

國立中央大學

大氣科學系

碩士論文

台灣周邊中尺度對流系統及綜觀環境特徵
統計分析

研究生：楊承泰

指導教授：張偉裕 博士

中華民國一一一年六月

國立中央大學圖書館學位論文授權書

填單日期：2022 / 9 / 2

2019.9 版

授權人姓名	楊承泰	學號	109621009
系所名稱	大氣科學系大氣物理所	學位類別	<input checked="" type="checkbox"/> 碩士 <input type="checkbox"/> 博士
論文名稱	台灣周邊中尺度對流系統及綜觀環境特徵統計分析	指導教授	張偉裕

學位論文網路公開授權

授權本人撰寫之學位論文全文電子檔：

- 在「國立中央大學圖書館博碩士論文系統」
 - () 同意立即網路公開
 - () 同意 於西元_____年_____月_____日網路公開
 - () 不同意網路公開，原因是：_____
- 在國家圖書館「臺灣博碩士論文知識加值系統」
 - () 同意立即網路公開
 - () 同意 於西元_____年_____月_____日網路公開
 - () 不同意網路公開，原因是：_____

依著作權法規定，非專屬、無償授權國立中央大學、台灣聯合大學系統與國家圖書館，不限地域、時間與次數，以文件、錄影帶、錄音帶、光碟、微縮、數位化或其他方式將上列授權標的基於非營利目的進行重製。

學位論文紙本延後公開申請 (紙本學位論文立即公開者此欄免填)

本人撰寫之學位論文紙本因以下原因將延後公開

- 延後原因
 - () 已申請專利並檢附證明，專利申請案號：
 - () 準備以上列論文投稿期刊
 - () 涉國家機密
 - () 依法不得提供，請說明：_____

• 公開日期：西元_____年_____月_____日

※繳交教務處註冊組之紙本論文(送繳國家圖書館)若不立即公開，請加填「國家圖書館學位論文延後公開申請書」

研究生簽名： 楊承泰

指導教授簽名： 張偉裕

國立中央大學碩士班研究生

論文指導教授推薦書

大氣科學學系 楊承泰 研究生所提之論文 台灣
周邊中尺度對流系統及綜觀環境特徵統計分析 係由
本人指導撰述，同意提付審查。

指導教授 張岸韜 (簽章)

111 年 7 月 29 日

國立中央大學碩士班研究生
論文口試委員審定書

大氣科學系大氣物理碩士班學系/研究所楊承泰研
究生所提之論文台灣周邊中尺度對流系統及綜觀環境特
徵統計分析經本委員會審議，認定符合碩士資格標準。

學位考試委員會召集人

委

員

張保亮

中華民國 111 年 8 月 9 日

國立中央大學碩士班研究生
論文口試委員審定書

大氣科學系大氣物理碩士班學系/研究所楊承泰研
究生所提之論文台灣周邊中尺度對流系統及綜觀環境特
徵統計分析經本委員會審議，認定符合碩士資格標準。

學位考試委員會召集人

委

員

黃婉如

中華民國 111 年 8 月 9 日

國立中央大學碩士班研究生
論文口試委員審定書

大氣科學系大氣物理碩士班學系/研究所楊承泰研
究生所提之論文台灣周邊中尺度對流系統及綜觀環境特
徵統計分析經本委員會審議，認定符合碩士資格標準。

學位考試委員會召集人
委 員

林沛練
張偉裕

中華民國 111 年 8 月 9 日

摘要

本研究利用 2006 至 2020 年中央氣象局 QPESUMS 資料，針對台灣地區中尺度對流系統(Mesoscale Convective System, MCS)進行辨識以及分析，探討在不同季節間 MCS 結構特性，包含面積、形狀、長短軸比、發展高度及強度等。以 ECMWF ERA5 再分析資料及板橋探空資料探討 MCS 發生時的綜觀環境及熱力條件變數。以 JMA 颱風資料濾除受 TC 影響事件。分為五個季節:春季(3 月~5 月中)、梅雨季(5 月中~6 月中)、夏季(6 月中~8 月)、秋季(9 月~11 月)以及冬季(12 月至隔年 2 月)進行 MCS 的探討。

研究結果發現，MCS 發生在梅雨季的比例最高(31.5%)，次高為春雨季(30.0%)，最少的是冬季(7.0%)。在春季時，高層中緯度的西風帶的影響逐漸減小，MCS 主要是來自於春雨或冷鋒事件，由低層的西南風與冬季季風輻合所形成，以北台灣為主。梅雨季為 MCS 最活躍以及強度最強的季節，MCS 的環境與梅雨鋒面息息相關，有著高層分流、加深的中層槽線與低層噴流。夏季的熱力環境最好，但垂直風切弱，因此對流面積較梅雨季小，MCS 環境受西南氣流以及副熱帶高壓影響，當高壓東退時，西南氣流增強，使 MCS 容易在台灣西南部生成。

秋季之後開始轉為冬季季風，MCS 以東部、東南部為主。高層開始受到中緯度的西風帶的影響。由於冬季季風會帶來較為乾冷的空氣，因此 MCS 事件發生時，北風分量會減小，由東北風轉為東風甚至東南風(11 月後尤為明顯)，並開始有冷鋒訊號出現於台灣北部。冬季則接續秋季 11 月後的情形，MCS 事件以台灣北部為主的冷鋒事件以及東部的線狀對流為主，但由於熱力條件較差，因此 MCS 在發生頻率、強度上皆較低。

Abstract

This study uses CWB QPESUMS radar, rain gauge, sounding, and ECMWF reanalysis data to investigate (Mesoscale Convective Systems) MCS events and analyze their synoptical environment characteristics in the Taiwan area from 2006 to 2020. The selected MCSs of five seasons, namely Spring, Mei-yu, Summer, Autumn and Winter, were analyzed.

The results show the Mei-yu season has the most MCS events (31.5%), the second most is spring (30.0%), and the least is the winter season (7.0%). In spring, MCS mainly associated with cold frontal system and located in northern Taiwan. The environment shows the southwesterly wind converged with winter monsoon in the lower level. The MCS events of the Mei-yu season are the most active with deepest convections. The environment shows there are upper-level divergence, deeper mid-level trough, and low-level jet. The MCS are located around retire Taiwan. The thermal condition is the most unstable to convection in Summer, the vertical wind shear is the weakest. Thus, Summer has lesser total number and weaker MCS events than Mei-yu season. The MCS events are mostly located in southwestern Taiwan and triggered by the southwesterly monsoon.

The instability starts to decrease after the winter monsoon onset. MCS mainly located in eastern and southeastern Taiwan in Autumn. Because of the dry and cold winter monsoon flow, the northerly wind component will decrease when MCS occurs in Autumn, causing the northeasterly wind turn to easterly or even southeasterly wind (especially after November). In addition, MCS events caused by the cold frontal system become more frequent in northern Taiwan after November. In winter, the environment is similar to November. However, because of the unfavorable convection condition, the frequency and convective strength are the lowest.

圖例

圖 2.1 中央氣象局之 QPESUMS 雷達資料範圍	35
圖 2.2 (a)為 SMART 對流胞辨識之示意圖，圖中使用了回波門檻 $T_z=30\text{dBZ}$ 以及面積門檻 $T_v=10\text{km}^2$ 做為 SMART 的辨識依據，左圖為原先雷達回波，右圖為辨識結果，編號 1、2 為成功辨識之對流胞。(b)為 SMART 雙門檻之辨識之示意圖，圖中使用了 30 以及 40dBZ 雙回波門檻進行對流胞的辨識，左圖為原先雷達回波，中間為不同門檻的辨識結果，右圖則為最後輸出的辨識結果，分為三種:母胞(mom cells)、子胞(child cells)、嵌入胞(embed cells)	36
圖 2.3 經過篩選後的 MCS 個案範例，橫軸為長短軸比，縱軸為 35dBZ 面積，圖中藍線所圈出的區域為我們所選擇的 MCS 個案，灰底為 17dBZ 區域，紅底為 35dBZ 區域。注意 35dBZ 面積數值為經過開根號後之數值。	37
圖 2.4 同圖 2.3，但縱軸為 35dBZ 和 17dBZ 面積比例	38
圖 2.5 同圖 2.3，但橫軸為橢圓傾角	39
圖 2.6 同圖 2.3，但縱軸為 35 和 17dBZ 面積比例	40
圖 2.7 同圖 2.6，但縱軸為長短軸比	41
圖 3.1 2006 至 2020 年間所有 MCS 事件在不同季節的時間占比，橫軸為季節，縱軸為比例(單位:%)	42
圖 3.2 同圖 3.1，但為不同半月間的時間佔比。	43
圖 3.3 為 2006 至 2020 年不同月份間平均熱力變數的變化，橫軸為 600 至 1000hPa 之 $\partial\theta_e\partial Z$ ，縱軸為近地表 100hPa 之平均水氣混和比，圈內的數字為月份，顏色為季節，而在圓圈大小以及右側藍色數字為垂直風切大小以及其數值。	44
圖 3.4 同圖 3.1，但橫軸為 700 至 500hPa 之溫度遞減率，縱軸為對流可用位能	45
圖 3.5 為不同半月間 echo top 的變化，橫軸為月份，縱軸為高度(單位:公里)，左圖底色為 MCS 事件的個數，右圖為經過標準化過後的的比例。在圖頂部的顏色代表該半月的季節，藍:冬季、綠:春季、灰:梅雨、黃:夏季、橘:秋季。	46
圖 3.6 同圖 3.3，但變數為不同半月間的 35dBZ 面積。	47
圖 3.7 同圖 3.3，但變數為不同半月間的面積比例。	48
圖 3.8 同圖 3.3，但變數為不同半月間的橢圓傾角	49
圖 3.9 同圖 3.3，但變數為不同半月間的長短軸比	50
圖 3.10 不同季節間的 MCS 事件的 CFAD，第一排由左至右分別為春季、梅雨季、夏季，第二排分別為秋季、冬季。橫軸為雷達回波(單位:dBZ)，縱軸為高度(單位:km)，底色為發生機率。其中綠線、粉線、紅線分別為回波的 25、50 以及 75 百分位數。	51

圖 3.11	為圖 3.10 中不同季節下的回波百分位數，不同顏色的線段代表不同季節，綠色、灰色為、黃色、橘色、藍色分別代表春季、梅雨季、夏季、秋季以及冬季。(a)Q1(25 百分位數)，(b)Q2(50 百分位數)，(c)75 百分位數。橫軸為雷達回波(單位:dBZ)，縱軸為高度(單位:km)。	52
圖 3.12	2006 至 2020 年間平均每年春季的累計降雨(單位:mm)，(a)只有 MCS 事件的平均累計降雨(b)平均總累計降雨(c)只有 TC 事件的平均累計降雨(d)非 MCS 事件(不含 TC 事件)的平均累計降雨。	53
圖 3.13	春季(3 月至 5 月中)每半月之平均每日 MCS 發生次數，圖中顏色代表取過 log 後的發生次數。依序為:(a) 3 月 1 日至 3 月 15 日。(b) 3 月 16 至 31 日。(c) 4 月 1 日至 15 日。(d) 4 月 16 至 30 日。(e)5 月 1 日至 15 日。	54
圖 3.14	從 3/1 至 3/15 間平均 MCS 對流胞特性的空間分布以及年份間的變化，(a)35dBZ echo top，(b)橢圓傾角，(c)長短軸比，(d)35dBZ 回波面積，(e)回波面積比，(f)不同年份間 MCS 事件個數	55
圖 3.15	同圖 3.14，但時間範圍為 4/1 至 4/15	56
圖 3.16	同圖 3.14，但時間範圍為 5/1 至 5/15	57
圖 3.17	同圖 3.12，但為梅雨季的平均累計降雨	58
圖 3.18	同圖 3.13。但時間為 5 月中至 6 月底，(a)5/16~31，(b)6/1~15，(c)6/16~30	59
圖 3.19	同圖 3.12，但為夏季的平均累計降雨	60
圖 3.20	同圖 3.13。但時間為 5 月中至 6 月底，(a)7/1~15，(b)7/16~31，(c)8/1~15，(d)8/16~31	61
圖 3.21	7/1 至 8/31 間每半月的橢圓傾角以及 echo top 空間分布。(a)至(d)為橢圓傾角(單位:度)，(e)至(h)為 echo top(單位:km)	62
圖 3.22	同圖 3.12，但為秋季的平均累計降雨	63
圖 3.25	同圖 3.8。但時間為 9 月至 11 月，(a)9/1~15，(b)9/16~30，(c)10/1~15，(d)10/16~31，(e)11/1~15，(f)11/16~30	64
圖 3.24	同圖 3.14，但時間範圍為 11/16 至 11/30	65
圖 3.25	同圖 3.12，但為冬季的平均累計降雨	66
圖 3.26	同圖 3.8。但時間為 12 月至隔年 2 月，(a)12/1~15，(b)12/16~31，(c)1/1~15，(d)1/16~31，(e)2/1~15，(f)2/16~28	67
圖 3.27	同圖 3.14，但時間範圍為 11/16 至 11/30	68
圖 4.1	春季 200hPa MCS 與 noMCS 綜觀環境場。(a)、(b)、(c)代表不同半月，依序為 3/1-15、4/1-15、5/1-15。每一橫排由上至下代表:無 MCS 事件(圖(a)、(b)、(c))、MCS 事件(d)、(e)、(f)以及差異值(MCS-noMCS，(g)、(h)、(i))。MCS 以及 noMCS 圖中黑色實線代表重力位高度，箭頭代表風場，風標顏色代表風速，底色代表輻散場，而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表	

- 風場向量差值，底色則為輻散場差值。69
- 圖 4.2 為春季 500hPa 高度場，每一橫排由上至下代表：無 MCS 事件(圖(a)、(b)、(c))、MCS 事件(d)、(e)、(f)以及差異值(MCS-noMCS, (g)、(h)、(i))。MCS 以及 noMCS 圖中黑色實線代表重力位高度，箭頭代表風場，風標顏色代表風速，底色代表輻散場，而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為輻散場差值。70
- 圖 4.3 為 4/1-4/15 間 700hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f)以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h))以及輻散場(單位:l/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。71
- 圖 4.4 為 4/1-4/15 間 850hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f)以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h))以及輻散場(單位:l/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。72
- 圖 4.5 為 4/1-4/15 間 1000hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f)以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h))以及輻散場(單位:l/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。73
- 圖 4.6 4/16-5/31 間 MCS 事件的環境場，第一列為(a, b, c)200hPa 環境場，第二列(d, e, f)為 850hPa 環境場，黑色實線代表重力位高度，底色為輻散場，箭頭代表風場，箭頭顏色代表風速。注意風速的顏色在 200hPa 和 850hPa 其數值不同，其數值以最右邊圖例為準。74
- 圖 4.7 為梅雨季 5/16-6/15 間 200hPa 高度場。每一橫排由上至下代表：無 MCS 事件(圖(a)、(b))、MCS 事件(圖(c)、(d))以及差異值(MCS-noMCS, 圖(e)、(f))。MCS 以及 noMCS 圖中黑色實線代表重力位高度，箭頭代表風場，風標顏色代表風速，底色代表輻散場，而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為輻散場差值。75

- 圖 4.8 為梅雨季 5/16-6/15 間 500hPa 高度場。每一橫排由上至下代表:無 MCS 事件(圖(a)、(b))、MCS 事件(圖(c)、(d))以及差異值(MCS-noMCS, 圖(e)、(f))。MCS 以及 noMCS 圖中(圖(a), (b), (c), (d))黑色實線代表重力位高度, 箭頭代表風場, 風標顏色代表風速, 底色代表輻散場, 而差異場中(圖(e), (f))藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值, 零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值, 底色則為輻散場差值。76
- 圖 4.9 為 6/1-6/15 間 850hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為:無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f)以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向, 風標顏色代表風速, 底色由左至右分別為:相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h))以及輻散場(單位:l/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值, 零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值, 底色則為該變數之差值。77
- 圖 4.10 為 6/1-6/15 間 1000hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為:無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f)以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向, 風標顏色代表風速, 底色由左至右分別為:相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h))以及輻散場(單位:l/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值, 零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值, 底色則為該變數之差值。78
- 圖 4.11 為 6/1-7/15 日間 200hPa 和 500hPa 的 MCS 環境場。第一排(a, b, c)為 200hPa 環境場, 第二列(d, e, f)為 500hPa 環境場, 黑色實線代表重力位高度, 底色為輻散場, 箭頭代表風場, 箭頭顏色代表風速。注意風速的顏色在 200hPa 和 850hPa 其數值不同, 其數值以最右邊圖例為準。79
- 圖 4.12 為夏季 7/1-8/31 間 200hPa 高度場。每一橫排由上至下代表:無 MCS 事件(圖(a), (b), (c), (d))、MCS 事件(圖(e), (f), (g), (h))以及差異值(MCS-noMCS, 圖(i), (j), (k), (l))。MCS 以及 noMCS 圖中(圖(a)至(h))黑色實線代表重力位高度, 箭頭代表風場, 風標顏色代表風速, 底色代表輻散場, 而差異場中(圖(i), (j), (k), (l))藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值, 零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值, 底色則為輻散場差值。80
- 圖 4.13 為夏季 7/1-8/31 間 500hPa 高度場。每一橫排由上至下代表:無 MCS 事件(圖(a), (b), (c), (d))、MCS 事件(圖(e), (f), (g), (h))以及差異值(MCS-noMCS, 圖(i), (j), (k), (l))。MCS 以及 noMCS 圖中(圖(a)至(h))黑色實線代表重力位高度, 箭頭代表風場, 風標顏色代表風速, 底色代表輻散場, 而差異場中(圖(i), (j), (k), (l))藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值, 零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值, 底色則為輻散場差值。81

- 圖 4.14 為 7/16-7/31 間 700hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f) 以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h))以及輻散場(單位:l/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。82
- 圖 4.15 為 7/16-7/31 間 1000hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f) 以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h))以及輻散場(單位:l/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。83
- 圖 4.16 為秋季 200hPa MCS 與 noMCS 綜觀環境場，每一橫排代表不同半月：9/16-30(圖 a, d, g)、10/16-31(圖 b, e, h)、11/16-11/30(圖 c, f, i)。每一橫排由上至下代表：無 MCS 事件(圖(a)、(b)、(c))、MCS 事件(d)、(e)、(f)以及差異值(MCS-noMCS, (g)、(h)、(i))。MCS 以及 noMCS 圖中黑色實線代表重力位高度，箭頭代表風場，風標顏色代表風速，底色代表輻散場，而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為輻散場差值。84
- 圖 4.17 為秋季 500hPa MCS 與 noMCS 綜觀環境場與其差異場，每一橫排代表不同半月：9/16-30(圖 a, d, g)、10/16-31(圖 b, e, h)、11/16-11/30(圖 c, f, i)。每一橫排由上至下代表：無 MCS 事件(圖(a)、(b)、(c))、MCS 事件(d)、(e)、(f)以及差異值(MCS-noMCS, (g)、(h)、(i))。MCS 以及 noMCS 圖中黑色實線代表重力位高度，箭頭代表風場，風標顏色代表風速，底色代表輻散場，而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為輻散場差值。85
- 圖 4.18 為 10/1-10/15 間 700hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f) 以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h))以及輻散場(單位:l/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。86
- 圖 4.19 為 11/1-11/15 間 700hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列

由上而下分別為：無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f) 以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h))以及輻散場(單位:l/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。.....87

圖 4.20 為 10/1-10/15 間 850hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f) 以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h))以及輻散場(單位:l/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。.....88

圖 4.21 為 11/1-11/15 間 700hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f) 以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h))以及輻散場(單位:l/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。.....89

圖 4.22 為 10/1-10/15 間 1000hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f)以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h))以及輻散場(單位:l/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。.....90

圖 4.23 為 11/1-11/15 間 1000hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f)以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h))以及輻散場(單位:l/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。.....91

圖 4.24 為冬季 200hPa MCS 與 noMCS 綜觀環境場與其差異場，每一直排代表不同半月：12/1-12/15(a, d, g)、1/1-1/15(b, e, h)、2/1-2/15(c, f, i)。每一橫排由上至下代表：無 MCS 事件(圖(a)、(b)、(c))、MCS 事件(d)、(e)、(f)以及差異值(MCS-noMCS, (g)、(h)、(i))。MCS 以及 noMCS 圖中黑色實

線代表重力位高度，箭頭代表風場，風標顏色代表風速，底色代表輻散場，而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為輻散場差值。

.....92

圖 4.25 為冬季 500hPa MCS 與 noMCS 綜觀環境場與其差異場，每一橫排代表不同半月：12/1-12/15(a, d, g)、1/1-1/15(b, e, h)、2/1-2/15(c, f, i)。每一橫排由上至下代表：無 MCS 事件(圖(a)、(b)、(c))、MCS 事件(d)、(e)、(f)以及差異值(MCS-noMCS, (g)、(h)、(i))。MCS 以及 noMCS 圖中黑色實線代表重力位高度，箭頭代表風場，風標顏色代表風速，底色代表輻散場，而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為輻散場差值。

.....93

圖 4.26 為 12/16-12/31 間 700hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f)以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h))以及輻散場(單位:1/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。.....94

圖 4.27 為 12/16-12/31 間 850hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f)以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h))以及輻散場(單位:1/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。.....95

圖 4.28 為 12/16-12/31 間 1000hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f)以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h))以及輻散場(單位:1/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。.....96

致謝

兩年的研究所生涯過得很快，在這段期間中，對我來說是一個重要的人生階段。我從中國文化大學進入到中央大學就讀研究所，剛開始時總會對陌生的環境感到有些不適應，有時候會擔心自己的能力是否能跟上其他同學，不過經過一段時間相處後，發現大家其實都挺好的，遇到困難時大家都會互相幫忙，互相勉勵。在這段期間中，對於公眾演講以及報告，我開始變得不再那麼緊張，說不出話，在此對於這些陪伴我成長的人給予最誠摯的感謝。

首先我想感謝張偉裕老師，在研究的過程中時常會給予我建議以及方向，讓我能夠順利的解決問題，有時候會給予我一些人生上的建議等等。另外，我也要感謝所有研究生涯中曾指導過我的老師們，以及口試的所有委員們，有了你們的幫助，我的論文才能更加完善。

我也要感謝雷達氣象實驗室的老師、助理、學長姐以及同學們，感謝廖宇慶老師以及鍾高陞老師，在雷達相關的知識上讓我受益良多，在研究上也提出了許多看法和意見。也感謝教我SMART工具的葉玉婕學姊，幫我解決以及排除SMART工具使用上的問題。另外也感謝跟我同時加入實驗室的沛蓉和凱翊，在課業以及研究上時常給予幫助以及勉勵，有時候也會分享一些生活的大小事等等，讓我在研究的過程中增添許多歡樂以及樂趣。最後，我很榮幸能夠參與2022年的TAHOPE觀測實驗，讓我對於雷達的觀測以及操作能有更進一步的了解。

另外我也要感謝一起從中國文化大學進來的洪琳以及育慎，讓我在一開始陌生的環境下能有個互相依靠、勉勵的對象，雖然我們位處於不同實驗室，偶爾也一起出去吃個飯或是聊些實驗室的趣事等等，希望畢業之後還能持續保持聯絡！

最後，感謝一直陪伴我的家人，有了你們的支持，我才能順利的完成碩士學業，雖然在這段期間內很辛苦，加上疫情的影響，往往好幾個禮拜才能回去一次，但是我很清楚即使沒辦法常常見到面，家人都還是非常關心和照顧我的，謝謝你們！

目錄

摘要.....	i
圖例.....	iii
致謝.....	x
目錄.....	xi
第一章 緒論.....	1
1.1 前言	1
1.2 文獻回顧	2
1.3 研究目的.....	3
第二章 資料與研究方法.....	5
2.1 使用資料	5
2.1.1 探空資料以及熱力變數之計算.....	5
2.1.2 中央氣象局 QPESUMS 雷達資料.....	6
2.1.3 中央氣象局雨量站資料.....	7
2.1.4 MCS 之綜觀環境場.....	7
2.2 MCS 事件之定義與分析方法	8
2.2.1 對流胞辨識以及追蹤系統.....	8
2.2.2 SMART 對流胞特性.....	9
2.2.3 MCS 事件以及對流特性之定義	10
第三章 MCS 統計特性與空間分布.....	12
3.1 台灣地區 MCS 統計特性.....	12
3.1.1 MCS 事件占比.....	12

3.1.2 MCS 熱力變數特性.....	13
3.1.3 MCS 對流胞特性.....	14
3.1.4 MCS CFAD 變化.....	15
3.2 MCS 事件的空間分布	16
3.2.1 春季(2月至5月中).....	17
3.2.2 梅雨季(5月中至6月中).....	18
3.2.3 夏季(6月中至8月).....	18
3.2.4 秋季(9月至11月).....	19
3.2.5 冬季(12月至2月).....	20
第四章 MCS 綜觀環境場分析.....	20
4.1 春季(2月至5月中)	21
4.2 梅雨季(5月中至6月中)	23
4.3 夏季(6月中至8月)	24
4.4 秋季(9月至11月)	25
4.5 冬季(12月至2月)	26
第五章 結論與未來展望.....	28
5.1 結論.....	28
5.2 未來展望.....	30
參考文獻.....	31
附表.....	34
附圖.....	35
附錄.....	97

第一章 緒論

1.1 前言

深對流降水對於大氣中水與能量的循環交換中扮演著相當重要的角色，其中，中尺度對流系統(Mesoscale Convective System, MCS)也屬於深對流的其中一種，MCS 為一至數個對流胞之複合體，但與一般的對流不同的地方是，MCS 在尺度上較一般的對流胞大得多，至少在一個方向上 MCS 的大小會超過 100 km。MCS 在對流肇始時，通常伴隨著高的對流可用位能(CAPE)以及較強的垂直風切，根據 Bulk Richardson number(BRN)所示(Paul Markowski and Yvette Richardson, 2013)，CAPE 和垂直風切的作用能使得對流發展更為持久、劇烈，CAPE 除了代表對流的強度外，也包含了降雨所形成的冷池強度，而垂直風切則為環境風所形成的水平渦度，當兩者勢力相當時，對流胞的生命期就會變長，因此大部分 MCS 生命期往往比一般單胞系統更為持久，能夠持續 10 小時至數天。此外，潛在不穩定度和綜觀環境的作用也扮演著很重要的角色。潛在不穩定度跟 CAPE 雖然皆為判斷對流是否生成的指標之一，但兩者最大的差別在於：CAPE 為氣塊法，藉由氣塊絕熱上升所計算，而潛在不穩定度是由整層空氣的上升，藉由底層空氣飽和，垂直降溫率改變所形成的不穩定。而綜觀環境作用在熱力條件較差時(如冬季)尤為重要，藉由綜觀尺度系統下所提供的斜壓驅動力(如槽脊系統等)，提供 MCS 生成與發展的來源。

MCS 在台灣地區時常會帶來大量且長時間的降雨，時常造成淹水、土石流等災害，甚至造成生命財產的損失。本研究將會針對台灣的 MCS 事件，利用 2006 至 2020 年間之中央氣象雷達資料進行分析，並對於不同季節下的 MCS 事件，對 MCS 的結構特徵以及其相關的大尺度環境進行分析與探討。

1.2 文獻回顧

Feng et al.(2019)利用在雷達以及衛星資料，對於美國洛磯山脈東部的 MCS 進行定義及分析，並由 MCS 生成的地點，將美國分為三個區域：北大平原(NGP)、南大平原(SGP)以及東南部(SE)。作者發現在大平原地區(NGP 和 SGP)，MCS 主要在暖季生成，而東南部(SE)則相較於其他區域在冷季較多。綜觀環境方面，春季和秋季的 MCS 事件主要是受到斜壓驅動力以及低層噴流的水氣傳送所影響，而夏季則受到熱力作用為主，有著明顯的日夜變化。冬季的 MCS 生成需要足夠強的水氣傳送以及動力結構以克服不利的熱力條件。

Jian et al.(2019) 對於亞-澳季風區中的極端降雨事件進行了探討，針對東南亞一帶的極端降雨事件，發現可將其分為四種種類:渦旋型(V)、海岸型(C)、渦旋海岸型(VC)以及以上皆非(N)。渦旋型(V)的極端降雨事件主要發生在北半球的夏季，以熱帶氣旋或颱風為主。而海岸類型(C、VC)則有季節性的變化，在北半球夏季主要發生在孟加拉灣，冬季則位於婆羅洲以及蘇門答臘西部。剩下的個案(N)主要位於開放海域，由北半球冬季的冷鋒所形成。作者將屬於海岸類型(V、VC)的事件進一步分析，發現無論是 V 和 VC 類型，大部分都有著高柱體積水氣(total column water vapor)以及低層風切，且有廣大的層狀降水以及較寬廣的對流核心，並且有較高的機率發展成為中尺度對流系統。

Chen and Chen (2003)利用了台灣雨量站的資料分析了台灣各季節降雨的空間分布以及其大尺度環境。將台灣的季節分為冬季(12~2月)、春季(3~5月中)、梅雨季(5月中~6月中)、夏季(6月中~8月)以及秋季(9~11月)，發現在冬季，受大陸高壓所帶來的東北風影響，降雨主要集中在台灣東北部，進入春季後，850 hPa 風場逐漸轉為西南風，開始有些微的潛在不穩定度，降雨較少，但降雨區域較冬季來的更均勻分布。進入梅雨季後，全台皆有較多降雨，尤其是在西南部山區。夏季則受西南季風以及季風槽影響，降雨以西南氣流以

及颱風為主，主要集中在台灣西南部。進入秋季後，大陸高壓生成，東北風開始再度影響台灣，降雨轉為集中在台灣東部以及東北部。

Chien and Chiu (2019)對於台灣暖季(春季、梅雨季、夏季)的西南氣流事件進行了探討。藉由將台灣周圍劃分成 14 個區域(2*2 degs)，定義西南氣流事件為：一半以上區域其平均風向為西南風，其中至少一個區域其平均風速大於 12m/s。在春季，西南氣流事件主要發生在太平洋高壓逐漸東退時，東亞中緯度槽線加深接近台灣，此時西南風位於台灣北部，為台灣北部地區帶來降雨。在梅雨季，太平洋高壓向東南方移動且槽線相較春季更深，此時西南風帶位於整個台灣上空，伴隨大量的水氣傳送，為梅雨季的持續降水提供相當合適的條件。而夏季的西南氣流事件通常會伴隨著熱帶氣旋或低壓於中國東南部。

而對於台灣的極端降水事件，Wu et al. (2017)對於了台灣在 2003 至 2012 年間的極端降雨事件進行分析，將其分為鋒面、弱綜觀、熱帶氣旋(TC)三種類型。對於弱綜觀事件，主要分布在暖季，並有明顯的日夜變化。對於鋒面型態的極端降雨事件，主要以在 5 到 6 月的梅雨鋒面以及少部分於秋季的冷鋒事件，對於梅雨鋒面的極端降雨事件，作者根據系統移動的方向可再分為兩種不同的類型。第一種類型其系統主要從西北方移入，風切線主要位於 27°N 且相當位溫從中國南方延伸至台灣北部。而另一種類型的系統主要由西南方移入，風切線較前一種更接近台灣，是由強西南風伴隨高相當位溫造成台灣西南部的極端降雨事件。熱帶氣旋為三種類型中最多的，在 7 到 9 月為最多，作者依颱風接近台灣的距離分為兩組，第一組為颱風中心接近台灣 100 km，在這類型中極端降雨事件的分布主要與颱風位置相關。另一種則為颱風中心遠離台灣，但仍有極端降雨的紀錄，在這種類型其極端降雨事件主要與其綜觀環境有關。

1.3 研究目的

台灣位於太平洋西側的海島，其複雜的地形以及季風氣候使得降雨的空間及時間的分布十分複雜。在上述前人的研究中，探討了台灣在不同季節的降雨

特性以及不同類型的極端降雨事件的大尺度環境，但對於台灣的 MCS 在不同季節的對流特性、特徵以及空間分布等並沒有較為完整的長期統計分析與探討。前人的研究中，對於 MCS 的辨識，大多是使用衛星資料，而本研究則是採用雷達資料進行 MCS 的辨識，至 2006 年起，台灣開始有完整的雷達觀測網，因此本研究得以利用雷達三維的高時間以及空間解析度的資料，利用回波以及對流胞特性去辨識 MCS 事件，並探討 MCS 的對流特徵以及結構在不同季節下的演變。此外，為了解這些 MCS 事件的成因，本研究也會對 MCS 事件的大尺度環境進行分析，以了解 MCS 的生成背後的機制以及驅動力。希望可以藉由了解台灣地區 MCS 的特性以及好發的環境，可以對於以後台灣地區的 MCS 的預報和模擬的驗證以及有一定程度的幫助。

本研究主要分為五個章節，第一章為緒論。第二章為資料來源與研究方法，為本篇研究中所使用的資料以及 MCS 篩選與季節的分類方法。MCS 分析結果一共分為兩個章節，第三章為 MCS 統計分析，主要針對 MCS 的熱力條件、降雨貢獻、對流結構以及空間分布進行統計。第四章為 MCS 事件的綜觀環境場的探討。最後一章為結論以及未來展望。

第二章 資料與研究方法

本章節將針對本研究介紹所使用資料以及 MCS 事件之定義與分析方法。依序介紹對 MCS 探空熱力變數之計算、MCS 之綜觀環境場、對流胞辨識以及追蹤演算法以及 MCS 事件之定義與分析方法。

2.1 使用資料

2.1.1 探空資料以及熱力變數之計算

本研究使用中央氣象局板橋探空站 2006 至 2020 年 00Z 之探空資料，僅挑選垂直上超過 500hPa 之資料進行熱力參數之計算，計算前會先對垂直上每 5Pa 做一次線性內插。為了探討 MCS 生成之環境，我們挑選了下列 5 種影響 MCS 生成之變數：

- 對流可用位能(CAPE, 單位 J/kg)

$$CAPE = \int_{Z_{LFC}}^{Z_{EL}} g \frac{T_{v,parcel} - T_{v,env}}{T_{v,env}} dz$$

其中 Z_{LFC} 為自由對流高度， Z_{EL} 為對流平衡高度， g 為重力加速度， $T_{v,parcel}$ 為氣塊虛溫， $T_{v,env}$ 為環境虛溫。

較大的 CAPE 為對流生成以及發展的有利條件，當 CAPE 愈大時，MCS 愈容易生成以及發展。

- 近地表 100mb 平均混合比(q_{low} , 單位 g/kg)

較多的低層的水氣可以使舉升凝結高度(LFC)下降，間接提高 CAPE 與降低 CIN，使對流更容易發展。

- 中層溫度遞減率(Γ_{mid} , 單位 K/km)

$$\Gamma_{mid} = -\frac{T_{500} - T_{700}}{Z_{500} - Z_{700}}$$

其中 T_{500} 、 T_{700} 為 500hPa、700hPa 之溫度， Z_{500} 、 Z_{700} 為 500hPa、700hPa 之高度。在中高層，較高的溫度遞減率代表環境溫度將會比原本更低，使得氣塊得以持續上升，更有利於對流發展。

- 潛在不穩定度(potential instability, 單位 K/km)

當 $\frac{\partial\theta_e}{\partial z} < 0$ 時，為潛在不穩定，本研究中使用 600-1000hPa 計算潛在不穩定

度，即：
$$\frac{\theta_{e600} - \theta_{e1000}}{Z_{600} - Z_{1000}}$$

當環境處在潛在不穩定時，在一層空氣上升時，由於下層的空气較容易飽和，在飽和後溫度遞減率下降，使得下層飽和的空氣溫度比上層高，因而產生對流的情形。

- 垂直風切

本研究中使用 600-1000hPa 計算垂直風切，公式如下：

$$\text{風速} = \sqrt{(u_{600} - u_{1000})^2 + (v_{600} - v_{1000})^2} \quad \text{單位：m/s}$$

$$\text{風切方向} = \tan^{-1}\left(\frac{v_{600} - v_{1000}}{u_{600} - u_{1000}}\right) \quad \text{單位：deg}$$

其中 u 為東西風之分量，v 為南北風之分量

垂直風切能夠使對流的生命期延長，根據 RKW 理論(theory Rotunno, Weisman and Klemp)，由對流胞降雨所形成的冷池會在陣風鋒面處有形成負水平渦度，當有垂直風切時，由風切所形成的正水平渦度會與原先鋒面負渦度互相抵銷，使得對流得以在鋒面處不斷產生新對流胞，使得對流的生命期延長。

2.1.2 中央氣象局 QPESUMS 雷達資料

本研究使用了 2006 至 2020 年中央氣象局 QPESUMS(Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor)(Chang, 2009) 之雷達回波資料，水平解析度為 0.125° ，垂直共 21 層，

時間解析度為 10 分鐘一筆，資料涵蓋範圍如圖 2.1 所示。該資料主要用於辨識以及定義 MCS 事件以及分析對於 MCS 的特性與 CFAD (The contoured frequency by altitude diagram) 之統計。關於詳細的辨識以及分析方法會於 2.2 節介紹。

2.1.3 中央氣象局雨量站資料

本研究使用了 2006 至 2020 年間台灣地區局屬站以及自動氣象站的雨量資料，總共 539 個站點，主要用於探討 MCS 對台灣地區在不同季節下的降雨貢獻以及空間變化。本研究一共有 4 種不同的累積降雨：MCS 累積降雨、TC 累積降雨以及 noMCS 累積降雨(不含 TC)，以及前面 3 種總和的總累計降雨。對於不同類型的事件，利用各測站在該事件下，各季節的降雨總和，去計算該測站的平均季節累積降雨。由於部分的測站建站時間較新，因此在計算平均累計降雨時，會以該測站建站日期至 2020 年間的時間去進行平均。站點間的內插方法是使用 Cressman 內插法，影響半徑為 0.25° 。

2.1.4 MCS 之綜觀環境場

對於 MCS 生成的綜觀環境，本研究中使用了 ECMWF ERA5 再分析資料，主要變數有溫度、比濕、重力位以及 u, v 風。資料涵蓋範圍約為北緯 10 度至 40 度，東經 100 至 140 度，垂直上分為 5 層(1000、850、700、500、200hPa)，空間解析度為 0.25° ，時間解析度為 12 小時(00、12Z)一筆，所有的環境場皆不考慮 TD 的影響。使用上會將資料再進行計算以及轉換成想要探討的參數，如下：

- 相當位溫(Equivalent potential temperature)
- 比濕(specific humidity)
- 重力位高度(geopotential height)
- 風場(wind field)
- 輻散場(divergence)

分析分為 MCS 之事件(MCS event)、其他剩下之非 MCS 事件(no MCS event) 以及前兩者之差值(MCS - no MCS)。其中判定有無 MCS 事件是由接近 00Z 之半天 (前一天 18Z 至 06Z)或 12Z 之半天(即 06Z 至 18Z)內有無 MCS 進行定義，如果有則該 00Z 或 12Z 之環境場即分類為有 MCS 事件之環境場，若無則為非 MCS 事件之環境場。此外，由於梅雨季節在 5 月中至 6 月中，為了分析各季節以及季節間的轉換，因此在分析時是以每半月一次，進行綜觀環境的探討。

2.2 MCS 事件之定義與分析方法

2.2.1 對流胞辨識以及追蹤系統

對流胞辨識以及追蹤系統其演算法來自於 Dixon and Wiener(1993)，藉由該演算法，中央大學大氣物理研究所雷達氣象實驗室開發了 SMART(Storm Motion Analysis by Radar Tracking)系統(葉, 2021; 吳, 2019)。SMART 系統可針對 2D 以及 3D 進行對流胞辨識以及追蹤，時間解析度為 10 分鐘一筆，本研究使用的是 2D 的辨識方式，首先會將雷達資料內插至卡式座標，並對每個水平網格取垂直上的回波最大值作為該點的回波值，經過處理後即為二維的 MAX CV。之後根據 SMART 系統所設定的回波門檻(T_z)以及面積門檻(T_v)進行對流胞的辨識， T_z 主要是針對對流胞的邊界，將對流系統的回波值大於 T_z 的區域辨識為對流胞，當 T_z 愈大時，所辨識的對流胞皆屬於強對流區，但大小上會變得較小且較為破碎，適合用於對流胞中的強對流區域的辨識，反之當 T_z 愈小時，對流胞的區域就會較寬廣、連續，適合用於辨識整個對流胞範圍。而 T_v 則是對於系統的大小，將系統過小的對流進行濾除。辨識方法如 **圖 2.2a** 所示，利用回波大於 T_z 且面積大於 T_v 之區域將其辨識為一對流胞，並針對每個辨識的對流胞，進行特性的分析。此外，針對對流以及層狀區的辨識，SMART 也可以使用雙回波門檻進行對流胞的辨識，辨識方式如 **圖 2.2b** 所示，可將對流胞辨識為回波門檻較低，面積較寬廣的

母胞(parent cell)、以及回波門檻較高的子胞(child cell)和同時母胞內有子胞的嵌入胞(cell embed)，這3種不同對流胞也會分別進行特性的計算，因此可利用不同辨識方法的對流胞特性去定義與分析 MCS。

本研究使用了 QPESUMS 之雷達回波資料進行 SMART 對流胞的辨識。由於 MCS 的組成通常具有劇烈對流的對流核心以及較為寬廣的層狀區，本研究採用了雙回波門檻進行對流胞的辨識，母胞回波門檻是以 Feng et al. (2019)，以 17dBZ 做為辨識包含層狀區之整個 MCS 範圍。而子胞回波門檻則是以原先 Dixon and Wiener(1993)，以 35dBZ 作為辨識對流區域的回波門檻，面積門檻則皆設定為 10 km^2 。藉由上述設定，利用在 2006-2020 年間 QPESUMS 資料去進行 SMART 對流胞的辨識，並利用不同辨識方法下的對流特性去定義 MCS。

2.2.2 SMART 對流胞特性

本研究使用的是 SMART-2D 的對流胞辨識系統，並使用雙門檻(35, 17dBZ)進行母胞、子胞以及嵌入胞的辨識。根據前一節所述，SMART 會針對所有辨識成功的對流胞進行基本對流特性的分析，其特性如下：

- 面積

$$A = n \, dx \, dy \, (\text{km}^2)$$

n 為對流胞格點數，dx、dy 分別為 x 軸以及 y 軸水平網格大小。

- 幾何中心

$$\bar{x}_g = (\sum_{i=1}^n x_i) \times \frac{1}{n} \quad ; \quad \bar{y}_g = (\sum_{i=1}^n y_i) \times \frac{1}{n}$$

- 回波權重中心

$$\bar{x}_e = (\sum_{i=1}^n x_i \times \left(\frac{Z_i}{n}\right)) \times \frac{1}{n} \quad ; \quad \bar{y}_e = (\sum_{i=1}^n y_i \times \left(\frac{Z_i}{n}\right)) \times \frac{1}{n}$$

其中 Z_i 為該格點之回波值

- 橢圓傾角(Orientation)

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\nu}{\mu}\right) \, (^\circ)$$

v 、 μ 為協方差矩陣之標準化特徵向量

- 長軸、短軸

$$r_{major} = \sigma_{major} \left(\frac{A}{\pi \sigma_{major} \sigma_{minor}} \right)^{1/2} \quad (\text{km})$$

$$r_{minor} = \sigma_{minor} \left(\frac{A}{\pi \sigma_{major} \sigma_{minor}} \right)^{1/2} \quad (\text{km})$$

σ_{major} 、 σ_{minor} 為 u 、 v 方向之標準差，更多資訊請參照 Dixon and Wiener(1993)

經過 SMART 的辨識以及計算後，獲得了 2006 至 2020 年間所有的對流胞特性，但因為使用的是 SMART-2D 的辨識方法，較無法獲得對流胞的垂直結構特性，因此在經過 SMART-2D 的辨識之後，會再將每個對流胞的 17dBZ 區域，藉由同時下 QPESUMS 的三維回波去回推當時對流胞的三維結構。

2.2.3 MCS 事件以及對流特性之定義

對於中尺度對流系統的定義，根據 [Feng et. al, 2019](#)，本研究使用了 SMART 17-35dBZ 之嵌入胞特性，利用雷達回波 >17dBZ 之長軸 >100km 作為 MCS 之定義，並限制該對流胞之 35dBZ 總面積與 17dBZ 面積比例不能少於 10%，以確保選取的 MCS 有一定強度。然而，利用該方法所篩選之個案也有部分受到颱風影響，因此本研究使用了 JMA 2006~2020 之 TC best track 資料，將包含符合上述條件且颱風中心接近台灣 15° 的個案進行濾除，經過濾除後的資料即本研究所定義的 MCS 事件。

經處理過的 MCS 事件會再利用 2.2.2 利用 QPESUMS 所回推的三維結構，對 MCS 對流特徵進行更進一步的分析，主要特徵如下：

- 35dBZ 對流總面積大小(單位: km^2)

即該對流胞內 35dBZ 面積總和，為 MCS 的對流區域的面積大小。

- 35dBZ/17dBZ 對流-層狀面積比

愈大代表對流區佔整體 MCS 的範圍愈大，由於在辨識 MCS 時已經將 10%以

下之對流胞進行濾除，因此範圍在 0.1 至 1 之間。

- 35dBZ echo top (單位:km)

即該對流胞在垂直上之 35dBZ 最高高度，較高的 echo top 代表強回波區域能夠延伸至較高的高度，也代表對流強度愈強，最高為 17km

- 17dBZ 橢圓傾角 (單位:度)

為整個 MCS 的傾斜角，正值代表 MCS 的長軸為東北-西南走向，負值則為西北-東南走向，範圍在 -90° 至 90° 之間。

- 17dBZ 短軸/長軸比

範圍在 0 至 1 之間，愈小代表該 MCS 愈細長，反之愈大代表該 MCS 愈趨近於圓形。

圖 2.3 至圖 2.7 為不同對流特性下我們所篩選出的 MCS 個案，圖 2.3 為不同長短軸比和 35dBZ 面積下我們所篩選的 MCS 範例，可以看到較小的長短軸比和較小 35dBZ 面積的為東部的線狀對流，並隨著長短軸比的增加逐漸轉為較接近圓形的 MCS 個案，另外，較大的面積的 MCS 個案則比較像鋒面為主的訊號。圖 2.4 為長短軸比和面積比例，可以看到個案粉紅色的區域與灰色區域的比例隨著縱軸愈來愈相近。圖 2.5 為面積和橢圓傾角，也確實可以看到傾角的變化由負往正從近乎垂直以逆時鐘旋轉逐漸轉為西北-東南走向、接近水平、東北-西南走向，最後重新回到接近垂直走向。圖 2.6 為面積比與傾角，一樣可以看到面積比的變化，不過由於範例中有較多較為圓形的個案，傾角的變化不那麼明顯，該情況在圖 2.7 為長短軸比與傾角中，較高長短軸比的情況更為明顯，較不易看出傾角的方向。由這些範例可以看到台灣的 MCS 事件有相當多不同的樣貌，而這些不同類型的 MCS 系統所好發的季節、熱力條件以及綜觀環境因素我們將在第三章有更為詳盡的探討。

第三章 MCS 統計特性與空間分布

本章節主要分為兩個部分，第一部分為 MCS 之統計特性，包含 MCS 事件占比、熱力變數特性，對流胞特性以及 CFAD 的統計分析。第二部分為 MCS 事件的空間分布，包含累計降雨，MCS 發生頻率以及對流胞特性在台灣地區的空間分布情形。本節中的季節分類與 Chen and Chen(2003) 相同，共分為 5 個季節：春季(3 月至 5 月 15)、梅雨季(5 月 15 至 6 月 15)、夏季(6 月 15 至 8 月)、秋季(9 月至 11 月)以及冬季(12 月至 2 月)。

3.1 台灣地區 MCS 統計特性

本小節將會分為四個部分，首先會探討 MCS 事件在各月份、季節下的占比，對於所有 SMART 所定義之 MCS 事件，利用不同季節以及不同半月去區分 MCS 個案，並探討不同季節以及半月間 MCS 與全部事件的占比變化。第二部分為熱力變數特性，利用板橋測站的 00Z 探空資料所計算的 CAPE、低層水氣、中層溫度遞減率、垂直風切以及潛在不穩定度，去分析每個月 MCS 發生時的平均熱力變數的變化。第三部分為對流胞特性，利用 2.2.3 節所定義的 35dBZ 面積、35dBZ/17dBZ 面積比、echo top、長短軸比以及橢圓傾角去分析 MCS 事件的對流特性在不同半月間的變化情形。最後為 CFAD，利用 QPESUMS 所計算的 CFAD，去探討不同季節下 MCS 在垂直方向上回波的特性變化。

