

## 研究報告

# 九九峰自然保留區地覆變遷之監測與分析

黃凱易

**【摘要】**九九峰在 921 地震後，即劃定為自然保留區，崩場地任其植生自然恢復，引來多方論戰。本研究應用地理資訊系統結合四期 SPOT 影像、全球定位系統與其他空間資料，評估九九峰崩場地植生自然恢復之狀態。歷經兩年多，四期同態化差異植生指標顯示崩場地植生稍有恢復，然多出現在基腳至近山腰處，而山腰至坡頂稜線區則較少。本研究推測是地形陡峭，土層淺薄且貧瘠，水分極易流失，入侵植物易因乾旱而枯萎。因監測期短，尚難推斷恢復之植生能否朝峰頂與稜線區拓殖，有待後續研究之觀察。因此，崩場地除急需處置者外，對生育地條件差者，仍以自然恢復為宜，另以非入侵式且所費不多之遙感技術長期監測植生恢復之狀態。

**【關鍵字】**自然保留區、植生自然恢復、同態化差異植生指標、遙測

### Research paper

## Monitoring and Analyzing Land-cover Change in the Jeou-Jeou-Fen Natural Reserve

Kai-Yi Huang

**【Abstract】** Jeou-Jeou-Fen has been designated as a natural reserve after Chi-Chi earthquake. The decision has been controversial because only natural recovery of plants for the landslide scars at Jeou-Jeou-Fen is allowed in the area. The objective was to evaluate plant recovery of the bare lands in the study area. The study applied GIS technique to combining four-date SPOT images, GPS mapping data, and other spatial data to achieve the goal. For the two-year period, plants have been recovered over the bare lands based upon four-date NDVI statistics, which appear on the belts from the mountain bases to flanks rather than from flanks to peaks because of thinner, drier, and less fertile soils on ridges and peaks. However, the monitoring period was too short to determine if plants would colonize upward into ridges and peaks. Further research will be needed to continue the monitoring. Hence, natural recovery of plants is better suited for landslide scars with poor habitat conditions, except urgent cases. The study suggests that long-term monitoring plant recovery using remote sensing with low cost and non-invasive characteristics over the bare lands be continued.

**【Key words】** Natural Reserve, Natural Recovery of Plants, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Remote Sensing.

## 一、前言

南投縣的九九峰在歷經 921 集集大地震後，原本青山翠谷的山林在一夕間崩塌幾乎變成童山濯濯，崩塌面積約達 878 公頃，為此次地震中，崩塌山坡地中面積最大的。九九峰要回復原本青翠連峰景觀，至少需要數十年的自然演替。農委會林務局已完成「九九峰自然保留區」的規劃，並引用文化資產保存法的規定，於民國 89 年 5 月 22 日將九九峰劃定為第一個強調災變後自然演替過程而保存的保留區。該區之面積有 1,198.45 公頃，主要保育對象是地震崩塌斷崖之特殊地景。九九峰既然劃定為自然保留區，即禁止在區內從事任何改變地貌景觀之活動，包含對崩場地實施人工植被重建。在保留區外，林務單位有小面積造林，中華坡地防災協會亦進行小面積的航空植生作業。然而對崩場地究竟是否儘速全面實施人工植被重建，抑或順其自然恢復，引來多方論辯，其中又以九九峰最受爭議！

歐辰雄及呂金誠（2000）研究指出，崩塌裸露地因鄰近宿存植物利用側方天然下種，或被其他動物、風等因子攜入，其種子庫之可達性都很高，對於植被恢復與入侵極為有利。惟裸露之新土或由於土層過於淺薄與貧瘠，不利植物發育生長。研究並指出，入侵植物種類以五節芒等多年生草本植物，可在一個雨季過後，有效覆蓋崩塌地區；部分陽性樹種如野桐等，在一至三年後陸續擴展族群，若未再受嚴重干擾，估計 20 年後即可恢復舊觀。相對地，有若干學者專家對九九峰崩場地任其自然演替恢復甚不以為然，主張應採用人工與自然雙管其下，儘速全面植生復育。他們認為類似九九峰崩場地為一退化生態系，若僅訴諸自然演替，恐發生逆向演替，使得植物群落結構簡

單化，生物生產力降低等等，致使原土地變為不毛之惡地。不過，921 地震造成眾多崩塌裸露地，面積廣大，在急迫性、技術與經費限制等考量下，應優先對有危險性之崩場地進行整治防災與復育。

陳明義等（2002）依據初步調查，比對九九峰山莊樣區（天然更新）與平林樣區（天然更新及航空植生）之結果，航空植生之成效不彰。平林樣區內的更新苗似未因航空植生作業而增加物種或數量。峭壁局部平台成叢出現之蓋氏虎尾草，是否為航空植生成果，有待比對當初實際飛播的植生材料。陳明義等認為九九峰崩場地地形陡峭，土層淺薄或殆無，土壤貧瘠，保水力也差，在此生育地條件下，仍以自然恢復為宜，只要坡面穩定，在大部分地區，植物可望自然入侵拓殖。在緩坡地、礫石堆或河床地，若為加速復育，或可考量人工造林配合工程處置，惟人工復育之方法與物種須再加探討。

本研究之目標在監測與評估南投縣九九峰崩場地植生自然恢復的狀態，並提出建議作為農政單位於崩場地是否實施人工復育之參考。因此本研究應用多期衛星影像變遷偵測技術，辨識與界定於地震風災前後崩場地的位置和範圍，並以地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）技術整合分析崩場地影像檔、土地利用圖檔、數值高程模型（Digital Elevation Model, DEM）產生之地文因子空間資料檔及全球定位系統（Global Positioning System, GPS）差分定位測繪資料檔，以達成上述之目標。

