

空間分析在土石流發生潛勢研討之應用 -以陳有蘭溪爲例

Application of Spatial Analysis on Debris Flow Potential Study - A Case Study of Chen-Yu-Lan Creek Watershed

國立台灣大學農業工程系教授

蘇明道

MingDaw Su

國立台灣大學農業工程系學士

王元愷

Yuan-Kai Wang

國立台灣大學農業工程系 學士

劉哲欣

Jer-Shing Liou

國立台灣大學農業工程系 研究生

林俊宏

ChunHung Lin

摘 要

地理資訊系統 (GIS) 內之網格資料不同於一般習見之向量格式, 是以矩陣表示一連續平面上之各項圖徵, 適於用來表示空間中如土壤物化性質、地形等連續變化之自然特徵; 空間分析則是利用網格結構模擬自然分佈地理資料複雜之實際狀況並進行分析, 進而從中擷取相關資訊, 達到輔助空間決策之目的。本研究利用 GIS 中網格資料空間分析能力, 探討由數值地形 (DTM) 資料分析推求河川分佈特性並判定溪流發生土石流之危險程度的可行性, 文中以南投地區陳有蘭溪流域爲研討對象, 由陳有蘭溪流域之數值地形資料建立該區域之河川分佈狀況及集水分區, 再以集水面積、河川長度、河川坡度三項基本地形因子判斷土石流危險溪流, 並經由空間分析建立流域內發生土石流潛勢之分佈圖。研究結果顯示經由 GIS 技術及 DTM 資料, 可以快速有效的對大面積做初步之評估, 找出可能產生土石流災害之區域, 做進一步調查研討或進行相關防災措施之參考。

關鍵詞: 地理資訊系統, 空間分析, 數值地形, 土石流。

ABSTRACT

Spatial analysis in Geographic Information System (GIS) is to extract decision

support information from geographic data especially those in raster format. Raster format is capable of capturing the continuous characteristic of spatial data such as soil and terrain which are hard to be represented by vector format. This paper applies the spatial analysis techniques to the study of debris flow potential. Chen-Yu-Lan Creek watershed in central Taiwan was used as study area. The Digital Terrain Model (DTM) data of the target watershed was used to derive the river system of the region. Topographic characteristics such as watershed area, reach length, bed slope were computed from the DTM data. Areas with high debris flow potential were identified for future management reference. The DTM and GIS spatial analysis are found to be useful and efficient in locating the potential hazardous area.

Keywords: GIS, Spatial analysis, DTM, Debris flow.

一、前言

地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)是一項結合現代電腦技術與空間資料分析理論的科技產品,能有效的對空間資料做輸入、儲存、擷取、分析、和展示等不同的處理,並由其中擷取資訊供作決策之參考。GIS內之地理資料一般分為向量(Vector)及網格(Raster)兩種格式表示,前者適用於如道路、建物等人為訂定且具有明確邊界之資料,後者則較能有效模擬如土壤、地形等連續變化且邊界模糊之地理資料;兩種格式各有其特性及優劣點,一個完整之GIS系統應同時具備兩項資料格式之處理分析功能,方能有效模擬實體世界之複雜情況,常用之GIS軟體 Arc/Info 是以向量格式為主體,但亦具備相當之網格處理能力。

台灣因山勢陡峭、河川短急,故無論在山坡地的開發規畫或水土保持相關研究上都需要大量的地文資料,包括坡度及坡向、河川級序、集水面積、河川長度及地表覆蓋等,這些資料大都源自於地形資料,十分適於以GIS之網格資料格式來處理。以集水面積為例,傳統的做法是先由地圖上之等高線劃分出每個流域的範圍,再用求積儀來求出集水面積;而河川長度則必須以人工操作測線儀求取。為了減少誤差還必須反覆操作二、三次以上,再求取其平均值,若是分析的範圍很廣,往往需要耗費大量時間及人力,而且其

中的誤差更是難以控制。在GIS系統中,這些因子可以由數值地形(Digital Terrain Model, DTM)資料直接產生,一旦資料建構完成,若欲求取地圖上任意點的地文因子,只要由滑鼠選取該點即可求得,不但省去大量花費在地圖上作業的時間,對於資料更新、修改的管理方面也較有效率。

