

國立中央大學

水文科學研究所

碩士論文

台灣地區降水型態分類之研究：層狀降水與  
對流降水型態

A Study of Precipitation-Regime Separation in  
Taiwan—Convective and Stratiform Components

研究生：蔣忠廷

指導教授：楊明仁 博士

中華民國九十六年七月

## 摘要

降水依據時空分布特性的不同，可分為層狀降水與對流降水兩種型態。層狀降水所涵蓋的水平範圍較大、持續時間長、垂直對流運動較不活躍；而對流降水水平範圍較小、持續時間短、垂直對流運動旺盛。從雷達回波的水平剖面圖來看，對流降水區域是呈小區塊狀不規則地散佈在層狀降水區域內，回波強度明顯比周圍高；而層狀降水區域則是環繞在對流降水區域外圍，範圍明顯比對流降水區域還大許多。

本研究依照 Steiner et al. (1995)、Yang and Houze (1995) 以及 Tremblay (2005) 三種降水型態分類方法分析台灣地區的降水資料，測試各方法應用於台灣地區的可行性。研究中選取 2004 年春雨、梅雨、颱風、西南氣流、夏季雷雨及東北季風降雨共六種代表不同天氣型態的降水個案，並且以不同的降雨量內插方法測試其空間敏感度，發現 Steiner et al. (1995)、Yang and Houze (1995) 兩種降水分類方法的結果相當一致。在各降水個案中，春雨的對流降水最高體積比例約 8%~27%，梅雨約 48%~70%，颱風約 74%~85%，西南氣流約 82%~92%，夏季雷雨約 72%~94%，東北季風降雨約 24%~75%。而根據 Yang et al. (2007) 納莉颱風數值模擬研究中地形敏感度實驗降水資料的分析，結果更顯示

了台灣地區複雜的地形對於對流降水與層狀降水兩種降水型態的分佈有很大的影響。

## **Abstract**

We can partition precipitation into stratiform and convective components by their spatial and temporal characteristics. General speaking, the significant features of stratiform precipitation include larger rainfall area, longer period, and vigorous vertical convection. On the contrary, the characteristics of convective precipitation are smaller rainfall area, shorter period, and weakly vertical convection. The convective regions of precipitation locally scatter inside the stratiform regions, and the radar echo of convective precipitation is evidently stronger than the background echo. The stratiform regions of precipitation distribute around the convective regions, and the area of stratiform region is generally bigger than convective regions.

The purpose of this study is to analyze the precipitation data in Taiwan by the precipitation separation scheme of Steiner et al. (1995), Yang and Houze (1995), and Tremblay (2005). Six precipitation events in 2004—spring rainfall, Mei-Yu front, Typhoon Mindulle, the southwesterly flow triggered by Typhoon Mindulle, summer thunderstorm, and autumn cold front—were selected. We found that the convective precipitation percentage of the six

rainfall events determined by the method of Steiner et al.(1995) is similar to that by the method of Yang and Houze(1995). The highest convective precipitation volume percentage is about 8%~27% in spring rainfall, 48%~70% in Mei-Yu front, 74%~85% in Typhoon Mindulle, 82%~92% in the southwesterly flow triggered by Typhoon Mindulle, 72%~94% in summer thunderstorm, and 24%~75% in autumn cold front. Analyzing the simulated surface rainfall of terrain-sensitivity experiments of Typhoon Nari(2001) by Yang et al.(2007), we conclude that the distribution of convective and stratiform precipitation is strongly affected by Taiwan terrain.

## 致謝

三年的碩士班生涯感覺相當地漫長，如今終於告一段落，能夠踏入人生的下一個階段。這段時間要感謝楊明仁老師在論文方向的悉心引導及指正，才能夠完成現在的研究成果。另外也要感謝隋中興老師、陳正平老師與劉清煌老師三位口試委員指出論文中的缺失與提出如何改善的方法，使論文內容更加充實、完整。

不能不提到水文所的眾多伙伴所給予的支持，無論是精神上或實質的。從我還是新生開始，啓勳學長與心穎學姐就是我的榜樣，讓我知道如何當好一個研究生。坤智學長、青麟學長、小玲學姐、士杰學長、皓哥、凱哥、子嫻學姐都是我生活或課業上學習的好對象；程哥、漢杰、秉章、KP、賢哥等同窗好友陪我消磨了許多歡樂的時光；宥丞、佑瑜、裕仁、祥哥、哲震、丁丁、一夫等學弟妹都給我相當大的鼓勵。要感謝的人太多了，也包括辛苦的秀芬，還有其他好多我沒提到的人們，真的是謝謝你們！謝謝你們陪伴我度過這三年的歲月，沒有你們的話，我絕對不可能走到今天這一步，在此致上我最深的謝意。

# 目錄

摘要 .....	I
Abstract .....	III
致謝 .....	V
目錄 .....	VI
圖表目錄 .....	VII
第一章 緒論 .....	1
1.1 前言 .....	1
1.2 文獻回顧 .....	2
1.3 研究目的 .....	5
第二章 資料來源及研究方法 .....	6
2.1 資料來源 .....	6
2.1.1 中央氣象局自動雨量站資料 .....	6
2.1.2 MM5 模式資料 .....	6
2.2 資料處理方法 .....	7
2.2.1 CWB 測站資料之處理 .....	8
2.2.2 MM5 模式資料之處理 .....	9
2.3 研究中所使用的各種降水分類方法 .....	10
2.3.1 Yang 法 .....	10
2.3.2 Steiner 法 .....	11
2.3.3 Tremblay 法 .....	12
第三章 降水個案分析與空間敏感度測試 .....	14
3.1 研究中所選取的六種不同天氣系統之降水個案 .....	14
3.2 各降水個案之空間敏感度測試 .....	14
3.2.1 內插權重比例 .....	15
3.2.2 內插影響半徑大小 .....	16
3.2.3 網格尺寸大小 .....	17
3.3 Tremblay 法分析結果 .....	17
第四章 地形敏感度測試與長期分析 .....	19
4.1 對流降水在不同海拔高度之下之分布情形 .....	19
4.2 納莉颱風模擬地形敏感度實驗的結果分析 .....	20
4.3 降水型態分類之長期分析 .....	21
第五章 結論與討論 .....	23
參考文獻 .....	25
附錄 1 .....	75
附錄 2 .....	76

## 圖表目錄

表 1 中央氣象局(CWB)2003 年~2005 年逐月自動觀測站站數及篩選後之測站數 .....	27
表 2 不同天氣系統之降水個案時間選取列表.....	28
表 3 空間敏感度實驗設計及其累計結果(對流降水體積比例).....	28
表 4 空間敏感度實驗設計及其累計結果(對流降水面積比例).....	29
圖 1-1 層狀降水與對流降水雷達回波水平分布示意圖(取自 Houze , 1997).....	30
圖 1-2 對流降水雷達回波垂直構造示意圖(取自 Houze , 1997).....	30
圖 1-3 層狀降水雷達回波垂直構造示意圖(取自 Houze , 1997).....	30
圖 1-4 對流降水降水粒子形成及軌跡示意圖(取自 Houze , 1997).....	31
圖 1-5 層狀降水降水粒子形成及軌跡示意圖(取自 Houze , 1997).....	31
圖 1-6 對流降水空氣運動示意圖(取自 Houze , 1997).....	31
圖 1-7 層狀降水空氣運動示意圖(取自 Houze , 1997).....	31
圖 2-1 中央氣象局雨量站分布圖.....	32
圖 2-2 模式資料內插示意圖.....	33
圖 2-3a Yang 法流程圖.....	33
圖 2-3b Yang 法網格點示意圖.....	33
圖 2-4a Steiner 法流程圖.....	34
圖 2-4b Steiner 法網格點示意圖(取自 Steiner et al. , 1995).....	34
圖 2-4c $\Delta Z$ 與平均背景回波強度(Mean Background Reflectivity)的關係圖.....	35
圖 2-4d 對流中心影響半徑(Convective Radius)與平均背景回波強度(Mean Background Reflectivity)的關係圖(取自 Steiner et al. , 1995).....	35
圖 2-4e 對流中心影響半徑(Convective Radius)與平均背景回波強度(Mean Background Reflectivity)的關係圖(重繪自 Steiner et al. , 1995).....	35
圖 2-5 Tremblay 法示意圖(取自 Tremblay , 2005).....	36
圖 2-6a CWB(中央氣象局)自動觀測站的降水資料統計結果.....	36
圖 2-6b 台灣地區降水型態以 Tremblay 法分類的示意圖(1).....	37
圖 2-6c 台灣地區降水型態以 Tremblay 法分類的示意圖(2).....	37
圖 3-1(a) 台灣地區 2004 年三月份降雨歷線圖.....	38
圖 3-1(b) 日本氣象廳地面天氣圖，時間為 2004 年 3 月 1 日 0000 UTC (0900 LST) .....	38
圖 3-1(c) 中央氣象局衛星雲圖，時間為 2004 年 3 月 1 日 0023 UTC.....	38
圖 3-1(d) 中央氣象局雷達回波合成圖，時間為 2004 年 3 月 1 日 2200 UTC (2004 年 3 月 2 日 0600 LST).....	38
圖 3-2(a) 台灣地區 2004 年五月份降雨歷線圖.....	39
圖 3-2(b) 日本氣象廳地面天氣圖，時間為 2004 年 5 月 21 日 0000 UTC(0900 LST) .....	39



圖 3-2(c) 中央氣象局衛星雲圖，時間為 2004 年 5 月 21 日 0023 UTC.....	39
圖 3-2(d) 中央氣象局雷達回波合成圖，時間為 2004 年 5 月 21 日 1100 UTC (1900 LST) .....	39
圖 3-3(a) 台灣地區 2004 年六~七月份降雨歷線圖.....	40
圖 3-3(b) 日本氣象廳地面天氣圖，時間為 2004 年 7 月 1 日 0000 UTC (0900 LST) .....	40
圖 3-3(c) 中央氣象局衛星雲圖，時間為 2004 年 7 月 1 日 0023 UTC.....	40
圖 3-3(d) 中央氣象局雷達回波合成圖，時間為 2004 年 7 月 1 日 0000 UTC (0800 LST) .....	40
圖 3-4(a) 台灣地區 2004 年六~七月份降雨歷線圖.....	41
圖 3-4(b) 日本氣象廳地面天氣圖，時間為 2004 年 7 月 4 日 0000 UTC (0900 LST) .....	41
圖 3-4(c) 中央氣象局衛星雲圖，時間為 2004 年 7 月 4 日 0023 UTC.....	41
圖 3-4(d) 中央氣象局雷達回波合成圖，時間為 2004 年 7 月 4 日 0000 UTC (0800 LST) .....	41
圖 3-5(a) 台灣地區 2004 年八月份降雨歷線圖.....	42
圖 3-5(b) 日本氣象廳地面天氣圖，時間為 2004 年 8 月 2 日 0000 UTC (0900 LST) .....	42
圖 3-5(c) 中央氣象局衛星雲圖，時間為 2004 年 8 月 2 日 0023 UTC.....	42
圖 3-5(d) 中央氣象局雷達回波合成圖，時間為 2004 年 8 月 2 日 0000 UTC (0800 LST) .....	42
圖 3-6(a) 台灣地區 2004 年十一月份降雨歷線圖.....	43
圖 3-6(b) 日本氣象廳地面天氣圖，時間為 2004 年 11 月 14 日 0000 UTC(0900 LST) .....	43
圖 3-6(c) 中央氣象局衛星雲圖，時間為 2004 年 11 月 14 日 0023 UTC.....	43
圖 3-6(d) 中央氣象局雷達回波合成圖，時間為 2004 年 11 月 14 日 1000 UTC(1800 LST) .....	43
圖 3-7 各降水個案之累積雨量空間分佈圖.....	44
圖 3-8 春雨-累積雨量分佈圖，本圖為空間敏感度測試中以不同內插權重比例所得之降水分佈.....	45
圖 3-9 春雨-對流降水比例時間序列分佈圖，本圖為空間敏感度測試中以不同內插權重比例所得之對流降水時間序列分佈.....	45
圖 3-10 如圖 3-8 但為梅雨-累積雨量分佈圖.....	46
圖 3-11 如圖 3-9 但為梅雨-對流降水比例時間序列分佈圖.....	46
圖 3-12 如圖 3-8 但為颱風(敏督利)-累積雨量分佈圖.....	47
圖 3-13 如圖 3-9 但為颱風(敏督利)-對流降水比例時間序列分佈圖.....	47
圖 3-14 如圖 3-8 但為西南氣流-累積雨量分佈圖.....	48
圖 3-15 如圖 3-9 但為西南氣流-對流降水比例時間序列分佈圖.....	48

圖 3-16 如圖 3-8 但為夏季雷雨-累積雨量分佈圖 .....	49
圖 3-17 如圖 3-9 但為夏季雷雨-對流降水比例時間序列分佈圖.....	49
圖 3-18 如圖 3-8 但為東北季風降雨-累積雨量分佈圖.....	50
圖 3-19 如圖 3-9 但為東北季風降雨-對流降水比例時間序列分佈圖 .....	50
圖 3-20 台灣地區測站密度分佈圖 .....	51
圖 3-21 春雨-累積雨量分佈圖，本圖為空間敏感度測試中以不同內插影響半徑所得之降水分佈 .....	52
圖 3-22 春雨-對流降水比例時間序列分佈圖，本圖為空間敏感度測試中以不同內插影響半徑所得之對流降水時間序列分佈 .....	52
圖 3-23 如圖 3-21 但為梅雨-累積雨量分佈圖.....	53
圖 3-24 如圖 3-22 但為梅雨-對流降水比例時間序列分佈圖 .....	53
圖 3-25 如圖 3-21 但為颱風(敏督利)-累積雨量分佈圖 .....	54
圖 3-26 如圖 3-22 但為颱風(敏督利)-對流降水比例時間序列分佈圖.....	54
圖 3-27 如圖 3-21 但為西南氣流-累積雨量分佈圖 .....	55
圖 3-28 如圖 3-22 但為西南氣流-對流降水比例時間序列分佈圖.....	55
圖 3-29 如圖 3-21 但為夏季雷雨-累積雨量分佈圖 .....	56
圖 3-30 如圖 3-22 但為夏季雷雨-對流降水比例時間序列分佈圖.....	56
圖 3-31 如圖 3-21 但為東北季風降雨-累積雨量分佈圖.....	57
圖 3-32 如圖 3-22 但為東北季風降雨-對流降水比例時間序列分佈圖 .....	57
圖 3-33 春雨-累積雨量分佈圖，本圖為空間敏感度測試中以不同網格尺寸所得之降水分佈.....	58
圖 3-34 春雨-對流降水比例時間序列分佈圖，本圖為空間敏感度測試中以不同網格尺寸所得之對流降水時間序列分佈.....	58
圖 3-35 如圖 3-33 但為梅雨-累積雨量分佈圖.....	59
圖 3-36 如圖 3-34 但為梅雨-對流降水比例時間序列分佈圖 .....	59
圖 3-37 如圖 3-33 但為颱風(敏督利)-累積雨量分佈圖 .....	60
圖 3-38 如圖 3-34 但為颱風(敏督利)-對流降水比例時間序列分佈圖.....	60
圖 3-39 如圖 3-33 但為西南氣流-累積雨量分佈圖 .....	61
圖 3-40 如圖 3-34 但為西南氣流-對流降水比例時間序列分佈圖.....	61
圖 3-41 如圖 3-33 但為夏季雷雨-累積雨量分佈圖 .....	62
圖 3-42 如圖 3-34 但為夏季雷雨-對流降水比例時間序列分佈圖.....	62
圖 3-43 如圖 3-33 但為東北季風降雨-累積雨量分佈圖.....	63
圖 3-44 如圖 3-34 但為東北季風降雨-對流降水比例時間序列分佈圖 .....	63
圖 3-45 Tremblay 法對於各降水個案之分析結果.....	64
圖 4-1 春雨-對流降水比例時間序列分佈圖，本圖為位於不同海拔高度區域之對流降水時間序列分佈 .....	65
圖 4-2 如圖 4-1 但為梅雨-對流降水比例時間序列分佈圖 .....	65
圖 4-3 如圖 4-1 但為颱風(敏督利)-對流降水比例時間序列分佈圖.....	66

圖 4-4 如圖 4-1 但為西南氣流-對流降水比例時間序列分佈圖.....	66
圖 4-5 如圖 4-1 但為夏季雷雨-對流降水比例時間序列分佈圖.....	67
圖 4-6 如圖 4-1 但為東北季風降雨-對流降水比例時間序列分佈圖 .....	67
圖 4-7 各降水個案在不同海拔高度下所佔之網格點數百分比 .....	68
圖 4-8 納莉颱風模擬實驗路徑圖（取自 Yang et al.，2007） .....	69
圖 4-9 納莉颱風模擬實驗累積雨量分佈圖 .....	70
圖 4-10 納莉颱風模擬實驗-不同地形高度之對流降水比例時間序列分佈圖 .....	71
圖 4-11 納莉颱風模擬實驗-不同地形高度之降水時間序列分佈圖 .....	72
圖 4-12 2003 年~2005 年對流降水體積比例趨勢圖 .....	73
圖 4-13 2003 年~2005 年對流降水面積比例趨勢圖 .....	73
圖 4-14 南瑪都颱風路徑圖（擷取、修改自中央氣象局-颱風資料庫網頁） .....	74
圖 4-15 2004 年 12 月降雨歷線圖.....	74
圖 4-16 2004 年 12 月對流降水時間序列分佈圖 .....	74
附錄圖 1 Tremblay 法對於各降水個案之分析結果(6 小時之降水資料) .....	75
附錄圖 2-1 使用客觀分析降水資料(內插影響半徑 24 公里之網格點降水資料)之 Steiner 法與使用不經過內插處理的原始雨量站降水資料之 Yang 法兩者比較.....	76
附錄圖 2-2 使用客觀分析降水資料(內插影響半徑 16 公里之網格點降水資料)之 Steiner 法與使用不經過內插處理的原始雨量站降水資料之 Yang 法兩者比較.....	76
附錄圖 2-3 使用客觀分析降水資料(內插影響半徑 8 公里之網格點降水資料)之 Steiner 法與使用不經過內插處理的原始雨量站降水資料之 Yang 法兩者比較.....	77

# 第一章 緒論

## 1.1 前言

水資源分配一直是民生的一大課題，造成水資源分配不均的主要原因是降水在時間與空間上的分布變化差異大。以台灣地區來說，北部降水量較多，南部降水量較少，而暖季夏秋降水量又比冷季冬春降水量還要高。降水分布在時空嚴重不均的情況下，往往會造成極大災害，過少導致乾旱，過多則會引起洪水、土石流等。因此，瞭解降水在時空分布上的特性也是防災工作中重要的一環。

降水依照時空分布特性的不同，可分為層狀降水與對流降水兩種型態，兩者分別在雷達回波水平及垂直剖面圖上表現出不同的降水系統結構特徵(Churchill and Houze 1984)。大致來說，層狀降水所涵蓋的水平範圍較大、持續時間長、垂直對流運動較不活躍，常發生於中緯度的鋒面系統中；對流降水水平範圍較小、持續時間短、垂直對流運動較活躍，常發生於熱帶地區的強烈對流系統中(Houze 1997)。

Trenberth et al. (2003) 指出一個完善的數值模式除了預測累積雨量以外，掌握降雨頻率、持續時間及降雨強度隨時間的改變也相當重要。Houze (1997) 也提到區分層狀降水與對流降水的特性並且釐清其形成的機制，將能夠進一步改善模式的降水預測能力。

## 1.2 文獻回顧

Churchill and Houze (1984) 藉由冬季季風觀測實驗 (Winter Monsoon Experiment, WMONEX) 所得到的結果，指出雲簇的生命週期起始於對流運動旺盛的對流胞群，在對流減弱之後轉變成部分的對流胞與部分的層狀降水綜合體，最後對流胞幾乎消失而完全轉為層狀降水。層狀降水的形成則是以下三種過程組合而成的結果：降水系統由對流胞轉為層狀結構、水氣傳輸由垂直對流轉為水平對流、以及降水粒子濃度的驟降。就降水粒子濃度而言，在對流胞區域比在層狀降水區域高了一到兩個數量級，在對流胞區域內探測到的降水粒子濃度約  $100\text{L}^{-1}$ ，而在弱層狀降水區域與強層狀降水區域的濃度分別為  $1\text{-}10\text{L}^{-1}$  與  $20\text{-}70\text{L}^{-1}$ 。他們以雷達回波強度作為簡易的降水區分門檻：以  $20\text{dBZ}$  為分界， $1\text{-}20\text{dBZ}$  為層狀降水，超過  $20\text{dBZ}$  為對流降水。在他們的個案研究中，層狀降水約佔全部降水體積的 46%。

Yang and Houze (1995) 在颱風系統的數值模擬研究中，根據 Churchill and Houze (1984) 的降水分類理論設計一套針對降水強度較為簡化的分類方法。其中有兩個重點，第一是訂定降水強度的門檻值，作者設為  $15\text{mmh}^{-1}$ ，本研究則以 NEXRAD 的 Z-R 關係式 ( $Z = 300R^{1.4}$ ) 換算成雷達回波強度約為  $41\text{dBZ}$ ，超過這個值即為

對流降水。第二是依據雷達回波水平剖面圖上對流降水回波強度明顯比周圍回波高的特性，利用降水強度的水平梯度來分類，超過  $5 \text{ mmh}^{-1}\text{km}^{-1}$  即為對流降水。以上兩個條件皆不符合之降水區域，則歸為層狀降水。

Steiner et al. (1995) 提出一套相當完整的降水類型區分方法，這套方法主要是視「強度」及「銳利度」來作為分類的依據。「強度」指的是雷達回波強度的一個門檻值；而「銳利度」是指對流降水在雷達回波水平剖面圖上所表現出來的特徵，即回波值比周圍高所造成尖峰之銳利程度。另外，地面雨量站的降水資料經由 Z-R 關係式及若干的調整後，也能用於此方法。在進行降水型態分類之前，先以「強度」及「銳利度」找出對流降水的中心，再以距離中心某範圍內平均降水強度大小來決定中心的影響半徑，對流降水中心及其影響半徑內部為對流降水區域，其餘部分則為層狀降水區域。作者提到 Collier et al. (1980) 與 Rosenfeld et al. (1995) 等都以亮帶來作為區分降水類型的依據，但這樣的方法有一些缺點：第一是判斷是否為層狀降水時，亮帶未必會出現在雷達上，當對流胞混雜在層狀降水區域中，或是雷達因波束寬度限制，都有可能造成這樣的情形；第二是相對於在垂直面上解析出亮帶位置來說，在水平面上解析出對流中心的可行性更大。Steiner et al. (1995) 此分類方法對於對流降水有著更能表現水平方向

變異特性之描述，而經過分析的水平網格點資料，更能套用進數值模式中，進行校驗或其他方面的應用。

Houze (1997) 對於層狀降水與對流降水兩者的特性，做了更加明確的描述及討論。首先是從雷達回波圖上得到的資訊，以水平剖面圖來看，對流降水區域是呈小區塊狀不規則地散佈在層狀降水區域內，回波強度明顯比周圍高；而層狀降水區域則是環繞在對流降水區域的外圍，範圍明顯比對流降水區域還大許多(圖 1-1)。以垂直剖面圖來看，對流降水區域的強回波多呈現垂直分佈(圖 1-2)，而層狀降水的強回波則是在「亮帶」內(圖 1-3)。從雲物理的角度來看，對流降水的降水粒子主要經由碰撞與合併過程形成，其軌跡如同噴泉般地上升再落下(圖 1-4)，而層狀降水其降水粒子的形成是經由水氣擴散與冰相粒子的聚合凝固形成，其軌跡為緩慢落下(圖 1-5)。在動力上，對流降水的空氣垂直速度約  $1-10 \text{ ms}^{-1}$ ，其降水粒子終端速度約等於其空氣垂直速度(圖 1-6)；層狀降水的垂直速度約  $1-2 \text{ ms}^{-1}$ ，其降水粒子終端速度則遠大於其空氣垂直速度(圖 1-7)。

Tremblay (2005) 藉由統計降水強度在分佈上的特性，提出一套與 Steiner et al. (1995) 概念上完全不同的降水分類方法。Tremblay 針對 2001 年的 WMO (World Meteorological Organization) 全球雨量站資料做統計分析，發現雨量的總和值有隨著降水強度增加而呈指數性遞減

的趨勢；也就是說，因為低降水強度的雨量資料個數相對地比高降水強度來得多，而使得其雨量的總和值也相對比高降水強度還要高。作者便以此做為分類的依據：趨勢線本身代表降水的基本場，視為層狀降水的部分；在趨勢線上之突出變動值代表降水的變動場，視為對流降水的部分。從頻譜分析的結果來看，對流降水在高頻區能量明顯比層狀降水高出許多，而其他測試也都符合層狀降水與對流降水的時空分布特性，證明此研究的分類方法是可行的。

### 1.3 研究目的

本論文研究主要著重在將前人的降水分類方法實際用於分析台灣地區的降水資料，測試各種分類方法的可行性，並瞭解層狀降水與對流降水在台灣地區的分佈情形。台灣地區雨量雖多，但在時間上分佈並不均勻，大部分集中在梅雨、夏兩季，尤其是颱風事件，在短時間內就能帶來極為豐沛的雨量！因此本研究分別針對台灣地區以不同季節特性、天氣型態所選取的短期降水事件來做分析；另外，臺灣地區面積不大，卻有著相當複雜的地形結構，對於層狀降水與對流降水受地形影響的程度，也將在研究中作一番比較與探討。



## 第二章 資料來源及研究方法

### 2.1 資料來源

本研究所使用的降水資料有中央氣象局（Central Weather Bureau；CWB）的自動觀測站降水資料及 MM5 模式的模擬資料，詳細資訊如下：

#### 2.1.1 中央氣象局自動雨量站資料

中央氣象局的自動觀測站逐時資料，其資料時間為 2003 年到 2005 年，測站總數逐年增加，至 2005 年 12 月已有 376 站(圖 2-1)。觀測站中包含了氣象站及單純雨量站，氣象站有 116 站，觀測項目包括測站氣壓、氣溫、風速風向、累積雨量、及日照時數。單純雨量站有 260 站，觀測項目只有累積雨量。本論文研究中僅使用自動觀測站逐時累積雨量部分的資料。

#### 2.1.2 MM5 模式資料

本研究所使用的模式資料有 MM5 模式內層網域的 2×2 公里台灣地形資料，及 Yang et al. (2007) 納莉颱風數值模擬研究的結果。其 MM5 模式設定如下：納莉颱風之侵台時期為 2001 年 9 月 16 日 1300

UTC 至 9 月 18 日 1500 UTC，模式模擬時間為 9 月 15 日 1200 UTC 至 9 月 19 日 0000 UTC，共 84 小時。水平巢狀網域共有 4 層，分別為 D1（網格間距為 54 公里；網格數目為 71×81）、D2（網格間距為 18 公里；網格數目為 100×100）、D3（網格間距為 6 公里；網格數目為 166×166）以及 D4（網格間距為 2 公里；網格數目為 229×154）。依據其地形敏感度實驗設計，除了控制組(CTL)實驗考慮實際台灣地形之外，還有 75%Ter、50%Ter、25%Ter、NoTer 及 OnlySea 等五組對照組；其中，75%Ter、50%Ter、25%Ter 實驗分別將複雜台灣地形高度設為實際地形高度的 75%、50%、25%；而 NoTer 實驗將台灣複雜地形移除，使台灣變成一個 1 公尺高度的平台；OnlySea 實驗則是將台灣本島變成海洋，使得颱風完全不受台灣陸地的影響(黃小玲，2006)。在本研究中，因 MM5 地形敏感度實驗是在第三層網域(D3)所進行的，所以使用的是模擬時間 9 月 16 日 0000 UTC 至 9 月 19 日 0000 UTC、水平巢狀網域第三層 D3（6 公里；166×166），包含六組不同地形高度的 72 小時 MM5 逐時模擬降水資料。

## 2.2 資料處理方法

以下說明各資料的篩選及資料內插的步驟。

## 2.2.1 CWB 測站資料之處理

在分析測站資料之前，爲了使分析過程順利進行及確保分析結果的可靠性，必須先排除因儀器故障或其他因素所造成的錯誤資料。排除方法如下：如欲分析一段時間內之降水資料(此段時間內發生數起降水事件)，假設時間長度共 72 小時，則一一檢視這段時間內之所有測站；若有某測站的逐時降水資料連續 24 筆(連續 24 小時)有錯誤，則將此測站的降水資料整個排除。在所有三百多個測站中，約有八成五以上能夠通過此道程序的篩檢(表 1)。

經過資料篩選後需將測站資料內插至自訂的網格點上，網格的基本設定如下：範圍從東經 120.02°至 122.09°，北緯 21.687°至 25.269°，區域涵蓋整個台灣本島；東西方向 116 個、南北方向 200 個網格點，網格間距爲 2 公里，2 公里等於經緯度 0.018°，網格爲經向與緯向等距的正方形網格(圖 2-1)。內插方式如下所述：以網格點爲中心找出影響半徑 24 公里範圍內所有測站，參考 Cressman(1959)的客觀分析方法，以距離平方反比爲權重計算所有測站的權重值，測站的雨量與其權重值相乘後再全部相加，即爲網格點的雨量。計算公式如下：

$$R_G = \sum_{i=1}^n S_i \times R_i$$
$$\text{其中 } R_i = \frac{1}{D_i^2} / \sum_{i=1}^n \frac{1}{D_i^2} \quad (1)$$

$R_G$ ：網格點雨量

$n$ ：距離網格點 24 公里範圍內之測站數

$S_i$ ：第  $i$  個測站的觀測雨量

$R_i$ ：第  $i$  個測站的權重值

$D_i$ ：網格點與第  $i$  個測站的直線距離

## 2.2.2 MM5 模式資料之處理

在此說明如何將 MM5 模式資料內插至 2.2.1 所述之自訂網格點。由於資料內插的來源為模式的網格點資料，因此內插的方式跟測站的觀測資料不同。方法是找出自訂網格點落在哪個模式網格區域內，然後利用構成此模式網格的四個模式網格點資料進行內插，內插的比例權重同樣採用距離平方反比，其公式如下(見圖 2-2)：

$$P_S = P_{M1} \times \frac{1}{R1^2} \Big/ \left( \frac{1}{R1^2} + \frac{1}{R2^2} + \frac{1}{R3^2} + \frac{1}{R4^2} \right) + P_{M2} \times \frac{1}{R2^2} \Big/ \left( \frac{1}{R1^2} + \frac{1}{R2^2} + \frac{1}{R3^2} + \frac{1}{R4^2} \right) \\ + P_{M3} \times \frac{1}{R3^2} \Big/ \left( \frac{1}{R1^2} + \frac{1}{R2^2} + \frac{1}{R3^2} + \frac{1}{R4^2} \right) + P_{M4} \times \frac{1}{R4^2} \Big/ \left( \frac{1}{R1^2} + \frac{1}{R2^2} + \frac{1}{R3^2} + \frac{1}{R4^2} \right)$$

(2)

$P_S$ ：S 點(自訂網格點)降水量

$P_M$ ：M 點(模式網格點)降水量

R：S 點到 M 點的直線距離

## 2.3 研究中所使用的各種降水分類方法

以下將介紹 Yang 法、Steiner 法及 Tremblay 法三種降水型態分類的方法。

### 2.3.1 Yang 法

Yang and Houze (1995) 提出的降水型態分類法是以降水強度與降水強度的水平梯度作為分類的門檻，只要降水強度達  $15 \text{ mmh}^{-1}$  以上，或是降水強度梯度達  $5 \text{ mmh}^{-1}\text{km}^{-1}$  以上之降水皆為對流降水，其餘降水則為層狀降水。在初步測試階段時，此法與 Steiner et al. (1995) 法的結果比較後發現對於台灣地區的降水資料而言， $5 \text{ mmh}^{-1}\text{km}^{-1}$  的梯度值門檻偏高，若將梯度門檻值調整為  $0.7 \text{ mmh}^{-1}\text{km}^{-1}$ ，則兩種方法結果相近。計算流程如下：以  $15 \text{ mmh}^{-1}$  的降水強度為分界，大於  $15 \text{ mmh}^{-1}$  即為對流降水；未達  $15 \text{ mmh}^{-1}$  的降水則與周圍 8 個網格點作比較，分別計算共 8 組的降水強度梯度，若有其中任何一組大於  $0.7 \text{ mmh}^{-1}\text{km}^{-1}$ ，則此網格點之降水為對流降水；其餘未達上述標準的降水，則歸類為層狀降水(圖 2-3a~圖 2-3b)。

### 2.3.2 Steiner 法

Steiner et al. (1995) 的降水型態分類法建立在解析度 2x2 公里網格點資料之基礎上，其計算流程如下(圖 2-4a)：第一階段先決定對流中心 (Convective Center) 的位置。以雷達回波強度 42.43dBZ 為分界，大於 42.43dBZ 的網格點即為對流中心；回波強度未達 42.43dBZ 的網格點，則計算半徑 11 公里範圍內的平均背景回波強度 (Mean Background Reflectivity, MBR)，即此範圍內所有網格點的回波平均值(圖 2-4b)。接著計算網格點回波強度與 MBR 相減的差值，若差值大於  $\Delta Z$ ，則此網格點為對流中心(圖 2-4c)。  $\Delta Z$  的計算公式如下：

$$\Delta Z = \begin{cases} 10, & Z_{bg} < 0 \\ 10 - Z_{bg}^2 / 180, & 0 \leq Z_{bg} < 42.43 \\ 0, & Z_{bg} \geq 42.43 \end{cases} \quad (3)$$

其中  $Z_{bg}$  即為平均背景回波強度(MBR)。

第二階段要決定對流中心的影響半徑，其大小會隨著平均背景回波強度 (MBR) 而改變。有 Large、Medium 及 Small 三種標準(圖 2-4d)，在本研究中使用的是 Medium 的標準(圖 2-4e)，其敘述如下：若 MBR 小於 25dBZ，則影響半徑為 1 公里；若 MBR 介於 25dBZ 跟 30dBZ 之間，則影響半徑為 2 公里；若 MBR 介於 30dBZ 跟 35dBZ 之間，則影響半徑為 3 公里；若 MBR 介於 35dBZ 跟 40dBZ 之間，則影響半徑為 4 公里；若 MBR 大於 40dBZ，則影響半徑為 5 公里。決定好對流中心

及其影響半徑後，在其影響半徑範圍內之降水為對流降水，在其範圍外之降水則為層狀降水。

為了使自動雨量測站資料能適用於 Steiner 法，本研究以 NEXRAD 的 Z-R 關係式將雷達回波強度 dBZ 換算成降水強度。其公式如下：

$$10 \times \log_{10} \left( 300 \times R^{1.4} \right) = dBZ \quad (4)$$

其中 R 為降水強度(mm $h^{-1}$ )。

### 2.3.3 Tremblay 法

Tremblay (2005) 利用降水在強度分布上的統計特性，提出另一套降水型態分類法。其根據 2001 年 WMO (World Meteorological Organization) global rain gauge network 的雨量站資料 (測站站數共 3302 個) 顯示，雨量的總和值會隨著降水強度增加而呈現指數性遞減的趨勢。雨量的總和值計算公式如下：

$$P_t(t) = \int_{0^+}^{\infty} P(R) dR = N \langle R \rangle \quad (5)$$

其中 t 為時間，R 為降水強度， $P(R)_t$  為降水強度介於 R 與 R+dR 之間雨量的總和值， $P_t(t)$  為時間 t 的累積雨量， $0^+$  表示降水強度不為零，雨量站的多寡與統計時間軸的長短決定  $N \langle R \rangle$  的大小。以  $P(R)$  為縱軸、R 為橫軸的關係圖中，在趨勢線下方貼近趨勢線的指數線為層狀降水，而指數線上方突出的部份則為對流降水(圖 2-5)。

本研究以同樣方法分析台灣地區的降水型態，發現趨勢圖中在低降水強度的區域會有一極高尖峰值的存在(圖 2-6a)。若以降水強度最低處為指數線的起點，可能會高估了對流降水(圖 2-6b)。因此指數線左端點設定在開始遞減處（通常是取此尖峰值所在的點），藉由調整公式中 A 與 b 的值使指數線能盡量貼近黑線，並且使對流降水不為負值(圖 2-6c)。公式如下：

$$P(R) = Ae^{-bR} + p'(R) \quad (6)$$

P(R)：全部降水

$Ae^{-bR}$ ：層狀降水(指數線)的部份

$P'(R)$ ：對流降水的部份

R：降水強度

A：自訂常數，決定指數線的高低位置(起點)

b：自訂常數，決定指數線的曲率



## 第三章 降水個案分析與空間敏感度測試

### 3.1 研究中所選取的六種不同天氣系統之降水個案

爲了瞭解對流降水與層狀降水在不同天氣系統之下會呈現怎樣的分布差異，本研究參考 Yang and Tung(2003)的分類，選取 2004 年台灣地區的六個降水個案，分別代表春雨(圖 3-1)、梅雨(圖 3-2)、颱風(圖 3-3)、西南氣流(圖 3-4)、夏季雷雨(圖 3-5)、東北季風降雨(圖 3-6)共六種不同降水系統的天氣型態。每個天氣個案選取約兩天到五天的時間，如表 2 所示。選取時間基本上是參照降雨歷線的雨量趨勢爲主，再加上天氣圖及衛星雲圖等其他資訊作對比。

