

台灣地區極端氣候指標之建立與初步分析

陳雲蘭

中央氣象局 氣象預報中心

摘要

近 20~30 年全球氣溫增暖幅度加劇，一般認為全球暖化將影響氣候系統，並造成極端氣候或劇烈天氣頻繁出現，雖然這個論述仍待科學工作清楚說明，不過暖化的現象的確顯著，為了日後能更客觀地分析氣候變異的問題，對極端氣候進行有系統的監測與記錄分析是非常需要投入的工作。

參考美國國家氣候資料中心製訂美國地區極端氣候指標的方法，本研究選取台灣地區 10 個已累積近百年資料長度的測站，使用包含最高氣溫、最低氣溫、累積雨量、降雨日數、單日降水量等 5 個變數，製作台灣地區極端氣候指標。此指標之建立將可提供氣候監測作業中對氣候變異程度的一個客觀認定參考。

一、前言

近幾年「氣候異常」、「極端氣候」經常在出現特殊天氣時躍上媒體版面，台灣的天氣是否真的愈來愈異常了呢？如果是，異常的程度又是如何？要如何來認定呢？本研究的目的即是希望透過一個簡化的綜合指標來觀察台灣地區極端氣候的長期變化情形。

針對特定現象提供一個定量或定性的定義經常是幫助分析問題的方法，例如聖嬰現象、南海季風肇始等氣候事件，研究人員根據該現象發生時大氣與海洋所反應的特徵設計合適的指標，就可以提供一個簡化的初始參考，並且有利於後續進一步問題分析的進行。同樣地，對於寒流、豪雨等天氣系統，也有對應的定義，這除了方便於科學研究上的討論之外，也可為相關作業單位對特定系統提供一個客觀認定的準則。由於大氣系統存在高度複雜性，有些天氣或氣候現象不是一個簡單的指標就能描述清楚，時常也有因不同的觀察角度，而對相同事件有不同的定義方式。但只要將定義說明清楚，簡單的指標仍可以發揮勾勒事件輪廓的作用，更何況若是針對事件最顯著的部份，縱使由各種不同角度來觀察，結果通常也不至於差別太大。

為瞭解台灣地區的氣候變異情形，本研究希望建立一個極端氣候指標，以協助日後對台灣地區的極端氣候現象進行有系統的監測與記錄分析。極端氣候指標的想法及應用由美國科學家 Karl 等人首先提出(Karl 等,1996)，設計的方法是整合一組多變數氣象因子異常情形涵蓋空間分布情形的資料，以簡

化的方式表現氣候極端的程度，使非專業人士及政府政策決策者都能很容易理解。目前美國國家氣候資料中心也根據該文獻定義製作美國地區的氣候極端指標(U.S. Climate Extremes Index)。本文也將以同樣的參考文獻，根據台灣地區現有的氣象資料，製作台灣地區極端氣候指標，以提供氣候監測的定量參考。

二、資料與分析方法

研究氣候問題，需要有足夠大的統計樣本，也就是需要有足夠時間長度的觀測資料。目前在中央氣象局的 27 個局屬氣象站中，有 5 個測站是自 1897 年即開始設站，累計至 2005 年，資料長度已超過百年，它們分別是台北、台中、台南、澎湖及恆春，這幾個站也是分析台灣氣候經常會被參考的測站。再考慮資料量長度居次的，可選取出包含台東、淡水、基隆、彭佳嶼及花蓮等 5 個測站，其中資料最短的花蓮站為 1910 年設站，本文即選取此 10 個測站作為代表，針對 1911 年至 2005 年，分析總計共 95 年時間的長期氣候變化。

在氣象變數方面，有包含最高氣溫、最低氣溫、累積雨量、降雨日數、單日降水量等 5 個變數被使用。由於本文為一個初步性的分析，首先將只針對年平均總值做討論，分月或分季的研究將歸於下一階段進行。上述除了單日降水量的其他 4 個變數，是使用月資料計算出年平均或年累積值以供分析，而單日降水量資料的引用是為了檢查極端日降水的情形，不用做累加，不過由於目前所選取的 10 個站之中，有 4 個站的日資料在 1950 年以前並不齊全，

