

南華大學科技學院永續綠色科技碩士學位學程

碩士論文

Master Program of Green Technology for Sustainability

College of Science and Technology

Nanhua University

Master Thesis

九九峰震災崩塌地生態復育之研究

Ecological Restoration of the Earthquake-induced

Landslide at the JouJou Peak Area

陳順麗

Shun-Li Chen

指導教授：林文賜 博士

Advisor: Wen-Tzu Lin, Ph.D.

中華民國 110 年 12 月

December 2021

南華大學
永續綠色科技碩士學位學程
碩士學位論文

九九峰震災崩塌地生態復育之研究

Ecological Restoration of the Earthquake-induced
Landslide at the JouJou Peak Area

研究生： 陳順慶

經考試合格特此證明

口試委員： 秦煥強

林昭遠

柯文

指導教授： 柯文

系主任(所長)： 洪耀明



口試日期：中華民國 110 年 12 月 10 日

謝誌

感謝論文指導教授林文賜博士，在研究的過程，嚴謹與細心的指導，時時關心論文撰寫的進度，沒有林文賜博士的敦促，論文撰寫的難度恐更高，在教授們耐心教導與協助下，讓我更加努力的向前並求進步。

感謝一同就讀研究所的同學們，一路的互相扶持與鼓勵，一生中知己難尋，有緣一同求學，這是很珍貴的緣份與回憶，且能夠在一起完成一項值得回味的事物，心中充滿感恩，過程中的酸甜苦辣只有經歷過才能體會。「回憶」是一首忘了歌詞的歌，對於細節或許會遺忘，但是旋律卻是難以忘懷的，往往在不可臆測的時刻裡，帶來心情的悸動，感謝我最親愛的先生本安、兒子易修及女兒雯惠在我就讀研究所期間的力挺與支持，讓我無憂慮。研究所生涯就要結束，代表的是要迎接下一項人生的挑戰，感恩曾經教導我的老師，老師們的諄諄教誨以及教導待人處事上的禮貌，都是讓我們能夠昂首邁開步伐並朝著夢想前進的最大幫助。

中文摘要

921 地震(1999 年 9 月 21 日)發生至今(2021 年)已 20 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，藉由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，整體精確度為 92.58%，Kappa 值為 0.8516，顯示 SOM 模式可萃取高精確度之崩塌地。而植生復育率計算及評估部份，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接近 100%之植生復原，顯示大自然本身有極佳的植生復育能力。

關鍵詞：崩塌地、自組特徵映射分類法、植生復育率

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 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, with an overall accuracy of 92.58% and a kappa value of 0.8516, indicating that the SOM model can extract the landslides with high accuracy. 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 100% vegetation recovery with the natural invasion of plants, indicating that nature itself has excellent vegetation recovery ability.

Keywords: Landslide, Self-Organizing Map (SOM), Vegetation recovery rate

目錄

謝誌.....	I
中文摘要.....	II
ABSTRACT.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VIII
第一章 緒論	1
1.1 研究緣起.....	1
1.2 研究目的.....	3
1.3 研究架構.....	4
第二章 文獻回顧	6
2.1 崩塌地災害相關研究.....	6
2.2 植生復育率評估相關研究.....	11
第三章 研究材料與方法	17
3.1 研究試區概述.....	17
3.2 試區 SPOT 衛星影像.....	24

3.3	非監督性類神經網路崩塌地萃取.....	28
3.4	植生復育率計算.....	33
第四章 結果與討論		35
4.1	九九峰震災之現場調查.....	35
4.2	震災崩塌地之萃取.....	39
4.3	NDVI 植生指數分析	41
4.4	植生復育率(VRR)分析	45
第五章 結論與建議		47
參考文獻.....		48

圖目錄

圖 1	研究架構圖.....	5
圖 2	研究地區(九九峰)位置圖.....	18
圖 3	九九峰地區高程分布圖.....	22
圖 4	九九峰地區坡向分布圖.....	22
圖 5	九九峰地區坡度分布圖.....	23
圖 6	九九峰地區衛星影像(1999/4/1).....	26
圖 7	九九峰地區衛星影像(1999/9/27).....	27
圖 8	九九峰地區衛星影像(2020/2/23).....	27
圖 9	SOM 模式之拓樸網路.....	30
圖 10	九九峰地震初期之裸露坡面.....	37
圖 11	九九峰震災 4 年後之裸露坡面植生復育情形.....	37
圖 12	九九峰遭受颱風侵襲之土石流情形.....	38
圖 13	九九峰震災 20 年後之裸露坡面植生復育情形.....	38
圖 14	九九峰崩塌初期之崩塌地(1999/9/27).....	40
圖 15	九九峰之 NDVI 影像(1999/4/1).....	42
圖 16	九九峰之 NDVI 頻度分布圖(1999/4/1).....	42
圖 17	九九峰之 NDVI 影像(1999/9/27).....	43

圖 18	九九峰之 NDVI 頻度分布圖(1999/9/27).....	43
圖 19	九九峰之 NDVI 影像(2020/2/23).....	44
圖 20	九九峰之 NDVI 頻度分布圖(2020/2/23).....	44
圖 21	九九峰地區之植生復育等級(2020/2/23).....	46



表目錄

表 1 研究地區之氣候資料表.....	19
表 2 九九峰地區坡向面積統計表.....	23
表 3 九九峰地區坡度面積統計表.....	24
表 4 SPOT 1-7 衛星資料特性.....	25
表 5 九九峰地區之植生復育等級統計.....	46



第一章 緒論

1.1 研究緣起

近年來地球的環境正面臨著各種環境議題的挑戰，包括地球暖化、氣候變遷或各種天然災害等，而台灣地區近年受極端氣候影響甚深，極端氣候之「極端」表示氣候數值超過以往處理的正常範圍，已達災害等級，例如：超大豪降雨、高溫炎熱乾旱等。其將會造成社會經濟衝擊、以及民眾生命財產的損失，如乾旱造成農作物產量減少、豪雨造成山區土石流及低窪區淹水、頻繁的颱風侵襲導致各項建設損壞等。而 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，而衛星影像結合遙測及空間資訊軟體分析為環境災害監測有利之工具，在地震後行政院農業委員會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，其亦利用不同時期之 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(2021 年)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

區位之土石二次災害嚴重，從坡地災害治理的角度來看，坡地土石災害防治應為當前重要課題。

由於崩塌地所引發之相關土石災害、以及後續治理或防災等問題，不僅國家、社會及人民均需付出甚高成本，遭到破壞之環境生態亦需長期之休養生息，方能將地景或生態恢復原有狀態。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)，期望2030年可以達成，其目標共有17個項目，兼顧經濟發展、社會進步與環境保護，透過世界各國一起努力可以邁向永續發展之路。

本研究係以多期 SPOT 2 及 6 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; Lillesand and Kiefer, 2000)。通常崩塌地取得除傳統現地調查外，近年來藉由發展各種崩塌萃取或評估模式，透過不同分類模式之優缺點，可選用最適合崩塌地萃取之判釋方法，藉由不同時期之影像變遷分析方法，可有效地獲取高精準度之崩塌地區。由於崩塌地對生態環境造成一定之衝擊，透過遙感探測、地理資訊系統、類神經網路、景觀生態指標、土壤沖蝕等技術或理論之整合，

可迅速評估崩塌地區位分布及變遷，據以探討崩塌地對地形特性之影響、崩塌初期至今之地景變化，作為評估崩塌地對生態環境之影響。

921 地震發生至今(2021 年)已 20 餘年，在沒有人干擾之自然復育下，崩塌區位植生入侵和演替之情形，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 2 及 6 衛星影像萃取該地區之崩塌地資訊，先以影像相減法整合非監督性之 SOM 模式(自組特徵映射分類法)萃取研究地區之崩塌區位，並以 Kappa 統計量評估判釋之準確性；此外，結合 NDVI 植生指數，評估及分析崩塌區位之規模，以及其植生復育情況，做為該地區崩塌地變遷探討及後續防災治理之參考。

1.2 研究目的

本研究係南投縣草屯鎮、國姓鄉及台中縣霧峰鄉交界之九九峰地區為研究樣區，利用 921 震災前後之 SPOT 2 及 6 衛星影像判釋研究地區之崩塌地變遷資訊，以瞭解 1999 年至今 20 多年在沒有人為干擾之九九峰崩塌地自然復育情況。本論文之研究目的如下：

- 一、 探討震災地區之環境永續議題：藉由長期監測與評估，並透過永續發展之經濟成長、社會進步與環境保護三個面向，探討震災地區自然復育之環境永續議題。

二、 本研究以南投縣九九峰為研究地區，以不同時期之 SPOT 2 及 6 衛星影像長期評估該區 921 地震災害之生態復育情形，以瞭解大自然對 921 地震災後崩塌地之植物入侵及復育能力。