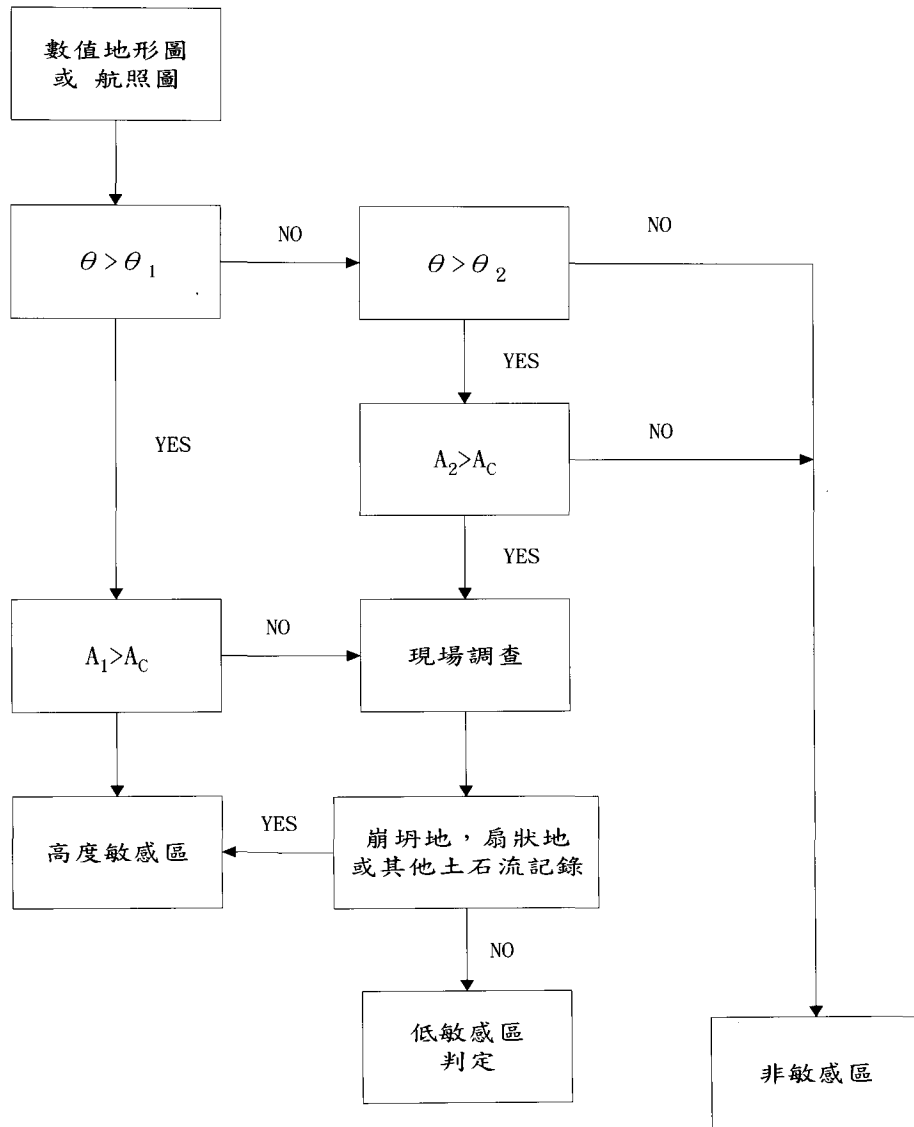
台灣地區由於地狹人稠,山坡地比例佔總面積三分之二以上,加上工商業快速發展、土地的使用率及價格不斷上升,土地利用漸漸朝向山坡地發展。坡地過度開發的結果使得自然災害頻傳,常見的有土石流、崩塌、地滑.....等,其中土石流一旦發生,所造成生命、財產及交通的損失均相當嚴重,本文乃嘗試利用GIS內空間分析之技術,以數值地形資料為基礎,研討流域內土石流發生危險潛勢區之劃定。文中以南投縣陳有蘭溪流域為研討區,利用張東炯、謝正倫(1997)所建立之土石流發生潛勢判斷之架構進行研討,首先由DTM推導河系,計算相關地文因子,最後訂出區域內較易發生土石流之敏感區域,作為集水區經營及災害防減之參考。

二、研究方法

本文之主要目的在以DTM分析與土石流發生潛勢研討來探討GIS空間分析在集水區經營相關應用之可行性,文中有關土石流發生危險溪流之判定,主要依據謝正倫(1992)及張東炯、謝

正倫(1997)所提出之方法，以(1)河川坡度；(2)集水區面積；(3)溪床坡度等三項地文因子做為判定之標準，首先由航照圖或地形圖上找出溪床坡度大於 15 度之地點，並測量該點以上之集水面積

是否大於有效集水面積 A_c ，若具備上述條件則可視為土石流危險高敏感度溪流，如因集水面積小於 A_c 時，則應輔以現場調查結果方能判定，研究之相關流程如圖 1 所示。



θ : 溪床之坡度 θ_1 : 15 度 θ_2 : 10 度
 A_1 : 溪床坡度 15 度以上之集水面積
 A_2 : 溪床坡度 10 度以上之集水面積
 A_c : 土石流發生的最小面積