從累積雨量的空間分佈來看(圖 3-7)，春雨的個案中絕大部分的降雨都在北部及東北部，最高累積雨量約 160 公釐。梅雨個案時全臺幾乎都有降雨發生，降雨較集中於中高海拔山區，最高累積雨量約 300 公釐。敏督利颱風的降雨則集中在中南部山區，最高累積雨量約 700 公釐。西南氣流的降雨同樣集中於中南部山區，最高累積雨量高達 1400 公釐左右。夏季雷雨的分布較爲零散，西南部區域雨量較多，最高累積雨量約 140 公釐。東北季風降雨只有東北部有降雨，最高累積雨量約 350 公釐。

### 3.2 各降水個案之空間敏感度測試

本章節主要內容是以變動內插權重比例、內插半徑大小及網格尺寸大小三種方式，來測試 Steiner et al. (1995；簡稱 Steiner 法) 及 Yang and Houze (1995；簡稱 Yang 法) 兩種降水型態分類方法，在所選取六個降水個案中之空間敏感度。

### 3.2.1 內插權重比例

此小節以距離平方反比法(Inverse Ratio Of Distance Square；簡稱 IRODS)、距離反比法(Inverse Ratio Of Distance；簡稱 IROD)以及算術平均法(Arithmetic Mean；簡稱 AM)三種不同的內插權重比例方法，測試其對降水分類的影響。其他設定如內插半徑固定為 24 公里，而網格大小為 2x2 公里，皆與 2.2.1 節之原先設定相同。從圖 3-8、3-10、3-12、3-14、3-16、3-18 來看，六個降水個案的極值都是 IRODS 法>IROD 法>AM 法，且 IRODS 法整體上有較多尖峰值的存在。也就是說，內插權重比例採用距離平方反比較能表現出降水分佈在空間上小尺度的特徵。從對流降水的比例來看，春雨個案的對流降水體積比例約 10%左右，面積比例則不到 5%，顯示春雨極大部份為層狀降水所組成(圖 3-9)。其他同屬鋒面型的降水，對流降水所佔的體積比例都不高，梅雨(圖 3-11)最高約 50%，東北季風降雨(圖 3-19)最高約 30%。在颱風(圖 3-13、3-15)或夏季雷雨(圖 3-17)等強降水的個案中，對流降水所佔的體積比例就相當高，最多有 90%以上的降水為對流降水。無論

是使用 Steiner 法或是 Yang 法的結果，大致上都顯示 IRODS 法的對流降水在體積或面積的比例皆高於 IROD 法及 AM 法。在強降水的個案中(如颱風)，大部分降水已超過對流降水的降水強度門檻值，導致因內插權重不同所造成之差異便不如弱降水的個案(如春雨、梅雨等鋒面型降水)來的明顯。

### 3.2.2 內插影響半徑大小

此小節分別將內插影響半徑大小設為 24 公里、16 公里與 8 公里；內插權重比例為距離平方反比，網格尺寸大小為 2×2 公里，與原設定相同。當影響半徑大於 23 公里時，台灣本島內部區域所有的網格點都能得到自動雨量站的降水資料；當內插半徑小於 23 公里，內部區域便出現了無資料的缺口(圖 3-20)。影響半徑越小，降雨會越集中在靠近測站的局部區域內，影響半徑範圍內無測站的網格點數也會越多，結果造成影響半徑 8 公里時的累積雨量分佈圖上降水呈現零碎狀散佈的情形(圖 3-21、3-23、3-25、3-27、3-29、3-31)。從對流降水的比例來看，影響半徑 8 公里時的對流降水體積或面積比例在六個降水個案中都明顯高於影響半徑為 16 公里與 24 公里的比例，尤其是春雨(圖 3-22)及東北季風降雨(圖 3-32)，對流降水的體積比例最大值將近有一倍的差距。縮短影響半徑使得有雨量站資料的網格點數減少，並且拉高降雨面積內的平均降水強度，對流降水的體積及面積比例也隨

之增加。

### 3.2.3 網格尺寸大小

此小節將網格大小設為 2x2 公里、4x4 公里與 8x8 公里，內插權重比例為距離平方反比，影響半徑為 24 公里，與原設定相同。在這六個個案的累積雨量分佈圖中，2x2 公里網格解析度的極值較其他兩者為高、尖峰個數也較多，但雨量分佈較不平均且分佈區域較為狹小；8x8 公里網格解析度則尖峰值較低，分佈較為平均且分佈區域較大(圖 3-33、3-35、3-37、3-39、3-41、3-43)。由於 Steiner 法有要求降水資料網格解析度必須為 2x2 公里的限制，因此本小節僅使用 Yang 法來對不同的網格解析度資料做討論。隨著網格尺寸的增大，除了降低局部區域的降水強度之外，主要影響 Yang 法的另一項因素，即降水強度梯度也相對地降低，對流降水的體積與面積比例因而減少。改變網格尺寸大小對於弱降水個案(春雨圖 3-34 及東北季風降雨圖 3-44)的影響，也明顯地比強降水個案(梅雨圖 3-36、颱風圖 3-38、西南氣流圖 3-40 及夏季雷雨圖 4-42)來得大。

### 3.3 Tremblay 法分析結果

Tremblay 法是藉由測站降水資料中降水強度的分佈趨勢來區分對流降水與層狀降水的統計方法。台灣地區測站密度雖高，但因統計

的母體數太少〔台灣地區測站總數 376 個，Tremblay(2004)中所使用的測站數 3302 個〕，故不易看出其降水強度分佈中特有的指數性遞減趨勢。因此使用 Tremblay 法分析台灣地區的降水資料時，統計時間必須達一定的長度(如一天以上)。

圖 3-45 為 Tremblay 法分析六個降水個案的結果，統計時間同選取時間(3-5 天)。其中春雨及東北季風降雨的個案中降水集中在低強度的區域，最高降水強度不超過  $30\text{mmh}^{-1}$ 。梅雨的降水強度分佈則較為平均；而颱風、西南氣流及夏季雷雨的個案中，降水大幅度往高強度的區域移動，最高降水強度超過  $100\text{mmh}^{-1}$ 。圖 3-45 顯示，除了夏季雷雨（對流降水比例高達 53.13%）之外，所有個案的對流降水比例都不到一半，對流降水比例最少的是東北季風降雨個案，對流降水比例僅有 16%；也就是說，降水大部份還是由層狀降水所組成。

## 第四章 地形敏感度測試與長期分析

### 4.1 對流降水在不同海拔高度之下之分布情形

台灣地形對於對流降水及層狀降水這兩種降水型態的分佈究竟有何影響？此節將之前六個不同天氣型態的降水個案之雨量資料以海拔高度加以區分，共分成低海拔(0~500 公尺；low)、中海拔(500~1500 公尺；median)及高海拔(1500 公尺以上；high)三種高度，試圖找出雨量與地形間可能存在的關係。分析網格雨量資料採用原設定，即內插權重採距離平方反比、影響半徑 24 公里及網格大小 2×2 公里。以分析的結果來看，每個個案都不盡相同。在春雨(圖 4-1)及夏季雷雨(圖 4-5)的個案中，Steiner 法與 Yang 法都顯示對流降水比例在高海拔地區比低海拔地區還要低，而從圖 3-7 中也可看到這兩個個案在高海拔地區的降雨並不多。梅雨(圖 4-2)的個案中，在 5 月 21 日左右高海拔區的對流降水比例比中低海拔低，而到了 5 月 23 日高海拔區的對流降水比例反而較高。颱風(圖 4-3)的個案中，在 6 月 30 日時對流降水在低海拔區的比例較高，到了 7 月 2~3 日左右則為高海拔區較高。西南氣流(圖 4-4)的個案中，隨著海拔高度的增加，對流降水比例整體上都有隨之升高的趨勢。東北季風降雨(圖 4-6)的個案中，由 Steiner 法所得到的結果是對流降水比例隨著海拔高度增加而降低，而 Yang 法的

結果是對流降水的體積比例隨海拔高度增加而升高；由於東北季風降雨資料不多，且集中於東北部(圖 3-7)，因此使用 Yang 法做降水型態分類可能有所偏差。

#### 4.2 納莉颱風模擬地形敏感度實驗的結果分析

在 4.1 節中以區分海拔高低來看地形對降水型態的影響時，其中的變異因素較多，如並不是每個個案的降雨都均勻地落在低、中、高海拔的區域中(如圖 4-7)。爲了得到更客觀的結果，將以納莉(2001)颱風的地形敏感度模擬實驗資料進行分析，期望透過 MM5 模式資料能夠更進一步瞭解台灣地形對於降水影響。由於模擬實驗中每個颱風路徑(圖 4-8)都不太相同，因此只取前 48 小時各組實驗路徑較爲接近的時段來做比較。由圖 4-9 來看，CTL(Full TER)實驗降雨集中在北部與中部的山區，極值出現在北部山區一帶，最高約 1200 公釐左右。0.75 TER 與 0.5 TER 實驗的降雨同樣集中在中北部山區，0.75 TER 實驗的極值約 900 公釐，0.5 TER 實驗的極值約 1200 公釐。0.25 TER 實驗的降雨大都在北部與東北部，極值約 1200 公釐。No TER 與 Only Sea 實驗的降雨都集中於西北部，No TER 實驗的極值約 900 公釐，Only Sea 實驗的極值則超過了 1200 公釐。從圖 4-10 來看，CTL(Full TER) 實驗的對流降水體積比例有 80%，面積比例 17 日前約 40%，17 日後降至 30%。0.75 TER 實驗的面積比例在 16 日 1200UTC 前有 40%，16 日

1200UTC 至 17 日 0000UTC 這段時間由 40%降至 20%。0.5 TER 實驗的面積比例從 16 日到 17 日由 40%緩降至 20%，而 0.25 TER 實驗的面積比例在 16 日 1200UTC 前就從 30%降至 20%。No TER 實驗的面積比例與 0.25 TER 實驗相似，在 16 日 1200UTC 前就從 40%降至 20%，而 Only Sea 實驗的面積比例都在 30%以下。而從圖 4-11 來看，CTL(Full TER)實驗的對流降水最高達 120m 以上，No TER 實驗的對流降水最高只有 80m 左右。大體來說，隨著台灣地形高度降低，對流降水的面積及體積比例也跟著下降。

### 4.3 降水型態分類之長期分析

爲了瞭解降水型態的長期趨勢，在本小節利用 Steiner 法、Yang 法與 Tremblay 法三種不同的降水型態分類方法，對於 2003 年、2004 年及 2005 年的 CWB 雨量站觀測資料進行分析。圖 4-12 及圖 4-13 中 Steiner 法及 Yang 法是將每個月的逐時雨量分析其對流降水網格數及層狀降水網格數，再對整個月做累計，得到整個月之對流降水比例；而 Tremblay 法中統計時間的長度爲一整個月。由圖 4-12 及圖 4-13 來看，Steiner 法與 Yang 法的對流降水無論是體積比例或面積比例都十分相近。Tremblay 法的對流降水比例跟 Steiner 法或 Yang 法雖然不太相同，但其高低趨勢與其他兩者相當吻合。而 2003 年、2004 年及 2005 年的降水資料分析都顯示對流降水的比例在暖季(5~10 月)較高(體積



比例為 30-60%，面積比例為 5-10%)，在冷季(11 月~4 月)則較低（體積比例為 10-30%，面積比例為 0-5%）。其中 2004 年 12 月的對流降水比例反常地偏高，由圖 4-15 可看到 3 日至 5 日發生了極大的降水事件，圖 4-16 顯示這段時間的降水有極高的比例(體積比例將近 80%)是由對流降水所組成，而這段時間正好是南瑪都(2004)颱風的侵臺時間(圖 4-14)。因此，2004 年 12 月對流降水比例異常偏高的現象應該是由南瑪都颱風所造成的。

## 第五章 結論與討論

本研究選取的六個台灣地區降水天氣個案中，春雨的對流降水最高體積比例約 8%~27%，梅雨約 48%~70%，颱風約 74%~85%，西南氣流約 82%~92%，夏季雷雨約 72%~94%，東北季風降雨約 24%~75%。春雨、梅雨及東北季風降雨的個案同屬鋒面型降水，各方法的分析結果也顯示其對流降水體積比例大部分皆低於 50%；而颱風、西南氣流及夏季雷雨一般來說都有垂直對流運動旺盛的特徵，由 Steiner et al.(1995)法及 Yang and Houze(1995)法的分析結果來看，對流降水體積比例更可達八成以上。從年際來看，對流降水在暖季(5~10 月)所佔的比例較高(體積比例為 30-60%)，在冷季(11 月~4 月)的比例則較低(體積比例為 10-30%)，因暖季的降水多由颱風、午後對流雷雨等以對流降水為主的降水天氣型態所組成，而冷季的降水則多由春雨、東北季風降雨等以層狀降水為主的降水天氣型態所組成。

在空間敏感度的測試中，網格化的降水資料會因內插方式的不同而產生差異，降水型態的分佈也連帶受到影響。使用網格資料的降水型態分類方法，除了本身對於層狀降水與對流降水的辨別能力之外，網格資料的正確性更會影響分析結果。而在地形敏感度測試方面，以納莉颱風模擬實驗的分析結果來看，降水型態分佈明顯受到台灣地區

複雜地形的影響，CTL(Full TER)實驗的對流降水面積比例可達 40%以上，No TER 實驗的對流降水面積比例則不到 30%，有無台灣地形對於對流降水比例的差異相當大。

關於研究中降水型態分類的三種方法：Steiner et al.(1995)法、Yang and Houze(1995)法及 Tremblay(2005)法，Steiner et al.(1995)法可用於逐時網格降水資料的分析，對於降水型態的時間點及位置都能清楚地掌握；缺點是計算過程較為繁雜，且必須使用 2x2 公里解析度的逐時網格降水資料。Yang and Houze(1995)法同樣可用於逐時網格降水資料的分析，使用上沒有太大的限制，計算過程也較為簡略，由各降水個案的分析來看，其結果與 Steiner et al.(1995)法相當接近。Tremblay(2005)法受限於統計母體數(測站數)的多寡，在台灣地區並無法分析逐時的降水資料，而且其中判定指數線的方式偏於主觀；但以不同天氣個案的降水型態所佔比例及長期氣候趨勢來看，Tremblay(2005)法大致上還是能夠掌握。

## 參考文獻

黃小玲，2006：納莉(2001)颱風之數值模擬研究，中國文化大學地學研究所博士論文。

Churchill, D. D., and R. A. Houze, 1984: Development and structure of winter monsoon cloud clusters on 10 December 1978. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **41**, 933-960.

Collier, C. G., S. Lovejoy, and G. L. Austin, 1980: Analysis of bright bands from 3-D radar data. Preprints, *19<sup>th</sup> Conf. on Radar Meteorology*, Miami Beach, FL, Amer. Meteor. Soc., 44-47.

Cressman, G. P., 1959: An operational objective analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, **87**, 367-374.

Houze, R. A., 1997: Stratiform precipitation in regions of convection: A meteorological paradox? *Bulletin of the American Meteorological Society*, **78**, 2179-2196.

Rosenfeld, D., E. Amitai, and D. B. Wolff, 1995: Classification of rain regimes by the three-dimensional properties of reflectivity fields, *J. Appl. Meteor.*, **34**, 198-211.

Steiner, M., R. A. Houze, and S. E. Yuter, 1995: Climatological

- characterization of three-dimensional storm structure from operational radar and rain gauge data. *Journal of Applied Meteorology*. **34**, 1978-2007.
- Tremblay, Andre, 2005: The stratiform and convective components of surface precipitation. *Journal of the Atmospheric Sciences*. **62**, 1513-1528.
- Trenberth, K. E., A. Dai, R. M. Rasmussen, and D. Pearson, 2003: The changing character of precipitation. *Bull. Amer. Meteor. Soc*, **84**, 1205-1217.
- Yang, Ming-Jen, Hsiao-Ling Huang, and Da-Lin Zhang, 2007: A modeling study of Typhoon Nari (2001) at landfall. Part I: The topographic effects.
- Yang, Ming-Jen, and R. A. Houze, 1995: Sensitivity of squall-line rear inflow to ice microphysics and environmental humidity. *Monthly Weather Review*, **123**, 3175-3193.
- Yang, Ming-Jen, and Quen-Chi Tung, 2003: Evaluation of rainfall forecasts over Taiwan by four cumulus parameterization schemes. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **81**, 1163-1183.

表 1 中央氣象局(CWB)2003 年~2005 年逐月自動觀測站站數及篩選後之測站數。

2003 年	一月	二月	三月	四月	五月	六月
原測站數	362	362	362	362	362	362
通過篩選之測站數	356	360	359	356	330	357
篩選率(%)	98.343	99.448	99.171	98.343	91.16	98.619
	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
	362	362	362	362	362	362
	354	358	352	339	346	354
	97.79	98.895	97.238	93.646	95.58	97.79
2004 年	一月	二月	三月	四月	五月	六月
原測站數	362	362	362	362	373	371
通過篩選之測站數	319	329	352	359	360	366
篩選率(%)	88.122	90.884	97.238	99.171	96.515	98.652
	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
	371	371	374	374	374	374
	316	350	363	355	315	368
	85.175	94.34	97.059	94.92	84.225	98.396
2005 年	一月	二月	三月	四月	五月	六月
原測站數	374	374	374	374	374	374
通過篩選之測站數	360	351	363	369	366	363
篩選率(%)	96.257	93.85	97.059	98.663	97.861	97.059
	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
	374	374	375	375	375	376
	354	323	350	353	361	351
	94.652	86.364	93.333	94.133	96.267	93.351

表 2 不同天氣系統之降水個案時間選取列表。

選取個案	選取時間
春雨	2004 年 3 月 1 日 5 時~2004 年 3 月 4 日 16 時 LST
梅雨	2004 年 5 月 18 日 13 時~2004 年 5 月 23 日 7 時 LST
敏督利颱風	2004 年 6 月 28 日 15 時~2004 年 7 月 2 日 23 時 LST
颱風引發之西南氣流	2004 年 7 月 2 日 23 時~2004 年 7 月 5 日 17 時 LST
夏季雷雨	2004 年 8 月 1 日 12 時~2004 年 8 月 3 日 22 時 LST
東北季風降水	2004 年 11 月 15 日 1 時~2004 年 11 月 18 日 20 時 LST

表 3 空間敏感度實驗設計及其累計結果(對流降水體積比例)。

實驗方法	變動項目	分類方法	春雨	梅雨	颱風	西南氣流	夏季雷雨	東北季風降水
原始設定	x	Steiner 法	2.89%	26.83%	57.15%	67.71%	49.10%	6.66%
		Yang 法	4.71%	22.85%	51.96%	66.99%	51.54%	8.62%
變動內插權重比例	距離反比	Steiner 法	1.35%	21.74%	54.09%	63.58%	36.30%	2.51%
		Yang 法	3.45%	18.77%	48.72%	61.92%	36.40%	5.12%
	算數平均數	Steiner 法	1.13%	20.15%	54.47%	63.77%	30.80%	1.77%
		Yang 法	3.66%	18.19%	49.15%	60.50%	30.63%	5.53%
變動內插半徑大小	16 公里	Steiner 法	2.62%	27.93%	59.48%	72.86%	57.03%	9.92%
		Yang 法	3.26%	24.20%	55.08%	71.37%	60.00%	10.15%
	8 公里	Steiner 法	5.84%	35.25%	67.83%	78.68%	69.85%	17.26%
		Yang 法	8.68%	32.36%	63.10%	76.85%	72.12%	20.33%
變動網格解析度	4x4 公里	Yang 法	4.02%	22.45%	51.71%	65.54%	48.61%	6.07%
	8x8 公里		1.43%	19.64%	49.92%	61.91%	42.60%	1.99%

表 4 空間敏感度實驗設計及其累計結果(對流降水面積比例)。

實驗方法	變動項目	分類方法	春雨	梅雨	颱風	西南氣流	夏季雷雨	東北季風降水
原始設定	x	Steiner 法	0.37%	3.67%	15.77%	17.51%	5.37%	0.61%
		Yang 法	0.96%	3.78%	15.34%	19.28%	6.82%	1.19%
變動內插權重比例	距離反比	Steiner 法	0.17%	2.83%	14.87%	16.48%	4.00%	0.23%
		Yang 法	0.78%	3.10%	14.36%	17.67%	4.93%	0.89%
	算數平均數	Steiner 法	0.14%	2.63%	15.42%	17.49%	3.51%	0.15%
		Yang 法	0.84%	3.26%	15.15%	18.19%	4.82%	1.00%
變動內插半徑大小	16 公里	Steiner 法	0.39%	4.37%	17.25%	21.67%	8.54%	1.08%
		Yang 法	0.63%	4.32%	16.51%	22.48%	10.95%	1.30%
	8 公里	Steiner 法	1.13%	7.13%	24.06%	28.63%	17.01%	2.64%
		Yang 法	2.35%	7.64%	23.07%	29.27%	20.08%	3.89%
變動網格解析度	4x4 公里	Yang 法	0.61%	3.33%	14.59%	17.47%	5.47%	0.57%
	8x8 公里		0.16%	2.31%	12.74%	14.40%	3.70%	0.13%



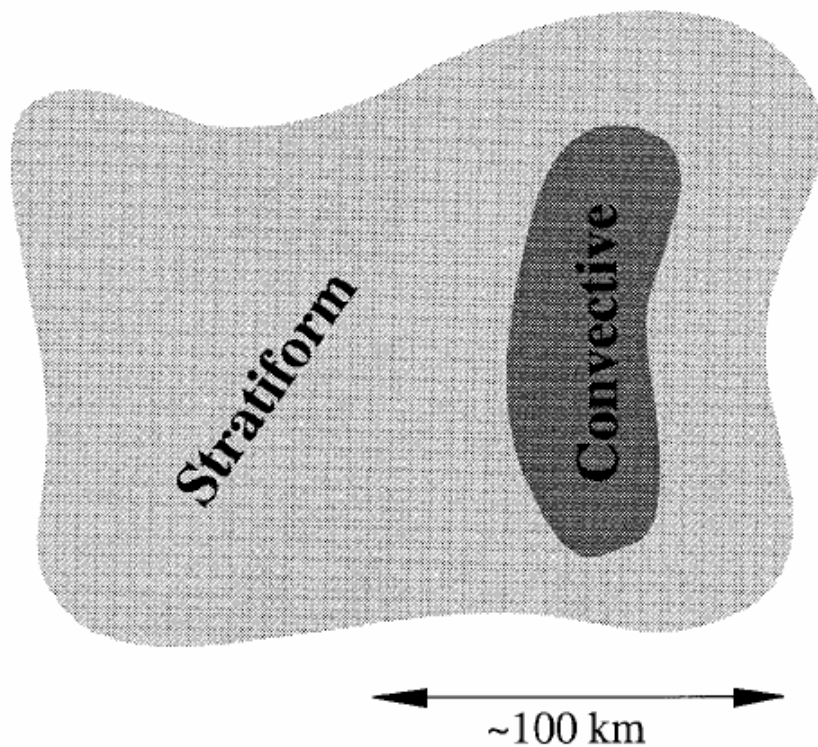


圖 1-1 層狀降水與對流降水雷達回波水平分布示意圖(取自 Houze, 1997)。

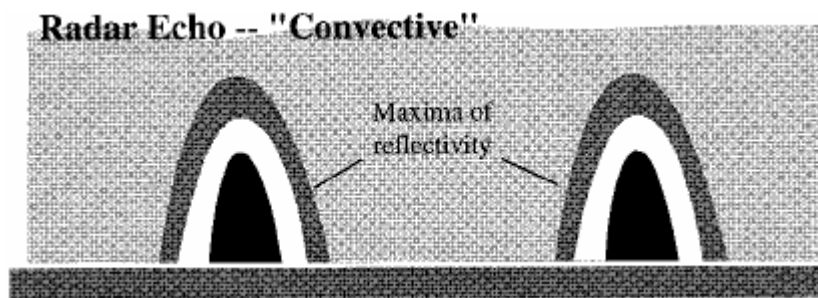


圖 1-2 對流降水雷達回波垂直構造示意圖(取自 Houze, 1997)。

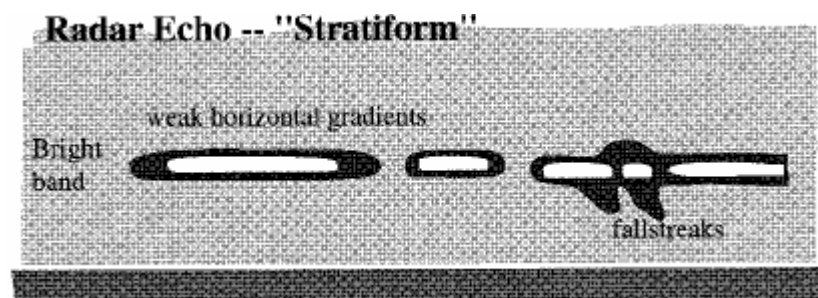


圖 1-3 層狀降水雷達回波垂直構造示意圖(取自 Houze, 1997)。

※圖 1-1 深色部份及圖 1-2、1-3 白色部分為回波較強的區域。

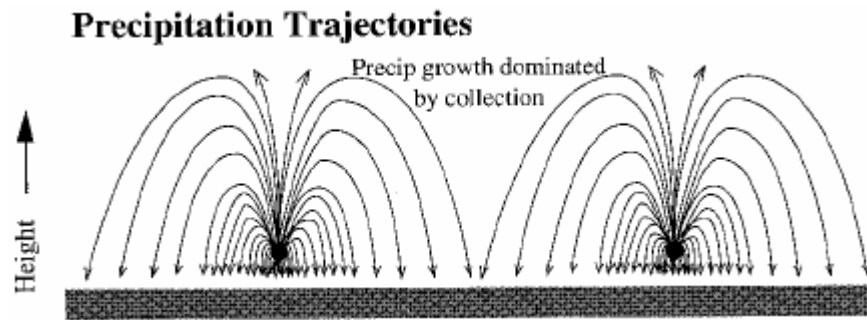


圖 1-4 對流降水降水粒子形成及軌跡示意圖(取自 Houze, 1997)。

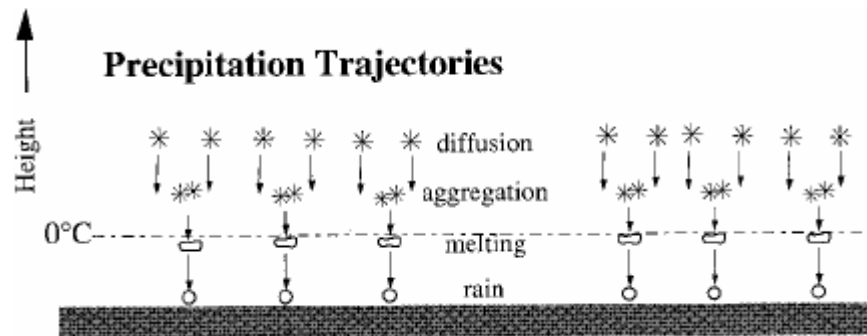


圖 1-5 層狀降水降水粒子形成及軌跡示意圖(取自 Houze, 1997)。

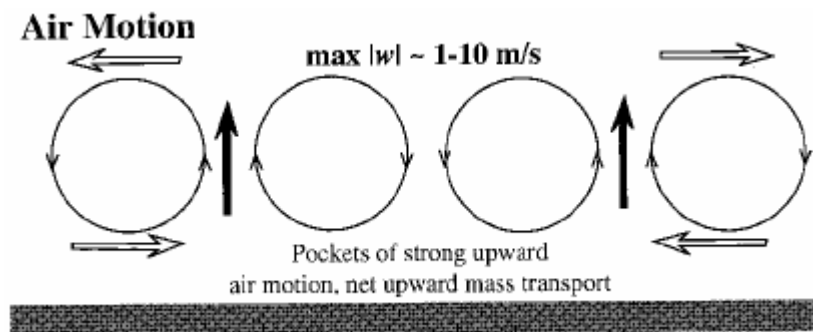


圖 1-6 對流降水空氣運動示意圖(取自 Houze, 1997)。

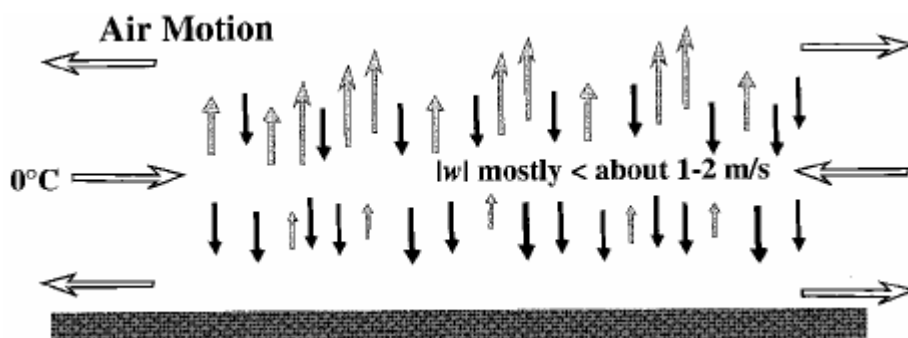


圖 1-7 層狀降水空氣運動示意圖(取自 Houze, 1997)。

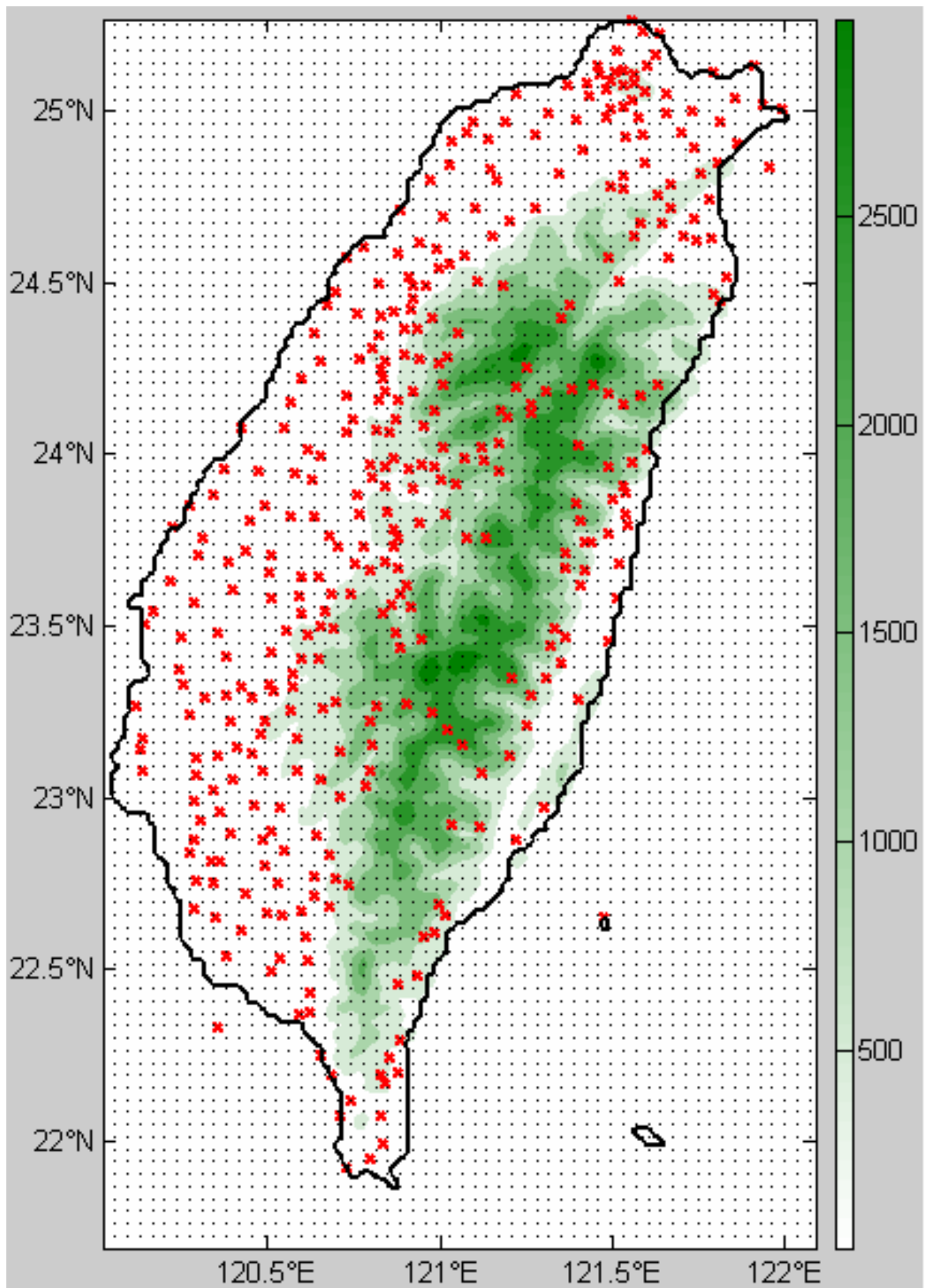


圖 2-1 中央氣象局雨量站分布圖，紅色叉叉為測站所在位置，黑色小點為 4x4 公里解析度的自設網格點，實際上使用的是 2x2 公里的解析度。海拔高度以綠色色階表示，單位為公尺。

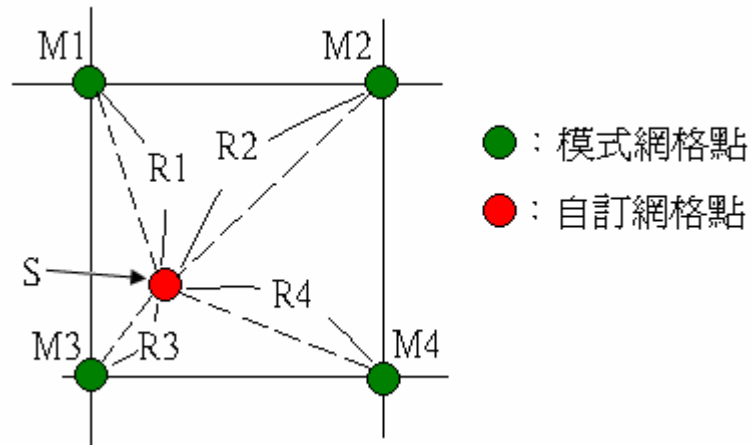


圖 2-2 模式資料內插示意圖。

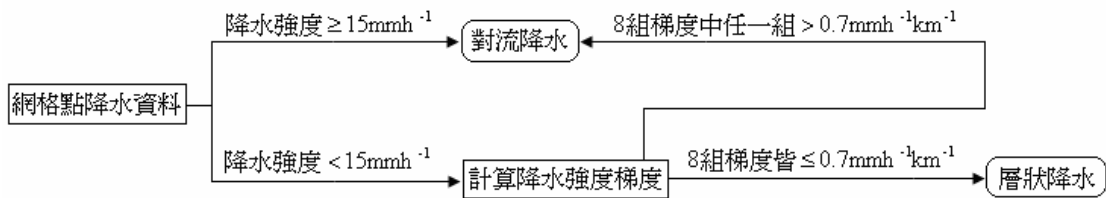


圖 2-3a Yang 法流程圖。

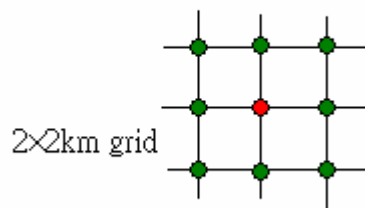
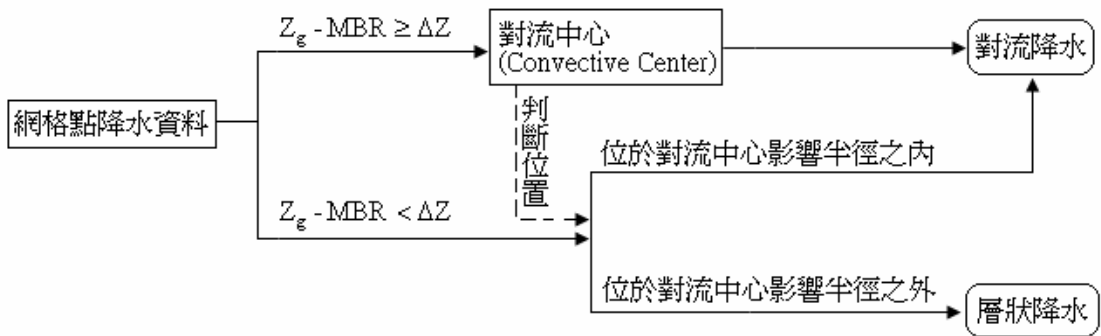


