

行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列 96-23

行政院農業委員會林務局保育研究計畫系列 96-04-8-04

九九峰自然保留區
地質地形調查及監測 (1/3)

委託機關：行政院農業委員會林務局南投林區管理處

執行機關：臺灣大學地理環境資源學系

中華民國 96 年 12 月

摘要

九九峰自然保留區以其陡峻的礫岩地形著名。本研究主要針對火炎山的特殊地景，加以調查、監測。主要的目的是希望透過地景的調查、監測，整理過去的地形變遷的過程，瞭解地形特色。同時也希望能瞭解侵蝕與地形變遷的機制，提供經營管理參考。

本年度主要的工作是以保留區的地質、地形資料的收集與建置為主，並設立一個氣象站，蒐集長期的氣候資料。同時也將歷年的航空照片的蒐集、整理。研究的進行，除了室內的資料蒐集外，野外考察加上儀器的設置，

初步研究成果顯示(1)九九峰受到颱風豪雨以及地震的影響非常大。(2)許多河床有埋積現象。顯示溪溝搬運礫石的能量不足。同時，九二一地震後的植生，也慢慢回復。(3) 自然保留區的歷年航照資料庫已經建立。(4) 歷年氣候資料也已經蒐集，但是對於自然保留區的侵蝕機制，仍有待更多的資料，才能做更好的分析。本研究目前只完成階段性任務，仍有待後續長期觀測及分析。

Abstract

Mt. Chiu-chiu Nature Reserve is famous for its rugged conglomerate rock landforms. This research project mainly focuses on surveying and monitoring the geological and geomorphological characters. It is hoped to understand the mechanisms of the erosional processes and landscape evolution for future management.

The main work of this research project for first year is (1) to collect and establish geological and landform data bank; (2) to set up a meteorological station for rainfall data; (3) to set up archive aerial photo data bank of the research area.

The preliminary results show that:

- (1) The landscape is vulnerable to the heavy rainfalls and typhoons because of loose cementation of the conglomerate rock. Chi-Chi earthquake of 1999 had also great impact on this area.
- (2) There are many channels with high volume of sediments. Such buried channels indicated that high erosion rate on slope and low transportation ability on gully in this conglomerate rock area.
- (3) An archive aerial photo data bank has been set up. It can be used for establishing digital terrain model.
- (4) According to the climatic data, there are many high precipitation events in the last 20 years. The mechanism to trigger the erosional processes on conglomerate rock slope is still unknown. It will need more data to do better analysis in the future.

目錄

一、	前言.....	6
二、	研究目的.....	7
三、	研究區簡介.....	8
	(一) 行政區界.....	8
	(二) 地形.....	11
	(三) 地質.....	13
	(四) 氣候.....	18
	(五) 植被.....	20
	(六) 地震及颱風的影響.....	21
四、	研究方法.....	25
	(一) 即時氣象監測.....	25
	(二) 數值地形模型的建立.....	29
五、	研究成果.....	33
	(三) 自計式氣象站的架設.....	33
	(四) 氣候資料收集.....	35
	(五) 影像及航照資料蒐集.....	40
	(六) 控制點資料蒐集與調查.....	44
	(七) 野外資料蒐集.....	47
六、	結論.....	50
七、	建議.....	51
八、	參考資料.....	52
九、	致謝.....	54
附錄二	DTM 製作流程.....	63
附錄三	專有名詞說明.....	70
附錄四	期中報告審查建議回覆.....	71
附錄五	期末報告審查意見.....	74

圖目錄

圖 1	九九峰自然保留區行政區域圖	8
圖 2	九九峰自然保留區林班地及水系分佈圖	9
圖 3	九九峰自然保留區林班地及道路分佈圖	10
圖 4	九九峰自然保留區高程地形圖	12
圖 5	九九峰自然保留區坡度百分比分布圖	13
圖 6	九九峰自然保留區及鄰近地區地質圖	14
圖 7	九九峰地層由礫石堆積而成，顆粒大小不均。	16
圖 8	鄰近九九峰自然保留區的氣象站分佈圖	18
圖 9	1969-2006 年水利署草屯雨量站年雨量圖	19
圖 10	921 地震前後九九峰自然保留區 SPOT 影像比較圖	22
圖 11	GSM 無線數據機外觀	26
圖 12	自計式氣象觀測站系統架構圖	27
圖 13	通訊軟體 PC-208	28
圖 14	九九峰自然保留區正射影像	30
圖 15	內政部土地測量局控制點分佈圖	31
圖 16	氣象測站位置示意圖	33
圖 17	九九峰氣象監測站照片	34
圖 18	九九峰自計式測站 6 月份氣候資料	35
圖 19	九九峰自計式測站 7 月份氣候資料	36
圖 20	九九峰自計式測站 8 月份氣候資料	36
圖 21	九九峰自計式測站 9 月份溫度及溼度資料	37
圖 22	九九峰氣象局日月潭測站 9 月份雨量資料	37
圖 23	九九峰自計式測站 10 月份溫度及溼度資料	38
圖 24	九九峰氣象局日月潭測站 10 月份雨量資料	38
圖 25	九九峰自計式測站 11 月份氣候資料	39
圖 26	經建第二版地形圖（1991 年）	42
圖 27	經建第三版地形圖(2000 年)	43
圖 28	內政部土地測量局土城（MX22）控制點	44
圖 29	內政部土地測量局雙龍國小（MX20）控制點	45
圖 30	內政部土地測量局福城（MX78）控制點	45
圖 31	內政部土地測量局崁腳（MX21）控制點	46
圖 32	林務局 G220 林地控制點	46
圖 33	往產業二號橋前方即進入九九峰自然保留區範圍	47
圖 34	寬廣的河谷，為礫石所堆積而形成	48
圖 35	由於地勢陡峭，植物不易生長	48
圖 36	從遠處觀察九九峰的山頭，可看到一座座陡峭的山峰	49

圖 36	1976 年航空照片	55
圖 37	1987 年航空照片	56
圖 38	1991 年航空照片	57
圖 39	1998 年航空照片	58
圖 40	1999 年航空照片	59
圖 41	2002 年航空照片	60
圖 42	2005 年航空照片	61
圖 43	2007 年航空照片	62
圖 44	DTM 製作流程	63
圖 45	影像轉檔過程	64
圖 46	航線與照片設定	65
圖 47	鏡頭校正參數設定	65
圖 48	內方位建立	66
圖 49	圖面控制點標定	67
圖 50	視差值修正	68

表目錄

表 1	草屯測站日雨量超過 200 公釐之降雨事件表	24
表 2	內政部土地測量局控制點點位資料表 (TW97 座標系統)	32
表 3	本研究蒐集的農林航空測量所航照影像	41

一、前言

九九峰自然保留區位於烏溪北岸，行政區分屬南投縣草屯鎮、國姓鄉及台中縣霧峰鄉、太平市境內。從台十四線公路雙冬路段上可清楚看見許多並列的山峰，據說總共有九十九個山峰，因而得名。從遠處眺望，這些分布密集而不規則的小山峰，很像跳躍的火焰，因此又稱為火炎山。

九九峰之地質屬更新世頭嵙山層上部的火炎山礫石層，厚度約1,000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，是台灣地區除三義火炎山、六龜十八羅漢山之外，著名的三大礫岩地形之一，深具觀賞、科學研究及環境教育解說之價值。

1999年9月21日凌晨所發生芮氏規模7.3之強烈地震，造成位於震央附近之南投縣及台中縣市重大災害，其中位於烏溪北岸之九九峰因地層屬頭嵙山層，岩性多礫石且坡度陡峭，產生嚴重崩塌，造成山頭呈現一片光禿景象。

基於自然生態保育、教育、環境解說與科學研究，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」，全區域的面積為1,198.4466公頃，屬於行政院農業委員會林務局所管轄，其保育的對象屬於地震崩塌斷崖之特殊地景。九二一地震造成中部山區多處崩塌，大量土石崩落在山區河谷，於2001年7月底桃芝颱風侵襲，挾帶豐沛雨量引發土石流，2004年7月初又受敏督利颱風暨強盛西南氣流帶來強風豪雨之影響，亦造成本區嚴重災情。

二、 研究目的

九九峰自然保留區的特殊地景，由於易受到地震及颱風影響而發生改變，因此本研究希望透過地景的調查及相關研究資料的彙整，能對當地地質地形特徵有更深入的瞭解；同時在當地架設自計式氣候站，瞭解當地氣候變遷對地形的影響。並運用航空攝影測量技術，分析過去地形變遷的情況，監測地形的變化。

本年度重要工作項目如下：

- (一) 進行九九峰自然保留區地質地形資料的收集與建置。
- (二) 利用航空照片，收集數值地形資料，以觀察地形變遷的情形。
- (三) 選定一區域進行自計式氣象站的儀器架設及氣候資料收集。

監測九九峰動態變化的地形，不僅可以瞭解九九峰地形變化作用機制與其規模，更重要的是可以讓管理單位瞭解九九峰的變化，並且就其未來可能的地形發育，預先進行相關的規劃。本研究預期成果如下：

1. 瞭解當地自然地形景觀資源，進而加以保育。
2. 提昇相關單位及當地居民對九九峰自然保留區保育觀念。
3. 架設氣象站，進行長期監測，瞭解當地氣候的變化，可作為災害應變的參考。
4. 建立九九峰自然保留區數值地形資料，監測當地地形的變化，提供管理處災害應變及經營管理的參考。

三、 研究區簡介

(一)行政區界

九九峰位於烏溪北岸，其主要範圍在埔里事業區第 8-13、15-20 林班大部分範圍內，行政區分屬南投縣草屯鎮、國姓鄉及台中縣霧峰鄉、太平市所管轄(圖 1)，因為景觀獨特、山勢壯觀，大小山峰林立，不論台中市、中投公路或台十四線公路雙冬路段上均可清晰看見許多並列的山峰，即是九九峰所在的位置。主要包含了乾溪、田尾坑溪、油車坑溪、土南坑溪和仙洞指坑溪等 5 條野溪(圖 2)。

本區位於低海拔，人口稠密、交通便利之處，周邊農路縱橫，由台十四線公路雙冬路段石灼巷進入，約 200 公尺即達本保留區(圖 3)。區域內侵蝕溝發達，邊坡多陡峭，面積 1198.4466 公頃。

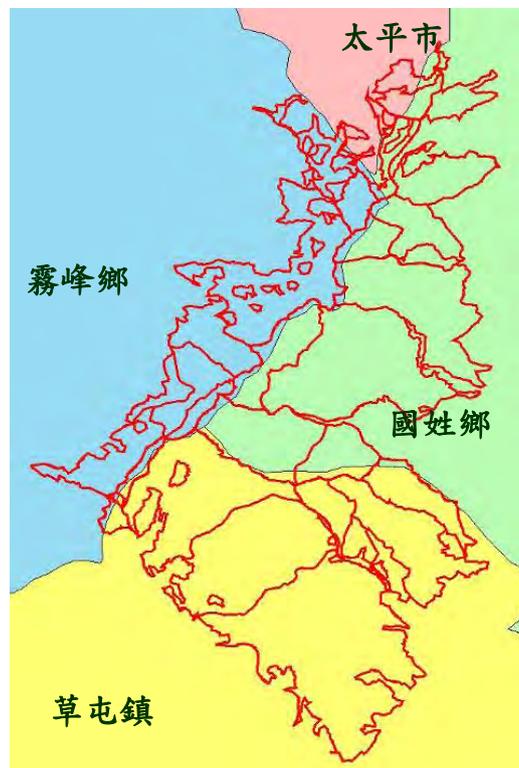


圖 1 九九峰自然保留區行政區域圖

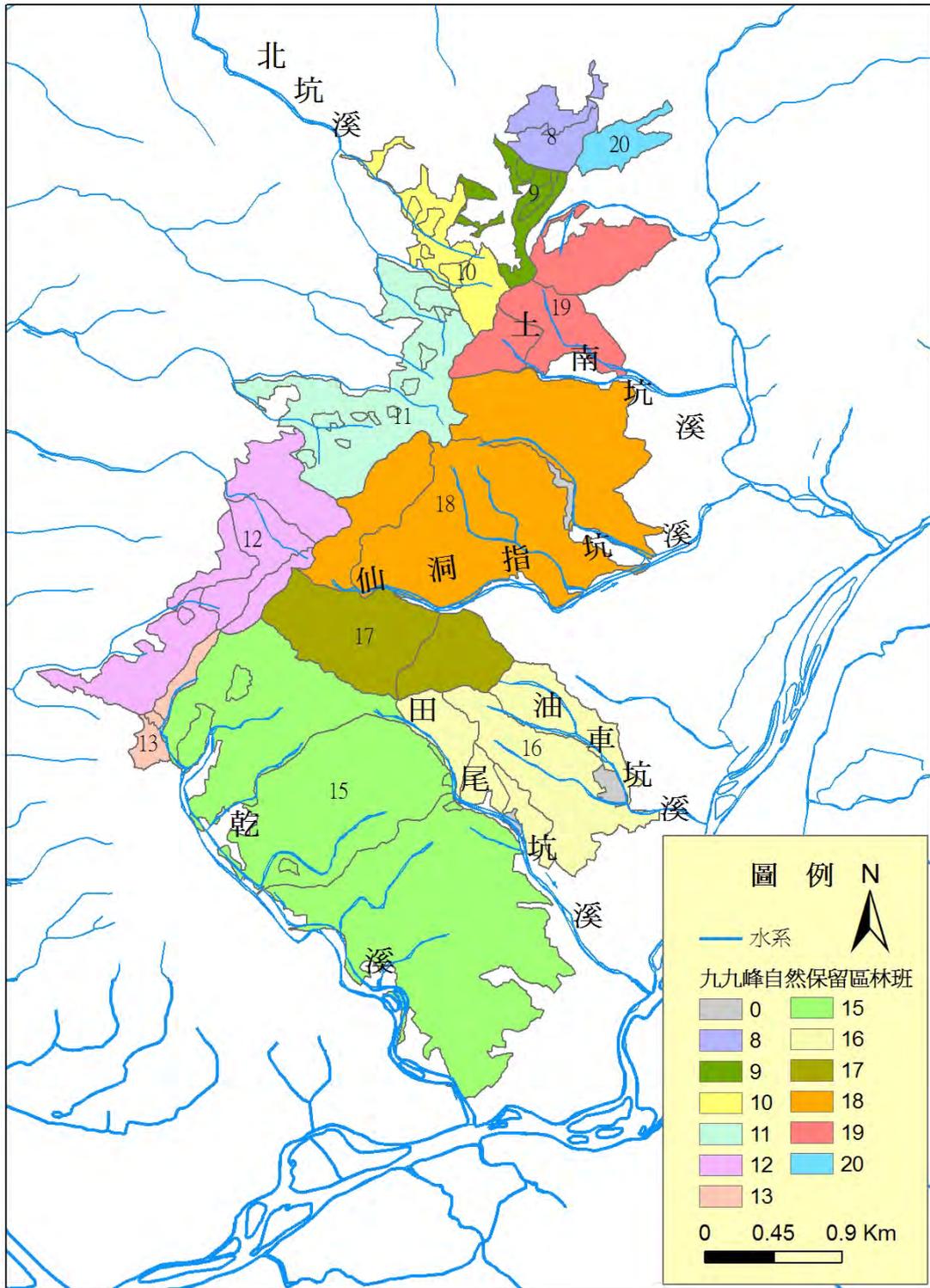
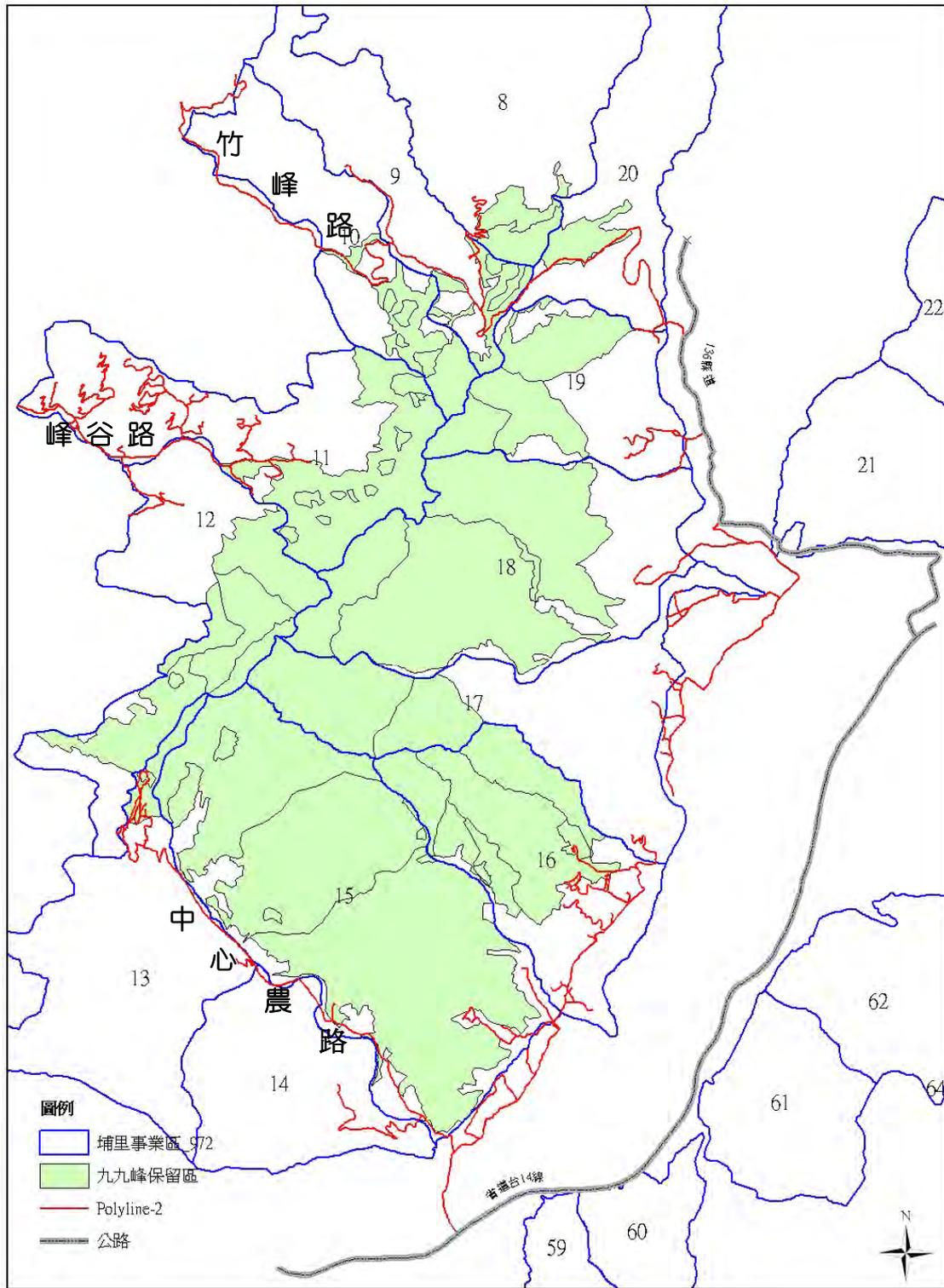


圖 2 九九峰自然保留區林班地及水系分佈圖



九九峰自然保留區道路系統圖

比例尺: 1:24,000

圖 3 九九峰自然保留區林班地及道路分佈圖

(資料來源：臺中工作站提供)

(二)地形

九九峰自然保留區地勢北高南低，乾溪和田尾坑溪分別自西北向東南匯入烏溪，兩個流域的面積分別為4.35平方公里和1.25 平方公里。

九九峰每個山巒的坡度都相當陡峭，再加上整個區域侵蝕溝密布，剖面大都呈現明顯的“V”字型形貌，溝谷間的寬度變化相當大，最寬可達 20 公尺，形成一類似惡地之地形。現地有乾溪、油車坑溪、土南坑溪、田尾坑溪以及仙洞指坑溪等 5 條溪谷發育並貫穿其中。溪谷平常沒有水流，只有在大雨過後才有發現水流跡象，區域南方的乾溪以及北方的仙洞指坑溪，河谷寬度可高達 200 公尺以上。

九九峰埔里事業區第8-13、15-20林班地海拔約200-780 公尺（圖4），其中位於300公尺至500公尺之間，面積接近占61.57%，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石質土，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（陳添水，2005）。由圖5可以瞭解，自然保留區內之坡度變化極大，尤其在西側之邊坡坡度更陡，就先天地形條件來看，很容易造成崩塌等地表塊體運動。

