

國立中央大學



大氣科學系

碩士論文

臺灣不同季節中尺度對流系統結構特徵之綜
觀尺度系集敏感度分析

Synoptic-scale Ensemble Sensitivity Analysis of
Mesoscale Convective System Structural
Characteristics across Different Seasons in Taiwan

研究生：唐瑋昱

指導教授：張偉裕博士

中華民國一五年六月



摘要

本研究探討不同季節下影響臺灣中尺度對流系統 (Mesoscale Convective Systems, MCSs) 特徵之環境因子。MCS 特徵包含位置、頻率及對流面積等指標，利用中央氣象署 QPESUMS 雷達資料搭配 SMART 對流追蹤演算法進行辨識與追蹤，並結合 2006 年至 2024 年 ERA5 再分析資料作為環境場資料。研究採用皮爾森相關分析 (Pearson correlation analysis) 及系集敏感度分析 (Ensemble Sensitivity Analysis, ESA)，量化不同環境變數與 MCS 特徵之間的關聯。此外，本研究亦結合中央氣象署地面測站降雨觀測資料，比較不同 MCS 特徵所對應之降雨分布，以建立 MCS 形態特徵與降雨影響之間的連結。

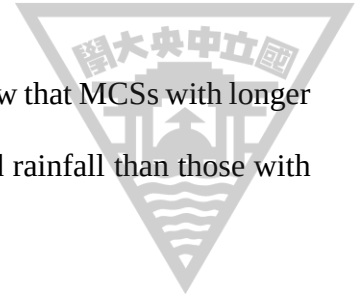
研究結果顯示，不同 MCS 特徵對環境條件具有不同程度之敏感性。依據各季節 MCS 特徵之 Top 3 環境因子家族比較結果，本研究選取垂直積分水氣輸送 (Integrated Vapor Transport, IVT) 及 500 hPa 比濕作為跨季節比較之共同關鍵因子。物理機制結果顯示，MCS 強對流面積與頻率呈現相似之環境關聯特徵。IVT 方面，暖季主要與來自南海之低層水氣輸送有關，冷季則轉為與臺灣東側海域之水氣輸送關聯較為明顯；500 hPa 比濕方面，中層高水氣區大多分布於臺灣上空，其中春、冬季偏向臺灣北部，而梅雨季、夏季及秋季則主要位於臺灣上空至偏南區域。降雨分析結果亦顯示，頻率較長之 MCS 較強對流面積較大者更容易產生局部累積雨量較高之降雨。相較之下，MCS 主要對流位置之環境控制機制有所不同。IVT 主要反映中國華南沿岸低層水氣輸送之強弱與位置，偏北發展之 MCS 通常方向較北抑或是輸送較北之低層水氣輸送；500 hPa 比濕則顯示，中層高水氣區之延伸位置與範圍與 MCS 主要發展區域具有良好對應關係，其降雨分布亦呈現向臺灣北部偏移之趨勢。此外，代表極端強度個案之物理機制與降雨分布特徵，相較於 Top 10% 群體更為明顯，進一步支持平均背景環境場分析之代表性。



Abstract

This study investigates the environmental factors influencing the characteristics of mesoscale convective systems (MCSs) over Taiwan across different seasons. The MCS characteristics examined include convective location, frequency, and convective area. MCSs were identified and tracked using the SMART convective tracking algorithm applied to QPESUMS radar data provided by the Central Weather Administration (CWA), while environmental conditions were obtained from the ERA5 reanalysis dataset for the period 2006–2024. Pearson correlation analysis and Ensemble Sensitivity Analysis (ESA) were employed to quantify the relationships between environmental variables and MCS characteristics. In addition, rainfall observations from the CWA surface rain gauge network were analyzed to compare the rainfall distributions associated with different MCS characteristics, thereby establishing the relationship between MCS morphology and rainfall impacts.

The results indicate that different MCS characteristics exhibit varying sensitivities to environmental conditions. Based on a comparison of the Top 3 environmental variable families for each MCS characteristic in each season, vertically integrated vapor transport (IVT) and 500-hPa specific humidity were identified as the common key factors for cross-seasonal analysis. The physical mechanism analysis reveals that MCS convective area and frequency exhibit similar environmental characteristics. In terms of IVT, warm-season MCSs are primarily associated with low-level moisture transport originating from the South China Sea, whereas cold-season MCSs are more strongly related to moisture transport from the ocean east of Taiwan. Regarding 500-hPa specific humidity, enhanced mid-level moisture is generally distributed over Taiwan, with the moisture maximum located over northern Taiwan during spring and winter, and over central to southern Taiwan during the



mei-yu, summer, and autumn seasons. Rainfall analyses further show that MCSs with longer frequency are more likely to produce higher localized accumulated rainfall than those with larger convective areas.

In contrast, the environmental controls governing MCS location differ from those influencing convective area and duration. IVT primarily reflects the intensity and position of low-level moisture transport along the southern coast of China, with northward-developing MCSs generally corresponding to a more northward moisture transport pathway. Meanwhile, the spatial extent and position of enhanced 500-hPa specific humidity closely correspond to the preferred regions of MCS development, with the associated rainfall distribution also shifting northward over Taiwan. Furthermore, the physical mechanisms and rainfall characteristics of the most extreme cases are more pronounced than those represented by the Top 10% composites, further supporting the representativeness of analyses based on mean background environmental fields.



誌謝

時光飛逝，直至提筆寫下誌謝時才忽然意識到兩年的碩士生涯即將步入尾聲。碩一剛進來的懵懂無知，對於研生活既期待又怕受傷害的心境，恍如昨日一般記憶猶新。在兩年的歷練中，蛻去稚嫩，雖然無法稱自己對研究已瞭若指掌，但這段學術旅程依舊讓我滿載而歸。一路上要感謝的人實在太多，族繁不及備載，容小弟我在此一一感謝。感謝張偉裕老師兩年來的悉心指導，還記得碩一時，我卡在重現學長成果，時常讓老師覺得我進度堪憂，甚至有點不夠積極。很慶幸老師當時仍願意耐心引導我，教導我面對研究應有的心態與作為，也很開心我在進入碩二後如同撥雲見日般逐漸邁向正軌，不僅順利完成論文口試，也順利迎接了數場研討會的挑戰，細細回想這兩年來的成長，老師的幫忙功不可沒。感謝廖宇慶老師、鍾高陞老師在大咪時給的許多建議，不僅讓我知道研究上的缺失，也培養了我對思考上的嚴謹性。感謝林沛練老師、王重傑老師在口試對論文的指點，給予許多寶貴的建議，讓我的研究更加完整。

雷達實驗室，是一個很溫暖的大家庭。雖然因為老師們的期許，大家臉上多少都帶著幾分倦容，但平時的隨口關心、互相嘴砲，卻也是我每天最期待的環節之一。感謝承泰學長在我重現資料時提出許多寶貴建議。感謝沁全學長、華恩學長不僅給予我報告上的要訣以及研究上的指引，更訴說過來人的經驗；感謝廉翔學長、世楷學長教導我 SMART 如何操作以及 ESA 的相關概念；感謝伯謙學長、Allen學長、大柯學姊、昭昭學長、玉霜學姊有你們在，實驗室總是歡笑不止。感謝小那學姊、鎧蒂學姊平常幫我們處理各種行政上的難事，讓我順利拿回我的錢錢。

另外感謝實驗室的好夥伴們，文瑞、祐銓、May、翊翊、采琳、芳、語萱，雖然碩一時總覺得你們有些距離感，但好在碩二大家一起歷經各種英文報告、研討會、老師的嚴厲指正後，彼此之間的戰友情也日漸深厚。永遠無法忘記大家一起面對論文地獄以及口試挑戰時，同舟共濟、勇往直前的態度。未來大家即將各奔東西，不確定是否還能有緣相聚，但這份革命情感將成為我最珍貴的回憶。感謝啓揚與我偶爾的聚餐



分享近況，甚至給我不少信心面對研究。感謝智傑、俊穎、玟仁以及大學時期的各位朋友們，與你們的相聚總能滋潤我有些平淡無奇的研究生活。

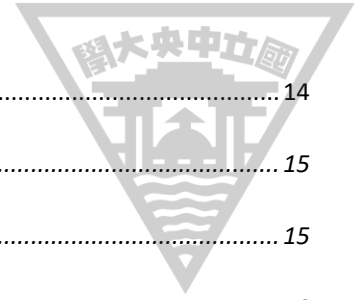
我想要感謝我的家人們，這一路走來並非事事順遂，中途也歷經不少懷疑自己能力，有些垂頭喪志。但你們每一次的支持話語以及回到家的食物攻勢，總讓我意識到背後始終有堅強的後盾，保護我一次次挺過各種挑戰，我只想說一句，有你們真的很好。

最後我想要感謝我自己，遙想當初信誓旦旦決定選擇大氣的我，這一路走來並非無所動搖，大三時的迷失自我，碩班時對研究的徬徨，都曾讓我深思對大氣喜愛是否僅僅一時衝動。很慶幸困難雖多，卻始終沒有真正放棄，不僅一步步將困難化解，也慢慢摸索出對未來的想法。未來的道路且長，不敢說自己一定會繼續從事大氣相關行業，但能堅信自己的理想走到今天，本身就很值得鼓勵了。期許未來帶著這些年所學勇往直前，走出一條真正屬於自己的道路。

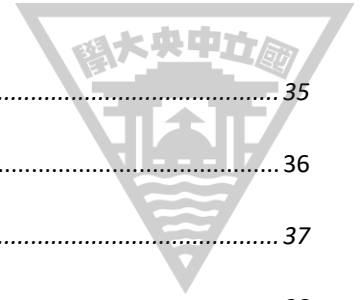


目錄

摘要.....	I
ABSTRACT.....	II
誌謝.....	IV
目錄.....	VI
表目錄.....	IX
圖目錄.....	X
第一章 緒論.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 文獻回顧.....	1
1.3 研究目的與架構.....	4
第二章 研究資料與方法.....	6
2.1 使用資料.....	6
2.1.1 中央氣象署QPESUMS雷達資料.....	6
2.1.2 MCS 配對環境場與其因子選取.....	6
2.1.3 中央氣象署雨量資料.....	7
2.2 MCS 事件之定義與特徵定義配對.....	8
2.2.1 SMART 對流胞辨識初始特徵計算.....	8
2.2.2 MCS 事件定義與颱風個案濾除.....	9
2.2.3 中尺度對流系統特徵之科學定義.....	10
2.2.4 中尺度對流系統特徵與環境因子之配對量化.....	12
第三章 MCS 特徵之 ESA 定量分析.....	14



3.1 強對流面積與頻率特徵	14
3.1.1 各季節關鍵環境因子選取結果	15
3.1.2 關鍵環境因子分析	15
3.1.2.1 春季	16
3.1.2.2 梅雨季	18
3.1.2.3 夏季	20
3.1.2.4 秋季	21
3.1.2.5 冬季	23
3.1.3 各季節間環境因子之比較	25
3.1.3.1 低層水氣運輸 (IVT)	25
3.1.3.2 中層水氣維持 (500 hPa 比濕)	26
3.2 緯度特徵	27
3.2.1 各季節環境因子之比較	27
3.2.2 關鍵環境因子分析	27
3.2.2.1 春季	27
3.2.2.2 梅雨季	28
3.2.2.3 夏季	29
3.2.2.4 秋季	30
3.2.2.5 冬季	30
3.2.3 各季節間環境因子之比較	31
3.2.3.1 低層水氣運輸 (IVT)	31
3.2.3.2 中層水氣維持 (500 hPa 比濕)	32
第四章 環境機制分析	33
4.1 強對流面積與頻率特徵之環境機制	33
4.1.1 低層水氣運輸 (IVT)	33

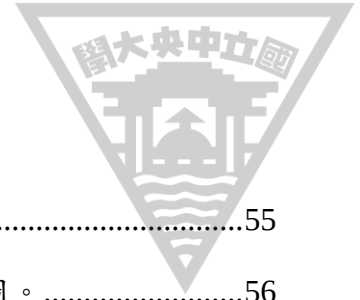


4.1.2 中層水氣維持 (500 hPa 比濕)	35
4.2 緯度特徵之環境機制	36
4.2.1 低層水氣運輸 (IVT)	37
4.2.2 中層水氣維持 (500 hPa 比濕)	38
4.3 極端個案分析	39
4.3.1 低層水氣運輸 (IVT)	39
4.3.2 中層水氣維持 (500 hPa 比濕)	40
第五章 MCS 特徵對降雨之影響	41
5.1 TOP 10% 與 BOTTOM 50% 群組之降雨差異	41
5.2 北部與南部群體之降雨差異	42
5.3 極端個案	43
第六章 結論與未來展望	44
6.1 結論	44
6.2 未來展望	46
參考文獻	48
附表	51
附圖	55



表目錄

表 3.1 各環境因子之分群方式。	51
表 3.2 強對流面積(單位: km^2)之各季節前三類群關鍵環境因子，粗體表示各變數群體主要選定之代表環境因子(其餘為輔助因子)；括號內數值為平均標準化系集敏感度。WS、U、V、Z、q、 θ_e 及 IVT 分別代表風速、東西向風、南北向風、重力位高度、比濕、相當位溫及垂直積分水氣通量；數字表示對應之氣壓層 (hPa) 。 ...	52
表 3.3 頻率(單位: min)之各季節前三類群關鍵環境因子，粗體表示各變數群體主要選定之代表環境因子(其餘為輔助因子) ；括號內數值為平均標準化系集敏感度。變數及高度層呈現方式與表 3.2 一樣。	53
表 3.4 緯度(單位: $^\circ$)之各季節前三類群關鍵環境因子，粗體表示各變數群體主要選定之代表環境因子(其餘為輔助因子) ；括號內數值為平均標準化系集敏感度。WSS 為垂直風切，其餘變數及高度層呈現方式與表 3.2 一樣。	54



圖目錄

圖 2.1 中央氣象局 QPESUMS 資料空間範圍。.....	55
圖 2.2 (a) MCS 定義之示意圖、(b) 颱風個案濾除之定義範圍圖。.....	56
圖 2.3 (a) MCS 強對流面積大之範例圖、(b) MCS 強對流面積小之範例圖。.....	57
圖 2.4 (a) 12 小時區間 MCS 頻率高之範例圖、(b) 12 小時區間 MCS 頻率低之範例圖。橘色表示 MCS、藍色表示非 MCS。.....	58
圖 2.5 (a) MCS 緯度高之範例圖、(b) MCS 緯度低之範例圖。.....	59
圖 2.6 各季節 MCS 特徵變異度盒狀圖: (a) 強對流面積、(b) 持續時長、(c) 緯度。.....	60
圖 3.1 計算其平均標準化敏感度之範例圖: (a) 相關係數圖，深藍輪廓框住 $ r > 0.3$ 之區域、(b) 標準化系集敏感度分布，深藍輪廓為對應之 $ r > 0.3$ 之區域用來計算平均標準化系集敏感度分布。.....	61
圖 3.2 春季強對流面積代表變數: (a) IVT_U、(b) IVT 及 (c) IVT_V 之 (左) 皮爾森相關係數與 (右) 標準化系集敏感度分布。.....	62
圖 3.3 春季強對流面積代表變數: (a) 850 hPa U 風、(b) 850 hPa 風速、(c) 850 hPa V 風之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。.....	63
圖 3.4 春季強對流面積代表變數 700 hPa 重力位高度之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。.....	64
圖 3.5 春季頻率代表變數: (a) IVT_U、(b) IVT 及 (c) IVT_V 之 (左) 皮爾森相關係數與 (右) 標準化系集敏感度分布。.....	65
圖 3.6 春季頻率代表變數: (a) 1000 hPa U 風、(b) 1000 hPa 風速、(c) 1000 hPa V 風之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。.....	66
圖 3.7 春季頻率代表變數: (a) 500 hPa 比濕、(b) 500 hPa 相當位溫之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。.....	67

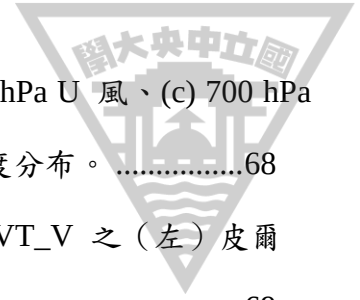
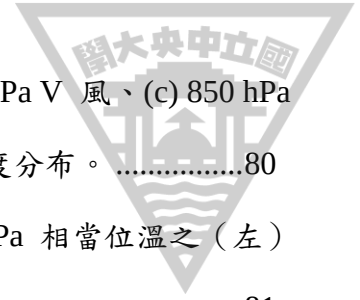


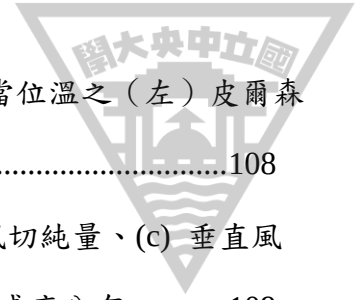
圖3.8 梅雨季強對流面積代表變數: (a) 700 hPa 風速、(b) 700 hPa U 風、(c) 700 hPa V 風之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。.....	68
圖 3.9 梅雨季強對流面積代表變數: (a) IVT、(b) IVT_U、(c) IVT_V 之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。.....	69
圖3.10 梅雨季強對流面積代表變數 700 hPa 重力位高度之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。.....	70
圖 3.11 梅雨季頻率代表變數: (a) 700 hPa 風速、(b) 700 hPa U 風、(c) 700 hPa V 風之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。.....	71
圖 3.12 梅雨季頻率代表變數: (a) IVT、(b) IVT_U、(c) IVT_V 之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。.....	72
圖 3.13 梅雨季頻率代表變數: (a) 500 hPa 比濕、(b) 500 hPa 相當位溫之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。.....	73
圖 3.14 夏季強對流面積代表變數: (a) 500 hPa U 風、(b) 500 hPa V 風、(c) 500 hPa 風速之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。.....	74
圖 3.15 夏季強對流面積代表變數: (a) 500 hPa 比濕、(b) 500 hPa 相當位溫之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。.....	75
圖 3.16 夏季強對流面積代表變數 500 hPa 重力位高度之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。.....	76
圖 3.17 夏季頻率代表變數: (a) 500 hPa U 風、(b) 500 hPa V 風、(c) 500 hPa 風速之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。.....	77
圖 3.18 夏季頻率代表變數: (a) 500 hPa 比濕、(b) 500 hPa 相當位溫之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。.....	78
圖 3.19 夏季頻率代表變數 500 hPa 重力位高度之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。.....	79



- 圖 3.20 秋季強對流面積代表變數: (a) 850 hPa 風速、(b) 850 hPa V 風、(c) 850 hPa U 風之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。.....80
- 圖 3.21 秋季強對流面積代表變數: (a) 500 hPa 比濕、(b) 500 hPa 相當位溫之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。.....81
- 圖 3.22 秋季強對流面積代表變數: (a) IVT_V、(b) IVT、(c) IVT_U 之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。.....82
- 圖 3.23 秋季頻率代表變數: (a) IVT_V、(b) IVT、(c) IVT_U 之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。.....83
- 圖 3.24 秋季頻率代表變數: (a) 850 hPa V 風、(b) 850 hPa 風速、(c) 850 hPa U 風之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。.....84
- 圖 3.25 秋季頻率代表變數: (a) 500 hPa 比濕、(b) 500 hPa 相當位溫之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。.....85
- 圖 3.26 冬季強對流面積代表變數: (a) 500 hPa 比濕、(b) 500 hPa 相當位溫之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。.....86
- 圖 3.27 冬季強對流面積代表變數: (a) 700 hPa V 風、(b) 700 hPa 風速、(c) 700 hPa U 風之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。.....87
- 圖 3.28 冬季強對流面積代表變數: (a) 500 hPa V 風、(b) 500 hPa U 風、(c) 500 hPa 風速之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。.....88
- 圖 3.29 冬季頻率代表變數: (a) IVT_V、(b) IVT、(c) IVT_U 之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。.....89
- 圖 3.30 冬季頻率代表變數: (a) 700 hPa V 風、(b) 700 hPa 風速、(c) 700 hPa U 風之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。.....90
- 圖 3.31 冬季頻率代表變數: (a) 700 hPa 相當位溫、(b) 700 hPa 比濕之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。.....91



圖 3.32 各季強對流面積因子影響示意圖: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季。	92
圖 3.33 各季頻率因子影響示意圖: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季。	93
圖 3.34 各季強對流面積 IVT 空間分布: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。 ...	94
圖 3.35 各季頻率 IVT 空間分布: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。	96
圖 3.36 各季強對流面積 500hpa 比濕空間分布: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。	98
圖 3.37 各季頻率 500hpa 比濕空間分布: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。 .	100
圖 3.38 春季緯度代表變數: (a) IVT_U、(b) IVT、(c) IVT_V 之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。	102
圖 3.39 春季緯度代表變數: (a) 850 hPa U 風、(b) 850 hPa 風速、(c) 850 hPa V 風之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。	103
圖 3.40 春季緯度代表變數: (a) 500 hPa 比濕、(b) 500 hPa 相當位溫之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。	104
圖 3.41 梅雨季緯度代表變數: (a) 850 hPa U、(b) 850 hPa 風速、(c) 850 hPa V 風之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。	105
圖 3.42 梅雨季緯度代表變數: (a) IVT_U、(b) IVT、(c) IVT_V 之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集度分布。	106
圖 3.43 梅雨季緯度代表變數: (a) 500 hPa 比濕、(b) 500 hPa 相當位溫之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。	107



- 圖 3.44 夏季緯度代表變數: (a) 500 hPa 比濕、(b) 500 hPa 相當位溫之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。108
- 圖 3.45 夏季緯度代表變數: (a) 垂直風切 U 分量、(b) 垂直風切純量、(c) 垂直風切 V 分量之 (左) 皮爾森相關係數分; (右) 標準化系集敏感度分布。109
- 圖 3.46 夏季緯度代表變數: (a) 700 hPa U 風、(b) 700 hPa 風速、(c) 700 hPa V 風之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。110
- 圖 3.47 秋季緯度代表變數: (a) 700 hPa 比濕、(b) 700 hPa 相當位溫之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。111
- 圖 3.48 秋季緯度代表變數: (a) 1000 hPa V 風、(b) 1000 hPa U 風、(c) 1000 hPa 風速之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。112
- 圖 3.49 秋季緯度代表變數: (a) IVT_V、(b) IVT、(c) IVT_U 之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。113
- 圖 3.50 冬季緯度代表變數: (a) 1000 hPa V 風、(b) 1000 hPa 風速、(c) 1000 hPa U 風之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。114
- 圖 3.51 冬季緯度代表變數: (a) IVT、(b) IVT_V、(c) IVT_U 之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。115
- 圖 3.52 冬季緯度代表變數: (a) 1000 hPa 相當位溫、(b) 1000 hPa 比濕之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。116
- 圖 3.53 各季緯度因子影響示意圖: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季。117
- 圖 3.54 各季緯度 IVT 空間分布: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。118
- 圖 3.55 各季緯度 500hPa 比濕 空間分布: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。 .120

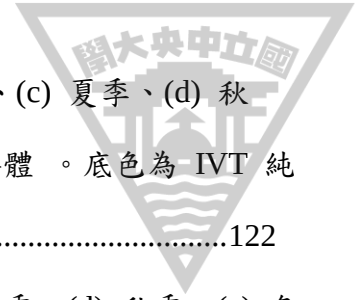


圖 4.1 強對流面積低層水氣運輸機制圖: (a)春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季之 (左) Top 10 % 群體; (右) Bottom 50 % 群體。底色為 IVT 純量, 風標為 IVT 分量。	122
圖 4.2 頻率低層水氣運輸機制圖: (a)春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季之 (左) Top 10 % 群體; (右) Bottom 50 % 群體。底色為 IVT 純量, 風標為 IVT 分量。	124
圖 4.3 強對流面積 500hPa 比濕機制圖: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季之 (左) Top 10 % 群體; (右) Bottom 50 % 群體。底色為比濕。	126
圖 4.4 頻率 500hPa 比濕機制圖: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季之 (左) Top 10 % 群體; (右) Bottom 50 % 群體。底色為比濕。	128
圖 4.5 緯度低層水氣運輸機制圖: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季之 (左) 北部群體; (右) 南部群體。底色為 IVT 純量, 風標為 IVT 分量。	130
圖 4.6 緯度 500hPa 比濕機制圖: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季之 (左) 北部群體; (右) 南部群體。底色為比濕。	132
圖 4.7 極端個案雷達迴波圖: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季。	134
圖 4.8 極端個案低層水氣機制圖: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季。底色為 IVT 純量, 風標為 IVT 分量。	135
圖 4.9 極端個案 500hPa 比濕機制圖: (a)春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季。底色為比濕。	136
圖 5.1 強對流面積雨量分布圖: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季之 (左) Top 10 % 群體; (右) Bottom 50 % 群體。	137

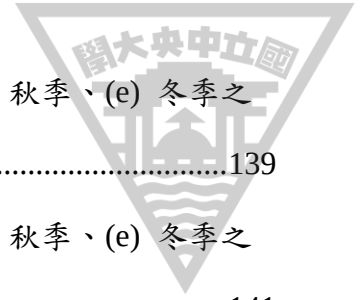


圖 5.2 頻率雨量分布圖: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季之 （左）Top 10 % 群體；（右）Bottom 50 % 群體。	139
圖 5.3 緯度雨量分布圖: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季之 （左）北部群體；（右）南部群體。	141
圖 5.4 極端個案雨量分布圖: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬 季。	143



第一章 緒論

1.1 前言

臺灣位於東亞季風區，受季風、水氣輸送及複雜地形等因素影響，中尺度對流系統（Mesoscale Convective System, MCS）為造成臺灣劇烈降雨的重要天氣系統之一。然而，不同季節的大尺度環境背景具有明顯差異，使 MCS 在強對流面積、存在時間及主要對流位置等特徵上亦有所不同。過去研究多針對有利 MCS 發展之環境背景場進行探討，雖能了解整體環境場特徵，卻較難比較各環境因子的重要性，亦缺乏量化各環境因子對 MCS 特徵影響程度之分析。

近年來，系集敏感度分析（Ensemble Sensitivity Analysis, ESA）已廣泛應用於天氣預報及天氣系統之研究，可用於量化環境因子與目標變數之關係，並客觀評估各環境因子對目標變數之相對重要性。相較平均環境場的計算，ESA 不僅能呈現有利天氣系統發展之環境背景，亦可進一步量化不同環境因子之敏感程度，因此適合應用於探討不同季節 MCS 結構特徵與環境因子間之關係。然而，目前 ESA 在臺灣 MCS 跨季節環境特徵分析之應用仍相對有限，相關研究仍有待進一步探討。

1.2 文獻回顧

MCS 經常伴隨劇烈降雨，對當地造成嚴重災害。然而，不同結構特徵之 MCS，其持續時間、降雨分布及災害影響程度皆可能有所差異。Wang and Meng（2023）針對中國具有多條平行雨帶（Multiple Parallel Rainbands, MPRBs）之 MCS 進行分析，探討其環境背景及降雨特徵。研究指出，多條平行雨帶主要由獨立雨帶生成或既有雨帶分裂發展而成，多發生於副熱帶高壓西側低層西南噴流環境中。由於 MPRBs 常伴

隨後向發展 (Back-building) 及雨帶訓練效應 (Training effect)，其移動速度較一般
飆線緩慢，約有 71% 的個案伴隨較大的最大時雨量。然而，多數 MPRBs 持續時間
仍短於 2 小時，因此累積降雨量未必顯著增加。研究結果顯示，不同 MCS 結構特
徵會影響其持續時間及降雨特性，進而改變其造成的災害影響。

在分析方法方面，Shen and Du (2020) 利用皮爾森相關係數(Pearson correlation
coefficient)，探討造成華南一次豪雨事件中三個 MCS 降雨的關鍵環境因子。結果顯
示，不同 MCS 雖同時發生於相同天氣系統下，但其降雨仍受不同環境因子控制，包
括西南渦旋、低層風切變線、低層噴流及其伴隨之水氣輸送等，其中低層噴流的位置、
強度、方向及高度皆會影響不同 MCS 之降雨表現，並進一步影響其預報能力。此外，
Hakim and Torn (2008) 提出系集敏感度分析 (Ensemble Sensitivity Analysis, ESA)，
利用系集量化預報目標對環境變數的敏感程度，並可比較不同環境因子對目標結果
的重要性。從上述研究可知，皮爾森相關係數可用於判斷環境因子與目標變數之間的
線性關係，而 ESA 則可進一步量化不同環境因子對目標變數之影響程度，並比較各
環境因子的重要性。

低層水氣輸送 (Integrated Vapor Transport, IVT) 被認為是影響 MCS 發展及豪
雨形成的關鍵因素之一。Wu et al. (2020) 利用 WRF 模式，分別將低層 (700 hPa 以
下) 相對濕度及水平風速增加 10%，藉此探討大尺度水氣傳輸、降水效率及 MCS 發
展情況的變化。結果發現，當低層相對濕度增加 10% 時，IVT 約增加 20%，累積降
水量亦增加約 20%，同時 MCS 對流發展更加強烈；當水平風速增加 10% 時，IVT
則增加約 5%，雖然降水量並未明顯增加，但 MCS 對流同樣有所增強。除了水氣含
量與風速外，低層噴流 (Low-Level Jet, LLJ) 亦是低層水氣輸送的重要環節。Harding
and Snyder (2015)、Higgins et al. (1997) 及 Wang and Chen (2009) 等研究皆指出，
LLJ 對美國中部暖季豪雨的發生扮演重要角色；Feng et al. (2021). 進一步利用垂直積
分範圍自地表至 700 hPa 的 IVT 進行分析，發現 IVT 的強弱與總降水量及 MCS



降水量的多寡具有明顯關聯。在臺灣地區，Tu et al. (2020) 利用 Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) 再分析資料、雨量站資料及個案分析，探討 2017 年南海季風實驗 (South China Sea Two Island Monsoon Experiment, SCSTIMX) 期間的兩次臺灣豪雨事件。研究指出，當 IVT 超過約 $220 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 時，容易伴隨大範圍豪雨；當 IVT 進一步增強至約 $300 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 以上時，個案中更出現日累積雨量超過 500 mm 的極端降雨。雖然該研究之 IVT 僅垂直積分至 900 hPa，與本研究採用之積分範圍有所不同，但其結果仍顯示低層水氣輸送對臺灣豪雨發展的重要性。

除低層水氣供應外，中層水氣條件亦為 MCS 發展的重要環境因子。Houze (2004) 指出，成熟 MCS 除具有對流區及層狀降水區外，亦會發展出中尺度環流，其中包含中層入流 (mid-level inflow) 及中尺度對流渦旋 (Mesoscale Convective Vortex, MCV)，有助於維持 MCS 的持續發展。此外，Pacey et al. (2025) 進一步指出，中層相對濕度為影響深對流發展的重要環境條件，其研究發現中層相對濕度能有效區分對流發生與未發生之環境。一般而言，較乾燥的中層環境容易因乾空氣捲入而削弱上升氣流浮力，因此較高的中層濕度通常更有利於深對流的發展與維持。

Chen and Chen (2003) 利用臺灣雨量站資料分析臺灣各季節降雨之空間分布及其對應的大尺度環境，並將季節區分為春季 (3 月至 5 月中旬)、梅雨季 (5 月中旬至 6 月中旬)、夏季 (6 月中旬至 8 月)、秋季 (9 月至 11 月) 及冬季 (12 月至翌年 2 月)。研究指出，春季隨著 850 hPa 風場逐漸由東北風轉為西南風，環境開始具有些微潛在不穩定度。進入梅雨季後，受西南季風及梅雨鋒面影響，全臺降雨明顯增加，其中以西南部山區最為顯著。夏季則主要受西南季風、季風槽及颱風影響，降雨多集中於臺灣西南部地區。秋季隨著大陸高壓逐漸建立，東北季風開始影響臺灣，降雨逐漸轉移至東部及東北部。冬季受大陸高壓及東北季風持續影響，降雨主要集中於臺灣東北部。Yang (2022) 進一步比較 MCS、非 MCS 系統及颱風所造成之降雨



貢獻。結果顯示，春季與梅雨季的降雨主要由 MCS 所主導；相較之下，在夏季、秋季及冬季，MCS 對降雨的相對貢獻則較其他降雨系統不明顯。

基於上述研究，本研究結合皮爾森相關係數與系集敏感度分析，比較不同季節環境因子與 MCS 特徵之間的關係，並進一步探討低層水氣運輸與中層水氣維持之物理機制，以及其對臺灣降雨特性的影響，期望能更全面地了解不同季節 MCS 的環境控制機制及其降雨特徵。

1.3 研究目的與架構

本研究以 2006–2024 年臺灣附近中尺度對流系統 (Mesoscale Convective System, MCS) 為研究對象，結合 ERA5 再分析資料，探討不同季節環境因子對 MCS 特徵之影響。研究目的如下：

(1) 利用皮爾森相關係數及系集敏感度分析 (Ensemble Sensitivity Analysis, ESA)，量化不同季節環境因子與 MCS 強對流面積、頻率及主要對流位置之關係，並列出 MCS 特徵在各季節相對應的重要環境因子。

(2) 依據系集敏感度分析結果，分析不同季節關鍵環境因子之量值與空間分布，並篩選各季共同之重要因子，以進行跨季節比較。

(3) 利用跨季節共同關鍵因子建立平均背景環境場，探討不同季節 MCS 特徵之物理機制，進一步說明環境因子對 MCS 發展之影響。

(4) 分析不同環境條件下 MCS 對臺灣降雨分布之影響，探討環境因子、MCS 特徵與降雨之間的關聯性，以建立由環境場至降雨影響之完整分析架構。

本論文後續共分為五章，各章內容如下：



第二章為資料與研究方法，說明研究資料來源及分析方法。第三章為不同季節 MCS 關鍵環境因子分析，利用相關係數與系集敏感度分析，比較不同季節 MCS 關鍵環境因子之差異。第四章為不同季節 MCS 物理機制分析，探討不同季節 MCS 發展之物理機制。第五章為不同季節 MCS 對降雨之影響，分析 MCS 發展與降雨分布之關聯性。第六章為結論與未來展望，彙整研究成果並提出未來研究方向。



第二章 研究資料與方法

本章節將主要講述本研究運用的資料來源，並介紹如何利用對流追蹤演算法來闡述 MCS 之特徵計算、定義方法以及事件的篩選與剔除。藉由特徵界定以及與綜觀環境變數之配對進行量化分析，於此進行背後綜觀環境場的討論以及探討其對應的實際降雨影響。

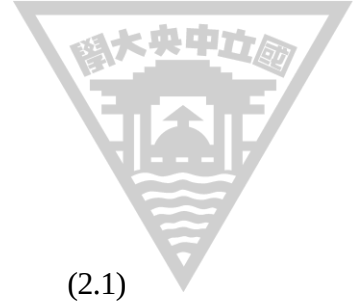
2.1 使用資料

2.1.1 中央氣象署 QPESUMS 雷達資料.

本研究使用中央氣象局 QPESUMS(Quantitative Precipitation Estimation and Estimation and Segregation Using Multiple Sensor)(Chang, 2009) 雷達回波資料，時間範圍 2006 年至 2024 年，水平解析度為 0.125° ，時間解析度為每 10 分鐘一筆資料，在垂直高度層的部分則有 21 層對高度進行劃分，資料涵蓋範圍如(圖2.1)之呈現。該資料主要用於雷達數據的提供，以便對流辨識與個案篩選，後續將於 2.2 節詳細介紹如何進行辨識與篩選。

2.1.2 MCS 配對環境場與其因子選取

配對環境場部分，使用歐洲中期天氣預報中心 ERA5 再分析場資料，本研究資料時間為 2006 至 2024，範圍選取則為東經 100 至 140 度，北緯 10 至 40 度，水平解析度 0.125° ，時間解析度於本研究為每 12 小時一筆資料(每一天的00Z、12Z)，垂直高度層則選取五層(1000、850、700、500、200 hPa)，原始環境因子之選取則有 U/V風、重力位高度、比濕、溫度，並利用這些原始因子進行運算推導以得出其餘想探討的參數，如下：



- 相當位溫 (Equivalent potential temperature) (K)

$$\theta_e = T \left(\frac{1000}{p} \right)^{R_d/C_p} \exp\left(\frac{Lv * q_s}{C_p * T}\right) \quad (2.1)$$

- 垂直積分水氣傳輸 (Integrated Vapor Transport) ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$)

$$IVT = \frac{1}{g} \sqrt{\left(\int_{P_0}^{P_1} q u dp\right)^2 + \left(\int_{P_0}^{P_1} q v dp\right)^2} \quad (2.2)$$

其中 P_1 為 700 hPa, P_0 為 1000 hPa。而在運算垂直積分水氣傳輸時, 1000 hPa 至 700 hPa 使用 ERA5 該區間所有完整層數以確保計算不會太過粗糙。

- 垂直風切 (Vertical wind shear) (m s^{-1})

$$VWS = \sqrt{(u_{P_2} - u_{P_1})^2 + (v_{P_2} - v_{P_1})^2} \quad (2.3)$$

其中 P_1 為 500 hPa, P_0 為 1000 hPa。

2.1.3 中央氣象署雨量資料

本研究運用了中央氣象署地面有人站以及自動氣象站的雨量資料, 共計 805 個測站, 資料下載則源自 ASRAD 大氣科學研究與應用資料庫 <https://asrad.pccu.edu.tw/dbar/>。主要用於呈現各種 MCS 特徵下對台灣的降雨之影響, 以更直觀評估所造成的可能災害。而對於不同特徵下的 MCS 事件, 本研究利用對應之 12 小時配對區間, 計算各特徵 MCS 事件之平均降雨量, 並將其換算為日雨量以方便評估影響。由於每個站點的建站以及廢站時間不一, 因此採用 2006 至 2024 間各測站之實際具有觀測資料之時段進行運算。站點間所採用之內插方法為 Cressman 內插法 (Cressman, 1959), 影響半徑為 0.25° 。



2.2 MCS 事件之定義與特徵定義配對

本研究使用對流胞辨識與追蹤系統進行 MCS 的事件定義，而此概念在國外已成熟許久，其源頭可回溯於 Dixon and Wiener(1993)，而後中央大學雷達實驗室利用此概念進行優化與改進，進而研發出 SMART(Storm Motion Analysis by Radar Tracking) 系統(吳 2019；葉 2021；楊 2022；李 2022；覃 2025)來進行對流辨識與追蹤。

2.2.1 SMART 對流胞辨識初始特徵計算

SMART(Storm Motion Analysis by Radar Tracking)在分析對流胞時，有 2D 的辨識模式以及 3D 的追蹤模式，而本研究所採用的便是 2D 的辨識模式。由於 QPESUMS 是三維資料，因此 SMART 在進行 2D 的辨識模式處理時，會先將資料內插至卡氏座標，針對每個水平網格點取其垂直方向上最大的回波值，將其投影至平面形成二維的 MAX CV，並藉由回波門檻(T_z)以及回波面積(T_v)來進行對流胞的辨識與篩選。 T_z 是針對回波強度訂定閾值，並將閾值之上的對流胞進行框選。當 T_z 數值越大 越接近主觀認定之強對流範圍區域，然而經驗上來說，當對流胞越強時，對流的面積會越趨於破碎，因此便會利用 T_v 進行對流胞面積上的篩選，藉此避免過於破碎細小的對流胞影響分析。

對流胞經過辨識與篩選後，便可利用 SMART 計算對流胞的結構特徵並進行基本分析，而計算後的特徵項目如下所述：

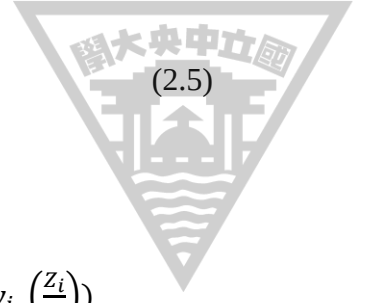
- 面積 (A)

$$A = n \, dx \, dy \, (km^2) \quad (2.4)$$

n 為對流胞之格點數， dx 、 dy 分別為x軸方向與y軸方向的水平網格大小。

- 幾何中心 ($\bar{X}$, $\bar{Y}$)

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ; \quad \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$



x_i 與 y_i 分別對應對流胞格點之 x 與 y 座標。

- 回波權重中心 ($\bar{X}_e$, $\bar{Y}_e$)

$$\bar{X}_e = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i \left(\frac{Z_i}{n} \right)) ; \bar{Y}_e = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n y_i \left(\frac{Z_i}{n} \right)) \quad (2.6)$$

Z_i 為每個格點對應的回波值

- 橢圓軸傾角 (θ)

$$\theta = \tan^{-1} \frac{v}{\mu} (^{\circ}) \quad (2.7)$$

v 和 μ 為斜方差矩陣之標準化特徵向量。 θ 則為對流胞之長軸與 x 軸夾角，範圍則為 -90 至 90 度之間。

- 長、短軸長 (r_{major}, r_{minor})

$$\begin{aligned} r_{major} &= \sigma_{major} \left(\frac{A}{\pi \sigma_{major} \sigma_{minor}} \right)^{0.5} (km) \\ r_{minor} &= \sigma_{minor} \left(\frac{A}{\pi \sigma_{major} \sigma_{minor}} \right)^{0.5} (km) \end{aligned} \quad (2.8)$$

σ_{major} 與 σ_{minor} 為 u 、 v 方向之標準差。詳細資訊可參照 Dixon and Wiener(1993)。

藉由 SMART 獲取對流胞基本特徵資訊後，本研究後續之 MCS 案件篩選以及特徵定義主要會使用面積、回波權重中心、長/短軸長進行推演，詳情請參閱 2.2.2 及 2.2.3 小節。

2.2.2 MCS 事件定義與颱風個案濾除

考量到 MCS 強對流核心與大範圍層狀降水區的特性，本研究參照楊(2022)，針對回波門檻(T_Z)部分採用雙門檻分析。設強對流核心回波門檻為 35 dBZ，稱之為子胞回波門檻，參考於 Dixon and Wiener(1993)。而大範圍層狀降水區則依據 Feng et al.

(2019)，設 17 dBZ 為母胞回波門檻，整體對流胞為 17 dBZ 範圍含 35 dBZ 嵌入胞。回波面積(T_V)則設定為 10km^2 。

基本特徵篩選部分，參照 Feng et al. (2019) 之中尺度對流系統定義，設立 17 dBZ 長軸需大於 100 km 為條件。此外，為了確保所選 MCS 具有足夠強度，並避免強對流區域過於破碎零散，要求最大單一 35 dBZ 對流胞面積至少占其母胞 17 dBZ 面積的 10%，整體範例圖如圖(2.2-a)所示。

然而，為避免部分個案受到颱風影響，本研究參考楊 (2022) 之方法，利用日本氣象廳 (JMA) 之 TC best track 資料，時間範圍涵蓋 2006 至 2024 年。當颱風中心進入以臺灣本島中心向外延伸 15° 之圓形範圍時，定義該時段所對應之 MCS 個案為受颱風影響個案，並予以濾除，實際範圍如圖(2.2-b)所示。此外，為避免颱風環流及其殘留雲系對分析結果造成影響，以颱風中心離開上述圓形範圍之日期為基準，持續移除其後連續出現之個案。考量過度刪除可能導致樣本數不足，單一颱風事件所造成之連續刪除時間最長限制為 14 日，以降低颱風相關個案混入非颱風樣本之可能性。

2.2.3 中尺度對流系統特徵之科學定義

本研究以 SMART 所輸出之基本特徵為基礎，延伸定義三項 MCS 特徵，分別為強對流面積、頻率及主要對流位置。

(1) MCS 強對流面積大小(km^2)

代表特徵值：以 12 小時為分析單位，採用 35 dBZ 面積之第 75 百分位數作為代表值。由於 QPESUMS 的時間解析度為 10 分鐘，且同一時刻可能同時偵測到多個 MCS，因此將該 12 小時內所有 10 分鐘時次所偵測到之 MCS 的 35 dBZ 面積全部納入計算，再取其第 75 百分位數作為該 12 小時之代表特徵值。此方法可降低少數極端個案對代表值之影響，同時保留較大尺度 MCS 的特徵，範例如圖(2.3)所示。



(2) MCS 頻率(min)

代表特徵值：以 12 小時內偵測到 MCS 之 10 分鐘時次數量 (1-72) 作為代表值。由於 QPESUMS 的時間解析度為 10 分鐘，因此每個 12 小時共有 72 個觀測時次。若 72 個觀測時次皆偵測到 MCS，則代表特徵值為 72，此指標統計的是 12 小時內偵測到 MCS 的觀測時次數量，不要求為同一 MCS 或連續發生，範例如圖 (2.4) 所示，圖 (2.4-a) 代表值為 72，圖 (2.4-b) 代表值為 36。

(3) MCS 主要對流位置(°)

代表特徵值計算：

$$X = \frac{\sum_{i=1}^N \omega_i x_i}{\sum_{i=1}^N \omega_i} \quad (2.9)$$

其中 x_i 為 12 小時區間內各 MCS 回波之權重中心位置，並換算為緯度值； ω_i 為各 MCS 之 35 dBZ 面積，作為加權權重，使強對流面積較大的 MCS 對代表緯度具有較高的影響。最終計算所得之加權平均緯度，即作為該 12 小時內 MCS 強對流主要分布之代表緯度，範例如圖 (2.5) 所示。

而(圖 2.6)顯示三項 MCS 特徵於各季節之變異程度。由(圖 2.6-a) 及(圖 2.6-b) 可知，強對流面積與頻率皆以梅雨季之變異程度最高，冬季則最低；緯度(圖 2.6-c)亦以梅雨季最為明顯，其餘四季則差異不大。由於 MCS 特徵之變異程度將影響後續系集敏感度分析結果，因此各季節 MCS 特徵之分布差異亦為後續跨季節比較分析的重要依據。

此外，三項特徵定義亦與強降雨事件之影響特性具有對應關係，分別代表強降雨之影響範圍、頻率及主要發生位置。



2.2.4 中尺度對流系統特徵與環境因子之配對量化

本研究在量化環境因子與 MCS 特徵間關係時，採用兩種分析方式進行。首先，參考 Shen and Du (2020)，利用皮爾森相關係數（Pearson correlation coefficient）評估 MCS 特徵與環境變數之間的線性相關性，以確認兩者之間具有一定程度的關聯。另一方面，參考 Hakim & Torn et al.(2008) 所採用之系集敏感度分析（Ensemble Sensitivity Analysis, ESA），進一步量化環境因子變化對 MCS 特徵變化之影響程度。相較於皮爾森相關係數僅能描述兩者之間的線性相關程度，系集敏感度分析則能提供環境因子變化所對應之結果變化量，使兩者間的關係得以進一步量化。以下將分別介紹皮爾森相關係數與系集敏感度分析之計算方式。

$$ESA = b_n = \frac{\partial J}{\partial x_n} = \frac{cov(J, X_n^e)}{var(X_n^e)} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(J_i - \bar{J})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2.10)$$

$$Normalized.ESA = b_n \sigma(X_n^e) = \frac{cov(J, X_n^e)}{\sigma(X_n^e)} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(J_i - \bar{J})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}} \quad (2.11)$$

$$Normalized.ESA = \frac{cov(J, X_n^e)}{\sigma(X_n^e) * \sigma(J)} \sigma(J) = r_{J, X_n^e} \sigma(J) \quad (2.12)$$

其中J為 MCS 分別的三項特徵，X 則為環境變數， r_{J, X_n^e} 則為皮爾森相關係數

由式 (2.10) 可知，原始 ESA 之物理意義為環境因子每增加一單位時，MCS 特徵所對應之變化量。由式 (2.10) 至式 (2.11) 則為 ESA 的標準化過程，其做法為將原始 ESA 乘以環境因子的標準差，以消除不同環境因子量級變化之差異，使各環境因子之敏感度得以在相同基準下進行比較。此外，由式 (2.12) 可知，標準化後之 ESA 與皮爾森相關係數具有數學上的關聯，且顯示標準化 ESA 除受相關係數影響



外，亦與 MCS 特徵之變異程度有關，因此可與第 2.2.3 節所討論之各季節 MCS 特徵變異程度相互對照，以解釋不同季節敏感度之差異。

本研究不同於傳統 ESA 利用各系集成員初始場與結果進行配對，而是以觀測之雷達資料與 ERA5 再分析資料建立環境因子與 MCS 特徵之對應關係。因此，為確保兩者具有一致之時間尺度，在計算皮爾森相關係數及 ESA 前，需先完成 MCS 特徵與環境因子之時間配對。

本研究以 12 小時為配對時間間隔，並以 ERA5 之 00Z 與 12Z 環境場作為代表。若 MCS 特徵發生於接近 00Z 之半天（前一日 18Z 至當日 06Z），則配對至當日 00Z 環境場；若發生於接近 12Z 之半天（06Z 至 18Z），則配對至當日 12Z 環境場。



第三章 MCS 特徵之 ESA 定量分析

本章首先針對 MCS 特徵與環境因子間之量化關係進行分析，並利用皮爾森相關係數及系集敏感度分析，以空間分布及統計量值兩種方式探討其特徵。討論將以三項 MCS 特徵為主軸，分別為強對流面積、頻率及主要對流位置。

由於面積與頻率同屬於強度相關指標，且其空間分布特徵相似，僅在實際所代表之物理意義有所不同，因此合併進行討論；而主要對流位置之意義及空間分布特徵與前兩者有所差異，因此獨立成節進行說明。

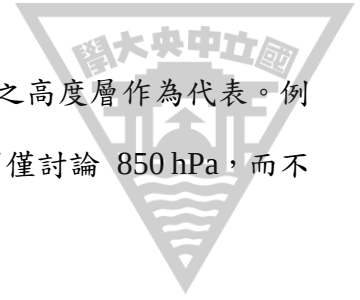
而時間分類上本研究參考 Chen and Chen (2003) 將會針對春(3 月 1 日至 5 月 15 日)、梅雨(5 月 16 日至 6 月 15 日)、夏(6 月 16 日至 8 月 31 日)、秋(9 月 1 日至 11 月 30 日)及冬(12 月 1 日至 2 月 28 日)五個季節的 MCS 進行分別探討。

3.1 強對流面積與頻率特徵

由於本研究所考慮之環境因子及其對應高度層數量眾多，因此不對所有環境因子逐一進行詳細討論，而是針對各季節選取敏感度較高之關鍵環境因子進行分析與說明。其篩選方式如下：

步驟一：選取相關係數 $|r| > 0.3$ 之區域，並計算其平均標準化敏感度 (Mean Normalized ESA)，此步驟由(圖3.1)進行舉例說明。

步驟二：依據平均標準化敏感度之大小，選取前三個變數群體 (Top 3 groups) 作為主要討論對象。若排序較高之環境因子屬於相同變數群體，則視為同一類別，並依序遞補下一個不同變數家族，以避免性質相近之環境因子重複討論。



步驟三：於各變數群體中，僅保留平均標準化敏感度最高之高度層作為代表。例如，若低層風場群體以 850 hPa 之平均標準化敏感度最高，則僅討論 850 hPa，而不再討論 700 hPa 或 1000 hPa。

步驟四：以代表變數作為主要討論對象，其餘同群體成員且同高度層則配合代表變數一併進行說明，以提供更完整之物理意義解釋。

各環境因子之分群方式列於表 3.1。

3.1.1 各季節關鍵環境因子選取結果

依據前述篩選規則，各季節強對流面積所對應之關鍵環境因子。春季之代表變數為 IVT_U、U_850 及 Z_700；梅雨季為 WS_700、IVT 及 Z_700；夏季為 U_500、q_500 及 Z_500；秋季為 WS_850、q_500 及 IVT_V；冬季則為 q_500、V_700 及 V_500。整體而言，各季節所選取之代表變數具有明顯差異，顯示不同季節之 MCS 強對流面積可能受到不同環境條件所控制，詳細各季季節群體主要代表變數及輔助因子數據可參照(表 3.2)。

頻率部分之選取結果。春季之代表變數為 IVT_U、U_1000 及 q_500；梅雨季為 WS_700、IVT 及 q_500；夏季為 U_500、q_500 及 Z_500；秋季為 IVT_V、V_850 及 q_500；冬季則為 IVT_V、V_700 及 θ_e _700。整體而言，其結果與強對流面積具有一定程度之相似性，但部分季節在代表變數及高度層選取上仍存在差異，詳細各季季節群體主要代表變數及輔助因子數據可參照(表 3.3)。

3.1.2 關鍵環境因子分析

由於強對流面積與頻率同屬強度相關指標，且其空間分布特徵相似，因此合併進

行討論。各季節將先針對強對流面積之前三個關鍵環境因子類群進行分析，再討論頻率之前三個關鍵環境因子類群，並依春、梅雨、夏、秋及冬季之順序進行說明。

而由皮爾森相關係數及標準化敏感度之物理意義而言，當環境因子與強對流面積、頻率呈正相關時，分別表示環境因子量值增加有利於 MCS 強對流面積增大、頻率增加；反之，若呈負相關，則表示環境因子量值減少較有利於上述 MCS 特徵之增強。

3.1.2.1 春季

1. 強對流面積

春季強對流面積之第一關鍵環境因子群為低層水氣運輸類群，其代表變數為 IVT_U，平均標準化敏感度為 2033.67 km²；同類群之輔助變數 IVT 與 IVT_V 的平均標準化敏感度則分別為 2014.18 km²及 1853.84 km²，顯示整體低層水氣運輸類群皆具有較高之敏感度。由空間分布（圖 3.2）可知，IVT_U（圖 3.2-a）之高相關係數及高平均標準化敏感度區域主要位於南海西側；IVT（圖 3.2-b）之高值區則由南海延伸至臺灣南部海域；IVT_V（圖 3.2-c）則主要分布於南海東側至菲律賓北方海域。整體而言，低層水氣運輸類群之高值區主要分布於臺灣南方與南海海域，顯示南海及其鄰近海域之水氣輸送增強，與臺灣附近 MCS 強對流面積增加具有一致性。

第二關鍵環境因子群為低層風類群，其代表變數為 850 hPa U 風，平均標準化敏感度為 1973.63 km²；同類群之輔助變數 850 hPa 風速及 850 hPa V 風之平均標準化敏感度分別為 1875.98 km²及 1860.16 km²，顯示整體低層風類群皆具有較高之敏感度。由（圖 3.3）可知，低層風類群之高相關係數及高平均標準化敏感度區域主要分布於臺灣南方與南海海域，其空間分布與低層水氣運輸類群大致一致，顯示春季影響 MCS 強對流面積之關鍵環境之低層風場主要可由 850 hPa 風場特徵反映。

第三關鍵環境因子群為重力位高度類群，其代表變數與高度層為 700 hPa 重力位高度，平均標準化敏感度為 1897.55 km²。由空間分布（圖 3.4）可知，其高相關係數



及高平均標準化敏感度區域主要位於華南沿岸附近，且皆呈現負值，顯示該區域之 700 hPa 重力位高度與臺灣附近 MCS 強對流面積具有負相關之關係。

2. 頻率

春季在頻率之第一關鍵環境因子群為低層水氣運輸類群，其代表變數為 IVT_U，平均標準化敏感度為 68.53 min；同類群之輔助變數 IVT 與 IVT_V 的平均標準化敏感度則分別為 66.72 min 及 63.92 min，顯示整體 IVT 類群皆具有較高之敏感度。由空間分布（圖 3.5）可知，低層水氣運輸類群之高相關及高平均標準化敏感度區域主要分布於臺灣南方與南海海域，其空間分布與前述春季強對流面積之低層水氣運輸類群相近，顯示南海及其鄰近海域之水氣輸送增強，同樣與臺灣附近 MCS 頻率增加具有一致性。

第二關鍵環境因子群為低層風類群，其代表變數為 1000 hPa U 風，平均標準化敏感度為 64.58 min；同類群之輔助變數 1000 hPa 風速及 1000 hPa V 風之平均標準化敏感度分別為 0 min 及 63.08 min。由於 1000 hPa 風速未具有相關係數 $|r| > 0.3$ 之區域，因此其平均標準化敏感度為 0，顯示春季頻率主要與低層風向變化相關性較高，而風速之影響則相對較小。由（圖 3.6）可知，低層風類群之高相關係數及高平均標準化敏感度區域主要分布於臺灣南方及南海海域，其空間分布與前述春季強對流面積之低層風類群大致一致，僅代表高度由 850 hPa 改為 1000 hPa。

第三關鍵環境因子群為濕熱力環境類群，其代表變數為 500 hPa 比濕，平均標準化敏感度為 61.41 min；同類群之輔助變數 500 hPa 相當位溫，平均標準化敏感度為 59.38 min。由空間分布（圖 3.7）可知，其高相關係數及高平均標準化敏感度區域主要位於台灣北部及海域上空，顯示該區域之 500 hPa 濕熱力環境類群與臺灣附近 MCS 頻率增加具有一致性。



3.1.2.2 梅雨季

1. 強對流面積

梅雨季強對流面積之第一關鍵環境因子群為低層風類群，其代表變數為 700 hPa 風速，平均標準化敏感度為 3089.61 km²；同類群之輔助變數 700 hPa U 風及 700 hPa V 風之平均標準化敏感度分別為 2940.05 km²及 2476.37 km²，顯示整體低層風類群皆具有較高之敏感度。而與春季強對流面積之低層風類群不同的是，代表高度由 850 hPa 上升至 700 hPa。而空間分布也有些許不同，由（圖 3.8）可知，700 hPa 風速（圖 3.7-a）之高相關係數及高平均標準化敏感度區域相較春季更加延伸至台灣南部海域；700 hPa U 風（圖 3.8-b）之高值區則由南海北面延伸至台灣南部海域；700 hPa V 風（圖 3.8-c）則主要分布於台灣東南部海域。此外，低層風類群之平均標準化敏感度亦較春季為高，顯示梅雨季 MCS 強對流面積對此高度層風場變化具有較高之敏感度。

第二關鍵環境因子群為低層水氣運輸類群，其代表變數為 IVT，平均標準化敏感度為 2954.83 km²；同類群之輔助變數 IVT_U 與 IVT_V 的平均標準化敏感度則分別為 2861.43 km²及 2605.75 km²，顯示整體 IVT 類群皆具有較高之敏感度。由空間分布（圖 3.9）可知，低層水氣運輸類群之高相關及高平均標準化敏感度區域主要分布於台灣南方與南海海域，其空間分布與前述春季強對流面積之低層水氣運輸類群相近，但平均標準化敏感度亦較春季為高，顯示南海及其鄰近海域之水氣輸送增強，顯示梅雨季 MCS 強對流面積對低層水氣運輸變化具有較高之敏感度。

第三關鍵環境因子群為重力位高度類群，其代表變數與高度層為 700 hPa 重力位高度，平均標準化敏感度為 2897.45 km²。由空間分布（圖 3.10）可知，其高值區域相較春季而言更往台灣區域延伸，且皆呈現負值，平均標準化敏感度亦較春季為高，



顯示該區域之 700 hPa 重力位高度與臺灣附近 MCS 強對流面積具有更為負相關之關係。

2. 頻率

梅雨季頻率之第一關鍵環境因子群為低層風類群，其代表變數為 700 hPa 風速，平均標準化敏感度為 90.07 min；同類群之輔助變數 700 hPa U 風及 700 hPa V 風之平均標準化敏感度分別為 83.18 min 及 74.46 min，顯示整體低層風類群皆具有較高之敏感度。而與春季頻率之低層風類群不同的是，代表高度由 1000 hPa 上升至 700 hPa。而空間分布由 (圖 3.11) 可知，低層風類群高相關及敏感度區域主要分布於南海及台灣東南部海域。此外，低層風類群之平均標準化敏感度亦較春季為高，顯示梅雨季 MCS 頻率對此高度層風場變化具有較高之敏感度。

第二關鍵環境因子群為低層水氣運輸類群，其代表變數為 IVT，平均標準化敏感度為 87.67 min；同類群之輔助變數 IVT_U 與 IVT_V 的平均標準化敏感度則分別為 87.32 min 及 80.38 min，顯示整體 IVT 類群皆具有較高之敏感度。由空間分布 (圖 3.12) 可知，低層水氣運輸類群之高相關及高平均標準化敏感度區域主要分布於台灣南方與南海海域，其空間分布與前述春季頻率之低層水氣運輸類群相近，但平均標準化敏感度亦較春季為高，顯示南海及其鄰近海域之水氣輸送增強，顯示梅雨季 MCS 頻率對低層水氣運輸變化具有較高之敏感度。

第三關鍵環境因子群為濕熱力環境類群，其代表變數為 500 hPa 比濕，平均標準化敏感度為 86.12 min；同變數之輔助變數 500 hPa 相當位溫，平均標準化敏感度為 86.02 min。由空間分布(圖 3.13) 可知，其高相關係數及高平均標準化敏感度區域相較春季不同，主要位於台灣中南部上空，且數值較春季起來較高。顯示該區域之 500 hPa 濕熱力環境類群與臺灣附近 MCS 頻率敏感度與春季比較高。



3.1.2.3 夏季

1. 強對流面積

夏季強對流面積之第一關鍵環境因子群為高層風類群，其代表變數為 500 hPa U 風，平均標準化敏感度為 2105.37 km^2 ；同類群之輔助變數 500 hPa V 風及 500 hPa 風速之平均標準化敏感度分別為 1650.84 km^2 及 0 km^2 。而空間分布部分，由 (圖 3.14) 可知，500 hPa U 風 (圖 3.14-a) 之高相關係數及高平均標準化敏感度區域主要位於台灣南部海域；500 hPa V 風 (圖 3.14-b) 之高值區則位於臺灣東部海域；500 hPa 風速 (圖 3.14-c) 則主要分布於南部延伸至東部海域。顯示夏季 MCS 強對流面積對此高度層風場變化具有較高之敏感度。

第二關鍵環境因子群為濕熱力環境類群，其代表變數為 500 hPa 比濕，平均標準化敏感度為 1980.12 km^2 ；同類群之輔助變數 500 hPa 相當位溫，平均標準化敏感度為 1950.14 km^2 。由空間分布(圖 3.15) 可知，其高相關係數及高平均標準化敏感度區域，主要位於台灣中南部上空。顯示該區域之 500 hPa 濕熱力環境類群與臺灣附近 MCS 強對流面積敏感度增加具有一致性。

第三關鍵環境因子群為重力位高度類群，其代表變數與高度層為 500 hPa 重力位高度，平均標準化敏感度為 1886.05 km^2 。由空間分布 (圖 3.16) 可知，其高值區域在華南一帶往台灣區域延伸，顯示該區域之 500 hPa 重力位高度與臺灣附近 MCS 強對流面積具有負相關之關係。

2. 頻率

夏季頻率之第一關鍵環境因子群為高層風類群，其代表變數為 500 hPa U 風，平均標準化敏感度為 90.16 min；同家族之輔助變數 500 hPa V 風及 500 hPa 風速之平均標準化敏感度分別為 74.02 min 及 0 min。而空間分布部分，由 (圖 3.17) 可



知，高值區域與同季強對流面積高層風類群相似。整體顯示夏季 MCS 頻率對此高度層風場變化具有較高之敏感度。

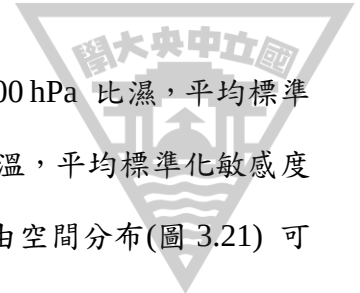
第二關鍵環境因子群為濕熱力環境類群，其代表變數為 500 hPa 比濕，平均標準化敏感度為 88.36 min；同類群之輔助變數 500 hPa 相當位溫，平均標準化敏感度為 88.26 min。由空間分布(圖 3.18) 可知，其高相關係數及高平均標準化敏感度區域，主要位於台灣中南部上空。顯示該區域之 500 hPa 濕熱力環境類群與臺灣附近 MCS 頻率敏感度增加具有一致性。

第三關鍵環境因子群為重力位高度類群，其代表變數與高度層為 500 hPa 重力位高度，平均標準化敏感度為 86.67 min。由空間分布（圖 3.19）可知，其高值區域在華南一帶往台灣區域延伸，顯示該區域之 500 hPa 重力位高度與臺灣附近 MCS 頻率具有負相關之關係。

3.1.2.4 秋季

1. 強對流面積

秋季強對流面積之第一關鍵環境因子群為低層風類群，其代表變數為 850 hPa 風速，平均標準化敏感度為 2076.79 km²；同類群之輔助變數 850 hPa V 風及 850 hPa U 風之平均標準化敏感度分別為 1952.56 km²及 0 km²。由於 850 hPa 風速未具有相關係數 $|r| > 0.3$ 之區域，因此其平均標準化敏感度為 0，顯示整體低層風類群敏感度主要以 V 風之分量與速度為主。由空間分布（圖 3.20）可知，850 hPa V 風（圖 3.20-a）之高相關係數及高平均標準化敏感度區域主要位於菲律賓東方海域至台灣東南方海域；850 hPa 風速（圖 3.20-b）之高值區則環繞台灣周邊海域；850 hPa U 風（圖 3.20-c）在此處則影響較無其餘兩者大。整體而言，低層風類群之高值區主要分布於台灣周邊與菲律賓東方海域，顯示此處之低層風增強，與臺灣附近 MCS 強對流面積增加具有一致性。



