

利用區域化法推估台灣地區未設站地點 年最大一日雨量之頻率

Frequency Analysis of Annual Maximum 1-Day Rainfall for Ungauged Sites in Taiwan Using Regionalization Approach

淡江大學水資源及環境工程學系
副教授

蕭政宗*

Jenq-Tzong Shiau

淡江大學水資源及環境工程學系
碩士班研究生

黃亮芸

Liang-Yun Huang

摘 要

本文研究目的在於應用區域化方法推估台灣地區未設站地點不同頻率之年最大一日雨量，本文首先利用指數洪水法(index flood method)配合線性動差推估參數來建立無因次年最大一日雨量區域頻率模式，並以克利金法(Kriging)推估未設站地點之平均年最大一日雨量，以進行該地點之頻率分析。區域頻率模式的建立是以均勻區域為單元，本文以集群分析(cluster analysis)依各測站之座標與年最大一日雨量之平均值及變異係數來劃分均勻區域，並以線性動差為基礎的不一致及異質性估量來檢定所劃分區域內資料的一致性及其均勻性，其次再以適合度估量選取最佳區域頻率模式。本文以台灣地區 77 個雨量站的年最大一日雨量為分析基礎，經以集群分析判定最佳均勻區域劃分數為三區，除其中一區之最佳頻率分佈為通用帕雷托分佈(generalized Pareto distribution)外，另二區均為皮爾遜第III型分佈(Pearson type III distribution)。至於未設站地點之頻率分析本文先以克利金法建立年最大一日雨量平均值及變異係數之空間變異量(variogram)模式，即可據以推估未設站地點之年最大一日雨量平均值及變異係數，其次計算未設站地點座標與年最大一日雨量平均值及變異係數至各均勻區域中心之距離，以最小距離來判定未設站地點所歸屬的區域，之後即可利用該區域所建立之區域頻率模式及該地點推估之平均年最大一日雨量進行該地點之年最大一日雨量頻率分析。

關鍵詞：區域頻率分析，指數洪水法，線性動差，克利金，年最大一日雨量。

*通訊作者，淡江大學水資源及環境工程學系副教授，251 台北縣淡水鎮英專路 151 號，jtshiau@mail.tku.edu.tw

ABSTRACT

The purpose of the study aims to estimate frequencies of annual maximum 1-day rainfall for ungauged sites in Taiwan using regionalization approach. The index flood method with parameters estimated by L -moments is used to establish the regional frequency model of dimensionless annual maximum 1-day rainfall. Kriging is then employed to estimate the mean annual maximum 1-day rainfall of ungauged sites. Delineation of homogeneous regions is determined by cluster analysis in this study based on the coordinates of the rainfall gauge stations, the means and coefficient of variation of the annual maximum 1-day rainfall. The L -moment based discordancy, heterogeneity, and goodness-of-fit measures are then used to detect unusual sites and select the optimal regional probability models. In this study, a total of 77 rainfall gauge stations are used as the basis to estimate the frequencies of the annual maximum 1-day rainfall for ungauged sites. The number of homogeneous regions derived by the cluster analysis is 3. The best regional probability model for one region is the generalized Pareto distribution, and the Pearson type III distribution is the best model for the other two regions. Frequency analysis for ungauged sites needs to establish the variogram models of the mean and coefficient of variation of the annual maximum 1-day rainfall first. The obtained variogram models are then used to estimate the mean annual maximum 1-day rainfall for the ungauged sites. The ungauged sites belong to which homogeneous regions depend on the minimum distance to the centroid of the homogeneous regions. Combined with the derived regional frequency model and estimated mean annual maximum 1-day rainfall, the computing procedures of frequency analysis for ungauged sites are identical with the procedures of gauged sites.

Keywords: Regional frequency analysis, Index flood method, L -moment, Kriging, Annual maximum 1-day rainfall.

一、前言

台灣地區由於受到氣候及地形之影響，高強度的暴雨在短時間內所帶來的降雨量往往十分驚人，都會區若排水設施設計容量不足，極易因排水不及而淹水，造成生命及財產的嚴重損失。因此，如何有效的防治暴雨所帶來的災害損失，是目前都會區防災甚為重要的議題。排水工程需依賴雨量資料進行頻率分析，以作為工程規劃設計與防災預警系統建立之依據，然而資料長度不足的問題常會使得雨量頻率分析之結果不甚精確。另外，若一地區因無雨量站的設置而必須利用其他地區的雨量資料來代替，其頻率分析所得結果應用於工程設計一樣會導入誤差。此類問題

都是水利工程在規劃設計時常會遭遇到的問題，為彌補水文資料在時間(資料記錄長度不足)及空間(未設測站)的不確定性所導致無法獲得精確頻率分析的缺點，利用鄰近區域測站的資料，以統計方法整合多站之資料建立區域模式以獲得較準確的頻率分析即稱為區域頻率分析(regional frequency analysis)。

Hosking 及 Waills (1988)指出區域頻率分析比單站頻率分析更能減低因資料紀錄期限不足所造成頻率推估的不確定性，因此不同的區域方法相繼被發展出來且應用於各種水文歷程中，Cunnane (1988)及 GREHYS (1996)曾詳盡的探討用於區域洪水頻率分析的各種方法，其中指數洪水法(index flood method)的概念雖然早在 1960 年

即由 Dalrymple (1960)所提出，經 Greenwood 等 (1979) 引入機率權重動差 (probability-weighted moment) 及 Hosking (1990) 採用線性動差 (L -moment) 改善後，該法是目前世界各國最常用於區域洪水及暴雨頻率分析的方法之一，例如 Guttman 等 (1993) 利用指數洪水法及線性動差法推估美國地區發生不同機率之雨量、Parida 等 (1998) 用於西印度 Mahi-Sabarmati 流域之區域洪水分析、Javelle 等 (2002) 用於建立加拿大之洪水-延時-頻率曲線、Gellens (2002) 結合指數洪水法及資料延伸於探討比利時之極端降雨分佈、Kjeldsen 等 (2002) 用於南非 KwaZulu-Natal 省的區域洪水頻率分析、Fowler 及 Kilsby (2003) 用於分析英國之區域極端雨量頻率、Lim 及 Lye (2003) 用於推估馬來西亞 Sarawak 地區未設站流域之洪水頻率、Zhang 及 Hall (2004) 用於研究中國贛江及閩江流域之區域洪水頻率分析、Kumar 及 Chatterjee (2005) 用於分析印度 Brahmaputra 區域之洪水頻率、Trefry 等 (2005) 以區域頻率分析的方法探討美國密西根州不同延時及不同重現期之雨量、Atiem 及 Harmancioglu (2006) 用於探討埃及尼羅河的區域洪水。國內的相關研究則有蕭及楊 (2006) 利用指數洪水法建立台灣地區之區域乾旱頻率模式、蕭及黃 (2006) 曾用於研究台灣地區北、中、南、東區域年最大一日雨量之發生頻率、另蕭及楊 (2007) 曾應用此法於推估台灣地區未設站地點之洪水頻率。

本文研究目的為利用指數洪水法配合線性動差推估參數以建立台灣地區年最大一日雨量之區域頻率模式，並將之延伸於推估未設站地點之年最大一日雨量發生頻率。本文首先蒐集台灣地區紀錄期間超過 20 年且不間斷的日雨量紀錄，以各雨量站年最大一日雨量作為本文分析之依據，先利用 K 均值法 (K -means method) 將台灣地區之雨量站劃分為數個均勻區域，再利用線性動差為基礎的不一致及異質性估量檢定所劃分均勻區域內之雨量資料是否一致及均勻，之後再以適合度估量決定各區域之最佳區域頻率模式。至於未設站地點之頻率分析，本文先以克利

金 (Kriging) 建立空間變異量模式，以推估該地點之平均年最大一日雨量，並判定該地點隸屬何均勻區域，結合前所建立之區域頻率模式及所推估之平均年最大一日雨量，則可應用指數洪水法使未設站地點與已設站地點頻率分析之計算過程相同。

二、研究方法

2.1 均勻區域的劃分

均勻區域之定義為該區域內之資料經轉換後是來自相同的頻率分佈，而區域頻率分析即為對一均勻區域內的資料建立區域頻率模式並進行頻率分析，因此如何劃分均勻區域即成為區域頻率分析中重要且首要的工作。Nathan 及 McMahon (1990) 指出傳統的區域劃分方式多以行政區域或流域邊界來劃分區域，此法雖然簡便，但缺點為區域內之資料未必具有均勻性，因此許多方法被建議來劃分均勻區域，例如集群分析 (cluster analysis) (Burn, 1989)、影響區域法 (region of influence) (Burn, 1990b) 等，Hosking 及 Waillis (1997) 指出需利用大量資料來劃分區域時，集群分析為最有效的方法。因此，本文以二階段法來劃分均勻區域，首先以集群分析將相似度較高的資料劃分為數個群組，再利用線性動差為基礎的估量 (measure) 來確認所劃分區域內資料之均勻性，以下將分節說明。