3.1.1 MCS 事件占比

圖 3.1 為台灣地區 MCS 在不同季節間的比例，結果顯示以梅雨季為最多，占約全部 MCS 事件的 31.6%，春兩次之(30.2%)，其次是夏季(16.5%)和秋季(14.7%)，冬季則為最少，只有 7.1%。以不同半月來看，由圖 3.2 可以發現在 3 月過後 MCS 事件的比例開始迅速上升，直到 6 月上半月達到最高，占全部 MCS 事件的 18%，之後開始迅速下降，大部分夏季和秋季的 MCS 事件比例大約落在 2%~4%，而冬季

占比則最少，皆在 2% 以下。

3.1.2 MCS 熱力變數特性

由探空資料所計算之熱力變數，不同月份間 MCS 事件發生時的熱力變數如圖 3.3 和圖 3.4 所示，可以得知冬季時(12 月至 2 月)，雖然垂直風切為全年最高(20.2-21.6m/s)，但其平均 CAPE(5.1-14.2 J/kg)、中層溫度遞減率(5.2-5.5 K/km)、低層水氣混合比(9.9-10.4 g/kg)皆為全年最低的情形，此時的潛在不穩定度大約在 0.6-1.5 K/km 之間，處於正值，表示了冬季為相對穩定的環境，熱力條件對 MCS 的影響較小，推測冬季的 MCS 主要是藉由綜觀系統的作用生成(如鋒面等)。

過了冬季後，大部分的熱力條件開始變好，從 3 月到 6 月期間，CAPE 從 54J/kg 上升至 519.4 J/kg(圖 3.3)，低層水氣混合比大約從 10.5g/kg 上升至 16.2g/kg(圖 3.4)。中層溫度遞減率則在 2 月到 3 月期間變化較大，從 5.45K/km 上升至 5.8K/km，之後大約維持在 5.6K/km 至 5.8K/km 間。而垂直風切則開始下降，從 20.4m/s 下降至 10.5m/s。至於潛在不穩定度則要到進入梅雨季(5 月至 6 月)後才開始變為不穩定。

夏季(7 月、8 月)為對流發展的熱力條件最良好的季節，CAPE 最高有達到 954.7 J/kg，低層水氣混合比也有達到 17.2g/kg，皆為全年最高。潛在不穩定度也為-3.9K/km，相較於其他月份處於最不穩定的時期。然而，夏季的垂直風切為全年最低的情形，最高只有 3.2m/s，雖然夏季的大部分熱力條件相較於其他季節易於對流發展，但較弱的垂直風切可能會使得 MCS 的發展受到限制，生命期也較短。

夏季過後，熱力條件開始變差，在秋季(9 月至 11 月)，平均 CAPE 從原先 8 月的 954.7J/kg 到 9 月下降至 383.9J/kg，至 11 月只有 131.65J/kg。低層水氣混合比也同樣從 8 月 17.2g/kg 到 11 月下降至 13.0g/kg。潛在不穩定度雖然在

11 月也上升至 $-1.29\text{K}/\text{km}$ ，但仍然處於不穩定的情況。相反的是，在夏季過後，垂直風切開始提高，從原先 8 月的 $1.8\text{m}/\text{s}$ ，到 11 月時上升至 $16.2\text{m}/\text{s}$ 。秋季大部分熱力條件較夏季不易對流發展，但此時仍處於較不穩定的環境，垂直風切的提高也使得 MCS 能夠維持強度並持續發展。進入冬季後 CAPE 從 $131\text{J}/\text{kg}$ 急遽下降至 $14.2\text{J}/\text{kg}$ ，低層水氣也從 $13.0\text{g}/\text{kg}$ 下降至 $10.4\text{g}/\text{kg}$ ，中層遞減率也從 $5.7\text{K}/\text{km}$ 下降至 $5.3\text{K}/\text{km}$ ，潛在不穩定度也變為 0.66 ，再次變為冬季較為乾燥、穩定的情形。

3.1.3 MCS 對流胞特性

圖 3.5 至圖 3.9 為不同半月間 MCS 各類對流胞特性的變化。於圖 3.5 為不同半月間 35dBZ echo top 的變化，圖中指出 echo top 於暖季時較高，冷季時較低。此外，由 Q1、Q2、Q3 可以發現 echo top 峰值位在 6 月下半月，為初夏時節，Q1 有到 14km 。而進入 7、8 月時 Q1、Q2、Q3 的數值反而稍微下降，大約為 12km ，並在 8 月過後至 9 月底又有些微上升，Q1 在 9 月底也有達到 14km 。7、8 月 echo top 稍微較低的情形，主要與 3.1.2 節熱力因素有較明顯的關係，可能與所述的垂直風切有關，由於該時期的風切較弱，因此對流較不容易維持與發展，echo top 也就較初夏和初秋時期垂直風切較強的時刻低。

圖 3.6 為 35dBZ 面積的變化，可得知大部分 MCS 事件其對流面積約在在 70^2km^2 左右，對流面積峰值則在 6 月前半月，即梅雨季節最活躍的時期，有著較多對流較為寬廣的 MCS 事件發生。在進入夏季後，雖然熱力條件較好，但面積明顯較梅雨季節小，原因可能是因為此時垂直風切不到 $5\text{m}/\text{s}$ ，而梅雨季則有 $10\text{m}/\text{s}$ 以上，由於垂直風切是 MCS 發展的關鍵因素之一，垂直風切太弱可能導致 MCS 較不易發展，因此導致夏季 MCS 事件面積普遍較小。而秋季 MCS 面積在 11 月左右有較多較大面積的 MCS 事件發生，但在數量上仍少於梅雨季時期梅雨鋒面所挾帶之 MCS。冬季較為特別，似乎有 2 種不同型態的 MCS 事件，一種大小在

70^2km^2 以下，另一種則在 90^2km^2 至 130^2km^2 。

而圖 3.7 35/17dBZ 面積比例中，由 q1 可以得知接近有 75%接近面積比例位於 0.1 至 0.25 間，且冬季有較多的低面積比例 MCS 事件，即冬季的 MCS 層狀區較為重要。相對之下，梅雨季節(5 月中至 6 月中)和秋末(11 月)的 Q1、Q2 和 Q3 較其他季節和月分高，與前面 35dBZ 的時間段大致相同，代表該時間下發生 MCS 事件時，強對流的系統發生機率會較高，但據前面所述，秋末的事件個數較梅雨季少，因此以發生頻率來看，對流較強的 MCS 還是以梅雨季節為主。

圖 3.8 為橢圓傾角之變化，其不同傾角之 MCS 範例可以在圖 2.5 看到。在台灣，大部分之 MCS 橢圓傾角都在 0 至 90 度之間，而負值較少，即 MCS 長軸方向為東北-西南走向，且在冷季時尤為明顯，可能是在冷季時較為頻繁的冷鋒事件大多都為東北-西南走向有關。而負橢圓傾角的部分主要分布在夏季 7、8 月左右，可能與西南風事件所觸發之 MCS 事件有關，也可以由前面圖 2.5 看到，在負的橢圓傾角下，有一些範例是位於台灣西南部。

最後圖 3.9 為長短軸比的部分，不同長短軸比之 MCS 範例可以在圖 2.3 看到。台灣 MCS 事件長短軸比大多在 0.2 至 0.5 左右，為較細長之類型，並在暖季時長短軸比有略微的上升，而冷季時則較低。此外，在冬季也可以看到兩種不同類型的 MCS 事件，以 1 月尤為明顯，一種長短軸比在 0.4~0.6 間，另一種則在 0.2~0.4 間。

3.1.4 MCS CFAD 變化

圖 3.10 為 MCS 事件發生時。不同季節下的平均 CFAD，該圖為 MCS 回波值在不同高度的機率分布，此外，圖中已經濾除事件數過少的資料，將資料量不足 2000 筆/月的格點去除(例如:在冬季 3 個月(12 月至 2 月)，因此在 CFAD 平均前會將資料筆數小於 6000 筆的格點去除，再進行平均)。由圖中可以看到在不同季節下的 CFAD，在有資料的最高高度下，冬季的 MCS 較其他季節較低，只有大約

15km，且因為資料筆數過少，大部分在 15km 處的資料都已經被濾除。其次是秋季(16km)，春季的 MCS 事件雖然有到 17km，但資料筆數也較少，而夏季和梅雨季的高度較高。圖 3.11 則為前面圖 3.10 中的 Q1、Q2、Q3 在不同季節的變化，我們可以看到在低層 1km 到 4km 左右，冬季的 Q1、Q2、Q3 數值普遍較低，並且在 4km 以上開始明顯下降，說明了冬季的 MCS 有較多的事件的回波較弱。相較之下，梅雨季有較高的回波值，且在 4 到 8km 尤為明顯，Q1、Q2、Q3 數值明顯比其他季節來的更高，代表大部分的 MCS 事件在梅雨季普遍回波較強，並且在較高的高度上仍保有一定的強度。

3.2 MCS 事件的空間分布

從 3.1 節中，已經得知了 MCS 在不同季節中的統計特性的變化，對於 MCS 在不同季節下的實際空間分布的表現，在接下來 3.2.1 至 3.2.5 節會以季節作為區分，對於 MCS 的平均季節累計降雨、平均每日出現頻率以及對流胞特性空間分布的變化進行探討，這些特性的定義如下：

- **MCS 的平均季節累計降雨**

不同季節的平均累計降雨是由 2006 至 2020 年間，全部測站在各季節的降雨總和去計算。站點間的內插方法是使用 Cressman 內插法。並利用 SMART 所定義的對流胞資訊以及 JMA TD 資料的時間去區份不同類型的平均累計降雨，如圖 3.12 所示，分為 MCS 累積降雨(圖 3.12a)、總累積降雨(圖 3.12b)、TC 累積降雨(圖 3.12c)、以及其他非 MCS 累積降雨(圖 3.12d)。

- **平均每日出現頻率**

本研究中 MCS 的發生頻率是使用平均每日 MCS 發生之次數。範例如圖 3.13 所示，是由 SMART 所定義的 17dBZ 對流胞去計算。圖中的次數為 SMART 所定義的 MCS 事件次數，並非實際 MCS 的個數，但由於 SMART 系統為 10 分鐘一筆資料，因此也可以視為平均每日在該地點有 MCS 紀錄的時間長短。此外，圖中的底色為

經過 \log_{10} 轉換過的次數，因此圖例中的數值 1 其實為 10 次(10 次 10 分鐘/每日)。對於 1 至 12 月不同半月間，平均每日發生頻率的詳情請見附錄 A。

● 對流胞特性空間分布

而對流胞特性其範例如圖 3.14，與 2.2.3 節所定義的相同，一共有:35dBZ 面積、17/35dBZ 面積比、橢圓傾角、長短軸比以及 echo top，並根據每個 MCS 的回波權重中心分配在 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 網格點上，之後再進行平均後得到。對於 1 至 12 月不同半月間，對流胞特性空間分布詳情請見附錄 B。

3.2.1 春季(2月至5月中)

在春季期間，平均季節累計降雨如圖 3.12 所示，結果顯示在春季在 2 月至 5 月中這段期間的總降水量集中在北台灣，大約 300-500mm(圖 3.12b)。而 MCS 在春季的累計降雨集中在北台灣，約在 200-300mm 間(圖 3.12a)，降雨貢獻在北台灣大約占了全部的 50%~60%，為僅次於梅雨季第二高的占比。而圖 3.13 為春季期間每半月之平均每日 MCS 發生之次數之變化，由圖中可以發現在此期間 MCS 發生地區主要以北部的以及西北部為主，推測此時台灣 MCS 事件是以冷鋒鋒面或春雨為主。隨著時間推進，MCS 發生次數逐漸上升，並開始逐漸擴散至整個台灣，開始進入梅雨季節。而圖 3.14 至圖 3.16 為對流胞特性在春季的空間變化，可以發現在這段期間期對流胞中心範圍逐漸從北部延伸至整個台灣，並且在對流胞面積上有逐漸變大的趨勢。在長短軸比的分布上，在春季初期有較為明顯空間分布上的變化(圖 3.14c)可以看到在台灣西部的平均長短軸比(0.4-0.5)較東部(0.2-0.3)大，代表著西半部之 MCS 較東部來的寬廣，並且可以看到在面積比例上(圖 3.14e)，東部的 MCS 面積比似乎有較西半部的 10-20%稍大一些，部分的事件有 25%以上，這可能與東部外海在冷季時常出現之線狀對流有關。在 4 月過後(圖 3.15 至圖 3.16)，可能是因為東北季風減弱的關係，開始轉為由鋒面或春雨所挾帶的 MCS 事件為主，上述東部線對流的訊號變得不再像初春一樣明顯。

3.2.2 梅雨季(5月中至6月中)

具前面 3.1.1 以及 3.1.3 節所述，梅雨季節為對流面積最大(圖 3.6)，也是 MCS 事件最活躍的時期(圖 3.1)。這段時間的累計降雨如圖 3.17 所示，在圖 3.17b 總累積降雨中，大部分台灣地區在這 1 個月內都有 300mm 以上的累積降雨，並以中南部山區為多，有到 500-600mm。而 MCS 累積降雨以台灣中部和南部山區較多，並且 MCS 的累積降雨量相當接近總累積降雨圖 3.17a，約 400-500mm，總共占了接近 60%至 70%總降雨量，代表這段時間的降雨主要是由 MCS 事件所貢獻。MCS 事件的發生頻率如圖 3.18，由圖 3.18(a)、(b)我們可以看到在梅雨季節下 MCS 事件幾乎涵蓋了整個台灣，並且在 6 月前半月之 MCS 發生次數較多，達到平均 1 天 10 次 SMART 所定義的 MCS 事件。於 6 月中過後，如圖 3.18(c)所示，MCS 訊號移至台灣北部地區，代表著梅雨季節北移，開始轉換為夏季的天氣型態。

3.2.3 夏季(6月中至8月)

進入夏季後，由圖 3.19 的累積降雨可以得知，夏季因為有 TC 和西南季風影響，集中在西南部，也因為月份數也較多(6月中至8月，共 2.5 個月)，因此雨量也比前兩個季節高，最高有超過 1200mm(圖 3.19b)。可以知道此季節的降雨以台灣西南部較多，降雨貢獻主要是以 TC 為主，尤其是在台灣西南側，2 個半月內的累計降雨有到 800-900mm(圖 3.19c)，而 MCS 所貢獻的降雨量較少，只有 100-200mm 左右(圖 3.19a)，分布也以台灣西南部較多，推測受到西南季風的影響。MCS 事件在夏季也集中在台灣西南部以及南部地區(圖 3.20)。另外，由圖 3.21 對流特性的空間分布中，可以發現在夏季台灣山區的 echo top 相較於其他地區較高，並且橢圓傾角主要是以南北走向($\pm 70^{\circ}$ ~ 90°)為主，這可能是因為在夏季時，山區對流系統發展旺盛，數個對流胞沿著山脈發展，在雷達回波下看起來像是一條狹長型之對流系統，因此在對流系統大過 100km 時，就會被 SMART 辨

識為 MCS 事件，不過該類型的事件的生命期較短，也容易形成成數個獨立的對流胞，因此這種類型的事件在數量上並不會太多，夏季的大部分 MCS 事件還是集中在台灣西南部以及南部地區。

3.2.4 秋季(9月至11月)

進入秋季後(9月至11月)，台灣地區開始由西南季風轉換為東北季風，並且受到少部分的 TC 事件影響，總降雨量集中在東部以及東北部，因其月份數多(9月至11月共3個月)，秋季在宜蘭地區可以到 1200mm 左右的累計降雨(圖 3.22b)，降雨貢獻主要來自於 TC，於台灣東部有最高有達到 800-900mm(圖 3.22c)，MCS 的貢獻較少，只有 200-300mm(圖 3.22a)。由圖 3.23(a, b, c, d)可以得知在夏季過後，MCS 主要發生地區從台灣南部逐漸轉移至東南部、東部等地區。於11月過後(圖 3.23, e, f)，開始有較多之 MCS 事件於台灣西北部以及北部地區，可能為冷鋒事件所形成的 MCS 事件，並且 MCS 發生的頻率較其他 9 月、10 月高，與圖 3.2 類似，原因推測可能有幾個因素：

在夏季時，MCS 以熱力作用為主，如圖 3.3、圖 3.4 垂直風切較弱，在進入秋季後，熱力條件開始變差，但仍處於潛在不穩定的環境，潛在不穩定度仍在 -1.29K/km ，且垂直風切在 9 月的 5.4m/s 至 10 月提升至 10.3m/s ，11 月則提高至 16.2m/s (圖 3.3)。在此之前，減弱的熱力條件與較弱的垂直風切使得 MCS 發展受到限制，因此在數量以及面積上皆較小。此外，在 11 月後，由於冷鋒事件較容易發生(圖 3.23, e, f)，MCS 可以藉由冷鋒事件的作用克服較不利對流的環境生成，仍然不穩定的熱力條件加上較強的垂直風切使得 MCS 較容易於冷鋒事件中生成以及發展，因此無論在頻率還是面積上，11 月皆比其他秋季的月份來的高。

值得一提的是，在進行 MCS 事件篩選時，我們發現南海地區的低壓事件有時會影響台灣南部 MCS 事件，當南海地區有低壓事件發生時，外圍環流的影響容易在有較強的東風，使得台灣東南部或南部地區產生較強的對流，當該低壓持續存

在，就會使台灣南部以及東南部產生持續不斷的 MCS 事件。我們首先在 2011 年 11 月初有看到較為明顯的情況發生，該低壓於南海持續了接近 5 天，造成了接近 800 筆 MCS 事件，佔 2006~2020 年間 11/1~15 總 MCS 事件的 40%。這種情形在分類上較屬於由個案引起的 MCS 事件，因此在分析上我們將這段受低壓影響下的 MCS 事件進行濾除，目前對於這種異常個案的處理是藉由尋找類似於 2011 年 11 月初這種較為異常的個案，並搭配地面天氣圖進行手動的濾除。

3.2.5 冬季(12 月至 2 月)

進入冬季之後，圖 3.25b 中平均總累計降雨而冬季集中在東北部海岸一帶，約 700-800mm。而 MCS 累計降雨相較於其他季節較少，且大部分降雨都集中在台灣東北部(圖 3.25a)，雨量較少，低於 100-200mm，而 MCS 在該區域所造成的貢獻大約為 20%~30%，在比例上低於春季，但高於夏季和秋季的降雨貢獻，降雨貢獻主要是來自非 MCS 事件，在東北部約 500-600mm(圖 3.25d)。由圖 3.26 可以發現 MCS 事件主要發生主要集中在台灣北部以及東部地區，與 11 月的配置類似，但 MCS 次數顯著下降，原因主要為熱力條件在 11 月過後開始顯著變差，處於一個較穩定的環境，不利於 MCS 生成以及發展，因此雖然 MCS 事件分布的地區類似，但冬季的 MCS 事件仍較 11 月來的少。另外，在冬季的對流胞特性表現出兩種不同型態的 MCS 事件，分別位於台灣北部地區以及東部地區。以 12 月初為例，由圖 3.27 可以發現在東部地區的 MCS 事件，大部分平均回波面積較小，相較於西部 $80^2 - 160^2$ (km²)只有 $40^2 - 80^2$ (km²)，並且長短軸比也西部(0.4-0.7)較低(0.1-0.4)，但 35/17dBZ 回波比值兩者近乎相同，部分區域甚至大於西部的 MCS 回波比值，達到 25%，推測與東部地區 MCS 事件可能以與初春時相同的線狀對流為主。而台灣北部地區之 MCS 事件則與 11 月的情形類似，為冷鋒事件所挾帶的 MCS 事件。’

第四章 MCS 綜觀環境場分析

本章節使用 ECMWF 的綜觀環境資料，討論在不同季節的 MCS 事件、無 MCS 事件以及兩者的差值進行分析，分析的變數有：風場、重力位高度場、輻散場、比濕以及相當位溫。會依序有高層往低層進行分析，一共 5 層，分別為：200hPa、500hPa、700hPa、850hPa 以及 1000hPa。

中高層(200、500hPa)與低層(700、850、1000hPa)的分析因特徵而異，在 200hPa 以及 500hPa 層場中，由於已經幾乎沒有水氣，因此分析只有風場、重力位高度場以及輻散場，以圖 4.1 為例，每一直排為同一個時間，圖 4.1, a, d, g 皆為 3/1-3/15 環境場，但圖 4.1, a 為 MCS 事件時的環境，圖 4.1, d 為無 MCS 的環境，而圖 4.1, g 為 MCS 減去無 MCS 的差異場，而由左至右為不同的時間，例如圖 4.1, b, c 依序為 3/16-3/31 以及 4/1-4/15 的環境場。而在 700hPa 以下，因為水氣開始變得重要，分析上會以其中一個半月作為代表，如圖 4.3 所示，由上至下的環境場與 200hPa 類似，為 MCS(圖 4.3, a)、無 MCS(圖 4.3, d)以及 MCS 減去無 MCS(圖 4.3, g)。而直排代表不同變數，由左至右第一直排為相當位溫(圖 4.3, a, d, g)，第二排為水氣(圖 4.3, b, e, h)，最後為輻散場(圖 4.3, c, f, i)。

4.1 春季(2 月至 5 月中)

在 200hPa 綜觀合成環境場(圖 4.1)中，可以由 12460m 高度線得知，在春季高層之西風帶開始逐漸減弱並北移，在有 MCS 事件時，差異場顯示出在台灣北部附近有一較明顯輻散帶(圖 4.1, g, h, i)。而在圖 4.2 中 500hPa 環境場，其配置大致與 200hPa 相同，皆為減弱和北移的西風帶。此外，於差異場(圖 4.2, g, h, i)，發現在重力位高度差值下，於西風帶左側大多為負值，而右側大多為正，代表在 MCS 發生時，槽脊系統較無 MCS 來的明顯。而在 700hPa，由圖 4.3 可以發現，此時台灣仍受到高層西風帶影響，以西風為主，但在有 MCS 事件發生時風速較強，並伴隨溫度以及水氣平流，造成在差異場的比濕以及相當位溫為正值。

在圖 4.4 850hPa 環境下，可以在 1530m 等高線可以看到，無論有無 MCS，

太平洋高壓都位於菲律賓東側，只是在無 MCS 事件時，風速較弱，以偏南風或西南風為主。當 MCS 事件發生時，太平洋高壓會向東退，使得台灣上空西南風加強，帶來更多較為溫暖的水氣，導致在有 MCS 事件時，台灣北部以及西北部的的水氣以及相當位溫都呈現較高的正差異值(圖 4.4g, h)。另外，由差異場可以發現圖 4.4, g, h，相當位溫之差值較水氣的差值高，這說明了西南風除了水氣之外，還帶來了較為溫暖的空氣，導致相當位溫的變化較於明顯。另外，在 850hPa 風場以及輻散場上(圖 4.4, f)可以看到 MCS 發生時，西南風與冬季季風於台灣北部約北緯 25 至 30 度間輻合，產生一明顯風切帶，這可能為鋒面所帶來的訊號，說明春季的 MCS 事件主要是以鋒面系統所挾帶的 MCS 事件為主，並且主要影響在台灣北部地區，與我們在 3.2.1 節所描述的情形相符合。

而在圖 4.5 中，可以看到在 1000hPa 下，有 MCS 事件時(圖 4.5d, e, f)，高壓位於於日本外海，並帶來東南風與東北季風在台灣地區輻合，同樣可以看到有明顯的風切線以及輻合帶，並帶有負的輻散場差值(輻合, 圖 4.5g)以及正的水氣(圖 4.5h)以及相當位溫差值(圖 4.5i)。此外，在高度場上，我們可以看到在台灣附近輻合處有一相對低壓帶，由差異場也可以看出相較於無 MCS 事件時其重力位高度於台灣上空皆為負值，推測是鋒面系統的訊號。

由上述分析可以得知在春季 MCS 事件通常是來自於鋒面系統，台灣在中高層主要受西風帶影響，但隨著時間推移，西風帶逐漸減弱並北移，在 MCS 事件發生時，槽脊系統會相較於無 MCS 來的明顯。在低層，太平洋高壓位於台灣東側外海，帶來西南風，與冬季季風輻合，有較為明顯之低壓帶以及風切線，並帶來潮濕、溫暖之空氣至台灣，與我們在 3.2.1 所描述的情形類似。

隨著時間推移，由圖 4.6 可以看到低層 850hPa 在大約 4 月中過後(圖 4.6d, e, f)，太平洋高壓開始向東退，於南海一帶風向開始逐漸轉為西南風，此外，青藏高原背風槽線開始於中南半島至南海一帶形成，代表著台灣逐漸進入梅雨季節。而在 5 月中之後，可以看到高層 200hPa 在中南半島北側有一反氣旋環

流產生(圖 4.6c)，原本於南海之西風開始逐漸轉為東風，位於南海地區高層和低層風場的轉變說明著東亞夏季季風的肇始(Yihui, 2005)(陳孟詩, 2012)，此時台灣也正式進入梅雨季節。

4.2 梅雨季(5月中至6月中)

進入梅雨季之後，在圖 4.7 中 200hPa 環境場上可以看到因中南半島北部反氣旋影響，台灣位處於分流區，有輻散的現象，而有 MCS 事件該情況則更為明顯，因此在輻散場差值為正，並且在 6/1-15 日間尤為明顯。而圖 4.8 中 500hPa 高度場可以發現台灣則位處於槽前，且有 MCS 事件發生時，其槽線較無 MCS 來的更深，為較利於對流發展的情況。而在低層的部分，於 850hPa 在圖 4.9 中可以看到有 MCS 和無 MCS 在風場上皆可看到較明顯之低層噴流由南海一帶延伸至台灣附近，但於無 MCS 事件時，其噴流位置較北側，且風速較弱(圖 4.9c)，而有 MCS 時則涵蓋了整個台灣上空(圖 4.9f)，由差異場也可以看到於低層噴流攜帶了溫暖潮濕的水氣，因此水氣和相當位溫在噴流發生處皆為正值，而無 MCS 的噴流位置較北側，因而暖濕空氣被帶到北側，因此該處在相當位溫和水氣差異場上均呈現負值(圖 4.9g, h)。在 1000hPa 下，由圖 4.10 可以發現在有 MCS 事件時，台灣以西南風為主，風速較強，並於台灣上空有一明顯低壓帶以及風切線，為梅雨鋒面的訊號。而無 MCS 事件低壓帶以及風切線則位於北側。

在梅雨季節下，MCS 生成與梅雨鋒面的位置息息相關，無論是 MCS 事件和無 MCS 事件，於環境場皆可以看到在高層 200hPa，台灣處於一分流區，屬於輻散的情況。而中層位於槽前。低層則有較明顯的低層噴流以及 1000hPa 的風切線和低壓帶，皆為梅雨鋒面的訊號(Chien, 2019)(Chen and Chen, 2003)。而 MCS 事件和無 MCS 事件最主要的差別在於梅雨鋒面位置的不同，在有 MCS 事件中，鋒面的位置主要為於台灣上空，而無 MCS 時，由於梅雨鋒面北移，因此鋒面訊號位於較北側。在 6 月中過後，如圖 4.11 所示 500hPa 副熱帶高壓(圖 4.11d, e, f)以及 200hPa

於中南半島反氣旋(圖 4. 11a, b, c)開始北移並增強，台灣開始進入夏季的天氣型態。

4.3 夏季(6 月中至 8 月)

進入夏季後，於 200hPa 高空位於西藏的反氣旋持續存在，並持續到 9 月初(圖 4. 12)，而在有 MCS 事件發生時，輻散帶主要位在台灣西南部地區(圖 4. 12, i, j, k, l)。由圖 4. 14 500hPa 環境場可以發現此時台灣主要受到 5880m 線副熱帶高壓影響，但有 MCS 事件時 5880m 重力為高度線相較於無 MCS 事件來的更東邊，甚至東退離開台灣地區(圖 4. 14e, f, g, h)。這代表台灣的 MCS 事件在夏季副熱帶高壓不能過強，以至於抑制對流生長。在 700 和 850hPa 的環境場相似，以圖 4. 14 為例，在無 MCS 事件時，由 1510m 高度線顯示了台灣地區受到太平洋高壓影響，南海地區西南風影響有限，整體以偏南風或東南風為主，風速較弱(圖 4. 14c)。但有 MCS 事件時，太平洋高壓的位置偏東，對台灣地區的影響變小，使得南海地區知西南風得以影響台灣地區(圖 4. 14f)，並帶有些微的水氣以及相當位溫正差異值(圖 4. 14, g, h)。而在 1000hPa 下也有類似的情況(圖 4. 15)，MCS 事件時，高壓會位於較東側，並且有較強的西南風(圖 4. 15f)。此外，台灣地區附近都有較高之水氣量以及相當位溫(圖 4. 15d, e)，且無論有無 MCS 事件，兩者的差異不明顯(圖 4. 15g, h)，原因與梅雨季類似，水氣以及溫度在 1000hPa 對於 MCS 生成已經足夠，對 MCS 之生成影響不大。

台灣在夏季時，MCS 事件主要受到高壓的位置以及西南氣流的影響。在中層可以發現副熱帶高壓的位置相較於無 MCS 事件來的更靠東側，說明此時副熱帶高壓的影響減弱。而低層也因為高壓較東側的影響，使得南海之西南氣流得以影響台灣，造成 MCS 生成於台灣西南部，這與我們 3. 2. 3 節所述一致。

4.4 秋季(9月至11月)

在秋季，具前面 3.2.4 節所述，MCS 的空間分布情形在 11 月前後的變化較大，而在綜觀環境場下也可以發現類似的情形。在圖 4.16 高層 200hPa 環境場中，有無 MCS 之差異並不明顯，但兩者皆顯示出北方的西風帶逐漸向南接近台灣，並於 10 月左右，台灣地區開始受到高層西風帶的影響，西風帶風速也開始上升(圖 4.16b, c, e, f)，並逐漸往中低層擴增。於圖 4.17 500hPa 環境場中可以看到副熱帶高壓的影響開始變弱並南移，取而代之的是西風帶的移入，風速也隨著高層西風帶的發展而增強。而在 700hPa 可以看到在進入秋季後，在無 MCS 事件時，台灣位於高壓中心附近，風速較弱(圖 4.18c)，在有 MCS 事件時，高壓位置較靠東(圖 4.18f)，台灣地區以東南風至東風為主，並帶來暖濕空氣至台灣東部以及東南部(圖 4.18g, h)。至 11 月開始，如圖 4.19 所示，台灣開始受到西風帶的影響，高壓向東南移動，風場開始轉為西風，而在有 MCS 的情況下，高壓較無 MCS 來的強，在台灣地區有部分東南風或南風分量(圖 4.19f)，帶來了較為暖濕之空氣，因此有正的水氣以及相當位溫差異(圖 4.19g, h)。

850hPa 環境場在 11 月前和 11 月後有很大的區別。在 11 月前，台灣地區主要中國華北地區高壓影響，以東北風為主(圖 4.20)，並開始向東南延展。而在 MCS 發生時，高壓的位置較靠東側，台灣地區大部分都呈現接近東風的情況(圖 4.20f)。我們可以由風場的差異值看出，台灣上空大多都呈現向北的分量(圖 4.20i)，並且水氣和相當位溫也差異場也都呈現正值(圖 4.20g, h)，代表說秋季之 MCS 事件其北風分量不能太強，以至於較為乾冷的空氣進入台灣，影響 MCS 生成以及發展。在進入 11 月後，如圖 4.21 所示，在無 MCS 事件時，此時台灣受大陸高壓影響，以北風或東北風為主(圖 4.21c)，而在有 MCS 事件時，高壓的位置則在台灣東側約(130°~140°左右)，以東南風為主(圖 4.21f)，並與原先之東北風於台灣地區輻合，並有一明顯風切線於華中一帶，推測可能為鋒面系統的影響。

響。而 1000hPa 的情形與 850hPa 類似，在 11 月前有 MCS 事件下東北風有些微轉至東北東風的情形，並且風切線位於台灣北部地區，且較 850hPa 更為明顯(圖 4.22、圖 4.23)。

台灣在秋季時高層受到西風帶開始南移，於 10 月左右開始影響台灣，並向下擴展至 700hPa。而低層 MCS 事件主要會因為東北季風較乾冷的空氣影響，較不利於 MCS 生成以及發展，因此低層溫度和水氣開始變得十分重要，因此可以在 850 和 1000hPa 皆可看到相較於無 MCS 事件之東北風有較為明顯之南風分量，導致原本東北風轉為東北東風或東風，甚至轉為東南風，因此可以看到較為明顯的水氣以及相當位溫的正差異值。

4.5 冬季(12 月至 2 月)

冬季期間於 200hPa(圖 4.24)和 500hPa(圖 4.25)皆可看到台灣持續要受到西風帶的影響，風場以及高度場配置與 200hPa 類似，由 500hPa 重力位高度差異場可以發現於西風帶東側為正，西側為負(圖 4.25i)，代表在 MCS 發生時槽脊系統會相較於無 MCS 來的明顯。而 700hPa 下也受到高層西風噴流的影響，以圖 4.26 為例，台灣地區以西風為主，在有 MCS 事件時，太平洋高壓相較於無 MCS 事件時更強且更靠北側，受高壓環流影響，導致西風轉為西南風，甚至轉為南風。我們也可以由差異值看出，在冬季時，有 MCS 事件時風場多半都為向北的分量，帶有較多的水氣以及相當位溫的正差異值(圖 4.26g, h)，且相當位溫的變化比水氣共為明顯，代表著冬季需要比平常來的更多溫暖以及潮濕的水氣，其來源來自於由太平洋高壓所帶來的南風分量。而在圖 4.27 850hPa 環境場中，有 MCS 事件以及無 MCS 事件的環境配置與前面秋季 11 月時相似，在無 MCS 事件時，此時台灣位於高壓中心附近，以北風或東北風為主，風速較弱。而在有 MCS 事件時，高壓的位置則在台灣東側，以東南風為主，並與原先之東北風於台灣地區輻合，並有一明顯風切線以及輻合帶於台灣北部外海一帶，為鋒面之訊號，也因南風分量影響，

帶來較為暖濕之水氣，因此相當位溫以及水氣差異場於台灣附近呈現正值(圖 4. 27g, h)。1000hPa 下風場以及環境場配置基本上與秋季時相同，如圖 4. 28 所示，原先之東北風轉為東風，並帶有正的水氣以及相當位溫差異(圖 4. 28g, h)。另外，與其他季節相比，冬季為水氣以及相當位溫差值最大的季節，代表說此時發生 MCS 事件需要比平常更多的水氣以及更高的溫度來促使 MCS 生成。

對於冬季之 MCS 事件於前面 3. 1. 2 節可以知道此時為較穩定的天氣型態，並不利對流發展，原因可能來自於較乾冷的空氣隨東北季風移入台灣的關係。因此在有 MCS 事件時，南風分量顯得特別重要，於 700hPa 下可以看到由太平洋高壓帶來的南風以及東南風分量，為台灣帶來了較為暖濕之空氣，850 和 1000hPa 皆可以看到在 MCS 事件發生時，風向由原本的東北風轉為東風，甚至為轉東南風的情形，並有類似鋒面訊號之風切線以及水氣梯度。冬季也為水氣和相當位溫差異值最大的季節，代表說此季節發生 MCS 事件時需要比平常更多的水氣平流以及溫度平流，也代表著此時 MCS 較其他季節較難生成與發展。隨時間演進，大約於 2 月過後，東北季風開始減弱，高層西風帶開始向北移動，台灣再次進入春季的天氣型態。

第五章 結論與未來展望

5.1 結論

對於 MCS 事件，以往是使用衛星資料去分析以及定義，本研究採用了 QPESUMS 2006 至 2020 年間的雷達回波資料，利用回波面積以及對流特性去定義 MCS 事件，並探討 MCS 在不同月份以及季節的熱力條件、對流胞特性以及綜觀環境場。研究指出 MCS 事件於春雨和梅雨季的 MCS 事件占了這段時間大約 60%，其中以梅雨季節的事件個數為最多 (31.6%)，春季 (30.2%) 其次是夏季 (16.5%) 和秋季 (14.7%)，而冬季為最少 (7.1%)。不同季節的 MCS 特性整理於表 1，詳細的內容如下：

春季時的 MCS 的降雨貢獻在台灣北部相當重要，大約佔了 50% 至 60% 總降雨量。MCS 事件主要發生在台灣北側以及西北側，並隨著時間逐漸延展至整個台灣，在探空熱力條件下可以看出在低層水氣、中層溫度遞減率、潛在不穩定度以及 CAPE 都開始增加，代表此時熱力環境開始逐漸利於對流發展，回波面積也隨時間逐漸增大。由綜觀環境場可以發現此時原本冬季在台灣高層的西風帶開始逐漸減弱並北移，低層則以西南風為主，並相較於無 MCS 事件時，位於菲律賓東側高壓增強，並加強西南風，帶來更多溫暖潮濕的水氣，並在 1000 以及 850hPa 下可以看到有較明顯風切線存在，可能為春季鋒面訊號。

梅雨季為台灣 MCS 最活躍的期間，台灣地區梅雨季節的降雨有接近 70% 來自於 MCS。MCS 事件出現頻率涵蓋了整個台灣，對流胞特性以及 CFAD 也顯示出此時的 MCS 相較於其他季節有著更大的對流面積以及更強的對流強度，並且在較高的高度上仍保有一定的強度。的此時綜觀環境可以發現在 MCS 事件時，高層 200hPa 輻散，500hPa 位於槽前並槽線加深，850Pa 低層噴流位於台灣上空，大多都與梅雨鋒面的環境類似。

隨著梅雨鋒面北移，台灣開始進入夏季的天氣型態，MCS 事件在夏季的降雨

貢獻並不明顯，主要以南部或西南部為主。熱力條件在低層水氣、中層溫度遞減率、潛在不穩定度以及 CAPE 都為全年最高，但垂直風切為全年最弱的時期。因為較利於對流的環境下，此時 MCS 事件的 Echo top 為全年最高的時期，但由於垂直風切的不足，在回波面積以及 35/17dBZ 面積比例下皆較小，環境場下在 MCS 事件發生時，中層副熱帶高壓位置東退，對台灣的影響減小，而在低層可以看到太平洋高壓的位置較靠東側，使得南海之西南風可以影響到台灣地區，這也是夏季 MCS 事件主要都在南部以及西南部的原因。

進入秋季後，垂直風切開始增強，雖然原本利於對流的熱力條件開始減弱，但減弱幅度並不大，並且仍處於潛在不穩定的環境，代表此時仍適合對流以及 MCS 生成以及發展。在秋季，MCS 降雨貢獻並不顯著，以東部和東北部為主。11 月過後，受較為頻繁的冷鋒事件影響，也有部分 MCS 事件發生於台灣北部。此時的環境在高層西藏反氣旋減弱並南移，取而代之的是西風帶接近台灣。在 11 月前後，MCS 發生的成因有些許的差別，在 11 月前，大陸高壓較靠東側，使東北風轉為東風，因北風分量減弱，東北季風的影響下降，因此於台灣東部形成 MCS，而 11 月後，高壓位置位於台灣東側，主要吹東南風，帶來暖溼空氣，並與冬季季風輻合，為鋒面的訊號。

冬季的降雨量稀少，集中在台灣北部以及東北部，MCS 在該區域貢獻為大約為 20%至 30%。熱力條件較不利於對流以及 MCS 發展，低層水氣、CAPE 以及中層溫度遞減率皆為全年最低，潛在不穩定度也處於較穩定的環境，因此 MCS 發生頻率也為全年最少，主要分布在台灣北部以及東部地區。北部地區的平均長段軸比以及回波面積皆比東部地區大，推測北部地區為冷鋒事件所形成之 MCS，而東部地區則以冬季線狀對流為主。環境場上大致與秋季類似，但環境上比秋季更不利於 MCS 生成，因此水氣和相當位溫差異值為全年最高。在中高層受到西風帶影響，而低層北風分量減弱，低層受台灣東側高壓影響，主要吹東南風，並帶來較為暖濕之水氣，並在 1000 至 850hPa 有風切線於台灣北部，為鋒面訊號。

整體而言，在春季 MCS 主要是來自於春雨或冷鋒事件，由低層的西南風與冬季季風輻合所形成，以北台灣為主。梅雨季為 MCS 最活躍以及強度最強的季節，MCS 的環境則與梅雨鋒面息息相關。夏季的熱力環境最好，但垂直風切弱，MCS 環境主要受西南氣流影響，容易在台灣西南部生成。秋季之後，開始轉為冬季季風。由於冬季季風會帶來較為乾冷的空氣，因此 MCS 事件發生時，北風分量會減小，由東北風轉為東風甚至東南風(11 月後尤為明顯)，並開始有冷鋒訊號出現。冬季則接續秋季 11 月後的情形，以冷鋒事件的 MCS 事件為主，但由於熱力條件較差，因此 MCS 發生頻率低。

5.2 未來展望

本研究主要針對整個中尺度對流系統的位置、特性以及環境進行統計分析，然而對於 MCS 較為更為細節的部分並未有較為詳盡的探討，例如不同季節下強對流區域的發生頻率、地形效應以及日夜周期的影響等。另外，本篇研究中，也有囊括了一些較為極端的事件，了解這些事件的成因以及其環境的配置，也是未來的工作之一，希望可以透過整理以及分析，能夠讓我們更加了解台灣地區極端事件的形成機制以及所必須具備的環境條件。最後，對於中尺度對流系統，可以根據形狀、結構等特性又可再分為不同類型，如中尺度對流複合體(Mesoscale Convective Complex, MCC)和飆線(squall lines)等，對於這些不同型態的 MCS，其季節變化以及好發環境都有可能不同。因此，探討台灣地區不同類型的 MCS 事件在不同季節下發生頻率及位置變化，可以幫助我們更加了解該類型的 MCS 的形成機制，並與台灣地區的氣候特性進行連結，希望對於以後台灣地區中尺度對流系統的預測和模擬等有一定的幫助。

參考文獻

- 郭勉之與林松錦，2001：「東亞夏季季風肇始定義與季風肇始時期的環流特徵」
大氣科學，**29**，141-170
- 蔡宗樺，2012：「利用WRF 模式探討台灣東部海上對流線之個案研究」，國立中央
大學碩士論文，104頁
- 陳孟詩，2012：「臺灣梅雨期開始及乾溼之指標研究」，氣象學報，**48**，39-52
- 葉玉婕，2021：「統計分析 2008 年西南氣流實驗期間對流系統的雙偏即化雷達拉
格朗日特徵」，國立中央大學碩士論文，103 頁
- 吳冠伯，2019：「2015-2015 年暖季弱綜觀環境下對流降水系統之特徵統計」，中
國文化大學碩士論文，96 頁
- Paul Markowski and Yvette Richardson. *Mesoscale Meteorology in Midlatitudes*.
Wiley-Blackwell, 2013.
- Chen, C.-S. and Chen, Y.-L., 2003: The rainfall characteristics of Taiwan. *Mon.
Wea. Rev.*, **131**(7), 1323– 1341.
- Chien, F.-C., 2015: The role of southwesterly flow in MCS formation during a
heavy rain event in Taiwan on 12–13 June 2005. *Terr. Atmos. Oceanic
Sci.*, **26**, 411-429.
- Chien, F.-C., and Y.-C. Chiu, 2019: A composite study of southwesterly flows
and rainfall in Taiwan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **97**, 1023-1040.
- Feng, Z., Houze, R. A., Leung, L. R., Song, F., Hardin, J. C., Wang, J., et al.,
2019: Spatiotemporal characteristics and large-scale environments of
mesoscale convective systems east of the Rocky Mountains. *J.
Climate*, **32**(21), 7303– 7328.
- Guastini, C. T., and L. F. Bosart, 2016: Analysis of a progressive derecho

- climatology and associated formation environments. *Mon. Wea. Rev.*, **144**, 1363–1382.
- Haberlie, A. M., and W. S. Ashley, 2019: A radar-based climatology of mesoscale convective systems in the United States. *J. Climate*, **32**, 1591–1606.
- Jian, H.-W.; Chen, W.-T.; Chen, P.-J.; Wu, C.-M., 2021: Rasmussen, K.L. The Synoptically-Influenced Extreme Precipitation Systems over Asian-Australian Monsoon Region Observed by TRMM Precipitation Radar. *J. Meteorol. Soc. Jpn. Ser. II*, **99**, 269–285.
- Ko, K. C. & Tzeng, Y. S., 2014: Characteristics of Summertime Circulation Patterns for Southern Taiwan’s Monsoon Rainfall from July to September. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.* **24**, 107–119.
- Meng, Y.N.; Sun, J.H.; Zhang, Y.C.; Fu, S.M., 2021: A 10-Year Climatology of Mesoscale Convective Systems and Their Synoptic Circulations in the Southwest Mountain Area of China. *J. Hydrometeorol.*, **22**, 23–41.
- Starzec, M., Homeyer, C. R., & Mullendore, G. L., 2017: Storm labeling in three dimensions (SL3D): A volumetric radar echo and dual-polarization updraft classification algorithm. *Mon. Wea. Rev.*, **145**(3), 1127– 1145.
- Dixon, M., & Wiener, G., 1993: TITAN: Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis, and Nowcasting—A Radar-based Methodology.”, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **10**(6), 785-797.
- Tu, C.-C., Chen, Y.-L., Chen, C.-S., Lin, P.-L., and Lin, P.-H., 2014: A comparison of two heavy rainfall events during the Terrain-influenced Monsoon Rainfall Experiment (TiMREX) 2008, *Mon. Wea. Rev.*, **142**, 2436–2463.
- Wu, M. W., Wu, C.-C., Yen, T.-H., & Luo, Y. L., 2017: Synoptic analysis of

- extreme hourly precipitation in Taiwan during 2003–12. *Mon. Wea. Rev.*, **145(12)**, 5123– 5140.
- Yihui, D., and J. C. L. Chan., 2005: The East Asian Summer Monsoon: Overview. *Meteorology and Atmospheric Physics*, **89** (1), 117–142.
- Chang, P.-L., P.-F. Lin, B. J.-D. Jou and J. Zhang, 2009: An Application of Reflectivity Climatology in Constructing Radar Hybrid Scans over Complex Terrain. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **26**, 1315-1327.

