

# 自組織映射圖網路與線性動差法於區域乾旱 頻率分析之研究

## A Study on Regional Drought Frequency Analysis Using Self-Organizing Map and L-Moments

台灣首府大學  
休閒設施規劃與管理學系  
副教授

陳 儒 賢\*

Lu-Hsien Chen

台灣首府大學  
休閒設施規劃與管理學系  
專任助理

洪 毓 婷

Yu-Ting Hong

台灣首府大學  
休閒設施規劃與管理學研究所  
碩士

許 臣 王

Chen-Wang Hsu

### 摘 要

本研究之目的是應用自組織映射圖(self-organizing map, SOM)網路與線性動差法(L-moment)於台灣地區乾旱頻率分析之研究。首先，本研究選用全台灣 81 個雨量測站，各測站之紀錄年限均超過 30 年，並以標準化降雨指標(standardized precipitation index, SPI)定義各測站於紀錄期限內之乾旱事件，將其乾旱特性資料與地文因子經由 SOM 網路進行分群。由 SOM 網路之二維密度圖可知，81 個雨量測站可被分成 6 群，因此可將台灣地區劃分成 6 個均一性區域。再者，經由以線性動差為基礎的不一致估量(discordancy measure)及異質性估量(heterogeneity measure)評估同一群集之乾旱資料是否具有均一性，結果顯示這 6 個群集均通過測試。接著以適合度估量(goodness-of-fit measure)選取各群集最適合之機率分佈，以乾旱量而言，屬於通用帕雷托分佈(generalized Pareto distribution, GPA)共計三個群集；屬於三參數對數常態分佈(three-parameter lognormal distribution, LN3)共計兩個群集；屬於皮爾遜第 III 型分佈(Pearson type III distribution, PE3)則只有一個群集。以乾旱延時而言，分別各有三個群集屬於 PE3 及 GPA 分佈。最後，本研究分別推估各群集重現期距分別為 5、10、20、50 及 100 年之頻率乾旱量及乾旱延時，此區域乾旱頻率分析之結果將可作為未來台灣地區水利設施規劃設計時之參考。

**關鍵詞：**區域乾旱頻率分析，標準化降雨指標，自組織映射圖網路，線性動差。

### ABSTRACT

The purpose of this paper is to carry out the regional drought frequency analysis in

\*通訊作者，台灣首府大學休閒設施規劃與管理學系副教授，72153 台南市麻豆區南勢里 168 號，lhchen@tsu.edu.tw

Taiwan using self-organizing map (SOM) and *L*-moments. First, the 81 rainfall data with over 30-year record length in Taiwan are available. In this paper, standardized precipitation index (SPI) is used to define droughts. Based on the SPI and the geographic characters of the gauges, the SOM is used to group the rain gauges into specific clusters. According to the two-dimensional density map resulting from SOM, it is observed that the rain gauges can be grouped into 6 clusters. Moreover, the *L*-moment based discordancy and heterogeneity measures are used to test whether clusters may be acceptable as being homogeneous. The results show that the 6 clusters are sufficiently homogeneous. Then, the goodness-of-fit measure is used to select the best regional probability distributions of droughts. For drought magnitude, the results show that the best regional probability distribution for 3 regions is the generalized Pareto (GPA) distribution, the three-parameter lognormal (LN3) distribution is the best distribution for 2 regions, and the Pearson type III (PE3) distribution is the best distributions for only one region. For drought duration, the PE3 and GPA distributions are the best distributions for 3 regions, respectively. Finally, the drought magnitudes and drought durations with various return periods for each cluster are estimated. The results will provide a reference for the future design of hydraulic structures in Taiwan.

**Keywords:** Regional drought frequency analysis, Standardized precipitation index, Self-organizing map, *L*-moment.

## 一、前言

乾旱為水文氣象水量較少時之現象，乾旱的定義也由於在農業、氣象及水文等研究領域的不同，產生不同之差異。在農業乾旱方面，係指某一時期，因為雨水不足造成土壤含水量無法充分供應農作物之所需，使農作物無法正常生長；在氣象乾旱方面，係指氣候異常所造成雨水失調之自然現象；在水文乾旱方面，係指降雨逕流異常，導致水量供應匱乏及水庫蓄水偏低，使得各種用水不能適時適量供應之現象。由於乾旱之產生是屬於漸進式的，因此具有足夠時間來進行監測與因應準備。近年來不同的監測與預警方法相繼被提出，例如：McKee *et al.* (1993)使用雨量為分析變量，發展標準化降雨指標(standardized precipitation index, SPI)，並將其應用於美國地區，此指標具有簡單、多時間尺度與標準化等優點；Stephens (1998)利用農業氣候模式及年產量指標(yearly productivity index)對澳洲大麥種植區

定義出乾旱嚴重程度指標(drought exceptional circumstance index)。但該指標僅考慮單一作物產量，造成實際應用並不容易；Kumar (1998)使用播種延遲時間、月雨量及月降雨天數等三變數，配合兩個線性回歸模式。當應用於不同地區時，必須再次逐步回歸模式，故該法無法做全面性應用；Unganai and Kogan (1998)利用輻射資料，經演算轉換成植物狀態指標及溫度狀態指標，進行南非之乾旱監測與作物產量估算。應用遙測技術擴大監測範圍，然影響作物產量之因素甚多，利用作物產量來代表乾旱情況恐不客觀；Wilhite (2000)以美國科羅拉多州為研究地區，結合 SPI、地表水供水指標(surface water supply index)及帕瑪乾旱指標(palmer drought severity index, PDSI)監測當地之水資源狀況；Su *et al.* (2003)基於地表能量平衡，利用遙測資料估算相對土壤含水量。研究結果顯示相對蒸發量可由遙測資料估算，此法可用來定義乾旱嚴重指標(drought severity index)以供監測之用。

SPI 為氣象乾旱指標，主要是針對不同時間尺度之降雨特性進行分析，反映乾旱之嚴重程度，因模式建置過程簡易與操作方便，且具有簡單、多時間尺度與標準化等之優點，所以近年來已在世界各國被廣泛應用，並有相當多成果發表。Szalai and Szinell (2000)利用 SPI 評估匈牙利乾旱現象，發現 SPI 適用於定量大部份型態之乾旱事件；Boridi *et al.* (2001)証實 SPI 可作為重建義大利歷史乾旱事件之工具；Sims *et al.* (2002)比較 SPI 與 PDSI 估計美國北卡羅來納州中部山麓、西部山區及沿海平原之土壤含水量，結果顯示 SPI 可以表現短期降雨量及土壤含水量變動，為一不錯的土壤溼度指標；Seiler *et al.* (2002)利用 SPI 研究阿根廷的週期性洪氾，作為監測水災風險的工具；Keyantash and Dracup (2002)提出 SPI 較其他數種指標更適宜運用在乾旱監測上，且美國國家乾旱防治中心已採用 SPI 取代傳統的 PDSI；Ancil *et al.* (2002)進行五日降雨的區域分析，證明由 SPI 定量雨量分佈之特徵函數，可以獲得乾旱的結束日；Bonaccorso *et al.* (2003)利用主成分分析針對義大利西西里島長期乾旱之空間變化進行研究，並針對雨量資料計算得到 SPI 值，其結果顯示整座島有逐漸乾旱之趨勢，SPI 亦可用於分類乾旱週期之研究；Rouault and Richard (2003)指出 SPI 可監測不同時間尺度之乾旱強度及空間範圍；Tsakiris and Vangelis (2004)結合數值地形模型，應用 SPI 建立中尺度的乾旱觀測系統；Loukas and Vasiliades (2004)應用 SPI 作為乾旱強度指標，將希臘 Thessaly 地區劃分成 212 個(8×8 km)網格，並計算網格於各種時間尺度之 SPI 值。最後利用 SPI 分析乾旱之時間及空間特性後，建立乾旱強度-面積-頻率(drought severity-areal extent-frequency)之年及月曲線；Mishra and Desai (2005a)使用 SPI 作為乾旱指標，研究印地安 Kansabati 流域乾旱在空間及時間上之變動情形；Mishra and Desai (2005b)運用 ARIMA 及 SARIMA 模式做 SPI 值之乾旱預測，其預測精度隨著預報時間愈長而逐漸遞減，可有效預報乾旱前置時間為兩個月；Vicente-Serrano and Lopez-Moreno (2005)比較西班牙庇里牛斯山

中央一閉合流域，於不同時間尺度之 SPI 對表面水文變數之影響，並建議在監測不同環境及水資源需求之乾旱型態時，須檢測乾旱指標及時間尺度間相互關係。Saeid *et al.* (2006)應用七種乾旱指標來監測伊朗德黑蘭省的乾旱現象，結果顯示 SPI 可以反應乾旱緩慢的初始現象，且在乾旱辨識方面都有良好的效果。關於國內 SPI 之相關應用，蕭及楊(2006)以 SPI 定義乾旱，並應用指數洪水法之概念配合線性動差法，推估台灣地區北、中、南、東四區之乾旱量；呂(2006)建立台灣南部地區各雨量站之 SPI 值，並對照歷史乾旱紀錄，分析 SPI 之時間及空間特性；林(2007)分析台灣地區長期 SPI 序列變動特性，並使用 Cumulative Deviations 檢定法，探討各雨量站改變點前後是否存在顯著差異。

台灣的地理位置位於亞熱帶地區，是屬於副熱帶的海島型氣候，其氣候受到季風、梅雨及颱風等因素之影響，再加上中央山脈的阻擋，所以台灣地區的降雨不論在時間及空間上均相當複雜且多變化。由於雨量在時間及空間上呈現不均勻分佈，因此在進行乾旱分析時，若有較長的乾旱延時，便會使得一些紀錄年限不夠長的測站，常會沒有足夠的乾旱資料提供分析。再者，基於設置雨量測站的成本考量，因此無法全面設置雨量測站，造成空間資料的缺乏。上述種種因素，使得進行乾旱事件之頻率分析相當困難，若要獲得較準確的推估值，必須整合多站的觀測資料，並藉助統計方法進行分析，此推估區域內不同頻率水文量的方法稱為區域頻率分析(regional frequency analysis)。在各種區域頻率分析的方法中，指數洪水法(index flood method) (Dalrymple, 1960)是最常被用以進行分析的方法，後來機率權重動差(probability-weighted moment)之理論被提出(Hosking *et al.*, 1985)，1990 年 Hosking 更進一步提出一種全新的動差法，由於其值為觀測值之線性組合，故稱之為線性動差(L-moments) (Hosking, 1990)。線性動差具有機率權重動差之優越統計特性，並具有傳統動差之物理意義，因此是目前用於區域頻率分析最廣為運用之方法，例如：Fowler and Kilsby (2003)用於分析英國

