

研究報告

陡峻區域土地覆蓋變遷之分析—以九九峰
自然保留區為例蔡正一¹ 馮豐隆^{1,*}

【摘要】九九峰地區因頭崙山層地質，加上921地震干擾，形成陡峻的特殊地貌，為保留該地景，「九九峰自然保留區」於2000年5月22日成立，面積約1,198.4466 ha（南投處提供之GIS圖層計算面積為1,199.24 ha）。雖人為活動與擾動受到法律而禁止，但多時期颱風侵入仍不斷改變保留區地景。本研究利用多時期正射影像（1998年07月02日、1999年12月10日與2009年12月08日），以影像色調與組織為依據，將地覆判釋分類為森林、台灣蘆竹（*Arundo formosana*）草地、河岸、裸露地、陰影區與其他地覆共六類，並繪製向量式（vector）土地覆蓋型圖（Land-cover map）與轉換成1 m × 1 m的網格（raster）資料，以套疊分析探討九九峰自然保留區地景現況與變遷。結果顯示，1998年時，森林為主要地覆，面積約861.18 ha（71.81 %），而台灣蘆竹草地與裸露地分別為40.03 ha（3.34 %）、4.34 ha（0.36 %）。921地震後，1999年的主要地覆為森林356.34 ha（29.71 %）、台灣蘆竹草地256.49 ha（21.39 %）、裸露地207.26 ha（17.28 %）等形式存在。2009年時，隨植生自然恢復，土石堆積區域常由森林覆蓋，約366.05 ha（30.52 %），陡峭坡地則以台灣蘆竹草地為主要地覆，共466.77 ha（38.92 %），而裸露地約13.09 ha（1.09 %）。變遷分析結果顯示，921地震產生的崩塌與植生自然恢復，於1999年時有，192.20 ha（16.03 %）與167.68 ha（13.98 %）的森林分別轉變成台灣蘆竹草地與裸露地，且因為拍攝角度、時間與地形改變，共有212.66 ha（17.73 %）受陰影遮蔽效應無法準確分辨。可能因為鬆散地質，與連續性颱風干擾，至2009年時，有114.78 ha（9.57 %）從森林變裸露地，再發育成台灣蘆竹草地，且有10.65 ha（0.89 %）變成河道的狀態。其他地覆類型的變化甚微。三個時期中，共126.60 ha（10.56 %）的森林與65.19 ha（5.44 %）的陰影區域保持不變，陰影常存在山谷、或是峰與峰間低處。研究已針對現況與三期變化進行描述，若要了解未來的植生演替趨勢與地景發展，則需將颱風雨量、地形、地勢等環境因子納入考量。

【關鍵字】九九峰自然保留區、正射影像、土地覆蓋圖、套疊分析、地景變遷

National Chung Hsing University

1. 國立中興大學森林學系

Department of Forestry, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan

* 通訊作者，402台中市南區國光路250號

Corresponding author, 250 Kou Kung Road, Taichung 402, Taiwan.

Tel: +886-4-228403945 ext.134. Fax:+886-4-22872027.

e-mail: flfeng@nchu.edu.tw

Research paper

Analysis on Land-cover Change in Steep Area- An example of Jiou-Jiou Peaks Natural Reserve

Jeng-I Tsai¹ Fong-Long Feng^{1,*}

【Abstract】 Jiou-Jiou Peaks, a gravel layer of Huoyanshan of Touke mountain formation, was caused a massive landslide and landscape change by the devastating disturbance, 921 earthquake. Jiou-Jiou Peaks Natural Reserve, around 1,198.4466 ha (1,199.24 ha was calculated with GIS), was established at 2000/05/22 to protect the unique topography. Although human disturbances were prohibited, the landscape and vegetation succession were still influenced by continuous typhoons. The aim of this study is to make land-cover maps and investigate landscape changes with multi-temporal ortho-aerial photos, taken in 1998/07/02, 1999/12/10 and 2009/12/08. The land-cover was separated into forest, *Arundo formosana* grass-covered land, river bank, bared soil, shadow and others areas. The land-cover maps were transformed into 1 m × 1 m raster data. We analyzed the landscape status and changes with overlapped analysis. The results showed that 861.18 ha (71.81 %) of forest area, *A. formosana* grass-covered land covered 40.03 ha (3.34 %) and bared soil covered 4.34 ha (0.36 %) before 921 earthquake in 1998. The reserve was covered by forest, 356.34 ha (29.71 %), *A. formosana* grass-covered land, 256.49 ha (21.39 %), and bared soil, 207.26 ha (17.28 %), after 921 earthquake in 1999, respectively. A steeper slopes of the reserve was covered by *A. formosana* grass-covered land, 466.77 ha (38.92 %), and forest, 366.05 ha (30.52 %), was distributed in foot of peaks at 2009. In the same time, bared soil only left 13.09 ha (1.09 %). Results of landscape change showed the 192.20 ha (16.03 %) of *A. formosana* grass-covered land and 167.68 ha (13.98 %) of bared soil were changed from forest in 1999. However, shadow effect made 212.66 ha (17.73 %) fail to be classified. In 2009, 114.78 ha (9.57 %) from the forest became bared soil, and then developed into *A. formosana* grass-covered land because of unstable gravel geology and impact of continuous typhoons. Moreover, 10.65 ha (0.89 %) of rivers side was changed from forest from 1999 to 2009. Land-cover type of others almost didn't change. We also found that the shadow effect, 65.19 ha (5.44 %) shadow areas existed in all periods, was inaccurate the land-cover status and change analysis. The shadow often appeared in valley. Environmental factors should be considered, such as influence of continuous typhoons, slope and aspect, to recognize the tendency of vegetation succession and landscape change in the future.

