

遙測與地理資訊系統應用於集水區 水文模擬之技術探討

Technical Study on the Application of Remote Sensing and Geographic Information System to Watershed Hydrologic Modeling

國立臺灣大學農業工程研究所
碩士

衛 強
Wei-Chiang

國立臺灣大學農業工程研究所副教授
水工試驗所副研究員

鄭 克 聲
Ke-Sheng Cheng

摘 要

對於集水區管理單位而言，完備之地文及水文資料乃是管理上最基本以及最重要之依據。如何有效的整合這些基本資料，從蒐集到維護、管理、分析，進而能運用這些資料來模擬、預測管理區域內各項水文單元之操作狀況，在實用上甚具價值。本文以遙測影像處理系統與地理資訊系統，應用於水文模擬作深入之技術探討，期能完整描述空間狀況與水文條件，成爲一有效之水文模擬模式供有關單位實際運用。

本文以北勢溪流集水區爲例，以遙測與地理資訊系統彙整分析集水區內各項地文、水文參數，並依上下游關係聯結各子集水區之網路來模擬整個流域之逕流狀況，同時對產生地文參數過程作較深入之技術探討。網路架構並配合設計之使用者界面，可依使用者需要彈性運用，組合出集水區河道演算、蓄水演算等流況，並可於控制點求得其逕流歷線。本文針對數場實際暴雨事件進行逕流模擬，以檢定流域之地文參數。經檢定結果北勢溪之地文參數 CN 值應介於 50 與 60 之間。本文論述之方法若能進一步分析臺灣其他小型集水區之逕流狀況，並針對個別集水區長短不同延時降雨特性與地文參數加以嚴謹之鑑定，相信對未來臺灣地區集水區水文模擬有相當助益。

關鍵詞：遙測，地理資訊系統，水文模擬。

ABSTRACT

Hydrologic and geomorphologic data are vitally important for a successful watershed management. Integration of these data into a practical and operational usage is an emergent need due to recent technology development in spatial data management and analysis. This study discusses the technical details of integrating spatial data and traditional hydrologic data into a watershed hydrological model.

Using Beh-Shi-Hsi, a small watershed upstream of Fei-Tsuei Reservoir, as an example, we demonstrate that many geomorphologic and hydrologic parameters can be calculated and linked to form a modeling network that assimilating the natural stream network by using remote sensing techniques and geographic information system. Flow hydrographs of several historic storm events were simulated for the purpose of curve number(CN) calibration. The results indicate that CN values suggested by SCS usually leads to overestimation of peak flow rates in the study area.

Keywords: Remote sensing, Geographic information system, Hydrologic modeling.

一、前言

對水資源管理者而言，擁有完善且正確的水文及地文資料，方能針對特定地區進行推估、演算及設計等工作。水文資料多具有時序性，如降雨量、河川流量；而地文參數，如土地利用狀況、地表坡度、坡向等，具有空間分布的特性，不同區域擁有不同地表狀況，而且隨時會因環境之變遷或人為開發等因素而改變。因此必須要對水文記錄及各項地文參數作長期有系統的搜集及整理。尤其這些水文地文資料，數量相當龐大、項目繁多，所以對傳統人工簿記之處理方式而言，在蒐集、保存、更新、或查詢等工作都是相當的困難。

近年來由於電腦科技之不斷進步，帶動地理資訊系統的蓬勃發展，應用於水資源管理操作之研究日益增多。張彥然^[4]（1994）以地理資訊系統輔助來進行集水區之水文模擬，期藉由地理資訊系統整合集水區之各項參數，運用 HEC-1 模式模擬集水區之水文狀況；陳信雄^[5]（1996）等人運用地理資訊系統及遙測技術應用於南投縣台大實驗林集水區之水文模擬；呂建華^[2]（1991）應用遙測與地理資訊系統推求 SCS 法之 CN 值；蘇瑞榮^[1]（1993）等人結合地理資訊

系統與 HEC-1 模式探討集水區降雨逕流之關係。鄭盛宏^[10]（1995）以地理資訊系統輔助，利用集塊與分佈兩種水文模式發展出具有自動化模擬漫地流之介面。WMS^[15]（Watershed Modeling System）為美國 Brigham Young University Engineering Computer Graphics Laboratory 所開發一套整合式集水區水文模擬之商用套裝軟體，使用者可將數位地形模型（Digital Terrain Model, DTM）資料與各項水文及地文參數，利用使用者介面輸入後，系統可自動劃分子集水區與建立流域網路，使用者可針對需要組合流域流況，而快速於定點得到輸出歷線。對集水區管理者而言，實為一項非常便利與快速的管理模式。藉由地理資訊系統的運用，已能將上述的各項資料數位化，儲存在電腦的資料庫中。本文之目的在有系統地整理集水區水文模擬時所應使用適當比例或尺度特性，最後並從實務之觀點，探討台灣地區應用遙測與地理資訊系統於集水區水文模擬之若干技術性問題。

二、研究方法

在進行集水區水文模擬演算前，必須對集水區之水系分布，各子集水區之地文參數與降雨資料作有系統的分析與整理。而集水區水文、地

文參數之分析與整理必須先瞭解集水區水文模擬之各項主要單元之基本理論。故本節中針對水系網路、設計暴雨、地表逕流演算、河道演算與蓄水演算等單元分析及整理其所需之各項水文、地文參數。

(一) 水系網路架構

集水區中地表逕流之流動與其空間變異可以由上下游關係之水系網路描述之。本文集水區水系網路是透過 MIPS (Map and Image Processing System) 影像處理系統劃分子集水區之結果，依上下游關係予以完整的描述。MIPS 系統可將 DTM 資料引入成影像檔，藉由影像處理技術，首先產生流域的坡度、坡向、等高線圖等資料。由於本研究中重點在於山區逕流演算模擬，故首先需劃分山區逕流模擬區與平地之邊界。此邊界應是地形坡度有明顯變化之處，故可參考流域之坡度、坡向、等高線等影像，再對照兩萬五千分之一及五千分之一之地形圖，利用坡度變化明顯與等高線密集的地方，決定山區逕流模擬區與平地之邊界。邊界確立後，依實際水系分布決定山區逕流模擬區之子集水區面積門檻值。MIPS 系統之集水區分析 (Watershed Analysis) 功能可利用 DTM 資料產生水系的網絡流向，累積流量網絡數量，並依據預設之子集水區面積門檻值自動劃分集水區。經過不同子集水區面積門檻值之測試，