1.3 研究架構

本研究可分成五章，其內容如圖 1，各章說明如下：

第一章為緒論，包括研究緣起以及研究目的，並簡單說明本研究之論文架構。

第二章為文獻回顧，內容包含崩塌地衛星影像判釋及植生復育率評估之整理，綜合整理相關文獻及闡述衛星影像的應用，進一步分析植生復育率之評估。

第三章為研究方法與材料，以南投縣國姓鄉九九峰地區為例，應用類神經網路分析崩塌地變遷資訊，並以 NDVI 植生指數量化評估 1999 年至今之崩塌地植生復育率。

第四章為結果與討論，探討，作為永續發展目標之探討崩塌地變遷、植生復育狀況，並探討該地區之大自然對 921 地震災後崩塌地之植物入侵及復育能力、以及環境永續議題。

第五章為結論與建議，主要將上述各章之內容進行綜合歸納，並提出研究過程中遭遇困難及解決方式，以作為未來研究之參考方向。

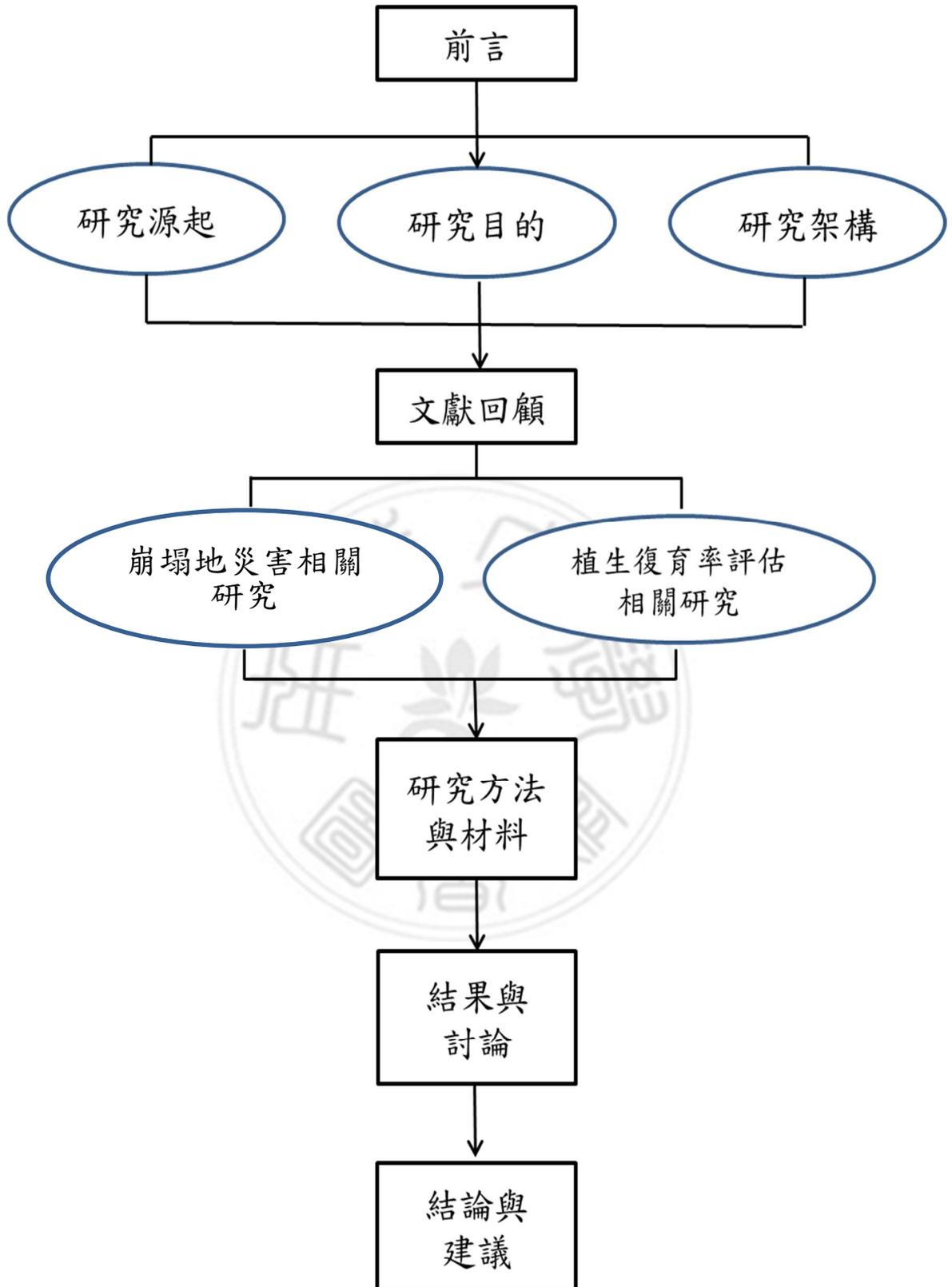


圖 1 研究架構圖

第二章 文獻回顧

第二章是以「崩塌地災害(Landslide Disasters)相關研究」及「植生復育率(Vegetation Recovery Rate)評估相關研究」之相關文獻為重點蒐集及彙整對象，進行統整歸納。

2.1 崩塌地災害相關研究

台灣地區山坡陡峻、侵蝕劇烈，集水區內崩塌次數頻繁，其移動方式以岩屑滑落(debris slide)佔大多數，且多發生於河岸(張石角，1973)。導致崩塌發生之原因，通常可分為潛在因素(潛因，inherent causes)與誘發因素(誘因，initiating causes)。潛在因素係指坡地本身之基本條件，主要由地質及地形特性所組成；誘發因素則係指可誘發坡地崩塌之外在因素，如降雨、地震、人為擾動等(張石角，1995)。例如梨山地區之地滑問題、中部地區因 921 地震所引發之大規模崩塌及 93 年 8 月艾利颱風造成石門水庫集水區上游崩塌地等皆為典型之代表案例。而九二一地震所引發之崩塌地，因颱風來襲或豪雨季節來臨，至今已造成無數次之土石災害，相關之政府機關、研究單位及學者已對崩塌地及其衍生災害進行野外調查(段錦浩，1999；工業技術研究院，2000；賴建信等，2001)、機制研究(陳主惠等，2004)、潛勢及安定性分析(成功大學，2001；陳冠志及徐國錦，2003)、地形及地質特性評估(黃宏斌及趙國昭，2001；陳

宏宇，2001；林俊全及任家弘，2003；陳晋琪等，2004)、減災工法應用(連惠邦,2001)及災害監測(周天穎,2001;成功大學防災研究中心,2001;范正成等,2002;劉守恆及林慶偉,2004)，期能瞭解崩塌地災害及研擬相關防治對策。

近年來隨著台灣山區土石崩塌災害頻仍，有關崩塌地種類及成因、衛星影像在崩塌地判釋、崩塌災害分析或對策研擬等研究甚多，茲整理如下：

張石角（1992）將台灣的崩塌分成山崩、地滑、土石流、潛移與沖蝕等五類，其中山崩可分為落石、岩屑滑落、岩屑滑移、岩屑滑崩等；而地滑則分為平面型地滑、楔型地滑弧型地滑、與翻轉地滑等。山崩通常發生於坡度 30-60 度的陡坡，移動較快速。而地滑之規模通常較大，移動速度較為緩慢，容易發生於緩坡、以及會出現明顯之滑動面。因此，山崩與地滑在地質、土質、地形、誘因及滑動之特性不太一樣。

陳信雄(1995)認為崩塌是山坡地災害之總稱，其中又可分為山崩與地滑，區別方式為運動型態與機制等兩方面。山崩乃別：山崩乃集中豪雨、地震或人為開發集中豪雨、地震或人為開發之影響而之影響而產生急速的移動；地滑則因地下水或產生急速的移動；地滑則因地下水或滑動面滑動面之存之存在導致地面呈緩慢移動之現象，且不只發生在導致地面呈緩慢移動之現象，且不只發生一次一次的滑動，多半有再發的

傾向。台灣因地形之滑動，多半有再發生之傾向。台灣因地形、地質以及氣象等因素，大部分係山崩為主，地滑則多發生於西部山區之堆積地帶，目前有大規模移動之現象則較少。

1999年9月21日發生之921集集大地震後，造成台灣山區地質鬆動，其中以中部山區受創最為嚴重，山坡地崩塌者不計其數，再加上從2000年起陸續有大型之颱風過境，例如2000年8月碧利斯颱風及10月象神颱風、2001年7月桃芝颱風及9月納莉颱風、2003年9月杜鵑颱風，乃至於2004年7月之敏督利颱風（七二水災）及8月艾莉颱風等，使得原本就已受重創的山坡地，因颱風夾帶之豐沛雨量，在大雨沖刷下釀成土石流災情，嚴重影響水庫壽命、農田灌溉，並危及居民之生命財產安全，造成農業巨大損失，而山川水利之源頭在於高山之森林區域，更顯森林生態環境之重要（黃漢淨，2008）。