第二關鍵環境因子群為濕熱力環境類群，其代表變數為 500 hPa 比濕，平均標準化敏感度為 2009.54 km²；同類群之輔助變數 500 hPa 相當位溫，平均標準化敏感度為 0 km²，顯示此季節受中層溫度影響並無像水氣一樣顯著。由空間分布(圖 3.21) 可知，其高相關係數及高平均標準化敏感度區域主要位於台灣上空，顯示該區域之 500 hPa 濕熱力環境類群與臺灣附近 MCS 存在時長增加具有一致性。

第三關鍵環境因子群為低層水氣運輸類群，其代表變數為 IVT_V，平均標準化敏感度為 1992.09 km²；同類群之輔助變數 IVT 與 IVT_U 的平均標準化敏感度則分別為 1888.49 km²及 0 km²，顯示整體低層水氣群體敏感度主要以 V 風之分量與速度為主。由空間分布（圖 3.22）可知，IVT_V（圖 3.22-a）之高相關係數及高平均標準化敏感度區域主要位於菲律賓東方海域至台灣東南方海域；IVT（圖 3.22-b）之高值區則環繞台灣周邊海域；IVT_U（圖 3.22-c）在此處則影響較無其餘兩者大。整體而言，低層水氣運輸類群之高值區主要分布於台灣周邊與菲律賓東方海域，顯示此處之低層水氣運輸增強，與臺灣附近 MCS 強對流面積增加具有一致性。

2. 頻率

秋季頻率之第一關鍵環境因子群為低層水氣運輸類群，其代表變數為 IVT_V，平均標準化敏感度為 73.49 min；同類群之輔助變數 IVT 與 IVT_U 的平均標準化敏感度則分別為 68.86 min 及 0 min，顯示整體低層水氣群體敏感度主要以 V 風之分量與速度為主。由空間分布（圖 3.23）可知，低層水氣運輸類群之高值區與強對流面積相似，主要分布於台灣周邊與菲律賓東方海域，顯示此處之低層水氣運輸增強，與臺灣附近 MCS 頻率增加具有一致性。

第二關鍵環境因子群為低層風類群，其代表變數為 850 hPa V 風，平均標準化敏感度為 71.96 min；同類群之輔助變數 850 hPa 風速及 850 hPa U 風之平均標準化敏感度分別為 67.30 min 及 0 min，顯示整體低層風類群敏感度主要以 V 風之分量



與速度為主。由空間分布 (圖 3.24) 可知，低層風類群之高值區與強對流面積相似。整體而言，低層風類群之高值區主要分布主要於台灣周邊與菲律賓東方海域，顯示此處之低層風增強，與臺灣附近 MCS 頻率增加具有一致性。

第三關鍵環境因子群為濕熱力環境類群，其代表變數為 500 hPa 比濕，平均標準化敏感度為 69.55 min；同類群之輔助變數 500 hPa 相當位溫，平均標準化敏感度為 65.03 min。由空間分布(圖 3.25) 可知，其高相關係數及高平均標準化敏感度區域主要位於台灣東南陸地及海域，顯示該區域之 500 hPa 濕熱力環境類群與臺灣附近 MCS 頻率增加具有一致性。

3.1.2.5 冬季

1. 強對流面積

冬季強對流面積之第一關鍵環境因子群為濕熱力環境類群，其代表變數為 500 hPa 比濕，平均標準化敏感度為 1800.80 km²；同類群之輔助變數 500 hPa 相當位溫，平均標準化敏感度為 1674.13 km²。由空間分布(圖 3.26) 可知，其高相關係數及高平均標準化敏感度區域主要位於台灣北部陸地及海面，顯示該區域之 500 hPa 濕熱力環境類群與臺灣附近 MCS 強對流面積增加具有一致性。

第二關鍵環境因子群為低層風類群，其代表變數為 700 hPa V 風，平均標準化敏感度為 1731.13 km²；同類群之輔助變數 700 hPa 風速及 700 hPa U 風之平均標準化敏感度分別為 1598.90 km²及 1404.36 km²。由空間分布 (圖 3.27) 可知，700 hPa V 風 (圖 3.27-a) 之高相關係數及高平均標準化敏感度區域主要位於台灣南方海域；700 hPa 風速 (圖 3.27-b) 之高值區則環繞台灣西南部陸地及海域；700 hPa U 風 (圖 3.27-c) 則遠在中南半島因此評估真實影響並未特別明顯。整體而言，低層風類群之高值區主要分布於台灣西南陸地及海域，顯示此處之低層風增強，與臺灣附近 MCS 強對流面積增加具有一致性。

第三關鍵環境因子群為高層風類群，其代表變數為 500 hPa V 風，平均標準化敏感度為 1609.26 km²；同類群之輔助變數 500 hPa U 風及 500 hPa 風速之平均標準化敏感度分別為 1365.67 km²及 0 km²，顯示高層風類型風向量有較高敏感度。由空間分布（圖 3.28）可知，500 hPa V 風（圖 3.28-a）之高相關係數及高平均標準化敏感度區域主要位於台灣海峽區域；500 hPa U 風（圖 3.28-b）之高值區則環繞中南半島一帶；500 hPa 風速（圖 3.28-c）則在海南島南方。整體而言，高層風類群之高值區主要分布為 V 風在台灣海峽，顯示此處之高層風增強，臺灣附近 MCS 強對流面積增加。

2. 頻率

冬季頻率之第一關鍵環境因子群為低層水氣運輸類群，其代表變數為 IVT_V，平均標準化敏感度為 59.87 min；同類群之輔助變數 IVT 與 IVT_U 的平均標準化敏感度則分別為 57.11 min 及 0 km²，顯示整體低層水氣群體敏感度主要以 V 風之分量與速度為主。由空間分布（圖 3.29）可知，低層水氣運輸類群之高值區與強對流面積相似，主要分布於台灣周邊與菲律賓東方海域，顯示此處之低層水氣運輸增強，與臺灣附近 MCS 頻率增加相關。

第二關鍵環境因子群為低層風類群，其代表變數為 700 hPa V 風，平均標準化敏感度為 58.47 min；同類群之輔助變數 700 hPa 風速及 700 hPa U 風之平均標準化敏感度分別為 53.43 min 及 52.71 min。由空間分布（圖 3.30）可知，低層風類群之高值區與強對流面積相似。整體而言，低層風類群之高值區主要分布主要於台灣周邊與菲律賓東方海域，顯示此處之低層風增強，與臺灣附近 MCS 頻率增加相關。

第三關鍵環境因子群為濕熱力環境類群，其代表變數為 700 hPa 相當位溫，平均標準化敏感度為 56.95 min；同類群之輔助變數 700 hPa 比濕，平均標準化敏感度為 56.17 min。由空間分布（圖 3.31）可知，其高相關係數及高平均標準化敏感度區域主



要位於台灣上空，顯示該區域之 700 hPa 濕熱力環境類群與臺灣附近 MCS 頻率增加具有一致性。

各季節總整理表請見：強對流面積(表 3.2)、頻率(表 3.3)。各季節示意圖請見：強對流面積(圖 3.32)、頻率(圖 3.33)。

3.1.3 各季節間環境因子之比較

進行完季內比較後，本小節進一步針對各季節共同具有代表性之環境因子進行比較，以探討其季節間之差異。由各季節強對流面積及頻率 Top3 變數類群之結果可知，低層風場、低層水氣運輸及中層暖濕水氣皆為各季節中較重要之環境因子。然而，低層風場之代表高度會因季節而有所不同，主要分布於 700、850 及 1000 hPa，因此本研究後續以低層水氣運輸 (IVT) 作為代表變數，以反映整體低層水氣輸送特徵，同時選用 IVT 純量值進行比較，以降低不同高度層所造成之複雜性。此外，中層暖濕水氣類群於暖季主要由 q 與 θ_e 共同反映其特徵，由於各季節熱力類群多以比濕(q)為代表變數，而非 θ_e ，因此為兼顧各季節之可比較性，本研究統一採用 500hPa 比濕作為中層暖濕水氣之代表變數，以利各季節間之比較。

3.1.3.1 低層水氣運輸 (IVT)

1. 強對流面積

由各季節平均標準化敏感度可知，春季、梅雨季、夏季、秋季及冬季分別為 2014.48、2954.83、1782.36、1888.49 及 1491.46 km²。空間分布方面由(圖 3.34)可知，暖季(春季、梅雨季及夏季)之高相關係數及高平均標準化敏感度區域主要分布於南海至臺灣西南方海域；相較之下，冷季(秋季及冬季)則主要集中於臺灣沿海，並於臺灣東部海面呈現明顯帶狀分布。整體而言，梅雨季具有較高之相關係數，而其強對



流面積之變異程度亦為五季中最高(圖 2.2-a)，因此呈現最大的平均標準化敏感度，此結果亦符合式(2.12)所描述之關係。

2. 頻率

由各季節平均標準化敏感度可知，春季、梅雨季、夏季、秋季及冬季分別為 66.72、87.67、74.43、68.86 及 57.11 min。空間分布方面由(圖 3.35)可知，暖季(春季、梅雨季及夏季)與冷季(秋季及冬季)之高相關係數及高平均標準化敏感度區域，皆與強對流面積相似。整體而言，梅雨季同樣有最大的平均標準化敏感度(圖 2.2-b)。

3.1.3.2 中層水氣維持(500 hPa 比濕)

1. 強對流面積

由各季節平均標準化敏感度可知，春季、梅雨季、夏季、秋季及冬季分別為 1716.69、2656.70、1980.12、2009.54 及 1800.80 km²。空間分布方面由(圖 3.36)可知，各季節之高相關係數及高平均標準化敏感度區域皆主要分布於臺灣陸地與近海上空，僅在位置上略有差異。其中，春季及冬季主要位於臺灣北部至北部海面上空，梅雨季、夏季及秋季則較偏向臺灣中部或南部區域。值得注意的是，夏季及冬季雖具有較梅雨季更高的相關係數，但平均標準化敏感度仍以梅雨季最高。此差異與強對流面積之變異程度有關，梅雨季強對流面積的分布變異明顯較其他季節大(圖 2.2-a)，因此即使夏季及冬季相關係數較高，其平均標準化敏感度仍未超過梅雨季。此結果亦呼應式(2.12)所示之關係，顯示平均標準化敏感度不僅取決於相關係數大小，也受到 MCS 特徵變異程度的影響。

2. 頻率

由各季節平均標準化敏感度可知，春季、梅雨季、夏季、秋季及冬季分別為 61.41、86.12、88.36、69.55 及 56.15 min。空間分布方面由(圖 3.37)可知，各季節之高相關



係數及高平均標準化敏感度區域，皆與強對流面積相似。整體而言，梅雨季同樣有最大的平均標準化敏感度(圖 2.2-b)。

3.2 緯度特徵

主要對流位置之關鍵環境因子選取方式與強對流面積及頻率相同，因此以下依據相同之篩選規則進行分析。

3.2.1 各季節環境因子之比較

而緯度部分。春季之主要代表變數為 IVT_U 、 U850 及 q_500；梅雨季則為 U_850、IVT_U 及 q_500；夏季主要為 q_500、WSS_U 及 U_700；秋季主要為 q_700 、 V1000 及 IVT_U；冬季則以 V_1000 、 IVT 及 θ_e _1000 作為代表變數。顯示不同季節之 MCS 緯度可能受到不同環境條件所控制，詳細各季季節群體主要代表變數及輔助因子數據可參照(表3.4)。

3.2.2 關鍵環境因子分析

本小節將針對緯度之前三個關鍵環境因子類群進行分析，並依春、梅雨、夏、秋及冬季之順序進行說明。

當環境因子與主要對流位置呈正相關時，代表環境因子量值增加有利於 MCS 主要對流位置向北移動；反之，若呈負相關，則代表環境因子量值減少時，較有利於 MCS 主要對流位置向北移動。

3.2.2.1 春季

春季緯度之第一關鍵環境因子群為低層水氣運輸類群，其代表變數為 IVT_U，平均標準化敏感度為 0.60° ；同類群之輔助變數 IVT 與 IVT_V 的平均標準化敏感度則分別為 0.54° 及 0.48° ，顯示整體低層水氣運輸類群皆具有較高之敏感度。由空間

分布(圖 3.38)可知。整體低層水氣運輸類群之高相關及敏感度值區主要分布於華南沿海及台灣海峽，顯示此地區低層水氣輸送增強，與臺灣附近 MCS 緯度增加相關。

第二關鍵環境因子群為低層風類群，其代表變數為 850 hPa U 風，平均標準化敏感度為 0.57° ；同類群之輔助變數 850 hPa 風速及 850 hPa V 風之平均標準化敏感度分別為 0.52° 及 0.49° ，顯示整體低層風類群皆具有較高之敏感度。由(圖 3.39)可知，低層風類群之高相關係數及高平均標準化敏感度區域主要分布於華南沿岸與台灣海峽，其空間分布與低層水氣運輸類群大致一致，顯示春季影響 MCS 緯度之關鍵環境之低層風場主要可由 850 hPa 風場特徵反映。

第三關鍵環境因子群為濕熱力環境類群，其代表變數為 500 hPa 比濕，平均標準化敏感度為 0.51° ；同類群之輔助變數 500 hPa 相當位溫，平均標準化敏感度為 0.47° ，由空間分布(圖 3.40)可知，其高相關係數及高平均標準化敏感度區域呈現偶極狀況，正值位於台灣北部海面，負值位於台灣南部海面，顯示兩區域之 500 hPa 濕熱力環境類群與臺灣附近 MCS 緯度增加具有相反性。

3.2.2.2 梅雨季

梅雨季緯度第一關鍵環境因子群為低層風類群，其代表變數為 850 hPa U 風，平均標準化敏感度為 0.70° ；同類群之輔助變數 850 hPa 風速及 850 hPa V 風之平均標準化敏感度分別為 0.64° 及 0.61° ，顯示整體低層風類群皆具有較高之敏感度。由(圖 3.41)可知，低層風類群之高相關係數及高平均標準化敏感度區域主要分布於華南沿岸與台灣海峽，其空間分布與低層水氣運輸類群大致一致，顯示梅雨季影響 MCS 緯度之關鍵環境之低層風場主要可由 850 hPa 風場特徵反映。

第二關鍵環境因子群為低層水氣運輸類群，其代表變數為 IVT_U，平均標準化敏感度為 0.69° ；同類群之輔助變數 IVT 與 IVT_V 的平均標準化敏感度則分別為

0.67°N 及 0.65°，顯示整體低層水氣運輸類群皆具有較高之敏感度。由空間分布 (Fig. 圖 3.42) 可知。整體低層水氣運輸類群之高相關及敏感度值區主要分布於華南沿海及台灣海峽，顯示此地區低層水氣輸送增強，與臺灣附近 MCS 緯度增加相關。

第三關鍵環境因子群為濕熱力環境類群，其代表變數為 500 hPa 比濕，平均標準化敏感度為 0.67°；同類群之輔助變數 500 hPa 相當位溫，平均標準化敏感度為 0.67°，由空間分布 (圖 3.43) 可知，其高相關係數及高平均標準化敏感度區域呈現偶極狀況，正值位於台灣北部海面，負值位於台灣南部海面，顯示兩區域之 500 hPa 濕熱力環境類群與臺灣附近 MCS 緯度增加具有相反性。

3.2.2.3 夏季

夏季緯度之第一關鍵環境因子群為濕熱力環境類群，其代表變數為 500 hPa 比濕，平均標準化敏感度為 0.61°；同類群之輔助變數 500 hPa 相當位溫，平均標準化敏感度為 0.57°，由空間分布 (圖 3.44) 可知，其高相關係數及高平均標準化敏感度區域呈現偶極狀況，正值位於台灣北部海面，負值位於台灣南部海面，顯示兩區域之 500 hPa 濕熱力環境類群與臺灣附近 MCS 緯度增加具有相反性。

第二關鍵環境因子群為垂直風切類群，其代表變數為垂直風切 U 分量，平均標準化敏感度為 0.59°；同類群之輔助變數 垂直風切量值 與 垂直風切 V 分量 的平均標準化敏感度則分別為 0.55° 及 0°，顯示整體垂直風切運輸類群皆具有較高之敏感度。由空間分布 (圖 3.45) 可知。整體垂直風切類群之高相關及敏感度值區主要分布於華南延伸至台灣北部海面一帶，顯示此地區垂直風切輸送增強，與臺灣附近 MCS 緯度增加相關。

第三關鍵環境因子群為低層風類群，其代表變數為 700 hPa U 風，平均標準化敏感度為 0.59°；同類群之輔助變數 700 hPa 風速及 700 hPa V 風之平均標準化敏

感度分別為 0.57° 及 0° ，顯示低層風類群主要是 U 分量與風速有較高之敏感度。由 (圖 3.46) 可知，低層風類群之高相關係數及高平均標準化敏感度區域主要分布於華南延伸至台灣北部海面一帶，顯示夏季影響 MCS 緯度之關鍵環境之低層風場主要可由 700 hPa 風場特徵反映。

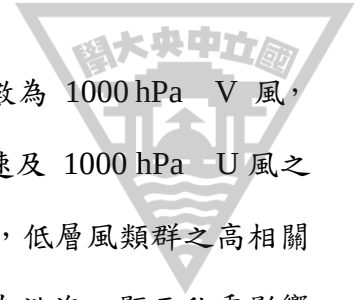
3.2.2.4 秋季

秋季緯度之第一關鍵環境因子群為濕熱力環境類群，其代表變數為 700 hPa 比濕，平均標準化敏感度為 0.56° ；同類群之輔助變數 700 hPa 相當位溫，平均標準化敏感度為 0.54° ，由空間分布(圖 3.47) 可知，其高相關係數及高平均標準化敏感度區域呈現偶極狀況，正值位於台灣北部海面，負值位於台灣南部海面，顯示兩區域之 700 hPa 濕熱力環境類群與臺灣附近 MCS 緯度增加具有相反性。

第二關鍵環境因子群為低層風類群，其代表變數為 1000 hPa V 風，平均標準化敏感度為 0.53° ；同類群之輔助變數 1000 hPa U 風及 1000 hPa 風速之平均標準化敏感度分別為 0.52° 及 0.49° 。由 (圖 3.48) 可知，低層風類群之高相關係數及高平均標準化敏感度區域主要環繞台灣周邊海域，顯示秋季影響 MCS 緯度之關鍵環境之低層風場主要可由 1000 hPa 風場特徵反映。

第三關鍵環境因子群為低層水氣運輸類群，其代表變數為 IVT_U，平均標準化敏感度為 0.52° ；同類群之輔助變數 IVT 與 IVT_V 的平均標準化敏感度則分別為 0.51° 及 0.51° ，顯示整體低層水氣運輸類群皆具有較高之敏感度。由空間分布(圖 3.49) 可知。整體低層水氣運輸類群之高相關及敏感度值區主要分布於華南沿海及台灣海峽，顯示此地區低層水氣輸送增強，與臺灣附近 MCS 緯度增加相關。

3.2.2.5 冬季



冬季緯度之第一關鍵環境因子群為低層風類群，其代表變數為 1000 hPa V 風，平均標準化敏感度為 0.54° ；同類群之輔助變數 1000 hPa 風速及 1000 hPa U 風之平均標準化敏感度分別為 0.48° 及 0.46° 。由 (圖 3.50) 可知，低層風類群之高相關係數及高平均標準化敏感度區域主要位於南海延伸至台灣西南沿海，顯示秋季影響 MCS 緯度之關鍵環境之低層風場主要可由 1000 hPa 風場特徵反映。

第二關鍵環境因子群為低層水氣運輸類群，其代表變數為 IVT，平均標準化敏感度為 0.52° ；同類群之輔助變數 IVT_V 與 IVT_U 的平均標準化敏感度則分別為 0.51° 及 0.50° ，顯示整體低層水氣運輸類群皆具有較高之敏感度。由空間分布(圖 3.51) 可知。整體低層水氣運輸類群之高相關及敏感度值區主要分布於華南沿海及台灣海峽，顯示此地區低層水氣輸送增強，與臺灣附近 MCS 緯度增加相關。

第三關鍵環境因子群為濕熱力環境類群，其代表變數為 1000 hPa 相當位溫，平均標準化敏感度為 0.46° ；同類群之輔助變數 1000 hPa 比濕，平均標準化敏感度為 0.46° ，由空間分布(圖 3.52) 可知，其高相關係數及高平均標準化敏感度位於中國南部沿岸與南海北部，顯示該區域之 1000 hPa 濕熱力環境類群與臺灣附近 MCS 緯度增加相關。

緯度各季節總整理表請見(表 3.4)。緯度各季節示意圖請見(圖 3.53)

3.2.3 各季節間環境因子之比較

緯度的各季節環境因子比較選取與強對流面積及頻率一致，選用低層水氣運輸純量(IVT)以及中層水氣(500 hPa比濕)。

3.2.3.1 低層水氣運輸 (IVT)

由各季節平均標準化敏感度可知，春季、梅雨季、夏季、秋季及冬季分別為 0.54° 、 0.67° 、 0.52° 、 0.50° 及 0.52° 。空間分布方面由(圖 3.54)可知，各季節之相關係數與敏感



度正值高值區皆主要分布於華南沿海及臺灣海峽一帶，顯示該區域 IVT 增強與 MCS 位置北移具有明顯關聯。此外，梅雨季不僅相關係數較其他季節明顯，其 MCS 緯度分布之變異程度亦為五季中最高（圖 2.2-c），因此呈現最高之平均標準化敏感度，整體結果亦符合式（2.12）所示之關係。

3.2.3.2 中層水氣維持（500 hPa 比濕）

由各季節平均標準化敏感度可知，春季、梅雨季、夏季、秋季及冬季分別為 0.51、0.67、0.61、0.55 及 0.52^o。空間分布方面由(圖 3.55)可知，各季節之高相關係數及高平均標準化敏感度區域皆呈現偶極分布，正值區主要位於臺灣北部海面，負值區則位於臺灣南部海面。整體而言，各季節差異主要表現在高值區之強度，其中春、冬季於臺灣北部海面之高值區較為明顯，顯示該區域中層比濕變化對 MCS 緯度具有較大的影響；秋季則以巴士海峽附近之訊號最為顯著。另一方面，梅雨季除了具有最明顯的相關係數分布外，(圖 2.2-c)顯示其 MCS 緯度分布較其他季節分散，而其標準差亦為五季中最大，因此平均標準敏感度達到最高，與式（2.11）所描述之關係一致。



第四章 環境機制分析

由於相關係數與系集敏感度分析主要用於描述環境因子與 MCS 特徵間之統計關係，無法直接解釋其背後之物理機制，因此本章進一步針對第三章季節間比較所篩選之跨季節代表性環境因子進行探討。考量不同季節共同的重要性及篇幅安排，本章以低層水氣運輸及中層水氣（500 hPa 比濕）為主要分析對象，探討其在不同季節下對 MCS 特徵之影響。

4.1 強對流面積與頻率特徵之環境機制

強對流面積與頻率皆屬於 MCS 強度指標。由於 Yang(2022)已研究 MCS 環境背景場與非 MCS 環境場之背景差異，因此本章於機制分析時，分別選取各季節 MCS 強度特徵前 10%（Top 10%）及後 50%（Bottom 50%）之個案，計算其對應時間之背景環境場平均，以比較不同強度 MCS 所對應之環境差異。

Top 10% 代表強度最高之極端類群，而 Bottom 50% 則代表中弱強度之 MCS。相較於 Bottom 10%，Bottom 50% 較能反映一般 MCS 所處之環境背景，同時避免比較結果受到接近非 MCS 環境之個案影響，使比較結果更具代表性與研究意義。

由於強對流面積與頻率於各季節之環境場分布極為相似，僅不同群體間之量值略有差異，因此本節將兩者合併討論。

4.1.1 低層水氣運輸（IVT）

強對流面積和頻率

由春季強對流面積(圖4.1-a)及頻率(圖4.2-a) Top 10%群體可知，較強的西南風持續將南海地區之水氣輸送至臺灣海峽及臺灣西北部附近，提供 MCS 發展所需之水氣條件，有利於對流系統持續發展，進而使強對流面積及頻率增加。相較之下，Bottom



50% 個案之西南風較偏北，水氣輸送路徑較偏離臺灣，且 IVT 量值較低，使臺灣附近之水氣供應相對不足，因此 MCS 發展及維持能力較弱，強對流面積亦較 Top 10% 個案小。此結果與第三章 ESA 分析一致，顯示春季 MCS 強度對低層水氣運輸具有相關性。

而梅雨季強對流面積(圖4.1-b)及頻率(圖4.2-b)，整體環境場分布與春季相似，但梅雨季 IVT 高值區之量值更高，顯示低層水氣供應較春季更為充足，因此更有利於 MCS 強對流面積擴大及頻率增加。此外，Top 10% 與 Bottom 50% 群體之環境場差異亦與第三章 ESA 分析結果一致，顯示梅雨季 MCS 強度對低層水氣運輸具有較高之敏感性。

而夏季強對流面積(圖4.1-c)及頻率(圖4.2-c)，Top 10% 與 Bottom 50% 群體皆由偏南風將南海水氣輸送至臺灣，但 Top 10% 群體之水氣輸送較為強勁，且臺灣西南沿海存在一明顯之 IVT 高值區，顯示低層水氣供應更為充足，因此更有利於 MCS 強對流面積擴大及頻率增加。整體而言，Top 10% 與 Bottom 50% 群體之環境場差異與第三章 ESA 分析結果之相關性相符。

而秋季強對流面積(圖4.1-d)及頻率(圖4.2-d)，Top 10% 群體較強的南風持續將低緯地區及菲律賓一帶之水氣輸送至臺灣東方海域，提供臺灣附近較充足的低層水氣，有利於 MCS 維持與發展，進而促使強對流面積擴大及頻率增加。相較之下，Bottom 50% 群體受較強烈東北風影響，水氣經巴士海峽後轉而往南海輸送，使臺灣附近水氣供應相對不足，因此 MCS 發展及維持能力較弱，其強對流面積及頻率亦低於 Top 10% 群體。

而冬季強對流面積(圖4.1-e)及頻率(圖4.2-e)，整體環境場分布與秋季相似，Top



10% 與 Bottom 50% 群體之差異同樣來自東北風的影響。然而，相較於秋季，冬季 Top 10% 於臺灣東部海域之 IVT 量值及影響範圍更大，而 Bottom 50% 之 IVT 量值則進一步減弱，使兩群體間的差異更加明顯。此結果與第三章 ESA 分析結果一致，顯示冬季 MCS 強度與低層水氣運輸具有明顯關聯。

4.1.2 中層水氣維持（500 hPa 比濕）

強對流面積和頻率

在春季強對流面積(圖4.3-a)及頻率(圖4.4-a)中層水氣（500 hPa 比濕）部分，Top 10% 與 Bottom 50% 群體之主要差異在於臺灣上空中層水氣的分布。Top 10% 群體推測因低層水氣輸送較強，使更多水氣經抬升後進入中層，有利於維持 MCS 發展；相較之下，Bottom 50% 群體之中層水氣較少，因此 MCS 發展及維持能力較弱，其強對流面積及頻率亦低於 Top 10% 群體。此結果與第三章 ESA 分析一致，顯示春季 MCS 強度與中層水氣具有明顯關聯。

梅雨季強對流面積(圖4.3-b)及頻率(圖4.4-b)，Top 10% 與 Bottom 50% 群體之主要差異在於中國內陸中層高水氣區是否延伸至臺灣上空。Top 10% 群體可觀察到高水氣區由中國內陸延伸至臺灣，推測可提供較充足的中層水氣，有利於對流系統維持與發展；相較之下，Bottom 50% 群體之高水氣區並未明顯延伸至臺灣，因此 MCS 強度亦較 Top 10% 群體弱。此外，梅雨季整體中層水氣量亦較春季豐沛，顯示中層水氣對 MCS 發展的重要性較春季更為明顯，此結果亦與第三章 ESA 分析結果一致。

夏季強對流面積(圖 4.3-c)及頻率(圖 4.4-c)，整體中層水氣分布與梅雨季相似。Top 10% 群體推測因低層水氣輸送較強，使更多水氣經抬升後進入中層，因此中層水氣較為豐沛，有利於對流系統維持與發展；反之，Bottom 50% 群體之中層水氣相對不足，使 MCS 較不易維持與發展。



秋季強對流面積(圖 4.3-d)及頻率(圖 4.4-d)，Top 10% 與 Bottom 50% 群體之主要差異在於南海中層高水氣帶是否延伸至臺灣。Top 10% 群體之中層高水氣帶延伸至臺灣，且高水氣中心位於臺灣附近，有利於對流系統維持與發展；相較之下，Bottom 50% 群體之高水氣帶未明顯延伸至臺灣，使中層水氣相對不足，因此 MCS 較不易維持與發展。

冬季強對流面積(圖4.3-e)及頻率(圖4.4-e)，Top 10% 與 Bottom 50% 群體之主要差異在於菲律賓東方海域及赤道中層高水氣帶是否延伸至臺灣。Top 10% 群體之中層高水氣帶可一路延伸至臺灣附近，使臺灣上空維持較充足的中層水氣，有利於對流系統持續發展；反之，Bottom 50% 群體之高水氣帶主要集中於菲律賓東方海域，未能持續延伸至臺灣，因此 MCS 較不易維持與發展。此結果與第三章 ESA 分析一致，顯示冬季 MCS 強度與中層水氣具有明顯關聯。

4.2 緯度特徵之環境機制

由於主要對流位置屬於位置特徵，而非強度特徵，因此其群體選取方式與強對流面積及存在時間不同。此外，考量 QPESUMS 雷達觀測範圍及本研究以臺灣附近 MCS 為主要探討對象，若直接選取 Top 10% 或 Bottom 50% 個案，部分 MCS 可能已遠離臺灣及其鄰近海域，無法充分反映對臺灣之影響。因此，本研究改以主要對流位置之緯度區間作為群體分類依據，以比較不同位置 MCS 所對應之環境場差異。

本研究將主要對流位置介於 24.5°N – 25.5°N 者定義為北部群體，而介於 22.5°N – 23.5°N 者定義為南部群體，作為後續環境場比較之分類依據。



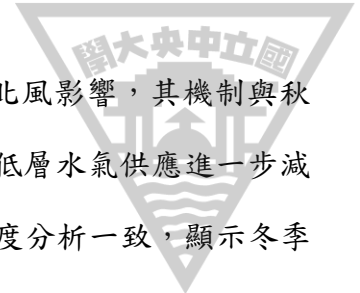
4.2.1 低層水氣運輸 (IVT)

春季由(圖 4.5-a)可知，北部與南部群體皆由西南風提供主要水氣來源，其主要差異在於 IVT 高值區的位置。北部群體之 IVT 高值區較偏北，使低層水氣輸送集中於臺灣北部，因此 MCS 較容易於北部發展；反之，南部群體之 IVT 高值區偏向南部，使 MCS 主要發展於臺灣南部。此結果與第三章 ESA 分析一致，顯示臺灣海峽附近低層水氣輸送位置與 MCS 南北位置具有一致性。

梅雨季由(圖 4.5-b)可知，北部與南部群體之低層水氣運輸方向皆與春季相似，均以西南風作為 MCS 發展之主要水氣來源。然而，梅雨季整體 IVT 量值明顯高於春季，顯示低層水氣供應更為充足。此外，北部群體之 IVT 高值區主要位於臺灣西北方海域，南部群體則位於臺灣南方海域，顯示 IVT 高值區仍會隨西南風方向改變而發生南北位移，其轉折位置主要位於臺灣海峽一帶，此部分結果機制與 Ke et.al(2025)相似。

夏季由(圖 4.5-c)可知，整體以西南偏南風作為 MCS 發展之主要水氣來源。相較於南部群體，北部群體於華南沿岸至臺灣西北部附近具有較強的 U 風分量，使低層水氣進一步向北輸送，IVT 高值區亦隨之北移，因此有利於 MCS 發展位置北移；反之，南部群體因 U 風分量較弱，IVT 高值區主要位於臺灣西南部，使 MCS 較容易發展於南部。此結果與第三章系集敏感度分析一致，顯示華南沿岸至臺灣海峽北部附近 U 風分量的增強，有利於低層水氣向北輸送，進而影響 MCS 發展位置。

秋季由(圖 4.5-d)可知，南、北群體最大的差異來自臺灣海峽附近東北風的影響。北部群體受東北風影響較小，來自赤道及南海的水氣仍可沿臺灣海峽北上，使 IVT 高值區延伸至臺灣北部，因此 MCS 較容易發展於北部；反之，南部群體受東北風影響，使低層水氣輸送受阻，IVT 高值區主要集中於臺灣南部，MCS 發展位置亦偏向南部。



冬季由(圖4.5-e)可知，MCS 南北位置之差異同樣受到東北風影響，其機制與秋季相似。然而，相較於秋季，冬季整體 IVT 量值更低，顯示低層水氣供應進一步減弱，使 IVT 高值區分布更為侷限。此結果與第三章系集敏感度分析一致，顯示冬季 MCS 南北位置仍主要受到臺灣東部海域低層水氣運輸及 IVT 高值區分布所控制。

4.2.2 中層水氣維持 (500 hPa 比濕)

在春季中層水氣 500hPa 比濕部分，由(圖4.6-a)可知，北部群體之高比濕區主要位於臺灣北部，而南部群體則位於臺灣南部。此差異可能與低層水氣輸送後經地形抬升，使中層水氣於不同區域累積有關。此結果亦與第三章系集敏感度分析一致，顯示北部地區中層水氣增加有利於 MCS 發展位置北移；反之，南部地區中層水氣增加時，MCS 則較容易發展於南部。

梅雨季由(圖4.6-b)可知，整體水氣量大於春季。北部群體之中層高水氣區由中國內陸延伸至臺灣北部，提供北部地區較充足之中層水氣，有利於 MCS 發展位置北移。相較之下，南部群體之中層高水氣區則主要延伸至臺灣南部，使中層水氣集中於南部，因此 MCS 較容易發展於南部。此差異推測與低層水氣輸送至臺灣後經地形抬升，使中層水氣於不同區域累積有關。

夏季由(圖4.6-c)可知，整體中層水氣分布與梅雨季相似，北部群體之中層高水氣區主要延伸至臺灣北部，南部群體則延伸至臺灣南部，與 MCS 發展位置相互對應。顯示夏季 MCS 南北位置同樣受到中層水氣分布所影響。

秋季由(圖4.6-d)可知，北部與南部群體之差異主要表現在臺灣上空中層水氣的分布。北部群體之中層高水氣區較南部群體更向北延伸；相較之下，南部群體受東北風影響，使低層水氣較不易持續向北輸送，因此中層高水氣區未明顯向北擴展。此現象



與前述低層水氣運輸之差異相呼應，即低層水氣輸送位置不同，進而影響中層水氣的分布。

冬季由(圖4.6-e)可知，北部與南部群體之主要差異同樣出現在臺灣東部海面之中層高水氣區。北部群體之中層高水氣區較向北延伸，而南部群體則受東北風影響，使中層高水氣區較不易向北延伸。此現象與前述低層水氣運輸之差異相呼應，並與第三章系集敏感度分析結果一致，顯示冬季中層水氣分布仍為影響 MCS 南北位置的重要環境因子。

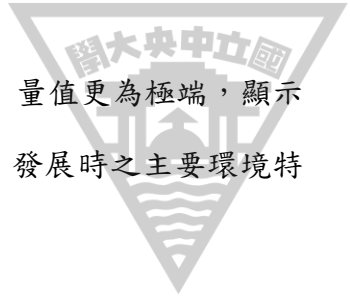
4.3 極端個案分析

完成各季平均背景環境場分析後，本節進一步透過代表性個案探討 MCS 發生時之實際環境場，以補充平均場分析無法呈現之個別事件特徵。由於緯度特徵採區間分群方式進行比較，不易選取具代表性之個案，因此本節僅針對強度特徵進行討論，並選取各季頻率最多且強對流面積最大之 MCS 作為代表個案。後續將針對各代表個案之低層水氣運輸及中層水氣維持進行分析，以探討其對 MCS 發展之影響。

各季代表個案之雷達回波如(圖4.7)所示，排列順序依序為春季、梅雨季、夏季、秋季及冬季。

4.3.1 低層水氣運輸 (IVT)

春季極端個案顯示(圖4.8-a)，強西南風由海南島一帶將水氣輸送至臺灣西南方海域，IVT 高值約可達 $700 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 。梅雨季之空間分布(圖4.8-b)與春季相似，但 IVT 量值明顯增加，且呈現帶狀高值區，最高可達約 $1000 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 。夏季(圖4.8-c)則以偏南風將水氣輸送至臺灣，IVT 高值區集中於台灣西南海域一帶。秋季(圖4.8-d)主要由東南風將低緯地區附近水氣輸送至臺灣，IVT 高值區集中於巴士海峽一帶。冬季(圖4.8-e)則由偏南風將水氣輸送至臺灣東部海域。整體而言，各季極端個案之 IVT



空間分布皆與各季 Top 10% 平均場具有相當一致性，但 IVT 量值更為極端，顯示 Top 10% 群體之平均 IVT 背景場能夠合理反映各季強 MCS 發展時之主要環境特徵。

4.3.2 中層水氣維持（500 hPa 比濕）

500 hPa 比濕方面，春季極端個案顯示(圖 4.9-a)，中層高水氣區主要位於臺灣西南沿海，量值約為 6 g kg^{-1} 。梅雨季(圖 4.9-b)則呈現由廣東沿海延伸至臺灣上空之帶狀高水氣區，最高量值可超過 6.6 g kg^{-1} ，為五季中最為明顯。夏季(圖 4.9-c)整體分布與梅雨季相似，但高水氣帶之連續性及量值均較弱。秋季(圖 4.9-d)高水氣區由低緯地區延伸至臺灣南部海域，主要分布於巴士海峽附近；冬季(圖 4.9-e)高中層水氣帶則經臺灣東部海域延伸至北部海域，整體水氣量較秋季偏弱。整體而言，各季代表個案之 500 hPa 比濕分布皆與 Top 10% 平均背景場相當一致，顯示平均背景場具有良好的代表性。



第五章 MCS 特徵對降雨之影響

第三章已利用相關係數與系集敏感度分析，量化各環境因子與 MCS 特徵之關聯性；第四章則進一步探討其對應之物理機制。本章將進一步探討上述環境特徵對實際降雨之影響，藉由分析不同群體之降雨分布，評估環境因子與 MCS 發展最終對臺灣降雨所造成之影響。

5.1 Top 10% 與 Bottom 50% 群組之降雨差異

1. 強對流面積

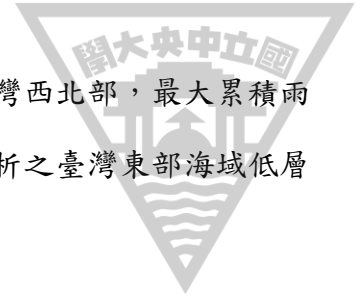
整體而言，各季節 Top 10% 強對流面積群體之降雨量皆明顯高於 Bottom 50% 群體，但主要降雨區域則隨季節而有所不同。

春季(圖 5.1-a) Top 10% 群體之降雨主要集中於臺灣西北部，最大累積雨量約 40 mm，明顯高於 Bottom 50% 群體。此結果與第四章所分析之低層水氣運輸及中層水氣多寡一致，顯示充足的水氣供應有利於 MCS 維持，並提升對臺灣地區的降雨影響。

梅雨季(圖 5.1-b) Top 10% 群體之降雨主要分布於臺灣中部及南部山區，最大累積雨量約 90 mm，降雨範圍及雨量皆較 Bottom 50% 群體明顯。此分布與第四章所分析之西南風低層水氣輸送及中層高水氣帶延伸至臺灣之環境特徵相符。

夏季(圖 5.1-c) Top 10% 群體之主要降雨區位於臺灣西南部沿海，最大累積雨量約 60 mm，亦明顯高於 Bottom 50% 群體。此結果與第四章所分析之南海上來偏南風水氣輸送及較充足之中層水氣分布具有一致性。

秋季(圖 5.1-d) Top 10% 群體之降雨主要集中於臺灣東北部與屏東地區，最大累積雨量約 40 mm，整體降雨量高於 Bottom 50% 群體，與第四章所分析之巴士海峽及台灣東方海面附近低層水氣輸送及中層高水氣帶分布相符。



冬季(圖 5.1-e) Top 10% 群體之主要降雨區再次出現在臺灣西北部，最大累積雨量約 40 mm，亦明顯高於 Bottom 50% 群體，與第四章所分析之臺灣東部海域低層水氣輸送及中層高水氣區延伸具有一致性。

2. 頻率

頻率之降雨分布與強對流面積大致相似，但由(圖 5.2)可知，Top 10% 群體之高雨量區及累積雨量普遍較高，反映頻率較多之 MCS 通常伴隨較充足的水氣供應，並具有較大的降雨影響。

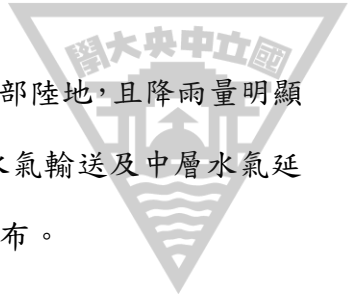
5.2 北部與南部群體之降雨差異

春季(圖 5.3-a)北部群體之降雨主要集中於臺灣西北部陸地，南部群體則位於臺灣西南部陸地。此分布與第四章所分析之低層水氣運輸方向及中層高水氣區位置相符，反映不同水氣輸送位置對 MCS 發展區域及降雨分布具有一致性。

梅雨季(圖 5.3-b)北部群體之降雨主要分布於臺灣西北部陸地；相較之下，南部群體之降雨範圍較廣且雨量較高。此結果與第四章所討論之梅雨季較強的低層水氣輸送及中層高水氣帶延伸相呼應，顯示較充足的水氣條件容易伴隨較大的降雨影響。

夏季(圖 5.3-c)北部群體之主要降雨區位於臺灣西南部沿海，整體降雨量則低於南部群體。此現象與第四章所分析之偏南風水氣輸送差異相互對應，顯示低層水氣供應較充足時，較容易形成較大的降雨範圍及雨量。

秋季(圖 5.3-d)北部群體之降雨主要集中於臺灣東部沿海，南部群體降雨位置相近，但整體雨量較高。此結果與第四章所分析之巴士海峽附近低層水氣輸送及中層高水氣帶分布相符，反映較充足的水氣條件有利於降雨發展。



冬季(圖 5.3-e)北部群體之主要降雨區再次出現在臺灣西北部陸地，且降雨量明顯高於南部群體。此分布與第四章所討論之臺灣東部海域低層水氣輸送及中層水氣延伸特徵相互呼應，顯示冬季水氣供應差異同樣會反映於降雨分布。

5.3 極端個案

此小節同樣選用各季存在時間最長且強對流面積最大之 MCS 作為代表極端個案，並探討其對臺灣降雨之影響。

春季(圖5.4-a)代表極端個案之降雨主要集中於臺灣西南部沿海，最大累積雨量約 70 mm。梅雨季(圖5.4-b)主要降雨區位於臺灣西南部山區，最大累積雨量約 210 mm。夏季(圖5.4-c)降雨則主要分布於臺灣西南部沿海，最大累積雨量同樣約為 210 mm。秋季(圖5.4-d)降雨主要集中於臺灣東北部沿海，最大累積雨量約 90 mm；冬季(圖5.4-e)則主要出現在臺灣東部沿海，最大累積雨量約 70 mm。

整體而言，各季代表極端個案之最大累積雨量皆高於 Top 10% 群體平均，符合極端個案之特性。然而，部分季節（如春季及冬季）之降雨分布與 Top 10% 群體平均仍存在差異，顯示降雨位置除受綜觀環境場影響外，亦可能與 MCS 發生位置及臺灣複雜地形等因素有關。因此，僅利用綜觀環境場仍難以完整描述降雨落區，未來仍需結合個案特性及地形效應進一步探討。



第六章 結論與未來展望

6.1 結論

本研究利用皮爾森相關係數與系集敏感度分析，探討不同季節（春季、梅雨季、夏季、秋季及冬季）環境因子與 MCS 強對流面積、頻率及主要對流位置之關係。由於環境因子數量眾多，為利於比較不同季節之主要控制機制，本研究依環境因子特性進行家族分類，並針對各季節及各特徵選取 Top 3 變數群體進行分析。其中，各群體以敏感度最高之主要因子作為代表，其餘因子則作為輔助資訊，共同探討各季節 MCS 發展之環境特徵。

結果顯示，MCS 強對流面積之主要控制環境因子具有明顯季節差異。春季與梅雨季主要以低層風場、低層水氣運輸及重力位高度類群為關鍵因子，其中風場與水氣運輸之高值區主要分布於南海一帶，而重力位高度則由華南延伸至臺灣上空。夏季則以 500 hPa 風場、500 hPa 濕熱力及 500 hPa 重力位高度類群為主，其中風場主要表現在巴士海峽附近的東西向風（U 分量），濕熱力高值區集中於臺灣上空，而重力位高度同樣呈現自華南延伸至臺灣上空之分布。秋季與冬季則主要受低層風場、低層水氣運輸及 500 hPa 濕熱力類群控制，其中風場與水氣運輸之高值區主要位於臺灣東部海域，而濕熱力高值區則集中於臺灣上空，這些高值區顯示此處的環境因子變化與強對流面積增長有一定程度相關；MCS 頻率之主要環境因子分布與強對流面積大致相似，皆以低層風場、低層水氣運輸及濕熱力類群為主，其中濕熱力類群於各季節出現頻率較高，顯示其對 MCS 頻率之變多具有較重要之影響。

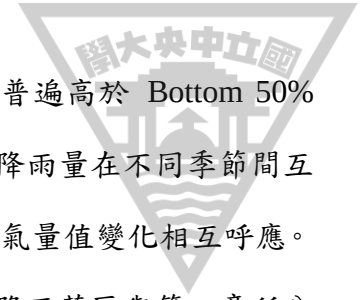
緯度位置方面，各季節主要受低層風場、低層水氣運輸及中層濕熱力類群控制，其中低層風場與低層水氣運輸之高值區主要分布於華南沿海及臺灣海峽，而中層濕熱力則呈現偶極型分布，於臺灣北部海域為正值、南部海域為負值，反映上述環境場



分布與 MCS 主要對流位置之南北變化具有密切關聯。總體而言，MCS 三項結構特徵於各季節主要歸納為低層水氣運輸及中層水氣維持兩項主要控制機制，顯示兩者為影響臺灣不同季節 MCS 發展之關鍵環境因子。也因此可針對兩者進行機制討論。

在物理機制方面，本研究利用平均背景環境場及代表強度極端個案進行分析。結果顯示，強度指標（強對流面積與頻率）於各季皆呈現相似的環境特徵，兩者差異主要在於低層水氣運輸及中層高水氣量值略微不同。其中 Top 10% 群體之低層水氣運輸及 500 hPa 中層高水氣區量值皆高於 Bottom 50% 群體，顯示充足的低層水氣輸送及中層水氣維持為高強度 MCS 發展的重要條件。季節差異方面，春季、梅雨季及夏季主要受西南風水氣輸送之強度與路徑控制；相較之下，秋季及冬季則受到東北季風介入影響，使來自低緯度地區之水氣輸送至巴士海峽及臺灣東部海域的程度有所差異，進而影響 MCS 強度。此外，中層高水氣區於 Top 10% 群體大多分布於臺灣上空，其中春、冬季偏向臺灣北部，梅雨季、夏季及秋季則主要位於臺灣上空至偏南區域，顯示中層水氣分布亦具有季節差異。

在主要對流位置方面，本研究將 MCS 分為北部群體及南部群體進行分析。低層水氣運輸部分，春季、梅雨季及夏季主要受西南風強度及輸送方向影響，改變水氣主要輸送至臺灣北部或南部地區，進而影響 MCS 生長位置；秋季及冬季則受東北季風介入程度控制，影響低緯度水氣是否能持續輸送至臺灣北部，使 MCS 呈現不同的南北分布。中層水氣方面，各季高水氣區延伸位置與程度皆與 MCS 主要發展區域具有良好對應關係，顯示中層水氣分布同樣為影響 MCS 生長位置的重要因子。此外，代表強度極端個案之低層水氣運輸及中層水氣分布與 Top 10% 群體平均背景場大致一致，但其量值更為明顯，顯示 Top 10% 群體所建立之平均背景場能有效反映極端 MCS 發生時之主要環境特徵，具有良好的代表性。



在降雨影響方面，Top 10% 群體之降雨範圍及累積雨量普遍高於 Bottom 50% 群體，而頻率 Top 10% 群體與強對流面積 Top 10% 群體之降雨量在不同季節間互有高低，其差異大致與第四章所分析之低層水氣運輸及中層水氣量值變化相互呼應。另一方面，MCS 南北位置亦反映於降雨分布上，不同群體之降雨落區與第四章所分析之低層水氣運輸及中層高水氣區位置具有良好對應關係。代表極端個案之最大累積雨量皆高於 Top 10% 群體平均，符合極端事件之特性。然而，部分季節代表個案之降雨位置與群體平均仍存在差異，顯示降雨落區除受綜觀環境場影響外，亦與 MCS 發生位置及臺灣複雜地形等因素有關，僅利用綜觀環境場仍不足以完整描述降雨分布，未來仍需結合個案特性及地形效應進一步探討。

整體而言，本研究建立由統計分析、物理機制探討至降雨影響分析之完整研究流程，不僅量化不同季節關鍵環境因子對 MCS 特徵之影響，亦驗證其與實際降雨之關聯性。

6.2 未來展望

本研究主要利用系集敏感度分析探討不同季節 MCS 特徵與環境因子之關係，並進一步分析其物理機制及對降雨之影響。考量研究主軸與篇幅安排，物理機制部分主要聚焦於跨季節具有代表性的低層水氣運輸 (Integrated Vapor Transport, IVT) 及中層水氣 (500 hPa 比濕)，其餘環境因子則未進一步深入探討。此外，本研究著重於 MCS 發生時所對應之環境場特徵，亦未針對 MCS 的日夜型態進行分類。因此，未來可由以下幾個方向進一步延伸：

1. 探討環境因子對 MCS 影響之提早時間 (lead time)，分析關鍵環境訊號於 MCS 發生前的演變，並評估其可預報時長及可能的起始時間。



2. 將 00Z 與 12Z 所對應之 MCS 環境場分開討論，比較不同時段 MCS 與環境條件之差異，進一步探討日夜變化可能造成的影響。
3. 加入 925 hPa 等較接近邊界層之環境變數，進一步探討邊界層水氣傳輸對 MCS 發展之影響。
4. 針對夏季中高層風場進行更深入分析，探討其與 MCS 組織及發展特徵之間的關係。
5. 擴大環境背景場之分析範圍，以更完整呈現大尺度環流配置，並探討其對臺灣附近 MCS 發展之影響。

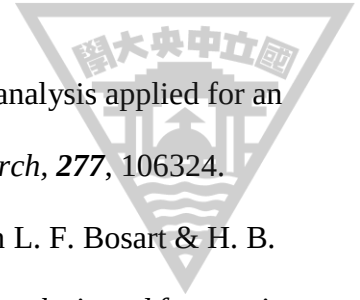
另一方面，本研究以傳統季節劃分作為分析基礎，雖能有效呈現各季節 MCS 之環境特徵，但實際大氣環境仍具有高度連續性與複雜性。未來可嘗試利用自組織映射（Self-Organizing Map, SOM）、K-means 等分群方法，甚至結合人工智慧（Artificial Intelligence, AI）相關技術，依據環境場特徵進行客觀分類，以降低傳統季節劃分所帶來之限制，並進一步探討不同環境型態下 MCS 發展特性及其物理機制。

整體而言，本研究建立之分析流程及資料庫除可應用於不同季節 MCS 特徵之比較外，亦可作為後續探討 MCS 演變特性、環境型態分類及降雨影響之研究基礎。透過辨識不同季節影響 MCS 發展之關鍵環境因子，可提供未來強對流天氣監測及預警之參考，並有助於提升豪雨防災應變之能力。

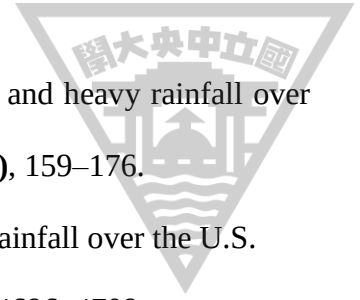


參考文獻

- 吳冠伯，2019：「2005-2015 年暖季弱綜觀環境下對流降水系統之特徵統計」。國立中央大學碩士論文。
- 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極化雷達拉格朗日特徵」。國立中央大學碩士論文。
- 楊承泰，2022：「台灣周邊中尺度對流系統及綜觀環境特徵統計分析」。國立中央大學碩士論文。
- 李泓寬，2022：「利用模糊邏輯法預報臺灣地區午後對流肇始事件」。國立中央大學碩士論文。
- 覃廉翔，2025：「碩士-2022 TAHOPE 期間臺灣北部對流系統演化之雙偏極化參數統計分析」。國立中央大學碩士論文。
- Chen, C.-S. and Chen, Y.-L., 2003: The rainfall characteristics of Taiwan. *Mon. Wea. Rev.*, **131(7)**, 1323– 1341.
- Cressman, G. P. (1959). An operational objective analysis system. *Monthly Weather Review*, **87(10)**, 367–374.
- 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.
- 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.
- Feng, Z., Song, F., Sakaguchi, K., & Leung, L. R. (2021). Evaluation of mesoscale convective systems in climate simulations: Methodological development and results from MPAS-CAM over the United States. *Journal of Climate*, **34(7)**, 2611–2633.



- George, B., & Kutty, G. (2022). Multivariate ensemble sensitivity analysis applied for an extreme rainfall over Indian subcontinent. *Atmospheric Research*, **277**, 106324.
- Hakim, G. J., & Torn, R. D. (2008). Ensemble synoptic analysis. In L. F. Bosart & H. B. Bluestein (Eds.), *Synoptic-dynamic meteorology and weather analysis and forecasting: A tribute to Fred Sanders* (Meteorological Monographs, **Vol. 33, No. 55**, pp. 147–162). American Meteorological Society.
- Harding, K. J., and P. K. Snyder, 2015: The relationship between the Pacific–NorthAmericanteleconnectionpattern,theGreat Plains low-level jet, and north-central U.S. heavy rainfall events. *J. Climate*, **28**, 6729–6742.
- Higgins, R. W., Y. Yao, E. S. Yarosh, J. E. Janowiak, and K. C. Mo, 1997: Influence of the Great Plains low-level jet on summer time precipitation and moisture transport over the central United States. *J. Climate*, **10**, 481–507.
- Houze, R. A., Jr. (2004). *Mesoscale convective systems*. *Reviews of Geophysics*, **42(4)**, RG4003.
- Ke, C.-Y., Tsai, P.-J., Chung, K.-S., Chen, Y.-L., & Liou, Y.-C. (2025). Radar wind retrieval, ensemble simulations, and cluster analysis of a heavy rainfall event over northern Taiwan during 1–2 June 2017. *Monthly Weather Review*, **153(4)**, 617–635.
- Pacey, G., Pfahl, S., & Schielicke, L. (2025). *Environments and lifting mechanisms of cold-frontal convective cells during the warm season in Germany*. *Weather and Climate Dynamics*, **6**, 695–713.
- Shen, Y., Du, Y., & Chen, G. (2020). Ensemble sensitivity analysis of heavy rainfall associated with three MCSs coexisting over southern China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **125(15)**, e2019JD031266.
- Tu, C. C., Chen, Y. L., Lin, P. L., & Lin, P. H. (2020). The relationship between the



- boundary layer moisture transport from the South China Sea and heavy rainfall over Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, **31(2)**, 159–176.
- Wang, S.-Y., and T.-C. Chen, 2009: The late-spring maximum of rainfall over the U.S. central plains and the role of the low level jet. *J. Climate*, **22**, 4696–4709.
- Wang, P., & Meng, Z. (2023). General features of MCSs with the organization of multiple parallel rainbands in China. *Monthly Weather Review*, **151(9)**, 2485–2499.
- Wu, Y.-C., Yang, M.-J., & Lin, P.-H. (2020). Evolution of water budget and precipitation efficiency of mesoscale convective systems over the South China Sea. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, **31(2)**, 141–158.



