

臺灣極端溫度與全球海溫主模態的關係

黃冠鈞 盧孟明
中央氣象局科技研究中心

摘要

本文由經驗正交函數(Empirical Orthogonal Function, EOF)方法求得夏季(JJA)及冬季(DJF)全球海表面溫度(Sea Surface Temperature, SST)的氣候特徵，並以此為基礎分析臺灣極端溫度與全球海溫主模態的關係。利用ERSST的月資料分析1951-2015年夏季(JJA)及1952-2015年冬季(DJF)海表面溫度特徵，發現全球海溫在夏季的前2個主模態，共解釋約39%的海溫變異量；冬季的前2個主模態，共解釋約45%的海溫變異量。

夏季海溫EOF1除了北太平洋及南太平洋外，其他區域皆呈現海溫偏暖趨勢；夏季海溫EOF2在中東太平洋熱帶地區海溫變化與聖嬰-南方震盪(ENSO, El Niño Southern Oscillation)的海溫變化相似。冬季海溫EOF1為類似聖嬰現象模態，空間分布上赤道中東太平洋、熱帶印度洋海溫變化與西太平洋呈C字型橫跨南北半球區域海溫變化為相反相位；冬季海溫EOF2從時間序列(PC)顯示為一個下降的趨勢，也就是中東太平洋海溫漸趨偏冷，西太平洋海溫漸趨偏暖。因此從夏季海溫的前2個模態中看到了2種氣候特徵，一種是全球海溫偏暖，另一種是反聖嬰現象，當2種氣候特徵出現時，臺灣暖晝(warm days, TX95p)及暖夜(warm nights, TN95p)都會變得較容易發生，並且暖夜的發生都會比暖晝更多。而從冬季海溫的前2個模態也看到了2種氣候特徵，一種是反聖嬰現象，另一種是類似聖嬰現象，在2種氣候特徵出現時，臺灣地區的冷夜(cold nights, TN5p)及冷晝(cold days, TX5p)日數也是會偏多的，並且冷夜的發生也都多於冷晝。

一、前言

溫度的增暖及降雨日數的減少代表高溫及乾旱更容易發生，Shiu et al(2009)分析過去 1961~2005 年 45 年間臺灣夜晚溫度的變化，發現夜晚溫度呈現增暖的趨勢，使得每日溫差(即日最高溫與日最低溫之差)漸趨縮小，並且大城市的每日溫差縮小程度比人口較少的鄉鎮地區更明顯。Shiu et al(2009)也統計極端高溫(高於 36°C)及極端低溫(低於 10°C)發生的日數，極端高溫發生日數並無明顯變化，但極端低溫發生日數則是顯著減少，尤其人口越多的城市減少趨勢越明顯。朱(2007)分析每日最高溫及每日最低溫變化，發現每日最低溫的增暖趨勢對臺灣暖化的影響最多，這使得熱浪事件發生的頻率及持續時間也隨之提高及增長。呂(2006)的研究結果指出 1956 年後，臺灣南部地區因颱風季降雨減少，使得發生乾旱頻率增加，甚至使得極端程度的乾旱發生頻率有明顯的增加趨勢，持續時間也增長

從前人的研究成果可以清楚曉得極端高溫的發生

是呈現增加趨勢，並且夜晚的增加幅度比白天更明顯；相對的，極端低溫則是漸趨減少。對於臺灣極端溫度發生的日數變化是否與臺灣周圍環境有關聯，這是一個重要的課題，因此我們著手從海溫的變化來探討它們的關聯性，所以本篇研究將由 EOF 方法所得到的海溫主模態，來探討與臺灣極端溫度發生的日數變化的關係，並期望此研究成果能提供給更多、更深入的研究分析做為參考。

二、資料及定義

本文的分析時間為 1951-2015 年，以當年 6-8 月定義為夏季(JJA, June-August)，因此分析期間共有 65 個夏季；而以前一年 12 月至當年 2 月定義為冬季(DJF, December-February)，因此分析期間共有 64 個冬季。使用的海表面溫度(Sea Surface Temperature, SST) 資料為 NOAA ERSST v3(Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 3b) (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.ersst.v3.html>)，空間經緯解析度為 2 度，總共有 180x89

