

國立中央大學

大氣物理研究所

碩士論文

台灣地區極端降雨颱風之環境特徵合成分析

研究生：魏士偉

指導教授：楊明仁 博士

中華民國 一 百 年 六 月



國立中央大學圖書館 碩博士論文電子檔授權書

(98年4月最新修正版)

本授權書所授權之論文全文電子檔(不包含紙本、詳備註1說明)，為本人於國立中央大學，撰寫之碩/博士學位論文。(以下請擇一勾選)

(V)同意 (立即開放)

()同意 (一年後開放)，原因是：_____

()同意 (二年後開放)，原因是：_____

()同意 (三年後開放)，原因是：_____

()不同意，原因是：_____

以非專屬、無償授權國立中央大學圖書館與國家圖書館，基於推動「資源共享、互惠合作」之理念，於回饋社會與學術研究之目的，得不限地域、時間與次數，以紙本、微縮、光碟及其它各種方法將上列論文收錄、重製、公開陳列、與發行，或再授權他人以各種方法重製與利用，並得將數位化之上列論文與論文電子檔以上載網路方式，提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印。

研究生簽名：_____ 魏士偉 _____ 學號：_____ 986201021 _____

論文名稱：_____ 台灣地區極端降雨颱風之環境特徵合成分析 _____

指導教授姓名：_____ 楊明仁 _____

系所：_____ 大氣物理 _____ 所 博士班 碩士班

日期：民國_100_年_6_月____日

備註：

1. 本授權書之授權範圍僅限電子檔，紙本論文部分依著作權法第 15 條第 3 款之規定，採推定原則即預設同意圖書館得公開上架閱覽，如您有申請專利或投稿等考量，不同意紙本上架陳列，須另行加填聲明書，詳細說明與紙本聲明書請至 <http://thesis.lib.ncu.edu.tw/> 下載。
2. 本授權書請填寫並親筆簽名後，裝訂於各紙本論文封面後之次頁（全文電子檔內之授權書簽名，可用電腦打字代替）。
3. 請加印一份單張之授權書，填寫並親筆簽名後，於辦理離校時交圖書館（以統一代轉寄給國家圖書館）。
4. 讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印上列論文，應依著作權法相關規定辦理。

國立中央大學碩士班研究生

論文指導教授推薦書

大氣物理 學系/研究所 魏士偉 研究生

所提之論文

台灣地區極端降雨颱風之環境特徵合成分析

係由本人指導撰述，同意提付審查。

指導教授 楊明仁 (簽章)

100年7月5日

國立中央大學碩士班研究生
論文口試委員審定書

大氣物理 學系/研究所 魏士偉 研究生所提
之論文

台灣地區極端降雨颱風之環境特徵合成分析

經本委員會審議，認定符合碩士資格標準。

學位考試委員會召集人

委

員

王作允

詹夢華

楊明仁

黃清勇

中華民國 100 年 07 月 05 日

台灣地區極端降雨颱風之環境特徵合成分析

摘要

台灣地區位處西北太平洋副熱帶海域，主要的水資源來自於每年夏季的颱風降水，但是颱風所帶來的過多降水亦會帶來許多災害像是淹水、土石流等等，造成台灣民眾生命財產的嚴重損失。因此為了減少颱風帶來的損失，對於極端降雨颱風降水要有更深入的認知與更好的預報，及早防範並減低可能的災害。

本研究將 1987~2010 年 24 間九類颱風路徑共 81 個侵台颱風(指中心位置經過 $119^{\circ}\text{E} \sim 125^{\circ}\text{E}$ 、 $21^{\circ}\text{N} \sim 26^{\circ}\text{N}$)透過各路徑的異常降雨指數(Abnormal Precipitation Index)分類成極端降雨颱風與普通颱風。在這 81 個侵台颱風中有 12 個極端降雨颱風超過各路徑颱風的平均降雨一個標準差以上，我們針對這 12 個極端降雨颱風中 2000 年以後的個案透過 NCEP 的 FNL $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 全球分析資料，將風場資訊做 15 天的低頻濾波(low-pass filter)以分離出環境場與颱風環流。我們以登陸時間為中心點合成分析登陸前後兩天共五天的時間內，各路徑的降雨極端降雨颱風在綜觀尺度環境場上的結構與普通颱風有何異同。更進一步提取短於 15 天週期的風場資訊，取颱風登陸前後 12 小時共三個時間點，以 850hPa 最大相對渦度為中心，合成分析範圍 $16^{\circ} \times 16^{\circ}$ 的區域以探討於颱風時間尺度下，極端降雨颱風與普通颱風之颱風渦旋尺度的差異。

在本論文中，各路徑極端降雨颱風在綜觀尺度環境場(15 天週期以上)上各自都有一些明顯的特徵，就環流上游區域而言，極端降雨颱風個案之低層大氣的位勢不穩定度都較普通颱風來得高，並且極端降雨颱風個案在南海海域的低層 850hPa 平均風向比普通颱風的平均風更偏西南風。海表面溫度在各種類型路徑颱風中，並不是每個極端降雨颱風個案都有著較高的海表面溫度，代表海表面溫度對於颱風帶來極端降雨並非充分條件；但是在環流上游區域有著較高的海表面溫度，將利於颱風自海面帶來更多的水

氣。低層 850hPa 的環境場相對濕度將有利於颱風外圍雨帶的發展，例如路徑類型一的極端降雨颱風；而路徑類型二、六、九環流上游區域也都至少有一區域存在著較高的相對濕度。而在低層 850hPa 相對渦度與中層 500hPa 相對濕度方面，幾乎六類的極端降雨颱風都有著較普通颱風更小的相對渦度與更低的相對濕度，但是這特徵與颱風帶來的極端降雨之間的關係尚不明朗，需要更進一步的研究。環境場的垂直風切與輻散場在六種類型路徑颱風個案中都無明顯的特徵。

在颱風時間尺度(15 天週期以下)下能夠同樣地看見各類型路徑的極端降雨颱風都有著比普通颱風個案更不穩定的空氣，並且透過中層 500hPa 的相對濕度能夠得知水氣的主要來源，像路徑類型六的極端降雨颱風於中心西南側有著較高的相對濕度，而路徑類型二的極端降雨颱風水氣來源主要來自東北區域，因此除了南海海域的充沛水氣值得關注之外，台灣東方海面的水氣來源也是不可忽略的。並且在侵台期間於颱風時間尺度下，路徑類型四的極端降雨颱風並無明顯的水氣供應，可以更加確認颱風與台灣地形的交互作用亦是造成極端降雨的重要原因。

在本論文中主要透過系統性的合成分析，整理了六種路徑類型的極端降雨颱風在綜觀尺度環境場上的一些特徵，並且分析了颱風渦旋尺度下各類路徑極端降雨颱風與普通颱風的差異，但是並未深入探討這些特徵與差異與颱風帶來的極端降雨之間的物理機制與因果關係，未來希望能夠透過更高時間與空間解析度的中尺度模式模擬進行深入研究。

The Composite Study for Typhoons with Extreme Rainfalls on Taiwan

Abstract

Taiwan is located over the subtropical western north Pacific Ocean, where there are about 20 typhoons every year. The rainfall brought by typhoons is very important to Taiwan, but it could lead to disasters if the rainfall is too much. In order to reduce the damages by typhoons, we need to study more about extreme-rainfall precipitation typhoon.

In this study, we used the API (Abnormal Precipitation Index) to classify 81 typhoons (with the centers of typhoons passing the area of $119^{\circ}\text{E} \sim 125^{\circ}\text{E}$ and $21^{\circ}\text{N} \sim 26^{\circ}\text{N}$) which invaded Taiwan from 1987 to 2010 as extreme-rainfall typhoons and normal typhoons. In the 81 typhoons, there are 12 extreme-rainfall typhoons with total API from every station above one standard deviation for each track. The typhoon-track classification defined by the Central Weather Bureau is used in this study. For every extreme-rainfall typhoon, we apply the 15-day low-pass filter on the NCEP/FNL $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ global analysis data to separate the typhoon circulation from the environment. We then use the 5-day composite analysis to examine the synoptic environmental differences between the extreme-rainfall and normal typhoons.

For the synoptic scale environment, the extreme-rainfall typhoons from each type of typhoon tracks have some apparent characteristics. 1) For upstream region of the extreme-rainfall cases, there are higher potential instabilities and the average winds at 850hPa over South China Sea are much closer to the southwesterly than the normal cases. 2) Although extreme-rainfall cases do not always have higher SSTs than normal cases over the South China Sea and eastern area of Philippine, SST is possibly not the necessary condition to extreme rainfall, but higher SST is favorable for typhoon to bring more water vapor from the ocean. 3) Higher low-level relative humidity is conducive to

outer rainband's development and expansion, such as typhoons in Type 1 track. For typhoons with tracks in Types 2, 6, 9, the extreme-rainfall cases have at least one region average higher than normal cases. 4) Almost all extreme-rainfall cases have lower relative humidity at 500hPa and lower relative vorticity at 850hPa over the upstream region. 5) Deep vertical shear and divergence do not have the apparent differences between the extreme-rainfall and normal typhoons.

For the typhoon scale, we can find the potential instability and low-level relative humidity that is higher in the extreme-rainfall cases are same as the synoptic-scale characteristics. And the relative humidity at 500hPa can be used to identify the water vapor's transmission, like in the track type-6 there are higher relative humidity at the 3rd quadrant. For the type-2, the water vapor mainly transmit from the east-northern area, so the water vapor from the eastern ocean of Taiwan is also important to extreme rainfall that brought by typhoon. There are no apparent water vapor supply for the extreme-rainfall typhoon of type-4, so we can infer that the interaction between the topography and typhoon circulation is important to extreme rainfall case.

Because this study has focused on the synoptic-scale composite analysis, we didn't discuss the dynamic mechanism. In the future, we will conduct more research on the interaction between extreme-rainfall typhoon and environment by the high resolution numerical model.

誌謝

碩士班的兩年生活過得很快，也很多采多姿。感謝楊明仁老師這兩年的辛勤指導，除了在學術上作為我的楷模學習外，也在每次 Group meeting 的討論中讓我知道許多該改進與努力的地方。還有撥冗前來參加口試的簡芳菁老師、黃清勇老師跟王作台老師在口試當天給了我許多受用無窮的建議。另外也要特別感謝 Prof. E. Hendricks 的慷慨相助，直接提供給我低頻濾波的程式碼，讓我得以使用在本篇論文中，分離颱風與環境場資訊進行分析。還有系上的每一位老師都要感謝您在我待在中央六年的時間裡對我的諄諄教誨。

實驗室的學長姐們，蘇炯瑞、陳登舜跟錢伊筠，三位已經離開實驗室的學長姊，感謝你們在這兩年間的幫助與建議。特別是炯瑞，就連離開了實驗室碰到一些繪圖方面的問題還是會去麻煩你。還有我也要感謝我大學的直屬學姊吳婷琦，在我剛進入碩士班生活時給我的建議，雖然我直到最後兩三個月才體會到你說的事情。當然實驗室的室友，林柏旭，在我的記憶中，大半數所有我碰到的 Fortran 或 GrADS 的問題，都是求救於你或者是在跟你討論的過程當中找到解答，真的非常感謝。

我們大氣物理研究所 100 級的同學們(雖然我們實際上是 99 級啦)，有些人甚至是大學生活一路過來的同學，感謝你們這幾年來的照顧，跟你們一起度過的所有時光真的是很棒、很快樂，如果可以希望能再相處久一點，但是那樣就要延畢，還是畢業後再相聚吧！以及我外宿兩年的室友國揚，兩年的生活感謝你的照顧，只有我一個人住房間應該不會這麼乾淨。最後不免俗的要感謝老爸老媽，這兩年支持我，雖然我很少回家，但是以後有更多的時間可以陪你們，該讓你們享福了。

目錄

中文摘要	i
英文摘要	iii
誌謝	v
目錄	vi
表目錄	vii
圖目錄	viii
一、前言	1
1-1 文獻回顧	1
1-2 研究目的及內容	3
二、資料來源與研究方法	4
2-1 資料來源	4
2-2 研究方法	4
2-2-1 異常降雨指數	4
2-2-2 低頻濾波	6
2-2-3 環境變數	6
三、極端降雨颱風特徵分析	8
3-1 六種路徑綜觀尺度環境場特徵分析	8
3-1-1 路徑類型一	8
3-1-2 路徑類型二	9
3-1-3 路徑類型三	11
3-1-4 路徑類型四	13
3-1-5 路徑類型六	15
3-1-6 路徑類型九	16
3-2 綜合比較	18
3-2-1 六種路徑綜合比較	18
3-2-2 北行颱風與西行颱風環境特徵差異比較	20
3-3 颱風時間尺度環境特徵分析	21
3-3-1 路徑類型一	21
3-3-2 路徑類型二	22
3-3-3 路徑類型三	23
3-3-4 路徑類型四	24
3-3-5 路徑類型六	26
3-3-6 路徑類型九	27
四、結論與未來展望	29
參考文獻	32
圖表附錄	34

表目錄

表.1 1987 年後侵台颱風路徑分類，與 81 個颱風的 TAPI 值及 API 數值大於 1 的測站數量，紅底紅字的颱風為極端降雨颱風。·····	34
表.2 極端降雨颱風路徑分類、名稱、侵台年份，及其 TAPI 值與個別路徑 TAPI 門檻值。 *表示為 2000 年以前侵襲台灣的颱風，無 FNL 資料可以分析因此不納入本研究討論。·····	35
表.3 環境變數的計算方式、單位與其資料來源。·····	35
表.4 普通颱風(N)與異常颱風(A)的環境變數於(W)南海海域(110°E~120°E、12°N~20°N)與(E)菲律賓東方海面(123°E~133°E、12°N~20°N)的比較。·····	36

圖目錄

- 圖 2.1 圖中方框代表侵台颱風中心所需經過的區域，東經 119°E~125°E、北緯 21°N~26°N。.....37
- 圖 2.2 中央氣象局所定義之侵台颱風的路徑分類，共分 10 類。.....37
- 圖 3.1 (a)路徑類型一 500hPa、(b) 850hPa 五天合成圖，其中實線為等重力位高度線，風標代表風向風速，陰影區域(a)為垂直速度，紅色表示上升運動，藍色為下沉運動，單位：Pa/s，(b)為相對濕度。.....38
- 圖 3.2 為路徑類型一累積雨量與降雨異常指數(API)分佈圖，(a)極端降雨颱風艾利(2004)陸上警報期間累積雨量分佈圖，圖(b)路徑類型二颱風陸上警報期間平均累積雨量，圖(c)降雨異常指數(API)分佈圖。.....39
- 圖 3.3 路徑類型一：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i)極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)；其中(a)~(c)陰影代表垂直風切的量值，向量則為風切方向與速度，單位：m/s。(d)~(f)為 200 百帕風場，單位：m/s。(g)~(i)為低層 850 百帕風場，單位：m/s。與相對渦度場，單位： $10^{-6}/s$ 。.....40
- 圖 3.4 路徑類型一：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i)極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)，(a)~(c)為 200 百帕輻散場，單位： $10^{-6}/s$ 。(d)~(f)850 百帕輻散場，單位： $10^{-6}/s$ 。(g)~(i)位勢不穩定度，為低層 1000 百帕至 700 百帕相當位溫隨高度變化平均值，單位： $10^{-3}K/Pa$ 。.....41
- 圖 3.5 路徑類型一：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i)極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)。(a)~(c)500 百帕相對濕度場，單位：%。(d)~(f)850 百帕相對濕度場，單位：%。(g)~(i)表面溫度場，單位： $^{\circ}C$ 。.....42

圖 3.6 (a)路徑類型二 500hPa、(b) 850hPa 五天合成圖，其中實線為等重力位高度線，風標代表風向風速，陰影區域(a)為垂直速度，紅色表示上升運動，藍色為下沉運動，單位：Pa/s，(b)為相對濕度。.....43

圖 3.7 為路徑類型二累積雨量與降雨異常指數(API)分佈圖，(a)極端降雨颱風辛樂克(2008)陸上警報期間累積雨量分佈圖，圖(b)路徑類型二颱風陸上警報期間平均累積雨量，圖(c)降雨異常指數(API)分佈圖。.....44

圖 3.8 路徑類型二：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i)極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)；其中(a)~(c)陰影代表垂直風切的量值，向量則為風切方向與速度，單位：m/s。(d)~(f)為 200 百帕風場，單位：m/s。(g)~(i)為低層 850 百帕風場，單位：m/s。與水平相對渦度場，單位： $10^{-6}/s$ 。.....45

圖 3.9 路徑類型二：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i)極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)，(a)~(c)為 200 百帕輻散場，單位： $10^{-6}/s$ 。(d)~(f)850 百帕輻散場，單位： $10^{-6}/s$ 。(g)~(i)位勢不穩定度，為低層 1000 百帕至 700 百帕相當位溫隨高度變化平均值，單位： $10^{-3}K/Pa$ 。.....46

圖 3.10 路徑類型二：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i)極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)。(a)~(c)500 百帕相對濕度場，單位：%。(d)~(f)850 百帕相對濕度場，單位：%。(g)~(i)表面溫度場，單位： $^{\circ}C$ 。.....47

圖 3.11 (a)路徑類型三 500hPa、(b) 850hPa 五天合成圖，其中實線為等重力位高度線，風標代表風向風速，陰影區域(a)為垂直速度，紅色表示上升運動，藍色為下沉運動，單位：Pa/s，(b)為相對濕度。.....48

圖 3.12 為路徑類型三累積雨量與降雨異常指數(API)分佈圖，(a)極端降雨颱風海棠(2005)陸上警報期間累積雨量分佈圖，圖(b)路徑類型三颱風陸上警報期間平均累積雨量，圖(c)降雨異常指數(API)分佈圖。.....49

圖 3.13 為路徑類型三累積雨量與降雨異常指數(API)分佈圖，(a)極端降雨颱風莫拉克(2009)陸上警報期間累積雨量分佈圖，圖(b)路徑類型三颱風陸上警報期間平均累積雨量，圖(c)降雨異常指數(API)分佈圖。.....49

圖 3.14 路徑類型三：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i) 極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)；其中(a)~(c)陰影代表垂直風切的量值，向量則為風切方向與速度，單位：m/s。(d)~(f)為 200 百帕風場，單位：m/s。(g)~(i)為低層 850 百帕風場，單位：m/s。與水平相對渦度場，單位： $10^{-6}/s$ 。.....50

圖 3.15 路徑類型三：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i) 極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)。(a)~(c)為 200 百帕輻散場，單位： $10^{-6}/s$ 。(d)~(f)850 百帕輻散場，單位： $10^{-6}/s$ 。(g)~(i)位勢不穩定度，為低層 1000 百帕至 700 百帕相當位溫隨高度變化平均值，單位： $10^{-3}K/Pa$ 。.....51

圖 3.16 路徑類型三：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i) 極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)。(a)~(c)500 百帕相對濕度場，單位： $\%$ 。(d)~(f)850 百帕相對濕度場，單位： $\%$ 。(g)~(i)表面溫度場，單位： $^{\circ}C$ 。.....52

圖 3.17 (a)路徑類型四 500hPa、(b) 850hPa 五天合成圖，其中實線為等重力位高度線，風標代表風向風速，陰影區域(a)為垂直速度，紅色表示上升運動，藍色為下沉運動，單位： Pa/s ，(b)為相對濕度。.....53

圖 3.18 為路徑類型四累積雨量與降雨異常指數(API)分佈圖，(a)極端降雨颱風凡那比(2010)陸上警報期間累積雨量分佈圖，圖(b)路徑類型四颱風陸上警報期間平均累積雨量，圖(c)降雨異常指數(API)分佈圖。……………54

圖 3.19 路徑類型四：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i) 極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)；其中(a)~(c)陰影代表垂直風切的量值，向量則為風切方向與速度，單位：m/s。(d)~(f)為 200 百帕風場，單位：m/s。(g)~(i)為低層 850 百帕風場，單位：m/s。與水平相對渦度場，單位： $10^{-6}/s$ 。……………55

圖 3.20 路徑類型四：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i) 極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)。(a)~(c)為 200 百帕輻散場，單位： $10^{-6}/s$ 。(d)~(f)850 百帕輻散場，單位： $10^{-6}/s$ 。(g)~(i)位勢不穩定度，為低層 1000 百帕至 700 百帕相當位溫隨高度變化平均值，單位： $10^{-3}K/Pa$ 。……………56

圖 3.21 路徑類型四：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i) 極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)。(a)~(c)500 百帕相對濕度場，單位：%。(d)~(f)850 百帕相對濕度場，單位：%。(g)~(i)表面溫度場，單位： $^{\circ}C$ 。……………57

圖 3.22 (a)路徑類型六 500hPa、(b) 850hPa 五天合成圖，其中實線為等重力位高度線，風標代表風向風速，陰影區域(a)為垂直速度，紅色表示上升運動，藍色為下沉運動，單位：Pa/s，(b)為相對濕度。……………58

圖 3.23 為路徑類型六累積雨量與降雨異常指數(API)分佈圖，(a)極端降雨颱風瑞伯(1998)陸上警報期間累積雨量分佈圖，圖(b)路徑類型六颱風陸上警報期間平均累積雨量，圖(c)降雨異常指數(API)分佈圖。……………59

圖 3.24 為路徑類型六累積雨量與降雨異常指數(API)分佈圖，(a)極端降雨颱風敏督利(2004)陸上警報期間累積雨量分佈圖，圖(b)路徑類型六颱風陸上警報期間平均累積雨量，圖(c)降雨異常指數(API)分佈圖。……………59

圖 3.25 路徑類型六：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i) 極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)；其中(a)~(c)陰影代表垂直風切的量值，向量則為風切方向與速度，單位：m/s。(d)~(f)為 200 百帕風場，單位：m/s。(g)~(i)為低層 850 百帕風場，單位：m/s。與水平相對渦度場，單位： $10^{-6}/s$ 。……………60

圖 3.26 路徑類型六：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i) 極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)。(a)~(c)為 200 百帕輻散場，單位： $10^{-6}/s$ 。(d)~(f)850 百帕輻散場，單位： $10^{-6}/s$ 。(g)~(i)位勢不穩定度，為低層 1000 百帕至 700 百帕相當位溫隨高度變化平均值，單位： $10^{-3}K/Pa$ 。……………61

圖 3.27 路徑類型六：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i) 極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)。(a)~(c)500 百帕相對濕度場，單位：%。(d)~(f)850 百帕相對濕度場，單位：%。(g)~(i)表面溫度場，單位： $^{\circ}C$ 。……………62

圖 3.28 (a)路徑類型九 500hPa、(b) 850hPa 五天合成圖，其中實線為等重力位高度線，風標代表風向風速，陰影區域(a)為垂直速度，紅色表示上升運動，藍色為下沉運動，單位：Pa/s，(b)為相對濕度。……………63

圖 3.29 為路徑類型九累積雨量與降雨異常指數(API)分佈圖，(a)極端降雨颱風娜克莉(2002)陸上警報期間累積雨量分佈圖，圖(b)路徑類型九颱風陸上警報期間平均累積雨量，圖(c)降雨異常指數(API)分佈圖。……………64

圖 3.30 為路徑類型九累積雨量與降雨異常指數(API)分佈圖，(a)極端降雨颱風南瑪都(2004)陸上警報期間累積雨量分佈圖，圖(b)路徑類型九颱風陸上警報期間平均累積雨量，圖(c)降雨異常指數(API)分佈圖。……………64

圖 3.31 路徑類型九：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i) 極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)；其中(a)~(c)陰影代表垂直風切的量值，向量則為風切方向與速度，單位：m/s。(d)~(f)為 200 百帕風場，單位：m/s。(g)~(i)為低層 850 百帕風場，單位：m/s。與水平相對渦度場，單位： $10^{-6}/s$ 。……………65

圖 3.32 路徑類型九：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i) 極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)。(a)~(c)為 200 百帕輻散場，單位： $10^{-6}/s$ 。(d)~(f)850 百帕輻散場，單位： $10^{-6}/s$ 。(g)~(i)位勢不穩定度，為低層 1000 百帕至 700 百帕相當位溫隨高度變化平均值，單位： $10^{-3}K/Pa$ 。……………66

圖 3.33 路徑類型九：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i) 極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)。(a)~(c)500 百帕相對濕度場，單位： $\%$ 。(d)~(f)850 百帕相對濕度場，單位： $\%$ 。(g)~(i)表面溫度場，單位： $^{\circ}C$ 。……………67

圖 3.34 颱風環流上游區環境變數平均區域示意圖，(W) 東經 $110^{\circ}E\sim 120^{\circ}E$ 、北緯 $12^{\circ}N\sim 20^{\circ}N$ ，(E) 東經 $123^{\circ}E\sim 133^{\circ}E$ 、北緯 $12^{\circ}N\sim 20^{\circ}N$ 。……………68

圖 3.35 路徑類型一極端降雨颱風與普通颱風於颱風時間尺度垂直風切分佈及差異圖，(a)~(c)為極端降雨颱風，(d)~(f)為普通颱風，(g)~(i)為極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)。而(a)、(d)、(g)為登陸(最接近台灣)前 12 小時(-12hrs)；(b)、(e)、(h)為登陸(最接近台灣)的時間(0hrs)；(c)、(f)、(i)為登陸(最接近台灣)後 12 小時(+12hrs)。色塊區域為垂直風切與垂直風切差異量，單位：m/s。……………69

圖 3.36 路徑類型一極端降雨颱風與普通颱風於颱風時間尺度風場低層 850hPa 水平相對渦度分佈及差異圖，(a)~(c)為極端降雨颱風，(d)~(f)為普通颱風，(g)~(i)為極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)，與極端降雨颱風的風場分佈。而(a)、(d)、(g)為登陸(最接近台灣)前 12 小時(-12hrs)；(b)、(e)、(h)為登陸(最接近台灣)的時間(0hrs)；(c)、(f)、(i)為登陸(最接近台灣)後 12 小時(+12hrs)。色塊區域為水平相對渦度與水平相對渦度差異量，單位： $10^{-6}/s$ 。……………70

圖 3.37 路徑類型一極端降雨颱風與普通颱風於颱風時間尺度低層 850hPa 輻散場分佈及差異圖，(a)~(c)為極端降雨颱風，(d)~(f)為普通颱風，(g)~(i)為極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)，與極端降雨颱風的風場分佈。而(a)、(d)、(g)為登陸(最接近台灣)前 12 小時(-12hrs)；(b)、(e)、(h)為登陸(最接近台灣)的時間(0hrs)；(c)、(f)、(i)為登陸(最接近台灣)後 12 小時(+12hrs)。色塊區域為輻散場與輻散場差異量，單位： $10^{-6}/s$ 。……………71

圖 3.38 路徑類型一極端降雨颱風與普通颱風於颱風時間尺度中層 500hPa 相對濕度分佈及差異圖，(a)~(c)為極端降雨颱風，(d)~(f)為普通颱風，(g)~(i)為極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)。而(a)、(d)、(g)為登陸(最接近台灣)前 12 小時(-12hrs)；(b)、(e)、(h)為登陸(最接近台灣)的時間(0hrs)；(c)、(f)、(i)為登陸(最接近台灣)後 12 小時(+12hrs)。色塊區域為相對濕度與其差異量，單位： $\%$ 。……………72

圖 3.39 路徑類型一極端降雨颱風與普通颱風於颱風時間尺度低層 850hPa 相對濕度分佈及差異圖，(a)~(c)為極端降雨颱風，(d)~(f)為普通颱風，(g)~(i)為極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)，與極端降雨颱風的風場分佈。而(a)、(d)、(g)為登陸(最接近台灣)前 12 小時(-12hrs)；(b)、(e)、(h)為登陸(最接近台灣)的時間(0hrs)；(c)、(f)、(i)為登陸(最接近台灣)後 12 小時(+12hrs)。色塊區域為相對濕度及其差異量，單位： $\%$ 。……………73

圖 3.40 路徑類型一極端降雨颱風與普通颱風於颱風時間尺度位勢不穩定度的分佈及差異圖，(a)~(c)為極端降雨颱風，(d)~(f)為普通颱風，(g)~(i)為極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)，與極端降雨颱風的 850hPa 風場分佈。而(a)、(d)、(g)為登陸(最接近台灣)前 12 小時(-12hrs)；(b)、(e)、(h)為登陸(最接近台灣)的時間(0hrs)；(c)、(f)、(i)為登陸(最接近台灣)後 12 小時(+12hrs)。色塊區域為不穩定度的分部及其差異量，單位： $10^{-3}K/Pa$ 。.....74

圖 3.41 路徑類型二，同圖 3.35。.....75

圖 3.42 路徑類型二，同圖 3.36。.....76

圖 3.43 路徑類型二，同圖 3.37。.....77

圖 3.44 路徑類型二，同圖 3.38。.....78

圖 3.45 路徑類型二，同圖 3.39。.....79

圖 3.46 路徑類型二，同圖 3.40。.....80

圖 3.47 路徑類型三，同圖 3.35。.....81

圖 3.48 路徑類型三，同圖 3.36。.....82

圖 3.49 路徑類型三，同圖 3.37。.....83

圖 3.50 路徑類型三，同圖 3.38。.....84

圖 3.51	路徑類型三，同圖 3.39。	85
圖 3.52	路徑類型三，同圖 3.40。	86
圖 3.53	路徑類型四，同圖 3.35。	87
圖 3.54	路徑類型四，同圖 3.36。	88
圖 3.55	路徑類型四，同圖 3.37。	89
圖 3.56	路徑類型四，同圖 3.38。	90
圖 3.59	路徑類型四，同圖 3.39。	91
圖 3.60	路徑類型四，同圖 3.40。	92
圖 3.61	路徑類型六，同圖 3.35。	93
圖 3.62	路徑類型六，同圖 3.36。	94
圖 3.63	路徑類型六，同圖 3.37。	95
圖 3.64	路徑類型六，同圖 3.38。	96
圖 3.65	路徑類型六，同圖 3.39。	97

圖 3.66	路徑類型六，同圖 3.40。	98
圖 3.67	路徑類型九，同圖 3.35。	99
圖 3.68	路徑類型九，同圖 3.36。	100
圖 3.69	路徑類型九，同圖 3.37。	101
圖 3.70	路徑類型九，同圖 3.38。	102
圖 3.71	路徑類型九，同圖 3.39。	103
圖 3.72	路徑類型九，同圖 3.40。	104

一、前言

台灣位處西北太平洋海域，每年夏季在這個海域生成了約 20 個颱風，在這些颱風中平均一年約有 3~5 個會侵襲台灣並且帶來許多降雨。但是颱風降雨除了提供台灣社會豐沛的水資源可以利用，卻也會對台灣民眾造成嚴重的損失。如 1996 年的賀伯颱風(Herb)的豪雨使台北市多處地區淹水，中部南投縣山區水里鄉、信義鄉、鹿谷鄉山洪爆發，多人慘遭活埋。2001 年的納莉颱風(Nari)在其詭異的路徑下於台灣北部地區降下豐沛雨量，造成大台北地區公共交通樞紐台北車站淹水，癱瘓了台北地區的交通運輸。2004 年的敏督利颱風(Mindulle)在其北上後續引進的西南氣流在中南部地區帶來極大的雨量(簡與楊，2009)，造成許多道路坍方，並且引發了山區土石流，農林漁牧業損失高達 89 億元。2009 年的莫拉克颱風(Morakot)在西南氣流源源不斷地供給下，在台灣中南部地區帶來超越歷史紀錄的降雨量，造成山區多處土石流。這些帶來異常多降水颱風對台灣社會民生造成了嚴重的傷害，因此對於這種異常降水颱風需要更深入的了解與研究，以期能在颱風尚未登陸台灣時，辨別該颱風是否會帶來異常極端的降雨量而提早防範，減少社會民生的損失。

1-2 文獻回顧

影響颱風降雨的因素有很多，例如颱風的路徑、颱風與地形之間的交互作用、颱風本身的強度、颱風的環流大小、及颱風的移動速度等等都會造成颱風降雨量的差異。在 Gray(1968)、McBride and Zehr(1981)、Merrill(1988a)等人的研究當中，他們都提出環境的垂直風切對颱風系統發展有著不利的影響。

Wu et al. (2002)透過 MM5 模式模擬 1996 年侵台颱風賀伯(Herb)帶來的

降雨，他們進行了不同網格解析度以及不同地形解析度的敏感度實驗測試，發現在 MM5 模式數值模擬下，地形解析度對於颱風在山區降雨量的影響與網格解析度的影響程度相當，可以得知颱風與地形的交互作用對於降雨量有著重要的影響。

Lee et al. (2008)為瞭解 2004 年敏督利(Mindulle)颱風在台灣中南部地區帶來的極大降雨量，使用 MM5 模式模擬並分析敏督利颱風侵台期間於台灣西南部地區生成之次低壓與西南氣流的結合造成了更強的水汽輻合，因此在南部地區帶來極端的降雨量。

Yang et al. (2008)針對 2001 年於北台灣帶來豐沛降雨量的特殊路徑颱風納莉(Nari)，同樣地透過 MM5 模式進行不同地形高度的敏感度模擬實驗，可看出在有台灣地形激發對流的情況下於全台增加將近一半的累積雨量。

在楊(2009)的行政院國科會計畫報告中，對台灣地區異常颱風之變化趨勢與辨識進行了許多分析，本論文研究以此報告中用以辨識過去侵台颱風中之異常颱風的異常降雨指數(Abnormal Precipitation Index)為基礎，衍生後續進一步的研究與討論。

簡與楊(2009)針對敏督利颱風帶來的極端降雨量與過去 55 年間的北行颱風進行對照分析，得知在類似的路徑下，敏督利颱風在侵襲台灣前於南海海域便已蘊含大量水氣，且有較旺盛的西南氣流存在。

在 Hill and Lackmann(2009)的研究中，他們利用 WRF-ARW 模式，透過改變軸對稱的相對濕度分佈，模擬在不同初始環境場的相對濕度下颱風結構的差異，在其研究中可以明顯的看見颱風若生成於較高相對濕度的環境場情況下，外圍雨帶會有較大的水平範圍與累積降雨，在本論文研究中亦能看見環境相對濕度對於颱風帶來極端降雨的影響。

在 Hendricks et al. (2010)的研究中，其運用 15 天的低頻濾波分離 NOGAPS(Navy Operational Global Atmospheric Prediction System) 模式 1.0°

X 1.0°、12 小時一筆的全球資料的颱風渦旋環流場與綜觀尺度環境場，探討了西北太平洋與北大西洋兩大熱帶氣旋生成海域的各種環境變數與颱風不同階段強度變化的關係。

Wu et al. (2011)使用 Lanczos 濾波分離不同時間尺度的資訊，來分析季風對於 2009 年侵襲台灣的莫拉克颱風的影響，發現不同時間尺度的大尺度環流系統與莫拉克颱風的共存，增強了莫拉克颱風西南側綜觀尺度的西南氣流並且減緩了颱風的移動速度，因此影響台灣時間拉長並且在台灣南部山區帶來驚人的雨量。

1-2 研究目的及內容

為了瞭解這些帶來極端降水的颱風的環境條件特徵，本研究主要從兩部分進行分析與探討，包括綜觀尺度環境場以及颱風時間尺度渦旋場。資料來源與研究方法在第二章說明，結果分析在第三章包括了綜觀尺度環境場特徵與颱風時間尺度分析討論，最後第四章為結論及未來展望。

二、資料來源與研究方法

2-1 資料來源

本論文研究中使用了中央氣象局(CWB)自1987年以來自動雨量站與人工測站的逐時降雨資料，透過異常降雨指數(API)的計算用來區分各路徑颱風類型為異常降雨颱風或者普通颱風。並使用中央氣象局科技中心建立的颱風資料庫中氣象局發佈與解除陸上颱風警報的時間間隔，來計算在陸上颱風警報期間內的累積雨量，以及應用侵台颱風的路徑分類資訊進行各類型颱風路徑下的綜觀環境場特徵比較。在綜觀環境場合成分析的部分，我們使用了NCEP/FNL(Final) Operational Global Analysis 1.0° X 1.0°的全球分析場資料，每六小時一筆，時間起自1999年至今。

2-2 研究方法

2-2-1 異常降雨指數

歷史上侵襲台灣的颱風依照中央氣象局的定義，為颱風中心經過東經119°E~125°E、北緯21°N~26°N這個區域(圖2.1)的颱風稱為侵台颱風。根據颱風行進路線的不同，中央氣象局分成九種路徑(圖2.2)，這九種路徑在1987年後的侵台颱風列表如表.1，共有81個侵台颱風，其中以第三類路徑為最多。另外還有一種路徑屬於特殊路徑的颱風(如：2001年的納莉颱風)。這一類特殊路徑的颱風不在本次研究討論的範疇。中央氣象局的自動雨量站自1987年開始設立進行觀測至今，全台灣約有400個自動雨量站與26個人工測站。本研究分析自1987年開始人工測站及自動雨量站的降雨資料，計算異常降雨指數(Abnormal Precipitation Index；API)，其中API的定義如下：

$$API(i, j) = \frac{r(i, j) - \bar{r}(i, j)}{\sigma(i, j)} \quad (1)$$

其中 i 代表了全台灣自動雨量站與人工測站， j 則是侵台颱風的路徑類型， $r(i, j)$ 代表第 j 類路徑侵台颱風於第 i 個雨量站在陸上颱風警報發布期間的累積降雨量， $\bar{r}(i, j)$ 則是第 j 類路徑類型於第 i 個測站降下的平均降雨量， $\sigma(i, j)$ 是第 j 類路徑類型颱風於第 i 個測站的降雨量標準差，透過(1)式便能得到各類路徑下的每一個颱風在陸上颱風警報期間各測站的 API 值。各類颱風的總異常降雨指數(TAPI)定義如下：

$$TAPI(j) = \sum_{i=1}^n API(i, j), \text{ if } API(i, j) > 1 \quad (2)$$

接著透過(2)式將九種路徑每一個颱風中，API 值大於 1(及異常降雨量大於 1 個標準差)的測站累計後可得到九種路徑類型共 81 個颱風的總異常降雨指數(TAPI)，其 TAPI 與 API 值超過 1 的測站數量列表於表.1，再就每一路徑取各路徑 TAPI 的平均值與標準差，定義每一種路徑類型超過 TAPI 平均值 1 個標準差為該種路徑類型之極端降雨颱風的門檻值，在此各類路徑的 TAPI 門檻值為第一類路徑：233.49、第二類路徑：180.76、第三類路徑：237.65、第四類路徑：273.9、第五類路徑：136.69、第六類路徑：221.21、第七類路徑：187.12、第八類路徑：258.34 與第九類路徑：203.16，在各種路徑類型中未超過此門檻值的颱風則為普通颱風。

經過此方法挑選出來的極端降雨颱風，代表著該颱風於登陸期間在台灣地區有著異常大的累積雨量，且降雨異常範圍分佈很廣。從 1987 年至 2010 年間 81 個侵台颱風中，共有 12 個極端降雨颱風，分別是艾利(Aere, 2004)、辛樂克(Sinlaku, 2008)、海棠(Haitung, 2005)、莫拉克(Morakot, 2009)、凡那比(Fanapi, 2010)、杜鵑(Dujuan, 2003)、瑞伯(Zeb, 1998)、敏督利(Mindulle, 2004)、賴恩(Ryan, 1995)、葛樂禮(Gloria, 1996)、納克莉(Nakri, 2002)、南瑪都(Nanmadol, 2004)，其路徑類型、異常降雨指數與該路徑門檻值如表.2。

本研究主要使用 NCEP/FNL 的全球分析資料以分析颱風綜觀尺度環境

場特徵，由於 FNL 的資料在 1999 年剛開始建立，資料完整度不足，直到 2000 年才有穩定的每六小時一筆的全球分析資料，因此在前述的 12 個異常降雨颱風中，2000 年以前的颱風賴恩(Ryan, 1995)、葛樂禮(Gloria, 1996)與瑞伯(Zeb, 1998)不在本論文研究的討論範圍，並且由於路徑類型五、七、八在 2000 年後的颱風數量太少因此也不進行討論。

2-2-2 低頻濾波

低頻濾波是將較短時間週期的資訊濾除，留下較長時間週期的資訊，藉以分離出颱風環流場(較短週期)與綜觀環境場(較長週期)。在本研究當中使用的濾波方式與 Hendricks et al. (2010)文章中所使用的 15 天低頻濾波方式相同，為一使用傅立葉級數分解的濾波方法。在經過不同濾波天數的比較測試後，15 天的低頻濾波能夠最恰當地將環境場與颱風環流資訊分離出來，因此在本論文研究中的第一部份風場資訊都是經過 15 天低頻濾波的結果，以討論綜觀尺度環境場與極端降雨颱風之間的關係。第二部份颱風時間尺度分析與探討，則是以第一部分中被濾除、時間週期短於 15 天的風場資訊，進行討論颱風時間尺度下極端降雨颱風與普通颱風渦旋尺度環流場的差異關係。

2-2-3 環境變數

為了瞭解異常降雨颱風在綜觀環境場上的特徵，在本研究中選擇幾個重要的環境場變數，例如垂直風切(200hPa—850hPa)、位勢不穩定度、低層 850hPa 水平渦度、850hPa 與 200hPa 水平輻散場、850hPa 與 500hPa 相對溼度場、表面溫度場以及環境風場等，這些環境變數的計算方式與資料來源列表於表.3，透過這些環境變數進行極端降雨颱風與普通颱風比較及探討。在前人研究中都有指出這些環境變數對於颱風系統的發展有著很大的影響，

像是垂直風切不利於颱風系統的發展(Gray, 1968; McBride and Zehr, 1981; Merrill, 1988a)，高層輻散與低層輻合有利於降雨系統的發展與維持，而環境場的相對濕度則對於颱風的外圍雨帶範圍大小有所影響(Hill and Lackmann, 2009)，相對濕度越高時外圍雨帶的發展越好、影響範圍越大。其中垂直風切的計算方式為高層 200hPa 的水平風場減掉低層 850hPa 的水平風場，而位勢不穩定度為低層 1000hPa 到 700hPa 之間相當位溫隨高度變化的平均值。由於相當位溫並非 NCEP/FNL 資料中預設的輸出參數，因此本研究中用以計算位勢不穩定度的相當位溫是使用 FNL 當中已輸出的其他熱力參數推算而得。相當位溫(Θ_e)定義如下[C. F. Bohren and B. A. Albrecht, 1998: Atmospheric Thermodynamics, P.293, (6.119)]

$$\Theta_e = \Theta_d \exp\left(\frac{l_v \times w_s}{c_{pd} \times T}\right) \quad (3)$$

其中 Θ_d 為乾空氣位溫(Dry air potential temperature, K)， l_v 為水的蒸發焓(Enthalpy of vaporization of water, J kg⁻¹)， w_s 為水汽飽和混合比(Saturation mixing ratio, g kg⁻¹)， c_{pd} 為乾空氣比熱容量(Specific heat capacity, J kg⁻¹ K⁻¹)， T 為空氣溫度(K)。

上述的環境變數特徵都將經過時間上的合成分析進行討論，在 2000 年以後的侵台颱風將其登陸時間當日做為合成中心點，將前後兩天共五天的時間進行合成分析，以討論在異常降雨颱風與普通颱風之間的环境條件差異。另外，由於 FNL 資料的時間間隔為 6 小時一筆，因此在進行合成分析前為了得到單純的綜觀尺度環境風場，且無颱風環流影響，對 NCEP/FNL 的水平風場資料進行了前述 15 天低頻濾波(low-pass filter)處理，來濾除時間週期短於 15 天的颱風時間尺度資訊(Hendricks et. al, 2010)。

三、極端降雨颱風特徵分析

3-1 六種路徑綜觀尺度環境場特徵分析

3-1-1 路徑類型一

路徑類型一在中央氣象局的颱風路徑分類中，2000 年以後有 4 個侵台颱風，其中 2004 年的艾利颱風(Aere, 2004)為極端降雨颱風；一類路徑颱風主要從台灣北面海域經過，中心並未登陸台灣。可從路徑類型一的 500hPa 高度場(圖 3.1a)五天的合成圖中看見，此時颱風環流位處於台灣北部海面，受到太平洋副熱帶高壓駛流場的影響颱風主要往西北方向移動，並且除了環流中心附近有明顯的上升運動外，在菲律賓的東邊與西側海面亦有明顯的上升運動。而從低層 850hPa(圖 3.1b)的合成圖中可以看見，在中層 500hPa 有明顯上升運動的區域低層的相對濕度都超過 80%，與颱風環流結合後為颱風系統帶來充沛水氣。

路徑類型一這類型的颱風平均降雨(圖 3.2b)主要集中在台灣北部山區，艾利颱風主要的降雨區域(圖 3.2a)亦是位於北部山區，但是其累積雨量比平均雨量大了許多，並且在中南部地區也比平均雨量來得高，因此能在降雨異常指數(API)的分佈中(圖 3.2c)看見艾利颱風在全台各地的降雨量都大過路徑類型一平均雨量一個標準差以上。

在路徑類型一中，普通颱風於深層的垂直風切(圖 3.3a,b,c)上在中國大陸東南沿海自海南島至台灣這塊區域有著較小的垂直風切，而極端降雨颱風的垂直風切較小的區域則是橫互了整個北緯 21 度到 26 度的範圍，並且數值上也比普通颱風來得小，有利於颱風本身系統強度的維持。而從 200hPa 高層的风場結構(圖 3.3d,e,f)中可以看見極端降雨颱風的風速明顯的小於普通颱風，且無明顯的反氣旋結構存在。在 850hPa 的风場與相對渦度場(圖 3.3g,h,i)中，在台灣北部海面區域的相對渦度場兩者所差無幾，但是在中國

大陸廣東地區沿海，極端降雨颱風的相對渦度明顯的高於普通颱風，並且極端降雨颱風也有著更強的西南風吹向台灣，如此一來在廣東沿海至台灣西南部這塊區域便處在一個正渦度平流的區域，有利於降雨系統之生成與發展。

而在水平輻散場(圖 3.4a~f)當中，普通颱風與極端降雨颱風最大的不同處，便在普通颱風於南海海域上的低層輻合高層輻散的情況遠比極端降雨颱風來得小，這使得極端降雨颱風在有更強的西南風環境條件下，可以為颱風本身帶來更多環境場的水氣。在位勢不穩定度(圖 3.4g,h,i)方面，路徑類型一的異常降雨颱風在海南島東南方海面延伸至台灣海峽這塊區域有著較為不穩定的空氣存在著，伴隨著較強的西南風帶進台灣。

另外從中層 500hPa、低層 850hPa 相對濕度場(圖 3.5a~f)的分佈中可以看出，路徑類型一的異常降雨颱風在南海海域上方有著較高的相對濕度，而低層較高的相對濕度將有利於外圍雨帶的發展增加影響範圍(Hill and Lackmann, 2009)。海表溫度(圖 3.5g,h,i)路徑類型一的颱風於中國東南沿海，南海偏北的海域有著較高的海表溫度。