圖 2-3b Yang 法網格點示意圖。對於紅點降水強度梯度的判別方式：紅點分別與周圍 8 個網格點(綠點)計算降水強度梯度，總共 8 組的梯度值。



MBR：平均背景回波強度(Mean Background Reflectivity), 單位為dBZ

$Z_g$ ：網格點回波強度, 單位為dBZ

圖 2-4a Steiner 法流程圖。

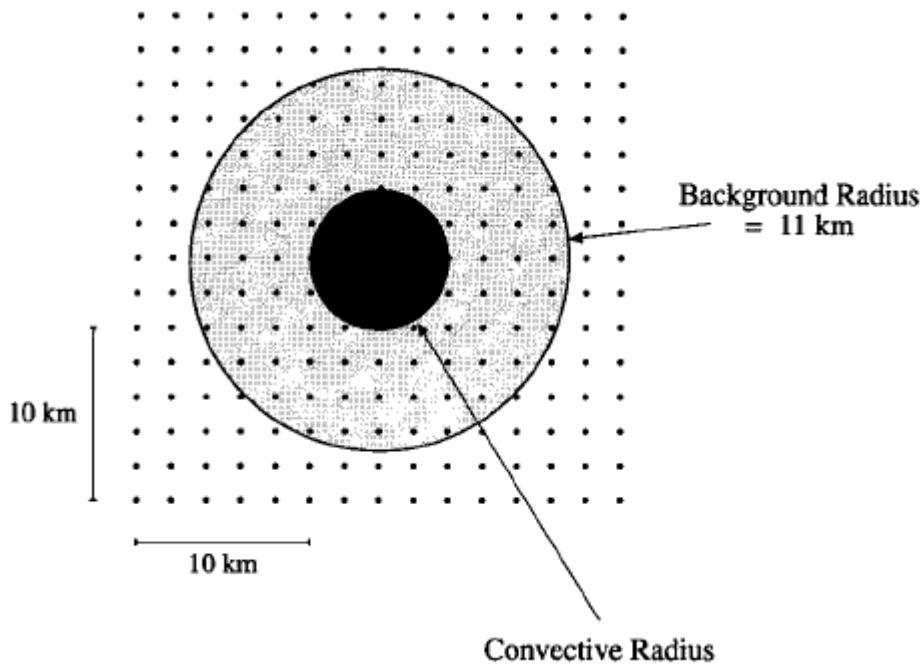


圖 2-4b Steiner 法網格點示意圖(取自 Steiner et al. , 1995)。

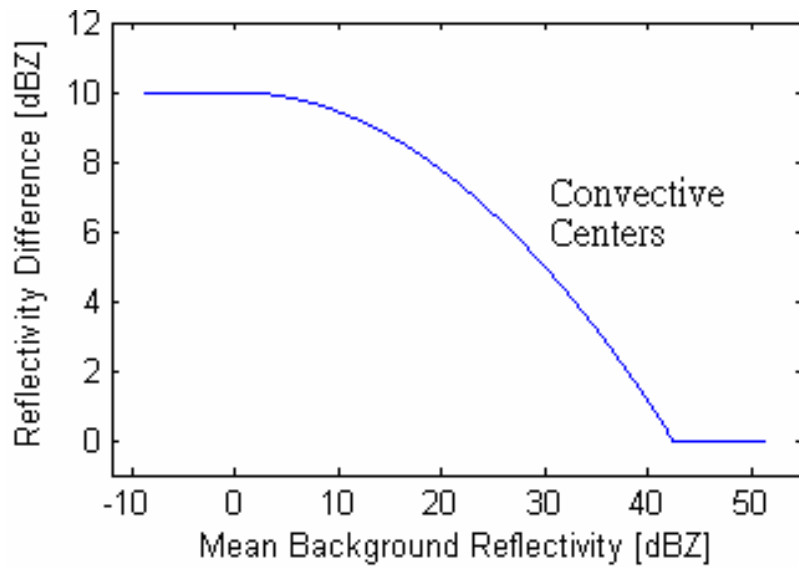
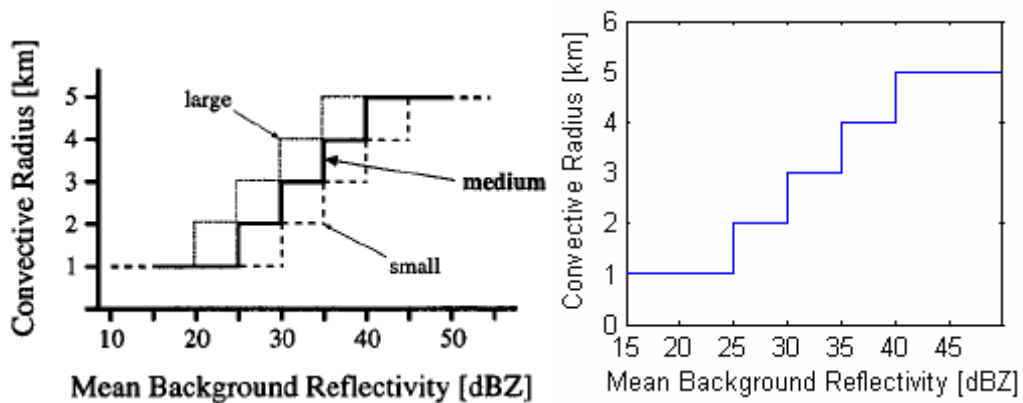


圖 2-4c  $\Delta Z$  與平均背景回波強度(Mean Background Reflectivity)的關係圖，曲線上半部為對流中心的區域(重繪自 Steiner et al. , 1995)。



左上圖 2-4d(取自 Steiner et al. , 1995)&右上圖 2-4e(重繪自 Steiner et al. , 1995)對流中心影響半徑(Convective Radius)與平均背景回波強度(Mean Background Reflectivity)的關係圖。計算出背景半徑(Background Radius)範圍內之平均背景回波強度後，再由此關係圖決定對流中心影響半徑的大小，在本研究中採用 Medium 的標準(圖 2-4e)。

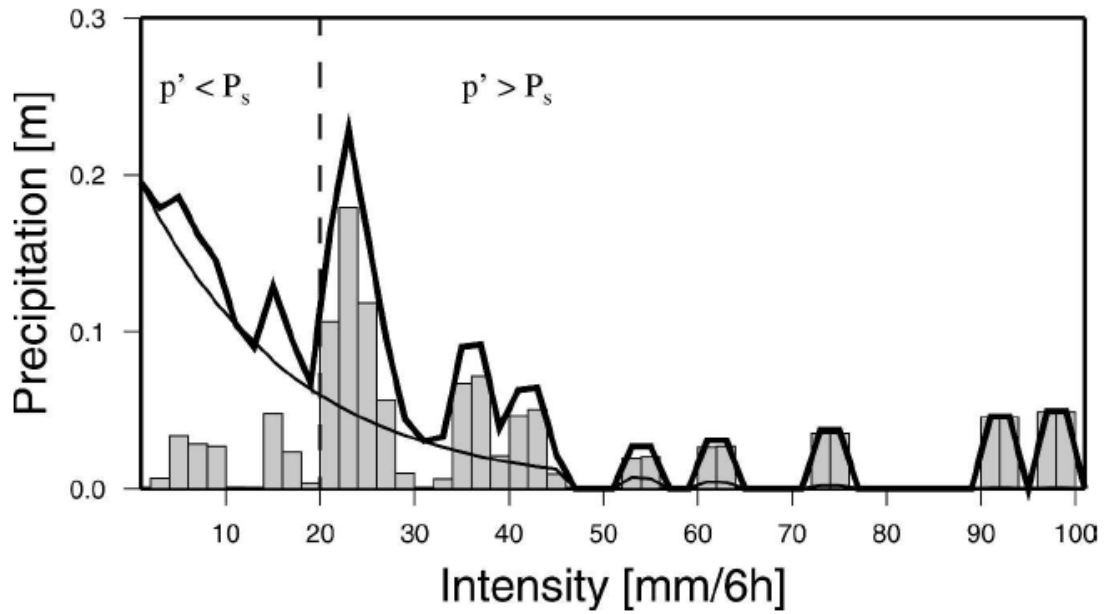


圖 2-5 Tremblay 法示意圖。縱軸為降水的總和，橫軸為降水強度，黑粗線為全部降水；細線為指數線，為層狀降水的部份；長條圖為對流降水的部份，其值等於全部降水減去層狀降水；圖中虛線為對流降水的降水總和大於層狀降水時所在之最小降水強度值  $R_c$ 。此圖統計時間為 2001 年 7 月 20 日 0000~0600 UTC(取自 Tremblay, 2005)。

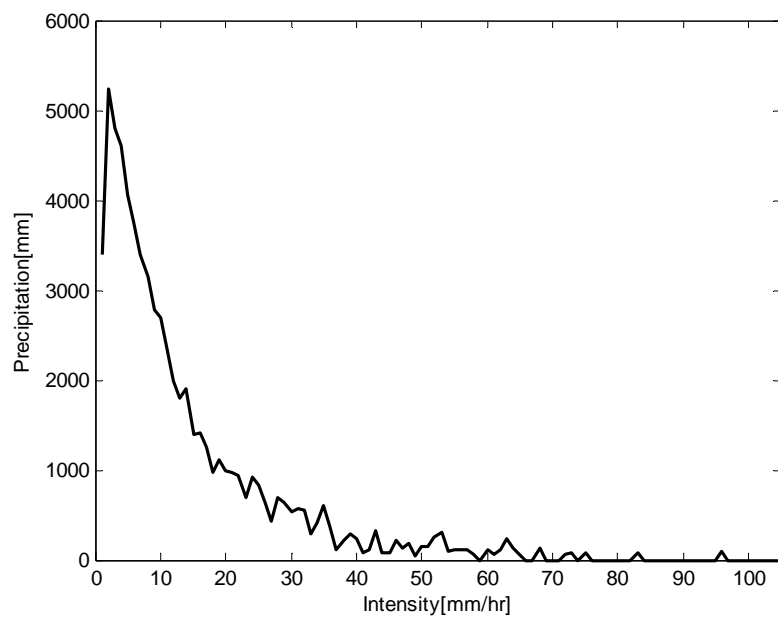


圖 2-6a

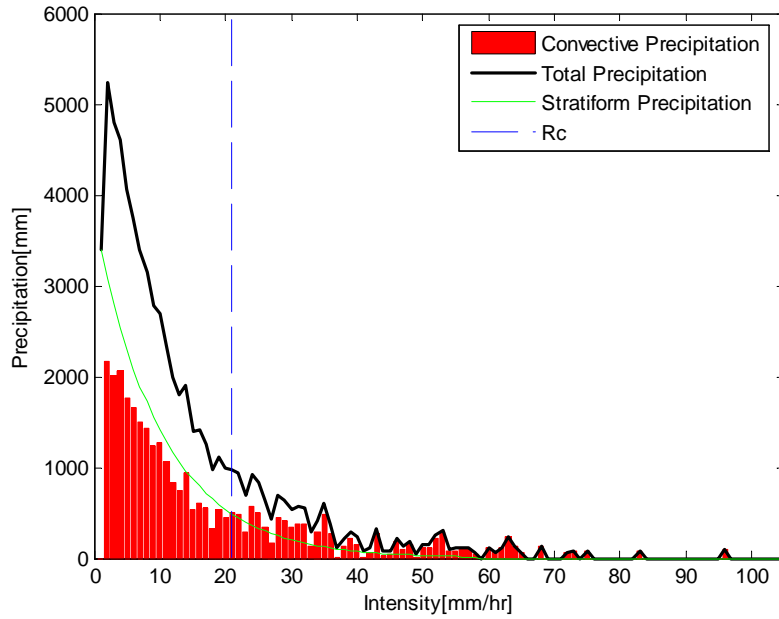


圖 2-6b

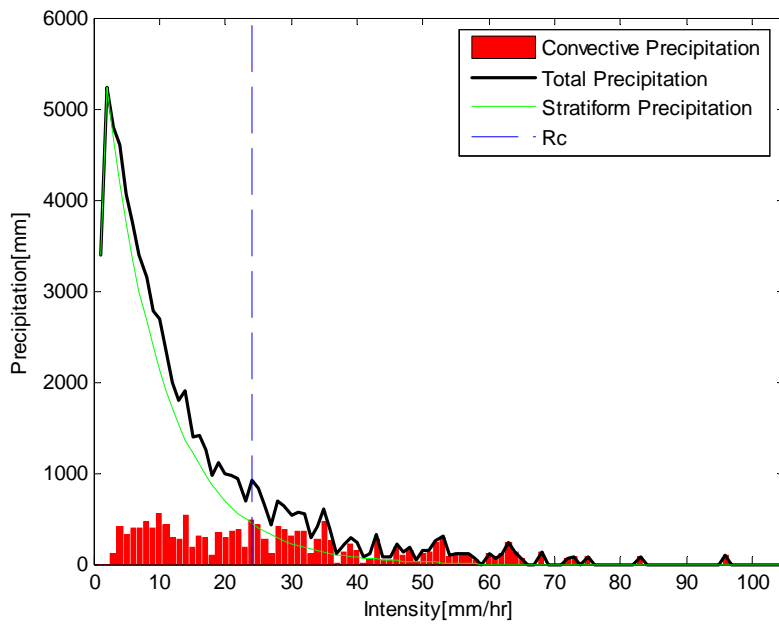
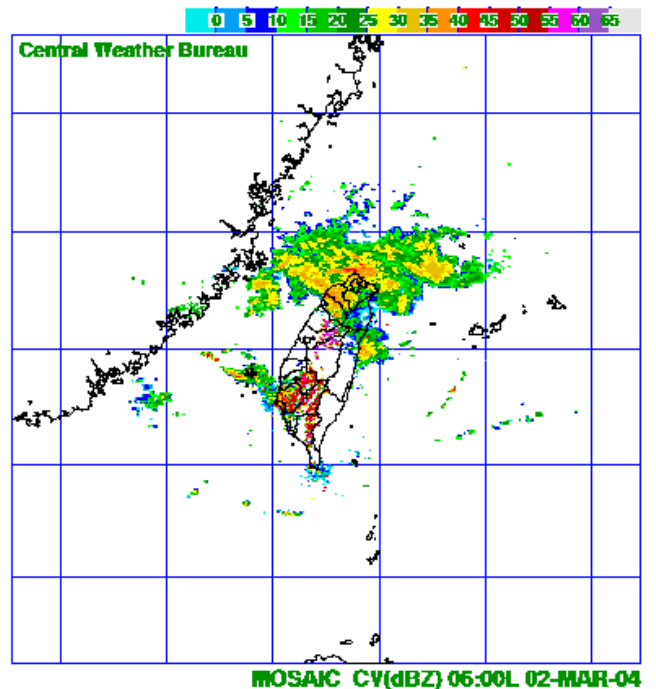
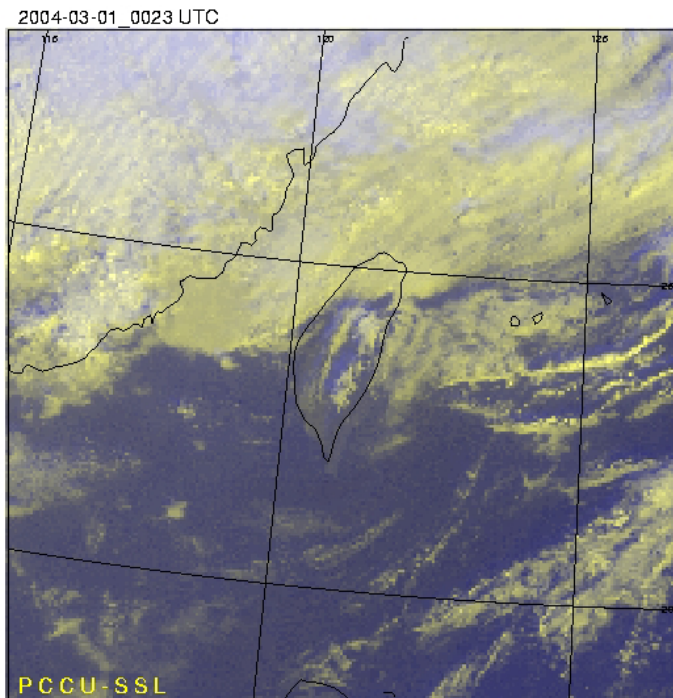
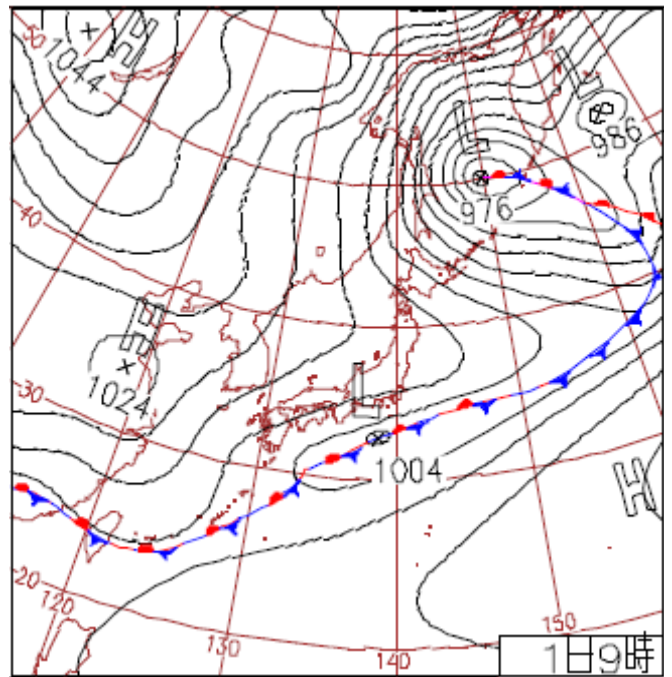
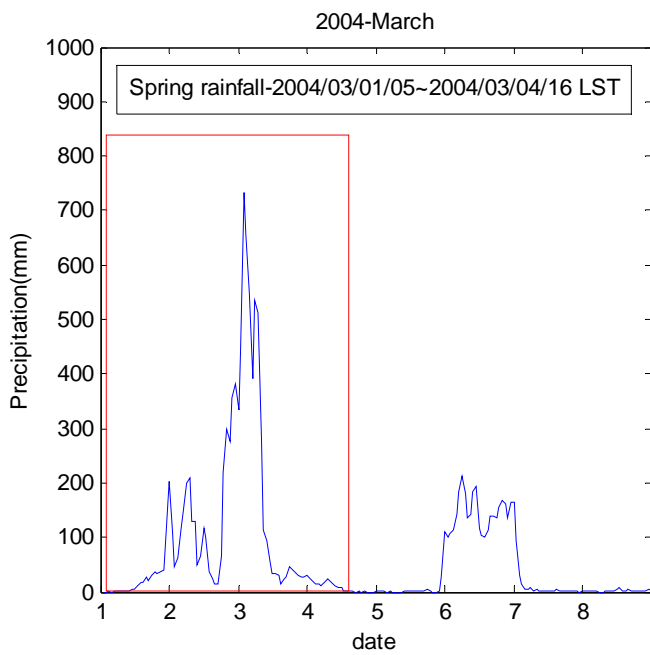


圖 2-6c

圖 2-6a 為 CWB(中央氣象局)自動觀測站的降水資料統計結果，測站數有 360 個，統計時間為 2004 年 5 月 1 日 0000 LST 至 5 月 31 日 2300 LST。圖 2-6b 與 2-6c 為台灣地區降水型態以 Tremblay 法分類的示意圖。



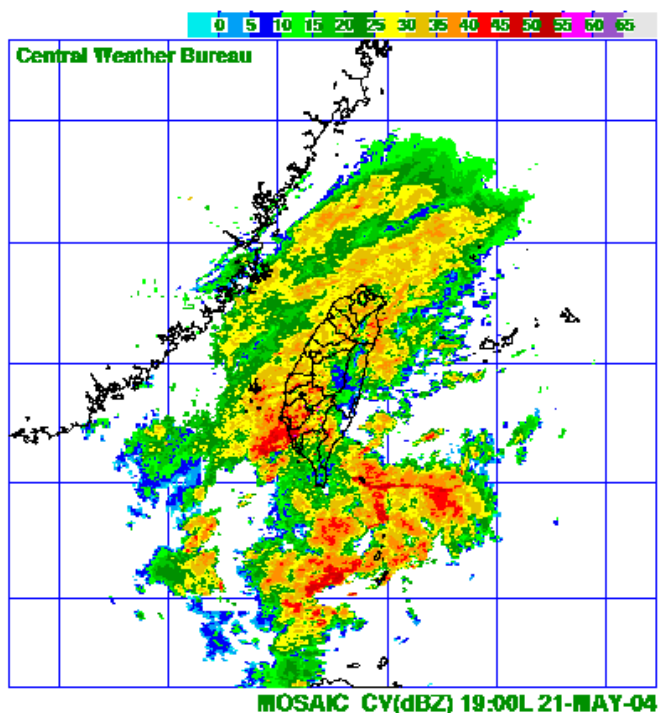
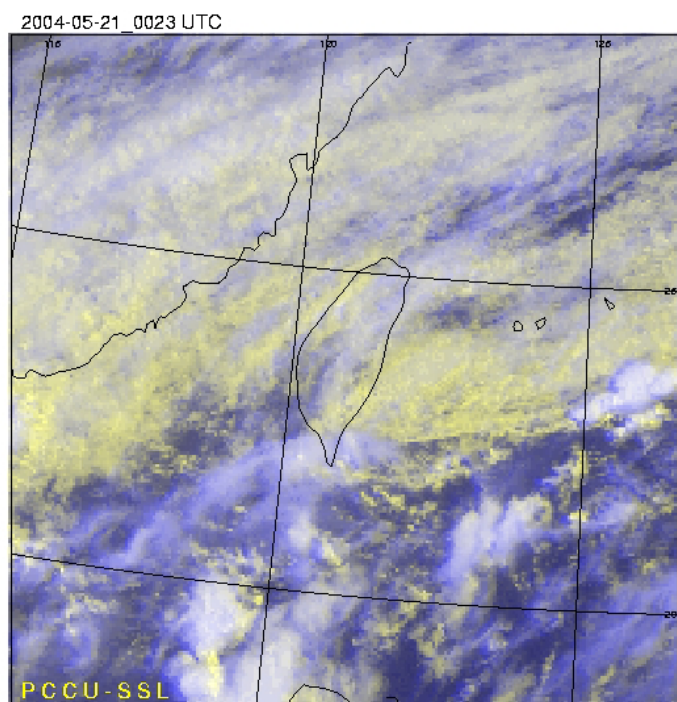
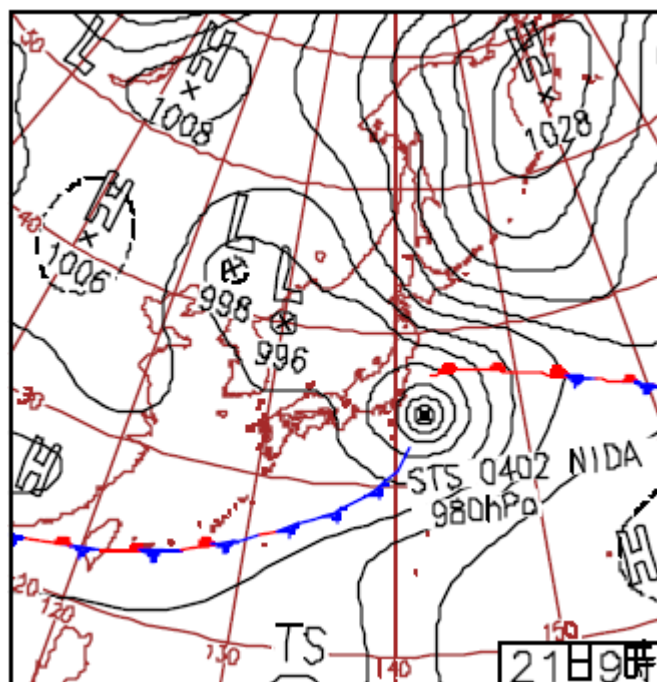
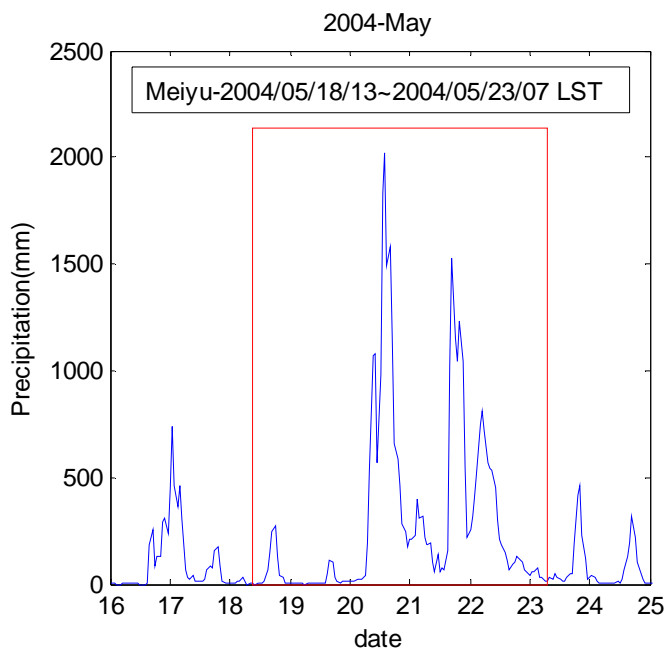


左上圖 3-1(a) 台灣地區 2004 年三月份降雨歷線圖，圖中以紅色線框標示之區塊為春雨之選取時間，從 2004 年 2 月 29 日 2100 UTC 至 3 月 4 日 0800 UTC(2004 年 3 月 1 日 0500 至 3 月 4 日 1600 LST)。

右上圖 3-1(b) 日本氣象廳地面天氣圖，時間為 2004 年 3 月 1 日 0000 UTC (0900 LST)。

左下圖 3-1(c) 中央氣象局衛星雲圖，時間為 2004 年 3 月 1 日 0023 UTC。

右下圖 3-1(d) 中央氣象局雷達回波合成圖，時間為 2004 年 3 月 1 日 2200 UTC (2004 年 3 月 2 日 0600 LST)。

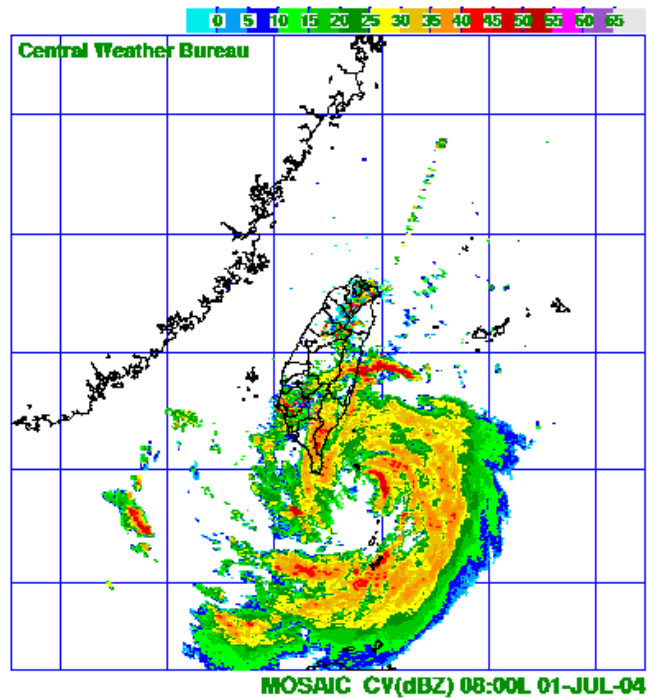
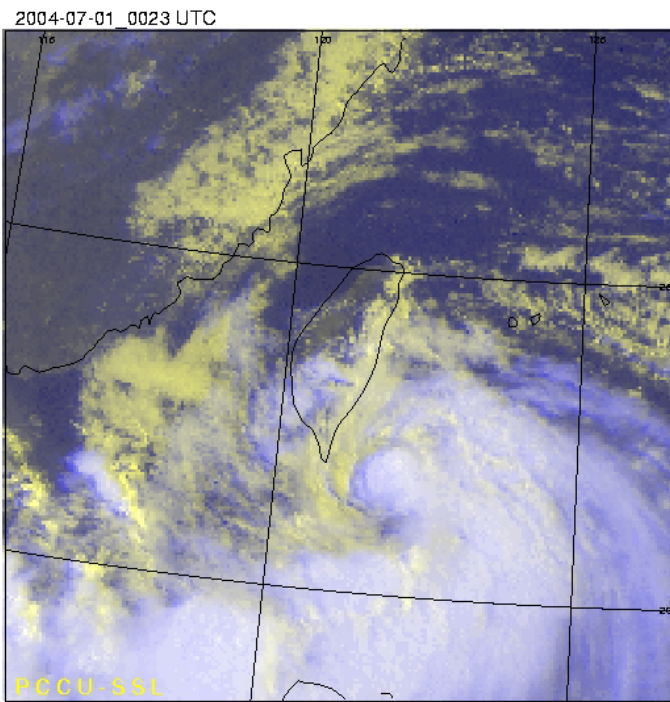
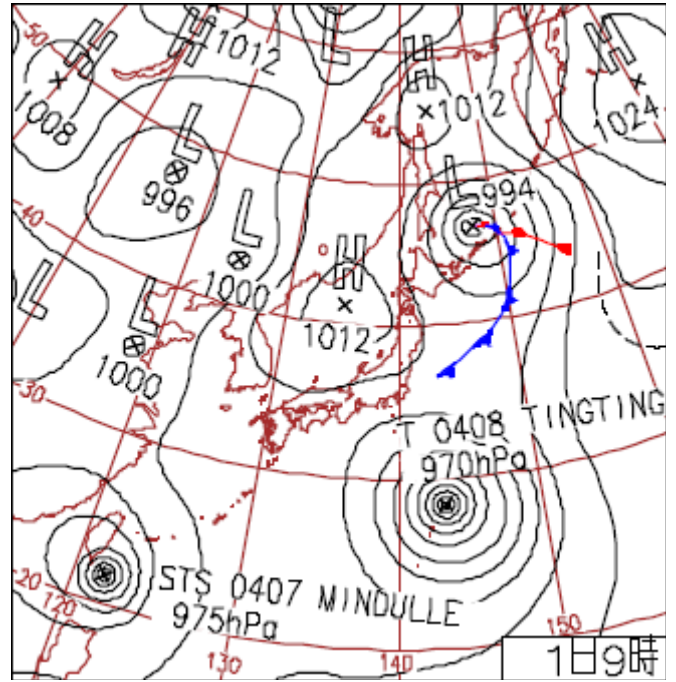
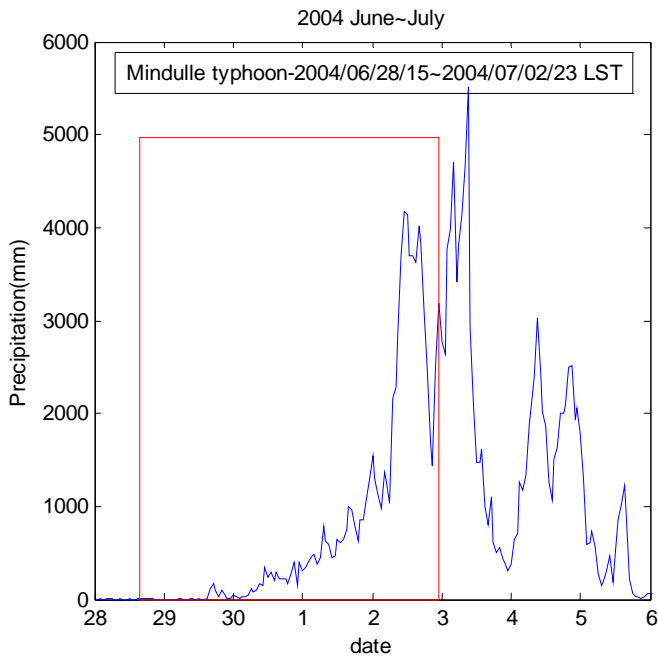


左上圖 3-2(a) 台灣地區 2004 年五月份降雨歷線圖，圖中以紅色線框標示之區塊為梅雨之選取時間，從 2004 年 5 月 18 日 0500 UTC 至 5 月 22 日 2300 UTC（2004 年 5 月 18 日 1300 至 5 月 23 日 0700 LST）。

右上圖 3-2(b) 日本氣象廳地面天氣圖，時間為 2004 年 5 月 21 日 0000 UTC (0900 LST)。

左下圖 3-2(c) 中央氣象局衛星雲圖，時間為 2004 年 5 月 21 日 0023 UTC。

右下圖 3-2(d) 中央氣象局雷達回波合成圖，時間為 2004 年 5 月 21 日 1100 UTC (1900 LST)。

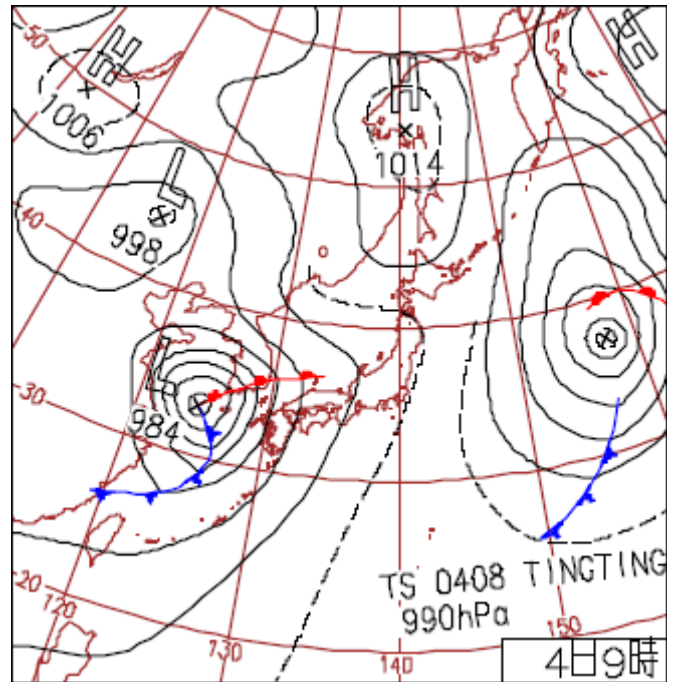
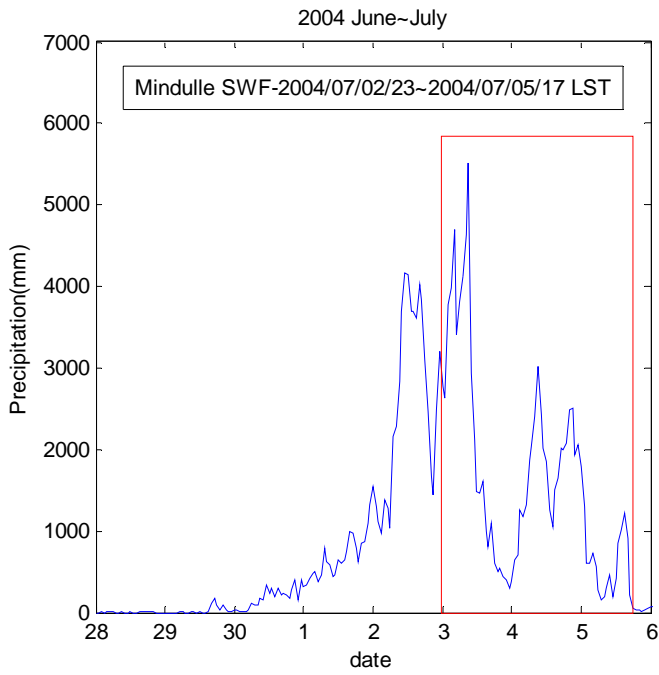


左上圖 3-3(a) 台灣地區 2004 年六~七月份降雨歷線圖，圖中左邊紅色線框標示之區塊為颱風(敏督利)之選取時間，從 2004 年 6 月 28 日 0700 UTC 至 7 月 2 日 1500 UTC (2004 年 6 月 28 日 1500 至 7 月 2 日 2300 LST)。

