

## 集水區幾何特性、荷頓比與 河川網路結構之統計分析

### The Statistical Analysis of Watershed Geometry, Horton's Ratios, and Stream Network Structure

國立臺灣海洋大學河海工程學系 國立臺灣海洋大學河海工程學系 國立臺灣海洋大學河海工程學系  
博士候選人 教授兼系主任 碩士

楊銘賢

李光敦

錢玉珠

Ming-Sang Yang

Kwan Tun Lee

Yuh-Ju Chyan

#### 摘要

有關集水區幾何特性、荷頓比與河川網路結構等地文特性，國內外學者已有諸多研究。然而，對於臺灣地區集水區之荷頓比適用性，單一集水區內地文因子間的相關性，以及地文因子的區域特性等相關研究，則未見論著探討。

本文之目的在於以臺灣地區集水區為例，利用群集分析與典型相關分析理論，進行地文因子相互關係之定性分析。文中將集水區面積、集水區主流長度與最高級序渠流坡度定義為層次I地文因子；集水區荷頓比為層次II地文因子；而可反應河川網路特性之逕流路徑機率則為層次III地文因子。在上述的分類中，層次愈高者代表其地文因子愈不容易由地圖上求得。

研究結果顯示，集水區荷頓比適於描述臺灣地區各級序河川數目、平均渠流長度、平均漫地流面積與平均渠流坡度和級序數之關係，而此荷頓比大致呈常態分佈。然而，集水區荷頓比與層次III地文因子之區域性並不顯著，且單一集水區內不同層次間之地文因子，其相互關係亦不顯著。

**關鍵詞：**群集分析，典型相關分析，荷頓比，河川網路。

#### ABSTRACT

The characteristics of watershed geometry, Horton's ratios, and stream network structure have been extensively investigated by previous researches. However, there is no research specified in Taiwan area to examine the adequacy of the Horton's ratios, the cross correlation, and the regional characteristics of the watershed geomorphic factors.

By using the cluster analysis and canonical correlation analysis, this paper presents the cross correlation of the geomorphic factors qualitatively. In this study, Level I factors denote watershed area, main stream length, and the highest order channel slope. Level II factor denotes Horton's ratios, and Level III factor denotes runoff path probability, which reflects stream network structure. The difficulty of obtaining geomorphic factors from a topographic map in these three levels is increasing from low level (Level I) to high level (Level III).

The results show that Horton's ratios, which include bifurcation ratio, length ratio, area ratio, and slope ratio, can describe the geomorphic characteristics of Taiwan watersheds adequately. The Horton's ratios from 77 watersheds of Taiwan can be approximated by normal distributions. Nevertheless, the correlation of the Level II and Level III factors within a large region is implicit, and the correlation of the different levels' factors is also insignificant.

**Keywords:** Cluster analysis, Canonical correlation analysis, Horton's ratios, Stream network.

## 一、前言

早期有關地形學理論之研究中，Horton (1932)最早提出形狀因子、流域河川密度、河川頻率等集水區流域特性之概念，而後倡議河川級序分類法(Horton, 1945)，提出分岔比、長度比、坡度比與面積比等之分析。Strahler (1952)對Horton所倡議之級序結構做稍許的修正，以避免主觀的認定。Shreve (1966)曾對此二法作研究，結果發現 Strahler 河川級序定律在天然的河川網路下較 Horton 河川級序分類法之配合度為佳，是以本研究採用 Strahler 方式作為集水區河川網路劃分之依據。

Hack (1957)利用美國維吉尼亞州與馬里蘭州之地文資料推導集水區主流長度與面積之指數關係式如下

$$L = 1.4A^{0.6} \dots\dots\dots(1)$$

其中  $L$  為集水區主流長度，單位為英哩； $A$  為集水區面積，單位為平方英哩。Eagleson (1970)利用 Hack 之資料，推導得集水區主流長度與面積之近似關係式如下

$$A = \frac{1}{3}L^2 \dots\dots\dots(2)$$

Shimano (1992)針對日本 180 個集水區之河川網路作分析並對日本集水區之流域特性與地文因子加以討論，研究結果顯示，集水區面積比、分岔比、坡度比與長度比大致呈常態分布；集水區面積比與分岔比、分岔比與長度比、以及面積比與長度比均呈現正比之關係。

上述對於集水區幾何特性與荷頓比之相關分析，大多侷限於探討兩單一地文因子之相互關係。因此對於單一集水區內地文因子間之相關性，則未見論著探討。同時，對於臺灣地區集水區，荷頓比之適用性如何；以及荷頓比是否具有區域性，亦須進一步研究分析。

Yen and Lee (1997)藉由荷頓比之特性推求得到一集水區之瞬時單位歷線可表示為

$$u(t) = f(i_e, n_o, n_c, \Omega, B_\Omega, A, L, S_{c\Omega}, R_B, R_L, R_A, R_S, P_i) \dots\dots\dots(3)$$

式中， $u(t)$  為瞬時單位歷線； $f(\bullet)$  為水文和地文與瞬時單位歷線之函數關係； $i_e$  為超滲降雨強度； $n_o$  為漫地流糙度係數； $n_c$  為渠流糙度係數；

$\Omega$  為河川最高級序數； $B_{\Omega}$  為最高級序之渠流河寬； $A$  為集水區總面積； $L$  為集水區主流長度； $S_{c\Omega}$  為最高級序渠流坡度； $R_B$  為集水區分岔比； $R_L$  為集水區長度比； $R_A$  為集水區面積比； $R_S$  為集水區坡度比； $P_i$  為逕流路徑機率(如附錄所示)。由於 Yen and Lee (1997)之理論甚為完備，因此本文以(3)式所列之地文因子為分析重點，將集水區面積  $A$ 、集水區主流長度  $L$  與最高級序渠流坡度  $S_{c\Omega}$  定義為層次 I 地文因子；而集水區荷頓比為層次 II 地文因子；逕流路徑機率  $P_i$  則為層次 III 地文因子。

本文探討的項目包括：(1)集水區荷頓比之適用性；(2)集水區之地文因子是否存在區域性；以及(3)單一集水區內，不同層次地文因子之相關性為何。本文採用之分析方法，主要包括：群集分析(Cluster analysis)與典型相關分析(Canonical correlation)理論，同時以樹狀圖(Dendrogram)繪製群集分析結果，以方便檢視分析集水區彼此間之相關性。

## 二、群集分析與典型相關分析

群集分析是將資料中性質相近的資料點歸類成同一群集的一種多變量統計方法，典型相關分析則主要是研究兩組變數間的關係；茲概述如下。

### 2.1 群集分析

依據資料特性的不同，有兩種測度統計性質方式。對於離散型資料，可以相近度(Similarity)計算資料性質之差異；對於連續型的資料，則可以距離(Distance)計算資料間的差異性。由於本文分析之資料為地文因子，屬連續性資料，因此研究中採用較常使用之歐式距離(Euclidean distance)來衡量資料間的親疏程度，歐式距離  $d_{i,j}$  可表示如下

$$d_{i,j} = \left[ \sum_{h=1}^m (x_{i,h} - x_{j,h})^2 \right]^{1/2} ; \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, n \\ j = 1, 2, \dots, n \end{matrix} \dots\dots\dots(4)$$

式中  $x_{i,h}$  為第  $i$  個集水區的第  $h$  個地文因子； $x_{j,h}$

為第  $j$  個集水區的第  $h$  個地文因子； $m$  為地文因子個數； $n$  為集水區個數。由於不同地文因子具有不同的量測單位，因此須先進行標準化變換(Standardization transformation)，可表示如下

$$x_{i,h}^* = \frac{x_{i,h} - \bar{x}_h}{(s_d)_h} \dots\dots\dots(5)$$

式中  $x_{i,h}^*$  為標準化變換後之地文因子； $\bar{x}_h$  為  $n$  個集水區中第  $h$  個地文因子之平均值； $(s_d)_h$  為  $n$  個集水區中第  $h$  個地文因子之標準偏差。

群集分析方式為利用(4)式計算而得之距離矩陣進行分類，一般可分為階層式群集法(Hierarchical clustering method)與非階層式群集法(nonhierarchical clustering method)。

#### 2.1.1 階層式群集法

階層式群集法為群集分析中應用最廣的一種方法，常用的方法包括：簡單連接法(Single linkage method)，完全連接法(Complete linkage method)，平均連接法(Average linkage method)與華德法(Ward's method)。雖然這四種方法在合併群集的定義與計算群集間的距離選取各不相同，但是此四種方法卻具有相同的演算步驟，可簡述如下(Dillon and Goldstein, 1984)：

步驟一：由距離矩陣  $\tilde{D} = [d_{i,j}]$  找出最接近的兩個群集，將之合併成一個新的群集。

步驟二：計算此一新群集到其他各群集的距離，以之更新距離矩陣。

步驟三：重複使用步驟一與步驟二直到  $n$  個集水區凝聚成一個群集為止。

Punj and Steward (1983)歸納比較各種群集方法，發現華德法為階層式群集法中分群效果較佳的方法之一；因此本文僅就華德法做一簡介。Ward (1963)基於離差平方和的概念，認為若分群得宜，則相同群集間樣本之離差平方和(Error sum of squares, ESS)應當較小。此離差平方和可表示如下

$$ESS = \sum_{j=1}^k \left( \sum_{i=1}^{n_j} x_{i,j}^2 - \frac{1}{n_j} \left( \sum_{i=1}^{n_j} x_{i,j} \right)^2 \right) \dots\dots\dots(6)$$

式中  $x_{i,j}$  為第  $j$  個群集中之第  $i$  個集水區地文因子； $k$  為每一分群步驟之群集總個數； $n_j$  為每一群集中之集水區總個數。華德法之分群步驟可概述如下：

步驟一：由於各集水區自成一個群集，因此  $ESS=0$ 。

步驟二：合併其中某兩群集，使  $ESS$  增加最少。

步驟三：重複步驟二，直至所有集水區都歸為一類。

### 2.1.2 非階層式群集法

前述之階層式群集法在分群過程中，群集一旦形成便不再拆開，而非階層式群集法則在各步驟分類過程中，均有可能將原有群集拆散，並重新組合新的群集。各種非階層式群集方法中，以  $K$ -平均法( $K$ -means method)較為廣泛使用，其演算步驟可以概述如下：

步驟一：將各集水區任意分割為  $K$  個原始群集，分別計算此  $K$  個群集之中心點(一般為計算該群集內之平均值)，此  $K$  個中心點可視為「種子點」(Seed points)。

步驟二：計算每一集水區至各群集中心點之距離，並將各集水區分派到與其距離最近的中心點所屬的群集。

步驟三：重新計算各群集的中心點。

步驟四：重複步驟二與三直至各群集沒有重新分派的情形為止。

## 2.2 典型相關分析

典型相關分析是由 Hotelling (1936)所提出，主要在於探討兩組變數間的關係。若考慮兩組隨機變量  $\tilde{x}_j(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_p)$  與  $\tilde{y}_j(y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_q)$ ，當  $p = q = 1$  時，則此兩組隨機變量  $\tilde{x}_j$  與  $\tilde{y}_j$  可以簡化為  $x$  與  $y$ ，則此為簡單迴歸分析與相關分析；當  $q = 1$  而  $p \neq 1$  時，則此兩組隨機變量  $\tilde{x}_j$  與  $\tilde{y}_j$  可以簡化為  $\tilde{x}_j$  與  $y$ ，則此為複迴歸分析與相關分析。若將兩組變數  $\tilde{x}_j$  與  $\tilde{y}_j$  分別進行如下之線性組合

$$\begin{aligned} U_1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1j}x_j + \dots + a_{1p}x_p \\ U_2 &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2j}x_j + \dots + a_{2p}x_p \\ &\vdots \\ U_i &= a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{ij}x_j + \dots + a_{ip}x_p \quad \dots (7) \\ &\vdots \\ U_r &= a_{r1}x_1 + a_{r2}x_2 + \dots + a_{rj}x_j + \dots + a_{rp}x_p \end{aligned}$$

與

$$\begin{aligned} V_1 &= b_{11}y_1 + b_{12}y_2 + \dots + b_{1j}y_j + \dots + b_{1q}y_q \\ V_2 &= b_{21}y_1 + b_{22}y_2 + \dots + b_{2j}y_j + \dots + b_{2q}y_q \\ &\vdots \\ V_i &= b_{i1}y_1 + b_{i2}y_2 + \dots + b_{ij}y_j + \dots + b_{iq}y_q \quad \dots (8) \\ &\vdots \\ V_r &= b_{r1}y_1 + b_{r2}y_2 + \dots + b_{rj}y_j + \dots + b_{rq}y_q \end{aligned}$$

