

運用支持向量機建立土石流潛勢溪流判定模式

沈哲緯^{(1)*} 羅文俊^(2,3) 陳振宇⁽⁴⁾

摘要

本研究以農委會水土保持局 98 年公開花蓮縣 160 條土石流潛勢溪流為研究樣本，採用 3S 技術萃取集水區地文因子，輔以水土保持局 96~97 年土石流潛勢地區易致災因子調查計畫成果與 GIS 圖層，透過支持向量機(Support Vector Machine, SVM)建立花蓮縣土石流潛勢溪流判定規則，預先透過分類模式判斷具有歷史災害之土石流溪流位置，並以土石流歷史災害目錄進行驗證，其判定成效與土石流歷史災害目錄吻合程度高達九成以上，未來可供全臺土石流潛勢溪流率定參考，協助主管機關進行災害防治、策略研擬及風險管理作業。

(**關鍵詞**：3S 技術、支持向量機、土石流潛勢溪流)

Using Support Vector Machine to Establish Models to Determine Potential Debris-Flow Creeks

Che-Wei. Shen^{(1)*} *Wen-Chun Lo*^(2,3) *Chen-Yu Chen*⁽⁴⁾

Research Engineer⁽¹⁾, Geotechnical Engineering Research Center, Sinotech Engineering Consultants, INC., Taipei 11057, Taiwan
Doctoral students⁽²⁾, Department of Civil Engineering in National Chiao Tung University, Hsinchu 300, Taiwan
Associate Engineer⁽³⁾, Director⁽⁴⁾, Debris Flow Disaster Prevention Center, Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Nantou 540, Taiwan

ABSTRACT

This study used the 160 potential debris-flow creeks bulletined by Soil and Water Conservation Bureau(SWCB) as samples for analysis. Topographic factors were extracted using 3S technology,

¹ 研究員，財團法人中興工程顧問社大地工程研究中心(通訊作者 e-mail：cwshen@sinotech.org.tw)

² 博士班，國立交通大學土木工程系大地工程組

³ 副工程司，行政院農委會水保局土石流防災中心

⁴ 主任，行政院農委會水保局土石流防災中心

remote sensing (RS), geography information systems(GIS), and global positioning systems,(GPS). These were complemented by results from SWCB's hazard factors investigation program in the potential debris-flow areas as well as GIS layers. Through Support Vector Machine(SVM), a series of protocols to determine potential debris-flow creeks in Hualien County was established. The study determined the positions of the potential debris-flow creeks through classification model. The result was then verified by debris-flow hazard inventory. The match rate was over 90%. This may be expanded to recalculate the potential debris-flow creeks in Taiwan in the future. The results can assist the competent authorities to conduct disaster prevention, policy drafting, and risk management.

(**Keywords** : 3S technology, Support Vector Machine, Potential Debris-Flow Creeks.)

前言

自民國 78 年 9 月莎拉颱風及民國 79 年 6 月歐菲莉颱風造成花蓮地區大興村及銅門村遭受嚴重土石流災害人員傷亡事件，農委會水土保持局(以下簡稱水保局)於民國 80 年起即陸續進行土石流潛勢溪流調查工作，由成功大學調查劃設 485 條土石流潛勢溪流及土石流影響範圍，自 921 集集地震後，歷經民國 90 年桃芝、納莉風災，由臺灣大學再調查全臺土石流潛勢溪流地區，於民國 91 年 3 月公開 1,420 條土石流潛勢溪流，而近年來隨著氣候變遷之影響逐漸顯著，地方政府經常回報新的土砂災害地點，並非是土石流災害，因此，水保局邀請專家學者進行評估，並於民國 98 年 6 月 26 日公開之全臺 1,503 條土石流潛勢溪流。然而，民國 98 年 8 月 8 日莫拉克颱風侵台，也帶來近年來罕見的強降雨，進而誘發為數不少的崩塌與土石流，對於地形貌改變有著相當程度的影響，實有必要重新率定全臺土石流潛勢溪流數量，以釐清土石流可能發生區域，以免土石流災害發生於未公開之溪流，造成

疏散避難與災害防治推行之困難，而鄰國日本與我國同樣位處地震及颱風頻繁地區，卻已完成 18 萬餘條土石流潛勢溪流劃設，其中曾發生土石災害者約 3 萬餘條。有鑒於此，本研究以水保局 98 年公開的花蓮縣 160 條土石流潛勢溪流為分析樣本，採用 3S 技術萃取集水區地文因子，輔以水保局 96 年「土石流危險聚落易致災因子調查與整治對策」及 97 年「土石流潛勢地區易致災因子調查與危害頻率分析」計畫成果與 GIS 圖層，透過支持向量機(Support Vector Machine, SVM)建立花蓮縣土石流潛勢溪流判定規則，再以土石流歷史災害目錄進行驗證，未來可推廣至全臺土石流潛勢溪流之率定，搭配保全對象更新公開土石流潛勢溪流數量，協助主管機關進行災害防治、策略研擬及作為風險管理等決策參考。