選擇與實際水系分佈狀況吻合之子集水區劃分結果。將最後結果與先前產生山區與平地邊界套配，完成各子集水區劃分之工作。本文即以此網路架構方式描述集水區之水系分布。

(二) 設計暴雨

設計暴雨事件之逕流模擬是針對子集水區之地文特性，模擬其在特定重現期距與降雨延時之暴雨事件發生時所產生之逕流歷線。設計暴雨事件之重要參數為其特定重現期距、延時之降雨深度及雨型。設計暴雨深度一般可經由水文頻率分析求得，如許銘熙等人^[6](1993)曾針對台灣地區各雨量站建立其設計暴雨強度-延時-重現期距之關係。設計暴雨雨型代表總降雨深度在整個降雨延時過程中之時間分布。雨型特性因延時而異，長延時降雨事件其尖峰降雨量出現時間往往較短延時延後，且其佔總降雨量之比重亦較短延時事件略低，以本文研究區域內之坪林及碧湖站為例，其長短延時之雨型分別如圖 1 及圖 2 所示。

(三) 地表逕流演算

本研究採用之地表逕流模式是美國土壤保持局 (Soil Conservation Services, SCS) 的三角形單位歷線法，以下簡稱 SCS 法。此法之單位歷線如由圖 3 所示。

$$T_p = 0.5 * \Delta t + T_{lag} \dots\dots\dots(1)$$

T_{lag} 為稽延時間 (lag time) ，一般採用^[13]

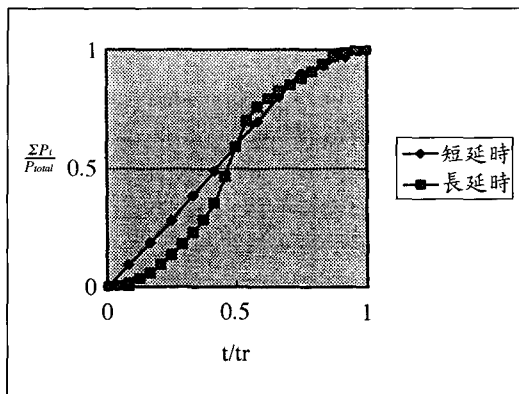


圖 1 坪林站長短延時雨型分布圖

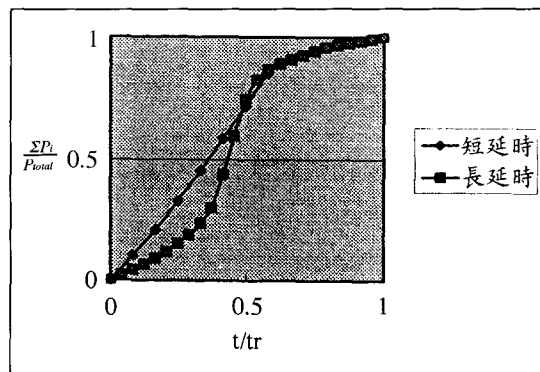


圖 2 碧湖站長短延時雨型分布圖

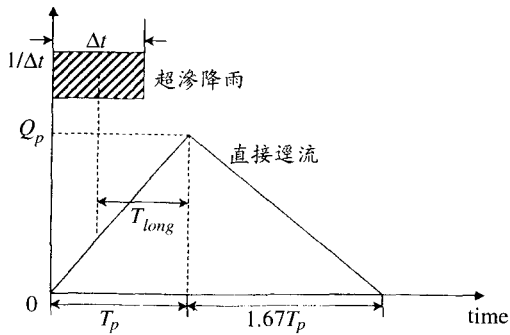


圖 3 SCS 三角形單位歷線法

$$T_{lag} = 0.6T_c \dots\dots\dots (2)$$

若集流時間已知，將(2)式代入(1)式中可得 T_p 。經推導可得單位歷線之洪峰流量

$$Q_p = \frac{484A}{T_p} \dots\dots\dots (3)$$

其中 T_p 洪峰到達的時間(小時)
 Δt 為降雨之延時(小時)
 Q_p 是洪水之尖峰流量 (cfs)
 A 指的是集水區之面積(平方英尺)

若演算採公制單位，則

$$Q_p = \frac{5.35A}{T_p} \dots\dots\dots (4)$$

其中，分別以 cms 及 km^2 為單位。若單位歷線以 $U(t)$ 表示，則配合總降雨量在降雨延時內之分布 $I(\tau)$ ，經褶合積分 (convolution integral) 可得直接逕流歷線 $Q(t)$ 。

$$Q(t) = \int_0^t I(\tau)U(t-\tau)d\tau \dots\dots\dots (5)$$

在 SCS 法中重要之兩個參數為 CN 值 (curve number) 與集流時間之估算。其中 CN 值係將總降雨深度轉換為有效降雨深度或直接逕流體積，並配合實際降雨記錄或設計暴雨雨型，計算得實際暴雨或設計暴雨事件之有效降雨量時間分布。集流時間則直接影響洪峰流量及洪

峰出現時間。本研究 CN 值的推估方法是藉由 DTM 資料分割之子集水區範圍內之土地利用圖與土系圖，經 ARC/INFO 地理資訊系統套疊之後，取聯集結果加上面積權重累加而得，其詳細的計算過程將於技術探討乙節中敘述。

集流時間有數種定義，一般水文教科書定義為水流由集水區最遠處流到集水區出口所需的時間，或是逕流歷線上降雨結束至退水曲線反曲點所需時間。而各種計算集流時間方法所需之參數整理如表 1。其中 SCS 計算集流時間方法是將地表逕流分為薄層流 (sheet flow)、淺層流 (shallow concentrated flow) 及明渠流 (open channel flow) 三個階段。此三個時段水流之移動時間總和即為集流時間。而應用 SCS 時必須滿足集流時間大於降雨延時之假設，在一般社區開發案評估地表逕流時，集流時間往往為幾十分鐘或更短，明顯較降雨延時為短，因此應用 SCS 三角型單位歷線以推估小集水區流量對演算時距需審慎決定。