## 二、研究區域

研究區域為九九峰，其俗名火炎山，地理

座標約在北緯 24° 1'，東經 120° 47'，位於烏溪北岸，橫跨南投縣草屯鎮、國姓鄉及台中縣霧峰鄉、太平市境內，行政區域分屬前列四個鄉鎮市。九九峰地區也是林務局南投林管處管轄國有林班地埔里事業區第八到第二十林班範圍內。從台十四甲線公路雙冬路段上可清楚看見許多並列的山峰，即是九九峰所在的位置。圖 1 所示為研究區之位置圖。

九九峰在地質及地形上係屬於西部衝上斷層山地區，即加裡山脈，山脈起初形成複雜褶曲構造，繼後發生數條衝上斷層，形成覆

瓦狀構造。九九峰細分上屬於本區之霧峰山地副區。霧峰山地北從廓仔坑溪谷起，南至烏溪；介於台中盆地東緣至大茅埔斷層線間，東西最寬處 11 公里，最窄處 6.5 公里，南北長達 18 公里。本山地與其東鄰之大橫屏山脈並行，因向北北西之必從河之分割，亦已丘陵化，其平均高度約 300~400 公尺，以東南部火炎山一帶最高，火炎山主峰海拔 770 公尺，可與豐原山地海拔高 860 公尺之頭寮山相比（台中縣志編纂委員會，1989）。

九九峰其形成乃因地殼變動、劇烈的造

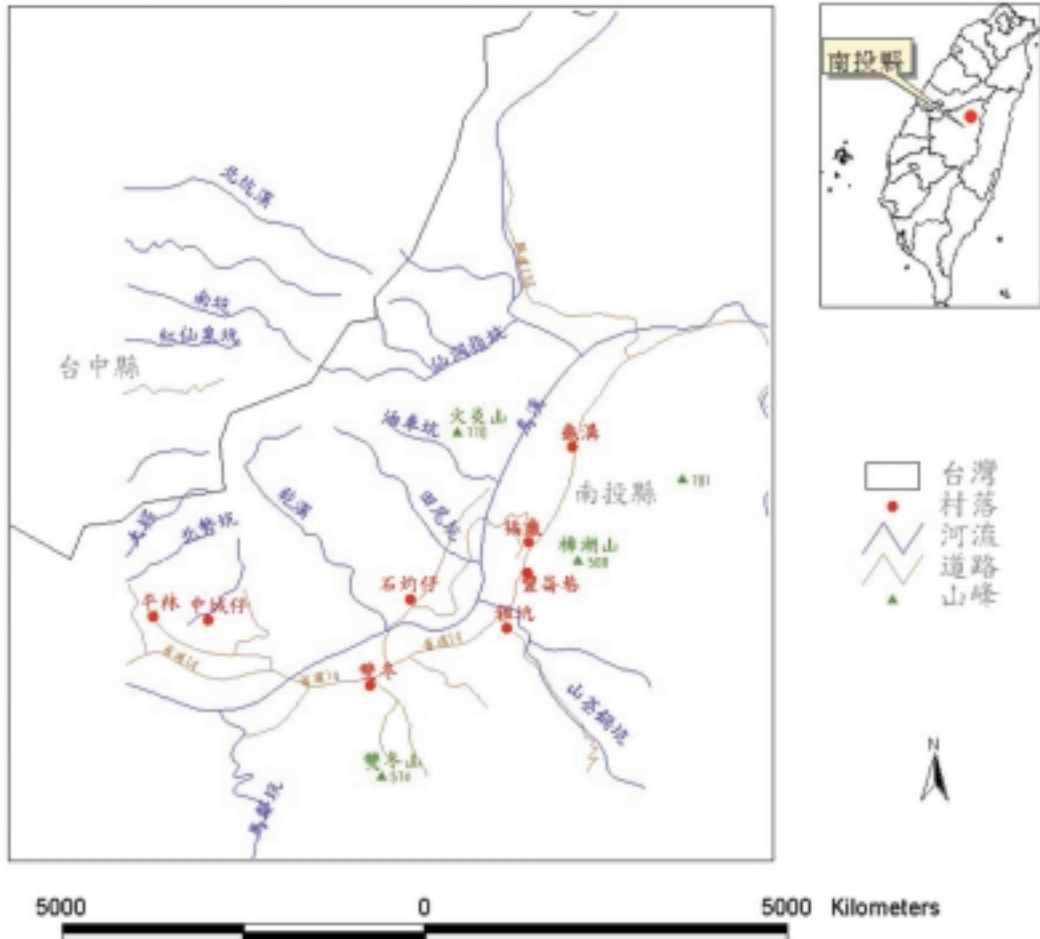


圖 1. 九九峰研究區位置圖  
Fig. 1. Location map of the study area.

