

# 臺灣秋季降雨之低頻擾動變遷

李正安 黃婉如\*

國立臺灣師範大學地球科學系

(中華民國 107 年 10 月 18 日收稿，中華民國 108 年 01 月 01 日定稿)

## 摘要

陳與汪(2000)的研究指出，1930-1997 年期間之臺灣秋季降雨有準 20 年振盪現象。本研究主要想瞭解陳與汪(2000)所提出的準 20 年振盪現象，是否存在長期變遷現象。透過檢視臺灣全島秋季(9-11 月)總降雨及兩種不同類型降雨(颱風降雨和非颱風降雨)在 1945-2015 年期間的變化，本研究發現「不論是總降雨或是兩種不同類型降雨，其低頻擾動都存在週期變遷現象」，在前期(1945-1985 年)為準 20 年振盪現象，經過幾年轉換期之後，在後期(1990-2015 年)為準 10 年振盪現象。而透過分析 10 個中央氣象局局屬測站在 1945-2015 年期間的降雨資料，本研究發現上述低頻擾動變遷為全島性現象，各地的振盪週期變化相似，但振幅大小有東、西區域差異(東部的振幅較強，西部的振幅較弱)。再進一步針對「是由哪些氣候因子影響臺灣秋季降雨之低頻擾動變遷?」這個議題進行探討，本研究發現「亞洲大陸高壓」和「太平洋副熱帶高壓」這兩個氣候因子的長期變化，以及「臺灣附近水氣通量」的低頻擾動變化，為影響臺灣秋季降雨之低頻擾動變遷的可能原因。

關鍵字：臺灣秋季降雨、低頻擾動、颱風降雨、非颱風降雨

---

\* 通訊作者：黃婉如，116 臺北市文山區汀州路四段 88 號，Email: wrhuang@ntnu.edu.tw，TEL: 02-7734-6413

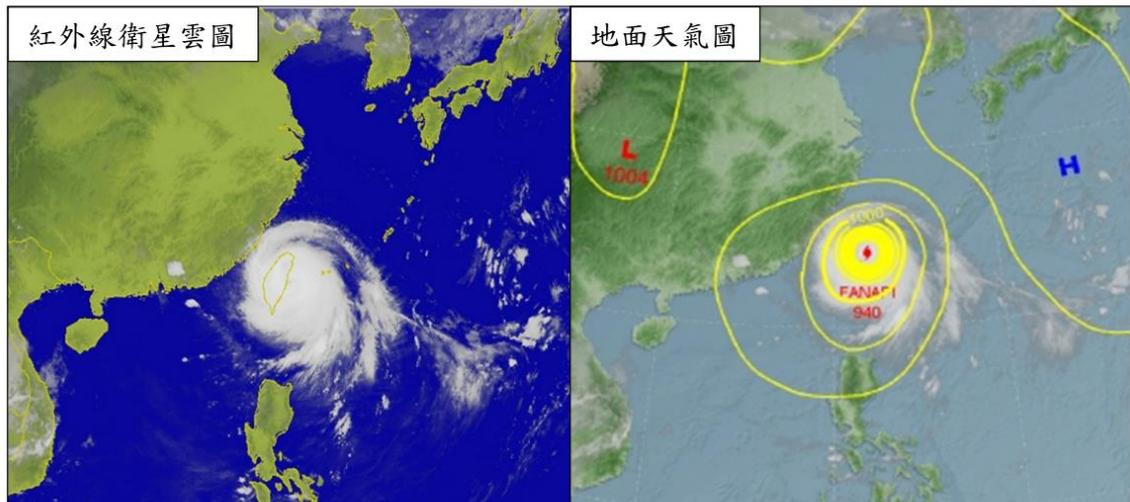
## 一、前言

臺灣秋季(9-11月)降雨多寡對隔年春季的民生用水、灌溉用水影響甚大(盧等, 2008)。有關臺灣秋季降雨來源, 一般而言可將其細分為颱風降雨(如圖 1a)及非颱風降雨(如圖 1b)兩種類型(陳與汪, 2000)。所謂非颱風降雨, 主要是指當臺灣進入秋季後, 受到夏季型態的西南季風影響逐漸減弱, 冬季型態的東北季風影響逐漸增強, 這類因季節性氣流改變所造成之降雨。而因颱風登陸或颱風外圍環流影響所造成之降雨, 則稱為颱風降雨。秋季時期颱風影響臺灣的天數雖然短暫, 卻可為臺灣帶來不亞於非颱風降雨的雨量(陳與汪, 2000)。根據臺灣中央氣象局 1911-2015 年的官方統計, 過去影響臺灣的颱風多來自西北太平洋(Gray, 1975; McBride, 1995; Chen et al., 1998), 而西北太平洋颱風活動最旺盛的時期是在夏、秋兩季(Gray, 1975; Frank, 1987; McBride, 1995; Murnane and Liu, 2004; Chu et al., 2007), 其中夏季(6-8月)影響臺灣的颱風(即在陸上有災情者)約佔整年總數的 62.5%, 其次秋季影響臺灣的颱風約佔整年總數的 34.4%。

臺灣秋季降雨存在明顯的多重時間尺度變化(陳, 1997; 陳與汪, 2000; 林與洪, 2015)。舉例來說, 陳(1997)運用波譜分析診斷臺灣 6 個測站的秋季雨量在過去百年(1897-1996 年)之週期變化特性, 發現秋季降雨除了有 2-4 年的年際週期變化外,

在臺灣東部地區也有顯著的 20 年週期之年代際變化。而後陳與汪(2000)採用 9 年移動平均的統計方法, 對 1930-1997 年期間臺灣 6 個測站的秋季降雨長期變化特性進行更深入研究, 發現臺灣秋季降雨的準 20 年振盪應為全島性變化, 且其變化強度是臺灣東部大於西部。此外, 陳與汪(2000)也指出臺灣秋季降雨的準 20 年振盪之變化特性, 颱風降雨的貢獻程度大於非颱風降雨。之後, Chen et al. (2013) 延續陳與汪(2000)的研究, 分析 1950-2008 年期間臺灣 10 個測站 10 月份的非颱風降雨和颱風降雨長期變化特性, 發現非颱風降雨和颱風降雨之年代際變化呈現一致性。近來, 林與洪(2015)採用 21 年移動平均的統計方法, 分析臺灣春季與秋季降雨之長期變化, 則是發現兩季皆有 40-60 年週期的年代際變化, 而且春季與秋季的變化呈現反相位, 此現象與太平洋年代際振盪(Pacific Decadal Oscillation) (Mantua et al., 1997)有密切關聯。Hsu and Chen (2011)則採用 10-20 年濾波方法, 發現 1961-2000 年 7-10 月臺灣的 RPI 指數(Rainfall Percentile Index)有 10-20 年週期的年代際變化, 此現象與南太平洋年代際振盪(Southern Pacific Decadal Oscillation, SPDO)有關聯。從以上文獻可推知, 當研究的時間長度、統計分析方法不同時, 有可能發現不同時間尺度的低頻擾動特性。

(a) 颱風降雨個案—2010年9月19日08時



(b) 非颱風降雨個案—2011年11月20日08時

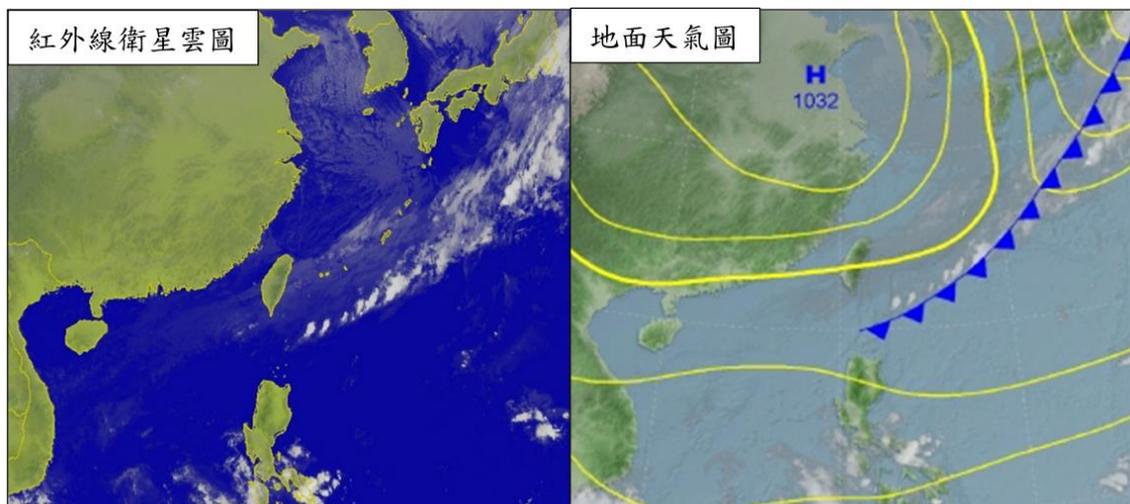


圖 1 臺灣秋季降雨之個案，(a)為颱風降雨個案，(b)為非颱風降雨個案，左圖皆為紅外線衛星雲圖，右圖皆為地面天氣圖。(資料來源：中央氣象局)

近來受到全球氣候變遷影響，各國有越來越多的研究開始著重於瞭解降雨之長期變遷(盧與麥，2003; Gong and Wang, 2000; Ho et al., 2003; Fujibe et al., 2005, 2006; Ding et al., 2007; Piao et al., 2010; Jung et al., 2010)。許多研究證明，受到多重尺度環流變化影

響，過去的區域降雨特性可能與現在的區域降雨特性存在顯著差異，因此時空分布會有所改變(Chang et al., 2000a, 2000b; Yu et al., 2004; Zhai et al., 2004; Ahrens, 2009; Li et al., 2010; 吳等，2012)。有鑑於此，本研究想透過分析測站觀測資料及全球再分析

資料，瞭解以下科學議題：(1)過去陳與汪(2000)發現「1930-1997 年期間臺灣秋季總降雨具有準 20 年振盪現象」，此振盪現象是否仍存在於 1997 年之後的觀測資料中？又或者有何種改變？(2)若此準 20 年振盪現象存在變遷，則此變遷是否為全島性現象？相關的區域特性是否存在某些差異？(3)延續議題(2)，造成變遷的可能機制又是什麼？(4)針對上述議題(1)-(3)，若將秋季總降雨分類成颱風降雨及非颱風降雨兩類，是否會有不同結果？這些科學議題的探討，將有助於我們更加瞭解氣候變遷對臺灣秋季降雨低頻擾動所造成的可能影響。

本研究的章節安排如下：有關分析資料、降雨分類定義及研究方法將於第二章介紹，第三章則針對研究的分析結果進行描述及討論，第四章將總結本研究之主要發現。

## 二、 資料來源與研究方法

### (一) 降雨資料來源及降雨類型分類定義

過去陳與汪(2000)探討 1930-1997 年期間臺灣秋季降雨的低頻擾動，因受限於測站資料的時間尺度，僅採用 6 個中央氣象局局屬地面測站進行分析。而為了能有更多站點資料以利空間分布特性探討，本研究則採用 10 個在 1945-2015 年期間具備完整資料的測站進行分析。此 10 個地面測站分別為臺北、新竹、臺中、臺南、高雄、屏東、臺東、成功、花蓮、宜蘭。

本研究根據中央氣象局的定義，將臺灣全島平均日降雨量 $\geq 0.1\text{mm/day}$ 者，定義為有雨日。有關颱風降雨和非颱風降雨兩種類型的分類，本研究採用與陳與汪(2000)類似的方法，依照下列定義將臺灣秋季總降雨分成颱風降雨和非颱風降雨。在颱風降雨方面，本研究使用美軍聯合颱風警報中心(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)所提供之西北太平洋颱風的 6 小時最佳路徑資料(best track data)，選取近中心最大風速達到每小時 34 哩以上的熱帶風暴和颱風個案，檢視其是否影響臺灣降雨。此處，所謂影響臺灣降雨，包括颱風登陸期間所帶來之降雨及未登陸臺灣但外圍環流影響所產生之降雨。有關颱風影響臺灣降雨的區域範圍定義，許多研究(Chen et al., 2010；Chen and Chen, 2011；Chu et al., 2014)在考量大部分颱風的半徑大約為 200 至 300 公里之後，便以當颱風中心位於臺灣島往外擴張  $2.5^\circ$  經緯度(即  $19.5^\circ\text{N}$ - $27.5^\circ\text{N}$ ,  $117.5^\circ\text{E}$ - $124.5^\circ\text{E}$ )區間內的日子，定義為颱風影響臺灣降雨的日子。而考量有部分颱風的半徑可能大於 300 公里(Tu and Chou, 2013)，本研究將颱風影響臺灣的期間定義為，颱風中心位於臺灣島往外擴張  $2.5^\circ$  經緯度(即  $19.5^\circ\text{N}$ - $27.5^\circ\text{N}$ ,  $117.5^\circ\text{E}$ - $124.5^\circ\text{E}$ )區間內的期間，再加上前後各一天。而颱風降雨天數，則定義為颱風影響臺灣期間內，全臺平均日降雨量 $\geq 0.1\text{mm/day}$ 的天數。至於非颱風降雨天數則是總降雨天數減掉颱風降雨