文獻回顧

1. 專家評分法

水保局現行評估土石流潛勢溪流發生潛勢程度及經濟部中央地質調查所(以下簡稱地調所)針對都會區周緣坡地土石流

敏感區潛勢評估皆是專家評分法。詹錢登(1994)即以溪床坡度、有效集水面積、降雨特性為指標，討論土石流發生之可能性，Pareschi et al.(2002)針對義大利南部火山區依據地貌特徵對邊坡進行分級，判定邊坡發生土石流之潛感。Liu et al.(2002)針對中國雲南五省使用集水區溝渠密度、岩石風化程度、活斷層密度、坡度大於 25° 佔的百分比、過去十年中的平均年降雨量和降雨大於 25mm 的平均天數及所有耕地中坡度大於 25° 的百分比等因子，做為潛感值評估之依據，進一步評估生命財產損失後，發展半定量風險度評估方法。楊明德(2005)以現地調查植被情形、崩塌規模、地質分布、溪流坡度及坡向、土石堆積粒徑等因子，用以評估土石流影響範圍與對當地居民之影響。Bisson et al.(2005)於義大利南部利用邊坡坡度大於 25° 所佔之百分比作為區分邊坡發生土石流之潛感的依據。

2. 統計分析法

林信亨與林美聆(2002)選取 8 個地形因子，使用判別分析評估土石流發生之可能。吳輝龍等人(2004)使用主成分(Principle component)分析 20 項地文因子，選前 4 個主成分代入判別分析，根據分布曲線分成高中低三等級的潛勢。國外，Mark and Ellen(1995)針對 San Mateo County 使用邊坡坡度、事件總雨量、平均年雨量、岩性和植被情形，代入羅吉斯迴歸(logistic regression)計算土石流潛感。Cannon et al.(2003, 2004)使用多變量分析研究美國科羅拉多州 Missionary Ridge 森林火災後的土石流發生機率，計算在不同

重現期降雨強度下潛感分布情形。

3. 人工智慧方法

林信亨與林美聆(2002)使用倒傳遞類神經網路評估土石流發生之可能，並且認為使用倒傳遞類神經網路得到較好的結果。蕭震洋(2003)以倒傳遞類神經網路進行陳有蘭溪各小集水區發生土石流的危險性。傅裕盛(2005)選取 12 項因子以多級模糊理論綜合評判，再以地震加權係數，對地震影響判定其危險等級。國外，Chang and Chao(2006)使用倒傳遞類神經網路來預測土石流發生之可能性，共選取了 7 個因子，包括：溪流長度、溪流平均坡度、集水區面積、形狀係數、土壤中值粒徑、形狀係數、有效累積雨量和有效降雨強度。Liu et al.(2006)運用倒傳遞類神經網路對四川西昌的邛海湖流域進行土石流潛感分析，並用此區的模型預估北京永定河流域各小集水區的土石流危險性，獲得良好成果。模糊理論方面，Deng et al.(1992), Su et al.(1993), Liu and Wang(1995, 1996), Wei et al.(1998)等中國大陸學者過去亦有相關文章發表，採用模糊理論強化土石流判定成效與提升預測準確性。

研究區域概述

以下就研究區域之地形、地質、水系及斷層構造等項進行概略說明：

1. 地形與地質

花蓮縣境內多山地，平原地區僅佔少數，除部份分布於美崙溪沖積扇外，大部份呈長條狀分布於花東縱谷之兩側。山岳佔花

蓮縣總面積的大部分(約 87%)，3,000 公尺以上之山峰約 40 座，屬中央山脈者以秀姑巒山(標高 3,833 公尺)最高，屬海岸山脈者則以新港山(標高 1,628 公尺)最高，地形圖如圖 1 所示。全縣地形可分為中央山脈區、海岸山脈區及縱谷平原區。花蓮縣之地質概況(如圖 2)大致可分為三個年代及火成岩，以下分項說明：

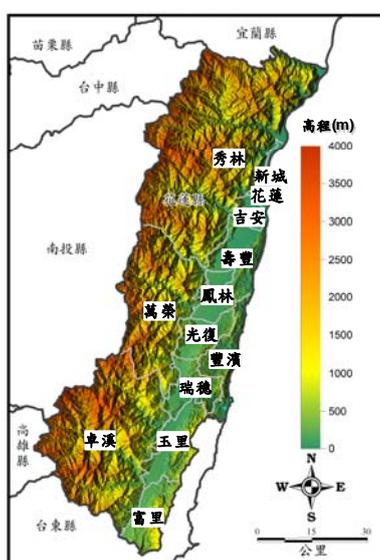


圖 1 花蓮縣地形圖(重繪自水保局，2008)
Figure 1 topographic map of Hualien County.
(redraw from SWCB, 2008)

- (1) 先第三紀及古第三紀變質岩區域：大南澳片岩及西村層、新高層，分布於中央山脈東翼。
- (2) 中新世：廬山層分布於大武、知本西側的山區，都巒山層分布於海岸山脈。
- (3) 上新世及更新世：大港口層及奇美層、利吉層、卑南山礫岩、紅土臺地堆積、隆起珊瑚礁及沖積層則分布於