其他集流時間之計算式^[12]如下：

1. The Carter lag equation for partially sewered watersheds.

$$t_c = 100 L_m^{0.6} S_m^{-0.3} \dots\dots\dots (6)$$

t_c : 集流時間 (分鐘)
 L_m : 河道長度 (英尺)
 S_m : 河道坡度

表 1 不同計算集流時間方法所需參數列表

Carter lag equation	河道長度，河道坡度
Eagleson lag model	水力長度，曼寧常數，主河道滿流時之水力半徑主流河道坡度
Federal Aviation Agency equation	合理化公式逕流係數，逕流路徑長度，坡度
Kerby-Hathaway formula	曼寧常數，集水區內最遠點與集水區出口點長度河道坡度
Kirpich's methods	渠道長度，渠道坡度
SCS lag formula	集水區長度，集水區坡度
The Van Sickle equation	集水區長度，集水區坡度

應用此法計算集流時間其流域面積須小於 8 平方英哩，河道長度短於 7 英哩，河道坡度小於 2%，同時曼寧常數應介於 0.013 與 0.025 之間。

2. The Eagleson lag model

$$t_c = 0.0111 L_f n R_h^{-2/3} S_f^{-1/2} \dots\dots\dots (7)$$

- t_c : 集流時間 (分鐘)
- L_f : 水力長度 (英呎)
- n : 曼寧常數
- R_h : 主河道滿流時之水力半徑 (英呎)
- S_f : 主流河道坡度

3. Federal Aviation Agency equation

$$t_c = 1.8(1.1 - C) L^{0.5} S^{-0.333} \dots\dots\dots (8)$$

- t_c : 集流時間 (分鐘)
- C : 合理化公式逕流係數
- L : 逕流路徑長度 (英呎)
- S : 逕流路徑坡度

4. Kerby-Hathaway formula

$$t_c = 0.83 \left(\frac{nL}{S^{0.5}} \right)^{0.47} \dots\dots\dots (9)$$

- t_c : 集流時間 (分鐘)
- n : 曼寧常數
- L : 集水區內最遠點與集水區出口點間之長度 (英呎)
- S : 河道坡度

應用此法計算集流時間集水區面積須小於 10 英畝，河道坡度小於 1%，曼寧常數不大於 0.8。

5. Kirpich's methods

$$t_c = 0.0013 L_c^{0.77} S_c^{-0.5}$$

(分析美國賓州之經驗式)..... (10)

$$t_c = 0.0078 L_c^{0.77} S_c^{-0.385}$$

(分析美國田納西州之經驗式)..... (11)

- t_c : 集流時間 (分鐘)
- L_c : 渠道長度 (英呎)
- S_c : 渠道坡度

應用田納西州之經驗式集水區的面積須不超過 112 英畝，河道坡度應界於 3% 至 10% 之間。若河道為混凝土內面工或漫地流路徑時，上式的集流時間應分別乘上 0.2 與 0.4 予以調整。

6. The SCS lag formula

$$t_c = 0.00526 L^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} S^{-0.5} \dots\dots (12)$$

- t_c : 集流時間 (分鐘)
- L : 集水區長度 (英呎)
- CN : SCS 法 Curve Number 值
- S : 集水區坡度

7. The Van Sickle equation

$$t_c = 0.55 \left(\frac{L_t L_m}{\sqrt{S_f}} \right)^{0.13} \dots\dots\dots (13)$$

- t_c : 集流時間 (分鐘)
- L_t : 所有直徑大於 36 英吋之排水道總長度 (英哩)
- L_m : 集水區長度 (英哩)
- S_f : 集水區坡度

應用此法時集水區面積應小於 36 平方英哩。

(四) 河道演算

本文模擬河道演算則採馬斯金更法 (Muskingum method) [11]。馬斯金更法假定洪水來臨時河川蓄水分為稜形蓄水與楔形蓄水兩部份，其總蓄水量為

$$S = KO + Kx(I - O) = K[xI + (1-x)O] \dots (14)$$

其中， S 為總蓄水量， I 為入流量， O 為出流量， K 蓄水常數，為加權蓄水量與流量關係圖斜率之倒數。 x 無因次參數，為入流量與出流量之加權衡量。

水文方程式 $I - O = \Delta S / \Delta t$ 與(14)式聯立考慮演算時間 Δt 之變化量，可推得經河道演算後之出流量為

$$O_{t+\Delta t} = C_0 I_{t+\Delta t} + C_1 I_t + C_2 O_t \dots\dots (15)$$

C_0, C_1, C_2 為 $K, x, \Delta t$ 之函數，且 $C_0 + C_1 + C_2 = 1.0$ 。

(五) 水庫演算

本文水庫演算採修正 Puls 法^[1]。在演算之前需具備水庫性能曲線，如水位標高-流量曲線，標高-蓄水量曲線，水庫面積-水位標高曲線，且須知悉或預測水庫入流歷線)。對水庫演算而言不需考慮洪水之楔形蓄水(即假設自由溢洪)，則水文方程式可改寫為

$$\frac{1}{2}(I_t + I_{t+\Delta t}) - \frac{1}{2}(O_t + O_{t+\Delta t}) = \frac{(S_{t+\Delta t} - S_t)}{\Delta t} \dots (16)$$

$$\text{即 } (I_t + I_{t+\Delta t}) + \left(2 \frac{S_t}{\Delta t} - O_t \right) = \left(2 \frac{S_{t+\Delta t}}{\Delta t} - O_{t+\Delta t} \right) \dots (17)$$

