

臺灣地區日較差的百年變化(1901-2008)

黃燕儀¹ 翁叔平²

¹ 國立臺灣師範大學地理系研究所

² 國立臺灣師範大學地理系

(中華民國九十九年十一月十一日收稿；中華民國一百年三月十八日定稿)

摘 要

本研究透過三方向的主成份分析法 (STATIS: Structuration des Tableaux A Trios Indices de la Statistique) 對臺灣地區日較差 (DTR: Diurnal Temperature Range) 的長期變化及其和氣象參數間同時進行統計分析。研究結果顯示, (1) 白天最高溫的上升趨勢小於夜晚最低溫的上升趨勢, 此白天和夜晚之間的熱力不對稱, 導致 DTR 自 1901 年開始呈現逐漸下降趨勢; (2) 臺灣地區在長期的平均日照時數的趨勢上都呈明顯下降, 然而日平均最高溫卻在增溫中, 此一矛盾的趨勢推測可能與人類活動所排放的氣溶膠增加有關, 然而氣溶膠對日照時數的影響, 主要在於氣溶膠的成雲機制, 但是, 根據平均雲量的分析結果顯示近年來的雲量卻在減少中, 以 ISCCP 衛星雲資料檢測顯示, 低雲族有顯著的下降趨勢, 依據此結果推估, 測站的總雲量或有可能顯現在衛星的低雲資料上。由此可推論, 人為活動所排放的氣溶膠不是導致日照時數下降的主因。此外, 根據 STATIS 分析百年的平均溫度記錄, 本文發現(3)臺灣地區平均溫度呈上升趨勢, 以冬季最為明顯, 此研究結果有別於前人的分析結果; (4)臺灣地區的春季降雨有減少的現象; (5)水氣壓在夏(冬)季呈現減少(增加)趨勢, 而相對濕度皆為下降趨勢。

關鍵字：日較差、氣候變遷、主成份分析、氣溶膠

一、前言

近百年來全球平均溫度已上升約 0.3-0.6°C (Salinger, 1995)。自 1950 年起，日較差 (Diurnal Temperature Range, DTR)，即白天最高溫(Tmax)和夜晚最低溫(Tmin)之差，在北半球為主的大部分地區，呈現下降的趨勢(Karl et al., 1993; Salinger, 1995; Dai et al., 1999; Zhou et al., 2008)。導致此現象的原因乃由於 Tmax 的增溫遠不及 Tmin 的上升幅度(Salinger, 1995; Easterling et al., 1997; Dai et al., 1999; Zhou et al., 2008, 2009)。這種不對稱的暖化現象將會影響到天氣或氣候上的改變，例如霜凍天數的減少、暖夜的增加，並且加長熱浪的頻率及強降雨的增加(IPCC, 2007; Zhou et al., 2009)，進而衝擊人類的的生活。

Easterling et al. (1997) 發現 DTR 在南半球的許多地區，例如南美、紐西蘭、澳洲、印尼和部分的太平洋島國，反而呈現上升的趨勢。他們還發現北半球某些地區的 Tmin 和 Tmax 的變化也有別於上述不對稱的一般趨勢。例如在中歐的阿爾卑斯山地區，兩者上升的幅度相當，導致 DTR 沒有明顯的變化。其他研究則發現在 1950-2004 年 DTR 大幅下降的趨勢多分布在乾燥及半乾燥的區域(Zhou et al. 2008)。Dai 和 Trenberth (1999) 則觀察到北半球中高緯度地區，冬季 DTR 一般都小於夏季 DTR，而在低緯度、島嶼和海岸地區的 DTR，季節變化普遍不明顯。

除此之外，各地區的環境變化特性，如熱島效應、農業灌溉方式、沙漠化、土地利用變遷(Karl et al., 1993; Easterling et al., 1997)，以及植被類型(Zhou et al., 2008)，伴隨區域地形與局部環流(Salinger 1995)的雲量、降雨(Easterling et al., 1997; Dai et al., 1999; Zhou et al., 2008)、水汽和土壤濕

度(Dai et al., 1999)等氣象參數的改變，都可能導致 DTR 出現區域差異。

DTR 對雲量的變化相當敏感。一方面，雲在白天扮演輻射遮蔽的角色，抑制 Tmax 的上升；另一方面，雲在夜晚因增加向下的長波輻射，而抑制了 Tmin 的下降。雲的這種對長、短波輻射的雙重效應將導致 DTR 下降(Dai et al., 1997, 1999; Zhou et al., 2008)。Dai 和 Trenberth (1999) 指出，因受到雲量影響所導致 DTR 的降低，主要發生在北半球中緯度地區的乾熱季節。此外，降雨的變化在區域或大尺度上都會影響到各氣象參數的改變，一般而言，在乾暖的季節，降雨可降低地表溫度；而在高緯度地區的冬季，降雨則可使溫度上升，而降雨的增加，主要在加強 Tmin 的暖化，導致 DTR 的大幅下降(Zhou et al., 2008)。

太陽的短波輻射是造成 Tmax 直接變化的主要因素(Zhou et al., 2008)。因此，日照量同時也是影響 DTR 改變的重要變數之一(Ye et al., 2009)。除此之外，水汽、相對濕度、土壤濕度 (Dai et al., 1999)、植被(Zhou et al., 2008)和風速(Karl et al., 1993; Easterling et al., 1997; Dai et al., 1999)等皆為影響 DTR 變化的因子。

近年來，溫室氣體（特別是二氧化碳）的排放，可以造成 Tmin 的上升(Karl et al., 1993; Kukla and Karl, 1993; Dai et al., 1997; Zhou et al., 2008)，而對流層中的氣溶膠 (Aerosols) 則會抑制溫室氣體所造成的暖化(Salinger, 1995)。在全球尺度上，溫室氣體的暖化效應大於氣溶膠的冷卻效應；而在區域尺度上，氣溶膠的冷卻效應則大於溫室氣體的暖化(Ramanathan et al., 2001)。人為的活動將直接或間接地影響了 DTR 大氣參數的變化，因此在探究 DTR 與各氣象參數的關係，人