因此，極端降雨颱風艾利(Aere)在綜觀尺度環境場上，於南海海域北側近中國大陸東南沿海，有著正渦度平流、較不穩定的空氣與較高的海表面溫度，並且有較高的相對濕度利於外圍雨帶發展，使得路徑主要從北部海面通過的艾利在中部地區帶來更多的降雨。

3-1-2 路徑類型二

第二類路徑颱風在中央氣象局颱風資料庫的分類中，2000 年以後侵台的颱風有 5 個，在這 5 個颱風當中 2008 年的辛樂克颱風(Sinlaku, 2008)為極端降雨颱風。二類路徑的颱風中心會於台灣東北部地區登陸而後往西北方向移動出海。第二類路徑的颱風 500hPa(圖 3.6a)環流中心位於台灣東部海面，

整個颱風環流區域都有著明顯的上升運動，且南海海域也有著微弱的上升運動存在，利於系統發展。與一類路徑有相似的情況，二類路徑颱風在中層上升運動區下方的 850hPa(圖 3.6b)相對濕度都較高，相對濕度區域分佈自南海海域延伸至菲律賓東方海面都有較潮濕的區域存在。

二類路徑颱風的平均降雨(圖 3.7b)主要分佈在台灣中、南部山區，最大的平均累積雨量有達到 800mm 以上。但是辛樂克颱風(Sinlaku, 2008)的降雨分佈(圖 3.7a)與平均累積雨量分佈相當不一樣，主要的降雨區域為台灣北部地區，山區累積雨量更是超過 1500mm！因此其降雨異常指數(API)的分佈中(圖 3.7c)可以見到，主要的異常降雨集中在台灣中部與北部地區，南部屏東地區的降雨甚至是低於颱風路徑平均雨量的。

第二類路徑普通颱風的垂直風切(圖 3.8a)較小的區域都分佈在台灣上空，但是極端降雨颱風(圖 3.8b)則從南海海域一路延伸至台灣都有較小的垂直風切，從極端降雨颱風與普通颱風的垂直風切差異量(圖 3.8c)中可以明顯地看出，在南海海域附近極端降雨颱風都有著比普通颱風來得小的垂直風切。而兩者在高層 200hPa 風場(圖 3.8d,e,f)當中皆有明顯的反氣旋結構存在於日本南方海面，不過極端降雨颱風的高層 200hPa 反氣旋的強度較普通颱風來得更強。低層 850hPa(圖 3.8g,h,i)的風場結構中極端降雨颱風有著比普通颱風更大的相對渦度存在於台灣附近地區，並且在菲律賓東方海面極端降雨颱風的環境風速也來得更大，並且在極端降雨颱風環境場中颱風渦旋的結構比普通颱風來得更明顯。

極端降雨颱風高層 200hPa 的輻散場(圖 3.9a,b,c)強度比普通颱風強得多，大約強了 6~10($10^{-6}/s$)，且位於路徑類型二合成環流中心附近的低層 850hPa 輻合(圖 3.9e,d,f)場於極端降雨颱風個案之強度也比普通颱風來得大。而在位勢不穩定度(圖 3.9g,h,i)方面，極端降雨颱風較為熱力不穩定的區域分佈集中在大陸東南沿海與台灣北部海面，以及菲律賓西面的南海海域上，這

些區域同樣都位處於低層較強輻合的區域。

在中層 500hPa 與低層 850hPa 相對濕度場(圖 3.10a~f)的分佈與差異中，極端降雨颱風在台灣東北部地區有著較濕的中層大氣，台灣西南部海面則較乾，而低層較濕的區域主要集中在台灣地區附近，南海海域的相對濕度略微高於普通颱風。不過在海表溫度上(圖 3.10g,h,i)，極端降雨颱風相對於普通颱風的海表溫度高出了許多，在南海海域與菲律賓東方太平洋海面的海表溫度大約都高了 0.7~1 度左右。

第二類路徑極端降雨颱風與一類不同，在近台灣地區的南海海域沒有較高的相對濕度，因此辛樂克颱風主要降雨區都集中在北部山區，中部地區的降雨量低於此路徑平均降雨量，並且在台灣附近有著較普通颱風為不穩定的空氣，有利於降雨系統的發展，而南海海域與菲律賓東方海面都有著較高的海表溫度以供應颱風降水所需的水氣。

3-1-3 路徑類型三

路徑類型三颱風於中央氣象局颱風資料庫的分類中，2000 年以後的侵台颱風有 10 個，為九類路徑中有最多颱風個案；在這 10 個颱風當中 2005 年的海棠與 2009 年的莫拉克颱風屬於極端降雨颱風。路徑類型三的颱風中心會從台灣東部花蓮區域登陸而後往西北方向移動於台灣西部或西北部地區出海。第三類路徑比前兩類路徑更偏南，中層 500hPa(圖 3.11a)與低層 850hPa(圖 3.11b)的環流中心位於台灣中部山區，在南海海域與菲律賓東方海面，副熱帶高壓南側區域都有明顯的上升運動。第三類路徑颱風在南海海域與菲律賓東方海面都有較高的相對濕度，為颱風外圍雨帶的水氣來源。

此類型路徑的颱風平均累積雨量分佈(圖 3.12b、圖 3.13b)主要高值集中在花蓮北部與台灣南部山區，海棠(Haitung, 2005)與莫拉克(Morakot, 2009)

的累積雨量(圖 3.12a、圖 3.13a)除了在這兩個區域有很高的降雨外，在北部山區也帶來了許多雨量，因此於 API 的分佈中(圖 3.12c、圖 3.13c)可以看見海棠颱風於北部山區有較高的 API 值，而莫拉克颱風則是於中南部主要降雨區都有極高的 API 值。

路徑類型三颱風的環境垂直風切場(圖 3.14a,b,c)的分佈與差異比較得知，普通颱風與極端降雨颱風在台灣附近地區的環境場垂直風切差異並不大，但是在台灣南方巴士海峽以南的區域，極端降雨颱風有著較強的垂直風切存在著，較普通颱風個案多 10m/s 左右。在高層 200hPa 風場(圖 3.14d,e,f)極端降雨颱風與普通颱風皆無明顯特徵差異存在，而在低層 850hPa 風場與垂直相對渦度場(圖 3.14g,h,i)中，極端降雨颱風可以明顯的看見在台灣這塊地區有著範圍寬廣的季風渦旋(monsoon gyre)存在著，普通颱風的低層風場就沒有季風渦旋的存在，因此在台灣區域附近極端降雨颱風個案的垂直相對渦度比普通颱風來得更高。

高層 200hPa 與低層 850hPa(圖 3.15a~f)的輻散場中極端降雨颱風在台灣地區有著較強的低層輻合和高層輻散，而普通颱風在整個區域多為較弱之低層輻合高層輻散的情況。在位勢不穩定度(圖 3.15g,h,i)方面，於極端降雨颱風與普通颱風的差異量圖中可以明顯地看見，路徑類型三的極端降雨颱風個案於南海海域與台灣東部海面都有著較普通颱風更為熱力不穩定的空氣。

另外在中層 500hPa 與低層 850hPa 的相對濕度場(圖 3.16a~f)中，500hPa 極端降雨颱風較濕的區域出現在台灣東北方海面，南海海域的相對濕度較普通颱風來得低，而在低層 850hPa 的相對濕度分佈上，整個太平洋海域多半屬於較高的相對濕度，雖然在菲律賓東方海面與南海海域的相對濕度較低，整體環境場來說是比普通颱風來得更為潮濕，較利於外圍雨帶的發展。路徑類型三的海表溫度(圖 3.16g,h,i)差異量雖不如類型二來得高與範圍寬廣，

但是在台灣海峽海域與台灣東方的太平洋海面，極端降雨颱風的海表溫度都比普通颱風來得高了許多(約 0.3~0.7 度)。

路徑類型三的極端降雨颱風與前述兩種類型路徑(類型一及類型二)同樣地擁有著較高的位勢不穩定度，對於對流系統的發展有著正面的影響，並且較高的海表面溫度提供了對流系統所需的較多水氣。另外於此類路徑的極端降雨颱風個案中可以看見季風渦旋(monsoon gyre)的存在，季風渦旋長時間的存在自西南方的南海海域帶來了更多水氣，造成了中南部地區極大的降雨量。

3-1-4 路徑類型四

路徑類型四於中央氣象局颱風資料庫的分類中，2000 年以後的侵台颱風有 6 個，其中 2010 年的凡那比颱風(Fanapi, 2010)為極端降雨颱風。路徑類型四的颱風行進路線類似於類型三，其中比較明顯的差別在於登陸地段若屬台東、屏東區域即為路徑類型四，如果與路徑類型三同樣是從花蓮區域登陸但是颱風行進路線偏西到西南走向的颱風就歸屬於路徑類型四。從 500hPa 高度場的五天合成圖(圖 3.17a)中可以看見與前三類路徑不同的是，第四類路徑的副熱帶高壓脊橫亙在長江口即北緯 30 度附近，導致第四類路徑颱風走向主要偏西，不過如同前三類路徑颱風在南海與菲律賓東方海域都有著明顯的上升運動區。第四類路徑也是類似於前三類路徑，只是在南海海域的高相對濕度區(圖 3.17b)位置較偏南方，而菲律賓東方海面的高相對濕度區分佈依然寬廣，為颱風提供了充足的水氣。

此類路徑的平均累積雨量(圖 3.18b)主要較高的累積降雨出現在花蓮北部地區及台灣南部山區，而凡那比颱風(Fanapi, 2010)累積雨量分佈(圖 3.18a)與路徑平均分佈差異不大，但是屏東北部山區有較多的降雨，且西北部地區的降雨量也較平均多，因此在 API 分佈(圖 3.18c)上可以看見於台灣西部

平地及山區都有著較高的 API 值。

路徑類型四的極端降雨颱風於台灣以南的區域其垂直風切場(圖 3.19a,b,c)比普通颱風小了許多，而在台灣北方海面有著較大的垂直風切。高層 200hPa 的風場(圖 3.19d,e,f)極端降雨颱風在台灣北部的東海海面的高層東北風較普通颱風來得強，而在低層 850hPa 的風場與垂直相對渦度場(圖 3.19g,h,i)的比較，普通颱風自南海海域到台灣地區大致上可以看到一較弱的季風渦旋存在，極端降雨颱風個案並不明顯，反而在台灣東部外海有著較強的相對渦度。

高層 200hPa 與低層 850hPa 的輻散場(圖 3.20a~f)在台灣附近地區，極端降雨颱風個案有著較強的低層輻合與高層輻散，在南海海域低層的輻合也略比普通颱風來得強一些(大約 $2 \times 10^{-6}/s$)。但是在位勢不穩定度(圖 3.20g,h,i)與前三類路徑都不同，路徑類型四的極端降雨颱風在整塊區域五天時間合成的位勢不穩定度都低於普通颱風。

另外在中層 500hPa、低層 850hPa 的相對濕度(圖 3.21a~f)中，路徑類型四的極端降雨颱風於台灣東部海面有著較濕的中層大氣，低層的相對濕度在整個範圍來說極端降雨颱風比普通颱風來得更乾，這樣的環境場不利於外圍雨帶的發展。不過在海表溫度(圖 3.21g,h,i)的分佈上，極端降雨颱風於南海海域有著較普通颱風高的海表溫度，與 850hPa 西南氣流風場相互配合能帶來許多水氣。

路徑類型四的極端降雨颱風個案凡那比(Fanapi)不如前三類路徑有著較普通颱風高的位勢不穩定度，凡那比颱風在五天合成的綜觀尺度環境場較普通颱風來得穩定，但是仍然在南部山區帶來許多降水，因此可以推測雖然沒有比普通颱風更利於對流系統發展的環境場，但是颱風環流能與台灣地形產生交互作用便可帶來許多降水。

3-1-5 路徑類型六

路徑類型六在中央氣象局颱風資料庫的分類中，2000 年以後的侵台颱風有 6 個，而在此類路徑中 1998 年的瑞伯颱風與 2004 年的敏督利颱風為極端降雨颱風，路徑類型六的颱風行進路線主要會從台灣的東部海面經過並往北前進。在路徑類型六的 500hPa 合成圖(圖 3.22a)中可以看見此路徑的颱風移動特性，同樣地主要受到副熱帶高壓的影響，使得颱風路徑主要向北前進，並且颱風的環流特徵併入了中層 500hPa 的槽線系統，使得低層對流系統更容易發展，其上升運動主要分佈在南海海域。從 850hPa 的合成圖(圖 3.22b)中可以看見高相對濕度的區域同樣的也分佈在中層上升運動的下方，為第六類路徑的北行颱風提供了主要的水氣來源。

此類路徑颱風的平均累積雨量(圖 3.23b、圖 3.24b)主要分佈在台灣東部地區有較大的雨量，1998 年的瑞伯颱風(Zeb, 1998)的累積雨量(圖 3.23a)與平均雨量分佈類似，但是其累積雨量大過平均許多，因此瑞伯颱風的 API 分佈(圖 3.23c)與路徑平均累積雨量位置相近。而敏督利颱風(Mindulle, 2004)的累積雨量(圖 3.24a)則與路徑類型六的平均累積雨量是相當不一樣的，其主要分佈在台灣南部山區的西面與南部平原地區，故其 API 的分佈(圖 3.24c)主要出現在中南部平原及山區。

在路徑類型六的垂直風切場(圖 3.25a,b,c)中，極端降雨颱風在南海海域上有著明顯較強的垂直風切，而在台灣北方極端降雨颱風的環境垂直風切則小於普通颱風。從 200hPa 的風場(圖 3.25d,e,f)結構中可以看到極端降雨颱風與普通颱風的不同處，普通颱風於台灣上空有著明顯的反氣旋式的環流，但是極端降雨颱風沒有，且極端降雨颱風 200hPa 的風速也較普通颱風來得更快。低層 850hPa 的風場與相對渦度場(圖 3.25g,h,i)中，極端降雨颱風也與普通颱風明顯的不同，普通颱風於南海海域有著明顯的渦旋系統存在，極端降雨颱風則無，且極端降雨颱風的風場於南海海域主要吹拂西南

風，另外在相對渦度上極端降雨颱風於菲律賓東北方海面有著較普通颱風個案強的相對渦度。

高層 200hPa 與低層 850hPa 的輻散場(圖 3.26a~f)顯示，極端降雨颱風與普通颱風主要明顯的差異與相對渦度的差異位置相同，都存在於菲律賓東北方海面與巴士海峽海域。而在位勢不穩定度(圖 3.26g,h,i)方面，路徑類型六的極端降雨颱風為本研究六種路徑當中有著最高不穩定度的類型，其主要分佈在南海海域與台灣與菲律賓的東方海面，這可能是由於路徑類型六的極端降雨颱風敏督利個案，在影響台灣的期間併入 500hPa 的中層槽線，帶來了範圍較寬廣的不穩定空氣。

另外在相對濕度上，極端降雨颱風於中層 500hPa(圖 3.27a,b,c)的相對濕度於台灣西南部較高，低層 850hPa(圖 3.27d,e,f)則是在台灣與菲律賓連線以東的區域極端降雨颱風有較高的相對濕度。最後在海表溫度的分佈上(圖 3.27g,h,i)極端降雨颱風與普通颱風的差異量分佈與位勢不穩定度類似，很大的區域都是較普通颱風具有更高的海表溫度。

路徑類型六的敏督利颱風在五天的合成分析中，在南海海域與台灣東方、北方海面都有著較高的海表溫度與位勢不穩定度，與前述的前三類路徑類似這種環境條件非常利於對流系統發展。且在 500hPa 可以看見有較高的相對濕度存在於台灣西南部，在 850hPa 雖然台灣西南外海相對濕度是低於普通颱風，但是在台灣南部陸地上有著較高的相對濕度，代表在南部地區有著比普通颱風更潮濕的空氣，有利於帶來降水。

3-1-6 路徑類型九

路徑類型九依照中央氣象局颱風資料庫的分類，在 2000 年以後的侵台颱風有 6 個，其中 2002 年的娜克莉颱風(Nakri, 2002)與 2004 年的南瑪都颱風(Nanmadol, 2004)屬於極端降雨颱風個案。此類路徑的颱風其侵襲台灣的

路徑主要從南海海域往北或東北方移動進而影響台灣地區。路徑類型六的 500hPa 五天的合成場(圖 3.28a)中可以明顯地看見，副熱帶高壓的位置更偏南，而合成的颱風環流中心並不明顯，中心位於台灣西南方的南海海面上，亦與高層的槽線系統結合。在台灣區域都有著明顯的上升運動場。此類路徑在低層 850hPa 的合成圖(圖 3.28b)中可以看見，相對濕度高的區域主要分佈在南海海域與菲律賓東方近海海面，這種分佈使路徑類型九從南海海域向東北行進造成了在台灣東部地區有著較大的雨勢。

此類路徑的平均累積雨量(圖 3.29b、圖 3.30b)出現在台灣的東南部山區，而娜克莉颱風累積雨量(圖 3.29a)與平均雨量的分佈相當不一樣，主要較大的雨量分佈在北部與中部地區，而其 API 分佈(圖 3.29c)亦能看出分佈上的差異出現在西北部地區。另外，南瑪都颱風的主要累積雨量分佈(圖 3.30a)是在台灣的東半部地區，不過其異常降雨指數的分佈(圖 3.30c)是遍佈全台都有超過 1 的 API 值。

先從垂直風切場(圖 3.31a,b,c)比較極端降雨颱風與普通颱風的差異，此類路徑的極端降雨颱風於巴士海峽海域與南海有著較小的垂直風切，在此區域北側極端降雨颱風的垂直風切則是比普通颱風來得強。在高層 200hPa 的風場(圖 3.31d,e,f)中，亦可看見普通颱風於南海海域上有反氣旋的結構，極端降雨颱風則無此情形。低層 850hPa 風場與相對渦度場(圖 3.31g,h,i)中得知普通颱風於南海海域有著較強的相對渦度，極端降雨颱風較強的相對渦度分佈集中在巴士海峽區域。

在高層 200hPa 與低層 850hPa 的輻散場(圖 3.32a~f)中，可以看見極端降雨颱風有較強的低層輻合、高層輻散的區域，且集中在南海海域與菲律賓東方海面。位勢不穩定度的比較上(圖 3.32g,h,i)，則與路徑類型四相當類似，整個區域極端降雨颱風相對於普通颱風來講是存在著較為穩定的空氣，熱力不穩定度較小。

另外在中層 500hPa 與低層 850hPa 的相對濕度(圖 3.33a~f)，極端降雨颱風中層的相對濕度大部分區域都是低於普通颱風的，而在低層的相對濕度，極端降雨颱風於台灣東方海面到菲律賓東方海面這塊區域都有著較普通颱風來得高的相對濕度。最後在海表溫度(圖 3.33g,h,i)方面，整塊區域普通颱風的海表溫度都是高於極端降雨颱風的。由於在此類路徑中，從環境場上並無明顯如前幾類颱風有著較不穩定的空氣與較高的海表溫度，因此推測此類路徑帶來極端降水的颱風與環境場的相關性較小，並且從颱風資料庫的路徑圖中可以發現在路徑類型九的颱風中，只有娜克莉(2002)與南瑪都(2004)兩個極端降雨颱風有登陸台灣，其餘皆無。因此第九類路徑的颱風有無登陸台灣地區，與台灣的地形產生交互作用，為降雨量多寡的重要因素。

路徑類型九的極端降雨颱風，在環境場上既無較不穩定的空氣也無較高的海表面溫度提供較多的水氣，因其綜觀環境場在颱風造成極端降雨事件中並無明顯的貢獻，並且路徑類型九的兩個極端降雨颱風帶來較多的降雨主要取決於颱風是否直接登陸影響台灣。

3-2 綜合比較

3-2-1 六種路徑綜合比較

在前述的各類路徑的比較當中，一些環境變數在南海海域與菲律賓的東方海面上極端降雨颱風都有著較為明顯的差異存在，並且在颱風於未來 12 小時會影響到台灣時，這兩個區域剛好是侵台颱風環流的上游區域，因此選取這兩塊區域(圖 3.34)進行比較分析六種路徑的極端降雨颱風與普通颱風在環流上游區域平均環境變數的差別，有助於對於侵台颱風的預報。各環境變數在這兩塊區域的平均列於表.4。

首先從垂直風切(表.4(列 1))比較這六種路徑颱風環境特徵的差異，除了第四類路徑與第九類路徑外，其他各類路徑在這兩塊區域之極端降雨颱風

都比普通颱風有著更強的垂直風切。雖然路徑類型四在這兩塊區域的垂直風切較弱，但是在路徑類型四與類型九的極端降雨颱風北側亦有較普通颱風強的垂直風切存在。因此在垂直風切的部分可以看到至少在極端降雨颱風的北側或南側的垂直風切風速會高於普通颱風。在位勢不穩定度的部分(表.4(列 2))，同樣地除了第四類路徑與第九類路徑的極端降雨颱風外，其他類型路徑的颱風都於這兩個區域有著較大的位勢不穩定度。在高低層輻散場方面(表.4(列 3.4))，各類型路徑於此兩塊區域並沒有明顯的特徵，不論是普通颱風或極端降雨颱風在這兩塊區域大致上都是低層輻合高層輻散的情況。850hPa 的相對渦度(表.4(列 5))可以看見，除了路徑類型六與九的極端降雨颱風在菲律賓東方海面有較高的相對渦度，其餘極端降雨颱風的相對渦度值都是低於普通颱風的。在中層 500hPa 的相對濕度部份(表.4(列 6))，除了路徑類型一的極端降雨颱風於南海海域有較高的相對濕度外，其他路徑的極端降雨颱風在這兩塊區域的相對濕度都是低於普通颱風，這情況從六類路徑中層相對濕度差異的分布圖中可以看到，除了路徑類型九的極端降雨颱風外，其他五種類型較高相對濕度的區域主要都集中在台灣區域附近，因此在中層有著較低的相對濕度可能是由於大部分的水氣都被極端降雨颱風帶至台灣附近造成環流上游區域的相對濕度較低。而在低層 850hPa 的相對濕度(表.4(列 7))，除了路徑類型三與四之外，極端降雨颱風至少都有一塊區域的相對濕度是高於普通颱風的，故有利於颱風外圍雨帶的發展，增加颱風的降雨範圍。海表溫度(表.4(列 8))的比較中可以發現除了路徑類型一與九之外在南海海域異常降雨的颱風都有著較普通颱風高的海表溫度。最後為低層 850hPa 的風向與風速(表.4(列 9.10))，在風向上六種路徑的極端降雨颱風於南海海域都有著比普通颱風更偏西南風(225°)的風向，而在菲律賓東方海面路徑類型二與四的極端降雨颱風在此處有著較偏南風的風向存在。除了路徑類型四與九，這兩塊區域的風速極端降雨颱風都較普通颱風

來得更強。

因此颱風在侵台期間若是在環流上游區域擁有著高的位勢不穩定度與海表面溫度，並且又有明顯的水氣貢獻的颱風，就可能為台灣地區帶來相當多的降雨量。若是在上述環境條件下，颱風環流又與台灣的地形產生交互作用，帶來的雨量就會更加驚人，如 2009 年的莫拉克颱風。

3-2-2 西行颱風與北行颱風環境特徵差異比較

侵襲台灣的颱風大致上可以分成兩種路徑，一種是在中央氣象局颱風資料庫的路徑分類中，前四類路徑的颱風主要路徑向西前進，第二種路徑主要朝北移動的北行颱風，因此特別針對西行與北行這兩種路徑類型的颱風進行綜觀尺度環境場上簡單的比較。其中西行颱風選擇的代表路徑為路徑類型三，而北行颱風代表路徑為路徑類型六。

首先在垂直風切(圖 3.14a~c、圖 3.25a~c)方面，我們可以看見這兩類路徑的極端降雨颱風環境垂直風切分佈是比較類似的，都在台灣南邊有較強的垂直風切。而在普通颱風個案兩者之間差異比較大，西行(第三類路徑)颱風在巴士海峽以北很大範圍的垂直風切都是較弱的，但是北行颱風(路徑類型六)主要在海南島至台灣區域這一塊才有比較弱的垂直風切。在相對濕度上，兩類路徑皆於台灣地區有高的相對濕度(圖 3.16a~f、圖 3.27a~f)存在，但是西行颱風(路徑類型三)不論是極端降雨颱風或者普通颱風都比北行颱風(路徑類型六)有更大範圍的高濕度區存在。兩種路徑類型的極端降雨颱風個案中，海溫(圖 3.16g~i、圖 3.27g~i)與位勢不穩定度(圖 3.15g~i、圖 3.26g~i)都在南海地區與巴士海峽區域有較高的值。但在普通颱風個案中可以看見西行(第三類路徑)颱風有較大範圍的高海溫。

接著再從表.4 中比較兩者風場在環流上游區的差異，最明顯的就是兩者的極端降雨颱風在環流上游區域都有著較強的垂直風切，較強的低層風速，

較弱的低層相對渦度。從風向上來比較，西行颱風(路徑類型三)於這兩塊區域都是吹西到西南風的風向，但是北行(路徑類型六)的颱風在菲律賓東方海面(E)吹南風或東南風為主，因此這兩類型路徑颱風的水氣主要來源在西行颱風(路徑類型三)為南海海域，北行颱風(路徑類型六)除了南海之外菲律賓東方海面也是來源之一。

3-3 颱風時間尺度環境特徵分析

在本節中主要探討在颱風時間尺度，即為前一部分被 15 天低頻濾波所濾除時間週期短於 15 天的資訊。利用這些時間週期短於 15 天的資訊，以颱風登陸(最接近)的時間為中心點，取前後各 12 小時，共三個時間點，以 850hPa 的最大相對渦度中心取 $16^{\circ} \times 16^{\circ}$ 的範圍進行合成分析，討論極端降雨(異常)颱風與普通颱風渦旋環流場之間的差異。

3-3-1 路徑類型一

路徑類型一的極端降雨颱風為艾利(Aere, 2004)其路徑主要經過台灣北部海域，在垂直風切(圖 3.35)方面艾利颱風於-12hrs 在颱風中心東側有較普通颱風平均來得強的垂直風切，不過在 0hrs 與+12hrs 艾利颱風與普通颱風之間的差異並無明顯的特徵。

在低層 850hPa 相對渦度(圖 3.36)中可以看見，在-12hrs 艾利颱風是與普通颱風有著差異不大的低層相對渦度，但是到了 0hrs 與+12hrs 艾利颱風基本上在颱風環流中心的相對渦度是比普通颱風來得更弱，但是在第四象限極端降雨颱風艾利有著較普通颱風高的相對渦度存在，就路徑類型一而言在 0hrs 與+12hrs 時台灣多處於颱風的南側地區，於此區域有著較明顯的正渦度平流，利於系統發展，或許這是艾利颱風帶來更多降水的原因。另外在低層 850hPa 輻散場(圖 3.37)的差異比較中，極端降雨颱風艾利的輻合場

在近中心區域與普通颱風差異不大，且於整個區域的分佈也類似，同樣在第三象限有著輻合存在，但是艾利颱風位於第三象限的輻合強度比普通颱風來得更強。

在中層 500hPa 的相對濕度部份(圖 3.38)，極端降雨颱風於南側的三、四象限區域都有著較高的相對濕度，而在 0hrs 與+12hrs 西北側第二象限的相對濕度則是較普通颱風低。低層 850hPa 相對濕度場的分佈中(圖 3.39)，極端降雨颱風艾利於-12hrs 在第三象限有著較普通颱風高的相對濕度，在 0hrs 與 +12hrs 艾利颱風的相對濕度於颱風南側地區有著較高的相對濕度，因此艾利颱風於南側的外圍雨帶比較容易發展，進而在中南部地區帶來了較普通颱風更多的降雨。另外在位勢不穩定度(圖 3.40)的差異上，極端降雨颱風艾利在-12hrs 於第一、二、三象限都有著較高的不穩定度，在+12hrs 則是分佈在二、三象限，不過 0hrs 時較普通颱風不穩定的空氣主要存在於颱風中心區域附近。

3-3-2 路徑類型二

路徑類型二的極端降雨颱風為 2008 年的辛樂克(Sinlaku, 2008)，在垂直風切上(圖 3.41)，極端降雨颱風在-12hrs 與 0hrs 這兩個時間點於颱風中心附近有較大的垂直風切，而外側的垂直風切則是小於普通颱風。到了+12hrs 可以看到在第三象限極端降雨颱風有較強的垂直風切存在。

低層的相對渦度及風場的比較中(圖 3.42)，此類路徑與路徑類型一相反，可以看見極端降雨颱風的環流場比普通颱風環流範圍來得小，強相對渦度的範圍與環流場類似，極端降雨颱風較普通颱風小，結構上較為小而紮實，且極端降雨颱風的相對渦度比普通颱風來得更強。與普通颱風相比，極端降雨颱風除了在中心有較高的相對渦度外，-12hrs 與 0hrs 在第四象限都有較強的相對渦度，到了+12hrs 則在第三象限存在著較強的相對渦度。在低

層 850hPa 的輻散場方面(圖 3.43)，極端降雨颱風的輻合分佈與普通颱風相似主要以第一、第三象限為主，但是分佈的範圍不如普通颱風來得廣。在 -12hrs 與 0hrs 於第一象限北面有著較強的輻合，而近中心位置的極端降雨颱風較強輻合區隨著時間變化，從第二象限逐漸轉至第三象限。與辛樂克颱風的路徑搭配後可以大致推估台灣的位置與此較強的輻合區相近，或許是比較強的輻合造成的對流帶來台灣北部較多的降雨。

路徑類型二在中層 500hPa 的相對濕度(圖 3.44)及低層 850hPa 的相對濕度(圖 3.45)與類型一的差異分佈相當不同，類型一極端降雨事件較高的相對濕度主要分佈在颱風南面，類型二則是主要分佈在颱風北面以及東側地區，這種相對濕度的分佈可能造成了兩路徑類型的極端降雨颱風在異常降雨指數(API)分佈上的差異。由於類型一的南側相對濕度較高，利於颱風的外圍雨帶向南發展，增加了台灣中部地區的降雨，可從路徑類型一的累積雨量與 API 分佈圖中(圖 3.2)看見艾利颱風造成的降雨異常分佈在整個西半部地區，較路徑類型二的辛樂克颱風(圖 3.7)主要分佈於台灣北部與中部地區的降雨異常分佈範圍更廣。另外位勢不穩定度的差異分佈中(圖 3.46)，極端降雨颱風於三個時間點在第三象限都有更不穩定的空氣存在，在颱風渦旋環流的影響下被捲入颱風中心區域。

3-3-3 路徑類型三

路徑類型三的極端降雨颱風為海棠(Haitung, 2005)與莫拉克(Morakot, 2009)，在垂直風切的分佈上(圖 3.47)極端降雨颱風於-12hrs 與 0hrs 在颱風西面的垂直風切強度較普通颱風弱，但是在+12hrs 極端降雨颱風在颱風東面區域的垂直風切則是比普通颱風來得強。

類型三的低層 850hPa 相對渦度(圖 3.48)，極端降雨颱風在颱風中心區域附近於三個時間點都有著較強的相對渦度，而極端降雨颱風的環流場範圍

在 0hrs 的時候較普通颱風來得廣，不過在-12hrs 與+12hrs 則是相反，普通颱風個案擁有更大範圍的環流場。而在低層 850hPa 的輻散場(圖 3.49)，可以在圖中明顯的看到極端降雨颱風的低層輻合比普通颱風強了許多，主要集中在離中心 3 度左右的區域，不過普通颱風於第三象限在颱風較外圍的區域有著較強的輻合存在。

在中層 500hPa 的相對濕度於極端降雨颱風與普通颱風的差異分佈(圖 3.50)，在-12hrs 較高的相對濕度主要分佈在颱風北面區域，四個象限都有較高的相對濕度，第三象限較高相對濕度的區域較小。到了 0hrs 較高相對濕度的分佈範圍更廣，整塊區域都有著較普通颱風高的相對濕度。在+12hrs 則是在第三象限與第一象限有較高的相對濕度存在。不過在低層 850hPa 的相對濕度差異的分佈(圖 3.51)與 500hPa 就不太一樣，-12hrs 相對濕度較高的區域集中在第二象限，到了 0hrs 較高相對濕度的區域除了颱風中心區域外，西南的第三象限與東南的第四象限都有著較高的相對濕度，顯示在侵襲台灣的不同時期水氣分佈受到地形與颱風環流的影響，到了+12hrs 除了第四象限部分區域外，整個區域極端降雨颱風的相對濕度都高過普通颱風許多，因此路徑類型三的極端降雨颱風莫拉克與海棠幾乎在台灣全島都帶來了高於降雨平均值一個標準差的雨量。

另外在位勢不穩定度的差異分佈上(圖 3.52)，與前幾類型路徑相似，都有著較高的不穩定度於第三象限，但是路徑類型三於第四象限與颱風東面區域也有著較高的不穩定度，同樣的會受到颱風環流的牽引而進入高輻合區。

3-3-4 路徑類型四

路徑類型四的極端降雨颱風為凡那比(Fanapi, 2010)，在凡那比與第四類路徑普通颱風的垂直風切分佈與差異圖中(圖 3.53)，顯而易見的凡那比颱風

的垂直風切比普通颱風平均強了許多，在-12hrs 與 0hrs 較強的垂直風切幾乎分佈於整個區域，+12hrs 只有在颱風中心北面 400km 左右有較弱的垂直風切，其他區域也都是存在著較強的垂直風切。

類型四的極端降雨颱風在低層 850hPa 水平相對渦度與環流場(圖 3.54)比較，有著比普通颱風更強的相對渦度與近中心風速。且颱風環流結構在+12hrs 時，普通颱風的環流結構已經不如極端降雨颱風完整紮實，這或許與颱風的強度有關係。根據中央氣象局颱風資料庫，在路徑類型四的颱風中，凡那比颱風有著最大的強度，中心氣壓為 940hPa，最大風速達 45m/s，而在普通颱風五個個案中只有利奇馬(Lekima, 2001)有達到中度颱風的強度，其他四個普通颱風皆為輕度颱風。同樣地，在 850hPa 輻散場(圖 3.55)由於強度上的差異，極端降雨颱風凡那比的低層輻合較普通颱風高了許多。從分佈上來看，在第三象限極端降雨颱風有著明顯的輻合(-12hrs, +12hrs)，而普通颱風的輻合區在 0hrs 主要在颱風中心附近，在+12hrs 則是偏中心南面。

中層 500hPa 的相對濕度分佈與差異圖中(圖 3.56)能明顯地看見，極端降雨颱風凡那比在近中心區域與中心東側有著高於普通颱風許多的相對濕度，其他區域都是較普通颱風低的相對濕度。在低層 850hPa 相對濕度(圖 3.57)與輻散場類似，近中心區域極端降雨颱風有著較高的相對濕度，於-12hrs 與 0hrs 在颱風西側區域極端降雨颱風有著較高的相對濕度，在 0hrs 則是在北方與東北側的第一象限有較高的相對濕度存在，而到了+12hrs 幾乎整塊區域的相對濕度極端降雨颱風是低於普通颱風的除了颱風中心的北面地區。可以看見凡那比颱風與前三類型的極端降雨颱風不太一樣，在低層 850hPa 的相對濕度於外側地區不比普通颱風來得高，因此可以推測凡那比颱風造成極端降雨的原因，比較可能的因素是來自於颱風與台灣地形的交互作用，而不是來自颱風與環境系統的交互作用。另外在位勢不穩定度的分佈(圖 3.58)上，除了-12hrs 在颱風中心區域附近與颱風中心南北兩側有較不穩定的

空氣存在，在 0hrs 與+12hrs 的位勢不穩定度都是較普通颱風來得穩定的，不過於 0hrs 與+12hrs 能夠看見在颱風南側與東南側有小區域較高的位勢不穩定度，這也許是因為受到台灣南部山區地形激發對流造成的結果。

3-3-6 路徑類型六

路徑類型六的極端降雨颱風為敏督利颱風(Mindulle, 2004)，在垂直風切的分佈與差異上(圖 3.59)，敏督利颱風與普通颱風的平均情況相當不一樣，敏督利颱風於第四象限有著較強的垂直風切，而普通颱風較強的垂直風切則是出現在第二象限，這對於在台灣造成極端降雨之間的關係為何，需要更深入的探討。

在低層 850hPa 環流場及水平相對渦度的分佈與差異圖中(圖 3.60)得知，敏督利颱風有著較強的相對渦度於中心區域，並且在西南的第三象限於三個時間點都有著較高的相對渦度存在著搭配其風場，有著較普通颱風更強的正渦度平流於此區域，利於系統的發展。在低層 850hPa 的輻散場(圖 3.61)中與前幾類型颱風一樣，在近中心區域有更強的輻合存在，但在輻合場的分佈上，極端降雨颱風敏督利在第三象限有比普通颱風明顯的輻合，普通颱風在第三象限甚至是有較強的輻散存在。

類型六的極端降雨颱風敏督利在中層 500hPa 相對濕度(圖 3.62)有著極為明顯的特徵，第三象限的相對濕度分佈可以看見有一從西南方延伸至颱風中心的相對濕度高值(>95%)區域存在，而普通颱風都無此情況，這與簡與楊(2009)的結論一致，西南氣流帶進的旺盛潮濕水氣造成了南部地區極大的降雨。而在低層 850hPa 的相對濕度(圖 3.63)，並沒有像中層一樣有明顯的特徵存在，但是可以看見在+12hrs 於颱風中心南側區域隨著渦旋渦流有較高相對濕度的空氣被帶入颱風環流，-12hrs 與 0hrs 也有類似情況但是較不明顯。另外在位勢不穩定度的部分(圖 3.64)也能見到極端降雨颱風與普通颱風明顯的差異，在-12hrs 時主要較不穩定的空氣存在於颱風中心西南方的

第三象限，到了 0hrs 則是第二象限與第三象限都有著較不穩定的空氣，而到了登陸後 12 小時(+12hrs)幾乎為整塊區域都有著較不穩定的空氣，如此高的位勢不穩定度可能與當時敏督利颱風在登陸後併入中緯度槽線而有此情況。

3-3-9 路徑類型九

在第九類路徑中的極端降雨颱風為娜克莉(2002)與南瑪都(2004)，第九類路徑的極端降雨颱風在-12hrs 於第四象限有著較弱的垂直風切(圖 3.65)，到了 0hrs 與+12hrs 極端降雨颱風在整個區域幾乎都有著較高的垂直風切存在。

在低層相對渦度場方面(圖 3.66)，極端降雨颱風在-12hrs 相對渦度的強度比普通颱風來得弱，但是到了 0hrs 登陸(最接近)台灣的時間點，極端降雨颱風的相對渦度增強並比普通颱風還來得強。與前面討論過的五類路徑不同，第九類路徑在低層 850hPa 輻散場(圖 3.67)極端降雨颱風並沒有比較強的輻合場出現在颱風中心區域附近，不過在-12hrs 與 0hrs 可以看見在第四象限，極端降雨颱風有著較強的低層輻合存在。由於此類路徑颱風是由台灣西南海域往東北移動影響台灣，因此與路徑配合可以得知在-12hrs 與 0hrs 時東南方的第四象限為台灣本島區域，與前一節環境場特徵中所敘述，路徑類型九的決定是否為極端降雨颱風的因素，在於颱風是否有登陸並與台灣地形產生交互作用相符合。

第九類路徑的極端降雨颱風於中層 500hPa 相對濕度(圖 3.68)在登陸(最接近)前 12 小時(-12hrs)於第二、三、四象限都有著較高的相對濕度，但是近中心區域的相對濕度比普通颱風來得低。在 0hrs 則在颱風北面區域極端降雨颱風有較高的相對濕度，但是到了+12hrs，反而是普通颱風在整個區域擁有更高的相對濕度。而在低層 850hPa 相對濕度(圖 3.69)，極端降雨颱風

於-12hrs 於整塊區域幾乎都有著較高的相對濕度，在 0hrs 較高的相對濕度主要分佈在第三、第四象限，到了+12hrs 較高的相對濕度則是出現在颱風北側區域，其他區域都是呈現比普通颱風低的相對濕度。另外，位勢不穩定度的差異分佈中(圖 3.70)，除了登陸前 12 小時(-12hrs)有著較不穩定的空氣存在於第一、第三象限與颱風中心區域，在 0hrs 位勢不穩定度大部分區域都較普通颱風來得低。不過在+12hrs 極端降雨颱風於第二象限有較不穩定的空氣存在於第一象限，這可能與南瑪都颱風在東半部地區帶來許多降雨有關(圖 3.11)。

四、結論與未來展望

本論文研究主要分成兩部份，第一部份主要專注極端降雨颱風與普通颱風在綜觀環境場上的差異，使用 NCEP/FNL 的全球分析資料，透過合成分析系統性地整理了各路徑侵台颱風於綜觀尺度上的環境特徵。在 2000 年以後侵台颱風中，六種路徑的極端降雨颱風於颱風環流上游區域即南海北部及菲律賓東方海面，於綜觀環境場存在著較強的垂直風切、較小的低層相對渦度、及較低的中層 500hPa 相對濕度，在南海海域有更偏向西南風的風向，並且也有著相對於普通颱風環境於熱力上更不穩定的空氣。海表溫度於各類路徑中並非一致性的顯示極端降雨颱風有更高的海表溫度，因此可以推測海表溫度對於造成異常大的極端降雨不是充分條件，但是在綜觀尺度環境場若有著較高的海表溫度搭配上合適的風場，能夠自海上帶來比普通颱風環境條件下更多的水氣。另外，較低的低層 850hPa 的環境相對濕度，將有利於颱風外圍雨帶的發展，以帶來更大範圍及更寬廣的降水，這情況在路徑類型一的極端降雨颱風艾利(Aere, 2004)即可得到印證；在此種類型路徑下，如果沒有南側較高的環境相對濕度使其外圍雨帶繼續發展，艾利颱風就無法在台灣南部地區帶來降水。而在低層 850hPa 相對渦度與中層 500hPa 相對濕度，幾乎六類路徑的極端降雨颱風都有著較普通颱風環境更小的相對渦度與更低的相對濕度，但是這環境特徵與颱風帶來的極端降雨之間的關係尚不明朗，需要更進一步的研究。另外，在六種路徑類型颱風中，其環流上游區域的環境垂直風切與輻合輻散場都無明顯的特徵。

各類路徑極端降雨颱風的綜觀尺度環境場特徵，分別整理如下。路徑類型一颱風：在其類型路徑經過的區域有著比普通颱風來得更小的垂直風切，在南海海域有較高的相對濕度與海表溫度。路徑類型二颱風：菲律賓東方海面有著較強的南風吹往台灣地區，南海海域與菲律賓東方外海的海表溫

度與位勢不穩定度都較普通颱風為高。路徑類型三颱風：在整個台灣以南的區域的垂直風切都比普通颱風來得大，海表溫度在南海海域與台灣東方海面較高。路徑類型四颱風：台灣北面海域有較普通颱風強的垂直風切，海表溫度在南海海域略高於普通颱風，其他環境變數差異並不明顯。路徑類型六颱風：在南海海域靠近大陸東南沿海地區有著較強的垂直風切，其位勢不穩定度與海表溫度相當大的範圍都是高於普通颱風。路徑類型九颱風：在其路徑的垂直風切較普通颱風來得小，其他環境變數部分與普通颱風差異不大，因此主要影響此類路徑降雨多寡的因素在於其颱風路徑是否登陸台灣。

在第二部份主要分析與探討颱風時間尺度下的環境條件，透過以登陸(最接近)台灣時間為中心前後 12 小時的合成分析，討論極端降雨颱風與普通颱風渦旋尺度環境場的異同。如同綜觀尺度環境場中所見，極端降雨颱風之環境場多半有著較高的位勢不穩定度，在颱風時間尺度的環流特徵下亦是如此，我們將分析的時間與範圍縮小後，更能明顯地看見極端降雨颱風環境條件於六類路徑都存在著較高的位勢不穩定度。而在輻散場的分佈上能夠看出侵台路徑之不同對於輻散場分佈所造成的影響，在第六類與第九類颱風路徑尤為明顯，例如路徑類型四的極端降雨颱風凡那比(Fanapi, 2010)個案於綜觀環境尺度特徵上並無明顯的水氣供應，因此可以推論除了在有充足的環境水氣供應條件外，颱風環流與台灣地形的交互作用對於帶來降雨量的多寡亦有相當程度的影響。另外就水氣來源方面而言，的確南海海域的水氣供應對於颱風在台灣南部帶來的降水影響十分明確，如同路徑類型六的極端降雨颱風敏督利(Mindulle, 2004)在 500hPa 的相對濕度場能夠明顯看到自西南方來的充沛水氣，但是在路徑類型二颱風的合成分析中，卻能看見極端降雨颱風辛樂克(Sinlaku, 2008)個案自台灣東部海面被颱風渦旋環流所帶入的水氣，造成在台灣北部地區降下許多雨量，因此除了關注

來自南海海域被西南氣流引進的水氣外，來自於台灣東方海面的水氣供應在路徑類型二的颱風中，亦是不可忽略的。

最後，在本論文研究中，我們並未針對環境場與颱風之間相互作用的物理機制進行探討，未來希望更進一步，利用更高空間與時間解析度的數值模式(如 WRF)模擬進行更深入探討，期望能對極端降雨颱風帶來的豪大雨有更好的掌握能力。

參考文獻

- 楊明仁，2009：台灣地區異常颱風之變化趨勢與辨識研究，行政院國科會計畫成果完整報告，NSC 97-2625-M-008-014, 96 頁。
- 簡芳菁與楊筑方，2009：北行颱風伴隨西南氣流之研究，大氣科學，**37** 卷 **1** 期，11–25。
- Bohren, C. F. and B. A. Albrecht, 1998: Atmospheric Thermodynamics, Oxford University Press, New York, 1998.
- Gray, W. M., 1968: Global view of the origin of tropical disturbances and storms. *Mon. Wea. Rev.*, **96**, 669–700.
- Hendricks, E. A., M. S. Peng, B. Fu, and T. Li: Quantifying Environmental Control on Tropical Cyclone Intensity Change, *Mon. Wea. Rev.*, **138**, 3243–3271.
- Hill, K. A. and G. M. Lackmann, 2009: Influence of Environmental Humidity on Tropical Cyclone Size, *Mon. Wea. Rev.*, **137**, 3294–3315.
- Lee, C. S., Y. C. Liu, and F. C. Chien, 2008: The Secondary Low and Heavy Rainfall Associated with Typhoon Mindulle (2004), *Mon. Wea. Rev.*, **136**, 1260–1283.
- McBride, J. L., and R. M. Zehr, 1981: Observational analysis of tropical cyclone formation. Part II: Comparison of non-developing versus developing systems. *J. Atmos. Sci.*, **38**, 1132–1151.