【Key words】 Jiou-Jiou Peaks Natural Reserve, ortho-aerial photo, land-cover map, overlapped analysis, landscape change

一、前言

投入山區、林地等生態保育與研究，颱風、地震似乎是危害地理環境最顯著干擾因子。九九峰地區屬頭嵙山層火山相地質，加上1999年芮式規模7.3級的921地震干擾，形成

陡峻的特殊地形，為保留此地景，「九九峰自然保留區」於2000年5月22日公告成立。各類人為活動，包含經營與擾動，皆受到法律禁止，但季節性颱風連續侵入，仍使保留區地景、地貌產生變化。植生自然演替下，林

木持續生長、林分組成改變與地景變遷，又九九峰自然保留區險惡地形，單靠地面調查資料，均有難窺全貌之遺憾，而航測（aerial photogrammetry）、遙測（remote sensing, RS）可即時與大面積取得地表現況資料，進行整體性動態監測極具優勢。遙測係指運用某種特殊工具，相隔一段距離觀測，即調查者無須直接接觸物體，而能完成紀錄和檢測資料的方式與技術，可視為人類感官的延伸（Avery & Berlin, 1992；Cracknell & Hayes, 2007）。方法常經由飛機、衛星等架設不同的遙測掃描器或感測器（remote sensing scanner or sensor），其感測器以分光器（dichroic grating）將不同太陽波譜能量，分離成各區域，再利用檢波器（detector）偵測波段內的能量或波譜區，以作為單位面積內地物的反射能量值（Lillesand & Kiefer, 2000；Campbell, 2002）。

整理九九峰之地景層級與變遷相關研究，如黃凱易，2002；林文賜等，2004；陳添水，2005；林文賜等，2007；林文賜，2009；林昭遠、莊智瑋，2009；莊智瑋，2010；C. Y. Lin, Lo, Chou, & Lin, 2004；W. T. Lin, Chou, Lin, Huang, & Tsai, 2005；W. T. Lin, Lin, & Chou, 2006；Chuang, Lin, Chien, & Chou, 2011等，可發現大部分皆利用衛星影像的紅光段與近光段相關的NDVI（normalized difference vegetation index），或改良該指標的植生恢復率值（vegetation recovery rate, VRR），配合影像相減法等，更準確的推估植生恢復情況。然而，除莊智瑋（2010）、Chuang, Lin, Chien, & Chou（2011）有再利用IPVI（Infrared percentage vegetation index）、CMFI（cropping management factor index）、SAVI（soil adjusted vegetation index）、MSAVI（modified soil adjusted vegetation index）等，針對地震後2001年12月、2002年11月、2004年2月、2007年2月與2008年1月等五個時期的SPOT影像，進行增強（enhancement）後，以倒傳遞類神經網路做各種組合分類結果，再考量紋理（組

織）因子，分類後，以彩色航空照片比對隨機選取的256個地真資料點位，計算總體分類準確度，求得森林、草地、裸露地與水體等四類地覆的土地利用型圖，其餘研究皆以數值大小為依據，推估植生恢復率的良否，故無法在第一時間內了解九九峰自然保留區的LU / LC種類變化。而本研究嘗試直接以正射影像繪製LU / LC圖，不但可做衛星影像分類的地真資料，亦可直接進行地景種類變遷分析。

