

## 應用地理資訊系統於九九峰九二一地震崩塌分析

# Geographic Information System Analyses for Landslide from the 921 Earthquake at Mt. Jiujiufong

陳添水

Tien-Shui Chen

行政院農業委員會特有生物研究保育中心 南投縣集集鎮民生東路1號

Endemic Species Research Institute, Chichi, Nantou, Taiwan

### 摘要

本研究主要蒐集九九峰地區相關圖層資料，使用地理資訊系統(geographic information system)及影像處理軟體進行處理與分析，以瞭解該區九二一地震崩塌特性。本研究區以埔里事業區第8至20林班為研究分析範圍，海拔高度位於300m至500m間之面積將近占61.57%，坡度為五級坡以上面積約占68.34%，顯見該區多為陡峭尖銳之山峰與深溝。該區土壤類型大多為棕色森林土，少部分位於溪谷旁區域為石質土，土層淺薄，甚易崩塌。研究區九二一大地震前之土地利用類型大部分區域仍為天然植被，人為開墾區域多位於鄰近村落或溪谷較平緩之處，其中以天然闊葉混淆林面積最大，將近占58.65%。

九九峰研究區崩塌大多位於海拔高度400m以上或坡度六級坡以上陡峭之山峰。自然保留區內海拔高度大多超過400m，坡度為六級坡以上面積占70.10%，顯示保留區內地勢較區外高且陡峭，甚易崩塌，保留區內崩塌面積為729.36 ha，占保留區面積之60.86%，而占研究區總崩塌面積之71.11%，為九二一地震主要崩塌區域。研究區與保留區崩塌地之平均海拔高度，較非崩塌地分別高出114.52m與84.79m；在平均坡度上，研究區與保留區之崩塌地較非崩塌地分別多出38.13%與27.93%，顯示海拔高度及坡度皆與地震造成之崩塌有密切相關。

### Abstract

Landslides occurred at Mt. Jiujiufong in the 921 earthquake of Taiwan was analyzed with map data, using the geographic information system (GIS) and the image processing software. The study area covered the 8-20th forest compartments in the Puli Working Circle, where 61.57% had elevations of 300m to 500m and 68.34% had the 5th class slopes. The land was covered mainly with thin brown forest soils and natural forests, of which natural hardwood mixed forests occupied 58.65% of the area prior to

the earthquake. The landslide areas occupied 33.63% of the total study area, and were located at elevations mostly above 400m with the 6th class slopes or higher, where the Jiujiufong Nature Reserve was located. A total area of landslides in the nature reserve was 729.36 ha, occupying 60.86% of the reserve area and 71.11% of the total landslide areas in the study area. As compared to the non-landslide areas, the mean elevation of the landslide areas was 114.52m higher for the study area and 84.79m higher for the reserve area, while the mean slope was 38.13% higher for the study area and 27.93% higher for the reserve area. The above results indicated that elevation and slope were two major factors associated with the occurrence of landslides at Mt. Jiujiufong in the 921 earthquake.

**關鍵詞：**地理資訊系統、崩塌、地震、九九峰、台灣

**Key words:** GIS, landslide, earthquake, Mt. Jiujiufong, Taiwan

收件日期：93年5月12日

接受日期：93年8月19日

Received: May 12, 2004

Accepted: August 19, 2004

## 緒 言

台灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊交會處，由於此兩板塊之相互碰撞，使得地層易變形進而斷裂錯動引發地震，因此地震相當頻繁激烈。1999年9月21日凌晨1時47分12.6秒於南投縣集集附近發生芮氏規模7.3之強烈地震，使得位於震央附近之南投縣及台中縣市造成極大之災害。九九峰地層為頭崙山層，岩性為膠結差之礫石，由於坡度陡，原本就易產生崩塌，在九二一地震產生嚴重山崩及邊坡滑動之情形，呈現一片光禿景象，原本青翠山嶺已不復見。基於自然生態保育、教育及觀光價值，國內外專家殷切建議劃設為自然保留區，行政院農業委員會遂依據文化資產保存法於2000年5月22日公告成立「九九峰自然保留區」，主要保護對象為地震崩塌斷崖特殊地景，面積1,198.4466 ha。

九二一地震前有關九九峰地區之報告僅

廖(1992)研究該區之植群生態，調查到維管束植物有112科295屬393種，並將植群分成台灣櫟型、台灣二葉松-台灣紅豆-大頭茶型、圓果青剛櫟-小西氏石櫟型及白柏小西氏石櫟型等4個主要植群型，但該研究區域僅限於南投縣草屯鎮與國姓鄉區域。九二一地震後諸多研究單位積極投入九九峰地區之調查與研究，相關研究報告陸續於研討會中發表或出版手冊，另些許發表於學術期刊上，如林等(2000)曾應用地理資訊系統(geographic information system; GIS)之空間分析方法，評估九九峰集水區內崩場地之特性，並推算崩場地治理權重，以評估崩場地治理之優先順序。林等(2001)曾以九九峰地震前後之SPOT衛星影像進行分析，量化崩塌區位及植生復育之情形，提供植生復育區位資訊，作為崩場地監測與治理評估之用。黃(2002)曾結合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，建議該區

崩塌地除急需處置者外，仍以自然恢復為宜。林等(2003)曾研究比較九九峰山坡基腳殘存樹林與崩塌土石掩埋區鳥類組成差異，評估地震後鳥類組成變化與植被回復之關係，指出該區地震後植被大都處於間歇性干擾的演替初期，而棲息的鳥類也以樹林邊緣及次生林鳥種為主，建議九九峰自然保留區之經營管理應注意非邊緣性森林鳥種之生態需求。

地理資訊系統是以電腦為基礎，用來儲存及處理地理資訊之系統(Aronoff 1989)。基本上，GIS是電腦相關硬體及軟體之組合，崛起於1960年代，歷經四十幾年之發展，電腦科技突飛猛進，技術不斷提昇，無論在速度、容量、輸出及輸入設備等快速進步，使得屬性資料與圖形資料可正確且迅速結合，作資料之處理、擷取、統計、分析、展示及輸出等工作，儼然成為處理空間資料之絕佳利器。近些年來，GIS更加普及化，已為學術單位熱門研究與應用，亦是政府各單位作為輔助業務執行與決策支援之最佳工具。本研究主要以GIS及影像處理軟體將所蒐集之九九峰地區相關圖層資料進行處理，並進一步作不同圖層之套疊及分析，建立該區之基本資料，俾提供相關單位擬定經營管理計畫及決策之參考。