- Merrill, R. T., 1988a: Characteristics of the upper-tropospheric environmental flow around hurricanes. *J. Atmos. Sci.*, **45**, 1665–1677.
- , 1988b: Environmental influences on hurricane intensification. *J. Atmos. Sci.*, **45**, 1678–1687.
- Wu, C. C., T. H. Yen, Y. H. Kuo, and W. Wang, 2002: Rainfall Simulation Associated with Typhoon Herb (1996) near Taiwan. Part I: The Topographic Effect, *Wea. For.*, **17**, 1001 – 1015.
- Wu, L., J. Liang, and C. C. Wu, 2011: Monsoonal Influence on Typhoon Morakot (2009). Part I: Observational Analysis, *J. Atmos. Sci.*, in press.
- Yang, M. J., D. L. Lin, and H. L. Huang, 2008: A Modeling Study of Typhoon Nari (2001) at Landfall. Part I: Topographic Effects, *J. Atmos. Sci.*, **65**, 3095 – 3114.

表附錄

表.1 1987 年至 2010 年間侵台颱風路徑分類，與 81 個颱風的 TAPI 值及 API 數值大於 1 的測站數量，紅底紅字的颱風為極端降雨颱風。TAPI 的定義請見本文(2)式。

路徑類型	颱風名稱	TAPI	測站數量	路徑類型	颱風名稱	TAPI	測站數量
type1	ABE_1990	1.2	1	type5	GERALD_1987	30.7	18
type1	FRED_1994	0	0	type5	LYNN_1987	74.9	37
type1	WINNIE_1997	1.2	1	type5	AMY_1991	24.1	17
type1	SINLAKU_2002	0	0	type5	ABE_1993	48.1	33
type1	AERE_2004	417.9	269	type5	KENT_1995	28.9	18
type1	MATSA_2005	102.7	75	type5	MAGGIE_1999	41.3	29
type1	WIPHA_2007	34.7	24	type5	UTOR_2001	33.0	22
type2	YANCY_1990	9.1	7	type5	DUJUAN_2003	238.1	156
type2	ELLIE_1991	1.9	1	type6	VERNON_1987	1.2	1
type2	GLADYS_1994	0	0	type6	ALEX_1987	3.8	3
type2	HERB_1996	103.3	71	type6	OFELIA_1990	18.4	13
type2	BILIS_2006	51.9	36	type6	TED_1992	5.0	4
type2	KROSA_2007	19.4	14	type6	DOUG_1994	72.0	41
type2	KALMAEGI_2008	141.1	91	type6	SETH_1994	6.3	5
type2	SINLAKU_2008	316.8	187	type6	YANNI_1998	1.1	1
type2	JANGMI_2008	69.7	39	type6	ZEB_1998	287.6	165
type3	SARAH_1989	71.2	38	type6	KAI-TAK_2000	1.1	1
type3	DOT_1990	2.8	2	type6	PRAPIROON_2000	15.7	10
type3	POLLY_1992	29	20	type6	XANGSANE_2000	180.9	113
type3	OMAR_1992	1.1	1	type6	MINDULLE_2004	481.2	227
type3	TIM_1994	3.8	3	type6	HAIMA_2004	5.0	3
type3	CAITLIN_1994	12.3	8	type6	NOCK-TEN_2004	2.9	2
type3	AMBER_1997	31.2	21	type7	GARY_1995	2.5	2
type3	OTT_1998	0	0	type7	GLORIA_1996	206.1	137
type3	BILIS_2000	78.7	43	type7	DAN_1999	10.2	7
type3	TORAJI_2001	68.1	41	type7	CHEBI_2001	133.7	93
type3	HAITANG_2005	281.1	184	type8	RYAN_1995	338.5	213
type3	TALIM_2005	50.9	34	type8	CAM_1996	5.7	4
type3	LONGWANG_2005	2.6	2	type8	CIMARON_2001	32.3	22
type3	KAEMI_2006	0	0	type8	MELOR_2003	10.6	9
type3	WUTIP_2007	0	0	type9	SUSAN_1988	7.4	4
type3	SEPAT_2007	41	25	type9	MARIAN_1990	2.6	2
type3	FUNG-WONG_2008	29.5	21	type9	DEANNA_1995	27.0	16
type3	MORAKOT_2009	667.6	267	type9	NICHOLE_1998	64.9	36
type4	TRAMI_2001	2.4	2	type9	BABS_1998	25.4	16
type4	LEKIMA_2001	247.1	145	type9	NAKRI_2002	287.3	151
type4	MORAKOT_2003	29.5	21	type9	NANMADOL_2004	343.7	202
type4	BOPHA_2006	1.4	1	type9	CHANCHU_2006	26.0	19
type4	PABUK_2007	16.2	11	type9	LINFA_2009	35.7	24
type4	FANAPI_2010	379.4	214	type9	LIONROCK_2010	56.9	34
				type9	MEGI_2010	81.4	54

表.2 極端降雨颱風路徑分類、名稱、侵台年份，及其 TAPI 值與個別路徑 TAPI 門檻值。*表示為 2000 年以前侵襲台灣的颱風，無 FNL 資料可以分析因此不納入本研究討論。TAPI 的定義請見本文(2)式。

路徑	異常颱風名稱	TAPI	其路徑TAPI門檻值
1	艾利 (AERE, 2004)	417.9	233.5
2	辛樂克 (SINLAKU, 2008)	316.8	180.8
3	海棠 (HAITUNG, 2005)	281.1	237.6
3	莫拉克 (MORAKOT, 2009)	667.6	237.6
4	凡那比 (FANAPI, 2010)	379.4	273.9
5*	杜鵑 (DUJUAN, 2003)	238.1	136.7
6	瑞伯 (ZEB, 1998)*	287.6	221.2
6	敏督利 (MINDULLE, 2004)	481.2	221.2
7*	葛樂禮 (GLORIA, 1996)*	206.1	187.1
8*	賴恩 (RYAN, 1995)*	338.5	258.3
9	納克莉 (NAKRI, 2002)	287.3	203.2
9	南瑪都 (NANMADOL, 2004)	343.7	203.2

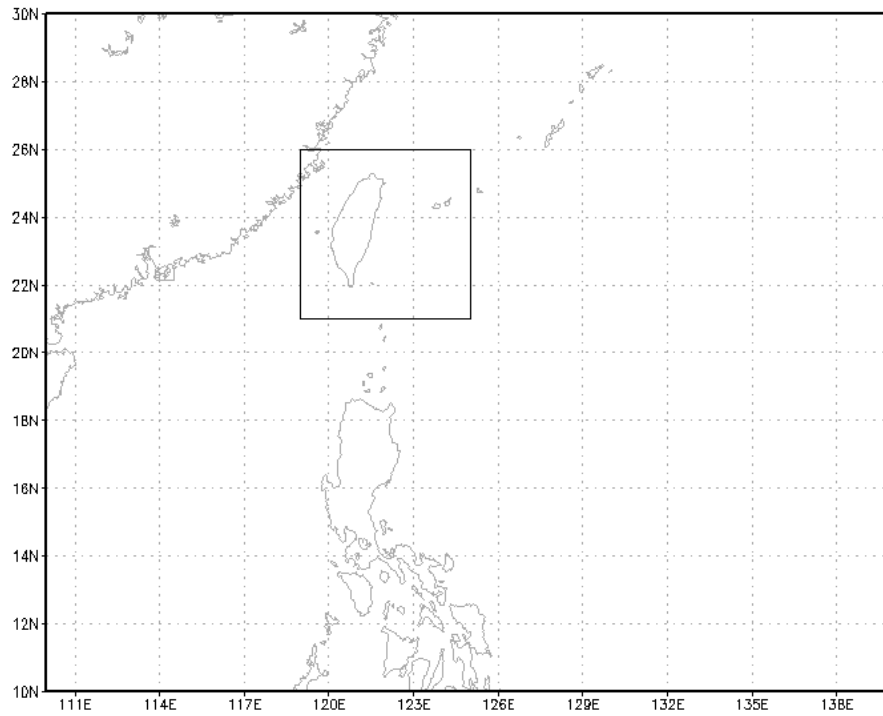
表.3 環境變數的計算方式、單位與其資料來源。U*為經過 15 天低頻濾波過後的水平風場。

變數名稱	計算方式	單位	資料來源
垂直風切	$ U^*_{200} - U^*_{850} $	$m s^{-1}$	FNL
位勢不穩定度	$\partial \theta_E / \partial p$	$K Pa^{-1}$	FNL
200hPa輻散場	$\nabla \cdot U^*_{200}$	s^{-1}	FNL
850hPa輻散場	$\nabla \cdot U^*_{850}$	s^{-1}	FNL
850hPa相對渦度	$k \cdot \nabla \times U^*_{850}$	s^{-1}	FNL
500hPa相對濕度	FNL模式輸出	%	FNL
850hPa相對濕度	FNL模式輸出	%	FNL
海表溫度	FNL模式輸出	$^{\circ}C$	FNL

表.4 普通颱風(N)與異常颱風(A)的環境變數於(W)南海海域(110°E~120°E、12°N~20°N)與(E)菲律賓東方海面(123°E~133°E、12°N~20°N)的比較。

	type1		type2		type3		type4		type6		type9	
	W	E	W	E	W	E	W	E	W	E	W	E
Deepshear (m/s)	N 10.99	10.52	15.71	12.18	13.75	10.66	13.77	12.84	9.86	9.30	10.36	10.07
	A 22.79	18.52	9.37	15.78	18.67	19.30	5.86	5.99	19.62	15.01	9.49	9.07
Instability (10^{-3} K/Pa)	N 1.07	1.10	0.99	1.04	1.02	1.10	1.01	1.09	0.91	1.03	0.98	1.01
	A 1.12	1.11	1.07	1.10	1.09	1.17	0.92	0.99	1.14	1.07	0.91	0.96
200hPa_Div. (10^{-6} /s)	N 3.86	4.71	4.14	5.49	3.02	3.25	3.30	2.67	8.05	4.11	6.78	3.84
	A 10.69	5.13	0.75	-2.09	-1.18	2.76	-0.47	2.81	4.84	1.80	8.87	5.88
850hPa_Div. (10^{-6} /s)	N 0.00	-2.84	-0.91	-2.66	-0.77	-1.98	0.10	-2.04	-2.12	-1.55	-2.62	-1.61
	A -2.11	-2.29	-0.16	-1.84	0.94	-1.80	-0.82	-0.16	-0.28	-2.89	-3.18	-2.83
850hPa_RV (10^{-6} /s)	N 9.95	9.45	7.13	9.41	8.92	8.23	9.31	8.14	13.01	1.31	14.83	-0.95
	A 6.92	2.22	4.51	-2.26	5.06	1.31	-3.53	-1.51	-0.75	14.10	9.03	2.17
500hPa_RH (%)	N 53.57	75.38	64.97	67.70	63.13	70.88	57.84	71.52	54.36	57.19	64.52	69.26
	A 65.14	64.54	59.30	63.01	46.15	61.26	50.73	65.74	51.90	45.22	47.70	55.88
850hPa_RH (%)	N 79.54	81.55	81.32	82.03	81.20	79.96	81.85	83.22	82.20	77.36	81.43	78.28
	A 85.22	82.79	80.78	82.70	79.48	79.28	70.58	75.92	77.29	83.40	80.29	82.92
Sea Surface Temp. (°C)	N 29.22	29.73	28.94	29.14	29.21	29.58	29.18	29.73	28.80	28.98	29.33	29.35
	A 29.10	29.00	29.71	29.54	29.22	29.57	29.59	29.62	29.25	29.02	28.20	28.69
850hPa_Wind Dir.	N 268.90	257.40	259.04	255.68	263.47	262.85	264.20	262.42	271.82	110.53	269.89	246.60
	A 245.69	267.40	227.88	197.15	259.05	264.55	206.14	189.30	248.57	208.86	259.88	248.70
850hPa_Wind Speed(m/s)	N 4.54	5.53	5.29	5.10	4.41	3.06	4.43	4.46	3.58	3.81	5.39	4.37
	A 11.56	8.90	3.59	5.34	7.90	8.42	1.89	1.81	6.58	7.64	4.49	3.36

圖附錄



GRADS: COLA/IGES

2011-05-20-20:47

圖 2.1 圖中方框代表侵台颱風中心所需經過的區域，東經 119°E~125°E、北緯 21°N~26°N。



圖 2.2 中央氣象局所定義之侵台颱風的路徑分類，共分 10 類。

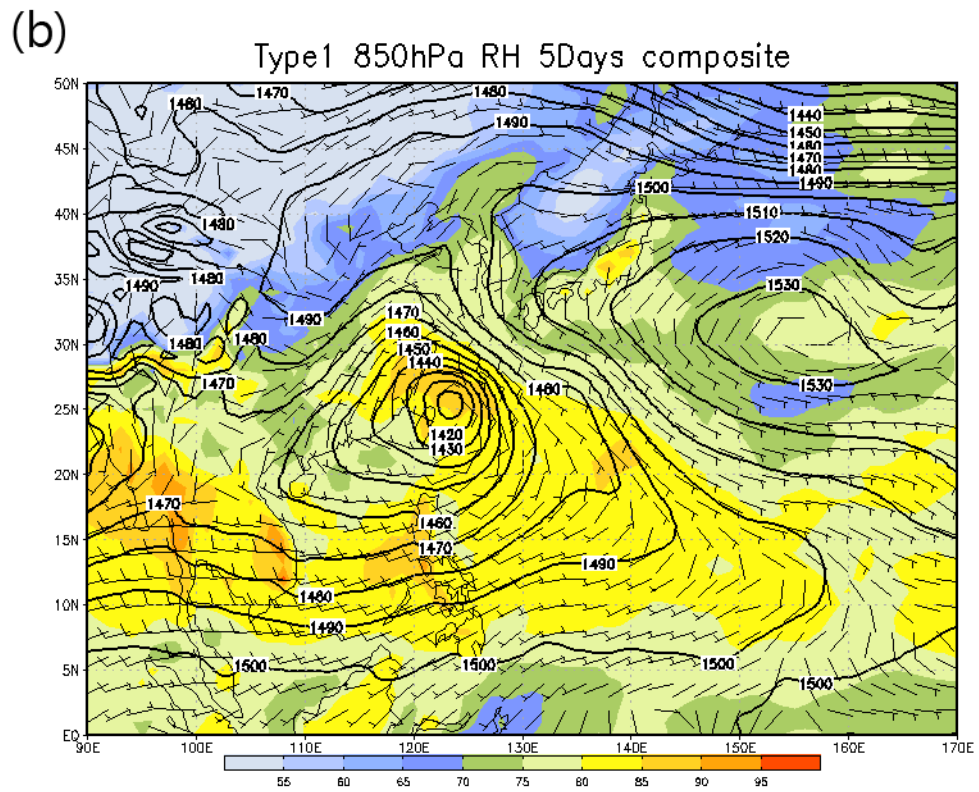
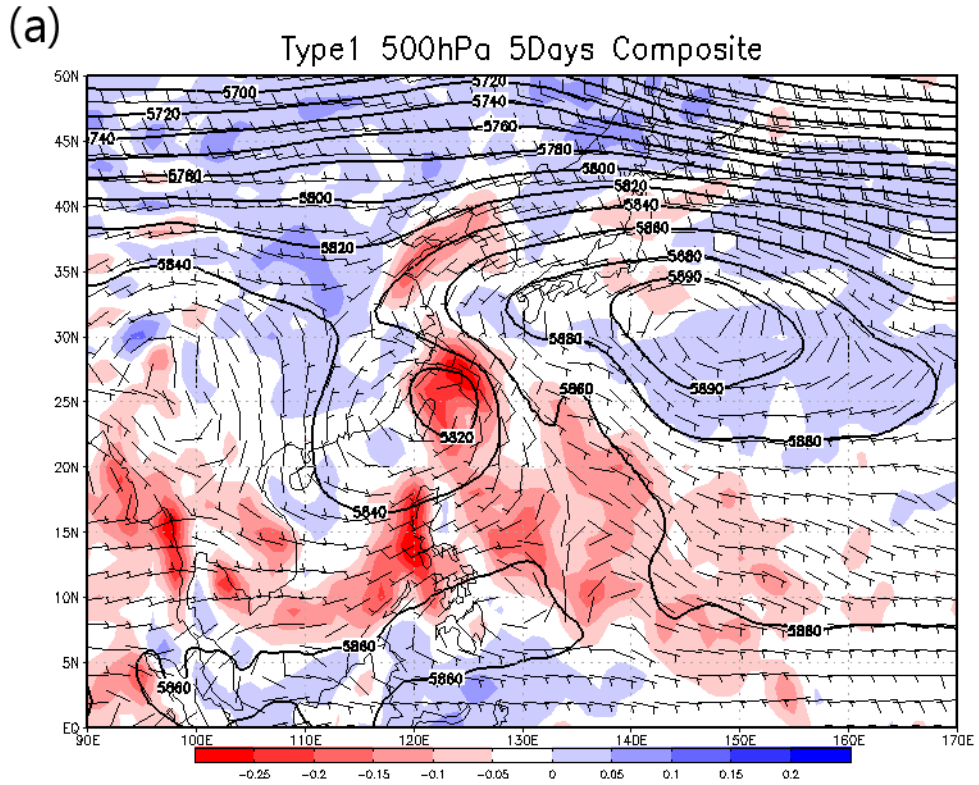


圖 3.1 (a)路徑類型一 500hPa、(b) 850hPa 五天合成圖，其中實線為等重力位高度線，風標代表風向風速，陰影區域(a)為垂直速度，紅色表示上升運動，藍色為下沉運動，單位：Pa/s，(b)為相對濕度。

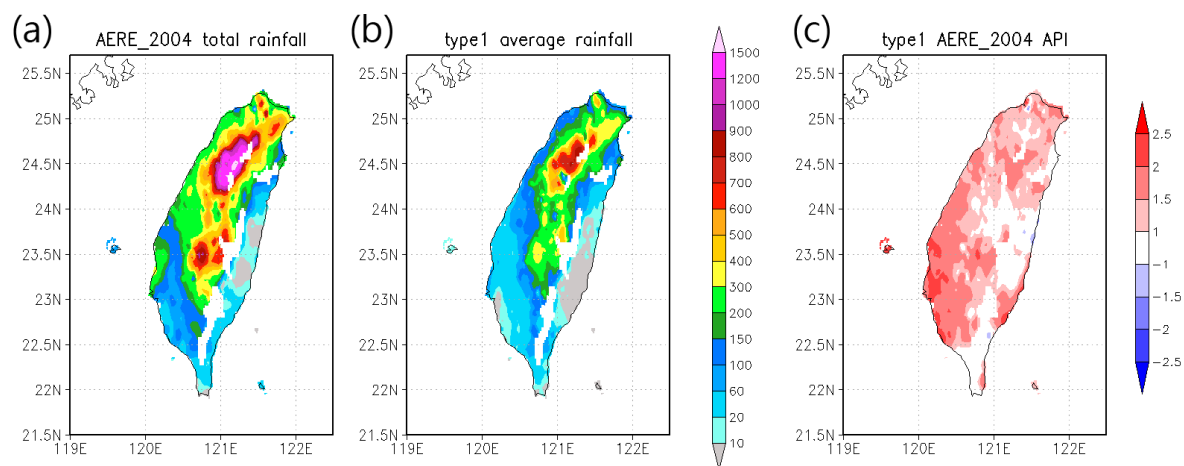


圖 3.2 為路徑類型一累積雨量與降雨異常指數(API)分佈圖，圖(a)為極端降雨颱風艾利(2004)陸上警報期間累積雨量分佈圖，圖(b) 為路徑類型二颱風陸上警報期間平均累積雨量，圖(c) 為降雨異常指數(API)分佈圖。

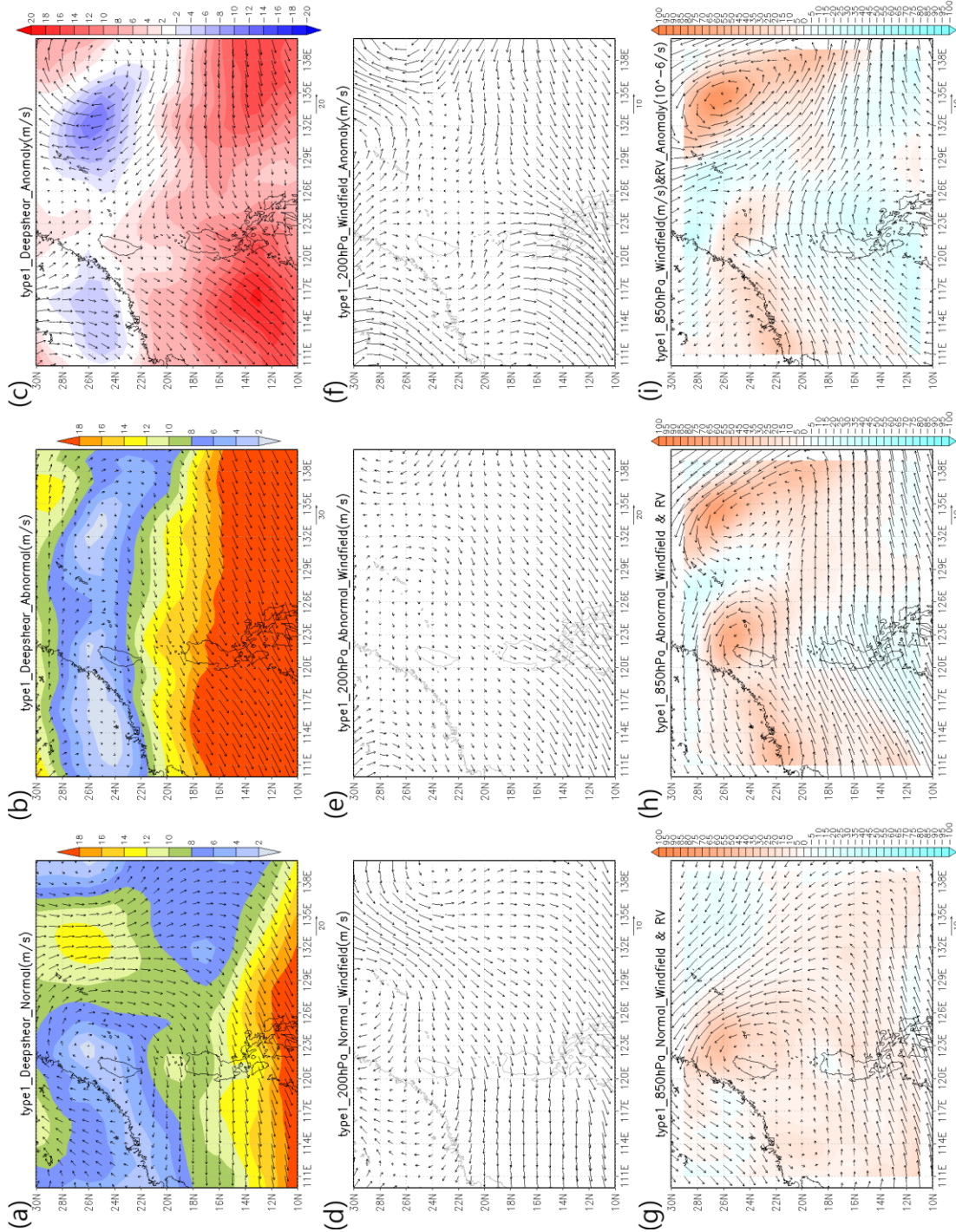


圖 3.3 路徑類型一：(a)、(d)、(g)普通颱風(c)、(f)、(i)極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)；其中(a)~(c)陰影代表垂直風切的量值，向量則為風切方向與速度，單位：m/s。(d)~(f)為 200 百帕風場，單位：m/s。(g)~(i)為低層 850 百帕風場，單位：m/s。與相對渦度場，單位： $10^{-6}/s$ 。

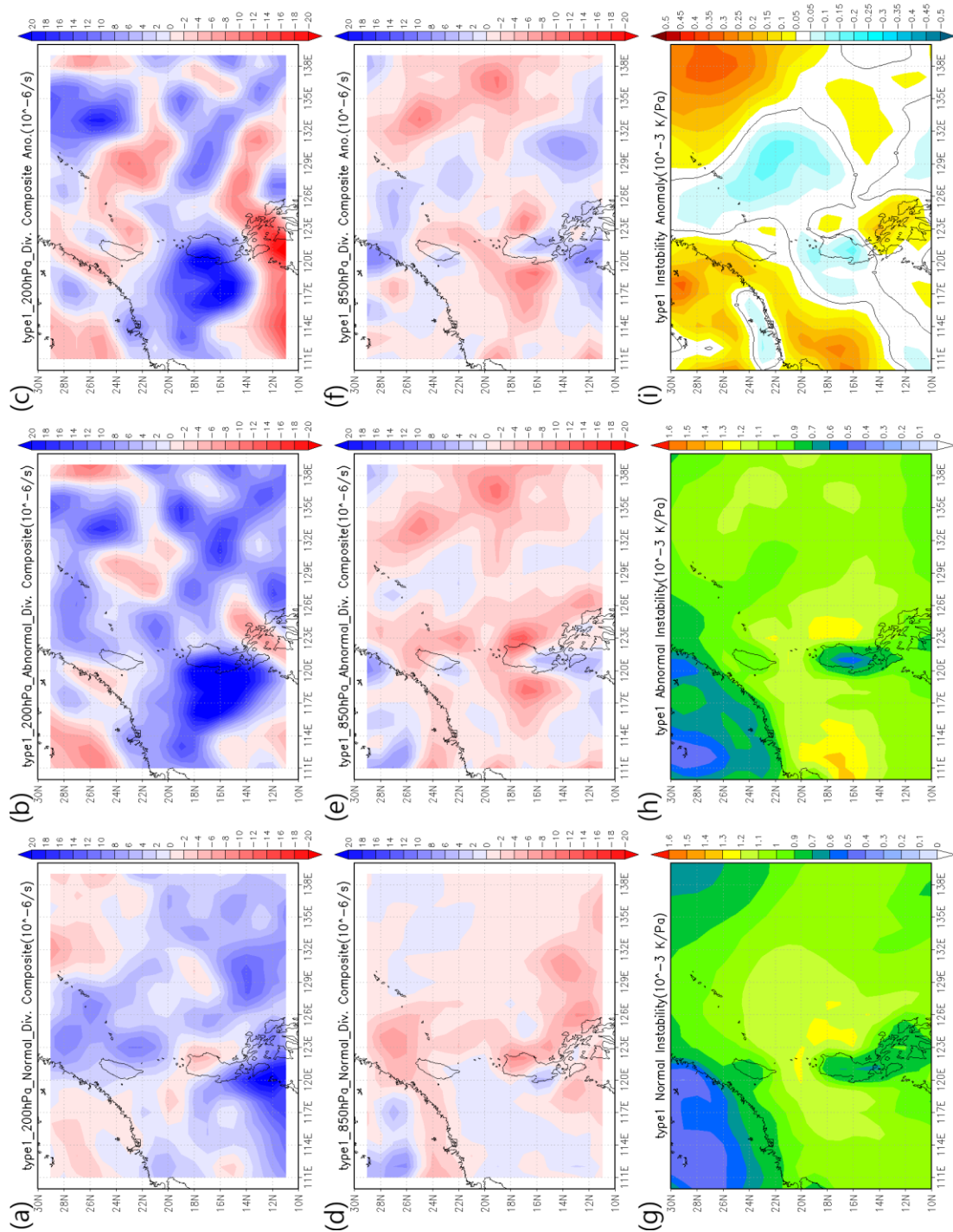


圖 3.4 路徑類型一：(a)、(d)、(g)普通颱風、(b)、(e)、(h)異常颱風、(c)、(f)、(i)極端降雨普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)，(a)~(c)為 200 百帕輻散場，單位： $10^{-6}/s$ 。(d)~(f)850 百帕輻散場，單位： $10^{-6}/s$ 。(g)~(i)位勢不穩定度，為低層 1000 百帕至 700 百帕相當位溫隨高度變化平均值，單位： $10^{-3}K/Pa$ 。

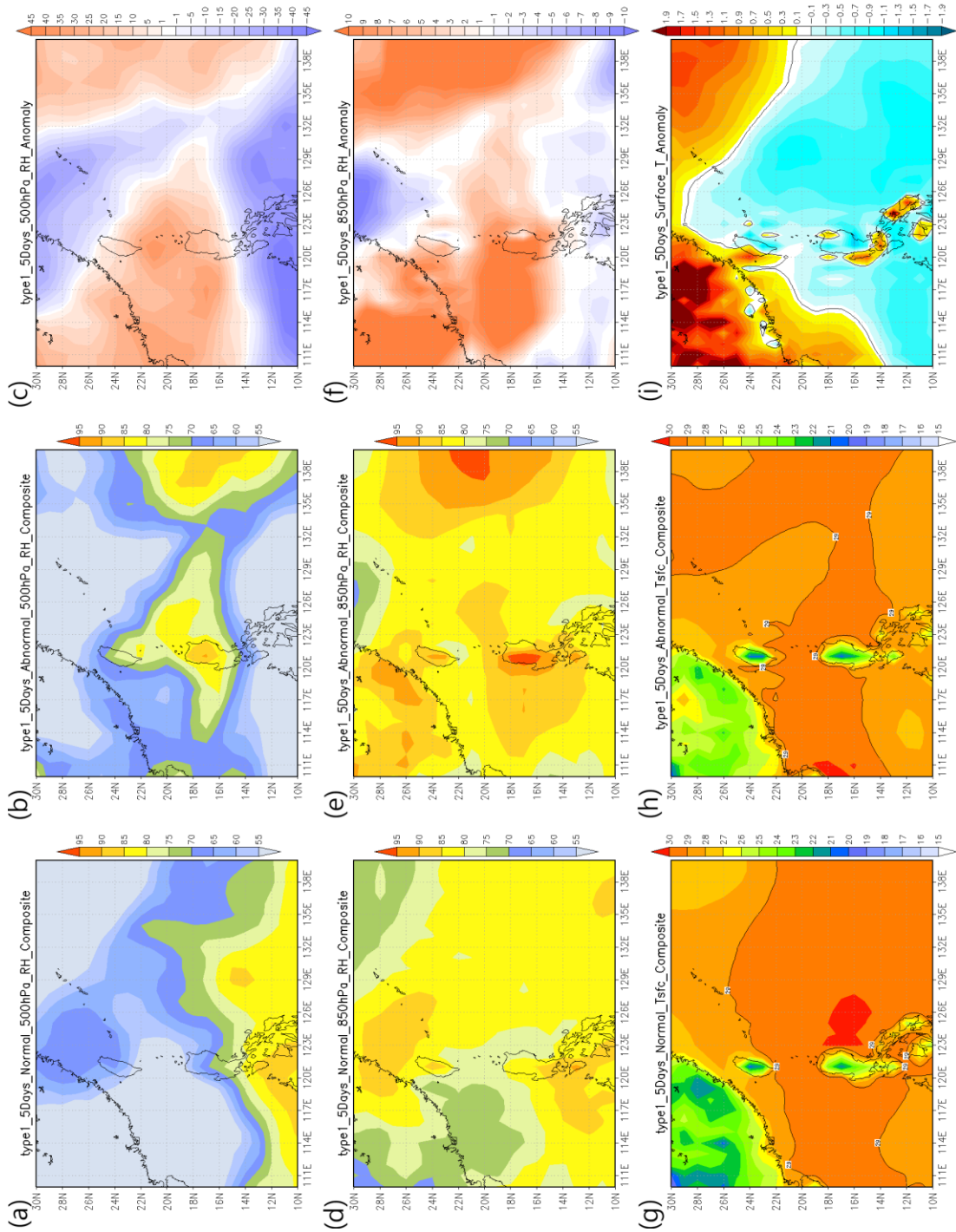


圖 3.5 路徑類型一：(a)、(d)、(g) 普通颱風(b)、(e)、(h) 異常颱風(c)、(f)、(i) 極端降雨與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)。(a)~(c) 500 百帕相對濕度場，單位：%。(d)~(f) 850 百帕相對濕度場，單位：%。(g)~(i) 表面溫度場，單位： $^{\circ}\text{C}$ 。

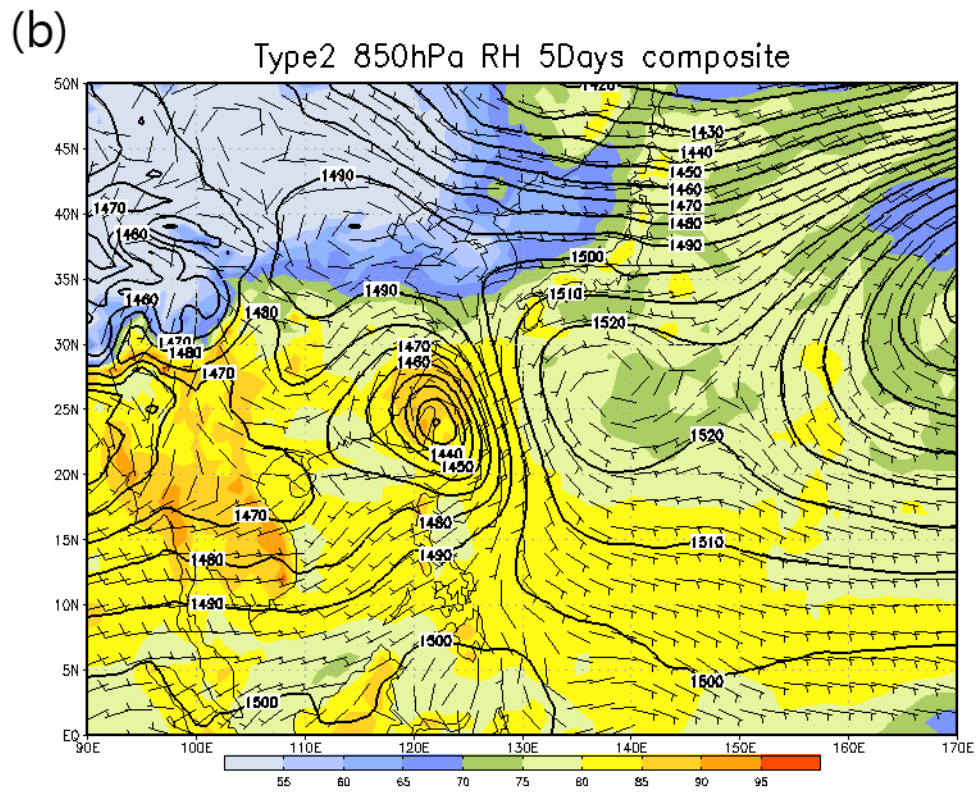
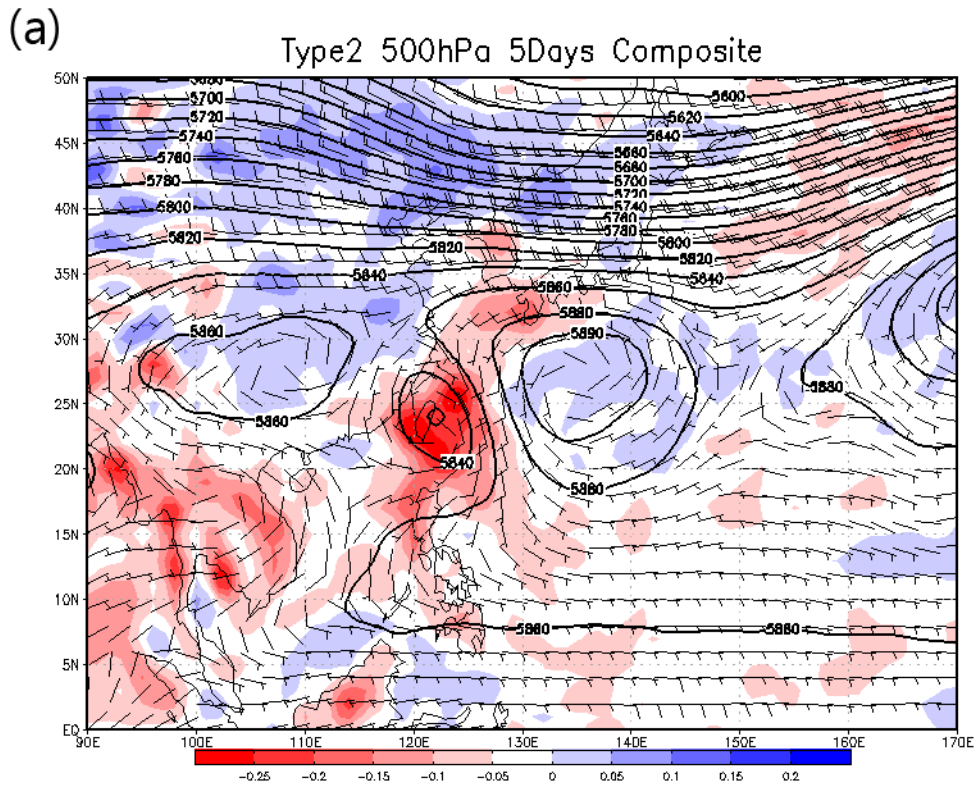


圖 3.6 (a)路徑類型二 500hPa、(b) 850hPa 五天合成圖，其中實線為等重力位高度線，風標代表風向風速，陰影區域(a)為垂直速度，紅色表示上升運動，藍色為下沉運動，單位：Pa/s，(b)為相對濕度。

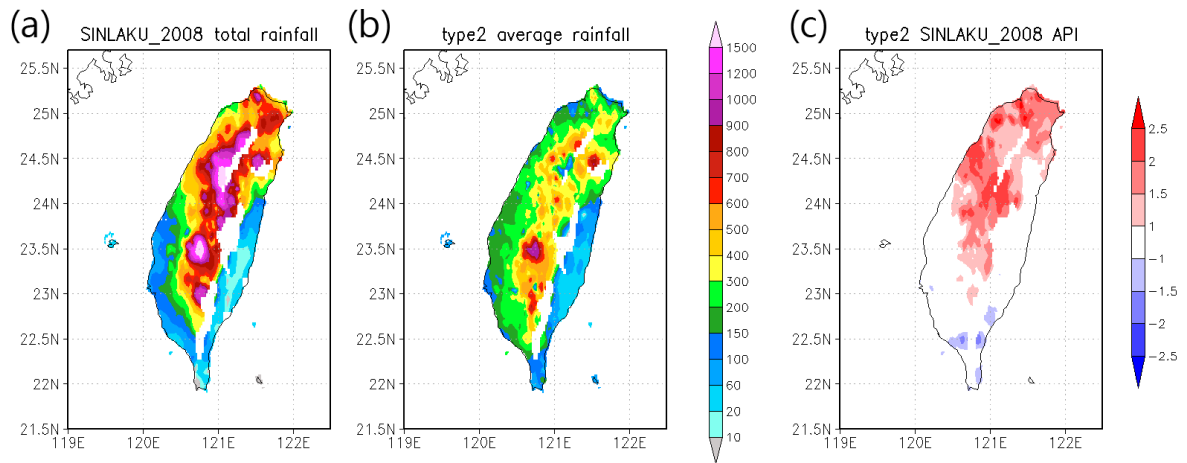


圖 3.7 為路徑類型二累積雨量與降雨異常指數(API)分佈圖，圖(a) 為極端降雨颱風辛樂克(2008)陸上警報期間累積雨量分佈圖，圖(b) 為路徑類型二颱風陸上警報期間平均累積雨量，圖(c) 為降雨異常指數(API)分佈圖。

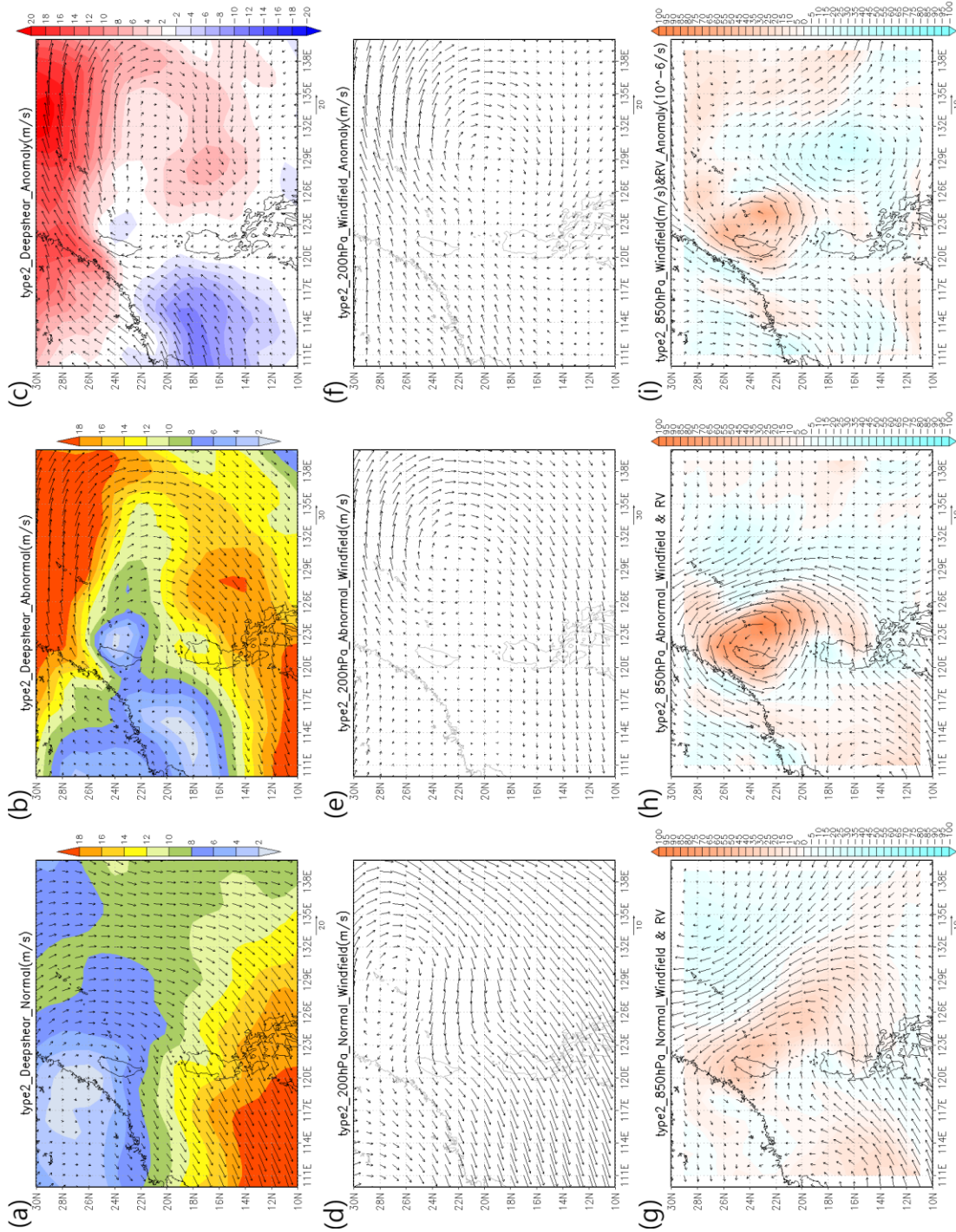


圖 3.8 路徑類型二：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i)極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)；其中(a)~(c)陰影代表垂直風切的量值，向量則為風切方向與速度，單位：m/s。(d)~(f)為200百帕風場，單位：m/s。(g)~(i)為低層850百帕風場，單位：m/s。與水平相對渦度場，單位： $10^{-6}/s$ 。

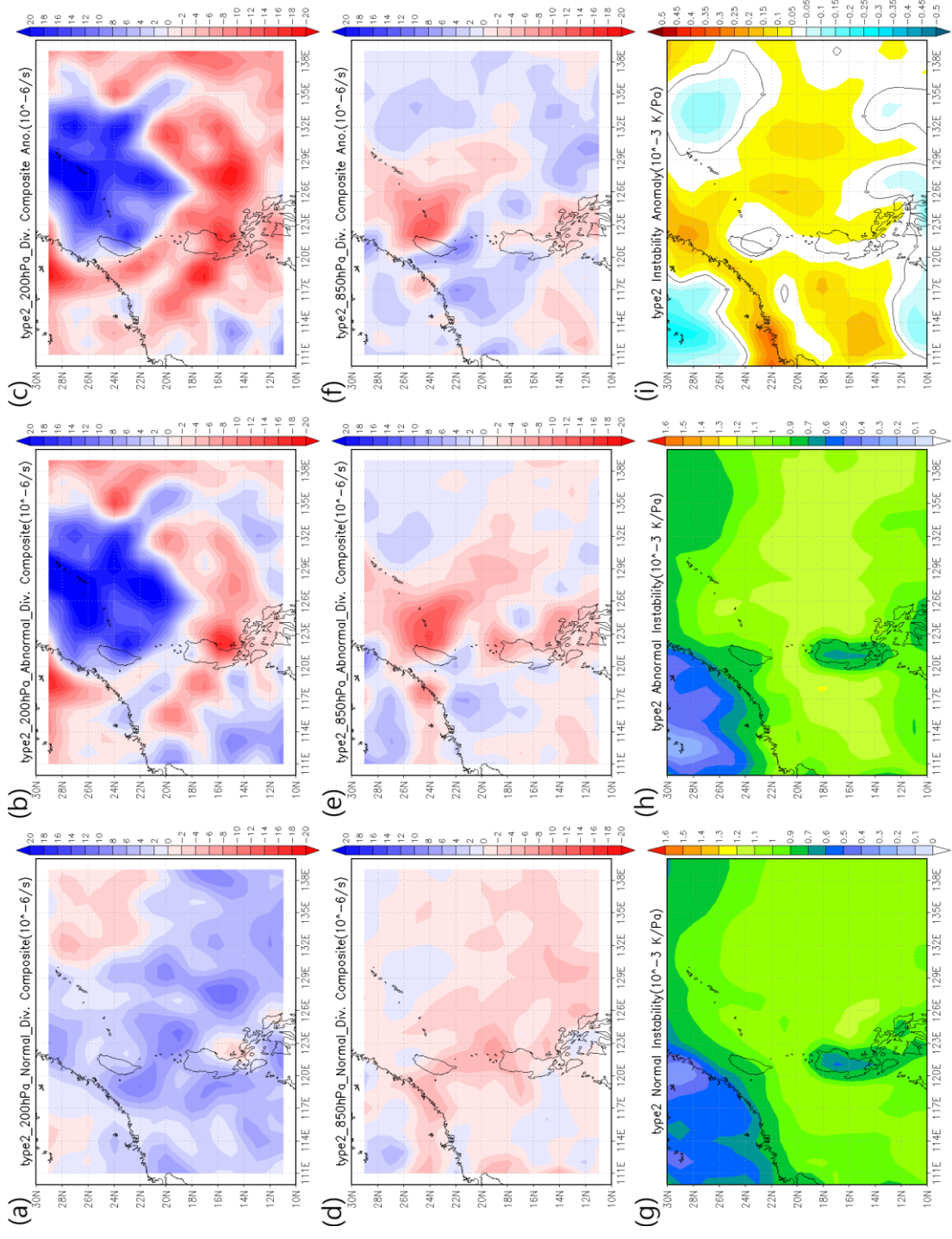


圖 3.9 路徑類型二：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i)極端降雨雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨雨颱風減普通颱風)，(a)~(c)為 200 百帕輻散場，單位： $10^{-6}/s$ 。(d)~(f)850 百帕輻散場，單位： $10^{-6}/s$ 。(g)~(i)位勢不穩定度，為低層 1000 百帕至 700 百帕相當位溫隨高度變化平均值，單位： $10^{-3} K/PA$ 。

