

以無母數檢定法檢查自1951年以來台灣春雨與ENSO的統計關係

陳雲蘭¹ 許晃雄²

¹中央氣象局氣象預報中心

²國立台灣大學大氣科學系

摘要

經研究分析，ENSO對局地降水的影響可能不必然具有對稱性，本研究將嘗試不先假設樣本為常態分布，而改採對研究對象所有個案整體分布的比較，引用Mann-Whitney-Wilcoxon無母數檢定法來分析台灣春雨與ENSO事件在1951年至2008年期間的統計關係。本研究將台灣具有春型降水天氣的1月至4月皆列為台灣春雨研究月份，並參考美國氣候作業單位使用ONI海溫指標來判定ENSO事件。研究過程除了以客觀的統計檢定法挑出與聖嬰現象具有統計顯著關係的測站之外，也使用表示包含資料組最小值、第1四分位數、中位數、第3四分位數，以及最大值的統計箱型圖來配合分析比較。研究結果顯示，台灣雨量在1月至4月的4個單月及其他4個不同月份組合的季節中，以1月份與ENSO有最好的統計關係，不過此關係並非呈對稱性，並且在地區分布上也有差異：在聖嬰年時台灣西部1月份傾向多雨，而在反聖嬰年時則是東部傾向多雨。至於2月至4月份，只有3月份台灣西部在反聖嬰年的少雨傾向通過統計檢定。本研究結果顯示以無母數檢定法得出的關係與一般假設常態的有母數檢定法不盡相同。

一、前言

有關ENSO事件(聖嬰/反聖嬰)對於台灣氣候的可能影響情形，過去的研究工作常以相關分析或合成分析方法做為探討問題的主要統計分析工具(許和陳，1994；廖，1995；吳和陳，1996；盧，2000；Chen等，2003；Jiang等，2003)。當研究對象具有較接近常態的分布特性或是在正反面具有明顯的對稱關係時，經由這些統計分析方法歸納出的結論多能具有相當程度的代表性。在探討台灣春雨與ENSO事件的統計關係時，我們發現聖嬰現象與反聖嬰現象對於台灣氣候的影響並不一定是恰好相反，並且由於雨量在研究個案之間具有極高的變異程度，少數幾個極值個案的存在可能將影響簡單合成分析的結果。因此本研究將嘗試不先假設樣本為常態分布，而改採對研究對象所有個案整體分布的比較，引用Mann-Whitney-Wilcoxon無母數檢定法來分析台灣春雨與ENSO事件在1951年至2008年期間的統計關係。

二、資料及方法

對於探討台灣春雨與ENSO事件的關係，本研究的主要作法為比較ENSO年與非ENSO年(ENSO Neutral；本文以下將以一般年稱之)的降水是否有明顯的不同，如果兩者的差異通過客觀的統計顯著性檢定，則可認

定為有統計上的關係。過程中首先對所有使用資料年份依定義判別為聖嬰年、反聖嬰年或一般年，然後再以Mann-Whitney-Wilcoxon無母數檢定法分別比較聖嬰年、反聖嬰年台灣各測站的降水是否明顯不同於一般年。以下略為介紹所使用的無母數檢定法、所採用的判定ENSO事件定義標準，並說明使用的台灣春雨資料以及研究中雨量的表示方法。

1. Mann-Whitney-Wilcoxon檢定法

此法或稱等級和檢定法，可用來比較某2個獨立樣本，檢查其是否來自相同的母體，或是來自具有相同平均數的母體。其分析方法可見顏月珠所著無母數統計方法(2006)，以下簡略說明分析步驟：

步驟1：選取欲進行比較的2組獨立樣本 (X_i, Y_j) ， $i=1, n_1, j=1, n_2$ ，其中 n_1 及 n_2 分別為X與Y資料組的樣本數。虛無假設(H_0)定為此2組獨立樣本並無顯著差異。