## 材料與方法

### 一、九九峰環境概況

九九峰地區位於南投縣與台中縣交界處之烏溪北岸，涵括南投縣草屯鎮、國姓鄉及台中縣霧峰鄉、太平市等4個鄉鎮市(圖1)。該地區因遍布直立圓錐狀山峰，由遠處眺望，這些分布密集而不規則之小山峰，像似跳躍之火焰，因此被稱為火炎山。由第四版像片基本圖顯示該地區海拔由100多公尺至最高為782.4m。

火炎山以厚約1,000m的礫石層組成，在地質上屬於更新世頭料山層上部，地形上則呈現鋸齒狀的山峰。由於礫石層的透水性良好，受雨水侵蝕下切容易，因此生成許多尖銳的山峰與深溝(王 1997)。九九峰主要有乾溪、田尾坑溪、油車坑溪及仙洞指坑溪4條溪谷貫穿其間，惟除降雨外終年乾涸難見其地表水。九九峰原本植物覆蓋甚佳，於坡度較緩、稜線或坡腳處，以低海拔榕楠及楠櫛植群為主，乾燥陡峭處，以台灣蘆竹為主，外圍及蝕溝地勢平緩處有許多出租造林地，種植果樹、檳榔、荖葉等經濟作物，惟九二一大地震後，各山頭之礫石崩落，形成光禿禿之獨特景觀。

離九九峰地區較近之氣象觀測站為中央氣象局草屯雙冬站(C1H940)，惟該站僅有降雨資料，其1993年至2002年之統計資料見表1。降雨量集中於5月至8月，其中以8月之平均降雨量467.5 mm為最大，10月至翌年1月降雨量稀少，尤以11月之9.7 mm最少，年平均降雨量為2,259.2 mm。降雨日數與降雨量情況相仿，年平均降雨日數為114日。一日最大降雨量以1996年8月之374.0 mm為最大。

### 二、材料與設備

#### (一)數值地形模型資料

本研究所使用之數值地形模型資料是內政部地政司所提供，該資料為九二一大地震前資料，檔案類型為ASCII檔，是以10m x 10m間隔記錄XYZ資料，地面解析度較中央大學太空及遙測研究中心所提供之40m x 40m資料佳。

#### (二)土地利用型圖及土壤圖

上述圖檔資料是由林務局提供，為該局第三次森林資源及土地利用調查結果資料，檔案類型為ArcInfo (.e00) 交換檔，其中土壤圖包括土壤型及土壤級資料。

#### (三)其它圖檔資料

表1. 中央氣象局草屯雙冬氣象觀測站(C1H940)1993年至2002年降雨統計資料

**Table 1.** Monthly and yearly means of precipitation (mm) and numbers of precipitation (days), and monthly and yearly maximum precipitation (mm) within 24 hours at the Shuangtung Observatory of Taiwan Central Weather Bureau for 1993 to 2002

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Yearly
Precipitation	42.9	95.8	92.3	138.0	287.1	453.1	433.4	467.5	173.8	35.5	9.7	30.5	2259.2
Number of precipitation	6.9	9.1	9.1	10.2	13.5	17.6	17.8	18.8	9.6	4.3	3.4	4.7	114.1
Maximum precipitation	63.0	75.5	81.5	72.0	109.0	161.5	203.5	374.0	276.5	112.0	17.5	35.5	374.0

其它圖檔資料包括康訊科技所提供之1/25,000地形圖影像、行政院主計處所提供之村里行政界線資料庫、林務局所提供之林小班圖與林班圖、農林航空測量所提供之九二一崩塌區影像等。

#### (四) 主要研究工具

主要研究分析軟體包括ERDAS IMAGINE影像處理軟體、ESRI ArcView GIS軟體、Microsoft Excel統計分析軟體及Microsoft Word文書處理軟體等。

### 三、研究方法

#### (一) 文獻及圖檔資料蒐集

蒐集整理相關調查報告與參考文獻，並取得研究區之相關數值影像資料等。

#### (二) 現場勘查

攜帶相關地圖、照片及影像至現場勘查比對，以瞭解研究區土地利用、植被覆蓋及崩塌之變化情形。

#### (三) 影像資料處理與分析

##### 1. 數值地形模型資料處理

將獲取之數值地形模型資料文字檔以IMAGINE軟體轉換為網格式影像檔，然後經計算產生海拔高度、坡度、坡向等影像，再予以分類處理產生分級影像。海拔高度分為5級，間隔100m；坡度依據水土保持技術規範

分為7級；坡向分為9級。然後以ArcView之Spatial Analyst模組將海拔高度、坡度、坡向等網格式分級影像轉換為(.shp)向量式圖層。

##### 2. 其它圖檔資料處理

以ArcView軟體將獲取之其它圖檔資料轉換為(.shp)向量式圖層。

##### 3. 研究區切取與圖層套疊

為配合所蒐集圖檔資料及排除人為嚴重干擾區域，本研究僅以埔里事業區第8至20林班為研究分析範圍(圖1)，總面積約為3,050.15 ha。本研究以ArcView軟體將已轉換為.shp所有影像檔切取僅含第8至20林班或自然保留區之圖層，並作圖層套疊分析。

##### 4. 資料分析

將林班圖分別套疊海拔高度、坡度、坡向、土壤型、土壤級、土地利用型圖後，經合併統計即可得知研究區或其區內各林班之各類分級面積，然後以Excel軟體統計其相對面積。然後將保留區與崩塌區邊界圖分別切取上述圖層及統計，可得知保留區與崩塌區之各類分級面積與相對面積。