式中  $r = \text{minimum}(p, q)$ ； $\tilde{a}_{1j} (j = 1, 2, \dots, p)$  與  $\tilde{b}_{1j} (j = 1, 2, \dots, q)$  之決定乃在使得  $U_1$  與  $V_1$  之間的相關係數最大，此時之  $U_1$  與  $V_1$  稱為第一對典型變數(First pair of canonical variables)，而  $U_1$  與  $V_1$  之相關係數稱為第一典型相關係數(First canonical correlation)； $\tilde{a}_{2j} (j = 1, 2, \dots, p)$  與  $\tilde{b}_{2j} (j = 1, 2, \dots, q)$  之決定乃在使得  $U_2$  與  $V_2$  之間的相關係數最大，但  $(U_2, V_2)$  與  $(U_1, V_1)$  間之相關係數為零，此時之  $U_2$  與  $V_2$  稱為第二對典型變數(Second pair of canonical variables)，而  $U_2$  與  $V_2$  之相關係數稱為第二典型相關係數(Second canonical correlation)； $\tilde{a}_{ij}$  與  $\tilde{b}_{ij}$  之決定使得  $(U_1, V_1), (U_2, V_2), \dots, (U_r, V_r)$  為  $r$  對相互獨立的典型變數。因此，典型相關分析最主要的分析方式乃將錯綜複雜的兩組變數間的關係加以簡單化。

### 2.2.1 典型相關分析計算步驟

假設欲分析之兩組地文因子  $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_p$ ，與  $y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_q$  間之相關係數矩陣可表示如下之  $(p+q) \times (p+q)$  矩陣

$$\begin{array}{c}
 x_1 \ x_2 \ \dots \ x_p \qquad y_1 \ y_2 \ \dots \ y_q \\
 \vdots \\
 x_p \\
 y_1 \\
 \vdots \\
 y_q
 \end{array}
 \left[ \begin{array}{c|c}
 p \times p \text{ matrix} & p \times q \text{ matrix} \\
 \hline
 \tilde{A} & \tilde{C} \\
 \hline
 p \times q \text{ matrix} & q \times q \text{ matrix} \\
 \hline
 \tilde{C}' & \tilde{B}
 \end{array} \right] \dots\dots\dots(9)$$

則求取各對典型變數間之典型相關係數為一特徵值問題(Dillon and Goldstein, 1984)，可由下式計算而得

$$(\tilde{B}^{-1}\tilde{C}'\tilde{A}^{-1}\tilde{C} - \lambda \tilde{I})\tilde{b} = 0 \dots\dots\dots(10)$$

式中  $\lambda$  為特徵值 ( $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_i > \dots > \lambda_r$ )，等於典型相關係數  $\hat{\rho}_i$  之平方； $\tilde{I}$  為單位矩陣； $\tilde{b}$  為特徵向量矩陣，即為  $V_i$  之係數矩陣  $\tilde{b}_{ij}$ 。 $U_i$  之係數矩陣  $\tilde{a}_{ij}$  可以計算如下

$$\tilde{a}_{ij} = \tilde{A}^{-1}\tilde{C}\tilde{b} \dots\dots\dots(11)$$

由(10)與(11)式則可計算得到第  $i$  對之典型變數  $U_i$  與  $V_i$ 。地文因子  $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_p$  與典型變數  $U_i$  之相關係數(Canonical loadings)矩陣  $(\tilde{r}_x)_{ij}$  可表示為

$$(\tilde{r}_x)_{ij} = \tilde{A} \tilde{a}_{ij} \dots\dots\dots(12)$$

地文因子  $y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_q$  與典型變數  $V_i$  之相關係數矩陣  $(\tilde{r}_y)_{ij}$  可表示為

$$(\tilde{r}_y)_{ij} = \tilde{B} \tilde{b}_{ij} \dots\dots\dots(13)$$

典型變數  $U_i$  解釋地文因子  $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_p$  之變異能力(Proportion of explained variance)  $(R_x^2)_i$  可表示為

$$(R_x^2)_i = \sum_{j=1}^p \frac{(r_x)_{ij}^2}{p} \dots\dots\dots(14)$$

典型變數  $V_i$  解釋地文因子  $y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_q$  之變異能力  $(R_y^2)_i$  可表示為

$$(R_y^2)_i = \sum_{j=1}^q \frac{(r_y)_{ij}^2}{q} \dots\dots\dots(15)$$

### 2.2.2 典型相關係數之顯著性檢定

由(10)式可求得  $r$  對典型變數所相對應的典型相關係數，然而為了判斷典型相關分析結果是否具有意義，應檢定典型相關係數顯著與否。Bartlett (1947)提出對於大樣本時，可由下述步驟進行檢定

$$H_0: \hat{\rho}_1 = \hat{\rho}_2 = \dots = \hat{\rho}_i = \dots = \hat{\rho}_r = 0 \dots(16)$$

式中  $H_0$  為虛無假設； $\hat{\rho}_r$  為第  $r$  對典型變數之典型相關係數。如果檢定結果是拒絕虛無假設，則表示至少有一個典型相關係數不為零；由於典型相關係數是依對應的特徵值由大至小排列，所以可以確定至少是  $\hat{\rho}_1$  不為零。因此，下一階段檢定之虛無假設應為

$$H_0: \hat{\rho}_1 \neq 0, \hat{\rho}_2 = \hat{\rho}_3 = \dots = \hat{\rho}_r = \dots = \hat{\rho}_r = 0 \dots(17)$$

以此方式進行下一階段之檢定，直至虛無假設為  $r$  個典型相關係數均不等於零為止。而每個階段之檢定統計量可以寫為(Bartlett, 1947)

$$\phi_j^2 = -\left[ n - \frac{1}{2}(p+q+1) \right] \sum_{i=j+1}^r \ln(1-\lambda_i) \dots\dots\dots(18)$$

式中  $n$  為集水區總個數； $\phi_j^2$  為第  $j$  個階段 ( $j=0, 1, \dots, r-1$ ) 之檢定統計量，自由度為  $(p-j)(q-j)$ ，對於大樣本數時  $\phi_j^2$  近似於卡方分佈  $\chi_\alpha^2$ ；因此當  $\phi_j^2 > \chi_\alpha^2$  時，表示在顯著水準  $\alpha$  時應拒絕虛無假設  $H_0$ 。

## 三、研究區域及其地文因子概述

本文選取臺灣地區北部、中部、南部與東部地區共 37 個 4 級序集水區與 40 個 5 級序集水區進行分析。研究中採用中央大學提供之臺灣地區數值高程資料，並以數值高程模式(Lee, 1998)求取所欲分析之地文因子。為了方便陳述本研究之分析過程，本文僅以 4 級序集水區為例做說明，而 5 級序集水區則僅列出分析結果與圖表。由於

一集水區之集水區面積  $A$ 、集水區主流長度  $L$  與最高級序渠流坡度  $S_{c\Omega}$  為較易獲得之地文因子，因此文中將此三個地文因子稱為層次 I 地文因子(如表 1 所示)；集水區荷頓比為層次 II 地文因子；而逕流路徑機率  $P_i$  為層次 III 地文因子。表 1 中層次愈高者代表其地文因子愈不容易由地圖上求得。

表 1 中之  $R_B$  為集水區分岔比，可以表示為

$$R_B = \frac{N_{i-1}}{N_i} \quad ; \quad i = 2, 3, \dots, \Omega \dots\dots\dots(19)$$

式中  $N_i$  為  $i$  級序河川個數。由於河川數目之對數值與河川級序數若成線性關係，則將之繪於半對數紙上，可趨近為一直線，而其斜率取負值即為集水區之分岔比。

若以  $\bar{L}_{c_i}$  表示  $i$  級序河川的平均長度，則長度比  $R_L$  為

$$R_L = \frac{\bar{L}_{c_i}}{\bar{L}_{c_{i-1}}} \quad ; \quad i = 2, 3, \dots, \Omega \dots\dots\dots(20)$$

由於若河川平均長度之對數值與河川級序數成線性關係，則以圖繪方式表示之，其斜率即為長度比。

表 1 中之  $R_A$  為集水區面積比，可以表示為

$$R_A = \frac{\bar{A}_i}{\bar{A}_{i-1}} \quad ; \quad i = 2, 3, \dots, \Omega \dots\dots\dots(21)$$

上式中  $\bar{A}_i$  表  $i$  級序集水區平均面積，此面積係包含  $i$  級序集水區之漫地流區域以及所有流經  $i$  級序河川之上游漫地流區域。 $R_S$  為集水區坡度比，可表示為

$$R_S = \frac{\bar{S}_{c_i}}{\bar{S}_{c_{i-1}}} \quad ; \quad i = 2, 3, \dots, \Omega \dots\dots\dots(22)$$

其中  $\bar{S}_{c_i}$  為  $i$  級序河川之平均坡度。

經檢視研究中之 4 級序與 5 級序集水區(如圖 1、圖 2 與表 2)，發現集水區分岔比、長度比、面積比與坡度比分別可描述大部分集水區之各

級序河川數目、平均渠流長度、平均漫地流長度與平均渠流坡度間的關係。因此使用集水區荷頓比，可省去推求各級序河川數目、各級序平均渠流長度、各級序平均漫地流長度與各級序平均渠流坡度之工作。

研究中所分析之集水區分岔比除了八個集水區之外(佔研究中集水區 10%)，其餘之值均介於 Horton (1945)之研究範圍內( $R_B = 3 \sim 5$ )。Strahler (1952)由自然河川網路觀察，得知分岔比之平均值約為 4；Shimano (1992)研究日本 180 個集水區，發現分岔比之平均值為 4.233。本研究之 4 級序集水區分岔比之平均值為 4.420(如表 3)，5 級序集水區分岔比之平均值為 4.486(如表 3)，均與美國及日本地區集水區相近。研究中集水區長度比之值則均介於 Horton (1945)之研究範圍內( $R_L = 1.5 \sim 3.5$ )；4 級序集水區長度比之平均值為 2.382，5 級序集水區長度比之平均值為 2.433，與 Shimano (1992)研究中長度比之平均值  $\bar{R}_L = 1.910$  甚為相近。

研究中集水區面積比之值均介於 Schumm (1956)之研究範圍內( $R_A = 3 \sim 6$ )；4 級序集水區面積比之平均值為 4.441，5 級序集水區面積比之平均值為 4.544，與 Shimano (1992)研究中面積比之平均值  $\bar{R}_A = 4.519$  甚為相近。研究中 4 級序集水區坡度比之平均值為 0.498，5 級序集水區坡度比之平均值為 0.527，與 Shimano (1992)研究中坡度比之平均值  $\bar{R}_S = 0.504$  甚為相近。

Shimano (1992)研究結果顯示集水區分岔比、長度比、面積比與坡度比大致呈現常態分佈。經由卡方檢定與 K-S 檢定結果顯示，本研究之 4 級序與 5 級序集水區之分岔比、長度比、面積比與坡度比亦大致呈常態分佈(如表 4)，而由於研究中荷頓比之峰度均偏小(如表 3)，因此分岔比、長度比、面積比與坡度比為平闊峰之常態分佈。此外，經由平均值檢定(使用 t-test)，變異數檢定(使用 F-test)與分佈檢定(使用 Kolmogorov-Smirnov test)結果顯示(如表 3)，4 級序與 5 級序集水區兩者之分岔比具有相同的分佈，而兩者之平均數與變異數亦相近；長度比與面積比亦有相同的結果；坡度比則有相近的平均值。