天數。

## (二) 其他相關研究資料與方法

前人研究指出，在秋天生成的西北太平洋颱風，其移動路徑主要受到秋季赤道槽及太平洋副熱帶高壓的環流場影響，有機會在過境臺灣附近時，為臺灣帶來大量降雨(Harr and Elsberry, 1991; Camargo et al., 2007a, 2007b)。而在沒有受到颱風影響的其餘時間，臺灣秋季的非颱風降雨則主要是因亞洲大陸高壓所伴隨的東北季風與地形效應造成(Chen and Chen, 2003; John Kerns et al., 2010)。由於環境場變化和降雨變化息息相關，因此本研究將藉由檢視環境場的變化(例如：風場、高度場和比濕場)，找出造成臺灣秋季降雨低頻擾動變遷的可能原因。有關環境場分析，本研究採用 NCEP/NCAR R1 (National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research Reanalysis 1)所提供的再分析資料(Kalnay et al., 1996)，此再分析資料的空間解析度為  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ，資料時間為 1948-2015 年。其中第三章所分析的亞洲大陸高壓(簡稱 H1，後面介紹)、太平洋副熱帶高壓(簡稱 H2、H3，後面介紹)，三個區域範圍是依照相關係數圖中(見圖 7，後面介紹)，850hPa 流函數與臺灣秋季降雨(總降雨、非颱風降雨、颱風降雨)相關性最高的區域為選取範圍，亞洲大陸高壓 H1 的區域範圍為  $30^{\circ}\text{N}-40^{\circ}\text{N}$ ， $110^{\circ}\text{E}-120^{\circ}\text{E}$ ，太平洋副高 H2 和 H3 的區域範圍分別為

$10^{\circ}\text{N}-20^{\circ}\text{N}$ ， $140^{\circ}\text{E}-170^{\circ}\text{E}$  和  $25^{\circ}\text{N}-35^{\circ}\text{N}$ ， $165^{\circ}\text{E}-185^{\circ}\text{E}$ 。

另一方面，我們也透過功率譜分析(power spectral analysis)、小波分析(wavelet analysis)找出頻率變化特性；透過經驗正交函數 EOF (Empirical Orthogonal Function; Pandzic and Kisegi, 1990)分析，探討低頻擾動的時間、空間分布變化特性；透過時間相關分析，找出降雨變化與環境場變化之間的關係；透過檢視水氣通量變化，找出影響降雨量變化的原因。有關水氣場變化，我們使用 1000hPa~300hPa 垂直積分的水氣通量輻合(vertically integrated moisture flux convergence,  $-\nabla \cdot \vec{Q}$ )進行分析，計算公式如方程式(1)所示：

$$-\nabla \cdot \vec{Q} = -\nabla \cdot \left( \int_{p_0}^{300\text{hPa}} \vec{v} q dp \right) \quad (1)$$

其中  $\vec{v}$  代表風場， $q$  代表比濕場， $p$  代表氣壓場， $p_0$  為 1000hPa。另外，仿效前人研究(Banacos and Schultz, 2005; Huang et al., 2015)，我們也針對 1000hPa 水氣通量輻合場進行分解，試圖進一步瞭解造成水氣通量輻合場變動的原因，分解公式如方程式(2)所示：

$$-\nabla \cdot (\vec{v} q) = -\vec{v} \cdot \nabla q - q(\nabla \cdot \vec{v}) \quad (2)$$

其中  $-\vec{v} \cdot \nabla q$  代表平流項， $-q(\nabla \cdot \vec{v})$  代表輻合項。而在估算降雨變異量大小方面，我們採用均方根值(Root Mean Square Error, 簡稱 RMSE)進行比對，計算公式如方程式(3)所示：

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(\text{各年秋季降雨} - 1945 \sim 2015 \text{ 年期間秋季降雨的長期平均})^2}{\text{計算的總年數}}} \quad (3)$$

而由於本研究著重在探討 10 年以上之低頻擾動變遷，為了降低 10 年以下年際變化(interannual variability)的影響，我們將欲檢視之變數資料，透過 5 年移動平均方法(running mean or moving average)，使得變數資料所包含之 5 年以下年際變化的訊號降低，之後再進行後續分析。需說明的是，本研究亦曾嘗試採用 7 年、9 年移動平均方法，去降低 10 年以下年際變化的影響，其測試結果與採用 5 年移動平均方法的結果相似，秋季降雨都呈現振盪週期變遷現象(見圖 5，後面說明)。惟考量採用 5 年移動平均方法，可保留最多時間年數供分析，且振幅較採用 7 年、9 年移動平均方法明顯，因此本研究仍決定採用 5 年移動平均方法進行後續分析，相關論述，將於後面詳細說明。而為了釐清本研究所發現的振盪週期變遷現象(見圖 5，後面說明)是否受到聖嬰現象年際變化的影響，我們亦採用 NOAA CPC (National Oceanic and Atmospheric Administration Climate Prediction Center)所提供的 9-11 月 Oceanic Niño Index (ONI)當作秋季聖嬰指數，進行相關分析。

### 三、 結果與討論

本章節安排如下。在第(一)小節中，

我們將探討臺灣秋季總降雨及兩種不同類型降雨(颱風、非颱風)之低頻擾動時間特性變化，並探討秋季總降雨低頻擾動變化主要是受到哪種類型降雨控制。在第(二)小節中，我們將討論第(一)小節中所發現的低頻擾動週期變化特性，是否具有區域性差異。最後，於第(三)小節中，我們將探討相關氣候動力機制是如何造成臺灣秋季降雨之低頻擾動有週期變遷現象。

#### (一) 臺灣秋季降雨低頻擾動之時間特性變化

圖 2a 顯示臺灣秋季總降雨的時間特性變化。將圖 2a 中的降雨距平變化(長條圖)與經過 5 年移動平均之後的時間序列(黑線)相比較，可以發現經過移動平均後，原本較短期的年際變化被濾除了大部分，留下較低頻的擾動。觀察此低頻擾動的振盪高點與低點，可以發現振盪高點大約發生在 1947 年、1969 年、1989 年、2000 年及 2009 年，振盪低點則大約發生在 1962 年前後、1981 年前後、1995 年、2004 年及 2013 年。由上述振盪變化得知臺灣秋季總降雨量的振盪週期在 1985 年以前似乎較 1985 年後長。若進一步將總降雨分成颱風降雨和非颱風降雨，並針對兩種類型降雨之時間序列進行與圖 2a 類似的分析(如圖 2b-c)，則可發現兩種類型降雨也有與總降雨類似的低頻擾動現象，振盪週期在 1985 年以前較 1985 年後長。這些結果顯示陳與

汪(2000)所提出之「臺灣秋季降雨具準 20 年振盪特徵」存在週期變遷現象。

為了凸顯上述的週期變遷現象，我們將秋季總降雨和兩種類型降雨的 5 年移動平均之時間序列放大檢視(圖 3)，可以明顯看到三種降雨的振盪週期在前期(1945-1985 年)似乎較長，經過幾年轉換，後期(1990-2015 年)三種降雨的振盪週期似乎較短。而就颱風與非颱風兩種降雨時間序列的相關係數( $=0.17$ )來看，兩者之間的關聯性並不高。若比較 1945-2015 年期間的平均雨量，可知總降雨的平均雨量為 551.0 mm，颱風降雨和非颱風降雨的平均雨量分別為 232.8 mm 和 318.2 mm，各佔總降雨的 42%和 58%，代表臺灣秋季降雨主要來源為非颱風降雨，次要才為颱風降雨。而經由計算並比對圖 3 中經移動平均後的時間序列其均方根值(表 1)，我們可得知 1945-2015 年期間總降雨低頻擾動現象之振幅強度受颱風降雨影響較大。進一步分成前期(1945-1985 年)與後期(1990-2015 年)分析，可以發現雖然前、後期也都是颱風降雨對總降雨低頻擾動的振幅強度影響較大，但比較前、後期的均方根值比例(表 1)，可以發現非颱風降雨的均方根值在後期較前期大，此意味著非颱風降雨對總降雨低頻擾動振幅強度的影響程度在後期有增強。而從時間相關係數分析來看(表 2)，1945-2015 年期間颱風降雨對總降雨之低頻擾動週期變化影響程度亦較大；進一步

分成前期(1945-1985 年)與後期(1990-2015 年)分析，可發現雖然前、後期也都是颱風降雨對總降雨低頻擾動的週期變化影響較大，但颱風降雨對總降雨低頻擾動週期變化的影響程度在後期有減弱。

為了確定振盪週期，我們接著將 1945-2015 年秋季總降雨、颱風降雨、非颱風降雨之原始數據和經過 5 年移動平均之後的數據進行功率譜進行比對(如圖 4a-b)，結果除了可以顯示經過 5 年移動平均的方法，確實能有效降低振盪週期在 5 年以下年際變化的訊號之外，從圖 4b 上亦可以明顯看到三種降雨分類都有約 15 年週期之年代際變化，而此結果似乎與陳與汪(2000)分析 1930-1997 年資料所提出之準 20 年振盪不相同。由於從圖 3 可以得知臺灣秋季降雨低頻擾動有週期變遷現象，因此我們將時間分成前期(1945-1985 年)與後期(1990-2015 年)，並分別針對這兩個時期的 5 年移動平均時間序列進行功率譜分析(如圖 4c-d)。圖 4c 顯示三種降雨分類在前期(1945-1985 年)都有準 20 年週期之年代際變化，此結果與陳與汪(2000)研究相符。而後期(1990-2015 年)則顯示三種降雨分類的主要振盪週期都縮短到準 10 年左右(圖 4d)。此結果證明臺灣秋季降雨之低頻擾動有週期變遷現象，振盪週期由準 20 年轉變為準 10 年。

上述發現主要是以 5 年移動平均數線進行分析。為了釐清採用不同的移動平均

方法，進行 10 年以下的訊號濾除，是否仍可發現臺灣秋季降雨低頻擾動有振盪週期由準 20 年轉變為準 10 年的現象，我們亦採用常被使用的 7 年、9 年移動平均方法，進行與圖 4 類似分析。由圖 5 中可見，即便是採用 7 年、9 年移動平均方法，臺灣秋季總降雨之低頻擾動週期都有由長變短的現象。三種(5 年、7 年、9 年)移動平均方法的數線在前期(1945-1985 年)差異不大，都呈現準 20 年振盪週期，振幅也都相近，顯示不論是採用哪一種移動平均方法，對前期功率譜分析的結果差異皆不大。反之，三種(5 年、7 年、9 年)移動平均方法的數線在後期(1990-2015 年)對振盪振幅描述差異較大，若採用越長的移動平均區間，則振幅越小，而不論是採用 5 年、7 年、9 年移動平均方法，其功率譜分析在後期皆可見到類似的準 10 年振盪週期訊號。針對颱風、非颱風降雨進行類似的 5 年、7 年、9 年移動平均比對，上述總降雨針對三種移動平均的比對，亦可適用於颱風降雨和非颱風降雨(圖未示)。以上說明，顯示本研究的主要結論之一：「臺灣秋季降雨之低頻擾動有週期變遷現象，振盪週期由準 20 年轉變為準 10 年」，並不隨著採用的移動平均年份是 5 年、7 年或 9 年而有所不同。考量採用 5 年移動平均方法，相較於採用 7 年、9 年移動平均方法，能保留較多的時間點數供研究分析，且有更明顯的振盪振幅變化，以利凸顯出振盪週期的改變(如圖

5)。因此，在不影響本研究結論的考量下，本研究後續分析皆採用 5 年移動平均進行。

另一方面，由於一般常見的年際振盪聖嬰現象，其振盪週期約 2-8 年(Rasmusson and Carpenter 1982; An and Wang 2000)，為了釐清聖嬰現象的長期變化是否會影響圖 2-5 的現象，我們進行以下討論。圖 6 為 CPC 所提供 1990-2015 年間的秋季聖嬰指數時間序列及功率譜圖。由圖 6 可知，後期(1990-2015 年)的聖嬰指數振盪週期為 2-4 年，此意味著採用 5 年移動平均方法已能有效濾除大部分聖嬰現象對臺灣秋季降雨的準 10 年振盪現象所造成之可能影響。至於前期(1945-1985 年)主要的振盪週期是準 20 年振盪訊號，遠大於該期間內的聖嬰指數振盪週期(為 2-8 年，圖未示)，因此本研究認為圖 2-5 中所發現的振盪週期轉變現象，和聖嬰事件的發生頻率長期變化並不存在顯著關聯性。

## (二) 臺灣秋季降雨低頻擾動之區域性的差異

由於第(一)小節的結果皆以全臺平均為主，為了要瞭解降雨的低頻擾動變遷是否存在區域性差異，我們接著針對個別測站進行分析。由圖 7 可知臺灣秋季平均降雨量是東部明顯大於西部，而且東部地區的降雨量有由北往南遞減之現象。關於臺灣秋季降雨量分布特徵，可以從過去研究

得知(Chen et al. 1998; Camargo et al. 2007a)，其主要原因是秋季颱風多從臺灣東部過境，而且受到東北季風及地形效應影響，造成東部地區的降雨量由北往南遞減，西部地區則是處於背風面，所以降雨量較少。

