

臺灣氣象測站間年記錄差異之比較

李隆安

周若珍

程爾觀

楊淑蘭

中央研究院統計所

清華大學統計所

中央研究院統計所

國科會專任研究助理

摘要

氣候變化可分為自然因素與人為因素兩方面的影響，從相同氣候區內不同測站間記錄差異的比較，可幫助分辨出人為因素影響的時機。本文針對臺灣北、中、南三個氣候區內各選兩個測站（臺北與基隆、阿里山與玉山、恆春與大武）進行探討，了解氣溫及降水變化可能受到的人為因素影響時機。

關鍵詞：年雨量，年均溫，記錄差異

一、前言

研究氣候化變化的專家們 (Bryson, 1974, Lamb, 1969) 從各種自然因素的分析，顯示從1980年代起，全球性氣溫將下降，可能會進入相當於西歐17世紀的小冰期。除了這些自然因素在影響氣象外，晚近人類活動，例如石化燃料之燃燒所釋放出之額外二氧化碳，其中有一半加入大氣中，藉溫室效應而使地球增暖，足以反制自然因素之轉冷趨勢。地表大氣溫度之改變，固然與自然本身之變動有關，其亦和人類活動所帶來之影響有關。

目前有關臺灣氣候之研究，均以各區單一測站之氣象記錄為分析對象，若想進一步瞭解臺灣全島長期變化之趨勢，尚需將各觀測站彼此間之差異性考慮進去。臺灣氣候分區的研究，早期有萬寶康 (1973) 與最近的吳明進和陳幼麟 (1993) 等報告，由於彼此研究的年代不盡相同，萬寶康是1951-1970年，而吳明進和陳幼麟是1941-1991年，故結論也不會完全一致。此外中央氣象局是採用北、中、南、東、東南五區的分區法，這個分類法和水利單位對水資源的分區法略有不同 (吳明進，陳幼麟，1993)。

本文研究的年代有追溯至1903年的，測站選擇上在北部地區選取臺北及基隆兩測站，南部地區是恆春與大武兩測站，中部則選擇阿里山與玉山兩測站。本文作者對氣象測站的選擇有本身研

究動機的考慮，本文作者係「古全球變遷」的研究者，有興趣了解臺灣古代氣候的變化，中部山區是樹輪採樣的重要地點，故在中部地區沒有選擇臺中、澎湖等測站，而是選擇了山區之測站。本文是採樣前的先驅研究，希望藉由上述六個測站之氣象記錄，了解臺灣地區北、中、南三區兩兩測站間氣溫及降水變化之趨勢，由此能初步探討人為因素對臺灣氣候之影響。

二、資料來源

本文為一初步探討，所選擇之氣象測站為臺北、基隆、恆春、大武、阿里山及玉山六處，此六處最少也有近40年之完整觀測記錄，尚可符合氣候資料最低年限之要求 (萬寶康，1973, pp3)，各測站之地理位置、海拔高度及記錄年限分列如下：

測站	北緯	東經	高度(公尺)	記錄年限
臺北	25°02'	121°31'	8.0	1903 - 1990
基隆	25°08'	121°45'	3.4	1903 - 1990
阿里山	23°31'	120°48'	2406.1	1951 - 1990
玉山	23°29'	125°57'	3850.0	1951 - 1990
恆春	22°00'	120°45'	23.3	1951 - 1990
大武	22°21'	120°54'	7.6	1951 - 1990

所用之資料中在1980年前的是依據臺灣省氣象所出版之臺灣累年氣象報告 (1897-1980)，而

1981-1990年者，由中央氣象局出版之每年氣候資料年報得到。

三、氣候要素之分析

一個地方氣候的變化，可從各種氣候要素長時期的記錄中分析得到。本文在探討人類活動所造成之溫室效應是否顯著存在於氣象測站間時，是採用各個地區的年雨量及年均溫作為分析對象。