步驟2：將2組樣本混和，並求算新樣本組的等級順序 (R_i+j) 。

步驟3：分別求算原先2組樣本個別的等級和。

$$W_1 = \sum_{i=1}^{n_1} R_i \quad W_2 = \sum_{j=1}^{n_2} R_j$$

步驟4：依下列公式計算2組樣本的U值統計量，其中 U_1 代表第1組樣本觀測值小於第2組樣本觀測值的總個數， U_2 則代表第2組樣本觀測值小於第1組樣本觀測值的總個數，過程中只需取二者中之小者為檢定

統計量U，這是因為U1與U2的總和為一保守量，其值可被驗證為等於2組樣本數的乘積(U1+U2=n1n2)。

$$U_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - W_1$$

$$U_2 = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - W_2$$

步驟5：根據n1及n2的大小，由求算常態Z統計量(n1、n2至少有一個大於20)或查表方式(顏月珠, 2006)以判斷是否拒絕虛無假設。

$$Z = \frac{U - E(U)}{\sqrt{V(U)}}$$

$$E(U) = \frac{n_1 n_2}{2} \quad V(U) = \frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}$$

本研究對21個氣象站逐一檢查在聖嬰年或反聖嬰年時的降雨是否與一般年份有所不同，除了以95%的信心水準找出具顯著信號的測站之外，另外仍以廣域隨機測試，訂定通過檢定測站數標準，以決定整體統計訊號的可信賴程度。經測試，在21個測站中需超過5個以上的測站同時達到顯著程度，則可使所反應出的ENSO影響訊號更具可靠性，本文也將依此標準，在各項比較中，只要顯著訊號超過5個測站，則視為ENSO對該月或該季的台灣雨量具有影響。

2. 聖嬰/反聖嬰事件的判定

聖嬰/反聖嬰事件的判定有許多方式，不過大致上差異不是太大，本研究為求具較代表性的判定標準，且希望研究成果能有助於作業單位使用，將依美國氣候作業單位(Climate Prediction Center; CPC)的定義，使用ONI(Oceanic Nino Index)指標來進行ENSO事件的判定。ONI指標值乃為nino3.4海溫指標的3個月滑動平均值，一般以距平值表現。美國氣候作業單位以ONI指標連續5個月達到+0.5(-0.5)以上視為1次聖嬰(反聖嬰)事件(<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>)。

依CPC的定義判定，在1951至2008年共58個春天中，我們可以分類出有18個反聖嬰年，18個聖嬰年，及22個正常年(表1)。而為觀察較強ENSO事件的影響力，研究過程另外挑選ONI指標值大於(含)1.0以上的年份作為強個案組，於此類中，聖嬰、反聖嬰的個案數皆為13個，差異性分析時仍以所有22個一般年份來進行比較。

3. 台灣春雨資料的選用及表示

就降雨現象而言，台灣的冬春分季並不明，一般而言，冬季降水多為冷鋒或大陸冷氣團等北方系統南下所帶來的層狀雲降水，而台灣春雨的特徵則是除了有北方的冷系統外，也開始有南方暖空氣勢力的配合而產生冷暖不穩定界面，以致於提供了較大降雨的條件。雖然就氣溫的高低來看，1月及2月仍處於隆冬季節，但觀察過去資料，台灣在1月份就開始有發生春型降水系統的機會，而2月下半月後經常有對流

性的降水或雷雨發生，更常被認為是春雨季節的開始。本研究為整體分析 ENSO 與台灣春雨的可能關係，將1月至4月皆納入分析目標，而為比較個別月份與不同分季的差別，對此4個月依單月及多月組合製作成8組資料，分別為1月至4月的4個單月，以及1~4月平均，1~3月平均，2~4月平均及2~3月平均共8種方式。

