

本文章已註冊DOI數位物件識別碼

► 台東地區土砂災害之生態環境脆弱度評估

Assess Eco-environmental Vulnerability of Debris Disaster Areas in Taitung County

doi:10.6574/JPRS.2010.15(1).4

航測及遙測學刊, 15(1), 2010

Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 15(1), 2010

作者/Author : 陳桂嘉(Kuei-Chia Chen);吳守從(Shou-Tsung Wu);陳朝圳(Chaur-Tzuhn Chen)

頁數/Page : 51-64

出版日期/Publication Date : 2010/03

引用本篇文獻時，請提供DOI資訊，並透過DOI永久網址取得最正確的書目資訊。

To cite this Article, please include the DOI name in your reference data.

請使用本篇文獻DOI永久網址進行連結:

To link to this Article:

[http://dx.doi.org/10.6574/JPRS.2010.15\(1\).4](http://dx.doi.org/10.6574/JPRS.2010.15(1).4)



DOI Enhanced

DOI是數位物件識別碼（Digital Object Identifier, DOI）的簡稱，
是這篇文章在網路上的唯一識別碼，
用於永久連結及引用該篇文章。

若想得知更多DOI使用資訊，

請參考 <http://doi.airiti.com>

For more information,

Please see: <http://doi.airiti.com>

請往下捲動至下一页，開始閱讀本篇文獻

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE

台東地區土砂災害之生態環境脆弱度評估

陳桂嘉¹ 吳守從² 陳朝圳^{3*}

摘要

知本溪與太麻里溪為台東縣較嚴重的莫拉克颱風土砂災害集水區，崩塌是該集水區內最嚴重的土砂災害類型。本研究目的在於發展土砂災害集水區的生態環境脆弱程度評估模式。研究方法係整合 GIS 與 RS 技術，利用因素分析求解崩塌地影響因子權重，並以環境脆弱度指標，評估集水區生態脆弱區域，同時建構以自然環境潛在因子，以及保全對象危害度因子為基礎的崩塌地復育需求模式，並利用莫拉克颱風造成的崩塌地區作為脆弱度區域之驗證。研究結果顯示，除了環境區位因子的干擾外，人為開發亦為崩塌地發生的重要影響因子；在脆弱度分析方面，兩個集水區均顯現崩塌地確實是處於高危險且高脆弱之地區，其中又以太麻里溪集水區最為嚴重，整個區域內被歸類於極脆弱等級之崩塌地高達 41.35%。依據本研究所建立的崩塌地復育需求評估模式，顯示太麻里溪集水區崩塌地有較高的復育處理需求，因此研究結果有助未來集水區進行治理及崩塌地植生復育之參考。

關鍵詞：生態環境脆弱度、土砂災害、植生復育評估、集水區、莫拉克颱風

1. 前言

台灣位處菲律賓海洋板塊及歐亞大陸板塊交接處，在地震頻繁，地質組成複雜，颱風、豪雨等潛在因子影響，與山坡地過度開發，人為建設增加，921 地震後的外在劇烈干擾之下，導致山坡地容易引發山崩、洪水及土石流等土砂災害。吳杰穎、等(2008)曾指出，颱風是台灣最頻繁的天然災害，以東部及北部最受衝擊，其中東部更成為全台最易受災地區；此外，在全球氣候變遷影響下，劇烈天氣所導致的山區大量降雨，更使山崩發生機率逐年升高(鄭皆達、等，2003；呂明翔，2007)，因此環境對於崩塌地的抗衡能力亦成為各界所關注之議題。全球氣候變遷(Global Climate Change) 第二次評估報告(IPCC Second Assessment Report, 1997)曾提及，「脆弱度組成構面的具體定義，包含系統暴露在某一環境下的特徵強度(或速率)、易敏感而受影響之對象，以及對抗外界干擾的調適能力等三大構面」

(IPCC, 1997)；而系統的不安定度，以及對外界干擾的敏感性，可表示為對干擾活動的反應速度、程度，以及強度大小(王介勇、等，2005；田亞平、等，2005)。

RS 與 GIS 具有能透過高度的空間、時間與光譜解析力整合，以及取得地表資訊進行空間套疊分析的特性，實為近年來進行崩塌地研究之重要工具。Di *et al.*(2008)曾利用 GIS 建立土石流危險評估模型，其方法乃根據 DEM、地質圖與 24 小時降雨資料，結合社會經濟條件，以迴歸分析進行土石流之風險評估，並依所推估之潛在危害區域與脆弱性，把四川省之嚴重等級分為四類；同時透過風險測繪與建模，區分土石流危險保全之程度，以提供當地居民與政府作為有效治理與預防的參考資料。此外，另有研究針對區域內各影響因子，以空間主成份分析法(Spatial Principle Component Analysis, SPCA)篩選對區域內生態環境脆弱度最具影響的組成因子，並進一步利用生態環境脆弱度評估模式，探討脆弱度長期變遷的情形，結果均顯示生態環境脆弱

¹ 國立屏東科技大學森林系 碩士

² 實踐大學觀光管理學系 副教授

³ 國立屏東科技大學森林系 教授

* 通訊作者，電話：886-8-7703202ext.7147, E-mail: cct@gisfore.npust.edu.tw

收到日期：民國 99 年 04 月 08 日

修改日期：民國 99 年 05 月 14 日

接受日期：民國 99 年 06 月 04 日

度評估模式 (Eco-environmental vulnerability evaluation, EVE) 為具有地區性特徵的整合指數，利用環境脆弱度指標 (Environmental vulnerability index, EVI) 明確顯示其整體區域的真實情況與變化情形，能有效地劃分出脆弱度的區域範圍，並建立生態環境脆弱體系 (Li *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2008)。

台東縣雖然相對在東部是土地開發程度較低的地區，但 2009 年之莫拉克颱風卻帶給知本溪及太麻里溪集水區相當嚴重的土砂災害。極端氣候的影響雖是無可避免之因素，但超限利用的行為亦可能是導致山區土砂嚴重流失以及水文系統改變的原因，更因而加劇了天然災害的嚴重性。然自 2000 年以來，水土保持局即開始進行土石流疏散避難路線之規劃，其目的乃希望有效降低災後的人員傷亡 (水土保持局，2008)，因此對於崩塌地脆弱區域，若能針對具有保全對象者給予適當評估，則在其災害復發之時，將有助於減少危及生命安全情事的發生。

爰此，針對擁有保全對象之崩塌地，應優先提出對應辦法，並進行崩塌地監測與復育治理之作業。而就治理作業而言，蔡真珍(2000)曾以集水區出流口的泥沙產量，推算崩塌區位沖蝕的深度，以作為治理順序的指標；而水土保持局(2003)則以保護對象、地表起伏比、地質、植生覆蓋率、土壤沖蝕、崩塌率，以及土石流潛勢溪等因子，作為評估集水區優先治理之順序，因此可知復育治理的順序管理是有其必要性的。而為瞭解森林集水區之環境特性，以及人為開發對區域崩塌之影響，本研究應用 GIS 與 RS 技術，透過地文、水文、氣候、人文等四大類影響因子之分析，評估森林集水區的生態環境脆弱度，以作為集水區規劃與經營、管理參考。