海岸山脈、臺東縱谷及東部海岸。

- (4) 火成岩：先第三紀之蛇紋岩及基性火成岩散布於中央山脈內；中新世之安山岩及時代不詳之輝長岩、橄欖岩、玄武岩、蛇紋岩、集塊岩散布海岸山脈各處。

2. 水系

花蓮縣境內水系大致以和平溪、花蓮溪及秀姑巒溪等三大流域為主。和平溪位於臺灣東北部宜蘭、花蓮縣界，東瀕太平洋，西接大甲溪，南鄰立霧溪，北與南澳溪及蘭陽溪接壤。

3. 斷層分布

花蓮縣境內斷層包括奇美斷層、玉里斷層、月眉斷層、米崙斷層及池上斷層(如圖 3 所示)。

支持向量機理論

支持向量機 (Cortes and Vapnic, 1995) 是目前廣泛運用於分類及回歸問題之理論，SVM 是以核心函數為基礎的學習方法，可以用在分類與非線性迴歸上。其主要概念是在高維度的特徵空間(feature space) 中構造出一個最佳的超平面 (Separating Hyperplanes)，透過此平面能有效的分類。在支持向量機中，無法使用線性的超平面來處理所有的分類資料。針對此問題時，可以利用非線性的映射函數，將原始的訓練資料轉換至高維度的特徵空間 F ，以： $\phi(x_i) : \mathbf{R}^d \rightarrow F$ 來表示，再利用特徵空間執行線性分類，以達到較高的分

類績效。基本概念可用圖 4 說明。假設超平面 (hyper plane) 公式為 $wx+b=0$ ， $w \in R^n$ ， $b \in R^n$ ，則分類決策函數即為：

$f(x)=\text{sig}(wx+b)$ ，將兩類資料(□與△)用超平面分類。



圖 2 花蓮縣 1/250,000 地質圖
Figure 2 1/250,000 geologic map of Hualien County.

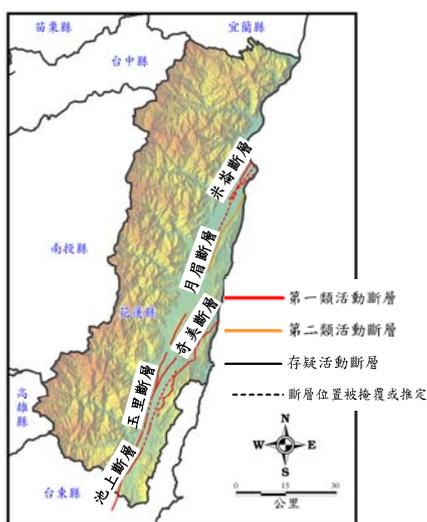


圖 3 花蓮縣境內斷層分布圖
Figure 3 Fault Distribution map of Hualien County.

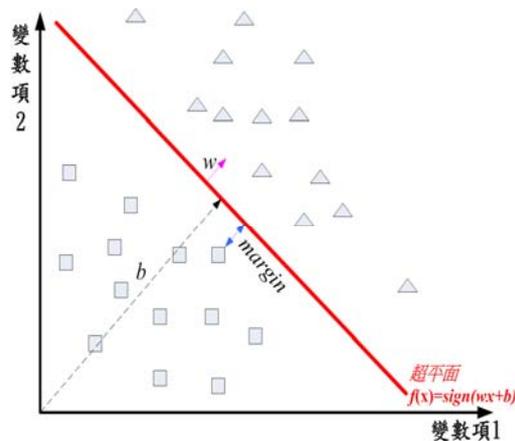


圖 4 超平面區分資料示意圖(重繪 Cortes and Vapnic, 1995)
Figure 4 Schematic diagram of Hyper plane. (redraw from Cortes and Vapnic, 1995)

因此對於在非線性可分的情況，SVM

方法通過非線性變換 $\phi(x_i)$ 將輸入空間轉換到一個高維空間，在這空間中求最優分類面，此時相應的分類函數為：

$$f(x) = \text{sgn} \left[\sum_{i=1}^l \alpha_i y_i k(x, x_i) + b \right]$$

式中： $k(x_i, x_j) = \phi(x_i) \cdot \phi(x_j)$ 必須為滿足 Mercer 條件的核函數。

本研究採用物件導向式資料採礦軟體 Polyanalyst Client 6.0，所使用核心函數是高斯函數進行模式分析，除可大量進行批次分析外，亦可儲存為*.XML 檔案儲存，以利後續編撰與修改使用。

土石流潛勢溪流判定模式建立

本研究採用類神經網路中的支持向量機建立土石流潛勢溪流判定模式，研究流程如圖 5 所示。

1. 集水區與溢流點產製

水保局針對土石流潛勢溪流溢流點之定義為溪床坡度 10° 的地方，並根據現地調查確定溢流點位置。本研究土石流溢流點的位置劃設，參考水保局 96 年「土石流危險聚落易致災因子調查與整治對策」計畫中溢流點劃設成果，比對經建三版 1/25,000 地形圖，將溢流點微調至地形上的隘口處。花蓮縣境內 160 條土石流潛勢溪流集水區分布如圖 6 所示。



圖 5 土石流潛勢溪流判定模式建立流程
 Figure 5 Flow chart of models to determine potential debris-flow creeks.