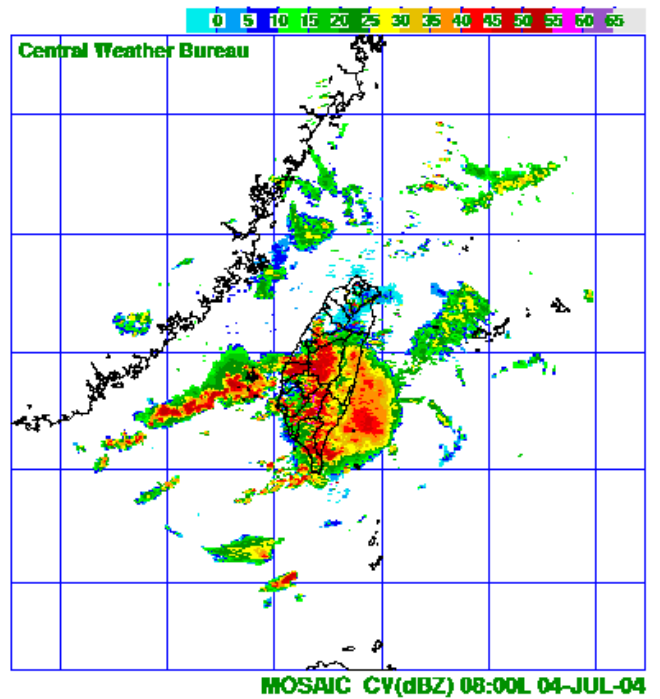
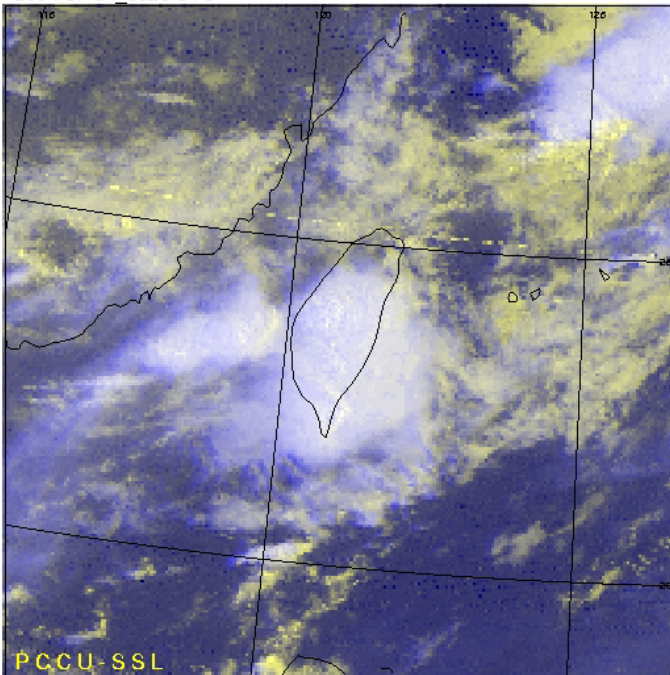
右上圖 3-3(b) 日本氣象廳地面天氣圖，時間為 2004 年 7 月 1 日 0000 UTC (0900 LST)。

左下圖 3-3(c) 中央氣象局衛星雲圖，時間為 2004 年 7 月 1 日 0023 UTC。

右下圖 3-3(d) 中央氣象局雷達回波合成圖，時間為 2004 年 7 月 1 日 0000 UTC (0800 LST)。



2004-07-04 0023 UTC

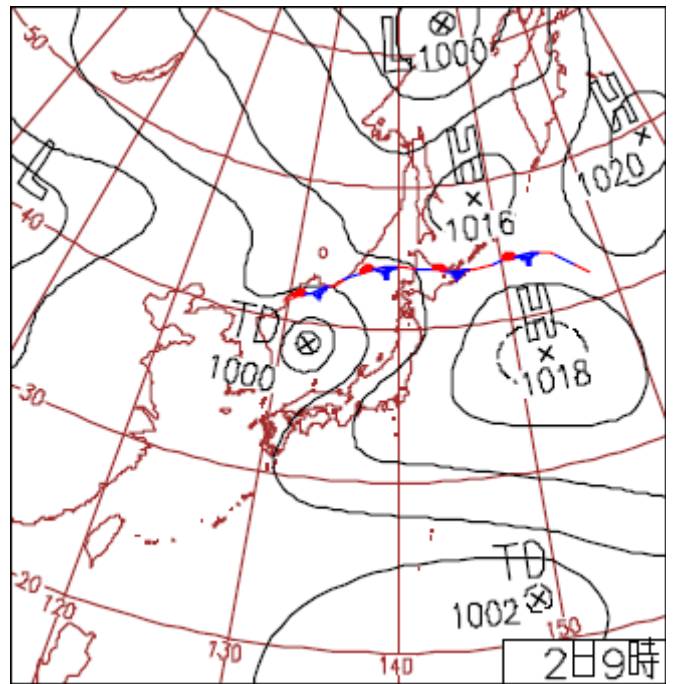
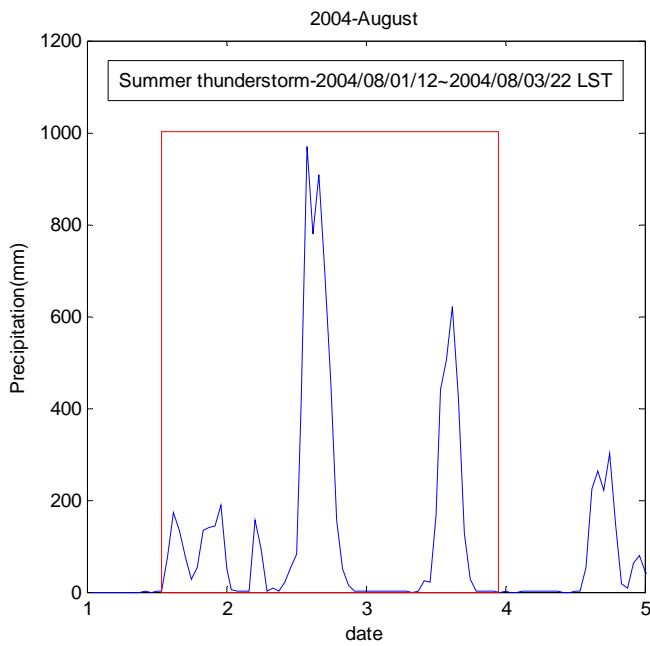


左上圖 3-4(a) 台灣地區 2004 年六~七月份降雨歷線圖，圖中右邊紅色線框標示之區塊為西南氣流之選取時間，從 2004 年 7 月 2 日 1500 UTC 至 7 月 5 日 0900 UTC（2004 年 7 月 2 日 2300 至 7 月 5 日 1700 LST）。

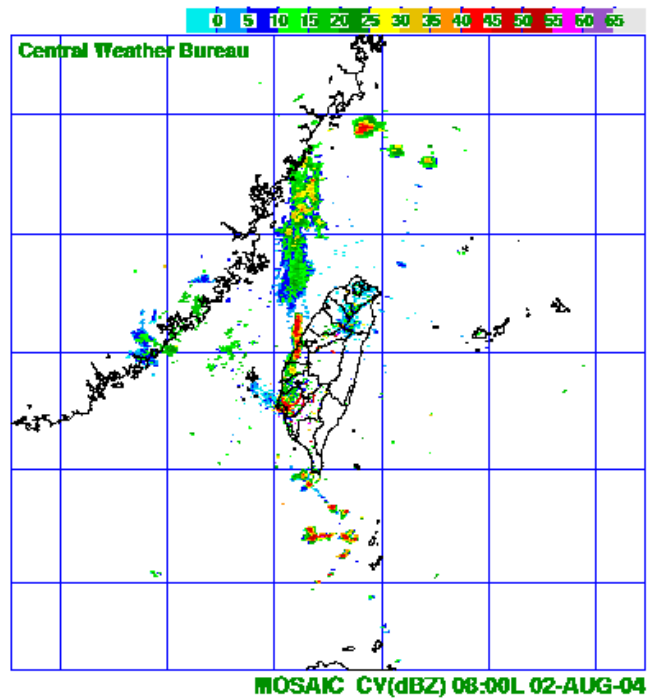
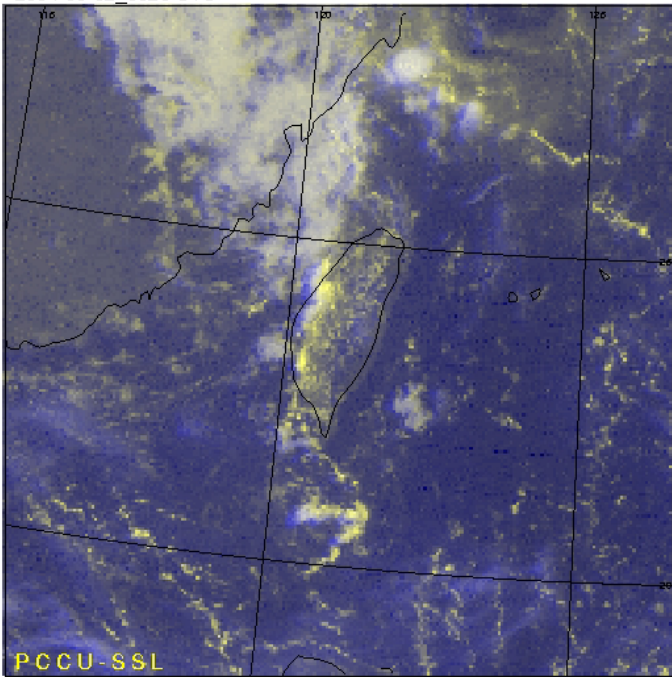
右上圖 3-4(b) 日本氣象廳地面天氣圖，時間為 2004 年 7 月 4 日 0000 UTC（0900 LST）。

左下圖 3-4(c) 中央氣象局衛星雲圖，時間為 2004 年 7 月 4 日 0023 UTC。

右下圖 3-4(d) 中央氣象局雷達回波合成圖，時間為 2004 年 7 月 4 日 0000 UTC（0800 LST）。



2004-08-02\_0023 UTC

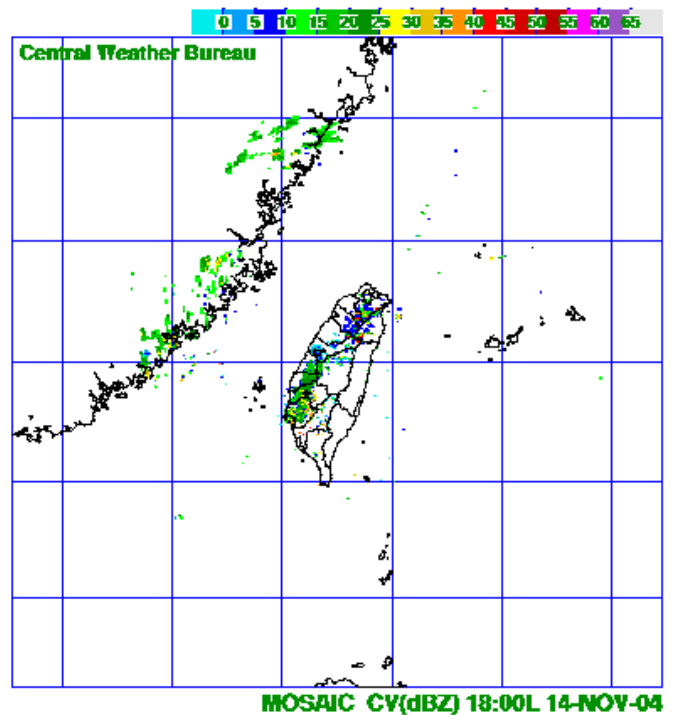
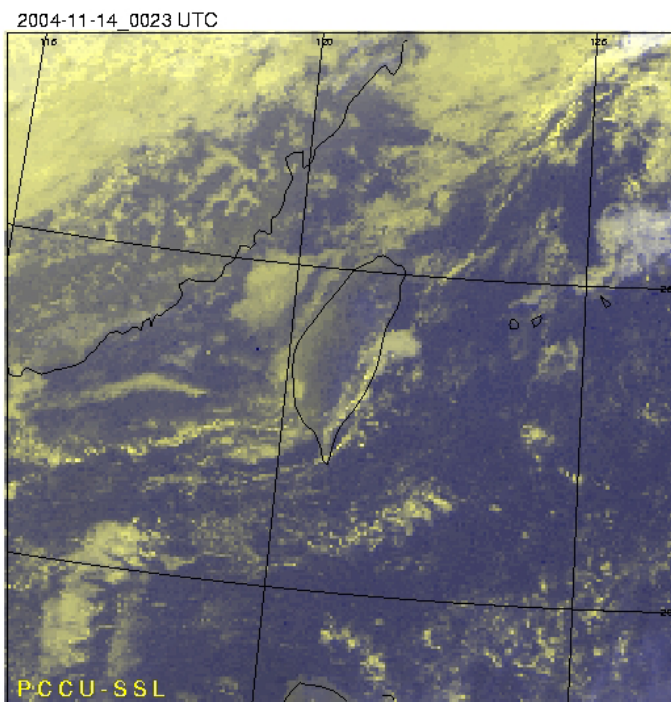
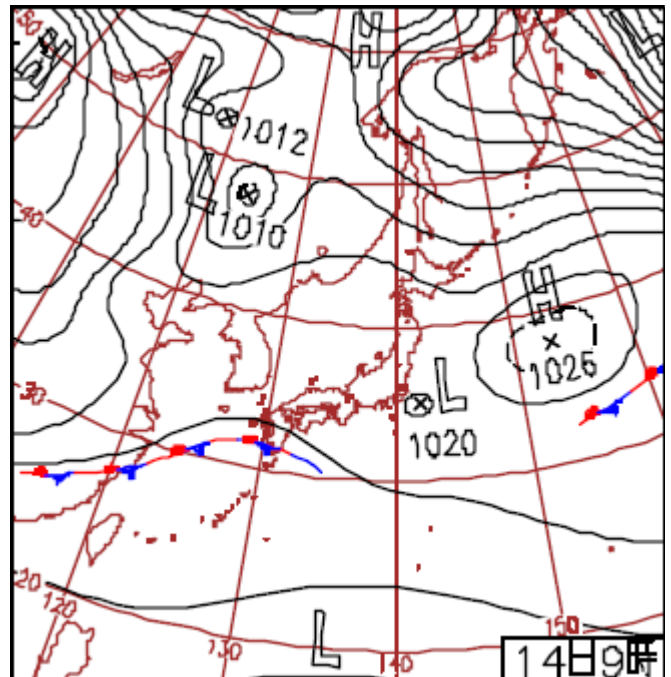
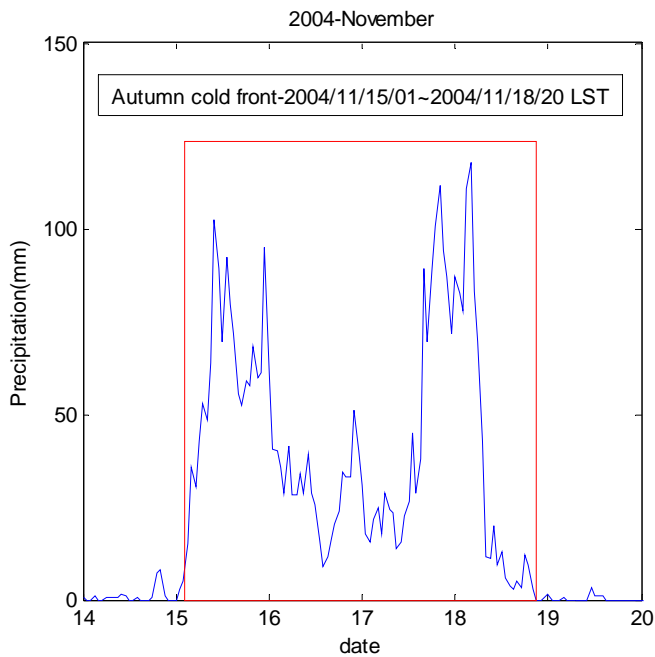


左上圖 3-5(a) 台灣地區 2004 年八月份降雨歷線圖，圖中以紅色線框標示之區塊為夏季雷雨之選取時間，從 2004 年 8 月 1 日 0400 UTC 至 8 月 3 日 1400 UTC (2004 年 8 月 1 日 1200 至 8 月 3 日 2200 LST)。

右上圖 3-5(b) 日本氣象廳地面天氣圖，時間為 2004 年 8 月 2 日 0000 UTC (0900 LST)。

左下圖 3-5(c) 中央氣象局衛星雲圖，時間為 2004 年 8 月 2 日 0023 UTC。

右下圖 3-5(d) 中央氣象局雷達回波合成圖，時間為 2004 年 8 月 2 日 0000 UTC (0800 LST)。



左上圖 3-6(a) 台灣地區 2004 年十一月份降雨歷線圖，圖中以紅色線框標示之區塊為東北季風降雨之選取時間，從 2004 年 11 月 14 日 1700 UTC 至 11 月 18 日 1200 UTC (2004 年 11 月 15 日 0100 至 11 月 18 日 2000 LST)。

右上圖 3-6(b) 日本氣象廳地面天氣圖，時間為 2004 年 11 月 14 日 0000 UTC (0900 LST)。

左下圖 3-6(c) 中央氣象局衛星雲圖，時間為 2004 年 11 月 14 日 0023 UTC。

右下圖 3-6(d) 中央氣象局雷達回波合成圖，時間為 2004 年 11 月 14 日 1000 UTC (1800 LST)。

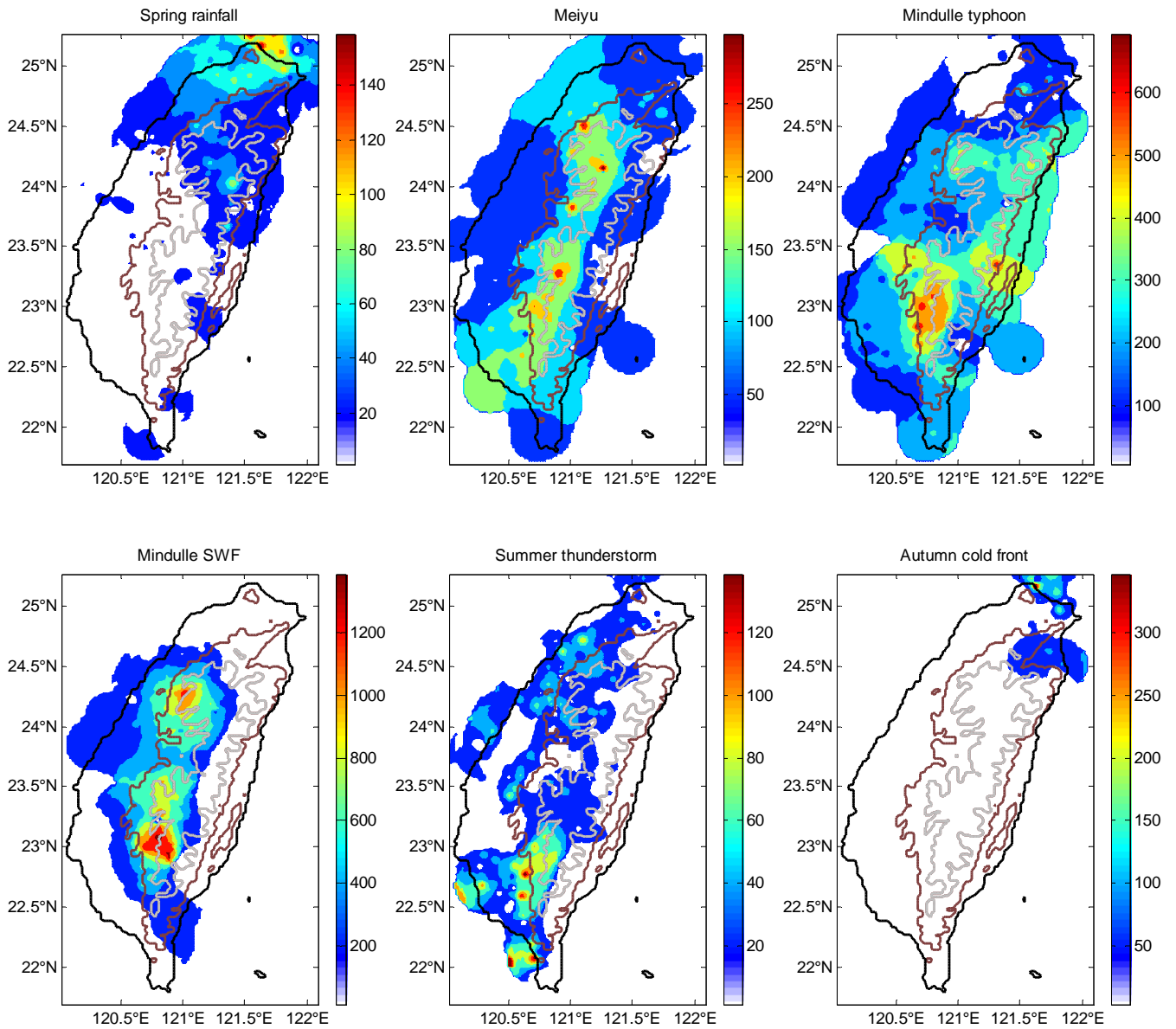


圖 3-7 各降水個案之累積雨量空間分佈圖。咖啡色輪廓線為 500 公尺等高線，銀色輪廓線為 1500 公尺等高線。累積雨量以色階表示，圖中各降水個案使用不同之色階設定，單位為公釐(mm)。

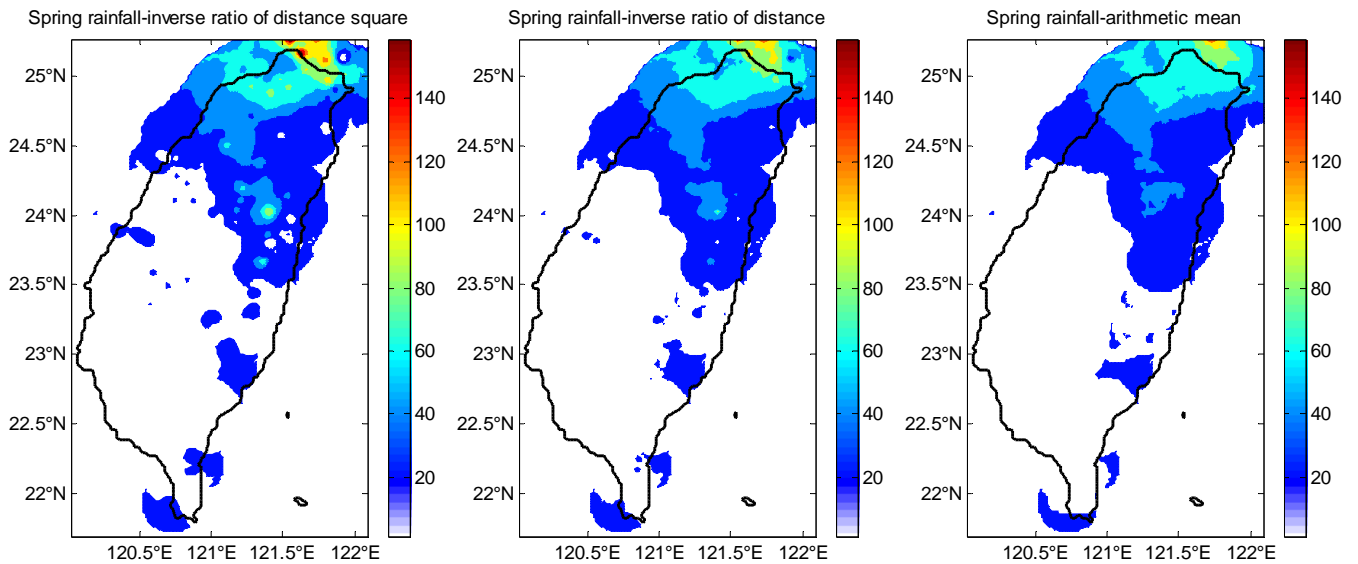


圖 3-8 春雨-累積雨量分佈圖。本圖為空間敏感度測試中以不同內插權重比例所得之降水分佈，由左而右依序是權重比例採距離平方反比(IRODS)、距離反比(IROD)及算數平均數(AM)。色階代表累積雨量，單位為公釐(mm)。

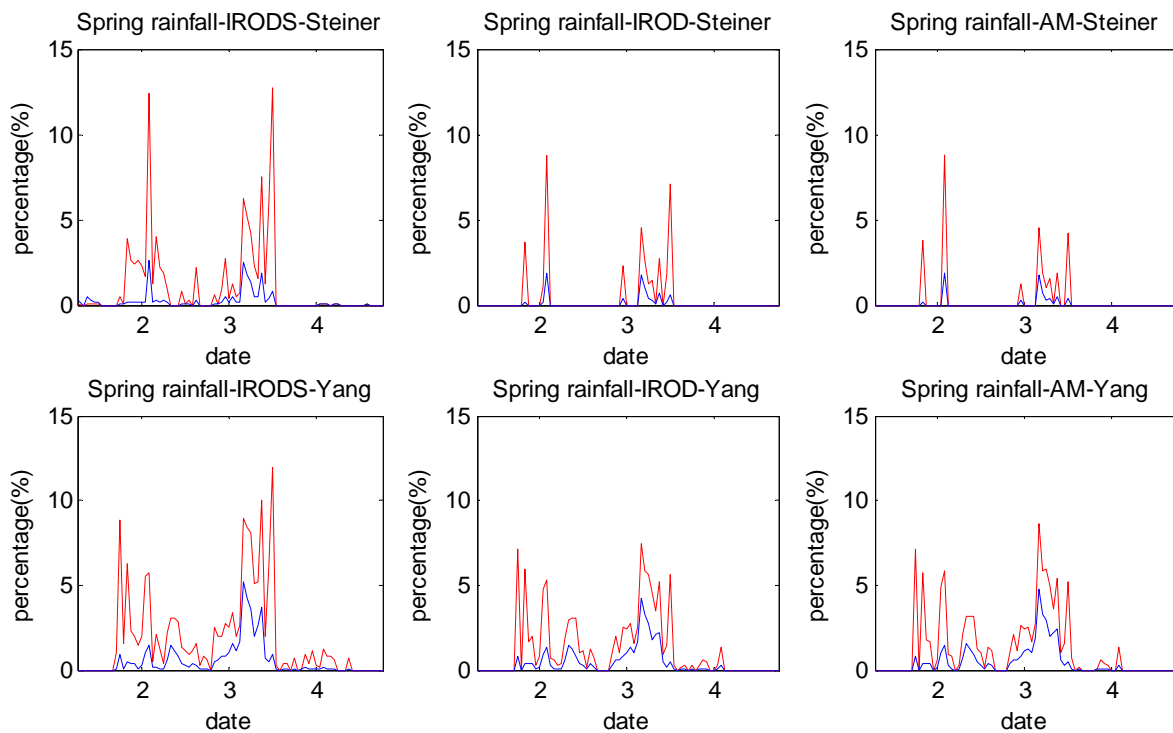


圖 3-9 春雨-對流降水比例時間序列分佈圖。本圖為空間敏感度測試中以不同內插權重比例所得之對流降水時間序列分佈，上排由左而右依序為權重比例採距離平方反比(IRODS)、距離反比(IROD)及算數平均數(AM)之 Steiner 法分析結果；下排則為 Yang 法之分析結果，左右順序同上排。縱軸為對流降水在全部降水中所佔的比例，以百分比(%)表示；橫軸為時間。紅線代表對流降水的體積百分比，藍線則為對流降水的面積百分比。