本區主要溪流乃呈現放射狀注入烏溪，但個別流域又顯現樹枝狀的水系，主流與支流均切出深峻的峽谷，或稱為「礫石惡地」。楊志成（1997）將流域依地形特性分為兩群：一、田尾坑溪、油車坑溪、支流 1、與土南坑溪，集水區面積在 1.5km² 以下，主流長度在 1~3km，平均坡降為 129~142%，屬於該區面積小而溪短流急的溪流；二、乾坑溪、仙洞指坑溪的盆地集水面積在 3~5km²，主流長度為 4~6km，平均坡降為 71~76%，屬於該區面積較大、主流長而緩的流域。

另外，對於本研究區地形與地表營力間的關係，呂岡侃（2002）曾討論土石流發生之地形特徵。他發現該區土石流可分為邊坡型山谷型兩種，並且發現邊坡型土石流會發生在內聚凸坡，崩塌時形成碗狀，具有4-6公尺寬的隘口，且當集水區面積達1,000 平方公尺時、單位崩塌面積為2-6 平方公尺時，發生邊坡型

土石流的可能性較高；而山谷型土石流則在崩塌面積佔集水區面積20%以上，且集水區面積在15,000平方公尺以上時，才可能發生。

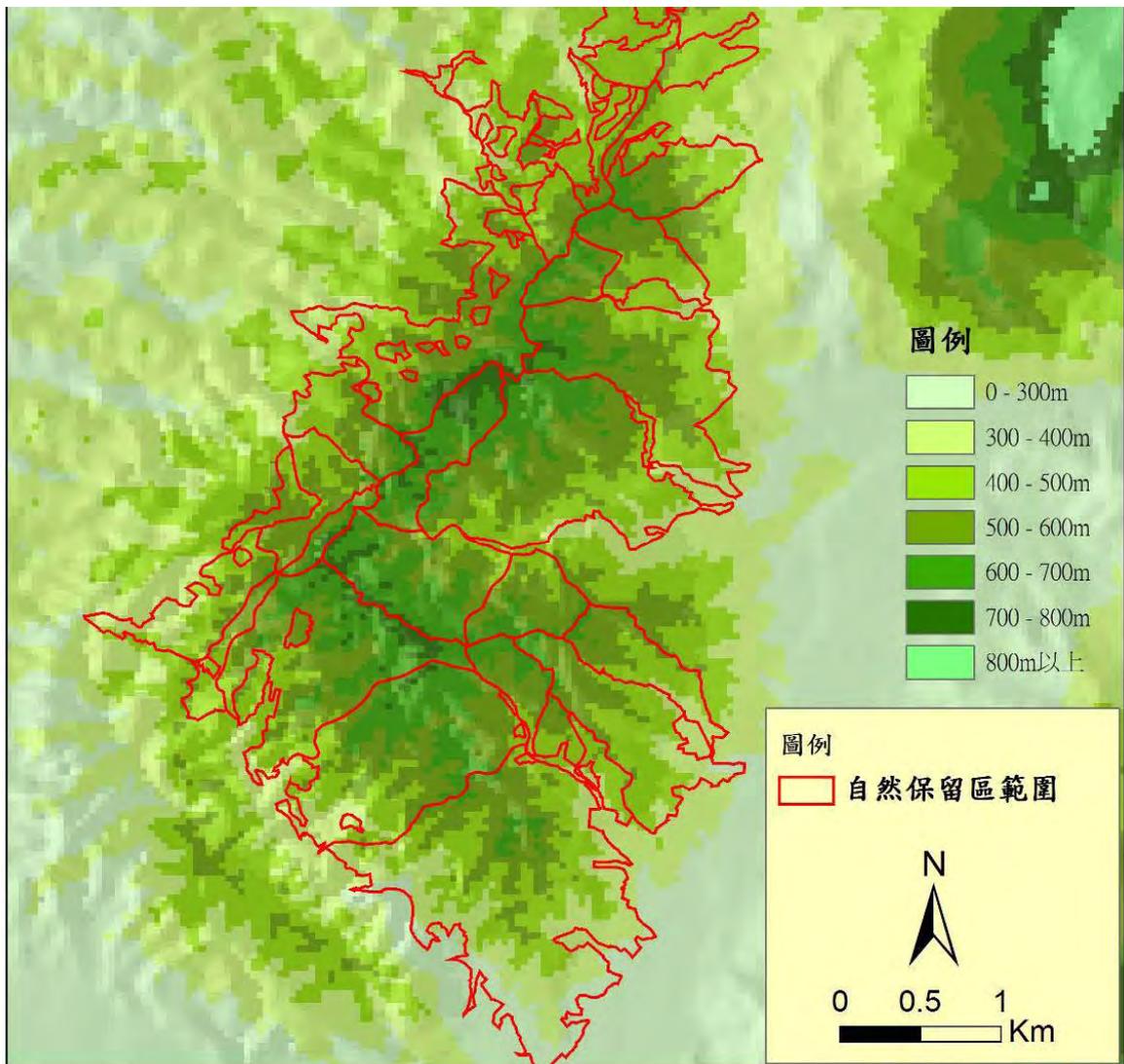


圖 4 九九峰自然保留區高程地形圖

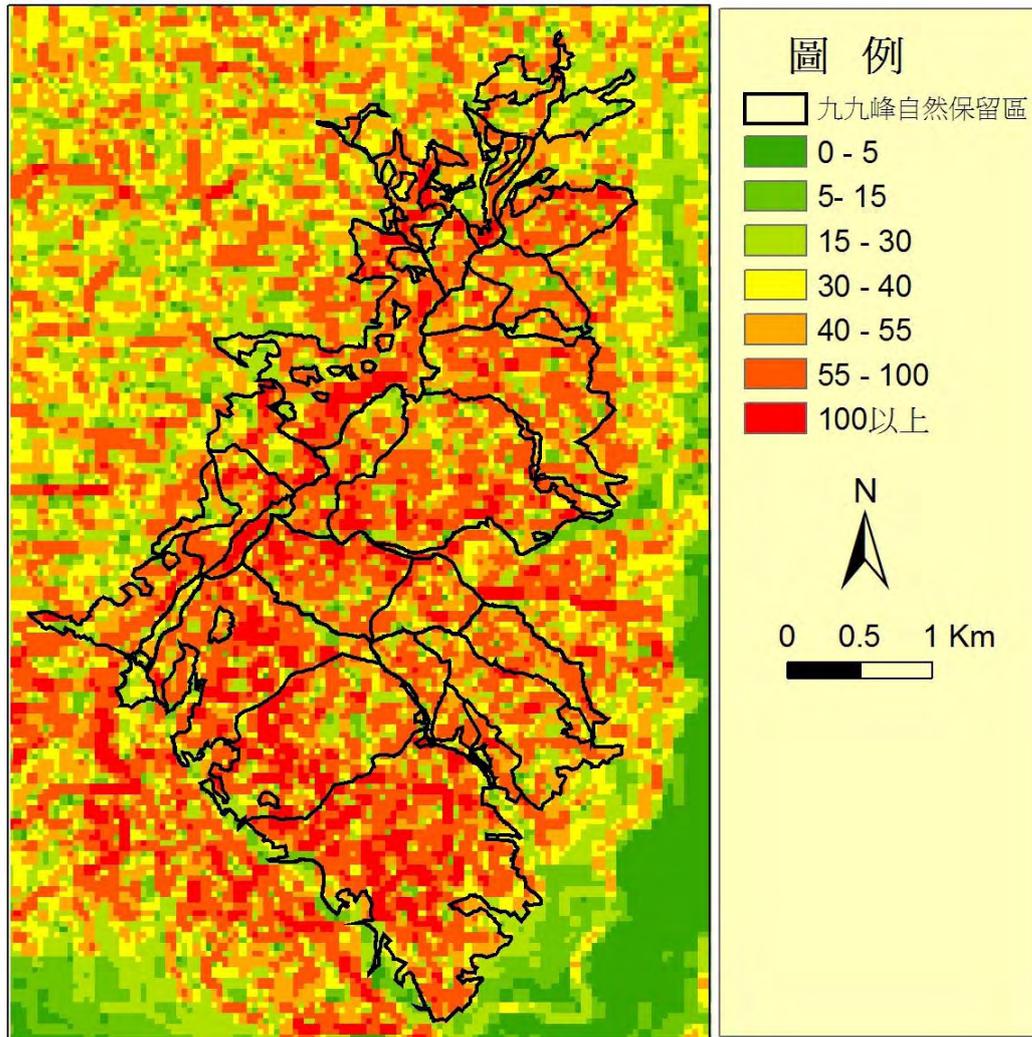


圖 5 九九峰自然保留區坡度百分比分布圖

(三)地質

本區以頭嵙山層上部的九九峰礫石層為主要的地質組成，該層厚約達 1,000 公尺，乃以塊狀礫岩為主，其間夾有薄層砂岩，礫石的形狀為圓形至次圓形，直徑大小在數公分到 1 公尺間。膠結物質大多為細砂，間或含有鈣質或鐵質的膠結(何春蓀，1997)。

本區岩層地形由於風化、侵蝕作用不斷，地形切割得支離破碎，受到雨水的沖蝕，切割面往往又極為平整，因之在外形上形成尖銳山峰的組合及深谷裡滿佈卵石的景象。在山谷內堆滿了卵石，平時無水。

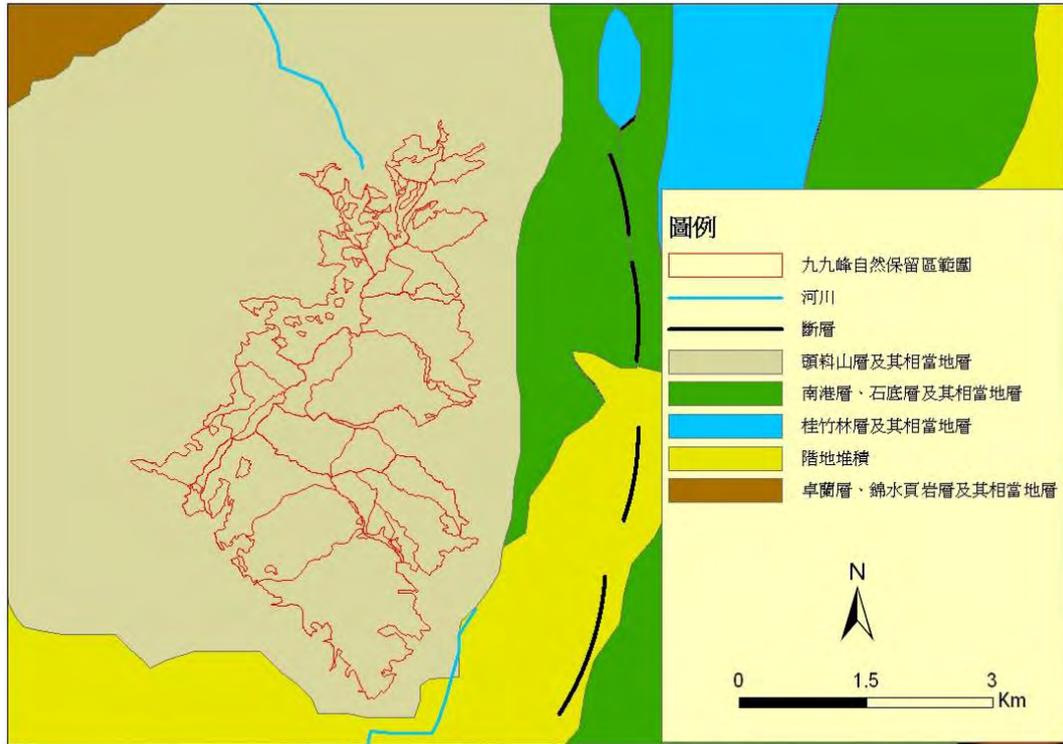


圖 6 九九峰自然保留區及鄰近地區地質圖

由於本區域內頭嵙山層的上部被雙冬斷層所截切，使得各剖面頭嵙山層出露不完整且厚度變化甚大。頭嵙山層中的岩性，主要為厚層砂岩及礫岩兩種岩相。根據楊志成（1997）野外調查結果，頭嵙山層主要有兩個呈透鏡狀厚層礫岩體，分別存在於頭嵙山地區及雙冬地區，且此兩個透鏡狀厚層礫岩體明顯與砂岩互呈犬牙交錯的關係。因此，依據張麗旭（1955）的分層，將頭嵙山層分為香山相及火炎山相，分別代表砂岩相及礫岩相的岩性。

1. 頭嵙山層香山相

頭嵙山層香山相的岩性以厚層粗粒砂岩為主，常形成厚約數十公尺的複合型砂頁岩層，砂岩中經常夾有礫石，且其中夾有薄層粒岩層。此外於軍功寮溪沒有礫岩層出露，全段頭嵙山層以香山相為主。其原因是位於烏溪南岸的火炎山相厚層礫岩層向南尖滅，形成厚層砂岩與砂頁岩互層相。另一介於兩厚層礫岩體之間（頭汙坑溪及草湖溪）的香山相砂岩，岩性以砂頁岩互層為主，厚約 200 公尺。

根據楊志成（1997）的研究發現，本層沉積構造長為大型平板（弧）狀交錯層理及槽狀交錯層理，由交錯層理所量測的古水流方向主要為向南與向北的方向。砂岩底部常有薄層礫岩形成不平整的侵蝕面，可發現植物碎屑或泥塊沿侵蝕面排列。此外，介於厚層砂岩中經常為數十公分至數公尺厚的砂頁互層，沉積構造為波狀紋理構造、透鏡狀構造、壓扁狀紋理構造及規律潮汐構造等。整體的岩相組合來看，主要為受沿岸流作用的沿岸砂洲及部分受潮汐作用的潮坪環境。此類型的香山相砂岩主要分部於北坑溪至烏溪之間，且整合於卓蘭層之上。

其他地區香山相的岩性以砂頁岩互層為主，間夾部分厚層粗粒砂岩。砂頁互層的沉積構造為波狀紋理、透鏡狀紋理、壓扁狀紋理及規律潮汐岩相等沉積構造，主要為受潮汐作用的潮坪環境。而厚約數十公尺的粗粒砂岩，沉積構造常為大型平板（弧）狀交錯層理及槽狀層理，可能為潮道或沿岸砂洲等沉積環境。整體而言，頭嵙山層香山相是屬於受沿岸流及潮汐作用的三角洲前緣（delta front）環境。

2. 頭嵙山層火炎山相

頭嵙山層火炎山相，岩性以厚層礫岩為主。兩厚層礫岩體的底部經常呈現砂岩與礫岩互層的過渡岩相，厚約 50-80 公尺。沉積構造經常為顆粒支持結構，略具平行層理，扁平狀礫石常具有疊瓦狀構造，且古水流多為由東向西。厚層礫岩中偶有具交錯層理的透鏡狀砂岩，或少部份具有基質支持沉積構造的礫岩。在厚層礫岩底部與香山相交界處常為沙礫互層，礫岩具有顆粒支持結構，粗粒砂岩則常具大型交錯層理，且常被礫岩層所截切，側向不連續。整體而言，火炎山相的岩相組合為一礫質瓣狀河環境，且有由下部瓣狀河平原漸變為上部瓣狀河平原的趨勢，為三角洲（delta plain）的環境。



圖 7 九九峰地層由礫石堆積而成，顆粒大小不均。

火炎山相分佈主要有兩個透鏡狀礫岩體，分別位於頭崙山地區及雙冬地區。以頭崙山為中心的厚層礫岩，往南可延伸至草湖溪，再往南則尖滅，岩性轉為厚層砂岩的香山相。位於雙冬地區的厚層礫岩，以烏溪剖面的厚層礫岩為中心，往南尖滅轉變為香山相，往北可延伸至頭汙坑溪，之後受雙冬斷層截切而不復見。由厚層礫岩分部的產狀來看，北側頭崙山地區先發育形成礫質瓣狀河三角洲體系，之後雙冬地區的礫質瓣狀河三角洲體系才發育。此兩厚層礫岩體應分別屬於不同流域的古瓣狀河沖積平原。

根據楊志成（1997）研究指出頭崙山層的沉積環境為受沿岸流及潮汐作用的三角洲前緣環境（delta front）及三角洲平原的礫質瓣狀河環境（delta plain），相對於卓蘭層的沉積環境而言，有變淺的趨勢。根據草湖溪的磁地層資料，頭崙山層的沉積年代約年輕於 1Ma，老於 0.73Ma，約為更新世中期。此外，在 0.98-0.91Ma 期間，沉積速率高達約每百萬元 9500 公尺，顯示於此時期本區域可能已經進入前陸盆地快速沉降的沉積中心。因緊鄰造山帶的前緣，大量造山帶碎屑物迅速將盆地淺化至陸相環境。且率先於區域北側沉積古大甲河流域的礫質

瓣狀河體系，爾後有一海進時期，之後才沉積古烏河流域的礫質瓣狀河體系。

本區溪流下游被南北向的雙冬斷層截切，上盤(斷層東側)為中新世南莊層。不過基本上，九九峰仍可視為由均質礫岩組成，並據此形成著名的鋸齒狀山脊與峻峭懸崖，礫岩厚度在數百至 1000 公尺之間，夾有砂岩或粉砂岩的薄凸鏡體，厚度不超過 1 公尺。西界則漸變為頭崙山層香山相，砂頁互層構成在地形上顯著的山脈走向，也就是赤蘭湖山區的位置。由於九九峰地區在岩性上可視為均質，因此可不考慮岩性對河流地形演育造成的差異。

在地質材料特性上，張憲卿發現該區礫石以砂岩組成為主，其中亦含有少許的板岩與玄武岩類(張憲卿，1994)。在九二一地震後，九九峰的禿頂再次吸引研究者的注意，張等研究發現，在地震波傳達該區的同時，由於礫石受到水平加速度的作用力大於基質膠結的機械強度，使其沿著原先邊坡的自由端向外崩下，再加上部分地區坡腳遭受侵蝕，而造成大規模崩落(張憲卿等，2001)。另外，王瑞斌對九九峰的卵礫石材料特質、排列與形狀對坡度之關係做一調查，發現當坡體礫石排列傾向與坡面傾向一致時，亦即傾向夾角越小時，坡度有越小的趨勢。而當礫狀礫石、板狀礫石、柱狀礫石含量增多時，坡度有增加之趨勢，但相關性並不明顯(王瑞斌，2001)。

(四)氣候

在本區以南多為平原區，北邊則為苗栗丘陵區，西南季風向北吹襲至本區時，受地形影響突然被舉昇，導致本區多霧且溼度大。氣溫上最高平均溫為 7 月的 34.5℃，最低平均溫為 2 月的 12.1℃。相對溼度約為 86%。平均降水量約為 1800 公釐。

降雨量主要集中在 6 到 8 月之間，以颱風豪雨和午後雷雨為主，單場雨量可達 200 公釐以上，其餘各月平均雨量約僅 40 公釐。乾季時，溪谷遍佈著礫石，雨季則潛伏土石流動的危機(呂岡侃等，2004)。

由於現有的氣象站距九九峰自然保留區皆有一段距離(圖 8)，因此本研究以經濟部水利署草屯測站之日降雨量資料來表示當地的降雨特性。日後在本計畫完成自計式氣象站之後，能更準確反應當地的氣候狀況。根據水利署草屯雨量站 1969-2006 年年雨量統計圖(圖 9)，可以發現年雨量平均約為 1600 公釐，其中以 1981 年年雨量最大，達 2400 公釐。

