臺灣地區極端降雨颱風之環境特徵與渦旋尺度特徵合成分析研究

魏士偉 [1]　**楊明仁** [2]

[1] 中央氣象局氣象資訊中心
[2] 國立臺灣大學大氣科學系

（中華民國一〇四年三月二十五日收稿；中華民國一〇四年九月八日定稿）

摘　要

本研究將 1987 至 2010 年共 81 個侵臺颱風透過各類型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兩類。其中有 12 個颱風超過各類型路徑颱風的平均異常降雨指數一個標準差以上，我們定義這 12 個颱風為極端降雨颱風。進而針對 2000 年以後的颱風個案透過 NCEP 的 FNL 1°× 1°全球分析資料，將風場資訊做 15 天的低頻濾波（low-pass filter）以分離綜觀尺度環境場與颱風渦旋尺度環流場。將濾波結果透過合成分析，用以比較極端降雨颱風在綜觀尺度環境場以及颱風渦旋尺度環流場與普通颱風的差異。

極端降雨颱風的綜觀尺度環境場顯示，在颱風環流上游區域存在較強的垂直風切以及較弱的相對渦度，並且有較高的相對濕度、較高的條件性不穩定以及在南海海域有著較強勁的西南風，而輻合輻散場在極端降雨颱風與普通颱風之間沒有明顯差異。颱風渦旋尺度的合成分析結果顯示，西行與北行路徑的極端降雨颱風個案都在登陸前 12 小時於第一象限以及登陸後 12 小時於第四象限有著較強的垂直風切，並且也有著較強的相對渦度。北行颱風在第三象限有較高的相對濕度與較強的輻合，西行颱風則沒有特定的象限分布。整體而言，各類型路徑的極端降雨颱風在環境特徵上與普通颱風有著許多系統性差異，透過這些差異分析，希望能對颱風降雨預報有所助益。

關鍵字：合成分析、低頻濾波、極端降雨

一、前言

每年夏季在西北太平洋海域生成了約 20 個颱風，其中約有 3～5 個會侵襲臺灣並且帶來降雨。但是颱風降雨除了提供臺灣社會豐沛的水資源可以利用外，也可能造成嚴重的損失。例如，2001 年的納莉颱風(Nari)在其詭異的侵臺路徑下於臺灣北部地區降下豐沛雨量，造成臺北車站淹水，癱瘓了臺北地區的交通運輸。2004 年的敏督利颱風(Mindulle)在其北上後，引進的西南氣流在中南部地區帶來極大的雨量（簡與楊，2009），造成許多道路坍方與山區土石流，農林漁牧業損失高達 89 億新臺幣。2009 年的莫拉克颱風(Morakot)在西南氣流源源不斷地供給下，為臺灣中南部地區帶來超越歷史紀錄的降雨量，造成小林村滅村的悲劇。這些帶來異常多降水的颱風對臺灣社會民生造成了嚴重的生命財產損失，因此對於這種帶來異常降水颱風的環境條件需要更深入的研究，以期能在颱風尚未登陸臺灣時，從環境條件即可辨別該颱風是否會帶來異常極端的降雨量，進而提早防範以減少損失。

影響颱風降雨的因素有很多，例如移動路徑與速度、環流與地形間的交互作用、颱風強度、環流範圍等都會造成颱風降雨量的差異。Yang et al. (2008)針對 2001 年於北臺灣帶來豐沛降雨量的特殊路徑颱風納莉(Nari)，使用 MM5 模式進行不同臺灣地形高度的模擬實驗，得知有臺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（相對於沒有臺灣地形的敏感度實驗）。

Lee et al. (2008)為瞭解 2004 年敏督利(Mindulle)颱風在臺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臺期間於臺灣西南部地區生成之副低壓，其與西南氣流結合造成更強的水汽輻合，因此在南部地區帶來極端的降雨量。

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，敏督利颱風在侵襲臺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，故造成豪大雨。

Hill and Lackmann (2009)的研究利用 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，其研究指出若颱風生成於較高相對濕度的環境場，外圍雨帶會有較大的水平範圍與累積降雨。

Hendricks et al. (2010)的研究使用 15 天的低頻濾波，針對 NOGAPS (Navy Operational Global Atmospheric Prediction System)全球模式 1.0°×1.0°、12 小時一筆的全球資料，分離出颱風渦旋環流場與綜觀尺度環境場，並探討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間的關係。

Wu et al. (2011)、Lee et al. (2011)、周等人(2011)都指出 2009 年莫拉克颱風與大尺度環流系統的交互作用，增強了颱風西南側的綜觀尺度西南氣流並且減緩了颱風的移動速度，導致莫拉克颱風影響臺灣時間拉長並在臺灣南部山區帶來驚人的雨量。

為了瞭解這些帶來極端降水的颱風的環境條件特徵，本研究將在第二節說明資料來源與研究方法，結果分析於第三節呈現，包括綜觀尺度環境場特徵與颱風時間尺度的分析與討論，最後第四節為結論。

二、資料來源與研究方法

(二) 資料來源

本研究使用中央氣象局自 1987 年起自動雨量站與人工測站的逐時降雨資料計算中央氣象局定義之各類路徑颱風於陸上警報期間的累積雨量，用以得出異常降雨指數(API)，並依此指數分類各路徑的極端降雨颱風與普通颱風，再透過合成分析根據自 2000 年至 2010 年為止每六小時一筆的 NCEP/FNL (Final) Operational Global Analysis 1.0° × 1.0°的全球分析場資料比較兩者的差異。

(二) 研究方法

1. 異常降雨指數

依照中央氣象局的定義，中心經過東經 119°E～125°E、北緯 21°N～26°N 這個區域的颱風稱為侵臺颱風。根據颱風行進路線的不同，中央氣象局分成九種颱風路徑（圖 1），這九種路徑在 1987 年至 2010 年間的侵臺颱風列於表 1。1987 年至 2010 年間共有 81 個侵臺颱風，其中以第三類路徑（西行）與第六類路徑（北行）最多，其異常降雨指數也較具代表性，因此本研究將針對這兩類路徑詳加探討，但仍會綜合比較這兩類與其他颱風數量較多的路徑類型一至四、六與九的環境條件差異。另外，特殊路徑的颱風個案（如 2001 年的納莉颱風）不在本研究中討論。我們分析全臺灣約 400 個自動雨量站及 26 個人工測站始自 1987 年的降雨資料，計算每個侵臺颱風各測站的異常降雨指數(Abnormal Precipitation Index, API)，

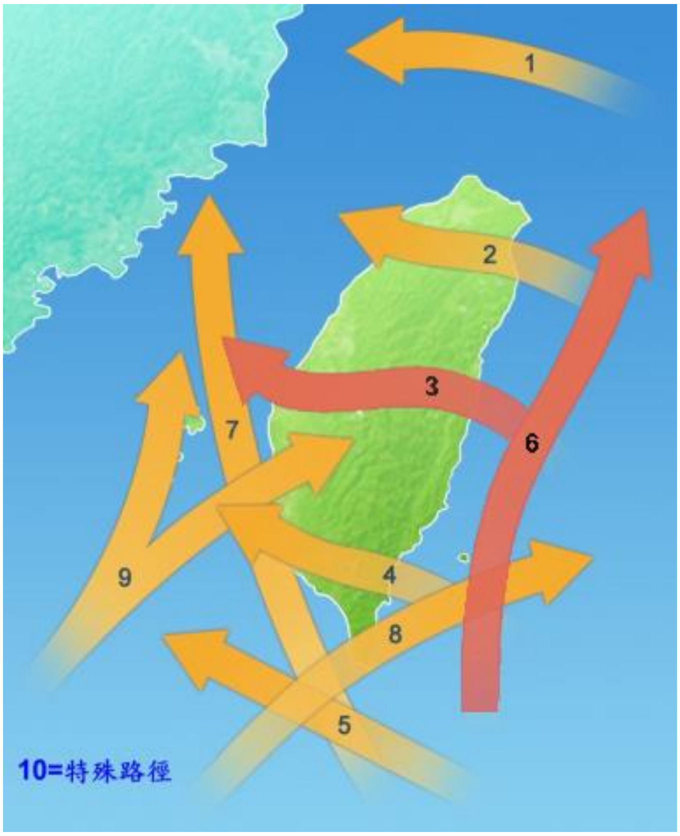

圖 1　中央氣象局所定義之侵臺颱風的路徑分類，共分 10 類。

表 1　1987 年至 2010 年間侵臺颱風路徑分類，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 的定義請見內文(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

而 API 的定義如下式，

$$\mathrm{API}(i)=\frac{r(i)-\bar{r}(i)}{\sigma(i)} \tag{1}$$

其中 i 代表了全臺灣自動雨量站與人工測站編號，$r(i)$代表此颱風於第 i 個雨量站在陸上颱風警報發佈期間的累積降雨量，$\bar{r}(i)$則是同一路徑類型的颱風在陸上颱風警報發佈期間於第 i 個測站降下的平均降雨量，$\sigma(i)$是此路徑類型颱風於第 i 個測站的降雨量標準差，透過式(1)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。接著使用下列式(2)計算各類路徑每一個颱風的總異常降雨指數(TAPI)

$$\mathrm{TAPI}=\sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{n}}\mathrm{API(i)},\ \mathrm{if\ API(i)}>1 \tag{2}$$

其中挑選每一個侵臺颱風 API 值大於 1（即陸上颱風警報期間累積雨量大於其路徑平均雨量 1 個標準差）的測站 API 值加入 TAPI 累計，每個侵臺颱風的 TAPI 值與 API 值超過 1 的測站數量（為式(2)中的 n 值）列於表 1。再就每一路徑類型取其 TAPI 的平均值與標準差，定義超過 TAPI 平均值 1 個標準差為該路徑類型之極端降雨颱風的門檻值，第一類路徑颱風的 TAPI 門檻值為 233.49、第二類路徑為 180.76、第三類路徑為 237.65、第四類路徑為 273.9、第五類路徑為 136.69、第六類路徑為 221.21、第七類路徑為 187.12、第八類路徑為 258.34 與第九類路徑為 203.16，在各種路徑類型中未超過此 TAPI 門檻值的颱風則為普通颱風。

經過此方法篩選自 1987 年到 2010 年間的 81 個侵臺颱風，共有 12 個極端降雨颱風超過其路徑類型的 TAPI 門檻值，分別是路徑類型一的艾利(Aere, 2004)、路徑類型二的辛樂克(Sinlaku, 2008)、路徑類型三的海棠（Haitung, 2005）與莫拉克(Morakot, 2009)、路徑類型四的凡那比(Fanapi, 2010)、路徑類型五的杜鵑(Dujuan, 2003)、路徑類型六的瑞伯(Zeb, 1998)與敏督利(Mindulle, 2004)、路徑類型七的賴恩(Ryan, 1995)、路徑類型八的葛樂禮(Gloria, 1996)、路徑類型九的納克莉(Nakri, 2002)與南瑪都(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 年方開始建立，資料完整性不足，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)不在合成分析的討論範圍。

2. 低頻濾波

本研究參考 Hendricks et al. (2010)低頻濾波方法(low-pass filter)，經過不同濾波天數的比較測試後，發現 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。因此在本研究中，第一部分的環境風場資料為 15 天低頻濾波後的結果，用以討論極端降雨颱風所在的綜觀尺度環境場的特徵。第二部份為颱風時間尺度之分析與探討，則是提取在第一部分中被濾除的風場資訊，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。

3. 環境變數

為瞭解異常降雨颱風在綜觀環境場上的特徵，本研究選擇幾個重要的環境場變數，分別是垂直風切（200 hPa 至 850 hPa）、條件不穩定度、低層 850 hPa 水平渦度、850 hPa 與 200 hPa 水平

輻散場、850 hPa 與 500 hPa 相對溼度場、海表面溫度場以及環境風場，這些環境變數的計算方式與資料來源列於表 3。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；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。本研究中垂直風切的計算方式為高層 200 hPa 的水平風場減掉低層 850 hPa 的水平風場，而條件不穩定度為低層 1000 hPa 到 700 hPa 之間相當位溫的垂直梯度。由於相當位溫並非 NCEP/FNL 資料中的輸出變數，因此本研究中用以計算條件不穩定度的相當位溫(Θ_e)是透過 FNL 資料的其他熱

表 2　極端降雨颱風路徑分類、名稱、侵臺年份，及其 TAPI 值與個別路徑 TAPI 門檻值。*表示為 2000 年以前侵襲臺灣的颱風，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	API	路徑總API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	$\lvert U^{*}{}_{200} - U^{*}{}_{850}\rvert$	ms^{-1}	FNL
條件不穩定度	$\partial\theta_E/\partial p$	$K\ Pa^{-1}$	FNL
200 hPa輻散場	$\nabla\cdot U^{*}{}_{200}$	s^{-1}	FNL
850 hPa輻散場	$\nabla\cdot U^{*}{}_{850}$	s^{-1}	FNL
850 hPa相對渦度	$k\cdot\nabla\times U^{*}{}_{850}$	s^{-1}	FNL
500 hPa相對濕度	FNL模式輸出	%	FNL
850 hPa相對濕度	FNL模式輸出	%	FNL
海表面溫度	FNL模式輸出	℃	FNL