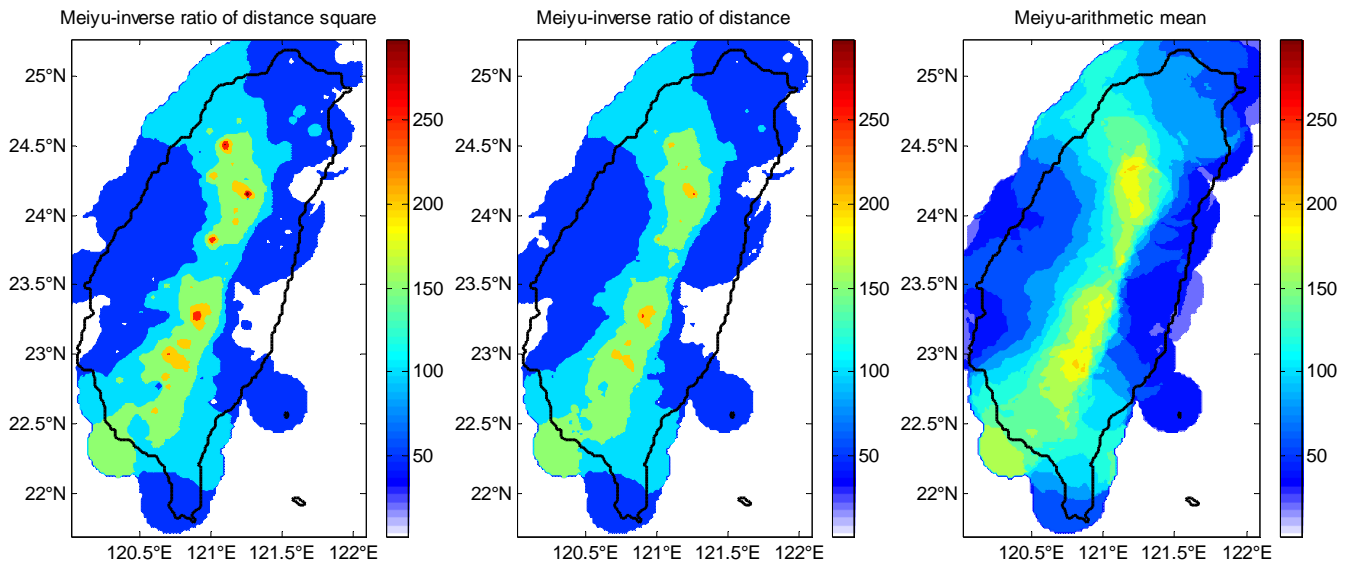


圖 3-10 如圖 3-8 但為梅雨-累積雨量分佈圖。

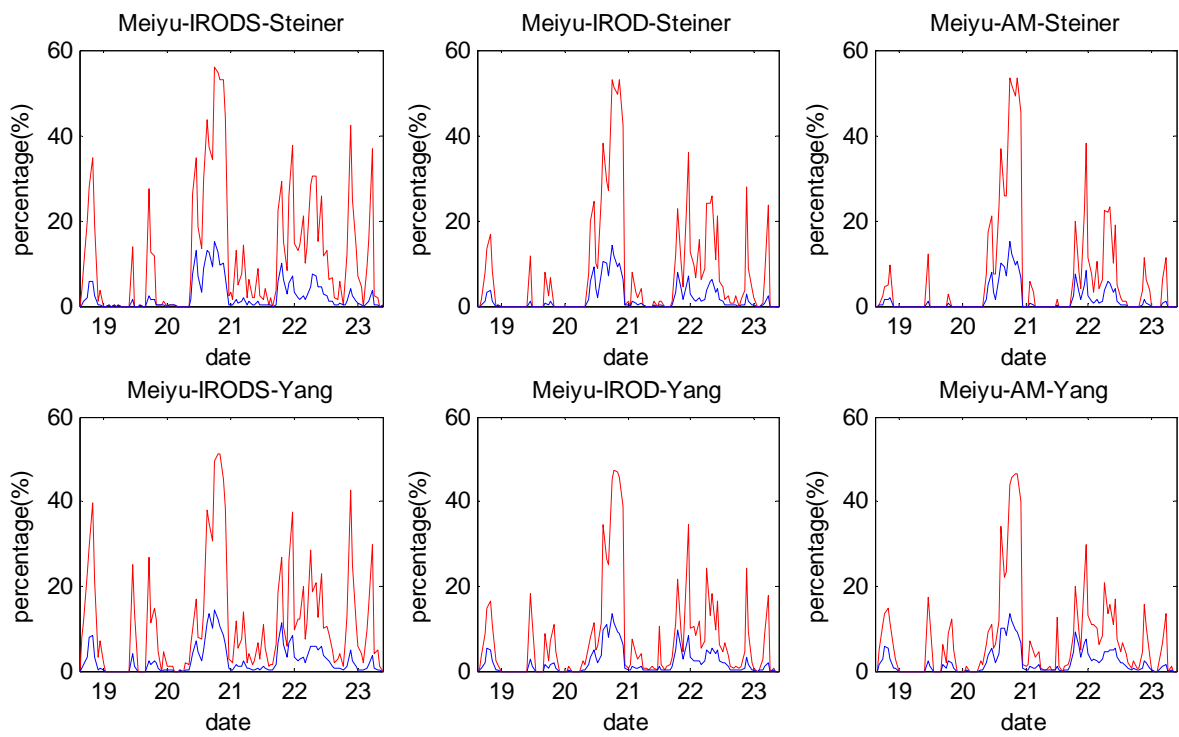


圖 3-11 如圖 3-9 但為梅雨-對流降水比例時間序列分佈圖。

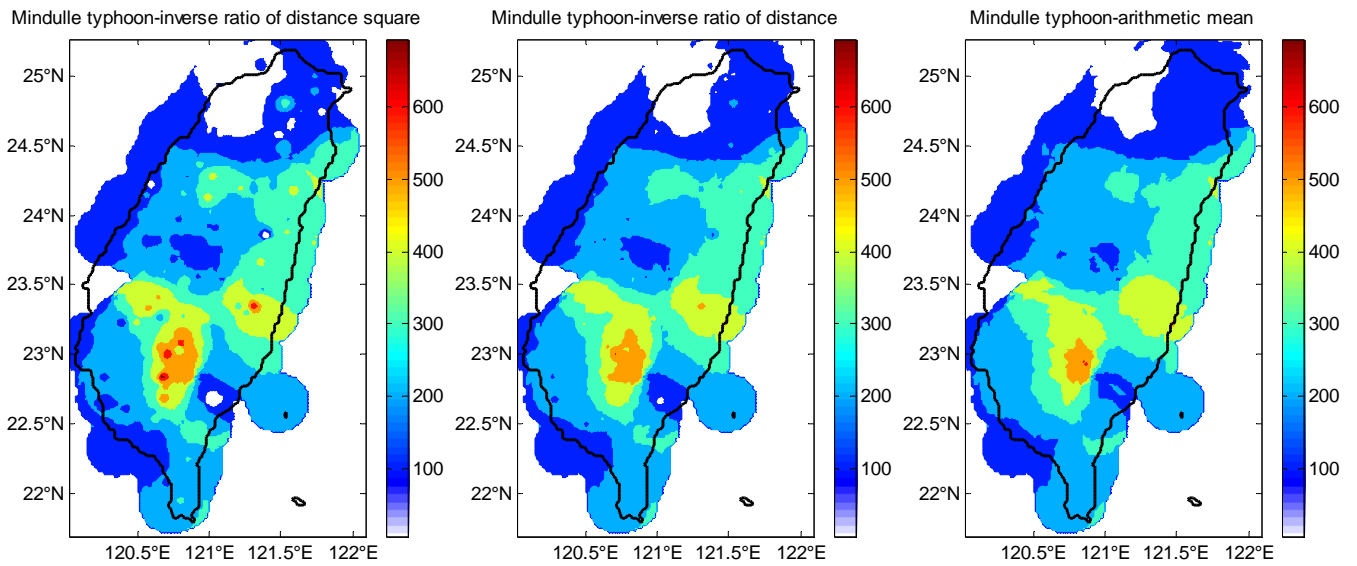


圖 3-12 如圖 3-8 但為颱風(敏督利)-累積雨量分佈圖。

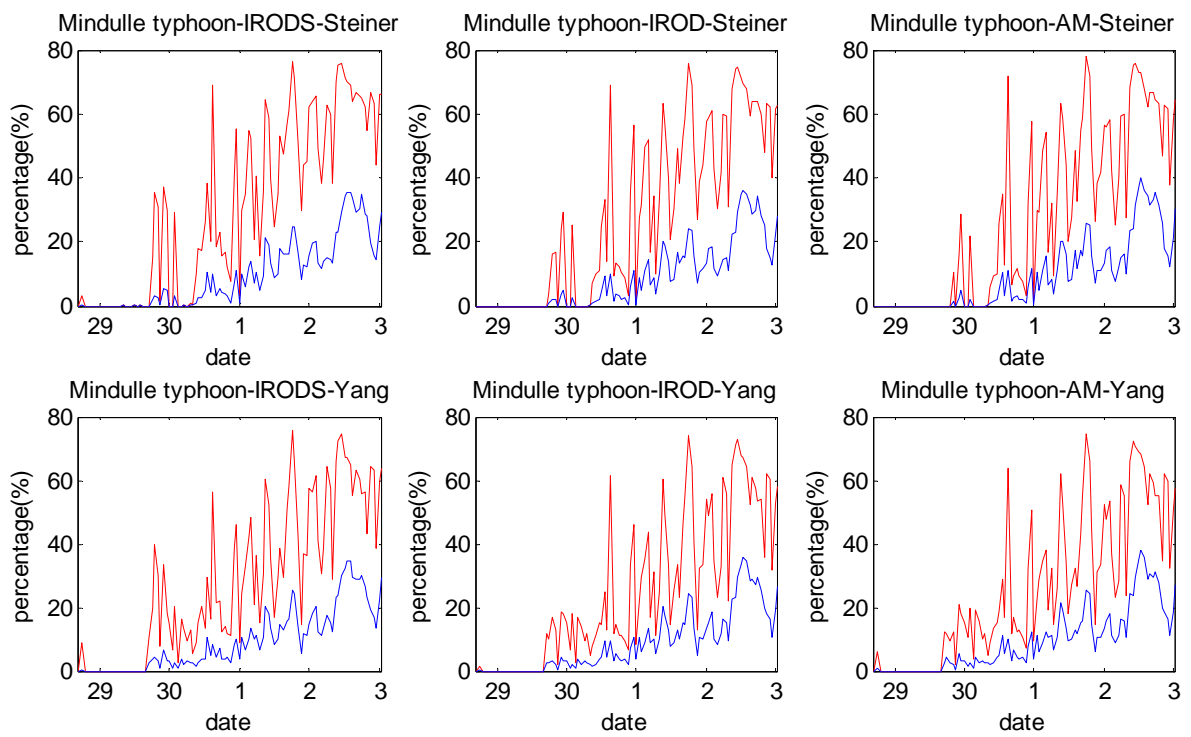


圖 3-13 如圖 3-9 但為颱風(敏督利)-對流降水比例時間序列分佈圖。

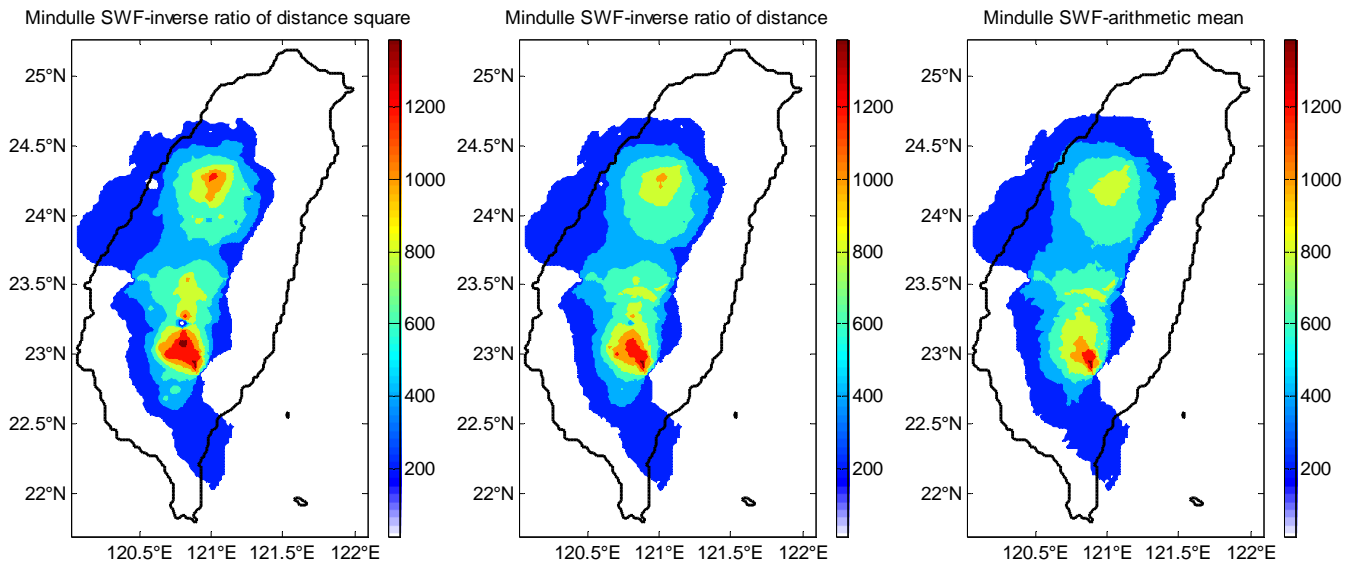


圖 3-14 如圖 3-8 但為西南氣流-累積雨量分佈圖。

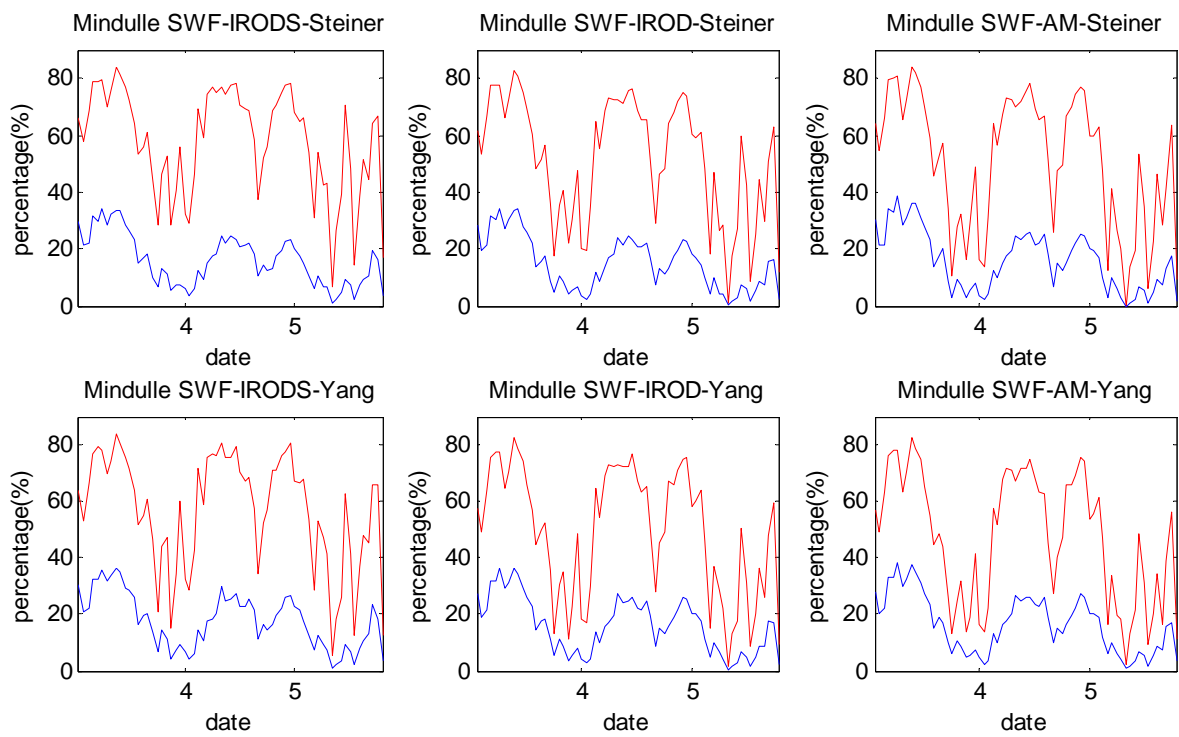


圖 3-15 如圖 3-9 但為西南氣流-對流降水比例時間序列分佈圖。

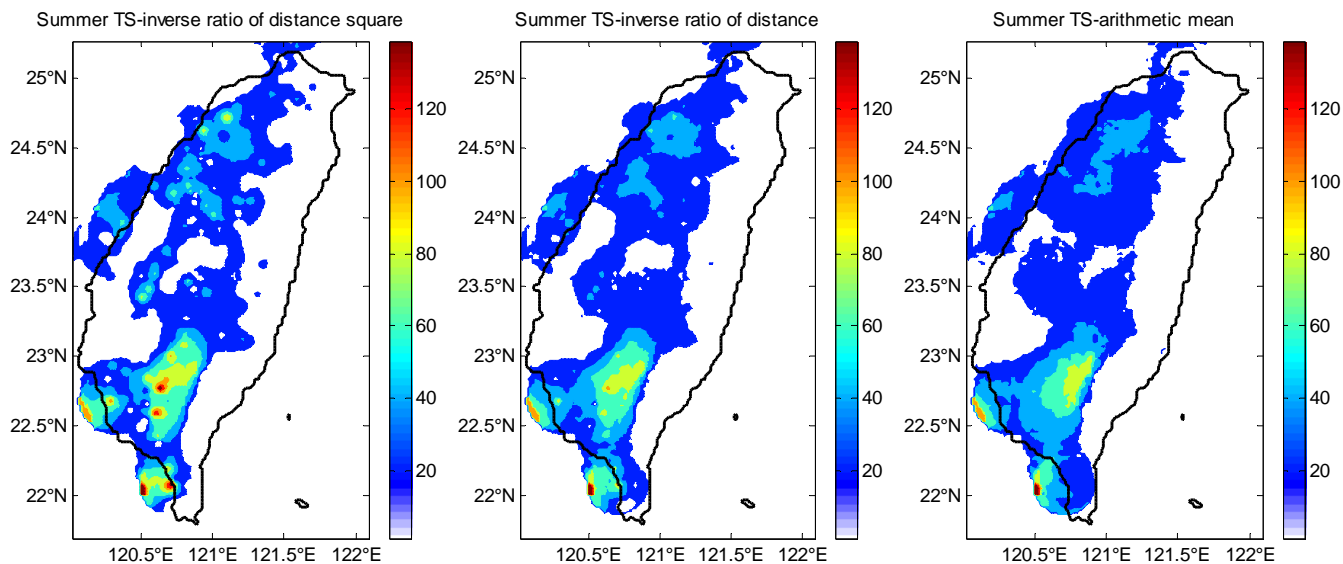


圖 3-16 如圖 3-8 但為夏季雷雨-累積雨量分佈圖。

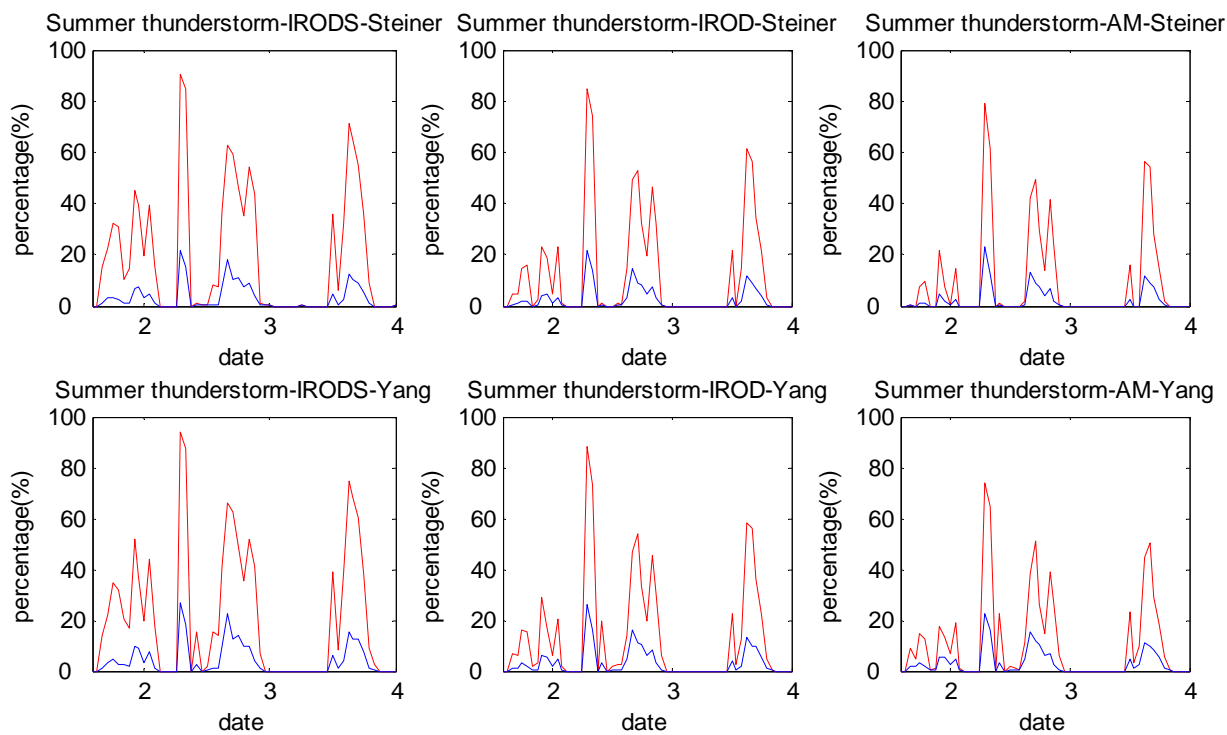


圖 3-17 如圖 3-9 但為夏季雷雨-對流降水比例時間序列分佈圖。

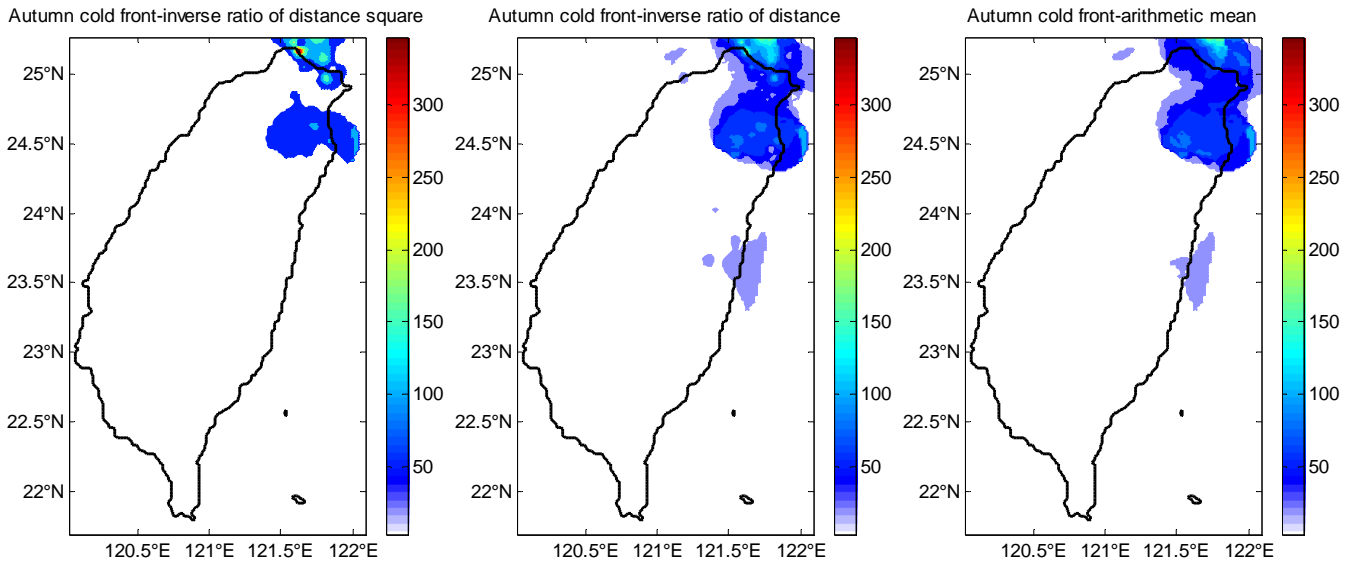


圖 3-18 如圖 3-8 但為東北季風降雨-累積雨量分佈圖。

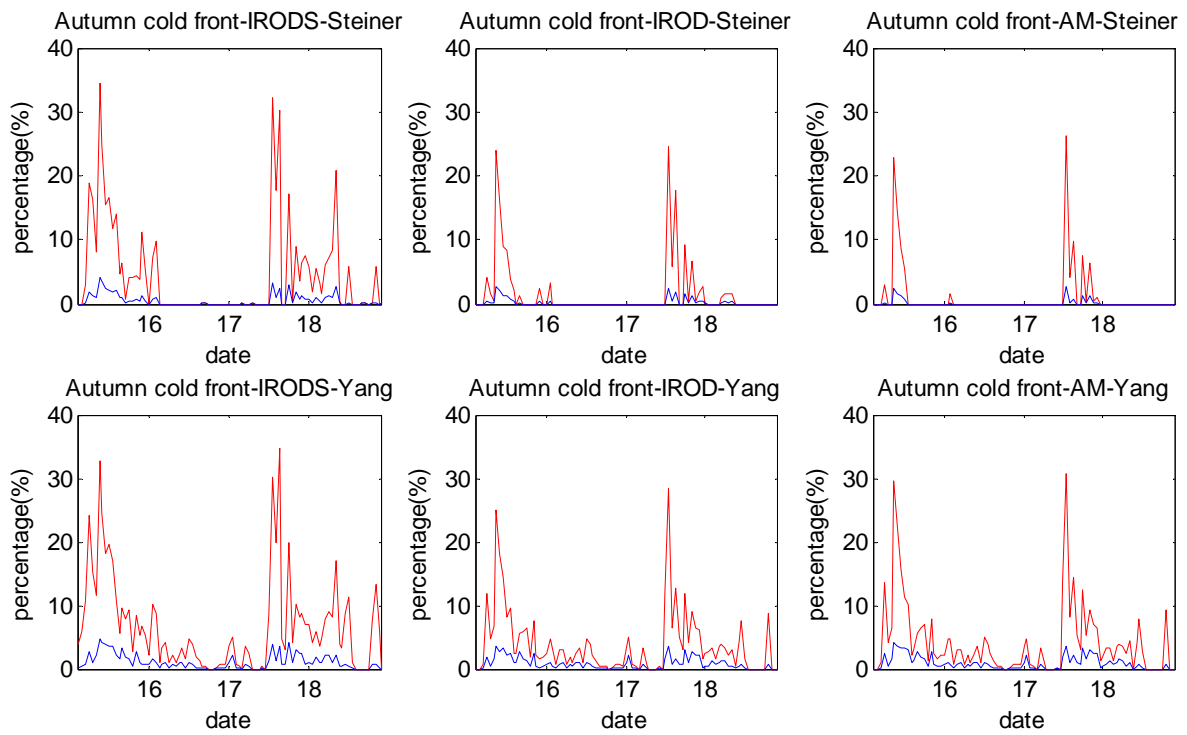


圖 3-19 如圖 3-9 但為東北季風降雨-對流降水比例時間序列分佈圖。

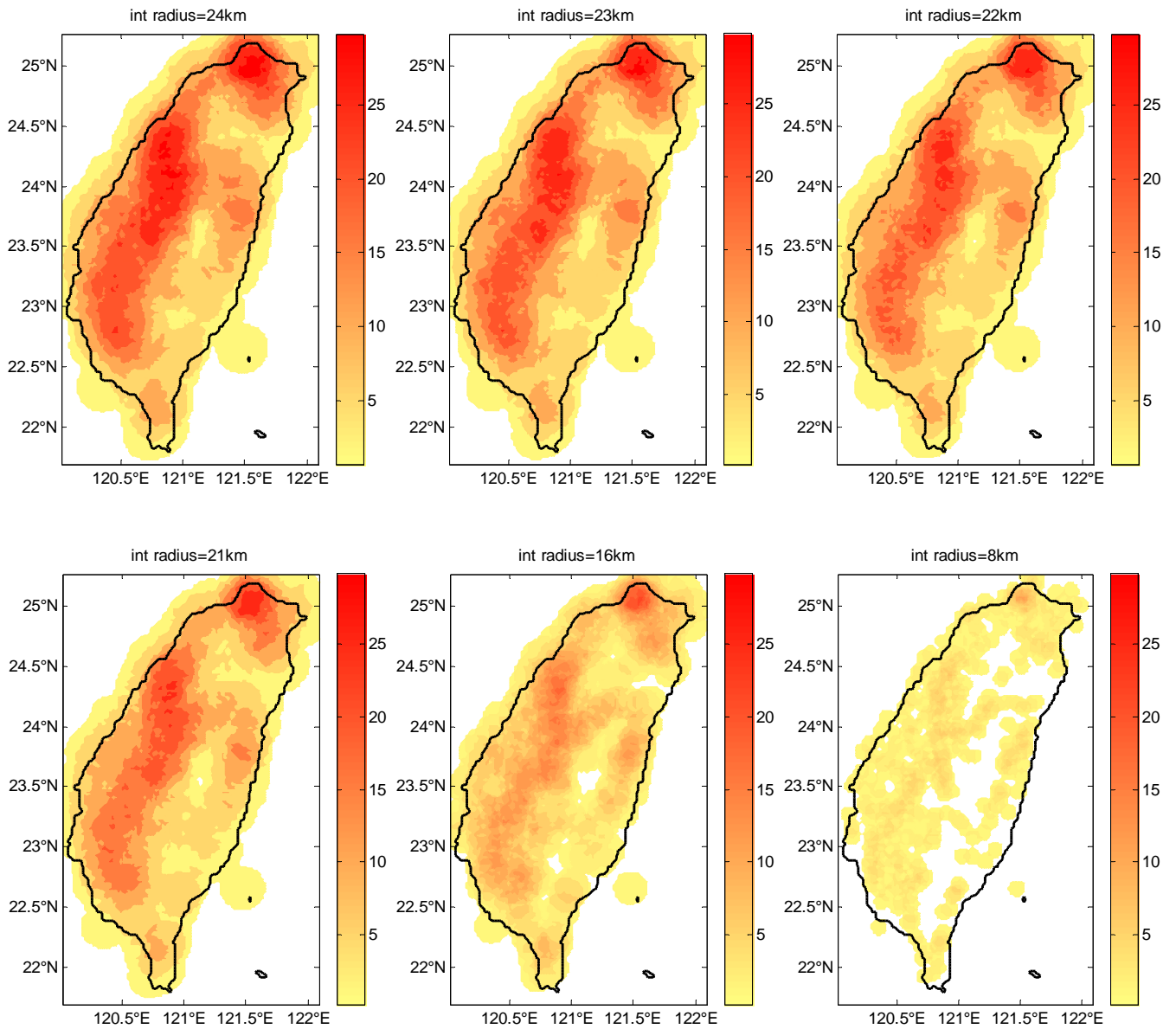


圖 3-20 台灣地區測站密度分佈圖。紅色色階代表距網格點內插半徑範圍內之雨量站個數。上排由左至右依序為內插半徑 24 公里、23 公里及 22 公里；下排由左至右依序為內插半徑 21 公里、16 公里及 8 公里。

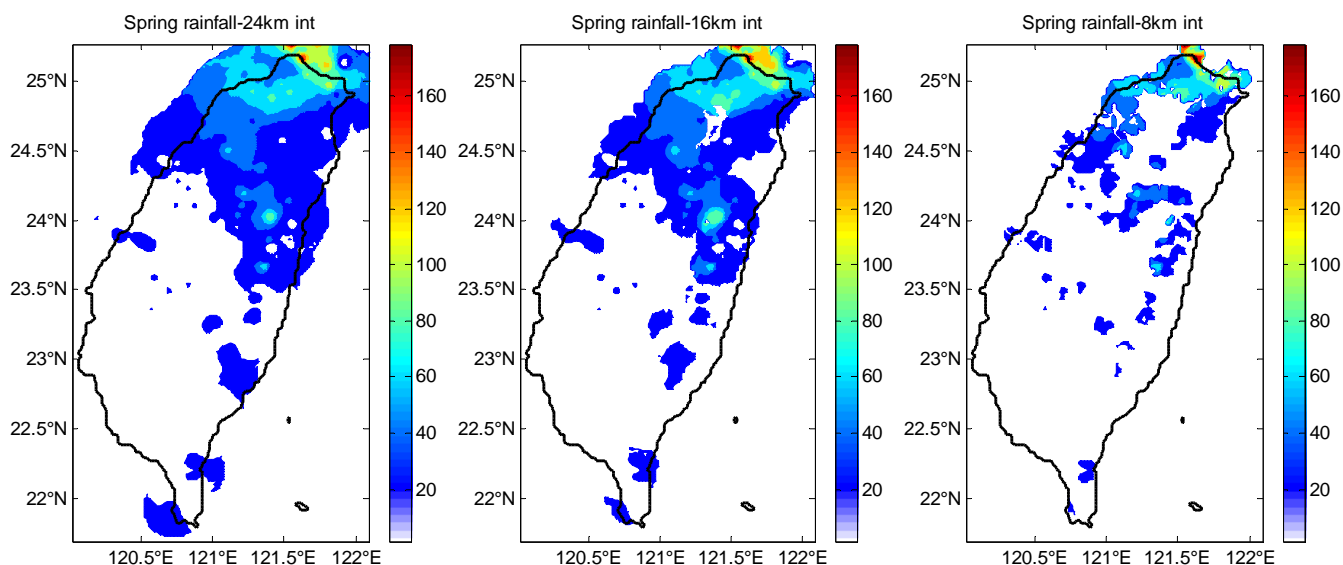


圖 3-21 春雨-累積雨量分佈圖。本圖為空間敏感度測試中以不同內插影響半徑所得之降水分佈，由左而右依序是影響半徑 24 公里、16 公里及 8 公里。色階代表累積雨量，單位為公釐(mm)。

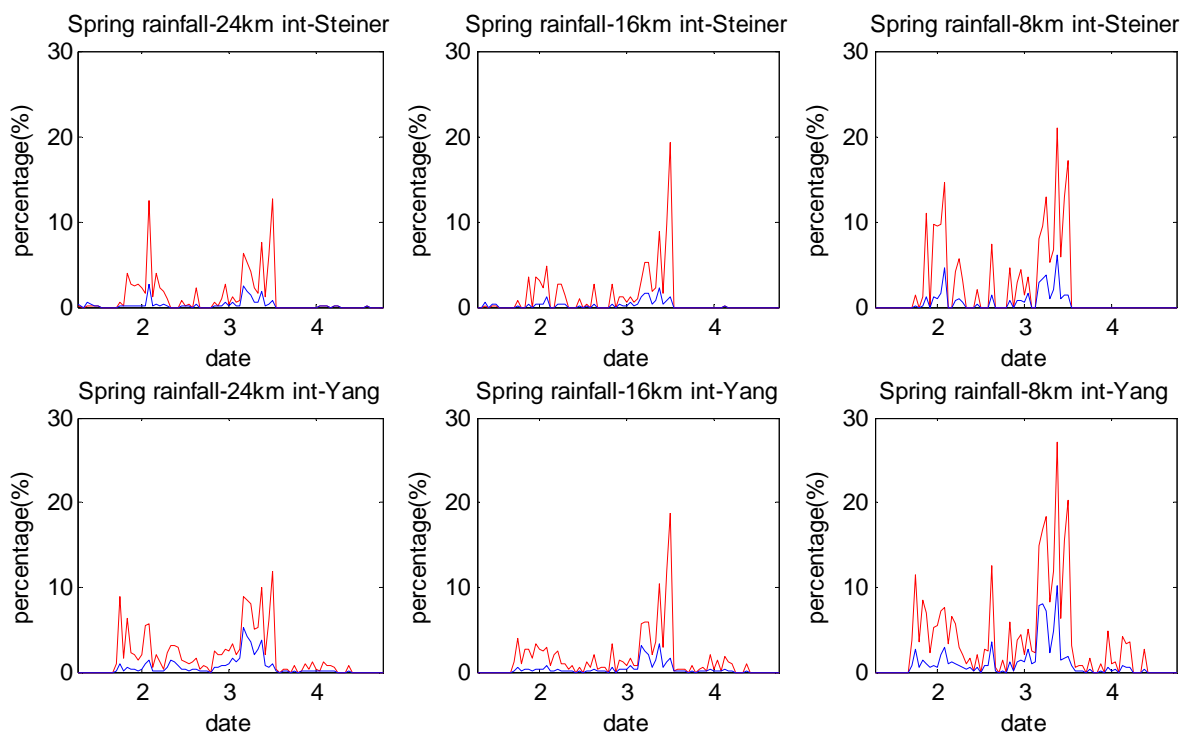


圖 3-22 春雨-對流降水比例時間序列分佈圖。本圖為空間敏感度測試中以不同內插影響半徑所得之對流降水時間序列分佈，上排由左而右依序是影響半徑 24 公里、16 公里及 8 公里之 Steiner 法分析結果；下排則為 Yang 法之分析結果，左右順序同上排。縱軸為對流降水在全部降水中所佔的比例，以百分比(%)表示；橫軸為時間。紅線代表對流降水的體積百分比，藍線則為對流降水的面積百分比。