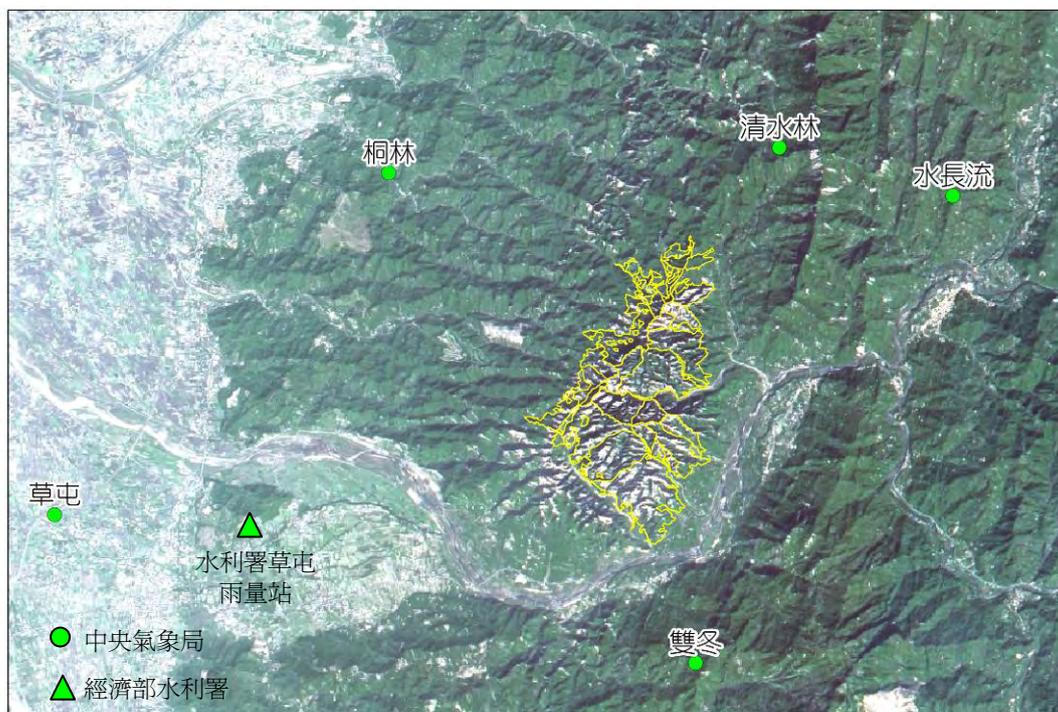


圖 8 鄰近九九峰自然保留區的氣象站分佈圖

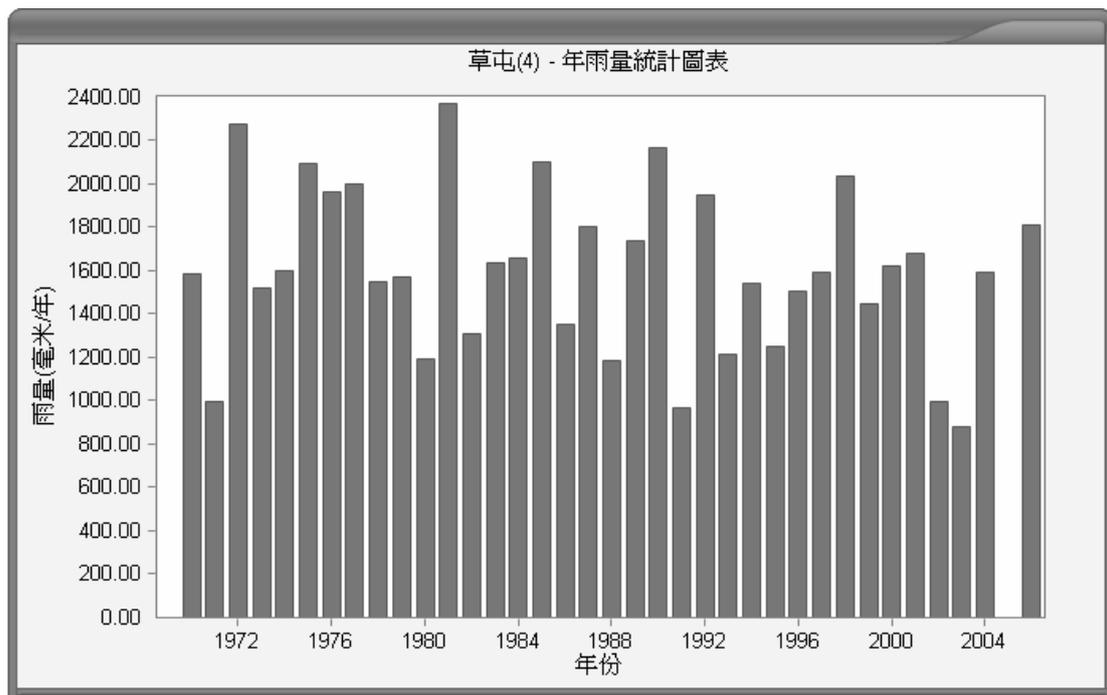


圖 9 1969-2006 年水利署草屯雨量站年雨量圖

(1969、2005 年資料有缺不予統計，資料來源：經濟部水利署)

(五) 植被

地震前的九九峰，原本青翠蓊鬱，除部分沖蝕較嚴重地區有礫石層裸露之外，地表多呈現穩定狀態，但因地形陡峭乾燥，植物社會組成簡單，以臺灣蘆竹為主，只有在部分坡度較緩、稜線或坡腳處，才有木本植物出現，其組成以低海拔榕楠林帶及楠櫨林帶植群及先驅植物為主，如山黃麻、山鹽青、血桐、白臼、牛乳榕、臺灣欒、青剛櫟及楠木類等，並混生臺灣五葉松及臺灣二葉松。

九二一大地震時，由於劇烈搖晃和重力加速度之作用，使得九九峰山頂表層礫石紛紛震落，部分礫石被原生植被攔下，部分則堆積於山腹至坡腳處。崩落的礫石量雖並不算太多，但加上翻落的植株，與遭塵土覆蓋的臺灣蘆竹，呈現出黃土裸露、光禿禿的景象。原有的木本植物，除峭壁邊緣的植株隨礫石崩落外，大多尚稱完整，

植被的組成其樹冠層常以血桐、刺竹、光臘樹、山黃麻、白匏子、龍眼、荔枝等植種為主，台灣鐵莧、蟲屎、相思樹、糙葉榕、無患子也頗為常見。下層木則以山柑、龍船花、九節木等為主。猿尾藤、老荊藤、菊花木、葛藤、血藤、七日暈等則為常見的爬藤。地震後大量快速生長的木本植物以山黃麻、白匏子、血桐、山鹽青等陽性樹種為主，而小花蔓澤蘭、毛西蕃蓮、台灣蘆竹、臭茉莉、大黍、五節芒、杜虹花等則攀爬於地表或叢生於地面。

目前九九峰山頂上不斷有土石鬆落的山腰，以及崩塌嚴重的山下，種上烏心石、光臘樹與欒木，除了這 3 種造林樹種之外，其他自然長出的樹種，有山黃麻與血桐等先驅樹種。

(六)地震及颱風的影響

由 SPOT 衛星影像來看(圖 10)，可以瞭解九九峰自然保留區之植被分布情形，在地震後可以觀察到在九九峰自然保留區內產生白色塊狀崩場地分布，有許多地區因崩塌而導致地表裸露，因為，保留區自從九二一大地震之後，導致許多邊坡產生崩塌，使得原本植被覆蓋良好的九九峰自然保留區，產生許多裸露地。

陳添水研究本區崩場地與土地利用的關係(陳添水，2005a)，本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本區崩塌面積為 1,025.68 公頃，占總面積之 33.63%，尤以埔里事業區第 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 400 公尺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 400 公尺，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 公頃，約占保留區面積之 60.86%，而占埔里事業區第 8-13 及 15-20 林班總崩塌面積之 71.11%，為九二一地震主要崩塌區域。

陳添水以 NDVI 分析植生指數變遷(陳添水，2005b)，顯示九二一地震前除溪床植被易遭豪雨洪水沖刷裸露外，幾乎為植物所覆蓋，NDVI 之平均值高達 0.61，而地震後多數山頭崩落之土石大量堆積於局部溪谷坡腳，部分溪床植被猶存，NDVI 平均值劇降為 0.37；九二一地震後至桃芝颱風前為回復期，此近二年期間氣候較為穩定，植被逐漸回復覆蓋，2001 年 NDVI 平均值已提高至 0.54；桃芝颱風後至敏督利颱風後期間為變動期，此三年期間歷經桃芝與敏督利颱風挾帶豪雨之沖刷，植生指數呈現(0.45-0.53-0.45)變動。綜觀地震後近五年本區植被已逐漸回復覆蓋，惟溪谷區域之植被易遭洪水沖刷。而因為地震主要崩塌裸露區，植被雖有回復，仍尚未很穩定，植生指數易受颱風豪雨之影響而變動。

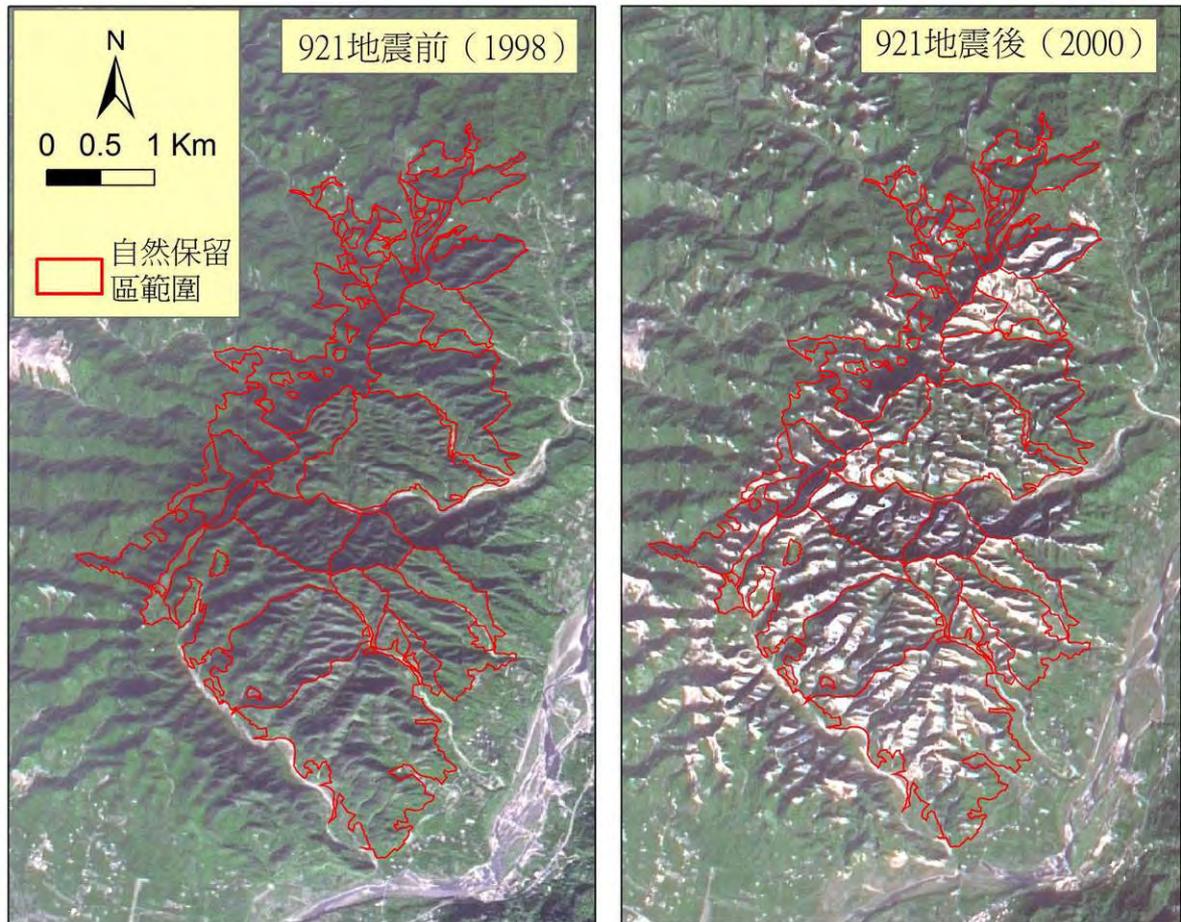


圖 10 921 地震前後九九峰自然保留區 SPOT 影像比較圖

相關研究如林等(2001)曾以本區在 921 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，作為崩塌地監測與治理評估之用。黃(2002)曾以九二一地震與桃芝颱風前後 4 期 SPOT 衛星影像評估九九峰自然保留區崩塌地植生恢復之狀態，發現歷經二年多植生稍有恢復，並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。林等(2004)曾以衛星影像資料監測九九峰地區九二一震災前後之崩塌地變遷及植生復育情形，結果顯示地震後二年(桃芝颱風前)植生已恢復 50%以上。

劉平妹以九九峰鄰近的中央氣象局國姓、土城及雙冬測站雨量資料（劉平妹、林玉儂，2002），分析 1949 年至 2001 年單日最大降雨量與三日內最大降雨記錄，分別為 1996 年賀伯(HERB)颱風單日最大降雨量近 400 公釐，1976 年魯碧(RUBY)颱風三日最大降雨量近 700 公釐，從資料顯示在 2001 年桃芝颱風前，仍有多次降雨事件的降雨量超過桃芝颱風，因此認為 921 地震大大降低了災害發生的臨界值。

本研究收集 1969 年至 2006 年經濟部水利署草屯測站之日降雨量資料，並與歷年颱風、豪雨資料進行比對，本區共計有 11 次的日降雨量超過 200 公釐，其中大多數為遭受颱風影響所致，僅有兩次為豪雨事件所造成（表 1）。這幾次重大的降雨事件中，以 1990 年楊希颱風的日降雨量為最高，達 372 公釐；而近幾年來更連續 3 年有日降雨量達到 200 公釐的事件，顯示本區地形上可能有劇烈變化的產生。降雨對本區的地形有著重要的影響，因此本研究希望透過對氣候的變化的瞭解，來探討地形發育作用演變。

表 1 草屯測站日雨量超過 200 公釐之降雨事件表

颱風名稱	西元年	侵襲期間	最大日總降雨量 (公釐)
芙安 (FRAN)	1970	09/06~09/07	285
魯碧(RUBY)	1976	06/27~06/30	242
諾瑞斯(NORRIS)	1980	08/26~08/28	287
豪雨	1981	05/30	282
莫瑞(MAURY)	1981	07/18~07/20	314
楊希(YANCY)	1990	08/17~08/20	372
賀伯(HERB)	1996	07/29~08/01	211
桃芝(TORAJI)	2001	07/28~07/31	240
敏督利(MINDULLE)	2004	06/28~07/03	207
海棠(HAITANG)	2005	07/16~07/20	233
豪雨	2006	06/09	224

四、 研究方法

本研究在監測地形變化之部分，是以變化量較大的區域為目標，不同的區域有不同的主題，針對不同的主題，提出相對應的研究方法。

(一)即時氣象監測

目前所採用的自計式氣象觀測站是由 **CAMPBELL** 公司所生產的資料收集處理器 (**DATA LOGGER**) 與相關感測器 (**SENSOR**)。由感測器將氣象資料轉換成電子訊號，再由資料收集處理器負責量測、轉換訊號與記錄，最後以量化的方式呈現。本計畫預計收集的基本氣象資料包括：降雨量、風速、風向、溫度與相對溼度等五項。其中各項氣象資料每 10 秒鐘收集一次，然後計算每 15 分鐘數值產生一筆資料。降雨量的最小觀測單位為 0.2 公釐、溫度則為 0.1 度、相對溼度則為 0.1%、風速最小單位為每秒 0.1 公尺、風向為 0.1 度 (*Armstrong et. al.*, 1985)。

本計畫採用的氣象觀測站，可以分為三個主要的部分。第一是收集、轉換氣象狀況的感測器，包括：雨量計、風速風向計與溫度相對溼度計等。第二是儲存系統，包括儲存記憶體。第三是無線傳輸系統，為 **GSM** 系統。

基本氣象資料收集的項目包括：降雨量、風速、風向、氣溫、大氣相對溼度等，由資料記錄處理器處理，然後記錄在記憶體中，等待研究人員讀取。在資料傳輸系統方面，以無線傳遞之 **GSM** 系統作為主要傳輸方式。由於 **GSM** 無線傳輸系統需要較大功率的電源，本研究採用以鉛酸電池作為觀測站主要的電力來源，且另外以太陽能板產生電能持續供電，只要太陽能板發揮功效測站便可持續運作，因此可延長測站收集資料時效。

1. 風速風向計

風速風向計為 **YOUNG** 公司所生產，其中風向計是以可變電阻將風的來向轉換成電阻的阻抗數值，由資料記錄處理器讀取並且轉換成 0 至 360 度；風速

資料是由連接在螺旋槳上的脈衝訊號產生器所轉換，風速愈高則同一時間內所送出的脈衝愈多，由資料記錄處理器轉換成每秒的風速資料。

2. 溫度與溼度計

大氣溫度與相對溼度則由一組線路處理，將其轉換成高低不同的電壓大小輸出，然後由資料記錄處理器量測、轉換。

3. 雨量計

雨量計為傾斗式，雨量收集筒口徑為 6 英吋，將降雨收集到傾斗中，每 0.2 公釐降雨會啟動傾斗動作一次，並且將脈衝訊號傳送至資料記錄處理器中。資料處理器接收脈衝訊號，並且轉換成降雨量資料。

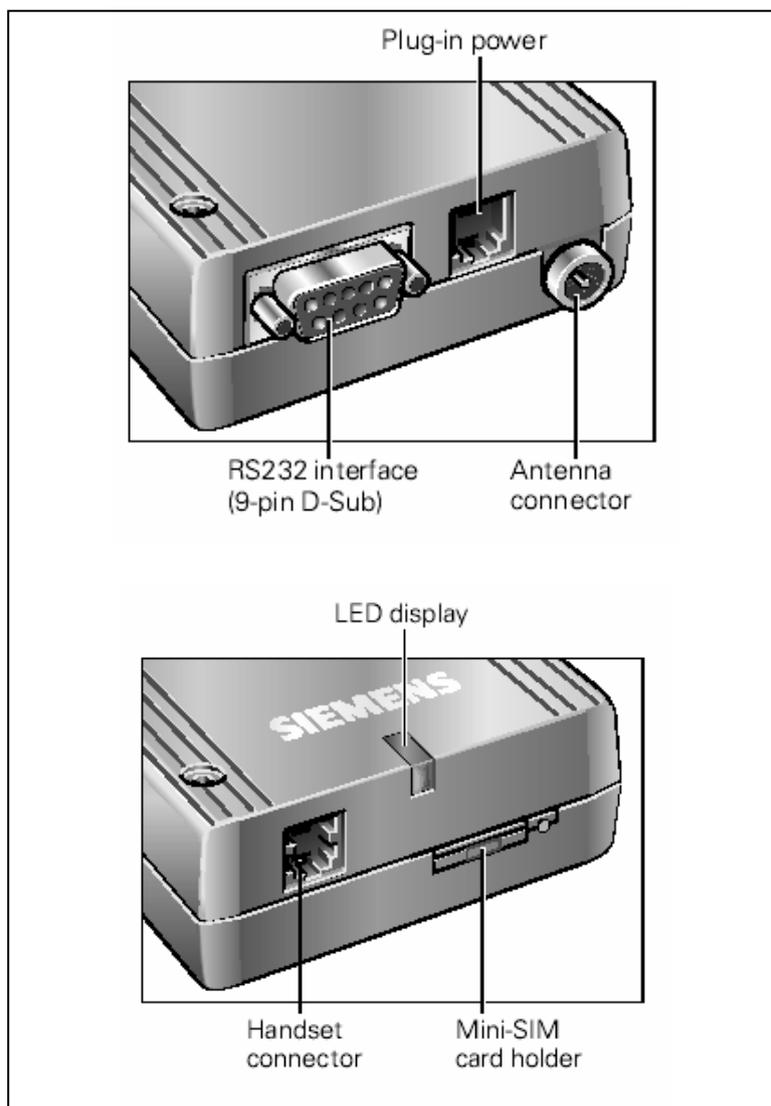


圖 11 GSM 無線數據機外觀

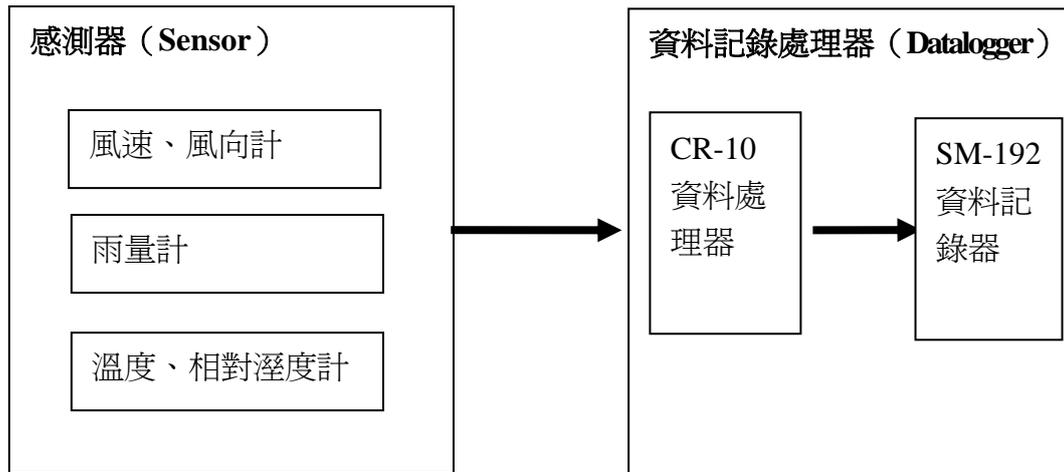


圖 12 自計式氣象觀測站系統架構圖

4. 資料處理器

本計畫所採用的資料記錄處理器是由美國 CAMPBELL 公司所出品的 CR-10 與 SM-192，主要由兩個部分所組成（圖 11），分別是量測與處理資料的 CR-10 與記錄資料的 SM-192。CR-10 主要的功能就是量測連接在其上的感測器所傳回的電子訊號，並且可以設定許多不同量測範圍、不同量測時間間距，還可以依據不同需要進行程式設定，以配合不同計畫的需求。簡而言之，CR-10 就是一個可以程式設定的複雜電表，專門量測電壓、電流與脈衝等電子訊號，轉換成數值，並且進行簡單的計算或統計。