力參數推算而得，其定義如下(Bohren and Albrecht, 1998)

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

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

4. 合成分析

本研究綜觀尺度分析部分以侵臺颱風登陸（或最接近）臺灣的時間當日做為時間中心點，將前述環境變數以及經由 15 天低頻濾波的水平風場資料(Hendricks et. al, 2010)，取前後兩天共五天的時間進行合成分析。颱風渦旋尺度的分析則以被低頻濾波濾除的水平風場資料與環境變數，探討極端降雨颱風與普通颱風在登陸（最接近）臺灣前後 12 小時的差異。

三、極端降雨颱風特徵分析

(一) 西行颱風與北行颱風綜觀尺度環境場特徵分析

在中央氣象局颱風資料庫的路徑分類中，侵臺颱風的路徑大致上可以分成兩種，第一種是前四類路徑的颱風，路徑主要向西前進，我們稱為西行颱風。第二種路徑則是朝北移動的北行颱風（後四類路徑），因此本研究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的比較。在前五類的西行颱風中，路徑類型三在 2000 年以後的侵臺颱風有 10 個，為最多颱風個案的路徑，故以此類型路徑颱風代表典型的西行颱風類別。而北行颱風路徑中以路徑類型六有最多個案，便以此為代表。

1. 西行颱風（路徑類型三）

西行路徑的極端降雨颱風個案為 2005 年的海棠(Haitung)與 2009 年的莫拉克(Morakot)颱風。此類路徑颱風中心會從臺灣東部花蓮地區登陸往西北方向移動，於臺灣西部或西北部地區出海。於五天合成分析圖中，500 hPa（圖 2a）與 850 hPa（圖 2b）的環流中心位於臺灣中部山區；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。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。

平均累積雨量分佈圖顯示此類路徑颱風（圖 3b）的降雨通常集中在花蓮北部與臺灣南部山區；但此類型路徑的莫拉克颱風(Morakot, 2009)之累積雨量（圖 3a）除了在這兩區域有很高的降雨外，亦在西北部與西南部山區帶來了許多雨量，因此有較高的 API 值（圖 3c）。

由環境垂直風切場（圖 4a、c、e）的比較得知，普通颱風與極端降雨颱風在臺灣附近地區並沒有明顯的差異，但是在臺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，約比普通颱風個案多 10m/s。從低層 850 hPa 風場與垂直相對渦度場（圖 4b、d、f）中，極端降雨颱風可以明顯地看見在臺灣附近有範圍寬廣的季風渦旋(monsoon gyre)存在，普通颱風則無，因此在臺灣附近極端降雨颱風個案的垂直相對渦度比普通颱風個案來得更高。

低層 850 hPa（圖 5a、c、e）的輻散場顯示極端降雨颱風個案在臺灣地區有著較強的低層輻合，而普通颱風在整個區域多為較弱的低層輻合。

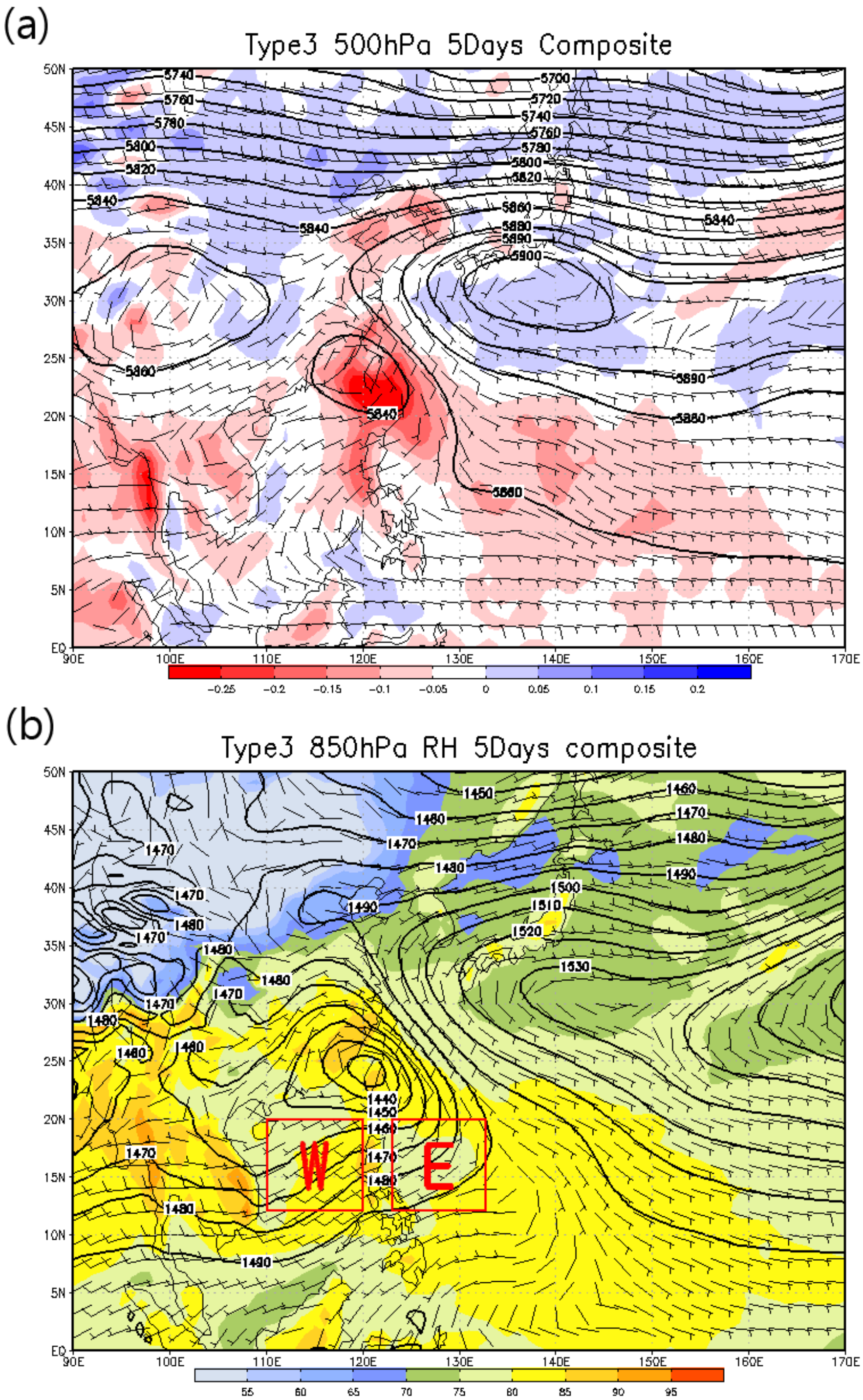

圖 2　路徑類型三 500 hPa (a)、850 hPa (b)之五天合成圖，其中實線為等重力位高度線，風標代表風向風速，(a)的填色區域為垂直速度，紅色表示上升運動，藍色為下沉運動，單位：Pa/s，(b)的填色區域為相對濕度。W 區域範圍為東經 110°E 至 120°E、北緯 12°N 至 20°N，E 區域範圍為東經 123°E 至 133°E、北緯 12°N 至 20°N。

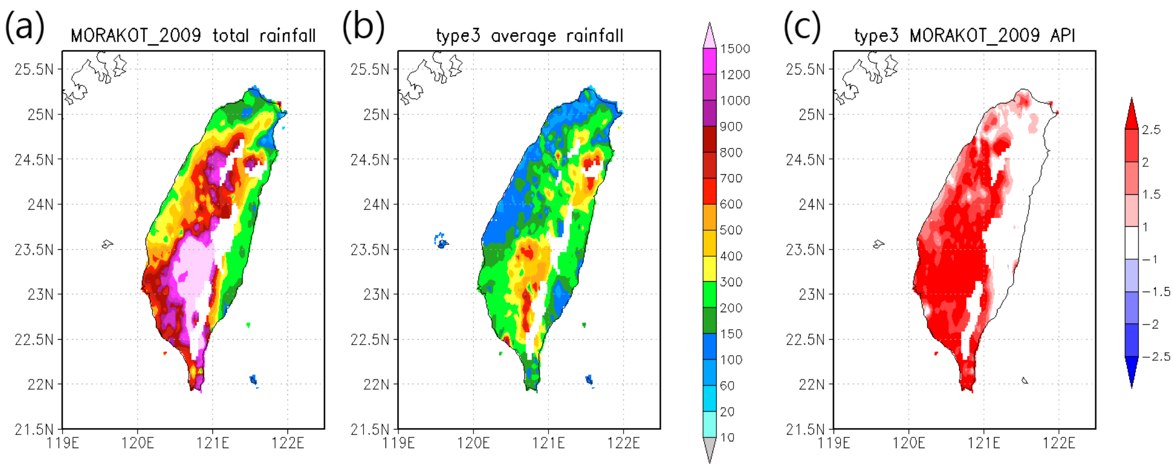

圖 3　為路徑類型三累積雨量與異常降雨指數(API)分佈圖，圖(a)為極端降雨颱風莫拉克(2009)陸上警報期間累積雨量分佈圖，圖(b)為路徑類型三颱風陸上警報期間平均累積雨量，圖(c)為極端降雨颱風莫拉克(2009)的異常降雨指數(API)分佈圖。

在條件不穩定度方面，於極端降雨颱風與普通颱風的差異量圖（圖 5f）中可以明顯得知，路徑類型三西行颱風的極端降雨颱風個案於南海海域與臺灣東部海面都有著較普通颱風個案更為不穩定的空氣。

另外由低層大氣(850 hPa)的相對濕度場（圖 6a、c、e）顯示，極端降雨颱風個案於臺灣近海與太平洋海域擁有較潮濕的水氣；雖然菲律賓東方海面與南海海域的相對濕度較低，但是整體來說仍比普通颱風個案潮濕，較有利於外圍雨帶的發展(Hill and Lackmann, 2009)。路徑類型三的海表面溫度（圖 6b、d、f）差異量在臺灣海峽海域與臺灣東方的太平洋海面，極端降雨颱風個案的海表面溫度比普通颱風高約 0.3～0.7 度。

綜合言之，路徑類型三之西行颱風的極端降雨個案環境場有著較強的低層輻合，較高的條件不穩定度，有利於對流系統的發展，且較高的海表面溫度以及存在季風渦旋從西南側的南海海域帶來了更多水氣，提供更多對流系統發展所需的水氣通量，造成了臺灣中南部地區極大的降雨量。

2. 北行颱風（路徑類型六）

1998 年的瑞伯(Zeb)與 2004 年的敏督利(Mindulle)為北行路徑中的極端降雨颱風，此類路徑的颱風行進路線主要會經過臺灣的東部海面並往北前進。在 500 hPa 合成圖（圖 7a）中可以看見此路徑的颱風移動特性，受到駛流場牽引的影響，使得颱風向北前進，並且颱風的環流併入了中層 500 hPa 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 850 hPa 的合成圖（圖 7b）得知，高相對濕度的區域同樣也分佈在中層上升運動區域的下方，為此路徑颱風水氣的主要來源。

此類型颱風在臺灣東部地區有較多的平均累積雨量（圖 8b），但此類型路徑的極端降雨颱風敏督利在臺灣南部山區的西面與南部平原地區都降下了較路徑平均累積雨量更多的降雨（圖 8a），故其較高的 API（圖 8c）主要分佈在中南部地區。