表 1 4 級序集水區地文因子

| 流域名稱 | 集水區名稱 | Watershed Code | 層次 I (基本地文因子)        |       |                 | 層次 II (集水區荷額比) |                |                |                | 層次 III (逕流路徑機率) |                |                |                |                |                |                |                |
|------|-------|----------------|----------------------|-------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|      |       |                | A (km <sup>2</sup> ) | L (m) | S <sub>cΩ</sub> | R <sub>B</sub> | R <sub>L</sub> | R <sub>A</sub> | R <sub>S</sub> | P <sub>1</sub>  | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> | P <sub>4</sub> | P <sub>5</sub> | P <sub>6</sub> | P <sub>7</sub> | P <sub>8</sub> |
| 淡水河  | 稜角    | 1140H002       | 107.8                | 21802 | 0.030           | 3.84           | 2.41           | 4.51           | 0.41           | 0.337           | 0.067          | 0.103          | 0.176          | 0.047          | 0.035          | 0.128          | 0.106          |
| 淡水河  | 秀巒    | 1140H041       | 115.9                | 25796 | 0.040           | 4.47           | 1.62           | 3.46           | 0.63           | 0.243           | 0.208          | 0.054          | 0.098          | 0.139          | 0.084          | 0.050          | 0.124          |
| 淡水河  | 三峡(2) | 1140H048       | 125.3                | 24838 | 0.013           | 4.69           | 2.09           | 4.04           | 0.47           | 0.227           | 0.199          | 0.076          | 0.103          | 0.123          | 0.090          | 0.083          | 0.100          |
| 淡水河  | 橫溪    | 1140H049       | 52.9                 | 13779 | 0.009           | 3.87           | 1.45           | 4.36           | 0.31           | 0.351           | 0.175          | 0.040          | 0.185          | 0.040          | 0.093          | 0.059          | 0.056          |
| 淡水河  | 五堵    | 1140H058       | 204.4                | 55787 | 0.004           | 5.12           | 1.88           | 3.93           | 0.44           | 0.180           | 0.234          | 0.023          | 0.078          | 0.167          | 0.101          | 0.054          | 0.162          |
| 淡水河  | 介壽橋   | 1140H078       | 94.8                 | 28763 | 0.007           | 5.15           | 1.72           | 3.94           | 0.42           | 0.182           | 0.255          | 0.038          | 0.056          | 0.188          | 0.079          | 0.041          | 0.162          |
| 淡水河  | 寶橋    | 1140H082       | 109.2                | 28052 | 0.005           | 4.65           | 2.51           | 4.34           | 0.45           | 0.254           | 0.127          | 0.076          | 0.104          | 0.162          | 0.052          | 0.117          | 0.107          |
| 淡水河  | 坪林    | 1140H085       | 110.3                | 31277 | 0.007           | 4.51           | 2.55           | 4.35           | 0.41           | 0.270           | 0.135          | 0.124          | 0.110          | 0.104          | 0.055          | 0.111          | 0.091          |
| 頭前溪  | 內灣    | 1300H013       | 139.1                | 28183 | 0.035           | 4.21           | 1.79           | 3.51           | 0.53           | 0.263           | 0.204          | 0.054          | 0.094          | 0.117          | 0.073          | 0.064          | 0.132          |
| 後龍溪  | 彼岸橋   | 1350H013       | 110.0                | 30789 | 0.005           | 4.83           | 2.68           | 5.72           | 0.35           | 0.417           | 0.035          | 0.117          | 0.189          | 0.063          | 0.016          | 0.120          | 0.044          |
| 大甲溪  | 七家灣   | 1420H034       | 110.7                | 18693 | 0.018           | 4.24           | 3.15           | 5.34           | 0.42           | 0.342           | 0.034          | 0.177          | 0.137          | 0.044          | 0.014          | 0.235          | 0.017          |
| 大甲溪  | 志樂壩   | 1420H036       | 77.5                 | 23612 | 0.062           | 4.64           | 3.02           | 5.18           | 0.46           | 0.340           | 0.042          | 0.156          | 0.153          | 0.071          | 0.019          | 0.152          | 0.068          |
| 大甲溪  | 合歡    | 1420H043       | 128.6                | 31885 | 0.041           | 4.32           | 3.53           | 5.18           | 0.43           | 0.279           | 0.062          | 0.171          | 0.093          | 0.050          | 0.021          | 0.226          | 0.098          |
| 烏溪   | 南北通橋  | 1430H032       | 408.0                | 57899 | 0.018           | 4.25           | 2.48           | 4.38           | 0.53           | 0.283           | 0.077          | 0.133          | 0.144          | 0.095          | 0.039          | 0.122          | 0.107          |
| 濁水溪  | 雲龍    | 1510H040       | 106.9                | 33947 | 0.039           | 4.06           | 1.84           | 3.17           | 0.61           | 0.203           | 0.228          | 0.027          | 0.077          | 0.135          | 0.087          | 0.059          | 0.185          |
| 濁水溪  | 卡社    | 1510H047       | 143.4                | 47118 | 0.048           | 4.42           | 2.51           | 4.62           | 0.47           | 0.300           | 0.069          | 0.053          | 0.151          | 0.166          | 0.035          | 0.096          | 0.130          |
| 濁水溪  | 神木    | 1510H055       | 88.4                 | 18627 | 0.030           | 4.95           | 2.18           | 4.93           | 0.54           | 0.339           | 0.097          | 0.066          | 0.169          | 0.145          | 0.048          | 0.065          | 0.071          |
| 濁水溪  | 丹大    | 1510H062       | 259.7                | 42569 | 0.037           | 4.17           | 2.58           | 4.56           | 0.53           | 0.293           | 0.102          | 0.155          | 0.136          | 0.060          | 0.048          | 0.137          | 0.069          |
| 北港溪  | 溪口    | 1540H014       | 129.4                | 34343 | 0.001           | 3.46           | 2.25           | 4.27           | 0.42           | 0.334           | 0.095          | 0.028          | 0.196          | 0.042          | 0.056          | 0.161          | 0.089          |
| 北港溪  | 土庫大橋  | 1540H029       | 253.2                | 37291 | 0.001           | 4.54           | 2.37           | 4.85           | 0.54           | 0.339           | 0.094          | 0.124          | 0.181          | 0.053          | 0.050          | 0.097          | 0.061          |
| 八掌溪  | 觸口    | 1580H001       | 83.2                 | 20291 | 0.024           | 3.92           | 2.24           | 4.12           | 0.60           | 0.286           | 0.123          | 0.145          | 0.133          | 0.053          | 0.057          | 0.105          | 0.097          |
| 八掌溪  | 軍輝橋   | 1580H007       | 122.3                | 39925 | 0.015           | 4.62           | 1.95           | 4.05           | 0.80           | 0.192           | 0.219          | 0.105          | 0.076          | 0.096          | 0.086          | 0.074          | 0.153          |
| 八掌溪  | 常盤橋   | 1580H008       | 101.1                | 25495 | 0.007           | 3.46           | 2.11           | 3.96           | 0.44           | 0.319           | 0.106          | 0.068          | 0.147          | 0.119          | 0.049          | 0.124          | 0.068          |
| 曾文溪  | 玉井    | 1630H005       | 160.5                | 59660 | 0.004           | 6.93           | 2.97           | 5.06           | 0.40           | 0.163           | 0.229          | 0.051          | 0.064          | 0.164          | 0.090          | 0.068          | 0.172          |
| 曾文溪  | 左鎮    | 1630H013       | 121.3                | 32293 | 0.001           | 3.55           | 1.87           | 4.37           | 0.48           | 0.423           | 0.071          | 0.068          | 0.216          | 0.048          | 0.036          | 0.076          | 0.062          |
| 二仁溪  | 阿蓮(2) | 1660H009       | 175.1                | 43968 | 0.002           | 4.34           | 2.92           | 4.69           | 0.45           | 0.357           | 0.049          | 0.182          | 0.123          | 0.067          | 0.017          | 0.141          | 0.066          |
| 二仁溪  | 崇德橋   | 1660H010       | 139.6                | 40974 | 0.002           | 4.56           | 2.88           | 4.36           | 0.48           | 0.362           | 0.060          | 0.155          | 0.130          | 0.074          | 0.022          | 0.125          | 0.072          |
| 高屏溪  | 民族    | 1730H037       | 303.6                | 55388 | 0.023           | 4.75           | 2.15           | 4.00           | 0.59           | 0.201           | 0.156          | 0.066          | 0.113          | 0.153          | 0.088          | 0.081          | 0.143          |
| 高屏溪  | 阿其巴橋  | 1730H044       | 403.9                | 81103 | 0.018           | 4.86           | 2.14           | 4.04           | 0.58           | 0.204           | 0.161          | 0.047          | 0.102          | 0.173          | 0.080          | 0.074          | 0.159          |
| 東港溪  | 潮州    | 1740H002       | 175.3                | 36367 | 0.002           | 3.98           | 2.46           | 4.50           | 0.47           | 0.338           | 0.092          | 0.145          | 0.146          | 0.045          | 0.040          | 0.140          | 0.054          |
| 四重溪  | 石門橋   | 1850H004       | 76.8                 | 22833 | 0.007           | 4.74           | 2.90           | 5.07           | 0.51           | 0.332           | 0.047          | 0.190          | 0.172          | 0.088          | 0.025          | 0.112          | 0.035          |
| 大武溪  | 姑崙    | 2100H001       | 72.1                 | 15173 | 0.023           | 3.46           | 2.85           | 4.52           | 0.45           | 0.400           | 0.000          | 0.123          | 0.182          | 0.031          | 0.000          | 0.226          | 0.037          |
| 秀姑巒溪 | 立山    | 2370H016       | 249.4                | 46410 | 0.043           | 4.47           | 2.90           | 4.84           | 0.64           | 0.305           | 0.076          | 0.119          | 0.129          | 0.093          | 0.032          | 0.133          | 0.112          |
| 秀姑巒溪 | 馬達橋   | 2370H019       | 85.9                 | 20991 | 0.055           | 4.69           | 2.25           | 4.57           | 0.56           | 0.219           | 0.219          | 0.038          | 0.130          | 0.075          | 0.130          | 0.091          | 0.097          |
| 南澳溪  | 南澳橋   | 2510H005       | 169.7                | 49809 | 0.020           | 4.31           | 2.08           | 4.05           | 0.67           | 0.257           | 0.193          | 0.042          | 0.119          | 0.066          | 0.089          | 0.073          | 0.161          |
| 蘭陽溪  | 家源橋   | 2560H017       | 273.5                | 37856 | 0.022           | 4.31           | 2.37           | 4.50           | 0.59           | 0.357           | 0.078          | 0.131          | 0.140          | 0.091          | 0.031          | 0.126          | 0.046          |
| 雙溪   | 雙溪(3) | 2620H005       | 116.0                | 24071 | 0.002           | 4.18           | 2.50           | 4.98           | 0.36           | 0.469           | 0.000          | 0.108          | 0.195          | 0.054          | 0.000          | 0.121          | 0.053          |