個格點。大氣環流場資料為 NCEP/NCAR Reanalysis1 (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>)，空間經緯解析度為 2.5 度，總共有 144x73 個格點。臺灣測站資料使用的是 13 個氣象局傳統平地氣象觀測站，13 個觀測站皆具有 60 年以上完整的觀測資料(1951-2015 年日資料缺失比例低於 1%)，其中臺北、臺中、臺南、恆春、花蓮、臺東 6 個觀測站皆具有百年以上的觀測紀錄(1911~2015 年日資料缺失比例低於 1%)。選取的資料變數有每日最高溫度及每日最低溫度，而季節的定義在夏季同樣是當年的 6-8 月(JJA, June-August)；冬季的定義則是前一年的 12 月至當年的 3 月(DJFM, December-March)，分析的時間長度同樣為 1951-2015 年。

極端溫度的定義，極端高溫門檻值是以夏季 6 至 8 月(JJA)的日最高溫(Tmax)及日最低溫(Tmin)累積機率分布來定義，即將各測站過去 65 年(1951-2015 年)6 至 8 月(JJA)的日最高溫度及日最低溫度各自作排序，取第 95 百分位(PR95)的日最高溫度及日最低溫度值作為各測站極端高溫門檻值。所以當夏季每日最高溫度有達到 PR95 日最高溫度值以上，稱之為暖晝(TX95p, TmaxPR95)發生；而當夏季每日最低溫度有達到 PR95 日最低溫度值以上，稱之為暖夜(TN95p, TminPR95)發生。極端低溫門檻值是以冬季 12 至 3 月(DJFM)的日最低溫(Tmin)及日最高溫(Tmax)累積機率分布來定義，即將各測站過去 64 年(1952-2015 年)12 至 3 月(DJFM)的日最低溫度及日最高溫度各自作排序，取第 5 百分位(PR5)的日最低溫度及日最高溫度值作為各測站極端低溫門檻值。同樣當冬季每日最高溫度有低於 PR5 日最高溫度值以下，稱之為冷晝(TX5p, TmaxPR5)發生；而當冬季每日最低溫度有低於 PR5 日最低溫度值以下，稱之為冷夜(TN5p, TminPR5)發生。

三、分析結果

3.1 夏季及冬季全球海表面溫度氣候特徵

運用經驗正交函數方法(Empirical Orthogonal Function, EOF)分析 1951-2015 年夏季海溫(圖 3.1.1)及冬季海溫(圖 3.1.2)，可見夏季 EOF1 至 EOF2 變異量

分別為 22.93% 及 16.51%，共解釋約 39% 的夏季海溫變異量；冬季 EOF1 至 EOF2 變異量分別為 29.35% 及 15.38%，共解釋約 45% 的冬季海溫變異量。

在夏季海溫 EOF1 的空間特徵(圖 3.1.3Aa)中除了在北太平洋及南太平洋外，全球海溫呈現的是同相位；主成分時間序列(Principal Component, PC)(圖 3.1.3Ba)呈現由負相位轉變為正相位的上升變化趨勢，在 1982 年以前多是負相位，1982 年以後轉變為正相位，表示全球海溫在 1982 年後由偏冷轉變為偏暖，但在北太平洋溫帶地區及南太平洋鄰近澳洲東部海域，海溫則呈現偏冷趨勢。

夏季海溫 EOF2 的空間特徵(圖 3.1.3Ab)顯示太平洋海溫不論是在南北半球中高緯度或熱帶赤道區域皆呈現東西部反相位的特性，西太平洋的正相位呈 C 字型對稱於赤道橫跨南北半球；中東太平洋的負相位向南北半球沿伸至北美洲西岸及南美洲西岸。此外，印度洋、海洋大陸及大西洋與西太平洋皆為同相位。配合時間序列(PC)(圖 3.1.3Bb)看到中東太平洋熱帶地區海溫變化與聖嬰-南方震盪(ENSO, El Niño Southern Oscillation)的海溫變化相似(Wang et al. 2000)，從時間序列可見 1965, 1982, 1983 及 1997 年皆為強聖嬰年；1999, 2010 年為反聖嬰年。