因此有關於單日降水量極端分析，在 1950 年以前將只使用 6 個測站資料作為代表。

三、 極端氣候指標的定義

描述氣候經常使用的氣象因子是氣溫及降雨相關的參數，本文分析台灣地區的極端氣候，初步仿照 Karl 的方式進行，其對美國地區的指標建立除了使用最高溫度、最低溫度，降雨資料之外，另外還使用乾旱指標，其中乾溼的程度是以乾旱指標來參考，本文則直接以雨量來進行。

台灣極端氣候指標的製作方式如下：分別由 5 個與溫度或降水相關的參數計算全台出現極端現象的測站比例，該數值可表示每年台灣地區出現大範圍極端氣候的程度。得出 5 個參數指標後，最後再以數學簡單加總平均，以獲得一個整合式的極端氣候綜合指標。

極端現象的定義為事件位於該氣象變數序列中排序後的極大或極小的 10% 排名內。首先將各使用參數自 1911 年至 2005 年共 95 年的資料序列由小到大依序做排序，則 90% 排名位置的數值定義為該數列中極端偏高的參考值，高於此值則表示達極端程度。另一方面，10% 排名位置的數值定義為該數列中極端偏低的參考值，比此數值偏低也達極端程度。各參數指標為 2 個高低極端程度的總和，不過對於單日降水極端程度的指標，因只檢視高值極端，所以將該計算後結果乘以 2 倍，以使最後製作綜合指標時，能與其他參數指標具相同權重。各參數指標計算方式細列如下：

- (1) 指標 1：(平均最高溫度大於各該站 90% 排名的測站數與全部測站數的比值) + (平均最高溫度小於各該站 10% 排名的測站數與全部測站數的比值)
- (2) 指標 2：(平均最低溫度大於各該站 90% 排名的測站數與全部測站數的比值) + (平均最低溫度小於各該站 10% 排名的測站數與全部測站數的比值)
- (3) 指標 3：(累積雨量大於各該站 90% 排名的測站數與全部測站數的比值) + (累積雨量小於各該站 10% 排名的測站數與全部測站數的比值)
- (4) 指標 4：(降雨日數大於各該站 90% 排名的測站數與全部測站數的比值) + (降雨日數小於各該站 10% 排名的測站數與全部測站數的比值)
- (5) 指標 5：2 * (日雨量出現各該站前 5 名大雨排名的測站數與全部測站數的比值)
- (6) 台灣極端氣候綜合指標(TCEI)：5 個參數指標值的算術加總平均。

由於各指數值表示全台所選 10 個測站中達到極端程度的比值，因此指數值愈高表示出現極端紀錄的範圍愈廣，也代表台灣地區氣候極端的程度。對每 1 年而言，每 1 單項高值或低值極端指標的理論期望值為 10%，單項參數指標為高值或低值指標的加總，因此期望值為 20%，而台灣極端氣候綜合

指標的期望值也是 20%。指數超出期望值愈多，則顯示其隨機性愈小。

四、 極端氣候指標初步分析

本章接下來將分別說明各指標分析結果，圖 1 至圖 5 分別為前述 5 個參數指標分析圖。由於指標 1 至指標 4 是極端高值與極端低值兩種指數的組合，為更仔細觀察其可能存在的不同變化特徵，製圖方式採用主副座標方式，將出現極端高值測站比例繪製在圖內的下方，而極端低值則依反向次序座標呈現於圖內上方。指標 5 描述日雨量極端情形，並無對應的極端低值，因此圖 5 只有一組極端高值比例序列。對於每一個序列，皆再繪製相對應的 11 年滑動平均值，以方便觀察長時間的變化趨勢。此外，整個 95 年的長期平均值也以虛直線表現在圖中。如前一章所述，由於極端的認定是取所有樣本排序之後兩端各 10% 的個案，因此對每一組極端高值或低值而言，其每一年出現極端情形的期望值為 10%，觀察圖中長期平均值也約在 10% 附近。