本文選用全台21個氣象測站，在不同分類樣本組之間進行雨量多寡比較，而為了提供空間面化的分析結果，需要將各測站的雨量以降雨比值呈現以方便於不同測站之間的比較。降雨比(RR)的計算方式如下：

$$RR = \frac{R_{ENSO} - Mediam_{Neutral}}{Mediam_{Neutral}}$$

其中 $Mediam_{Neutral}$ 為一般年樣本組的中位數雨量值，可代表一般情況下的雨量水準，或可稱為正常值雨量的代表；而 R_{ENSO} 為聖嬰/反聖嬰的各類統計量雨量值。由上式公式可知，降雨比為聖嬰/反聖嬰樣本雨量相對於一般年的比值，如得正值時，表示該雨量多於一般年份的水準，比值表示相對於一般年的雨量多出的倍數；如得負值，則表示該雨量少於一般年份的水準。

三、分析結果

依前面介紹，本研究除了以所有挑選 ENSO 個案年來與一般年進行差異性研究之外，也佐以強個案組來提供分析比較。為了說明方便，本文把具明顯差異者稱為 ENSO 對該測站降雨有影響信號。以下首先以具 ENSO 影響訊號的總測站個數來比較1月至4月各單月或各組合季節的雨量所受影響的程度差異。其次再進一步說明 ENSO 影響區域的空間分布及量化分析。此外，由於台灣春雨與 ENSO 的關係似乎在不同年代反應不同的結果(Chen 等, 2003)，本研究也以將資料樣本劃分為前後2期的方式，以無母數檢定法觀察 ENSO 影響訊號在前後年代的變化。

1. 受影響測站總個數分析

對於各分月或分季組合的 ENSO 影響訊號，在95%的信心水準下，21個測站中通過差異顯著檢定的測站數如表2所列。

檢查表中通過廣域測試，亦即差異顯著測站數超過5以上的位置，可見在1月至4月的4個單月之中，測站對聖嬰事件的反應信號以1月份最明顯，不論在聖嬰或反聖嬰事件都有大範圍的測站數通過顯著檢定；對聖嬰年而言，所有個案組及強個案組皆有8個測站通過顯著檢定，而在反聖嬰年方面，所有個案組有6個測站通過顯著檢定，強個案組則有8個。

另1個具清楚關係的訊號出現在3月份，不過

ENSO 對此月份的影響訊號只在反聖嬰年較明顯，分析顯示有 6 個測站在反聖嬰年的降水與一般年明顯不同，而這種現象在強個案年影響更為擴大，通過顯著檢定者達到 10 個測站。

由本研究分析結果顯示，聖嬰(反聖嬰)事件對台灣對於 2 月及 4 月降水似乎沒有太大的影響，通過顯著測試的測站數可說是微乎其微。

對於不同組合的季節平均降水，只有 1~3 月的聖嬰年降水及 2~3 月在強反聖嬰年降水有超過 5 個以上的測站通過顯著檢定，這個結果暗示，本研究定各組合月份的總雨量受 ENSO 影響的程度可能非常取決於個別月份受影響的程度。在 2 月及 4 月對 ENSO 的反應不明顯的情況下，經常被用來代表台灣春季總降水的 2~4 月的 3 個月總雨量也並未能反應出具有 ENSO 影響訊號。

2. 受影響區域的空間分布分析

本節進一步繪製通過顯著檢定的測站空間分布圖，並計算各測站在這些事件年份的統計平均量以觀察台灣受 ENSO 影響的區域分布及具體量化關係。此處的量化做法以採類似合成分析法的方式來表現，不過本研究為強調避免因雨量極值造成平均數的偏差，乃以樣本中位數做為合成平均值的代表，而又為了與一般年組的雨量值進行定量比較，因此將欲觀察的 ENSO 年合成值求出相對於一般年的降雨比值來表現。

經由前一節分析顯示，ENSO 對台灣 1 月至 4 月降雨的影響，只在 1 月及 3 月較明顯，以下為說明受影響區域的空間分布，分別將具影響訊號的 1 月聖嬰年、1 月反聖嬰年及 3 月反聖嬰年的雨量分析情形依序繪製於圖 1 至圖 3，皆以強個案組來分析，各圖中皆含有左右 2 小圖，左圖為測站空間分布圖，右圖則為對應的統計箱型圖，其包含了各資料組的最小值、第 1 四分位數、中位數、第 3 四分位數，以及最大值，可用來再檢查無母數檢定法的結果，並提供更多的量化分析。

