臺灣氣候變化：1911～2009 年資料分析

盧孟明*　卓盈旻　李思瑩　李清縢　林昀靜

中央氣象局

（中華民國一〇一年一月三十日收稿；中華民國一〇一年五月十日定稿）

摘　要

本文選用 6 個具有百年以上長期記錄的氣象測站（臺北、臺中、臺南、恆春、臺東、花蓮）分析臺灣區域氣候變遷的特徵，包含平均氣候與極端事件發生頻率的長期變化特徵。

年平均溫度長期變化趨勢顯示暖化現象十分明顯，在 1911 年至 2009 年期間氣溫上升了 1.4℃，增溫速率相當於每 10 年上升 0.14℃。近 30 年(1980～2009)氣溫的增加速度明顯加快，每 10 年的上升幅度為 0.29℃，幾乎是百年趨勢值的兩倍，與政府間氣候變遷專門委員會(IPCC)第四次評估報告(AR4)結論一致。在季節特性方面，百年變化以秋季溫度的暖化幅度最大，但近 30 年的變化以冬季的增溫幅度大於其他三季。6 個測站的極端高溫日數百年變化都呈現增加的趨勢，而極端低溫事件的 100 年、50 年、30 年線性變化趨勢都為下降。

降雨方面的百年線性變化趨勢並不明顯，但有明顯年代際變化特徵。值得注意的是降雨日數有較一致的變化，普遍呈現減少的趨勢。全島平均年降雨日數自 1911 年至 2009 年下降幅度約為每 10 年減少 4 天，近 30 年則增至每 10 年減少 6 天。四個季節的雨日都呈現減少趨勢，其中以夏季的減少幅度最大。雨日的減少主要為小雨日數（日雨量＜1.0 mm）大幅度減少所造成。

臺灣的極端天氣事件受颱風影響最大，分析近 50 年的颱風資料發現 1990 年以後影響臺灣的颱風個數和 1961 年至 1989 年相比有增多的現象，且在 2000 年出現明顯增多的轉折，這與西北太平洋颱風平均路徑向北偏移有關。另外，1980 年以後的侵臺颱風其生命歷程中達到強颱的比例明顯增高，可能與西北太平洋海溫和颱風的年代際變化密切相關。

關鍵字：氣候變遷，氣候變異，極端天氣與氣候，臺灣

---

*通訊作者：盧孟明，台北市公園路 64 號　Email:lu@rdc.cwb.gov.tw

一、前言

臺灣地區氣候變遷的輪廓，可藉由分析降雨和溫度等基本氣候要素的長期變化勾勒出來，觀測資料的齊備程度決定了輪廓精細的程度。用現代儀器在臺灣進行氣象觀測始於日據時代 1896 年，設立於該年並持續觀測至今的氣象站有臺北、恆春、澎湖 3 站，次年設立臺中、臺南 2 站，又於 1901 年設立臺東站及 1910 年設立花蓮和彭佳嶼站。臺灣本島有 6 個測站的觀測資料有百年紀錄，外島也有 2 站的紀錄達到百年。雖然這些測站或有搬遷，或有短暫資料中斷，但是對於勾勒出臺灣的年氣候變化輪廓並無嚴重影響。本文將先根據文獻介紹臺灣地區氣候變遷的研究結果；再用 6 個有百年以上歷史的本島測站資料系統化說明具有統計上顯著意義的臺灣氣候變遷現況。

關於臺灣地區氣候變化的研究，國內過去已有相當多的研究成果。本節主要引用柳中明教授主持的經建會委託「氣候變遷長期影響評估及因應策略研議計畫總體報告」，周仲島教授主持的國科會「臺灣地區劇烈降雨與侵臺颱風變異趨勢與辨識研究計畫期末報告」，中央氣象局出版的「1897 年至 2008 年臺灣氣候變化統計報告」與「臺灣之氣候」（作者：戚啟勳、陳孟青），和發表於學術期刊與研討會的論文，作為分析臺灣氣候變化的基礎。

臺灣雨量豐沛，根據中央氣象局(2009)統計資料顯示年降雨量在平地約為 2221mm，山區 3858mm，降雨時數分別為 898hr 與 1603hr。天氣系統主要受亞洲季風的影響，北部全年多雨，年降水量在 2700mm 左右，南部冬乾夏雨，年降水量約為 1900mm 左右。

季風與颱風受到地形作用對於臺灣不同位置的降雨有不同的影響，以致於分析雨量長期變化趨勢時，經常發現全島平均雨量的變化趨勢和在不同地理位置的測站或區域平均變化趨勢不甚相同。全年總雨量雖然年與年之間的變化不小（汪 2006），但是 100 年尺度線性變化趨勢並沒有明顯的上升或下降（盧、麥 2003，汪 2006，柳等 2008，陳 2008，Hsu and Chen 2002）。分季節統計則發現百年變化在秋季有雨量增加的趨勢（盧、麥 2003，柳等 2008），夏季和冬季的雨量都有減少趨勢（盧、麥 2003，柳等 2008），但 1980 年代初期以後北部平地的冬季雨量有增加的趨勢 (Hung and Kao 2010)。春季雨量減少趨勢近 30 年比過去的變化大，其中以阿里山減少的趨勢最明顯（柳等 2008）。另外，豐水期（5 月至 10 月）雨量略減，枯水期（11 月至次年 4 月）雨量略增（汪 2006）。分區來看則發現北部的雨量有增多趨勢（柳等 2008，Hsu and Chen 2002），西南部和東部都有減少趨勢（柳等 2008, Hsu and Chen 2002, Yu et al. 2006）。

全年降雨日數百年來有下降趨勢（陳 2008, Hsu and Chen 2002, Hung and Kao 2010），小雨事件出現頻率（降雨天數）也有下降，越近期下降的趨勢越明顯，大雨頻率則增多（柳等 2008，Shiu et al. 2009）。由於小雨減少和大雨增加相互抵銷，使得總雨量變化趨勢不明顯。因降雨時數減少，而總雨量變化不大，故每單位時數降雨量（降雨強度）有增強的趨勢（汪 2006, Hsu and Chen 2002, Shiu et al. 2009）。

在年代際變化方面，Hung et al. (2004)發現臺灣春雨與北太平洋年代際振盪(PDO)顯著相關。受到 PDO 相位變化的影響，1990 年代晚期以後臺灣各地春雨（2 至 4 月）雨量與雨日相較於 1980

年代明顯變少，華南地區的春雨肇始日期在 1990 年代晚期以後相較於 1960 至 1970 年代延遲有一個多月之久。

中央氣象局(2009)根據 1979 年至 2008 年溫度資料統計臺灣的溫度特性，指出全臺平地（100 公尺以下）年平均氣溫為 23.5℃，最高溫度 35.8℃，最低溫度 9.0℃，日溫差（每日最高氣溫與最低氣溫的差值）6.7℃，平均氣溫不高於 10℃的日數北部約有 2 天，而南部幾乎沒有，最高氣溫不低於 30℃的日數全島平均約 137 天。

溫度長期變化不像降雨有那麼大的區域性差異，全臺平均氣溫與各區域的平均變化趨勢相當一致。百年來的氣溫變化趨勢普遍呈現上升，中央氣象局(2009)根據 21 個測站分析臺灣平均溫度的變化，指出 1897 年至 2008 年全臺全年平均氣溫 100 年上升了 0.8℃（都會區 1.4℃、西部市鎮 0.9℃、東部市鎮 1.3℃、山區 0.6℃、平地 1.2℃、離島 1.1℃）。不同研究者因使用資料站數和年份不同，而計算出不同的溫度變化結果，但全年溫度變化方面的趨勢較為一致，季節變化方面則較為分歧。柳等(2008)發現 100 年來春季氣溫上升幅度最大，陳(2008)發現夏季的百年增溫幅度高於冬季。

陳、汪(2000)比照臺灣與北半球平均氣溫上升幅度在不同季節的差異，發現二者冬季暖化趨勢約略相當，但在春、夏、秋三個季節，臺灣地區分別為北半球之 2 倍、4 倍、3 倍左右。Shiu et al. (2009)指出臺灣平均氣溫及北半球氣溫與臺灣周圍海溫的變化趨勢有良好的一致性，但臺北、臺中、臺南三大都會區百年來氣溫增高 1.5℃，比北半球氣溫(0.7℃)或臺灣周圍夜間海面氣溫(0.7℃)高 2 倍左右，而臺灣周圍海溫上升 1.7℃，增高幅度更大，但花蓮、臺東、恆春三個中小城氣溫增加則較小(1.2℃)。

臺灣溫度有明顯的年代際變化，氣溫從 1930 年代開始上升，1950 年後上升趨緩，1980 年後又開始攀升（柳等 2008, Hsu and Chen 2002, Shiu et al. 2009）。近 30 年的變化趨勢以冬季的增溫現象要比其他季節明顯，其他季節在 30 年趨勢中也有增加，但沒有冬季上升的顯著（柳等 2008，陳 2008）。

夏季溫度的 100 年線性變化趨勢比冬季明顯，氣溫年溫差（即年最高與最低溫之差）呈現上升的趨勢(Hsu and Chen 2002)。而夜間溫度上升幅度大於白天，使得日溫差（即日最高與最低溫之差）呈現下降的趨勢。日溫差在 1930 至 1970 年期間緩慢減小約 0.4℃，乃因每日最低溫持續升高，而每日最高溫幾乎持平(Liu et al 2002, Shiu et al. 2009, Lai and Cheng 2010)。

Lai and Cheng (2010)發現中部的臺中、日月潭最高氣溫在 1962 年之前呈下降的趨勢，與全球平均氣溫的變化趨勢相反；在 1963～2005 年經濟發展時期，臺中的氣溫上升幅度大於其他地方。

國內分析極端降雨事件的氣候特徵，主要根據氣象與水文角度的兩種定義，氣象上習慣的做法是定出有致災可能的雨量值，例如中央氣象局目前以日雨量達 130mm 為準則發布豪雨特報；而防災或水文體系習慣依暴雨事件發生機率來設計工程或防範措施，依照降雨事件的延時(duration)、頻率(frequency) 和強度(intensity)定義極端的暴雨事件。根據氣象局所定義的大豪雨（日雨量≧200 mm）為標準，採用自動氣象站和自動雨量站的時雨量資料分析劇烈降雨的變化，結果顯示 1996 年之後日降雨量的極端值有增加的趨

勢，其中 6 年出現日雨量超過 800mm，甚至有超過 1000mm 的情形發生（周 2007）。分析近五十年日雨量達 350mm 的超大豪雨事件，發生次數最多的前 10 名年份中，有 8 名發生在 1991 年之後（陳 2008）。伴隨颱風（氣象局有發布警報）的極端降雨，三至二十四小時延時的暴雨事件在 2000 年至 2006 年的發生頻率明顯高於過去 1970 年至 1999 年每 10 年期間的統計量（周 2007）。

極端降雨事件在臺灣西部沒有增加的趨勢，而北部與東部則有增加的趨勢（盧等 2007，陳 2008）。Liu et al. (2009)分析臺灣冷暖年對應的降雨變化，發現暖年強降雨事件是增加的，而冷年強降雨事件則減少。他們更進一步量化溫度對降雨的變化率，計算了最極端的降雨強度級別(90～100%)至最弱(0～10%)級別之降雨隨溫度之變化率 ($\Delta P/\Delta T$)。分析結果顯示不論是觀測值或模式模擬的結果，皆是降雨強度最強的幾個級別對應的 $\Delta P/\Delta T$ 是正值；降雨強度較弱的級別對應之 $\Delta P/\Delta T$ 是負值。該研究因此推論氣候暖化會增加強降雨及減少弱降雨發生的機會。