地區之極端雨量頻率；Zhang and Hall (2004)用於中國贛江及閩江流域地區 86 個雨量站進行區域洪水頻率分析；Kumar and chatterjee (2005)用於印度地區之洪水頻率分析。Srinivas *et al.* (2008)用於美國印地安納 245 流量站進行區域洪水頻率分析。關於台灣地區區域頻率分析之相關研究，張等(1995)探討線性動差用於水文頻率分析之優越性；張及吳(1995)亦曾應用線性動差圖於決定台灣南部地區最大日雨量之區域機率分佈型態；張等(1997)以台灣南部地區最大日雨量為例，利用線性動差法於均勻性與適合度檢定，並以蒙地卜羅繁衍法比較不同檢定法之優劣。

在區域頻率分析之過程中，測站應分佈於同一均一性區域(homogeneous region)內，因為區域頻率分析是依照同性質分配，其結果會比依照位置分配估計更為準確(Hosking and Wallis, 1997)。關於均一性區域之劃分，群集分析(cluster analysis)常被廣泛應用，自組織映射圖(self-organizing map, SOM)網路不需事先了解群集組數，只需經由神經元之學習訓練即可，無傳統群集分析方法之困擾，因此近年來 SOM 網路常被應用於各個領域中。在水文上的應用，Abrahart and See (2000)運用 SOM 網路區分不同集水區及預報流量上；Lin and Chen (2005)應用 SOM 網路於時間序列之預測上；Lin and Chen (2006)應用 SOM 網路於均一性區域的劃分上；Jain and Srinivasulu (2006)運用 SOM 網路將流量歷線切割成數個區塊，並進行流量的預報；Lin and Wu (2007)以 SOM 網路建立未設測站地點之設計雨型；Chang *et al.* (2007)應用增強型 SOM 網路(enforced SOM, ESOM)於洪水預測上；Kalteh and Berndtsson (2007)藉由 SOM 網路，利用其它雨量測站補遺遺失的量測資料。高等(2007)透過 SOM 網路學習，藉由網路拓樸層各聚類之中心點，應用線性迴歸方式與輸出層連結，以準確的推估日蒸發量。Chang *et al.* (2008)分別利用 SOM 網路及 K 均值法(K-means method)，針對台灣生態水文指標(TEIS)之統計值進行分群，結果發現 SOM 網路有較佳之分群結果；Yang and Chen (2009)以 SOM 網路結合 BPN 作洪水預測，其結果顯示經由 SOM 網路所得之

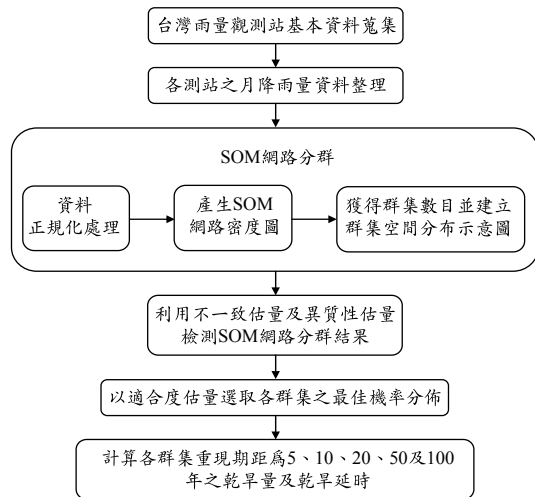


圖 1 本研究所提出之區域乾旱頻率分析流程圖

二維映射圖，能客觀地確立網路之隱藏層神經元數目，對於洪水預測上極為顯著。關於 SOM 網路應用於水文領域之研究，ASCE (2000)及 Kaltsh *et al.* (2008)已經做了廣泛之回顧。

本研究之主要目的在於探討台灣地區之區域乾旱頻率。首先，蒐集全台灣降雨紀錄年限超過 30 年之雨量測站資料，並將各雨量測站之年雨量轉換為 SPI 值，以定義各測站於紀錄期限內之乾旱事件，接著再運用 SOM 網路進行群集分析，將具有相同乾旱特徵之測站分群，其分群結果再經由以線性動差為基礎的不一致估量(discordancy measure)及異質性估量(heterogeneity measure)評估同一群集之乾旱資料是否具有一致性及均一性，並藉由適合度估量(goodness-of-fit measure)選取各群集最合適的機率分佈函數。最後，再分別求取各個群集不同重現期距下之乾旱量及乾旱延時，上述區域乾旱頻率分析之研究流程圖整理於圖 1。

## 二、研究方法

### 2.1 標準化降雨指標

SPI 將降雨量缺乏之情形，依據不同時間尺度加以量化，不同時間尺度可反應不同水資源需求匱乏之衝擊。計算 SPI 的首要步驟是選擇一個可以代表降雨量的機率分佈函數，當機率分佈函

表 1 標準化降雨指標等級分類表

乾旱程度	SPI 值
極端潮濕(extremely wet)	$SPI \geq 2.0$
非常潮濕(very wet)	$1.5 \leq SPI < 2.0$
中度潮濕(moderately wet)	$1.0 \leq SPI < 1.5$
正常(near normal)	$-1.0 \leq SPI < 1.0$
中度乾旱(moderately dry)	$-1.5 \leq SPI < -1.0$
嚴重乾旱(severely dry)	$-2.0 \leq SPI < -1.5$
極端乾旱(extremely dry)	$SPI < -2.0$

數決定後，由降雨量尋求其累積機率，再由相同之累積機率利用標準化之過程求其 SPI 值。第  $i$  時刻之 SPI 值  $SPI_i$  可表示為：

$$SPI_i = \Phi^{-1}(F(P_i)) \quad \dots\dots\dots(1)$$

其中， $\Phi^{-1}$  為標準常態分佈之反函數； $P_i$  為第  $i$  時刻之降雨量； $F(P_i)$  為降雨量小於或等於  $P_i$  時之累積機率。

SPI 值是以正、負值代表潮濕或乾旱，正值越大代表越潮濕；負值越大則代表越乾旱。SPI 在計算上可以依其無因次化之數值特性，顯示不同時期之乾濕狀態，其乾旱程度所對應之 SPI 值如表 1 所示(Wilhite *et al.*, 2000)。

McKee *et al.* (1993)分析 3、6、12、24 和 48 個月時間尺度之 SPI 變化特性，發現 SPI 可提供早期乾旱警告，協助評價乾旱的嚴重性。並提出當 SPI 值持續為負數且 SPI 值小於等於-1.0，則可紀錄為一乾旱事件。再者，乾旱事件之乾旱量(drought magnitude)則定義為乾旱事件內 SPI 值之累積量，為了便於表示，將乾旱量取正值，表示如下：

$$s = \sum_{i=1}^D SPI_i \quad \dots\dots\dots(2)$$

其中， $D$  為乾旱延時，表示 SPI 連續負值且有其一組 SPI 值達到-1 之時段。

然而，在台灣地區某一些乾旱事件雖然其間之 SPI 值未能達到-1，但由於其延時比較長，導致乾旱量可能比短延時 SPI 達到-1 時所造成的乾旱事件所帶來的乾旱量來的大，為取得較大量的乾旱樣本資料，以作較詳盡深入的分析與探討，

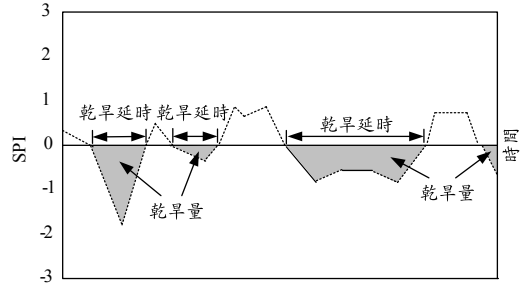


圖 2 乾旱事件示意圖

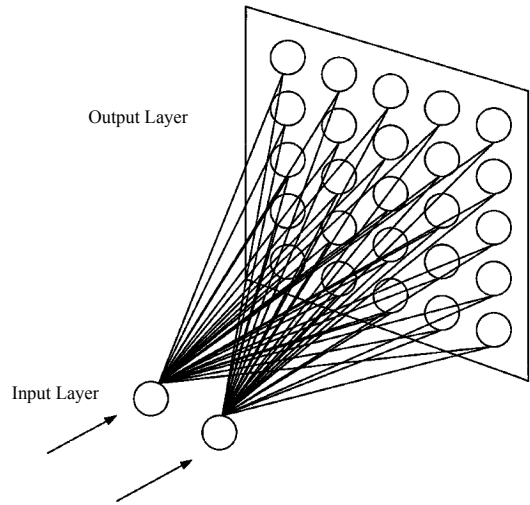


圖 3 SOM 網路架構圖

本研究將乾旱事件之定義略作修正，定義乾旱延時為 SPI 連續低於 0 的一段時間，而且排除限制 SPI 需達-1 (如圖 2 所示)，而乾旱量即為此段乾旱延時內之 SPI 值累積量。

## 2.2 自組織映射圖網路

SOM 由 Kohonen (1982)所提出，其基本原理即類似腦細胞聚集於一起之『物以類聚』的特性，其網路架構如圖 3 所示。

SOM 網路學習過程包含三大程序，依次為競爭程序(competitive process)、合作程序(cooperative process)以及調整程序(adaptive process)。關於此三個重要學習程序詳述如下：

### 2.2.1 競爭程序

假設輸入資料  $U$  具有  $q$  個維度，則網路中各

個神經元的鍵結權重(synaptic weight)與輸入樣式擁有相同數目的維度。神經元的鍵結權重向量  $W_i$  可表示如下式：

$$W_i = [w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{iq}] \quad i = 1, 2, \dots, l \quad \dots \dots \dots (3)$$

其中， $l$  表示輸出層之神經元個數。各鍵結權重向量在競爭過程中，剛開始之初始值為較小之隨機亂數，競爭學習表示網路中之神經元互相比較，其中被活化之神經元即為優勝神經元，通常輸入向量與神經元鍵結權重最相似之神經元為優勝神經元。決定優勝神經元之公式可表示如下：

$$j(x) = \arg \min_i \|U - W_i\| \quad i = 1, 2, \dots, l \quad \dots \dots \dots (4)$$

其中， $j(x)$  表示與輸入向量  $x$  最為相似的神經元； $\|\bullet\|$  為歐式距離。當  $\|U - W_i\|$  之數值最小時，代表表示輸入向量  $X$  與鍵結權重  $W_i$  具有最大之相似度。