## 結果與討論

### 一、地形概況

#### (一) 海拔高度

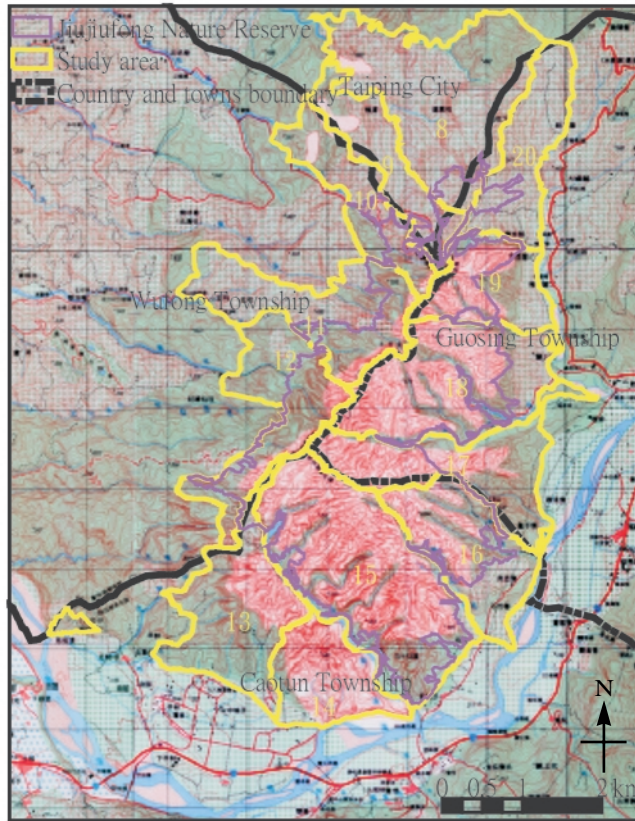


圖1. 九九峰地區研究範圍圖(黃色數字及黃線為第8至20林班)。

Fig. 1. A map showing the study area at Mt. Jiujufong, Taiwan (yellow numbers and lines, 8-20th forest compartments).

研究區(第8至20林班)海拔高度介於100m至800m之間，其中位於300m以下面積有371.96 ha(表2)，占總面積之12.19%；介於300m至500m之間面積有1,878.09 (917.26+960.83) ha，占61.57 (30.07+31.50)%；500m以上面積有800.10 ha (占26.23%)。其中第8至12林班海拔高度介於300m至500m間之面積皆超過67% (表3)，而第13與14林班500m以上面積低於7%，且300m以下面積超過34%，顯示此兩林班地勢較其它林班低，第15、17、18與19林班高度介於500m至600m間之面積皆超過20%，且

600m以上面積超過11%，顯示其擁有較高山峰。

(二)坡度

研究區內一至四級坡(≤40%)面積有965.59 (3050.15-2084.56) ha(表2)，占總面積之31.66 (100.00-68.34)%；五級坡面積有452.53 ha(占14.84%)；六級坡以上(>55%)面積高達1,632.03 ha，占53.51%。各林班五級坡以上(>40%)之面積皆超過50%(表4)，其中第15、17與18林班六級坡以上之面積皆超過60%，顯見其地勢相當陡峭，而第20林班六級坡以上(>55%)面積僅23.91%，為所有林班

表2. 九九峰地區高度、坡度及坡向分級面積

**Table 2.** Areas (ha) and cumulative areas (ha) (relative areas, % in parentheses) of elevation, slope and aspect classes at Mt. Jiujiufong

	Areas	Cumulative areas
Elevations (E)		
E > 600m	262.36 (8.60)	262.36 (8.60)
500 < E ≤ 600m	537.74 (17.63)	800.10 (26.23)
400 < E ≤ 500m	960.83 (31.50)	1,760.93 (57.73)
300 < E ≤ 400m	917.26 (30.07)	2,678.19 (87.81)
E ≤ 300m	371.96 (12.19)	3,050.15 (100.00)
Slopes (S)		
7 (S > 100%)	728.78 (23.89)	728.78 (23.89)
6 (55 < S ≤ 100%)	903.25 (29.61)	1,632.02 (53.51)
5 (40 < S ≤ 55%)	452.53 (14.84)	2,084.56 (68.34)
4 (30 < S ≤ 40%)	264.86 (8.68)	2,349.42 (77.03)
3 (15 < S ≤ 30%)	309.37 (10.14)	2,658.79 (87.17)
2 (5 < S ≤ 15%)	215.99 (7.08)	2,874.78 (94.25)
1 (S ≤ 5%)	175.37 (5.75)	3,050.15 (100.00)
Aspects		
Flat	0.23 (0.01)	
N	331.43 (10.87)	
NE	361.99 (11.87)	
E	400.77 (13.14)	
SE	488.24 (16.01)	
S	444.76 (14.58)	
SW	408.04 (13.38)	
W	304.19 (9.97)	
NW	310.51 (10.18)	

中較平緩者。依據山坡地土地可利用限度分類標準五級坡地即為應行造林或維持自然林木或植生覆蓋，不宜農耕之土地，六級地即為應加強保育地，顯見九九峰地區遭嚴重沖蝕易崩坍，多為陡峭尖銳之山峰與深溝。

### (三)坡向

研究區殆因多為小山峰，各坡向所占面

積差異不大，其中以東南向面積有488.24 ha，占總面積之16.01%較大(表2)，其次為東向面積有444.76 ha(占14.58%)。其中第9林班以東向(22.97%)與東北向(22.05%)居多(表5)，第10林班以西南向(23.78%)與西向(18.02%)居多，第14至16林班以南向(>18%)與東南向(>16%)居多，第18至20林班以東南向(>20%)

表3. 九九峰地區第8至20林班高度分級相對面積

**Table 3.** Relative areas (%) of elevation classes and their cumulative relative areas (% in parentheses) for the 8-20th forest compartments at Mt. Jiujiufong