為的影響是做為自然因素於特殊表象下的另一個闡釋觀點。

由此可知，氣候上所顯現的某個現象，不僅受到小部分因子的影響，而是由多個相互影響、作用下的因子所呈現出來的最終結果。因此，探究氣候的變化，不能只考慮單向式的線性關係。

由於前人對長期氣象變數的分析研究上，多使用線性趨勢分析法，但是，線性趨勢分析僅考慮到時序的變化而無法有效地照顧到空間上的分佈。此外，線性趨勢分析對時序間距具有非常敏感表現 (Barbosa and Andersen, 2009)，有鑑於此，本研究採用了以排序分析的三方向的主成份分析 (STATIS: Structuration des Tableaux A Trios Indices de la Statistique)，以時序、測站和各變數同時進行相關性分析，此方法可觀測到各變數曲線趨勢的斜率變化，因而有別於一般的線性趨勢。此外，此分析方法和選取之時序及變數亦有別於作者於 JMSJ (2010) 之研究，籍此作為該研究之後續追蹤，增加本研究論點之根據。

本研究希望借由臺灣主要測站所觀測到的長期 DTR 變化，(1)了解臺灣地區 DTR 的長期趨勢；並(2)深入探究雲量、降雨、水汽、相對濕度、日照時數等對臺灣地區 DTR 變化的影響，找出造成臺灣地區 DTR 差異的主要參數間的權重；(3)根據 DTR 在時空分佈上的變化，分析 DTR 在臺灣地區的時空差異。

本研究擬定的研究流程將分為三個階段進行，第一階段在於研究主題的確立、文獻的蒐集與探討及測站資料的收集與整理，第二階段則對資料進行檢定和分析，而最後階段則針對分析結果進行詮釋。

二、資料來源與研究方法

(一) 資料來源

本研究所使用的測站資料取自於臺大大氣資料庫 (<http://dbar.as.ntu.edu.tw>) 中央氣象局 (Central Weather Bureau, CWB) 6 個資料豐富度和時間序列相對完整的代表測站，其中包括了臺北氣象站 (TP, 466920)、臺中氣象站 (TC, 467490)、臺東氣象站 (TT, 467660)、臺南氣象站 (TN, 467410)、澎湖氣象站 (PH, 467350) 和恆春氣象站 (HCH, 467590)。並從中選取平均氣溫、DTR、Tmax、Tmin、平均雲量、累積降雨量、日照時數、相對濕度及平均水汽壓 9 項自然變數，從 1901-2008 年共 108 年時間序列的逐日數據資料。

(二) 研究方法

首先對氣象資料進行資料標準化 (standardization) 處理，消除因季節性所導致的偏差，並將各變數的貢獻視為同等權重，同時可透過同樣的分布基準進行不同資料間的比較。標準化公式表示如下：

$$Z_i = \frac{x_i - \bar{x}_n}{\sigma_i}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, i$$

由於缺失資料僅佔總體數的 1.8%，因此，對於缺失的測站資料不於予任何的處理，只對測站資料的表述採用原始的呈現，並在不影響主成份分析結果的前提下，只給予隨機分配的數據，使其絕對值小於原始資料數據的最小絕對值。

STATIS (Stanimirova et al., 2004)

多變數的研究，往往在各變數間存在一定的相關性，使其觀察的數據於一定程度上出現信息重疊的情況，因此本研究採用主成份分析，去除變數間的相關性，進而分析各變數間的權重和其

相關性。然而一般常用的主成份分析僅止於二維平面式的分析法，即在一定的時間點上對自變量和因變量的解析，但是環境資料是多面向且複雜的，如果僅止於二維平面式的分析，則無法有效地分析各變數在不同的空間和時間上的貢獻程度。

本研究採用了 STATIS 分析各變數在各測站於不同的時間點上所表現出來的貢獻程度，即在一段時間軸上，分割每一個時間點於不同空間及變數的權重及其之間的相關性。STATIS 的主要目的在於 (1) 比較和分析三組資料之間多變數 (multivariate correlation) 的相關性，(2) 依據變數間的相互關係，經驗決定統計顯著的主模，(3) 並分析在該主模下各組資料之間的相互依存度 (Hervé Abdi and Dominique Valentin, 2007)。

設 Y_t 為 $I \times J_t$ 階矩陣， I 代表時間序列， J 代表測站，預處理後表示為矩陣 X_t ，其中 t 表示不同的氣象變數，並將之轉算為 $I \times I$ 純量積 (scalar product) 矩陣表示如下：

$$S_t = X_t X_t^T$$

為取得各變數之折衷 (compromise) 權值，則需進行矩陣相關係數 (R_V -coefficient) 之評估，設 C 為 $T \times T$ 階轉軸矩陣，也可表示為 $c_{t,t'}$ ，取值範圍在 -1 和 +1 之間，表示公式如下：

$$R_V = c_{t,t'} = \frac{\text{trace}(S_t^T S_{t'})}{\sqrt{\text{trace}(S_t^T S_t) \text{trace}(S_{t'}^T S_{t'})}}$$

獲得轉軸矩陣 C 後進行特徵值分解 (eigendecomposition)，表示公式有：

$$C = P\Theta P^T$$

其中 P 表示 C 的特徵向量矩陣，而 Θ 則為其

對角矩陣特徵值。以一個指定之特徵向量的元素做為估算此特徵向量。

$$G = P\Theta^{\frac{1}{2}}$$

由於此權值之計算為一去中心 (non-centered) 矩陣，僅以第一特徵向量裡最大值為其最高權重，所以實際上，該權值為重新排序後 C 的第一特徵向量裡的元素，並使其總和為 1，此為權向量 α 。因此，把不同變數 t -th 的權值表示為 α_t ，而其折衷矩陣 (compromise matrix) 為 S_+ ，表示公式如下：

$$S_+ = \sum_t \alpha_t S_t$$

最後對 S_+ 進行主成份分析。

$$S_+ = Q\Lambda Q^T$$

根據 Barbosa 和 Andersen (2009) 的研究指出，這類以排序分析的主成份趨勢分析法 (Trend-EOF_s) 相較於傳統的主成份分析法更適用於低頻的氣候訊息，即便是短期的時間序列亦能顯現其潛在趨勢。

