

太魯閣峽谷景觀發育歷史研究 及美質地景監測計畫第一期

The study of developing history and landscape
monitoring of the Tatoko Gorge (I)



太魯閣國家公園管理處委託辦理計畫

中華民國九十八年十二月

太魯閣峽谷景觀發育歷史研究及
美質地景監測計畫(第一期)

The study of developing history and landscape
monitoring of the Taroko Gorge (I)

受委託者：中華民國國家公園學會

計畫主持人：東華大學地球科學研究所副教授 劉瑩三

協同主持人：東華大學地球科學研究所副教授 張有和

專任研究助理：林聖欽 梁克帆

太魯閣國家公園管理處委託辦理計畫

中華民國九十八年十二月

摘 要

太魯閣峽谷擁有豐富多元的自然與人文資源，許多學者在峽谷地區積極從事各項研究調查工作，藉以探究更多獨特且具價值的資源。然而，過去在太魯閣峽谷地區的研究主要是進行大範圍的討論，並未針對單一特殊地質地形景觀地點進行詳細描述與量測工作，因此無法有效評估短期之區域抬升、侵蝕速率及崩塌地對峽谷地形之影響。本計畫以陸地 3D 雷射掃描儀、攝影測量、影像資料、氣象資料、河階鑽探…等方法，對於太魯閣地區之區域抬升速率、河川侵蝕速度與峽谷發育的關係進行研究分析，針對特殊地質地形景點探討其發育與變遷情形，並建立園區內具保存價值之地質景觀名錄，除結合 97 年度完成的「太魯閣峽谷景觀價值及變遷監測之調查」計畫，作為太魯閣申請世界遺產之申報工作外，同時亦將所得結果做為國家公園管理處對峽谷地區經營管理之參考。

目前初步得到的結果為：(1) 已使用陸地 3D 雷射掃描儀掃描完成初始地形資料蒐集，並完成 DEM 之建立；(2) 以水文、氣象資料分析結果顯示，含砂量在颱風期及地震後時較有明顯增加趨勢；(3) 以短期觀測結果可證明太魯閣峽谷地區受岩質差異，影響地區性之地體抬升速率，大理岩為主區域為 15.2 mm/yr，片岩為主則為 3.2 mm/yr；(4) 衛星影像辨識崩塌地結果顯示 2005 年至 2009 年崩塌地新增面積為 4541697 m²，而太魯閣地區之崩塌地以小範圍(<1000 m²)為主，每年有超過 440 次小區域崩塌；(5) 立霧溪綠水、錦文橋河段之河道主要為下切現象，但目前無法以短期資料說明立霧溪河道變化情形；(6) 河階鑽探結果顯示 88 公尺的沈積厚度中，布洛灣河階歷經了至少六次的土石流堆積事件，並有三次較長時段的安定期；(7) 綜合各項觀測結果可進一步說明太魯閣地區，受強烈自然條件所影響成為現今壯闊峽谷地形且各區均具其獨特性，使得太魯閣峽谷具有高度地質景觀之價值；

關鍵字：太魯閣峽谷、3D 雷射掃描儀、河階、抬升速率、河流下切、崩塌地。

Abstract

There are abundant nature and human resources in the Taroko Gorge, these have been many researchers. Most of these researches concern large scale problems about the entire region. There are very few research focus on the status and the evolution of geological sceneries within the national park. Therefore, the detail description measurements of scenic sites have rarely been performed. The consequence is that it is difficult to quantify the changing rate of geomorphology of entire gorge as well as and specific scenic site. In order to solve these problems, this project will apply 3D Laser Scanner, satellite image data, aerial photography, meteorologic data、terrace core in studying the current status of scenic sites, and geomorphological study on river terrace to understand overall changing rates of the gorge. Not only understand developing history, but also establish lists of the special landscapes. Using these results to combine with the previously finished project “World Heritage Value Evaluation and Monitoring of the Landscape of Taroko Gorge”, so administration for National Park can apply as a reference for future management.

The preliminary results were: (1) Accomplished the primary 3D data and DEM data. (2) Hydrologic and meteorologic data appears turbidity enhanced during the typhoon period and after earthquake happened. (3) Short tern measurement data shows the rate of tectonic uplift is 15.2mm/yr in marble area but 3.2mm/yr in schistose area. (4) Analysed by satellite image data has com out the landslide area increase 4541697 m², most of the little size(<1000 m²) in Taroko Gorge. (5) Short tern data can't be used in explaining the rate of streamway erosion. (6) The river terrace core in 88m length, shows at least 6 accumulation events and 3 steady period in Bu-Lo-Wan. (7) Associating all of observations, the unique gorge geography by strong natural events, make clear the value in Taroko Gorge.

Keywords: Taroko Gorge, 3D Laser Scanner, river terrace, rate of tectonic uplift, the rate of streamway erosion, landslide area.

目 錄

英文摘要	I
英文摘要	II
目 錄	III
圖 目 錄	VI
表 目 錄	X
第一章 緒論	1
1.1 前言	1
1.2 研究目的	4
1.3 研究方法與過程	4
第二章 文獻回顧與探討	7
2.1 太魯閣地區地形的研究工作	9
2.2 臺灣島的形成	10
2.3 造山運動	12
2.4 峽谷地形的成因	16
2.5 峽谷演育的研究方式	17
2.6 太魯閣峽谷的演育過程	21
2.6.1 抬升速率	21
2.6.2 侵蝕速率	23
2.6.3 平衡狀態	26
2.7 地質與河階	29
2.8 陸地 3D 雷射掃瞄儀之應用	35
2.9 攝影測量之應用	39
第三章 資料處理與分析	43
3.1 資料蒐集	43

3.1.1 陸地 3D 雷射掃瞄儀	43
3.1.2 攝影測量	46
3.1.3 全測站測量	46
3.1.4 歷史時序資料.....	48
3.1.5 河階鑽探	49
3.2 資料處理.....	50
3.2.1 3D 資料處理.....	50
3.2.2 攝影測量資料處理	52
3.2.3 時序資料處理.....	53
第四章 結果與討論.....	57
4.1 建立初始地形	57
4.2 製作數值地表模型	68
4.3 太魯閣地區的氣象資料.....	72
4.4 崩塌地分析	77
4.5 河道剖面的改變	85
4.6 短期區域抬升速率	93
4.7 河階鑽探結果	97
4.8 地質景觀名錄登錄表.....	103
第五章 結論及建議.....	132
5.1 結論	132
5.2 遭遇困難.....	133
5.3 建議	133
5.4 未來工作.....	134
第六章 參考文獻	135
附錄一.....	145

附錄二.....	147
附錄三.....	149
附錄四.....	165
附錄五.....	169
附錄六.....	172
附錄七.....	179

圖 目 錄

圖 1-1、太魯閣國家公園轄區圖	1
圖 1-2、太魯閣峽谷形成歷史示意圖	2
圖 1-3、太魯閣峽谷實景	3
圖 1-4、研究執行流程圖	6
圖 2-1、臺灣地區弧陸碰撞過程示意圖	10
圖 2-2、臺灣附近板塊地體構造及擠壓方向示意圖	11
圖 2-3、臺灣形成年代與地體構造位關係置示意圖	11
圖 2-4、臺灣形成初期之剖面圖	13
圖 2-5、臺灣受板塊推擠及侵蝕情形示意圖	13
圖 2-6、弧陸碰撞模式圖	14
圖 2-7、地震位置圖	15
圖 2-8、以 GPS 測得臺灣各處相對於澎湖白沙的移動速率向量圖	18
圖 2-9、數值模擬立霧溪下切情形與歷史資料比較圖	20
圖 2-10、花蓮縣南端長良地區河階圖	20
圖 2-11、臺灣地區侵蝕速率圖	24
圖 2-12、立霧溪流域各河段陡峭度示意圖	24
圖 2-13、立霧溪流域各區域之下切速率示意圖	25
圖 2-14、臺灣山區第三紀與近期抬升及侵蝕高度示意圖	27
圖 2-15、數值模擬太魯閣自形成後至 10 萬年間的變化圖	27
圖 2-16、太魯閣地區二氧化碳、硫酸循環示意圖	30
圖 2-17、立霧溪流域的河階位置圖	32

圖 2-18、河流下切與地體抬升的影響情形	33
圖 2-19、河階演育示意圖	34
圖 2-20、各式 3D 雷射掃瞄儀施測結果比較	36
圖 2-21、油槽掃瞄數位圖	38
圖 2-22、利用空載光達製作之 DEM.....	40
圖 2-23、利用航空照片製作之 DSM.....	40
圖 2-24、臺南地區的地形圖及構造單元.....	42
圖 2-25、臺南地區地體移動速率分析圖.....	42
圖 3-1、本研究團隊於野外實際操作情形	43
圖 3-2、本研究使用之反光圓柱	44
圖 3-3、陸地 3D 雷射掃瞄儀操作流程圖	44
圖 3-4、各測點位置示意圖	45
圖 3-5、ASHTECH ZMAX RTK-GPS	46
圖 3-6、TOPCON GTS-239 全測站儀	47
圖 3-7、布洛灣河階鑽探現場.....	49
圖 3-8、不同時間點的奇萊鼻河崖 3D 地形資料	50
圖 3-9、三次實驗所得點位誤差分佈圖	51
圖 3-10、航照數位影像處理流程圖	52
圖 3-11、臺電綠水站原始資料圖	53
圖 3-12、臺電綠水站資料處理過程圖	54
圖 3-13、立霧溪流量圖	54
圖 3-14、立霧溪流量比較圖.....	55
圖 4-1、長春祠現場施測情形與點雲圖	57
圖 4-2、各研究景點位置	58
圖 4-3、長春祠掃瞄圖	59

圖 4-4、白沙橋掃瞄圖	60
圖 4-5、印地安人頭掃瞄圖	61
圖 4-6、錐麓斷崖掃瞄圖	62
圖 4-7、流芳橋掃瞄圖	63
圖 4-8、九曲洞一線天掃瞄圖	64
圖 4-9、九曲洞魚躍龍門掃瞄圖	65
圖 4-10、青蛙石掃瞄圖	66
圖 4-11、印地安人頭照片與點雲圖比較.....	67
圖 4-12、青蛙石區域之 DEM.....	68
圖 4-13、天祥峽谷區域之 DEM.....	68
圖 4-14、2007 年 9 月立霧溪出海口航照圖	70
圖 4-15、2007 年 9 月立霧溪出海口航照圖影像匹配.....	70
圖 4-16、2003 年 10 月航照圖製作之 DSM	71
圖 4-17、2006 年 12 月航照圖製作之 DSM	71
圖 4-18、2007 年 9 月航照圖製作之 DSM	71
圖 4-19、臺灣地區地震震央及規模	72
圖 4-20、花蓮地區累積日雨量.....	73
圖 4-21、綠水水文站含砂量與地震發生時間關係圖.....	74
圖 4-22、水文及氣象資料比較圖（1986-2000 年）	75
圖 4-23、水文及氣象資料比較圖（1995-2000 年）	76
圖 4-24、福衛二號所攝之太魯閣地區衛星影像	79
圖 4-25、福衛二號影像辨識圖	80
圖 4-26、2005 年福衛二號影像崩塌地與植生辨識圖.....	81
圖 4-27、2009 年福衛二號影像崩塌地與植生辨識圖.....	81
圖 4-28、2009 年福衛二號影像崩塌地與植生辨識圖.....	82

圖 4-29、2005-2009 年新增崩塌地（黑點區域）位置圖	82
圖 4-30、2005-2009 年衛星影像辨識增生崩塌地面積分佈圖	84
圖 4-31、2005-2009 年衛星影像辨識增生崩塌地迴歸分析圖	84
圖 4-32、2008-2009 立霧溪綠水河段二次河道掃瞄結果	86
圖 4-33、2007-2008 立霧溪綠水河段二次河道掃瞄結果	87
圖 4-34、2008-2009 立霧溪錦文橋河段二次河道掃瞄結果	88
圖 4-35、2007-2008 立霧溪錦文橋河段兩次河道掃瞄結果	89
圖 4-36、立霧溪河道剖面橫切位置示意圖	91
圖 4-37、立霧溪河道剖面比較圖	91
圖 4-38、全測站觀測河道剖面圖	92
圖 4-39、洛韶橋至太魯閣閣口一等一級水準點高程示意圖	94
圖 4-40、閣口由西南往東北切過立霧溪之河道與峽谷剖面圖 ..	95
圖 4-41、綠水由南往北切過立霧溪之河道與峽谷剖面圖	95
圖 4-42、洛韶橋與荻板間南往北切過立霧溪之河道與峽谷剖面圖	95
圖 4-43、中橫公路一等一級水準點測量成果比較圖	96
圖 4-44、綠水站流量、含砂量與天祥降雨量比較圖	97
圖 4-45、布洛灣上台地河階岩心鑽探說明圖	100

表 目 錄

表 1-1、本團隊執行計畫至今之工作甘梯圖	7
表 2-1、臺灣地區抬升速率之研究結果	22
表 2-2、世界重要造山地區抬升及侵蝕速率一覽表	28
表 2-3、大南澳變質雜岩的分層對比	29
表 2-4、各式 3D 雷射掃瞄儀之標準偏差表	37
表 2-5、地面雷射掃瞄儀的誤差分類與誤差來源	37
表 3-1、全測站施測閣口河道	47
表 3-2、全測站施測燕子口河道	47
表 3-3、立霧溪主要河階高度	49
表 4-1、航照圖影像匹配誤差值	70
表 4-2、崩塌地面積定義範圍、個數、累加面積分佈表	83
表 4-3、一等一級水準點位及上升高度	94
表 4-4、名錄登錄表：清水斷崖	103
表 4-5、名錄登錄表：立霧溪沖積扇	105
表 4-6、名錄登錄表：砂卡噹溪谷	107
表 4-7、名錄登錄表：長春祠	109
表 4-8、名錄登錄表：布洛灣	111
表 4-9、名錄登錄表：燕子口	113
表 4-10、名錄登錄表：錐麓斷崖	115
表 4-11、名錄登錄表：九曲洞	117
表 4-12、名錄登錄表：慈母橋	119
表 4-13、名錄登錄表：天祥	121

表 4-14、名錄登錄表：白楊瀑布	123
表 4-15、名錄登錄表：文山溫泉	125
表 4-16、名錄登錄表：蓮花池.....	127
表 4-17、名錄登錄表：西寶河階	129

第一章 緒論

1.1 前言

太魯閣國家公園成立於民國 75 年，是臺灣第四座成立之國家公園，地理位置如圖 1-1 所示，轄區橫跨花蓮縣、臺中縣與南投縣，總面積達九萬二千公頃，僅次於玉山國家公園。太魯閣國家公園境內一半以上區域為 2000 公尺以上之山岳，超過 3000 公尺的高山共有 50 座，包括奇萊連峰、合歡群峰、中央尖山、南湖大山...等著名臺灣百岳多達 27 座，並有清水斷崖、魯谷幽峽（太魯閣峽谷）等二處曾名列為臺灣八景之世界知名景點。太魯閣峽谷擁有豐富多元的自然與人文資源，使得近年來許多學者在峽谷地區積極從事各項研究調查工作，藉以探究更多獨特且具價值的資源，做為申請列入世界遺產的依據，更是目前臺灣地區 12 個世界遺產潛力點中，最具傑出、普世價值之自然資產。但是，對於太魯閣地區峽谷自然美景的保存，除了大自然所造成的災害（颱風、地震...等）外，亦須同時兼顧遊客承載量及環境衝擊的平衡，因此仍有持續進行研究及調查的必要。

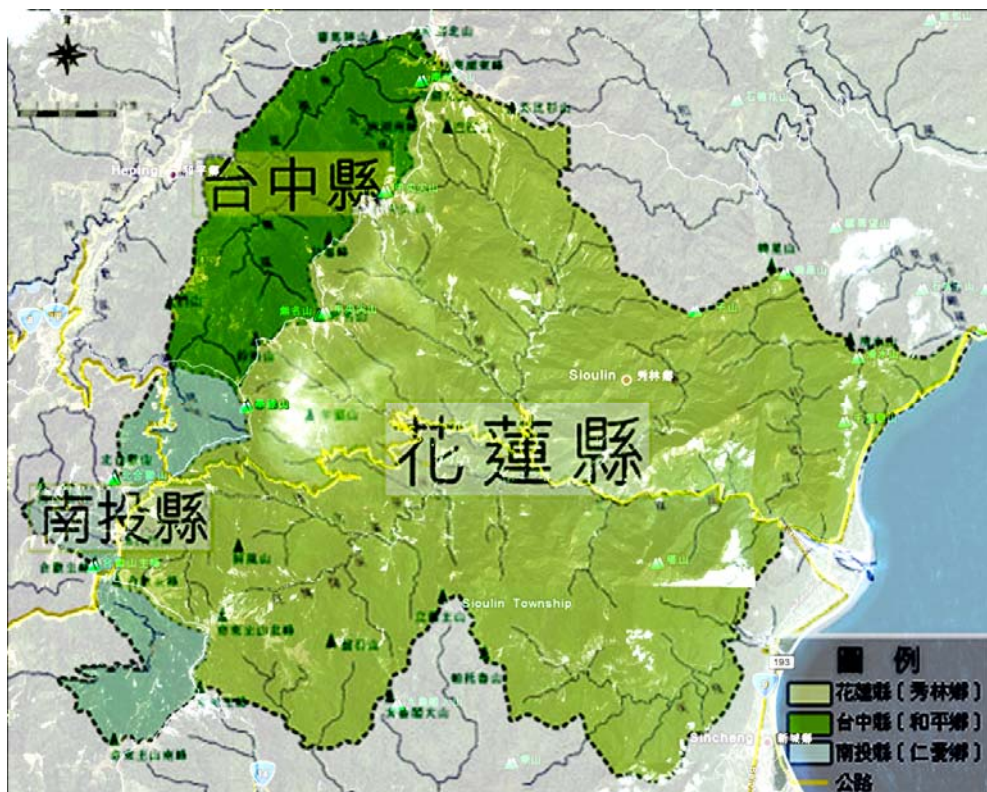


圖 1-1 太魯閣國家公園轄區範圍圖（修改自太魯閣國家公園，2009）。

臺灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的交接縫合帶上，屬於新生代的年輕造山帶，就目前所知的主要造山運動約有二次，一次是發生距今約八至九千萬年前的南澳運動；另一次則是發生距今約六百萬年前的蓬萊造山運動。南澳運動將原來的火成岩、沉積岩變質成變質岩（如石灰岩變成為大理岩），而蓬萊運動把接近地表的年輕地層抬出地面，使得地底下的變質岩暴露於地表。造山運動亦造成褶皺、斷層、加快風化與侵蝕等作用，且受造山運動的影響形成現今中央山脈、雪山山脈...等高山地區，在板塊交界處的太魯閣地區，更容易同時產生快速的地體抬升及河流急劇下切作用，這些機制都可能造就太魯閣峽谷的雛形，應用三D地形模擬之太魯閣峽谷形成示意圖（圖 1-2），可概略說明峽谷地形的主要影響因素，包括地體抬升與河流下切作用，而在太魯閣峽谷地區的地形急劇變化，形成及演育過程仍有有待入研究。

(a)

(b)

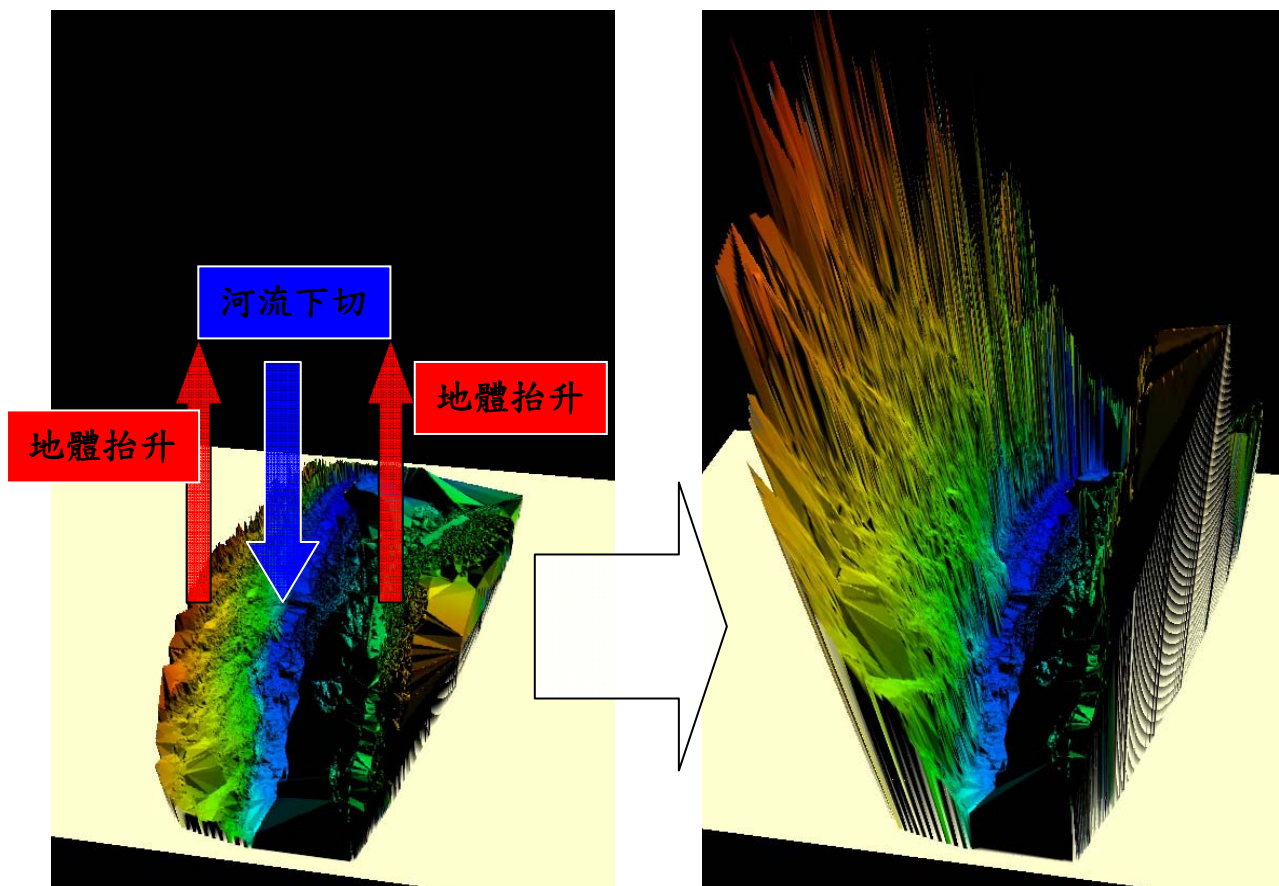


圖 1-2 太魯閣峽谷形成示意圖：(a) 原始河流地區，因快速的地體抬升（紅色箭頭）與河流下切（藍色箭頭）作用而形成峽谷地形 (b)。

太魯閣峽谷地區為臺灣地區最古老的地質與構造單元之一，具有完整的臺灣造山運動史紀錄，且受造山運動作用的影響使得地殼上升並歷經不斷剝蝕，造就太魯閣峽谷地區的岩石紋理，得以呈現各種不同的作用所產生的褶皺，其中流褶皺發生的原因通常是原處於地下 10 到 15 公里深處的岩石，因其溫度、壓力增加，使岩石物理性質改變所致，在砂卡礫溪神秘谷一帶的岩石即可觀察到明顯而豐富的褶皺構造。另外，太魯閣地區主要由大南澳片岩的大理石、片麻岩及各種片岩所構成，由岩層被剝蝕情形，可推測巨石、岩屑或礫石經由降雨、立霧溪及其支流，被搬運到立霧溪沖積扇三角洲與東側的太平洋岸，部份則可能向南輸送成為形成花蓮平原的主要沉積來源之一。

受水量豐沛的立霧溪及其支流貫穿太魯閣峽谷全區之影響，持續不斷地切割著岩層，因岩質差異造成不同的侵蝕結果與搬運或堆積現象，使得峽谷各處呈現獨特之地形變化，孕育出多元而豐富的地形景觀（圖 1-3）。除了太魯閣峽谷具有雄偉壯麗的峽谷、高懸谷壁的壺穴、數量眾多的河階群、迂迴曲折的曲流地形等外，還有高聳陡峭的斷崖、連綿的高山峻嶺，以及古代冰河的遺跡（如南湖圈谷）等特殊現象，這些都是臺灣獨一無二的天然景觀，不僅深受國內遊客的喜愛，也是國外遊客遊必定造訪的景點，更是爭取列入世界遺產最重要的優勢。因此，對於太魯閣峽谷的形成過程、河川侵蝕作用現象的瞭解，以及重要地景資源之維護，為此區域最重要的研究議題之一。

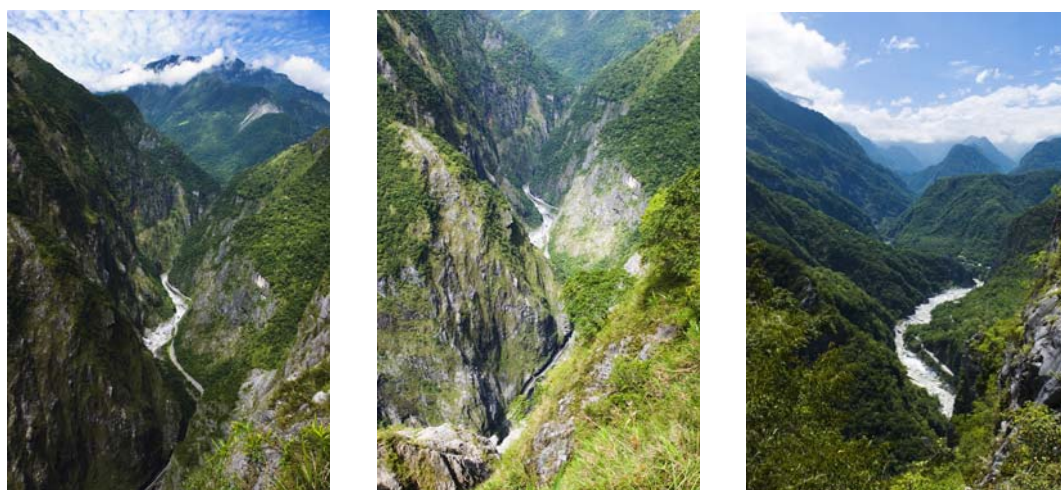


圖 1-3 太魯閣峽谷實景。

1.2 研究目的

在太魯閣峽谷地區的相關研究中較缺乏：（1）針對單一特殊地質景觀，進行更深入的地形變化之研究；（2）區域抬升、河道側蝕及地表侵蝕速率的長期測觀資料；（3）崩塌地對峽谷地形演變的影響。以上研究議題，皆為太魯閣峽谷發育歷史中重要因素之一，有必要配合長期測觀資料進行詳盡的探討。因此，本計畫預計對峽谷地區內，區域性的抬升作用與侵蝕速率、河川發育過程、特殊地景地點變遷的監測，進行長期性的研究工作，研究結果將與 97 年度完成的『太魯閣峽谷景觀價值及變遷監測之調查』計畫成果相結合，以太魯閣峽谷所具有的普世傑出景觀價值，進行科學研究及世界遺產之申報工作。

1.3 研究方法與過程

本研究計畫希望藉由對景點的野外調查與登錄工作、3D雷射掃描、近景攝影測量法、水準測量、河階漂木定年、航空與衛星照片分析...等工作，對立霧溪中、下游的峽谷地區進行研究工作，以普查與建立園區內具保存價值之地質地形景觀名錄、監測地質地形景觀的發育與變化情形、峽谷地區短期區域抬升與侵蝕之速率，以及峽谷發育的情形與崩塌地對峽谷地形影響，進一步探討其間之相互關係，並做為太魯閣國家公園管理處對峽谷地區經營管理之參考。

研究重點包括「文獻蒐集與回顧」、「園區內具保存價值地質景觀之普查與建立名錄」、「立霧溪河谷發育與變遷研究」、「峽谷發育歷史的研究」、「區域抬升速率與侵蝕速率的研究」、「崩塌地對峽谷地形的影響」、「太魯閣峽谷地質地形價值的科學證據研究」，等七項工作，研究執行流程如圖 1-4，詳細說明如下：

1.3.1 文獻蒐集與回顧

針對太魯閣峽谷中之立霧流域地區，進行本計畫相關議題資料的蒐集，文獻蒐集的領域包括地質學、地形學、大地測量學、定年學...等多領域之研究文獻資料。

1.3.2 普查與建立園區內具保存價值之地質地形景觀名錄

結合行政院農業委員會特殊地景及景點登錄表格的內容，對園區內具保存價值之地質地形景觀，進行普查及拍攝現況並建立名冊，以利未來相關之研究計畫。

1.3.3 傑出地質地形景點的監測

使用陸地 3D 雷射掃瞄 (Terrestrial 3D Laser Scan) 或近景攝影測量法 (Close Range Photogrammetry) 重建三維數值地表模型 (DSM, Digital Surface Model) 地形。主要針對太魯閣峽谷地區內的主要景點，包括白沙橋峽谷、燕子口、印地安人頭、靳珩峽谷、錐麓峽谷、流芳橋峽谷、九曲洞一線天、魚躍龍門、青蛙石、天祥溪谷、白楊瀑布進行掃瞄、監測工作，藉以瞭解不同岩石種類地形發育的異同及演化情形，並做為太魯閣峽谷地區申請設立世界遺產的基本資料。

1.3.4 峽谷地區短期區域抬升與侵蝕速率研究

應用大地測量、陸地 3D 雷射掃瞄或雷射免稜鏡全站儀 (Reflectorless Total Station) 對峽谷寬度 (側蝕速率)、深度 (侵蝕速率) 進行研究，地點包括錦文橋、太魯閣台地下方河谷、長春祠、白沙橋、燕子口、靳珩橋、綠水及白楊瀑布，以瞭解不同岩性的侵蝕速率及區域性短期的抬升速率。

1.3.5 峽谷發育歷史與變遷之研究

採集天祥以東主要河階地 (如好好士、落支煙、布洛灣、河流.....) 中，礫石層內可作為定年的物質 (如漂木) 進行 ^{14}C 定年工作，並配合河階地形的研究，進行古河道變遷與峽谷發育歷史研究。