3.1 雨量

Kohler (1949) 採用Double-mass的方法分析屬於相同氣候區內測站的雨量記錄是否有不一致 (Inhomogeneity) 的現象產生。若分別以Y和X表示在相同氣候區內兩測站的雨量記錄，Kohler指出如果測站間所得之氣象記錄Y與X具有一致性的情況下時，則累積雨量 ΣY 和 ΣX 之關係應呈一條通過原點之直線，其關係式可以 $\Sigma Y = m \Sigma X$ 描述，其中m為斜率。若其中的一個測站已受人為因素影響時，則此直線關係將被破壞，取而代之的為折線模式。

北、中、南三地區兩兩測站間雨量關係，若用直線配適，其關係如下表所示：

地區	測站(Y)	測站(X)	兩者雨量關係式	R ²
北	臺北	基隆	$Y' = -3705.8 + 0.644X'$	99.6%
中	阿里山	玉山	$Y' = -1126.6 + 1.286X'$	100.0%
南	恆春	大武	$Y' = 1301.1 + 0.846X'$	99.9%

表中 $Y'_i = \sum_{j=1}^i Y_j$ 、 $X'_i = \sum_{j=1}^i X_j$ 、 R^2 為迴歸變異解釋的百分比。從上表中可以看出三個地區兩兩測站間累積雨量的關係式，均非為一條通過原點之直線，又由圖1、2、3中仍難以精確的判斷北、中、南三地區各測站間是否有轉折點的存在。為進一步尋求各個地區兩兩測站累積雨量的最佳關係，可先假設此兩變量關係的一般形式，再用最小平方法判別此模式是否合適。研究中，假設兩變量為折線關係，其數學式的表示為：

$$Y'_i = \begin{cases} \alpha_1 + \beta_1 X'_i & \text{if } X'_i < X_0 \\ \alpha_2 + \beta_2 X'_i & \text{if } X'_i > X_0 \end{cases} \quad (1)$$

其中 α_1 、 α_2 、 β_1 、 β_2 為係數， X_0 為轉折點所在之相對雨量。如果轉折點 X_0 存在時， $\alpha_1 + \beta_1 X'_i$ 和 $\alpha_2 + \beta_2 X'_i$ 分別代表兩條不同的直線，

於是 $\alpha_1 \neq \alpha_2$ 且 $\beta_1 \neq \beta_2$ 。

式子(1)經整理後，可以式子(2)表示 (附錄一)：

$$Y'_i = \alpha_1 + \beta_1 X'_i + (\alpha_2 - \alpha_1) I_0 + (\beta_2 - \beta_1) X'_i I_0 \quad (2)$$

$$I_0 = \begin{cases} 0 & \text{if } X'_i < X_0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

然後將 Y'_i 迴歸至變數 X'_i ，變數 I_0 ，及由前面兩變數乘積形成的新變數 $X'_i I_0$ ，求出係數 α_1 、 β_1 、 $(\alpha_2 - \alpha_1)$ 及 $(\beta_2 - \beta_1)$ 來。在模式(2)中若係數 $(\alpha_2 - \alpha_1)$ 與 $(\beta_2 - \beta_1)$ 顯著存在時，表示轉折點存在。為準確估計發生轉折之時間點，本文採逐點分析，利用最小平方方法決定係數，找出係數顯著存在的迴歸式子，並查驗所對應的轉折點。相關的繁瑣細節，歡迎讀者來函詢問作者。

由於各測站可使用的資料記錄長短不同，根據現有之資料發現：北部地區的臺北測站於1943年後，在雨量方面就已與基隆測站之記錄有差異，此差異來源可能是由於臺北地區在近二、三十年來雨量方面的增加，而南部地區的恆春測站概略在1979年後，才與大武測站的雨量記錄有顯著的差異存在，唯此差異性並不同於北部地區，主要是導源於恆春附近近年來降雨的減少，至於中部山地在雨量方面兩測站並沒有顯著的偏差存在。下表所列的為採用模式(2)分析的結果，比較詳細的逐點分析之結果，請參考附錄二。

地區	發生變異年代	α_1 (stdev)	β_1 (stdev)	$\alpha_2 - \alpha_1$ (stdev)	$\beta_2 - \beta_1$ (stdev)	R ²
北	1943	1352 (286.9)	0.583 (0.003)	-28205 (1072.0)	0.164 (0.005)	100%
南	1979	-768 (404.0)	0.961 (0.027)	3692 (521.1)	-0.141 (0.027)	99.9%