每一次競爭程序中均有一個輸入樣式被輸入網路，接著計算此輸入樣式與網路中每個神經元的相似度，選擇與該輸入樣式相似程度最高的神經元，將其激發並進行後續的程序。相似度最高乃表示該輸入樣式與對應的神經元的歐氏距離最短。而與其等價的量度方法乃是計算輸入樣式與各神經元鍵結的內積，並選擇與輸入樣式內積之值最小的神經元，即優勝神經元，並將其激發。在經過競爭程序後，高維度的輸入樣式可被映射到較低維度的空間中。

### 2.2.2 合作程序

當一個競爭程序完成後，會產生一個優勝神經元，該神經元會被訂定為拓樸鄰域中心。實際上，神經元間會有交互作用，而此作用的影響與神經元間的距離成反比，當距離愈長則影響就愈小；反之則愈大。拓樸鄰域通常可以高斯函數表示如下式：

$$h_{j,i(x)} = \exp\left(-\frac{d_{j,i}^2}{2\sigma^2}\right) \quad \dots \dots \dots (5)$$

其中， $h_{j,i(x)}$  表示在優勝神經元  $i$  鄰近的拓樸鄰域； $d_{j,i}$  則是神經元  $j$  與優勝神經元  $i$  的距離，當

$d_{j,i}$  趨近無限時，拓樸鄰域則趨近於零，這是 SOM 網路收斂的必要條件； $\sigma$  表示拓樸鄰域的有效寬度(effective width)，其大小代表在優勝神經元附近的神經元參與學習過程的數目。

拓樸鄰域的另一個重要特徵，是其有效寬度會隨著疊代次數的增加而逐漸減小，達成此目的的方法乃是令有效寬度隨著時間逐漸減少，如下所示：

$$\sigma(n) = \sigma_0 \exp\left(-\frac{n}{\tau_1}\right) \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad \dots \dots \dots (6)$$

其中， $\sigma_0$  為  $\sigma$  在演算時之初始值； $n$  為疊代次數； $\tau_1$  為常數。拓樸鄰域可寫成：

$$h_{j,i(x)}(n) = \exp\left(-\frac{d_{j,i}^2}{2\sigma^2(n)}\right) \quad \dots \dots \dots (7)$$

上式又稱為鄰域函數(neighborhood function)，會隨著時間(疊代次數)改變而改變。

### 2.2.3 調整程序

在神經元的鍵結調整過程中，鍵結會被調整往靠近輸入樣式的方向。其調整的方式以原始的 Hebb 假設為主，但此假設並不能完全滿足自組織映射圖網路的需求。需要引進失憶項(forgetting term)修正原始的 Hebb 假設，所得到鍵結權重值的調整的方式如下所示：

$$\Delta W_j = \eta h_j(X - W_j) \quad \dots \dots \dots (8)$$

其中， $\eta$  為學習率。神經元鍵結權重之差值由上式可得。新神經元的鍵結權重值可由下式得到：

$$W_j(t+1) = W_j(t) + \eta(t)h_j(t)(X - W_j(t)) \quad \dots \dots \dots (9)$$

只有在拓樸鄰域內的神經元的鍵結才會被調整。不斷將輸入樣式輸入到網路時，拓樸鄰域在每一次輸入到網路中時輸入樣式就更新一次，逐漸能捕捉到輸入樣式的統計特性在自組織映射圖網路。自組織映射圖網路中在收斂後，相似的鍵結具有相鄰的神經元，相差較多的鍵結則神經元距離較遠。

當網路訓練結束且已達收斂時，可以用網格來表示網路中所有的神經元，再將原先的輸入樣式輸入到網路，並將其對應激發的神經元及輸入

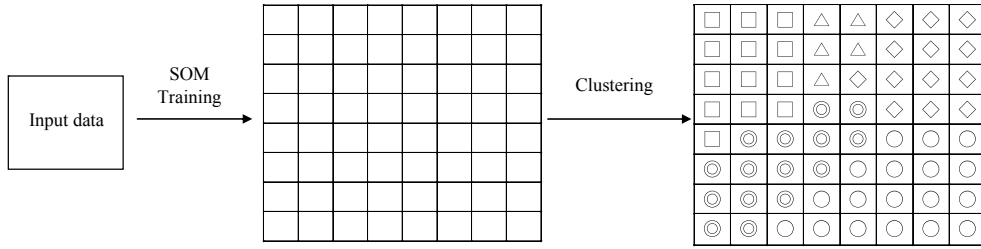


圖 4 SOM 網路應用於群集分析之過程及結果(不同符號代表不同之群集)

樣式的編號或其名稱分別標示在網格中，即得到特徵圖(feature map)，被標示的網格元素稱為該特定輸入樣式的映像(image)。在特徵圖中，一個輸入樣式只擁有唯一的映像，但一個映像卻可同時是很多不同輸入樣式的映像。計算每個映像所對應的輸入樣式數目並將其填入該網格中即可得到密度圖(density map)，從中可得知輸入樣式在密度圖散佈的情形。在輸入樣式較密集的区域，密度圖會顯示出高原(plateau)的存在，表示群集存在於此区域；在較稀疏的区域，其密度圖會顯示出山谷(valley)，顯示出群集間的界線。關於 SOM 網路應用於群集分析之過程及結果整理如圖 4 所示。

### 2.3 區域頻率分析(regional frequency analysis)

#### 2.3.1 線性動差法推估參數

線性動差為機率權重動差(probability-weighted moment)的線性組合(Hosking, 1990)，定義如下：

$$\lambda_{r+1} = \sum_{k=0}^r P_{r,k}^* \beta_k \quad r=0, 1, 2, \dots \quad (10)$$

其中， $\lambda_r$  為  $r$  階之線性動差； $\beta_k$  為  $k$  階之機率權重動差，其定義由下列式子得知：

$$\beta_k = \int_0^1 x(F) F^k dF \quad (11)$$

其中， $x(F)$  為發生機率為  $F$  之分位數； $P_{r,k}^*$  為係數，定義為：

$$P_{r,k}^* = (-1)^{r-k} \binom{r}{k} \binom{r+k}{k} \quad (12)$$

Hosking (1990)另定義線性動差比(L-moment

ratio)為

$$\tau = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}, \tau_r = \frac{\lambda_r}{\lambda_2}, \quad r=3, 4, \dots \quad (13)$$

其中， $\tau_r$  為  $r$  階之線性動差比。常用的線性方程式及動性動差比之意義說明如下： $\lambda_1$  為平均值； $\tau = \lambda_2/\lambda_1$  類似於變異係數(coefficient of variation)，經常以  $L-CV$  (線性變異係數)來代表； $\tau_3 = \lambda_3/\lambda_2$  為量度偏度(skewness)的指標，稱為線性偏度(L-skewness)； $\tau_4 = \lambda_4/\lambda_2$  為量度峰度(kurtosis)的指標，稱為線性峰度(L-kurtosis)。利用觀測站值推估上述線性動差須先將觀測站值依大小排序，假設  $x_j$  為觀測值，且  $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$ ，則(10)式所定義之各階線性動差可以下式推估：

$$l_{r+1} = \sum_{k=0}^r p_{r,k}^* b_k \quad (14)$$

其中， $b_k$  為  $\beta_k$  之推估值，定義為：

$$b_k = \frac{1}{n} \sum_{j=k+1}^n \frac{(j-1)(j-2)\dots(j-k)}{(n-1)(n-2)\dots(n-k)} x_j, \quad (15)$$

$$k=0, 1, 2, \dots, n-1$$

其中， $l_r$  為  $\lambda_r$  之推估值，較常用的前四階線性動差推估值為：

$$l_1 = b_0 \quad (16a)$$

$$l_2 = 2b_1 - b_0 \quad (16b)$$

$$l_3 = 6b_2 - 6b_1 + 6b_0 \quad (16c)$$

$$l_4 = 20b_3 - 30b_2 - 12b_1 - b_0 \quad (16d)$$

其中，以  $t = l_2/l_1$  及  $t_r = l_r/l_1$  來代表  $\tau$  及  $\tau_r$  的推

估值，計算時先由各站排序之觀測值推估  $l_1, t, t_3, t_4 \dots$ ，以  $l_1^{(i)}, t^{(i)}, t_3^{(i)}, t_4^{(i)} \dots$  來代表，而後再以各站資料各數為權重推求區域參數，如下所示：

$$l_1^R = \frac{\sum_{i=1}^N n_i l_1^{(i)}}{\sum_{i=1}^N n_i} \dots\dots\dots (17a)$$

$$t^{(R)} = \frac{\sum_{i=1}^N n_i t^{(i)}}{\sum_{i=1}^N n_i} \dots\dots\dots (17b)$$

$$t_r^{(R)} = \frac{\sum_{i=1}^N n_i t_r^{(i)}}{\sum_{i=1}^N n_i}, \quad r = 3, 4, \dots \dots\dots (17c)$$

### 2.3.2 不一致估量(discordancy measure)

區域頻率分析的第一步就是篩選資料，以了解該區域內各站之資料是否具有的一致性。Hosking and Wallis (1997)認為同一群集內，各測站之線性動差應有相當的一致性，若偏離其他測站之線性動差過遠，則表示該站與其他站之資料不一致，需將之排除。他建議以不一致估量(discordancy measure)來篩選群集內資料特性不一致的測站，詳細的計算過程說明如下：

以  $u_i = [t^{(i)} t_3^{(i)} t_4^{(i)}]^T$  代表第  $i$  站  $t (= l_2 / l_1)$ 、 $t_3 (= l_3 / l_2)$  及  $t_4 (= l_4 / l_2)$  的向量，計算該區域  $t$ 、 $t_3$  及  $t_4$  的平均值，以  $\bar{u}$  來表示並定義如下：

$$\bar{u} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i \dots\dots\dots (18)$$

另定義樣本共變異數矩陣(sample covariance matrix)為：

$$A = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (u_i - \bar{u})(u_i - \bar{u})^T \dots\dots\dots (19)$$

則定義第  $i$  站的不一致估量  $D_i$  為

$$D_i = \frac{1}{3} (u_i - \bar{u})^T A^{-1} (u_i - \bar{u}) \dots\dots\dots (20)$$

由上式可知， $D_i$  值愈大代表該站之資料與

表 2 不一致估量標準值

測站數	不一致估量值 $D$
5	1.333
6	1.648
7	1.917
8	2.140
9	2.329
10	2.491
11	2.632
12	2.757
13	2.869
14	2.971
$\geq 15$	3

其他站的資料愈不一致，應予刪除，至於刪除的標準則與區域內之測站數有關，當測站數大於 15 時刪除標準為 3，即  $D_i \geq 3$  時可將該站移除或併入其他區域。Hosking and Wallis (1997)對不同測站數不一致估量之標準建議值則列於表 2。