表 2 各級序地文因子對數值與級序數迴歸式之決定係數

| 集水區<br>編號 | 集水區<br>名稱 | 集水區<br>級序數 | 各級序渠流數<br>目對數值與級<br>序數 | 各級序渠流平<br>均長度對數值<br>與級序數 | 各級序漫地流<br>平均面積對數<br>值與級序數 | 各級序渠流平<br>均坡度對數值<br>與級序數 |
|-----------|-----------|------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 1140H002  | 稜角        | 4          | 0.99                   | 0.99                     | 0.99                      | 0.98                     |
| 1140H041  | 秀巒        | 4          | 0.99                   | 0.87                     | 0.98                      | 0.95                     |
| 1140H048  | 三峽(2)     | 4          | 0.99                   | 0.96                     | 0.99                      | 0.98                     |
| 1140H049  | 橫溪        | 4          | 0.97                   | 0.61                     | 0.97                      | 0.96                     |
| 1140H058  | 五堵        | 4          | 0.99                   | 0.86                     | 0.98                      | 0.99                     |
| 1140H078  | 介壽橋       | 4          | 0.97                   | 0.90                     | 0.99                      | 0.99                     |
| 1140H082  | 寶橋        | 4          | 0.99                   | 0.98                     | 0.99                      | 0.97                     |
| 1140H085  | 坪林        | 4          | 0.99                   | 0.98                     | 0.99                      | 0.99                     |
| 1300H013  | 內灣        | 4          | 0.99                   | 0.90                     | 0.98                      | 0.99                     |
| 1350H013  | 彼岸橋       | 4          | 0.99                   | 0.90                     | 0.99                      | 0.99                     |
| 1420H034  | 七家灣       | 4          | 0.99                   | 0.55                     | 0.99                      | 0.98                     |
| 1420H036  | 志樂壩       | 4          | 0.97                   | 0.81                     | 0.99                      | 0.95                     |
| 1420H043  | 合歡        | 4          | 0.99                   | 0.93                     | 0.99                      | 0.94                     |
| 1430H032  | 南北通橋      | 4          | 0.98                   | 0.94                     | 0.97                      | 0.94                     |
| 1510H040  | 雲龍        | 4          | 0.99                   | 0.87                     | 0.96                      | 0.95                     |
| 1510H047  | 卡社        | 4          | 0.99                   | 0.97                     | 0.99                      | 0.95                     |
| 1510H055  | 神木        | 4          | 0.97                   | 0.96                     | 0.99                      | 0.99                     |
| 1510H062  | 丹大        | 4          | 0.99                   | 0.99                     | 0.99                      | 0.97                     |
| 1540H014  | 溪口        | 4          | 0.99                   | 0.96                     | 0.99                      | 0.93                     |
| 1540H029  | 土庫大橋      | 4          | 0.99                   | 0.99                     | 0.99                      | 0.95                     |
| 1580H001  | 觸口        | 4          | 0.99                   | 0.99                     | 0.99                      | 0.96                     |
| 1580H007  | 軍輝橋       | 4          | 0.99                   | 0.91                     | 0.99                      | 0.78                     |
| 1580H008  | 常盤橋       | 4          | 0.99                   | 0.99                     | 0.99                      | 0.99                     |
| 1630H005  | 玉井        | 4          | 0.96                   | 0.97                     | 0.99                      | 0.97                     |
| 1630H013  | 左鎮        | 4          | 0.99                   | 0.91                     | 0.99                      | 0.61                     |
| 1660H009  | 阿蓮(2)     | 4          | 0.99                   | 0.98                     | 0.99                      | 0.99                     |
| 1660H010  | 崇德橋       | 4          | 0.99                   | 0.99                     | 0.99                      | 0.99                     |
| 1730H037  | 民族        | 4          | 0.99                   | 0.91                     | 0.96                      | 0.91                     |
| 1730H044  | 阿其巴橋      | 4          | 0.99                   | 0.88                     | 0.96                      | 0.91                     |
| 1740H002  | 潮州        | 4          | 0.99                   | 0.99                     | 0.99                      | 0.92                     |
| 1850H004  | 石門橋       | 4          | 0.97                   | 0.66                     | 0.99                      | 0.97                     |
| 2100H001  | 姑崙        | 4          | 0.99                   | 0.65                     | 0.99                      | 0.95                     |
| 2370H016  | 立山        | 4          | 0.99                   | 0.99                     | 0.99                      | 0.94                     |
| 2370H019  | 馬遠橋       | 4          | 0.98                   | 0.98                     | 0.99                      | 0.99                     |
| 2510H005  | 南澳橋       | 4          | 0.99                   | 0.90                     | 0.98                      | 0.87                     |
| 2560H017  | 家源橋       | 4          | 0.99                   | 0.99                     | 0.99                      | 0.93                     |
| 2620H005  | 雙溪(3)     | 4          | 0.99                   | 0.97                     | 0.99                      | 0.98                     |
| 1140H001  | 玉峰        | 5          | 0.99                   | 0.72                     | 0.98                      | 0.97                     |
| 1140H010  | 福山        | 5          | 0.98                   | 0.01                     | 0.98                      | 0.66                     |
| 1140H043  | 高義        | 5          | 0.99                   | 0.97                     | 0.99                      | 0.98                     |
| 1140H054  | 霞雲        | 5          | 0.99                   | 0.98                     | 0.98                      | 0.98                     |
| 1140H086  | 鱸魚堀       | 5          | 0.97                   | 0.98                     | 0.99                      | 0.99                     |
| 1290H002  | 新埔(2)     | 5          | 0.99                   | 0.38                     | 0.99                      | 0.99                     |



|          |        |   |      |      |      |      |
|----------|--------|---|------|------|------|------|
| 1300H014 | 上坪     | 5 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.98 |
| 1300H016 | 竹林大橋   | 5 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| 2560H001 | 牛鬥(1)  | 5 | 0.99 | 0.89 | 0.99 | 0.99 |
| 1340H008 | 平安橋    | 5 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.90 |
| 1340H009 | 永興橋    | 5 | 0.97 | 0.83 | 0.98 | 0.99 |
| 1350H001 | 打鹿坑    | 5 | 0.98 | 0.75 | 0.99 | 0.97 |
| 1350H012 | 北勢大橋   | 5 | 0.99 | 0.98 | 0.99 | 0.96 |
| 1400H009 | 義里     | 5 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 |
| 1400H011 | 卓蘭     | 5 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| 1400H015 | 象鼻     | 5 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| 1420H014 | 南湖     | 5 | 0.96 | 0.95 | 0.98 | 0.99 |
| 1420H015 | 環山合流點  | 5 | 0.99 | 0.92 | 0.99 | 0.99 |
| 1420H016 | 四季朗    | 5 | 0.98 | 0.57 | 0.98 | 0.97 |
| 1430H037 | 觀音橋    | 5 | 0.99 | 0.93 | 0.99 | 0.99 |
| 1430H038 | 南崗大橋   | 5 | 0.99 | 0.87 | 0.99 | 0.97 |
| 1510H046 | 和社     | 5 | 0.97 | 0.68 | 0.99 | 0.98 |
| 1510H048 | 郡大     | 5 | 0.98 | 0.93 | 0.99 | 0.99 |
| 1510H049 | 內茅埔    | 5 | 0.98 | 0.97 | 0.99 | 0.98 |
| 1550H009 | 牛稠溪橋   | 5 | 0.98 | 0.97 | 0.99 | 0.95 |
| 1550H012 | 灣內橋    | 5 | 0.99 | 0.91 | 0.99 | 0.87 |
| 1590H012 | 新營     | 5 | 0.97 | 0.49 | 0.99 | 0.87 |
| 1730H031 | 荖濃     | 5 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| 1730H036 | 三地門    | 5 | 0.99 | 0.93 | 0.99 | 0.98 |
| 1730H039 | 六龜     | 5 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.98 |
| 1730H041 | 大津橋    | 5 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.95 |
| 2200H007 | 延平     | 5 | 0.99 | 0.97 | 0.99 | 0.99 |
| 2200H013 | 大崙     | 5 | 0.98 | 0.74 | 0.99 | 0.99 |
| 2200H020 | 新武呂(4) | 5 | 0.99 | 0.87 | 0.99 | 0.97 |
| 2370H004 | 卓樂橋    | 5 | 0.98 | 0.75 | 0.99 | 0.99 |
| 2370H022 | 鹿鳴(3)  | 5 | 0.98 | 0.74 | 0.99 | 0.99 |
| 2420H019 | 仁壽橋    | 5 | 0.99 | 0.89 | 0.99 | 0.90 |
| 2420H037 | 萬里溪橋   | 5 | 0.98 | 0.95 | 0.99 | 0.90 |
| 2420H041 | 西寶     | 5 | 0.98 | 0.95 | 0.99 | 0.95 |
| 2500H004 | 和平南溪   | 5 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.98 |

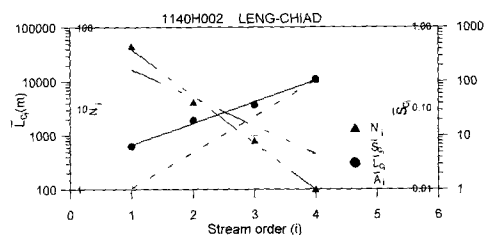


圖 1 4 級序集水區各級序地因子與級序數之關係  
(以稜角集水區為例)

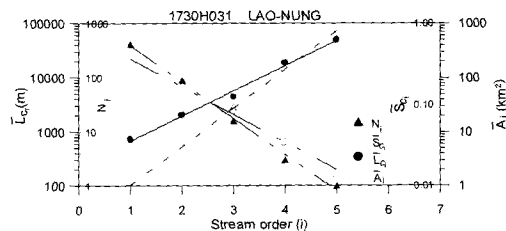


圖 2 5 級序集水區各級序地因子與級序數之關係  
(以荖濃集水區為例)

表 3 研究中集水區地文因子之統計特性

| 地文因子         | 4 級序集水區 |       |       |        |        |       | 5 級序集水區 |        |       |        |        |       |
|--------------|---------|-------|-------|--------|--------|-------|---------|--------|-------|--------|--------|-------|
|              | 平均數     | 標準偏差  | 最小值   | 最大值    | 峰度     | 變異係數  | 平均數     | 標準偏差   | 最小值   | 最大值    | 峰度     | 變異係數  |
| A            | 154.18  | 85.99 | 52.88 | 408.00 | 2.371  | 0.557 | 357.93  | 188.68 | 78.10 | 853.00 | 0.243  | 0.527 |
| L            | 34801   | 14565 | 13778 | 81103  | 1.407  | 0.418 | 52968   | 22133  | 20765 | 111031 | 0.608  | 0.418 |
| $S_{\Omega}$ | 0.019   | 0.017 | 0.001 | 0.062  | -0.310 | 0.884 | 0.015   | 0.009  | 0.001 | 0.047  | 3.341  | 0.617 |
| $R_B$        | 4.420   | 0.612 | 3.460 | 6.930  | 6.971  | 0.138 | 4.486   | 0.475  | 3.464 | 5.490  | -0.546 | 0.106 |
| $R_L$        | 2.382   | 0.467 | 1.454 | 3.527  | -0.249 | 0.196 | 2.433   | 0.353  | 1.881 | 3.196  | -0.402 | 0.145 |
| $R_A$        | 4.441   | 0.540 | 3.170 | 5.720  | 0.222  | 0.121 | 4.544   | 0.467  | 3.754 | 5.520  | -0.518 | 0.103 |
| $R_S$        | 0.498   | 0.099 | 0.311 | 0.800  | 1.029  | 0.199 | 0.527   | 0.071  | 0.366 | 0.654  | -0.279 | 0.135 |
| $P_1$        | 0.296   | 0.075 | 0.163 | 0.469  | -0.479 | 0.252 | 0.236   | 0.074  | 0.108 | 0.392  | -0.440 | 0.311 |
| $P_2$        | 0.120   | 0.073 | 0.000 | 0.255  | -1.105 | 0.608 | 0.054   | 0.059  | 0.000 | 0.198  | -0.156 | 1.097 |
| $P_3$        | 0.097   | 0.050 | 0.023 | 0.190  | -1.266 | 0.521 | 0.064   | 0.037  | 0.000 | 0.184  | 1.632  | 0.588 |
| $P_4$        | 0.134   | 0.041 | 0.056 | 0.216  | -0.754 | 0.304 | 0.074   | 0.026  | 0.025 | 0.157  | 1.508  | 0.352 |
| $P_5$        | 0.095   | 0.046 | 0.031 | 0.188  | -1.090 | 0.490 | 0.105   | 0.032  | 0.048 | 0.178  | -0.323 | 0.305 |
| $P_6$        | 0.053   | 0.032 | 0.000 | 0.130  | -0.637 | 0.597 | 0.054   | 0.035  | 0.000 | 0.127  | -0.642 | 0.661 |
| $P_7$        | 0.110   | 0.048 | 0.041 | 0.235  | 1.206  | 0.433 | 0.019   | 0.024  | 0.000 | 0.093  | 2.310  | 1.264 |
| $P_8$        | 0.096   | 0.044 | 0.017 | 0.185  | -0.894 | 0.459 | 0.061   | 0.025  | 0.013 | 0.118  | -0.193 | 0.413 |
| $P_9$        | -       | -     | -     | -      | -      | -     | 0.024   | 0.026  | 0.000 | 0.086  | -0.385 | 1.094 |
| $P_{10}$     | -       | -     | -     | -      | -      | -     | 0.028   | 0.017  | 0.000 | 0.075  | 0.757  | 0.589 |
| $P_{11}$     | -       | -     | -     | -      | -      | -     | 0.090   | 0.030  | 0.037 | 0.176  | 0.321  | 0.339 |
| $P_{12}$     | -       | -     | -     | -      | -      | -     | 0.038   | 0.023  | 0.000 | 0.079  | -1.308 | 0.599 |
| $P_{13}$     | -       | -     | -     | -      | -      | -     | 0.025   | 0.019  | 0.000 | 0.083  | 1.411  | 0.745 |
| $P_{14}$     | -       | -     | -     | -      | -      | -     | 0.021   | 0.025  | 0.000 | 0.098  | 2.668  | 1.202 |
| $P_{15}$     | -       | -     | -     | -      | -      | -     | 0.062   | 0.028  | 0.012 | 0.128  | -0.413 | 0.456 |
| $P_{16}$     | -       | -     | -     | -      | -      | -     | 0.045   | 0.027  | 0.000 | 0.102  | -0.908 | 0.598 |

| 4 級序與<br>5 級序集<br>水區荷頓<br>比之比較 | 平均值檢定<br>(t-test)<br>$H_0: \mu_1 = \mu_2$<br>$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$ |      |                | 變異數檢定<br>(F-test)<br>$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$<br>$H_a: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ |      |                | 分佈檢定<br>(Kolmogorov-Smirnov test)<br>$H_0: f(x_1) = f(x_2)$<br>$H_a: f(x_1) \neq f(x_2)$ |      |                |
|--------------------------------|--|------|----------------|--|------|----------------|--|------|----------------|
|                                | 檢定<br>統計量  | P-值  | 拒絕 $H_0$<br>與否 | 檢定<br>統計量  | P-值  | 拒絕 $H_0$<br>與否 | 檢定<br>統計量  | P-值  | 拒絕 $H_0$<br>與否 |
| $R_B$                          | -0.526   | 0.60 | 否              | 1.663  | 0.12 | 否              | 0.163  | 0.69 | 否              |
| $R_L$                          | -0.528   | 0.60 | 否              | 0.748  | 0.09 | 否              | 0.191  | 0.49 | 否              |
| $R_A$                          | -0.889   | 0.38 | 否              | 0.340  | 0.37 | 否              | 0.278  | 0.10 | 否              |
| $R_S$                          | -1.461   | 0.15 | 否              | 1.952  | 0.04 | 是              | 0.343  | 0.02 | 是              |