Compartment	Elevation classes				
	E > 600m	500 < E ≤ 600m	400 < E ≤ 500m	300 < E ≤ 400m	E ≤ 300m
8	1.02 (1.02)	10.21 (11.24)	45.10 (56.34)	35.89 (92.23)	7.77 (100.00)
9	0.82 (0.82)	6.25 (7.07)	41.65 (48.72)	42.90 (91.62)	8.38 (100.00)
10	1.00 (1.00)	5.15 (6.15)	33.98 (40.13)	53.67 (93.81)	6.20 (100.00)
11	6.53 (6.53)	21.34 (27.87)	31.75 (59.62)	35.99 (95.61)	4.39 (100.00)
12	4.18 (4.18)	20.10 (24.28)	37.65 (62.22)	36.80 (99.02)	0.98 (100.00)
13	0.17 (0.17)	6.15 (6.32)	28.32 (34.64)	30.71 (65.35)	34.65 (100.00)
14	0.00 (0.00)	3.80 (3.80)	21.23 (25.04)	38.13 (63.17)	36.84 (100.00)
15	17.61 (17.61)	25.32 (42.94)	24.54 (67.48)	20.36 (87.84)	12.16 (100.00)
16	6.10 (6.10)	21.44 (27.54)	26.22 (53.77)	22.89 (76.66)	23.34 (100.00)
17	17.54 (17.54)	20.78 (38.32)	22.53 (60.84)	24.79 (85.63)	14.37 (100.00)
18	22.80 (22.80)	26.99 (49.80)	23.66 (73.45)	20.19 (93.64)	6.36 (100.00)
19	11.68 (11.68)	27.87 (39.55)	29.06 (68.61)	26.18 (94.79)	5.21 (100.00)
20	5.63 (5.63)	20.59 (26.22)	49.91 (76.12)	23.73 (99.85)	0.15 (100.00)

表4. 九九峰地區第8至20林班坡度分級相對面積

**Table 4.** Relative areas (%) of slope classes and their cumulative relative areas (% in parentheses) for the 8-20th forest compartments at Mt. Jiujiufong

Compartment	Slope classes						
	7( $S > 100\%$ )	6( $55 < S \leq 100\%$ )	5( $40 < S \leq 55\%$ )	4( $30 < S \leq 40\%$ )	3( $15 < S \leq 30\%$ )	2( $5 < S \leq 15\%$ )	1( $S \leq 5\%$ )
8	17.16 (17.16)	34.34 (51.50)	18.27 (69.77)	9.34 (79.11)	7.74 (86.86)	6.39 (93.24)	6.76 (100.00)
9	18.87 (18.87)	26.39 (45.26)	18.46 (63.72)	11.10 (74.83)	11.93 (86.75)	7.34 (94.09)	5.91 (100.00)
10	22.18 (22.18)	37.34 (59.52)	16.51 (76.02)	7.12 (83.14)	6.67 (89.81)	6.05 (95.86)	4.14 (100.00)
11	15.59 (15.59)	28.95 (44.55)	19.10 (63.65)	10.85 (74.50)	10.51 (85.00)	7.79 (92.79)	7.21 (100.00)
12	25.97 (25.97)	32.99 (58.96)	14.81 (73.76)	7.31 (81.07)	7.75 (88.82)	6.26 (95.08)	4.91 (100.00)
13	16.51 (16.51)	27.19 (43.70)	15.99 (59.69)	9.94 (69.63)	14.82 (83.85)	10.40 (94.25)	5.75 (100.00)
14	30.74 (30.74)	28.77 (59.51)	9.34 (68.85)	6.73 (75.58)	11.70 (87.28)	8.58 (95.86)	4.15 (100.00)
15	42.11 (42.11)	22.93 (65.04)	8.80 (73.84)	5.33 (79.18)	8.63 (87.81)	6.29 (94.09)	5.91 (100.00)
16	16.95 (16.95)	21.09 (48.03)	13.64 (61.68)	9.76 (71.44)	16.13 (87.57)	7.89 (95.46)	4.54 (100.00)
17	29.13 (29.13)	30.93 (60.06)	13.67 (73.73)	7.64 (81.37)	7.97 (89.35)	6.53 (95.87)	4.13 (100.00)
18	29.11 (29.11)	33.96 (63.08)	10.46 (73.54)	6.02 (79.56)	7.23 (89.78)	6.62 (93.41)	6.59 (100.00)
19	23.69 (23.69)	29.53 (53.22)	14.79 (68.01)	9.86 (77.87)	10.71 (88.58)	5.37 (93.95)	6.05 (100.00)
20	1.94 (1.94)	21.97 (23.91)	27.26 (51.17)	18.13 (69.29)	16.79 (86.09)	7.28 (93.36)	6.63 (100.00)

表5.九九峰地區第8至20林班坡向分級相對面積

Table 5. Relative areas (%) of aspect classes for the 8-20th forest compartments at Mt. Jiujiufong

Compartment	Flat	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
8	0.04	14.03	11.53	8.48	9.28	10.88	14.71	15.39	15.65
9	0.02	14.98	22.05	22.97	10.86	2.71	4.63	8.38	13.41
10	0.00	9.36	8.04	4.28	9.16	14.92	23.78	18.02	12.44
11	0.02	14.91	9.98	4.31	11.05	14.36	19.33	12.68	13.35
12	0.00	19.78	11.60	4.56	3.50	11.03	17.58	13.85	18.09
13	0.00	8.27	6.21	10.98	14.98	18.89	19.14	10.66	10.88
14	0.00	6.17	12.70	14.81	16.94	24.94	11.60	6.99	5.85
15	0.00	6.49	7.50	10.79	18.53	18.38	14.24	11.66	12.41
16	0.00	4.30	11.62	18.52	25.42	20.31	12.78	5.08	1.97
17	0.00	18.39	20.45	17.63	18.30	6.30	3.11	4.50	11.32
18	0.00	10.80	14.48	18.56	21.21	15.76	9.52	6.45	3.23
19	0.00	9.87	17.65	23.51	20.13	15.68	5.89	2.30	4.97
20	0.00	2.96	8.11	22.40	30.57	12.57	14.34	7.41	1.65

與東向(>18%)居多。

## 二、土壤類型

研究區之土壤類型以偏乾性棕色森林土為主，面積有1,903.86 ha(表6)，占總面積之62.42%，適潤性棕色森林土、弱乾性黃棕色森林土及濕性石質土面積各占10%左右，未分類面積占5.99%。除第20林班外，餘林班皆超過34%面積為偏乾性棕色森林土(表7)，其中第8林班偏乾性棕色森林土、適潤性棕色森林土、弱乾性黃棕色森林土各占1/3左右，第9與10林班包括偏乾性棕色森林土與弱乾性黃棕色森林土，第11與12林班僅為偏乾性棕色森林土，第13至18林班主要為偏乾性棕色森林土，部分為濕性石質土，第19林班為偏乾性棕色森林土與適潤性棕色森林土，第20林班多為適潤性棕色森林土，而第16林班有34.57%面積未分類。棕色森林土之特點是土質疏鬆，排水良好，含腐植質較少，多為闊