冬季海溫 EOF1 的空間特徵(圖 3.1.4Aa)類似夏季海溫 EOF2 的空間特徵，顯示太平洋海溫不論是在中高緯度或熱帶赤道區域都呈現東西部相反相位的特性，正相位位於西太平洋呈 C 字型對稱於赤道跨越南北半球的區域，負相位位於赤道中東太平洋並向南北沿伸至北美洲與南美洲西部沿岸。不同之處在印度洋、鄰近臺灣地區的海洋及南北半球副熱帶大西洋與中東太平洋為同相位。中東太平洋熱帶地區的海溫變化也與聖嬰-南方震盪(ENSO, El Niño Southern Oscillation)的海溫變化相似，從時間序列(PC)(圖 3.1.4Ba)可見在 1983、1998 冬季，為著名的強聖嬰年，而在 1989、2000、2011 冬季，為反聖嬰年。

冬季海溫 EOF2 的空間特徵(圖 3.1.4Ab)除了中東太平洋外，其餘地區皆為同一相位，而時間序列(PC)(圖 3.1.4Bb)顯示是一個下降趨勢，也就是中東太平洋海溫漸趨偏冷；其餘地區的海溫漸趨偏暖。

3.2 暖晝(夜)與冷晝(冷)年變化

統計 13 個平地測站在過去每一年的暖晝天數(圖 3.2.1A)，可見過去 65 年每 10 年顯著地增加約 9 天暖晝，年際間的變化在 1976 年至 1986 年間及 1996 年以後皆較為明顯。從各個測站的暖晝變化(圖 3.2.1B)可見在暖晝發生多的年份裡，多數測站皆有暖晝的發生，而從整體時間可見 1986 年以後，多數測站暖晝的發生較 1986 年以前明顯偏多。夏季暖夜的變化(圖 3.2.2A)則比暖晝更為顯著，從圖示可見過去 65 年每 10 年增加約 24 天暖夜，甚至近 30 年每 10 年增加約 50 天暖夜。從各測站的暖夜變化(圖 3.2.2B)顯示隨著時間的推進，多數測站的暖夜皆有明顯的變多，使得暖夜呈現顯著的逐年上升趨勢。

冬季冷晝的變化(圖 3.2.3A)較不顯著，過去 64 年的變化並無顯著的增加或是減少趨勢，但年際間的變化卻是很明顯的，冷晝多的年份在各測站的發生機會(圖 3.2.3B)也較高。冬季冷夜的變化(圖 3.2.4A)顯示每 10 年顯著地減少約 17 天，從各測站的冷夜日數變化(圖 3.2.4B)可以見得，多數的測站隨著時間的推進，冬季冷夜的發生皆是明顯的在減少。

3.3 暖晝(夜)與冷晝(夜)變化與全球海表面溫度變化關係

在前面的章節裡分析了夏季及冬季海溫的氣候特徵以及極端溫度的年變化，接著我們試著想了解海溫的變化與臺灣夏季暖晝(夜)及冬季冷晝(夜)的變化是否有關聯，因此我們從夏季及冬季海溫的前 2 個模態的時間序列(PC)裡挑選大於 0.5 個標準差的年份定義為 Above yr 及小於-0.5 個標準差的年份定義為 Below yr。會用這樣的方式挑選年份，是希望能看到在海溫偏暖或偏冷變化下，臺灣暖晝(夜)與冷晝(夜)是否也會有偏多或偏少的相似變化。

夏季全球海溫皆為偏暖(Above yr)時，從盒鬚圖上可見臺灣暖夜(圖 3.3.1A)的發生在單年日數最少有 30 天，最多能有接近 330 天；暖晝(圖 3.3.1C)在單年最少有 20 天，最多有 180 天。相較於全球海溫偏冷(Below yr)時，在 Above yr 裡有約 30~40%的年份的暖夜及暖晝日數是高於 Below yr 裡(圖 3.3.1A&圖 3.3.1C)的最大值。

夏季反聖嬰發生時，西太平洋海溫呈現偏暖(Above yr)，此時臺灣暖夜(圖 3.3.1B)日數在單年最高有達近 330 天；暖晝(圖 3.3.1D)日數最多有近 180 天。相較在聖嬰發生時，西太平洋海溫呈現偏冷(Below yr)時，在 Above yr 裡有約 10~50%的年份的暖夜及暖晝日數是高於 Below yr(圖 3.3.1B&圖 3.3.1D)的最大值。

