

九九峰震災崩塌地植生復育之長期監測與評估

林文賜⁽¹⁾ 陳順麗⁽²⁾ 黃碧慧⁽³⁾

摘要

921地震(1999年9月27日)發生至今已二十餘年，在震災初期中部山區崩塌裸露區位極為嚴重，而在無人為干擾之自然復育情形下，崩塌地變遷及其植生復育狀況，實有探討之必要性。本研究以南投縣國姓鄉之九九峰地區為樣區，以地震前後之 SPOT 衛星影像結合非監督性之 SOM 模式判釋樣區之崩塌區位，並以 Kappa 統計量評估判釋之準確性；再輔以植生指數及植生復育率，評估崩塌地變遷及其植生復育狀況，作為九九峰崩塌區位變遷及後續災害治理之參考。藉由本研究對九九峰震災地區之監測與評估，可瞭解該地區自然復育之環境永續議題。此外，以多期衛星影像長期評估該區921地震災害之生態復育情形，可瞭解大自然對921地震災後崩塌地之植物入侵復育能力。本研究萃取之崩塌地面積為865.22公頃。而植生復育率計算及評估，由於該區在長達20餘年之自然植生復育，即使在期間遭受颱風豪雨之侵襲，裸露地表隨著植物之自然入侵，已有87.5%崩塌區位之植生復育率大於50%以上，顯示大自然本身有極佳的植生復育能力。

關鍵詞：震災崩塌地、自組特徵映射分類法、植生復育率

Long-term Monitoring and Assessment of Vegetation Restoration on the Earthquake-induced Landslide at the JouJou Peak Area

Wen-Tzu Lin ⁽¹⁾ *Shun-Li Chen* ⁽²⁾ *Pei-Hui Huang* ⁽³⁾

ABSTRACT

It has been more than 20 years since the 921 earthquake (September 27, 1999). In the early stage of the earthquake, the collapse of exposed areas in the central mountainous region was extremely serious, and it is necessary to investigate the change of collapse location and vegetation recovery without human interference in natural recovery. In this study, SPOT satellite images before and after the earthquake combined with unsupervised Self-Organizing Map classification were used to determine the landslide location of the studied area. Through the monitoring and evaluation of the earthquake area in JouJou Peak, the environmental sustainability issues of natural restoration in the area can be discussed. In addition, the long-term assessment of the ecological restoration of the 921 earthquake disaster in the

(1)南華大學永續綠色科技碩士學位學程教授(通訊作者 e-mail: skytree59@nhu.edu.tw)

(2)南華大學永續綠色科技碩士學位學程碩士

(3)逢甲大學建設學院助理教授

area through multi-temporal satellite images can provide an understanding of nature's ability to restore the vegetation of the landslide sites after the disaster. The area of the landslide sites extracted in this study was 865.22 hectares. As for the analysis of the vegetation recovery rate, the natural vegetation recovery of the area for more than 20 years, even though the area was attacked by typhoon and heavy rain, the surface of the land was nearly 87.5% vegetation recovery with the natural invasion of plants, indicating that nature itself has excellent vegetation recovery ability.

Keywords : Earthquake-induced landslide, Self-Organizing Map, Vegetation recovery rate

一、前言

921集集大地震芮氏規模為7.3、震源深度為8公里，屬於淺層地震，其造成台灣中部山區崩塌裸露極為嚴重。在地震後水土保持局及林務局為山坡地上游及中游山區之權責管理單位，其利用不同時期之 SPOT 衛星影像進行921地震崩塌地之分析與變遷，指出中部地區之六縣市崩塌區位約有2365處，崩塌地總面積高達14347 ha (Chang, 2000)。由於1999年9月21日的地震至今已超過20年，期間遭受多場颱風之侵襲造成嚴重崩塌擴大、泥砂沖刷、土石流等二次災害，或讓既有崩塌地持續不斷地擴大，造成較大災害之颱風包括2001年7月30日桃芝颱風(Typhoon Toraji)、2004年7月1日敏督利颱風(Typhoon Mindulle)及2004年七二水災等，均颱風挾帶之豪雨造成中部山區崩塌區位之二次土石災害。而921