集群分析為利用資料特性的相似度 (similarity) 來將該資料區分為數個群組，一般多採用距離 (Euclidean distance) 來代表各資料點之間的相似度，兩個資料點間的距離越小表示兩資料點的相似性越大。集群分析可分為階層法 (hierarchical clustering method) 及非階層法 (nonhierarchical clustering method)，本文以非階層法中常用的 K 均值法 (K -means method) 來劃分均勻區域，該法之原理簡述如下。

假設有 N 個站，每一個站具有 M 種資料，欲將此 N 站劃分為 K 個群組，首先將此 N 站任意區分為起始的 K 個群組，其次計算每一群組的中心 (centroid)，其定義為該群組資料之平均值，則第 k 群組第 m 種資料之中心 C_k^m 即為：

$$C_k^m = \frac{1}{I_k} \sum_{i=1}^{I_k} W_{k,i}^m \quad \dots\dots\dots(1)$$

其中 $W_{k,i}^m$ 為第 k 群組內第 i 站第 m 種資料之值； I_k 為第 k 群組之站數，各群組站數之和即為總站數 N ，亦即：

$$\sum_{k=1}^K I_k = N \quad \dots\dots\dots(2)$$

則 K 個群組的距離總和 E 即可定義為：

$$E = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{I_k} \sum_{m=1}^M (W_{k,i}^m - C_k^m)^2 \quad \dots\dots\dots(3)$$

計算得起始群組的總距離後，調整各群組內的站至其他群組，再計算各群組之中心與所有群組之總距離，若所得總距離大於原總距離，則放棄此新的群組，若總距離較原有距離小則保留，並重複前述步驟至總距離 E 值達到最小為止，此時各群組內之站數即為最後的分區結果。

由於各種資料所使用之單位不同，為避免不同單位間所造成的影響，本文先將資料標準化 (standardization) 後再進行分析，標準化的過程本文採取 Zhang 及 Hall(2004)的建議以下式標準化各項資料：

$$W_i^{m*} = \frac{W_i^m - W_{\min}^m}{W_{\max}^m - W_{\min}^m} \quad \dots\dots\dots(4)$$

其中 W_i^{m*} 為 W_i^m 標準化後之值； W_{\min}^m 及 W_{\max}^m 分別為第 m 種資料標準化前之最小值及最大值。

應用 K 均值法於劃分群組時須先指定分群數目，指定不同的分群數會有不同的群組組合結果，本文以 Kaufman 及 Rousseeuw (2005)所提出的側影係數 (silhouette coefficient, SC) 來判斷應該劃分為幾個群組較為合適，亦即本文分別指定不同的群組數並依據劃分結果計算其側影係數，再以側影係數作為決定最佳群組數之依據。其計算原理說明如下：假設某一特定群組 A 內之第 i 站，與該群組內所有其他站資料的平均距離以 a_i 來表示，而該站資料與其他不為 A 群組所有站資料平均距離以 b_i 來表示，則群組 A 內第 i 站側影係數定義為：

$$SC_i = \frac{b_i - a_i}{\max\{a_i, b_i\}} \quad \dots\dots\dots(5)$$

側影係數介於 0 之間，當側影係數為 1 時表示該站之資料與其他群組相距甚遠；當側影係數為 0 時表示該站若是位於其他群組亦無差異；當側影係數為 -1 時表示該站錯置群組。因此側影係數愈高，表示所劃分的群組結構愈好。計算得各群組中每一站的 SC_i 後，取其平均值代表此分群數目之平均側影係數。本文將分別計算不同分群數之平均側影係數，以最高平均側影係數之分群數為本文所選定之分群數。

至於應以何種資料特性作為劃分均勻區域的依據並無一致的標準，一般可將資料可分為二類，一類為水文性資料，如雨量、流量等觀測資料或其衍生統計特性，此類資料需實地設站觀測，未設站地點則無資料；第二類為地文性資料，如流域面積、測站座標等，此類資料無需設站量測，且不隨時間改變 (Burn, 1990b)。若僅利用水文資料來劃分均勻區域，則未設站地點因無水文資料無法將該地點歸屬於任一區域；但若僅依地文資料來劃分均勻區域，則所劃分區域內之資料未必具有均勻性。因此，若欲將所推導得之區域頻率模式應用於未設站地點之頻率分析，則須同時考慮水文及地文因子來劃分均勻區域。地文因子的選擇在洪水頻率分析中最常用的因子為流域面積，例如 Zrinji 及 Burn (1994)、Lim 及 Lye (2003)、Hall 及 Minns (1999)、Zhang 及 Hall(2004)、Nathan 及 McMahon (1990)等，但本文採用的資料為年最大一日雨量，因此並無流域面積可用，其他較常用的地文因子則有測站座標，例如 Burn (1990a)、Guttman (1993)就曾以測站座標配合其他的水文因子來劃分均勻區域。至於水文因子則有甚多不同的型式，除直接的觀測量外，其他的因子包括觀測資料的統計特性，例如變異係數 (coefficient of variation) 即被許多研究所使用，包括 Burn (1989)、Burn (1990a)、Zrinji 及 Burn (1994)等。因此，本文以測站座標 (地文因子) 與年最大一日雨量之平均值及變異係數 (水文因子) 來劃分均勻區域，以此方式所劃分均勻區域內的測站未必會緊鄰在一起。

2.2 指數洪水法

本文以指數洪水法建立台灣地區年最大一日雨量之區域頻率模式，該法之主要假設為在一均勻的區域內，各站的頻率分佈除有一尺度因子 (scaling factor) 的差別外是相同的，即該區域存在一區域頻率模式，在某特定機率時各站之變數值為該機率之區域值乘上各站之尺度因子，亦即：

$$Q_i(F) = \mu_i q(F), \quad I = 1, 2, 3, \dots, N \quad \dots\dots\dots(6)$$

其中 $Q_i(F)$ 為第 i 站之分位數(quantile)，在本文即為年最大一日雨量； μ_i 為第 i 站之尺度因子，為反應各站間差異的因子，一般以各站觀測值之平均值為尺度因子，本文亦以各站之平均年最大一日雨量為尺度因子； $q(F)$ 為無因次區域分位數 (dimensionless regional quantile)； N 為站數。

區域頻率分析中需先決定無因次區域分位數 $q(F)$ ，推導時需先將各站之觀測資料除以各站之尺度因子使觀測資料無因次化，如下式所示：

$$q_{ij} = \frac{Q_{ij}}{\mu_i}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n_i \quad \dots\dots\dots(7)$$

其中 Q_{ij} 及 q_{ij} 分別為第 i 站第 j 個觀測值及無因次觀測值； n_i 為第 i 站之資料個數。

無因次區域分位數 $q(F)$ 中的參數需利用區域內各站之無因次觀測值所推估得之參數來推估，Hosking 及 Wallis(1993)建議可利用各站的資料個數以加權平均的方式來獲得區域的參數。假設第 i 站的第 k 個參數以 $\theta_k^{(i)}$ 來代表，則無因次區域頻率模式的第 k 個參數 $\theta_k^{(R)}$ 為：

$$\theta_k^{(R)} = \frac{\sum_{i=1}^N n_i \theta_k^{(i)}}{\sum_{i=1}^N n_i}, \quad k = 1, 2, 3, \dots, p \quad \dots\dots\dots(8)$$

其中 p 為參數個數，其數值隨所選定之區域頻率模式而定；上標 i 表區域內第 i 站；上標 R 表區域； $\theta_k^{(R)}$ 為無因次區域分位數的第 k 個參數。

至於區域內各站的參數推估方式，Hosking 及 Wallis(1993)則建議以各站無因次資料的各階線性動差(L-moments)來代表，推估方法詳 2.3 節說明。

2.3 線性動差法推估參數

Hosking (1990)定義線性動差為機率權重動差(probability-weighted moments)的線性組合，其關係如下：

$$\lambda_{r+1} = \sum_{k=0}^r p_{r,k}^* \beta_k, \quad r = 0, 1, 2, \dots \quad \dots\dots\dots(9)$$

其中 λ_r 為 r 階之線性動差； β_k 為 k 階之機率權重動差，可由排序之無因次觀測值 x_j 來推估，即：

$$\beta_k = \frac{1}{n} \sum_{j=k+1}^n \frac{(j-1)(j-2)\dots(j-k)}{(n-1)(n-2)\dots(n-k)} x_j, \quad k = 0, 1, 2, \dots, n-1 \quad \dots\dots\dots(10)$$