5. 無線傳輸系統

目前裝設的無線資料傳輸系統是以德國 SIEMENS 公司所生產的 GSM 傳輸套件（無線數據機 TC35T）為主。其原理是透過 RS232 接頭，將資料記錄處理器中的資料轉換為電子訊號，運用無線數據機的原理將訊號傳出，遠端就可以獲取即時資料。在本系統的優點方面，無線傳輸代表可以遠端連線，GSM 系統代表可以運用電信系統連結，只要遠端的電腦透過電信網路，就可以監控這個測站的狀況，獲得即時的氣象資料。

除了硬體設施之外，要與資料處理器進行無線通訊必須透過相關軟體。CAMPBELL 公司發展出 PC-208W 軟體，可以進行直接與有線、無線數據連線，可以隨時隨地利用各種方式與資料處理器連線，掌握最新的動態。連線軟體與狀況請參閱圖 13。

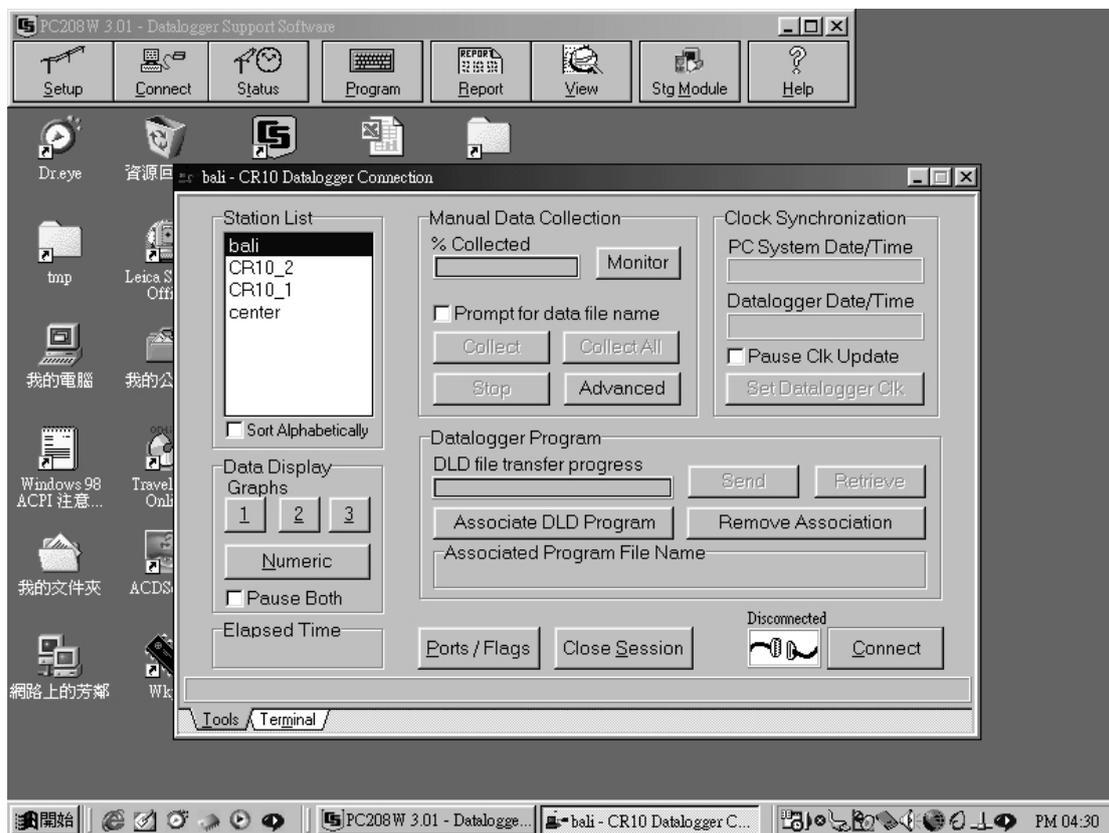


圖 13 通訊軟體 PC-208

在這些資料中，氣溫、相對溼度、風速、風向與降雨量等資料是感測儀器所收集的氣象資料，前面三項為時間資訊，最後的內部機器溫度與電池電壓是檢查儀器運作狀況的資料。若是儀器運轉有問題，很容易可以由最後兩項資料看出。

自計式氣象觀測站的儀器每十秒鐘會收集一筆資料，然後每 30 分鐘進行計算，產生一筆資料，所以最後呈現的格式為每 30 分鐘有一組資料。

以往對環境監測，只能進行事後收集資料方式來進行，即使是資料收集器可以提供即時資料，但是受限於沒有適當的連結網絡，只能在事後以人為方式擷取資料，在時效上往往已經錯失先機。研究人員藉著這套系統，可隨時進入即時監測系統，觀察測站的狀況。

(二)數值地形模型的建立

首先運用航空攝影所拍攝的地面影像，進行空中三角測量與影像正射化等作業，製作具有大地座標的正射化影像與數值地形模型。正射化影像與衛星影像相類似，可以用來辨識地形與地物，對於瞭解二維的地形變化非常有幫助。而地形的數值地形模型可以用來計算地形的變化量，以及整體地形侵蝕與堆積的情形，將原本的二維資訊轉換成為立體資訊。為了達到完全掌握九九峰地區的地形變化資料，本研究嘗試進行該區域的正射化影像與數值地形模型製作。在數值地形模型的空間解析度上，希望可以達到 5000 分之 1 相片基本圖的製圖精度，也就是平面誤差控制在 2 公尺以內，高程誤差控制在 20 公分以內的水準，空間解析度為 5 公尺的數值地形模型，希望對於整體的地形變化掌握度會提高許多。

目前的技術而言，運用航空攝影測量就可以精確地掌握整個沖積地形的數值地形模型。如果將連續兩次數值地形模型加以對照，就可以獲得地形變化的分佈情形，也就是在地形上沖蝕與堆積的位置及堆積與侵蝕的量，進而瞭解每一段時間內地形變化情形。

由於九九峰地形起伏變化較大，受制於航空照片拍攝的限制，會產生較多的陰影區，因此在選取控制點上有較大的困難。一般而言在地形起伏較大的區域所生產的數值地形模型精度較平地來得差。

在控制點資料方面，依據內政部土地測量局的資料顯示，在本研究區鄰近的控制點有 13 處，如圖 15。

本年度的進度，主要是在航空照片的蒐集、整理、控制點的確認以及未來航照時控制點的掌握，用以作為日後建立數值模型之基礎。



圖 14 九九峰自然保留區正射影像

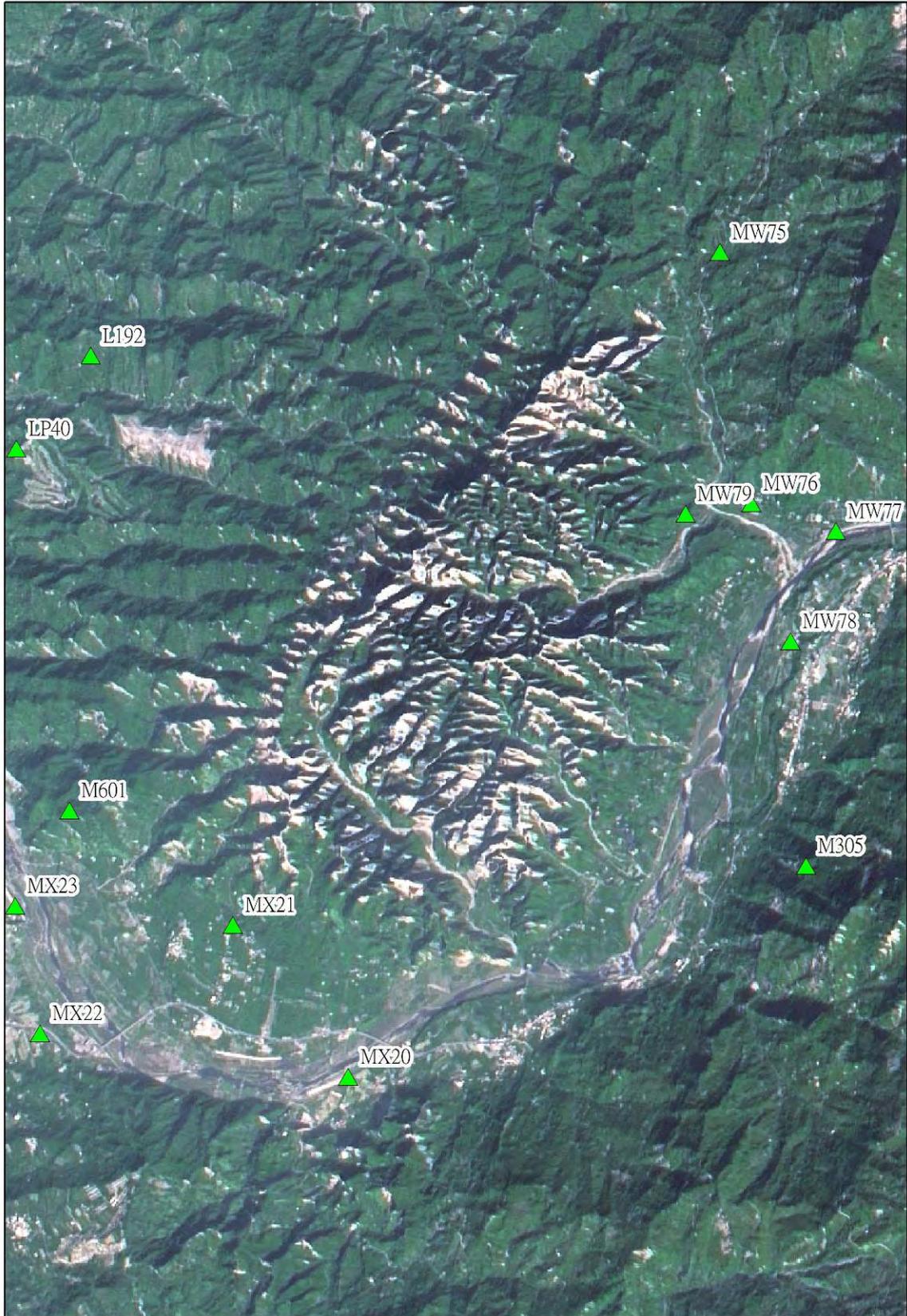


圖 15 內政部土地測量局控制點分佈圖

表 2 內政部土地測量局控制點點位資料表 (TW97 座標系統)

點名	點號	Y 座標	X 座標	高程
	LP40	2658753	224236.7	291.348
北坑橋	L192	2659624	224928.0	308.54
大崎腳	MW75	2660596	230800.1	388.707
	MW76	2658241	231091.5	267.954
乾 峰	MW77	2657981	231878.9	250.776
福 城	MW78	2656950	231456.6	242.709
火炎山	MW79	2658143	230476.5	356.53
昌 榮	MW80	2654803	234795.1	302.017
公司頂	MW81	2653818	233532.3	602.849
雙龍國小	MX20	2652864	227330.4	196.23
崁 腳	MX21	2654286	226255.1	234.84
土 城	MX22	2653273	224455.6	214.639
北勢湳一	MX23	2654465	224223.7	167.984

五、 研究成果

(三)自計式氣象站的架設

本測站設置在研究區東側約 800 公尺(圖 16)，位在稜線不受到地表植被與建築物影響之空曠地區，以避免地表物體影響氣候資料。

由於山區氣候經常受到地區性地形與海拔高度所影響，其降雨變化之空間變異性是相當大的，因此，地區性之氣候監測資料是相當重要的本研究蒐集氣候與降雨資料除了可以瞭解九九峰自然保留區之氣象狀況，並且可以利用即時監測之技術，瞭解區域氣候之狀況。

本研究所架設的自計式氣候站包括雨量計、溫溼度計及風速、風向計(圖 17)，由於架設地點在野外，為保持儀器電力能維持正常運作，因此設置太陽能板，以維持電力能持續供應。

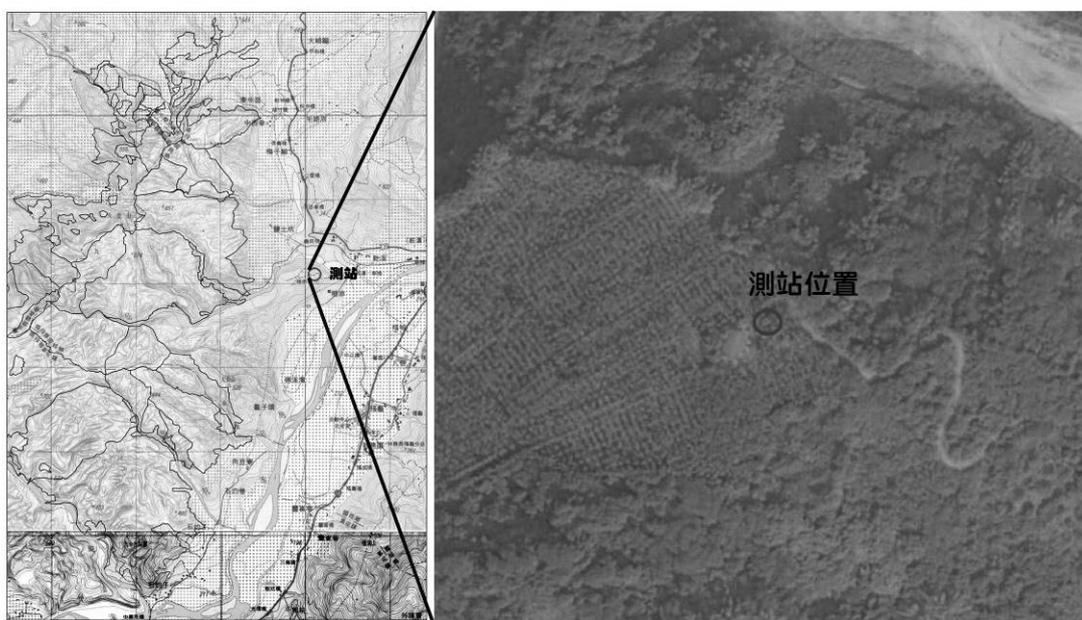


圖 16 氣象測站位置示意圖



圖 17 九九峰氣象監測站照片

(四)氣候資料收集

本研究架設之自計式氣候站自 2007 年 6 月 26 日開始正式記錄氣候資料，目前收集的資料包括降雨量、溫度、溼度、風速及風向等資料，並至少每個禮拜進行一次測試及遠端連線，檢查儀器是否正常運作，若發生無法連線狀況，則立即去現場進行檢測及維護。在 9 月中偉帕 (WIPHA) 颱風之後，自計式雨量資料出現異常，至 10 月底前資料才修復完畢，因此 9 月至 10 月的雨量資料則以中央氣象局日月潭氣象站為參考。

以下資料為九九峰自計式氣候站整理之雨量、溫度及溼度資料統計圖，資料內容為每半小時一筆資料，累積資料範圍從 2007 年 6 月底至 9 月中。從資料來看，溫度範圍大致為 25°C 至 35°C 間；降雨方面在 8 月以前降雨天數不多，自 8 月後因受到帕布 (PABUK) 颱風外圍環流影響，有較密集的降雨情形。

9 月 17 日-19 日受到外圍環流的影響，在此地區也產生密集降雨的情形 (圖 22)，10 月 4 日-7 日有強烈颱風柯羅莎 (KROSA) 颱風的影響，在此地產生較大的降雨量 (圖 22)。