航空攝影（aerial photography）為遙測的先驅，而森林航空測量學為攝影測量學（photogrammetry）的範疇之一，主要為將航空攝影的資料與技術應用於森林作業中，德國率先於1887年開始發展，而美國則於1930年進行全國航測，並編製中、小比例尺的地形圖，與農業用大比例主題圖等。土地利用型/土地覆蓋型（Land-use / Land-cover, LU / LC）判釋，為航、遙測發展與應用的重點之一，將相同的地覆依據人力、電腦正確歸類的影像分類法，加以分類地覆與製作LU / LC圖，更為航、遙測影像分析與判釋的主要目的。Baker, Desteiguer, Grant, & Newton（1979）則認為該項技術著重技術訓練與經驗累積，才能發揮應有效益，焦國模（1989）年提到航空照片判釋可說是林業知識中極具技術的一門學科。不同種類之自然與人文因子共同作用於地表時，會以地景整體呈現特性，因此確實掌握地景變化有其重要性。LU / LC圖亦為森林經營資訊庫系統中的基本圖層之一，該主題圖在了解地景現況，目前台灣仍以正射影像為製作LU / LC圖的主要材料，判釋者（interpreter）依經驗，配合物體特徵進行判釋，繪製各地覆種類邊界範圍圖，以及給予各多邊形地覆適當的屬性資料。

目前為止，一般文獻皆將人為活動產生的地理現象視為土地利用（Land-use, LU），而自然界的地貌、地物等則以土地覆蓋（Land-cover, LC）稱之。然而，土地利用與土地覆蓋的定義與差異仍在爭論當中，主要是這種區

分在實際應用時，分辨何謂「人爲」與「自然」較難落實，如濕地保留區、國家公園、農田、人工森林等這類「灰色」區域該歸屬人爲活動或自然地貌（林峰田、吳秋慧，2011；Gregorio & Jansen, 1997），所以一般仍以土地利用/土地覆蓋（LU/LC）代表之。台灣的LU/LC主要由森林、旱作、稻田及都市等生態系統構成，其中以森林生態系統爲最主要的類型，故針對森林生態系統的探討應須加以重視。研究探討對象爲九九峰自然保留區，雖然人爲活動受到禁止，且有地面調查資料，但較無針對地景進行描述，故利用正射影像，將地覆分類爲森林、台灣蘆竹草生地、河岸、裸露地、陰影區與其他地覆，並繪製三個時期LU/LC主題圖，配合套疊分析，探討九九峰自然保留區地景現況與變遷。

二、材料與方法

(一) 研究試區概述

九九峰位於台中市及南投縣交界處的烏溪北岸，行政區範圍涵蓋南投縣草屯鎮、國姓鄉、台中市霧峰區與太平區，以TWD97座標定位，範圍約介於（225,420.00，2,661,408.00）～（230,510.00，2,652,100.00）間，如圖1所示。九九峰的地質屬更新世頭嵙山層上部的火炎山相礫石層，最大厚度可超過1,000 m，又因爲雙冬斷層切截該區頭嵙山層上部，厚度變化甚大。礫石層透水性佳，乾燥時膠結緊密堅硬，但雨季則易受降水侵蝕、下切，造成尖聳的山峰與深溝，呈現鋸齒狀的山峰，由南向北觀之更能顯現其雄偉壯麗的景觀。又台灣位處亞熱帶，颱風豪雨不斷侵襲，常挾帶豐沛雨量引發土石流，故九九峰自然保留區的地景，常受到地震與颱風干擾而產生變化。當日降雨量超過200 mm時，該保留區監測系統會發出警報，整理水利署草屯水文站（離九九峰自然保留區距離最近的測站）氣象歷史資料，發現於2001年（桃芝颱風期間）、2004年（敏督利颱風）、2005年（海棠颱風）、2006年、2008年（卡玫基、辛

樂克與薔蜜颱風）與2009年（莫拉克颱風），皆有日雨量超過200 mm的情形，除2006年外，其餘皆爲颱風影響（水利署草屯水文站，2013）。

在台灣，南投九九峰、三義火炎山與六龜十八羅漢山，爲著名三大頭嵙山層地質區域（陳宏宇、2001；林俊全，2010；林務局，2013），特別是在921大地震後，山頭礫石崩落，形成光禿禿的獨特景觀，林務局認爲具有學術、教育等價值，宜妥善規劃保護，故依據文化資產保存法第49條暨同法施行細則第72條。奉行政院農委會（89）農林字第890020495號公告劃設爲，於2000年5月22日將埔里事業區8～13及15～20林班中部分小班地區公告成立爲「九九峰自然保留區」，主要保護對象爲地震崩塌斷崖特殊地景，公告面積爲1,198.4466 ha（GIS圖層計算面積約爲1,199.24 ha），海拔高分布範圍約爲200～800 m間。