(9)式中的 $p_{r,k}^*$ 為線性組合的係數，定義為：

$$p_{r,k}^* = (-1)^{r-k} \binom{r}{k} \binom{r+k}{k} \quad \dots\dots\dots(11)$$

依據前述之定義，常用之前四階線性動差即為：

$$\lambda_1 = \beta_0 \quad \dots\dots\dots(12a)$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \quad \dots\dots\dots(12b)$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad \dots\dots\dots(12c)$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \quad \dots\dots\dots(12d)$$

Hosking (1990)另定義線性動差比(L-moment ratio)為：

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

其中 τ_r 為 r 階之線性動差比， τ 可視為線性動差中之變異係數，以 $L-CV$ 來代表； τ_3 及 τ_4 可分別視為線性動差中之偏態係數(L-skewness)及峰度係數(L-kurtosis)。

線性動差法應用於指數洪水法的區域頻率分析中即是將無因次區域分位數中的參數 $\theta_1^{(R)}, \theta_2^{(R)}, \dots, \theta_p^{(R)}$ 以線性動差及線性動差比 $\lambda_1, \tau_3, \tau_4, \dots, \tau_p$ 來取代。

2.4 資料一致性及均勻性檢定

以前述集群分析法中的 K 均值法劃分均勻區域後，本文以 Hosking 及 Wallis(1993)所建議以

線性動差為基礎的估量(measure)來確認所劃分均勻區域內資料的一致性與均勻性，並選定該區域之最佳頻率模式，方法分述如下：

2.4.1 資料一致性檢定

目的為將該區域內與其他測站資料明顯不一致的測站予以刪除，本文將利用 Hosking 及 Wallis (1993)所建議的不一致估量(discordancy measure)來檢定資料的一致性，其定義為：

$$D_i = \frac{1}{3}(u_i - \bar{u})^T A^{-1}(u_i - \bar{u}) \dots\dots\dots (14)$$

其中 $u_i = [\tau^{(i)} \quad \tau_3^{(i)} \quad \tau_4^{(i)}]^T$ ； \bar{u} 為該區域 u 之平均值， A 為其變異係數矩陣，其定義請參閱 Hosking 及 Wallis (1993)。

D_i 值愈大代表該站之資料與其他站的資料愈不一致，應予刪除，而刪除的標準則與區域內之測站數有關，當該區域內測站數大於 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，其餘站數之標準請參閱 Hosking 及 Wallis (1997)。

2.4.2 資料均勻性檢定：

本文以 Hosking 及 Wallis (1993)所建議的異質性估量(heterogeneity measure)來確認利用集群分析所劃分均勻區域內的資料具有均勻性，其定義如下：

$$H_i = \frac{(V_i - \mu_{V_i})}{\sigma_{V_i}}, \quad i = 1, 2, 3 \dots\dots\dots (15)$$

其中 V_i 代表觀測值資料之線性動差特性，其定義請參閱 Hosking 及 Wallis (1993)。 μ_{V_i} 及 σ_{V_i} 為繁衍資料所計算 V_i 之平均值及標準偏差。

Hosking 及 Wallis (1993)建議當 $H < 1$ 時為均勻區域；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。

2.4.3 決定區域頻率模式：

在確認為均勻區域後，本文以 Hosking 及 Wallis (1993)所定義之適合度估量(goodness-of-fit measure)來檢驗該區域之線性動差與理論分佈之線性動差是否一致來決定該區域之頻率分佈，其定義如下：

$$Z^{DIST} = \frac{(\tau_4^{DIST} - \tau_4^{(R)} + \beta_4)}{\sigma_4} \dots\dots\dots (16)$$

其中 τ_4^{DIST} 為所選擇特定機率分佈的線性峰度； $\tau_4^{(R)}$ 為區域的平均線性峰度； β_4 為 $\tau_4^{(R)}$ 的偏差(bias)，其定義請參閱 Hosking 及 Wallis (1993)。

至於所選定的機率分佈能否用來代表該區域的資料特性，Hosking 及 Wallis(1993)建議當特定機率分佈之 $|Z^{DIST}| \leq 1.64$ 時即可作為區域模式。

2.5 無因次區域年最大一日雨量機率分佈

本文由以下五種常用的三參數機率分佈擇一來建立無因次區域年最大一日雨量頻率模式，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)，其累積分佈函數 $F(x)$ 及分位數 $x(F)$ 分述如下：

2.5.1 通用羅吉斯分佈(GLO)

$$F(x) = \frac{1}{1 + \left[1 - \frac{k(x - \xi)}{\alpha}\right]^k} \dots\dots\dots (17a)$$

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{k} \left[1 - \left(\frac{1}{F} - 1\right)^k\right] \dots\dots\dots (17b)$$

其中 ξ 、 α 、 k 為參數。

2.5.2 通用極端值分佈(GEV)

$$F(x) = e^{-\left[1 - \frac{k(x - \xi)}{\alpha}\right]^k} \dots\dots\dots (18a)$$

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{k} \left[1 - (-\ln F)^k\right] \dots\dots\dots (18b)$$

其中 ξ 、 α 、 k 為參數。

2.5.3 三參數對數常態分佈(LN3)

$$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x-\zeta) - \mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots (19a)$$

$$x(F) = \zeta + e^{\mu + \sigma\Phi^{-1}(F)} \dots\dots\dots (19b)$$

其中 ζ 、 μ 、 σ 為參數； Φ 及 Φ^{-1} 分別為標準常態分佈累積分佈函數及反函數。

2.5.4 皮爾遜第III型分佈(PE3)

$$F(x) = G\left(\frac{x - \mu + \frac{2\sigma}{\gamma}}{\frac{1}{2}\sigma\gamma}, \frac{4}{\gamma^2}\right) \dots\dots\dots (20a)$$

$$x(F) = \mu - \frac{2\sigma}{\gamma} + Ga^{-1}\left(F; \frac{4}{\gamma^2}, \frac{\sigma\gamma}{2}\right) \dots\dots\dots (20b)$$

其中 μ 、 σ 、 γ 為參數； G 為不完整 gamma 函數 (incomplete gamma function)； Ga^{-1} 為 gamma 累積分佈函數之反函數。

2.5.5 通用帕雷托分佈(GPA)

$$F(x) = 1 - \left[1 - \frac{k(x-\xi)}{\alpha}\right]^{\frac{1}{k}} \dots\dots\dots (21a)$$

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{k} \left[1 - (1-F)^k\right] \dots\dots\dots (21b)$$

其中 ξ 、 α 、 k 為參數。

上述五種分佈之參數將以線性動差法來推估，其過程請參閱 Hosking (1990)及 Hosking 及 Wallis (1997)。這五種分佈將以前述的適合度估量分別檢定之，選擇符合 $|Z^{DIST}| \leq 1.64$ 且最小 $|Z^{DIST}|$ 值之分佈作為該區域之最佳分佈。

2.6 設站地點之頻率分析

重現期(return period)之定義為超越某特定水水量之平均發生時間(Haan, 1977)，其常作為水資源工程規劃與設計之依據。本文亦以所建立之無因次區域年最大一日雨量頻率模式來分析各區域內各站發生不同重現期之年最大一日雨量，無因次區域年最大一日雨量之重現期與其累積分佈函數間的關係為：

$$T = \frac{1}{1 - F(R_T^{(R)})} \dots\dots\dots (22)$$

其中 T 為無因次年最大一日雨量 $R_T^{(R)}$ 之重現期； F 為無因次區域年最大一日雨量之累積分佈函數。

無因次區域年最大一日雨量亦可表為不同重現期之函數，如下：

$$R_T^{(R)} = F^{-1}\left(\frac{1}{1-T}\right) \dots\dots\dots (23)$$

依據指數洪水法之定義，將上式乘上各站之平均年最大一日雨量即可得該區域內各站不同重現期之年最大一日雨量，如下式所示：

$$R_T^{(i)} = \mu^{(i)} F^{-1}\left(\frac{1}{1-T}\right) \dots\dots\dots (24)$$

其中 $\mu^{(i)}$ 為區域內第 i 站之平均年最大一日雨量； $R_T^{(i)}$ 為區域內第 i 站重現期為 T 年之年最大一日雨量。

2.7 未設站地點之頻率分析

應用前節所建立之無因次區域年最大一日雨量頻率模式於未設站地點之頻率分析時，需先解決兩個問題，其一為該未設站地點應歸屬之區域，其二為該未設站地點之平均年最大一日雨量。由於本文以集群分析來劃分均勻區域，各均勻區域間並無固定的邊界，決定未設站地點所歸屬的區域需考慮未設站地點的座標與該地點之年最大一日雨量平均值及變異係數，但未設站地點並無雨量資料可決定其年最大一日雨量平均值及變異係數，因此必須藉助該地點之座標來推估之。建立地文因子與水文因子間之關係較常用的方法為多變數迴歸(multiple regression) (Mazvimavi 等, 2004)，但本文以克利金(Kriging)法來建立年最大一日雨量平均值及變異係數之空間模式以推估未設站地點不同頻率之年最大一日雨量，以下將概略敘述克利金法之理論及應用於未設站地點頻率分析之方法。