冬季海溫在反聖嬰發生(Above yr)時，中東太平洋、臺灣鄰近區域及印度洋海溫皆偏冷，此時臺灣冷夜(圖 3.3.2A)日數單年最多能達到 400 天；冷晝(圖 3.3.2C)日數最多能超過 200 天以上。相較在聖嬰年(Below yr)時，在 Above yr 裡有約 20~30%的年份的冷夜及冷晝日數是高於 Below yr(圖 3.3.2A&圖 3.3.2C)的最大值。

冬季海溫當在西太平洋與鄰近臺灣地區海溫趨近偏冷(Above yr)時，此時臺灣冷夜(圖 3.3.2B)日數單年最多能達到 400 天；冷晝(圖 3.3.2D)日數也能達到 200 天以上。同樣相較於中東太平洋海溫趨近偏冷(Below yr)時，在 Above yr 裡有約 20%的年份的冷夜及冷晝日數是高於 Below yr(圖 3.3.2B&圖 3.3.2D)的最大值。

結論

從夏季暖晝及暖夜的變化顯示，暖晝及暖夜都有顯著地增加，但暖夜的增加幅度大於暖晝，並且近 30 年的增加幅度更為明顯。冬季冷晝及冷夜的變化顯示，冷夜顯著地減少，冷晝無明顯的變化趨勢，由此結果可以曉得從過去到現在發生極端低溫的時間減少了，而極端高溫的發生時間明顯增加了。

從海溫的角度來看，可以見得在夏季全球海溫偏暖及反聖嬰發生時，臺灣周圍海溫皆會偏暖，而此時臺灣暖夜的發生比暖晝的發生更明顯，所以由此現象顯示了夏季臺灣周圍海溫的偏暖與暖夜的發生是有較好的關係。冬季海溫在反聖嬰發生時，西太平洋及臺灣周圍海溫皆為偏冷，此時臺灣發生冷夜的機會也比冷晝多。

參考文獻

呂季蓉，2006。台灣南部地區長期乾旱趨勢分析之研究。國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文:1-111。

朱吟晨, 2007。21 世紀的熱浪。臺灣大學大氣科學系, 碩士論文: 1-75。

李培聖, 2014: 臺灣年代際降雨量變動之經驗正交函數分析。國立臺灣海洋大學。

Shiu, C.-J., Liu, S.-C., and Chen, J.-P., 2009. Diurnally Asymmetric Trends of Temperature, Humidity, and Precipitation in Taiwan. *Journal of Climate* **22**(21): 5635-5649.

Wang, B., R. Wu, and X. Fu, 2000: Pacific-East Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian Climate? *J. Climate*, **13**, 1517-1536.