附表

變數群體分類	變數內容
垂直風切 (Vertical wind shear)	垂直風切強度、東西向分量 (U)、南北向分量 (V)，共 3 個變數。
水氣輸送 (Moisture transport)	積分水氣輸送 (IVT) 強度、東西向分量 (U)、南北向分量 (V)，共 3 個變數。
濕熱力環境 (Moist thermodynamic environment)	比濕 (q)、相當位溫 (θ_e) (本研究運用之所有百帕層)，共 10 個變數。
低層風場 (Low-level wind field)	U、V、風速 (WS) (700、850、1000 hPa)，共 9 個變數。
中至高層風場 (Mid-upper-level wind field)	U、V、風速 (WS) (500、200 hPa)，共 6 個變數。
重力位高度 (Geopotential height)	重力位高度 (Z) (本研究運用之所有百帕層)，共 5 個變數。

表 3.1 各環境因子之分群方式。



季節	第一群體	第二群體	第三群體
春季	IVT_U (2033.67) IVT (2014.48) IVT_V (1853.84)	U850 (1973.63) WS850 (1875.98) V850 (1860.16)	Z700 (1897.55)
梅雨季	WS700 (3089.61) U700 (2940.05) V700 (2476.37)	IVT (2954.83) IVT_U (2861.43) IVT_V (2605.75)	Z700 (2897.45)
夏季	U500 (2105.37) V500 (1650.84) WS500 (0)	q500 (1980.12) θ_e500 (1950.14)	Z500 (1886.05)
秋季	WS850 (2076.79), V850 (1952.56) U850 (0)	q500 (2009.54) θ_e500 (0)	IVT_V (1992.09) IVT (1888.49) IVT_U (0)
冬季	q500 (1800.80) θ_e500 (1674.13)	V700(1731.13) WS700 (1598.90) U700 (1404.36)	V500 (1609.26) U500 (1365.67) WS500 (0)

表 3.2 強對流面積(單位: km²)之各季節前三類群關鍵環境因子，粗體表示各變數群體主要選定之代表環境因子(其餘為輔助因子)；括號內數值為平均標準化系集敏感度。WS、U、V、Z、q、 θ_e 及 IVT 分別代表風速、東西向風、南北向風、重力位高度、比濕、相當位溫及垂直積分水氣通量；數字表示對應之氣壓層 (hPa)。



季節	第一群體	第二群體	第三群體
春季	IVT_U (68.53) IVT (66.72) IVT_V (63.92)	U1000 (64.58) V1000 (63.08) WS1000 (0)	q500 (61.41) θ_{e500} (59.38)
梅雨季	WS700 (90.07) U700 (83.18) V700 (74.46)	IVT (87.67) IVT_U (87.32) IVT_V (80.38)	q500 (86.12) θ_{e500} (86.02)
夏季	U500 (90.16) V500 (74.02) WS500 (0)	q500 (88.36) θ_{e500} (88.26)	Z500 (86.67)
秋季	IVT_V (73.49) IVT (68.86) IVT_U (0)	V850(71.96) WS850(67.30) U850(0)	q500 (69.55) θ_{e500} (65.03)
冬季	IVT_V (59.87) IVT (57.11) IVT_U (0)	V700(58.47) WS700 (53.43) U700 (52.71)	θ_{e700} (56.95) q700 (56.17)

表 3.3 頻率(單位: min)之各季節前三類群關鍵環境因子，粗體表示各變數群體主要選定之代表環境因子(其餘為輔助因子)；括號內數值為平均標準化系集敏感度。變數及高度層呈現方式與表 3.2 一樣。



季節	第一群體	第二群體	第三群體
春季	IVT_U (0.60) IVT (0.54) IVT_V (0.48)	U850 (0.57) WS850 (0.52) V850 (0.49)	q500 (0.51) θ_e500 (0.47)
梅雨季	U850 (0.70) WS850 (0.64) V850 (0.61)	IVT_U (0.69) IVT (0.67) IVT_V (0.65)	q500 (0.67) θ_e500 (0.67)
夏季	q500 (0.61) θ_e500 (0.57)	WSS_U (0.59) WSS (0.55) WSS_V (0)	U700 (0.59) WS700 (0.57) V700 (0)
秋季	q700 (0.56) θ_e700 (0.54)	V1000(0.53) U1000 (0.52) WS1000 (0.49)	IVT_U (0.52) IVT (0.51) IVT_V (0.51)
冬季	V1000(0.54) WS1000 (0.48) U1000(0.46)	IVT (0.52) IVT_V (0.51) IVT_U (0.50)	θ_e1000 (0.46) q1000 (0.46)

表 3.4 緯度(單位:°)之各季節前三類群關鍵環境因子，粗體表示各變數群體主要選定之代表環境因子(其餘為輔助因子)；括號內數值為平均標準化系集敏感度。WSS 為垂直風切，其餘變數及高度層呈現方式與表 3.2 一樣。



附圖

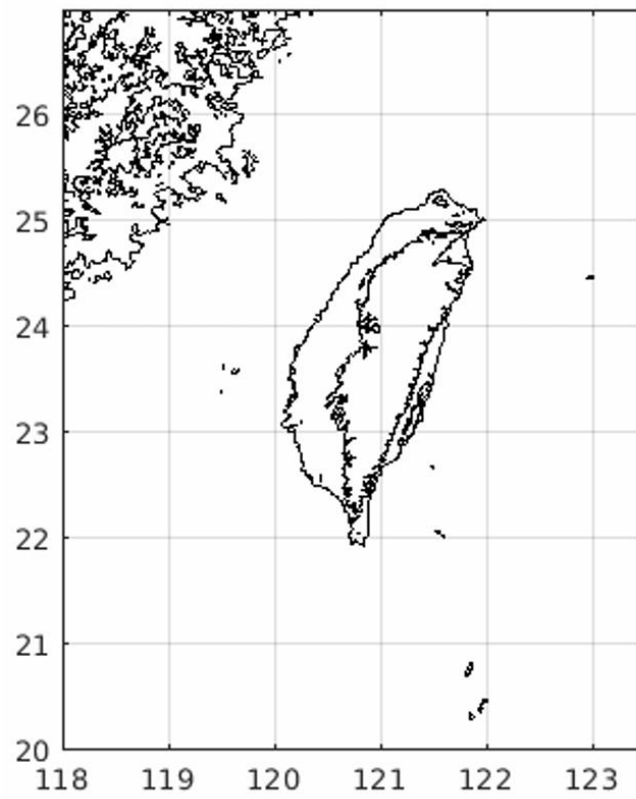
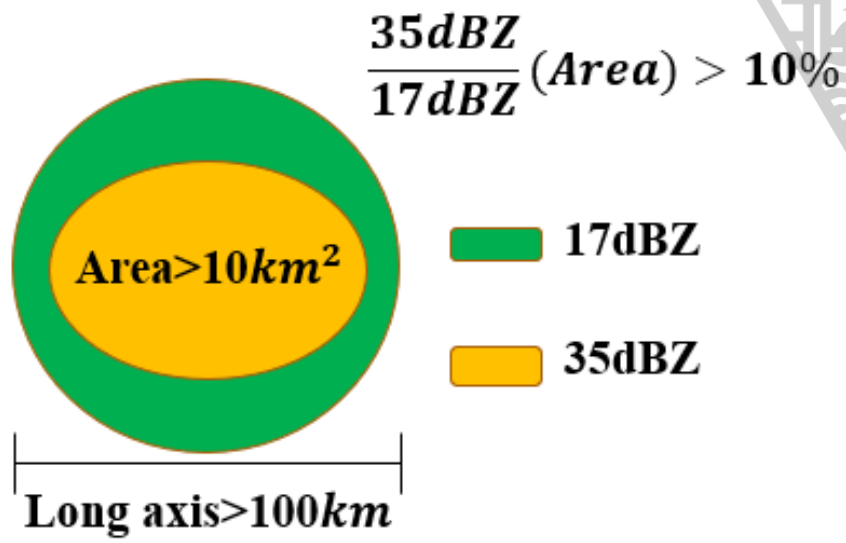


圖 2.1 中央氣象局 QPESUMS 資料空間範圍。

(a)



(b)

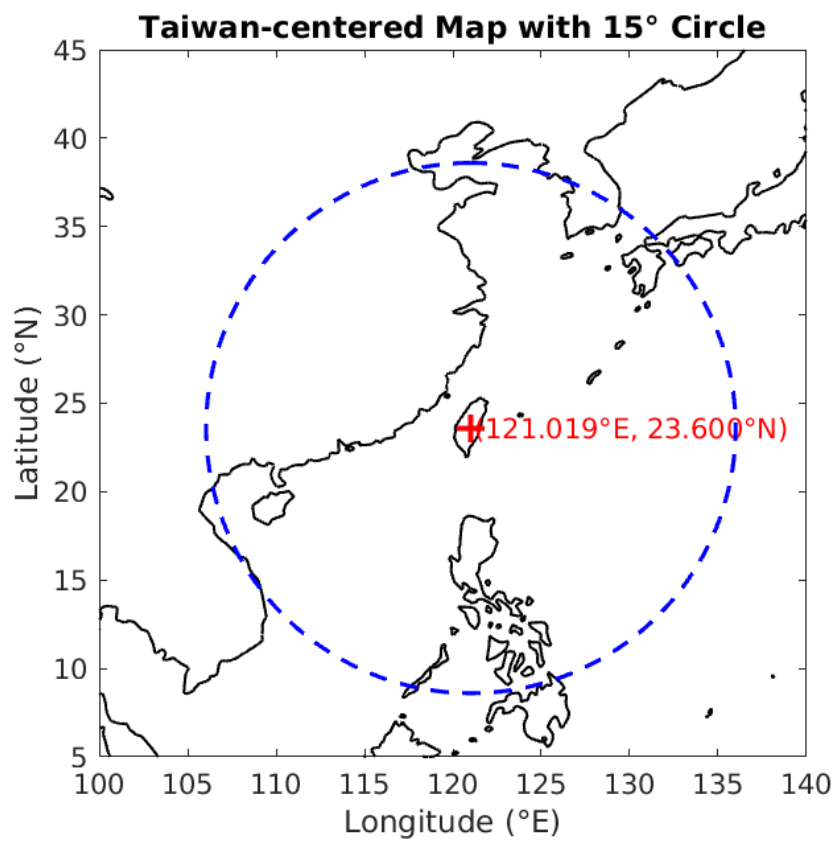
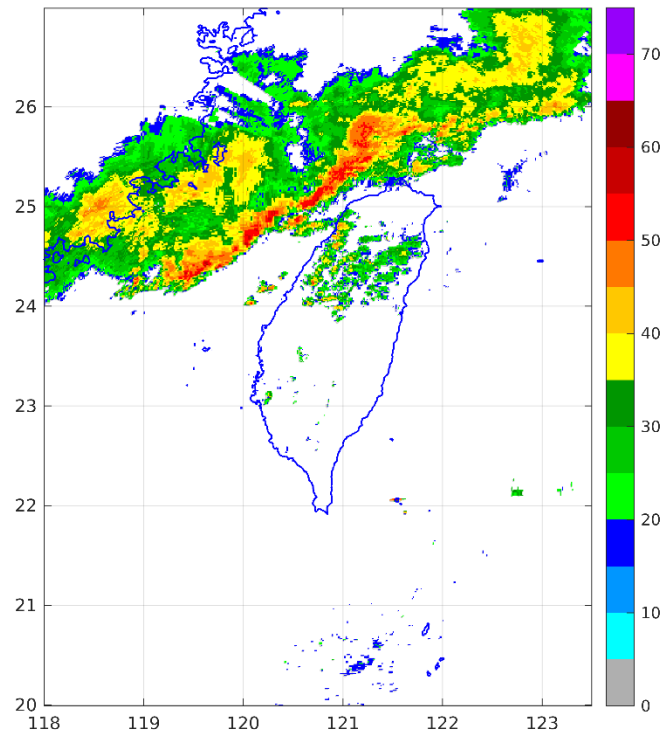


圖 2.2 (a) MCS 定義之示意圖、(b) 颱風個案濾除之定義範圍圖。



(a)



(b)

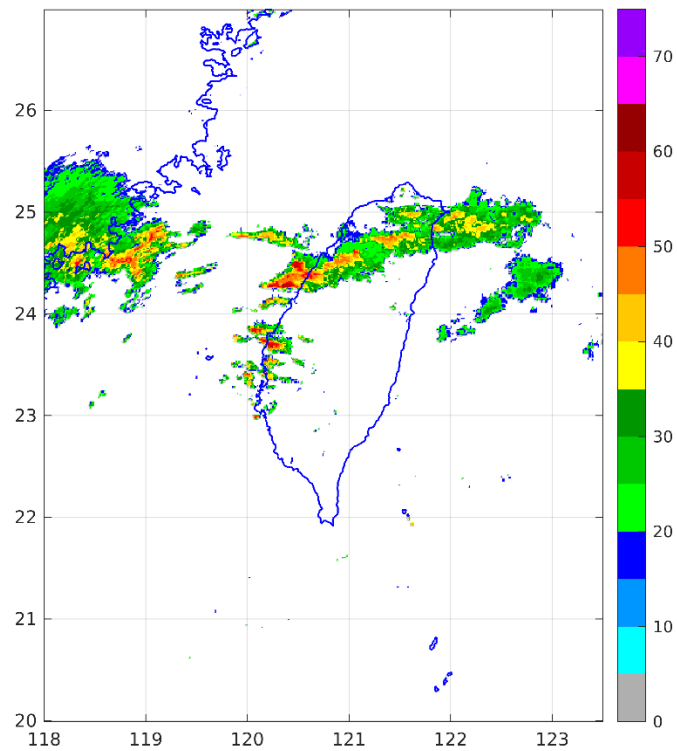
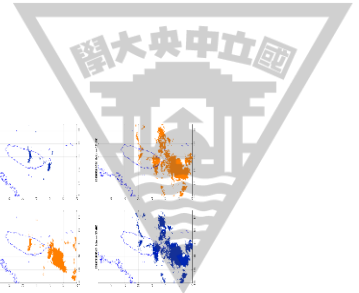
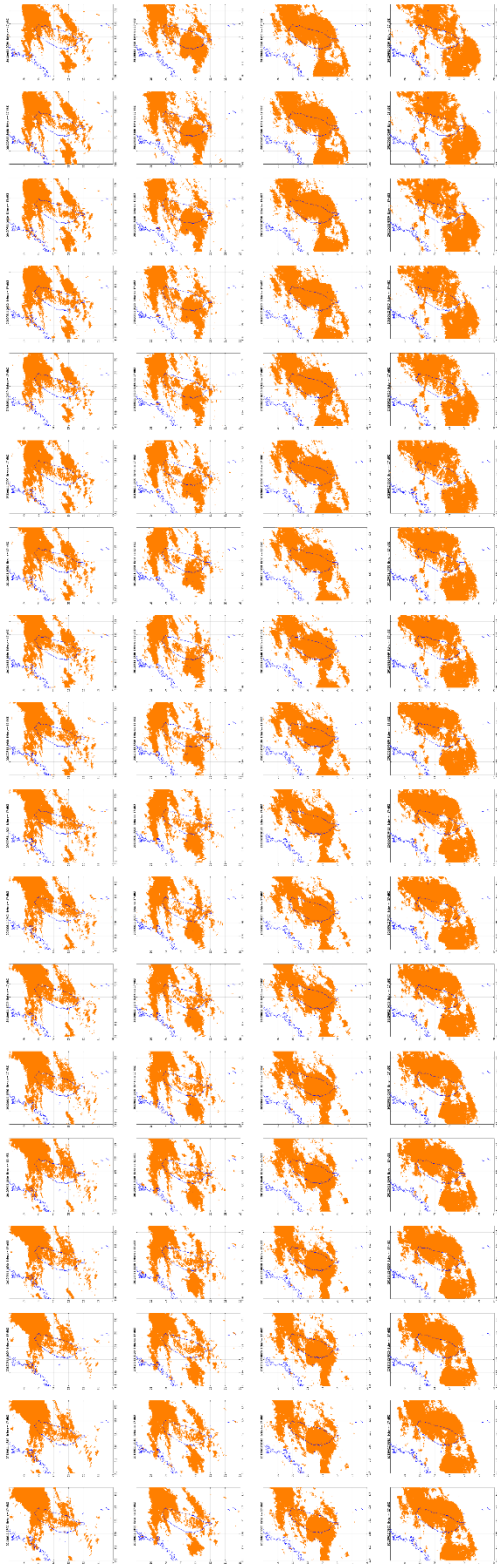


圖 2.3 (a) MCS 強對流面積大之範例圖、(b) MCS 強對流面積小之範例圖。



(a)



(b)

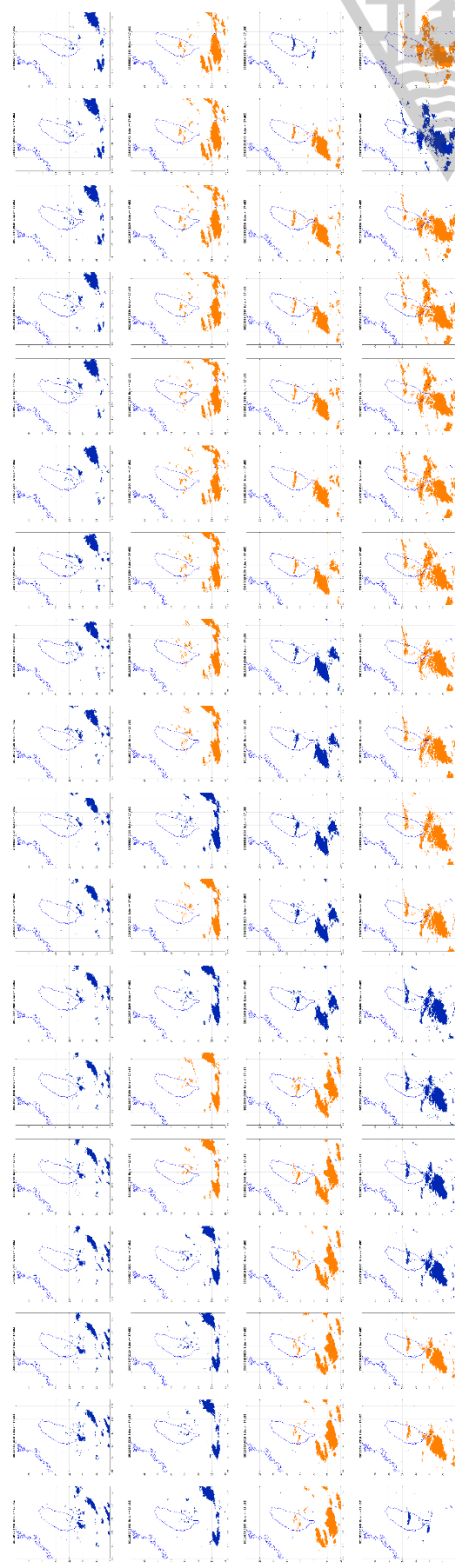
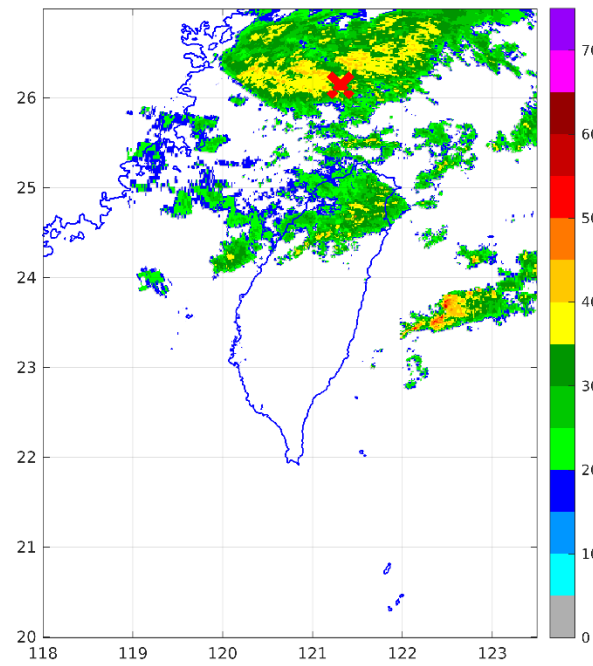


圖 2.4 (a) 12 小時區間 MCS 頻率高之範例圖、(b) 12 小時區間 MCS 頻率低之範例圖。橘色表示 MCS、藍色表示非 MCS。



(a)



(b)

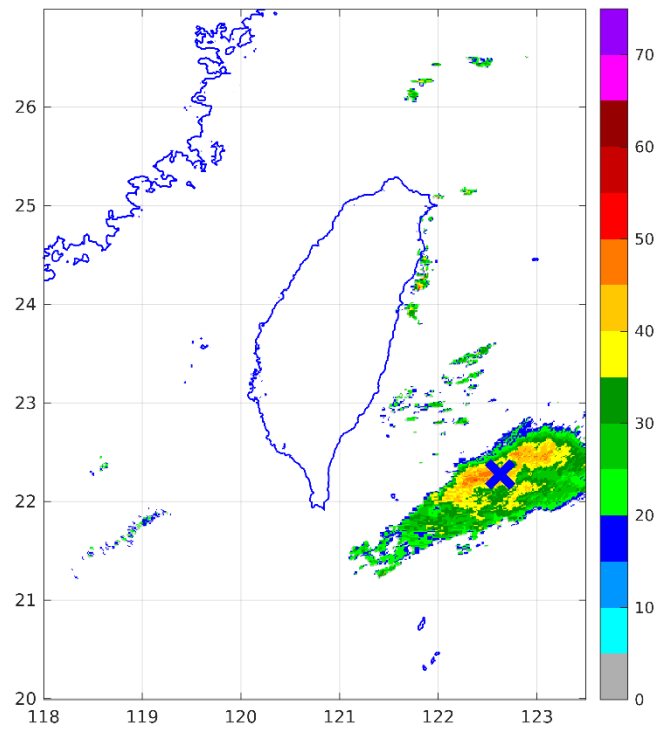
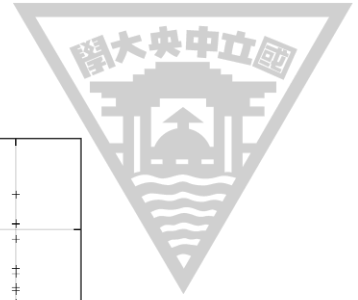
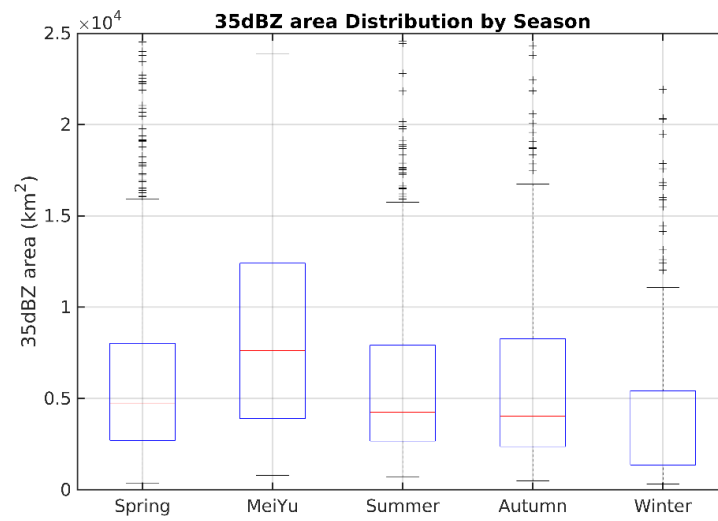


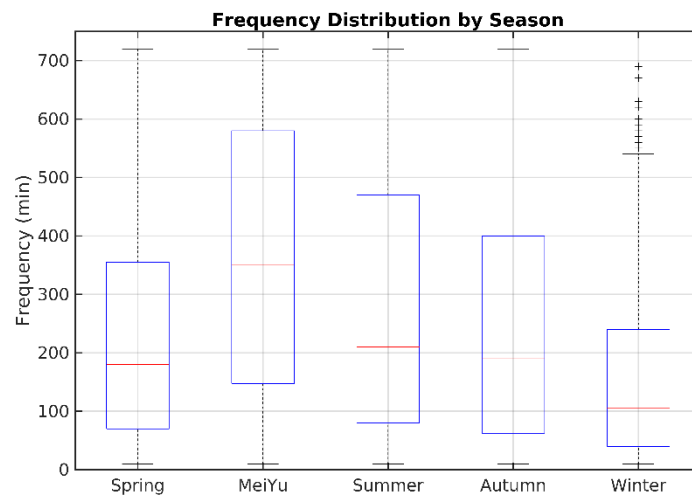
圖 2.5 (a) MCS 緯度高之範例圖、(b) MCS 緯度低之範例圖。



(a)



(b)



(c)

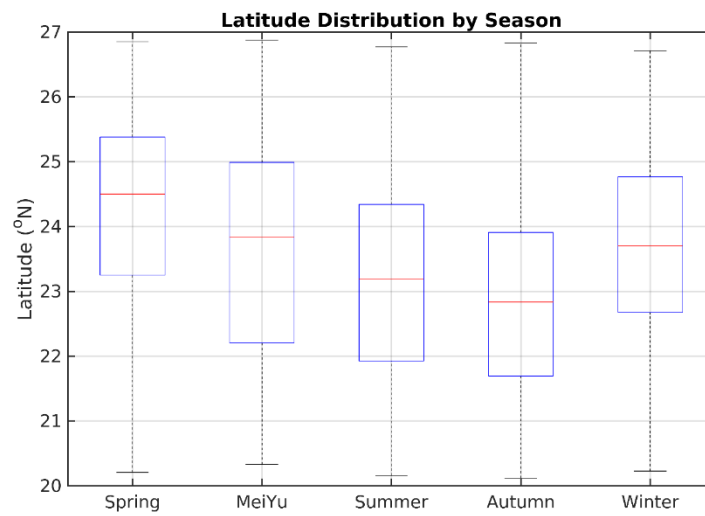
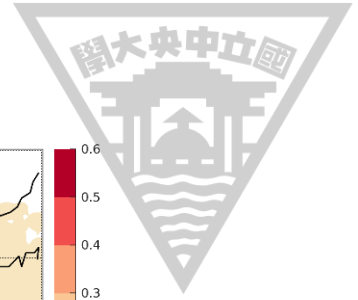
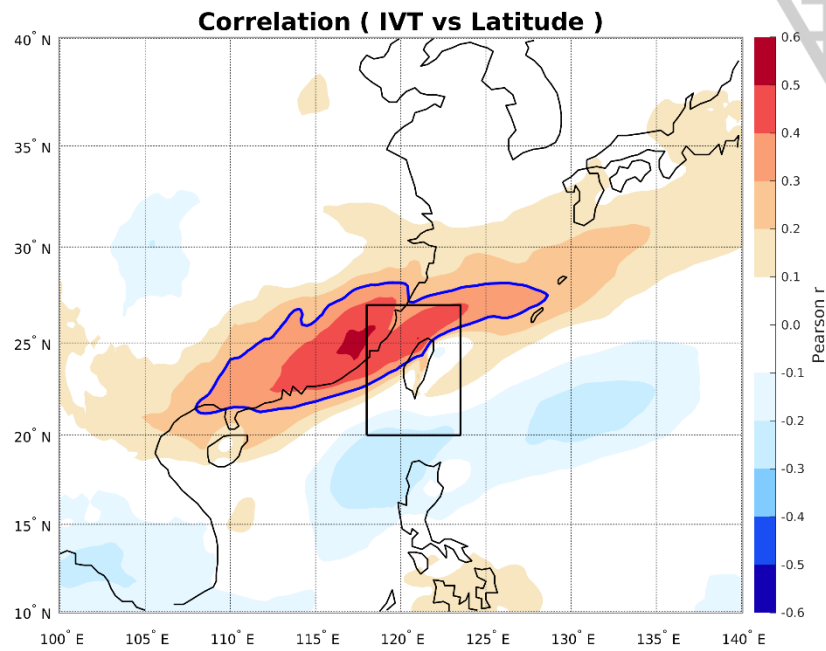


圖 2.6 各季節 MCS 特徵變異度盒狀圖: (a) 強對流面積、(b) 頻率、(c) 緯度。



(a)



(b)

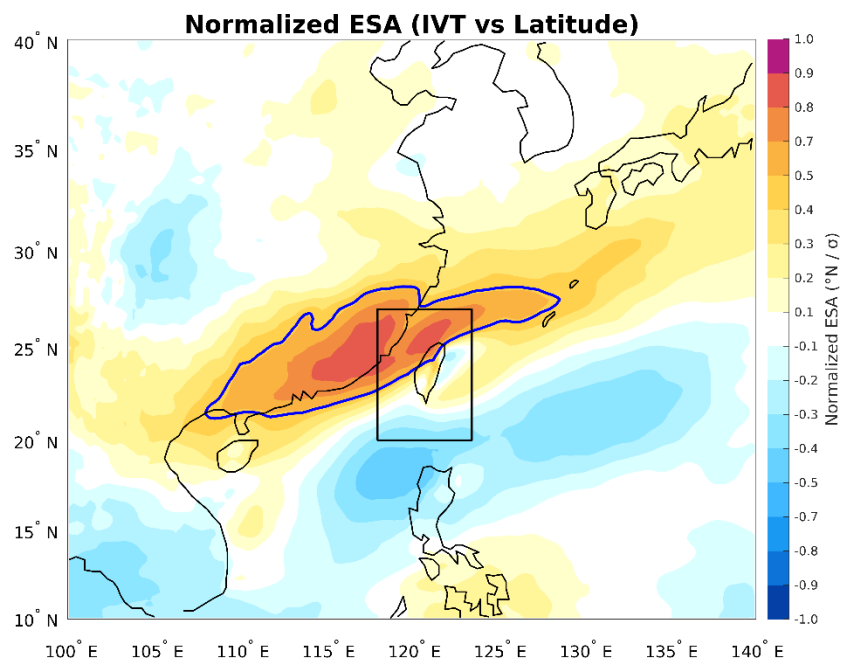
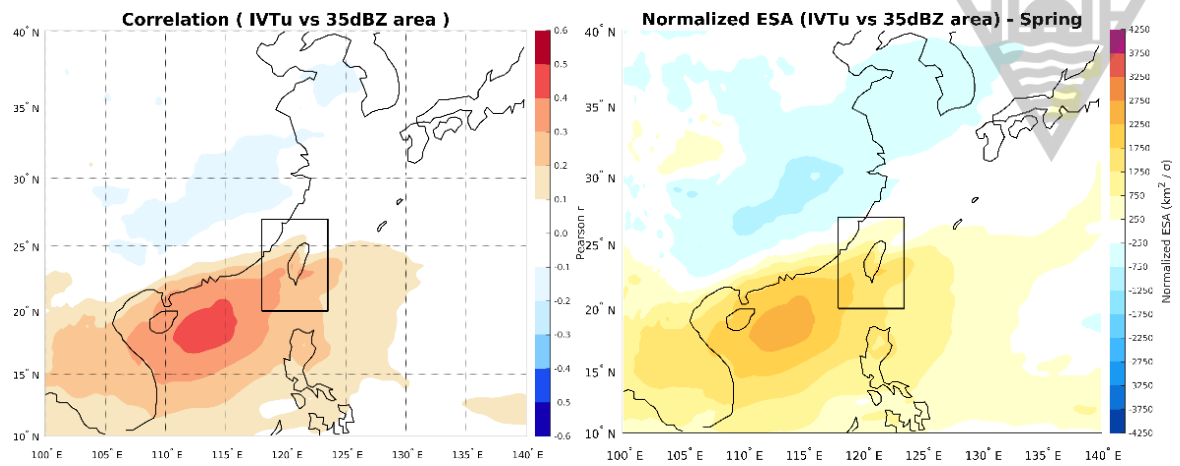
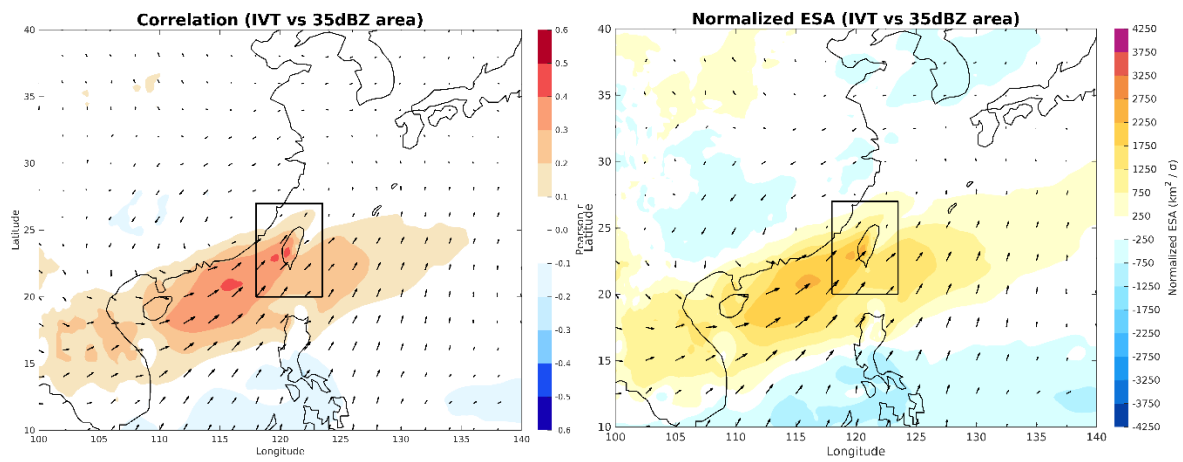


圖 3.1 計算其平均標準化敏感度之範例圖: (a) 相關係數圖，深藍輪廓框住 $|r| > 0.3$ 之區域、(b) 標準化系集敏感度分布，深藍輪廓為對應之 $|r| > 0.3$ 之區域用來計算平均標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)



(c)

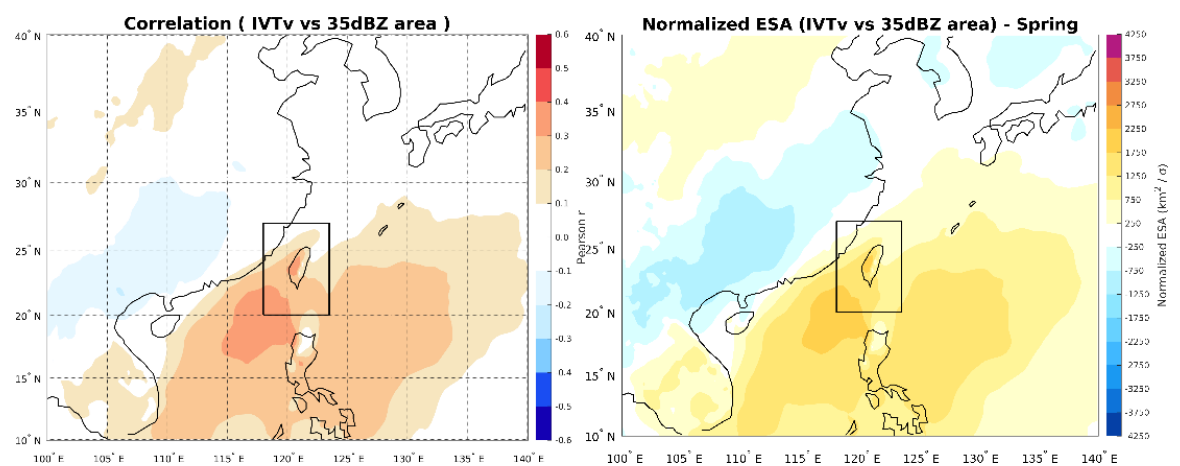
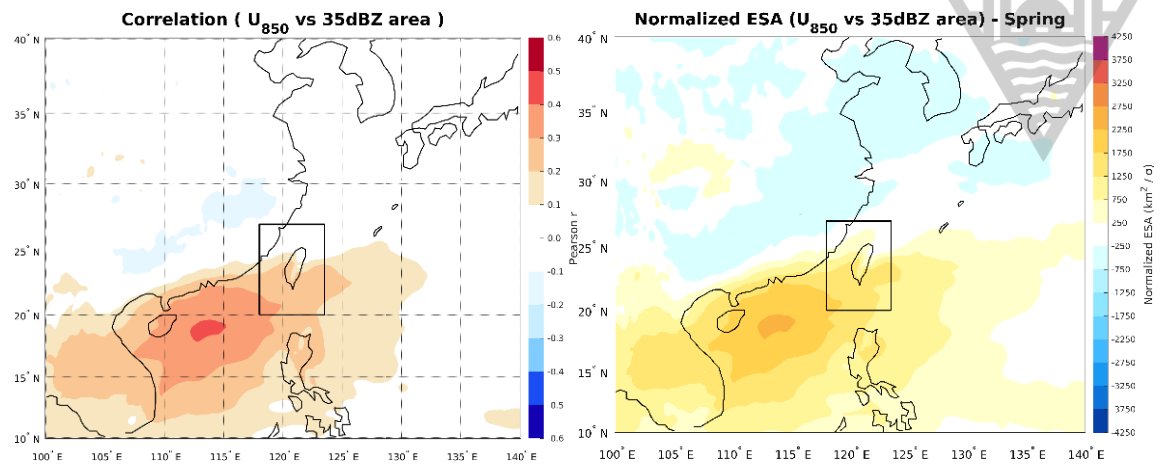
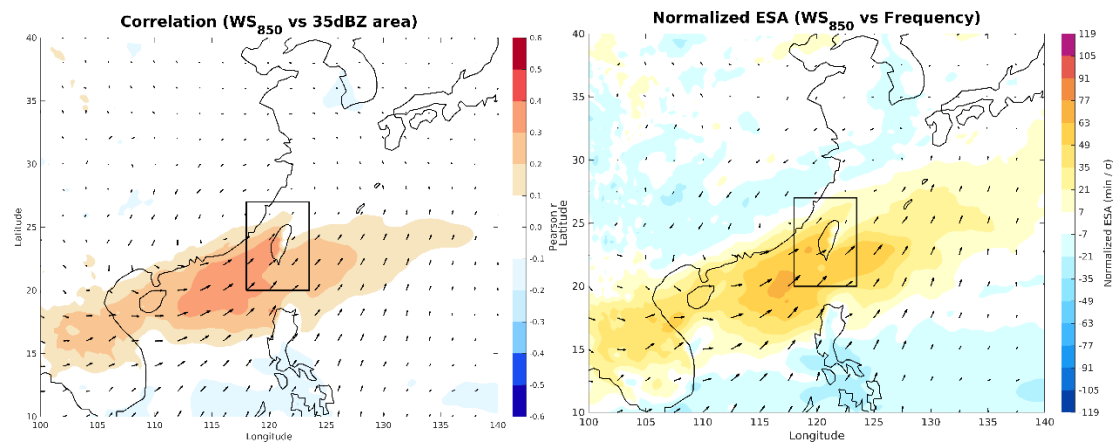


圖3.2 春季強對流面積代表變數: (a) IVT_U、(b) IVT 及 (c) IVT_V 之 (左) 皮爾森相關係數與 (右) 標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)



(c)

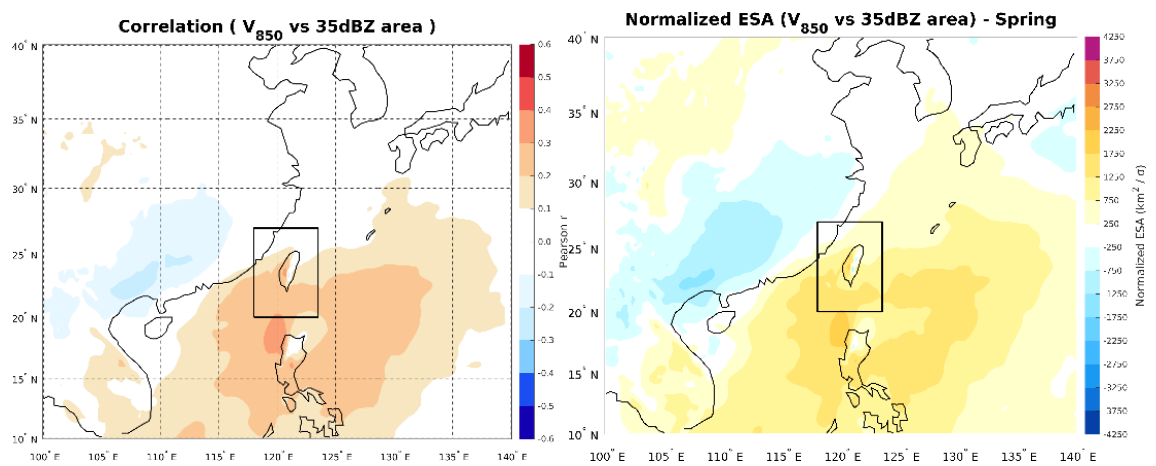


圖3.3 春季強對流面積代表變數: (a) 850 hPa U 風、(b) 850 hPa 風速、(c) 850 hPa V 風之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。

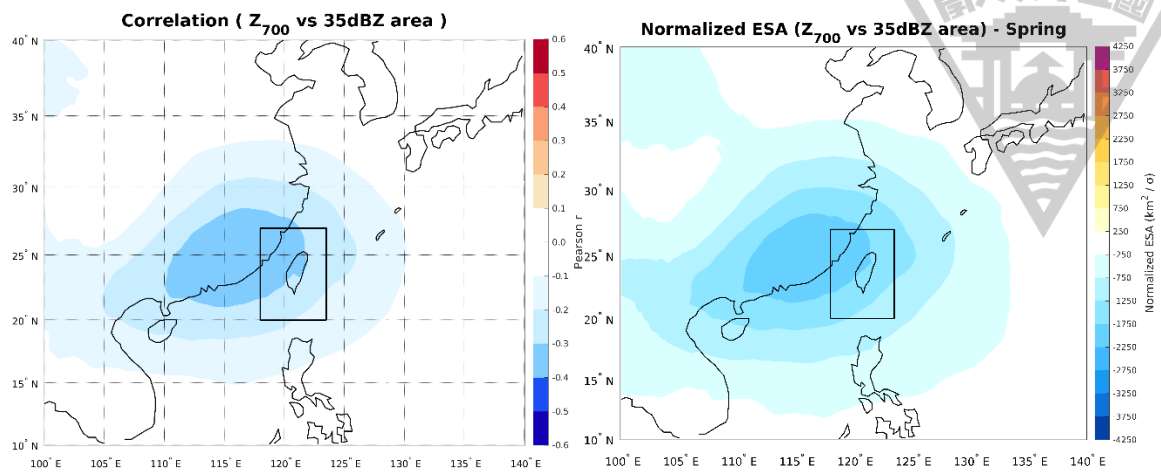
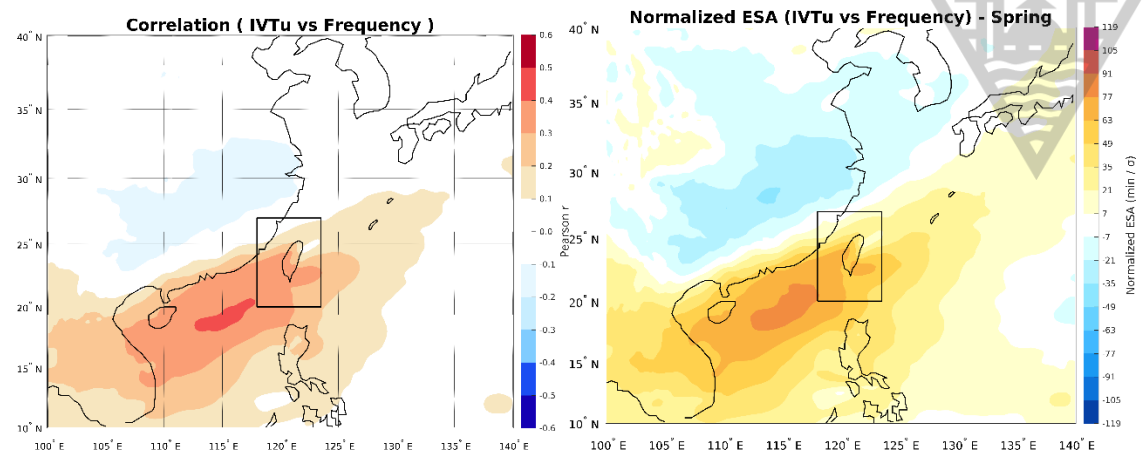
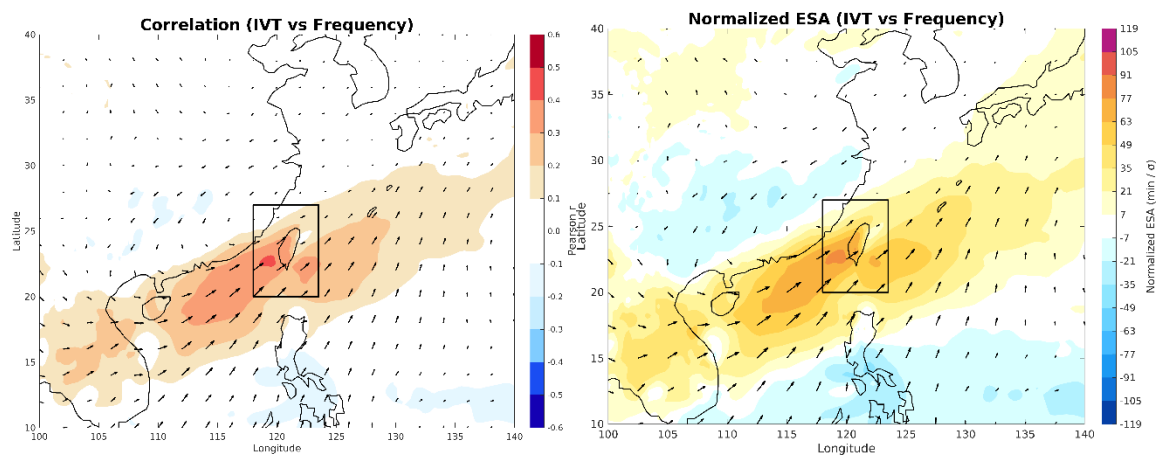


圖3.4 春季強對流面積代表變數 700 hPa 重力位高度之 (左) 皮爾森相關係數分布；
(右) 標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)



(c)

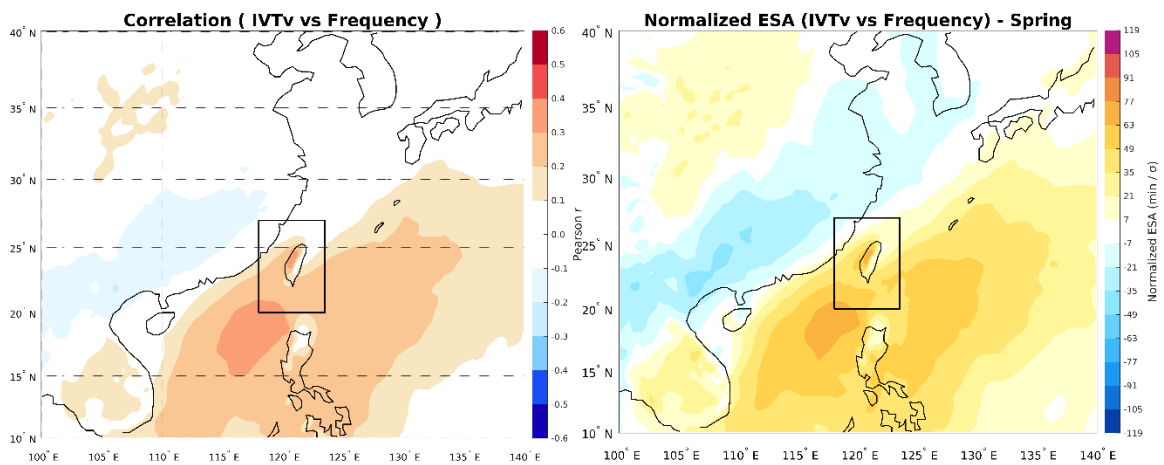
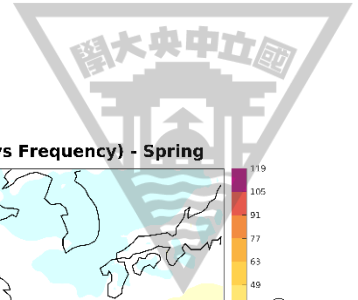
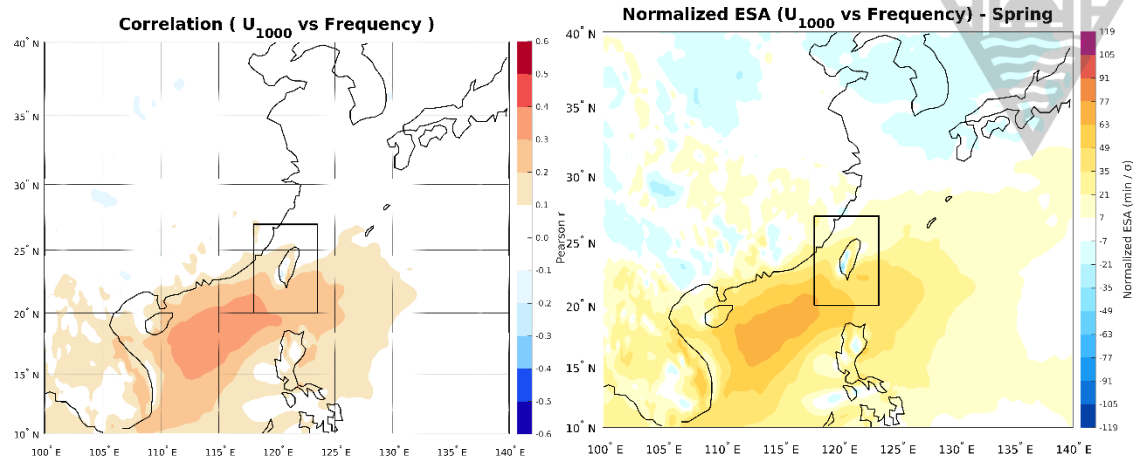


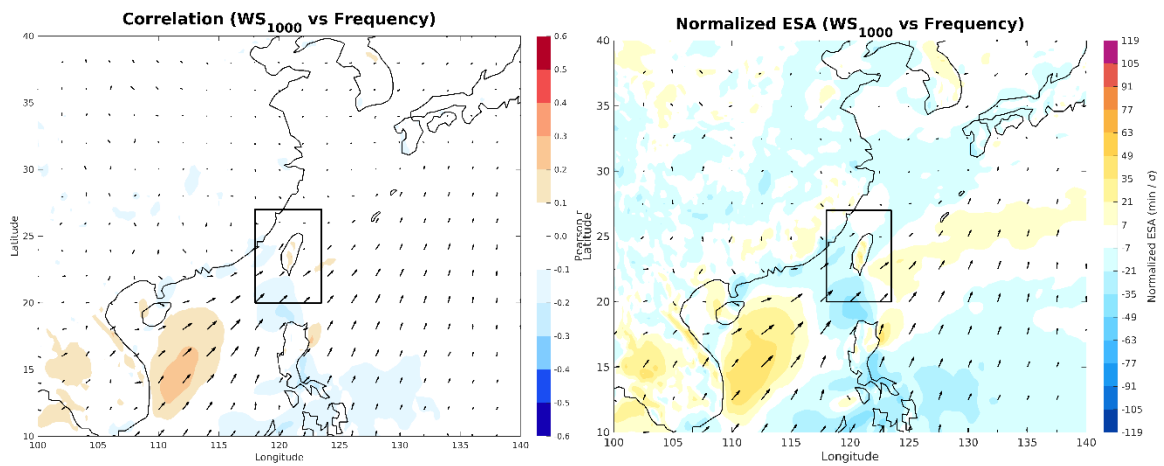
圖3.5 春季頻率代表變數: (a) IVT_U、(b) IVT 及 (c) IVT_V 之 (左) 皮爾森相關係數與 (右) 標準化系集敏感度分布。



(a)



(b)



(c)

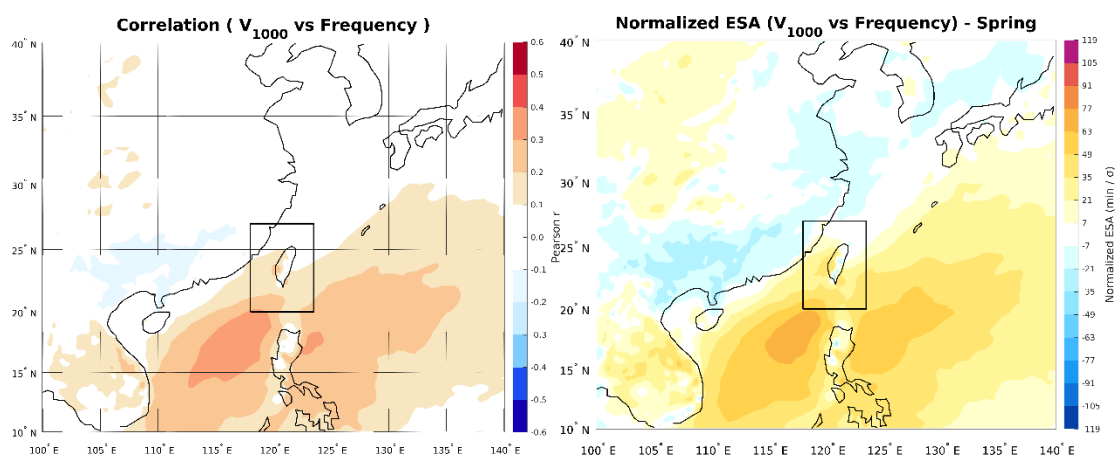
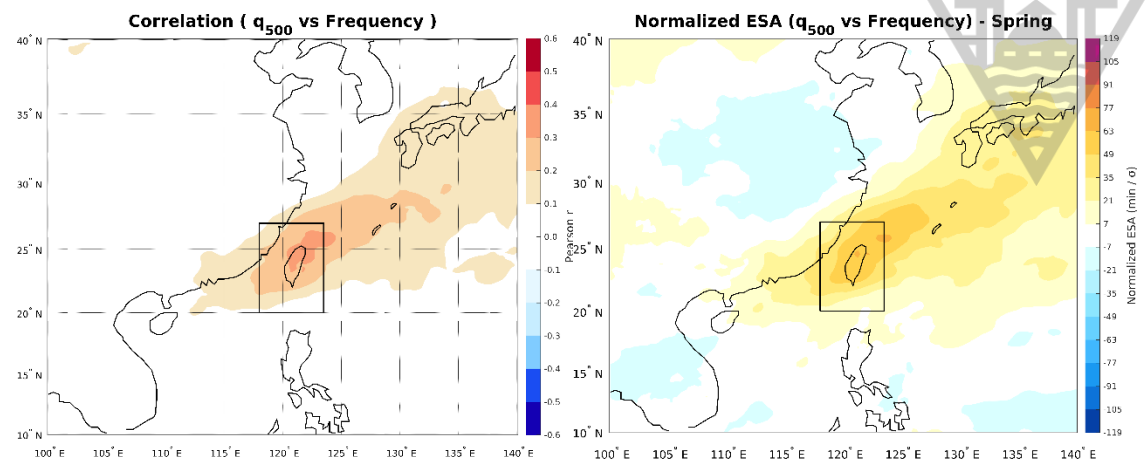


圖3.6 春季頻率代表變數:(a)850 hPa U 風、(b) 850 hPa 風速、(c) 850 hPa V 風之(左)

皮爾森相關係數分布；(右)標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)

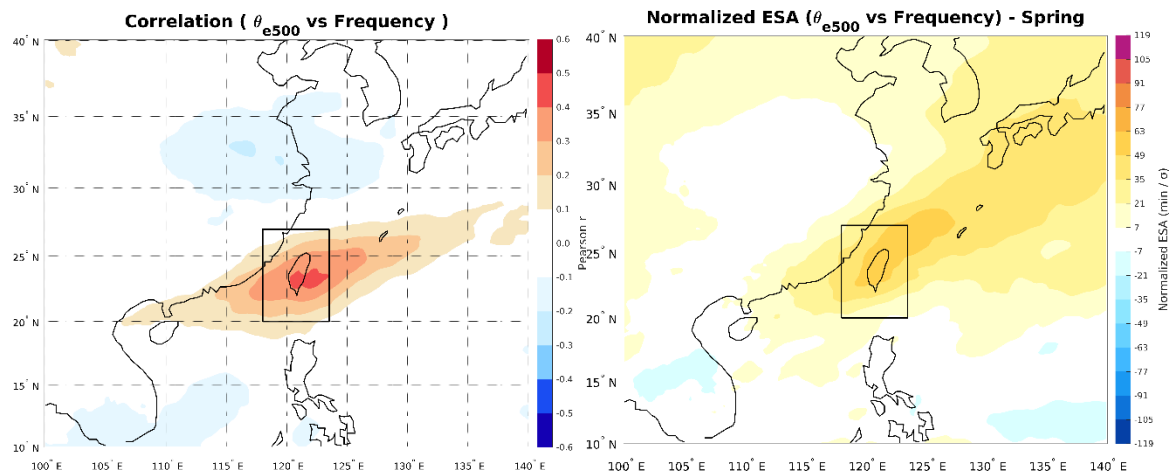
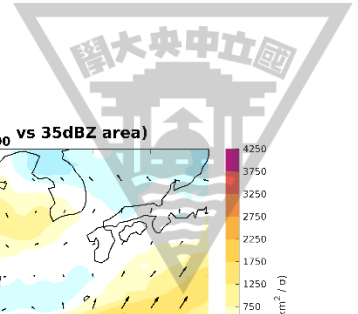
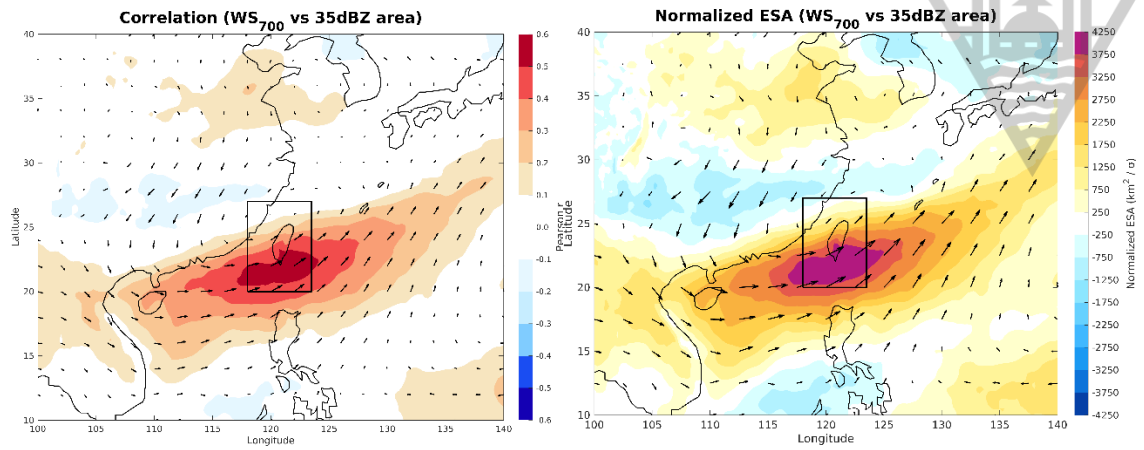


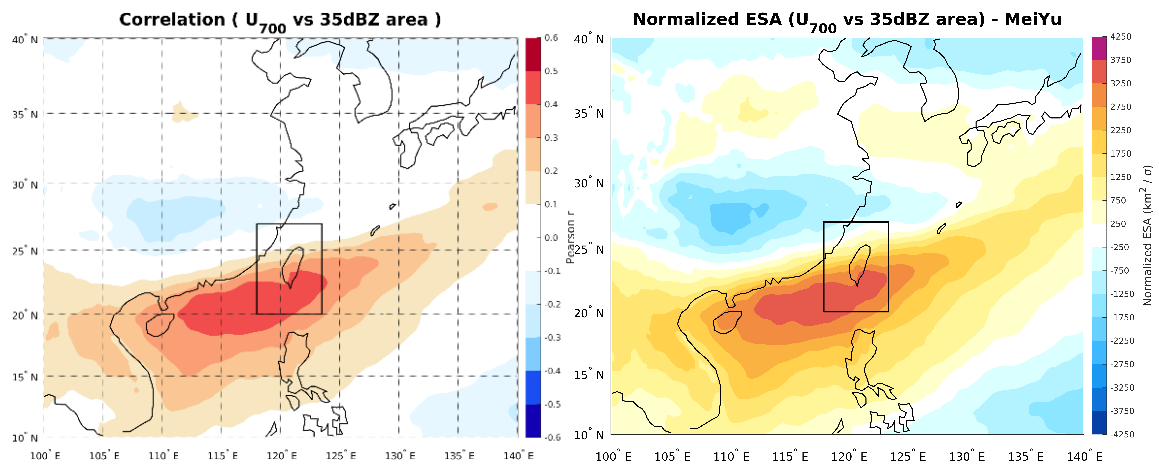
圖3.7 春季頻率代表變數: (a) 500 hPa 比濕、(b) 500 hPa 相當位溫之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。



(a)



(b)



(c)

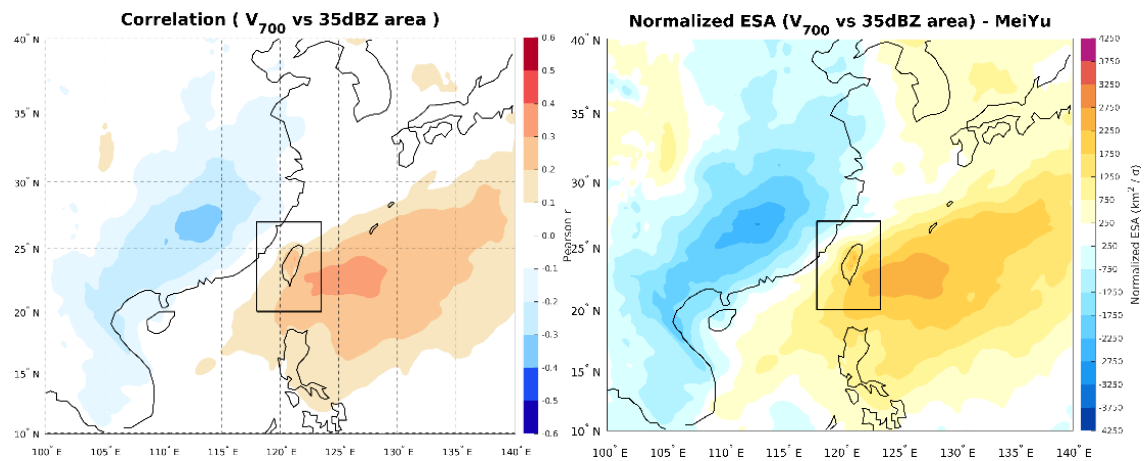
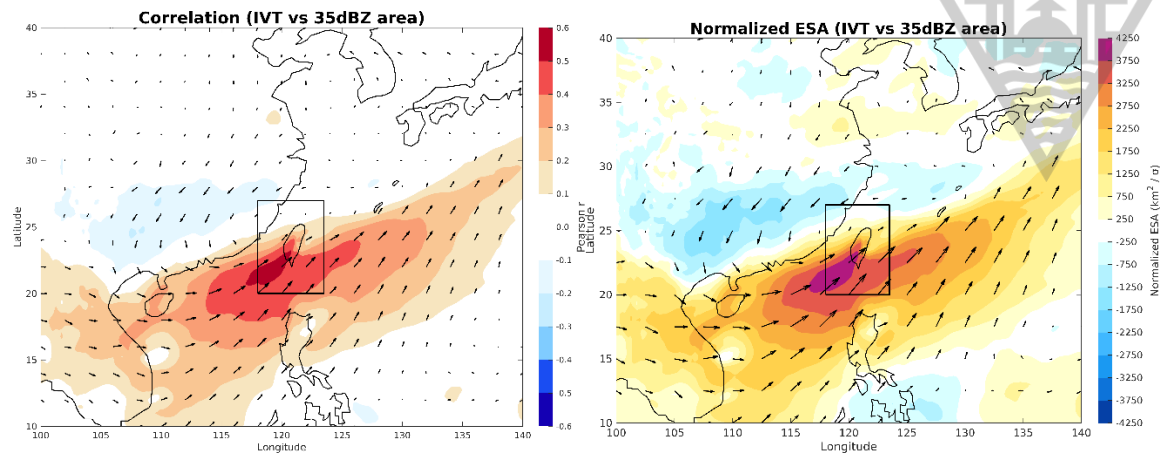
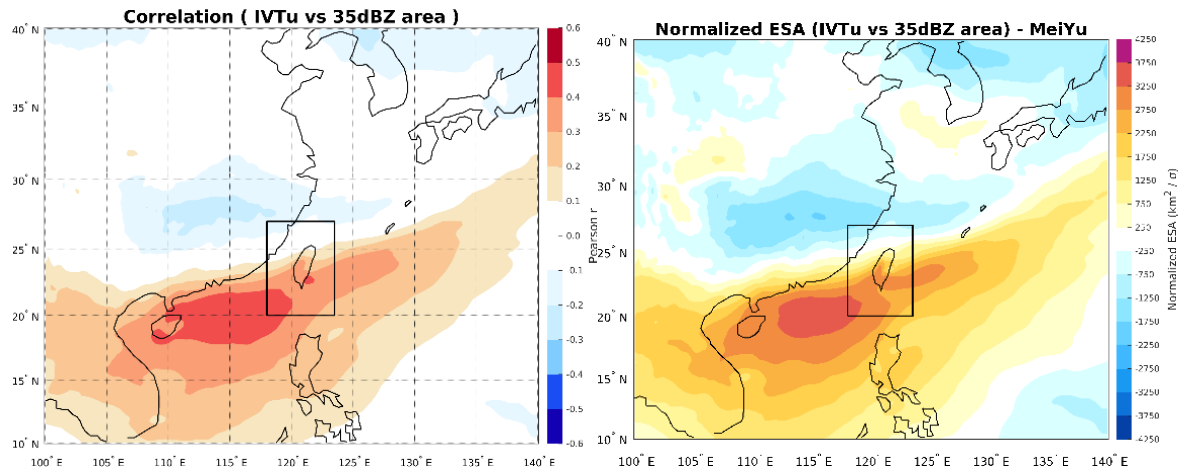


圖3.8 梅雨季強對流面積代表變數: (a) 700 hPa 風速、(b) 700 hPa U 風、(c) 700 hPa V 風之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)



(c)

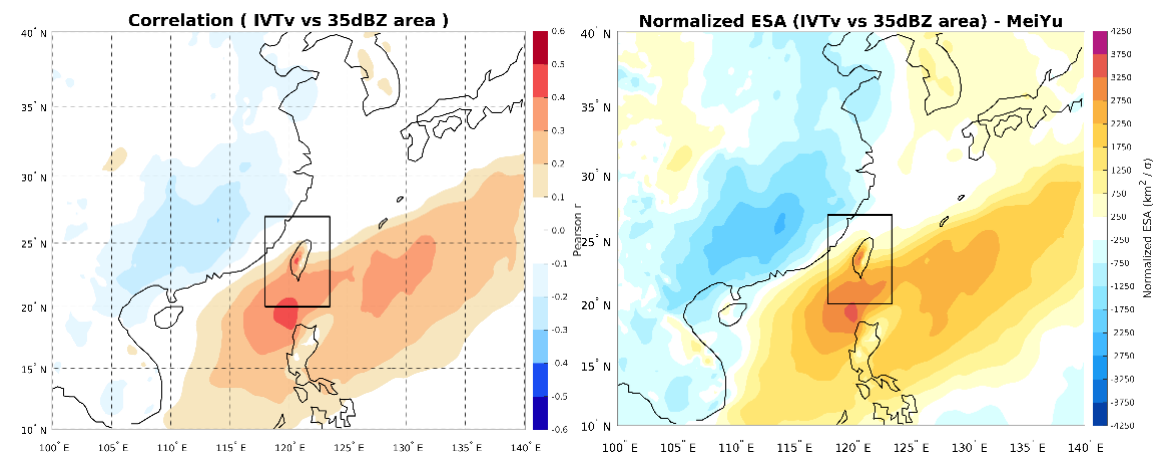


圖3.9 梅雨季強對流面積代表變數: (a) IVT、(b) IVT_U、(c) IVT_V 之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。

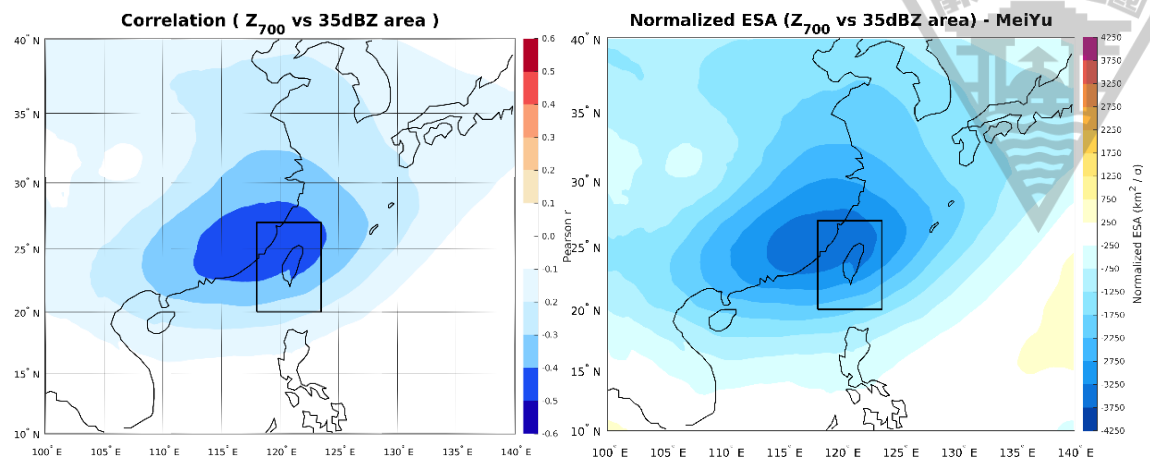
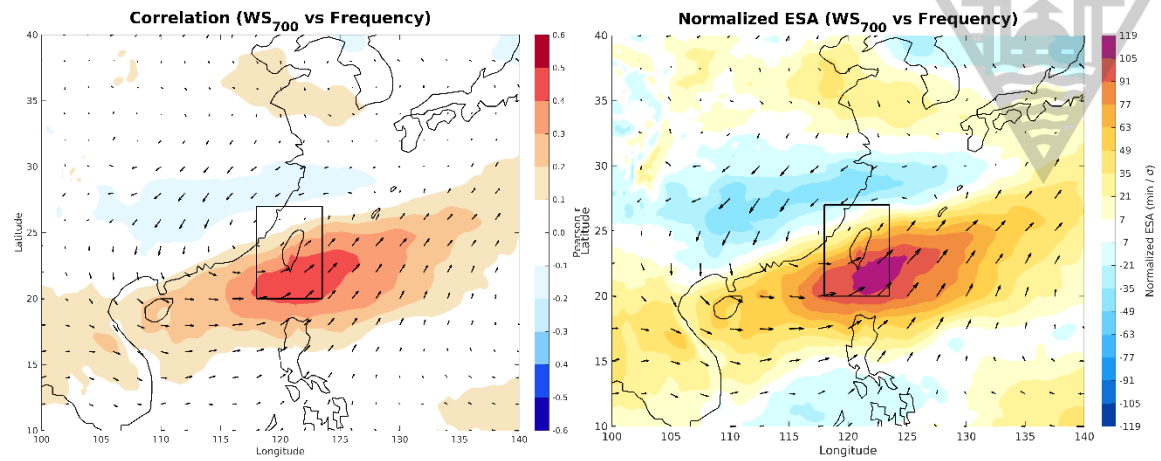
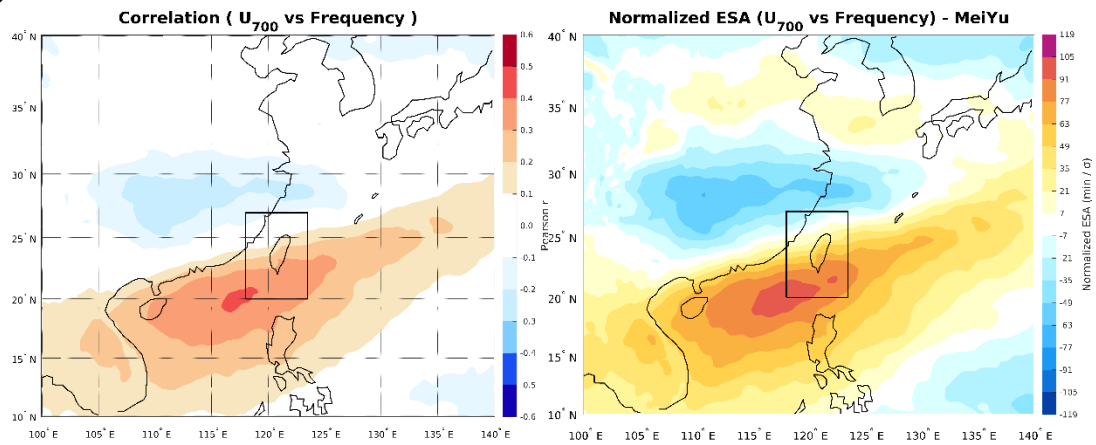