由圖 1 可見聖嬰年對台灣 1 月份降水的影響訊號皆出現在台灣西半部，由正值比值可知聖嬰年為台灣西部帶來多雨的影響。以箱型圖分析，可見聖嬰年組的整個箱型提升，西部受影響的 8 個測站不只在中位數，在 2 個四分位數及最大值方面，降雨比值也都高出所對應的一般年組，也驗證了由無母數統計檢定法得出這些測站具明顯差異的結果。

1 月反聖嬰年對台灣的影響訊號變成在東部(圖 2)，而正值的降雨比值以及上升的箱型圖告訴我們仍是多雨的影響。由此我們注意到 ENSO 對台灣 1 月份的降雨影響並不是對稱性的，對 1 個地區而言，聖嬰年帶來多雨的影響並不保證在反聖嬰年時將帶來少雨的影響；而對整個台灣而言，聖嬰年與反聖嬰年的影響發生在不同區域，也傳達了這種不對稱性。更有甚者，對於 1 月份唯一在 ENSO 正反兩面皆有影響訊

號的澎湖站，其在聖嬰年及反聖嬰年皆反應雨量偏多，這種明顯的不對稱特徵，若以簡單的相關係數分析，或是 ENSO 正反兩面相比較的合成分析，都將可能不易辨識出來。

3 月反聖嬰年的影響示如圖 4，左圖顯示具信號的測站大多分布在台灣西半部，各站一致顯示負值比值，表示當反聖嬰年時，台灣西部測站傾向出現少雨情形。由箱型圖分析，可清楚看見整個箱型下降，就連極大值的雨量也只有接近一般年份的中位數值，顯示在反聖嬰年的 3 月份，台灣西部測站很不容易出現明顯的降雨量。

3. 前後期年代差異分析

分析 2 個變量之間的統計關係時，一般希望分析資料長度愈長愈有代表性，但有一個重要假設是希望資料的特性必需是穩定的，在進行台灣氣候分析時，已注意到有明顯的年代際變化特徵，而且春雨與 ENSO 關係更有清楚的年代際差異，因此本研究以無母數統計方法重新探討這個議題時，也同樣要來檢查使用此方法下所得的差異情形。

分析中將 1951~2008 年共 58 年的個案分為前後 2 期，分析方法與前同。結果顯示(表 3)在 1 月至 4 月的單月中，2 月及 4 月的關係仍不明顯，而 1 月份原本在聖嬰年多雨的表現，在樣本拆成前後 2 組後，關係就不清楚了。至於 1 月反聖嬰年的分析方面，在前期 1951~1979 年代降雨有顯著差異信號的測站高達 9 個，而 1980~2008 年時段則大幅減為 1 個，顯示這個關係主要發生在前期，對於後期則不適用。這種年代差異同樣發生在 3 月份的反聖嬰年訊號，在 1951~1979 年有 8 個測站通過顯著測試，但後期年代只有 1 個通過。另外原本 3 月聖嬰年在所有 58 年的個案並沒有顯示好的關係，不過經分組後，於 1980~2008 年則有高達 9 個測站有影響信號，進一步檢查降雨比值，可見近期年代台灣 3 月西部容易在聖嬰年時有多雨的情形，這點與之前的研究結果相同。

總體來說，對於 ENSO 與台灣春雨的關係，在本研究的年代差異分析中，並沒有發現前後期年代都穩定存在的明顯訊號。

四、討論與結論

有關台灣春雨與 ENSO 的關係，過去的研究成果強調以 2 月至 3 月的雨量具有較佳相關。本研究以無母數檢定法重新分析台灣春雨與 ENSO 的統計關係，結果顯示與前人研究結果略有不同。在 1 月至 4 月這段期間，有明顯統計關係的月份是 1 月份及 3 月份，而 2 月及 4 月份幾乎沒有信號，而不論 1 月或 3 月，雨量與 ENSO 的關係皆存在年代差異性。由各組月份的組合分析，本研究認為以 2~4 月的總雨量定為春雨