關於影響臺灣的颱風統計，中央氣象局(2009)指出西北太平洋地區平均每年有 23 個颱風形成，其中平均約有 4 個侵臺（指颱風中心登陸臺灣，或中心未登陸但由臺灣附近海上通過，陸上有報出災情者）。近 50 年侵臺颱風發生頻率為每 10 年增加 0.1 個的趨勢，近 30 年為每 10 年增加 0.3 個（中央氣象局 2009）。過去近半個世紀的資料顯示侵臺颱風有明顯的颱風活躍期及非活躍期，其中 60 年代為颱風活躍期、70 年代及 80 年代初期為颱風非活躍期、80 年代後期直到 2005 年再次進入另一活躍期，此現象與西北太平洋颱風活動一致（周 2007）。近 40 年來侵臺（中心通過 119°E～125°E 和 21°N～26°N 範圍）颱風數量呈現上升的趨勢（李、賈 2008），颱風個數在 2000 年出現明顯的轉變，2000 年之後由每年平均 3.3 個（1970～1999 年）增加為 5.7 個(Tu et al. 2009)。

臺灣山高水急又人口稠密，水資源環境極為險惡，氣候變遷對於雨季長度的影響深受關切。過去研究結果顯示，近 80 年來北部地區乾旱發生次數雖為增加但幅度不大，且其餘各項乾旱特性均顯示北部有漸趨為多雨之趨勢，氣象乾旱漸趨緩和。中、南部地區乾旱發生次數雖略有減少之趨勢，但於乾旱延時、乾旱量及強度 3 方面均呈現明顯增加，表示氣象乾旱有嚴重化之趨勢。花蓮地區乾旱發生次數略增，但其餘乾旱特性均明顯減少，氣象乾旱漸趨緩和。臺東地區乾旱特性卻與花蓮相反，臺東站有偏乾現象，唯強度並不強（游 2007）。若將日雨量小於 0.6mm 定義為不降雨日，並將連續 50 日不降雨定為「小旱」，連續 100 日不降雨為「大旱」，黃等(2003)發現近 30 年臺灣西部發生小旱的範圍有向集水區上游擴散的跡象，西部平原地區屬於大旱可能發生地區，但南部地區大旱發生機會趨緩。北部及東部每年發生小旱機率低於 0.01，屬於不易發生乾旱的地區。

在極端溫度變化方面，中央氣象局(2009)指出近 50 年來冷日減少的現象在山地比平地明顯，日均溫低於 10℃的日數在山區 50 年來減少 19 天，平地則為 50 年減少 1 天。百年來夏天高溫日數變多的情形是逐漸進行的，但冬季寒流日數的減少則是在最近二十多年才有較明顯的轉折，這也說明了影響臺灣冷、暖季長期溫度變化的因素可能不完全相同（陳 2008）。

最高氣溫高於 30℃的日數近 100 年全臺平均

增加 28 天，其中平地平均增加 18 天、離島增加 41 天、山區增加 2 天（中央氣象局 2009）。都會區最低氣溫之升幅較最高氣溫高出幾近 3 倍，夜晚升溫遠大於白天（柳等 2008）。極端高溫（高於 36℃）的發生天數於過去 40 年無明顯變化趨勢，然而極端低溫（低於 10℃）的發生日數則顯著減少，亦呈現出日夜變化趨勢的不對稱性(Shiu et al. 2009)。日最高溫大於 28℃的日數變化趨勢在 1897 年至 1999 年期間呈現持續增加的現象(Hsu and Chen 2002)。當每日最高溫或每日最低溫上升，熱浪強度也隨之增加，相較於每日最高溫上升趨勢，每日最低溫上升的趨勢對臺灣暖化的影響更多，熱浪事件有增加的現象（朱 2007）。

由於前人分析臺灣氣候變遷使用的資料數量和長度各不相同，對於極端天氣事件的分析方法與定義也相當分歧，欲整理各家成果做成綜合結論並不容易。因此本文中重新選用 6 個具有百年以上長期記錄的氣象測站來分析，結果可作為日後使用更多資料與更複雜方法之參考。由於分析的項目甚多，本文僅著重於呈現變化趨勢達到統計顯著性 0.05 水準的氣候因子。

二、資料與分析方法

本文挑選 6 個具有百年以上長期記錄的氣象測站，分別是臺北、臺中、臺南、恆春、花蓮和臺東，資料分析期間是取用 6 個測站都有資料紀錄的 1911 年至 2009 年。表 1 為 6 個測站在分析期間的搬遷情形和資料缺漏時間，臺北和臺南測站因建築物改建曾有過搬遷紀錄，恆春和臺東測站有較長時間的資料缺漏，但資料中斷時間並未連續超過一個月。由於本文的研究主要是以年為統計單位，對於百年長期變化趨勢的影響並不

表 1　1911 年至 2009 年臺北、臺中、臺南、恆春、花蓮和臺東測站搬遷情形和資料缺漏時間。

測站	搬遷時間	資料缺漏時間
臺北	1992 年 2 月 1 日～1997 年 8 月 31 日搬遷至台北師院	
臺中		
臺南	1998 年 5 月 1 日～2001 年 12 月 31 日搬遷至永康	
恆春		溫度：1945 年 4 月 8 日～1945 年 4 月 30 日 1945 年 9 月 1 日～1945 年 9 月 13 日 雨量：1929 年 6 月 1 日～1929 年 6 月 2 日 1929 年 7 月 2 日～1929 年 7 月 3 日 1931 年 9 月 16 日～1931 年 10 月 16 日
花蓮		溫度：1944 年 10 月 13 日～1944 年 10 月 14 日
臺東		溫度：1947 年 3 月 15 日～1947 年 4 月 9 日 雨量：1947 年 3 月 15 日～1947 年 4 月 9 日

大，因此統計上僅扣除掉缺漏資料的天數，並沒有對資料做任何特殊處理。颱風資料採用美國聯合颱風警報中心(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)每 6 小時一筆的最佳颱風路徑資料，由於颱風資料可信度和測站時雨量資料的限制，分析年份從 1961 年至 2009 年，總共 49 年。

氣候因子變化的長期趨勢計算是利用線性迴歸分析方法求得。時間數列 t 為自變數，數值 Y_t 為應變數，利用最小平方法可以得到直線長期趨勢函數 $Y_t = a + bt$ ，b 為直線的迴歸係數或斜率，a 為截距。趨勢變化是否達到統計顯著性 0.05 水準的檢定，是根據 T 檢定方法來檢驗迴歸直線的斜率。

三、分析結果

(一) 平均長期變化趨勢

平均氣候狀態的長期變化分為全年與季節平均，季節劃分取 3 至 5 月為春季，6 至 8 月為夏季，9 至 11 月為秋季和 12 月至次年 2 月為冬季。空間上用 6 個測站的平均代表臺灣全島。氣候的參考基期為 1980~1999 年，本研究為國科會「臺灣氣候變遷情境推估與資訊平台建置計畫」(TCCIP)所支助下完成，計畫中統一採用的研究基期為 1980 年至 1999 年，此段時間是考量計畫中所有研究項目資料的共同時間而訂定出來。變化趨勢除了計算 1911 年至 2009 年的百年線性變化幅度外，也計算近 50 年與近 30 年的變化趨勢，以瞭解變化趨勢的穩定性。

溫度和雨量是代表平均狀態的基本氣候因子。平均溫度變化的計算相當直接，降雨方面除了平均雨量以外，還包括雨量和降雨日數的趨勢分析，雨日除了統計全年總降雨日數（日雨量≧0.1mm）以外，也分為小雨（日雨量＜1.0 mm）和大雨（日雨量≧50.0mm）雨日的變化。

1. 降雨

臺灣年總雨量的百年變化趨勢並不明顯（圖 1a），雖然有下降的趨勢，但是幅度非常微小，僅減少 3.88 mm $(10yr)^{-1}$。近 50 年和 30 年總雨量則呈現比較明顯的上升趨勢，分別為每 10 年增加 54.37mm 和 85.25mm，唯趨勢值均未通過 95%的統計檢定，顯示臺灣年雨量並沒有統計上的顯著長期變化趨勢。6 個測站分別來看（圖 1b），則發現臺北與花蓮站的百年變化有增加的趨勢而其餘測站都是減少趨勢，但僅有臺北和恆春通過統計檢定。這些結論與前人研究的結果一致，即雨量在北、東部增加，在南部則減少。近 30 年來，6 個測站雨量皆有增加的現象，但只有臺中有統計上的顯著性。除了線性變化趨勢以外，圖 1a 顯示雨量曲線在 1955 年前後出現轉折，1955 年以前雨量偏多，以後偏少，年代際變化明顯，並且 1955 年之後雨量的年際變化幅度變大，50 年內雨量上下低頻振動約 3 次，並且 1980 年代後期開始振動週期有縮短的現象，1985 年至 2000 年之間就上下振動 3 次，唯 2000 年之後的振動又趨緩，一直維持在正距平。比較全島和 6 個測站四季降雨量的變化趨勢（表 2），可知四個季節中以冬季的變化趨勢最不明顯。全島平均雨量在近 30 年夏季有顯著的上升趨勢，分站來看以臺中的上升趨勢最明顯，通過統計顯著性檢定。臺中近 50 年的雨量增加趨勢也相當明顯。

在總降雨日數（日雨量≧0.1mm）的變化方面，圖 2a 顯示全島平均的年總降雨日數不論是在 100 年、50 年與 30 年都有明顯下降的趨勢，100 年趨勢為 10 年減少 4 天，近 30 年則增至每 10 年減少 6 天，最近一次發生的 2002～2004 年乾旱

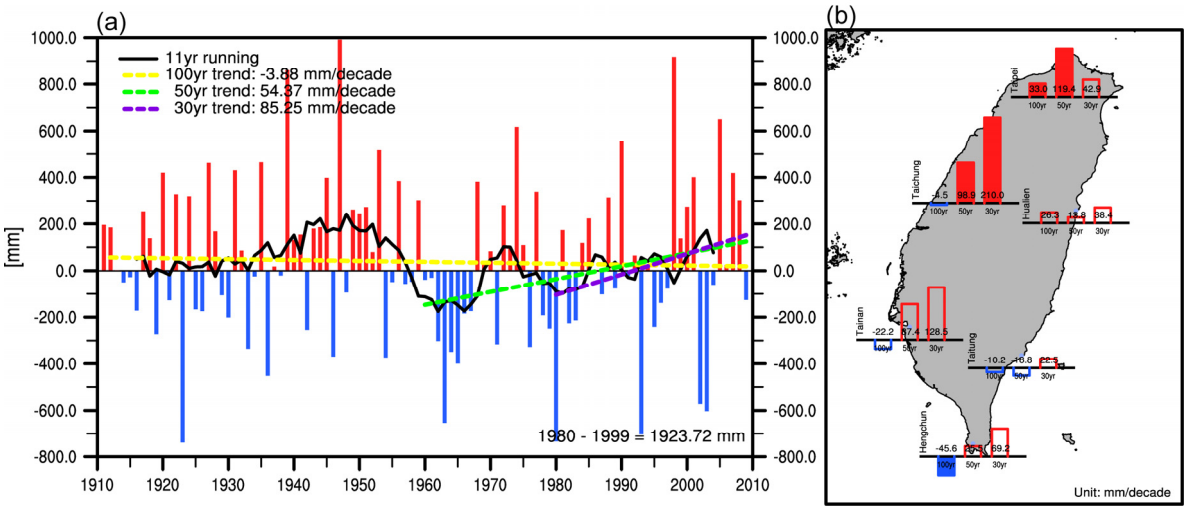

圖 1　臺灣年總雨量之時間序列與變化趨勢。(a) 1911～2009 年臺灣年總雨量，年總雨量是根據臺北、臺中、臺南、恆春、花蓮和臺東 6 個測站的總雨量平均，黑線表示 11 年滑動平均的結果，黃線為 100 年迴歸線，綠線為 50 年，紫線為 30 年，實線表示線性變化趨勢通過了 95%的信心度檢定，虛線則表示未通過檢定。根據各迴歸線斜率計算的變化趨勢標示於圖左上角，1980~1999 年氣候基期的年總雨量數值標示在圖右下角。(b) 長條圖從左到右是各測站的 100 年、50 年、30 年變化幅度。實心長條圖表示變化趨勢通過了 95%的信心度檢定，空心長條則表示未通過。

表 2　臺灣 6 個測站 4 個季節降雨量的變化趨勢，表格內數字由上而下分別代表 100 年、50 年、30 年的趨勢變化值，單位為 mm (10year)$^{-1}$，粗體字表示線性變化趨勢通過 95%的信心度檢定。