註：假設荷頓比均為常態分佈；檢定之顯著水準定為 5%。

表 4 荷頓比之常態分佈檢定

|       | 4 級序集水區 |       |      |        |       |      | 5 級序集水區 |       |      |        |       |      |
|-------|---------|-------|------|--------|-------|------|---------|-------|------|--------|-------|------|
|       | 卡方檢定    |       |      | K-S 檢定 |       |      | 卡方檢定    |       |      | K-S 檢定 |       |      |
|       | 卡方統計量   | P-值   | 通過與否 | Dn 值   | P-值   | 通過與否 | 卡方統計量   | P-值   | 通過與否 | Dn 值   | P-值   | 通過與否 |
| $R_B$ | 4.364   | 0.225 | 是    | 0.133  | 0.546 | 是    | 6.320   | 0.097 | 是    | 0.102  | 0.800 | 是    |
| $R_L$ | 3.798   | 0.284 | 是    | 0.087  | 0.941 | 是    | 3.071   | 0.381 | 是    | 0.114  | 0.674 | 是    |
| $R_A$ | 3.658   | 0.301 | 是    | 0.092  | 0.914 | 是    | 10.966  | 0.012 | 否    | 0.147  | 0.357 | 是    |
| $R_S$ | 3.349   | 0.341 | 是    | 0.141  | 0.466 | 是    | 5.583   | 0.134 | 是    | 0.111  | 0.708 | 是    |

註：檢定之顯著水準為 5%；卡方檢定之分組數為 6 組。

表 5 逕流路徑機率之常態分佈檢定

|          | 4 級序集水區 |       |      |        |       |      | 5 級序集水區 |       |      |        |       |      |
|----------|---------|-------|------|--------|-------|------|---------|-------|------|--------|-------|------|
|          | 卡方檢定    |       |      | K-S 檢定 |       |      | 卡方檢定    |       |      | K-S 檢定 |       |      |
|          | 卡方統計量   | P-值   | 通過與否 | Dn 值   | P-值   | 通過與否 | 卡方統計量   | P-值   | 通過與否 | Dn 值   | P-值   | 通過與否 |
| $P_1$    | 2.340   | 0.505 | 是    | 0.117  | 0.694 | 是    | 4.988   | 0.173 | 是    | 0.091  | 0.894 | 是    |
| $P_2$    | 7.406   | 0.060 | 是    | 0.139  | 0.479 | 是    | 7.389   | 0.060 | 是    | 0.194  | 0.099 | 是    |
| $P_3$    | 4.739   | 0.192 | 是    | 0.147  | 0.405 | 是    | 1.275   | 0.735 | 是    | 0.111  | 0.709 | 是    |
| $P_4$    | 2.143   | 0.543 | 是    | 0.075  | 0.980 | 是    | 50.74   | 0.166 | 是    | 0.108  | 0.735 | 是    |
| $P_5$    | 5.484   | 0.140 | 是    | 0.149  | 0.389 | 是    | 1.127   | 0.771 | 是    | 0.063  | 0.997 | 是    |
| $P_6$    | 5.050   | 0.168 | 是    | 0.113  | 0.730 | 是    | 3.140   | 0.371 | 是    | 0.079  | 0.965 | 是    |
| $P_7$    | 5.997   | 0.112 | 是    | 0.124  | 0.620 | 是    | 7.584   | 0.055 | 是    | 0.214  | 0.051 | 是    |
| $P_8$    | 6.587   | 0.086 | 是    | 0.141  | 0.461 | 是    | 1.437   | 0.697 | 是    | 0.134  | 0.479 | 是    |
| $P_9$    | -       | -     | -    | -      | -     | -    | 6.242   | 0.100 | 是    | 0.195  | 0.097 | 是    |
| $P_{10}$ | -       | -     | -    | -      | -     | -    | 1.626   | 0.654 | 是    | 0.096  | 0.855 | 是    |
| $P_{11}$ | -       | -     | -    | -      | -     | -    | 2.551   | 0.466 | 是    | 0.070  | 0.989 | 是    |
| $P_{12}$ | -       | -     | -    | -      | -     | -    | 7.288   | 0.063 | 是    | 0.138  | 0.434 | 是    |
| $P_{13}$ | -       | -     | -    | -      | -     | -    | 2.760   | 0.430 | 是    | 0.107  | 0.752 | 是    |
| $P_{14}$ | -       | -     | -    | -      | -     | -    | 4.115   | 0.249 | 是    | 0.203  | 0.075 | 是    |
| $P_{15}$ | -       | -     | -    | -      | -     | -    | 3.494   | 0.322 | 是    | 0.087  | 0.921 | 是    |
| $P_{16}$ | -       | -     | -    | -      | -     | -    | 7.046   | 0.070 | 是    | 0.123  | 0.577 | 是    |

註：檢定之顯著水準為 5%；卡方檢定之分組數為 6 組。

研究中所分析之集水區面積介於 52.9 至 853 平方公里之間，由表 3 可知，大抵 5 級序集水區面積較 4 級序集水區大，且集水區主流長度較長，最高級序坡度較緩。而集水區之逕流路徑機率亦通過常態分佈之檢定(如表 5)，且為平闊峰常態分佈。

#### 四、依不同層次地文因子進行集水區分群

為探討大區域流域範圍內，其次集水區之地文是否存在相關性，本文依不同層次地文因子分別進行集水區群集分析。有關群集分析方法，文

中首先將地文因子標準化並計算距離矩陣，距離計算方式採用歐氏距離法；由於非階層式之 K-平均法無法繪出群集分析過程之樹狀圖，所以本研究以階層式之華德法進行群集分析，以利由樹狀圖中分析群集之關係。

由於集水區出口多取決於人為決定，因此集水區總面積、集水區主流長度與集水區最高級序渠流域坡度(層次 I 地文因子)並非完全為自然之地文因子，故欲客觀分析相異集水區間之地文相關性，則須觀察以層次 II 與層次 III 地文之集水區分群結果。此外，欲探討大區域範圍內集水區之地文相關性，則牽涉到「範圍」大小的定義問題；若為大範圍，則可以涵蓋臺灣地區之北部、中部、南部或東部集水區；若為小範圍，則可以檢視臺灣主要河川流域範圍內之集水區；若為更小的範圍，則可以探討相鄰集水區，或分屬上游與包含上游之兩個集水區，其地文因子之關係。

若以集水區荷頓比(層次 II 地文因子)進行分群，則由圖 3 顯示，並不宜將臺灣分為北區、中區、南區與東區，即同一區內之集水區荷頓比相差極大。若檢視臺灣主要河川流域範圍內之集水區，則發現相同流域範圍內之集水區，其荷頓比亦相去甚遠；如八掌河流域之觸口以上集水區(1580H001)與軍輝橋以上集水區(1580H007)荷頓比較為相近，但與同是八掌河流域之長盤橋以上

集水區(1580H008)則差距甚大。若探討相鄰集水區之荷頓比是否具有相同群集，則由圖 3 顯示大多數相鄰集水區之荷頓比均有差異，而僅有少數如淡水河之寶橋以上集水區(1140H082)與坪林以上集水區(1140H085)具有相近之集水區荷頓比。若探討分屬上游與包含此上游之兩個集水區之關係，則此類集水區之荷頓比均很接近；如淡水河流域之介壽橋集水區(1140H078)與五堵集水區(1140H058)，因五堵集水區包含介壽橋集水區，因此兩者之荷頓比甚為相近。5 級序集水區之群集分析結果亦有相同的結論，如圖 4 所示。

若以逕流路徑機率(層次 III 地文因子)進行分群，則群集分析結果(如圖 5)顯示，臺灣地區北部、中部、南部與東部各區域內集水區之逕流路徑機率相差甚大。此外，各大河川流域範圍內之集水區，其逕流路徑機率亦相去甚遠，如曾文溪之玉井以上集水區(1630H005)與左鎮以上集水區(1630H013)其逕流路徑機率差距甚大。若探討相鄰集水區之逕流路徑機率是否具有相同群集，則由圖 5 顯示大多數相鄰集水區之逕流路徑機率均有差異。若探討分屬上游與包含上游之兩個集水區，則如圖 5 顯示此類集水區之逕流路徑機率均較接近，如二仁溪之阿蓮以上集水區(1660H009)與崇德橋以上集水區(1660H010)，

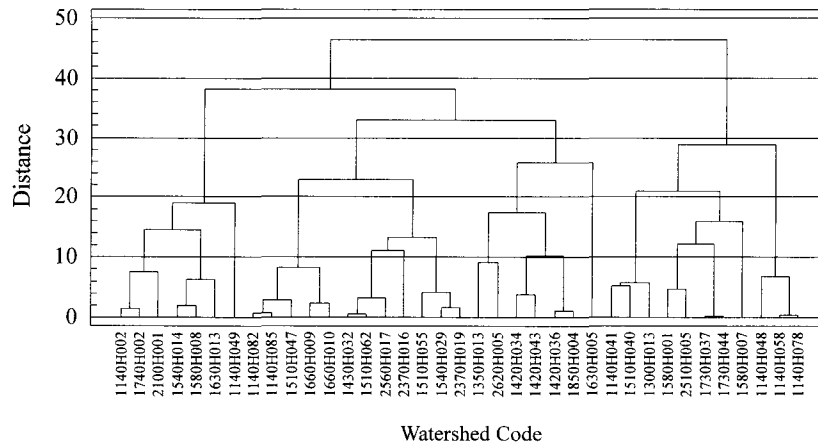


圖 3 依集水區荷頓比之群集分析樹狀圖(4 級序集水區)