接著我們將臺灣 10 個測站的秋季總降雨之 5 年移動平均進行經驗正交函數(EOF)分析(圖 8a)。結果顯示，第一主分量(EOF1)所解釋的變異量佔總變異量的 77.6%，從時間序列上可以看出前期(1945-1985 年)的振盪週期較長，後期(1990-2015 年)的振盪週期較短。若將圖 8a 中 EOF1 所對應到的時間序列與圖 2a 中 5 年移動平均的時間序列變化相比，可發現兩者相關係數高達 0.97，證明 EOF1 能充分顯示臺灣秋季總降雨低頻擾動之時間變化特性。而從圖 8a 中 EOF1 所對應到的空間分布，我們可以看到 10 個測站的特徵向量均為正值，代表此低頻擾動特性為臺灣全島性現象，當對應到的 EOF1 時間序列為正值時(高峯值)，臺灣全島各測站秋季總降雨量偏多；反之，當時間序列為負值時(低峯值)，臺灣全島各測站秋季總降雨量偏少。從特徵向量值的區域差異上來看，振幅強度是臺灣東部較強，且強度變化由北往南逐漸減弱，西部地區的振幅強度較弱，尤其在中部地區最弱。上述圖 8a 的分析結果，大多與陳與汪(2000)針對 6 個測站的總降雨進行 EOF 的分析結果相似，惟陳與汪(2000)的研究中並無明確指出準 20 年振盪的現

象不適用於 1990 年之後的秋季降雨特徵描述。

若進一步將 10 個測站的颱風降雨和非颱風降雨之 5 年移動平均都進行 EOF 分析，可發現兩種類型降雨 EOF1 的可解釋變異量都相當高，分別佔該類型降雨總變異量的 73.6%(圖 8b)和 83.3%(圖 8c)，代表 EOF1 的結果可以掌握到大部分颱風降雨和非颱風降雨低頻擾動之時間、空間變化特性。就圖 8b(圖 8c)所呈現的空間分布特色而言，颱風(非颱風)降雨的 EOF1 特徵向量皆為正值，代表颱風(非颱風)降雨量的變化在臺灣各地是同時增加或同時減少。其中，不論是颱風降雨或是非颱風降雨，其低頻擾動的振幅強度在臺灣東部地區皆較在西部地區強，惟非颱風降雨之低頻擾動的振幅強度在東部地區有由北往南遞減的現象。而比對圖 8b 與圖 8c，則可以發現東北部地區的降雨振盪受非颱風降雨貢獻較大(即圖 8b 點線區數值較圖 8c 中相同測站數值小)，東南部地區的降雨振盪則是受颱風降雨貢獻較大(即圖 8b 虛線區數值較圖 8c 中相同測站數值大)。其原因有可能是因為秋季的颱風多從西北太平洋行經臺灣東部，故颱風降雨對整個東部地區都有貢獻，但是非颱風降雨則有可能是受到東北季風的影響或是東北季風和非侵臺颱風之間產生的共伴效應影響(Wu et al. 2009; John Kerns et al., 2010; Chen et al., 2010; Chen and Wu 2016)，在東半部的影響程度

是由北往南遞減。

而就圖 8b-c 中的時間序列而言，颱風降雨和非颱風降雨 EOF1 之時間序列與圖 2 中各自的 5 年移動平均時間序列振盪變化相似，相關係數分別為 0.99 和 0.96，此可加以證明兩種類型降雨的 EOF1 可以代表該類型降雨低頻擾動之時間變化特性。陳與汪(2000)分析颱風降雨和非颱風降雨的準 20 年振盪時，發現兩種類型降雨在時間演化上有細微不同處，颱風降雨的 EOF1 時間序列清楚呈現兩個準 20 年振盪，但非颱風降雨 EOF1 時間序列的第一個振盪週期略大於 20 年，第二個振盪週期約 15 年左右，因此認為非颱風降雨之準 20 年振盪

變化不如颱風降雨規律。然而從圖 8c 所呈現的結果中，可得知非颱風降雨之低頻擾動並非僅僅是週期較不規律，而比較像是振盪週期在 1985 年之前和之後有所不同。

本研究至此，已確定臺灣秋季總降雨及兩種類型降雨之低頻擾動有週期變遷現象，主要的振盪週期都是從準 20 年轉變為準 10 年，而且此低頻擾動為臺灣全島性現象，惟區域上有振幅強度大小不同及兩種降雨類型貢獻程度不同的差異。接著在第三(三)小節中，我們將探討大尺度環境場的變化是如何影響臺灣秋季降雨低頻擾動的週期變化。

表 1 總降雨、颱風降雨、非颱風降雨的均方根值，單位為毫米(mm)。括號內表示颱風降雨或非颱風降雨，其均方根值佔總降雨均方根值的百分比。

時間 降雨分類	1945-2015 年	前期：1945-1985 年	後期：1990-2015 年
總降雨	107.0	106.1	104.2
颱風降雨 (颱風降雨均方根值佔 總降雨均方根值的百 分比)	79.7 (75%)	78.4 (74%)	73.8 (71%)
非颱風降雨 (非颱風降雨均方根值 佔總降雨均方根值的百 分比)	58.8 (55%)	51.4 (48%)	65.6 (63%)

表 2 颱風降雨、非颱風降雨對總降雨的時間相關係數。

時間 降雨分類	1945-2015 年	前期：1945-1985 年	後期：1990-2015 年
颱風降雨	0.84	0.89	0.78
非颱風降雨	0.68	0.71	0.71

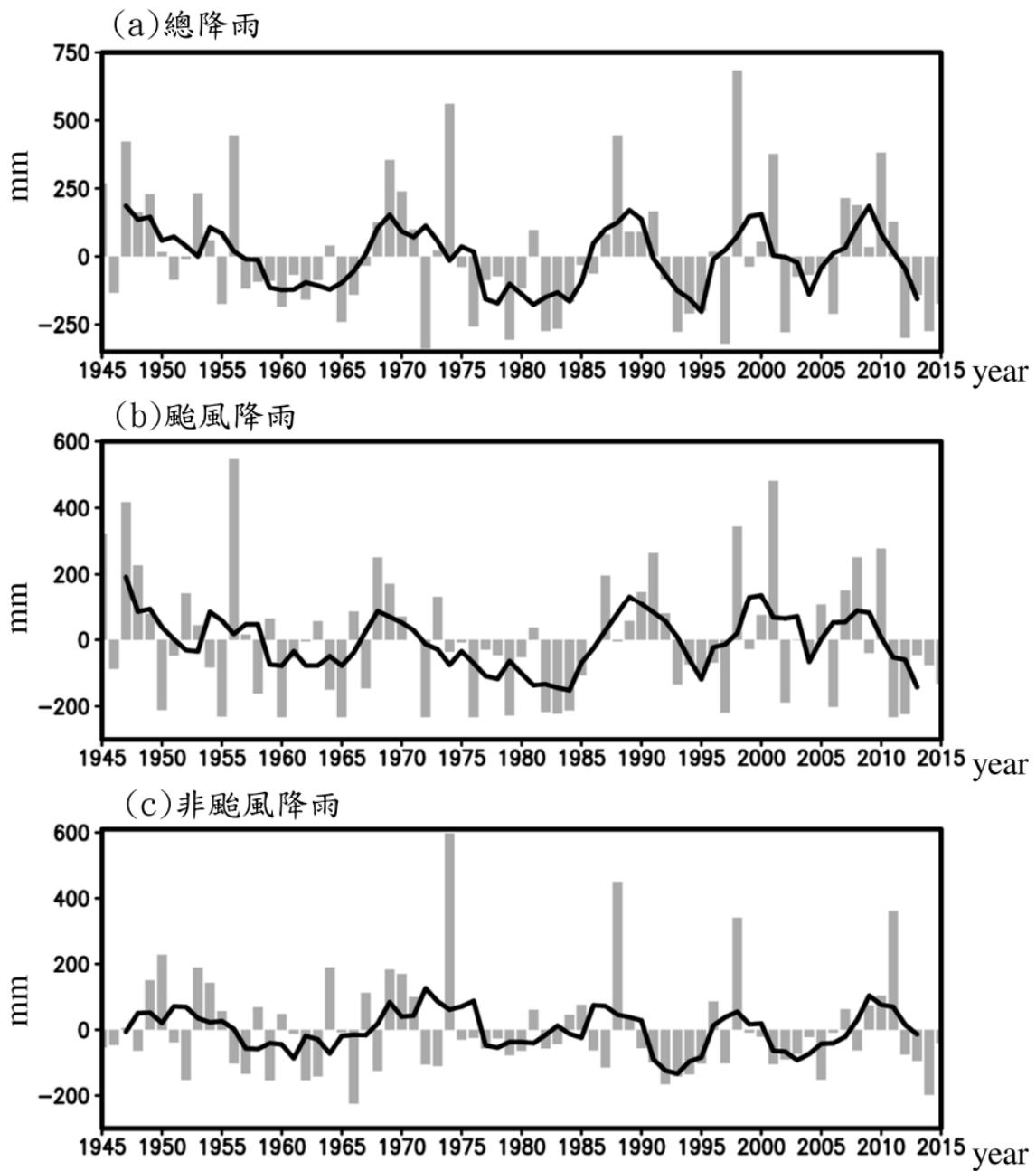


圖 2 1945-2015 年臺灣秋季累積降雨距平之時間序列，(a)為總降雨，(b)為颱風降雨，(c)為非颱風降雨，長條圖為每年秋季累積降雨距平，黑線為 5 年移動平均，單位為毫米(mm)。

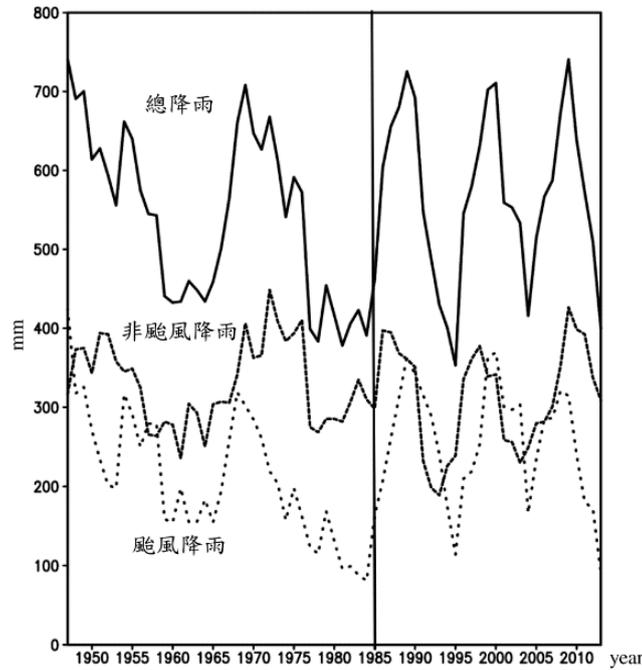


圖 3 1945-2015 年臺灣秋季累積降雨之 5 年移動平均，黑直線為總降雨，虛線為非颱風降雨，點線為颱風降雨，單位為毫米(mm)，1985 年的黑線用於將時間分為前期(1945-1985 年)、後期(1990-2015 年)，中間會經過幾年的轉換期。

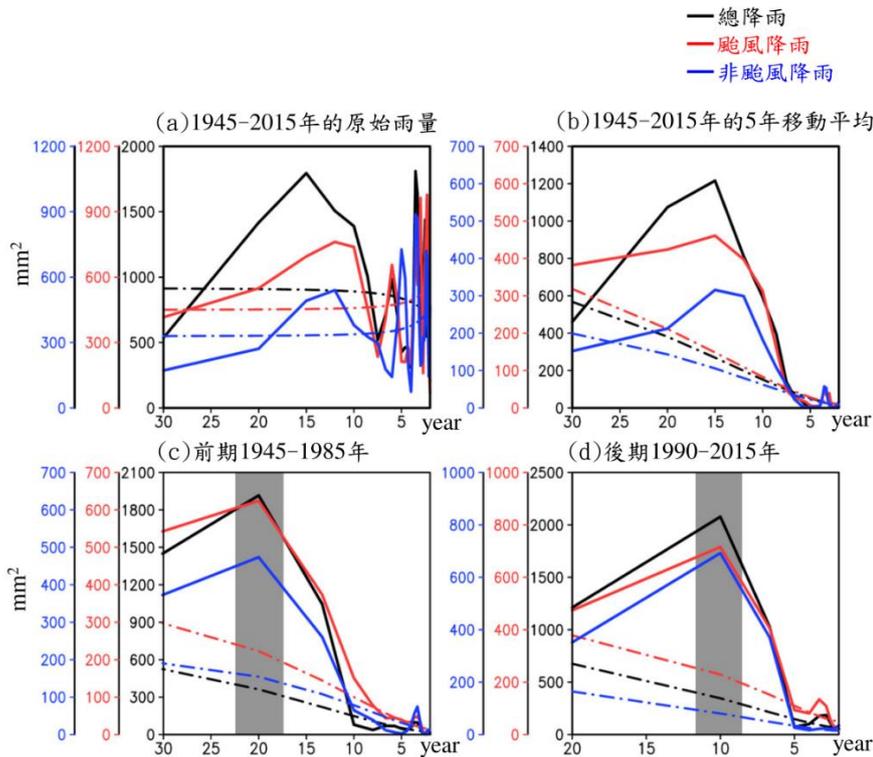


圖 4 臺灣秋季三種降雨時間序列的功率譜分析，(a)為 1945-2015 年的原始雨量，(b)為 1945-2015 年的 5 年移動平均，(c)為前期(1945-1985 年)的 5 年移動平均，(d)為後期(1990-2015 年)的 5 年移動平均，虛線為 95% 可信度，用於檢驗功率譜顯著程度，灰色區間為主要振盪週期。