圖 1 土石流發生潛勢判斷流程

研究過程主要包括兩大部份(如圖2所示)：
 第一是由DTM資料推導流域內之水系，並計算

相關之地文因子；第二是由相關地文因子來判斷
 劃定土石流發生危險區。

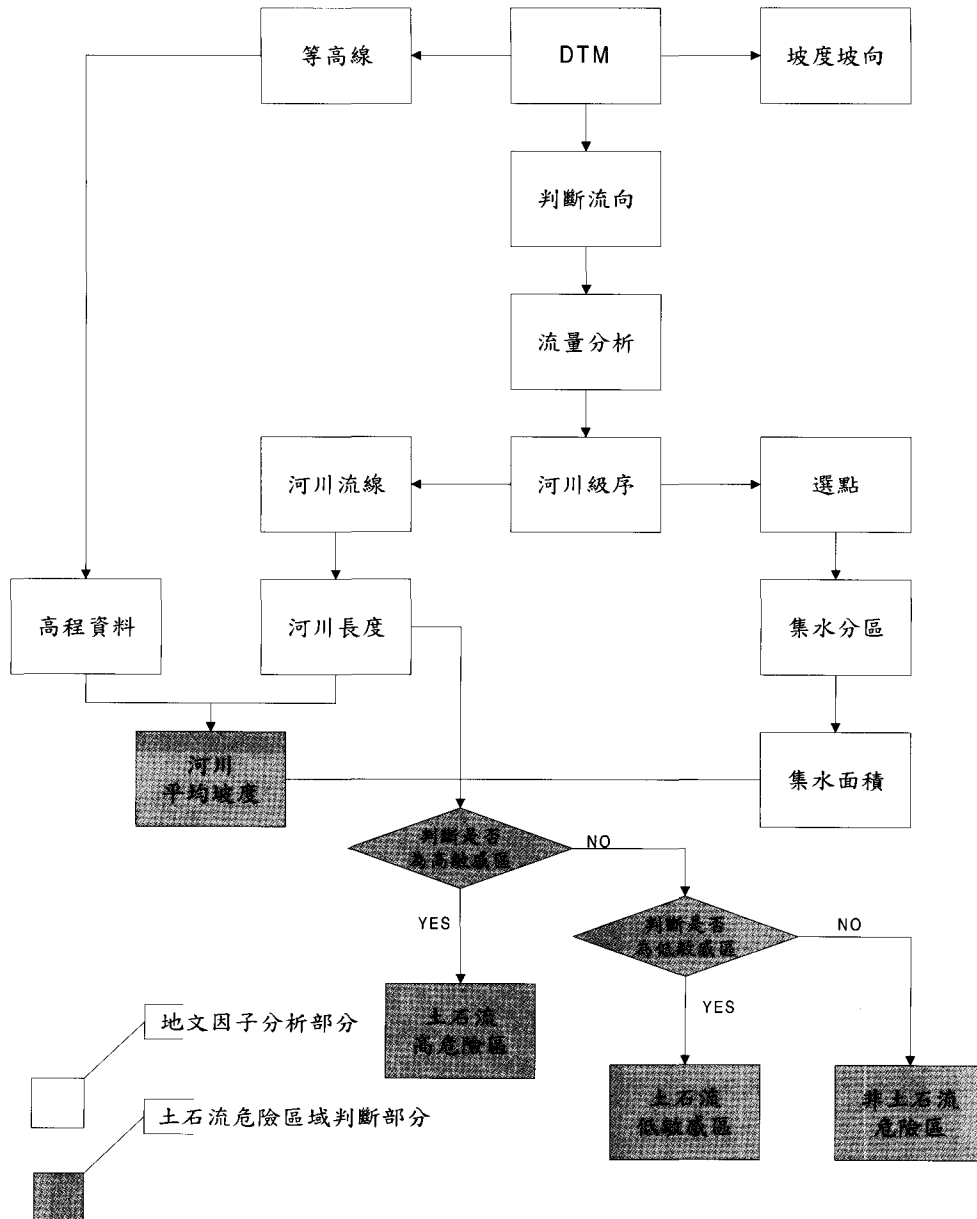


圖2 流域土石流危險區研判空間分析流程

(一) 河系推導及地文因子之求取

由於土石流常發生於流域於上游，一般在流域上游處有許多野溪無法由現有之地圖上得到相關位置，因此本研究利用數值地形產生水系圖層以克服此一瓶頸，以求得相關之地文因子，相關步驟詳述如下。

1. DTM 資料之初步處理

由於台灣目前之 DTM 的解析度是 40mx40m，有可能發生局部區域地形資料不足之情況，使接下來之地形分析工作無法進行，因此取得 DTM 資料(如圖 3)之後，首先須作初步之資料修正，對局部突出或窪陷進行區域整平，填平窪陷或是去除突起之相對極端值，在 Arc/Info 內可以 FILL 指令來進行：

```
FILL <in_grid> <out_grid> {SINKIPEAK}
      {z_limit} {out_dir_grid} (1)
```

其中：<in_grid>：需要處理之輸入檔案名稱。

<out_grid>：處理後之輸出檔案名稱。

{SINKIPEAK}：選擇欲填平窪陷或是去除突起（可以不設定）

{z_limit}：給定之高差範圍（可以不設定）

{out_dir_grid}：not necessary（可以不設定）

例：FILL elev_grid1 filled_grid2

如果在應用 DTM 資料前未經此步驟處理，則有可能產生局部區域之流線因不合理的高低起伏而間斷，在河川分析時，不但河流本身會有不連貫的不合理情形，在級序的求取上也會發現級序無法連接或無法劃定子集水分區之結果。