### 2.3.3 異質性估量(heterogeneity measure)

異質性測試常被用以測試經由群集分析所得之群集內測站資料，其水水量是否具有均一性(Hosking and Wallis, 1997)。異質性測試主要是測試均一性區域內之測站間，其線性動差間之分散度，Hosking and Wallis (1997)建議使用  $L-CV$  之標準偏差為分散度之簡單計算。單站樣本  $L-CV$  之權重標準偏差(weighted standard deviation)可經由下式求得：

計算各站之  $L-CV$ ，即  $t = l_2 / l_1$ ，再以各站之資料個數計算區域之加權平均，稱為  $V_1$ ：

$$V_1 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N n_i (t^{(i)} - t^{(R)})^2}{\sum_{i=1}^N n_i} \right\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (21)$$

若考慮以各站的  $L-CV$  及線性偏度( $L$ -skewness)為分析依據，亦可計算  $V_2$  值如下：

$$V_2 = \frac{\sum_{i=1}^N n_i [(t^{(i)} - t^{(R)})^2 + (t_3^{(i)} - t_3^{(R)})^2]^{\frac{1}{2}}}{\sum_{i=1}^N n_i} \dots\dots (22)$$



表 3 以異質性估量值劃分區域類型

異質性估量值 $H$	區域類型
$H < 1$	均一性區域
$H \geq 2$	異質性區域
$1 \leq H < 2$	可能的異質性區域

若以各站的線性峰度(L-kurtosis)取代上式的  $L-CV$  為分析依據，則可計算  $V_3$  值如下：

$$V_3 = \frac{\sum_{i=1}^N n_i [(t_3^{(i)} - t_3^{(R)})^2 - (t_4^{(i)} - t_4^{(R)})^2]^{\frac{1}{2}}}{\sum_{i=1}^N n_i} \dots\dots (23)$$

其中， $N$  為測站數目； $n_i$  及  $t^{(i)}$  分別為紀錄資料之長度及測站  $i$  之樣本  $L-CV$ ； $t^R$  為區域平均  $L-CV$ ，可由下式求得：

$$t^R = \frac{\sum_{i=1}^N n_i t^{(i)}}{\sum_{i=1}^N n_i} \dots\dots\dots (24)$$

計算得觀測資料之  $V_1$ 、 $V_2$  及  $V_3$  值之後，再以模擬法繁衍多組與各站資料長度相同的資料，至於用於模擬的模式，Hosking and Wallis (1997)建議以具有區域推估線性動差比 1， $t_3^R$ 、 $t_3^R$  及  $t_4^R$  之四參數 kappa 分佈模擬之，其中， $t_3^R$  及  $t_4^R$  分別稱為區域  $L$  偏態係數(regional  $L$ -skewness)及區域  $L$  峰度係數(regional  $L$ -kurtosis)。若以 kappa 分佈為含有  $N$  個測站區域之頻率分佈，則一個大數目  $N_{sim}$  之實現值將被模擬。對於每個模擬之區域， $V$  值可分別被求得，因此  $N_{sim}$  個實現值之平均值  $\mu_V$  及標準偏差  $\sigma_V$  便可計算得到。最後，Hosking and Wallis (1997)所定義之異質估量  $H$  (heterogeneity test statistic)由下式可得：

$$H_i = \frac{(V_i - \mu_{V_i})}{\sigma_{V_i}}, \quad i = 1, 2, 3 \dots\dots\dots (25)$$

若該區域計算所得之  $H$  值非常大時，則表示該區域內用於計算之測站資料為異質性。Hosking and Wallis (1997)建議當  $H < 1$  時為均一性區域；當  $H \geq 2$  時則為異質區域；若  $H$  介於 1 與 2 之間，則該區域為可能的異質區域。表 3 為針對不同測

站之異質性估量值作為劃分區域類型。

2.3.4 適合度估量(goodness-of-fit measure)

當群集內之測站通過不一致估量及異質性估量後，接下來適合度估量將被用於選擇一組可代表該群集資料的機率分佈函數。適合度估量是依據理論分佈函數的線性峰度(L-kurtosis)和該群集內資料的平均線性峰度是否相似來判斷，Hosking and Wallis (1997)所定義之適合度估量如下：

$$Z^{DIST} = \frac{(\tau_4^{DIST} - t_4^{(R)} + \beta_4)}{\sigma_4} \dots\dots\dots (26)$$

其中， $\tau_4^{DIST}$  為所選擇的特定機率分佈的線性峰度； $t_4^{(R)}$  為區域的平均線性峰度； $\beta_4$  為  $t_4^{(R)}$  的偏差值(bias)，計算方式如下：

$$\beta_4 = \frac{\sum_{m=1}^{N_{sim}} (t_4^{(R),m} - t_4^{(R)})}{N_{sim}} \dots\dots\dots (27)$$

其中， $N_{sim}$  為模擬次數，Hosking and Wallis (1997)建議至少取 500 組，至於模擬分佈仍使用四參數 kappa 分佈； $t_4^{(R),m}$  為第  $m$  次模擬之平均線性峰度； $\sigma_4$  代表  $t_4^{(R),m}$  的標準偏差，由下式求得：

$$\sigma_4 = \left[ \frac{\sum_{m=1}^{N_{sim}} (t_4^{(R),m} - t_4^{(R)}) - N_{sim} \beta_4}{N_{sim} - 1} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (28)$$

關於所選定的機率分佈能否用來代表該群集之資料特性，Hosking and Wallis(1997)建議的合理標準為  $|Z^{DIST}| \leq 1.64$ 。此外，Hosking and Wallis (1997)亦建議利用五種具有三參數的分佈來建立區域的機率分佈，這五種機率分佈分別為通用羅吉斯分佈(generalized logistic distribution, GLO)、通用極端值分佈(generalized extreme-value distribution, GEV)、三參數對數常態分佈(three-parameter lognormal distribution, LN3)、皮爾遜第 III 型分佈(Pearson type III distribution, PE3)及通用帕雷托分佈(generalized Pareto distribution, GPA)。本研究亦採用這五種機率分佈來建立區域乾旱機率分佈，這五種分佈之累積分佈函數

$F(x)$ 及分位數  $x(F)$ 分別表示如下：

(1)通用羅吉斯分佈(GLO)

$$F(x) = \frac{1}{1 + \left[1 - \frac{k(x-\xi)}{\alpha}\right]^{\frac{1}{k}}} \dots\dots\dots(29)$$

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{k} \left[1 - \left(\frac{1}{F} - 1\right)^k\right] \dots\dots\dots(30)$$

其中， $\xi$ 、 $\alpha$ 、 $k$  為參數。

(2)通用極端值分佈(GEV)

$$F(x) = e^{-\left[1 - \frac{k(x-\xi)}{\alpha}\right]^{\frac{1}{k}}} \dots\dots\dots(31)$$

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{k} \left[1 - (-\ln F)^k\right] \dots\dots\dots(32)$$

其中， $\xi$ 、 $\alpha$ 、 $k$  為參數。

(3)三參數對數常態分佈(LN3)

$$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x-\xi) - \mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots(33)$$

$$x(F) = \xi + e^{\mu + \sigma\Phi^{-1}(F)} \dots\dots\dots(34)$$

其中， $\xi$ 、 $\mu$ 、 $\sigma$  為參數； $\Phi$ 為標準常態分佈累積函數； $\Phi^{-1}$ 為標準常態分佈之反函數。

(4)皮爾遜第 III 型分佈(PE3)

$$F(x) = G\left(\frac{x - \mu + \frac{2\sigma}{\gamma}}{\frac{1}{2}\sigma\gamma}, \frac{4}{\gamma^2}\right) \dots\dots\dots(35)$$

其中， $\mu$ 、 $\sigma$ 、 $\gamma$ 為參數；G 為不完整 gamma 函數 (incomplete gamma function)，它定義如下：

$$G(x, \alpha) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt \dots\dots\dots(36)$$

此分佈不易以分位數的型態來表示，但參數  $\gamma > 0$  時， $x - \mu + 2\sigma/\gamma$  為具有參數  $4/\gamma^2$  及  $\sigma\gamma/2$  的 gamma 分佈，因此分位數可表示為：

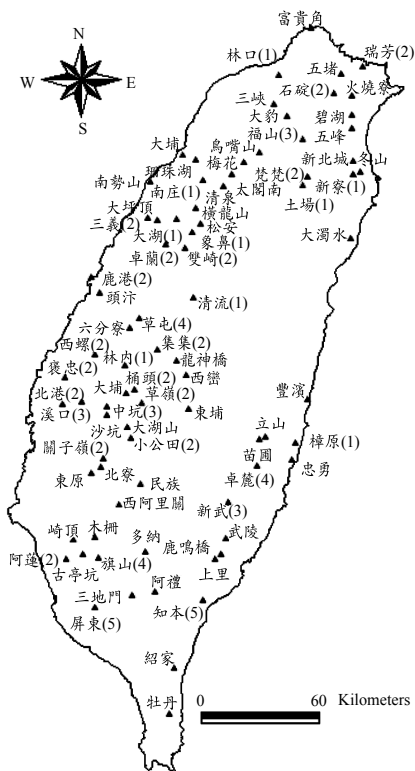


圖 5 台灣地區 81 個雨量測站分佈示意圖

$$x(F) = \mu - \frac{2\sigma}{\gamma} + Ga^{-1}\left(F; \frac{4}{\gamma^2}, \frac{\sigma\gamma}{2}\right) \dots\dots\dots(37)$$

其中， $Ga^{-1}$ 表具參數  $4/\gamma^2$  及  $\sigma\gamma/2$  之 gamma 累積分佈函數之反函數。

(5)通用帕雷托分佈(GPA)

$$F(x) = 1 - \left[1 - \frac{k(x-\xi)}{\alpha}\right]^{\frac{1}{k}} \dots\dots\dots(38)$$

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{k} \left[1 - (1-F)^k\right] \dots\dots\dots(39)$$

其中， $\xi$ 、 $\alpha$ 、 $k$  為參數。

### 三、區域乾旱頻率分析

#### 3.1 區域概況與使用資料

台灣地區年平均降雨量約為 2,510 毫米，為世界平均降雨量 973 毫米之 2.6 倍，但降雨量在

時間分佈上卻相當不平均，平均豐水期間(5月至10月)降雨量約佔全年78%，而枯水期間(11月至4月)降雨量約佔全年22%，此現象愈往南部差異愈明顯。若颱風或梅雨所帶來之降雨量不足時，容易發生短期缺水的危機，更甚者發生中長期之乾旱現象，進而影響各標的之用水。乾旱為一種氣候循環現象，不論該地區之降雨量多寡皆無可避免，但長時間且較嚴重的乾旱現象，將會對人類社會及經濟發展等各層面帶來較為嚴重的負