1.3.6 崩塌地對峽谷地形影響研究

應用不同時期衛星影像或航空照片計算崩塌地的面積，雷達影像立體對或空照立體對建立不同時期地形，同時記錄人為棄土現況，用以研究崩塌地及棄土對峽谷地形的影響。

1.3.7 報告撰寫

將研究所得的資料進行彙整以撰寫報告書，並提供所得結果做為國家公園管理處對峽谷地區經營管理之參考。

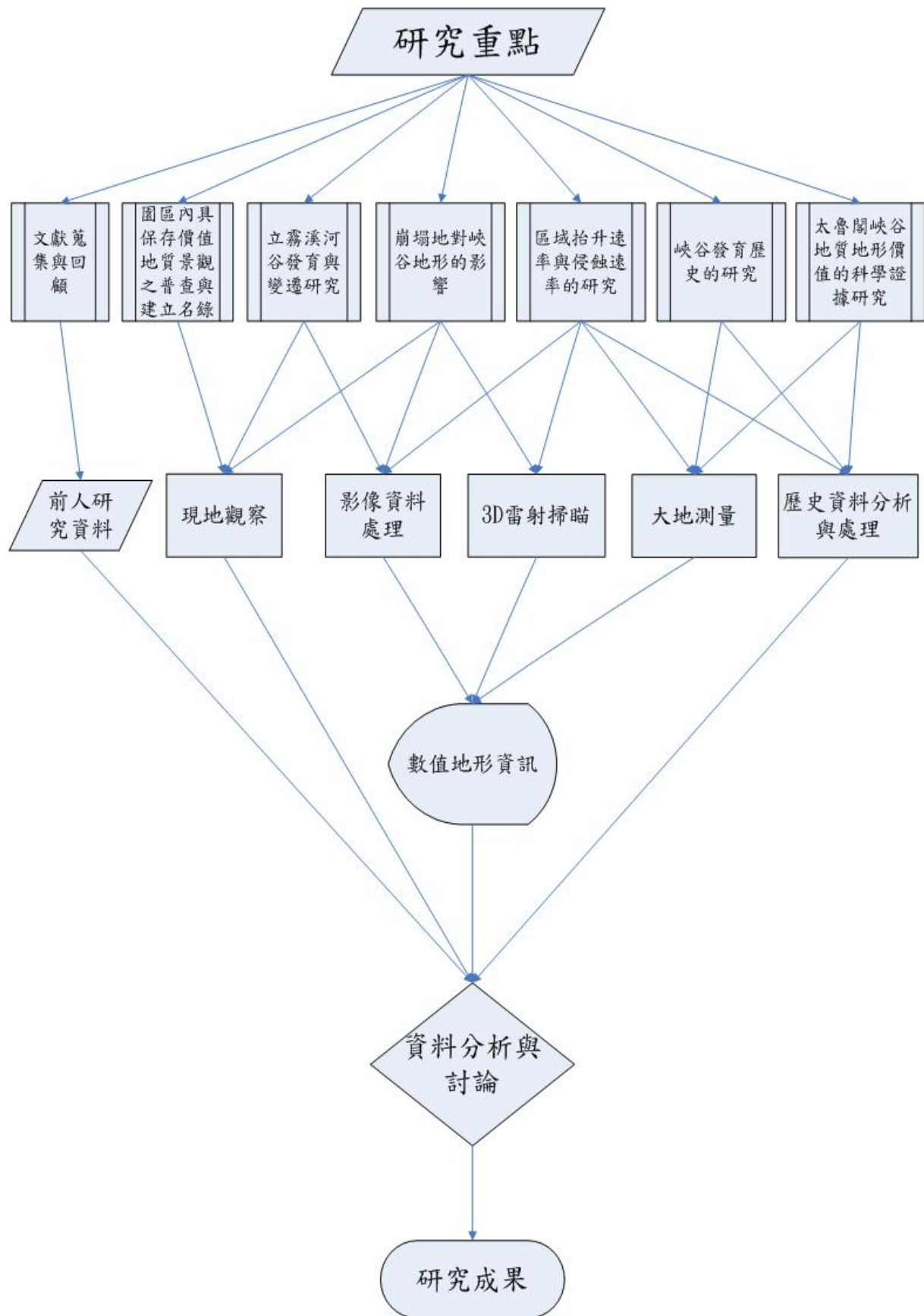
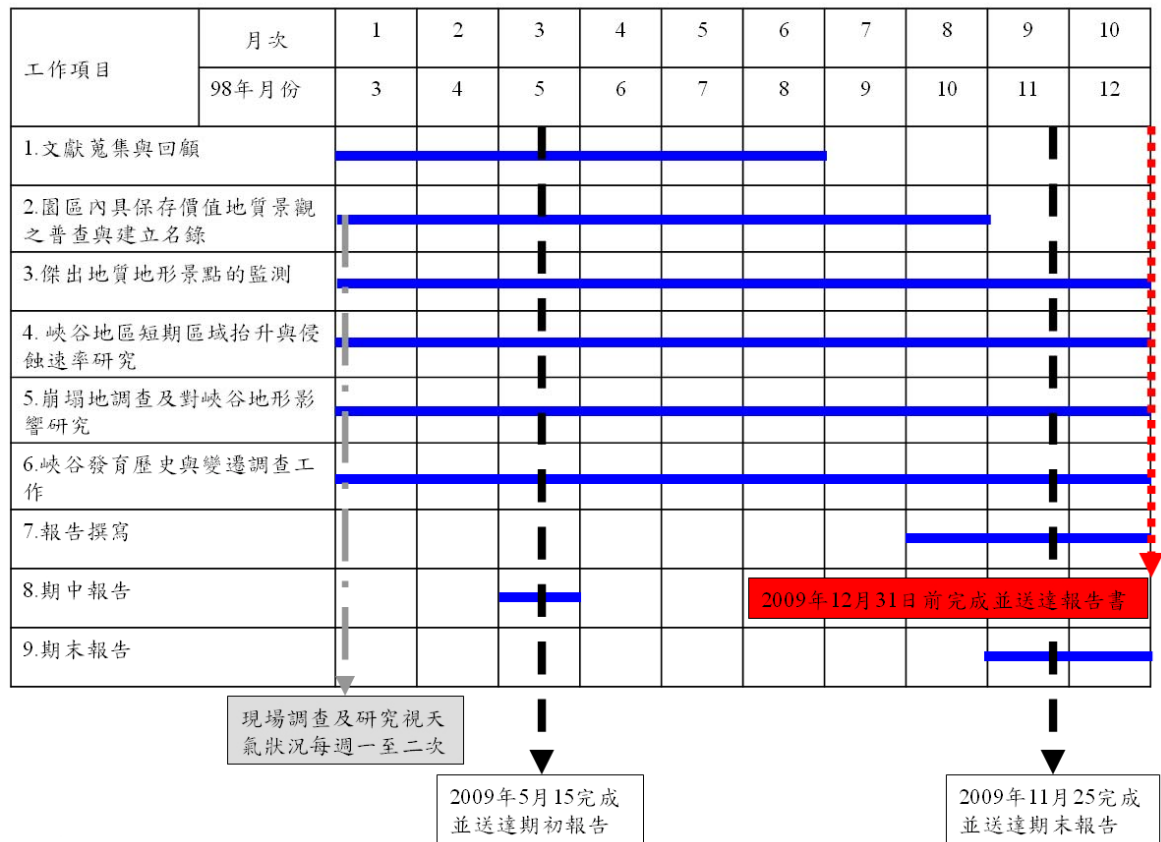


圖 1-4 研究執行流程圖。

表1-1 本團隊執行計畫至今之工作甘梯圖



第二章 文獻回顧與探討

2.1 太魯閣地區地形的研究工作

太魯閣地區的研究工作，在日據時代後可以概分為三個時期：

(1) 1950-1970 年代

如林朝榮（1957）及陳正祥（1961），對立霧溪（塔次基里溪）所形成的河谷地形進行系統性的描述。駱香林（1974）在編撰花蓮縣志引用前述二位學者的觀點進行，說明位於花蓮北側的立霧溪是臺灣地區流域面積最大的次要河川，其流域為標準樹枝狀河，以荖西溪與砂卡礑溪形成太魯閣國家公園的支流，並成為太魯閣峽谷最重要的營力作用之一。

(2) 1970-1990 年代

太魯閣國家公園成立的初期，為因應國家公園對地質地形資源的需求所進行的調查研究工作，對峽谷地區地形的形成與演育歷史得到初步的成果，並成為國家公園當局解說與保育工作的重要參考（Li, 1976，王執明，1987，1989，1991a、b，1992；王鑫，1988；張石角，1990；劉志學，1989；齊士崢，1994）。

(3) 1990 年代至今

主要是針對峽谷形成的機制與地形發育的過程進行調查，重要的研究工作是對河流的下切速率與構造抬升作用、豪雨與地震誘發山崩進行探討，以瞭解這些作用在地形演育上所扮演的角色（Petley et al., 1997；Yu et al., 1997；Petley and Reid, 1999；Hovious et al., 2000；Hartshorn et al., 2002；Yui and Chu, 2002；Dadson et al., 2003；Fuller et al., 2003；Schaller et al., 2005；Hovius and Stark, 2006）。此外，Yoshimura et al.（2001）在太魯閣地區分析二氧化碳循環造成的風化與侵蝕現象。張瑞津（2000）與張瑞津與藤肇芸（2002）則對人工壩堤在立霧溪河道興築進行研究，瞭解這些人工設施對地形地質地理景觀可能產生的影響。

在初步瞭解過去太魯閣峽谷地區的研究方向後，將從臺灣島生成原因及過程進行瞭解，才能逐步描繪出其不同時期的面貌，進一步探究太魯閣峽谷地形地貌的演育歷史，並由前人研究中比較地形演育的研究方法與結果，以作為本研究之參考基礎。

2.2 臺灣島的形成

臺灣島的形成可起源追溯至一千二百萬年前，原本臺灣地區仍在海平面下，位於歐亞板塊和菲律賓海板塊的邊界上，受菲律賓海板塊不斷朝北北西方向移動，一方面向北隱沒到中國大陸邊緣之下，另一方面向西仰衝到南海之上（鄧屬予，2002）。菲律賓海板塊不斷向北北西漂移，同時使得呂宋島弧也逐漸靠近大陸邊緣，島弧的北端在距今約1000萬年前開始衝上大陸外緣，開始了弧陸碰撞的過程，到500萬年前將呂宋島弧擠向大陸邊緣並衝上了大陸地殼，形成一座小島（圖2-1），為碰撞山脈產生臺灣的起源（鄧屬予，2006）。

另外，Sibuet and Hsu（2004）利用臺灣1991-1997年的地震資料，並修改Lallemant et al.（2001）的模型，明確劃分板塊影響邊界後（圖2-2），再重新推論臺灣從九百萬年前至今的形成過程（圖2-3），所得的結果與鄧屬予（2006）非常類似。

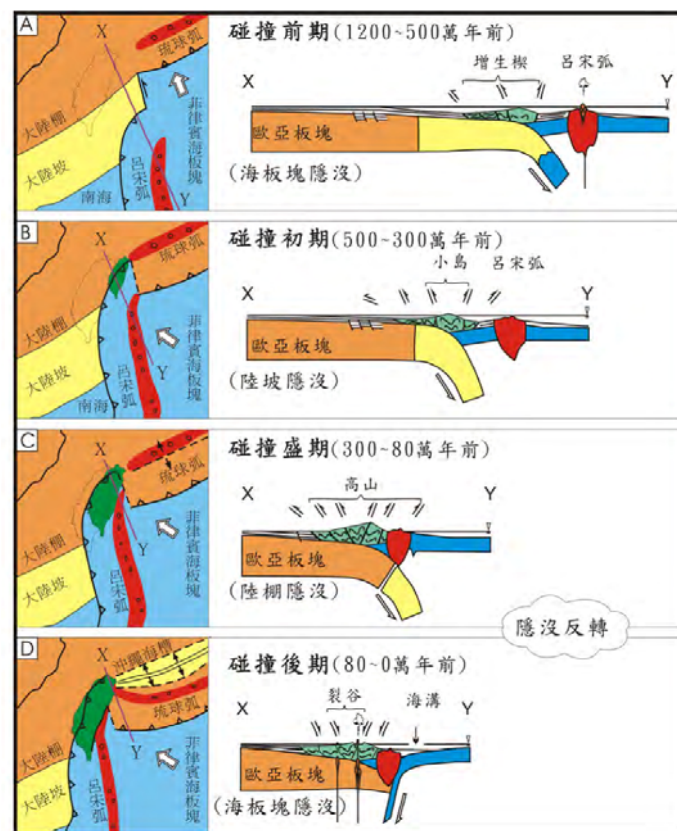


圖2-1 臺灣地區弧陸碰撞過程示意圖，由A~D為臺灣島形程之過程（鄧屬予，2006）。

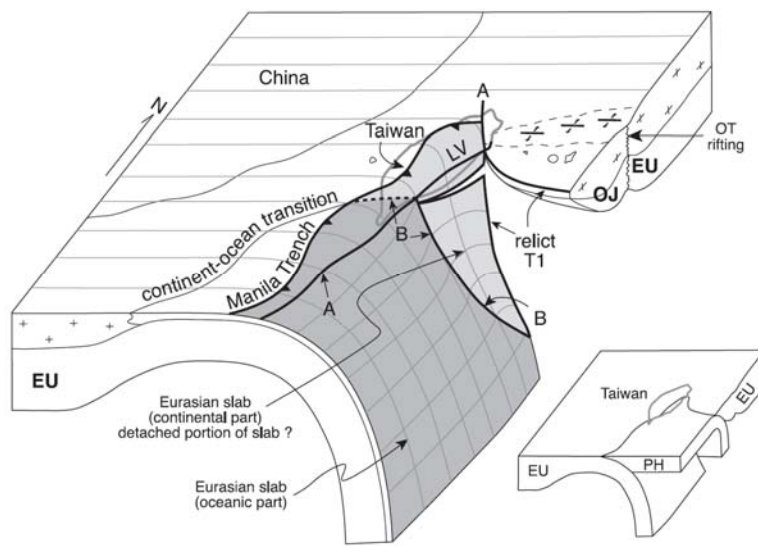


圖2-2 臺灣附近板塊地體構造及擠壓方向示意圖：A線為菲律賓海板塊（PH）的邊界，B線是延伸歐亞大陸板塊（EU）的邊界，深灰色為水域，淡灰色為陸域。LV：花東縱谷，OT：沖繩海槽，OJ：沖繩-日本板塊（Sibuet and Hsu, 2004, modified from Lallemant et al., 2001）。

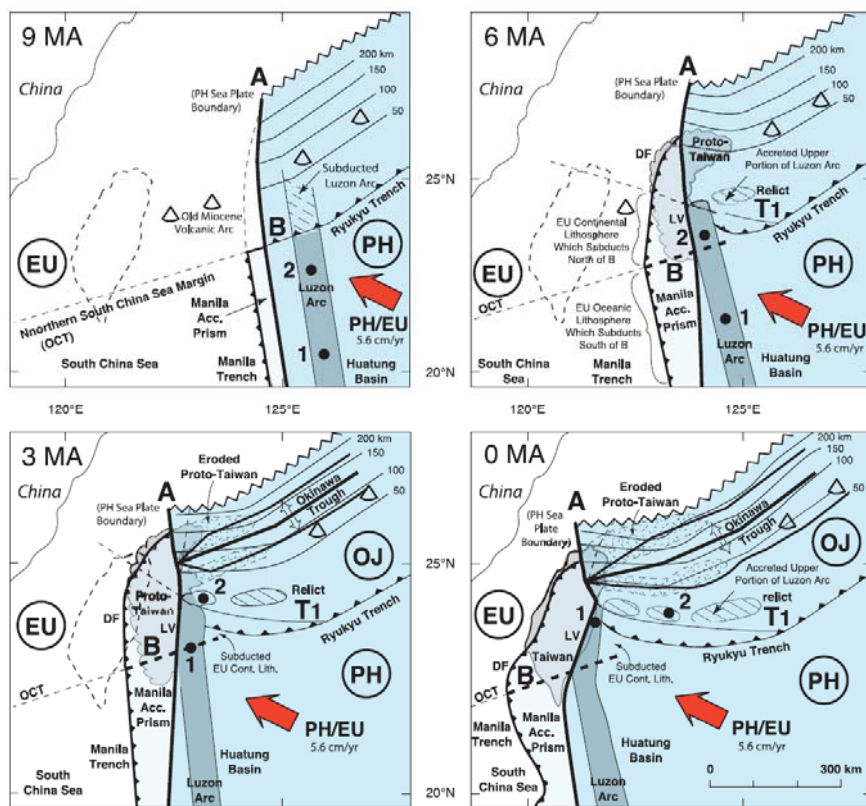


圖2-3 臺灣形成年代與地體構造位關係置示意圖：為9百萬年前至今臺灣島形成與各板塊推擠過程（Sibuet and Hsu, 2004）。

2.3 造山運動

距今約500~600萬年前受板塊碰撞、擠壓而產生臺灣島後，開啟了造山運動的機制，當呂宋島弧持續不斷地推擠，使得大陸邊緣逐漸壓縮並抬升，形成臺灣的造山帶。菲律賓海板塊也開始由北西北轉為西北向移動，使得呂宋島弧移動速度增加，當大陸地殼被捲入隱沒帶後，呂宋島弧的增積岩體（Accretionary prism，如圖2-1綠色部份）就快速成長並推著碰撞山脈向西遷移。由於呂宋島弧是以斜向與大陸邊緣產生碰撞，造成增積岩體向西移動並向南延伸，山脈亦不斷向西加寬而發展成今日的中央山脈。在碰撞晚期，呂宋島弧的北段也被擠壓抬升，依附在中央山脈的東側，形成現今的海岸山脈，並持續推擠著中南部的山脈不斷向西移動。

依據弧陸碰撞的板塊框架，臺灣是由呂宋島弧和大陸邊緣所造成，而臺灣東部的花東縱谷是島弧和大陸間的縫合線，縱谷東邊的海岸山脈是呂宋島弧向北延伸部份，而縱谷以西的地區則屬於大陸邊緣。由於呂宋島弧是由東向西的擠壓，使臺灣的地質特徵有明顯東西向的變化。在臺灣海峽和臺灣西部的海岸平原區域因尚未捲入碰撞造山帶，故仍保持中國大陸邊緣的構造型態，沒有明顯的褶曲現象。往東進入西部麓山帶後，岩層受碰撞擠壓作用的影響，形成一系列平行的褶皺和斷層，並沿著北北東-南南西方向排列。原本覆蓋在大陸邊緣的沉積層，被抬升侵蝕而出露在西部麓山帶和中央山脈中，形成第三系的沉積岩和板岩地層。部份的大陸基盤也被捲入造山帶，形成中央山脈的大南澳變質雜岩。再往東進入海岸山脈，則可發現原本是呂宋島弧系統的岩層，也被碰撞造山運動推擠出露形成安山岩、混同層和濁積層（胡植慶，2005）。

臺灣地區是屬於新生代晚期所形成的年輕造山帶，Suppe（1981）認為臺灣造山帶為呂宋島弧隱沒系統之增積岩體（圖 2-1 綠色部份），此論點為多數研究臺灣地球科學學者所認同。與臺灣的演化過程相比，圖 2-4 為 Teng（1982）所繪之臺灣島形成初期的剖面圖，呂宋島弧受菲律賓海板塊不斷推擠，演變為現今的海岸山脈，並且仍持續運動中，與 Liu et al.（2000）對於臺灣主要岩層受板塊推擠之移動方向大致相符，其中

並指出造山運動時受山脈受侵蝕之情形（圖 2-5）。鄧屬予（2002）認為可將菲律賓海板塊視為一堆土機堆雪的情形，經由緩慢的推擠使得雪堆的前端與底層產變形，並容易有崩裂情形，但內部除了不斷墊高之外，產生的變形則相對較小。以過去歷史中臺灣所發生的大地震（如 1951 年花蓮大地震及 1999 年集集大地震），以及臺灣斷層出現的位置，都與此論述之變形、裂縫產生之處都相符合（圖 2-6）。

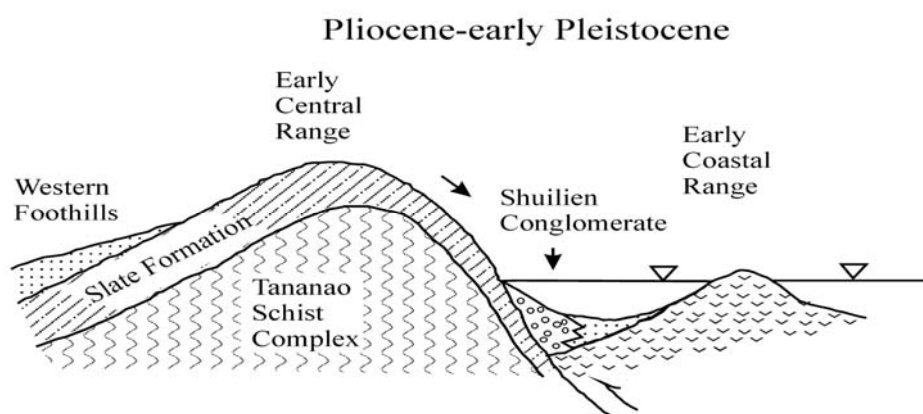


圖2-4 臺灣形成初期之剖面圖（Teng, 1982）。

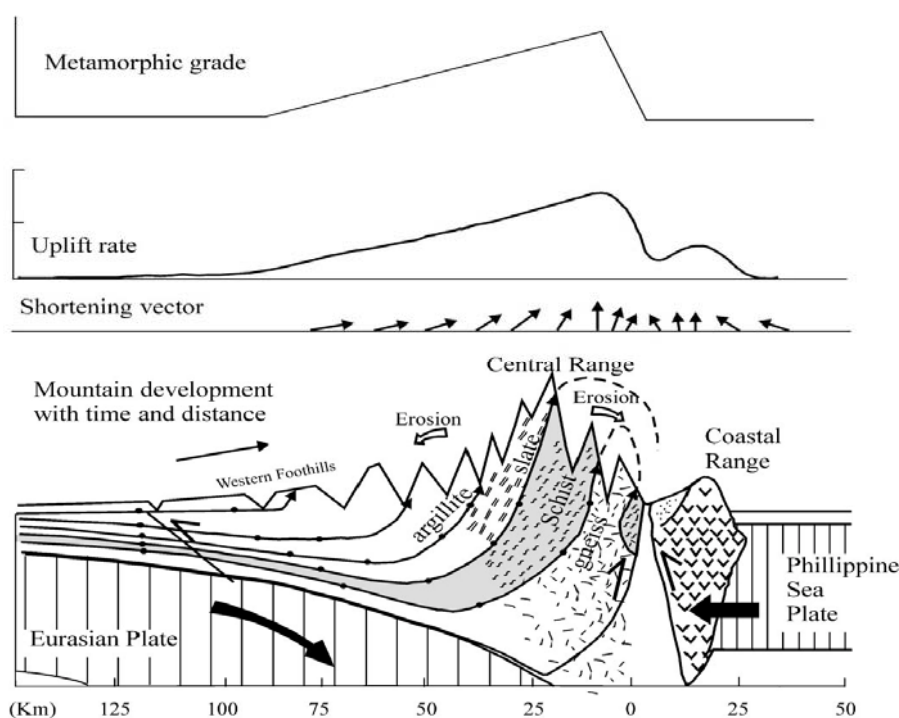


圖2-5 臺灣受板塊推擠及侵蝕情形示意圖（Liu et al., 2000）。

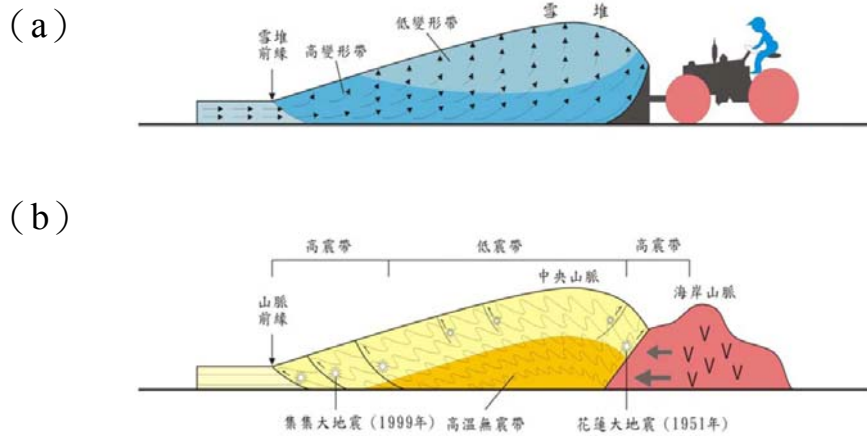
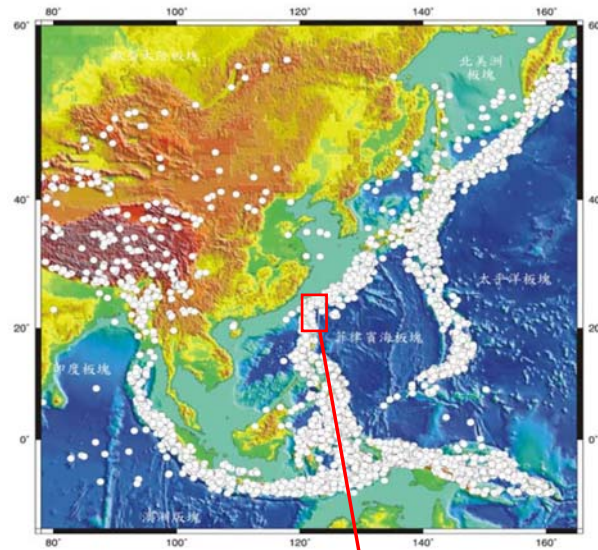


圖2-6 弧陸碰撞模式示意圖：(a) 推土機模型示意圖；(b) 同時說明高震帶與臺灣所發生的大地震位置相符合（鄧屬予，2002）。

另外，由臺灣地區的地震活動分布情形，能作為有效推論板塊邊界的證據（Sibuet and Hsu, 2004）。藉由地震不斷發生亦能說明板塊仍持續運動，在遠離板塊邊界的地區，如菲律賓海板塊與歐亞板塊內部的地震活動較少，而板塊邊緣所發生的地震位置較為密集（圖2-7），因此地震與板塊的隱沒、碰撞運動有著密不可分的關聯。板塊運動是臺灣附近地區的造山運動之動力來源，在弧陸碰撞的過程中，因地殼不斷累積承受的應力造成變形，且此運動仍持續進行中，如此不但形成了臺灣特殊的地質、地形環境，也產生許多地震與地體抬升、沉降的作用，使得臺灣擁有許多珍貴的地質構造之基本資料。

菲律賓海板塊相對於歐亞板塊的運動速度，一直是討論臺灣地質構造及演化所需的重要資料，近年來已有不少學者估算其年平均移動速率，如 Seno（1993）估算菲律賓海板塊相對於歐亞板塊的運動方向約為 309° ，速率約為 70-74mm/yr；Yu et al.（1997）以 GPS（Global Positioning System）分析臺灣地區相對於澎湖白沙（S01R）的速度場，並得到蘭嶼的相對運動方向為 306° ，速率約為 82mm/yr；Sibuet and Hsu（2004）則認為方向為 307° ，速率約為 56mm/yr。如此快速之板塊移動速率（56mm~85mm/yr），可視為造山運動的動力來源，對於臺灣的地質、地景與地形發育，有著非常明顯的影響力。

(a)



(b)

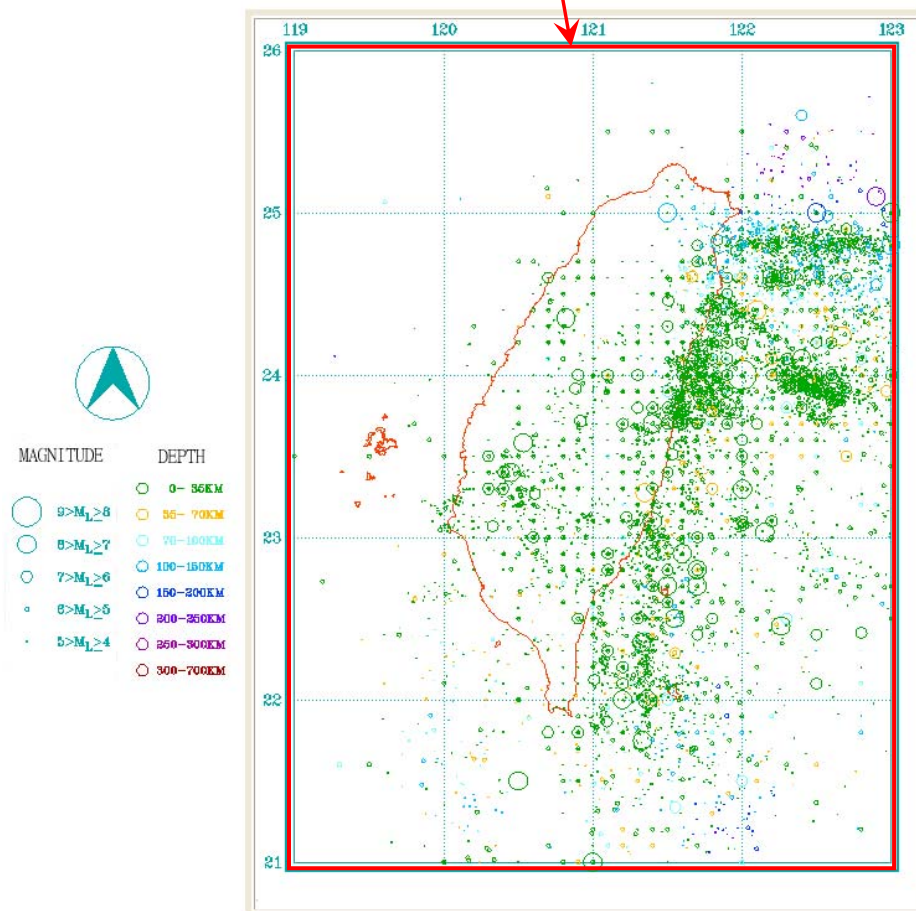


圖2-7 地震位置圖：圖（a）為1990-1999規模>5之地震位置（白色點）與板塊示意圖（資料來源：美國地質調查所，引自Sibuet and Hsu, 2004）；圖（b）為1990-1996臺灣地震發生震源、規模（資料來源：中央氣象局）。

2.4 峽谷地形的成因

造山帶地區的地形演育歷史，與侵蝕作用控制地形與構造演化的研究，為近年來地質學家較有興趣的研究方向之一。Reiners et al. (2003) 對美國華盛頓州的Cascade山的研究結果顯示，降雨量的變化造成河流的下切作用為該地區影響地形發育的主因；Wobus et al. (2003) 對於喜馬拉雅山的地形的研究結果，認為河流的下切速率與地形的發育，受構造抬升作用所控制，但是Burbank et al. (2003) 則認為降雨量才是主要的因素，由上述可知地形發育與降雨量、構造抬升作用之關係，仍是爭論的議題。在造山帶的造山過程中，河道剖面為最能詳實記錄造山運動整體變遷情形的證據，河道剖面發育主要控制機制有二項主要成因，一個是地體抬升速率與板塊碰撞密切相關，另一個是河流下切速率，形塑出深淺不同的河道剖面。以質量守恆之觀念應用擴散模式(Diffusion Model)，模擬地體抬升速率與河流下切速率較慢地區之河道剖面，模擬結果以拋物線形為主，多數英格蘭地區河道剖面即屬此類(Allen, 1997)。河流下切速率較快的區域，常導致上游坡度增加，當坡度超過地表物質之安定角度即造成塊體運動，形成山崩、地滑等現象後，再將地表物質移除(Landslide dominated)，最後演變成為線形河道剖面，在紐西蘭南島與加州地區河川發現有此現象(Anderson, 1994)；而地體抬升速率與河流下切速率較快之區域，河道剖面常呈現向上凹陷之剖面(Hovius, 1995)，臺灣東部河川大部分都是向上凹陷之河道剖面，其屬於快速地體抬升速率與下切速率之區域，可以利用Area-Slope Product Model進行模擬(Anderson, 1994；Allen, 1997)。

當某一流域之地體抬升速率與河流下切速率趨於動態平衡(Dynamic equilibrium)，歷經長時間的發育，即可能形成峽谷地形的自然景觀。利用河道剖面發育主要控制機制(Control mechanism)，例如該區域之地體抬升速率(Tectonic uplift rate)、河流下切速率(River incision rate)或更廣義的侵蝕速率(Erosion rate)，以及造山帶山坡作用(Hillslope process)與河道侵蝕耦合作用(Coupling)，所造成河道剖面改變(Hovius and Stark, 2006)，可以釐清地形發展歷程，所以地質學家在推論高山或