式中 $I_t, I_{t+\Delta t}$ 為演算前後之入流量

$O_t, O_{t+\Delta t}$ 為演算前後之出流量

$S_t, S_{t+\Delta t}$ 為演算前後之蓄水量

$\left(2 \frac{S_{t+\Delta t}}{\Delta t} - O_{t+\Delta t} \right) \sim O_{t+\Delta t}$ 之關係曲線稱為

水庫之蓄水指示曲線 (storage indication curve) 可由前述之各項水庫性能曲線計算而得。

以上各小節說明本文研究集水區模擬所應用到之理論，而實際模擬時所須具備之資料整理如表 2。

三、技術探討

(一) 設計暴雨之延時與雨型

選擇設計暴雨之延時應考慮研究區域內真實暴雨延時之統計特性。傳統上對逕流模擬有採用 48 小時甚至 72 小時設計暴雨延時者，以實際年最大暴雨事件延時之統計特性觀之，採用 72 小時延時之設計延時並不適宜。故結合地理資訊系統與水文模式時，必須針對各個子集水區建立其設計暴雨量之屬性，而此設計暴雨量可因不同重現期距而異，但其設計延時對長延時事件而言，則建議以 24 小時為準。另外亦需針對長短延時事件，地理資訊系統中針對集水區建立其無因次設計暴雨雨型之屬性資料，如圖 1 及圖 2。

表 2 集水區水文模擬基本資料需求表

項 目	格 式	用 途
水文資料		
降雨量資料		雨量頻率分析
時雨量記錄		雨型分析
歷史事件流量記錄		驗證模擬逕流結果
河川基流量		逕流歷線分析分離基流量
地文資料		
DTM 數值高程資料	1/5000 XYZ 型式	供影像處理劃分子集區與產生地文參數
河道斷面資料		河道演算與渠流逕流演算
堰或蓄水庫係數		蓄水演算
相片基本圖	1/5,000	模擬研究範圍界定
地形圖	1/25,000	輔助影像處理系統水系判定及建立水系網路
河川流域圖	1/250,000	
地理資訊系統數化圖層		
土地利用圖	1/5,000	界定 HEC-1 水文模式 CN 值
土壤分佈圖	1/25,000	界定 HEC-1 水文模式 CN 值
全省水系數化圖	1/250,000	套疊主題圖層

(二) 集水區邊界之產生

進行集水區逕流演算前需知悉集水區地文參數如流域面積、河道長度與坡度等參數，以及集水區內各子集水區依上下游關係所建立之水系網路架構。本文分析之步驟是先以撰寫之程式將集水區及臨近週邊地區之 DTM 資料接合完成，並由 MIPS 影像處理系統轉成影像資料。其次藉由影像處理之技術將接合 DTM 資料產生研究區域等高線影像圖、坡度影像圖，並由兩者之疊合圖對照地形圖空間變異決定山區集水區與平地之邊界。由於 DTM 數值高程資料記錄地表高程之變化，經對照地形圖實際水系分佈，證明 DTM 資料明顯反應地表高程變異，如堤防、高速公路路堤等在 DTM 灰階影像上均清晰可見，因此以 DTM 資料劃分集水區實為一相當準確之方法。

(三) 子集水區地文參數之產生

上節說明 DTM 影像資料可真實反應地表高程變異，因此對天然河道之幾何特性也可直接由影像求出。在對照地形圖實際之水系分佈後，可從影像上以分段方式記錄其位置與高程，由河道上游依次往下游計算，即可求得該河段總長與平均坡度。水系主次支流分佈可依不同逕流演算方法加以區別。如地表逕流採用運動波法模擬，子集水區之地表逕流流況就須區分為漫地流(overland flow)、集流渠段(collector channel flow)與主流河段(main channel flow)。以運動波法為例，在集流渠段與漫地流須依一些經驗判斷，選擇此子集水區內較具代表性的河段來加以模擬。運動波演算所需之地文參數在漫地流部份包括漫地流長度、坡度、粗糙係數與 SCS 曲線值；渠道流部份包括渠道長度、坡度、控制面積、斷面形狀、粗糙係數等。應用 MIPS 影像系統處理可以對模擬研究區域接合之 DTM 影像圖，展示已完成子集水區分區結果，並直接讀取原始 DTM 高程資料，針對個別子集水區將水系河道高程自上游往下游集水區出口分段記錄其高程及其在影像上之相對位置，將各分段位置點間之長度累加即可得河道段之總長。而平均坡度則可

依記錄點描繪之河道斷面圖依勞倫生法^[1] (Laurenson method) 求得，也可計算分段之坡度以泰勒及施瓦茲式法 (Taylor & Schwarz method) 推算或參考河道實際變化程度以直線迴歸法求得。個別子集水區之面積在進行集水區分析時即已自動記錄於資料表中，若子集水區分區結果曾經以向量分析編輯功能 (vector-editing analysis) 予以更動，則可利用螢幕求積功能直接在螢幕上將欲測量區域點選其外圍邊界即可求得。至於渠道內之粗糙係數與控制斷面(如渠寬)等參數除參考地形圖予以粗略估計外，亦需至現地實測。勘查以做較精確之估算，再將之建立於地理資訊系統中該河段之屬性參數中。如地表逕流以前述 SCS 方法模擬，在計算集流時間時就須將水系以薄層流、淺層流、明渠流加以描述。而薄層流與淺層流從影像上區分仍須一些經驗判斷，對一般的子集水區而言，薄層流段與淺層流段長度總和可從影像上子集水區最上游之分水嶺(即上節所述劃分子集水區之邊界)與明顯河道最上游間之距離。SCS 方法建議薄層流之長度以 300 英尺為上限。

(四) CN 值之推估

本研究中推估 CN 值是將子集水區之土地利用圖與土壤資料圖經 ARC/INFO 套疊之後，取聯集結果加上面積權重累加而得。其詳細流程如圖 4。其中土地利用圖資料取自臺灣省林務局農林航測所五千分之一相片基本圖數化而得，而農航所之土地利用分類是以四位數字作為判識之代號，第一位數為山坡地類別，第二位數表示植生或作物類別，第三、四位數代表更細部之土地利用類型。但是本研究中主要是依據地表覆蓋型態來定義 CN 值，因此將農航所分類的狀況合併為旱作、水稻、林地、灌木、草地、水體、建地、及荒地八類，一方面可使土地利用狀況單純化，另一方面在 GIS 處理合併相同類型之資料可以簡化資料量。土壤資料之取自臺灣省農林廳山地農牧局兩萬五千分之一基本圖，其土系之分佈狀況，是根據該土系中文名稱之羅馬拼音取其中三個字