山運動、快速侵蝕、堆積和風化作用，塑造了火炎山特殊的地質地形景觀。九九峰之地質屬於頭料山層上部的火炎山礫石層，形成大約於一百萬年前新生代晚期第四紀的更新世，厚度約一千公尺，地形呈現鋸齒狀的山峰，由於礫石層的透水性良好，乾燥時膠結緊密堅硬，雨季則易受雨水侵蝕下切，造成許多尖銳的山峰與深溝。另位於烏溪溪畔部分，常因受溪水淘空坡腳而造成崩塌，形成懸崖峭壁的雄壯景觀，深具觀賞、科學研究及環境教育解說之價值，是台灣地區除三義火炎山、六龜十八羅漢山之外，著名的三大火炎山地形之一。

研究區崩塌地面積廣闊，且地形險阻，攀登艱困，故選擇較易攀登之崩塌地為地面樣區，以 GPS 定位並觀測其四季植生恢復之狀態。崩塌地之地面樣區同時做為多期衛星影像分析的比較與驗證的基準。

### 三、研究方法與材料

本研究有六項主要工作，包括：資料測繪與收集、GIS 圖層資料庫之建立、崩塌地之辨識及界定、崩塌地的地文特性之分析、崩塌地植生恢復之分析、綜合分析及評估，各主要工作項目的實施方法及所需材料依據流程圖 2 逐項列出，並說明如下：

#### (一) 資料測繪與收集

##### 1. 試區實地測繪

本研究以 GPS 至現場定位及測繪九九峰崩塌地區控制點、攔砂壩、橋樑、道路、樣區等地物位置，並納入 GIS 圖層，與 SPOT 衛星影像疊合，輔助影像分析判釋。另將九九峰崩塌地定位測繪，所獲標定區塊與多期影像疊合分析，做為全區影像分析比較驗證的基準；另將其與坡度圖層疊合分析，建立崩塌地易達度之分級準則。

##### 2. 地形圖收集

本研究收集的地形圖，包括一萬分之一

的像片基本圖，用以數值化等高線、水系、道路、村落、山峰與稜線等空間特徵資料，並建立 GIS 資料庫。另有經建版二萬五千分之一與五萬分之一地形圖，則用於野外調查及影像分析的輔助資料。但是研究區的大多數地圖資料為地震前測繪，地震後重新測繪者不完整，故無法將地震後測繪地圖之等高線數值化建檔，用以計算土方搬移及堆積之變化。

#### 3. 衛星影像查詢及申購

本研究使用法國 SPOT 衛星影像，考量其影像品質（主要由雲遮蔽量及視角決定），並依據 921 地震及桃芝與納莉颱風發生日期（桃芝颱風日期：2001/07/30；納莉颱風日期：2001/09/17）之前後，檢索並申購適用品質之 SPOT 影像。九九峰的 SPOT 影像內容如表 1 所示。九九峰地區影像之雲遮蔽量皆要求在 10 % 以下，入射角或視角皆在  $\pm 20^\circ$  以內。

#### (二) GIS 圖層資料庫之建立

##### 1. 主題圖檔建立

包括等高線、水系，道路、村落、山峰及稜線的數化值建檔，以及納入已有之土地利用等圖檔、GPS 現場測繪圖層。本研究將試區地震前之正射糾正像片基本圖上等高線以 Arc/Info 軟體數化建檔，逐幅接合，然後轉換不規則三角網（Triangulated Irregular Network, TIN）格式，再轉為  $12.5\text{ m} \times 12.5\text{ m}$  之網格檔，產生數值高程模型（Digital Elevation Model, DEM）資料係用以計算坡度地文參數，以為後續崩塌地地文特性分析之用，同時可將衛星影像披覆（Drapping）在 DEM 上產生三維立體透視影像圖，俾利崩塌地之分析評估。但地震後的新版像片基本圖的圖幅不全，故未數值化納入 GIS 資料庫。