(一) 指標 1 (使用變數：平均最高氣溫)

圖 1 下方序列為平均最高氣溫出現極端偏高的測站比例，也代表著氣候大範圍異常偏暖的程度。該指數在 1940 年代以前皆不超過 10% 的期望值，甚至多數年表現沒有任一個站達到偏高溫情形。之後的 60 多年開始有高達 40% 的數值間隔幾年出現，並略有一些年代際的周期變化，到了期末，1998 年、2002 年及 2003 年出現更大範圍的極端情形，其中 2002 年指數達 90%，表示幾乎是全台性的偏暖現象。這 3 年的高值也使 1998 年至 2003 年這段時間的平均值拉高，因而產生與過去年份明顯不同的躍升現象，不過在資料組最後 2 年，也就是 2004 年及 2005 年，指數已下降至 10% 以下。

平均最高氣溫出現極端偏低的異常程度方面，由圖 1 上方序列可觀察到近百年來的趨勢呈現清楚的兩個波段變化：由 11 年滑動平均線來看，在 1940 年代以前為最明顯偏冷階段，其中 1917 年單年指數達 100%，表示該年全部 10 個參考測站皆出現極端低值現象。約 1940 年代至 1970 年代指數值相對較小，多在期望值以下，其中 50 年代至 60 年代中期甚至是不見任一站有極端情形。到了 80 年代是另一段高峰期，除了其中的 1984 年及 1986 年反應 50% 以上的顯著高值外，也可見此期間經常至少有 1 個站達到極端的程度。1996 年以後 10 年則不再見到任一站平均最高氣溫屬於極端偏低類別。

整體而言，平均最高氣溫的偏高及偏低指標皆反應近百年來在前 20~30 年為相對最低溫時期及 1996 年以後的最近 10 年為相對最高溫時期的特徵，不過，極端偏低指標存在有較明顯的年代際變化。此外，由指數值大於 50% 的年份個數比較，偏

低指標有 9 年，偏高指標有 5 年，表示平均最高氣溫出現極端偏低現象的空間一致度比較明顯。

(二) 指標 2 (使用變數：平均最低氣溫)

平均最低氣溫的極端指標(圖 2)，更加反應出資料前期為相對偏冷，後期相對偏暖的長期趨勢變化特徵，由於高指數分別明顯集中於資料前後時段，也使此變數的兩種極端類別皆沒有呈現年代際的變化，這點與指標 1 表現不同。個別來看極端偏高方面，在 1986 年以前只有微弱的極端信號零星出現，較特別的是在 1952 年至 1954 有連續 3 年出現極端信號增長情形，但其最高值也只有 30%。期末近 20 年則為指數高峰，其中 1998 年為全台性極端偏高溫，1994 年及 2000~2002 的連續 3 年異常高溫現象也都達 8 成以上的空間分布程度。對應的平均最低氣溫極端偏低表現方面，顯著高值落在 1917 至 1927 年期間，其中 1917、1918、1925 及 1926 年為全台性偏冷，1923 及 1927 年也有 90% 的高值指數。

平均最低氣溫的高低極端值分別以明顯高值指標集中在序列兩端方式呈現，清楚顯示近百年來前後期的顯著差異性。這個現象也與過去研究指出台灣溫度暖化的特徵在最低溫度方面的線性趨勢比最高溫度明顯的結論一致(許等，2001)。

(三) 指標 3 (使用變數：累積雨量)

台灣地區實際雨量年際之間變化大，其長期變化並不像溫度具有較明顯的線性趨勢(盧，2003；許等，2001)。本研究以出現極端值的空間分布角度分析，同樣見到雨量有著與溫度指標不同的特性。