圖3.10 梅雨季強對流面積代表變數 700 hPa 重力位高度之（左）皮爾森相關係數分布；（右）標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)



(c)

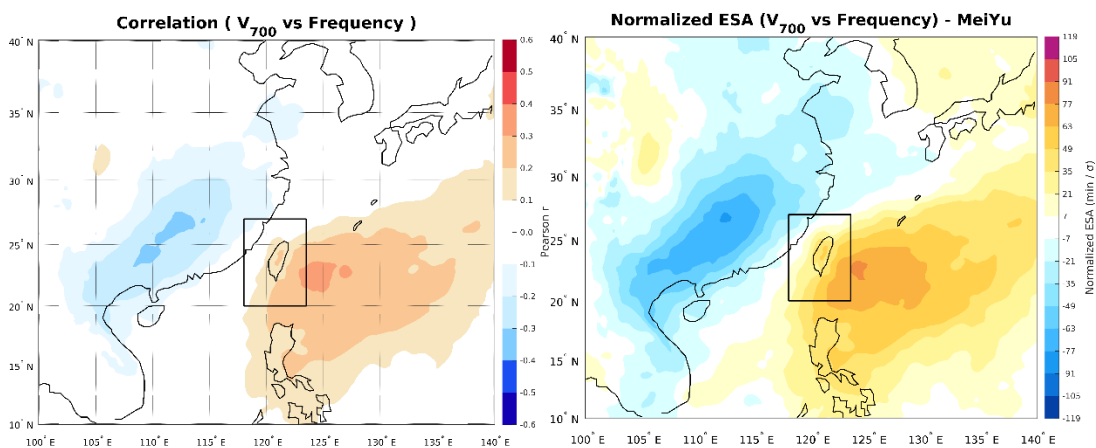
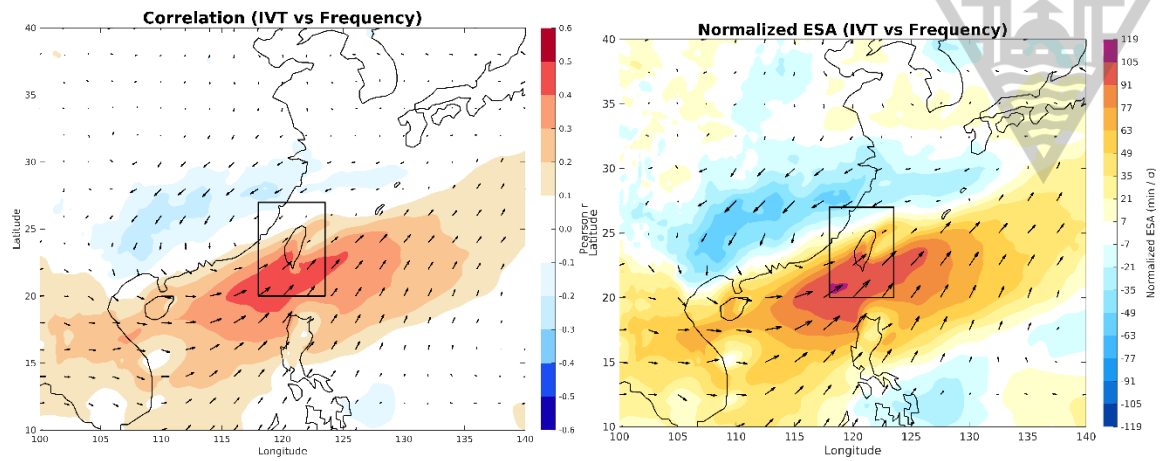
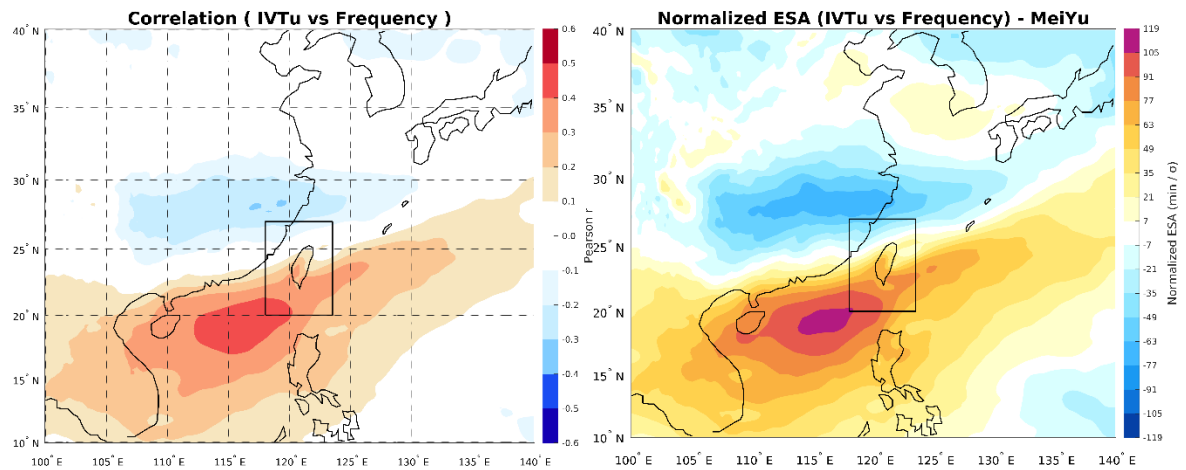


圖3.11 梅雨季頻率代表變數: (a) 700 hPa 風速、(b) 700 hPa U 風、(c) 700 hPa V 風之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)



(c)

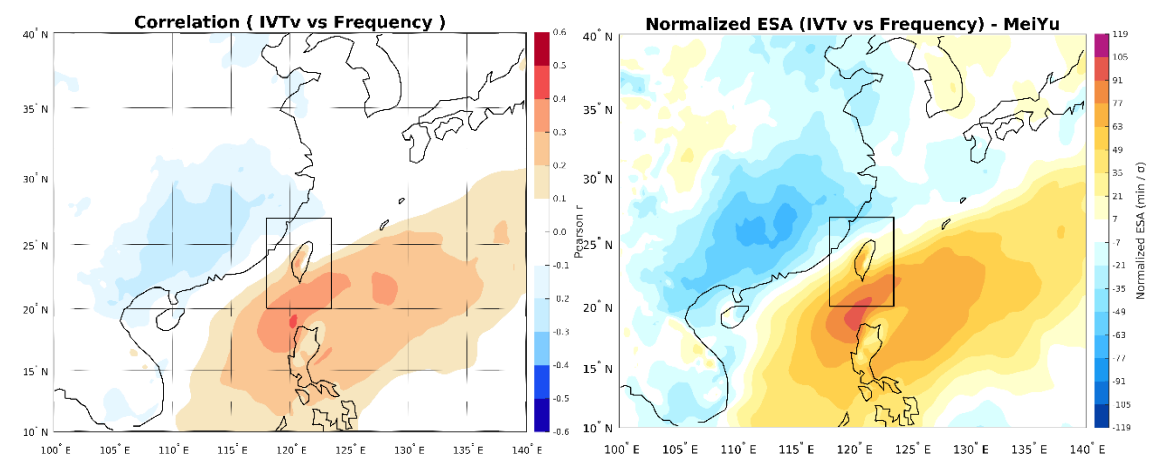
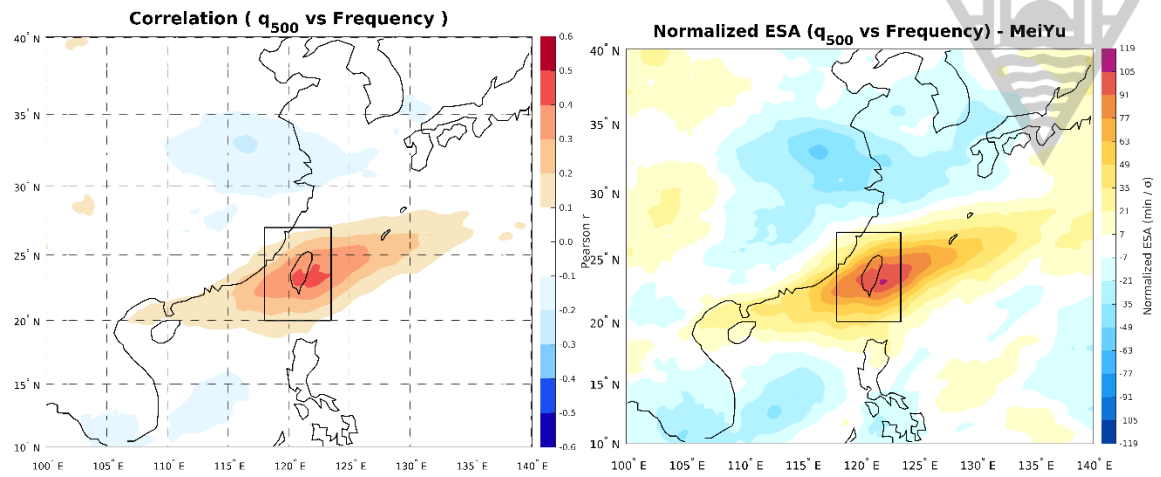


圖 3.12 梅雨季頻率代表變數: (a) IVT、(b) IVT_U、(c) IVT_V 之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)

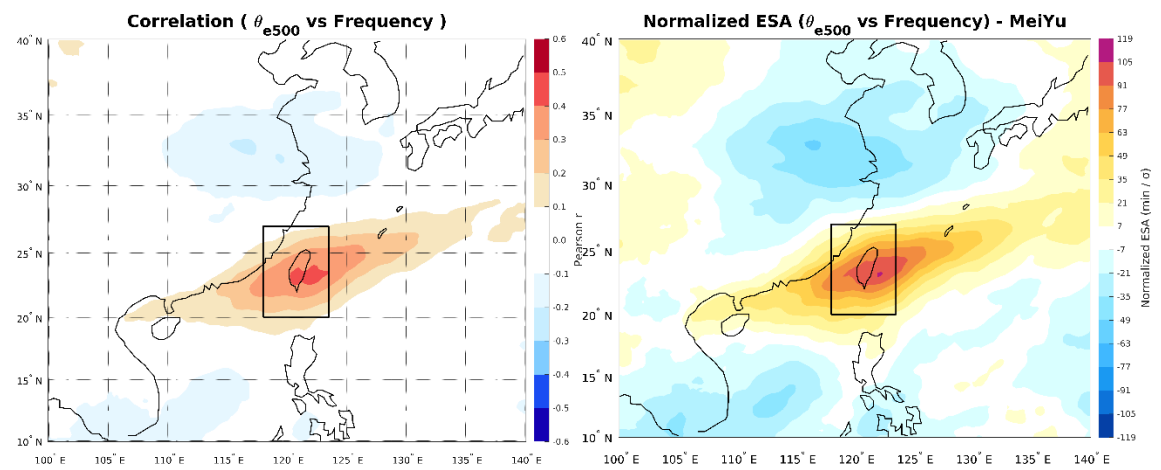
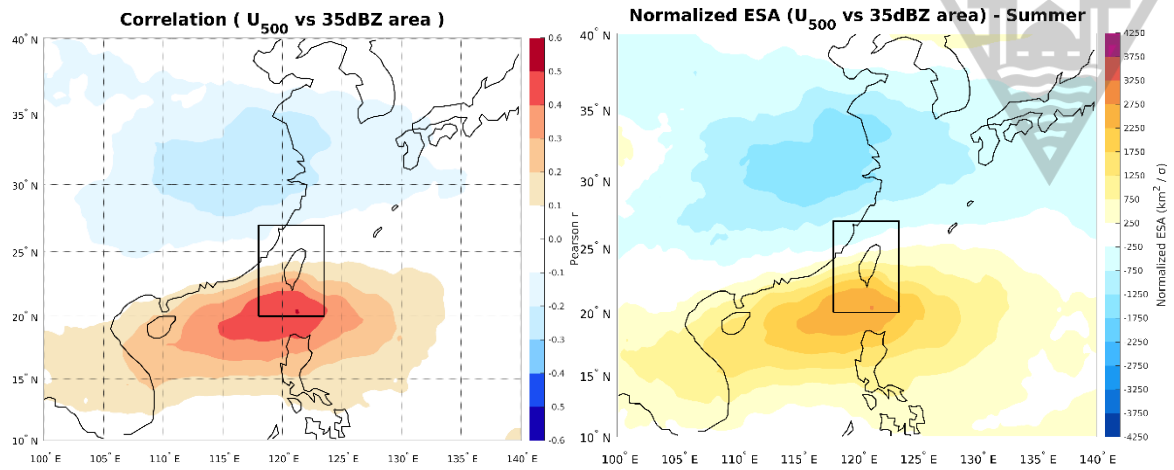
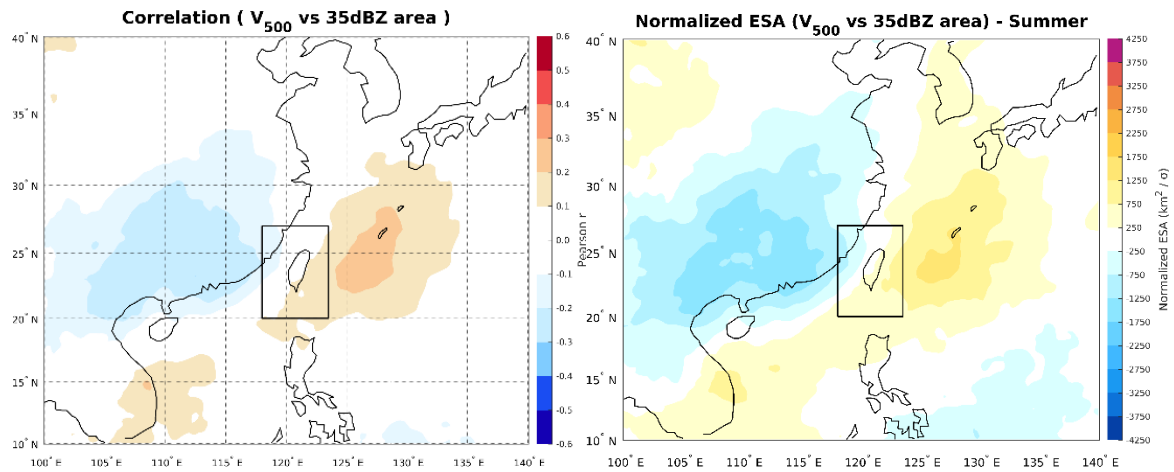


圖3.13 梅雨季頻率代表變數: (a) 500 hPa 比濕、(b) 500 hPa 相當位溫之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)



(c)

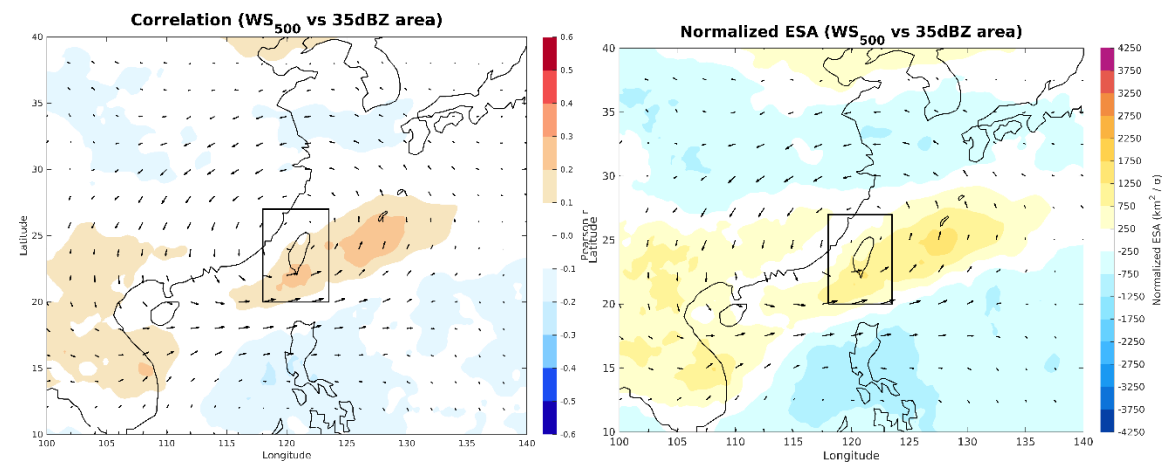
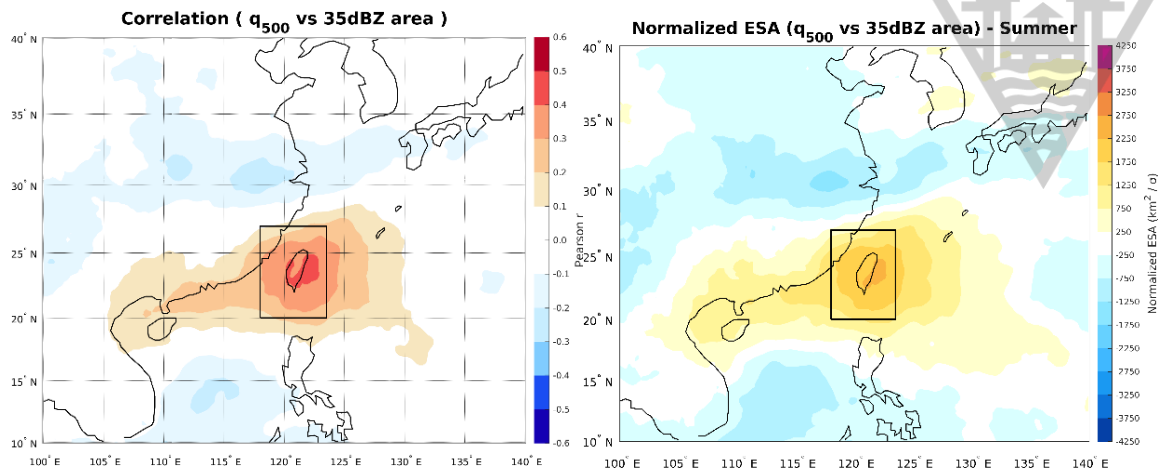


圖3.14 夏季強對流面積代表變數: (a) 500 hPa U風、(b) 500 hPa V 風、(c) 500 hPa 風速之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)

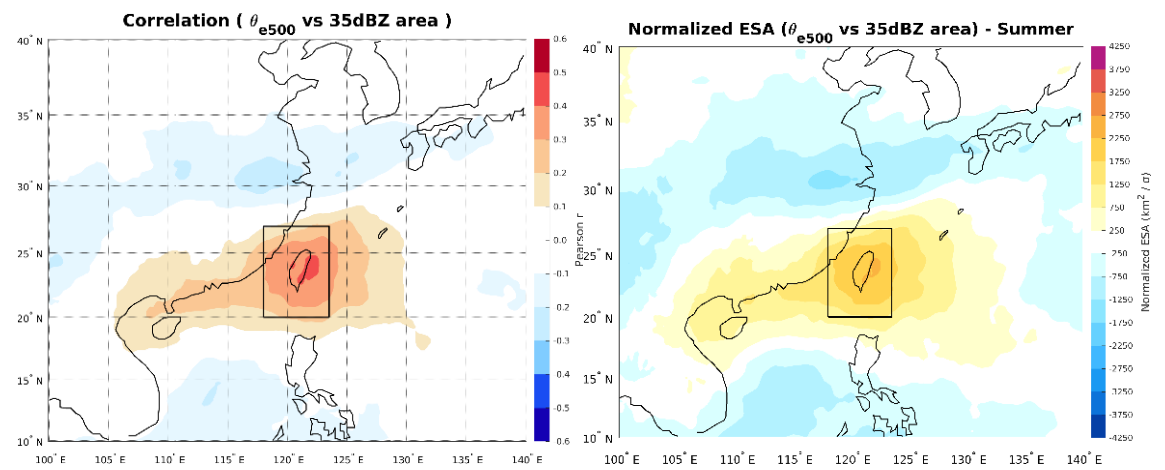


圖3.15 夏季強對流面積代表變數:(a) 500 hPa 比濕、(b) 500 hPa 相當位溫之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。

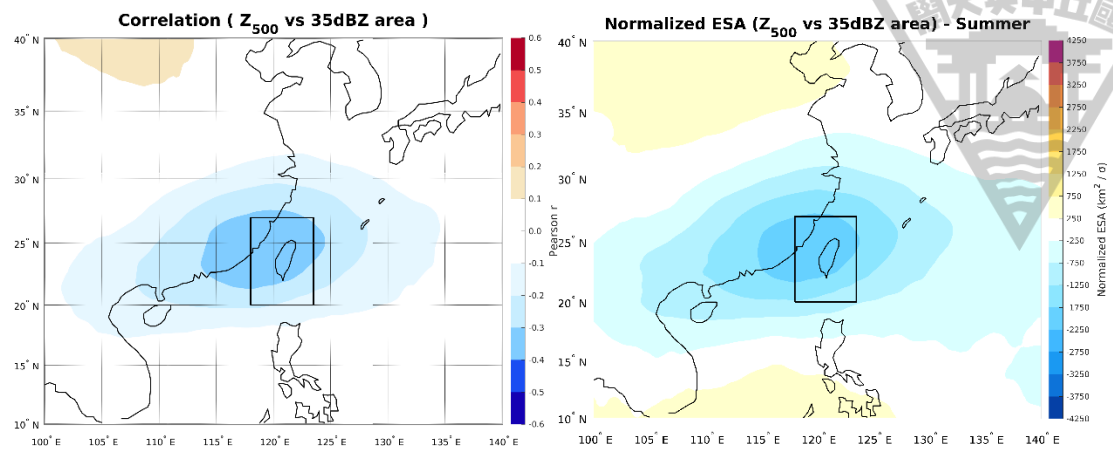
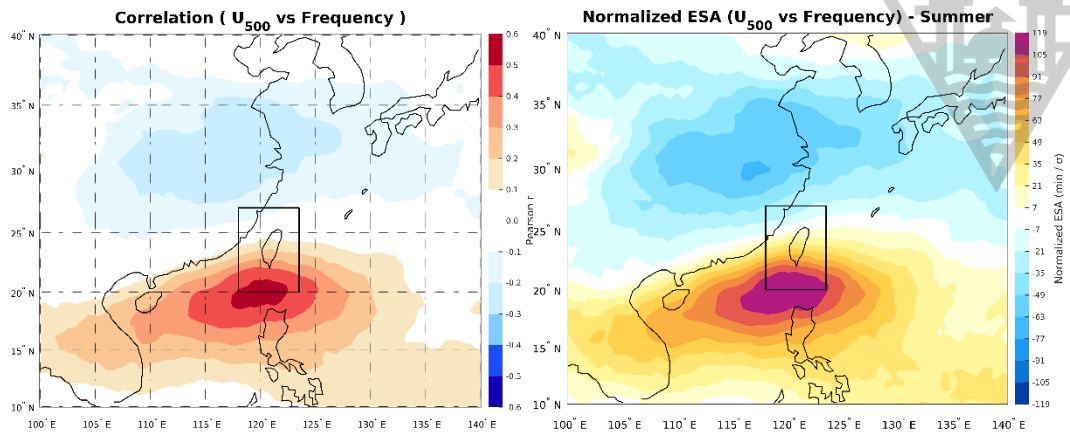
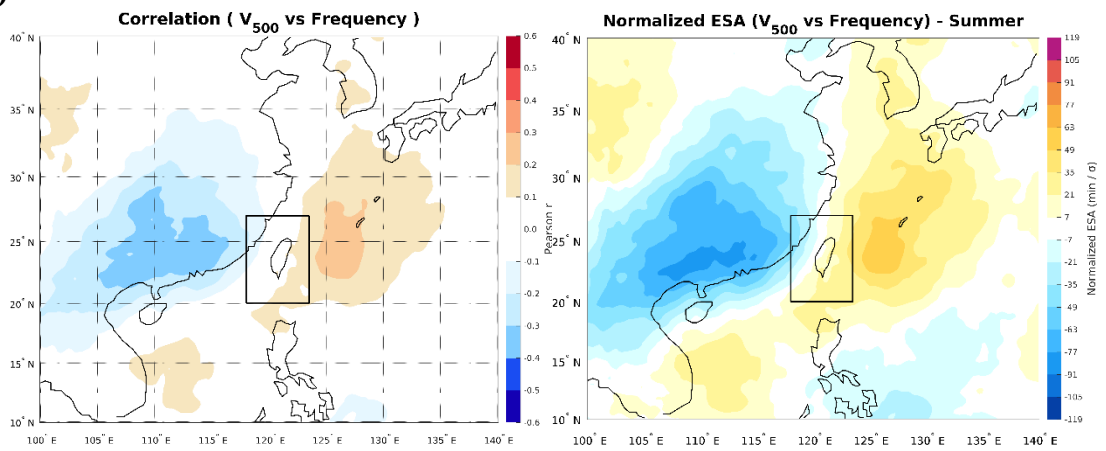


圖3.16 夏季強對流面積代表變數 500 hPa 重力位高度之(左)皮爾森相關係數分布；
(右)標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)



(c)

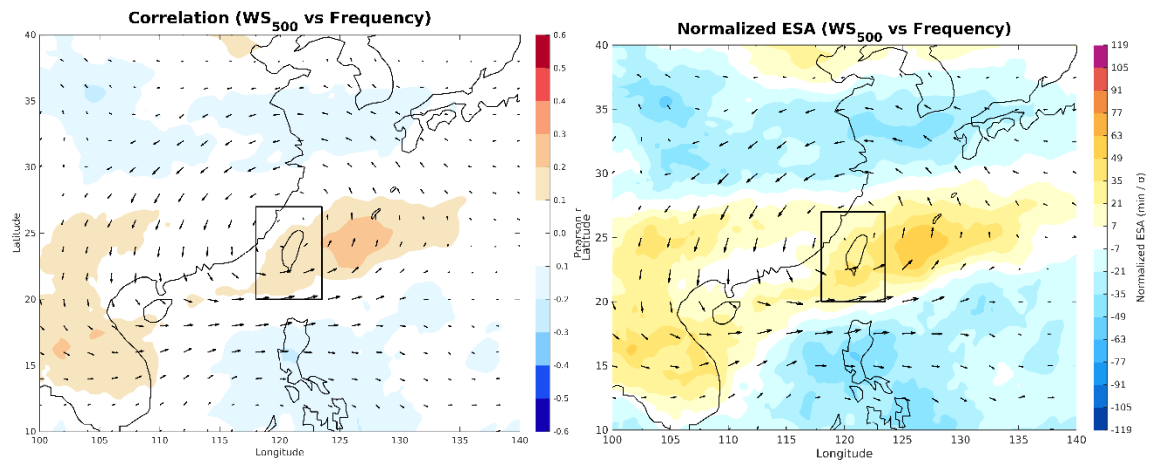
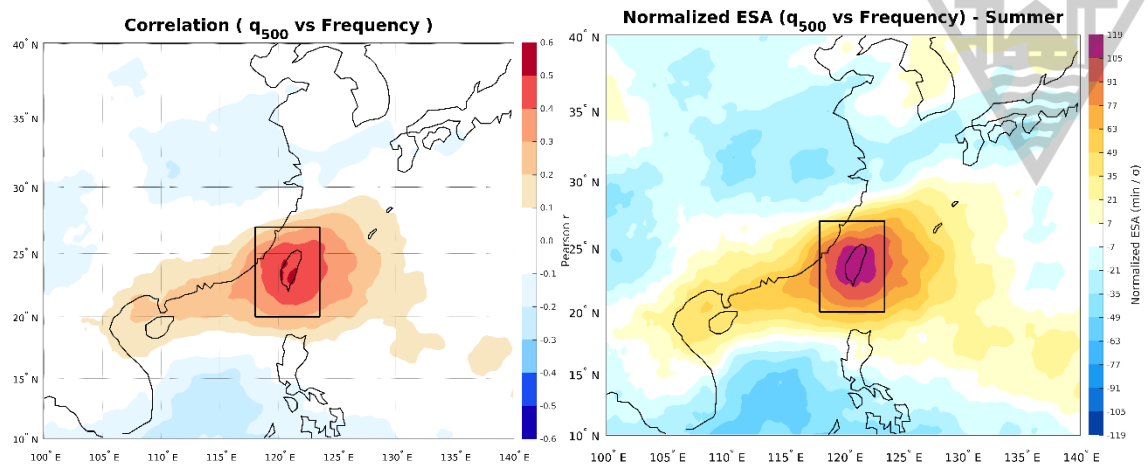


圖3.17 夏季頻率代表變數: (a) 500 hPa U 風、(b) 500 hPa V 風、(c) 500 hPa 風速之
(左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)

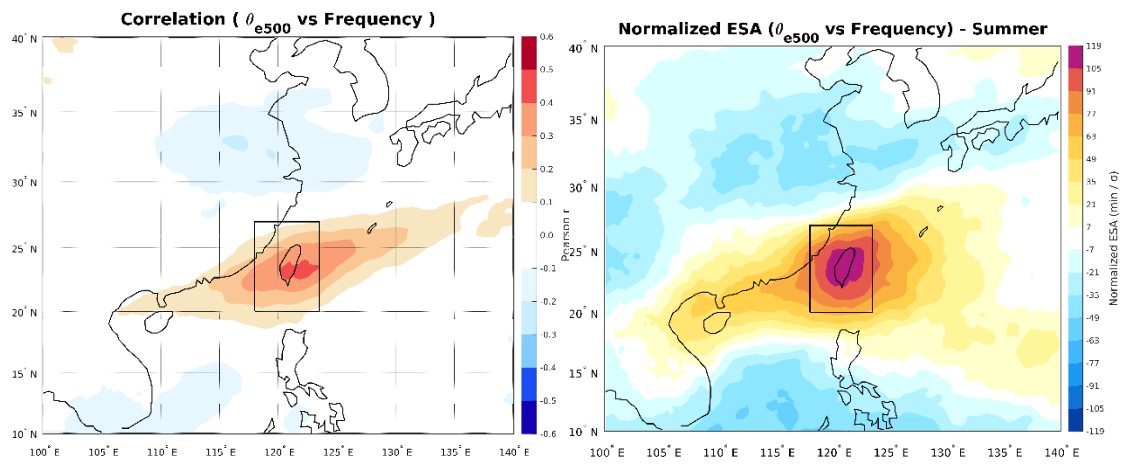


圖3.18 夏季頻率代表變數: (a) 500 hPa 比濕、(b) 500 hPa 相當位溫之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。

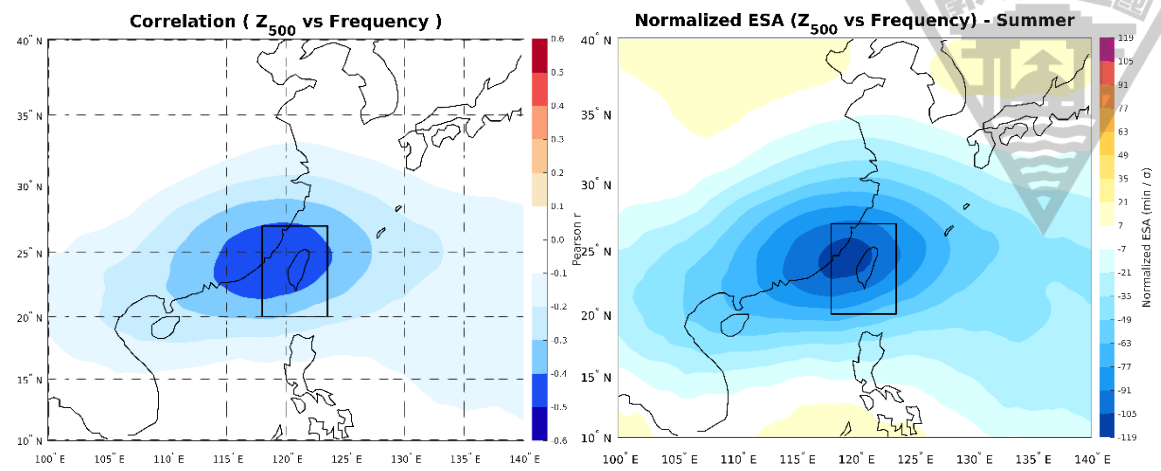
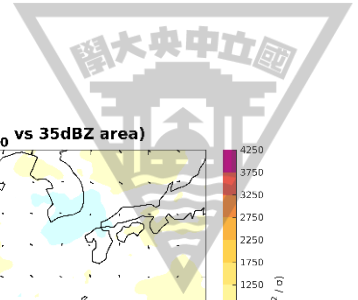
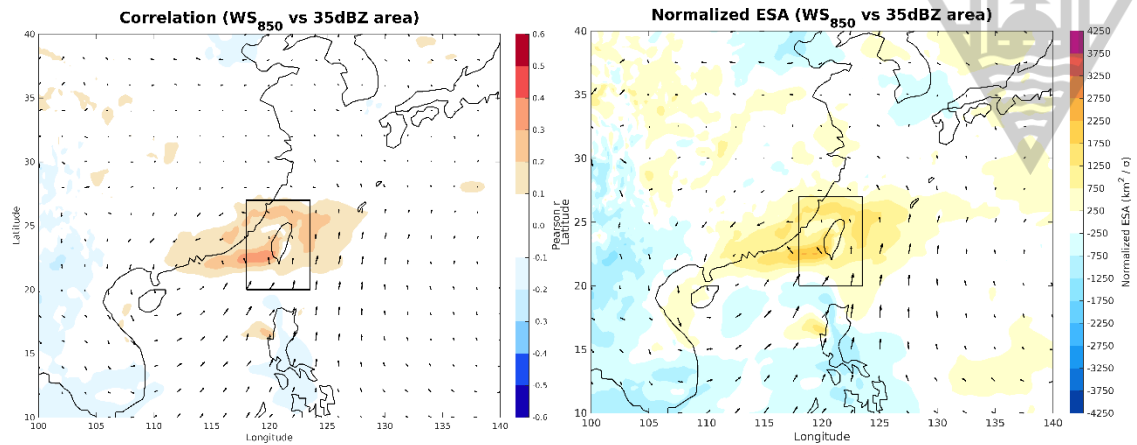


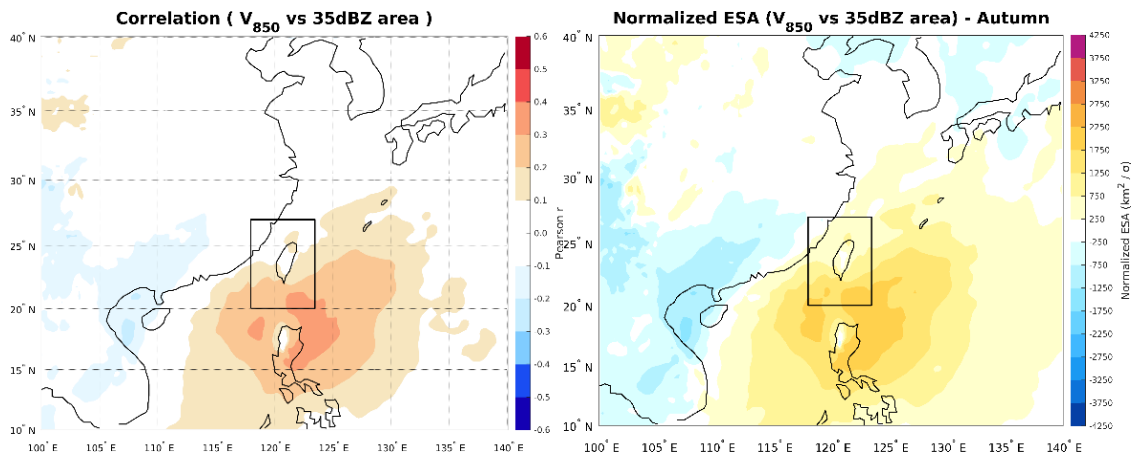
圖3.19 夏季頻率代表變數 500 hPa 重力位高度之(左)皮爾森相關係數分布；(右)標準化系集敏感度分布。



(a)



(b)



(c)

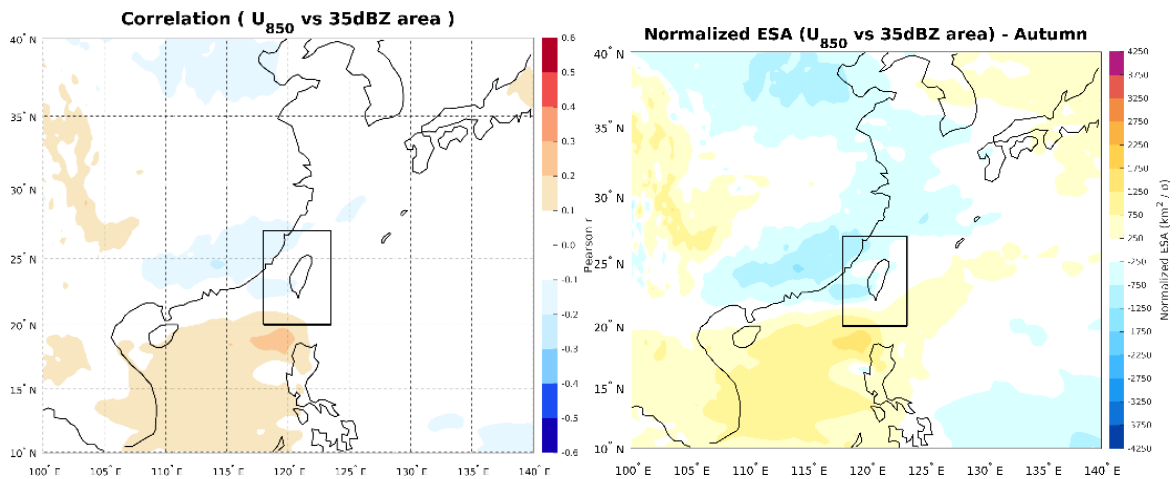
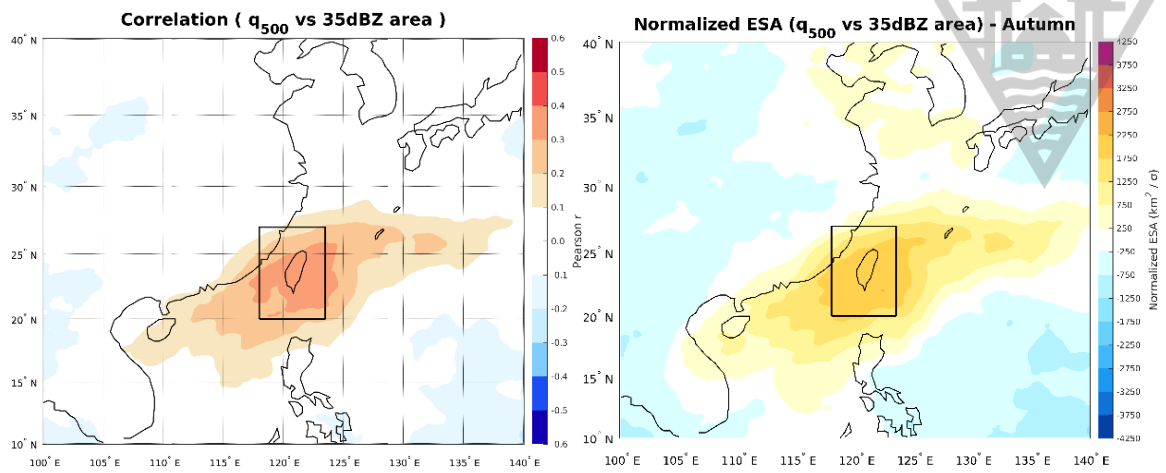


圖3.20 秋季強對流面積代表變數: (a) 850 hPa 風速、(b) 850 hPa V 風、(c) 850 hPa U 風之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)

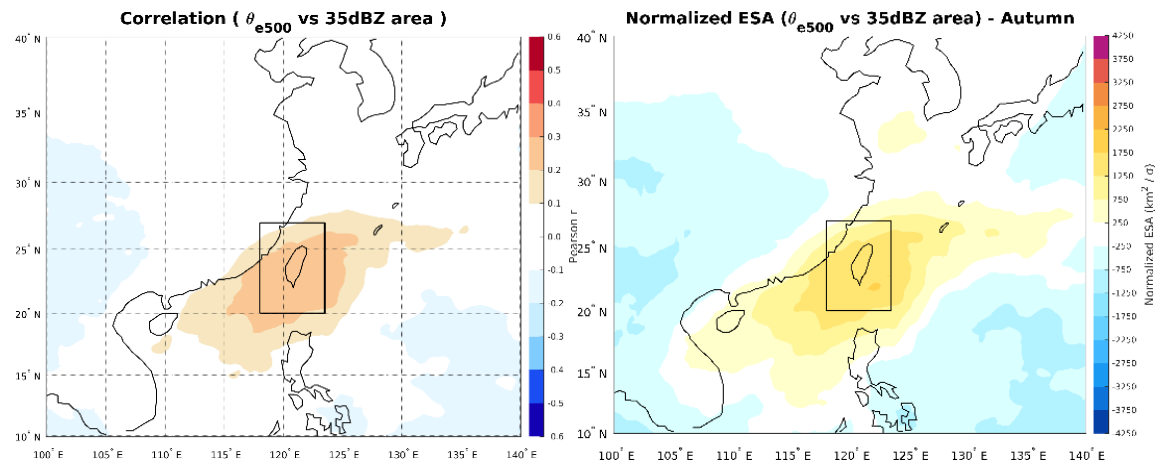


圖3.21 秋季強對流面積代表變數: (a) 500 hPa比濕、(b) 500 hPa 相當位溫之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。

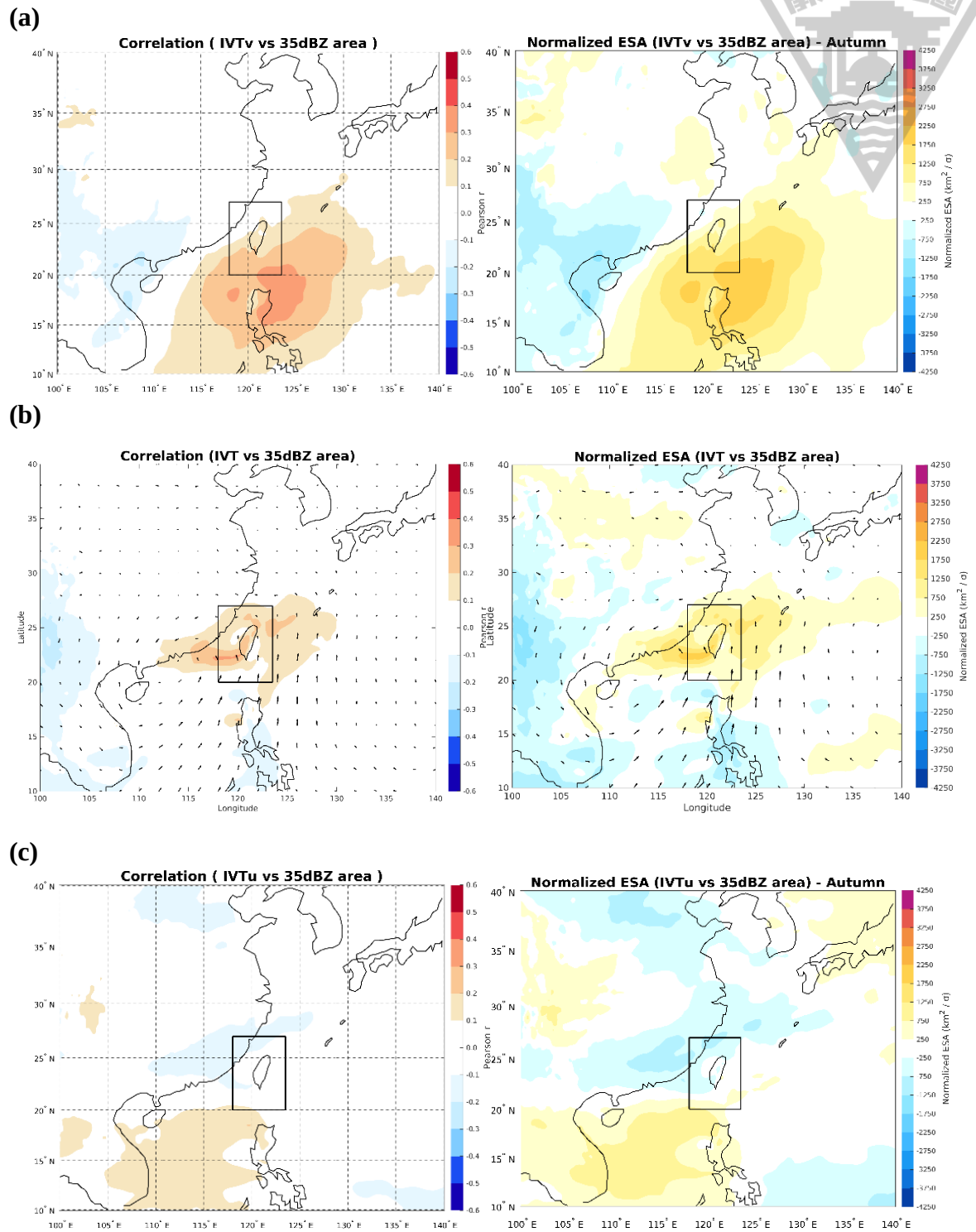
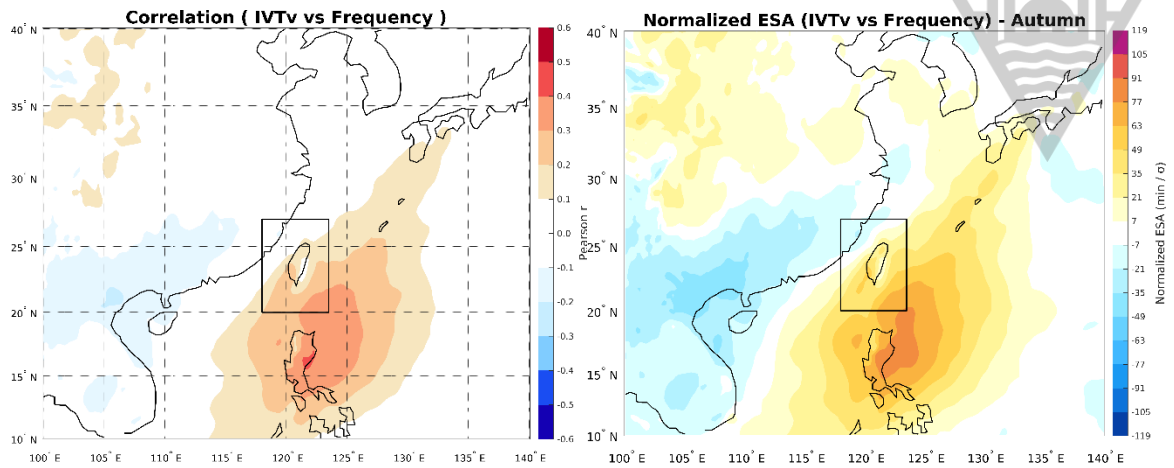
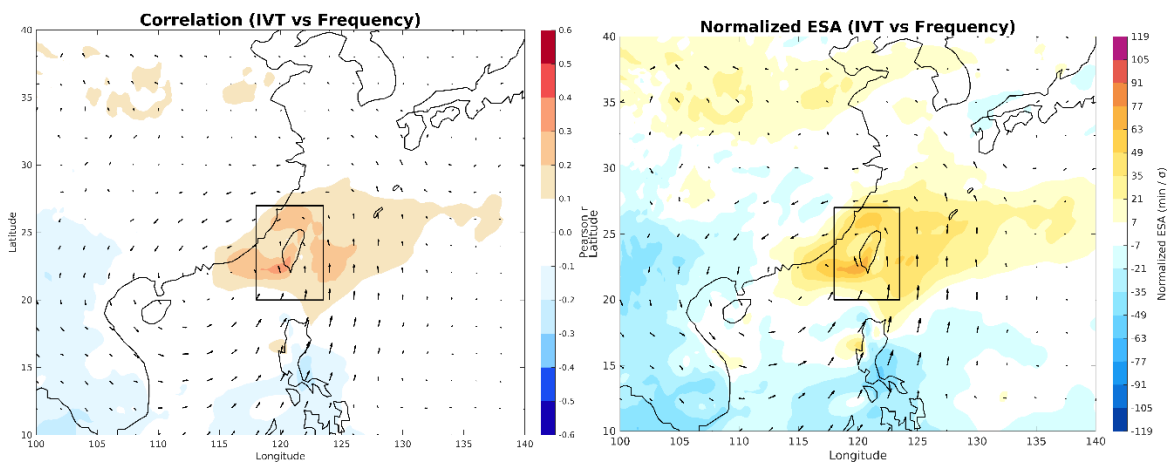


圖3.22 秋季強對流面積代表變數: (a) IVT_V、(b) IVT、(c) IVT_U 之 (左) 皮爾森相
關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)



(c)

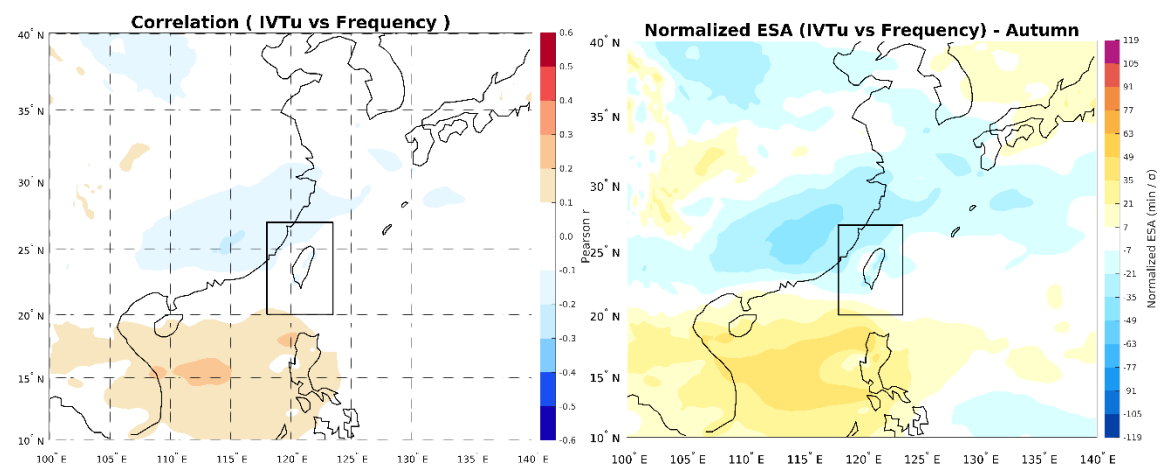
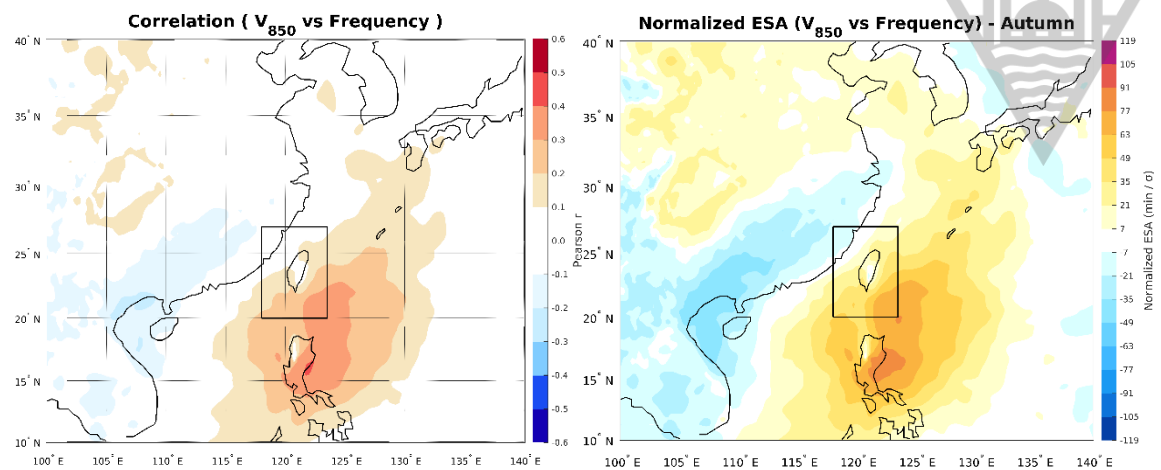
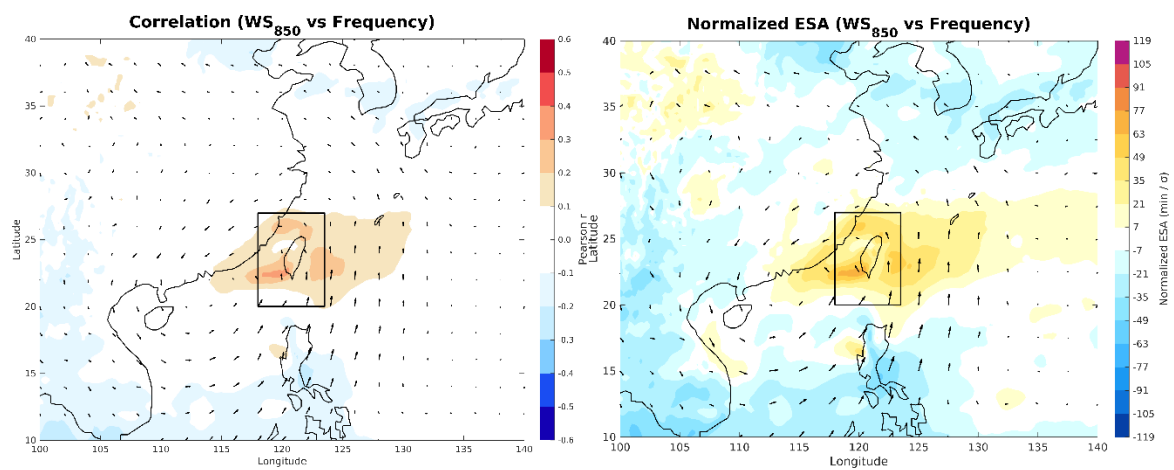


圖3.23 秋季頻率代表變數: (a) IVT_V、(b) IVT、(c) IVT_U 之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)



(c)

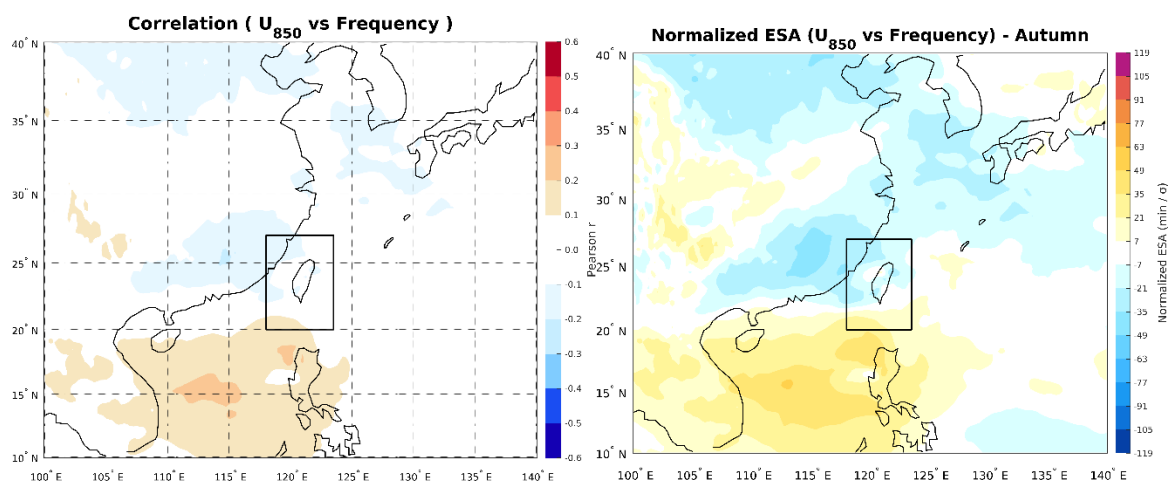
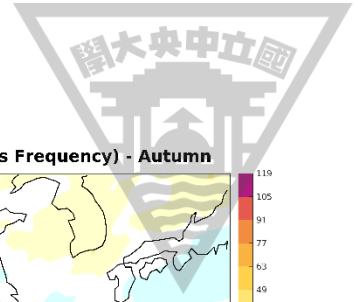
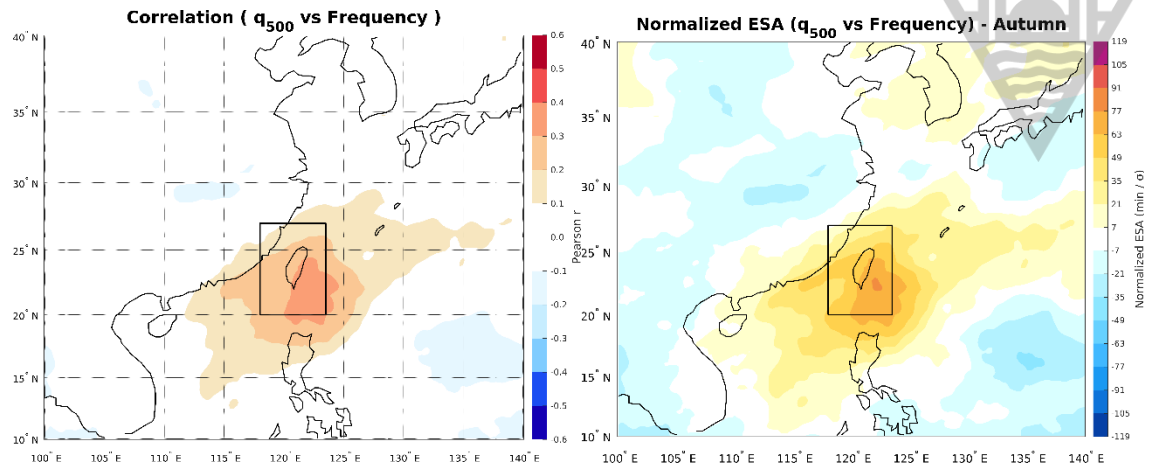


圖3.24 秋季頻率代表變數: (a) 850 hPa V 風、(b) 850 hPa 風速、(c) 850 hPa U 風之
(左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。



(a)



(b)

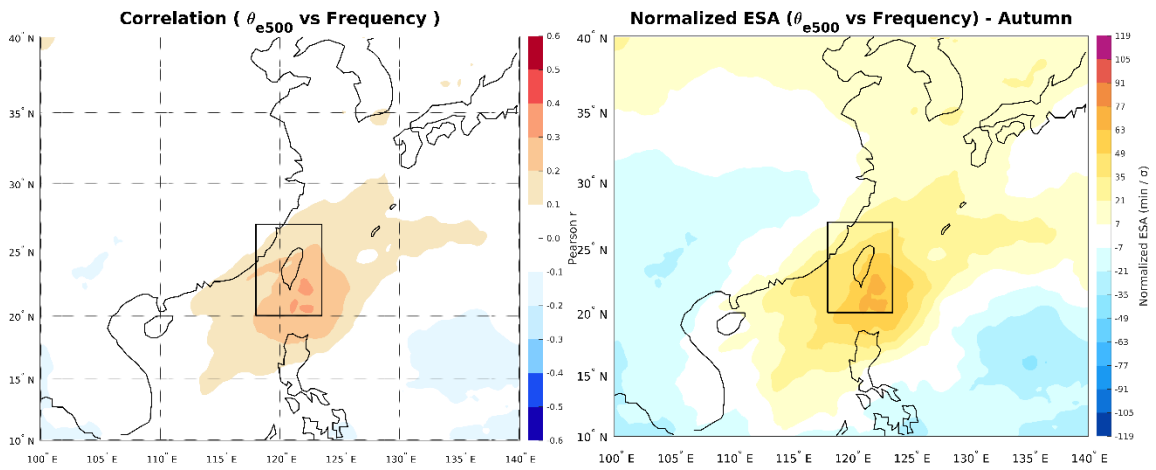
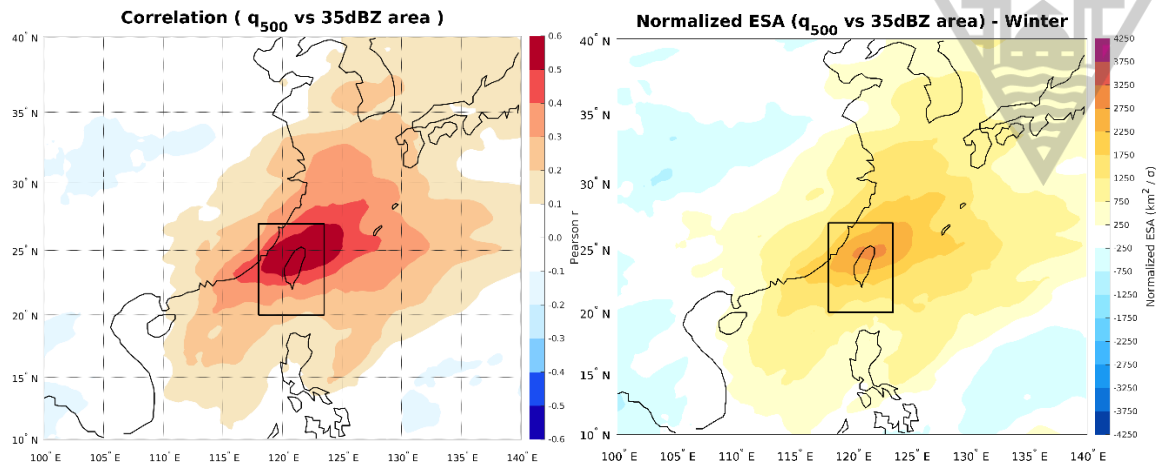


圖3.25 秋季頻率代表變數: (a) 500 hPa比濕、(b) 500 hPa 相當位溫之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)

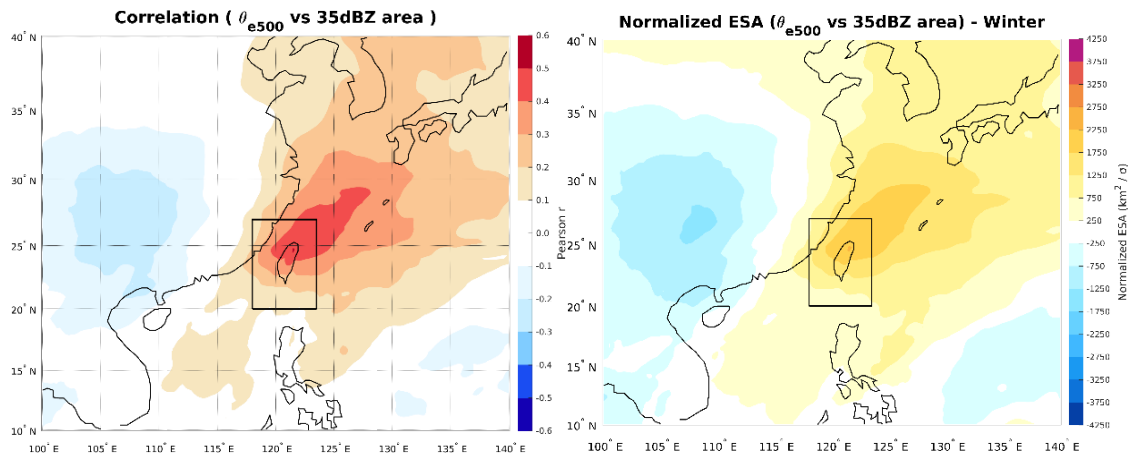
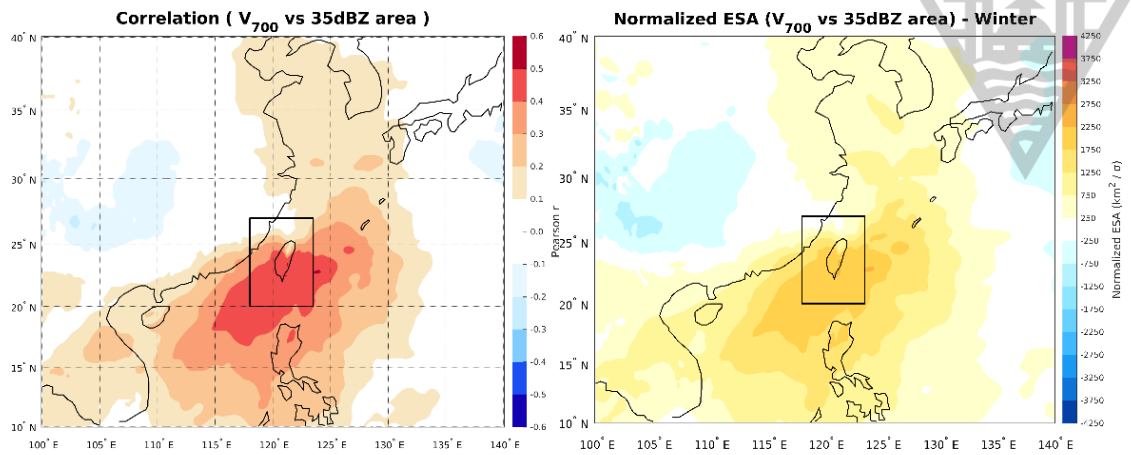
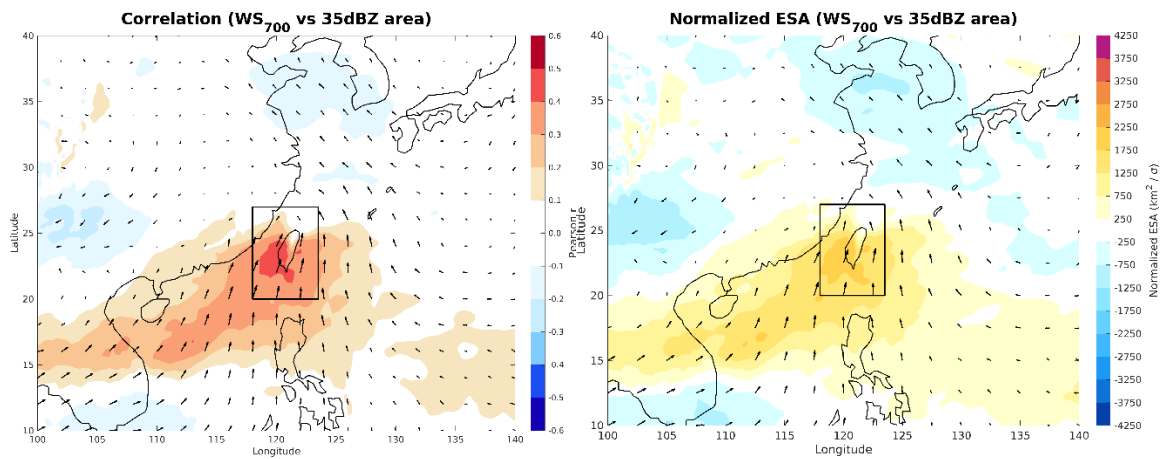