三、結果分析與討論

依據 STATIS 分析法從 1901-2008 年臺灣 6 個代表測站的 9 項自然變數，共 108 年的長期趨勢分析結果得出唯一主模，即為氣候變遷模態，佔總變數特徵值百分比的 62.14% (805.28)。

根據第一主模結果得出不同季節的標準化距平 (圖 1)，分析百年來臺灣 6 個測站分別於春、夏、秋和冬四季的貢獻程度。春季和冬季時分，各測站給予的訊號強度以 TT 測站最為明顯，分別依序有 TN、TC、TP、HCH 和 PH 及 TN、TC、

TP、PH 和 HCH；夏季和秋季，權重值較高的測站以 TN 測站的訊號最為明顯，按序則有夏季的 TT、TP、TC、PH 和 HCH 及秋季的 TT、TC、TP、PH 和 HCH。根據圖 1 各季節不同測站的平均權值結果顯示，可概分為以 TN 和 TT 為主的南部測站，再者是包括 TP 和 TC 的中北部測站和外島及沿海的氣候背景測站 HCH 和 PH。在氣候變遷的主模式下，受影響程度最高的測站以南部測站為主，其次為中北部測站，而背景測站的表現並不顯著。進一步分析各季節 6 個測站的權值變化，1955 年前，夏季受影響程度較明顯的地區以臺灣南部地區為主，冬季則各地變化不大；1955 年後，北部地區在夏季時權值開始上升，冬季則以南部地區受影響的程度變高，暗示著在暖化的大趨勢下，熱帶擴張已延伸至夏季的北部地區和冬季的南部地區。

根據 STATIS 分析結果顯示，臺灣地區百年來的平均溫度在 1955 年後呈顯著的上升趨勢，夏季平均溫度的增溫趨勢在近年來出現持平傾向（圖 2a），而冬季的平均溫度則有持續上升的趨勢（圖 2b）。探究臺灣地區近百年來的 T_{max} 和 T_{min} 趨勢（圖 3a, 3b），發現 T_{min} 呈顯著的上升趨勢，然而 T_{max} 卻出現持平並在近年有下滑的潛在趨勢。進一步分析 T_{max} 在各季節的整體趨勢，除冬季 T_{max} 是呈持續上升趨勢外，春、夏、秋三季皆在近年都出現持平或下滑傾向，特別是夏秋季節的下降趨勢明顯。由於 T_{max} 不明顯的增溫趨勢，和 T_{min} 的顯著上升，因此導致 DTR 出現明顯的降低，此外在 2006 年後 T_{min} 的異常上升和 T_{max} 的持平，致使 DTR 出現大幅度的下降（圖 3c）。進一步探究 DTR 和 T_{max} 及 T_{min} 之間的整體關係，可分為三個時期，第一時期為 1904 年前， T_{max} 的下降振幅較 T_{min} 大，故而在

DTR 表現上為下降傾向；而第二時期為 1904-1970 年，由於 T_{max} 下降振幅大量減小，並在 1950 年逐漸轉為上升趨勢， T_{min} 則在 1960 年後才呈增加趨勢，因此在 DTR 表現上出現明顯的增溫振幅；第三時期則為 1970 年後， T_{max} 的持平 and 近年的下滑傾向及 T_{min} 的顯著上升，導致 DTR 的明顯下跌。

雲量的覆蓋可以抑制 T_{max} 的上升，同時加強夜間的暖化作用，達到抑制 DTR 的上升。根據圖 4a 的趨勢分析得出，臺灣地區百年來平均雲量的整體趨勢在 1985 年後呈下降趨勢，依據各季節平均雲量的變化分析，夏季在 1985 年後平均雲量明顯減少，冬季則無明顯趨勢 ($P < 0.05$)。此外，日照時數在 1960 年後出現大幅度的下降（圖 4b），而 T_{max} 卻呈顯著增溫。根據 Liu et al. (2002) 的研究指出，人為排放的氣溶膠對日照時數的下降具有一定的影響。但是，氣溶膠對日照時數的影響，主要在於氣溶膠的成雲機制 (Ramanathan et al., 2001)，而根據平均雲量的分析結果顯示，近年來的雲量卻在減少中。回顧相關研究，Liu et al. (2002) 也發現日照時數的下降，不僅只出現在主要的大都市地區，更是發生在全臺灣各地，即便是高山地區也出現了下降的趨勢，因此對於日照時數的下降，除了氣溶膠的可能影響外，同時亦存在著其它的可能因素。

依據 1901-2008 年平均累積降雨量的長期趨勢結果顯示，降雨變化在春季時分有輕微減少的傾向（圖 5），主要發生在臺灣東部地區。此外，從臺灣各測站平均水汽壓的長期趨勢得出，在 2002 年後平均水汽壓有減少的趨勢，深入分析各季節平均水汽壓的變化，春季平均水汽壓呈持平並在近年有下滑傾向，而夏（圖 6a）秋二季則在近年來的平均水汽壓都出現明顯的下降，唯冬季