本研究期望透過脆弱度的概念，探討研究區潛在崩塌脆弱區域，因此於 IPCC 的基礎架構下，針對研究目的將脆弱度重新定義為「受人文因子所干擾，導致較敏感、脆弱之地區；當遭受環境及氣候等外界因素危害，其容易受災的程度」。並應用脆弱度評估分析方法，建立公正、客觀且標準的評估指標體系；同時探討影響脆弱度因子與脆弱程度間

之關係，以期能配合適當的管理規劃，瞭解並加強面臨威脅時的適應需求能力，以及降低系統脆弱度的策略性思考。本研究之目的分述如下：

- (一) 以地文、水文、氣候、人文等四類影響因子，推估知本溪及太麻里溪集水區容易發生崩塌之潛在脆弱區域，以利相關部門作為經營管理之參考。
- (二) 因受莫拉克颱風侵襲之影響，各地崩塌災情不斷，有鑑於此，本研究將藉此驗證極端氣候對於潛在環境脆弱之地區影響。
- (三) 透過崩塌地脆弱區域圖，整合區內保全對象資料，繪製崩塌地優先復育等級，以避免高危險崩塌地再次引發災害。

2. 材料與方法

2.1 研究區域概述

台東縣東邊銜接海岸山脈且濱臨太平洋、西倚中央山脈。因位居北迴歸線以南，其氣候屬於熱帶氣候型態。由於地理位置之關係，經常成為颱風來襲首當其衝之地，進而成為土砂災害好發地區。境內較為重要的土砂災害集水區，分別為知本溪集水區與太麻里溪集水區，其範圍如圖 1 所示。氣候方面，台東地區 1~4 月屬於相對乾旱期，5~9 月則轉變為雨季。統計 2001~2008 年之資料，其年均溫約為 24.8°C，年平均降雨量則為 1,373.6 mm；而與 2000 年以前之歷年資料相比，近年溫度偏高但降雨量減少，平均溫度上升約 0.46°C，而降雨量則下降 482.5 mm。莫拉克颱風來襲時，本區在極端氣候影響下，短時間之內即累積降下高達 1,400~1,600 mm 之雨量，其值相當於一年的降雨總量，故造成土砂災害之發生。

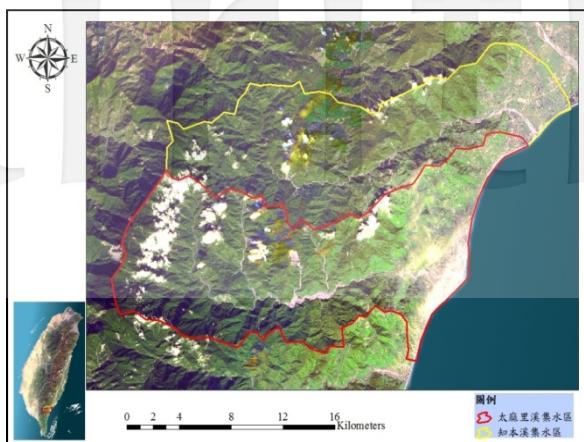


圖 1 研究區域位置

2.2 研究材料

本研究採用 2007 年 4 月 1 日 SPOT4 之 20 m 多光譜態影像，以及空間解析力由 10 m 多光譜態(HI)與 2.5 m 超解像模式(THR)所融合之 2.5 m 自然色影像(影像日期為 2009 年 8 月 20 日之 SPOT5)為材料，前者主要為推估分析使用，後者則為後續分析驗證之用。另為瞭解兩期影像崩塌地分布狀況，除 2007 年崩塌地圖層係由 96 年度國科會研究成果(NSC 96-2625-Z-020-003-)所取得外，2009 年崩塌地圖層，則以 2.5 m 之融合影像為主，2007 年崩塌地圖層為輔，透過人工判釋以螢幕數化方式獲取。環境是生態體系遭外在干擾衝擊時，極為重要的抗衡因素，因此參考前人所使用的環境因子(林鼎鈞、等，2008；蕭芝昀、等，2008；白林奇，2008；陳俞瑾，2006；黃漢淨，2006；蔡靜怡，2005；Metternicht and Gonzalez, 2005；張政亮、等，2005；劉文賢，2005；黃崇賢，2004；簡世宏，2004；林家榮，2004；Perotto-Baldviezo, 2004；張雲翔，2004；連香如，2003；許輔仁，2002；王慶豐，2001；陳誌焜，2000；廖軒吾，2000；游中榮，1996；林中興，1994；Phien-Wei, 1993；鄭元振，1992；Gao and Lo, 1991)，挑選坡度、坡向、海拔、地質、平均年降雨量、地表裸露度、距水系距離、距道路距離，以及人口密度等 9 項具代表脆弱度意義之因子，建立網格式資料圖層(40 m×40 m)，並給予適當分級，以作為隸屬分析及模式推估之用。而因子圖層

製作方面，除使用林務局農林航空測量所製作之 40 m×40 m 數值地形模型(Digital Elevation Model, DEM)資料計算坡度、坡向等相關地文資料，並利用 2007 年之衛星影像進行植生指標(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) (式 1) 計算，且進行反轉將其值分為 0~1，再以常態分配之原則進行分級。反轉後之 NDVI 數值越高，代表地表裸露程度越高。

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{R}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{R}}} \quad (1)$$

ρ_{NIR} ：近紅外光波段 ρ_{R} ：紅光波段

降雨是促成崩塌發生的主要因素之一，當累積降雨超過 600 mm 時，生成崩塌趨勢則明顯提高(陳天建、等，2004)。然而，某區域的長年降雨量，通常能代表該區的降雨程度一年降雨量較高者，對於水分供給應較為豐富。本研究為瞭解年降雨量對於崩塌地生成是否造成影響，利用水利署架設之水文水資源資料管理供應系統，推估研究區平均年雨量資料。

地質資料取得係為中央地質調查所製作之全台 1/250,000 地質圖層。由於研究區域範圍廣大，實際調查困難，且地質由許多不同岩石所組成，故利用各種岩石密度資料(史天元、等，1998)與地質年代資料(黃敦友，1990)，取其岩石密度之平均值，以獲得各地層之密度；再對照地質圖層之地質年代、地質組成等資訊，估算各岩層之地質強度高低後予以分級。

人口密集處通常是開發較嚴重區域，也極可能是構成環境脆弱的重要影響因子，因此人口密度圖層係根據內政部戶政司 2007 年底之戶籍統計資料進行製作(內政部戶政司，2008)；而道路圖及水系圖則依據內政部所提供之全台道路、水系圖層予以萃取；保全對象為復育優先順序之重要考慮因子，故本研究則以土石流危險溪流之危險區域範圍，以及土地利用現況之建地、交通建設區域等作為保全對象圖層，以供後續復育需求分析使用。

2.3 研究方法

本研究目的期望透過生態環境脆弱度的評估顯示發生崩塌的潛在脆弱地區，並透過脆弱度區域圖加以整合區內的保全對象資料，以瞭解亟需優先復育的崩塌地，進而提供相關經營管理參考與避免二次災害之發生。