觀察圖 3 中位於下方代表大範圍極端多雨信號的序列，極端信號相對於溫度變數比較均勻地分布在各年之中，如果根據 11 年滑動平均線，包含 1940 年代、1960 年代中期至 1970 年代中期、以及資料期末 1998 年之後的 3 個時段是相對高值，其中 1947 年有 9 成測站同時出現極值，是使上述第 1 段期間平均值拉高的重要因素之一；而第 2 段期間，1972 年至 1974 年連續 3 年有 2 成至 4 成的測站達到極端多雨，也是此序列中少見的現象；最後一段期間，1998 年至 2001 年同樣具有連續性較強極端信號，除了 1999 年指標值為 10% 之外，其他 3 年皆在 40% 以上。值得注意的是，序列中極端信號超過 4 成以上的 9 個年份中，有 5 年皆出現在 1990 年之後，其中包含了最末端的 2005 年，這 1 年指標值達 60%，在整組資料序列中強度僅次於 1947 年。

圖 3 位於上方的序列代表極端少雨的空間分布程度，同樣是存在較大的年際變化。不過相對於多雨極端個案，偏乾現象的空間分布一致性略為偏高，以高於 30% 指數值作為比較的參考點，多雨年有 11 次，少雨年則有 17 次。少雨年中 1923 年有 9 成的代表站達極端偏少，而 1963 年及 2003 年則為 7 成比例，是百年來 3 個最乾年份。此外，1963 年

至 1965 年連續 3 年指數值在 30% 以上，是近百年延續時間最長的大旱期，另一個有顯著指數值並在接連年份出現旱訊的是近期的 2002~2003 年(許等，2002)。

由雨量多寡指標看來，區域性小旱或小澇其實是經常可見的氣候背景特徵。而參考合成的指標 3 數序(圖略)，11 年滑動平均線顯示資料最後一個 10 年為近百年來的高值，自 1998 年起至 2005 年，除了 2004 年之外，其他 7 年皆有高值指標，這段時間旱澇交替出現，是值得注意的現象。

(四) 指標 4 (使用變數：累積降雨日數)

雨日多寡極端值在圖 4 的上方及下方序列分別集中於兩端，表示出近百年來前期雨日偏多，後期雨日偏少的特徵。其中多雨日在前 1950 年期間，又分成 2 段高峰期，大約分別落在 1920 年代及 1940 年代期間。其中 1947 年指數值 70%，為序列中最高值，該年同時是累積雨量最極端偏多的年份。而在 1950 年代以後，除了 1970 年、1975 年及 1984 年仍有 3 或 4 成測站有極端雨日偏多現象外，其他年份幾乎沒有多雨日的訊號。

從雨日偏少角度觀察，圖 4 上方序列顯示除了前後兩段時間的差異之外，偏少雨日指標有集中在 1991 年之後的情形，其中又以 1993~1995 年及 2002~2004 年為 2 個出現連續 3 年大範圍雨日偏少的年份。

(五) 指標 5 (使用變數：日降雨量)

上述 4 個指標皆為使用年平均資料來觀察一段較長時間平均值的變異程度，不過極端氣候當然也可以由極端天氣現象來表現，指標 5 乃是使用日雨量資料觀察是否出現極端降水的情形。結果如圖 5 所示，可見此指標並不存在明顯的長期線性趨勢，11 年滑動平均值多在期望值 10% 附近。

序列中在後 50 年資料顯示，有超過 1 半的年份皆有 20% 以上的指數值，表示即使每年有 1 個或 2 個測站出現極端單日降水的現象，其實在氣候上並不算特別。不過值得注意的是，自 2000 年起，已連續 6 年每年皆有測站出現極端降水，這是與前期資料不同的地方。

(六) 台灣極端氣候綜合指標(Taiwan Extreme Climate Index)