施尊穎等(2010)研究指出，2009年莫拉克颱風(Typhoon Morakot)之後，造成高雄縣內山區多處之道路、橋樑毀損及中斷，其結合衛星影像、數值高程資料(DEM)及透過地理資訊系統將各圖層與崩塌地進行套疊，用以評估及計算台20線道路沿線崩塌地之分布情形，並透過現場資料調查評估各處災害現況及阻斷之致災原因。其結果為在現地調查與填表紀錄後，歸納與統計6種不同類型災害特性，其與地文水文等條件出現一定之關聯性，其中包括3種山崩型災害及3種非山崩型災害。其調查

結果亦顯示，當道路經過崎嶇起伏之地貌及構造發達之地質，最容易引發各種類型之道路阻斷。而且沿著坡面兩側之侵蝕溝，易因向源沖刷而形成完整滑動面而造成災害。道路線型方面，因為凹向斜坡坡面，其地表逕流及地下水會向中間集中，造該坡段地面水聚集，最後引發孔隙水壓上升而造成災害。在道路分析上，因為道路上下邊坡不同會造成不同之災害類型。其現地調查及歸納成果，期能應用於未來之山崩模式預測。

葉庭維(2021)研究指出山崩是形塑地表的重要作用之一，也是常見的自然災害，因此監測山崩非常重要。傳統上，在大地測量和地工技術的協助下，可透過多時期的觀測了解崩塌行為。近年來，無人飛行載具和運動回復結構的結合已成為地面測量的方式，透過其省力及低成本的操作流程，獲取地物的詳細表面資訊。該方法逐漸用於崩塌地的調查上，同時部分研究依攝影測量原理試驗不同的測量設計以提升量測品質。然而少有研究專注在陡峭崩塌地上，此類崩塌地常出現在活躍造山帶上，並且有較高的致災潛力，也是台灣地區常見之崩塌地型態。為使用無人機與運動回復結構，發展一套低成本且有效偵測陡峭崩塌地細部變化的方法。本研究檢驗無人機的定位設備精度、航帶形狀、以及地面控制點分布對運動回復結構產製之模型的影響；另測試點雲密度、影像網型、以及地面控制點分布對變遷偵測的影響。本研究區位於台 20 線 177 公

里處，包含兩個坡陡、表面不穩定、以及現場作業空間受限的崩塌地。本研究流程包含野外調查、運動回復結構、準確度評估、變遷偵測、以及體積估算。測試結果顯示在有地面控制點的情況下，無人機的定位設備精度非影響模型準確度的關鍵，航帶形狀亦無顯著影響，而地面控制點的分佈是影響模型準確度的關鍵。另外，點雲密度對偵測崩塌地表面變化無顯著影響，而影像網型對變遷偵測的影響非常明顯；在相對誤差可以保證的情況下，地面控制點的分佈並不是影響變遷偵測關鍵。



2.2 植生復育率評估相關研究

江山宏(2005)研究指出 921 大地震造成民眾大量傷亡與許多建物毀損外，亦造成台灣中部山區多處大規模崩塌。由於崩塌區位分布零散且遼闊，其適合利用遙測影像資料進行快速地監測與評估。由於南投縣的九九峰已被行政院農業委員會林務局設為自然保留區，以自然演替方式進行崩塌地復育，九二一震災至今已六年餘，崩塌區位變遷有探討之必要性。以多期 SPOT 衛星影像資料 1999~2003 年，輔以常態化差異植生指數(NDVI)、影像變遷分析方法及植生復育率(VRR)，評估研究地區之崩塌地變化及其植物入侵和復原情形。分析結果顯示該區崩塌地面積有逐年復原之趨勢，崩塌初期(1999/9/27)之崩塌地面積為 958.359 公頃，而在 2003/7/20 之崩塌地面積已復原為 163.672 公頃；而崩塌區位之 VRR 已達 70.46%，在不受人為干擾下，顯示大自然具有很好之植物入侵及復育能力。而在 2003/7/20 之變遷評估中，發現擴大之崩塌區位約為 84.921 公頃，主要分布在嶺線及河道攻擊坡等區域。本研究透過多期衛星影像有效地評估崩塌地變遷及其植生復育變化，作為崩塌地災害防治之參考。

胡婷雅(2002)是以本研究以九九峰、大安溪支流之雪山坑溪和烏石坑溪集水區及大甲溪上游自天輪起至德基大壩間之集水區等三個地區為研究對象，其認為 921 大地震崩塌地分布零散且遼闊，若能利用遙測

技術取得多個時期衛星影像資料，則能快速地監測及評估大範圍崩塌地、以及坡面植物入侵及復育情形。其分析步驟及方式為先以地震前後期(初期)SPOT 衛星影像進行崩塌地判釋，再以地震一年半後之衛星影像分析崩塌地之植生復育率，並利用 USLE 公式，配合坡面泥砂遞移率分析，來推估崩塌區位三個時期(包括地震前、地震後及一年半後)之植生覆蓋情形下之坡面泥砂產量及平均沖蝕深度。分析結果得知，地震一年半後，九九峰崩塌區位之 VRR 平均值約達 36%，顯示其植被已逐漸生長恢復，而其年平均沖蝕深度約為 4.8cm/yr；雪山坑溪、烏石坑溪及天輪至德基大壩間之集水區崩塌區位之植生復育率平均值則皆約為-10%，顯示其植物入侵及復育情形為變差之趨勢，其年平均沖蝕深度則分別約為 4.4cm/yr 及 3.5cm/yr。另將九九峰崩塌區位之植生復育率以群集分析法分為優、普通及差三個等級，進一步對等級屬於「差」者之崩塌區位進行坡度、坡向及稜線與濱水區位分析，結果得知其植生復育率等級屬於「差」者之區位主要分佈於坡度 55~100%之間、北坡向及稜線區。

許銘峰(2002)探討九二一集集大地震造成九份二山為研究地區，其位於南投縣國姓鄉崁斗山一帶，在 921 地震時造成大規模崩塌，以及形成的兩處堰塞湖包括韭菜湖溪及澀仔坑溪，由於崩塌土體易受雨水沖刷至河道，容易威脅河道下游地區之人民的生命財產及安全，因此崩塌地之防災工作及坡面植物復育極為重要。其利用 DEM 資料及不同時期的

SPOT 衛星影像資料，以 WinGrid 集水區分析軟體萃取崩塌區位之集水區地文與水文資訊，並透過影像分析與判釋探討九份二山崩塌地的植物復育情形，以植生復育指標量化分析崩塌區位植生，作為植生復育影響因子之探討。其研究指出崩塌地坡面之 C 值(植生覆蓋因子)由地震後之 0.79 逐漸回復至 0.47，而崩塌區位之 VRR 提高至 59.9%，表示崩塌地的植生復育狀況尚屬不錯。而利用 USLE 及 SDR 概念推估 2 個堰塞湖的淤滿年限，其結果顯示澀仔坑堰塞湖之平均沖刷深度約為 0.92 公分/年、淤滿年限約為 12~18 年；韭菜湖堰塞湖之平均沖刷深度約為 1.38 公分/年、淤滿年限約為 10~16 年。

吳瑞鵬(2001)是以南投縣九九峰地區為研究地區，因其在 921 集集大地震後新增崩塌地之規模最大。其研究項目包括蒐集地震前後(初期)之不同時期 SPOT 衛星影像，再分析每個時 SPOT 影像崩塌區位之 NDVI 指標及 C 值(植生覆蓋因子)，最後結合數值高程資料及 WinGrid 集水區分析軟體之地形分析，萃取崩塌地植生復育區位之相關資訊，探討崩塌地之成因、監測及後續治理評估之依據。該區崩塌地之坡向分布主要集中在東北、北、西及西北等四個坡向的崩壞比率較高；且多位於>55%度之陡坡；在震災一年後且自然演替之情形下，VRR 已大於 40%，建議不需要再投入大量人力與物力，從事崩塌地植生復育之相關工作。並以集水區之泥砂量指標評估崩塌地之治理優先順序，其中宜列為優先治理之

對象，計有 NO. 4、6、8 及 12 等 4 個子集水區。由地形分析顯示，該地區因震災所引發之崩塌地大都位於坡頂，從 SDR 來分析，河道濱水帶為適合的植生復育區位，因植生緩衝帶之建置應可有效地阻隔泥砂或污染源進入野溪，並能達到經濟防災之目的。