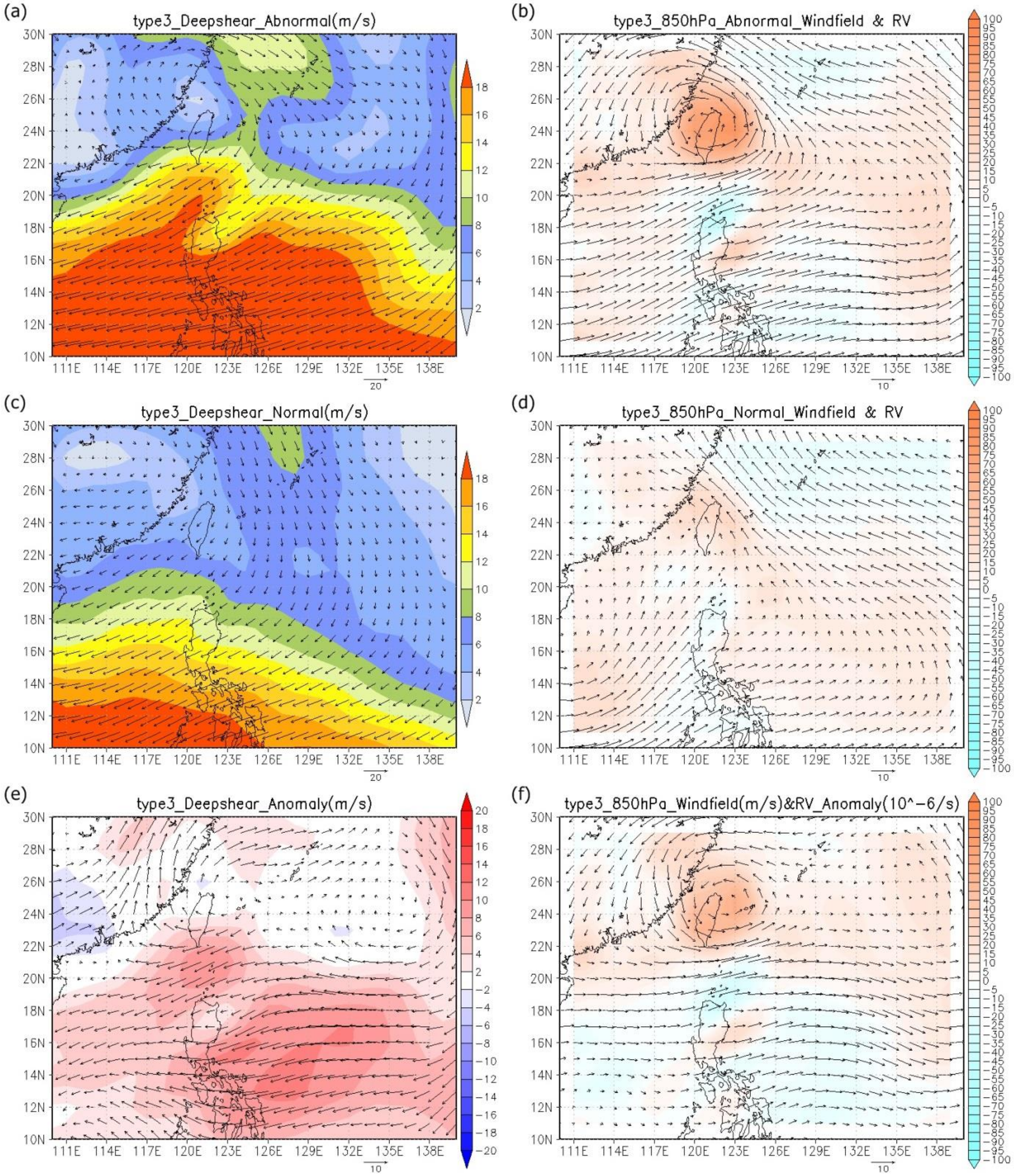

圖 4　路徑類型三：(a)、(b)為極端降雨颱風，(c)、(d)為普通颱風，(e)、(f)為極端降雨颱風與普通颱風的差值（極端降雨颱風減普通颱風）；其中(a)、(c)、(e)陰影代表垂直風切的量值，向量則為風切方向與速度，單位：m/s。(b)、(d)、(f)為低層 850 百帕風場，單位：m/s。陰影為水平相對渦度場，單位：10^{-6}/s。

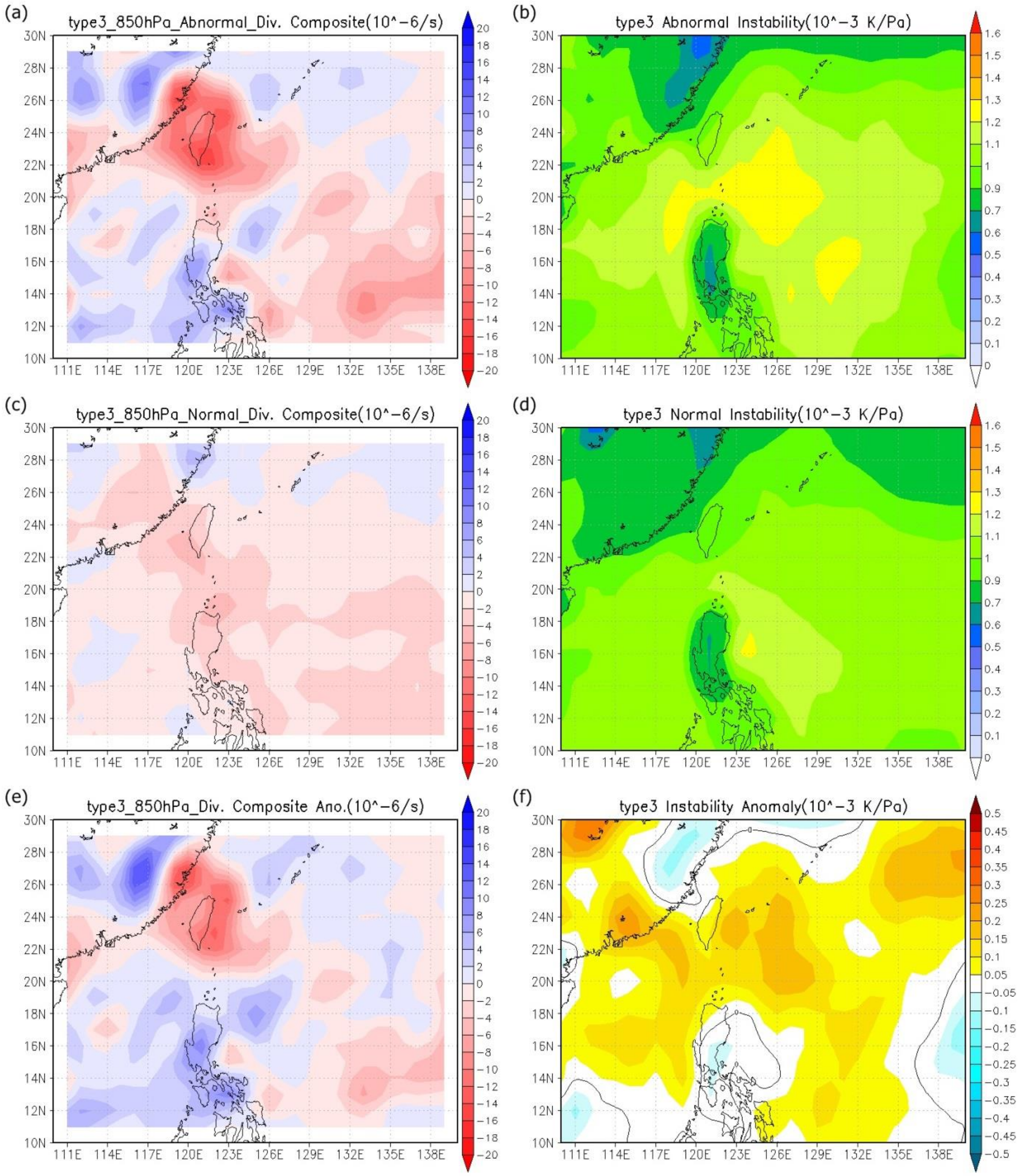

圖 5　路徑類型三：(a)、(b)為極端降雨颱風，(c)、(d)為普通颱風，(e)、(f)為極端降雨颱風與普通颱風的差值（極端降雨颱風減普通颱風）。(a)、(c)、(e) 850 百帕輻散場，單位：10^{-6}/s。(b)、(d)、(f)條件不穩定度，為低層 1000 百帕至 700 百帕相當位溫的垂直梯度，單位：10^{-3}K/Pa。

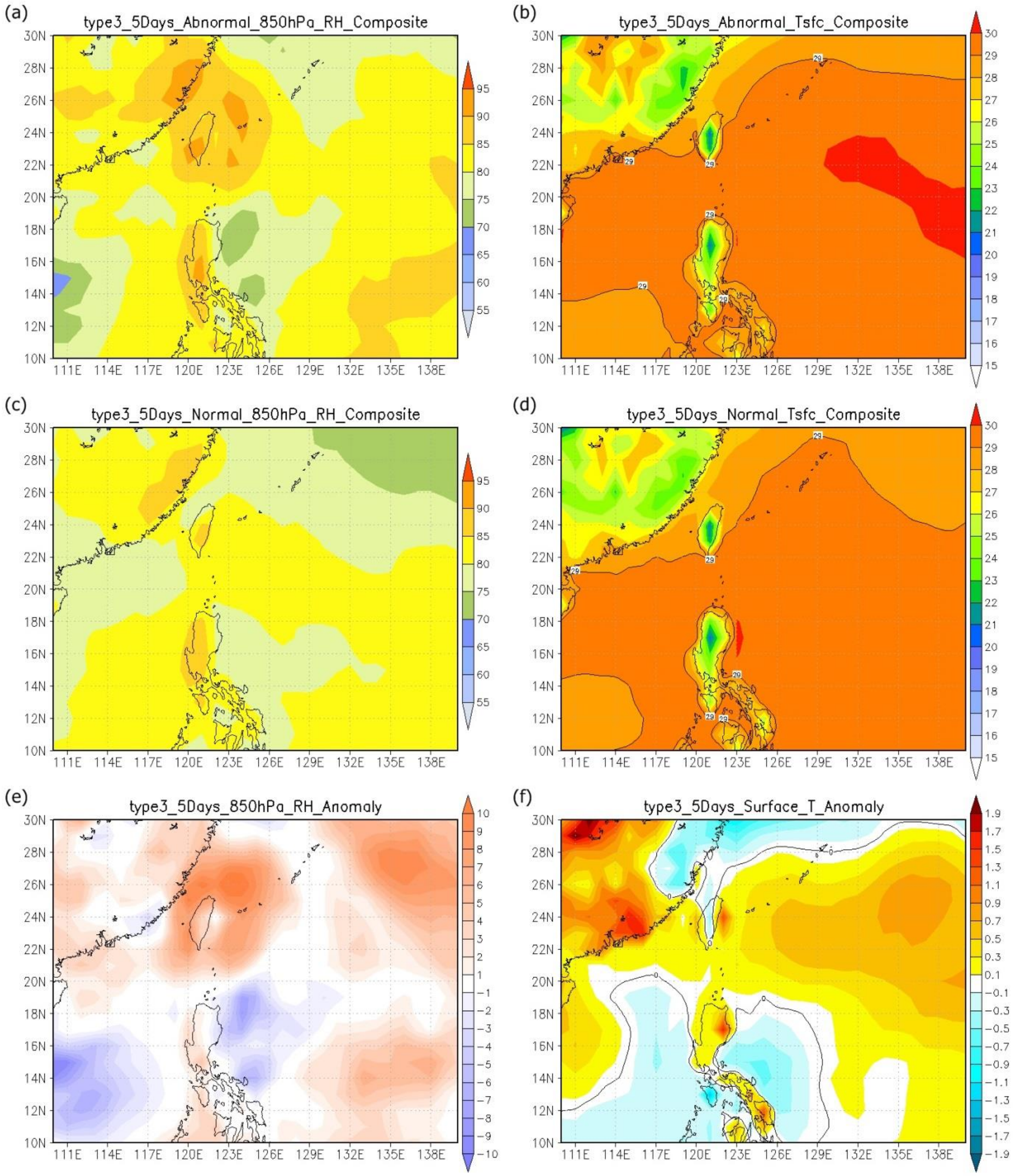

圖 6　路徑類型三：(a)、(b)為極端降雨颱風，(c)、(d)為普通颱風，(e)、(f)為極端降雨颱風與普通颱風的差值（極端降雨颱風減普通颱風）。(a)、(c)、(e) 850 百帕相對濕度場，單位：%。(b)、(d)、(f)海表面溫度場，單位：℃。