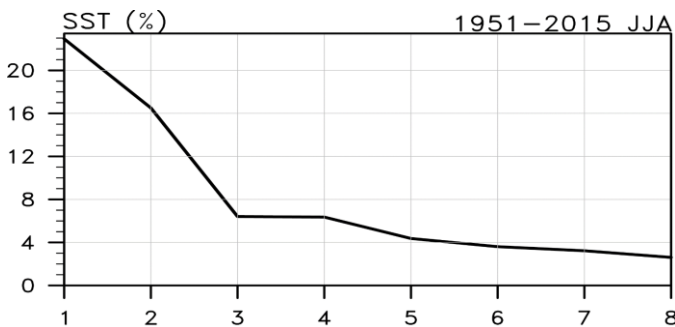


圖 3.1.1 北半球夏季全球 SST EOF 的變異量百分比。單位：%。橫軸為模態，縱軸為百分比。

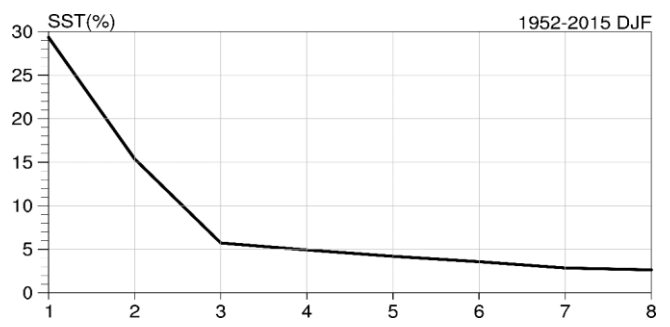


圖 3.1.2 北半球冬季全球 SST EOF 的變異量百分比。單位：%。橫軸為模態，縱軸為百分比。

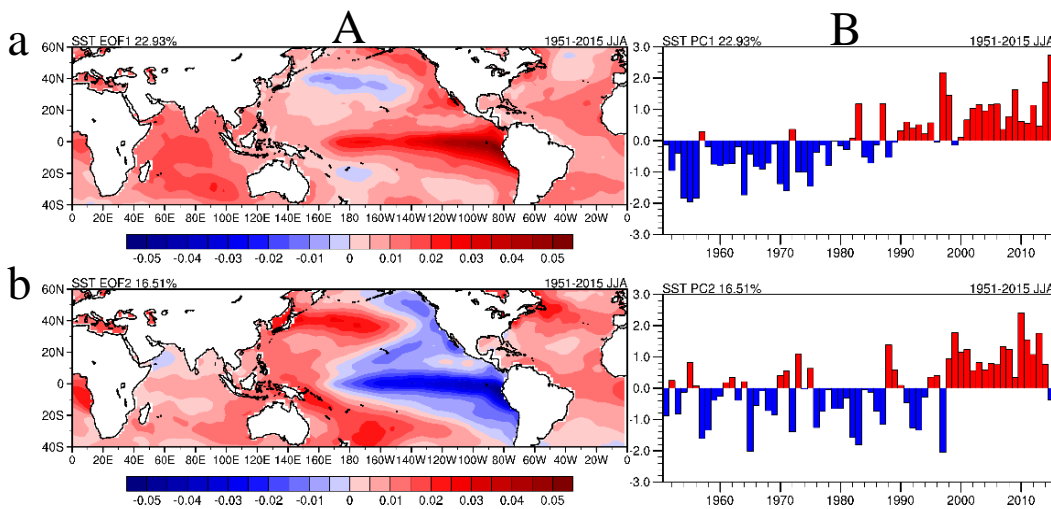


圖 3.1.3 北半球夏季全球海溫 EOF (A)為空間分布，(B)為時間序列。(a)EOF1(b)EOF2

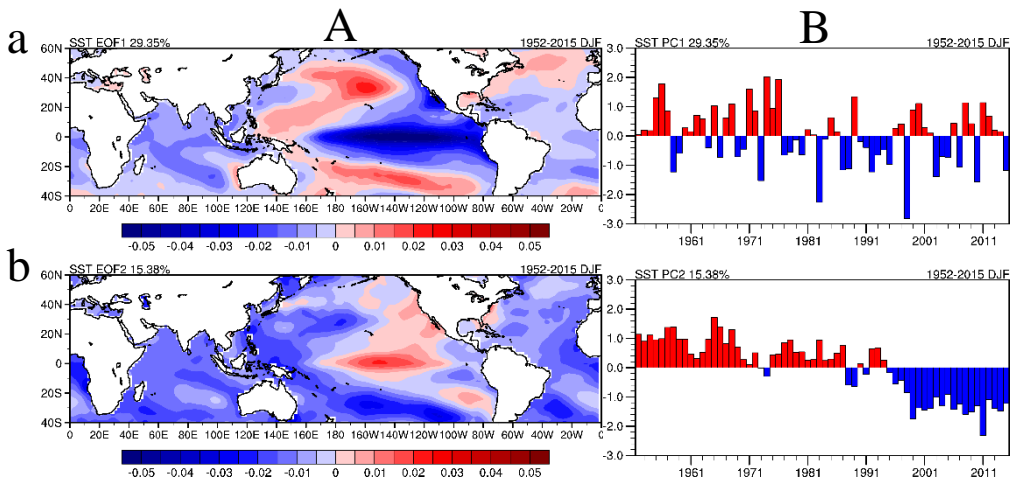


圖 3.1.4 北半球冬季全球海溫 EOF
(A)為空間分布，(B)為時間序列。(a)EOF1(b)EOF2

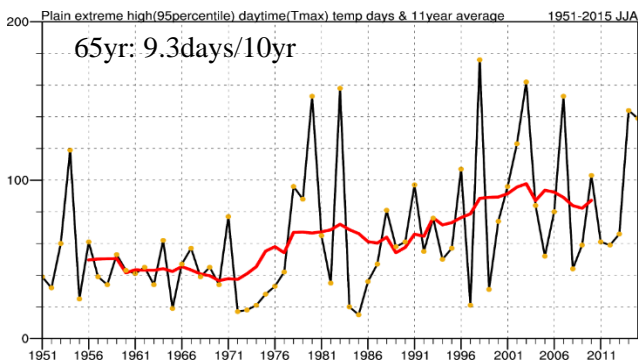