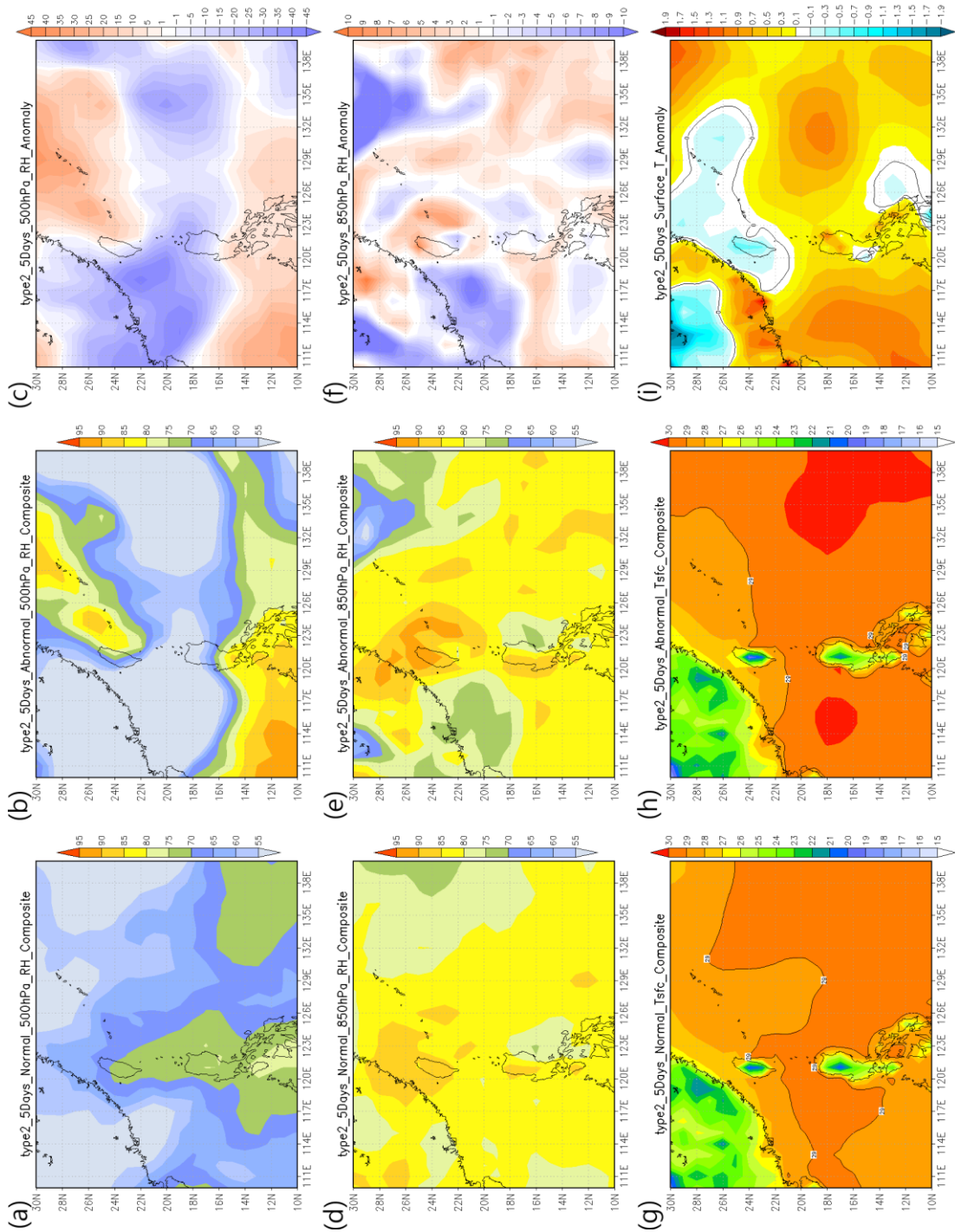


圖 3.10 路徑類型二：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i)極端降雨雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨雨颱風減普通颱風)。(a)~(c)500 百帕相對濕度場，單位：%。(d)~(f)850 百帕相對濕度場，單位：%。(g)~(i)表面溫度場，單位：°C。

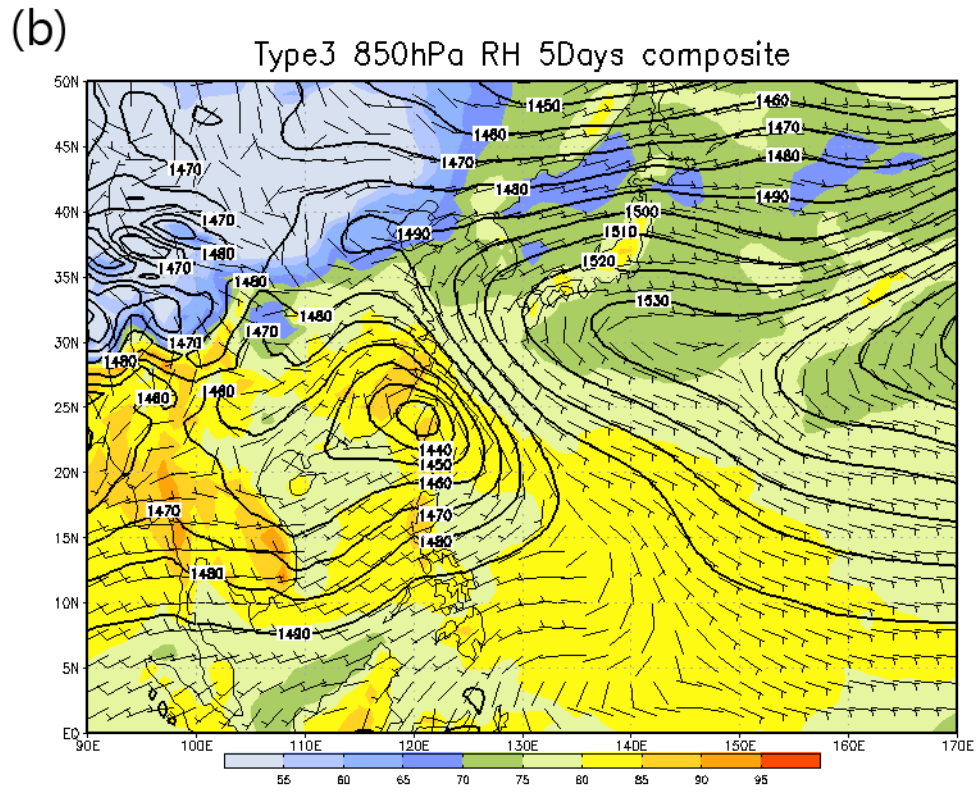
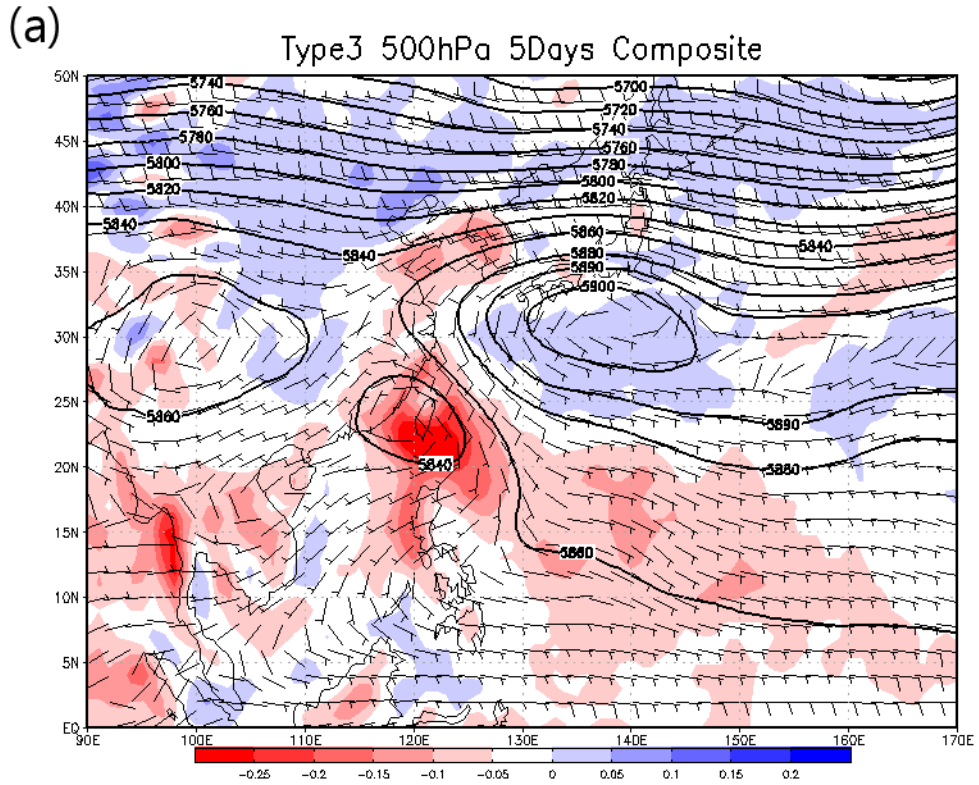


圖 3.11 (a)路徑類型三 500hPa、(b) 850hPa 五天合成圖，其中實線為等重力位高度線，風標代表風向風速，陰影區域(a)為垂直速度，紅色表示上升運動，藍色為下沉運動，單位：Pa/s，(b)為相對濕度。

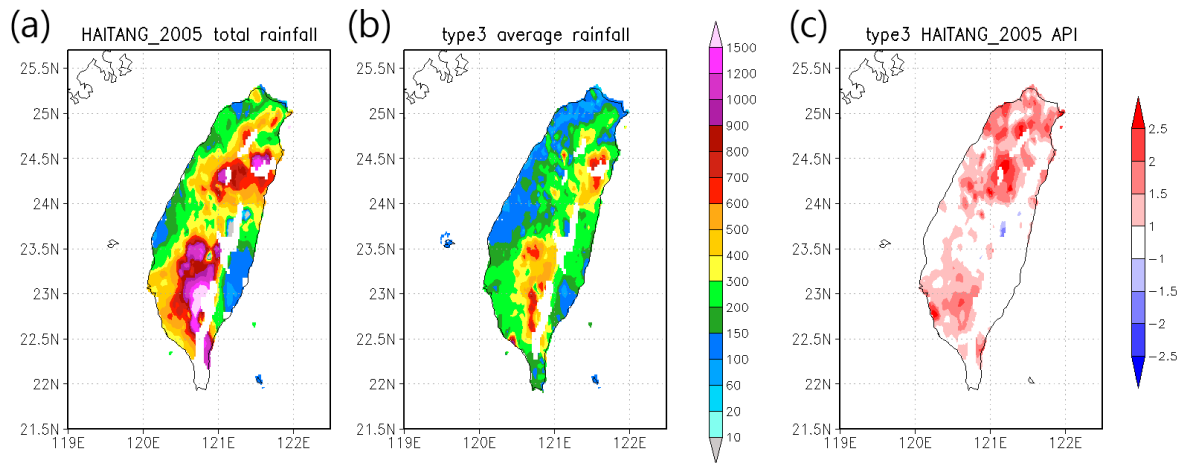


圖 3.12 為路徑類型三累積雨量與降雨異常指數(API)分佈圖，圖(a) 為極端降雨颱風海棠(2005)陸上警報期間累積雨量分佈圖，圖(b) 為路徑類型三颱風陸上警報期間平均累積雨量，圖(c) 為降雨異常指數(API)分佈圖。

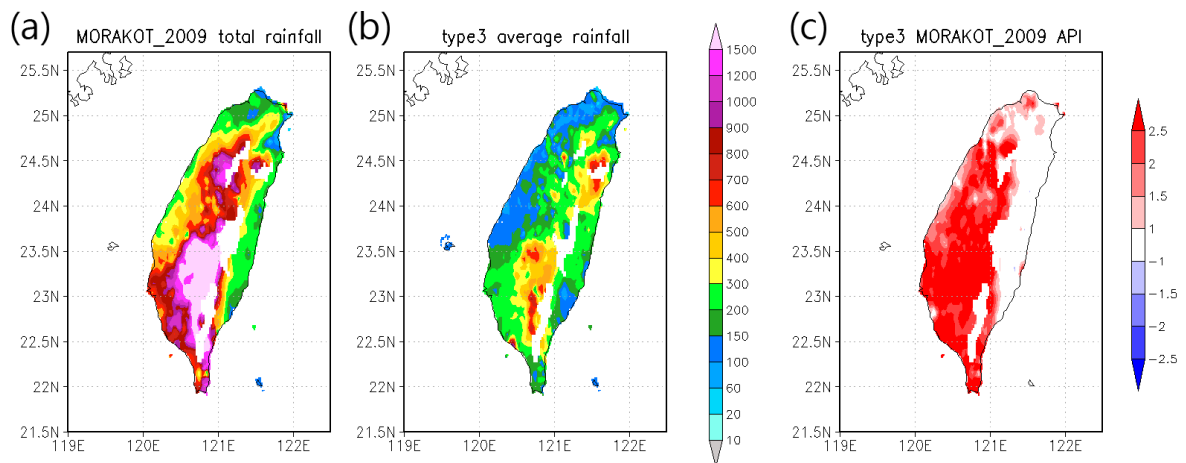


圖 3.13 為路徑類型三累積雨量與降雨異常指數(API)分佈圖，圖(a) 為極端降雨颱風莫拉克(2009)陸上警報期間累積雨量分佈圖，圖(b) 為路徑類型三颱風陸上警報期間平均累積雨量，圖(c) 為降雨異常指數(API)分佈圖。

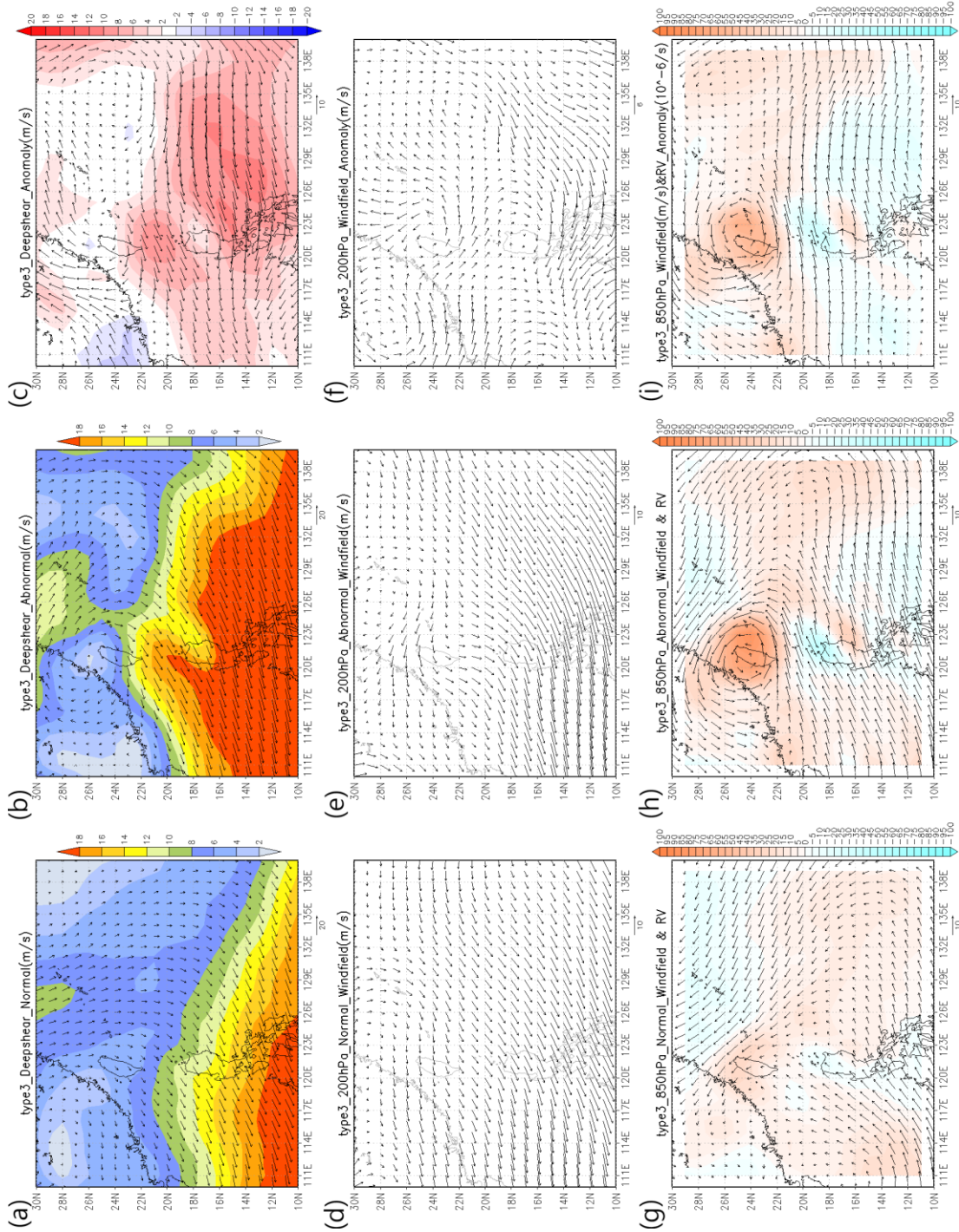


圖 3.14 路徑類型三：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i) 極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)；其中(a)~(c)陰影代表垂直風切的量值，向量則為風切方向與速度，單位：m/s。(d)~(f)為 200 百帕風場，單位：m/s。(g)~(i)為低層 850 百帕風場，單位：m/s。與水平相對渦度場，單位： $10^{-6}/s$ 。

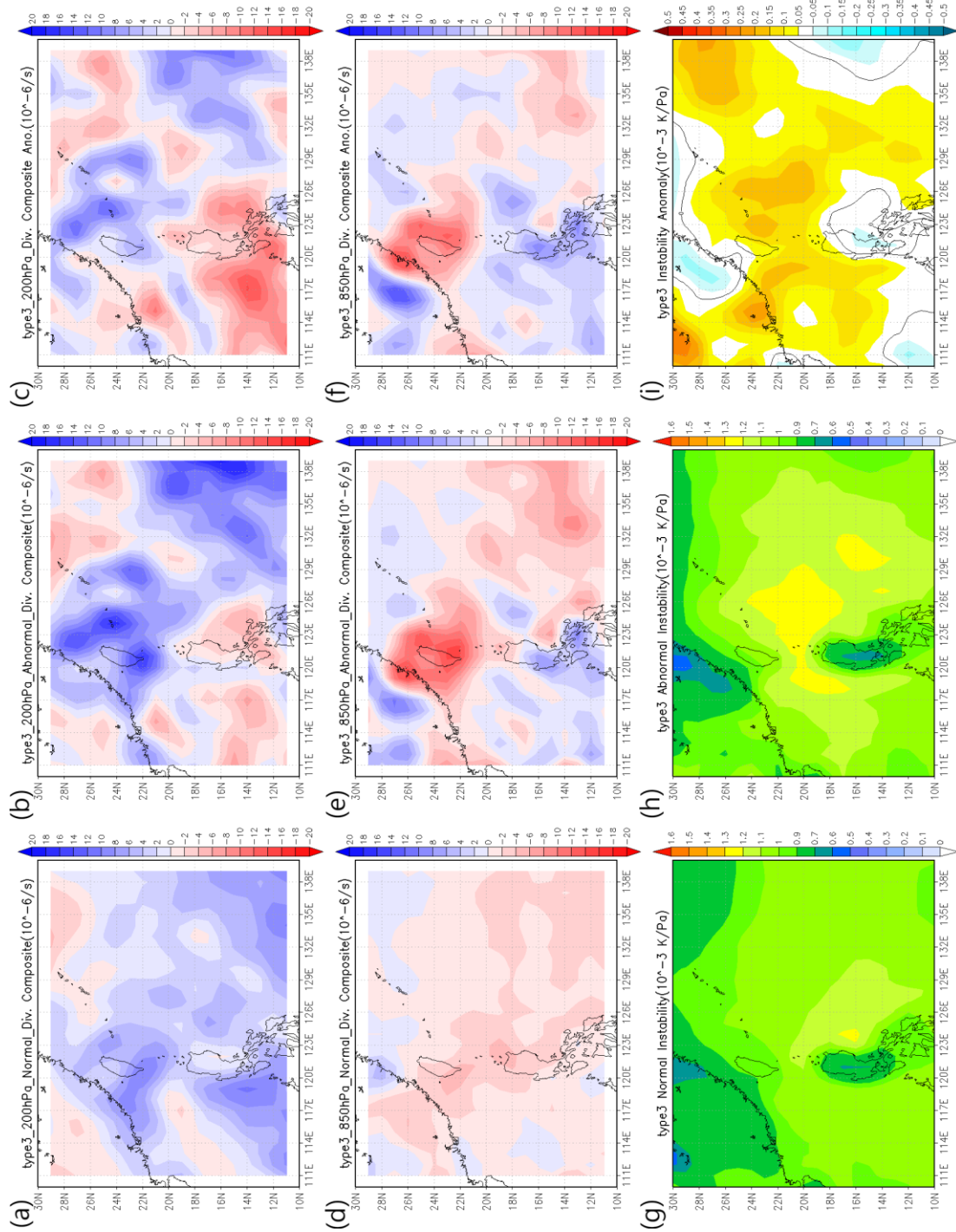


圖 3.15 路徑類型三：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i) 極端降雨雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨雨颱風減普通颱風)。(a)~(c)為 200 百帕輻散場，單位： $10^{-6}/s$ 。(d)~(f)850 百帕輻散場，單位： $10^{-6}/s$ 。(g)~(i)位勢不穩定度，為低層 1000 百帕至 700 百帕相當位溫隨高度變化平均值，單位： $10^{-3}K/Pa$ 。

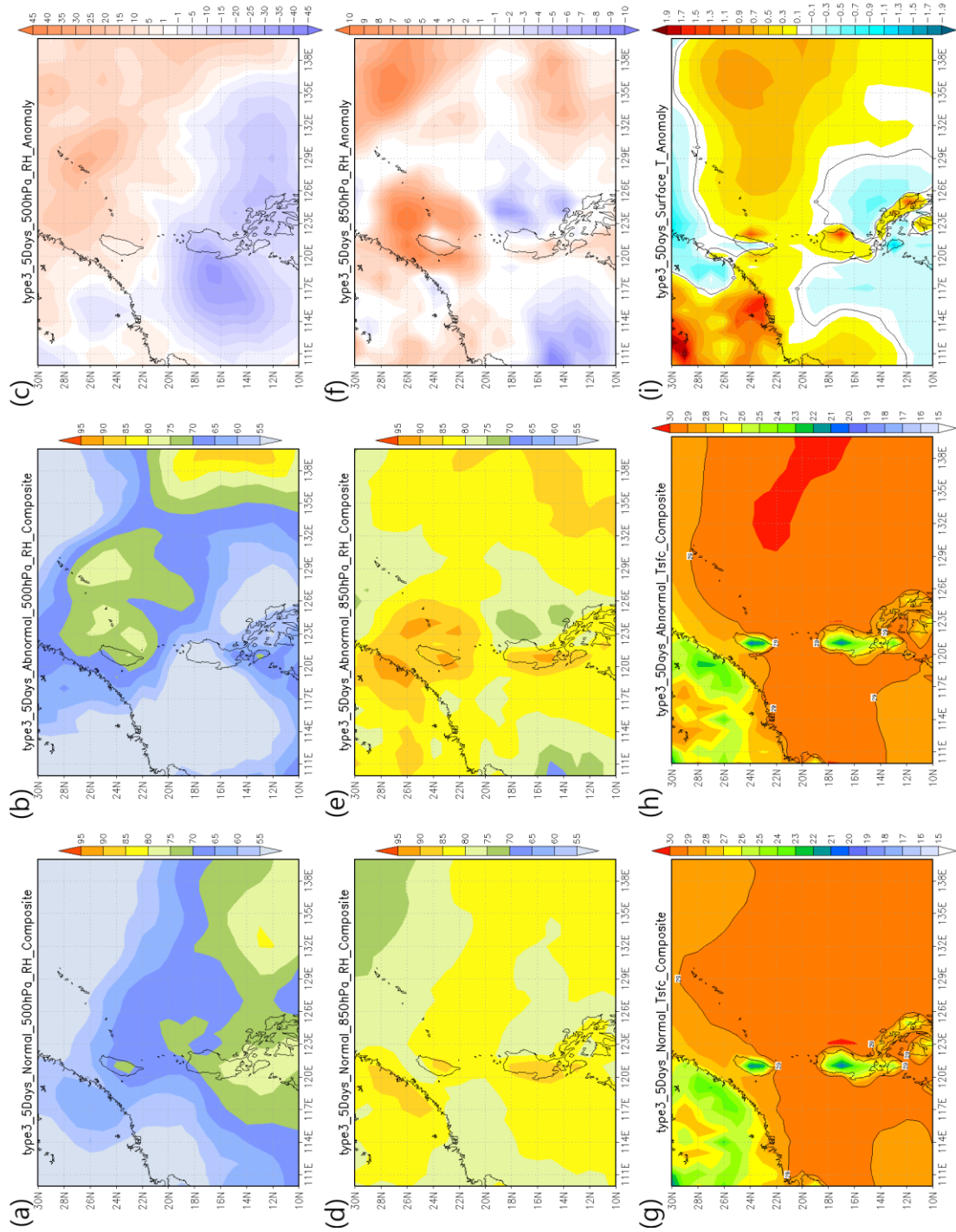


圖 3.16 路徑類型三：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i)極端降雨雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨雨颱風減普通颱風)。(a)~(c)500 百帕相對濕度場，單位：%。(d)~(f)850 百帕相對濕度場，單位：%。(g)~(i)表面溫度場，單位： $^{\circ}\text{C}$ 。

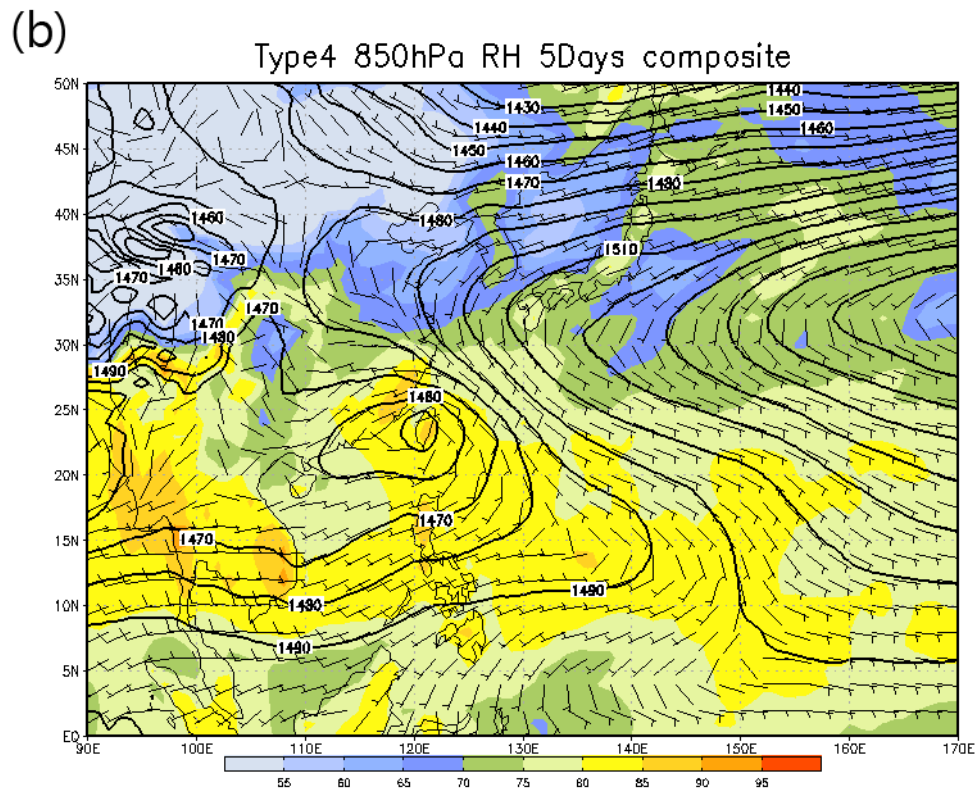
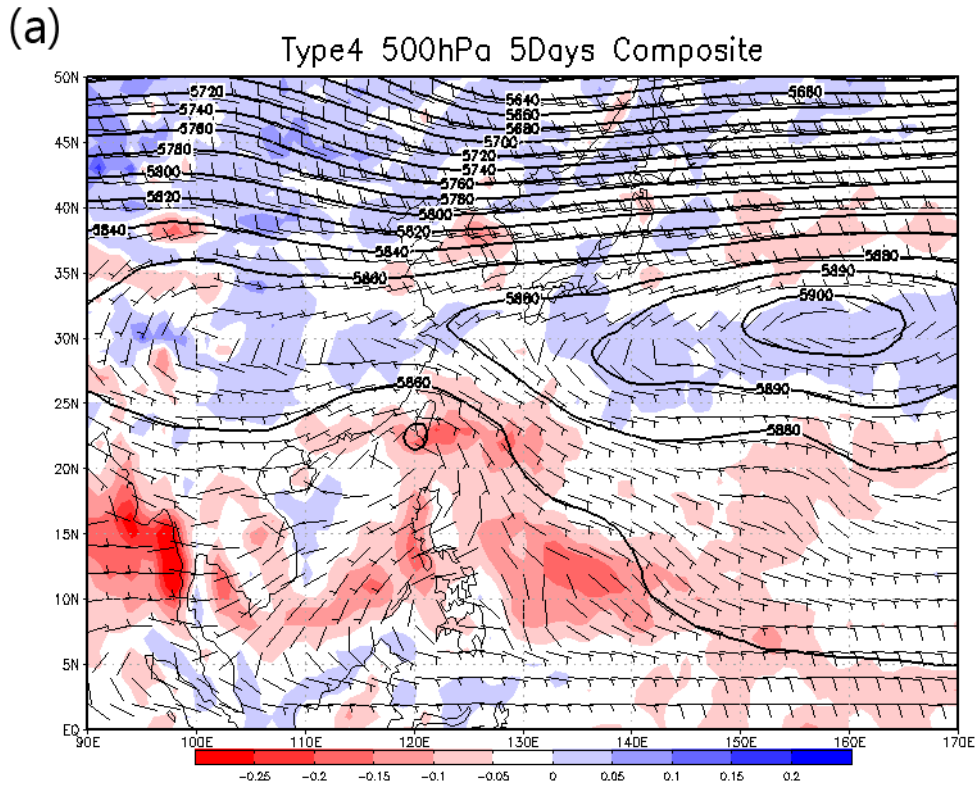


圖 3.17 (a)路徑類型四 500hPa、(b) 850hPa 五天合成圖，其中實線為等重力位高度線，風標代表風向風速，陰影區域(a)為垂直速度，紅色表示上升運動，藍色為下沉運動，單位：Pa/s，(b)為相對濕度。

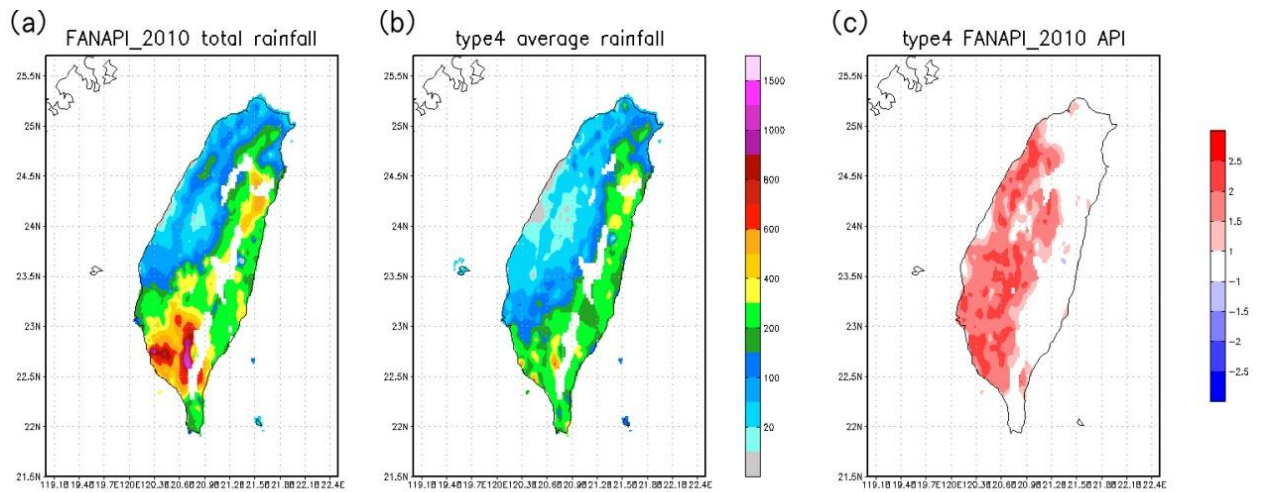


圖 3.18 為路徑類型四累積雨量與降雨異常指數(API)分佈圖，圖(a) 為極端降雨颱風凡那比(2010)陸上警報期間累積雨量分佈圖，圖(b) 為路徑類型四颱風陸上警報期間平均累積雨量，圖(c) 為降雨異常指數(API)分佈圖。

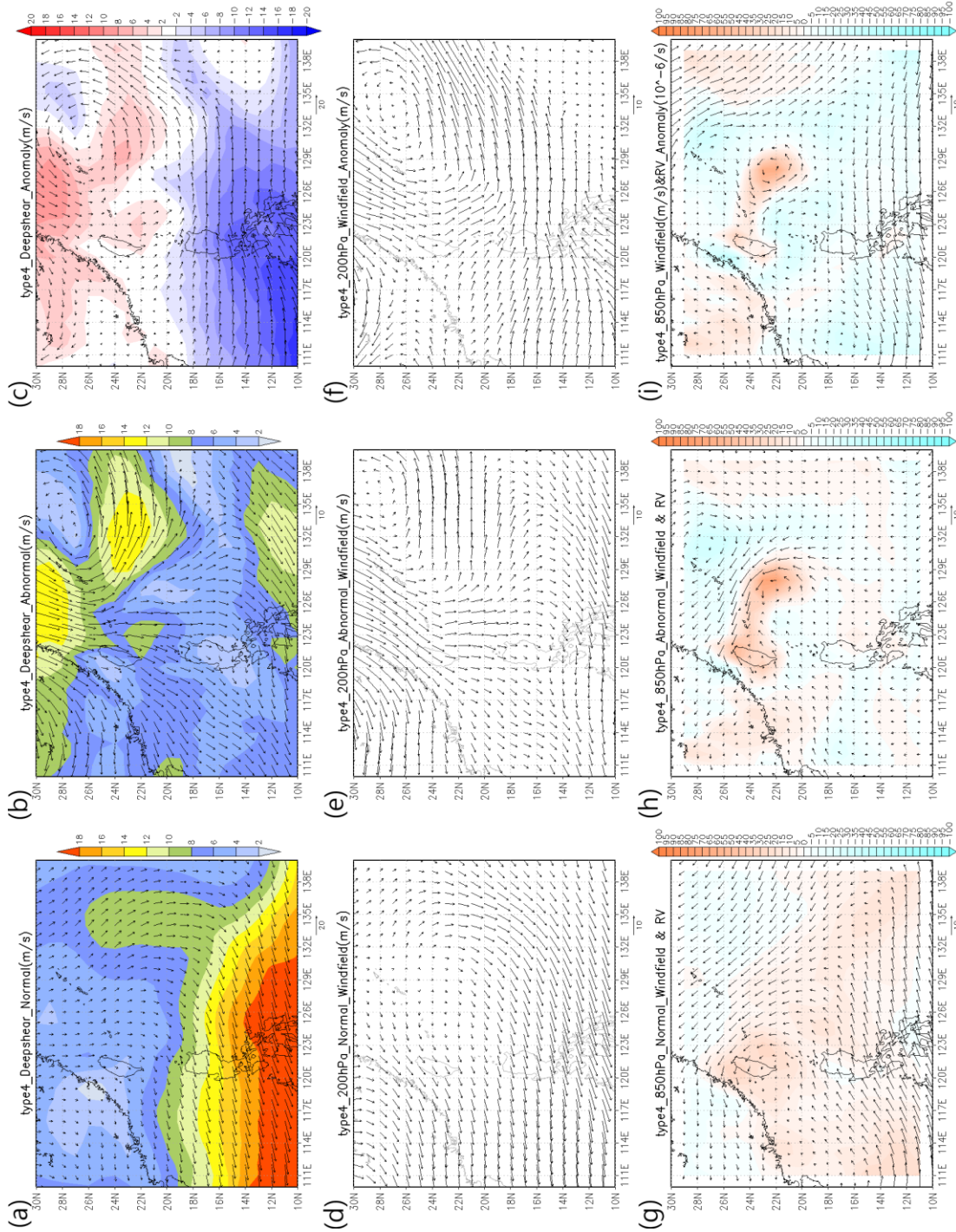


圖 3.19 路徑類型四：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i) 極端降雨雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)；其中(a)~(c)陰影代表垂直風切的量值，向量則為風切方向與速度，單位：m/s。(d)~(f)為 200 百帕風場，單位：m/s。(g)~(i)為低層 850 百帕風場，單位：m/s。與水平相對渦度場，單位：10⁻⁶/s。

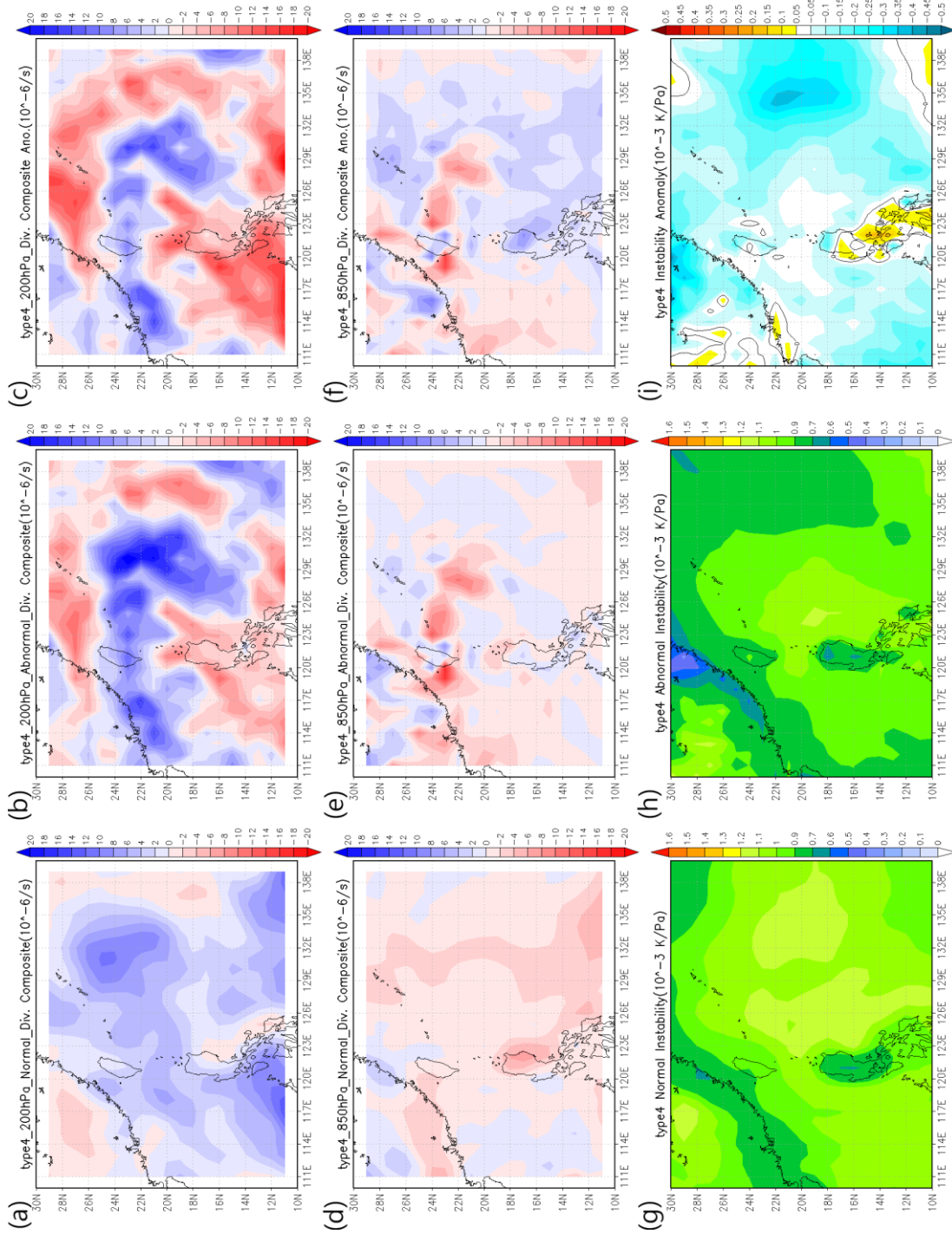


圖 3.20 路徑類型四：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i) 極端降雨雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)。(a)~(c)為 200 百帕輻散場，單位： $10^{-6}/s$ 。(d)~(f)850 百帕輻散場，單位： $10^{-6}/s$ 。(g)~(i) 位勢不穩定度，為低層 1000 百帕至 700 百帕相當位溫隨高度變化平均值，單位： $10^{-3}K/Pa$ 。

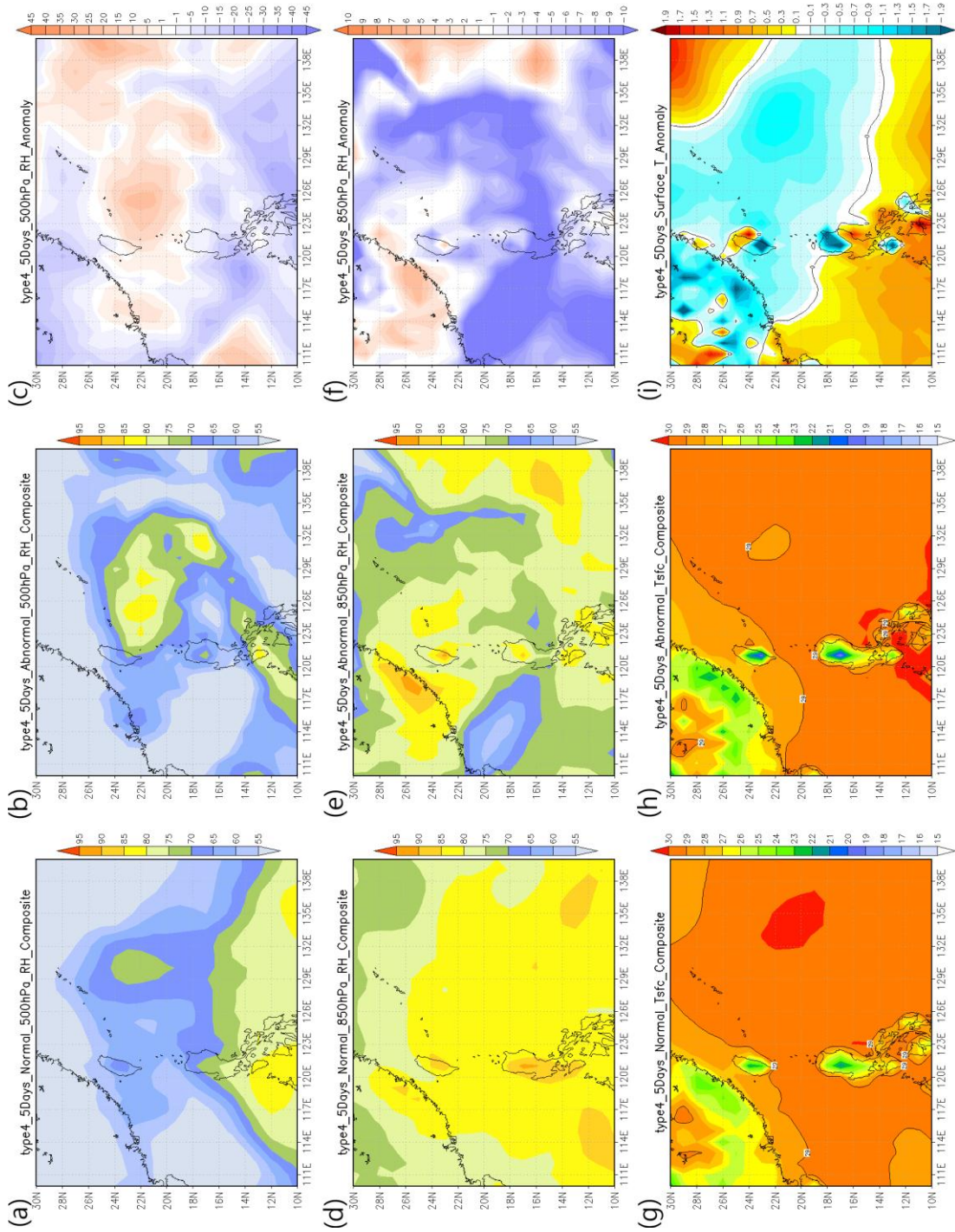


圖 3.21 路徑類型四：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i)極端降雨雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨雨颱風減普通颱風)。(a)~(c)500 百帕相對濕度場，單位：%。(d)~(f)850 百帕相對濕度場，單位：%。(g)~(i)表面溫度場，單位：°C。

