

# 應用多源地理空間資訊製作水里溪集水區崩塌潛勢圖

◎林業試驗所森林經營組·謝漢欽(mickey@tfri.gov.tw)、湯適謙、潘巍中  
◎林業試驗所太麻里研究中心·黃俊元

## 前言

受到全球氣候變遷影響，使得極端氣象事件發生頻仍，分布於農林山村地區之不同土地利用型，暴露在颱風、暴雨及人為活動之影響下，容易發生崩塌(landslide)及土石流(debris flow)等危害，常造成當地生命及財產的損失。不僅增進了當地的生態與社會系統的脆弱度(vulnerability)，同時也減低了當地的生態系統服務(ecosystem services)功能之綜合資源承載量(carrying capacity)、進而提高山村經濟生產損失以及居民生活安全性的風險。因此如何蒐集各項環境影響與致災啟動因子之地理空間資訊，藉由有效的空間資訊分析技術，製作山村不同土地利用型之崩塌潛勢(susceptibility)分析圖，以利後續以不同時空尺度研究崩塌危險度(hazard)等級及危險區域(hazard zone)劃分，以及脆弱度估算(vulnerability estimation)，對崩塌災害風險評估(risk assessment)。從評估結果提出因應的調適策略(adaption strategies)，作為有科學基礎的決策依據，為當前重要的課題。

因此，本研究選擇中尺度水里溪集水區為試驗地範圍，以2004年至2015年12年為時間尺度，於不同空間及時間尺度下整合不同時期資源衛星遙測、各項土地利用調查、數值地形、氣象、天然災害、環境敏感區劃等多尺度空間圖籍資料。應用空間統計分析技術，分析並製作極端氣象天然災害事件導向之集水區崩塌潛勢分區分級圖。期望本崩塌

潛勢分級圖，可供後續結合各種土地利用型圖、社會經濟地理資訊，評估崩塌風險之用。

## 研究材料與方法

### 【使用的多源地理空間資訊】

本研究試驗研究區域(以下簡稱本區)包含了南投縣日月潭地區之水里溪集水區，全區總面積達8,362公頃。本研究中使用的主要地理空間資訊來源如下：

向中央大學遙測中心申購本區6期(2007年1月5日、2009年5月9日、2009年11月5日、2011年2月2日、2013年1月15日及2015年1月6日拍攝)幾乎無雲福衛二號(Formosa Satellite II)影像(圖1)，以及一期由法國法國太空公司Pléiades衛星於2015年4月14日拍攝影像。另向內政部地政司衛星測量中心申請本區5 m數值高程(digital elevation model；DEM)資料。從水土保持局申請2011年南投縣山坡地土地利用型圖。從經濟部中央地質調查所取得本區五萬分之一比例尺地質圖，從國家災害防救科技中心申請南投縣歷年1 km網格空間解析度之月雨量資料。向農委會農業試驗所申請本區的山坡地土壤圖。此外從內政部地理資訊圖資雲服務平台(Taiwan Geospatial One-Stop portal, TGOS平台)下載或申請與本區崩塌潛勢分析相關的地理空間資訊、如崩場地類型調查圖、順向坡區位圖、土石流潛勢溪、災害發生歷史圖資，以及地調所發布的地質敏感區位劃分圖等地理資訊資料。

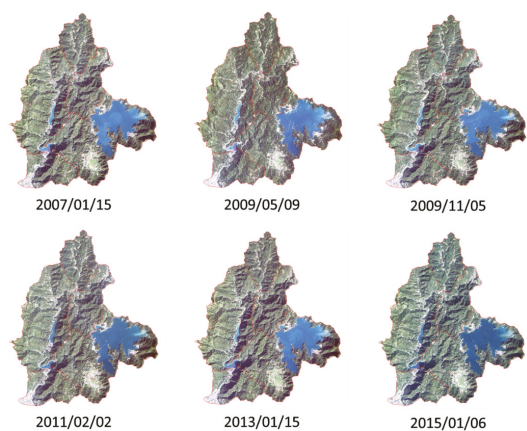


圖1 本研究使用南投縣水里溪集水區6期無雲的福衛二號影像。(謝漢欽 製圖)