峽谷地形形成機制時，都需要由河道剖面中蒐集所有關鍵性的證據。在完整的造山過程中，各項主要控制機制，包括地體抬升、河流侵蝕速率…等所扮演的角色，都是造山或峽谷演育的過程中值得深入探討的議題（Molnar, 2003）。

受到持續的地體抬升作用與風化、降水、地震、山崩的影響，面積僅約三萬六千平方公里的臺灣島，有著高山、盆地、丘陵、台地、峽谷、平原…等多樣的地形（林朝棨，1957）。在臺灣，東部地區完整記錄臺灣形成、板塊推擠、造山帶的持續運動，以及快速的侵蝕作用，不僅造就壯闊的太魯閣峽谷地形，在岩層分布、岩石種類及形成歷程、年代…等物理現象，亦為地質學者積極研究的方向之一。

2.5 峽谷演育的研究方式

要瞭解太魯閣峽谷發展過程，則地體抬升與侵蝕速率為不可或缺之重要資料，一般學者的研究方式通常分為：

（1）定年學方式

利用不同礦物具有不同封存溫度（Closure temperature），在地表物質被移除過程中，當礦物通過地下封存溫度線開始記錄年代，所以得到的年代乘上地表物質移除速率，加上地體「抬升速率」之距離，就等於封存溫度至地表之距離。例如 Yui and Chu（2002）估計過去 8 百萬年來中央山脈地體抬升速率 ≥ 2 mm/yr。Liu et al.（2000）以核飛跡定年方式則推估中央山脈東側地體抬升速率為 6-9 mm/yr，且不同區域抬升速率不同。另外，Vita-Finzi and Lin（1998）以 ^{14}C 與 U-Pb 定年法對綠島與蘭嶼珊瑚標本所得的結果，計算出綠島在 5000-9000 年前抬升速率為 5 mm/yr，5000 年前至今則無明顯的上升現象，蘭嶼則持續上升；Hsieh et al.（2004）利用 ^{14}C 與 U-Pb 定年資料，得到花東海岸北端 30 公里部分上升速率為小於 4 mm/yr。Schaller et al.（2005）利用地層被河流切割露出地表，再經陽光照射所產生之宇宙射線源核種（cosmogenic nuclides），分析不同高度太魯閣峽谷大理岩中氯 36（ ^{36}Cl ）含量，推論太魯閣峽谷的侵蝕歷程，並與前人研究相比後，進一步估計全新世中晚期（約 6000

年前) 至今, 立霧溪平均河流下切速率約為 $26 \pm 3 \text{ mm/yr}$

(2) 測量方式

包括傳統三角—三邊測量, 水準測量與 GPS 測量, 例如 Yu et al. (1990)、Yu et al. (1997)、Yu and Kuo (2001) 指出花東縱谷西側以 $18\text{--}35 \text{ mm/yr}$, 方位角 $283\text{--}311^\circ$ 移動, 花東縱谷東側海岸山脈以 $28\text{--}68 \text{ mm/yr}$, 方位角 $303\text{--}324^\circ$ 移動 (圖 2-8)。兩側速率之差異造成縱谷中沉積物變形, 在玉里大橋被縱谷斷層切過的地層, 兩側上升速率差為 24 mm/yr (圖 2-8)。另外, Hartshorn et al. (2002) 在 2000 年颱風季節前後針對綠水區域河床進行岩石剝蝕研究, 得到石英岩的最大下切速率為 82 mm/yr , 片岩則為 36 mm/yr , 2000 年颱風後至 2001 年 12 月間 1 年之平均分別河道侵蝕了 6 mm 與 2 mm 。張有和與張成華 (2008) 在中橫公路太魯閣至洛韶橋間, 進行的長期水準測量結果顯示各位置相對抬升速率為 $3.2\text{--}15.2 \text{ mm/yr}$, 並推論抬升情形可能受岩石種類的影響。

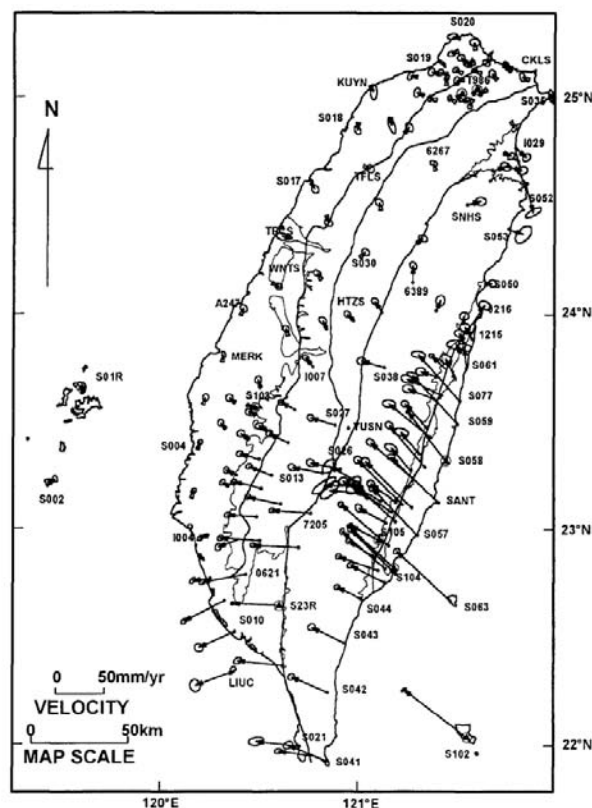


圖 2-8 以 GPS 測得臺灣各處相對於澎湖白沙的移動速率向量圖(Yu et al., 1997)。

（3）數值模擬

利用數值模式模擬峽谷之地形演變，能有效推論峽谷地景發育之成因、過程及結果，然而受到各種環境因素的影響情形的不同，模式結果也有一定程度的差異性。Petley and Reid（1999）以數值模式建立太魯閣峽谷從原始地形受河流下切及地體抬升影響，經過10萬年間之演育情形；張有和（2003）對臺灣東部山區一般裸露地占集水區面積，比例小於5%與超過90%裸露地的面積小於1000平方公尺之觀測結果，認為取得比目前使用之40m×40m解析度之數值地形模式（Digital Elevation Model, DEM），更佳之地形資料是瞭解崩塌地造成峽谷地形變化極重要之關鍵工作。但進一步以數值模擬的研究結果指出，立霧溪受地體抬升與河流下切速度都極為快速之影響，且每年數次颱風侵襲，造成快速的地形變化。如圖2-9，使用簡單的數值模式（包括擴散模式、線性模式、面積-坡度乘積模式）模擬河道侵蝕後之高程，結果僅在合歡山以東15公里以內的結果較為相似，因此多數數值模擬結果，只能解釋該流域部分河道剖面的發育現象，並不能完整模擬立霧溪的發育情形（張有和，2007）。

（4）河階地形

河階地（River terrace）是河流下切後邊坡上殘餘的平面或河床面，當河流再度快速下切，則形成不再受到河流影響之平台地形。透過河階地之特徵調查，可串連不同時期或不同事件所形成的階地面，藉以重建河川下切的歷史，可進一步探究平原、河谷、峽谷的形成過程，以及新期構造運動、氣候變遷、海水面變化，甚至土地利用、河川襲奪，或與其他環境變遷事件的關鍵性（齊士崢，2004）。

從河階沉積物中取得的漂木或放射性物質的定年結果，得以更精確地劃定階地沉積層的年代，配合定年時程及河階沉積種類，能有效說明研究區域在過去所發生的事件，進而推論河道改變及該地區的演育歷程。Shyu et al.（2006）利用階地分布、地質現象及標本採集，如圖2-10所示，瞭解過去花東縱谷的河道抬升情形，並配合階地的堆積情形，並探究河流改道及中央山脈斷層滑動情形。

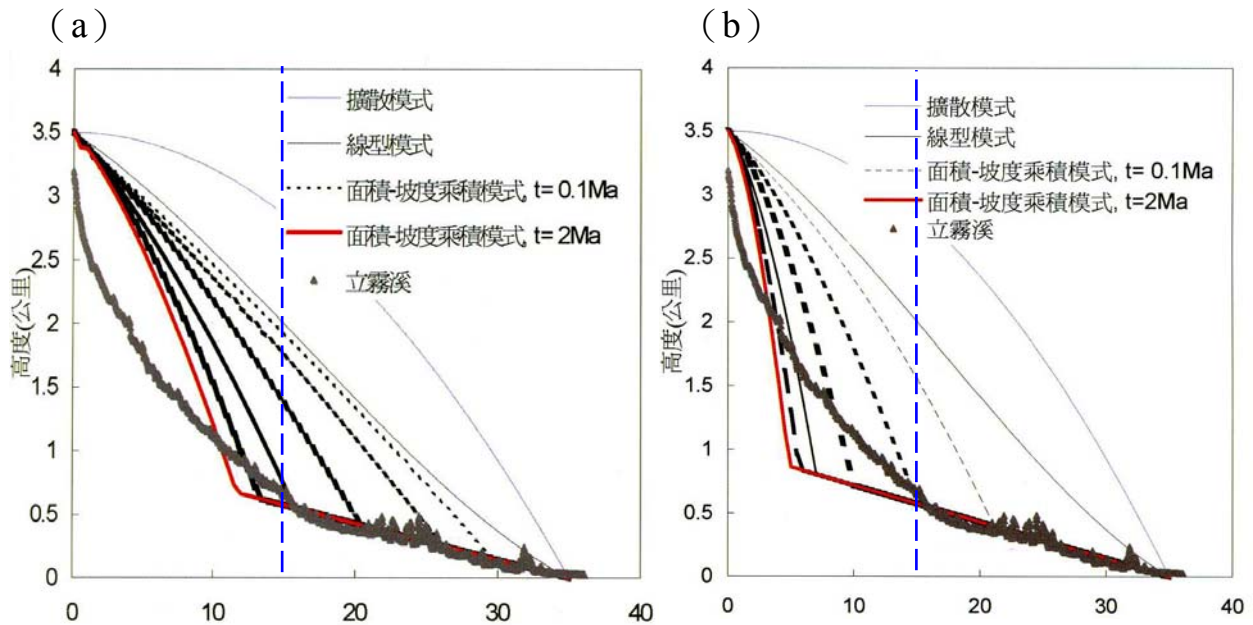


圖 2-9 數值模擬立霧溪下切情形與歷史資料（灰線）相比，以合歡山為原點，距離超過 15 公里（藍線）的模擬結果較與歷史資料較為符合。左圖：1 百萬年下切速率為 4mm/yr；下圖：1 百萬年下切速率為 25mm/yr（張有和，2007）。

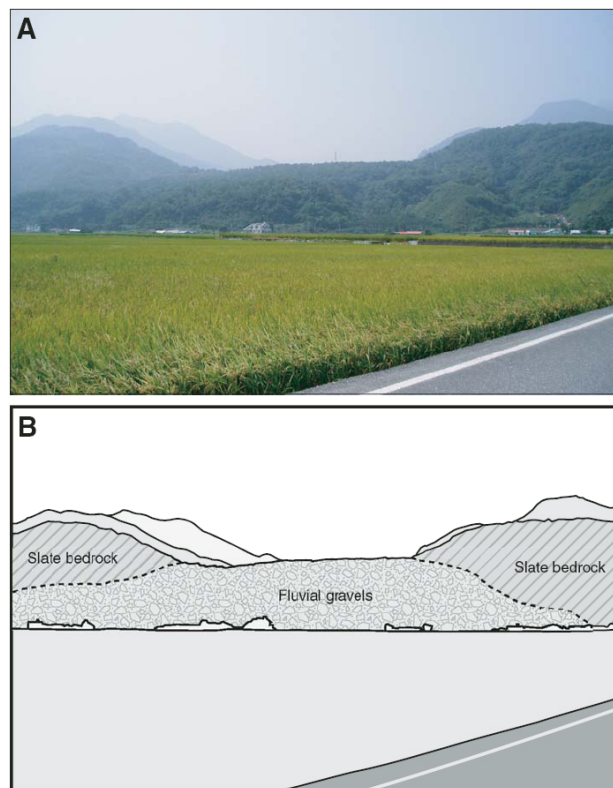


圖 2-10 花蓮縣南端長良地區河階圖。圖 A：現場照片；圖 B：河階地區沈積情形，藉以探討樂樂溪河道改變過程（Shyu et al., 2006）。

2.6 太魯閣峽谷的演育過程

影響峽谷演育的主要因子為地體抬升與河流下切速率（或是廣義的侵蝕速率），相互制衡下所造成的平衡狀態，本研究在蒐集前人文獻後做了初步的整理：

2.6.1 抬升速率

在臺灣地區的抬升速率相關研究中，早期由Li（1976）計算出臺灣地區的平均抬升速率5.5mm/yr；Lin（1998）的研究結果顯示百萬年來的抬升速率為5-10mm/yr；Dadson et al.（2003）研究結果得到3-6mm/yr的抬升速率；Tsao（1996）認為150萬年來中央山脈的抬升速率由7mm/yr增加至16mm/yr；Liu（1995）將研究結果與近期的水準測量數據比較，顯示近幾年在中央山脈東側的抬升速率約為36-42mm/yr。

表2-1為臺灣地區較大範圍的平均抬升速率，顯示各地的研究數據不盡相同，推論除了研究方法不同外，主要是不同年代及不同地區之地體抬升因素，以及不同的地質條件…等多項不同因素所影響。另外，在不同時期的研究結果顯示，即使在單一地點亦可能有明顯差異，以臺東的三仙台地區為例，全新世（Holocene，距今約一萬年前）至今的抬升速率約為3.5mm/yr，六千年來的平均抬升速率約為2.1mm/yr，但在近二十年的抬升速率則為30mm/yr（Liu and Yu, 1990；Liew et al., 1993），而Song et al.（2004）指出過去數百萬年的抬升速率為10.9mm/yr。

以過去研究結果，分析其數據受研究地點、時序、研究方法所造成的差異之外，地體抬升的加速度（Acceleration）影響也非常明顯（Lin, 1998），短期內可能受板塊運動、斷層移動或其他因素，得到較快的抬升或下沉結果，如1999年臺灣地區所發生的集集大地震，即可明顯用肉眼觀察出斷層附近的移動情形，距離甚至可達數公尺。

進一步比較長期的研究數據，可發現多數地區較屬於緩慢的移動的情形，亦可視為一平衡狀態，甚至是有些地區幾無抬升或下沉。而臺灣地區位處環太平洋地震帶，以多數研究數據（表2-1）可確認多數抬升情形，且抬升速率皆非常快速，特別在東部地區的速率最高，符合板塊學說與弧陸碰撞的理論基礎。

表2-1 臺灣地區抬升速率之研究結果

地區	抬升速率 (mm/yr)	時序	使用方法	資料來源
Northern Coastal Range (北部海岸地區)	7.5	~1.0Ma	Stratigraphic calculations	Lundberg and Dorsey (1990)
Southern Coastal Range (南部海岸地區)	5.9	~1.0Ma	Stratigraphic calculations	Lundberg and Dorsey (1990)
Hengchun Peninsula (恆春半島)	3.5±0.3-3±0.4	(Holocene) 10 Ka	Uranium-series and 14C dating on fossil corals	Wang and Burnett (1990)
East Coastal range (東部海岸地區)	5.3±0.8-4.7±1.0	(Holocene) 10 Ka	Uranium-series and 14C dated on the fossil corals	Wang and Burnett (1990)
Lanyu and Lutao (蘭嶼及綠島)	2.2±0.2-1.6±0.4	(Holocene) 10 Ka	Uranium-series and 14C dated on the fossil corals	Wang and Burnett (1990)
Southern Taiwan (臺灣南部)	5.3	Long-term	Uplifted corals	Peng et al. (1977)
Eastern Coast of Taiwan (東部海岸地區)	5.0	Long-term	Uplifted corals	Peng et al. (1977)
Eastern Coast of Taiwan (東部海岸地區)	2.5-3.0 ; >8.0	Holocene	Elevated shorelines	Liew et al. (1993)
Northern Coastal Range (北部海岸地區)	5.0-9.0	<5000 yr	Uplifted corals	Chen et al. (1991)
Southern Coastal range (南部海岸地區)	14.0	<5000 yr	Uplifted corals	Chen et al. (1991)
Eastern Coast of Taiwan (東部海岸地區)	0-35.0	1984-1987	Leveling	Liu and Yu (1990)
Southern Longitudinal Valley (花東縱谷)	30.0	1984-1987	Leveling	Liu and Yu (1990)

2.6.2 侵蝕速率

臺灣平均降雨量約為2500mm/yr，加上頻繁颱風與地震所誘發的山崩，這些因素均使得快速的塊體運動與河流下切作用明顯，Dadson et al. (2003) 以1970年到1999年臺灣地區30年來的河川輸砂量計算出侵蝕速率為3.9-5.2mm/yr。以10年平均的數據評估如圖2-11a所示，中央山脈以東與西南部地區的侵蝕速率較高（超過6mm/yr），在西部麓山帶及逆衝斷層某些地區甚至可達60mm/yr的侵蝕速率，在北部及西部則較低，約為1-4mm/yr；配合河階內標本以 ^{14}C 定年，計算出臺灣北部的河流下切速率約為1.5mm/yr，東部為9mm/yr，在西部麓山帶的逆衝斷層區則有超過15mm/yr的河流下切速率，如圖2-11b；進一步利用磷灰石以核飛跡定年結果（Apatite fission-track）估算5百萬年來的臺灣地區河流下切速率，如圖2-11c所示，在中央山脈東側約有3-6mm/yr，西部麓山帶東側則約為1.5-2.5mm/yr。

在持續且快速的地體抬升作用之下，隨著地勢的抬高，也同時增加了河道的陡峭度，相對的也逐漸加快河流的下切速率Wobus et al. (2006) 對於立霧溪流域各主、支流的陡峭度（steepness）進行分析，結果如圖2-12所示，並認為在河流系統中持續抬升且高懸的峽谷地形（圖中白色虛線為太魯閣峽谷區域），明顯受到河道陡峭度的影響，地體抬升作用之下使得陡峭度的不斷增加，也造成立霧溪的下切作用日益加劇。因此陡峭度亦可視為為地體抬升的指標，也是太魯閣峽谷演育過程中最重要的影響因素之一。

近年來已有許多學者針對立霧溪流域各處的侵蝕、下切速度進行研究（圖 2-13），所得的結果約為 3-12.5mm/yr 之間，但 Schaller et al. (2005) 由立霧溪河道底部沿峽谷壁向上 200 公尺內採集各位置的礦石標本，利用 cosmogenic nuclides ^{36}Cl 推算出當地的出露時程約為 6500 年前，並以此資料及立霧溪河谷高度，推估其下切速率為 $26.0 \pm 3.0\text{mm/yr}$ 。此研究與前人研究結果數據差異高達 2-7 倍，並進一步指出太魯閣峽谷的發育是由長期的地體抬升，與短期的氣候，或區域性的地體變動所控制，對太魯閣峽谷的演育歷史有著很大的影響力。

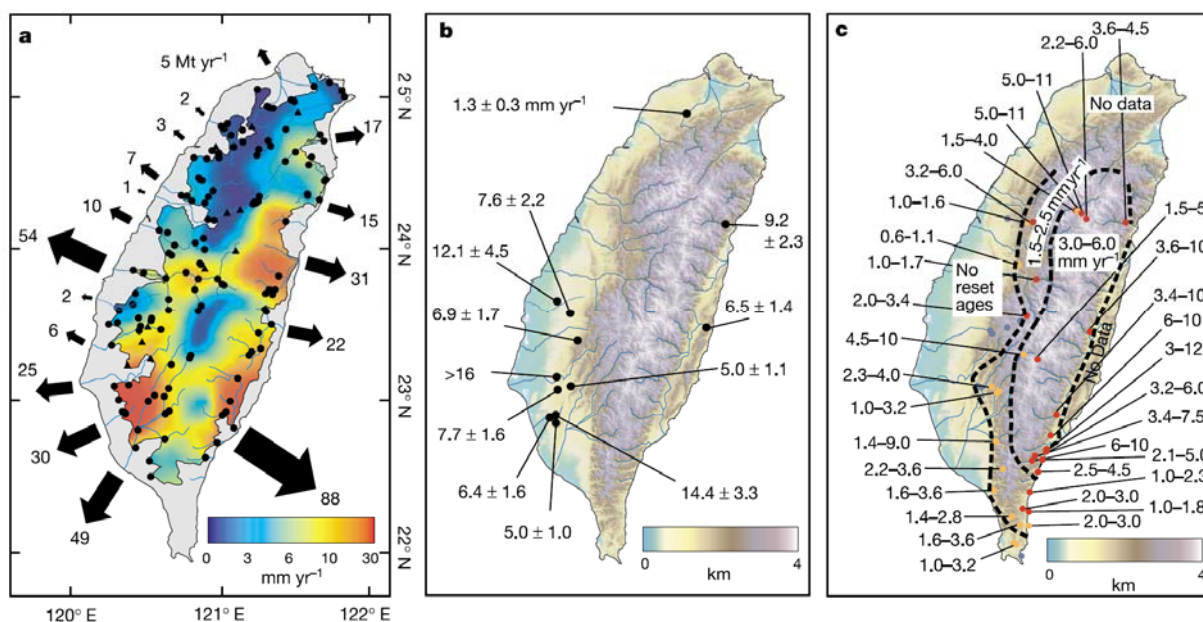


圖 2-11 臺灣地區侵蝕速率圖，圖 a：河流懸浮濃度，黑點為資料蒐集處，箭頭大小與數據代表年通量；圖 b：河床侵蝕率；圖 c：各地河流下切速率（Dadson et al., 2003）。

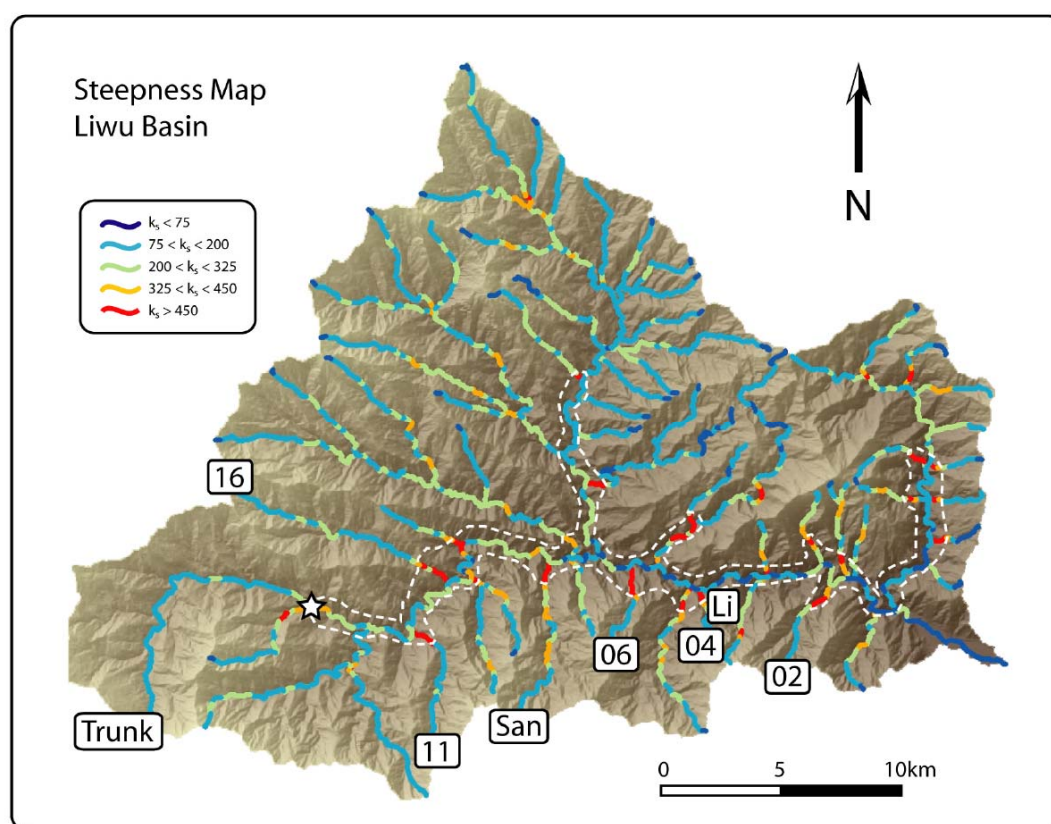


圖 2-12 立霧溪流域各河段陡峭度（steepness）示意圖：白色虛線為設定的太魯閣峽谷邊界（Wobus et al., 2006）。

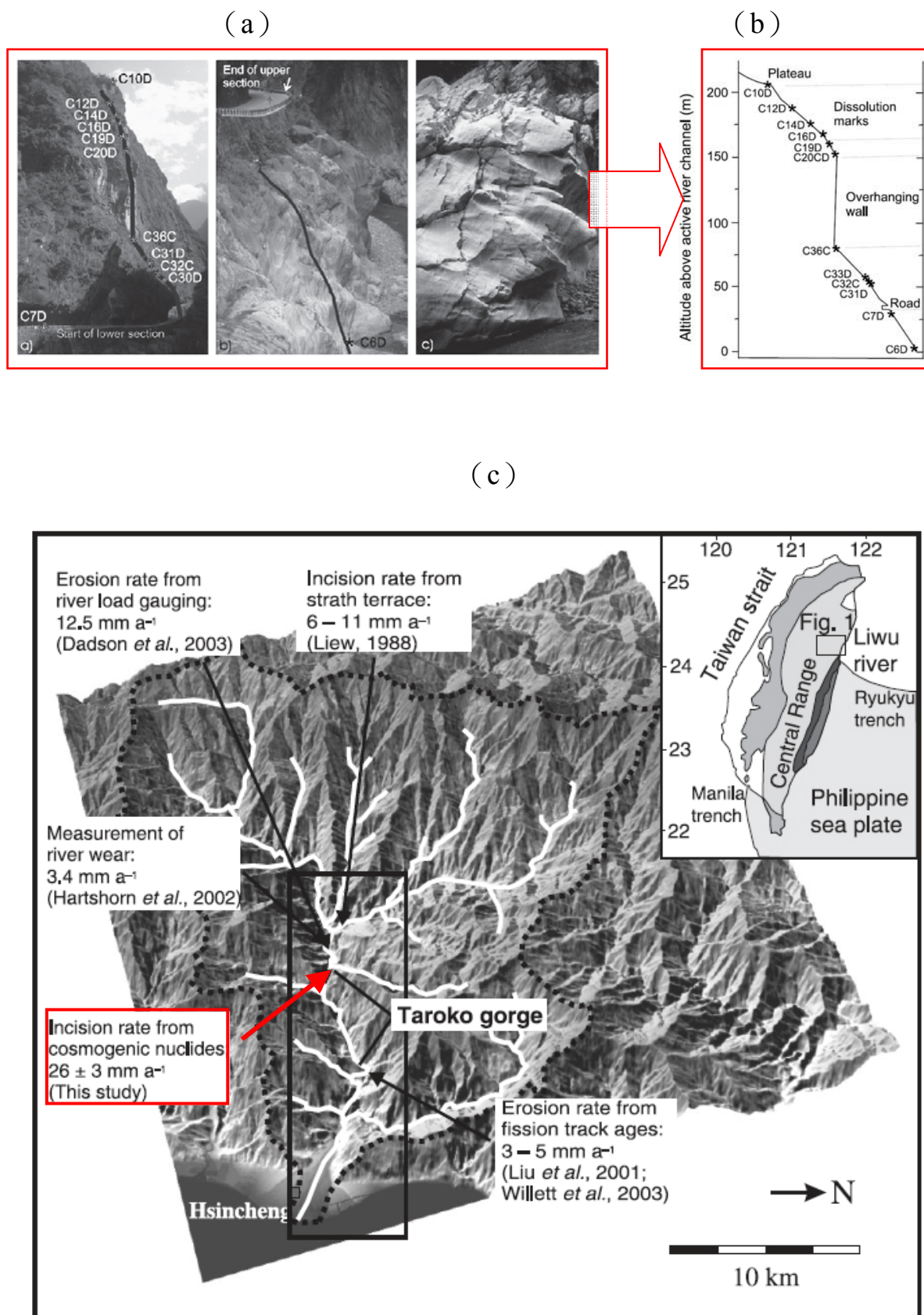


圖 2-13 立霧溪流域各區域之下切速率示意圖：(a) 取樣地點；(b) 取樣高度；(c) 各文獻研究區位置及結果 (Schaller et al., 2005)。

2.6.3 平衡狀態

由臺灣地區的地體抬升、侵蝕速率，以及此二機制維持平衡狀態，產生了許多高山、深谷的地形，其中在太魯閣峽谷地區中高度達 600 公尺以上的斷崖絕壁，與寬度僅 10-20 公尺的狹窄河谷的特殊大理岩峽谷，如此特立於臺灣地區及世界各峽谷地區的地景資源，吸引許多國內外學者到此處積極研究板塊碰撞、新生代造山運動與探討構造現象形成之過程，並從各項影響太魯閣峽谷發育的因子進行研究，並獲得良好的研究成果 (Li, 1976; 王鑫, 1988; 張石角, 1990; Petley et al., 1997; Petley and Reid, 1999; Hovius et al., 2000; Hartshorn et al., 2002; Dadson et al., 2003; Schaller et al., 2005; Hovius and Stark, 2006)。

Bose (2006) 認為臺灣地區每年侵蝕速率約為 5mm/yr，並與地體抬升達到一平衡狀態 (圖 2-14)，但近期的資料顯示受颱風影響，3000 公尺以下區域的侵蝕速率超過 5mm/yr。在太魯閣峽谷區域的研究中，Brunsden and Lin (1991) 研究指出過去 50 萬年來太魯閣地區的平均抬升速率為 5.5mm/yr，扣除侵蝕速率 5.0mm/yr，每年的淨抬升速率為 0.5mm/yr，但在 100 萬年前至 50 萬年前間，抬升速率為 7.0mm/yr，下切速率為 5.0mm/yr，而淨抬升速率為 2.0mm/yr；Petley and Reid (1999) 進一步利用此數據，以模式計算出太魯閣峽谷形成初期至 10 萬年後的演育情形，以快速的抬升與下切的率速，只需歷經 10 萬年的時間就能造成 250 公尺深的峽谷地形，如圖 2-15 所示。

本研究蒐集重要造山地區的抬升及侵蝕速率研究結果 (表 2-2)，如以平均數據而言，太魯閣峽谷地區在過去的研究中，其抬升速率 (2.5-7.0mm/yr) 及下切速率 (3.0-26.0mm/yr) 的確高於許多地區。進一步以 Liu and Yu (1990) 針對東部海岸及花東縱谷的短期測量數據，與年代較久遠的定年資料比較，可發現短期的地體抬升速率的變化幅度遠超過長期的平均值，並能有效說明在臺灣地區的短期地形發育速度可能極為快速，再與前人研究結果及數據的比較，並無法有效整理出太魯閣峽谷的整體演育過程，因此，對於如此重要地形景觀與地景資源實施長期監測是有其必要性。