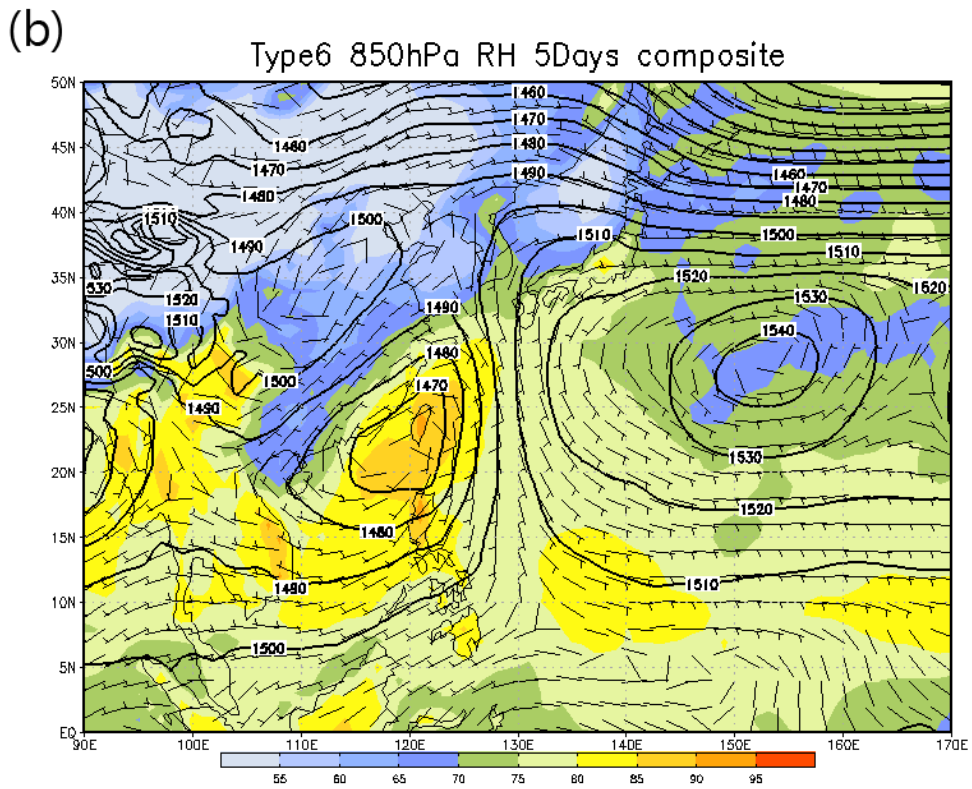
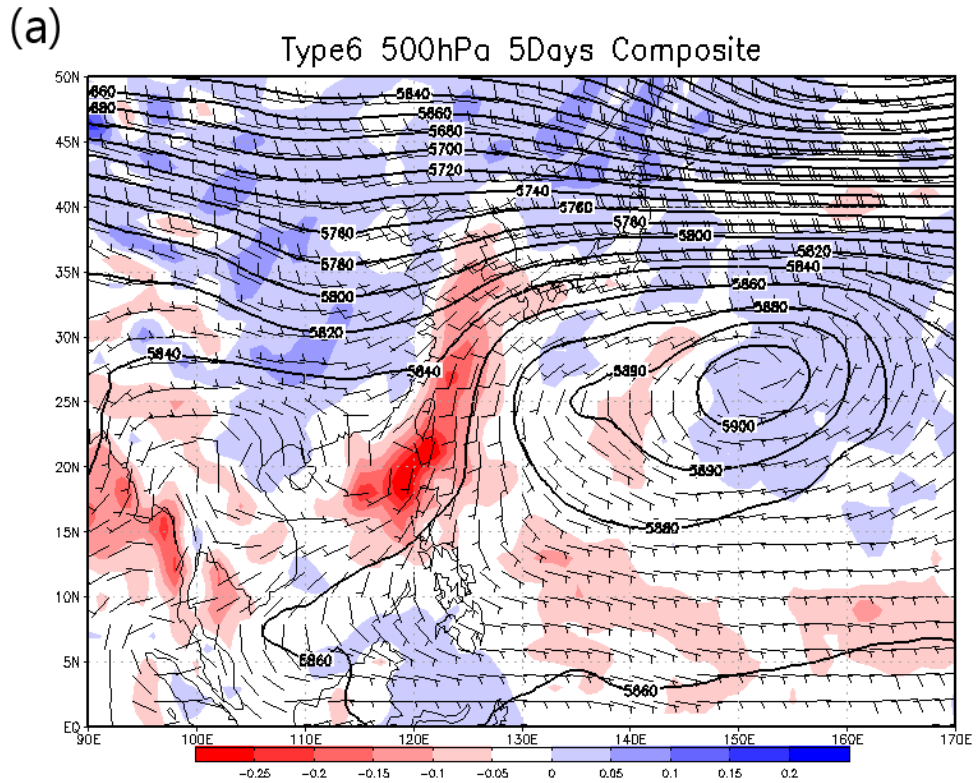


圖 3.22 (a)路徑類型六 500hPa、(b) 850hPa 五天合成圖，其中實線為等重力位高度線，風標代表風向風速，陰影區域(a)為垂直速度，紅色表示上升運動，藍色為下沉運動，單位：Pa/s，(b)為相對濕度。

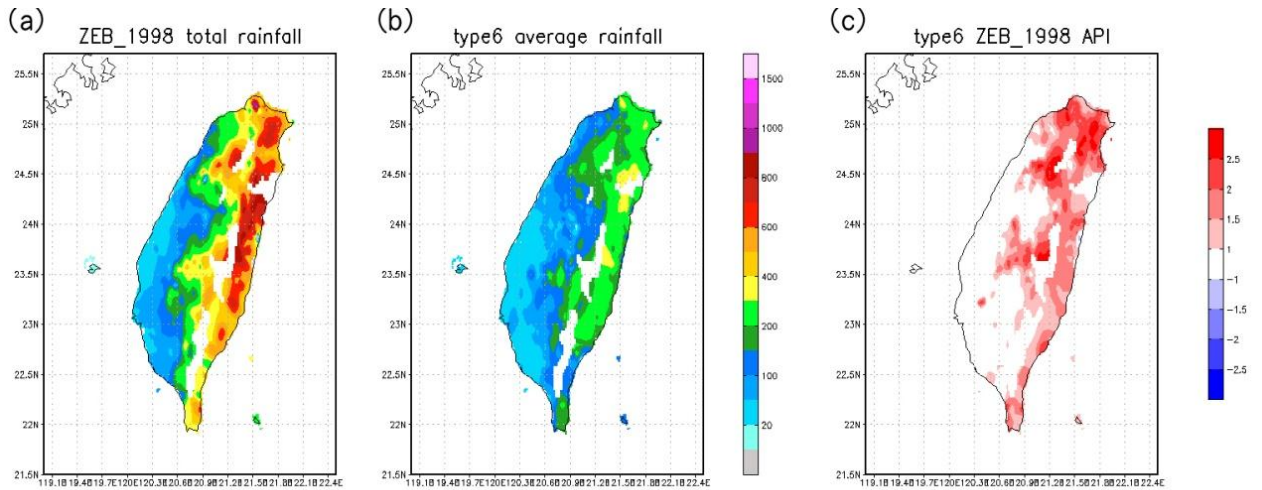


圖 3.23 為路徑類型六累積雨量與降雨異常指數(API)分佈圖，圖(a)為極端降雨颱風瑞伯(1998)陸上警報期間累積雨量分佈圖，圖(b)為路徑類型六颱風陸上警報期間平均累積雨量，圖(c)為降雨異常指數(API)分佈圖。

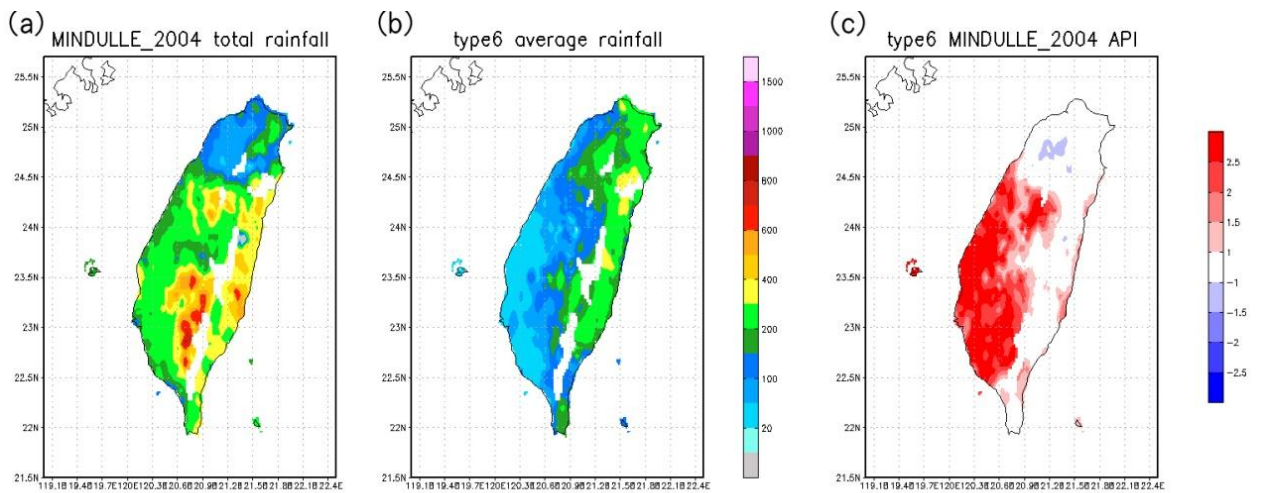


圖 3.24 為路徑類型六累積雨量與降雨異常指數(API)分佈圖，圖(a)為極端降雨颱風敏督利(2004)陸上警報期間累積雨量分佈圖，圖(b)為路徑類型六颱風陸上警報期間平均累積雨量，圖(c)為降雨異常指數(API)分佈圖。

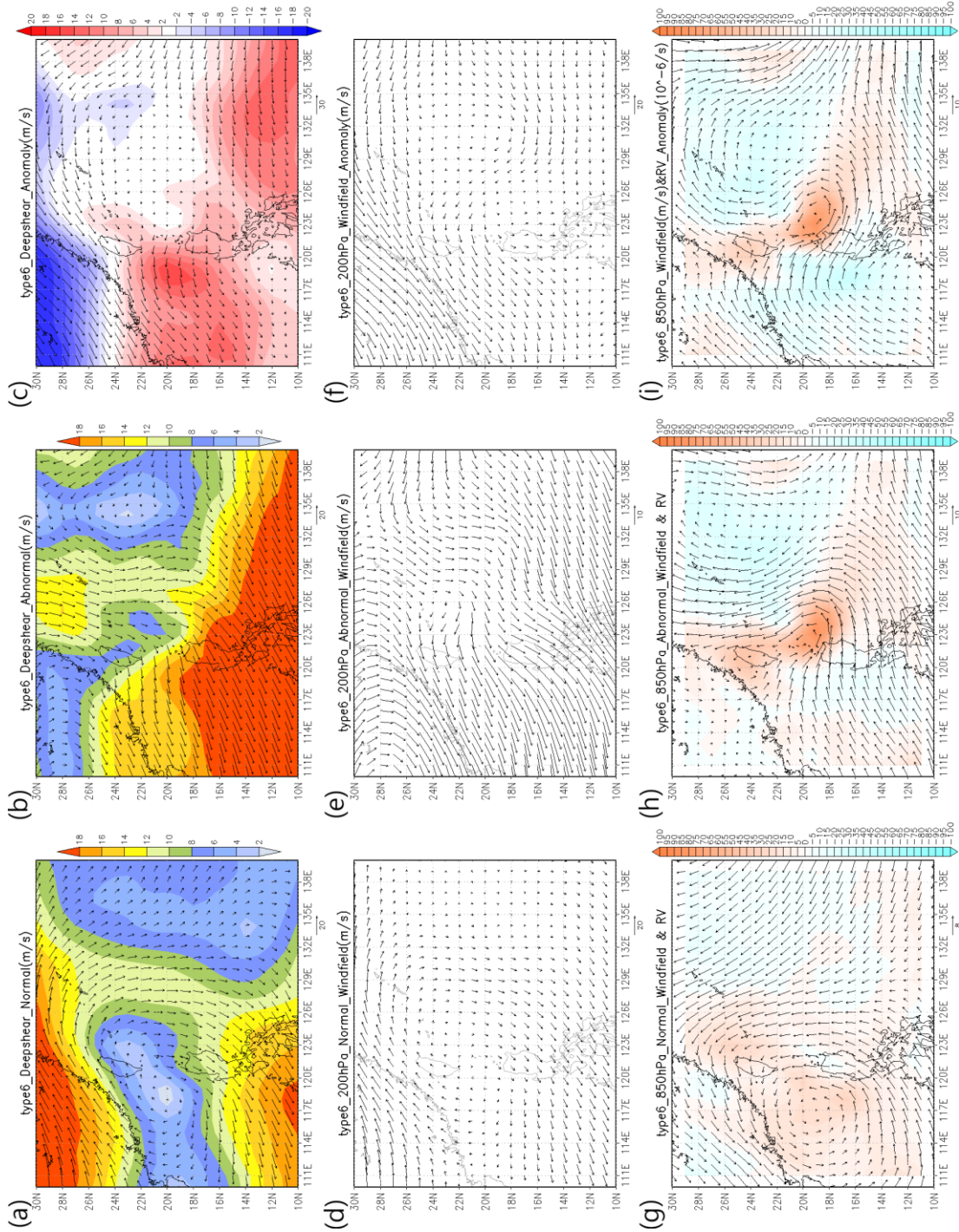


圖 3.25 路徑類型六：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i) 極端降雨雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨雨颱風減普通颱風)；其中(a)~(c)陰影代表垂直風切的量值，向量則為風切方向與速度，單位：m/s。(d)~(f)為 200 百帕風場，單位：m/s。(g)~(i)為低層 850 百帕風場，單位：m/s。與水平相對渦度場，單位： $10^{-6}/s$ 。

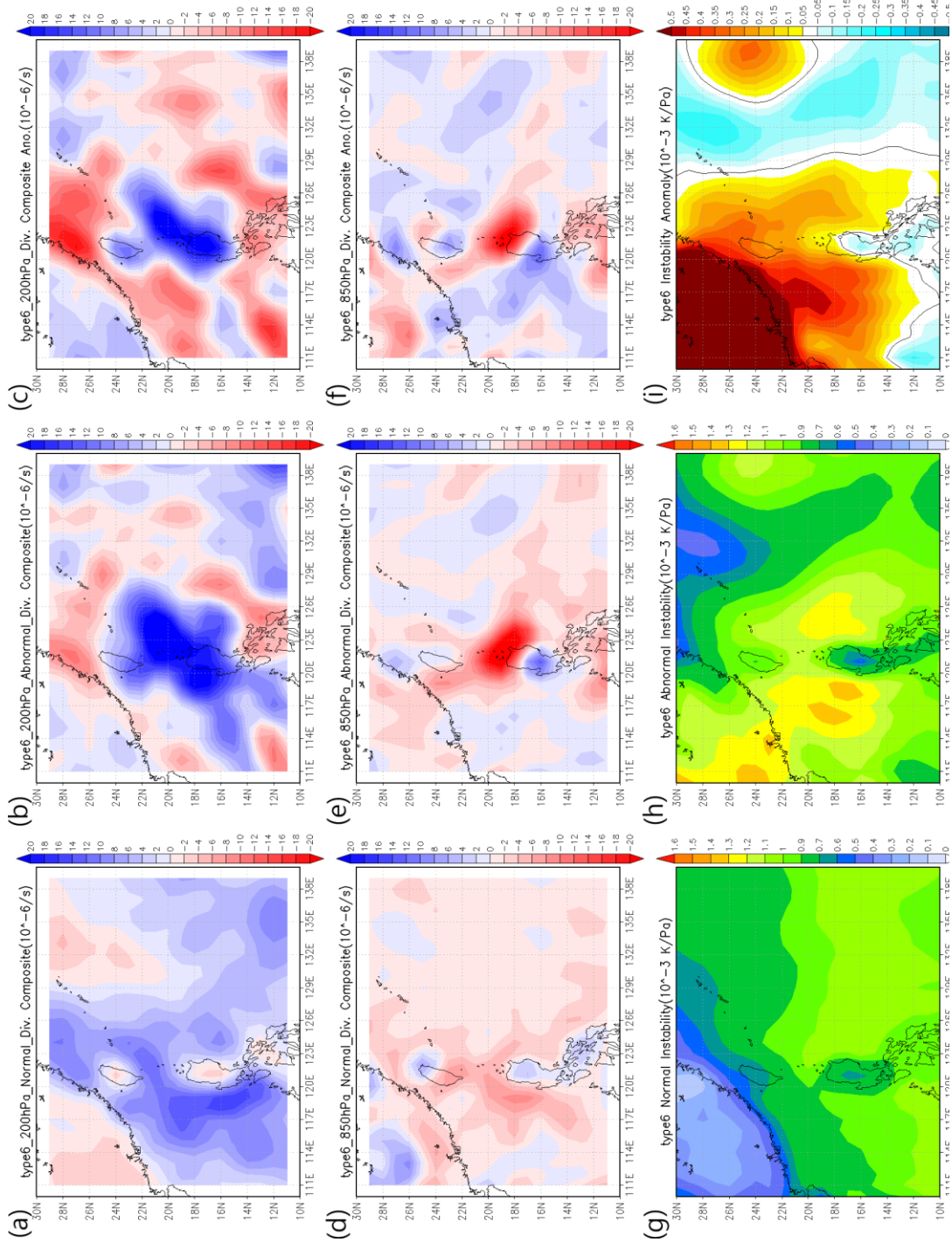


圖 3.26 路徑類型六：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i)極端降雨颱風減普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)。(a)~(c)為 200 百帕輻散場，單位： $10^{-6}/s$ 。(d)~(f)850 百帕輻散場，單位： $10^{-6}/s$ 。(g)~(i)位勢不穩定度，為低層 1000 百帕至 700 百帕相當位溫隨高度變化平均值，單位： $10^{-3}K/Pa$ 。

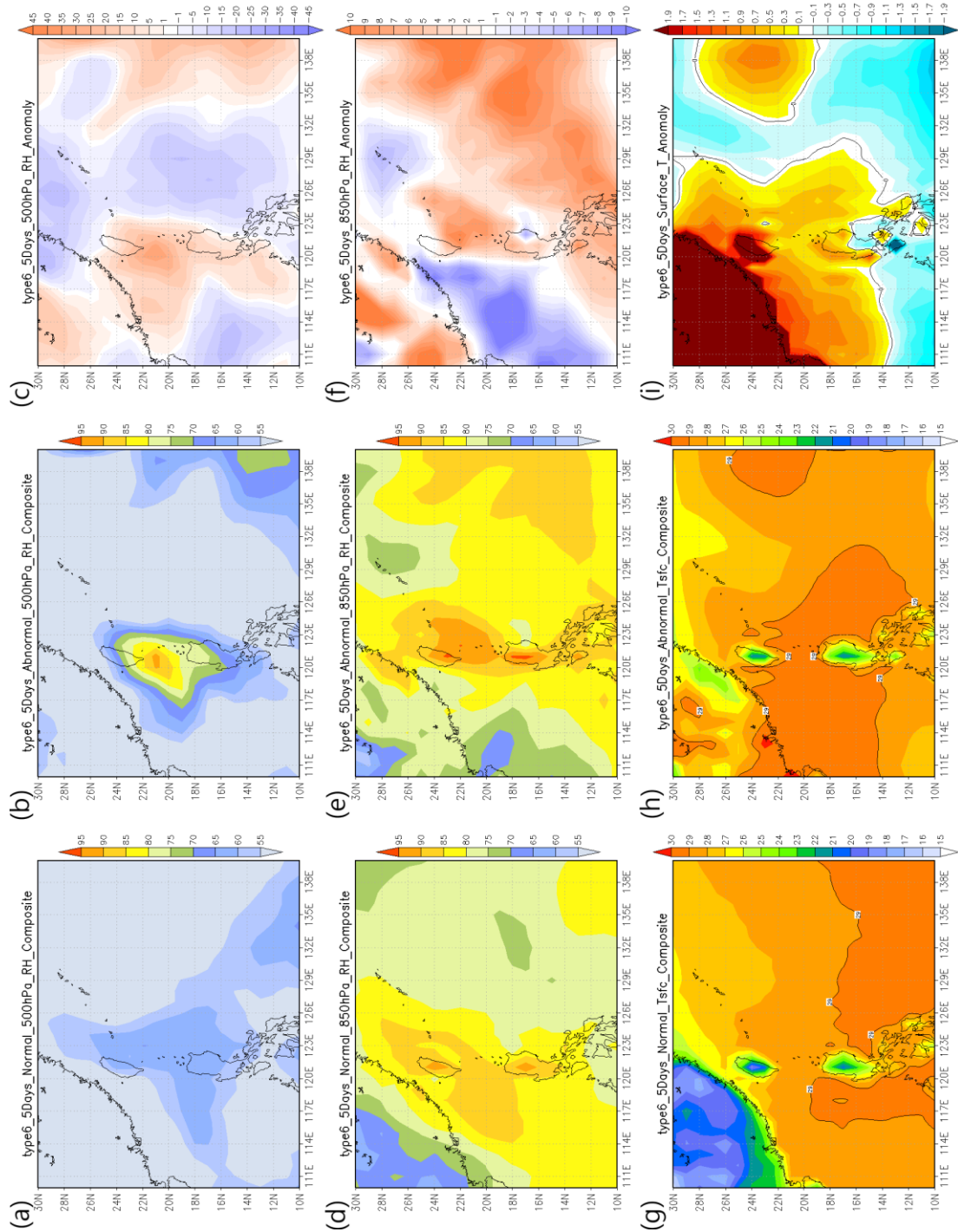


圖 3.27 路徑類型六：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i)極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)。(a)~(c)500 百帕相對濕度場，單位：%。(d)~(f)850 百帕相對濕度場，單位：%。(g)~(i)表面溫度場，單位： $^{\circ}\text{C}$ 。

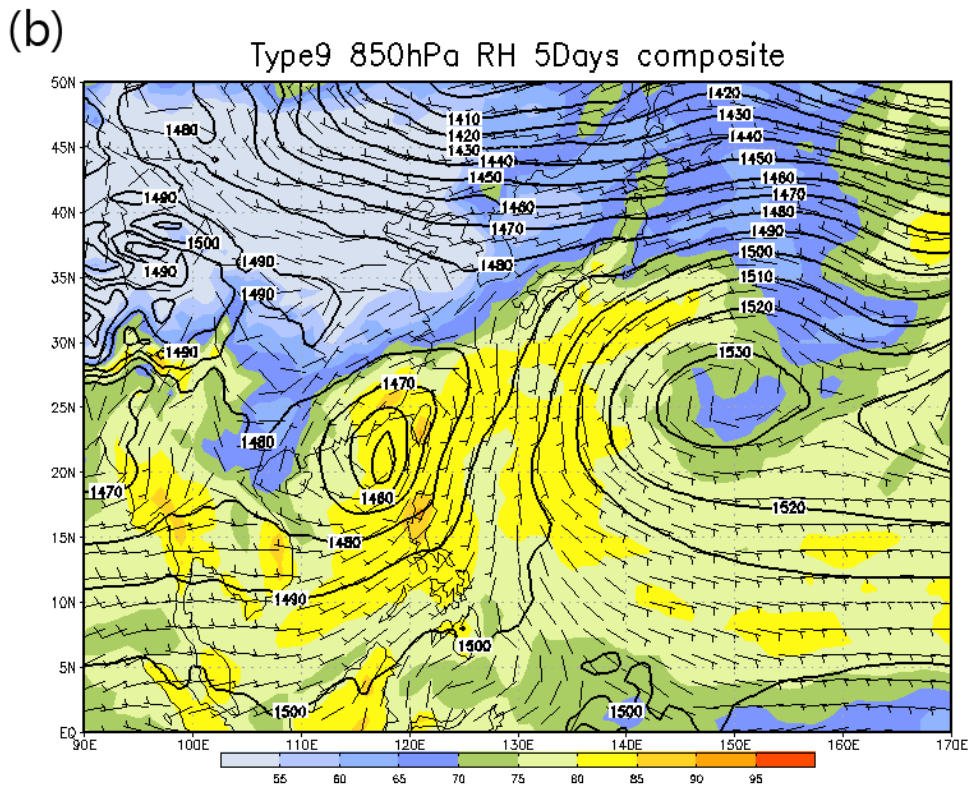
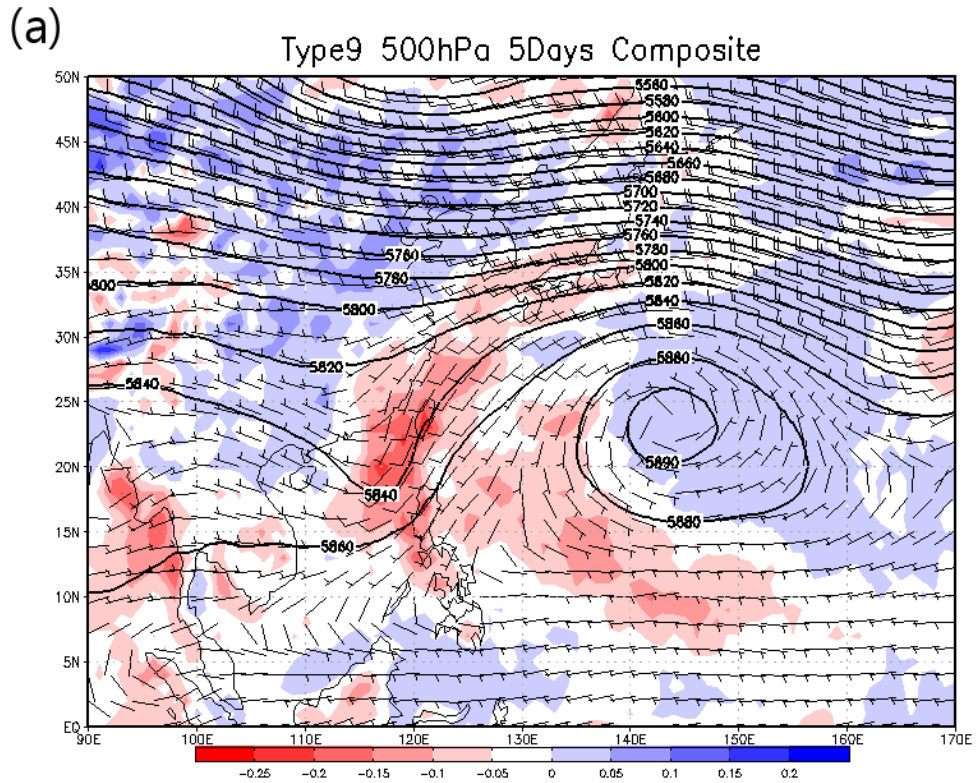


圖 3.28 (a)路徑類型九 500hPa、(b) 850hPa 五天合成圖，其中實線為等重力位高度線，風標代表風向風速，陰影區域(a)為垂直速度，紅色表示上升運動，藍色為下沉運動，單位：Pa/s，(b)為相對濕度。

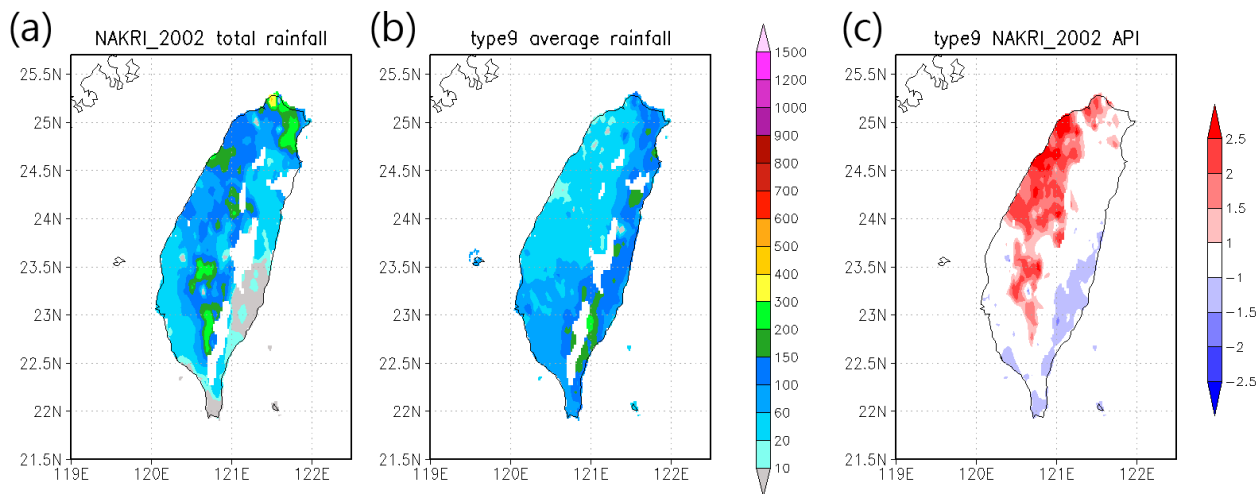


圖 3.29 為路徑類型九累積雨量與降雨異常指數(API)分佈圖，圖(a) 為極端降雨颱風娜克莉(2002)陸上警報期間累積雨量分佈圖，圖(b) 為路徑類型九颱風陸上警報期間平均累積雨量，圖(c) 為降雨異常指數(API)分佈圖。

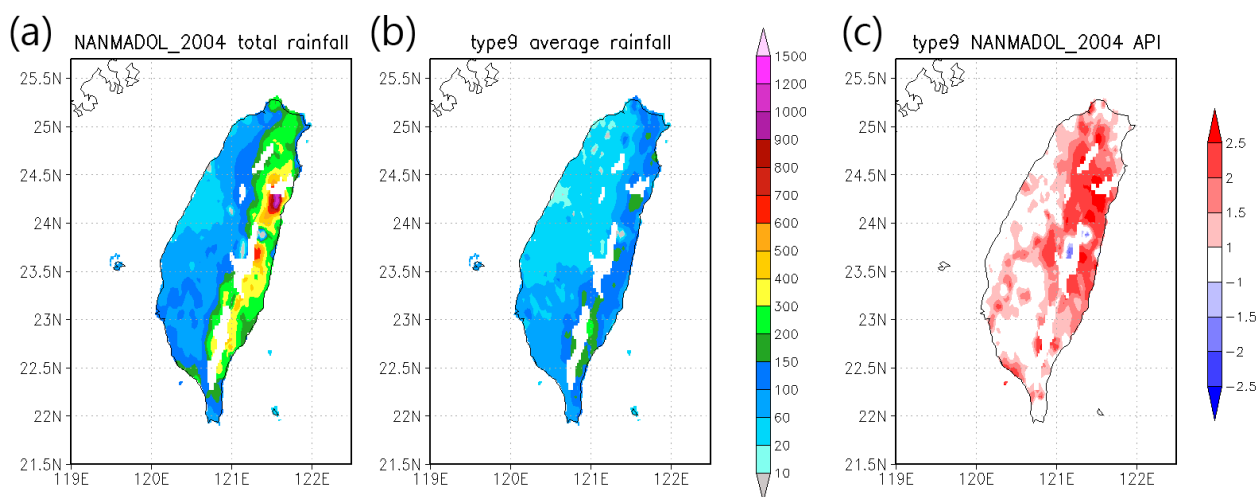


圖 3.30 為路徑類型九累積雨量與降雨異常指數(API)分佈圖，圖(a) 為極端降雨颱風南瑪都(2004)陸上警報期間累積雨量分佈圖，圖(b) 為路徑類型九颱風陸上警報期間平均累積雨量，圖(c) 為降雨異常指數(API)分佈圖。

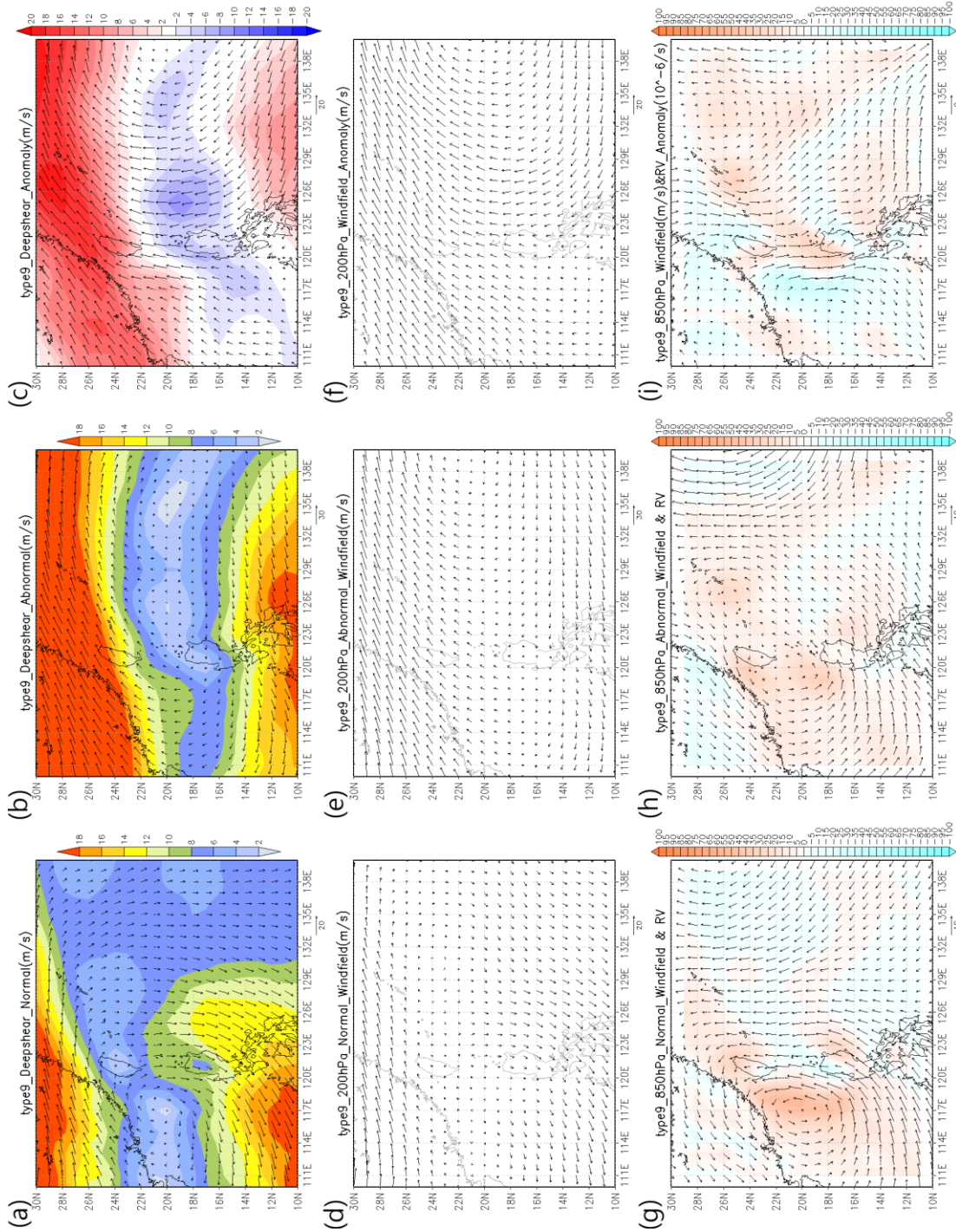


圖 3.31 路徑類型九：(a)、(d)、(g)普通颱風(c)、(f)、(i) 極端降雨雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨雨颱風減普通颱風)；其中(a)~(c)陰影代表垂直風切的量值，向量則為風切方向與速度，單位：m/s。(d)~(f)為 200 百帕風場，單位：m/s。(g)~(i)為低層 850 百帕風場，單位：m/s。與水平相對渦度場，單位： $10^{-6}/s$ 。

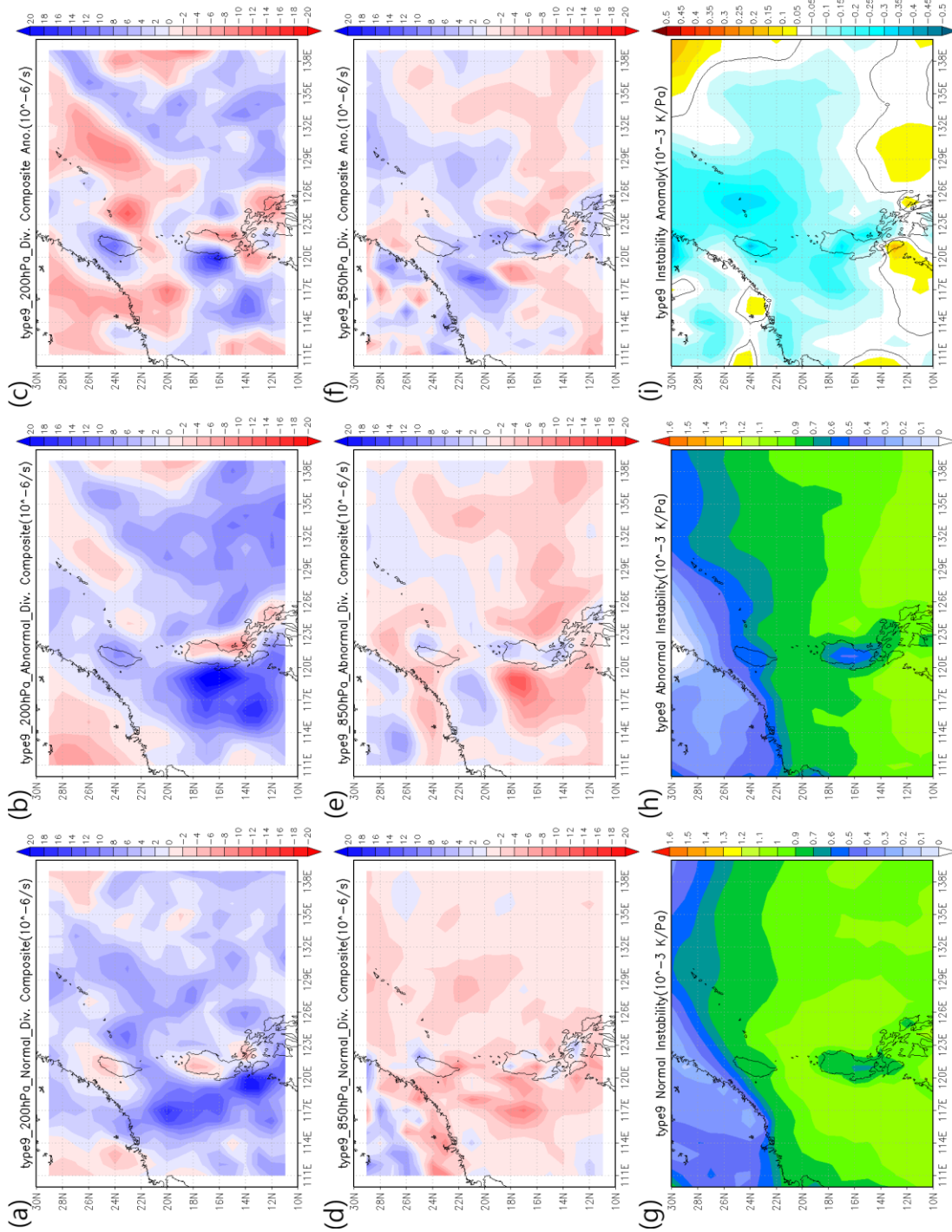


圖 3.32 路徑類型九：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i)極端降雨雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)。(a)~(c)為 200 百帕輻散場，單位： $10^{-6}/s$ 。(d)~(f)850 百帕輻散場，單位： $10^{-6}/s$ 。(g)~(i)位勢不穩定度，為低層 1000 百帕至 700 百帕相當位溫隨高度變化平均值，單位： $10^{-3} K/Pa$ 。

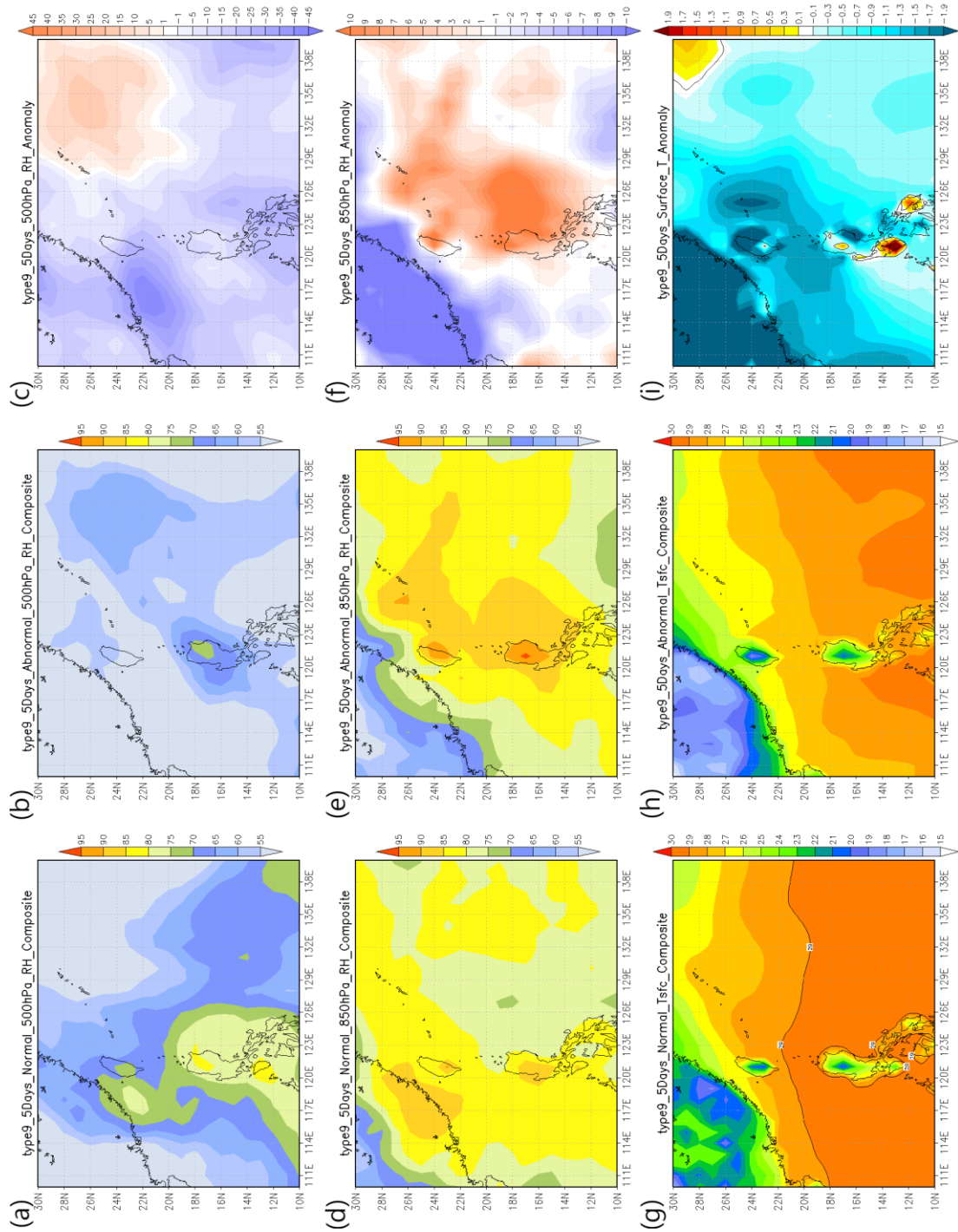
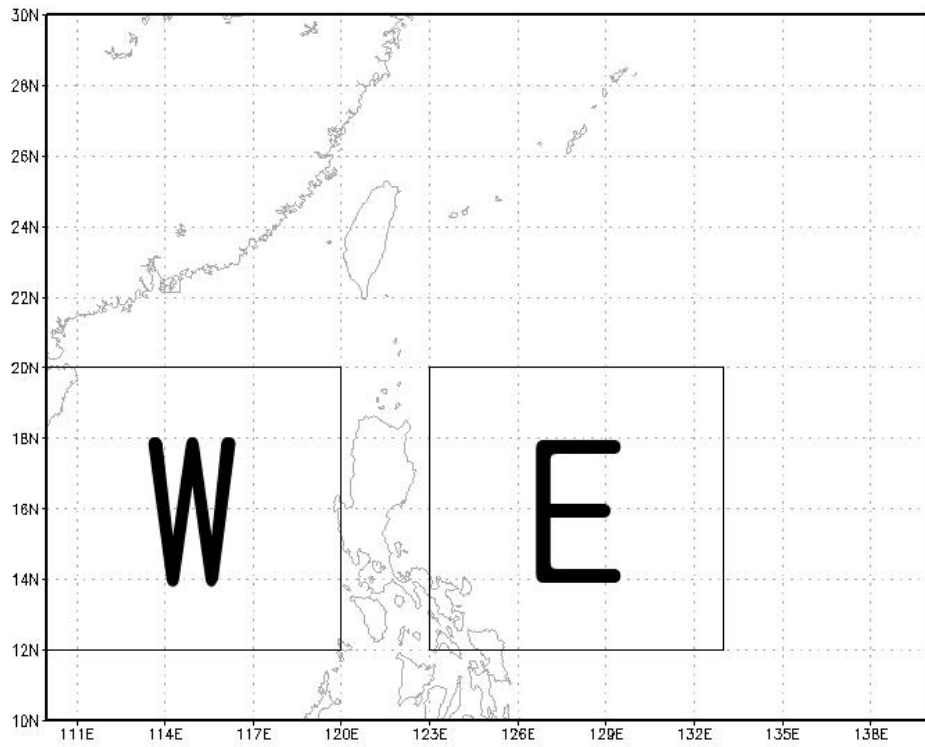


圖 3.33 路徑類型九：(a)、(d)、(g)普通颱風(b)、(e)、(h)異常颱風(c)、(f)、(i) 極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)。(a)~(c)500 百帕相對濕度場，單位：%。(d)~(f)850 百帕相對濕度場，單位：%。(g)~(i) 表面溫度場，單位：°C。



GrADS: COLA/IGES

2011-05-20-20:59

圖 3.34 颱風環流上游區環境變數平均區域示意圖，(W) 東經 110°E~120°E、北緯 12°N~20°N，(E) 東經 123°E~133°E、北緯 12°N~20°N。