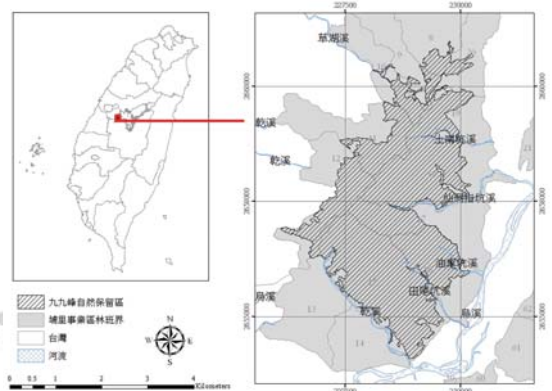


圖 1. 九九峰自然保留區位置示意圖

Fig. 1. The location of Jiou-Jiou Peaks Natural Reserve

(二) 多時期正射影像

現今台灣數位航空技術發展成熟，經電腦輔助處理數值資訊，使航空像片來源更具彈性、多元化及機動性，除國土經營管理及自然資源保育廣泛引用外，在工程、農林等業界及學術領域亦頗爲普遍。然而，實際的航空拍攝像片，會因爲像片本身的傾斜角度與投影角度，產生像點位移情況，描述地表物體形狀與

空間位置會有偏差，經過幾何糾正可改善此缺點，改善後的影像即稱為正射影像（ortho-aerial photo）。經去除投影、傾斜與透鏡等所造成誤差的正射影像，因有一定比例尺，且地表物所在位置正是地表實際位置，可供觀察、度量、測量角度、確認區域、計算目標物範圍與地面面積取得之用，又因其所顯示者為地形、地物之形狀，不像地圖係以特定符號表示出，且圖中有若干地形、地物可供參考，於轉繪土地邊界與LU / LC時，遠較一般地圖更為

精密（焦國模，1989）。

本研究蒐集1998年7月2日（地震前）、1999年12月10日與2009年12月08日三個時期的正射影像，期望初步了解921地震影響，以及植生靠自身能力恢復的九九峰自然保留區現況，因年代、技術發展與拍攝需求關係，影像內容略有差異，如1998年為空間解析力50 cm × 50 cm的黑白色影像資料，而1999年（50 cm × 50 cm）與2009年（25 cm × 25 cm）則為彩色的影像資訊，如圖 2所示。

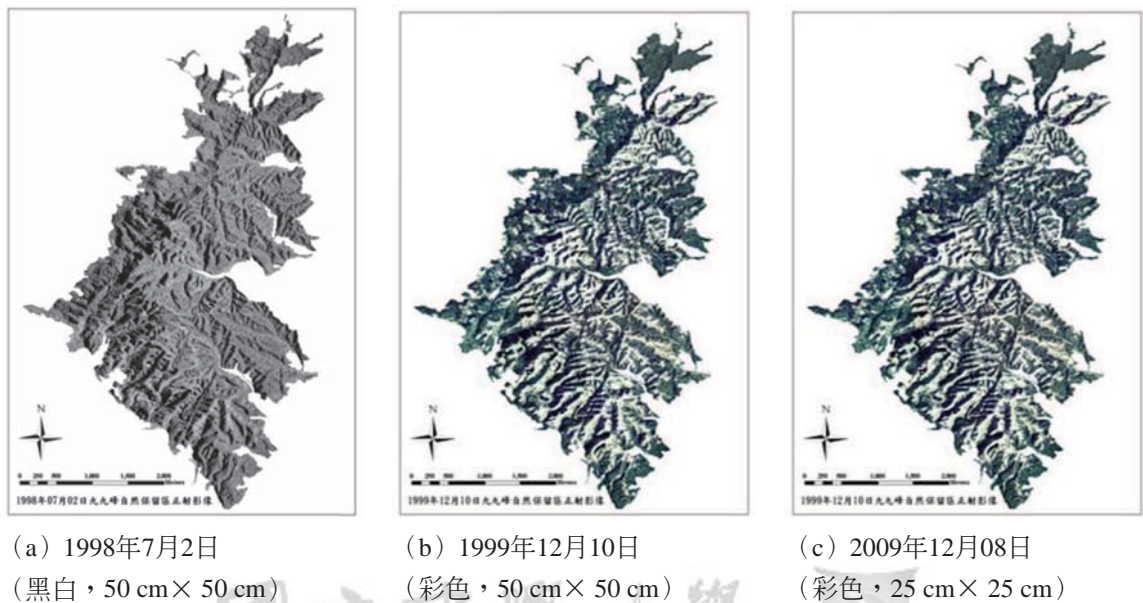


圖 2. 九九峰自然保留區多時期正射影像

Fig. 2. The multi-temporal ortho-aerial photos of Jiou-Jiou Peaks Natural Reserve

