

影響降雨－逕流模式(GRAPH)校正係數變異之研究

林昭遠⁽¹⁾ 林姿君⁽²⁾ 莊智瑋⁽³⁾

摘要

網格式合理化法(Grid Rational Algorithm for Predicting Hydrograph；GRAPH)為近年來所發展的降雨－逕流模式，前人廣泛應用網格式合理化法於台灣北、中、南、東部之各集水區，因各集水區地文、水文特性不一，在模式為清水流與不考慮臨前降雨、滲流及降雨損失之假設下，需以校正係數 α 、 β 進行修正。本研究匯整前人相關研究，結合地文資訊以判別分析分類校正係數 α 、 β 之平均數(M_α ， M_β)與標準差(S_α ， S_β)，探討校正係數變異情形，進而評估模式應用區位之特性。研究成果可將各集水區特性歸納如下：(1)(M_α ， M_β ， S_α ， S_β)判別分析分類結果準確率達 95%，顯示校正係數值及變異量與集水區地文有顯著關係，可直接由地文因子加以分群。(2) M_α 高者為水源涵養型如南澳北溪與番社坑溪集水區，因植生覆蓋良好，降雨受入滲之影響，以致模式之校正係數 α 須向上修正。(3) M_β 高者可分為暴雨期間崩塌或人為干擾之情形，崩塌型集水區如烏溪與八掌溪集水區，上游 M_β 高而中下游 M_β 低，可能因推移質由上游向中下游逐漸沉澱；人為干擾區位如基隆河集水區，易因河道兩旁土地利用棄土及貨櫃受颱風影響阻擋導致河道堰塞，致 M_β 較高。(4) S_α 與 S_β 高顯示資料離散程度大，分析各集水區特性發現，標準差雖可由判別分析準確分類，但 S_α 受暴雨事件數量及強度大小影響，於日後應用上需注意； S_β 高則因地震與颱風暴雨造成單場劇烈崩塌，未來將進一步加入崩塌率並依各集水區特性分別進行討論，以界定校正係數變異及適用之區位。

(**關鍵詞**：網格式合理化法、降雨－逕流模式、地文因子、判別分析)

Factors affecting variations of correction coefficients in the watershed rainfall-runoff (GRAPH) model

Chao-Yuan Lin⁽¹⁾, Tzu-Chun Lin⁽²⁾, Chin-Wei Chuang⁽³⁾

Professor⁽¹⁾, Graduate Student⁽²⁾, Ph.D student⁽³⁾, Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C

(1) 國立中興大學水土保持學系教授

(2) 國立中興大學水土保持學系碩士生

(3) 國立中興大學水土保持學系博士生

Abstract

The GRAPH (Grid Rational Algorithm for Predicting Hydrograph) model has been developed for rainfall-runoff simulation in recent years. Due to different characteristics in watershed topography and hydrology, and the model neglecting the situation of sediment transportation and antecedent precipitation; the simulation results of the model should be adjusted to fit the real world by means of correction coefficients. Coefficient α represents water resources conservation capability and the coefficient β can be regarded as the index of sediment concentration in the runoff. In this study, simulated data are collected from previous studies for discussing the relationship between grouping the variations of (α , β) and the correspondent watershed topographic factors by using discriminate analysis. The result describes as follows : (1) Accuracy of discriminate analysis is 95%, which reveals that there is a highly correlation between the variation of correction coefficients and the watershed topographic factors. (2) Watershed with more function of water cultivation such as Nan-Ao-Bei River and Fan-She-Keng River, both have a well vegetation coverage resulting in greater adjustment in α coefficient (Group with higher M_α). (3) Watershed vulnerable to landslide and/or the improper land use caused river blockage during storm period, higher landslide potential such as Wu River and Choshui River which have the phenomenon of sediment concentration decreasing from upstream to downstream resulting in a higher M_β in upstream and lower one in downstream watershed; improper land use such as Keelung River (Group with higher M_β) having a high potential in abandoned soils and container treatments, which operated at the nearby areas of river bank are easy to cause channel blockage at the typhoon seasons. (4) Watershed with higher S_α and/or S_β shows a greater variation in correction coefficients. Although topographic factors of a watershed can be effectively used to classify the variations of coefficients, there are still some other key factors, sample size and intensity of the storm events, which did affect the variations of S_α , earthquake and typhoons make single severe landslide, which did affect the variations of S_β . Adding landslide map for further study are needed to fulfill explain the characteristics of a watershed in accordance with the variations of its correction coefficients.

(**Keywords** : GRAPH , Rainfall-runoff model , Topographic factors , Discriminate analysis)

前言

台灣地區降雨時空分配不均加上人為過度開發。每逢颱風暴雨常引發上游山崩、地滑及土石流等災害，尤其在九二一大地震重創台灣後，地形及岩層更為破碎。因此，

為避免災害發生，須有系統地進行集水區整治工作。

降雨－逕流模式可藉由模擬流量歷線以了解集水區內之流量特性變化，對於流量站設站時間較短或欠缺流量站之地區，可彌補流量不足或欠缺之窘境(廖依玲，2003)。在水文分析與設計上，降雨與逕流關係常由

經驗或半經驗公式表示，其中較具代表性者為合理化公式。

因前人廣泛應用網格式合理化法於各集水區，範圍遍佈台灣北、中、南及東部，因各集水區地文及水文特性不一，在模式為清水流與不考慮臨前降雨、滲流及降雨損失之假設下，需要校正係數 α 、 β 加以修正。

目的在於歸納前人推估資料，結合地文因子與校正係數 α 、 β 進行判別分析，以分類校正係數高低及離散情形，探討校正係數之變異情形，進而評估模式應用區位之特性。

研究材料與方法

一、研究試區概述

1. 大南澳集水區

南澳北溪與番社坑溪源於宜蘭縣大元山，屬闊葉林區，溪谷深而陡峭。集水區內主要坡度為六級坡，少部份被開發為遊憩區，大多數仍為未開發之林班地。

2. 基隆河南湖大橋上游集水區

基隆河為淡水河支流，試區內雨量分布均勻，山地丘陵起伏，下游河道蜿蜒曲折，故主河道排洪速度緩慢，每逢暴雨必造成五堵、汐止地區淹水。近年來又因經濟型態改變，大肆人為開發導致沿岸土地利用不當。