葉林覆蓋較佳之山麓丘陵區，九九峰地區原本即多為覆蓋良好之闊葉林，部分位於溪谷旁區域為石質土，乃成土母岩粗經風化作用生成之土壤，土層通常都很淺，含石量超過75%，排水、通氣良好，多發生於山區陡峭的地方，地形不穩定，甚易崩塌(謝及王1995)，研究區中第15林班有39.26%面積為石質土。

土壤分級以土壤級3之2,233.87 ha最大(表6)，占總面積之73.24%，土壤級4占9.68%，土壤級5占11.09%，顯示九九峰地區土層淺薄，多為酸性土壤，林木生長受限。至於各林班之土壤級差異甚大，其中第8、9、10林班包括土壤級3與土壤級4(表8)，第11、12、19、20林班皆為土壤級3，第13至18林班主要為土壤級3，部分為土壤級5。

## 三、土地利用型態

廖(1992)指出九九峰地區森林植群分布主

表6. 九九峰地區土壤及土地利用型面積

**Table 6.** Areas (ha) and relative areas (%) of soil types, soil classes, and land cover types at Mt. Jiujiufong

	Areas	Relative areas
Soil types		
Slightly dry brown forest soils	1,903.86	62.42
Moist brown forest soils	330.01	10.82
Low-dry yellowish brown forest soils	295.28	9.68
Wet lithic soils	338.21	11.09
Unclassified	182.78	5.99
Soil classes		
III	2,233.87	73.24
IV	295.28	9.68
V	338.21	11.09
Unclassified	182.78	5.99
Land cover types		
Natural hardwood mixed forest	1,788.80	58.65
Natural conifer-hardwood mixed forest	353.08	11.58
Natural bamboo-hardwood mixed forest	140.11	4.59
Natural grasses	86.90	2.85
Planted bamboo-hardwood mixed forest	66.60	2.18
Orchard	210.54	6.90
Betelnut	91.12	2.99
River bed	64.86	2.13
Other land	65.36	2.14
Unclassified	182.78	5.99

要受制於地形位置及外界之干擾度，主要分布於海拔450m至780m，與海拔高度或方位並無顯著關係，而海拔250m至450m地區不是陡峭崖壁，就是遭受破壞開墾成農園。本研究區九二一大地震前之土地利用類型依據林務局資料共有26類，大部分區域仍為天然植被(圖2)，人為開墾區域多位於鄰近村落或溪谷較平緩之處，其中以天然闊葉混淆林面積最大，有 1,788.80 ha(表 6)，占總面積之

58.65%，其次為天然針葉闊葉混淆林，面積有353.08 ha (占11.56%)、果園面積有210.54 ha (占6.90%)、竹類闊葉混淆林面積有206.71 ha (占6.77%)，未分類面積占5.99%。第8至12林班與第14至17林班天然闊葉混淆林之面積皆大於59%(表9)，其中第10林班天然闊葉混淆林之面積高達90.50%，第18與19林班以天然針葉闊葉混淆林面積最大，皆大於66%，其次為天然闊葉混淆林，第20林班則以果園

表7. 九九峰地區第8至20林班土壤類型相對面積

Table 7. Relative areas (%) of soil types for the 8-20th forest compartments at Mt. Jiujiufong

Compartment	Slightly dry brown forest soils	Moist brown forest soils	Low-dry yellowish brown forest soils	Wet lithic soils	Unclassified
8	34.55	27.76	37.01	0.00	0.67
9	36.51	0.00	63.14	0.00	0.35
10	54.61	0.00	43.42	0.00	1.97
11	95.82	0.00	0.00	0.00	4.18
12	93.88	0.00	0.00	0.00	6.12
13	75.48	0.00	0.00	7.78	16.73
14	70.34	0.00	0.00	20.52	9.14
15	58.82	0.00	0.00	39.26	1.92
16	46.74	0.00	0.00	18.69	34.57
17	84.99	0.00	0.00	8.67	6.34
18	82.84	0.00	0.00	16.72	0.35
19	57.20	41.79	0.00	0.00	1.01
20	3.53	96.01	0.00	0.00	0.46

表8. 九九峰地區第8至20林班土壤級相對面積

Table 8. Relative areas (%) of soil classes for the 8-20th forest compartments at Mt. Jiujiufong

Compartment	Class III	Class IV	Class V	Unclassified
8	6.31	37.01	0.00	0.67
9	36.51	63.14	0.00	0.35
10	54.61	43.42	0.00	1.97
11	95.82	0.00	0.00	4.18
12	93.88	0.00	0.00	6.12
13	75.48	0.00	7.78	16.73
14	70.34	0.00	20.52	9.14
15	58.82	0.00	39.26	1.92
16	46.74	0.00	18.69	34.57
17	84.99	0.00	8.67	6.34
18	82.93	0.00	16.72	0.35
19	98.99	0.00	0.00	1.01
20	99.54	0.00	0.00	0.46

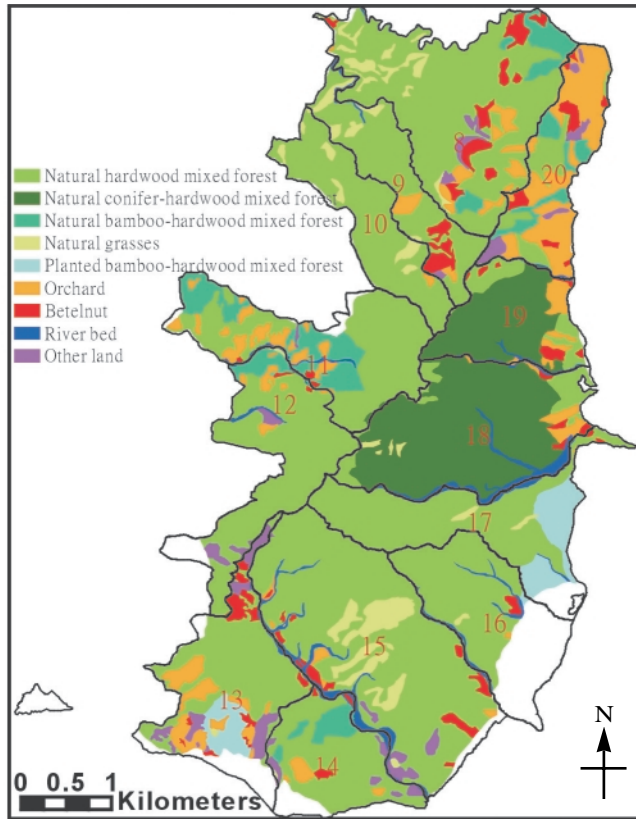


圖2. 九九峰地區土地利用圖。

Fig. 2. Land cover types at Mt. Jiujufong prior to the 921 earthquake.