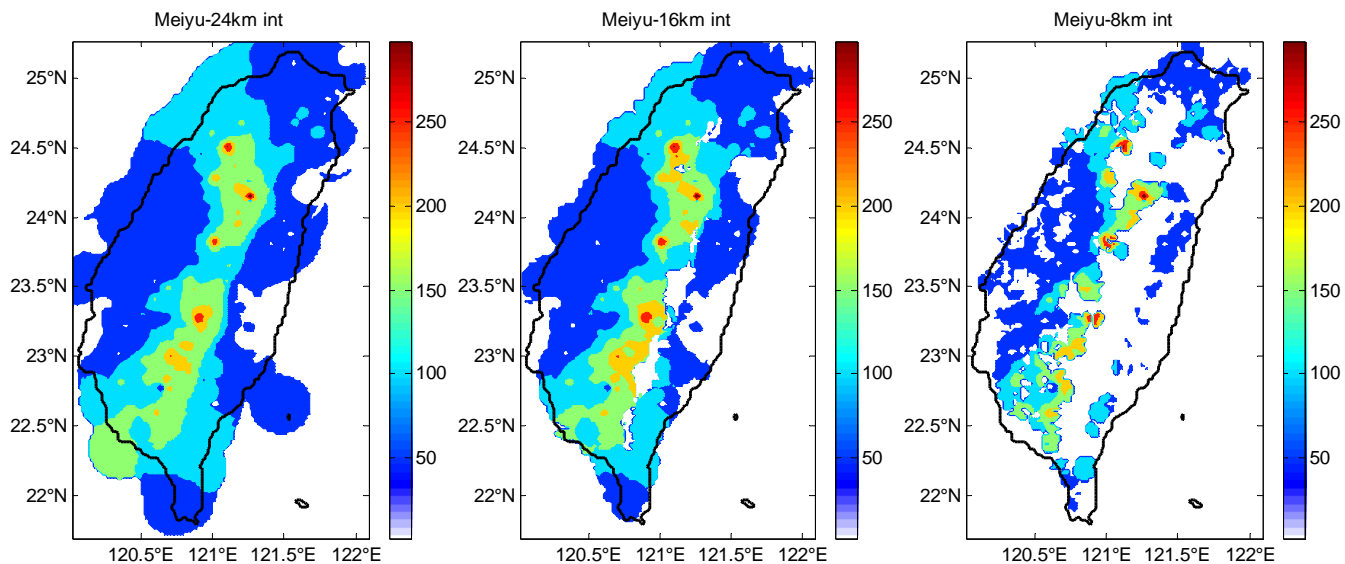


圖 3-23 如圖 3-21 但為梅雨-累積雨量分佈圖。

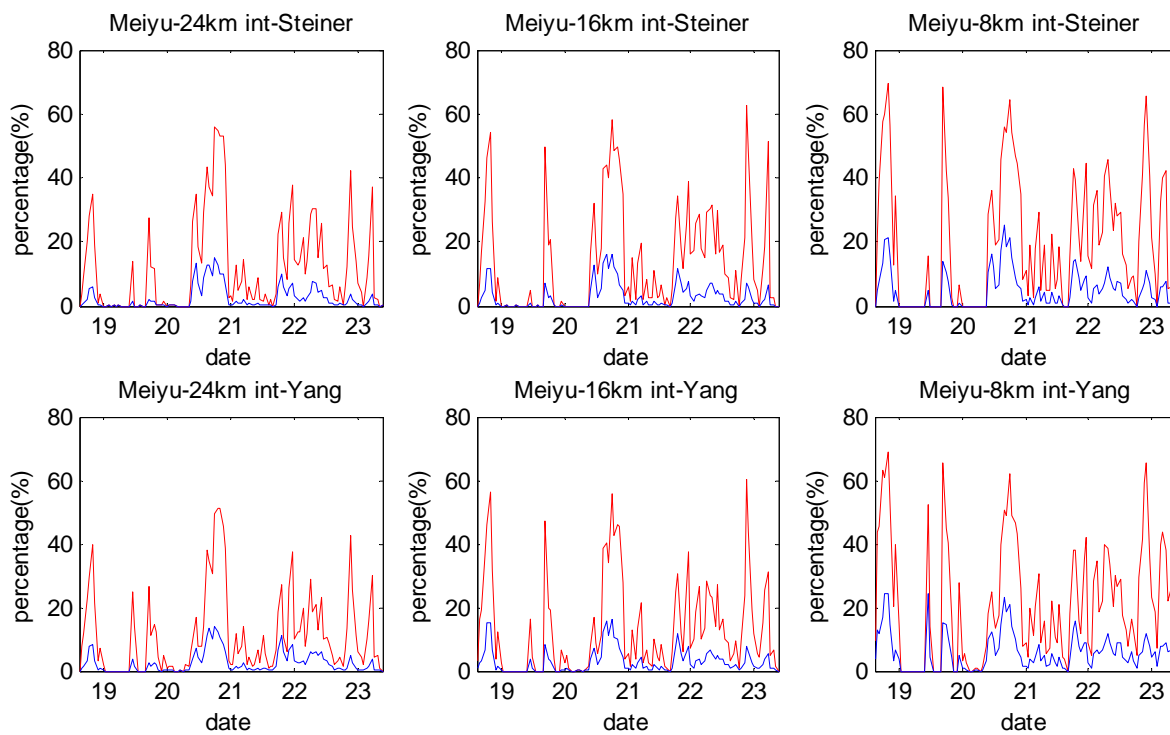


圖 3-24 如圖 3-22 但為梅雨-對流降水比例時間序列分佈圖。



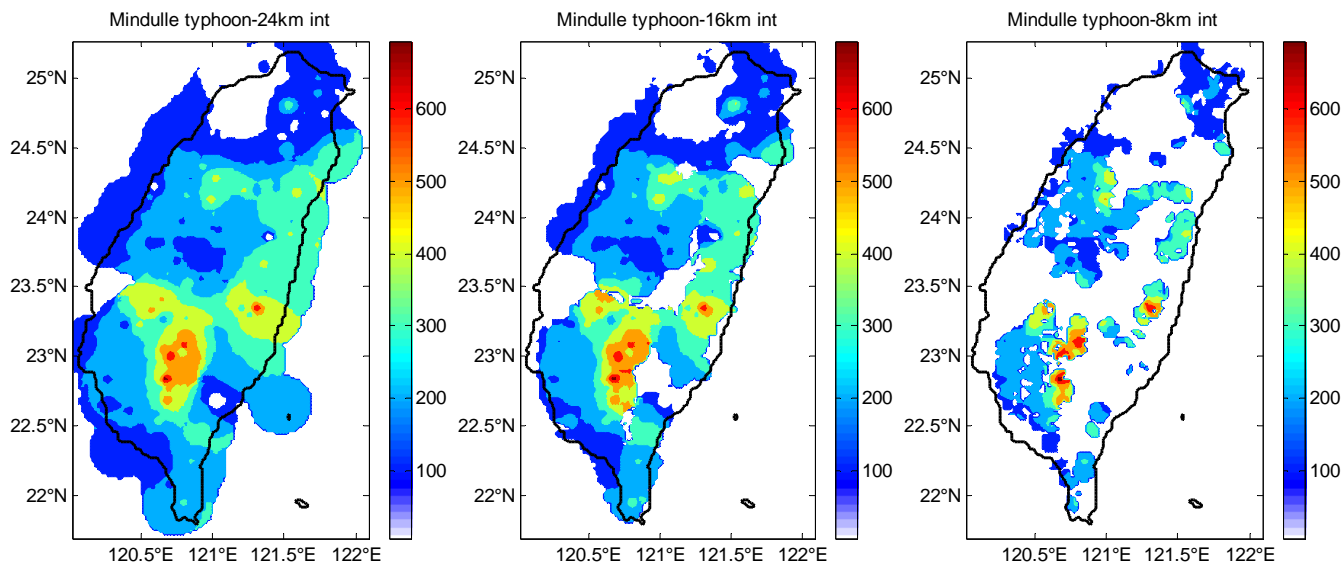


圖 3-25 如圖 3-21 但為颱風(敏督利)-累積雨量分佈圖。

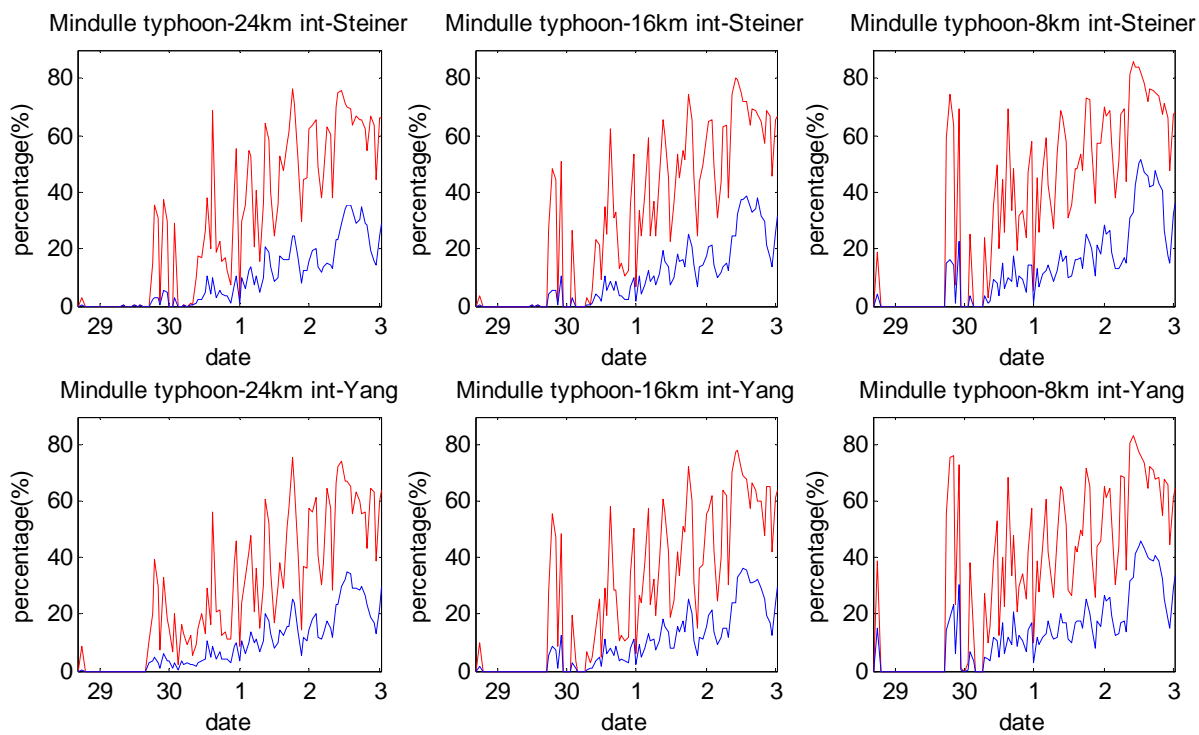


圖 3-26 如圖 3-22 但為颱風(敏督利)-對流降水比例時間序列分佈圖。

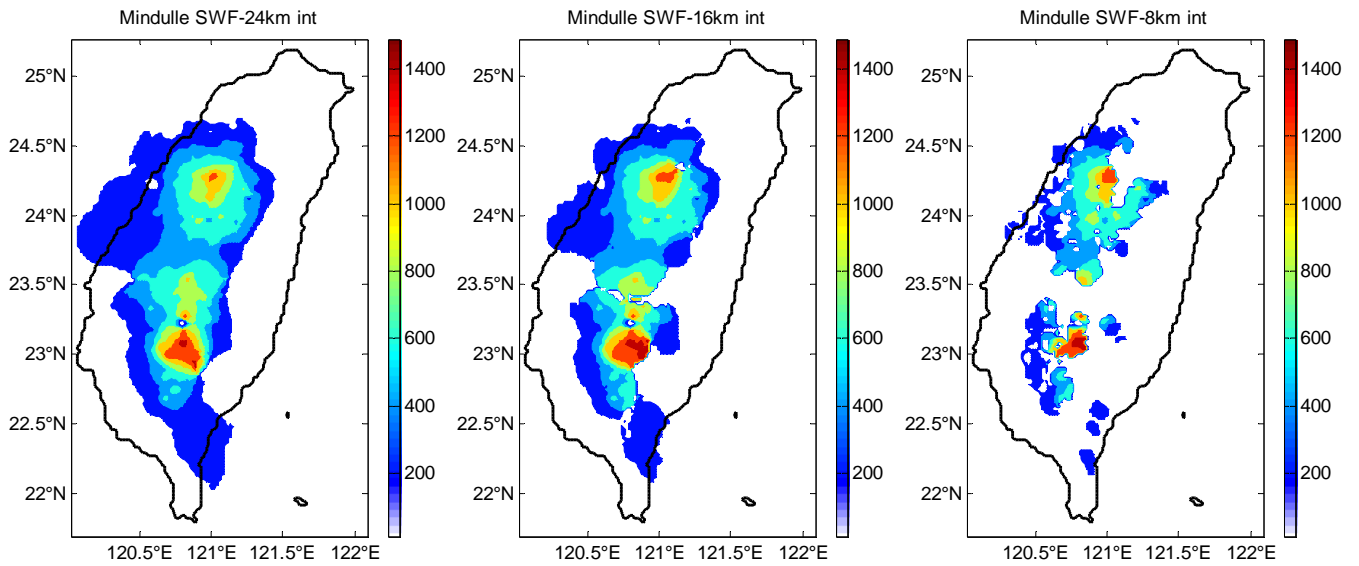


圖 3-27 如圖 3-21 但為西南氣流-累積雨量分佈圖。

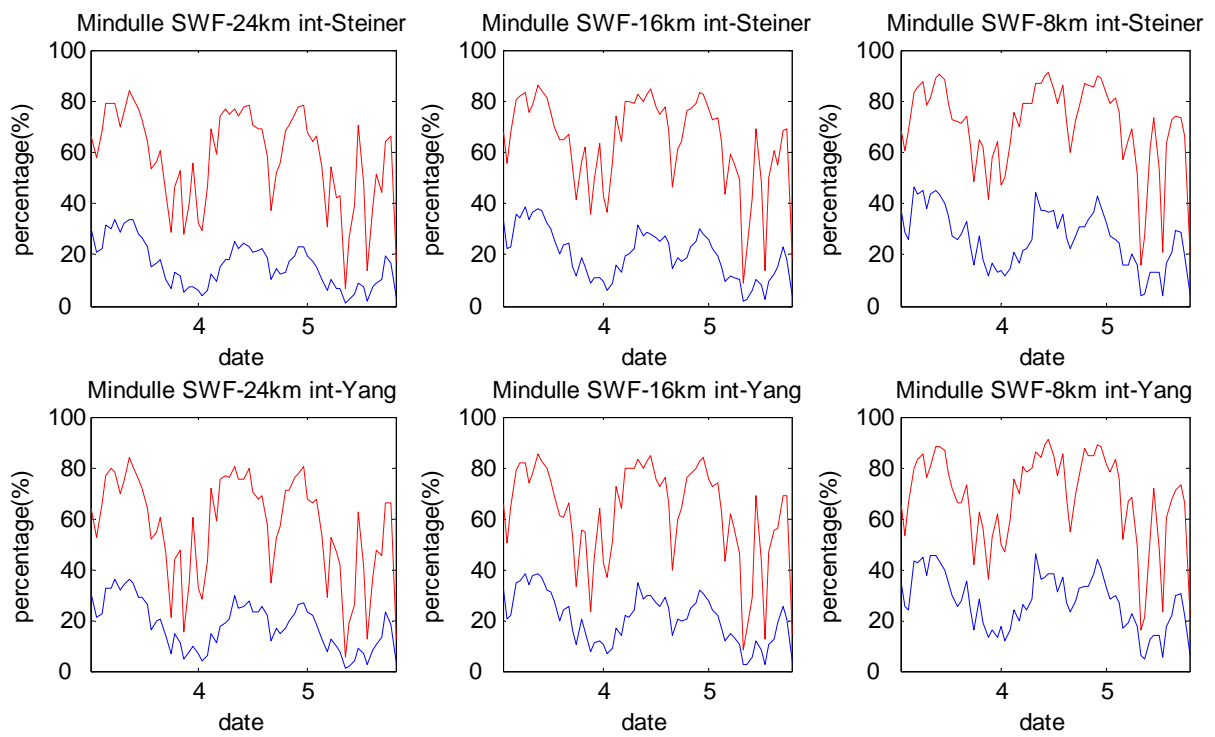


圖 3-28 如圖 3-22 但為西南氣流-對流降水比例時間序列分佈圖。

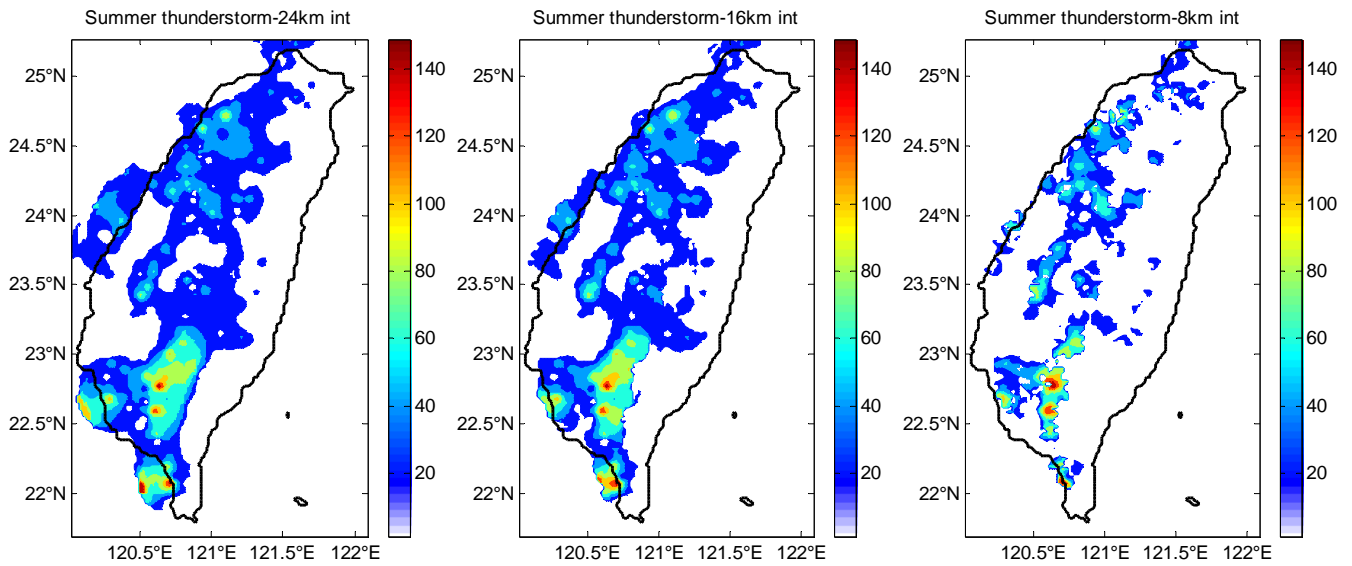


圖 3-29 如圖 3-21 但為夏季雷雨-累積雨量分佈圖。

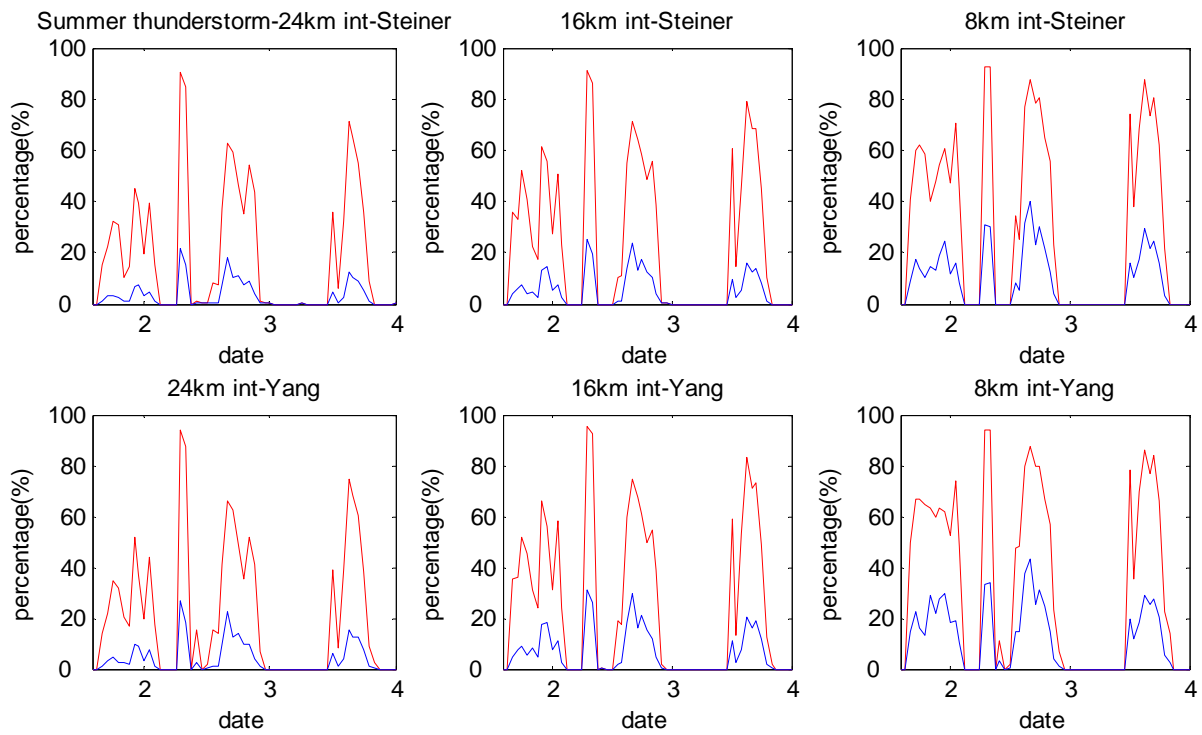


圖 3-30 如圖 3-22 但為夏季雷雨-對流降水比例時間序列分佈圖。

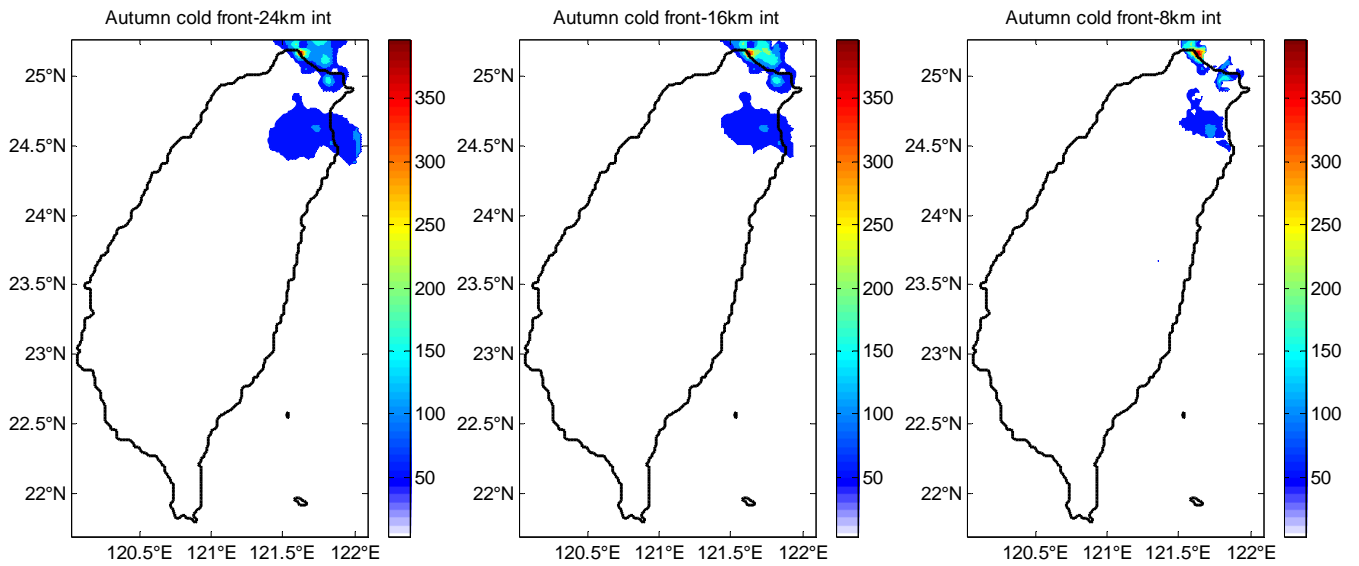


圖 3-31 如圖 3-21 但為東北季風降雨-累積雨量分佈圖。

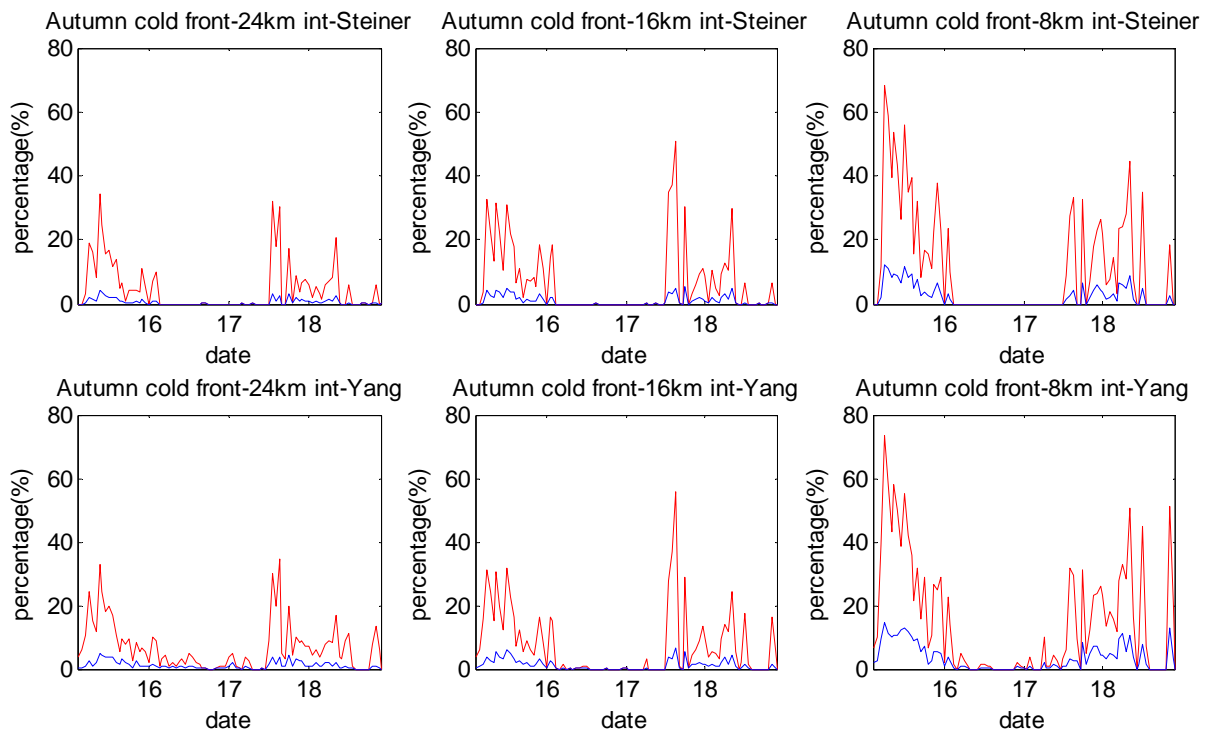


圖 3-32 如圖 3-22 但為東北季風降雨-對流降水比例時間序列分佈圖。

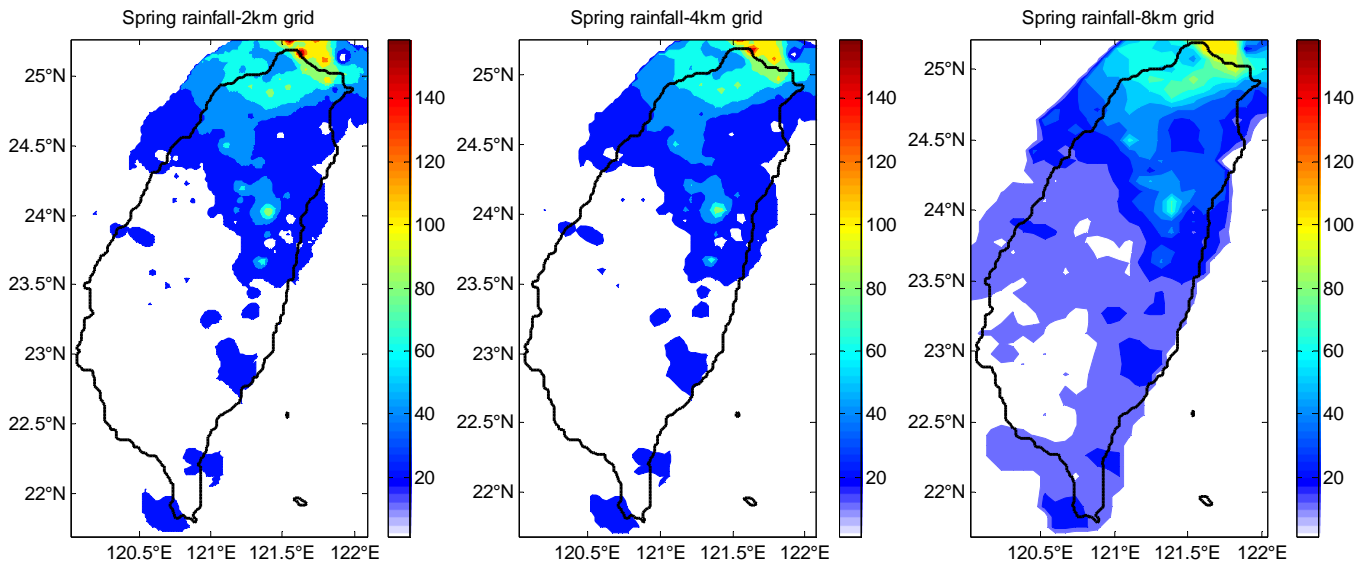


圖 3-33 春雨-累積雨量分佈圖。本圖為空間敏感度測試中以不同網格尺寸所得之降水分佈，由左而右依序是網格尺寸 2x2 公里、4x4 公里及 8x8 公里。色階代表累積雨量，單位為公釐(mm)。

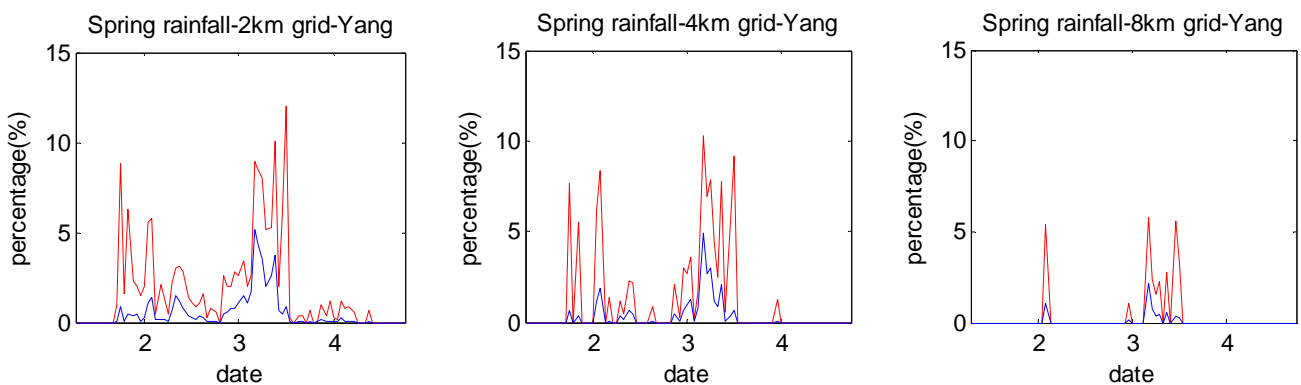


圖 3-34 春雨-對流降水比例時間序列分佈圖。本圖為空間敏感度測試中以不同網格尺寸所得之對流降水時間序列分佈，由左而右依序是網格尺寸 2x2 公里、4x4 公里及 8x8 公里之 Yang 法分析結果。縱軸為對流降水在全部降水中所佔的比例，以百分比(%)表示；橫軸為時間。紅線代表對流降水的體積百分比，藍線則為對流降水的面積百分比。