3. 濁水溪集水區

位於台灣中部，流域面積僅次於高屏溪。集水區內地質破碎，雨量豐沛，地勢起

伏高差甚大，坡度大多為六級坡，斷層及崩塌地甚多。沿岸土地利用不當，每逢颱風暴雨淹水事件頻傳。

4. 烏溪集水區

位於台灣中部，發源於中央山脈合歡山西麓，主要坡度為六級坡。烏溪集水區山勢陡峻，地質脆弱，又因颱風、地震等自然災害頻繁，故此區易發生山崩、地滑、土石流、洪氾等災害。

5. 八掌溪集水區

地處台南縣與嘉義縣交界，上游坡度陡峻流速湍急，且有多處嚴重崩塌。下游則屬沖積平原，河道兩旁地勢低平，每逢颱風暴雨，下游常排水不暢，逕流挾帶大量泥砂，導致兩岸災害頻傳。

6. 二仁溪集水區

二仁溪中、上游集水區開發甚早，早期地表未被破壞，林相完整，後因大量開墾，造成表土嚴重流失。二仁溪集水區多屬泥岩惡地，地表沖刷嚴重，故下游地區常造成淹水災情。

7. 新武呂溪集水區

新武呂溪發源於中央山脈、三叉山、關山、海諾南山及中央山脈卑南主峰。新武呂溪中、上游皆成峽谷地形，其他支流匯流處得有較寬廣的平坦地，除此之外絕大部分的地區地勢崎嶇、坡度甚陡。集水區除少處住宅區及高冷蔬菜區，大多為原始森林且森林覆蓋良好。

二、水文資料蒐集

1.水文資料

蒐集經濟部水利署雨量站之時雨量資料如表 1，利用地理統計(反距離權重法)進行內差分析，分別求出區域內時雨量之空間分佈，再由水利署時流量資料進行模式驗證。

2.颱風暴雨場次

各集水區選擇多場颱風暴雨事件依經濟部水利署所得之時流量、時雨量資料，以進行流量歷線模擬推估，其暴雨事件如表 2。

表 1.水文站整理表

Table1. Summary of hydrologic stations.

集水區	作者(年份)	流量站	雨量站
大南澳集水區	田倚寧 (2005)	古魯山腳	太平山(1)、武塔、樟林、冬山、新寮(1)、新北城、梵梵(2)、土場(1)、留茂安、古魯、山腳，共 11 站。
基隆河 A 集水區	廖依玲 (2003)	介壽橋五堵	火燒寮、瑞芳、五堵、石碇、坪林、中正橋、竹子湖，共 7 站。
基隆河 B 集水區	莊智瑋 (2005)	介壽橋五堵	火燒寮、瑞芳、五堵、石碇、坪林、中正橋、竹子湖，共 7 站。
濁水溪集水區	林鶴儒 (2004)	內茅埔彰雲橋	西巒、龍門橋、集集、草嶺、翠峰、關門、卡奈托灣、東埔、望鄉、西螺、內茅埔、桶頭、北山、六分寮、翠巒、林內、大埔，共 17 站。
烏溪 A 集水區	宋之光 (2004)	南北通橋乾峰橋大肚橋	翠巒、惠蓀、清流、北山、頭汴坑、集集、卡奈托灣、龍神橋、頭汴、萬興、鹿港、卓蘭、草屯，共 10 站。
烏溪 B 集水區	孫振哲 (2007)	乾峰橋南崗大橋溪南橋大肚橋	卓蘭(2)、頭汴坑、頭汴、集集(2)、惠蓀(2)、翠巒、翠峰、六分寮、草屯(4)、北山(2)、清流(1)，共 11 站。
八掌溪集水區	鍾亦婷 (2005)	軍輝橋義竹橋	大湖山、小公田(2)、關子嶺(2)、六溪、樟腦寮(2)、沙坑，共 6 站。
二仁溪集水區	劉志宇 (2004)	南雄橋崇德橋	南化、木柵、崎頂、古亭坑、阿蓮(2)、竹子腳、金山，共 7 站。
新武呂溪集水區	莊智瑋 (2005)	新武呂	向陽(2)、霧鹿、新武(3)、武陵、上里、鹿鳴橋、台東(7)，共 7 站。

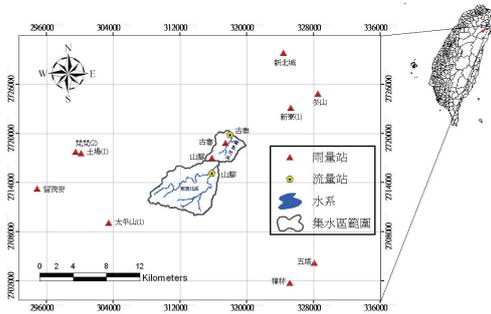


圖 1. 水文測站分布圖(大南澳集水區)
Figure 1. Spatial distribution of hydrologic stations(Da-Nan-Ao watershed)

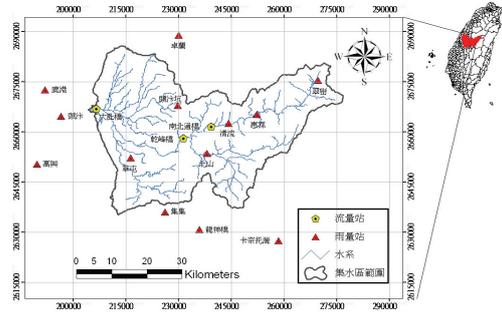


圖 4. 水文測站分布圖(烏溪集水區 A)
Figure 4. Spatial distribution of hydrologic stations(Wu River watershed A)

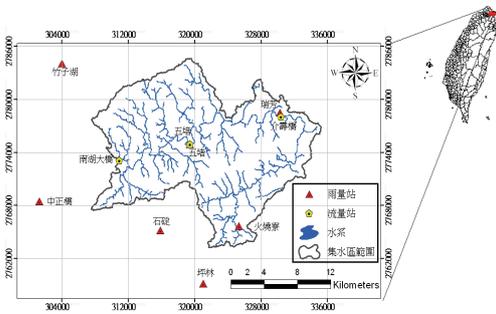


圖 2. 水文測站分布圖(基隆河集水區)
Figure 2. Spatial distribution of hydrologic stations(KeeLung River watershed)