面積最大(占51.13%)，天然闊葉混淆林面積19.48%，殆其鄰近136號縣道且坡度較平緩易於開墾種植，而第16林班有34.57%面積未分類。

#### 四、崩塌情況

依據林務局崩塌面積資料整理統計，埔里事業區第8至20林班總崩塌面積為1,025.68 ha(表10)，占總面積之33.63%，其中以第15林班之275.84 ha最大，占總崩塌面積之26.89%，其次為第18林班之128.35 ha(占12.51%)與第17林班之106.97 ha(占10.43%)，以第20林班之9.78 ha(占0.95%)為最小。各林班相對崩塌面積情形，亦以第15林班有

61.70%面積崩塌為最高，第12、17、18與19林班崩塌面積皆超過40%，而第20林班崩塌面積最低，僅占5.85%。

崩塌區域主要位於400m以上較高山峰，面積有866.12 ha(表11)，占84.44%，而各高度分級相對崩塌面積情形，以超過600m有86.72%面積崩塌為最高，其次為500m至600m間之60.82%。林等(2001)分析結果崩塌區位屬極陡坡(坡度>55%)約占全部崩塌面積之61%。本研究僅針對地勢較高之第8至20林班統計，崩塌區域以位於七級坡之面積有505.18 ha為最大，占總崩塌面積之49.25%，其次為六級坡之面積有297.47 ha(占29.00%)，兩者合計為78.25%，皆顯示崩塌多發生於陡

表9. 九九峰地區第8至20林班土地利用相對面積

Table 9. Relative areas (%) of land cover types for the 8-20th forest compartments at Mt. Jiujiufong

Compartment	Natural hardwood mixed forest	Natural conifer- hardwood mixed forest	Natural bamboo- hardwood mixed forest	Natural grasses	Planted bamboo- hardwood mixed forest	Orchard	Betelnut	River bed	Other land	Unclassified
8	73.79	0.00	7.57	4.37	0.00	5.46	6.18	0.24	1.73	0.67
9	77.59	0.04	0.00	7.00	0.00	4.88	7.85	1.46	0.82	0.35
10	90.50	0.12	0.00	6.55	0.00	0.81	0.03	0.00	0.02	1.97
11	59.28	0.60	23.86	0.03	0.00	9.99	0.63	1.04	0.37	4.18
12	79.28	0.11	5.95	0.33	0.00	2.94	0.51	1.35	3.40	6.12
13	47.59	0.00	0.00	0.25	0.87	12.01	5.31	0.89	8.35	16.73
14	67.40	0.00	10.89	0.22	0.00	3.90	1.74	2.14	4.58	9.14
15	78.38	0.00	0.11	9.47	0.00	1.10	2.95	3.96	2.09	1.92
16	60.30	0.00	0.00	0.43	0.48	0.20	1.21	2.81	0.00	34.57
17	70.65	0.12	0.00	1.35	18.70	0.23	0.42	2.19	0.00	6.34
18	9.61	79.01	0.00	0.78	0.00	3.31	1.27	5.67	0.00	0.35
19	17.84	66.70	0.00	0.00	0.00	8.58	3.65	2.21	0.00	1.01
20	19.48	0.18	14.25	0.00	0.00	51.31	6.82	0.66	7.02	0.46

表10. 九九峰地區第8至20林班崩塌面積

Table 10. Areas (ha) and landslide areas (ha) of the 8-20th forest compartments at Mt. Jiujiufong

Compartment	Areas (A)	Landslide areas (B)	Relative landslide areas	
			B/T (%)	B/A (%)
8	381.62	40.24	3.92	10.54
9	142.69	22.87	2.23	16.03
10	147.27	33.43	3.26	22.70
11	239.69	61.34	5.98	25.59
12	213.17	85.69	8.35	40.20
13	253.21	92.41	9.01	36.49
14	156.27	44.22	4.31	28.30
15	447.07	275.84	26.89	61.70
16	203.80	54.66	5.33	26.82
17	230.82	106.97	10.43	46.34
18	316.08	128.35	12.51	40.61
19	151.19	69.89	6.81	46.23
20	167.27	9.78	0.95	5.85
Total	3050.15	1025.68 (T)	100.00	-

表11. 九九峰地區各高度、坡度及坡向分級之崩塌面積比較

**Table 11.** Landslide areas (ha) (relative landslide areas (%), landslide areas/each class area) in parentheses) and cumulative landslide areas (ha) of elevation, slope and aspect classes at Mt. Jiujufong

	Landslide areas	Cumulative landsilide areas
<b>Elevations (E)</b>		
E > 600m	227.52 (86.72)	227.52
500 < E ≤ 600m	327.08 (60.82)	554.59
400 < E ≤ 500m	311.53 (32.42)	866.12
300 < E ≤ 400m	133.12 (14.51)	999.24
E ≤ 300m	26.44 (7.11)	1025.68
<b>Slopes (S)</b>		
7 (S > 100%)	505.18 (69.32)	505.18
6 (55 < S ≤ 100%)	297.47 (32.93)	802.65
5 (40 < S ≤ 55%)	74.56 (16.48)	877.20
4 (30 < S ≤ 40%)	36.18 (13.66)	877.20
3 (15 < S ≤ 30%)	46.03 (14.88)	959.42
2 (5 < S ≤ 15%)	41.28 (19.11)	1000.70
1 (S ≤ 5%)	24.98 (14.24)	1025.68
<b>Aspects</b>		
Flat	0.06 (26.60)	
N	135.46 (40.87)	
NE	115.22 (31.83)	
E	105.96 (26.44)	
SE	148.33 (30.38)	
S	141.36 (31.78)	
SW	132.62 (32.50)	
W	109.35 (35.95)	
NW	137.32 (44.23)	