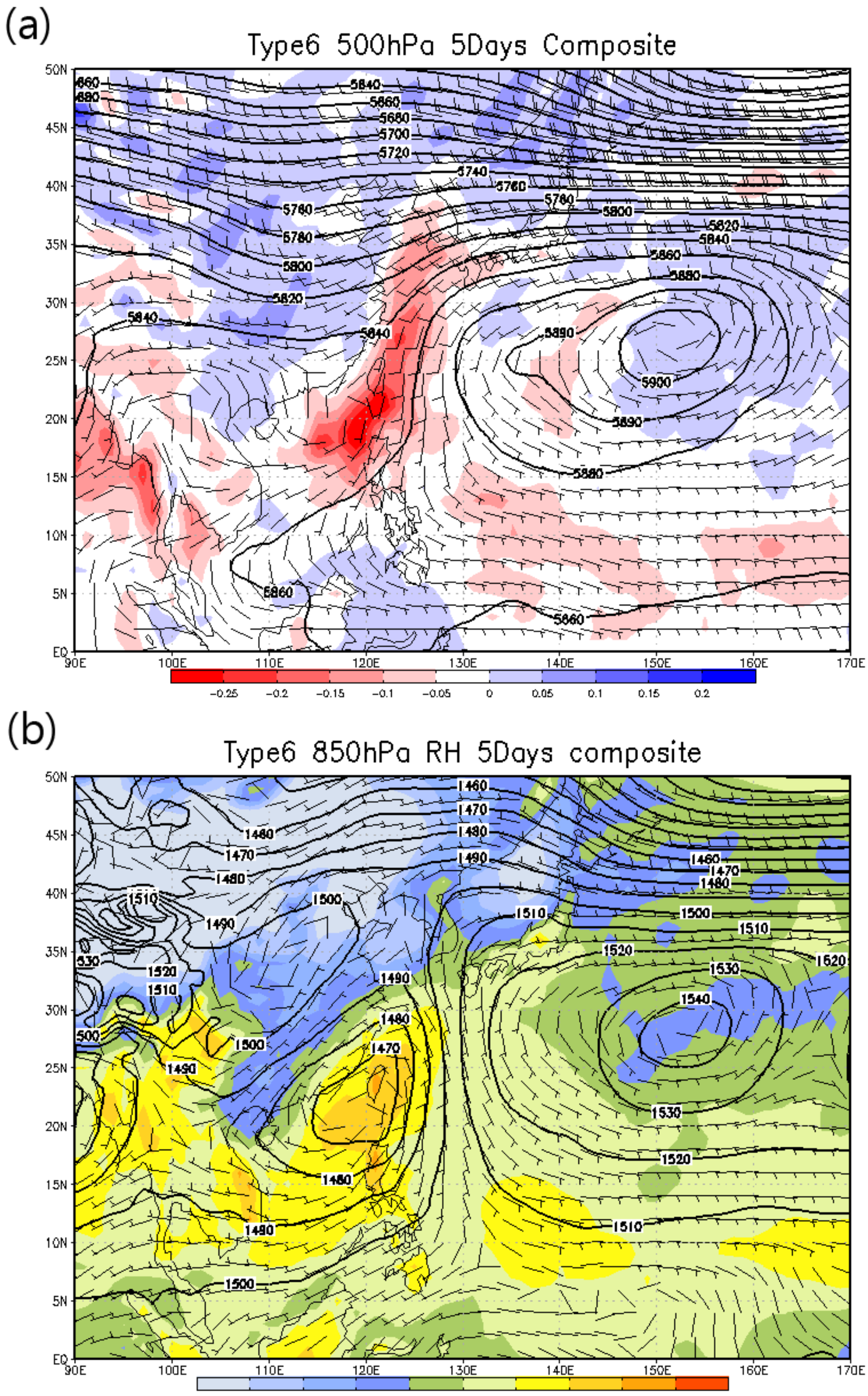

圖 7　路徑類型六 500 hPa (a)、850 hPa (b)之五天合成圖，其中實線為等重力位高度線，風標代表風向風速，(a)的填色區域為垂直速度，紅色表示上升運動，藍色為下沉運動，單位：Pa/s，(b)的填色區域為相對濕度。

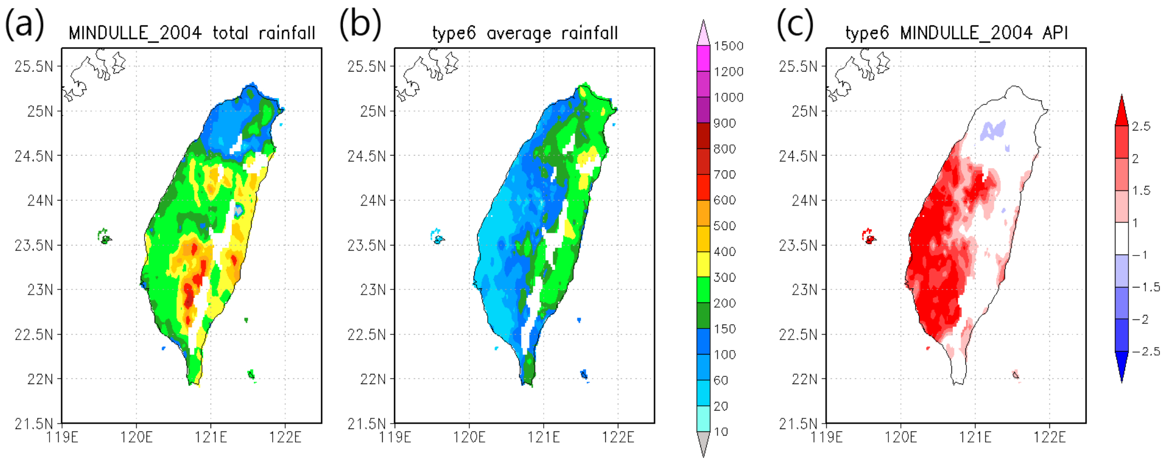

圖 8　為路徑類型六累積雨量與異常降雨指數(API)分佈圖，圖(a)為極端降雨颱風敏督利(2004)陸上警報期間累積雨量分佈圖，圖(b)為路徑類型六颱風陸上警報期間平均累積雨量，圖(c)為極端降雨颱風敏督利(2004)的異常降雨指數(API)分佈圖。

在路徑類型六的垂直風切場（圖 9a、c、e）中，極端降雨颱風環境場在南海海域上有著明顯較強的垂直風切，但在臺灣北方極端降雨颱風的環境垂直風切則小於普通颱風的風切，利於對流發展。低層 850 hPa 的風場與相對渦度場（圖 9b、d、f）中，極端降雨颱風的風場於南海海域主要吹西南風，且極端降雨颱風於菲律賓東北方海面有著較普通颱風個案高的相對渦度，因此有較大的正渦度平流利於颱風發展。另外，普通颱風的環境風場雖然與西行極端降雨颱風類似，但其往臺灣地區傳送的渦度平流較弱。

低層大氣 850 hPa 的輻散場（圖 10a、c、e）顯示，極端降雨颱風與普通颱風主要明顯的輻散場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。而在條件不穩定度（圖 10b、d、f）方面，北行的極端降雨颱風為九類路徑中，擁有最高的條件不穩定度，其主要分佈在南海海域與臺灣與菲律賓的東方海面；這可能是由於此類型的極端降雨颱風（如敏督利）個案，在接近臺灣的期間併入中層槽線，從南方帶來了範圍較寬廣的不穩定空氣。

另外在相對濕度上，低層 850 hPa（圖 11a、c、e）顯示在臺灣與菲律賓連線以東的區域極端降雨颱風環境場有較高的相對濕度。極端降雨颱風與普通颱風在海表面溫度的差異量分佈（圖 11b、d、f）與條件不穩定度類似，很大範圍區域都較普通颱風具有更高的海表面溫度。

綜合言之，路徑類型六的北行極端降雨颱風個案環境場在五天的合成分析顯示，在南海海域與臺灣東方及北方海面都有著較高的海表面溫度與條件不穩定度，有利於對流系統發展。在 850 hPa 雖然於臺灣西南外海相對濕度較低，但是在臺灣南部陸地上有著較高的相對濕度，代表南部地區有著比普通颱風個案擁有更潮濕的空氣，有利於降水發生。

3. 西行颱風與北行颱風環境特徵差異比較

在垂直風切（圖 4a、c、e 與圖 9a、c、e）方

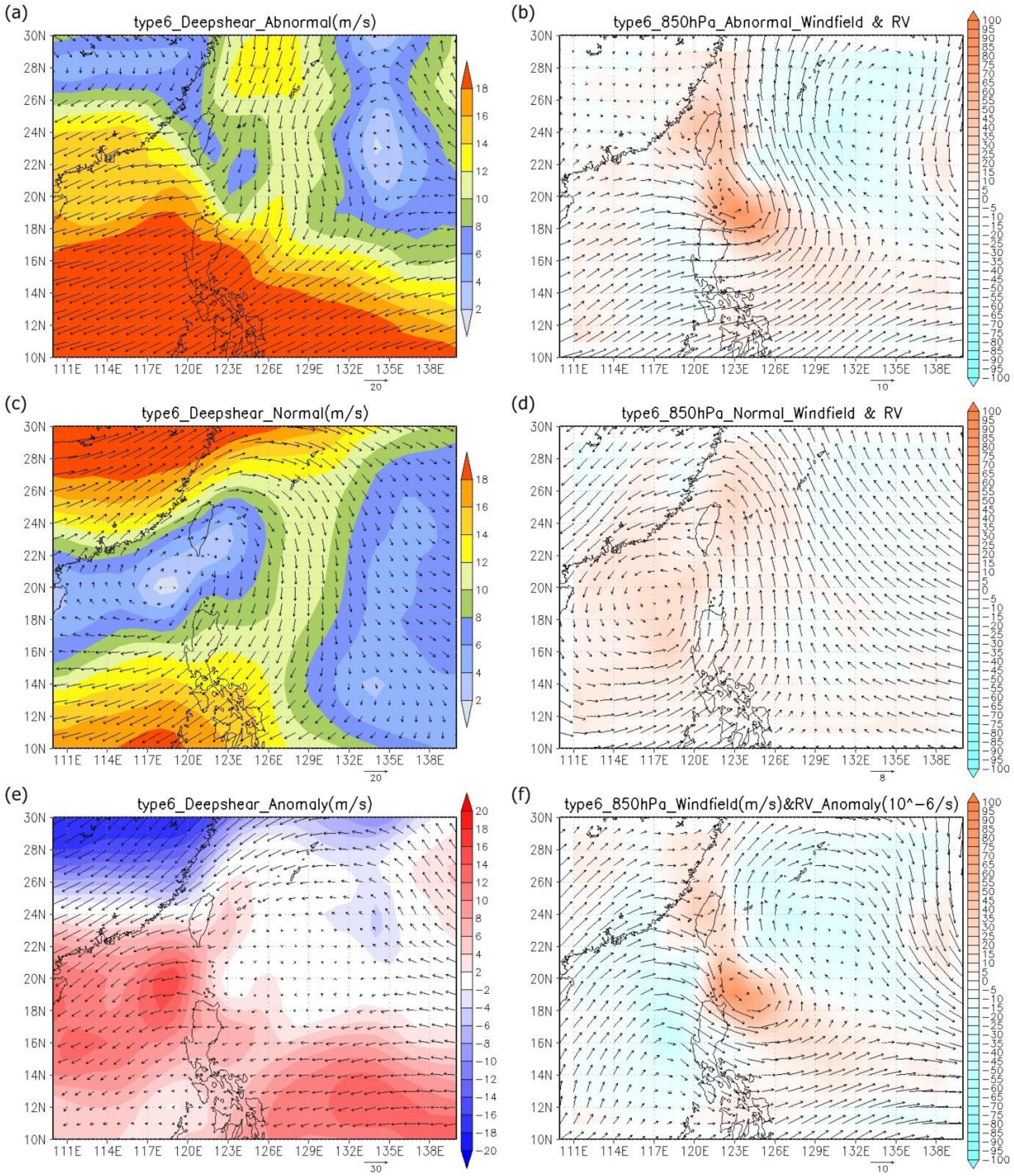

圖 9　路徑類型六：(a)、(b)為極端降雨颱風，(c)、(d)為普通颱風，(e)、(f)為極端降雨颱風與普通颱風的差值（極端降雨颱風減普通颱風）；其中(a)、(c)、(e)的陰影代表垂直風切的量值，向量則為風切方向與速度，單位：m/s。(b)、(d)、(f)為低層 850 百帕風場，單位：m/s。陰影為水平相對渦度場，單位：10^{-6}/s。