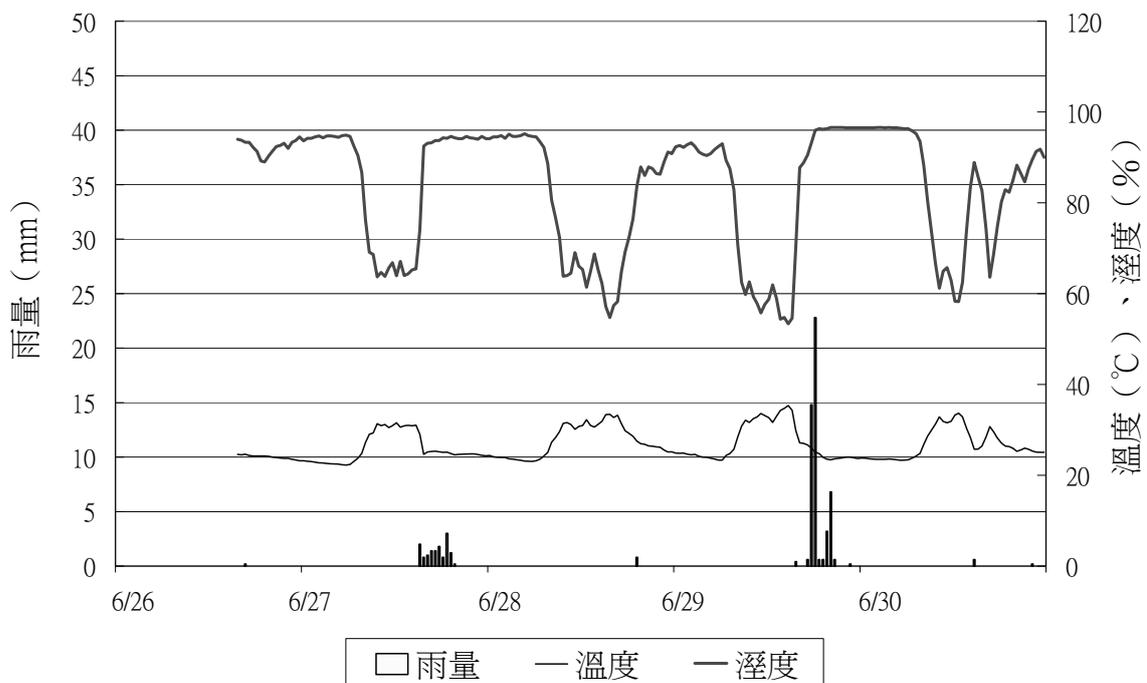


圖 18 九九峰自計式測站 6 月份氣候資料

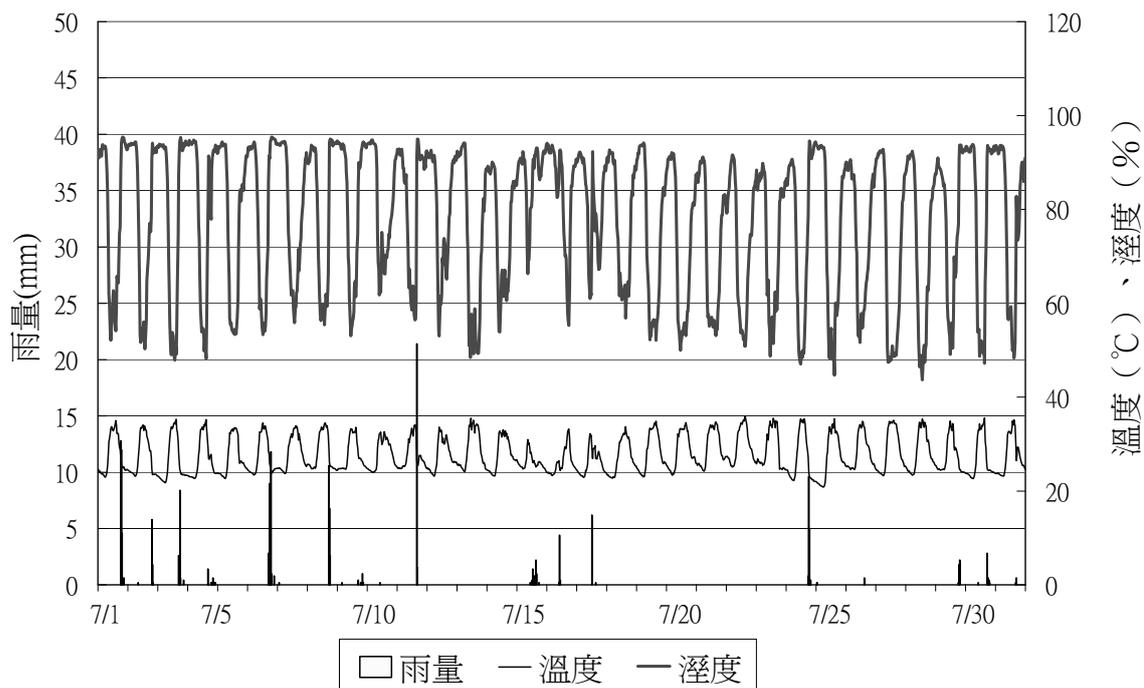


圖 19 九九峰自計式測站 7 月份氣候資料

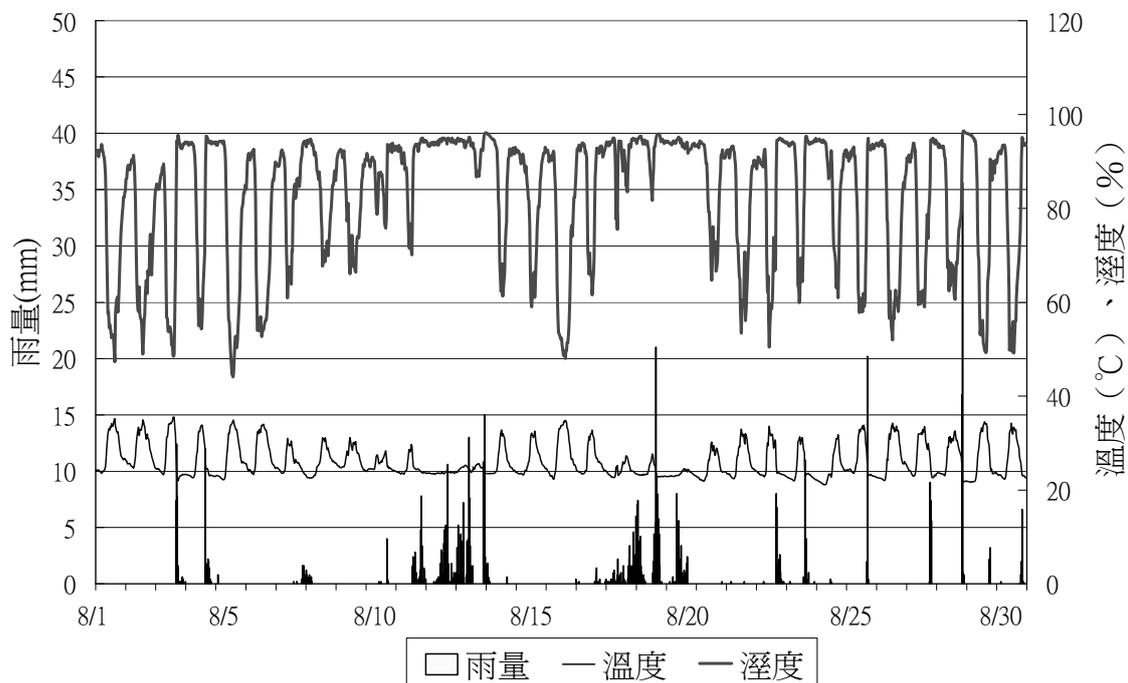


圖 20 九九峰自計式測站 8 月份氣候資料

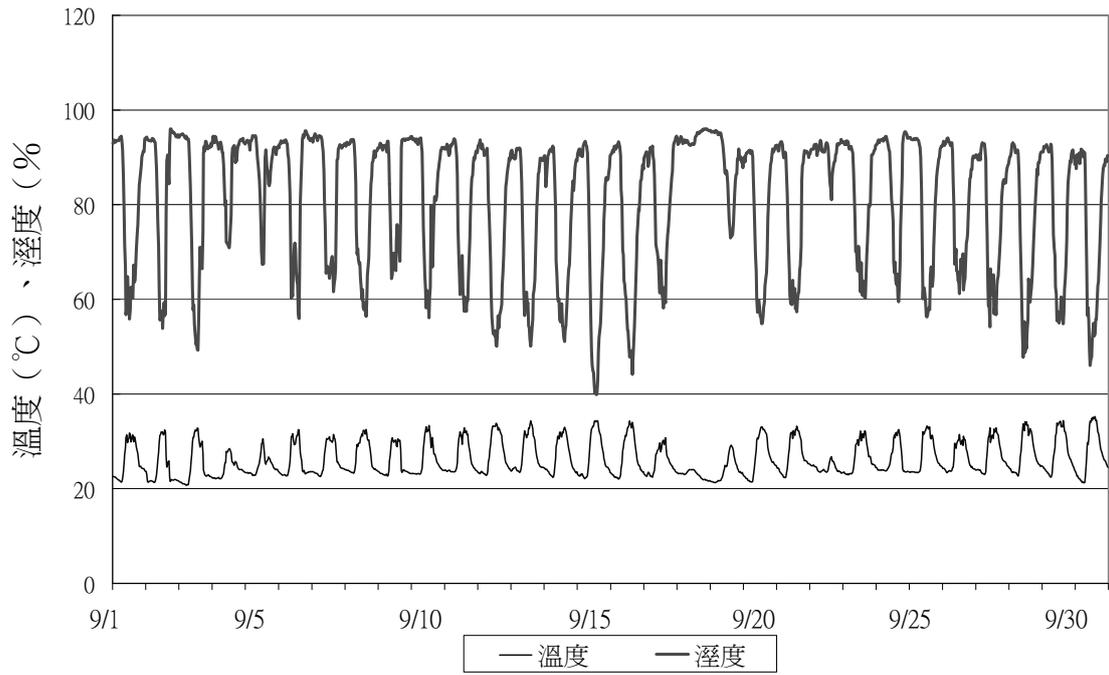


圖 21 九九峰自計式測站 9 月份溫度及溼度資料

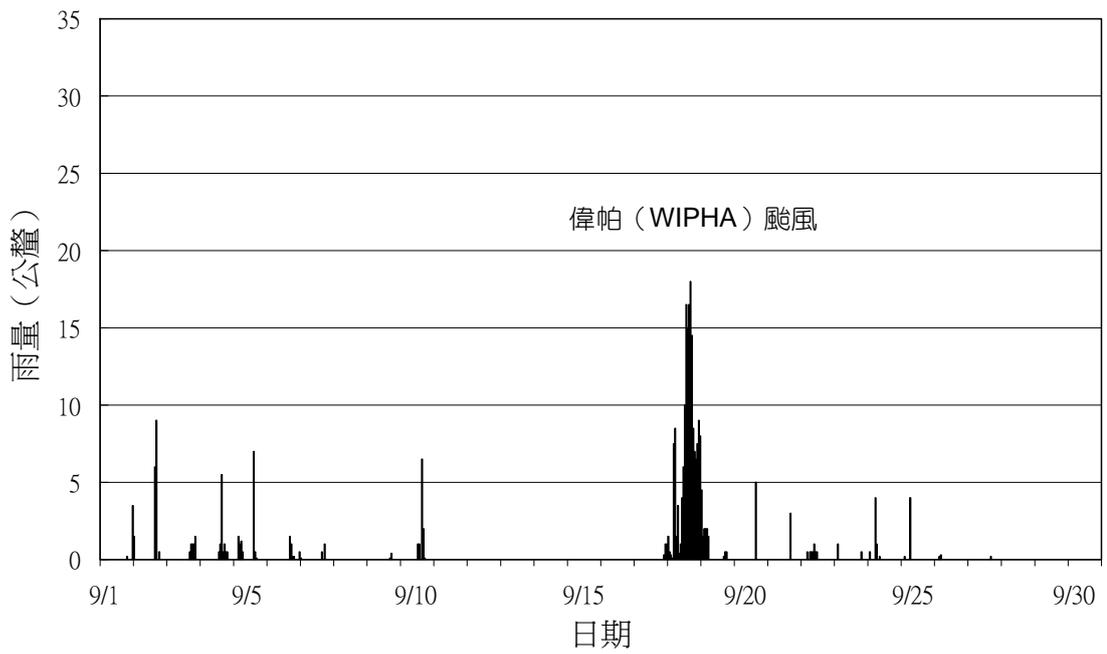


圖 22 九九峰氣象局日月潭測站 9 月份雨量資料

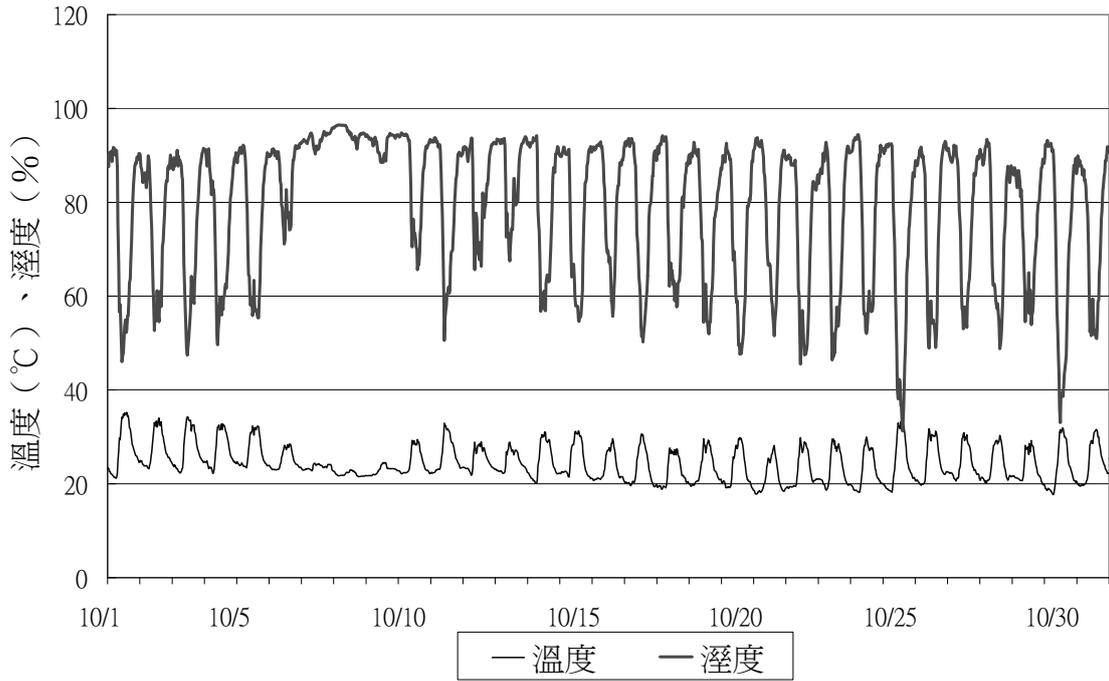


圖 23 九九峰自計式測站 10 月份溫度及溼度資料

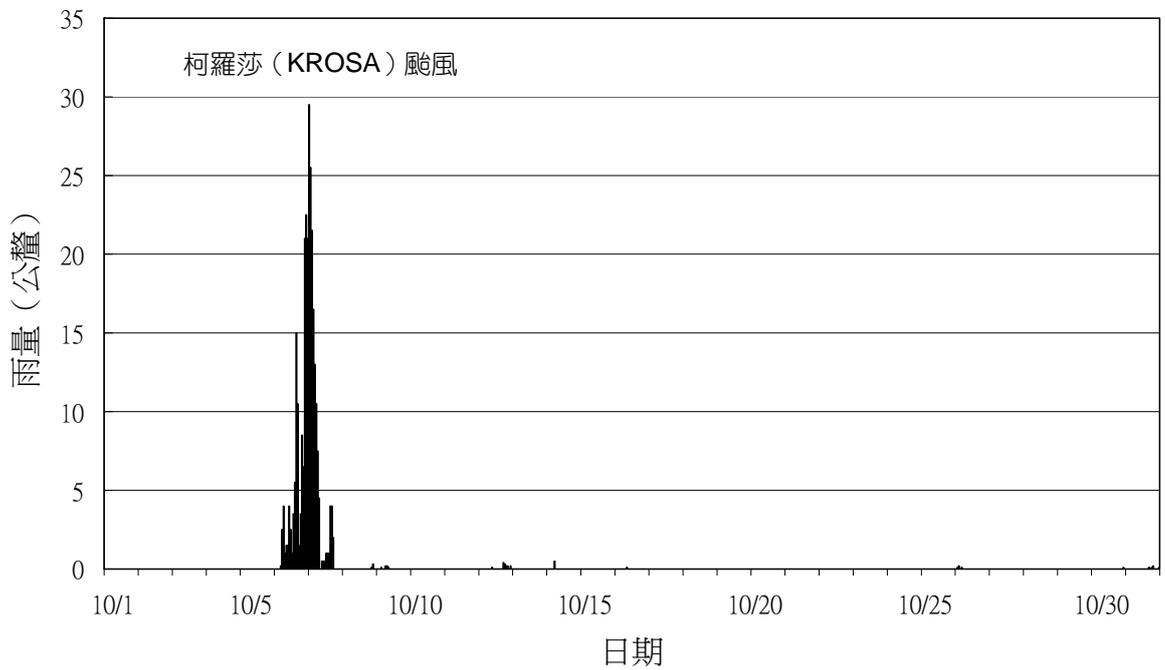


圖 24 九九峰氣象局日月潭測站 10 月份雨量資料

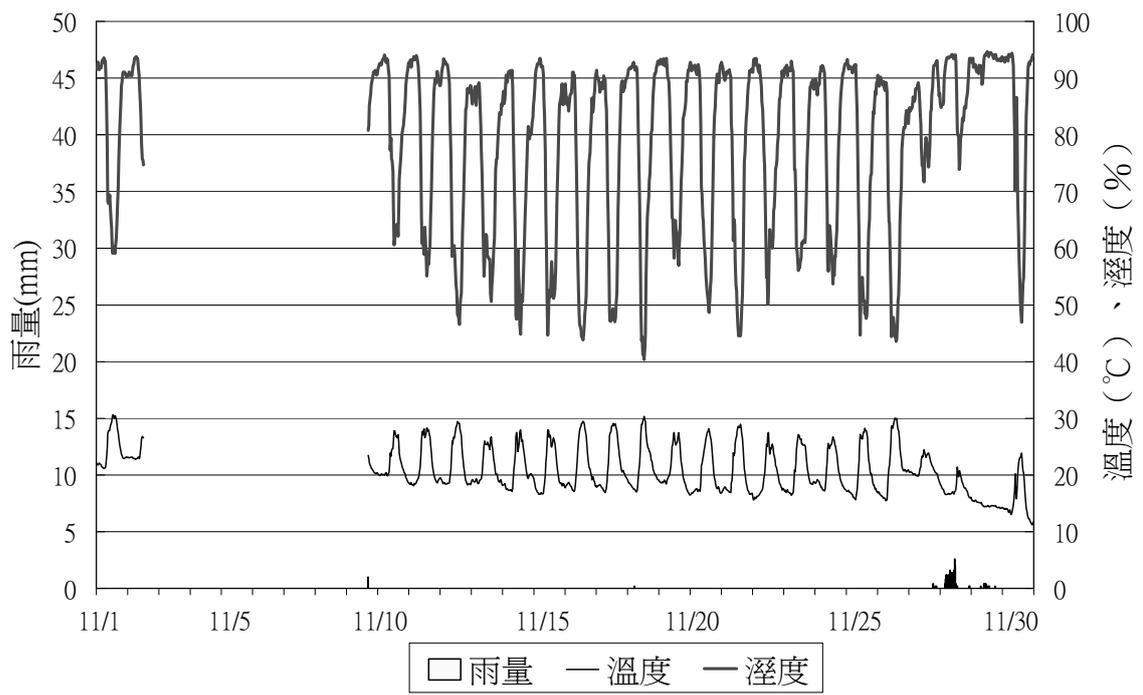


圖 25 九九峰自計式測站 11 月份氣候資料

(五) 影像及航照資料蒐集

針對研究區的區域變遷差異的觀察。本研究利用農林航空測量所生產的航空相片對，進行地貌變遷的判釋。經過事件之後的地貌，與事件發生之前有所差異，利用立體像對與地面實際資料相互配合而產生判釋的圖面結果。再運用不同時期的地貌圖加以疊合，比較長時間縱剖面及橫段面之變化，以變化量配合時間計算侵蝕堆積速率，就能夠顯現出研究區地形變化的情況與趨勢，達成變遷監測的目的。

目前本研究收集的影像資料包括經建二版（圖 26）、三版（圖 27）及相片基本圖資料，比較經建二版（1991 年）及三版（2000 年）資料，可觀察原本本區植生茂密，在地震後則產生許多裸露地。在航照部分共收集了民國 1976 年、1984 年、1991 年、1998 年、1999 年、2002 年、2005 年、2006 年及 2007 年的航空照片資料（表 3），預計將來可運用航空攝影測量的技術，生產數值地形的資料以作為地形變遷分析之用。

表 3 本研究蒐集的農林航空測量所航照影像

任務	照片號碼	任務	照片號碼	任務	照片號碼
65P80	84	87P45	51	94R77	72
65P80	80	87P45	52	94R77	73
65P80	77	87P45	53	94R77	74
65P80	74	87P45	54	94R77	75
65P80	70	87P45	107	94R77	76
65P80	225	87P45	108	94R77	129
65P80	222	87P45	109	94R77	130
65P80	219	87P45	110	94R77	131
65P80	215	87P45	111	94R77	132
65P80	212	88R76	43	94R77	133
73P32	106	88R76	44	95R45	171
73P32	110	88R76	45	95R45	172
73P32	113	88R76	46	95R45	173
73P32	116	88R76	47	95R45	174
73P32	119	88R76	48	95R45	175
73P32	221	88R76	100	95R45	176
73P32	224	88R76	101	95R45	177
73P32	227	88R76	102	95R45	178
73P32	230	88R76	103	95R45	179
73P32	234	88R76	104	95R45	180
80P100	83	88R76	105	96R011	071
80P100	87	91R75	179	96R011	072
80P100	91	91R75	180	96R011	073
80P100	95	91R75	181	96R011	074
80P100	99	91R75	182	96R011	075
80P100	113	91R75	183	96R011	173
80P100	117	91R74	60	96R011	174
80P100	121	91R74	61	96R011	175
80P100	125	91R74	62	96R011	176
80P100	129	91R74	63	96R011	177
87P45	50	91R74	64		