	臺北	臺中	臺南	恆春	花蓮	臺東	全島
春	-1.16	-4.12	-6.26	-5.23	-9.62	-5.84	-5.37
	22.35	**32.30**	8.71	-10.26	-23.89	-12.10	2.85
	-50.54	-10.13	-58.35	**-49.90**	-44.22	-40.12	-42.21
夏	3.29	-5.96	-8.41	**-38.09**	-1.50	-7.60	-9.71
	42.15	36.78	65.34	24.01	11.31	3.35	30.49
	39.30	**166.49**	178.02	84.03	54.37	52.83	**95.84**
秋	**27.70**	3.68	-5.60	-2.67	**35.54**	3.43	10.35
	47.98	20.63	8.52	5.08	37.10	-6.53	18.80
	90.72	**80.35**	11.00	31.14	35.43	1.34	41.66
冬	3.50	2.12	-1.77	0.60	2.43	0.24	1.19
	8.12	9.74	5.23	7.01	-11.74	-2.42	2.66
	-35.06	-24.71	-0.68	6.03	-3.51	11.14	-7.80

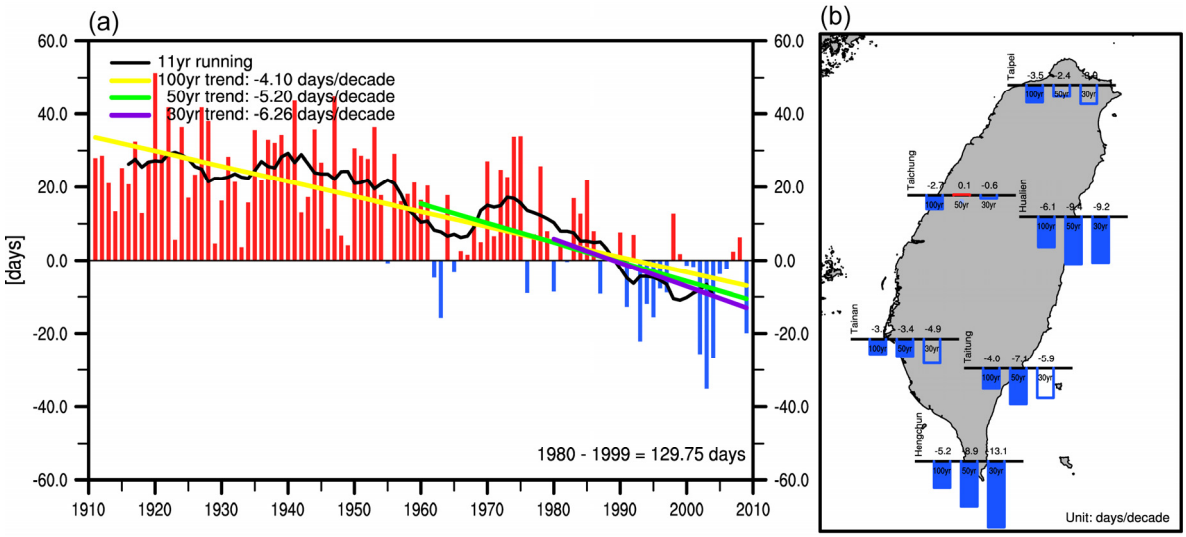

圖 2　同圖 1，但為臺灣年總降雨日數（日雨量≧0.1mm）。

事件是 100 年以來降雨日數最少的 3 年。圖 2b 顯示全島 6 個測站的雨日普遍呈現下降的趨勢，其中以恆春日數的減少最為明顯。各測站 100 年減少趨勢都通過了統計檢定，50 年減少趨勢在臺中和臺北都不顯著，30 年減少趨勢則只有在花蓮和恆春達到統計顯著性。對照上述雨量分析結果，臺北 100 年雨量有增加的趨勢，降雨日數卻在減少，顯示降雨強度有增強的情形。事實上，6 個測站近 30 年都有年總雨量增加但降雨日數減少的情形，為何雨量和降雨日數出現不同的變化特徵，值得未來繼續研究。

表 3 為全島和 6 個測站季節總降雨日數的變化。雨日的變化比雨量明顯，全島四個季節降雨日數的百年變化都是呈現明顯下降的趨勢，其中夏季全臺 6 個測站都通過了統計顯著性檢驗，以臺南和恆春減少最多。臺中的雨日減少不如其他測站那麼明顯。

許多研究指出臺灣的小雨降雨日數有明顯的下降趨勢，為釐清上述之雨日減少現象是否因小雨減少所致，特別針對小雨（日雨量＜1.0mm）降雨日數統計近 100 年、50 年、30 年的變化。日雨量不超過 1.0mm 者約佔總雨日的 25%，因此以 1.0mm 的日雨量界定「小雨」相當合理。結果顯示臺灣小雨日數有大幅度減少的趨勢，100 年趨勢為每 10 年減少 2 天，而近 30 年的減少趨勢增為每 10 年減少 4 天。6 個測站一致顯示小雨年發生日數在下降，以恆春近 30 年的減少趨勢最為明顯（每 10 年減少 10 天），佔年總降雨日數下降幅度的 78%，表示恆春降雨日數的減少主要發生在小雨的部分。

關於「大雨」，中央氣象局定義 24 小時累積雨量達 50mm 以上，且其中至少有 1 小時雨量達 15mm 以上的事件為大雨。本文僅依日雨量達 50mm 做為判斷「大雨」的標準。整體而言，近 100 年、50 年、30 年的大雨年發生日數都沒有明顯的變化，雖然 3 個時期都略有上升的趨勢，但統計上並不顯著，唯臺北站的大雨日數增加趨勢通過 95%信心度的統計檢定，表示臺北的降雨強

表 3　同表 2，但為四季降雨日數（日雨量≧0.1mm）的變化趨勢，單位為天數。

	臺北	臺中	臺南	恆春	花蓮	臺東	全島
春	**-0.64**	-0.53	**-0.67**	**-1.24**	**-1.98**	**-1.66**	**-1.12**
	0.06	0.79	0.17	**-1.81**	**-3.18**	**-2.39**	-1.06
	-2.28	-1.82	**-3.24**	**-3.83**	**-4.75**	-2.77	**-3.11**
夏	**-0.58**	**-1.04**	**-1.51**	**-1.76**	**-1.32**	**-0.92**	**-1.19**
	-0.15	0.06	**-1.97**	**-2.41**	**-1.87**	**-1.54**	**-1.31**
	1.62	2.80	-0.45	-0.94	-0.75	0.52	0.47
秋	**-0.80**	-0.32	**-0.47**	**-1.07**	**-1.06**	**-0.77**	**-0.75**
	-0.92	-0.20	**-1.09**	**-2.87**	-1.38	**-1.51**	**-1.33**
	1.37	1.08	0.30	**-4.14**	0.14	-1.30	-0.42
冬	**-1.53**	**-0.81**	-0.38	**-1.10**	**-1.68**	**-0.63**	**-1.02**
	-1.45	-0.58	-0.49	**-1.88**	**-3.07**	**-1.72**	**-1.53**
	-4.57	-2.88	-1.62	**-4.21**	**-3.86**	-2.31	**-3.24**

度有增強，與臺北降雨量 100 年趨勢增加而日數減少的分析結果一致。

2. 溫度

臺灣年均溫在 1911 年至 2009 年期間從 1911 年開始就持續上升（圖 3a），百年間上升了 1.4 ℃，增溫幅度相當於 0.14℃ $(10yr)^{-1}$。近 30 年的增溫速率明顯加快，增溫幅度為 0.29℃ $(10yr)^{-1}$，是百年趨勢值的 2 倍。圖 3b 顯示各測站不論是 100 年、50 年還是 30 年變化，上升趨勢都相當顯著，臺北在 3 個不同時期的升溫速率都是 6 站中最快，恆春的增溫幅度最小。近 30 年西岸測站的增溫趨勢明顯高於東岸。

在季平均溫度變化方面，雖然各季氣溫都呈現上升趨勢，但程度有所不同。圖 4 為臺灣四個季節的平均溫度變化，圖 4a 顯示春季溫度除了有明顯的百年上升趨勢外，在 1950 年至 1990 年期間還有明顯的上下振盪現象，近 30 年的上升趨勢轉為明顯，上升幅度為 0.25℃ $(10yr)^{-1}$，是百年上升幅度(0.15℃ $(10yr)^{-1}$)的 1.7 倍。夏季平均氣溫變化（圖 4b）和春季有明顯的差別，雖然百年上升幅度(0.14℃ $(10yr)^{-1}$)和春季相當，但近 30 年的上升幅度 (0.14℃ $(10yr)^{-1}$)明顯低於春季，僅為春季的 0.56 倍。比較圖 4a 和圖 4b 可發現夏季和春季在 1950 年至 1990 年期間的變化特徵有相當大的差異，夏季氣溫沒有類似春季那麼明顯的振盪現象，這個差別對於兩個季節在近 30 年的暖化幅度有相當大的影響。秋季平均氣溫變化（圖 4c）在 100 年、50 年、30 年 3 種時期的暖化幅度都比春、夏兩季更大，除了 50 年上升幅度與全年平均溫度相同外，100 年與 30 年的上升幅度也大於全年平均氣溫的上升幅度，顯示臺灣秋季氣候變化相當明顯。冬季平均氣溫變化（圖 4d）的 100 年暖化趨勢和全年平均與春、夏、秋三個季節相比

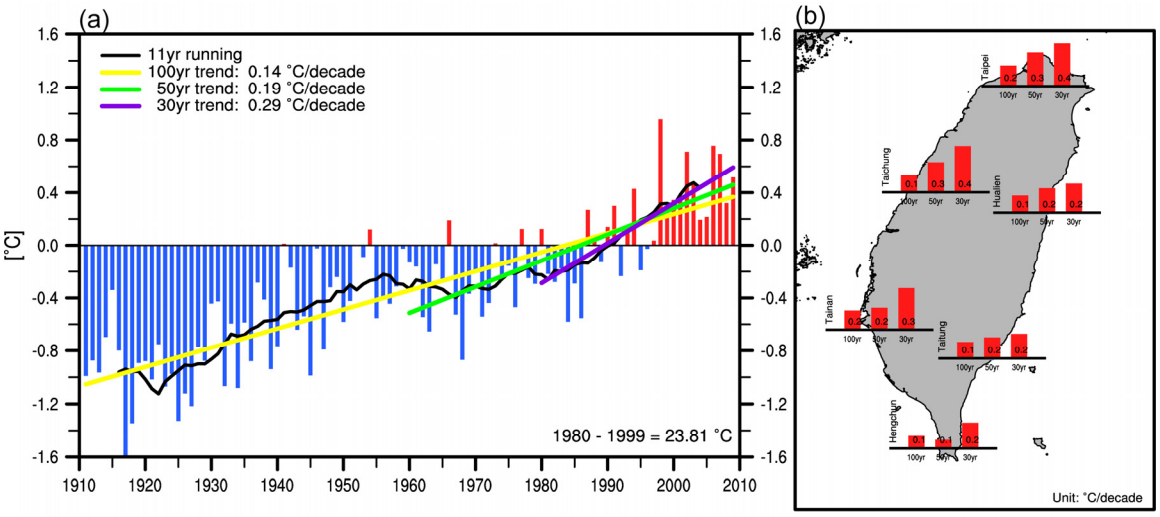

圖 3　臺灣年平均溫度之時間序列與變化趨勢。(a) 1911～2009 年臺灣年平均溫度，是臺北、臺中、臺南、恆春、花蓮和臺東 6 個測站溫度的平均，黑線表示 11 年滑動平均的結果，黃線為 100 年迴歸線，綠線為 50 年，紫線為 30 年，實線表示線性變化趨勢通過了 95%的信心度檢定，虛線則表示未通過檢定。根據各迴歸線斜率計算的變化趨勢標示於圖左上角，1980～1999 年氣候基期的年平均溫度標示在圖右下角。(b)長條圖從左到右是各測站的 100 年、50 年、30 年變化幅度。實心長條圖表示線性變化趨勢通過了 95%的信心度檢定，空心長條則表示未通過檢定。