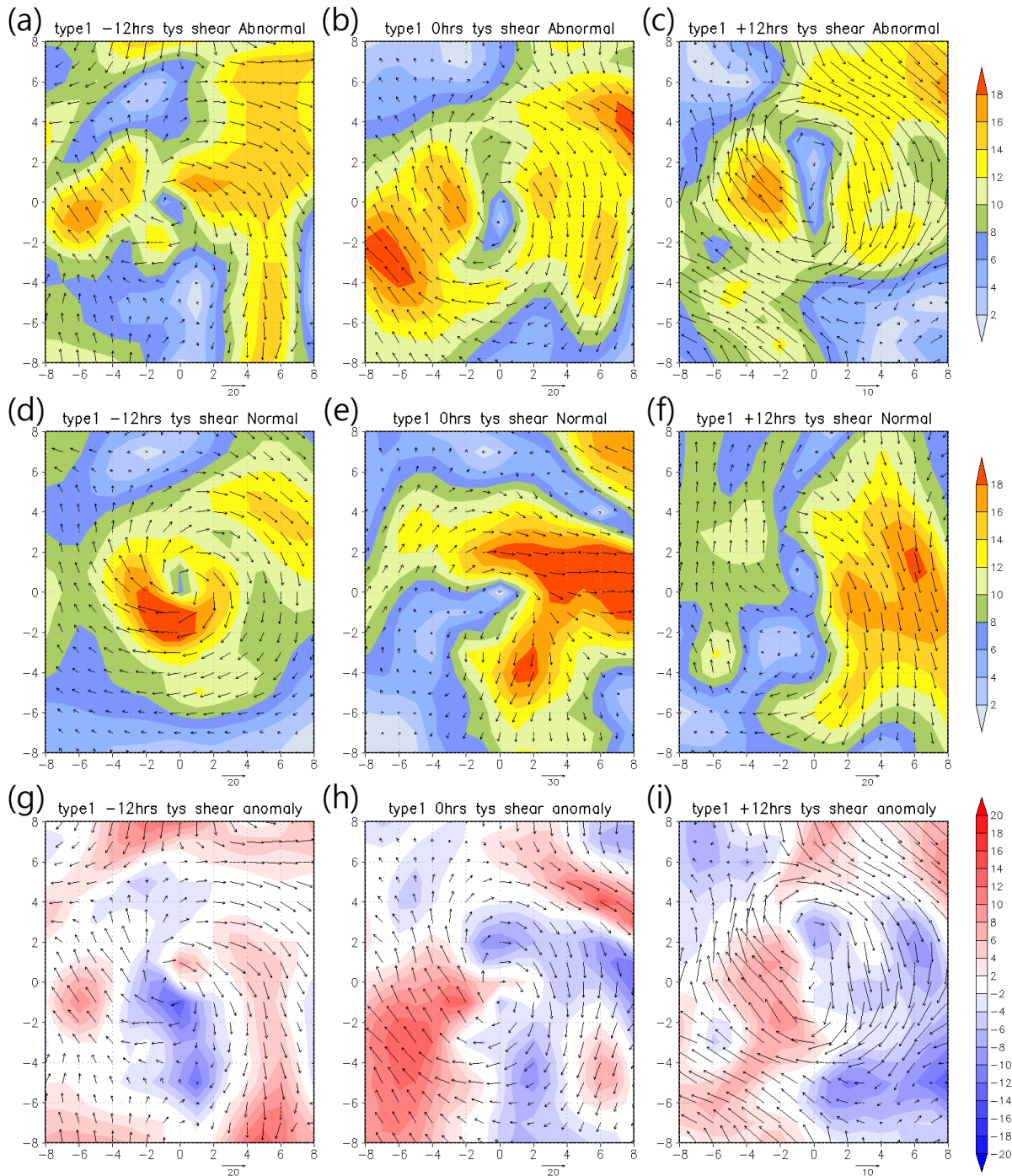


圖 3.35 路徑類型一極端降雨颱風與普通颱風於颱風時間尺度垂直風切分佈及差異圖，(a)~(c)為極端降雨颱風，(d)~(f)為普通颱風，(g)~(i)為極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)。而(a)、(d)、(g)為登陸(最接近台灣)前 12 小時(-12hrs)；(b)、(e)、(h)為登陸(最接近台灣)的時間(0hrs)；(c)、(f)、(i)為登陸(最接近台灣)後 12 小時(+12hrs)。色塊區域為垂直風切與垂直風切差異量，單位：m/s。

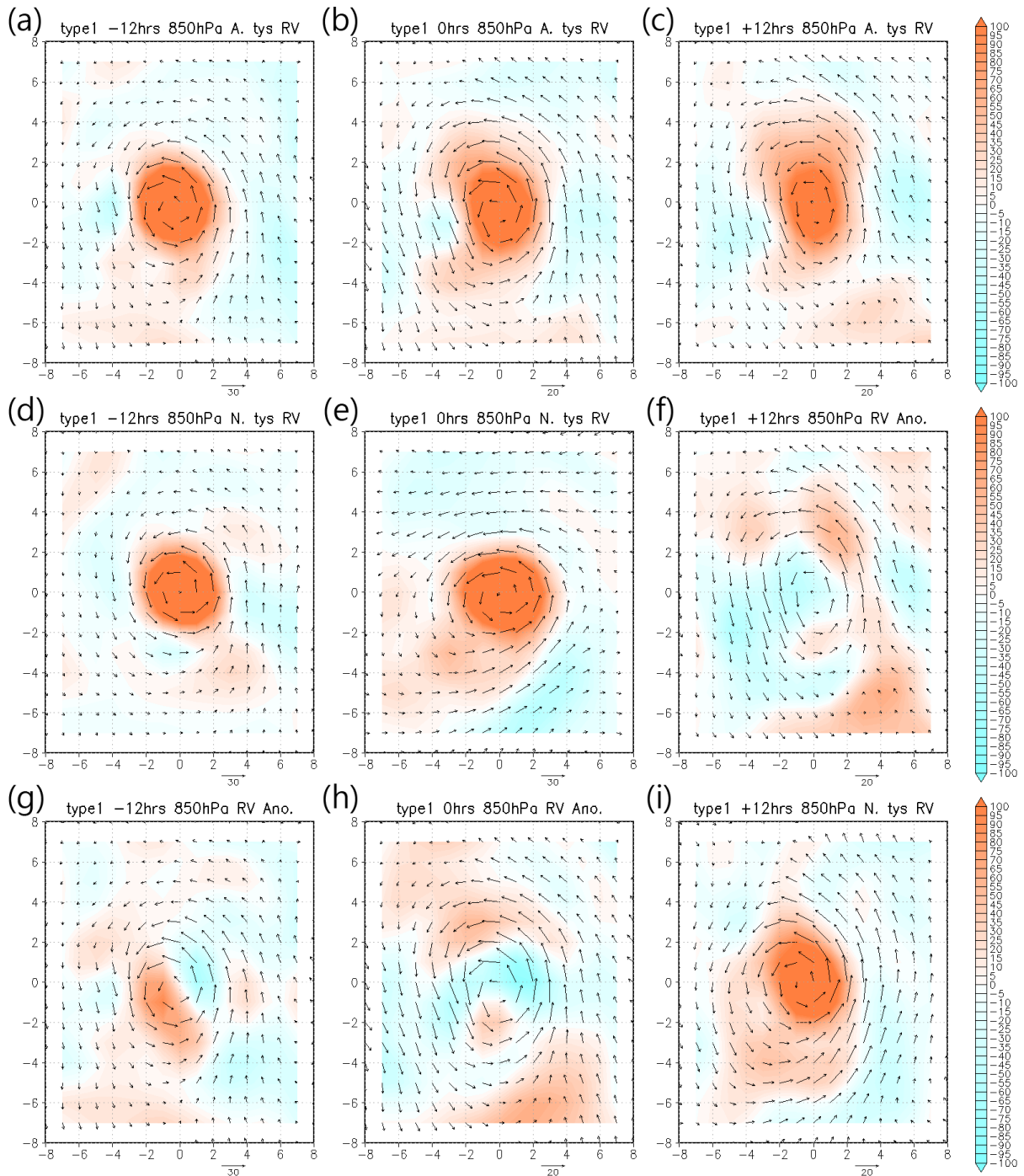


圖 3.36 路徑類型一極端降雨颱風與普通颱風於颱風時間尺度風場低層 850hPa 水平相對渦度分佈及差異圖，(a)~(c)為極端降雨颱風，(d)~(f)為普通颱風，(g)~(i)為極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)，與極端降雨颱風的風場分佈。而(a)、(d)、(g)為登陸(最接近台灣)前 12 小時(-12hrs)；(b)、(e)、(h)為登陸(最接近台灣)的時間(0hrs)；(c)、(f)、(i)為登陸(最接近台灣)後 12 小時(+12hrs)。色塊區域為水平相對渦度與水平相對渦度差異量，單位： $10^{-6}/s$ 。

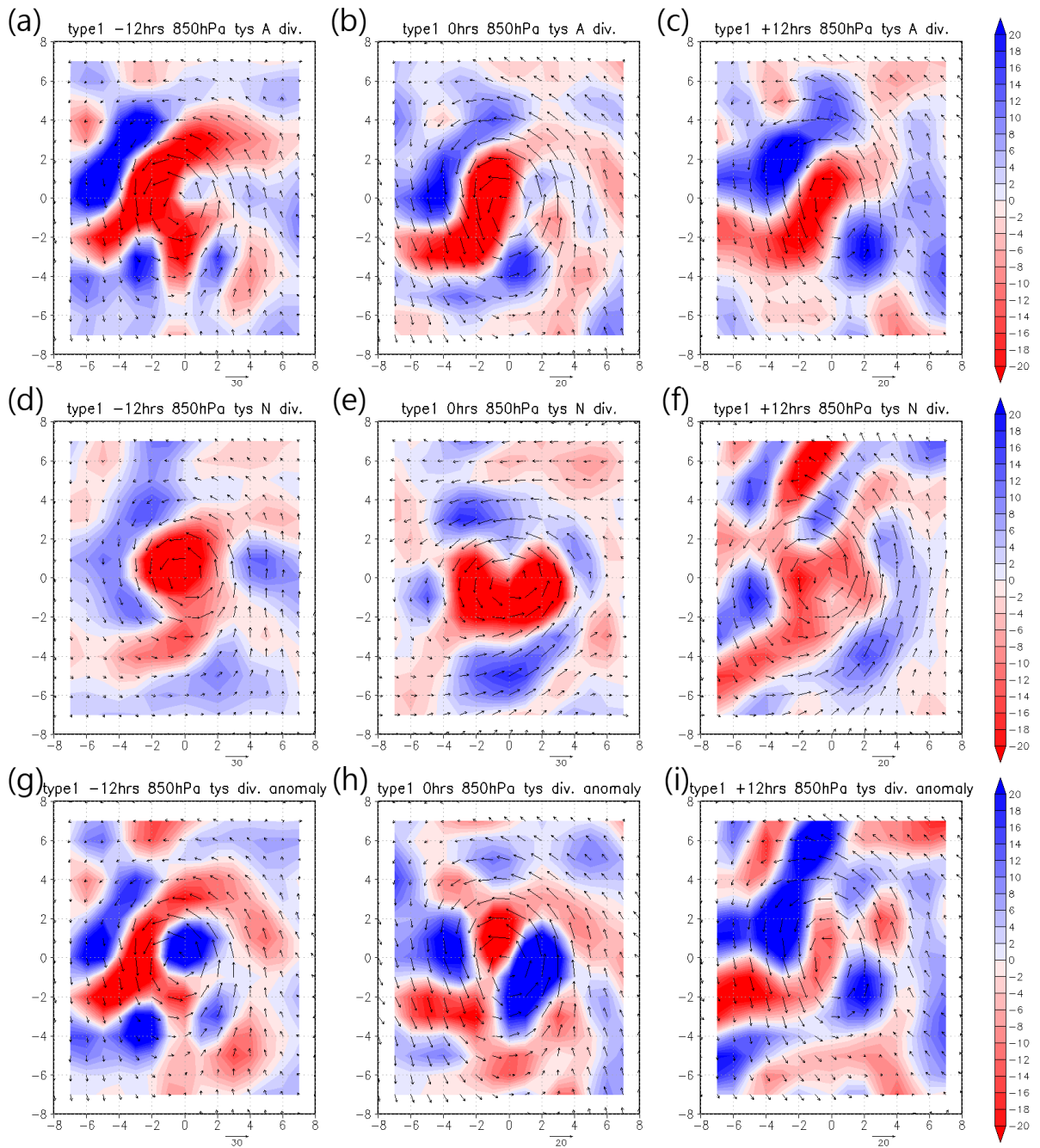


圖 3.37 路徑類型一極端降雨颱風與普通颱風於颱風時間尺度低層 850hPa 輻散場分佈及差異圖，(a)~(c)為極端降雨颱風，(d)~(f)為普通颱風，(g)~(i) 為極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)，與極端降雨 颱風的風場分佈。而(a)、(d)、(g)為登陸(最接近台灣)前 12 小時(-12hrs)；(b)、 (e)、(h)為登陸(最接近台灣)的時間(0hrs)；(c)、(f)、(i)為登陸(最接近台灣) 後 12 小時(+12hrs)。色塊區域為輻散場與輻散場差異量，單位： $10^{-6}/s$ 。

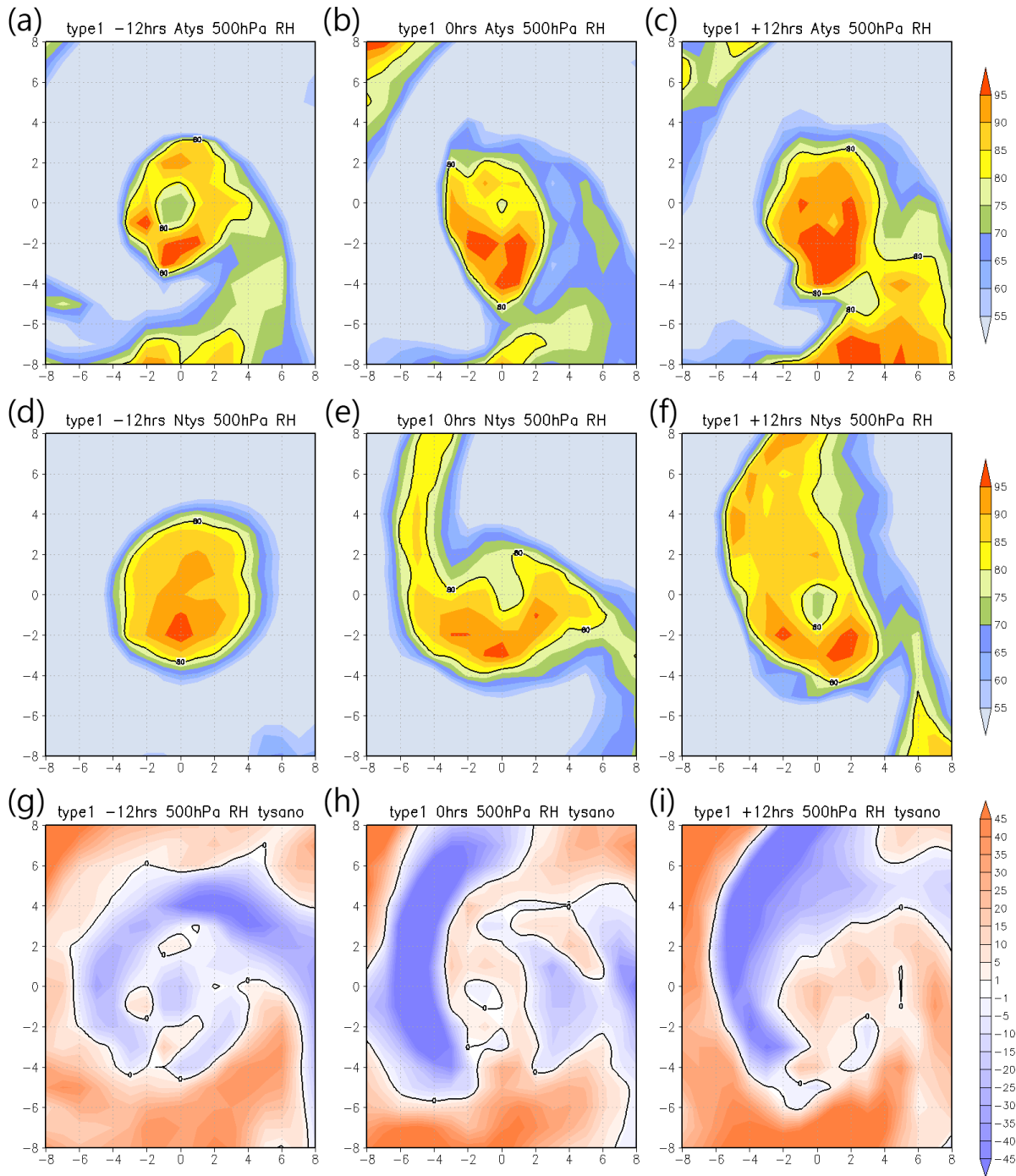


圖 3.38 路徑類型一極端降雨颱風與普通颱風於颱風時間尺度中層 500hPa 相對濕度分佈及差異圖，(a)~(c)為極端降雨颱風，(d)~(f)為普通颱風，(g)~(i)為極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)。而(a)、(d)、(g)為登陸(最接近台灣)前 12 小時(-12hrs)；(b)、(e)、(h)為登陸(最接近台灣)的時間(0hrs)；(c)、(f)、(i)為登陸(最接近台灣)後 12 小時(+12hrs)。色塊區域為相對濕度與其差異量，單位：%。

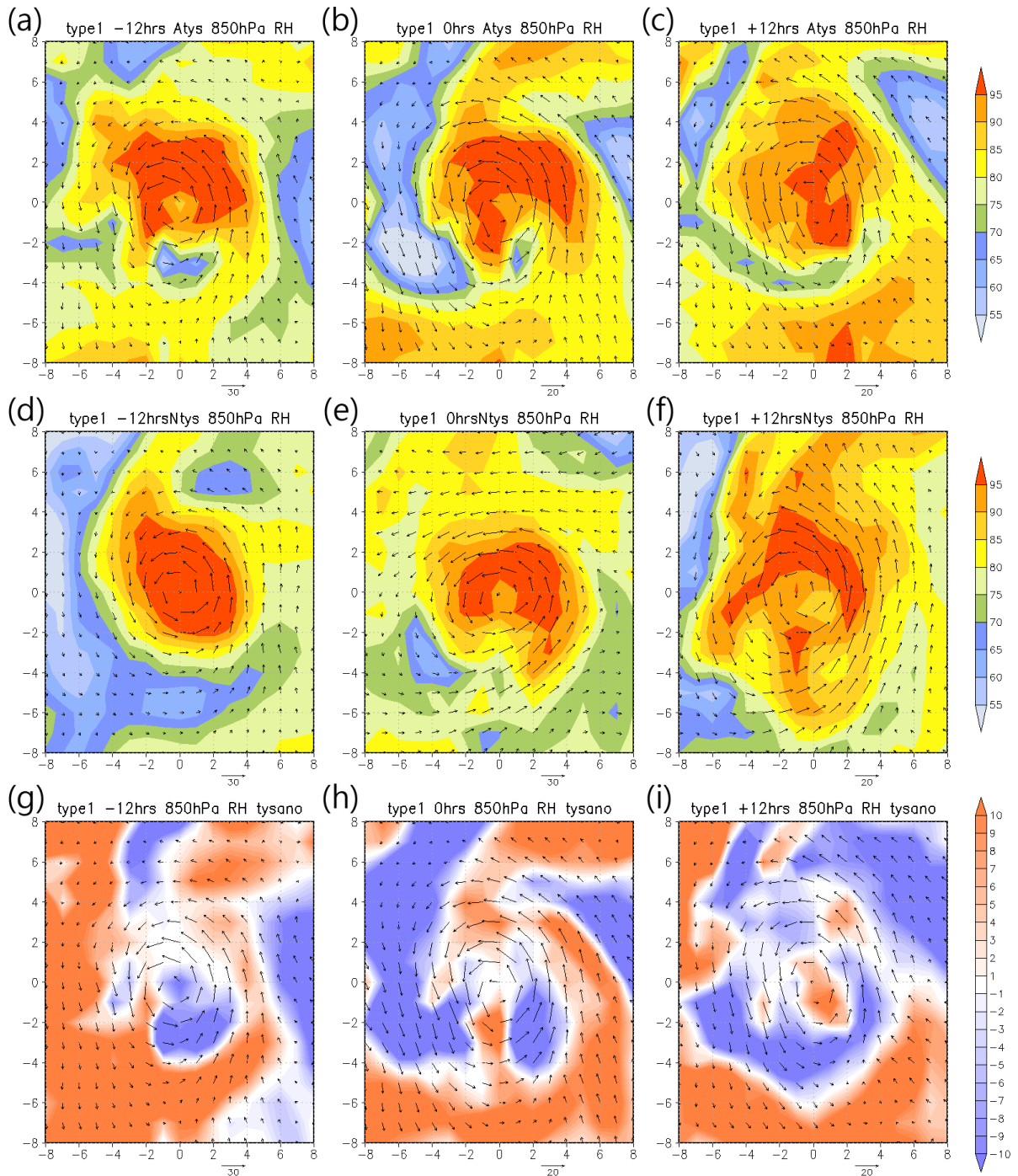


圖 3.39 路徑類型一極端降雨颱風與普通颱風於颱風時間尺度低層 850hPa 相對濕度分佈及差異圖，(a)~(c)為極端降雨颱風，(d)~(f)為普通颱風，(g)~(i)為極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)，與極端降雨颱風的風場分佈。而(a)、(d)、(g)為登陸(最接近台灣)前 12 小時(-12hrs)；(b)、(e)、(h)為登陸(最接近台灣)的時間(0hrs)；(c)、(f)、(i)為登陸(最接近台灣)後 12 小時(+12hrs)。色塊區域為相對濕度及其差異量，單位：%。

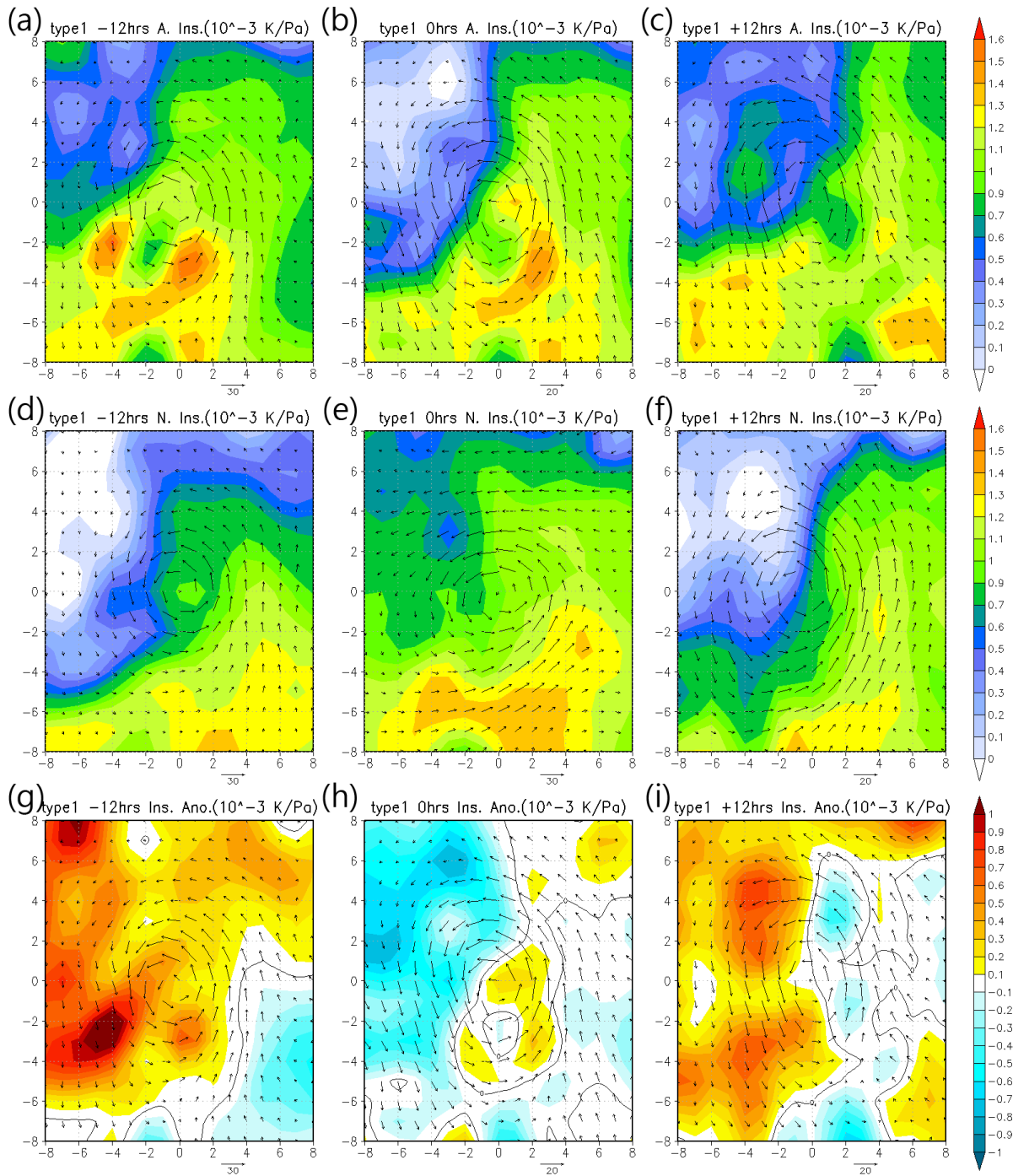


圖 3.40 路徑類型一極端降雨颱風與普通颱風於颱風時間尺度位勢不穩定度的分佈及差異圖，(a)~(c)為極端降雨颱風，(d)~(f)為普通颱風，(g)~(i)為極端降雨颱風與普通颱風的差值(極端降雨颱風減普通颱風)，與極端降雨颱風的850hPa風場分佈。而(a)、(d)、(g)為登陸(最接近台灣)前12小時(-12hrs)；(b)、(e)、(h)為登陸(最接近台灣)的時間(0hrs)；(c)、(f)、(i)為登陸(最接近台灣)後12小時(+12hrs)。色塊區域為不穩定度的分部及其差異量，單位： $10^{-3}K/Pa$ 。