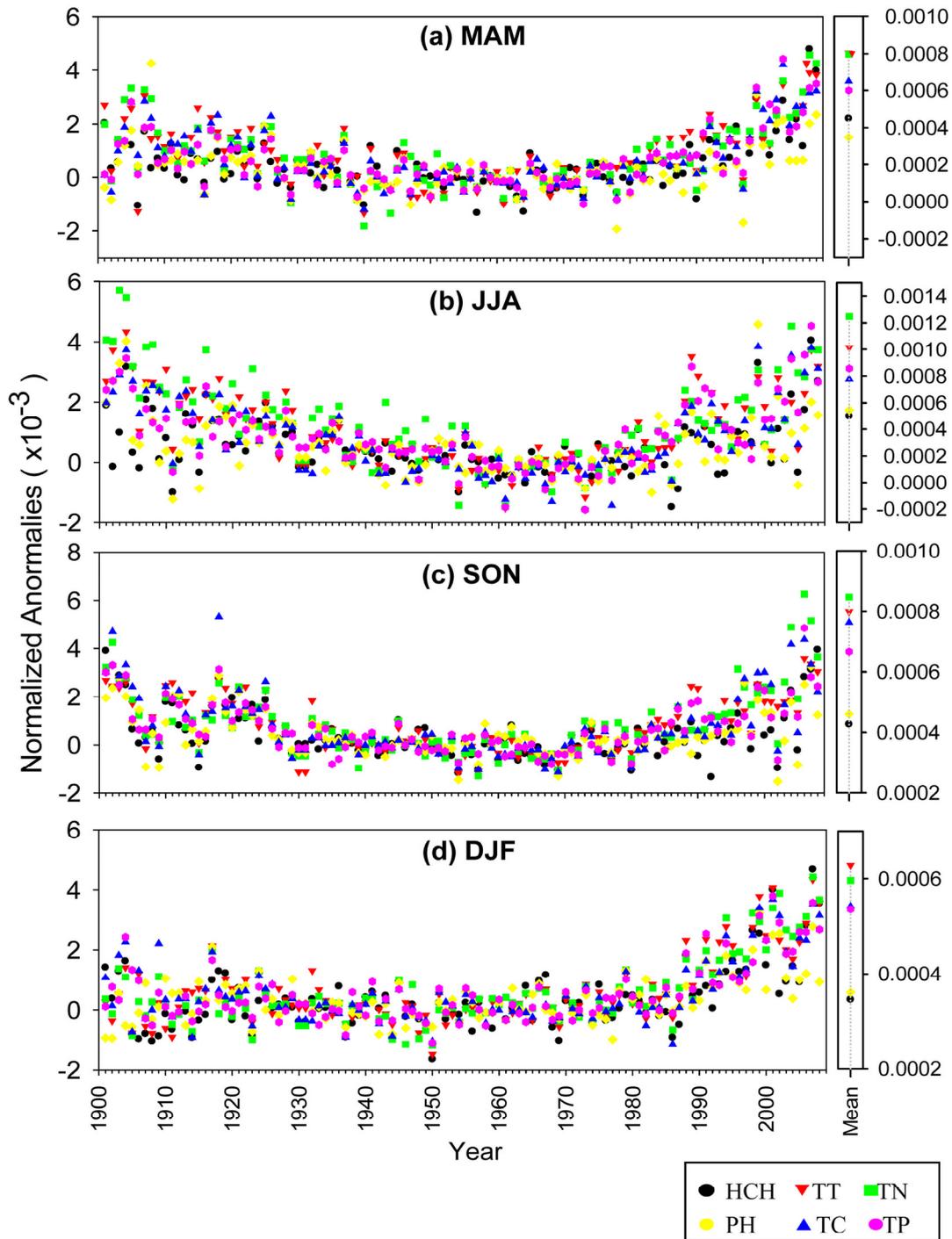


圖 1 臺灣地區 6 個測站在 1901-2008 年(a)春季(MAM)；(b)夏季(JJA)；(c)秋季(SON)和(d)冬季(DJF)四季的貢獻程度和各季的整體趨勢，所有季節的趨勢皆達至統計上的顯著性($P < 0.05$)。