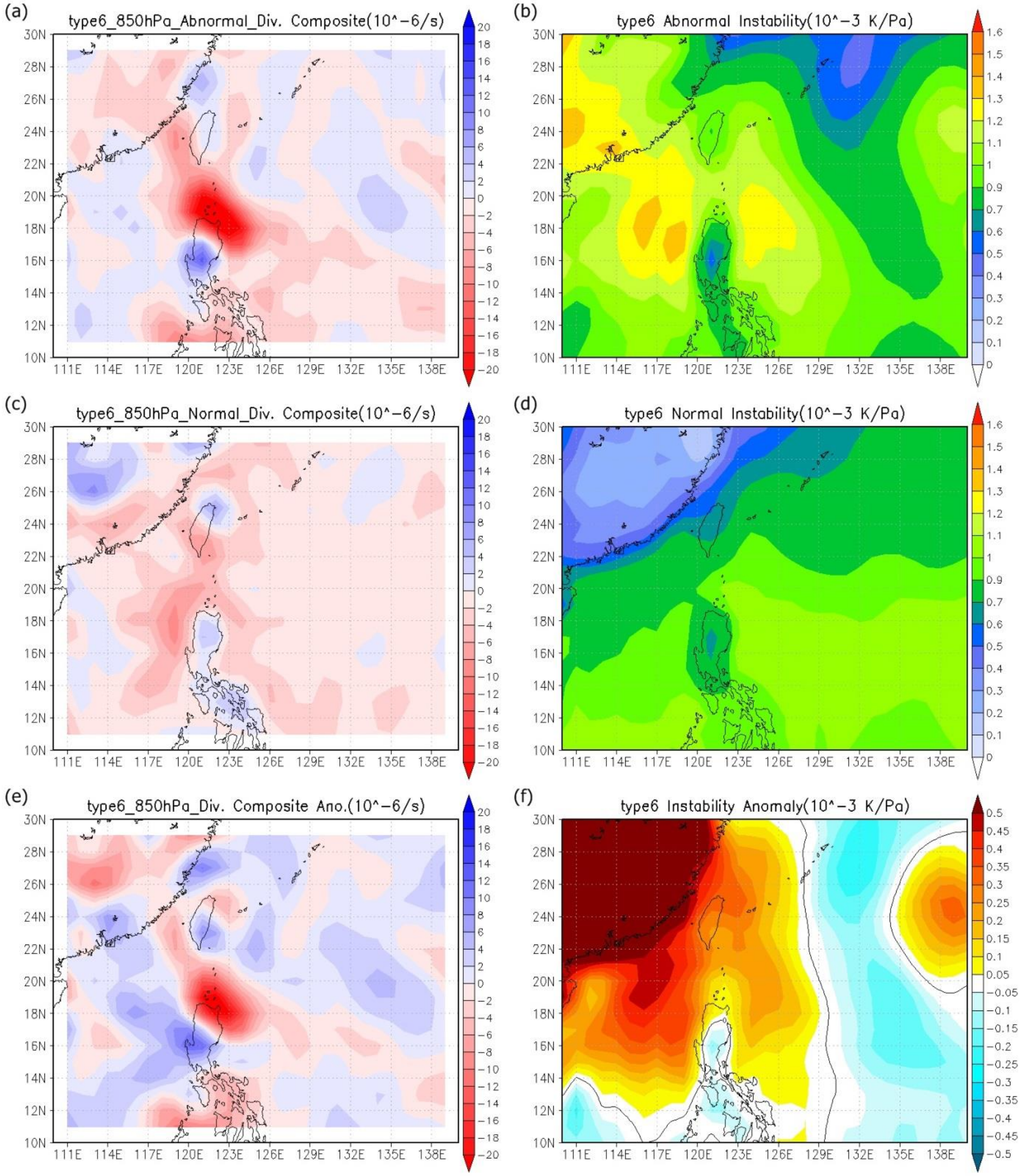

圖 10　路徑類型六：(a)、(b)為極端降雨颱風，(c)、(d)為普通颱風，(e)、(f)為極端降雨颱風與普通颱風的差值（極端降雨颱風減普通颱風）。(a)、(c)、(e)為 850 百帕輻散場，單位：10^{-6}/s。(b)、(d)、(f)為條件不穩定度，為低層 1000 百帕至 700 百帕相當位溫的垂直梯度，單位：10^{-3}K/Pa。

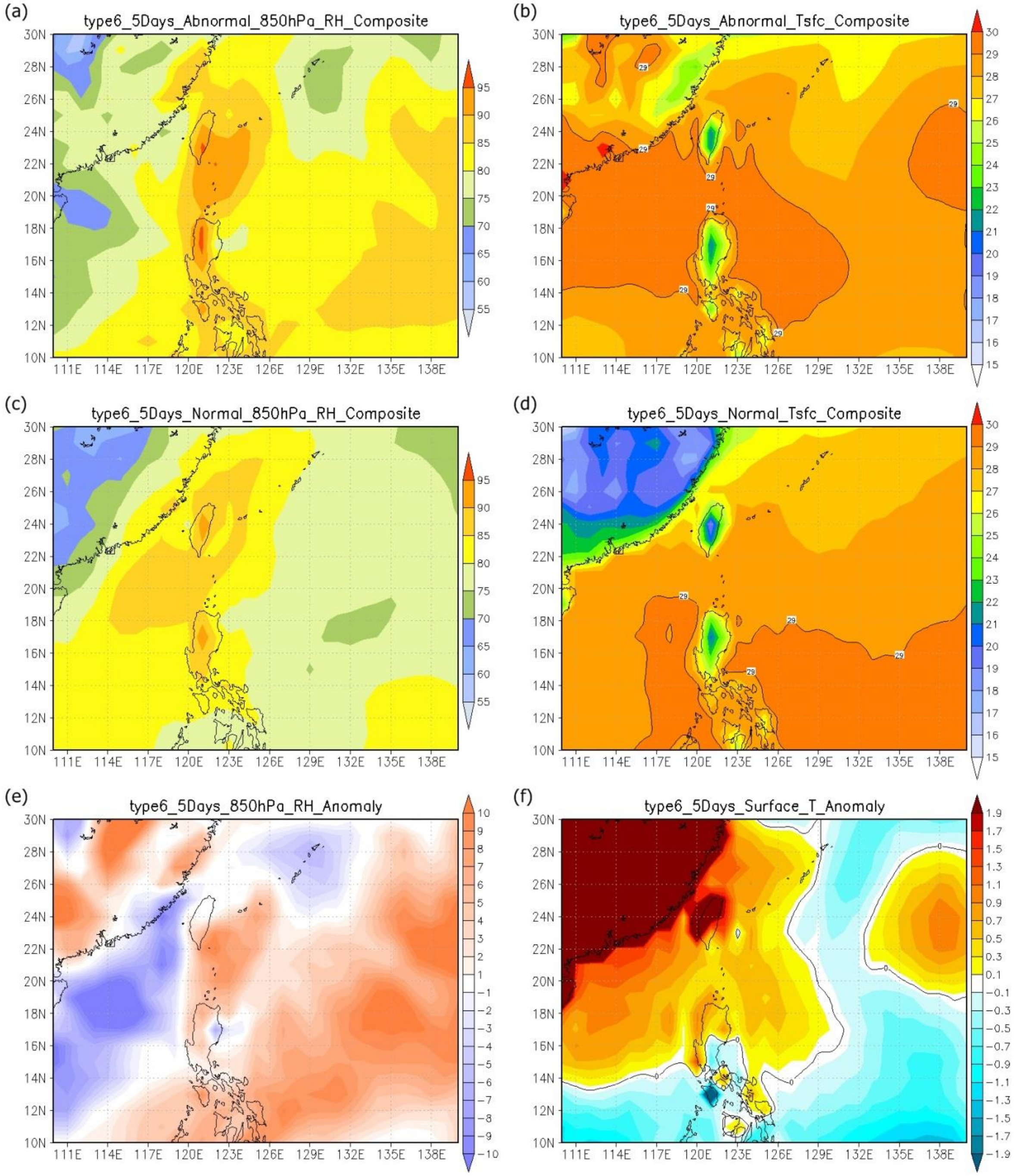

圖 11　路徑類型六：(a)、(b)為極端降雨颱風，(c)、(d)為普通颱風，(e)、(f)為極端降雨颱風與普通颱風的差值（極端降雨颱風減普通颱風）。(a)、(c)、(e)為 850 百帕相對濕度場，單位：%。(b)、(d)、(f)為海表面溫度場，單位：℃。

面，我們可以看見這兩類路徑極端降雨颱風個案的環境垂直風切分佈相當類似，都在臺灣南邊有較強的垂直風切。而在普通颱風個案兩者間的風切差異較大，西行颱風在巴士海峽以北的垂直風切明顯較弱，但是北行颱風在海南島至臺灣附近區域才有較弱的垂直風切。而在臺灣地區附近兩種類型路徑的極端降雨颱風低層 850 hPa 的風速都較普通颱風個案來得高，相對渦度也較大，因此有較大的正渦度平流，利於對流系統與颱風發展。在相對濕度上，兩類路徑皆於臺灣地區有高的相對濕度（圖 6a、c、e、圖 11a、c、e）存在，但是西行颱風環境（不論是極端降雨颱風或者普通颱風）都比北行颱風環境有更大範圍的高濕度區存在。在兩種路徑類型的極端降雨颱風個案中，條件不穩定度（圖 5b、d、f、圖 10b、d、f）與海表面溫度（圖 6b、d、f、圖 11b、d、f）都在南海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颱風有較大範圍的高海溫區域。

(二) 六類路徑綜合比較

在前述比較中，一些環境變數在南海海域與菲律賓的東方海面上在極端降雨颱風個案都有較明顯的差異，且大多數侵臺颱風影響臺灣時，這兩個區域正好是環流的上游區域。因此選取這兩塊區域（圖 2 的 W 區與 E 區）進行比較，分析六種路徑類型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，希望有助於了解侵臺颱風的環境特性。這兩塊區域各環境變數的平均詳列於表 4。

首先從垂直風切(Deep shear)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更強的垂直風切（圖未示）。因此在垂直風切的比較得知，在極端降雨颱風的北側或南側環境的垂直風切強度會高於普通颱風環境。在條件不穩定度(Instability)的部分，除了第四類路徑與第九類路徑個案，其他類型路徑的颱風都於這兩個區域有著較大的條件不穩定度。在高低層輻散場（200 hPa_Div 與 850 hPa_Div）方面，各類型路徑不論是普通颱風或極端降雨颱風在這兩區域都是低層輻合高層輻散的情況，極端降雨颱風並無顯著的特徵。在 850 hPa 的相對渦度(850 hPa_RV)方面，除了路徑類型六與九的極端降雨颱風在菲律賓東方海面（E 區）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，這情況或許是因為這兩類路徑的颱風皆為向北移動所造成的。在中層 500 hPa 的相對濕度(500 hPa_RH)部份，除了路徑類型一的極端降雨颱風於南海海域（W 區）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；這情況主要因為大部分的水氣都被極端降雨颱風帶至臺灣附近，造成環流上游區域的相對濕度較低。而在低層 850 hPa 的相對濕度(850 hPa_RH)，除了路徑類型三與四之外，極端降雨颱風環境在 W 區與 E 區中，至少都有一塊區域的相對濕度是高於普通颱風環境，故低層大氣環境的水氣有利於颱風外圍雨帶的發展，進而增加颱風的降雨範圍。海表面溫度(Sea Surface Temp.)的比較得知，除了路徑類型一與九之外在南海海域極端降雨颱風環境都有著較普通颱風環境更高的海表面溫度。最後為低層 850 hPa 的風向與風速（850 hPa_Wind Dir.及 850 hPa_Wind Speed）的比較，在風向上六種路徑的極端降雨颱

表 4　六種不同類型路徑之普通颱風(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€菲律賓東方海域（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. (℃)	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

風環境於南海海域都有著比普通颱風環境有更偏向西南風(225°)，而在菲律賓東方海面路徑類型二、四與六的極端降雨颱風環境在此處有著較偏南風(180°)的風向存在。除了路徑類型四與九外，極端降雨颱風環境在這兩塊區域的風速也都較普通颱風環境更強。

因此颱風在侵臺期間，若是在其環流上游區域擁有著高的條件不穩定度與海表面溫度，並且搭配適合的風向帶來足夠的水氣通量，就可能為臺灣地區帶來相當多的降雨量。若是在上述適當環境條件下，颱風環流又與臺灣的地形產生顯著交互作用，帶來的雨量就會更加驚人，2009 年的莫拉克颱風即為明顯案例（Wu et al., 2011; Lee et al., 2011；周等人，2011）。

(三) 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環流，即為被 15 天低頻濾波所濾除之時間週期短於 15 天的風場資訊。利用這些時間週期短於 15 天的風場，以颱風登陸臺灣（或最接近臺灣）的時間為中心點前後各取 12 小時，兩個時間點的資料，以 850 hPa 的最大相對渦度的位置為颱風中心取 16°× 16°的範圍進行合成分析，將此範圍在以颱風環流中心為原點之朝北座標上，分成東北區域為第一象限、西北區域為第二象限、西南區域為第三象限以及東南的第四象限，來討論極端降雨颱風與普通颱風之渦旋環流場間的差異。

1. 西行颱風（路徑類型三）

就路徑類型三西行颱風的極端降雨颱風個案而言（海棠(Haitung, 2005)與莫拉克(Morakot, 2009)），在垂直風切的分佈上（圖 12）極端降雨颱風於登陸前 12 小時在第一象限有較強的的垂直風切，第三象限則較普通颱風弱（圖 12e）。在登陸後 12 小時第四象限的垂直風切明顯比普通颱風來得強（圖 12f）。

在低層 850 hPa 相對渦度方面（圖 13），極端降雨颱風在颱風中心區域附近於登陸前後都有較強的相對渦度，但是普通颱風個案則有更大範圍的渦旋環流場。在低層 850 hPa 的輻散場(圖 14)，極端降雨颱風的低層輻合比普通颱風為強，主要集中在颱風中心 3 度範圍內的區域，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 850 hPa 的相對濕度差異方面（圖 15），登陸前 12 小時極端降雨颱風的相對濕度較高區域集中在第二象限；颱風登陸後受到臺灣地形影響增強水氣輻合，以致於登陸後 12 小時候除了第四象限部分區域外，極端降雨颱風整個區域的相對濕度都高過普通颱風許多，例如此路徑類型的極端降雨之莫拉克颱風幾乎在臺灣全島有高於平均值一個標準差的極端雨量。

2. 北行颱風（路徑類型六）

在路徑類型六北行極端降雨颱風個案（敏督利颱風(Mindulle, 2004)）（圖 16），類似於西行颱風於登陸前 12 小時在第一象限有較普通颱風強的垂直風切，登陸後 12 小時較強的垂直風切一樣出現在第四象限。此類型颱風的最大降水極值位於颱風環流的第三象限（圖 8c），而非常見的順風切左側方向（downshear left；應為第一象限），主要是由於台灣地形主導颱風降水分佈的緣故。