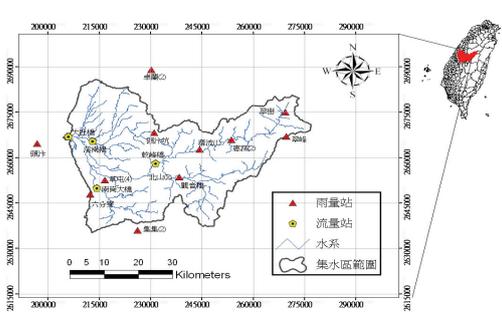


圖 5. 水文測站分布圖(烏溪集水區 B)
Figure 5. Spatial distribution of hydrologic stations(Wu River watershed B)

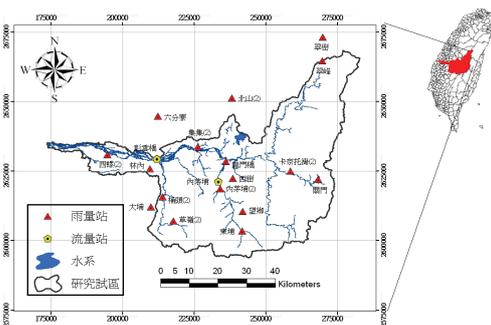


圖 3. 水文測站分布圖(濁水溪集水區)
Figure 3. Spatial distribution of hydrologic stations(Choshui River watershed)

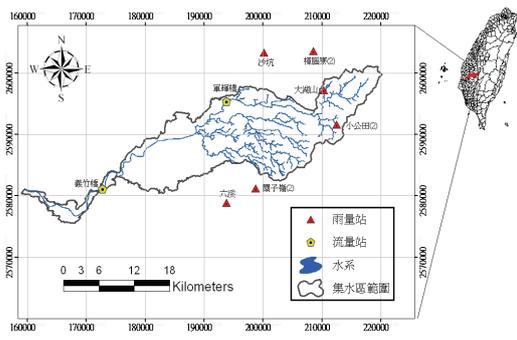


圖 6. 水文測站分布圖(八掌溪集水區)
Figure 6. Spatial distribution of hydrologic stations(Ba-zhang Creek watershed)

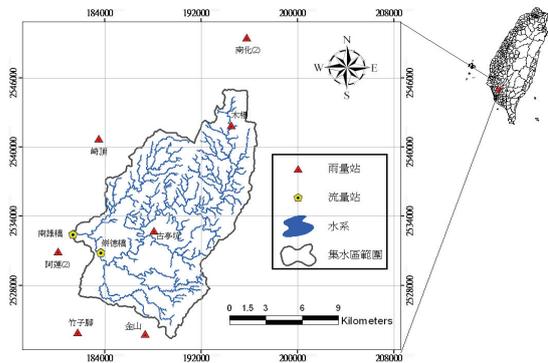


圖 7. 水文測站分布圖(二仁溪集水區)

Figure 7. Spatial distribution of hydrologic stations
(Erhjin River watershed)

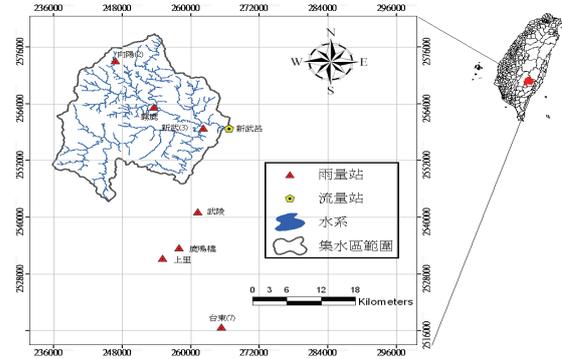


圖 8. 水文測站分布圖(新武呂溪集水區)

Figure 8. Spatial distribution of hydrologic stations
(Xin-Wu-Liu Stream watershed)

表 2. 颱風事件表

Table2. Invasion period of each selected typhoon event.

集水區	颱風暴雨事件
大南澳 集水區	象神颱風(89.10.29)、西馬隆颱風(90.05.11)、0508 暴雨(90.05.28)、0607 暴雨(90.06.07)、尤特颱風(90.07.04)、桃芝颱風(90.07.29)，共 6 場。
基隆河 A、B 集水區	弗雷特颱風(83.08.20)、葛拉絲颱風(83.09.01)、賀伯颱風(85.07.30)、溫妮颱風(86.08.17)、安珀颱風(86.08.28)、瑞伯颱風(87.10.15)、芭比絲颱風(87.10.21)、1003 暴雨(88.10.03)、巴比倫颱風(89.08.28)、象神颱風(89.10.30)、1108 暴雨(89.11.08)，共 11 場。
濁水溪 集水區	內茅埔 荻安娜颱風-1(84.06.08)、荻安娜颱風-2(84.06.11)、賴恩颱風(84.09.22)、賀伯颱風(85.07.30)、溫妮颱風(86.08.17)、安珀颱風(86.08.28)、瑞伯颱風(87.10.15)、0612 暴雨(89.06.12)、啟德颱風(89.07.09)、碧利斯颱風(89.08.22)、象神颱風(89.10.31)，共 11 場。
水區	彰雲橋 賀伯颱風(85.07.30)、溫妮颱風(86.08.01)、安珀颱風(86.08.29)、啟德颱風(89.07.09)、象神颱風(89.10.31)、桃芝颱風(90.07.31)，共 6 場。
烏溪 A 集水區	道格颱風(83.08.06)、賀伯颱風(85.07.30)、溫妮颱風(86.08.17)、桃芝颱風(90.07.28)、納莉颱風(90.09.08)，共 5 場。
烏溪 B 集水區	歐菲斯颱風(79.06.21)、楊希颱風(79.08.17)、道格颱風(83.08.06)、葛拉絲颱風(83.08.31)、賀伯颱風(85.07.29)、桃芝颱風(90.07.28)，共 6 場。