來進行與 ENSO 相關的研究可能無法清楚地辨認其間的關係。本研究還發現，ENSO 對台灣春季月份降水的影響並非簡單的正反對稱，以 1 月而言，聖嬰年時有影響的區域為台灣西部，但反聖嬰年時，有影響的訊號卻在東部。這個特殊現象初步認為可能與 ENSO 事件激發的東亞冬季風變異有關，根據 Wang 等 (2000) 的研究，在聖嬰年時菲律賓附近易形成反氣旋式環流，此種型態易為台灣提供偏南氣流，配合在 1 月盛行的北方氣流，形成冷暖界面，將提供西部有利的降水機會，而反聖嬰年在氣旋式環流偏強下，東北季風增強，可能增加台灣東半部迎風面的降水機會。這些推論將留待後續工作進一步清楚分析。

五、參考文獻

- 吳明進、陳圭宏 1996：聖嬰/南方振盪(ENSO) 現象對台灣短期氣候變化影響之研究春雨部分。八十五年度委託計畫研究報告第 CW85-2M-04 號，交通部中央氣象局。
- 許見雄、陳圭宏 1994：台灣地區低頻大氣變化與熱帶海洋及大氣的關係。氣象科技中心技術 報告彙編，No.014，中央氣象局，33-58。
- 廖志翔 1995：台灣地區春季降雨分析及聖嬰/南方振盪(ENSO)關係之探討。八十四年度研究報告第 CW84-1A-04 號，交通部中央 氣象局。
- 盧孟明，2000，聖嬰現象與臺灣異常氣候關係之探討，大氣科學，第 28 期第 2 號，91~114。
- 顏月珠，2006，無母數統計方法，台大法律學院圖書文具部，p772。
- Chen, G. T. J., Z. H. Jiang, and M. C. Wu, 2003: Spring heavy rain events in Taiwan during warm episodes and the associated largescale conditions. *Mon. Wea. Rev.*, 131, 1173-1188.
- Chen, J. M., T. Li, and C. F. Shih, 2008: Asymmetry of the El Niño-spring Rainfall Relationship in Taiwan. *J. Meteor. Soc. Japan*, 86, 297-312.
- Jiang, Z., G. T.-J. Chen, and M.-C. Wu, 2003: Large-scale circulation patterns associated with heavy spring rain events over Taiwan in strong and non-ENSO years. *Mon. Wea. Rev.*, 131, 1769-1782.
- Wang, B., R. Wu, and X. Fu, 2000: Pacific-East Asian Teleconnection: How Does ENSO Affect East Asian Climate? *Journal of Climate*, 13, 1517-1536.

春季聖嬰年 共 18 年(強個案 13 年)	1952, 1958, 1964, 1966, 1969, 1970, 1973, 1977, 1978, 1983, 1987, 1988, 1992, 1995, 1998, 2003, 2005, 2007
春季反聖嬰年 共 18 年(強個案 13 年)	1951, 1955, 1956, 1957, 1965, 1968, 1971, 1972, 1974, 1975, 1976, 1985, 1989, 1996, 1999, 2000, 2001, 2008

表 1、以 ONI 海溫指標所定義的聖嬰/反聖嬰年個案，其中年份以粗體標示者本文以 ONI 指標值大於 1.0 以上所定義的強個案。

	Jan		Feb		Mar		Apr		JFMA		JFM		FMA		FM	
El Nino/La Nina	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L
All ENSO Cases (ONI ≥ 0.5)	8	6	0	1	3	6	1	1	1	0	6	3	0	1	1	1
Strong ENSO (ONI ≥ 1.0)	8	8	0	0	1	10	0	0	2	1	8	2	0	3	1	7