附表

	MCS 的季節特性
春季	<ul style="list-style-type: none"> ■ 逐漸上升的 CAPE、低層水氣、中層溫度遞減率 ■ 逐漸上升的 35dBZ 面積、echo top ■ 以北台灣為主，隨時間發生頻率變高，並延伸至整個台灣地區 ■ 環境以鋒面訊號為主： <ul style="list-style-type: none"> □ 中層有更明顯的槽脊系統， □ 更靠東側的太平洋高壓→低層以西南風為主，與冬季季風輻合
梅雨季	<ul style="list-style-type: none"> ■ 逐漸上升的 CAPE、低層水氣、中層溫度遞減率(潛在不穩定) ■ 最活躍的季節，有著最高的 35dBZ 面積以及面積比，幾乎整個台灣都有 MCS 事件 ■ 環境以梅雨鋒面為主，MCS 降雨占該季節降雨的 60~70%: <ul style="list-style-type: none"> □ 高層分流區 □ 中層更深的槽線，台灣位於槽前 □ 低層噴流以及低壓帶位於台灣上空
夏季	<ul style="list-style-type: none"> ■ 熱力環境最好的季節，但垂直風切最弱→面積和發生頻率較梅雨季節少 ■ 以台灣西南部發生頻率最高，為負傾角(西北-東南走向)的事件 ■ 環境以西南季風為主，降雨占比低(以 TC 為主): <ul style="list-style-type: none"> □ 更靠東側的副熱帶高壓 □ 更靠東側的太平洋高壓→南海的西南風得以深入台灣
秋季	<ul style="list-style-type: none"> ■ 熱力環境變差，但仍為潛在不穩定，且垂直風切逐漸變強 ■ 以台灣東部、東南部為主，在 11 月後 MCS 訊號出現於台灣北部(鋒面) ■ 鋒面系統、不穩定的天氣型態以及增強的垂直風切造成 11 月的面積、面積比、頻率上皆較同季節的其他月分高 ■ 環境為克服乾冷的冬季季風，MCS 發生時北風分量減小，轉為東風 ■ 11 月過後高壓位於台灣東部，風向轉為東南風，與冬季季風輻合(鋒面訊號)
冬季	<ul style="list-style-type: none"> ■ 熱力環境最差，環境穩定，且垂直風切最強 ■ 以台灣東部線對流以及台灣北部的鋒面系統為主→兩種型態的 MCS 特性 ■ 環境與 11 月相似，但由於熱力環境差，因此在面積、發生頻率上皆為全年最低

表 1 不同季節下，MCS 特性變化

附圖

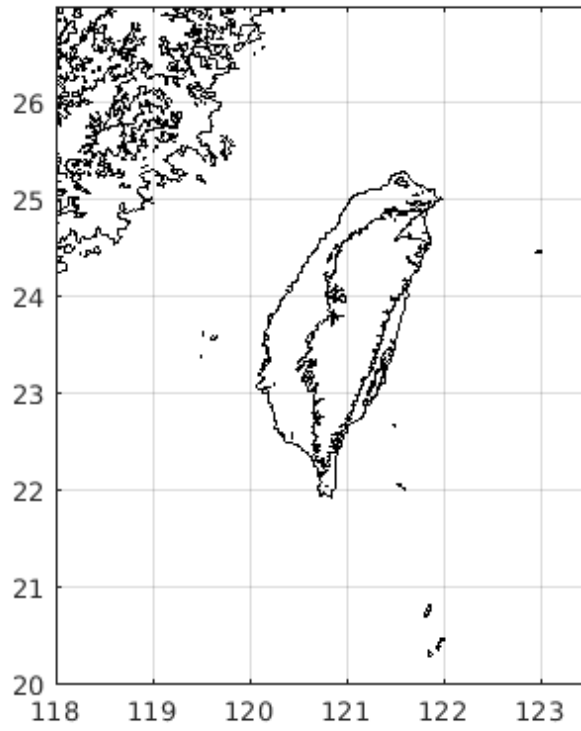


圖 2.1 中央氣象局之 QPESUMS 雷達資料範圍

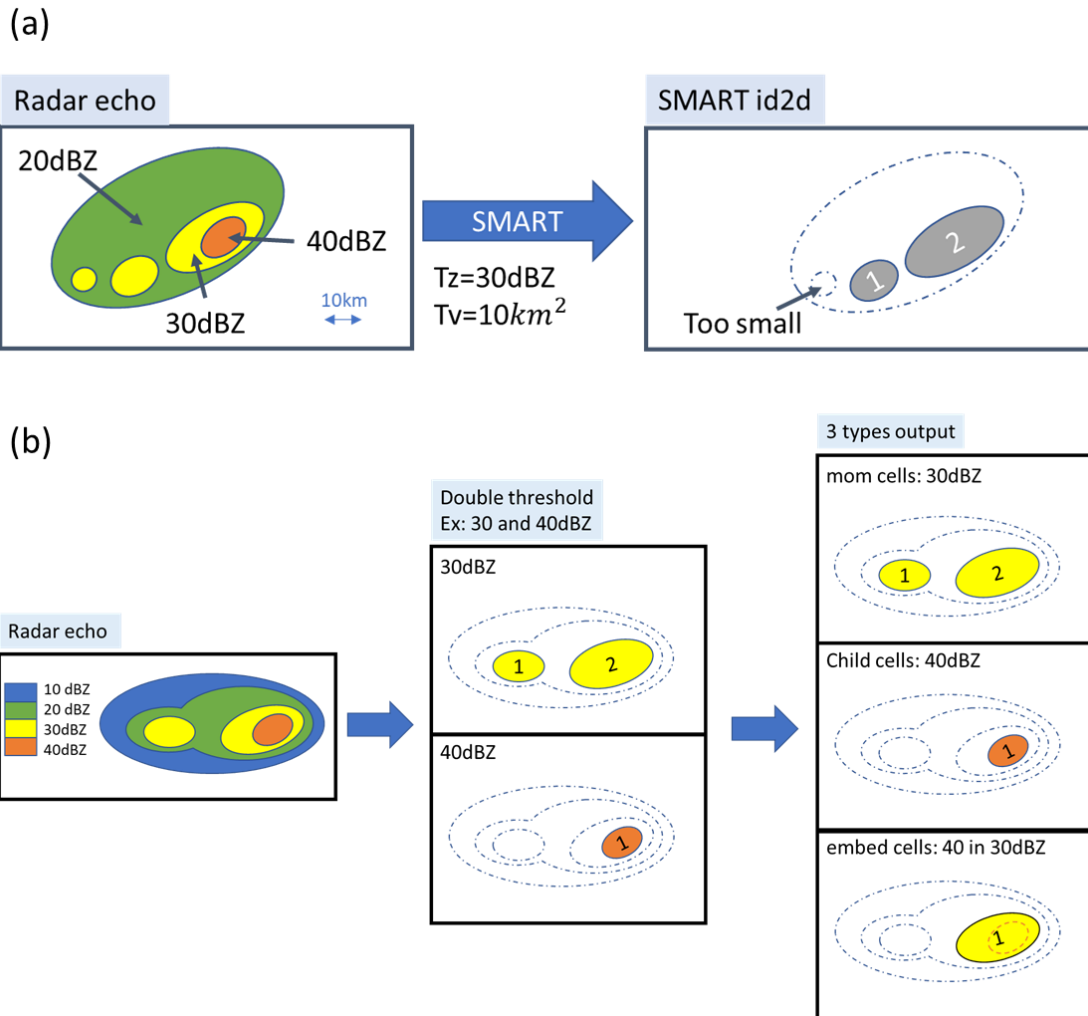


圖 2.2 (a)為 SMART 對流胞辨識之示意圖，圖中使用了回波門檻 $T_z=30\text{dBZ}$ 以及面積門檻 $T_v=10\text{km}^2$ 做為 SMART 的辨識依據，左圖為原先雷達回波，右圖為辨識結果，編號 1、2 為成功辨識之對流胞。(b)為 SMART 雙門檻之辨識之示意圖，圖中使用了 30 以及 40dBZ 雙回波門檻進行對流胞的辨識，左圖為原先雷達回波，中間為不同門檻的辨識結果，右圖則為最後輸出的辨識結果，分為三種：母胞(mom cells)、子胞(child cells)、嵌入胞(embed cells)

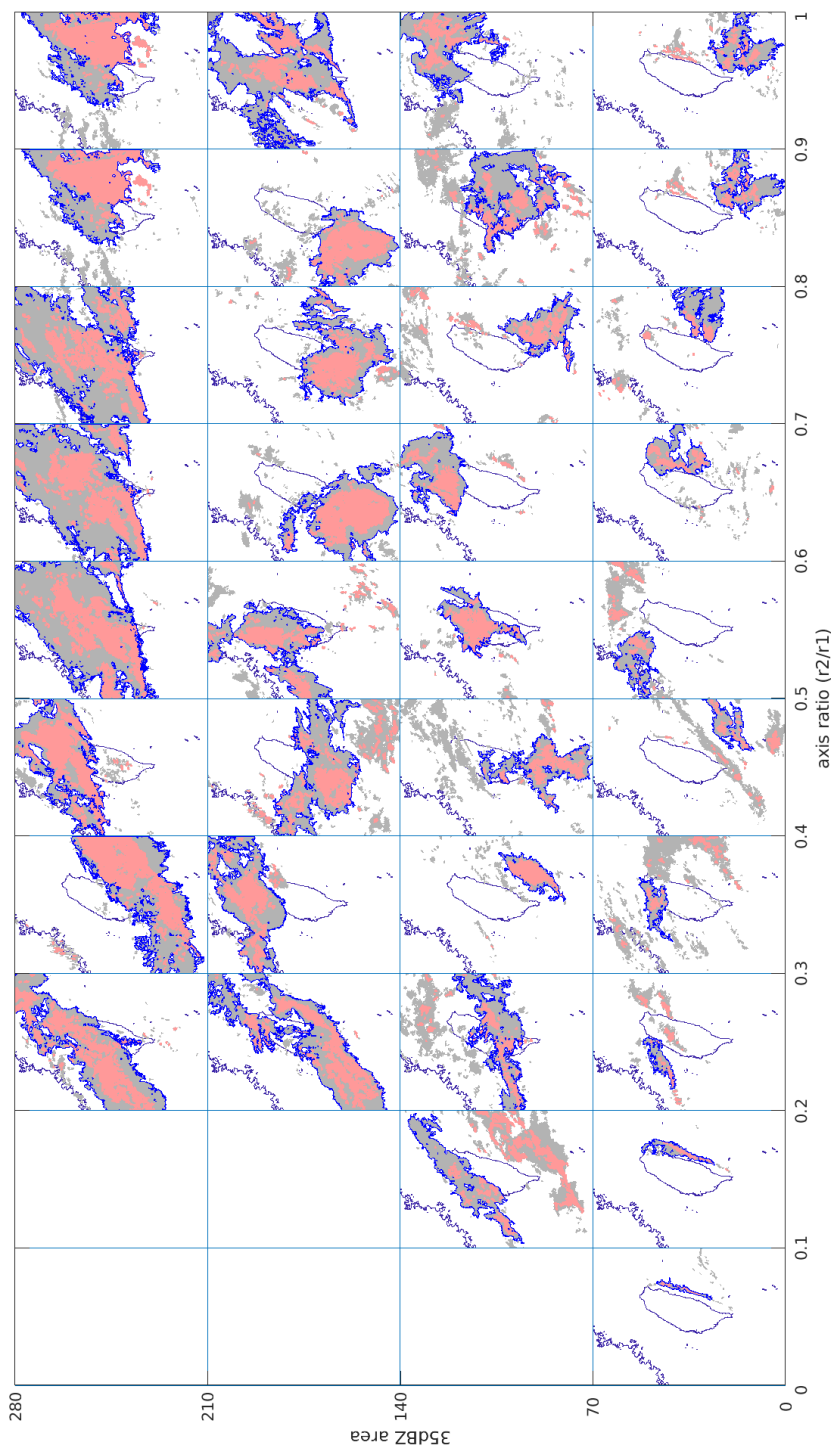


圖 2.3 經過篩選後的 MCS 個案範例，縱軸為長短軸比，橫軸為 35dBZ 面積，圖中藍線所圈出的區域為我們所選擇的 MCS 個案，灰底為 17dBZ 區域，紅底為 35dBZ 面積數值為經過開根號後之數值。

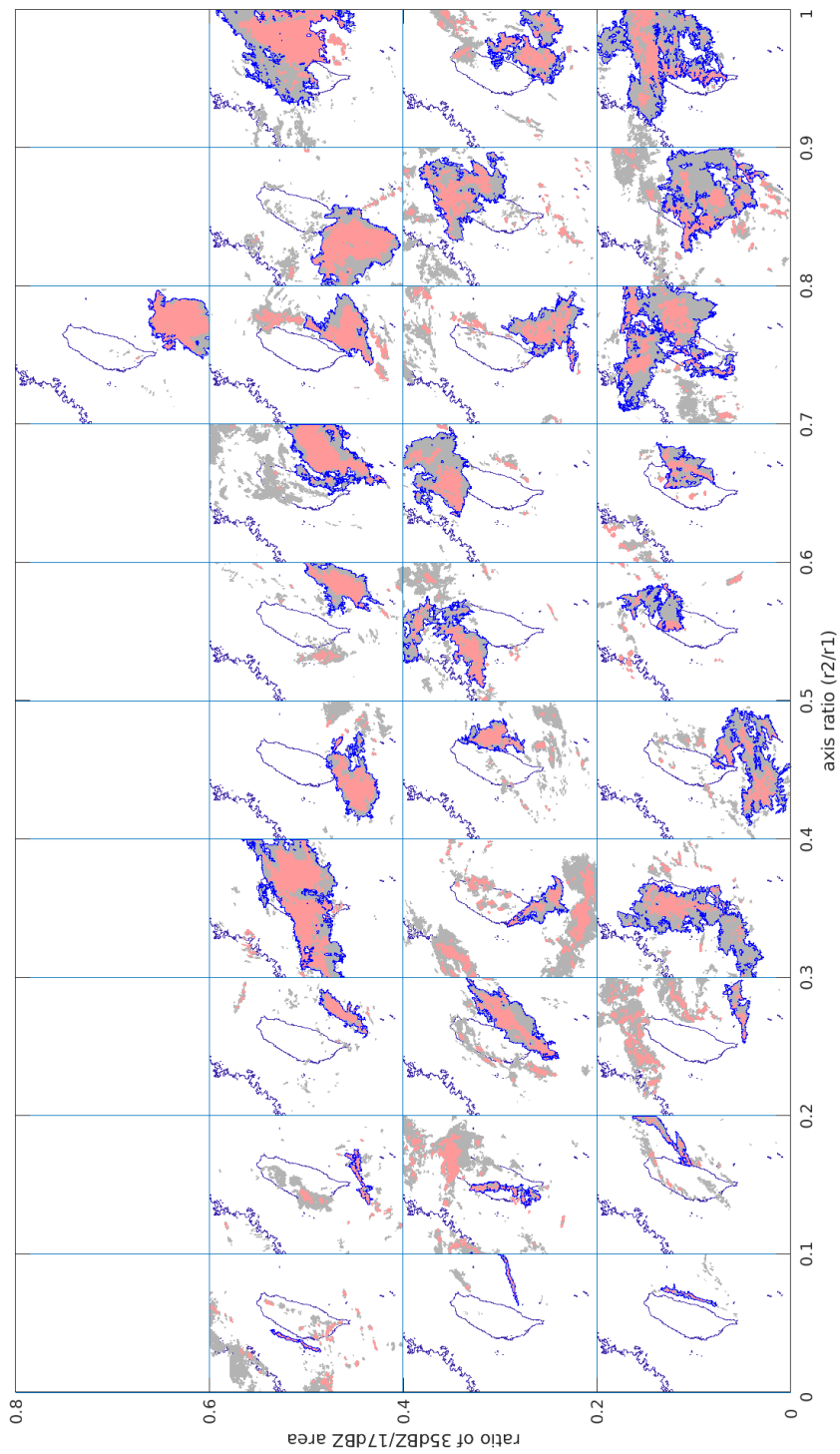


圖 2.4 同圖 2.3，但縱軸為 35dBZ 和 17dBZ 面積比例

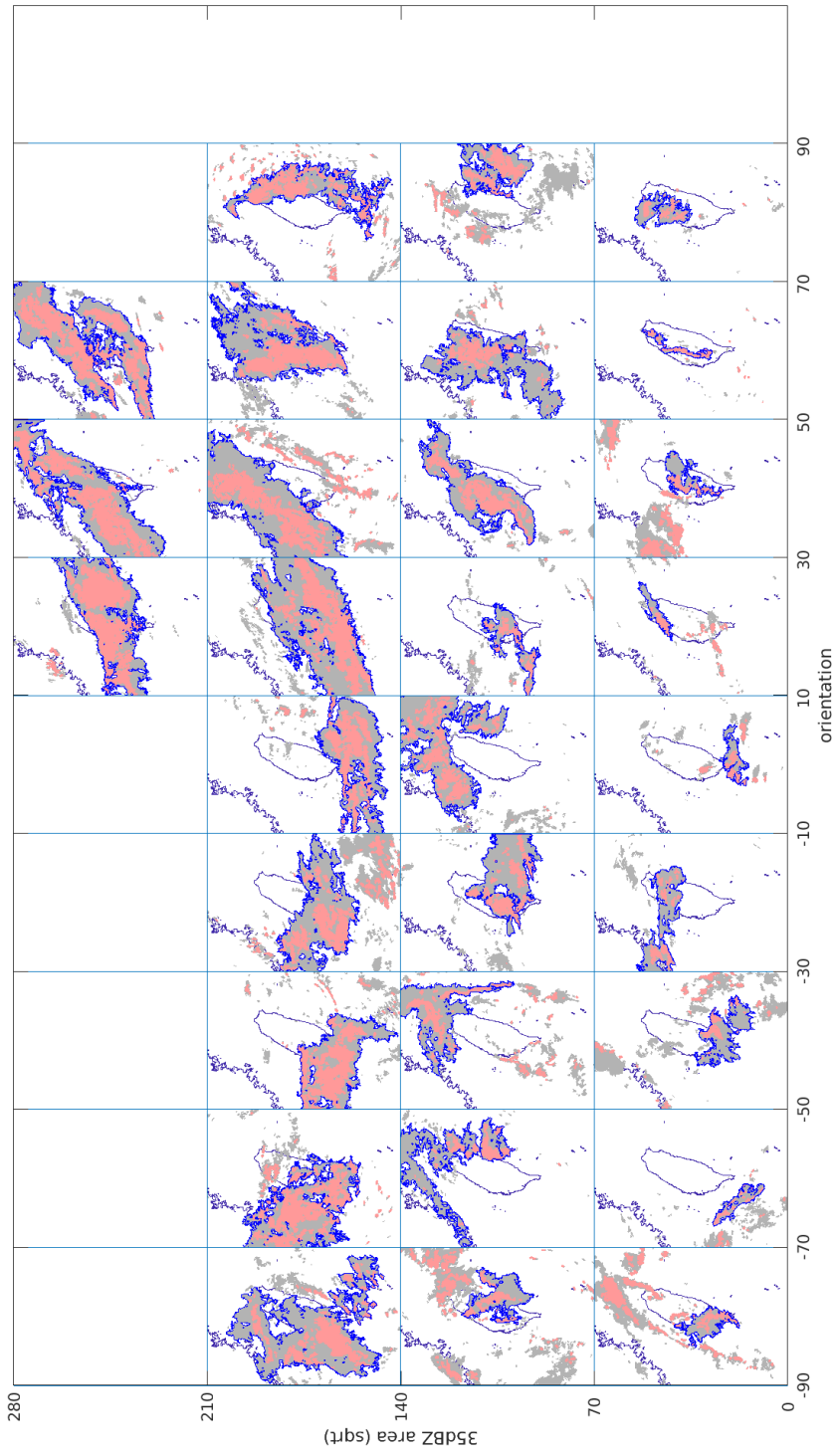


圖 2.5 同圖 2.3，但橫軸為橢圓傾角

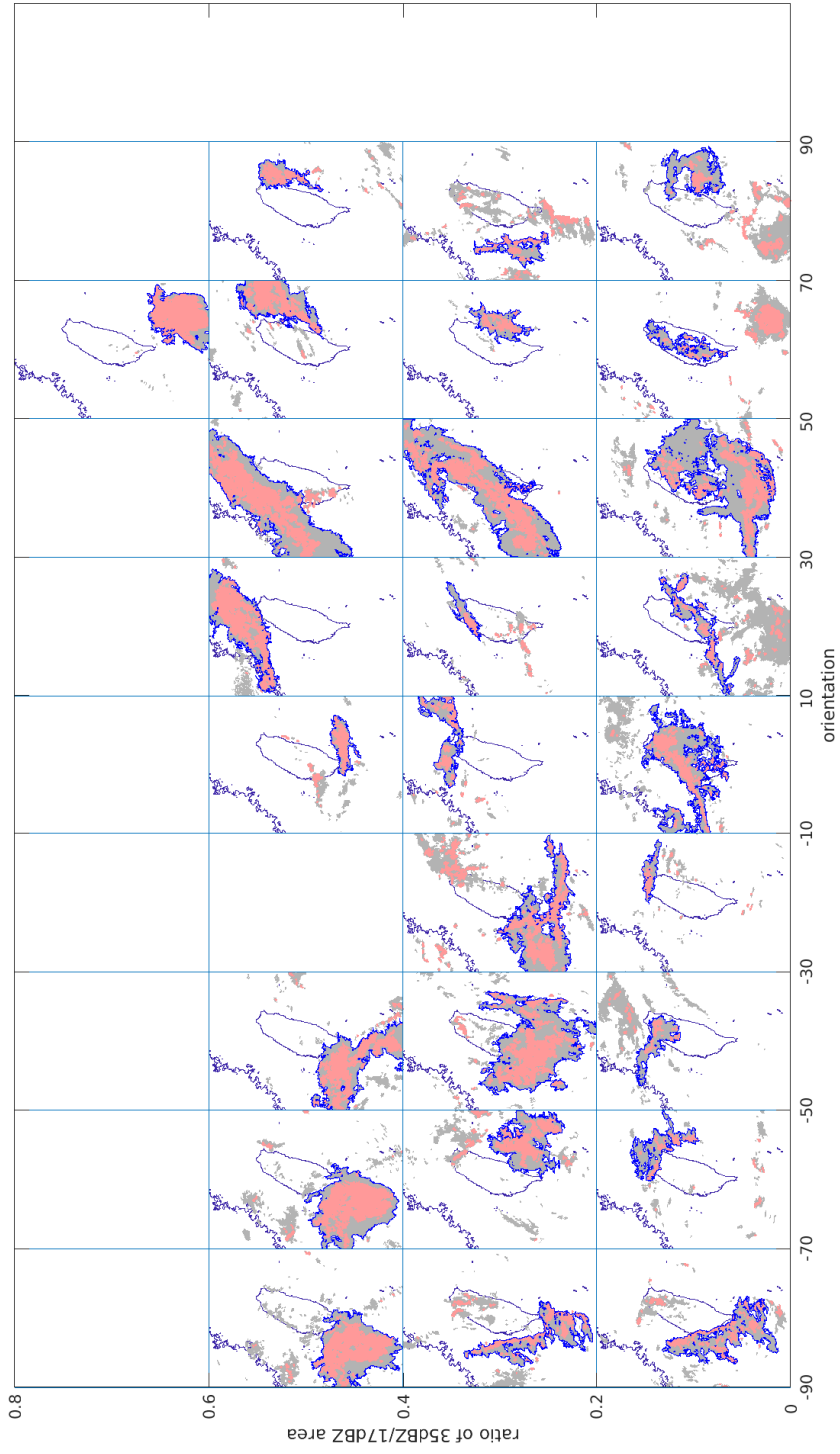


圖 2.6 同圖 2.3，但縱軸為 35 和 17dBZ 面積比例

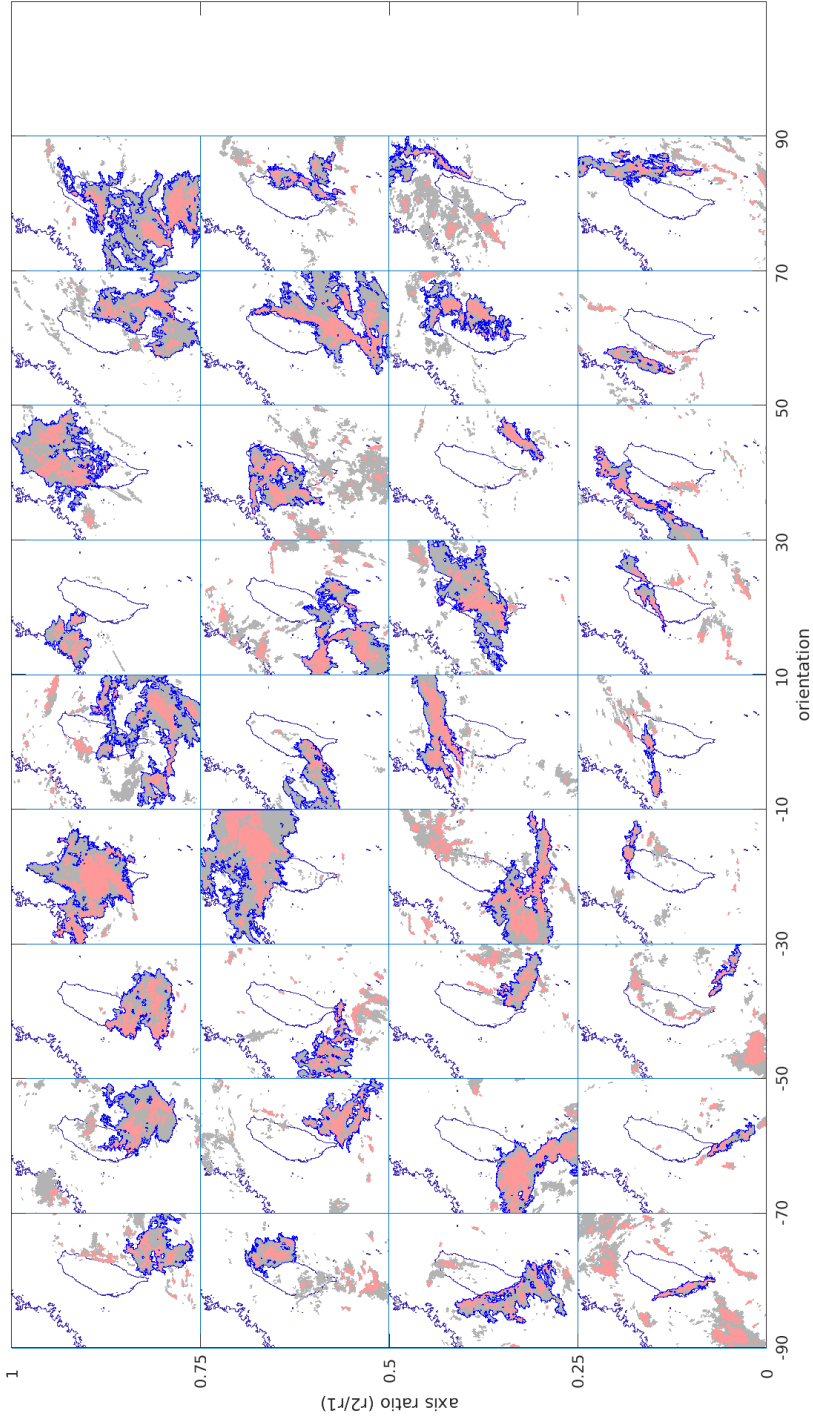


圖 2.7 同圖 2.6，但縱軸為長短軸比

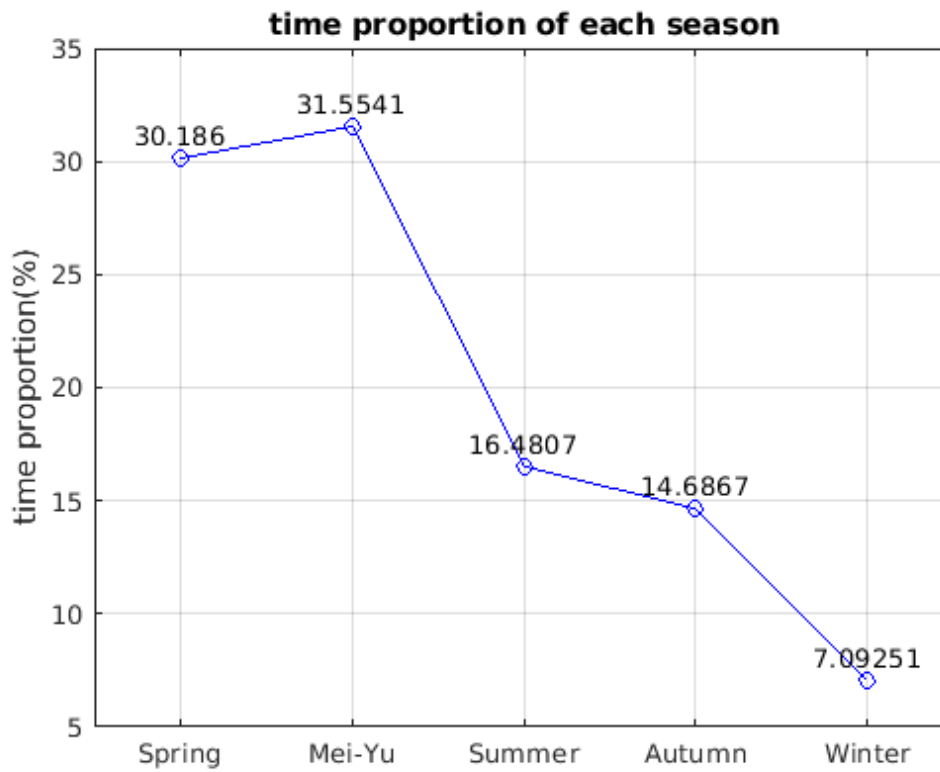


圖 3.1 2006 至 2020 年間所有 MCS 事件在不同季節的時間占比，橫軸為季節，縱軸為比例(單位:%)

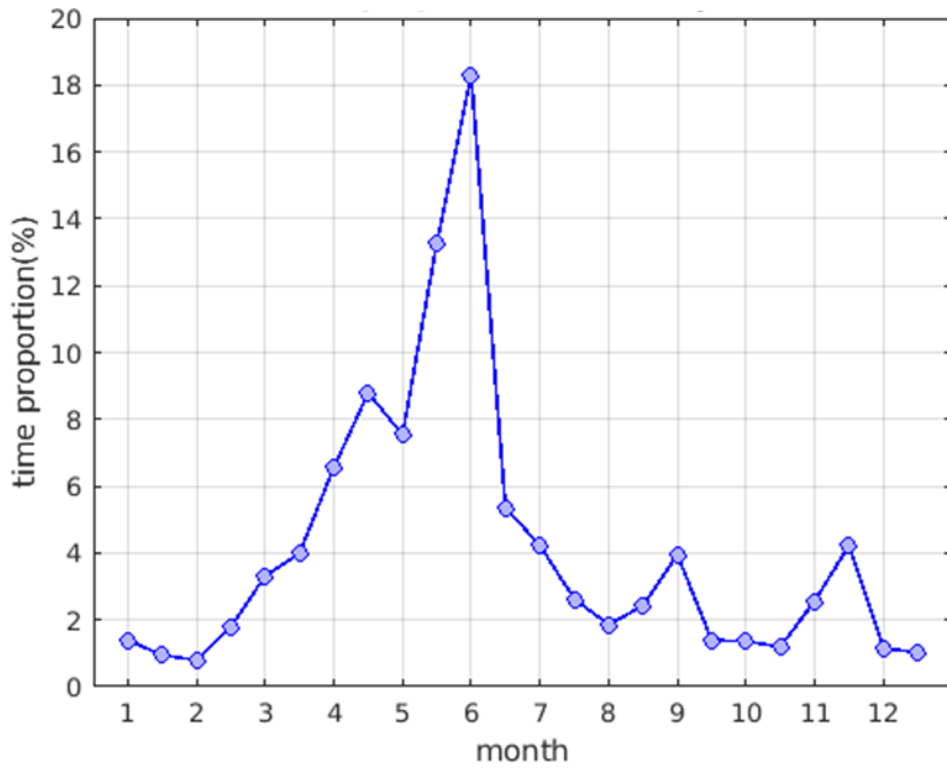


圖 3.2 為不同半月間的 MCS 時間佔比，橫軸為月份，縱軸為比例(單位:%)。

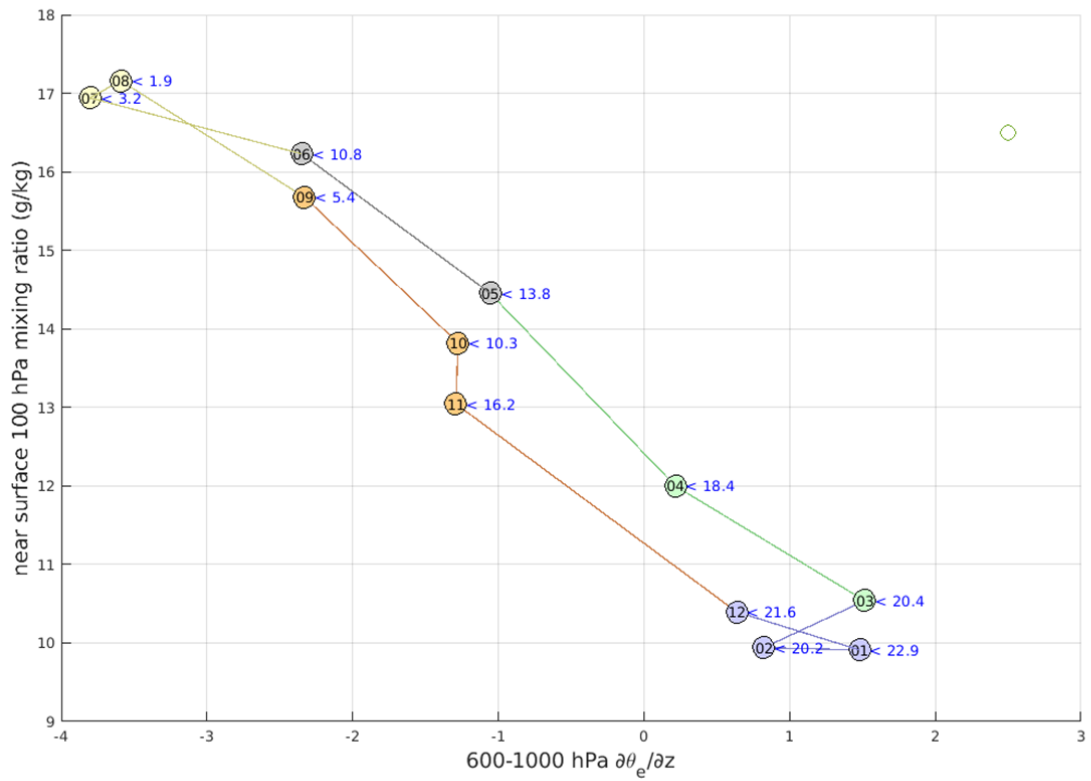


圖 3.3 為 2006 至 2020 年不同月份間平均熱力變數的變化，橫軸為 600 至 1000hPa 之 $\frac{\partial\theta_e}{\partial z}$ ，縱軸為近地表 100hPa 之平均水氣混和比，圈內的數字為月份，顏色為季節，而在圓圈大小以及右側藍色數字為垂直風切大小以及其數值。

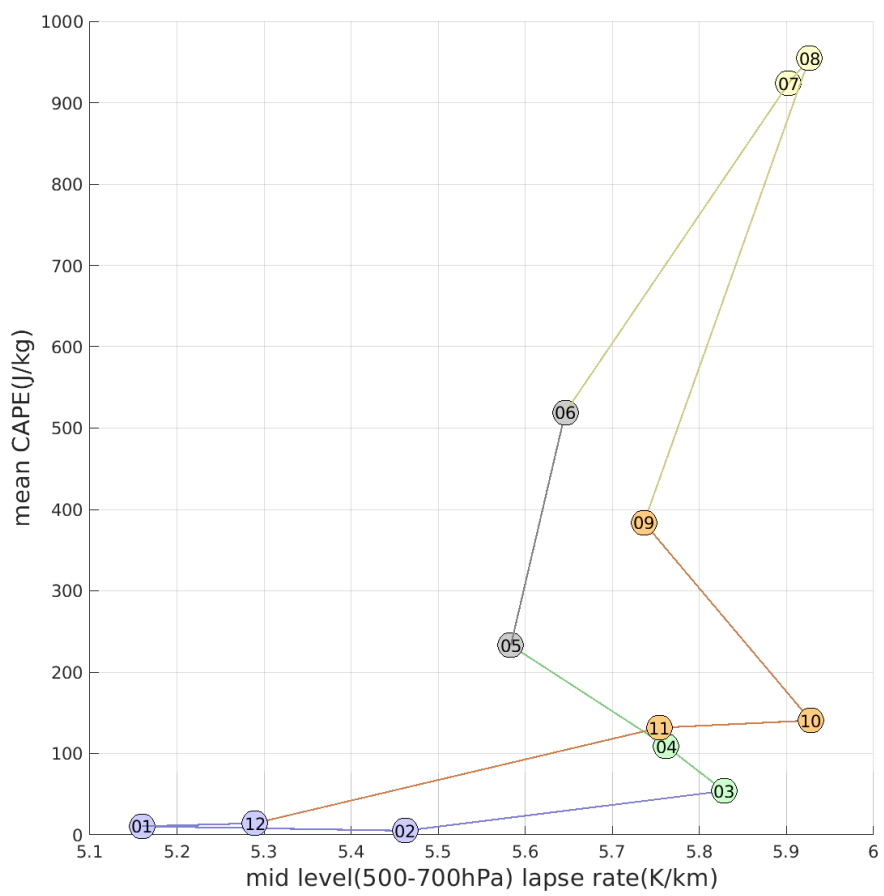


圖 3.4 同圖 3.1，但橫軸為 700 至 500hPa 之溫度遞減率，縱軸為對流可用位能

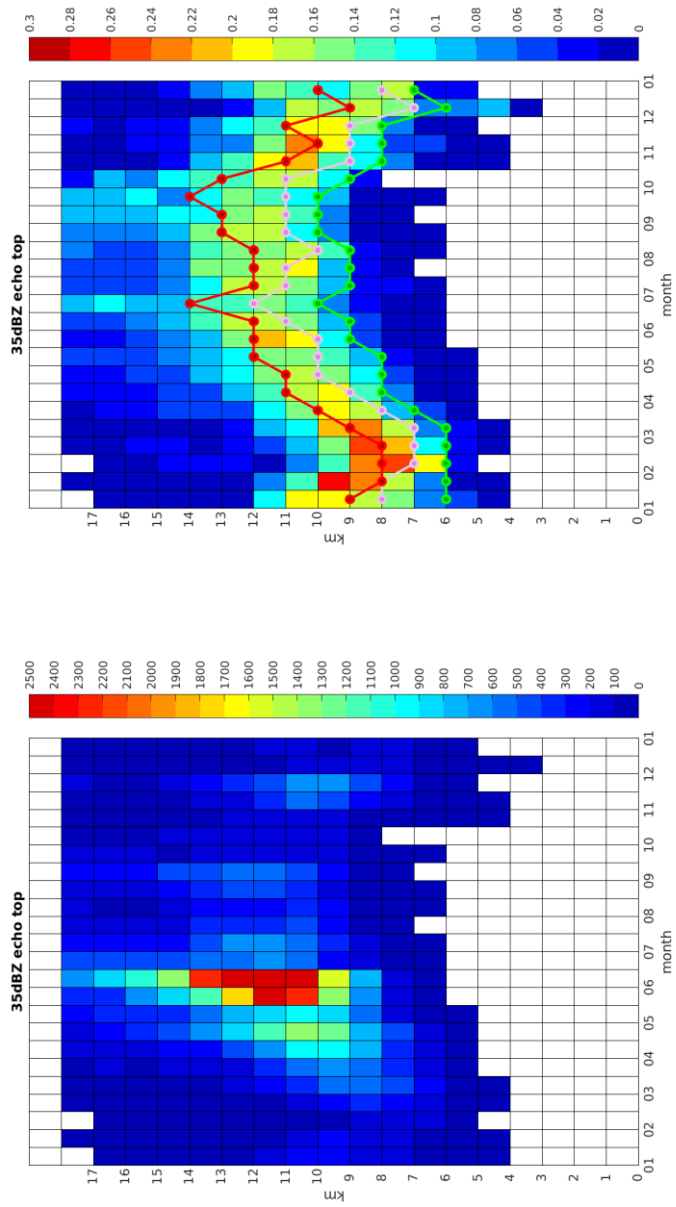


圖 3.5 為不同半月間 echo top 的變化，縱軸為高度(單位:公里)，
 左圖底色為 MCS 事件的個數，右圖的底色為經過標準化過後的比列。圖中的紅
 線，粉線以及綠線分別代表不同半月間 MCS 個數的 75%、50%以及 25%百分位數

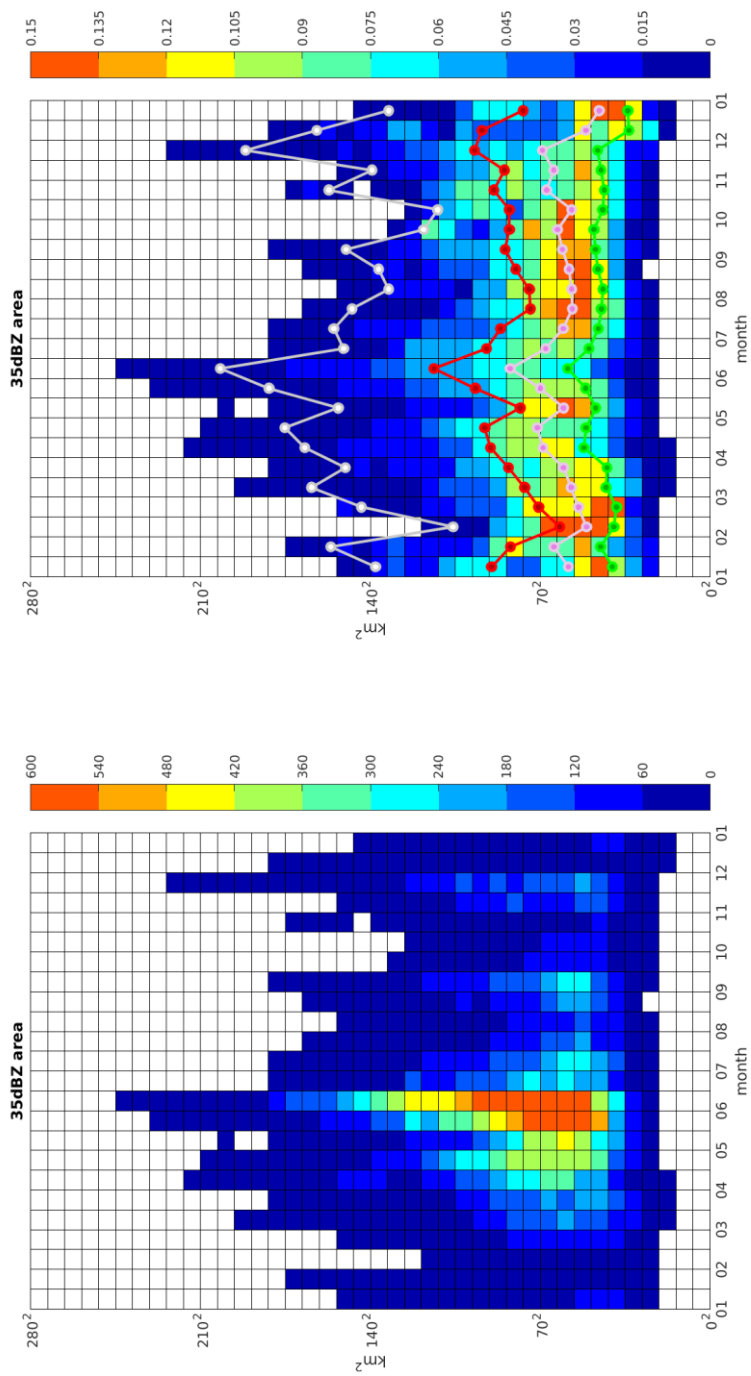


圖 3.6 為不同半月間 35dBZ 面積的變化，橫軸為月份，縱軸為面積(單位:km²)，左圖底色為 MCS 事件的個數，右圖的底色為經過標準化過後的 99%、75%、50% 以及 25% 百分位數。代表不同半月間 MCS 個數的白線、紅線、粉線以及綠線分別

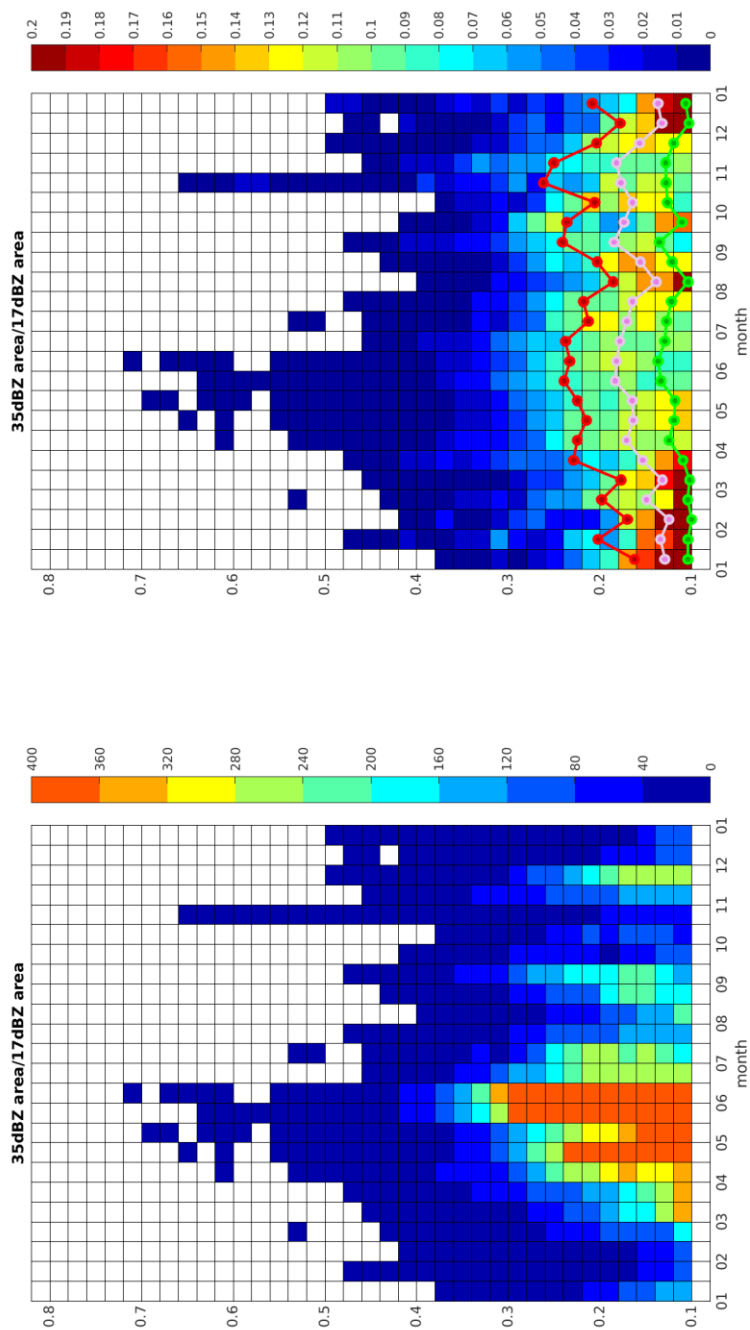


圖 3.7 為不同半月間 35dBZ/17dBZ 面積比的變化，縱軸為月份，橫軸為比例，左圖底色為 MCS 事件的個數，右圖的底色為經過標準化過後的比列。圖中的紅線，粉線以及綠線分別代表不同半月間 MCS 個數的 75%、50% 以及 25% 百分位數。

