色實線代表每個季節之平均輻散值。

圖5.5 1998~2004年伴隨211個對流線個案降水回波最大值與輻合輻散隨時間變化之關係圖，色階部分表示雷達回波(單位為dBZ)，間距顯示在圖上方，黑色實線為每小時之平均回波值，棕色實線代表每小時之平均輻散值。

圖5.6 1998~2004年伴隨211個對流線個案線狀結構最完整時之降水回波平均值與對流可用位能之關係圖。圖中黑色實線為線性迴歸線，相關係數顯示在圖右上方。

圖5.7 (a)台灣南部地面雨量觀測站(共143個測站)與中央山脈山脊之分佈圖，色階部分為地形高度(單位為公尺)，間距顯示在圖上方，黑色圓點為地面雨量觀測站所在位置，中央山脈之山脊以黑色實線表示。(b)台灣東南部與西南部在對流線發生期間陸地上累積降雨量之分佈情形，圖中藍色圓點表示每一個測站之累積雨量(單位為mm)，藍色實線代表所有測站之平均累積降雨量，紅色實線為每10公里之平均累積降雨量。

圖6.1 (a)1999年4月23日0836 LST 之綠島PPI(1.7°仰角)雷達回波圖；(b)1999年5月11日0206 LST之綠島PPI(1.7°仰角)雷達回波圖；(c)2002年9月30日1903 LST 之綠島PPI(1.5°仰角)雷達回波圖；(d)2003年3月2日0634 LST之綠島PPI(1.5°仰角)雷達回波圖，色階部分為雷達回波(單位為dBZ)，間距顯示在圖右方。

第一章 前言

台灣為一個多山且地形複雜的島嶼，除了有縱貫南北的中央山脈外，東部有緊鄰於沿岸的海岸山脈與花東縱谷，西部則為平原地形。在四面環海與複雜地形兩大因素影響下，由海陸與地形差異加熱不均所引起的局部環流(如海陸風、斜坡風與山谷風等)，在台灣地區經常可觀測到。此外，由於台灣位於東亞季風區，終年深受季風所影響，夏季時盛行西南季風，冬季時盛行東北季風，而綜觀環境之盛行風也常因為地形的熱、動力作用而引發阻塞、抬升、輻合、繞流等中尺度現象，有時甚至會與局部環流激發出對流系統。本文主要科學目的是在探討台灣東南沿海的對流線，這些對流線經常在弱綜觀的環境發生，但我們對於它的基本特徵及生成機制的了解非常有限，本研究希望透過長期的雷達資料分析與統計，來增加我們對這些對流線的認識，以及它與局部環流的相關性。

(一) 文獻回顧

在台灣地區之局部環流研究方面，紀與陳(1989)指出地形之熱力效應、海陸風效應為增強對流之主要機制。Chen (1983)探討1976~1980年間在冬季(12月、1月、2月)東北部地區風場與降水之日夜變化，發現降水之日夜變化主要是受到局部環流之影響，分析顯示向岸風與輻散在1400 LST有最大值，而離岸風與輻合在0200至0500 LST有最大值，Chen (1983)認為台灣東北部地區冬季降水之日夜變化主要是受動力過程之影響，而熱力過程僅能影響降水分佈情形。Chen et al. (1999)也針對1993~1996年間台灣地區風場與降水之日夜變化情形來加以探討，結果顯示最大向岸風與輻合發生於1400 LST，而最大降水發生在1600至1700 LST，有延遲2~3個小時的情形，且在0500 LST時有降水之局部最大值，造成此局部最大值可能與在夜間中央山脈西側發生之下潰流(drainage flow)有關。

林與郭(1996)模擬分析1994年夏季午後對流的特性，發現低層

微弱的環境東風，因地表加熱得以越過中央山脈，與山脈西側之上坡風產生輻合，形成一條約略與山脈平行之輻合帶，研究顯示此輻合帶即為激發對流的主要機制。Johnson and Bresch (1991)分析 1987 年 5 月 24 日台灣地區海風發生之時間與邊界層特性，研究指出降水分佈與海岸、地形所引發的局部環流有密切的關聯。陳等(2000)利用 1989~1996 年 5~7 月民航局中正機場雷達回波資料與地面測站之風場資料，探討對流系統之時空分佈與局部環流之關係，結果顯示 5~7 月各處平均回波強度均隨季節增強，且具有顯著的日夜變化，而雪山山脈以西地區之海風與上坡風於 0900 LST 達到最強，此局部環流與在山坡所衍生之氣旋式渦旋、氣旋式環流與輻合等現象，在激發午後對流具有關鍵性角色。

在世界其他地理位置，局部環流對於降水系統的發展也常扮演重要角色。例如，Houze et al. (1981)指出在婆羅洲北部地區當夜間離岸風遇到從東北方來的季風時，通常會在離岸邊不遠的海面上形成對流系統。過了午夜之後對流會繼續發展，在 0800 LST 會成長為一個有組織之中尺度對流系統，且水平範圍超過 200 公里。到了中午，當離岸風恢復成向岸風且低層的輻合開始集中在陸地上時，此對流系統便會開始消散。Mapes et al. (2003)利用衛星資料研究南美洲西北部地區降雨的日夜變化，結果顯示陸地上的對流發展發生在下午，在白天則有許多水平尺度較小的對流系統分佈在沿海地區與中美洲地峽上，而尺度較大的對流系統主要發生在哥倫比亞的溪谷與馬拉開波湖上。Gray and Jacobson(1977)利用地面雨量資料探討熱帶地區深對流之日夜變化，發現熱帶地區在清晨有顯著的降水情形發生，分析顯示此造成此天氣系統之日夜變化與鄰近地區白天(夜晚)之輻射加熱(冷卻)有關。

在台灣地區附近海域時常會發生由局部環流所引起之線狀對流系統，Yu and Jou (2005)指出在台灣東南部沿海，約十幾公里處，經常可觀測到狹窄、細長且約略平行於海岸之對流線，並可維持數個小

時之久。此研究檢視 1998 年 5 月 11~15 日這段期間之綠島都卜勒雷達資料，發現在 11 日的凌晨與夜間、13 日的夜間與 15 日的凌晨皆觀測到平行於海岸之對流線(如圖 1.1 所示)，在白天則沒有發現到對流線，而其中又以發生在 14~15 日之對流線個案的線狀結構最為明顯且回波最強。由綠島雷達回波不同時間分析圖顯示(圖 1.2)，對流線在 14 日 1930 LST 於成功測站沿海地區開始生成，到了 15 日 0330 LST 強度達最強，過了 0530 LST 之後對流線逐漸減弱，直到 0930 LST 才幾乎完全消散。Yu and Jou (2005)分析顯示，伴隨夜間陸風之離岸風與大環境之向岸風所產生的輻合為此對流線個案生成的主要機制(圖 1.3)，且離岸風發展高度可達 500 公尺。

朱與劉(2003)也針對 2000~2001 年發生於台灣東部海面上之 83 個輻合線個案，依低層與高層之風場分佈情形將輻合線分 6 種型態，包括北風-西風(N-W)型；東風分流-西風(E-W)型；南風-東風(S-E)型；東風分流-東風(E-E)型；南風-西風(S-W)型與其他型，初步分析顯示在各種大氣流場下均有可能生成輻合線。

(二) 研究動機與目的

先前已有不少研究是針對台灣地區之部局部環流與對流系統來作討論(Wang et al. 2005；Sun et al. 1991；陳等 1996)，然而大多數的研究皆集中在台灣西半部與北部地區，東部地區之研究則是較少的，其中我們特別對於發生在台灣東南沿海之對流線感到興趣。雖然 Yu and Jou(2005)曾深入探討對流線之生成原因與降水特性，但是此研究為個案分析，對於對流線是否皆發生於夜間、哪個季節最容易發生對流線、對流線發生時的大氣環境條件與降水分佈、伴隨夜間陸風之離岸風與大環境之向岸風所產生的輻合對於其他的對流線生成是否也扮演重要的角色等問題，我們皆不甚清楚。

本研究主要目的是藉由長時間之綠島都卜勒雷達資料來選取大量的對流線個案，並將這些個案加以分析，期望對於對流線能有更進

一步的了解。本文第二章說明本研究所使用的資料來源與處理方法，並針對對流線之選取與離岸風(向岸風)之計算作詳細的說明。第三章主要在描述對流線發生期間，臺灣地區大氣環境條件與風場分佈情形。第四章是在介紹對流線之基本特性，包括對流線之平均生命期、對流線常發生之位置、季節與時間等等。第五章則更進一步探討對流線之降水分佈特性，並說明造成此分佈特性的原因。最後，將主要的研究結果與未來工作整理於第六章。

第二章 資料與研究方法

(一)資料

1.資料來源

- (1)中央氣象局：地面局屬觀測站之逐時風向風速資料。地面逐時雨量資料，包括局屬地面觀測站及自動觀測站。
- (2)空軍氣象聯隊：綠島都卜勒雷達資料，每十五、二十、三十分鐘或一小時一筆體積掃瞄(Volume scan)的雷達回波場及徑向風場資訊。
- (3)美國國家環境預測與國家大氣研究中心(National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research)：NCEP/NCAR 一天四筆(00UTC、06UTC、12UTC 與 18UTC)之再分析資料，所使用的分析場包含 U、V 風場、溫度場、重力位高度場與相對溼度場，資料解析度為 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ，範圍涵蓋全球。

2.綠島都卜勒雷達之特性與處理

綠島雷達為 DWSR-92C(Doppler Weather Surveillance Radar)型 c 波段(5 公分)都卜勒氣象雷達，座落於東經 121.48° 、北緯 22.67° ，雷達天線高度為 284 公尺，雷達觀測資料包含未濾除地面雜波之降水回波場(DZ)、已濾除地面雜波之降水回波場(CZ)、都卜勒徑向風場(VR)與頻譜寬(SW)。雷達掃描觀測為順時鐘向 360 度圓錐面掃瞄，並非由固定方位開始掃描，而每次觀測所得不同仰角的圓錐面資料組成完整的體積掃瞄。此外，綠島雷達之掃描策略較不固定，會依月份與軍方所需作必要的更動。雷達回波資料觀測範圍為 480 公里，都卜勒徑向風以及頻譜寬資料範圍則為 120 公里，其徑向解析度介於為 0.125 公里到 4 公里之間。在雷達資料處理方面，將 level II 資料格式轉換成 UF(universal format)資料格式，並將 UF data 內插至間距為 1 公里

之網格資料，最後再繪製成所需之分析圖。

由於受到 2000 年 8 月 22 日之強烈颱風碧利斯(Bilis)吹襲，造成綠島雷達嚴重損毀，以致於從 2000 年 8 月 23 日至 2002 年 5 月 2 日這段期間沒有雷達資料。另外，在 1998 年 8 月 4 日至 11 月 24 日、1999 年 8 月 24 日至 11 月 16 日、2000 年 5 月 6 日至 6 月 2 日、2002 年 6 月 1 日至 30 日與 2003 年 4 月 29 日至 6 月 5 日這幾段時間內也皆無雷達資料，原因方面還有待查證。廣泛檢視雷達資料，我們發現到在 2000 年以前綠島雷達 2° 仰角以下之電磁波在特定區域都有嚴重衰減的情形發生。為了較清楚描述這些問題，我們利用具有較完整雷達回波水平覆蓋面的颱風降水個案來作說明。以中度颱風啟德(KAI-TAK)之 PPI(1.7° 仰角)雷達回波圖(圖 2.1a)為例，可清楚發現在綠島東北方(方位角 46° 至 48° 之間，即圖中棕色箭頭所指之處)有數條雷達電磁波波束衰減，此處回波減弱是因為雷達電磁波受到位於雷達東北方另一座山頭上當地電視塔台(如圖 2.3 所示)阻礙的關係，導致在此方位雷達電磁波有明顯衰減。而在綠島西方(方位角 254° ~ 260° 之間、 267° ~ 278° 之間與 288° ~ 294° 之間，即圖中黑色箭頭所指之處)更有多條雷達電磁波波束明顯有衰減的情形，但衰減情況與東北方之電磁波波束相比較不嚴重，導致這些方位之雷達電磁波衰減的原因可能是由於受到海軍雷達干擾的緣故。

在 2002 年以後新的綠島雷達系統 2° 仰角以下之電磁波也有相似的情形發生，以輕度颱風莫拉克(MORAKOT)之 PPI(1.4° 仰角)雷達回波圖(圖 2.1b)為例，在綠島東北方(方位角 41° 至 43° 之間，即圖中棕色箭頭所指之處)也有數條雷達電磁波波束衰減的情形發生，原因同樣是受到當地電視塔台阻擋的關係，但方位角有些許的差異，主要是由於綠島雷達在 2000 年 8 月 22 日損壞後，新雷達的架設位置與舊雷達的原本位置相差 1 至 2 公尺，所以才會造成不同方位角的雷達電磁波波束受到阻礙。而在綠島西方雷達電磁波衰減的情況明顯比 2000 年以前要少許多，僅有方位角 288° ~ 290° 之間(即圖中黑色箭頭所指之

處)的雷達電磁波波束受到影響，且衰減的情形較不嚴重。

為了避免上述之情形影響分析結果，所以我們針對衰減之雷達電磁波波束來加以校正。校正方式主要分為兩種，第一種用於綠島東北方受到電視塔台阻礙而衰減之雷達電磁波波束，因為這些方位角之電磁波波束受到衰減的情形相當嚴重，且衰減之電磁波波束較少，所以我們直接將方位角兩側沒有受到阻礙之雷達回波利用雙線性內插法(bi-linear interpolation)內插出回波值，藉此修正受到阻礙之雷達電磁波波束。第二種方法用於綠島西側衰減情形較不嚴重之雷達電磁波波束，由於這些方位角之電磁波衰減範圍較廣，所以我們先利用方位角兩側沒有衰減情形發生之雷達回波計算出一回波平均值 A1，另外將受到衰減之方位角內的雷達回波也計算出一平均值 A2，接著把 A1 減去 A2 後可得到一個平均回波差值 D，最後再將受到衰減之方位角內的雷達回波值全部加上 D 值，藉此校正衰減之雷達電磁波。而由校正完後之中度颱風啟德(KAI-TAK)之 PPI(1.7°仰角)雷達回波圖(圖 2.2a)與輕度颱風莫拉克(MORAKOT)之 PPI(1.4°仰角)雷達回波圖(圖 2.2b)可清楚發現，之前有衰減情形發生之雷達電磁波皆有所改善，且回波分佈也較具有連續性。

(二)研究方法

1.對流線之選取與定義

將 1998~2004 年間所有的綠島雷達資料繪製成之 PPI(仰角 1°~2°之間)雷達回波圖，檢視完每一張圖之後，主觀判斷出 317 個對流線個案，再藉由三項客觀條件，包括對流線發生之環境條件必須為弱綜觀、對流線線狀結構最完整時長度需大於 50 公里以及對流線維持線狀的時間要長達 1 個小時以上，最後選定出本研究所使用的 211 個對流線個案，而個案編號與發生時間詳列於表一。

2.離岸氣流、向岸氣流與輻散值之計算

離岸氣流(offshore flow)與向岸氣流(onshore flow)之定義為垂直於台灣東南海岸之氣流分量，取大約平行於台灣東南沿岸方位角 25° 作為海岸之平均角度，並由地面觀測站之風向風速資料計算出垂直於此方向之氣流分量，藉此得到離岸風風速與向岸風風速，正值表示離岸風，負值則表示向岸風。而伴隨環境風場與局部環流所引發輻散(合)值之估計方面，將台東測站的風向風速資料換算成離岸(向岸)風風速，藉此代表台灣東南沿海地區的風速，同樣地將蘭嶼測站的風向風速資料換算成離岸(向岸)風風速來代表台灣地區大環境的風速，而輻散值則由蘭嶼測站的離岸(向岸)風風速減去台東測測站的離岸(向岸)風風速之差值來表示($\text{Divergence} = \Delta u / \Delta x$ ，由於 Δx 為固定常數，故將 Δx 加以省略，本文僅以 Δu 代表輻散值)，正值代表輻散，負值代表輻合。

第三章 對流線發生期間之大尺度環境特徵

(一)水平風場

為了解在對流線發生期間大尺度的環境特徵，我們將所有個案發生期間內之 NCEP/NCAR 再分析資料(共 327 筆)選取東經 $105^{\circ}\sim 135^{\circ}$ 、北緯 $10^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 之範圍，內插至 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 的經緯網格點上，並繪製出 1000 mb、850 mb、500 mb 以及 200 mb 之平均高度場與風場合成圖(圖 3.1)。在對流線發生期間內，在 1000 mb(圖 3.1a)，綜觀環境主要是吹東北風，北緯 $25^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 之間的風場較弱，風速僅有 $1\sim 2\text{ m s}^{-1}$ 左右，臺灣地區大環境主要是吹東北東風，風速約為 $8\sim 10\text{ m s}^{-1}$ 之間。在 850 mb(圖 3.1b)，台灣東部區域為一高壓區，風場主要是吹東風，風速不到 1 m s^{-1} 。在 500 mb(圖 3.1c)，由於受到西風帶的影響，在北緯 $23^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 之間皆為西風，風速最高可達 30 m s^{-1} ，台灣地區大環境也是以西風為主，風速約為 $20\sim 25\text{ m s}^{-1}$ 之間。在 200 mb(圖 3.1d)，同樣受到西風帶的影響，在北緯 $18^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 之間皆為西風，風速最高可達 50 m s^{-1} ，台灣地區大環境主要也是吹西風，風速約為 $20\sim 25\text{ m s}^{-1}$ 之間。

此外在對流線發生期間，我們也針對不同的季節分別探討 1000 mb、850 mb、500 mb 與 200 mb 之大尺度的環境特徵。春季時(3 月、4 月、5 月)在 1000 mb(圖 3.2a)，臺灣地區大環境主要是吹東風，風速約為 $4\sim 6\text{ m s}^{-1}$ 之間。在 850 mb(圖 3.2b)，台灣地區大環境以南風為主，風速約 2 m s^{-1} 左右。在 500 mb(圖 3.2c)，台灣地區大環境主要為西風，風速約 15 m s^{-1} 左右。在 200 mb(圖 3.2d)，同樣地台灣地區大環境也是吹西風，風速約為 $20\sim 30\text{ m s}^{-1}$ 之間。夏季時(6 月、7 月、8 月)在 1000 mb(圖 3.3a)，臺灣地區大環境主要是吹東風，風速約 4 m s^{-1} 左右。在 850 mb(圖 3.3b)，台灣地區大環境主要則是吹東南風，風速約為 $3\sim 4\text{ m s}^{-1}$ 之間。在 500 mb(圖 3.3c)與 200 mb(圖 3.3d)，由於受到太平洋高壓的影響，台灣地區大環境主要是吹東風

與東北風，風速分別約為 6 m s^{-1} 與 8 m s^{-1} 左右。

秋季時(9月、10月、11月)在 1000 mb (圖 3.4a)，臺灣地區大環境主要是吹北北東風，風速約 10 m s^{-1} 左右。在 850 mb (圖 3.4b)，臺灣地區大環境是吹東北風，風速約為 $5\sim 6 \text{ m s}^{-1}$ 之間。在 500 mb(圖 3.4c) 與 200 mb(圖 3.4d)，皆受到西風帶的影響，臺灣地區大環境為西風，風速分別約為 $6\sim 10 \text{ m s}^{-1}$ 之間與 $16\sim 20 \text{ m s}^{-1}$ 之間。冬季時(12月、1月、2月)在 1000 mb (圖 3.5a)，臺灣地區大環境也為東北風，風速約 8 m s^{-1} 左右。在 850 mb (圖 3.5b)，臺灣地區大環境以東風為主，風場較弱，風速不到 2 m s^{-1} 。在 500 mb(圖 3.5c)與 200 mb(圖 3.5d)，也是受到西風帶的影響，臺灣地區大環境是吹西風，風速分別約為 24 m s^{-1} 左右與 40 m s^{-1} 左右。上述結果顯示在對流線發生期間，臺灣地區大環境風場深受季節影響。整體而言，不論任何季節低層風場皆以向岸風為主。

除了利用 NCEP/NCAR 再分析資料來說明對流線發生期間內綜觀環境的風場之外，我們也用到了綠島雷達的徑向風場資料來探討台灣東南海域的風場分佈情形。由於綠島雷達所處的地理位置四面環海，在觀測上較低仰角(小於 1° 的仰角)的雷達回波經常會參雜著許多海面雜波，為避免雜波影響到分析結果，所以我們選取仰角 $1^\circ\sim 2^\circ$ 之間的雷達 PPI 徑向風速資料。分析方法是先將徑向速度資料內插至水平解析度 1 公里的網格點座標上後，再平均所有對流線個案發生期間內的徑向速度網格資料(共 2706 筆)，最後得到 211 個對流線個案發生期間內台灣東南海域的徑向風場分佈圖(圖 3.6)。圖中顯示在對流線發生期間，台灣東南海域徑向風場主要為東北風，位於大武測站沿海附近徑向風速最大，超過 6 m s^{-1} 。此結果與 1000 mb 之高度場與風場合成圖(圖 3.1a)的風場分佈情形相當一致。

圖 3.7 顯示對流線發生期間不同季節台灣東南海域的徑向風場分佈情形，在春季時(圖 3.7a)台灣東南海域徑向風場主要為西南風，風

速在成功測站東北方外海可超過 6 m s^{-1} 。在夏季時(圖 3.7b)台灣東南海域風場分佈情形較為複雜，難以定義主要的風向，原因可能是由於此季節之徑向風場資料較少的緣故。在秋季時(圖 3.7c)台灣東南海域主要是吹北北東風，徑向風速在台東與大武測站間之沿海處最大，超過 8 m s^{-1} 。在冬季時(圖 3.7d)台灣東南海域風場主要為東北風，徑向風速在台東與大武測站間之沿海處也有最大值，約 8 m s^{-1} 左右。此結果也與不同季節之 1000 mb 高度場與風場合成圖(圖 3.2)的風場分佈情形類似。

(二)垂直分佈

為了解對流線發生期間台灣東部海域環境風場與熱力之垂直分佈特徵，我們利用上個小節中，已內插至 $1^\circ \times 1^\circ$ 的經緯網格點上之所有個案發生期間內之 NCEP/NCAR 再分析資料，將位於台灣東南外海附近東經 122° 、北緯 23° (距離台灣東岸約 60 公里，如圖 3.8(a)所示) 每一層(1000 mb、925 mb、850 mb、700 mb、600 mb、500 mb、400 mb、300 mb、250 mb、200 mb、150 mb、100 mb 共 12 層)之風場資料內插至同一高度再作平均，並由各高度之風向風速資料計算出垂直於台灣東南沿岸方向之氣流分量(U，即離岸風與向岸風，圖中以實線表示)與平行於沿岸方向之氣流分量(V，圖中以虛線表示)。圖 3.8(b)顯示低層之(2.5 公里以下)U 分量皆為負值(向岸風)，最大風速可達 5 m s^{-1} 左右，而在 2.5 公里以上 U 分量則皆為正值(離岸風)，最大風速可超過 10 m s^{-1} 。V 分量在 2 公里以下皆為負值，最大風速約 5 m s^{-1} 左右，而在 2 公里以上 V 分量也皆為正值，最大風速也約為 5 m s^{-1} 左右，但整體而言在垂直方向之變化不大。此結果顯示大環境之風場在低層為向岸風，隨著高度增加逐漸轉為離岸風，而平行於台灣東南沿岸方向之氣流分量隨高度則無明顯的變化。

而對流線發生期間不同季節之台灣地區大環境之風場隨高度的變化(圖 3.9)。在春季時(圖 3.9a)低層(2 公里以下)吹向岸風，最大風

速約 4.5 m s^{-1} 左右，2 公里以上則吹離岸風，最大風速可超過 10 m s^{-1} 。在夏季時(圖 3.9b)風場無明顯的垂直變化，皆吹向岸風，風速較弱，僅介於 $3\sim 5 \text{ m s}^{-1}$ 之間。在秋季時(圖 3.9c)低層(2.5 公里以下)吹向岸風，最大風速約 5 m s^{-1} 左右，2.5 公里以上則吹離岸風，最大風速也約 10 m s^{-1} 左右。在冬季時(圖 3.9d)低層(2.2 公里以下)吹向岸風，最大風速約 6 m s^{-1} 左右，2.2 公里以上則吹離岸風，最大風速可超過 20 m s^{-1} 。整體而言無論是哪個季節，在對流線發生期間台灣地區低層風場皆為向岸風，且除了冬季伴隨較明顯 V 分量之垂直風切(隱含具有較強水平南北向之溫度梯度)以外，平行於台灣東南沿岸方向之氣流分量隨高度皆無明顯的變化。