坡處。而各坡度分級相對崩塌面積情形，以七級坡有69.32%面積崩塌為最高，其次為六級坡之32.93%。崩塌區域以東南向之148.33 ha(占14.46%)稍大，而各坡向分級相對崩塌面積情形，以西北向之44.23%及北向之40.87%較大。

#### 五、九九峰自然保留區

九九峰自然保留區依據林務局森林調查簿記載之面積為1,198.4466 ha，而由林小班圖合計之面積為1,199.2138 ha，應為兩者記錄之時間點不同所致。自然保留區內海拔高度400m以上面積合計有1,041.42 ha(表12)，占保留區面積之86.84%，且600m以上面積有

表12. 九九峰自然保留區高度、坡度及坡向分級面積

**Table 12.** Areas (ha) and cumulative areas (ha) (relative areas, % in parentheses) of elevation, slope and aspect classes in the Jiujiufong Nature Reserve

	Areas	Cumulative areas
<b>Elevations (E)</b>		
E > 600m	248.67 (20.74)	248.67 (20.74)
500 < E ≤ 600m	409.03 (34.11)	657.71 (54.85)
400 < E ≤ 500m	383.71 (32.00)	1,041.42 (86.84)
300 < E ≤ 400m	134.41 (11.21)	1,175.83 (98.05)
E ≤ 300m	23.38 (1.95)	1,199.21 (100.00)
<b>Slopes (S)</b>		
7 (S > 100%)	466.64 (38.91)	466.64 (38.91)
6 (55 < S ≤ 100%)	373.96 (31.18)	840.60 (70.10)
5 (40 < S ≤ 55%)	118.59 (9.89)	959.19 (79.98)
4 (30 < S ≤ 40%)	60.55 (5.05)	1,019.74 (85.03)
3 (15 < S ≤ 30%)	72.80 (6.07)	1,092.54 (91.10)
2 (5 < S ≤ 15%)	61.83 (5.16)	1,154.36 (96.26)
1 (S ≤ 5%)	44.85 (3.74)	1,199.21 (100.00)
<b>Aspects</b>		
Flat	0.06 (0.00)	
N	144.46 (12.05)	
NE	134.64 (11.23)	
E	129.80 (10.82)	
SE	180.31 (15.04)	
S	179.37 (14.96)	
SW	159.96 (13.34)	
W	131.52 (10.97)	
NW	139.10 (11.60)	

248.67 ha(占20.74%)，而400m以下面積為157.79 (134.41+23.38) ha，僅占13.16 (11.21+1.95)%，顯示其地勢較保留區外高，其涵括九九峰地區較高之山峰。

保留區內坡度屬一至四級坡之面積合計為240.03 ha(表12)，占保留區面積之20.02%，五級坡面積有118.59 ha(占9.89%)，六級坡以

上面積高達840.60 ha(占70.10%)，顯示保留區內地勢又較區外陡峭，多為尖銳之山峰與深溝。至於保留區內各坡向所占面積差異不大，其中以東南向之面積180.31 ha(占15.04%)較大，其次為東向179.37 ha(占14.96%)。

保留區之土壤類型以偏乾性棕色森林土為主，面積有989.39 ha(表13)，占保留區面積

表13. 九九峰自然保留區土壤及土地利用型面積

Table 13. Areas (ha) and relative areas (%) of soil types, soil classes, and land cover types in the Jiujiufong Nature Reserve

	Areas	Relative areas
Soil types		
Slightly dry brown forest soils	989.39	82.56
Moist brown forest soils	26.31	2.20
Low-dry yellowish brown forest soils	0.58	0.05
Wet lithic soils	174.42	14.55
Unclassified	7.74	0.65
Soil classes		
III	1,015.71	84.75
IV	0.58	0.05
V	174.42	14.55
Unclassified	7.74	0.65
Land cover types		
Natural hardwood mixed forest	790.73	65.98
Natural conifer-hardwood mixed forest	281.83	23.52
Natural bamboo-hardwood mixed forest	26.36	2.20
Natural grasses	47.37	3.95
Planted bamboo-hardwood mixed forest	0.98	0.08
Orchard	9.17	0.77
Betelnut	6.64	0.55
River bed	13.49	1.13
Others	14.14	1.18
Unclassified	7.74	0.65

之82.56%，濕性石質土面積有174.42 ha(占14.55%)，未分類面積有7.74 ha(占0.65%)。土壤分級以土壤級3之1,015.71 ha最大，占84.75%，土壤級5面積有174.42 ha(占14.55%)。

保留區九二一大地震前之土地利用類型依據林務局資料共有15類，其中以天然闊葉混淆林之790.73 ha最大(表13)，占保留區面積之65.98%，其次為天然針葉闊葉混淆林之

281.83 ha(占23.52%)，天然草生地47.37 ha(占3.95%)，未分類面積有7.74 ha(占0.65%)。

至於保留區內崩塌面積為729.36 ha，占保留區面積之60.86%，而占第8至20林班總崩塌面積之71.11%，顯示區內為九二一地震主要崩塌區域。

#### 六、崩場地與非崩場地比較

九九峰研究區之平均海拔高度崩場地

(502.47m)較非崩塌地(387.94m)高出114.52m(表14)，保留區內崩塌地之平均海拔高度(544.21m)較非崩塌地(459.42m)高出84.79m。黃(2002)對九九峰地區及其崩塌區之平均坡度統計分別為23° (40.14%)及34° (59.34%)，而本研究僅針對地勢較高之第8至20林班統計，研究區之平均坡度崩塌地(91.92%)較非崩塌地(53.78%)多出38.13%(表14)，保留區內崩塌地之平均海拔高度(93.54%)較非崩塌地(65.61%)多出27.93%，顯示海拔高度及坡度皆與地震造成之崩塌有密切相關。