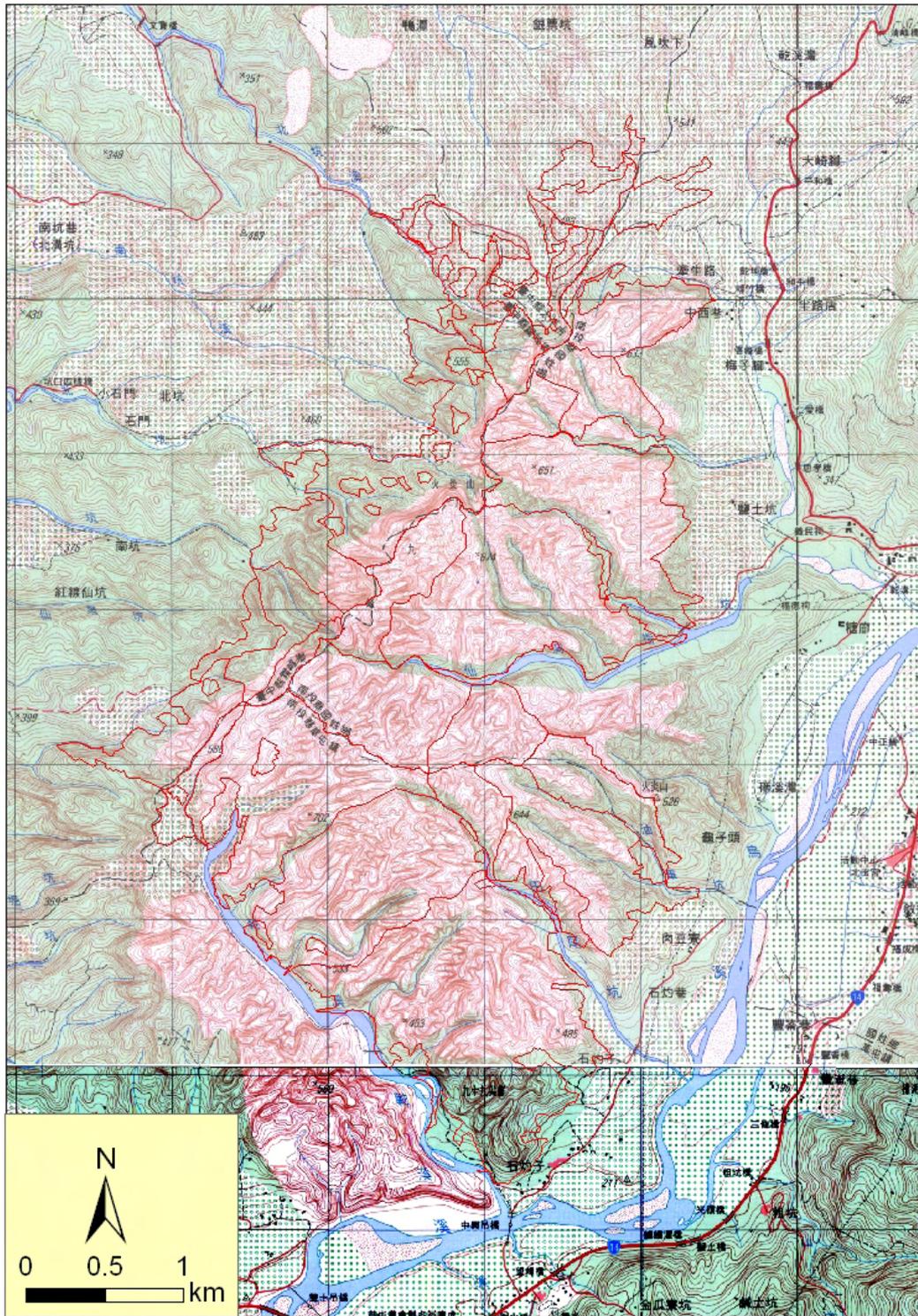


圖 27 經建第三版地形圖(2000 年)

(六) 控制點資料蒐集與調查

在航空照片數值地形產出上，為了讓數值地形資料更為精確，在每一組航空相片對需找出 4 個點以上的地面控制點資料，本研究蒐集內政部土地測量局的控制點資料，在本區共有 13 個控制點，並進行野外調查。

從調查的結果發現，這些地面控制點的資料，除了一處點有佈地面標 (MX20)，其餘的控制點有的已經損壞，或無法在航空照片上辨識出來，因此這些點將來需重新引測或佈標，才能將資料輸入軟體內進行處理，以產出精確的數值地形資料。

本年度已經完成控制點的資料蒐集與調查，將來可利用這些控制點資料匯入數值地形軟體中，來生產較精確的數值地形資料及正射化的航空照片。

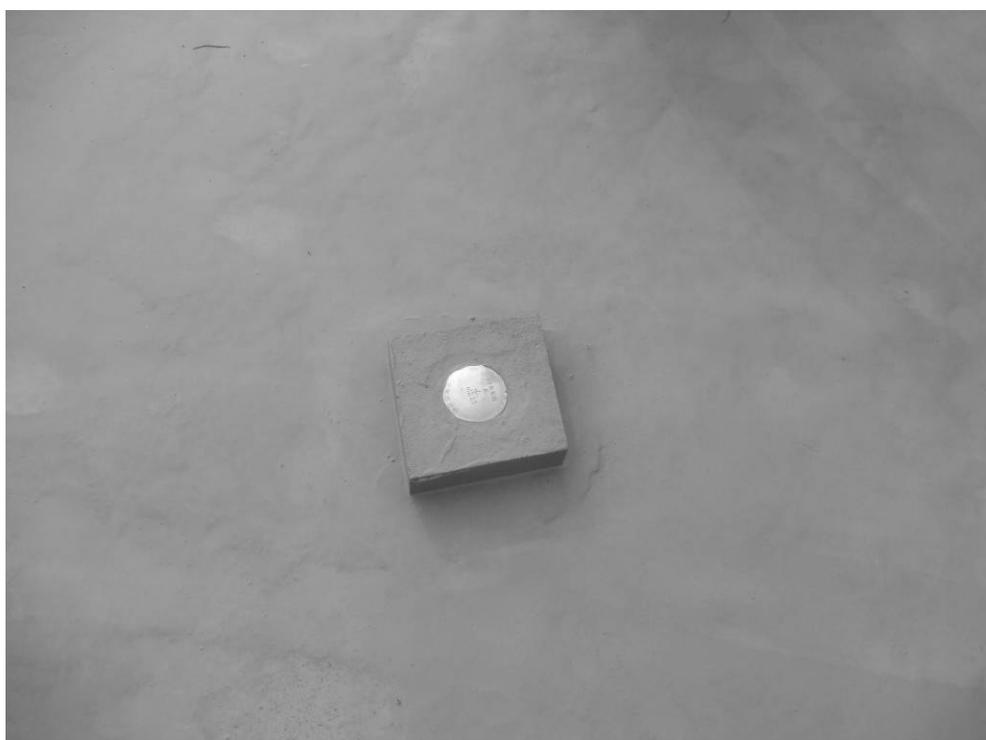


圖 28 內政部土地測量局土城 (MX22) 控制點，位於水利會工作站頂樓



圖 29 內政部土地測量局雙龍國小 (MX20) 控制點



圖 30 內政部土地測量局福城 (MX78) 控制點



圖 31 內政部土地測量局崁腳（MX21）控制點，位於九九峰露營區門口



圖 32 林務局 G220 林地控制點，位於產業二號橋旁（竹峰路）

(七) 野外資料蒐集

本研究進行期間，為補足數值地形高程計算及航照影像所無法觀察到之細微地形變化，會不定期至九九峰觀察並拍攝河道及沖積扇之侵蝕堆積變化，並透過不同時間點的照片比對，試圖發現地形改變類型及空間分佈特性。也同時對氣象測站進行維護工作，以確保氣象收集資料的正確性。



圖 33 往產業二號橋前方即進入九九峰自然保留區範圍
(拍攝地點：北坑溪上游、竹峰路，日期 2007 年 10 月)



圖 34 寬廣的河谷，為礫石所堆積而形成
(拍攝地點：乾溪上游、中興橋，日期 2007 年 10 月)



圖 35 由於地勢陡峭，植物不易生長
(拍攝地點：北坑溪上游、竹峰路，日期 2007 年 10 月)



圖 36 從遠處觀察九九峰的山頭，可看到一座座陡峭的山峰
（拍攝地點：乾溪上游、九峰山莊，日期 2007 年 10 月）

六、 結論

- (一) 本研究已完成自計式氣候站的架設包括雨量計、溫溼度及風速風向計，目前系統正持續在監測當地的氣候變化，後續將進行氣候站的維護及資料收集。
- (二) 本研究持續進行野外調查及資料收集，除了配合航照判釋資料外，並至現場進行觀察與紀錄邊坡崩塌及河道堆積現象，以利於後續比對。
- (三) 本研究目前共收集民國 1976 年、1984 年、1991 年、1998 年、1999 年、2002 年、2005 年、2006 年及 2007 年之航照影像資料，並進行掃描整理，以便將來進行數值地形生產及航照正射化的工作。
- (四) 本研究收集內政部土地測量局地面控制點資料，並進行野外調查及核對，調查結果顯示大部分控制點已無法使用，需重新佈標及測量，取得較精確的地面控制資料。
- (五) 從經濟部水利署草屯測站資料顯示，在氣候變化較大的時候大部分發生在颱風的期間，其中以 1990 年楊希颱風產生最大日降雨量 372 公釐，而 1999 年地震後至今的颱風及豪雨均有超過 200 公釐的降雨量，對當地地形可能有影響，因此希望透過本研究將來產出的數值地形資料，能瞭解當地形的變化模式。
- (六) 九九峰自然保留區有許多動態的地貌特徵，如埋積河谷、礫石邊坡沖蝕等現象，都是將來必須更進一步追蹤變遷的地方。
- (七) 目前本區的相關地形氣候資料，僅初步整理完成階段性任務，仍有待後續長期觀測以及分析工作。

七、 建議

- (一) 由於進入九九峰自然保留區保留區內需申請才能進入，當初在劃定保留區範圍時，未考慮到道路管理問題，造成管理時的困擾。本研究在現場調查認為這些道路位於保留區的邊界上，道路是否包含在保留區內，對本區影響不大，建議未來再重新修改保留區範圍時，在邊界上的範圍可以修正，將道路劃設在保留區外。
- (二) 九九峰的岩石由礫石所組成，河谷兩側坡度較陡，在下雨時常有崩落的事件產生，因此，若將來要推動觀光產業，應避免民眾靠近保留區的範圍內，以免發生危險。建議將來可利用快速道路興建時，規劃一觀景台，可讓民眾遠觀九九峰特殊的地形景觀。
- (三) 由於礫石邊坡受雨水沖蝕極不穩定，因此興建纜車以觀賞九九峰地景之議，必須極度審慎，避免纜車站台危險外，景觀台的容量以及遊客的遊憩方式、步道等，都需進一步評估可行性及環境影響問題。
- (四) 保留區內主要有兩條農路，一為北邊的竹峰路，一為南邊的中心農路。竹峰路目前沒有立即的災害危險，建議維持現狀；南邊的中心農路由於內有民宅及租地，建議只需維持道路順暢，並不需要過渡整修。

八、 參考資料

- 王瑞斌 (2000) 南投九九峰卵礫石之排列及其形狀對坡度的影響，台大地質所碩士論文，共 143 頁。
- 呂岡侃 (2002) 南投縣九九峰土石流發生區之地形特徵，國立臺灣大學地理環境資源學系研究所碩士論文，共 145 頁。
- 呂岡侃、徐美玲 (2004) 南投縣九九峰土石流發生區之地形特徵，地理學報 38 : 1-16 。
- 江政人 (2004) 臺灣中部地區崩場地植被恢復之研究，國立中興大學森林學系碩士論文，共 61 頁。
- 何春蓀 (1997) 臺灣地質概論，經濟部中央地質調查所。
- 林昭遠、吳瑞鵬、林文賜 (2001) 921 震災崩場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 。
- 林文賜、黃碧慧、林昭遠、周文杰 (2004) 921 震災崩場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 (1992b) 台灣苗栗火災山地區邊坡沖蝕之研究，國科會專題研究報告，9-12 。
- 林俊全 (2003) 火災山地形變遷監測計畫(1)，行政院農委會林務局新竹林區管理處。
- 林俊全 (2004) 火災山地形變遷監測計畫(2)，行政院農委會林務局新竹林區管理處。
- 林俊全 (2005) 火災山地形變遷監測計畫(3)，行政院農委會林務局新竹林區管理處。
- 許明仁 (2003) 的台灣西部卵礫石地層之坡度影響因子及其地質材料特性，台灣大學地質科學研究所碩士論文，共 177 頁。
- 楊志成 (1997) 台灣中部地區錦水頁岩、卓蘭層與頭嵙山層的沈積環境研究，國立台灣大學地質科學研究所碩士論文，共 120 頁。

- 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。
- 張麗旭（1955）台灣之地層。臺灣銀行季刊，第七卷，第二期，第 26-49 頁。
- 張憲卿（1994）五萬分之一臺灣地質圖幅第十七號，大甲圖幅說明書，經濟部中央地質調查所，第 17,63 頁。
- 張憲卿、任家弘、王鑫、林俊全（2001）九九峰變成禿頭峰之探討，第五屆臺灣地理學術研討會暨石再添教授榮退紀念學術研討會，第 130-150 頁。
- 經濟部水利署水文水資源資料管理供應系統（2007）
<http://gweb.wra.gov.tw/wrweb/>
- 陳添水（2005a）應用地理資訊系統於九九峰九二一地震崩塌分析，特有生物研究 7(1)： 69-87。
- 陳添水（2005b）九九峰地區九二一地震崩塌植生指數變遷分析特有生物研究 7(2)： 63-75。
- 陳樹群、吳俊鋁（2005）集集地震引發九九峰地區之崩塌型態探討，中華水土保持學報，36（1）： 101-112。
- 張伯宇（2003）頭嵙山礫岩區谷系發育作用之探討--以觸口山東翼及九九峰為例，中國地理學會會刊，32： 17-39。
- 劉平妹、林玉儂（2002）九九峰地區攔砂壩的興建對河流地形之影響及其工程上的應用，行政院國家科學委員會補助大專參與專題研究計畫研究成果報告。
- 鍾翼戎（2004）九二一地震引致九九峰崩塌特性之研究，國立中興大學水土保持學系碩士論文，共 98 頁。
- 鄭遠昌（2004）地形變遷之研究:以苗栗火炎山地區為例，臺灣大學地理環境資源學研究所碩士論文，共 129 頁。

九、 致謝

感謝行政院農業委員會林務局南投林區管理處提供本單位進行有關九九峰自然保留區地質地形調查監測研究期間相關的協助，感謝 貴處陳課長啟榮及蔡技正碧麗提供資料並指正報告中錯誤之處；感謝臺中工作站余主任啟瑞、詹文輝先生及其他同仁協助野外調查，並提供實務經驗及調查成果資料，並感謝審查委員提供寶貴意見，讓本研究成果更為充實。