##### 2. 地文參數求導

本研究使用 ERDAS IMAGINE 影像處理與分析軟體模組由 DEM 資料計算試區之坡度

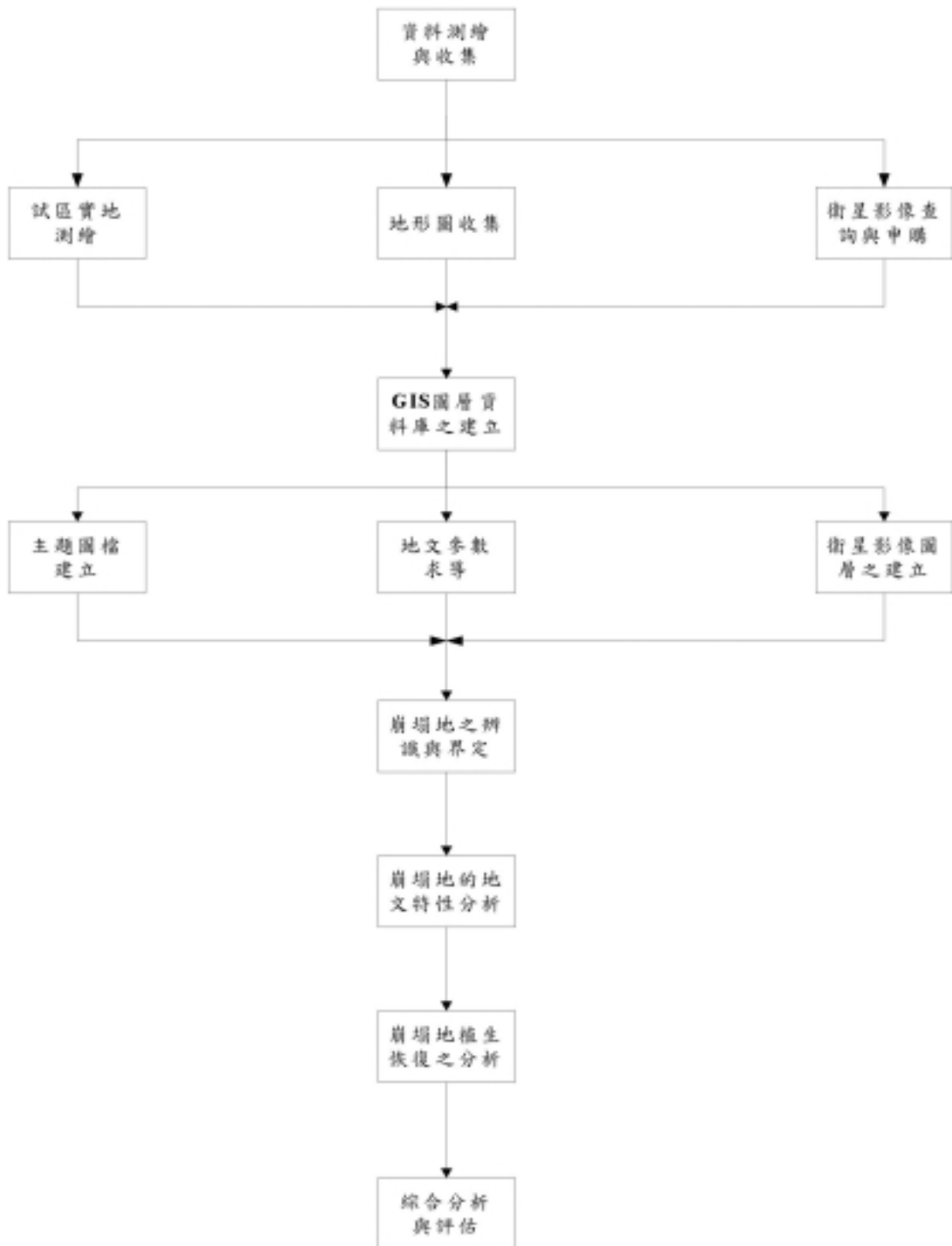


圖 2. 研究之流程

Fig. 2. The flowchart of the study.

表 1. 研究區四期 SPOT 衛星影像的拍攝時間及其特性

Table 1. Acquisition dates and characteristics of SPOT images of the study area.

波段	攝像日期	地震前後	視角 (度)	方位角 (度)	高度角 (度)
全色	1999.03.06	震前六個月	12.41	146.47	54.98
多譜	1999.03.06	震前六個月	12.41	146.46	54.97
全色	1999.11.23	震後兩個月	-2.53	160.95	43.92
多譜	1999.11.23	震後兩個月	-2.90	160.93	53.78
全色	2000.03.05	震後一年五個月	-2.53	143.83	53.75
多譜	2000.03.05	震後一年五個月	-2.89	143.73	43.67
全色	2001.11.03	震後二年一個月	-16.82	158.96	46.79
多譜	2001.11.03	震後二年一個月	-9.68	159.01	46.78

註：桃芝颱風日期：2001/07/30；納莉颱風日期：2001/09/17

地文參數，並建立其圖層。

### 3. 衛星影像圖層之建立

本研究利用 ERDAS IMAGINE 影像處理軟體及 SPSS 統計軟體對影像實施相對輻射同態化 (Relative Radiometric Normalization) 處理 (Hall *et al.*, 1991; Elvidge *et al.*, 1995; Jensen, 1996; Yang and Lo, 2000)。然後再計算同態化差異植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 影像建立影像圖層。

植生指標或植生綠度 (Vegetation Greenness) 係使用遙測影像多個不同波段之數值，經代數運算組合產生，有顯示綠色植物林冠特性如生物量、生產力、植被覆蓋率及生長狀況等特性之功能 (Campbell, 1987; Larsson, 1993)。綠色植物有吸收藍、紅光及強烈反射近紅外光特性，紅光與近紅外光可顯示植物是否正行光合作用 (Cohen, 1991)，兩波段不同形式組合，構成植生指標之核心 (Burgon and Hartford, 1993)。本研究使用 Rouse *et al.* (1973) 由波段比 (Band Ratioing) 發展出多種有效植生指標之一，NDVI 之計算式如下所示：

$$NDVI = (IR - R) / (IR + R) :$$

IR = 紅外光；R = 紅光

將 SPOT 影像之灰度值代入上式，計算崩塌地四期同態化差異植生指標 (NDVI)，並將其套疊比較，以瞭解崩塌地植被復育之狀態。

### (三) 崩塌地之辨識及界定

地震前後四期 SPOT 影像同態化處理，結合 GPS 現場測繪圖層並套疊變遷偵測，確認九九峰崩塌地之空間分佈。

### (四) 崩塌地的地文特性分析

崩塌地易達度門檻之界定係參考山坡地保育利用條例施行細則之『山坡地土地可利用程度分類標準』結合 GPS 現場測繪與崩塌地坡度之疊合圖層，然後決定崩塌地易達度的空間分佈。以山坡地可利用程度分類標準六級坡之坡度  $\geq 30^\circ$  (近 55%) 為門檻上限一不可達，其條件是一般未受過登山攀岩訓練人員徒手攀登 (未使用任何登山攀岩工具)。另外研究人員攜帶 GPS 至崩塌地樣區，測繪崩塌地徒手攀登之可能極限 (實際感受現場攀登之難易)，將其圖層與數值地形模型之坡度圖層疊合計算，界定出坡度  $20^\circ$  為崩塌地易達度門檻

下限，並將上下限以內以五度為級距加以分級如下所示：第 1 級（易達，坡度： $< 20^\circ$ ）；第 2 級（可達，坡度： $20^\circ \sim 25^\circ$ ）；第 3 級（難達，坡度： $25^\circ \sim 30^\circ$ ）；第 4 級（不可達，坡度： $> 30^\circ$ ）。