接著同樣選取東經 122° 、北緯 23° 之 NCEP/NCAR 再分析資料，將每一層之溫度、風場、重力位高度與相對濕度資料作平均，利用溫度與相對濕度求得露點溫度後，可得到一組對流線發生期間內之平均探空分析圖(圖 3.10)。圖中顯示低層大氣為潮濕的狀態，對流可用位能為 $14.1 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ ，LCL(舉升凝結層)高度為 475 公尺，LFC(自由對流層)高度為 751 公尺，EL(平衡層)高度為 2.16 公里。圖 3.11a 為 211 個對流線個案之 LFC(自由對流層)高度隨季節之變化，圖中顯示在春季與夏季時 LFC(自由對流層)高度較高，而在秋季與冬季時 LFC 高度(自由對流層)則相對較低。所有個案的平均 LFC(自由對流層)高度為 1.03 公里，標準差為 0.85，顯示出每個個案之間 LFC(自由對流層)高度差異頗大；最高可達到 3 公里以上，最低則僅有 200 多公尺。此結果顯示低層大氣仍然需要有適當的對流強迫機制去激發對流，進而形成對流線。圖 3.11b 為 211 個對流線個案之 EL(平衡層)高度隨季節之變化，圖中顯示夏季時的 EL(平衡層)高度最高，在秋季之後高度有明顯下降的趨勢，冬季時的 EL(平衡層)高度最低，而到了春季時 EL(平衡層)高度則又逐漸增加。所有個案的平均 EL(平衡層)高度為 6.04 公里，標準差為 5.25，顯示出每個個案之間 EL(平衡層)高度差異相當大，最大高度可超過 15 公里，而最低只有 900 公尺。

第四章 對流線之基本特性

(一)對流線發生頻率與位置之探討

圖 4.1 為 1998~2004 年伴隨 211 個對流線個案較強回波(大於 15dBZ)發生的次數分佈圖。利用 15dBZ 當作回波門檻值，可濾除回波強度較弱之海面雜波。所使用的雷達 PPI 回波資料同樣皆選取 1° ~ 2° 之間的仰角，資料筆數共 4827 筆。由圖中可以看出次數較多的地方皆在沿海附近，離海岸約 30 公里以內，且在成功測站附近的沿海有次數極大值，高達 220 次以上，其次是在台東與大武測站之間的沿海有局部最大值，約 140~160 次。在台東測站附近的沿海有局部最小值，約 120 次左右，而在大武測站附近的沿海則有極小值，只有 80 次以下。在較外海的部分，雖然也有對流線的發生，但相較於沿海地區所發生的次數來說是較少發生的，最多也僅有約 40 多次而已。

造成此分佈情形的原因，可能與台灣東南沿岸特殊的地形有關。為了評估此可能性，我們將平行於台灣東南沿岸內陸 10 公里以內的地形平均斜率與離海岸 40 公里內對流線出現次數最大值之南北剖面圖疊加在一起(如圖 4.2)，分析圖顯示在地形斜率最大處附近(橫坐標 X 軸約 65 公里處)，對流線發生的次數有極大值，高達 250 次以上。在地形斜率次高處附近(橫坐標 X 軸約 110~130 公里之間)對流線發生的次數有局部最大值，約 160 次左右。而在地形斜率最小處(橫坐標 X 軸約 95~105 公里之間)對流線發生的次數也對應有局部最小值，約 120 次左右。整體看來，對流線發生的次數與沿岸地形的斜率呈現出一致的分佈情形，在地形斜率較大的地區，其對流線發生的次數也相對較多，而在地形斜率較小的地方則反之。此結果反映出在地形斜率較大處，夜間山風可能加強了此地區沿海的離岸氣流，使其與大環境的環流更容易產生輻合，進而增加對流線的生成的次數。而在沿岸地勢較平坦的地區，缺少夜間山風加強離岸氣流的機制，所以相對而言對流線的生成的次數也較少。

接著我們利用所有對流線個案發生期間台東與蘭嶼地面觀測站每小時的風向風速資料計算出輻散值，並由輻散值之正負將雷達回波資料區分為兩組，分別探討台灣東南沿海風場在輻合與輻散兩種情形下，對流線之頻率分佈。由圖 4.3 中可明顯的發現，在沿海地區的風場為輻合的情形下(即圖 4.3a)，對流線發生的頻率分佈情形與次數分佈情形(即圖 4.1)相似，發生頻率較高處皆集中在離海岸約 30 公里以內的台灣東南沿海，且頻率最高的地方位於成功測站附近的沿海地區，達到 5 % 以上，其次是在台東與大武測站之間的沿海地區，約 3.5 %~4 %。在台東測站附近的沿海地區頻率有局部最低值，約 3 % 左右，而在大武測站附近的沿海頻率僅有 2 % 以下。相較於在沿海地區的風場有輻散的情形下(即圖 4.3b)，對流線發生的頻率分佈就顯得相當零散，雖然大致上頻率較高處也是集中在台灣東南沿海，且頻率最高值同樣位於成功測站附近的沿海地區，但是位置相當靠近海岸，且頻率最高值也只有 3.5 % 左右。整體的頻率明顯比沿海地區的風場有輻合情形下的頻率要來的低。此結果隱含著沿海地區的離岸風與大環境的向岸風所造成的輻合，對於對流線生成的重要性。

另外我們對於對流線各個季節的頻率分佈情形也有進一步分析。圖 4.4 為伴隨 211 個對流線個案較強回波(大於 15dBZ)在各個季節發生的頻率分佈圖。在春季(圖 4.4a)時，對流線發生頻率皆集中在沿海地區，外海幾乎沒有，頻率最高處位於成功測站附近的沿海，高達 6.5 % 以上。其次從台東測站沿海附近到台東與大武測站之間的沿海附近，頻率大約也都有 3.5 % 以上，而頻率最低處位於大武測站沿海附近，約 1.5 %~2 %。在夏季(圖 4.4b)時，對流線頻率分佈較為散亂，在沿海與較外海的區域也有不少的發生頻率，但是在成功測站附近的沿海地區仍有最大頻率的發生，約 5 % 左右，其次為大武測站附近的沿海地區，頻率大約在 3.5 %~4 % 之間，而在外海地區頻率最低，最高也只有 2.5 % 左右而已。到了秋季(圖 4.4c)時，對流線發生頻率分佈又回到與春季時相似，大多集中在沿海地區，不同之處在於頻率

最高的地方變成在台東與大武測站之間的沿海附近，約 3.5 % 左右，且在台東測站附近的沿海頻率有最低值，僅 1 %~2 % 之間。而在冬季(圖 4.4d)時，對流線發生頻率分佈相較於春季似乎有向外海延展的趨勢，雖然頻率最高處依然位於成功測站附近的沿海，約 4 % 左右，但是位置卻比春季時要來的遠離海岸。而在台東與大武測站之間的沿海地區有頻率局部最高值，約 3 % 左右，在台東與大武測站沿海附近有頻率最低值，只有 1.5 % 左右。

統計對流線在各個季節之發生頻率方面，由於 1998~2002 年之間綠島雷達資料空缺的情形相當嚴重，此情況可能會影響對流線個案發生頻率的客觀性。有鑑於此，所以我們僅以 2003~2004 年間(這兩年有雷達資料的天數皆超過 300 天以上)所發生的個案來統計對流線在不同月份所發生的頻率，而頻率的計算方式為每個月對流線個案的總數除以每個月有雷達資料的天數(normalized)。由對流線在各個月份之發生頻率圖(圖 4.5)中可以發現到，對流線在 12 月發生的頻率最高，頻率為 0.4 左右，其次為 10 月，發生的頻率也有 0.3 左右。過了 12 月之後，頻率逐漸降低，在夏季期間達到最低，尤其是在 6 月對流線發生的頻率僅有 0.02，7、8 月也只有 0.05 與 0.04 而已，之後到了秋季頻率又開始逐漸的增加。而導致在夏季對流線發生頻率較低的原因可能是由於太平洋高壓壟罩於台灣地區造成大環境風場較穩定，不易發生對流。

圖 4.6 為 211 個對流線個案在一天內線狀結構最為完整之時間次數統計圖。由於對流線在開始生成與即將消散時，對流胞的排列相當鬆散，完全沒有呈線狀組織，所以我們去除對流線剛生成與正在消散這兩段沒有線狀組織的時間，僅針對線狀結構較為完整的時間來做統計。圖中可以發現在一天之中，結構較完整的對流線較常發生在夜間至凌晨的這段時間，其中在晚上 10 點至凌晨 12 點對流線發生的次數最多，達到 80 次左右。而在晚上 8 點至 10 點與凌晨 12 點至 2 點這兩段時間對流線也時常發生，皆有 70 次以上，在中午 12 點到 2 點對

流線最少發生，只有 17 次。圖中呈現明顯的日夜變化，在夜間對流線發生的次數比白天要來的多，此結果隱含著夜間的離岸風對於對流線生成的重要性。

在對流線之生命期統計方面，我們一樣僅針對線狀結構較為完整的期間來代表對流線的生命期。統計結果顯示所有對流線個案的平均生命期為 3.5 個小時，且大部分的對流線生命期都集中在四個小時以內(圖 4.7)。生命期為兩個多小時的對流線最多，有 60 個，其次為一個多小時以及三個多小時的對流線，分別有 45 個與 46 個，而生命期超過 8 個小時的對流線非常的少，僅有 15 個。

(二)伴隨對流線之環境風場特性與對流線內部風場分佈

在前言中有提到，伴隨陸風之離岸風對於對流線的生成機制可能扮演著重要的角色，所以我們將所有對流線個案發生期間內的台東、成功與蘭嶼地面觀測站的風向風速資料，計算出離岸風(向岸風)，位於沿岸地區的台東與成功這兩個測站的離岸風(向岸風)代表台灣東南沿海地區風場的情形，位於外島蘭嶼測站的離岸風(向岸風)代表大環境的風場，藉由統計的方式來釐清在對流線發生期間，台灣東南沿海與大環境風場之間的關係。表二為個案發生期間內台東、成功與蘭嶼地面觀測站離岸風與向岸風所佔的比例與平均風速表。其中我們可以清楚的發現，成功測站在對流線個案發生期間離岸風所佔的比例高達 83%，平均風速為 1.3 m s^{-1} ，向岸風所佔的比例則僅有 17%，平均風速為 1 m s^{-1} 。台東測站在對流線發生期間離岸風所佔的比例為 77%，平均風速為 0.8 m s^{-1} ，向岸風佔的比例為 23%，平均風速為 1 m s^{-1} 。而在蘭嶼測站方面，對流線個案發生期間大多都為向岸風，佔了 58%，平均風速為 2.5 m s^{-1} ，離岸風則佔了 42%，平均風速為 1.5 m s^{-1} 。此統計結果顯示在個案發生期間內，台灣東南沿海大多為離岸風，大環境則為向岸風居多，而成功測站觀測到的平均離岸風比例高於台東測站所觀測到的，且風速也比台東測站所觀測到的高，更可說明成功測站沿海地區對流線發生次數較高(如圖 4.1)可能是由於

離岸風較常發生且較強所導致。

表三為個案發生期間內台東、成功與蘭嶼地面觀測站離岸風與向岸風經交叉統計後所得到的比例分佈與平均風速表，藉由此表我們可以清楚的了解沿海地區與大環境在對流線發生期間風場的關係。當沿岸的成功測站觀測到離岸風時而蘭嶼測站觀測到向岸風的比例最高，佔了 48 %，離岸風平均風速為 1.4 m s^{-1} ，向岸風平均風速為 2.5 m s^{-1} 。當台東測站觀測到離岸風時而蘭嶼測站觀測到向岸風的比例也很高，佔了 46 %，離岸風平均風速為 0.8 m s^{-1} ，向岸風平均風速為 2.5 m s^{-1} 。而當成功測站觀測到向岸風時而蘭嶼測站觀測到離岸風的比例最低，僅佔了 8 %，向岸風平均風速為 1 m s^{-1} ，離岸風平均風速為 1.3 m s^{-1} 。上述結果說明了在對流線發生期間，當沿海地區吹離岸風而大環境為向岸風的情形最常發生，不論是成功與蘭嶼測站的比例，或是台東與蘭嶼測站的比例，都接近 50 %，而當沿海地區吹向岸風而大環境為離岸風的情形最少出現，沿岸的測站與蘭嶼測站的比例皆不超過 10%。因此，沿海地區的離岸風與大環境的向岸風所造成的輻合可能為對流線生成的最主要機制。

了解完個案發生期間內沿海地區與大環境的風場情形後，我們對於成功、台東與蘭嶼測站的離岸風與向岸風隨時間的變化也有所統計。圖 4.8 為對流線發生期間內成功、台東與蘭嶼地面觀測站每小時之平均離岸風(圖中以黑色實線表示)與向岸風(圖中以虛線表示)變化圖。在成功測站方面，過了下午 2 點後就開始吹離岸風，到了午夜 12 點離岸風風速達到最強，有 1.4 m s^{-1} ，而在早上 9 點到下午 2 點這段期間則是吹向岸風，向岸風風速在早上 11 點達到最強，有 0.7 m s^{-1} 。在台東測站方面，離岸風與向岸風呈現出明顯的日夜變化，在晚上 6 點到隔天早上 9 點這段期間是吹離岸風，風速在清晨 5 點達到最強，有 1 m s^{-1} ，而在早上 11 點到下午 6 點這段期間是吹向岸風，風速在中午 12 點達到最強，有 1.3 m s^{-1} 。在蘭嶼測站方面，所有時間皆吹向岸風，風速在下午兩點最強，有 1.3 m s^{-1} ，而在晚上 8 點風

速最弱，僅有 0.6 m s^{-1} 。此結果顯示在對流線發生期間，夜間沿海地區皆吹離岸風，大環境則不分晝夜皆為向岸風，其中成功測站除了在早上 9 點至下午 2 點這 6 個小時內吹向岸風外，其餘各個時間幾乎都是吹離岸風，且離岸風最大風速也比台東測站高，此特性可進一步說明在成功測站沿海對流線發生次數較多的原因，可能是由於離岸風維持較久的時間，且風速較強，導致比其他地區更常與大環境的向岸風發生輻合，更有利於對流線的生成與發展。

為了解對流線內部低層風場的分佈情形，我們使用了綠島雷達 PPI(0.5° 仰角)的徑向風場資料。由於雷達所在位置的關係，在較低仰角(小於 1° 的仰角)的 PPI 雷達回波經常觀測到海面雜波，為了避免這些雜波影響到分析結果，所以我們僅選取了 15 個未受到海面雜波影響的個案，並針對其線狀結構最為完整的時間加以分析，其中所選取的個案與徑向速度資料的時間列於表 4。首先我們將徑向速度的資料內插至水平解析度 1 公里的網格點座標上，再針對對流線的位置擷取所需的資料，而擷取的位置以黑色實線標示於圖 4.9a。擷取的角度為方位角 115° (約垂直於台灣東南海岸的走向)，擷取的標準為需通過對流線回波最大值的點，以便於定義對流線中心位置。

圖 4.9b 為 15 個對流線個案內部低層徑向風場的分佈情形，橫坐標(X 軸)為 0 的地方代表對流線回波最大值的點。在對流線內部右側的徑向風(圖中以藍色圓點表示)大多為正值，表示風場大多為遠離雷達的向岸風，最大值為 4.8 m s^{-1} ，平均值約為 1 m s^{-1} 。對流線內部左側的徑向風大多為負值，表示風場大多為接近雷達的離岸風，最小值為 -4.9 m s^{-1} ，平均值約為 -1 m s^{-1} 。此分析結果進一步證實離岸風與大環境的向岸風所造成的輻合對於對流線生成的重要性。

第五章 對流線發生期間之降水分析

在上個章節中討論完對流線的基本特性後，本章的重點就是要來深入探討對流線之降水特性。首先我們先把所有對流線個案每一筆的雷達降水回波最大值投影至全長共180公里的台灣東南沿岸(投影位置與所選取的投影範圍顯示在圖5.1a)，以此代表對流線的回波；再將降水回波依相同的個案作平均，最後得到211個對流線個案降水回波投影至台灣東南沿岸之平均最大值與平行於台灣東南沿岸內陸10公里以內的平均地形斜率分佈圖(即圖5.1b)，藉此釐清對流線較強降水回波發生的位置。圖中顯示對流線較強回波出現的地方(如縱座標Y軸10~50公里之間與縱座標Y軸-20~-50公里之間)，其對應的地形斜率也相對較大；對流線回波值較弱的地方(如縱座標Y軸70~90公里之間與縱座標Y軸-70~-90公里之間)，其對應的地形斜率也相對較小。而由黑色實線(X軸方向的平均回波值)更可清楚的顯示出對流線的降水回波與地形斜率的一致性。造成此一特性主要的原因可能是在地形斜率較大處，夜間山風加強了此地區沿海的離岸氣流，使其與大環境的環流產生較強輻合，進而增強對流線的降水回波。而在沿岸地勢較平坦的地區，缺少夜間山風加強離岸氣流的機制，所以對流線的降水回波相對較弱。

接著再把所有對流線個案每一筆的雷達降水回波最大值投影至垂直於台灣東南沿岸的方向(投影位置與所選取的投影範圍顯示在圖5.2a)，以此代表對流線的回波，將降水回波依相同的個案作平均後，得到211個對流線個案降水回波投影至垂直於台灣東南沿岸方向之平均最大值分佈圖(即圖5.2b)，藉由此分析手法來探討對流線降水回波的強度與離沿岸距離的關係。從圖中可發現靠近沿岸地區(橫坐標X軸10~30公里之間)的對流線回波值較其他地區大，由黑色實線(Y軸方向的平均回波值)更可清楚顯示在離沿岸18公里處附近有回波極大值，且回波值隨著離海岸距離的增加有逐漸減小的趨勢。

為了得知對流線降水回波與風場輻合(散)之間的關係，我們利用所有對流線個案發生期間台東與蘭嶼地面觀測站的風向風速資料計算出輻散值，再使用與圖5.1b相同的雷達降水回波值投影方法，將每一筆降水回波依輻散值的大小分區段作平均，即當降水回波之輻散值同介於某個範圍時，便將降水回波最大值加以平均，而輻散值所取的間距為1(本文輻散值之計算方式在第二章有詳細說明)。圖5.3為211個對流線個案降水回波最大值與輻合輻散的關係。圖中顯示當輻散較強時，對流線降水回波則相對較弱，在輻散值介於6與7之間時，降水回波達到最弱；而當輻合較強時，對流線降水回波也相對較強，在輻散值介於-8~-9之間時，降水回波達到最強。此結果說明了降水回波強度與輻合(散)之間呈現一致的關係，且說明了沿海地區的離岸風與大環境的向岸風所造成的輻合對於對流線回波強度的重要性。

圖5.4為211個對流線個案降水回波最大值與輻合(散)隨季節變化之關係，承續圖5.1b的分析方法，但改以將同月份的降水回波作平均，即當降水回波之時間為同一個月時，便將降水回波作平均。圖中顯示冬季時的降水回波最強，其次為春季與夏季，秋季時的降水回波最弱，且每個季節的平均降水回波強度(黑色實線表示)與平均輻散值(棕色實線表示)也有相同的趨勢。此外，在對流線降水回波強度與輻合(散)隨時間的變化方面(即圖5.5)，清晨6點至8點之間降水回波達到最強，之後隨著時間的增加而逐漸變弱，到了下午2點時達到最弱，之後則又逐漸增強。輻散值方面在清晨5點至6點之間達到最大，而在中午12點時最弱，整體而言每小時的平均降水回波強度(黑色實線表示)與輻散值(棕色實線表示)的分佈情形也相當類似。由此可知，不論是對流線降水回波隨季節或是時間的變化，輻合(散)的大小皆與降水回波強度有著明顯的正相關，顯示出輻合(散)對於對流線降水回波的重要性。

此外，我們從每個對流線個案中選取一筆對流線線狀結構最完整時的PPI(仰角 1° ~ 2° 之間)雷達回波資料，使用NCAR soloi軟體刪除海

面雜波，以及剔除因地形所造成的恆定回波(permanent echoes)。接著再由NCEP/NCAR再分析資料，得到較接近每個對流線個案線狀結構最完整時的探空資料，並利用這些探空資料計算出對流可用位能，進而探討對流線降水回波強度與對流可用位能之間的關係(即圖5.6)。圖中顯示當對流可用位能小於 $500 \text{ m}^2 \text{ s}^2$ 時，對流線降水回波平均值與對流可用位能較無明顯的相關性，當對流可用位能大於 $500 \text{ m}^2 \text{ s}^2$ 時，對流可用位能則與降水回波平均值有著高度相關，而兩者的關係為中度相關，相關係數為0.5。此結果隱含著除了輻合(散)的大小會影響對流線降水回波強度外，對流可用位能對於對流線降水回波強度也有著一定的影響。

雖然對流線大部分都發生於海面上，但由於綠島雷達觀測上面的限制，無法觀測到發生於台灣本島陸地上的對流線(若有的話)，而且在211個對流線個案中，也有不少發生在靠近沿岸的個案，而這些個案可能對於台灣東南陸地沿岸降水有所正貢獻。為了評估此可能性，我們利用台灣南部局屬觀測站、自動氣象站與自動雨量站共413個測站(測站分佈位置與中央山脈山脊線顯示在圖5.7a)的逐時雨量資料，以中央山脈山脊為基準計算所有測站與山脊的距離，並累加對流線個案發生期間內每個測站的雨量資料，藉此來探討台灣東南部與西南部在對流線發生期間陸地上降水之分佈情形(即圖5.7b)。

圖中可發現到在所有對流線個案發生期間(共1594個小時)台灣南部陸地上的平均降雨量為55.8釐米(以藍色實線表示)，而在距離中央山脈山脊(橫坐標X軸為0處)東邊約20公里處的測站其累積雨量有最大值，達到293釐米。整體而言，位於山脊以東的測站累積雨量明顯比山脊以西的測站要大。從每10公里的平均累積降雨量(紅色實線表示)更可以清楚的發現此分佈情形，且在東南沿岸地區(橫坐標X軸30~50公里處)的平均累積降雨量達到最大，平均累積雨量在山脊以西逐漸減少，到了西南沿海地區(橫坐標X軸-60~-80公里處)平均累積降

雨量則最小。此結果顯示所有對流線個案發生期間內台灣南部的降水情形雖然不顯著，但沿海生成的對流線仍會對於東南部陸地上的降水造成一定的影響。

第六章 結論與未來展望

本研究透過綠島雷達資料與 NCEP/NCAR 再分析資料並配合地面觀測資料分析 1998~2004 年 211 個對流線個案，利用合成與統計的方式來了解對流線發生期間綜觀環境與臺灣地區大環境之特徵。此外對於對流線之基本特性，包含其較常發生之位置、時間、降水強度分佈與低層內部風場情形等皆有所探討。整合前幾章的分析結果，其主要結論如下：

(一) 對流線發生期間台灣地區大環境低層吹向岸風，其中又以冬季之向岸風最強，最大風速約 6 ms^{-1} ，其次為春季與秋季，最大風速約 5 ms^{-1} ，而夏季最弱，最大風速僅有 3 ms^{-1} 。而中高層除了夏季風場隨高度沒有明顯變化之外，其餘季節中高層皆吹離岸風。而對流線發生時低層大氣處於潮濕的狀態，中高層較乾燥，對流可用位能很小。由地面觀測站之風向風速資料統計顯示，沿海地區低層主要是吹離岸風，在成功測站最常觀測到離岸風，且平均風速較強，約 1.3 ms^{-1} ，雖然台東測站也經常觀測到離岸風，但比例較成功測站所觀測到的少，平均風速也較弱。而當沿海地區吹離岸風時，大環境為向岸風在對流線發生期間最常發生，佔了將近 50%。此結果說明了沿海地區的離岸風與大環境的向岸風所造成的輻合對於對流線生成扮演相當重要的角色。

(二) 離台灣東南沿岸 30 公里以內之沿海地區為對流線較常發生之位置，其中又以成功測站沿海地區最常發生，其次為台東與大武測站間的沿海地區，而台灣最南端之沿海地區最少發生。此分佈情形與台灣東南沿岸之地形斜率成正相關，暗示著對流線較常發生之地區可能是由於夜間山風加強了離岸風，導致比其他地區有更多的機會與大環境的向岸風產生輻合，更有利於對流線的生成與發展，且風場在輻合的情形下，對流線發生頻率較輻散的情形下要高出許多。而在春季時，對流線發生位置最為集中於沿海地區，其次為秋季與冬季，在夏季時