面影響。因此，如何妥善運用水資源，則為水資源規劃與設計之重要課題。

首先，本研究蒐集具有30年以上且連續不間斷年降雨紀錄之水利署81個雨量測站，圖5為81個雨量測站分佈示意圖。各雨量測站之基本資料，包含站名、站號、標高、紀錄年代及紀錄年數均列於表4，各測站之紀錄年數介於30年至58年之間，平均為38.2年，而年平均降雨量(詳表5)則介於1,057毫米(鹿港(2))至4,703毫

表4 各區域雨量測站之基本資料

站名	站號	高程(m)	UTM_X	UTM_Y	記錄年份	紀錄年數
石碇(2)	00A130	250	315,582	2,765,209	1976~2007	32
雙崎(2)	00F390	553	240,045	2,687,606	1960~2007	48
龍神橋	00H540	322	236,093	2,630,868	1969~2007	39
集集(2)	00H710	215	226,238	2,636,009	1951~2007	57
北港(2)	00J810	9	177,912	2,608,667	1975~2007	33
旗山(4)	00P470	64	195,989	2,531,247	1961~2007	47
屏東(5)	00Q070	25	194,329	2,506,375	1974~2007	34
鹿鳴橋	00S120	190	258,056	2,533,266	1961~2007	47
林口(1)	01A160	250	287,185	2,774,586	1973~2007	35
碧湖	01A190	360	324,494	2,754,099	1978~2007	30
火燒寮	01A200	380	324,813	2,764,092	1974~2007	34
大豹	01A210	600	291,744	2,753,559	1978~2007	30
三峽	01A220	33	285,078	2,759,258	1976~2007	32
富貴角	01A350	15	304,040	2,798,047	1976~2007	32
瑞芳(2)	01A380	101	330,186	2,778,442	1976~2007	32
福山(3)	01A430	500	299,464	2,741,682	1978~2007	30
五堵	01B030	16	319,447	2,774,911	1963~2007	45
太閣南	01D100	940	264,159	2,724,487	1971~2007	37
清泉	01D110	560	259,655	2,718,705	1972~2007	36
梅花	01D180	560	270,281	2,730,286	1975~2007	33
烏嘴山	01D190	770	277,875	2,734,904	1974~2007	34
橫龍山	01E030	550	246,006	2,707,271	1971~2007	37
象鼻(1)	01E060	760	243,937	2,695,146	1972~2007	36
松安	01E080	1,400	247,752	2,699,284	1971~2007	37
大埔	01E120	42	238,872	2,733,807	1976~2007	32
南庄(1)	01E170	229	249,207	2,721,351	1971~2007	37
卓蘭(2)	01E230	337	230,211	2,689,025	1950~2007	58
珊瑚湖	01E240	45	245,150	2,731,316	1960~2007	48
大湖(1)	01E270	275	235,971	2,702,153	1972~2007	36
三義(2)	01E290	269	225,848	2,701,126	1971~2007	37
南勢山	01E310	95	222,363	2,720,376	1970~2007	38
大坪頂	01E330	190	221,563	2,702,378	1968~2007	40
頭汙	01G090	7	196,708	2,664,771	1967~2007	41
桶頭(2)	01H110	231	214,240	2,615,918	1960~2007	48

表 4 各區域雨量測站之基本資料(續)

站名	站號	高程(m)	UTM_X	UTM_Y	記錄年份	紀錄年數
東埔	01H400	1,135	241,857	2,606,707	1959~2007	49
西巒	01H470	1,666	240,774	2,623,180	1975~2007	33
六分寮	01H590	420	212,320	2,647,102	1967~2007	41
草屯(4)	01H630	97	216,504	2652,224	1970~2007	38
清流(1)	01H720	410	244,431	2,662,574	1969~2007	39
西螺(2)	01J100	30	194,639	2,633,240	1958~2007	50
林內(1)	01J930	82	209,670	2,628,180	1975~2007	33
大埔	01J960	205	209,931	2,614,352	1975~2007	33
草嶺(2)	01J970	724	218,105	2,609,212	1966~2007	42
褒忠(2)	01K060	13	178,913	2,622,300	1976~2007	32
小公田(2)	01L360	680	212,557	2,591,545	1975~2007	33
大湖山	01L390	725	210,373	2,597,161	1975~2007	33
沙坑	01L490	78	200,217	2,603,298	1976~2007	32
中坑(3)	01L910	95	200,270	2,607,743	1975~2007	33
溪口(3)	01M010	17	187,931	2,609,686	1958~2007	50
西阿里關	01N840	480	206,500	2,558,138	1976~2007	32
崎頂	01N860	100	183,525	2,540,753	1976~2007	32
關子嶺(2)	01O070	350	198,753	2,581,219	1975~2007	33
東原	01O190	80	192,476	2,573,984	1959~2007	49
北寮	01O200	360	197,653	2,576,737	1975~2007	33
木柵	01P190	78	194,521	2,541,896	1978~2007	30
多納	01P260	458	220,083	2,534,593	1978~2007	30
古亭坑	01P280	80	188,079	2,532,742	1975~2007	33
阿蓮(2)	01P500	21	180,135	2,530,955	1962~2007	46
牡丹	01Q860	320	232,331	2,453,218	1975~2007	33
阿禮	01Q910	1,320	224,338	2,514,330	1978~2007	30
三地門	01Q930	150	213,138	2,512,241	1975~2007	33
武陵	01S130	280	261,000	2,541,148	1974~2007	34
知本(5)	01S210	100	249,074	2,510,275	1964~2007	44
忠勇	01S260	120	294,061	2,580,821	1967~2007	41
樟原(1)	01S270	120	296,133	2,589,279	1957~2007	51
紹家	01S360	520	234,567	2,475,809	1976~2007	32
新武(3)	01S440	420	262,033	2,559,164	1972~2007	36
上里	01S570	220	255,023	2,530,905	1977~2007	31
卓麓(4)	01T220	210	276,544	2,577,291	1972~2007	36
立山	01T230	180	281,118	2,592,149	1959~2007	49
苗圃	01T240	940	277,723	2,590,694	1975~2007	33
豐濱	01T730	30	302,289	2,611,297	1976~2007	32
土場(1)	01U050	400	299,456	2,718,763	1959~2007	49
梵梵(2)	01U060	295	302,481	2,723,084	1960~2007	48
新寮(1)	01U120	60	325,314	2,724,656	1969~2007	39
冬山	01U130	5	328,554	2,725,850	1962~2007	46
新北城	01U190	16	324,962	2,730,838	1959~2007	49
大濁水	01U230	48	324,168	2,691,847	1956~2007	52
五峰	01U460	83	324,721	2,747,542	1977~2007	31
民族	01V080	530	217,959	2,568,582	1978~2007	30
鹿港(2)	02G070	6	192,167	2,672,633	1963~2007	45

表 5 各測站之年平均雨量、gamma 分佈參數及乾旱特性

站名	年平均雨量 (mm)	gamma 分佈參數		乾旱 事件數	乾旱事件頻率 (事件數/年)	乾旱量 平均值	乾旱量 標準差
		$\alpha$	$\beta$				
石碇(2)	3,294.13	15.26	215.84	7	0.22	1.90	1.08
雙崎(2)	2,632.59	18.37	143.32	11	0.23	1.72	1.74
龍神橋	2,104.00	20.77	101.28	11	0.28	1.41	1.08
集集(2)	2,382.00	29.56	80.58	17	0.30	1.32	0.99
北港(2)	1,363.96	11.62	117.35	11	0.33	1.23	0.92
旗山(4)	2,268.50	11.38	199.36	13	0.28	1.42	1.38
屏東(5)	2,085.60	9.18	227.11	11	0.32	1.19	1.37
鹿鳴橋	1,953.47	147.2	147.29	10	0.21	1.68	2.18
林口(1)	2,016.40	14.88	135.54	7	0.20	1.96	1.42
碧湖	3,789.66	15.12	250.58	8	0.27	1.63	1.12
火燒寮	4,703.04	17.95	261.96	7	0.21	2.00	1.98
大豹	3,400.70	24.44	139.14	8	0.27	1.53	1.28
三峽	2,338.87	18.68	125.22	9	0.28	1.42	1.61
富貴角	2,178.12	10.77	202.31	6	0.19	2.12	2.02
瑞芳(2)	4,538.59	25.58	177.45	8	0.25	1.51	1.42
福山(3)	3,420.13	11.77	290.57	9	0.30	1.33	1.21
五堵	3,850.17	15.80	243.66	12	0.27	1.38	1.50
太閣南	2,393.11	19.82	120.75	10	0.27	1.60	0.73
清泉	2,427.42	14.60	166.29	10	0.28	1.50	1.09
梅花	2,701.84	16.87	160.15	8	0.24	1.79	0.97
鳥嘴山	2,845.49	12.57	226.39	11	0.32	1.24	1.58
橫龍山	2,596.52	14.72	176.45	11	0.30	1.37	1.13
象鼻(1)	2,612.50	15.02	173.90	8	0.22	1.79	1.46
松安	2,632.18	12.85	204.89	9	0.24	1.56	1.48
大埔	1,619.46	11.70	138.40	8	0.25	1.58	1.30
南庄(1)	2,567.18	18.61	137.92	11	0.30	1.48	0.85
卓蘭(2)	1,961.33	13.85	141.56	14	0.24	1.69	1.25
珊瑚湖	1,842.03	19.18	96.04	10	0.21	1.99	1.22
大湖(1)	2,156.14	12.96	166.42	8	0.22	1.74	2.13
三義(2)	1,881.53	13.37	140.73	10	0.27	1.44	1.39
南勢山	1,533.52	13.03	117.70	9	0.24	1.70	1.20
大坪頂	1,584.56	14.93	106.17	10	0.25	1.59	1.24
頭汙	1,231.10	12.04	102.28	11	0.27	1.50	1.43
桶頭(2)	2,748.65	31.97	85.97	13	0.27	1.42	1.80
東埔	1,906.13	19.65	97.02	15	0.31	1.31	1.23
西巒	2,476.93	19.44	127.40	10	0.30	1.29	1.46
六分寮	1,732.74	18.56	93.36	11	0.27	1.52	1.10
草屯(4)	1,619.13	17.62	91.91	10	0.26	1.45	1.15
清流(1)	2,089.63	12.21	171.13	10	0.26	1.49	1.01
西螺(2)	1,373.33	15.31	89.69	14	0.28	1.39	1.03
林內(1)	1,885.42	24.56	76.75	11	0.33	1.26	1.14
大埔	2,535.05	23.94	105.90	8	0.24	1.69	0.91
草嶺(2)	2,576.16	15.91	161.90	10	0.24	1.74	0.91
褒忠(2)	1,200.49	12.77	94.00	11	0.34	1.14	0.95