#### （五）崩塌地植生恢復之分析

植生復育監測之計算與分級乃參考影像變遷偵測（Image Change Detection）觀念（Jensen, 1996）所衍生而來。將崩塌地之四期同態化差異植生指標（NDVI）影像疊合比較，然後將崩塌地植生自然恢復狀態加以分級。崩塌地恢復狀態之分級，係以地震前之植生狀態為比較基準，植生狀態則以 NDVI 值表示，NDVI 值越大表示植生越旺值，植被覆蓋越好。

將地震後 NDVI 之差值（地震後三期或颱風後之 NDVI 值—地震後一期之 NDVI 值）與地震前 NDVI 之差值（地震前之 NDVI 值—地震後一期之 NDVI 值）相互比較，以訂定分級界限。本研究依據下列條件將植生恢復程度分為四級。若地震後 NDVI 之差值近於甚或大於地震前 NDVI 之差值，表示恢復良好。但若地震後 NDVI 之差值小於地震前 NDVI 之差值，且若地震後 NDVI 之差值對地震前 NDVI 之差值的比率大於 0.5，則表示恢復尚佳；若其比率介於 0.0 與 0.5 之間，則表示恢復不佳；若地震後 NDVI 之差值小於零，則表示惡化中。

#### （六）綜合分析及評估

本研究結合衛星影像資料、不同空間資料及現場調查，綜合分析與評估植生自然恢復監測的結果，俾提供決策單位所需資訊，協助崩塌地整治防災與植生復育之決策。

## 四、結果與討論

### （一）崩塌地四期 SPOT 影像初步判釋

本研究佐以四季地面觀測，完成崩塌地四期 SPOT 衛星假色組合影像之初步判釋。圖 3

係九九峰地區於 921 集集地震與納莉颱風前後四期的 SPOT 衛星假色組合影像（地面解像元  $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ ，重取樣為  $12.5\text{ m} \times 12.5\text{ m}$ ），紅色代表植被覆蓋良好地區，而白色至水藍色則代表裸露崩場地、土石流或溪流河床。在比對這四期 SPOT 影像後，可以分析出崩場地之位置及範圍。本研究利用 ERDAS IMAGINE 影像處理分析軟體模組，將地震後崩塌區塊切割出來，做為後續 GIS 套疊分析地文特性之用。地震前之影像上紅色調顯示本區植被覆蓋尚佳，除水藍色之溪流河床及峰頂與稜線上之小片裸露地外，並無大片崩塌裸露地，但在地震後一期之影像上幾乎全部之峰頂與稜線皆變為白色至水藍色之崩塌裸露地。再由地震二、三期的影像上崩場地基腳處在經過約兩年多後由水藍轉為淡紅色，顯示植生已有少許自然恢復，但相對地崩場地由山腰到峰頂與稜線之水藍色則少有變化，植生沒有明顯自然恢復之跡象。

### （二）崩塌地之地文特性分析

表 2 係九九峰地區及其崩塌區之坡度統計值。九九峰地區之平均坡度  $23^\circ$ ，崩塌區之平均坡度  $34^\circ$ ，後者高於前者之平均坡度約  $11^\circ$ ，顯示坡度與坡地崩塌確有密切之關係。表 3 係九九峰崩塌區易達度之分級統計，崩塌區約 75 % 為難達或不可達地，可達與易達者佔 25 %。分析結果顯示本區之地形險阻，致使現場調查備感艱困。

### （三）崩塌地植生恢復狀態之分析

圖 4 係九九峰地區崩塌地於地震颱風前後四期 NDVI 頻度分佈圖。地震前 NDVI 之頻度分佈圖因植被覆蓋良好，通常為左（負）偏分佈，即峰偏右，而尾在左；地震後初期 NDVI 之頻度分佈圖，因地表裸露，通常為右（正）偏分佈，即峰偏左，而尾在右。地震後若干時間後，若植生恢復正常，NDVI 之頻度分佈可朝左偏分佈遷移，若植生狀態未恢復或甚至惡