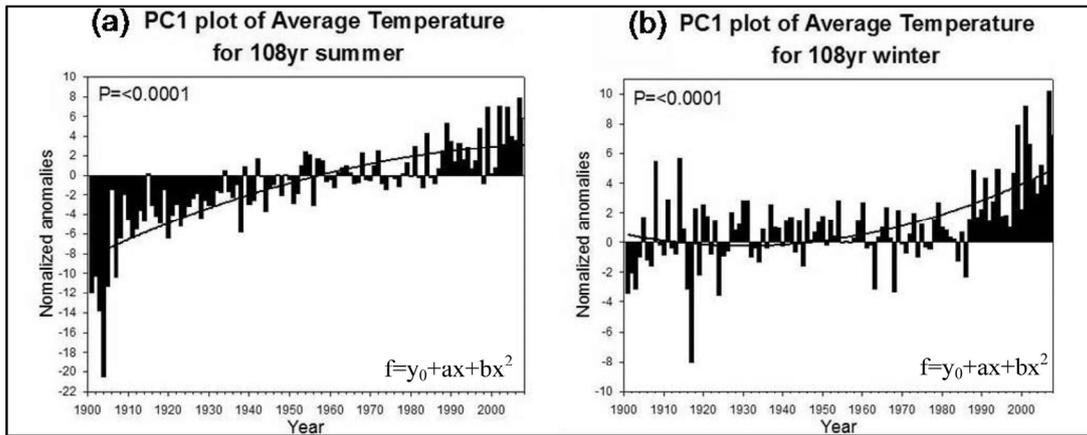


圖 2 根據 STATIS 分析結果進行二次函數回歸得出，臺灣地區 6 個測站 1901-2008 年 108 年(a)夏季和(b)冬季平均溫度的趨勢。

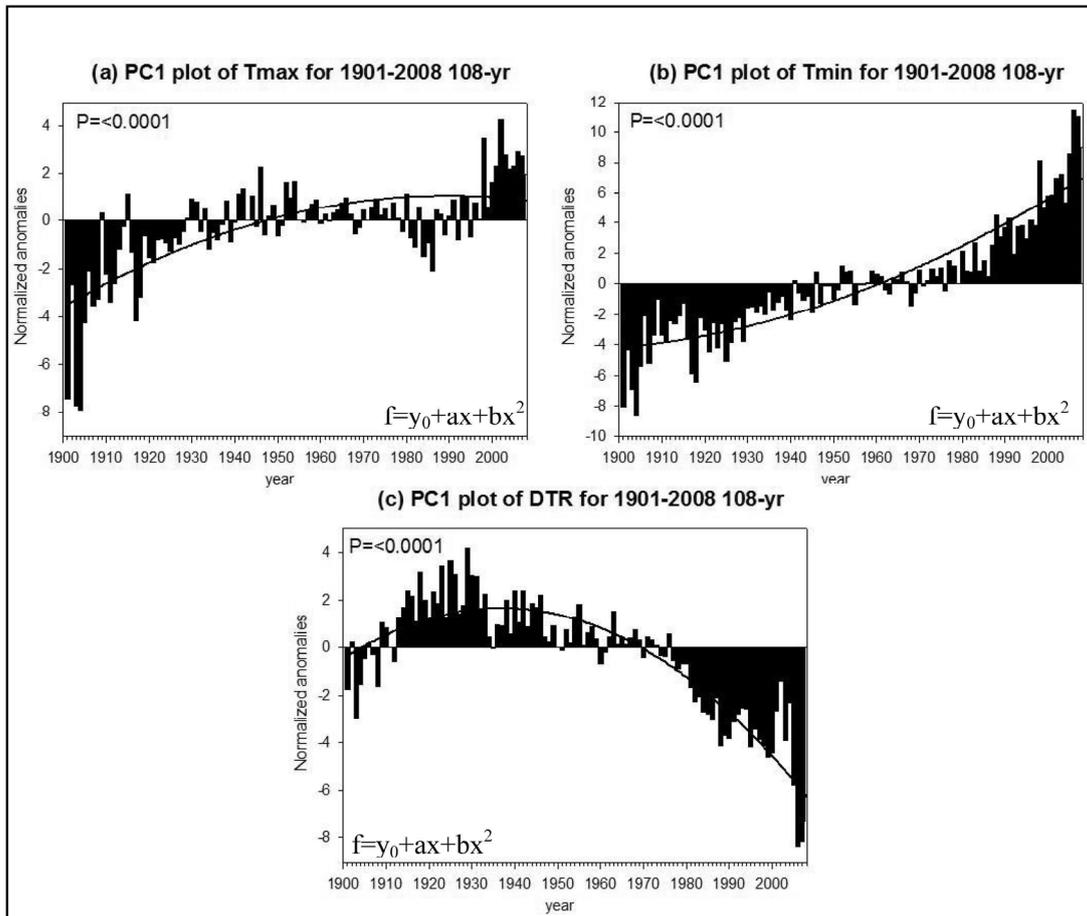


圖 3 根據 STATIS 分析結果進行二次函數回歸得出，臺灣地區 6 個測站 1901-2008 年 108 (a) Tmax；(b) Tmin 和 (c) DTR 的趨勢。