2. 流向判定

區域整平後即可進行流向圖層之產生，即由原始之 DTM 資料產生另一個包含流向資料之網格圖層，流向資料圖層為河川網路空間分析所必需，需先分析出流向，才能繼續進行河系之建立。

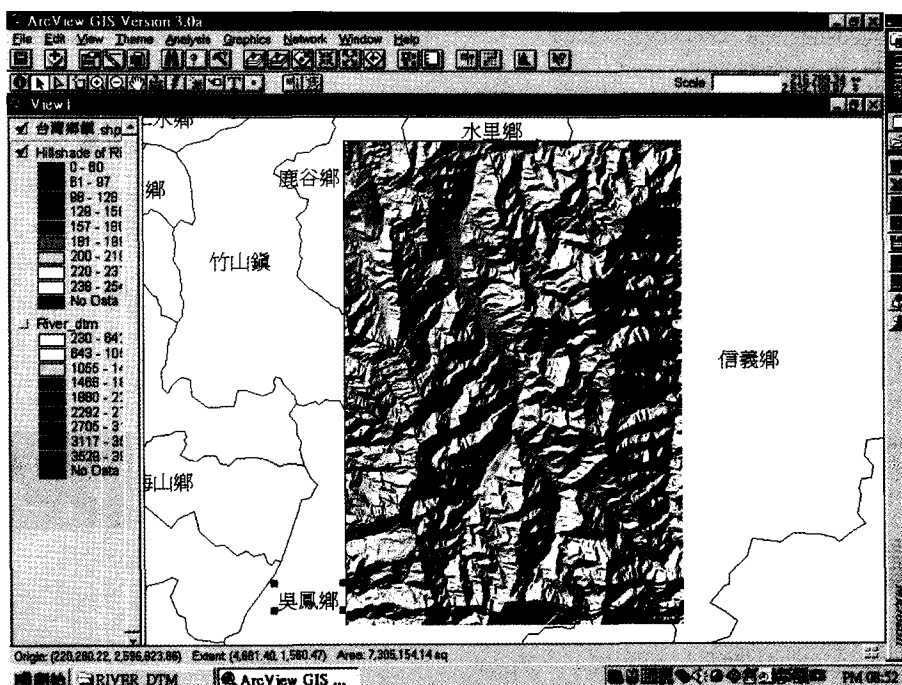


圖 3 陳有蘭溪數值地形

FLOWDIRECTION (<surface_grid>, {o_drop_grid},
{NORMAL | FORCE}) (2)

其中：<surface_grid>：即經整平後之 DTM 資料
圖層

{o_drop_grid}：設定是否產生各點落差值
之圖層（可以不設定）

{NORMAL | FORCE}：圖層邊緣處流向
之指定方式（可以不設定）

Normal：依高程差判定流向

Force：圖層邊緣之網格點的流向均設定
為向外流動

例：dir_grid = flowdirection (filled_grid)

某網格點處流向之判斷是以該點高程與附近各
點高程比較決定，流向之表示方式如圖 4 所示
之，向右流即以 1 表示，向下流則以 4 表示之；
若是有可能向一個以上的方向流動，則以算數和
表示之，例如流動方向為右(1)、右下(2)、及下(4)
三個方向，則表示為 1+2+4=7。

3. 流量分析

流向判定完成後即可進行流量分析以產生
河川網路，此方法乃是假設一均勻降雨來模擬該
區域所可能產生的逕流方向和流量：

FLOWACCUMULATION
(<dir_grid>,{weight_grid}) (3)

其中：<dir_grid>：由流向分析函數(flowdirec-
tion())所得之流向圖層。

{weight_grid}：用以模擬之假設降雨量
（可以不設定）

例：net_grid = flowaccumulation (dir_grid)

32	64	128
16		1
8	4	2

圖 4 流向之判定

在做此函數的計算處理時，如果為了避免地形上
局部窪蓄所造成河流的中斷，可以假設一較大之
降雨，模擬出較大的流量，以減少地形對流量之
影響。

4. 河川級序判定

得到了流向及流量二項基本圖層之後，
Arc/Info 即可模擬出研究區域內河川級序之分佈
情形：

STREAMORDER(<net_grid>,<dir_grid>,{STR
AHLERISHREVE}) (4)

其中 <net_grid>：由流量分析所得之圖層。

<dir_grid>：由流向分析函數(flowdirec-
tion())所做出之流向圖層。

{STRAHLERISHREVE}：求取級序之二
種方法(參考圖 5，可以不設定)

例：order_grid = streamorder (net_grid, dir_grid,
strahler)

在此項計算中 Arc/Info 會自動的將所有可能之漫
地流及渠道流皆列於結果之中，即除了集水分區
稜線之外，整塊研究區域都會有河川覆蓋，在本
次實作過程中，乃是以先前 1/25000 地形圖數化
出之河川分級為其選擇標準。

5. 河系導出

由河川級序和流向圖層，可以產生河水流線
之圖層。

STREAMLINE (<net_grid>, <dir_grid>,
{out_item},{weed}) (5)