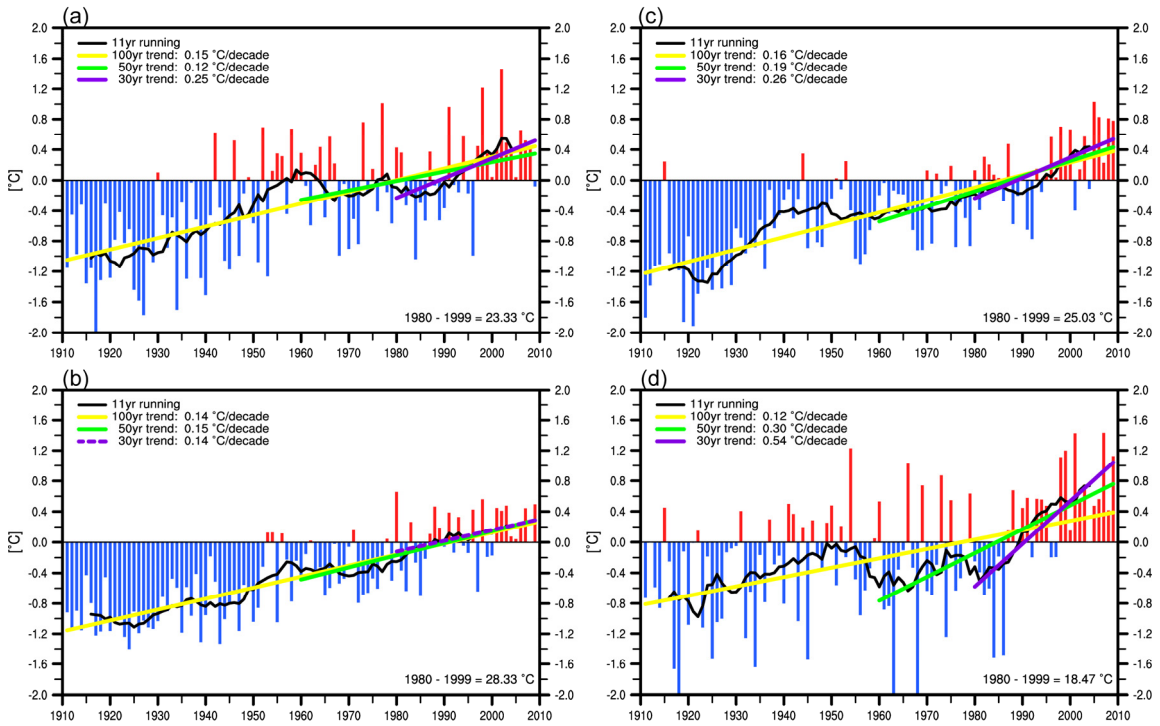

圖 4　同圖 3a，但為季節平均溫度之時間序列與變化趨勢，分別是(a)春季 3～5 月，(b)夏季 6～8 月，(c)秋季 9～11 月，(d)冬季 12～2 月。

都偏小，但是近 50 與 30 年的暖化幅度是全年與四季之冠。比較冬季與其他季節的溫度變化，可以看到冬季在 2000 年之後溫度偏高的程度最為明顯，但是在 1940 年之前溫度偏低的現象並不特別明顯，冬季並不像其他季節在 1960 年至 1990 年期間的溫度明顯高於 1910 年至 1940 年期間。雖然四季的氣溫都是在增加，但在溫度的變化過程中可以發現，冬季和春季年平均溫度不同時期的差異較大，有明顯的上下振盪，夏季和秋季溫度則是呈現穩定的上升。

表 4 為臺灣和 6 個測站四個季節的平均溫度變化趨勢，全島平均氣溫變化只有近 30 年的夏季的上升不顯著，其他季節的上升幅度都相顯著；值得一提的是雖然近 30 年夏季溫度上升幅度不顯著，雨量卻有顯著偏多的趨勢（表 2），顯示臺灣夏季降雨的長期變化趨勢不受制於溫度。6 個測站的暖化以恆春的暖化信號最弱，臺北信號最強。冬季各測站的 100 年、50 年還是 30 年都有顯著的上升趨勢，以臺中站溫度的近 30 年上升速度最快。溫度變化的特徵也和東北季風減弱的結果一致，尤其是近 30 年來的冬季急劇暖化，和華北的暖化現象一致(Wang et al. 2009, Wang et al. 2010)。

(二) 極端天氣與氣候

極端的氣候或天氣事件是指發生機率較低的現象，但往往對社會經濟造成比較重大影響的事件。氣候變遷令人最為憂心的影響，莫過於極端天氣或氣候事件發生機率的改變，以往許多年才會發生一次的事件未來出現頻率增加，以致災害增多。政府間氣候變遷專門委員會(IPCC)在評估報告中說明「極端天氣事件」(extreme weather event)是指在特定地區和特定時間內發生的罕見事件，統計上來說是指事件發生的機率偏離平均

表 4　同表 2，但為四個季節平均溫度的變化趨勢，單位為℃ $(10yr)^{-1}$。

	臺北	臺中	臺南	恆春	花蓮	臺東	全島
春	**0.18**	**0.16**	**0.18**	**0.11**	**0.15**	**0.14**	**0.15**
	0.20	**0.19**	0.08	0.01	**0.14**	0.10	**0.12**
	0.41	**0.42**	**0.32**	0.14	0.10	0.10	**0.25**
夏	**0.16**	**0.10**	**0.17**	**0.11**	**0.16**	**0.16**	**0.14**
	0.29	**0.15**	**0.13**	0.05	**0.18**	**0.13**	**0.15**
	0.22	0.09	0.15	0.14	0.13	0.09	0.14
秋	**0.19**	**0.17**	**0.17**	**0.13**	**0.15**	**0.16**	**0.16**
	0.23	**0.26**	**0.22**	0.07	**0.19**	**0.20**	**0.19**
	0.21	**0.37**	**0.39**	0.17	**0.19**	**0.20**	**0.26**
冬	**0.17**	**0.15**	**0.12**	**0.08**	**0.11**	**0.09**	**0.12**
	0.39	**0.41**	**0.30**	**0.14**	**0.31**	**0.27**	**0.30**
	0.60	**0.68**	**0.54**	**0.42**	**0.54**	**0.45**	**0.54**

狀態，即發生頻率低於第 10 個百分位或是高過第 90 個百分位。極端氣候事件(extreme climate event)是指天氣現象發生頻率在氣候上達到極端程度，是不易發生的特殊現象。本節主要討論極端天氣事件發生頻率的變化，包含強降雨事件、冬季極端低溫、夏季極端高溫事件和極端偏乾事件。另外，颱風是臺灣最重要的氣象災害來源，將納入本節中一併探討其氣候變異。

1. 豪雨

根據氣象局的雨量分級定義，統計 1911 年至 2009 年臺灣地區豪雨（日雨量≧130mm）和大豪雨（日雨量≧200mm）的年發生日數變化（圖 5），發現豪雨和大豪雨日數的 100 年線性變化趨勢都不顯著，但是近 50、30 年有明顯增多的趨勢，圖 5b 顯示大豪雨日數的 50 和 30 年趨勢值都通過統計檢定。圖 5b 也顯示臺灣大豪雨日數有大約 50～60 年週期的年代際變化現象，1920～1935 年與 1965～1985 年大豪雨日數都偏低，1940～1960 年和 1985 年之後大豪雨日數都偏高，不論在日數偏多或日數偏少的年代，年與年之間的差異還是相當明顯。

為進一步檢驗近 10 年大豪雨日數增多的現象，下面用 6 個測站 49 年(1961～2009)的時雨量資料統計 2000 年至 2009 年的 10 年累計大豪雨事件發生次數是否明顯偏多。由於大豪雨的降雨量相當於 2 年重現期的雨量，因此將這裡的「大豪雨」事件定義為重現期達 2 年以上規模的極端降雨事件，而是否明顯偏多的判斷原則是以 1980～1999 年為參考基期，把在基期發生的大豪雨事件次數作 10,000 次 10 年抽樣累積的統計分布特性，看 2000~2009 年實際發生的大豪雨次數相對於基期統計發生機率的偏向。圖 6 為不同延時在重現期 2 年以上的大豪雨事件發生次數相對於基期機率的偏向位置，各測站的機率位置並不一致，整體而言，2000 年之後大豪雨出現次數相對於 1980～1999 年而言沒有偏多的現象，除了臺北的 3 小時事件發生次數超過上界之外，以臺中測站的分析結果比較特殊。臺中測站多數的事件頻率都超過上界，以 24 小時延時最為明顯，表示近 10 年的極端降雨事件發生頻率在臺中有異常偏多的現象。臺東的 3 小時和 6 小時延時極端降雨事件發生頻率有異常偏少的現象，這些變化可能

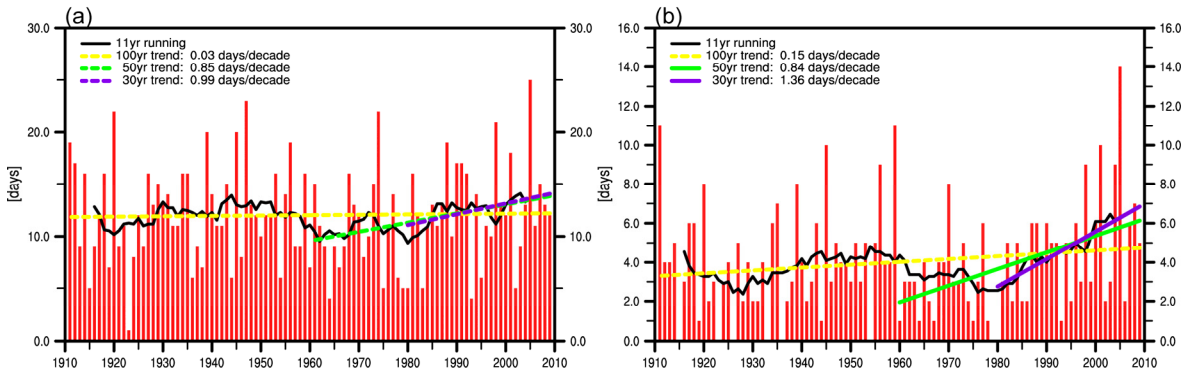

圖 5　統計 1911~2009 年以臺北、臺中、臺南、恆春、花蓮和臺東 6 個測站總體為代表的臺灣地區(a)豪雨（日雨量≧130 ㎜）、(b)大豪雨（日雨量≧200 ㎜）發生日數。黑線表示 11 年滑動平均的結果，黃線為 100 年迴歸線，綠線為 50 年，紫線為 30 年，實線表示線性變化趨勢通過了 95%的信心度檢定，虛線則表示未通過檢定，根據各迴歸線斜率計算的變化趨勢標示於圖左上角。