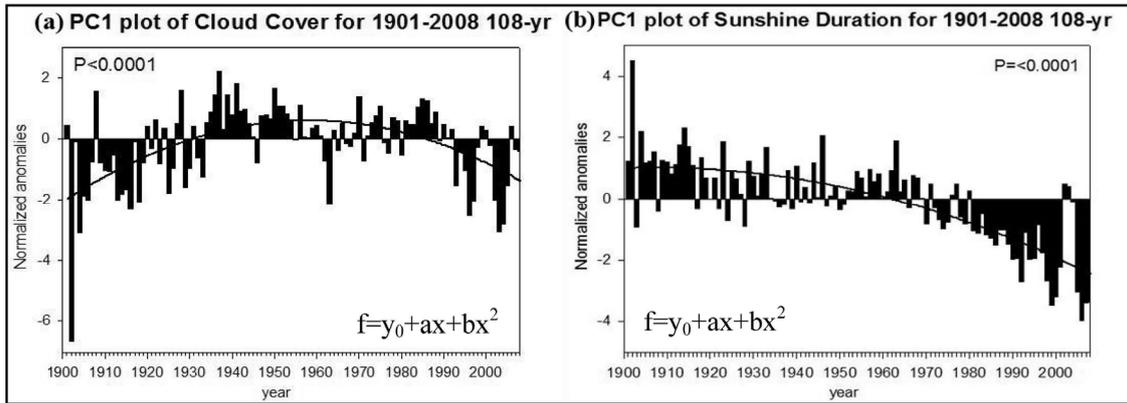


圖 4 根據 STATIS 分析結果進行二次函數回歸得出，臺灣地區 6 個測站 1901-2008 年 108 年(a)平均雲量和(b)日照時數。

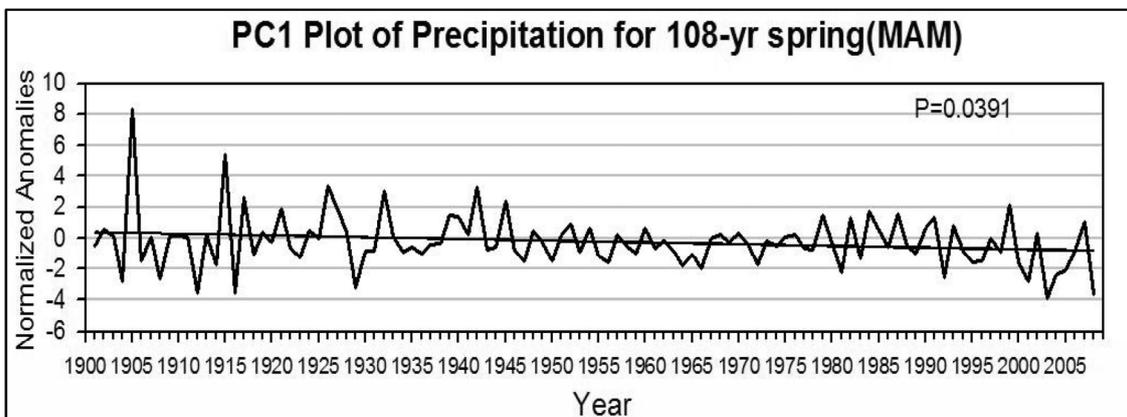


圖 5 根據 STATIS 分析結果，臺灣地區 6 個測站 1901-2008 年 108 年春季累積降雨量的趨勢。

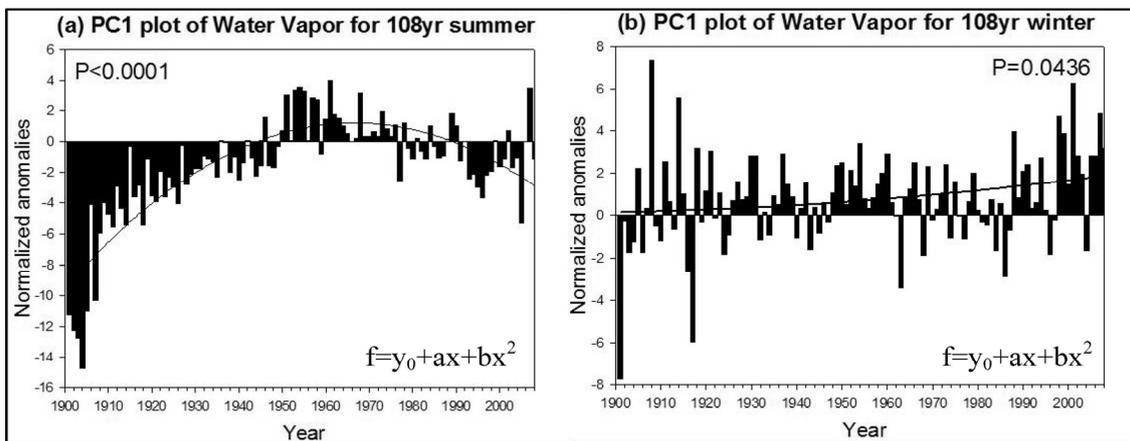


圖 6 根據 STATIS 分析結果進行二次函數回歸得出，臺灣地區 6 個測站 1901-2008 年 108 年(a)夏季和(b)冬季平均水汽壓趨勢。

(圖 6b) 呈持續上揚的趨勢，推估可能原因為近年冬季季風的加強(Weng, 2010)，水汽輸送增多，進而使大氣持水量增加，同時亦加強了冬季的暖化程度。在全球暖化的總體趨勢下，臺灣各季節平均溫度都在增加中，同時也表示了空氣中所能達到的飽和水汽壓增大，致使相對濕度的下降，此外，夏季水汽壓的減少也表示了夏季水汽供給的減弱，此現象關係到東亞季風環流的變化，根據 Hsu et al. (2004)和 Weng (2010)研究指出，近年來因太平洋副高脊線的向西/西南延伸，主導夏季季風的西南氣流有減弱的現象。由於 Tmax 和 Tmin 不對稱上升所表現的暖化現象，導致相對濕度下降的同時，也伴隨 DTR 的降低。

根據圖 7 各變數曲線回歸結果顯示，DTR 和相對濕度(RH)呈高度正相關關係。依據圖 7 結果推論，1960-1970 年間為臺灣地區各變數在趨勢

轉變上的過渡帶。

依據研究結果作進一步假設，氣候變遷對臺灣而言，在南部地區的影響明顯高於其它地區，其次為中北部地區的測站，而被視為氣候背景測站的 HCH 和 PH 則表現不顯著，此結果暗示著人為活動對氣候的影響。

四、結論與展望

本研究資料取自臺大大氣資料庫中央氣象局 6 個代表測站的平均氣溫、DTR、Tmax、Tmin、平均雲量、累積降雨量、日照時數、相對濕度及平均水汽壓 9 項自然變數，截取 1901-2008 年的觀測資料，透過 STATIS 進行資料分析，以釐清臺灣地區各變數的長期趨勢走向和第一主模氣候變遷主導下的時間和空間份佈上的差異。

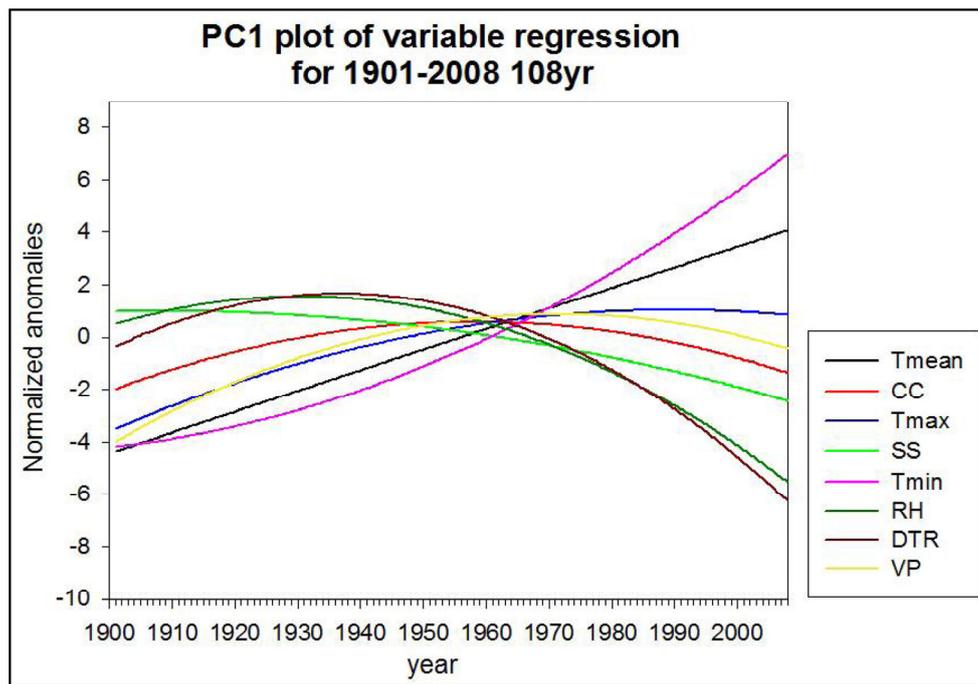


圖 7 根據 STATIS 曲線回歸結果，臺灣地區 6 個測站 1901-2008 年 108 年各變數的總體趨勢。其中 Tmean 表示平均溫度、CC 表示雲量、SS 代表日照時數、RH 為相對濕度和 VP 則為平均水汽壓。

根據分析結果顯示，在氣候暖化的影響下，臺灣地區各測站平均溫度增加的趨勢呈持平或上升的現象，其中以冬季平均溫度增溫趨勢最為明顯，此分析結果有別於 Hsu 和 Chen (2002) 所認為夏季增溫大於冬季的暖化幅度。在測站權值分析上則是臺灣南部地區的表現最顯著。其中， T_{max} 呈持平並在近年有下滑的潛在趨勢，而 T_{min} 在百年來的趨勢上都呈明顯的上升現象，導致 DTR 出現減少趨勢，這表明了 T_{min} 的增加幅度大於 T_{max} ，主要是由於夜間外逸長波輻射減弱，溫室效應的增強所致。根據 DTR 和 T_{max} 及 T_{min} 之間的整體關係，可分為三個時期，第一時期為 1904 年前， T_{max} 的下降振幅較 T_{min} 大，在 DTR 表現上為下降傾向；第二時期為 1904-1970 年， T_{max} 下降振幅大量減小，並逐漸轉為上升趨勢，而 T_{min} 則逐漸轉為增加趨勢，此時，DTR 的表現呈明顯的增溫振幅；第三時期為 1970 年後， T_{max} 的持平和近年來的下滑傾向及 T_{min} 的顯著上升，導致 DTR 的明顯下跌。