(三) 多時期土地覆蓋型圖繪製與變遷分析

在判釋時，影像色調（image tone）、組織（texture）、陰影、格局（pattern）、關聯物（association）、形狀、大小與位置為最常參考的八種因子。自然界中，即使在絕對零度時，任何物體仍會發出電磁輻射。發射輻射的物體，常同時反射輻射，故不同的物體在自然界中，有著不同的顏色與光譜，這稱做影像色調。影像色調不但描述了明、亮，也在航照中以不同的三原色，以及在衛星影像中特殊光譜

被展現出。因此，顏色與光譜為影像分析時，最常使用的因子。組織，又稱質地、紋理，代表某一影像範圍的粗糙度（roughness）或平滑度（smoothness）。組織牽涉到在傾斜角度下，不規則表面的格局所產高亮度與陰影區域所綜合顯示。人類對相異組織的區別能力很強，故影像分類時，組織為影像色調以外的另一個重要因子（Campbell, 2002）。觀察九九峰自然保留區的正射影像後，因為外在干

擾（地震、颱風等）與內在環境（地質、地形等），造成地景破碎化、地覆格局、大小與形狀迥異等情況，故格局、關聯物、形狀、大小與位置等因子的參考度較低。而陡峻地形與太陽輻射量變異關係，使部分台灣蘆竹草地與森林地覆區域顏色相似，單純以影像色調分類有其難處，研究亦將組織納入，做該保留區地物分類的兩大特徵因子。

航、遙測的技術與科技已發展相當成熟，然而，陰影效應截至目前仍然是造成光譜變異與影像分析誤差的主因之一，台灣地勢迥異，繪製如九九峰自然保留區、火炎山自然保留區等，陡峻地形區域的LU / LC圖幾乎無法避免，在黑白色影像中更難解讀，故研究將陰影區獨立出，討論時，則以非陰影區為主要範圍。

執行土地覆蓋型圖繪製時，為遷就1998年正射影像的光譜與空間解析力，故先針對該影

像進行分析，並做為1999年與2009年參考，盡可能保持相似的努力度，如1998年以1:2,000的比例進行判釋、繪製，2009年則在1:4,000比例下繪製，即保持解讀地物的一致性，降低現況與變遷分析時的人為誤差。

研究利用多時期正射影像（1998年07月02日、1999年12月10日與2009年12月08日），以影像色調與組織為依據，將地覆分類為森林、台灣蘆竹草地、河岸、裸露地、陰影區與其他地覆（包含果園、空地、田與道路等）等六大類，並繪製土地覆蓋圖，以取得各時期的土地覆蓋現況。變遷分析時，參考IKONOS等現今高空間解析力的衛星影像與考量電腦效能，期望在限制下取得最適當結果，研究將向量（vector）式的LU / LC圖轉成1 m × 1 m的網格（raster）資料，經套疊分析，探討九九峰自然保留區地景變遷。流程圖如圖 3所示。

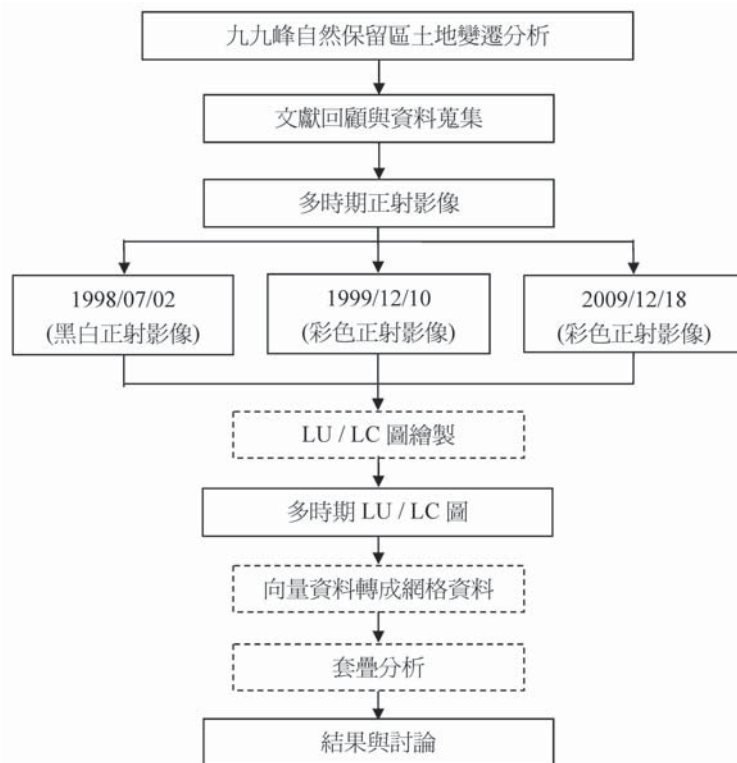


圖 3. 研究流程圖（圖中虛線框為方法）

Fig. 3. The study flow-chart (the dotted line was methods)