### 【衛星資料崩塌地自動萃取】

本研究採用的崩塌地自動萃取過程，係以上述6期福衛二號全色融合影像及2015年拍攝Pléiades衛星全色融合影像(pan-sharpening image)導出的NDVI(normalized difference vegetation index)及GI(greenness index) 兩個常態化植生指標為依據，進行主成分分析(principal component analysis)，從中選取第一主成分影像進行後續分析。其優點為在於能消除兩指標之間的高相關性，進而減低山區地形陰影的影響。最後以物件導向分水嶺影像分割法配合萃取的區塊形狀與平均坡度門檻值，萃取出本區不同時期的崩裸地分布圖。再與高解析度數值地形套合、將衛星影像展繪成3D立體模型；經人為判讀方式確定，製作出水里溪集水區各個時期的崩塌地分布圖。本研究的崩塌地半自動萃取程序如圖2，除可節省人力，並能避免人為主觀選取崩塌地區塊邊界的缺點，足以達成大面積、多時期崩塌地分布地理主題圖層的製作，供後續崩塌潛勢分析之用。

### 【崩塌潛勢分析與分級】

本研究採用不安定指數統計估計法(instability index method)，進行崩塌潛勢分析，分析步驟如圖3。選擇上述Pléiades衛星影像2014年判釋所得崩裸地、2004年至2015年6期由福衛二號影像萃取的崩塌地分布圖，加上水土保持局2011年山坡地土地利用調查的崩裸地分布圖，以及由國家防災資訊科技中心提供2004年至2015年地面調查所得的水里集水區崩屑滑動區塊及落石崩塌空間分布圖等，總共空間聯集(union)了10個圖層的崩裸地區塊，依此當作建立本區不安定指數崩塌潛勢預測模式的訓練樣本(training samples)。

因而本研究係以2004年至2015年為分析的時間尺度，藉由蒐集此時段內的各項地理資訊圖層，依據5 m數值高程當作最小單元面積，以地理資訊空間分析方法製作了本區15個具有5 m空間解析度之促成崩塌地發生因子

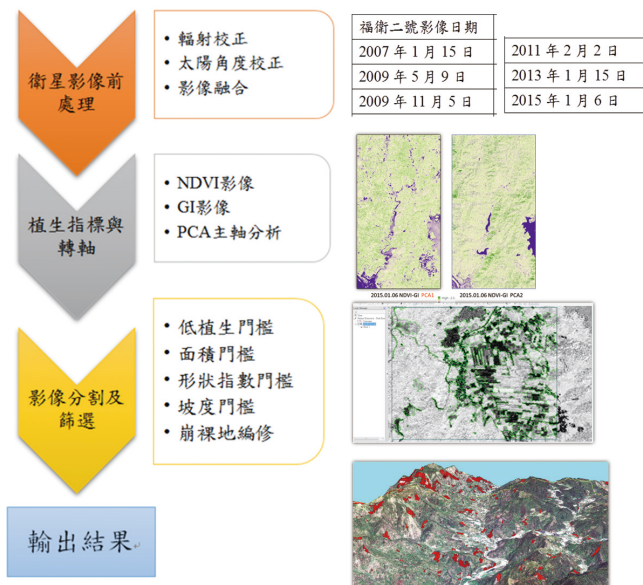


圖2 本研究的崩塌地半自動萃取流程圖。(潘鏡中 製圖)

不安定指數法 流程圖

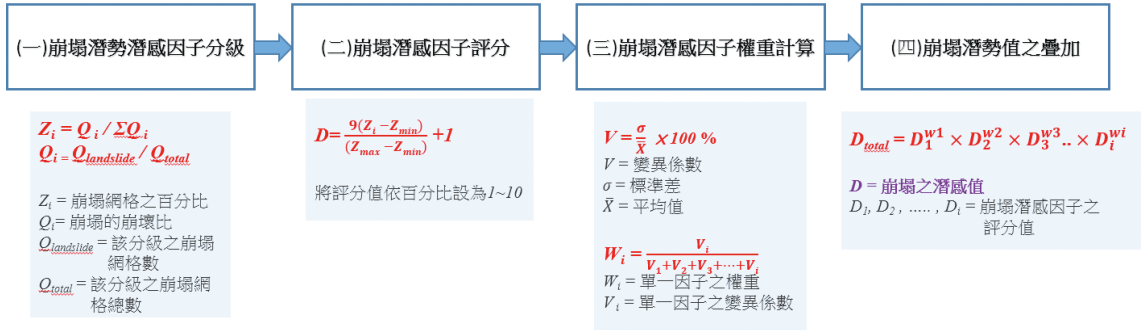


圖3 本研究以不安定指數法進行崩塌潛勢的分析步驟。(潘巍中 製圖)