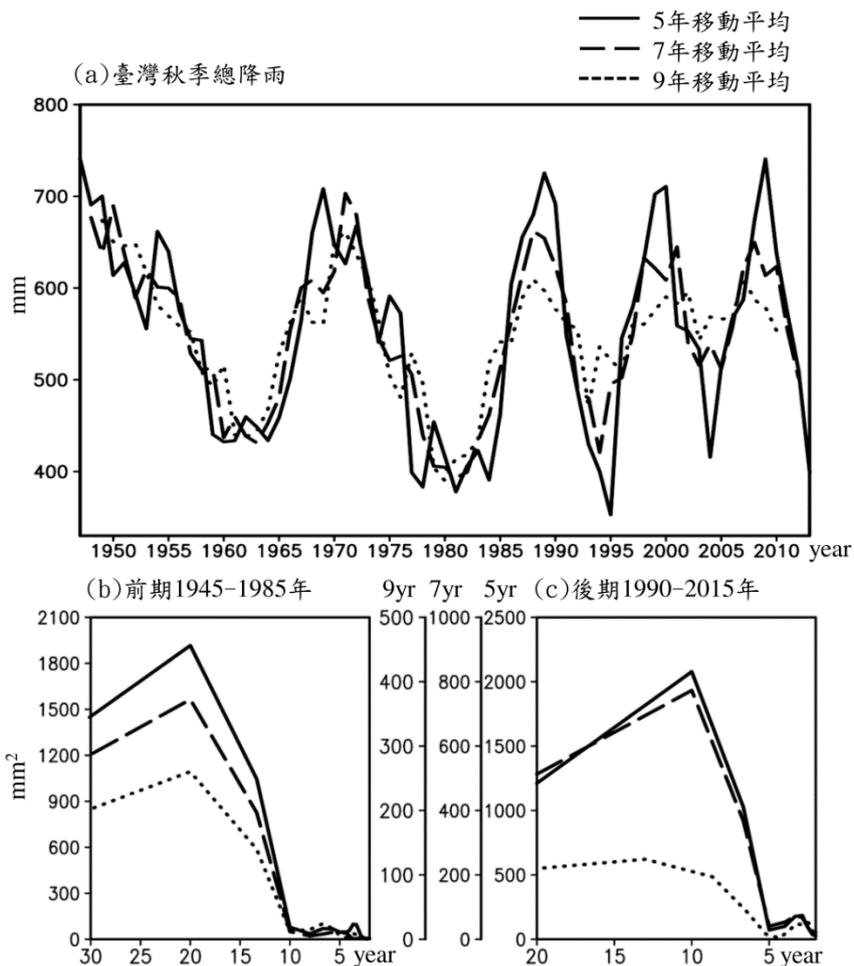


圖 5 (a)為 1945-2015 年臺灣秋季總降雨經過不同年份移動平均的時間序列，(b)為前期(1945-1985 年)的功率譜分析，(c)為後期(1990-2015 年)的功率譜分析，直線為 5 年移動平均，虛線為 7 年移動平均，點線為 9 年移動平均。

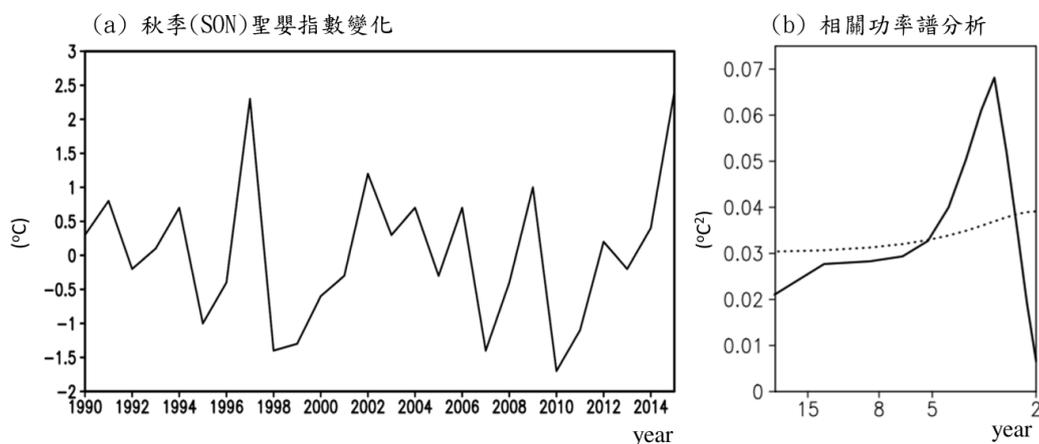


圖 6 (a)為 1990-2015 年秋季聖嬰指數變化時間序列，(b)為聖嬰指數變化的功率譜分析，點線為 95 % 可信度，用於檢驗功率譜顯著程度。(資料來源：[http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php))

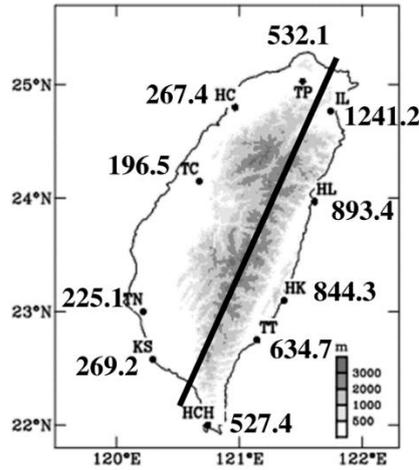


圖 7 1945-2015 年臺灣 10 個測站的秋季累積降雨量，單位為毫米(mm)，黑線用於將臺灣分為東西部，以利文中討論。

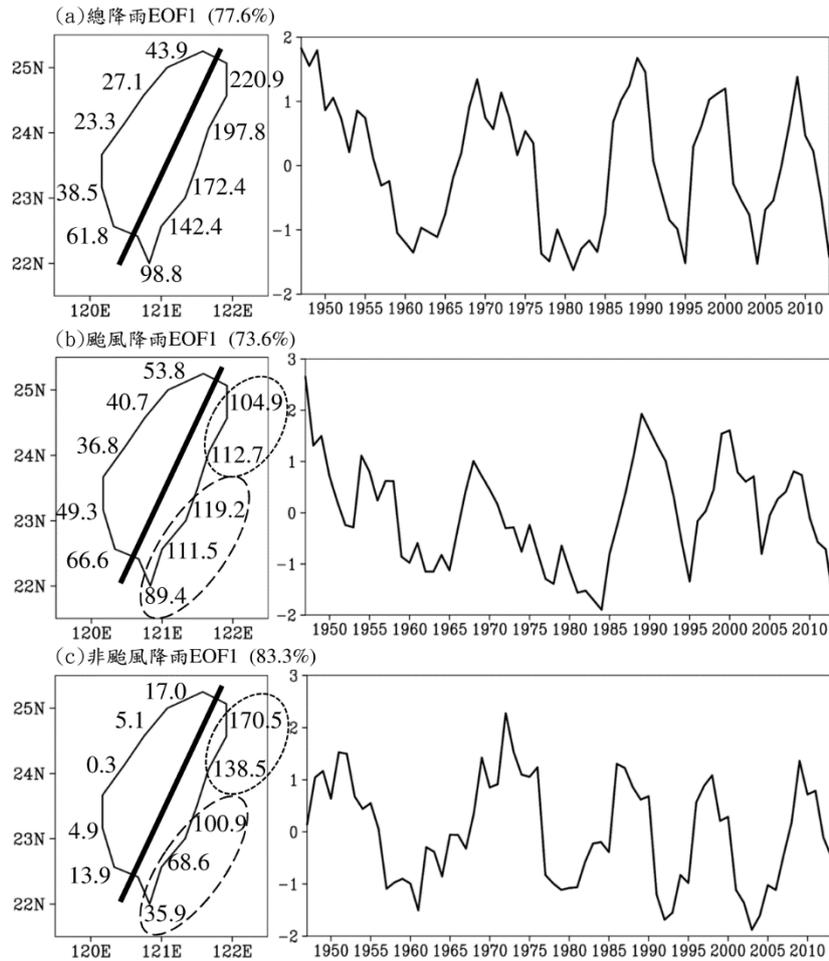


圖 8 臺灣 10 個測站秋季(a)總降雨、(b)颱風降雨、(c)非颱風降雨低頻擾動(經過 5 年移動平均)的經驗正交函數分析(EOF)，左邊為特徵向量，右邊為時間序列，黑線用於將臺灣分成東西部，點線為東北部，虛線為東南部。

### (三)相關的動力機制變化

從圖 9a 的東亞秋季氣候平均場可以得知，秋季影響臺灣的主要系統為亞洲大陸高壓和太平洋副熱帶高壓。進一步將前後兩時期(1945-1985 年、1990-2015 年)的環境場(850 hPa 的流函數、風場)與臺灣秋季總降雨之低頻擾動時間序列做相關性分析(圖 9b-c)，由流函數場的相關係數可以發現亞洲大陸高壓 H1 和太平洋副高 H2 的變化與前期(1945-1985 年)臺灣秋季總降雨變化呈現明顯正相關(著色區數值 $>0$ ，圖 9b)，此意味著當 H1、H2 增強(減弱)時，臺灣附近的東風也會增強(減弱)，使臺灣總降雨增加(減少)；而後期(1990-2015 年)主要以太平洋副高 H3 的變化與臺灣秋季總降雨變化，兩者之間具有較高正相關(著色區數值 $>0$ ，圖 9c)，可以推測當 H3 增強(減弱)時，臺灣附近的偏南風也會增強(減弱)，使臺灣總降雨增加(減少)。而相較於圖 9b，圖 9c 中則無法看出亞洲大陸高壓變化和臺灣秋季總降雨變化之間存在明顯正相關，此意味著亞洲大陸高壓對「後期(1990-2015 年)臺灣秋季總降雨的影響」較對「前期(1945-1985 年)臺灣秋季總降雨的影響」減弱。

此處需說明的是，圖 9b-c 中的降雨、風場的時間相關，本研究是以流線場的形式呈現，其計算方式先分別將緯向風、經向風跟臺灣秋季降雨之低頻擾動做相關(Huang et al. 2016)，再將緯向風相關係數、

經向風相關係數進行流線場繪製。如此一來雖無法直接看出降雨與風場的時間相關值大小，但是可以較清楚看出沿著高壓(H1、H2、H3)變化的風場流向，以利進行討論。

從圖 9 可以推測，臺灣秋季總降雨的低頻擾動變遷可能和亞洲大陸高壓、太平洋副高的變化有關。對此我們進一步針對圖 9 中 H1、H2、H3 區域的流函數做區域平均，檢視其時序變化特徵是否與前述臺灣秋季總降雨時序變化特徵一致。此處針對太平洋副高的變化，我們選擇兩個不同區域(H2、H3)進行分析，主要是因為太平洋副高在前期(1945-1985 年)與臺灣秋季總降雨相關性最高的區域位在 H2，但後期(1990-2015 年)與臺灣秋季總降雨相關性最高的區域東移至 H3 區域。圖 10a 顯示分別對 H1、H2、H3 的流函數做區域平均後，所得到之 5 年移動平均時間序列，其中太平洋副高 H2 及 H3 的長期變化很類似，差別在於振幅大小不同，而太平洋副高 H2、H3 與亞洲大陸高壓 H1 之間的差異則較大，H1 時間序列無明顯線性趨勢變化，但 H2、H3 在前期(1945-1985 年)有明顯的下降趨勢，在後期(1990-2015 年)則是有明顯上升趨勢。為了確定 H1、H2、H3 的振盪週期隨時間變化情形，我們將圖 10a 中三個時間序列分別進行小波分析，結果如圖 10b-d 所示。由圖 10b 可知，亞洲大陸高壓 H1 在 1975 年前和 2005 年後有明顯的約 25-30 年週期之年代際變化，1980-2000 年之間則

有明顯的約 20 年週期之年代際變化。不同於亞洲大陸高壓 H1, 太平洋副高 H2(圖 10c) 及 H3(圖 10d)的週期變化很相似, 兩者在 1985 年前皆可見約 10-15 年的週期振盪, 1985 年後則逐漸轉為約 10 年週期振盪; 其中又以 H3 的週期縮短現象較 H2 更為明顯。

綜合上述結果, 我們推測由於臺灣秋季總降雨之低頻擾動在前期(1945-1985 年)主要是受到 H1 和 H2 的影響較大(圖 9b), 且 H1 在此段時間的振盪週期約 25-30 年(圖 10b), H2 在此段時間的振盪週期約 10-15 年(圖 10c), 在 H1 和 H2 共同影響下, 臺灣秋季總降雨之低頻擾動呈現準 20 年週期之年代際振盪(圖 4c)。相較之下, 臺灣秋季總降雨之低頻擾動在後期(1990-2015 年)主要是受到 H3 的影響較大(圖 9c), 且 H3 在此段時間的振盪週期約 10 年(圖 10d), 在 H3 影響下, 臺灣秋季總降雨之低頻擾動轉變為準 10 年週期之年代際振盪(圖 4d)。這些結果佐證臺灣秋季總降雨之低頻擾動變遷與亞洲大陸高壓、太平洋副高的週期變化息息相關。

接著分析臺灣非颱風降雨部分, 從圖 11a-b 相關係數圖中可以得知, 前期(1945-1985 年)(圖 11a)對非颱風降雨影響較大的是亞洲大陸高壓 H1 和太平洋副高 H2, 當 H1、H2 增強(減弱)時, 臺灣附近的東風也會增強(減弱), 使得臺灣非颱風降雨增加(減少); 後期(1990-2015 年)(圖 11b)則是