八掌溪集水區	軍輝橋	0822 洪水(75.08.22)、0919 洪水(75.9.19)、0912 洪水(78.09.12)、寶莉颱風(81.08.30)、賀伯颱風(85.07.29)、0607 暴雨(87.06.07)、碧利斯颱風(89.08.22)、桃芝颱風(90.07.29)，共 8 場。
	義竹橋	艾克颱風(70.06.13)、安迪颱風(71.07.29)、0912 洪水(78.09.12)、0819 洪水(79.08.19)、0622 洪水(80.06.22)、0728 洪水(80.07.28)、0526 洪水(82.05.26)、0611 洪水(82.06.11)、0701 暴雨(86.07.01)、0807 暴雨(86.08.07)、安珀颱風(86.08.29)、碧利斯颱風(89.08.22)、桃芝颱風(90.07.29)、納莉颱風(90.09.15)，共 14 場。
二仁溪集水區		0908 暴雨(79.09.08)、寶莉颱風(81.08.30)、歐馬颱風(81.09.04)、0526 暴雨(83.05.26)、提姆颱風(83.07.11)、凱特林颱風(83.08.03)、道格颱風(83.08.10)、0702 暴雨(84.07.02)、碧利斯颱風(89.08.22)，共 9 場。
新武呂溪集水區		艾美颱風(80.07.18)、耐特颱風(80.10.01)、肯特颱風(84.08.30)、瑪姬颱風(88.06.05)、啟德颱風(89.07.08)、奇比颱風(90.06.22)、尤特颱風(90.07.04)、桃芝颱風(90.07.30)，共 8 場。
蓮華池(模式建置)		0608 暴雨(88.06.08)、0628 暴雨(88.06.28)、0801 暴雨(88.08.01)、0616 暴雨(90.06.16)、0715 暴雨(90.07.15)、桃芝颱風(90.07.30)，共 6 場。

三、研究流程及分析方法

(一)研究流程

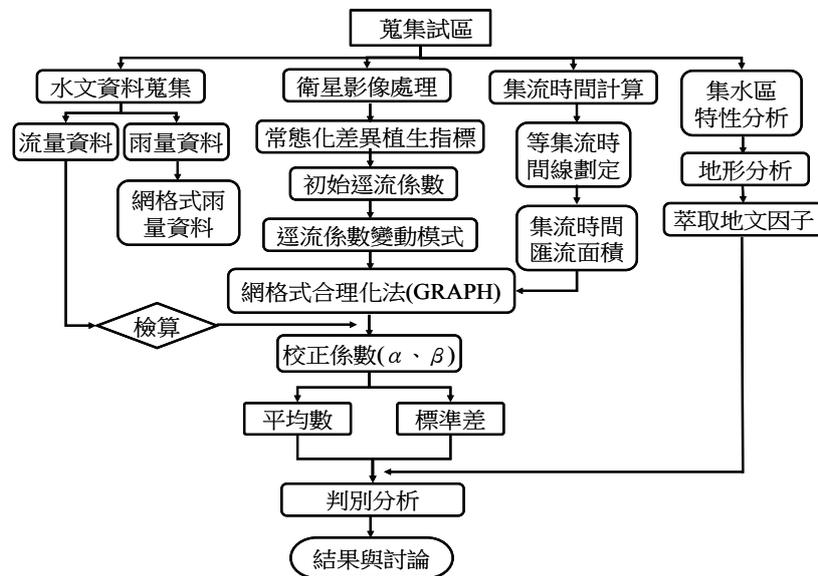


圖 9. 研究流程圖

Figure 9. Flow chart of the study

(二)分析方法

1.集水區劃分及地文因子資訊分析

利用流向及遞迴演算法搜尋上游之集水區範圍 (林昭遠、林文賜, 2000), 分別以各集水區內之流量站為出口點, 根據地形之排水流向, 劃分集水區範圍。

地文資訊係集水區地文因子之計算式 (林昭遠、林文賜, 2000), 整合數值高程模型 (DEM) 資料及地理資訊系統技術, 分析集水區地文資訊。

2.網格式合理化法

(1)流量歷線模擬

本研究以等集流時間概念配合時雨量、時流量、衛星影像及地文資訊等進行分析, 建立其與集水區出口之時間差, 配合網格式合理化, 推求出各集水區內之時流量以進行流量歷線之模擬。

(2)逕流係數之推估

以衛星影像萃取常態化差異植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), 再線性反向配置為初始逕流係數(0~1)。NDVI 量測植生生長狀況可間接反應區域內入滲量之變化, 逕流係數及入滲率與空間、時間的關係可得逕流係數之動態模式, 如下式所式(廖依玲, 2003)。

$$C = 1 - e^{-C_0 t}$$

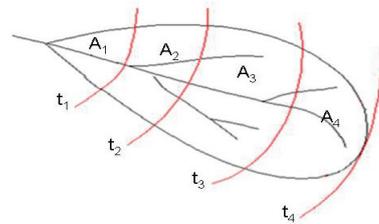
式中, C 為逕流係數; C_0 為初始逕流係數; t 為降雨時間。

(3)集流時間之計算

集流時間之定義為由集水區最遠端到達集水區出口之時間, 一般為漫地流時間及渠道流時間之和。漫地流流速一般在 0.3-0.6 m/s, 可依集水區之現況輸入計算; 渠道流時間, 可依 Rziha 公式計算(廖依玲, 2003)。

(4)等集流時間線

等集流時間線乃是將集水區內降雨之水分分子流至控制點之時間予以均分化, 將集水區內具有相同匯流時間點予以連接, 可形成許多具有相同集流時間之區域。以每小時為單位, 即每一集流時間線的時間間隔為 1 小時(如圖 10)。若以小時為單位, 則流量歷線推估如下式:



$$t = 1, Q_1 = \frac{1}{360} C_1 I_1 A_1$$

$$t = 2, Q_2 = \frac{1}{360} (C_2 I_1 A_2 + C_1 I_2 A_1)$$

$$t = 3, Q_3 = \frac{1}{360} (C_3 I_1 A_3 + C_2 I_2 A_2 + C_1 I_3 A_1)$$

⋮

$$t = n, Q_n = \frac{1}{360} \sum_{i=1}^n C_i I_{n-i+1} A_i$$

圖 10. 等集流時間線示意圖

Fig10. Isochrones of time of concentration

式中, t 為每一時間間隔(hr), Q_n 為逕流量(cms), C 為逕流係數, I 為降雨強度(mm/hr), A 為每一集流時間線內之集水區面積(ha)。

3. 模式建置

網格式合理法主要是由於降雨強度超過入滲率時會形成地表逕流的觀念所導出，其假定降於集水區內某已知強度降雨所能產生之最大流量必須在降雨延時等於或大於集流時間。沿用合理化公式的理論基礎，並加以克服集水區面積須小於 1000 公頃之基本假設而延伸為網格式合理法。為檢測模式之預測趨勢及地區適用性，建立各項參數及校正係數，進行模式建置之研究，本研究分別以 α 、 β 為校正係數(圖 11)。