圖層：(1)平均降雨量分級圖(2)坡度分級圖(3)海拔高分級圖(4)坡向分級圖(5)地形粗糙度分級圖(6)NDVI分級圖(7)山坡地土壤分類圖(8)土壤深度分級圖(9)五萬分一地質分類圖(10)離道路分級圖(11)距離主流分級圖(12)距離支流分級圖(13)距離活動斷成分級圖(14)距離順向坡分級圖(15)距離土石流潛勢溪分級圖。其中分級圖若為連續型資料係以Natural Break直方圖統計分類法(本分類法具有符合組內差異性最小，組間差異性最大的統計原理的分類方法)分成10級，如果是分類圖則以其圖層分類數為基準，進行不安定指數法所需的各項分級或分類統計值計算。

分析方法(圖3)係將上述各個因子的變異係數排序，選出個別因子變異係數(coefficient of variation)大於90%以上的因子當作有效影響崩塌地發生的解釋因子，計算出個別因子的權重，以各因子分級或分類的不安定評分分數，將本區各個因子影像相乘，最後求得水里溪集水區崩塌潛勢機率圖。最後再以Natural Break直方圖統計分類方法，將水里溪集水區崩塌潛勢機率圖分成低、中低、中、中高、高5個等級。

## 結果與討論

### 【崩塌地自動萃取與熱點分析】

2015年Pléiades衛星全色融合影像，以本研究的崩塌地半自動萃取程序萃取後的崩塌地分布圖如圖4。以前述空間聯集10個圖層的崩裸地區塊，運用空間統計Local Getis-OrdGi\*方法計算，完成試驗區崩塌地之空間統計之熱點分布圖，本圖以Z分數分布顯示出本區崩塌面積大且集中的熱點區共有兩處詳如圖5。

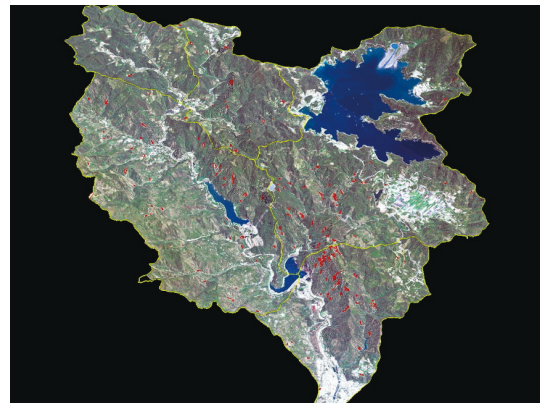


圖4 2015.04.14 法國 Pléiades 衛星全色融合影像，空間解析度50 cm。結合數值地形模型(DTM)展示立體透視圖。應用影像分割技術萃取的紅色多邊形，代表坡度大於15度、面積大於0.04公頃的崩塌地及土壤裸露區塊。(謝漢欽 製圖)

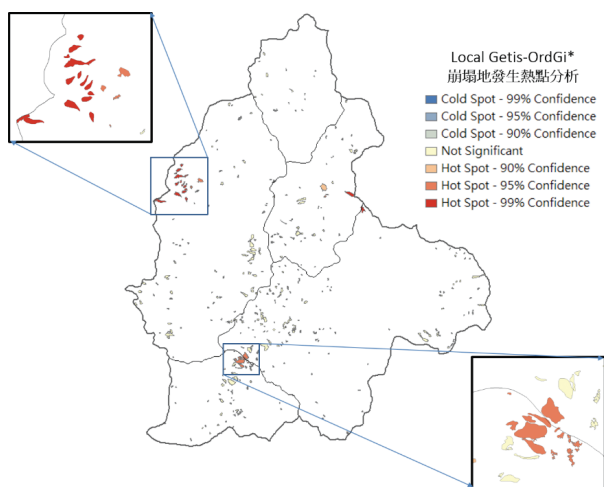


圖5 以Z分數分布顯示出本區崩塌面積大且集中的熱點區共有兩處。(謝漢欽 製圖)