2.3.1 生態環境脆弱度分析

Lehmann *et al.* (2002) 及朱容君(2008)等研究指出，為達推估之理想狀況、提高脆弱度推估模式的準確性，於建立推估模式前，應隨機將資料分為建立模式組，以及模式準確性評估之驗證檢核組，因此本研究以逢機方式，將 80% 的原始崩塌地資料作為資料建模組，另以 20% 作為後續脆弱度評估之驗證檢核組。此外，透過 9 項因子模糊集合資料計算 EVI(Li *et al.*, 2006)，以探索性因素分析(圖 2)評比各項因子之權重；以累積解釋率達一定百分比以上的前 n 項因素軸，作為轉軸後之顯著因素因子，並將因素軸之因子特徵比例，視為脆弱度因子權重的加權係數，以獲得知本溪集水區與太麻里溪集水區各 EVI 數值(式 2)，藉以求取知本溪與太麻里溪集水區境內的生態環境脆弱程度以及脆弱度較高之區域。

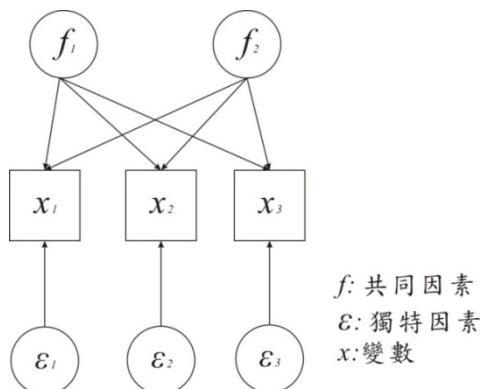


圖 2 探索性因素分析路徑圖(陳順宇，2004)

$$EVI = \sum \alpha_i Y_i \quad (2)$$

式中，EVI 表示生態環境脆弱度指數， α_i 為第 i 個因子負荷量，而 Y_i 則表示第 i 個因素軸。

2.3.2 極端氣候之驗證

受全球氣候變遷之影響，極端氣候發生機率屢屢上升，未來全台的平均極端降雨事件頻率也趨於升高的現象(盧孟明、等，2005)，而莫拉克颱風即為極端氣候事件的明顯案例。由於該颱風造成台東地區極大的災害，故本研究於完成生態環境脆弱度評估後，另使用 2009 年莫拉克風災後之崩塌地圖層與其相互套疊，將崩塌地與環境脆弱度評估圖進行比較，瞭解崩塌地分布與脆弱度等級之關係，並藉此評估結果是否與現況相符，以驗證脆弱度評估圖的可靠性。

2.3.3 崩塌優先復育評估

經生態環境脆弱度評估後，即可求得每塊崩塌地的脆弱程度，因此本研究進一步進行治理評估。以水土保持局(2008)建立之土石流潛勢溪流優先處理順序等級評估模式(式 3)為例，其評分對象分自然潛在因子與保全對象危害度因子兩大類後再細分各類別，其中自然潛在因子方面，包含崩塌規模、地形因子、材料破碎情形、地質因子以及植生因子；保全對象危害度因子方面，則主以建築物、交通設施、現地整治成效共三大考量項目。

$$\text{優先處理順序評分} = (\text{自然環境潛在因子} \times 50\%) + (\text{保全對象危害度因子} \times 50\%) \quad (3)$$

由於評估復育優先等級所需考慮因子眾多，為能有效避免高危險地區引起二次災害，本研究擬應用具解釋區域性脆弱程度優勢之脆弱度評估圖，取代繁雜之自然因子計算，建立崩塌優先復育評估模式。而有關保全對象選取方面，根據水土保持局對土石流潛勢溪流之定義：「該溪流除有發生土石流之可能，且發生土石流後會對當地住宅及道路、橋梁等造成災害時，才會將該區域劃設為土石流潛勢溪流」；依行政院農業委員會水土保持局(2009)公布資料顯示，台東縣總計共有 163 條危險溪流，而大部份均具有保全住戶且屬於中、高潛勢之溪流。基於危險溪流之潛在受害區域即為需保護之對象，且目前各縣市之土石流影響範圍之圖層資料完整，

因此以崩塌地與建地(Build)、道路(Road)，以及土石流影響範圍(Areas of Debris Flow Affects, ADFA)納入保全對象為考慮因子，利用歐基理德距離進行兩兩目標源之計算，並換算每塊崩塌地與各項保全對象的平均距離。然而，因各項評估因子的單位數值與其定義皆有不同，故於計算評分前需將各評估因子予以標準化如式 4。透過上述模式的建立結果，將可提供相關單位瞭解廣大範圍內之崩塌地急迫處理的等級。

$$X'_i = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (4)$$

式中， X'_i 係指轉換後的評估因子標準值， X_i 為轉換前的評估因子數值， X_{\max} 、 X_{\min} 則分別代表評估因子的最大值、最小值。

3. 結果與討論

3.1 脆弱度評估分析

為探討兩個集水區對於崩塌災害的容忍度，以標準化後的 9 項環境因子進行因素分析，藉由因子負荷量表示因子間之權重值。各集水區主要因素軸的高相關因子整理如表 1，依據因素分析轉軸過後之因素軸解釋率(Contribution)作為脆弱度的成分權重，並且計算 EVI 的成分組合，如式 5 及式 6 所示。

$$\begin{aligned} EVI_{chi} = & 0.30526 \times P1 + 0.16577 \times P2 + \\ & 0.12805 \times P3 + 0.12356 \times P4 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} EVI_{tai} = & 0.39114 \times P1 + 0.15514 \times P2 + \\ & 0.11593 \times P3 \end{aligned} \quad (6)$$

知本溪及太麻里溪集水區之 P1 整體脆弱度，其成分比依次約為 42.24% 與 59.07%，其中除知本溪的水系距離因子之外，其餘所包含的高相關變數因子皆以海拔及會破壞坡腳穩定性的道路距離為主。道路邊坡防護設施設計不良、排水功能不佳或是地質狀態脆弱，容易於開發後造成挖空地區之坡

腳穩定度降低，誘使下方土石無法承受上方的壓力而向下崩落 (黃漢淨，2006)，顯示近道路地區對崩塌地確實有所影響。在經濟發展與人口增加等人文因素下，平地的空間使用已呈現飽和狀態；考量生存空間之需求，人類的基礎建設不斷朝向高海拔地區拓展，使得受干擾的開發型坡地可能已產生了潛在的脆弱，因此海拔因素係屬崩塌生成之影響因子(陳俞瑾，2006)，此結果亦與簡世宏(2004)之研究發現－「崩塌位置主要分布約為 500 m 以上的山坡地」相符。此外，年平均降雨量亦屬於 P1 影響的代表因子，花東地區因常為颱風與季風鋒面之首當地區，對於排水不佳、地質脆弱的地區於雨季來臨時，會因降雨量增多而使地下水位出現明顯變動；而地下水位上升會降低土壤的抗剪強度，同時增加土體的下滑力(王大維，2004)。年降雨量較豐富的地區即表示該地區的相對降雨機率較高，因此地下水位升高的頻率也相對提高。鍾國平(2009)於南庄鄉進行地滑穩定性與災害因子調查，也曾提出雨量豐沛是造成崩塌的主因，且累積的降雨量可能會造成不同程度的崩塌深度(Dai and Lee, 2001)，故年平均降雨量產生之影響乃是構成脆弱度的重要因子。由上述說明可知，崩塌地的潛在地區多位於高海拔、距離道路或是水系較近，且年降雨量較豐沛的地區，故將此軸命名為「環境區位因子」。