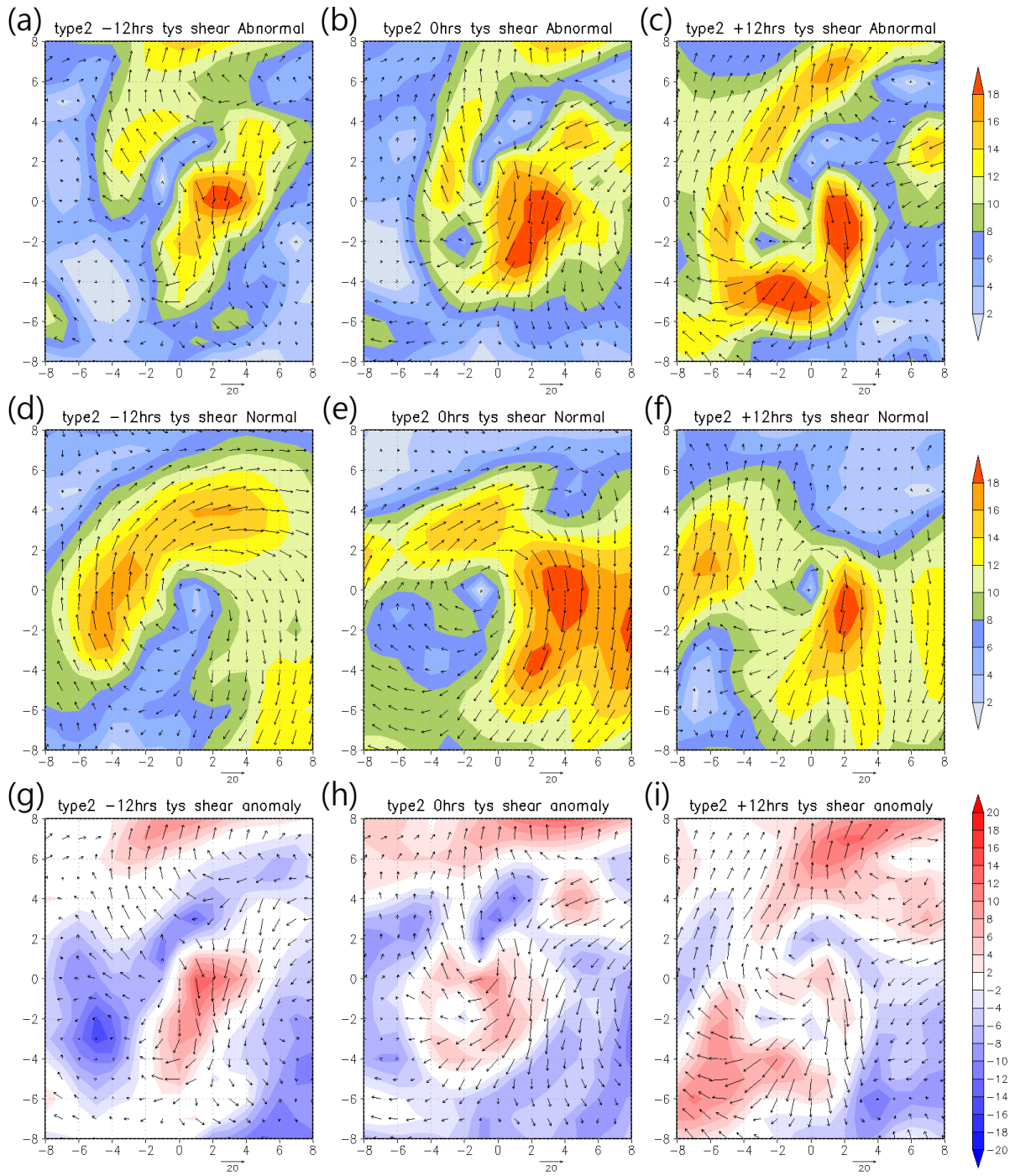


圖 3.41 路徑類型二，同圖 3.35。

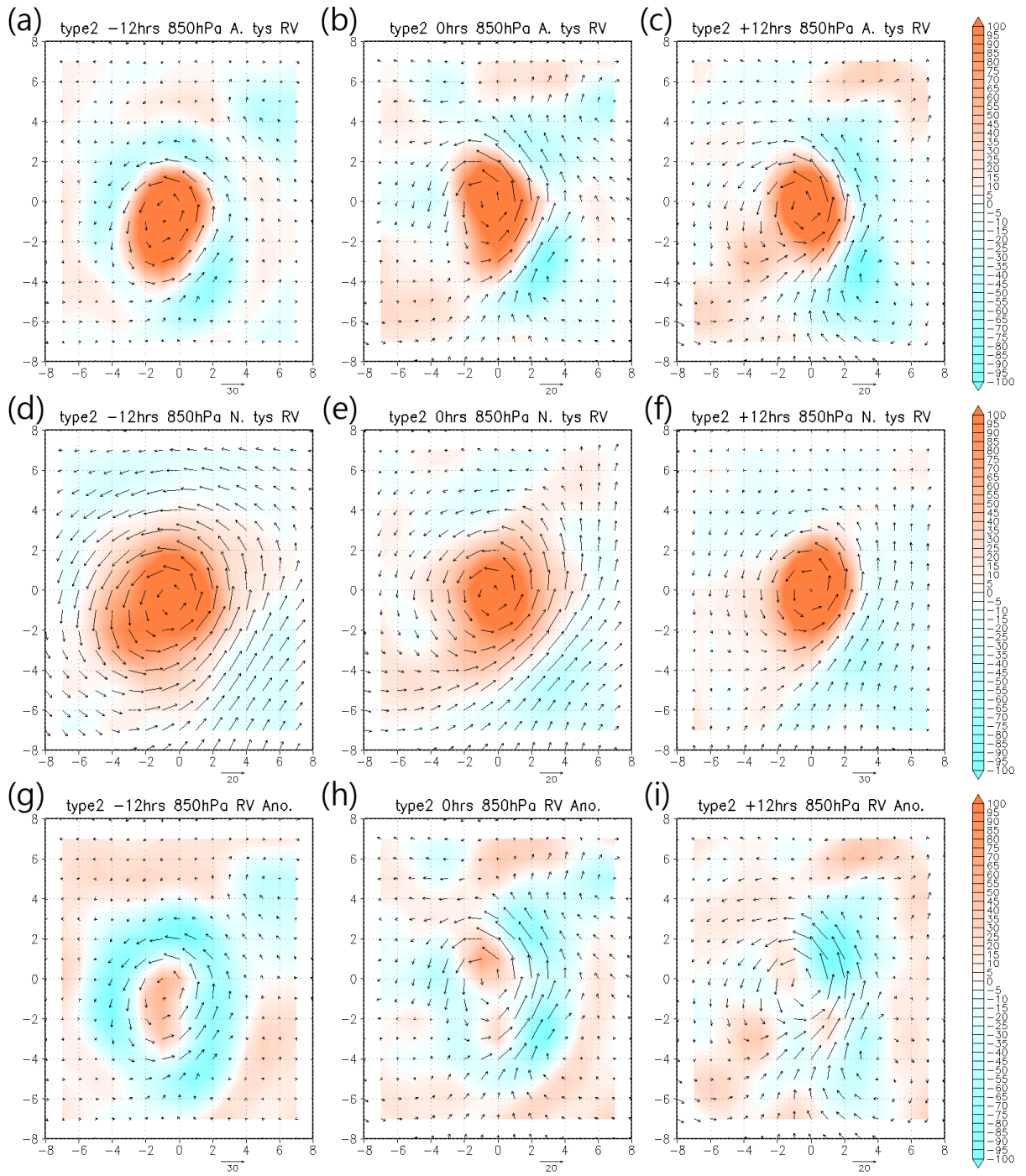


圖 3.42 路徑類型二，同圖 3.36。

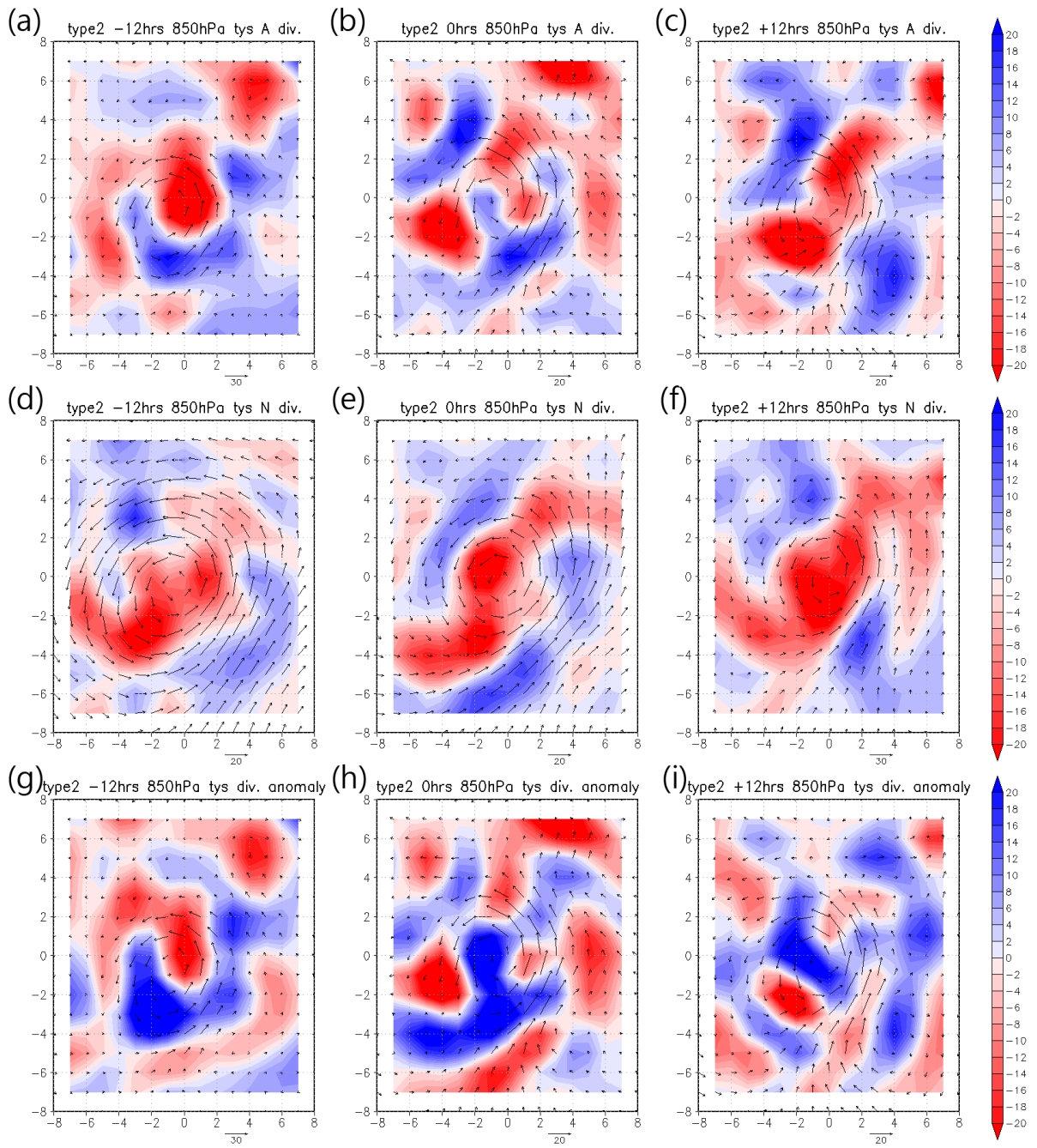


圖 3.43 路徑類型二，同圖 3.37。

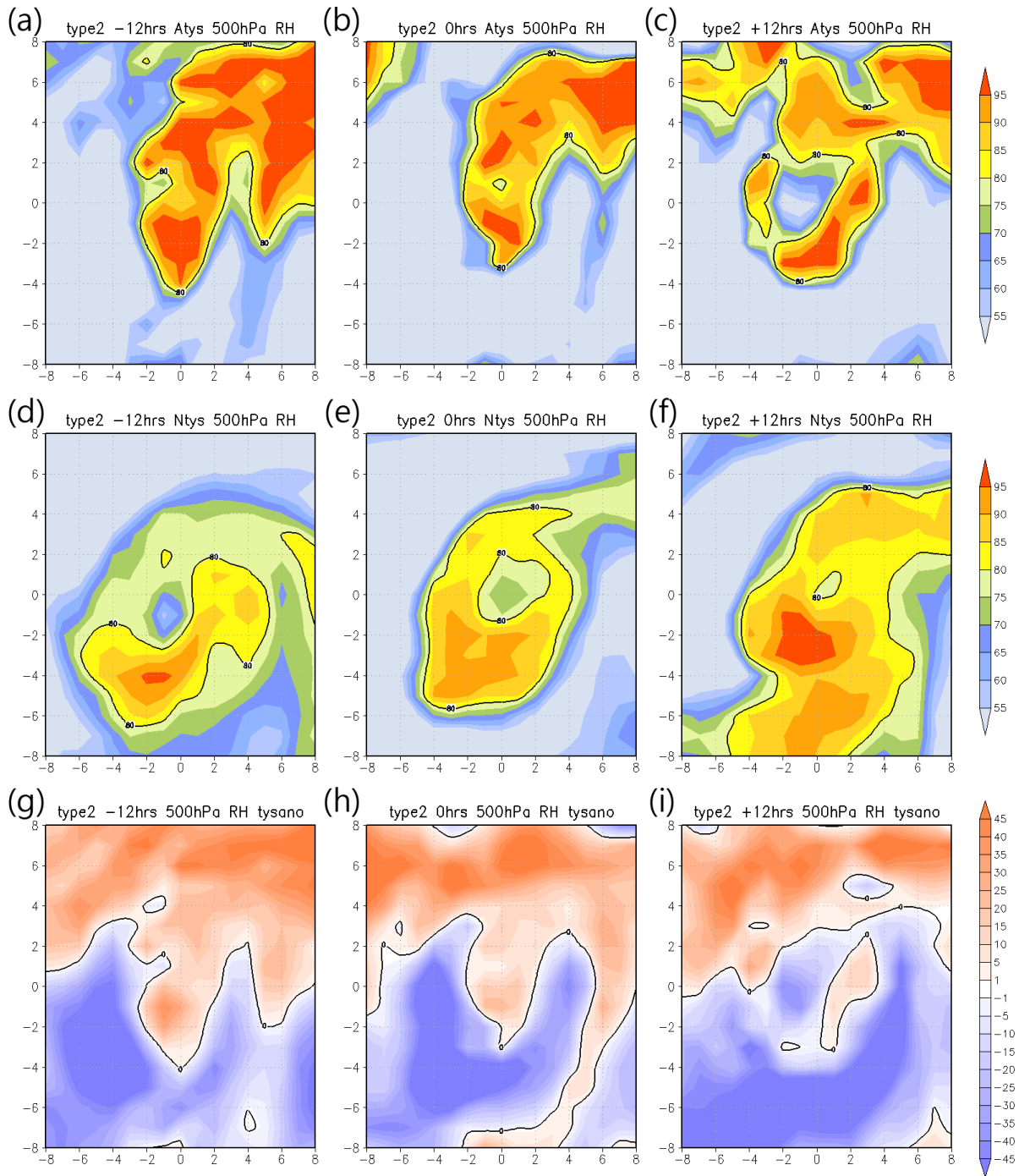


圖 3.44 路徑類型二，同圖 3.38。

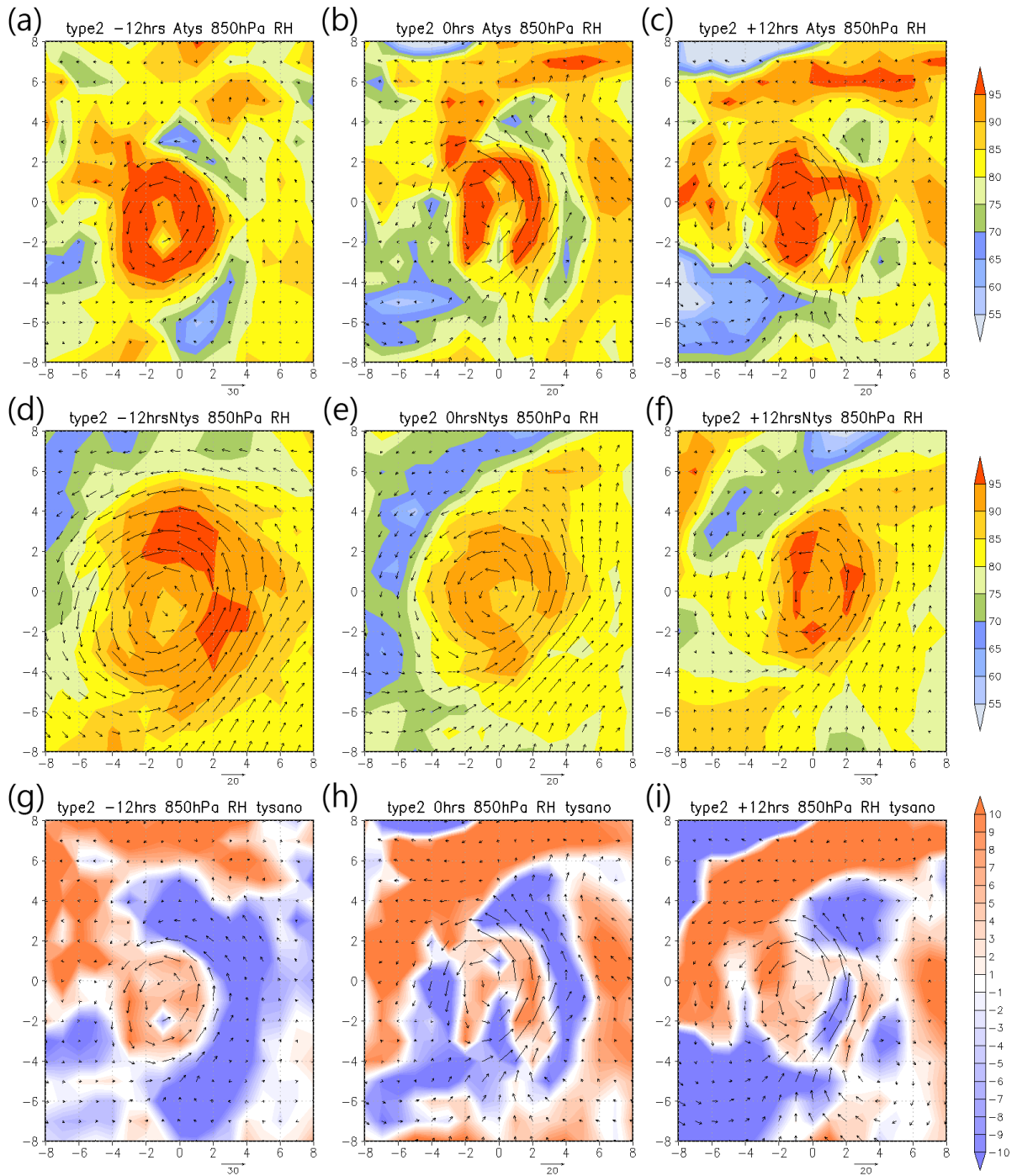


圖 3.45 路徑類型二，同圖 3.39。

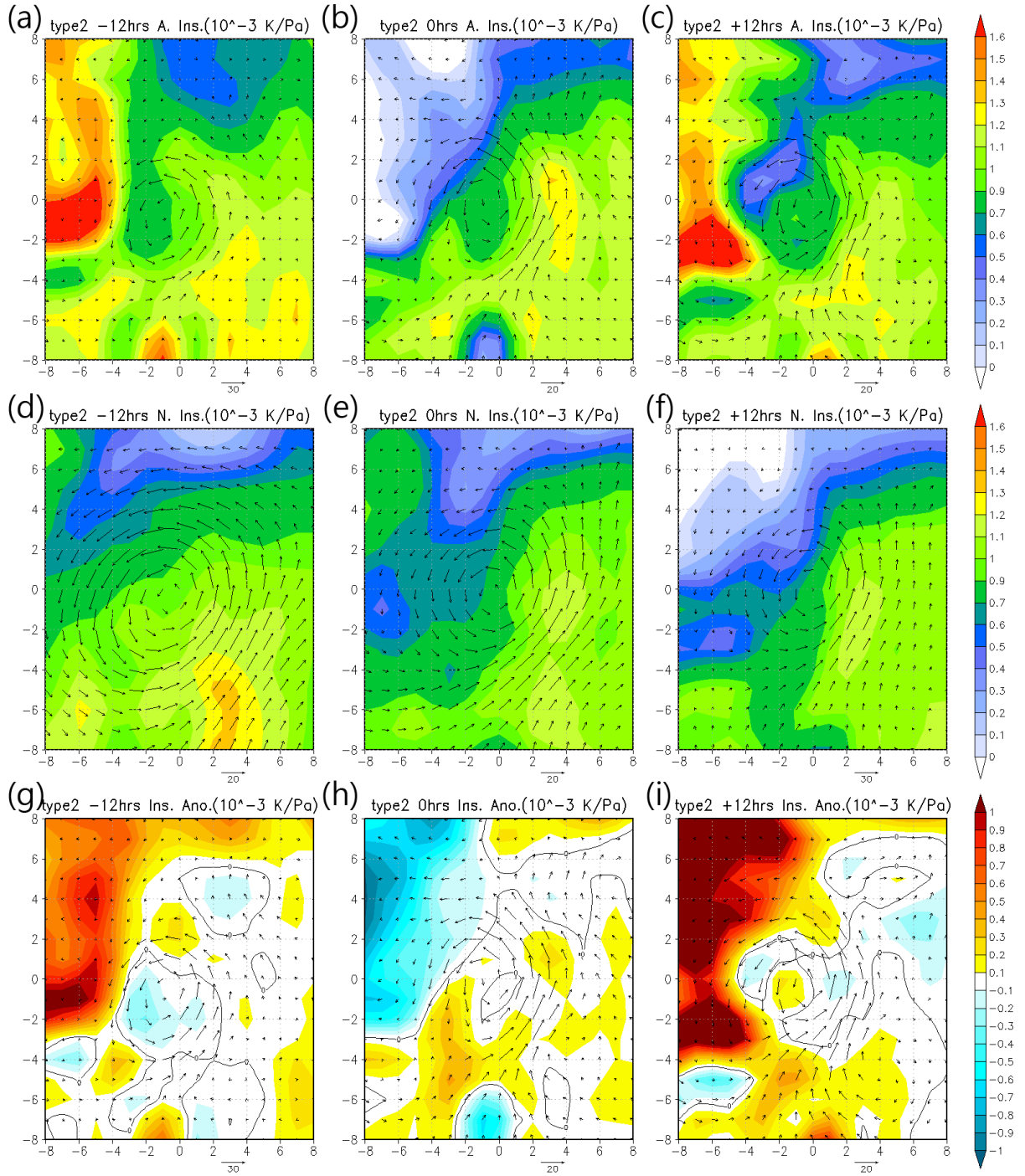


圖 3.46 路徑類型二，同圖 3.40。

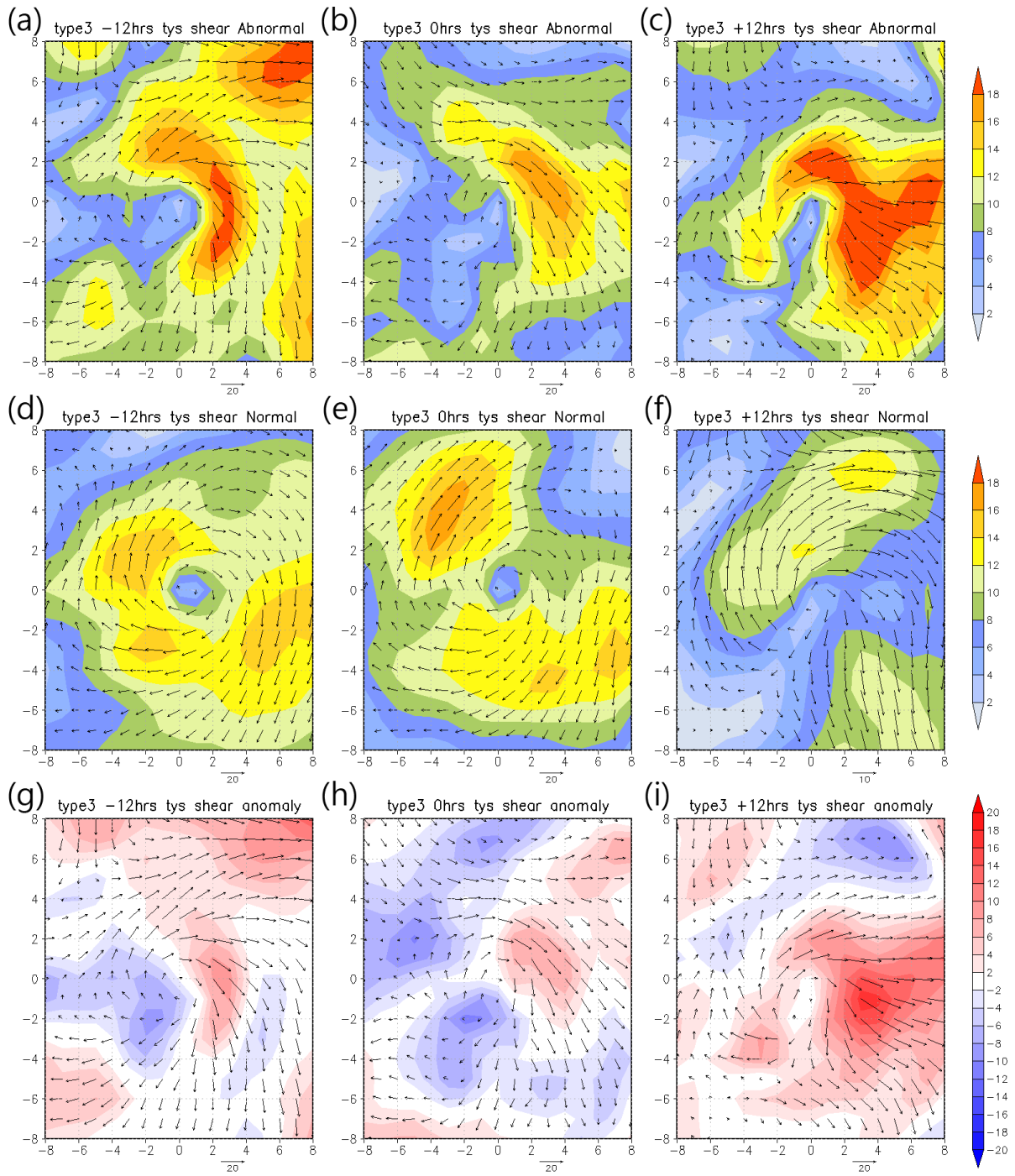


圖 3.47 路徑類型三，同圖 3.35。

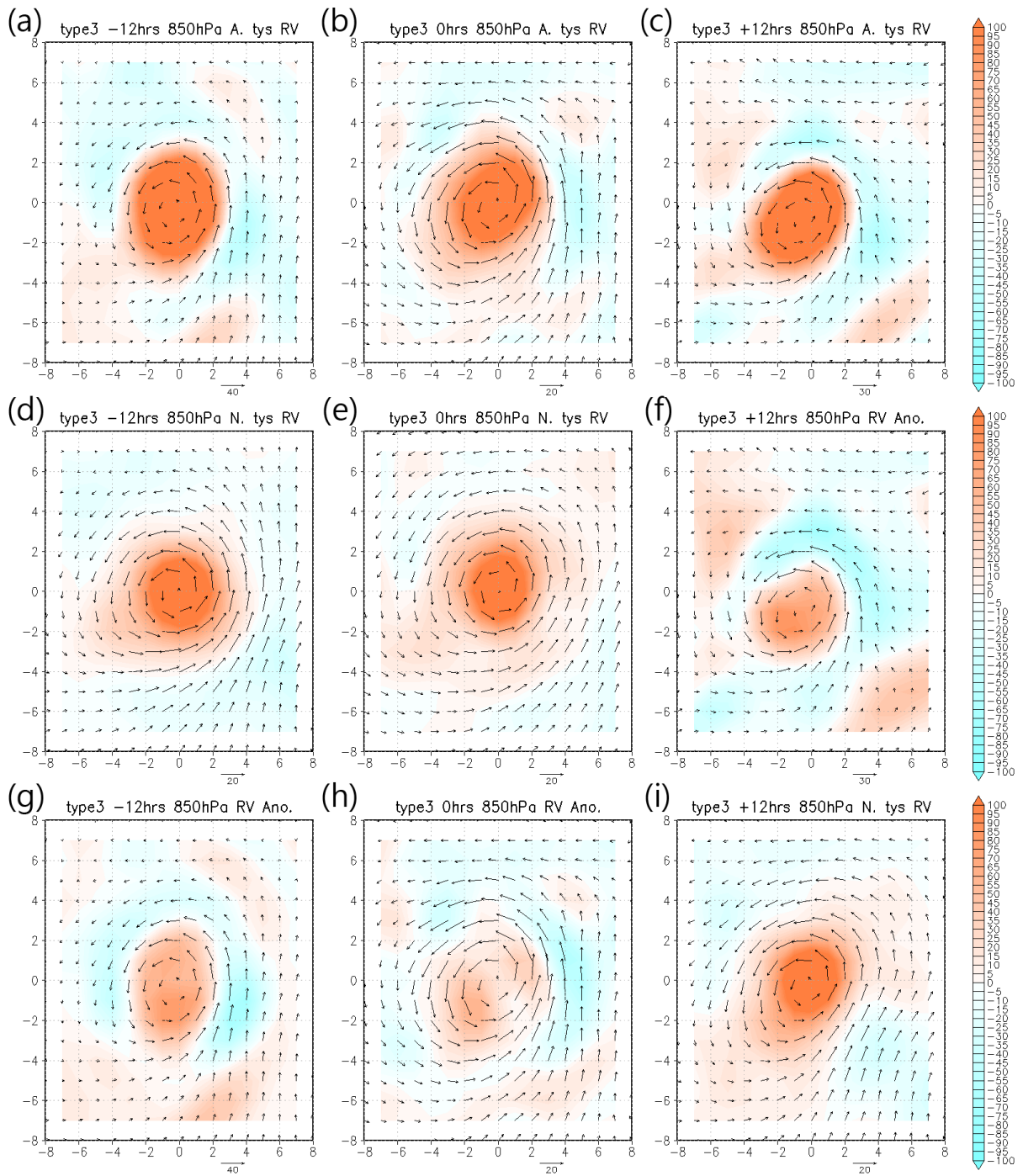


圖 3.48 路徑類型三，同圖 3.36。

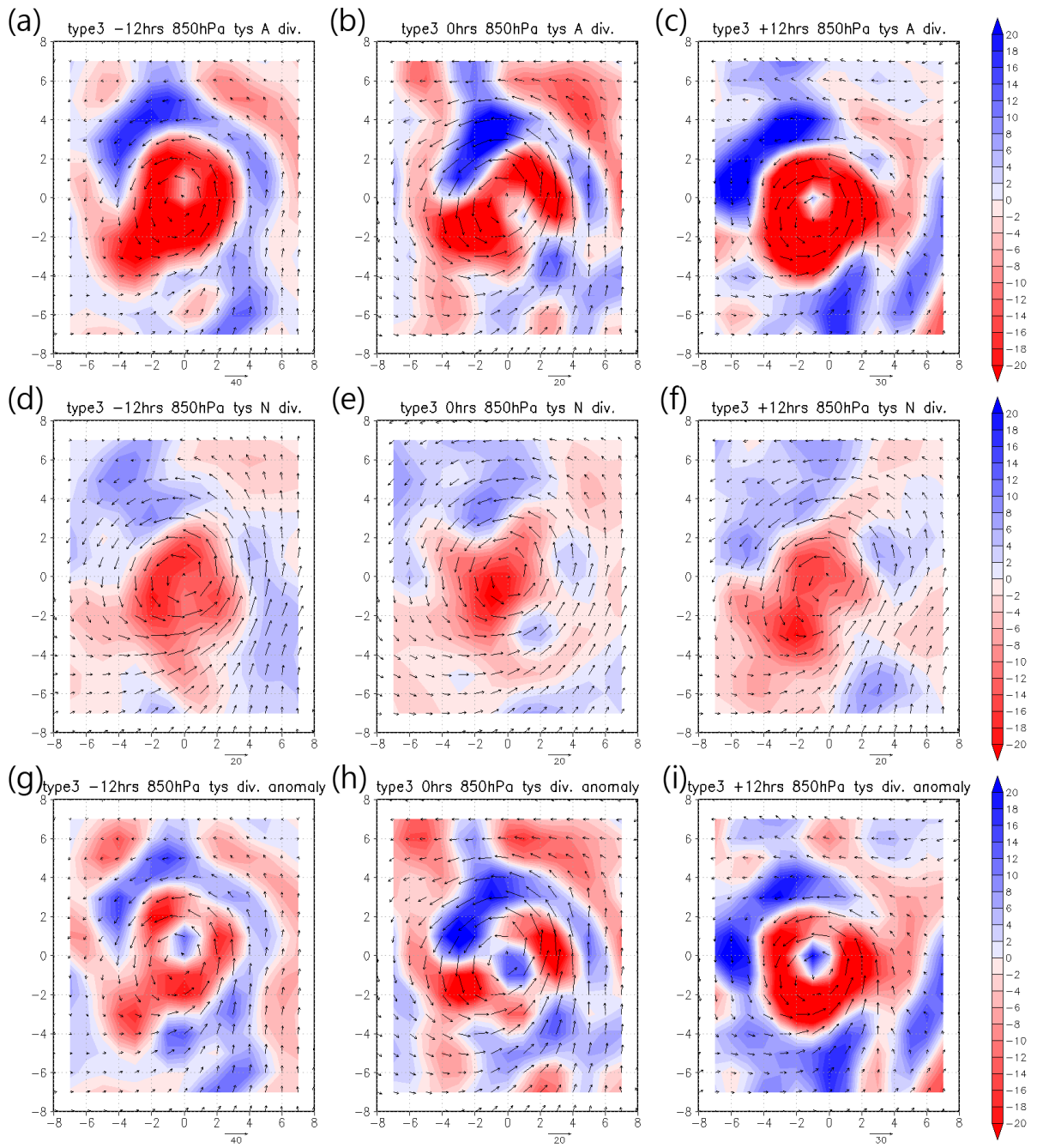


圖 3.49 路徑類型三，同圖 3.37。

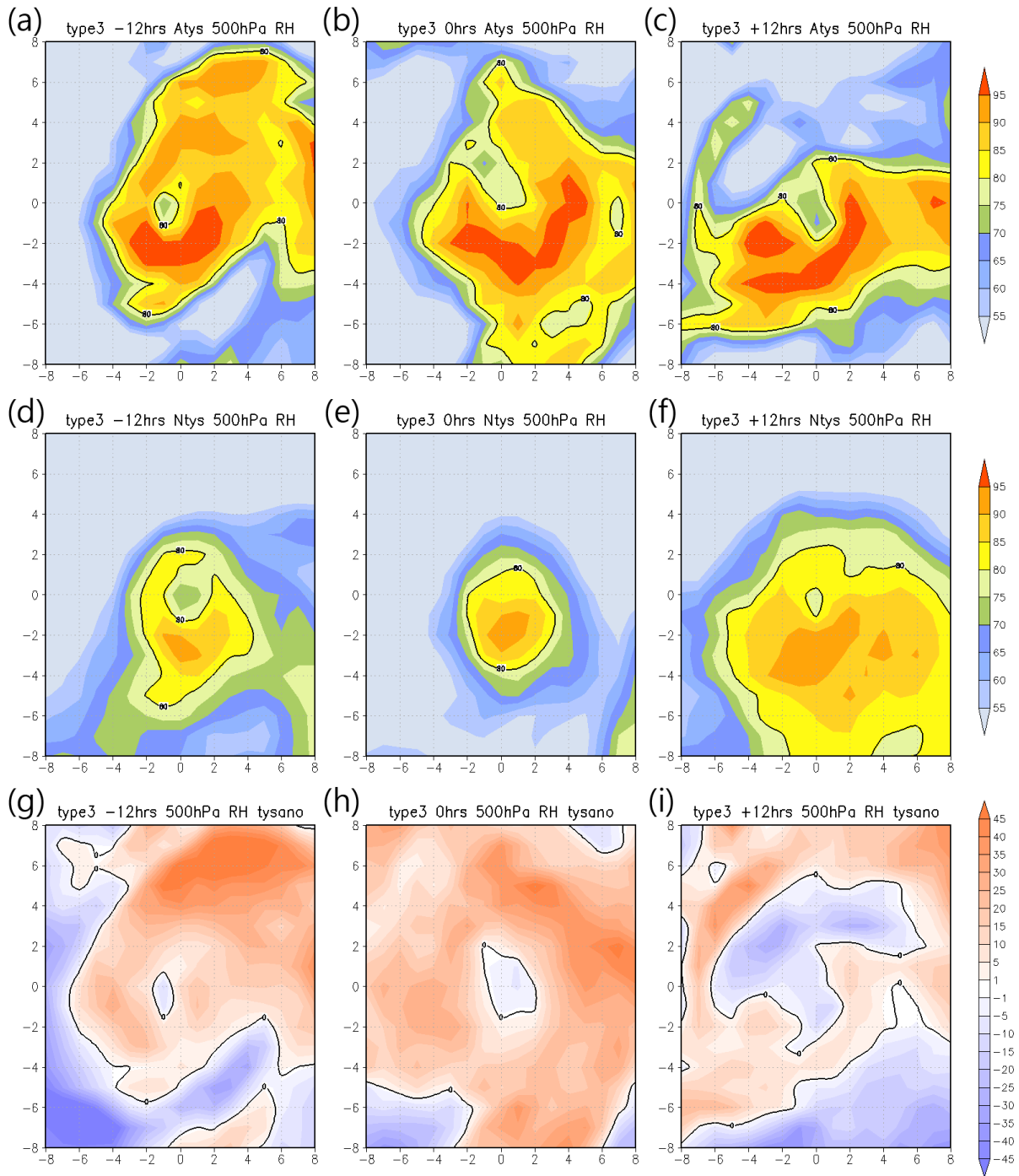


圖 3.50 路徑類型三，同圖 3.38。

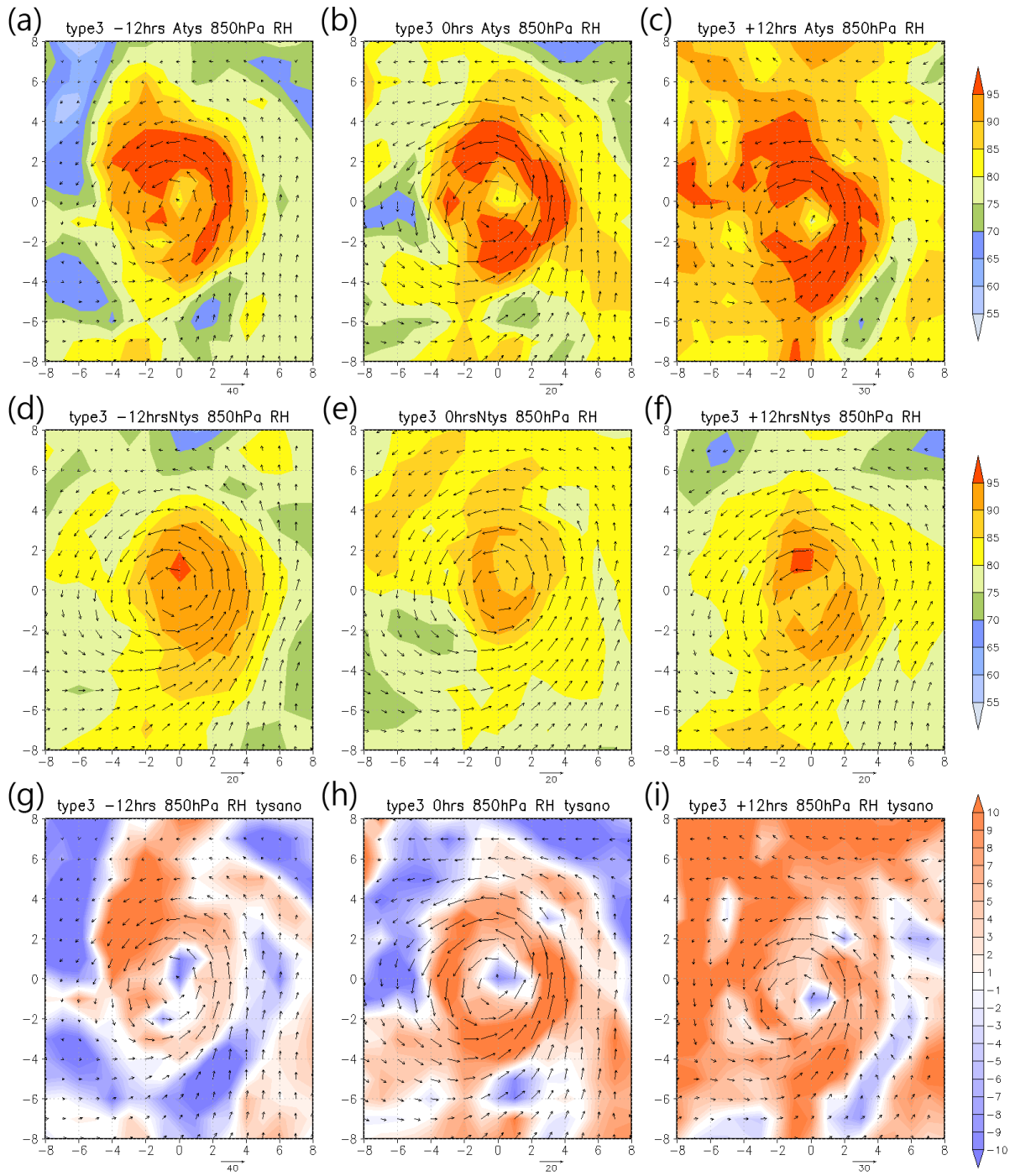


圖 3.51 路徑類型三，同圖 3.39。

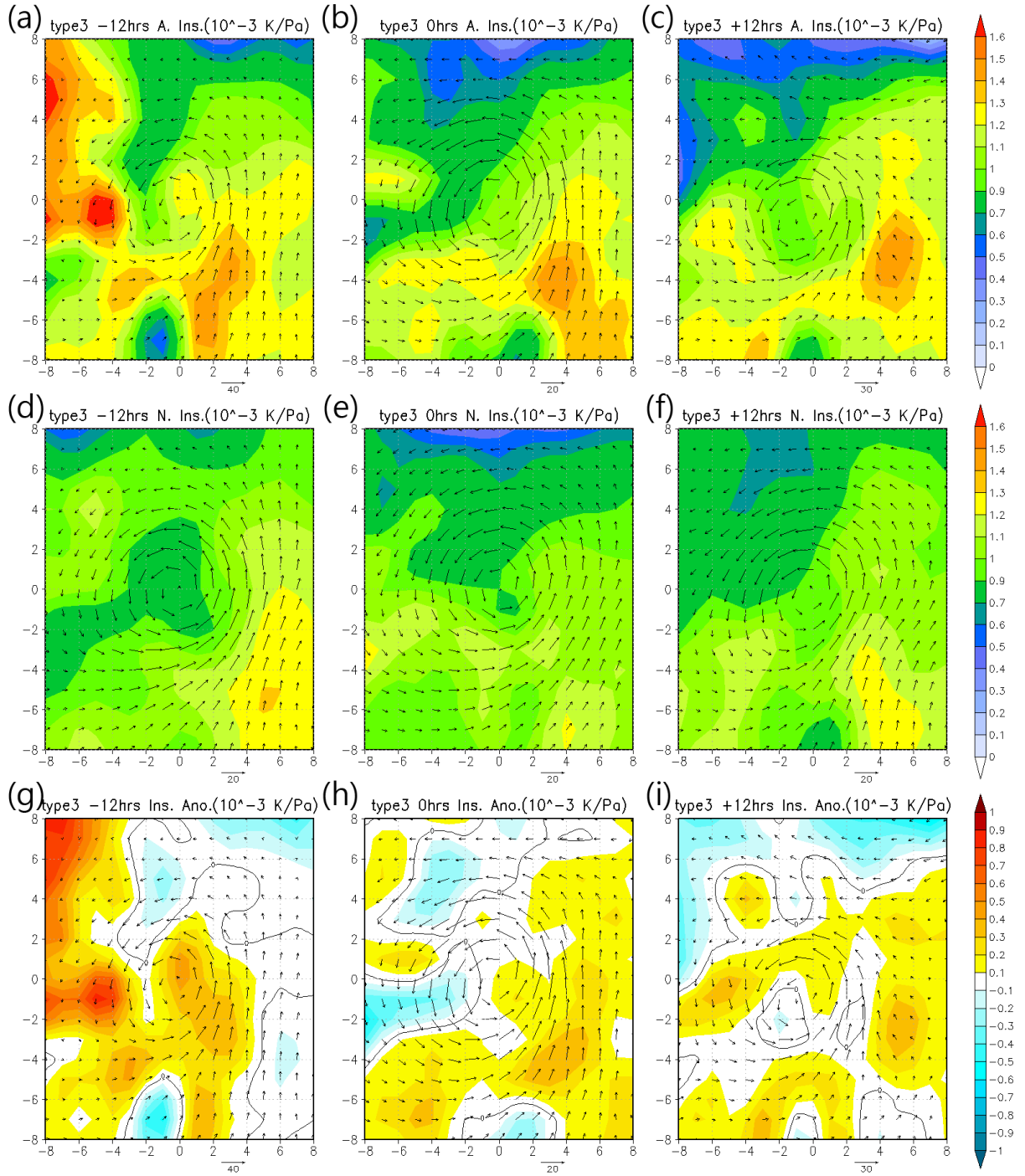


圖 3.52 路徑類型三，同圖 3.40。

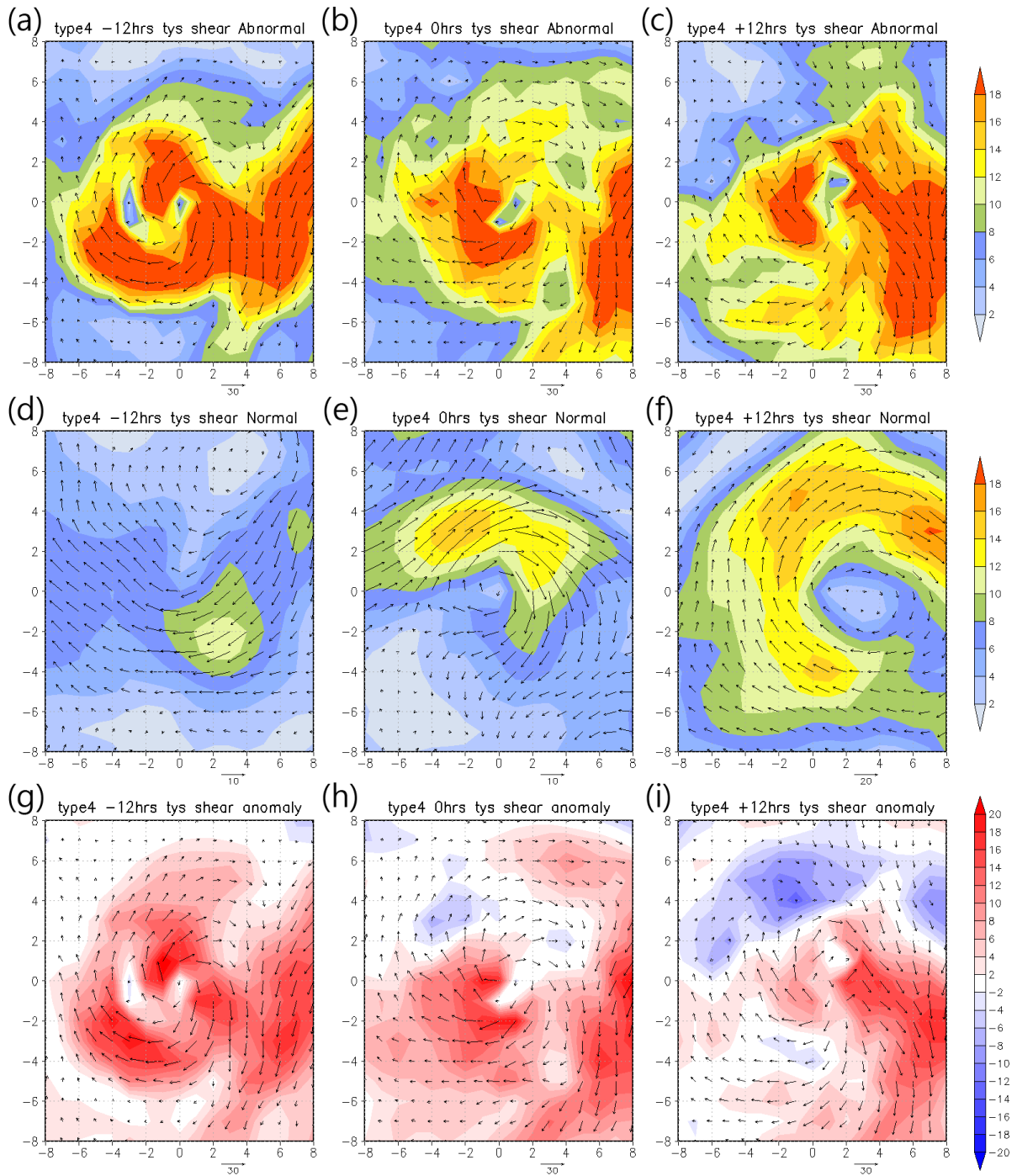


圖 3.53 路徑類型四，同圖 3.35。

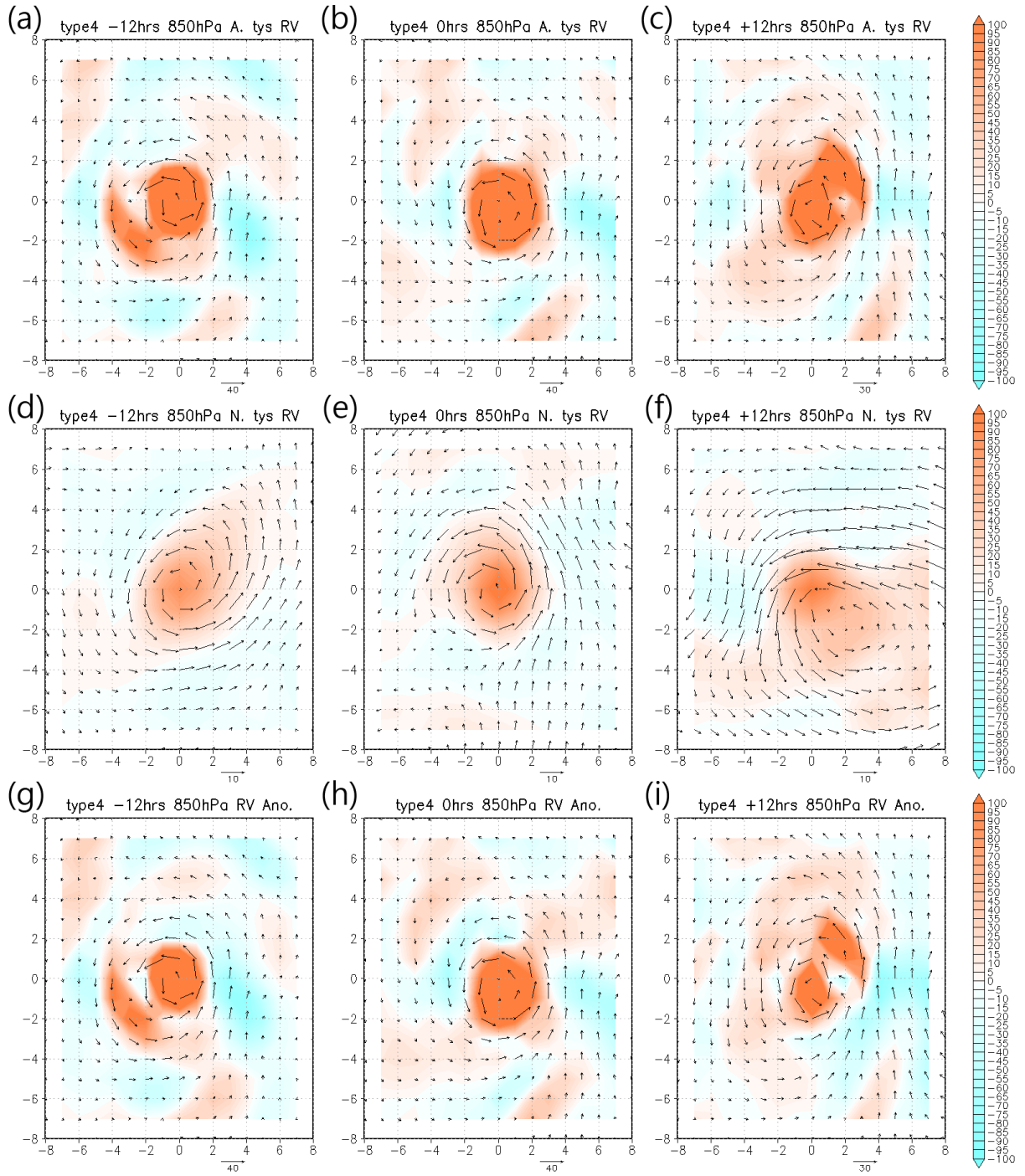


圖 3.54 路徑類型四，同圖 3.36。

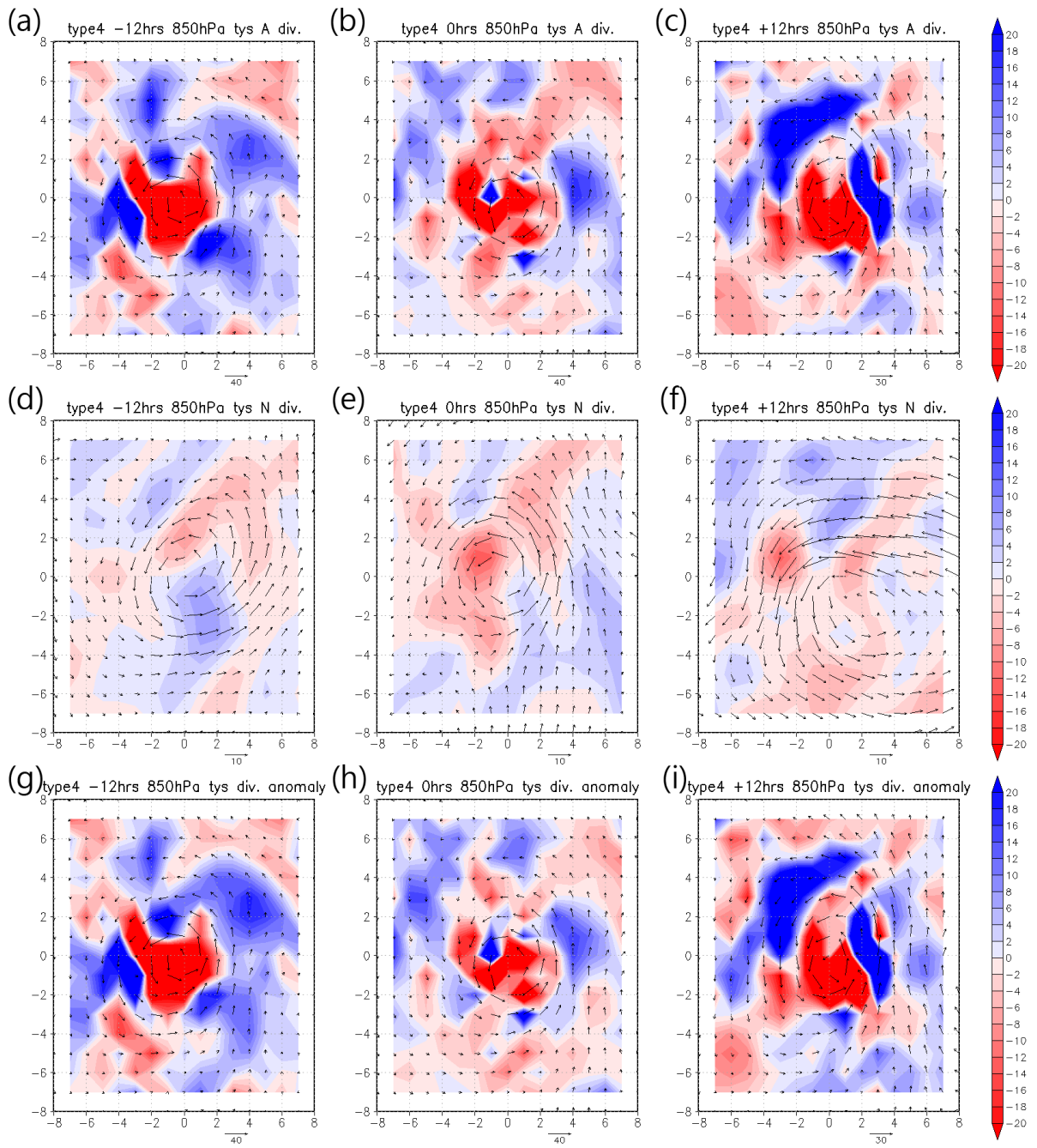


圖 3.55 路徑類型四，同圖 3.37。