太平洋副高 H2 影響較大, 當 H2 增強(減弱)時, 臺灣附近的偏南風也會增強(減弱), 使臺灣非颱風降雨增加(減少)。而臺灣颱風降雨部分, 從圖 11c-d 相關係數圖中可以得知, 前期(1945-1985 年)(圖 11c)對颱風降雨影響較大的是亞洲大陸高壓 H1 和太平洋副高 H2, 當 H1、H2 增強(減弱)時, 臺灣附近的低壓也會增強(減弱), 較容易(不容易)導引颱風經過此區域, 使臺灣的颱風降雨增加(減少); 後期(1990-2015 年)(圖 11d)則是受到太平洋副高(H3)影響較大, 當 H3 增強(減弱)時, 臺灣附近的低壓也跟著增強(減弱), 颱風較容易(不容易)經過臺灣, 使臺灣的颱風降雨增加(減少)。既然非颱風、颱風降雨在前期(1945-1985 年)都受到 H1、H2 影響, 考量 H1、H2 的週期變化在此段時間分別為 25-30 年(圖 10b)、10-15 年(圖 10c), 所以在 H1、H2 兩者共同影響下, 臺灣非颱風及颱風降雨之低頻擾動在前期(1945-1985 年)的振盪週期為準 20 年(圖 4c)。而由於非颱風、颱風降雨在後期(1990-2015 年)分別受到 H2 和 H3 影響較大, 考量 H2、H3 的週期變化在此段時間皆為約 10 年(圖 10b、圖 10c), 所以臺灣非颱風與颱風降雨之低頻擾動在後期(1990-2015 年)的振盪週期為準 10 年(圖 4d)。這些結果佐證臺灣秋季非颱風與颱風降雨之低頻擾動變遷, 亦與亞洲大陸高壓、太平洋副高的週期變化息息相關。

需說明的是, 上述討論發現颱風降雨

之低頻擾動在前期(1945-1985 年)的振盪週期為準 20 年振盪,但與低緯度 H2 之相關性卻不若與高緯度 H1 之相關性更高,這有可能是因為低緯度 H2 主要是影響颱風路徑走向,而不是颱風降雨強度的變化。為佐證此推測,我們接著針對太平洋副高的強度變化是如何影響颱風移動路徑,進而影響臺灣颱風降雨做進一步分析與探討。圖 12a 為秋季西北太平洋颱風的生成個數(經過 5 年移動平均)時間序列,與太平洋副高 H2、H3 的強度變化(圖 10a)互相比較後,可以發現兩者之間並沒有明顯的相似性,代表太平洋副高的強度變化對颱風生成個數沒有影響。但是將太平洋副高的強度變化(圖 10a)與侵臺的颱風個數(圖 12b)、颱風天數(圖 12c)相比較,可以發現前期(1945-1985 年)受到太平洋副高強度下降趨勢影響,颱風生成後較不容易移動至臺灣附近,造成侵臺的颱風個數和天數也都有明顯的下降趨勢。有關太平洋副高強度變化,對颱風路徑的影響,在過去亦有許多文獻提出相關證據(Ho et al. 2004)。

另一方面,由於降雨量=頻率×強度,且圖 12b-c 中顯示侵臺的颱風個數、颱風天數在前期(1945-1985 年)只有明顯的下降趨勢,沒有準 20 年振盪變化,因此可以推知造成颱風降雨量在前期(1945-1985 年)呈現準 20 年振盪變化,應該是來自颱風降雨強度的影響。過去已有許多文獻(Chen and Wu 2016; Wu et al. 2009)指出秋季颱風降雨

的強度,與東北季風發生共伴效應時,會較沒有共伴效應時更強。由於 H1 的週期變化,代表的是東北季風的強度變化,我們推測 H1 對颱風降雨強度的影響,有可能和共伴效應有關。至於後期(1990-2015 年)的颱風降雨量(=頻率×強度)變化,可由圖 3、圖 12b-c 中推知,颱風降雨的振盪週期明顯受到侵臺颱風個數與天數(即頻率)變化的影響,此意味著影響侵臺颱風個數與天數的太平洋副高(H2、H3)對颱風降雨振盪週期的影響,於後期(1990-2015 年)變得較前期(1945-1985 年)重要。綜合上述分析,我們確認太平洋副高的強度變化有可能會影響到侵臺的颱風個數和天數。然而因為臺灣的颱風降雨量變化除了受到颱風個數和天數影響,亦受到颱風降雨強度影響,因此不能僅用太平洋副高的強度變化來解釋臺灣颱風降雨量變化,特別是前期(1945-1985 年)颱風降雨的準 20 年振盪,明顯受到 H1 的週期影響。

至於有關太平洋副高的變動機制,前人研究指出西北太平洋副熱帶高壓強弱變化趨勢,可能與以下海溫的異常有關:(1)赤道中太平洋(tropical Central Pacific)海表面溫度的異常,(2)夏季熱帶印度洋(tropical Indian Ocean)海表面溫度的異常,及(3)海洋大陸(Maritime Continent)附近的海溫異常(He and Zhou 2014; Lu 2001; Sui et al. 2007; Wang et al. 2000; Wu and Liu 1992)。舉例來說,Wang et al. (2000) 指出當暖(冷)海溫異

常在赤道中太平洋發生時，副熱帶高壓位置有氣旋式(反氣旋式)環流異常，表示有較弱(強)的副熱帶高壓強度。另一方面，He and Zhou (2014)及 Wu and Liu (1992)的研究指出，當夏季熱帶印度洋以及海洋大陸附近的海溫異常偏暖，會導致赤道西太平洋產生東風異常，此東風異常將有利於西北太平洋副熱帶高壓的增強與西伸。上述研究結果皆顯示西北太平洋副熱帶高壓變化為受到赤道海溫變異影響的結果。然而究竟是哪一個海溫機制的改變，對本研究中所發現的西北太平洋副熱帶高壓振盪週期的改變影響最大，仍待未來更進一步的研究分析。

最後，我們探討臺灣附近的水氣通量在時、空間上特徵變化與臺灣秋季降雨低頻擾動變遷之間的可能關係。將臺灣秋季總降雨、非颱風及颱風降雨之低頻擾動，分別與 1000hPa~300hPa 垂直積分的水氣通量做相關係數分析，可以發現總降雨(圖 13a-b)和非颱風降雨(圖 13c-d)不論是在前期(1945-1985 年)，或是在後期(1990-2015 年)，與水氣通量變化的相關性空間分布皆很相似。前期(1945-1985 年)在臺灣附近的水氣通量變化(圖 13a、13c)與相關的風場變化(圖 9b、11a)相似，東風增強(減弱)使得水氣通量輻合增強(減弱)，臺灣的總降雨和非颱風降雨會增加(減少)；而後期(1990-2015 年)在臺灣附近的水氣通量變化(圖 13b、13d)亦與相關的風場變化(圖 9c、

11b)相似，呈現偏南風增強(減弱)使得水氣通量輻合增強(減弱)，臺灣的總降雨和非颱風降雨也會增加(減少)。而不同於總降雨和非颱風降雨，颱風降雨的水氣通量變化(圖 13e-f)主要受到臺灣附近低壓影響，低壓增強(減弱)會使水氣通量輻合增強(減弱)，臺灣的颱風降雨也跟著增加(減少)。

若將圖 13 與圖 14 相比較，可以發現水氣通量變化在 1000hPa~300hPa 垂直積分的相關分析結果與在 1000hPa 處的分析結果類似。因此，我們進而針對低層(1000hPa)的水氣通量輻合場在臺灣地區的時間變化進行時間序列分析(圖 15a)與功率譜分析(圖 15b-c)。從圖 15a 可以看到水氣通量輻合場在臺灣地區有明顯的低頻擾動，經過功率譜分析確認週期，可知前期(1945-1985 年)為約 20 年振盪週期(圖 15b)，後期(1990-2015 年)則是約 10 年振盪週期(圖 15c)，顯示水氣通量輻合場的週期變化與臺灣秋季降雨的週期變化相似。若進一步將臺灣地區的水氣通量輻合分成平流項 $(-\vec{v} \cdot \nabla q)$ (圖 16a)和輻合項 $[-q(\nabla \cdot \vec{v})]$ (圖 16b)，則可發現平流項的時序變化不具明顯低頻擾動特性，而輻合項的時序變化具明顯低頻擾動特性，顯示輻合項對水氣通量輻合的低頻擾動現象貢獻較平流項大。而透過功率譜分析，更可以確認輻合項的振盪週期也有變遷現象，前期(1945-1985 年)(圖 16c)為約 20 年週期振盪，後期(1990-2015 年)(圖 16d)則為約 10 年週期。

從圖 13-16 的結果顯示，秋季臺灣附近的水氣通量低頻擾動現象是由輻合項主導，降雨、非颱風及颱風降雨低頻擾動變遷的主要原因之一。此低頻擾動變化亦可視為影響臺灣秋季總

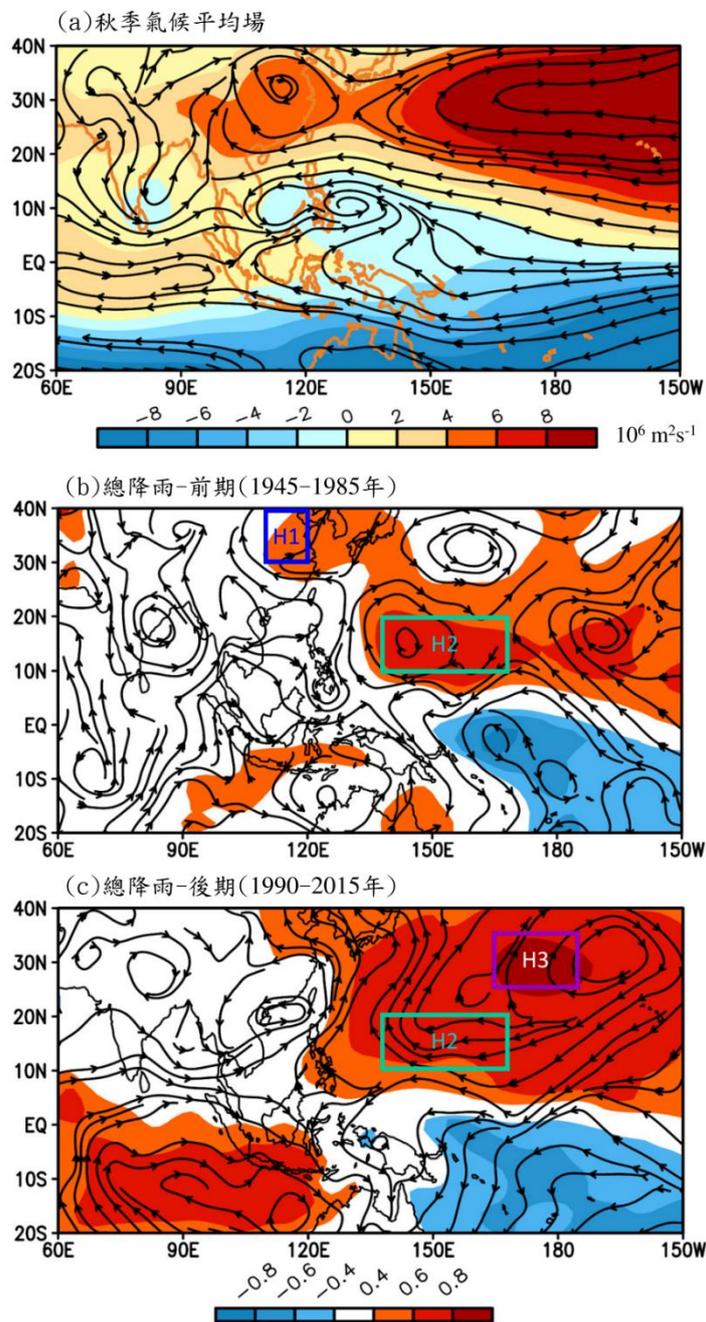


圖 9 (a)為 1945-2015 年的東亞秋季氣候平均場，著色場為 850 百帕流函數，流線場為 850 百帕風場，流函數單位為  $10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ 。(b、c)為臺灣秋季總降雨之低頻擾動(經過 5 年移動平均)與 850 百帕流函數、風場相關係數圖，(b)為前期(1945-1985 年)，(c)為後期(1990-2015 年)，著色場為流函數與臺灣總降雨相關係數，流線場為風場與臺灣總降雨相關係數，H1、H2、H3 的區域範圍請見第二章。