對流線發生位置雖然大部分皆集中於沿海地區，但仍有不少的對流線發生於外海地區。

(三) 在對流線於各個季節發生頻率之統計方面，冬季為對流線最常發生之季節，春季與秋季居次，而在夏季時對流線較少發生。造成此分佈情形與台灣地區大環境之低層風場有關。同樣地，向岸風在冬季時最強，春季與秋季其次，夏季最弱，顯示向岸風之強弱對於對流線之生成也佔有一定的因素。在一天之中，對流線在夜間較常發生，最常發生於晚上 10 點至凌晨 12 點，而白天發生的次數較少，中午 12 點到 2 點最少發生，此結果隱含夜間之離岸風對於對流線生成之重要性。此外，對流線之平均生命期為 3.5 個小時，其中大部分的對流線個案之生命期皆在 4 個小時以內。

(四) 降水分析顯示，對流線之降水回波強度與台灣東南沿岸之地形斜率呈現一致的變化，說明夜間山風加強了離岸風不僅能增加對流線之生成次數，也能加強其降水強度。離台灣東南海岸 18 公里處對流線降水回波強度達到最強，隨著離海岸距離的增加回波強度有逐漸減小的趨勢。統計結果也顯示離岸風與伴隨大環境之向岸風所產生的輻合對於對流線生成之重要性，當輻合越強時，對流線的降水回波也相對較大。此外，對流可用位能對於對流線降水回波也有著一定的影響。個案發生期間陸地上的累計降雨量偏低，但整體而言東南部明顯比西南部要高出許多，顯示對流線發生期間內台灣南部的降雨情形雖然不顯著，但對於東南部陸地上的降雨仍然造成一定的影響。

透過本研究，使我們對於台灣東南海域發生之對流線有了進一步的認知，亦了解到沿海地區的離岸風與伴隨大環境之向岸風所造成的輻合為大部分對流線個案生成的重要機制。但在 211 個對流線個案中，其中不乏有一條對流線發生於沿海地區而另一條對流線發生於外海地區，兩條對流線同時存在之個案(如圖 6.1)、對流線之角度與台灣東南沿岸極度不平行之個案(如圖 6.2)、對流線發生於外海地區卻

仍大略平行於台灣東南沿岸之個案(如圖 6.3)以及對流線降水回波很強之個案(如圖 6.4)，這些特殊個案之生成機制是否與輻合有關，其實我們並不清楚。未來可針對這些特殊的對流線作詳盡的個案分析，以釐清對流線在何種大氣環境條件較容易生成以及是否有其他可能的生成機制。

參考文獻

- 朱良斌與劉清煌，2003：台灣地區大氣環境與東部對流特性之研究。中國文化大學地學研究所大氣科學組碩士論文，115頁。
- 呂玉璇與林沛練，2002：台灣東南部地區局部環流與邊界層特性之研究。國立中央大學大氣科學研究所碩士論文，101頁。
- 林熹閔與郭鴻基，1996：1994年台灣夏季午後對流之研究。*大氣科學*，**24**，249-280。
- 紀水上與陳泰然，1989：第一階段TAMEX密集觀測之個案對流系統與降水研究。*大氣科學*，**17**，15-75。
- 陳泰然、周鴻祺、林宗嵩及楊進賢，1996：台灣海峽北部與鄰近地區春夏中尺度對流系統之氣候特徵。*大氣科學*，**24**，145-163。
- 陳熙揚、陳泰然及林麗芬，2000：台灣北部地區五~七月雷達回波特徵與局部環流探討。*大氣科學*，**28**，73-90。
- Chen, G. T.-J., 1983: The winter diurnal circulation and its influence on precipitation over the coastal area of northern Taiwan. *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 2269-2274.
- Chen, T.-C., M.-C. Yen, J.-C. Hsieh, and R. W. Arritt, 1999: Diurnal and seasonal variations of the rainfall measured by the automatic rainfall and meteorological telemetry system in Taiwan. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **80**, 2299-2312.
- Garrett, A. J., 1980: Orographic cloud over the eastern slopes of Mauna Loa volcano, Hawaii, related to insolation and wind. *Mon. Wea. Rev.*, **108**, 931-941.
- Gray, W., and R. W. Jacobson, 1977: Diurnal variation of deep cumulus convection. *Mon. Wea. Rev.*, **105**, 1171-1188.
- Houze Jr., R. A., S. G. Geotis, F. D. Marks, Jr. and A. K. West, 1981: Winter Monsoon Convection in the Vicinity of North Borneo. Part I:

- Structure and Time Variation of the Clouds and Precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 1595-1614.
- James, C. N., and R. A. Houze, Jr., 2005: Modification of Precipitation by Coastal Orography in Storms Crossing Northern California. *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 3110-3131.
- Johnson, R. H., and J. F. Bresch, 1991: Diagnosed characteristics of precipitation systems over Taiwan during the May-June 1987 TAMEX. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 2540-2557.
- Mapes, B. E., T. T. Warner, M. Xu and A. J. Negri, 2003: Diurnal Patterns of Rainfall in Northwestern South America. Part I : Observations and Context. *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 799-812.
- Sinclair, M. R., D. S. Wratt, R. D. Henderson and W. R. Gray, 1997 : Factors Affecting the Distribution and Spillover of Precipitation in the Southern Alps of New Zealand – A case Study. *J. Appl. Meteor.*, **36**, 428-442.
- Sun, W. Y., J. D. Chern, C. C. Wu and W. R. Hsu, 1991: Numerical simulation of mesoscale circulation in Taiwan and surrounding area. *Mon. Wea. Rev.*, **199**, 2558-2573.
- Wang, C. C., G. T. 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.*, **131**, 3217-3242.
- Yu, C. K., and Ben J. D. Jou, 2005: Radar Observations of Diurnally Forced Offshore Convective Lines along the Southeastern Coast of Taiwan. *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 1613-1636.

表一 1998~2004年間211個對流線個案之編號與發生時間(LST)。

case001	1998/04/04/02:15 ~ 05:30	case036	1999/04/22/20:15 ~ 04/23/09:15
case002	1998/04/07/03:30 ~ 11:30	case037	1999/04/23/20:15 ~ 04/24/00:30
case003	1998/04/10/03:00 ~ 13:45	case038	1999/04/24/19:15 ~ 04/25/09:30
case004	1998/04/10/19:00 ~ 04/11/01:45	case039	1999/05/03/19:30 ~ 05/04/05:00
case005	1998/04/11/17:00 ~ 04/12/13:45	case040	1999/05/11/01:00 ~ 05:15
case006	1998/04/22/20:30 ~ 04/23/05:45	case041	1999/05/11/19:30 ~ 05/12/01:30
case007	1998/05/10/19:00 ~ 05/11/03:45	case042	1999/05/14/20:30 ~ 05/15/09:30
case008	1998/05/11/17:27 ~ 05/12/00:25	case043	1999/05/16/19:15 ~ 05/17/03:30
case009	1998/05/12/20:00 ~ 05/13/04:45	case044	1999/05/22/20:15 ~ 05/23/10:30
case010	1998/05/13/18:00 ~ 05/14/02:30	case045	1999/05/30/17:00 ~ 05/31/02:00
case011	1998/05/14/20:00 ~ 05/15/09:25	case046	1999/06/04/05:30 ~ 15:30
case012	1998/06/23/04:00 ~ 08:00	case047	1999/06/29/03:30 ~ 08:30
case013	1998/06/28/01:30 ~ 07:20	case048	1999/07/29/17:23 ~ 21:15
case014	1998/08/01/20:30 ~ 08/02/06:20	case049	1999/11/17/08:30 ~ 11:30
case015	1998/11/27/18:30 ~ 11/28/07:00	case050	1999/11/21/21:30 ~ 11/22/08:15
case016	1998/12/15/16:00 ~ 22:30	case051	1999/11/22/07:30 ~ 13:15
case017	1999/01/23/04:30 ~ 16:00	case052	1999/11/22/22:06 ~ 11/23/18:30
case018	1999/01/31/13:00 ~ 02/01/09:30	case053	1999/11/23/18:15 ~ 11/24/07:30
case019	1999/02/10/03:00 ~ 19:30	case054	1999/11/24/17:30 ~ 11/25/01:15
case020	1999/02/10/20:00 ~ 02/11/03:30	case055	1999/11/25/17:30 ~ 11/26/01:30
case021	1999/02/17/07:00 ~ 12:00	case056	1999/12/03/08:30 ~ 12:15
case022	1999/02/25/02:00 ~ 15:30	case057	2000/01/10/07:30 ~ 01/11/12:30
case023	1999/02/27/00:30 ~ 09:30	case058	2000/02/10/15:30 ~ 02/11/10:30
case024	1999/03/01/17:30 ~ 03/02/11:30	case059	2000/02/18/15:30 ~ 02/19/07:30
case025	1999/03/02/14:00 ~ 16:30	case060	2000/02/29/16:02 ~ 23:15
case026	1999/03/02/17:30 ~ 03/03/11:00	case061	2000/03/03/03:02 ~ 13:15
case027	1999/03/09/19:00 ~ 03/10/02:00	case062	2000/03/14/18:30 ~ 03/15/08:30
case028	1999/03/16/20:00 ~ 03/17/12:30	case063	2000/04/02/18:30 ~ 04/03/01:30
case029	1999/03/23/15:00 ~ 03/24/04:30	case064	2000/04/03/06:15 ~ 11:15
case030	1999/03/28/04:00 ~ 12:30	case065	2000/04/03/15:30 ~ 04/04/02:42
case031	1999/03/28/18:00 ~ 03/29/13:00	case066	2000/04/16/20:06 ~ 04/17/10:30
case032	1999/04/03/17:30 ~ 22:00	case067	2000/04/19/22:30 ~ 04/20/05:15
case033	1999/04/14/00:00 ~ 12:30	case068	2000/04/24/18:00 ~ 04/25/05:15
case034	1999/04/17/00:15 ~ 06:30	case069	2000/04/28/04:30 ~ 08:30
case035	1999/04/18/23:30 ~ 04/19/09:15	case070	2000/04/28/09:30 ~ 11:30

表一 (續)

case071	2000/04/29/18:00 ~ 04/30/03:30	case106	2003/01/24/04:20 ~ 11:20
case072	2000/04/30/22:30 ~ 05/01/11:30	case107	2003/01/25/14:00 ~ 01/26/07:20
case073	2000/07/21/20:00 ~ 07/22/02:15	case108	2003/01/29/07:00 ~ 13:40
case074	2000/07/23/22:15 ~ 07/24/02:15	case109	2003/01/30/17:00 ~ 01/31/05:30
case075	2000/08/21/04:00 ~ 08:30	case110	2003/02/06/07:00 ~ 13:00
case076	2002/05/25/09:30 ~ 14:54	case111	2003/02/06/13:30 ~ 02/07/03:40
case077	2002/05/26/17:30 ~ 05/27/11:30	case112	2003/02/09/05:00 ~ 11:00
case078	2002/05/27/14:30 ~ 05/28/07:30	case113	2003/02/11/15:00 ~ 18:20
case079	2002/08/10/18:30 ~ 08/11/00:30	case114	2003/02/14/14:00 ~ 21:20
case080	2002/08/11/09:00 ~ 13:30	case115	2003/02/25/15:40 ~ 02/26/19:00
case081	2002/08/11/20:30 ~ 08/12/04:30	case116	2003/03/01/21:00 ~ 03/03/01:00
case082	2002/08/15/05:30 ~ 12:00	case117	2003/03/15/19:00 ~ 03/16/05:40
case083	2002/08/15/20:00 ~ 08/16/10:30	case118	2003/03/17/01:00 ~ 08:40
case084	2002/09/23/04:00 ~ 09:30	case119	2003/03/22/12:00 ~ 16:40
case085	2002/09/23/14:00 ~ 09/24/01:30	case120	2003/03/23/01:00 ~ 08:10
case086	2002/09/26/04:30 ~ 11:00	case121	2003/03/26/02:00 ~ 21:00
case087	2002/09/26/11:00 ~ 20:00	case122	2003/03/27/02:30 ~ 13:00
case088	2002/09/30/12:00 ~ 22:30	case123	2003/04/10/07:30 ~ 10:40
case089	2002/10/01/14:00 ~ 10/02/00:00	case124	2003/04/10/13:30 ~ 22:10
case090	2002/10/12/18:00 ~ 20:30	case125	2003/04/11/06:30 ~ 22:40
case091	2002/10/13/18:00 ~ 21:30	case126	2003/04/16/19:30 ~ 04/17/03:10
case092	2002/11/13/17:30 ~ 23:30	case127	2003/04/20/04:00 ~ 08:40
case093	2002/11/25/03:00 ~ 10:00	case128	2003/04/20/19:30 ~ 22:30
case094	2002/12/02/17:30 ~ 12/03/07:00	case129	2003/04/21/04:30 ~ 07:40
case095	2002/12/11/04:40 ~ 15:40	case130	2003/04/22/00:00 ~ 02:40
case096	2002/12/13/06:00 ~ 12:20	case131	2003/04/26/14:40 ~ 04/27/09:40
case097	2002/12/16/21:20 ~ 12/17/04:20	case132	2003/06/26/01:30 ~ 04:30
case098	2002/12/17/04:40 ~ 09:20	case133	2003/07/08/21:00 ~ 23:30
case099	2002/12/25/03:00 ~ 07:40	case134	2003/09/13/04:30 ~ 09:40
case100	2003/01/04/00:00 ~ 12:20	case135	2003/09/22/07:30 ~ 13:30
case101	2003/01/04/17:00 ~ 22:40	case136	2003/10/01/18:10 ~ 10/02/05:10
case102	2003/01/07/23:20 ~ 01/08/04:40	case137	2003/10/11/20:30 ~ 10/12/05:40
case103	2003/01/11/19:00 ~ 01/12/02:40	case138	2003/10/15/17:00 ~ 10/16/14:20
case104	2003/01/14/16:30 ~ 01/15/02:20	case139	2003/10/19/04:20 ~ 09:40
case105	2003/01/23/02:20 ~ 14:00	case140	2003/10/21/17:00 ~ 23:00

表一 (續)

case141	2003/10/28/18:20 ~ 21:00	case176	2004/05/07/21:00 ~ 05/08/02:45
case142	2003/10/30/19:20 ~ 23:00	case177	2004/05/14/20:00 ~ 05/15/02:00
case143	2003/10/30/23:40 ~ 10/31/02:40	case178	2004/05/30/21:30 ~ 05/31/06:00
case144	2003/11/08/13:20 ~ 14:40	case179	2004/07/22/04:00 ~ 07:30
case145	2003/11/13/23:10 ~ 11/14/07:20	case180	2004/07/23/05:00 ~ 09:30
case146	2003/11/29/21:00 ~ 11/30/07:00	case181	2004/08/07/20:00 ~ 08/08/03:00
case147	2003/12/03/17:00 ~ 12/04/01:20	case182	2004/08/08/19:30 ~ 23:30
case148	2003/12/09/10:20 ~ 13:00	case183	2004/09/19/22:30 ~ 09/20/03:00
case149	2003/12/16/04:40 ~ 13:40	case184	2004/09/24/20:30 ~ 09/25/02:30
case150	2003/12/16/19:40 ~ 12/17/00:20	case185	2004/10/01/17:30 ~ 20:30
case151	2003/12/21/18:00 ~ 12/22/07:20	case186	2004/10/05/19:30 ~ 10/06/04:00
case152	2003/12/22/15:40 ~ 20:20	case187	2004/10/06/20:00 ~ 10/07/00:30
case153	2003/12/22/21:00 ~ 12/23/03:00	case188	2004/10/11/19:00 ~ 10/12/01:00
case154	2003/12/24/23:20 ~ 12/25/04:20	case189	2004/10/12/20:00 ~ 10/13/02:00
case155	2003/12/28/03:40 ~ 11:20	case190	2004/10/16/11:30 ~ 13:30
case156	2003/12/28/11:00 ~ 13:00	case191	2004/10/16/19:00 ~ 10/17/01:30
case157	2003/12/28/17:00 ~ 12/29/00:40	case192	2004/10/20/19:00 ~ 10/21/09:00
case158	2003/12/29/02:20 ~ 05:20	case193	2004/10/23/00:30 ~ 04:00
case159	2003/12/29/08:40 ~ 16:20	case194	2004/11/08/20:00 ~ 11/09/00:00
case160	2003/12/29/19:20 ~ 12/30/08:00	case195	2004/11/09/01:30 ~ 09:30
case161	2003/12/30/19:20 ~ 12/31/04:00	case196	2004/11/09/09:30 ~ 16:30
case162	2004/01/03/01:20 ~ 13:20	case197	2004/11/09/20:00 ~ 11/10/07:00
case163	2004/01/03/14:40 ~ 23:00	case198	2004/11/12/00:00 ~ 03:00
case164	2004/01/04/00:20 ~ 10:40	case199	2004/11/12/18:30 ~ 11/13/03:30
case165	2004/01/09/22:40 ~ 01/10/04:20	case200	2004/11/15/01:30 ~ 05:30
case166	2004/01/26/22:40 ~ 01/27/02:40	case201	2004/11/17/08:30 ~ 14:00
case167	2004/02/11/17:40 ~ 22:00	case202	2004/11/20/20:30 ~ 11/21/01:30
case168	2004/02/15/20:40 ~ 02/16/12:00	case203	2004/11/21/16:00 ~ 20:00
case169	2004/03/15/22:30 ~ 03/16/00:45	case204	2004/11/21/21:30 ~ 11/22/05:30
case170	2004/03/16/00:30 ~ 02:30	case205	2004/11/28/17:30 ~ 20:30
case171	2004/03/16/01:30 ~ 03:45	case206	2004/12/02/03:30 ~ 07:30
case172	2004/04/21/21:00 ~ 04/22/07:00	case207	2004/12/07/07:30 ~ 10:00
case173	2004/04/30/09:00 ~ 05/01/07:45	case208	2004/12/09/19:30 ~ 21:30
case174	2004/05/02/02:30 ~ 06:45	case209	2004/12/17/22:30 ~ 12/18/03:30
case175	2004/05/07/17:30 ~ 23:00	case210	2004/12/18/04:00 ~ 09:00
		case211	2004/12/29/14:30 ~ 19:00

表二 1998~2004年211個對流線個案發生期間內成功、台東與蘭嶼地面觀測站之離岸風與向岸風所佔比例與平均風速。

	成功測站	台東測站	蘭嶼測站
離岸風之比例	83 %	77 %	42 %
平均風速	1.3 m/s	0.8 m/s	1.5 m/s
向岸風之比例	17 %	23 %	58 %
平均風速	1 m/s	1 m/s	2.5 m/s

表三 1998~2004年211個對流線個案發生期間內成功、台東與蘭嶼地面觀測站之離岸風與向岸風經交叉統計後所佔比例與平均風速。

	成功測站為 離岸氣流	成功測站為 向岸氣流	台東測站為 離岸氣流	台東測站為 向岸氣流
蘭嶼測站為 向岸氣流	48% CK: 1.4m/s LY: 2.5m/s	10% CK: 1.0m/s LY: 2.5m/s	46% TT: 0.8m/s LY: 2.5m/s	13% TT: 0.9m/s LY: 2.4m/s
蘭嶼測站為 離岸氣流	34% CK: 1.1m/s LY: 1.5m/s	8% CK: 1.0m/s LY: 1.3m/s	31% TT: 0.8m/s LY: 1.5m/s	10% TT: 1.1m/s LY: 1.4m/s

表4 15個對流線個案中未受到海面雜波影響且線狀結構最完整之綠島雷達資料時間。

1998年4月9日 2300 UTC
1998年4月10日 1300 UTC
1998年4月11日 1230 UTC
1998年5月10日 1315 UTC
1998年5月11日 1230 UTC
1998年5月12日 1930 UTC
1998年5月13日 1245 UTC
1998年5月14日 1915 UTC
1998年6月27日 1830 UTC
1999年4月16日 1830 UTC
1999年5月14日 1930 UTC
1999年5月16日 1430 UTC
2003年7月8日 1300 UTC
2003年10月11日 1440 UTC
2004年5月30日 1730 UTC

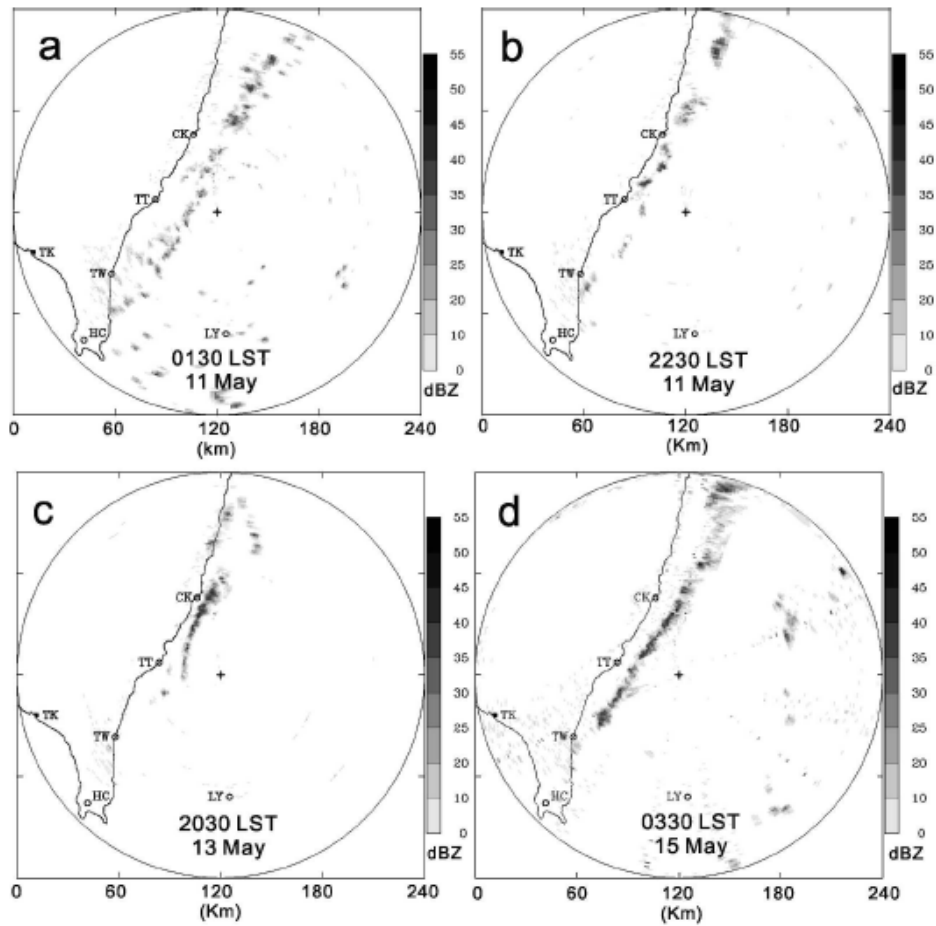


圖1.1 1998年5月(a)11日0130 LST、(b) 11日0337 LST、(c)13日2030 LST與(d)15日0330 LST之綠島PPI(1°仰角)雷達回波圖，灰階部分為雷達回波(單位為dBZ)，間距顯示在圖右方，圖中CK、TT、TW、LY、TK分別代表成功、台東、大武、東港與蘭嶼地面觀測站所在位置，GI與HC代表綠島雷達與墾丁雷達之位置。(圖摘取自Yu and Jou 2005)。