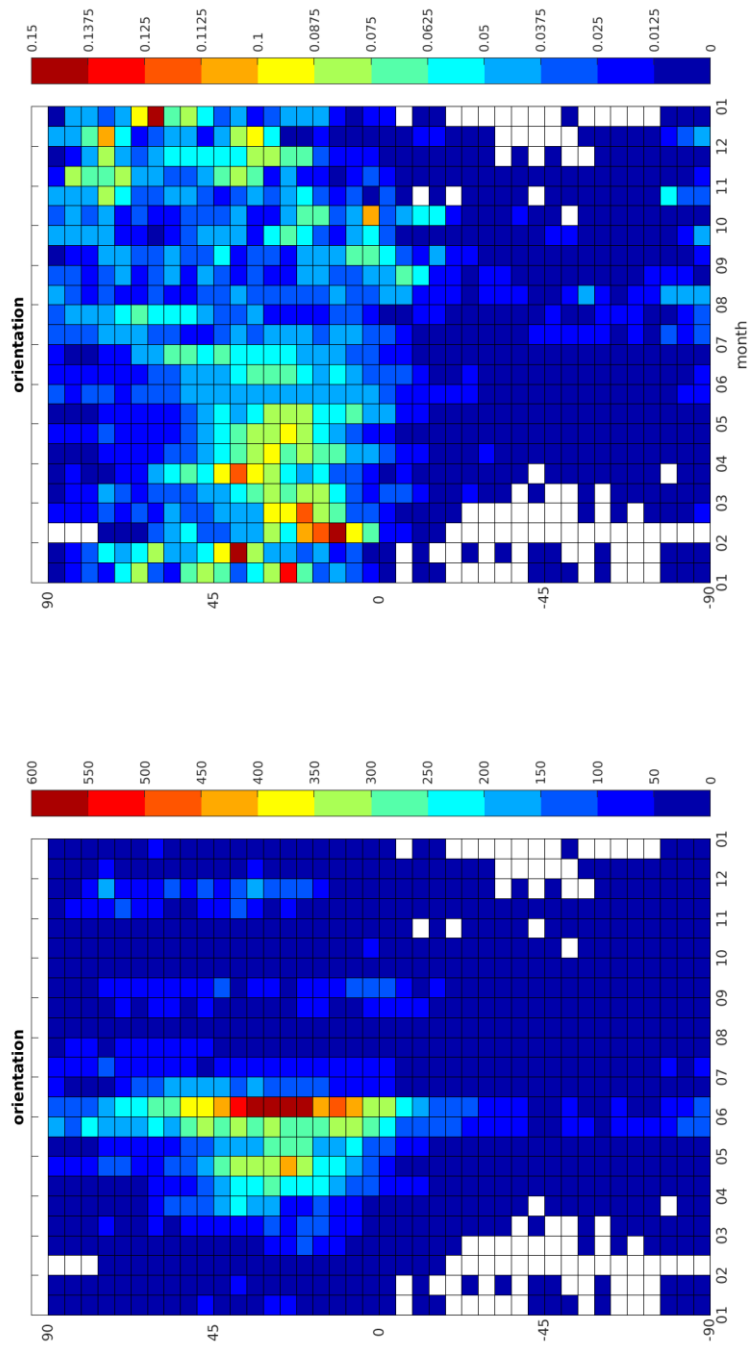


圖 3.8 為不同半月間橢圓傾角的變化，橫軸為月份，縱軸為傾斜角度(單位:deg)，左圖底色為 MCS 事件的個數，右圖的底色為經過標準化過後的比列。

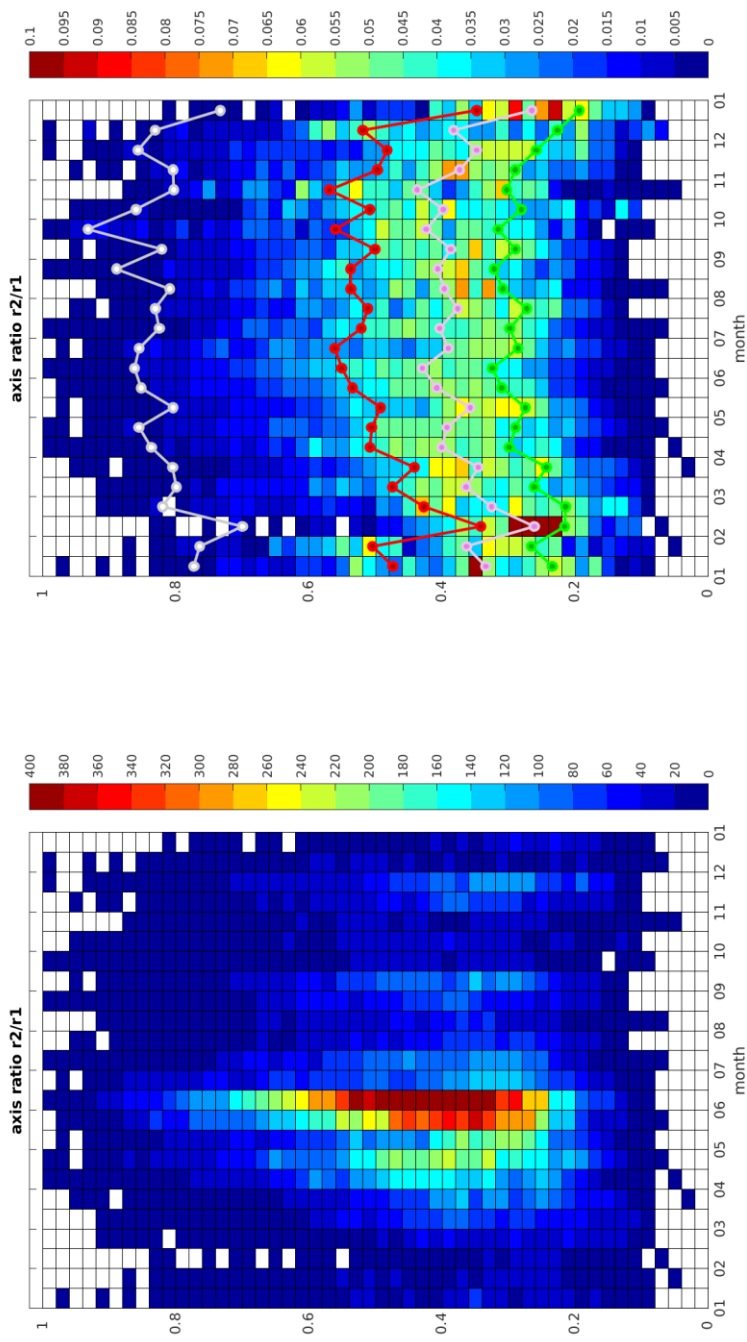


圖 3.9 為不同半月間 $r2/r1$ 長短軸比的變化，縱軸為月份，橫軸為比例，左圖底色為 MCS 事件的個數，右圖的底色為經過標準化過後的比列。圖中的白線、紅線、粉線以及綠線分別代表不同半月間 MCS 個數的 99%、75%、50% 以及 25% 百分位數

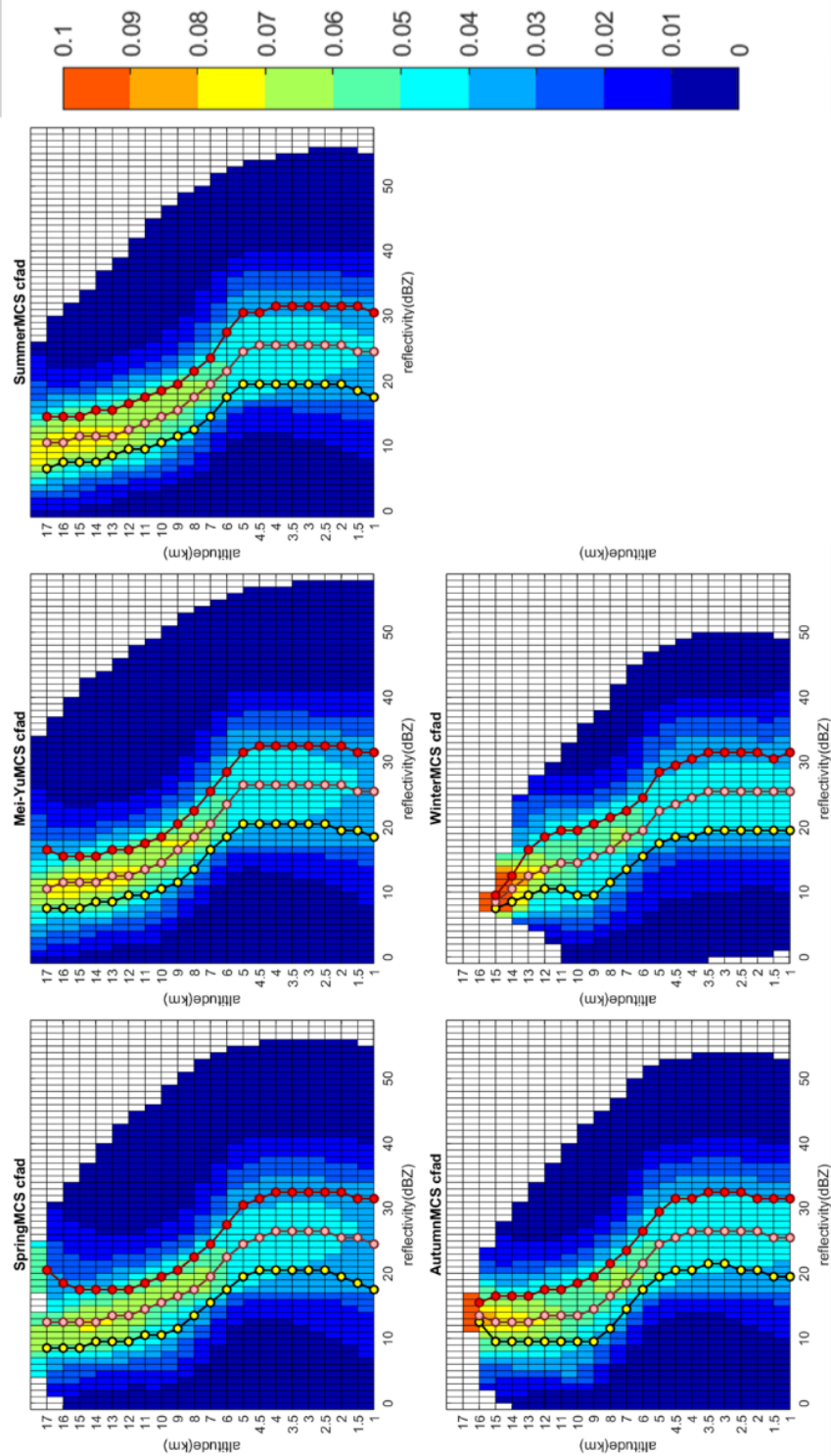


圖 3.10 不同季節間的 MCS 事件的 CFAD，第一排由左至右分別為春季、梅雨季、夏季，第二排分別為秋季、冬季。橫軸為雷達回波(單位:dBZ)，縱軸為高度(單位:km)，底色為發生機率。其中綠線、粉線、紅線分別為回波的 25、50 以及 75 百分位數。

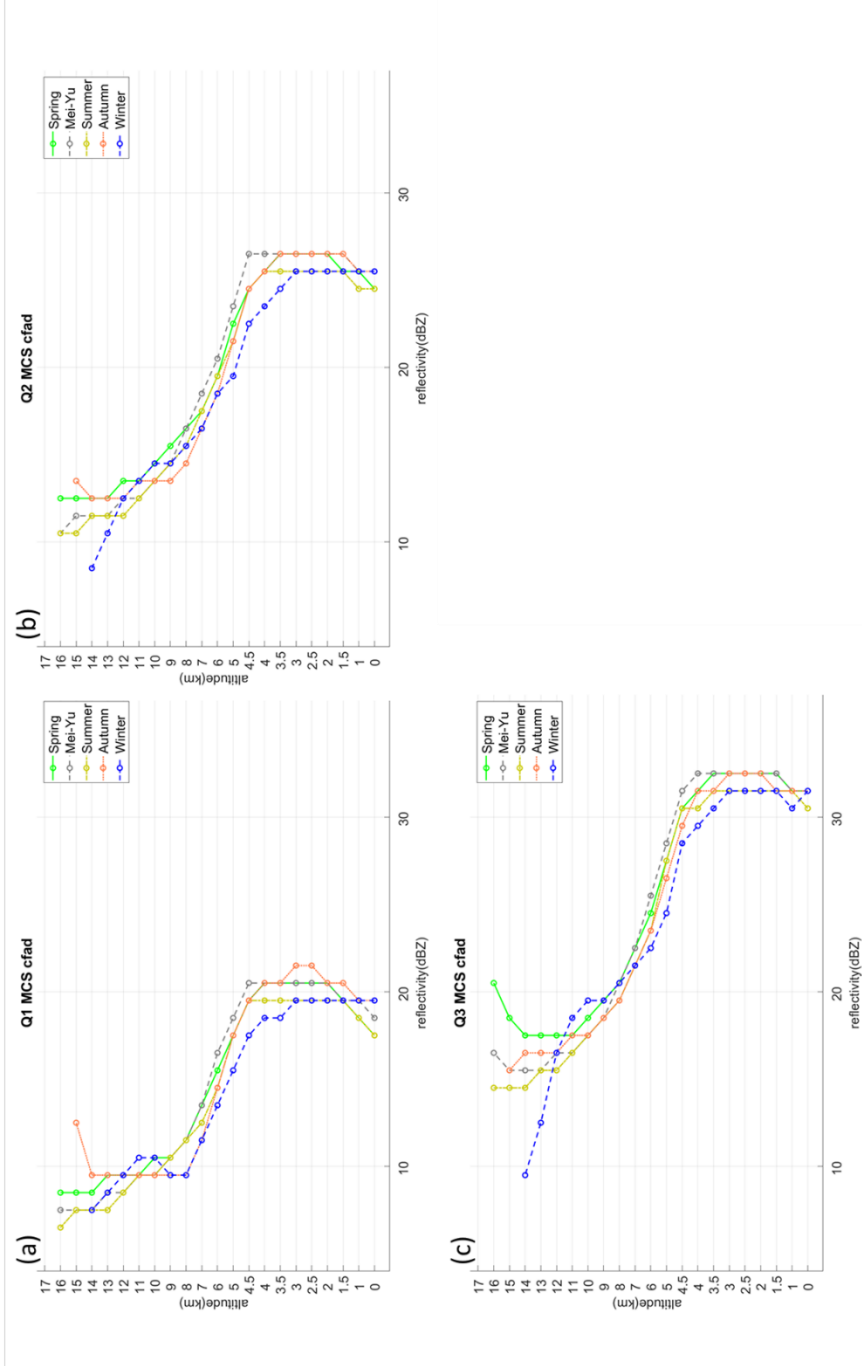


圖 3.11，為圖 3.10 中不同季節下的回波百分位數，不同顏色的線段代表不同季節，綠色、灰色為、黃色、橘色、藍色分別代表春季、梅雨季、夏季、秋季以及冬季。(a)Q1(25 百分位數)，(b)Q2(50 百分位數)，(c)75 百分位數。橫軸為雷達回波(單位:dBZ)，縱軸為高度(單位:km)。

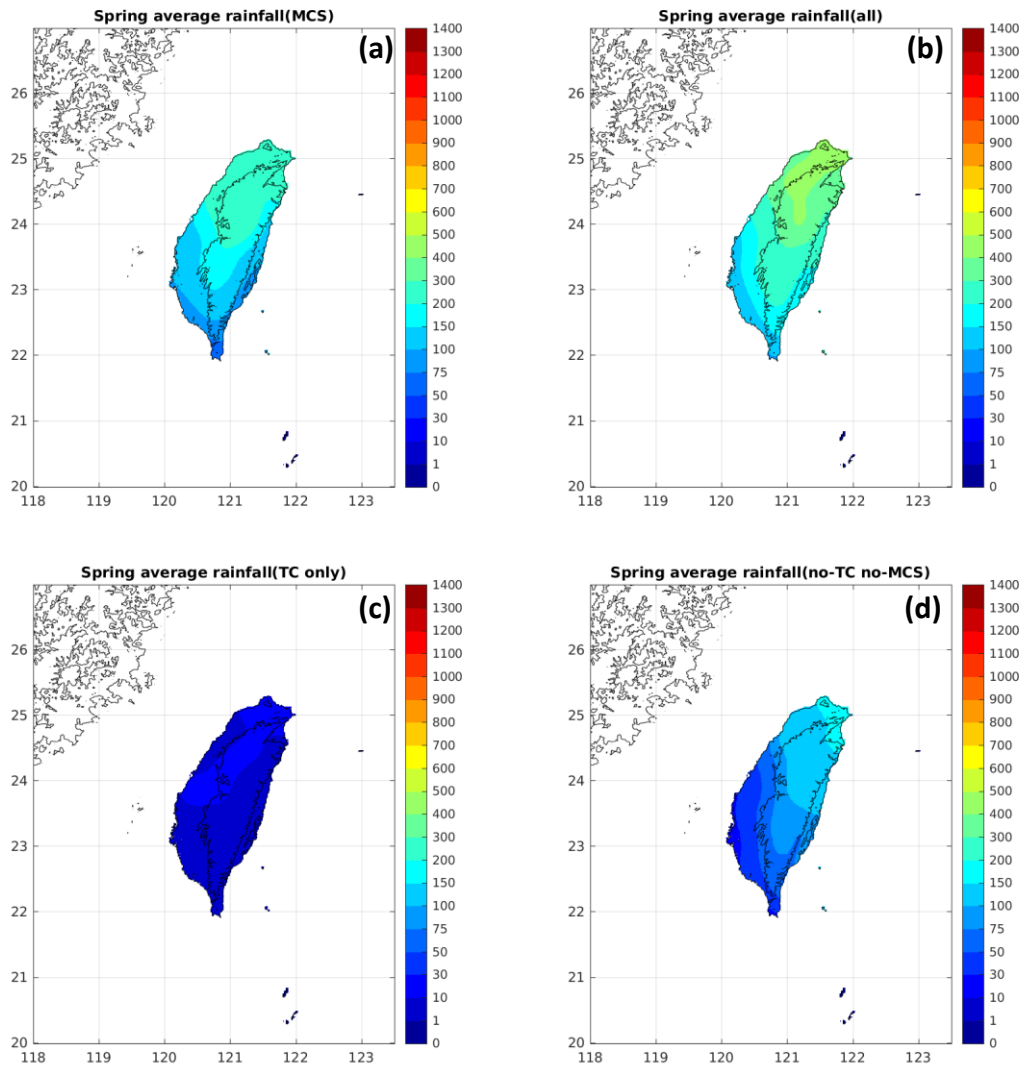


圖 3.12 2006 至 2020 年間平均每年春季的累計降雨，圖中顏色為平均累積降雨量(單位:mm)，(a)只有 MCS 事件的平均累計降雨(b)平均總累計降雨(c)只有 TC 事件的平均累計降雨(d)非 MCS 事件(不含 TC 事件)的平均累計降雨。

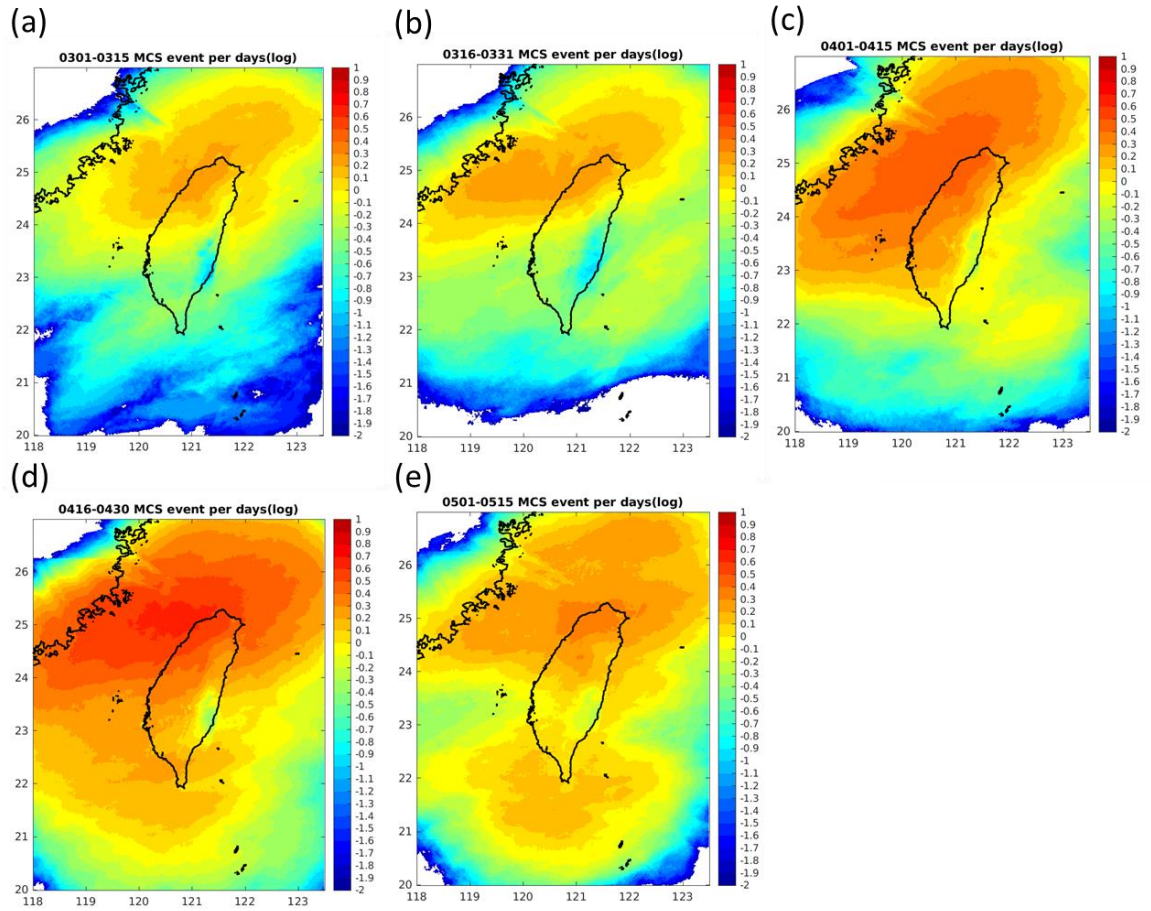


圖 3.13 春季(3月至5月中)每半月之平均每日 MCS 發生次數，圖中顏色代表取過 log 後的平均發生次數。依序為:(a) 3月1日至3月15日。(b) 3月16日至31日。(c) 4月1日至15日。(d) 4月16日至30日。(e)5月1日至15日。

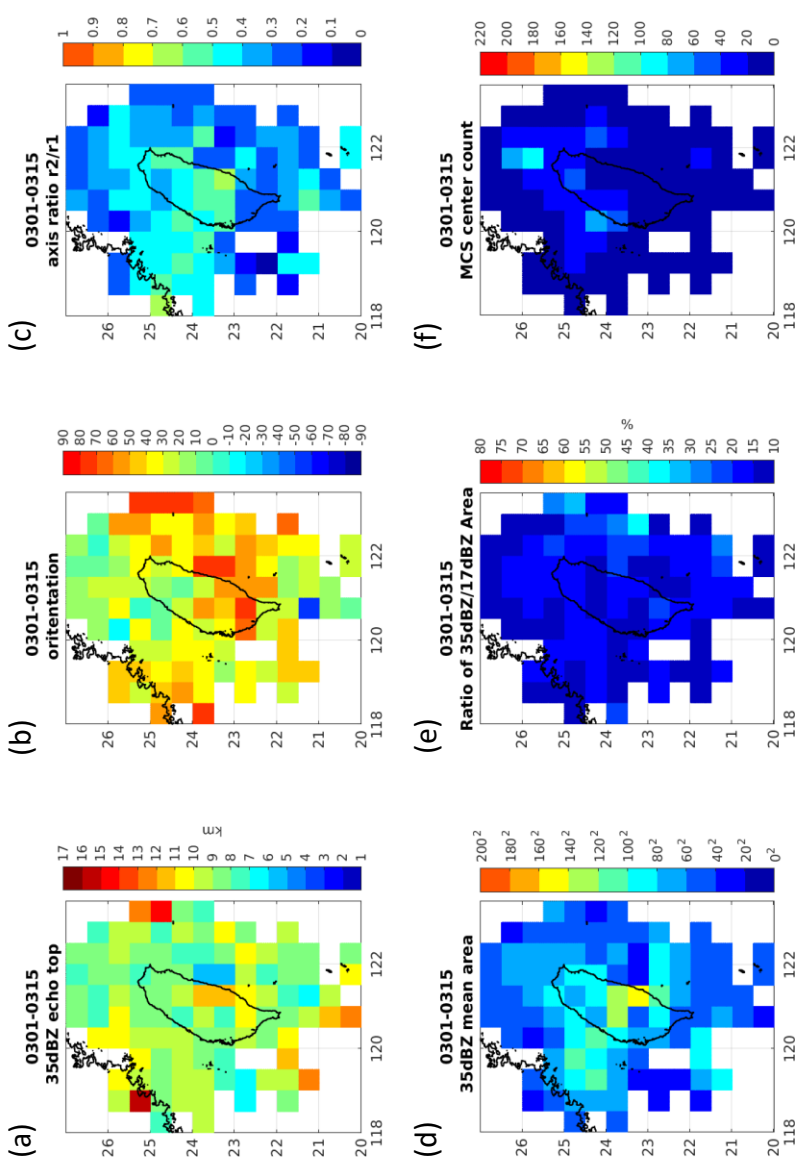


圖 3.14 從 3/1 至 3/15 間平均 MCS 對流胞特性的空間分布。(a)35dBZ echo top(單位:km²), (b)橢圓傾角(單位:deg), (c)長短軸比, (d)35dBZ 回波面積(單位:km²), (e)回波面積比, (f)不同年份間 MCS 事件個數

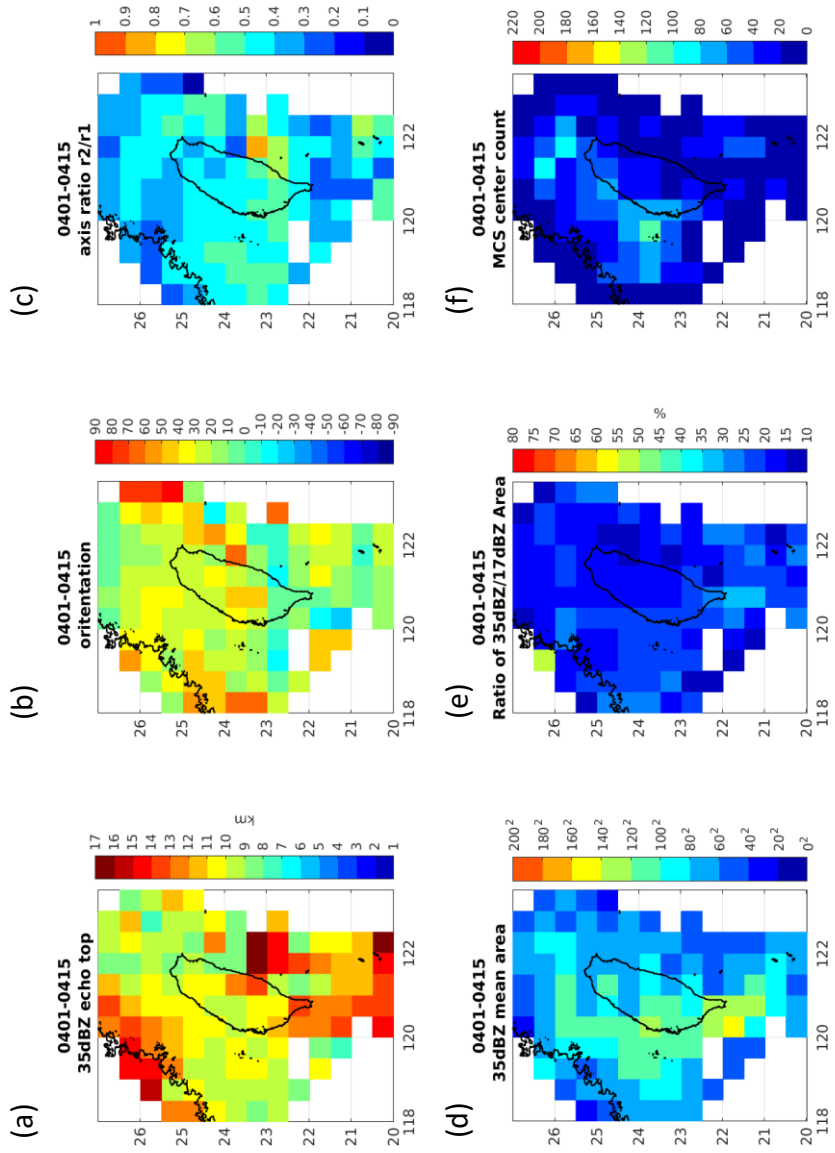


圖 3.15 從 4/1 至 4/15 間平均 MCS 對流胞特性的空間分布。(a)35dBZ echo top(單位:km²), (b)橢圓傾角(單位:deg), (c)長短軸比, (d)35dBZ 回波面積 (單位:km²), (e)回波面積比, (f)MCS 事件個數的空間分布

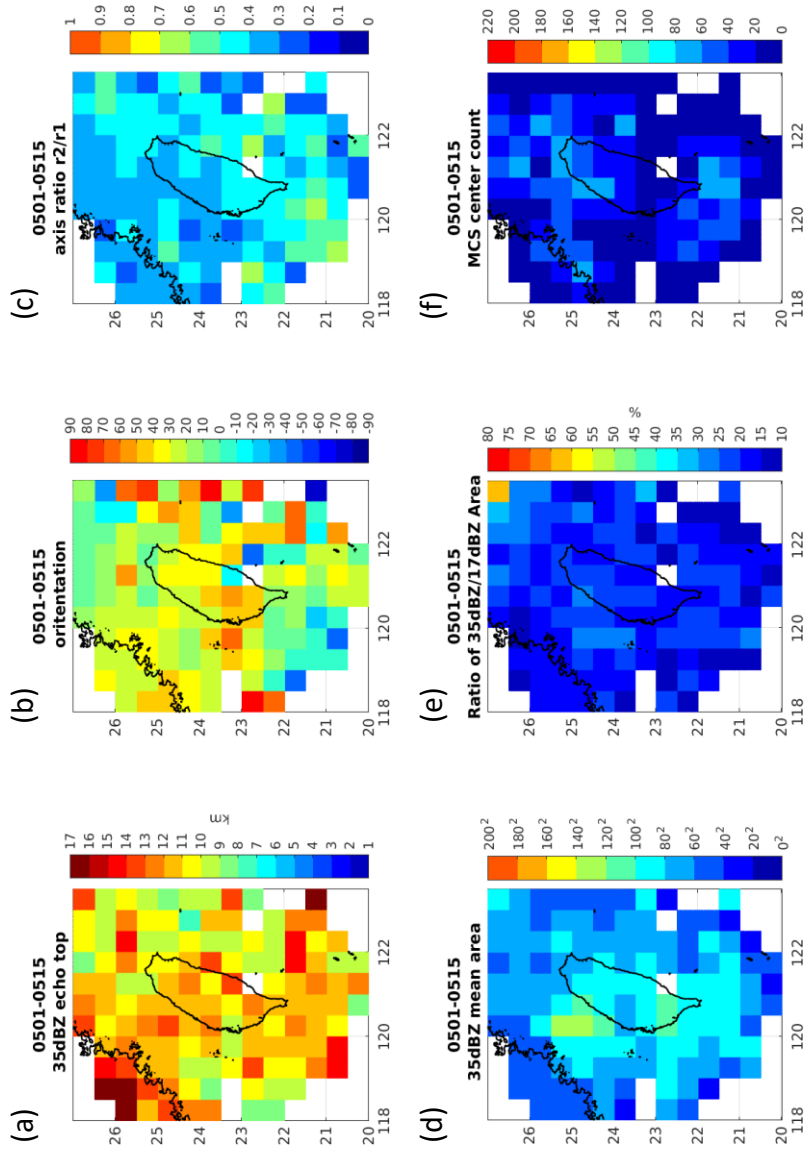


圖 3.16 從 5/1 至 5/15 間平均 MCS 對流胞特性的空間分布以及。(a)35dBZ echo top(單位:km²), (b)橢圓傾角(單位:deg), (c)長短軸比, (d)35dBZ 回波面積(單位:km²), (e)回波面積比, (f)不同年份間 MCS 事件個數

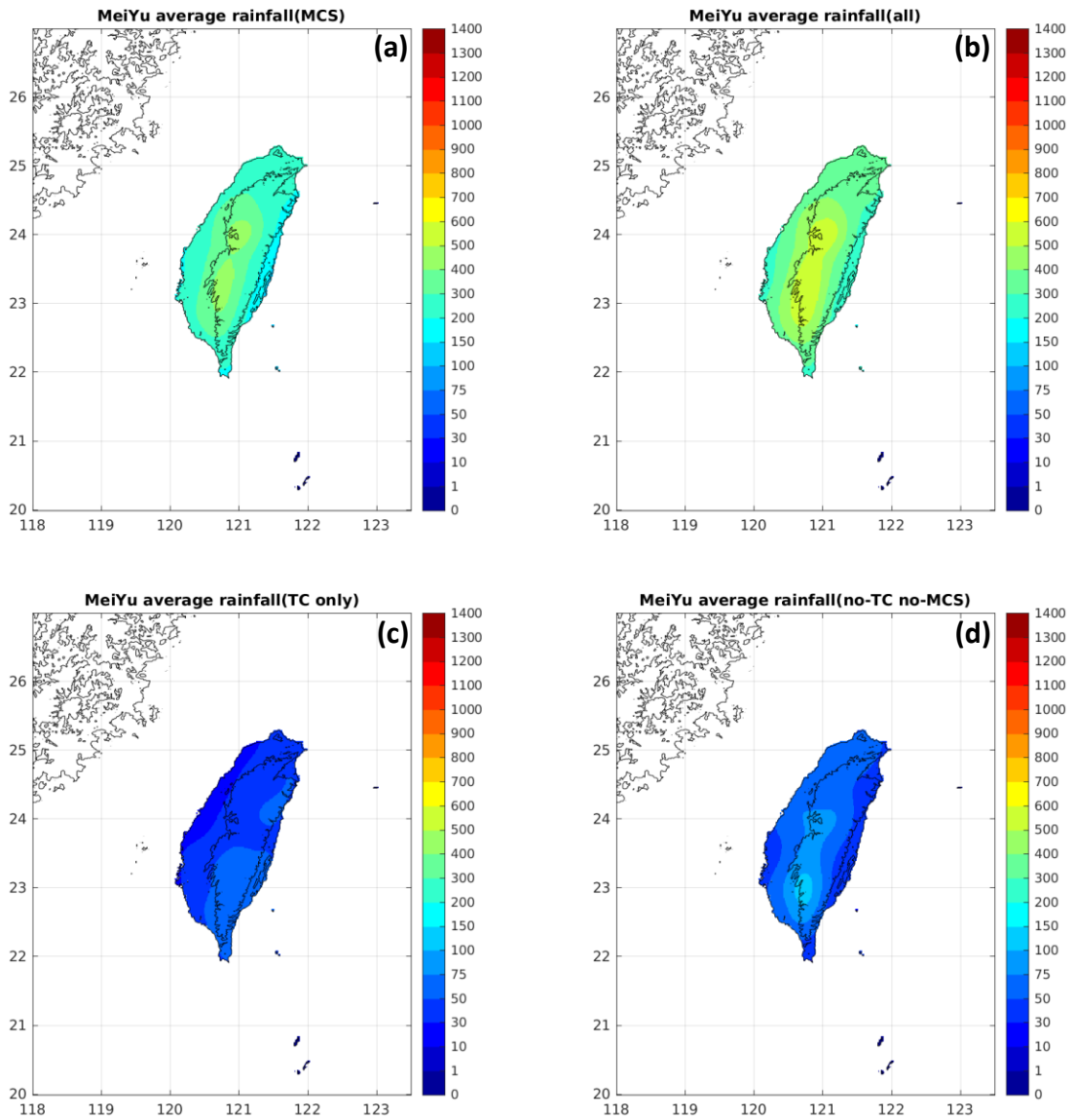


圖 3.17 2006 至 2020 年間平均每年梅雨季的累計降雨，圖中顏色為平均累積降雨量(單位:mm)，(a)只有 MCS 事件的平均累計降雨(b)平均總累計降雨(c)只有 TC 事件的平均累計降雨(d)非 MCS 事件(不含 TC 事件)的平均累計降雨。

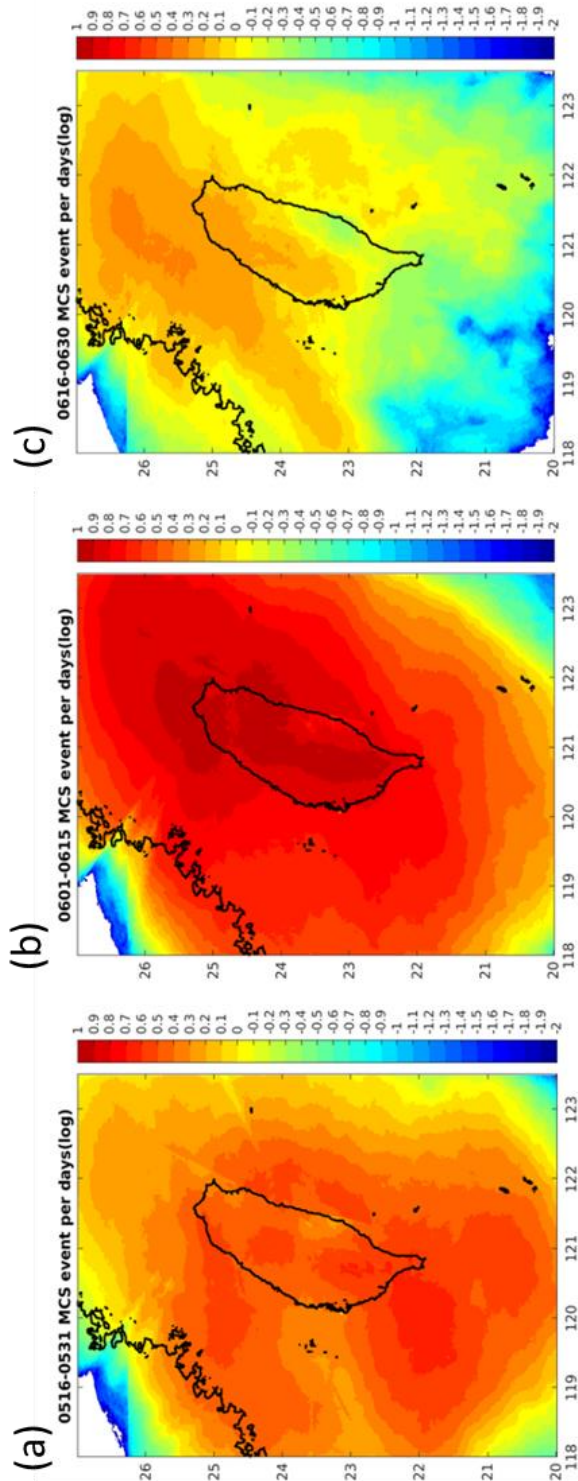


圖 3.18 同圖 3.13。但時間為 5 月中至 6 月底，(a)5/16~31，(b)6/1~15，(c)6/16~30

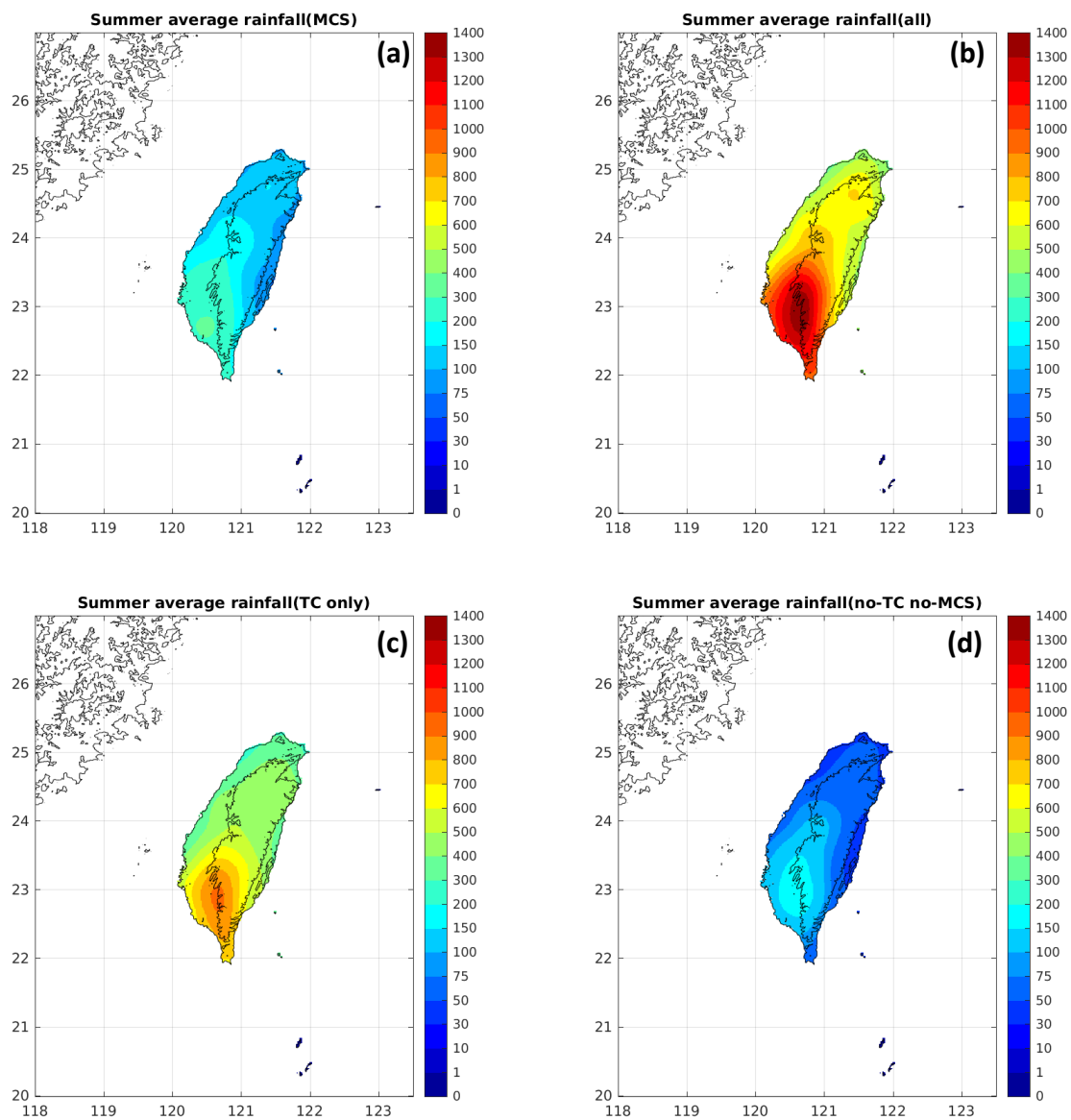


圖 3.19 2006 至 2020 年間平均每年夏季的累計降雨，圖中顏色為平均累積降雨量(單位:mm)，(a)只有 MCS 事件的平均累計降雨(b)平均總累計降雨(c)只有 TC 事件的平均累計降雨(d)非 MCS 事件(不含 TC 事件)的平均累計降雨。

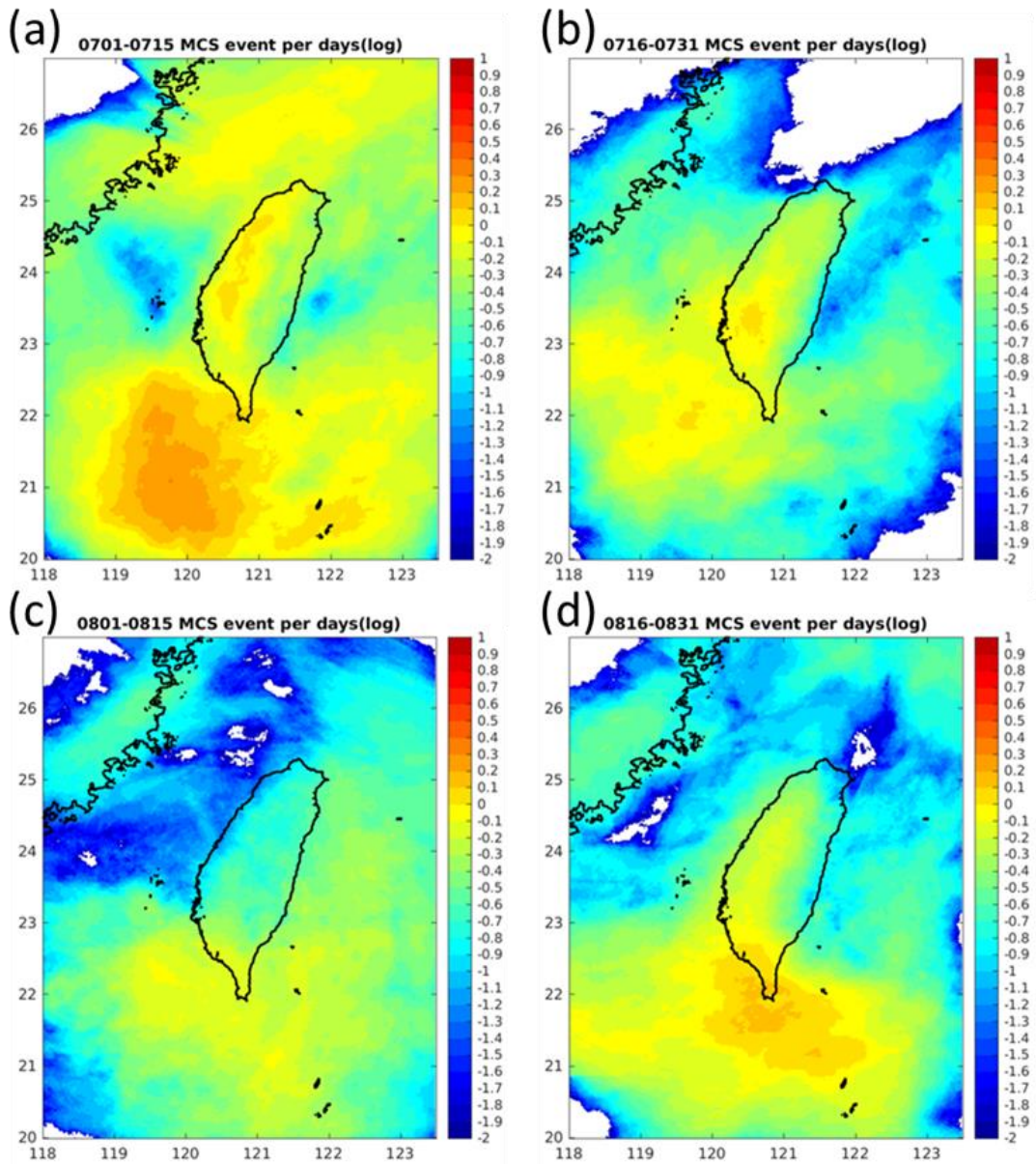


圖 3.20 同圖 3.13。但時間為 5 月中至 6 月底，(a)7/1~15，(b)7/16~31，
(c)8/1~15，(d)8/16~31

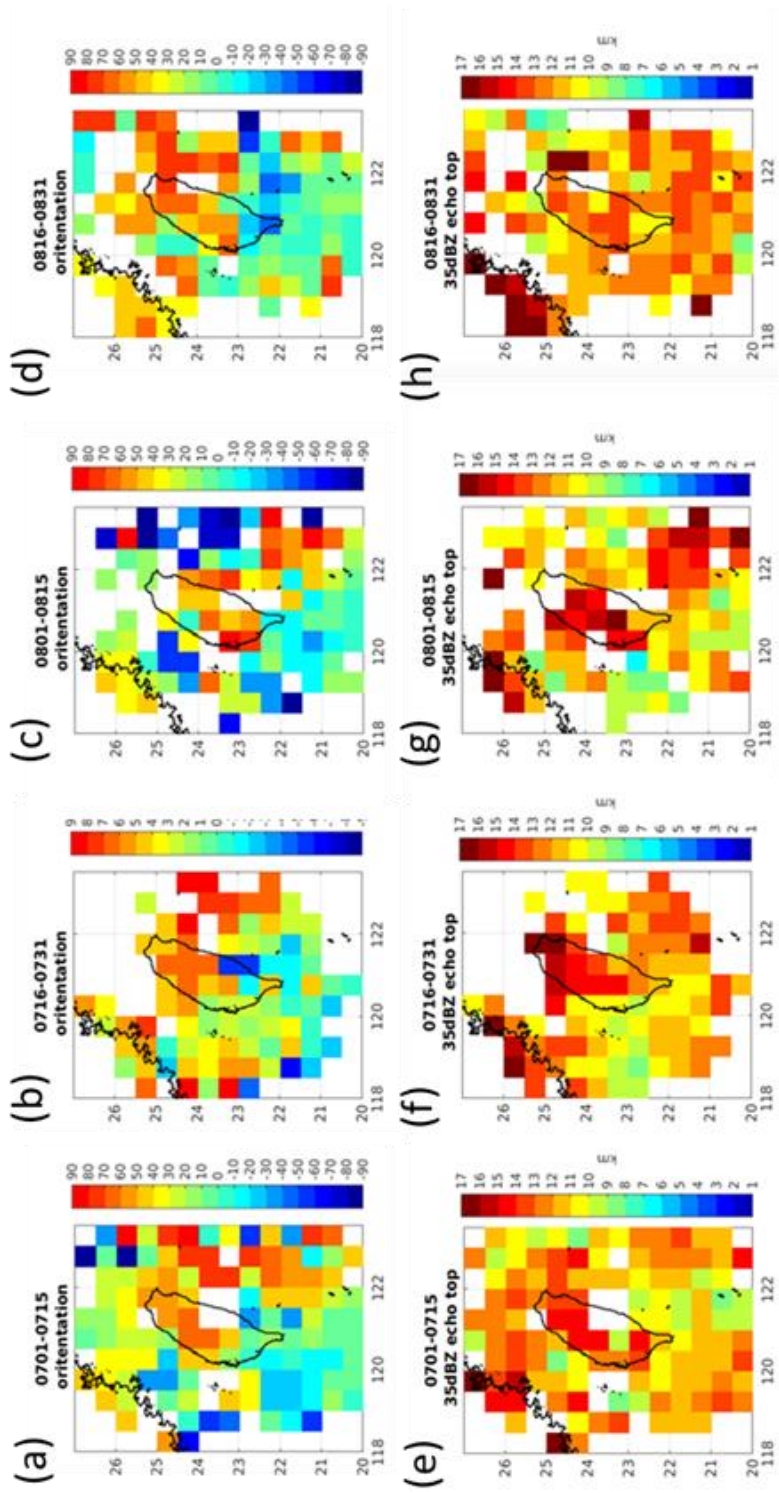


圖 3.21 7/1 至 8/31 間每半月的橢圓傾角以及 echo top 空間分布。(a)至(d)為橢圓傾角(單位:deg), 時間依序為(a)7/1-15、(b)7/16-31、(c)8/1-15、(d)8/16-31。(e)至(h)為 echo top(單位:km), (e)7/1-15、(f)7/16-31、(g)8/1-15、(h)8/16-31。