從低層 850 hPa 環流場及水平相對渦度的分佈（圖 17）得知，極端降雨颱風於中心區域有著較普通颱風強的相對渦度，並且在西南的第三象限於登陸前後都有較高的相對渦度存在並搭配西南風，有較普通颱風更強的正渦度平流，利於對

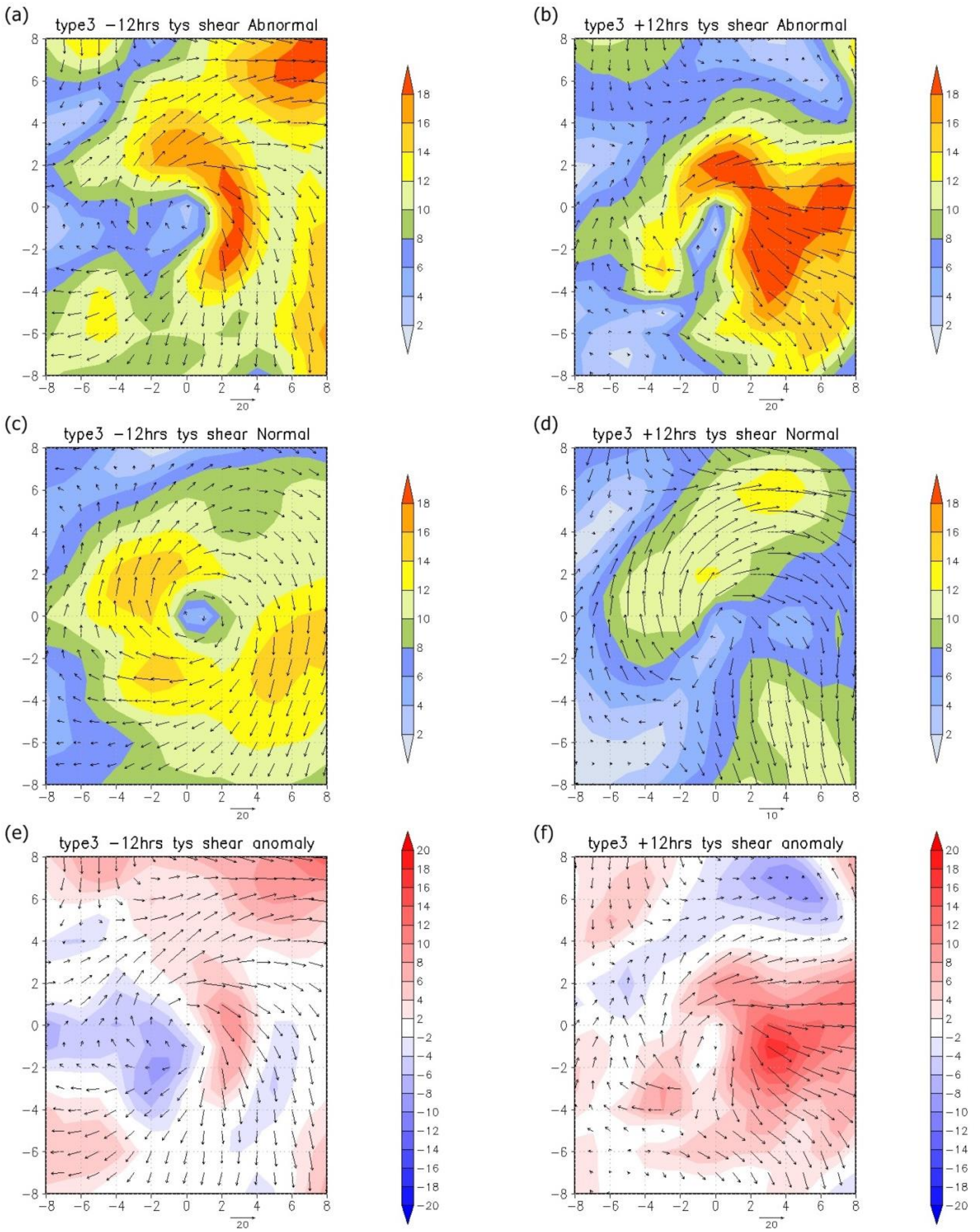

圖 12　路徑類型三極端降雨颱風與普通颱風於颱風時間尺度垂直風切分佈及差異圖，(a)、(b)為極端降雨颱風，(c)、(d)為普通颱風，(e)、(f)為極端降雨颱風與普通颱風的差值（極端降雨颱風減普通颱風）。而(a)、(c)、(f)為登陸前 12 小時（-12hrs）；(b)、(d)、(f)為登陸後 12 小時(+12hrs)。色塊區域為垂直風切與垂直風切差異量，單位：m/s。

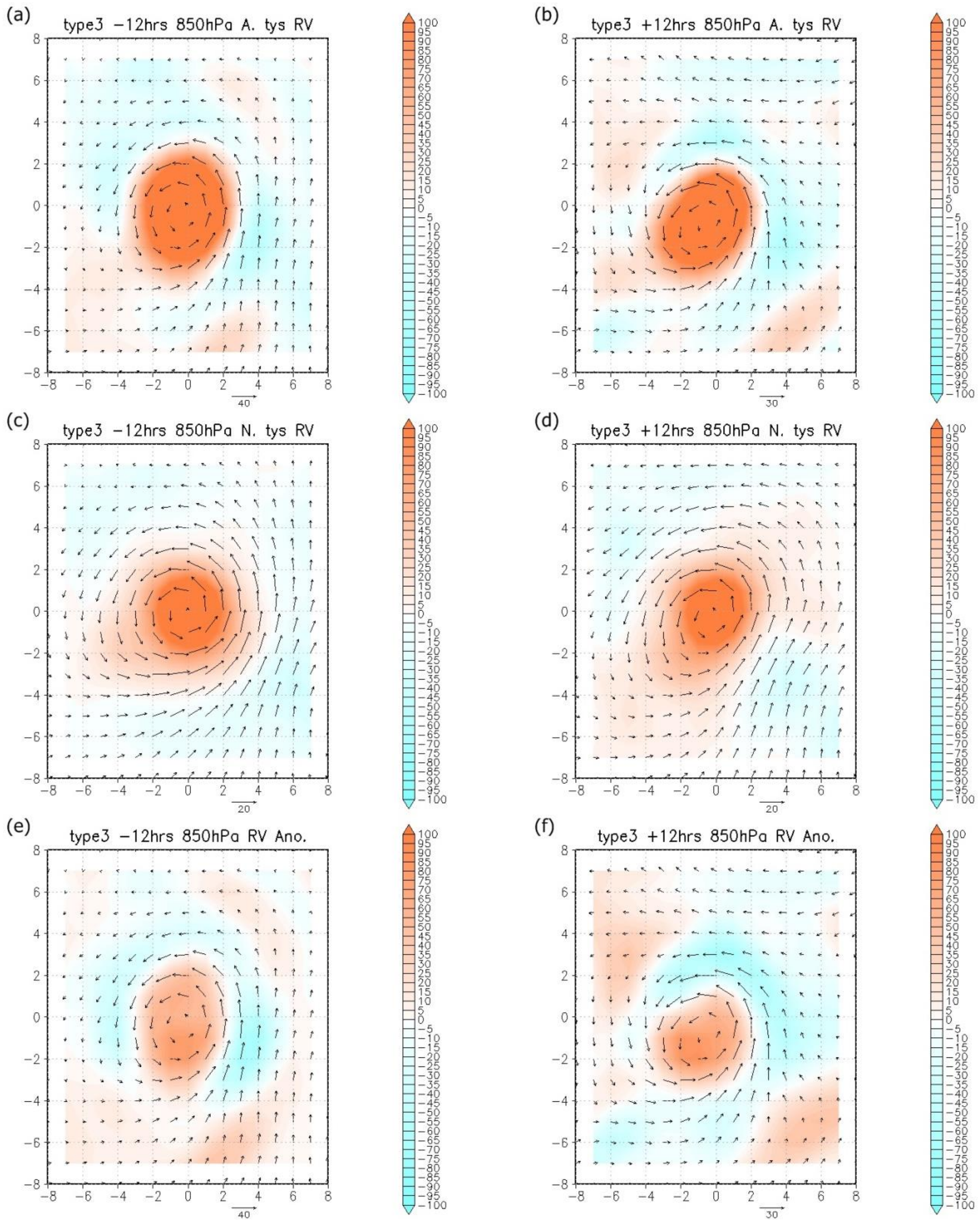

圖 13 路徑類型三極端降雨颱風與普通颱風於颱風時間尺度風場低層 850 hPa 水平相對渦度分佈及差異圖，(a)、(b)為極端降雨颱風，(c)、(d)為普通颱風，(e)～(f)為極端降雨颱風與普通颱風的差值（極端降雨颱風減普通颱風），與極端降雨颱風的風場分佈。而(a)、(c)、(e)為登陸前 12 小時（-12hrs）；(b)、(d)、(f)為登陸後 12 小時(+12hrs)。陰影區域為水平相對渦度及水平相對渦度差異量，單位：10^{-6}/s。

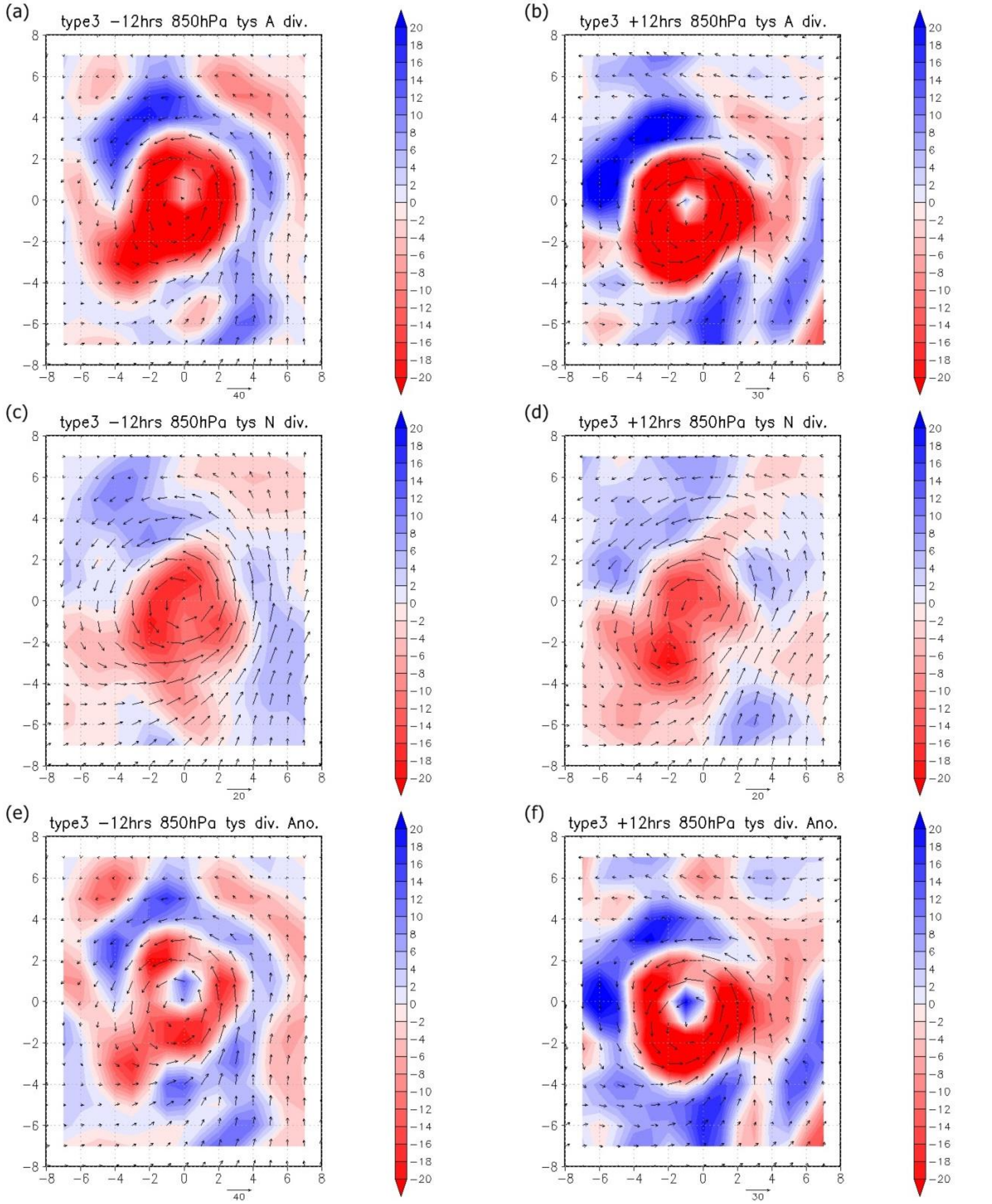

圖 14 路徑類型三極端降雨颱風與普通颱風於颱風時間尺度低層 850 hPa 輻散場分佈及差異圖，(a)、(b)為極端降雨颱風，(c)、(d)為普通颱風，(e)、(f)為極端降雨颱風與普通颱風的差值（極端降雨颱風減普通颱風），與極端降雨颱風的風場分佈。而(a)、(c)、(e)為登陸前 12 小時(-12hrs)；(b)、(d)、(f)為登陸後 12 小時(+12hrs)。陰影區域為輻散場與輻散場差異量，單位：10^{-6}/s。