圖3.26 冬季強對流面積代表變數: (a)500 hPa比濕、(b) 500 hPa 相當位溫之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)



(c)

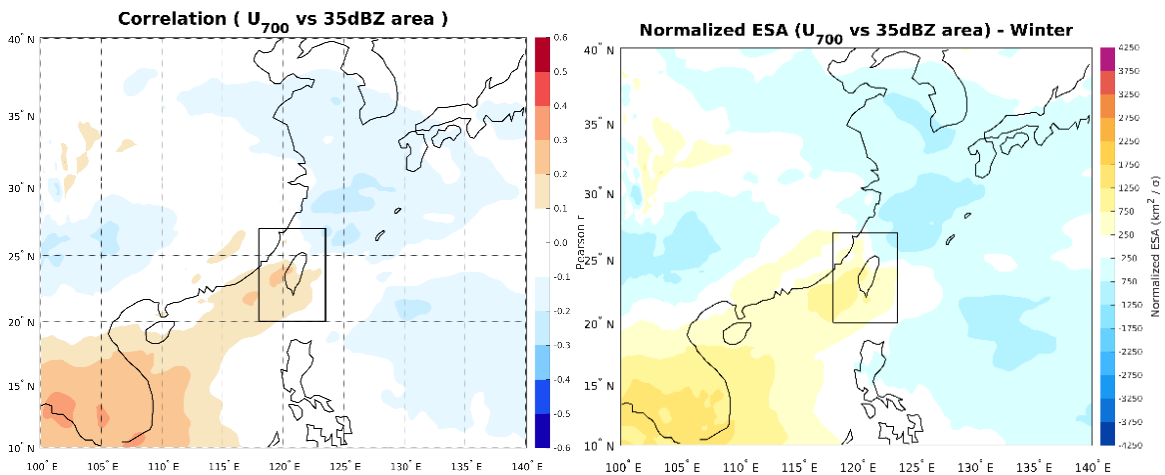


圖3.27 冬季強對流面積代表變數: (a) 700 hPa V 風、(b) 700 hPa 風速、(c) 700 hPa U 風之 (左) 皮爾森相關係數分布; (右) 標準化系集敏感度分布。

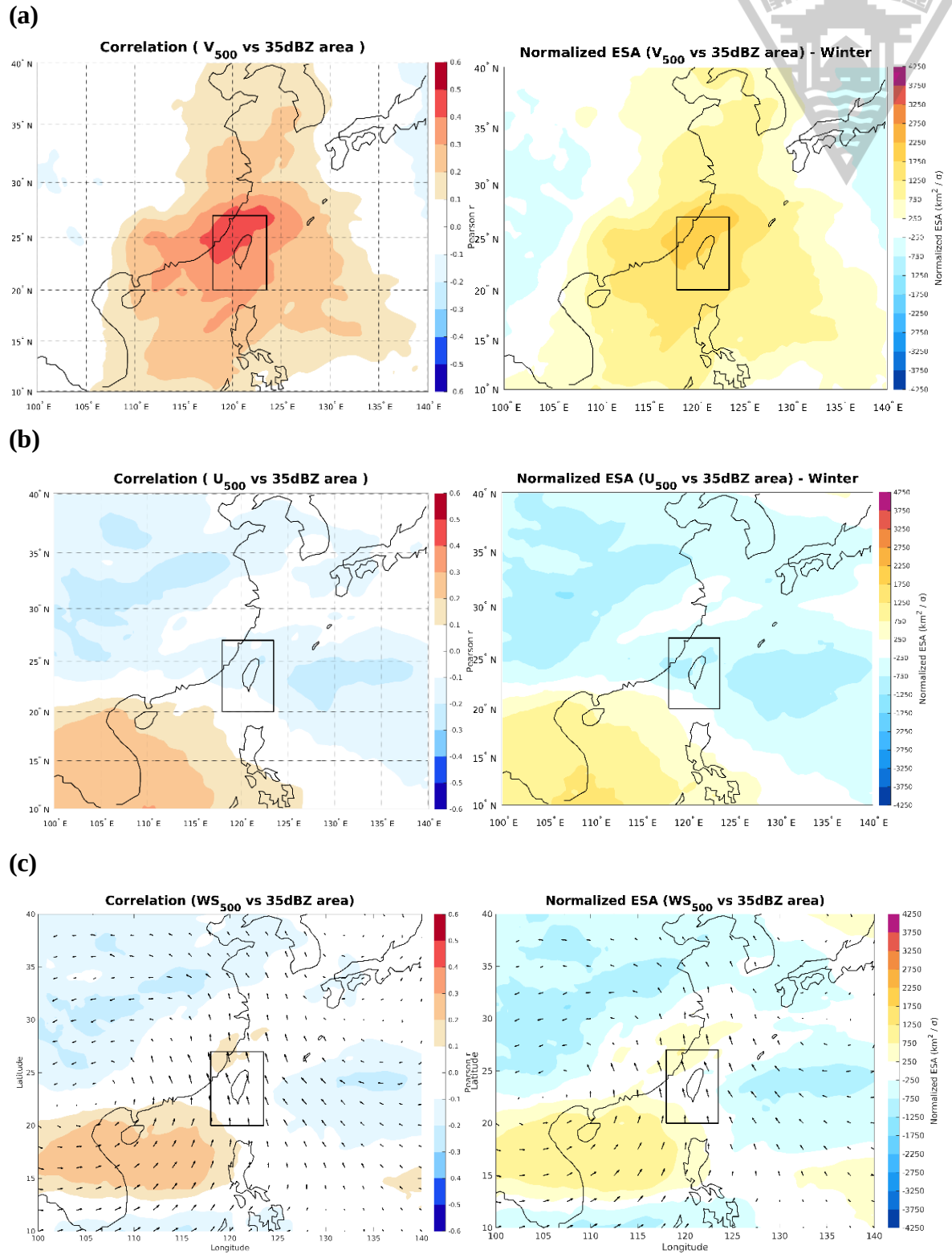
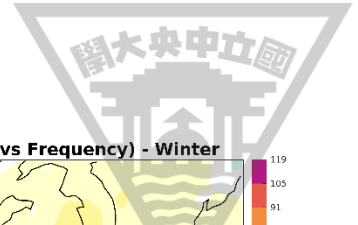
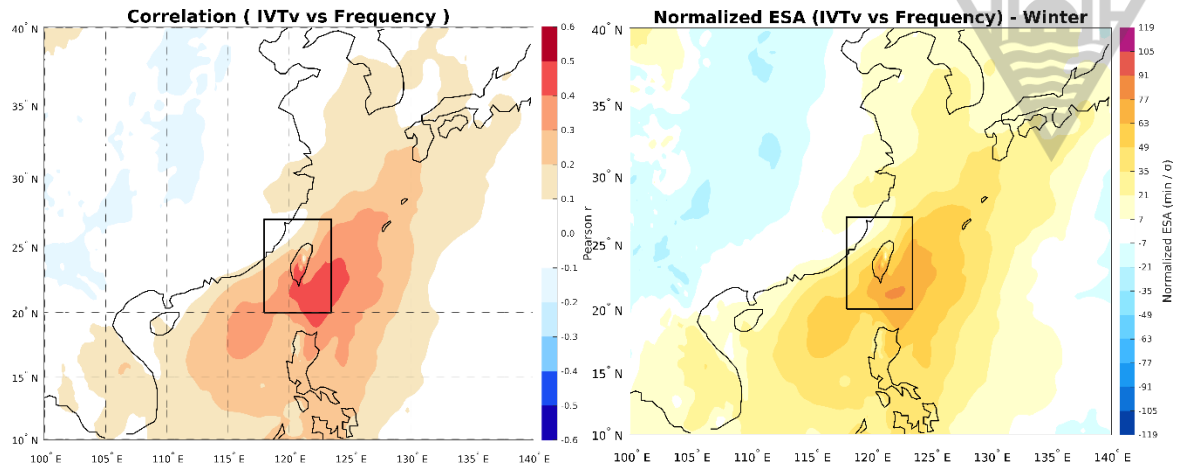


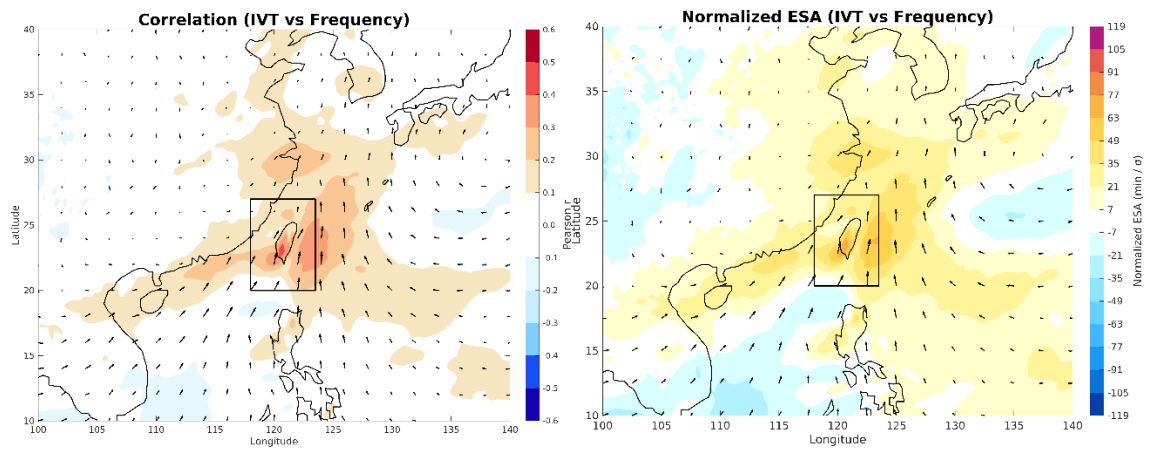
圖3.28 冬季強對流面積代表變數(a) 500 hPa V 風、(b) 500 hPa U 風、(c) 500 hPa 風速之（左）皮爾森相關係數分布；（右）標準化系集敏感度分布



(a)



(b)



(c)

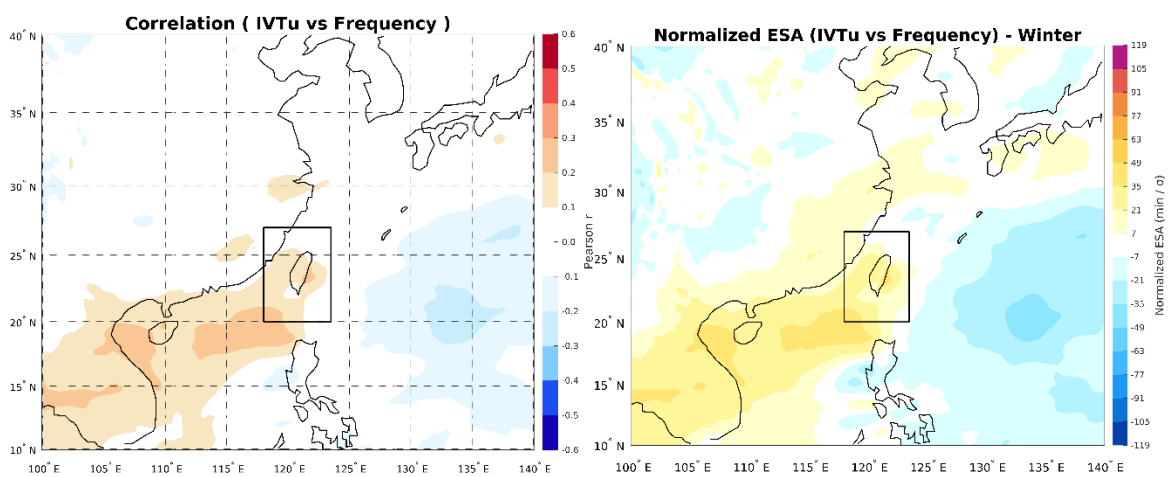
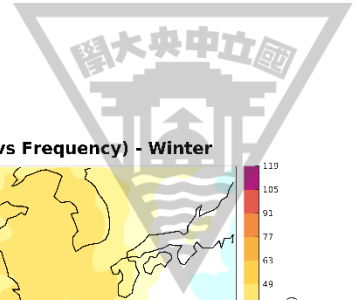
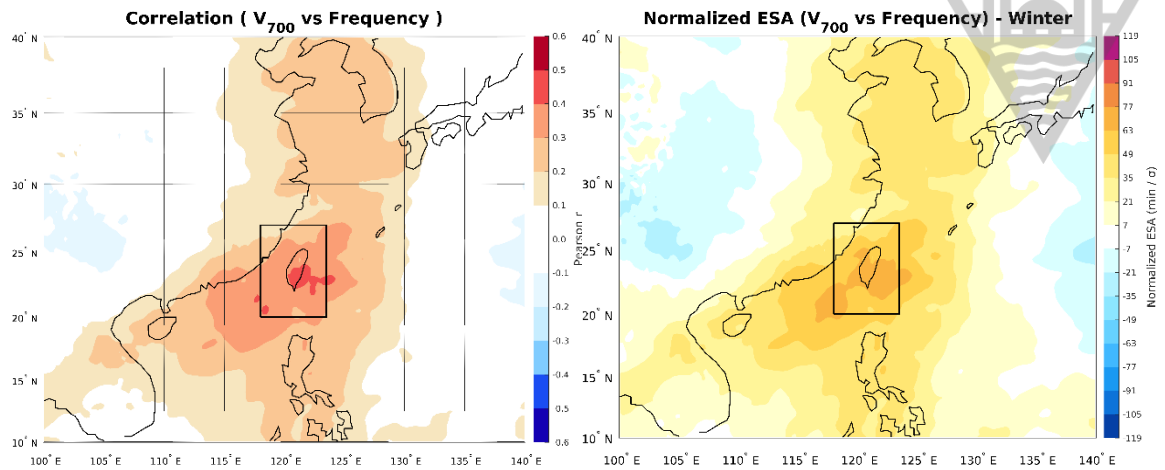


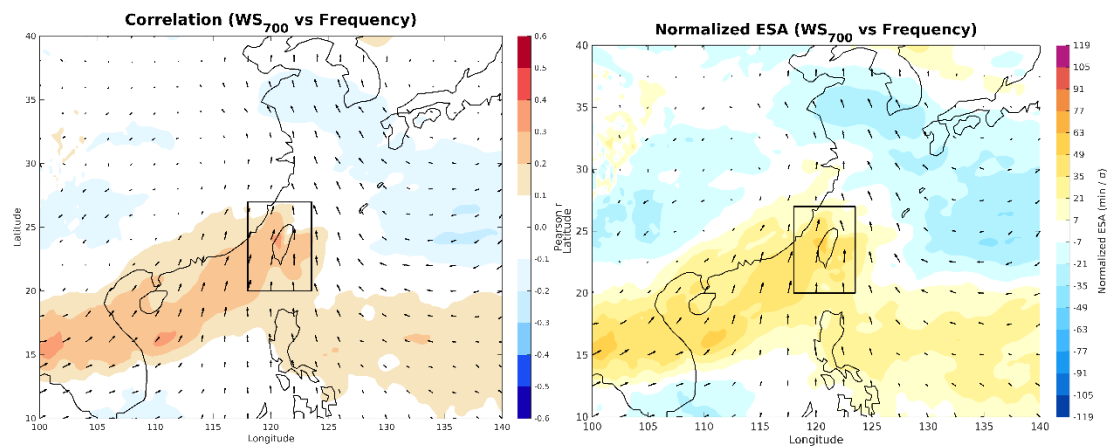
圖3.29 冬季頻率代表變數: (a) IVT_V、(b) IVT、(c) IVT_U 之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。



(a)



(b)



(c)

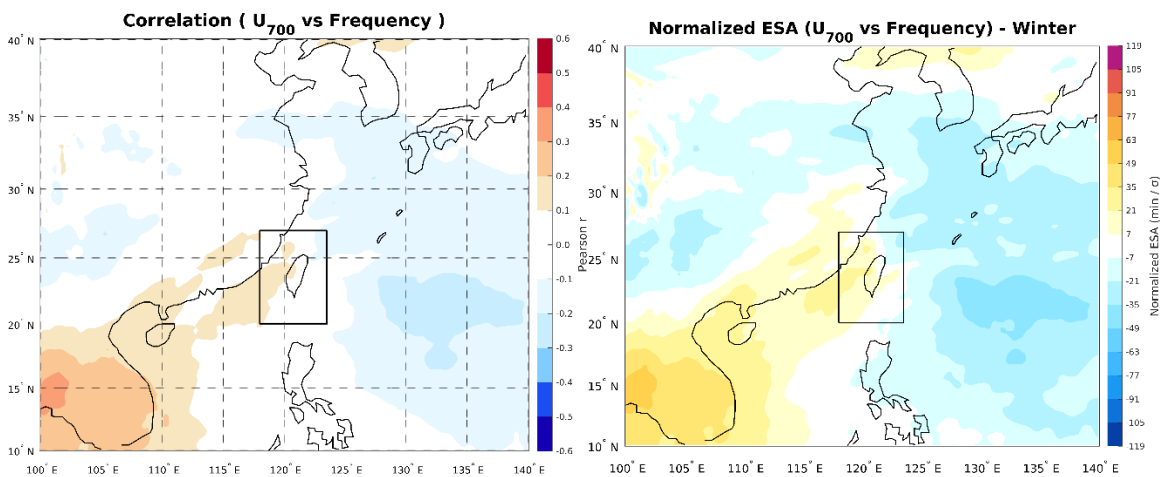
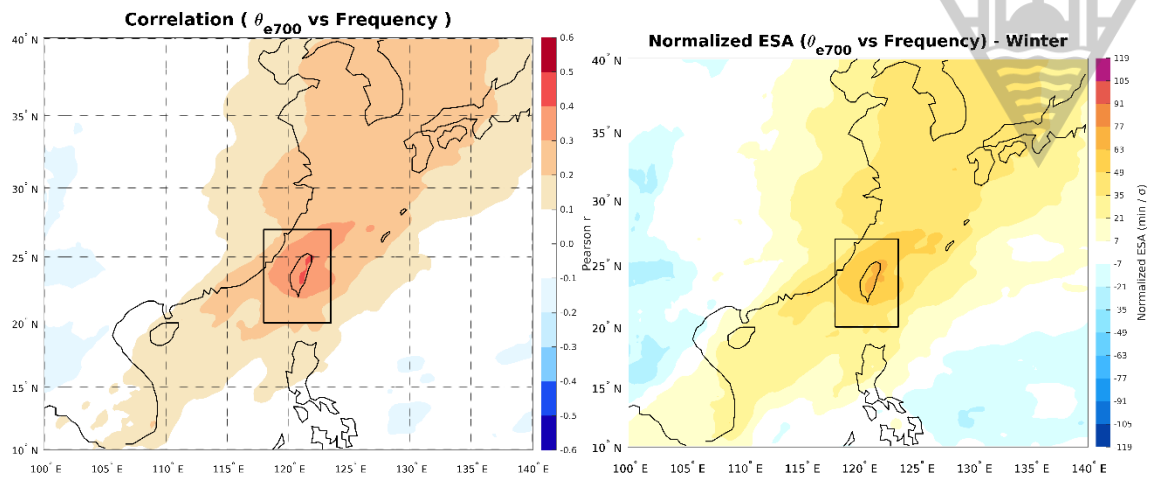


圖3.30 冬季頻率代表變數: (a) 700 hPa V 風、(b) 700 hPa 風速、(c) 700 hPa U 風之
(左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)

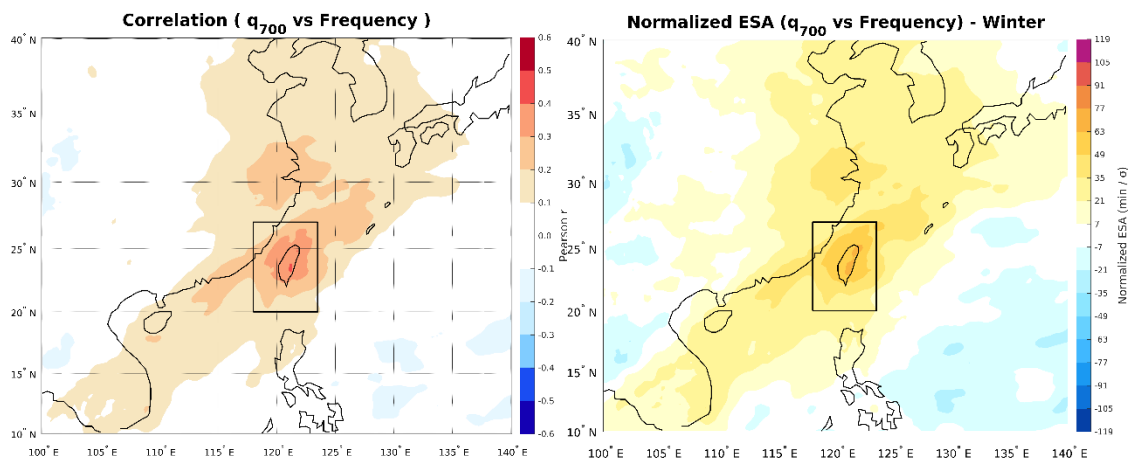
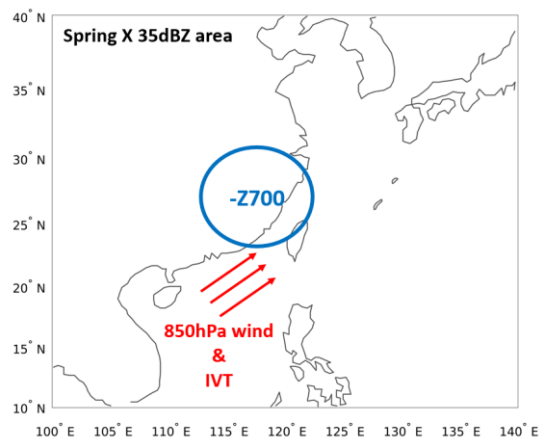
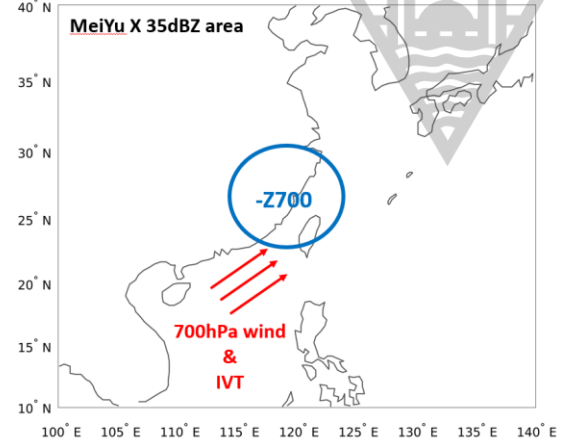


圖3.31 冬季頻率代表變:(a)700 hPa 相當位溫、(b)700 hPa 比濕之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。

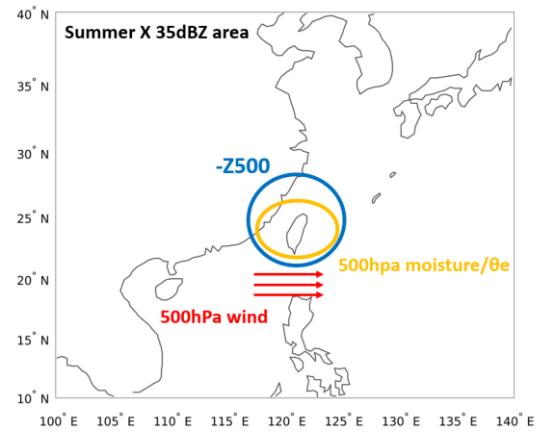
(a)



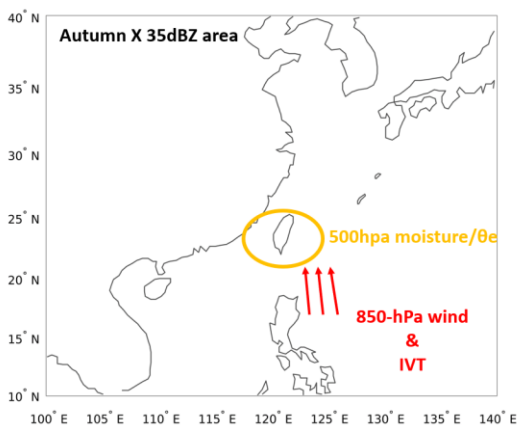
(b)



(c)



(d)



(e)

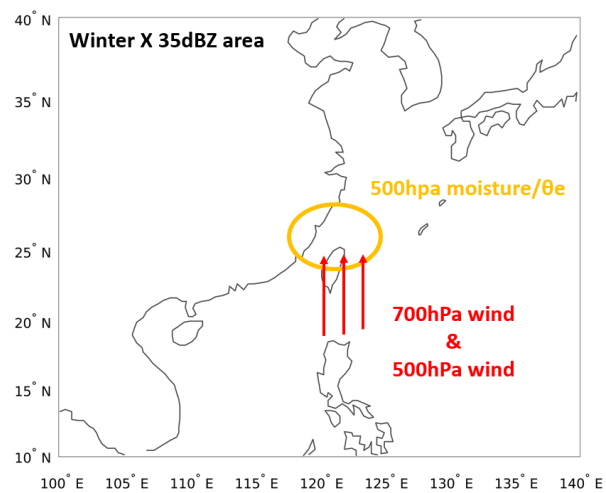
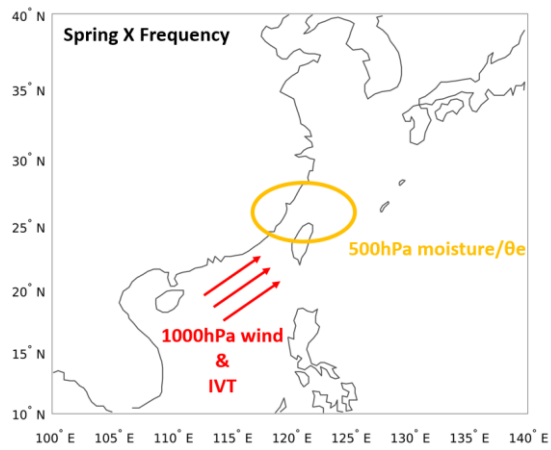
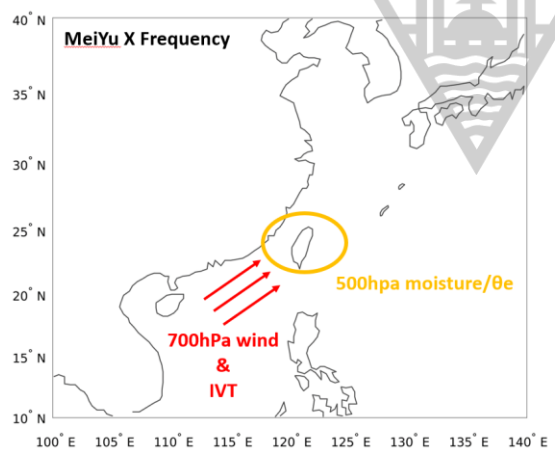


圖3.32 各季強對流面積因子影響示意圖:(a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季。

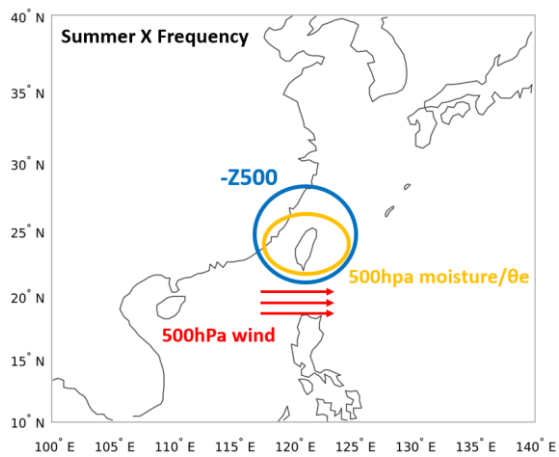
(a)



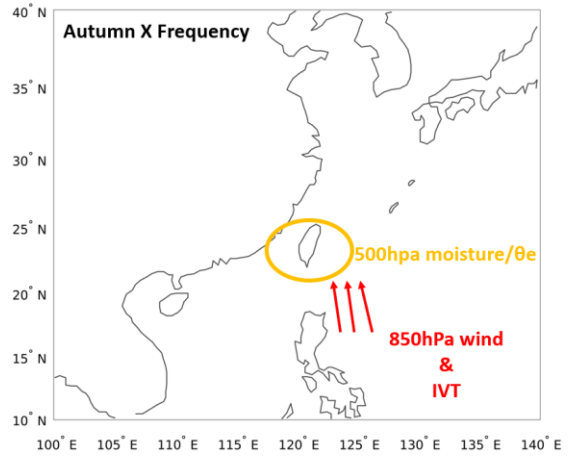
(b)



(c)



(d)



(e)

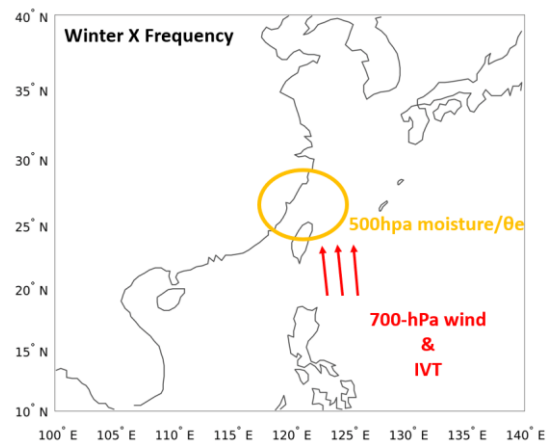
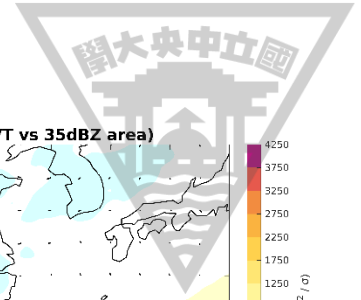
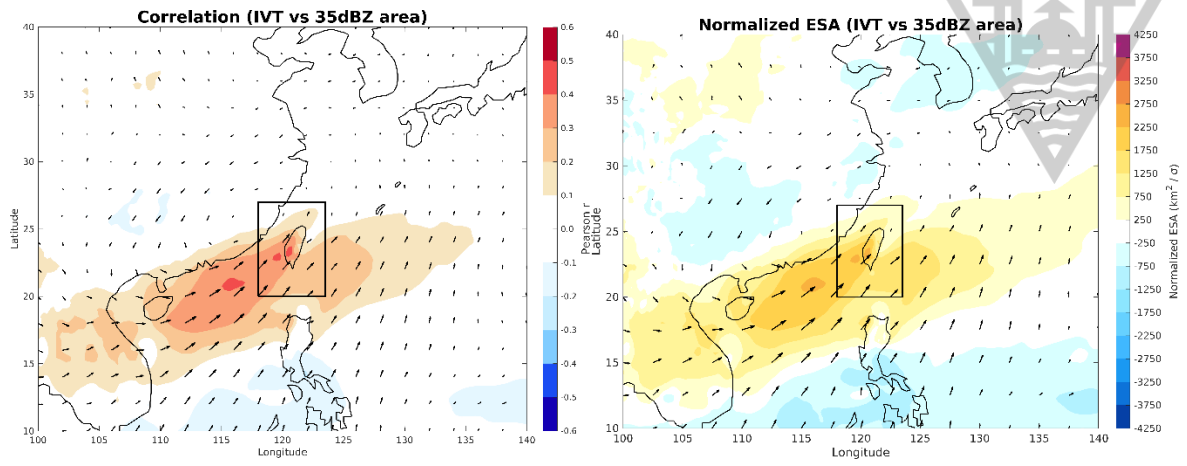


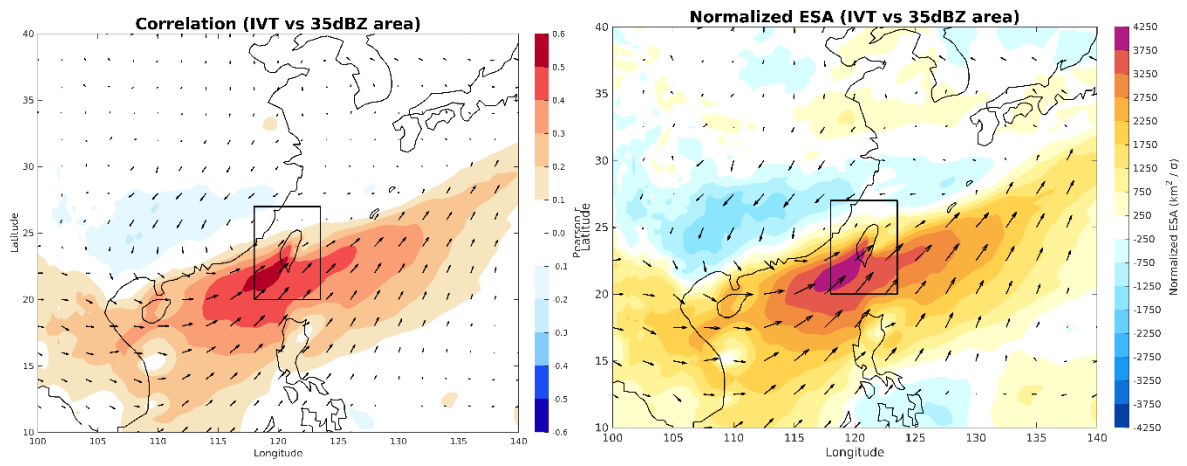
圖3.33 各季頻率因子影響示意圖:(a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季。



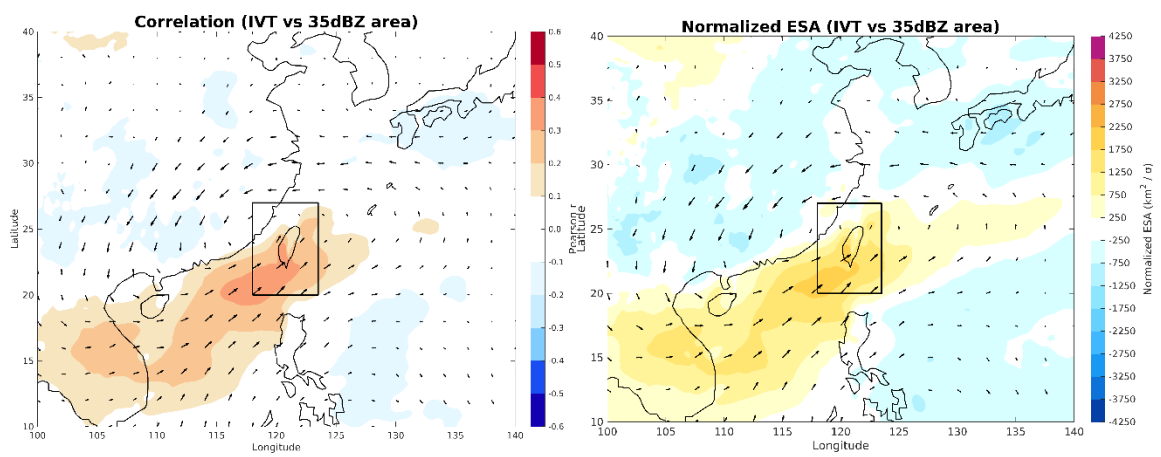
(a)



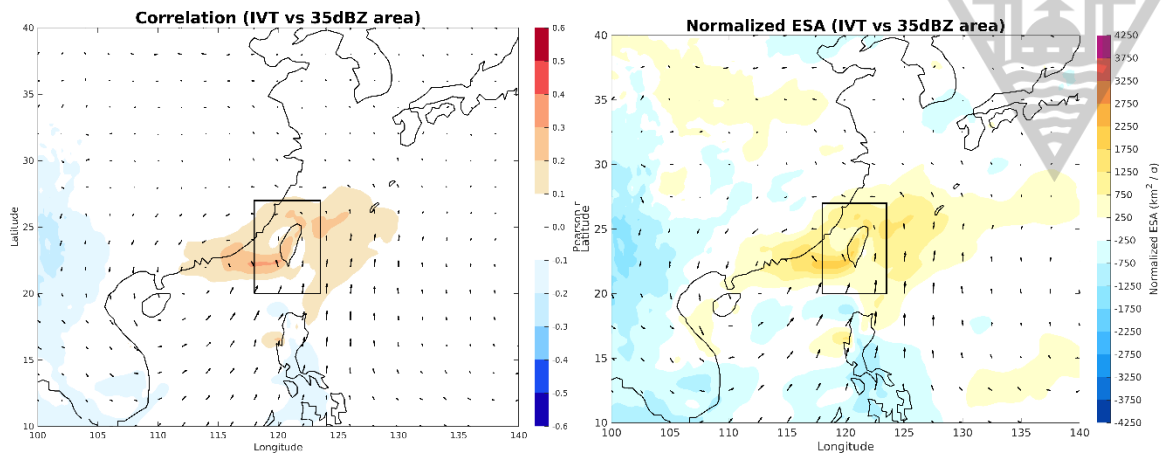
(b)



(c)



(d)



(e)

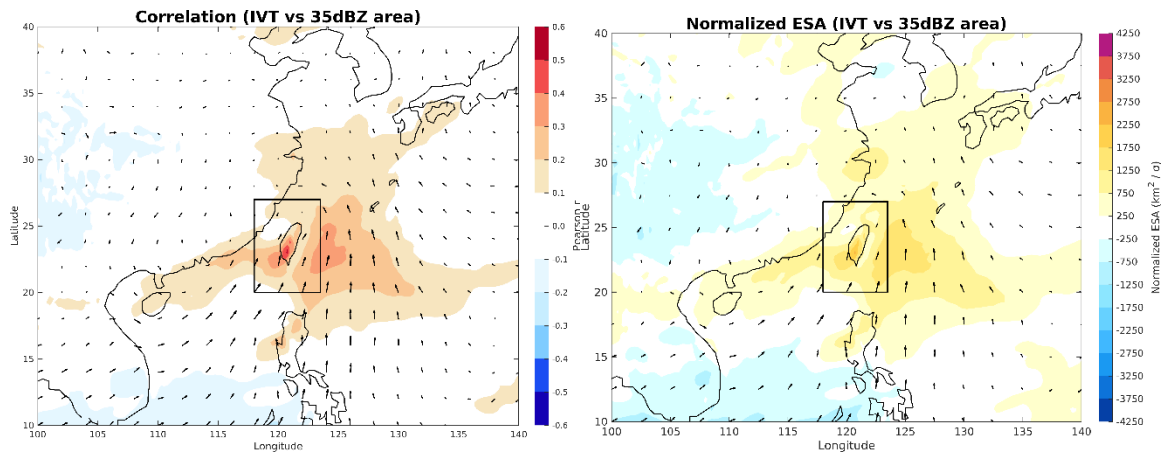
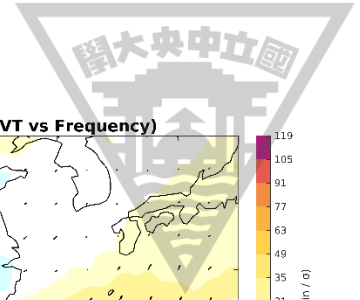
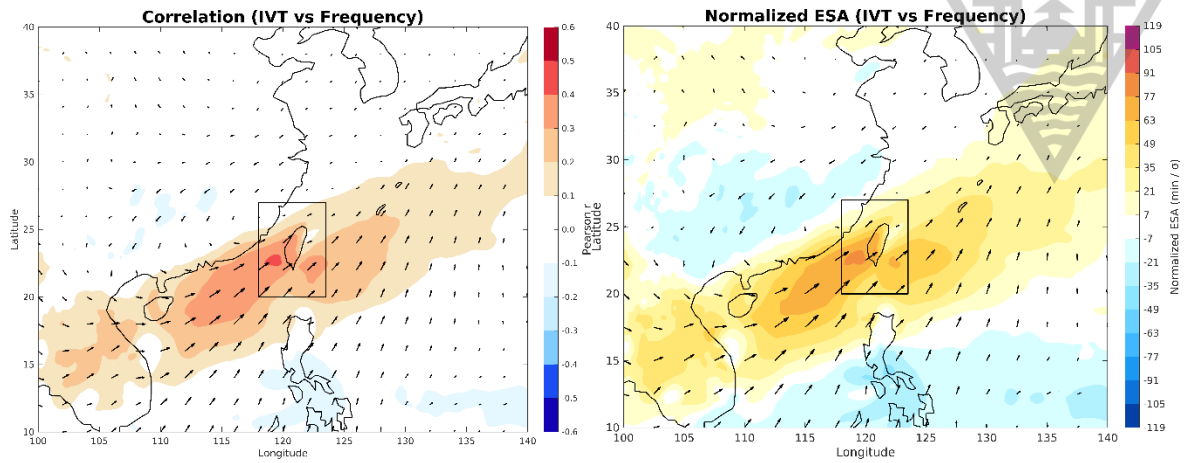


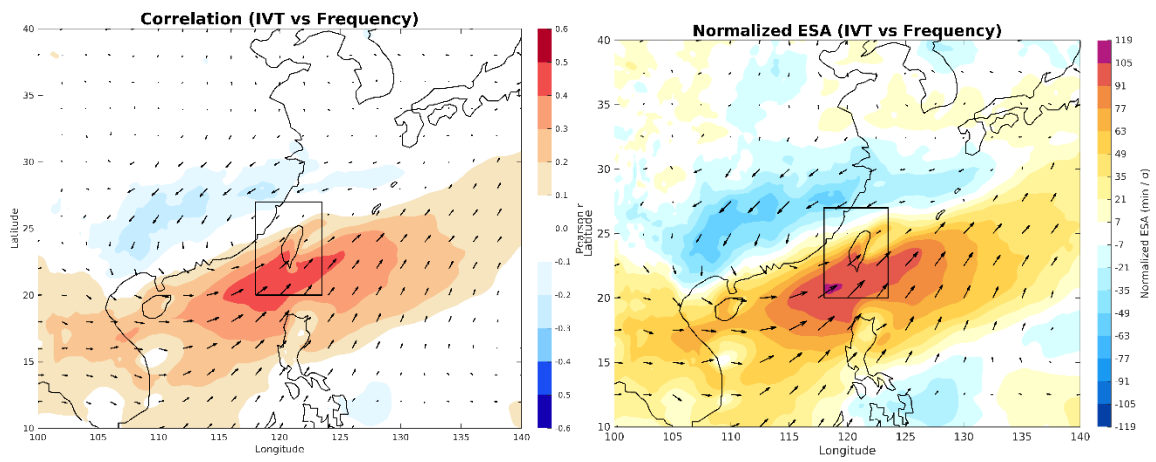
圖3.34 各季強對流面積 IVT 空間分布:(a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、
(e) 冬季之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。



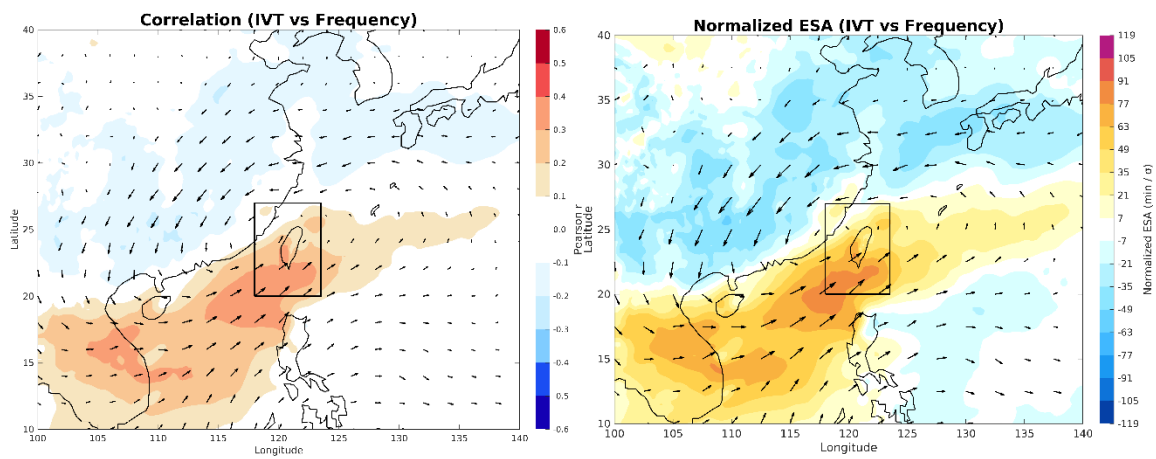
(a)



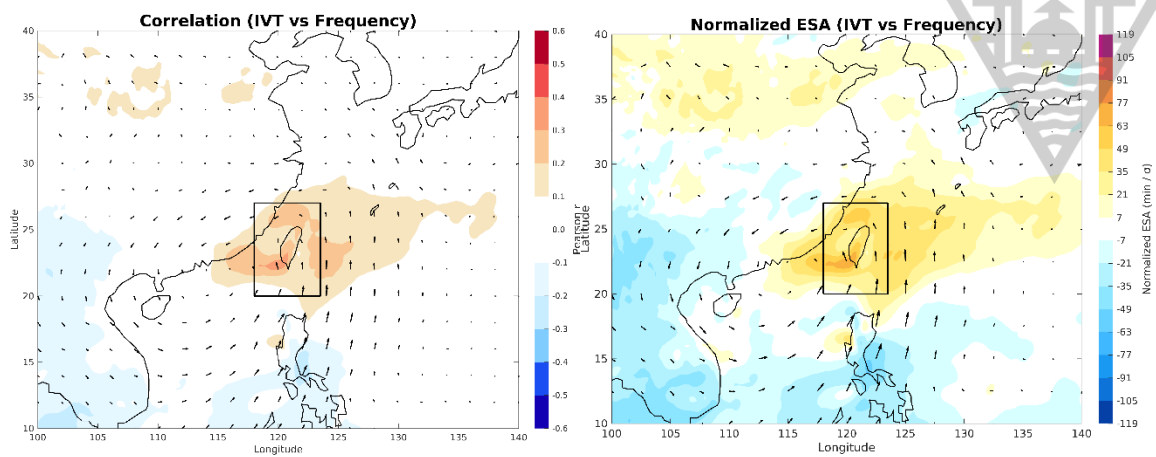
(b)



(c)



(d)



(e)

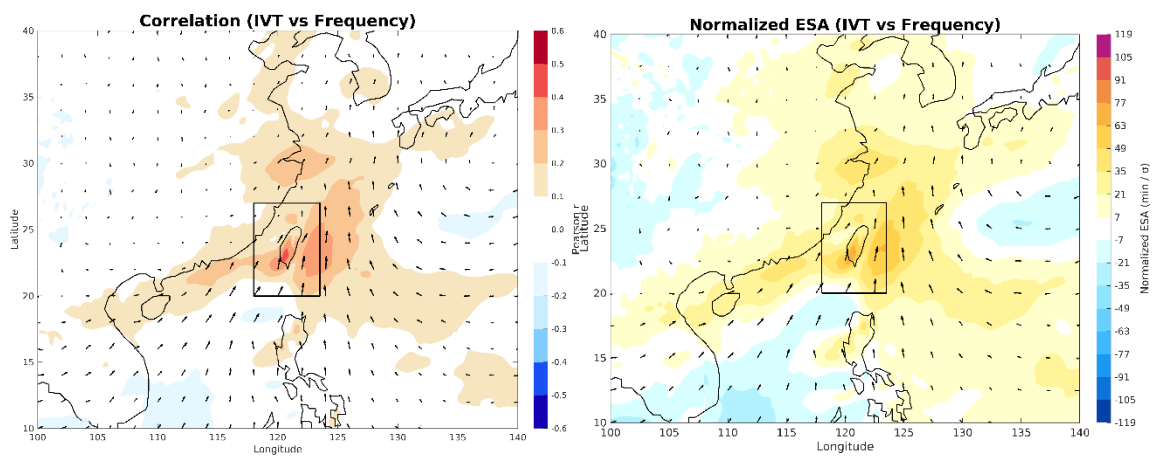
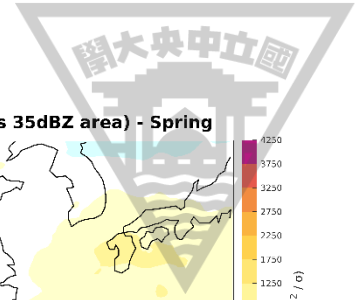
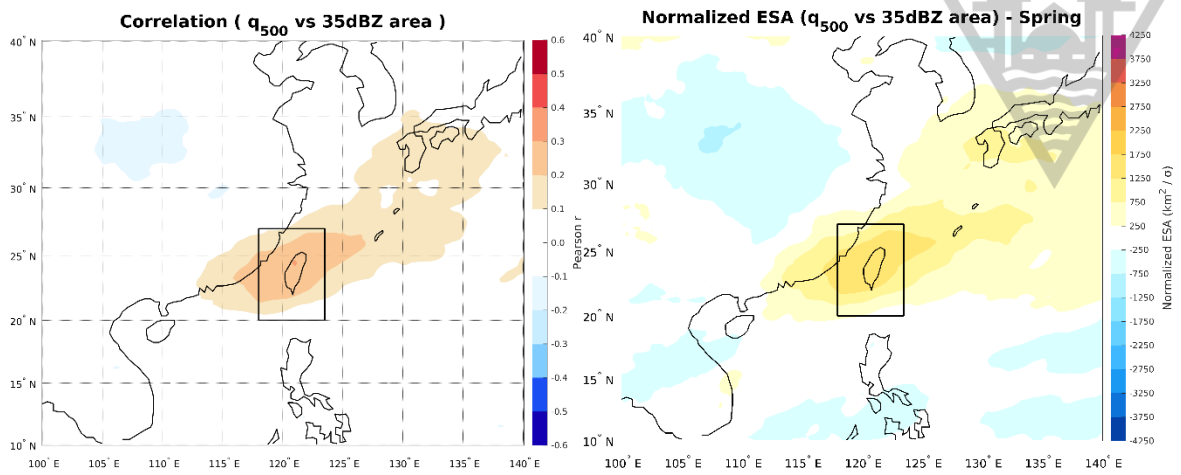


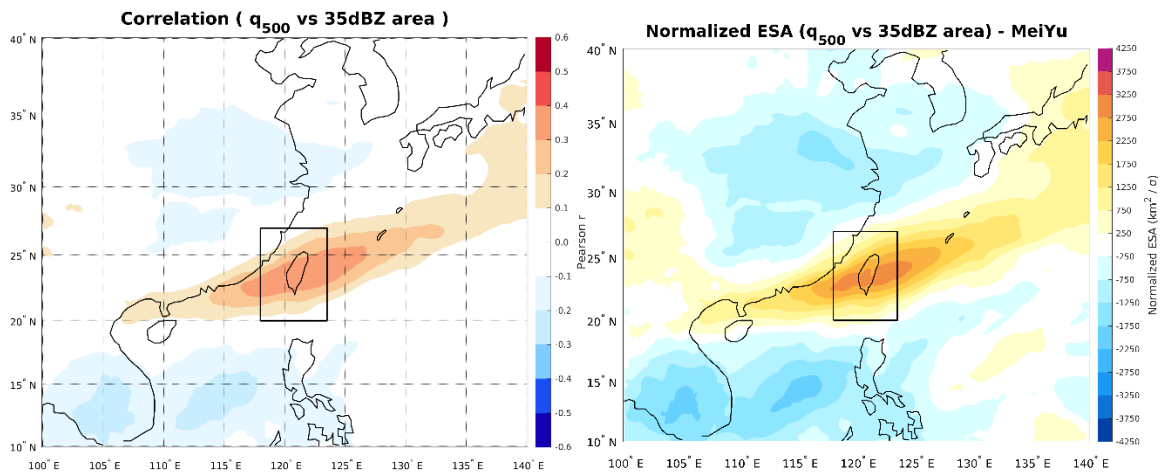
圖3.35 各季頻率 IVT 空間分布:(a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e)冬季之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。



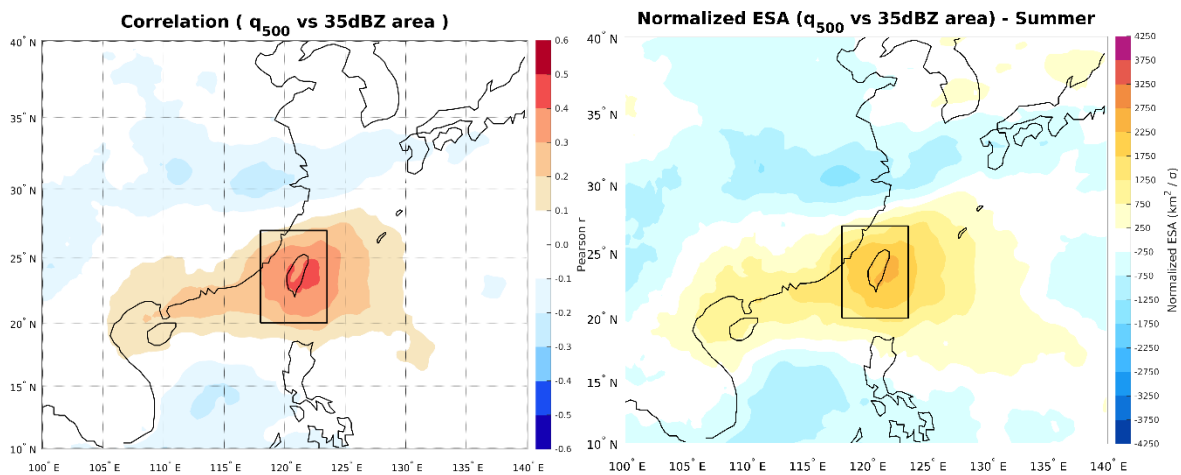
(a)

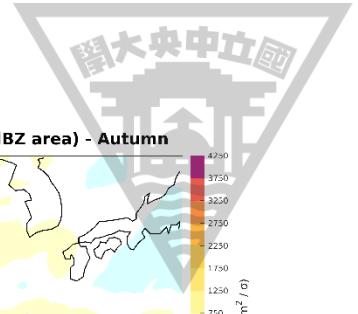


(b)

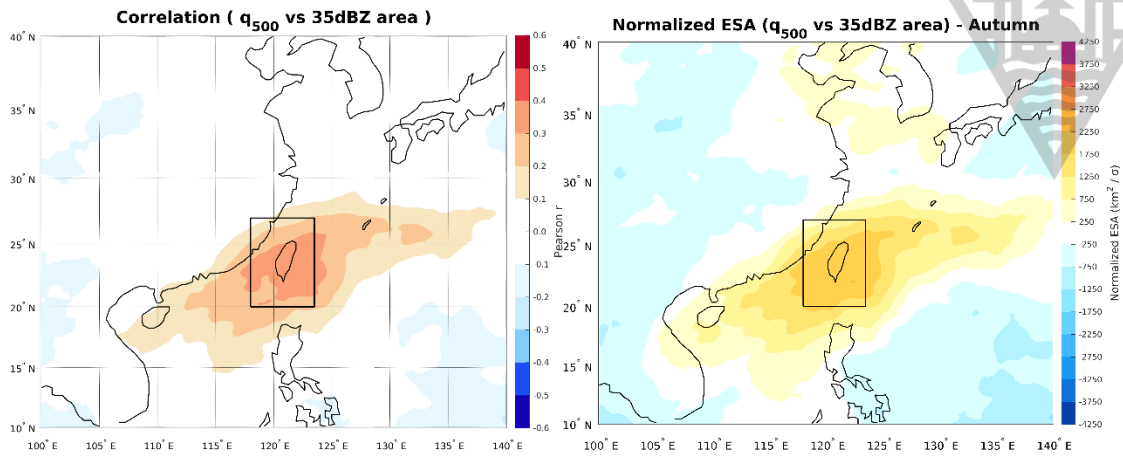


(c)





(d)



(e)

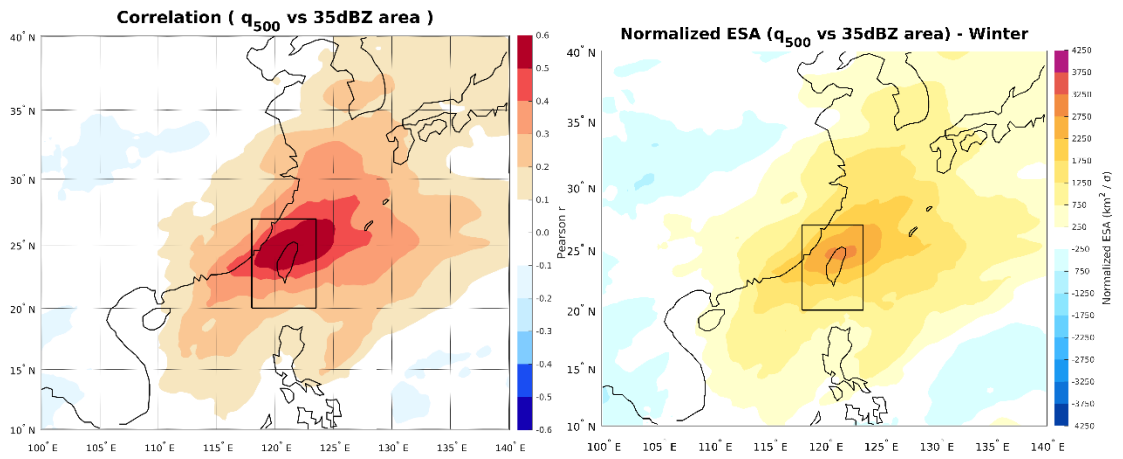
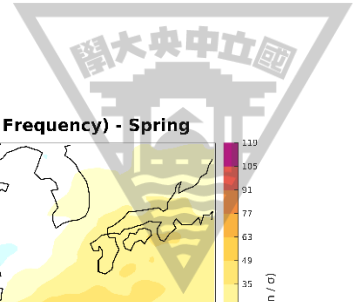
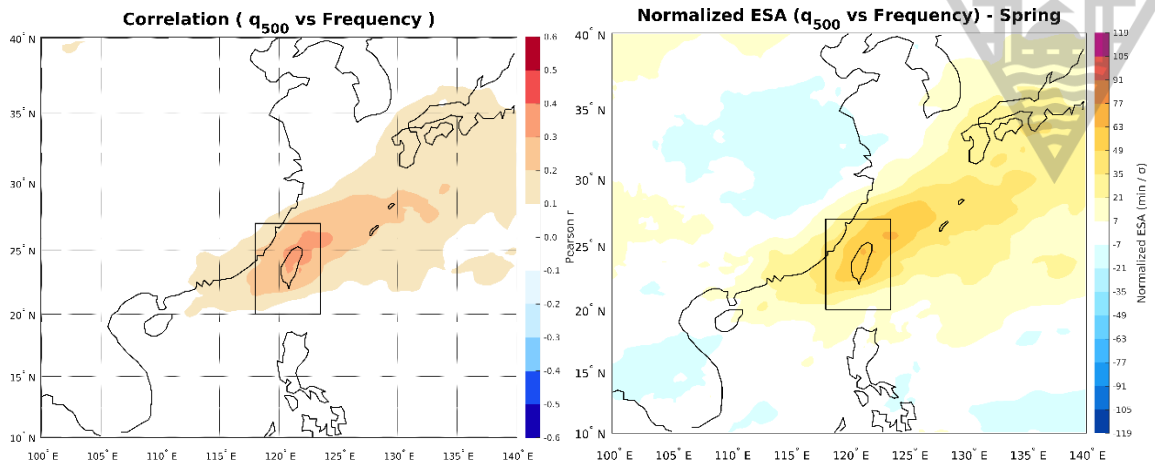


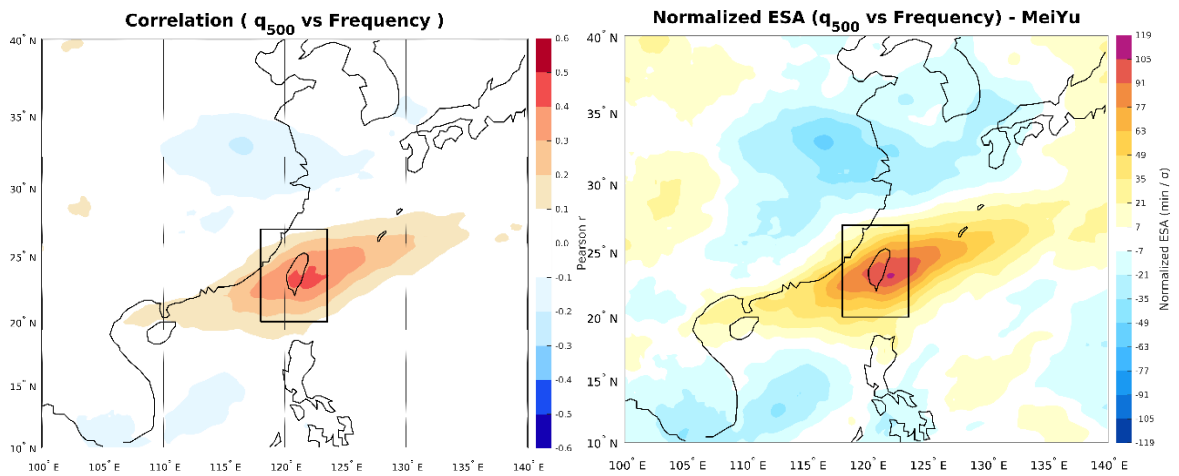
圖3.36 各季強對流面積 500hpa 比濕空間分布:(a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。



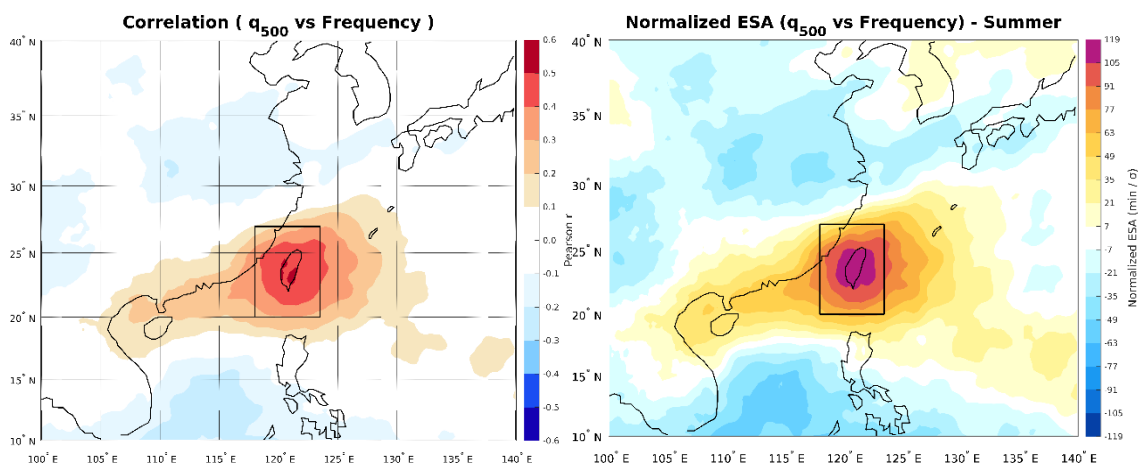
(a)