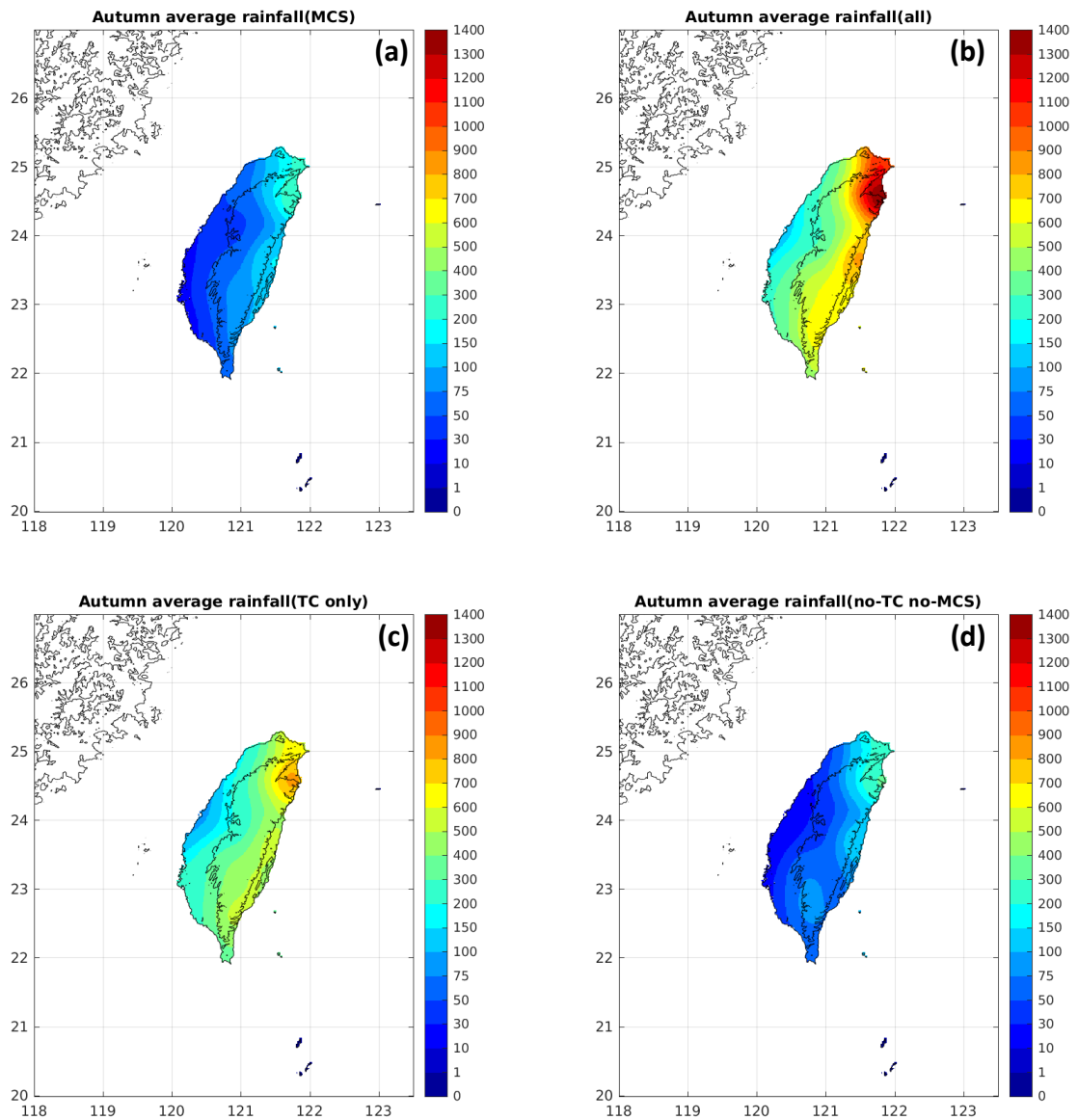


圖 3.22 2006 至 2020 年間平均每年秋季的累計降雨，圖中顏色為平均累積降雨量(單位:mm)，(a)只有 MCS 事件的平均累計降雨(b)平均總累計降雨(c)只有 TC 事件的平均累計降雨(d)非 MCS 事件(不含 TC 事件)的平均累計降雨。

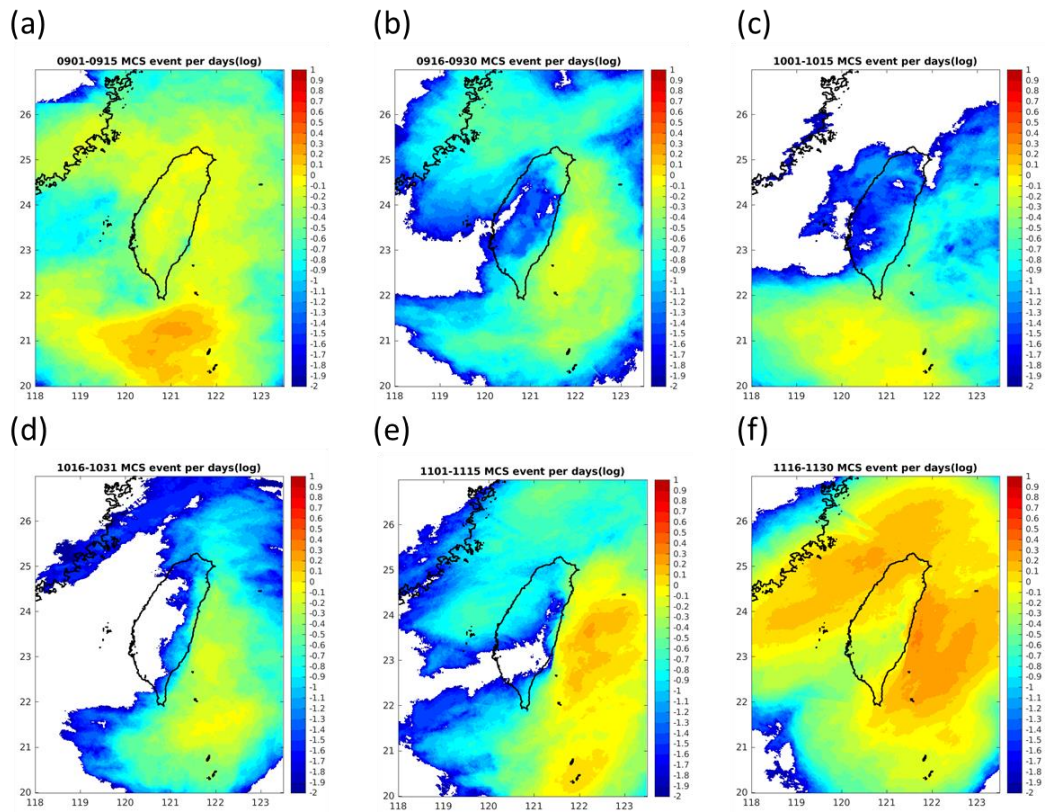


圖 3.23 同圖 3.8。但時間為 9 月至 11 月，(a)9/1~15，(b)9/16~30，
 (c)10/1~15，(d)10/16~31，(e)11/1~15，(f)11/16~30

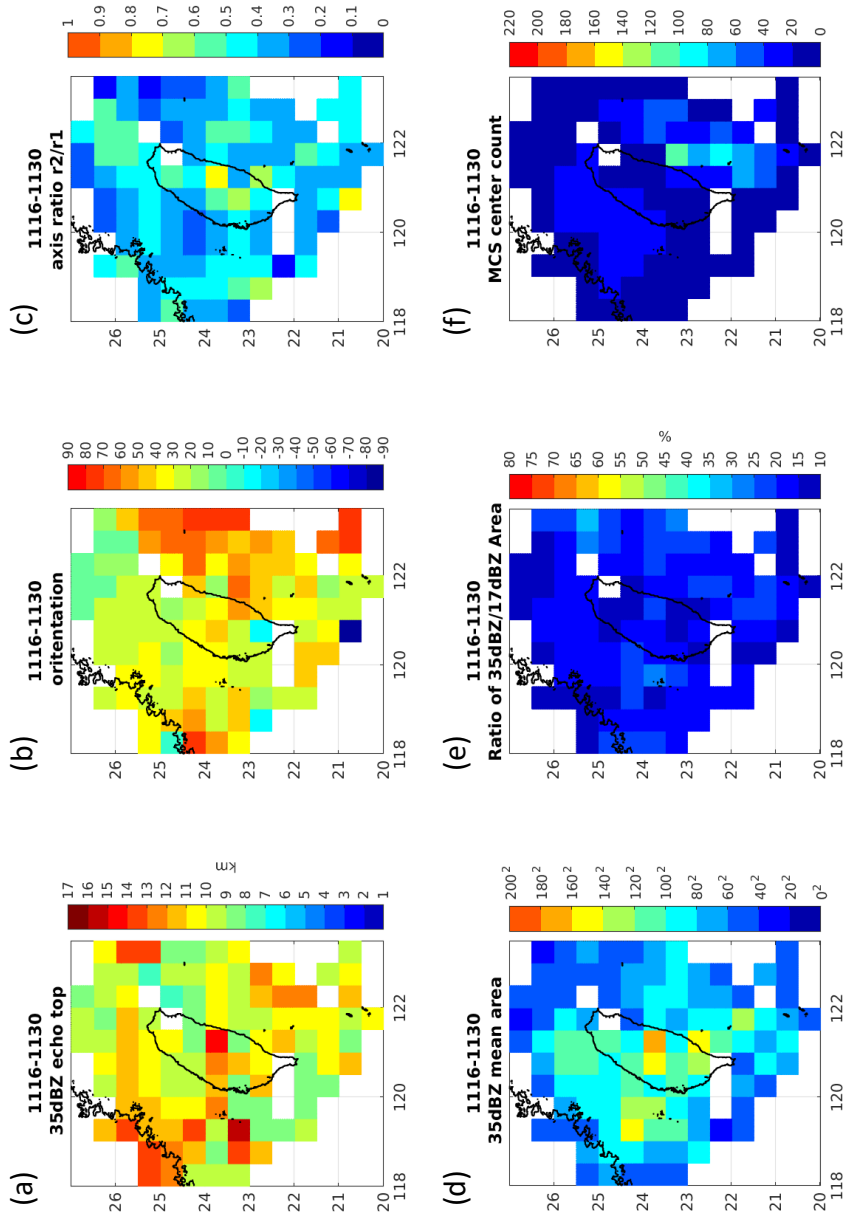


圖 3.24 11/16 至 11/30 間平均 MCS 對流胞特性的空間分布。(a)35dBZ echo top(單位:km²), (b)橢圓傾角(單位:deg), (c)長短軸比, (d)35dBZ 回波面積(單位:km²), (e)回波面積比, (f)不同年份間 MCS 事件個數

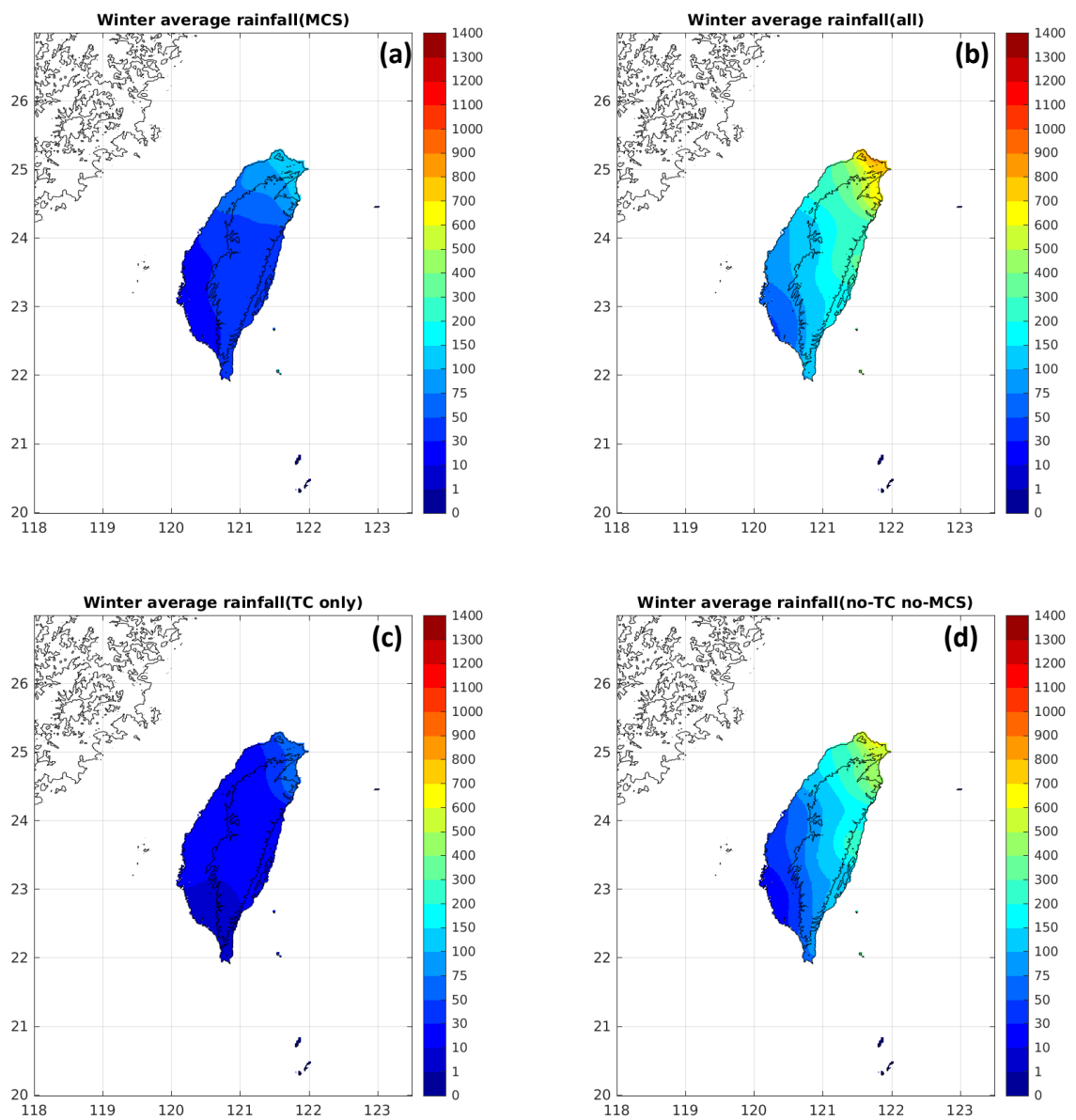


圖 3.25 2006 至 2020 年間平均每年冬季的累計降雨，圖中顏色為平均累積降雨量(單位:mm)，(a)只有 MCS 事件的平均累計降雨(b)平均總累計降雨(c)只有 TC 事件的平均累計降雨(d)非 MCS 事件(不含 TC 事件)的平均累計降雨。

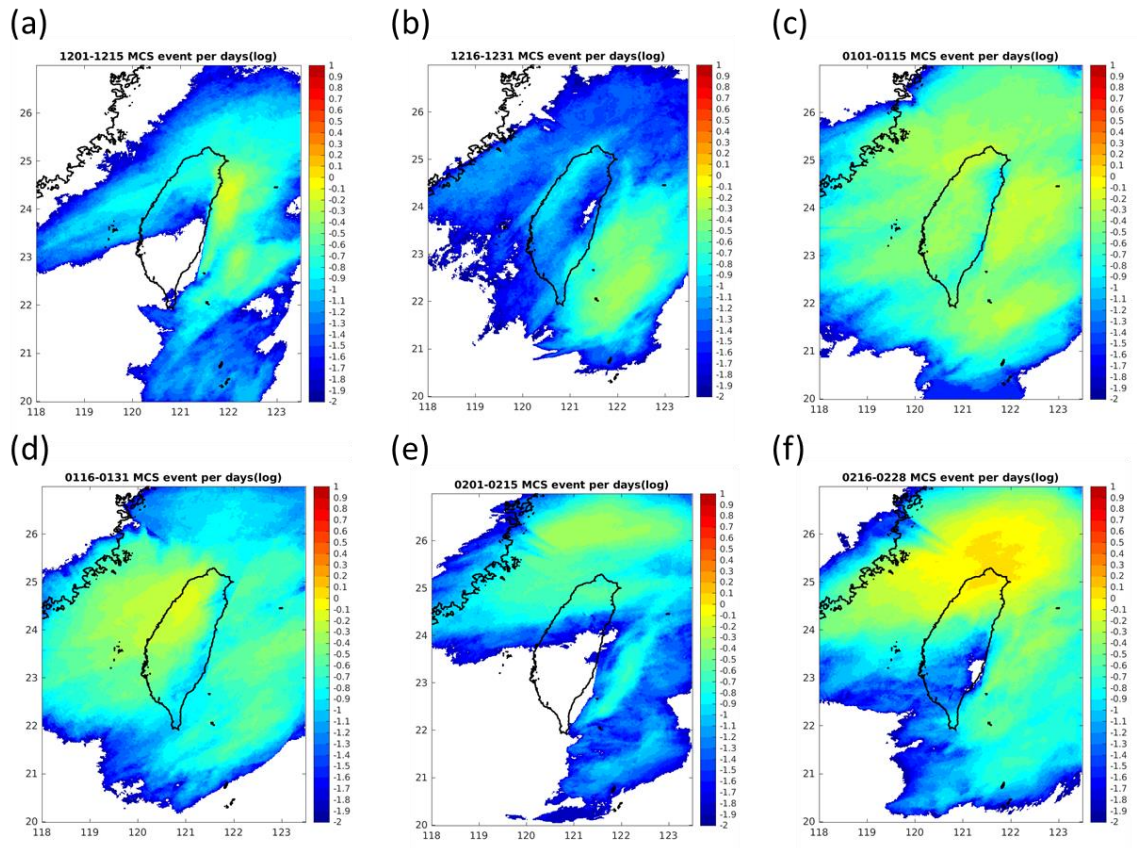


圖 3.26 同圖 3.8。但時間為 12 月至隔年 2 月，(a)12/1~15，(b)12/16~31，(c)1/1~15，(d)1/16~31，(e)2/1~15，(f)2/16~28

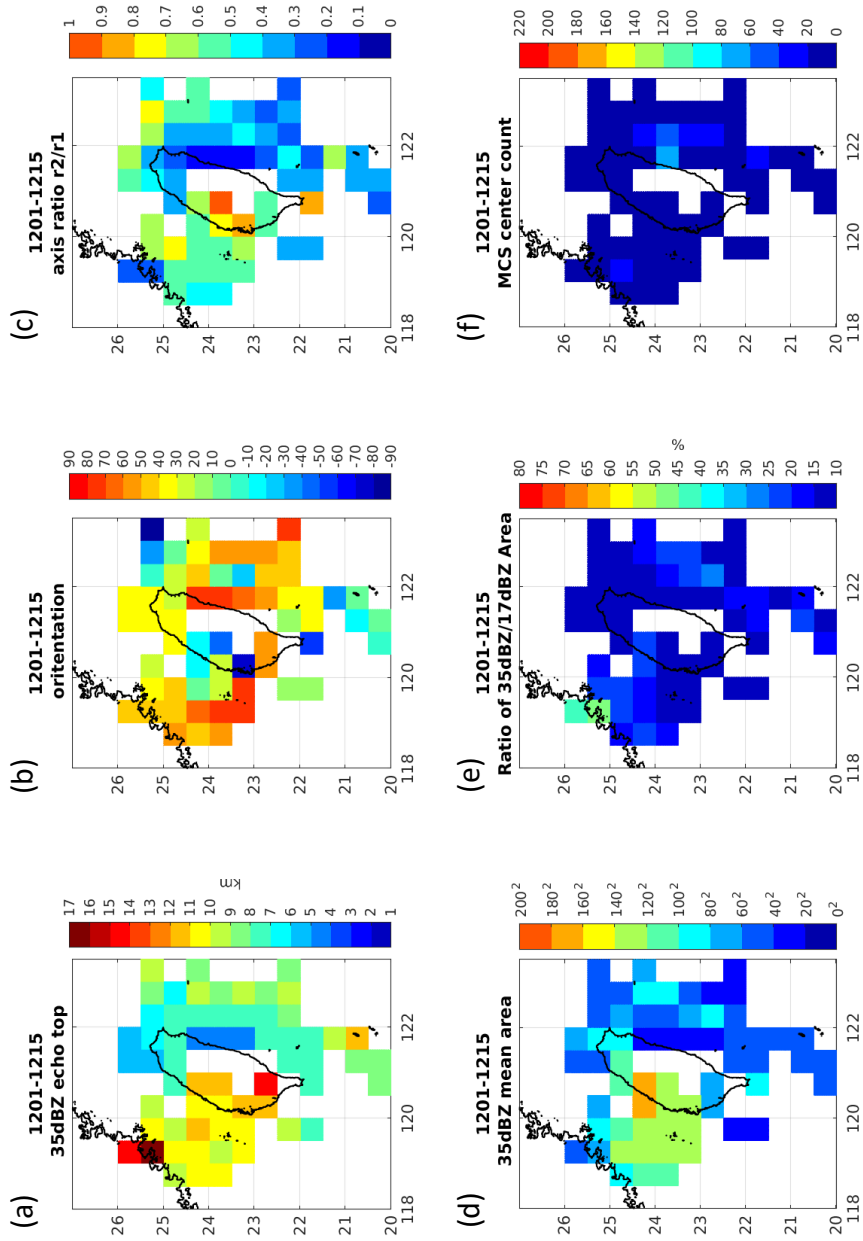


圖 3.27 12/01 至 12/15 間平均 MCS 對流胞特性的空間分布。(a)35dBZ echo top(單位:km²)，(b)橢圓傾角(單位:deg)，(c)長短軸比，(d)35dBZ 回波面積(單位:km²)，(e)回波面積比，(f)不同年份間 MCS 事件個數

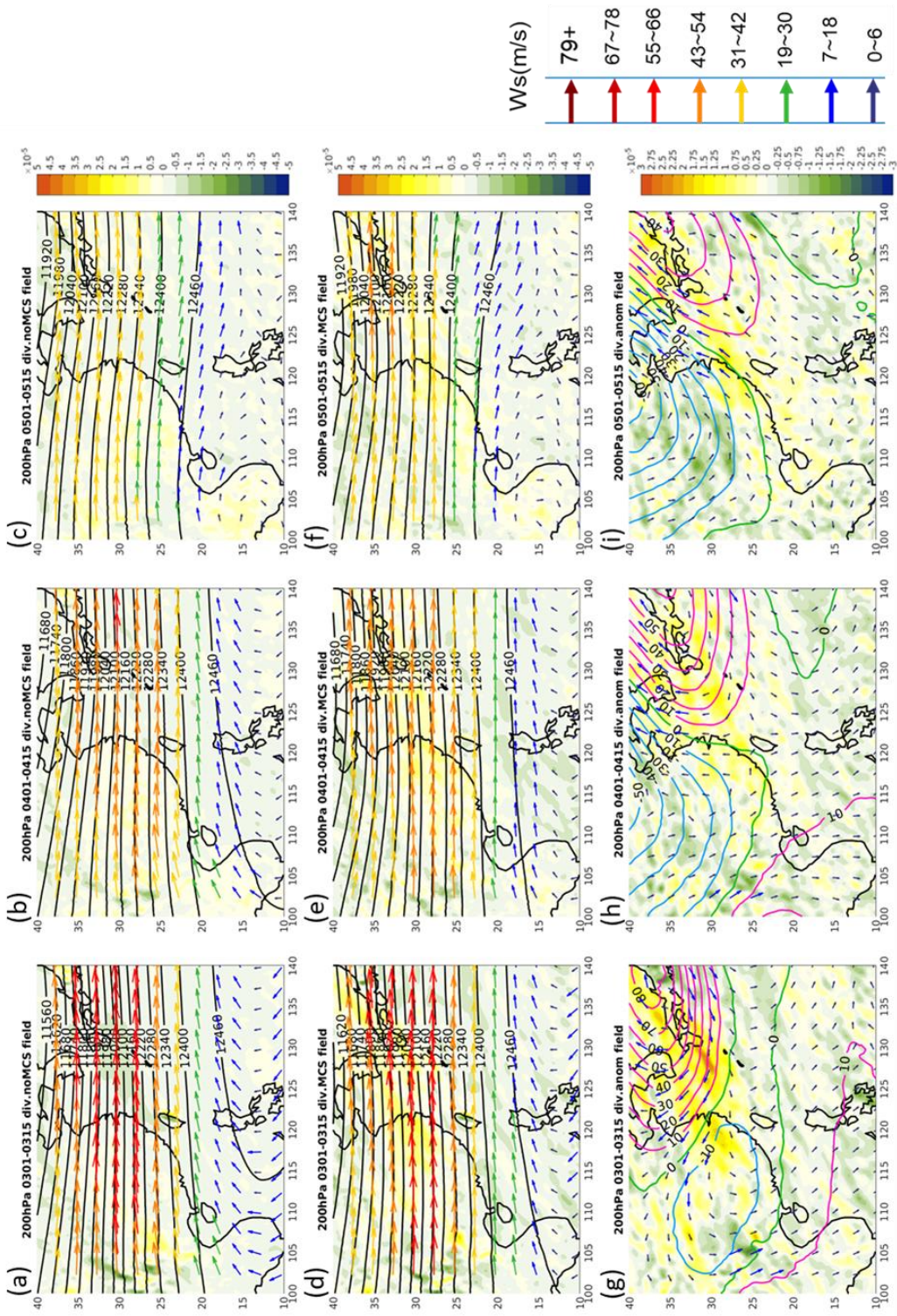


圖 4.1 春季 200hPa MCS 與 noMCS 綜觀環境場。(a)、(b)、(c)代表不同半月，依序為 3/1-15、4/1-15、5/1-15。每一橫排由上至下代表：無 MCS 事件(圖(a)、(b)、(c))、MCS 事件(d)、(e)、(f)以及差異值 (MCS-noMCS，(g)、(h)、(i))。MCS 以及 noMCS 圖中黑色實線代表重力位高度，箭頭代表風場，風標顏色代表風速，底色代表輻散場，而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為輻散場差值。

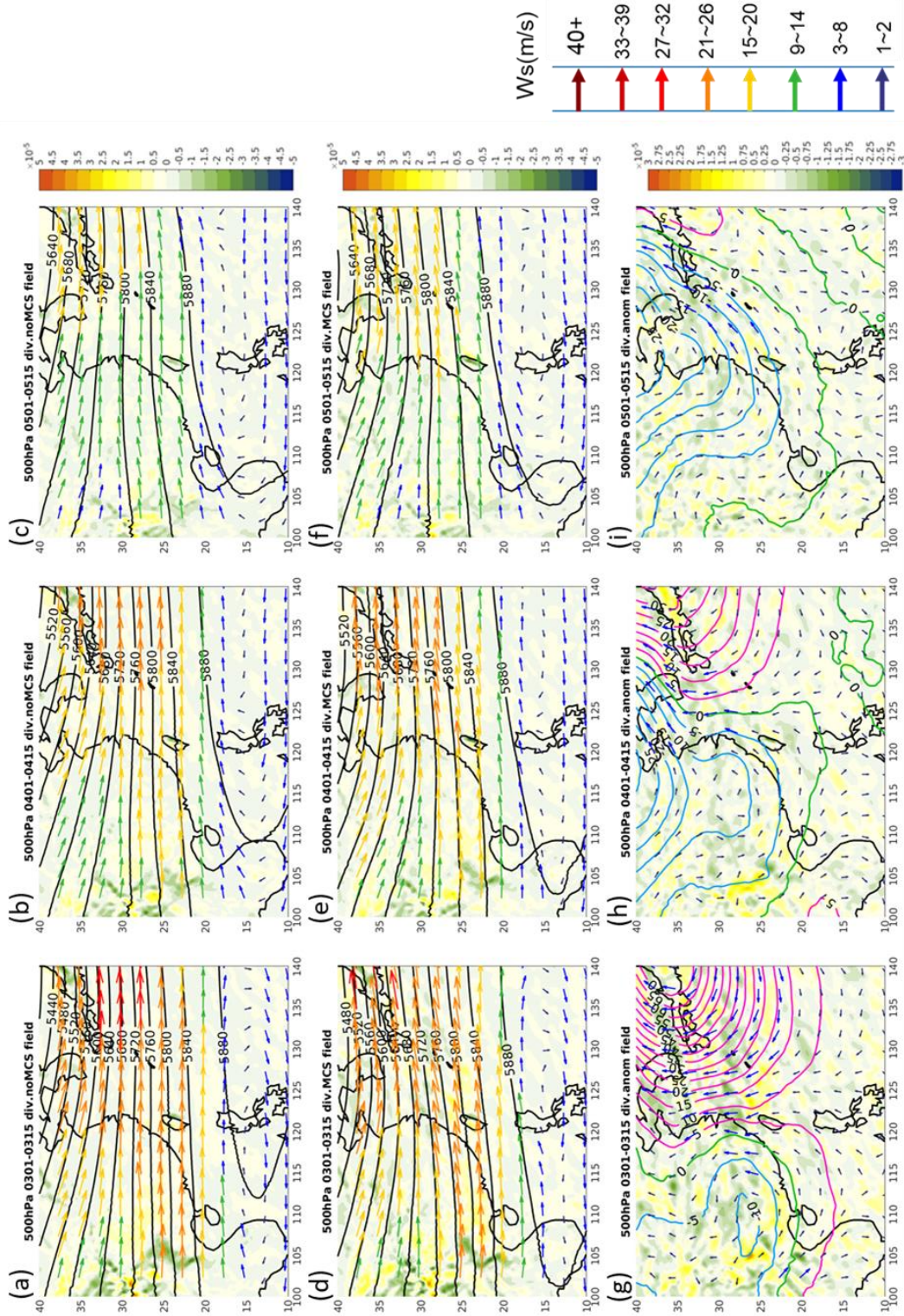


圖 4.2 為春季 500hPa 高度場，每一橫排由上至下代表：無 MCS 事件(圖(a)、(b)、(c))、MCS 事件(d)、(e)、(f)以及差異值(MCS-noMCS)，(g)、(h)、(i))。MCS 以及 noMCS 圖中黑色實線代表重力位高度，箭頭代表風場，風標顏色代表風速，底色代表輻散場，而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為輻散場差值。

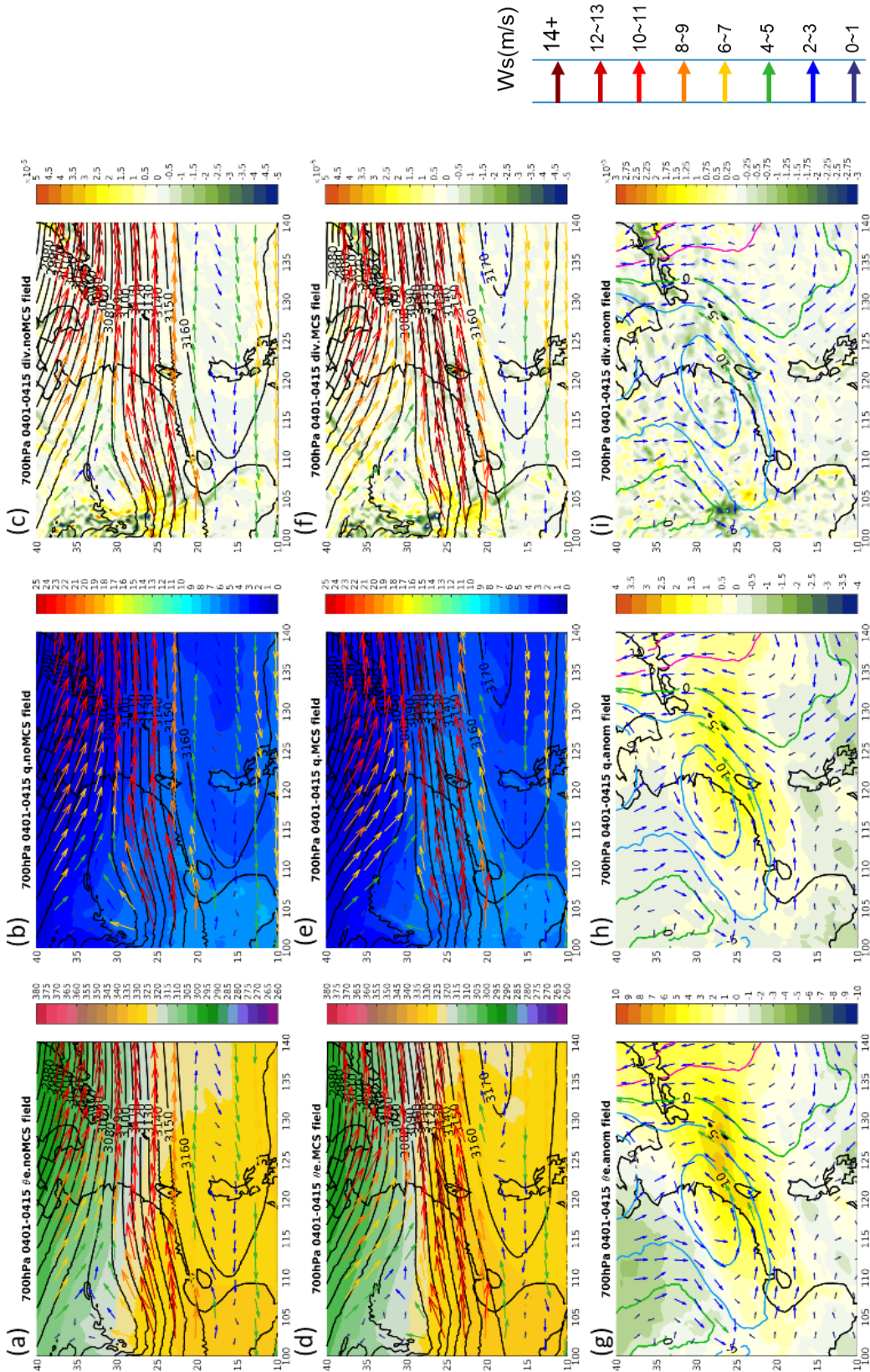


圖 4.3 為 4/1-4/15 間 700hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f) 以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h)) 以及輻散場(單位:1/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。

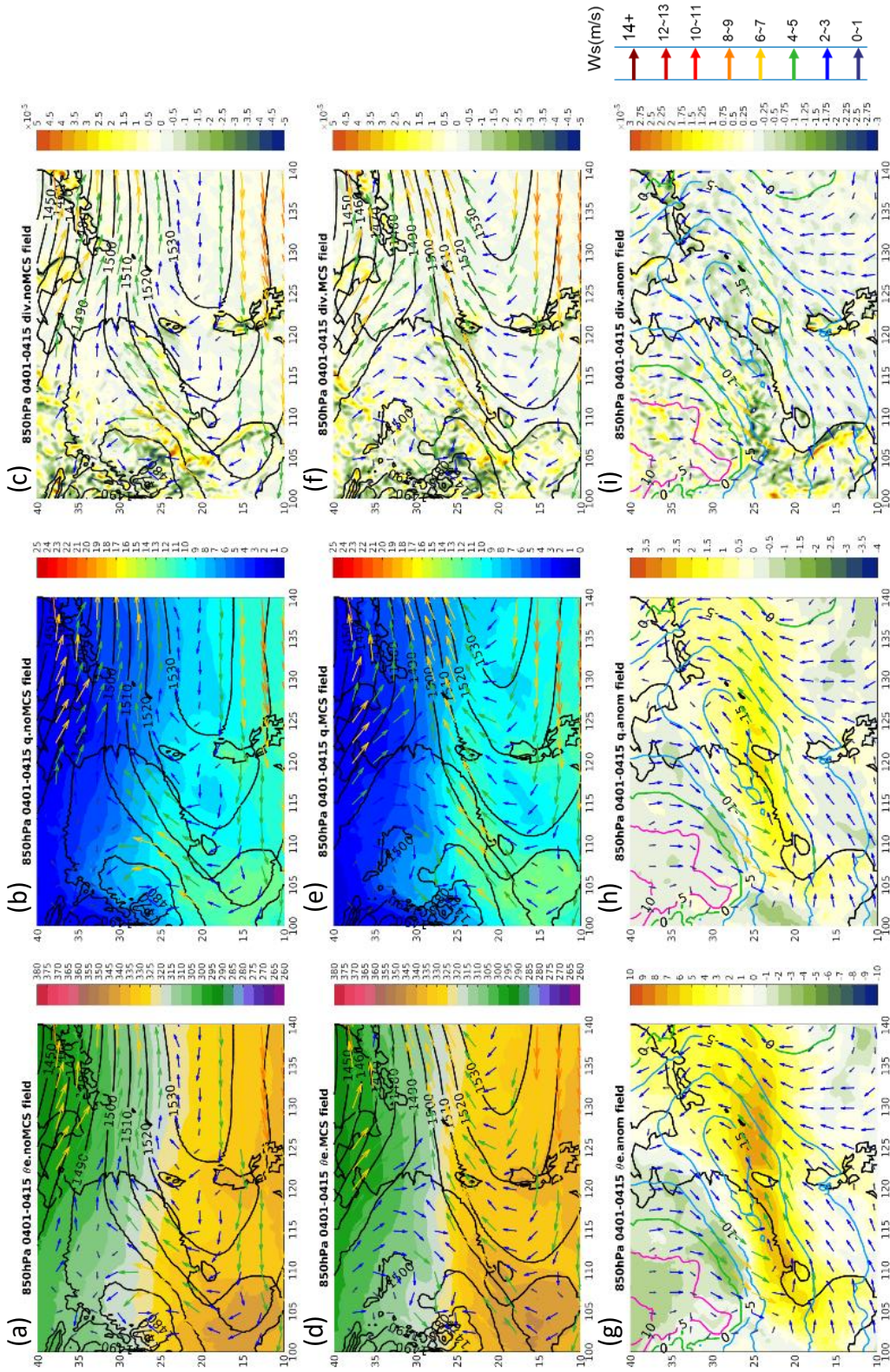


圖 4.4 為 4/1-4/15 間 850hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件 (noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件 (MCS, 圖 d, e, f) 以及差異場 (MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h)) 以及輻散場(單位:1/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。

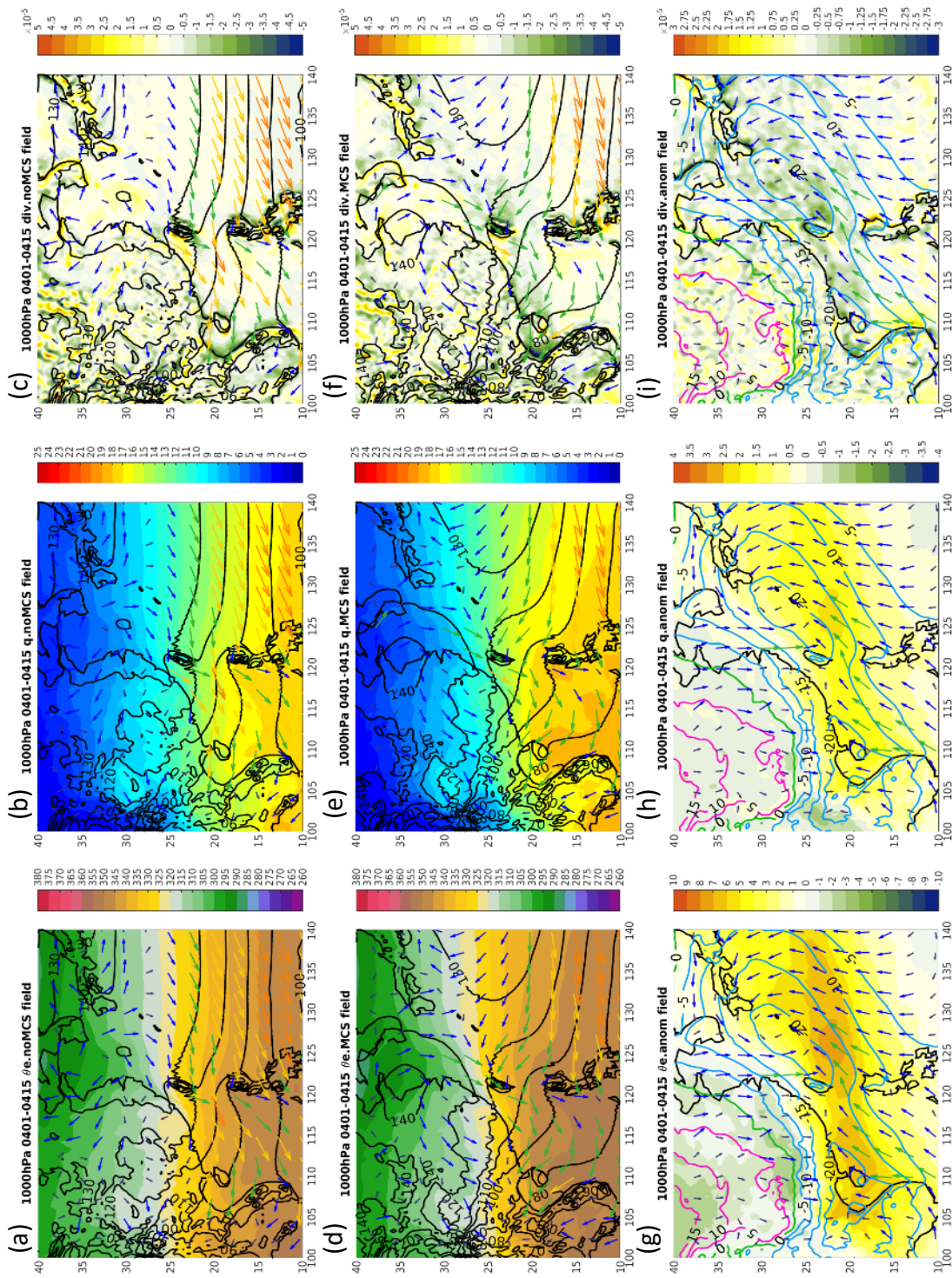


圖 4.5 為 4/1-4/15 間 1000hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f) 以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h)) 以及輻散場(單位:1/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。

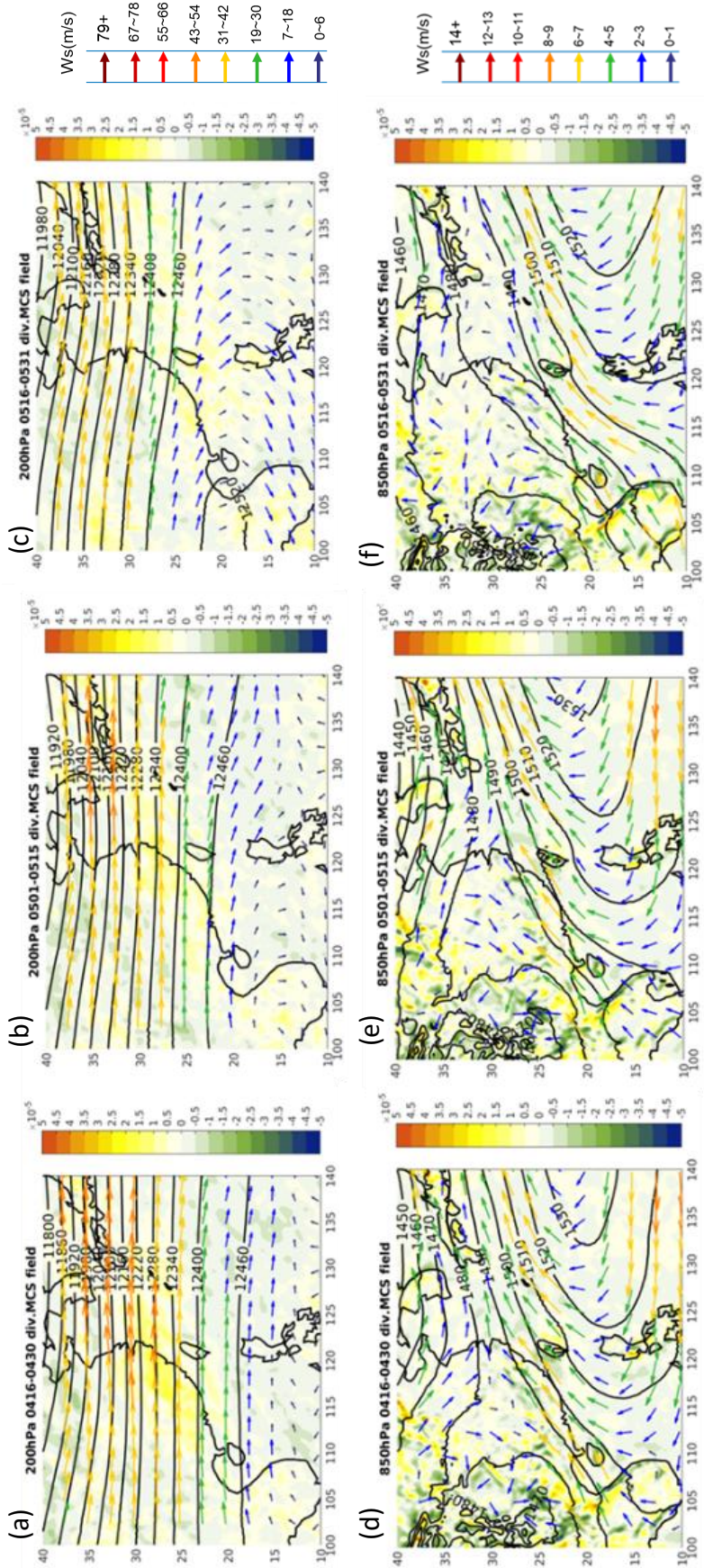


圖 4.6 4/16-5/31 間 MCS 事件的環境場，第一列為(a, b, c)200hPa 環境場，第二列(d, e, f)為 850hPa 環境場，黑色實線代表重力位高度，底色為輻散場，箭頭代表風場，箭頭顏色代表風速。注意風速的顏色在 200hPa 和 850hPa 其數值不同，其數值以最右邊圖例為準。