臺灣地區百年來平均雲量的整體趨勢在 1985 年後呈下降趨勢，日照時數則在 1960 年後都呈明顯的下降趨勢，然而 T_{max} 卻在增溫中，此一矛盾的趨勢推測可能與人為活動所排放的氣溶膠的增加有關，然而氣溶膠對日照時數的影響，主要在於氣溶膠的成雲機制(Ramanathan et al., 2001)，但是，根據平均雲量的分析結果顯示近年來的雲量卻在減少中。由此可推論，人為活動所排放的氣溶膠不是導致日照時數下降的主因。

根據 STATIS 分析臺灣地區累積降雨量在季節和地理分佈上的變化。春季時分，臺灣東部地區的降雨有下降的傾向，表示近年來臺灣地區春雨有減少的現象，影響臺灣地區降雨分佈和年際尺度降雨量改變的因素，主要包括了季風環流和

中低緯度的天氣系統如颱風。

根據平均水汽壓在各季節的趨勢，夏季平均溫度有增加的趨勢，空氣中所能達到的飽和水汽壓增大，因而導致相對濕度的下降，水汽壓的減少同時也表示了夏季水汽供給的減弱，此現象關係到東亞季風環流的變化，根據 Hsu et al. (2004) 和 Weng (2010) 研究指出，近年來因太平洋副高脊線的向西/西南延伸，主導夏季季風的西南氣流有減弱的現象。冬季，平均溫度增溫，相對濕度下降，水汽壓卻呈現上升傾向，此現象說明了冬季水汽供給的增加不及氣候的暖化振幅。由於 T_{max} 和 T_{min} 不對稱上升所表現的暖化現象，相對濕度的下降同時也伴隨 DTR 的下降。

過去許多的研究，皆認為氣候的改變深受人為活動的影響所致。根據本研究結果顯示，人為活動對氣候暖化確有一定程度上的影響。此外，依據研究結果發現，在 1960-1970 年間為臺灣地區各變數在趨勢轉變上的過渡帶。按測站權值分析，這些現象明顯表現在臺灣南部地區，根據長期資料的分析結果，同時發現在全球暖化的趨勢下，以臺灣南部地區的測站影響最明顯，然而同樣位於南部地區的氣候背景測站 HCH 和外島測站 PH 則無顯著的變化，這暗示了人為活動對氣候的變遷具有一定程度的影響。

本研究因受限於時間和其它變數統計資料豐度的關係，僅就目前收集到的各變數進行分析推估，然而影響一地區 DTR 和水文循環的因素複雜而多樣，除本研究所討論到的 9 個變數外，尚有土壤濕度、風、植被等。此外，對於影響各變數改變的分析，例如太陽黑子的活動週期與日照量的關係、地形對區域氣候的影響和水汽壓的變化與其它可能的影響因素等。除此之外，依據研究

結果可以推論人為活動是影響氣候變遷的其中一要素，若能取得更多的相關資料，則可得到更明確的印證，此有待日後的進一步探討。

依據審查者針對測站雲資料不確定性之意見，本研究截取 ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project) 1983~2008 年臺灣地區總雲量 (圖略)、低雲量 (圖 8a)、中雲量 (圖 8b) 和高雲量 (圖 8c) 之衛星雲資料做進一步檢測，結果顯示低雲量有顯著下降趨勢，中、高雲量則出現上升的傾向，其中低雲量和中雲量趨勢皆達顯著水平，此結果在前人研究大致吻合 (Wetherald, 2009)。經由上述檢測結果發現，測站總雲量資料無法代表衛星總雲量資料，探究其中可能原因為衛星觀測資料時序較短，加上本研究結果為各組資料同時間進行分析，故結果和衛星測量資料的直接表現有所出入，然而，根據結果顯示推估，測站總雲量或有可能反映在衛星低

雲資料上。如果要得到更明確的檢測結果，則需更長遠的衛星資料和分析方法的進行，此有待日後進一步的探究。

致謝

感謝 DBAR 大氣研究資料庫提供研究期間所需之資料，以及丘逸民老師、柯互重老師和各位審查者之建議，使得本研究得以順利完成。

參考文獻

Abdi, H., and D. Valentin (2007). STATIS. In N.J. Salkind (Ed.): *Encyclopedia of Measurement and Statistics*. Thousand Oaks (CA): Sage. pp. 955-962

Barbosa S. M. and O. B. Andersen (2009). Trend patterns in global sea surface temperature. *Int.*