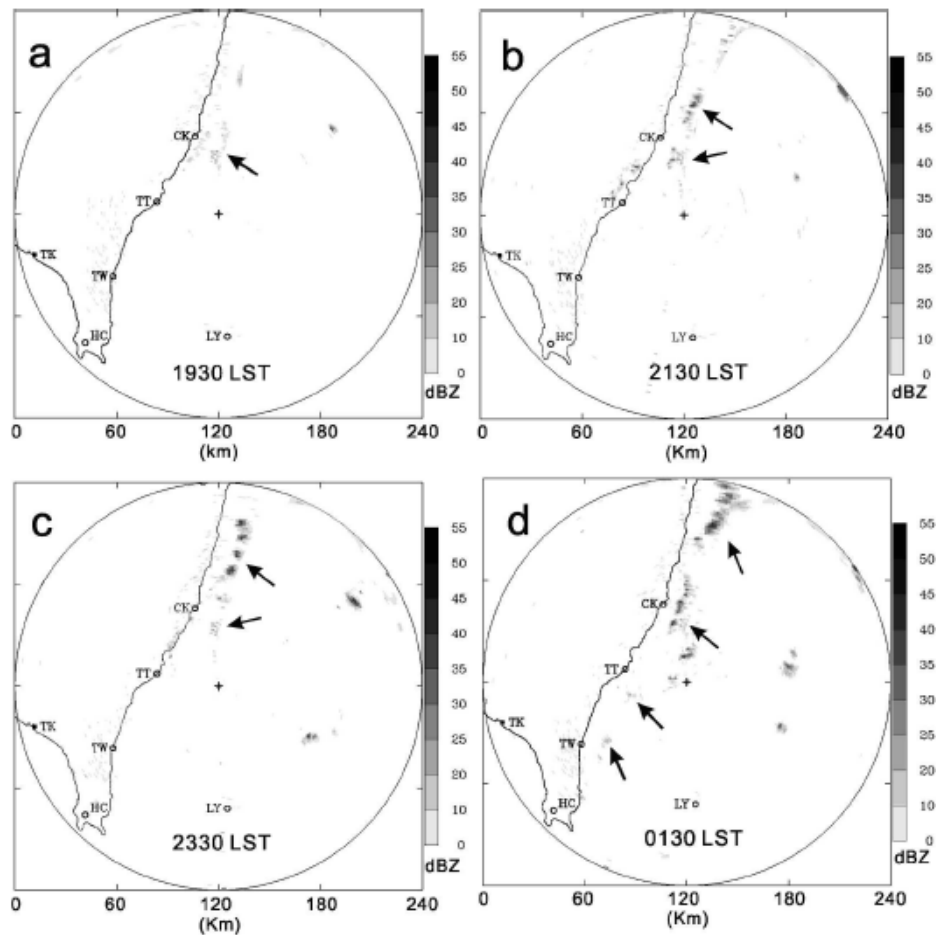


圖1.2 1998年5月14~15日(a) 1930 LST ; (b) 2130 LST ; (c) 2330 LST ; (d) 0130 LST ; (e) 0330 LST ; (f) 0530 LST ; (g) 0730 LST ; (h) 0930 LST之綠島PPI(1°仰角)雷達回波序列圖，灰階部分為雷達回波(單位為dBZ)，間距顯示在圖右方，圖中CK、TT、TW、LY、TK分別代表成功、台東、大武、東港與蘭嶼地面觀測站所在位置，GI與HC代表綠島雷達與墾丁雷達之位置(圖摘取自Yu and Jou 2005)。

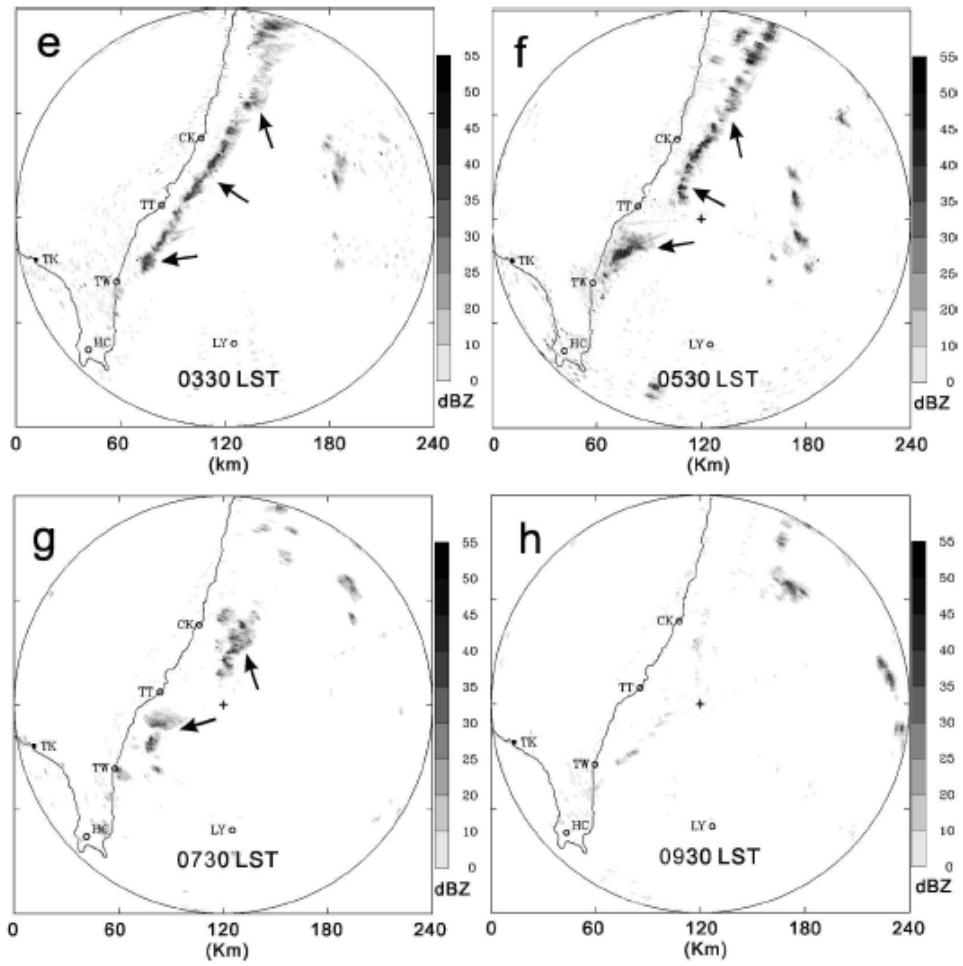


圖1.2 (續)

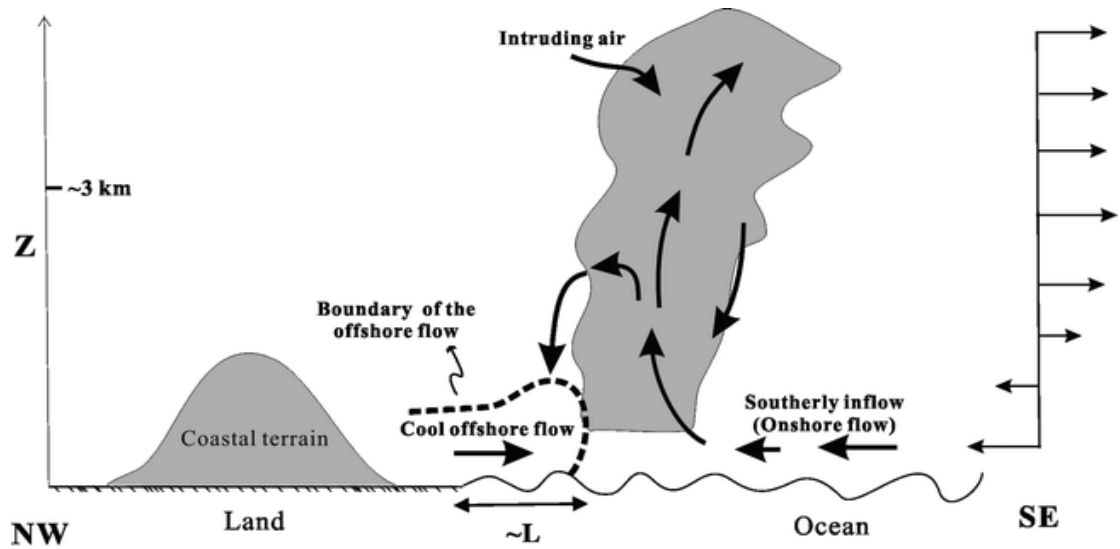


圖1.3 1998年5月14~15日發生於台灣東南沿海之對流線垂直剖面生成示意圖，此剖面方向約垂直於海岸，呈西北東南之走向，粗箭頭表示此剖面主要氣流分量之行進方向，在海面上之灰色區域代表對流線之生成位置，在陸地上之灰色區域代表沿岸地區之地形，粗虛線為離岸氣流之邊界層，以L來代表離岸氣流之水平尺度，圖中右方箭頭為此剖面的水平氣流分量隨高度之變化(圖摘取自 Yu and Jou 2005)。

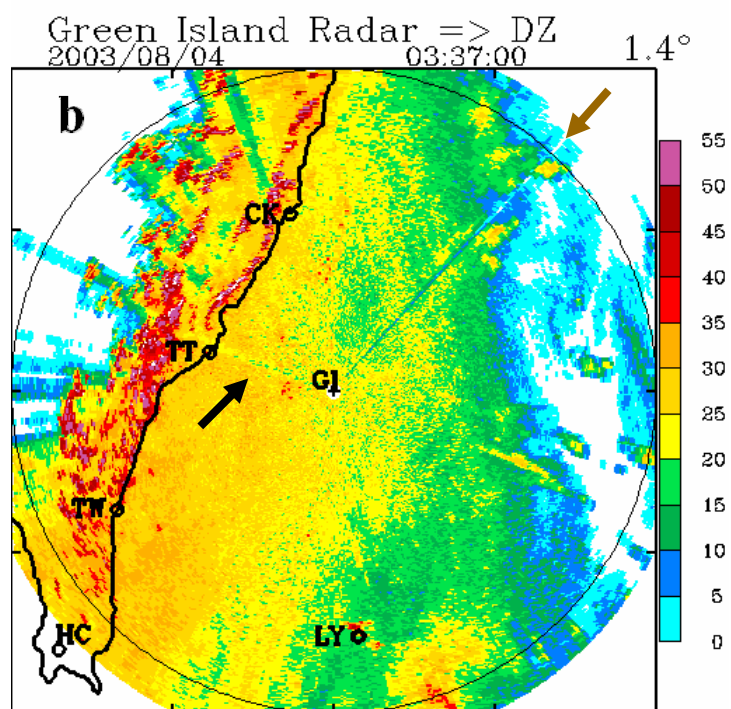
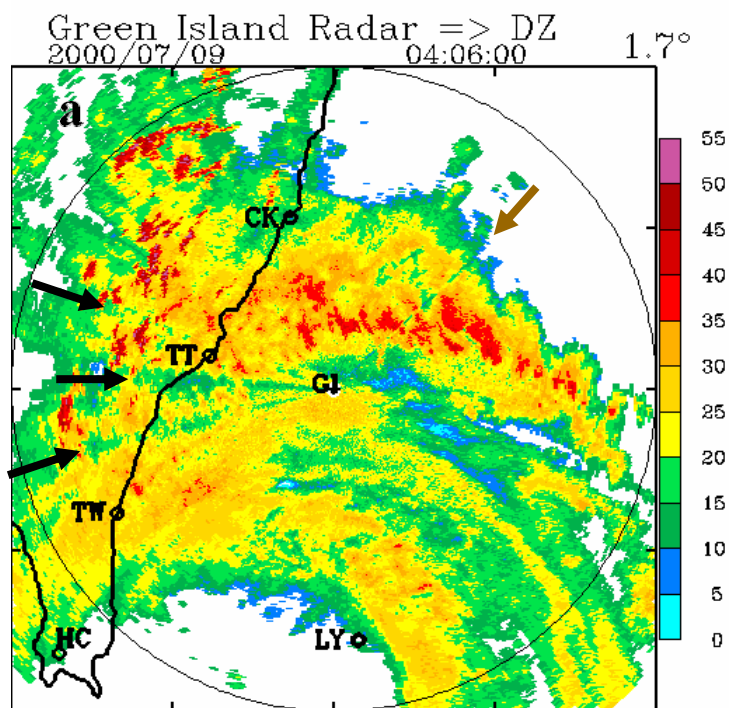


圖2.1 (a)2000年7月9日0406 LST 啟德(KAI-TAK)颱風之綠島PPI(1.7°仰角)雷達回波圖與 (b)2003年8月4日0337 LST莫拉克(MORAKOT)颱風之綠島PPI(1.4°仰角)雷達回波圖，色階部分為雷達回波(單位為dBZ)，間距顯示在圖右方，圖中箭頭所指之處為衰減之雷達電磁波波束位置。

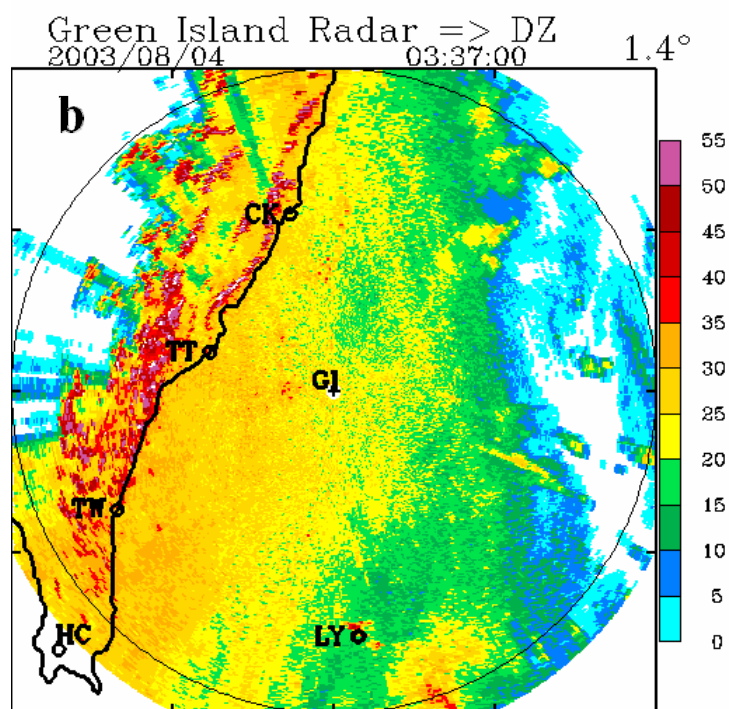
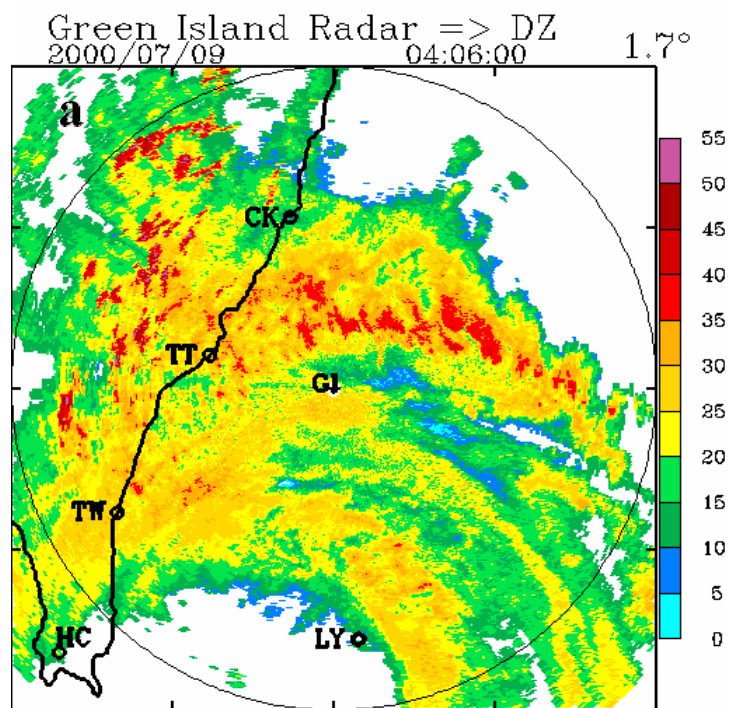
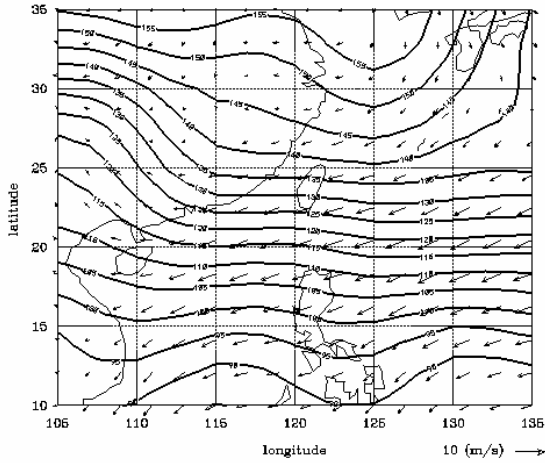


圖2.2 同圖2.1，但為校正過後之雷達回波。

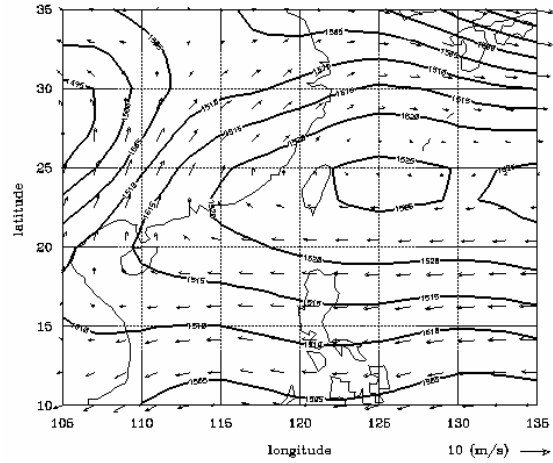


圖2.3 阻礙綠島雷達電磁波之當地電視塔台，位於綠島雷達觀測站東北方之另一個山頭上。

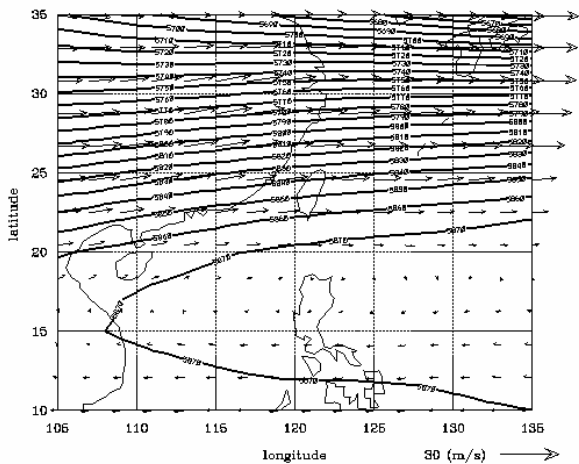
a
Composition of 1000 hpa height and wind field



b
Composition of 850 hpa height and wind field



c
Composition of 500 hpa height and wind field



d
Composition of 200 hpa height and wind field

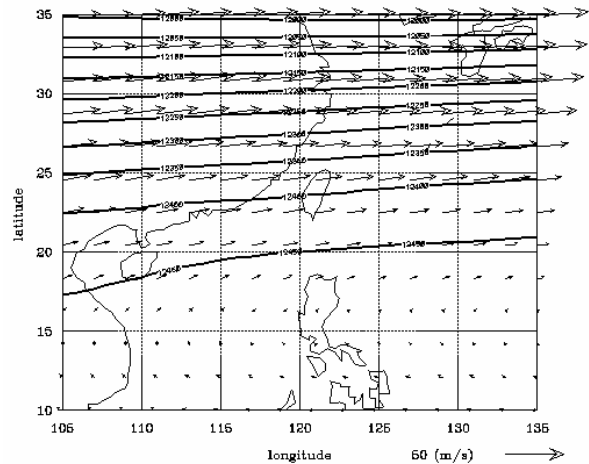
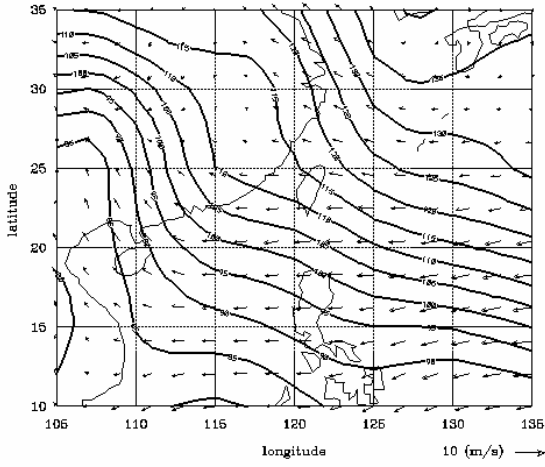


圖3.1 對流線發生期間內(a)1000 mb等壓面上綜觀環境之重力位高度場與風場合成圖，圖中等值線為重力位高度(單位為公尺)，間距為5公尺，(b)同(a)，但等壓面為850 mb，(c)同(a)，但等壓面為500 mb，重力位高度之等值線間距為10公尺，(d)同(a)，但等壓面為200 mb，重力位高度之等值線間距為50公尺，風向風速以箭頭表示，單位標示在圖右下方。

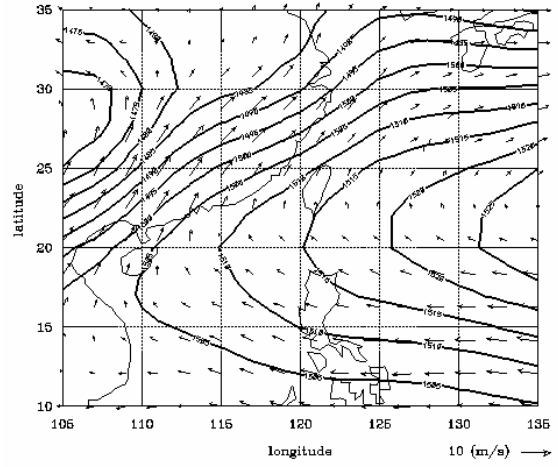
a

Composition of 1000 hpa height and wind field



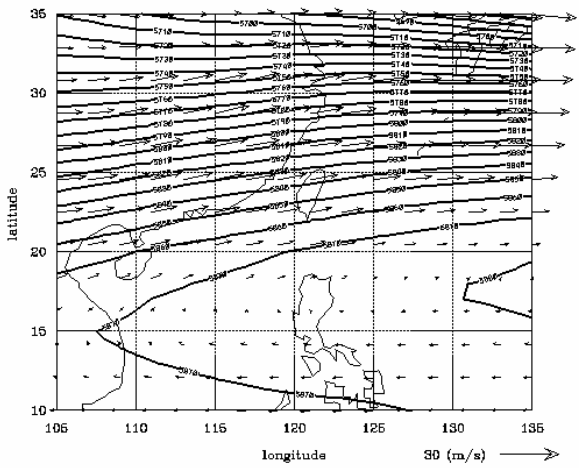
b

Composition of 850 hpa height and wind field



c

Composition of 500 hpa height and wind field



d

Composition of 200 hpa height and wind field

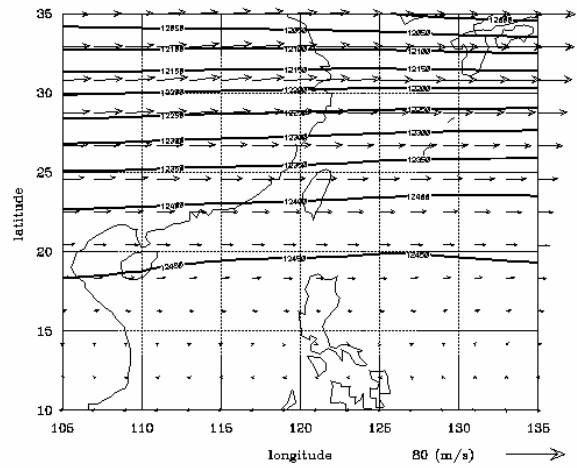
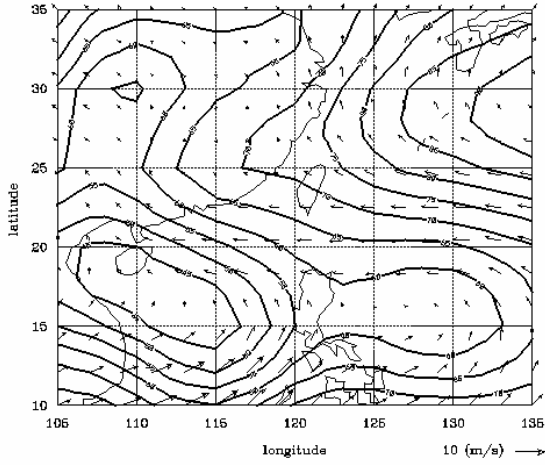