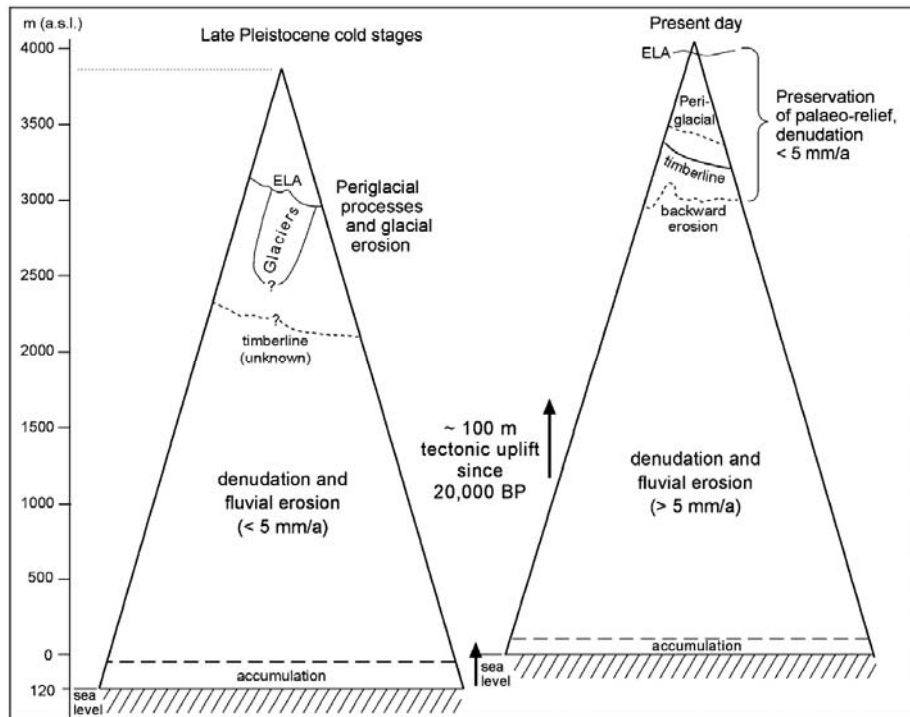


圖 2-14 臺灣山區第三紀(左)與近期(右)抬升及侵蝕高度示意圖(Bose, 2006)。

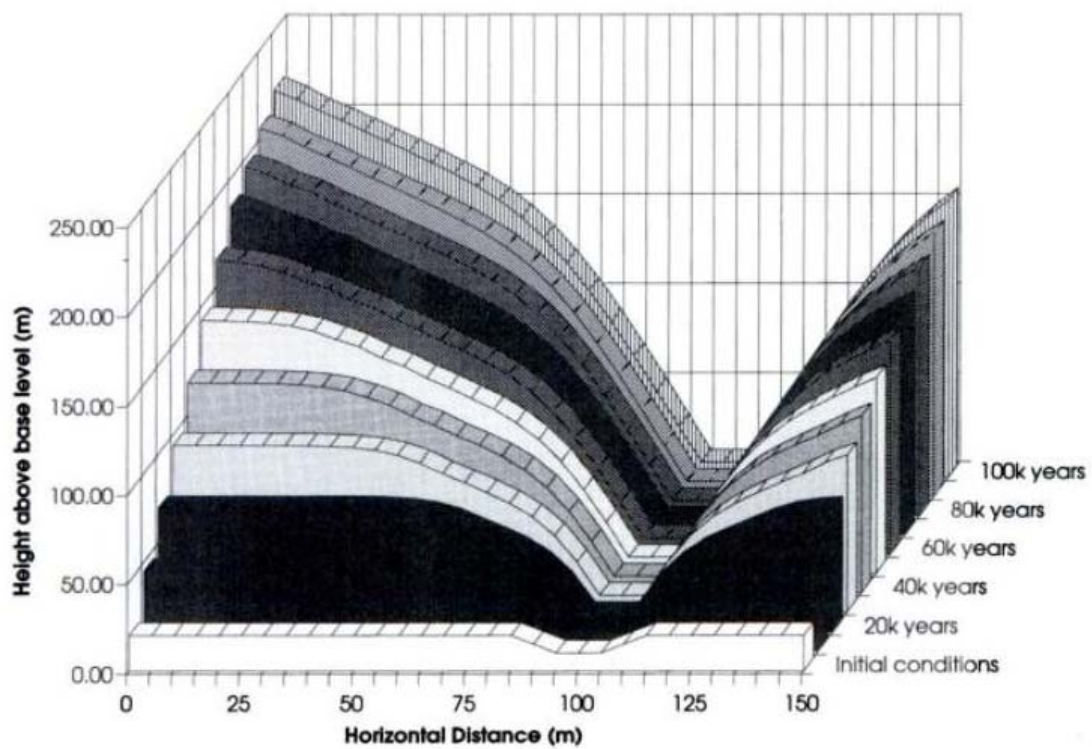


圖 2-15 數值模擬太魯閣自形成後至 10 萬年間的變化圖(Petley and Reid, 1999)。

表 2-2 世界重要造山地區抬升及侵蝕速率一覽表

地區	抬升速率 (mm/yr)	侵蝕速率 (mm/yr)	時序	資料來源
Northwestern Himalayas (喜瑪拉雅山西北側)	2-5	2-12	60-7ka	Burbank et al. (1996)
Colorado plateau (科羅拉多高原)	0.04 0.22		25-5ma 5ma-present	Sahagian et al. (2002)
Eastern Grand Canyon (大峽谷東區)	0.4		5-3ma	Fenton et al. (2001)
Western Grand Canyon (大峽谷西區)	0.07-0.16		5-3ma	Fenton et al. (2001)
Altiplano (玻利維亞、秘魯 的安地斯山高原 區)	0.02-0.03 0-0.1 0.2-0.3		60-19ma 25-11ma 11ma-present	Gregory-Wodzick (2000)
Eastern Cordillera Central Andes (安地斯山中區)	0-0.4 0.2-0.3		21-10ma 10ma-present	Gregory-Wodzick (2000)
Eastern Cordillera Northern Andes (安地斯山北區)	0.03-0.05 0.6-3.0 0		16-4ma 5-2.7ma 2.7ma-present	Gregory-Wodzick (2000)
Brahmaputra basin (雅魯藏布江盆地)		0.2-14	100ka	Singh (2006)
Alps (Rhone and Rhine valleys) (阿爾卑斯山，隆 河與萊茵河谷)	1.4-1.6		present	Schlunegger (2001)
Washington Cascades (華盛頓喀斯開 山脈)		0.33	10-1ma	Reiners et al. (2003)
St. Alessio and Taormina in Eastern Sicily (西西里島東區)	2.4		Late Pleistocene-Holocen e	Antonioli et al. (2006)
Scilla in southwestern Calabria (義大利半島南 端)	2.1		Late Pleistocene-Holocen e	Antonioli et al. (2006)

2.7 地質與河階

太魯閣峽谷地區的另一項重要特色為豐富的地質構造與岩石種類，早期由許多學者所進行地質與地層的研究，研究結果整理如表 2-3 所示，主要以黑色片岩、綠色片岩、矽質片岩、大理岩及少量的片麻岩、角閃岩、蛇紋岩、混合岩、變質火成基性岩…等岩層所組成，是臺灣變質雜岩基盤（大南澳變質雜岩）的一部分（何春蓀，1986；王執明，1987，1989，1991a, b，1992；俞震甫與羅清華，1999），由其中所發現的蜓科、珊瑚與溝鞭藻化石，推知這一變質雜岩原岩是在古生代末期至中生代就已開始沉積（顏滄波等，1951；顏滄波，1953；陳政恆，1989），是臺灣地區目前所知最古老的岩層。

表2-3、大南澳變質雜岩的分層對比表

地層 劃分者 地質年代	顏滄波(1960)	陳培源(1963)	李春生(1984)	王執明(1991)
白堊紀 — 侏羅紀	上部 玉里層 (黑色片岩為主+ 蛇紋岩)	天祥片岩 黑色片岩夾 綠色片岩	玉里層	天祥層 (含玉里層) 石英絹雲母片岩夾綠色 片岩、千枚岩(灰色矽質 片岩夾綠色片岩、蛇紋 岩)
古 生 代	太魯閣層 東澳相(片岩)/大 清水相(大理岩)	上段 塊狀大理岩 沙 卡 礫 ? 下段 長春橋段 薄層大理岩 夾鈣質石英 片岩	長春層 天祥片岩 太魯閣層	長春層 薄層矽質大理岩夾片岩
二疊紀	開南岡層 (副片麻岩) 三錐層 公相(片岩夾大理 岩)/羅宇至相(大 理岩夾蛇紋岩)	溪 畔 片 麻 岩 ／ 開 南 岡 片 麻 岩	開南岡層	九曲層 塊狀大理岩
先二疊紀			三錐層	開南岡層 片麻岩或混成岩 溪畔片麻岩

資料來源：陳培源（2006）

特殊的地質構造受到豐沛降雨量持續且集中匯集，造成雨水入滲及侵蝕，可能因此與特殊地質、礦物進行化學作用，進一步產生獨特的化學循環現象。Yoshimura et al. (2001) 針對太魯閣地區所進的化學分析結果顯示（圖2-16），經由雨水不斷流入破裂面或斷層縫隙中，土壤中的二氧化碳（ CO_2 ）及硫酸（Sulfuric acid, H_2SO_4 ）也參與了碳酸鹽礦類岩石（Carbonate Rocks），也就是石灰岩（ CaCO_3 ）的化學風化，在二氧化碳的作用下加速了分解效應，不僅控制了整個地下的封閉系統，並將地底下的二氧化碳帶至地表面上，形成特殊的水文化學循環。在循環過程中，對於所流經區域內的岩層、岩質，以及峽谷的侵蝕、下切作用，可能也有非常可觀的影響力。

因此，在太魯閣地區歷經數十到數百萬年以來的侵蝕、風化作用、河流下切…等因性，加上臺灣地區持續抬升及經常發生的地震與山崩作用的影響之下，形成深邃劇切的V型河谷與崖壁陡然直立的峽谷，以及特殊大理岩地質景觀，是臺灣地區最重要的地景資源之一。

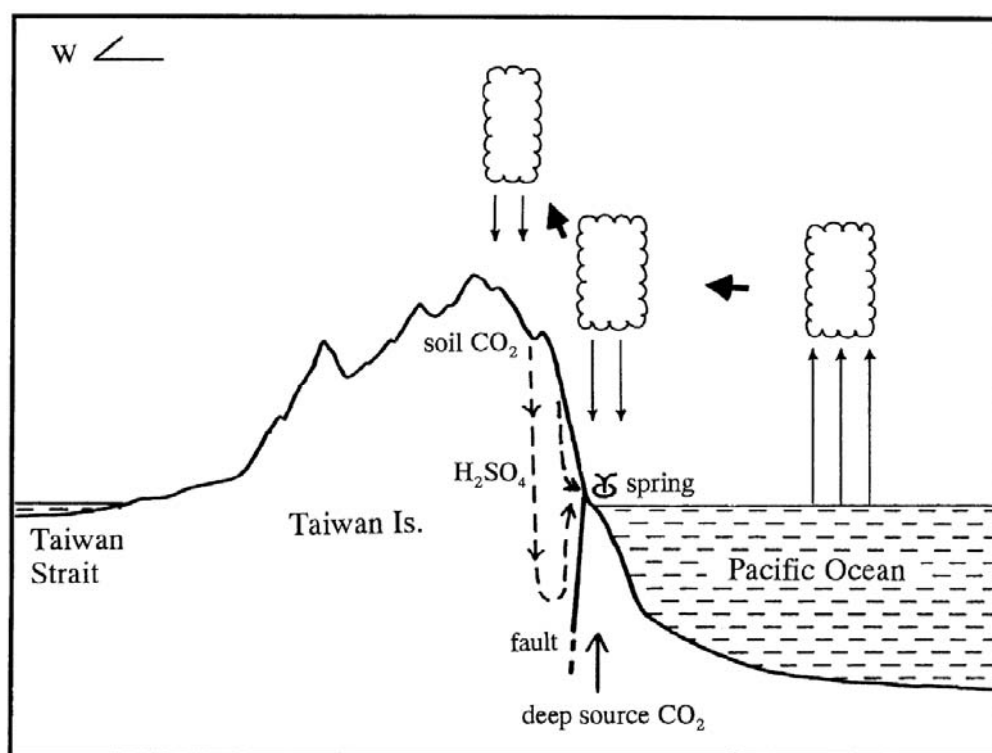


圖2-16 太魯閣地區二氧化碳、硫酸循環示意圖Yoshimura et al. (2001)。

此外，立霧溪流域中許多高差極大的河階台地（圖2-17中星號所示處），大尺度沉積的河階記錄了許多溫帶峽谷地形的特色，並能藉由過去已形成的河階，從中探究溫度及降雨量對河流運動所造成直接或間接的影響（Bridgland, 2000）。地體抬升速率的變化，可能造成河流陡峭度隨之增減，使得下切速度相對改變，因此可能造成流域高度在抬升及下切的作用情形下，高程並沒有太大的變化，如圖2-18A所示；另外，在地體抬升速率較無變化的區域，隨著時間增加河流的下切情形亦增加，配合氣候所產生的侵蝕情形，也會造成流域高程的改變（Schoenbohm et al., 2004），如圖2-18B所示。長時間的河階序列，亦可顯示過去各區域的抬升歷史（Westaway, 2002），因此在流域中所形成的河階，能保留演育過程中所累積的物質，除能藉由河階的沈積情形推算河道改變的次數，亦能從其中可定年物質，協助推論流域的抬升及侵蝕情形。

然而，河階地的形成主要受到流域環境變遷所致，但流域對環境變化的反應並不一定是立即、直接或均一型態，流域是否因此生成階地，或生成時間、規模、階數與特性可能隨流域不同有極大差異（齊士崢，2004）。Liu（1998）在太魯閣地區的研究結果指出，利用沉積學的方法，可由沉積岩相及沉積環境推論形成立霧溪河階沉積物之營力，分別有水流、重力流、高濃度洪流；相對應的沉積環境為河道、堰塞湖及邊坡崩落所造成的沉積。立霧溪及其支流均可分辨出三期河道沉積作用，其中高位河階（距河床高度超過200公尺）有兩期，低位河階（距河床高度低於200公尺）有一期，因此河道至今至少改道四次。第一次沉積的河階為河流相沉積的高位河階，第二次及第三次沉積主要是由堰塞湖作用所形成的低位河階，其中第二次為礫石沉積，經 ^{14}C 測定年代距今約為 2400 ± 40 年。至於現今之侵蝕性低位河階，可能由堰塞湖被冲破，造成河流急速增加下切作用而導致的。

然而河階沉積物的堆積演育情形在峽谷地區可能更具複雜性，Maddy et al.（2001）對於英國東南方的泰晤士河谷（Thames valley）地區進行河階分析，以模式結果區分河階發育的六個階段（圖2-19所示），由phase1到phase2為溫暖期（Warming），在冰河時期（Glacial）結束後，

河流下切與地體抬升作用所造成的平衡狀態（phase1），持續下切後堆積（phase2）；在間冰期（Inter-Glacial）為較穩定狀態（phase3）；而後的寒冷期（Cooling）先是有氣候不穩定造成不同程度侵蝕（phase4）；隨之而來的填積作用（Aggradation）使得河階沈積物再度改變（phase5）；最後進入冰河時期後則趨於穩定（phase6）。此結果可初步瞭解在河谷地形或峽谷流域進行的河階分析複雜度極高，受地體抬升、河流下切、河流改道…等因素與氣候變遷造成的循環結果，可能大幅提升河階研究的困難度。



圖2-17 立霧河流域的河階位置示意圖，星號為河階位置（重繪自王鑫，1988）。

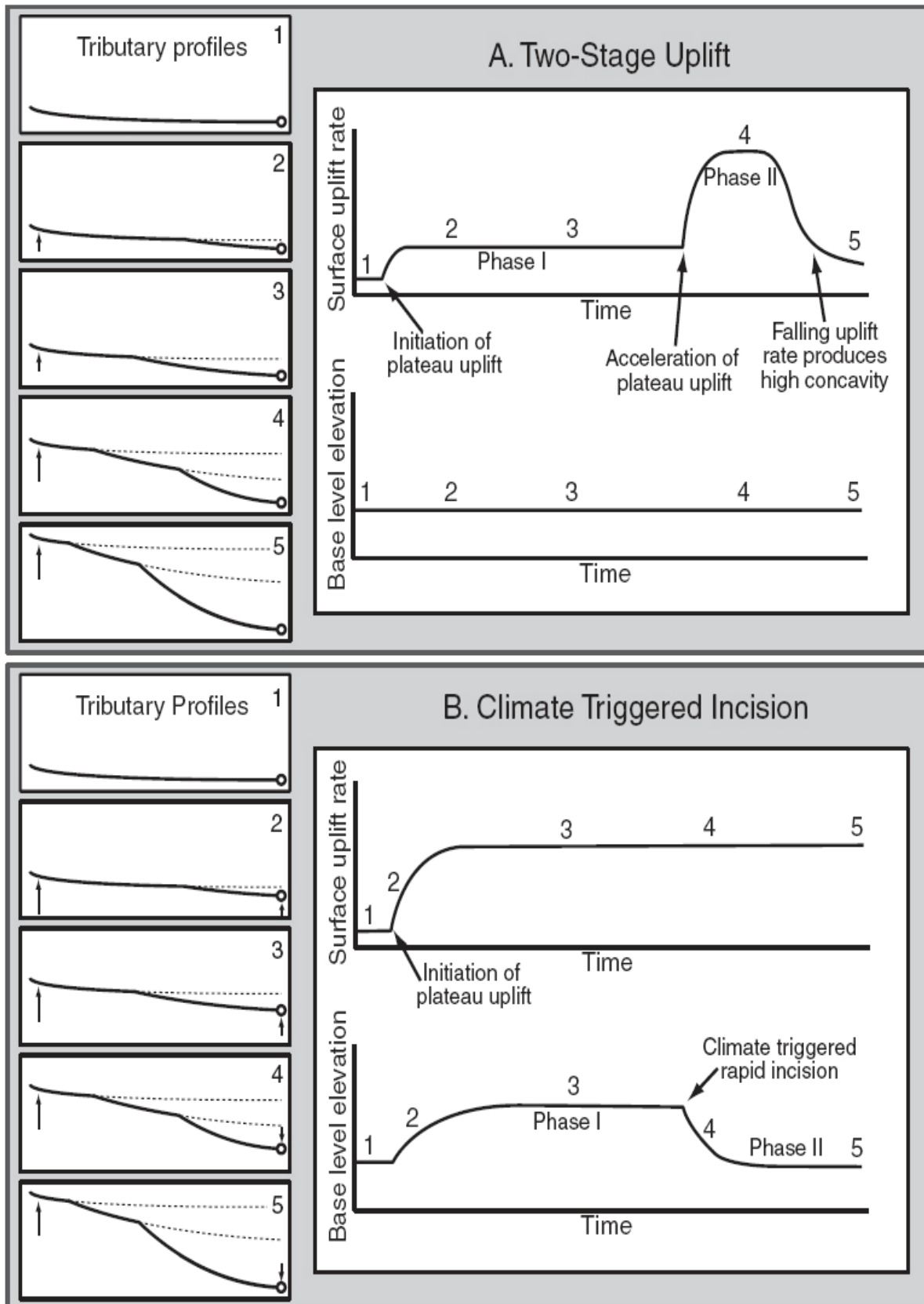


圖2-18 河流下切與地體抬升的影響情形：圖A：各時期的抬升速率不同；
圖B：抬升速率在穩定後受氣候影響（Schoenbohm et al., 2004）。

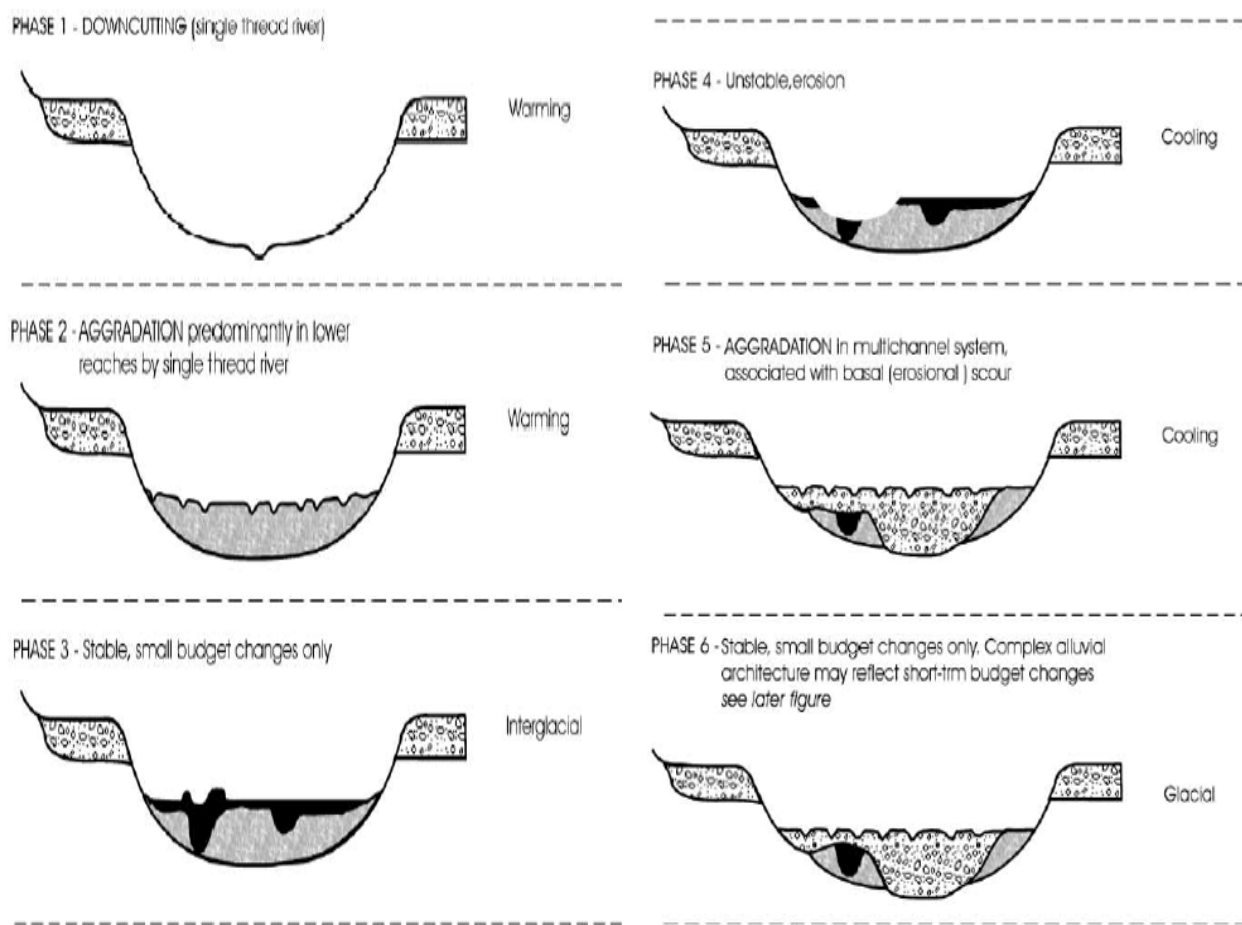


圖 2-19 河階演育示意圖。以泰晤士河谷地區為例，顏色越深代表沉積物顆粒越細，phase1~phase6 為溫暖期~冰河時期（Maddy et al., 2001）。

臺灣地區中，各河階地的調查、研究，階代表不同時間、空間尺度的特定環境變遷意義。齊士崢（2004）認為河階地形及其成因、形成的時間都是非常複雜的，各個流域可能都有其相似或獨特之處。過去我們對臺灣河階地成因的解釋，認為各流域的河階地都是可以使用對比方式，探究其形成原因及年代，但是以目前前人文獻結果顯示，對比方式並無法在複雜環境下作最合理的解釋。而立霧溪的地形演育與河階形成機制雖符合高起伏陡峭地區的平衡模式，但卻無相同流域面積之實例可相提並論，因此探究臺灣的河階地成因比想像中複雜，對於河階的研究仍有長足的進步空間。

2.8 陸地 3D 雷射掃瞄儀之應用

由於電腦的運算能力及效能不斷提昇，使得近年來的測量技術有許多突破性的發展，藉由全球衛星定位系統、衛星與航空攝影、雷射掃瞄技術的普及，可明顯改善傳統測量的不足，其中陸地 3D 雷射掃瞄的優勢在於能快速提供高密度 3D 地形，作為單一區域內的研究或工程的使用。

3D 雷射掃瞄儀（3 Dimensional Laser Scanner）又稱地面光達（Ground-based Lidar），內含掃瞄稜鏡的快速雷射測距儀，以主動雷射光源進行，通常只要在沒有遮蔽物的情況下，皆能以不接觸被測物方式記錄下掃瞄範圍內的物體點位，每秒可接收高達數萬點以上的高密度三維點雲資料，具有遠距、大範圍的掃瞄能力，以及多方位、全天候、方便帶等實用性，對環境的適應能力強，並能快速且準確獲得大量物體的數位座標。在使用上不必對被測物表面產生破壞行為，能準確的估計研究區域內面積與體積變化量，除能增加工作上的經濟效益外，並可提高各種研究需求的精度，因此適合用於各種規則或不規則物件之監測。相關應用領域非常廣泛，包括危險性邊坡監測、土石流量化監測分析、地形圖、古蹟建物測繪…等用在各種地景、建物或工程上的使用上，並能有效應用於特殊物件的模型建立，如齒列重建或野柳女王頭模型的製作。

3D 雷射掃瞄儀有各種不同廠牌與規格，各有其特性，依據其性能可適用於不同的監控或測繪目標，可在短時間有效蒐集被測物之點位資料，在量測精度上也與傳統測量方法相近，但是受儀器限制或人為操作上之影響，難免造成誤差而降低量測之精度。Boehler and Marbs（2003）針對數種不同廠牌或規格的 3D 雷射掃瞄儀以不同距離掃瞄進行比較，其掃瞄結果如圖 2-20 所示，所得之標準偏差如表 2-4 所示，可做為研究方向所需儀器效能之參考。另外賴志凱（2004）依傳統測量對觀測誤差的基本概念，將 3D 雷射掃瞄誤差分類並提供改正方式，如表 2-5 所示，主要分為：

(1) 隨機性誤差：

藉由雷射掃瞄資料中的隨機誤差，可推估其雷射測距儀的測距精度及反射稜鏡的測角精度，並可反應儀器本身的定位能力。

(2) 系統性誤差：

為具有系統性或規律的誤差，其產生的原因主要是儀器的率定功能不夠穩定所造成。系統性誤差又分測距誤差、掃瞄角誤差、參考原點誤差、比例尺誤差以及坐標軸方向誤差...等因素。

(3) 人為誤差或大錯：

誤差多是因為儀器操作不當或資料處理步驟錯誤所造成，只要小心謹慎便能減少此類誤差的產生。人為誤差或大錯產生的原因很多，通常須事後重測，重複的觀測有利將錯誤或誤差降低。

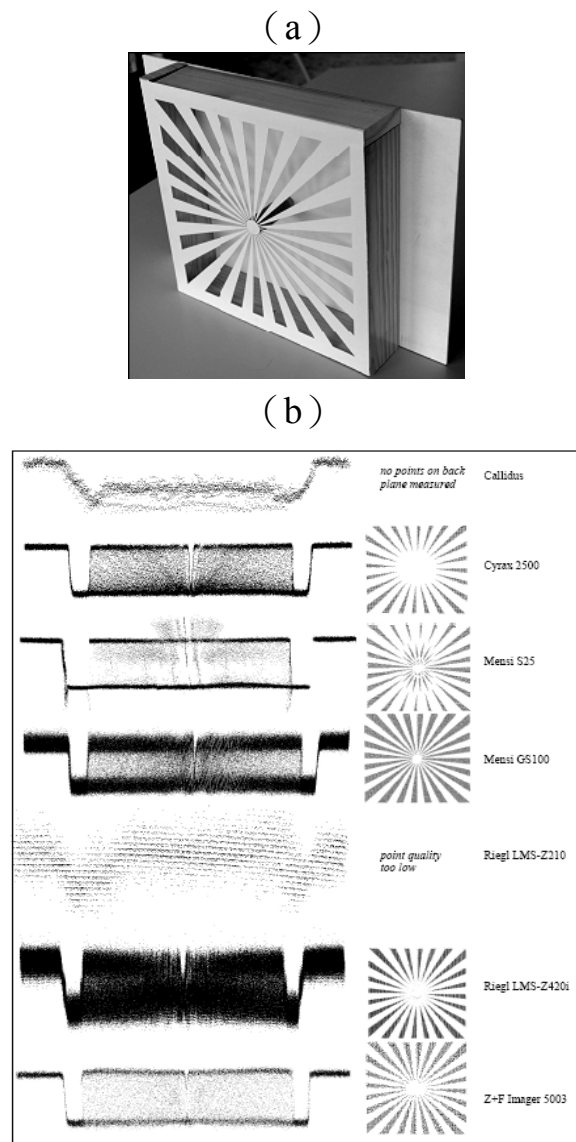


圖2-20 各式3D雷射掃瞄儀施測結果比較：(a) 掃瞄目標；(b) 左側為掃瞄目標背面，右側為正面 (Boehler and Marbs, 2003)。

表2-4、各式3D雷射掃瞄儀之標準偏差表

Manufacturer	Type	close <10m	far 10-50m	max. diff.
Callidus Precision Syst.	Callidus (1)	1.5	--	2.6
Callidus Precision Syst.	Callidus (2)	2.8	--	5.9
Cyra Technologies	Cyrax2500 (1)	0.6	1.1	2.3
Cyra Technologies	Cyrax2500 (2)	0.4	0.5	0.9
Mensi	S25	1.4	4.6	7.7
Mensi	GS 100	2.6	2.0	8.2
Riegl	LMS-Z210	19.7	--	40.4
Riegl	LMS-Z420i	2.6	2.7	5.9
Zoller+Fröhlich	Imager 5003	1.6	0.7	12.3

資料來源：Boehler and Marbs, 2003

表2-5 地面雷射掃瞄儀的誤差分類與誤差來源

	可能產生的誤差	誤差來源	改正方式
隨機性誤差	偶然性誤差	儀器本身量測能力：距離與角度觀測	無法避免
系統性誤差	測距誤差、掃瞄角誤差、參考原點誤差、比例尺誤差以及坐標軸	儀器率定、外在環境	儀器檢定、環境改正數學模式
人為誤差或大錯	很多種可能性的誤差	人為粗心或儀器造成	操作小心、利用平差偵錯理論偵除之

資料來源：賴志凱，2004

3D雷射掃瞄儀的相關研究中，Gulyaev and Buckeridge (2004) 利用3D雷射掃瞄儀研究紐西蘭北部奧克蘭海岸侵蝕，發現每年平均後退10至20公分。Young and Ashford (2006) 指出從1998年4月到2004年4月，加州地區海崖退後速率為3.1cm/yr~13.2cm/yr，平均約為8cm/yr。黃偉城 (2005) 利用3D雷射掃瞄儀，針對2003年12月10日台東成功地震前後，在台東縣大坡國小進行的掃瞄，發現地震過後水平移動約2.8公分至6.8公分，高程為3公分。顧承宇等人 (2006) 應用陸地3D雷射掃瞄儀研究中部橫貫公路（台8線）德基壩旁之落石崖錐，3D雷射掃瞄資料配合落石分析方法，可以提昇落石模擬與預測之準確，提供更正確的地形資料。林卓群 (2006) 利用3D雷射掃瞄儀對曾文水庫之東口崩塌地進行研究，並計算出崩塌量及侵蝕量。許海龍 (2006) 利用3D雷射掃瞄系統研究南投縣埔里壠溪崩塌地與新竹縣五峰鄉土場崩塌地，精確地推估崩塌區域地形變化情形並估計其變化量，上游河道因土石流造成的地形改變結果（如沖刷與堆積），可提供後續土石流防治相關可靠之數據。鄧表揚 (2007) 應用3D雷射掃瞄技術於儲油槽設備，如圖2-21所示，分析所得之應力分佈評估其變形量，評估儲油槽之安全性。