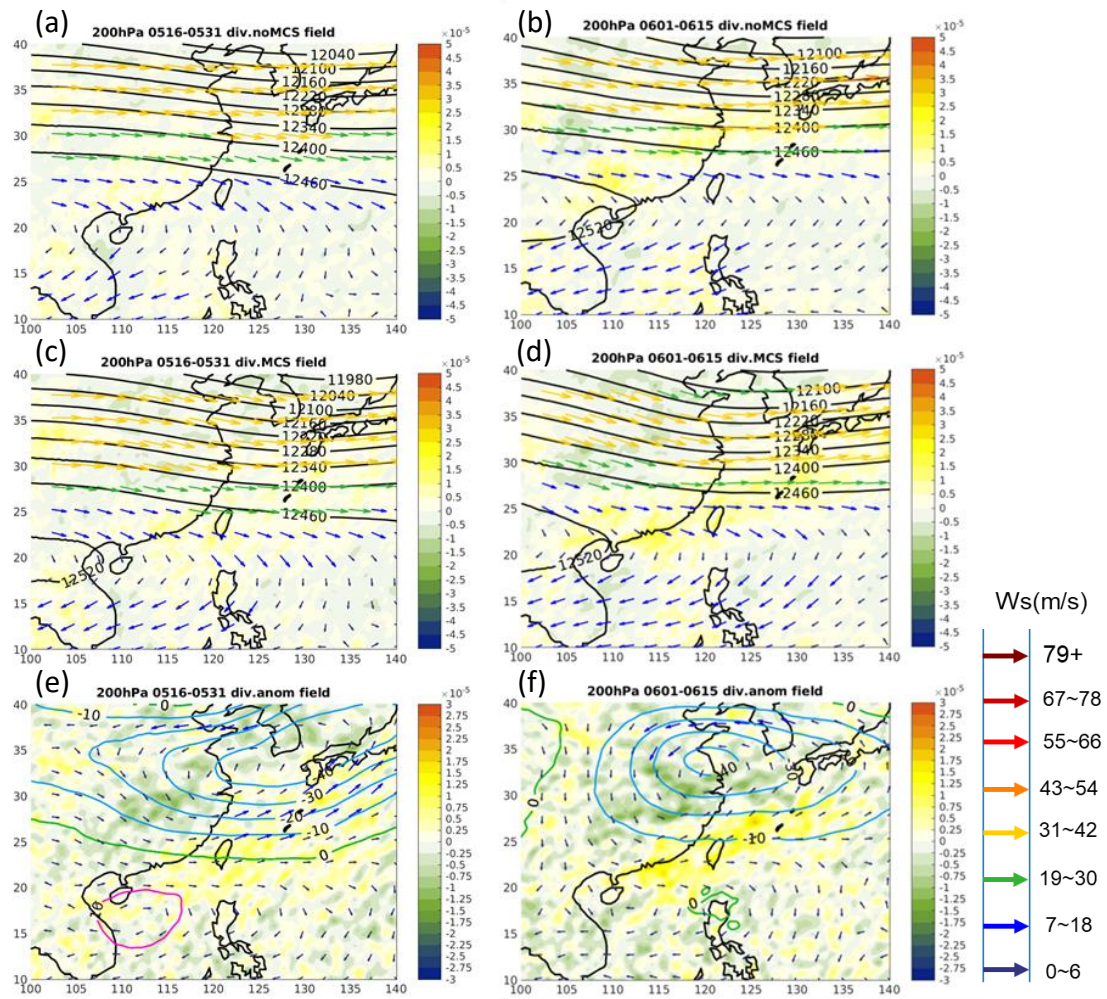


圖 4.7 為梅雨季 5/16-6/15 間 200hPa 高度場。每一橫排由上至下代表:無 MCS 事件(圖(a)、(b))、MCS 事件(圖(c)、(d))以及差異值(MCS-noMCS, 圖(e)、(f))。MCS 以及 noMCS 圖中黑色實線代表重力位高度, 箭頭代表風場, 風標顏色代表風速, 底色代表輻散場, 而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值, 零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值, 底色則為輻散場差值。

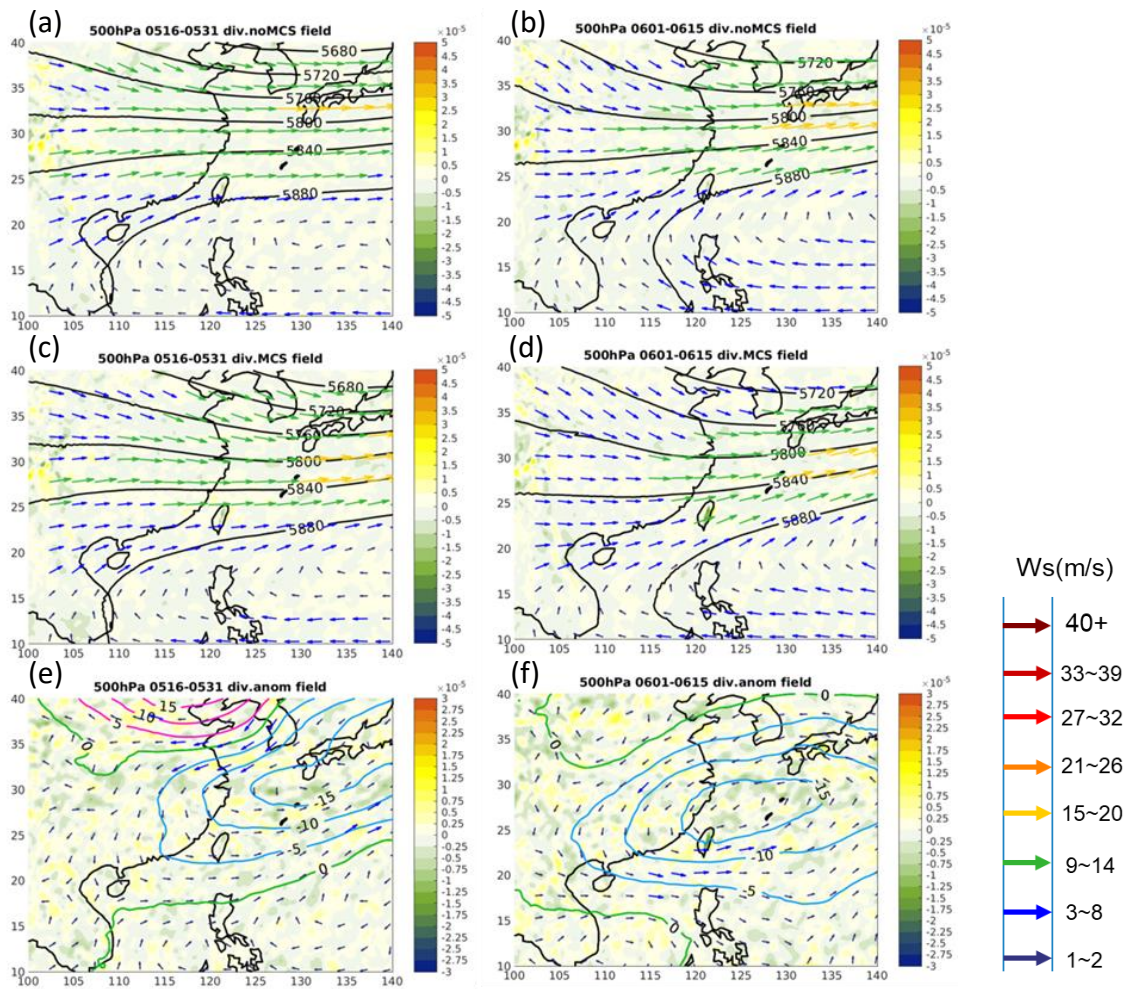


圖 4.8 為梅雨季 5/16-6/15 間 500hPa 高度場。每一橫排由上至下代表：無 MCS 事件(圖(a)、(b))、MCS 事件(圖(c)、(d))以及差異值(MCS-noMCS，圖(e)、(f))。MCS 以及 noMCS 圖中(圖(a), (b), (c), (d))黑色實線代表重力位高度，箭頭代表風場，風標顏色代表風速，底色代表輻散場，而差異場中(圖(e), (f))藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為輻散場差值。

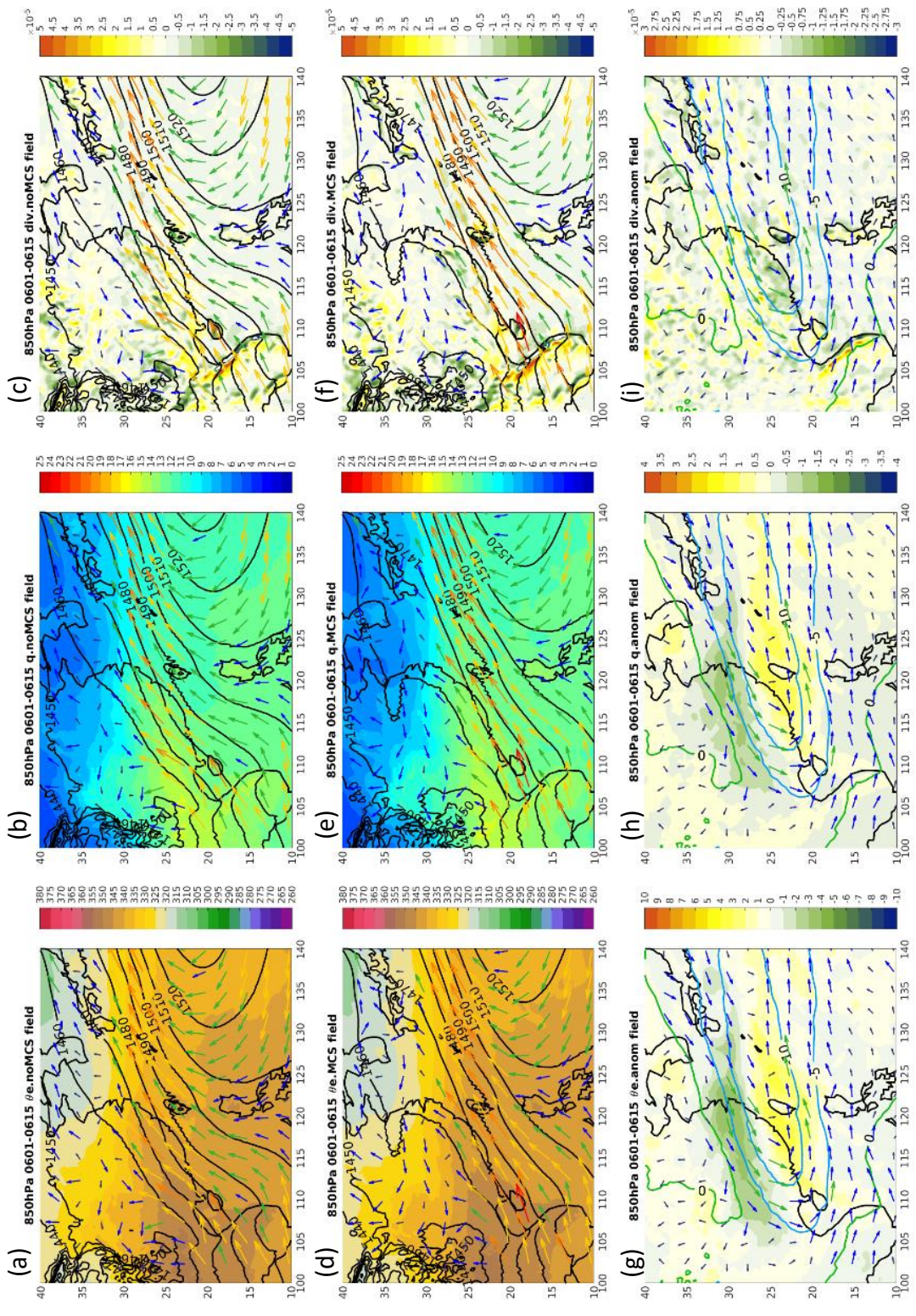


圖 4.9 為 6/1-6/15 間 850hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f) 以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h)) 以及輻散場(單位:1/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。

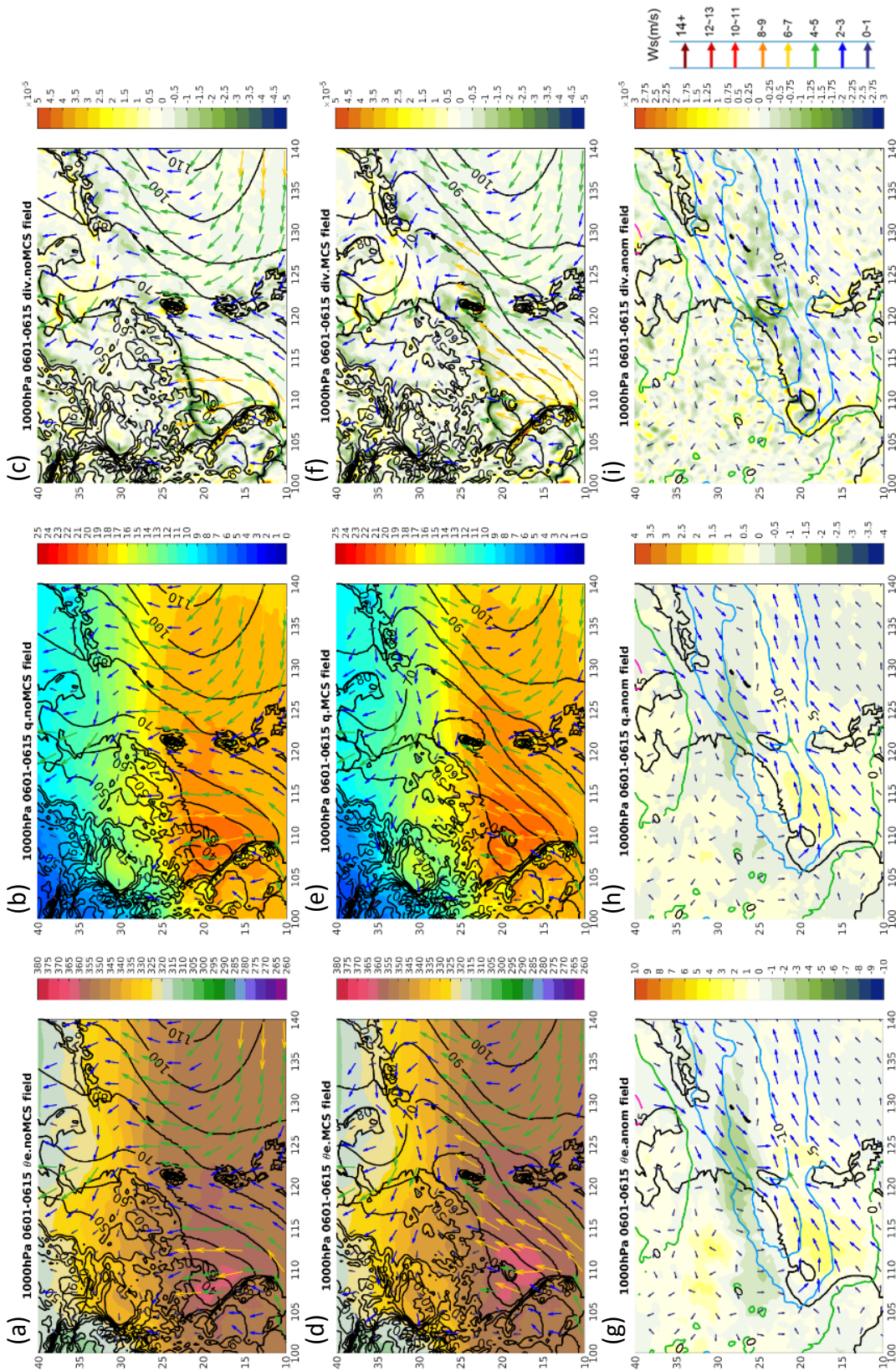


圖 4.10 為 6/1-6/15 間 1000hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件 (noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件 (MCS, 圖 d, e, f) 以及差異場 (MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位:g/kg, 圖(b), (e), (h))以及輻散場(單位:1/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。

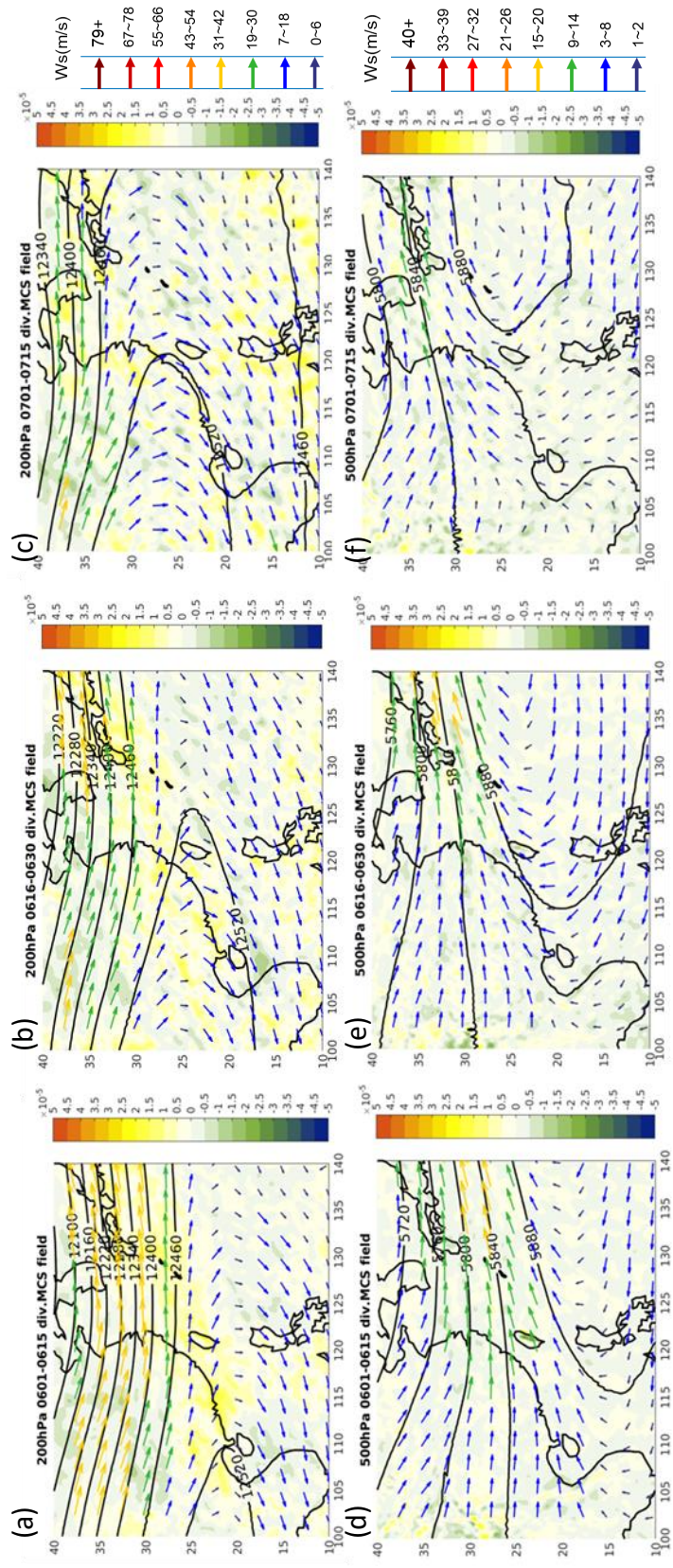


圖 4.11 為 6/1-7/15 日間 200hPa 和 500hPa 的 MCS 環境場。第一排(a, b, c)為 200hPa 環境場，第二列 (d, e, f)為 500hPa 環境場，黑色實線代表重力位高度，底色為輻散場，箭頭代表風場，箭頭顏色代表風速。注意風速的顏色在 200hPa 和 850hPa 其數值不同，其數值以最右邊圖例為準。

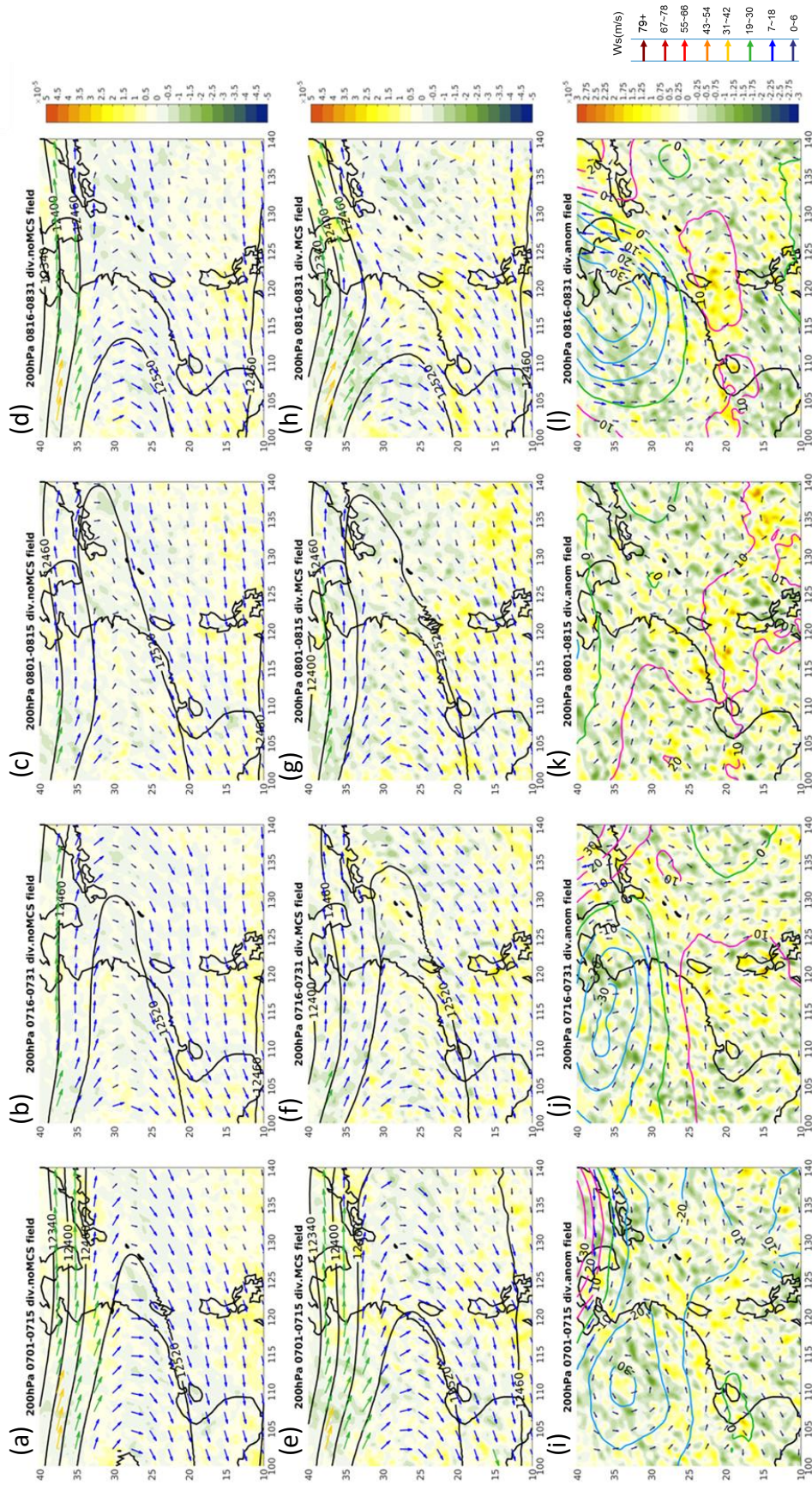


圖 4.12 為夏季 7/1-8/31 間 200hPa 高度場。每一橫排由上至下代表：無 MCS 事件(圖(a), (b), (c), (d))、MCS 事件(圖(e), (f), (g), (h))以及差異值(MCS-noMCS, 圖(i), (j), (k), (l))。MCS 以及 noMCS 圖中(圖(a)至(h))黑色實線代表重力位高度，箭頭代表風速，底色代表輻散場，而差異場中(圖(i), (j), (k), (l))藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為輻散場差值。

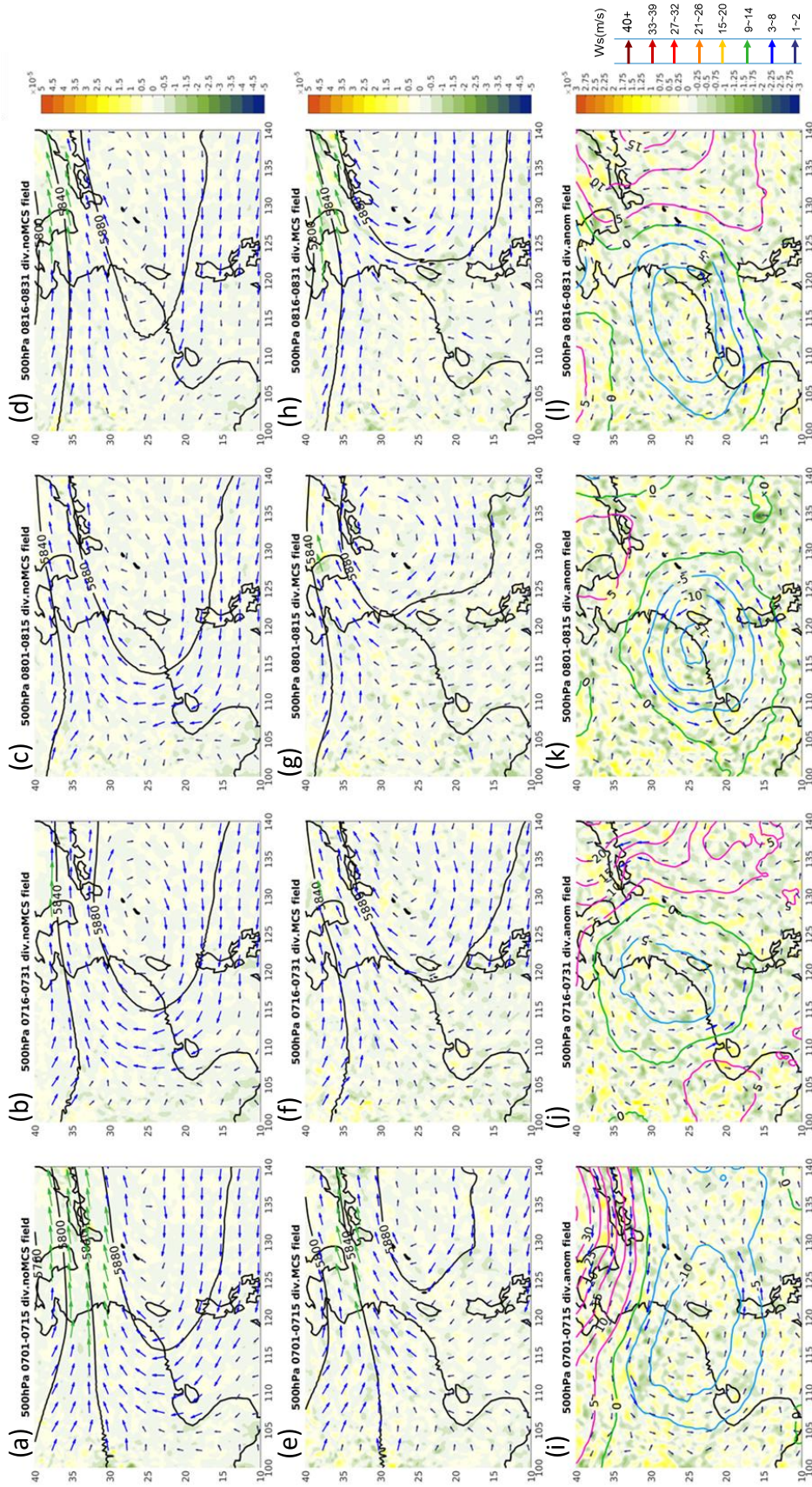


圖 4.13 為夏季 7/1-8/31 間 500hPa 高度場。每一橫排由上至下代表：無 MCS 事件(圖(a), (b), (c), (d))、MCS 事件(圖(e), (f), (g), (h))以及差異值(MCS-noMCS, 圖(i), (j), (k), (l))。MCS 以及 noMCS 圖中(圖(a)至(h))黑色實線代表重力位高度，箭頭代表風速，底色代表輻散場，而差異場中(圖(i), (j), (k), (l))藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為輻散場差值。

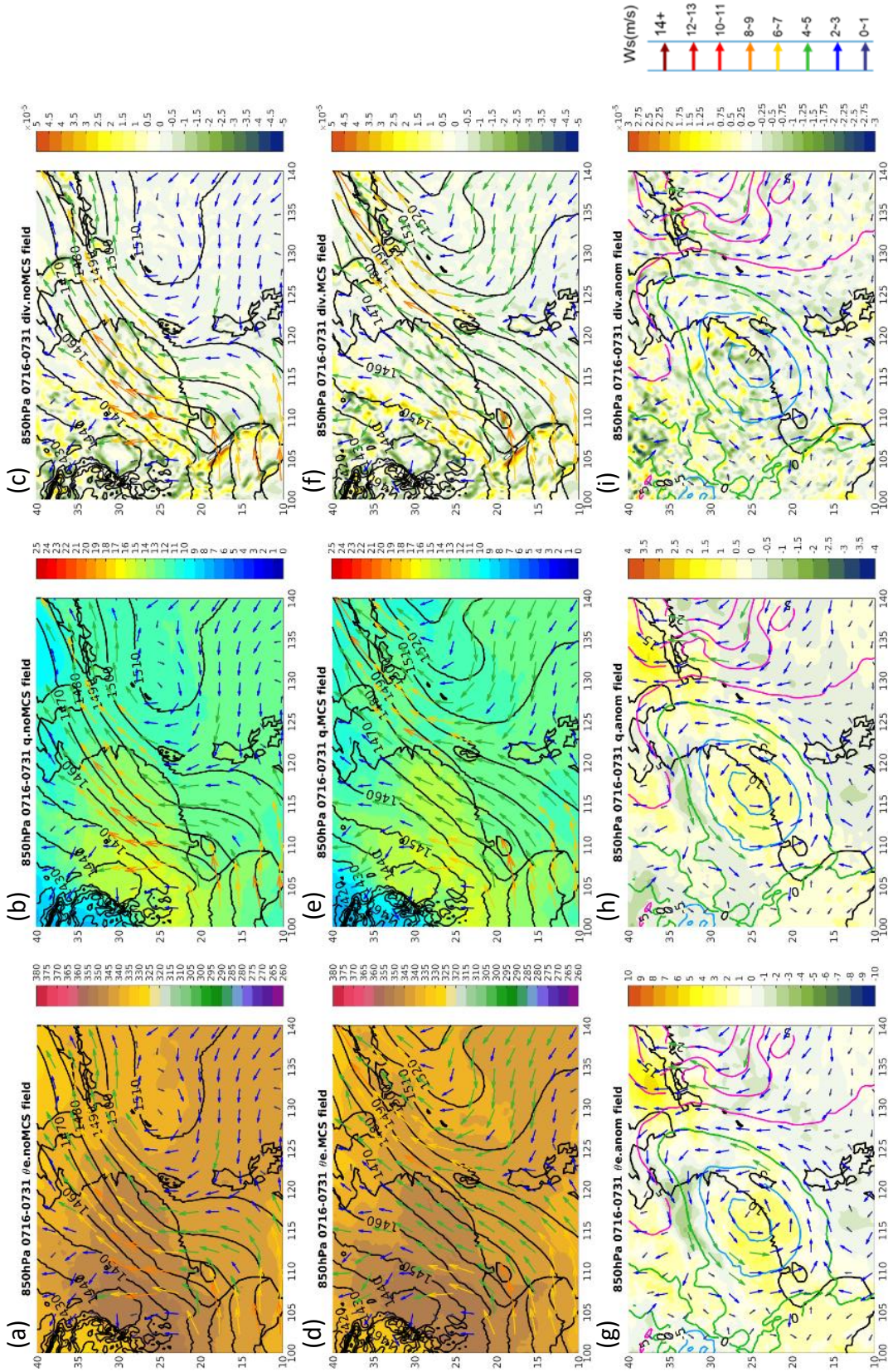


圖 4.14 為 7/16-7/31 間 700hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件 (noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件 (MCS, 圖 d, e, f) 以及差異場 (MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫 (單位:K, 圖 (a), (d), (g))、比濕 (單位 g/kg, 圖 (b), (e), (h)) 以及輻散場 (單位:1/s, 圖 (c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差異。

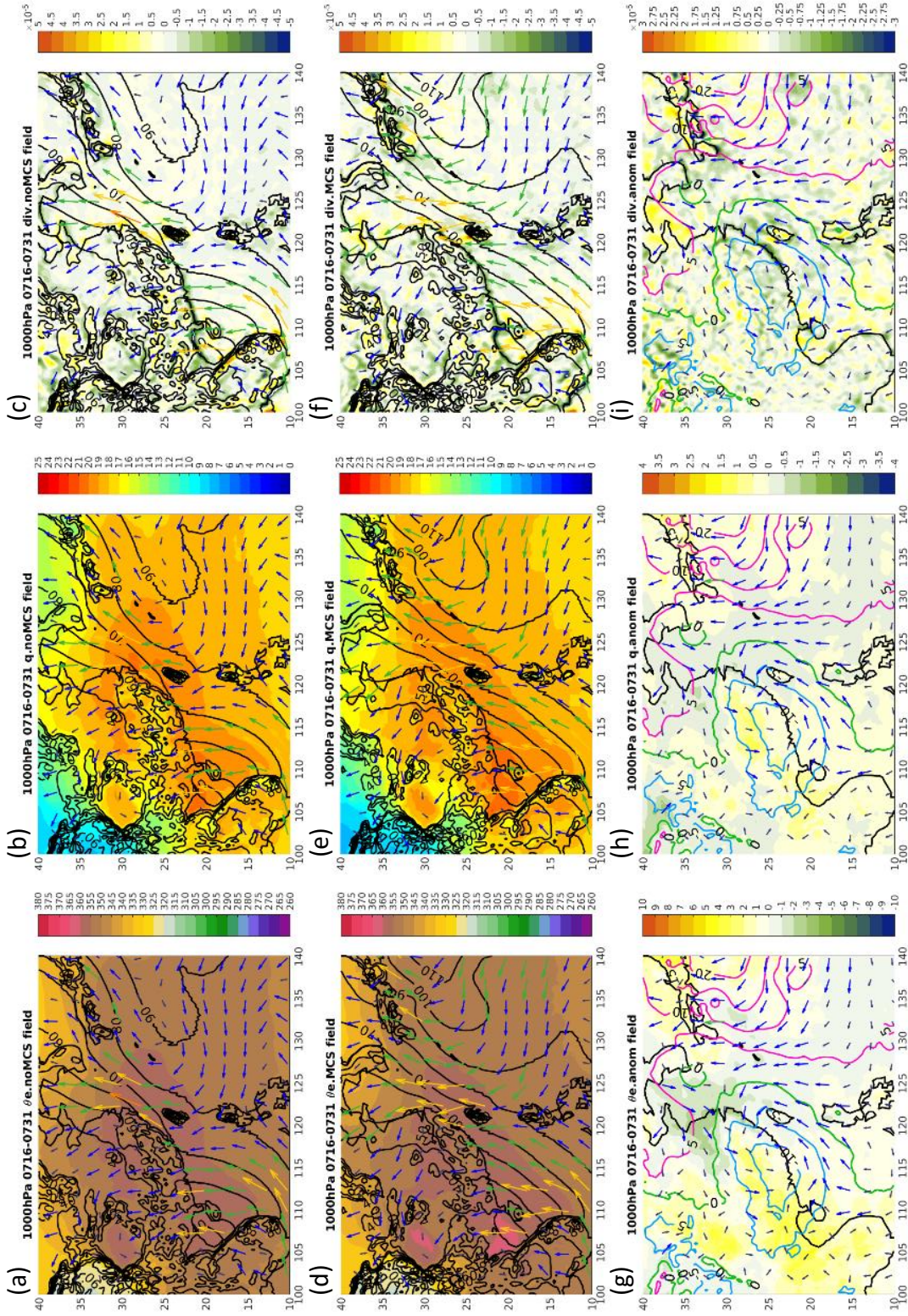


圖 4.15 為 7/16-7/31 間 1000hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f) 以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h)) 以及輻散場(單位:1/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。

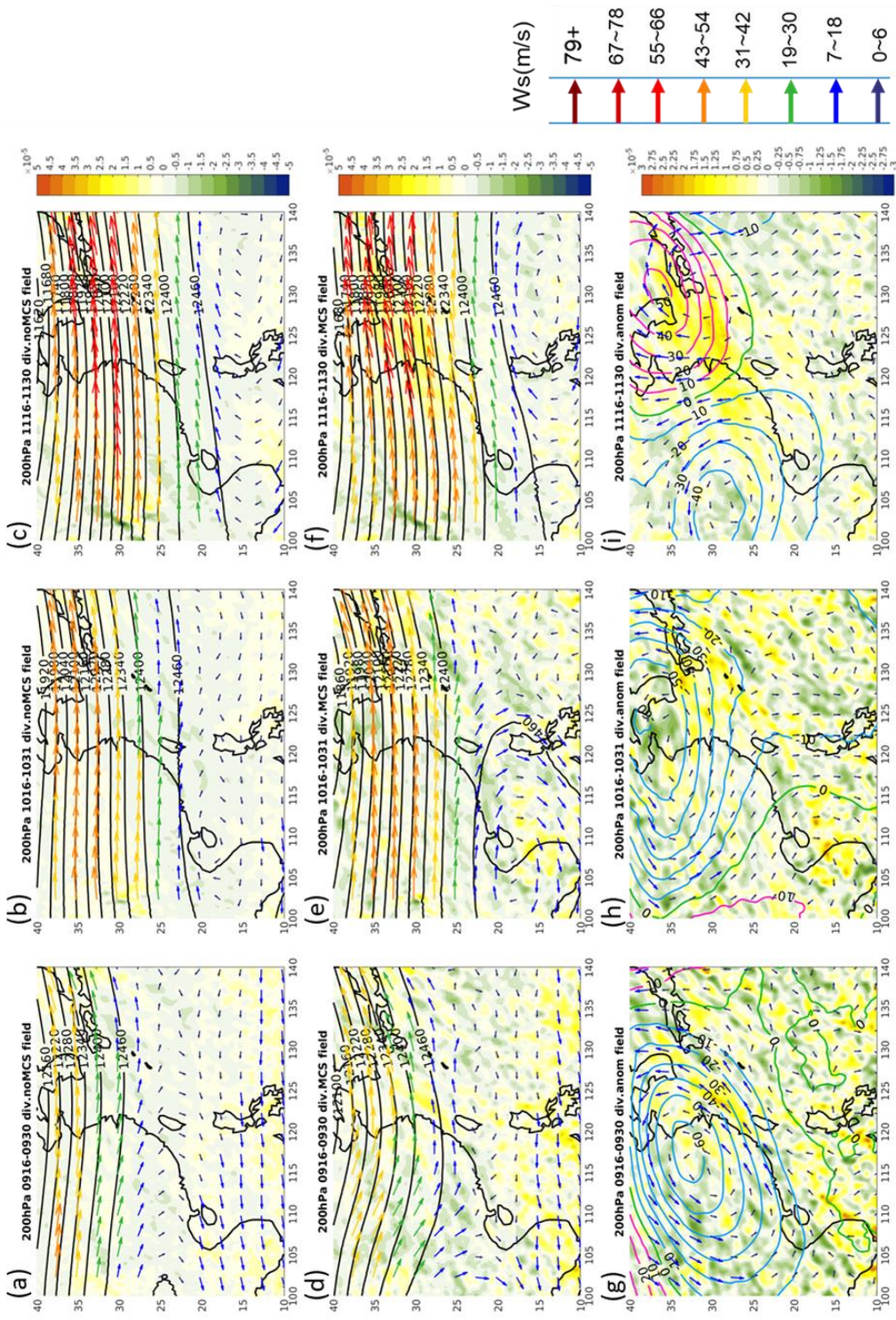


圖 4.16 為秋季 200hPa MCS 與 noMCS 綜觀環境場，每一橫排代表不同半月：9/16-30(圖 a, d, g)、10/16-31(圖 b, e, h)、11/16-11/30(圖 c, f, i)。每一橫排由上至下代表：無 MCS 事件(圖(a)、(b)、(c))、MCS 事件(d)、(e)、(f)以及差異值(MCS-noMCS, (g)、(h)、(i))。MCS 以及 noMCS 圖中黑色實線代表重力位高度，箭頭代表風速，風標顏色代表風速，底色代表輻散場，而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為輻散場差值。

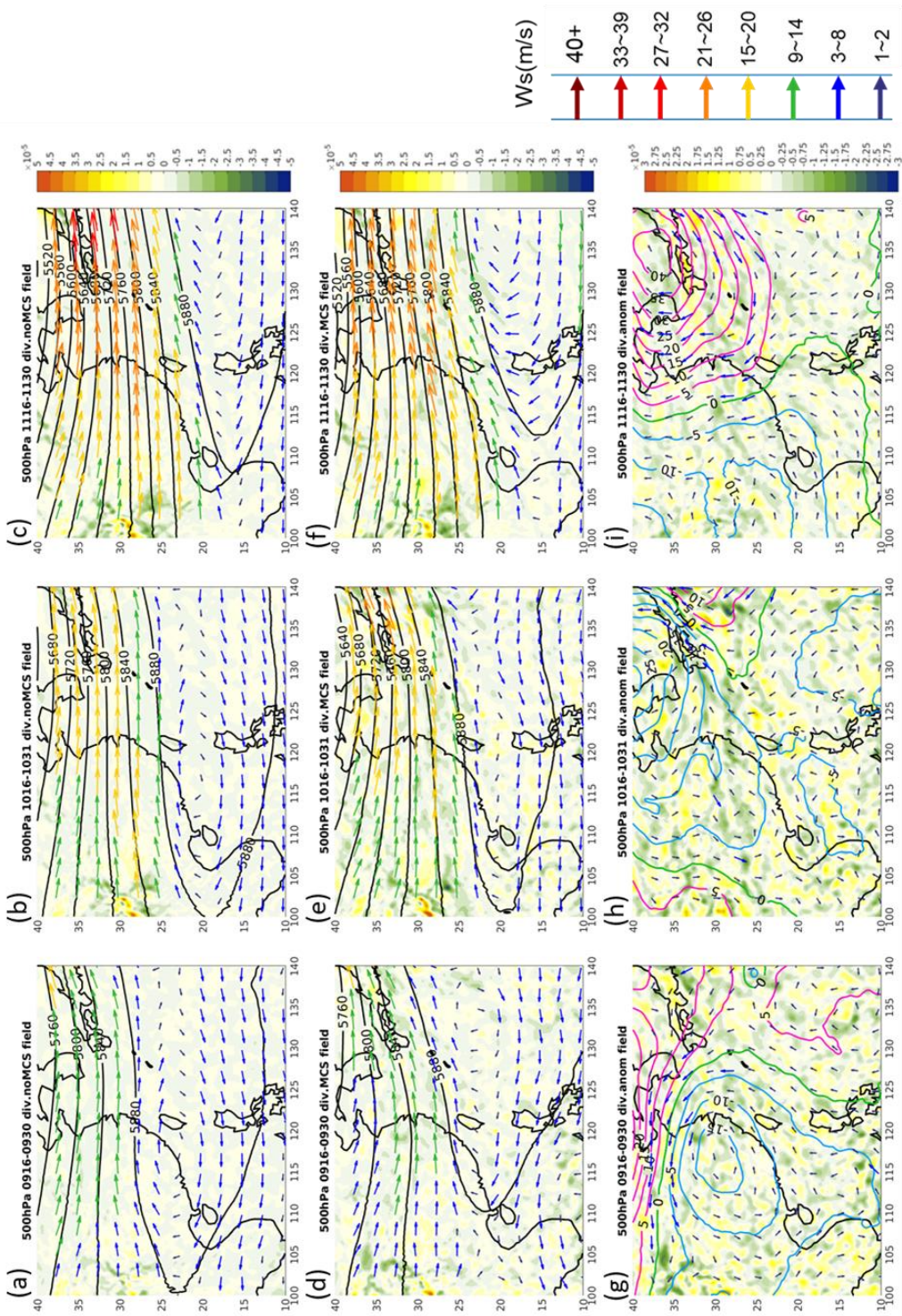


圖 4.17 為秋季 500hPa MCS 與 noMCS 綜觀環境場與其差異場，每一橫排代表不同半月：9/16-30(圖 a, d, g)、10/16-31(圖 b, e, h)、11/16-11/30(圖 c, f, i)。每一橫排由上至下代表：無 MCS 事件(圖 (a)、(b)、(c))、MCS 事件(d)、(e)、(f)以及差異值(MCS-noMCS, (g)、(h)、(i))。MCS 以及 noMCS 圖中黑色實線代表重力位高度，箭頭代表風速，風標顏色代表風速，底色代表輻散場，而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為輻散場差值。

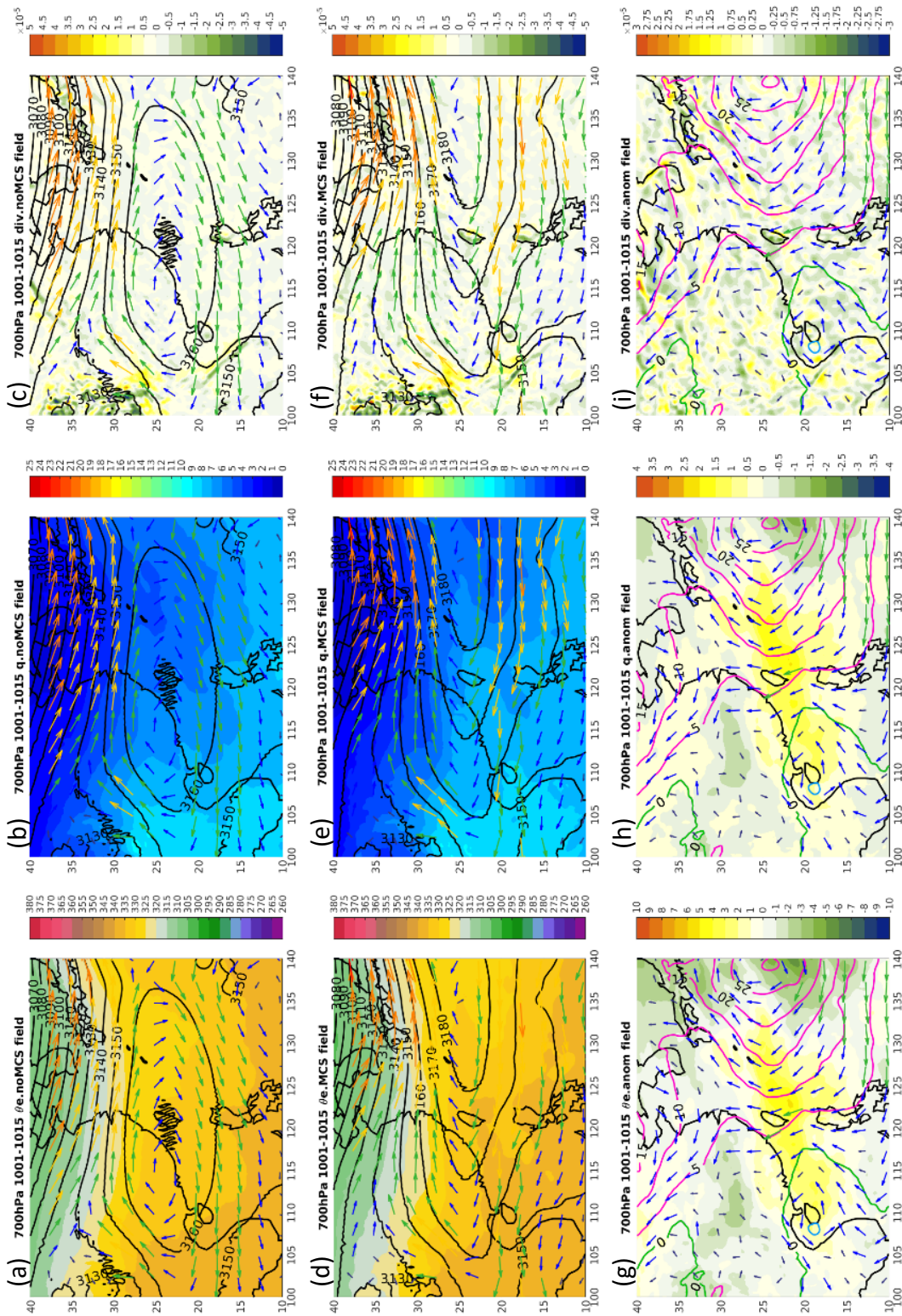


圖 4.18 為 10/1-10/15 間 700hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件 (noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件 (MCS, 圖 d, e, f) 以及差異場 (MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫 (單位:K, 圖 (a), (d), (g))、比濕 (單位 g/kg, 圖 (b), (e), (h)) 以及輻散場 (單位:1/s, 圖 (c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值、零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。