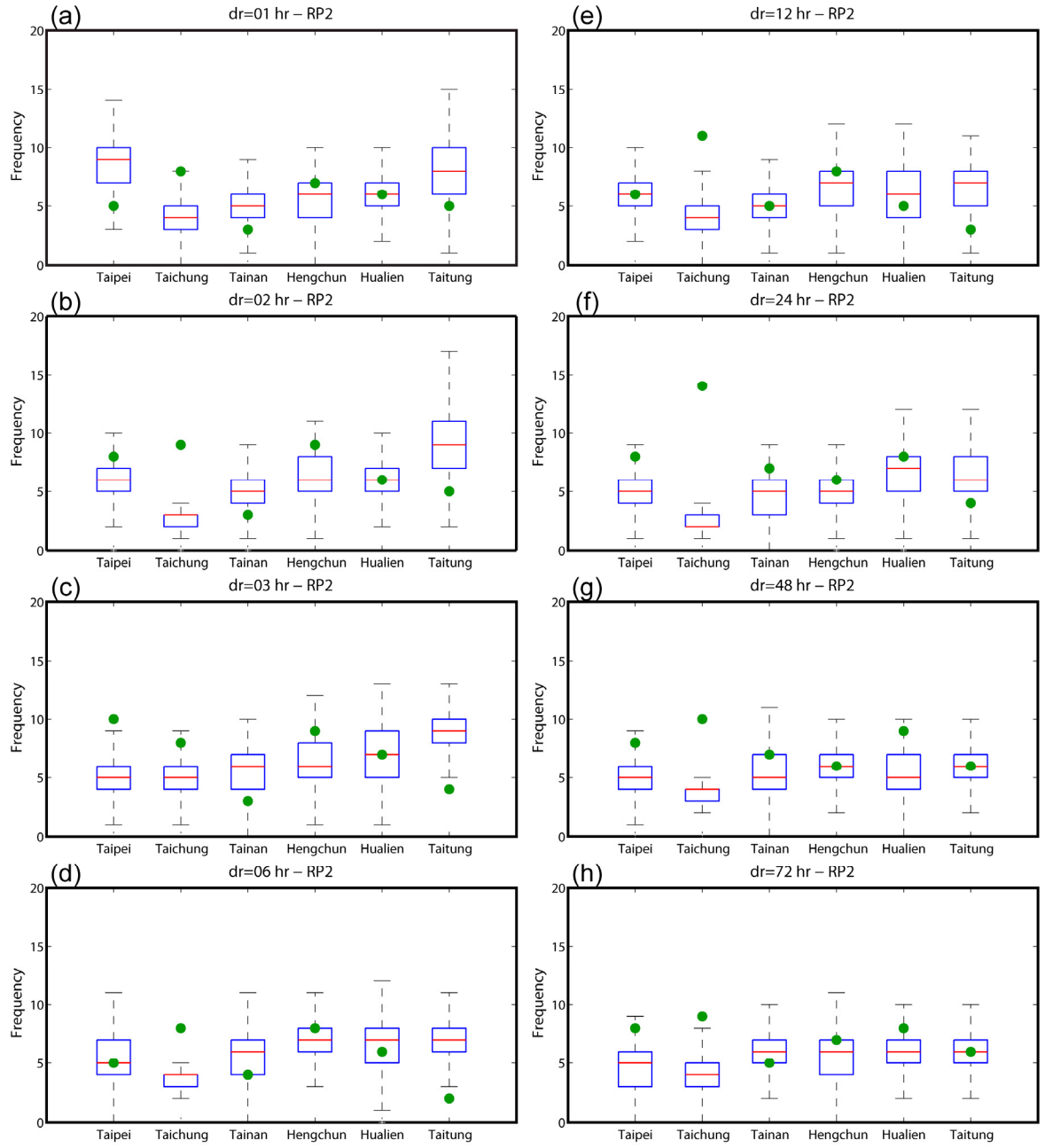

圖 6　以 1980～1999 年重現期 2 年以上的大豪雨事件為樣本空間，分別對臺北、臺中、臺南、恆春、花蓮、臺東測站的大豪雨事件作 10000 次 10 年抽樣累積統計結果繪製的盒鬚圖(Box plot)。盒子的下界限是第 25 個百分位數，上界限為第 75 個百分位數，盒中的紅線代表中位數，盒子上下界所延伸出的線為 1.5 倍盒高。各測站之 2000～2009 年的 10 年累計大豪雨事件發生次數以綠點標示，依據綠點相對於盒鬚的位置，即可判斷這 10 年的大豪雨事件發生次數相對於以基期為參考的統計特性。暴雨事件的延時分別為(a) 1 小時、(b) 2 小時、(c) 3 小時、(d) 6 小時、(e) 12 小時、(f) 24 小時、(g) 48 小時、(h) 72 小時。

與侵臺颱風路徑年代際的變化有關（李、賈2008），但是否意味極端降雨事件趨勢正在改變則需要繼續觀察。

2. 颱風

在討論氣候變遷對於臺灣颱風活動的影響之前，必須要決定如何客觀定義侵臺颱風。本文的客觀定義是以距離臺灣海岸線約 300 公里的範圍為界，凡颱風中心進入此範圍且停留長達 12 小時以上者視為侵臺（李、盧 2012）。為了避免與中央氣象局之侵臺颱風定義混淆，我們將符合此條件的颱風稱為「影響臺灣颱風」。

圖 7 為 1970 年至 2007 年西北太平洋颱風頻率的空間分佈，即以經緯 1 度的網格統計每個格區內觀察到的颱風次數。圖中可看到颱風最主要的活動區域為從菲律賓海往西延伸入南海；另外，從菲律賓海往西北方指向臺灣及從菲律賓海往北指向日本，都是颱風活動較為頻繁的路線。距離臺灣海岸線約 300 公里的「影響臺灣颱風」範圍邊界，在圖 7 中以黑線標示，界線內可辨識出在臺灣附近的南海、巴士海峽、蘭嶼東方各有一個颱風頻率的峰值，界線的選定考慮了必須要將這 3 個峰值囊括在內，但又必須避開對臺灣影響較小，但數量較多經菲律賓北端的西行路徑和從菲律賓海往北經琉球的路徑。

依照上述「影響臺灣颱風」的定義，根據 1961 年至 2009 年以颱風生命史的中心最大風速達到 34kts 為條件，發現 49 年共有 248 個影響臺灣颱風，平均每年 5.1 個。圖 8 顯示颱風個數年際變化明顯，50 年和 30 年的分析結果皆顯示影響臺灣颱風個數有增加的趨勢，近 50 年增加速率為每 10 年 0.26 個，近 30 年增加速率為每 10 年 0.66 個，為 50 年增加速率的 3 倍，然而兩種趨勢值都未通過統計顯著性檢定。由 11 年滑動平均可以看到在 1960 年至 1990 年颱風個數並沒有明顯上升或減少趨勢，1990 年以後才出現上升的趨勢。

接下來統計「影響臺灣颱風」生命史中的最大強度，強度是依中央氣象局以颱風中心最大平均風速達 34～63 kts 為輕度颱風、64～99 kts 為中度颱風、大於或等於 100 kts 為強烈颱風的定義，圖 9 為 1961～2009 年每年「影響臺灣颱風」在生命史中出現最大強度為輕度、中度或強烈颱風的個數，可見每年 5.1 個影響臺灣的颱風中曾達強烈等級的有 2.1 個、中度 1.6 個、輕度 1.4 個，影響臺灣的颱風明顯以發展強盛者為多數。另一個有趣的現象是將颱風分為不同強度可看到更明顯的長期變化趨勢，50 年的變化趨勢三者都是增加，但未通過統計檢定。輕度颱風近 30 年有減少的趨勢，但變化不顯著；而中度以上颱風有增多的趨勢，尤其是強烈颱風增加速率顯著，每 10 年增加 0.57 個。颱風個數也出現明顯的年代際變化，1970 年至 1990 年期間影響臺灣的颱風以輕颱較多，中颱與強颱都較少；而 2000 年之後輕颱個數沒有明顯變化，中颱與強颱都在增加。輕颱與中颱發生個數約有 20~30 年週期的振盪現象，強颱則在 1980 年之後有突然增多的情形，顯示強颱個數在 1980 年代出現一些轉變。

根據本節定義的「影響臺灣颱風」，可進一步分析 2000~2009 年颱風最頻繁期間，臺灣直接受颱風影響而發生大豪雨的頻率是否異常，做法與前一節（1.豪雨）類似，但是僅以有颱風在定義範圍內的時間並加上前後一天發生大豪雨為基礎，所挑出的颱風極端降雨事件。挑選出颱風型不同延時在重現期 2 年以上的極端降雨事件發生次數，比較 1980～1999 年事件次數作 10,000 次 10 年抽樣累積的統計分布，和 2000～2009 年的

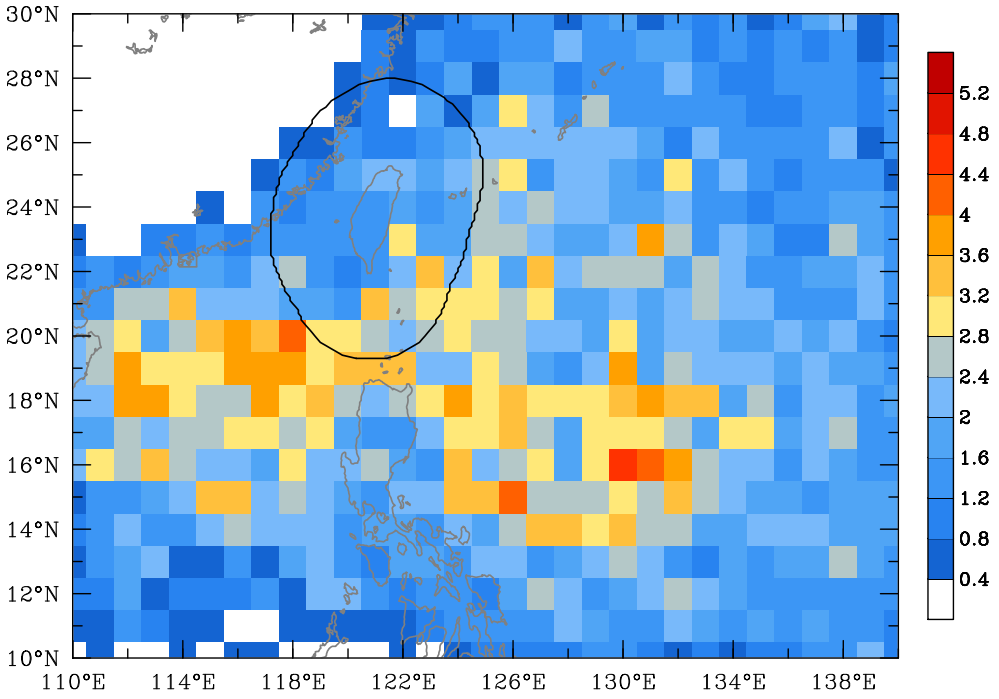

圖 7　1970～2007 年西北太平洋颱風頻率分布圖，即以經緯 1 度的網格統計每個格區內觀察到的颱風個數，每個颱風在每個網格內不重複計算。

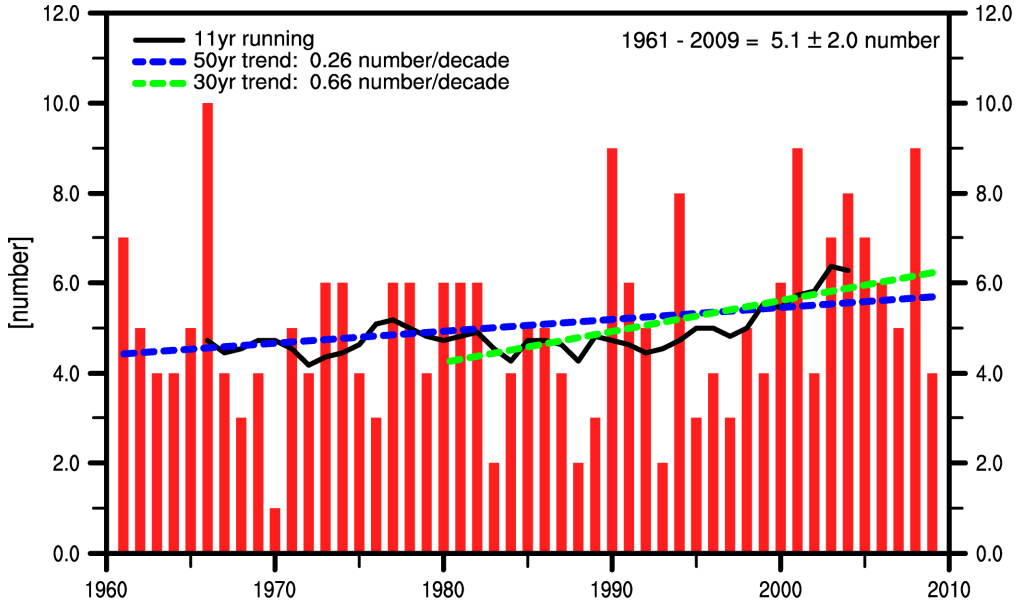

圖 8　1961～2009 年每年「影響臺灣颱風」的個數。黑線表示 11 年滑動平均結果，藍線為 50 年迴歸線，綠線為 30 年，實線表示線性變化趨勢通過了 95%的信心度檢定，虛線則表示未通過檢定，根據各迴歸線斜率計算的變化趨勢標示於圖左上角。