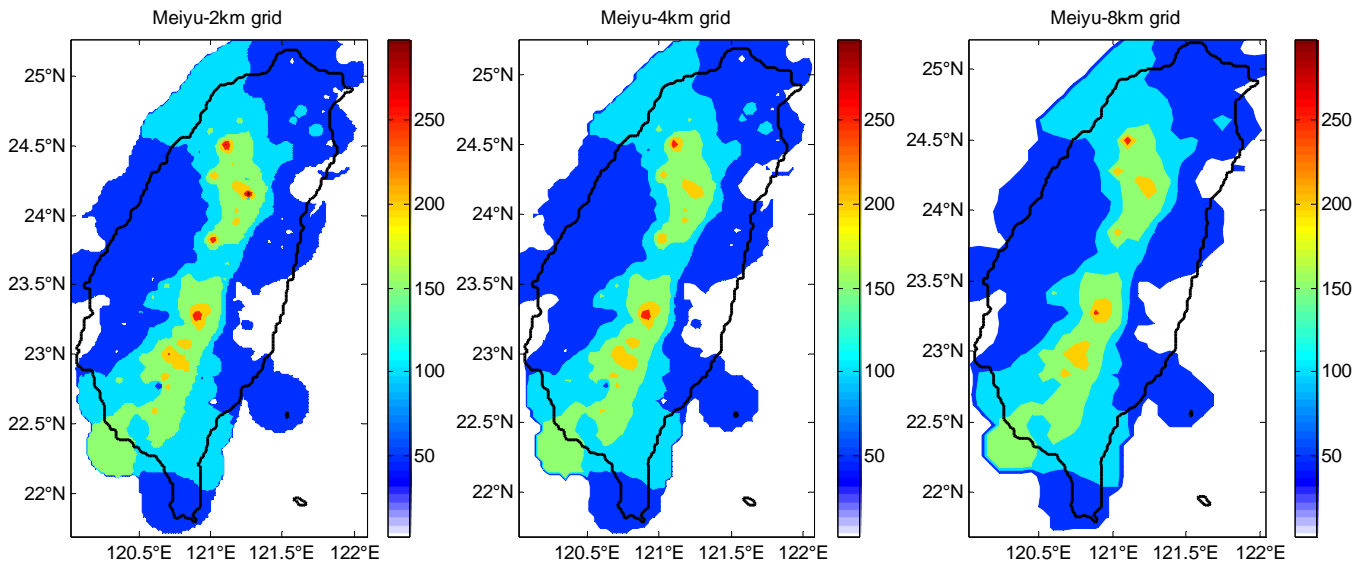


圖 3-35 如圖 3-33 但為梅雨-累積雨量分佈圖。

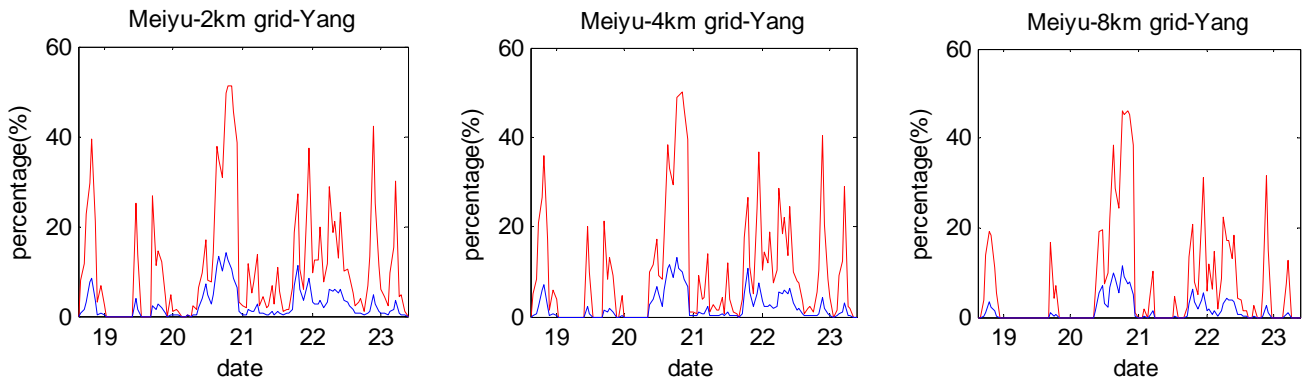


圖 3-36 如圖 3-34 但為梅雨-對流降水比例時間序列分佈圖。

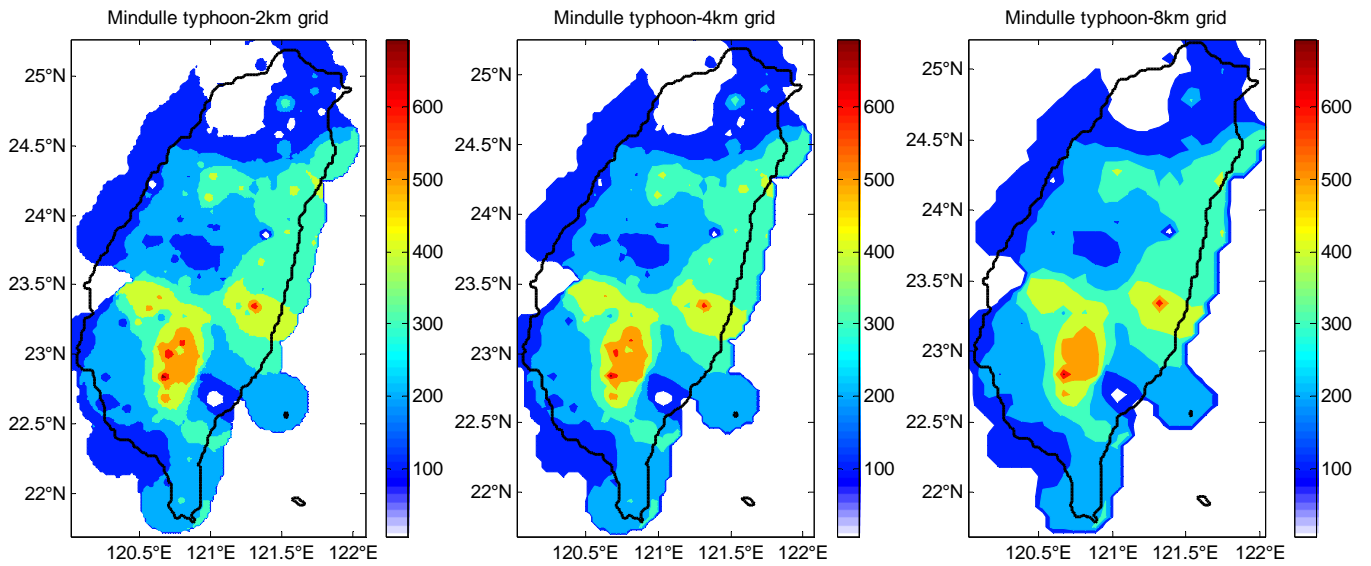


圖 3-37 如圖 3-33 但為颱風(敏督利)-累積雨量分佈圖。

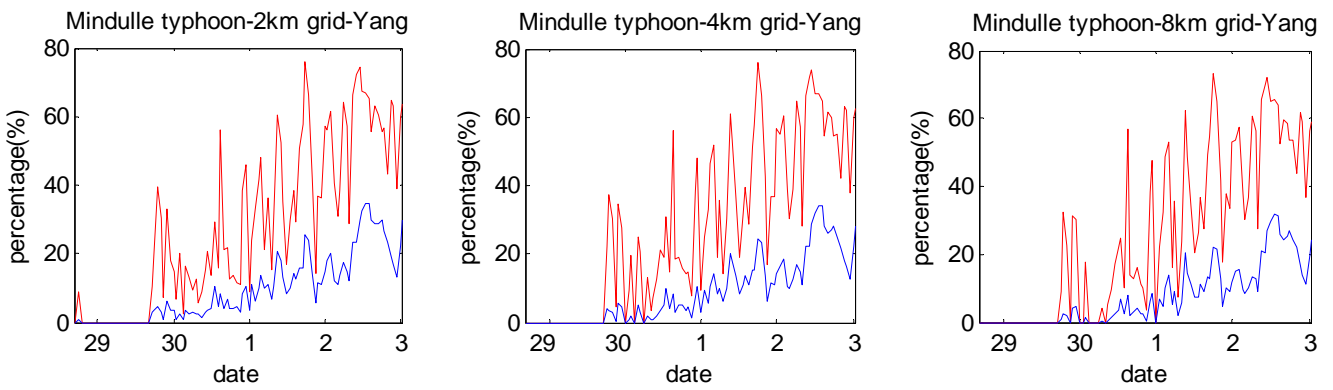


圖 3-38 如圖 3-34 但為颱風(敏督利)-對流降水比例時間序列分佈圖。

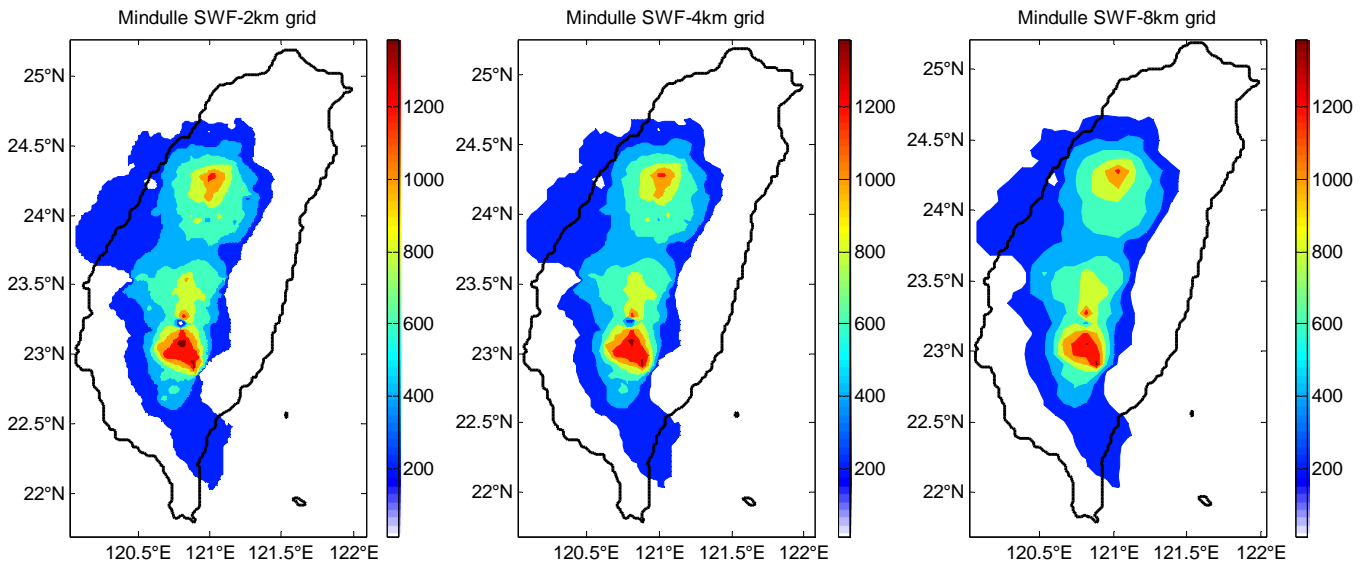


圖 3-39 如圖 3-33 但為西南氣流-累積雨量分佈圖。

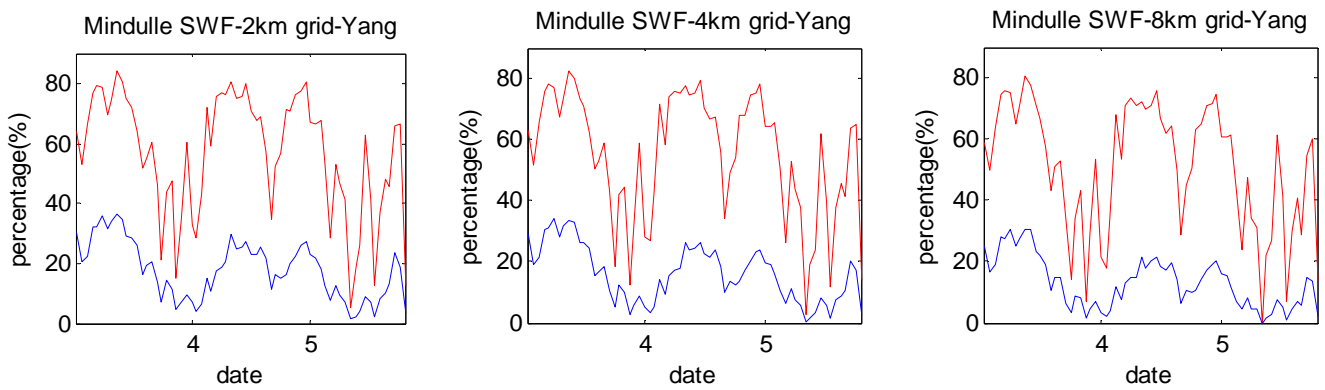


圖 3-40 如圖 3-34 但為西南氣流-對流降水比例時間序列分佈圖。



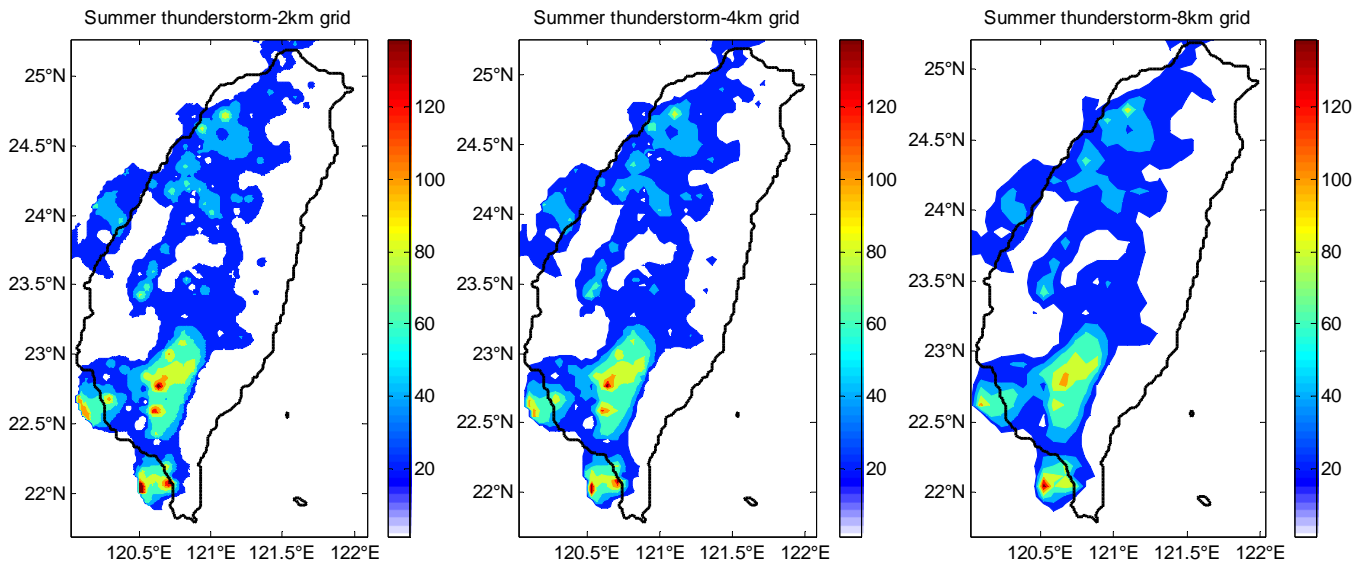


圖 3-41 如圖 3-33 但為夏季雷雨-累積雨量分佈圖。

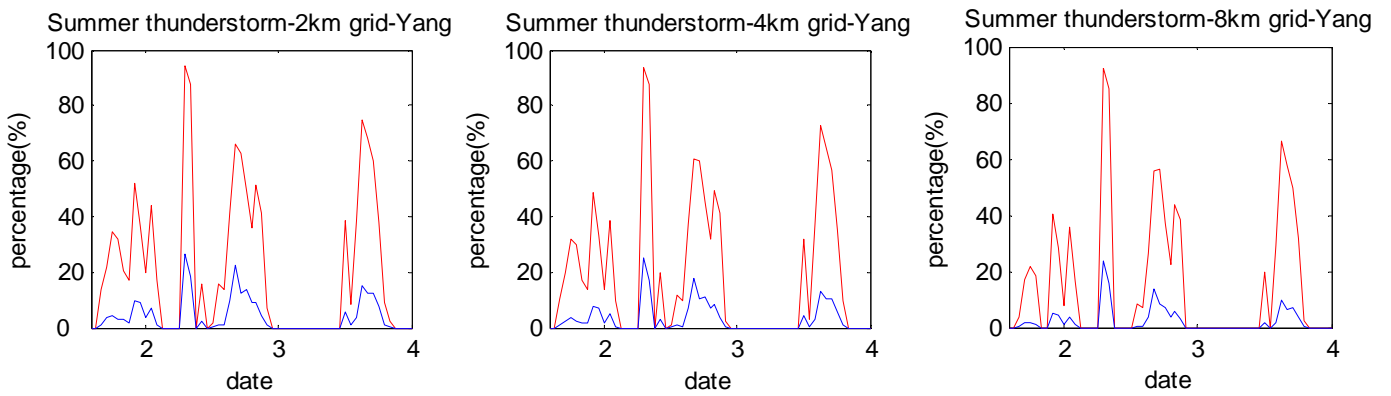


圖 3-42 如圖 3-34 但為夏季雷雨-對流降水比例時間序列分佈圖。

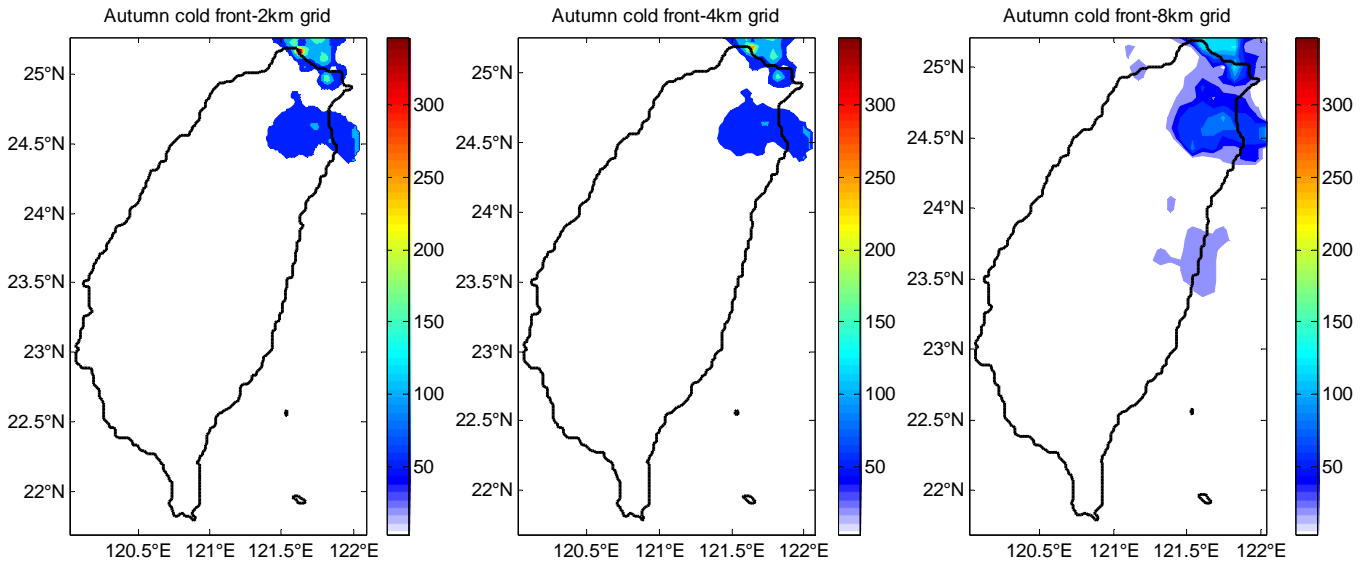


圖 3-43 如圖 3-33 但為東北季風降雨-累積雨量分佈圖。

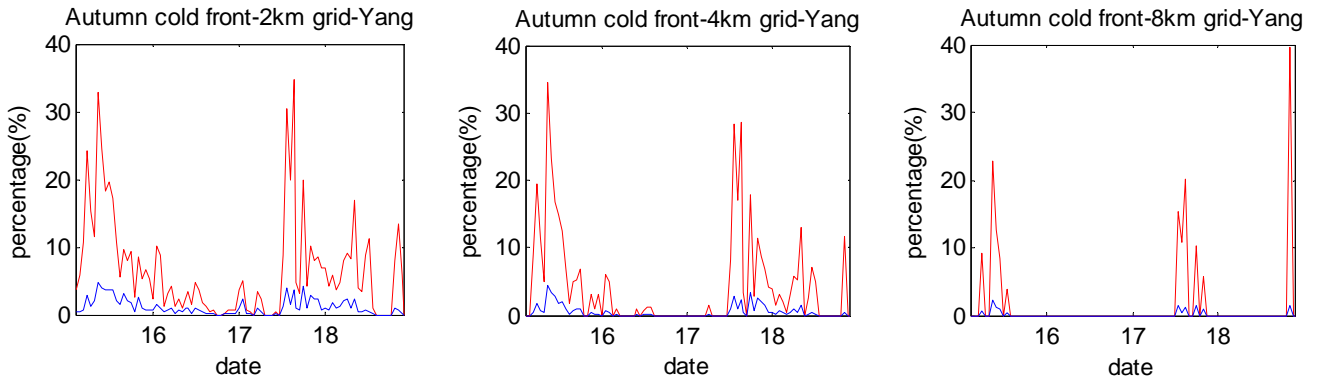


圖 3-44 如圖 3-34 但為東北季風降雨-對流降水比例時間序列分佈圖。

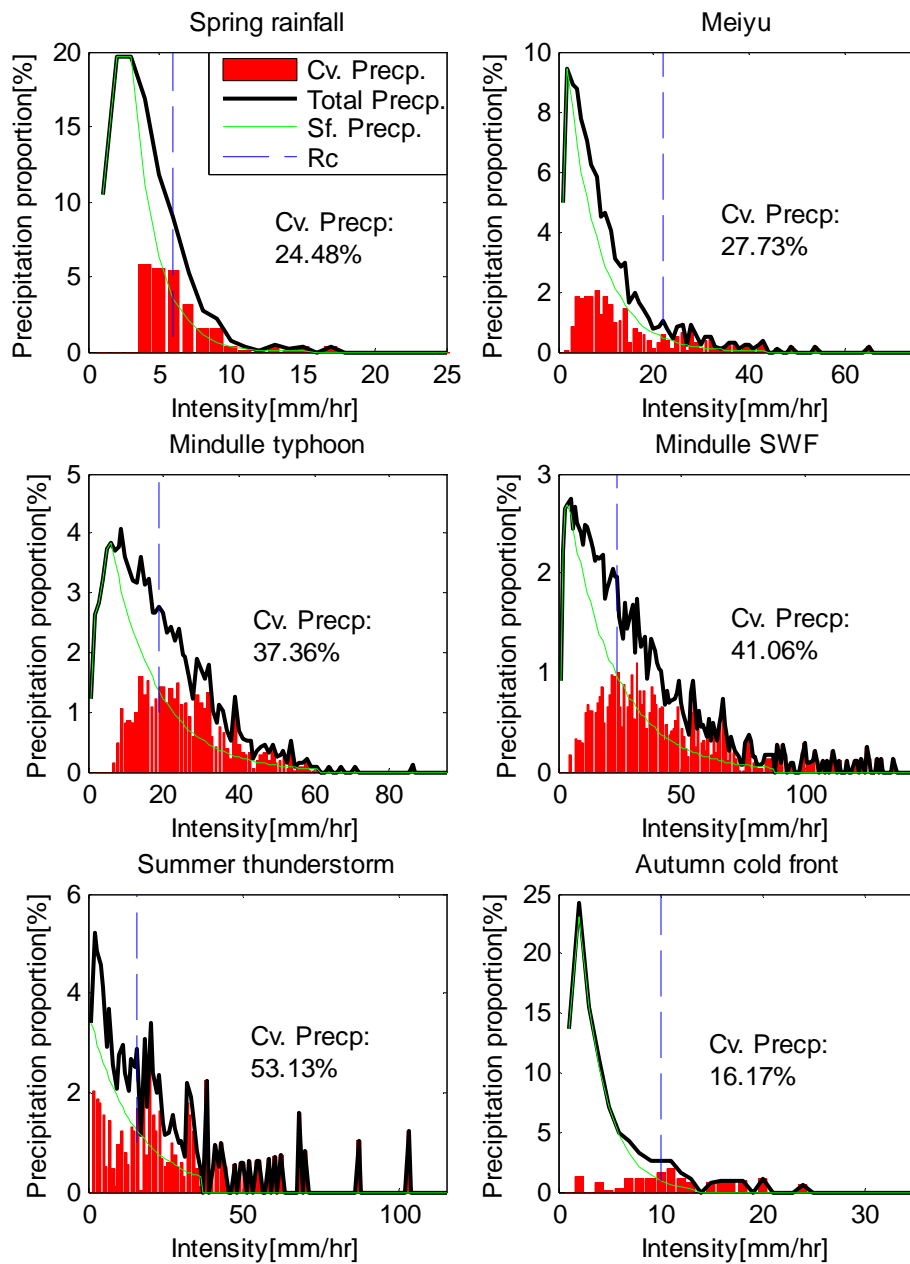


圖 3-45 Tremblay 法對於各降水個案之分析結果。縱軸代表降水的體積百分比，橫軸為降水強度，單位為  $\text{mmh}^{-1}$ 。粗黑線為全部的降水，綠線為層狀降水的部份，紅色長條圖為對流降水的部份。藍色虛線為對流降水體積百分比大於層狀降水時之最小降水強度  $R_c$ 。圖中所表示之對流降水比例(Cv. Precp)為對流降水(紅色長條圖)的總和值。

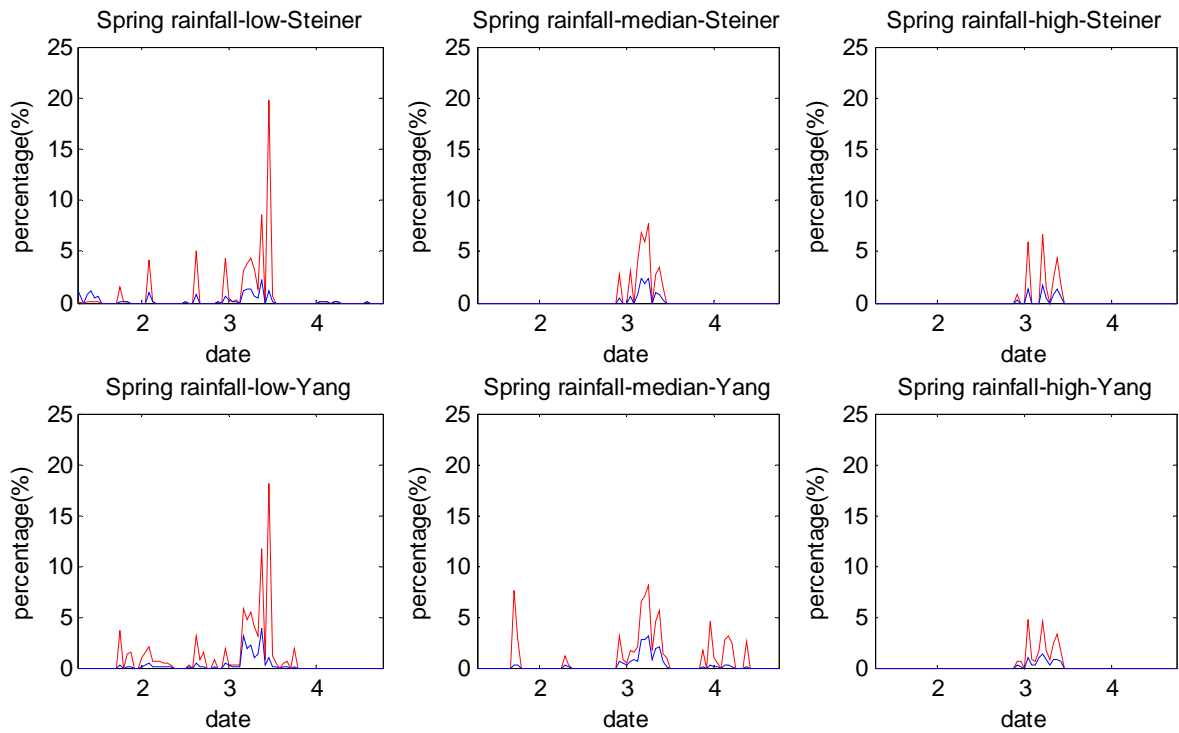


圖 4-1 春雨-對流降水比例時間序列分佈圖。本圖為位於不同海拔高度區域之對流降水時間序列分佈，上排由左而右依序是低海拔(low-0~500 公尺)、中海拔(median-500~1500 公尺)及高海拔(high-1500 公尺以上)Steiner 法之分析結果，下排為 Yang 法之分析結果，左右順序同上排。縱軸為對流降水在全部降水中所佔的比例，以百分比(%)表示；橫軸為時間。紅線代表對流降水的體積百分比，藍線則為對流降水的面積百分比。

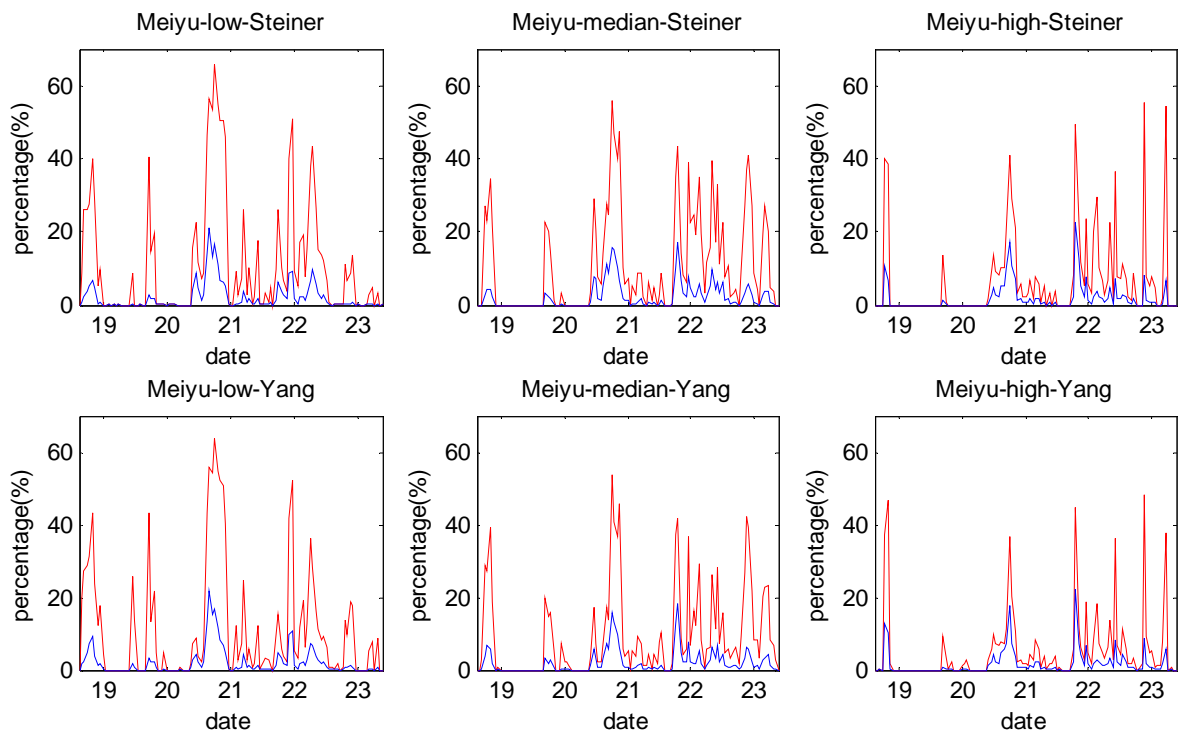


圖 4-2 如圖 4-1 但為梅雨-對流降水比例時間序列分佈圖。

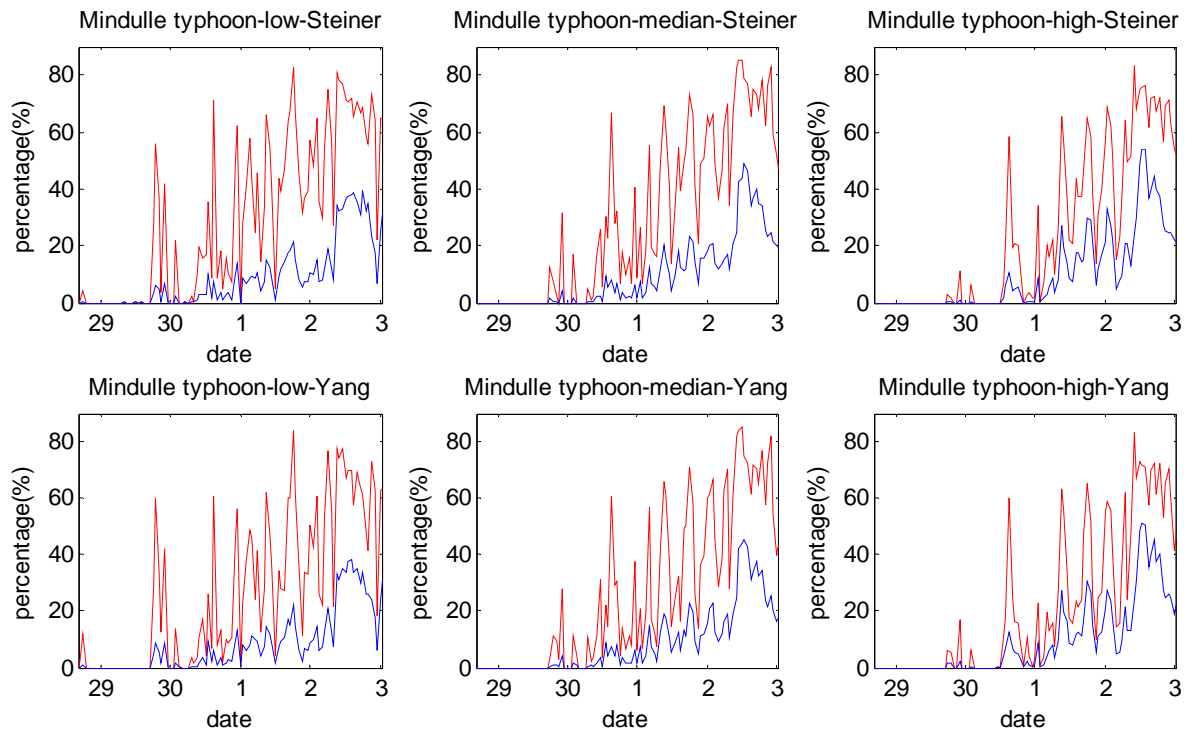


圖 4-3 如圖 4-1 但為颱風(敏督利)-對流降水比例時間序列分佈圖。

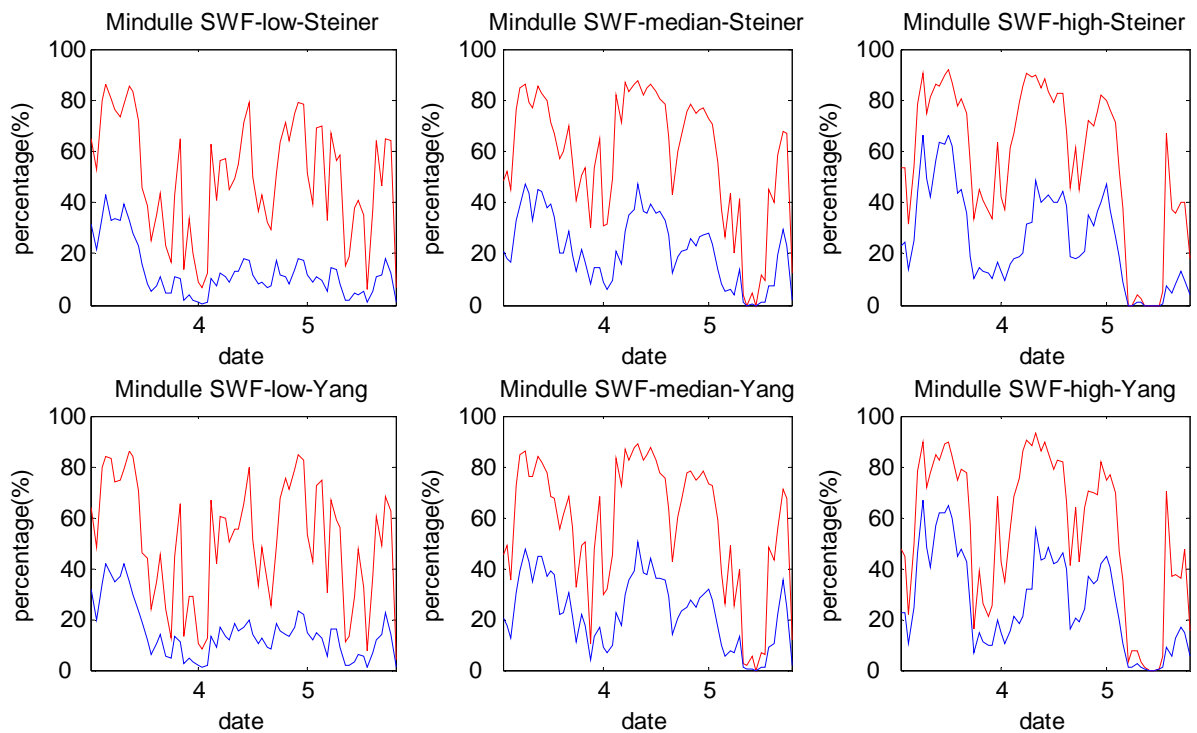


圖 4-4 如圖 4-1 但為西南氣流-對流降水比例時間序列分佈圖。

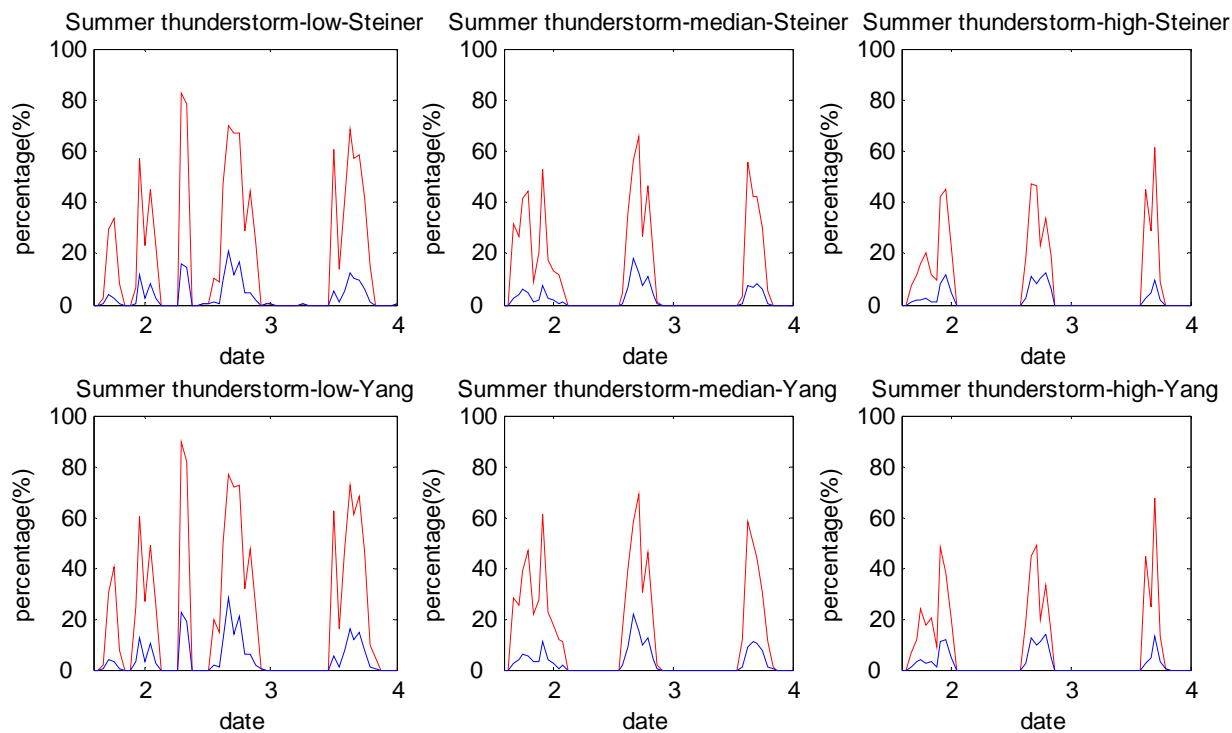


圖 4-5 如圖 4-1 但為夏季雷雨-對流降水比例時間序列分佈圖。

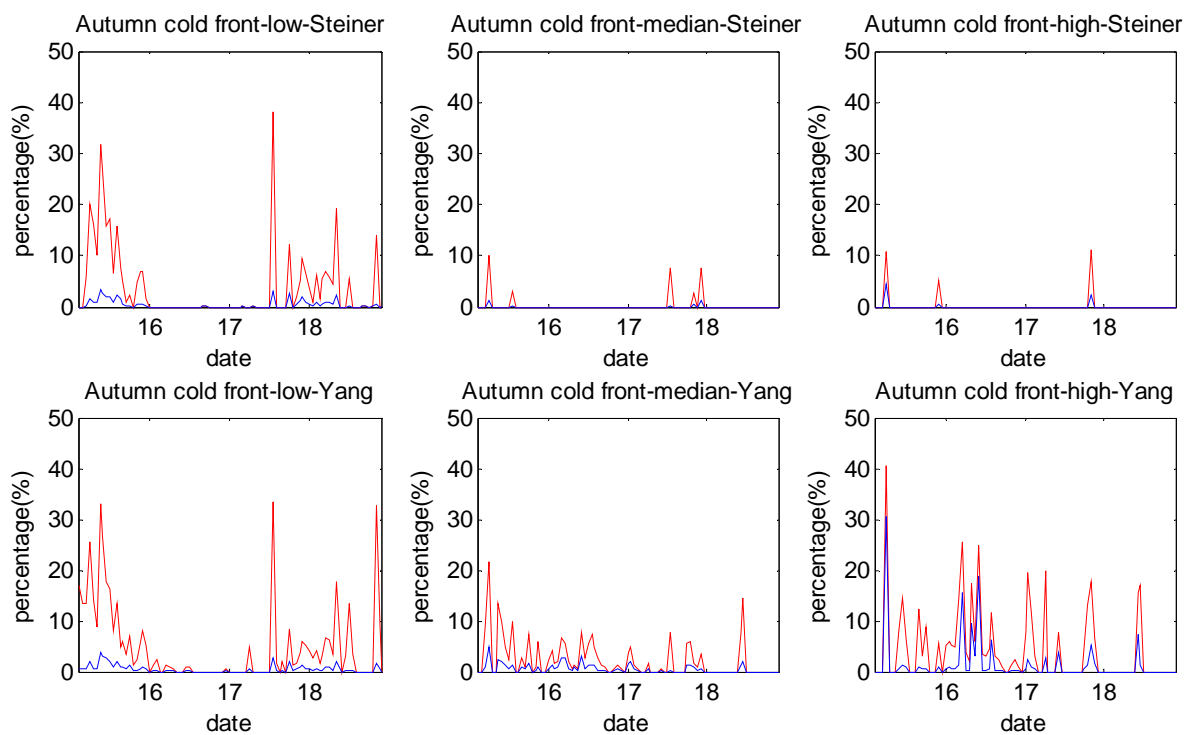


圖 4-6 如圖 4-1 但為東北季風降雨-對流降水比例時間序列分佈圖。

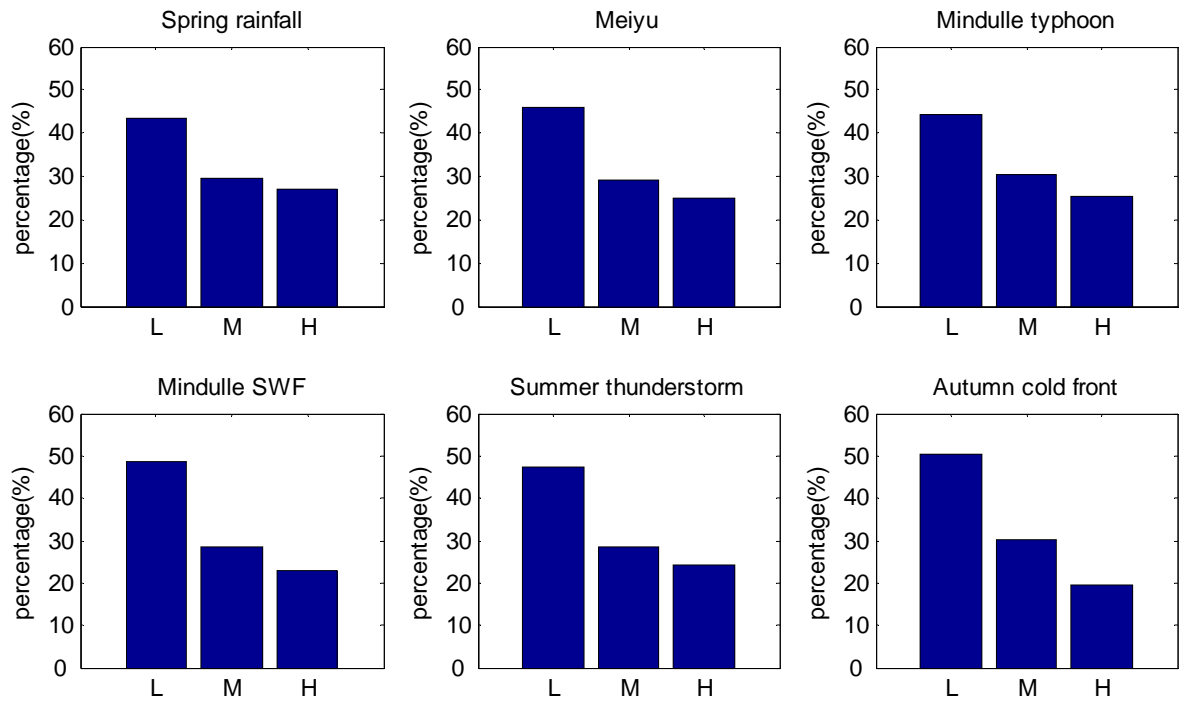


圖 4-7 各降水個案在不同海拔高度下所佔之網格點數百分比。只取有降雨之網格點作計算，網格點數為降水個案選取時間內之總和。L 代表低海拔(low；0~500 公尺)、M 代表中海拔(median；500~1500 公尺)、H 代表高海拔(high；1500 公尺以上)。

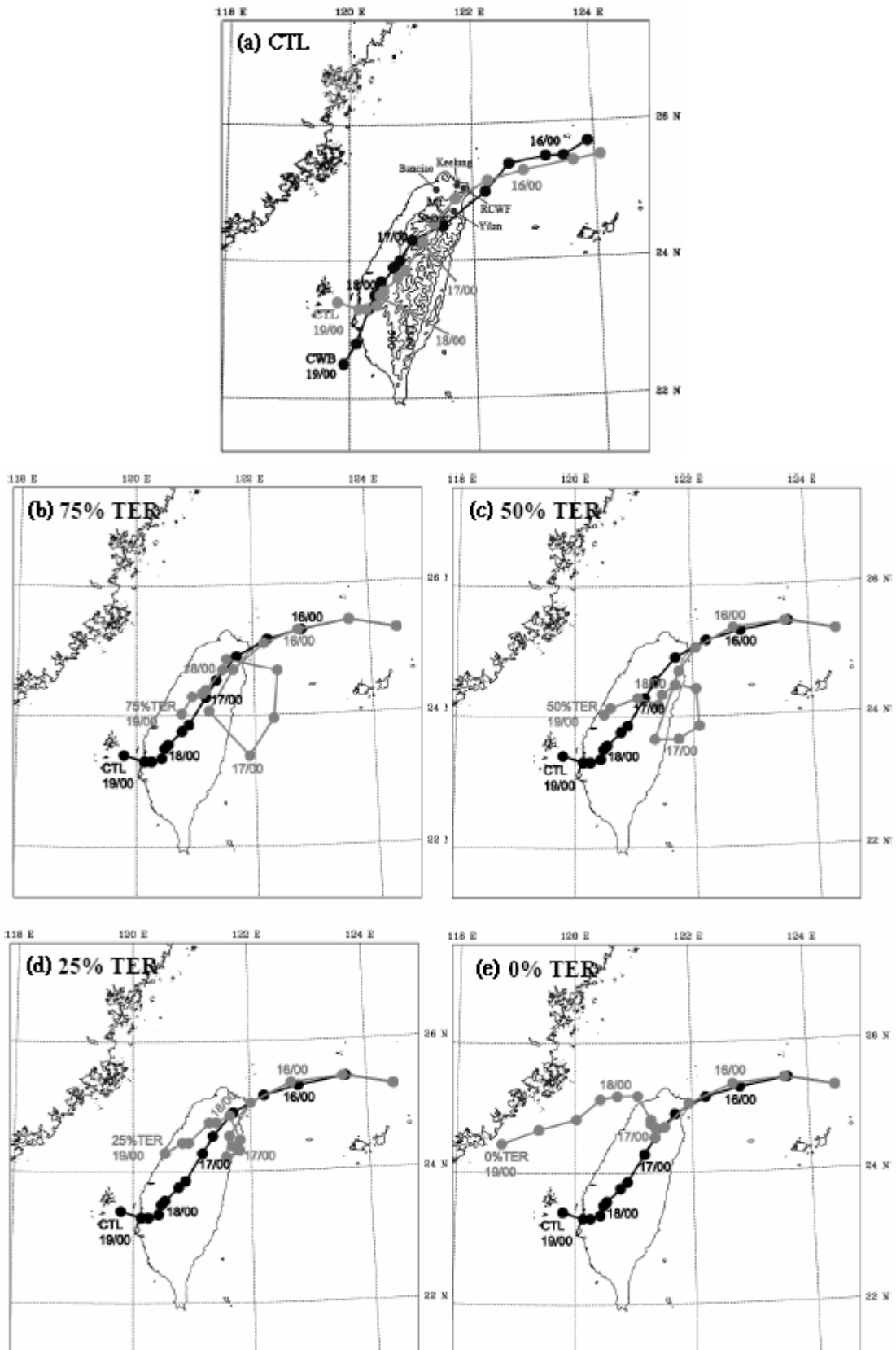


圖 4-8 納莉颱風模擬實驗路徑圖。(a)為控制實驗(CTL)之颱風路徑；(b)~(e)分別為 75%地形高度(0.75 TER)、50%地形高度(0.5 TER)、25%地形高度(0.25 TER)及 0%地形高度(No TER)的颱風路徑。深黑色為中央氣象局觀測之路徑，淺灰色為 MM5 模式模擬之路徑（取自 Yang et al., 2007）。