震災發生初期，應用遙測影像對中部山區崩塌地災害及植生復育之評估及變遷相關研究甚多，如林昭遠等(2001)、吳瑞鵬，2001、胡婷雅(2002)、黃凱易(2002)、陳添水(2005)、張益祥 (2009)、黃子懷(2010)等。

為避免山坡地之國土保育日益惡化，93年6月9日行政院會已通過之國土計畫法草案，明確規定國土保育地區之山坡地將限制開發，對於台灣地區長期以來之坡地超限利用問題，將逐漸回歸自然生態之永續利用目標。而2015年聯合國提出永續發展目標(Sustainable Development Goals, SDGs)，在兼顧經濟發展、社會進步與環境保護，透過一起努力邁向永續發展之路。

本研究係以多期 SPOT 之衛星影像為研究地區之材料，利用其可大面積涵蓋、多時攝像與快速分析等優點，將多期影像進行比對或計算，可評估變遷過程(蕭國鑫等，1994)。

921地震發生至今已20餘年，在沒有人干擾之自然復育下，崩塌區位植生入侵之情形，實有分析及探討之必要。本研究以南投縣國姓鄉之九九峰地區為樣區，利用921震災前後(初期)之 SPOT 衛星影像結合自組特徵映射分類法(SOM 模式)萃取該地區之崩塌區位。並以之植生復育率評估崩塌區位二十年後之植生復育情況，做為該地區崩塌地防災治理之參考。

二、研究材料與方法

1. 研究試區

九九峰地區位於南投縣及台中縣之交界，行政區域分屬南投縣國姓鄉、草屯鎮及台中縣霧峰鄉及太平市，其主要範圍在烏溪北岸埔里事業區第8到20林班範圍內，其位置如圖1。地質屬更新世頭嵙山層上部的火炎山礫岩相，厚度約1000公尺左右，地形崎曲陡峭呈現鋸齒狀之山峰，由於礫岩相的透水性良好，在旱季時因乾燥使得礫石層膠結緊密堅硬，在雨季時則易受雨水侵蝕而下切，造成許多尖銳的深溝和山峰。另位於烏溪溪旁兩側部分，常因受暴漲河水淘空陡坡坡腳而形成崩塌，造成懸崖峭壁之特殊雄壯景觀。震災後農委會林務局已於89年5月22日將九九峰地區劃設為自然保留區，以保存災後之地形景

觀，並藉大自然之自行復育能力，讓崩塌區生態景觀逐漸復原。

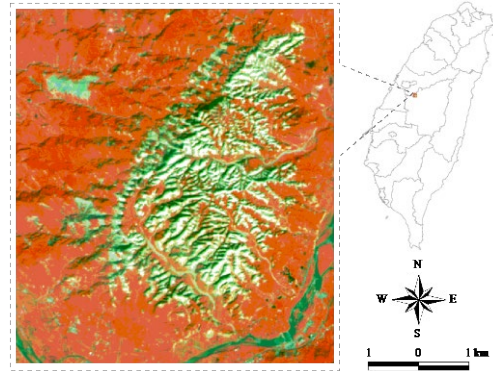


圖1 九九峰位置圖

Figure 1 Location of JouJou Peak area

2. 試區 SPOT 衛星影像

蒐集研究地區內921地震前後之 SPOT 多期衛星影像資料，分別為1999/4/1(地震前)、1999/9/27(地震初期)及2020/2/23(地震後20年)之影像(圖2~4)，以供崩塌區位萃取之用。

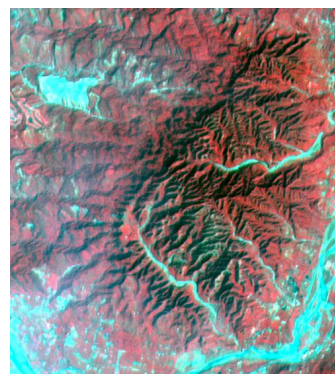


圖2 九九峰地區衛星影像(1999/4/1)

Figure 2 SPOT image on 1999/4/1

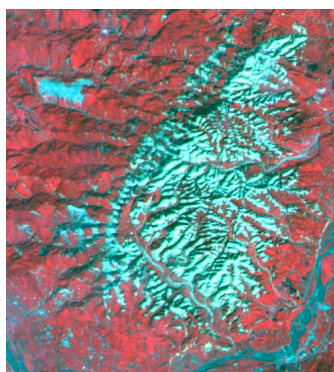


圖3 九九峰地區衛星影像(1999/9/27)