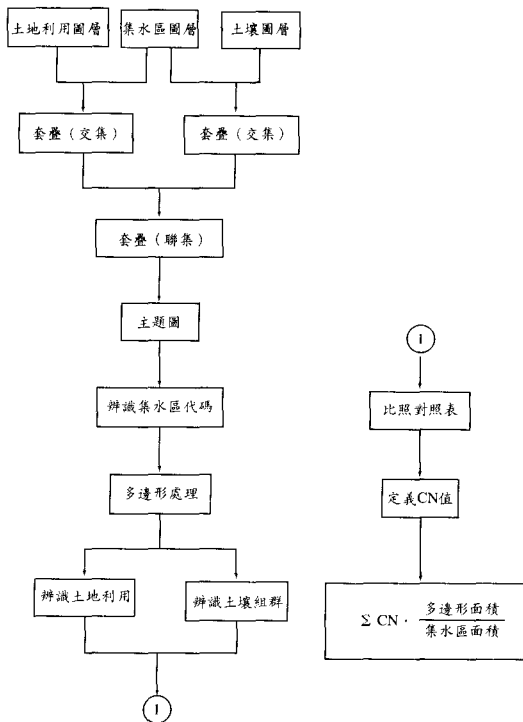


圖 4 CN 值產生流程

母，並依大小寫之不同來作為判別代碼；但 SCS 方法只將土壤分成 A、B、C、D 四類，因此將前述農林廳之資料與 SCS 土壤特性做出一對照表，將其土壤資料歸入四類土壤特性之中。對於本研究使用者介面而言，此處之對照判識過程目前必需以人工判識其套疊完成後主題圖內之土地利用與土壤族群，再藉對照表完成單一多邊形 CN 值之判別。臨前土壤水分狀況採常用的 AMC-II 狀況。

(五) 使用者介面

本文研究所開發介面是架構在 ARC/INFO 中，主要考量是結合地理資訊系統處理空間圖層與其可外掛其他程式之彈性。介面以 SML 巨集語言撰寫，並由介面連結自行撰寫的水文模式與繪圖程式。

介面主選單畫面包含六個部份：

1. 展示流域不同圖層之圖徵

2. 水文模式資料檔名路徑之輸入
3. 水文模式選項
4. 特定流量站歷線展示
5. 相關屬性資料之查詢與修改
6. 線上使用說明

次選單畫面：

1. 展示流域不同圖層之圖徵：

將已經數化好處理過之圖層展示，以利使用者了解集水區之地文及水文概況，而變遷後之土地利用，此資料必需由使用者自行數化完成。
2. 水文模式資料檔名路徑之輸入：

使用者將降雨資料與地文參數資料檔分別由此選項輸入，而改變後的新地文資料檔可由一般文書編輯器更新後輸入。
3. 水文模式選項：

本選項將提供使用者自行設計本集水區之網路設計，首先背景將出現流域子集水區劃分以及河流分佈圖及區域代碼，供使用者參考將如何設計模擬之網路。
4. 出流歷線展示：

將經水文模式計算後的出流量資料以自行設計的繪圖程式繪出。
5. 相關屬性資料之查詢及修改：

提供使用者查詢集水區內各個相關之地文參數，並允許使用者修改其屬性資料，以便從事土地變遷後之演算。
6. 線上使用說明：

以扼要的說明文字，輔助使用者如何容易使用本介面。

介面之設計目的將地理資訊系統及水文模式結合，力求簡易、清晰之原則。在主選單之下，以子選單選項連接各項功能，並提供線上使用說明易於使用者查詢。目前介面以中文化之面貌出現，基於人性化之考量來設計，讓使用者能透過使用說明迅速熟悉本介面，同時減少溝通上之不便。模組化程式設計之概念，就是將集水區各個逕流演算位視為一個獨立的模組，視使用者如何的將各模組以一有系統，物理意義的網路架構將各模組加以聯結，而求得某一特定點之輸出歷

線。因此在執行水文模式時，系統首先將顯示研究地區之集水區圖層與其個別代碼，此時控制權將由使用者去定義所需之網路架構。此項輸入之控制碼為使用方便起見，有一簡易之符號規則，以模擬模組化 HEC-1 之水文模式，在本介面中使用者最大可以定義 100 個時間演算間隔。

四、研究區域概況及資料蒐集整理

(一) 研究區域地理環境概況

本研究所選定之區域為新店溪上游，即翡翠水庫上游集水區，本區屬於北勢溪流域。北勢溪總長約 56.2 km，集水區面積約 309.9 平方公里，分佈於北部山區，各源頭之海拔高度不超過 1000 M，年雨量約 3,500 公厘，年平均逕流量約 776×10^6 立方公尺（民國 42 至 71 年資料），相關水文及雨量資料由臺灣省水利處、翡翠水庫管理局、台電電源探勘隊、台北水源特定區管理委員會（以下簡稱水管會）、及中央氣象局等單位記錄。在雨量測站分布方面，台北縣翡翠水庫管理局於翡翠、碧湖、九芎根、十二股、坪林、太平設置六站，水利局在坪林及碧湖設測站兩站；在流量站分布方面，翡翠水庫管理局於坪林、鱸魚堀、翡翠設置三站，而水管會在坪林、大林、闊瀨設置三站^[7]。

本區域內土壤之分佈，區內國有林地面積約有 13,241.5 公頃^[8]，其中造林地和天然林地佔了九成以上的比例。在土壤狀況方面，本區土壤大多是屬於土壤族群 C，入滲率不高。

(二) 資料蒐集及整理

要在 GIS 的架構上建立水文資料庫，基本資料的蒐集是最基本及最重要的工作。關於本研究區域北勢流域而言，最重要的是土地利用資料、地表高程資料、土壤資料以及水文資料。目前以搜集及整理之資料逐項敘述如後。