表 5 各測站之年平均雨量、gamma 分佈參數及乾旱特性(續)

站名	年平均雨量 (mm)	gamma 分佈參數		乾旱 事件數	乾旱事件頻率 (事件數/年)	乾旱量 平均值	乾旱量 標準差
		$\alpha$	$\beta$				
小公田(2)	3,152.82	13.72	229.78	10	0.30	1.34	1.11
大湖山	3,339.81	17.45	191.34	10	0.30	1.37	0.63
沙坑	2,099.62	15.25	137.65	10	0.31	1.20	0.91
中坑(3)	2,046.71	18.64	109.82	9	0.27	1.44	0.62
溪口(3)	1,408.24	14.64	96.21	14	0.28	1.44	1.45
西阿里關	2,940.15	10.49	280.23	7	0.22	1.87	1.11
崎頂	2,004.03	9.85	203.53	7	0.22	1.79	1.23
關子嶺(2)	2,930.75	15.26	192.02	11	0.33	1.19	0.92
東原	2,130.02	13.73	155.12	12	0.24	1.56	1.15
北寮	2,839.42	13.11	216.56	10	0.30	1.32	0.88
木柵	2,378.95	10.81	220.17	9	0.30	1.31	1.06
多納	3,012.78	10.75	280.37	8	0.27	1.51	0.77
古亭坑	2,137.79	10.08	212.09	9	0.27	1.45	1.46
阿蓮(2)	1,838.82	8.47	217.00	13	0.28	1.48	1.32
牡丹	2,890.16	8.45	341.98	7	0.21	1.76	2.95
阿禮	3,920.71	9.56	409.95	8	0.27	1.39	1.20
三地門	3,002.65	11.16	269.05	7	0.21	1.87	1.43
武陵	1,923.22	15.17	126.75	9	0.26	1.48	1.38
知本(5)	2,248.43	18.11	124.16	9	0.20	1.83	2.19
忠勇	2,250.59	16.30	138.03	12	0.29	1.33	1.51
樟原(1)	2,657.89	19.04	139.59	12	0.24	1.63	1.10
紹家	2,423.96	15.03	161.32	6	0.19	2.03	2.73
新武(3)	1,746.94	11.51	151.71	9	0.25	1.49	1.13
上里	2,021.07	17.80	113.56	7	0.23	1.73	1.80
卓麓(4)	1,922.85	11.66	183.35	7	0.19	2.11	2.19
立山	2,138.47	22.06	156.87	12	0.24	1.59	0.92
苗圃	3,459.99	22.06	156.87	5	0.15	2.81	2.42
豐濱	2,488.09	8.81	282.51	6	0.19	1.88	1.71
土場(1)	2,738.09	13.14	208.35	12	0.24	1.71	1.49
梵梵(2)	3,045.12	11.19	272.09	11	0.23	1.73	1.32
新寮(1)	4,505.16	10.85	415.18	8	0.21	1.84	1.97
冬山	3,686.99	11.93	309.13	11	0.24	1.56	1.27
新北城	2,954.78	12.91	228.93	11	0.22	1.63	1.69
大濁水	2,503.47	10.57	239.98	14	0.27	1.60	2.11
五峰	3,002.28	16.20	185.35	9	0.29	1.42	1.45
民族	2,929.93	11.76	249.18	8	0.27	1.48	0.81
鹿港(2)	1,057.29	7.41	142.75	11	0.24	1.58	2.02

米(火燒寮)之間。上述這些雨量測站所記錄資料之時間較長，且都尚在運作中，因此其雨量資料具有相當之適用性。本研究即針對這 81 個雨量測站之雨量資料進行區域性乾旱頻率分析。

### 3.2 年降雨量之機率分佈

本研究採用 SPI 定義乾旱事件，計算 SPI 的第一個步驟即是選擇可以代表年降雨量之機率分佈函數，然後再將其轉換為相對應之 SPI 值。

經由 Weibull 點繪法將各雨量測站之降雨觀測資料與不同機率分佈相互比較後，發現 gamma 分佈可代表台灣地區各雨量測站之年降雨量，此結果與前人之研究結果相同(蕭及楊，2006)。gamma 分佈之機率密度函數表示如下：

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} e^{-x/\beta} \dots\dots\dots (40)$$

其中， $x$  為降雨量( $x > 0$ )； $\alpha$  為形狀參數( $\alpha > 0$ )； $\beta$  為比例參數( $\beta > 0$ )； $\Gamma$  為 gamma 函數。

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \dots\dots\dots (41)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \dots\dots\dots (42)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \dots\dots\dots (43)$$

其中， $n$  為所使用之降雨量總數。

### 3.3 輸入資料正規化處理

在進行 SOM 網路分群之前，由於本研究採用之測站特徵值包含雨量測站之乾旱事件頻率、乾旱量之年平均值及標準差、雨量測站之 UTM 座標與高程，這些資料所使用之單位並不相同，為了避免不同單位尺度對於分群結果所造成之影響，因此本研究先將這些資料予以正規化轉換，此轉換後之值稱為群集數值(cluster variable)。這些測站特徵值之轉換型式表示如下：

$$B = \frac{A - A_{\min}}{A_{\max} - A_{\min}} \dots\dots\dots (44)$$

其中， $A$  為測站特徵值； $A_{\max}$ 、 $A_{\min}$  分別為測站特徵值之最大值及最小值； $B$  為群集數值。由上式可知，測站特徵值會被轉換於 0 至 1 之間。

### 3.4 SOM 網路群集分析

將上節所述之六個輸入因子，利用 SOM 網路依輸入資料的內在特性結構，將其群集關係映射於二維密度圖上。當應用 SOM 網路進行群集分析時，通常一開始會先嘗試使用較小尺度之網

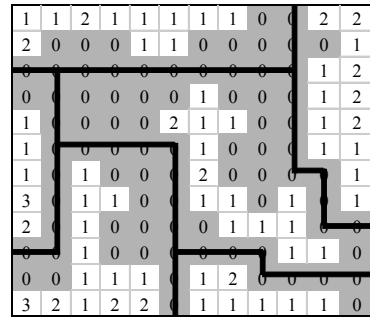


圖 6 SOM 網路 12×12 之二維密度圖

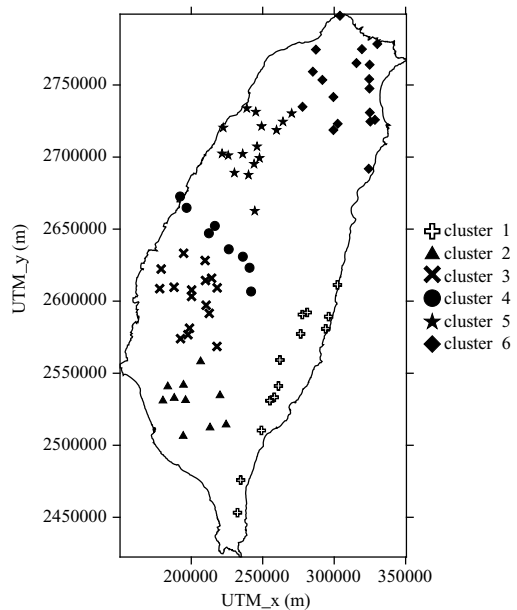


圖 7 六個群集之雨量測站位置分佈示意圖

路架構，若其二維密度圖可明確分出群集即接受其分群結果；否則就應再嘗試較大尺度之網路進行群集分析，直到產生可明確分群之結果為止。本研究根據上述方法找出分類邊界最為清楚之網路為 12×12，經過 72,000 個迴圈計算後，SOM 網路即被架構完成。圖 6 為 SOM 網路 12×12 之二維密度圖。由圖 6 可發現，此二維密度圖可被劃分成 6 個區域，亦即全台灣 81 個雨量測站可被分成 6 個群集。圖 7 則為每個群集之雨量測站位置分佈示意圖。由圖 7 之結果可發現，這 6 個群集就地理位置而言均相當集中，沒有相同群集之測站其位置卻過於分散之情形產生。

表 6 不一致估量及異質性估量測試結果

群集編號	測站數目	乾旱事件數	不一致估量 $D$	異質性估量 $H$		
				$H_1$	$H_2$	$H_3$
1	13	111	0.11~2.14	-0.10	0.29	0.86
2	10	92	0.03~2.00	0.25	-1.18	-1.32
3	16	173	0.05~2.01	0.62	-0.90	-0.94
4	8	96	0.06~2.06	-0.13	-0.18	-0.54
5	16	157	0.03~2.12	-0.26	-0.92	-0.23
6	18	168	0.12~2.07	-1.36	-0.70	-0.14

表 7 各群集之適合度估量計算結果

群集編號	乾旱特性	$Z$				
		GLO	GEV	LN3	PE3	GPA
1	乾旱量	1.27	0.84	0.42	<b>0.29</b>	0.38
	乾旱延時	3.93	3.67	2.80	<b>1.32</b>	2.52
2	乾旱量	3.44	2.85	2.57	2.05	<b>1.39</b>
	乾旱延時	5.46	4.19	4.05	3.63	<b>1.42</b>
3	乾旱量	1.16	0.41	<b>0.00</b>	0.72	1.48
	乾旱延時	4.90	4.00	3.33	2.18	<b>1.60</b>
4	乾旱量	1.68	1.27	0.78	0.05	<b>0.03</b>
	乾旱延時	3.07	3.00	2.32	<b>1.19</b>	2.44
5	乾旱量	0.79	0.34	<b>0.23</b>	1.19	1.04
	乾旱延時	5.96	4.64	4.29	3.59	<b>1.58</b>
6	乾旱量	1.55	1.15	0.54	0.50	<b>0.16</b>
	乾旱延時	4.57	4.33	3.32	<b>1.61</b>	3.17

### 3.5 資料一致性及均一性檢定

區域頻率分析之均一性區域劃分後，接下來的步驟為判斷區域內測站資料是否具有 consistency 及 uniformity，依據 Hosking and Wallis (1997) 所建議之標準(詳表 2)，以不一致估量評估這六個群集。表 6 為經由 SOM 網路所得六個群集之不一致估量及異質性估量結果，由表 6 結果可知，六個群集之  $D$  值均小於標準值，表示這六個群集內各測站之乾旱資料具有一致性。再者，以異質性估量評估這六個群集，依據 Hosking and Wallis (1997) 所建議之評估標準(詳見表 3)，發現各群集之  $H$  值均小於 1，所以表示這些群集之乾旱資料皆具有均一性。