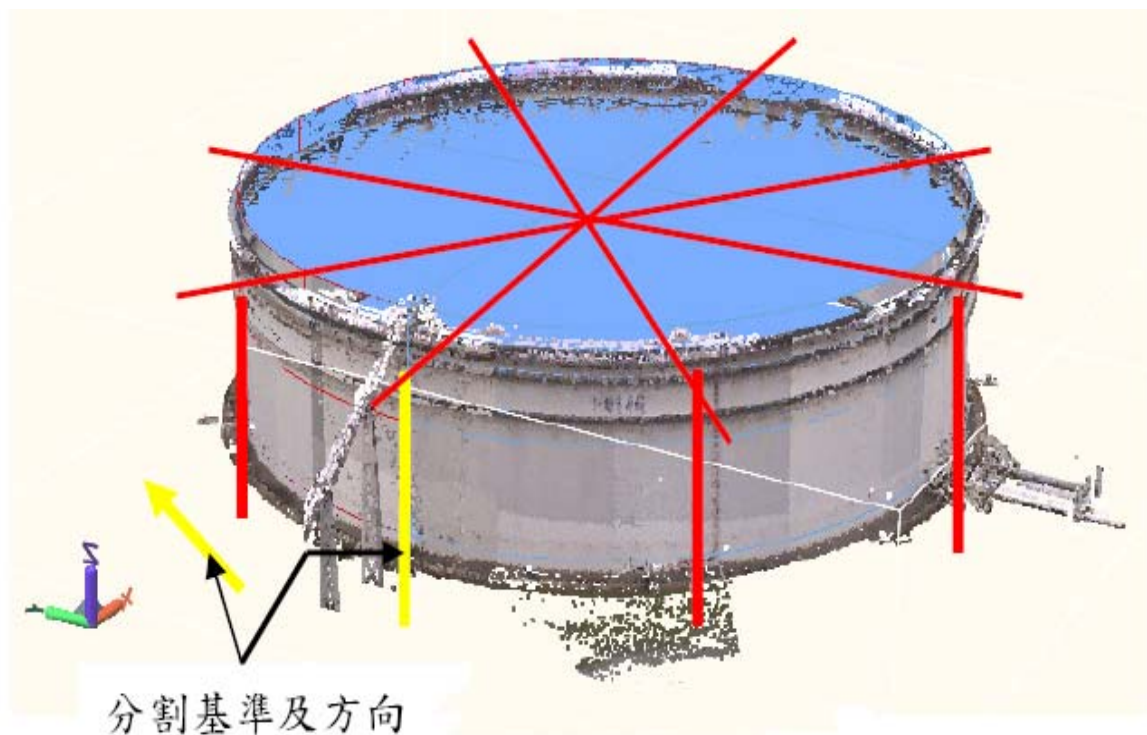


圖2-21 油槽掃瞄數位圖（鄧表揚，2007）。

2.9 攝影測量之應用

攝影測量主要是利用相片基本圖、等高線地形圖、航空照片、數位影像與衛星影像...等相關影像資料，建立數值模型，以利研究其地形、地貌、高程，甚至是該區域的地形發育過程。臺灣地區航空照片的運用始於 1950年前後，初期主要作為大範圍的土地利用及森林資源調查（沈淑敏與張瑞津，2003）。數位影像則是使用電荷耦合元件（Charge Coupled Device, CCD）取代底片作記錄，在近10年因數位攝影技術有大幅提昇而被廣泛利用，其影像重疊率可超過8成，減少航空照片常出現的遮蔽問題，且不需經由轉換或掃描成數位檔案（Wang and Zhang, 2006；陳英煥，2007）。

利用航空照片與數位影像可以建立數值地形模型（Digital Terrain Model, DTM）與數值地表模型（Digital Surface Model, DSM）。美國地質調查所（USGS）以規則網格資料制訂的規則式的網格資料，命名為數值高程模型（Digital Elevation Model, DEM）為地表上地面高程的變化，資料上的高程不包含地面上的樹木、建築物（賴進貴和王慧勳，1996）。圖2-22為水利署第九河川局利用空載光達，掃描七星潭與奇萊鼻海崖區域製作之DEM，而該地區植生範圍較少，大幅提昇DEM之品質。

然而，航空照片與數位影像在建立DEM時，仍有許多因素會影響其模型成品的精度與品質，Maune（2001）歸納出從攝影器材（相機、鏡頭...等）因素、照片掃描數位化因素、地表因素、數值參數校正等等環節，皆會影響製作出的DEM 品質。陳永寬等人（2000）指出色調越相近DEM效果越好。黃震靜（2002）太陽光源移動會因不同地形所造成的立體陰影（Shaded Relief）會影響DEM品質。林珮伶（2004）研究結果說明造成影像辨識失敗主要的三種地形因素為坡向、坡度以及地形崎嶇度。林卓群（2006）利用陸地三維雷射掃描儀對曾文水庫之東口崩塌地進行研究，並發現1公尺的DEM資料可以記錄公分尺度的變化。鄭欣怡（2008）利用航空照片製作DSM時發現植被茂盛處容易造成影像辨認失敗的情形。朱德原（2008）於海崖與海水交界地區使用航空照片製作的DSM，發現海水反光現象使DSM在海濱區域出現辨認失敗的區域（圖2-23），並進一步指出挑選航空照片的品質與拍攝角度，直接影響DSM的品質與準確度。

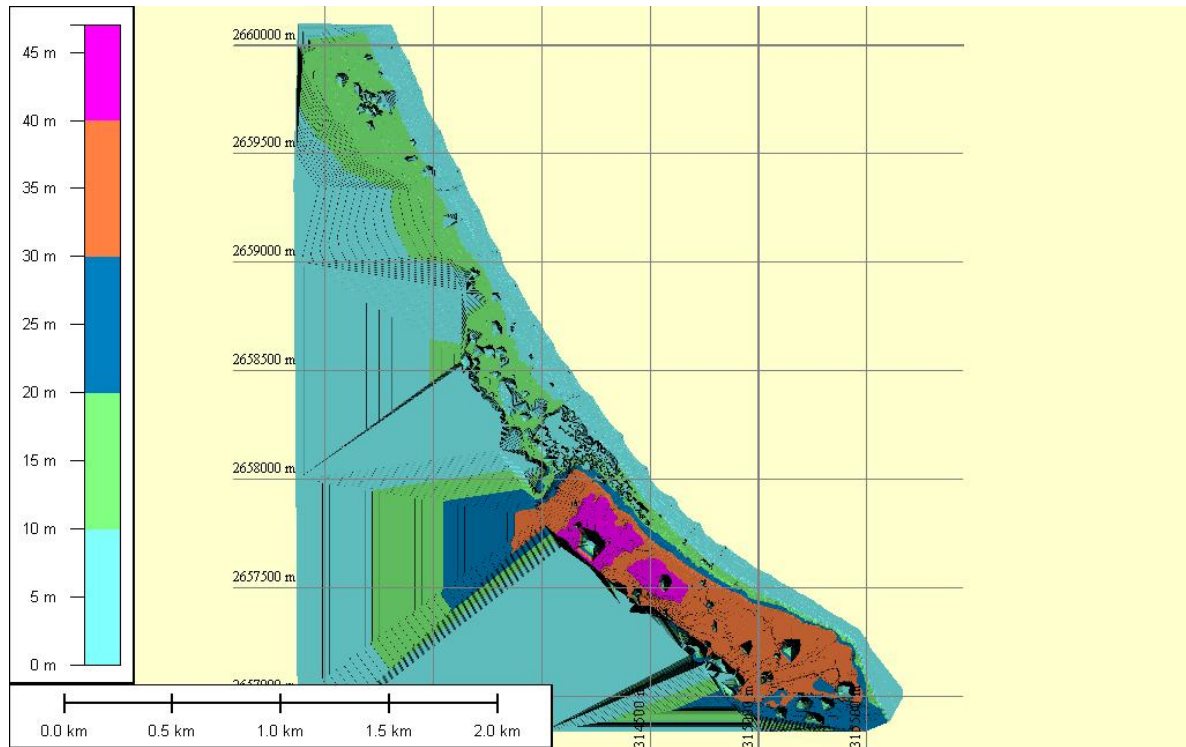


圖 2-22 利用空載光達製作之 DEM（第九河川局，2005）。

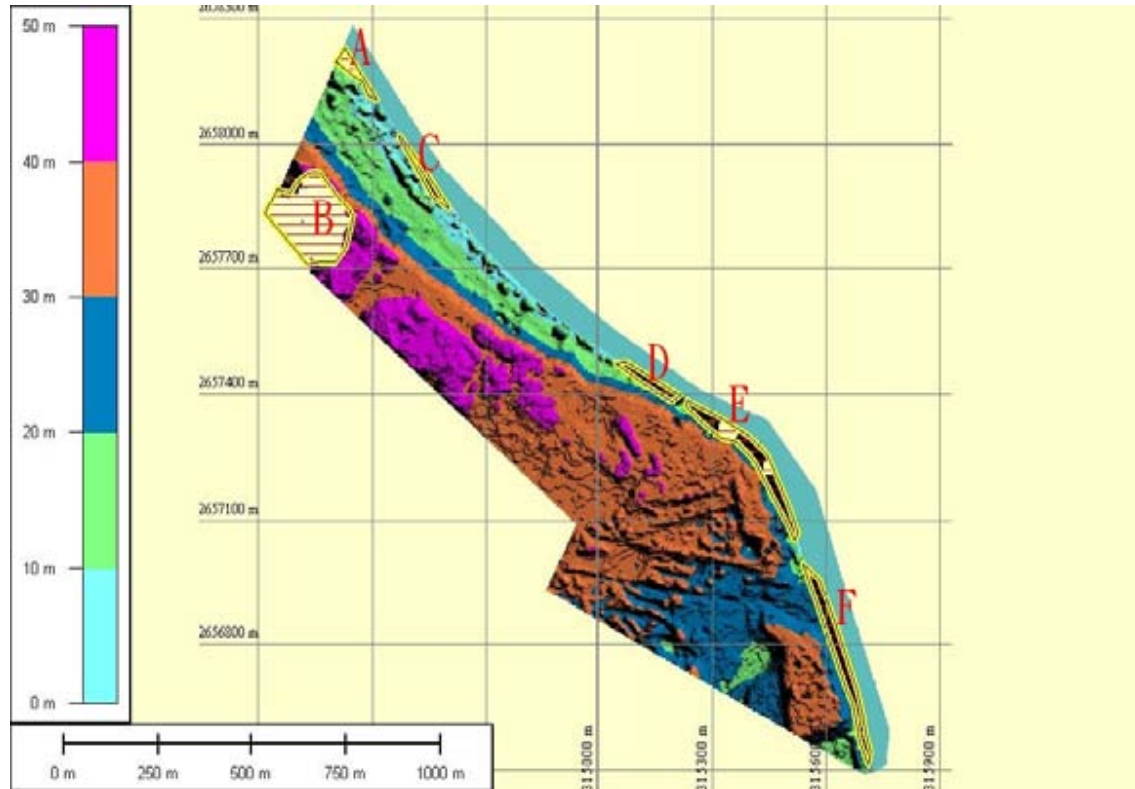


圖 2-23 利用航空照片製作之 DSM：A-F 各區皆有影像辨識失敗區域（朱德原，2008）。

近年來衛星影像的應用日益普及，在許多研究領域方面皆有科學家用以協助研究目的，包括海洋、大氣、天文、地球科學…等領域。使用衛星使用辨識高程變化為其重要研究方向之一，Houng et al. (2006) 利用衛星影像作為高程判定或辨識，其研究方法主要是將合成孔徑雷達 (Synthetic Aperture Radar, SAR) 影像，運用合成孔徑雷達干涉技術 (Interferometry Synthetic Aperture Radar, InSAR)，以重複軌道的方式獲取不同時間同一地區的 SAR 影像，將 SAR 影像中所儲存的複數資料中之相位 (Phase) 值來粹取出地表的三維資訊，並利用空載及衛星的 SAR 感測器在側視的幾何條件，使用干涉技術 (Interferometry) 獲得地表的高程資料，進一步發展為「合成孔徑雷達差分干涉法」(Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar, DInSAR)，用來量測目標物的微量移動，例如變遷偵測。利用不同時期的兩幅 InSAR 干涉圖相減消去原始地形效應後，得到純粹因地形變化所產生的相位值，這個技術可提供至幾個公厘級或更佳的相對精度。

Houng et al. (2006) 將 DInSAR 配合使用水準測量數據，以及臺南地區 40m×40m 的 5m 解析度 DEM，如圖 2-24A 所示，並選出五張不同時段衛星影像進行分析，以時序區分為 A (1996/05/16)、B (1998/11/12)、C (1999/01/21)、D (1999/05/06)、E (1999/10/28)、F (2000/10/12)，最後選以 B-A (圖 2-24B) 及 F-A (圖 2-24C) 時間序列最短及最長的干涉圖進行說明，可明顯看出變形區多集中在相同範圍。以 DInSAR 的觀測可分析出地層的移動方向、角度及速度 (圖 2-25)，結果顯示臺南台地的抬升速率為 12-15mm/yr，而臺南低地的抬升速率則為 2mm/yr，與 Chen and Liu (2000) 所作的河階定年結果相比，在臺南台地與中洲台地兩河階的長期 (約一萬年) 平均抬升速率分別為 5mm/yr 及 7mm/yr，其中臺南低地甚至還有 1mm/yr 的沉降速率。

由於傳統測量技術必須到實地施測才能獲得地形資訊，若衛星影像能有效協助監測地形變化，如地層下陷、海岸侵蝕、崩塌地分析…等，再配合航空照片及 DEM 資料，或許能掌握地形地貌變化，並可有助於推論地形演育過程，進一步有效預防自然或人為所產生的災害，以維護生命財產安全及珍貴的地景資源。

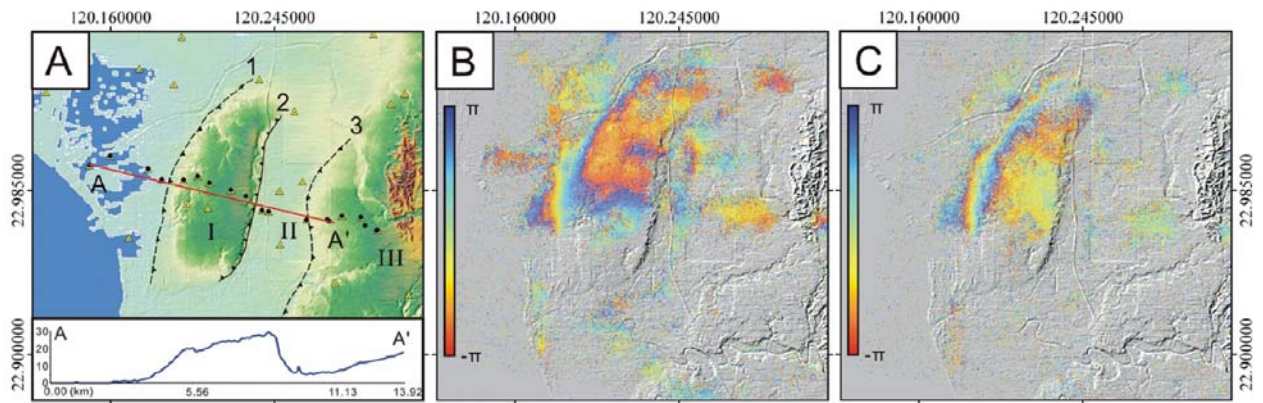


圖2-24 臺南地區的地形圖及構造單元：(A) 臺南地區DEM，黃色三角形表示GPS測站位置，黑點表示水準測量點，1為臺南斷層，2為后甲里斷層，3為漳州斷層，I為臺南台地，II為臺南低地，III為中州台地。A-A' 剖面切過臺南台地；(B) B-A干涉圖（910天）；(C) F-A干涉圖（1610天）。

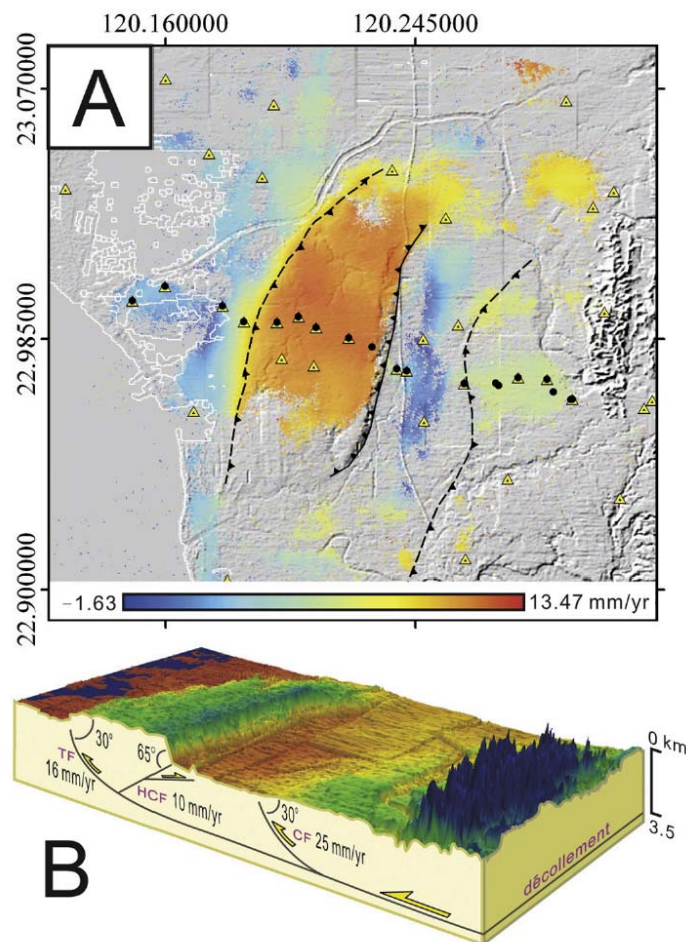


圖 2-25 臺南地區地體移動速率分析圖：(A) 俯視圖，顏色代表抬升或沉降速率；(B) 沿著主要斷層的滑動方向及速率。

第三章 資料蒐集與分析

3.1 資料蒐集

3.1.1 陸地 3D 雷射掃瞄儀

本研究在地形資料的蒐集方面，使用的3D雷射掃瞄儀為Riegl公司所生產，型號為LMS Z360i（圖3-1），掃瞄範圍最遠可達200公尺，最近為 2 公尺，以100公尺左右為安全可測距離，超過150公尺之雷達回波資料則不一定能回收。其掃瞄範圍在水平方向可旋轉360度，垂直方向可上下調整90度，每秒最高可掃瞄12000點，精確度可小於5公厘。配合Nikon D100與20mm定焦鏡頭，經校正後建立正射影像，有效畫數為610萬（3008×2000）（Nikon 網站，2009）。野外施測時，需配合使用安裝有RiScan Pro（Riegl公司提供）軟體的筆記型電腦，透過設定連接埠（使用TCP/IP）線路進行儀器控制與資料接收，在臨時控制點上使用特製反光圓柱（圖3-2）或反光貼片為儀器掃瞄確認點位，以行動電源供應器提供陸地三維雷射掃瞄儀電力來源，野外實際操作情形如圖3-1所示，3D雷射掃瞄儀的操作流程如圖3-3所示。



圖3-1 本研究團隊於野外實際操作情形。

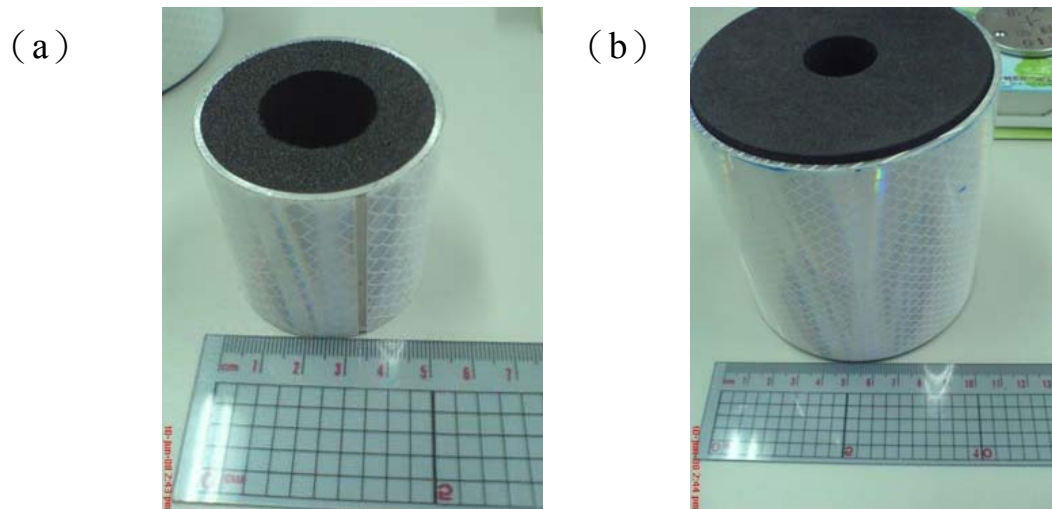


圖3-2 本研究使用之反光圓柱，(a) 直徑5公分；(b) 直徑10公分。

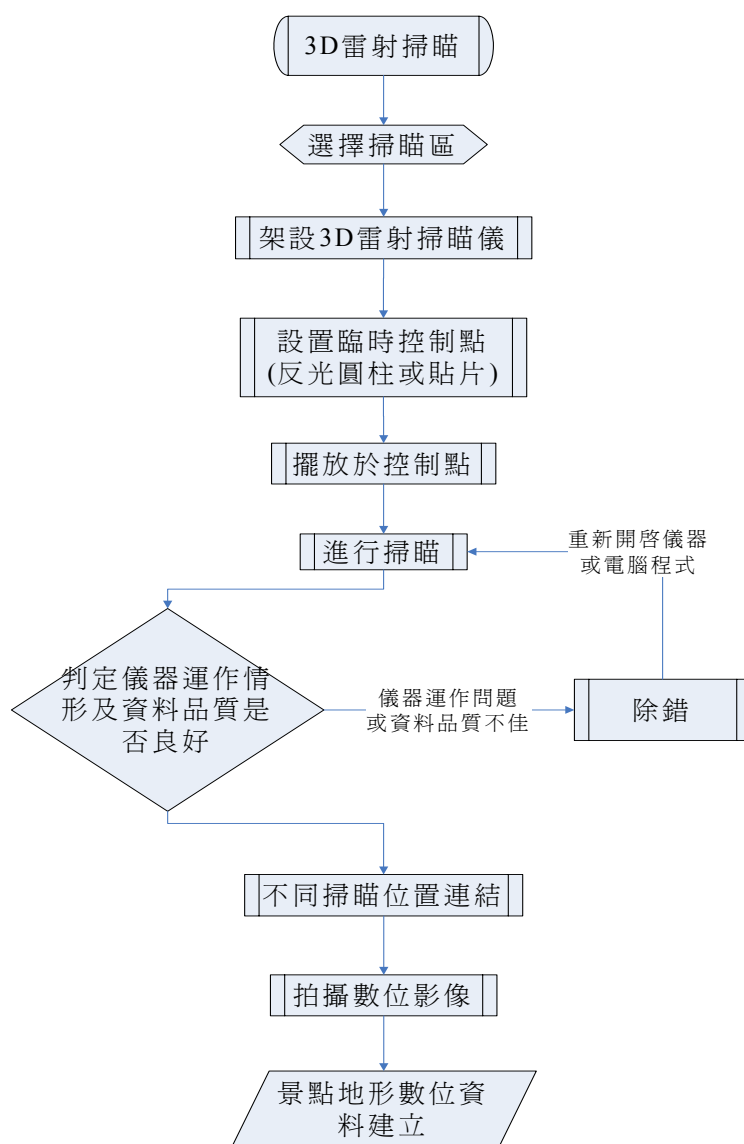


圖3-3 陸地3D雷射掃瞄儀操作流程圖。

利用陸地 3D 雷射掃瞄儀可蒐集有效範圍內之地形點雲資料，並可進行多測站連結建立各測點之三維數值地表模型（Digital Surface Model；DSM），再配合架設於其上方之數位單眼相機所拍攝之彩色資訊，可呈現出彩色資料增益其視覺效果。然而，太魯閣國家公園幅員遼闊，本研究主要針對太魯閣峽谷地區數個主要景點，包括白沙橋峽谷、燕子口、印地安人頭、靳珩峽、錐麓峽谷、流芳橋峽谷、九曲洞一線天、魚躍龍門、青蛙石、天祥溪谷、白楊瀑布等，依各景點所在位置（圖 3-4）進行評估，以 3D 雷射掃瞄儀優先對較容易施測之區域進行掃瞄、監測工作。在特殊景觀部份，已於 2009 年 5 月前完成初始 DSM 資料之蒐集（除天祥、燕子口、白楊瀑布外），將於下年度在相同位置掃描或得之地形資料進行比較，瞭解該景點在一定時間內之變化情形。

另外，在屬於立霧溪河道部份，將以不同時期於相同位置掃瞄資料進行比較，藉以瞭解峽谷寬度（側蝕速率）、深度（侵蝕速率）的短期變化情形並進行相關分析研究，求得不同區域、岩性的侵蝕速率及區域性短期的抬升速率，並推論同岩性地形發育的異同及景點發育與演化情形。其他無法以 3D 雷射掃瞄儀施測之景點，則以衛星影像、航空照片或全測站儀進行模型、3D 立體對，進行河道剖面資料之蒐集（工作情形如附錄三）。

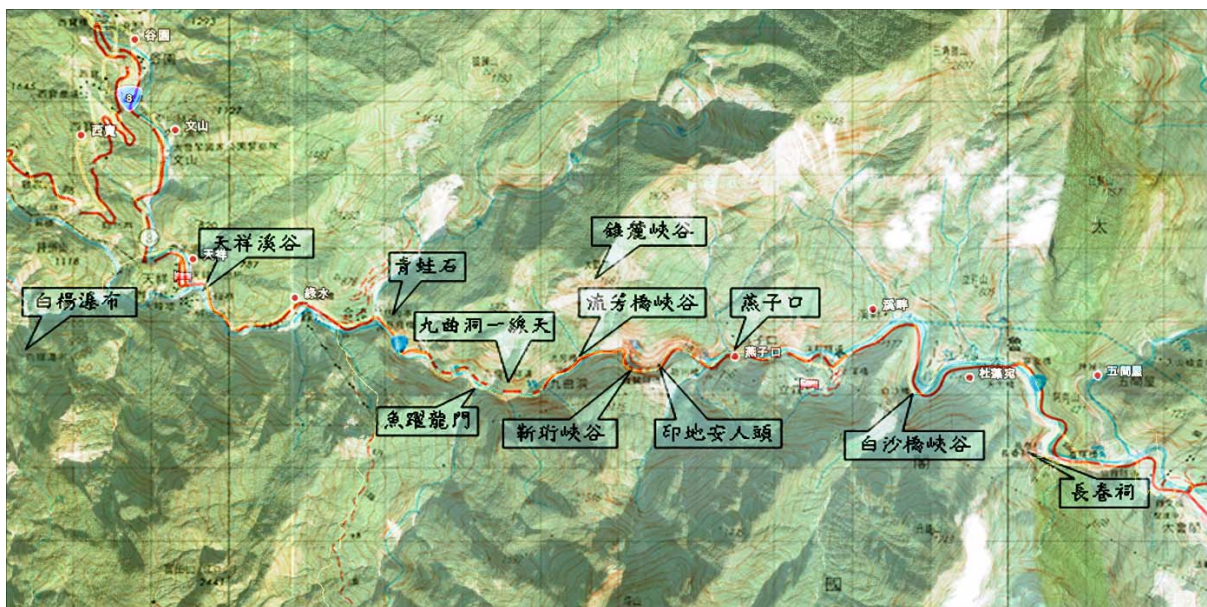


圖3-4 各測點位置示意圖（依經建二版五萬分之一地形圖配合Google Earth改繪）。

3.1.2 攝影測量

本研究預計蒐集太魯閣地區相關之相片基本圖、航空照片、衛星影像...等資料，並製作 DTM、DSM 或 DEM 等數值地表模型。本研究向農林航空測量所購買太魯閣國家公園地區相片基本圖 40 幅、航空相片 31 幅、航空相片電子檔 10 幅。利用高解析度掃描器（掃描使用光學解析度為 1200dpi），及掃描器校正軟體 Photomod Scan Correct Pro 進行數位化，可以避免數位掃描所產生的誤差。另外，製作數值地形模型必須於數位影像上尋找合適的控制點（工作情形如附錄三），野外調查時使用 Ashtech 所設計的即時動態全球衛星定位系統（Zmax RTK-GPS）取得控制點座標，如圖 3-5 所示。



圖3-5 Ashtech Zmax RTK-GPS

3.1.3 全測站測量

在無法使用 3D 雷射掃描之地區，除使用攝影測量方式外，亦使用全測站儀嘗試蒐集立霧溪河道剖面資料。全測站儀雖只能取得一個剖面的資料，但因其有體積輕便、操作簡易、資料單純明確，量測距離較 3D 雷射掃描儀遠（本研究所使用之 Riegl LMS Z360i），並能適應天候惡劣的測量環境，因此在許多測量應用上也廣泛使用。使用 TOPCON 公司所設計的 GTS-239 型全測站儀（圖 3-6），本研究選擇太魯閣閣口內側及燕子口步道內，以全測站儀蒐集河道剖面資料(工作情形如附錄三)，記錄過程如表 3-1 及表 3-2。



圖3-6 TOPCON GTS-239全測站儀

表3-1 全測站施測閣口河道

施測時間	2009/05/20
施測位置	閣口內側
儀器高	$1.330+0.212=1.542\text{m}$
菱鏡高	1.7m
水平角	275.51°
垂直角	88.05° 開始至 103.45° 結束每 10 分紀錄 1 點



表3-2 全測站施測燕子口河道

施測時間	2009/05/26
施測位置	燕子口步道
儀器高	$1.268+0.212=1.480\text{m}$
菱鏡高	1.7m
水平角	166°
垂直角	47° 開始至 128.30° 結束每 30 分紀錄 1 點



3.1.4 歷史時序資料

本研究蒐集並請購各種歷史時序資料，包括立霧溪水文資料、臺灣地區曾發佈過的颱風警報、中央氣象站測得的地震資料，以及所發佈的災害地震資料進行討論。另外，申購花蓮及天祥氣象站的雨量資料，希望能藉以瞭解花蓮及太魯閣地區數年到數十年間，隨時間所產生的變化情形。經由歷史資料的蒐集，期盼未來能用於觀測自然或人為現象，對太魯閣地區或立霧溪流域所造成的影響力或衝擊，所得的結果除能初步瞭解自然景觀可能受損情形，並能進一步配合地體抬升及河流侵蝕作用，探討太魯閣峽谷的演育情形。