1. 土地利用資料

本研究之土地利用資料取得即緣於此，並經台大地理系將資料轉成 ARC/INFO 之圖層檔案，每一圖層範圍為五千分之一，相片基本圖之範圍，資料檔之空間解析度已足夠，但是該調查

中有相當多在北勢溪流域之外之區域，其中包含了平地、國有林、試驗林、保安林等，佔本研究區域約 46% 之面積，剩下之部份由台大農工系遙測水文與空間模式研究室數化補遺完成。而農航所之土地利用分類^[3]是以四位數字作為判識之代號，第一位數為山坡地類別，第二位數表示植生或作物類別，第三、四位數代表更細部之土地利用類型。但是本研究中主要是依據地表覆蓋型態來定義 CN 值，因此將農航所分類的狀況合併為旱作、水稻、林地、灌木、草地、水體、建地、及荒地八類，一方面可使土地利用狀況單純化，另一方面在 GIS 處理合併相同類型之資料可以簡化資料量。

2. 土壤資料

本區土壤資料之取得是台灣省農林廳山地農牧局所作之調查^[9]，其資料之比例尺為兩萬五千分之一，其土系之分佈狀況，是根據該土系中文名稱之羅馬拼音取其中三個字母，並依大小寫之不同來作為判別代碼；但本文中逕流演算是採 SCS 方法，只將土壤分成 A、B、C、D 四類，因此將前述農林廳之資料與 SCS 土壤特性做出一對照表，將其土壤資料歸入四類土壤特性之中。對於本自動化介面而言，此處之對照判識過程是個不易克服之問題，目前必需以人工判識其套疊完成後主題圖內之土地利用與土壤族群，再藉對照表完成單一多邊形 CN 值之判別。

3. 地表高程資料

資料取得於國立中央大學太空遙測中心，解析度為 40m × 40 m，也就是每四十公尺取一高程資料，資料格式為三維卡氏坐標(X,Y,Z)，檔案大小是以一五千分之一的相片基本圖為範圍，因此整個北勢溪流域合成之全區 DTM 圖是經由計算機程式設定執行，可將各檔案依其座標關係合併成一矩形網格，以利 MIPS 進行計算北勢溪流域高程、坡度、坡向等如圖 5 至圖 6。

4. 水文資料

水文資料主要是雨量資料與流量資料。本



圖 5 北勢溪流域 DTM 接合影像圖



圖 6 北勢溪流域 DTM 接合影像坡度圖

文選用了五場歷史事件來做模擬，因此降雨資料配合土地利用調查時間，選用了民國七十八年到八十年之間的暴雨事件作模擬，資料取自於台灣省水利處第十工程處在碧湖、坪林兩雨量站之資料。而同一時間之流量記錄是選用台北水源特定區管理委員會之小時流量記錄，以作為驗證。此五場暴雨之起迄時間如下：

- (1) 79年6月1日13時至6月1日2時
- (2) 79年7月9日6時至9月10日18時
- (3) 79年8月29日14時至8月31日1時
- (4) 79年9月3日9時至9月4日9時
- (5) 79年9月6日19時至9月9日17時

五、模擬結果與討論

(一) 主題圖與參數之產生

本研究之資料庫建立在 ARC/INFO 上，但是對於網格式資料如 DTM 資料則是經由 MIPS 處理分析後，再轉入 ARC/INFO 之檔案格式以供 INFO 資料庫子系統運作。

表 3 本研究區域土地利用與土壤族群對 CN 值對照表

	土壤族群 A	土壤族群 B	土壤族群 C	土壤族群 D
旱作	57	73	82	86
水稻	60	71	78	81
林地	45	66	77	83
灌木	48	67	77	83
草地	68	79	86	89
水體	100	100	100	100
建地	59	74	82	86
荒地	77	86	91	94

1. 主題圖之產生

為了求得 CN 值，由資料庫中辨識各子集水區之土地利用及土壤狀況為首要工作。因此由 DTM 劃分成十二個子集水區後，先產生集水區邊界之向量圖層，並與接合後之土地利用圖及土壤圖以交集方式分別套疊，以得到流域中之土地利用及土壤圖，再將兩者以聯集之方式套疊，即為流域中地表覆蓋之主題圖；再經過刪除不須要之狹長多邊形後，每一子集水區之代碼、土地利用分類、土壤族群等資料即可得到。經過 MIPS 處理後之 DTM 資料，如坡度、坡向、高程等一併加入 ARC/INFO 之資料庫中。

2. 參數之產生

由於主題圖經過反覆之套疊，多邊形數目多達八千多個，無法一一輸入每個多邊形個別之 CN 值，因此運用前述農林航測所計畫之八類土地利用劃分，及四類土壤組成之劃分，依 SCS 方法定義出對照表（如表 3），使資料庫比對對照表去定義各個子集水區之 CN 值。但在水文模擬之過程中，是以各個子集水區為演算之單元（模組），所以經過對照表所得出之個別多邊形，依其相對於其子集水區之面積權重之關係加計算。此外在計算各子集水區之集流時間所需之渠道坡度、長度、等因子乃是取至於轉換進 ARC/INFO 之水系圖層，其他如曼寧常數，渠道代表斷面等參數乃是現場調查之估計值，此部份參數亦建立在水系分區圖之資料庫中，使用者日後可以根據最新探勘結果，與更周密之考量於介面中加以修正。目前各子集水區地文參數之屬性如表 4。

表 4 各子集水區屬性及地文參數 (資料來源：張彥然，1994)

集水區編號	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
面積(平方公里)	29.1	47.3	10.1	29.4	37.8	1.9	12.6	24.2	38.5	27.5
平均 CN 值	76.3	73.7	74	74.6	77.8	80.2	71.9	73.3	70.4	71.1
集流時間(小時)	3.5	4.5	2	4	4.5	0.5	2.3	3.8	3.6	3.3
粗糙係數	0.19	0.2	0.21	0.2	0.2	0.19	0.18	0.19	0.2	0.2
河道長(公里)	8.7	13.9	2.5	11.3	20.7	1.5	7.6	10.4	8.8	8.8
河道平均坡度	0.017	0.008	0.012	0.21	0.004	0.008	0.008	0.34	0.046	0.064
河道之粗糙係數	0.063	0.066	0.061	0.67	0.075	0.065	0.072	0.077	0.072	0.072