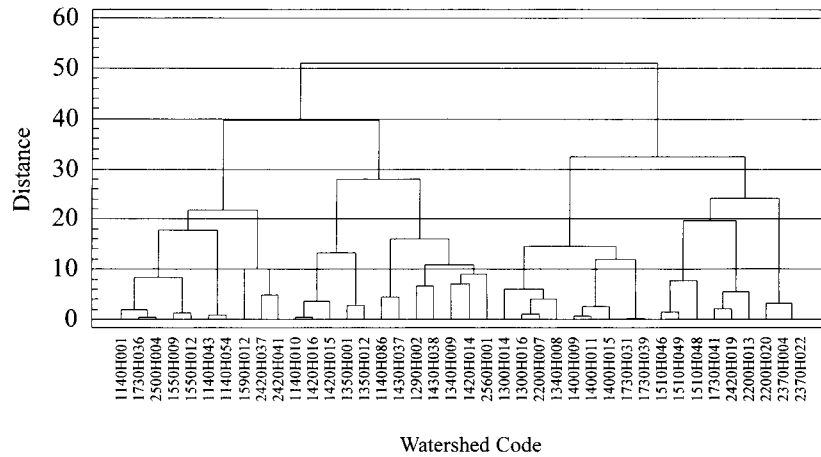


圖 4 依集水區荷頓比之群集分析樹狀圖（5 級序集水區）

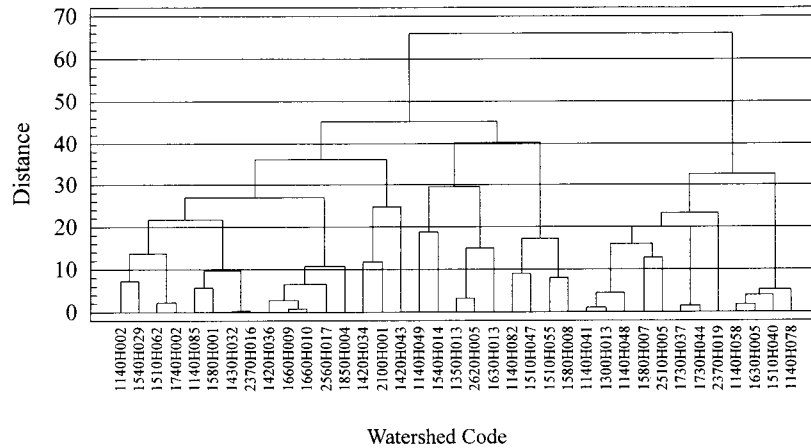


圖 5 依逕流路徑機率之群集分析樹狀圖（4 級序集水區）

因阿蓮集水區包含崇德橋集水區，兩者有相近之逕流路徑機率。另外，圖中亦顯示某一集水區之逕流路徑機率，大多與其它流域集水區之逕流路徑機率具有較小的歐基里德距離。5 級序集水區之群集分析結果亦有相同的結論，如圖 6 所示。

綜合上述，群集分析結果為：(1)臺灣地區 4 與 5 級序集水區之荷頓比與逕流路徑機率，並非以北部、中部、南部與東部之地理位置為分類依據；此外，同一流域內之相異集水區，其荷頓比與逕流路徑機率亦有差異；(2)考慮不同層次地文

因子進行群集分析，其集水區分群結果並不完全相同；(3)兩相鄰集水區地文因子可能存在相關性，但亦有差異極大之情形；(4)若兩個相同級序集水區之出口點位於同一條主流河川上，則此兩個集水區具有相近的荷頓比與逕流路徑機率。研究中為探討集水區中，不同地文因子間之相關性，乃採用典型相關分析進行進一步之分析。

## 五、不同層次地文因子之相關性分析

一般而言，集水區荷頓比(層次 II 地文因子)

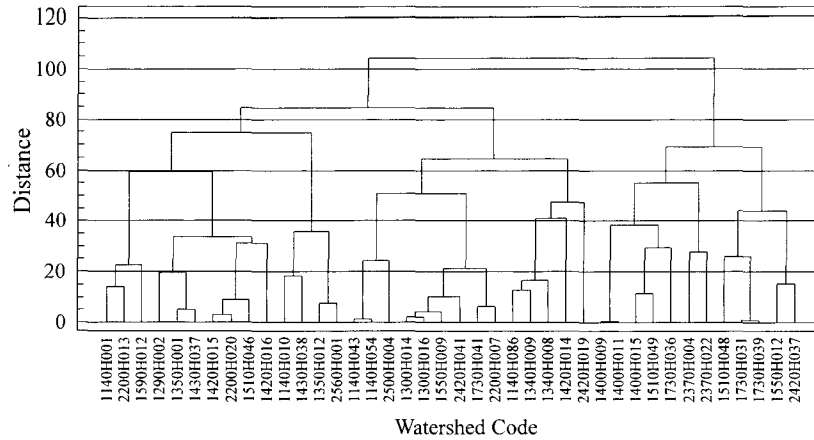


圖 6 依逕流路徑機率之群集分析樹狀圖（5 級序集水區）

與逕流路徑機率(層次 III 地文因子)較難由地形圖上獲得。因此，為瞭解較易由地形圖上獲得之集水區地文因子(如層次 I 地文因子)，與較不易獲得之地文因子(如層次 II 與層次 III 地文因子)的相關性。本文以典型相關分析理論探討：(1)集水區荷頓比與層次 I 地文因子之相關性，(2)逕流路徑機率和層次 I 與層次 II 地文因子之相關性；以檢視利用層次 I 之地文是否可以推求層次 II 或層次 III 之地文因子。

### 5.1 集水區荷頓比與層次 I 地文因子之相關性

將集水區分岔比  $R_B$ 、集水區長度比  $R_L$ 、集水區面積比  $R_A$  與集水區坡度比  $R_S$  線性組合為一典型變數  $U_i$ ，而集水區面積  $A$ 、集水區主流長度  $L$  與最高級序渠流坡度  $S_{c_{\Omega}}$  亦可線性組合為一典型變數  $V_i$ ；此時之  $i=1, 2, 3$ 。因此，分析  $\tilde{U}_i$  與  $\tilde{V}_i$  之相關性，即可瞭解集水區荷頓比與層次 I 之地文因子之相關性，而此一定性分析結果，同時亦可瞭解  $U_i$  變數中之地文因子與  $V_i$  變數中之地文因子是否存在高度相關。

典型相關分析結果如表 6 所示，表中第 1 對典型變數  $(U_1, V_1)$  之典型相關係數最高 ( $\hat{\rho}_1=0.661$ )，且卡方檢定結果 P-值為 0.0077，若假設顯著水準為 5%，則必須拒絕虛無假設，即代表  $U_1$  與  $V_1$  存在相關性； $(U_2, V_2)$  與  $(U_3, V_3)$  之卡

方檢定結果 P-值均大於顯著水準，則代表  $(U_2, V_2)$  與  $(U_3, V_3)$  無顯著相關性，因此無須分析  $(U_2, V_2)$  與  $(U_3, V_3)$  之必要。

由於典型變數  $U_1$  與  $V_1$  呈正相關，而層次 II 地文因子中，以集水區分岔比  $R_B$  與典型變數  $U_1$  之相關性最高 ( $(r_x)_{11}=-0.718$ )，且為負相關；層次 I 地文因子中，以集水區主流長度  $L$  與典型變數  $V_1$  之相關性最高 ( $(r_y)_{12}=-0.839$ )，且為負相關。因此，此結果可以解釋為當集水區分岔比越小時，集水區主流長度越短。然而，典型變數  $U_1$  與  $V_1$  解釋層次 II 與層次 I 地文因子之變異能力均不佳，分別為 22% 與 34%。因此，層次 I 地文因子與層次 II 地文因子之相關性並不大。5 級序集水區亦有相似的結果，如表 7 所示。

### 5.2 集水區逕流路徑機率和其地文因子之相關性

集水區逕流路徑機率为集水區地文因子中，較難由地形圖中直接推求。本文分析逕流路徑機率(層次 III 地文因子)與層次 I，以及層次 II 地文因子之相關性如下。

#### 5.2.1 層次 III 地文因子與層次 I 地文因子之相關性

層次 III 地文因子與層次 I 地文因子之典型相關分析如表 8 所示。層次 I 地文因子中，以集

表 6 層次 II 與層次 I 地文因子之典型相關分析(4 級序集水區)

| 典型變數          | 典型相關係數<br>(Canonical correlation) | 檢定統計量  | 自由度 | P-值    |
|---------------|-----------------------------------|--|-----|--------|
| $(U_1, V_1)$  | $\hat{\rho}_1=0.661$              | $\phi_0^2=27.03$                                   | 12  | 0.0077 |
| $(U_2, V_2)$  | $\hat{\rho}_2=0.484$              | $\phi_1^2=8.61$                                    | 6   | 0.1965 |
| $(U_3, V_3)$  | $\hat{\rho}_3=0.046$              | $\phi_2^2=0.07$                                    | 2   | 0.9664 |
| 層次 II 地文因子    |                                   | 層次 II 地文因子與典型變數 $U_1$ 之<br>相關係數(Canonical loading) |     |        |
| $R_B$         |                                   | $(r_x)_{11}=-0.718$                                |     |        |
| $R_L$         |                                   | $(r_x)_{12}=-0.095$                                |     |        |
| $R_A$         |                                   | $(r_x)_{13}=0.250$                                 |     |        |
| $R_S$         |                                   | $(r_x)_{14}=-0.542$                                |     |        |
| 典型變數解釋變異能力    |                                   | $(R_x^2)_1=0.220$                                  |     |        |
| 層次 I 地文因子     |                                   | 層次 I 地文因子與典型變數 $V_1$ 之<br>相關係數(Canonical loading)  |     |        |
| $A$           |                                   | $(r_y)_{11}=-0.492$                                |     |        |
| $L$           |                                   | $(r_y)_{12}=-0.839$                                |     |        |
| $S_{c\Omega}$ |                                   | $(r_y)_{13}=-0.284$                                |     |        |
| 典型變數解釋變異能力    |                                   | $(R_y^2)_1=0.342$                                  |     |        |

表 7 層次 II 與層次 I 地文因子之典型相關分析(5 級序集水區)

| 典型變數          | 典型相關係數<br>(Canonical correlation) | 檢定統計量  | 自由度  | P-值    |
|---------------|-----------------------------------|--|--|--------|
| $(U_1, V_1)$  | $\hat{\rho}_1=0.628$              | $\phi_0^2=34.22$                                   | 12   | 0.0006 |
| $(U_2, V_2)$  | $\hat{\rho}_2=0.589$              | $\phi_1^2=16.64$                                   | 6  | 0.0107 |
| $(U_3, V_3)$  | $\hat{\rho}_3=0.218$              | $\phi_2^2=1.70$                                    | 2  | 0.4269 |
| 層次 II 地文因子    |                                   | 層次 II 地文因子與典型變數 $U_1$ 之<br>相關係數(Canonical loading) | 層次 II 地文因子與典型變數 $U_2$ 之<br>相關係數(Canonical loading) |        |
| $R_B$         |                                   | $(r_x)_{11}=0.911$                                 | $(r_x)_{21}=0.302$                                 |        |
| $R_L$         |                                   | $(r_x)_{12}=0.305$                                 | $(r_x)_{22}=0.948$                                 |        |
| $R_A$         |                                   | $(r_x)_{13}=0.316$                                 | $(r_x)_{23}=0.797$                                 |        |
| $R_S$         |                                   | $(r_x)_{14}=0.147$                                 | $(r_x)_{24}=-0.177$                                |        |
| 典型變數解釋變異能力    |                                   | $(R_x^2)_1=0.261$                                  | $(R_x^2)_2=0.414$                                  |        |
| 層次 I 地文因子     |                                   | 層次 I 地文因子與典型變數 $V_1$ 之<br>相關係數(Canonical loading)  | 層次 I 地文因子與典型變數 $V_2$ 之<br>相關係數(Canonical loading)  |        |
| $A$           |                                   | $(r_y)_{11}=0.947$                                 | $(r_y)_{21}=0.101$                                 |        |
| $L$           |                                   | $(r_y)_{12}=0.060$                                 | $(r_y)_{22}=-0.198$                                |        |
| $S_{c\Omega}$ |                                   | $(r_y)_{13}=0.101$                                 | $(r_y)_{23}=0.745$                                 |        |
| 典型變數解釋變異能力    |                                   | $(R_y^2)_1=0.304$                                  | $(R_y^2)_2=0.201$                                  |        |