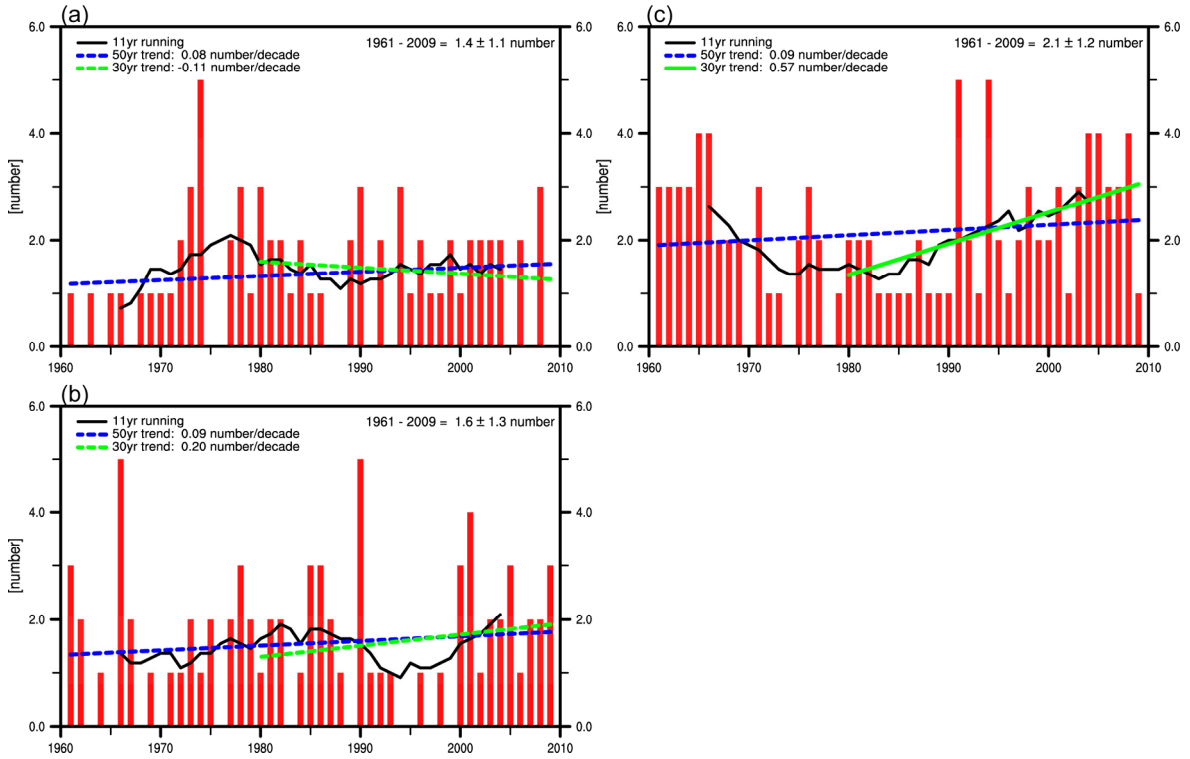

圖 9　同圖 8，但為「影響臺灣颱風」在生命史中為(a)輕度，或曾達(b)中度，(c)強烈颱風個數統計。

10 年累計事件發生次數的差異。發現除了臺東站以外，其他測站 12 小時延時以上的颱風極端降雨事件在 2000 年之後都是明顯偏多（圖 10）。以 24 小時延時事件為例，臺北、臺中、臺南、花蓮的颱風型極端降雨頻率對比於 1980~1999 年的統計分布都是異常偏多。

3. 連續不降雨日

氣候變遷對乾期(dry spell)的影響可藉分析極端連續不降雨事件的日數變化得知，國內水文界對於乾旱方面有許多研究，因而參考水文上的作法，將不降雨日的定義為日雨量低於 0.6mm（水資源 1991，游保杉 2007，黃文政等 2003），連續不降雨日數重現期大於 2 年者為極端連續不降雨事件。6 個測站連續最大不降雨日數 2 年重現期的日數門檻值分別為臺北 18 天、臺中 43 天、臺南 51 天、恆春 32 天、花蓮 17 天和臺東 23 天；由於臺灣中、南部地區的乾季和雨季對比明顯，降雨主要集中在梅雨和颱風季，所以連續不降雨日時間較長。圖 11 為各測站乾期超過 2 年重現期門檻值的 10 年累計發生次數，其中以花蓮極端偏長乾期出現頻率的增加現象最明顯，恆春在 1980 年代之後也有類似的特徵，臺北的極端偏長乾期也是在 1970 年之後的 30 年比之前的 30 年頻繁，這些結果和表 3 顯示的冬季降雨日數下降的趨勢相當一致。臺南和臺中的極端乾期變化和其他測站比較不相似，可能是因為這 2 個測站的門檻值較高，極端事件發生原因受到季節轉變的影響大於其他因素所致。

4. 極端溫度

氣候變遷在溫度方面的影響遠較其他氣象因

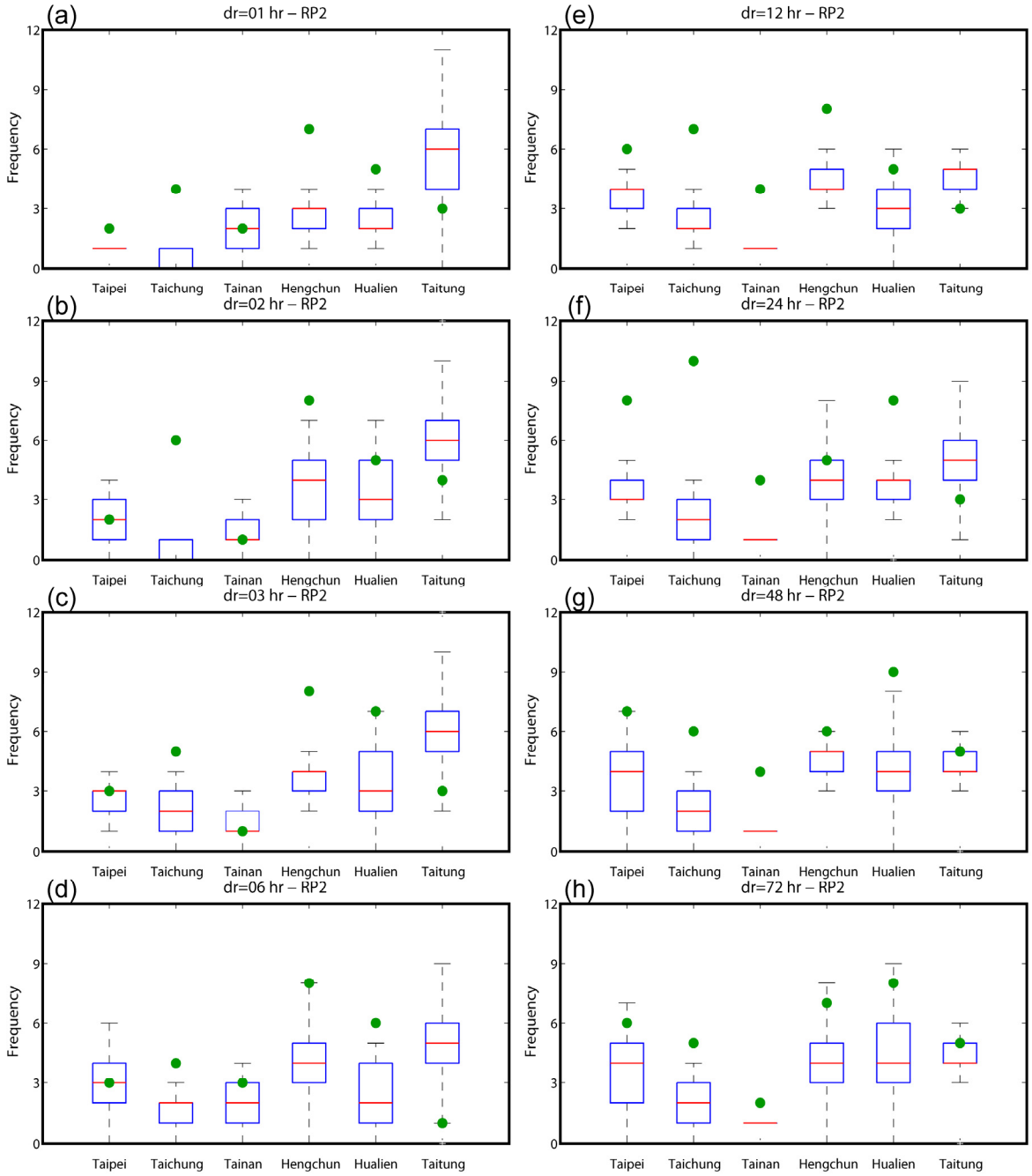

圖 10　同圖 6，但為颱風極端降雨事件。

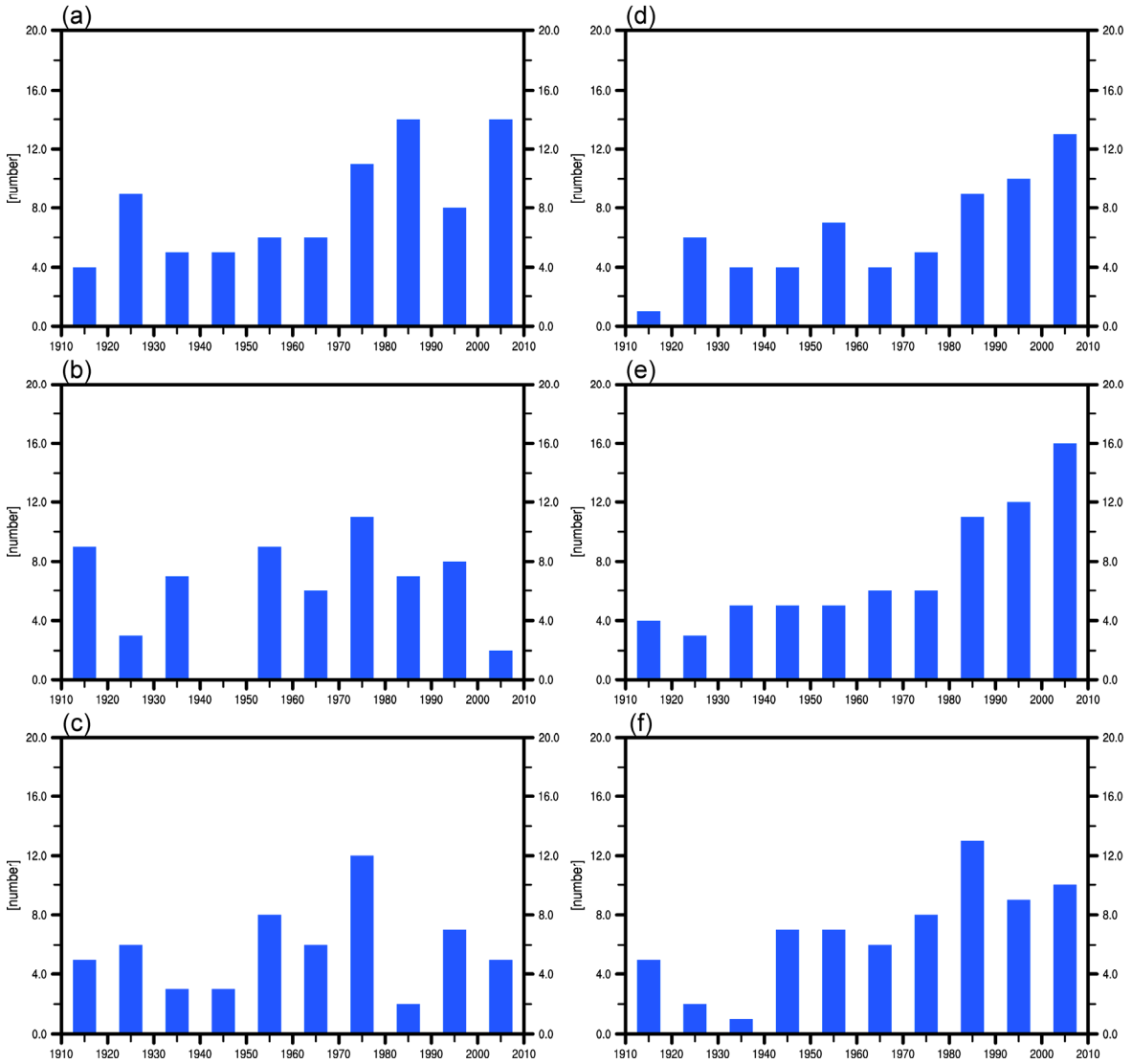

圖 11　以 10 年為期距統計乾期超過 2 年重現期門檻值的計發生次數，分別為(a)臺北、(b)臺中、(c)臺南、(d)恆春、(e)花蓮、(f)臺東。

子更為明顯，其中極端高溫事件機率變化最令人擔心。極端高溫事件發生頻率統計，是以夏季（6 月至 8 月）日最高溫的溫度累積機率分布來定義極端高溫的門檻值，即以各測站 99 年（1911～2009 年）日最高溫機率分布累積機率達 90%的溫度值，也就是屬於最高溫度的 10%作為門檻，統計每年日最高溫達到門檻值的日數。各測站極端高溫門檻值分別為臺北 35.6℃，臺中 34.4℃，臺南 34.5℃，恆春 33.3℃，花蓮 33.2℃，臺東 33.6℃。圖 12 為 1911 年至 2009 年的極端高溫日數變化情形，6 個測站的高溫日數百年變化都呈現增加的趨勢，以臺北站增加幅度最大，每 10 年增加 1.36 日。臺北站近 50 年的極端高溫日數上升速度為每 10 年 2.06 日，近 30 年的上升速度則為每 10