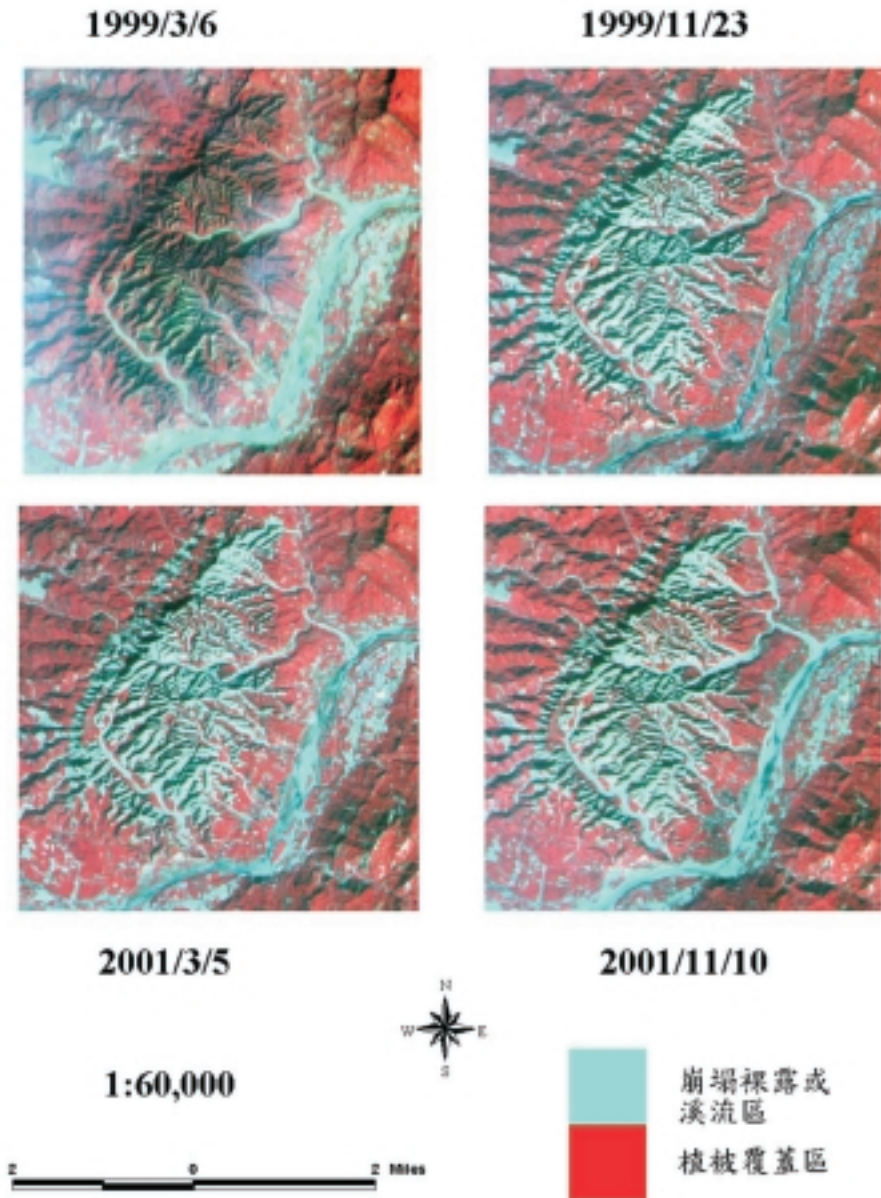


圖 3. 研究區四期 SPOT 衛星假色組合影像圖

Fig. 3. Four-date false color composite SPOT images of the study area.

化，則 NDVI 之頻度分佈仍維持右偏分佈或甚至更向右偏移。比對地震前與地震後一期 NDVI 頻度分佈圖，地震後一期 NDVI 頻度明顯向左方偏移，表示植被覆蓋明顯下降，到

地震後二及三期 NDVI 頻度有往右移之傾向，表示崩塌區植生稍有自然恢復之跡象。

本研究將九九峰崩塌區塊分別與地震和颱風前後四期 NDVI 影像套疊後，切取出崩



表 2. 九九峰地區及崩場地坡度統計值

Table 2. Slope statistics of the landslide scars and entire study area.

	坡度平均值 (度)	坡度眾數 (度)
九九峰地區	23	2
九九峰崩塌區	34	34

表 3. 研究區崩場地易達度之分佈

Table 3. Distribution in accessibility of landslide scars in the study area.

		九九峰崩塌區	
		面積 (ha)	百分比 (%)
4	不可達	958.83	62.74
3	難達	182.70	11.95
2	可達	135.97	8.90
1	易達	250.72	16.41
總計		1528.22	100.00

塌地 NDVI 影像區塊計算其平均值與眾數，並佐以四季地面觀測結果加以比較，以瞭解它們植生恢復狀態。表 4 所示為九九峰崩塌地 NDVI 的統計結果。九九峰崩塌地 NDVI 由地震前平均值 101，眾數 103，大幅下降至地震後一期之平均值 70，眾數 57，但到地震後二期時，NDVI 平均值小幅回升至 79，眾數回升至 85；到地震後三期時，NDVI 平均值再上升至 84，眾數再上升至 96，表示植生狀態有明顯的自然恢復跡象。

表 5 所示係九九峰崩塌地植生恢復程度分級的統計結果。表 5 顯示九九峰崩塌地植生恢復緩慢者佔 19%，恢復不佳者佔 60%，兩級合計 79%；恢復佳者約 4%；恢復良好者約 17%，兩級合計 21%。圖 5 為九九峰崩塌地植生恢復程度分級的分佈圖，自然恢復良好者大多數出現在崩塌區右側及其中下的方綠色區塊，少數零星者出現在崩塌區的上方。由上列圖表結果顯示，本區未實施人工復育，而由

其自然恢復，歷時二年多後，已漸顯露出恢復之跡象。

本研究採用之四期 SPOT 衛星影像，其拍攝日期分別為春季三月與冬季十一月，可能對於草本植生將產生存在與否之差異，進而影響 NDVI 值變異與植生恢復之判定。雖本研究使用多期影像相對輻射同態化，但難以消除不同生長季節之植生差異，因此必須以四季地面樣區之觀測輔助植生恢復狀態之判定，以減少僅以 NDVI 研判誤差。除此之外，本研究區平均海拔約 300~400 公尺，且攝像季節為初冬與初春，相對上生長季節影響草本植生差異可能較小。

(四) 崩場地易達度和植生恢復組合之分佈

表 6 九九峰地區崩場地易達度和植生恢復關係之分級。崩場地恢復差且為難達者佔 60%，自然恢復者多出現在基腳至山腰處，較少出現在山腰至峰頂或稜線處，現場調查與 GIS 分析所獲結果大致相符。至於基腳至山腰