表 8 層次 III 與層次 I 地文因子之典型相關分析(4 級序集水區)

| 典型變數         | 典型相關係數<br>(Canonical correlation) | 檢定統計量            | 自由度 | P-值    |
|--------------|-----------------------------------|------------------|-----|--------|
| $(U_1, V_1)$ | $\hat{\rho}_1=0.859$              | $\phi_0^2=49.17$ | 24  | 0.0018 |
| $(U_2, V_2)$ | $\hat{\rho}_2=0.434$              | $\phi_1^2=8.96$  | 14  | 0.8339 |
| $(U_3, V_3)$ | $\hat{\rho}_3=0.294$              | $\phi_2^2=2.70$  | 6   | 0.8449 |

| 層次 III 地文因子 | 層次 III 地文因子與典型變數 $U_1$ 之<br>相關係數(Canonical loading) |
|-------------|---|
| $P_1$       | $(r_x)_{11}=-0.649$                                 |
| $P_2$       | $(r_x)_{12}=0.376$                                  |
| $P_3$       | $(r_x)_{13}=-0.308$                                 |
| $P_4$       | $(r_x)_{14}=-0.580$                                 |
| $P_5$       | $(r_x)_{15}=0.573$                                  |
| $P_6$       | $(r_x)_{16}=0.372$                                  |
| $P_7$       | $(r_x)_{17}=-0.295$                                 |
| $P_8$       | $(r_x)_{18}=0.812$                                  |
| 典型變數解釋變異能力  | $(R_x^2)_1=0.276$                                   |

| 層次 I 地文因子     | 層次 I 地文因子與典型變數 $V_1$ 之<br>相關係數(Canonical loading) |
|---------------|---|
| A             | $(r_y)_{11}=0.558$                                |
| L             | $(r_y)_{12}=0.851$                                |
| $S_{c\Omega}$ | $(r_y)_{13}=0.333$                                |
| 典型變數解釋變異能力    | $(R_y^2)_1=0.382$                                 |

水區主流長度  $L$  與典型變數  $V_1$  之相關性最高 ( $(r_y)_{12}=0.851$ )；層次 III 地文因子中，以  $P_8$  與典型變數  $U_1$  之相關性最高 ( $(r_x)_{18}=0.812$ )，事實上， $P_8$  即為第 4 級序漫地流面積佔整個集水區之比例。因此，此結果可以解釋為若集水區主流長度越長，則此集水區的第 4 級序漫地流面積佔整個集水區之比例越大。然而，典型變數  $U_1$  與  $V_1$  解釋層次 III 與層次 I 地文因子之變異能力亦不佳，分別為 28% 與 38%。因此，層次 I 地文因子與層次 III 地文因子之相關性不大。5 級序集水區之分析結果，如表 9 所示。雖然典型變數  $V_1$  與  $V_2$  共可解釋層次 I 地文因子之變異能力為 91%，然而

典型變數  $U_1$  與  $U_2$  共可解釋層次 III 地文因子之變異能力僅為 36%；因此，5 級序集水區層次 I 地文因子與層次 III 地文因子相關性亦不大。

#### 5.2.2 層次 III 地文因子與層次 II 地文因子之相關性

層次 III 地文因子與層次 II 地文因子之典型相關分析如表 10 所示。表中  $U_2$  與  $V_2$  雖然具有顯著的相關係數 ( $\hat{\rho}_2=0.893$ )，然而典型變數  $U_2$  與  $V_2$  解釋層次 III 與層次 II 地文因子之變異能力極低，分別為 18% 與 15%，且典型變數與地文因子之相關係數 (Canonical loading) 亦不高。因



表 9 層次 III 與層次 I 地文因子之典型相關分析(5 級序集水區)

| 典型變數         | 典型相關係數<br>(Canonical correlation) | 檢定統計量            | 自由度 | P-值    |
|--------------|-----------------------------------|------------------|-----|--------|
| $(U_1, V_1)$ | $\hat{\rho}_1=0.890$              | $\phi_0^2=94.65$ | 48  | 0.0001 |
| $(U_2, V_2)$ | $\hat{\rho}_2=0.819$              | $\phi_1^2=49.05$ | 30  | 0.0155 |
| $(U_3, V_3)$ | $\hat{\rho}_3=0.663$              | $\phi_2^2=16.79$ | 14  | 0.2677 |

| 層次 III 地文因子 | 層次 III 地文因子與典型變數 $U_1$ 之<br>相關係數(Canonical loading) | 層次 III 地文因子與典型變數 $U_2$ 之<br>相關係數(Canonical loading) |
|-------------|---|---|
| $P_1$       | $(r_x)_{11}=-0.888$                                 | $(r_x)_{21}=-0.131$                                 |
| $P_2$       | $(r_x)_{12}=0.560$                                  | $(r_x)_{22}=0.108$                                  |
| $P_3$       | $(r_x)_{13}=0.029$                                  | $(r_x)_{23}=-0.072$                                 |
| $P_4$       | $(r_x)_{14}=-0.616$                                 | $(r_x)_{24}=0.283$                                  |
| $P_5$       | $(r_x)_{15}=-0.746$                                 | $(r_x)_{25}=0.191$                                  |
| $P_6$       | $(r_x)_{16}=0.652$                                  | $(r_x)_{26}=-0.268$                                 |
| $P_7$       | $(r_x)_{17}=0.192$                                  | $(r_x)_{27}=0.093$                                  |
| $P_8$       | $(r_x)_{18}=-0.468$                                 | $(r_x)_{28}=-0.136$                                 |
| $P_9$       | $(r_x)_{19}=0.629$                                  | $(r_x)_{29}=0.151$                                  |
| $P_{10}$    | $(r_x)_{110}=0.126$                                 | $(r_x)_{210}=0.119$                                 |
| $P_{11}$    | $(r_x)_{111}=-0.682$                                | $(r_x)_{211}=0.267$                                 |
| $P_{12}$    | $(r_x)_{112}=0.575$                                 | $(r_x)_{212}=-0.428$                                |
| $P_{13}$    | $(r_x)_{113}=0.687$                                 | $(r_x)_{213}=-0.144$                                |
| $P_{14}$    | $(r_x)_{114}=0.549$                                 | $(r_x)_{214}=0.222$                                 |
| $P_{15}$    | $(r_x)_{115}=-0.184$                                | $(r_x)_{215}=0.028$                                 |
| $P_{16}$    | $(r_x)_{116}=0.576$                                 | $(r_x)_{216}=-0.241$                                |
| 典型變數解釋變異能力  | $(R_x^2)_1=0.317$                                   | $(R_x^2)_2=0.042$                                   |

| 層次 I 地文因子     | 層次 I 地文因子與典型變數 $V_1$ 之<br>相關係數(Canonical loading) | 層次 I 地文因子與典型變數 $V_2$ 之<br>相關係數(Canonical loading) |
|---------------|---|---|
| A             | $(r_y)_{11}=0.826$                                | $(r_y)_{21}=0.015$                                |
| L             | $(r_y)_{12}=0.953$                                | $(r_y)_{22}=-0.223$                               |
| $S_{c\Omega}$ | $(r_y)_{13}=0.268$                                | $(r_y)_{23}=0.844$                                |
| 典型變數解釋變異能力    | $(R_y^2)_1=0.554$                                 | $(R_y^2)_2=0.254$                                 |

表 10 層次 III 與層次 II 地文因子之典型相關分析(4 級序集水區)

| 典型變數         | 典型相關係數<br>(Canonical correlation) | 檢定統計量               | 自由度 | P-值    |
|--------------|-----------------------------------|---------------------|-----|--------|
| $(U_1, V_1)$ | $\hat{\rho}_1 = 0.982$            | $\phi_0^2 = 159.55$ | 32  | 0.0000 |
| $(U_2, V_2)$ | $\hat{\rho}_2 = 0.893$            | $\phi_1^2 = 61.81$  | 21  | 0.0000 |
| $(U_3, V_3)$ | $\hat{\rho}_3 = 0.528$            | $\phi_2^2 = 14.61$  | 12  | 0.2637 |
| $(U_4, V_4)$ | $\hat{\rho}_4 = 0.394$            | $\phi_3^2 = 4.98$   | 5   | 0.4188 |

| 層次 III 地文因子 | 層次 III 地文因子與典型變數 $U_1$ 之相關係數 (Canonical loading) | 層次 III 地文因子與典型變數 $U_2$ 之相關係數 (Canonical loading) |
|-------------|--|--|
| $P_1$       | $(r_x)_{11} = -0.700$                            | $(r_x)_{21} = -0.590$                            |
| $P_2$       | $(r_x)_{12} = 0.909$                             | $(r_x)_{22} = 0.181$                             |
| $P_3$       | $(r_x)_{13} = -0.764$                            | $(r_x)_{23} = 0.255$                             |
| $P_4$       | $(r_x)_{14} = -0.560$                            | $(r_x)_{24} = -0.765$                            |
| $P_5$       | $(r_x)_{15} = 0.720$                             | $(r_x)_{25} = 0.407$                             |
| $P_6$       | $(r_x)_{16} = 0.846$                             | $(r_x)_{26} = 0.052$                             |
| $P_7$       | $(r_x)_{17} = -0.937$                            | $(r_x)_{27} = 0.150$                             |
| $P_8$       | $(r_x)_{18} = 0.721$                             | $(r_x)_{28} = 0.484$                             |
| 典型變數解釋變異能力  | $(R_x^2)_1 = 0.606$                              | $(R_x^2)_2 = 0.182$                              |

| 層次 II 地文因子 | 層次 II 地文因子與典型變數 $V_1$ 之相關係數 (Canonical loading) | 層次 II 地文因子與典型變數 $V_2$ 之相關係數 (Canonical loading) |
|------------|---|---|
| $R_B$      | $(r_y)_{11} = 0.460$                            | $(r_y)_{21} = 0.494$                            |
| $R_L$      | $(r_y)_{12} = -0.791$                           | $(r_y)_{22} = 0.479$                            |
| $R_A$      | $(r_y)_{13} = -0.653$                           | $(r_y)_{23} = -0.078$                           |
| $R_S$      | $(r_y)_{14} = 0.276$                            | $(r_y)_{24} = 0.349$                            |
| 典型變數解釋變異能力 | $(R_y^2)_1 = 0.330$                             | $(R_y^2)_2 = 0.150$                             |

此，僅須對典型變數  $U_1$  與  $V_1$  進行檢視。層次 II 地文因子中，以集水區長度比  $R_L$  與典型變數  $V_1$  之相關性最高 ( $(r_y)_{12} = -0.791$ )；層次 III 地文因子中，除了  $P_4$  與典型變數  $U_1$  之相關性較低外，其餘均與  $U_1$  有高度相關。因此，此結果可以解釋為集水區長度比  $R_L$  與雨滴選擇路徑機率有高度相關(除了  $P_4$  以外)。然而，典型變數  $V_1$  解釋層次 II 地文因子之變異能力則偏低(33%)。典型變數  $(U_1, V_1)$  與  $(U_2, V_2)$  分別可解釋層次 III 與層

次 II 地文因子之變異能力共為 79%與 48%。因此，典型相關分析結果並無法解釋大部分層次 III 地文因子與層次 II 地文因子之相關性。如表 11 所示，5 級序集水區之分析結果，亦有相同結論。

綜合上述，典型相關分析結果顯示，各層次地文因子之相關性甚為薄弱，因此於實際應用上並無法由已知層次地文因子推求得到未知層次之地文因子。

表 11 層次Ⅲ與層次Ⅱ地文因子之典型相關分析(5級序集水區)

| 典型變數         | 典型相關係數<br>(Canonical correlation) | 檢定統計量             | 自由度 | P-值    |
|--------------|-----------------------------------|-------------------|-----|--------|
| $(U_1, V_1)$ | $\hat{\rho}_1=0.980$              | $\phi_0^2=199.30$ | 64  | 0.0000 |
| $(U_2, V_2)$ | $\hat{\rho}_2=0.935$              | $\phi_1^2=106.93$ | 45  | 0.0000 |
| $(U_3, V_3)$ | $\hat{\rho}_3=0.800$              | $\phi_2^2=47.77$  | 28  | 0.0113 |
| $(U_4, V_4)$ | $\hat{\rho}_4=0.693$              | $\phi_3^2=18.67$  | 13  | 0.1338 |