(二) 北勢溪流域網路模擬

本研究以模組化網路設計概念模擬北勢溪之水文歷程，由使用者介面中輸入網路之架構，以資料檔傳入水文模式中。水文模式之固定格式輸入檔採降雨資料及地文參數資料分開處理原則，因後者在環境影響評估時，各子集水區需重新劃分，而前者之資料需保持不變。在模擬流域網路之前必須先將輸入資料備便，對於環境變遷之網路設計，主要是針對其開發地區之出口，作歷線輸出，此數據可以提供決策單位或是施工單位作參考，是否須要作水質水量之進一步處理（例如滯流池之採行）。而變遷之後相關集水區重劃後地文參數產生之流程，如同上節所述，此不再贅述。

本區之集水區網路模擬如圖 7，在坪林附近有一攔河堰，而此蓄水效應參考地形圖後加入考量，而在其攔河堰上下游之間的蓄水假設相當小，故不列入程式演算中。

(三) 使用者介面之輸出成果

本研究使用者介面之部份輸出成果如圖 8 至圖 11。其中圖 8 為此使用者介面之主選單畫面，使用者可從此畫面選取欲執行之功能，圖 9 為展示土壤主題層處理後之結果，其中每一多邊形即代表不同種類土壤之分佈狀況。圖 10 顯示模組化網路模擬架構選單之功能，圖 11 展示經由自行設計地表逕流模式執行所得之歷線圖。