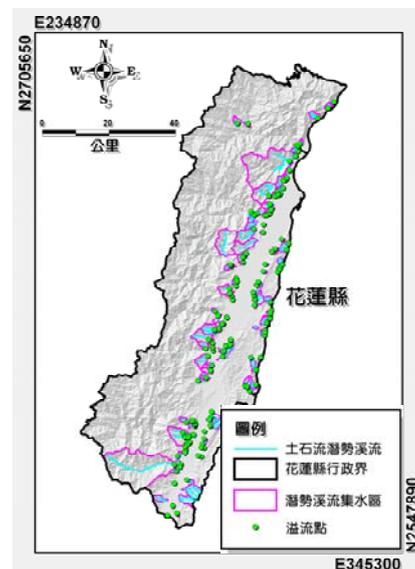


圖 6 花蓮縣內土石流潛勢溪流集水區與溢流點分布圖(參考水保局, 2008)
 Figure 6 Debris flow catchment area and the overflow point distribution in Hualien County.(refer to SWCB, 2008)

2. 模式建立流程說明

本研究採用五類因子進行土石流潛勢溪流判定，分別為(1)集水區幾何形狀因子、(2)集水區坡向因子、(3)集水區高程因子、(4)集水區坡度因子及(5)集水區內崩塌地因子等，利用主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)篩選顯著潛勢因子，輔以相關性分析(Correlation Analysis, CA)剔除高相依因子後，即可決定獲選因子，據此建立判定模式。

本研究參考 96 年「土石流危險聚落易致災因子調查與整治對策」計畫蒐集之歷史災害資料庫，將花蓮縣 160 條土石流潛勢溪流區隔為有歷史災害者(69 條)與無歷史災害者(91 條)等兩類，考量後續將以類神經網路支持向量機(SVM)建立模式，故將樣本區分為訓練樣本與測試樣本，考量不偏估性，故樣本空間中兩分類比例為 1:1(參考 Lee et al., 2008)。本研究以亂數取樣方法(Simple random sampling)，取出 40 條有歷史災害的土石流溪流，另外取樣 40 條無歷史災害的土石流溪流，合計為 80 條溪流作為訓練樣本，以獲選的潛勢因子組合進行訓練，透過分析模式輸出之花蓮縣內 160 條土石流潛勢溪流分類判定結果，輔以歷史災害作為模式驗證，以檢核判定方法之可信度。

3. 地文因子處理

本研究考量計算效率，將 5m 數值地形網格以 ArcGIS 軟體資料管理工具箱(Data management tool)中的重新取樣功能(resample)，將原有的 5m × 5m 網格，重新計算為 20m × 20m 網格，用以計算研究區

土石流潛勢溪流地文因子，輔以 2001 年桃芝颱風後山崩目錄(桃芝颱風為影響花蓮縣土石流災害較重要的一起事件)，萃取獲致共 5 類合計 15 個因子，以下簡述各類因子萃取方法與定義(參考財團法人中興工程顧問社，2008)：

(1) 集水區幾何形狀因子

a. 集水區面積：流域內之集水區面積愈大，則在暴雨時期所匯集雨量的水量愈大，因此會在集水區出口處產生較大的流量，所以集水面積大小與河川尖峰流量成正比。但因為集水面積越大，雨水匯集的時間愈長，所以與集流時間成反比，於是可由集水區面積來評估河川尖峰流量與集流時間。Van Dine 調查加拿大 Howe Sound 地區發生土石流之溪流，發現集水區面積與土石流發生區之溪床坡度有反比例之關係存在，而發生土石流之集水區面積大小範圍一般在 0.4 到 0.7 平方公里之間(詹錢登，2000)。

b. 形狀係數：集水區形狀係數(Form factor, F)係集水區面積與集水區長度平方之比值，為 1932 年由荷頓氏(Horton)所提出。Strahler(1952)認為集水區之形狀對於河川流量特性有顯著的影響，形狀係數小於 1 時，則表示集水區狹長，而一個狹長的集水區有較小的尖峰流量，且其流量歷線較為平緩，而形狀係數大於 1 時，則表示集水區寬宏，一個寬宏的集水區則有較大的尖峰流量，且其流量歷線較為尖聳。但集水區形狀呈狹長形

時，其溪流邊坡之坡度較大，易導致邊坡崩塌而使土石堆積於溪床上，因此形狀係數在對土石流潛勢溪流危險度評估之相關研究中，一直扮演著相當重要的角色。尹承遠等(1993)曾探討臺灣地區土石流發生所得到的形狀係數在 0.13~0.34 之間；陳榮河等(1999)調查新中橫公路沿線 25 處土石流潛勢溪流得其形狀係數集中於 0.1~0.5 之間。由此可知常見土石流較常發生於狹長形之集水區。

- c. 環性比：定義為集水區面積除以與邊周相等圓周長之圓，環性比介於 0~1 之間，比值愈接近 1，流域形狀愈趨近於圓形，而圓形的流域，河流呈現向心狀的水系，在豪雨的侵襲下，流域各點均降雨，各支流流量在同一時間集中於匯流點，則有較大水量供應，若搭配上充足的土石來源，勢必會發生土石流。

(2) 集水區坡向因子

多數土石流發生於颱風或暴雨之後，由臺灣地區颱風登陸之路徑統計結果發現，登陸臺灣的颱風大多為東南—西北的走向，此因素將造成迎風面所承受之雨水較背風面多，而且強風也會影響邊坡受風化之程度，因此集水區邊坡之坡向將影響集水區承受雨量與崩塌物質的多寡。Auer and Shakoor(1993)也曾針對土石流滑動進行研究，認為邊坡坡向將影響土壤受日照程度，此一因素將影響土壤於暴雨期前之含水量、覆蓋地表的植被種類與分布狀況、地表土壤的特性及暴雨期所接受之雨