研究區與保留區內崩塌地除弱乾性黃棕色森林土(土壤級4)明顯較非崩塌地低外，餘土壤類型與土壤級互有高低(表15)，無顯著差異，而研究區與保留區內崩塌地之土地利用類型以竹類、果園、檳榔園等人工墾植類型明顯較非崩塌地低，惟其所占面積比例低，又多位於地勢較平緩處，此結果不足以顯示土壤類型、土壤級及土地利用類型與崩塌有相關性。

## 結 論

九九峰研究區(第8至20林班)海拔高度介於100m至800m之間，其中位於300m至500m之間面積接近占61.57%，坡度為五級坡以上面積約占68.34%，顯見該區多為陡峭尖銳之山峰與深溝，而各坡向所占面積差異不大，惟幾乎無平緩區域。該區原本即多為覆蓋良好之闊葉林，土壤類型大多為棕色森林土，少部分位於溪谷旁區域為石質土，土層淺薄，排水良好，地形不穩定，甚易崩塌。研究區九二一大地震前之土地利用類型大部分區域仍為天然植被，人為開墾區域多位於鄰近村落或溪谷較平緩之處，其中以天然闊葉混淆林面積接近占58.65%最大，其次為天然針葉闊葉混淆林約占11.58%。

依據林務局資料統計研究區崩塌面積為1,025.68 ha，占總面積之33.63%，尤以第15林班崩塌面積最大，占總崩塌面積之26.89%，而崩塌區域大多位於海拔高度400m以上或坡度六級坡以上陡峭之山峰。自然保

表14. 九九峰地區崩塌地與非崩塌地之高度及坡度比較

**Table 14.** Comparison of elevations and slopes between landslide and non-landslide areas at Mt. Jiujiufong (8-20th compartments combined) and the Jiujiufong Nature Reserve

	Mt. Jiujiufong		Jiujiufong Nature Reserve	
	Landslide	Non-landslide	Landslide	Non-landslide
Elevation				
Minimum	137.36	135.00	212.36	198.84
Maximum	777.82	751.62	777.82	751.62
Mean	502.47	387.94	544.21	459.42
Slope (%)				
Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum	180.00	171.00	180.00	170.00
Mean	91.92	53.78	93.54	65.61

表15. 九九峰地區崩場地與非崩場地之土壤及土地利用型相對面積比較

Table 15. Comparison of soil types, soil classes, and land cover types between landslide and non-landslide areas at Mt. Jiujiufong (8-20th compartments combined) and the Jiujiufong Nature Reserve

	Mt. Jiujiufong		Jiujiufong Nature Reserve	
	Landslide	Non-landslide	Landslide	Non-landslide
Soil types				
Slightly dry brown forest soils	43.13	56.87	63.29	36.71
Moist brown forest soils	8.62	91.38	44.35	55.65
Low-dry yellowish brown forest soils	18.74	81.26	0.00	100.00
Wet lithic soils	33.52	66.48	51.44	48.56
Unclassified	4.05	95.95	22.80	77.20
Soil classes				
III	38.03	61.97	62.80	37.20
IV	18.74	81.26	0.00	100.00
V	33.52	66.48	51.44	48.56
Unclassified	4.05	95.95	22.80	77.20
Land cover types				
Natural hardwood mixed forest	40.54	59.46	63.83	36.17
Natural conifer-hardwood mixed forest	50.77	49.23	60.23	39.77
Natural bamboo-hardwood mixed forest	15.15	84.85	16.55	83.45
Natural grasses	67.24	32.76	90.99	9.01
Planted bamboo-hardwood mixed forest	20.69	79.31	0.00	100.00
Orchard	4.13	95.87	10.01	89.99
Betelnut	1.36	98.64	5.40	94.60
River bed	3.00	97.00	11.65	88.35
Other land	13.09	86.91	20.17	79.77
Unclassified	4.05	95.95	22.80	77.20

留區內海拔高度大多超過400m，坡度為六級坡以上面積約占70.10%，顯示保留區內地勢較區外高且陡峭，甚易崩塌。保留區內崩塌面積為729.36 ha，約占保留區面積之60.86%，而占第8至20林班總崩塌面積之71.11%，為九二一地震主要崩塌區域。

九九峰研究區之平均海拔高度崩場地較非崩場地高出114.52m，保留區內崩場地之平

均海拔高度較非崩場地高出84.79m，而研究區之平均坡度崩場地較非崩場地多出38.13%，保留區內崩場地之平均海拔高度較非崩場地多出27.93%，顯示海拔高度及坡度皆與地震造成之崩塌有密切相關。至於研究區與保留區內崩場地與非崩場地之土壤類型、土壤級及土地利用類型比較，殆因其分布明顯差異，其結果不足以顯示其與地震崩

場有相關性。

資料來源主要包括文字資料或不同比例尺之主題資料，可經適當轉換或轉檔處理，再以地理資訊系統整合所有蒐集資料，使得屬性資料與圖形資料正確結合，迅速且容易進行資料處理與分析，於展示方面益加清晰明瞭，乃作為輔助業務執行與決策支援之絕佳利器。

## 謝 誌

承蒙特有生物研究保育中心長官對本研究計畫之支持與勉勵，內政部地政司、林務局、農林航空測量所、行政院主計處及康訊科技公司等單位提供相關圖檔資料，組內同仁蘇小姐美如協助圖檔資料取得及陳小姐怡姣協助資料蒐集與繕打，以及兩位審查委員提供改進意見使本文更加充實，謹申謝忱。

## 引用文獻

- 王鑫。1997。地景保育。明文書局印行。國立編譯館主編。
- 林昭遠、林文賜、王清賢、陳素珠。2000。應用地理資訊系統於集集震災崩塌地之評估。水土保持學報 32(3): 139-148。
- 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。
- 林瑞興、許富雄、姚正得、艾台霖。2003。九二一地震後台灣九九峰鳥類組成變化與植被回復之關係。特有生物研究 5(2): 47-59。
- 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。
- 廖秋成。1992。南投雙冬火炎山地區植群生態與植物區系之研究。國立中興大學實

驗林研究報告 14(1): 1-60。

謝兆申、王明果。1995。主要土壤分布與特性。行政院農業委員會台灣農家要覽增修訂再版策劃委員會，增訂修訂再版台灣農業統計要覽農業篇(一)。豐年社。台北。p. 305。

Aronoff, S. 1989. *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. WDL Publications. Ottawa, Canada.