附錄一 歷年航空照片



圖 36 1976 年航空照片

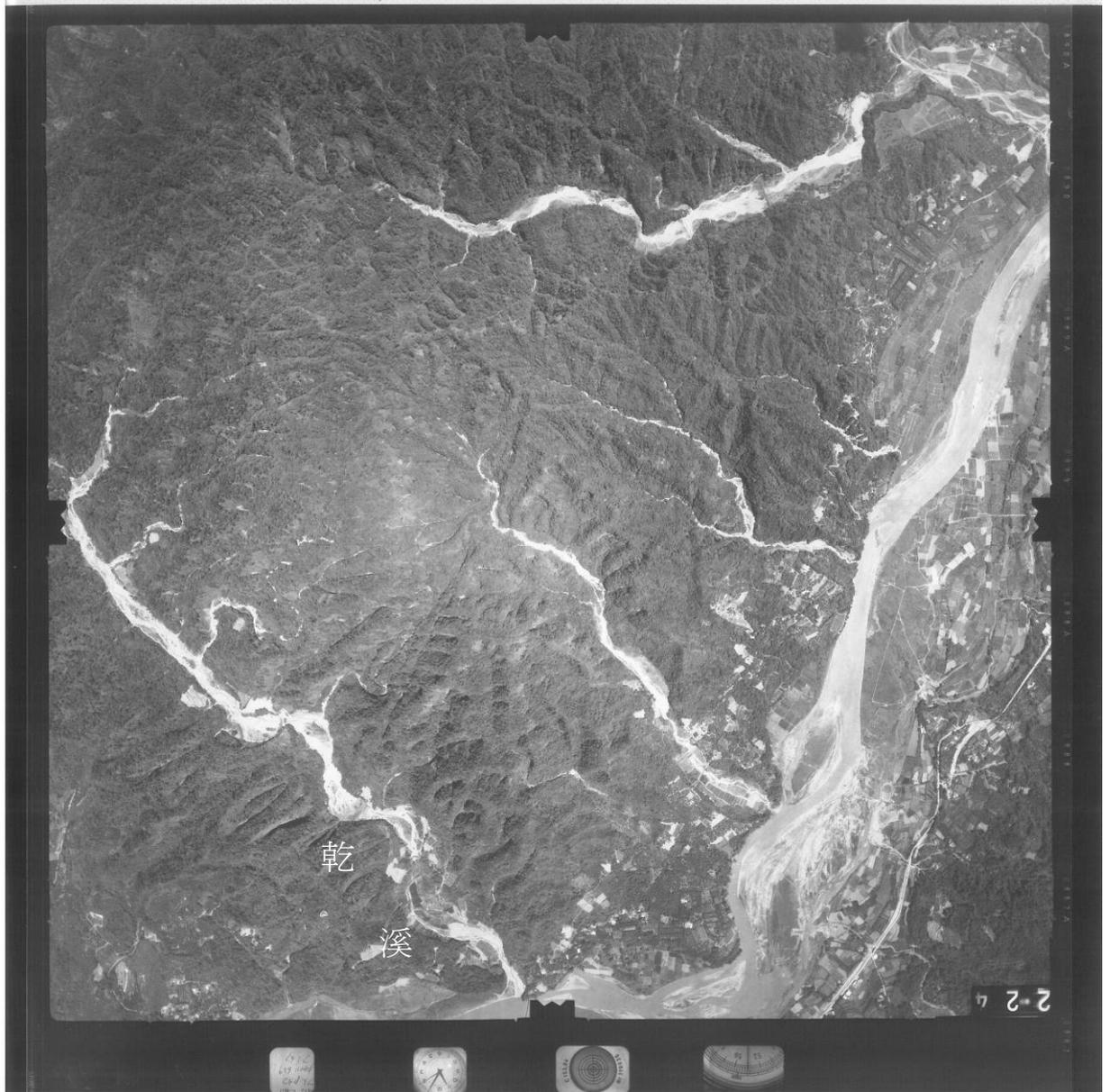


圖 37 1987 年航空照片

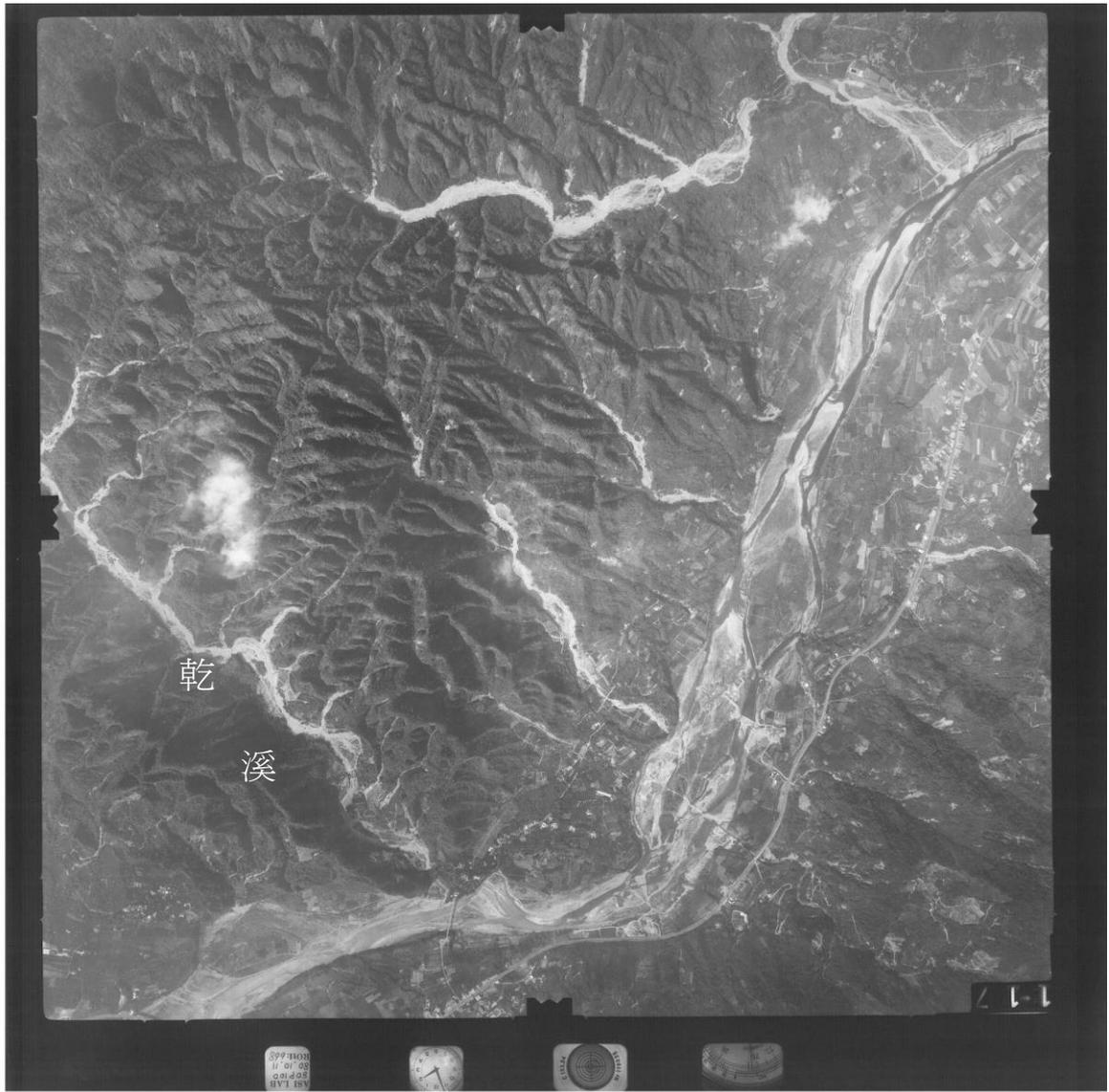


圖 38 1991 年航空照片



圖 39 1998 年航空照片

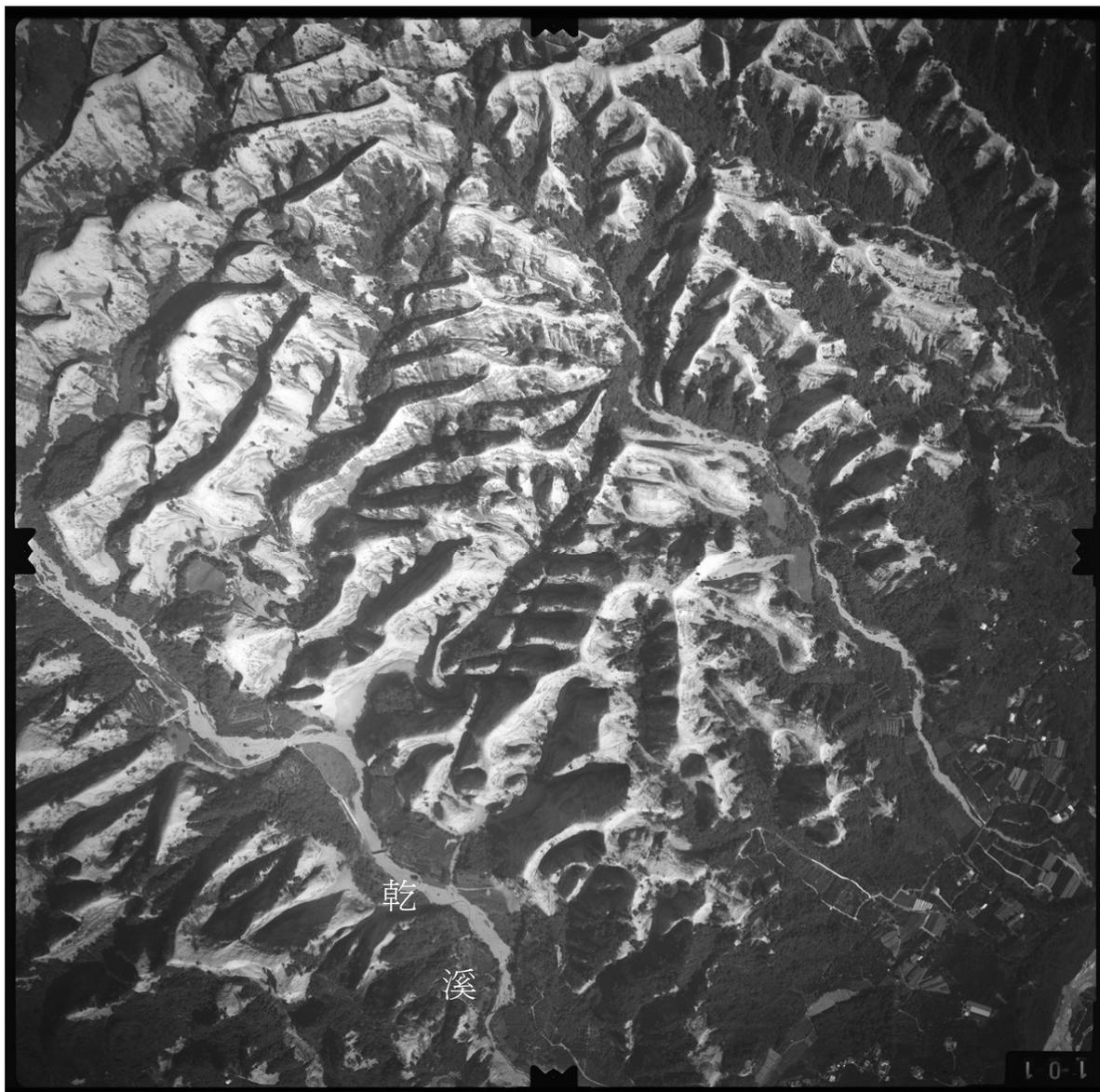


圖 40 1999 年航空照片



圖 41 2002 年航空照片



圖 42 2005 年航空照片



圖 43 2007 年航空照片

附錄二 DTM 製作流程

DTM 製作的過程如下圖所示：

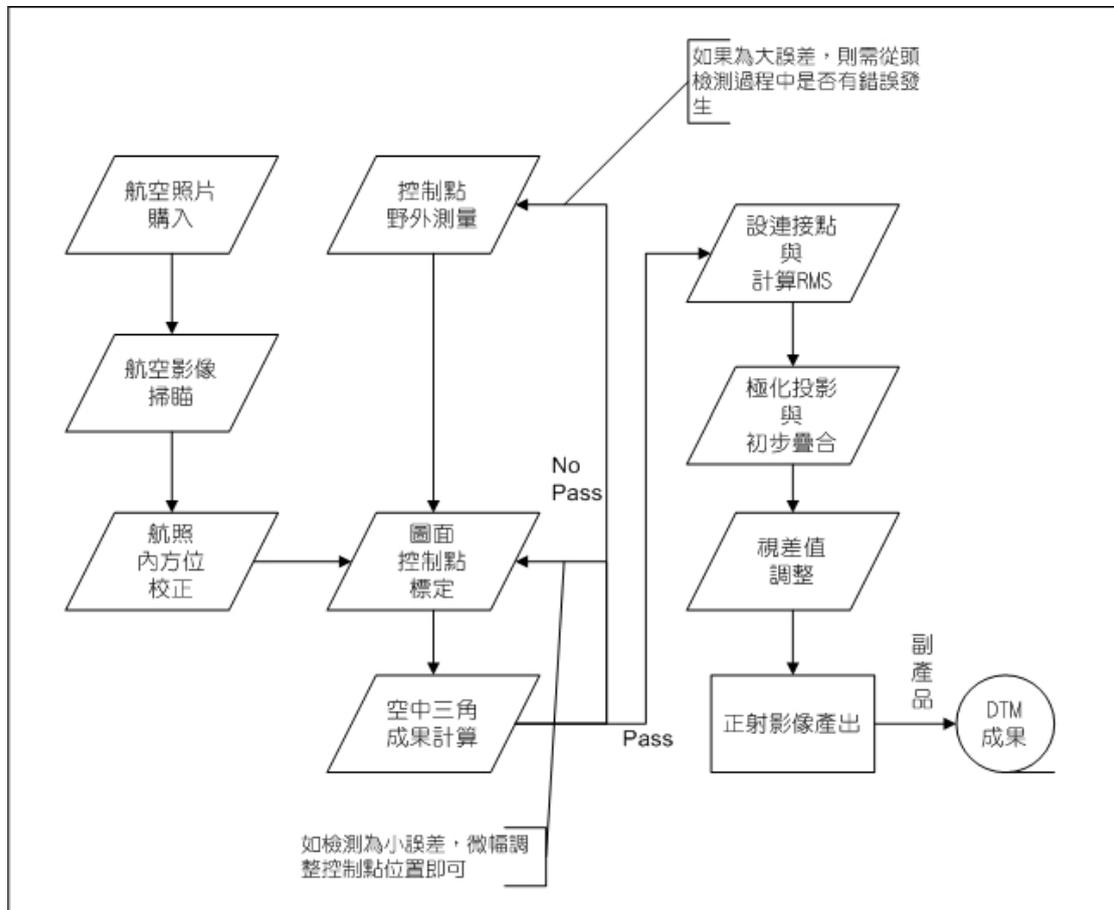


圖 44 DTM 製作流程

選定欲使用之航空影像並購入後，進行影像的掃瞄。掃瞄影像操作起來非常費時。為了避免航空影像產生變形，掃瞄時使用的不是一般家用平台式掃瞄器，需要使用高階的滾筒掃瞄儀或照相掃瞄儀。雖然掃瞄時間較久，但為一次成像，能夠減少變形的機會。本研究使用 Nikon Coolscan 5000（陶林數值測量工程公司所有）滾筒掃瞄儀，影像大小為 21 μ ，成像後的地面解析度約為 40 公分左右（受航高所限制）。掃瞄完後直接進行轉檔(Input)，將 JPEG 影像轉換成 VituOzo 程式可辨識之 VZ 格式影像。

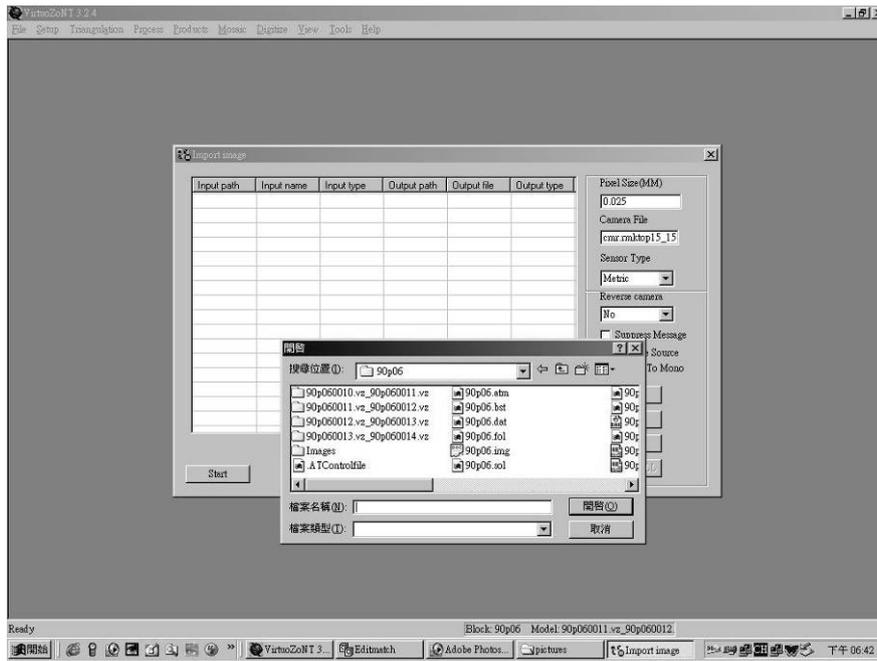


圖 45 影像轉檔過程

掃描完之後的影像，保留了相片邊緣的框標。框標的目的在於確定影像中心位置，由這些框標中心連線的交點，就是相片的投影中心。確定了投影中心，加入相機鏡頭的變形參數，程式即可算出相片的內方位情況。內方位為影像的位置矩陣，建立內方位就是建立影像內每一點的相互關係，附帶的還可以瞭解影像的變形情況。

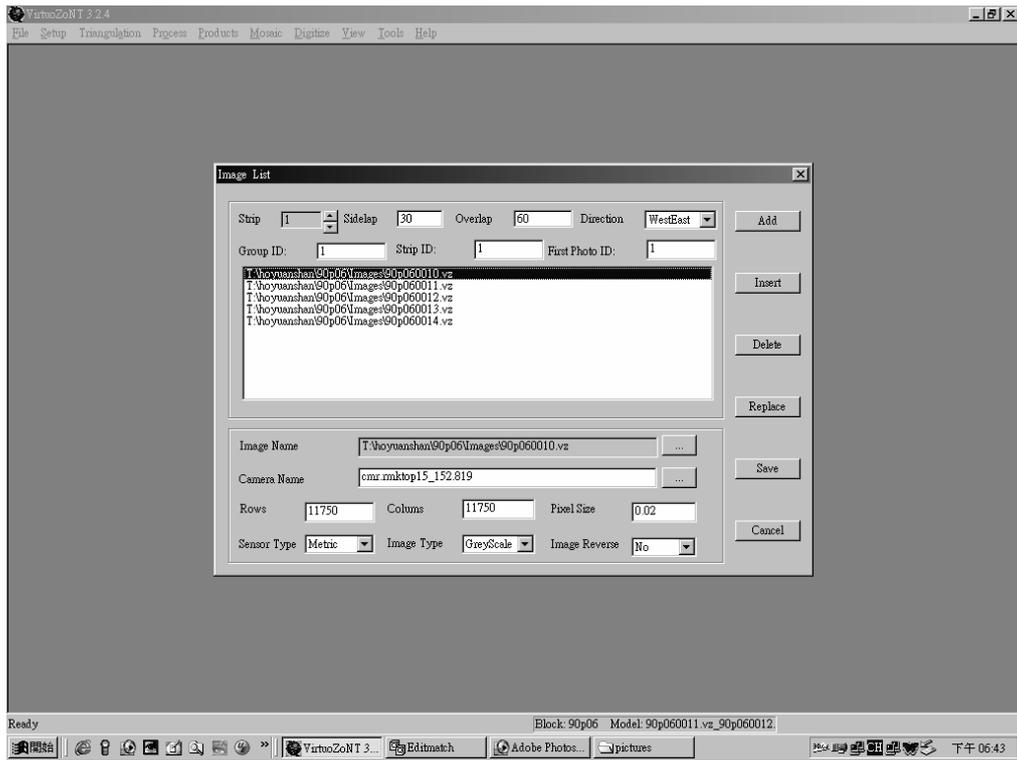


圖 46 航線與照片設定

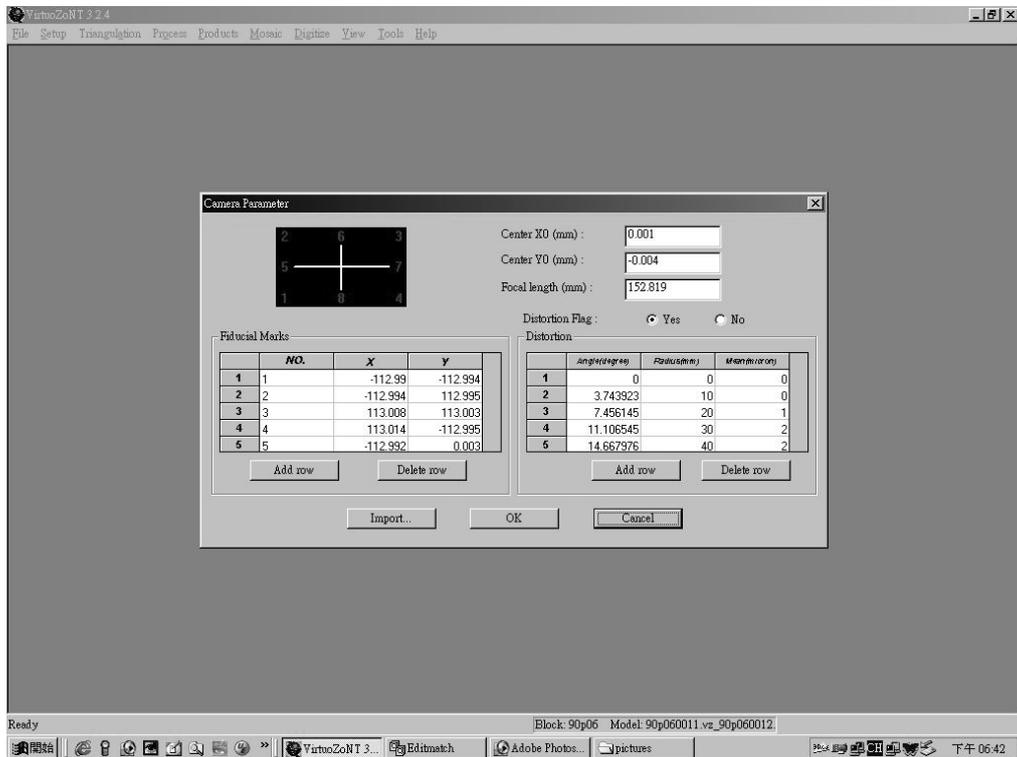


圖 47 鏡頭校正參數設定

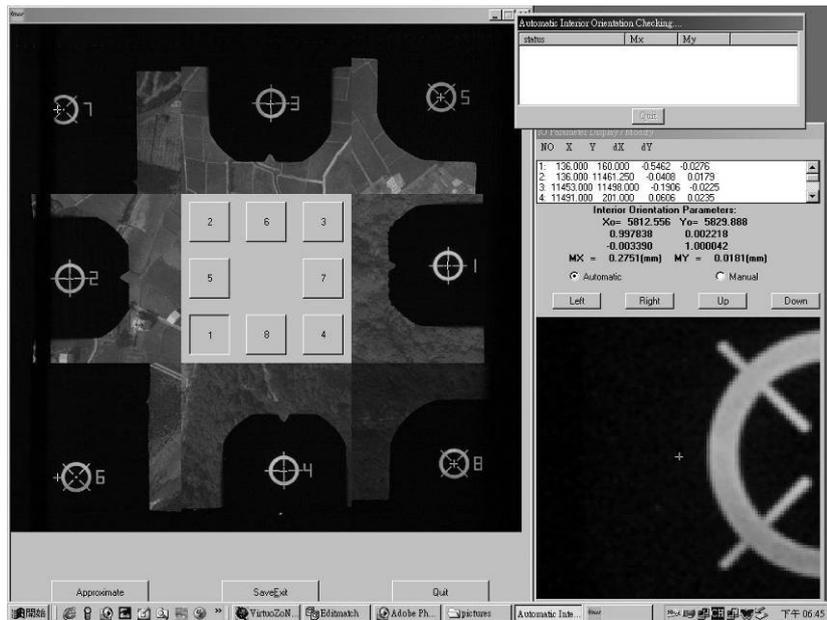


圖 48 內方位建立

內方位建立完畢後，進入整個過程中最關鍵的部分—控制點標定與空中三角計算。在野外求得控制點座標後，回到室內的圖面上辨認出與野外相同的位置，給予正確的空間座標。由於使用的航空照片中沒有適當可用的空標，必須依地面特徵來辨認出控制點實際的位置。因此操作者需要對研究區附近的地形地物有相當的熟悉度，才容易找到正確的控制點位置。再加上這個步驟需要將所有同一航帶，共用這些控制點的航照全部輸入一起判釋。這項作業需要大量的時間來進行微調。

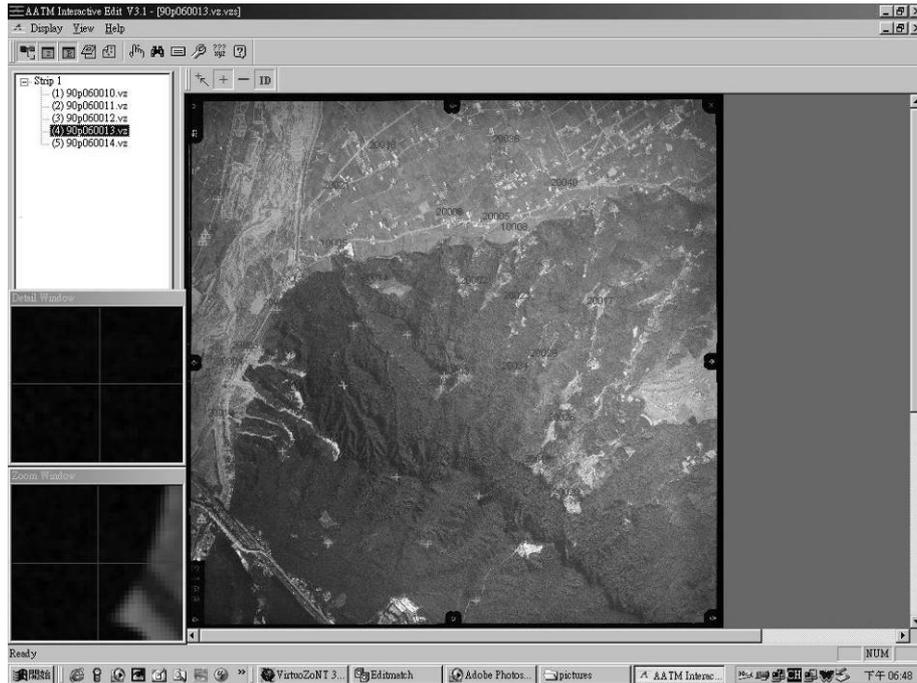


圖 49 圖面控制點標定

控制點標定完成後，將這些控制點的大地座標與圖面矩陣座標轉出，由空中三角軟體進行計算。空中三角計算的意義有兩點，一為重建控制點的大地座標體系（稱為外方位），二為計算出內方位與外方位能不能建立起正確的投影對應關係，將圖面上的點與正確的大地座標串連起來。空中三角計算使用的是德國 Stuttgart 大學所研發之 PART—B 空中三角光束法區域平差程式，此程式為目前學界與業界公認可靠的計算軟體。此軟體計算出誤差有兩種，一為平面測量誤差（SIGMA NAUGHT），用來檢測控制點的平差觀測結果；另一為控制點網格的最大偏差量，用來檢測圖面點取的控制點是否真的落在所建立的外方位網格座標上。一般規範中，平面測量誤差以不超過 8 為基準（程式計算的標準），控制點誤差量則能夠愈小愈好。如果沒有通過這兩個檢測標準，如果誤差程度不大，則回頭檢查是否標錯控制點的位置；如果誤差過大，則可能在野外的控制點測量成果有誤，或是前面的步驟沒做好，需要回頭詳細檢查。