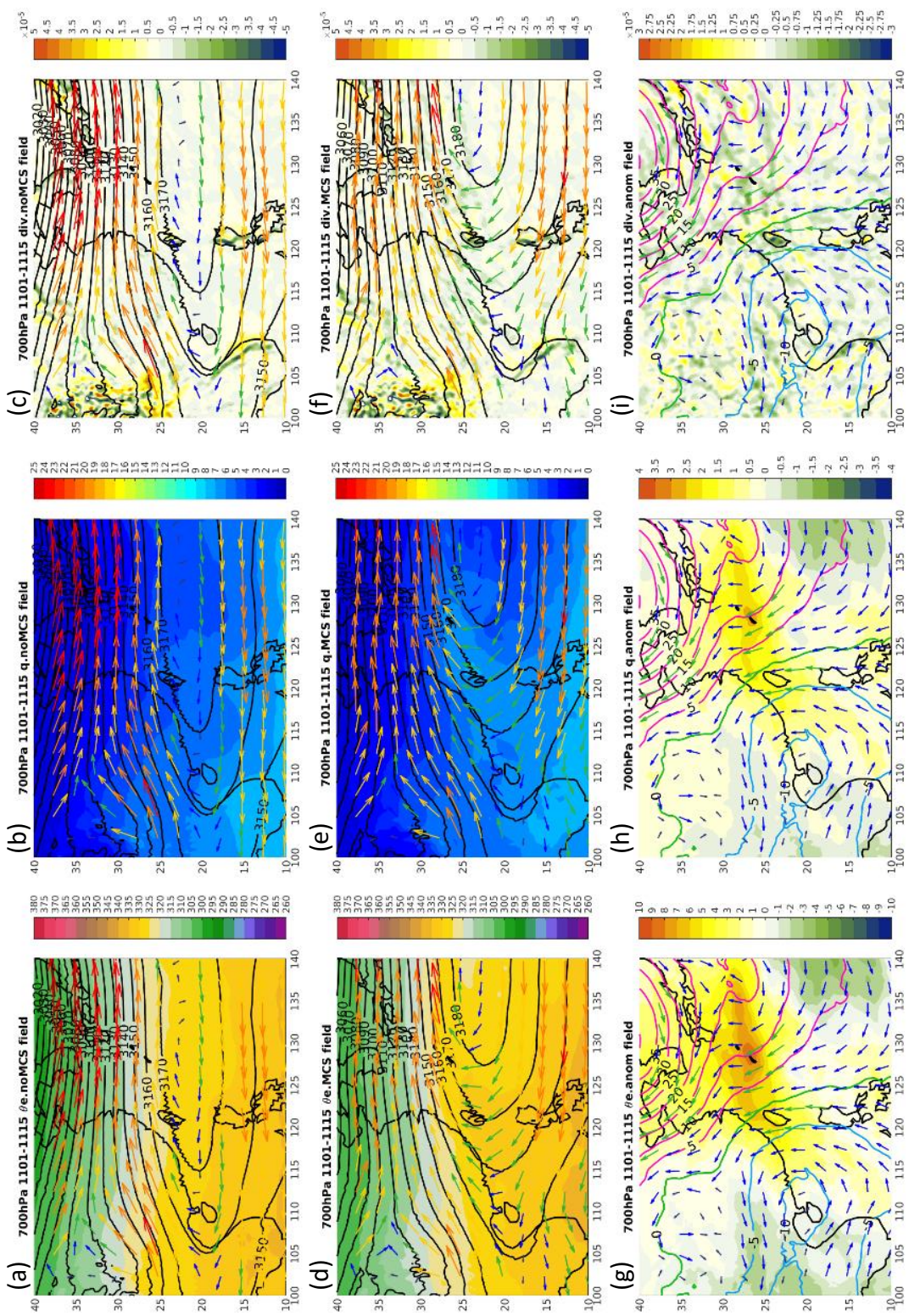


圖 4.19 為 11/1-11/15 間 700hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f) 以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h)) 以及輻散場(單位:1/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值、零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。

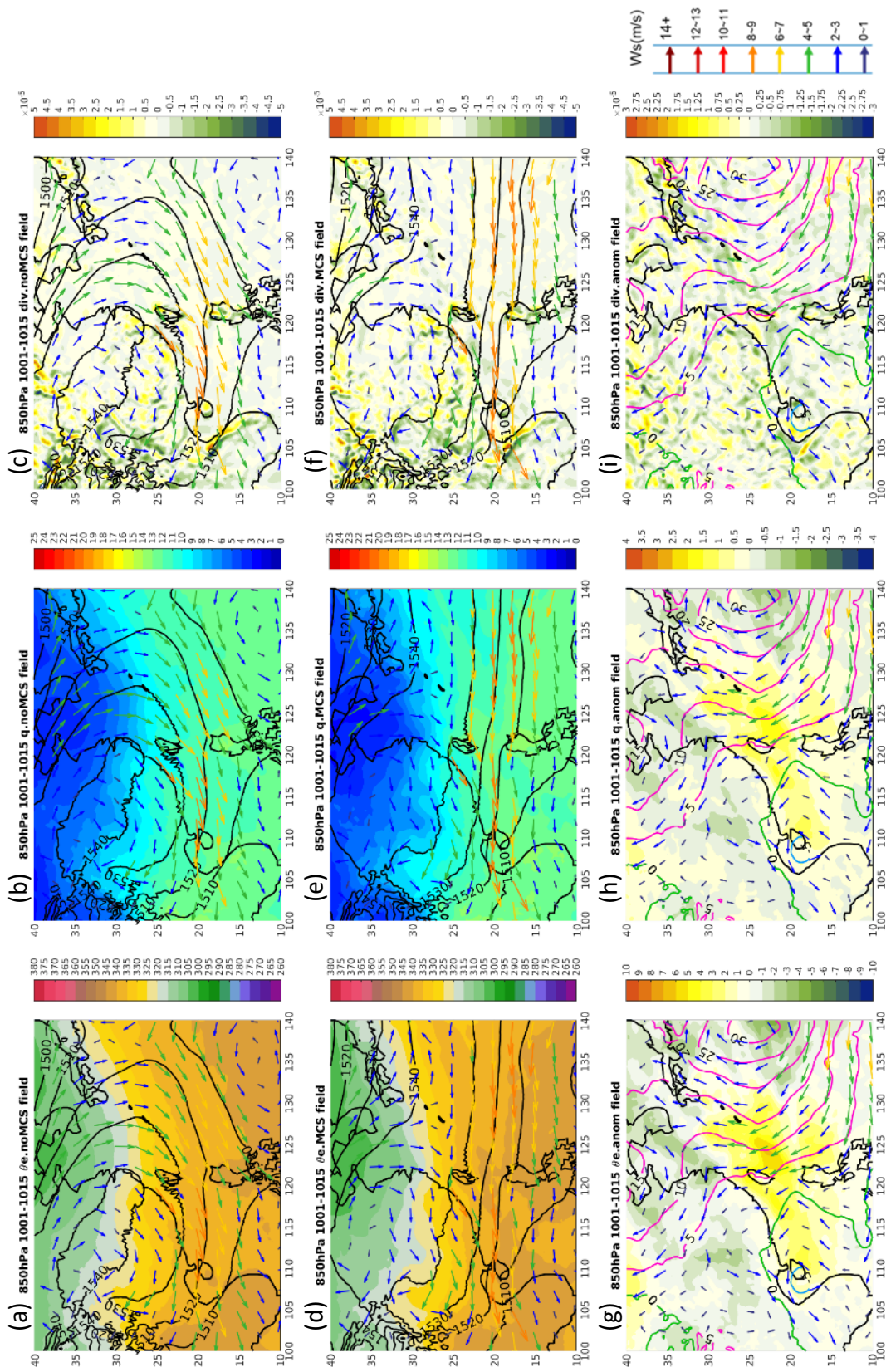


圖 4.20 為 10/1-10/15 間 850hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件 (noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件 (MCS, 圖 d, e, f) 以及差異場 (MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫 (單位:K, 圖 (a), (d), (g))、比濕 (單位 g/kg, 圖 (b), (e), (h)) 以及輻散場 (單位:1/s, 圖 (c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。

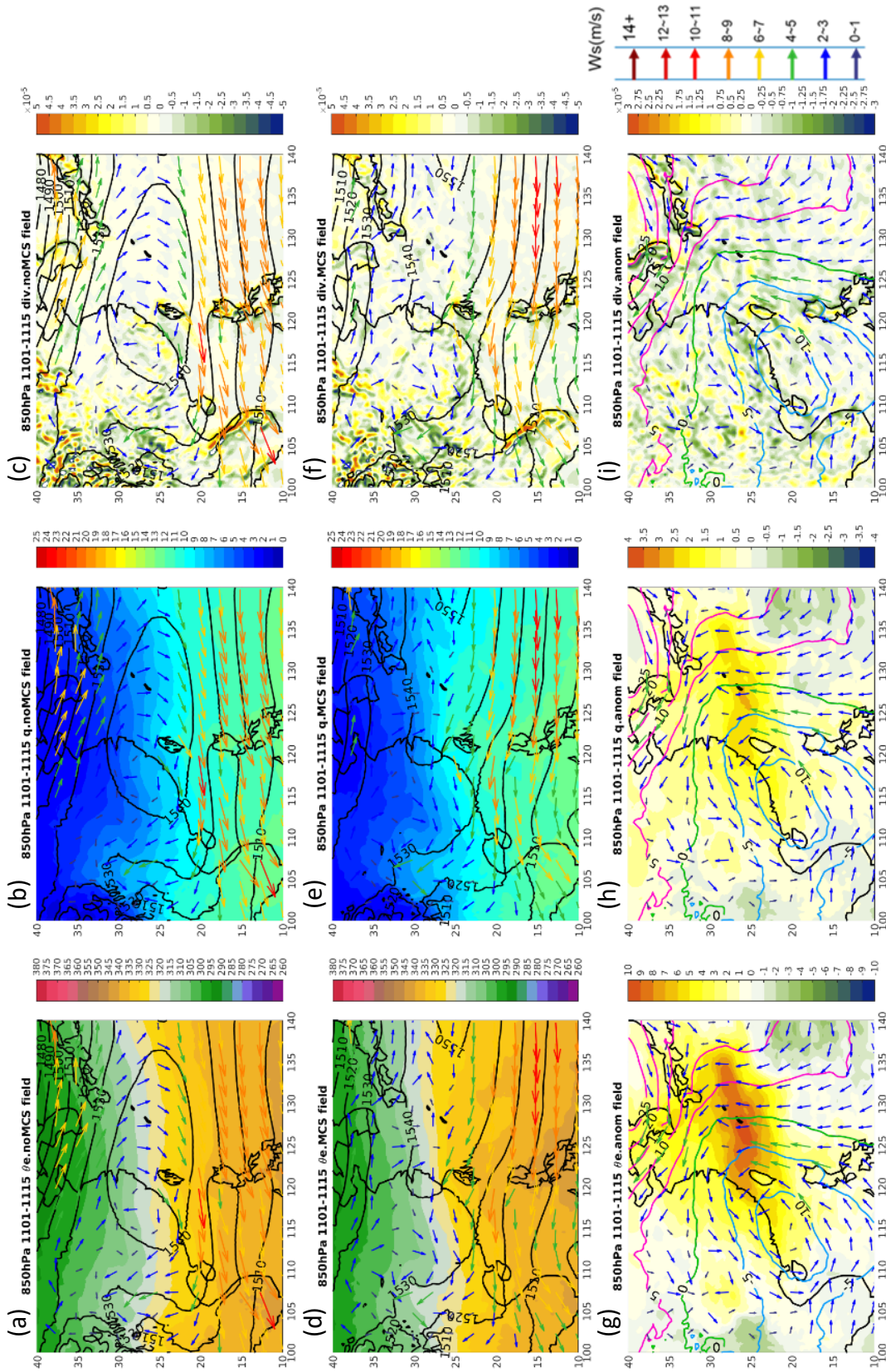


圖 4.21 為 11/1-11/15 間 700hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件 (noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件 (MCS, 圖 d, e, f) 以及差異場 (MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫 (單位:K, 圖 (a), (d), (g))、比濕 (單位 g/kg, 圖 (b), (e), (h)) 以及輻散場 (單位:1/s, 圖 (c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。

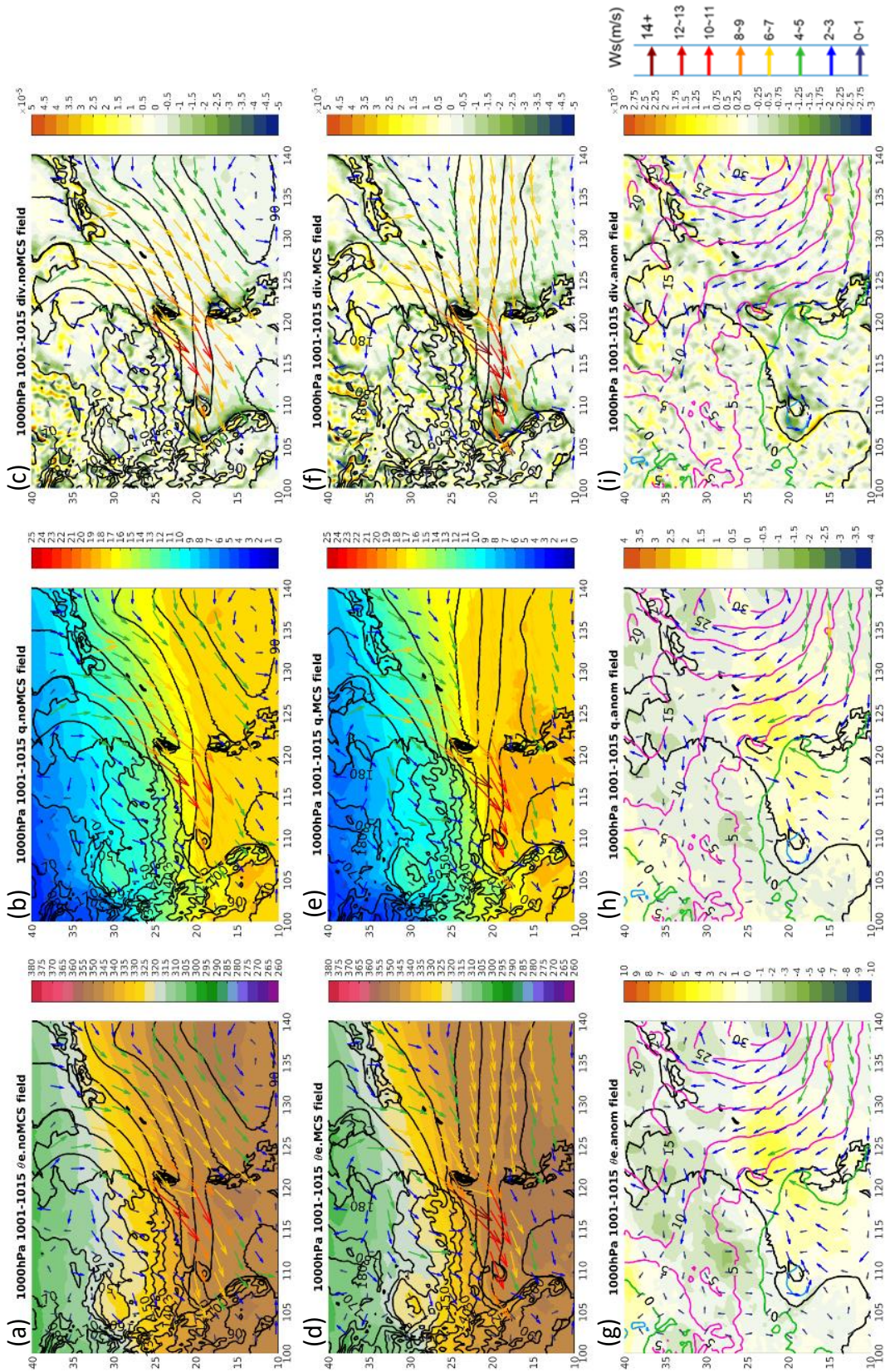


圖 4.22 為 10/1-10/15 間 1000hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f)以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h))以及輻散場(單位:1/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。

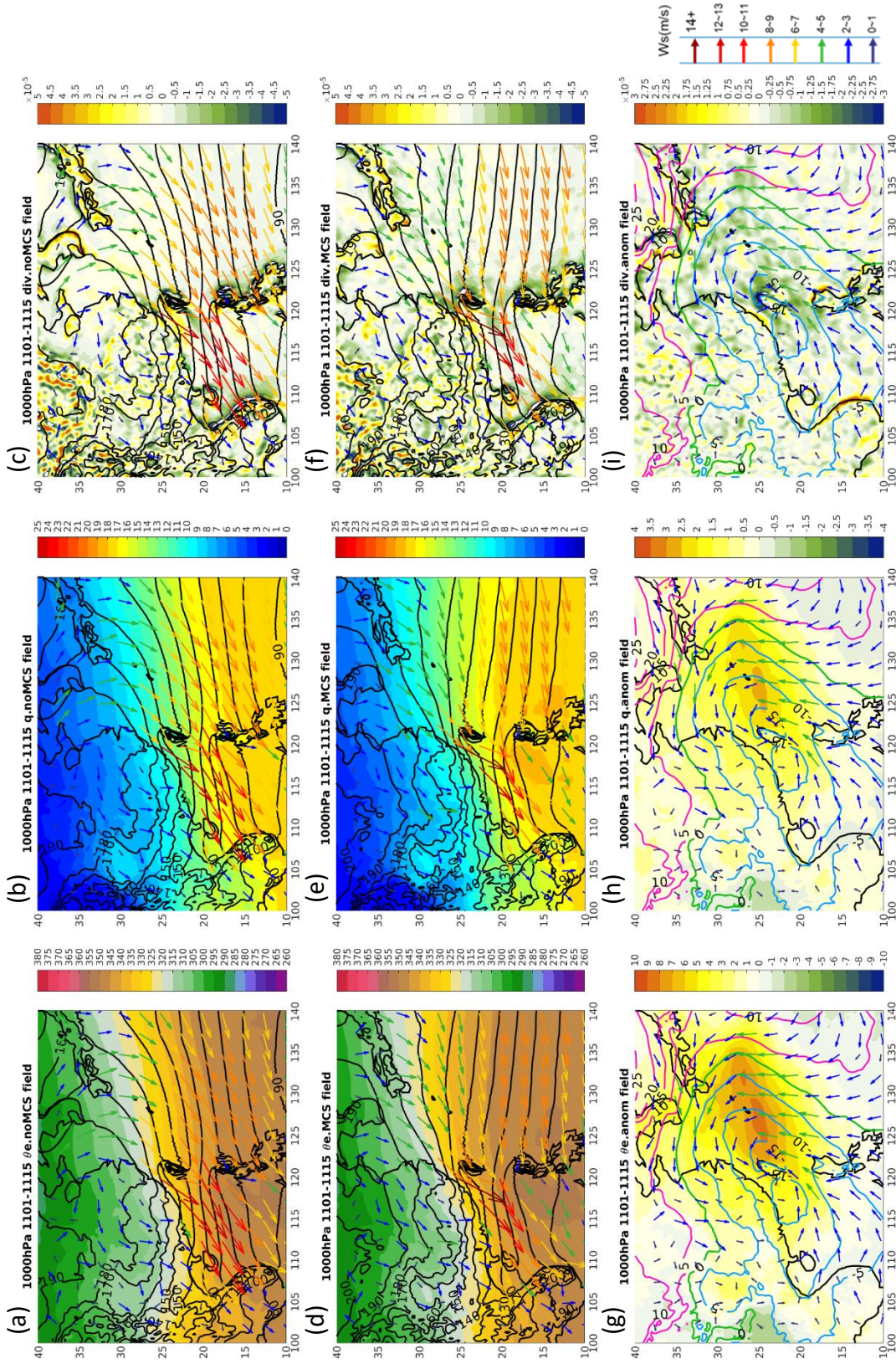


圖 4.23 為 11/1-11/15 間 1000hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f)以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h))以及輻散場(單位:1/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值、零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。

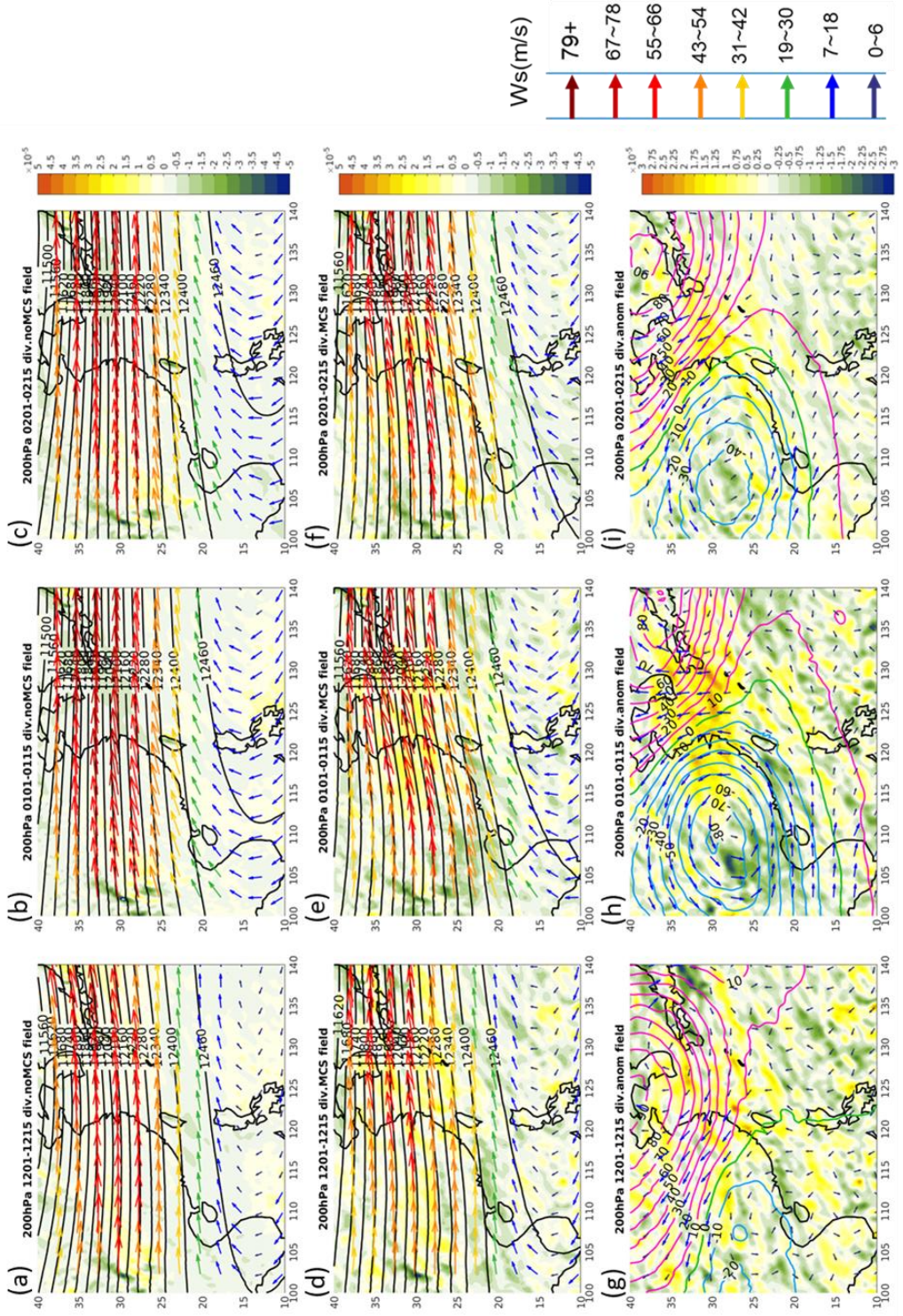


圖 4.24 為冬季 200hPa MCS 與 noMCS 綜觀環境場與其差異場，每一橫排由上至下代表：無 MCS 事件(圖(a)、(b)、12/15(a, d, g)、1/1-1/15(b, e, h)、2/1-2/15(c, f, i))。每一橫排由上至下代表：無 MCS 事件(圖(a)、(b)、(c))、MCS 事件(d)、(e)、(f)以及差異值(MCS-noMCS，(g)、(h)、(i))。MCS 以及 noMCS 圖中黑色實線代表重力位高度，箭頭代表風速，風標顏色代表風速，底色代表輻散場，而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為輻散場差值。

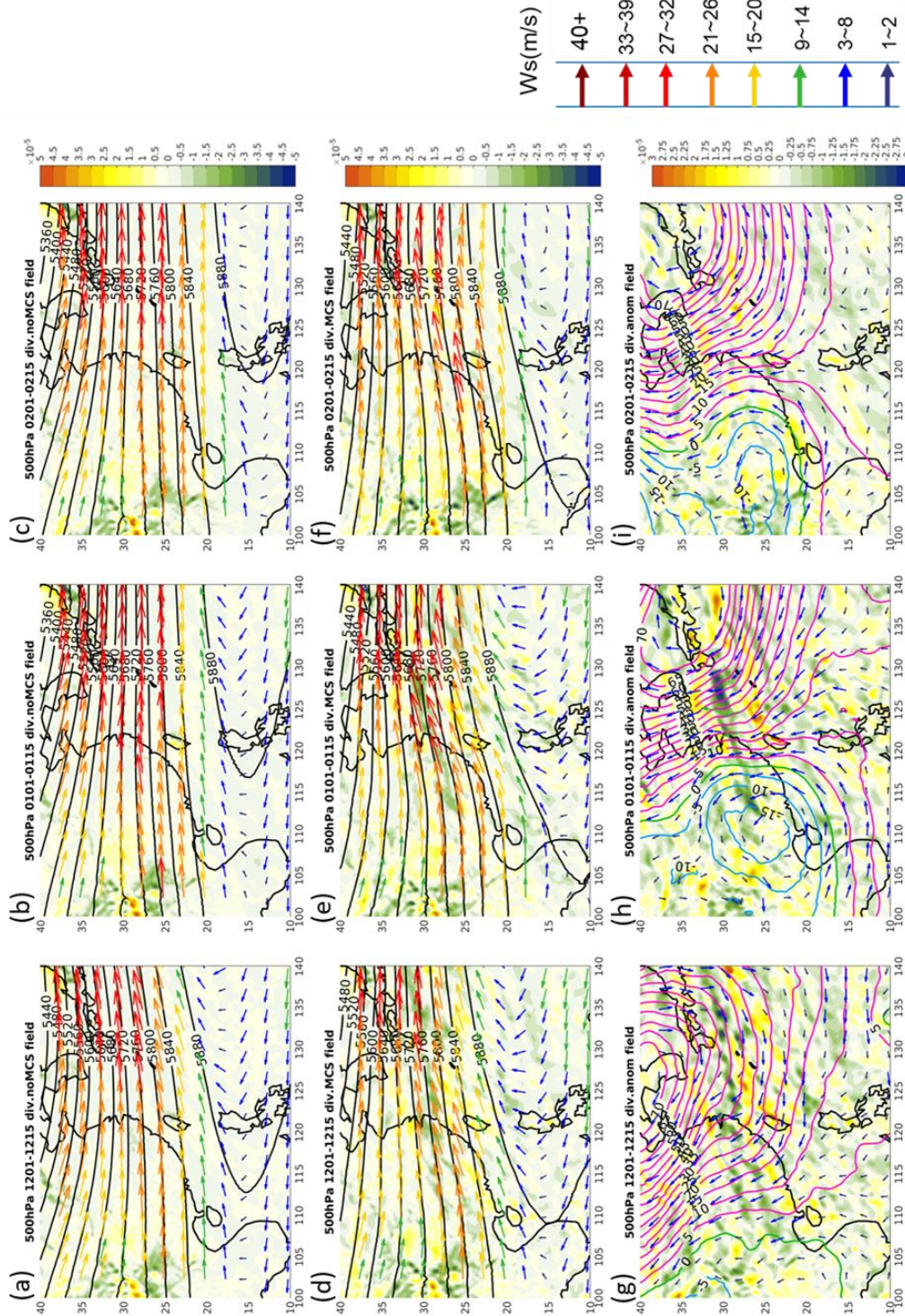


圖 4.25 為冬季 500hPa MCS 與 noMCS 綜觀環境場與其差異場，每一橫排代表不同半月：12/1-12/15(a, d, g)、1/1-1/15(b, e, h)、2/1-2/15(c, f, i)。每一橫排由上至下代表：無 MCS 事件(圖(a)、(b)、(c))、MCS 事件(d)、(e)、(f)以及差異值(MCS-noMCS, (g)、(h)、(i))。MCS 以及 noMCS 圖中黑色實線代表重力位高度，箭頭代表輻散場，風標顏色代表風速，底色代表輻散場，而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為輻散場差值。

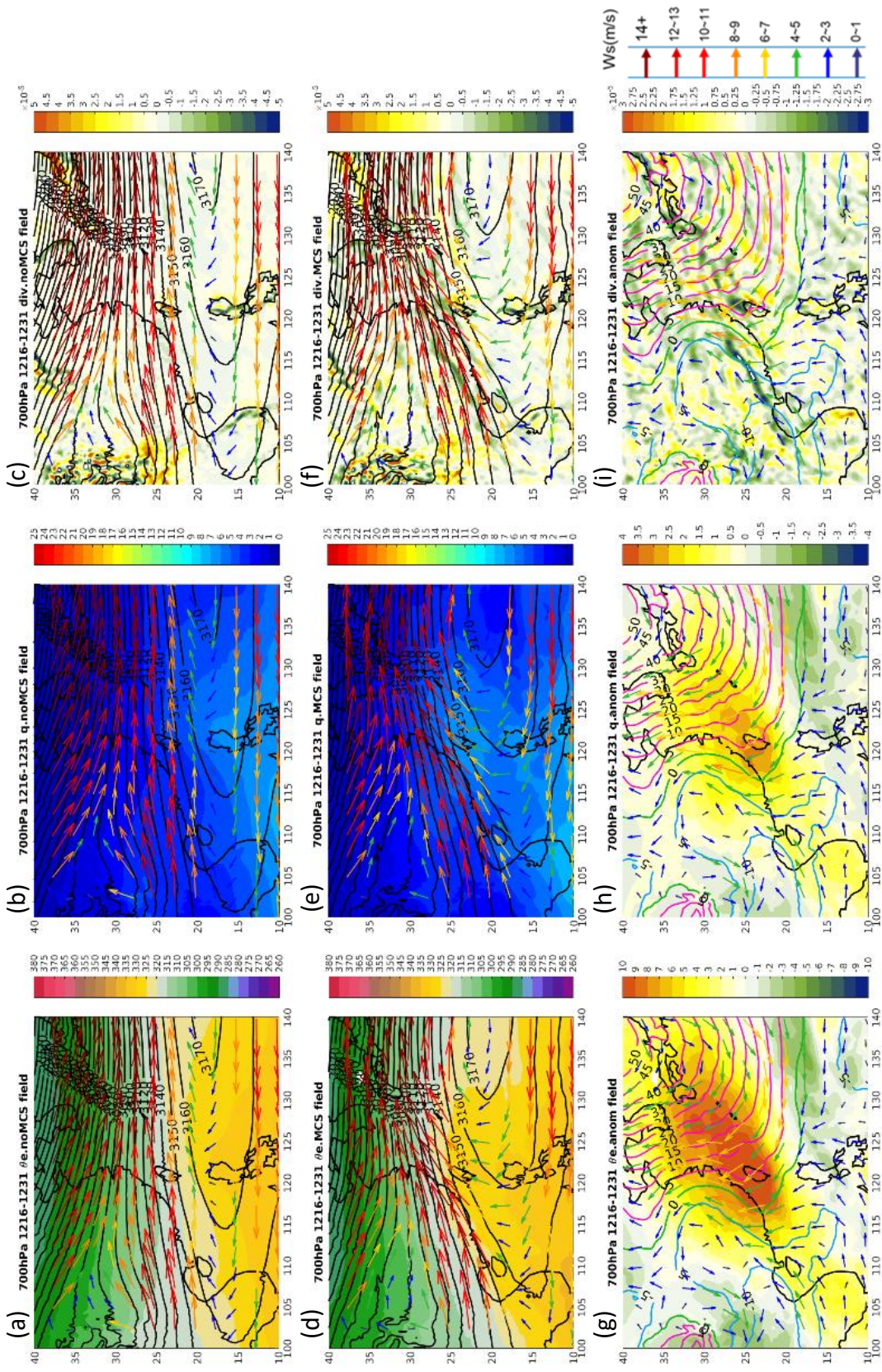


圖 4.26 為 12/16-12/31 間 700hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f) 以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h)) 以及輻散場(單位:1/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。

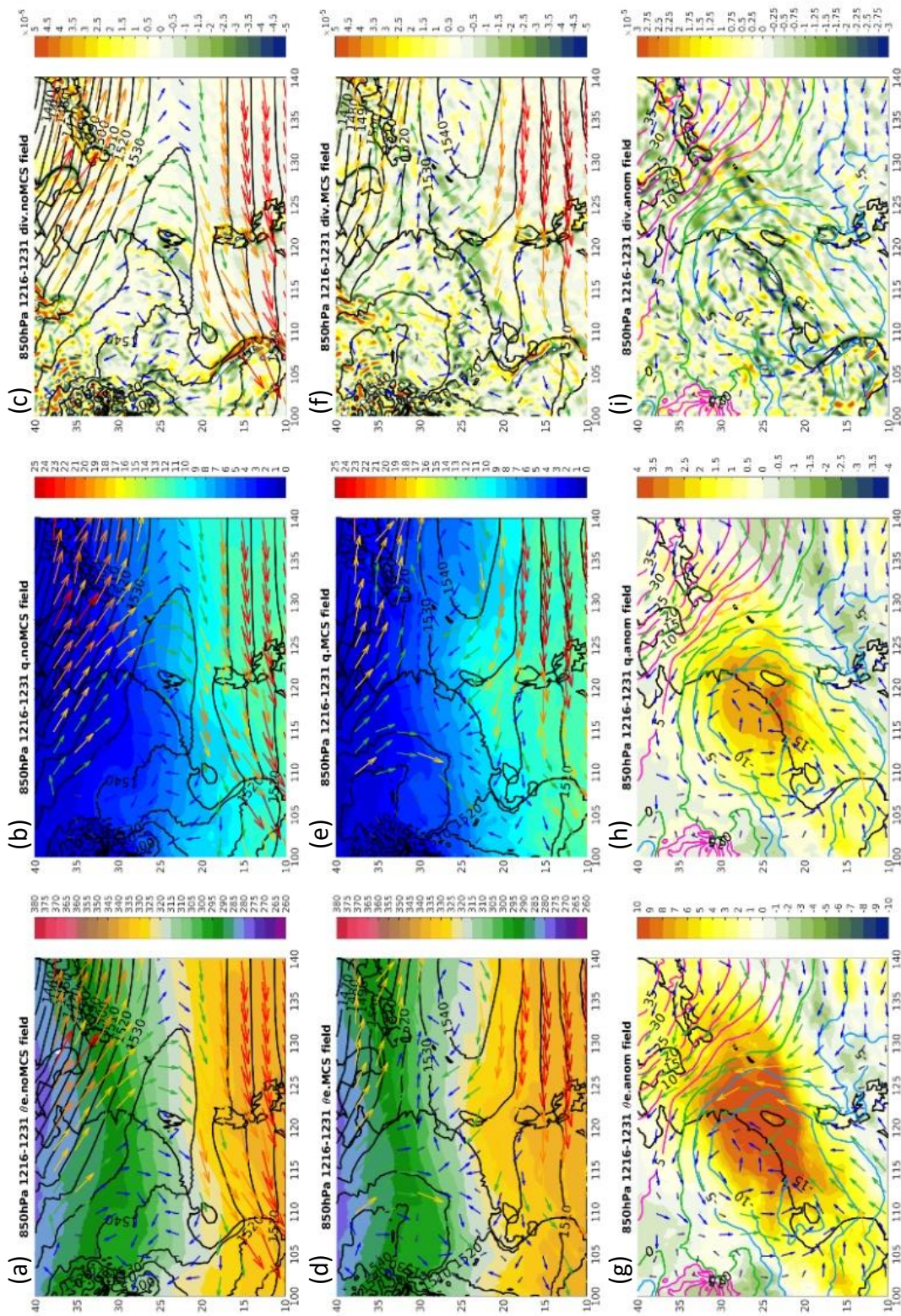


圖 4.27 為 12/16-12/31 間 850hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件(noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件(MCS, 圖 d, e, f)以及差異場(MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, 圖(a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h))以及輻散場(單位:1/s, 圖(c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。

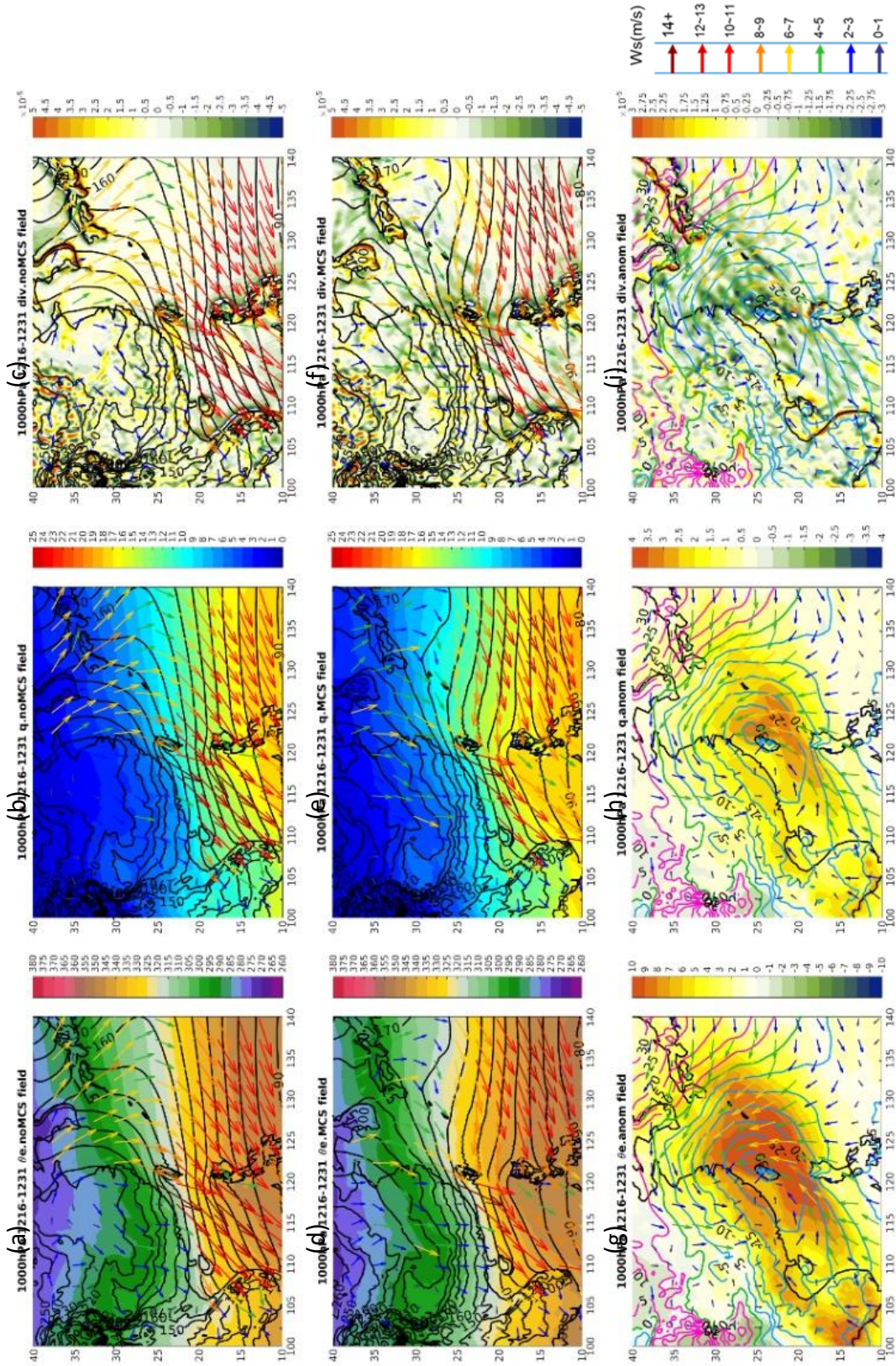
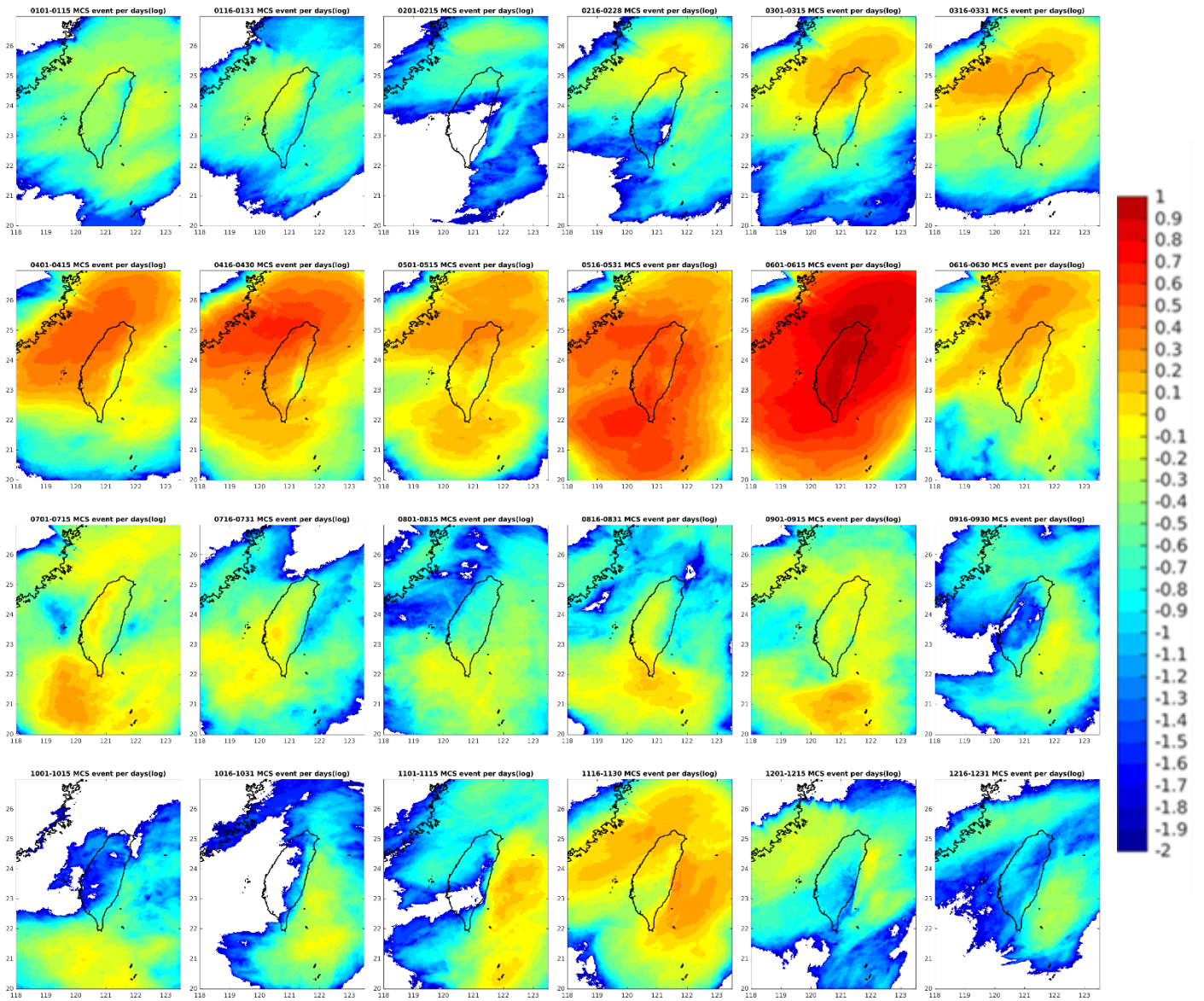


圖 4.28 為 12/16-12/31 間 1000hPa 的 MCS、無 MCS 環境場以及其差異場。每一列由上而下分別為：無 MCS 事件 (noMCS, 圖 a, b, c)、MCS 事件 (MCS, 圖 d, e, f) 以及差異場 (MCS-noMCS, 圖 g, h, i)。箭頭代表風向，風標顏色代表風速，底色由左至右分別為：相當位溫(單位:K, (a), (d), (g))、比濕(單位 g/kg, 圖(b), (e), (h))以及輻散場(單位:1/s, (c), (f), (i))。而差異場中藍色實線、綠色實線以及粉色實線分別代表負值，零值以及正值的重力位高度差。箭頭代表風場向量差值，底色則為該變數之差值。

附錄

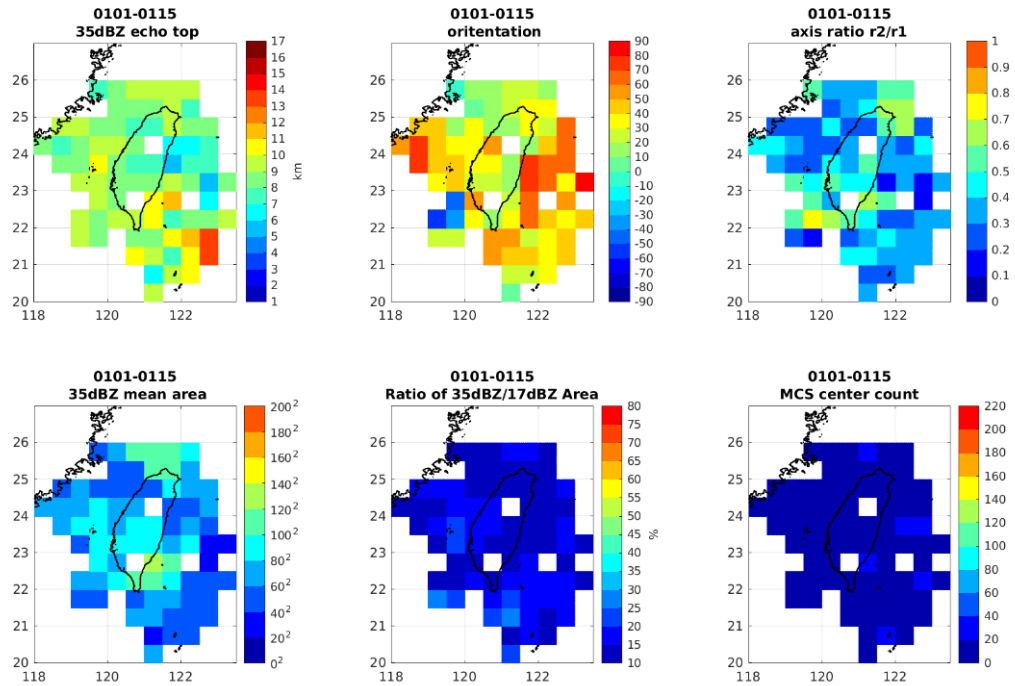
A. 1 至 12 月間每半月之平均每日 MCS 發生次數(log scale)