陳昱豪(2006) 由於台灣山坡地飽受天然災害威脅，尤其是震災後及颱風暴雨帶來之損傷特別嚴重。加上山區陡峭地形、脆弱地質及不當土地利用，加劇頻仍的土石流進而造成人民生命財產上之損傷。而集水區坡面沖蝕與崩塌係來自暴雨災害，坡面泥砂流失進入河道形成挾砂水流甚至土石流，威脅下游地區之保全對象。其以濁水河流域陳有蘭溪集水區為對象，分析 921 集集大地震、賀伯颱風、桃芝颱風、七二水災等災害事件，藉由不同時期 SPOT 衛星影像資料與 DEM 資料，結合 GIS 及 RS 軟體推估集水區崩塌地的植生復育情形。並以 WinGrid 集水區分析軟體計算集水區之坡面土壤流失量和崩塌泥砂量，再以泥砂遞移率觀念推估流入河道之泥砂量。首先以衛星影像計算 NDVI(常態化差異植生指標)值，作為九二一地震崩塌區位判釋之用，並評估自九二一震災至 2004 年約 5 年期間之崩塌地植生恢復情形，據以探討崩塌地植生復育率與集水區各地形因子之關係。分析結果顯示陳有蘭溪在九二一地震後 5 年，植生復育率已達 84%，復原情形良好。

林文賜等(2004)以不同期間 SPOT 衛星影像分析南投縣九九峰地區

之 921 震災前後(初期)崩塌地變遷，利用 NDVI 植生指數及影像變遷分析，輔以數值高程模式透過 WinGrid 集水區分析軟體，分析崩塌地之地形特性，據以評估 921 震災後崩塌區位之地形變遷及植生復育情形。其研究結果顯示，在無人為干擾之自然復育情況下，九九峰地區於地震後 2 年內(桃芝颱風前)之崩塌地面積約減少 77.45% (由震災初期之 829.5 公頃減少為 187.1 公頃)及植生已恢復為甚佳狀態(VRR 已恢復達 58.93%)。然受桃芝颱風(Typhoon Toraji)災害影響，挾帶豪雨造成崩塌地擴大為 311.7 公頃，植生復育率(VRR)減少為 28.53%。透過高程資料分析不利植生復育之區位，其結果指出坡腳不穩定之坡面、較乾燥坡面脊線或坡面陡峭區位，都是不利自然植物入侵及演替之區位。

林昭遠等(2001)研究指出 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多處崩塌且裸露極為嚴重，而透過 SPOT 衛星影像資料判釋，顯示 921 地震後新增加崩塌區位以南投縣草屯鎮之九九峰地區最為壯觀；921 震災後新增加崩塌地面積約 908 公頃，顯示崩塌災害之後續復育及防治工作甚為重要。其研究係利用地震前後(初期)之 SPOT 衛星影像，先計算各期影像崩塌區位之 NDVI 指標及 C 值(植生覆蓋因子)，最後結合數值高程資料及 WinGrid 集水區分析軟體之地形分析，萃取崩塌地植生復育區位之資訊，探討崩塌地之成因、監測及後續治理評估之依據。

震災後林務局已將九九峰地區劃設為自然保留區，以保存災後之地形景觀，並藉大自然自行復育功能，使該區生態景觀逐漸復原。據歐辰雄、呂金誠(2000)針對 921 地震崩塌區位之原生植群調查指出，大部分崩塌區位在經過一年的雨季之後，已有不少崩塌區位鄰近宿存之自然植物，因風或動物攜帶而入侵，由於此一方式之種子庫可達性很高，對於崩塌區位之植被恢復及入侵非常有利。而各類入侵先驅植物中，以五節芒等多年生草本植物種子發芽容易、而且生長快速，在經過一個雨季生長通常可以有效覆蓋全部之崩塌區位，而部分先驅陽性樹種如野桐，因其種子甚輕且小的特性亦可容易入侵崩塌地，可在一至三年後成形並擴張族群，在未受到外力干擾或破壞之下，通常可於二十年後回復原有舊觀。然大多數崩塌區位之破壞多為表土層崩落，裸露新崩積土可能或因土層淺薄或因養分不足而影響植物發育與生長。

林信輝及黃俊仁（2000）研究指出 921 震災後九九峰崩塌地之入侵先驅樹種有羅氏鹽膚木、構樹、白匏子、血桐、野桐、臺灣五葉松、臺灣二葉松等；在人為干擾較少之地區，樹種組成較複雜，其中以樟科植物及桑科榕屬為主，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，另有臺灣蘆竹懸垂於較陰濕之峭壁，形成另一種景象。

第三章 研究材料與方法

3.1 研究試區概述

一、環境基本資料

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，座標範圍(TWD 67 座標系統)為 $x_{\min}=223760$, $x_{\max}=230000$, $y_{\min}=2654000$, $y_{\max}=2660560$ ，其位置如圖 2。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。921 地震造成九九峰地區表層土石大量崩落，坡頂植被隨著表土震落至數十公尺下之山坡，剩下鬆散土層覆蓋，雨季來臨造成土壤嚴重流失且部份崩塌土石堆積於野溪源頭阻塞河道，易因豪雨造成土石流災害。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，並藉大自然可自行復育能力，讓區生態景觀逐漸復原。

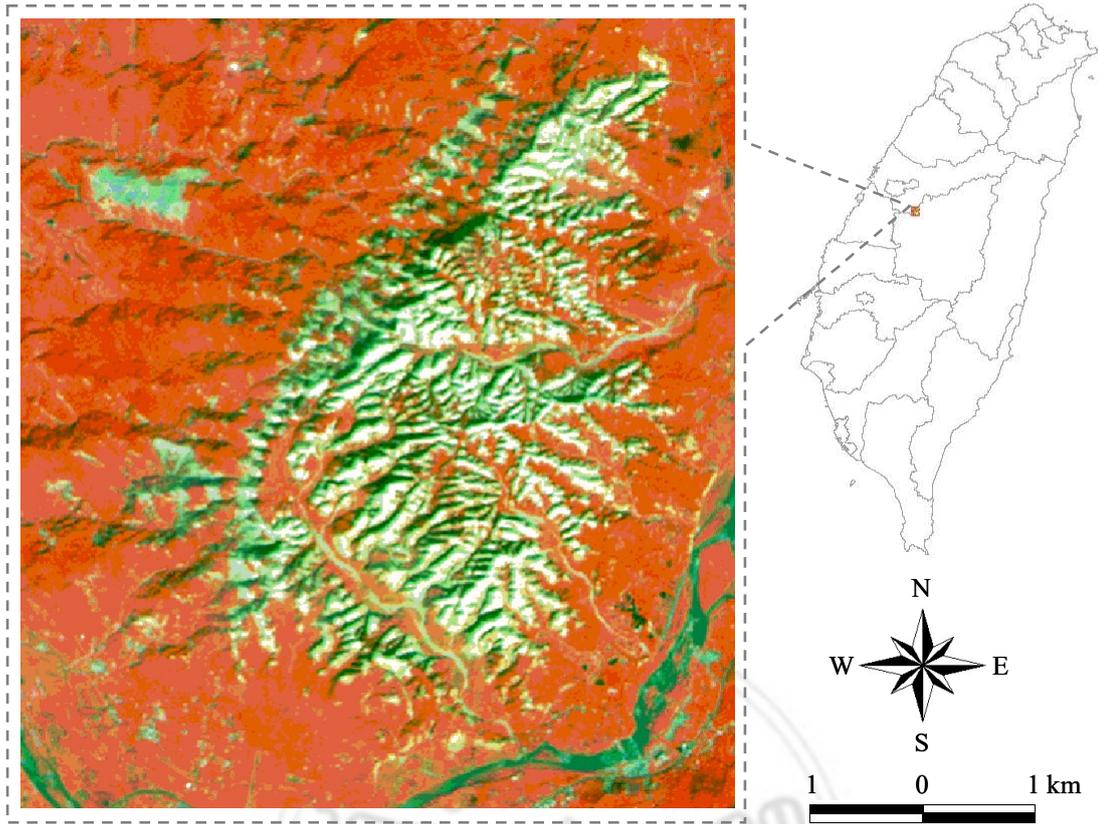


圖 2 研究地區(九九峰)位置圖

二、氣候資料

本研究之氣候資料來源為中央氣象局網站，由於九九峰地在南投縣，因此選用鄰近中央氣象局之日月潭測站，故統計資料以日月潭站為主如表 1。月平均之降雨量在 38.4 mm 至 441.6 mm 之間，通常秋冬季每年 10 月至隔年 3 月降雨量偏低，月平均雨量大都低於 100mm，每年 4 月逐漸進入雨季及颱風季節，在 6、7、8 月之降雨量達到最大，每年之平均降雨量為 2343mm。月平均氣溫為 19.3 度，最低為 1 月之 14.4 度 C、最高為 7 月之 22.9 度 C，因研究地區位處於山區，其月平均氣溫較平地為低。