由知本溪集水區之 P2 因素軸顯示，人口密度因子為影響崩塌發生的原因之一。由於台東地區人文環境為靠河岸兩旁開發居多，人們所有活動主要都圍繞在道路周邊(李瑞陽、等，2005)，土地的開發會破壞原始地質之結構，故當人口密度過高，則可能屬於較脆弱之地區；再加上河床、河道兩側的水流沖蝕、搬運能力增強(黃漢淨，2006)，蜿蜒河道也會因凹岸的水流速度較急，產生侵蝕河岸之現象，致使附近邊坡嚴重的沖刷導致坡腳受到破壞，上方土壤與沿岸的土石承受力降低而因此向下滑落產生崩塌(李瑞陽、等，2005)。P2 軸與整體脆弱度成分比，雖然依序僅佔 16.58%，仍可說明人口開發程度確實為影響崩塌地的成因之一，故可將此軸命名為「人為開發因子」。

表 1 各集水區主要因素軸因子與因子負荷量

	知本溪集水區	太麻里溪集水區
P1	距道路距離(0.96870)、年平均降雨量 (0.94608)、海拔(0.83998)	海拔(0.95142)、距道路距離(0.89160)、年平均降雨量(0.85219)、距水系距離(0.70327)
P2	距水系距離(0.83656)、人口密度(-0.71397)	地質(0.78534)
P3	地質(0.75761)	地表裸露度(0.91844)
P4	地表裸露度(0.84477)	

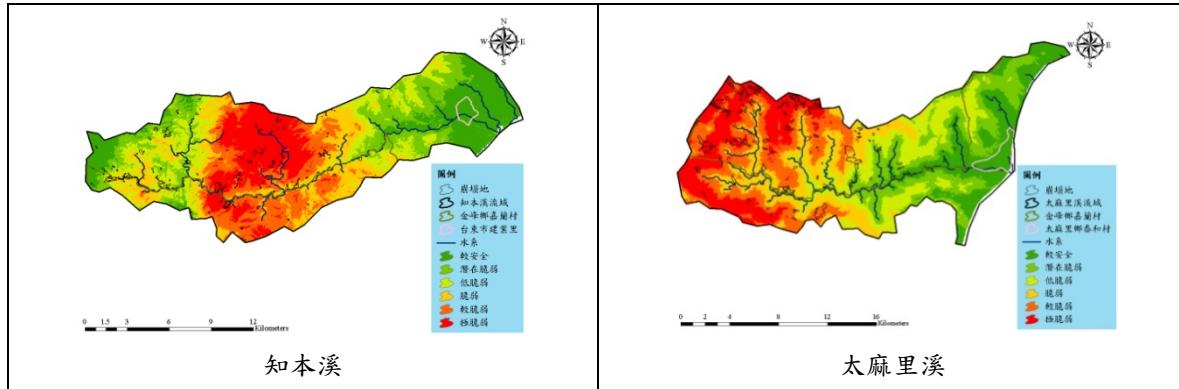


圖 3 集水區脆弱度評估圖

而知本溪之 P3 軸與太麻里溪之 P2 軸，則是受到地質的影響。岩石種類影響風化的時間與風化後土壤的性質，若不易風化，植物進入土壤的時間相對也會變慢，而預防地表土壤沖蝕的能力則相對降低。不同地質成分特性與其透水性差異也易產生崩塌之滑動面(蔡靜怡，2005)。另坡度越陡之處，通常較不利植物的生長紮根；而道路建設與河川沖蝕會改變坡腳的地形，影響邊坡的穩定性(簡碧梧，1995)。因此地質較脆弱，則容易誘發崩塌產生，故將此軸命名為「地質狀況因子」。

地表裸露度亦為影響脆弱度的重要因子。當大雨來襲時，若地表裸露且土石鬆軟、地表無植被覆蓋或是覆蓋稀疏，將無法有效阻止雨水衝擊地面造成表土層土壤流失或入滲率下降而產生逕流(陳信雄、李錦育，1986)，進而引起崩塌災害的發生。林鼎鈞等(2008)於紅葉溪集水區之研究，曾顯示崩塌與礦區開採有密切之關係，又道路在影像上所顯

示的地表裸露值趨近於 1，且道路建設對於邊坡穩定亦為決定其崩塌生成與環境脆弱的成因，因此可將知本溪集水區之 P4 軸命名為「地表裸露度狀況因子」。

綜合以上因子，可推測除海拔、距水系距離、地質，以及年平均降雨量等天然條件外，尚須考慮人為開發程度對環境脆弱度的影響。再者，若受到其他環境因子之累加作用影響，通常發生崩塌或土石流的機率也會相對較高(高橋保，1997)。

高權重的因子成分經重組後，因自然界係以常態之分布且 EVI 數據資料屬於線性分布，故以各類別需包含同等數量之原則，進行脆弱度評等標準，並將集水區之脆弱度評估圖分級為較安全、潛在脆弱、低脆弱、脆弱、較脆弱以及極脆弱等六項等級(圖 3)，並使用崩塌地 20%之原始資料進行脆弱度的準確性檢核評估(表 2)。

表 2 顯示，知本溪與太麻里溪集水區境內 75% 以上的崩塌地位置，分別被歸屬於脆弱、較脆弱及極脆弱，代表崩塌地所在位置確實屬於高危險、高脆弱之地區。其中太麻里溪集水區約 89.71% 落在脆弱區，而被歸類於極脆弱等級者，則達 41.35%，顯示該集水區內崩塌地係處於一個極不穩定且脆弱之情況。由各崩塌地平均 EVI 之值可知，知本溪集水區第 29 號崩塌地，以及太麻里溪集水區第 71 號崩塌地，是屬於最脆弱之崩塌地。

3.2 脆弱度評估於極端氣候之驗證

利用 2007 年崩塌地圖層與 2009 年災後崩塌地圖層(圖 4)，以及透過影像圖層與環境因子分析(圖 5)可知，多數新生崩塌地分布於高海拔、近河道兩

旁約 500 m 處，且 61.36% 生成於坡度 25°~40° 位置，其中又以坡度 30°~35° 者分布為最多。另外，46.11% 的崩塌地則位處年平均降雨量 1,200 mm~1,300 mm 之地區，顯示當極端天氣發生時，常年雨量豐沛地區容易造成土砂災害發生。