空中三角檢測通過後，整條航線的控制點調整工作初步完成。接著選擇要操作的立體相片對，則進行追加連接點（tie point）的動作。連接點的作用與控制

點十分類似，不同處在於連接點只負責連接相片對中“相同的地點”而不附有絕對地面座標。就此軟體要求，如果能把連接點大量且平均的散佈在相片對上，影像匹配的效果會愈好。此外，這個步驟中一起進行 R.M.S 誤差的計算。就工程業界的標準，R.M.S 值小於 0.008 者為優。本研究由於於影像品質限制，維持在 0.012~0.008 之間，尚屬可接受之範圍。

處理完連接點加密，經過極化投影，進入關鍵的視差值修整工作。在影像匹配時，程式雖然可以匹配成功大部分的地表高程，但仍有部分影像的視差匹配錯誤，需要人工修正，降回正確的地表高程；或者有特殊需要，必須清除樹高與修正橋樑高程者，也是在此一過程進行。本研究所使用的軟體提供立體顯像的方式，操作人員戴上立體眼鏡後，即可看到匹配影像的視差值等值線（類似等高線），找到錯誤的匹配區域加以改正。本研究需要消除樹高對 DTM 模型產生的影響，在此步驟中先圈定同類型的植生樹冠區域（研究區範圍內絕大多數為相思樹成林），再一起把樹高降回地表高度（相思樹成林約 4 米左右）。

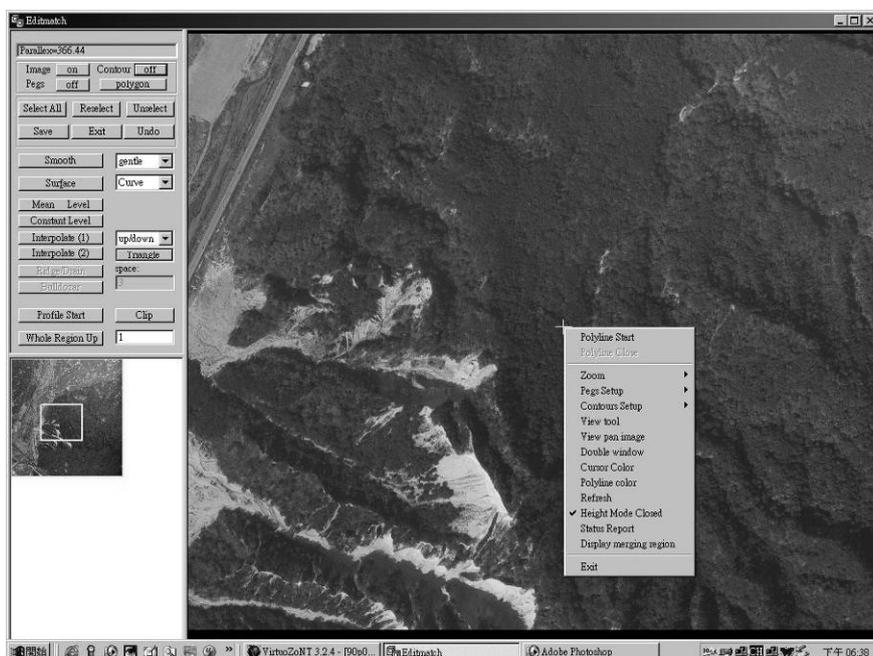


圖 50 視差值修正

視差值修正完成後，即可進行最後的影像正射化，產出具有大地座標的糾正影像。除此之外，正射化的副產品為 **DTM**，亦為本研究中所需要的極重要資料。在作完八個年份的正射影像與取得 **DTM** 資料後，即可進行更進一步的地形變遷分析。至於檢核的方法，則是另外以立體測量的方法，取出 **DTM** 網格上相同位置點的高層資料進行比對，若發生錯誤則需回到視差修正步驟，以人工方式修正錯誤。

附錄三 專有名詞說明

瓣狀河三角洲： 是由瓣狀河體系（包括河流控制的潮濕氣候沖積扇和冰水沖積扇）前積到停滯水體中形成的富含砂和礫石的三角洲。

交錯層： 砂岩中經常發現有呈弧形的斜面，這些互相平行的斜面與上下的層面呈斜交，這種紋理稱為交錯層。交錯層上的砂礫愈在下側的顆粒愈大，因為砂礫沈積在交錯層之上時，顆粒愈大滾動的距離愈遠。交錯層是由強勁的水流所形成的一種沈積構造。交錯層理的形狀有許多種，斜面呈弧形的稱槽狀交錯層，斜面呈平面的稱平板狀交錯層，斜面呈 S 型的稱 S 型交錯層。

疊瓦狀構造： 河流卵石經過河水搬運移動後會形成一個疊一個，猶如廟宇屋頂的瓦片一般排列，有一方向性，可用來推斷古水流的方向。

附錄四 期中報告審查建議回覆

國立台灣大學謝委員孟龍	答覆
<ol style="list-style-type: none"> 1. 九九峰的基本地形描述含糊且有矛盾，如第 5、6 頁圓錐狀山峰，第 9 頁尖銳山峰，P6.60-70 度坡佔>50%，但 P8.大部分坡度 15-30，建議回歸基本地形描述，請修正。 2. 研究目的不具體，如：本研究與「保育」的關係如何透過氣候變化了瞭解，探討地形的演變，建議先將本區前人研究彙整，對現有資料解釋在研擬研究方向及目的。 3. 草屯水文測站可能不具代表性，建議考慮雙冬、國姓等鄰近測站。 4. 地形模型的誤差與工作時間，影響研究目的與方法。 5. 建議在有限時間內，以航照研究為主。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 這些敘述為摘自不同研究者之描述，部分描述已刪除，以坡度百分比（P.12 圖 5）呈現本區坡度特徵。 2. 謝謝指教。 3. 目前草屯測站資料年代較長且完整，其他鄰近測站資料將在期末報告補充。 4. 本年度只完成數值地形資料初步建置，數值模型將於下一年度來進行。 5. 謝謝指教。
臺灣大學地質科學系陳教授文山	
<ol style="list-style-type: none"> 1. 控制點的選擇需說明清楚，資料檔案需說明標示各控制點的座標。以供後其研究比對。 2. 建議日後以 LiDAR 取代航空正射照片製作之數值模擬地形。LiDAR 的高成誤差範圍在 15 公分，並可模擬岩石的地表地形。 3. 建議日後的規劃能有實地的地表、地質、地形的調查研究。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 控制點資料已加入報告中（P.32 表 2） 2. 成本過高，目前暫不考慮。 3. 已安排實地調查，並拍照記錄（P.47）。
行政院農業委員會林務局許技正曉華	
<ol style="list-style-type: none"> 1. 建議將內容列摘要說明。 2. 針對自然保留區的用字予以統一。 3. 報告中部分用照片替代圖，建議統一。 4. 報告時林教授提列經營管理與開放觀光潛在的危險評估的需求，建議在研究目的中再予以說明。 5. 報告中有關日雨量分析，未來是否可考慮一次多日雨量分析。 6. 有關引用前人研究分析方法不同，數據不一致情形，建議內容增加前人研究分析，在加上研究分 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 遵照辦理。 2. 遵照辦理。 3. 遵照辦理。 4. 遵照辦理。 5. 目前報告中只呈現測站資料收集的結果，將來收集更多氣候資料可作進一步分析。 6. 遵照辦理。

析的結果即可。	
作業課許文昌	
<ol style="list-style-type: none"> 第 5 頁「埔里事業區第 8-13, 15-20 林班範圍內」建議修正為「……………15-20 林班’ 大部分” 林班地範圍內」。 第 5 頁邊多坡陡峭約為 50-80 度，但第 8 頁保留區分佈圖則坡度最陡到 60-70 度；另保留區海拔高度約 200-700 公尺，請統一。 第 11 頁「目前九九峰山頂上造林成果並不理想」，請問指何處？ 測站位置選定，除報告書說明標準外，是否尚須考慮其他因子，如測站設於離保留區東側 800 公尺處，其他海拔位置、方向、風向，所測監測資料是否有不同，測站數量位置是否足夠、適當。 第 27 頁影像資料包括經建二版、三版，年度為何？另是否可以比較兩者不同年度間環境變化的差異？另建議利用不同年度航照資料進行比對，俾利瞭解本區地形地貌變化。 	<ol style="list-style-type: none"> 遵照辦理。 遵照辦理。 此段為摘自林務局保育網 http://conservation.forest.gov.tw/ 九九峰保育現況描述，本段將予刪除。 目前測站位置相較之前鄰近氣象站距保留區更近，將來在經費許可下，可在保留區西側再架設一氣候站。 遵照辦理。
林政課簡盈宜	
<ol style="list-style-type: none"> 第 11 頁第二段「先趨樹種」，請修正為「先驅樹種」。 第 3 段「保護區自從……」，請改為保留區。 圖 10 名為「九九峰正射化航空照片」，請改為林業界常用之「九九峰正射影像圖」 圖 13、14、15 之雨量、溫度、溼度建議加註單位。 	<ol style="list-style-type: none"> 此段已重新修改(P.18)。 此段已刪除(P.18)。 遵照辦理(P.29)。 遵照辦理(p34-37)。
治山課藍技士育燦	
<ol style="list-style-type: none"> 報告中第 6 頁第 3 段第 1 行「九九峰第 8 至 20 班…」，請加註為埔里事業區。 報告中第 6 頁「坡度為 5 級坡以上…」有關坡度分級標準，請加以註明。 	<ol style="list-style-type: none"> 遵照辦理(P.7)。 本段已於文中刪除，坡度方面附上坡度百分比圖呈現(P.12)。
臺中工作站余主任啓瑞	
<ol style="list-style-type: none"> 感謝林教授的調查監測工作，讓我們對熟悉的九九峰自然保留區有更進一步的認識。 請補充九九峰自然保留區地質地形目前適不適 	<ol style="list-style-type: none"> 謝謝指教。 已加入建議說明(P.49)。

<p>合發展觀光遊憩，民眾進出危險性評估。</p> <p>3. 九九峰自然保留區進行治山防洪工程或農路整修建議。</p> <p>4. 建議林教授撥冗到臺中站與工作站同仁座談交涉，瞭解同仁在巡護時遇到地質地形氣候狀況。</p> <p>5. 第 11 頁第 6、7 行山頂上造林不理想？光臘樹造林樹種建議增加。</p> <p>6. 本計畫期末報告書封面請依制式格式製作。</p>	<p>3. 遵照辦理。</p> <p>4. 已經安排座談時間。</p> <p>5. 遵照辦理(p.18)。</p> <p>6. 遵照辦理。</p>
埔里工作站楊叔錠	
<p>1. 第 10 頁中年雨量 1982 年最大，與統計表（顯示 1981 年）不符。</p> <p>2. 測站位置是否具代表性，建議儘量設置與保留區內。</p>	<p>1. 報告書中修正(P.16)。</p> <p>2. 將來在經費許可下，可在保留區西側（保留區內）再架設一氣候站。</p>
育樂課陳課長啓榮	
<p>1. 可否建置一套監測制度，簡單易學易測供本處巡護時同時測量，以瞭解其日後變化。</p>	<p>1. 安排在下一年度計畫進行辦理。</p>
育樂課蔡技正碧麗	
<p>1. 報告中文字敘述有誤的部分請修正。</p> <p>2. 報告中所提專有名詞請在期末報告中列表說明其定義供參。</p> <p>3. 報告中單位請統一。</p>	<p>1. 遵照辦理。</p> <p>2. 遵照辦理(P.67)。</p> <p>3. 遵照辦理。</p>
育樂課許技士逸玫	
<p>1. 請林教授協助本處將自行監測之九九峰自然保留區內植生演替情形與地質崩塌之關連性，提供本處經營管理之參據。</p> <p>2. 請林教授參考世新大學辦理北海岸及觀音山國家風景區管理處-經營野柳之觀光遊憩經驗提供本處參考，並建議於期末報告時一併邀請南投縣政府觀光局及農業局與會。</p>	<p>1. 不在本計畫工作項目，未來可朝此方面努力。</p> <p>2. 本計畫與野柳監測的目的不同，但未來技術方面可朝這方面繼續努力。</p>

附錄五 期末報告審查意見

國立台灣大學謝委員孟龍	
<ol style="list-style-type: none"> 1. 本報告中目前僅在前人研究收集、儀器架設、地圖（影像）收集的階段，無法評論，希望以後繼續努力。 2. 請評估本區“數值地形模型建立”的可行性與精確性，如 P.26 第三段所提，在九九峰地區建立高精度的數值模型非常困難，再加上現有高程“大部分的控制點已無法使用”（P.46，結論四）。 3. 在剩餘時間內，至少利用某年航照，做一份地形模型，對照 5000 分之 1 相片基本圖，看此方法在研究區究竟可不可行。（即使 Z 誤差很大，得到精確 X-Y 資料也有其應用）。 4. P.46 結論二所提持續至現場進行野外觀察，是指“觀察甚麼？記錄甚麼？” 5. 本案即使只是初步研究，也應能明確指出： <ol style="list-style-type: none"> （1）為何九九峰是“九九”峰？請追溯本區形成緣由。 （2）九九峰主要的侵蝕營力並非雨水沖刷，請述明究為何因？ （3）和九九峰一樣以礫石為材料的地方很多（如：林口台地、三義台地、八卦、大肚台地等等），為什麼只有九九峰是“九九峰”？請追溯本區地形地貌形成緣由，供管理單位參考。 6. 本區環境很危險，如土石流、落石，即使是一、二級的地震都會有小落石，但這些落石足以對進入人員造成傷害，故人員進出應特別注意人身安全。 7. 南投縣政府如欲興建纜車場站，其所有設施，應建於本區範圍外，以確保生態旅遊品質與遊客安全。 8. P.10，第 6 行所提由於“礫石的膠結非常緊密堅實”，但 P.47 建議二所提由於膠結不良…前 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝指教。 2. 本計畫將於明年度預計進行數地質型模型的建置，然而受制於九九峰的資料條件（控制點不足、地形起伏變化大），高程的誤差較大，將依據實際進行的結果來評估。 3. 謝謝指教。將利用後續計畫製作的數值地形資料來正射影像，會有較精確的成果資料展現。 4. 本研究後續計畫將以定點拍攝記錄邊坡崩塌、河道堆積等照片資料，以利於將來進行比對。 5. 明年將持續蒐集相關資料。 6. 感謝提供意見。 7. 感謝提供意見。 8. 有關膠結的描述已於文中刪除。

<p>後矛盾，請查明修正之。</p> <p>9. P.10, 最後一句, 在“南向”的山谷內…，那“北向”的山谷呢？</p> <p>10. P.11 第 3 行, “本區域”應改為“頭料山層”。</p> <p>11. P.46 結論五所提“本研究架設的氣候站資料”, 應改為“氣象局(雨量)資料”。</p>	<p>9. 刪除南向(P.12)。</p> <p>10. 遵照辦理(P.13)。</p> <p>11. 遵照辦理(P.49)。</p>
台大地質科學系陳委員文山	
<p>1. 建議根據前人研究結果(楊志成, 1997; 台中圖幅)繪製一份本研究區域的地質圖, 尤其在河流沖積層的範圍可以利用本研究所產生的數值地形圖作詳細的繪製, 此資料可以提供委託機關的基本地質資料。</p> <p>2. 建議以本研究所產生的數值地形圖作坡度分析圖, 並結合地質圖作基本的地形地質分析。</p>	<p>4. 此部分未在本年度工作中, 將再繼續努力。</p> <p>5. 此部分未在本年度工作中, 將再繼續努力。</p>
育樂課陳課長啓榮	
除書面報告三點建議外, 請對現場之經營管理、維護、執行面等議題多加著墨, 供管理單位參據。	1. 將安排於下一年度計畫進行。
台中工作站詹文輝先生	
<p>1. 本次研究有關野外資料蒐集、觀察動態地形的變化等技術, 請老師安排訓練課程, 實地操作、解說, 供本處現場同仁了解, 以利業務推展。</p> <p>2. 所設置自計式氣象站之氣象資料, 建議設置可供工作站同步接收之系統, 供現場人員及長期監測使用。</p> <p>3. 圖 2.道路分佈圖有些道路分佈錯誤, 請修正。</p>	<p>1. 將安排於下一年度計畫進行。</p> <p>2. 將安排於下一年度計畫進行。</p> <p>3. 遵照辦理(P.9 圖 3)。</p>
丹大工作站余技士佩珊	
<p>1. 簡報中提到基於“觀光價值”設立本自然保留區, 應刪除或修正為“環境教育”, 因觀光非設立目的。</p> <p>2. 附錄一的歷年航空照片、尺寸、地點不完全相同, 請調整一致或是在圖上加註標記或是附上圖說? 以利了解歷年來的地質地地形變遷情形。</p>	<p>1. 遵照辦理。</p> <p>2. 由於農林航空測量所不同年度拍測的航照像主點位置、航高等會不同, 圖中已加註溪流(左下較為乾溪)相對位置, 相關變遷將繼續處理。</p>
埔里工作站楊技正叔錠	
1.P.17 第二段, 所提“灌木層”建議改為“下層木”。	1.遵照辦理。

育樂課蔡技正碧麗	
<ol style="list-style-type: none"> 1. P.6 第 6 行，所提主要包含了乾溪、田尾坑溪、油車坑溪、土南坑溪和仙洞指坑溪等，在圖 2 未見土南坑溪，是指圖面上之北坑溪？另第 8、9 行與上段重複，請修正。 2. P.6 第 9 行所提海拔高度及 P.8 第 8 行埔里事業區第 8-13、15-20 林班海拔高度，請修正為 200-780 公尺。P.18 「埔里事業區」400M 改成 400 公尺。P.14 第 4 行一千公尺修正為 1,000 公尺；P.15 第 5 行 1,800 公釐；P.10 第 1 行 1,600 公釐，2,400 公釐。 3. P.16 圖 8 橫座標年份位置有誤請修正，另誤植“雨量（毫米）”應刪之；P.17 所提（五）“植被”內容，請再確認。 4. P.21 表 1，最大日總降雨量“MM”，請刪除。P.22 第 10 行（Armstrong.al）et.al 之 et.al 改為斜體字；P.26 之 5000 分之 1；P.27 圖 13 之圖例請修正為：九九峰自然保留區範圍。 5. P.32、P36、P46 年代 96 年改為 2007 年…；9 月 17 日-19 日改為 9 月 17-19 日。P.34 表 21、23 請加縱、橫座標之說明，如 Y 軸為降雨量、X 軸為日期。 6. P.46 結論六 …如堆積河谷、礫石之邊坡之沖蝕等現象，請附相片並註名地點、林班和現況，以利爾後進行監測比對參考用。 7. 請加中、英文摘要。封面第一行請修正為「行政院農業委員會林務局委託研究系列 96-23」。第二行「行政院農業委員會林務局保育研究系列 96-04-8-04」。加書背。 8. 請將期中、期末報告審查意見回覆表，納入報告書中。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 遵照辦理(P.8)。 2. 遵照辦理(P.10、16、17、19)。 3. 以加註說明及修正(P.19、20)。 4. 遵照辦理(P.23、24、28)。 5. 遵照辦理。 6. 遵照辦理。 7. 遵照辦理。 8. 遵照辦理。