| 層次Ⅲ地文因子    | 層次Ⅲ地文因子與典型變數 $U_1$ 之相關係數<br>(Canonical loading) | 層次Ⅲ地文因子與典型變數 $U_2$ 之相關係數<br>(Canonical loading) | 層次Ⅲ地文因子與典型變數 $U_3$ 之相關係數<br>(Canonical loading) |
|------------|---|---|---|
| $P_1$      | $(r_x)_{11}=-0.233$                             | $(r_x)_{21}=-0.671$                             | $(r_x)_{31}=-0.276$                             |
| $P_2$      | $(r_x)_{12}=-0.085$                             | $(r_x)_{22}=0.146$                              | $(r_x)_{32}=0.449$                              |
| $P_3$      | $(r_x)_{13}=0.389$                              | $(r_x)_{23}=0.233$                              | $(r_x)_{33}=-0.221$                             |
| $P_4$      | $(r_x)_{14}=-0.495$                             | $(r_x)_{24}=0.067$                              | $(r_x)_{34}=-0.283$                             |
| $P_5$      | $(r_x)_{15}=-0.263$                             | $(r_x)_{25}=-0.392$                             | $(r_x)_{35}=-0.033$                             |
| $P_6$      | $(r_x)_{16}=0.541$                              | $(r_x)_{26}=0.231$                              | $(r_x)_{36}=0.069$                              |
| $P_7$      | $(r_x)_{17}=-0.066$                             | $(r_x)_{27}=0.219$                              | $(r_x)_{37}=0.254$                              |
| $P_8$      | $(r_x)_{18}=0.119$                              | $(r_x)_{28}=-0.070$                             | $(r_x)_{38}=-0.133$                             |
| $P_9$      | $(r_x)_{19}=-0.046$                             | $(r_x)_{29}=0.229$                              | $(r_x)_{39}=0.494$                              |
| $P_{10}$   | $(r_x)_{110}=0.338$                             | $(r_x)_{210}=0.448$                             | $(r_x)_{310}=-0.142$                            |
| $P_{11}$   | $(r_x)_{111}=-0.562$                            | $(r_x)_{211}=-0.045$                            | $(r_x)_{311}=-0.298$                            |
| $P_{12}$   | $(r_x)_{112}=0.382$                             | $(r_x)_{212}=0.010$                             | $(r_x)_{312}=0.086$                             |
| $P_{13}$   | $(r_x)_{113}=0.530$                             | $(r_x)_{213}=0.327$                             | $(r_x)_{313}=0.185$                             |
| $P_{14}$   | $(r_x)_{114}=-0.204$                            | $(r_x)_{214}=0.248$                             | $(r_x)_{314}=0.436$                             |
| $P_{15}$   | $(r_x)_{115}=0.107$                             | $(r_x)_{215}=0.135$                             | $(r_x)_{315}=-0.442$                            |
| $P_{16}$   | $(r_x)_{116}=0.287$                             | $(r_x)_{216}=0.130$                             | $(r_x)_{316}=-0.172$                            |
| 典型變數解釋變異能力 | $(R_x^2)_1=0.115$                               | $(R_x^2)_2=0.078$                               | $(R_x^2)_3=0.082$                               |

| 層次Ⅱ地文因子    | 層次Ⅱ地文因子與典型變數 $V_1$ 之相關係數<br>(Canonical loading) | 層次Ⅱ地文因子與典型變數 $V_2$ 之相關係數<br>(Canonical loading) | 層次Ⅱ地文因子與典型變數 $V_3$ 之相關係數<br>(Canonical loading) |
|------------|---|---|---|
| $R_B$      | $(r_y)_{11}=0.331$                              | $(r_y)_{21}=0.806$                              | $(r_y)_{31}=0.490$                              |
| $R_L$      | $(r_y)_{12}=-0.566$                             | $(r_y)_{22}=0.775$                              | $(r_y)_{32}=0.279$                              |
| $R_A$      | $(r_y)_{13}=-0.430$                             | $(r_y)_{23}=0.489$                              | $(r_y)_{33}=0.753$                              |
| $R_S$      | $(r_y)_{14}=0.366$                              | $(r_y)_{24}=0.344$                              | $(r_y)_{34}=-0.426$                             |
| 典型變數解釋變異能力 | $(R_y^2)_1=0.187$                               | $(R_y^2)_2=0.402$                               | $(R_y^2)_3=0.266$                               |

## 六、結 論

本文以臺灣地區具有水文紀錄之 4 級序與 5 級序集水區為例，探討集水區幾何特性、荷頓比與河川網路結構之統計特性。分析結果顯示，集水區荷頓比適於描述各級序河川數目、平均渠流長度、平均漫地流面積與平均渠流坡度和級序數之關係；同時 4 級序與 5 級序集水區之荷頓比具有相近之統計特性。集水區荷頓比與可反應集水區河川網路結構之逕流路徑機率，均大致呈平閘型常態分佈。群集分析與典型相關分析結果顯示，大範圍流域區域內集水區，其地文因子相關性並不高。較易由地形圖上求得之地文因子(層次 I)，與較困難求得之地文因子(層次 II 與層次 III)其相關性亦不顯著。

## 參考文獻

- Bartlett, M. S. (1947). "The general canonical correlation distribution," *Annals of Mathematical Statistics*, 18, 1-17.
- Dillon, W. R., and Goldstein, M. (1986). *Multivariate Analysis-Methods and Applications*, Wiley, New York., 157-205.
- Eagleson, P. S. (1970). *Dynamic Hydrology*, McGraw-Hill Co., 369-394.
- Hack, J. T. (1957). "Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland," *U. S. Geol. Surv. Prof. Paper* 294-B.
- Horton, R. E. (1932). "Drainage basin characteristic," *Trans. Am. Geophys. Union*, Vol. 13, 350-361.
- Horton, R. E. (1945) "Erosional development of streams and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology," *Bull. Geol. Soc. Am.*, Vol. 56, 275-370.
- Hotelling, H. (1936). "Relations between two sets of variables," *Biometrika*, 28, 321-377.
- Lee, K. T. (1998). "Generaing design hydrographs by DEM assisted geomorphic runoff simulation: a case study," *J. Amer. Water Resour. Assoc.*, 34(2), 375-384.
- Punj, G., and Stewart, D. W. (1983). "Cluster analysis in marketing research: review and suggestion for application," *J. Marketing Res.*, 134-148.
- Rodriguez-Iturbe, I., and Valdes, J. B. (1979). "The geomorphologic structure of hydrologic response," *Water Resour. Res.*, 15(6), 1409-1420.
- Schumm, S. A. (1956). "Evolution of drainage systems and slope in badlands at Perth Amboy, New Jersey," *Bull. Geol. Soc. Am.*, 67, 597-646.
- Shimano Y., (1992). "Characteristics of the stream network composition of drainage basins in the Japanese Islands," *Environ. Geol. Water Sci.*, 20(1), 5-14.
- Shreve, R. L. (1966). "Statistical law of stream numbers," *J. Geol.*, Vol. 74, 17-37.
- Strahler, A. N. (1952). "Hypsometric analysis of erosional topography," *Bull. Geol. Soc. Am.*, Vol. 63, 1117-1142.
- Ward, J. H. (1963). "Hierarchical grouping to optimize an objective function," *J. American Statistical Association*, 58, 236-244.
- Yen, B. C., and Lee, K. T. (1997). "Unit hydrograph derivation for ungaged watersheds by stream order laws," *J. Hydrol. Engrg., ASCE*, 2(1), 1-9.

## 附 錄

依據 Rodriguez-Iturbe and Valdes (1979)之假設，對於一個  $\Omega$  級序之集水區而言，可將集水區劃分為  $2^{\Omega-1}$  個區域；而雨滴選擇某區域之漫地流落下後，便循著渠流流至集水區出口；雨滴選擇此  $2^{\Omega-1}$  個區域而流至集水區出口之機率即為逕流路徑機率  $P_i (P_1 + P_2 + \dots + P_{2^{\Omega-1}} = 1)$ 。以 4 級序集水區為例，共有 8 個逕流路徑機率，可表示為：

$$P_1 = P_{oA_1} \cdot P_{x_{o1}x_1} \cdot P_{x_1x_2} \cdot P_{x_2x_3} \cdot P_{x_3x_4} \dots\dots\dots(23)$$

$$P_2 = P_{oA_1} \cdot P_{x_{o1}x_1} \cdot P_{x_1x_2} \cdot P_{x_2x_4} \dots\dots\dots(24)$$

$$P_3 = P_{oA_1} \cdot P_{x_{o1}x_1} \cdot P_{x_1x_3} \cdot P_{x_3x_4} \dots\dots\dots(25)$$

$$P_4 = P_{oA_2} \cdot P_{x_{o2}x_2} \cdot P_{x_2x_3} \cdot P_{x_3x_4} \dots\dots\dots(26)$$

$$P_5 = P_{oA_1} \cdot P_{x_{o1}x_1} \cdot P_{x_1x_4} \dots\dots\dots(27)$$

$$P_6 = P_{oA_2} \cdot P_{x_{o2}x_2} \cdot P_{x_2x_4} \dots\dots\dots(28)$$

$$P_7 = P_{oA_3} \cdot P_{x_{o3}x_3} \cdot P_{x_3x_4} \dots\dots\dots(29)$$

$$P_8 = P_{oA_4} \cdot P_{x_{o4}x_4} \dots\dots\dots(30)$$

上式中， $P_{oA_i}$  為各級序面積相對於總面積比， $P_{x_{oi}x_j}$  為雨滴由  $i$  級序漫地流區域流至  $i$  級序河川之轉移機率，其值為 1； $P_{x_i x_j}$  為雨滴由  $i$  級序河川流至  $j(j > i)$  級序河川之轉移機率，此轉移機率可表示如下

$$P_{x_i x_j} = \frac{N_{i,j}}{N_i} \dots\dots\dots(31)$$

式中  $N_{i,j}$  表示  $i$  級序河川連接至  $j$  級序河川之數目， $N_i$  表示  $i$  級序河川之總數。

若集水區為 5 級序，則共有 16 個逕流路徑機率  $p_i$ ，可表示為：

$$P_1 = P_{oA_1} \cdot P_{x_{o1}x_1} \cdot P_{x_1x_2} \cdot P_{x_2x_3} \cdot P_{x_3x_4} \cdot P_{x_4x_5} \dots\dots\dots(32)$$

$$P_2 = P_{oA_1} \cdot P_{x_{o1}x_1} \cdot P_{x_1x_2} \cdot P_{x_2x_3} \cdot P_{x_3x_5} \dots\dots\dots(33)$$

$$P_3 = P_{oA_1} \cdot P_{x_{o1}x_1} \cdot P_{x_1x_2} \cdot P_{x_2x_4} \cdot P_{x_4x_5} \dots\dots\dots(34)$$

$$P_4 = P_{oA_1} \cdot P_{x_{o1}x_1} \cdot P_{x_1x_3} \cdot P_{x_3x_4} \cdot P_{x_4x_5} \dots\dots\dots(35)$$

$$P_5 = P_{oA_2} \cdot P_{x_{o2}x_2} \cdot P_{x_2x_3} \cdot P_{x_3x_4} \cdot P_{x_4x_5} \dots\dots\dots(36)$$

$$P_6 = P_{oA_1} \cdot P_{x_{o1}x_1} \cdot P_{x_1x_2} \cdot P_{x_2x_5} \dots\dots\dots(37)$$

$$P_7 = P_{oA_1} \cdot P_{x_{o1}x_1} \cdot P_{x_1x_3} \cdot P_{x_3x_5} \dots\dots\dots(38)$$

$$P_8 = P_{oA_1} \cdot P_{x_{o1}x_1} \cdot P_{x_1x_4} \cdot P_{x_4x_5} \dots\dots\dots(39)$$

$$P_9 = P_{oA_2} \cdot P_{x_{o2}x_2} \cdot P_{x_2x_3} \cdot P_{x_3x_5} \dots\dots\dots(40)$$

$$P_{10} = P_{oA_2} \cdot P_{x_{o2}x_2} \cdot P_{x_2x_4} \cdot P_{x_4x_5} \dots\dots\dots(41)$$

$$P_{11} = P_{oA_3} \cdot P_{x_{o3}x_3} \cdot P_{x_3x_4} \cdot P_{x_4x_5} \dots\dots\dots(42)$$

$$P_{12} = P_{oA_1} \cdot P_{x_{o1}x_1} \cdot P_{x_1x_5} \dots\dots\dots(43)$$

$$P_{13} = P_{oA_2} \cdot P_{x_{o2}x_2} \cdot P_{x_2x_5} \dots\dots\dots(44)$$

$$P_{14} = P_{oA_3} \cdot P_{x_{o3}x_3} \cdot P_{x_3x_5} \dots\dots\dots(45)$$

$$P_{15} = P_{oA_4} \cdot P_{x_{o4}x_4} \cdot P_{x_4x_5} \dots\dots\dots(46)$$

$$P_{16} = P_{oA_5} \cdot P_{x_{o5}x_5} \dots\dots\dots(47)$$

上述之逕流路徑機率，可視為反應集水區內河川網路結構特性之地文因子。因此，4 級序集水區與 5 級序集水區具有不同的河川網路結構。

收稿日期：民國 88 年 10 月 29 日

接受日期：民國 88 年 11 月 19 日