由 2007 年與 2009 年崩塌地的變遷趨勢發現，部份的崩塌量在低脆弱至極脆弱等級有下降趨勢，尤其極脆弱區域的崩塌量更減少了 19.98%，推測在莫拉克風災發生之前，部份崩塌地應有植生回復的狀況(圖 6)。另以災後崩塌地與脆弱度評估圖進行相互套疊(圖 7)則顯示，崩塌地發生地區多屬脆弱與較脆弱等級。因此經由風災所新增之諸多崩塌地區位與環境套疊的驗證結果可以了解，環境脆弱度的評估確實能夠掌握在極端氣候發生時，不同地區的耐災程度，以及容易受災的區域，此一資訊可供防災工作參考。

表 2 EVI 分級標準值與檢核結果

知本溪集水區			太麻里溪集水區		
EVI Mean	0.48		EVI St. D	0.20	0.14
Evaluation level	分級	分級門檻	檢核百分比	分級門檻	檢核百分比
較安全	1	<0.480	1.35	<0.444	1.27
潛在脆弱	2	0.480~0.572	4.05	0.444~0.619	4.96
低脆弱	3	0.572~0.651	18.02	0.619~0.838	7.07
脆弱	4	0.651~0.742	22.97	0.838~1.026	21.31
較脆弱	5	0.742~0.825	13.51	1.026~1.226	24.05
極脆弱	6	>0.825	40.09	>1.226	41.35