Figure 3 SPOT image on 1999/9/27

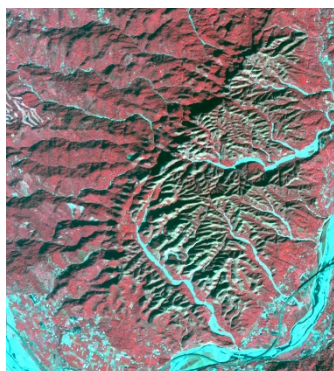


圖4 九九峰地區衛星影像(2020/2/23)

Figure 4 SPOT image on 2020/2/23

3. 非監督性類神經網路之崩塌地萃取

非監督性類神經網路之崩塌地萃取步驟包括前期處理：以不同時期之 SPOT 衛星影像資料結合影像相減法計算921地震前後之差異影像；以及非監督性類神經網路分類：將差異影像以非監督性類神經網路(Self-Organizing Map, SOM)進行崩塌地之分類。SOM 之方法說明如下：

SOM 是一種非監督式學習(Unsupervised learning)的類神經網路，為 Kohonen 於1973年所提出，稱為自我組織映射網路(或自我組織特徵映射網路) (Kohonen, 1982)。SOM 模式透過學習可從輸入向量資料中發掘大數據資料本身之特徵與關連性，並且將學習結果於輸出向量層之權重值上，透過參數最佳化調整後進行 SOM 模式之網路學習，在完成後其輸出層神經元之鄰近者，通常則具有相似的功能，亦即具有相似之連結權重值，最後輸出向量層的神經元會依照輸入向量資料的特徵，依有意義之拓撲結構展現(通常為二維結構)，換言之，SOM 之映射網路本身會形成一特定的組織結構，此一特定組織結構的映射網路稱為自組織圖 (Kohonen et al., 1995)。SOM 模式之網路架構包括由輸入向量層及輸出向量層所組成。在輸入向量層中的每一個神經元代表著輸入資料的屬性，並每一個神經元皆互相獨立且擁有互相獨立的權重值。而對於輸出向量層而言(圖5)，其為二維格子網狀之拓撲網路架構，並且輸出向量層神經元與輸入向量層神經元具有相互連接之網路關係，其方式係以權重值向量來表示。而

SOM 模式之輸出向量層會依據輸入資料的特性以有意義的拓撲網路結構展現，所顯示的拓撲網路結構可以反映出輸入資料的分布特性，通常網路拓撲可以由任意形狀及任意維度的網路拓撲所組成，而常用之網路拓撲模式係以二維矩型形式居多，通常二維網路結構已可反映出資料之特性及分布狀況，並可藉由圖形方式顯現資料之分類情形。

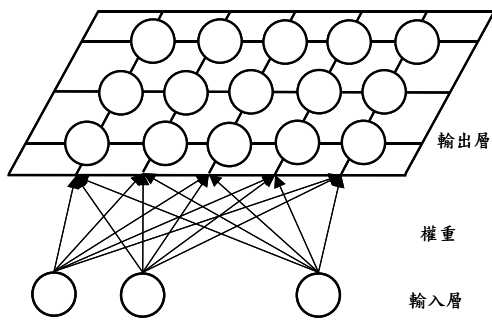


圖5 SOM 模式之拓撲網路

Figure 5 Topology Network of SOM

SOM 模式所採用的方式乃藉由特徵映射將高維度的輸入資料映射至低維度的特徵空間上。換句話說，此種非線性投影的方式是透過權值向量的學習，而使得輸出神經元能夠保有資料之間的鄰近關係，並以二維或低維的拓撲網路表示其資料之分布。SOM 演算法為一個疊代過程，其學習之步驟說明如