然而，針對太魯閣地區所記錄的長期資料並不多，本研究盡可能蒐集能協助觀測長期演育情形的相關因子。所使用之歷史時序資料共有：

(1) 綠水站水文資料

透過太魯閣國家公園管理處，向臺灣電力公司取得綠水站在 1986~2004 年針對立霧溪所記錄之長期水文資料，有多項重要參數包括流速、流量、含砂量以及水溫。

(2) 淺層地震資料

中央氣象局發佈之歷史資料中，取得 1986~1996 年淺層地震（深度小於 30 公尺）震央、規模資料

(3) 颱風資料

中央氣象局曾發佈颱風警報之時間及相關資料。

(4) 災害地震資料

中央氣象局所記錄 1986~2008 年的歷史災害地震資料，為主要造成臺灣地區建築物毀損或人員傷亡之地震。

(5) 雨量資料

向中央氣象局請購花蓮雨量站自 1986~2008 年，以及天祥雨量站自 1995 年 7 月~2008 年日雨量資料。

(6) 立霧溪流量資料

經濟部水利署委託臺灣海洋大學河海工程系之計畫，建構臺灣地區河川流量資料庫中之立霧溪綠水站由 1955~1956，及 1957~2004 年所記錄資料。

3.1.5 河階鑽探

由於立霧溪各區域的河階分佈相當複雜，從前人研究中可概略瞭解河階地堆積的高度（表3-3），但是一直以來並沒有實際探測資料，也無法得知堆積層的堆積情形及年代，且太魯閣峽谷地區的河階多為高位礫石堆積層且交通不便，不利於人工開挖河階，至今更沒有確切與完整的沉積相關資料。因此本研究經評估後選擇以鑽探方式，預計在布洛灣上台地進行約100公尺深之鑽井採取岩芯，現場情形如圖3-7所示，希望藉此瞭解布洛灣河階堆積情形，並以所得資料為依據推論各河階可能產生的堆積現象，且嘗試獲得鑽探中可資定年之物質（如植物標本），以便確認河階堆積的年代。

表3-3 立霧溪主要河階高度

階地名稱	海拔 (m)	與河高差 (m)	沉積層厚 (m)
西寶	930-1000	380-400	100-150
道拉斯	720	270	140
多用	700-787	300-350	200
布洛灣	360-400	170-210	150-190
合流	460-490	100	800-100
霍羅斯	80	45	>45

資料來源：齊士崢（1994）



圖3-7 布洛灣河階鑽探現場。

3.2 資料處理

3.2.1 3D 資料處理

研究區域擺上3D雷射掃瞄儀的控制點，材料為可反光的圓柱體，有直徑5公分與10公分的反光圓柱體（圖3-4）或圓形平面反光貼片，做為與其他掃瞄位置的連結點。每次約擺放5至8個反光圓柱體或反光貼片放置於不易被破壞之處，擺放控制點必須為前後兩個掃瞄位置皆可掃瞄之處，並加以註記或設置臨時控制點，以便日後可再次於相同位置掃瞄。

3D雷射掃瞄儀為主動式光源，雷射光因碰撞物體反射，使得儀器接收資料後傳送至電腦中，以三維點源資料或稱點雲形式儲存，再使用Nikon D100數位單眼相機進行全景360度攝影，可建立彩色數值地表模型DSM。再利用反光圓柱作為連接點進行下個測站之連結，因為本計畫所使用的3D雷射掃瞄儀（Riegl LMS Z360i），其應用之資料連結方式屬於磁性覘標控制點法，在相連測站中重疊觀測區域內擺設磁性覘標（反光貼片或反光圓柱）作為控制點，利用雷射對磁性覘標的特殊反射強度自動尋得三個以上之控制點，即可求得相連測站之三維座標轉換參數（曾義星與史天元，2003），將各連續掃瞄站連結可計算出誤差值，使用第一個掃瞄位置轉換成大地座標，建立起完整的地形資料圖，如圖3-8所示。

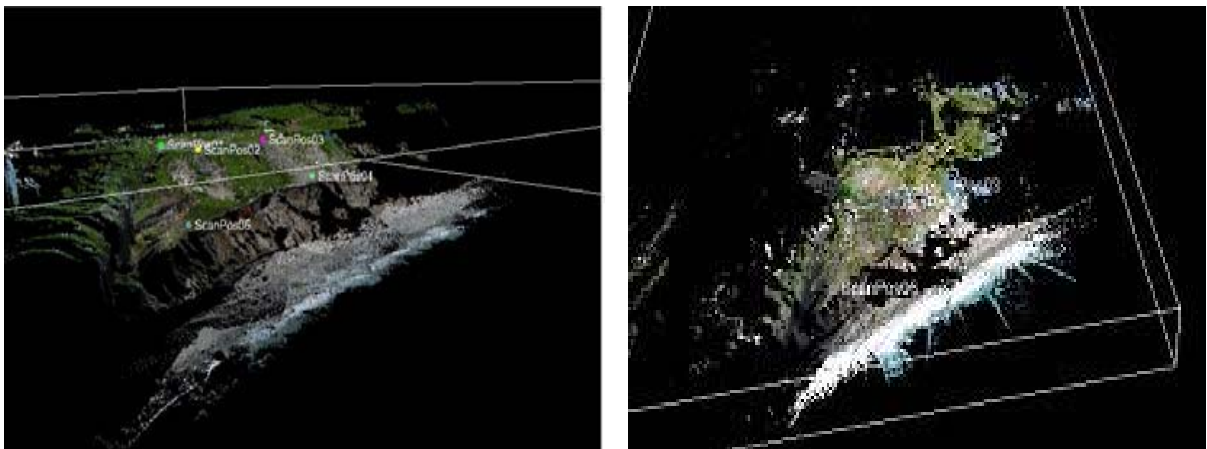


圖 3-8 不同時間點的奇萊鼻海崖 3D 地形資料：左圖：2008/08/30；右圖：2008/11/16（朱德原，2008）。

在使用3D雷射掃瞄儀蒐集資料後，以原廠軟體RiSCAN PRO進行資料處理，將各測站所得到的掃瞄資料連結後，把點雲座的標轉換成大地座標，選取資料較完整的部分使軟體可以計算2個時期以上的變化量，將點雲資料轉換成不規則網格型式，製作成Polygon資料。再匯出至Global Mapper 9軟體，以各時期的DSM的差異，對各個不同時期的變化情形進行評估，並描繪出其變化之區域與狀況。

本研究使用「RiSCAN PRO」軟體分析3D雷射掃瞄儀所蒐集的資料。首先，對於該儀器所呈現之誤差值分佈情形進行瞭解，分別以三個不同時期在不同掃瞄位置掃瞄相同控制點（朱德原，2008），重複測量所得到的距離誤差如圖3-9所示，各實驗情形說明如下：（1）2007年7月3日連結點共有56個，儀器與反光圓柱平均距離為34.66公尺、平均誤差為5.54公釐；（2）2007年8月30日連結點共有38個，儀器與反光圓柱平均距離為31.37公尺、平均誤差為4.47公釐；（3）2007年11月16日連結點共有45個，儀器與反光圓柱平均距離為33.12公尺、平均誤差為6.35公釐。

三次掃瞄實驗共截取139個點（附錄三），3D雷射掃瞄儀與反光圓柱平均距離為33.26公尺、平均誤差為5.510公釐，其中最大誤差為2007年11月16日第四個掃瞄位置的第11個反光圓柱距離為12.877公尺，誤差為67公釐。2007年11月16日第二位置與第三位置為同一地點，兩次掃瞄誤差值平均為1.2公釐，以所得之平均誤差可進一步確認，本研究所使用的3D雷射掃瞄儀（Riegl LMS Z360i），可有效提供本計畫之研究目標所需精度。

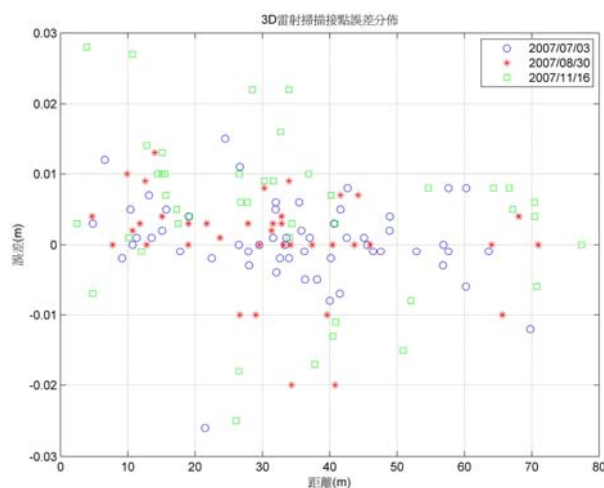


圖3-9 三次實驗所得點位誤差分佈圖。

3.2.2 攝影測量資料處理

利用航照片建立之數值地表模型的流程如圖 3-10 所示，若能使研究區域範圍大小成一致，再將不同時期 DSM 相減得到兩時期的地形變化，配合高程檢核結果，排除誤差範圍，得到研究區域內地表受侵蝕或堆積之區域分佈，並計算體積與高程變化，以及變化區域之面積。

為了解短期地形變化，本研究申購 2003 年、2006 年及 2007 年四組航空照片電子檔製作 DSM，日期分別為 2003 年 10 月（2 幅）、2006 年 12 月（2 幅）、2007 年 9 月（2 幅），為求資料精準，皆使用 1800dpi 解晰度之航空照片電子檔，由於峽谷地形遮蔽過多，座標無法取得，因此選擇立霧溪閣口地區及出海口地區作為航照研究區域，2003 年 10 月 2 幅彩色照片包含閣口及出海口，2006 年 12 月為閣口地區，2007 年 9 月則為出海口地區，利用數位攝影測量軟體與立體對影像產生 DSM 後，可得各時期的 3 維地形資料。若能有效增加山區 GPS 量測點位，將能進一步比較各組航照所攝得的地形變化情形。另外，使用 2005 年及 2009 年福衛二號所拍攝之影像，以「IDRISI Taiga」軟體，利用色階光譜篩選，進行崩塌地的辨識。

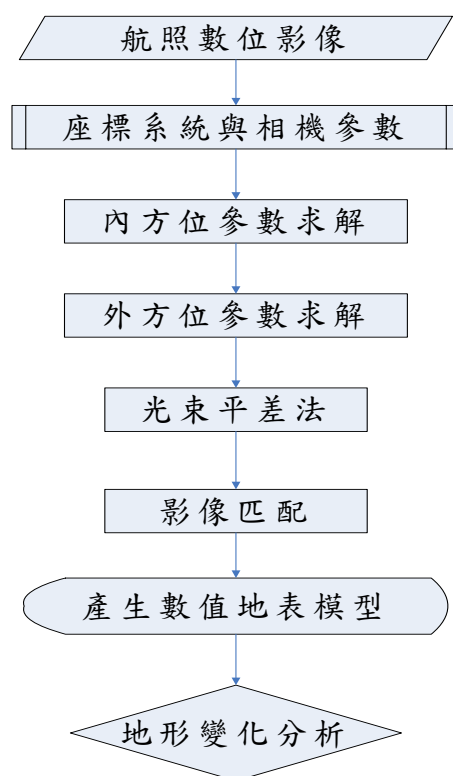


圖3-10 航照數位影像處理流程圖。

3.2.3 時序資料處理

本研究所蒐集的數種時序資料中，因為台電綠水站資料有多項重要參數，且較具完整性，因此將以其為主配合其他資料試圖找出太魯閣峽谷地區及立霧溪流域，受各項氣候條件的影響情形。

首先，將原始資料使用「Matlab」讀取、運算並繪圖（圖 3-11），各主要數據包括平均流速、流量、含砂量以及水溫。從四項資料變化情形可看出 2000 年以後的資料品質較差，因此先行篩選 1986~2000 年的資料作為探討依據。由於原始資料為不定時施測，每月約有 5~10 次，且數據變化差異大，所以進一步篩選掉可信度較低之數據，選取包括流速大於 0.2m/s、流量小於 1500cms、砂量小於 30000ppm 之間的資料後，將資料以線性內插補為一日一筆資料（如圖 3-12 紅線所示）。然後再將其中的流量資料，與水利署所建立的「河川資料庫」中下載之資料相比（圖 3-13），可觀測到變化情形並不一致，進一步比較相同時間的流量變化（圖 3-14），雖然兩資料皆為臺電綠水水文站所記錄，但是河川資料庫在許多時段皆有突然增加情形，僅在低流量時資料有相符趨勢。另外，河川資料庫流量資料為每日一筆，但綠水站並非每日皆有量測記錄，研判其為資料補點所得到的結果，可能是使用方法所導致的差異性，因此目前仍以臺電綠水水文站的資料為主。

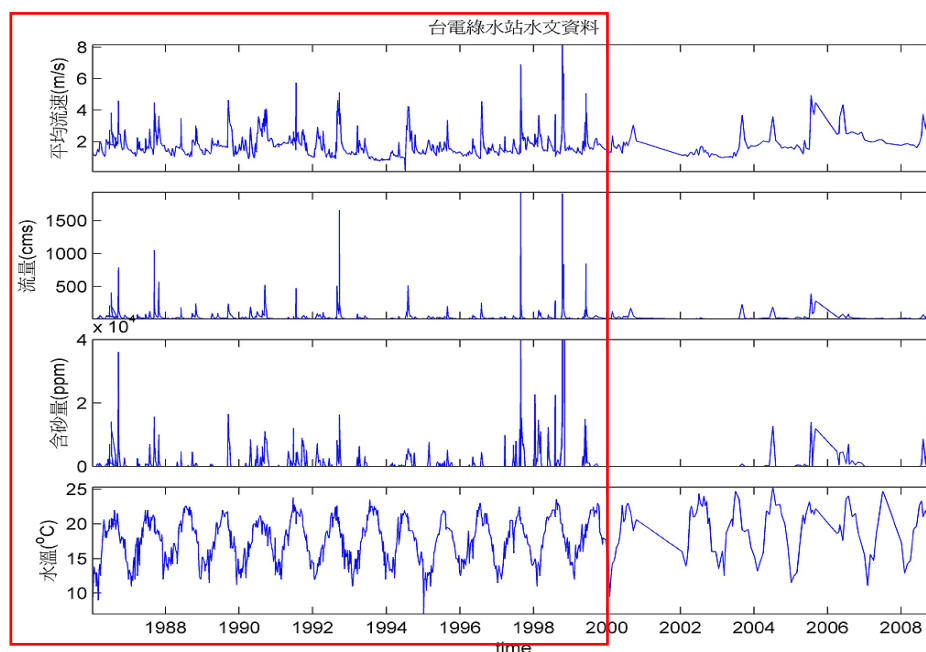


圖3-11 臺電綠水水文站原始資料圖（紅框為選取資料）。

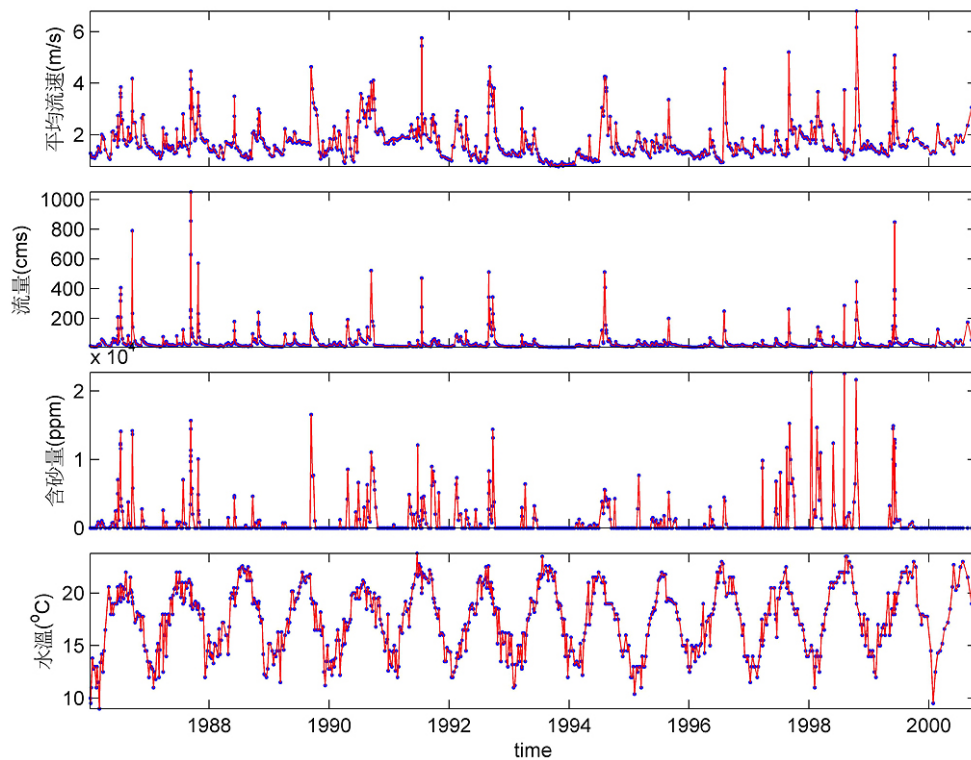


圖3-12 臺電綠水水文站資料處理過程圖：藍點為濾除過較不可信之資料，紅線為經線性內插後之每日資料。

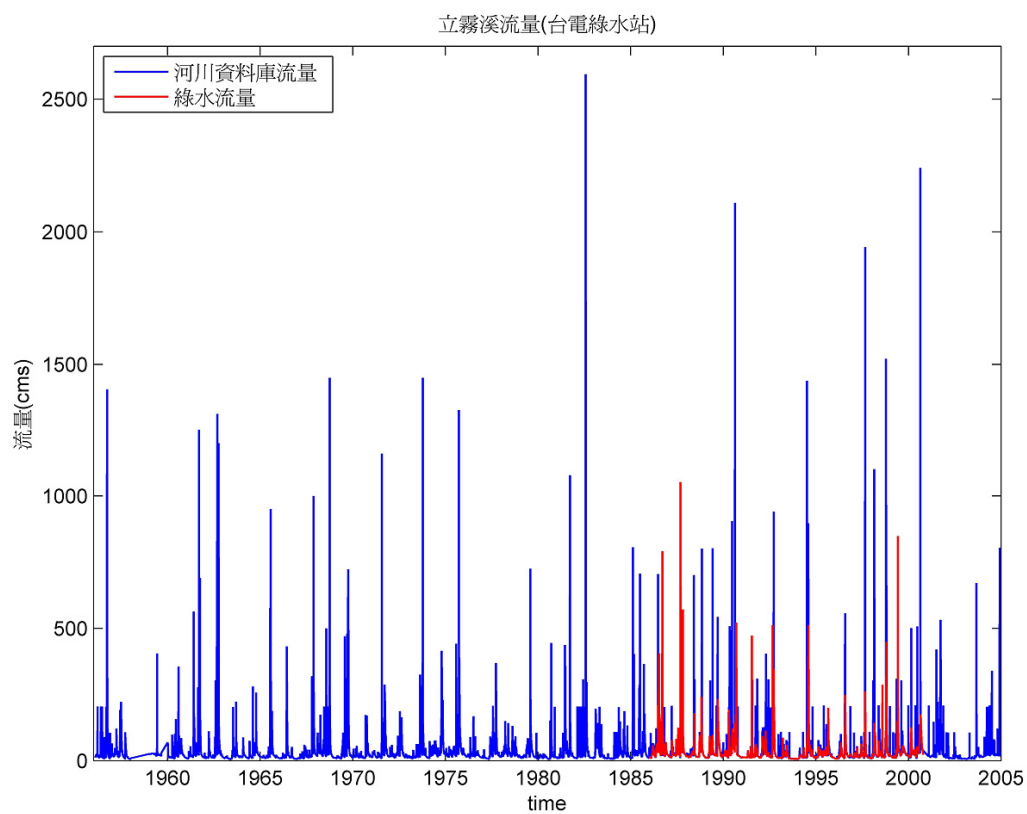


圖3-13 1957-2005立霧溪流量圖。

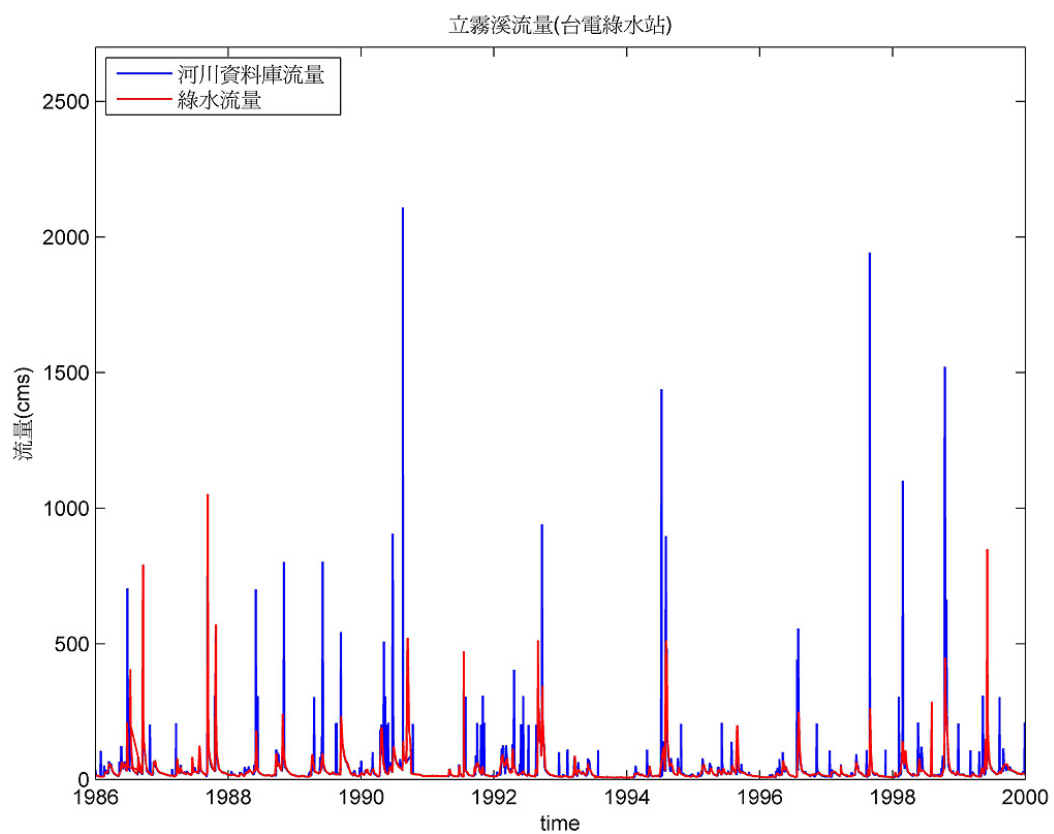


圖3-14 立霧溪流量比較圖（1986~2000）。

第四章 結果與討論

4.1 建立初始地形

本研究團隊經多次野外探勘及施測後，對於資料蒐集所需要件先進行評估，並以3D雷射掃瞄儀之效能規劃特殊景點之優先掃描位置，在儀器架設、氣候因素、人因操作…等方面加以討論，決定先行於施測較便利之景點建進行掃描工作。未來將再度於相同位置掃描，以兩次所得資料進行比較，針對單一景點在短期的變化趨勢作討論，但是過短時間內之變化情形並不明顯，因此本研究考量掃描時程以探討年變化為主。

野外施測需經人員、器材之調配，並受各景點之人為、氣候影響，以及儀器在操作上的錯誤性…等因素，並非能如預期在每週進行現場資料蒐集，且雷射光束照射至目標物件時，因各物質產生的平面角不同，易造成反射不均之情形，所以並非各景點的資料皆能有良好接受效果（如圖4-1所示），將儀器放置於最接近長春祠之位置，即使實施精細掃描（最耗時但發射與接收的資料點源最多亦最精準）仍無法有效蒐集完整的長春祠外觀資料。



圖 4-1 長春祠現場施測情形與點雲圖（下至最近長春祠之測點）。

本研究團隊自執行計畫內容開始，已進行多次野外調查及掃瞄工作，目前已使用3D雷射掃瞄儀完成初始地形資料及數值地形模型（Digital Surface Model, DSM）之建立，但除燕子口、天祥溪谷及白楊瀑布三處，因受限於所處位置之及範圍，並無法順利以3D雷射掃瞄儀蒐集地形資料，因此本研究嘗試使用不同方式（包括航空照片、衛星影像或其他測量方式）建立景點地形模型。

另外，其餘景點皆已完成第一次地形資料蒐集，已建立初始掃描資料之景點如圖4-2紅色標示，且持續評估第二次的掃瞄時程（以年變化為主），並將比對兩不同時段所蒐集資料，瞭解各景點的變化情形，以作為地形演育歷史與地景保育的參考。圖4-3~4-10為沿著立霧溪河谷自東向西各景點在第一次掃描後所製作之彩色點雲圖及DSM模型。

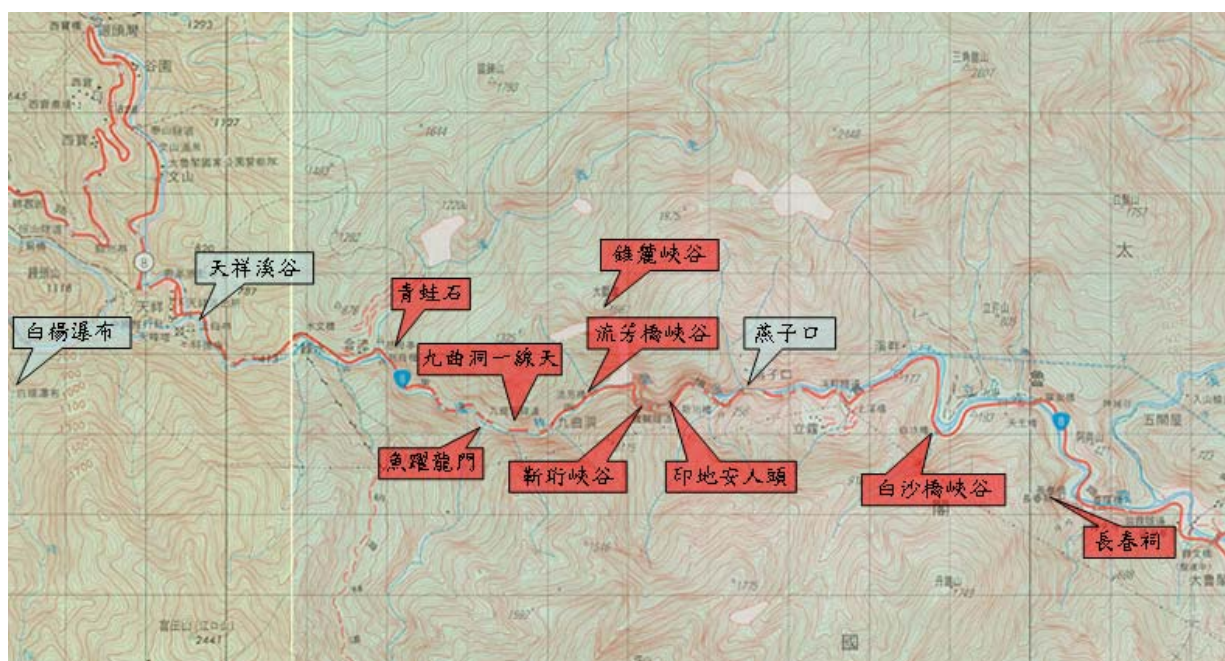
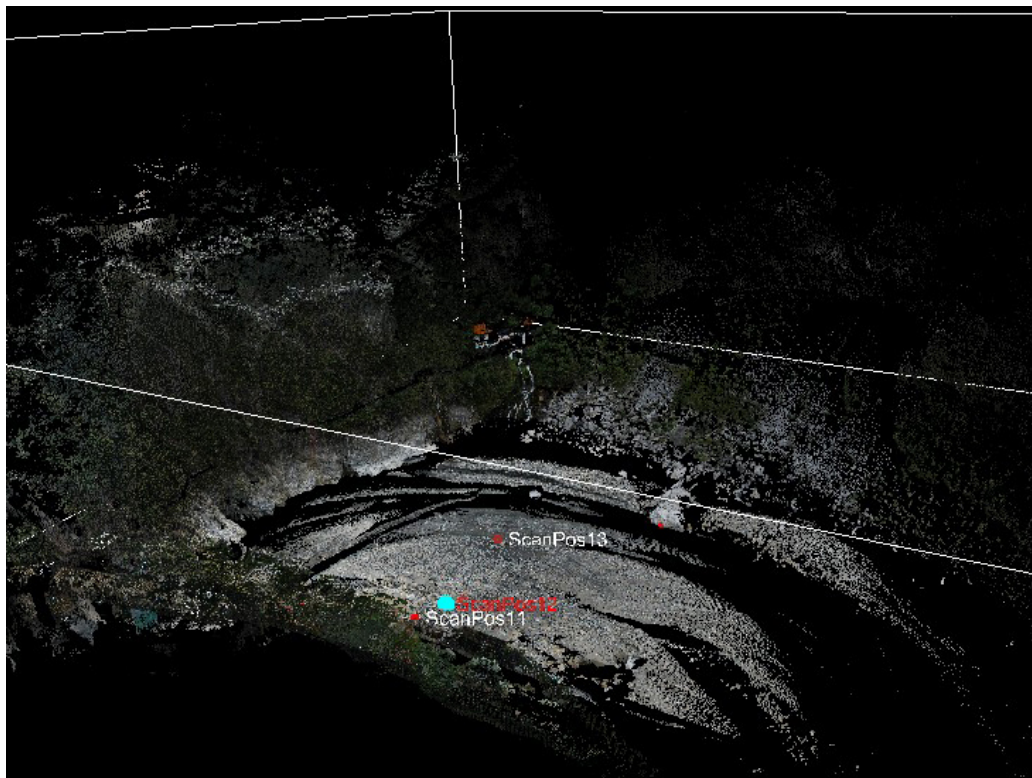


圖 4-2 各研究景點位置（紅色部份代表已完成初始掃瞄工作）。

(a)



(b)