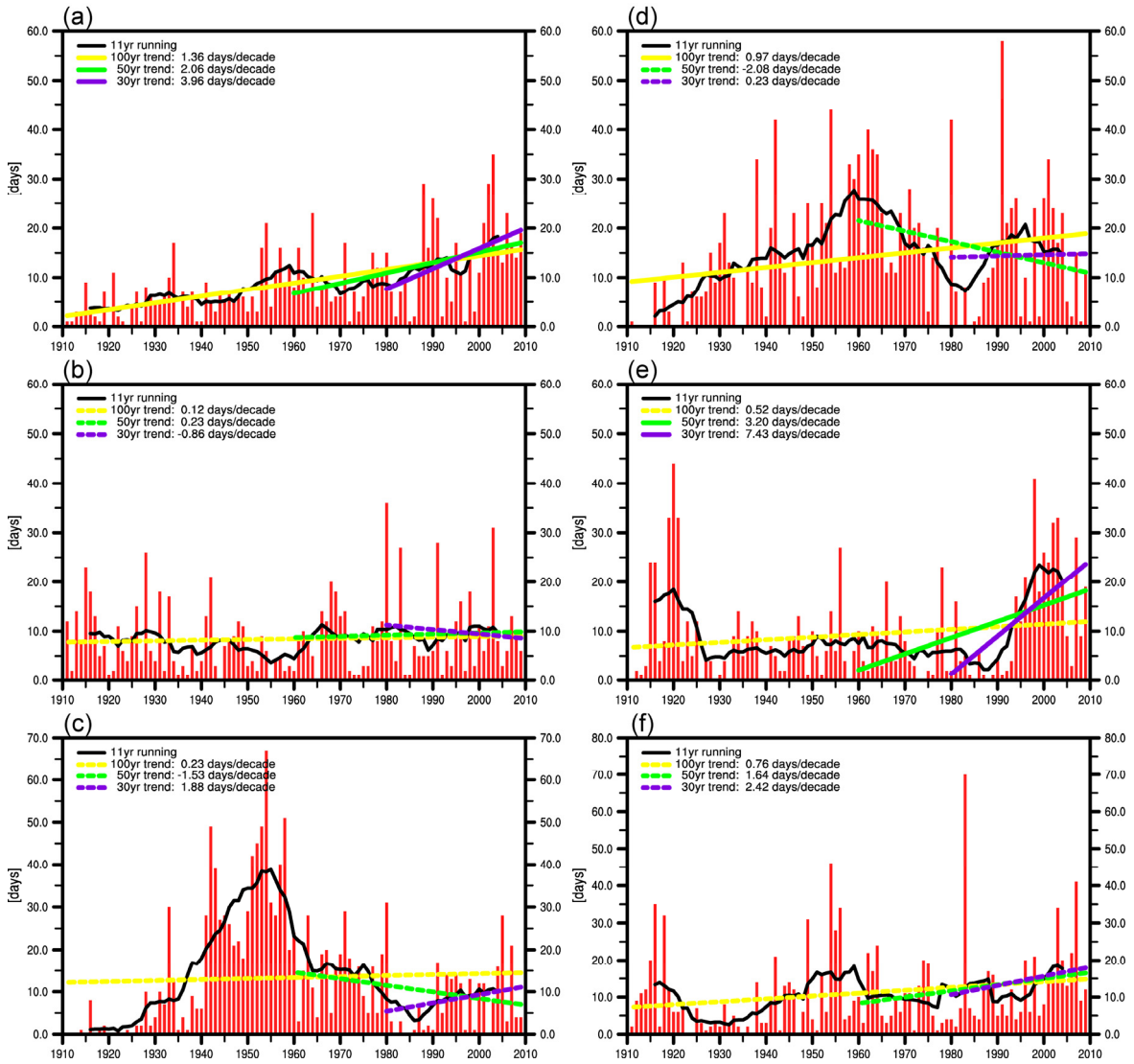

圖 12　1911～2009 年每年極端高溫日數之時間序列與變化趨勢，(a)臺北、(b)臺中、(c)臺南、(d)恆春、(e)花蓮、(f)臺東。極端高溫辨識的門檻值是按照各站夏季（6～8 月）溫度機率分布的高溫 90%定義。黑線表示 11 年滑動平均的結果，黃線為 100 年迴歸線，綠線為 50 年，紫線為 30 年，實線表示線性變化趨勢通過了 95%的信心度檢定，虛線則表示未通過檢定，根據各迴歸線斜率計算的變化趨勢標示於圖左上角。

年 3.96 日，2000～2009 年的高溫日數比 1910～1920 年平均增加了 10 天以上，變化相當明顯。臺南和恆春的極端高溫日數變動幅度比較大，臺南自 1911 年以來極端高溫日數最多的時期出現在 1955～1965 年，恆春則出現在 1950～1960 年，都不是在 2000 年以後。極端高溫事件發生頻率的地方性差異與原因之後續研究仍在持續進行。

統計「寒潮」事件（盧與李 2009）每年發生次數來看極端低溫發生機率的長期變化情形，寒潮事件的辨識方法是根據各個測站冬季（十一月至隔年三月）氣溫驟降與寒冷程度所決定的，驟

降門檻值為 48 小時內日低溫變化幅度達到該測站百分序位 90 的變化水準，而寒冷程度的門檻值為日低溫低於該測站百分序位 10 的溫度水準。圖 13 顯示 6 個測站的 100 年、50 年、30 年線性變化趨勢都為下降，臺中、恆春、花蓮的下降速度都以近 30 年最大，近 50 年次之，近 100 年最小；臺北、臺南則是近 50 年的下降速度大於近 30 年。1915～1925 年與 1960～1970 年是臺北與臺中寒潮比較頻繁的時期，1950 年前後寒潮事件較少，但是 1985 年之後 6 個測站一致偏少的情況在 1985 年以前不曾出現過。

四、結論與討論

本文僅挑選了 6 個資料長度最長且品質最佳的氣象測站進行分析，雖然在空間上難以代表臺灣氣候變化的細部特徵，但由於使用的測站資料

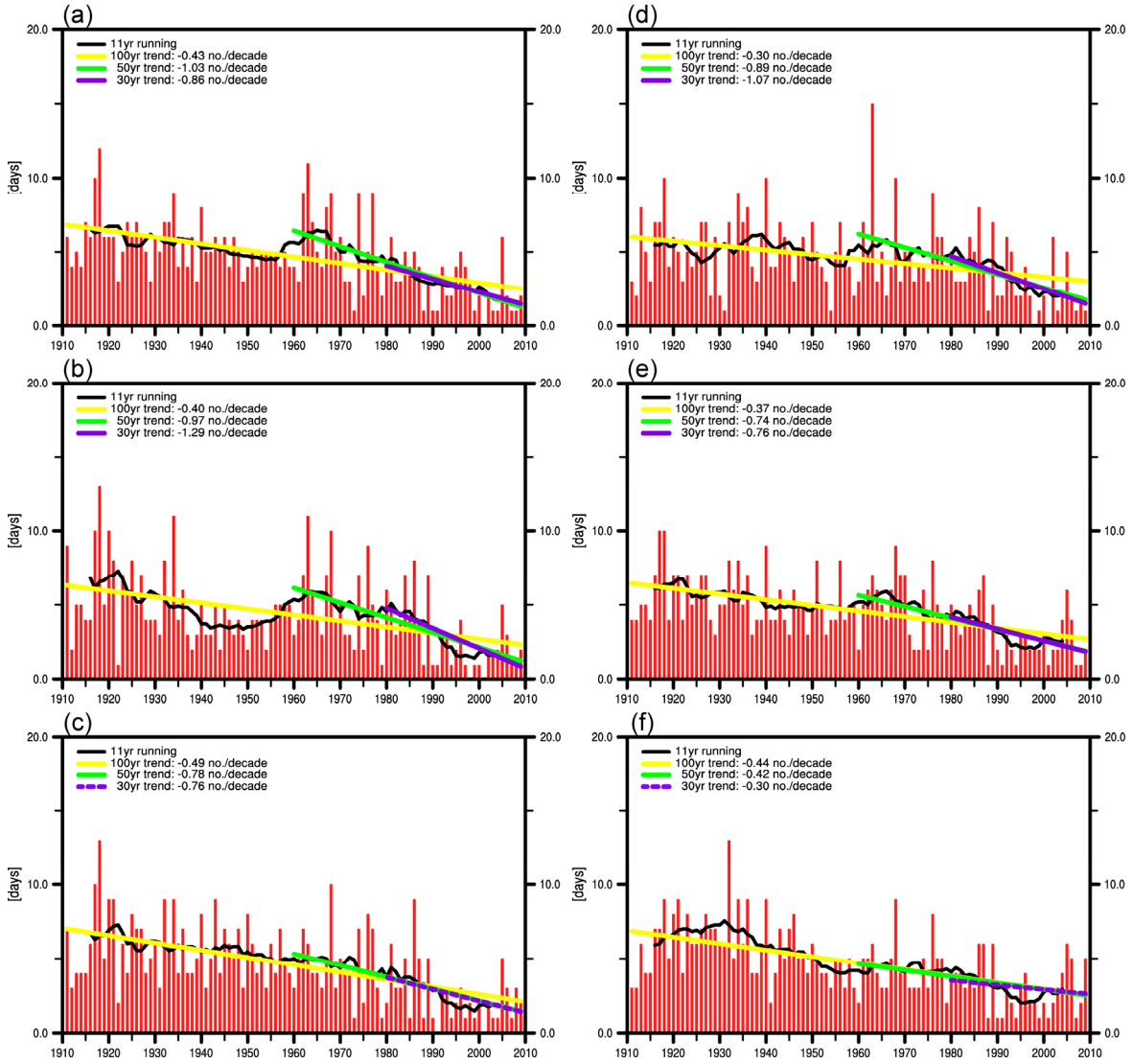

圖 13：同圖 12，但為每年寒潮發生次數。

是經過觀測員檢定，並未經過任何補漏、平均、內差等人為處理的原始資料，所以分析結果可作為其他研究的對照參考基準。未來將逐步採用更多氣象局測站與國科會 TCCIP 計畫所收集之高密度資料，繼續深入探討臺灣氣候變遷的平均變化與區域變異特性。