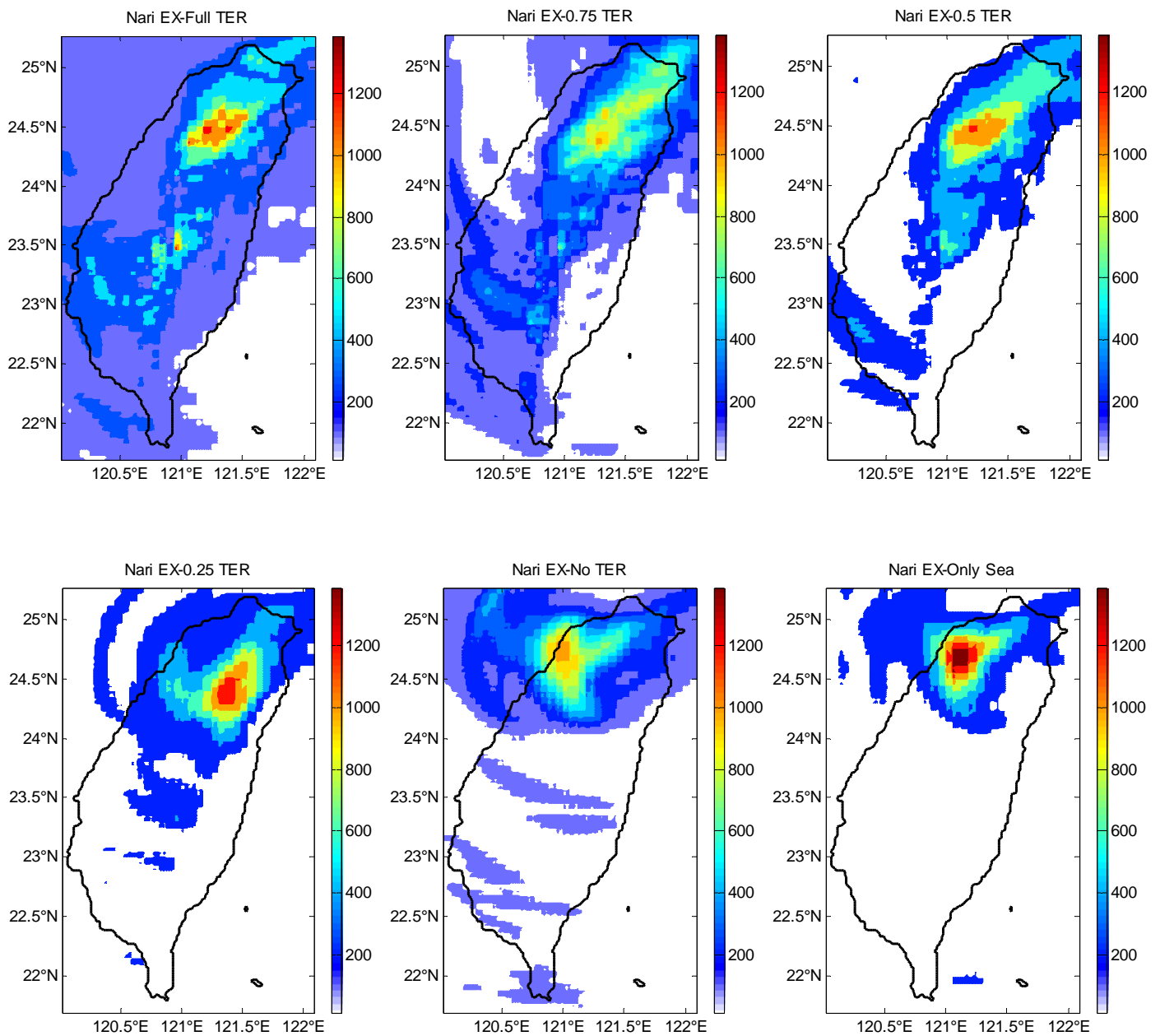


圖 4-9 納莉颱風模擬實驗累積雨量分佈圖。上排由左而右依序為 CTL 控制實驗(Full TER)、75%地形高度(0.75 TER)及 50%地形高度(0.5 TER)實驗；下排由左而右依序為 25%地形高度(0.5 TER)、0%地形高度(No TER)及海洋(Only Sea)實驗。時間從 2001 年 9 月 16 日 0000 UTC 至 2001 年 9 月 18 日 0000 UTC，共 48 小時。累積雨量以色階表示，單位為公釐(mm)。

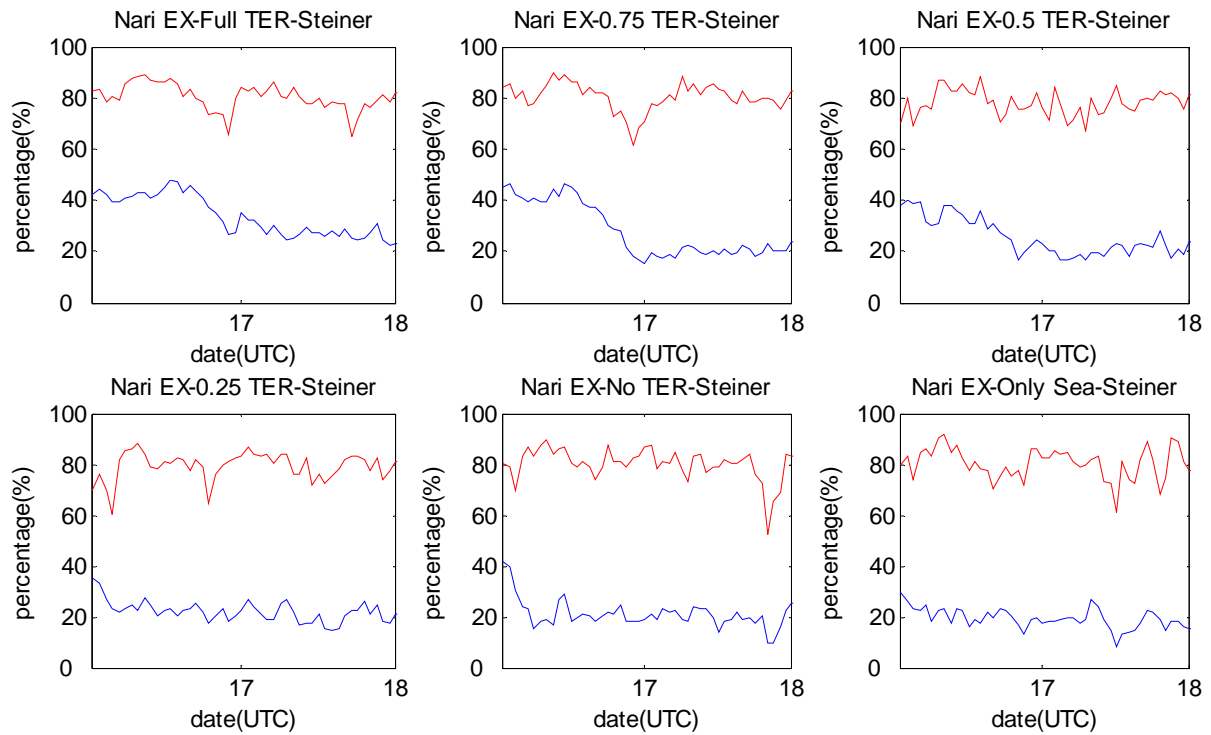


圖 4-10 納莉颱風模擬實驗-不同地形高度之對流降水比例時間序列分佈圖。

上排由左而右依序是 CTL 控制實驗(Full TER)、75%地形高度(0.75 TER)及 50%地形高度(0.5 TER)實驗；下排由左而右依序為 25%地形高度(0.5 TER)、0%地形高度(No TER)及海洋(Only Sea)實驗之 Steiner 法分析結果。縱軸為對流降水在全部降水中所佔的比例，以百分比(%)表示；橫軸為時間。紅線代表對流降水的體積百分比，藍線則為對流降水的面積百分比。

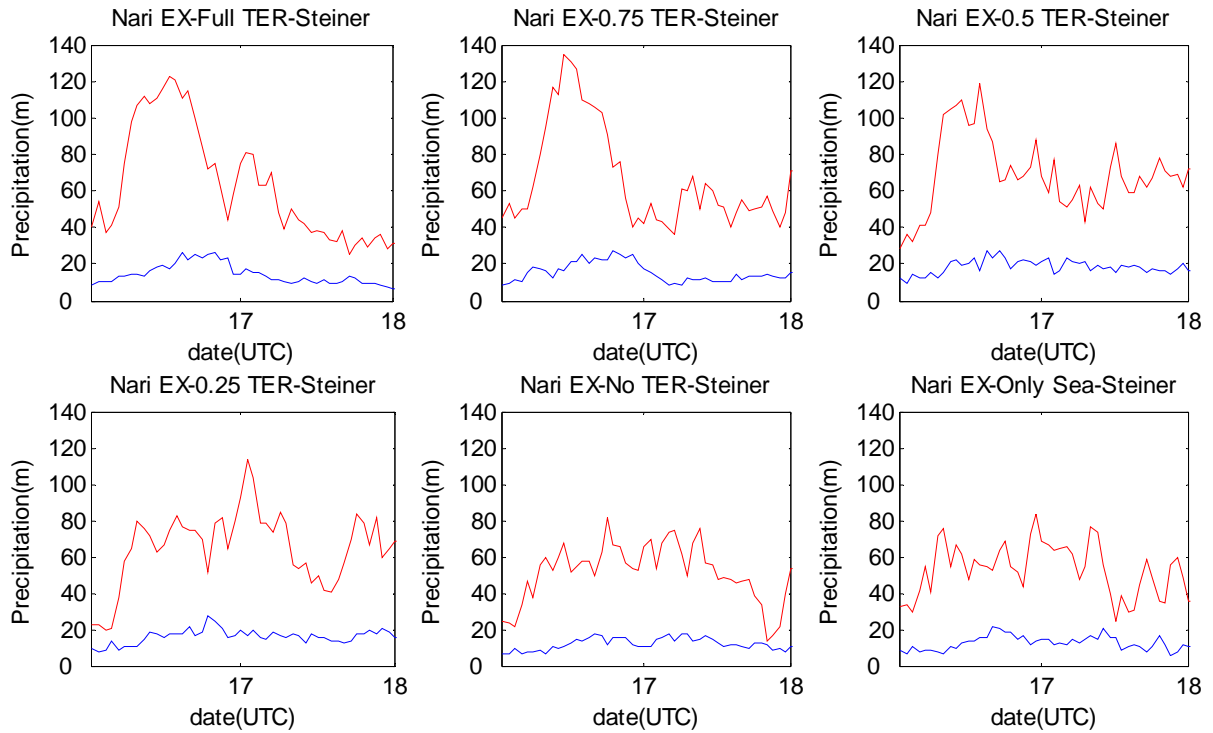


圖 4-11 納莉颱風模擬實驗-不同地形高度之降水時間序列分佈圖。上排由左而右依序是 CTL 控制實驗(Full TER)、75%地形高度(0.75 TER)及 50%地形高度(0.5 TER)實驗；下排由左而右依序為 25%地形高度(0.25 TER)、0%地形高度(No TER)及海洋(Only Sea)實驗之 Steiner 法分析結果。縱軸為降水量，單位為公尺(m)，橫軸為時間。其中紅線為對流降水，藍線則為層狀降水。

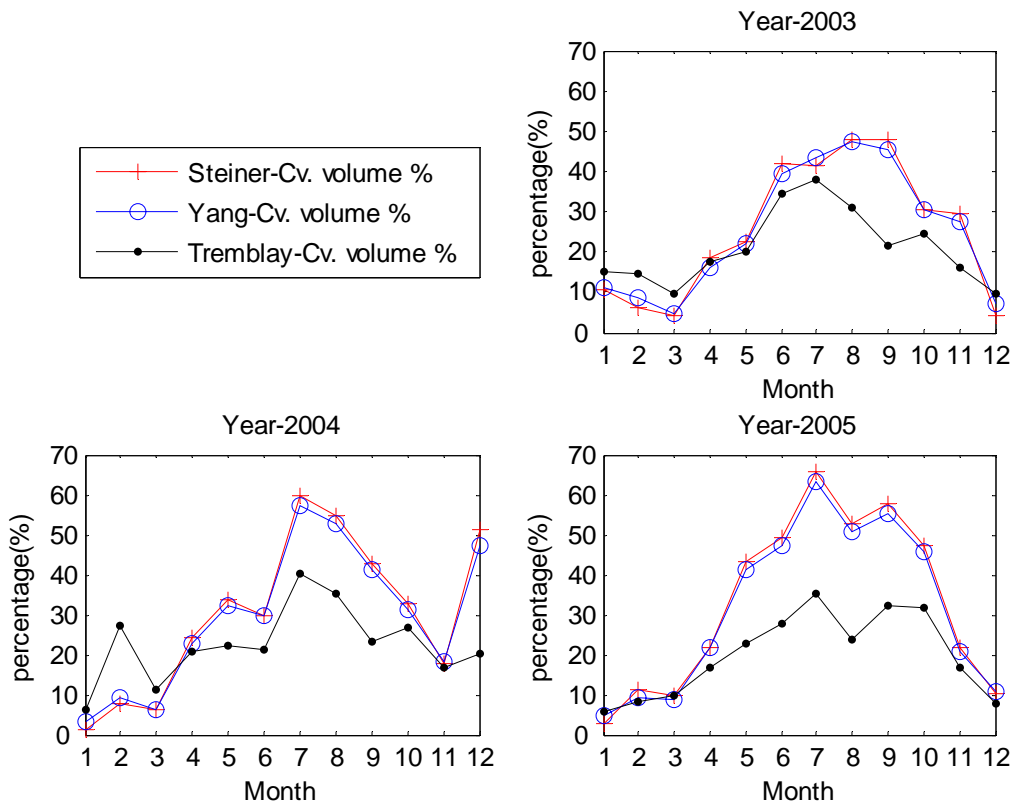


圖 4-12

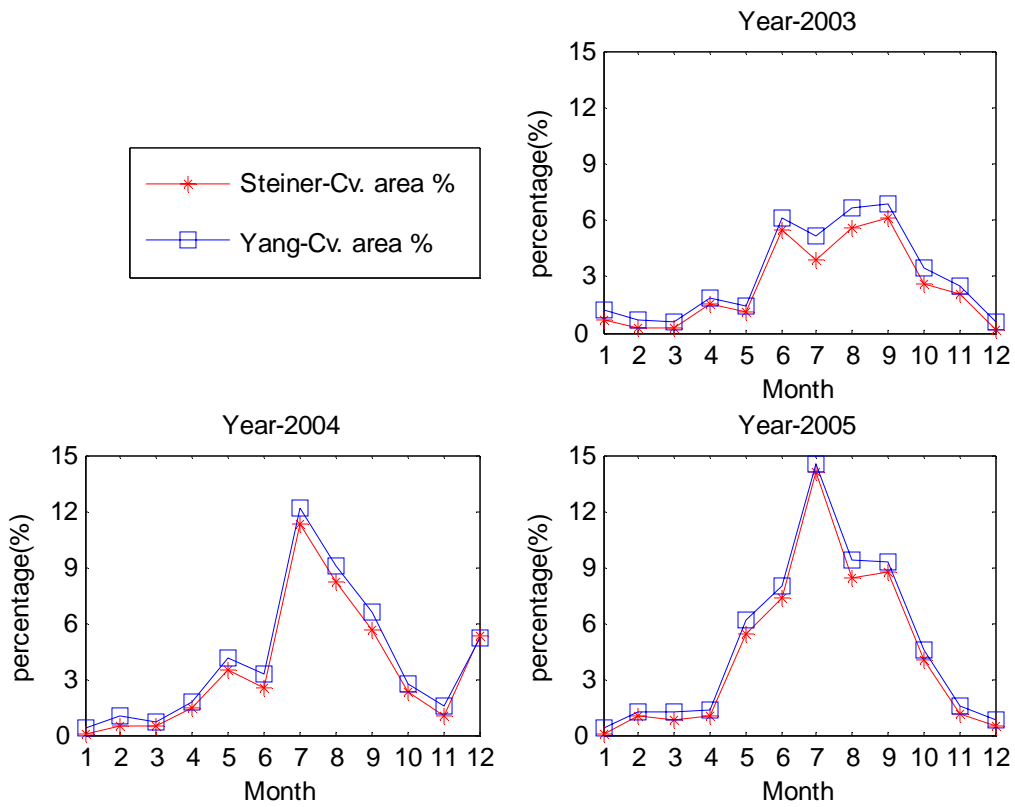


圖 4-13

圖 4-12 與圖 4-13 為 2003 年~2005 年對流降水比例趨勢圖。縱軸為對流降水佔全部降水的比例，以百分比(%)表示；橫軸為月份。紅色十字連線為 Steiner 法的體積百分比，紅色星號連線為 Steiner 法的面積百分比，藍色圓圈連線為 Yang 法的體積百分比，藍色方塊連線為 Yang 法的面積百分比，黑色小點連線為 Tremblay 法的體積百分比。

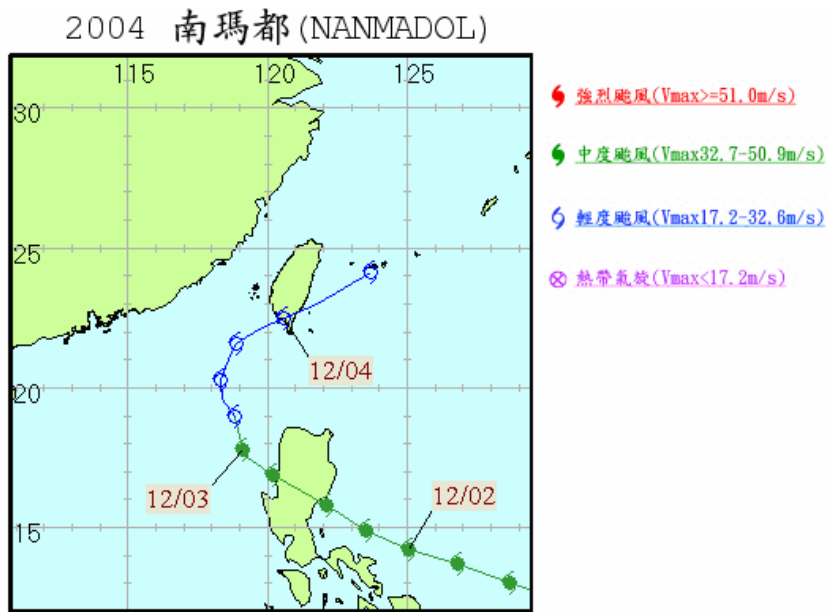
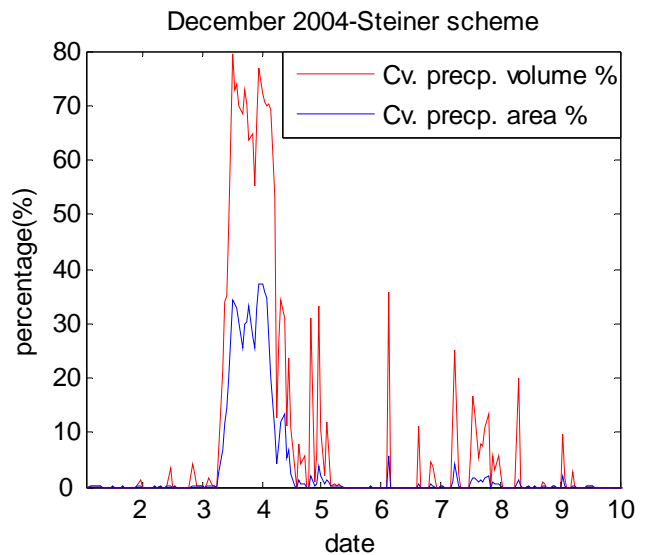
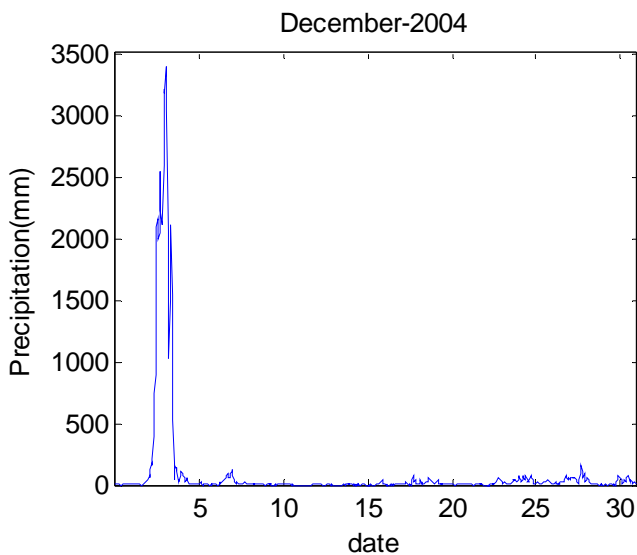
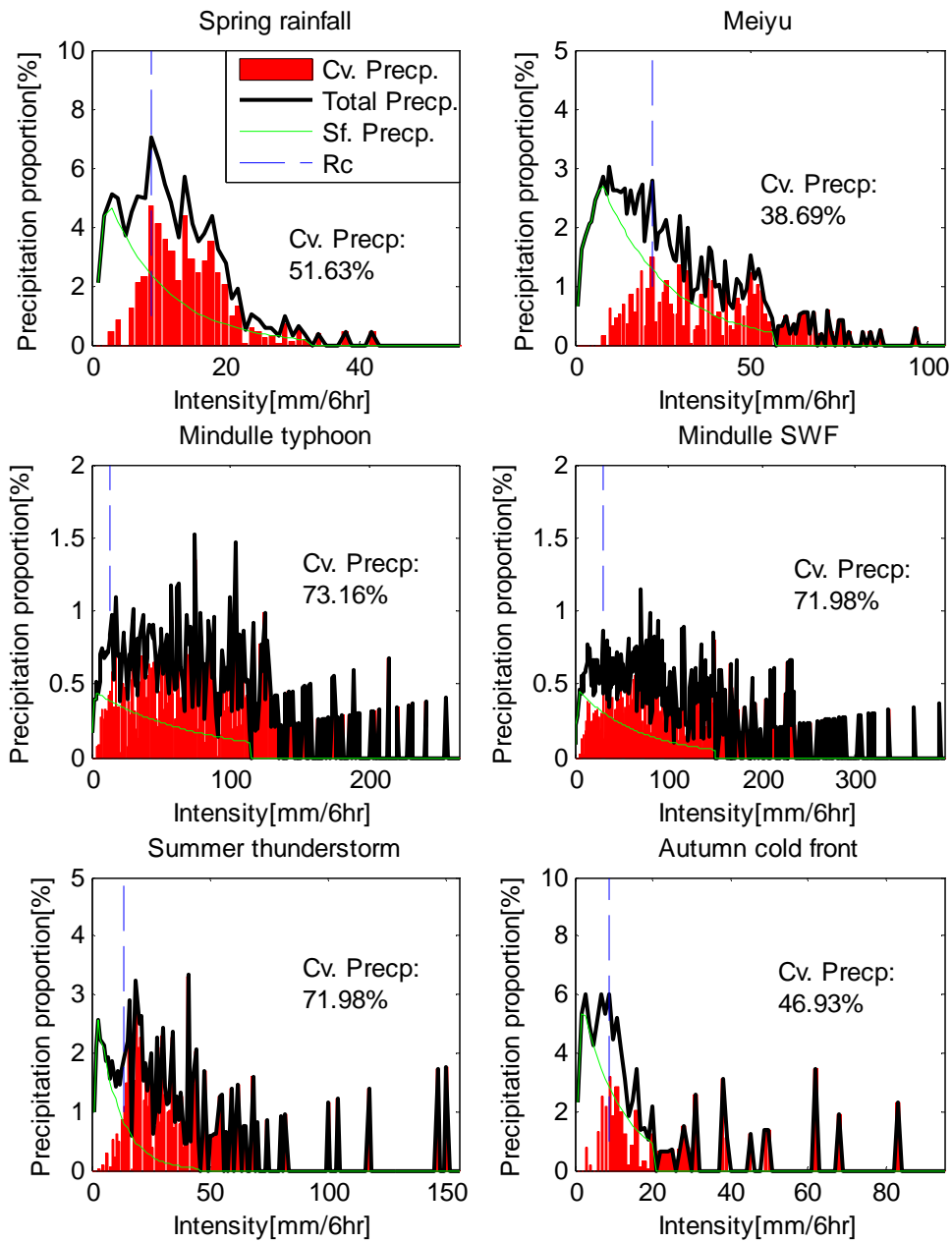


圖 4-14 南瑪都颱風路徑圖（擷取、修改自中央氣象局-颱風資料庫網頁）。



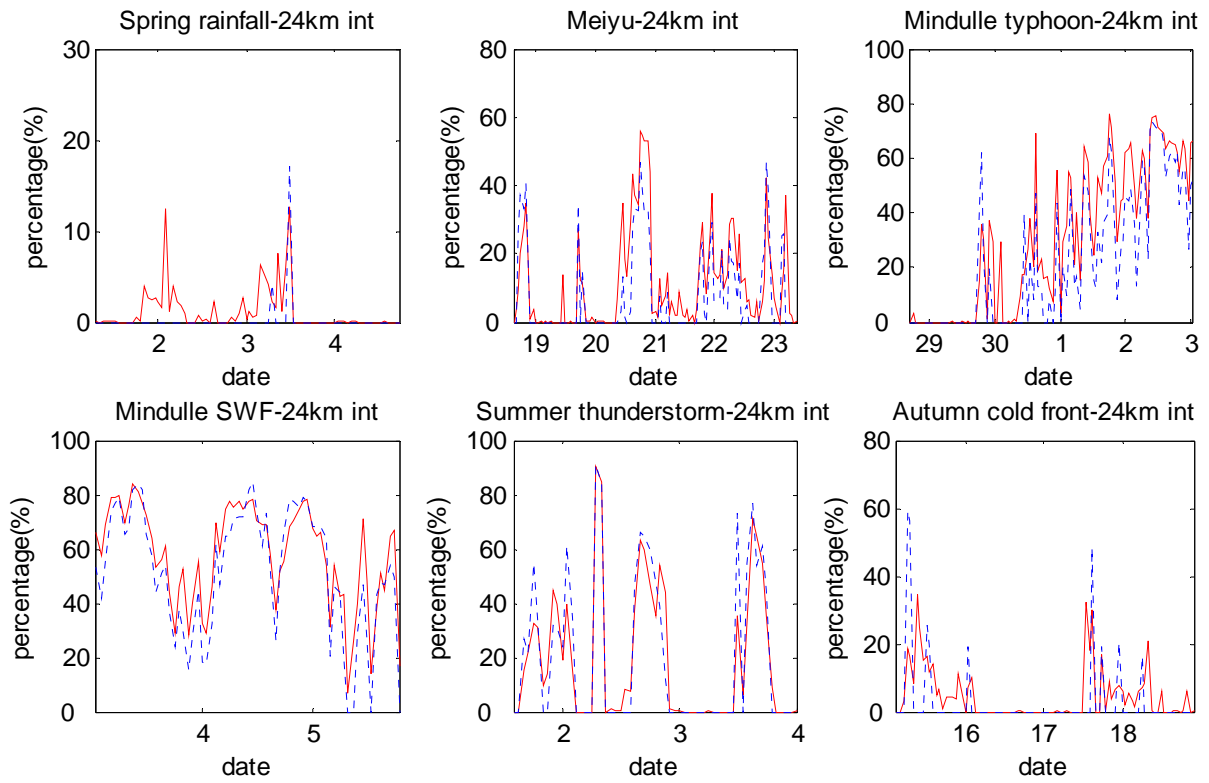
左上圖 4-15 2004 年 12 月降雨歷線圖及右上圖 4-16 2004 年 12 月對流降水時間序列分佈圖。圖中所示為 Steiner 法的結果。縱軸為對流降水在全部降水中所佔的比例，以百分比(%)表示；橫軸為時間。紅線代表對流降水的體積百分比，藍線則為對流降水的面積百分比。

# 附錄 1

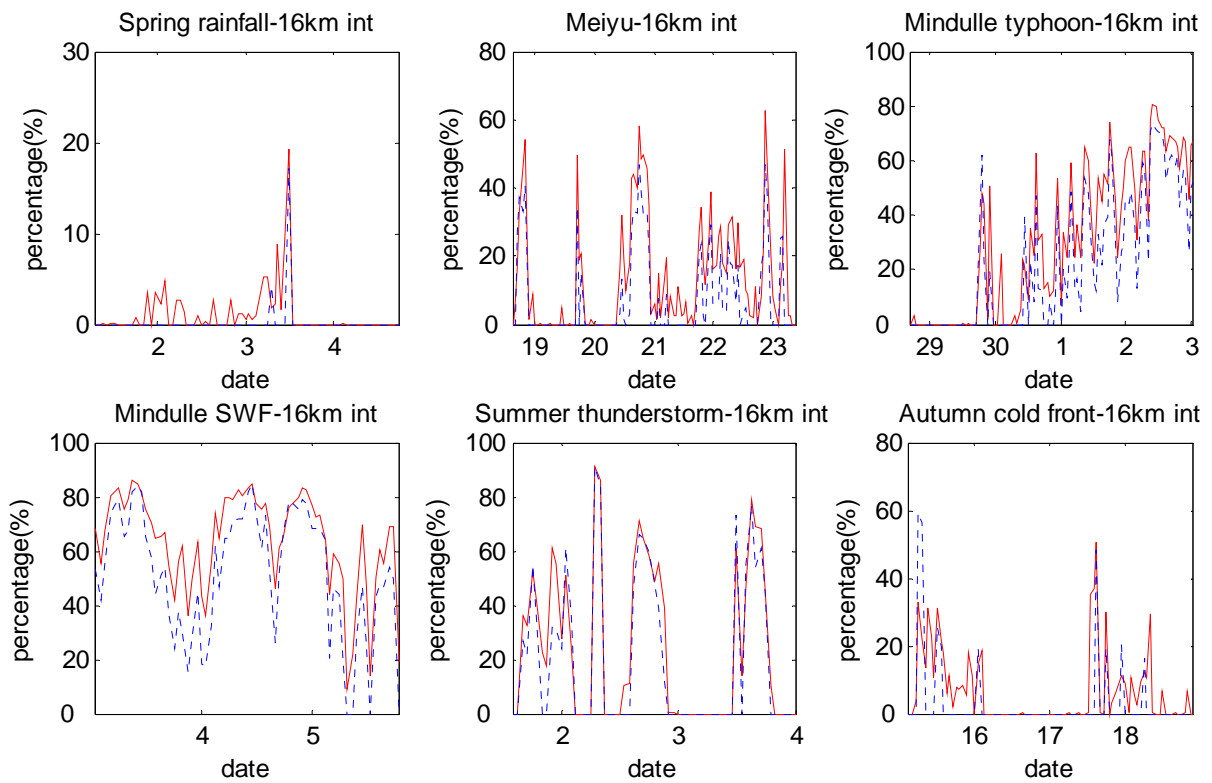


Tremblay 法對於各降水個案之分析結果。縱軸為降水體積百分比，橫軸為降水強度，單位為  $\text{mm}6\text{h}^{-1}$ 。粗黑線為全部的降水，綠線為層狀降水的部份，紅色長條圖為對流降水的部份。藍色虛線為對流降水體積百分比大於層狀降水時之最小降水強度  $R_c$ 。圖中表示之對流降水比例(Cv. Precp)為對流降水(紅色長條圖)的總和值。本圖所使用之降水資料為 6 小時一筆的降水資料，資料量為原先逐時降水資料的六分之一，因此在統計母體數(資料量)不足的情況下，區分降水的主要依據-指數性遞減趨勢變得不明顯，而無法有效地使用 Tremblay 法判斷降水型態。

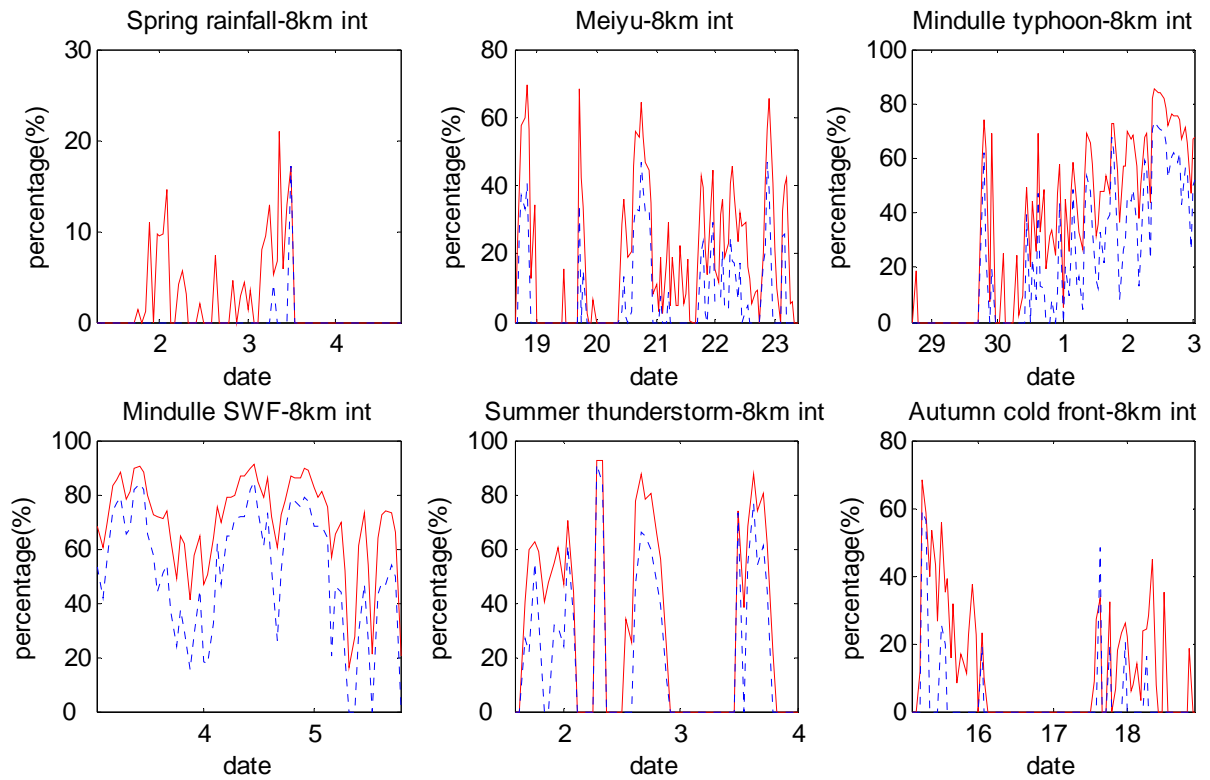
## 附錄 2



附錄圖 2-1



附錄圖 2-2



附錄圖 2-3

附錄圖 2-1~2-3 為使用客觀分析降水資料(內插之網格點降水資料)之 Steiner 法與使用不經過內插處理的原始雨量站降水資料之 Yang 法兩者分析各降水天氣個案結果的比較。圖中縱軸為對流降水體積百分比，橫軸為時間。紅線為 Steiner 法使用網格點逐時降水資料的分析結果，藍色虛線為 Yang 法使用原始雨量站逐時降水資料的分析結果。其中附錄圖 2-1、2-2、2-3 的 Steiner 法結果分別使用的是內插影響半徑 24 公里、16 公里、8 公里的網格點降水資料，權重比例與網格尺寸同原設定。Yang 法由於使用的是原始雨量站降水資料，因此區分降水型態時不考慮降水強度梯度，只以  $15\text{mmh}^{-1}$  的降水強度作為對流降水與層狀降水兩者之間的門檻。