克利金為利用空間上已知觀測站的資料對未設站地點資料的最佳線性不偏推估(best linear

unbiased estimate, BLUE), 其可表為:

$$\hat{v}_0 = \sum_{i=1}^N w_i v_i \quad \dots\dots\dots(25)$$

其中 \hat{v}_0 為未知值 v_0 之推估值; v_i 為第 i 站之觀測值; w_i 為第 i 站之權重; N 為觀測資料之總站數。

在最小化誤差變異係數(error variance) $\text{Var}(v_0 - \hat{v}_0)$ 的條件下以拉格朗日乘數(Lagrange multiplier)法求解可得以下之聯立方程式:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^N w_j \gamma_{ij} - \mu = \gamma_{i0}, & i=1,2,\dots,N \\ \sum_{i=1}^N w_i = 1 \end{cases} \quad \dots\dots\dots(26)$$

其中 μ 為待決定之拉格朗日乘數; γ_{ij} 為第 i 及 j 點之間的變異量(variogram), 其定義為:

$$\gamma_{ij} = \frac{1}{2} E[(v_i - v_j)^2] \quad \dots\dots\dots(27)$$

(26)式稱為一般克利金系統(ordinary Kriging system), 為確保(26)式可獲得惟一解, 則其係數矩陣必須是正定性(positive definite), 因此常以理論之變異量模式來代替觀測變異量, 較常用的理論變異量模式有球面模式(spherical model)、指數模式(exponential model)、高斯模式(Gaussian model)等(Isaaks 及 Srivastava, 1989)。因此必須先以觀測資料的變異量來選擇理論變異量模式, 決定理論變異量模式後即可代入(26)式中求解權重 w_i , 之後再代入(25)式中即可獲得未設站地點的推估值。

由於尚無法得知未設站地點歸屬之區域, 因此需利用全部測站的資料來建立年最大一日雨量平均值及變異係數之空間變異量模式, 建立此模式後對於未設站地點僅需知其座標值即可推估得該地點年最大一日雨量之平均值與變異係數。以(4)式將未設站地點之地文資料與所推估之水文資料標準化後, 再分別計算至各均勻區域中心之距離, 本文以最短距離來判斷該未設站地點所歸屬的均勻區域。

決定未設站地點所屬區域後, 可利用該區域所建立之無因次區域頻率模式, 配合所推估該站

之平均年最大一日雨量, 即可利用指數洪水法的概念建立未設站地點年最大一日雨量重現期之關係式並進行頻率分析。

三、資料概述

3.1 雨量資料概述

本文為建立台灣地區年最大一日雨量無因次區域頻率模式以供未設站地點頻率分析之用, 經選取經濟部水利署所設置雨量站在 1955 至 2004 年間紀錄完整且連續達 20 年以上之日雨量資料進行分析, 台灣地區共選取 77 個雨量站的資料, 所選取雨量站之相關地理位置請參閱圖 1。各雨量站之基本資料, 包括站名、站號、所屬流域、高程、座標、年最大一日雨量之平均值、標準偏差及變異係數均列於表 1。各站日雨量資料之記錄年限介於 20 年(新高嶺(01T770))至 54 年(太閣南(01D100))之間, 平均為 34.4 年。各站之平均年最大一日雨量則介於 137.2 mm(鹿港(02G070))至 455.1 mm(阿禮(01Q090)), 平均值為 247.6 mm。

3.2 年最大一日雨量趨勢檢定

為確認本文所用於建立區域頻率模式的年最大一日雨量並未受到全球氣候變遷等因素的影響而具有增加或減少的趨勢, 本文首先對所選用的資料進行趨勢檢定(trend test)。檢定的方法本文採用 Mann-Kendall 檢定法, 此法為一無母數(non-parametric)統計檢定方法, 近年來廣泛用於水文資料趨勢分析研究, 詳細的方法及計算步驟請參閱 Hirsch 等(1982)及 Belle 及 Hughes (1984)。

採用顯著水準(level of significance)為 5%, Mann-Kendall 法檢定結果顯示本文所選用 77 站年最大一日雨量資料皆無明顯的上升或下降趨勢存在, 即本文所選用雨量站的年最大一日雨量用於頻率分析時不會因具有趨勢而增加推估誤差。

四、結果與討論

4.1 均勻區域劃分結果

本文利用集群分析中非階層法的 K 均值法

表 1 雨量站基本資料及分區結果

區域	站名	站號	流域	標高 (m)	年最大一日雨量			TM2 度分帶座標	
					平均值 (mm)	標準偏差 (mm)	變異係數	X(m)	Y(m)
I	林口(1)	01A160	林口溪	250	160.6	61.0	0.380	287183.9	2774606.6
	碧湖	01A190	淡水河	360	285.0	127.2	0.446	324085.6	2754572.2
	三峡	01A220	淡水河	33	170.4	72.9	0.428	284953.6	2759155.2
	富貴角	01A350	磺溪	15	154.2	66.0	0.428	304127.6	2798048.0
	瑞芳(2)	01A380	淡水河	101	243.6	97.4	0.400	330315.8	2778484.9
	中正橋	01A410	淡水河	5	172.7	89.7	0.520	301273.8	2768498.5
	竹子湖(2)	01A420	淡水河	605	364.6	186.0	0.510	304043.6	2784047.5
	大桶山	01A440	淡水河	916	259.7	144.8	0.442	306049.4	2752394.6
	坪林(4)	01A450	淡水河	200	304.4	142.4	0.468	321059.1	2759140.8
	土場(1)	01U050	蘭陽溪	400	335.6	188.2	0.561	299517.6	2718710.1
	梵梵(2)	01U060	蘭陽溪	300	374.9	179.5	0.479	302426.6	2723243.5
	大濁水	01U230	和平溪	48	301.9	141.7	0.469	324194.4	2691867.1
	武塔	01U470	南澳溪	32	283.6	100.7	0.355	327925.9	2705271.1
	忠勇	01S260	秀姑巒溪	120	234.7	78.7	0.335	294087.1	2580623.5
	卓麓(4)	01T220	秀姑巒溪	210	286.6	145.3	0.507	276424.0	2577290.0
	立山	01T230	秀姑巒溪	180	282.6	121.8	0.431	281365.7	2591695.9
	西林	01T560	花蓮溪	200	297.6	128.9	0.433	293726.5	2634641.2
	明里	01T720	秀姑巒溪	210	311.0	147.4	0.474	298092.9	2651808.9
	豐濱	01T730	豐濱溪	30	239.9	105.5	0.440	289888.3	2624004.0
新高嶺(2)	01T770	花蓮溪	1800	276.6	133.8	0.484	280808.6	2626978.7	
II	太閣南	01D100	頭前溪	940	248.0	138.1	0.557	264118.1	2724074.9
	梅花	01D180	頭前溪	560	272.9	167.4	0.613	269987.0	2730358.4
	集集(2)	00H710	濁水溪	215	190.1	87.4	0.460	226228.9	2636040.4
	蔥蒜(2)	00H810	烏溪	667	242.7	112.2	0.462	253671.2	2665892.3
	橫龍山	01E030	後龍溪	550	306.0	171.5	0.560	245889.0	2707362.7
	大埔	01E120	客雅溪	42	153.6	82.0	0.534	239236.3	2733978.6
	南庄(1)	01E170	中港溪	229	227.9	115.4	0.506	249353.0	2721329.6
	卓蘭(2)	01E230	大安溪	337	211.6	112.2	0.530	230207.7	2689040.2
	珊瑚湖	01E240	中港溪	45	182.1	82.3	0.452	244996.4	2730898.7
	大湖(1)	01E270	後龍溪	275	234.7	122.9	0.524	235944.2	2702169.9
	南勢山	01E310	西湖溪	95	167.9	86.7	0.516	222174.7	2718680.8
	大坪頂	01E330	通霄溪	190	192.5	112.1	0.582	220650.8	2703054.9
	和興	01E370	後龍溪	203	232.4	119.8	0.516	241359.8	2714071.6
	大河	01E380	中港溪	103	201.3	97.6	0.485	245021.4	2722253.5
	大潭	01E390	中港溪	30	168.4	75.9	0.451	231131.1	2725649.6
	頭汙	01G090	洋子溪	7	147.2	76.2	0.518	196931.4	2664667.6
	萬興(2)	01G240	舊濁水溪	11	155.1	71.7	0.463	216617.3	2652640.9
	桶頭(2)	01H110	濁水溪	231	235.5	109.8	0.466	213982.1	2615977.7
	東埔	01H400	濁水溪	1135	193.3	97.3	0.503	241748.0	2605846.0
	西鑿	01H470	濁水溪	1666	232.5	132.6	0.570	238586.6	2624704.8
	六分寮	01H590	烏溪	420	185.2	86.7	0.468	212393.0	2647852.2
	草屯(4)	01H630	烏溪	97	163.2	70.7	0.433	216645.5	2652610.0
	內茅埔(2)	01H780	濁水溪	485	194.8	124.3	0.638	234079.6	2621048.4
	西螺(2)	01J100	濁水溪	30	160.6	72.8	0.454	194777.1	2633203.8
	草嶺(2)	01J970	濁水溪	724	298.6	165.0	0.552	217736.7	2609447.3