圖 3.2.1A 統計每年發生暖晝的總日數(黑線)及 11 年滑動平均(紅線)。圖上標示的數字為顯著的趨勢變化

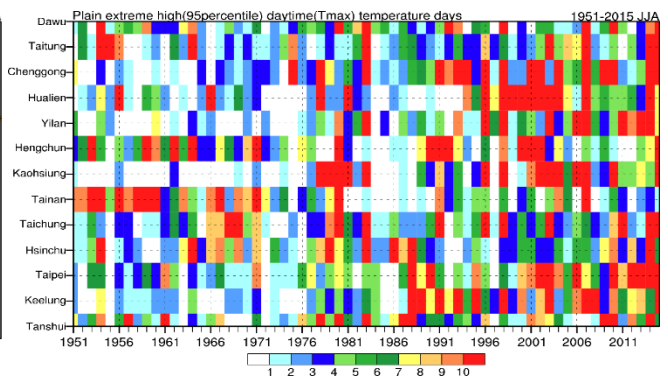


圖 3.2.1B 統計各測站每年的暖晝日數。橫軸為年份，縱軸為測站，色階代表的是日數。

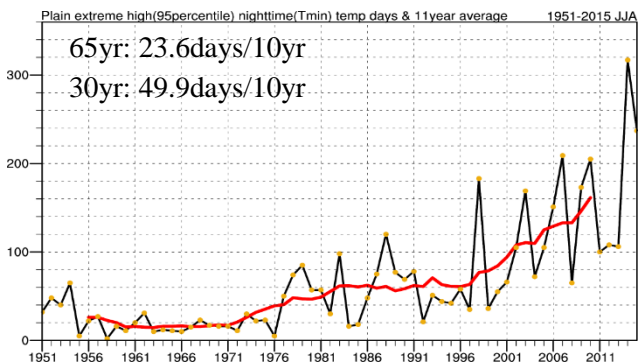


圖 3.2.2A 統計每年發生暖夜的總日數(黑線)及 11 年滑動平均(紅線)。圖上標示的數字為顯著的趨勢變化

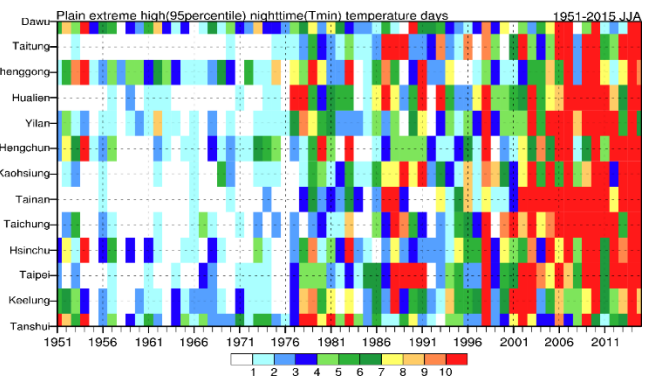


圖 3.2.2B 統計各測站每年的暖夜日數。橫軸為年份，縱軸為測站，色階代表的是日數。

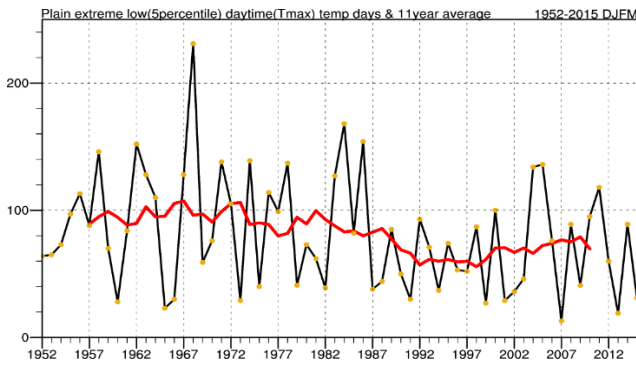


圖 3.2.3A 統計每年發生冷晝的總日數(黑線)及 11 年滑動平均(紅線)。圖上標示的數字為顯著的趨勢變化