3.2 溫度

溫度長期變化之分析類似雨量之分析，LaMarche (Fritts, 1976, pp254) 指出兩測站之年均溫若分別以X及Y表示，在測站間之溫度未發生變異下，兩測站累積之年溫差 $\Sigma(Y - X)$ 與年份(T)應成直線關係，可表示為 $\Sigma(Y - X) = mT + b$ 之形式，其中m為斜率，b為一常數，若所得之結果為折線關係，則顯示測站間之記錄已有差異存在。三個地區兩兩測站歷年來之溫度記錄與年份之關係，若以直線迴歸模式來配適，其關係式可表示如下：

地區	測站(Y)	測站(X)	$\Sigma(Y-X)$ 與年份(T)之關係	R^2
北	臺北	基隆	$Y'_i = -2.06 + 0.042T_i$	41.1%
中	阿里山	玉山	$Y'_i = -0.297 + 6.77T_i$	100.0%
南	恆春	大武	$Y'_i = 4.51 + 0.293T_i$	96.5%

上表中 $Y'_i = \Sigma_{j=1}^i (Y_j - X_j)$ ，由表中可明顯看出北部地區兩測站間之累積溫度差與年份之關係，不適合用線性關係來描述。圖4、5、6顯示的為各地區兩兩測站間累積溫度差與年份之關係圖，線性關係是否合適，需再作進一步之檢驗。首先，假設兩變量存在如同模型(I)中之關係，採逐點檢驗，分析結果發現，溫度長期之變化，三地區均發生於1970年代以後，其中北部的臺北測站與基隆測站於1973年後產生變異，此差異來源為臺北近幾十年來溫度上升的結果，中部的阿里山測站大約在1971年後與玉山測站產生差異，而南部的恆春測站發生轉變於1975年與1976年間。此說明了臺灣全島只要是都市化較盛的區域，在氣溫方面都有顯著的差異產生。三地區兩兩測站間溫度之變遷匯總於下表，各區逐點分析之結果請參考附錄三。

地區	變異年代	α_1 (stdev)	β_1 (stdev)	$\alpha_2 - \alpha_1$ (stdev)	$\beta_2 - \beta_1$ (stdev)	R^2
北	1973	-0.991 (0.108)	0.0020 (0.003)	-23.7 (1.563)	0.347 (0.020)	93.0%
中	1971	-0.258 (0.131)	6.82 (0.010)	2.53 (0.403)	-0.116 (0.015)	100.0%
南	1975	3.68 (0.088)	0.363 (0.006)	6.05 (0.435)	-0.234 (0.014)	99.7%

四、結論與進一步的研究

本文的研究結果顯示，位於臺灣北、中、南三個地區內的氣象測站，在年均溫與年雨量方面，彼此間有顯著的差異，表示臺灣各地區之氣候除了自然的演變外，亦包含了人為因素的影響，因此若我們想要獲知臺灣氣候的自然演變趨勢及受人為因素影響之程度，勢必要將測站彼此間之差異性考慮進去，之後再找出一個未受人類活動影響之測站資料，利用與其它測站間之變化趨勢進行校正，以瞭解臺灣氣候自然變化之特徵，以及都市化效應對臺灣氣候影響的程度。

誌謝詞

作者感謝編委主任、審查者與吳明進教授的寶貴意見，增加了本文的可讀性與完整性，也感謝國科會之支助。

參考文獻

1. Bryson, R.A. (1974). A Perspective on Climatic Change. Science, Vol. 184, No. 4138, 753-760.
2. Fritts, H.C. (1976). Tree Rings and Climate. Academic Press, London.
3. Kohler, M.A. (1949). On the Use of Double-Mass Analysis for Testing the Consistency of Meteorological Records and for Making Required Adjustments. Bulletin American Meteorological Society, Vol. 30, No. 5, 188-189.
4. Lamb, H.H. (1969). The New Look of Climatology. Nature, Vol. 223, No. 20, 1209-1215.
5. 萬寶康, (1973) 臺灣分區氣候與天氣之研究(一) 氣象學報第19卷第4期, 1-19。
6. 吳明進, 陳幼麟, (1993) 臺灣的氣候分區, 大氣科學, 即將出刊。
7. 臺灣省氣象所, 臺灣累年氣象報告(1897-1980)
8. 中央氣象局, 氣候資料年報(1981-1990)