下：

Step1: 以隨機方式給定初始權重值 $\theta_j(0)$ ，

並設定學習循環次數 $t=0$

Step2: 將輸入向量資料 x 傳給 SOM 網路，計

算在第 t 次學習輸入向量資料與權重

值間之 Euclidean 距離(d_j)，公式如下：

$$d_j = \|x_i - \theta_j(t)\|$$

Step3: 找出最佳匹配單元(best matching unit,

BMU)

$$u_c = \min\{d_j\}$$

Step4: 更新神經元之權重值

$$\theta_j(t+1) = \theta_j(t) + \eta(t)h_{cj}(t)[x(t) - \theta_j(t)]$$

式中之 $\eta(t)$ 為學習速率， $h_{cj}(t)$ 為鄰近

函數，在本研究中係採用高斯函數，其公式

如下：

$$h_{cj}(t) = \exp\left(-\frac{\|r_j - r_c\|}{2\sigma^2(t)}\right)$$

式中之 $\sigma(t)$ 為鄰近半徑，而 $\|r_j - r_c\|$

為拓撲距離

Step5: 反覆學習直到網路收斂為止

4. 植生復育率計算

植生復育率(Vegetation Recovery Rate, VRR)係以常態化差異植生指標(NDVI)為基

礎，藉由多期影像資料計算震災後任一時期之崩塌地植生復育率，用以快速地評估多期衛星影像之植生恢復百分比(%)，針對崩塌地之植生復育情形進行量化分析，作為後續評估及探討之依據(林昭遠等，2001)。其計算公式如下：

$$VRR(\%) = \frac{NDVI_2 - NDVI_1}{NDVI_0 - NDVI_1} \times 100\%$$

式中之 $NDVI_0$ 為地震崩塌前之 $NDVI$ 指數值， $NDVI_1$ 為崩塌初期之 $NDVI$ 指數值， $NDVI_2$ 為評估期之 $NDVI$ 指數值。而 VRR 小於0，表示植生狀況惡化； VRR 大於0，表示植生逐漸恢復； VRR 大於100，表示植生完全恢復。

三、結果與討論

1. 九九峰震災崩塌區位之萃取

將地震後初期影像(1999/9/27)與地震前影像(1999/4/1)進行影像前期處理，並結合 SOM 模式進行崩塌地萃取。本研究之 SOM 聚類分析，鄰近函數之搜尋半徑由5以線性方式減少為1，初始之學習速率為0.9及0.25，訓練長度 (training lengths) 為 2000 和 10000 epochs，而拓樸網路之數量為 9×9 (81)輸出神

經元網格。並將拓樸網路之輸出神經元網格重新編碼為1~81，並轉換為衛星影像格式在 Erdas IMAGINE 軟體中與地震後衛星影像套疊，再輔以航照圖輔助判釋崩塌區位，本研究結果萃取之崩塌地面積為865.22公頃，其崩塌地之空間分布如圖6。衛星影像崩塌地之判釋結果，易受陰影、壟植等因素之影響，然該區之高程分布大都在600公尺以下，故受陰影影響較小，且將震災初期判釋結果與地震後之航空照片比對，顯示判釋結果大致與實地情況吻合，僅位於植生與崩塌地混合邊緣之影像，不易完全分離為正確之植生或崩塌地地覆。



圖6 九九峰震災初期之崩塌地(1999/9/27)

Figure 6 Earthquake-induced landslide sites of the studied area (1999/9/27)

林文賜、陳順麗、黃碧慧：
九九峰震災崩塌地植生復育之長期監測與評估

由於九九峰地區於921地震後即被林務局規劃為自然保留區，在自然復育情況下，該區之崩塌地邊坡已逐漸復育。由於大自然環境本身具有極強之植生復育能力，在不受人為干擾情形或颱風災害影響下，於數年內應可迅速恢復震災前之植生狀態，此一結果與歐辰雄、呂金誠(2000)由現場植生調查所推估之結果極為吻合。

2. 崩塌地植生復育評估

將九九峰地區震災前、初期及至今之三期影像進行 VRR 計算，並分為4類，第一類植生復育等級為「劣」，即 $VRR < 0\%$ ，為崩塌地植生持續劣化之地區；第二類植生復育等級為「普通」，即 VRR 在 $0 \sim 50\%$ ，為崩塌地植生復育普通之地區；第三類植生復育等級為「良」，即 VRR 在 $50 \sim 100\%$ ，為崩塌地植生復育甚佳之地區；第四類植生復育等級為「優」，即 VRR 在 $0 \sim 50\%$ ，為崩塌地植生已完全復育之地區。以2020/2/23之衛星影像分析結果如圖7及表1，可知等級「劣」的面積僅有36.06公頃，佔比4.2%；等級「普通」的面積為72.15公頃，佔比8.3%；等級「良」的面積為325.38公頃，佔比37.6%；等級「優」的面積為431.64公頃，佔比49.9%。