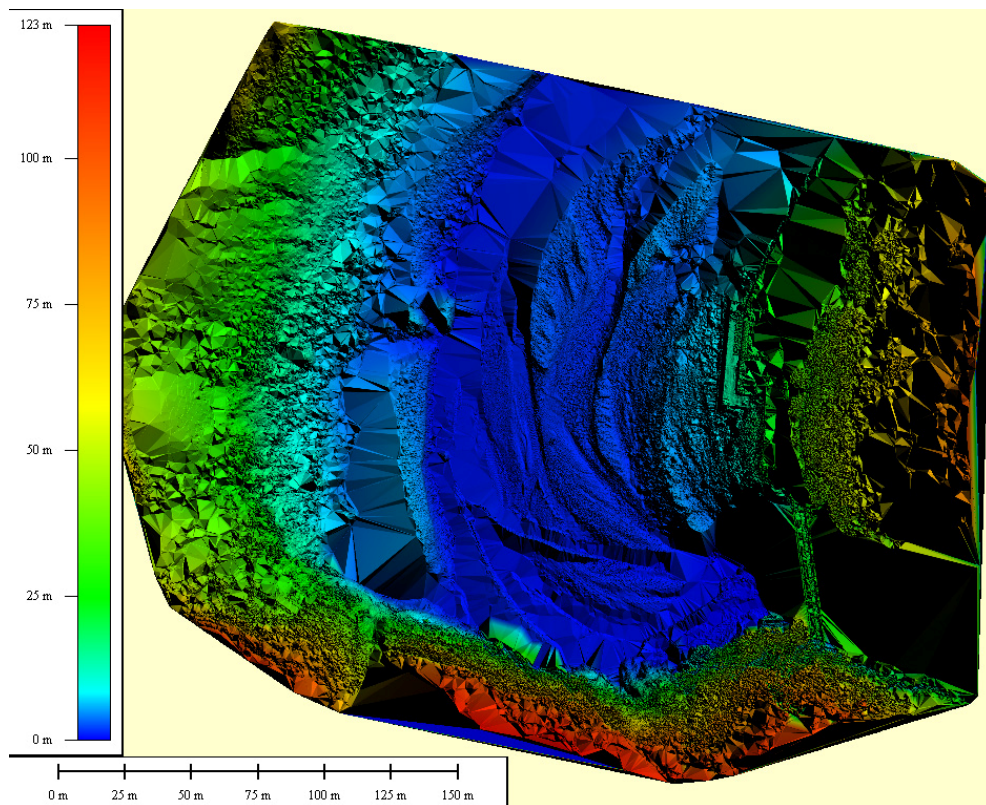
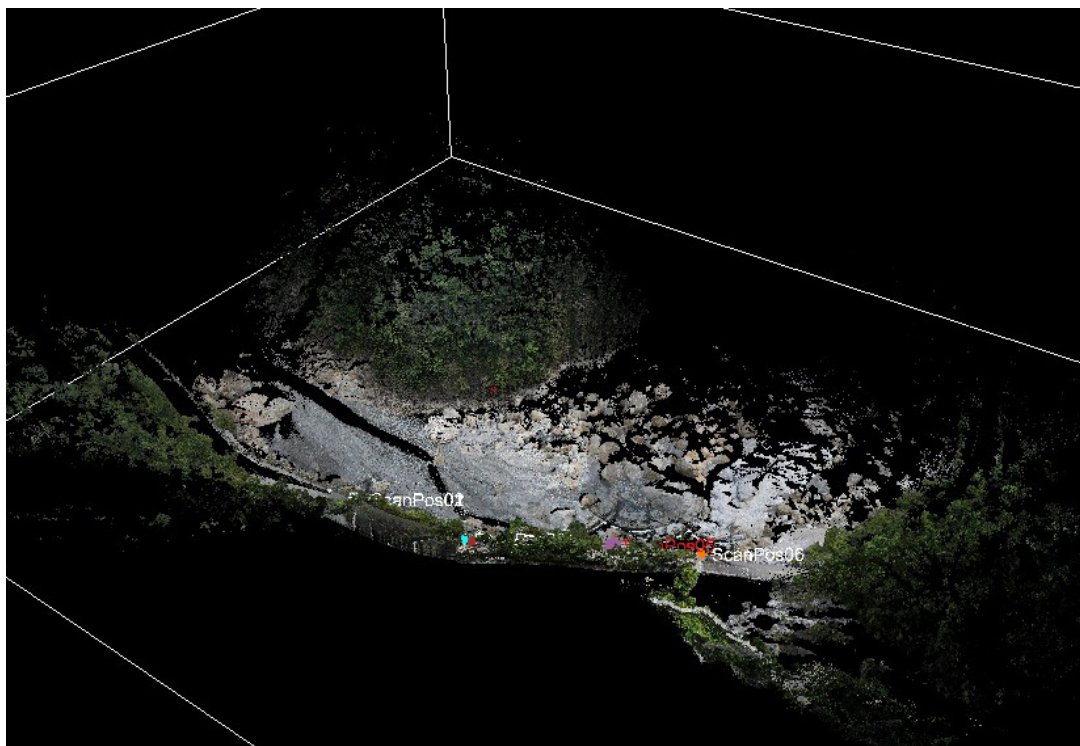
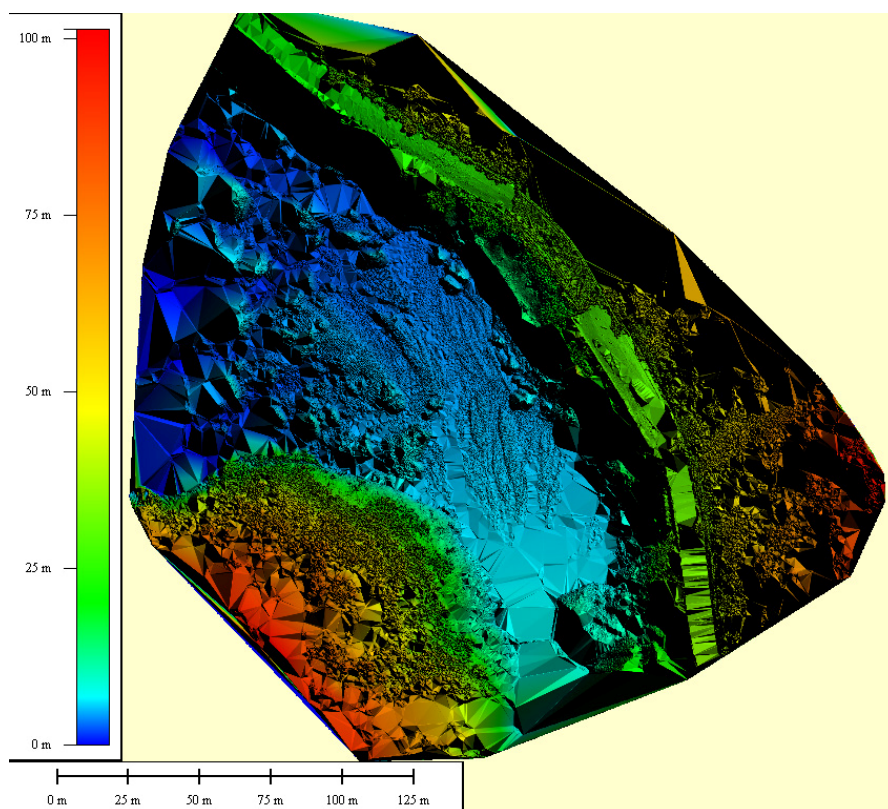


圖 4-3 長春祠掃描圖：(a) 點雲圖；(b) DSM。

(a)



(b)



4-4 白沙橋掃瞄圖：(a) 點雲圖；(b) DSM。

(a)



(b)

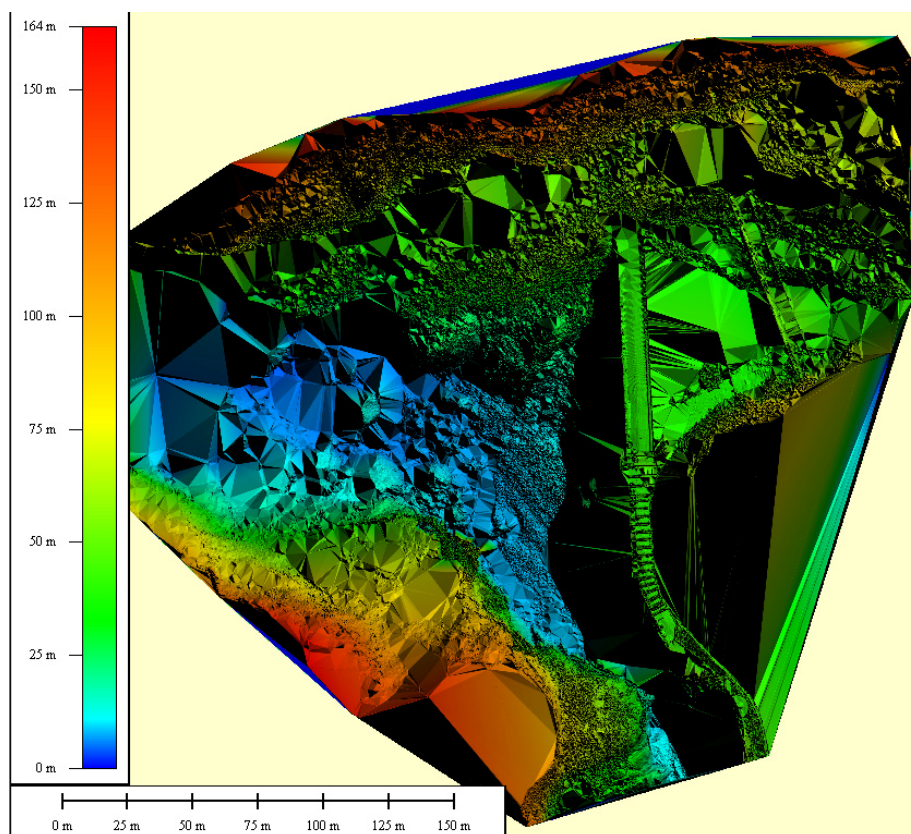
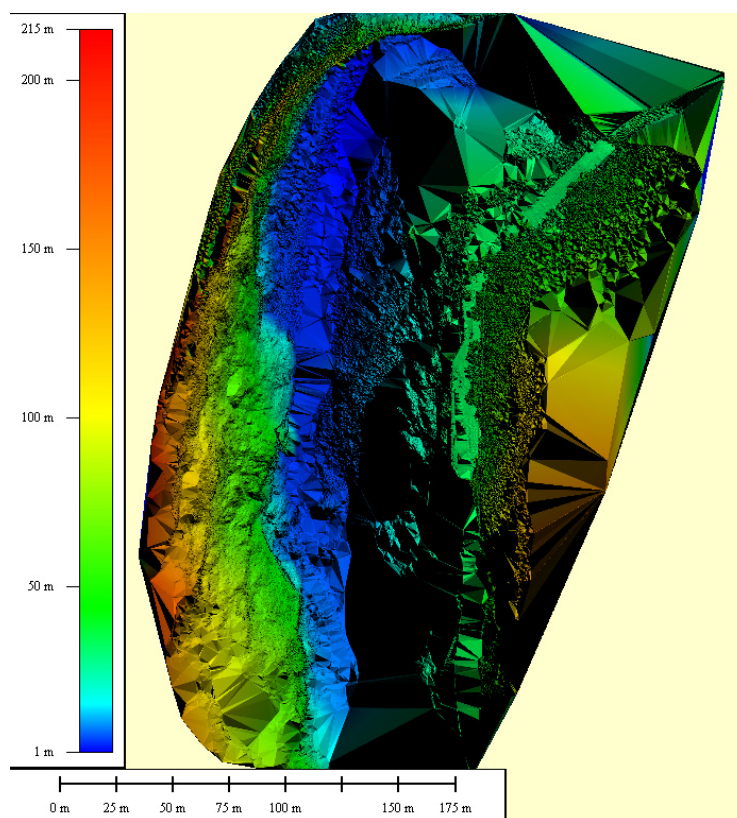


圖 4-5 印地安人頭掃描圖：(a) 點雲圖；(b) DSM。

(a)

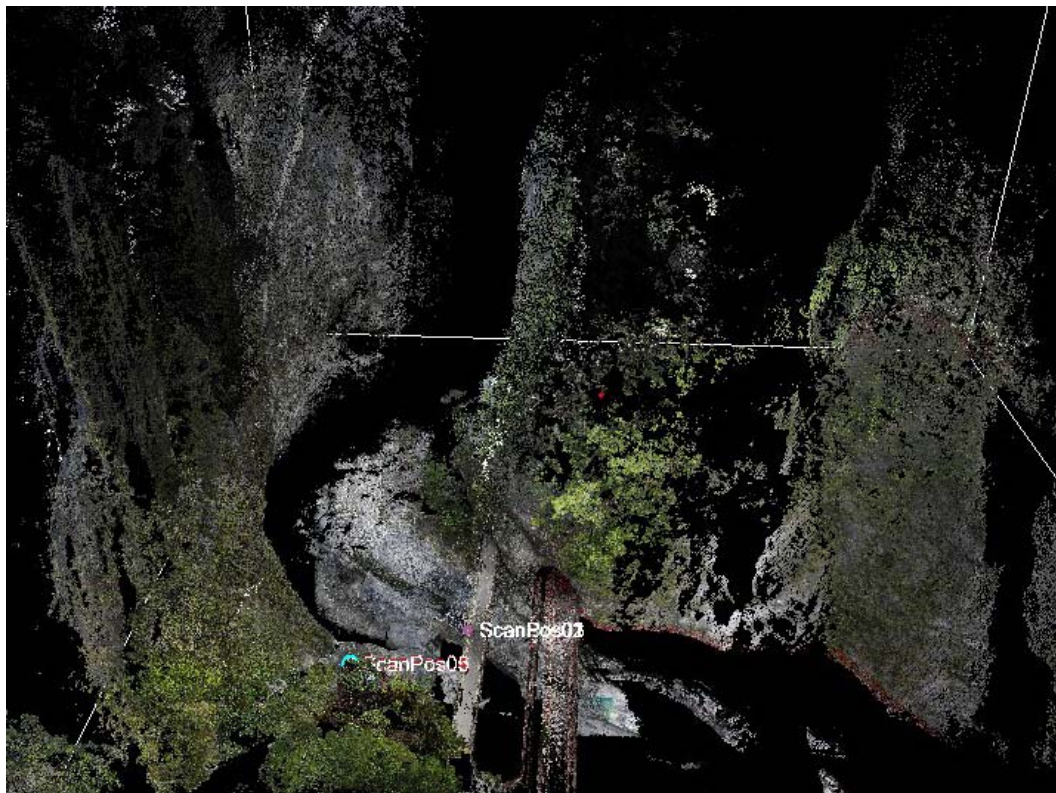


(b)



4-6 錐麓斷崖掃描圖：(a) 點雲圖；(b) DSM。

(a)



(b)

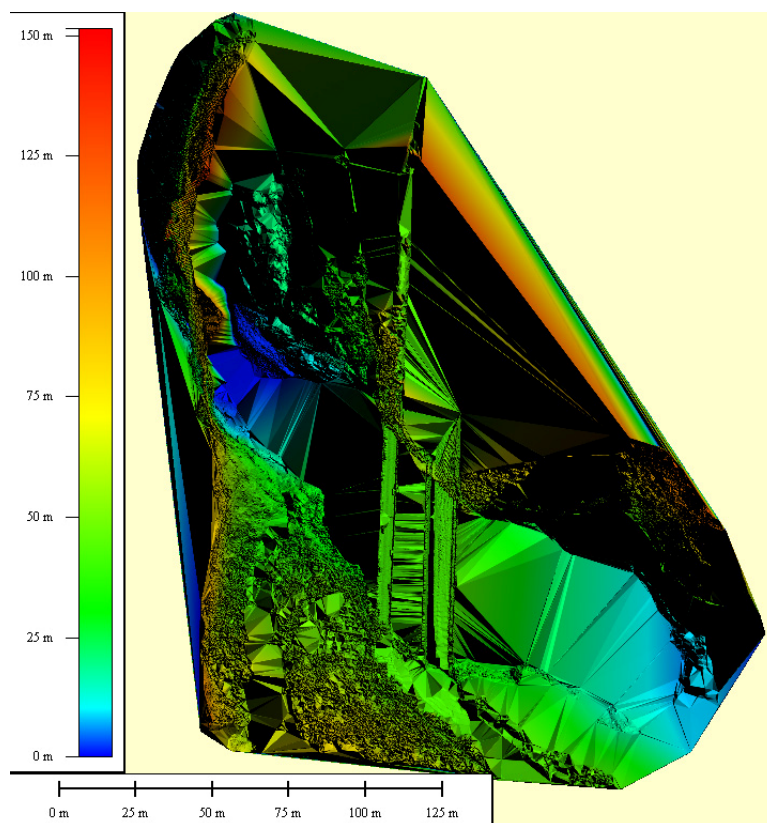
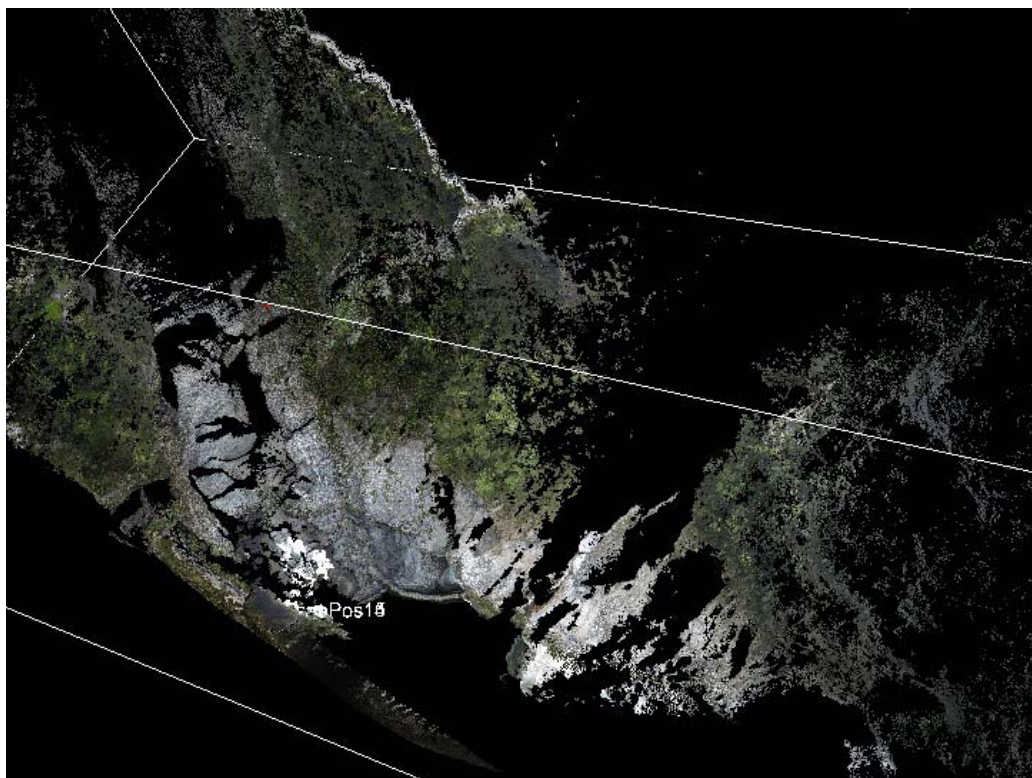
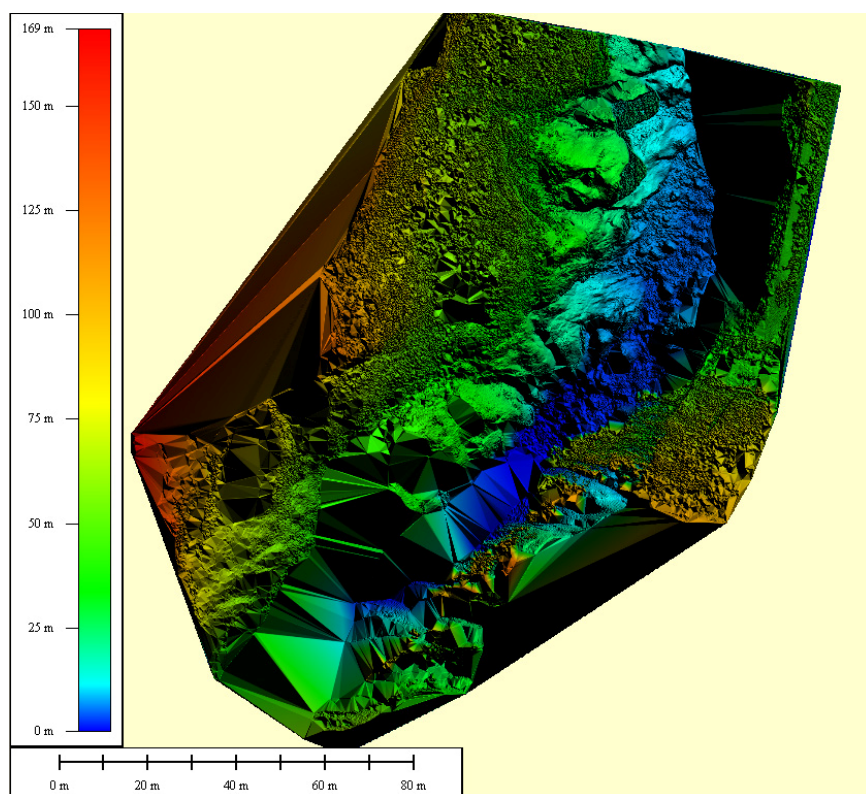


圖 4-7 流芳橋峽谷掃描圖：(a) 點雲圖；(b) DSM。

(a)

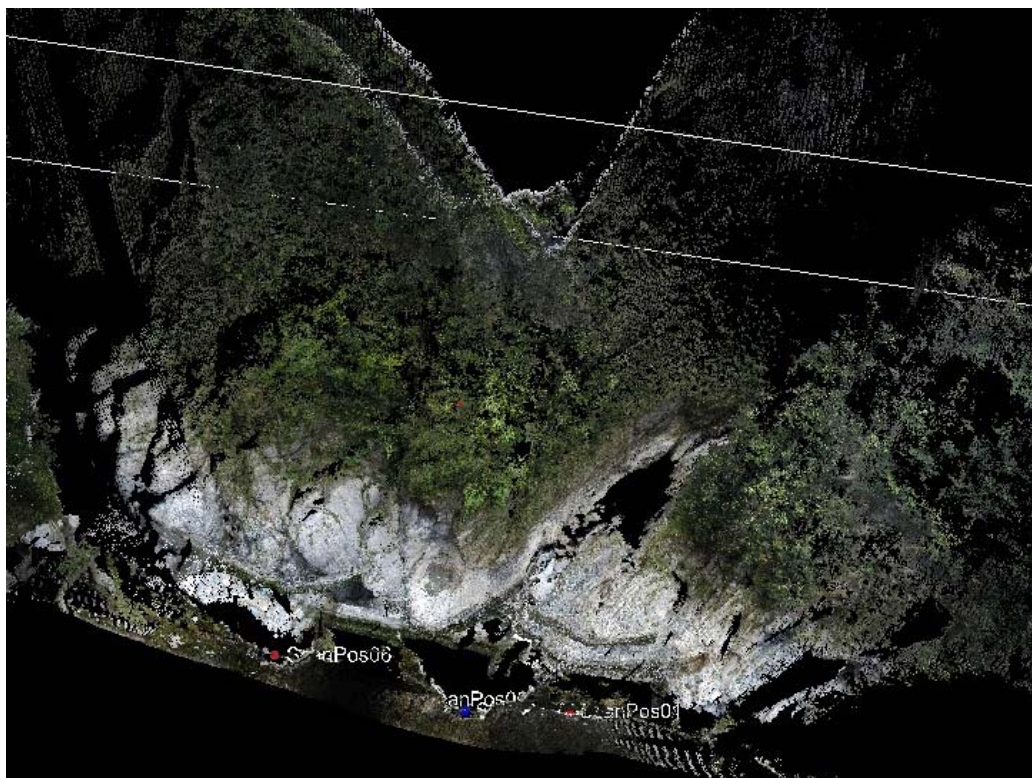


(b)



4-8 九曲洞一線天掃描圖：(a) 點雲圖；(b) DSM。

(a)



(b)

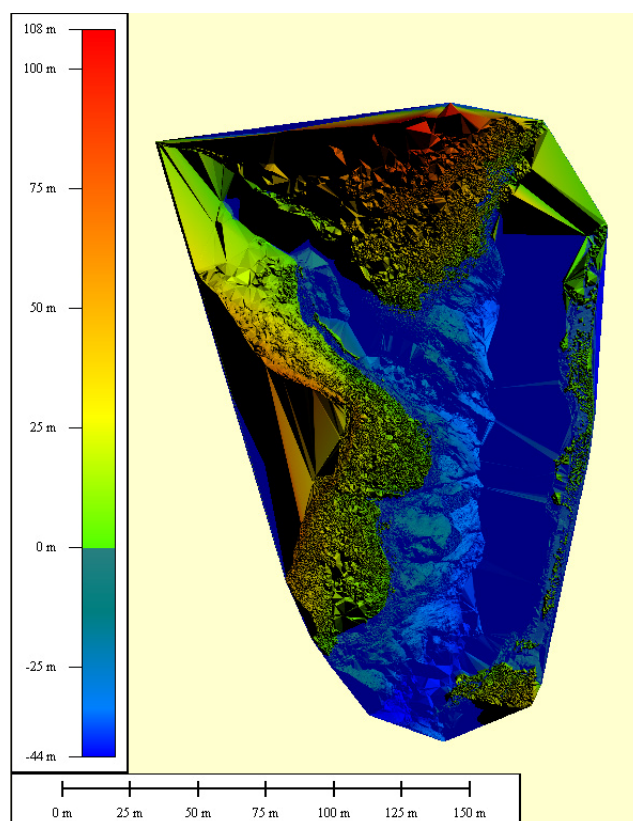


圖 4-9 九曲洞魚躍龍門掃瞄圖：(a) 點雲圖；(b) DSM。

(a)



(b)

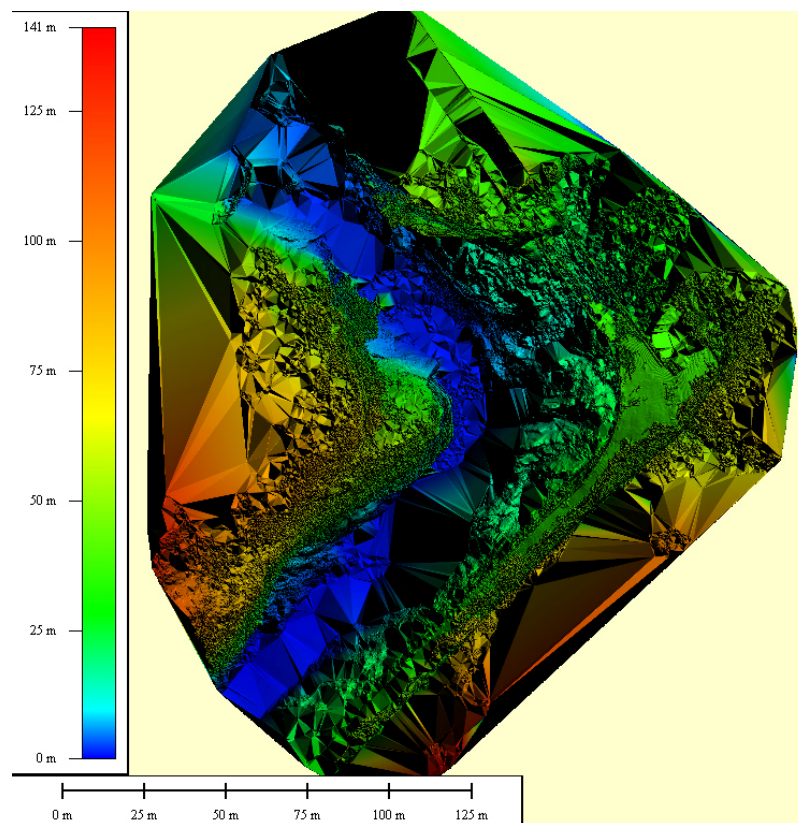


圖 4-10 青蛙石掃瞄圖：(a) 點雲圖；(b) DSM。

經由 3D 雷射掃瞄儀所測得的 DSM 資料仍需經由適度的後製處理，補足遺缺之資料點，或是將異常資料去除或平均，才能再做進一步的分析比較，以印地安人頭位置之資料為例如圖 4-11 所示，由現場照片與點雲圖相比可明顯看出資料受儀器擺設位置之影響，以及距離過遠造成無法許多資料無法接收反射訊號。此外，目標物之形狀除了可能造成雷射訊號漫射而無法被儀器所接收，也有可能成為雜訊而被接收，因此在資料蒐集完成後的差異性比較，必須依所研究之方向進行相關後製處理。

(a)



(b)

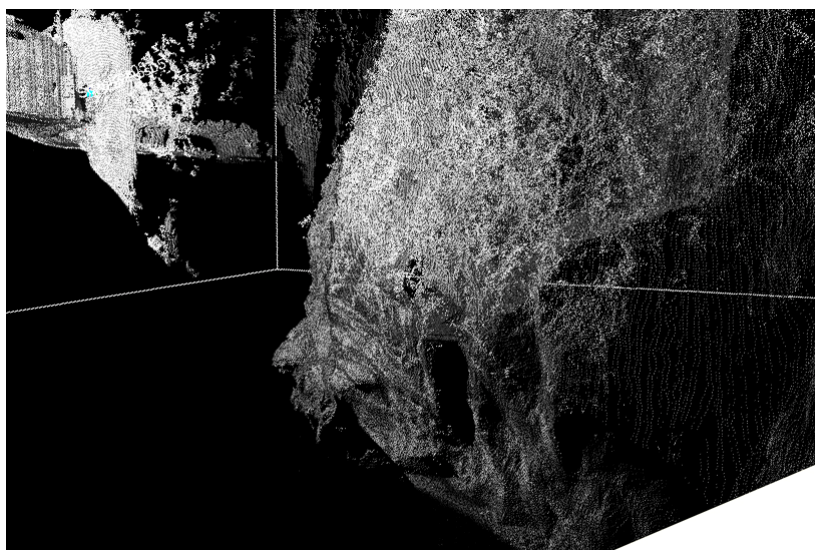
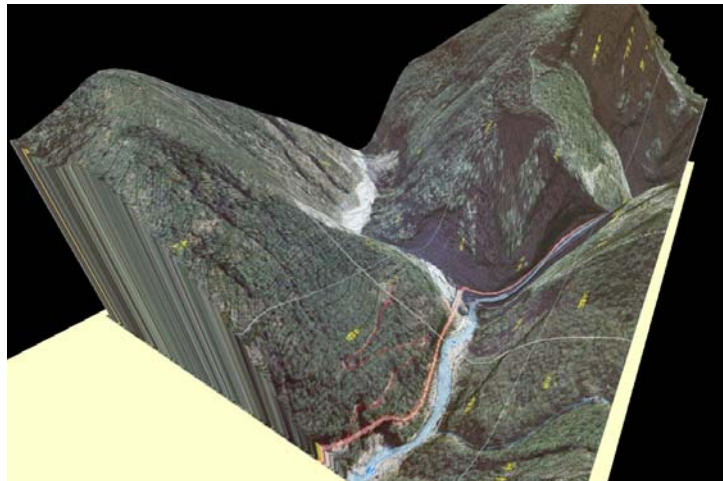


圖 4-11 印地安人頭照片與點雲圖比較：(a) 現場照片；(b) 點雲圖。

4.2 製作數值地表模型

本研究除了利用3D雷射掃瞄儀取得地形資料外，亦將選購相片基本圖與衛星影像、航空照片，經影像處理軟體（本計畫使用Global Mapper）套繪經、緯度及地形高程仍需經由誤差的計算，並整理在建立數值地表模型過程中，找出產生失敗與造成誤差原因，並透過各種方法加以克服。

目前蒐集研究區域內（立霧溪流域）沿河道之相片基本圖 40 幅及福衛二號衛星影像 1 幅，將各資料建立成數值地表模型（DSM、DEM）如圖 4-12 及圖 4-13 所示（目前使用 SRTM 90m DEM），為太魯閣地區相片基本圖所製作之 DEM。但目前在各圖層的座標套繪上仍有誤差存在，預計將在未來工作時程中進行校正，獲得更精確的 3D 模型資料。



4-12 青蛙石區域之 DEM。

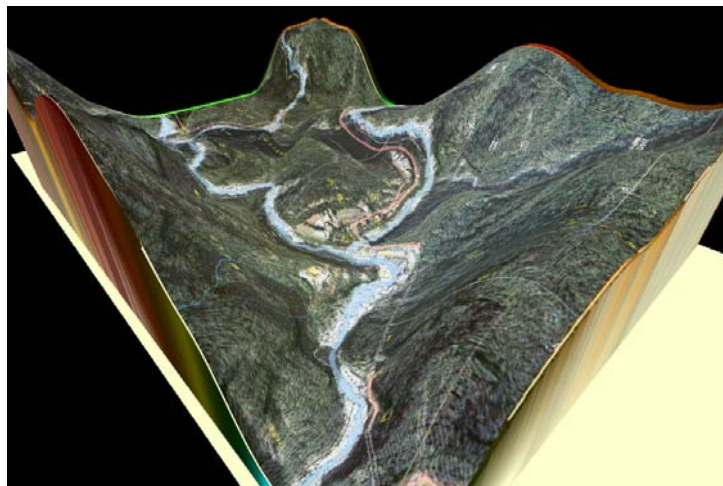


圖 4-13 天祥峽谷區域之 DEM。

航照圖製作 DSM，需要以 2 幅距離相近之照片，使用 Global Mapper 影響處理軟體，計算出地形高程。為求資料精準，皆使用 1800Dpi 解晰度之航空照片電子檔，選以 2003、2006、2007 年三組航空照片資料製作 DSM，日期分別為 2003 年 10 月（2 幅）、2006 年 12 月（2 幅）、2007 年 9 月（2 幅）。