【崩塌潛勢圖的製作】

本研究充分運用政府開放資料，綜合與崩塌地相關的土地利用調查、土壤、地質、高解度數值高程資料、氣象及災害等的地理資訊圖層，進行空間分析。應用不安定指數統計分析方法，建立崩塌潛勢預測模式，依據各個因子的各級崩塌地所占的面積比率之變異數大小，選出有利於崩塌潛勢分析的主要影響因子。研究過程中從15個相關因子(列示於圖6)中依序選取了(1)地形粗糙度分級圖、(2)坡度分級圖、(3)山坡地土壤分類圖、(4)NDVI分級圖、(5)五萬分之一地質分類圖，

| 崩塌潛勢影響指標     | 變異數 V(%) | 權重 W(%) |
|--------------|----------|---------|
| 1.地形粗糙度      | 157.64   | 21.22   |
| 2.平均坡度       | 134.95   | 18.16   |
| 3.山坡地土壤分類圖   | 129.60   | 17.44   |
| 4. NDVI      | 123.53   | 16.63   |
| 5.五萬分之一地質分類圖 | 106.75   | 14.37   |
| 6.平均雨量       | 90.54    | 12.18   |
| 7.土壤深度       | 111.55   |         |
| 8.距斷層距離      | 67.76    |         |
| 9.海拔高        | 67.70    |         |
| 10.距支流距離     | 57.84    |         |
| 11.距主流距離     | 48.33    |         |
| 12.坡向        | 46.52    |         |
| 13.距土石流潛勢溪   | 44.22    |         |
| 14.距道路距離     | 41.51    |         |
| 15.距順向坡距離    | 27.01    |         |

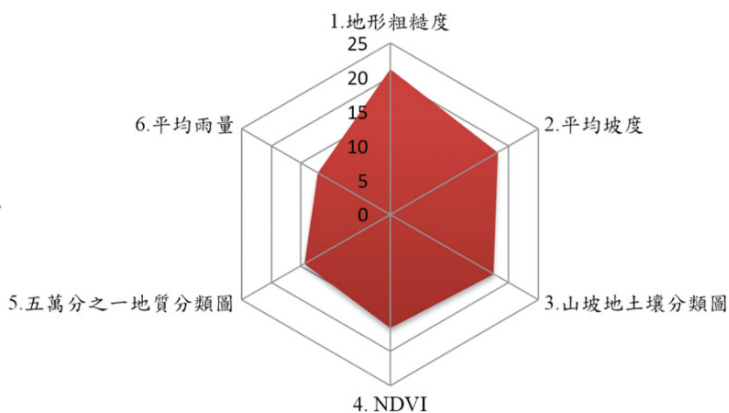


圖6 從15個崩塌發生相關因子中依序選取了(1)地形粗糙度分級圖、(2)坡度分級圖、(3)山坡地土壤分類圖、(4)NDVI植生因子分級圖、(5)五萬分之一地質分類圖，以及(6)平均降雨量分級圖共6個主要因子，作為不安定指數評分模式的主要影響變數。(謝漢欽 製圖)