(四) 水文模擬之結果與討論

對民國七十九年六月至九月五場暴雨事件，其部份模擬結果如圖 12。模擬歷線與實際歷線之趨勢大致相同，且尖峰流量發生趨勢與該集水區之降雨趨勢很接近，說明了本區之降

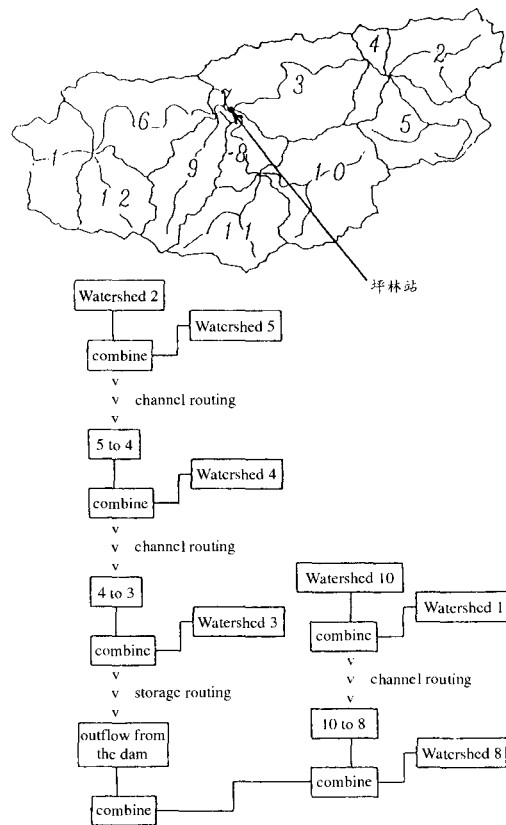


圖 7 北勢溪流域集水區網路

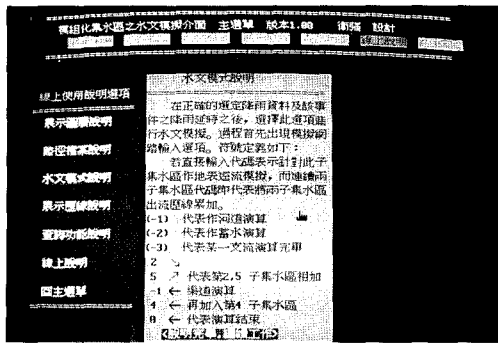


圖 8 使用者介面照片圖—主選單

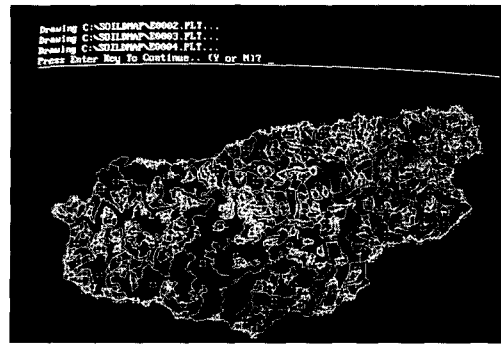


圖 9 使用者介面照片圖—展示圖層

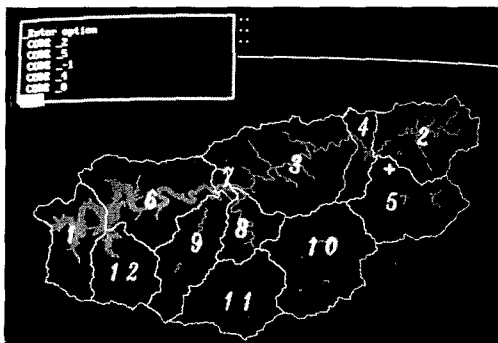


圖 10 使用者介面照片圖—模組化網路模擬

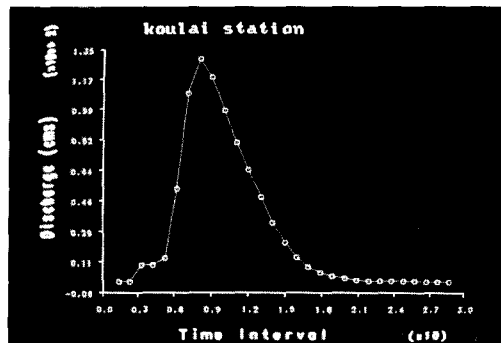


圖 11 使用者介面照片圖—展示出流歷線

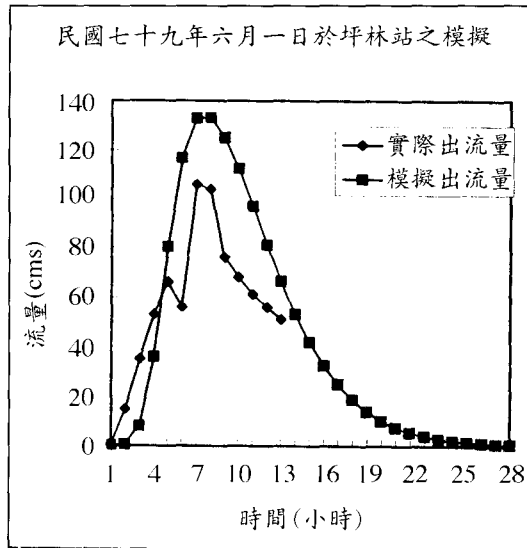


圖 12 模擬出流量與實際出流量之結果

雨情況可以反應至地表逕流狀況。經分離基流並計算實際逕流體積與降雨總體積關係而對坪林橋之實測尖峰流量與推估之尖峰流量加以比較結果如圖 13。經分析結果，北勢溪上游地文

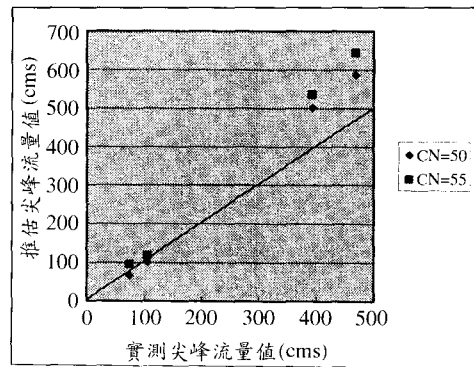


圖 13 坪林站暴雨驗證事件實測與推估尖峰流量比較圖

參數 CN 值應介於 50 與 60 之間其模擬結果與實際逕流較為接近。根據 SCS 方法對於 C 類土壤組成，林地 CN 值定義為 77，但是根據現地勘查結果認為應該低於此值，此項因素影響到降雨逕流之演算。而本文研究結果也確實顯示該值應予調低。目前 CN 值之估算完全採用 SCS 之方法，對於國內水文狀況是否完全適用，早已為學者所爭議。國內此方面之研究尚不多，僅如呂建華結合遙測與地理資訊系統方法推求 CN 值，因此仍有待進一步之探討與評估。

六、結 論

1. 以地理資訊系統所架構出之半分佈水文模式，對此系統兼顧輸入、輸出之關係，對於子集水區中之地表狀況，則以多邊形代表地表覆蓋相對於集水區面積權重關係來描述，由此架構出本區之網路，經本文模擬結果，確實能描述實際的逕流狀況。
2. 本研究採用美國水土保持局之標準無因次單位歷線，然而臺灣之地理及水文特性異於美國，如能仿照其作法，分析臺灣各集水區而定出一適於臺灣地區之無因次單位歷線，同時 CN 值亦能針對臺灣地區不同集水區內之土地利用等地文狀況作修正，訂定一適用於臺灣地區之 CN 值對照表，相信未來對後續研究上必有極大之助益。
3. 本文嘗試以結合遙測地理資訊系統與水文模式的使用者界面模擬集水區之地表逕流，目前已獲得初步之成果。結果顯示以 DTM 資料結合遙測、GIS 及水文模擬，確實可建立河川網路，並進行水文模擬，惟應於 GIS 屬性中建立相關之水文、地文參數。

七、參考文獻

1. 王如意、易任「應用水文學上、下冊」，上冊 p132-133，下冊 p15-18、p33-36，茂昌圖書有限公司，1991。
2. 呂建華，「應用遙測與地理資訊系統推求 SCS 曲線值」，中華水土保持學報，第 22 卷第 2 期，1991。

3. 林務局農林航空測量所，「臺灣地區山坡地土地可利用限度與土地利用現況調查報告（上）」，臺灣省林務局農林航測所叢刊第 66 號，1988。
4. 張彥然，「地理資訊系統輔助之水文模擬」，碩士論文，國立臺灣大學農業工程研究所，1994。
5. 陳信雄，「地理資訊系統系統及遙測於集水區水文模擬上之應用」，國立臺灣大學農學院實驗林研究報告，第 10 卷第 4 期，p77~93，1996。
6. 許銘熙，「台灣地區降雨量與延時特性分析」，台灣大學水工試驗所，經濟部水資會 82 科技 17 第一〇五號，1993。
7. 臺北水源特定區管理委員會，「臺北水源特定區水理整體觀測作業計畫」，1993。
8. 臺北水源特定區管理委員會，「臺北水源特定區水質水量保護計畫-土地使用分區分級管制之研究」，1993。
9. 臺灣省政府農林廳山地農牧局，「基隆市暨臺北市山坡地土壤調查報告」，1986。
10. 鄭盛宏，「地理資訊系統於自動化漫地流水文模擬之應用」，碩士論文，國立中興大學土木研究所，1995。
11. 蘇瑞榮、吳輝龍、鄭皆達，「結合地理資訊系統與 HEC-1 模式探討集水區降雨逕流之關係」，中華水土保持學報第 25 卷第 1 期，p75~85，1993。
12. Richard H. McCuen, Hydrologic Analysis and Design, Prentice-Hall, Inc. 2nd Edition, p151-154, 1989.
13. Soil Conservation Service, National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, p7.6-7.26, USDA-SCS, Washington, D.C., 1972.
14. U.S. Army Corps of Engineers, HEC-1 Flood Hydrograph Package User's Manual, p24, 1990.
15. WMS (Watershed Modeling System) 5.0 Manual, Brigham Young University Engineering Computer Graphics Laboratory, 1997.

收稿日期：民國 87 年 6 月 2 日

接受日期：民國 87 年 6 月 12 日