三、結果與討論

(一) 各時期現況描述

以影像色調與組織為依據，將地覆分類為森林、台灣蘆竹草地、河岸、裸露地、陰影區與其他等六大類，以取得地震前（1998年）、地震後（1999年）與現況（2009年）的多時期土地覆蓋資料，並計算各類地覆面積，如表1所示。因陰影效應無法避免，且面積與分佈廣大，故先獨立出而不納入討論，以減低陰影效應造成變遷分析上的錯誤。

在不討論陰影遮蔽的情況下，結果顯示，1998年時，森林為九九峰自然保留區主要的

地覆類型，面積（佔全保留區面積百分比）約861.18 ha（71.81 %），台灣蘆竹草地與裸露地則分別為40.03 ha（3.34 %）、4.34 ha（0.36 %）。然而，1999年芮式規模7.3級的921地震，產生山崩與地滑，讓森林不再是地景生態學中所謂的基質（matrix）（Turner, Gardner, & O'Neill, 2001；鄔建國，2003）。研究發現，台灣蘆竹在地震後三個月內，即可在此生長、繁衍，1999年地震後的九九峰自然保留區以森林356.34 ha（29.71 %）、台灣蘆竹草地256.49 ha（21.39 %）與裸露地207.26 ha（17.28 %）為主要地覆。

表1. 1998、1999與2009年正射影像土地覆蓋面比較表

Table 1. The areas of different land-covers in 1998, 1999 and 2009

	1998/07/02		1999/12/10		2009/12/08	
	面積 (ha)	面積 (%)	面積 (ha)	面積 (%)	面積 (ha)	面積 (%)
森林	861.18	71.81	356.34	29.71	366.05	30.52
台灣蘆竹草地	40.03	3.34	256.49	21.39	466.77	38.92
裸露地	4.34	0.36	207.26	17.28	13.09	1.09
河岸	14.86	1.24	12.87	1.07	37.02	3.09
陰影	271.70	22.66	357.79	29.83	309.62	25.82
其他地覆	7.13	0.59	8.49	0.71	6.70	0.56
Total	1199.24	100.00	1199.24	100.00	1199.24	100.00

（註：其他地覆包含果園、空地、田與道路等）

在2009年12月08日的影像中，即植生經過10年自然恢復後，台灣蘆竹草地發展成主要地覆類型，約466.77 ha（38.92 %），並幾乎都生長在較陡峻區域，較平坦區域則為森林覆蓋，約366.05 ha（30.52 %），裸露地大幅減少，剩13.09 ha（1.09 %），常分佈在各山峰的峰頂與稜線處。然而，可能因為颱風、暴雨侵襲，使土石崩落、山坡地基角遭受破壞並堆積於河岸，河岸區域的37.02 ha（3.09 %），為三個時期中面積最廣的階段。因九九峰自然保留區有刻意閃避私人土地範圍劃設，故果園、空地、田與道路等其他地覆類型所佔面積較小，且幾乎沒有變化。另外，該保留區地形

陡峭，各時期陰影區域分佈面積皆多於271.70 ha，即有22.66 %以上的區域無法判釋，說明陰影遮蔽係探討陡峻區域地景現況與變遷時，導致判釋誤差的較嚴重因子之一。

(二) 變遷分析

為了解九九峰自然保留區受921地震干擾之影響，與植物自然恢復下的地覆變遷與發展情況，研究將各時期的土地覆蓋型圖轉換，產生為網格資料，並進行套疊分析，即可看出地景變遷，主要變動則如後續描述。

由1998年與1999年的資料中，我們發現，921地震減少504.84 ha（42.10 %）的森林區域，分別轉變為192.20 ha（16.03 %）的台灣

蘆竹草地與167.68 ha (13.98 %) 的裸露地地覆，且可能因為地形改變，共有212.66 ha (17.73 %) 受陰影遮蔽效應無法準確分辨。

1999年至2009年間，隨著新裸露地產生、土壤發育與植生恢復、演替等發展，有142.58 ha (11.89 %) 的裸露地重新被台灣蘆竹草地覆蓋。有73.30 ha (6.11 %) 的台灣蘆竹草地被森林取代，然而，可能受連續性颱風侵入干擾，110.21 ha (9.19%) 的森林，再次劣化成台灣蘆竹草地的地覆，甚至有10.65ha (0.89%) 變成非植生河道的狀態，此應該係頭崙山礫石層地質形成山坡地基腳，無法抵抗連續性颱風降雨，造成的湍急水流，沖蝕河床，使河道面積逐漸擴大（從1.07 %提高至3.09%）。