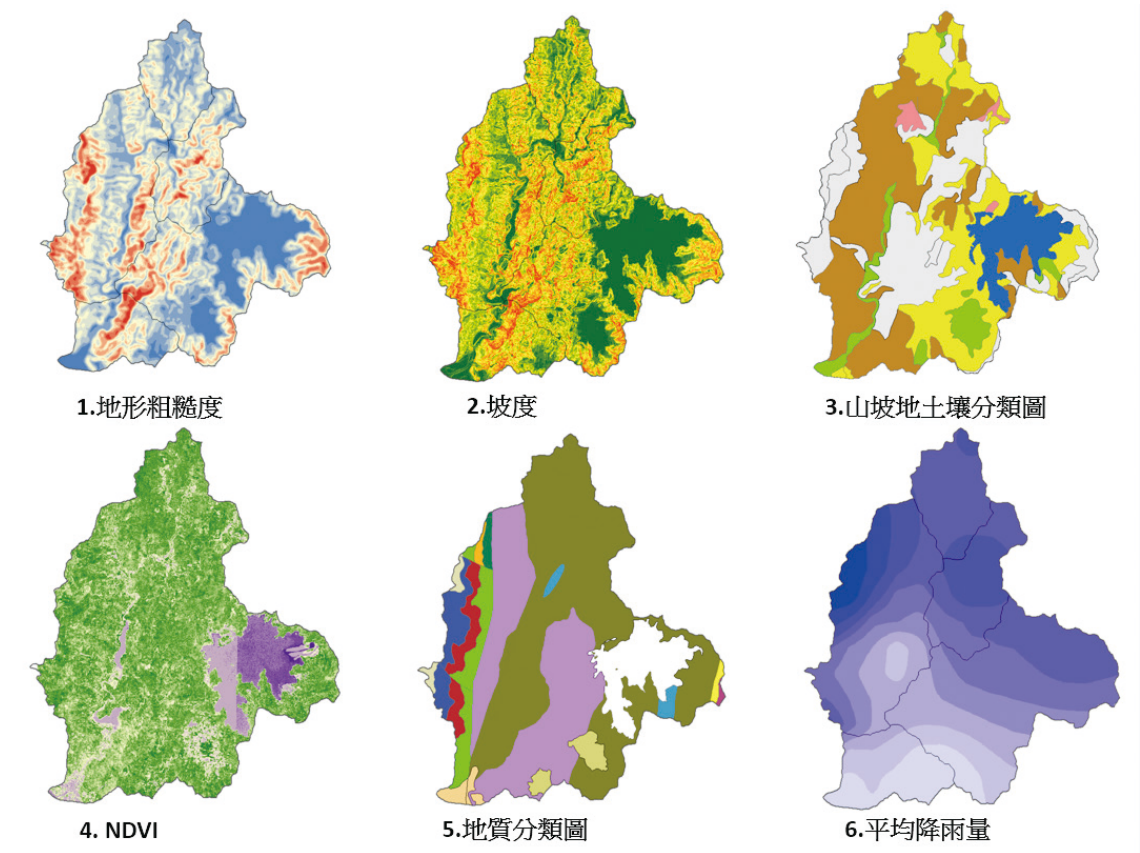


圖7 經由不安定指數法選出6個重要影響因子的空間分布圖。(謝漢欽 製圖)

以及(6)平均降雨量分級圖，共6個主要因子，其空間分布圖(詳如圖7)，作為不安定指數評分模式的主要影響因子(Di)。

本方法可依據過往發生的崩塌地所在之位置進行個因子分級的不安定分數計算，並以其變異數所占權重當作不安定分數指數值，求算個因子標的權重；再以各因子分級或分類的不安定評分分數，求得水里溪集水區崩塌潛勢機率圖(如圖8)，圖8以一個從1到10分連續數值代表崩塌發生的機率。將訓練用的聯集崩塌地圖層與崩塌潛勢機率圖套疊分析，發現有82%的崩塌地區塊落在機率大於

5分的區位。最後將水里溪集水區崩塌潛勢機率圖分成低、中低、中、中高、高5級(圖9)，其中處在第5級區位的崩塌發生機率值大於0.5以上，必須加以注意。本崩塌潛勢機率圖或分級圖可與其他地理資訊圖層相疊加以驗證，符合研究設定目的，在於提供後續結合各種土地利用圖(以圖10舉例說明)、社會經濟地理資訊，評估崩塌風險之用。