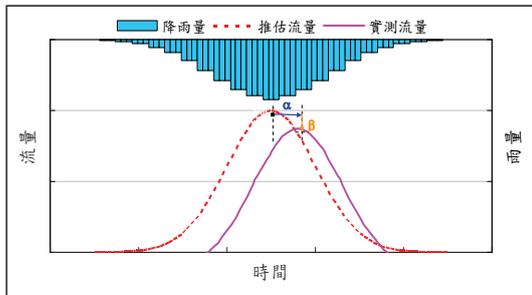


圖 11. 颱風暴雨推估之流量歷線校正示意圖

Fig11. Illustration of correction of simulated runoff hydrograph

4. 多變量統計分析

多變量統計分析可用來同時分析兩個或兩個以上依變數的觀察資料，這些資料可能來自同一個或來自幾個母群的個體，多變量分析將這些依變數視為彼此相關之融合體並同時加以考慮。

多變量分析能將環境系統中各因素間之複雜關係，找出其中的規律性，對數據的結果進行分析及判斷，配合地理資訊系統在空間上之展示能力，能將複雜問題或現象做合理有系統之整理、判斷、與預測(林昭遠，2000)。

K 平均數集群法(K-means cluster)是一種應用於「群集」來「分群」的分析演算法。目的在於辨認某些事物具有相同特性，並將此等事物依照某些特性，劃分成數個群集，使同一群集裡具有高度均質性，而不同群集則具有相異性。

判別分析(discriminate analysis)又稱「區別分析」，由 S.R.Fisher 所提出。其觀念類似迴歸分析，均是以一組自變數來預測一個依變數，最大不同在於迴歸分析之依變數為連續之數值資料；判別分析則為不連續性之間斷資料型態。判別分析主要目的再計算一組自變數(或稱預測變數)的線性組合對依變數加以分類，並檢查其各分類之正確性。線性判別函數(Linear discriminate function, LDF)的通式為：

$$D = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_pX_p$$

其中 D 為區別分數或區別值(discriminate scores)， X_1 、 X_2 、...、 X_p 為自變數(independent variable)， B_0 、 B_1 、 B_2 、...、 B_p 為判別函數係數(classification function coefficient)。

判別函數係數因變數間彼此有相關，所以不能評估個別變數之重要性，僅能以係數的大小來比較變數間相對重要性。可用標準化區別函數係數(standardized canonical discriminate function coefficients)及結構矩陣(structure matrix)，來判斷變數對區別函數之影響力。

結果與討論

校正係數 α 改變歷線上升段的形狀，為校正洪峰到達時間之指標， $\alpha > 1$ 表示雨峰比

洪峰早到達，當 α 愈大，顯示集水區涵養水源能力愈佳或發生河道阻塞之情形；反之， $\alpha < 1$ 可能因集水區內大量開發導致，或集流時間以小時為單位進行量測，無法量測到真實之洪峰時間點。校正係數 β 為修正洪峰流量之參數， β 值愈大表示推估流量遠小於實測流量，須加以調整校正，由於模式係以清水流建立，當水流夾砂量愈大，流量亦變大，故 β 值可為逕流含砂濃度之指標。

(一)群集分析

因各集水區地形、水文特性不同，所選取的颱風暴雨事件及流量歷線之校正情形也有所不同，故本研究將各測站暴雨事件之校正係數 α 、 β 平均值(Mean value)及標準差(standard deviation)，以群集分析分類並探討其校正係數高低及離散情形，用來判斷模式適用之集水區。

將各集水區校正係數 α 、 β 平均值及標準差分為高與低兩個等級，經由 K 平均數集群法(K-means cluster)分析後，可得各分類之群集中心，其分類情形如表 4 所示。

表 4. 各類級之群集中心

Table4. Final cluster center of each classified group.

群集	高	低
M_α	4.3	0.85
M_β	1.29	0.79
S_α	4.08	0.46
S_β	0.78	0.36

(二)判別分析

將各測站之(M_α, M_β)與(S_α, S_β)依 K-Mean 成果各分為(高, 高)、(低, 低)、(高, 低)、(低,

高)四種情形進行判別分析。因校正係數 α 、 β 隨空間、時間變化，故以判別分析找出校正係數 α 、 β 與地文因子之相關性。

集水區面積與河川之逕流體積成正比，集水區周長、集水區長度亦隨著集水區面積的增大而變大。主流長度控制洪峰延時；平均寬度與流量大小成正比，寬度大者，集水較多，時間較慢，不易造成洪患；由曼寧公式可知，坡度愈陡，在一樣的有效降雨條件下，達到洪峰流量的時間愈短；集水區形狀為影響流量增減、速度變化之重要因素，形狀因子為集水區寬度和主流長度之比值，小於 1 則表示集水區較偏狹長，大於 1 則表示集水區較偏寬扁。形狀因子會影響流量歷線的形狀，意即形狀因子的變化能反映出集水區匯集水量之能力；集水區之圓比值愈趨近於 1 時，表示集水區接近圓形；集水區近似圓形時，密集度愈趨近於 1，且當影響流量之相關條件相同時，則密集度愈大，洪峰流量亦較大；集水區之細長比愈大，表示集水區面積愈大而主流愈短，洪峰流量愈快到達集流口。

影響流量歷線因子尚有地表覆蓋與土壤特性，因土壤特性較為複雜，故本文不加以探討；地表覆蓋則採 NDVI 線性反向配置之平均 C_0 值，以上共 12 個因子，如表 5 所示。

以地文因子為自變項，校正係數 α 、 β 平均數及標準差之分類結果為分群變項，經典型判別分析後所得之函數特徵值如表 5 所示，典型判別函數之特徵值愈大，表示此函數愈具有區別效力。 (M_α, M_β) 僅能分為(低, 低)、(高, 低)、(低, 高)三種情形， (S_α, S_β) 可分為 4 種情形。

表 5 典型判別分析之函數特徵值
Table5. Eigenvalue of canonical discriminate function.