### 3.6 適合度檢定

各群集內所有測站的乾旱資料經上述檢

定，均具有一致性及均一性後，本研究再依據 Hosking and Wallis (1997) 所建議之標準(詳(26)式)，以適合度估量來判定五種機率分佈用於各群集乾旱頻率分析之適用性，六個群集之適合度估量計算結果整理於表 7。由表 7 之結果可知，在判定標準為  $|Z| \leq 1.64$  之條件下，各區域能接受的機率分佈不盡相同。就乾旱量而言，第 1、第 3、第 5 及第 6 群均適合五種機率分佈(GLO、GEV、LN3、PE3 及 GPA)；第 2 群只有 GPA 一種適合之機率分佈；第 4 群則有 GEV、LN3、PE3 及 GPA 等四種適合之機率分佈。就乾旱延時而言，每個群集均只有一種適合之機率分佈，分別為第 1、第 4 及第 6 群適用 PE3；第 2、第 3 及第 5 群則適用 GPA。

決定各群集所適合的機率分佈後，本研究選擇符合  $|Z| \leq 1.64$ ，且  $|Z|$  值取最小的機率分佈作

表 8 各群集所選用的機率分佈種類及機率分佈式



群集編號	乾旱特性	機率分佈種類	機率分佈式
1	乾旱量	PE3	$F(x) = G(0.9547x + 0.1203, 1.0750)$
	乾旱延時	PE3	$F(x) = G(0.9159x - 0.4108, 0.5051)$
2	乾旱量	GPA	$F(x) = 1 - (0.9906 - 0.1495x)^{5.2910}$
	乾旱延時	GPA	$F(x) = 1 - (1.1712 - 0.4678x)^{2.3697}$
3	乾旱量	LN3	$F(x) = \varphi(-1.8215 \ln x - 0.7984)$
	乾旱延時	GPA	$F(x) = 1 - (0.9468 - 0.1366x)^{10.9890}$
4	乾旱量	GPA	$F(x) = 1 - (0.9990 - 0.0234x)^{45.4545}$
	乾旱延時	PE3	$F(x) = G(0.7038x - 0.3884, 0.3154)$
5	乾旱量	LN3	$F(x) = \varphi(-1.3532 \ln x - 0.4041)$
	乾旱延時	GPA	$F(x) = 1 - (1.1227 - 0.3600x)^{3.2154}$
6	乾旱量	GPA	$F(x) = 1 - (0.9927 - 0.0928x)^{12.0482}$
	乾旱延時	PE3	$F(x) = G(0.8334x - 0.3933, 0.4400)$

表 9 各群集不同重現期距之乾旱量

群集編號	重現期距(年)				
	5	10	20	50	100
1	2.98	4.31	5.64	7.38	8.69
2	2.58	3.51	4.32	5.24	5.84
3	2.08	2.79	3.53	4.55	5.37
4	2.26	3.23	4.20	5.49	6.47
5	2.33	3.25	4.26	5.78	7.08
6	2.56	3.76	5.03	6.81	8.26

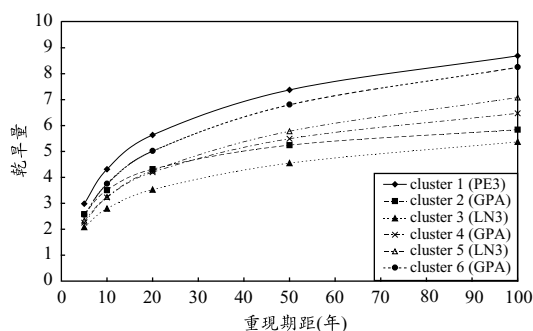


圖 8 各群集重現期距與乾旱量之關係圖

為該區域之最佳機率分佈。以乾旱量而言，屬於 PE3 之機率分佈只有一群，為第 1 群 ( $|Z| = 0.29$ )；屬於 LN3 之機率分佈共計兩群，分別為第 3 群 ( $|Z| = 0.00$ )及第 5 群 ( $|Z| = 0.23$ )；屬於 GPA 之機率分佈共計三群，分別為第 2 群 ( $|Z| = 1.39$ )、第 4 群 ( $|Z| = 0.03$ )及第 6 群 ( $|Z| = 0.16$ )。以乾旱延時而言，屬於 PE3 之機率分佈共計三群，分別為第 1 群 ( $|Z| = 1.32$ )、第 4 群 ( $|Z| = 1.19$ )及第 6 群 ( $|Z| = 1.61$ )；屬於 GPA 之機率分佈共計三群，分別為第 2 群 ( $|Z| = 1.42$ )、第 3 群 ( $|Z| = 1.60$ )及第 5 群 ( $|Z| = 1.58$ )。

經由上述結果決定各群集的最佳機率分佈後，本研究再分別計算出各自最佳機率分佈之參數，所有群集依據其乾旱特性所選用的機率分佈種類及其機率分佈式，分別整理如表 8 所示。

### 3.7 區域乾旱頻率分析

關於這六個群集在重現期距分別為 5、10、20、50 及 100 年之乾旱量估計值，經由計算後結果整理於表 9，另外並繪製不同重現期距下之乾旱量於圖 8，由表 9 及圖 8 之結果可知，台灣地區重現期距 5 年之乾旱量約為 2.08(第 3 群)至 2.98(第 1 群)；重現期距 10 年之乾旱量約為 2.79(第 3 群)至 4.31(第 1 群)；重現期距 20 年之乾旱量約為 3.53(第 3 群)至 5.64(第 1 群)；重現期距 50 年之乾旱量約為 4.55(第 3 群)至 7.38(第 1 群)；重現期距 100 年之乾旱量約為 5.37(第 3 群)至 8.69(第 1 群)。從上述結果亦可發現，台灣地區乾旱量最大值發生在第 1 群，該群集位於台

表 10 各群集不同重現期距之乾旱延時

單位：年

群集編號	重現期距(年)				
	5	10	20	50	100
1	2.85	4.07	5.37	7.18	8.58
2	3.04	3.63	4.07	4.48	4.70
3	2.87	3.67	4.42	5.34	5.99
4	2.19	3.28	4.52	6.30	7.72
5	3.14	3.86	4.43	5.03	5.37
6	2.64	3.84	5.13	6.95	8.37

灣東部地區，乾旱量次大值發生在第 6 群(台灣北部地區)，乾旱量最小值則發生在第 3 群，該群集位於台灣中部地區。再者，由表 9 及圖 8 之結果可發現，各群集在重現期距小於 20 年時，其乾旱量差異並不大，重現期距大於 50 年時才有較明顯之差異。

各群集在重現期距分別為 5、10、20、50 及 100 年之乾旱延時估計值，則整理於表 10，並繪製不同重現期距下之乾旱延時於圖 9。由表 10 及圖 9 之結果可知，台灣地區重現期距 5 年之乾旱延時約為 2.20 年(第 4 群)至 3.14 年(第 5 群)；重現期距 10 年之乾旱延時約為 3.28 年(第 4 群)至 4.07 年(第 1 群)；重現期距 20 年之乾旱延時約為 4.07 年(第 2 群)至 5.37 年(第 1 群)；重現期距 50 年之乾旱延時約為 4.48 年(第 2 群)至 7.18 年(第 1 群)；重現期距 100 年之乾旱延時約為 4.70 年(第 2 群)至 8.58 年(第 1 群)。從上述結果可發現，台灣地區乾旱延時最大值發生在第 1 群，該群集位於台灣東部地區，乾旱延時次大值則發生在第 6 群(台灣北部地區)，此結果與乾旱量之頻率分析結果完全相同。至於乾旱延時最小值則發生在第 2 群集，亦即台灣南部地區。此外，由表 10 及圖 9 之結果可發現，各群集在重現期距小於 20 年時，其乾旱延時之差異不大，重現期距大於 50 年時才有較明顯之差異，此結果與乾旱量之情況相同。

本研究以乾旱量及乾旱延時作為乾旱事件之特性，綜合比較圖 8 及圖 9 之結果可知，這兩個特性間約略呈現正比關係，亦即當乾旱延時越長時，乾旱量有越大之趨勢(如第 1 群及第 6 群)。

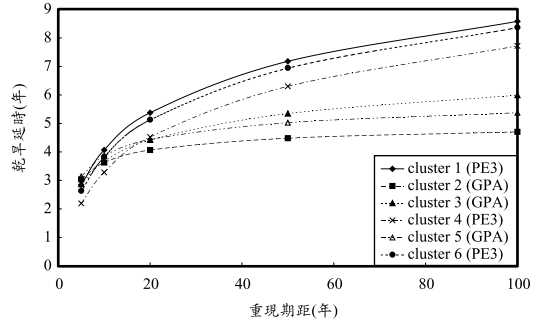


圖 9 各群集重現期距與乾旱延時之關係圖

然而，在某些情況下雖然有較長的乾旱延時，但其乾旱量反而較小，亦即短乾旱延時而有較大之乾旱量發生，如第 5 群。

## 四、結論與建議

### 4.1 結論

1. 就區域乾旱頻率分析而言，由 SOM 網路所得  $12 \times 12$  之二維密度圖可知，全台 81 個雨量測站可分成六個群集，這些群集在地理位置分佈上具有群聚性。
2. 經由線性動差之不一致估量及異質性估量演算結果可知，本研究所劃分之全台灣六個群集均通過檢定，亦即代表這些群集之乾旱資料具有一致性及均一性。
3. 本研究依適合度估量來判定 GLO 分佈、GEV 分佈、LN3 分佈、PE3 分佈及 GPA 分佈等五種機率分佈，其應用於各群集區域乾旱頻率分析之適用性，選擇符合  $|z| \leq 1.64$ ，且  $|z|$  值取最小的機率分佈作為該區域之最佳機率分佈。就乾旱量而言，有三個區域屬於 GPA 分佈；有兩個區域屬於 LN3 分佈；只有一個區域屬於 PE3 分佈。另一方面，就乾旱延時而言，分別各有三個區域屬於 PE3 分佈及 GPA 分佈，上述結果可提供未來台灣地區水利設施規劃建設時之參考。
4. 由區域頻率分析之結果可發現，台灣地區乾旱量最大值發生在東部地區，最小值則發生在台灣中部地區；台灣地區乾旱延時最大值發生在東部地區；最小值則發生在台灣南部地區。

5. 由本研究區域乾旱頻率分析所得之結果發現，在重現期距小於 20 年時，不論乾旱量或乾旱延時，各群集之差異並不大，重現期距大於 50 年時才有較顯著之差異產生。
6. 本研究以乾旱量及乾旱延時作為乾旱事件之特性，整體而言，當乾旱延時越長時，乾旱量有增大之趨勢，亦即乾旱量與乾旱延時約略具有正比之關係。