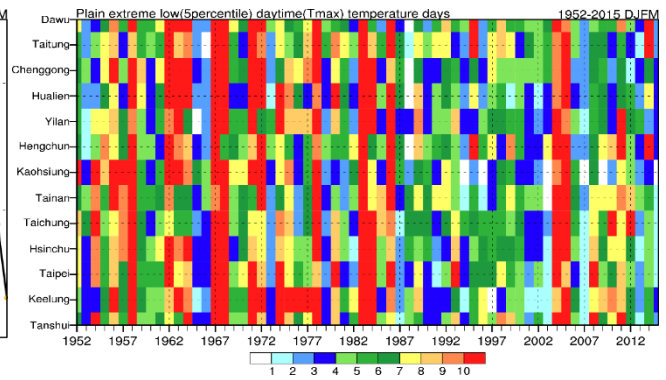


圖 3.2.3B 統計各測站每年的冷晝日數。橫軸為年份，縱軸為測站，色階代表的是日數。

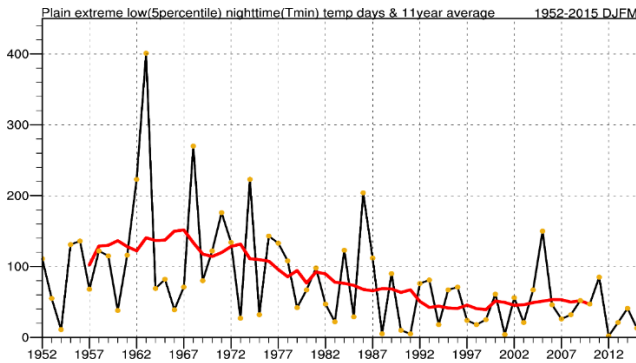


圖 3.2.4A 統計每年發生冷夜的總日數(黑線)及 11 年滑動平均(紅線)。圖上標示的數字為顯著的趨勢變化

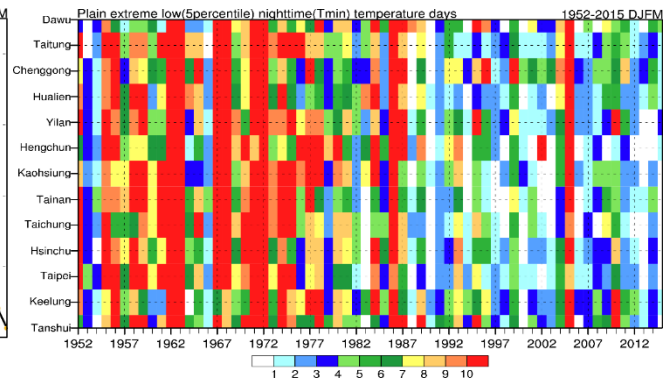


圖 3.2.4B 統計各測站每年的冷夜日數。橫軸為年份，縱軸為測站，色階代表的是日數。

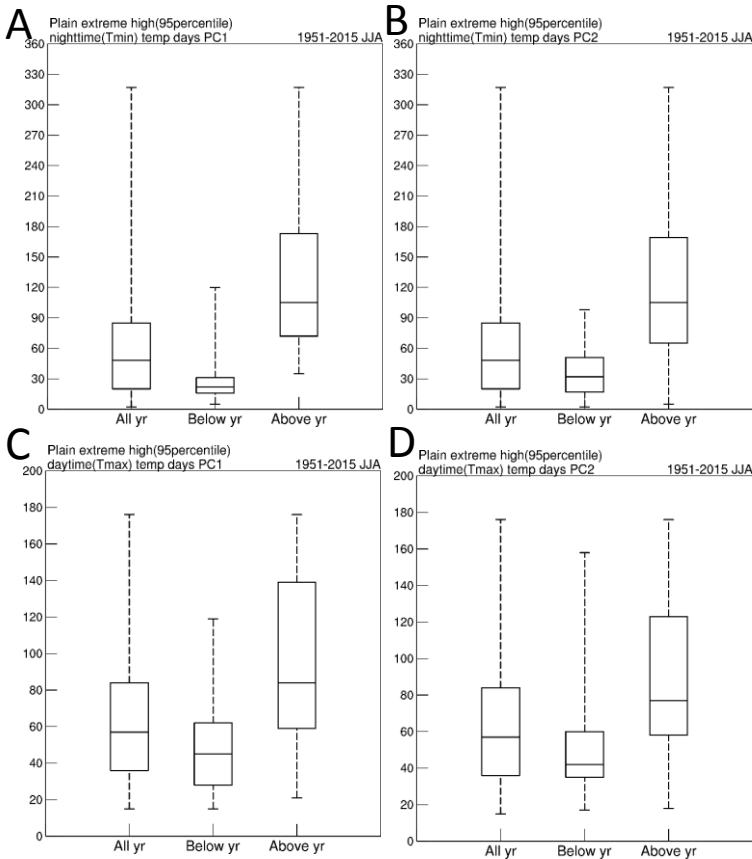


圖 3.3.1(盒鬚圖)

(A)(B)夏季暖夜(Tmin PR95, TN95p) 日數分布。

(C)(D)夏季暖晝(Tmax PR95, TX95p) 日數分布。