B. 1 至 12 月間每半月之對流胞特性的空間分布

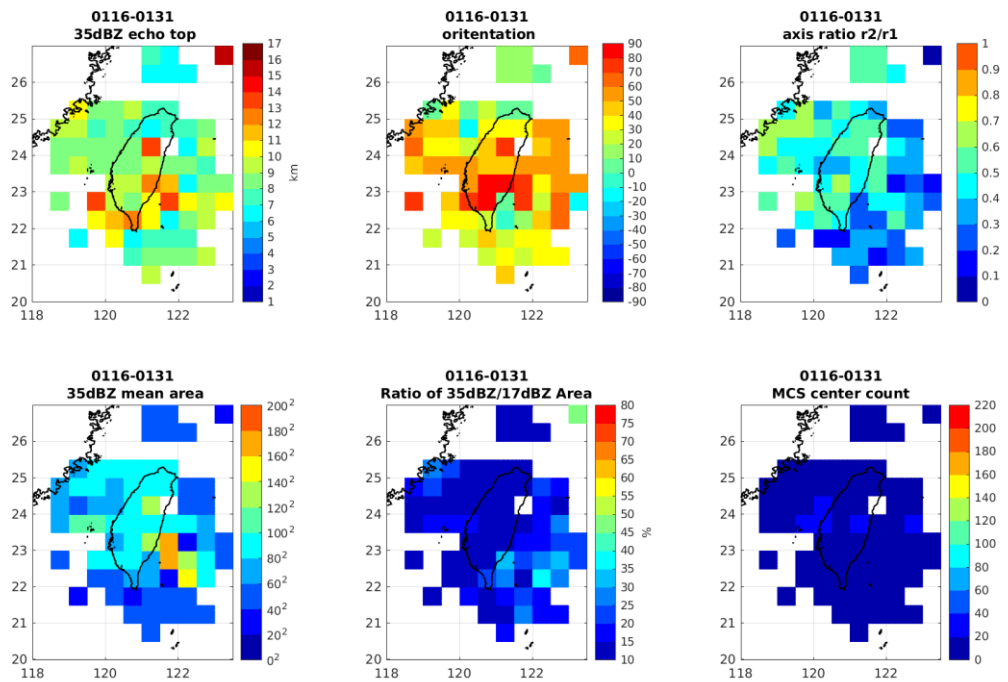
B.1

01/1-15
MCS property



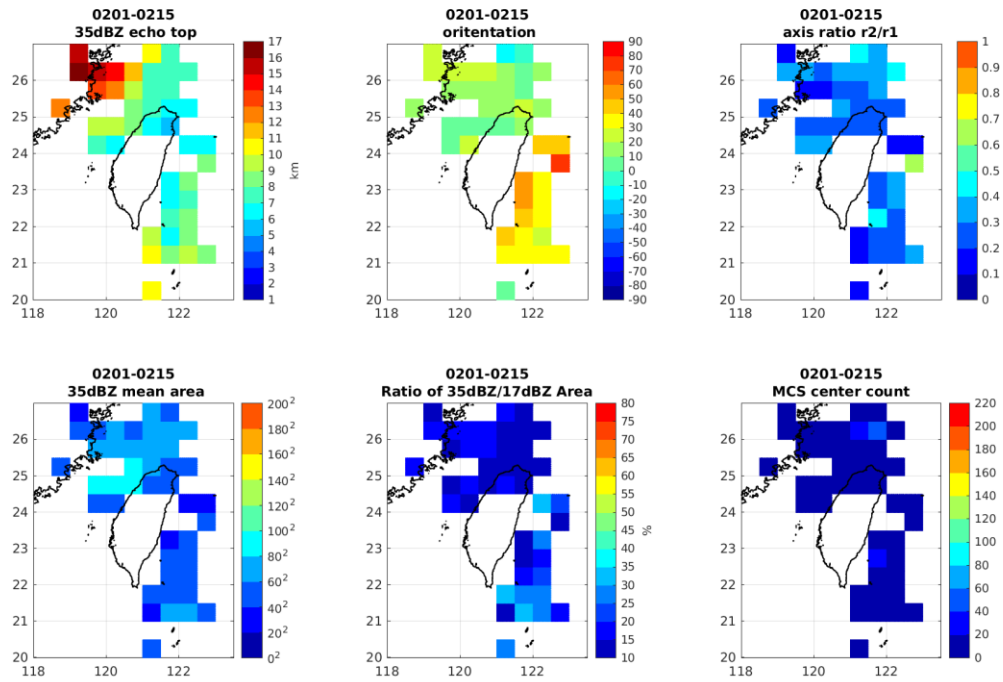
B.2

01/16-31
MCS property



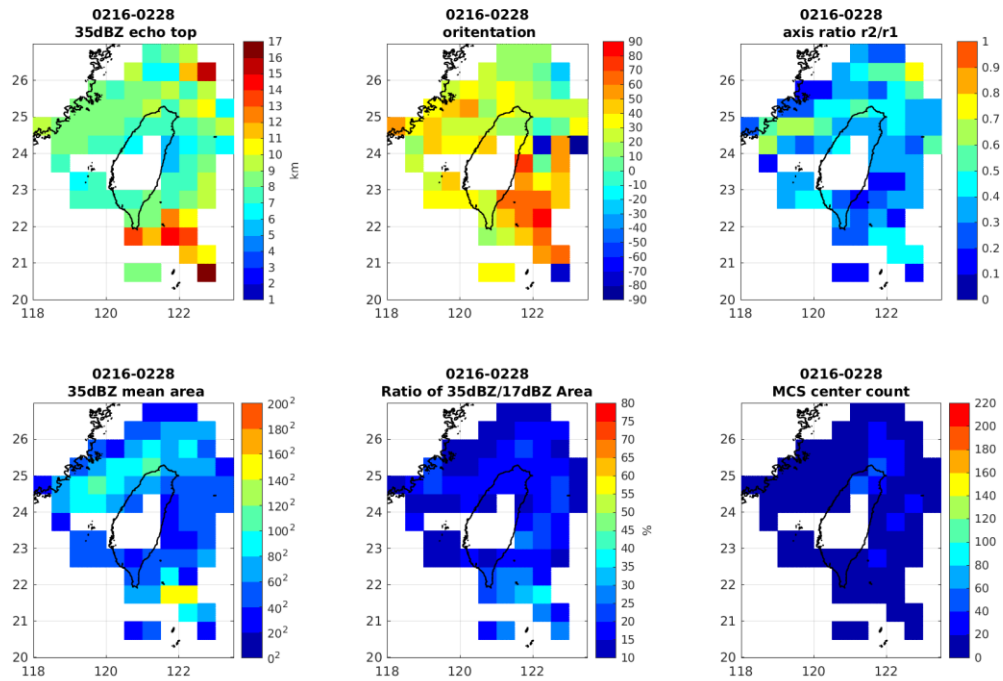
B.3

02/1-15
MCS property



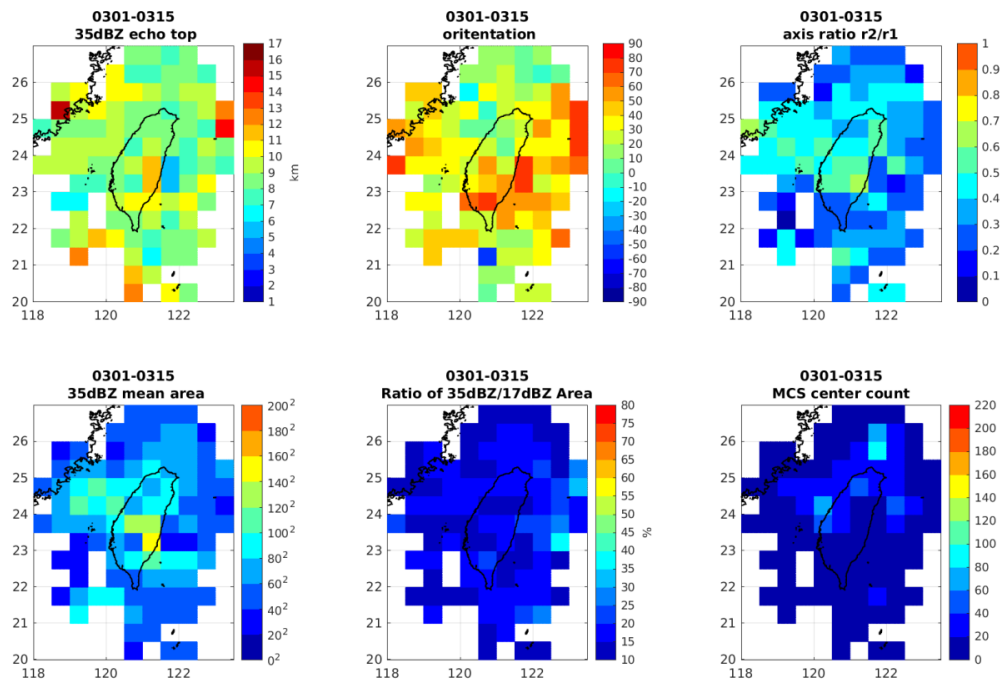
B.4

02/16-28
MCS property



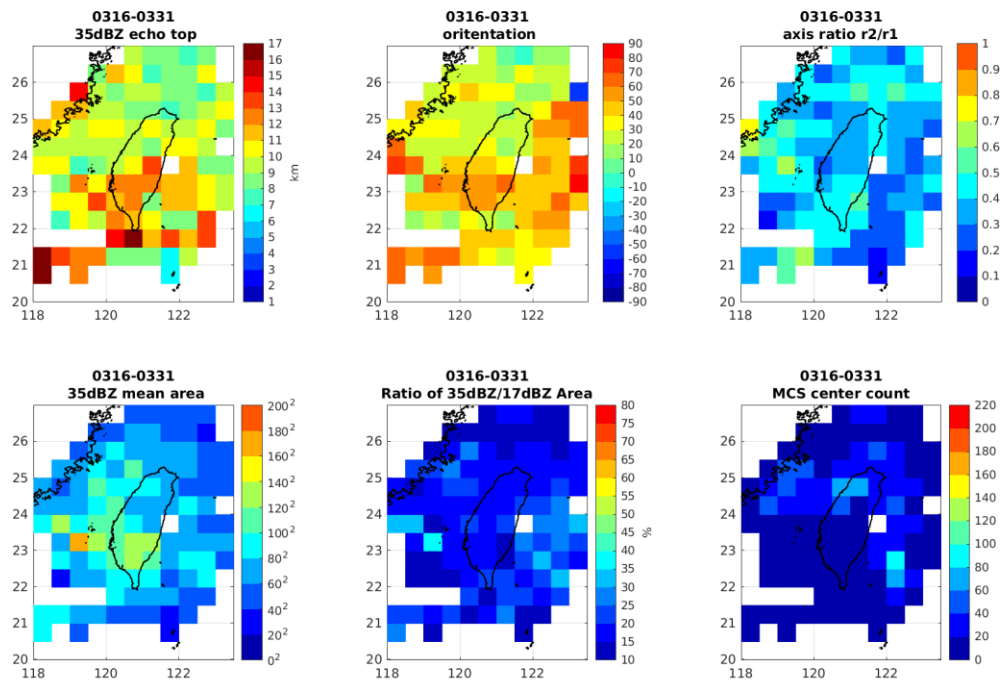
B.5

03/1-15
MCS property



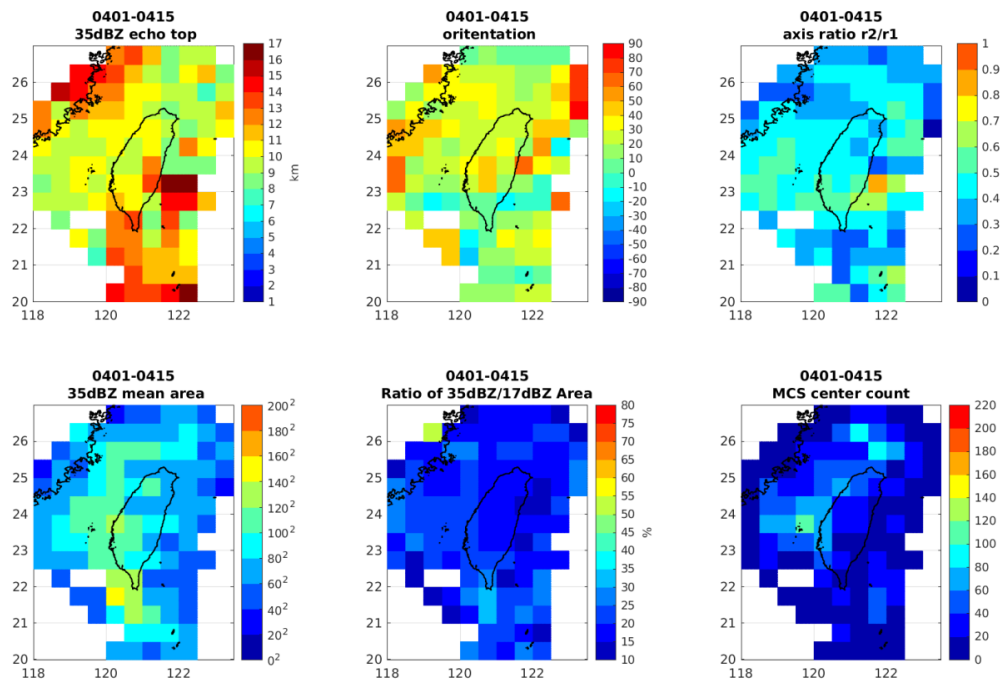
B.6

03/16-31
MCS property



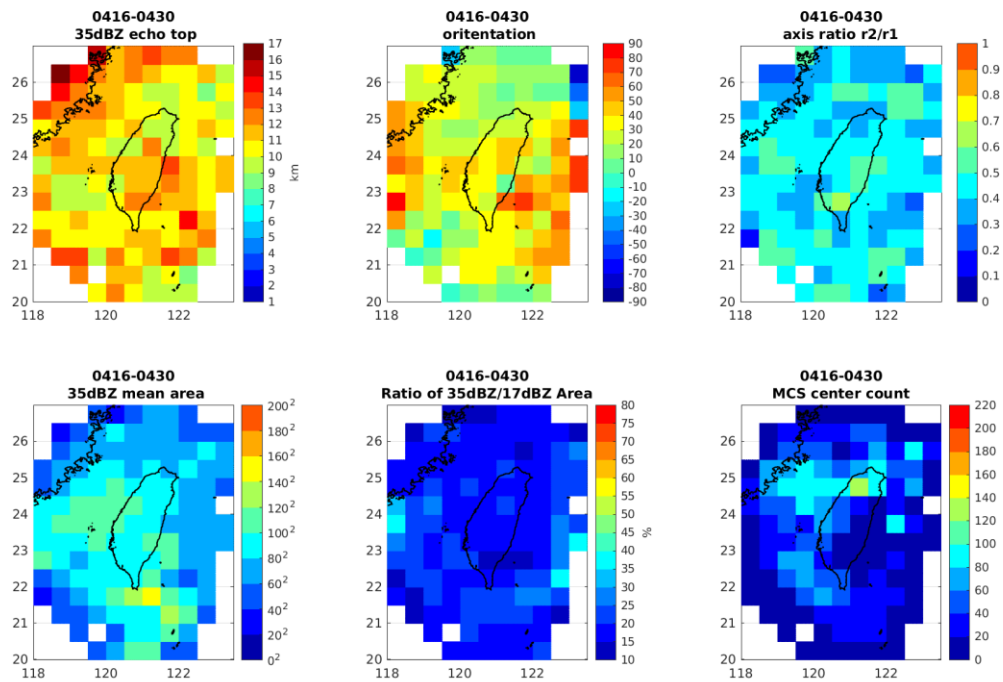
B.7

04/1-15
MCS property



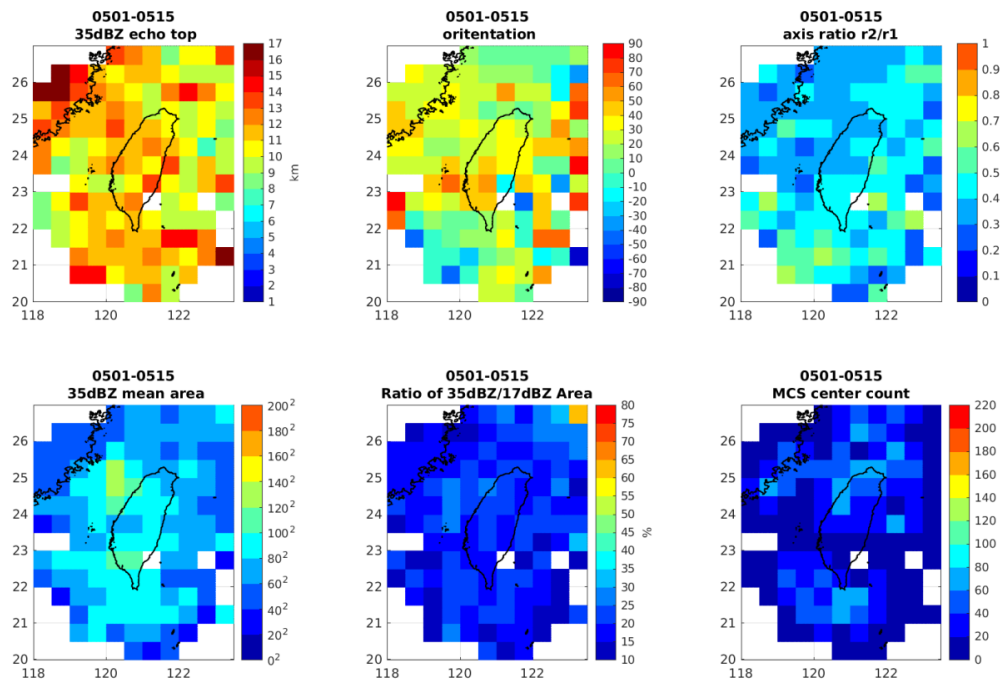
B.8

04/16-30
MCS property



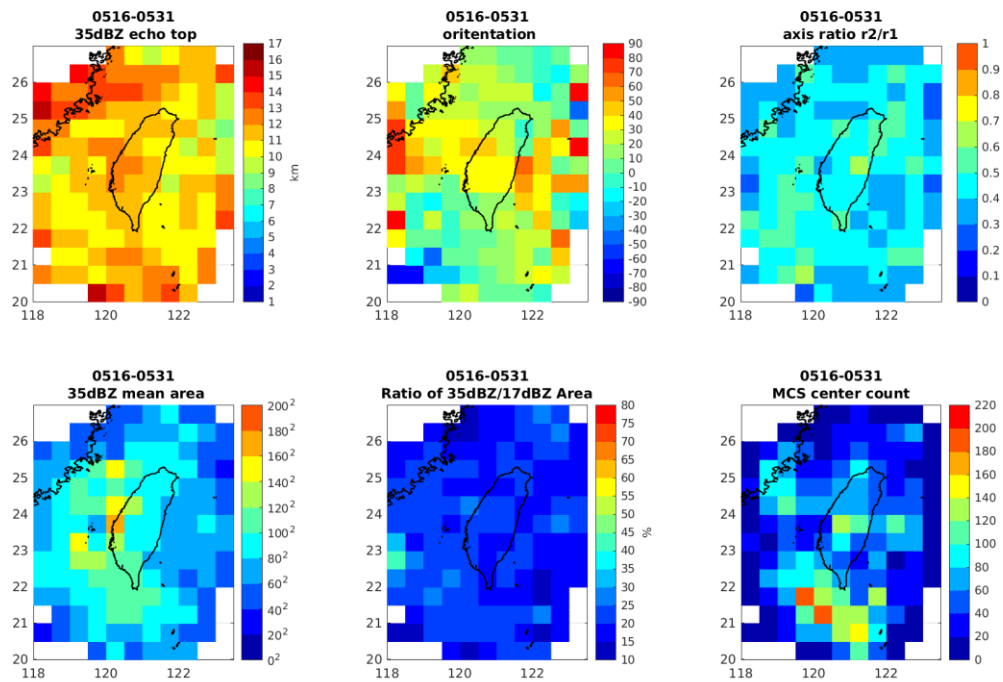
B.9

05/1-15
MCS property



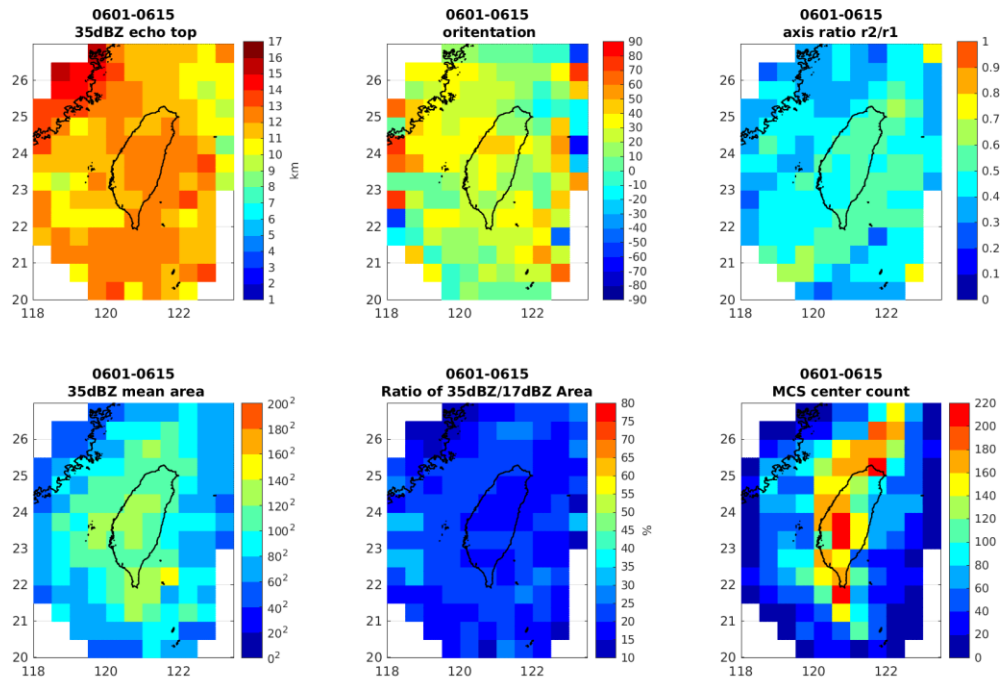
B.10

05/16-31
MCS property



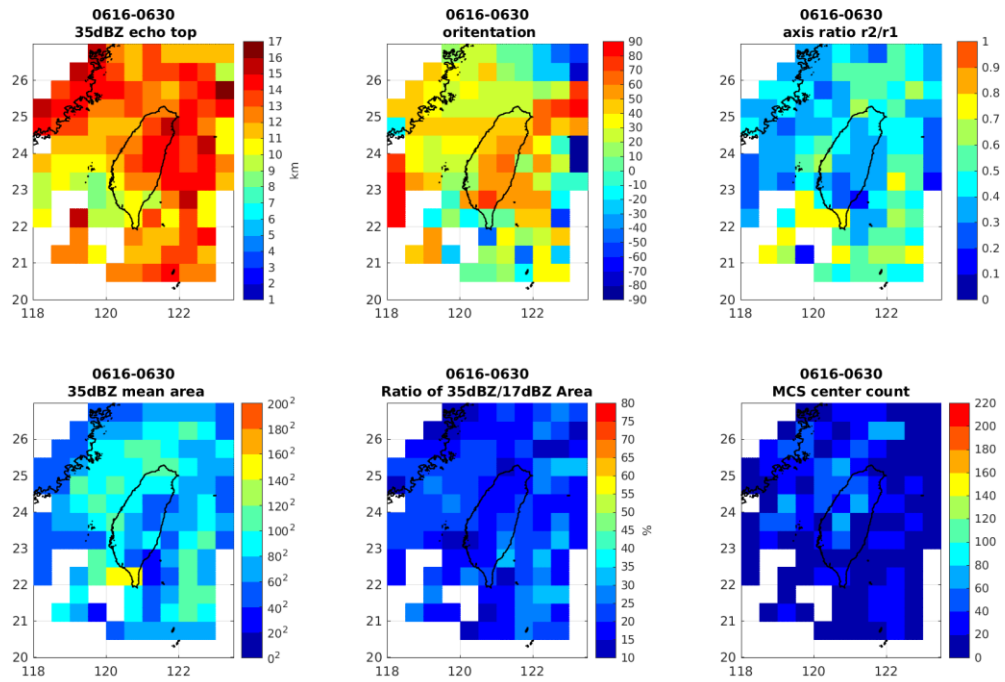
B.11

06/1-15
MCS property



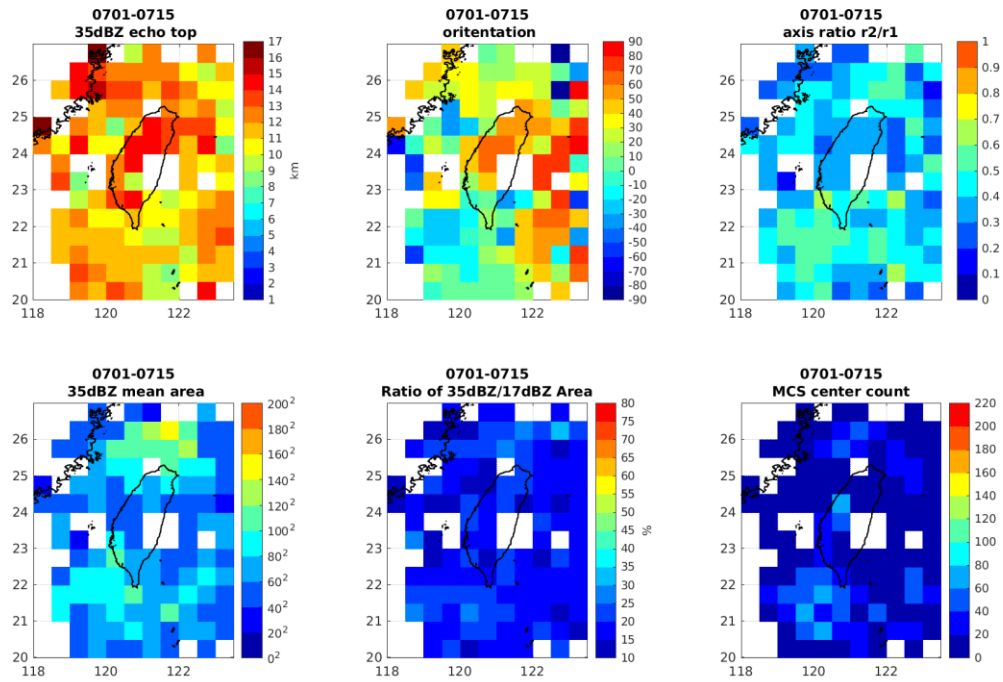
B.12

06/16-30
MCS property



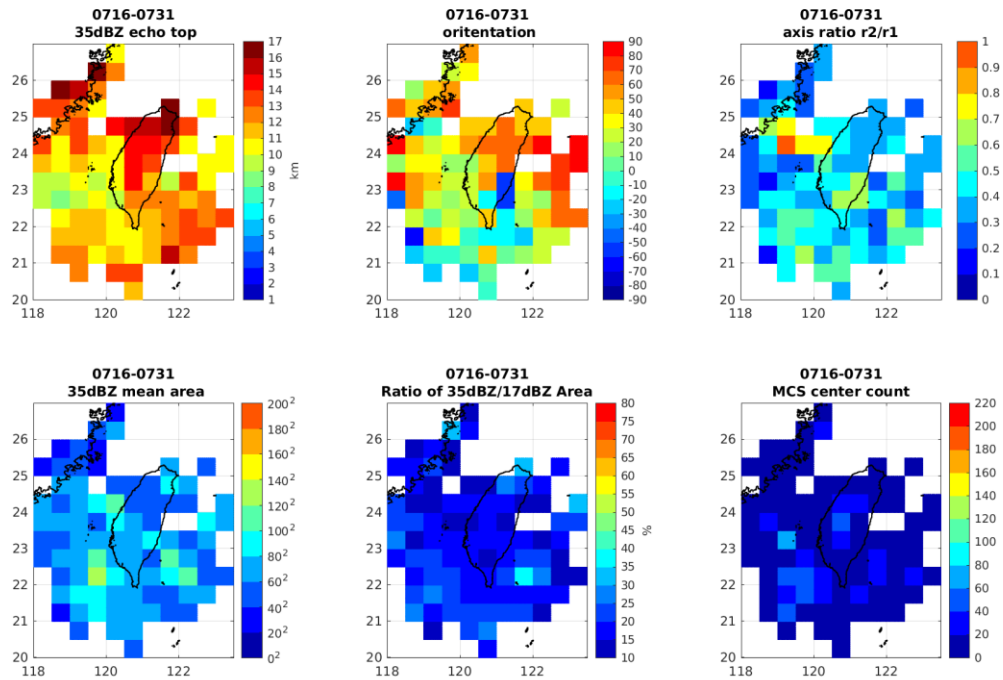
B.13

07/1-15
MCS property



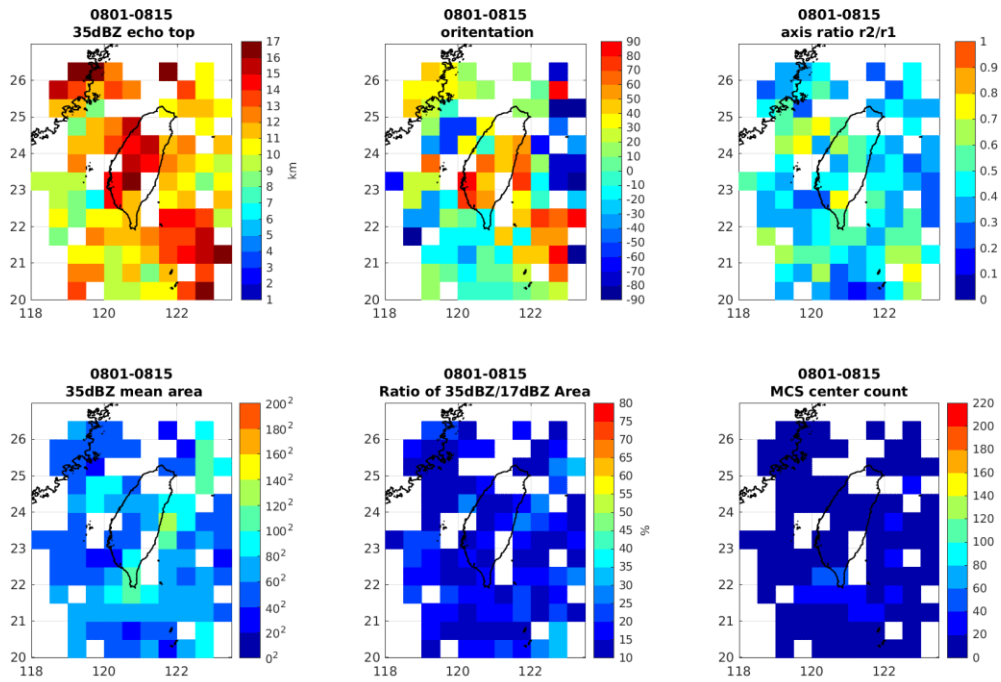
B.14

07/16-31
MCS property



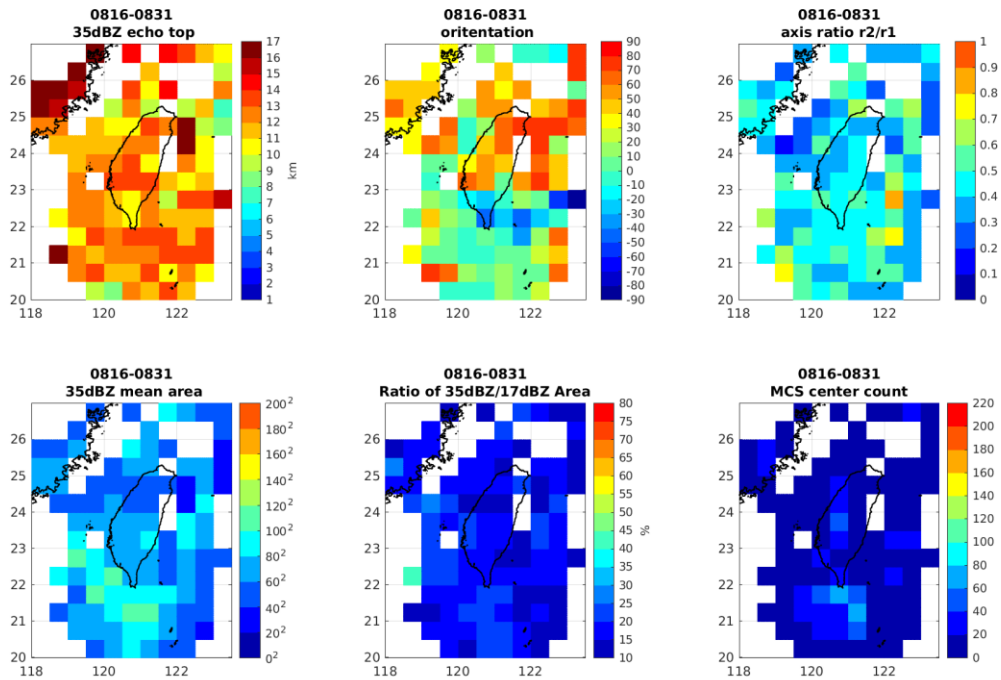
B.15

08/1-15
MCS property



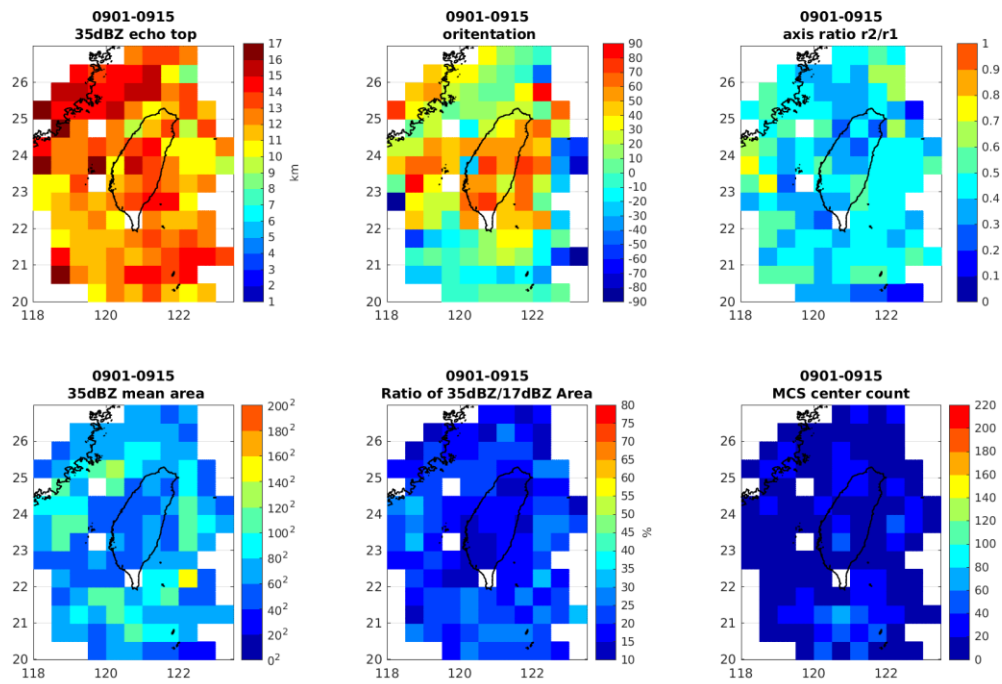
B.16

08/16-31
MCS property



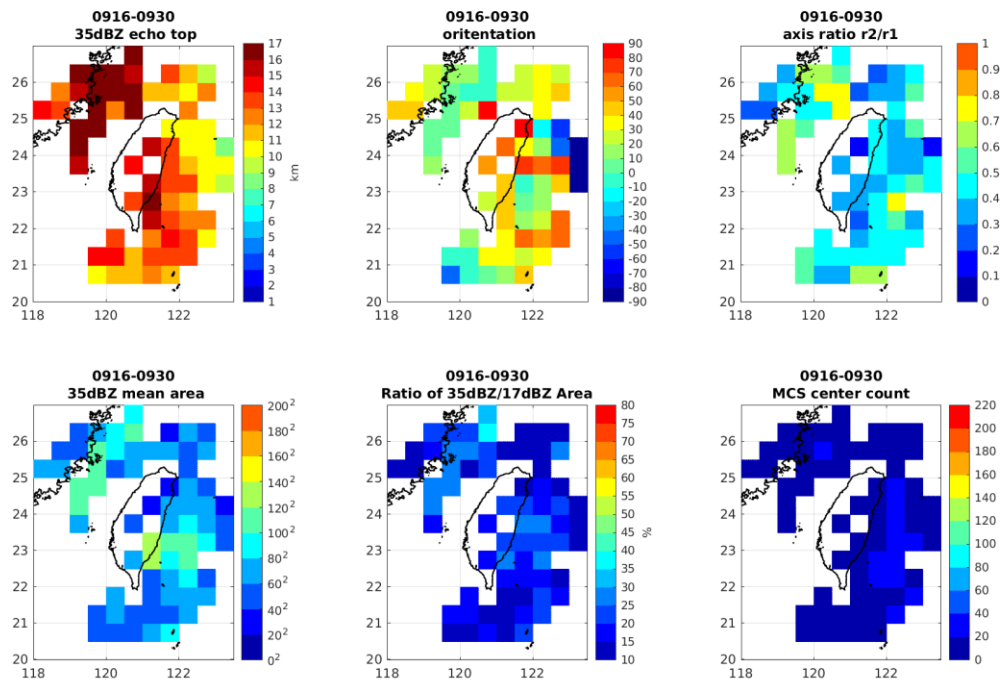
B.17

09/1-15
MCS property



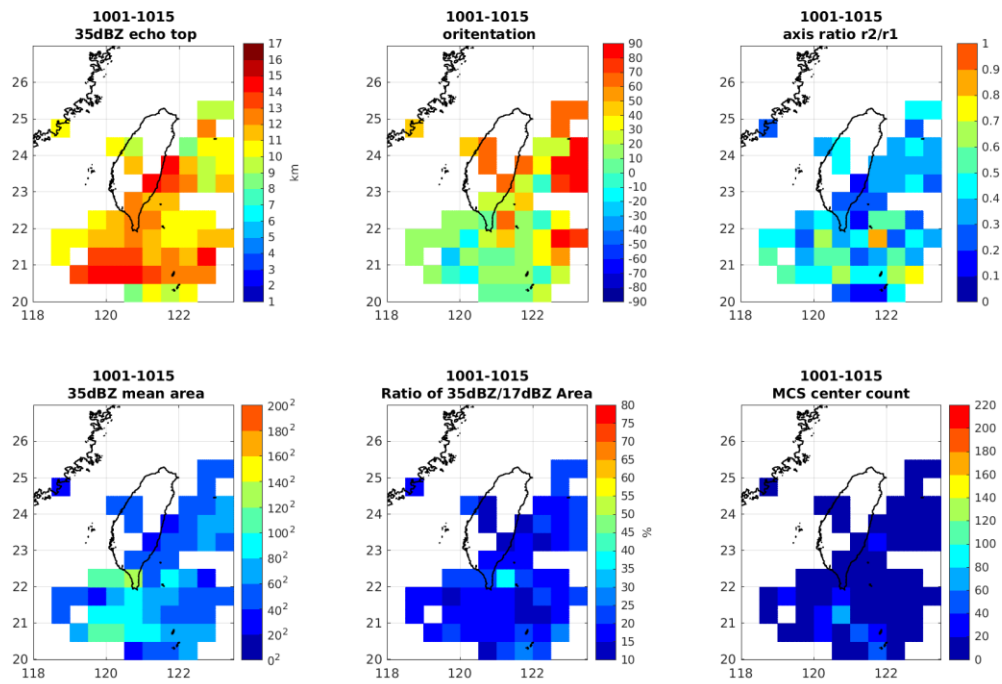
B.18

09/16-30
MCS property



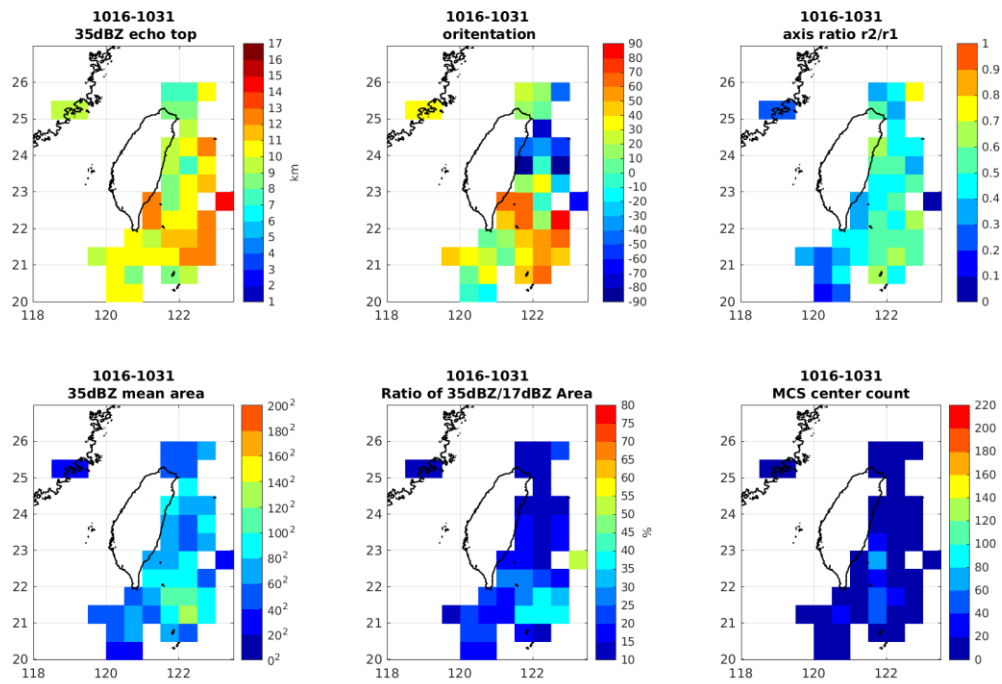
B.19

10/1-15
MCS property



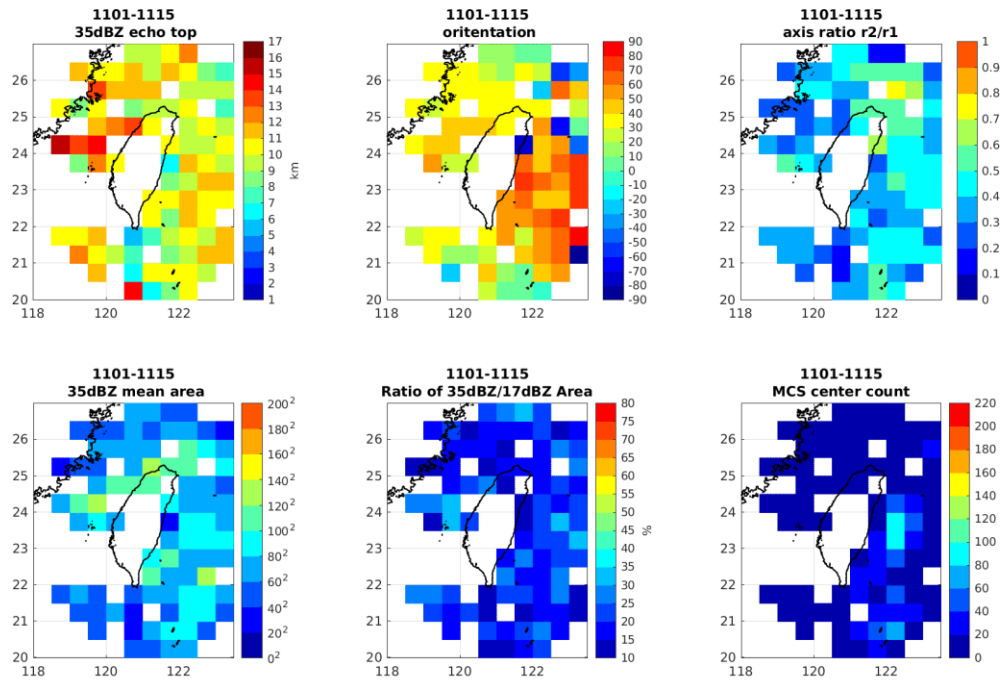
B.20

10/16-31
MCS property



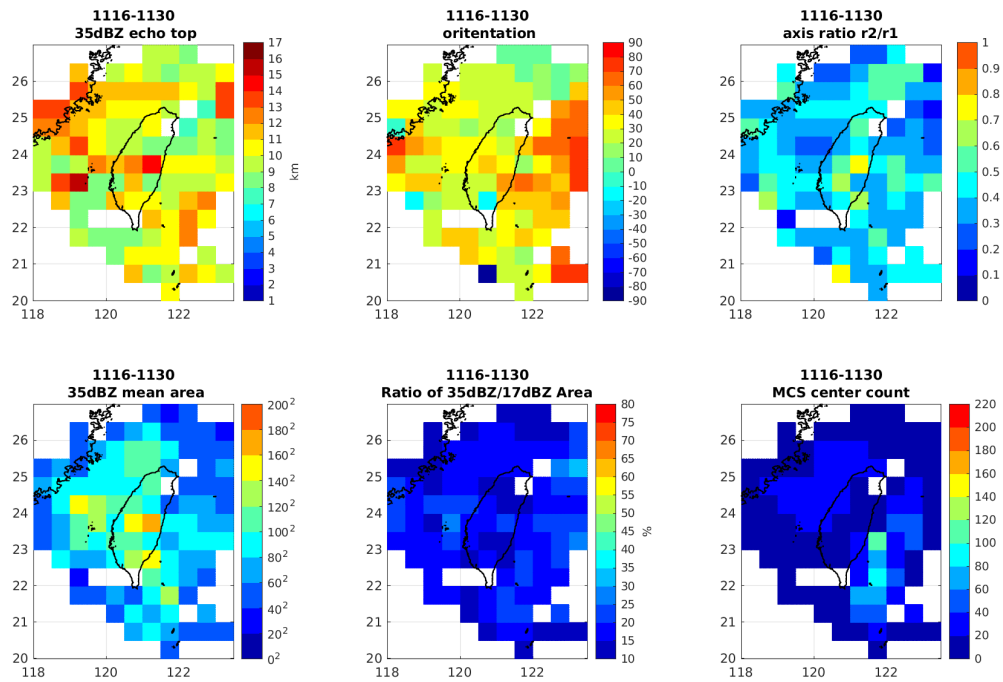
B.21

11/1-15
MCS property



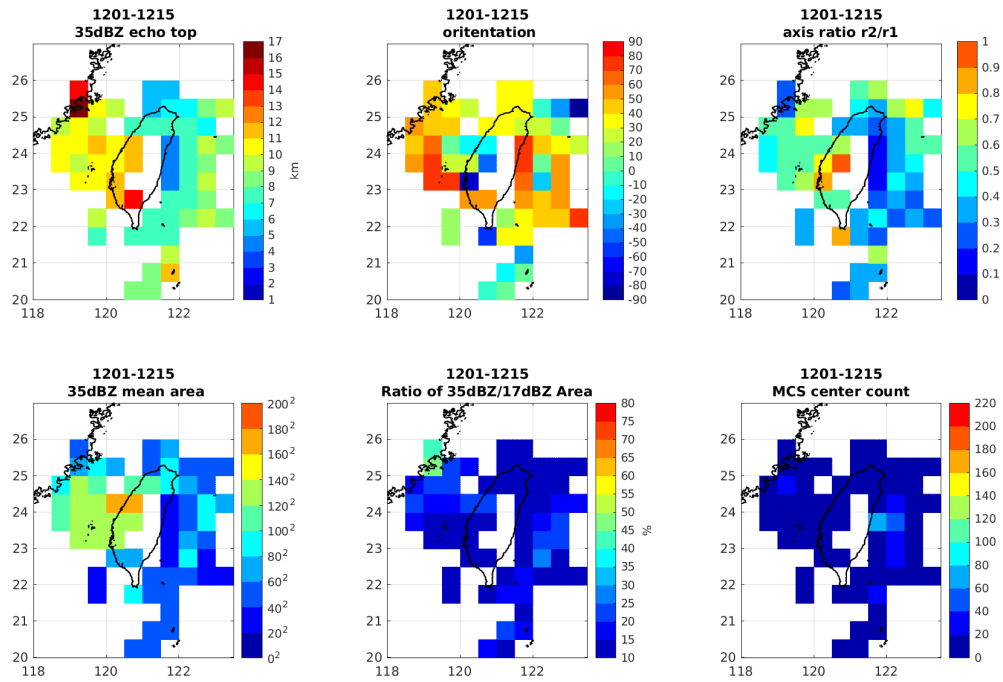
B.22

11/16-30
MCS property



B.23

12/1-15
MCS property



B.24

12/16-31
MCS property