相對濕度之月平均值為 81.7%，全年皆在 75% 以上，最小為 1 月之 76.9%，最大為 8 月之 85.5%。而日照時數之全年統計為 1609 小時，最短之日照時數為 5 月之 109.2 小時，最長為 12 月之 157.0 小時。

表 1 研究地區之氣候資料表

月份	降雨量 (mm)	氣溫 (度C)	相對濕度 (%)	日照時數 (H)
一月	56.7	14.4	76.9	159.4
二月	72.0	15.2	78.4	136.9
三月	103.1	16.9	80.4	128.5
四月	174.6	19.2	82.3	109.5
五月	354.6	21.1	84.4	109.2
六月	441.6	22.3	85.1	111.3
七月	394.5	22.9	84.5	140.6
八月	422.9	22.7	85.5	125.2
九月	192.1	22.2	84.1	123.6
十月	50.3	20.6	81.9	147.6
十一月	38.4	18.6	79.2	160.2
十二月	42.2	15.6	77.3	157.0
合計	2343.0	19.3	81.7	1609.0
統計期間	1991~2020	1991~2020	1991~2020	1991~2020

*資料來源為中央氣象局網站；研究地區係採用鄰近之中央氣象局日月潭測站。

三、植生概況

該地區之地表植物社會組成簡單，以台灣蘆竹為主，在坡度較緩、稜線或坡腳處，以低海拔榕楠林帶及楠櫛林帶植群及先驅植物為主，如山黃麻、台灣檫、牛乳榕、青剛櫟、血桐、白柏、山鹽青及楠木類等，並混生松類如台灣二葉松及台灣五葉松。因此該區之土地利用類型主要為天然植生，闊葉混淆林約佔全區面積的 58.65%，其分布最廣，而針闊葉混淆林約佔全區面積的 11.58%。而人為種植區域則集中於附近村落或較平緩之溪谷處，主要以檳榔及荖葉為主，其他尚有荔枝、香蕉及芒果等農作物。

四、地形地勢

研究地區呈現的地形景觀以表土崩落之群峰為主，因其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。而位在東南邊、南邊接近烏溪，以及溪谷與西北邊之區域地勢較低。根據九九峰地區之高程分布如圖 3，最小高程為 134 公尺，最大高程為 776 公尺，全區的平均高程為 357 尺。依地形分析產生坡向、坡度圖及統計資料如圖 4、5 及表 2、3。在坡向統計中，東北向面積為 338.88 公頃，佔 7.7%、東向面積為 586.88 公頃，佔 13.4%、東南向面積為 501.76 公頃，佔 11.4%、南向面積

為 897.6 公頃，佔 20.4%、西南向面積為 523.84 公頃，佔 11.9%、西向面積為 613.6 公頃，佔 14.0%、西北向面積為 334.72，佔 7.6%、北向面積為 598.72，佔 13.6%。其中坡向以偏南向居多，東南向面積為 501.76 ha，佔 11.4%，南向面積為 897.6 ha，佔 20.4%，西南向面積為 523.84 公頃，佔 11.9%。

而坡度依水土保持技術規範分為 7 類，在七級坡以上(>100%)的面積為 226.24 公頃，佔 5.1%，六級坡(55-100%)的面積為 1053.92 公頃，佔 24.0%，五級坡(40-55%)的面積為 813.76 公頃，佔 18.5%，四級坡(30-40%)的面積為 648.96 公頃，佔 14.8%，三級坡(15-30%)的面積為 776.64 公頃，佔 17.7%，二級坡(5-15%)的面積為 406.08 公頃，佔 9.2%，一級坡(<5%)的面積為 470.4 公頃，佔 10.7%。坡度較為平緩的地方是位在南方與東方之邊緣、及溪谷區域。主要貫穿其間的有乾溪、田尾坑溪、油車坑溪及仙洞指坑溪等 4 條溪谷，但除颱風豪雨期間外，整年所見通常為乾枯河床(陳添水，2005)。



圖 3 九九峰地區高程分布圖

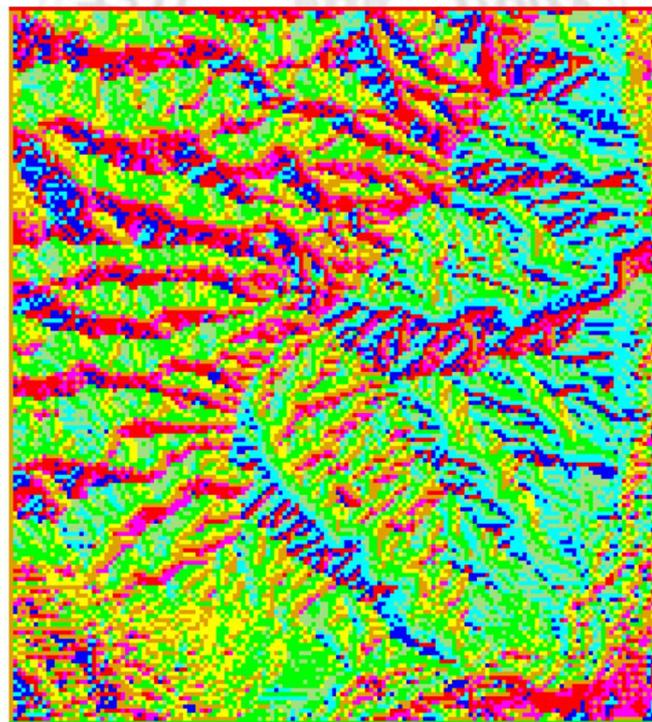


圖 4 九九峰地區坡向分布圖

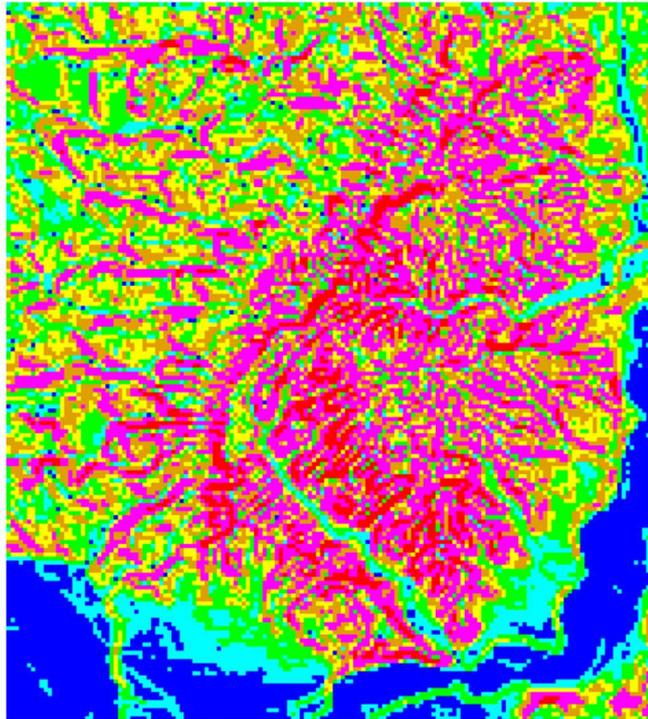


圖 5 九九峰地區坡度分布圖

表 2 九九峰地區坡向面積統計表

坡向	面積(ha)	百分比
東北	338.88	7.7%
東	586.88	13.4%
東南	501.76	11.4%
南	897.6	20.4%
西南	523.84	11.9%
西	613.6	14.0%
西北	334.72	7.6%
北	598.72	13.6%

表 3 九九峰地區坡度面積統計表

坡度分級	面積(ha)	百分比
<5%	470.4	10.7%
5-15%	406.08	9.2%
15-30%	776.64	17.7%
30-40%	648.96	14.8%
40-55%	813.76	18.5%
55-100%	1053.92	24.0%
>100%	226.24	5.1%

3.2 試區 SPOT 衛星影像

法國於 1986 年 2 月成功發射第 1 顆 SPOT 衛星(命名為 SPOT 1)，開始 SPOT 序列衛星之觀測任務，但在 1993 年 8 月 SPOT-1 停止使用，其年限約 7.5 年。1990 年 1 月再度成功發射第 2 顆 SPOT 衛星(命名為 SPOT 2)；並於同年 9 月底再次成功的發射 SPOT-3 衛星，但在於 1996 年 11 月因故障而失去訊號。SPOT 4-7 衛星：1998 年 3 月成功發射 SPOT 4 衛星、2002 年 5 月成功發射 SPOT 5 號衛星、2012 年 9 月發射成功衛星 SPOT-6、2014 年成功發射同型衛星 SPOT-7。