水量。因各地區受日照的坡向皆有所差異，其具有區域特性。

- a. 平均坡向 X 向量：將集水區中每個網格坡向(度)取出，再將 X 方向向量相加後除以總個數，即可獲得 X 方向的平均向量，以此為平均坡向 X 向量。
- b. 平均坡向 Y 向量：將集水區中每個網格坡向(度)取出，再將 Y 方向向量相加後除以總個數，即可獲得 Y 方向的平均向量，以此為平均坡向 Y 向量。
- c. 平均坡向：集水區中出現最多的坡向(區分為八大方向：北、東北、東、東南、南、西南、西、西北)，此可了解此集水區的主要坡向。
- d. 坡向標準差：將各網格點計算所得坡向轉為 X 方向向量(東西向)和 Y 方向向量(南北向)，計算 X 方向向量及 Y 方向向量的標準差 σ_x 及 σ_y ，將 σ_x 及 σ_y 平方相加後開根號即為坡向標準差 σ_{xy} 。

$$\sigma_{xy} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (1)$$

(3) 集水區高程因子

- a. 面積高度積分(殘土率)：即表現地表某區各高度以上面積佔全區總面積的比例。此測量指標可以得知地形的發育程度(分為幼年、壯年與老年)，若集水區為老年期，則表示下游面積較上游面積大，可視為侵蝕作用後之地表地形，侵蝕速率小於堆積速率。

由此可知，此值可以表現地表的侵蝕與堆積的情況，也就是可用來當作堆積物沈積多寡的指標。

- b. 平均高程：計算集水區內數值地形高程值平均值。
- c. 高程標準差：計算集水區內網格高程標準差，可藉以反映集水區內地形粗糙度。
- d. 高程變異係數：定義為集水區內高度標準差除以平均數。此因子值愈大表示高程起伏愈大，而起伏愈大，發生土石流的機會也就愈大。由此可知，高程變異係數係表示集水區高程起伏差異程度。

(4) 集水區坡度因子

蕭震洋(2003)曾指出前人常以集水區或主流坡度之平均數、前 5%集水區坡度平均值評估是否易發生土石流之坡度因子。以下就坡度平均值與前 5%之平均坡度進行說明：

- a. 平均坡度：定義為集水區內所有網格坡度平均值。集水區平均坡度愈高，愈可能在尚未達到土石流的材料混合的時候，就已經被沖刷，較不易發生土石流。
- b. 前 5%平均坡度：本研究定義為前百分之五的坡度的平均代表最大坡度，此指標可以得知，如果最大坡度在一定的範圍以上，土石來源供應上有較大可能性。

(5) 集水區內崩塌地因子：根據水保局 96

年「土石流危險聚落易致災因子調查與整治對策」計畫調查結果，獲知桃芝颱風誘發土石流影響最為嚴重，故以衛星影像數化桃芝颱風事件後各集水區崩塌地，以求得集水區兩側 50 公尺範圍內總崩塌面積(單位：m²)及其崩塌率。以下簡述兩項崩塌地因子執行方法與意義：

- a. 集水區兩側 50 公尺範圍內總崩塌面積：定義為集水區兩側環域 50 公尺範圍內主要影響風災的總崩塌面積，反映集水區可能影響範圍內土石料源是否足以誘發土石流。
- b. 集水區兩側 50 公尺範圍內崩塌率：定義為集水區兩側環域 50 公尺範圍內主要影響風災的總崩塌面積除以集水區面積。

4. 顯著土石流地文因子篩選

主成分分析是一種簡化數據集的技術，理論上主成份變數與原變數在數目上一樣多，在實際應用中以 70~90%之變異解釋能力作為選定標準，對於主成份個數及關鍵致災因子決定，目前尚無一特定標準，以下分述本研究篩選方法及依據。

(1) 主成份個數

- a. 根據 Kaiser's rule(Kaiser, 1960)建議主成份的選取可取特徵值 $\lambda \geq 1$ 的個數。
- b. 又根據 Cattell 於 1966 年所提出陡坡試驗法(screen test)，將每一主成份的特徵值由大至小點繪於圖中，將各點連線，把陡降後曲線走勢趨於平坦之

主成份捨棄不用，剩餘少數之點數即為所選取之主成份。

- c. 參考 Li et al., 2010 建議，獲選之主成分累積變異百分比(代表性)建議達 85%以上。

(2) 關鍵致災因子選取

參考吳輝龍等人(2004)及陳文福等人(2005)建議，挑選主成分係數大於+0.7 與小於-0.7 者為正負相關影響關鍵致災因子。

綜合上述，本研究採用主成分分析法進行所有初選潛勢因子篩選，參照 Kaiser(1960)與 Cattell(1966)建議，選取特徵值 $\lambda \geq 1$ 及陡坡曲線走勢趨於平坦對應之個數，主成分數量共計有 5 個主成分，獲選之主成分所對應之代表性(即累積變異數百分比)達 85%以上。特徵值與累積變異數百分比可得知各主成分代表程度，成果如表 1 所示，根據結果挑選第一主成分至第五主成分主要顯著影響因子。另依據相關性分析結果剔除高相依因子(相關係數大於 0.8 以上)(Fisher, 1928)，以避免相依因子影響顯著因子貢獻，依此流程即可獲致顯著地文因子(表 2)，故後續土石流潛勢溪流判定模式即利用獲選因子建立模式，以提高分類模式之預測成效。