## 結論

本研究以包含日月潭的水里集水區為試驗地範圍，以2004年至2015為時間尺度，選

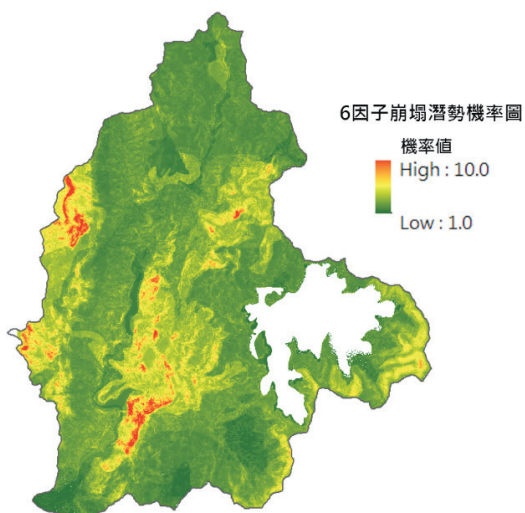


圖8 依據過往發生的崩塌地所在的位置進行個因子分級的不安定分數，並以變異數所占權重當作不安定分數指數值，計算個別因子的權重，再以各因子分級或分類的不安定評分分數，求得水里溪集水區崩塌潛勢機率圖。(謝漢欽 製圖)

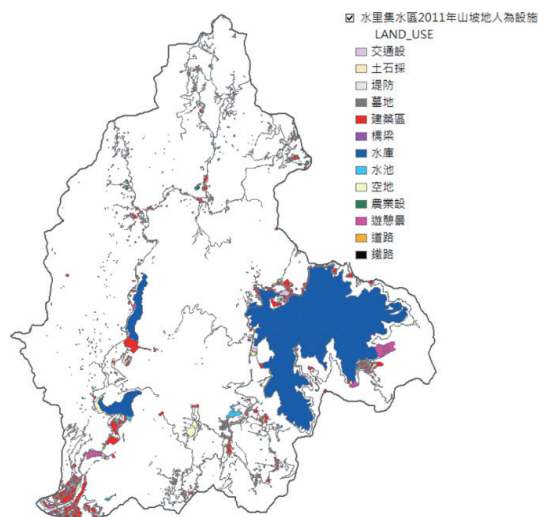


圖10 從2011年南投縣山坡地土地利用型圖，選出水里溪集水區人為設施土地利用分布圖，本圖如與本研究崩塌所得崩塌潛勢機率圖套疊分析，可知那些重要設施應列入優先保全對象。(謝漢欽 製圖)

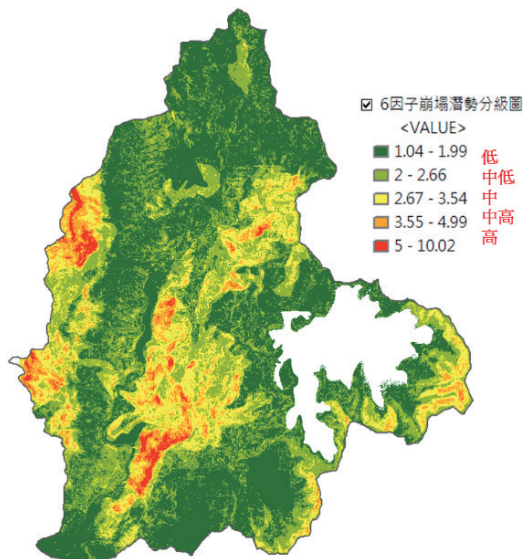


圖9 將水里溪集水區崩塌潛勢機率圖分成低、中低、中、中高、高5級，其中處在第5級區位的崩塌發生機率值大於0.5以上應加以注意。(謝漢欽 製圖)

擇6期福衛二號衛星遙測、1期法國Pléiades衛星影像，應用影像分割技術之半自動崩塌地

萃取程序完成7個時期試驗區域的崩塌地調查。另外從政府開放資料申請及下載與崩塌地有關土地利用調查、數值地形、氣象及災害等的地理資訊圖層。應用地理空間分析技術，呈現試區崩塌地變遷的熱點分析。應用不安定指數統計分析方法，選出地形粗糙度分級圖、坡度分級圖、山坡地土壤分類圖、NDVI植生因子分級圖、五萬分之一比例尺地質分類圖，以及12年期平均降雨量分級圖，共6個主要因子，計算個別因子的權重。以各因子分級或分類的不安定評分分數，求得水里溪集水區崩塌潛勢機率圖，將水里溪集水區崩塌潛勢機率圖分成低、中低、中、中高、高5級；其中處在第5級區位的崩塌發生機率值大於0.5以上必須加以注意。本崩塌潛勢分級圖，可供後續結合各種土地利用型圖、社會經濟地理資訊，評估崩塌風險之用。⚠