分析結果顯示臺灣和全球與東亞地區的氣候在溫度變化方面特徵相當一致，不論是 100 年、50 年、30 年氣溫都是上升的，1980 年代以後更明顯的暖化趨勢。臺灣 30 年的變化以冬季的增溫幅度大於其他三季，和亞冬季季風均呈減弱趨勢的現象相當一致。東亞冬季季風偏弱也可能是導致臺灣在 1985 年之後寒潮明顯偏少的原因。東亞夏季季風的減弱或是西北太平洋副熱帶高壓脊自 1970 年代後期以來的增強，都可使臺灣的高溫日數增多。

在雨量變化方面，不論是臺灣或是東亞和全球得到的分析結果都比較紛雜，乃因降雨的影響因素甚多，並且觀測資料的時間長度和空間密度都還相當不足。臺灣降雨日數減少的現象非常明顯，但因中央氣象局自 1974 年開始推動氣象觀測自動化後，雨量測量精度由 0.1 mm 降為 0.5 mm，有可能影響到降雨日數的統計結果。為檢驗降雨日數減少現象是否因儀器不同所造成，本研究另分析了日雨量≧0.5 mm 的總降雨日數變化，結果發現以 0.5 mm 為門檻值的趨勢變化雖然不如 0.1 mm 的變化明顯，但日數減少的趨勢仍然存在，表示臺灣地區的降雨日數減少確實值得注意。另一方面，大豪雨日數在近 50 年和近 30 年卻明顯增多，並有 50～60 年尺度的長週期年代際變化現象。由於觀測資料長度仍然有限，無論檢視過去氣候變化或推估未來氣候變遷趨勢都需考慮年代際的影響。IPCC 已經將年代預報納為重要的研究方向，並將於第五次評估報告首次提出初步研究成果，TCCIP 計畫亦將朝此方向繼續研究臺灣極端降雨和全球氣候的關係。

臺灣的極端天氣事件受颱風的影響最大，分析近 50 年的颱風資料發現 1990 年以後影響臺灣的颱風個數和 1961 年至 1989 年相比有增多的現象，且在 2000 年出現明顯增多的轉折，這可能與熱帶氣旋路徑發生改變有關。自 1990 年代末期起，西北太平洋熱帶氣旋的西北向路徑由南海往北偏向西北象限，因此從菲律賓海往西延伸入南海的熱帶氣旋減少，通過臺灣附近的熱帶氣旋機會增加(Tu et al. 2009, Wu et al. 2005, Wang et al. 2011, Liu and Chan 2008)。Liu and Chan (2008)分析結果顯示西北太平洋熱帶氣旋路徑存在著明顯的年代際變化，朝大陸東南沿海的西北路徑在 1998 年有一顯著的突然轉變。氣旋路徑改變可能是受到海溫或太平洋副熱帶高壓的影響，Tu et al. (2009)發現熱帶西、中太平洋海溫增暖，使季風槽增強，氣旋在菲律賓東方海域生成的數量增加，然後沿副高邊緣往西北移動。Wu et al. (2005)認為氣旋路徑改變與大尺度環流場有關，環流場主要受到副熱帶高壓的影響。

若不同研究估算的氣候變遷速度與幅度數字不盡相同時應如何解讀？研究者估算氣候變遷的速度和幅度時，其結果必會隨著使用資料的站數、長度、季節、月份以及資料的校正和補遺方法的不同出現差異。例如，本文根據 6 個測站的資料，發現臺灣 1911 年至 2009 年期間平均氣溫上升 1.4℃，不同文獻呈現的數字不是必然相同，中央氣象局(2009)即指出近百年(1909～2008)全臺平均氣溫上升 0.8℃，這是根據 21 個本島測站資料所計算的。如何解讀二者的差異呢？是否測站愈多就結果愈好呢？一般而言，當然是測站愈

多結果愈精確，但這要在測站的品質和特性差異不大的前提下才能成立，對於平均值和變化趨勢的計算與解讀這項條件尤其重要。本文為忠實呈現觀測紀錄，避免將長度不同的資料混合使用，因此僅採用 6 個有一百年以上完整紀錄的測站資料，都是海拔高度未達四百公尺的平地測站，中央氣象局(2009)估算全島平均氣溫上升幅度時則沒有考慮測站的設站時間和高度的差異性。換言之，若用本文的計算結果代表山區氣溫長期變化幅度就不恰當；但若用中央氣象局(2009)估算結果代表全臺平均氣溫的百年上升幅度，則不能忽略部分計算結果並沒有觀測紀錄作為依據的事實。因此，讀者在解讀氣候變遷相關數據時，須注意作者對於測站和資料特性以及計算方法的說明，避免誤解或誤用計算結果，也要注意資料長度、密度、不均勻性等對於估算結果精確程度的限制。

致謝

本研究在國科會計畫 NSC 98-2625-M-492-011 和 NSC 99-2625-M-492-001 支助下完成，特此致謝。

參考文獻

中央氣象局，2009：1897~2008 年臺灣氣候變化統計報告。

朱吟晨，2007：21 世紀的熱浪。國立臺灣大學大氣科學系，碩士論文。

汪中和，2006：氣候暖化對臺灣水文環境的衝擊。東苑理工學院學報，13，4，74-79。

李清縢、賈新興，2008：颱風活動的長期變化。2008 臺灣氣候變遷研討會。

李清縢、盧孟明，2012：從氣候觀點探討影響臺灣颱風的定義問題。氣象學報。48，4，25-37。

周仲島，2007：臺灣地區劇烈降雨與侵臺颱風變異趨勢與辨識研究(I)。國家科學委員會研究計畫報告。

柳中明、華昌宜、游保杉，2008：氣候變遷長期影響評估及因應策略研議委託計畫報告。行政院經濟建設委員會。

陳雲蘭，2008：由極端氣候指標看臺灣氣候變化。2008 臺灣氣候變遷研討會。

陳昭銘、汪鳳如，2000：臺灣地區長期暖化現象與太平洋海溫變化之關係。大氣科學，28，3，221-241。

戚啓勳、陳孟青，1995：臺灣之氣候。中央氣象局出版，531 頁。

黃文政、張守陽、陳孝宇、吳建興、劉欣霈、張益家、蘇元風，2003：臺灣地區近 30 年來連續不降雨日數分析與探討。臺灣水利，51，2，1-9。

游保杉，2007：臺灣地區乾旱變異趨勢與辨識研究(I)。國家科學委員會研究計畫報告。

盧孟明、麥如俊，2003：臺灣與全球雨量長期變化研究(一) 1920~1995 變化趨勢。大氣科學，31(3)，199-220。

盧孟明、陳佳正、林昀靜，2007：1951-2005 年臺灣極端降雨事件發生頻率之變化。大氣科學，35，2，87-103。

盧孟明、李思瑩，2009：臺灣寒潮定義-分析以臺北測站為代表之適當性。大氣科學，37，1，1-10。

Hsu, H.-H. and C.-T. Chen, 2002: Observed and Projected Climate Change in Taiwan. *Meteorol. Atmos. Phys.*, **79**, 87-104.

Hung, C.–w. and H.–H. Hsu and M.-M. Lu, 2004: Decadal Oscillation of Spring Rain in Northern Taiwan. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L22206, doi: 10.1029/2004GL021344.

Hung, C.–w. and P.–k. Kao, 2010: Weakening of the Winter Monsoon and Abrupt Increase of Winter Rainfalls over Northern Taiwan and Southern China in the Early 1980s. *J. Climate*, **23**, 2357–2367.

Lai, L.-W. and W.-L. Cheng, 2010: Air temperature change due to human activities in Taiwan for the past century. *Int. J. Climatol.* **30**, 432-444.

Liu, K.-S., and Johnny C.-L. Chan, 2008: Interdecadal Variability of Western North Pacific Tropical Cyclone Tracks. *J. Climate*, 17, 744-762.

Liu, S. C., C. H. Wang, C. J. Shiu, H. W. Chang, C. K. Hsiao and S. H. Liaw, 2002: Reduction in Sunshine Duration over Taiwan: Causes and Implications. *TAO*, **13**, 4, 523-545.

Liu, S. C., C. Fu, C.-J. Shiu, J.-P. Chen, and F. Wu, 2009: Temperature dependence of global precipitation extremes. *Geophys. Res. Lett.*, **36**, L17702, doi:10.1029 /2009GL040218

Shiu, C.-J., S. C. Liu and J.-P., Chen, 2009: Diurnally Asymmetric Trends of Temperature, Humidity and Precipitation in Taiwan. *J. Climate*, **22**, 5635–5649.

Tseng, Y. H., Breaker, L. C., and Emmy T.-Y. Chang, 2010: Sea Level Variations in the Regional Seas around Taiwan. *J. Oceanogr.*, **66**, 27-39.

Tu, J.-Y., Chou, C., and Chu, P.-S., 2009: The abrupt shift of typhoon activity in the vicinity of Taiwan and its association with western North Pacific-East Asian climate change. *J. Climate*, **22**, 3617-3628.

Wang, L., R. Huang, L. Gu, W. Chen and L. Kang, 2009: Interdecadal variations of the East Asian winter monsoon and their association with quasi-stationalry planetary wave activity. *J. Climate*, **22**, 4860-4872.

Wang, B., Z. Wu, C.-P. Chang, J. Liu, J.-P. Li and T. Zhou, 2010: Another look at interannual-to-interdecadal variations of the East Asian winter monsoon: the Nonorthern and southern temperature modes. *J. Climate*, **23**, 1495-1512.

Wang, R., L. Wu, and C. Wang, 2011: Track Changes Associated with Global Warming. *J. Climate*, 24, 3748-3752.

Wu, L., B. Wang, and S. Geng, 2005: Growing typhoon influence on East Asia. *Geophys. Res. Lett.,* **32,** L18703, doi: 10.1029/2005GL022937.

Yu, P.-S., T.-C. Yang, C.-C. Kuo, 2006: Evaluating Long-Term Trends in Annual and Seasonal Precipitation in Taiwan. *Water Resources Management*, **20**, 1007-1023.

Climate Variations in Taiwan During 1911-2009

Mong-Ming Lu, Yin-Min Cho, Szu-Ying Lee, Ching-Teng Lee and Yun-Ching Lin

Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan

(manuscript received 30 January 2012；in final form 10 May 2012)

ABSTRACT

The long-term climate variations in Taiwan are analyzed using the data observed at six meteorological stations (Taipei, Taichung, Tainan, Hengchun, Taitung, Hualien) that have the records longer than a century. The analysis includes the variations of mean climate and occurrence frequencies of the extreme events.

The results show strong warming trend of Taiwan climate during the past century. From 1911 to 2009 the annual mean temperature rose 1.4℃, which is equivalent to a warming rate of 0.14℃ per decade. The warming rate increases to 0.29℃ per decade for the 30-yr (1980~2009) data. The warming rate of recent 30 years is clearly faster than the earlier rate and about two times of the one-hundred year mean rate. This tendency is consistent with the findings in IPCC AR4. The largest centennial warming rate of seasonal mean temperature appears in autumn. However, during the most recent 30 years the largest warming rate appears in winter. The annual frequencies of the extremely warm days are found to increase with time at all six stations, while the opposite tendency is found for the extremely cold days.

No significant centennial trend is found for rainfall data, although the decadal-scale variations are evident. It is noteworthy that the decline of annual rain days is seen at all stations. The average decreasing rate of the rain days from 1911 to 2009 is about 4 days per decade. However, during the most recent 30 years the decreasing rate is 6 days per decade. The decreasing tendency appears in all seasons but it is sharpest in summer. The tendency is mainly contributed by the shortage of the days with light rain, which is defined as the days with daily rainfall amount less than 1.0 mm.

Tropical cyclone (typhoon) is the most influential weather system to climate and society in Taiwan. Based on the analysis of 50 years of typhoon data, it is found that there are more typhoons affecting Taiwan after 1990 compared with the period of 1961~1989. The increase is relatively sharp around 2000. It is

suspected that such change is caused by the northward shift of typhoon tracks over the northwest Pacific. In addition to the frequency, it is found that the ratio of strong typhoon to moderate and weak ones also increased after 1980. This can be related to the variations of sea surface temperatures of the Pacific in the decadal time scale.

Key Words: Climate change, Climate variations, Weather and climate extremes, Taiwan