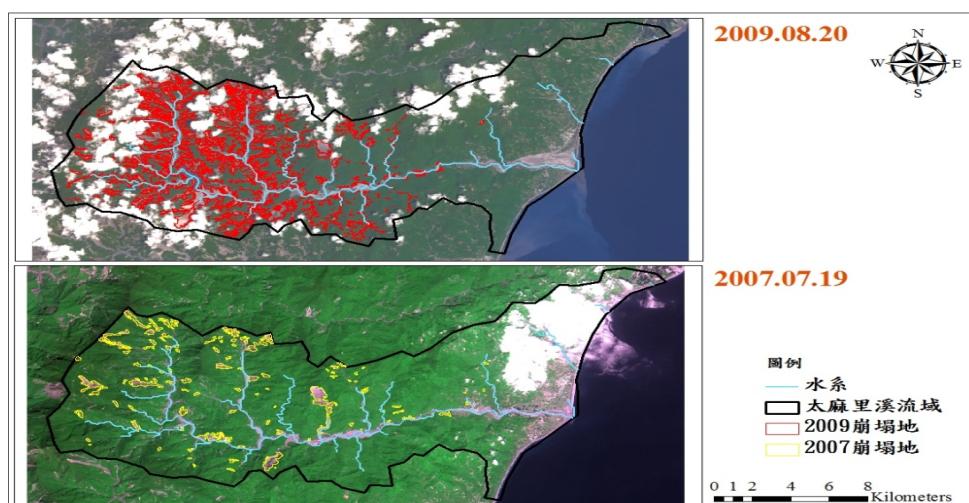


圖 4 太麻里溪集水區於莫拉克颱風前後之崩塌地分布狀況

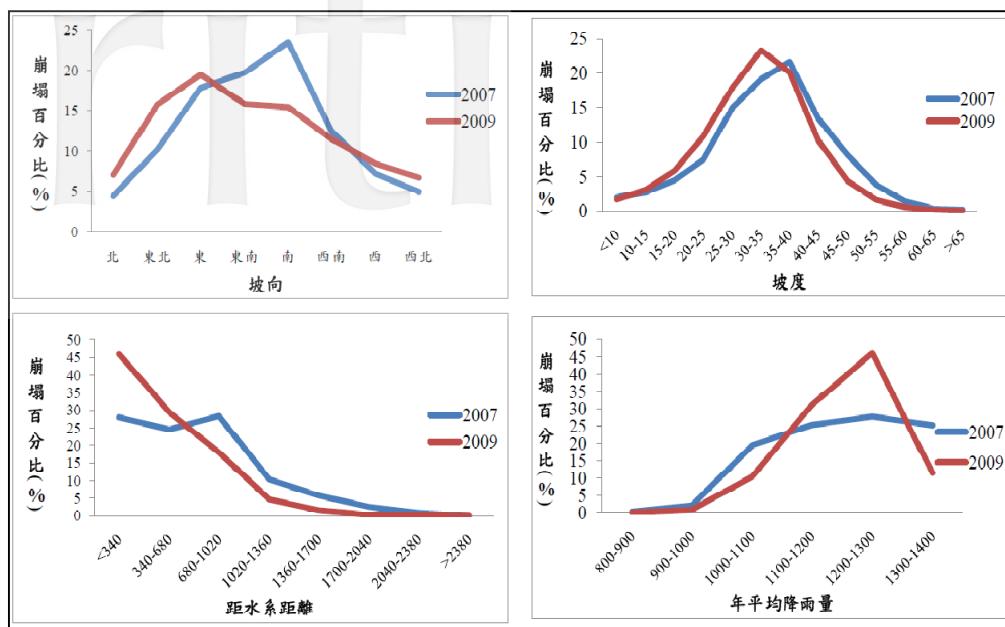


圖 5 太麻里溪集水區於莫拉克颱風前後之崩塌地環境因子變化

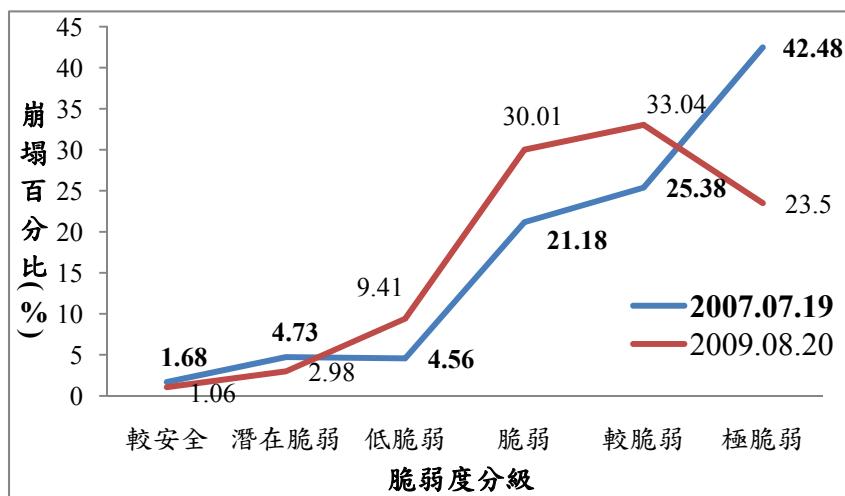


圖 6 莫拉克颱風災後崩塌地分布與脆弱度等級之關係

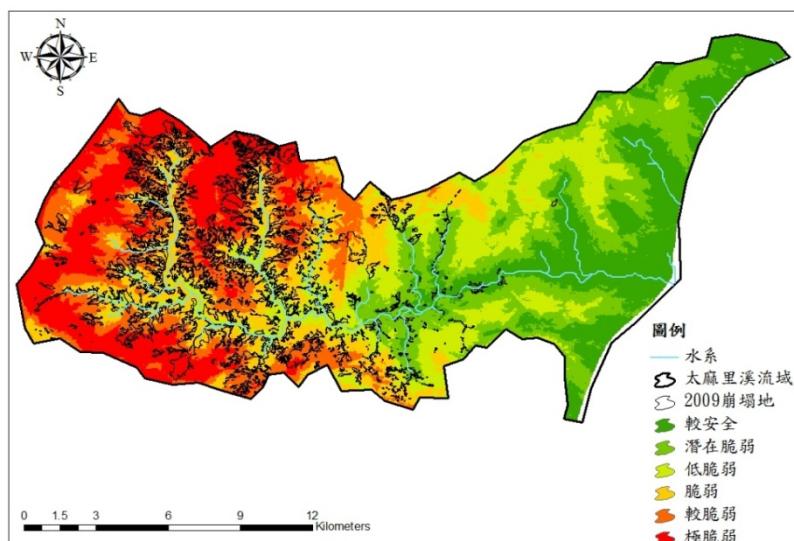


圖 7 莫拉克颱風災後崩塌地於脆弱度評估圖之分布狀況

3.3 崩塌優先復育等級評估

優先復育等級之評估，係以土石流潛勢溪流優先處理評估模式為範本加以修改，並依此建立知本溪集水區與太麻里溪集水區各崩塌地區位之復育順序。考慮土石流發生的衝擊，調整各因子之係數權重，進而建立各集水區崩塌地優先復育等級評估模式之方程式如式 7，此方程式可針對各崩塌地治理順序，進行優先處理得分之計算，同時訂定處理等級為暫緩處理、加強處理、優先處理及立即處理等四個類別(圖 8)。

$$FS_n = EVI \times 0.5 + \text{Build} \times 0.25 + \text{ADFA} \times 0.15 + \text{Road} \times 0.1 \quad (7)$$

將各集水區內的崩塌地評估結果加以平均顯示，知本溪集水區之崩塌地平均等級為加強處理($FS=0.46$)，太麻里溪集水區之崩塌地平均等級則為須優先處理的狀況($FS=0.52$)。其次以各崩塌地處理等級觀之，知本溪集水區係以暫緩處理與立即處理所佔比率最多(表 4)，而太麻里溪集水區之各崩塌地的處理等級有 33.9% 是需要注意加強處理(如表 5)，其中必須立即處理的崩塌地亦佔有相當高的比率。雖然知本溪集水區較太麻里溪集水區的優先處理百分比略高，但是以平均顯示結果與暫緩處理比

率兩方面而論，太麻里溪集水區仍是屬於需要相關單位多加優先注意的地區。

研究結果亦發現，知本溪集水區內的卑南鄉溫泉村第 35 號崩塌地，以及太麻里溪集水區的金峰鄉嘉蘭村第 9 號崩塌地是本次評估當中最具有立即處理需求的崩塌地(圖 9)。由此可知，崩塌地優先復育分析將可提供與瞭解各集水區境內最急需復育的崩塌地以及其所在位置。

本研究比較水土保持局(2008)公布之土石流年報中使用的土石流潛勢溪流優先處理順序等級評估方法發現，自然評估因子中所參考的材料破碎狀況為脆弱度評估因子所欠缺之項目，因此建議未來評估項目中，除可沿用脆弱度評估因子外，建議亦可將材料破碎狀況等納入後續評估模式。

綜上所述，考量集水區範圍廣闊與人力有限的狀況之下，若無法將具有急迫性復育的崩塌地進行適當之處理，當大雨來襲之際可能造成更多崩塌地，甚至更大的傷害(如圖 10)。因此建議有關當局可先針對各集水區中具高優先處理權者，著手進行相關復育的規劃與工程。而本研究也發現，由於使用的建築物與道路資料尺度過於粗糙，因此未來如可獲得更精細的圖層資料，將有助於對每個崩塌地進行更準確的評估。

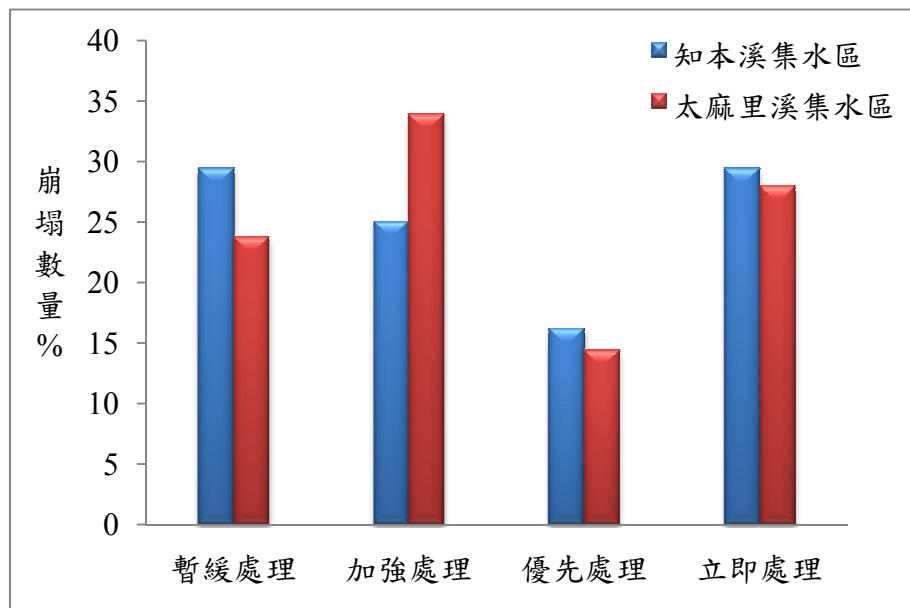


圖 8 集水區復育評估等級

表 4 知本溪集水區崩塌地復育評估分級

處理等級	門檻值	崩塌地數量	%
暫緩處理	0.249 > X	20	29.41
加強處理	0.249~0.576	17	25.00
優先處理	0.576~0.633	11	16.18
立即處理	0.633 < X	20	29.41

表 5 太麻里溪集水區崩塌地復育評估分級

處理等級	門檻值	崩塌地數量	%
暫緩處理	0.456 > X	28	23.73
加強處理	0.456~0.519	40	33.90
優先處理	0.519~0.558	17	14.41
立即處理	0.558 < X	33	27.97