表 1 雨量站基本資料及分區結果(續)

區域	站名	站號	流域	標高 (m)	年最大一日雨量			TM2 度分帶座標	
					平均值 (mm)	標準偏差 (mm)	變異係數	X(m)	Y(m)
	鹿港(2)	02G070	洋子溪	6.9	137.2	73.2	0.533	190916.3	2664875.8
	大湖山	01L390	八掌溪	725	326.8	192.9	0.590	210417.7	2597345.1
	沙坑	01L490	朴子溪	78	201.3	89.2	0.443	200194.5	2603282.5
	東原	01O190	急水溪	80	221.7	126.6	0.571	192507.3	2574025.0
	北寮	01O200	急水溪	360	269.1	142.2	0.528	198201.8	2577018.6
	王爺宮	01O750	曾文溪	130	208.4	104.8	0.503	187797.7	2569214.3
III	林內(1)	01J930	新虎尾溪	82	177.3	64.3	0.363	209651.7	2628140.3
	旗山(4)	00P470	高屏溪	64	219.8	91.3	0.415	195286.0	2533317.8
	屏東(5)	00Q070	高屏溪	25	219.6	89.5	0.408	196912.1	2509319.4
	中坑	01L910	北港溪	95	196.0	78.9	0.402	200237.8	2607681.4
	虎頭埤	01O710	鹽水溪	34	200.7	74.9	0.373	181215.9	2547525.4
	木柵	01P190	二仁溪	78	241.0	96.4	0.400	194548.3	2541933.4
	多納	01P260	高屏溪	458	333.0	125.6	0.377	220024.2	2534571.1
	古亭坑	01P280	二仁溪	78	221.0	97.8	0.443	188073.8	2532761.1
	金山	01P390	阿公店溪	90	217.7	92.0	0.423	186608.5	2523139.2
	阿蓮(2)	01P500	阿公店溪	21	216.8	87.6	0.404	180114.0	2530950.2
	甲仙(2)	01P660	高屏溪	355	284.6	94.9	0.333	206943.3	2553827.7
	美濃(2)	01P770	高屏溪	103	253.8	84.1	0.331	208036.5	2537644.8
	新來義	01Q350	林邊溪	250	383.5	139.1	0.363	216597.4	2492131.3
	古夏	01Q610	高屏溪	144	284.8	102.0	0.358	213090.2	2518837.7
	阿禮	01Q910	高屏溪	1320	455.1	169.8	0.373	224378.1	2514354.5
	三地門	01Q930	高屏溪	150	312.2	126.4	0.405	213159.8	2512255.1
	高中	01V010	高屏溪	520	341.6	126.3	0.370	220414.2	2558962.8
	六龜(4)	01V040	高屏溪	253	299.8	120.7	0.403	211557.7	2544341.1
	藤枝(2)	01V050	高屏溪	1640	344.9	161.5	0.468	224356.5	2552003.7
	梅山(2)	01V060	高屏溪	850	311.0	146.2	0.470	231243.3	2573956.2
	知本(5)	01S210	知本溪	100	275.5	90.5	0.329	249571.9	2510980.3
	樟原(1)	01S270	水母溪	120	247.3	87.2	0.353	294040.8	2477939.6
	紹家	01S360	大武溪	520	233.4	88.9	0.381	234567.5	2475803.0
	新武(3)	01S440	卑南溪	420	284.3	142.9	0.503	262004.9	2559030.6
向陽(2)	01S470	卑南溪	2400	302.7	114.3	0.377	246902.1	2572868.1	
上里	01S570	卑南溪	220	304.3	131.9	0.433	255130.1	2531097.2	

將本文所蒐集台灣地區 77 個雨量站的年最大一日雨量進行均勻區域的劃分，劃分的依據本文採用四個變數，分別為代表水文因子之各雨量站 TM2 度分帶 X 及 Y 座標值與代表水文因子的各站年最大一日雨量之平均值及變異係數。將各站上上述四變數分別標準化後，本文測試分群數為 2 至 7 群組之狀況，各群組之平均側影係數分別為 0.499、0.501、0.456、0.468、0.466、0.471，其中以分群數為 3 時之平均側影係數為最大，即為

最佳分群架構，本文將以此結果分區建立各均勻區域之區域頻率模式。本文以 I、II、III 區代表所劃分之均勻區域，各區域內各雨量站之相對位置如圖 1 所示，其中第 I 區包含 20 個站，分布位置從北部、東北部至東部秀姑巒溪流域；第 II 區包含 31 個站，從頭前溪流域以南至曾文溪流域；而第 III 區包含 26 個站，分布位置從鹽水溪流域以南，但包含東部之卑南溪流域。各分區之站況亦列於表 1。

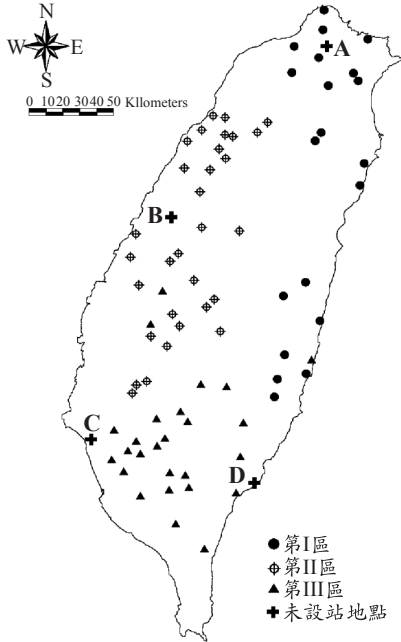


圖 1 本文所選用雨量站相關位置及均勻區域劃分結果

4.2 均勻區域內資料一致性及均勻性檢定

經以集群分析劃分得均勻區域後，本文利用不一致及異質性估量進行檢定，以確認各區域內年最大一日雨量具有一致性及均勻性。首先將各區域內各站之資料無因次化後，依(14)式計算所得之各區域不一致估量 D 值的範圍列於表 2，由於各區域內的站數均超越 15 站，資料不一致的刪除標準為 3。此 77 站年最大一日雨量的不一致估量值在其所屬區域內均未達此標準，此表示以集群分析所劃分得三個區域內之無因次年最大一日雨量在其所屬區域內均具有一致性。

其次對各區域之無因次年最大一日雨量確認其均勻性，各區域依(15)式所計算得之 H_i 值亦列於表 2，各區域的 H_i 值皆在均勻區域的標準值 1 以內，亦即利用集群分析劃分得三個均勻區域內之無因次年最大一日雨量皆具有均勻性。

4.3 均勻區域內頻率模式建立

本文依適合度估量來判斷適合各區域無因次年最大一日雨量之機率分佈，各區域依(16)式

表 2 各均勻區域不一致、異質性及適合度估量演算結果

區域	I 區	II 區	III 區	
D	0.155~2.439	0.164~2.929	0.078~2.652	
H	H_1	-0.244	0.448	-0.238
	H_2	-0.838	-1.165	-0.889
	H_3	-1.990	-0.284	-0.542
Z	GLO	3.610	8.714	5.765
	GEV	0.363	6.200	1.830
	LN3	0.388	4.708	1.937
	PE3	-0.200	2.099	1.305
	GPA	-6.367	-0.258	-6.254

表 3 各均勻區域所選用機率分佈及其參數值

區域	機率分佈	參數值		
I 區	PE3	$\mu = 1.0000$	$\sigma = 0.4534$	$\gamma = 0.7918$
II 區	GPA	$\xi = 0.4012$	$\alpha = 0.6866$	$k = 0.1466$
III 區	PE3	$\mu = 1.0000$	$\sigma = 0.3977$	$\gamma = 0.7488$