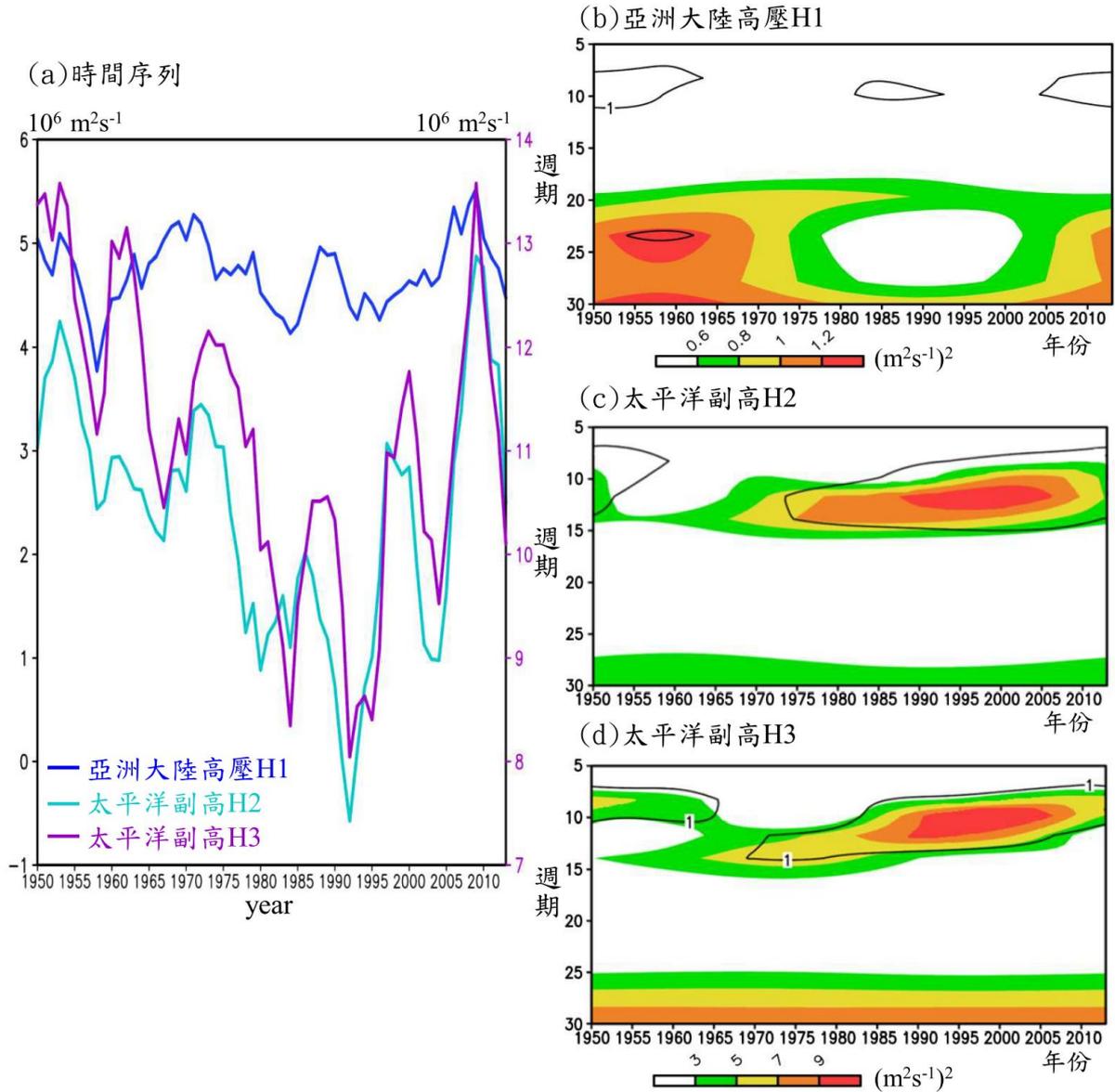


圖 10 (a)為 1945-2015 年亞洲大陸高壓(H1)和太平洋副高(H2、H3)強度的時間序列圖(經過 5 年移動平均)，左縱座標為亞洲大陸高壓(H1)和太平洋副高(H2)的強度，右縱座標為太平洋副高(H3)的強度，單位都為  $10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ 。(b-d)為不同變數的小波分析結果，(b)為亞洲大陸高壓(H1)，(c)為太平洋副高(H2)，(d)為太平洋副高(H3)，黑線為 95%可信度，用於檢驗週期的顯著程度。小波分析中的水平軸為年份，縱軸為週期(年)，色階單位為  $(\text{m}^2 \text{ s}^{-1})^2$ 。

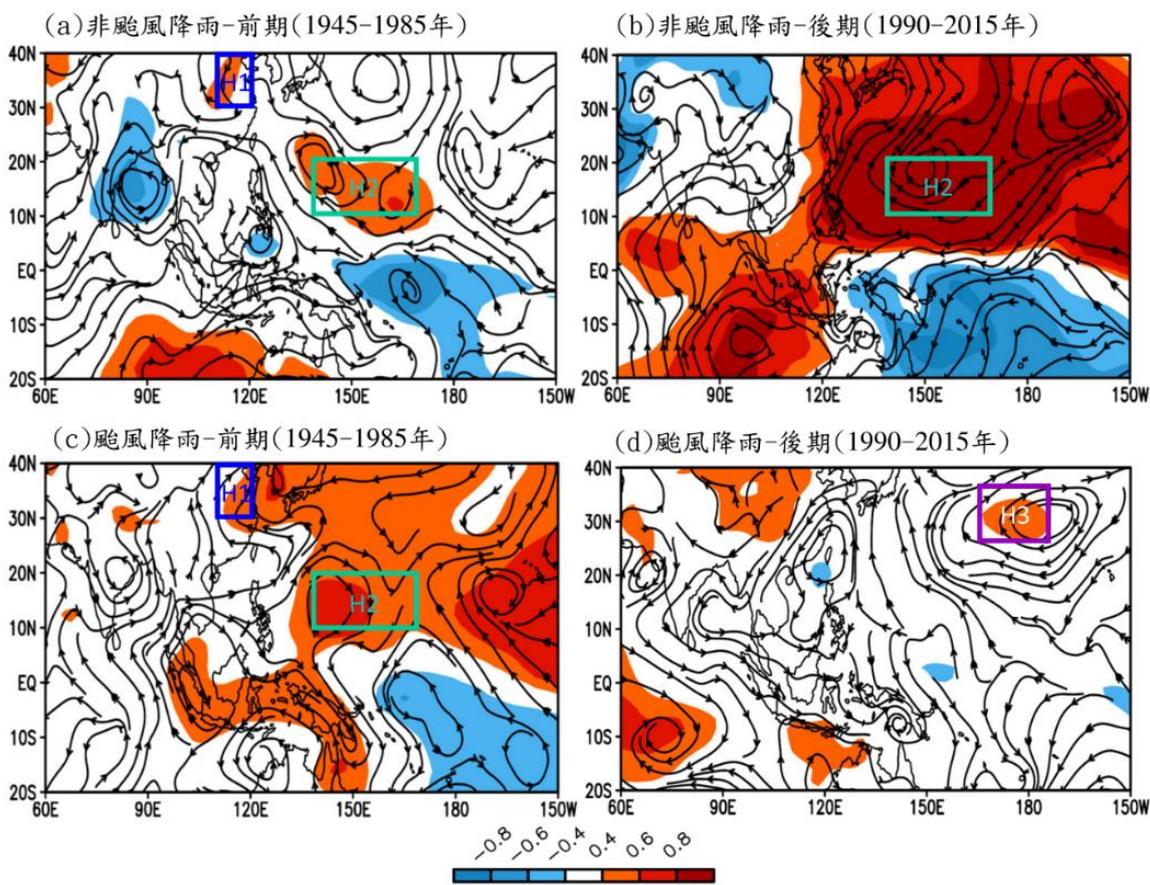


圖 11 臺灣秋季非颱風降雨(a、b)、颱風降雨(c、d)之低頻擾動(經過 5 年移動平均)與 850 百帕流函數、風場相關係數圖，(a、c)為前期(1945-1985 年)，(b、d)為後期(1990-2015 年)，著色場為流函數與臺灣降雨相關係數，流線場為風場與臺灣降雨相關係數。

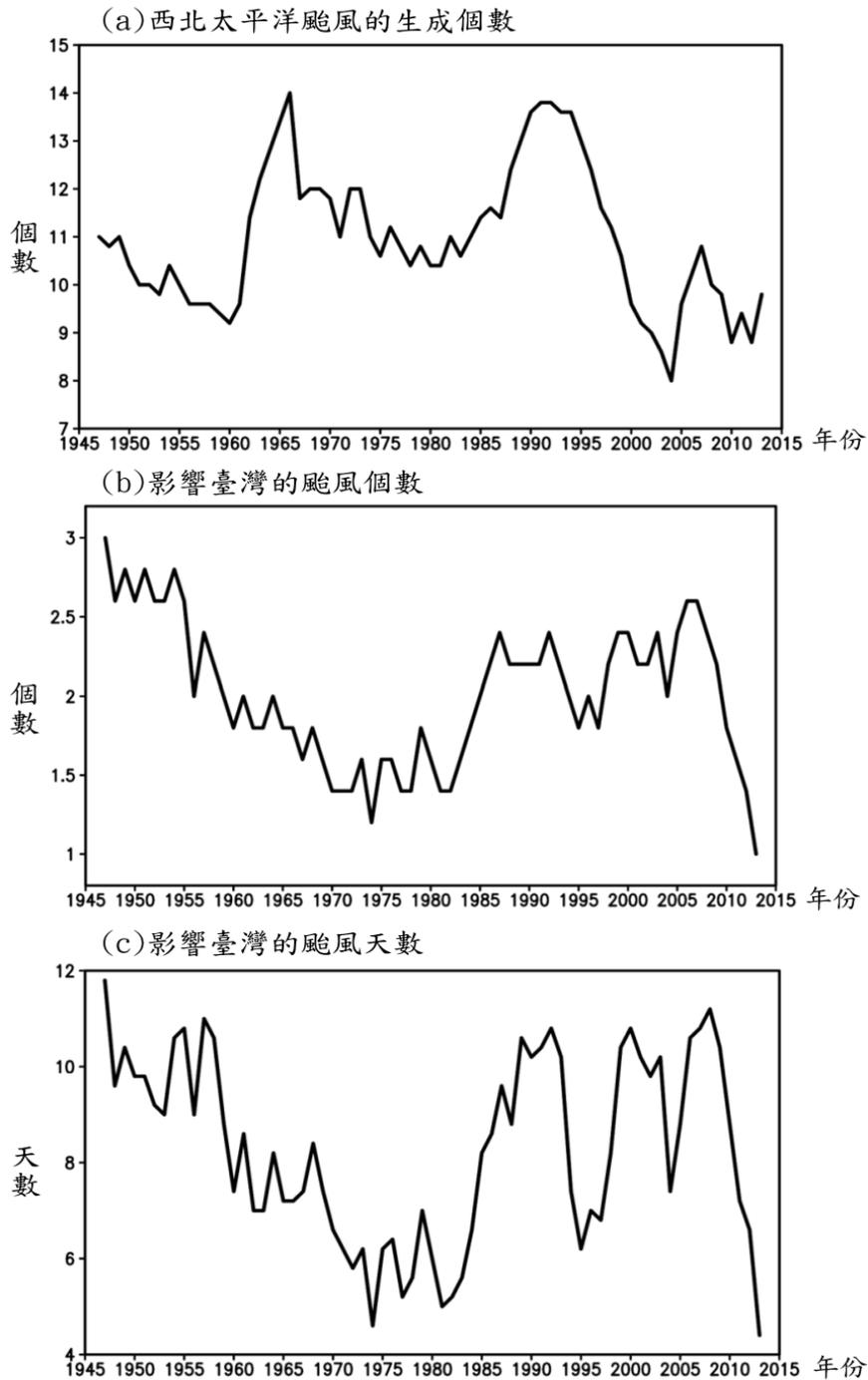


圖 12 1945-2015 年秋季期間，(a)為西北太平洋(0°N-40°N, 100°E-180°E)颱風的生成個數，(b)為秋季影響臺灣的颱風個數，(c)為秋季影響臺灣的颱風天數，經過 5 年移動平均的時間序列。

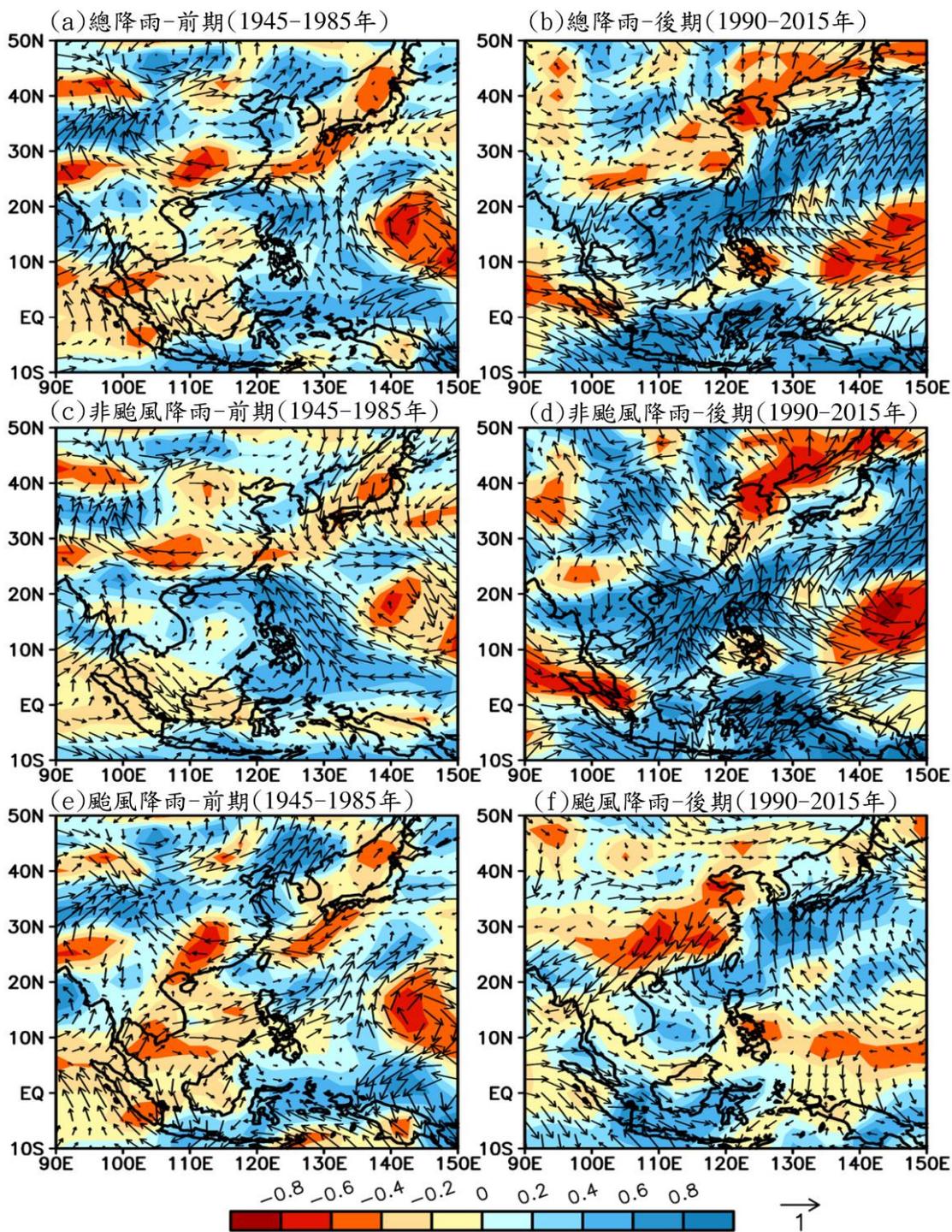


圖 13 臺灣秋季總降雨(a、b)、非颱風降雨(c、d)、颱風降雨(e、f)之低頻擾動(經過 5 年移動平均)與 1000hPa-300hPa 垂直積分的水氣通量輻合相關係數圖，(a、c、e)為前期(1945-1985 年)，(b、d、f)為後期(1990-2015 年)，向量場為水氣通量( $\vec{Q}$ )與臺灣降雨之相關係數，著色場為水氣通量輻合( $-\nabla \cdot \vec{Q}$ )與臺灣降雨之相關係數。