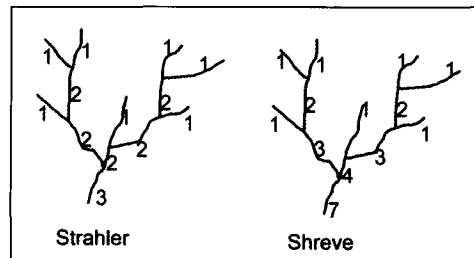


圖 5 兩種不同之級序定義方式

其中 <net_grid> : 由流量分析所得之圖層。
 <dir_grid> : 由流向分析函數(flowdirection())所做出之流向圖層。
 {out_item} : 輸出圖層屬性資料表中存放網格資料之名稱 (可以不設定)
 {weed} : 圖層錯誤自動修正參考值 (參考 Arc/Info 手冊) (可以不設定)

例: line = streamline (net_grid·dir_grid·#,10000)

由此函數模擬所得之河川網絡乃是由河川級序圖層轉換而來，屬性資料表中包括了欲求取之基本地形因子：河川級序和河川長度。因為原先之圖層是由河川級序產生，故有些同級河川並未相連，而且十分散亂，故需要經手動過程將同級河川連接起來，每段河川連結之後，再利用資料庫軟體 FOXBASE 重新修正屬性資料後完成河系圖層之建立(圖 6 及圖 7)。

6. 子集水區劃定

在模擬子集水區之前必須先將各待劃定子集水區的出口先選取出來。

SELECTPOINT (<grid>, <point_file>,
 {INSIDE|OUTSIDE}) (6)

其中 <grid> : 原先之 DTM 數值地形資料。
 <point_file> : 各選取點集合之文字檔名。
 {INSIDE|OUTSIDE}: 選擇網格點之方式 (可以不設定)

Inside: 除點選的點之外均不選取

Outside: 除點選的點之外均選取

例: s_point = selectpoint (grid, point)

土石流發生之地點適當位於河溪上游的 1、2 級河川處，故本文中以 1 級河川為討論範圍，選擇 1 級河川下游之集水點做為研討對象。集水點圖層選取之後，便可以式(7)之指令劃分出所選取之集水點上方的子集水區 (圖 8 及圖 9) :

WATERSHED (<dir_grid> ,
 <source_grid>) (7)