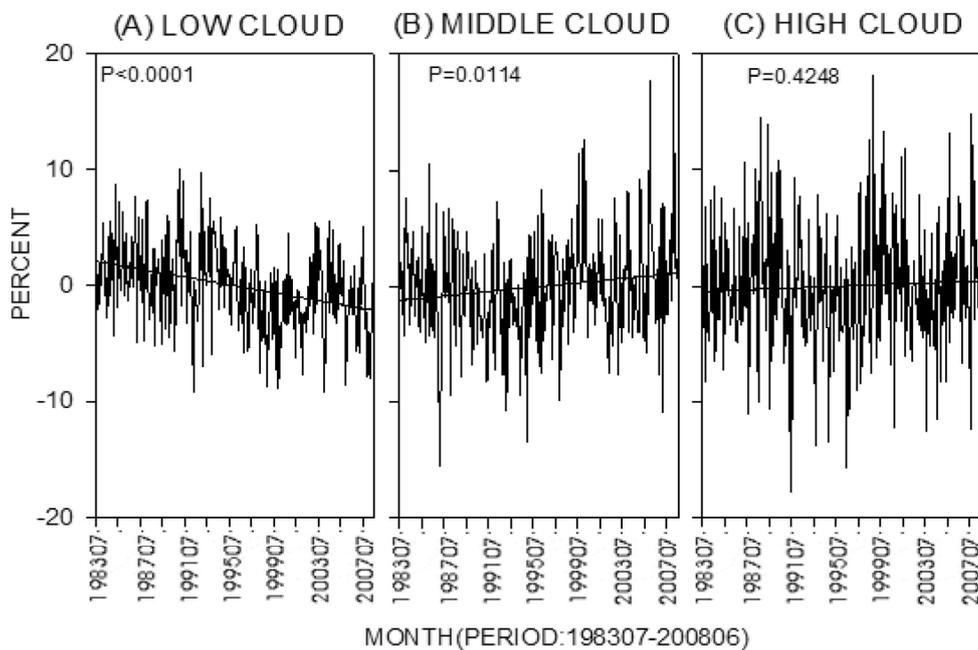


圖 8 根據線性回歸結果得出，1983~2008 年臺灣地區(A)低雲量、(B)中雲量和(C)高雲量的衛星雲量趨勢。

- J. Climatol.* 29, 2049-2055.
- Dai A., A. D. Del Genio and I. Y. Fung (1997). Clouds, precipitation and temperature range. *Nature*, 386, 665-666.
- Dai A., K. E. Trenberth and T. R. Karl (1999). Effects of clouds, soil moisture, precipitation, and water vapor on diurnal temperature range. *J. Climate*, 12, 2451-2473.
- Easterling D. R. and T. C. Peterson (1995). The effect of artificial discontinuities on recent trends in minimum and maximum temperatures. *Atmos. Res.*, 37, 19-26.
- Easterling D. R., B. Horton, P. D. Jones, T. C. Peterson, T. R. Karl, D. E. Parker et al. (1997). Maximum and minimum temperature trends for the globe. *Science*, 277, 364-367.
- Hsu H-H and C-T Chen (2002). Observed and projected climate change in Taiwan. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 79, 87-104.
- Hsu H-H, Y-C Yu, W-S Kau, W-R Hsu, W-Y Sun and C-H Tsou (2004). Simulation of the 1998 East Asian summer monsoon using the Purdue regional model. *J. Meteor. Soc. Japan*, 82(6), 1715-1733.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2007). Observed changes in climate and their effects. Climate change 2007: Synthesis report, Valencia, Spain, 30pp. including appendixes.
- Kukla G. and T. R. Karl (1993). Nighttime warming and the greenhouse effect. *Environ. Sci. Technol.*, 27(8), 1468-1474.
- Karl T. R., P. D. Jones, R. W. Knight, G. Kukla, N. Plummer, V. Razuvayev et al. (1993). A new perspective on recent global warming: Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 74(8), 1007-1023.
- 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.
- Ramanathan V., P. J. Crutzen, J. T. Kiehl and D. Rosenfeld (2001). Aerosols, climate, and the hydrological cycle. *Science*, 294, 2199-2124.
- Salinger M. J. (1995). Southwest Pacific temperatures: Trends in maximum and minimum temperatures. *Atmos. Res.*, 37, 87-99.
- Stanimirova I., Walczak B., Massart D. L., Simeonov V., Saby C. A. and Di Crescenzo E. (2004). STATIS, a Three-way Method for Data Analysis. Application to environmental data. *Chemom. Intell. Lab. Syst.*, 73, 219-233.
- Weng S-P (2010). Changes of diurnal temperature range in Taiwan and their large-scale associations: Univariate and multivariate trend analyses. *J. Meteor. Soc. Japan*, 88(2), 203-226.
- Wetherald R. T. (2009). The role of low clouds in determining climate sensitivity in response to a doubling of CO₂ as obtained from 16 mixed-layer models. *Climate Change*, Doi 10.1007/s10584-011-0047-3

- Ye J., F. Li, G. Sun and A. Guo (2009). Solar dimming and its impact on estimating solar radiation from diurnal temperature range in China, 1961-2007. *Theor. Appl. Climatol.*, Doi: 10.1007/s00704-009-0213-7
- Zhou L., R. E. Dickinson, P. Dirmeyer, A. Dai and S-K Min (2009). Spatiotemporal patterns of changes in maximum and minimum temperatures in multi-model simulations. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L02702, Doi: 10.1029/2008GL036141
- Zhou L., A. Dai, Y. Dai, R. S. Vose, C-Z Zou, Y. Tian et al. (2008). Spatial dependence of diurnal temperature range trends on precipitation from 1950 to 2004. *Climate Dyn.*, Doi: 10.1007/s00382-008-0387-5

Secular Change of Diurnal Temperature Range in Taiwan (1901-2008)

Yuen Yi Ng¹ and Shu-Ping Weng²

¹ Institute of Geography, National Taiwan Normal University

² Department of Geography, National Taiwan Normal University

(manuscript received 11 November 2010 ; in final form 18 March 2011)

ABSTRACT

In this study we use a three-way principal component analysis called STATIS (Structuration des Tableaux A Trios Indices de la Statistique) to analyze the secular change of diurnal temperature range (DTR) in Taiwan and its concurrent relationships with other meteorological parameters. The results of STATIS show that: (1) the DTR has been decreasing since 1901. This is due to the inhomogeneity between a higher (lower) increasing rate of nighttime (daytime) temperature minimum, T_{\min} (T_{\max}); (2) a decreasing trend of sunshine duration (thus cloud cover) is associated with an increasing trend in T_{\max} . Such a paradox is interpreted as an indirect evidence of increasing anthropogenic influences such as aerosols. Nevertheless, more aerosols should have accelerated the formation of clouds thereby cloud cover. It then implies that the aerosols might not be the only factor responsible for the observed reduction of sunshine duration. Using STATIS, we further found that (3) the increasing mean temperature stands out during the boreal winter. While such a seasonality is consistent with the global trend, it differs from some previous studies; (4) a decreased trend of springtime rainfall in Taiwan, a(n) decreased (increased) trend of water vapor in summer (winter), and a decreasing relative humidity around the year are also observed simultaneously with the reduction of DTR.

Key Words: Diurnal temperature range, Climate change, STATIS, Aerosols