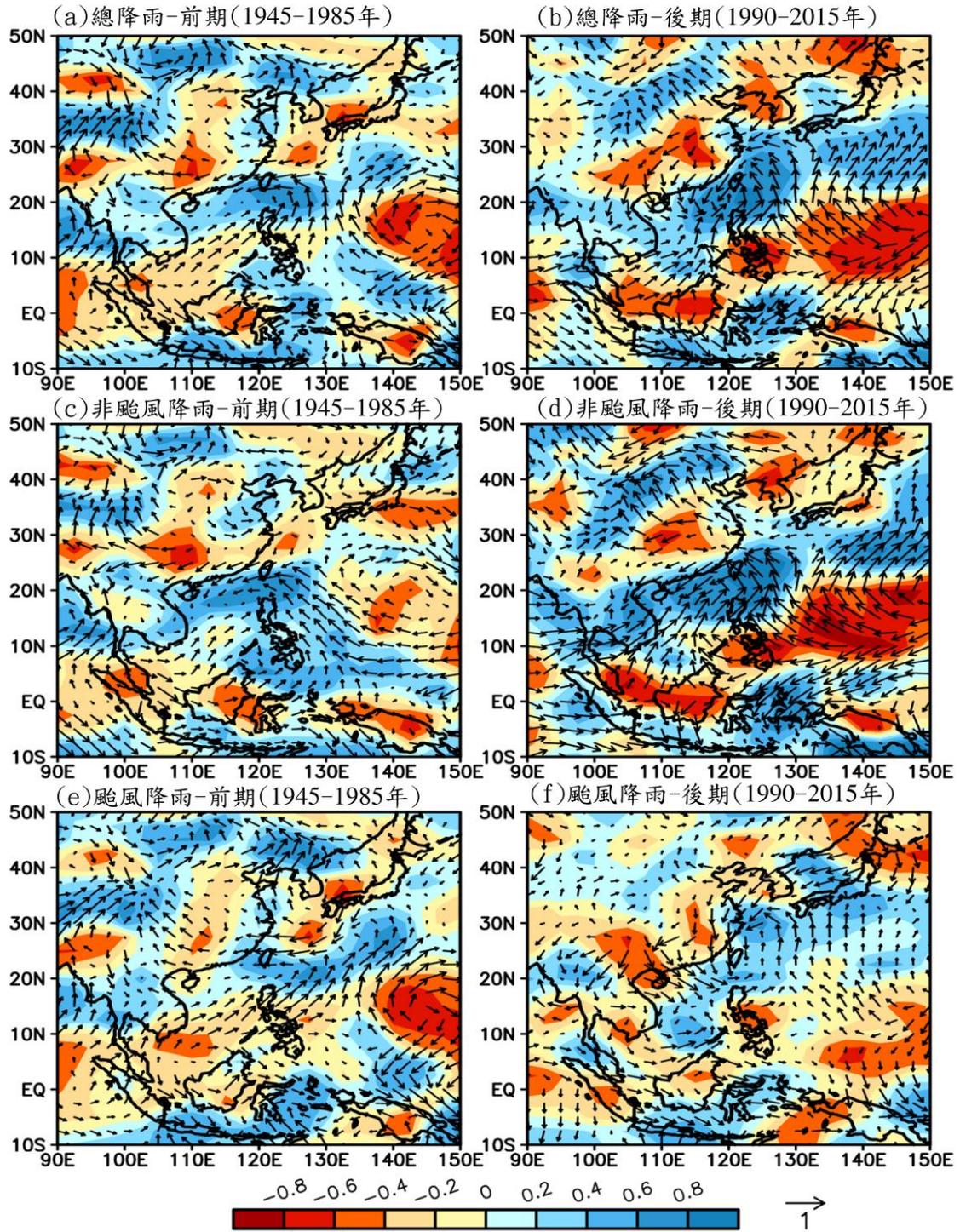


圖 14 類似圖 13，但為臺灣秋季總降雨(a、b)、非颱風降雨(c、d)、颱風降雨(e、f)之低頻擾動(經過 5 年移動平均)與 1000hPa 的水氣通量輻合相關係數圖。

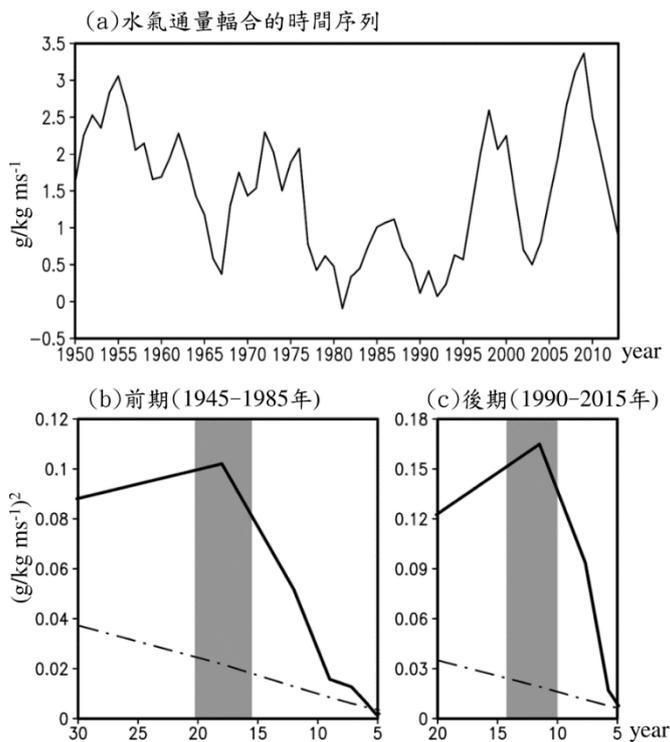


圖 15 臺灣地區(19.5°N-27.5°N, 117.5°E-124.5°E)1000hPa 的水氣通量輻合 $(-\nabla \cdot \vec{Q})$ ，(a)為 1945-2015 年經過 5 年移動平均之時間序列，(b)為前期(1945-1985 年)的功率譜分析，(c)為後期(1990-2015 年)的功率譜分析，虛線為 95%可信度，用於檢驗功率譜顯著程度，灰色區間為主要振盪週期。

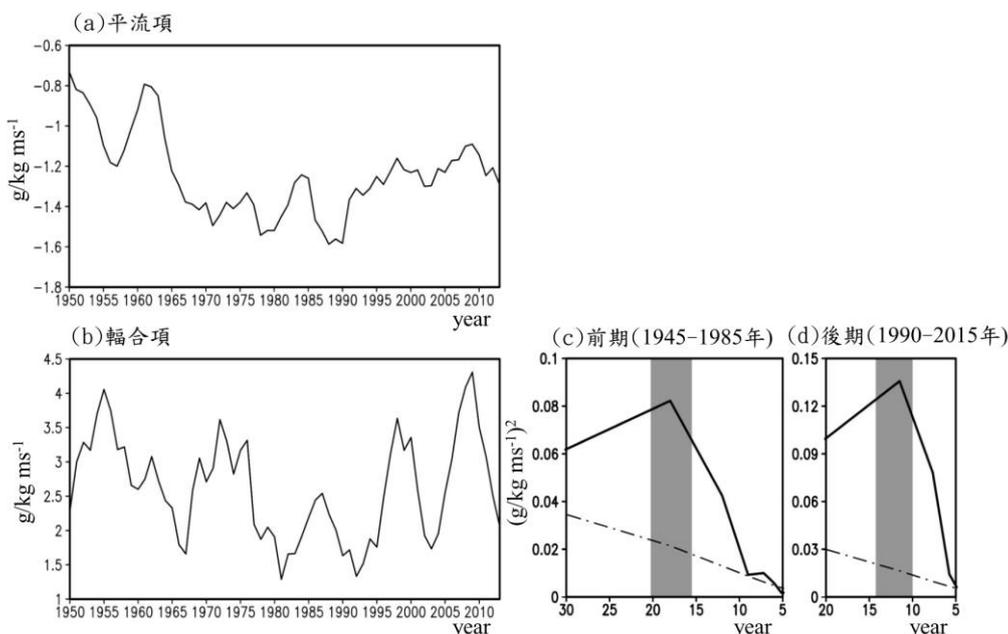


圖 16 1945-2015 年臺灣地區 1000hPa 水氣通量經過 5 年移動平均之時間序列，(a)為平流項 $(-\vec{v} \cdot \nabla q)$ ，(b)為輻合項 $(-q(\vec{v} \cdot \vec{v}))$ ，(c)為輻合項前期(1945-1985 年)的功率譜分析，(d)為輻合項後期(1990-2015 年)的功率譜分析，虛線為 95%可信度，用於檢驗功率譜顯著程度，灰色區間為主要振盪週期。

#### 四、 結論

本研究分析 1945-2015 年臺灣秋季 (9-11 月) 總降雨、颱風降雨和非颱風降雨之低頻擾動變遷特徵與相關機制變化。研究發現三種降雨分類之低頻擾動都有週期變短現象，從前期(1945-1985 年) 準 20 年振盪轉變為後期(1990-2015 年) 準 10 年振盪，證實「臺灣秋季降雨之低頻擾動有週期變遷」。研究更發現此低頻擾動變遷特性為臺灣全島性現象，各地的振盪週期變化相似，差別僅在於臺灣東部地區的振幅大小較其他地區明顯，且東北部是「非颱風降雨對總降雨的貢獻較大」，東南部則是「颱風降雨對總降雨的貢獻較大」。

在相關機制的探討方面，透過分析環境場，我們發現三種降雨分類(總降雨、颱風降雨和非颱風降雨)在前、後期都是受到相同的氣候因子影響，前期(1945-1985 年)是以亞洲大陸高壓和太平洋副高為主，後期(1990-2015 年)則是以太平洋副高為主。針對亞洲大陸高壓和太平洋副高的振盪週期進行分析，我們發現前期(1945-1985 年)的亞洲大陸高壓有約 25-30 年之年代際變化，太平洋副高則是約 10-15 年之年代際變化，在兩種氣候因子共同影響下，臺灣秋季三種降雨分類之低頻擾動在前期(1945-1985 年)為準 20 年振盪。另外，後期(1990-2015 年)主要受到太平洋副高影響，且太平洋副高在此段時間的振盪週期轉為約 10 年，所以臺灣秋季三種降雨分類之低

頻擾動轉變為準 10 年振盪。

太平洋副高的強度變化不僅影響區域的季節性氣流，也會影響颱風移動路徑。颱風生成因素包含許多熱力與動力條件，分析 1945-2015 年秋季期間，西北太平洋的颱風生成個數與太平洋副高的強度變化關聯性並不高。不過比較侵臺的颱風個數、天數與太平洋副高的強度變化後，發現在前、後期有不同的分析結果，前期(1945-1985 年)受到太平洋副高強度減弱的長期趨勢影響，颱風較不易移動至臺灣附近，侵臺的颱風個數、天數都有下降趨勢；後期(1990-2015 年)則是受到太平洋副高的振盪週期影響，侵臺的颱風個數、天數都有明顯的振盪週期存在。證實太平洋副高的強度變化會影響颱風移動路徑，進而影響侵臺的颱風個數及天數，最後影響到臺灣的颱風降雨量。而透過分析水氣通量，我們更進一步證明，臺灣地區的水氣通量低頻擾動也存在週期變遷現象，且此週期變遷是由輻合項主導，振盪週期從前期(1945-1985 年)的準 20 年轉變為後期(1990-2015 年)的準 10 年，此水氣通量的低頻擾動變遷亦是造成臺灣秋季降雨低頻擾動有週期變遷現象的主因之一。

上述這些研究結果有助於瞭解氣候改變會如何影響臺灣秋季降雨低頻擾動的變化。然而需說明的是，影響降雨的相關機制十分複雜，本研究中僅針對部分機制進行探討，至於其他可能的相關機制(如熱力

穩定度變化、海溫變化等)，則待未來研究進行更深入的分析，以期能更了解環境場變化對降雨的相關機制影響，及更加明瞭氣候變化對臺灣秋季降雨的影響。另一方面，是否會因為某些降雨極端年(如 1998 年，見圖 2)，而導致振盪週期由長變短，仍待更深入的分析以進行佐證。

## 謝誌

本研究在科技部計畫 (MOST 106-2628-M-003-001-MY4、MOST 107-2625-M-003-002)資助下完成，特此感謝。

## 參考文獻

陳雲蘭，1997：臺灣地區近百年測站資料氣溫與雨量的波譜分析結果。天氣分析與預報研討會，1997 年 3 月，中央氣象局。

陳昭銘、汪鳳如，2000：台灣地區降雨之長期變化特性—秋雨之準二十年振盪。*大氣科學*，**28**，343 - 361。

盧孟明、麥如俊，2003：台灣與全球雨量長期變化研究(一)1920-1995變化趨勢。*大氣科學*，**31**，199 - 220。

盧孟明、陳雲蘭、陳圭宏，2008：全球暖化趨勢對臺灣水稻栽培環境之影響。*作物、環境與生物資訊*，**5**，60 - 72。

吳宜昭、許晃雄、Joo-Hong Kim、劉鵬、湯寶君、黃威凱、楊竣凱、周佳、隋中興，2012：東亞/西北太平洋氣候變遷。*大氣科學*，**40**，215 - 247。

林和駿、洪致文，2015：台灣秋季與春季年代際降雨之反相位關係研究。*大氣科學*，**43**，301 - 314。

Ahrens, C. D., 2009: *Meteorology today: An introduction to weather, climate, and the environment* (9<sup>th</sup> ed.), Boston: Cengage Learning.