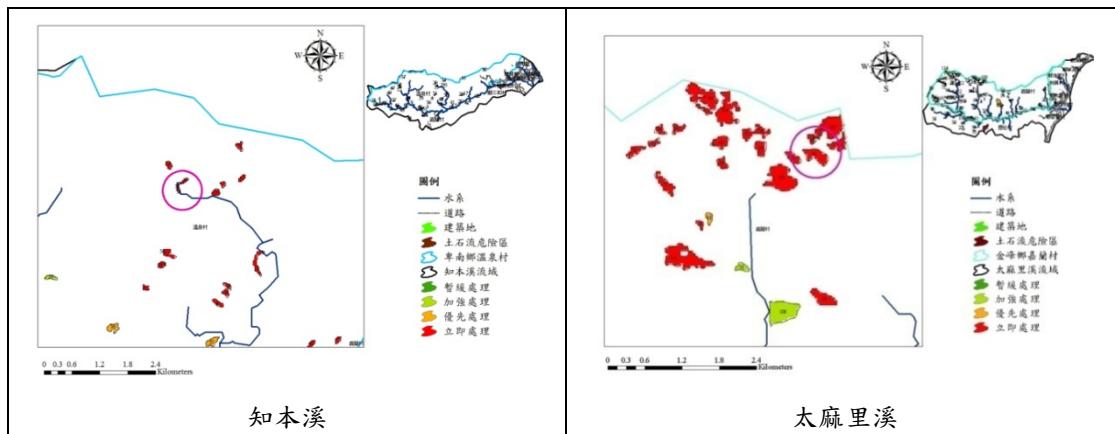


圖 9 集水區之崩塌地復育評估結果

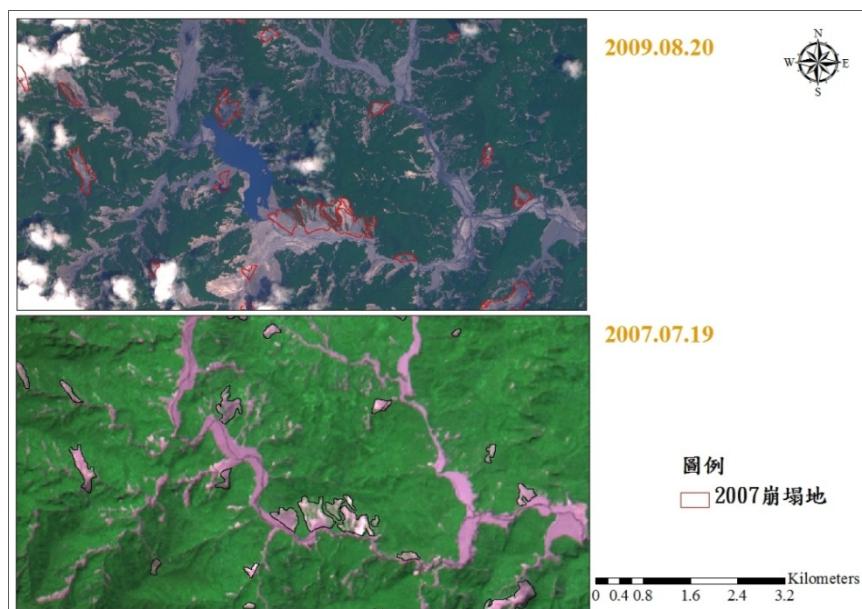


圖 10 莫拉克颱風引發崩塌地災害擴大示意圖

4. 討論

全球氣候變遷所引發的暖化現象正持續發生且日益嚴重，而氣候劇烈變化對物種及生態系統產生嚴重影響，並進而導致天然災害的頻繁發生 (IPCC, 2007)。本研究以 IPCC 所提出之脆弱度觀念，應用脆弱度分析評估森林集水區的土砂災害管理，探討極端氣候下的集水區耐災程度，以及容易產生弱化的影響因子，並且分析衝擊形成的原因。

脆弱度評估模式中最重要的工作，為選擇具影響力之環境因子與數據分析工具，其目的為提升評估的有效性及可靠性，並且給予適當的脆弱度權重係數。本研究以因素分析得知，台東縣境內兩個重要的土砂災害集水區，其崩塌產生最主要是受到海拔與影響坡腳安定性的道路開發或河川侵蝕所致。透過評估模式結果顯示，崩塌地確實為集水區內危險且脆弱的地區，其中太麻里溪集水區高達 41.35% 的崩塌地是歸屬於極脆弱等級，顯示崩塌地係處於一個極不穩定且需相關單位關切與進行復育之地區。經由本研究將每筆崩塌地予以復育需求評分，並配合 E 化的崩塌地環境屬性資料庫，實能迅速且完整的掌握崩塌地復育需求之程度與其環境資訊，故此方法將有助於未來進行崩塌地復育整治工程時的考量依據。

致謝

本研究承行政院國家科學委員會專題研究計畫 NSC 97-2625-M-020-002- 經費補助，得以順利完成，特此誌謝。

參考文獻

- 內政部戶政司，2008。內政部戶政司全球資訊網，
網址：<http://www.ris.gov.tw/>。
- 王大維，2004。降雨造成崩塌邊坡地下水變動特性
之研究，國立屏東科技大學水土保持系碩士論
文。
- 王介勇、趙庚星、杜春先，2005。基於景觀空間結
構信息的區域生態脆弱性分析-以黃河三角洲

- 墾利縣為例，干旱區研究，22(3)：317-321。
- 王慶豐，2001。遙測在草嶺崩塌區監測評估之應用
研究，朝陽大學營建工程系碩士在職專班碩士
論文。
- 史天元、邱元宏，1998。台灣地區數值密度模型之
建立，測量工程，40(3)：3-22。
- 田亞平、劉沛林、鄭文武，2005。南方丘陵區的生
態脆弱度評估-以衡陽盆地為例，地理研究，
24(6)：843-852。
- 白林奇，2008。花東土砂害集水區崩塌地潛感分布
及地景變遷之研究，國立屏東科技大學森林系
碩士論文。
- 朱容君，2008。應用廣義加法模式建立墾丁國家公
園稀有植物潛在分布，國立屏東科技大學森林
系碩士論文。
- 行政院農委會水土保持局，2003。水土保持技術規
範，農委會水保局。
- 行政院農委會水土保持局，2008-96 年土石流年報，
農委會水保局。
- 行政院農業委員會水土保持局，2009。土石流防災
資訊網，網址：
<http://246.swcb.gov.tw/default-1.asp>
- 吳杰穎、江宜錦，2008。台灣天然災害統計指標體
系建構與分析，地理學報，51：65-84。
- 呂名翔，2007。新武呂溪流域的山崩與輸砂量在地
震與颱風事件中的相對應關係，國立台灣大學
理學院地質科學研究所碩士論文。
- 李瑞陽、陳蕙華，2005。遙測衛星影像於崩塌地潛
感分析之應用-以竹東至松本段為例，2005 年
台灣地理資訊學會年會暨學術研討會論文集，
台中市，1-10。
- 林中興，1994。山坡穩定度評估之因子分析及地理
資訊系統之應用，國立中央大學應用地質研究
所碩士論文。
- 林家榮，2004。潛在危險指標應用於屏東縣集水區
分級分區之研究，國立屏東科技大學水土保持
系碩士論文。
- 林鼎鈞、陳紫娥、游麗方，2008。應用地理資訊系
統技術於紅葉溪集水區崩塌地特性之分析。第