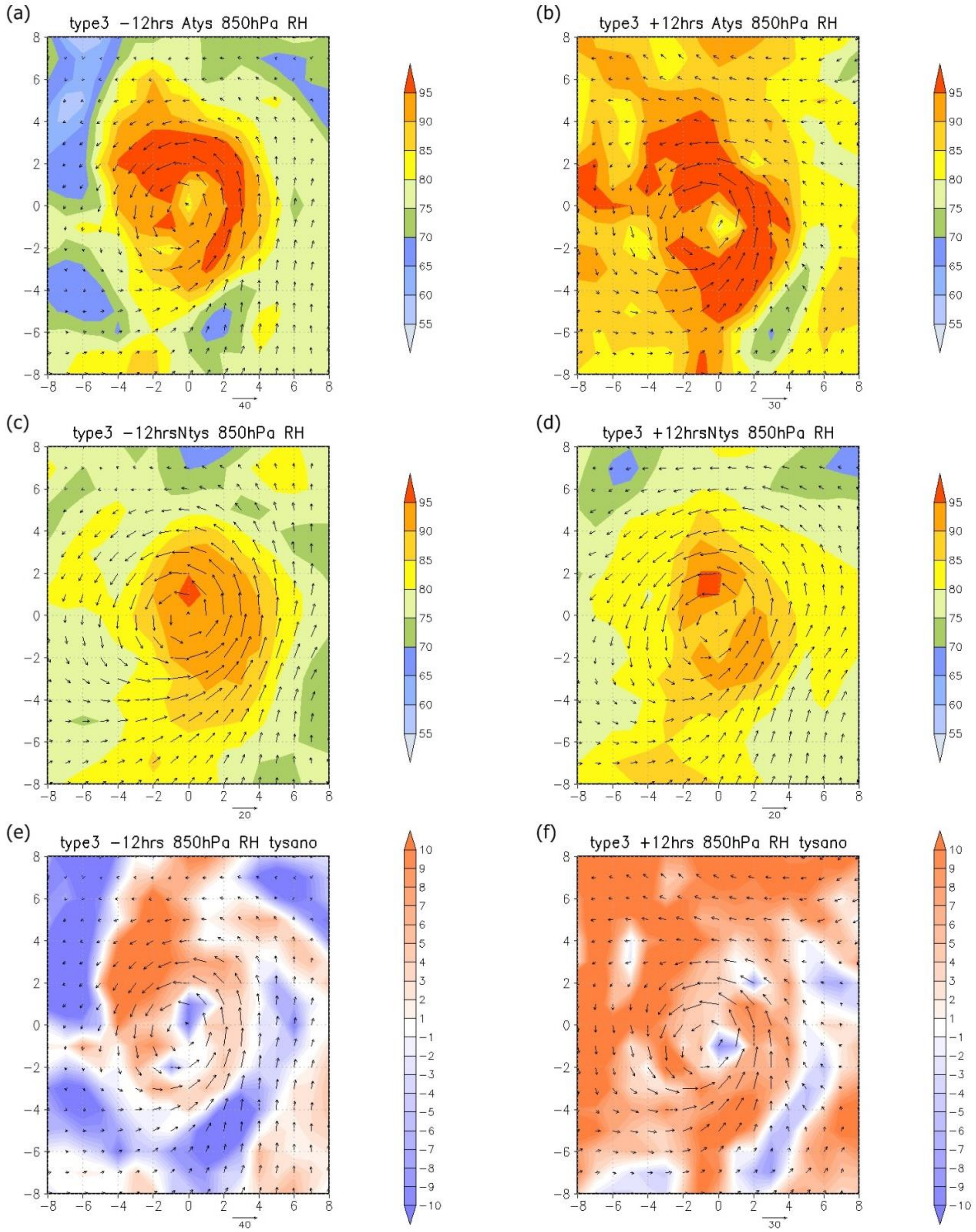

圖 15 路徑類型三極端降雨颱風與普通颱風於颱風時間尺度低層 850 hPa 相對濕度分佈及差異圖，(a)、(b)為極端降雨颱風，(c)、(d)為普通颱風，(e)、(f)為極端降雨颱風與普通颱風的差值（極端降雨颱風減普通颱風），與極端降雨颱風的風場分佈。而(a)、(c)、(e)為登陸（最接近臺灣）前 12 小時(-12hrs)；(b)、(d)、(f)為登陸後 12 小時(+12hrs)。陰影區域為相對濕度及其差異量，單位：%。

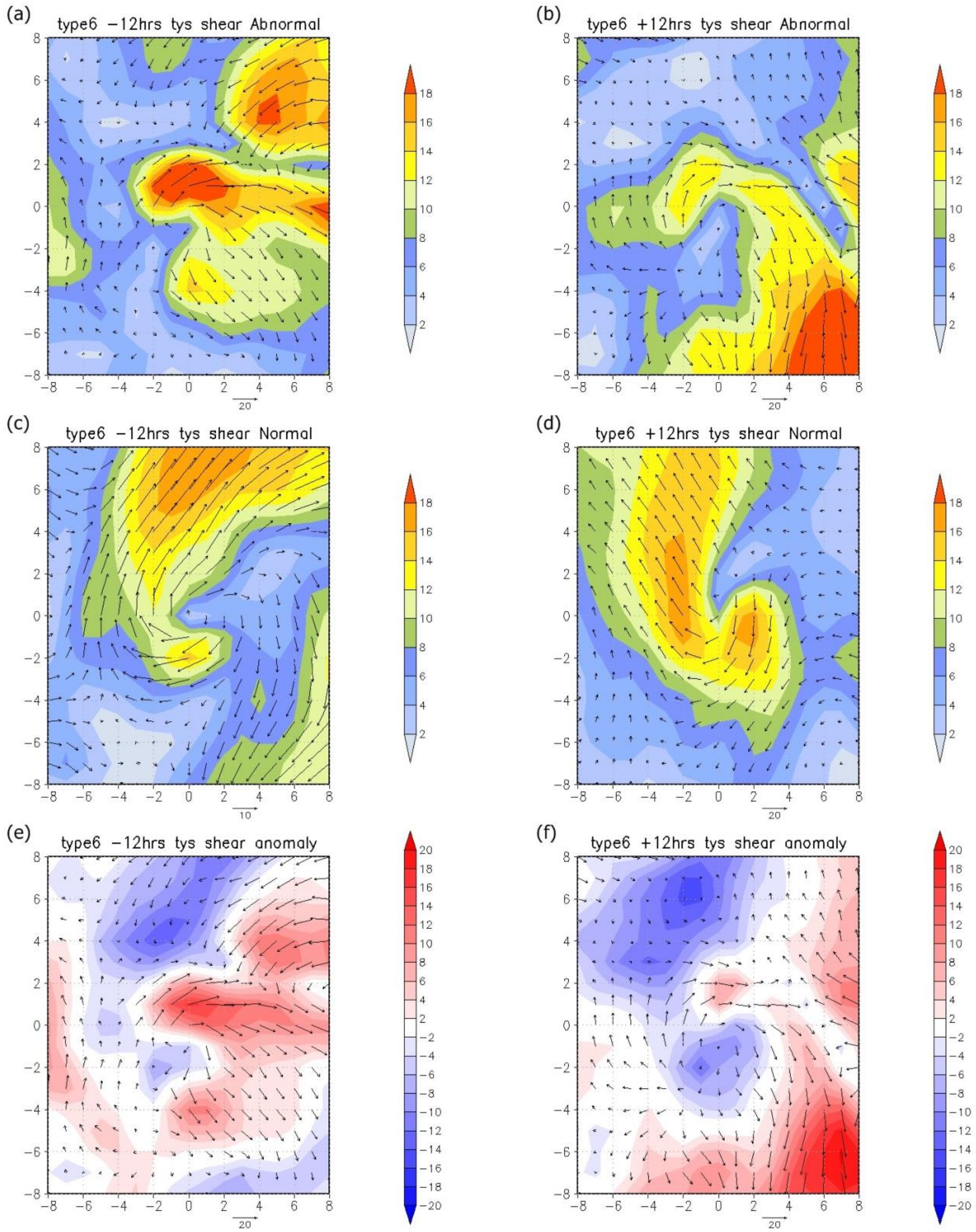

圖 16　路徑類型六，同圖 12。

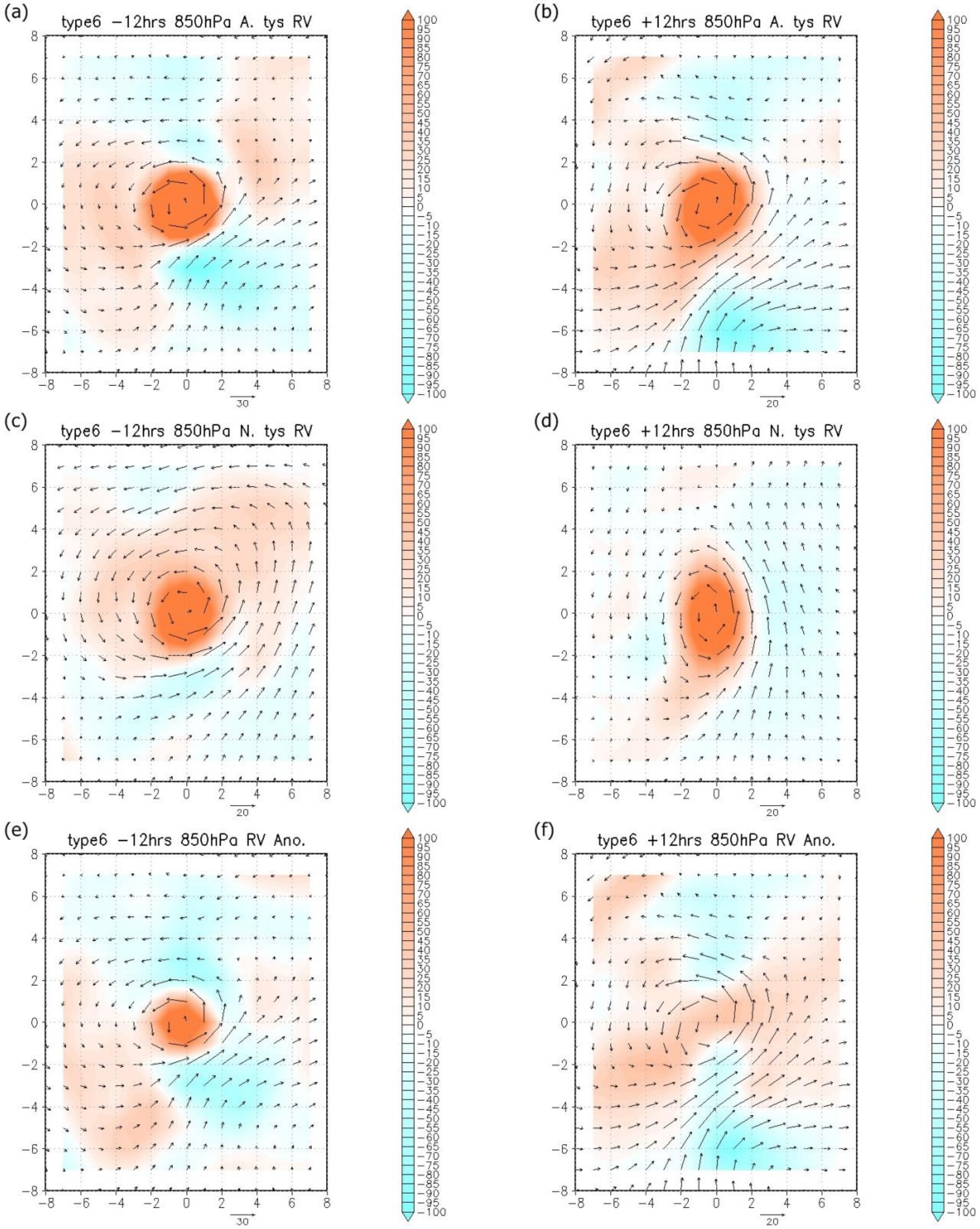

圖 17 路徑類型六，同圖 13。

流系統的發展。在第三象限極端降雨颱風於登陸前、後 12 小時都有比普通颱風更顯著的低層 850 hPa 輻合（圖 18），不過在颱風東面區域則是普通颱風有較高的低層輻合。

在低層 850 hPa 的相對濕度（圖 19）方面，登陸後 12 小時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，登陸前 12 小時也有類似現象但是較不明顯，表示此類型極端降水颱風登陸後其西南氣流可帶來旺盛水氣，造成第三象限（即台灣西南部地區）降下豪大雨。