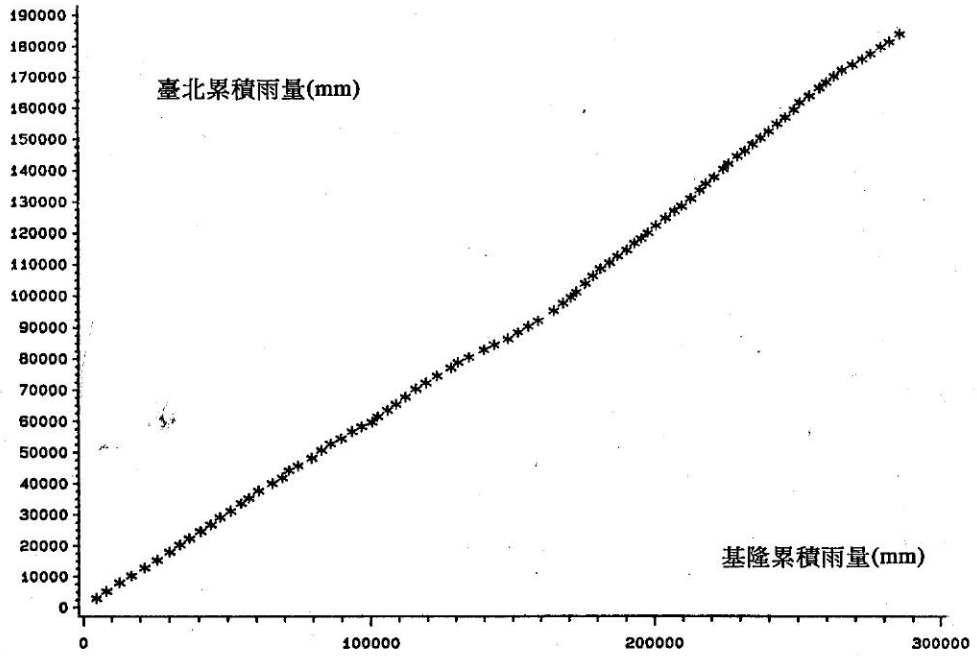


圖1：臺北、基隆兩測站累積雨量的關係圖

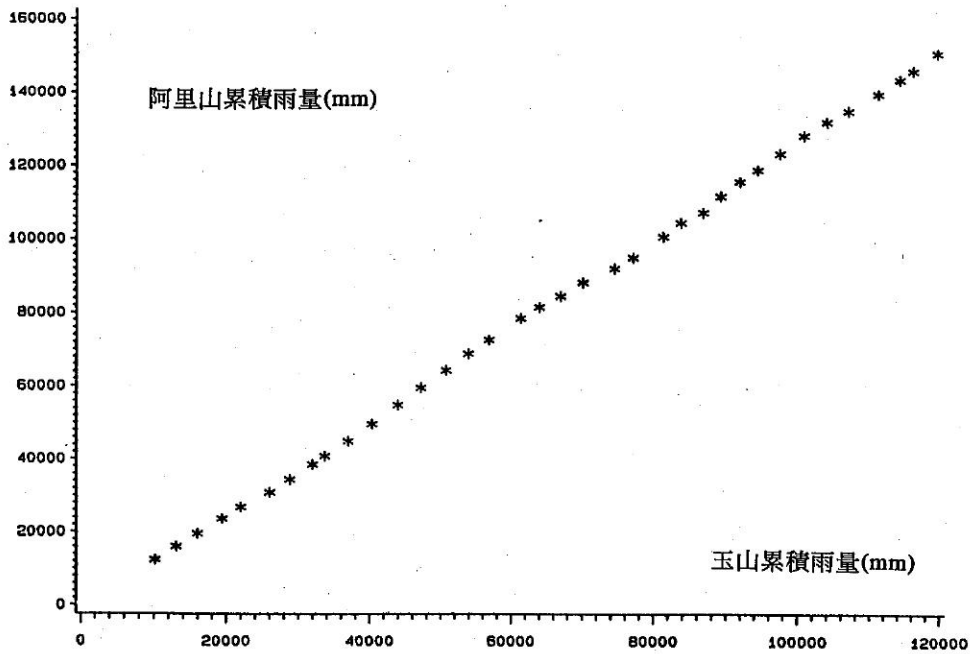


圖2：阿里山、玉山兩測站累積雨量的關係圖

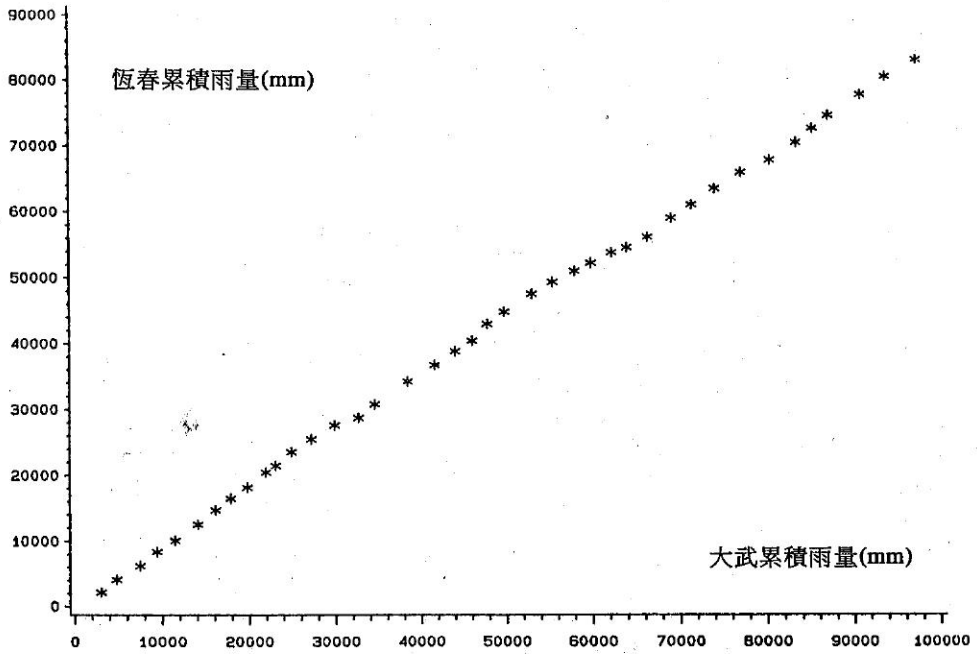


圖3：恆春、大武兩測站累積雨量的關係圖

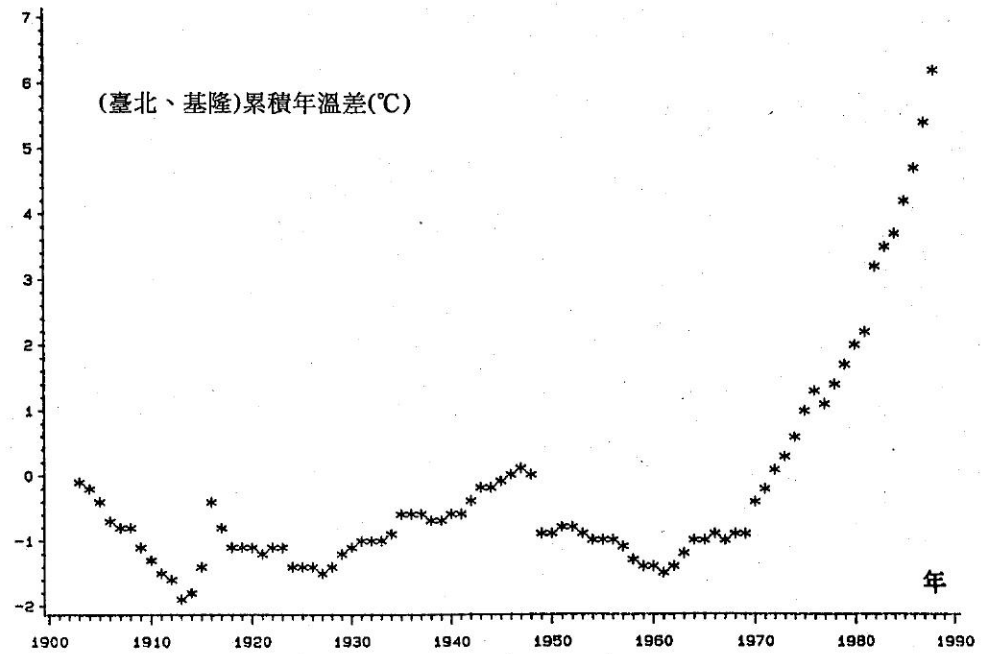


圖4：臺北、基隆兩測站累積年溫差與年份的關係圖

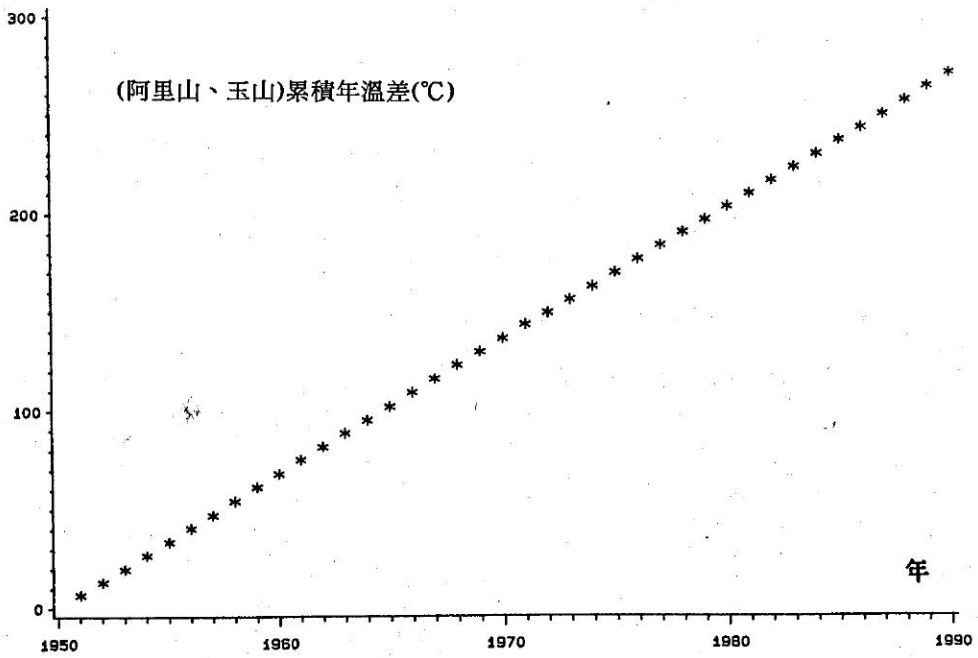


圖5： 阿里山、玉山兩測站累積年溫差與年份關係圖

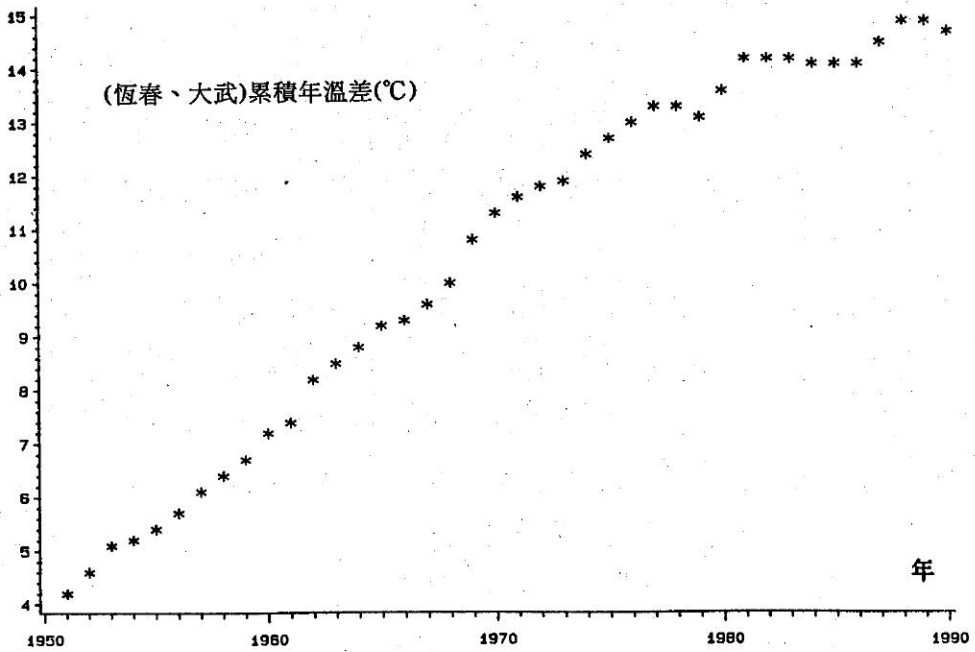


圖6： 恆春、大武兩測站累積年溫差與年份關係圖

附錄一：

假設：

$$Y_i' = \alpha_1 + \beta_1 X_i' + (\alpha_2 - \alpha_1)I_0 + (\beta_2 - \beta_1)X_i'I_0$$