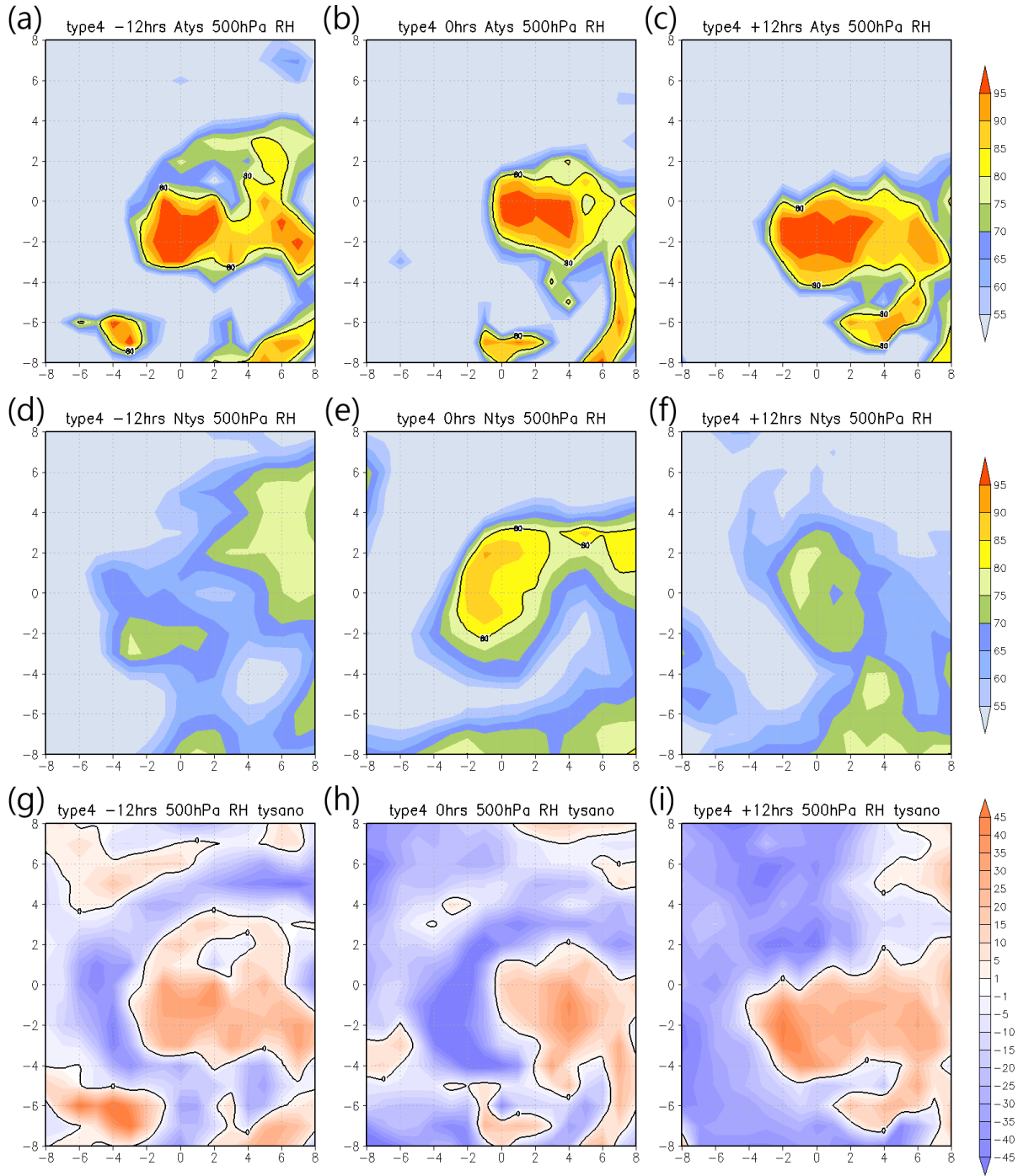


圖 3.56 路徑類型四，同圖 3.38。

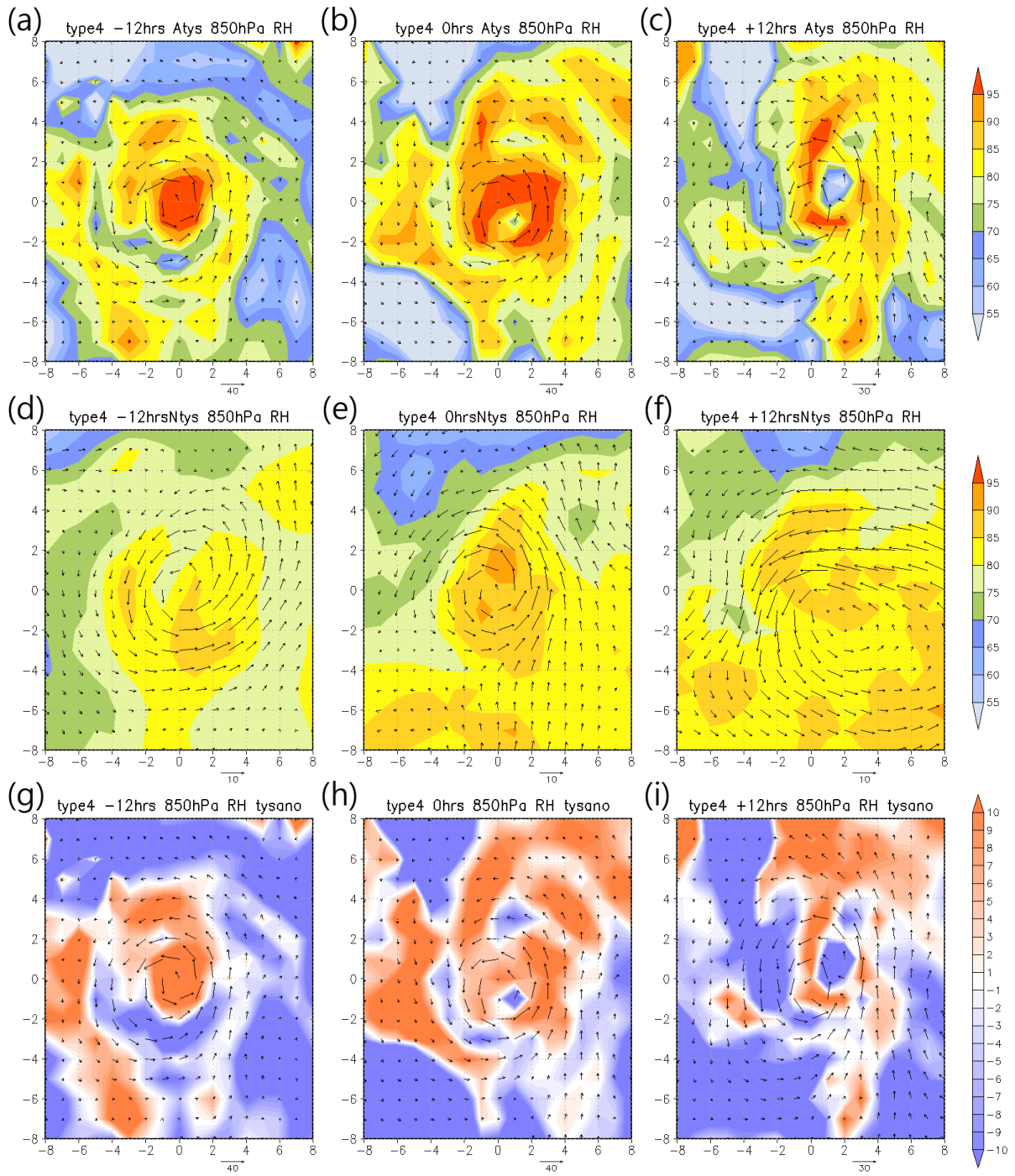


圖 3.57 路徑類型四，同圖 3.39。

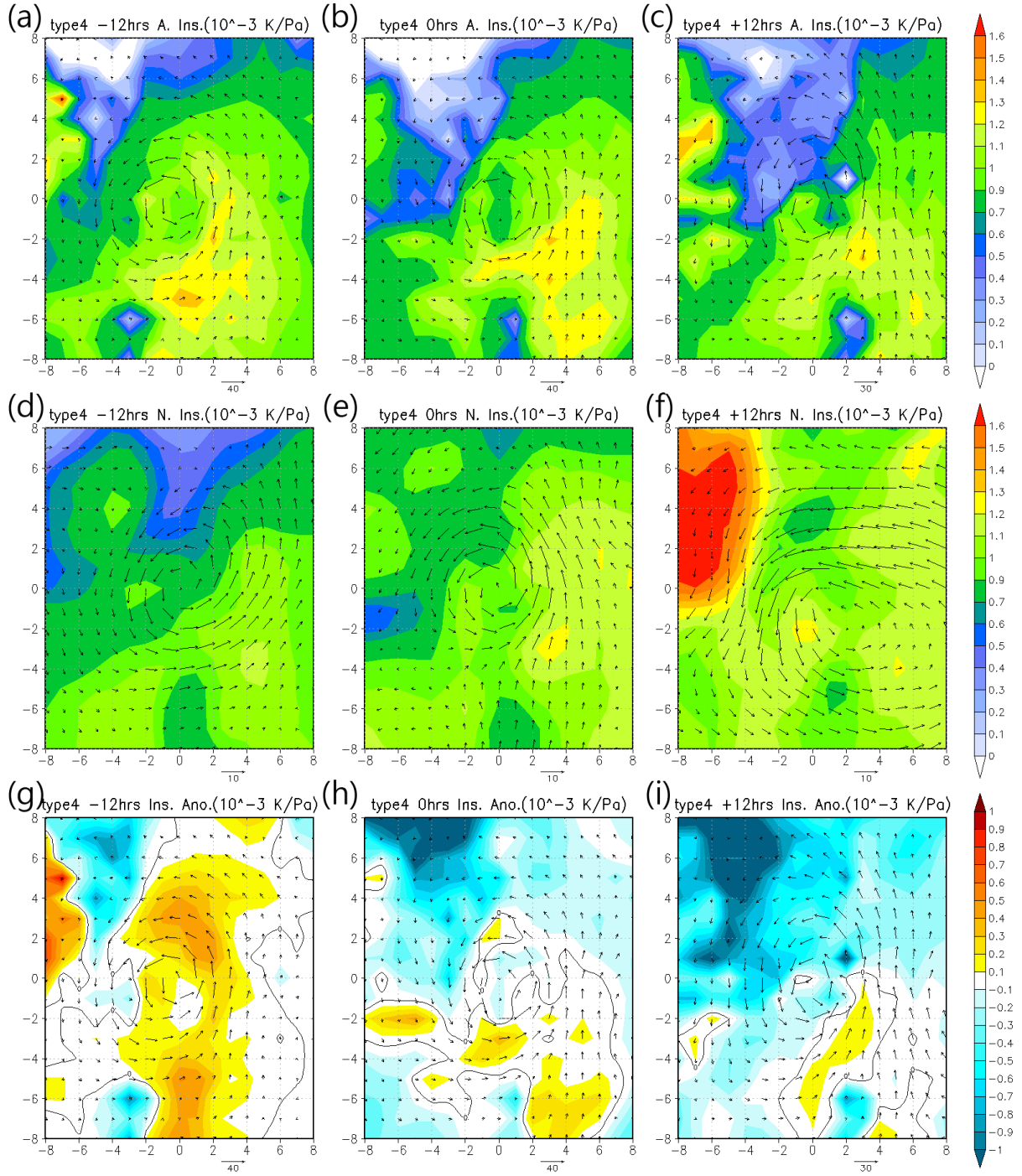


圖 3.58 路徑類型四，同圖 3.40。

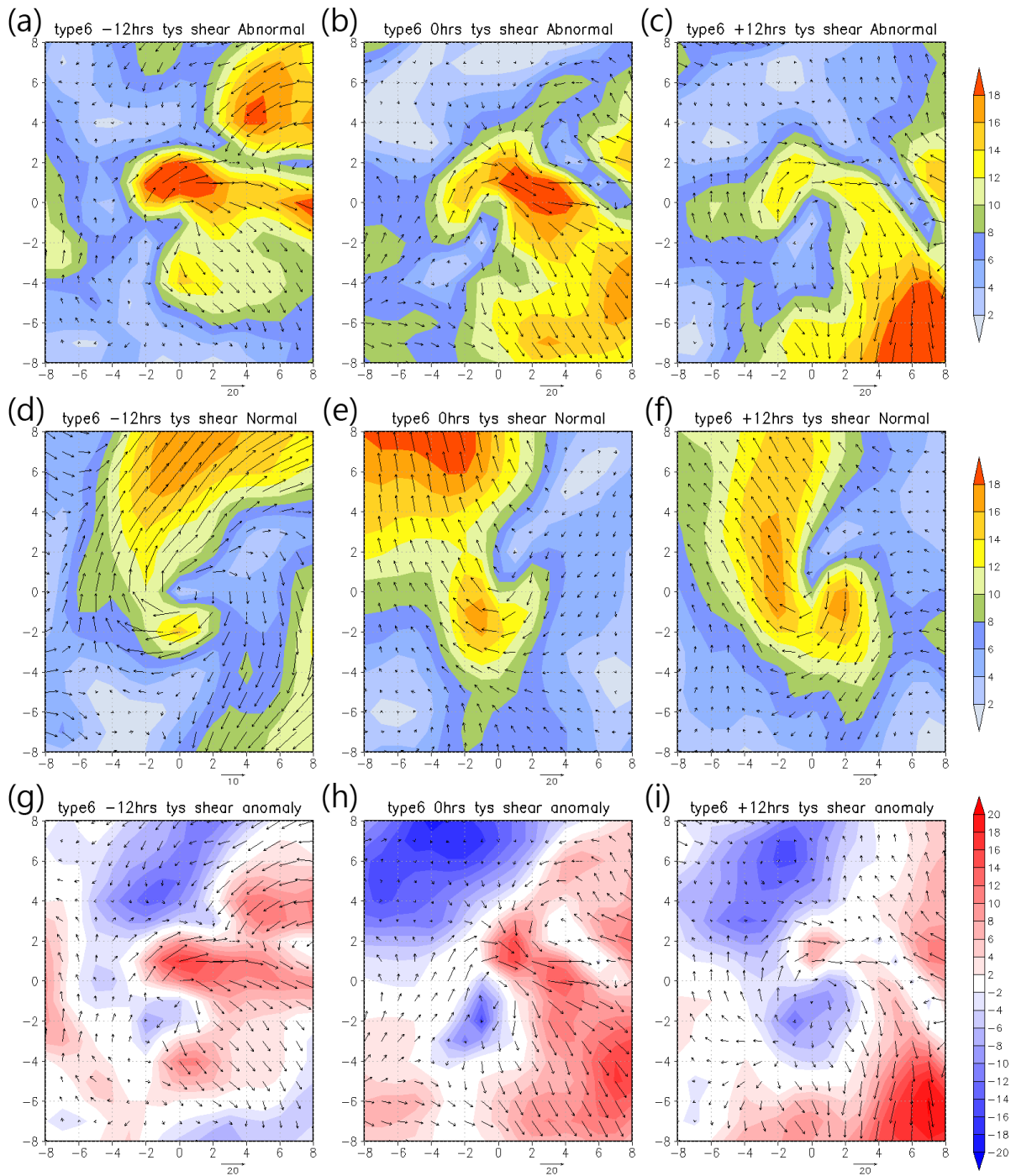


圖 3.59 路徑類型六，同圖 3.35。

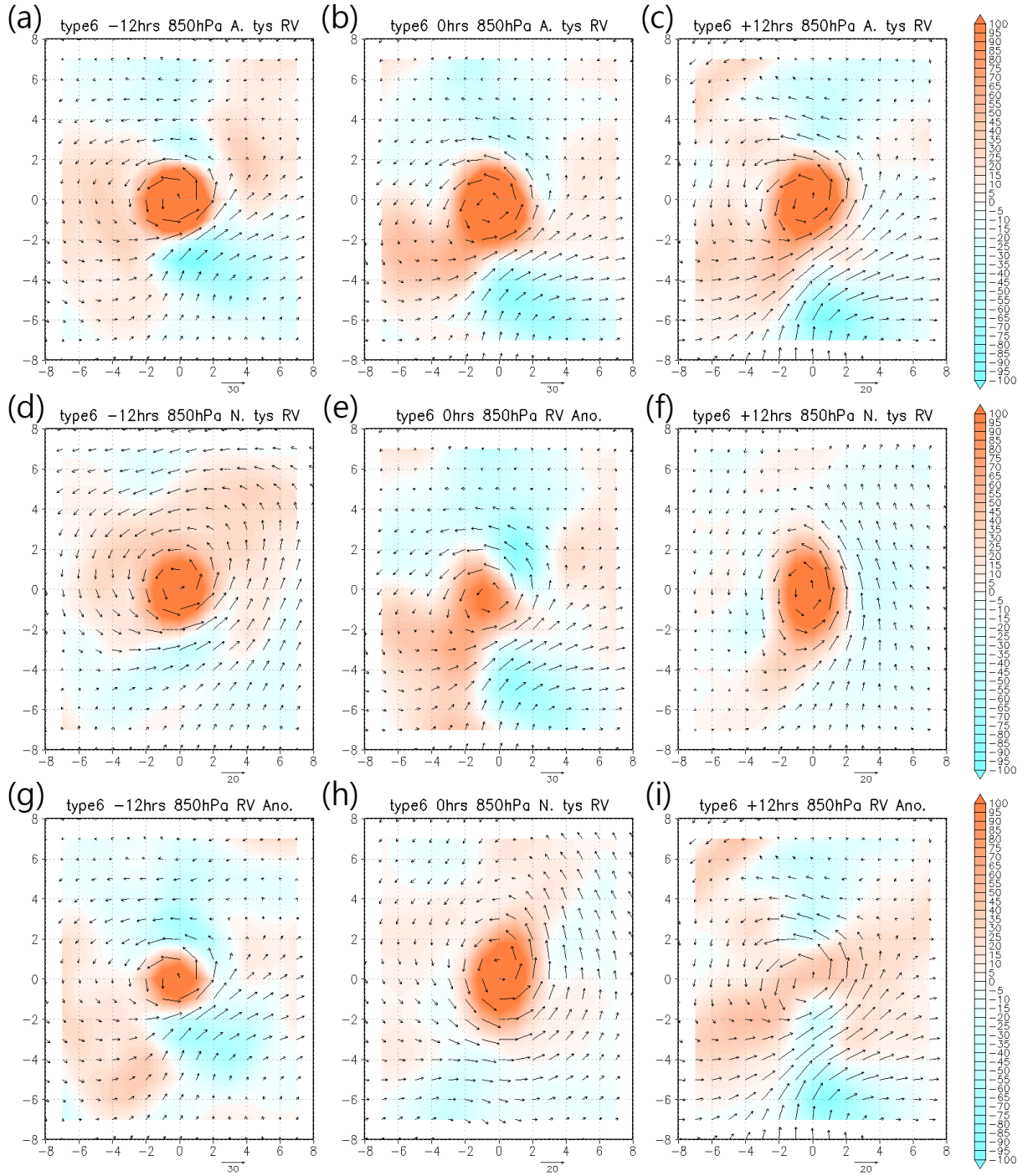


圖 3.60 路徑類型六，同圖 3.36。

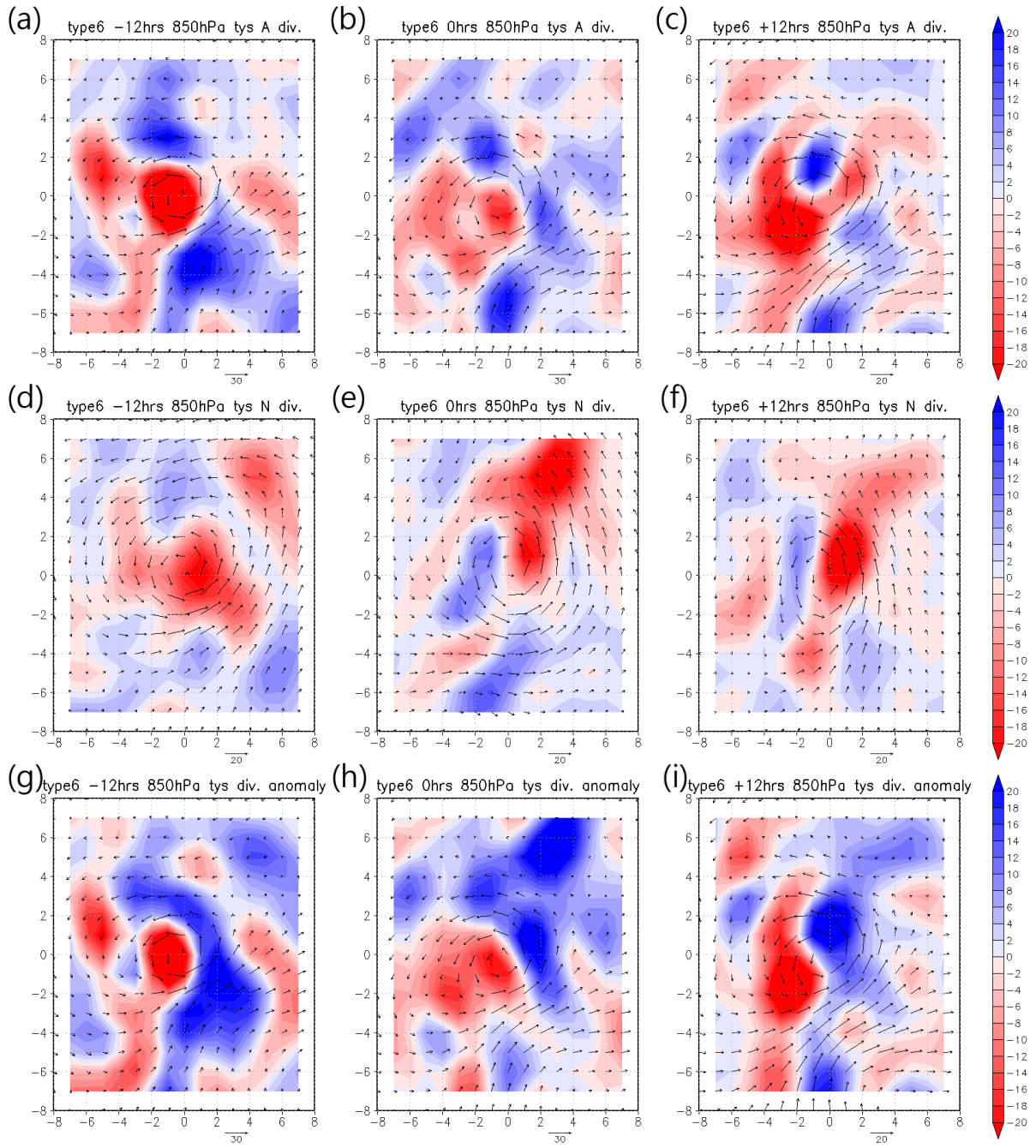


圖 3.61 路徑類型六，同圖 3.37。

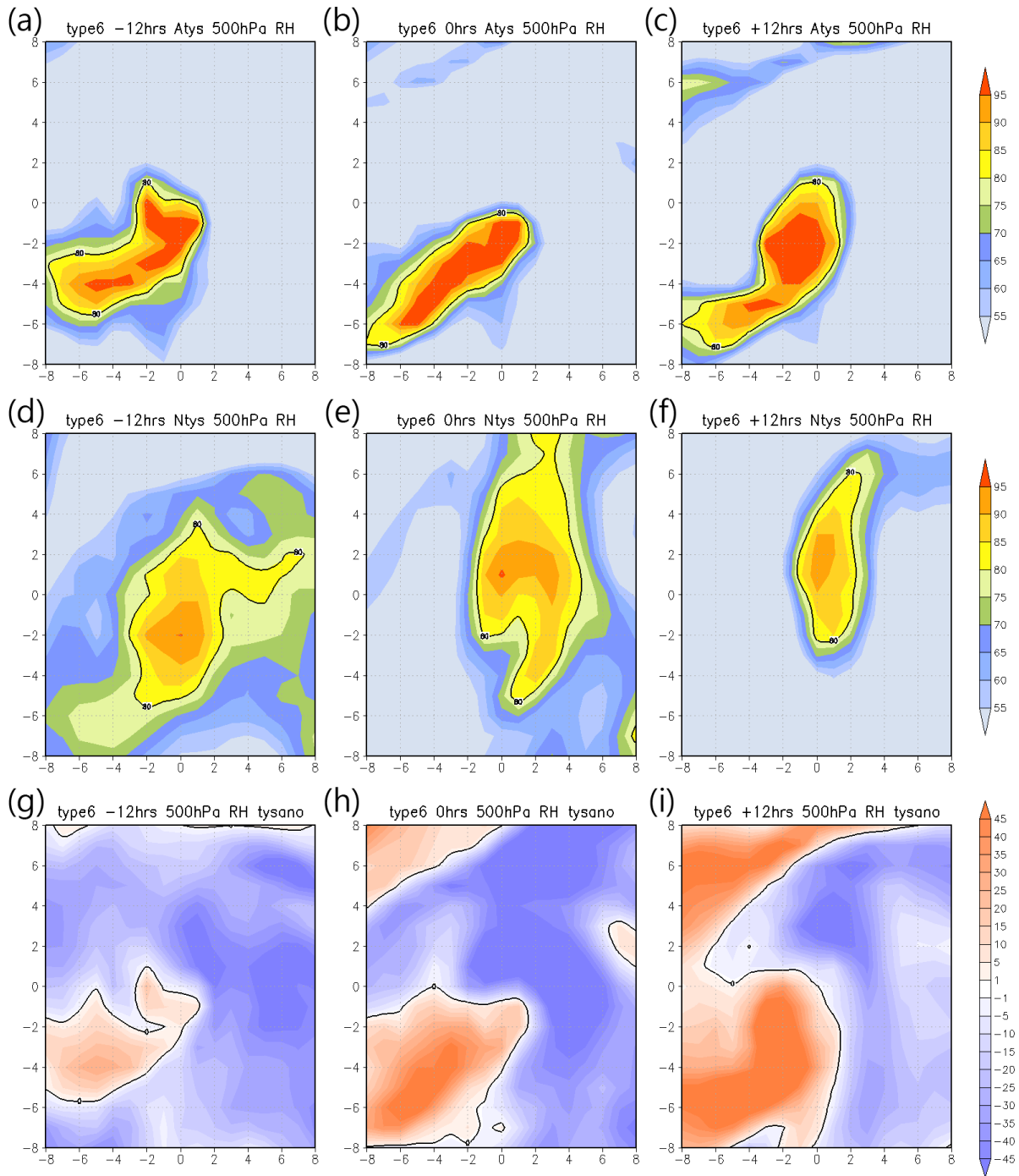


圖 3.62 路徑類型六，同圖 3.38。

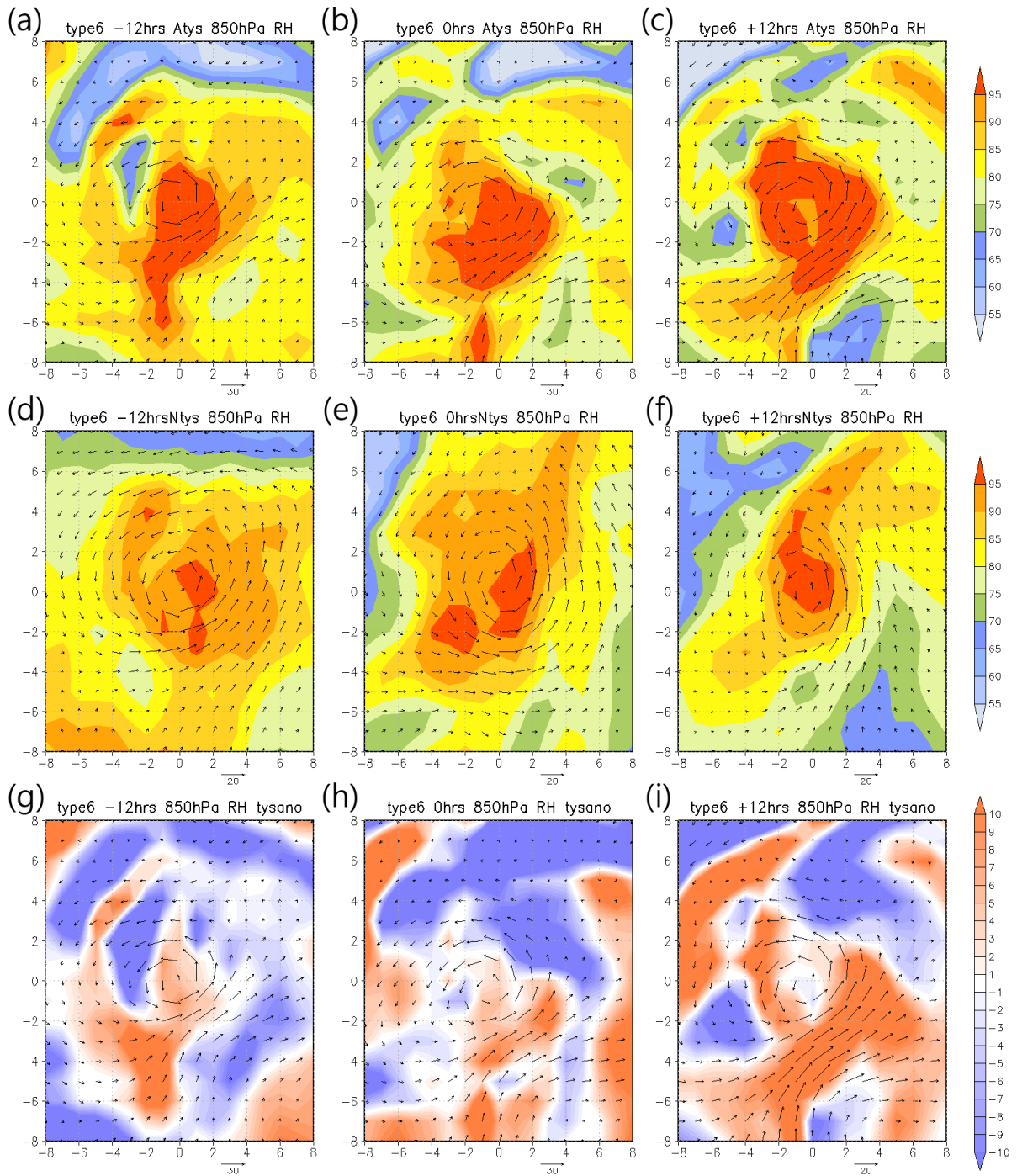


圖 3.63 路徑類型六，同圖 3.39。

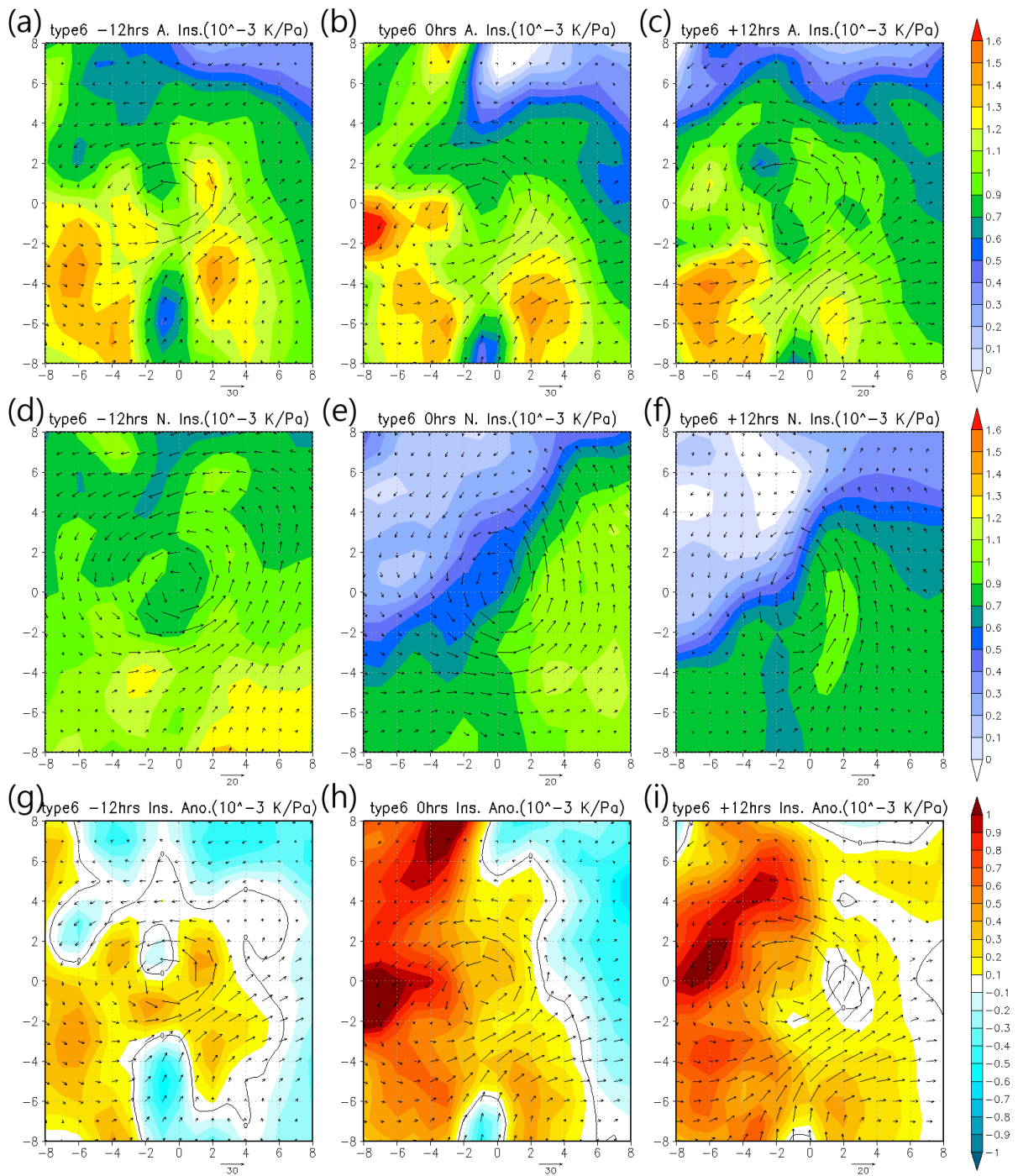


圖 3.64 路徑類型六，同圖 3.40。

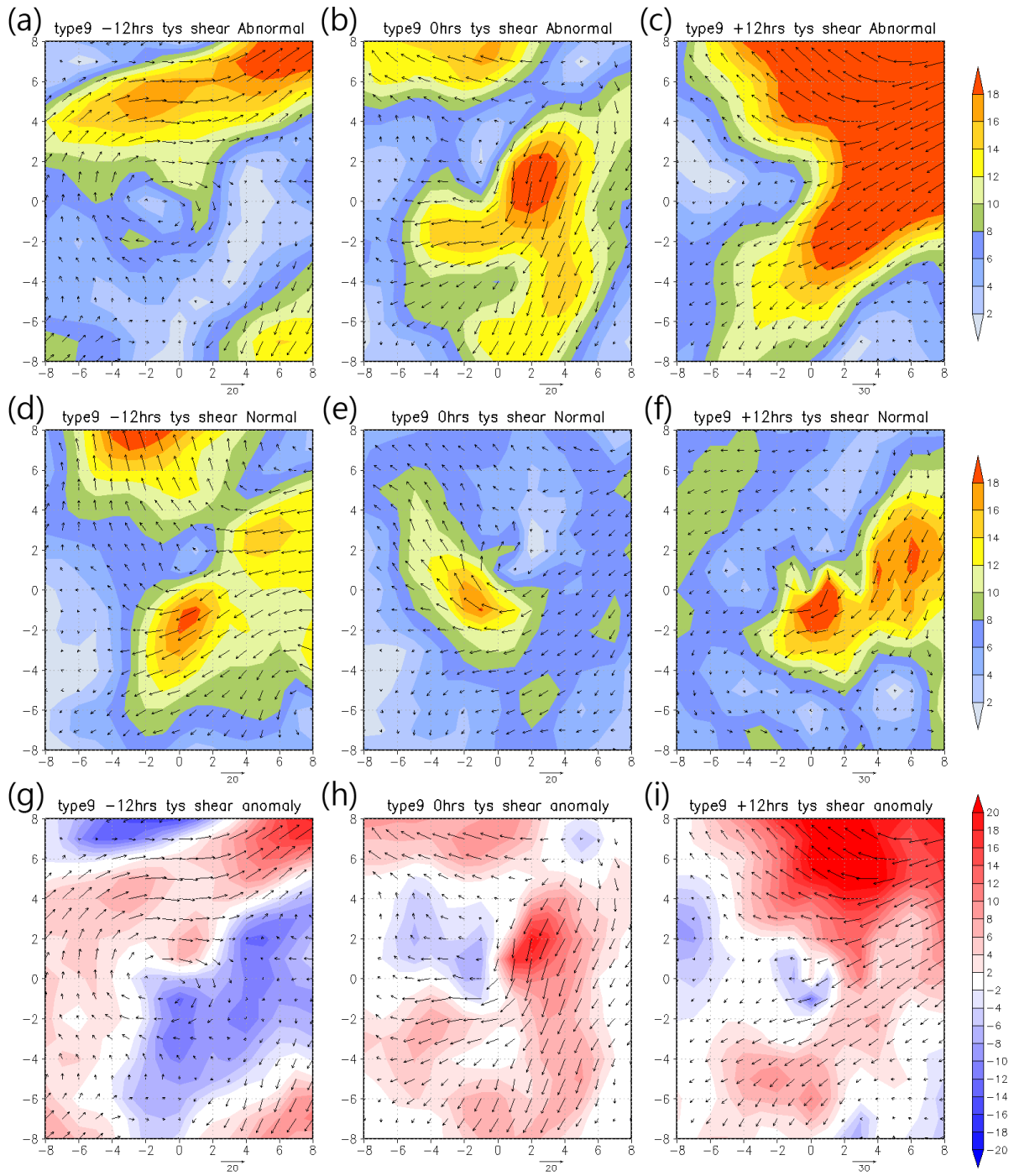


圖 3.65 路徑類型九，同圖 3.35。

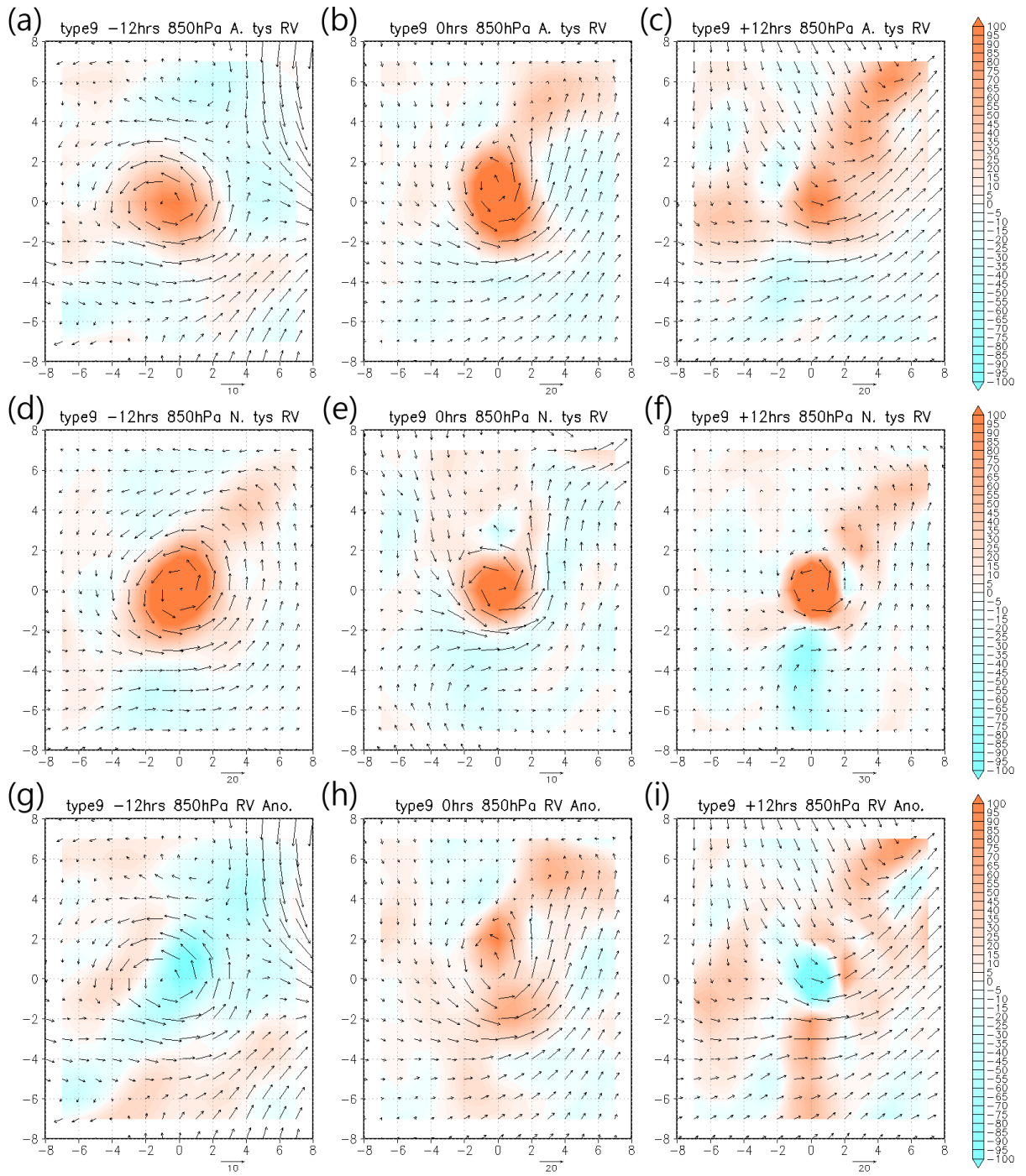


圖 3.66 路徑類型九，同圖 3.36。

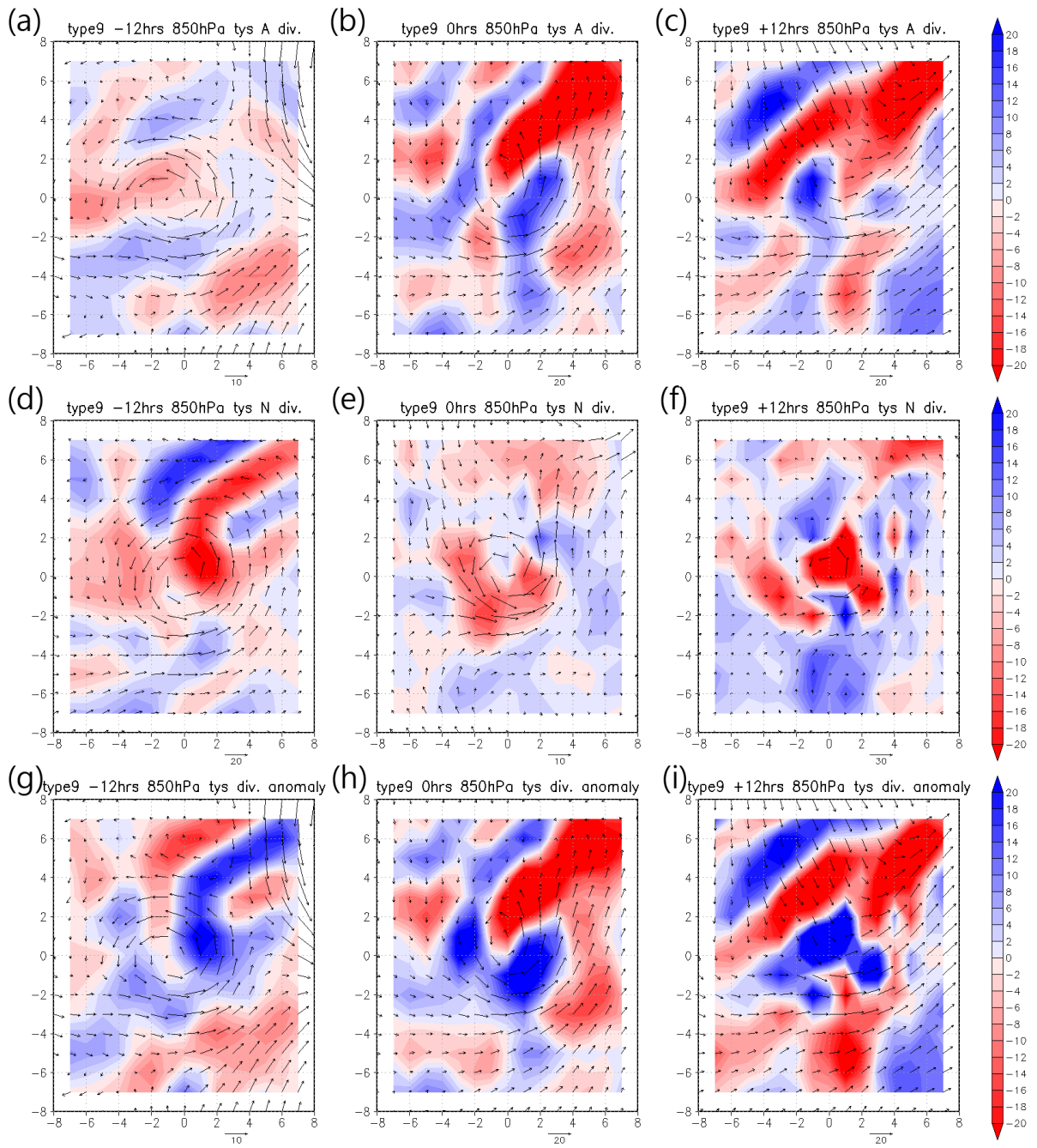


圖 3.67 路徑類型九，同圖 3.37。

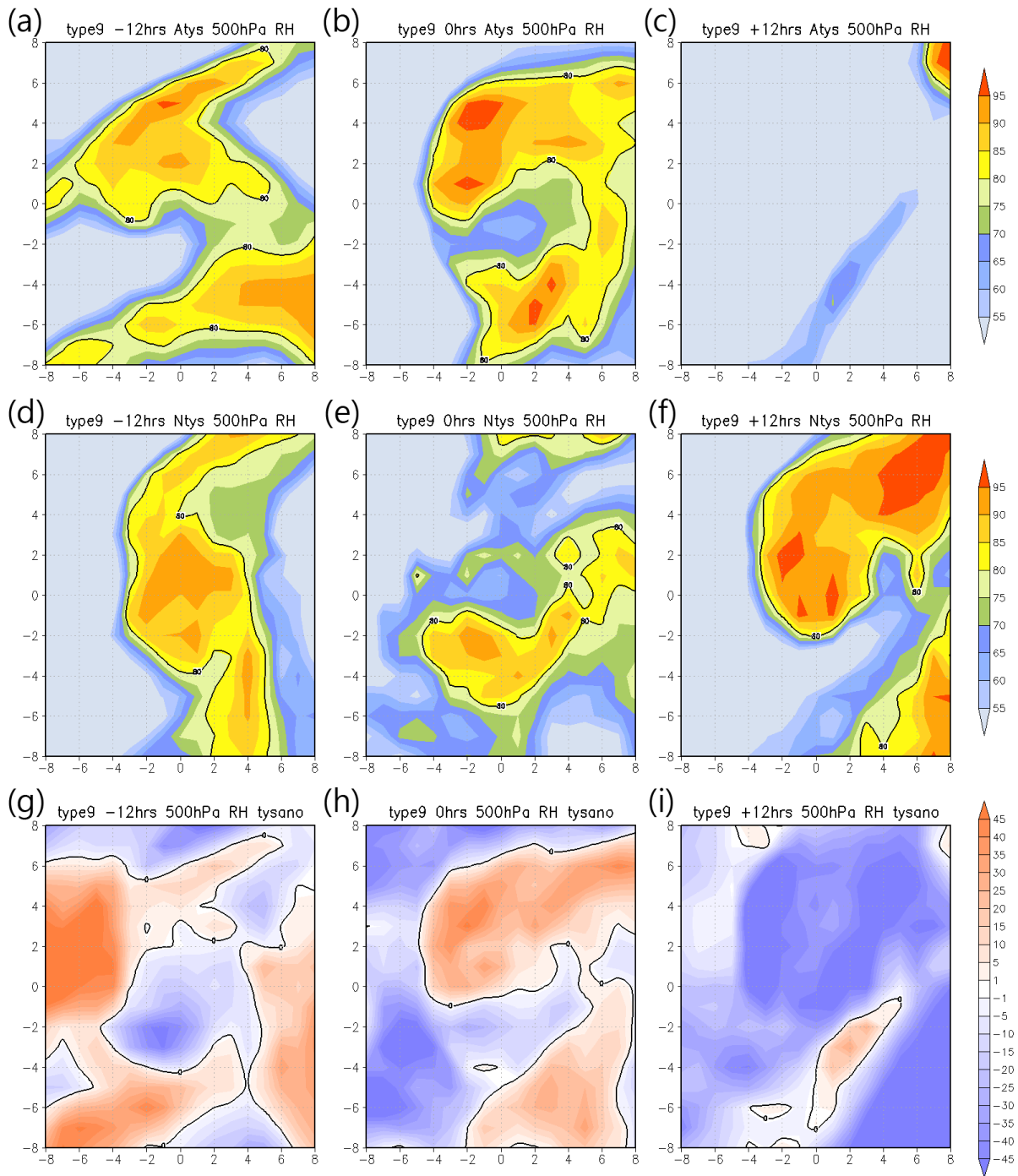


圖 3.68 路徑類型九，同圖 3.38。

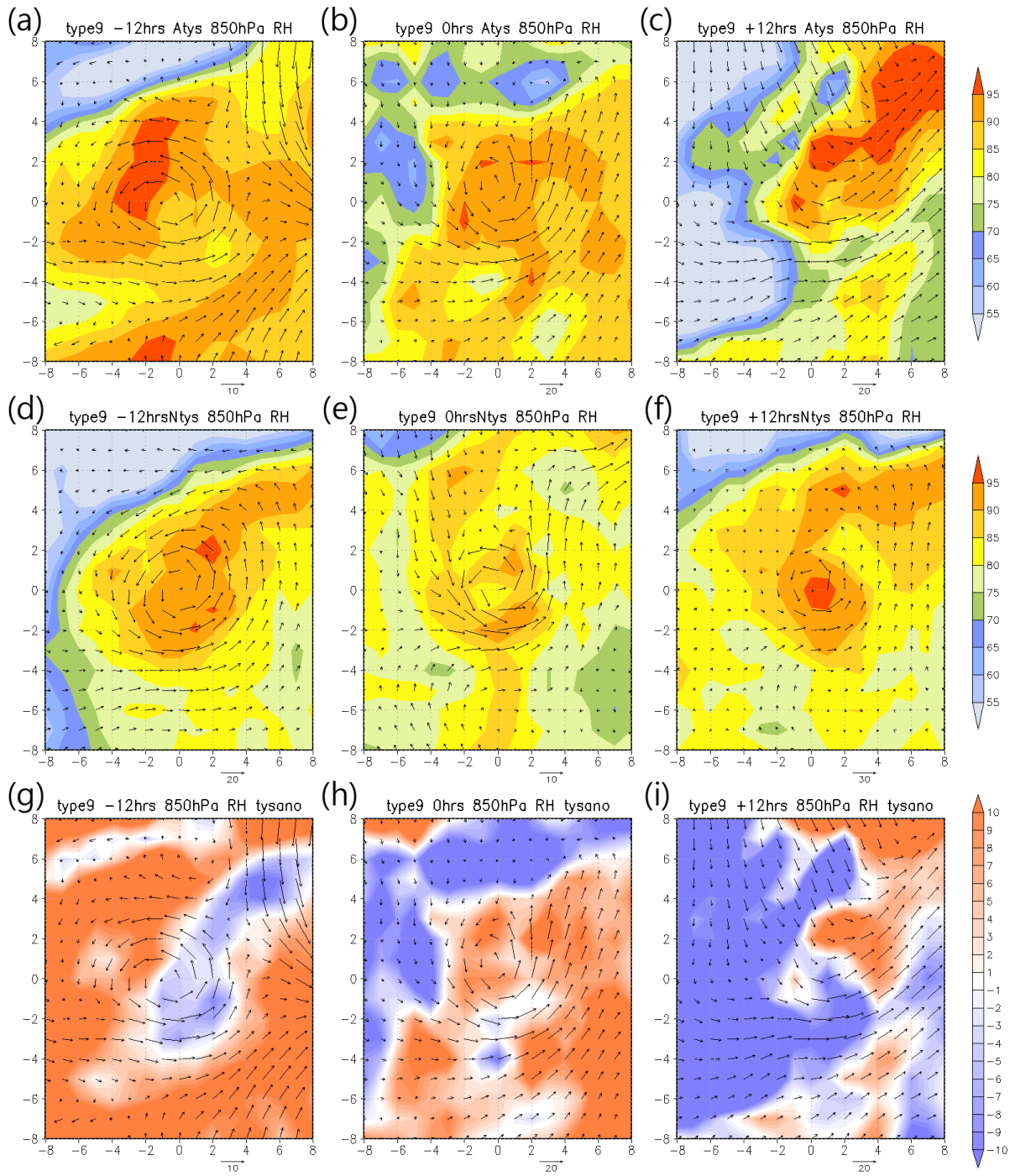


圖 3.69 路徑類型九，同圖 3.39。

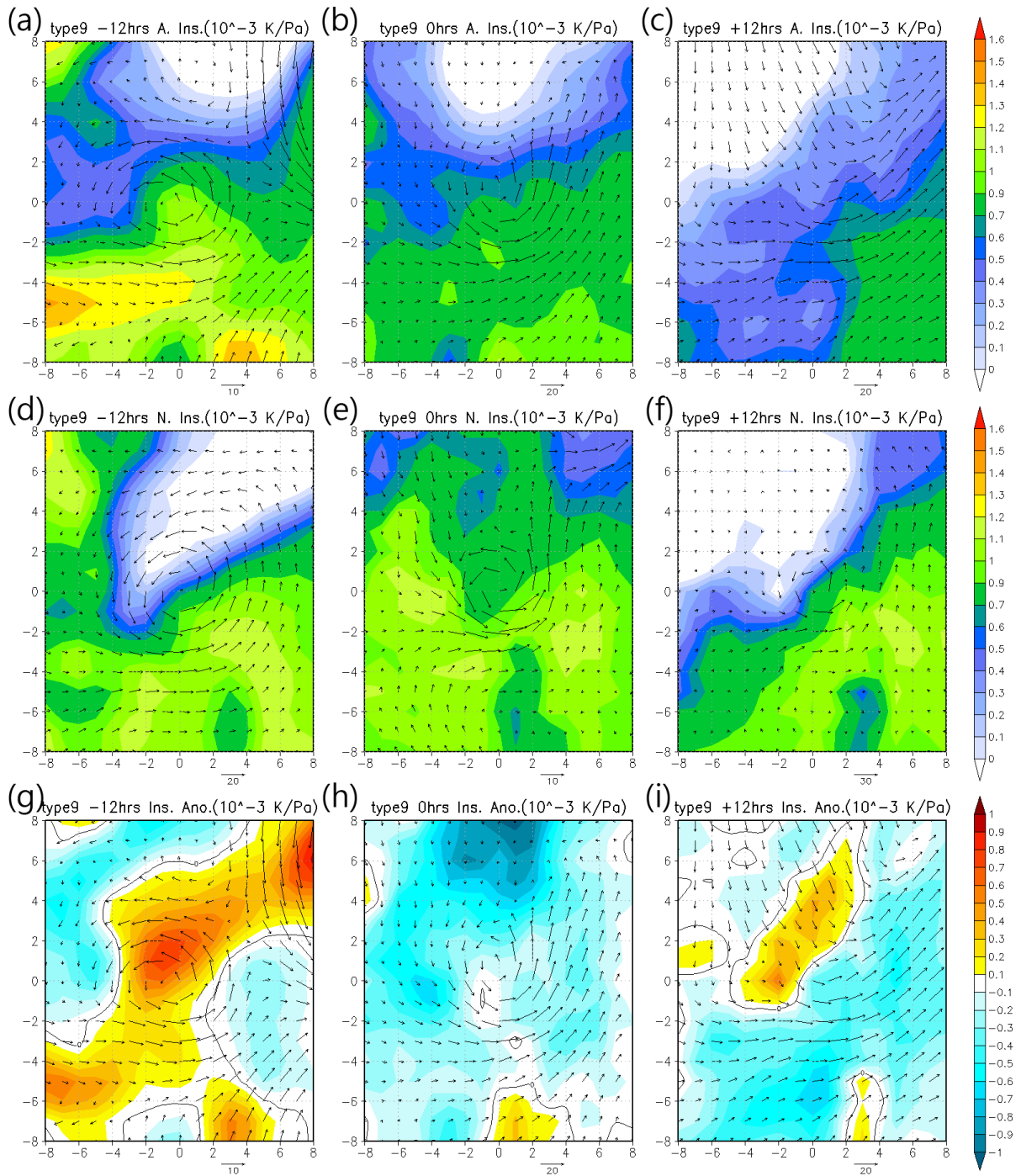


圖 3.70 路徑類型九，同圖 3.40。