計算得之適合度估量列於表 2，以 $|Z^{DIST}| \leq 1.64$ 作為判斷適合分佈的標準，則各區域的結果如下：第 I 區適合的機率分佈有通用極端值分佈(GEV)、三參數對數常態分佈(LN3)及皮爾遜第 III 型分佈(PE3)等三種，第 II 區適合的機率分佈僅有通用帕雷托分佈(GPA)，第 III 區適合的機率分佈僅有皮爾遜第 III 型分佈(PE3)。本文以最小 $|Z^{DIST}|$ 為區域最佳頻率分佈，則除第 II 區為通用帕雷托分佈(GPA)外，其餘二區均為皮爾遜第 III 型分佈(PE3)，上述各分佈之參數以線性動差法推估並列於表 3。各區域最佳無因次年最大一日雨量之機率分佈如下：

1. 第 I 區為皮爾遜第 III 型分佈(PE3)

$$F(x) = G(0.1795x - 0.6365, 3.3801) \dots (28)$$

其中 G 為不完整 gamma 函數。

2. 第 II 區為通用帕雷托分佈(GPA)

$$F(x) = 1 - (1.0857 - 0.2135x)^{6.8213} \dots (29)$$

3. 第 III 區為皮爾遜第 III 型分佈(PE3)

$$F(x) = G(0.1489x - 0.4177, 7.1339) \dots (30)$$

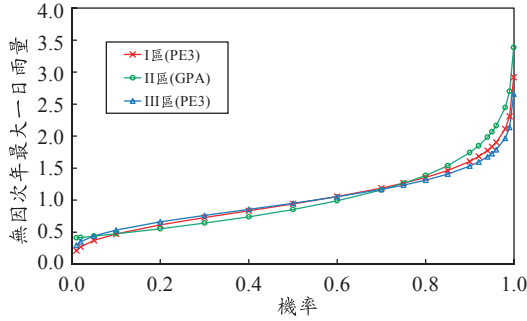


圖 2 各均勻區域無因次年最大一日雨量分位數

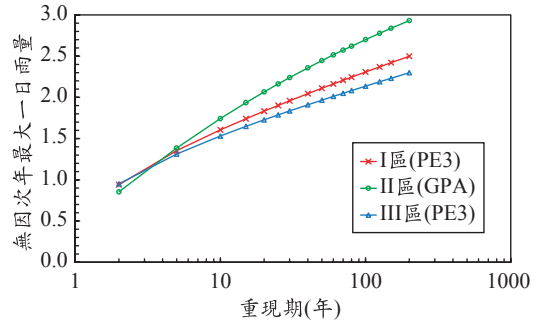


圖 3 各均勻區域無因次年最大一日雨量與重現期關係圖

各區域之最佳無因次年最大一日雨量之分位數示於圖 2。

4.4 設站地點之頻率分析

依據前述所建立之三均勻區域無因次年最大一日雨量之區域頻率模式後，重現期與無因次年最大一日雨量之關係可表為：

1. 第 I 區為皮爾遜第 III 型分佈(PE3)

$$T = \frac{1}{1 - G(0.1795x_T - 0.6365, 3.3801)} \dots (31)$$

其中 G 為不完整 gamma 函數； x_T 為重現期為 T 年的無因次年最大一日雨量。

2. 第 II 區為通用帕雷托分佈(GPA)

$$T = \frac{1}{(1.0857 - 0.2135x_T)^{6.8213}} \dots (32)$$

3. 第 III 區為皮爾遜第 III 型分佈(PE3)

$$T = \frac{1}{1 - G(0.1489x_T - 0.4177, 7.1339)} \dots (33)$$

各區域不同重現期與無因次年最大日雨量關係圖如圖 3 所示，由圖可知重現期大於 5 年時以第 II 區的無因次年最大一日雨量為最大，而以第 III 區最小，但實際上各站不同重現期年最大一日雨量的大小與該站之平均年最大一日雨量有關。依(6)式之定義，各均勻區域各站不同重現期與年最大一日雨量關係如下：

1. 第 I 區為皮爾遜第 III 型分佈(PE3)

$$T = \frac{1}{1 - G\left(0.1795\left(\frac{R_T^{(i)}}{\mu^{(i)}}\right) - 0.6365, 3.3801\right)} \dots (34)$$

其中 G 為不完整 gamma 函數； $R_T^{(i)}$ 為第 i 站重現期為 T 年之年最大一日雨量； $\mu^{(i)}$ 為第 i 站之平均年最大一日雨量。

2. 第 II 區為通用帕雷托分佈(GPA)

$$T = \frac{1}{\left[1.0857 - 0.2135\left(\frac{R_T^{(i)}}{\mu^{(i)}}\right)\right]^{6.8213}} \dots (35)$$

3. 第 III 區為皮爾遜第 III 型分佈(PE3)

$$T = \frac{1}{1 - G\left(0.1489\left(\frac{R_T^{(i)}}{\mu^{(i)}}\right) - 0.4177, 7.1339\right)} \dots (36)$$

各區域各站 5、10、50、100 及 200 年重現期之年最大一日降雨量列於表 4。

歷史暴雨事件之發生頻率可依前述所建立之各區域各站年最大一日雨量機率模式加以探討，例如 2004 年間敏督利颱風，第 III 區的梅山(2)(01V060)記錄到單日最大雨量為 699 mm，為該站紀錄年限內的最大一日雨量，依本文分析得重現期為 160 年。另 2001 年納莉颱風來襲，造成第 I 區竹子湖(2)(01A420)測得 860 mm 的日雨量，依本文分析得其重現期為 120 年。第 III 區古亭坑(01P280)紀錄年限之最大日雨量為 1997 年

表 4 各均勻區域各站不同重現期之年最大一日雨量

重現期(年)		5	10	50	100	200	重現期(年)		5	10	50	100	200
I	01A160	217.4	257.9	338.9	370.7	401.2	II	01D100	343.6	432.2	606.4	669.6	726.7
	01A190	385.9	457.7	601.6	658	712.2		01D180	378.1	475.6	667.3	736.8	799.7
	01A220	230.7	273.6	359.6	393.3	425.7		00H710	263.4	331.3	464.8	513.3	557.0
	01A350	208.8	247.6	325.5	356.0	385.3		00H810	336.3	423.1	593.6	655.5	711.4
	01A380	329.8	391.1	514.0	562.2	608.5		01E030	423.9	533.3	748.2	826.2	896.7
	01A410	233.8	277.3	364.4	398.6	431.4		01E120	212.8	267.7	375.5	414.7	450.1
	01A420	493.6	585.5	769.5	841.6	910.9		01E170	315.8	397.2	557.3	615.4	667.9
	01A440	351.7	417.1	548.2	599.6	649.0		01E230	293.1	368.8	517.4	571.3	620.1
	01A450	412.2	488.9	642.5	702.7	760.7		01E240	252.3	317.3	445.2	491.7	533.6
	01U050	454.4	538.9	708.2	774.6	838.4		01E270	325.1	409.0	573.8	633.7	687.7
	01U060	507.6	602.0	791.1	865.3	936.6		01E310	232.6	292.7	410.6	453.4	492.1
	01U230	408.8	484.8	637.2	696.9	754.4		01E330	266.7	335.5	470.7	519.8	564.2
	01U470	383.9	455.3	598.4	654.5	708.5		01E370	322	405.0	568.2	627.5	681.0
	01S260	317.8	376.9	495.3	541.7	586.4		01E380	278.9	350.8	492.2	543.6	589.9
	01T220	388.0	460.1	604.8	661.4	716.0		01E390	233.3	293.5	411.7	454.7	493.5
	01T230	382.6	453.8	596.4	652.3	706.1		01G090	204.0	256.6	360.0	397.5	431.4
	01T560	403.0	477.9	628.1	687	743.6		01G240	214.8	270.2	379.1	418.7	454.4
	01T720	421.1	499.4	656.4	717.9	777.1		01H110	326.2	410.4	575.8	635.8	690.0
	01T730	324.8	385.2	506.3	553.8	599.4		01H400	267.9	337.0	472.7	522	566.6
	01T770	374.5	444.2	583.8	638.5	691.1		01H470	322.1	405.2	568.4	627.7	681.2
III	01J930	232.6	271.3	348.5	378.6	407.5	01H590	256.6	322.7	452.8	500.0	542.7	
	00P470	288.4	336.5	432.2	469.5	505.4	01H630	226.1	284.5	399.1	440.7	478.3	
	00Q070	288.1	336.1	431.7	469.0	504.8	01H780	269.9	339.6	476.4	526.1	571.0	
	01L910	257.1	300.0	385.3	418.6	450.5	01J100	222.5	279.9	392.6	433.6	470.6	
	01O710	263.3	307.2	394.6	428.6	461.4	01J970	413.8	520.5	730.3	806.4	875.2	
	01P190	316.3	368.9	473.9	514.8	554.1	02G070	190.2	239.2	335.6	370.6	402.2	
	01P260	437.0	509.8	654.7	711.3	765.6	01L390	452.8	569.7	799.2	882.6	957.8	
	01P280	290.0	338.3	434.4	472.0	508.0	01L490	278.9	350.8	492.2	543.6	589.9	
	01P390	285.7	333.3	428	465.0	500.5	01O190	307.2	386.4	542.2	598.7	649.8	
	01P500	284.5	331.9	426.3	463.1	498.5	01O200	372.8	468.9	657.9	726.5	788.5	
	01P660	373.5	435.7	559.6	608.0	654.4	01O750	288.7	363.2	509.6	562.8	610.8	
	01P770	333.1	388.6	499.1	542.2	583.6							
	01Q350	503.3	587.1	754.1	819.2	881.7							
	01Q610	373.8	436.0	560.0	608.4	654.9							
	01Q910	597.2	696.6	894.8	972.1	1046.3							
	01Q930	409.7	478.0	613.9	666.9	717.9							
	01V010	448.3	522.9	671.6	729.7	785.4							
	01V040	393.4	458.9	589.4	640.3	689.2							
	01V050	452.6	528.0	678.2	736.8	793.0							
	01V060	408.1	476.1	611.5	664.3	715.0							
01S210	361.5	421.7	541.7	588.5	633.4								
01S270	324.5	378.5	486.2	528.2	568.5								
01S360	306.3	357.3	458.9	498.5	536.6								
01S440	373.1	435.3	559.1	607.4	653.7								
01S470	397.2	463.4	595.2	646.6	696.0								
01S570	399.3	465.8	598.3	650.0	699.6								