#### 4.2 建議

1. 由全台 81 個雨量測站之分佈圖可知，台灣有些地區之雨量測站數目不足(例如：花蓮地區)，造成雨量資料不夠完整，因此導致該區域之區域乾旱頻率分析代表性不足，建議該地區應該多設置雨量測站，以改進此一缺點。
2. 本研究針對台灣地區六個群集，分別進行區域乾旱頻率分析後發現，各群集之乾旱量或乾旱延時差異並不大。探究其原因，可能是本研究採用 SPI 值之時間尺度為一年(12 個月)，然而根據台灣地區之降雨特性，其豐、枯水期相當明顯，因此造成群集間乾旱特性之差異較不明顯，建議日後可以較小時間尺度(例如：3 個月)之 SPI 值進行區域乾旱頻率分析，預期群集間之乾旱特性將會有較顯著之差異。
3. 本研究只針對各群集內測站之乾旱資料進行頻率分析，在空間上僅能將其視為點的資料型態。然而大多之水文分析所考量的多是一些乾旱、乾旱涵蓋面積以及乾旱延時之間的關係，所以必須要有可以代表區域特性的資料才行，基於上述原因，建議日後可以利用 SPI 分析乾旱之時間及空間特性後，建立乾旱強度-面積-頻率曲線，藉以了解台灣地區乾旱在時間及空間上的關係。
4. 推估未設測站地點之乾旱頻率亦是水文設計規劃之重要課題，惟未設測站地點無法得知其乾旱量及乾旱延時，因此如何利用區域內雨量測站之觀測值，推估未設測站地點之乾旱量及乾旱延時便成爲一個相當棘手的問題。如何利用空間推估的方法(例如：克利金法)建立區域內乾旱量及乾旱延時之空間關係，藉以推估未設測站地點之乾旱量及乾旱延時，爲未來可進一步深入研究探討之課題。

## 五、參考文獻

1. 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研究所碩士論文。
2. 林志彥，(2007)，「台灣乾旱特性變動與頻率分析之研究」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
3. 高慧珊、何宜樺、黃振昌、張斐章，(2007)，「以自組特徵映射網路推估日蒸發量」，台灣水利，55(3)，pp. 18-25。
4. 張斐章、易任、王文清、林獻博，(1995)，「運用線性動差法於台灣地區雨量頻率分析之研究」，台灣水利，43(2)，pp. 24-36。
5. 張斐章、吳正吉，(1995)，「台灣南部地區最大日雨量區域頻率分析之研究」，台灣水利，43(4)，pp. 19-26。
6. 張斐章、吳正吉、王文清，(1997)，「統計檢定法應用於區域頻率分析之研究」，台灣水利，45(4)，pp. 45-55。
7. 蕭政宗、楊志傑，(2006)，「台灣地區之區域乾旱頻率分析」，農業工程學報，52(2)，pp. 83-101。
8. Abrahart, R.J., See, L. (2000), "Comparing neural network and autoregressive moving average techniques for the provision of continuous river flow forecasts in two contrasting catchments", Hydrological Processes, 14, pp. 2157-2172.
9. Anctil, F., Larouche, W., Viau, A.A., Parent, L.E. (2002), "Exploration of the Standardized Precipitation Index with regional analysis", Canadian J. Soil Science, 82(1), pp. 115-125.
10. ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology (2000), "Artificial neural networks in hydrology, II: hydrologic applications", Journal of Hydrologic Engineering, 5(2), pp. 124-137.
11. Boridi, I., Frigio, S., Parenti, P., Speranza, A.,

- Sutera, A. (2001), "The analysis of the Standardized Precipitation Index in the Mediterranean area: large-scale patterns", *Annali Di Geofisica*, 44, pp. 965-978.
12. Bonaccorso, B., Bordi, I., Cancelliere, A., Rossi, G., Sutera, A. (2003), "Spatial variability of drought: an analysis of the SPI in Sicily", *Water Resources Management*, 17, pp. 273-296.
  13. Chang, F.J., Chang, L.C., Wang, Y.S. (2007) "Enforced self-organizing map neural networks for river flood forecasting", *Hydrological Processes*, 21, pp. 741-749.
  14. Chang, F.J., Tsai, M.J., Tsai, W.P., Edwin, E. Herricks. (2008), "Assessing the ecological hydrology of natural flow conditions in Taiwan", *Journal of Hydrology*, 354, pp. 75-89.
  15. Dalrymple, T. (1960), "Flood Frequency Analyses, U.S", *Geological Survey Water Supply Paper*, pp. 1543-A.
  16. Fowler, H.J., Kilsby, C.G. (2003), "A Regional Frequency Analysis of United Kingdom Extreme Rainfall from 1961 to 2000", *International Journal of Climatology*, 23(11), pp. 1313-1334.
  17. Hosking, J.R.M., Wallis, J.R., Wood, E.F. (1985), "An Appraisal of the Regional Flood Frequency Procedure in the UK Flood Studies Report", *Hydrological Sciences Journal*, 30(1), pp. 85-109.
  18. Hosking, J.R.M. (1990), "L-moments: Analysis and Estimation of Distribution using Linear Combinations of Order Statistics", *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 52(1), pp. 105-124.
  19. Hosking, J.R.M., Wallis, J.R. (1997), "Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-moments", *Cambridge University Press, New York*.
  20. Jain, A., Srinivasulu, S. (2006), "Integrated approach to model decomposed flow hydrograph using artificial neural network and conceptual techniques", *Journal of Hydrology*, 317(3-4), pp. 291-306.
  21. Kalteh, A.M., Bemdtsson, R. (2007), "Interpolating monthly precipitation by self-organizing map (SOM) and multilayer perception (MLP)", *Hydrological Sciences Journal - Journal Des Sciences Hydrologiques*, 52(2), pp. 305-317.
  22. Kalteh, A.M., Hiorth, P., Bemdtsson, R. (2008), "Review of the self-organizing map (SOM) approach in water resources: Analysis, modelling and application", *Environmental Modelling and Software*, 23(7), pp. 835-845.
  23. Keyantash, J., Dracup, J.A. (2002), "The quantification of drought: An evaluation of drought indices", *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 83(8), pp. 1167-1180.
  24. Kumar, V. (1998), "An early warning system for agricultural drought in an arid region using limited data", *Journal of Arid Environments*, 40, pp. 199-209.
  25. Kumar, R., Chatterjee, C. (2005), "Regional Flood Frequency Analysis Using L-moments for North Brahmaputra Region of India", *Journal of Hydrologic Engineering*, 10(1), pp. 1-7.
  26. Kohonen, T. (1982), "Self-Organizing Formation of Topologically Correct Feature Maps", *Biological Cybernetics*, 43(1), pp. 59-69.
  27. Lin, G.F., Chen, L.H. (2005), "Time series forecasting by combining the radial basis function network and the self-organizing map", *Hydrological Processes*, 19(10), pp. 1925-1937.
  28. Lin, G.F., Chen, L.H. (2006), "Identification of homogeneous regions for regional frequency analysis using the self-organizing map", *Journal of Hydrology*, 324(1-4), pp. 1-9.
  29. Lin, G.F., Wu, M.C. (2007), "A SOM-based approach to estimating design hyetographs of ungauged sites", *Journal of Hydrology*, 339(3-4), pp. 216-226.
  30. Loukas, A., Vasilades, L. (2004), "Probabilistic

- analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly region, Greece”, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, pp. 719-731.
31. McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. (1993), “The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints”, 8th Conference on Applied Climatology, January 17-22, Anaheim, California, pp. 179-184.
  32. Mishra, A.K., Desai, V.R. (2005a), “Spatial and temporal drought analysis in the Kansabati river basin, India”, *Int. J. River Basin Manag. IAHR*, 3(1), pp. 31-41.
  33. Mishra, A.K., Desai, V.R. (2005b), “Drought forecasting using stochastic models”, *Stoch. Environ. Res. Risk Assess*, 19, pp. 326-339.
  34. Rouault, M., Richard, Y. (2003), “Intensity and spatial extension of drought in South Africa at different time scales”, *Water SA*, October, 29(4), pp. 489-500.
  35. Saeid, M., Vladimir, S., Mahnosh, M. (2006), “Comparison seven meteorological indices for drought monitoring in Iran”, *Int. J. Climatol.*, 26, pp. 1971-1985.
  36. Seiler, R.A., Hayes, M.J., Bressan, L. (2002), “Using the standardized precipitation index for flood risk monitoring”, *Int. J. Climatol.*, 22(11), pp. 1365-1376.
  37. Srinivas, V.V., Tripathi, S., Rao, A.R., Govindaraju, R.S. (2008), “Regional flood frequency analysis by combining self-organizing feature map and fuzzy clustering”, *Journal of Hydrology*, 348, pp. 148-166.
  38. Stephens, D.J. (1998), “Objective criteria for estimating the severity of drought in the wheat cropping areas of Australia”, *Agricultural systems*, 57(3), pp. 333-350.
  39. Su, Z., Yacob, A., Wen, J., Roerink, G., He, Y., Gao, B., Boogaard, H., Diepen, C.A. van (2003), “Assessing relative soil moisture with remote sensing data: theory, experimental validation, and application to drought monitoring over the North China Plain”, *Physics and Chemistry of the Earth*, 28, pp. 89-101.
  40. Sims, A.P., Niyogi, D.D.S., Raman, S. (2002), “Adopting drought indices forestimating soil moisture: A North Carolina case study”, *Geophysical Research Letters*, 29, art. no. 1183.
  41. Szalai, S., Szinell, C. (2000), “Comparison of two drought indices for drought monitoring in Hungary-a case study”, In: J. V. Vogt, F. Somma (eds), *Drought and drought mitigation in Europe*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 161-166.
  42. Tsakiris, G., Vangelis, H. (2004), “Towards a Drought Watch System based on Spatial SPI”, *Water Resources Management*, 18, pp. 1-12.
  43. Unganai, L.S., Kogan, F.N. (1998), “Drought monitoring and corn yield estimation in South Africa from AVHRR data”, *Remote Sensing Environments*, 63, pp. 219-232.
  44. Vicente-Serrano, S.M., Lopez-Moreno, J.I. (2005), “Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the standardized precipitation index in a mountainous Mediterranean basin”, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2, pp. 1221-1246.
  45. Wilhite, D.A. (2000), “Drought: a global assessment V.1”, Routledge, London.
  46. Yang, C.C., Chen, C.S. (2009), “Application of integrated back-propagation network and self organizing map for flood forecasting”, *Hydrological Processes*, 23(9), pp. 1313-1323.
  47. Zhang, J.Y., Hall, M.J. (2004), “Regional flood frequency analysis for the Gan-Ming River basin in China”, *Journal of Hydrology*, 296, pp. 98-117.

收稿日期：民國 99 年 5 月 3 日

修正日期：民國 99 年 11 月 4 日

接受日期：民國 99 年 11 月 10 日