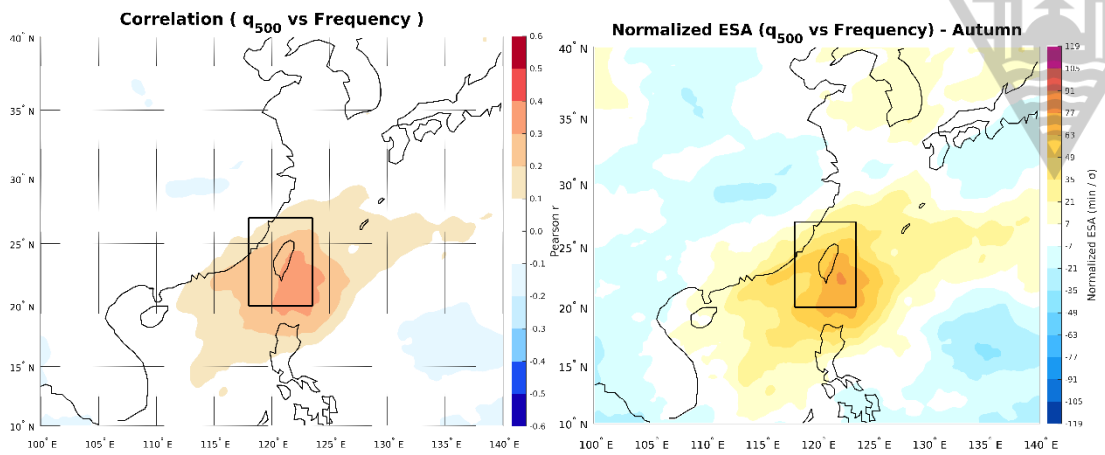
(b)



(c)



(d)



(e)

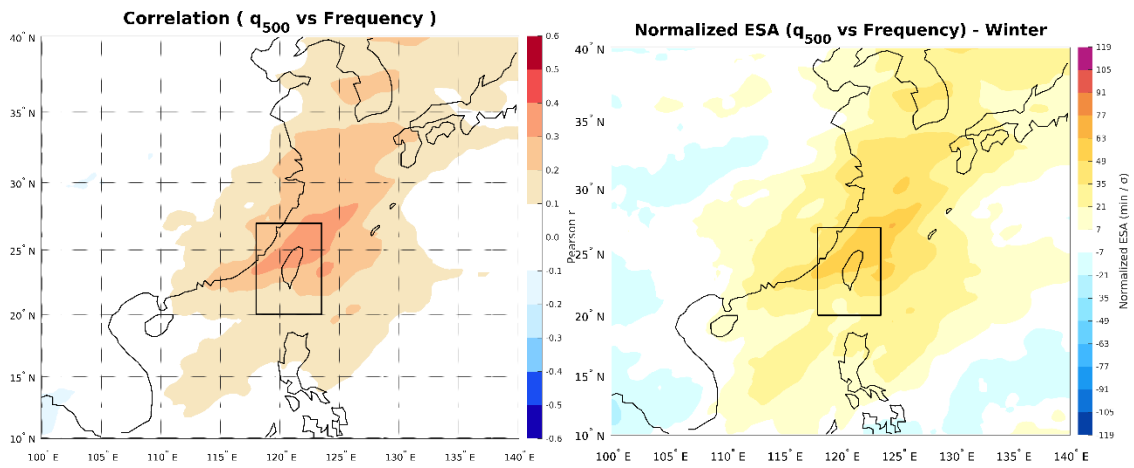


圖3.37 各季頻率 500hpa 比濕空間分布:(a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、
(e) 冬季之 (左) 皮爾森相關係數分布 ; (右) 標準化系集敏感度分布。

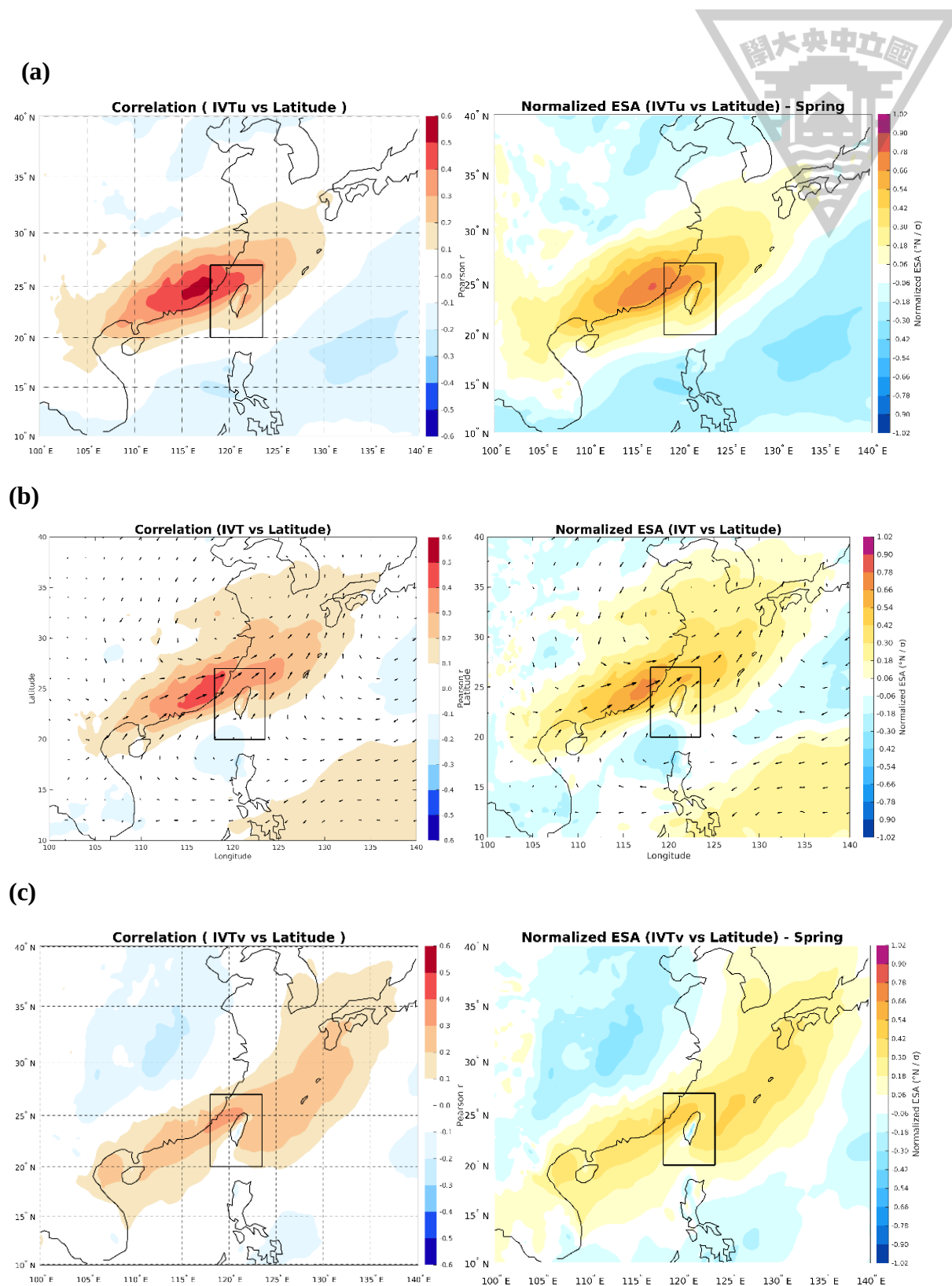
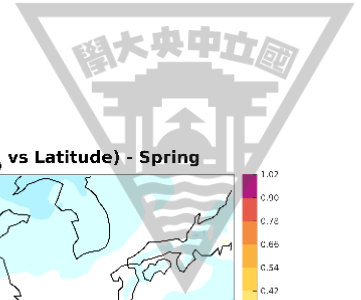
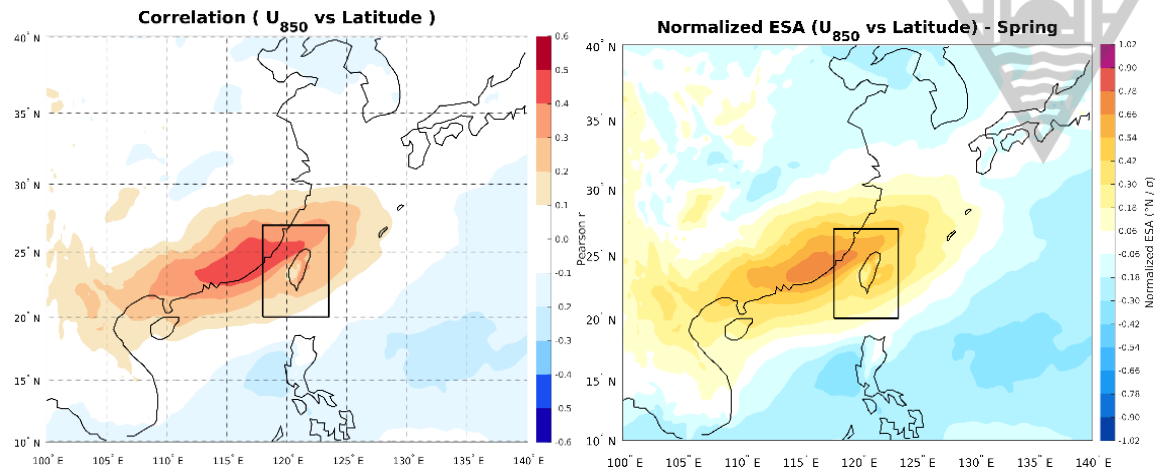


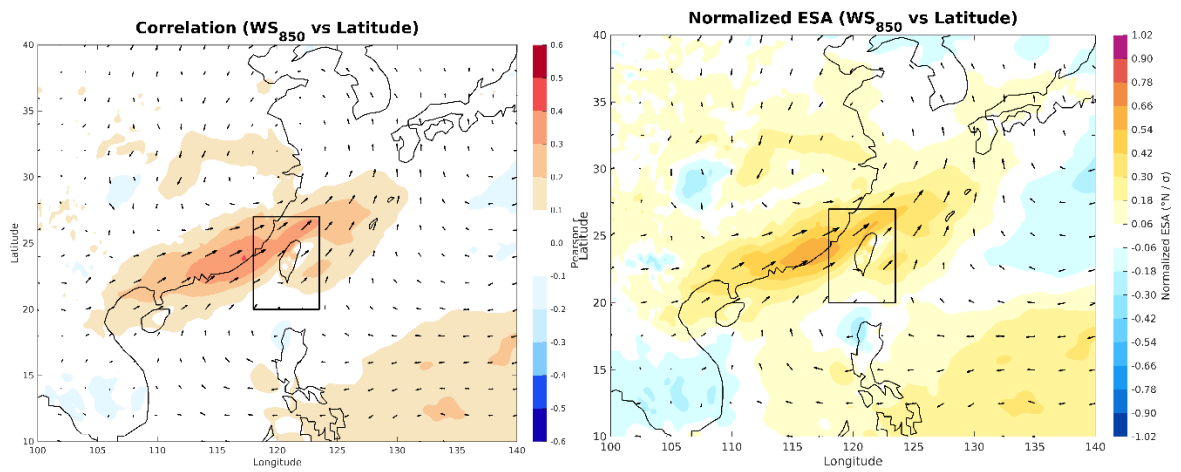
圖3.38 春季緯度代表變數: (a) IVT_U、(b) IVT、(c) IVT_V 之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。



(a)



(b)



(c)

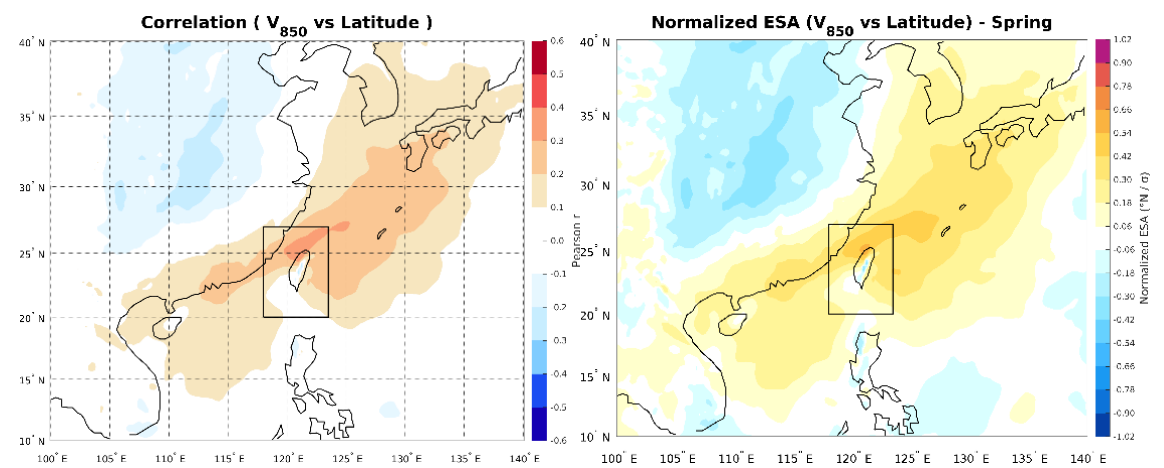
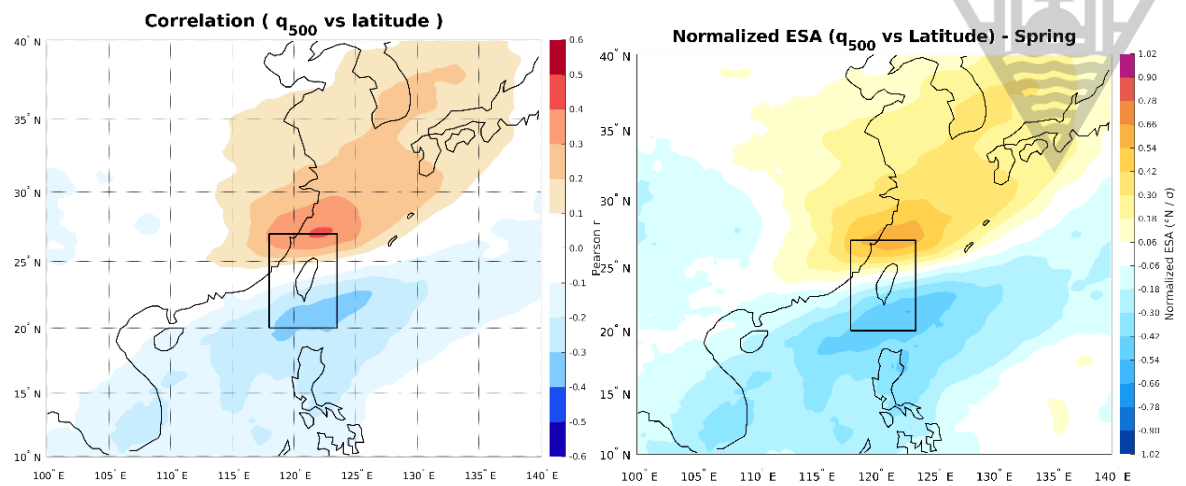


圖3.39 春季緯度代表變數: (a)850 hPa U 風、(b) 850 hPa 風速、(c) 850 hPa V 風之
(左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)

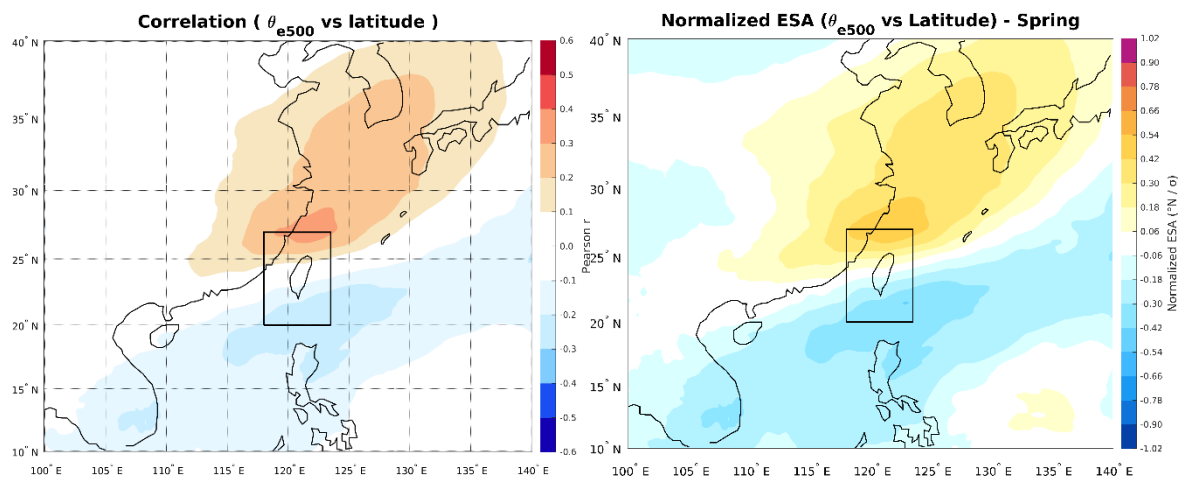
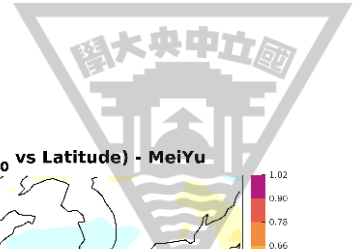
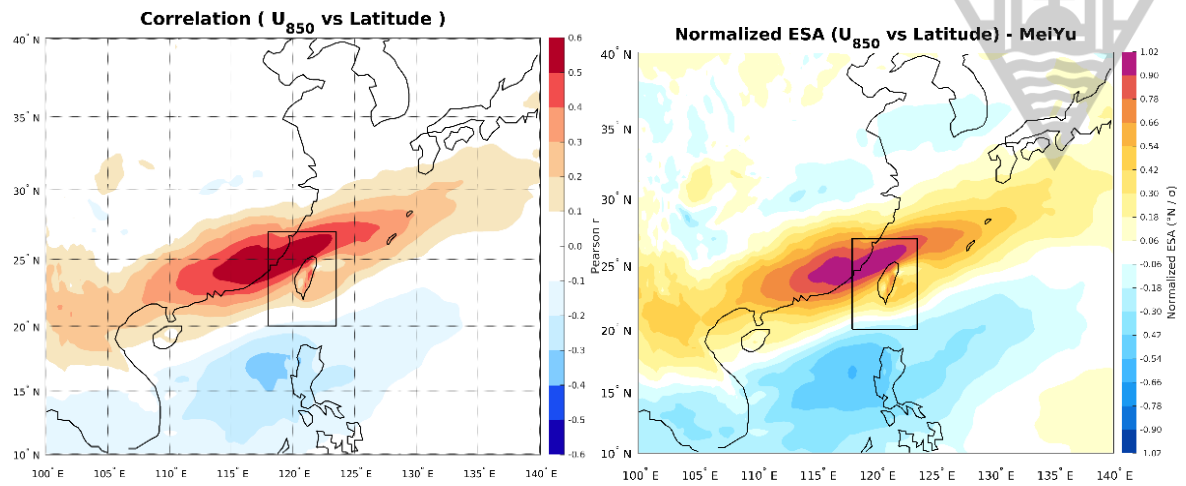


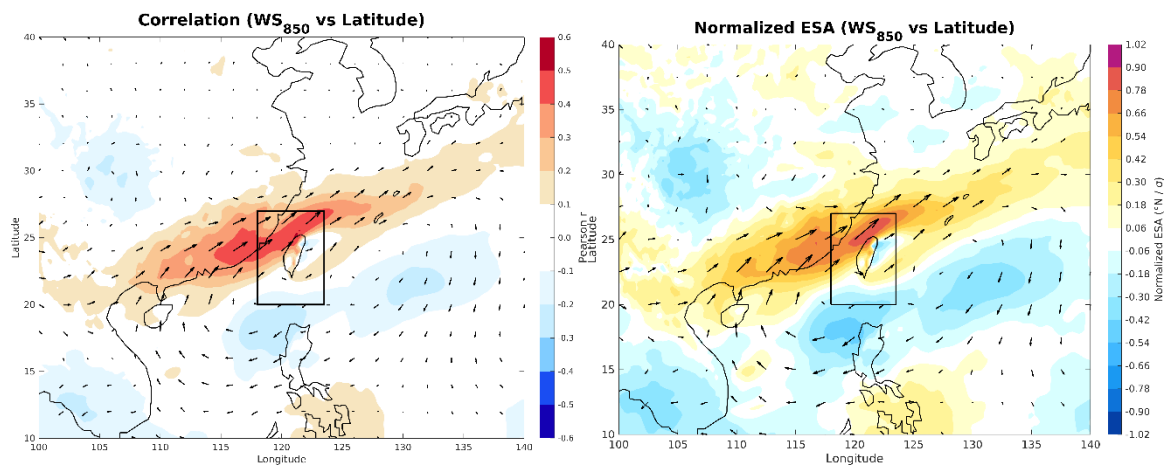
圖3.40 春季緯度代表變數: (a) 500 hPa 比濕、(b) 500 hPa 相當位溫之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。



(a)



(b)



(c)

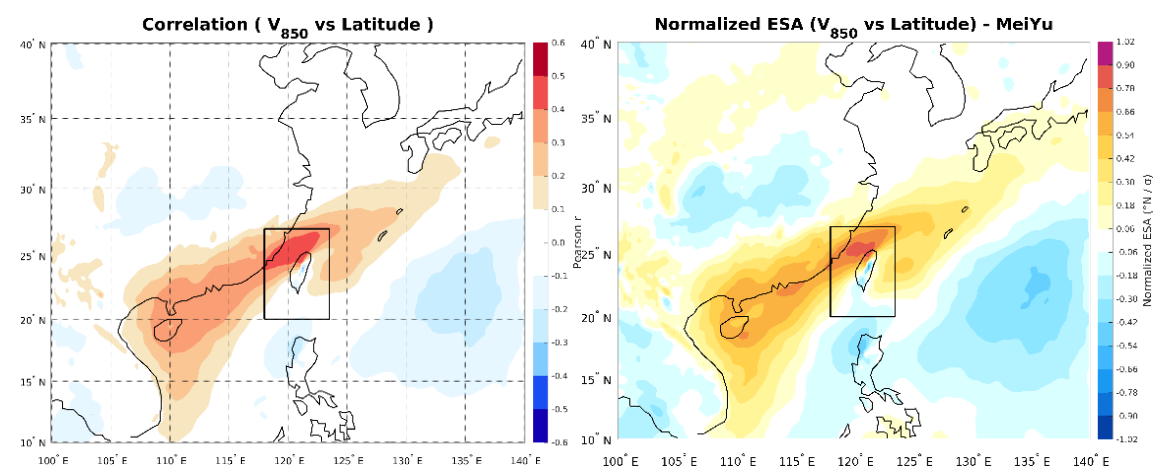
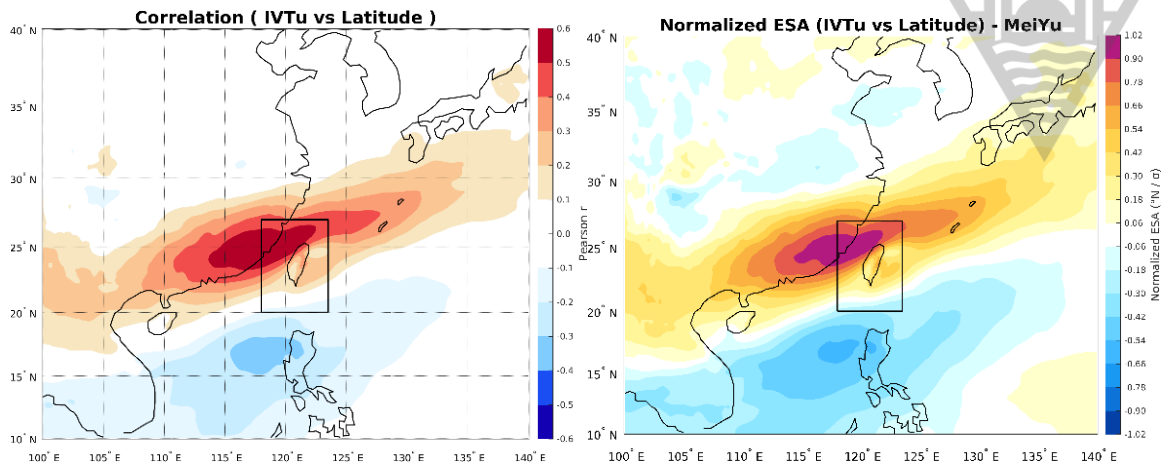
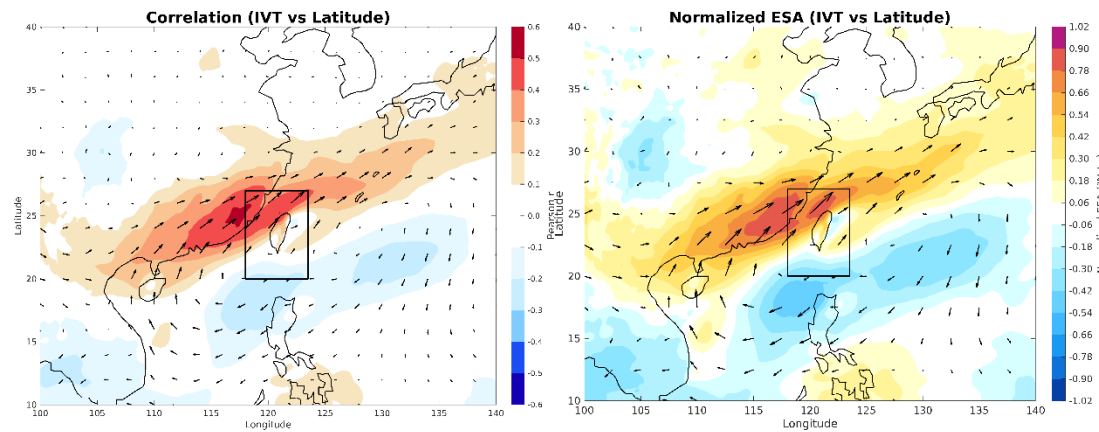


圖 3.41 梅雨季緯度代表變數: (a) 850 hPa U、(b) 850 hPa 風速、(c) 850 hPa V 風之
(左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)



(c)

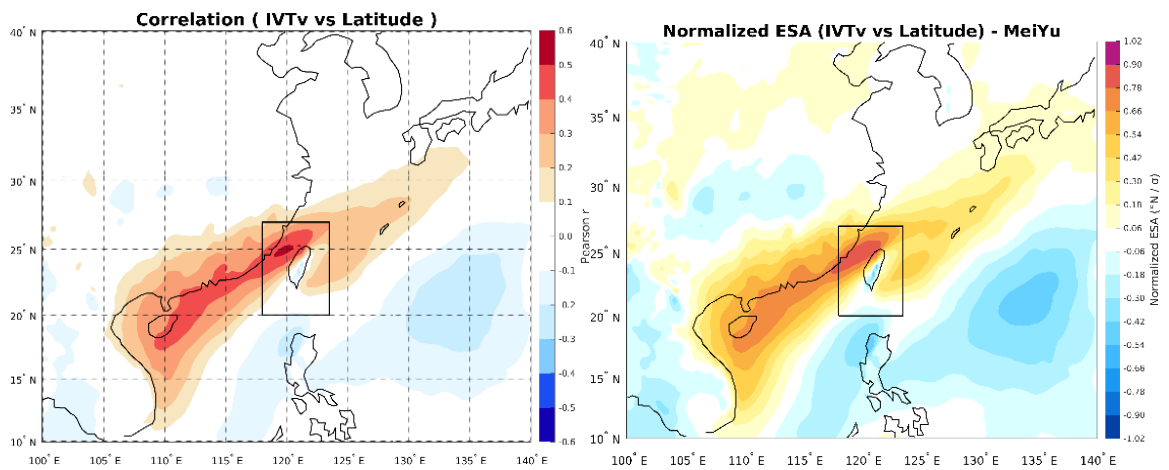
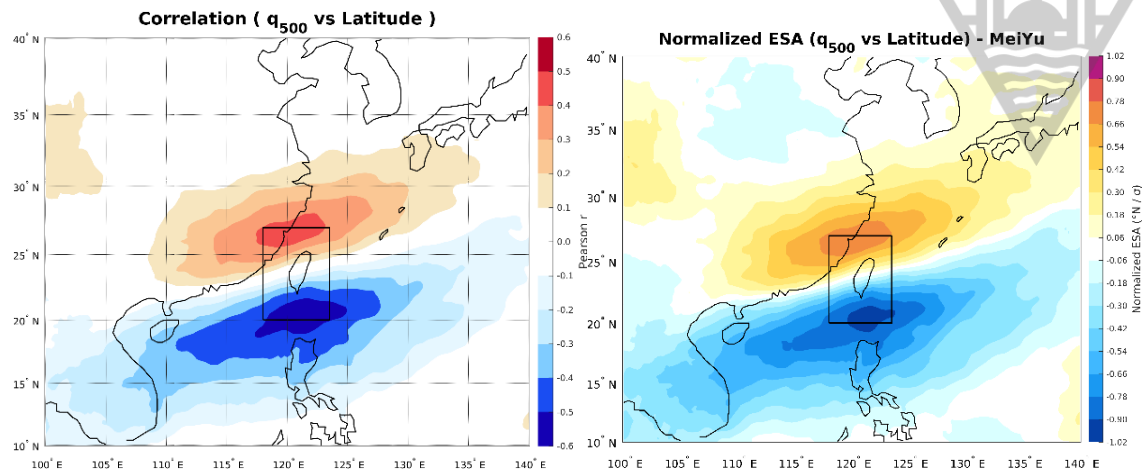


圖3.42 梅雨季緯度代表變數: (a) IVT_U、(b) IVT、(c) IVT_V之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集度分布。

(a)



(b)

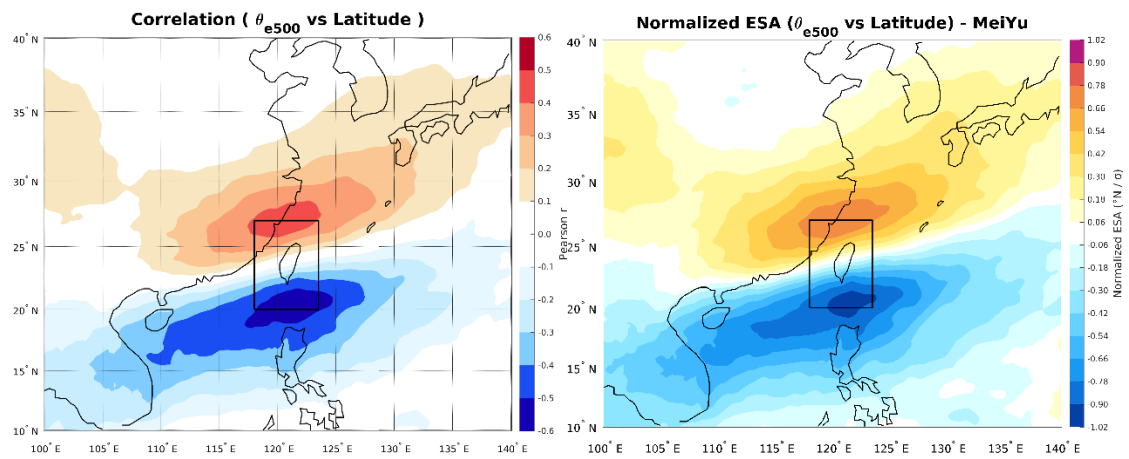
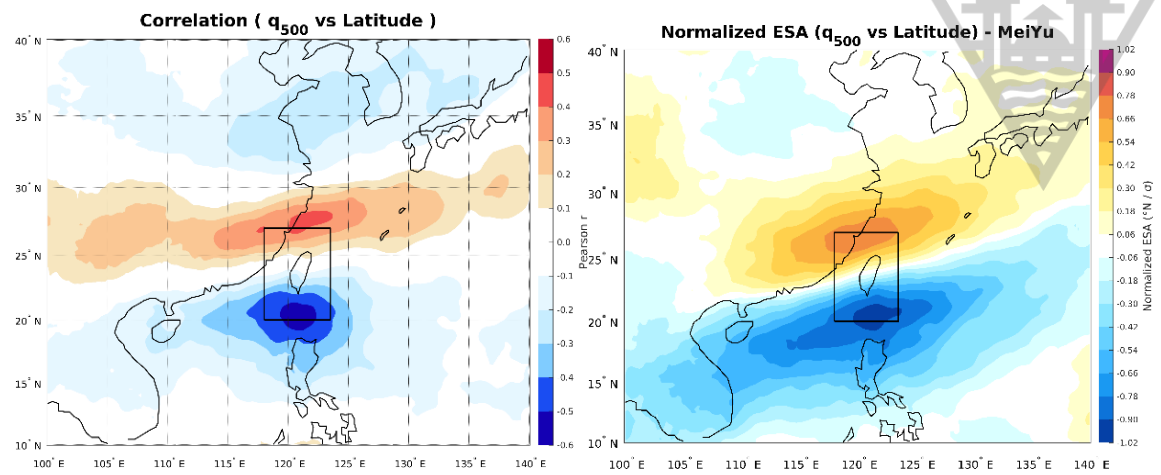


圖3.43 梅雨季緯度代表變數: (a) 500 hPa 比濕、(b) 500 hPa 相當位溫之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)

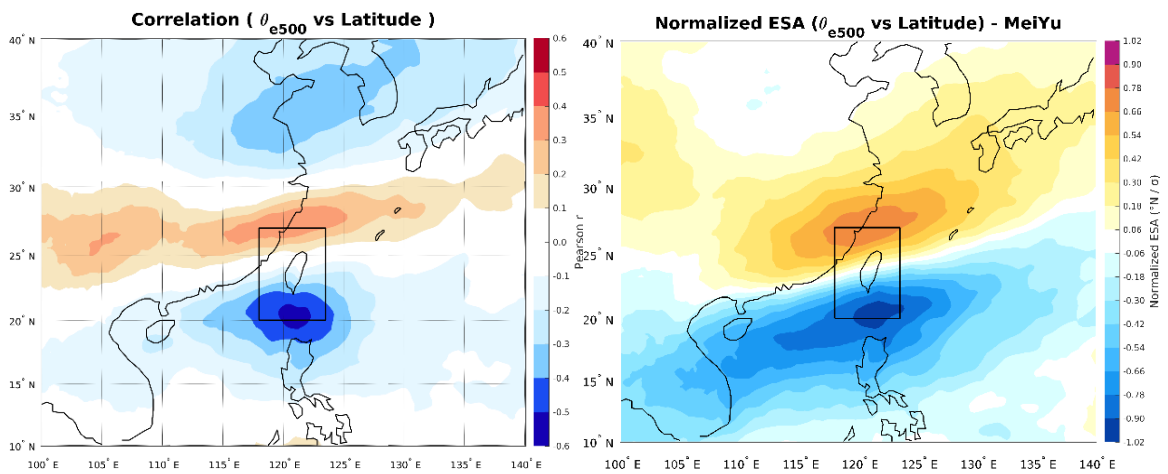
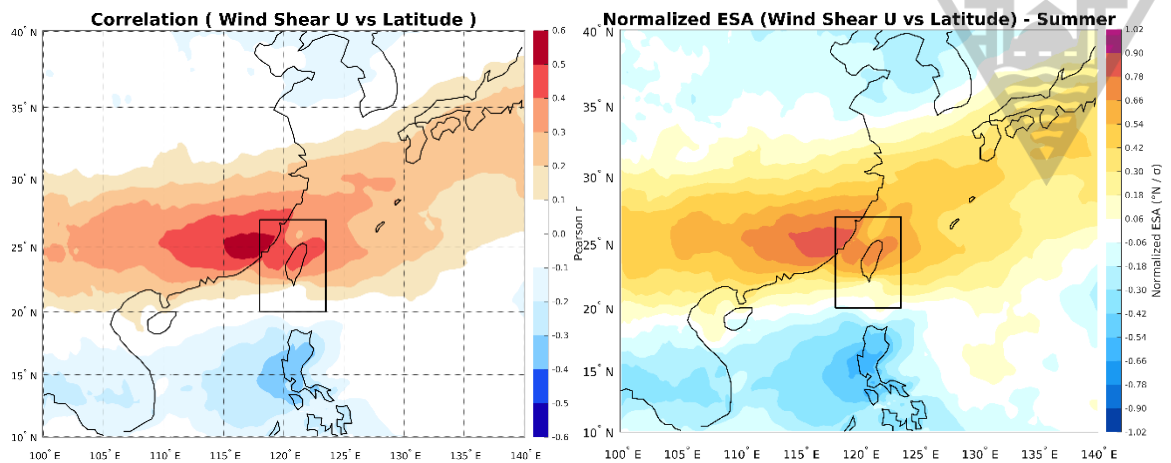
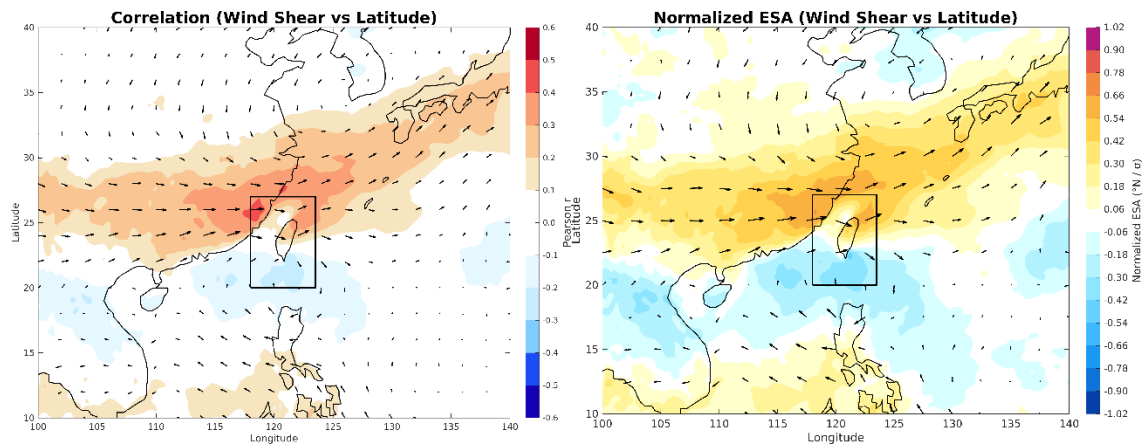


圖3.44 夏季緯度代表變數: (a) 500 hPa 比濕、(b) 500 hPa 相當位溫之 (左) 皮爾森相關係數分布； (右) 標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)



(c)

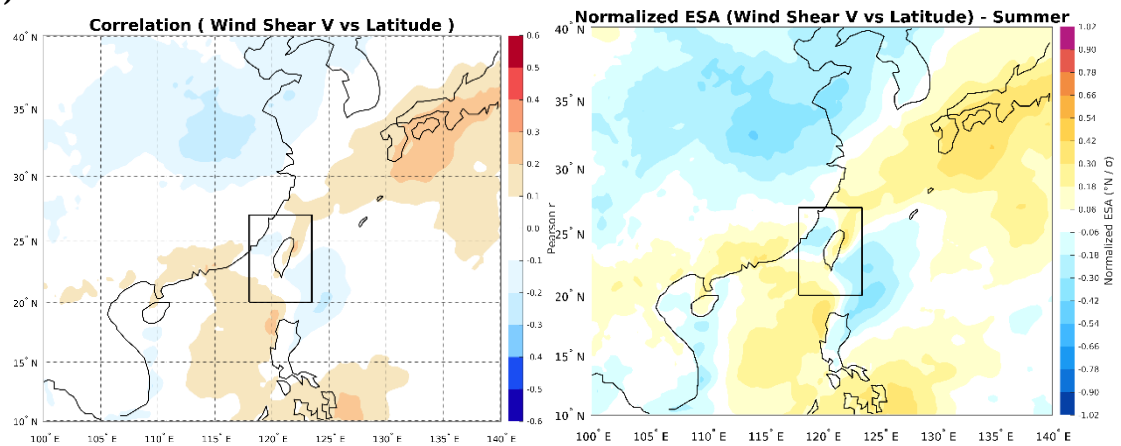
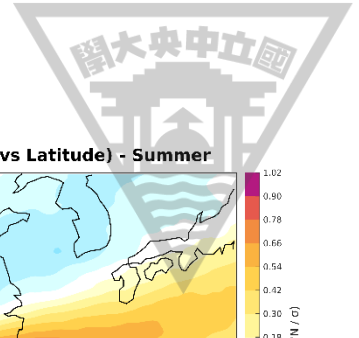
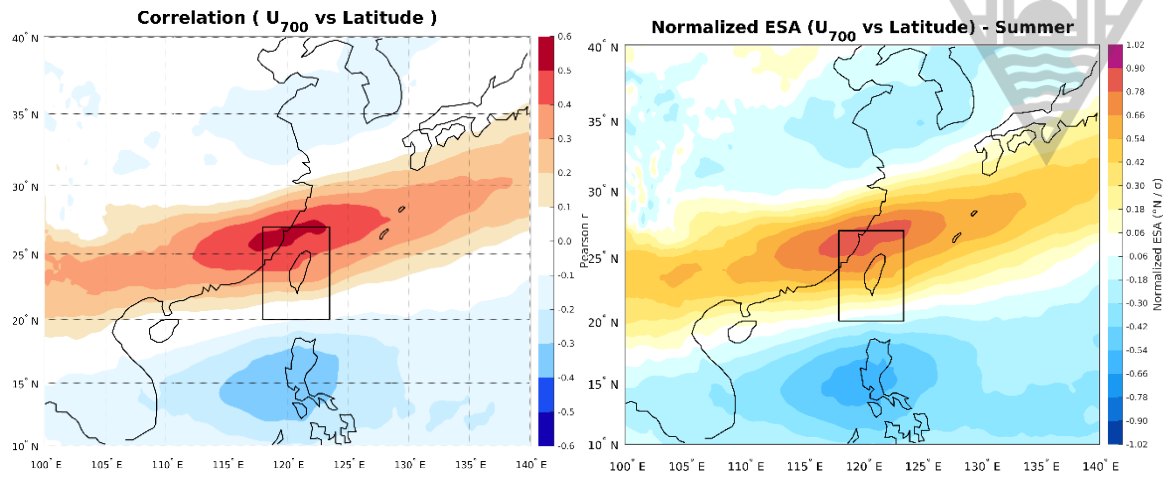


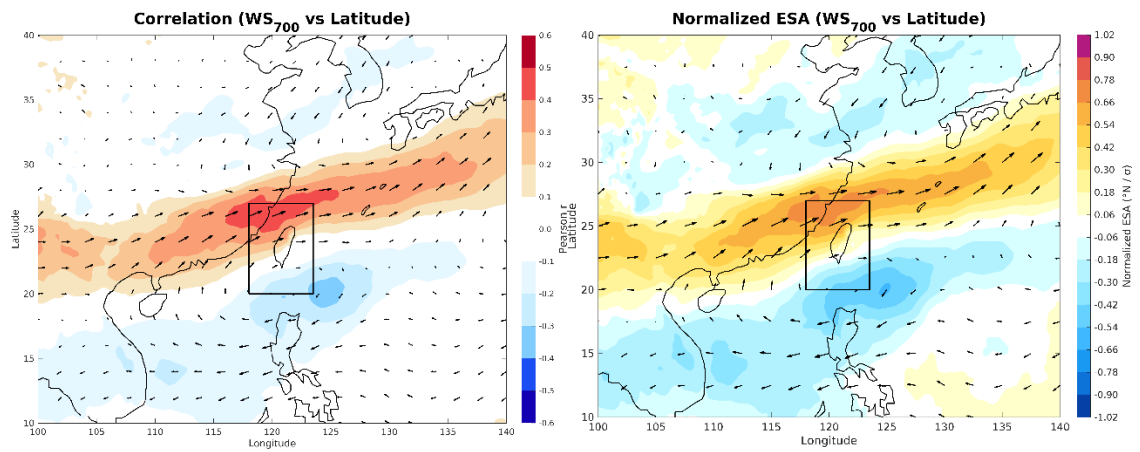
圖3.45 夏季緯度代表變數: (a) 垂直風切 U 分量、(b) 垂直風切純量、(c) 垂直風切 V 分量之 (左) 皮爾森相關係數分; (右) 標準化系集敏感度分布



(a)



(b)



(c)

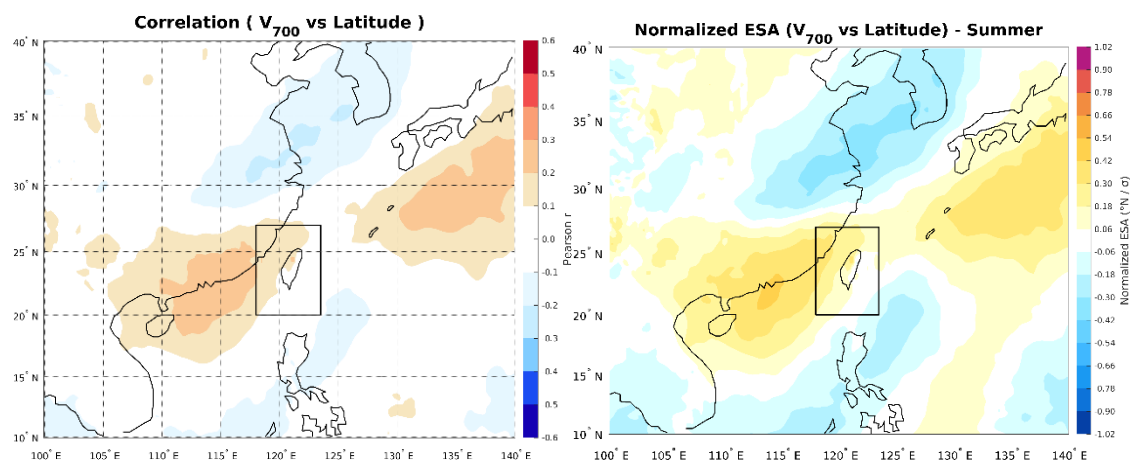
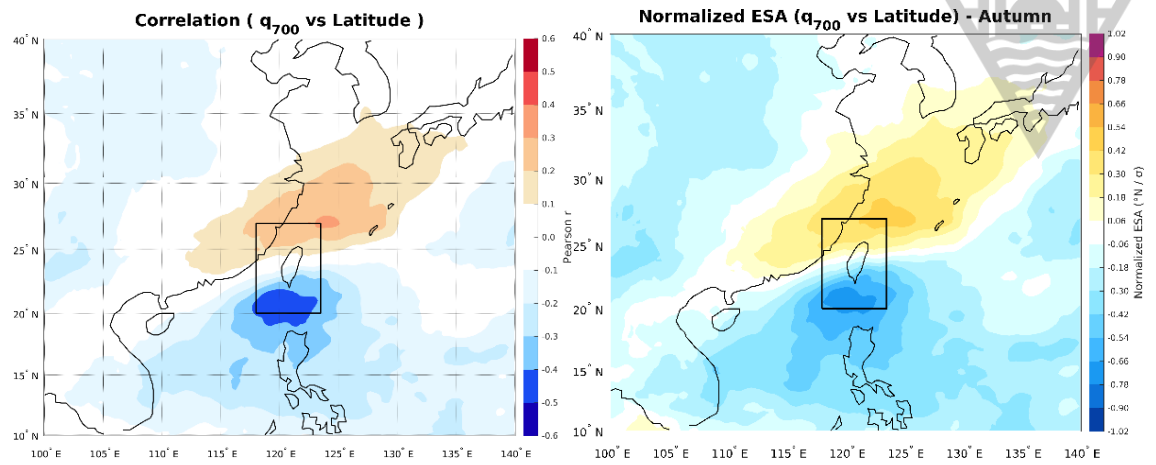


圖3.46 夏季緯度代表變數: (a) 700 hPa U 風、(b) 700 hPa 風速、(c) 700 hPa V 風之
(左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)

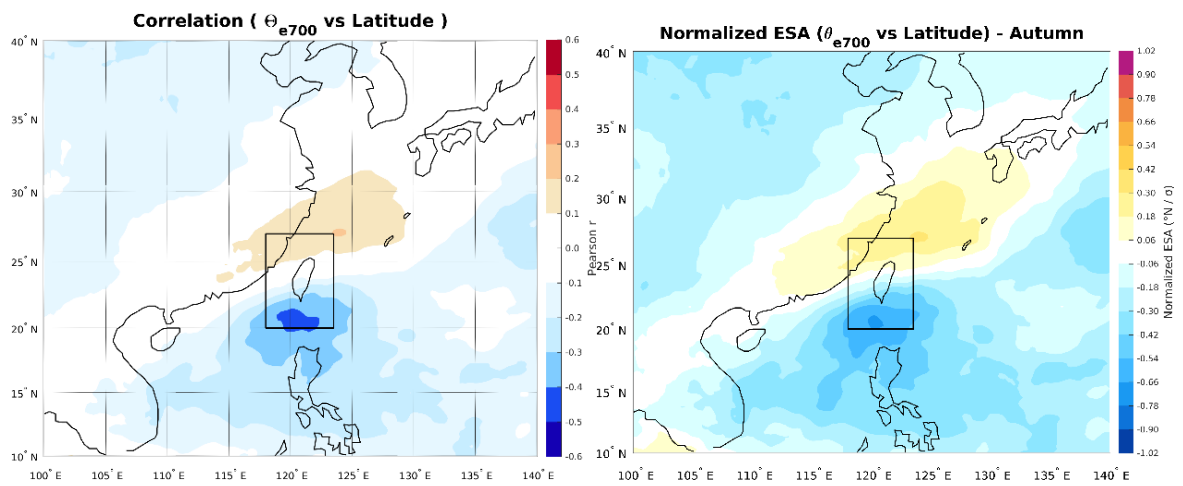


圖3.47 秋季緯度代表變數: (a) 700 hPa 比濕、(b) 700 hPa 相當位溫之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。

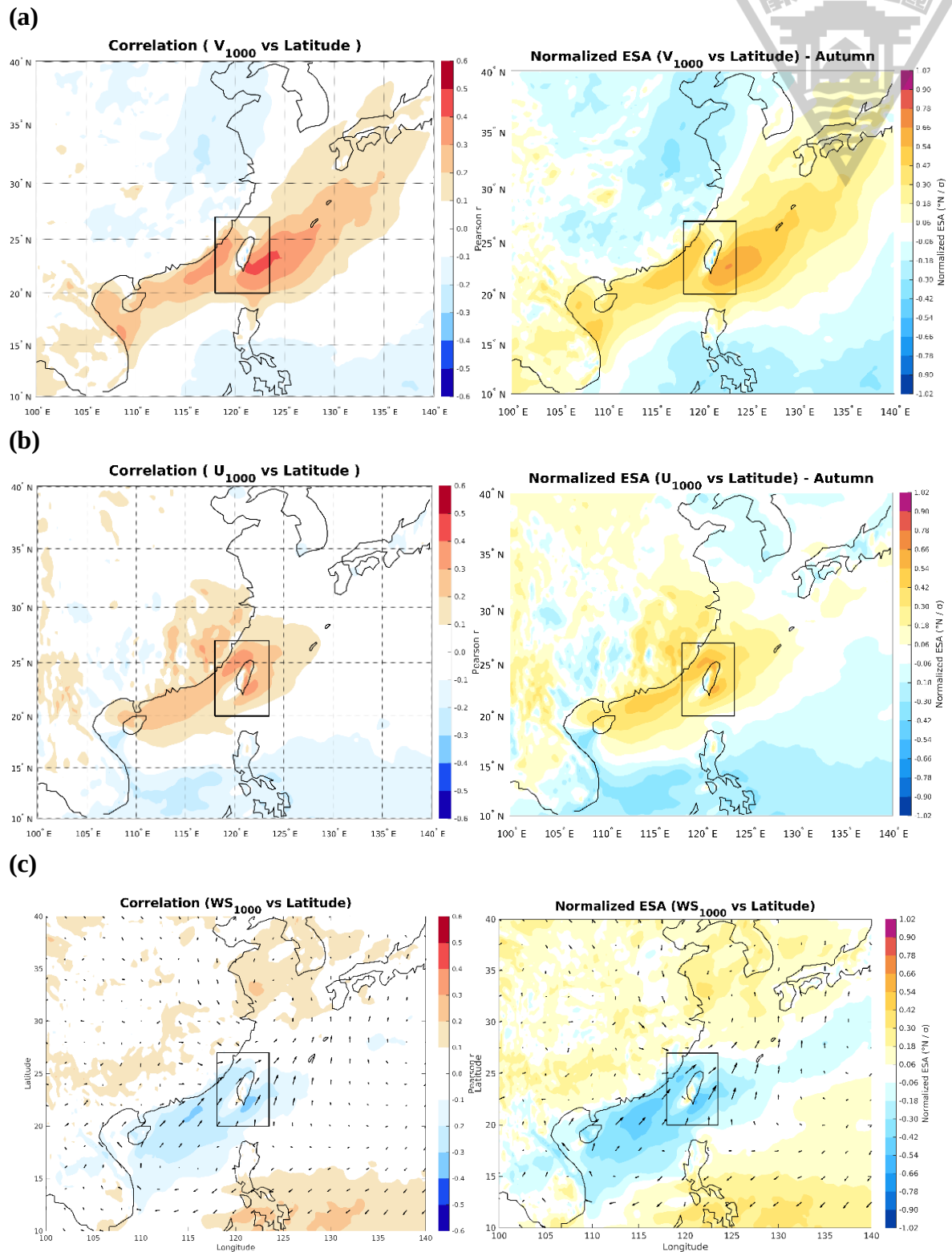
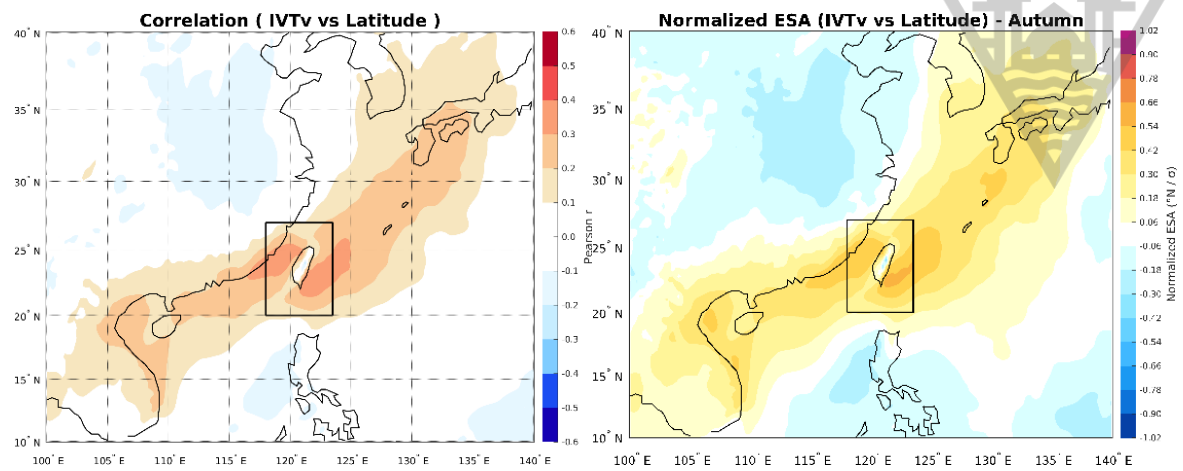
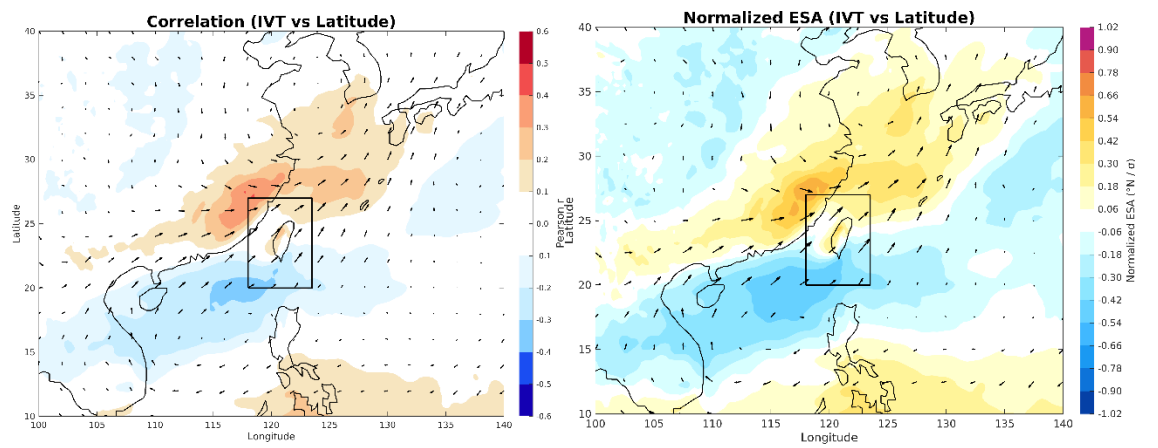


圖3.48 秋季緯度代表變數: (a) 1000 hPa V 風、(b) 1000 hPa U 風、(c) 1000 hPa 風速之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)



(c)

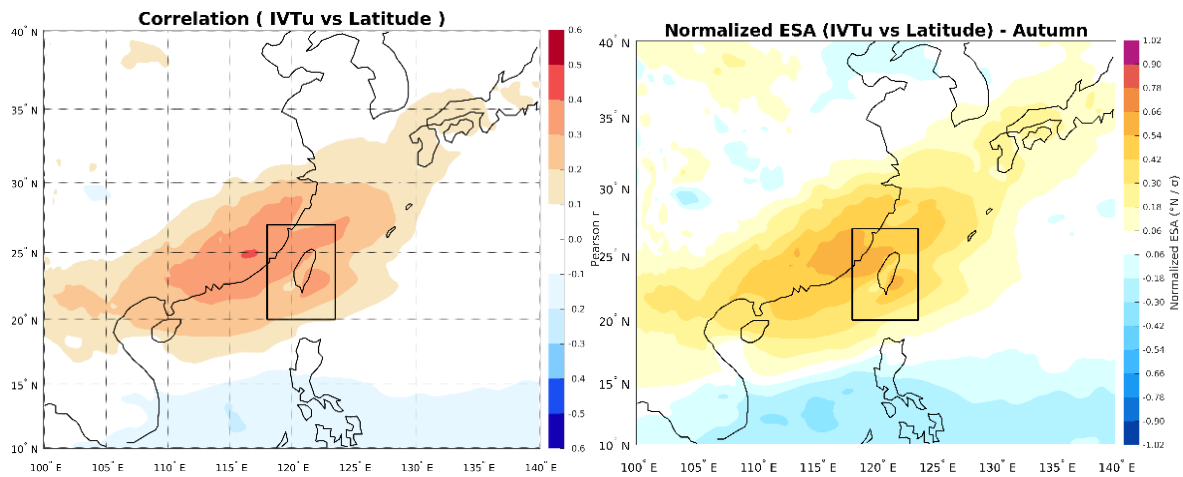
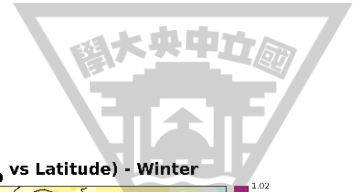
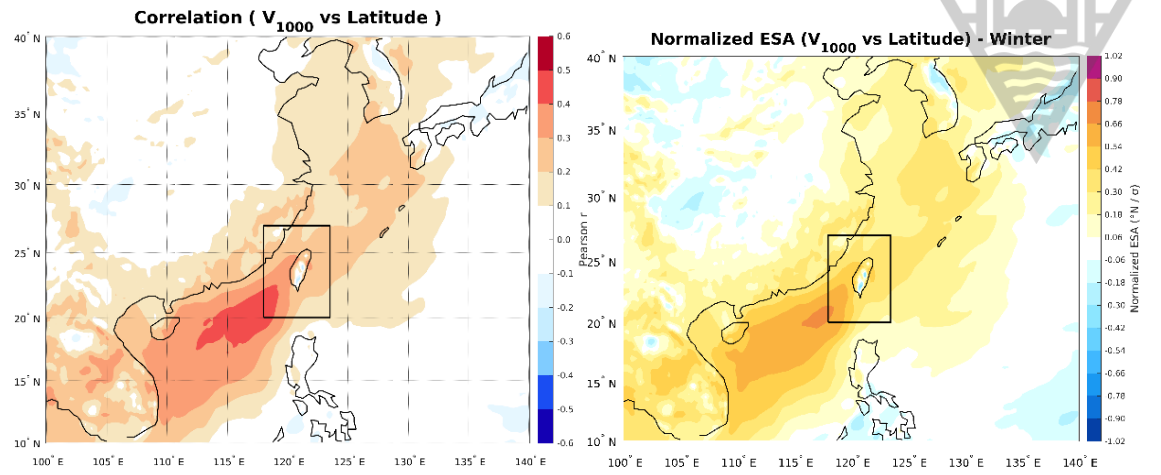


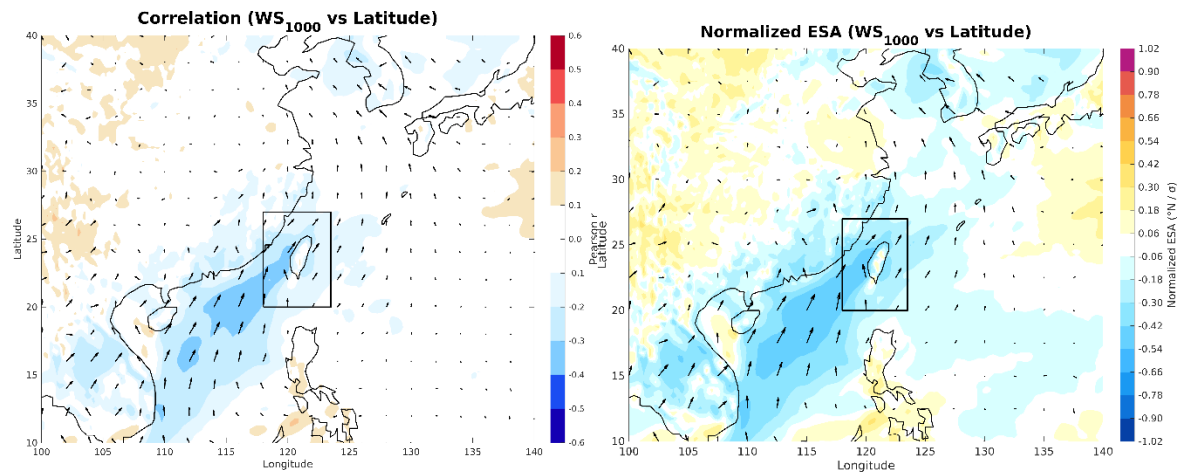
圖3.49 秋季緯度代表變數: (a) IVT_V、(b) IVT、(c) IVT_U之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布



(a)



(b)



(c)