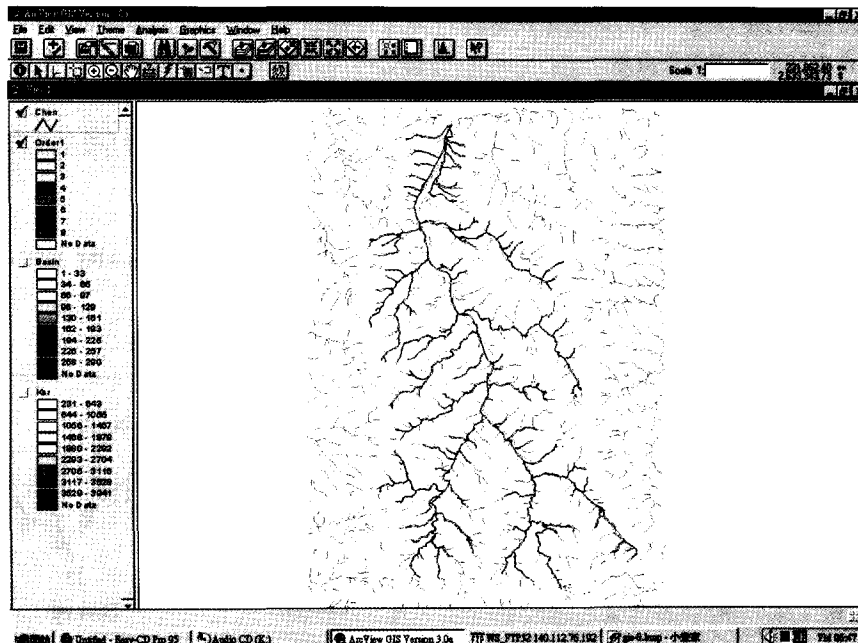


圖 6 由 DTM 導出之河系圖

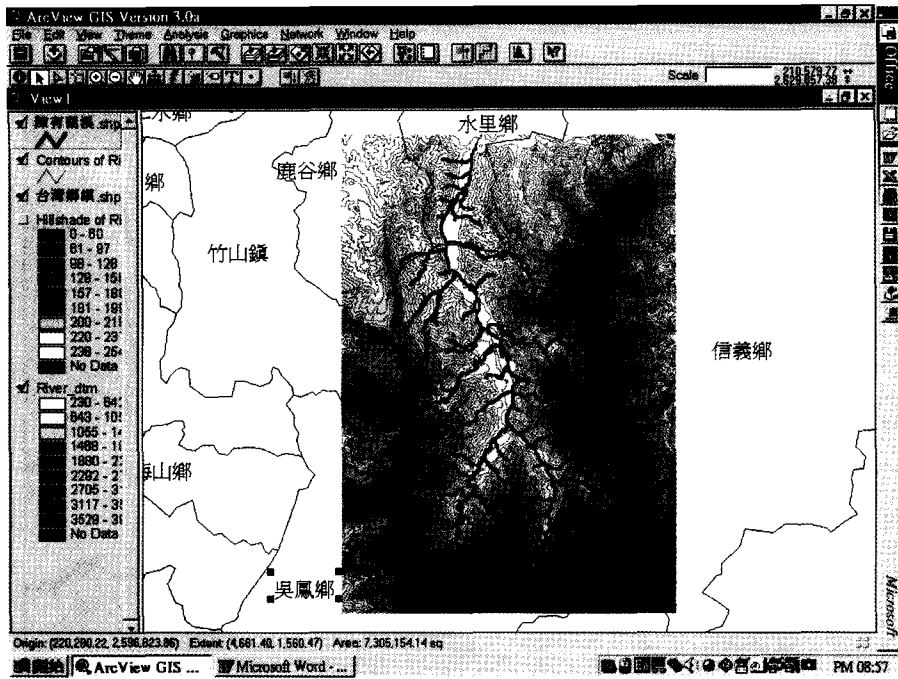


圖 7 河川水系與等高線套疊之比對

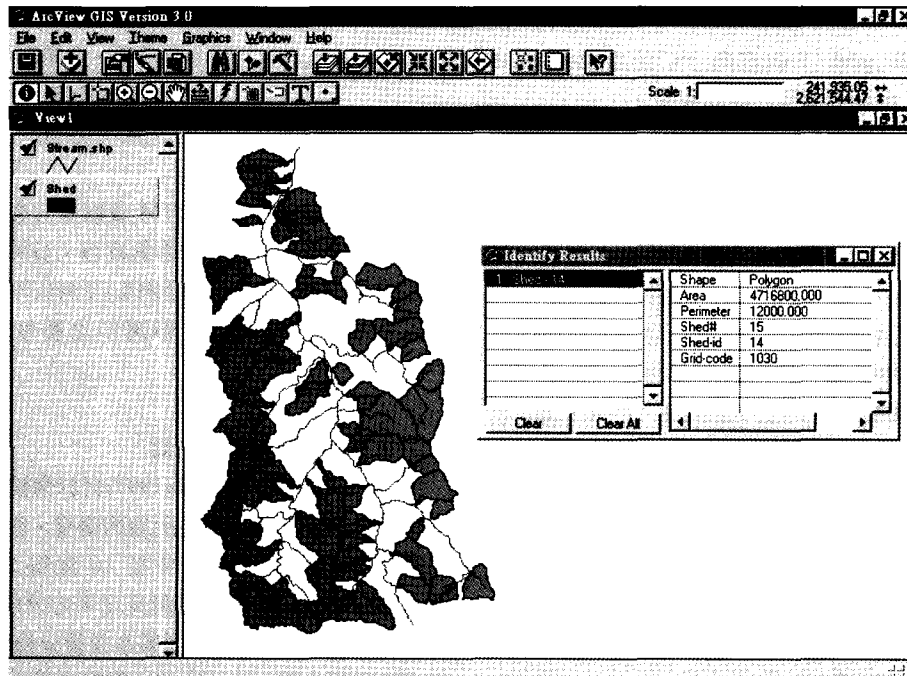


圖 8 一級河段上游子集水區圖層

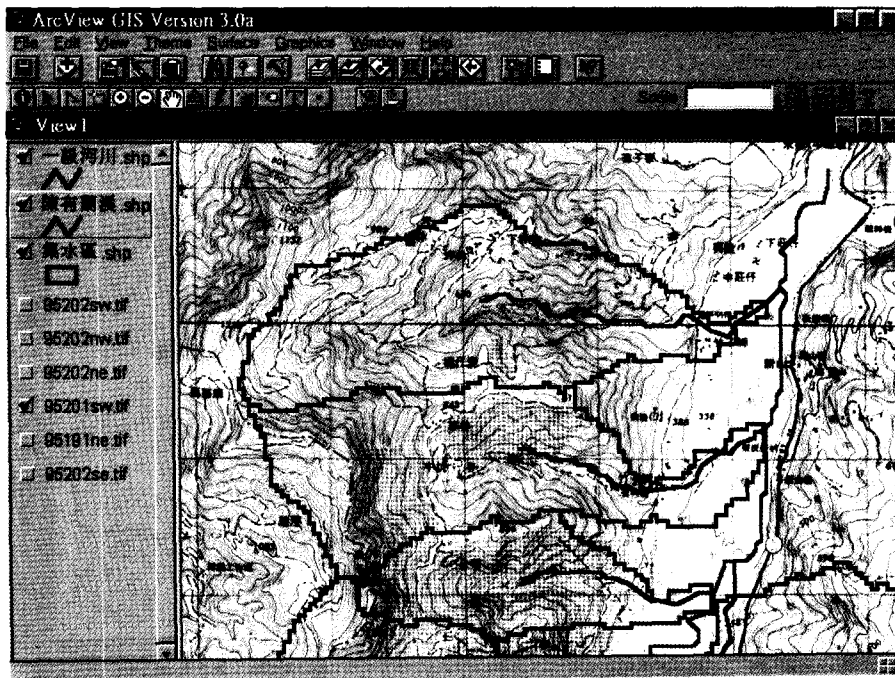


圖 9 子集水區與地形圖套疊圖

其中 <dir_grid>：由流向分析函數(flowdirection())所得之流向圖層。

<source_grid>：此處即代入先前之選定點之圖層(selectpoint())。

例：w_shed1 = watershed (dir_grid, s_point)