由上述 5 個指標以簡單的算術平均加總定義為台灣地區極端氣候的參考指標。其每年的期望值為 20%。先由 11 年滑動平均線來看(圖 6)，曲線近百年的變化約成一個凹型，台灣氣候在資料初期及末期的兩個時段屬於相對極端，分別是 1910 年代中期至 1920 年代，以及 1990 年代之後。在上述 5 個指標也多反應有此項特徵。

如若以此綜合指標作為台灣氣候異常程度的參考，可見最高值的 3 年皆出現在近期，分別是 1998

年、2002 年及 2003 年，其指標值皆達 60%。其中 1998 年是高溫多雨的異常氣候年，而 2002 及 2003 年則是高溫少雨的異常氣候年。1930 年代以前的高值主要的是溫度偏低的貢獻。1947 年則是洪澇年，雨量及雨日皆異常偏多。1963 年與 2002~2003 年同為顯著乾旱年，但 1963 年除了最低溫有一些偏冷的訊號外，其他溫度指標並沒有明顯極端現象。另外由 2000 年至 2005 年指標值皆超過期望值來看，近幾年台灣的氣候的確可說是有比較異常的情形，高溫與旱澇現象皆是指標值偏高的貢獻。不過指標值並不是逐年增加，在 2003 年的 60% 高值之後，2004 年及 2005 年降至 30% 以下，主要是這 2 年溫度偏暖程度較為下降的緣故。

五、 結語

本文為建立台灣地區極端氣候指標的初步嘗試，首先使用全年平均資料作為長期趨勢變化的分析參考，後續計劃進一步檢視各季節的變化情形。此外，由於極端氣候指標的設計為以大範圍出現一致極端信號的比例做為極端程度的參考，為了提高指數值的代表意義，後續也將使用 1951 年之後更為密集的氣象站資料，重新製作近 50 年來的極端氣候指標，並且再與使用百年測站的分析結果進行比對。

六、 參考文獻

吳明進，1992，台灣的氣候變化-氣溫和降水。大氣科學，20，295-318。

許晃雄、柯文雄、徐光蓉、鄒治華、陳正達，2001，台灣環境變遷與全球氣候變遷衝擊之評析-氣候變遷(II)，國科會計畫編號：NSC89-2621-Z002-014。

許晃雄、陳圭宏、陳雲蘭，2002：從澇到旱：2001 年夏季-2002 年春季間大尺度環流的轉變。2002 地球系統科學研討會論文集，A-18。

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

陳雲蘭，1997：台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論文彙編(86)，491-498。

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

Thomas R. Karl, Richard W. Knight, David R. Easterling, and Robert G. Quayle, Indices of Climate Change for the United States. Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 77, 279-292.

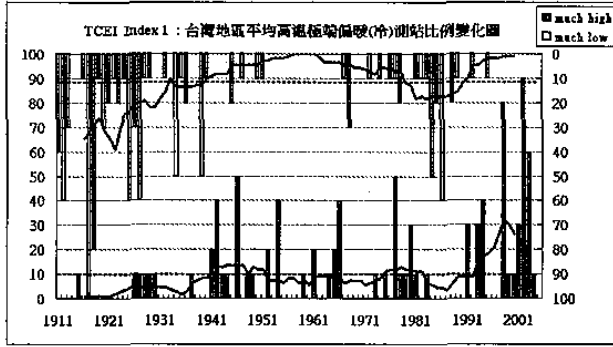


圖 1、台灣地區平均高溫極端偏暖(圖下方)及偏冷(圖上方)測站比例年際變化圖。其中長條圖為逐年實際比例值，實心曲線為其 11 年滑動平均值，另外虛直線為長期平均。