An, S. I., and B. Wang, 2000: Interdecadal Change of the Structure of the ENSO Mode and Its Impact on the ENSO Frequency. *Journal of Climate*, **13**, 2044 - 2055.

Banacos, P. C., and D. M. Schultz, 2005: The use of moisture flux convergence in forecasting convective initiation: Historical and operational perspectives. *Weather and Forecasting*, **20**, 351 - 366.

Camargo, S. J., A. W. Robertson, S. J. Gaffney, P. Smyth, and M. Ghil, 2007a: Cluster analysis of typhoon tracks. Part I: General properties. *Journal of Climate*, **20**, 3635 - 3653.

Camargo, S. J., A. W. Robertson, S. J. Gaffney, P. Smyth, and M. Ghil, 2007b: Cluster analysis of typhoon tracks. Part II: Large-scale circulation and ENSO. *Journal of Climate*, **20**, 3654 - 3676.

Chang, C. P., Y. Zhang, and T. Li, 2000a: Interannual and interdecadal variations of

- the East Asian summer monsoon and tropical Pacific SSTs. Part I: Roles of the subtropical ridge. *Journal of Climate*, **13**, 4310 – 4325.
- Chang, C. P., Y. Zhang, and T. Li, 2000b: Interannual and interdecadal variations of the East Asian summer monsoon and tropical Pacific SSTs. Part II : Meridional structure of the monsoon. *Journal of Climate*, **13**, 4326 – 4340.
- Chen, C. S., and Y. L. Chen, 2003: The rainfall characteristics of Taiwan. *Monthly Weather Review*, **131**, 1323 – 1341.
- Chen, J. M., T. Li, and C. F. Shih, 2010: Tropical cyclone and monsoon-induced rainfall variability in Taiwan. *Journal of Climate*, **23**, 4107 – 4120.
- Chen, J. M., and H. S. Chen, 2011: Interdecadal variability of summer rainfall in Taiwan associated with tropical cyclones and monsoon. *Journal of Climate*, **24**, 5786 – 5798.
- Chen, J. M., H. S. Chen, and J. S. Liu, 2013: Coherent interdecadal variability of tropical cyclone rainfall and seasonal rainfall in Taiwan during October. *Journal of Climate*, **26**, 308 – 321.
- Chen, T. C., and C. C. Wu, 2016: The Remote Effect of Typhoon Megi (2010) on the Heavy Rainfall over Northeastern Taiwan. *Monthly Weather Review*, **144**, 3109 – 3131.
- Chen, T. C., S. P. Weng, N. Yamazaki, and S. Kiehne, 1998: Interannual variation in the tropical cyclone formation over the western North Pacific. *Monthly Weather Review*, **126**, 1080 – 1090.
- Chu, P. S., D. J. Chen, P. L. Lin, 2014: Trends in precipitation extremes during the typhoon season in Taiwan over the last 60 years. *Atmospheric Science Letters*, **15**, 37 – 43.
- Chu, P. S., X. Zhao, C. T. Lee, and M. M. Lu, 2007: Climate prediction of tropical cyclone activity in the vicinity of Taiwan using the multivariate least absolute deviation regression method. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, **18**, 805 – 825.
- Ding, Y., G. Ren, G. Shi, P. Gong, X. Zheng, P. Zhai, D. Zhang, Z. Zhao, S. Wang, H. Wang, Y. Luo, D. Chen, X. Gao, and X. Dai, 2007: China' s national assessment report on climate change (I): Climate change in China and the future trend. *Advances in Climate Change Research*, **3**, 1 – 5.
- He, C., and T. Zhou, 2014: The two interannual variability modes of the Western North Pacific Subtropical High simulated by 28

- CMIP5 – AMIP models. *Climate Dyn.*, **43**, 2455 – 2469
- Frank, W. M., 1987: *A Global View of Tropical Cyclones*. Monterey: Naval Postgraduate School.
- Fujibe, F., N. Yamazaki, M. Katsuyama, and K. Kobayashi, 2005: The increasing trend of intense precipitation in Japan based on four-hourly data for a hundred years. *SOLA*, **1**, 41 – 44.
- Fujibe, F., N. Yamazaki, and K. Kobayashi, 2006: Long-term changes of heavy precipitation and dry weather in Japan (1901-2004). *Journal of the Meteorological Society of Japan Ser. II*, **84**, 1033 – 1046.
- Gong, D. Y., and S. W. Wang, 2000: Severe summer rainfall in China associated with enhanced global warming. *Climate Research*, **16**, 51 – 59.
- Gray, W. M., 1975: *Tropical cyclone genesis*. Colorado: Colorado State University.
- Harr, P. A., and R. L. Elsberry, 1991: Tropical cyclone track characteristics as a function of large-scale circulation anomalies. *Monthly Weather Review*, **119**, 1448 – 1468.
- He, C., T. Zhou, 2015: Responses of the western North Pacific Subtropical High to global warming under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios projected by 33 CMIP5 models: The dominance of tropical Indian Ocean – tropical western Pacific SST gradient. *Journal of Climate*, **28**, 365 – 380.
- He, C., B. Wu, L. Zou, and T. Zhou, 2017: Responses of the summertime subtropical anticyclones to global warming. *Journal of Climate*, **30**, 6465-6479.
- Ho, C. H., J. Y. Lee, M. H. Ahn, and H. S. Lee, 2003: A sudden change in summer rainfall characteristics in Korea during the late 1970s. *International Journal of Climatology*, **23**, 117 – 128.
- Ho, C., J. Baik, J. Kim, D. Gong, and C. Sui, 2004: Interdecadal Changes in Summertime Typhoon Tracks. *Journal of Climate*, **17**, 1767 – 1776.
- Hsu, H. H., and Y. U. Chen, 2011: Decadal to bi-decadal rainfall variation in western Pacific: A footprint of South Pacific decadal variability? *Geophysical Research Letters*, **38**, L03703.
- Huang, W. R., H. H. Hsu, S. Y. Wang, and J. P. Chen, 2015: Impact of atmospheric changes on the low-frequency variations of convective afternoon rainfall activity over Taiwan. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **120**, 8743 – 8758.

- Huang, W. R., S. H. Wang, M. C. Yen, N. H. Lin and Parichart Promchote, 2016: Interannual Variation of Springtime Biomass Burning in Indochina: Regional Differences, Associated Atmospheric Dynamical Changes, and Downwind Impacts. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **121**, 10016-10028.
- Huang, W. R., S. Y. S. Wang, and B. T. Guan, 2018: Decadal fluctuations in the western Pacific recorded by long precipitation records in Taiwan. *Climate Dynamics*, **50**, 1597-1608.
- John Kerns, B. W., Y. L. Chen, M. Y. Chang, 2010: The diurnal cycle of winds, rain, and clouds over Taiwan during the mei-yu, summer, and autumn rainfall regimes. *Monthly Weather Review*, **138**, 497 - 516.
- Jung, I. W., D. H. Bae, and G. Kim, 2010: Recent trends of mean and extreme precipitation in Korea. *International Journal of Climatology*, **31**, 359 - 370.
- Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, R. Jenne, and D. Joseph, 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **77**, 437 - 471.
- Li, J., Z. Wu, Z. Jiang, and J. He, 2010: Can global warming strengthen the East Asian summer monsoon?. *Journal of Climate*, **23**, 6696 - 6705.
- Lu R, 2001: Interannual variability of the summertime North Pacific subtropical high and its relation to atmospheric convection over the warm pool. *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, **79**, 771 - 783.
- Mantua, N. J., S. R. Hare, Y. Zhang, J. M. Wallace, and R. C. Francis, 1997: A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **78**, 1069 - 1079.
- McBride, J. L., 1995: Tropical cyclone formation. *Global Perspective on Tropical Cyclones*, World Meteorological Organization, 63 - 105.
- Pandžić, K., and M. Kisegi, 1990: Principal component analysis of a local temperature field within the global circulation. *Theoretical and Applied Climatology*, **41**, 177 - 200.
- Piao, S., P. Ciais, Y. Huang, Z. Shen, S. Peng, J. Li, L. Zhou, H. Liu, Y. Ma, Y. Ding, P. Friedlingstein, C. Liu, K. Tan, Y. Yu, T.

- Zhang, and J. Fang, 2010: The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature*, **467**, 43 – 51.
- Rasmusson, E. M., and T. H. Carpenter, 1982: Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Monthly Weather Review*, **110**, 354 – 384.
- Sui, C.H., Chung, P.H., Li, T., 2007: Interannual and interdecadal variability of the summertime Western North Pacific Subtropical High. *Geophys. Res. Lett.*, **34**(11).
- Tu, J. Y., and C. Chou, 2013: Changes in precipitation frequency and intensity in the vicinity of Taiwan: Typhoon versus non-typhoon events. *Environmental Research Letters*, **8**, 014023.
- Wang, B., R. Wu, and X. Fu, 2000: Pacific – East Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? *Journal of Climate*, **13**, 1517 – 1536.
- Wang, B., R. Wu, and K. M. Lau, 2001: Interannual variability of the Asian summer monsoon: Contrasts between the Indian and the western North Pacific – East Asian monsoons. *Journal of climate*, **14**, 4073-4090.
- Wang, S. Y., M. L'Heureux, and J. H. Yoon, 2013: Are greenhouse gases changing ENSO precursors in the western North Pacific? *Journal of Climate*, **26**, 6309-6322.
- Wu, C. C., Kevin K. W. Cheung, and Y. Y. Lo, 2009: Numerical Study of the Rainfall Event due to the Interaction of Typhoon Babs (1998) and the Northeasterly Monsoon. *Monthly Weather Review*, **137**, 2049 – 2064.
- Wu, G. and H. Liu, 1992: Atmospheric Precipitation in Response to Equatorial and Tropical Sea Surface Temperature Anomalies. *J. Atmos. Sci.*, **49**, 2236 – 2255
- Yu, R., B. Wang, and T. Zhou, 2004: Tropospheric cooling and summer monsoon weakening trend over East Asia. *Geophysical Research Letters*, **31**, L22212.
- Zhai, P., X. Zhang, H. Wan, and X. Pan, 2004: Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China. *Journal of Climate*, **18**, 1096 – 1108.

# Changes in Low-Frequency Variations of Autumn Rainfall in Taiwan

Cheng-An Lee Wan-Ru Huang\*

Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University, Taipei

(manuscript received 18 October 2018 ; in final form 01 January 2019)

## Abstract

This study examines the characteristics of low-frequency variations of autumn (September, October and November) rainfall in Taiwan, during 1945-2015. Analyses focus on the contribution of rainfall from two different types: the typhoon-related rainfall and the non-typhoon-related rainfall. By applying the 5-year running mean analysis on the autumn rainfall, our results showed that the autumn rainfall in Taiwan was dominated by a clear quasi twenty-year oscillation signal before 1985. After 1990, the oscillation period for the low-frequency variation of autumn rainfall was changed to about 10 years. By analyzing the rainfall data from 10 stations of the Central Weather Bureau during 1945-2015, we found that the above phenomenon of low-frequency variations is an island-wide phenomenon. Although the amplitudes of the oscillations vary from place to place, the oscillation period of autumn rainfall is similar for all examined stations in Taiwan. Further examinations on the issue of "What climatic factors affect low-frequency variations of autumn rainfall in Taiwan?" show that the changes of "continental high over China", "Pacific subtropical high", and "moisture flux" are three of important factors affecting the changes in the oscillation period of autumn rainfall (including typhoon-related and non-typhoon-related rainfall) in Taiwan.

**Key Words :** autumn rainfall, low-frequency variations, typhoon-related rainfall, non-typhoon-related rainfall. doi: 10.3966/025400022018094603004

---

\* Corresponding author: Wan-Ru Huang, Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University, No. 88, Sec. 4, Tingchou Rd., Wenshan District, Taipei 11677, Taiwan R.O.C. E-mail: wrhuang@ntnu.edu.tw