此過程中是以河川流向及級序做為輸入，產生一集水分區之網格圖層，再經過一次 Arc/Info 內部函數 GRIDPOLY()之轉換，可以將 grid 圖層轉成一包含完整屬性資料之向量圖層，在 Arc/Info 中類似之函數還有 GRIDLINE()、GRIDPOINT()等用來處理現及點之不同圖徵。

6. 地文因子計算

本文中所引用文獻（謝正倫等 1992,1997）中用來判定土石流危險度之地文因子有集水面積、河段長度、溪床平均坡度等三項，前兩項均可以由圖層之屬性直接取得，而溪床平均坡度乃是式(8)計算而得：

$$\text{溪床平均坡度} = \tan^{-1}\left(\frac{\text{上游高程}-\text{下游高程}}{\text{河流長度}}\right) \dots\dots\dots (8)$$

將一級河川圖層與原始 DTM 資料做套疊，即可找出各一級河川之上、下游的高程，並將其與高程差(H)、高程差/河流長度(H/L)及河床平均坡度共五個欄位一起加入一級河川之屬性資料表中。

(二) 土石流危險溪流之判定

依據張東炯、謝正倫(1997)對於南投地區土石流危險溪流之地形特性所做的研究，危險溪流溪床平均坡度分佈多數集中在 10 度到 20 度之間，佔總數的 95%，危險溪流長度平均分佈在 500 公尺至 2500 公尺之間，而集水面積分佈則在 20 至 170 公頃之間。故以地文的觀點來看同時滿足上述條件則可直接列為高度敏感地區，否則需要

配合現地調查進一步來做判斷。由於圖層屬性已包含所必需之地文因子，故可以利用空間查詢來尋找符合下列預定條件之危險區域（圖 10 及圖 11）。

- (1) $10^{\circ} \leq$ 溪床平均坡度 $\leq 15^{\circ}$ ；
- (2) 20 公頃 \leq 集水面積 ≤ 170 公頃 ；
- (3) 500 公尺 \leq 河度長度 ≤ 2500 公尺 。

三、討論與建議

本文之主要目的是由 DTM 數值地形資料推出調查區域之地文因子，以代替以往繁複的處理過程，並以所得之結果判斷土石流危險溪流。將 DTM 所產生之等高線與經建版 1/25000 地形圖底圖之等高線做套疊比對，二者相當吻合，研究結果顯示由 DTM 可以快速有效的推求出地文因子，如：河川長度、集水分區、溪床坡度……

等，DTM 及 GIS 空間分析技術在大區域之研討上相當實用。

土石流發生的地區通常位於河川上游處，更有許多土石流是發生於野溪上。但在傳統地形圖上很難判斷野溪的位置和其狀況，利用 Arc/Info 以 DTM 模擬出渠道流和漫地流，可以得到所有的地表逕流的流動水系資料，因此在土石流危險溪流之判定上，地理資訊系統之空間分析能提供更完整的資訊。

由於本文之主要研究目的在於空間分析與區域規畫之結合，在判斷土石流危險溪流上，主要是依據張東炯、謝正倫(1997)提出的「中部地區土石流現場調查與分析」一文中針對南投地區之特性所定之判斷原則，日後宜進一步結合更多之土石流發生相關因子，對土石流危險溪流的界定將更合理實用。