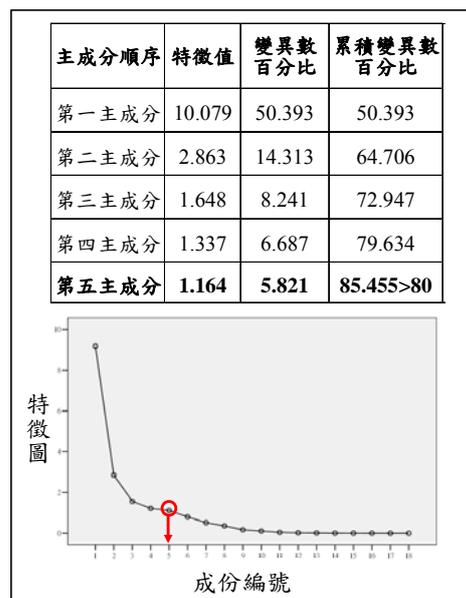
5. 資料採礦軟體介紹

本研究採用物件導向式資料採礦軟體 PolyAnalyst Client 6.0 進行分析，PolyAnalyst 是新一代的資料採礦系統工具，為強而有力的多元策略資料採礦系統，為物件導向式資料採礦分析軟體，操

作便利、開發快速，且具有重覆批次執行大量資料之優勢，透過資料採礦探索引擎找尋資料所隱含的相關性和法則，進而解讀資料衍生有用資料供決策者參考。本軟體可以處理數字(浮點數)、整數、yes/no(二元資料)、日期和離散(分類或字串)型態資料，透過資料採礦發掘資料的相關性、邏輯性、預測性及分類組織，軟體中提供近 17 種演算法，讓使用者面對各種問題時，依據使用需求選擇適當演算法進行分析。

表 1 主成分分析輸出特徵值與累積變異數百分比成果表

Table 1 Results of principal component analysis.



6. 潛勢溪流判定模式

本研究透過類神經網路中的支持向量機(SVM)建立土石流潛勢溪流判定模式，透過物件導向式資料採礦軟體 PolyAnalyst Client 6.0 執行，模式專案流程

表 2 獲選之地文因子組合表

Table 2 Combination of topographic factors significantly list.

土石流潛勢因子類別	潛勢因子項目	主成分 獲選組別	單位
集水區幾何形狀因子	集水區面積 X_1	第二主成分	km^2
	形狀係數 X_2	第二主成分	(無因次)
	環性比 X_3	第五主成分	(無因次)
集水區坡向因子	坡向標準差 X_4	第三主成分	(無因次)
	平均坡向 X_5	第四主成分	度
集水區高程因子	面積高度積分(殘土率) X_6	第四主成分	(無因次)
	高度變異係數 X_7	第五主成分	(無因次)
集水區坡度因子	平均坡度 X_8	第三主成分	度
	前百分之五平均坡度 X_9	第一主成分	度
集水區內崩塌地因子	兩側 50m 範圍總崩塌面積 X_{10}	第一主成分	m^2

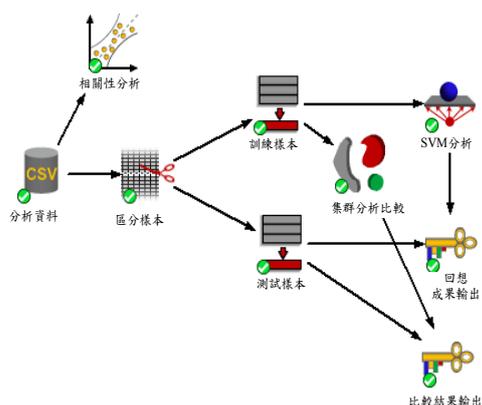


圖 7 土石流潛勢溪流判定 SVM 模型架構

Figure 7 SVM structure of models to determine potential debris-flow creeks.

如圖 7，此專案流程可儲存*.xml 檔案，能重覆執行大量批次工作。

模型中挑選 40 條有歷史災害的土石流潛勢溪流樣本，另以亂數取樣取出 40 條無歷史災害的土石流潛勢溪流樣本，使訓練樣本空間滿足統計不偏估性(即有歷史災害樣本：無歷史災害樣本=1：1)，合計共 80 條土石流潛勢溪流樣本進行訓

練，變數項須輸入各土石流潛勢溪流有無歷史災害為應變數(Y)，輸入獲選集水區地形因子為自變數(X1~X10)，透過訓練與測試成果輸出各土石流潛勢溪流判定結果，亦即分為土石流溪流與非土石流溪流。其中，土石流溪流代表意義為現行資料與歷史災害影響狀態下可能誘發土石流者，以超平面分類歸屬於發生者，可簡稱為土石流溪流，若超平面分類歸屬於未發生者，可簡稱為非土石流溪流。

7. 歷史災害紀錄驗證

上述完成土石流潛勢溪流判定模式後，須透過歷史災害驗證模式分類可信度，根據 96 年「土石流危險聚落易致災因子調查與整治對策」計畫及 97 年「土石流潛勢地區易致災因子調查與危害頻率分析」計畫蒐集整理的土石流歷史災害資料庫，針對所有花蓮縣內災害紀錄進行驗證，確認模式之預測成效。

本研究將模式分類結果與水保局提供的花蓮縣 160 條土石流潛勢溪流歷史災害目錄套疊進行驗證，採誤差分類矩陣計算

表 3 誤差分類矩陣表

Table 3 Classification error matrix results.