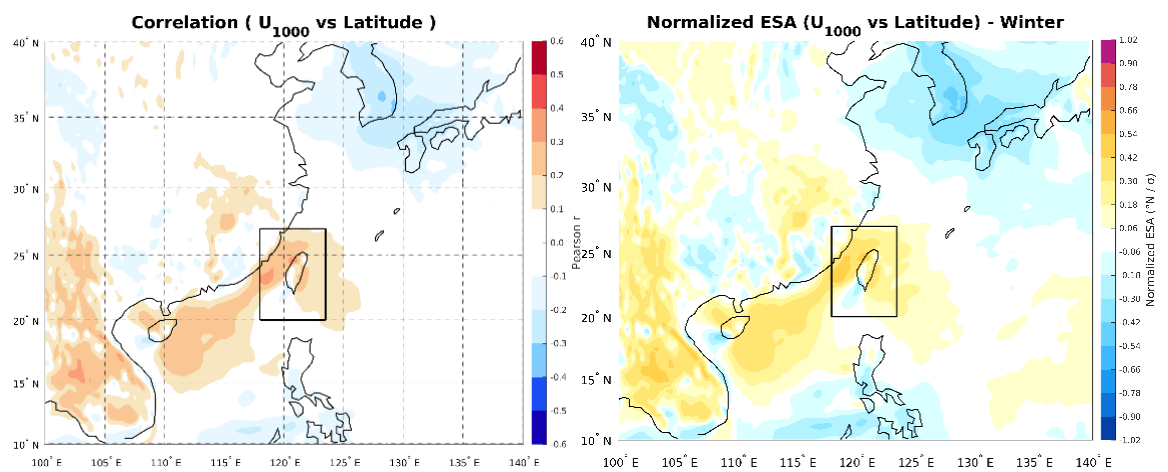
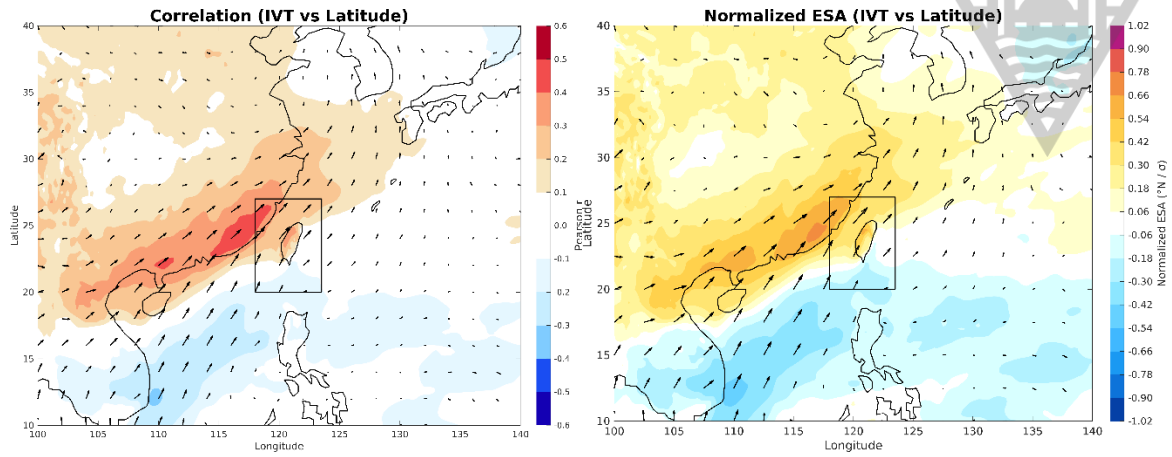
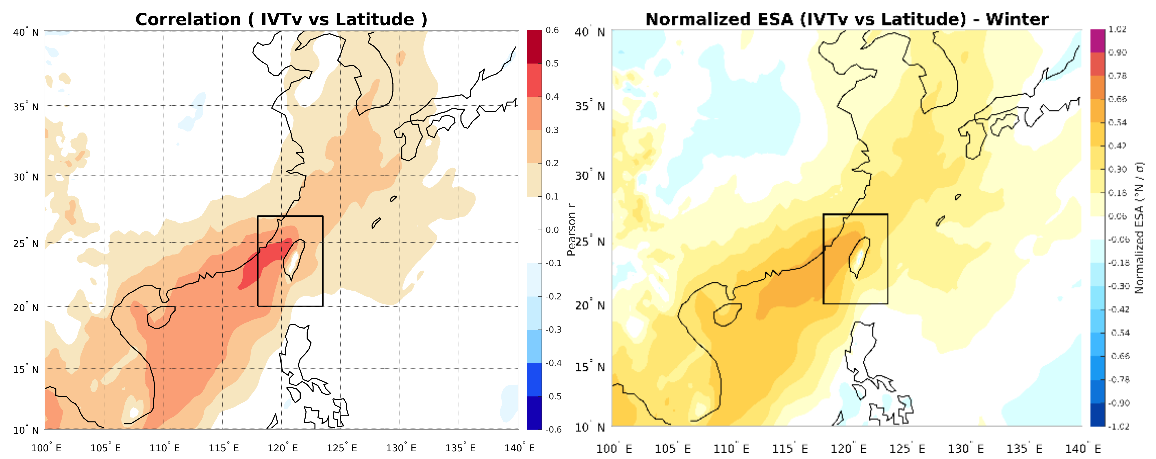


圖3.50 冬季緯度代表變數: (a)1000 hPa V 風、(b) 1000 hPa 風速、(c) 1000 hPa U 風之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。

(a)



(b)



(c)

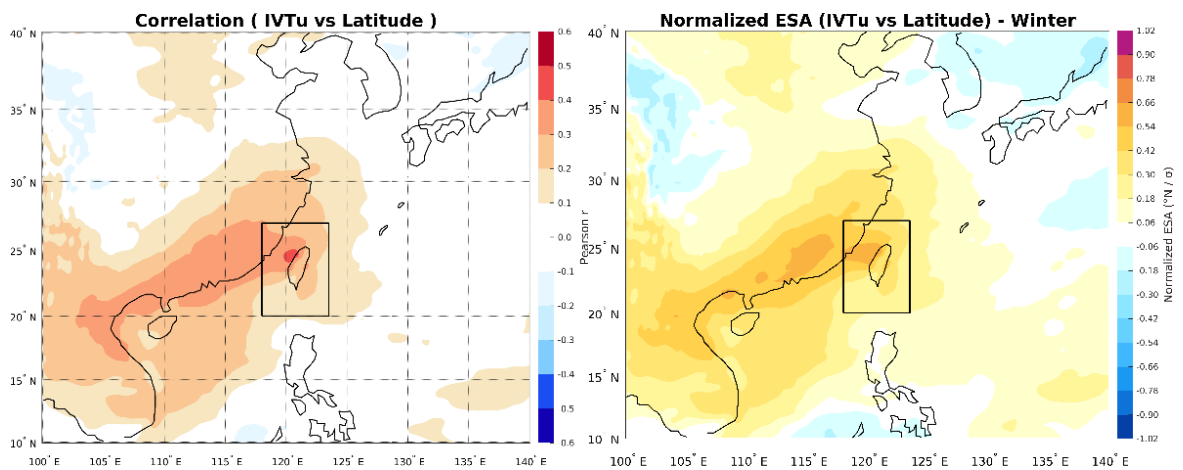
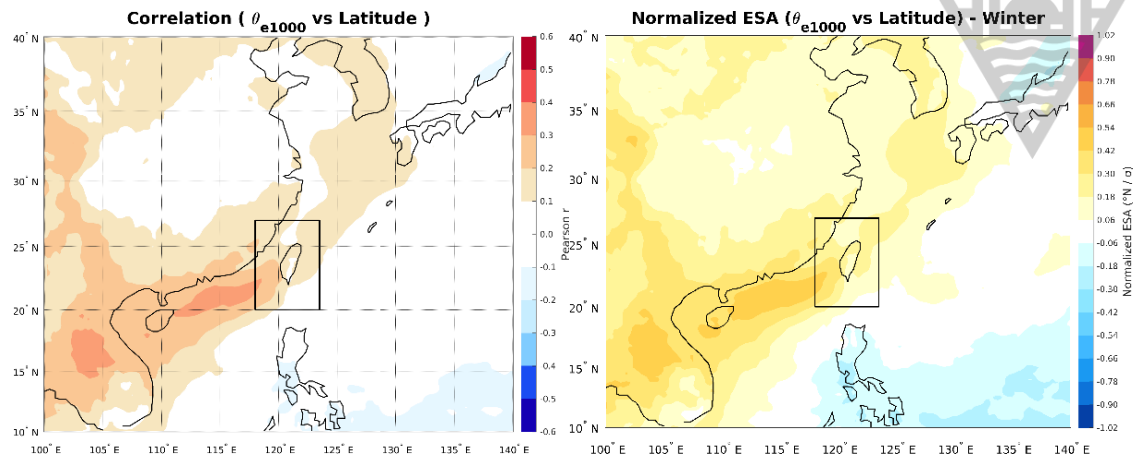


圖3.51 冬季緯度代表變數: (a) IVT、(b) IVT_V、(c) IVT_U之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布

(a)



(b)

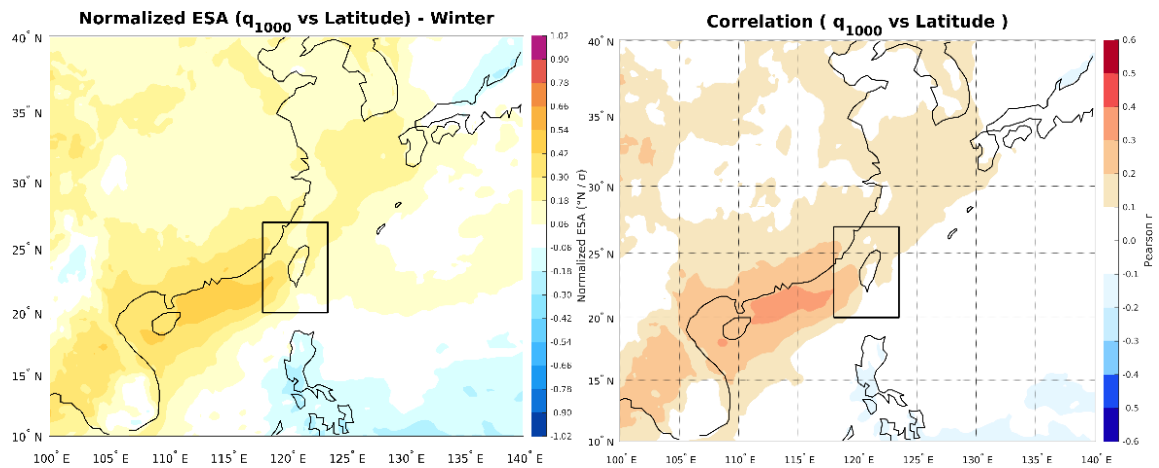
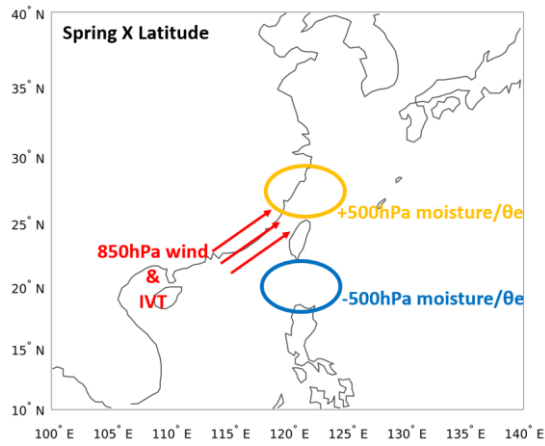
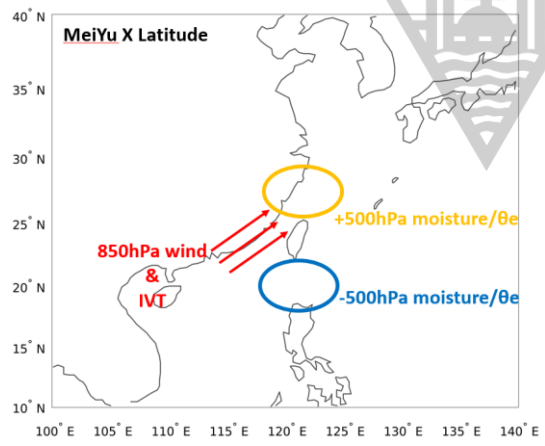


圖3.52 冬季緯度代表變數: (a) 1000 hPa 相當位溫、(b) 1000 hPa 比濕之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。

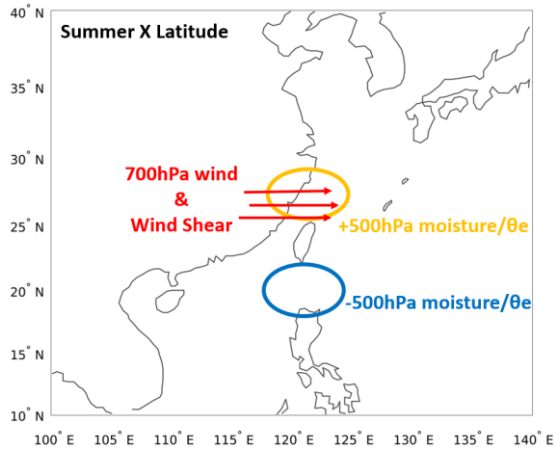
(a)



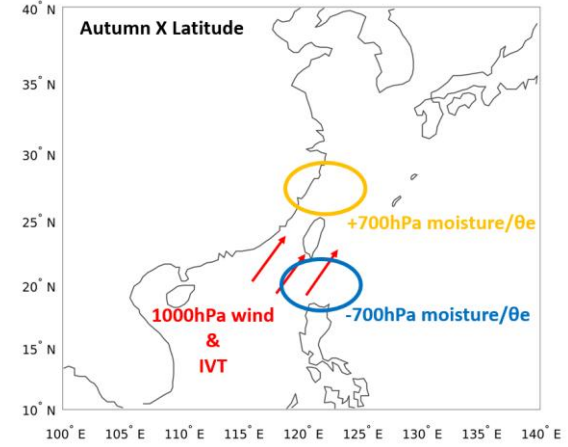
(b)



(c)



(d)



(e)

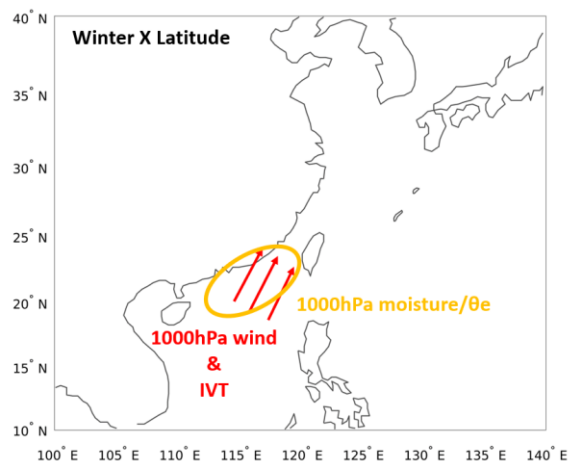
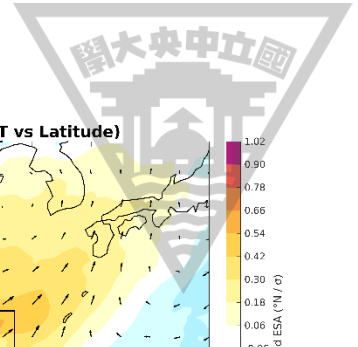
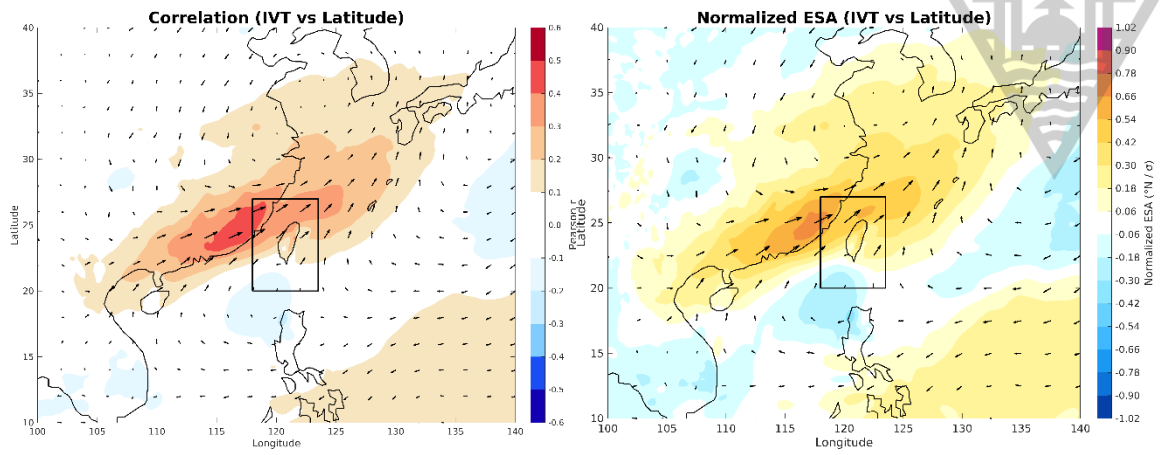


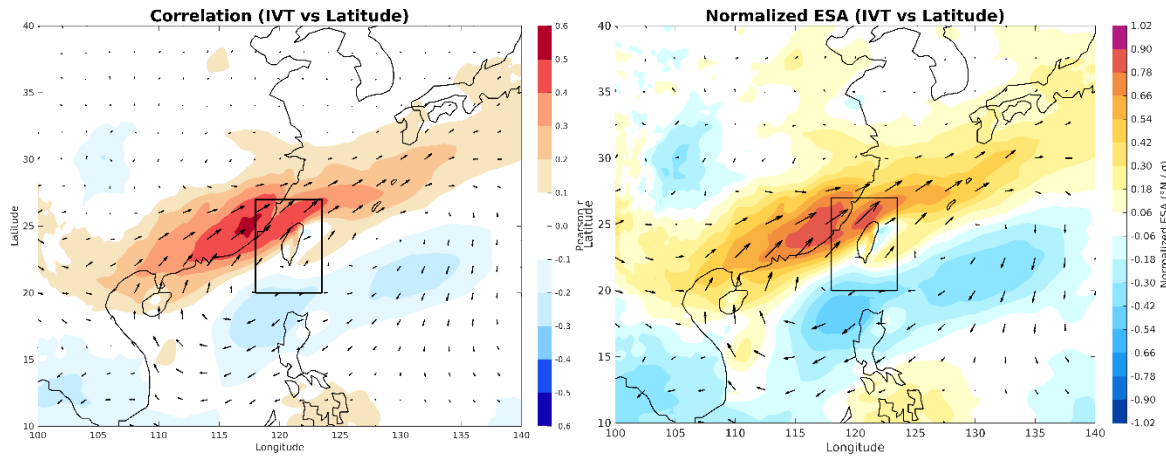
圖3.53 各季緯度因子影響示意圖:(a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季。



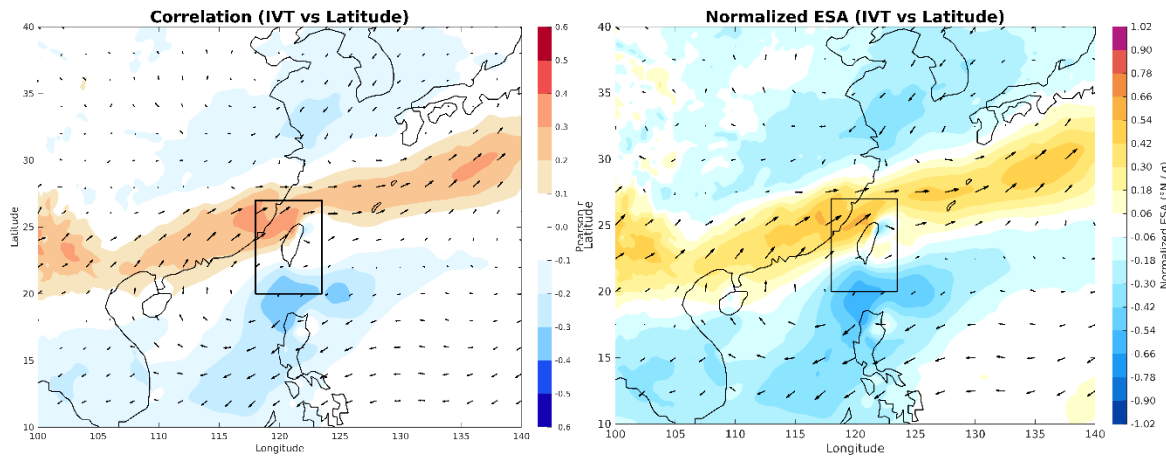
(a)



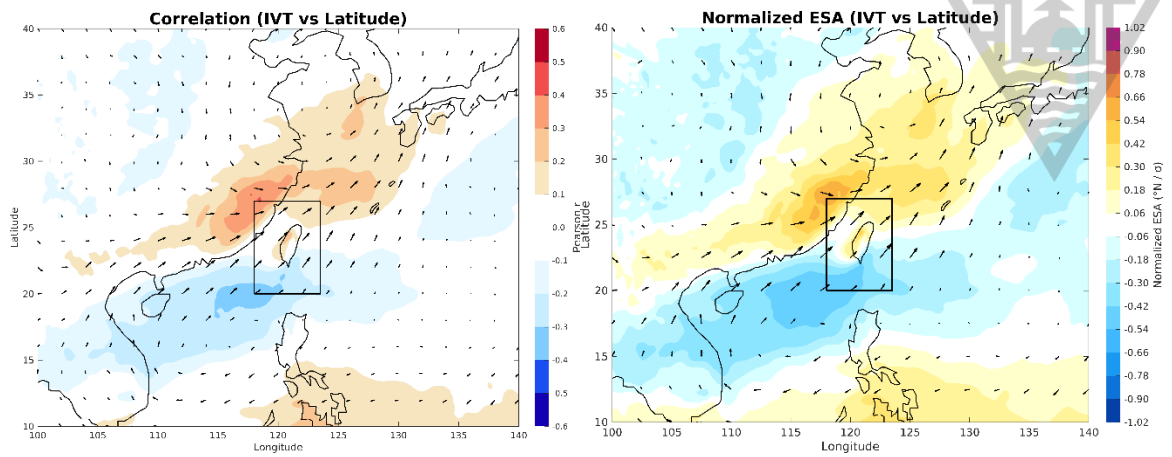
(b)



(c)



(d)



(e)

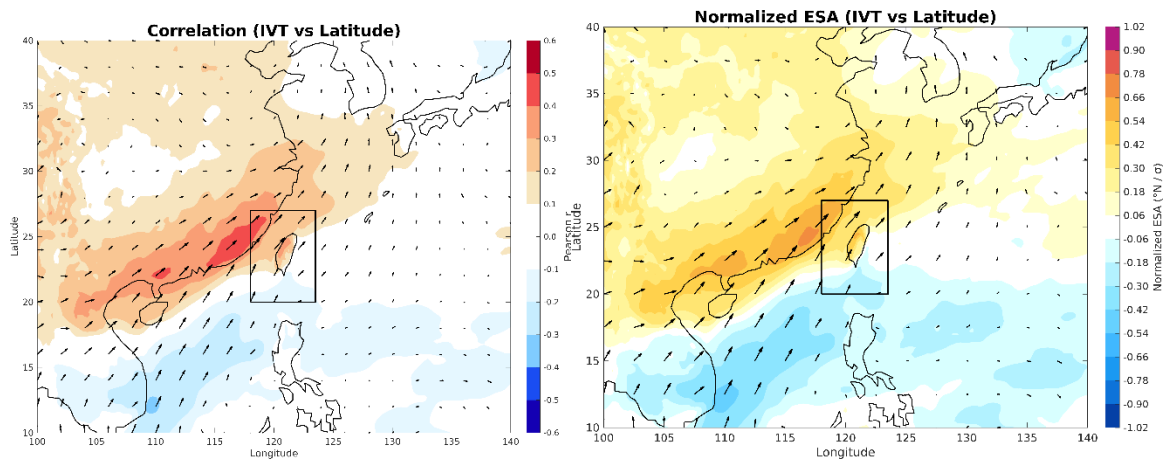
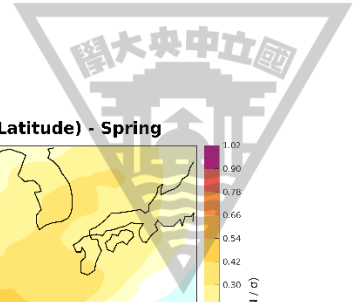
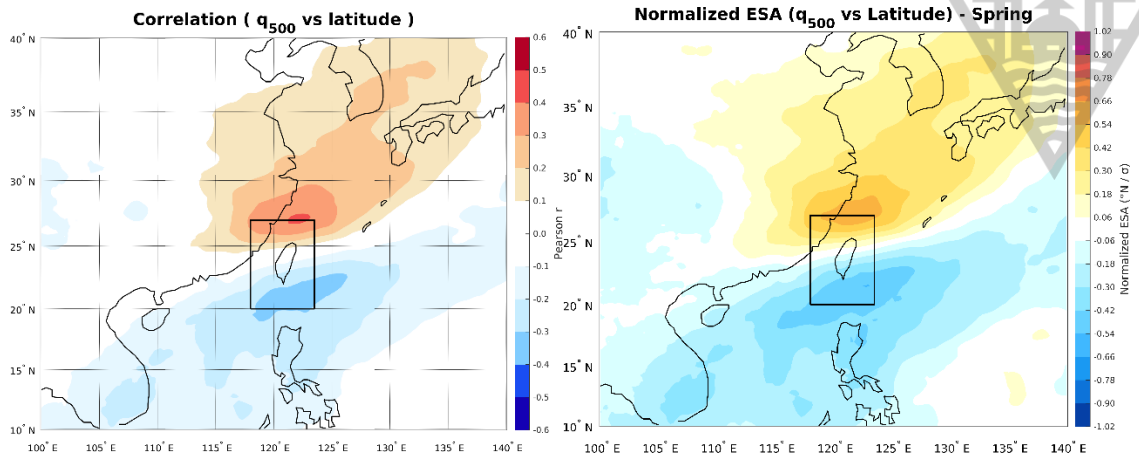


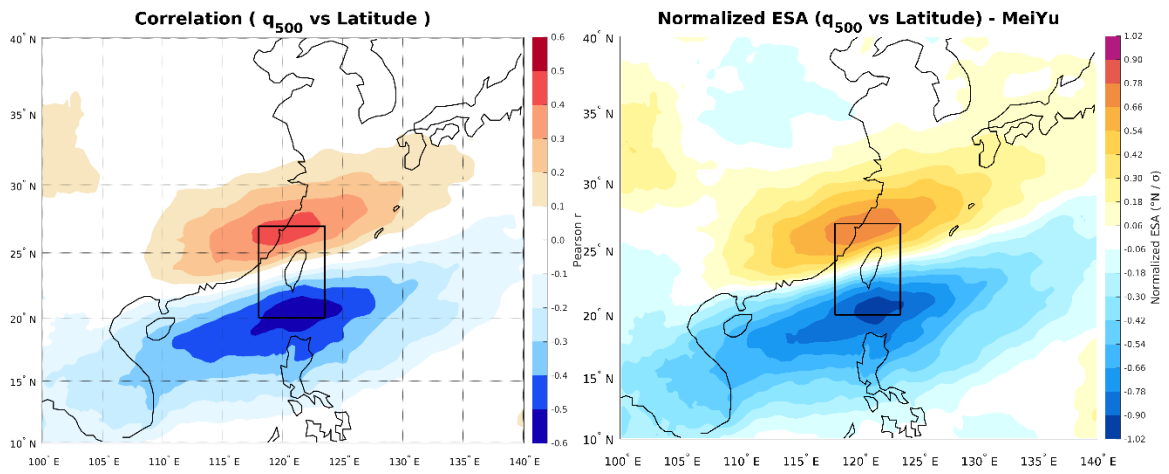
圖3.54 各季緯度 IVT 空間分布:(a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季之（左）皮爾森相關係數分布；（右）標準化系集敏感度分布。



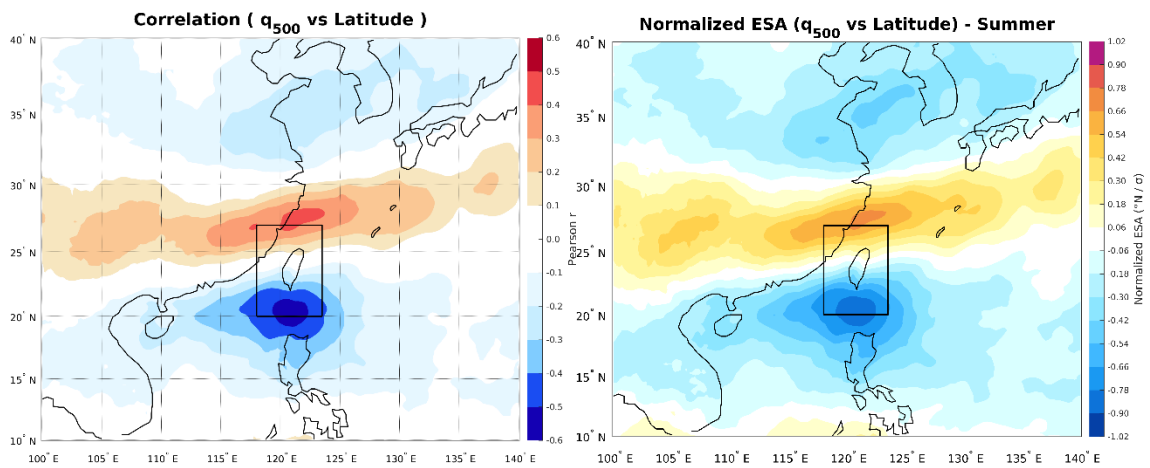
(a)



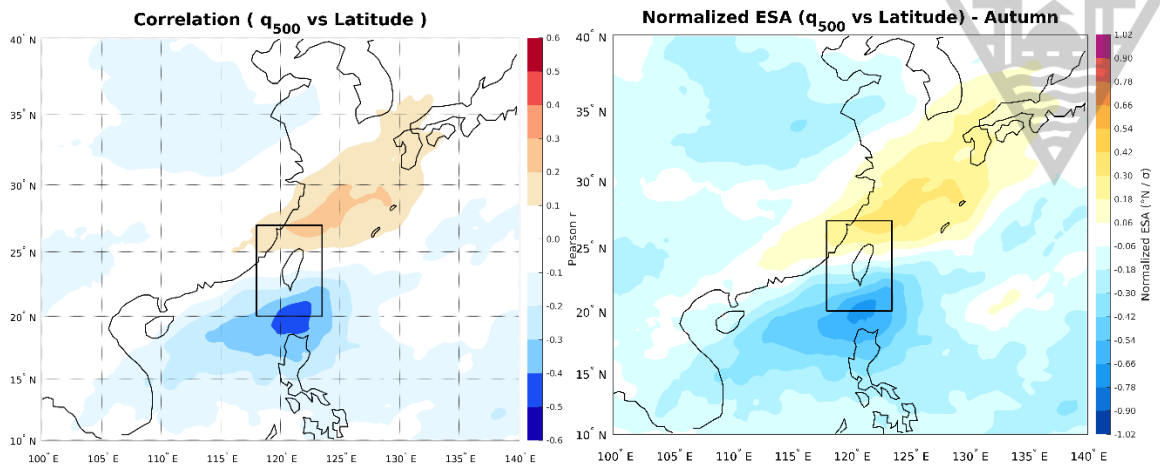
(b)



(c)



(d)



(e)

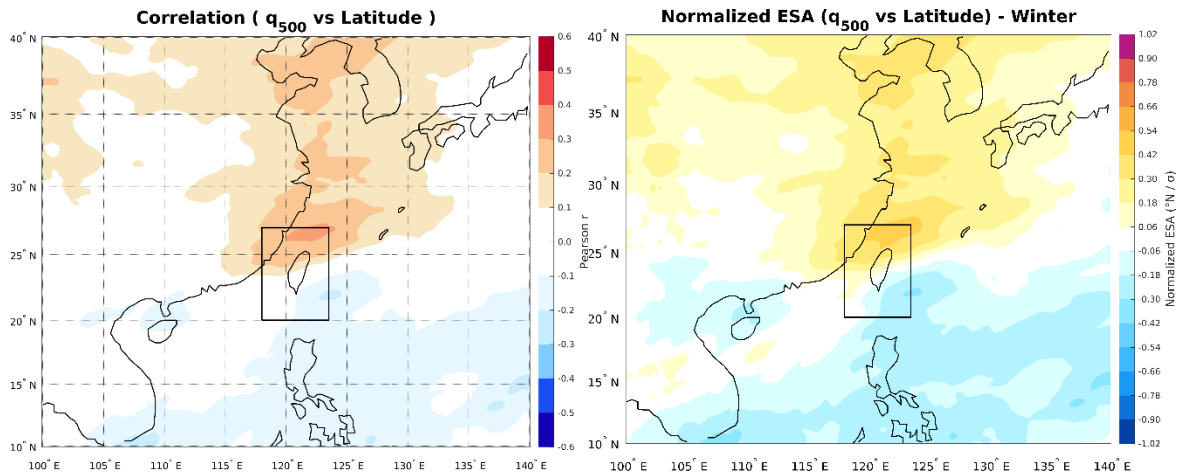
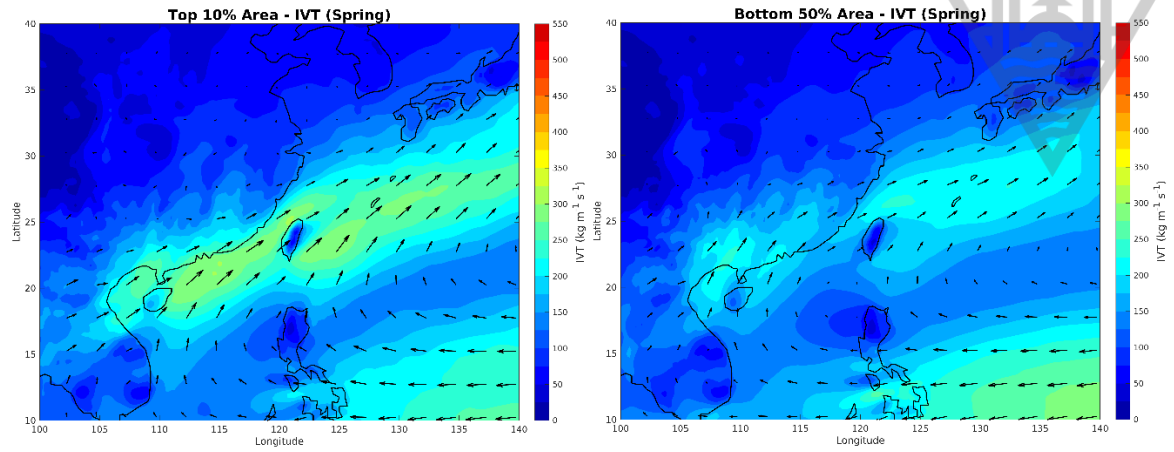
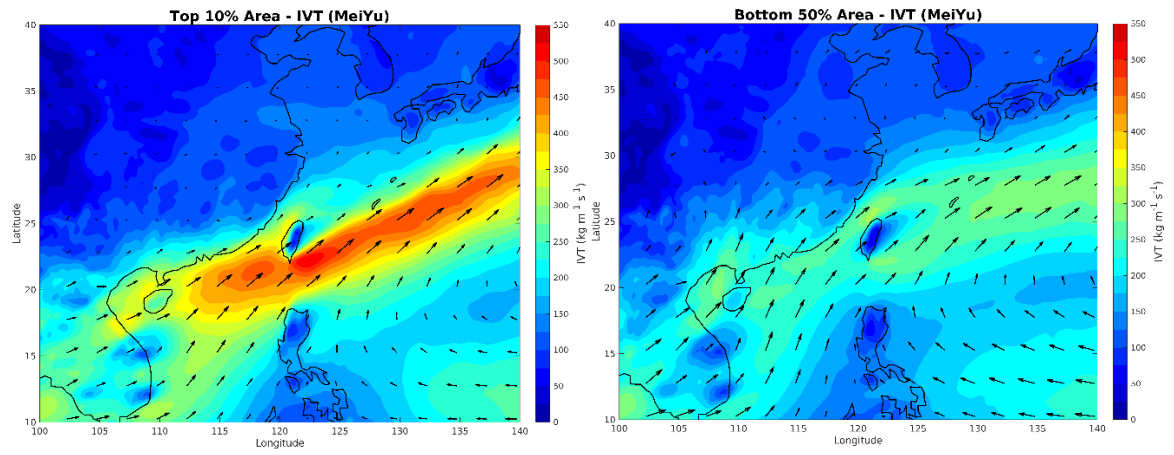


圖3.55 各季緯度 500hPa 比濕 空間分布:(a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、
(e) 冬季之 (左) 皮爾森相關係數分布；(右) 標準化系集敏感度分布。

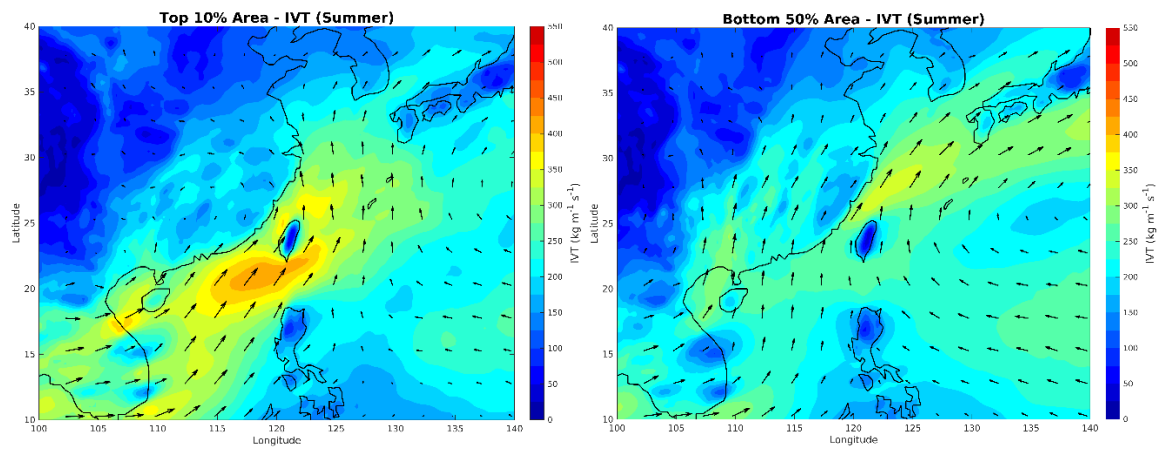
(a)



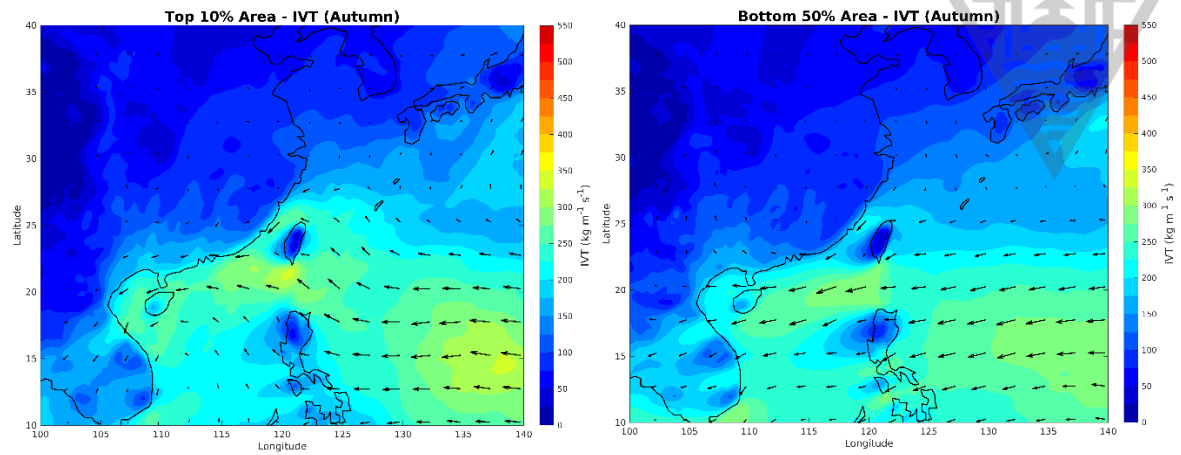
(b)



(c)



(d)



(e)

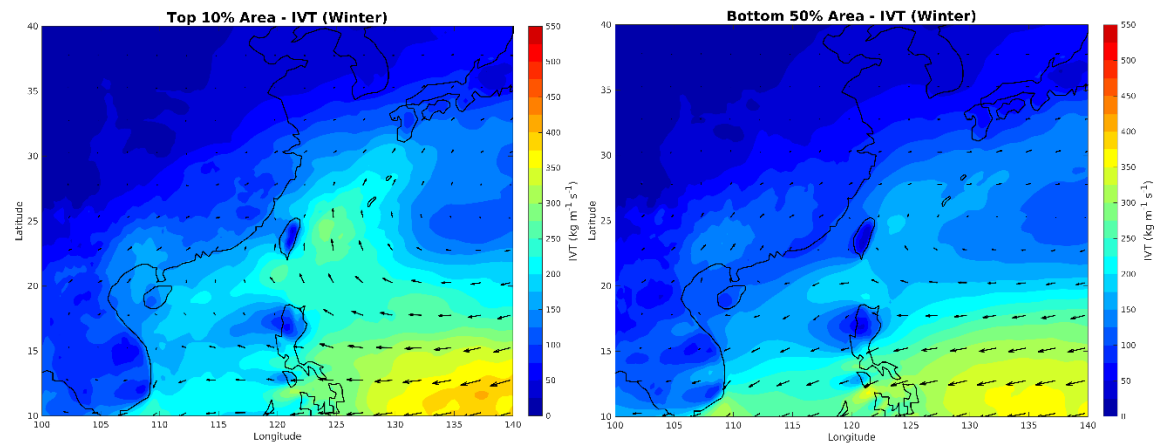
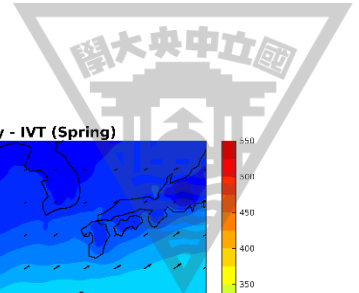
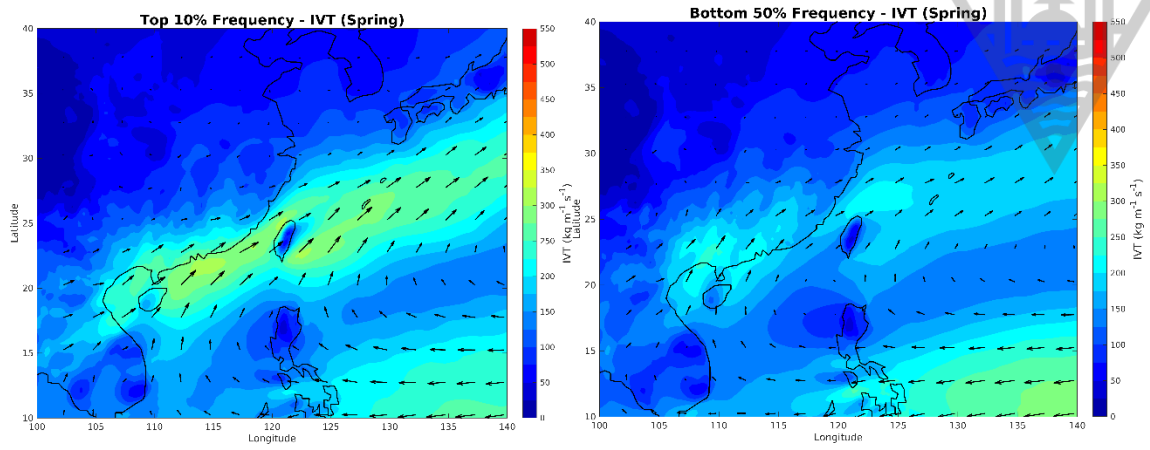


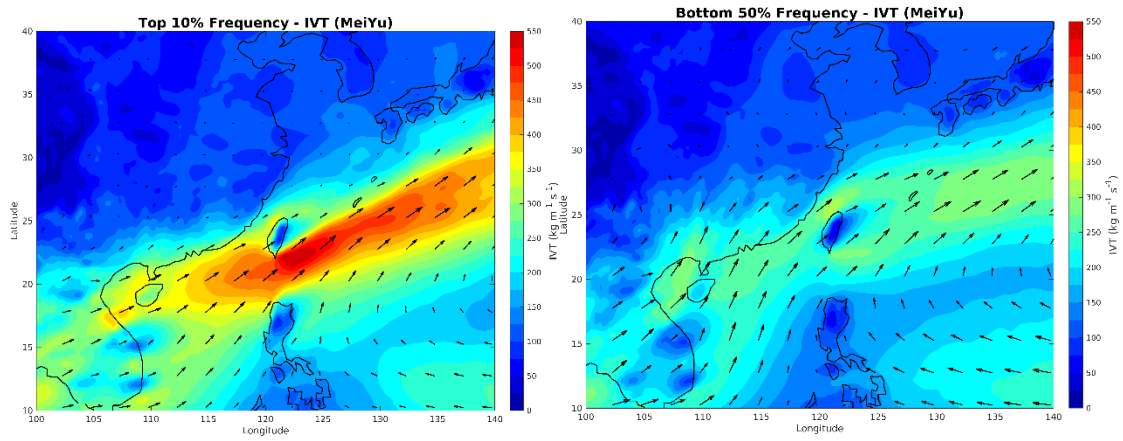
圖4.1 強對流面積低層水氣運輸機制圖: (a)春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、
(e) 冬季之 (左) Top 10 % 群體; (右) Bottom 50 % 群體。底色為 IVT 純量, 風
標為 IVT 分量。



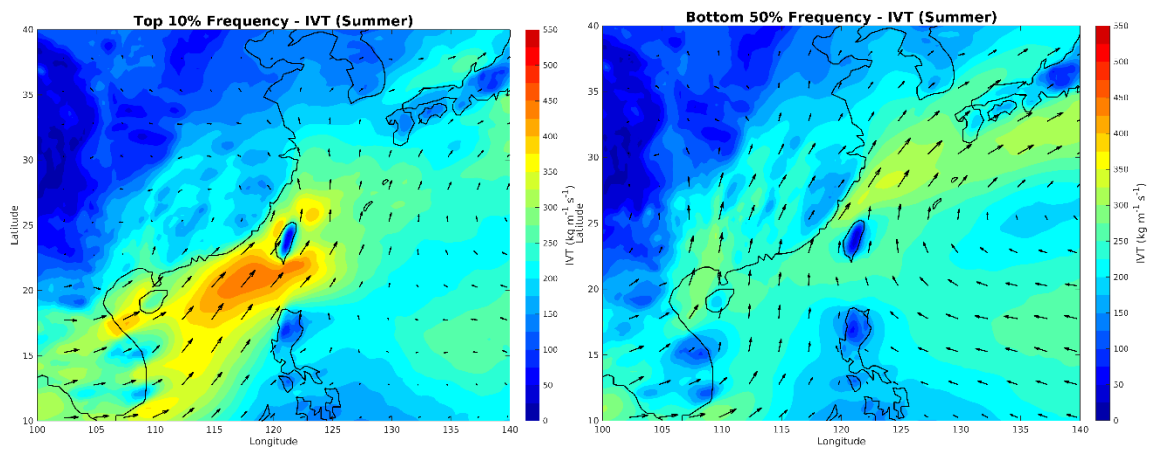
(a)



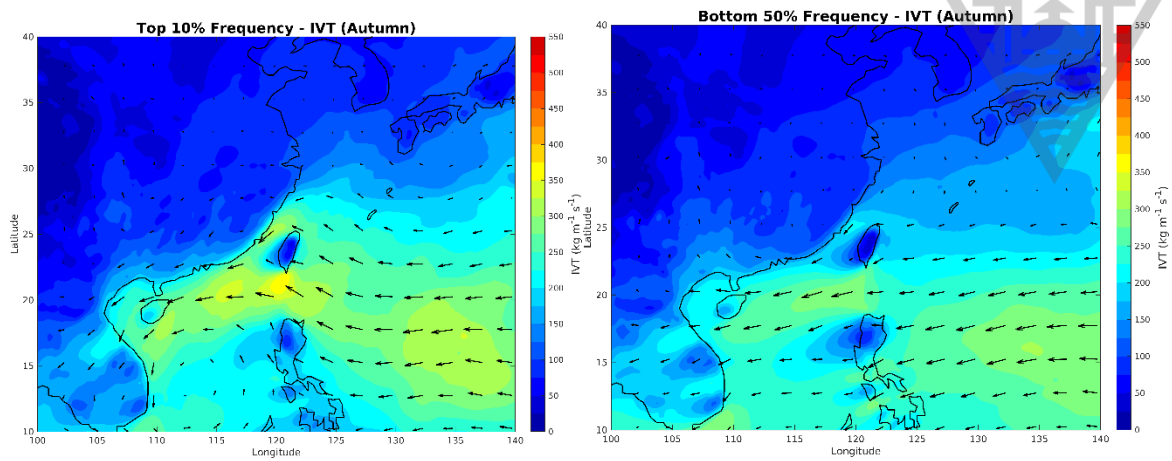
(b)



(c)



(d)



(e)

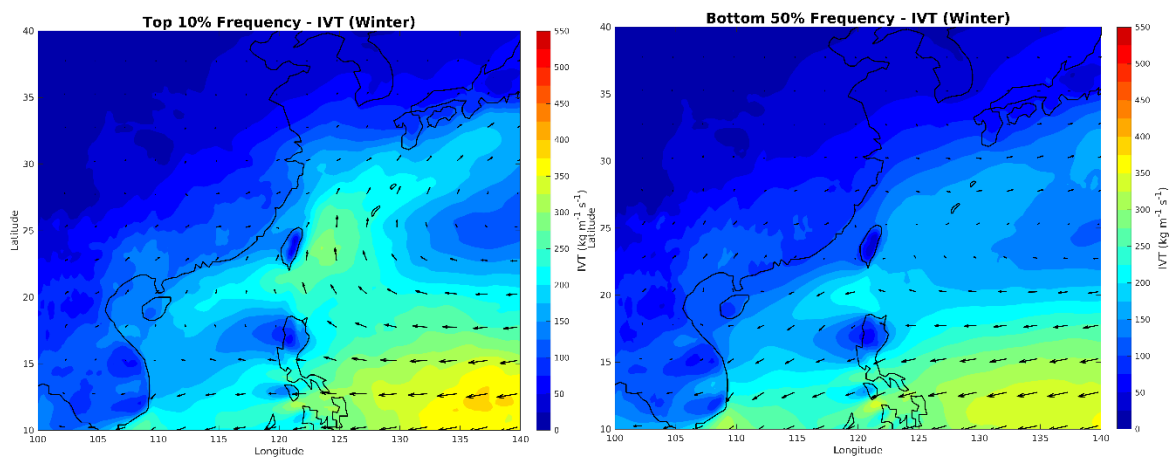
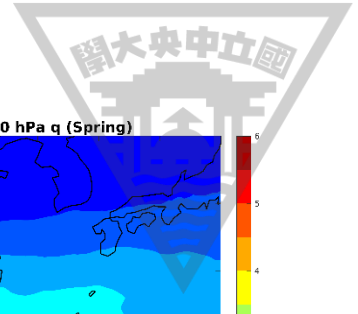
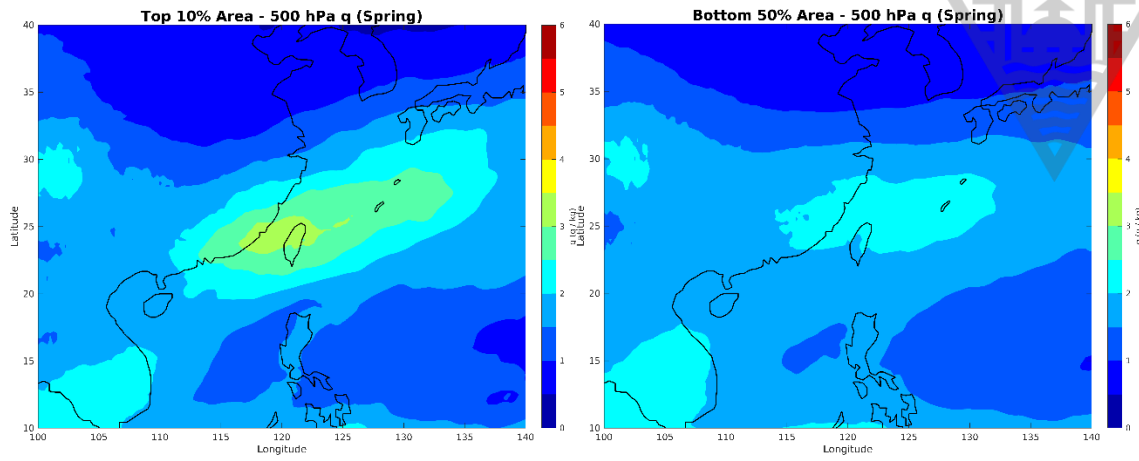


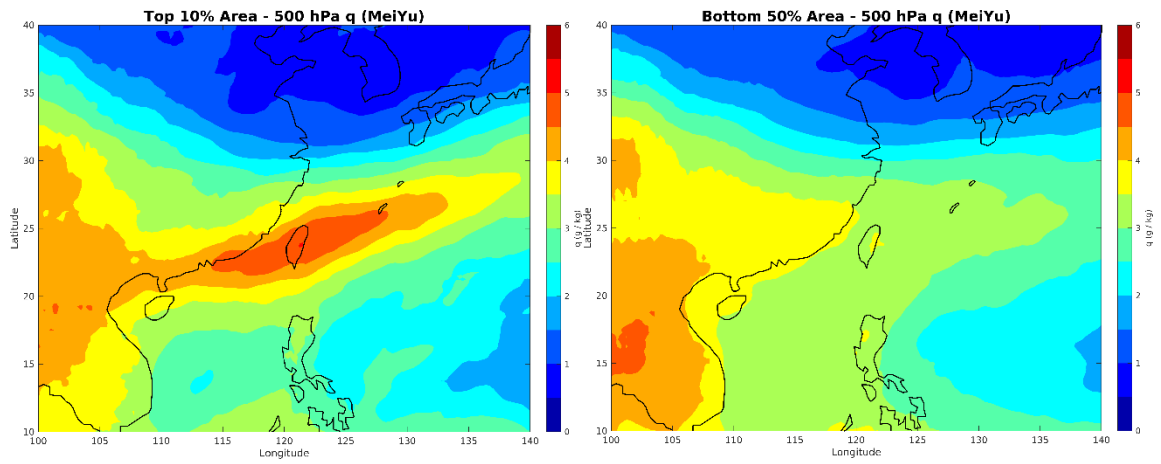
圖4.2 頻率低層水氣運輸機制圖:(a)春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季之 (左) Top 10 % 群體 ; (右) Bottom 50 % 群體。底色為 IVT 純量, 風標為 IVT 分量。



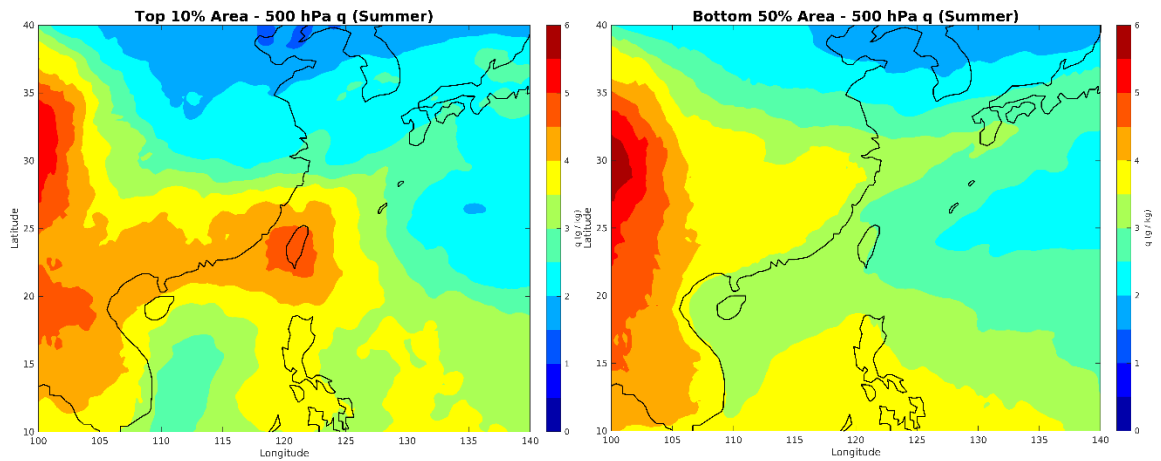
(a)



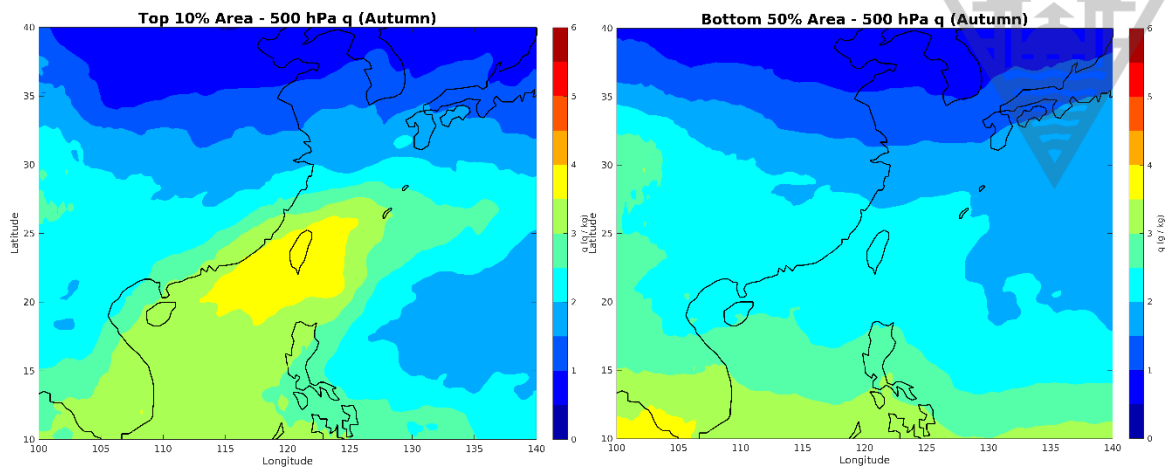
(b)



(c)



(d)



(e)

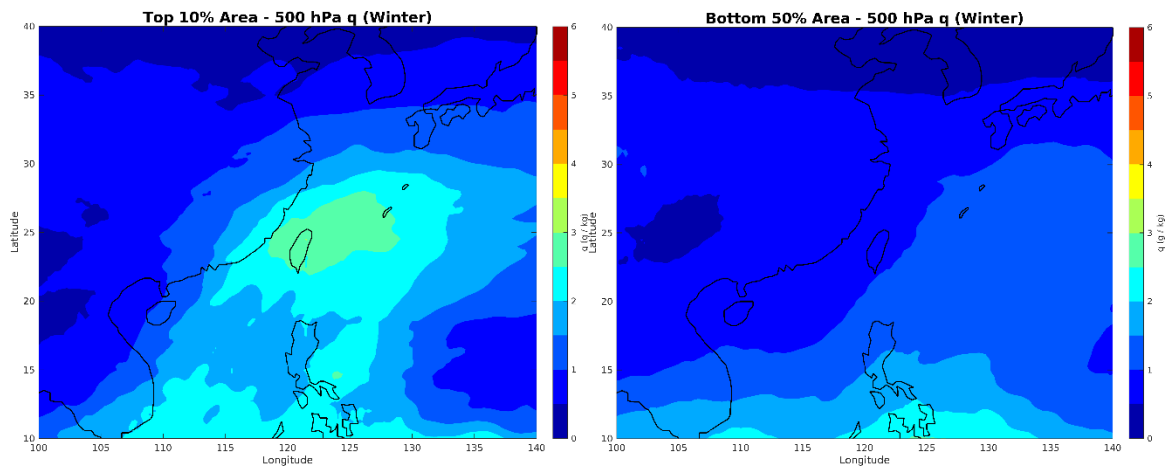
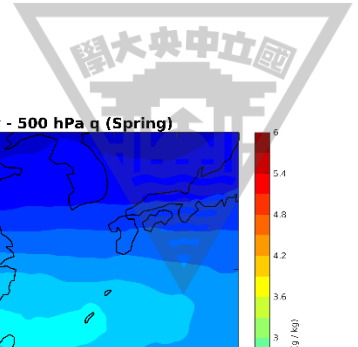
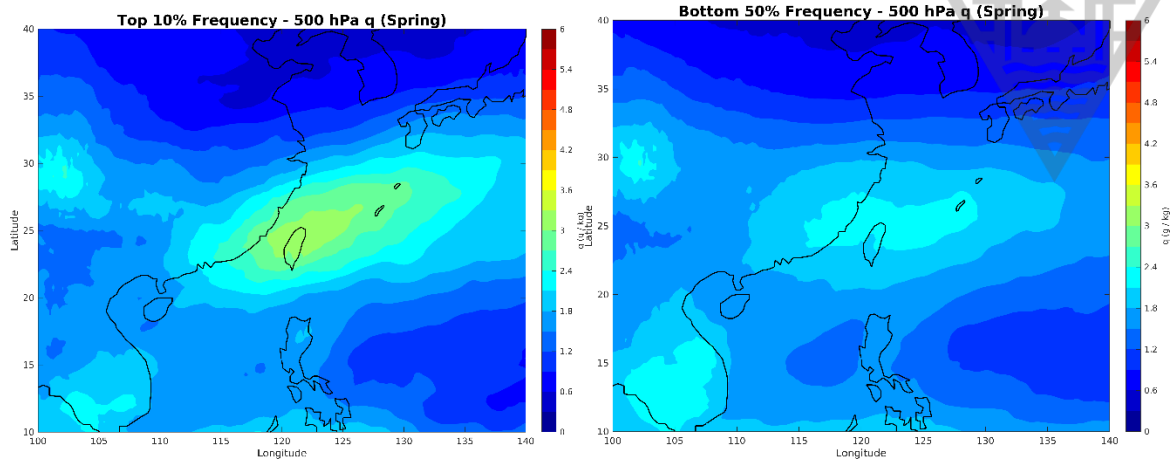


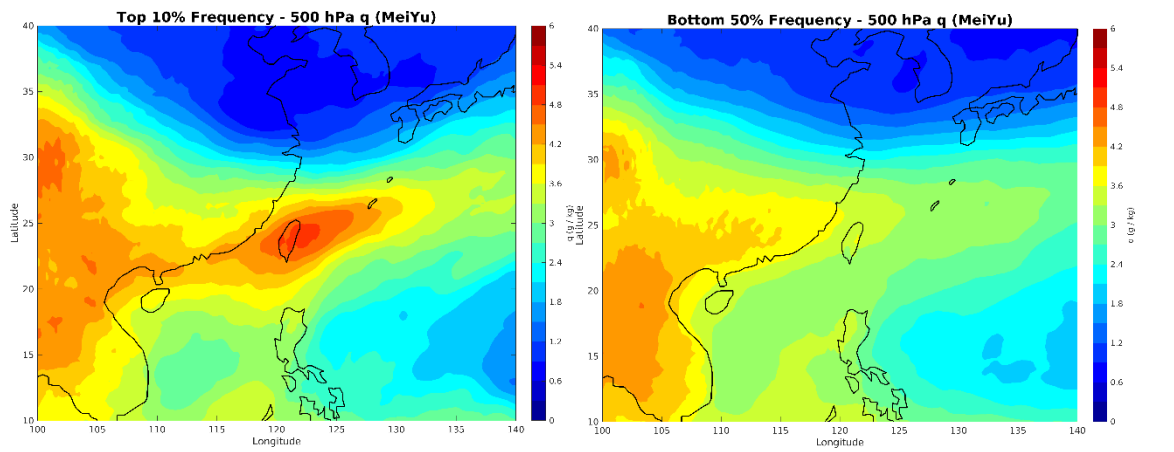
圖4.3 強對流面積 500hPa 比濕機制圖:(a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、
(e) 冬季之 (左) Top 10 % 群體 ; (右) Bottom 50 % 群體 。底色為比濕。



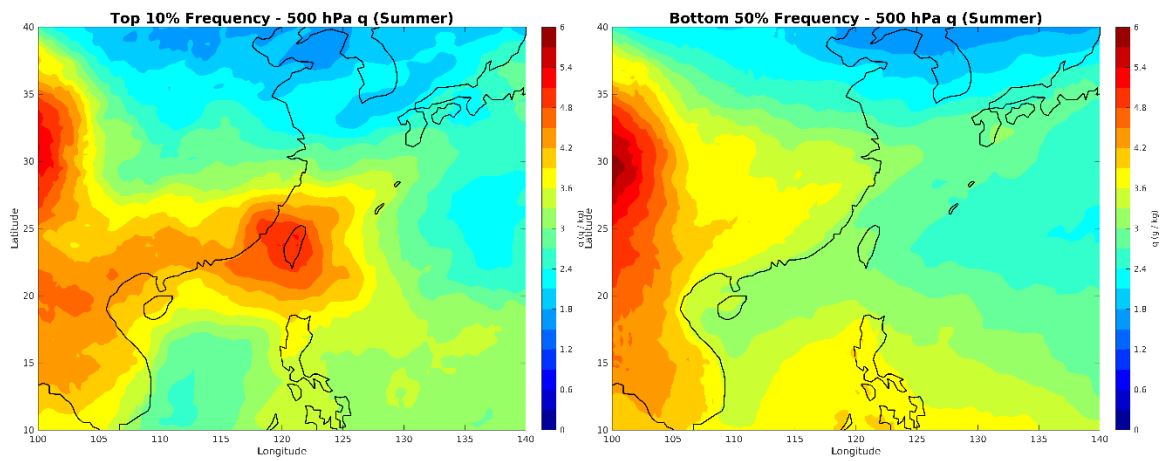
(a)