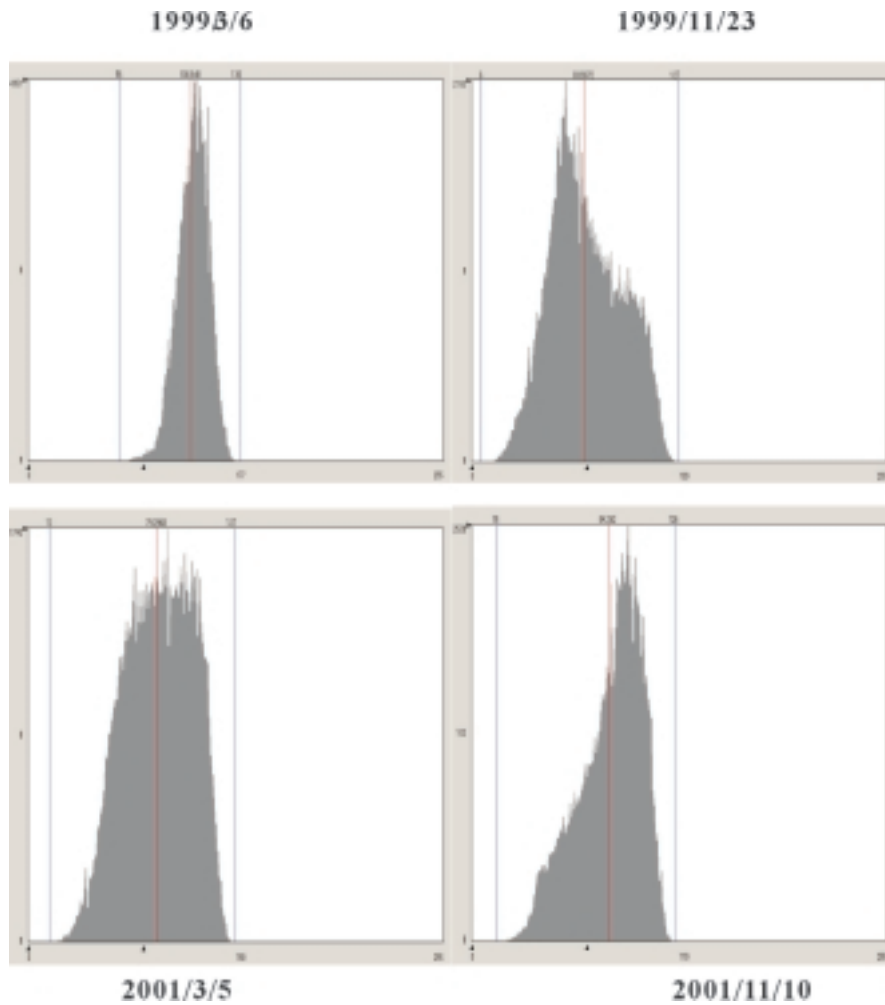


圖 4. 研究區四期植生指標頻度圖

Fig. 4. Four-date NDVI histograms of the study area.

表 4. 研究區崩場地四期 NDVI 影像之統計值

Table 4. Statistics of NDVI images of landslide scars in the study area.

九九峰崩場地 NDVI值	平均值	眾數
地震前	101	103
地震後一	70	57
地震後二	79	85
地震後三	84	96

表 5. 研究區崩塌地植生恢復之分佈

Table 5. Distribution in plant recovery of landslide scars in the study area.

	九九峰崩塌地	
	面積 (ha)	百分比 (%)
1 恢復緩慢	285.97	19.47
2 恢復不佳	875.09	59.57
3 恢復尚佳	64.83	4.41
4 恢復良好	243.11	16.55
總計	1469.00	100.00

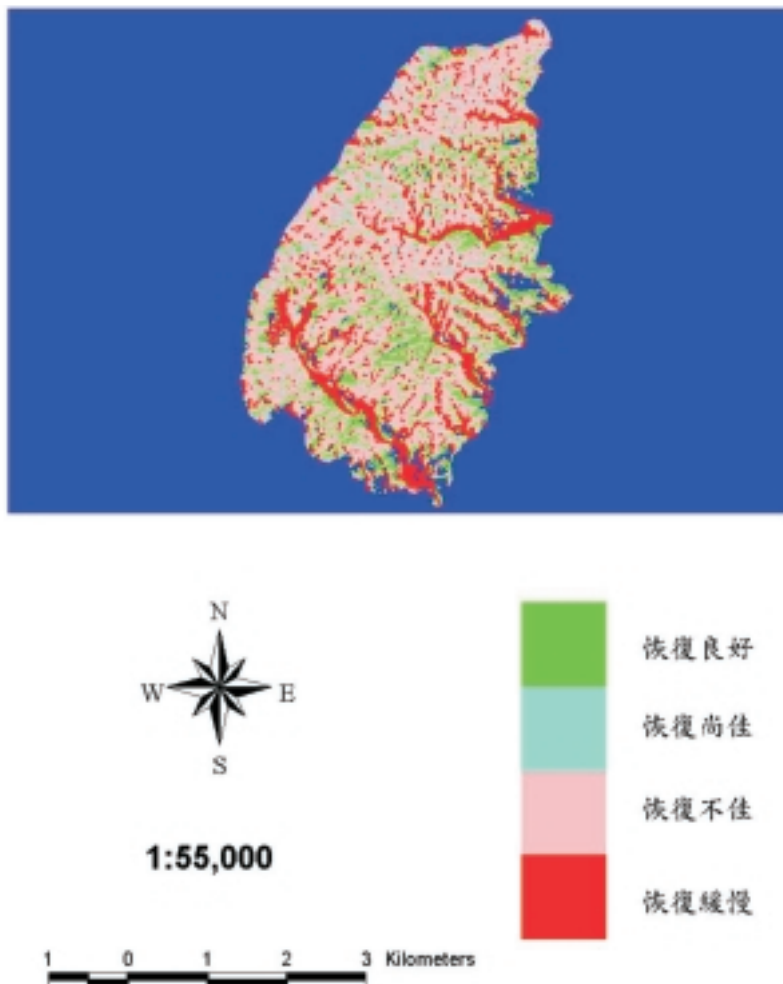


圖 5. 研究區崩塌地植生恢復之分佈圖

Fig. 5. Distribution map of revegetation class of landslide scars in the study area.