整體而言，該區在長達20餘年之自然植生復育，即使在期間遭受颱風豪雨之侵襲，地表隨著植物之自然入侵，VRR 大於50%的區位，已有87.5%面積之植生復原良好，顯示大自然本身有極佳的植生復育佳力。

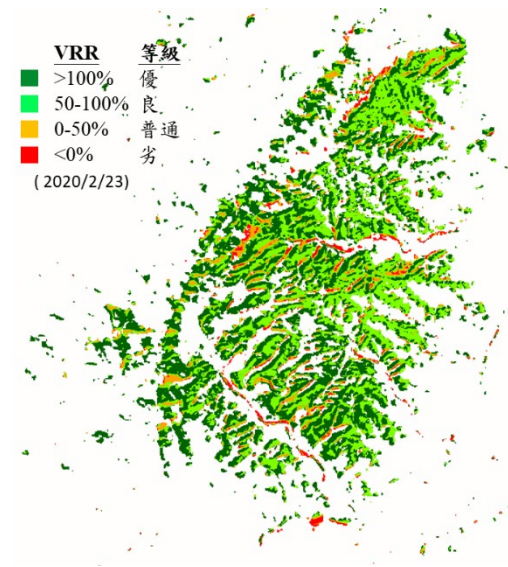


圖7 20年後九九峰崩塌區位植生復育情形

Figure 7 Earthquake-induced vegetation recovery condition of the studied area in 2020

表1 九九峰地區之植生復育等級統計

Table 1 Vegetation restoration condition statistics of the studied area

VRR	等級	面積(ha)	百分比
<0%	劣	36.06	4.2%
0-50%	普通	72.15	8.3%
50-100%	良	325.38	37.6%
>100%	優	431.64	49.9%

3. 九九峰之坡面植生狀況

九九峰為頭嵙山層，其表土層極為淺薄，主要為礫土結構，坡度較為陡峭，因此植生入侵較為不易。20年來對中部山區影響較大之颱風(累積雨量達250mm 以上)約有11場，該地區在20年間即使遭受颱風侵襲，崩塌區之植生仍逐年復育。

圖8為九九峰地震初期之裸露坡面，雖山頂及上坡區位之表土崩落，造成植生被移除而土壤裸露，緩坡或平坦之坡腳處仍有較多植生，未受到震災之影響；而其坡面仍殘存部份植生，該植生為台灣的特產之多年生草本台灣蘆竹。由於台灣蘆竹之地下部與竹子很類似，根莖非常之發達，加上其莖(梗)為下垂性且中空。分布於台灣地區海拔1,800公尺以下之山區。由於生長習性與其他植物不同，喜好成群生長於陡峭斜坡、崖壁或者石縫之間，因此極為適合九九峰之礫土陡峭地形。

圖9為同一區位於震災4年後之植生恢復情形，雖仍有部份坡面裸露，可能是受到颱風侵襲或坡腳不穩定之影響而造成，但大部份坡面已經佈滿台灣蘆竹，顯示在無人為干擾之自然復育情形下，崩塌地在植物入侵後可逐年生長及恢復地表植生。

圖10為該地區遭受颱風侵襲之土石流情形，土石堆積在較平緩之野溪區域。而該地區在20年間即使遭受10場以上的颱風侵襲，崩塌區位之植生仍逐年復育。

圖11為2021年11月之九九峰地區現況，歷經震災後約20.5年的時間，崩塌區位因植物入侵復原良好，裸露土壤已不太明顯。據林信輝及黃俊仁(2000)指出921震災後九九峰崩落地之入侵先驅樹種有野桐、血桐、白匏子、構樹、羅氏鹽膚木、臺灣二葉松等；在較少人為干擾之地區，樹種組成較複雜，其中以桑科榕屬及樟科植物為主，而地被植物則以乾生之多年生種類為主等。此外，在大部分裸露地，五節芒常形成極大之優勢，另有台灣蘆竹懸垂於較陰濕之峭壁，形成另一種景象。