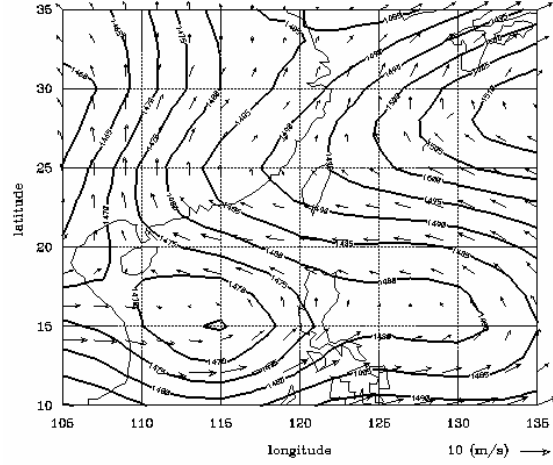
圖3.2 同圖3.1，但為對流線個案發生在春季時(3月、4月、5月)綜觀環境之重力位高度場與風場合成圖。

a

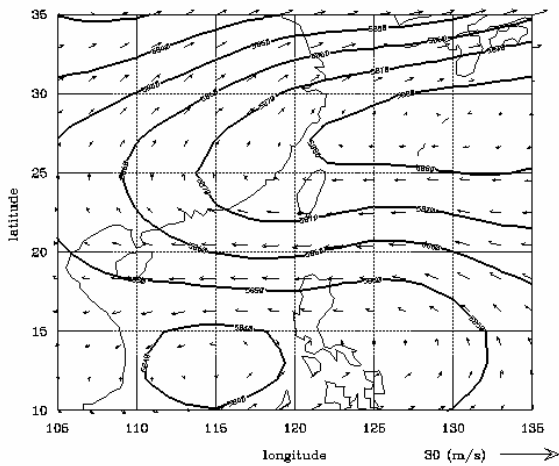
Composition of 1000 hpa height and wind field

**b**

Composition of 850 hpa height and wind field

**c**

Composition of 500 hpa height and wind field

**d**

Composition of 200 hpa height and wind field

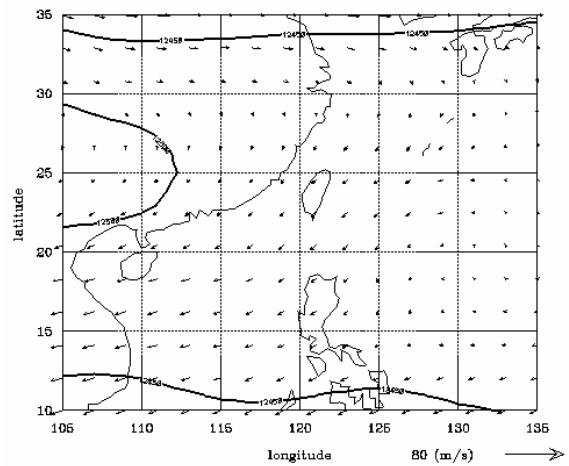
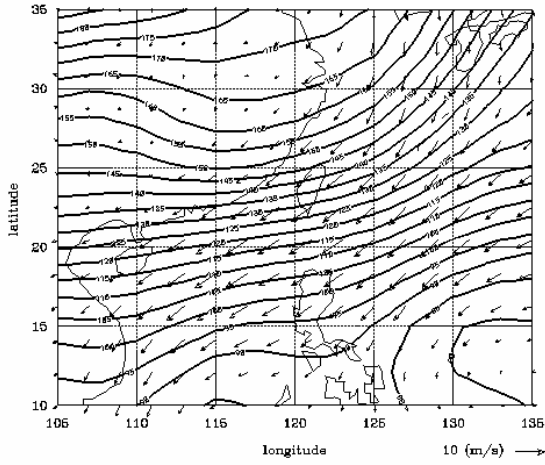


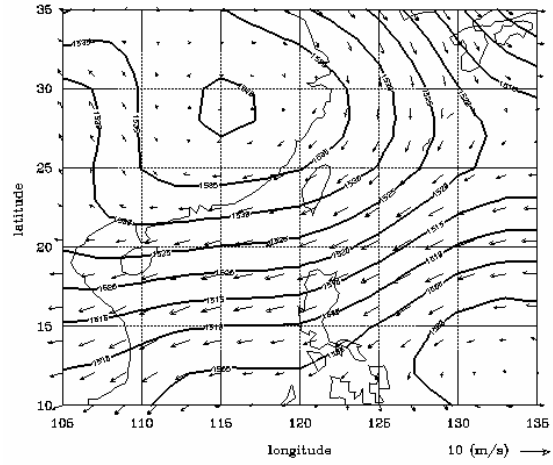
圖3.3 同圖3.1，但為對流線個案發生在夏季時(6月、7月、8月)綜觀環境之重力位高度場與風場合成圖。

a

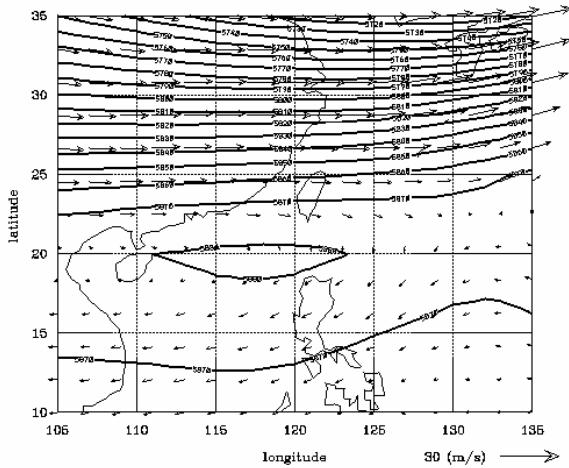
Composition of 1000 hpa height and wind field

**b**

Composition of 850 hpa height and wind field

**c**

Composition of 500 hpa height and wind field

**d**

Composition of 200 hpa height and wind field

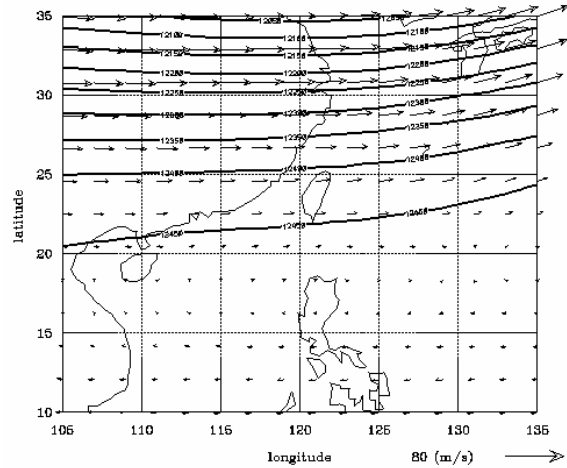
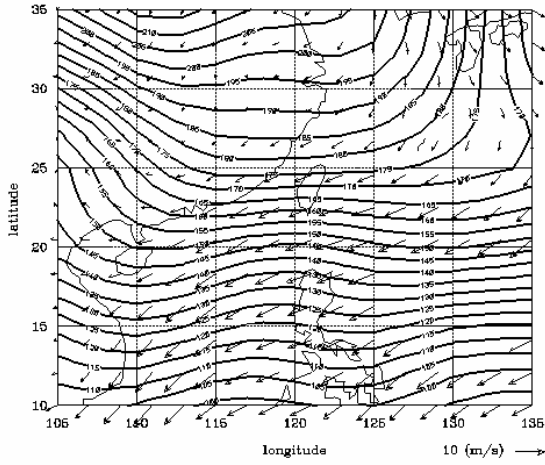


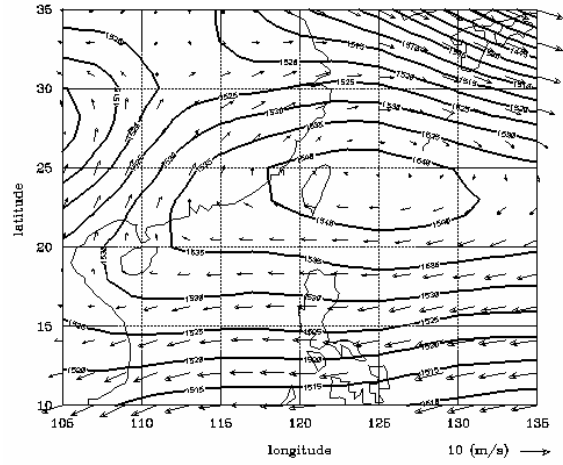
圖3.4 同圖3.1，但為對流線個案發生在秋季時(9月、10月、11月)綜觀環境之重力位高度場與風場合成圖。

a

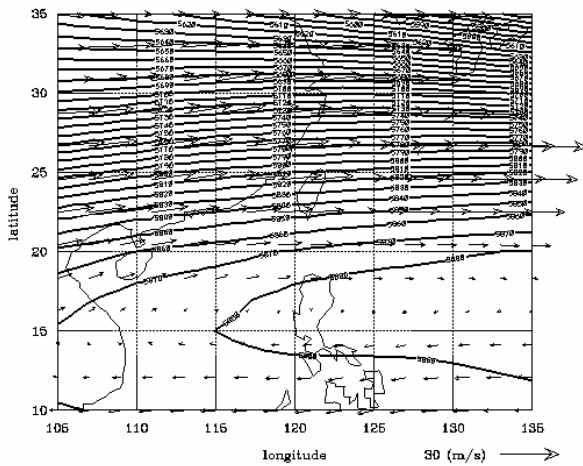
Composition of 1000 hpa height and wind field

**b**

Composition of 850 hpa height and wind field

**c**

Composition of 500 hpa height and wind field

**d**

Composition of 200 hpa height and wind field

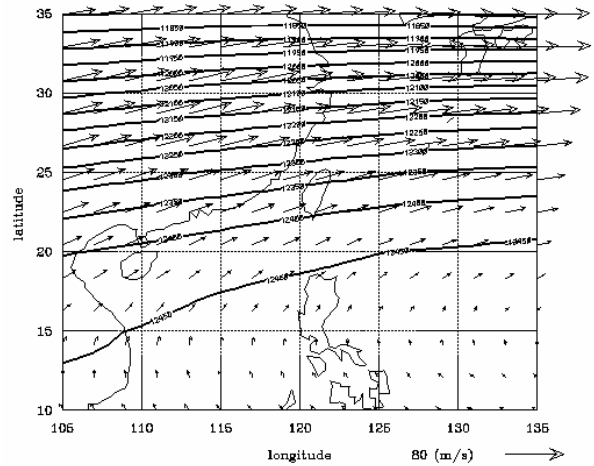


圖3.5 同圖3.1，但為對流線個案發生在冬季時(12月、1月、2月)綜觀環境之重力位高度場與風場合成圖。

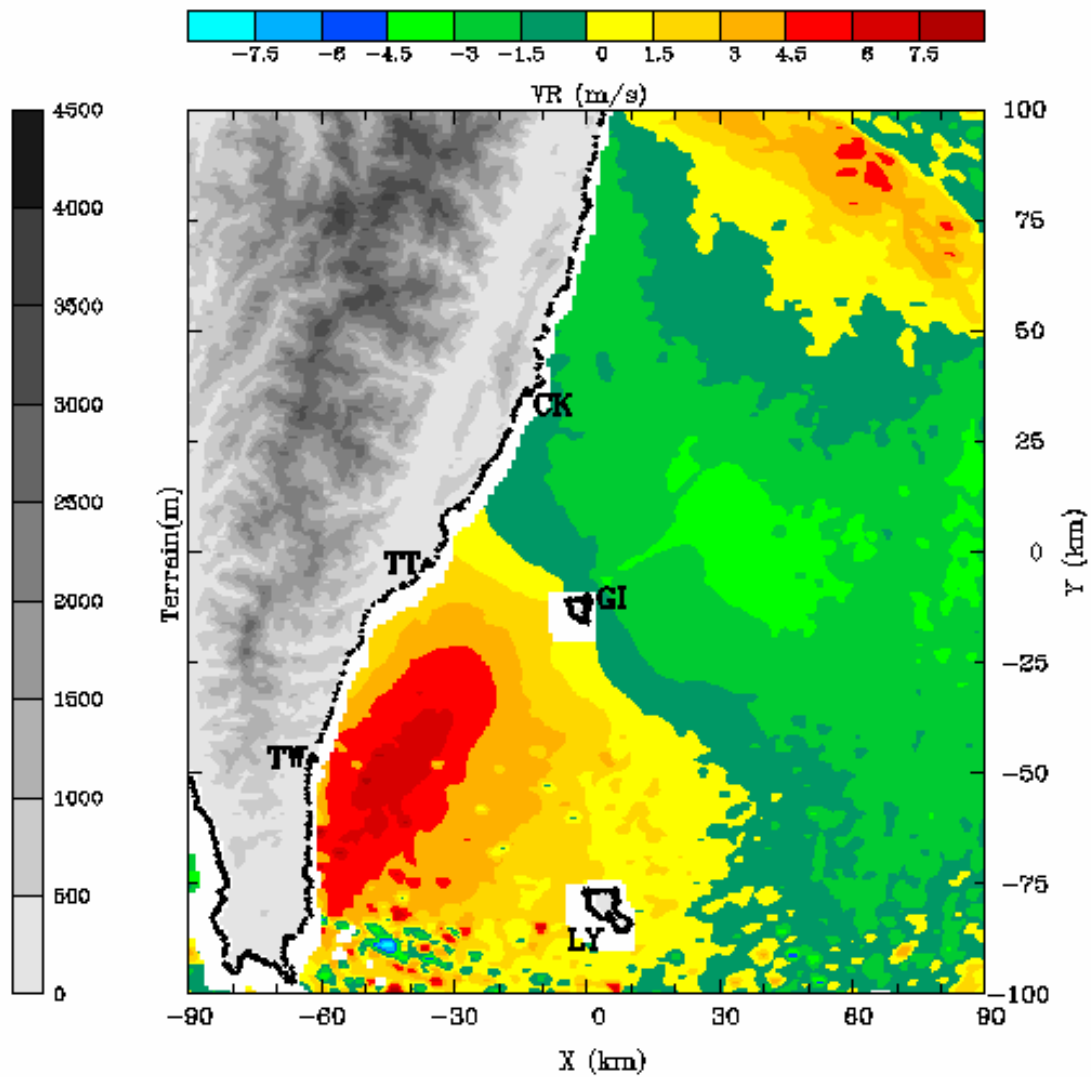


圖3.6 1998~2004年伴隨211個對流線個案之徑向風場分佈圖，色階部分為徑向風場(單位為 m s^{-1})，間距顯示在圖上方，灰階部分表示地形高度(單位為公尺)，間距顯示在圖左方，圖中CK、TT、TW、LY分別代表成功、台東、大武與蘭嶼地面觀測站所在位置，GI代表綠島雷達之位置。

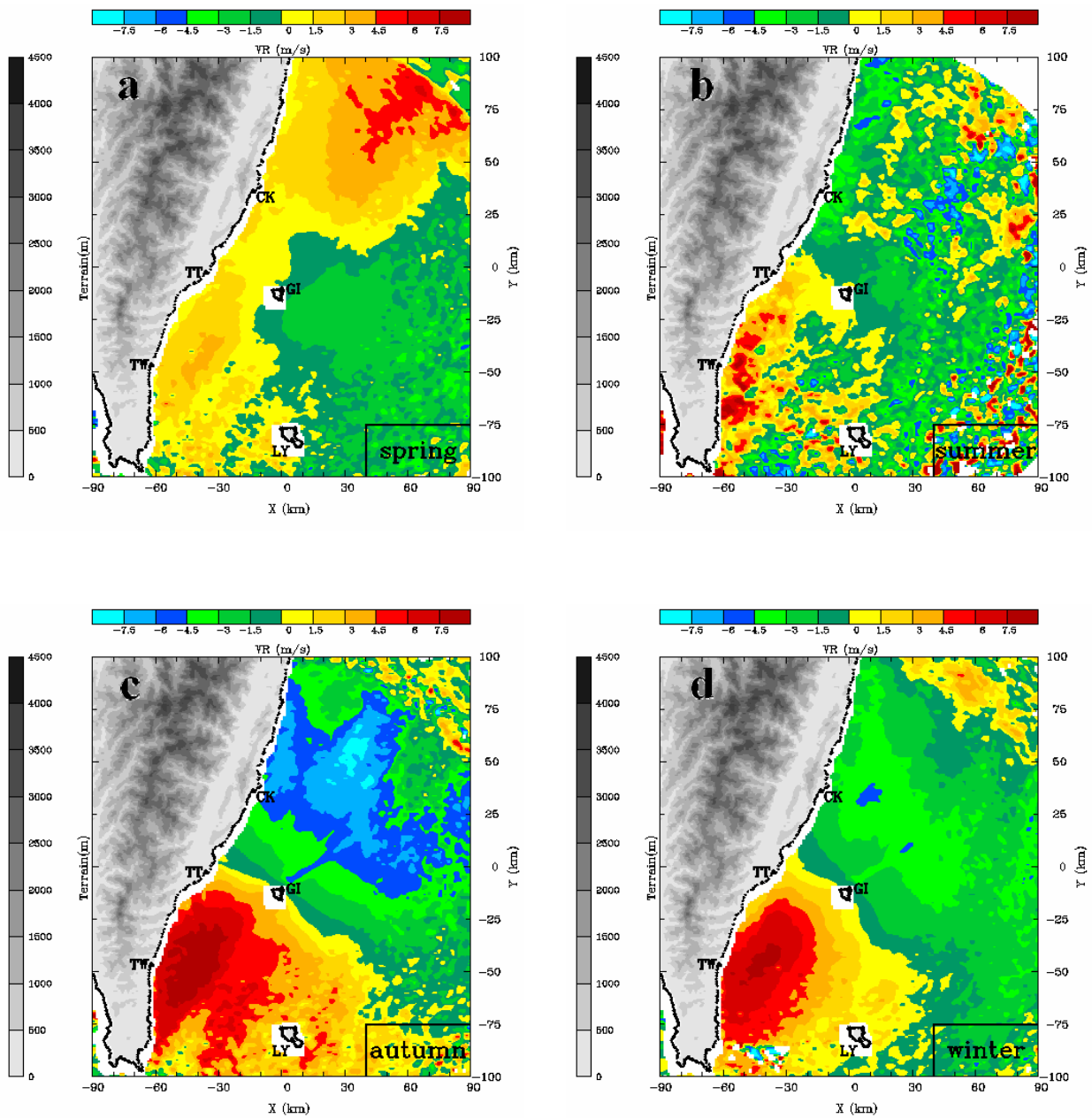


圖3.7 1998~2004年伴隨211個對流線個案之徑向風場在(a)春季；(b)夏季；(c)秋季；(d)冬季時之分佈情形，色階部分為徑向風場(單位為 $m s^{-1}$)，間距顯示在圖上方，灰階部分表示地形高度(單位為公尺)，間距顯示在圖左方，圖中CK、TT、TW、LY分別代表成功、台東、大武與蘭嶼地面觀測站所在位置，GI代表綠島雷達之位置。

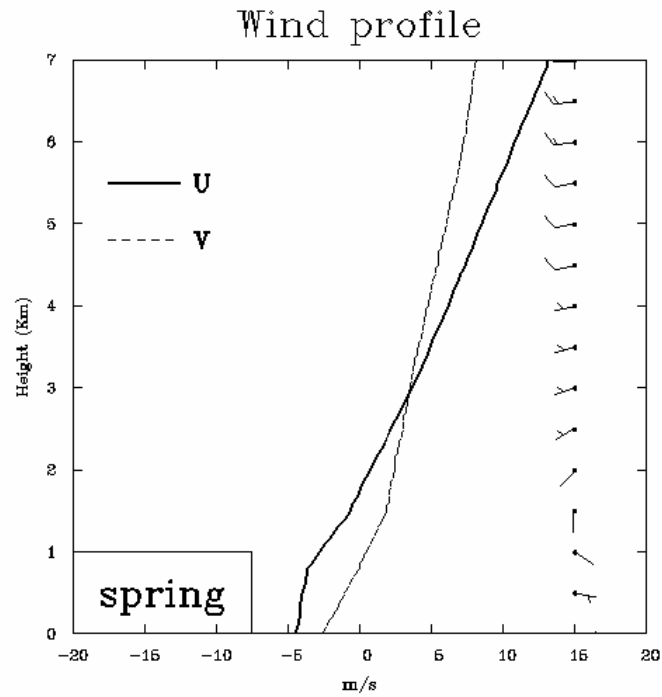
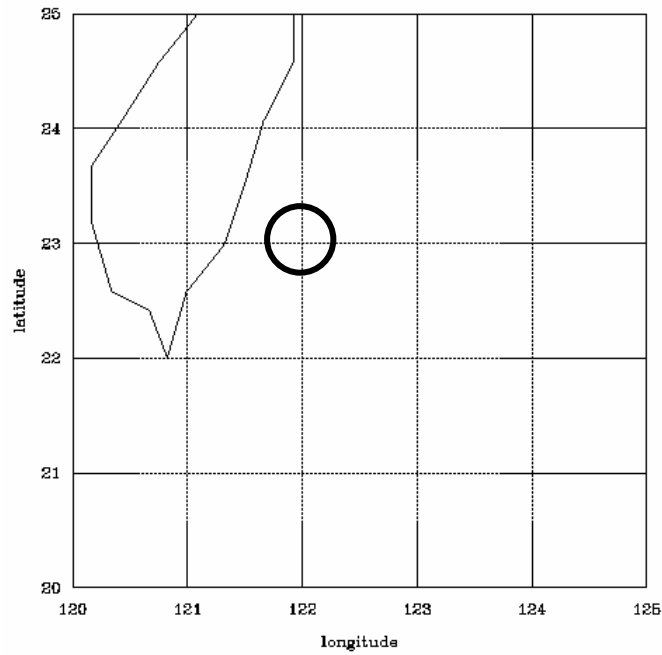


圖3.8 (a)NCEP/NCAR之風場資料選取位置，圖中選取位置以圓圈表示(b)對流線發生期間內台灣地區大環境風場隨高度之變化，圖中垂直於海岸之氣流分量(U，單位為 m s^{-1})以實線表示，平行於海岸之氣流分量(V，單位為 m s^{-1})以虛線表示，右側風標為各個高度實際的風向風速 (half bar = 2.5 m s^{-1} ，full bar = 5 m s^{-1})。

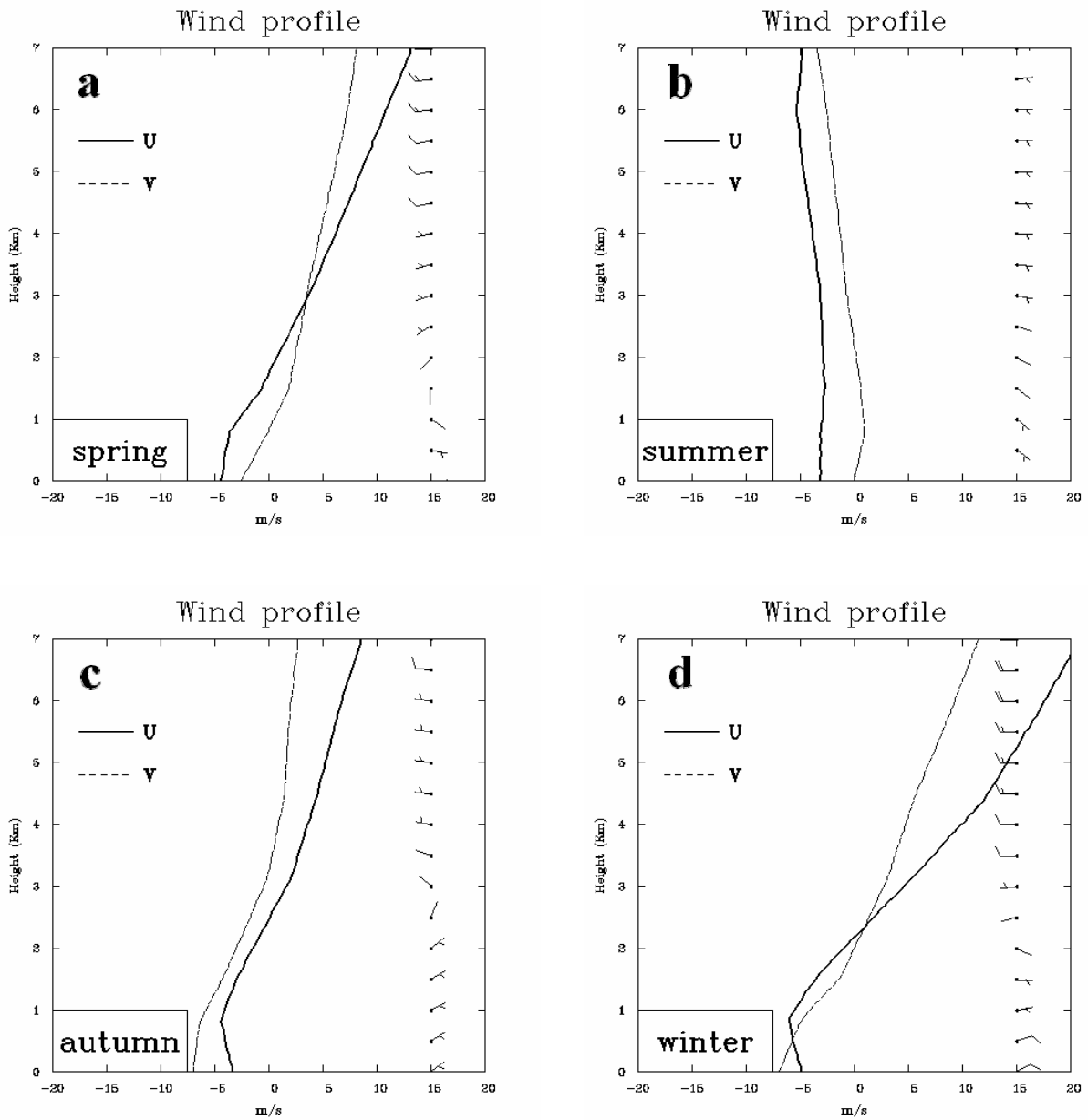


圖3.9 對流線發生期間在(a)春季；(b)夏季；(c)秋季；(d)冬季時台灣地區大環境風場隨高度之變化，圖中垂直於海岸之氣流分量(U，單位為 m s^{-1})以實線表示，平行於海岸之氣流分量(V，單位為 m s^{-1})以虛線表示，右側風標為各個高度實際的風向風速 (half bar = 2.5 m s^{-1} ，full bar = 5 m s^{-1})。