其中 SPOT 6 及 SPOT 7 衛星，因其攝像能力提升，空間解析度精度

甚高，加上其拍攝幅寬可達 60 公里之寬度，可提供大面積之土地利用監測、環境災害監測及加值應用。其優點包括(1) PAN 空間解析度提升至 5m (SPOT 6)及 1.5m(SPOT 7)，進行融合後影像可提供更細緻之地覆地物細節，(2)衛星姿態控制方式可以本體旋轉，增加影像拍攝之便利性，更可拍攝同軌立體對之影像，(3)影像灰度值(pixel brightness)取樣提升至 12 bit，保留更多地覆灰度值的細節，及(4) SPOT 6 及 7 的感測器提供多光譜態 (XS) 及全色態 (PAN) 兩種模式。而多光譜之 4 個波段分別為藍光波段 B (0.455 μm ~0.525 μm)、綠光波段 G (0.53 μm ~0.59 μm)、紅光波段 R (0.625 μm ~0.695 μm)與近紅外光段 NIR (0.76 μm ~0.89 μm)，而全色態 (PAN) 的波長範圍則在 0.455 μm ~0.745 μm 。茲將 SPOT 系列衛星之規格比對如表 4。

表 4 SPOT 1-7 衛星資料特性

衛星代號	感測器	光譜模式	空間解析度
SPOT-1~3	HRV	PAN	10 m
		多光譜態 XS	20 m
SPOT-4	HRV	全色態 M	10 m
		多光譜 XI	20 m
SPOT-5	HRG	全色態 HM	5 m
		超解像模式 TH	2.5 m
		多光譜態 HI	10 m
SPOT-6	NAOMI	全色態 HM	1.5 m
		多光譜態 HI	6 m

為判釋 921 地震前後(初期)九九峰之崩塌地及植生復育情形，所選用 SPOT 之衛星影像，其參數包括，拍攝日期:1999/4/1、1999/9/29、2020/2/3，影像座標： $x_{\min}=223760$ ， $x_{\max}=230000$ ， $y_{\min}=2654000$ ， $y_{\max}=2660560$ ，1999 年為崩塌前及初期之 SPOT 2 影像，其影像解析度為 12.5m，而 2020 年為 SPOT 6 影像之影像解析度為 6m，而選用的衛星資料考慮其影像品質，試區影像雲覆蓋量皆要求在 10%以下及視角 ± 10 度以下所做決定。

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 2020/2/3(地震後 20 年)之影像(圖 7~9)，以及相關輔助調查資料，以供崩塌區位萃取之用。

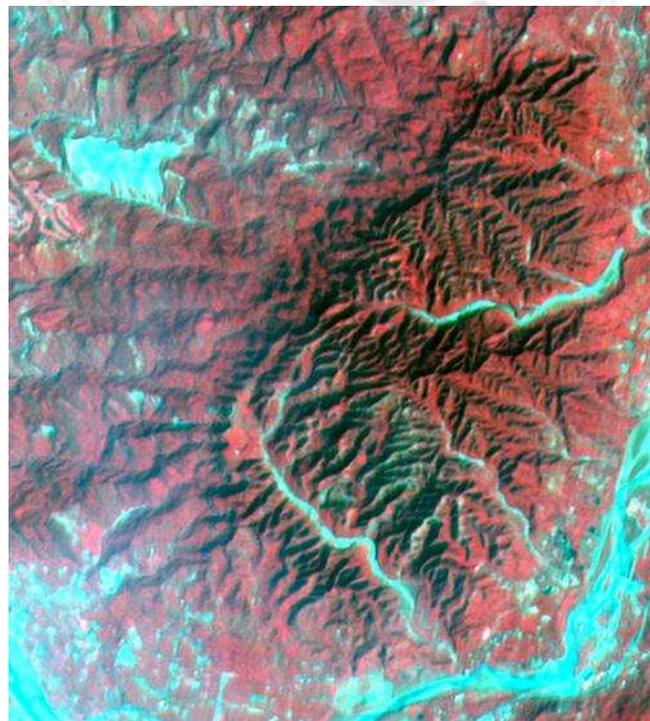


圖 6 九九峰地區衛星影像(1999/4/1)



圖 7 九九峰地區衛星影像(1999/9/27)

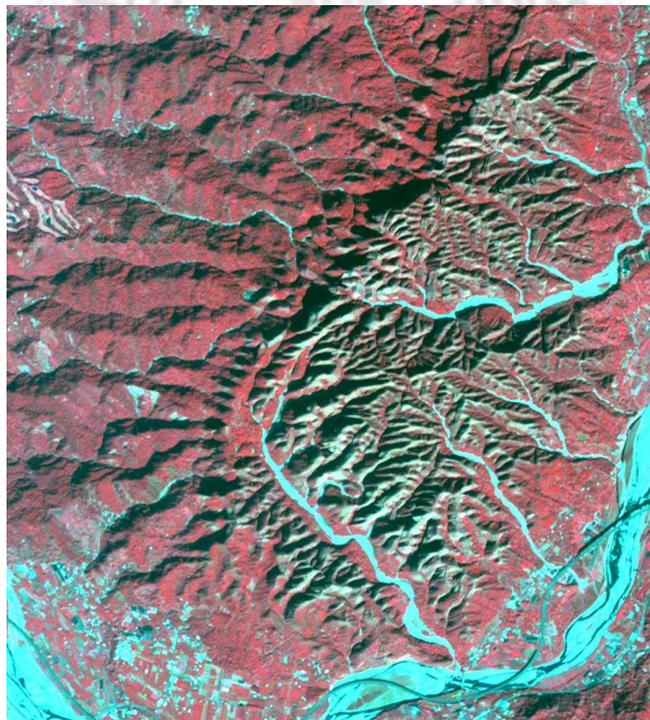


圖 8 九九峰地區衛星影像(2020/2/23)

3.3 非監督性類神經網路崩塌地萃取

非監督性類神經網路之崩塌地萃取步驟：(1)前期處理(Data preparation)：以不同時期之 SPOT 2 及 6 衛星影像資料結合影像相減法(Image differencing)計算 921 地震前後之差異影像；(2)非監督性類神經網路：利用影像相減法對地震前之影像相減，並導入 SOM 進行崩塌地之分類。茲說明如下：

(1)前期處理

為能有效地萃取崩塌區位影像，首先對崩塌地之光譜反射值進行統計及分析，以瞭解崩塌區位之光譜特性，做為崩塌地判釋或萃取之依據。本研究係以不同時期 SPOT 衛星影像資料，結合影像相減法計算地震前後之差異影像。影像相減法係將後期影像減去前期影像，而所得之差值影像可用於萃取震災後之崩塌區位。

(2)非監督性類神經網路(Self-Organizing Map, SOM)

Self-Organizing Map (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 9)，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。

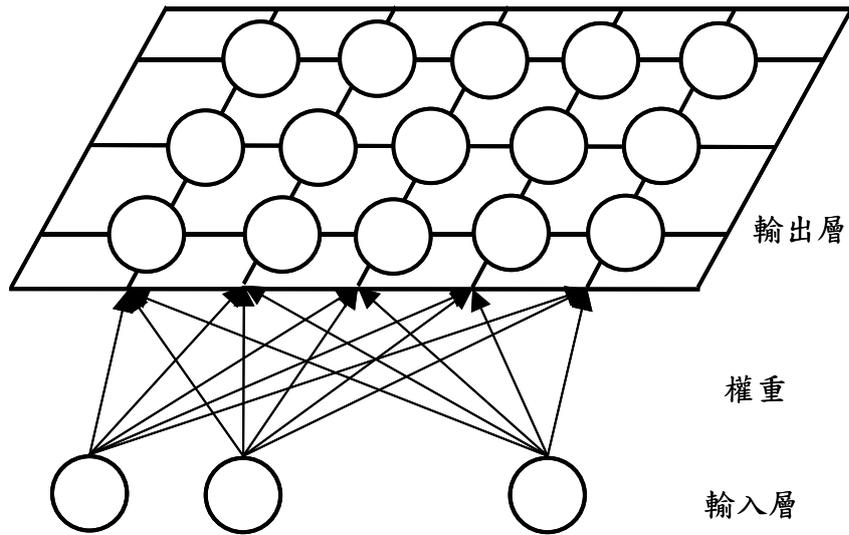


圖 9 SOM 模式之拓撲網路

SOM 模式之演算法所採用的計算方式係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。換言之，其為非線性轉換，此種非線性投影的方式是透過權重值向量之學習，而使得輸出向量之神經元能保有資料間之鄰近關係，並以二維或低維的拓撲網路表示其資料之分布。SOM 模式之演算法為一個反覆運算的過程(iterative process)，其步驟(step1 – step5)則說明如下：

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 $\|r_j - r_c\|$ 為拓樸距離

Step5: 反覆學習直到網路收斂為止

(3)Kappa 精確度評估

Kappa 統計量為影像於地覆分類後評估準確度之統計量，其與其他之準確度統計量如總體精確度、生產者精度(Producer's Accuracy)或使用者精度(User's Accuracy)等不同，Kappa 公式中納入漏授(Omission Error, OE)