圖8 九九峰地震初期之裸露坡面

Figure 8 Earthquake-induced landslide site of the studied area on 1999/9/27

林文賜、陳順麗、黃碧慧：
九九峰震災崩塌地植生復育之長期監測與評估



圖9 九九峰震災4年後崩塌地植生復育情形
Figure 9 Vegetation restoration condition of the landslide sites 4 years after the 921 earthquake



圖10 九九峰遭受颱風侵襲之土石流情形
Figure 10 Typhoon triggered debris flow disaster of the studied area



圖11 九九峰震災20年後崩塌區位植生復育情形

Figure 11 Vegetation restoration of the landslide sites 20 years after the earthquake

四、結論

本研究係以南投縣國姓鄉之九九峰地區為樣區，利用九二一地震前後及至今之 SPOT 衛星影像分析崩塌地變遷及植生復育情形，首先以影像相減法結合非監督性之自組特徵映射分類法判釋樣區之崩塌區位，藉由 Kappa 統計量評估崩塌地判釋之準確性；而植生復育率之計算係以震災前後及至今之三期 NDVI 植生指數評估崩塌區位之植生復育情況，並作為崩塌地變遷及治理之參考。研究顯示萃取之崩塌地面積為865.22公頃。整體而言，該區在長達20餘年之自然植生復育，即使在期間遭受颱風豪雨之侵襲，地表隨著植物之自然入侵，約有87.5%崩塌區位之植生

復原情形良好，顯示大自然本身有極佳的植生復育佳力。

區土地利用/覆蓋變遷分析—以有勝溪及七家灣溪流域為例」，1994年國際遙測技術研討會論文集，pp. 393-404。

參考文獻

1. 林昭遠、吳瑞鵬、林文賜 (2001)，「921震災崩塌地植生復育監測與評估」，中華水土保持學報，32(1)：59-66。
2. 林信輝、黃俊仁 (2000)，「集集大地震後崩塌地之植生穩定處理」，第二屆全國治山防災研討會，pp.10-21。
3. 陳添水 (2005)，「九九峰地區九二一地震崩塌植生指數變遷分析」。
4. 吳瑞鵬 (2001)，「九九峰震災崩塌地植生復育之評估」，國立中興大學水土保持學系碩士論文。
5. 張益祥 (2009)，「應用多時期衛星影像於九九峰植生復育與崩塌潛勢分析」，國立中興大學土木工程學系碩士論文。
6. 胡婷雅 (2002)，「921地震崩塌地植生復育與坡面泥砂產量之研究」，國立中興大學水土保持學系碩士論文。
7. 黃子懷 (2010)，「多時期衛星影像於九九峰災後植生復育指標之研究」，國立中興大學土木工程學系碩士論文。
8. 黃凱易 (2002)，「九九峰自然保留區地覆變遷之監測與分析」，林業研究季刊 24 (3)：35~48。
9. 歐辰雄、呂金誠(2000)，「九二一地震崩塌地區原生植群之調查研究」，水土保持植生工程研討會論文集，pp.15-23。
10. 蕭國鑫、劉治中、李惠容、李元炎 (1994)，「SPOT 衛星資料應用於集水區土地利用/覆蓋變遷分析—以有勝溪及七家灣溪流域為例」，1994年國際遙測技術研討會論文集，pp. 393-404。
11. Chang, S.C. (2000), The survey and designation of potentially landslide hazardous settlements after Chi-Chi earthquake. In: Proceedings of the Second National Conference on Landslide Stabilization and Disaster Prevention Research in Taiwan, Taipei, Taiwan.
12. Kohonen, T. (1982), Self-Organization of Topologically Correct Feature Maps, Biological Cybernetics, 43: 59-69.
13. Kohonen, T., Hynninen, J., Kangas, J., Laaksonen, J. (1995), SOM_PAK - The Self-Organizing Map Program Package, Version 3.1 (FINLAND, Helsinki University of Technology, Laboratory of Computer and Informtion Science).

111年 7月12日收稿

111年 7月22日修改

111年 7月25日接受