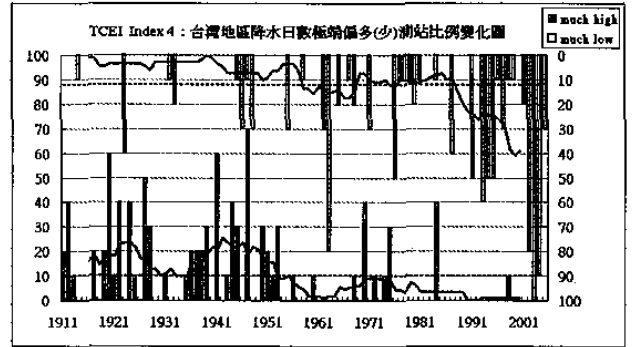


圖 4、同圖 1，但為台灣地區累積降雨日數極端偏多(圖下方)及偏少(圖上方)測站比例年際變化圖。

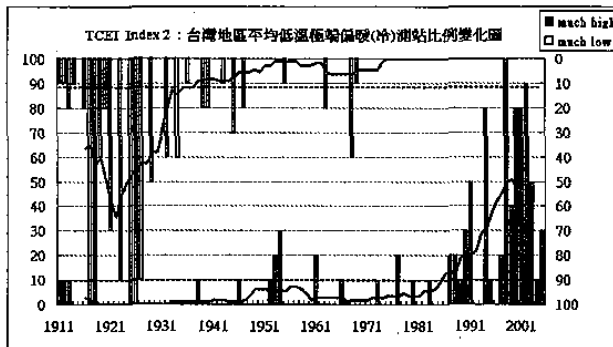


圖 2、同圖 1，但為台灣地區平均低溫極端偏暖(圖下方)及偏冷(圖上方)測站比例年際變化圖。

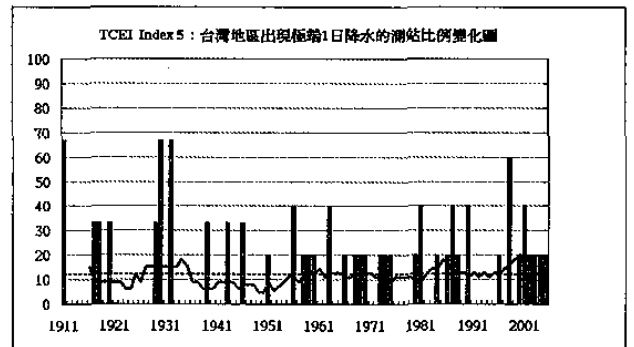


圖 5、台灣地區出現日極端降水的測站比例年際變化圖。其他說明同圖 1。

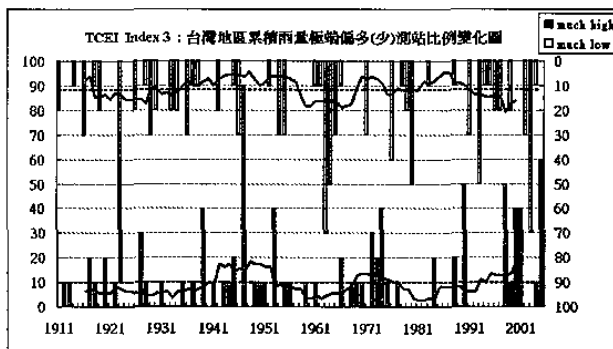


圖 3、同圖 1，但為台灣地區累積雨量極端偏多(圖下方)及偏少(圖上方)測站比例年際變化圖。

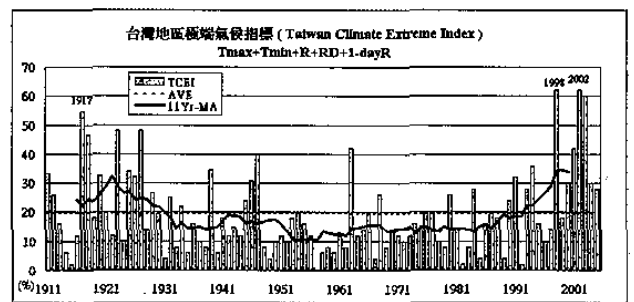


圖 6、台灣地區氣候極端多變數複合指標年際變化圖。其他說明同圖 1。