- 六屆資源與環境學術研討會論文集，台南市，151-160。
- 高橋保，1997。橫跨土石流潛勢區域之橋梁工程問題，土木工程防災系列講習會系列四，國立中央大學土木工程學系橋梁工程研究中心。
- 張政亮、張瑞津、紀宗吉，2005。遙測與地理資訊系統應用於大甲溪流域之崩塌災害的調查與分析，*地理研究*，43：101-122。
- 張雲翔，2004。大坑地區地滑之研究，國立中央大學應用地質研究所碩士論文。
- 許輔仁，2002。鯉魚潭水庫集水區之崩塌地潛感分布研究，國立屏東科技大學森林系碩士論文。
- 連香如，2003。南台灣國道三號高速公路(九如-梅山段)邊坡災害潛感分析模式之建立研究，國立屏東科技大學土木工程系碩士論文。
- 陳天健、詹錢登，2004。七二水災降雨量與坡地崩塌特性分析，2004 坡地防災創新研發成果研討會論文集，台北，109-118。
- 陳俞瑾，2006。應用地理資訊系統分析台東地區潛在崩塌地特性之研究，國立屏東科技大學水土保持系碩士論文。
- 陳信雄、李錦育，1986。森林集水區水土保育功能綜合模式之研究，*中華林學季刊*，19(3):59-74。
- 陳誌焜，2000。曾文水庫集水區山地農村環敏感區位劃定之研究，國立中興大學水土保持學系碩士論文。
- 游中榮，1996。應用地理資訊系統於北橫地區山崩潛感之研究，國立中央大學應用地質研究所碩士論文。
- 黃崇賢，2004。山坡地山崩災害管理之研究-以台灣縣為例，長榮大學土地管理開發研究所碩士論文。
- 黃敦友，1990。地質年代的區分，*地質*，2(10)：179-182。
- 黃漢淨，2006。德基水庫集水區崩塌地潛感分布與林地使用衝突之研究，國立屏東科技大學森林系碩士論文。
- 廖軒吾，2000。集集地震誘發之山崩，國立中央大學地球物理學系碩士論文。
- 劉文賢，2005。大高雄地區崩塌地因子量化之研究，國立屏東科技大學水土保持系碩士論文。
- 蔡真珍，2000。大甲溪 921 震災崩塌地植生復育之研究，國立中興大學水土保持學系碩士論文。
- 蔡靜怡，2005。模糊理論應用於六龜鄉崩塌地危險度之研究，國立屏東科技大學森林系碩士論文。
- 鄭元振，1992。地理資訊系統在區域邊坡穩定分析之應用-中橫公路天祥至太魯閣段，第五屆大地工程學術研究討論會，台北縣，697-703。
- 鄭皆達、林俐玲、盧惠生，2003。森林對台灣河川溪流上游集水區水文之影響，*台灣林業*，29(4)：41-57。
- 盧孟明、陳佳正，2005。豪大雨之頻率分析方法，*氣象學報*，46(1)：45-60。
- 蕭芝昀、陳紫娥、游麗方，2008。壽豐溪集水區崩塌地與植生恢復地特性之研究，第六屆資源與環境學術研討會論文集，臺南市，73-88 頁。
- 鍾國平，2009。苗栗縣南庄鄉石門及鹿竹地滑地穩定性與災害因子之研究，國立中興大學水土保持學系碩士論文。
- 簡世宏，2004。SPOT 衛星遙測影像與 DEM 應用於崩塌地潛勢分析之研究-以清水溪及水區為例，國立中興大學水土保持學系碩士論文。
- 簡碧梧，1995。台灣的崩塌地災害，*工程環境會刊*，6：23-47。
- Dai, F. C., and C. F. Lee, 2001. Landslide risk assessment and management: An overview. *Engineering Geology*. 64: 65-87.
- Di, B. F., N. S. Chen, P. Cui, Z. L. Li, Y. P. He, and Y. C. Gao, 2008. GIS-based risk analysis of debris flow: An application in Sichuan, southwest China. *International Journal of Sediment Research*. 23(2): 138-148.
- Gao, J., and C. P. Lo, 1991. GIS modeling of influence of topography and morphology on landslide occurrence in Nelson County, Virginia, U. S. A., *Earth Surface Process and Landforms*. 18:579-591.
- Intergovernmental Panel on Climate Change Impacts, Adaptation, and Vulnerability Climate Change, 2007. Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, UK.

- Intergovernmental Panel on Climate Change Impacts, Adaptation, and Vulnerability Climate Change, 1997. Second Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, UK.
- Lehmann, A., J. McC. Qverton, and M. P. Austin, 2002. Regression models for spatial prediction: Their role for biodiversity and conservation. *Biodiversity and Conservation*. 11(12): 2085-2092.
- Li, A., A. Wang, S. Liang, and W. Zhou, 2006. Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS-A case study in the upper reaches of Minjiang River, China. *Ecological Modelling*. 192: 175-187.
- Metternicht, G., and S. Gonzalez, 2005. FUERO: Foundations of fuzzy exploratory model for soil landslide hazard prediction. *Environment Modeling & Software*. 20: 715-728.
- Perotto-Baldiviezo, H. L., T.L. Thurow, C. T. Smith, R. F. Fisher, and X. B. Wu, 2004. GIS-based spatial analysis and modeling for landslide hazard assessment in steeplands, southern Honduras. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 103: 165-176.
- Phien-wei, N., T. Pientong, and A. S. Balasubramaniam, 1993. Catastrophic landslides and debris flows in Thailand. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*. 48: 93-100.
- Wang, X.D., Zhong, X.H., Liu,S.Z., Liu, J.G., Wang, Z.Y., and Li, M.H., 2008. Regional assessment of environmental vulnerability in the Tibetan Plateau: Development and application of a new method. *Journal of Arid Environments*. 72: 1929-1939.

Assess Eco-environmental Vulnerability of Debris Disaster Areas in Taitung County

Kuei-Chia Chen¹ Shou-Tsung Wu² Chaur-Tzuhn Chen^{3*}

ABSTRACT

Among the watersheds in Taitung County, the river watersheds of Zhiben and Taimali are more serious natural disaster areas on typhoon Morakot, in which landslide is the most serious type of sediment disasters in those watersheds. The purpose of this study was to develop a model of eco-environmental vulnerability for the landslide disaster watershed. First, we used the factor analysis to get the weights of landslide causing impact factors. After this, we used environmental vulnerability index (EVI) to assess the eco-environmental vulnerable area of watershed. We also created the assessment model of vegetation recovery that was based on the natural potential environmental factors and the protected object factors. Finally, we used the disasters areas which Morakot created to confirm the frailty region the accuracy. The results indicated that not only landslide occurred was base on the watershed environment at factors, the impact of human activity was also an important factor in these two watersheds. In vulnerability of this study indicated that the landslides were located in high-risk and high-vulnerability areas. Especially, Taimali river watershed was the gravest, and there was 41.35% of landslide belonging extreme level. According to the landslide vegetation recovery assessment model, the First Score (FS) was know that landslide of Taimali river watershed is necessary to give the precedence action. This research can give the guideline of vegetation recovery in future.

Keywords: Eco-environmental vulnerability, Debris Disaster, Vegetation recovery assessment, Watershed, Typhoon Morakot

¹ M.Sc., Department of Forestry National Pingtung University of Science and Technology

Received Date: Apr. 08, 2010

Revised Date: May. 14, 2010

² Professor, Department of Tourism Management, Shih Chien University

Accepted Date: Jun. 04, 2010

³ Professor, Department of Forestry National Pingtung University of Science and Technology

*Corresponding Author, Phone: 886-8-7703202ext.7147, E-mail: cct@gisfore.npust.edu.tw