訓練結果		預測結果	
		土石流潛勢溪流組	非土石流潛勢溪流組
訓練之土石流 潛勢溪流數	有歷史災害組	64(N ₁)	5(N ₂)
	無歷史災害組	5(N ₃)	91(N ₄)
訓練總土石流潛勢溪流 集水區數		69(N ₇)	96(N ₈)
有歷史災害組準確率		N ₁ /N ₇ =64/69=93.7%	
無歷史災害組準確率		N ₄ /N ₈ =91/96=94.8%	
總體準確率		(N ₁ +N ₄)/(N)=(64+91)/(160)=96.9%	

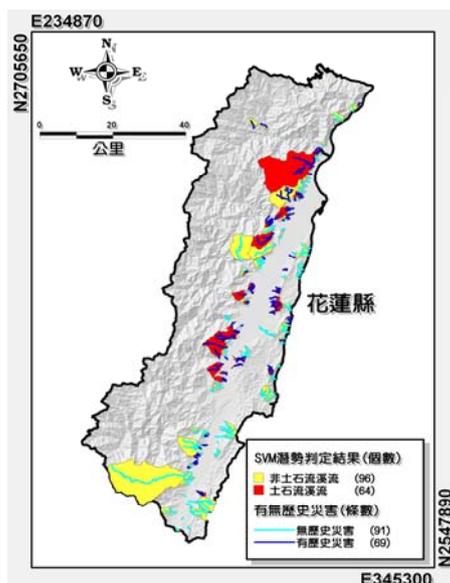


圖 8 SVM 分類結果與歷史災害資料庫驗證比對成果

Figure 8 Using database of historical disaster to verify SVM results.

模式準確率，誤差分類矩陣參考 Lillesand and Kiefer(2000)建議方式進行計算，結果如表 3 所示，SVM 分類結果與歷史災害紀錄比對結果如圖 8 所示。由表 3

驗證結果可知，有歷史災害潛勢溪流經模式判定正確分類為土石流溪流者，準確率為 93.7%；無歷史災害潛勢溪流經模式判定正確分類為非土石流溪流者，準確率為 94.8%，總體準確率為 96.9%，顯見本分類模式在預測成效上具有相當程度之可信度。

結論

本文嘗試就地形貌觀點提出研判土石流潛勢溪流可能發生災害之分類方法，冀望對現行公開之土石流潛勢溪流防救災規劃與優先防治順序研擬有所助益。

本研究係以花蓮縣為示範區域，開發以支持向量機為架構的土石流潛勢溪流判定模式，以水保局公開的 160 條土石流潛勢溪流進行訓練與驗證，驗證結果有歷史災害潛溪流經模式判定正確分類為土石流溪流者準確率為 93.7%，無歷史災害潛溪流經模式判定正確分類為非土石流溪流者準確率為 94.8%，總體準確率為 96.9%。

由研究結果可知，土石流潛勢溪流與實際歷史土石流災害資料比對後，可獲致總體準確率達九成以上，顯見水保局公開之土石流潛勢溪流與實際災害吻合程度高，以及本分類模式預測成效之優越性，未來仍須更多試驗區及歷史災害進行驗證，逐步精進分類模式，將可協助主管機關進行土石流危險溪流篩選，以提早推展災害防治、策略研擬及風險管理工作。

誌謝

感謝行政院農委會水土保持局提供計畫經費補助(編號 SWCB 98-142)，及本文編撰過程中協助過的中興工程顧問社同事，於此一併申謝。

參考文獻

1. 吳輝龍、陳文福、張維訓(2004)，「集水區地文特性因子與土石流發生機率間相關性之研究－以陳有蘭溪為例」，中華水土保持學報，第35卷，第3期，第251-259頁。
2. 林信亨、林美聆(2002)，「地理資訊系統及類神經網路應用於土石流危險溪流危險度判定」，地工技術，第90期，第73-84頁。
3. 財團法人中興工程顧問社(2006)，「土石流危險聚落易致災因子調查與整治對策」，行政院農業委員會水保局委託成果報告。
4. 財團法人中興工程顧問社(2007)，「土石流危險聚落易致災因子調查與整治對策」，行政院農業委員會水保局委託成果報告。
5. 財團法人中興工程顧問社(2008)，「97年土石流潛勢地區易致災因子調查與危害頻率分析」，行政院農業委員會水保局委託成果報告。
6. 陳文福、李毅宏、吳輝龍(2005)，「結合地文與降雨條件以判定土石流發生之研究－以陳有蘭溪集水區為例」，臺灣地理資訊學刊，第2期，第27-44頁。
7. 傅裕盛、曹鎮、徐義人(2005)，「模糊理論應用於土石流危險度分析之研究」，中華水土保持學報，第36卷，第2期，第113-123頁。
8. 詹錢登(1994)，「土石流危險度之評估與預測」，中華水土保持學報，第25卷，第二期，第95-102頁。
9. 楊明德、蘇東青、楊樺芬(2005)，「草嶺地區土石流潛勢調查與評估」，中華水土保持學報，第36卷，第3期，第301-312頁。
10. 蕭震洋(2003)，「以類神經網路及數值地型分析潛在危險性的土石流區：南投陳有蘭溪流域為實例」，國立臺灣海洋大學應用地球物理研究所碩士學位論文，共135頁。
11. Bisson, M. et al. (2005), "A rapid method to assess fire-related debris flow hazard in the Mediterranean region: An example from Sicily(southern Italy)", International Journal of Applied Earth Observation and