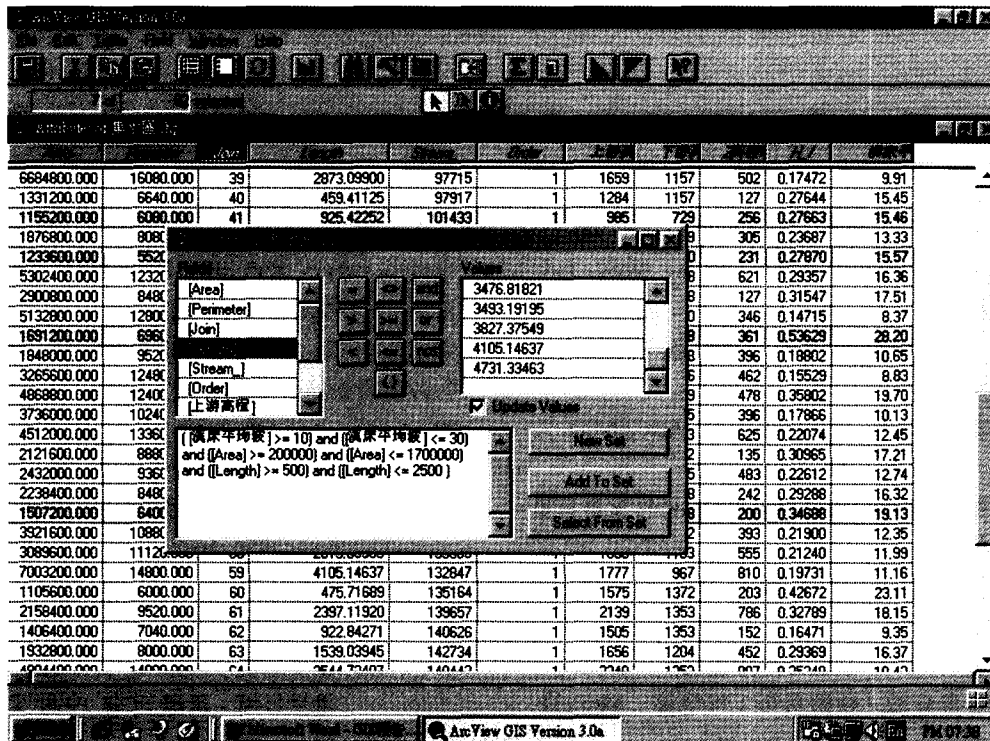


圖 10 使用空間查詢選取危險區

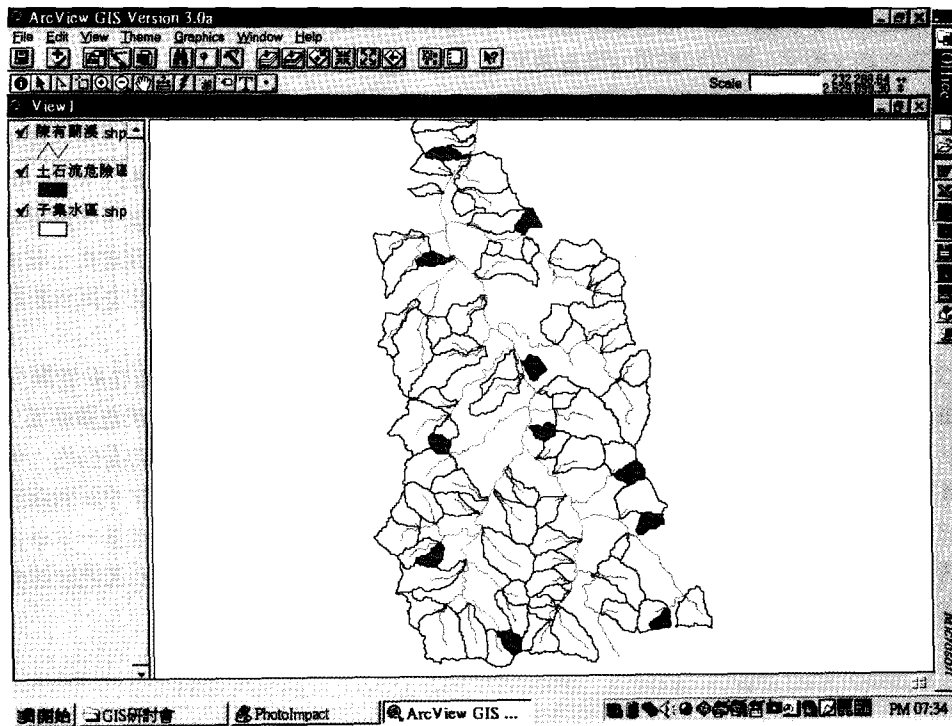


圖 11 土石流危險溪流區域

參考文獻

1. ESRI (1994), GRID Command Manual, Ver.7.
2. ESRI (1994), Surface Modeling With TIN, Ver.7.
3. 周天穎、周學政(1997), ArcView 透視 3.X, 松崗電腦圖書有限公司。
4. 林建元(1994), 地理資訊系統 ARC/INFO 入門, 松崗電腦圖書有限公司。
5. 施保旭(1995), 地理資訊系統, 儒林圖書有限公司。
6. 陳信雄(1984), 土石流災害調查方法之研究, p.1-34, 台大森林系。
7. 張東炯、謝正倫(1997), 中部地區土石流現場調查與分析, 中國農業工程學報, 44(3):31-46。
8. 航空測量及遙感探測學會(1996), 南投縣山坡地崩場地分佈圖。
9. 楊乾中(1991), 實務 dBASE III PLUS 及 IV 精華, 松崗電腦圖書有限公司。
10. 謝正倫(1992), 土石流發生與流動之數值模擬, 行政院國家科學委員會防災科技報告 81-55 號。
11. 謝正倫(1993), 土石流預警系統之研究, 成功大學水工試驗所報告 139 號。

收稿日期：民國 87 年 9 月 1 日

修正日期：民國 87 年 9 月 24 日

接受日期：民國 87 年 10 月 7 日