函數		特徵值	變異數 的%	累積 %	典型 相關
(M_{α}, M_{β})	1	7.181	71.9	71.9	0.937
	2	2.813	28.1	100.0	0.859
(S_{α}, S_{β})	1	93.092	97.6	97.6	0.995
	2	1.959	2.1	99.6	0.814
	3	0.345	0.4	100.0	0.506

函數結構矩陣顯示第一函數軸主要解釋之變項為集水區長度、集水區寬度、集水區周長、主流長度、集水區面積、集流時間、平均初始逕流係數；第二函數軸主要解釋之變項為形狀因子、平均坡度、細長比、密集度、圓比值(表 6)。

表 7 第一函數軸主要解釋之變項為形狀因子；第二函數軸主要解釋之變項為集流時間、細長比、集水區周長、主流長度、集水區面積、集水區長度、圓比值；第三函數軸主要解釋之變項為集水區寬度、平均坡度、平均初始逕流係數、密集度。

標準化區別函數係數其係數即其重要性，係數絕對值越大者，其相對重要性越高，如表 8、表 9 所示。表 8 顯示 (M_{α}, S_{α}) 可由集水區面積、集水區周長、集水區長度、主流長度等資訊作為區別高低之標準。表 9 顯示 (S_{α}, S_{β}) 可由集水區面積、集水區周長、集水區寬度、集流時間及主流長度等資訊作為區別高低之標準。

典型分類函數即 Fisher's 線性區別函數係數，可直接將觀察值分類，即將各觀察值代入各組分類函數中，所得之區別分數(F 值)

愈大，則分在那一組中，如表 10、表 11。

表 6. 典型判別分析之函數結構矩陣 (M_{α}, M_{β})
Table6. Structure matrix of canonical discriminate function.

變項	函數	
	1	2
集水區長度(L)	0.395(*)	0.287
集水區寬度(W)	0.371(*)	0.307
集水區周長(P)	0.357(*)	0.199
主流長度(L ₀)	0.327(*)	0.154
集水區面積(A)	0.274(*)	0.247
集流時間(T _c)	0.259(*)	0.056
平均初始逕流係數(C ₀)	-0.030(*)	0.016
形狀因子(F)	-0.274	0.381(*)
平均坡度(S)	0.006	0.352(*)
細長比(E)	-0.048	-0.178(*)
密集度(C)	-0.109	0.164(*)
圓比值(M)	-0.140	0.144(*)

*：表函數軸主要解釋之變項，其係數絕對值愈大，即此變數對此函數影響力愈大

根據區別分數可將觀察值予以分類，校正係數 α 、 β 平均值與標準差之分類結果如圖 12、13 所示。

判別分析結果如表 12、13，整體判釋準確率達 95%以上，顯示地文因子能有效分類校正係數 α 、 β 變動與離散情形之依據。

再表 12、13 分析結果將 $(M_{\alpha}, M_{\beta}, S_{\alpha}, S_{\beta})$ 重新編碼(表 14)，進行判別分析並得其分類結果(表 15、圖 14)。

(三)結果分析

分別針對校正係數 α 、 β 值平均數及標準

差變異大小進行討論。而校正係數 α 、 β 值高，則表示歷線須經模式修正以配合集水區暴雨期間之情形。由判別分析分類結果發現，無論校正係數 α 、 β 平均數與標準差以個別或全部為群組與地文資訊進行分類，其觀察值分類結果準確率皆能達 95%至 100%，顯示校正係數值與變異量與集水區地文有顯著關係，如表 12、13、15。

表 7. 典型判別分析之函數結構矩陣(S_α 、 S_β)

Table7. Structure matrix of canonical discriminate function.

變項	函數		
	1	2	3
形狀因子(F)	0.273(*)	0.021	0.146
集流時間(T_c)	-0.044	0.337(*)	-0.049
細長比(E)	-0.023	0.333(*)	-0.032
集水區周長(P)	-0.041	0.258(*)	0.077
主流長度(L_0)	-0.043	0.251(*)	0.063
集水區面積(A)	-0.026	0.197(*)	-0.019
集水區長度(L)	-0.037	0.176(*)	0.155
圓比值(M)	-0.021	-0.145(*)	0.120
平均坡度(S)	0.035	-0.404	0.417(*)
集水區寬度(W)	-0.029	0.173	0.186(*)
平均初始逕流係數(C_0)	-0.002	-0.075	-0.173(*)
密集度(C)	-0.002	-0.121	0.135(*)

表 8. 標準化典型判別函數係數(M_α 、 M_β)

Table8. Standardized canonical discriminate coefficients.

函數	C_0	A	P	L	L_0	S	W	F	E	T_c
1	0.517	-8.075*	3.169*	-1.750	4.954*	-0.032	3.116	-0.142	-1.236	-0.326
2	0.330	6.330*	-13.191*	11.974*	-3.992	0.513	-1.149	0.254	4.182	1.012

*：表係數絕對值較大。其係數即重要性，係數絕對值越大者，其相對重要性越高。

表 9. 標準化典型判別函數係數(S_α 、 S_β)

Table9. Standardized canonical discriminate coefficients.

函數	C ₀	A	P	L	L ₀	S	W	F	T _c
1	1.368	-3.779	20.324*	-0.546	-0.597	0.537	-12.566*	3.923	-5.457*
2	0.425	-5.562*	8.748*	-2.845*	-0.554	-0.621	-0.061	0.526	0.777
3	0.531	-7.163*	4.095*	0.962	4.705*	0.110	-0.171	0.357	-2.628

表 10. 典型判別分析之分類函數係數(M_α 、 M_β)

Table10. Classification function coefficients of canonical discriminate function.

集群觀察個數	C ₀	A	P	L	L ₀	S
(低, 高)	361.216	-0.010	-0.495	13.537	-3.443	1.126
(低, 低)	390.229	-0.024	-0.800	15.319	-3.307	1.211
(高, 低)	348.212	0.112	-1.392	17.728	-4.727	1.291

集群觀察個數	W	F	C	M	常數
(低, 高)	-13.055	39.115	321.893	0.024	-224.478
(低, 低)	-11.023	40.940	350.803	0.028	-284.964
(高, 低)	-19.568	52.954	419.710	0.041	-269.899

表 11. 典型判別分析之分類函數係數(S_α 、 S_β)

Table 11. Classification function coefficients of canonical discriminate function.