雨量單位：mm

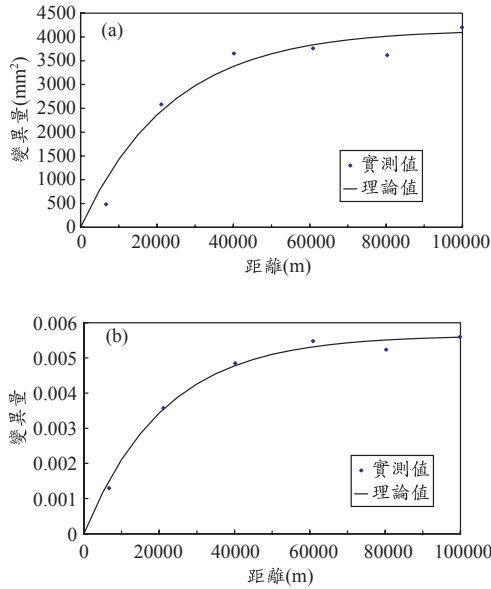


圖 4 理論變異量模式與實測變異量之比較，(a)為年最大一日雨量之平均值，(b)為年最大一日雨量變異係數

的 559 mm，依本文分析得其重現期為 555 年。

4.5 未設站地點之頻率分析

未設站地點年最大一日雨量之頻率分析須先建立年最大一日雨量平均值及變異係數之空間變異量模式，在分別計算得 77 個雨量站年最大一日雨量平均值及變異係數之觀測值變異量後，經以指數模式套配可得不錯的結果，因此本文採用指數模式來建立年最大一日雨量平均值及變異係數之變異量模式，如下所示：

$$\gamma_m(h) = 4156.32(1 - e^{-\frac{3h}{71430}}) \dots\dots\dots(37a)$$

$$\gamma_{cv}(h) = 0.00564(1 - e^{-\frac{3h}{63980}}) \dots\dots\dots(37b)$$

其中 γ_m 及 γ_{cv} 分別為年最大一日雨量平均值及變異係數之變異量模式； h 為距離。

上二式與變異量觀測值之間的比較示於圖 4(a)及 4(b)，為檢驗所推估變異量模式之正確性，本文利用交叉驗證法(cross validation) (Chiles 及 Delfiner, 1999)來檢驗上二式，此法之原理為每次刪除一測站，利用其他站的資料推估刪除站

表 5 未設站地點頻率分析結果

未設站地點		A	B	C	D
座標	X (m)	305800	212300	169200	259430
	Y (m)	277460	267360	255100	251506
推估年最大一日雨量	平均值(mm)	0	0	0	0
	變異係數	0.502	0.502	0.415	0.381
隸屬均勻區域		I	II	III	III
最佳機率分佈		PE3	GPA	PE3	PE3
重現期(年)	5	351.1	248.9	277.5	358.0
	10	416.4	313.1	323.7	417.6
	50	547.3	439.3	415.8	536.3
	100	598.6	485.1	451.7	582.7
	200	647.9	526.5	486.2	627.2

雨量單位：mm

之資料並與原資料比較，並將二者間的誤差除以克利金變異數(Kriging variance)表為標準化誤差(standardized error)，Chiles 及 Delfiner (1999)指出此標準化誤差為具有平均值為 0 且變異數為 1 之變數。年最大一日雨量平均值變異量模式(37(a)式)經以交叉驗證法計算得標準化誤差之平均值及變異數為 0.004 及 1.003，年最大一日雨量變異係數標準化誤差之平均值及變異數為 0.025 及 1.418，均非常接近於理論值，顯見所推估之變異量模式之合理性。

為說明未設站地點之頻率分析，本文任意選取位於北部、中部、南部及東部區域的 4 個假設地點進行分析，其座標分別為：A (305800, 2774600)、B (212300, 2673600)、C (169200, 2551000)、D (259430, 2515060)，相關位置如圖 1 所示。各未設站地點先利用前二式分別計算至其他 77 個站之間的變異量，代入(26)式求解各站之權重值，之後再以(25)式推估各未設站地點之年最大一日雨量平均值及變異係數，各站之推估結果列於表 5。其次再將各未設站地點之座標與所推估得之年最大一日雨量平均值及變異係數以(4)式標準化後，分別求取至各均勻區域 I、II、III區中心的距離，本文以最小距離來判定其歸屬之均勻區域，則未設站 A、B、C、D 分別隸屬 I、II、III及 III區。依前述所推導得之區

表 6 各均勻區域刪除站頻率分析誤差比較

區域		I 區		II 區		III 區	
刪除測站		大濁水(01U230)		大河(01E380)		旗山(4)(00P470)	
平均年最大 一日雨量 (mm)	觀測值	301.9		201.3		219.8	
	推估值	275.2		211.7		232.2	
	誤差(%)	8.8		5.2		5.6	
機率分佈		PE3		GPA		PE3	
參數		$\mu = 1.0000$		$\xi = 0.4011$		$\mu = 1.0000$	
		$\sigma = 0.4519$		$\alpha = 0.6862$		$\sigma = 0.3966$	
		$\gamma = 0.8008$		$k = 0.1457$		$\gamma = 0.7270$	
重現期(年)		推估值(mm)	誤差(%)	推估值(mm)	誤差(%)	推估值(mm)	誤差(%)
	5	372.2	9.0	293.3	5.2	304.7	5.6
	10	441.4	9.0	369.1	5.2	355.0	5.5
	50	580.3	8.9	518.1	5.3	455.0	5.3
	100	594.9	8.9	532.9	5.3	465.4	5.2
	200	607.1	8.9	545.1	5.3	474.1	5.1

域頻率模式，即可得知用來代表未設站地點之最佳分佈除 B 站為 GPA 外，其餘三站均為 PE3，其結果列於表 5。

在得知各未設站地點之無因次區域頻率分佈後，利用所推估之平均年最大一日雨量即可依指數洪水法之概念，如同設站地點般的進行頻率分析，則 A、B、C、D 四未設站地點之重現期與年最大一日雨量間之關係如下：

$$T_A = \frac{1}{1 - G\left(0.1795\left(\frac{R_T^A}{259.3}\right) - 0.6365, 3.3801\right)} \dots\dots\dots (38a)$$

$$T_B = \frac{1}{\left[1.0857 - 0.2135\left(\frac{R_T^B}{179.6}\right)\right]^{6.8213}} \dots\dots\dots (38b)$$

$$T_C = \frac{1}{1 - G\left(0.1489\left(\frac{R_T^C}{211.5}\right) - 0.4177, 7.1339\right)} \dots\dots\dots (38c)$$

$$T_D = \frac{1}{1 - G\left(0.1489\left(\frac{R_T^D}{272.8}\right) - 0.4177, 7.1339\right)} \dots\dots\dots (38d)$$

其中 T_A 、 T_B 、 T_C 、 T_D 分別為 A、B、C、D 四站之重現期； R_T^A 、 R_T^B 、 R_T^C 、 R_T^D 分別為 A、B、C、D 四站重現期為 T 年之年最大一日雨量。