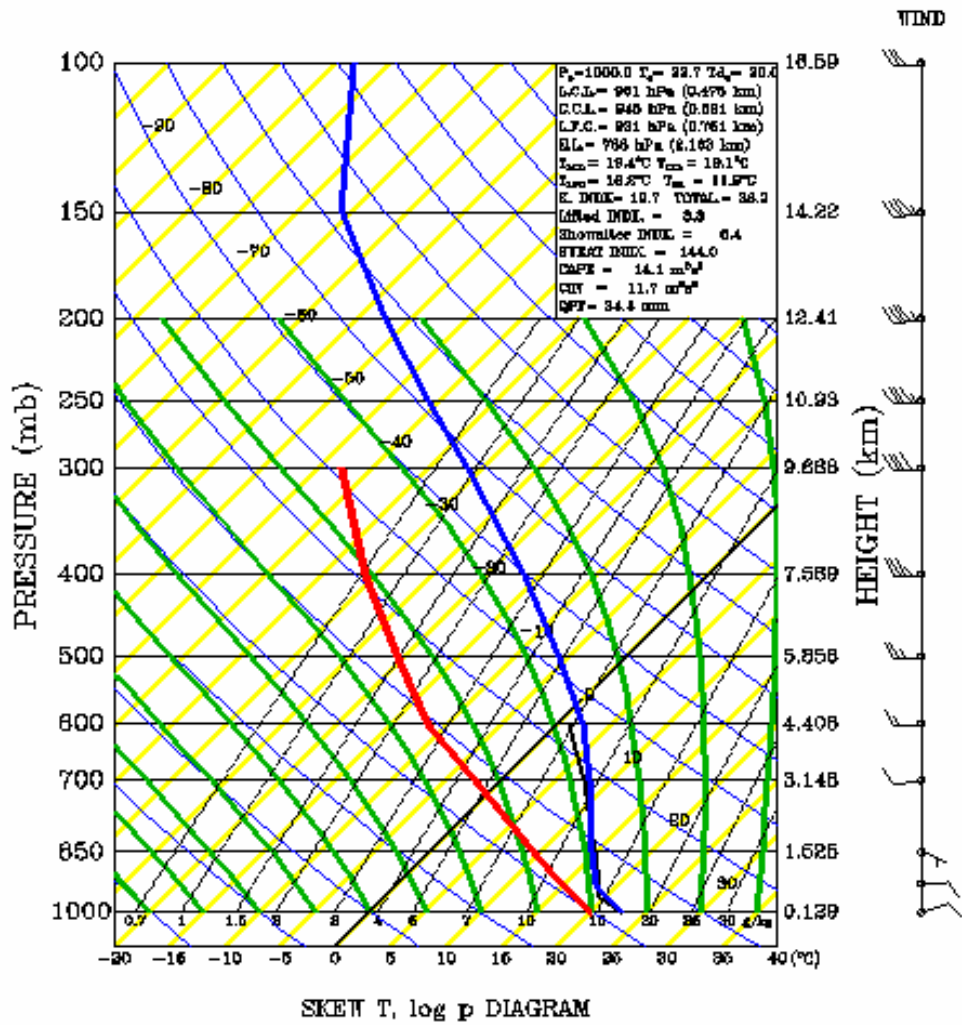


圖3.10 對流線發生期間內之平均斜溫圖，圖中溫度以藍色實線表示，露點溫度以紅色實線表示，右側風標為水平風隨高度之變化 (half bar = 2.5 m s^{-1} , full bar = 5 m s^{-1})。

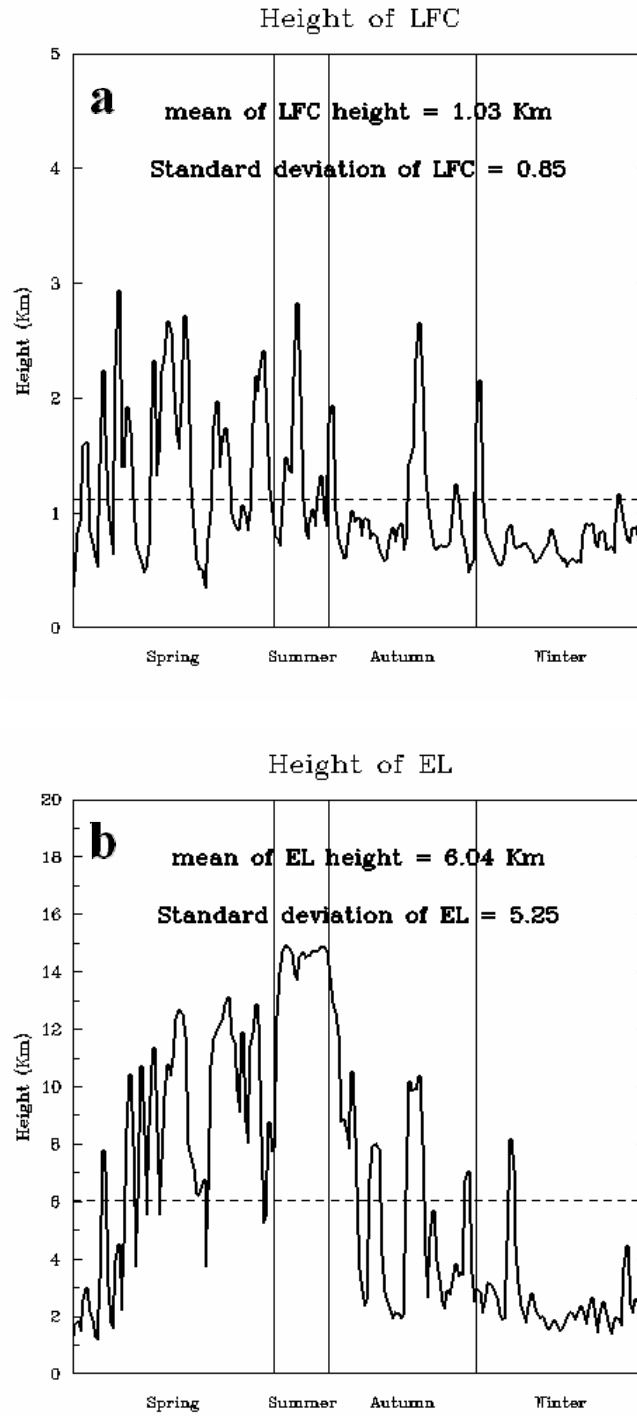


圖3.11 1998~2004年211個對流線個案之(a)LFC(自由對流層)高度(單位為公里)隨季節之變化與 (b)EL(平衡層)高度(單位為公里)隨季節之變化，平均高度由虛線表示，細直線代表季節的分界，標準差與平均高度顯示在圖上方。

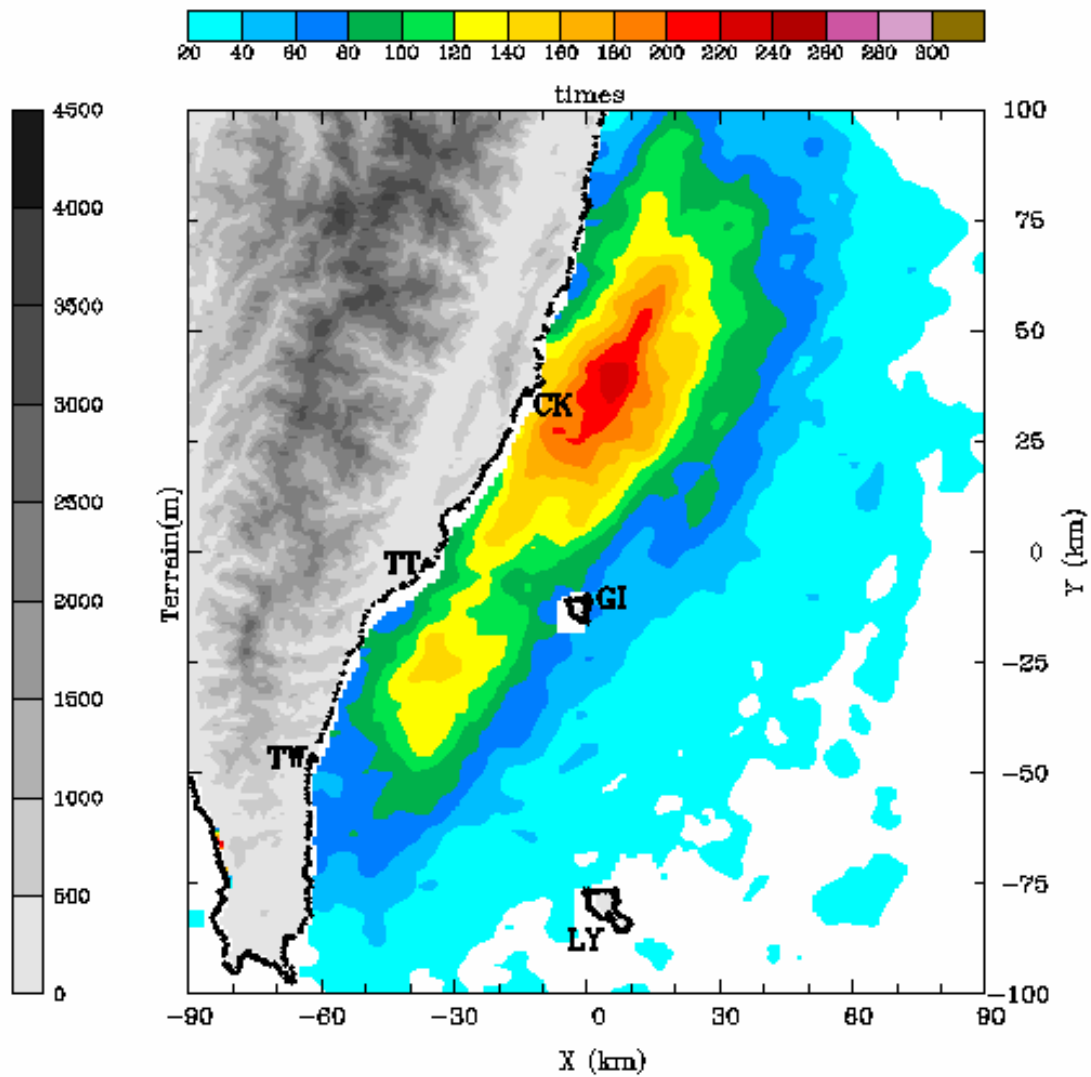


圖4.1 1998~2004年伴隨211個對流線個案較強回波(大於15dBZ)發生之次數分佈圖，色階部分為回波大於15dBZ之次數，間距顯示在圖上方，灰階部分表示地形高度(單位為公尺)，間距顯示在圖左方，圖中CK、TT、TW、LY分別代表成功、台東、大武與蘭嶼地面觀測站所在位置，GI代表綠島雷達之位置。

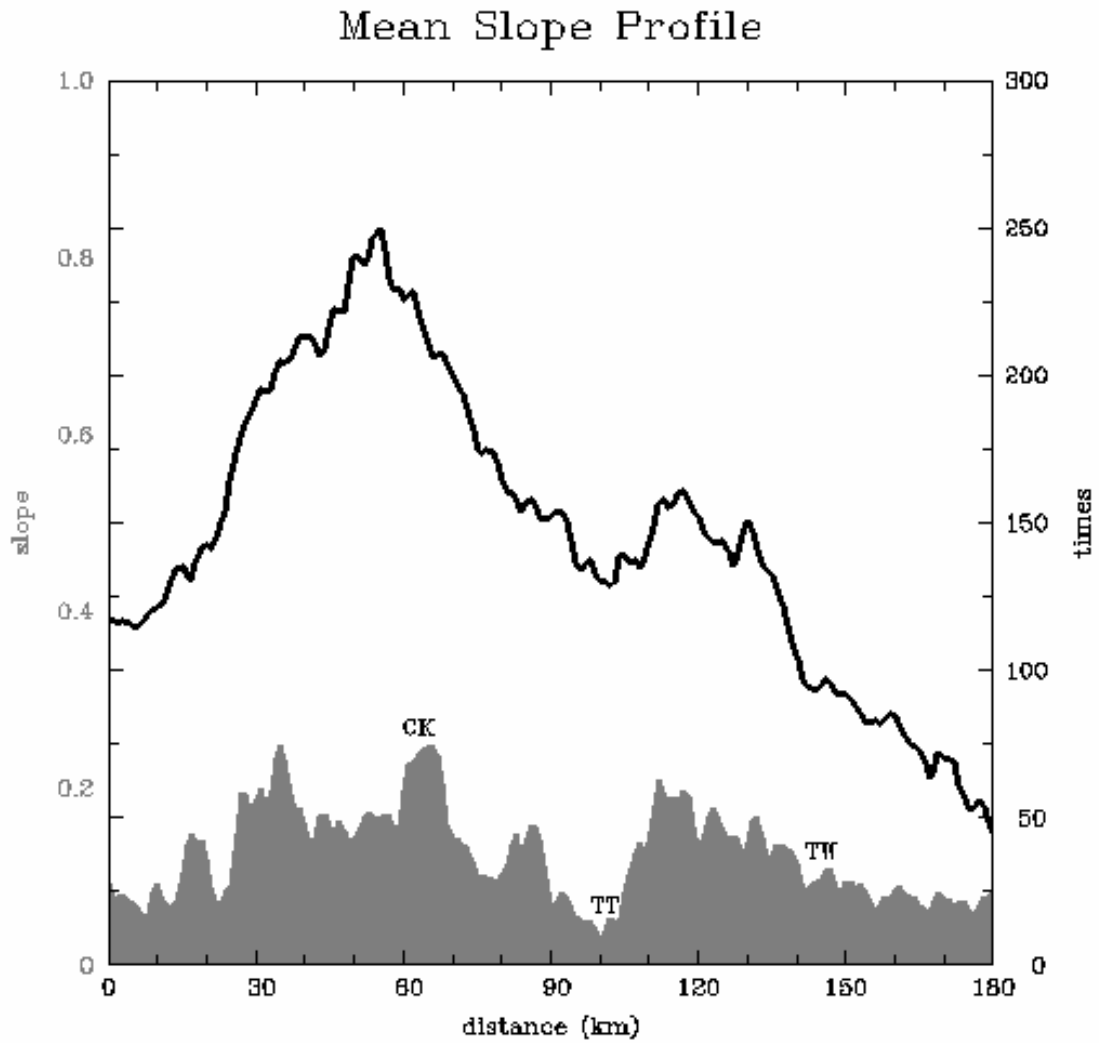


圖4.2 平行於台灣東南沿岸內陸10公里以內的地形平均斜率與離海岸40公里內對流線出現次數最大值之南北剖面圖，灰色區域為地形平均斜率，黑色實線表示出現次數最大值，圖中CK、TT、TW分別代表成功、台東與大武地面觀測站之位置。

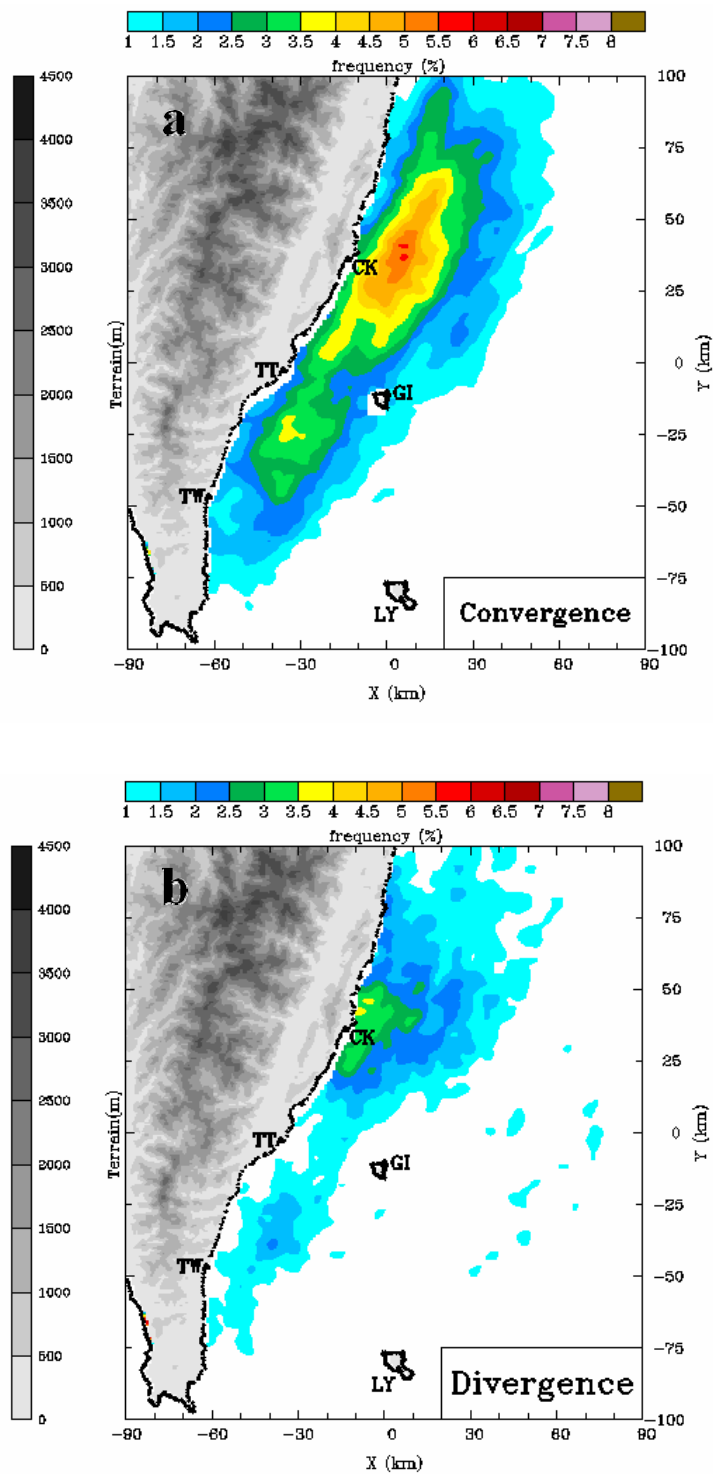


圖4.3 1998~2004年伴隨211個對流線個案較強回波(大於15dBZ)發生在台灣東南沿海風場為(a)輻合與(b)輻散兩種情形下之頻率分佈圖，色階部分為回波大於15dBZ之頻率(單位為%)，間距顯示在圖上方，灰階部分表示地形高度(單位為公尺)，間距顯示在圖左方，圖中CK、TT、TW、LY分別代表成功、台東、大武與蘭嶼地面觀測站所在位置，GI代表綠島雷達之位置。

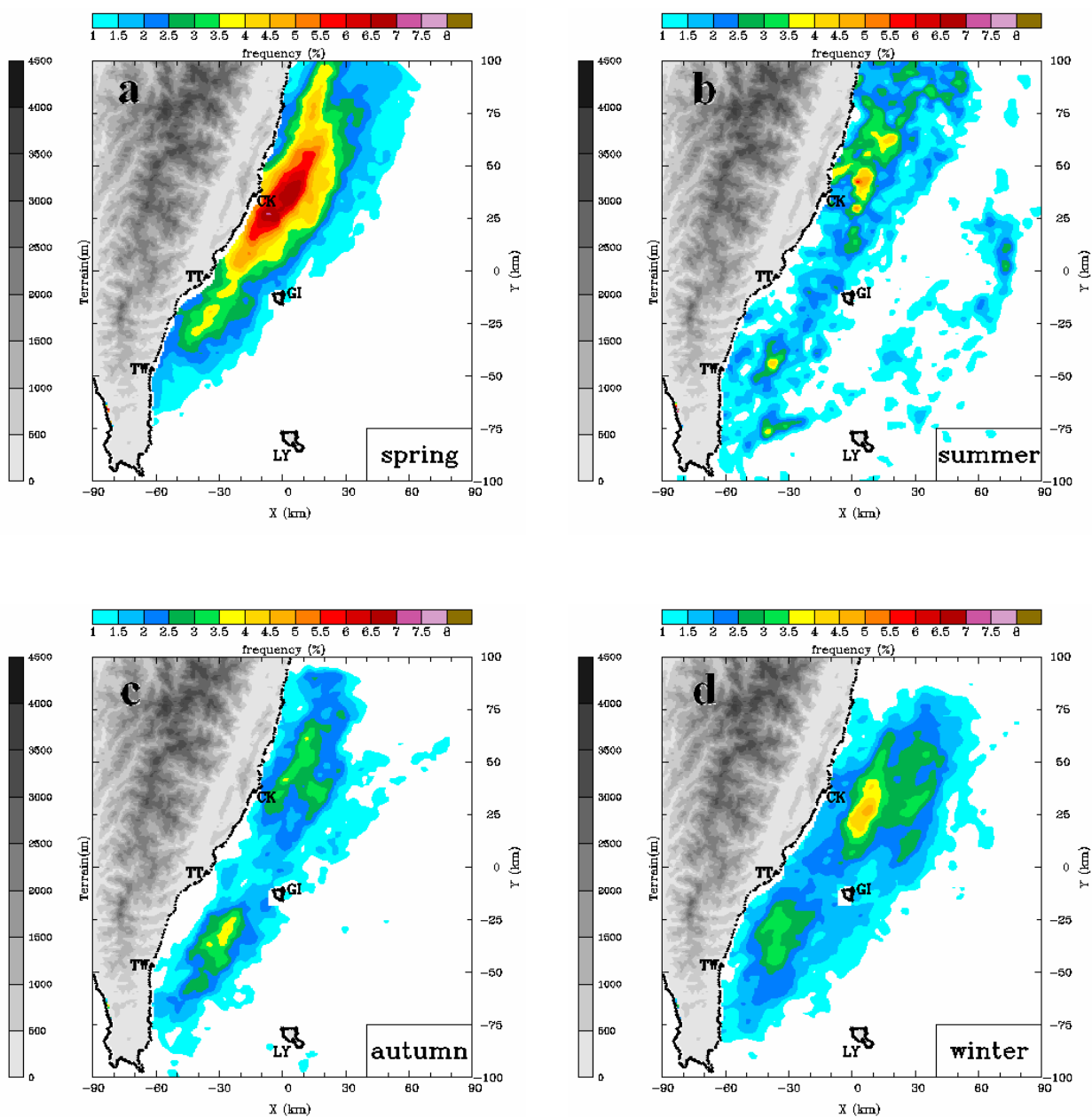


圖4.4 1998~2004年伴隨211個對流線個案較強回波(大於15dBZ)發生於(a)春季;(b)夏季;(c)秋季;(d)冬季時之頻率分佈圖,色階部分為回波大於15dBZ之頻率(單位為%),間距顯示在圖上方,灰階部分表示地形高度(單位為公尺),間距顯示在圖左方,圖中CK、TT、TW、LY分別代表成功、台東、大武與蘭嶼地面觀測站所在位置,GI代表綠島雷達之位置。