集群觀察個數	C_0	A	P	L	L_0	S
(低, 低)	473.954	-0.256	4.672	-1.924	-1.462	1.040
(低, 高)	504.689	-0.259	4.945	-1.599	-1.345	1.245
(高, 高)	521.391	-0.233	5.197	-1.555	-1.662	1.395
(高, 低)	1103.308	-0.472	12.179	-2.957	-2.035	2.501

集群觀察個數	W	F	T_c	常數
(低, 低)	-40.907	775.858	-0.196	-176.698
(低, 高)	-47.352	897.256	-0.242	-203.939
(高, 高)	-54.364	1020.738	-0.265	-220.444
(高, 低)	-149.767	3075.880	-0.767	-1434.263

1. M_α

A. 高

包括南澳北溪集水區與番社坑溪集水區，因集水區內多為未開發之林班地，植生覆蓋良好，降雨受截留、窪蓄、入滲之影響，集流時間延長。在模式不考慮入滲及臨前降雨之假設下，模式校正係數 α 須向上修正，故 M_α 高可顯示水源涵養能力較佳。

B. 低

上游集水區校正係數 α 值範圍約為 0.84 至 1.21，而中下游集水區範圍約為 0.36 至 0.75。其中最具有代表性者為二仁

溪，因泥岩地區不易入滲，降雨直接化為逕流流出，模式幾乎不須修正。而中下游集水區可能因土地利用複雜，使集流時間縮短或推估實際時間不易。其中內茅埔集水區雖被判為低， M_α 卻為 2.41 遠高於其他低群組集水區， M_β 為 0.71，可能因 α 、 β 互相影響，其計算相似性的歐幾里得距離平方(squared Euclidean distance)偏於低群組，以致濁水溪雖有堰塞之情形卻分類至低群組。

2. M_β

A. 高

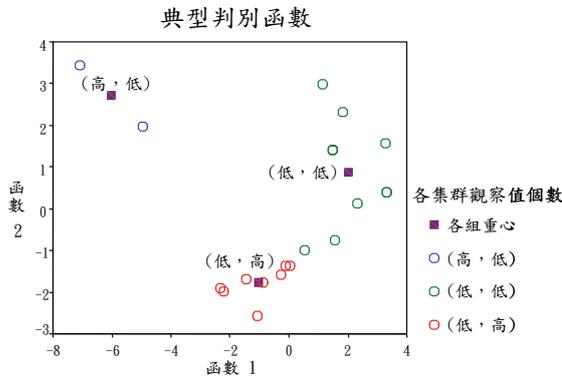


圖 12. 觀測值之分群位置(M_α, M_β)

Fig12. Spatial distribution of classified groups.

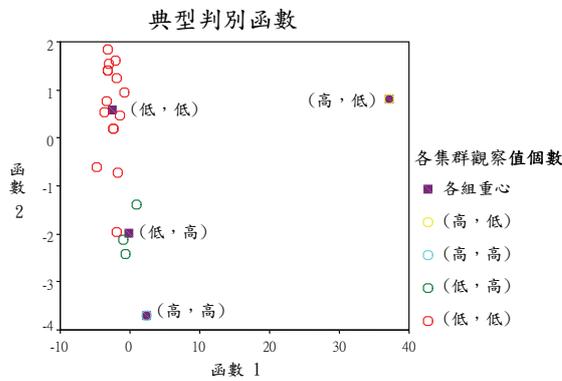


圖 13. 觀測值之分群位置(S_α, S_β)

Fig13. Spatial distribution of classified groups.

表 12. 判別分析分類結果(M_α, M_β)

Table12. Accuracy and results of discriminate analysis.

集群觀察 值個數	預測各組的成員			總 和
	(低, 高)	(高, 低)	(低, 低)	
(低, 高)	8	0	0	8
(高, 低)	1	9	0	10
(低, 低)	0	0	2	2
95.0%個原始組別觀察值已正確分類				

表 13. 判別分析分類結果(S_α, S_β)

Table13. Accuracy and results of discriminate analysis.

集群觀察 值個數	預測各組的成員				總 和
	(低, 低)	(低, 高)	(高, 高)	(高, 低)	
(低, 低)	15	0	0	0	15
(低, 高)	0	3	0	0	3
(高, 高)	0	0	1	0	1
(高, 低)	0	0	0	1	1
100.0%個原始組別觀察值已正確分類					

表 14. ($M_\alpha, M_\beta, S_\alpha, S_\beta$)組合編碼

Table14. Code of ($M_\alpha, M_\beta, S_\alpha, S_\beta$) combination

編碼代碼	組合($M_\alpha, M_\beta, S_\alpha, S_\beta$)
1	(低, 高, 低, 低)
2	(低, 高, 低, 高)
3	(低, 低, 低, 高)
4	(低, 低, 低, 低)
5	(高, 低, 高, 高)
6	(高, 低, 高, 低)

表 15. 判別分析分類結果($M_\alpha, M_\beta, S_\alpha, S_\beta$)

Table15. Accuracy and results of discriminate analysis.

集群觀察 值個數	預測各組的成員						總和
	1	2	3	4	5	6	
1	6	1	0	0	0	0	7
2	0	1	0	0	0	0	1
3	0	0	2	0	0	0	2
4	0	0	0	8	0	0	8
5	0	0	0	0	1	0	1
6	0	0	0	0	0	1	1
95.0%個原始組別觀察值已正確分類							

表 16. 校正係數變異情形(M_α , M_β , S_α , S_β)

Table16. The variation of correction coefficient

分類項目(M_α , M_β , S_α , S_β)	集水區面積 (km^2)	集水區
(低, 低, 低, 低)	176.14	二仁溪南雄橋
	423.98	八掌溪義竹橋
	630.79	新武呂溪
	960.54	烏溪乾峰橋 (宋之光)
		烏溪乾峰橋 (孫振哲)
	1983.03	烏溪大肚橋 (宋之光)
		烏溪大肚橋 (孫振哲)
2234.09	濁水溪彰雲橋	
(低, 高, 低, 低)	114.75	八掌溪軍輝橋
	140.45	二仁溪崇德橋
	199.19	基隆河五堵 (莊智瑋)
	197.29	基隆河五堵 (廖依玲)
	261.12	烏溪溪南橋
	263.42	烏溪南崗大橋
(低, 低, 低, 高)	366.50	濁水溪內茅埔
	408.68	烏溪南北通橋
(低, 高, 低, 高)	96.31	基隆河介壽橋 (莊智瑋)
(高, 低, 高, 高)	37.17	南澳北溪
(高, 低, 高, 低)	11.03	番社坑溪
誤判	96.29	基隆河介壽橋 (廖依玲)

結論

1. 結果發現，校正係數 α 、 β 平均數與標準差以地文資訊為自變項進行判別分析分類，其準確率達 95%至 100%。顯示校正係數之校正量與變異量與集水區地文有顯著關係。
2. 校正係數 α 、 β 高顯示歷線須經模式修正。水源涵養型集水區如南澳北溪與番社坑溪集水區，降雨受入滲之影響，以致校正係數 α 須向上修正。崩塌型集水區如烏溪與八掌溪集水區，上游 M_β 高而中下游