表 6. 研究區崩場地易達和植生恢復組合之分佈

Table 6. Distribution in the combination class of accessibility and plant recovery of landslide scars in the study area.

	九九峰崩場區	
	面積 (ha)	百分比 (%)
4 難達恢復差	866.22	59.15
3 難達恢復中	237.66	16.23
2 易達恢復差	291.77	20.03
1 易達恢復中	68.80	4.69
總計	1464.45	100.00

處恢復之植被將來是否能向峰頂與稜線區拓殖，則尚待後續研究之觀察。

#### (五) 綜合分析與評估

本研究結合衛星影像資料、不同空間資料及地面調查，可將植生恢復緩慢之區位主要分為三類：稜線與坡頂、坡腳淘刷處、酸性硫酸鹽土壤。九九峰地質屬更新世頭崙山層上部的火炎山礫石層，若坡面穩定，礫石間之土壤足供植物入侵生長，崩場地植生恢復並非困難。921 地震造成九九峰表層崩壞，坡頂稜線區不乏入侵植物。惟此區內植生恢復極差，推測是地形陡峭，土層淺薄或殆無，土壤貧瘠，水分極易流失，加上此區日照較充足，蒸發量大，入侵植物易因乾旱而枯萎。

坡腳淘刷會造成坡面不穩定，入侵植物是無法定殖生長。此等區位主要發生於野溪凹岸，需基礎工程穩定坡腳後，入侵植物方能於坡面上拓殖生長，惟因九九峰已劃為保留區，坡腳淘刷區位之基礎工程即難以實施。九九峰酸性硫酸鹽土壤之發生區位主要分部於頁岩層傾斜向之自由端，因頁岩上部之礫石層透水性較佳，由礫石層淋出的硫酸鐵物質及其他礦物容易沿著頁岩層之傾斜面流出，其出流處下邊坡之土壤易為滲流水汗

染，而形成酸性土壤，使植生恢復不易。酸性硫酸鹽土壤植生恢復不易，一般需加以土質改良，惟陡坡處施工不易，且保留區內不得施作。

## 五、結論與建議

本研究應用地震與颱風前後四期SPOT衛星影像，對南投縣九九峰之崩場地進行變遷偵測，瞭解崩場地在此期間植生恢復之狀態。就兩年多監測期之四期NDVI統計值來看，植生稍有恢復，然大多出現在基腳至近山腰處，而甚少出現在較陡峭之山腰至坡頂稜線區。本研究推測是地形陡峭，土壤層淺薄且貧瘠，水分極易流失，加上此區日照較充足，蒸發量大，入侵植物易因乾旱而枯萎。因監測期短，尚難推斷基腳至近山腰處恢復之植被朝峰頂與稜線區拓殖之傾向，故有待後續研究之觀察。因此，崩場地除因危險而迫切需要處置者之外，對生育地條件差者，仍以自然恢復為宜，只要坡面穩定，在大部分地區，植物可望自然入侵拓殖。另以非入侵式且所費不多之遙感技術長期監測植生自然恢復狀態，可避免干擾生態之反效果。

## 六、參考文獻

- 台中縣志編纂委員會 (1989) 台中縣志, 卷一。土地志 56-77頁。台中縣政府。
- 陳明義、陳志煌、許博行 (2002) 九九峰崩塌地區之植群更新 (初勘報告)。崩塌地育林研討會論文集 1-13~1-17頁 (附件3)。
- 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 15-23頁。
- Burgon, R. E. and R. A. Hartford (1993) Monitoring vegetation greenness with satellite data. USDA Forest Service Intermountain Research Station General Technical Report INT-297.
- Campbell, J. B. (1987) Introduction to Remote Sensing (New York: Guilford Publications, Inc.).
- Cohen, W. B. (1991) Response of vegetation indices to changes in three measures of leaf water stress. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 57(2): 195-202.
- Elvidge, C. D., D. Yuan, R. D. Weerackoon and R. S. Lunetta (1995), Relative Radiometric Normalization of Landsat MSS Data Using an Automatic Scattergram Controlled Regression, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 61(10): 1255-1260.
- Hall, F. G., D. E. Strelbel, J. E. Nickeson, and S. J. Goetz (1991), Radiometric Rectification: Toward a Common Radiometric Response Among Multi-date, Multi-sensor images, *Remote Sensing of Environment* 35, 11-27.
- Jensen, J. R. (1996) Introductory Digital Image Processing - Remote Sensing Perspective, Prentice - Hall, Inc., New Jersey.
- Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, and D. W. Deering (1973) Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Proceedings, 3<sup>rd</sup> ERTS Symposium, Vol.1 pp.48-62.
- Yang, X. and C. P. Lo (2000) Relative Radiometric Normalization Performance for Change Detection from Multi-date Satellites, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 66(8): 967-980.