- Geoinformation, Vol.7, pp. 217-231.
12. Cattell, R. B. (1966), "The scree test for the number of factors. Multivariate Behavioral Research", Vol.1, pp. 629-637.
 13. Corinna Cortes and V. Vapnik (1995), "Support-Vector Networks", Machine Learning, 20.
 14. Cannon, S.H. et al. (2003), "Wildfire-related debris flow generation through episodic progressive sediment bulking processes, western U.S.A.", in Ricjenmann, D. and Chen, C.L., eds., Debris-flow hazards mitigation - Mechanics, prediction, and assessment - Proceedings of the Third International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation, Davos, Switzerland, 10-12 September 2003: Rotterdam, A.A. Balkma, pp. 71-82.
 15. Cannon, S.H. et al. (2004), "Emergency assessment of debris flow hazard from basins burned by the Cedar and Paradise fires of 2003", southern California: U.S. Geological Survey Open File Report 2004-1011.
 16. Chang, T.C. and Chao, R.J. (2006), "Application of back-propagation networks in debris flow prediction", Engineering Geology, Vol.85, pp. 270-280.
 17. Li Chen-Yeng, Lo Wen-Chun, Chen Chen-Yu, Shen Che-Wei, Tsao Ting-Chi (2010), "Using Logistic Regression to Predict the Susceptibility of Debris Flow Hazard in Hualien,Taiwan", 4th Japan-Taiwan Joint Worlshop on Geotechnical Hazards from Large Earthquakes and Heavy Rainfalls, pp431 - 441.
 18. Deng, Z., May, F.E. and Lawton, E.C. (1992), "Proceedings of the conference on Arid west floodplain management issues; land use and flood damages in arid and semi-arid areas", Conference on Arid west floodplain management issues; land use and flood damages in arid and semi-arid areas, pp. 125-137.
 19. Fisher, R. A. (1928), "The general sampling distribution of the multiple correlation coefficient", Proceedings of the Royal Society of London, Ser. A, Vol.121, pp.654-673.
 20. Horton, R.E. (1932), "Drainage Basin Characteristics," Trans. Amer. Geophys. Union, Vol.13 , pp.350-361.
 21. Kaiser, H. F. (1960), "The application of electronic computers to factor analysis", Educational and Psychological Measurement, Vol.20, pp.141-151.
 22. Lee, C. T. et al. (2008), "Statistical approach to earthquake-induced landslide susceptibility", Engineering Geology, Vol.100(1-2), pp.43-58.
 23. Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W. (2000), "Remote sensing and image interpretation", John Wiley and Sons, New York.
 24. Liu, L. and Wang, S. (1995), "Fuzzy comprehensive evaluation on landslide and debris flow risk degree in Zaotong", Yunnan, Mountain Research, Vol.13(4), pp.

- 261-266.
25. Liu, L. and Wang, S. (1996), "Preliminary research of two-level fuzzy comprehensive evaluation on landslide and debris flow risk degree of a district", *Journal of Natural Disasters*, Vol.5(3), pp. 51-59.
26. Liu, X. et al. (2002), "Empirical Assessment of debris flow risk on a regional scale in Yunnan Province", *Southwestern China, Environmental Management*, Vol.30, No.2, pp. 249-264.
27. Liu, Y. et al. (2006), "Neural network modeling for regional hazard assessment of debris flow in Lake Qionghai Watershed", *China, Environmental Geology*, Vol.49, pp. 968-976.
28. Mark R.K. and Ellen S.D. (1995), "Statistical and simulation models for mapping debris-flow hazard", *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*, pp.93-106.
29. Pareschi, M.T. (2005), "A rapid method to assess fire-related debris flow hazard in the Mediterranean region: An example from Sicily(southern Italy)", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol.7, pp. 217-231.
30. Strahler, A.N. (1952), "Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography", *Geological Society of America Bulletin*, Vol.56, pp. 275-370.
31. Su, J., Zhou, X. and Fan, S. (1993), "A fuzzy set evaluation method of hazard degree of debris flow", *Journal of Natural Disasters*, Vol.2(2), pp. 83-90.
32. Wei, Y., Xie, Y. and Wu, Y. (1998), "Applications of relativity analysis method and fuzzy synthetical assessment method in classification of dangerous degree of debris flows", *Journal of Natural Disasters*, Vol.7(2), pp. 109-117.

100年04月27日收稿

100年05月13日修改

100年06月07日接受

水土保持學報 43(2) : 203 – 218 (2011)

Journal of Soil and Water Conservation , 43 (2) : 203 - 218 (2011)