利用上四式，未設站地點 A、B、C、D 四站重現期為 5、10、50、100 及 200 年重現期之年最大一日雨量即可計算，其值亦列於表 5。

4.6 區域頻率模式驗證

關於前節未設站地點頻率分析的驗證，本文依據 Kumar 等(2003)建議的方法來進行，該法為先將區域內已知的某測站刪除，利用區域內的其餘測站來推估所刪除測站的資料並與原推估資料比較之。本文在各區任意選取一站，分別為第 I 區之大濁水(01U230)、第 II 區之大河(01E380)、第 III 區之旗山(4)(00P470)，各站分別刪除並重新建立平均年最大一日雨量之變異量模式，以推估刪除站之平均年最大一日雨量，其值列於表 6，與原觀測值之平均值比較其誤差均小於 9%。其次，各均勻區域刪除一站後之區域頻率分佈亦重新建立，各區域之頻率分佈及其參數亦列於表 6。

利用所推估得刪除站之頻率分佈及平均年最大一日雨量，即可利用指數洪水法之概念對刪除站進行頻率分析，各不同重現期之年最大一日雨量列於表 6，與表 4 所列各站在刪除前不同重

現期之年最大一日雨量比較，除 I 區之誤差約為 9% 之外，其餘二區均在 5~6% 之間，即誤差均低於 9%，由此可知本文所建議方法可用於推估未設站地點不同頻率之年最大一日雨量，且誤差均在可接受範圍內。

五、結 論

本文以指數洪水法配合線性動差法推估參數建立台灣地區各均勻區域年最大一日雨量頻率模式，並將之應用於推估未設站地點不同重現期之年最大一日雨量，經由前述分析可獲致以下結論：

1. 本文利用 K 均值法，依據各雨量站的 TM2 度分帶 X 、 Y 座標值與各站年最大一日雨量之平均值及變異係數作為參數，可將本文所採用台灣地區的 77 個雨量站劃分成三個均勻區域。再經一致性及異質性檢定後，確認所劃分區域內各站之年最大一日雨量均具有一致性及均勻性。
2. 各均勻區域之最佳無因次年最大一日雨量機率分佈函數經以適合度估量檢定，除其中一區為通用帕雷托分佈(GPA)外，其餘二區均為皮爾遜第III型分佈(PE3)。
3. 關於未設站地點之頻率分析，本文建議先利用克利金法推估未設站地點之年最大一日雨量平均值及變異係數，再確認其隸屬均勻區域後，未設站地點配合所推導之區域頻率模式及平均年最大一日雨量便可如同已設站地點依指數洪水法來進行頻率分析，經以刪除已知測站再推估該測站不同重現期之年最大一日雨量，比較結果顯示誤差均低於 9%。

參考文獻

1. 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，第 50 卷，第 2 期，第 83-101 頁。
2. 蕭政宗、黃亮芸，2006，台灣地區一日暴雨之區域頻率分析，第十五屆水利工程研討會論文集，第 D35-D42 頁。
3. 蕭政宗、楊欣怡，2007，以指數洪水法及線性動差法探討未設站之洪水頻率分析，台灣水利，(已接受)。
4. Atiem, I. A., and Harmancioglu, N. B., 2006, Assessment of regional floods using L -moments: The case of the River Nile, *Water Resources Management*, 20(5), 723-747.
5. Belle, G. V., and Hughes, J. P., 1984, Nonparametric tests for trend in water quality, *Water Resources Research*, 20(1), 127-136.
6. Burn, D. H., 1989, Cluster analysis as applied to regional flood frequency, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 115(5), 567-582.
7. Burn, D. H., 1990a, An appraisal of the region of influence approach to flood analysis, *Hydrological Science Journal*, 35(2), 149-165.
8. Burn, D. H., 1990b, Evaluation of regional flood frequency analysis with a region of influence approach, *Water Resources Research*, 115(5), 2257-2265.
9. Chiles, J. P., and Delfiner, P., 1999, *Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
10. Cunnane, C., 1988, Methods and merits of regional flood frequency analysis, *Journal of Hydrology*, 100, 269-290.
11. Dalrymple, T., 1960, *Flood Frequency Analyses*, U. S. Geological Survey Water Supply Paper, 1543-A.
12. Fowler, H. J., and Kilsby, C. G., 2003, A regional frequency analysis of United Kingdom extreme rainfall from 1961 to 2000, *International Journal of Climatology*, 23(11), 1313-1334.
13. Gellens, D., 2002, Combining regional approach and data extension procedure for assessing GEV distribution of extreme precipitation in Belgium, *Journal of Hydrology*, 268, 113-126.
14. Greenwood, J. A., Landwehr, J. M. and Matalas,

- N. C., 1979, Probability weighted moment: Definition and relation to parameter of several distribution expressed in inverse form, *Water Resources Research*, 15(5), 1049-1054.
15. Groupe de recherche en hydrologie statistique (GREHYS), 1996, Presentation and review of some methods for regional flood frequency analysis, *Journal of Hydrology*, 186, 63-84.
 16. Guttman, N. B., Hosking, J. R. M., and Waillis, J., 1993, Regional precipitation quantile values for the continental United States computed from L-moments, *Journal of Climate*, 6(12), 2326-2340.
 17. Haan, C. T., 1977, *Statistical Methods in Hydrology*, Iowa State University Press.
 18. Hall, M. J., and Minns, A. W., 1999, The classification of hydrologically homogeneous regions, *Hydrological Science Journal*, 44(5), 693-704.
 19. Hirsch, R. M., Slack, J. R., and Smith, R. A., 1982, Techniques of trend analysis for monthly water quality data, *Water Resources Research*, 18(1), 107-121.
 20. Hosking, J. R. M., and Wallis, J. R., 1988, The effect of intersite dependence on regional flood frequency analysis, *Water Resources Research*, 24(4), 588-600.
 21. 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), 105-124.
 22. Hosking, J. R. M., and Wallis, J. R., 1993, Some statistics useful in regional frequency analysis, *Water Resources Research*, 29(2), 271-281.
 23. Hosking, J. R. M., and Wallis, J. R., 1997, *Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-moments*, Cambridge University Press, New York.
 24. Isaaks, E. H., and Srivastava, R. H., 1989, *An Introduction to Applied Geostatistics*, Oxford University Press, New York.
 25. Javelle, P., Quarda, T. B. M. J., Lang, M., Bobee, B., Galea, G., and Gresillon, J. M., 2002, Development of regional flood-duration- frequency curves based on the index-flood method, *Journal of Hydrology*, 258, 249-259.
 26. Kaufman, L., and Rousseeuw, P. J., 2005, *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*, 2nd Ed., John Wiley and Sons, Inc., New York, NY.
 27. Kjeldsen, T. R., Smithers, J. C., and Schulze, R. R., 2002, Regional flood frequency analysis in the KwaZulu-Natal province, South Africa, using the index-flood method, *Journal of Hydrology*, 255, 194-211.
 28. Kumar, K., Chatterjee, C., Kumar, S., Lohani, A., K and Singh, R. D., 2003, Development of regional flood frequency relationships using L-moment for middle Ganga plains Subzone 1(f) of India, *Water Resources Management*, 17(4), 243-257.
 29. Kumar, R., and Chatterjee, C., 2005, Region flood frequency analysis using L-moment for North Brahmaputra of India, *Journal of Hydrologic Engineering*, 10(1), 1-7.
 30. Lim, Y. H., and Lye, L. M., 2003, Regional flood estimation for ungauged basins in Sarawak, Malaysia, *Hydrological Science Journal*, 48(1), 79-94.
 31. Mazvimavi, D., Meijerink, A. M. J., and Stein, A., 2004, Prediction of base flows from basin characteristics: A case study from Zimbabwe, *Hydrological Sciences Journal*, 49(4), 703-715.
 32. Nathan, R. J., and McMahon, T. A., 1990, Identification of homogeneous regions for the purposes of regionalization, *Journal of Hydrology*, 121, 217-238.
 33. Parida, B. P., Kachroo, R. K., and Shrestha, D. B., 1998, Region flood frequency analysis of Mahi-Sabarmati basin (subzone 3-a) using

- index flood procedure with *L*-moment, *Water Resources Management*, 12(1), 1-12.
34. Trefry, C. M., Watkins, D. W., and Johnson, D., 2005, Regional rainfall frequency analysis for the State of Michigan, *Journal of Hydrologic Engineering*, 10(6), 437-449.
35. Zhang, J., and Hall, M. J., 2004, Regional flood frequency analysis for the Gan-Ming River basin in China, *Journal of Hydrology*, 296, 98-117.
36. Zrinji, Z., and Burn, D. H., 1994, Flood frequency analysis for ungauged sites using a region of influence approach, *Journal of Hydrology*, 153, 1-21.

收稿日期：民國 96 年 3 月 20 日

修正日期：民國 96 年 4 月 19 日

接受日期：民國 96 年 4 月 24 日