M_β 低，可能因推移質由上游向中下游逐漸沉澱；人為干擾區位如基隆河集水區，易因河道兩旁土地利用棄土及貨櫃受颱風影響阻擋導致河道堰塞，以致校正係數 β 須向上修正。

3. 分析各集水區特性發現標準差雖可由判別分析準確分類，但水源涵養型集水區 S_α 受暴雨事件數量及強度大小影響，日後應用上需注意；濁水溪內茅埔與烏溪南北通橋集水區因地震與颱風暴雨引起單場劇烈崩塌，導致 S_β 高，未來將進一步加入崩塌率進行討論。

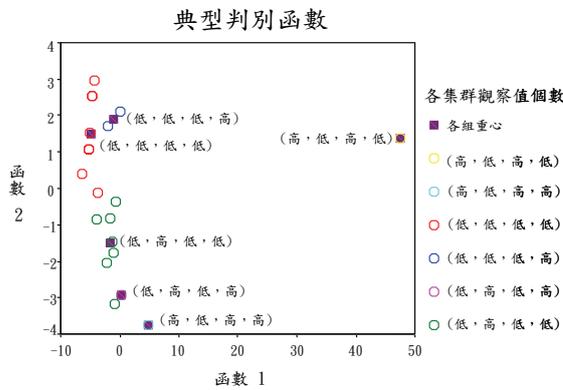


圖 14. 觀測值之分群位置(M_α , M_β , S_α , S_β)

Fig14. Spatial distribution of classified groups.

在模式為清水流之假設下，校正係數 β 須向上修正，可分為暴雨期間崩塌土砂量或人為干擾因素導致。八掌溪軍輝橋、烏溪溪南橋與南崗大橋等上游集水區，可能為暴雨期間產生崩塌，使泥砂量偏高。二仁溪則因泥岩地形易受沖蝕，造成泥沙含量較高。基隆河介壽橋與五堵集水區因上游河道曲折且流速湍急，加上沿岸開發、河道兩岸土地利用棄土及貨櫃受颱風影響阻擋河道，以致河道堰塞。

B. 低

包括水源涵養型集水區以及中下游集水區。水源涵養能力好顯示入滲能力強，而地表逕流為帶動土砂之主要推力，因模式雖為清水流但不考慮入滲情形，以致水源涵養型集水區 β 值須向下修正。中下游集水區因推移質由上游往中下游逐漸沉澱，導致 β 值偏低。

3. S_α

S_α 高屬水源涵養型之南澳北溪集水區與番社坑溪集水區，其校正係數 α 值離散程度大，可能因選取事件過少且降雨強度範圍由 14mm/hr 至 49mm/hr，流量範圍則由 13cms 至 200cms，在模式不考慮土壤含水量與臨前降雨之假設下，暴雨事件除了影響入滲程度，也與校正係數變異相關。

4. S_β

S_β 高包括濁水溪內茅埔、烏溪南北通橋、基隆河介壽橋與南澳北溪等集水區，其校正係數 β 值離散程度大，就南澳北溪而言，可能暴雨事件強度大小差異過大，少數暴雨事件流量過低無法運載泥砂，使 S_β 變異偏高，但南澳北溪 M_α 、 S_α 、 S_β 皆高不排除偶有掩塞之情形。濁水溪內茅埔集水區在賀伯颱風時，發生大量崩塌及嚴重土石流，該場事件 β 校正值較其他事件高，而烏溪南北通橋集水區經九二一地震後土石鬆軟，加上隨之而來的桃芝颱風與納莉颱風引起嚴重崩塌，導致此兩場 β 值較高於其他事件。基隆河介壽橋受土地利用與人為干擾影響，加上暴雨事件強度差異大，導致校正係數 β 離散程度高。

5. 誤判

因廖依玲(2003)校正方式與後續研究不同，故僅採單峰型暴雨 α 、 β 值，可能因此將較大之暴雨事件間接刪除掉，以致分類結果誤判。

4. 判別分析利用校正係數 α 、 β 與集水區地文資訊之相關性，對於辨別 α 、 β 高低及離散情形，提供一簡單迅速之方法。未來可依各集水區特性分別進行討論，以界定校正係數變異範圍及模式適用之區位。

參考文獻

1. 王如意、易任 (1999),「應用水文學」上、下冊，國立編譯館出版。
2. 田倚寧 (2005),「集水區降雨逕流與泥砂產量關係之研究」，國立中興大學水土保持學研究所碩士論文。
3. 宋之光 (2004),「烏溪流域植生復育評估系統與降雨逕流模式建置之研究」，國立中興大學水土保持學研究所碩士論文。
4. 林鶴儒 (2004),「濁水溪流域降雨－逕流模式之建置及其於土石流預警之應用」，國立中興大學水土保持學研究所碩士論文。
5. 孫振哲 (2007),「以網格式合理化法模擬集水區無測站流量歷線之研究」，國立中興大學水土保持學研究所碩士論文。
6. 莊智瑋 (2005),「新武呂溪集水區降雨－逕流模式之研究」，中華水土保持學報，37(4) : 349-362。
7. 莊智瑋 (2005),「基隆河員山子分洪水文效益評估之研究」，國立中興大學水土保持學研究所碩士論文。
8. 陳俊安 (2005),「應用 HEC-HMS 探討水文模式之參數特性」，國立屏東科技大學土木工程學所碩士論文。
9. 廖依玲 (2003),「基隆河流域降雨－逕流模式建置之研究」，國立中興大學水土保持學研究所碩士論文。
10. 劉志宇 (2004),「二仁溪集水區降雨－逕流歷線模式建置之研究」，國立中興大學水土保持學研究所碩士論文。
11. 鍾亦婷 (2005),「網格式合理化法 (GRAPH)應用於八掌溪集水區流量歷線推估之研究」，國立中興大學水土保持學研究所碩士論文。
12. Pao-Shan Yu, Y.C. Wang, C.C. Kuo (2005),「Simulation of Flow Hydrographs at an Ungauged Site in Taiwan using a distributed rainfall-runoff model」，「Department of Hydraulics and Ocean Engineering」 National Cheng Kung University
13. Wen-Chieh Chou(2004),「Development and Application of Grid Rational Algorithm for Predicting Hydrograph (GRAPH) Model」, Department of Soil and Water Conservation National Chung-Hsing University Doctoral Dissertatio

97年03月20日 收稿

97年04月09日 修改

97年05月22日 接受