因 X_0 是 $Y_i' = \alpha_1 + \beta_1 X_i'$ 與 $Y_i' = \alpha_2 + \beta_2 X_i'$ 的交點故 $X_0 = -\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\beta_2 - \beta_1}$

Case(1) 當 $X_i' < X_0$ ($I_0 = 0$)
 則 $Y_i' = \alpha_1 + \beta_1 X_i' + 0 + 0$
 $= \alpha_1 + \beta_1 X_i'$

Case(2) 當 $X_i' > X_0$ ($I_0 = 1$)
 則 $Y_i' = \alpha_1 + \beta_1 X_i' + (\alpha_2 - \alpha_1) + (\beta_2 - \beta_1)X_i'$
 $= \alpha_2 + \beta_2 X_i'$

從 Case(1)、(2) 可得：

$$Y_i' = \begin{cases} \alpha_1 + \beta_1 X_i' & \text{if } X_i' < X_0 \\ \alpha_2 + \beta_2 X_i' & \text{if } X_i' > X_0 \end{cases}$$

附錄二：

地區	變異年代	α_1 (stdev)	β_1 (stdev)	$\alpha_2 - \alpha_1$ (stdev)	$\beta_2 - \beta_1$ (stdev)	R^2	MSE	P-value	
北	1941	1357 (280.0)	0.582 (0.003)	-27853 (1160)	0.163 (0.006)	100%	865326	< 0.001	
	1942	1375 (283.1)	0.582 (0.003)	-28002 (1114)	0.164 (0.005)	100%	865180	< 0.001	
	1943	1352 (286.9)	0.583 (0.003)	-28205 (1072)	0.164 (0.005)	100%	867762	< 0.001	*
	1944	1296 (289.4)	0.584 (0.003)	-28414 (1029)	0.164 (0.005)	100%	861007	< 0.001	
	1945	1218 (289.4)	0.585 (0.003)	-28509 (978)	0.164 (0.005)	100%	837585	< 0.001	
南	1976	-736 (353.9)	0.959 (0.019)	3509 (528.1)	-0.137 (0.020)	99.9%	345172	< 0.001	
	1977	-826 (368.8)	0.967 (0.022)	3644 (528.1)	-0.146 (0.022)	99.9%	340001	< 0.001	
	1978	-829 (387.3)	0.967 (0.024)	3713 (524.2)	-0.147 (0.025)	99.9%	342171	< 0.001	
	1979	-768 (404.0)	0.961 (0.027)	3692 (521.1)	-0.141 (0.027)	99.9%	340595	< 0.001	*
	1980	-754 (425.3)	0.959 (0.030)	3608 (526.5)	-0.139 (0.031)	99.9%	344098	< 0.001	