及誤授(Commission Error, CE)之計算，因此 Kappa 公式之計算結果較能反應真實地表(ground truth)狀況(Congalton, 1991)，其公式同前所述。本研究準確度評估之地真參考資料，包括地震後之彩色航照圖及現地調查資料。崩塌地評估樣點之正確分類，係以上述之地真資料進行檢核，再以 Kappa 公式計算準確度。其公式如下：

$$Kappa = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}$$

式中 r 為分類矩陣之列數， x_{ii} 為分類矩陣中欄列對角之樣點數目， x_{i+}, x_{+i} 為分類矩陣中各欄及各列之樣點數目， N 為全部樣點數目。



3.4 植生復育率計算

本研究以 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(Vegetation Recovery Rate, VRR)，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。

(1) 常態化差異植生指標

多波段之影像資料透過常態化差異植生指標(NDVI)轉換為單波段資料，可消除部份空間及時間變異之變異，如地形效應及因季節不同之誤差(Jensen, 1995)。此外，同態化(normalization)校正亦為消除上述誤差常用方法之一，然其校正精度易受限於訓練樣區(training sites)之選取，且加上校正程序較為繁複，需專業之遙測使用者參與。有鑑於此，本研究針對誤差消除提出一種較為快速校正方式，對同一地區而言，假設各期影像光譜之極值(最大值及最小值)應為相同，且存在於未變遷地覆中，則對原始影像之 NDVI 進行線性顯揚，可使未變遷地覆之光譜反射趨於相同，NDVI 公式推導如下：

$$NDVI = \frac{(IR - R)}{(IR + R)}$$

式中之 IR 為紅外光波段(infrared light band)光譜值，R 為紅光波段(red light band)光譜值，藉由 NDVI 公式所計算之指標值愈大顯示

地表植物生長愈旺盛、或者植被覆蓋愈好。

(2) 植生復育率 (VRR)

VRR 計算係以崩塌震災前之 NDVI 為參考值，計算震災後任一時期之 NDVI 恢復至地震前之百分比(%)，其計算公式如下：

$$\text{VRR}(\%) = \frac{\text{NDVI}_2 - \text{NDVI}_1}{\text{NDVI}_0 - \text{NDVI}_1} \times 100\%$$

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。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。

第四章 結果與討論

4.1 九九峰震災之現場調查

九九峰為頭嵒山層，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有2001年7月30日之桃芝(TORAJI)，其24小時累積雨量達339 mm；2005年7月19日之海棠(HAITANG)，其24小時累積雨量達290 mm；2005年8月5日之馬莎(MATSA)，其24小時累積雨量達403 mm；2007年10月7日之柯羅莎(KROSA)，其24小時累積雨量達258 mm；2008年9月29日之薔密(JANGMI)，其24小時累積雨量達354 mm；2008年7月18日之卡玫基(KALMAEGI)，其24小時累積雨量達553 mm；2008年9月14日之辛樂克(SINLAKU)，其24小時累積雨量達470 mm；2009年8月8日之莫拉克(MORAKOT)，其24小時累積雨量達536 mm；2012年8月2日之蘇拉(SAOLA)，其24小時累積雨量達485 mm；2013年8月2日之蘇力(SOULIK)，其24小時累積雨量達333 mm；2013年8月22日之潭美(TRAMI)，其24小時累積雨量達296 mm。該地區在20年間即使遭受颱風侵襲，崩塌位區之植生仍逐年復育。

圖10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 11 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 12 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 13 為 2021 年 10 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 震災後九九峰崩塌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，另有臺灣蘆竹懸垂於較陰濕之峭壁，形成另一種景象



圖 10 九九峰地震初期之裸露坡面



圖 11 九九峰震災 4 年後之裸露坡面植生復育情形



圖 12 九九峰遭受颱風侵襲之土石流情形



圖 13 九九峰震災 20 年後之裸露坡面植生復育情形

4.2 震災崩塌地之萃取

將地震後初期影像(1999/9/27)與地震前影像(1999/4/1)進行影像前期處理如 NDVI、影像相減法等，並結合 SOM 非監督聚類模式進行崩塌地萃取。在本研究之 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，整體精確度 (Overall Classification Accuracy)為 92.58%，Kappa 值為 0.8516，顯示以 SOM 模式萃取崩塌區位之成果還不錯，而其崩塌地之空間分布如圖 14。衛星影像崩塌地之判釋結果，易受陰影、墾植等因素之影響，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，受限於影像解析度(12.5 公尺)之因素，不易完全分離為正確之植生或崩塌地地覆。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。



圖 14 九九峰崩塌初期之崩塌地(1999/9/27)

4.3 NDVI 植生指數分析

為瞭解九九峰地整體之植生狀況變遷，該地區震災前後及至今之三期衛星影像(1999/4/1、1999/9/27、2020/2/23)進行 NDVI 植生指數分析。

震災前 1999/4/1 之 NDVI 之最小值為-0.0940、最大值為 0.5862，依據頻度分布主要在 0.4~0.5 區間，顯示在震災之前植生狀況良好，其 NDVI 影像如圖 15、頻度分布如圖 16。

震災初期 1999/9/27 之 NDVI 之最小值為-0.1719、最大值為 0.68，依據頻度分布崩塌區位主要在 0.2 以下，顯示在較陡峭的坡面受震災影響表土崩落呈裸露狀態，其 NDVI 影像如圖 17、頻度分布如圖 18。震災後二十年至今 2020/2/23 之 NDVI 之最小值為-0.0098、最大值為 0.7162，崩塌區位已在自然復育逐漸恢復生長，其頻度分布主要在 0.4~0.7 之間，其 NDVI 影像如圖 19、頻度分布如圖 20。



圖 15 九九峰之 NDVI 影像(1999/4/1)

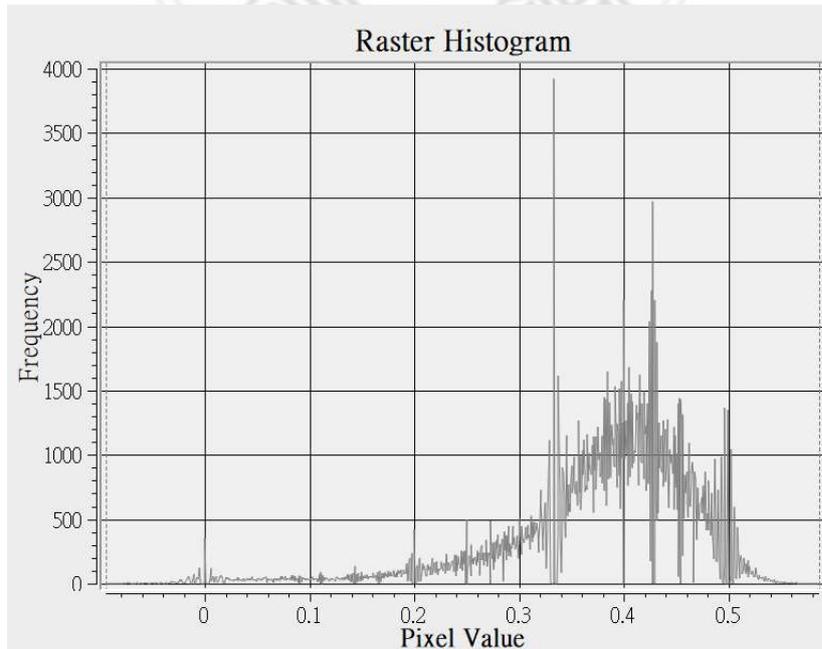


圖 16 九九峰之 NDVI 頻度分布圖(1999/4/1)



圖 17 九九峰之 NDVI 影像(1999/9/27)

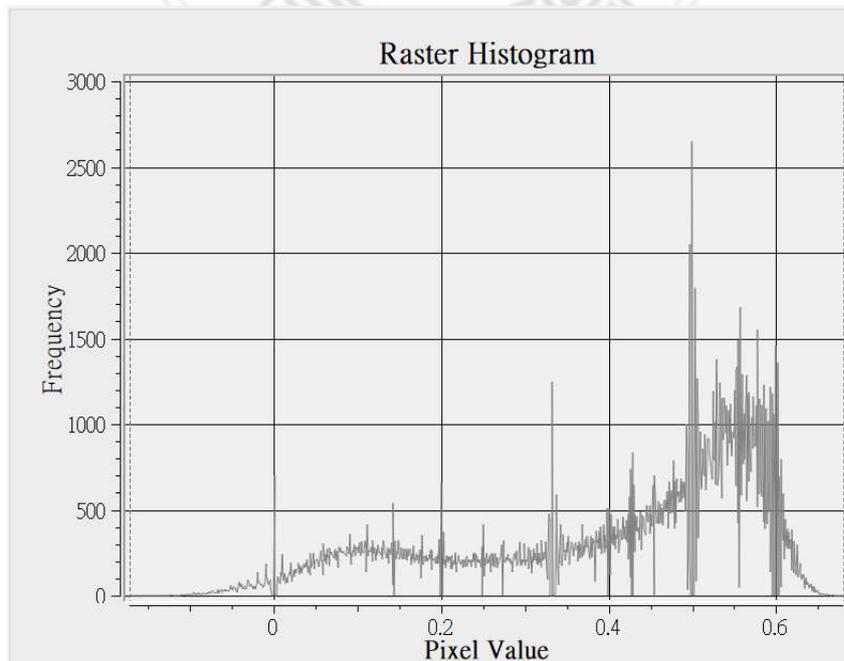


圖 18 九九峰之 NDVI 頻度分布圖(1999/9/27)