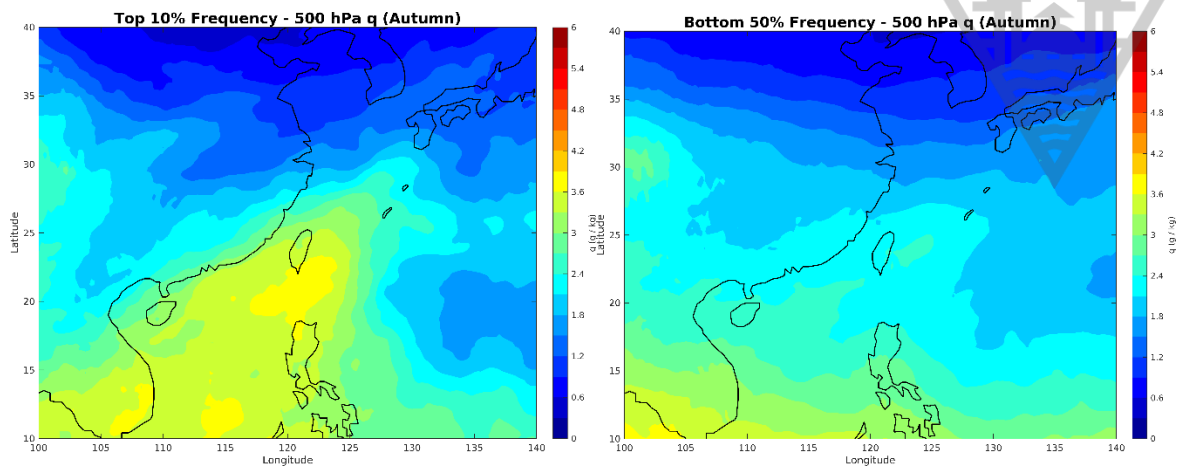
(b)



(c)



(d)



(e)

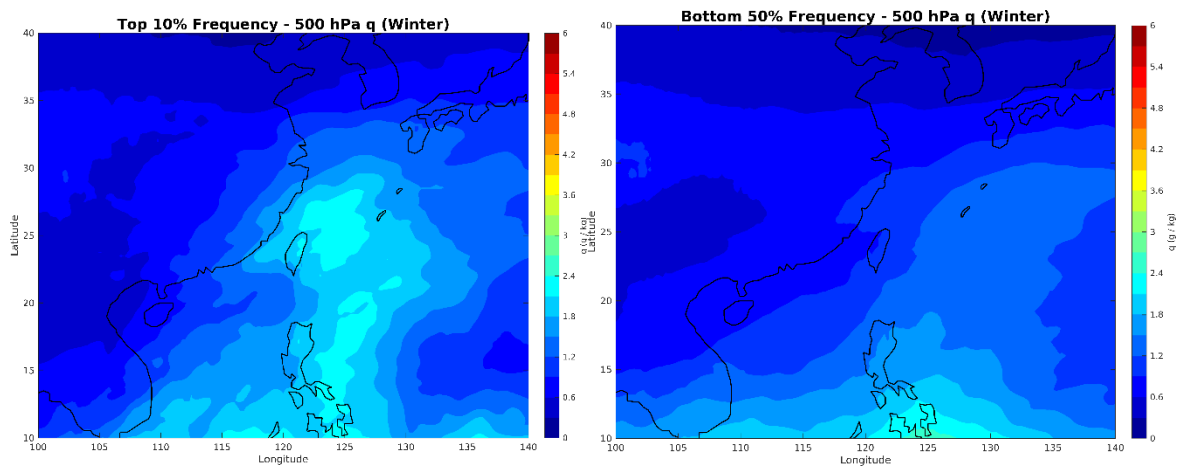
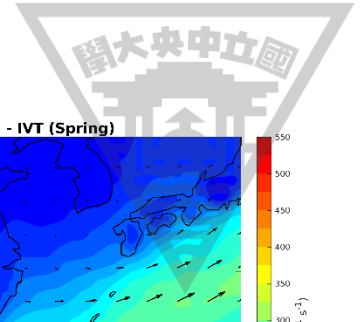
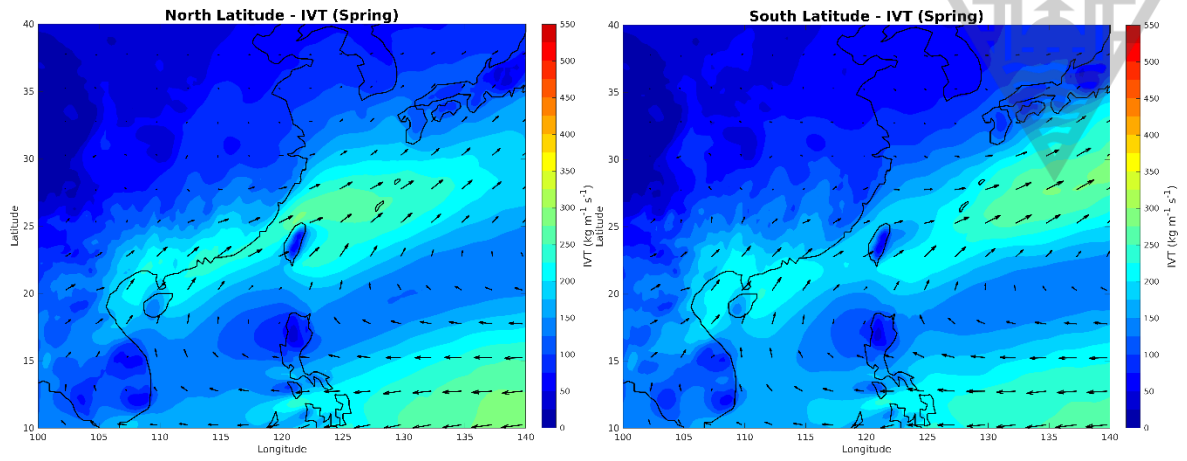


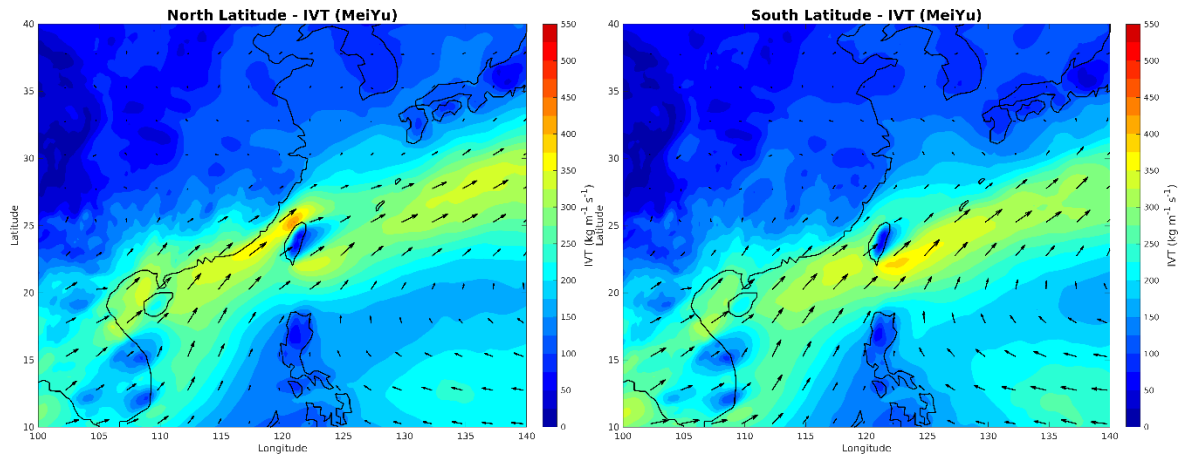
圖4.4 頻率 500hPa 比濕機制圖: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季之 (左) Top 10 % 群體; (右) Bottom 50 % 群體。底色為比濕。



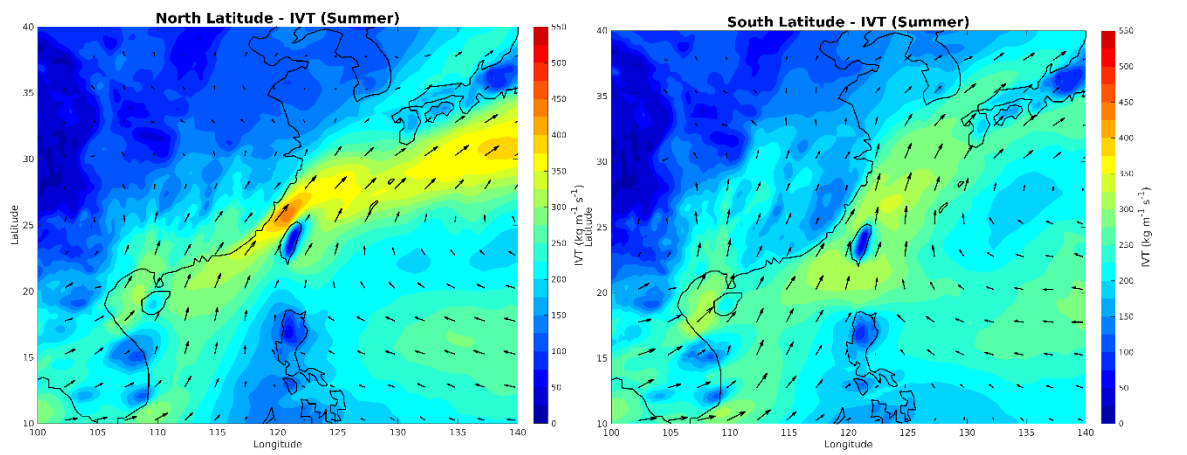
(a)



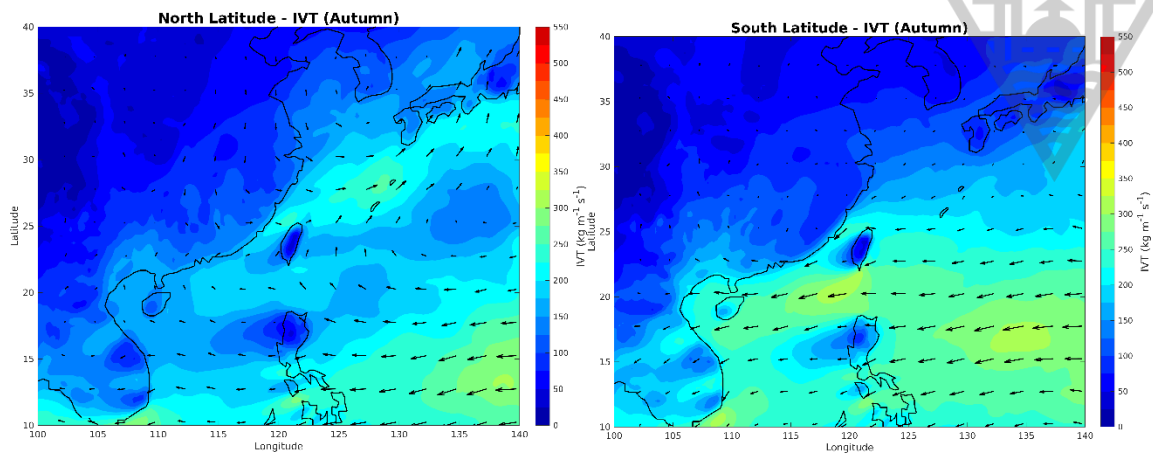
(b)



(c)



(d)



(e)

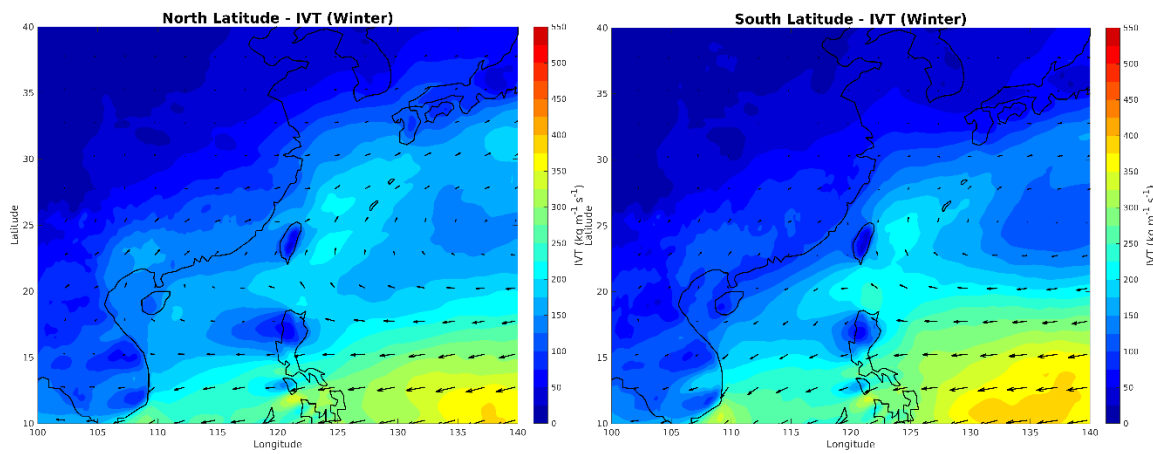
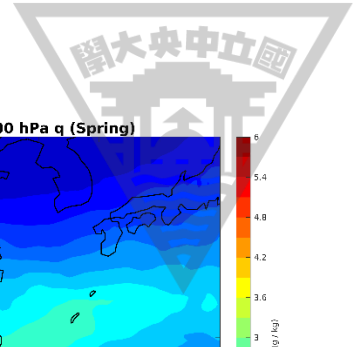
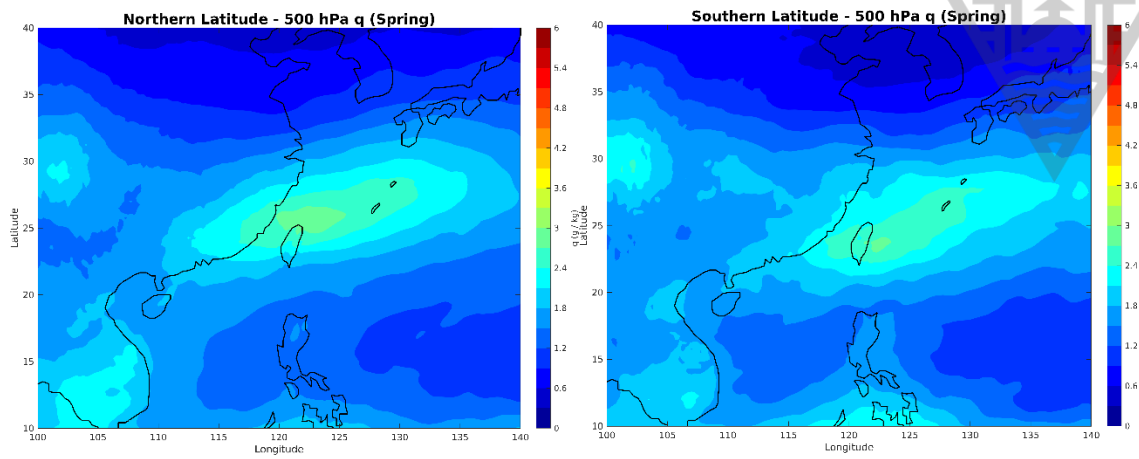


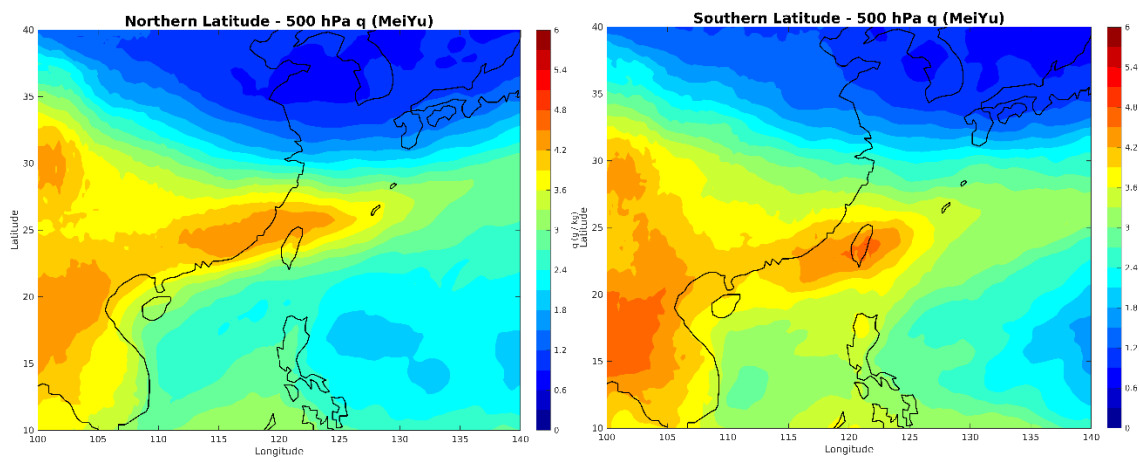
圖4.5 緯度低層水氣運輸機制圖: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季之 (左) 北部群體; (右) 南部群體。底色為 IVT 純量, 風標為 IVT 分量。



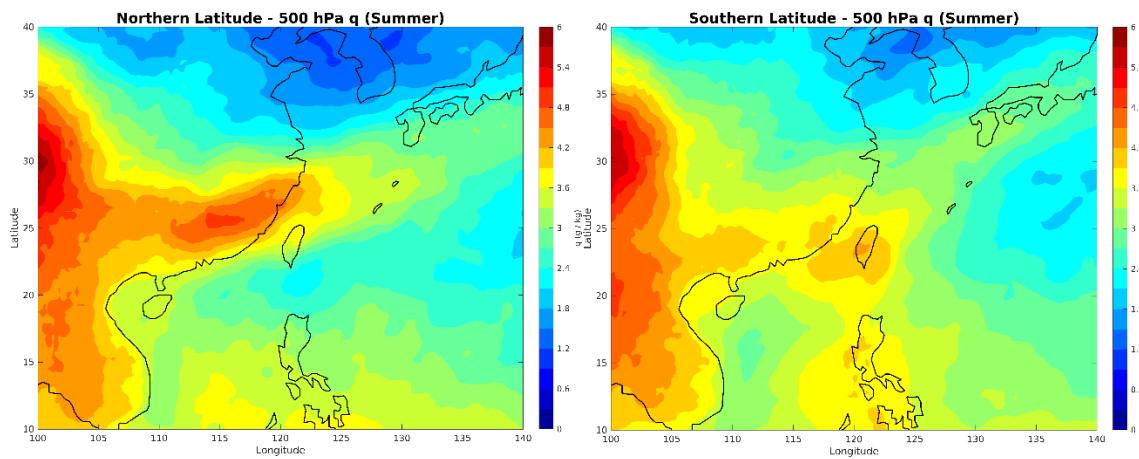
(a)



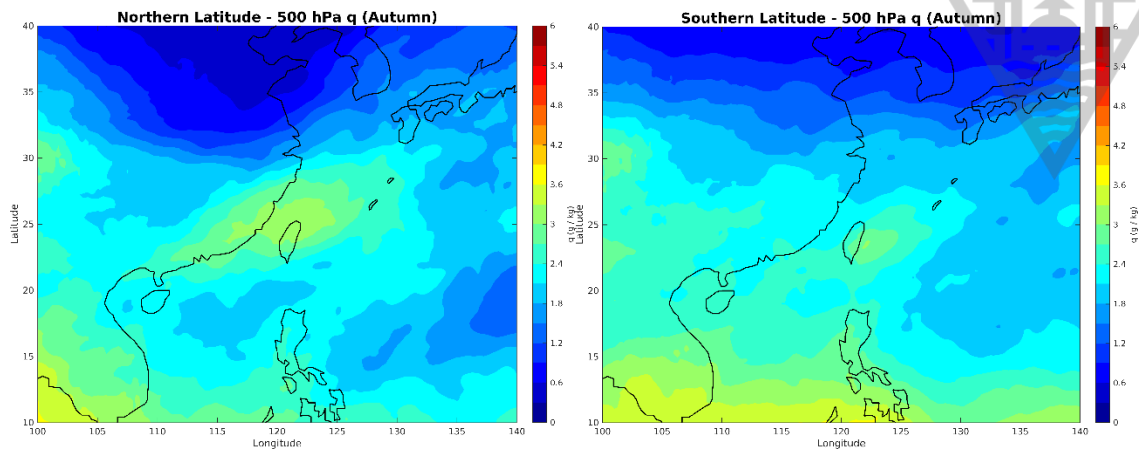
(b)



(c)



(d)



(e)

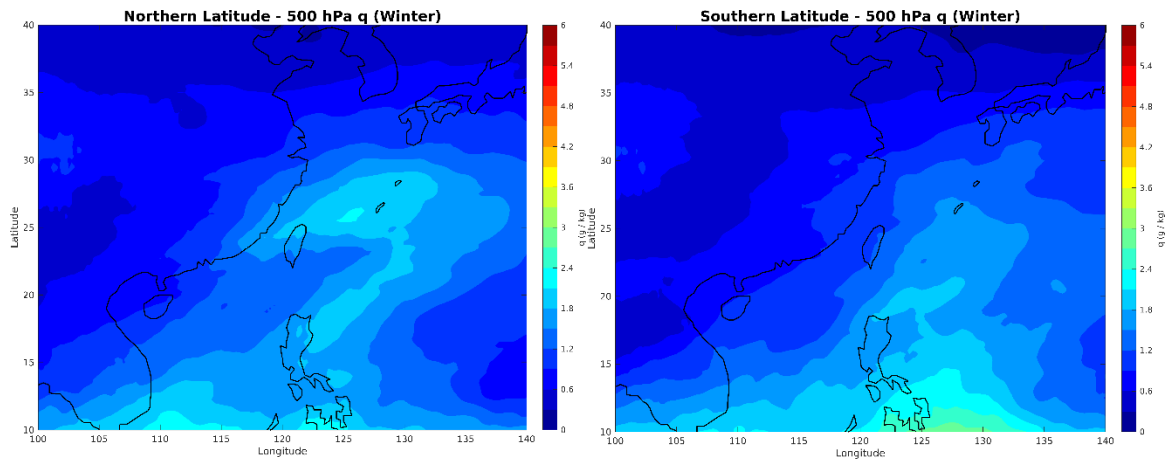


圖4.6 緯度 500hPa 比濕機制圖: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季之 (左) 北部群體; (右) 南部群體。底色為比濕。

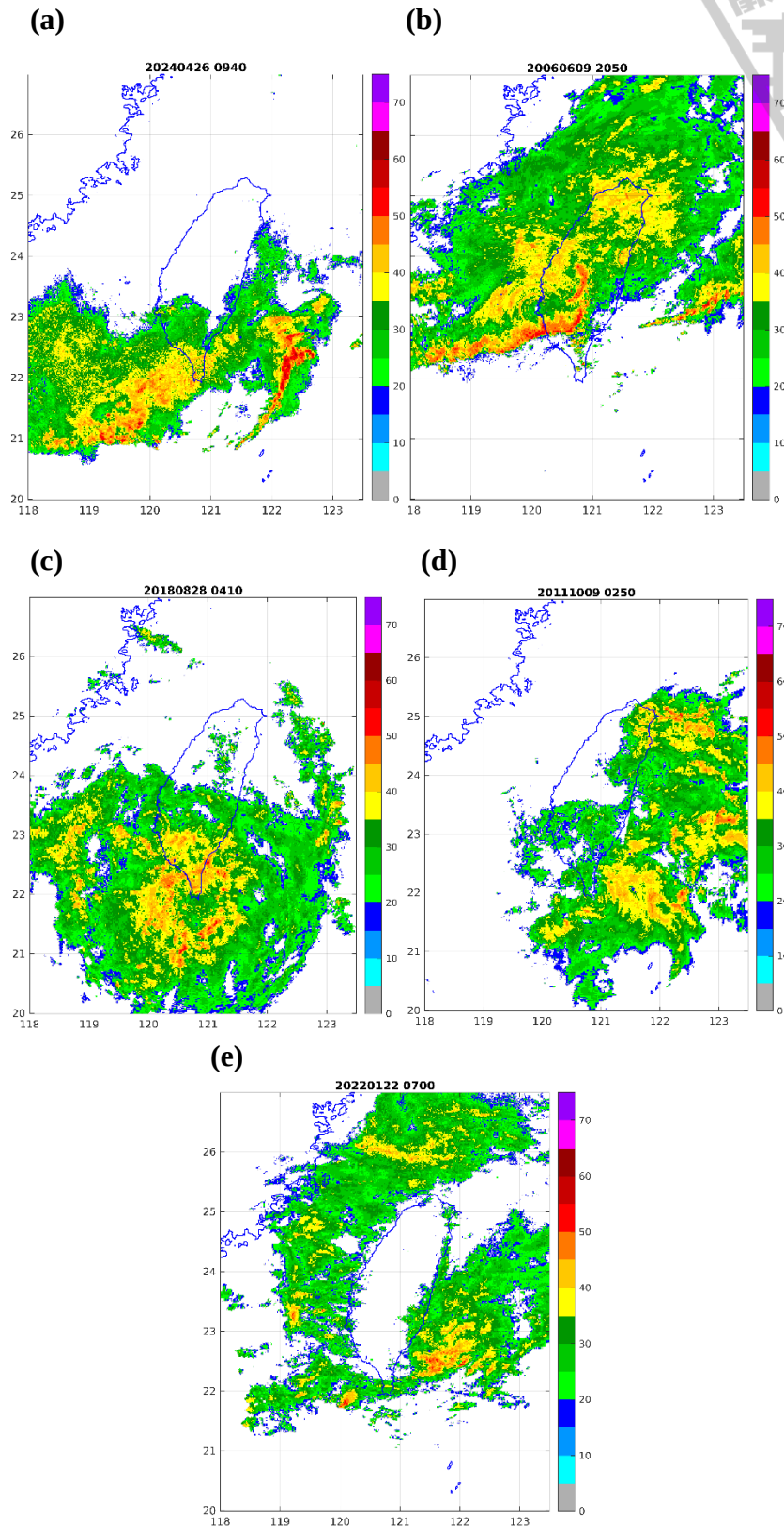
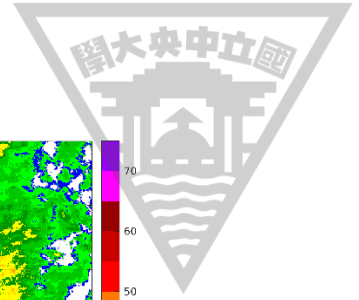


圖4.7 極端個案雷達迴波圖: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季。

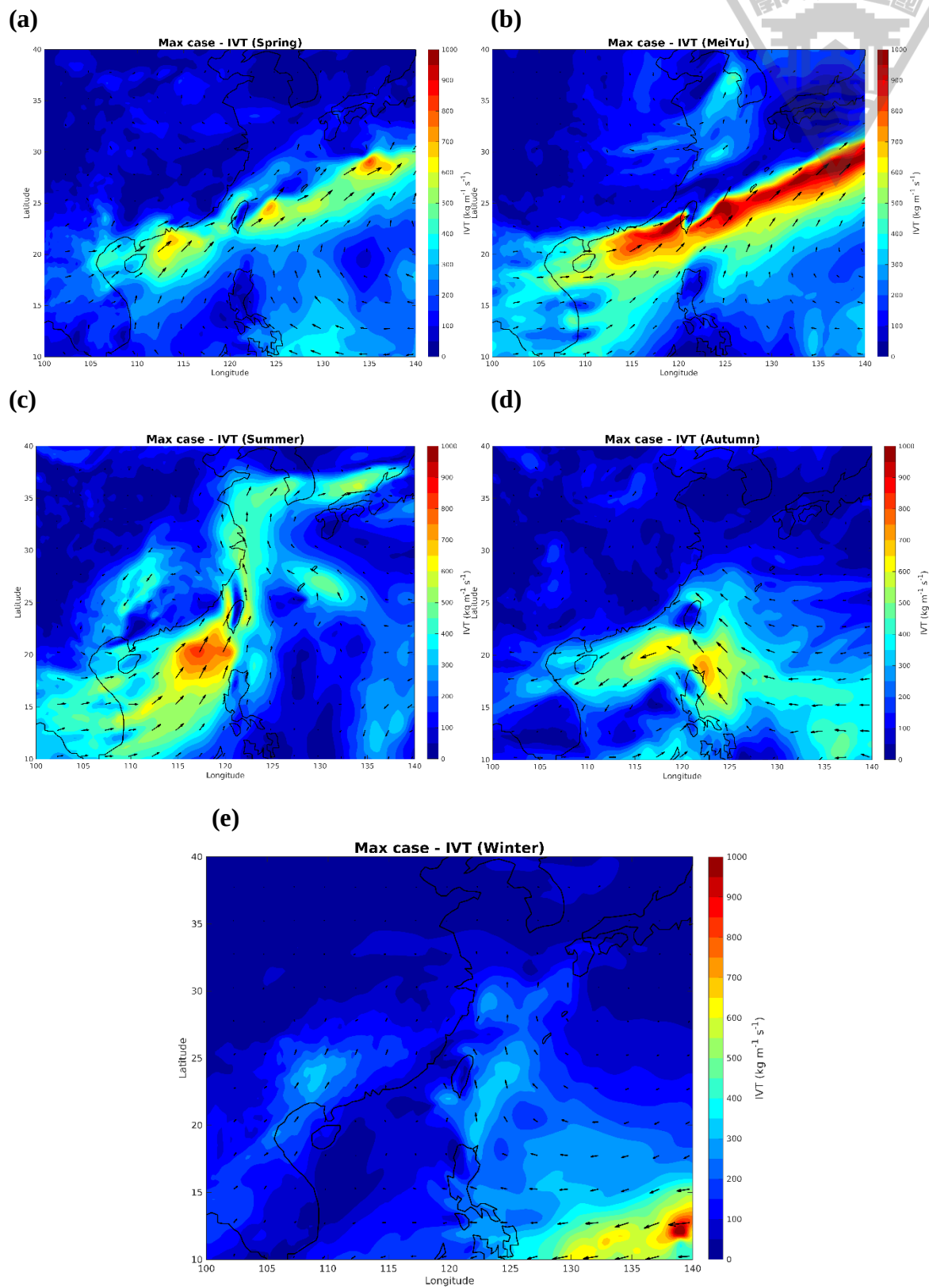


圖4.8 極端個案低層水氣機制圖: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季。底色為 IVT 純量，風標為 IVT 分量。

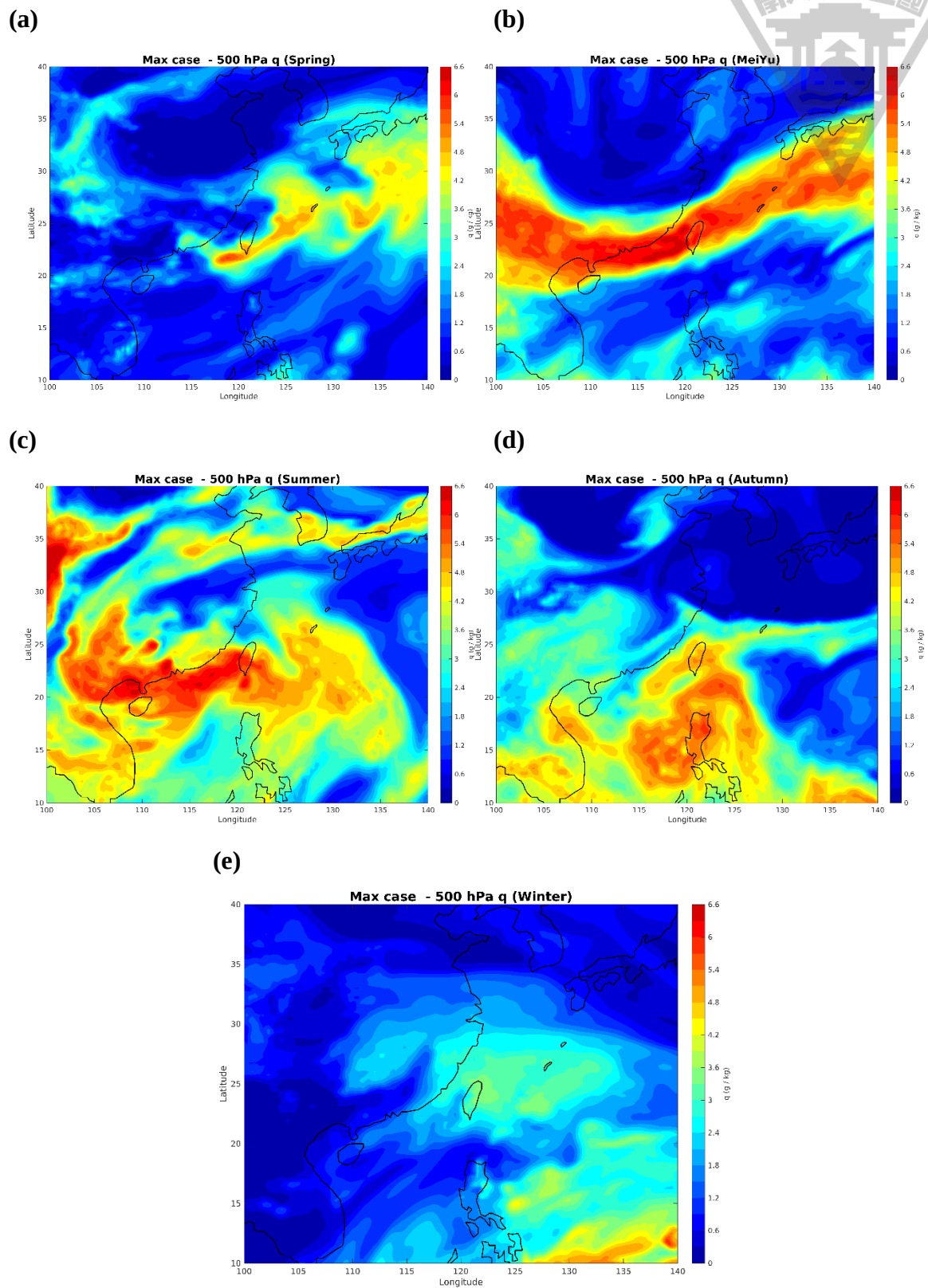
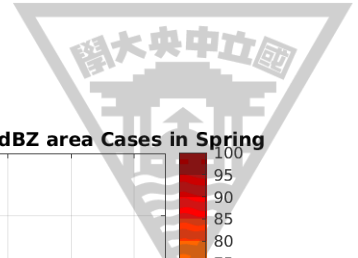
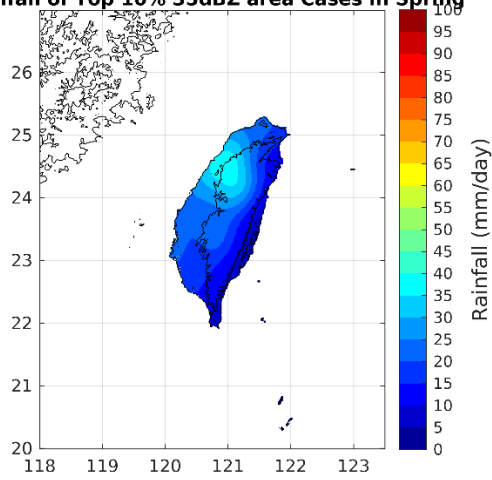


圖 4.9 極端個案 500hPa 比濕機制圖：(a)春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季。底色為比濕。

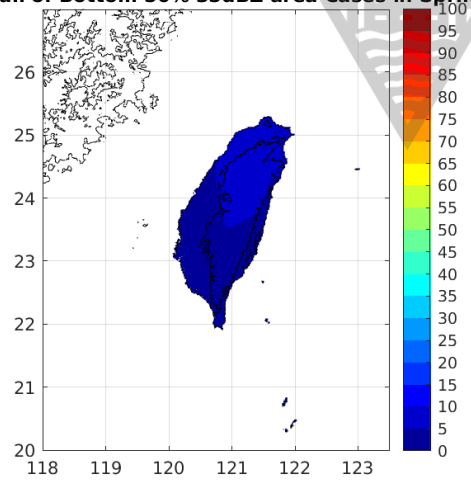


(a)

Rainfall of Top 10% 35dBZ area Cases in Spring

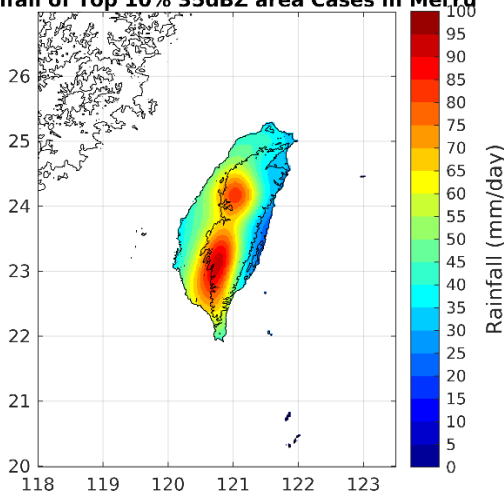


Rainfall of Bottom 50% 35dBZ area Cases in Spring

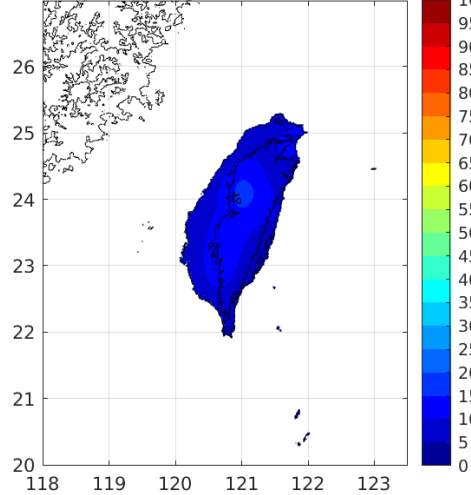


(b)

Rainfall of Top 10% 35dBZ area Cases in MeiYu

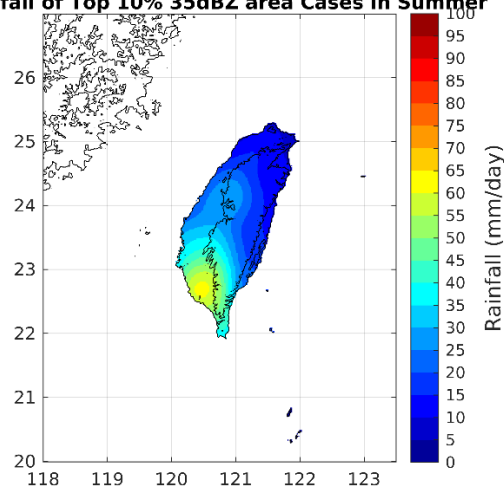


Rainfall of Bottom 50% 35dBZ area Cases in MeiYu

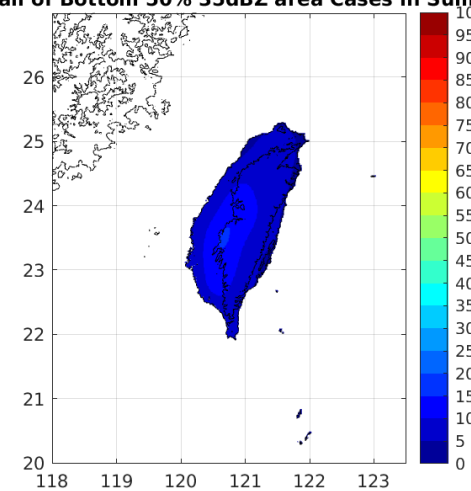


(c)

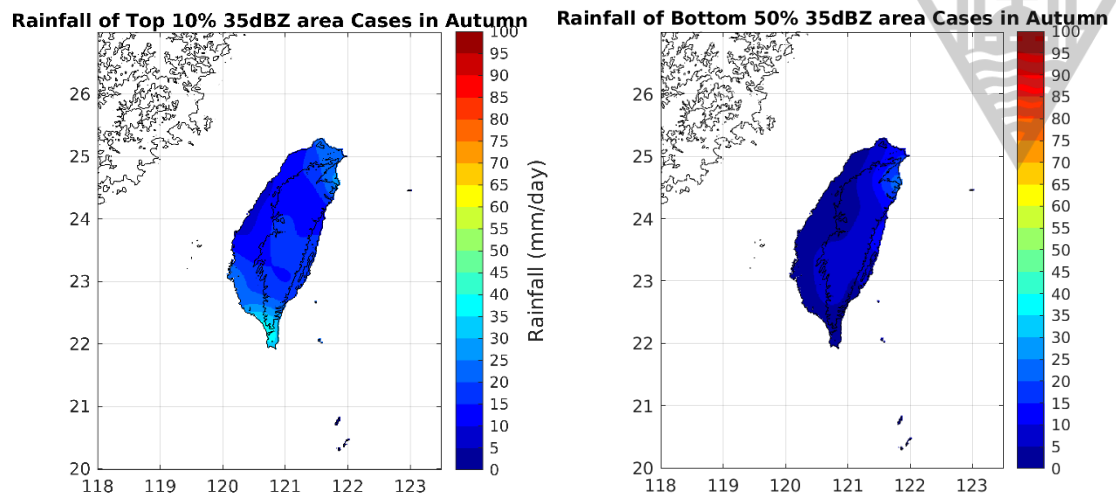
Rainfall of Top 10% 35dBZ area Cases in Summer



Rainfall of Bottom 50% 35dBZ area Cases in Summer



(d)



(e)

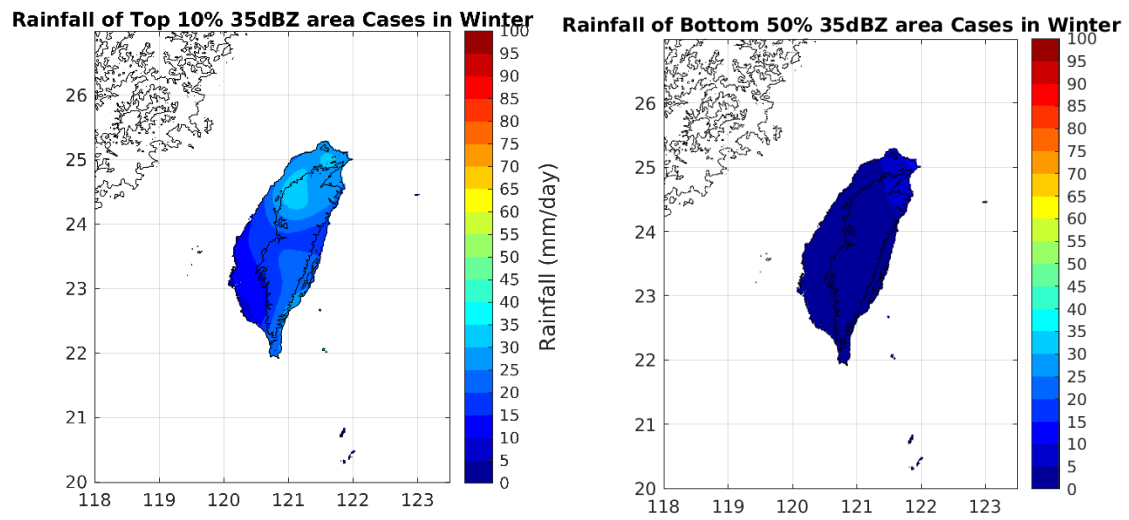
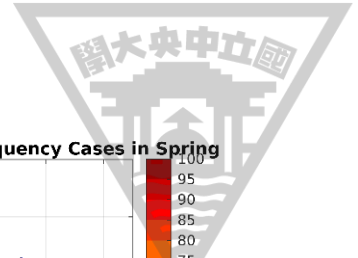
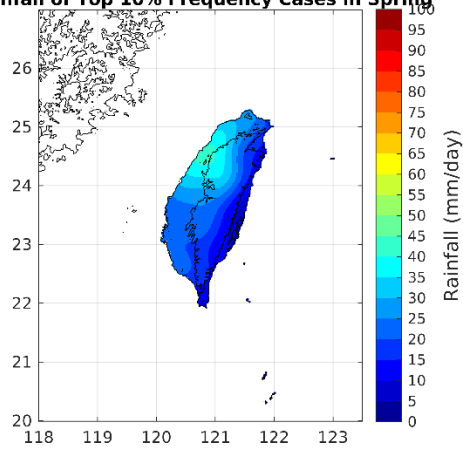


圖5.1 強對流面積雨量分布圖: (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季之 (左) Top 10 % 群體; (右) Bottom 50 % 群體。

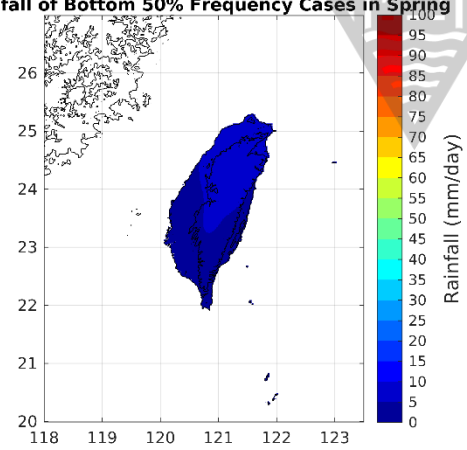


(a)

Rainfall of Top 10% Frequency Cases in Spring

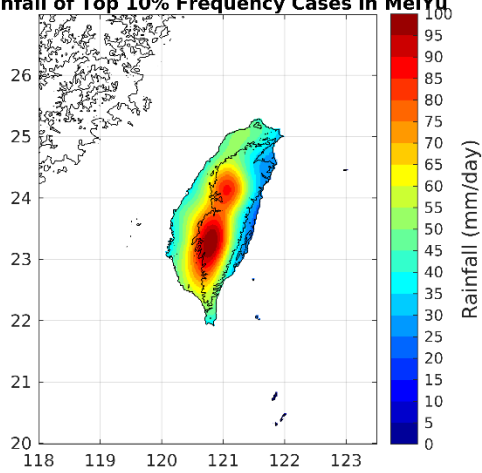


Rainfall of Bottom 50% Frequency Cases in Spring

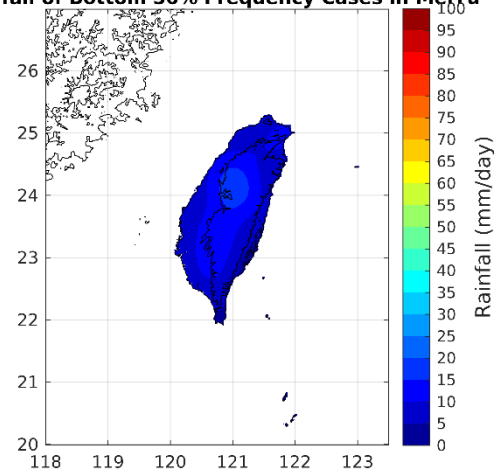


(b)

Rainfall of Top 10% Frequency Cases in MeiYu

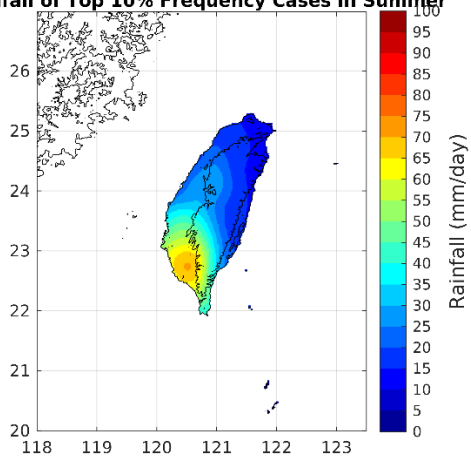


Rainfall of Bottom 50% Frequency Cases in MeiYu

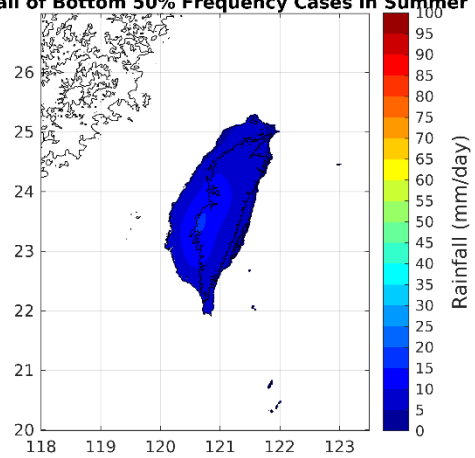


(c)

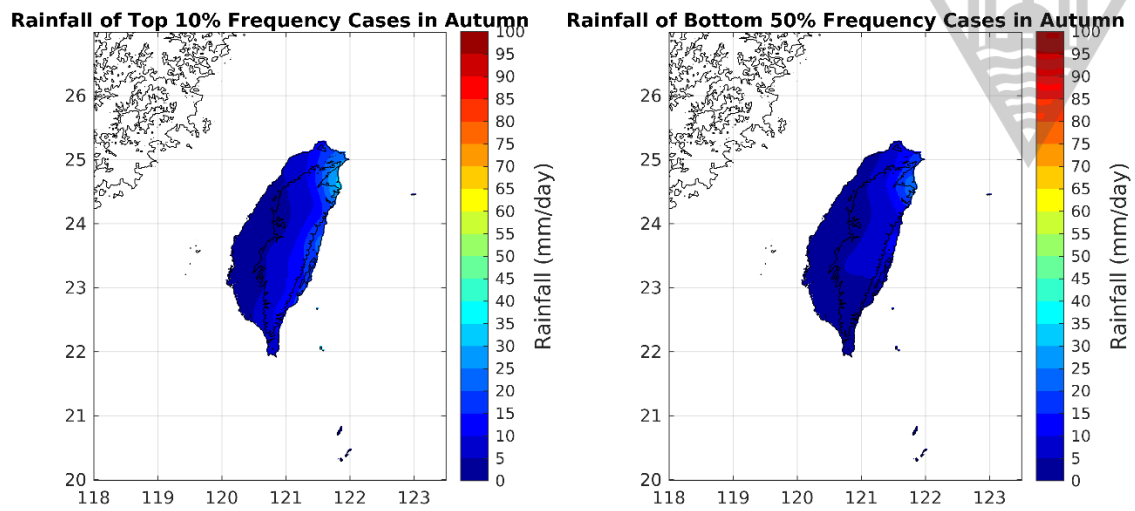
Rainfall of Top 10% Frequency Cases in Summer



Rainfall of Bottom 50% Frequency Cases in Summer



(d)



(e)

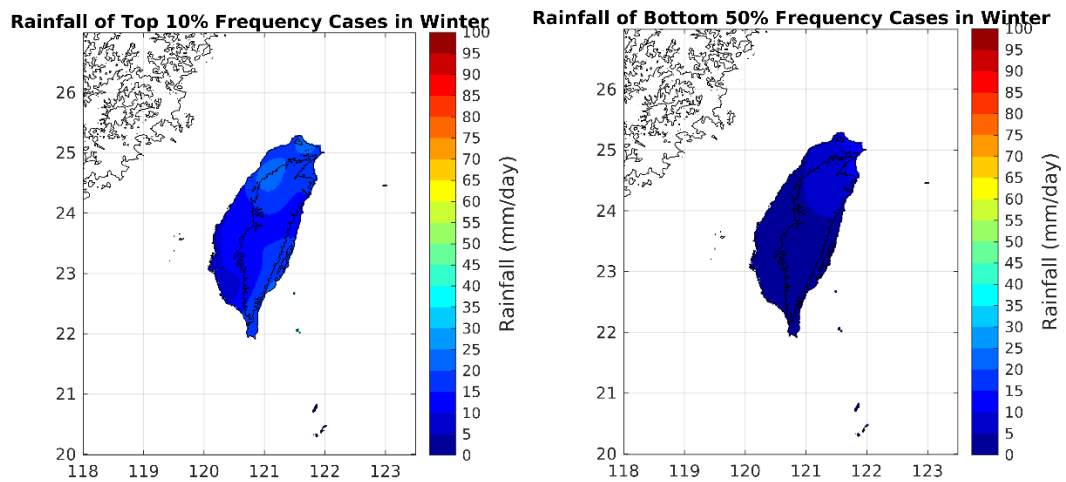
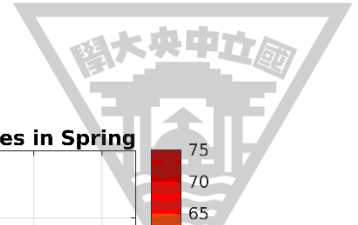
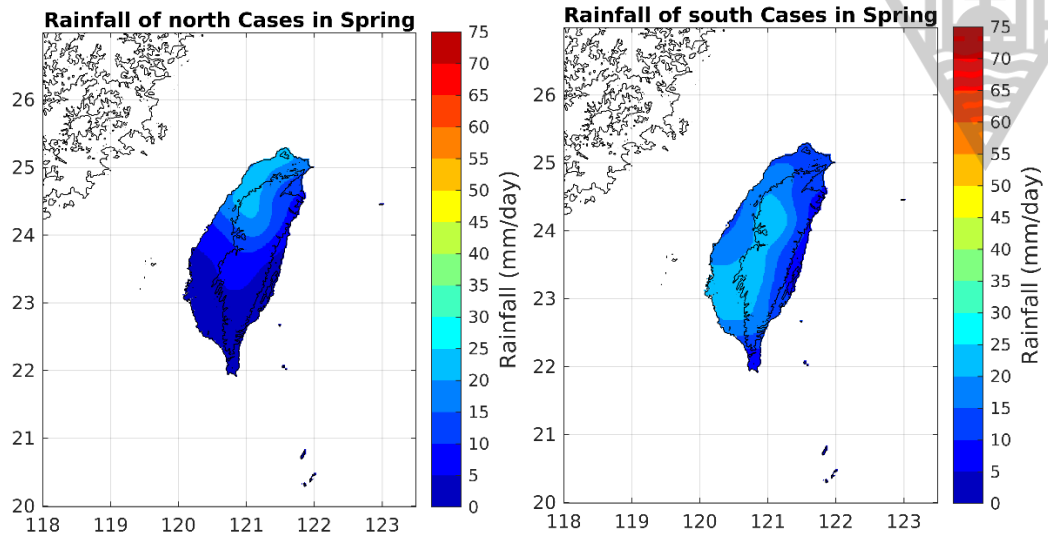


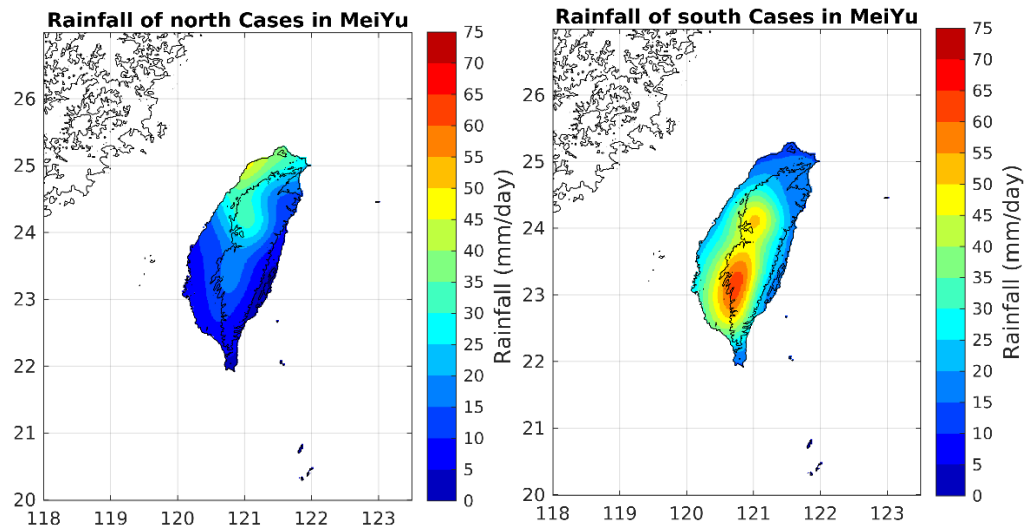
圖5.2 頻率雨量分布圖:(a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季之 (左) Top 10 % 群體 ; (右) Bottom 50 % 群體 。



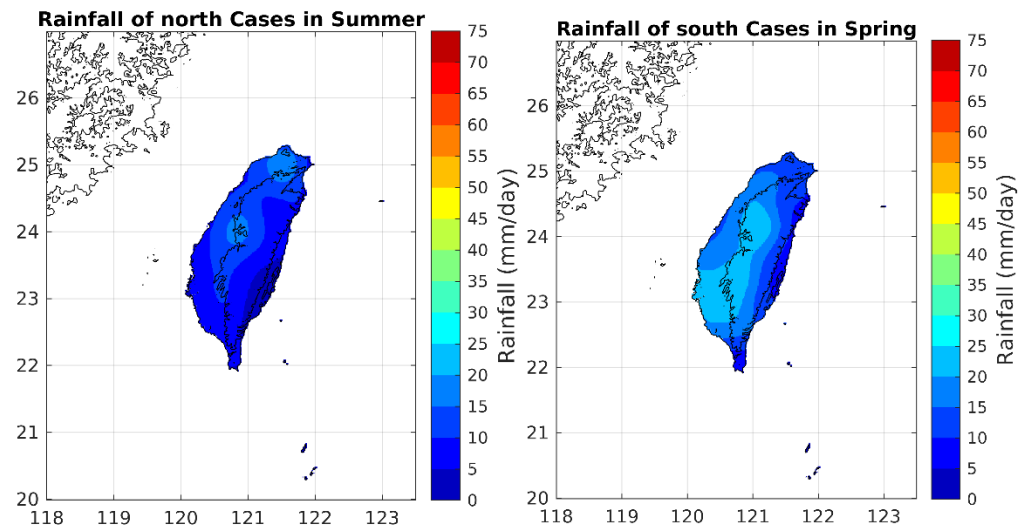
(a)



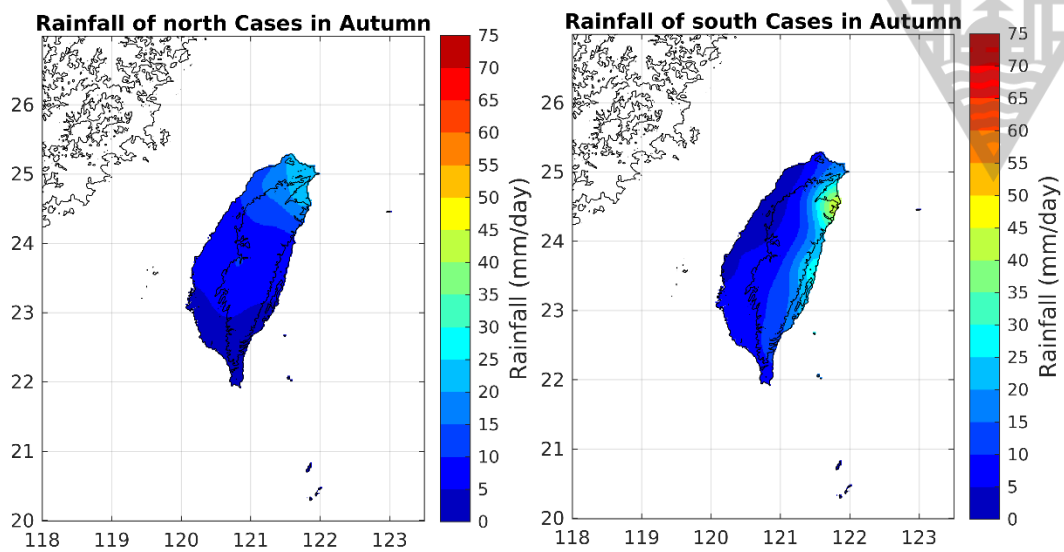
(b)



(c)



(d)



(e)

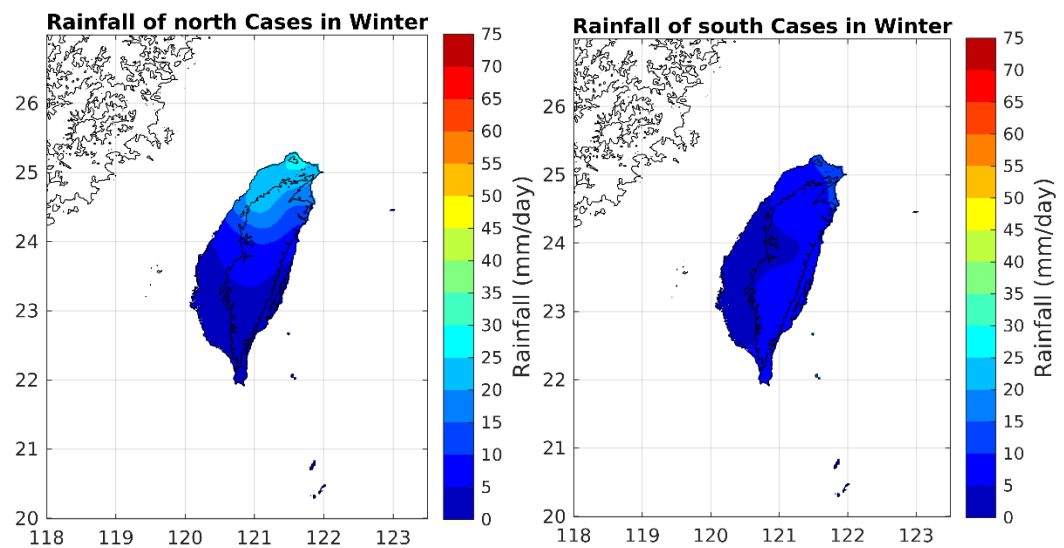


圖5.3 緯度雨量分布圖:(a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季之 (左) 北部群體；(右) 南部群體。

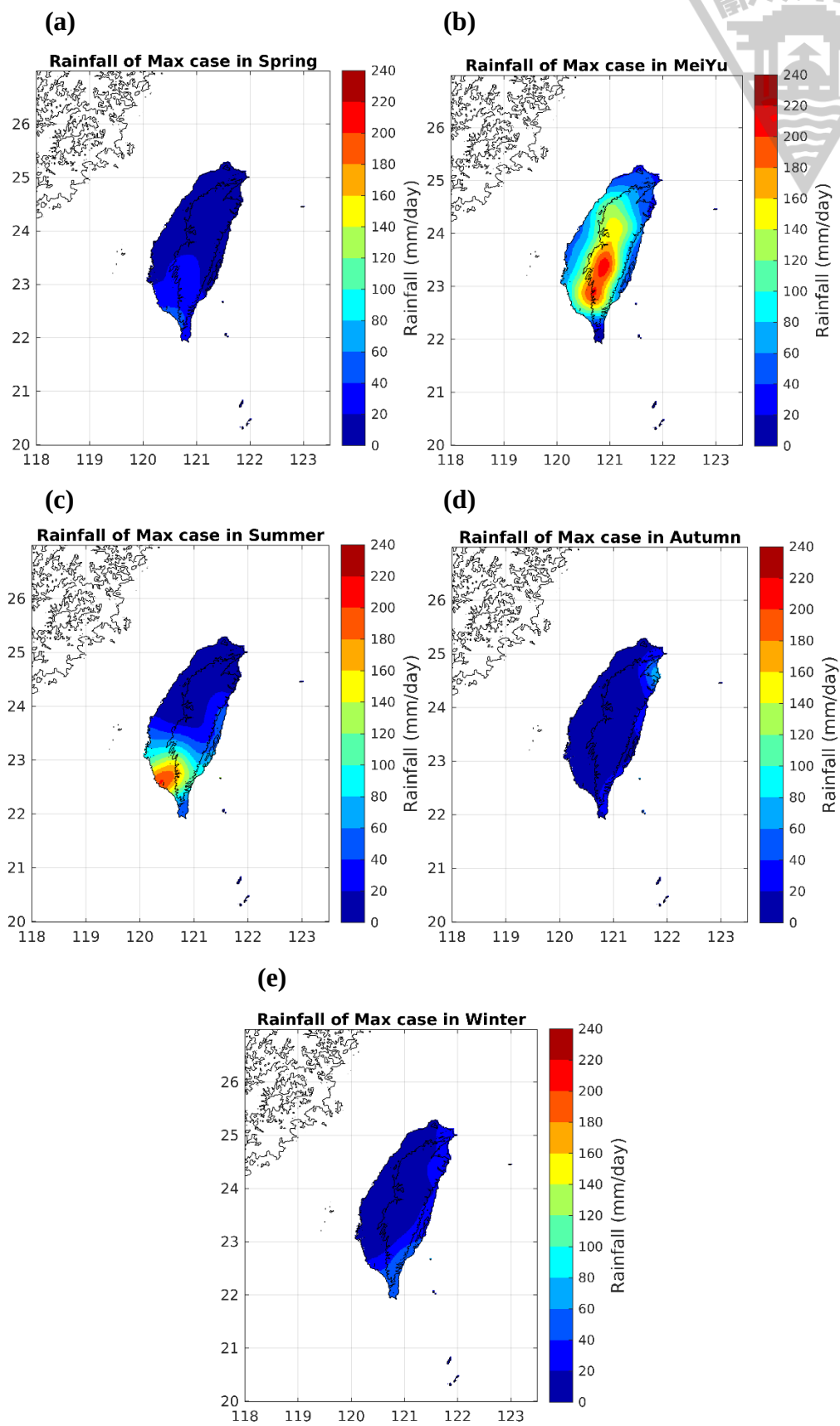


圖5.4 極端個案雨量分布圖:(a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季。