表 2、以台灣 21 個測站比較在聖嬰/反聖嬰年的雨量與一般年份是否有明顯差異時，所有通過 Mann Whitney Wilcoxon 檢定的測站數。經廣域隨機測試，本研究認定通過顯著檢定的測數站超過 5 個者代表存在有 ENSO 影響的顯著關係。

(a)

1951-1979	Jan		Feb		Mar		Apr		JFMA		JFM		FMA		FM	
El Nino/La Nina	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L
All ENSO Cases (ONI ≥ 0.5)	0	5	0	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	2	0	1
Strong ENSO (ONI ≥ 1.0)	4	9	1	0	0	8	3	0	1	1	2	0	0	5	1	8

(b)

1980-2008	Jan		Feb		Mar		Apr		JFMA		JFM		FMA		FM	
El Nino/La Nina	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L	E	L
All ENSO Cases (ONI ≥ 0.5)	1	1	1	1	9	2	1	3	3	0	7	0	2	0	7	1
Strong ENSO (ONI ≥ 1.0)	4	1	1	0	6	1	1	1	3	0	4	0	1	0	2	0

表 3、同表 2，但將研究樣本分為前後 2 段。資料樣本 (a) 為 1951 年~1979 年；(b) 為 1980 年~2008 年。

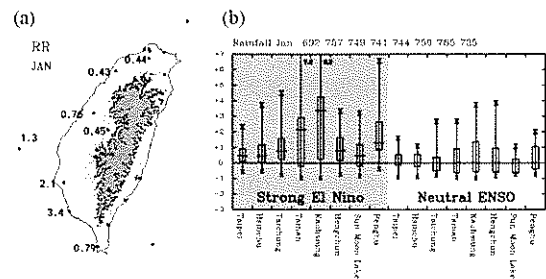


圖 1、台灣 1 月雨量在聖嬰強個案年與一般年份的比較分析圖。(a) 月雨量在兩類樣本組具有明顯差異的測站位置分布圖。圖中紅色數值是聖嬰強個案樣本的中位數相對於一般年份的降雨比值，表示該類樣本的平均降雨比一般年份多出的倍數。(b) 兩類樣本組的雨量統計箱型圖。同樣顯示 (a) 圖具顯著訊號的測站雨量在聖嬰強個案年傾向比一般年份為多。

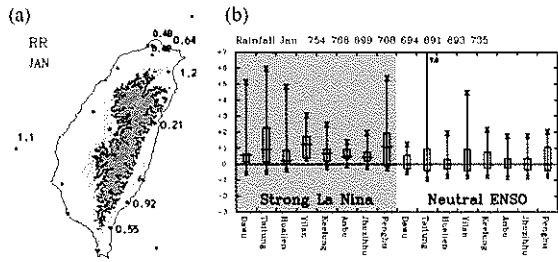


圖 2、同圖 1，但為台灣 1 月雨量在反聖嬰強個案年與一般年份的比較分析圖。

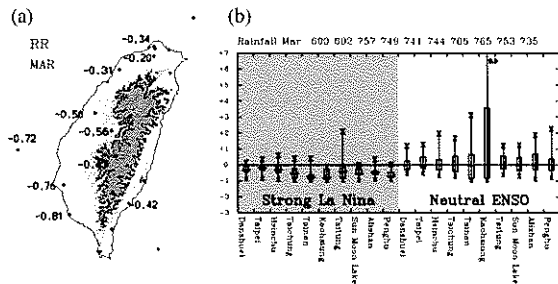


圖 3、同圖 1，但為台灣 3 月雨量在反聖嬰強個案年與一般年份的比較分析圖。圖(a)中藍色數值同樣是反聖嬰強個案樣本的中位數相對於一般年份的降雨比值，惟本項比較結果為負值，數值變紅色數值是聖嬰強個案樣本的中位數相對於一般年份的降雨比值，成表示該類樣本的平均降雨比一般年份偏少的倍數。