綜合三個時期土地覆蓋資料，並將變遷面積較大者（超過50 ha）整理於表2，可發現，地震前、後至2009年，約126.60 ha (10.56 %) 的森林保持不變。較常出現於陡峻坡面的台灣蘆竹草地中，114.78 ha (9.57 %) 係由原本的森林，變成裸露地，再發育成台灣蘆竹草地；97.89 ha (8.16 %) 則在921地震後不久即形成，且覆蓋持續至2009年；而有63.77 ha (5.32 %) 是受後期颱風干擾才形成。因地

形遮蔽關係，三個時期正射影像中，65.19 ha 陰影出現在相同位置，幾乎集中在山谷，或是峰與峰間低處，即約5.44 %的區域完全無法判釋LU / LC。同時亦發現，2009年的土地覆蓋中，59.35 ha (4.95 %) 的森林係由1998年即為森林區域，地震後變成台灣蘆竹草地，至2009年再次發育成森林。

正射影像的空間解析力較衛星影像細緻，判讀直接，一般而言，以向量格式繪製的土地覆蓋型圖較為平滑、易懂，且準確性較高，截至今日仍為取得土地覆蓋圖、衛星影像分析地真等的最重要材料之一。然而，受氣候、拍攝狀況等影響，使正射影像取得困難，目前只能蒐集到三個時期的航空影像資料，且土地覆蓋圖製作費時、耗力。本研究繪製1998年（地震前）、1999年（地震後）與2009年的LU / LC圖，並分析九九峰自然保留區經921地震、颱風與暴雨干擾至2009年的地覆類型變化與地景變遷。由於連續性颱風對該保留區地景變遷亦有明顯影響，為更清楚了解地震形成的崩塌地恢復趨勢，以及掌握未來演替更新發展，則需拍攝頻率更高的衛星影像較為合適，而颱風雨量與地形等環境因子也需納入考量。

表2. 多時期土地覆蓋型變遷表

Table 2. The land-cover changes in 1998, 1999 and 2009

日期			面積	
1998/07/02	1999/12/10	2009/12/08	(ha)	(%)
森林	森林	森林	126.60	10.56
森林	裸露地	台灣蘆竹草地	114.78	9.57
森林	台灣蘆竹草地	台灣蘆竹草地	97.89	8.16
陰影	陰影	陰影	65.19	5.44
森林	森林	台灣蘆竹草地	63.77	5.32
森林	台灣蘆竹草地	森林	59.35	4.95

四、結論

九九峰自然保留區地區因內在因子（頭崙山層地質）與外在因子（921地震、連續性颱

風干擾），形成陡峻且易變的特殊地貌。保留區地勢險絕易變，地面調查施行不易，耗費人力與物力，蒐集的資料可分析林分發展與樹種

生長等，但無法探討地景變遷，故研究蒐集多時期正射影像（1998、1999與2009年），依據影像色調與組織，繪製土地覆蓋型圖與並轉換成網格資料，以套疊分析探討九九峰自然保留區地景現況與變遷。結果顯示，921地震產生的崩塌於1999年時，轉變為台灣蘆竹草地與裸露地等，且地形改變，造成許多區域受陰影遮蔽效應無法分辨。因植生自然恢復，2009年時，陡峭坡地幾乎為台灣蘆竹草地覆蓋，平坦區域發展成森林，但連續性颱風干擾，讓原本的森林再次退化成台灣蘆竹草地與河道。其他地覆類型變化甚微。地震前、後至2009年，共有126.60 ha的森林保持不變，即有10.56%的森林不受地震與颱風的影響。研究推測九九峰自然保留區的地景，可能因為地質與自然干擾，尚處於變化階段。日後，如能進行長期監測與分析，或導入多時期衛星影像資料，更可探索其詳細變化。

未來發展與建議部分，因研究發現有59.35 ha從森林變成台灣蘆竹草地，再次發育成森林，此區域植物組成可能有所改變，故未來可整合較高拍攝頻率的衛星影像資料，分析連續颱風後的地覆變化，再至現場調查，探討森林植生組成變化與演替過程。保留區的陡峻地形，台灣蘆竹草地於2009年發育成主要的地覆，且幾乎生長於坡度較陡區域，未來亦可針對該物種的特殊生長區位進行討論。65.19 ha的陰影受地形影響，在三個時期的山峰或是峰與峰間的低處出現，且每個時期皆因為太陽入射角度關係，陰影地覆區域超過270 ha無法分類，此為陡峻區域探討地景變遷之限制，飛行軌道較高的衛星影像或許能修正此誤差。研究受限於時間、人力與物力，在1:2,000（1998年黑白、1999年彩色正射影像）與1:4,000（2009年彩色正射影像）的比例下做地覆判釋分類，製作LU / LC圖過程，可能因為地覆過於複雜、背光區域無法清楚解讀，或者分析地景變遷轉成1 m × 1 m的網格式資料時，造成分類誤差，如果繪製時，放大比例更高，或轉