四、結論

本研究透過異常降雨指數(API)與總異常降雨指數(TAPI)辨別各類型侵臺颱風路徑的極端降雨颱風與普通颱風，並使用低頻濾波分離 NCEP/FNL 全球分析場資料的綜觀尺度環境場與颱風渦旋尺度的風場資訊，進而透過合成分析系統性整理兩者的特徵。並且由於 API 指數與 TAPI 指數為客觀計算的指數，於實際應用可避免人為主觀因素影響，應可於颱風預報作業時直接採用。

在 2000 年至 2010 年間的侵臺颱風中，極端降雨颱風的綜觀環境場於颱風環流上游區域即南海北部及菲律賓東方海面，多數路徑皆有較強的垂直風切與較高的條件不穩定度、低層 850 hPa 有較低的相對渦度與相對濕度，而 500 hPa 幾乎所有路徑都有較低的相對濕度，並且在南海海域有更偏向西南風的風向，有利於傳送水氣至臺灣地區，而菲律賓東方海面則沒有明顯的風向特徵。另外，極端降雨颱風在 850 hPa 與 200 hPa 的輻合輻散場相對於普通颱風並無明顯差異。在海表面溫度的部份，各類路徑的極端降雨颱風在環流上游區域並非一致性地高於普通颱風，因此可以推測海表面溫度對於造成異常極端降雨並非充分條件，但是如果在綜觀尺度環境場有著較高的海表面溫度，若再搭配上合適的環流能夠自上游帶來比普通颱風環境條件下更多的水氣通量，更有利於降水發生。

當我們將分析的時間與空間範圍縮小到颱風時間尺度的渦旋環流特徵時，能明顯地看見極端降雨颱風在登陸前 12 小時於第一象限及登陸後 12 小時在第四象限都有著較強的垂直風切。在輻散場的分佈上能夠看出侵臺颱風路徑之不同對於輻散場分佈所造成的影響，在北行路徑尤為明顯。另外，就水氣來源而言，南海海域的水氣供應對於極端降雨颱風在臺灣南部帶來的降水影響十分顯著，如北行路徑的極端降雨颱風在第三象限登陸前、後有著較高的相對渦度與相對濕度，搭配西南風能帶來充沛水氣，導致豪雨發生。

根據本合成分析研究結果顯示，各類型路徑的極端降雨颱風在環境場上的確有不同於普通颱風之處，如能建立完整的各類型路徑颱風之環境變數資料庫，在颱風侵臺前比較最新分析資料與歷史颱風長期平均資料庫的數據，應是頗具參考價值的預報指引。另外，由於本研究並未針對環境場與颱風渦旋之間相互作用的物理機制進行探討，未來希望能更進一步利用更高時空間解析度的數值模式（如 WRF），針對個別極端降雨颱風個案進行更深入的模擬研究，期望能對極端降雨颱風帶來的豪大雨的物理機制有更深入瞭解。

致謝

感謝 Dr. Eric Hendricks 提供低頻濾波程式以及兩位審查委員的寶貴意見，使得論文品質大為

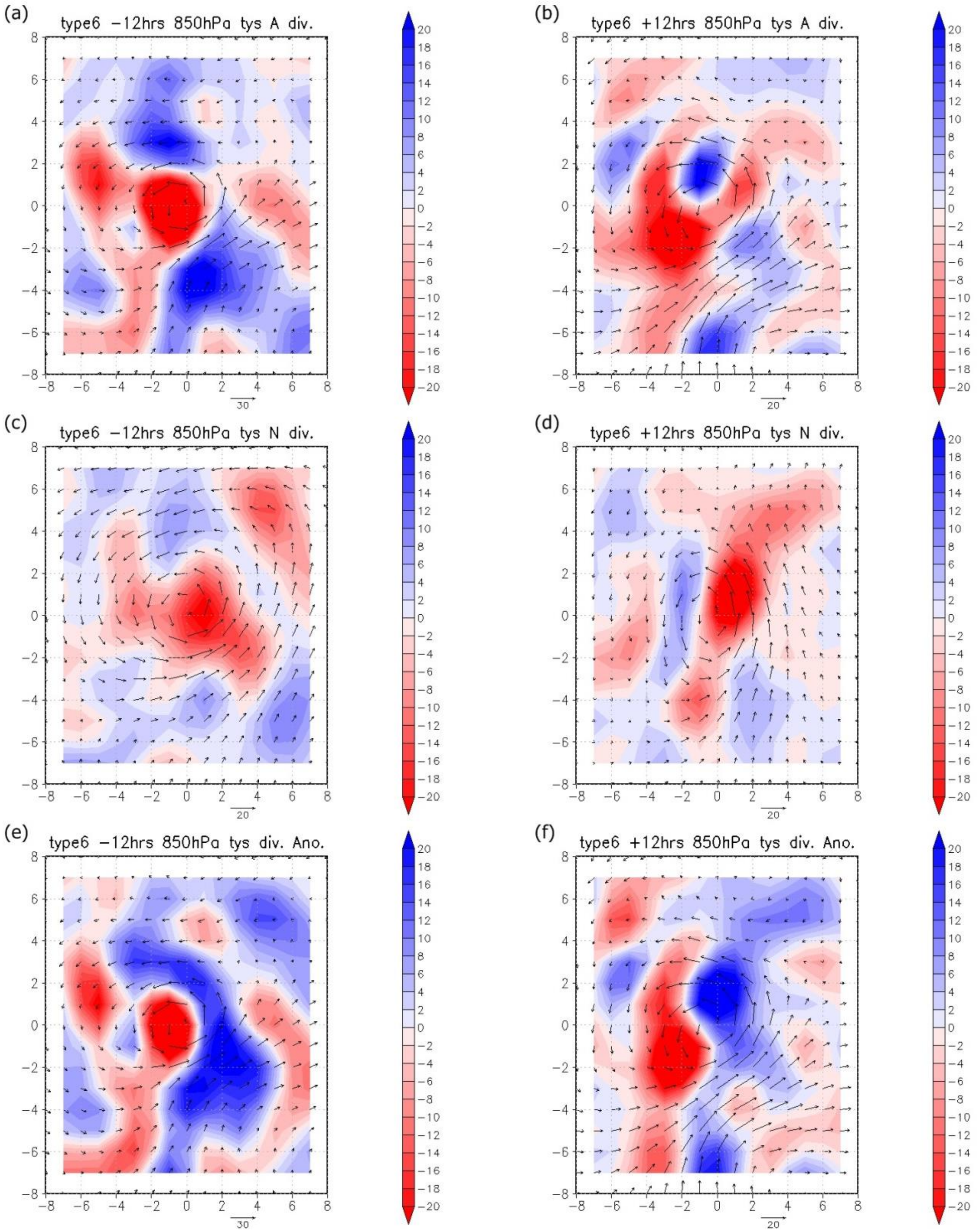

圖 18 路徑類型六，同圖 14。

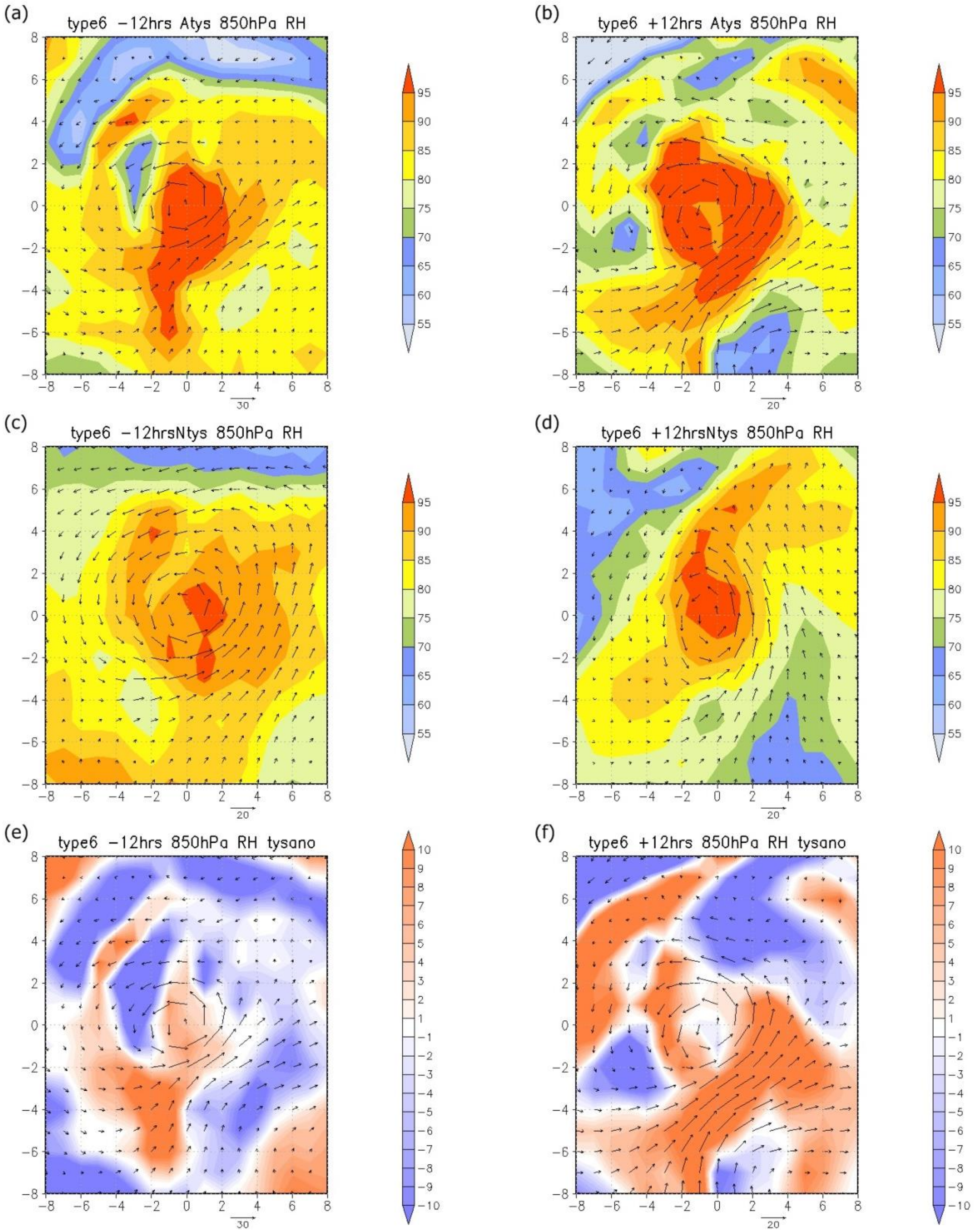

圖 19　路徑類型六，同圖 15。

提升，本論文是在科技部專題計畫 MOST 103-2625-M-008-003 的支助下進行。

參考文獻

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。

周仲島、于宜強、鳳雷、陳永明、李清勝與鄭明典，2011：莫拉克颱風綜觀環境以及降雨特徵分析，大氣科學，38 期，21-37。

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, 2010: 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.

Lee, C.-S., C.-C. Wu, T.-C. C. Wang, and R. L. Elsberry, 2011: Advances in understanding the "perfect monsoon-influenced typhoon": Summary from International Conference on Typhoon Morakot (2009). Asia-Pacific J. Atmos. Sci., 47, 213-222.

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.

Wu, L., J. Liang, and C. C. Wu, 2011: Monsoonal Influence on Typhoon Morakot (2009). Part I: Observational Analysis, *J. Atmos. Sci.*, 68, 2208-2221.

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.

The Composite Study for Typhoons with Extreme Rainfalls on Taiwan

Shih-Wei Wei[1] and Ming-Jen Yang[2]

[1]Central Weather Bureau
[2]National Taiwan University

(manuscript received 25 March 2015；in final form 8 September 2015)

ABSTRACT

This study used the API (Abnormal Precipitation Index) to classify 81 typhoons 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 above one standard deviation for each track type. For the extreme-rainfall typhoons, we applied the 15-day low-pass filter on the NCEP/FNL 1° × 1° global analysis data to separate the synoptic-scale environment from the typhoon circulation. Then the composite analysis was conducted to examine the differences between the extreme-rainfall typhoons and normal typhoons.

Through the synoptic-scale composite analysis, we found some general characteristics for extreme-rainfall typhoons. For the synoptic-scale environment, the extreme-rainfall typhoons had stronger vertical wind shear, higher potential instabilities and more moisture over the upstream regions. Over the South China Sea, southwesterly wind was stronger. But there was no significant difference on the divergence field between extreme-rainfall typhoons and normal typhoons. For the typhoon-scale circulation, we found that westward- and northward-moving abnormal typhoons had stronger relative vorticity near center and vertical wind shear in the 1st quadrant 12 hours before landfall and in the 4th quadrant 12 hours after landfall. For northward-moving abnormal typhoons, there was higher convergence in the 3rd quadrant. In conclusion, these environmental characteristics difference between abnormal and normal typhoons may be a valuable forecast guidance when a typhoon is near Taiwan.

Key Words: Composite analysis, Low-pass filter