R^2 : 迴歸變異解釋百分比

MSE : 平均迴歸誤差平方和

P-value : 迴歸式子顯著機率

*轉折點估計值 $-\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\beta_2 - \beta_1}$ 最接近理論「變異年代」

附錄三：

地區	變異年代	α_1 (stdev)	β_1 (stdev)	$\alpha_2 - \alpha_1$ (stdev)	$\beta_2 - \beta_1$ (stdev)	R^2	MSE	P-value	
北	1970	-0.978 (0.112)	0.00143 (0.003)	-22.1 (1.233)	0.327 (0.016)	92.8%	0.200	< 0.001	
	1971	-0.977 (0.110)	0.00141 (0.003)	-22.7 (1.323)	0.334 (0.017)	92.9%	0.196	< 0.001	*
	1972	-0.977 (0.109)	0.00138 (0.003)	-23.0 (1.434)	0.339 (0.019)	93.0%	0.196	< 0.001	*
	1973	-0.991 (0.108)	0.00200 (0.003)	-23.7 (1.563)	0.347 (0.020)	93.0%	0.195	< 0.001	*
	1974	-1.010 (0.108)	0.00281 (0.003)	-24.4 (1.723)	0.355 (0.022)	92.9%	0.198	< 0.001	
中	1969	-0.181 (0.135)	6.81 (0.108)	2.72 (0.359)	-0.114 (0.015)	100.0%	0.083	< 0.001	
	1970	-0.187 (0.129)	6.81 (0.010)	2.53 (0.403)	-0.116 (0.015)	100.0%	0.083	< 0.001	
	1971	-0.258 (0.131)	6.82 (0.010)	2.53 (0.403)	-0.116 (0.015)	100.0%	0.083	< 0.001	*
	1972	-0.257 (0.128)	6.82 (0.010)	2.52 (0.439)	-0.116 (0.016)	100.0%	0.083	< 0.001	
	1973	-0.246 (0.125)	6.82 (0.009)	2.49 (0.481)	-0.114 (0.017)	100.0%	0.083	< 0.001	
南	1973	3.67 (0.097)	0.364 (0.007)	5.59 (0.373)	-0.221 (0.014)	99.6%	0.050	< 0.001	
	1974	3.67 (0.092)	0.364 (0.006)	5.84 (0.398)	-0.228 (0.013)	99.6%	0.050	< 0.001	*
	1975	3.68 (0.088)	0.363 (0.006)	6.05 (0.435)	-0.234 (0.014)	99.7%	0.050	< 0.001	*
	1976	3.69 (0.086)	0.362 (0.006)	6.17 (0.487)	-0.236 (0.015)	99.7%	0.050	< 0.001	*
	1977	3.70 (0.085)	0.361 (0.005)	6.11 (0.553)	-0.233 (0.017)	99.6%	0.050	< 0.001	

R^2 : 迴歸變異解釋百分比

MSE : 平均迴歸誤差平方和

P-value : 迴歸式子顯著機率

*轉折點估計值 $-\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\beta_2 - \beta_1}$ 最接近理論「變異年代」

A COMPARISON OF THE CONSISTENCY AMONG ANNUAL RECORDS OF WEATHER STATIONS IN TAIWAN

Lung-an Li¹ R. J. Chou² Philip E. Cheng¹ Shwu-Ian Yang³

ABSTRACT

Both natural causes and man's activities affect the climate. Historical weather records from different stations on the same climatic zone are compared in order to determine whether any man's activities affect the change of the climate. Stations considered in this paper include Taipei and Keelung for northern Taiwan, Alishan and Yushan for central Taiwan, Hengchun and Tawu for southern Taiwan. Meteorological elements considered are temperature and precipitation.

Key words: Historical weather records, meteorological elements, precipitation

*

1. Institute of Statistical Science, Academia Sinica.
2. Institute of Statistics, National Tsing Hua University.
3. National Science Council.