2003~2004 of case happen frequency statistic

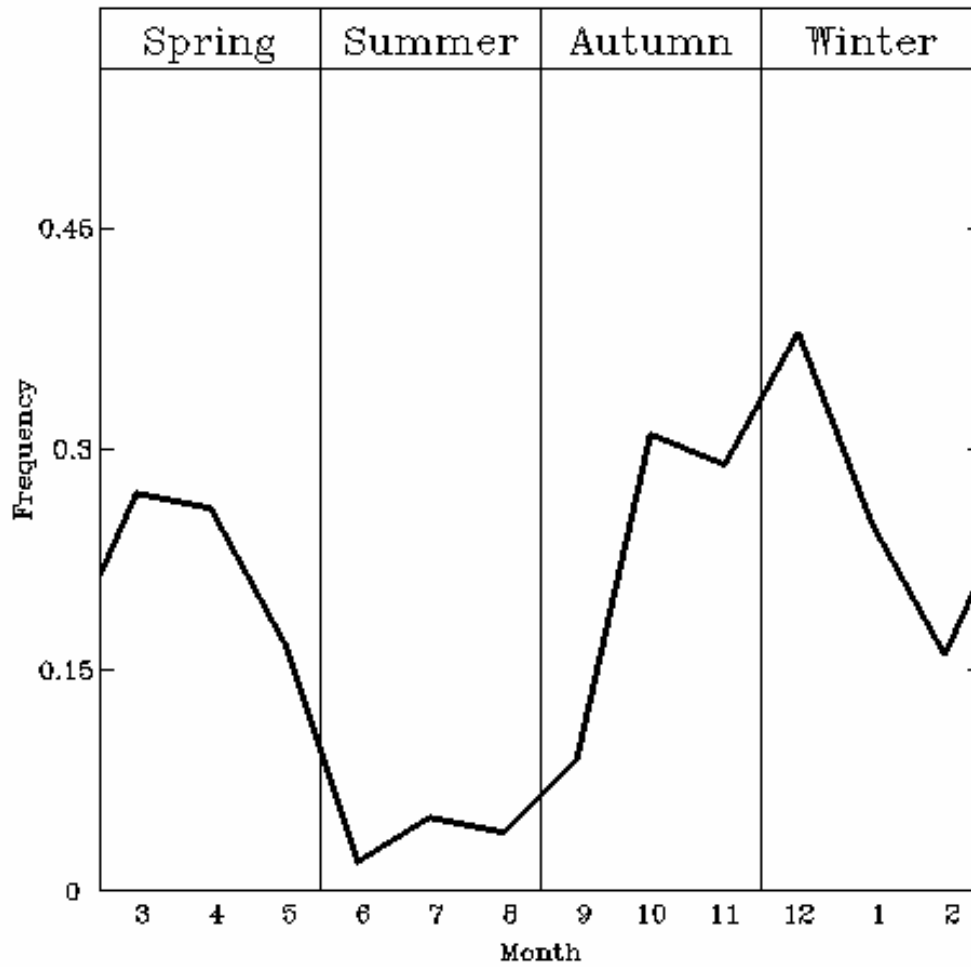


圖4.5 2003~2004年112個對流線個案在各個月分之發生頻率，圖中頻率以黑色實線表示。

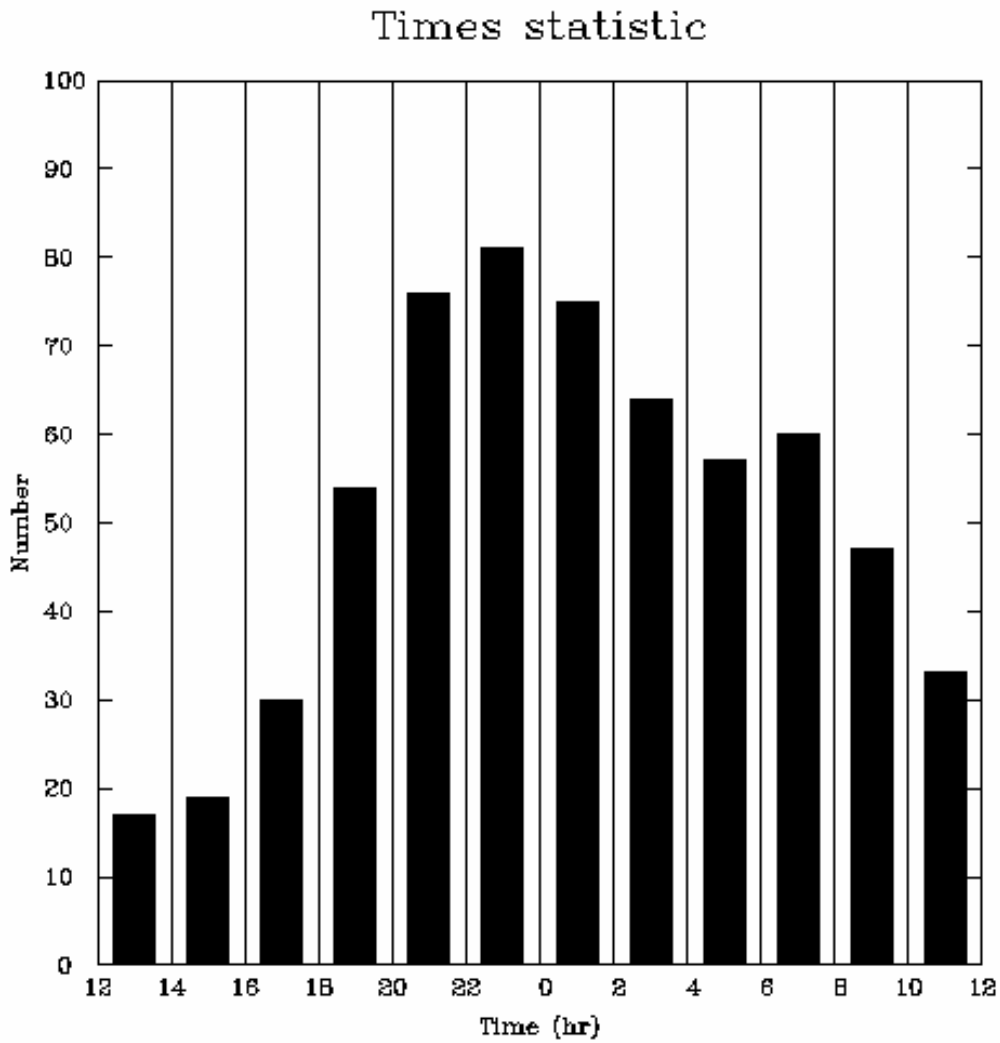


圖4.6 1998~2004年211個對流線個案在一天內線狀結構最為完整之時間次數統計圖，黑色粗實線表示在各個時間線狀結構較為完整發生之次數，時間間距為2個小時。

Life time statistic

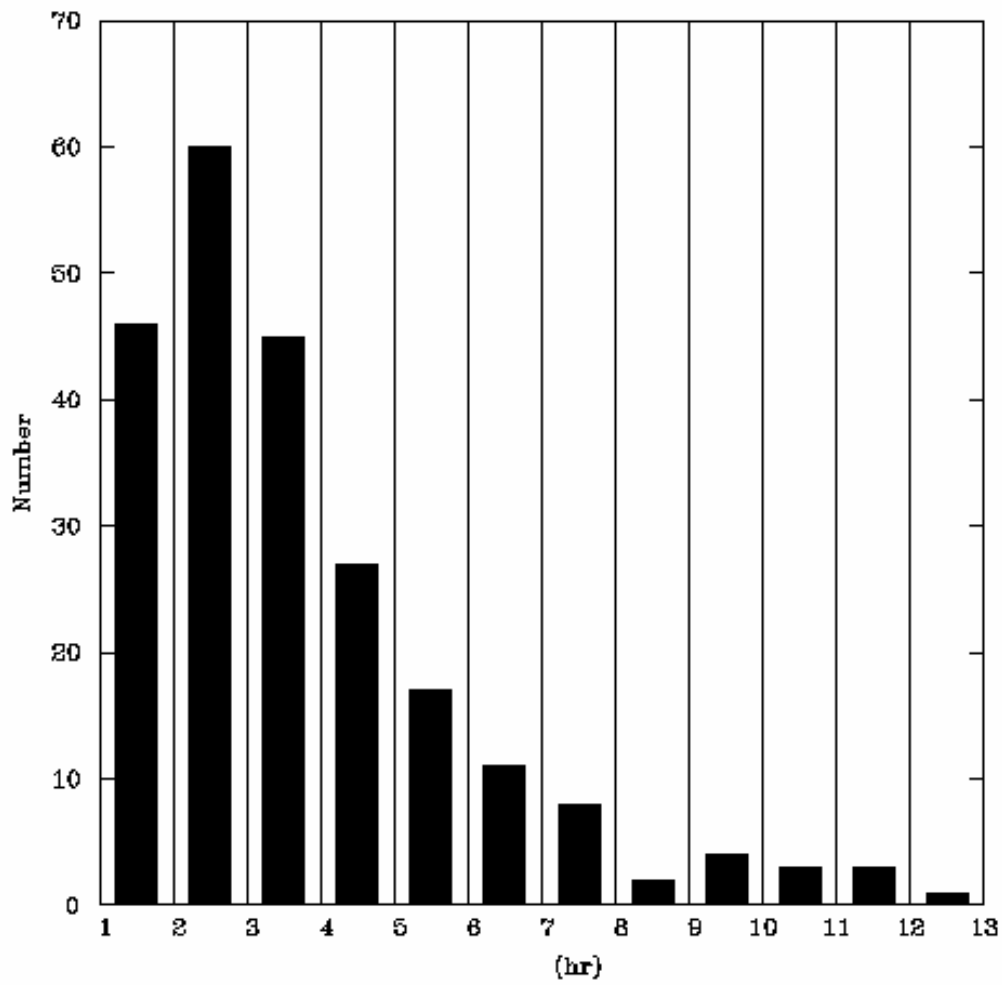


圖4.7 1998~2004年211個對流線個案之生命期統計圖，黑色粗實線表示在每個小時內對流線生命期發生之次數，時間間距為1個小時。

Time Series Of Mean Hourly Surface Observed Winds

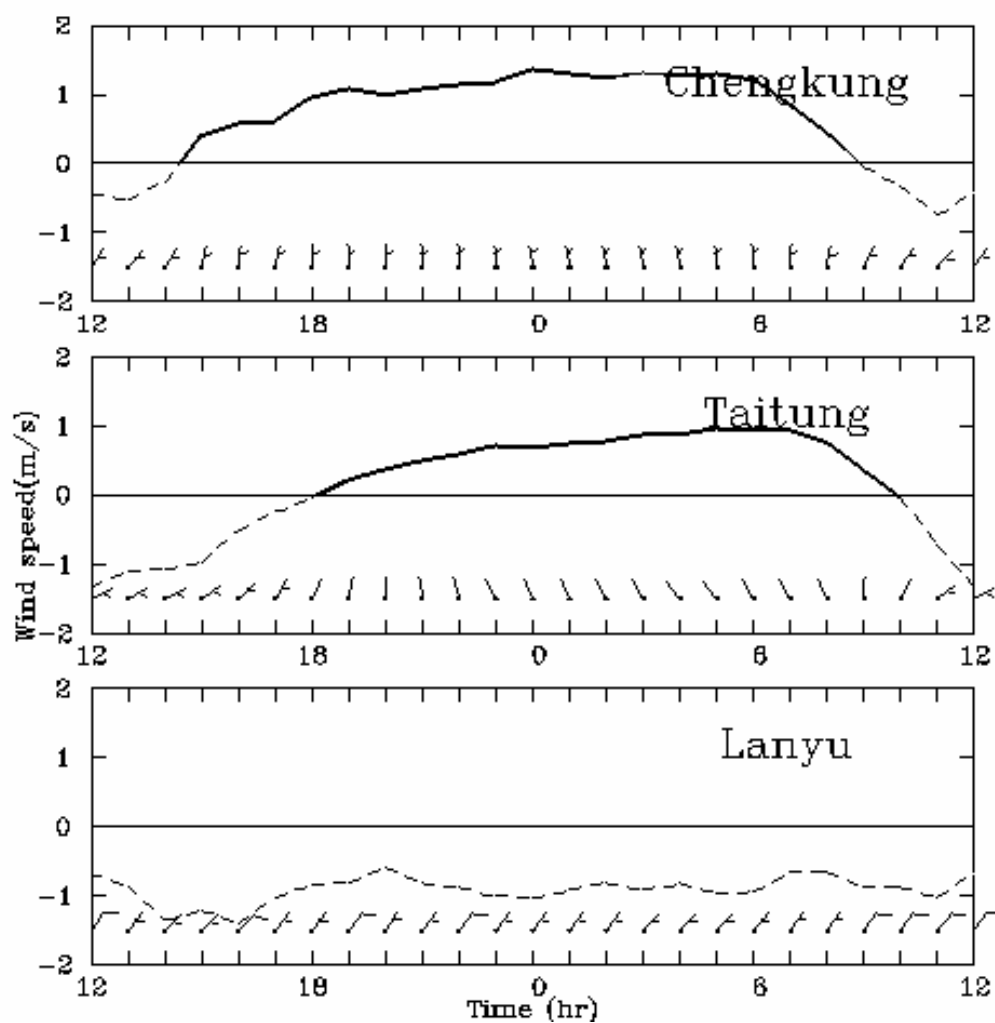


圖4.8 對流線發生期間成功(Chengkung)，台東(Taitung)與蘭嶼(Lanyu)地面觀測站每小時之平均離岸風與向岸風之變化圖，黑色實線表示離岸風(單位為 $m s^{-1}$)，虛線表示向岸風(單位為 $m s^{-1}$)，風標為各個測站實際的風向風速 (half bar = $2.5 m s^{-1}$ ，full bar = $5 m s^{-1}$)。

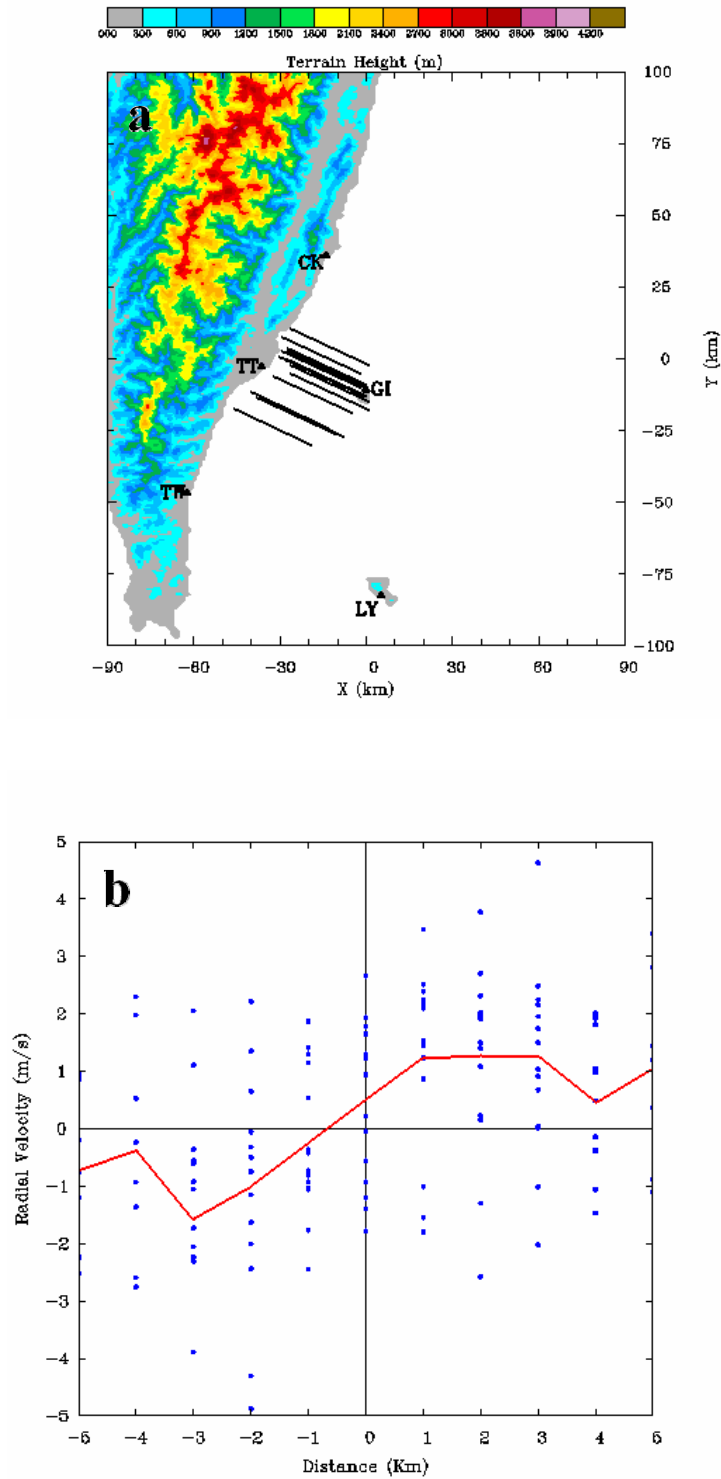


圖4.9 (a)15個未受到海面雜波影響且線狀結構最完整之對流線個案的徑向風場資料擷取位置，圖中擷取位置以黑色實線表示，色階部分為地形高度(單位為公尺)，間距顯示在圖上方。(b)15個對流線個案之內部徑向風場分佈情形，圖中X軸為15個對流線之平均寬度(共10公里)，藍色圓點為徑向風速，紅色實線表示每公里之平均徑向風速。

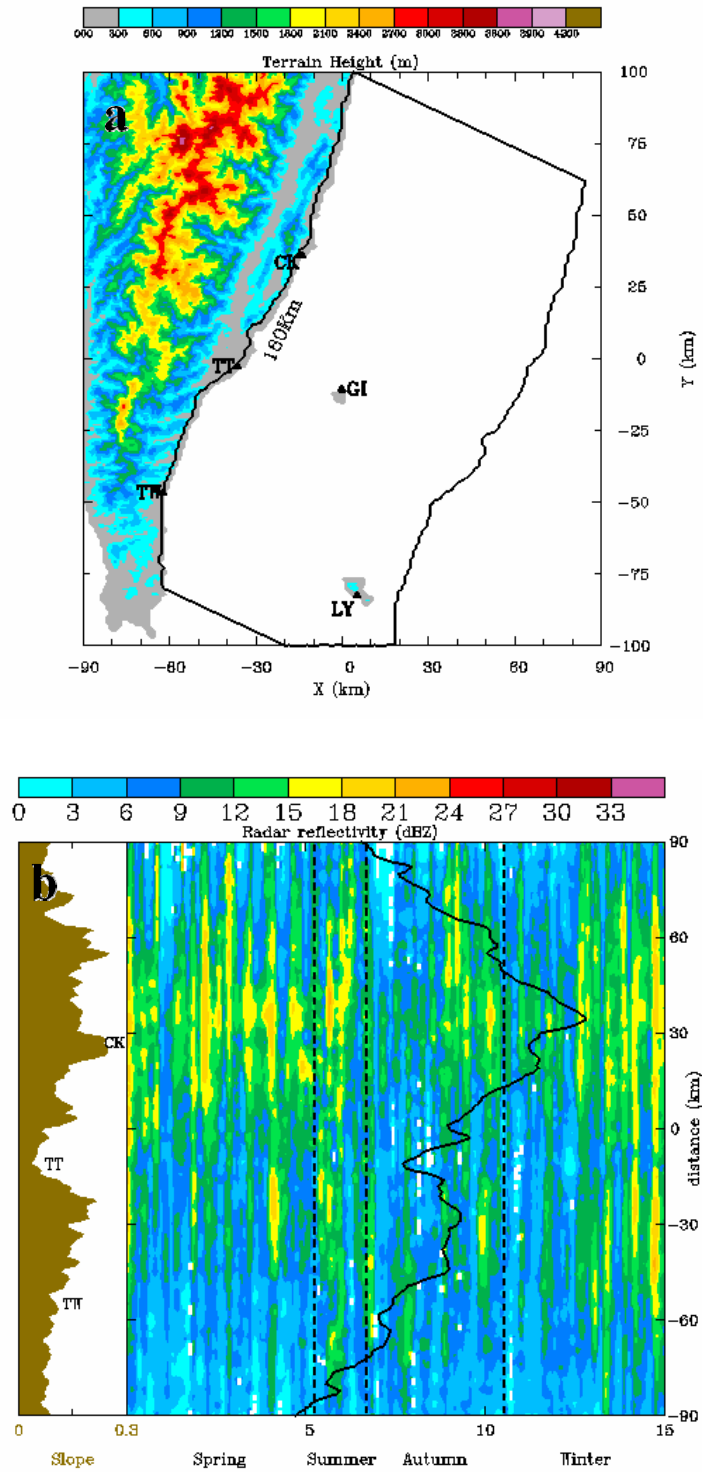


圖5.1 (a)雷達降水回波投影範圍(黑色實線包圍處)與投影長度(180公里)，色階部分為地形高度(單位為公尺)，間距顯示在圖上方。(b)1998~2004年伴隨211個對流線個案降水回波投影至台灣東南沿岸之平均最大值與平行於台灣東南沿岸內陸10公里以內的平均地形斜率分佈圖，色階表示雷達回波(單位為dBZ)，間距顯示在圖上方，黑色實線為X軸方向之平均回波值，棕色區域代表地形平均斜率，黑色虛線為季節之分界，圖中CK、TT、TW分別代表成功、台東與大武地面觀測站之位置。

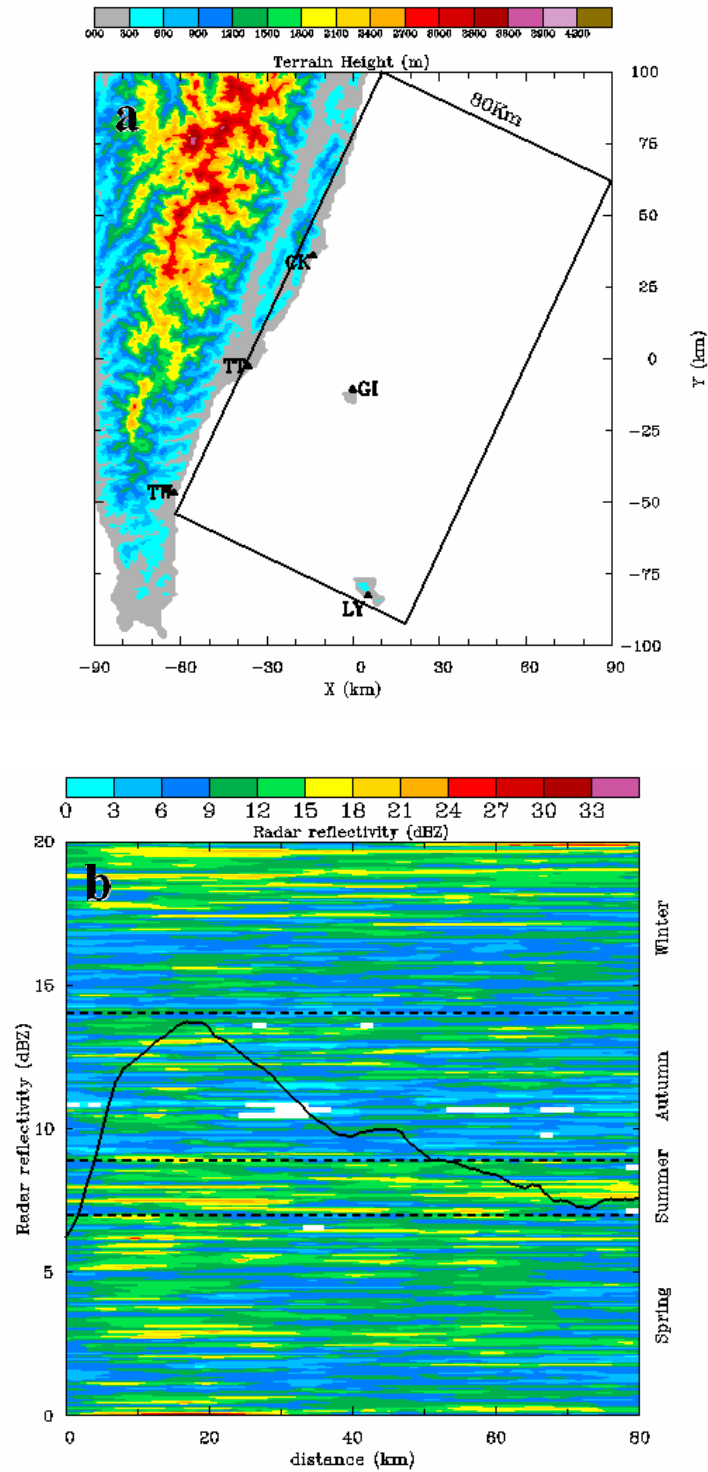


圖5.2 (a)雷達降水回波投影範圍(黑色實線包圍處)與投影長度(80公里)，色階部分為地形高度(單位為公尺)，間距顯示在圖上方。(b)1998~2004年伴隨211個對流線個案降水回波投影至垂直於台灣東南沿岸之平均最大值分佈圖，色階部分表示雷達回波(單位為dBZ)，間距顯示在圖上方，黑色實線為Y軸方向之平均回波值，黑色虛線為季節之分界。