圖 19 九九峰之 NDVI 影像(2020/2/23)

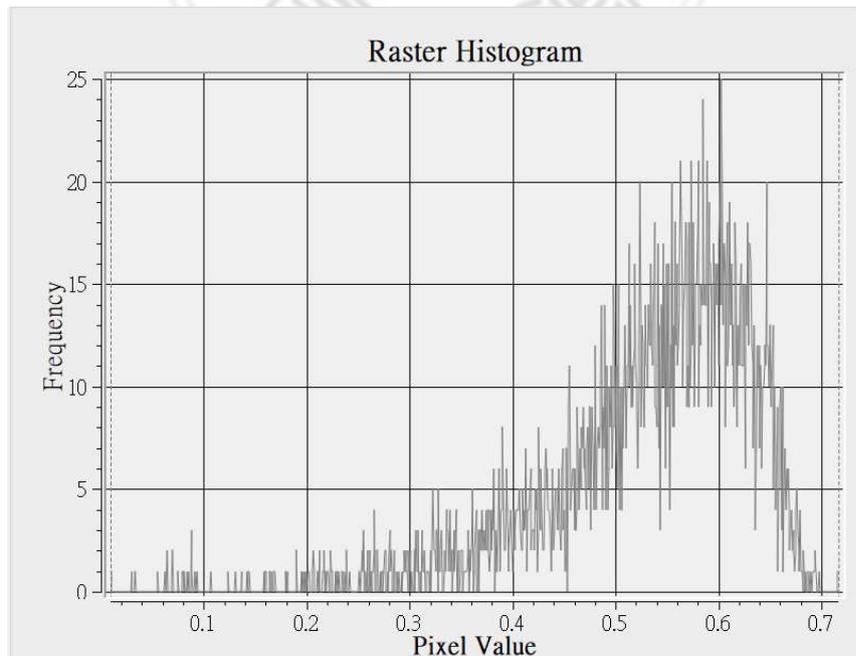


圖 20 九九峰之 NDVI 頻度分布圖(2020/2/23)

4.4 植生復育率(VRR)分析

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 21 及表 5，可知等級「劣」的面積僅有 0.036 公頃，佔比 0.004%；等級「普通」的面積為 42.509 公頃，佔比 4.913%；等級「良」的面積為 77.251 公頃，佔比 8.928%；等級「優」的面積為 745.424 公頃，佔比 86.154%。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已接近 100%之植生復原，顯示大自然本身有極佳的植生復育佳力。

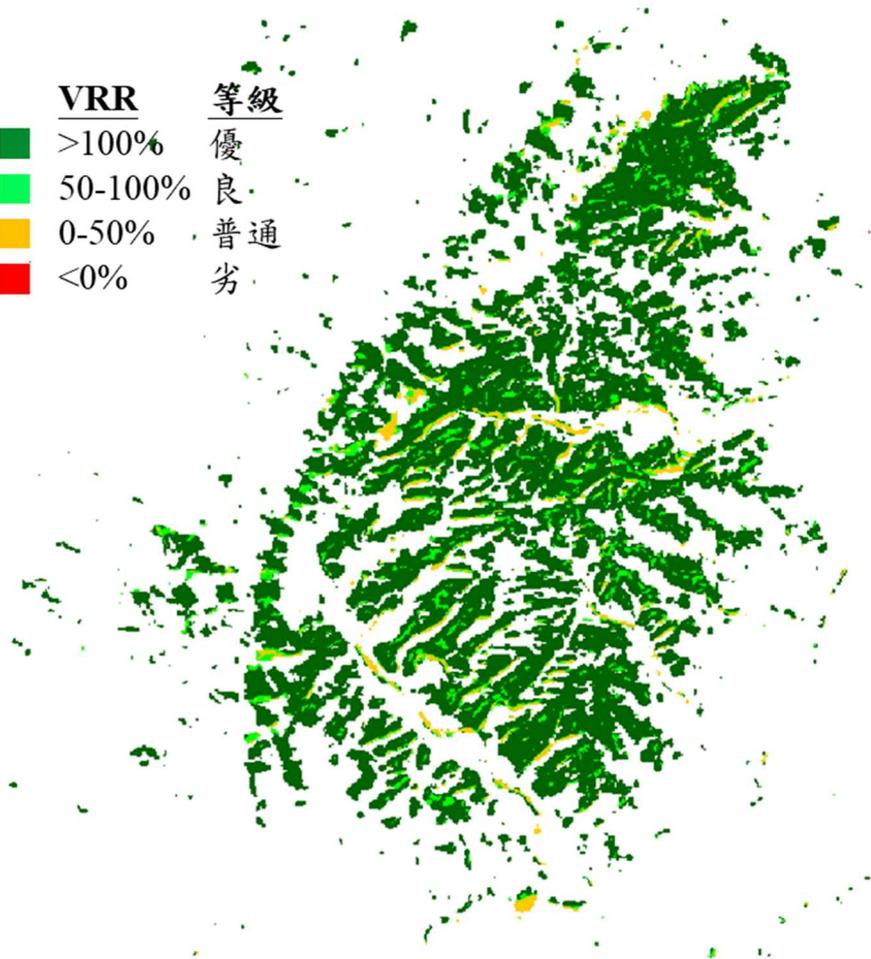


圖 21 九九峰地區之植生復育等級(2020/2/23)

表 5 九九峰地區之植生復育等級統計

VRR	等級	面積(ha)	百分比
<0%	劣	0.036	0.004%
0-50%	普通	42.509	4.913%
50-100%	良	77.251	8.928%
>100%	優	745.424	86.154%

第五章 結論與建議

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，整體精確度為 92.58%，Kappa 值為 0.8516，顯示 SOM 模式可精確地萃取崩塌區位。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已接近 100% 之植生復原，顯示大自然本身有極佳的植生復育佳力。

根據本研究推估結果，植生復育率之計算需至少三期衛星影像，然受限衛星飛行之壽命，衛星影像之取得無法來自同一顆衛星(以本研究而言包括 SPOT 2 及 SPOT 6 之衛星)，其座標系統亦不相同需再校正，且影像空間解析度亦不相同(以本研究而言，有 SPOT 2 為 12.5 公尺及 SPOT 6 為 6 公尺)，在進行後期影像評估時會產生一些面積誤差，值得後續研究者在進行分析及評估注意。不論是對於不同時期衛星影像之選用或大地座標系統等，需進行校正可獲得精確之成果。

參考文獻

1. 江山宏，2005，九九峰崩塌地變遷監測之研究，明道管理學院環境規劃暨設計研究所碩士論文。
2. 林文賜；黃碧慧；林昭遠；周文杰，2004，921 震災崩塌地特性分析及變遷監測之研究，華水土保持學報，35(2)：141-149。
3. 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（2000）全國治山防災研討會論文集，pp. 23-36。
4. 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。
5. 張石角，1992，台灣各地值分區邊坡崩坍類型及其預測方法(一)-技術轉移講習班講義，台灣大學地理系，49-111。
6. 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。
7. 許銘峰，2002，九份二山崩塌區位植生復育與堰塞湖淤滿年限之研究，國立中興大學水土保持學系碩士論文。
8. 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。
9. 陳昱豪，2006，集水區泥砂產量推估及崩塌地植生復育率之研究，國立中興大學水土保持學系碩士論文。

10. 黃漢淨，2008，淺談森林之崩塌地，台灣林業，PP.54-64。
11. 黃子懷，2011，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。
12. 葉庭維，2021，無人機攝影測量於陡峭崩塌地之應用，國立臺灣大學
地理環境資源學研究所碩士論文。
13. 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。
14. 施尊穎、楊樹榮、黃春銘、鄭錦桐、黃文洲、陳振宇，2010，莫拉克
後荖濃河流域內台 20 線道路沿線山崩災害特性探討，Taiwan Rock
Engineering Symposium 2010 (TRES 2010) October, 21-22,
2010 KUAS, Kaohsiung, Taiwan.
15. Kohonen, T., (1982), Self-Organization of Topologically Correct Feature
Maps, Biological Cybernetics, 43: 59-69.
16. 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).