換成更精細網格，其結果可能略有不同。九九峰自然保留區的現況為受內部因子（地質、地形等）與外在因子（地震、連續颱風等）影響而呈現，未來亦可將環境因子，如坡度、坡向、海拔高與當日降雨量等，納入考量，或許更可了解植物發展、地景變遷的過程與趨勢。

致謝

本研究承林務局南投林區管理處與台中工作站提供影像資料，以及協助現場調查工作等，使研究討論更臻至善，特此致謝。

五、參考文獻

- 林文賜（2009）921地震崩塌地對生態環境影響評估 921地震對生態影響與回復研討會論文集 98-130。
- 林文賜、林昭遠、周文杰、黃碧慧（2007）921震災崩塌地景變遷監測之研究—以九九峰為例 明道學術論壇 3（1）：189-200。
- 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 中華水土保持學報 35（2）：141-149。
- 林俊全（2010）九九峰地質地形解說手冊 行政院農委會林務局 19-67。
- 林昭遠、莊智瑋（2009）921地震崩塌地特性及變遷監測分析 921地震對生態影響與回復研討會論文集 11-32。
- 林峰田、吳秋慧（2011）土地使用變遷模型之研究 國土資訊系統通訊 77：2-12。
- 莊智瑋（2010）環境指標應用於崩塌地植生復育之研究 國立中興大學水土保持學系博士論文。
- 陳宏宇（2001）九九峰的石頭 行政院農委會特有生物中心 6-41。
- 陳添水（2005）九九峰地區921地震崩塌植生指數變遷分析 特有生物研究 7（2）：63-75。

- 焦國模 (1989) 森林航空測計學 國立編譯館 333-423。
- 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) : 35-47。
- 鄔建國 (2003) 景觀生態學—格局、過程、尺度與等級 五南圖書出版股份有限公司 1-368。
- Avery, T. E., & Berlin, G. L. (1992). *Fundamentals of remote sensing and airphoto interpretation* (5th ed.). New York, Toronto: Macmillan ; Maxwell Macmillan Canada ; Maxwell Macmillan International.
- Baker, R. D., Desteiguer, J. E., Grant, D. E., & Newton, M. J. (1979). Land-Use Land-Cover Mapping from Aerial *Photographs. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 45(5), 661-668.
- Campbell, J. B. (2002). *Introduction to remote sensing* (3rd ed.). New York: Guilford Press.
- Chuang, C. W., Lin, C. Y., Chien, C. H., & Chou, W. C. (2011). Application of Markov-chain model for vegetation restoration assessment at landslide areas caused by a catastrophic earthquake in Central Taiwan. *Ecological Modelling*, 222(3), 835-845. doi: DOI 10.1016/j.ecolmodel.2010.11.007
- Cracknell, A. P., & Hayes, L. (2007). *Introduction to remote sensing* (2nd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Gregorio, D. A., & Jansen, L. J. M. (1997). A New Concept for a Land Cover Classification System. *Earth Observation and Environmental Classification, Conference Proceedings*, Alexandria, Egypt, p10.
- Lillesand, T. M., & Kiefer, R. W. (2000). *Remote sensing and image interpretation* (4th ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Lin, C. Y., Lo, H. M., Chou, W. C., & Lin, W. T. (2004). Vegetation recovery assessment at the Jou-Jou Mountain landslide area caused by the 921 Earthquake in Central Taiwan. *Ecological Modelling*, 176(1-2), 75-81. doi: DOI 10.1016/j.ecolmodel.2003.12.037
- Lin, W. T., Chou, W. C., Lin, C. Y., Huang, P. H., & Tsai, J. S. (2005). Vegetation recovery monitoring and assessment at landslides caused by earthquake in Central Taiwan. *Forest Ecology and Management*, 210(1-3), 55-66. doi: DOI 10.1016/j.foreco.2005.02.026
- Lin, W. T., Lin, C. Y., & Chou, W. C. (2006). Assessment of vegetation recovery and soil erosion at landslides caused by a catastrophic earthquake: A case study in Central Taiwan. *Ecological Engineering*, 28(1), 79-89. doi: DOI 10.1016/j.ecoleng.2006.04.005
- Turner, M. G., Gardner, R. H., & O'Neill, R. V. (2001). *Landscape ecology in theory and practice : pattern and process*. New York: Springer.
- 林務局 (2013) : Available at <http://www.forest.gov.tw/mp.asp?mp=1>. Accessed 2013 November 27
- 水利署草屯水文站 (2013) : Available at http://gic.wra.gov.tw/gic/water/WrHydroFx/Det_rain.aspx?QueryPage=MIS&st=01H630. Accessed 2013 November