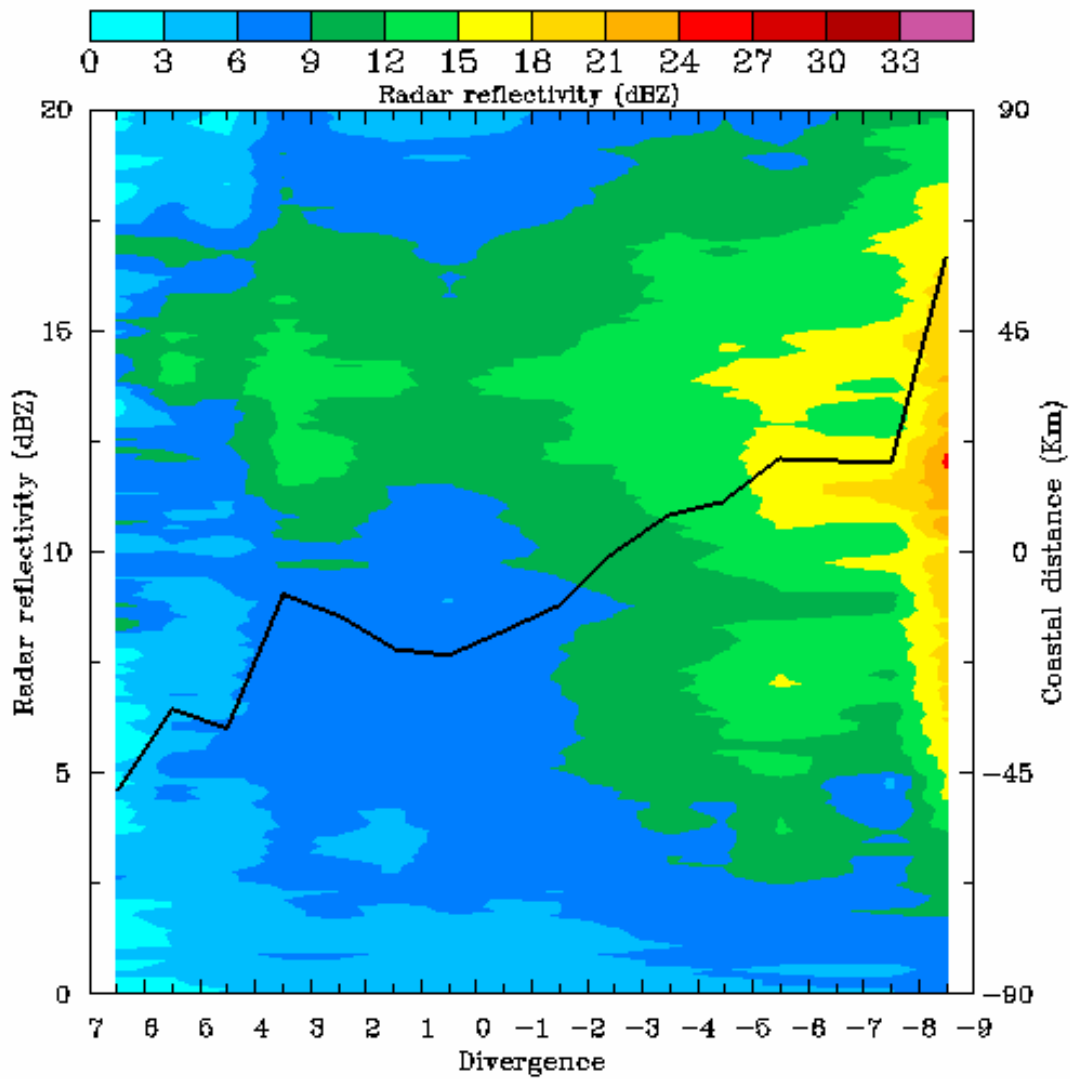


圖5.3 1998~2004年伴隨211個對流線個案降水回波最大值與輻合輻散之關係圖，色階部分表示雷達回波(單位為dBZ)，間距顯示在圖上方，黑色實線為Y軸方向之平均回波值。

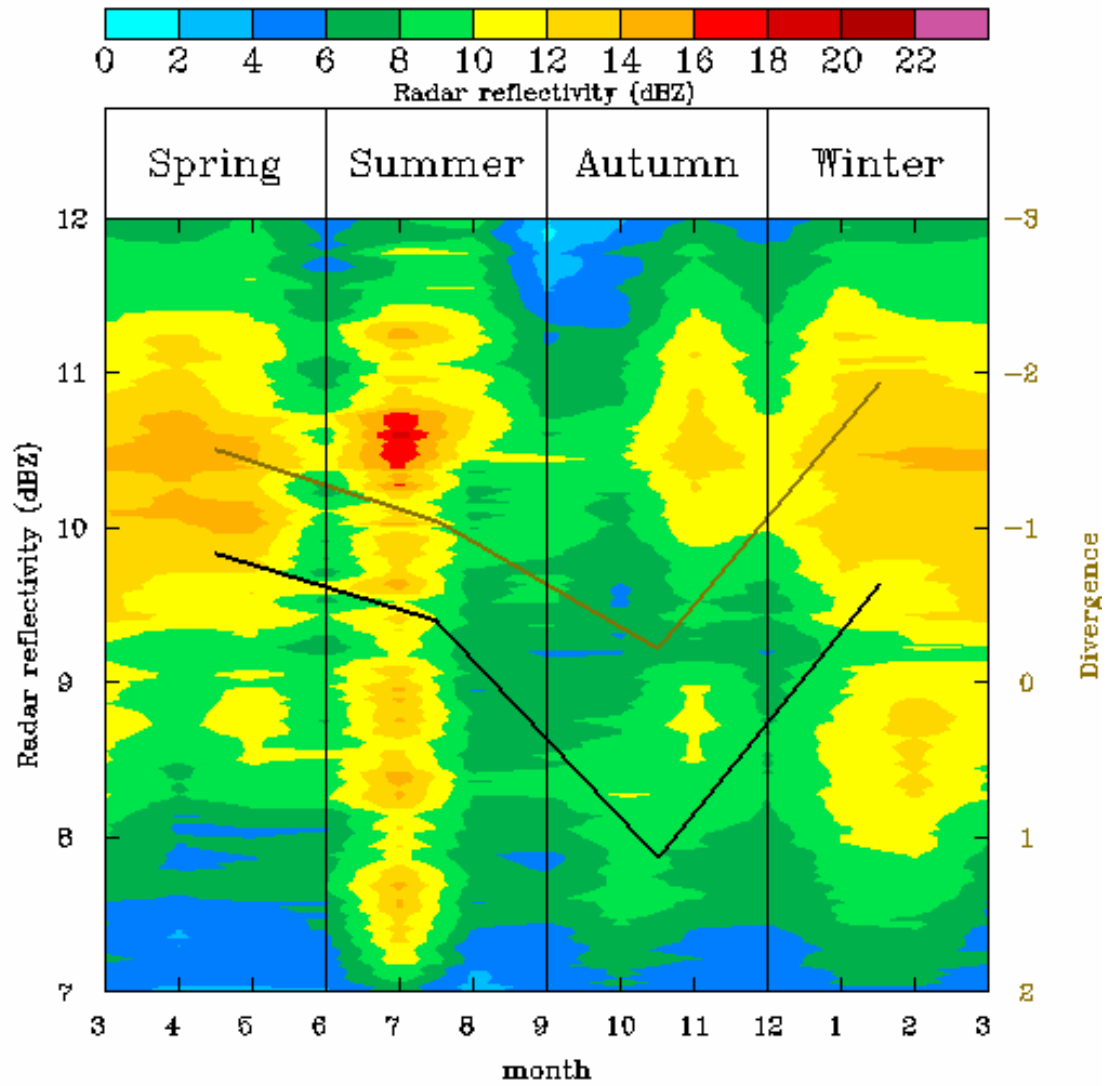


圖5.4 1998~2004年伴隨211個對流線個案降水回波最大值與輻合輻散隨季節變化之關係圖，色階部分表示雷達回波(單位為dBZ)，間距顯示在圖上方，黑色實線為每個季節之平均回波值，棕色實線代表每個季節之平均輻散值。

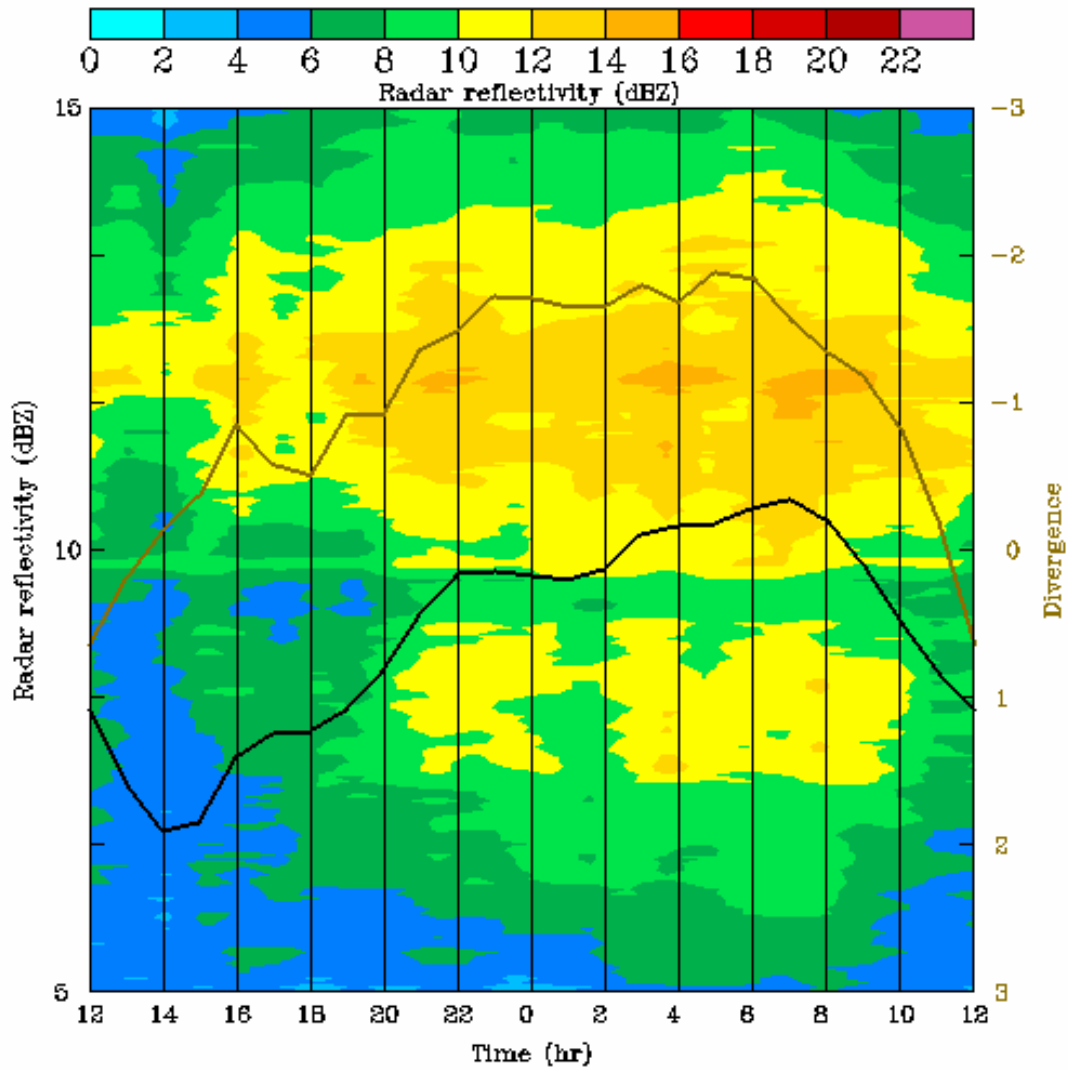


圖5.5 1998~2004年伴隨211個對流線個案降水回波最大值與輻合輻散隨時間變化之關係圖，色階部分表示雷達回波(單位為dBZ)，間距顯示在圖上方，黑色實線為每小時之平均回波值，棕色實線代表每小時之平均輻散值。

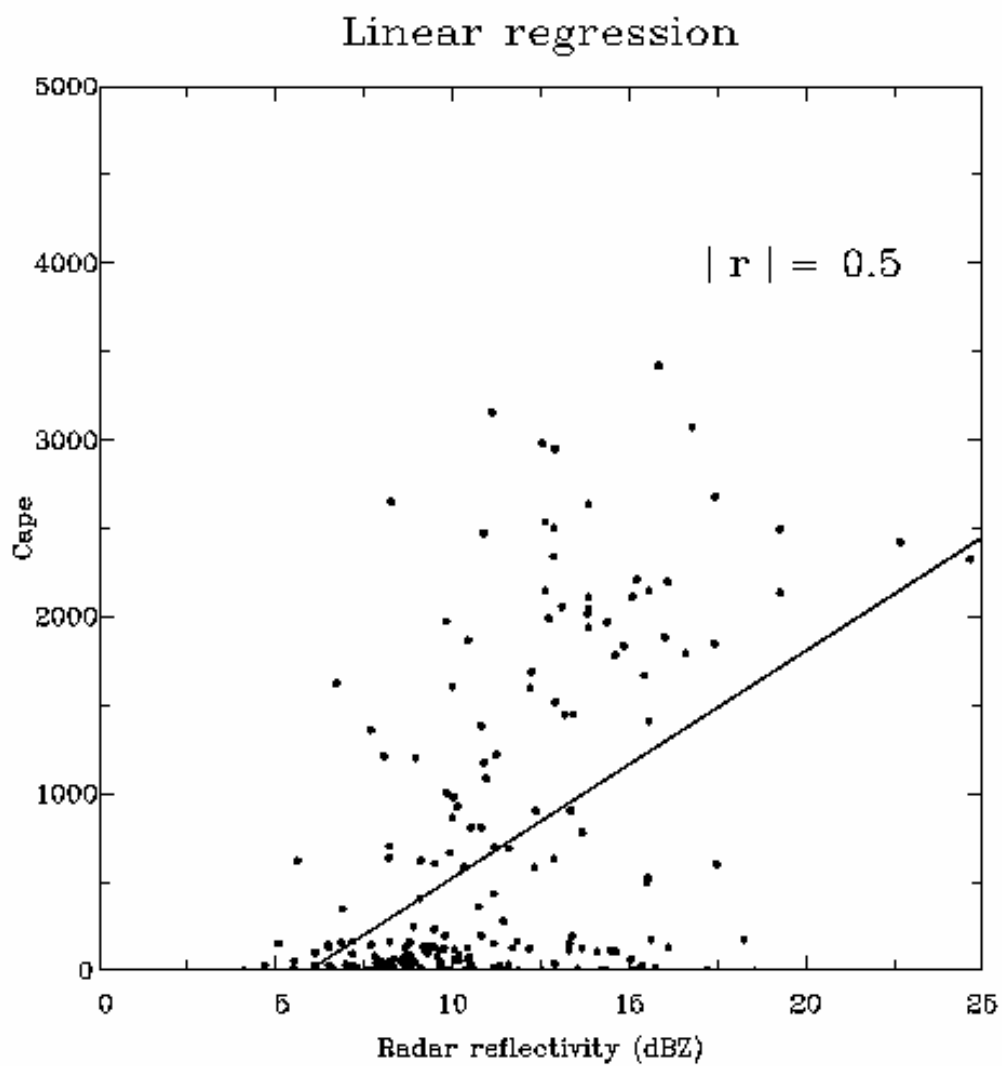


圖5.6 1998~2004年伴隨211個對流線個案線狀結構最完整時之降水回波平均值與對流可用位能之關係圖。圖中黑色實線為線性迴歸線，相關係數顯示在圖右上方。

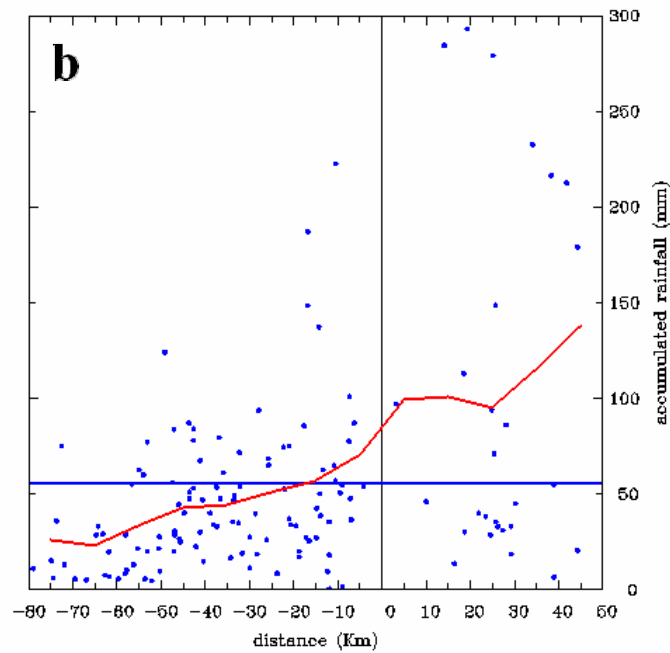
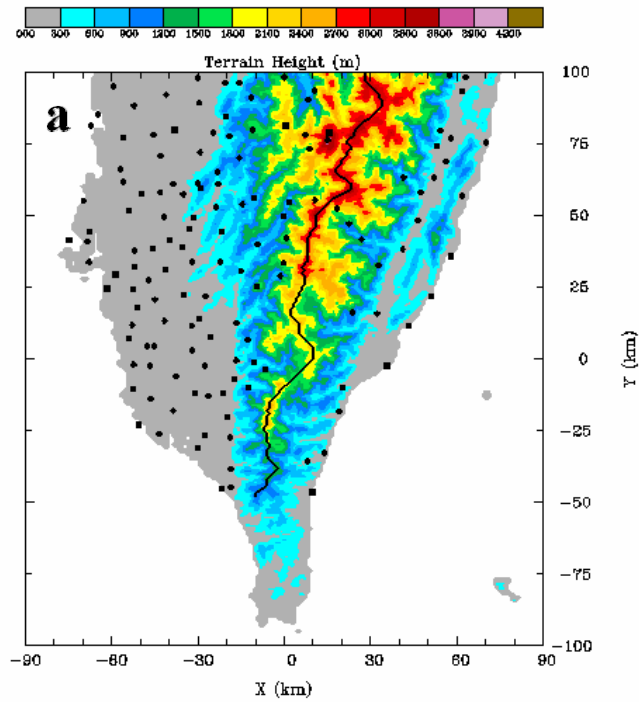


圖5.7 (a)台灣南部地面雨量觀測站(共143個測站)與中央山脈山脊之分佈圖，色階部分為地形高度(單位為公尺)，間距顯示在圖上方，黑色圓點為地面雨量觀測站所在位置，中央山脈之山脊以黑色實線表示。(b)台灣東南部與西南部在對流線發生期間陸地上累積降雨量之分佈情形，圖中藍色圓點表示每一個測站之累積雨量(單位為mm)，藍色實線代表所有測站之平均累積降雨量，紅色實線為每10公里之平均累積降雨量。

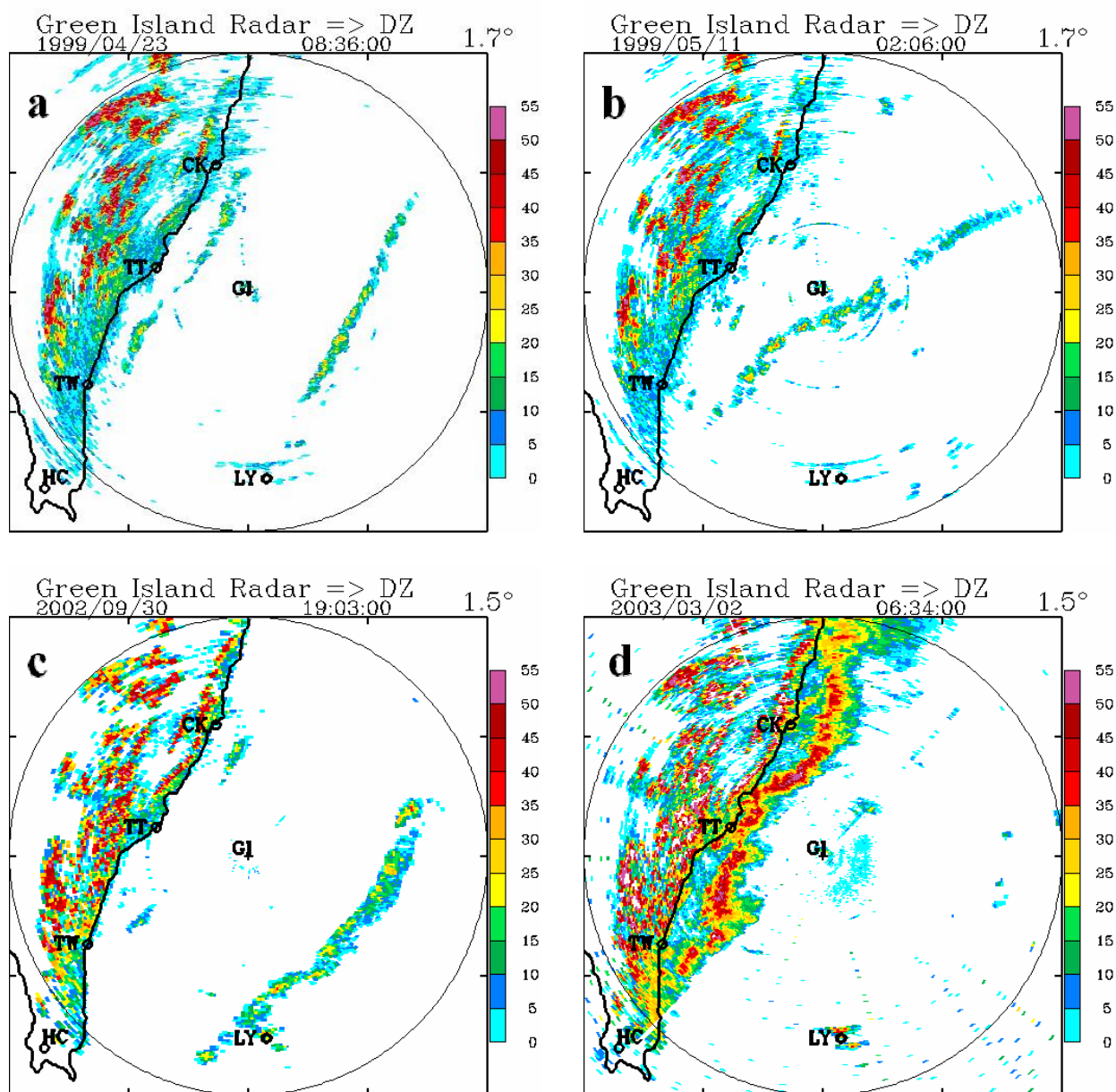


圖 6.1 (a)1999年4月23日0836 LST 之綠島PPI(1.7°仰角)雷達回波圖；(b)1999年5月11日0206 LST之綠島PPI(1.7°仰角)雷達回波圖；(c)2002年9月30日1903 LST 之綠島PPI(1.5°仰角)雷達回波圖；(d)2003年3月2日0634 LST之綠島PPI(1.5°仰角)雷達回波圖，色階部分為雷達回波(單位為dBZ)，間距顯示在圖右方。