A 及 C 為由夏季海溫第 1 模態時間序列(PC1)挑選出 Above yr 及 Below yr，B 及 D 則由夏季海溫 PC2 挑選，並將 Above yr 及 Below yr 的暖晝、暖夜日數以百分位呈現。另外也將所有年份(All yr)的暖晝及暖夜日數以百分位呈現。

Above yr:海溫偏暖年

Below yr:海溫偏冷年

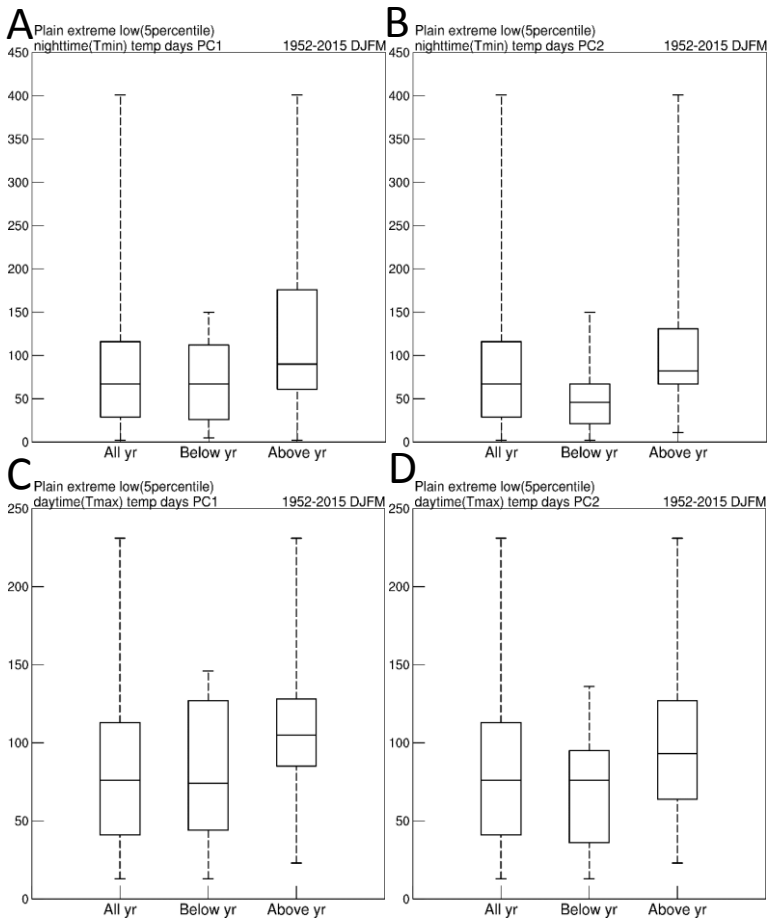


圖 3.3.2(盒鬚圖)

(A)(B)夏季暖夜(Tmin PR95,TN95p)日數分布。

(C)(D)夏季暖晝(Tmax PR95,TX95p)日數分布。

A 及 C 為由冬季海溫第 1 模態時間序列(PC1)挑選出 Above yr 及 Below yr，B 及 D 則由冬季海溫 PC2 挑選，並將 Above yr 及 Below yr 的冷晝、冷夜日數以百分位呈現。另外也將所有年份(All yr)的冷晝及冷夜日數以百分位呈現。

Above yr:海溫偏冷年

Below yr:海溫偏暖年