在製作數值地形模型的流程如圖 3-10 所示，必須於數位影像上尋找合適的控制點，然而航照圖並非每年都拍攝，且部份點位因現場地形改變已無法確認，增加選點上的困難度。在選定好可辨識點位後，使用全球衛星定位系統取得控制點座標（圖 4-14，2007 年 9 月），一般衛星測量至少需要能收到 4 個衛星訊號方能減少誤差，本研究初步將衛星門檻值設為 7，也就是說需要接收到 7 個衛星訊號的點位才使用，增加 DSM 之精度。

在圖面上各選定點的衛星訊號蒐集完成後，利用 Global Mapper 軟體進行點位計算，並於二圖面在地表上的相同位置選點（圖 4-15），重複此步驟以減少合併上的誤差，誤差值如表 4-1 所示。最後可完成該組航空照片所製作的 DSM，結果如圖 4-16、4-17、4-18 所示。

利用數位攝影測量軟體與立體對影像產生 DSM 後，可瞭解大範圍的地表高程變化，相較於水準測量或 3D 雷射掃瞄儀…等，蒐集地形資料方式而言便利性高出許多。但由於地形因素造成衛星接收不容易影響座標精度，也是此方法在地形多變處使用上的最大缺點，也使得在計算誤差過大，在製作出來的 DSM 圖面會有許多破洞或缺陷處，無法進一步取得更詳細的資料，因此目前只能先以立霧溪出海口部份，進行數值地形模型影像處理，對於衛星訊號的取得，仍有相當大的改善空間。

若能蒐集所有太魯閣地區的航空照片，並製作成為 DSM 後，可與 2009 年內以 3D 雷射掃瞄儀施測資料，或其他相關的地形資料配合，將不同時期的資料進行演算、比對，應可得到短期地形變化的資料，亦能藉此找出太魯閣地區較明顯之崩塌地位置，亦將配合拍攝之現場照片、3D 雷射掃瞄之 DSM 進行各景點之深入探討。唯目前航空照片拍攝年代、位置多無法配合太魯閣地區的衛星訊號接受情形，導致此方向的研究進度嚴重受阻，若能克服峽谷內定位的技術及提高其精度，才能有效運用於各項地形演算。



圖 4-14 2007 年 9 月立霧溪出海口航照圖（箭頭處為選定衛星訊號點位）。

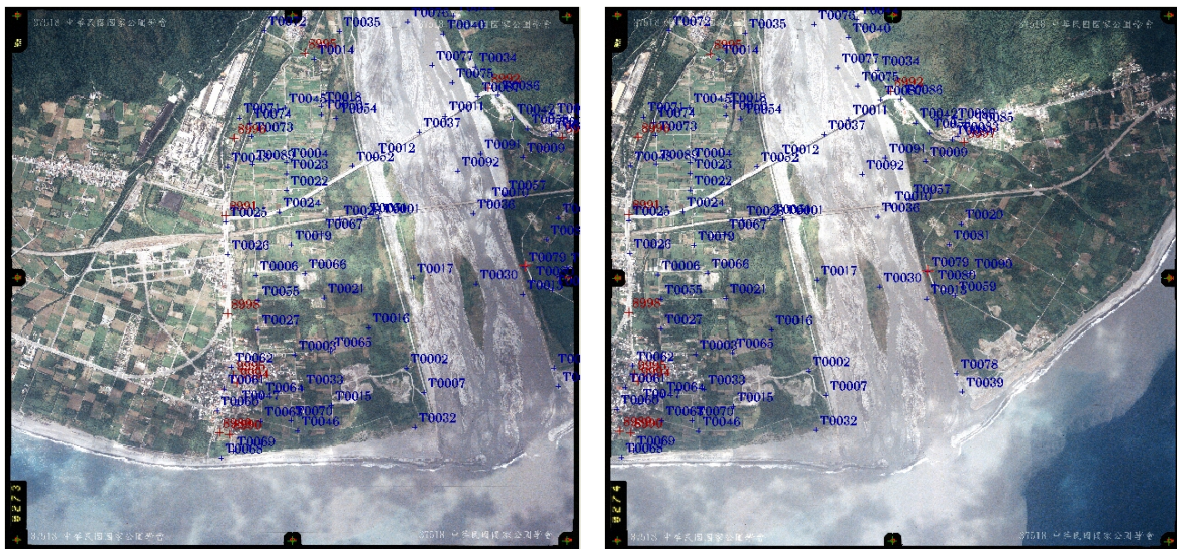


圖 4-15 2007 年 9 月立霧溪出海口航照圖影像匹配：紅點為衛星訊號接收點位，藍點為 2 圖面地表相同位置。

表 4-1 航照圖影像匹配誤差值

水平誤差		
日期	X (m)	Y (m)
2003/10	0.29	0.33
2006/12	0.20	0.23
2007/09	0.18	0.13

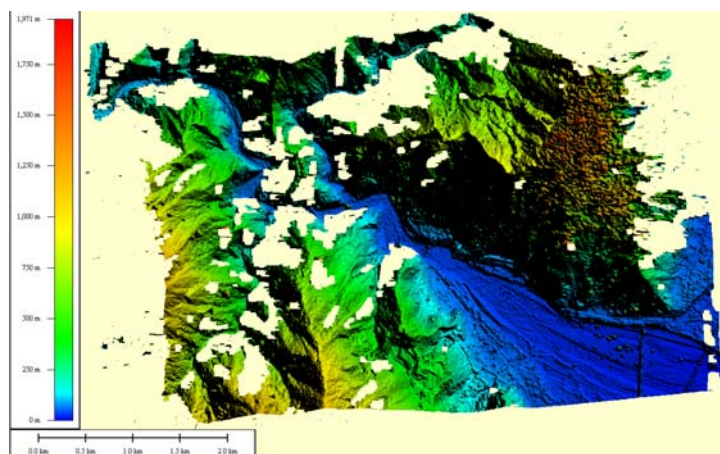


圖 4-16 2003 年 10 月太魯閣閣口處航照圖製作之 DSM。

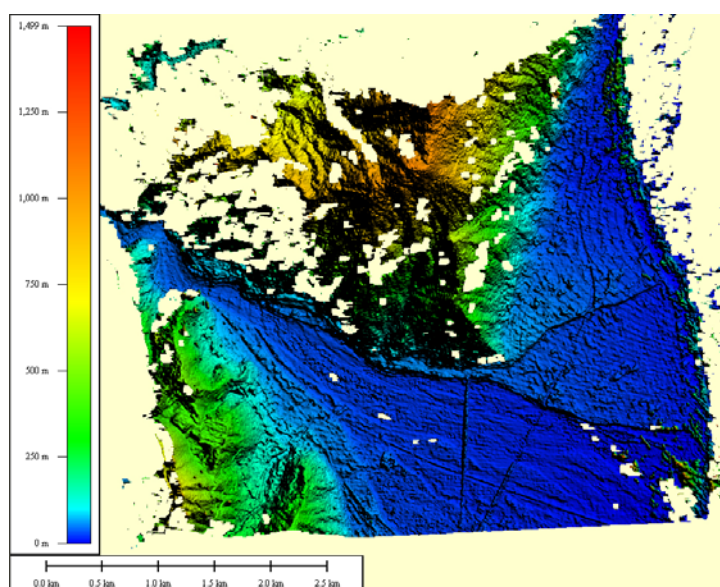


圖 4-17 2006 年 12 月太魯閣閣口處航照圖製作之 DSM。

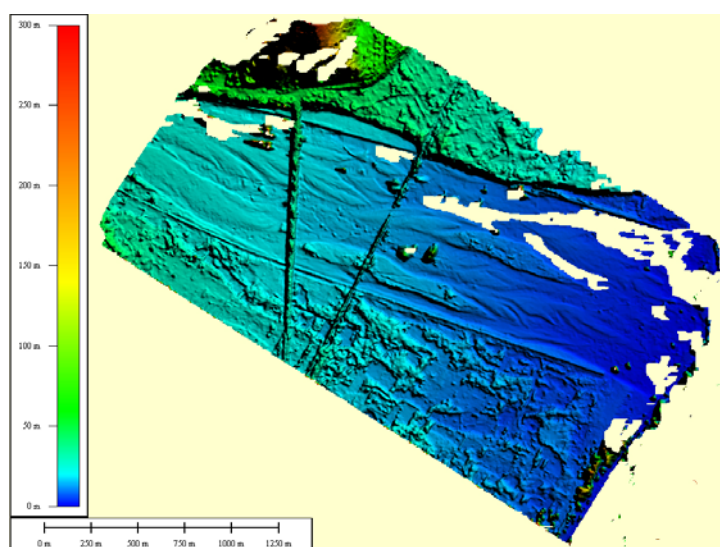


圖 4-18 2007 年 9 月太魯閣閣口處航照圖製作之 DSM。

4.3 太魯閣地區的氣象資料

由前人文獻中對臺灣島形成的歷史有所瞭解，如圖 2-2、2-3、2-4 中，花蓮地區位處於歐亞大陸板塊隱沒及菲律賓海板塊逆衝處，可能是造成太魯閣峽谷具獨特性的關鍵因素之一。若能進一步蒐集相關歷史氣象（包括雨量、颱風、溫度、地震、流量、水文…等）資料，可探索太魯閣地區的特點，並瞭解其對於太魯閣峽谷的影響力。

臺灣地區的地震活動分布情形，是能有效推論板塊邊邊界的證據(Sibuet and Hsu, 2004)，因此，在蒐集了 1986~1996 年中央氣象局有關臺灣地區的地震資料，篩選出規模大於 4 以上且震源深度小於 30 公里的地震(圖 4-19)，以 10 年資料便可由地震震央位置歸納出板塊界線（紅色虛線），其週圍地震較多且密集，但地震規模仍需視各處斷層及板塊移動情形而定。而花蓮地區位於板塊界線上緣（紅色框內），地震發生情形較臺灣島其他地方密集，且地震活動可視為造山帶的動力來源，因此由簡單的地震資料便能初步看出太魯閣峽谷的發育起緣，與板塊運動產生的動力機制有密不可分的關係。

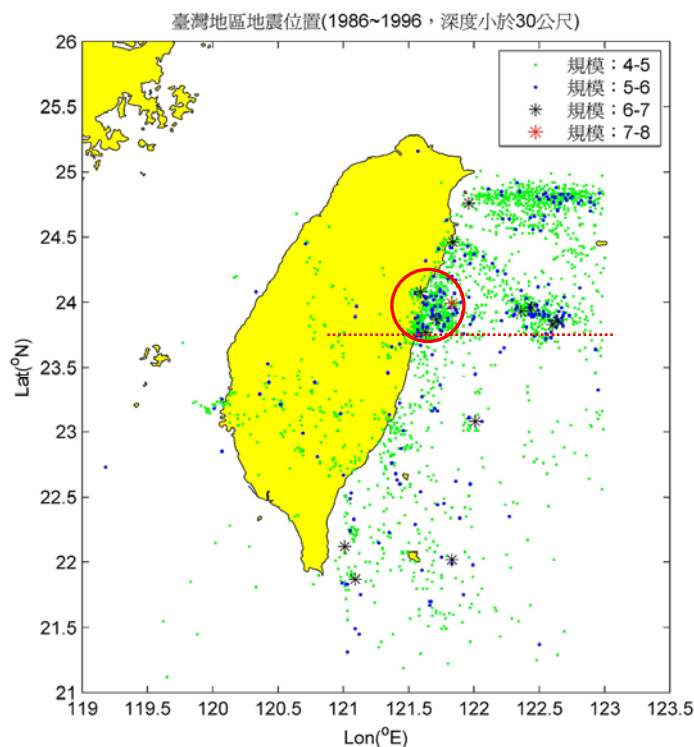


圖 4-19 臺灣地區地震震央及規模（1986~1996，深度小於 30 公里），紅圈內為太魯閣地區，紅虛線為以地震歸納出板塊邊緣（資料來源：中央氣象局）

持續不斷且密集的地震在花蓮地區發生，使得地質、地層鬆動而較為脆弱，配合臺灣地區沛豐降雨量的影響，在山區的降雨量更是明顯較多，易使地震帶的山區侵蝕速率增加，由前人研究結果（圖 2-11），可明顯看出臺灣地區各流域皆有快速侵蝕速率，圖 2-14 中在立霧溪流流域的各項研究數據可以比較出太魯閣地區有極高的侵蝕速率及河流下切速率。

由花蓮地區的降雨資料可以初步確認上述推論及前人研究結果，本研究依據台電公司的綠水站水文資料時序，向中央氣象局申購花蓮雨量站的日累積雨量資料，如圖 4-20 所示，包括花蓮站 1986~2008 年的資料（圖中藍線），然而天祥雨量站的資料從 1995 年才開始記錄，因此天祥雨量站只能申購 1995~2008 年的資料（圖中紅線）。由雨量資料可約略比較出累積日雨量在 200mm 以下，花蓮站與天祥站的降雨情形大致相同，但超過 200mm 的部份，天祥站的突增情形則明顯多於花蓮站，此情形可說明山區與平地造成的差異性，但增加的雨量部份有超過 200mm，這也可視為太魯閣地區侵蝕速率的主要動力機制。

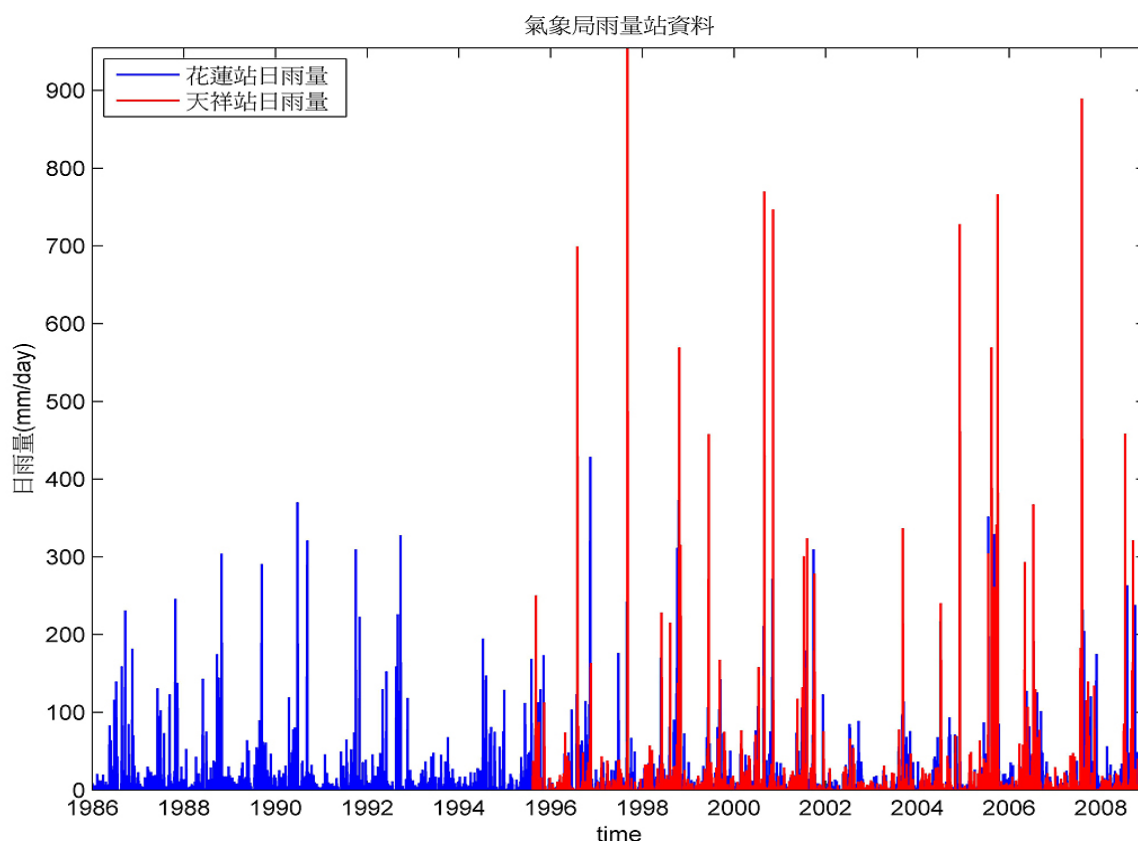


圖 4-20 花蓮地區累積日雨量：藍線為花蓮站，紅線為天祥站。

太魯閣地區受到如此豐沛雨量的不斷沖刷，以及持續不斷的地震，對該地區所造成的影響力，可間接由立霧溪的濁度、懸浮濃度或含砂量，得知太魯閣峽谷受侵蝕或風化的情形。本研究先篩選震央經度介於 121~122 之間，緯度在 23.5~24.75 範圍內，且規模大於 5，較可能影響花蓮地區的地震（圖 4-21a），與綠水站所測量到的含砂量相比，雖然綠水站水文資料並非每日量測，但在長期時間比較仍可看出其代表性。

由圖 4-21b 可看出持續不斷的地震，的確可能造成含砂量的增加，但增加的情形並不完全受到地震規模的大小所影響，且圖 4-21 中因為地震發生次數過多，所以並未將規模 5 以下的地震納入，或許地震不斷累積至一臨界點，再與降雨量、延時配合，所增加的含砂量才更可觀。然而，由資料中可明確看出較無地震發生的段時間，含砂量的突增情形也較少，但亦有無地震發生時的含砂量突增情形，這可能是其他因素，包括降雨量分佈範圍直颱風所造成的現象。

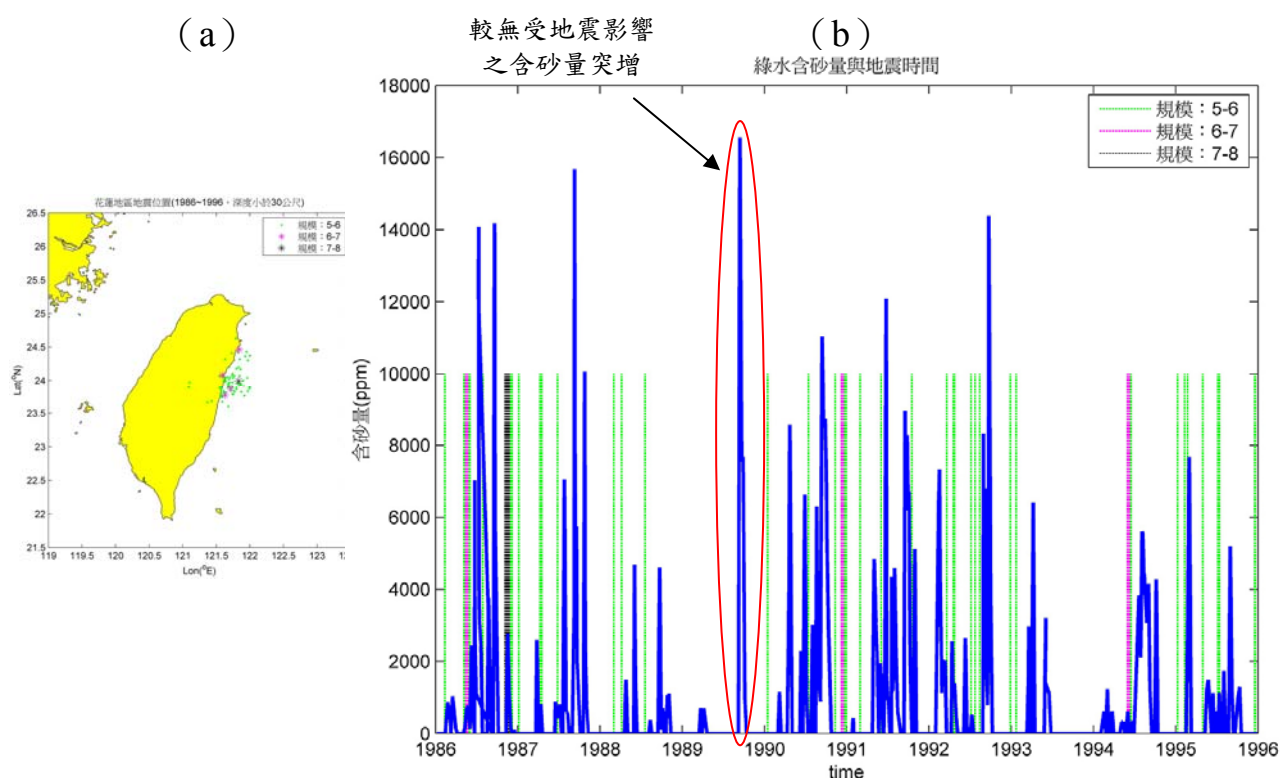


圖 4-21 綠水水文站含砂量與地震發生時間關係圖：(a) 為篩選過後的地震範圍；(b)：藍線為綠水站含砂量，其他顏色線代表花蓮地區附近地震規模及發生時間（綠線：規模 5-6、紫線：規模 6-7、黑線：規模 7-8）。

本計劃目前所蒐集自中央氣象局的地震定位資料僅到 1996 年，但天祥雨量站從 1995 年才開始記錄，因此本研究另外蒐集災害地震資料進行比較。災害地震可代表較強烈的地震，應可作為地層受地震影響而鬆動的指標，另外，再配合颱風警報的發佈時間，以及花蓮地區累積日雨量，可進一步對太魯閣地區所擁有的自然條件作討論（圖 4-22）。

由圖 4-22 中可看出含砂量、流量、降雨量突增時間與颱風發生時間大致相同，可初步確定這些在太魯閣地區的自然條件是有相關的，再進一步比較花蓮與天祥雨量站皆有資料的時段（黑色虛線部份），如圖 4-23 圖可更清楚看出含砂量與流量、降雨量增加情形相符，亦在颱風發生時較有明顯增加趨勢，而部份災害地震發後，並未受雨量或流量影響卻仍有含砂量增加情形（紫色虛線內），初步推估為地震所累積的鬆動顆粒所造成（如圖 4-21 所示），但仍需要蒐集詳細的地震資料，或許能進一步比對出與含砂量的相關性。

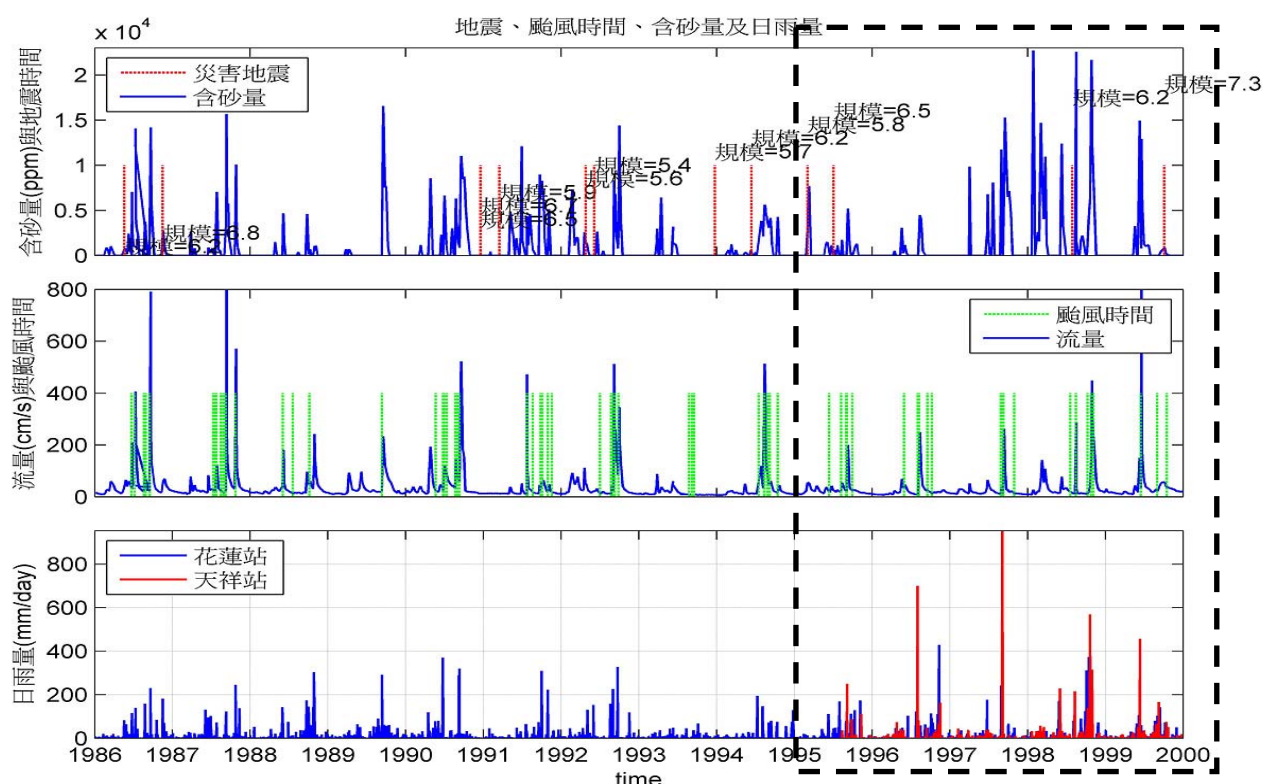


圖 4-22 水文及氣象資料比較圖（1986-2000 年）：上圖為災害地震時間、規模及綠水站含砂量，中圖為颱風警報發佈時間及綠水站流量，下圖則為花蓮地區日累積雨量資料，包括花蓮及天祥雨量站。

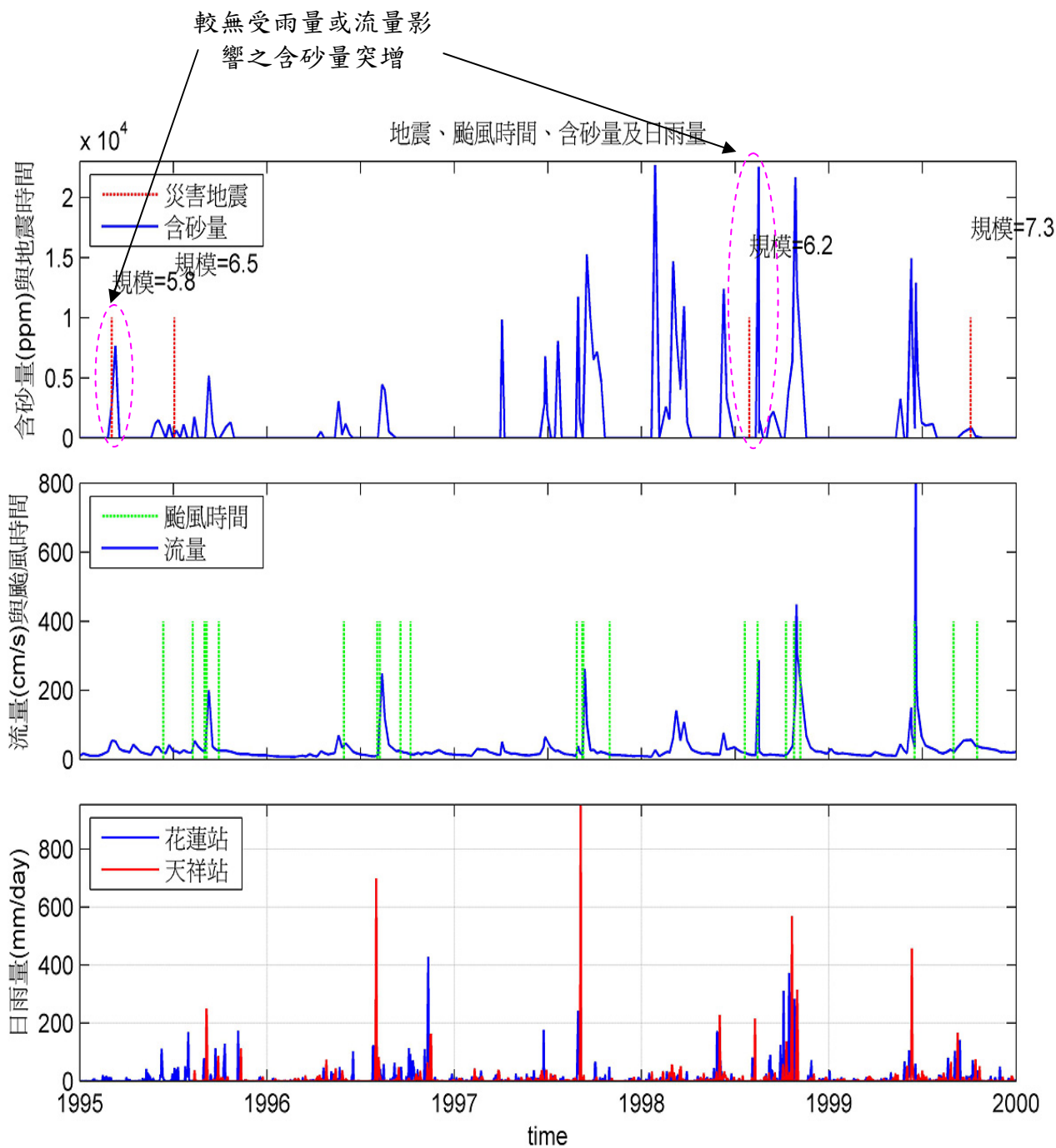


圖 4-23 水文及氣象資料比較圖（1995-2000）：圖中資料為圖 4-22 中黑框部份，上圖為災害地震時間、規模及綠水站含砂量，中圖為颱風警報發佈時間及綠水站流量，下圖則為花蓮地區日累積雨量資料，包括花蓮及天祥雨量站。

4.4 崩塌地分析

集水區受地震、降雨、風化…等因素影響，造成地表土石鬆動，當強風豪雨侵襲時，使地表受到雨水的侵蝕沖刷，終致鬆動的土石崩塌產生災害。太魯閣地區經歷長年強烈自然現象影響，境內廣佈許多崩塌地，而崩塌地形成受自然因素、自然災害與人為破壞等因素密切相關，且崩塌地所產生的岩石或岩屑，在降雨期間匯入立霧溪流域，增加河道的堆積或侵蝕的情形，對於太魯閣峽谷地區可能有一定的影響力。一般在崩塌地調查及監測主要有四種方法：

(一) 現場調查

派遣人員到現地去做調查，是最直接也最準確的方式，可獲取第一手的災情資料。但花費昂貴、耗時、無法進行大範圍的監測、需多位專業人士、危險性高…等，則為其主要缺點。

(二) 航空攝影技術

可克服交通及人力之問題，亦能瞭解大範圍現場狀況，並可提供多個時期的航照圖來做比對。相較現場勘查較為快速且花費較少，但若將之與衛星影像做比較，拍攝路徑較不穩定，可能產生遺漏區域，且其成本也較衛星影像來得昂貴。

(三) 遙感探測技術

相對航測影像，遙測衛星提供更大範圍面積的影像，對於人力、時間、金錢上的花費更為節省，衛星影像可紀錄同一地點不同時期之地表狀態，為研究環境變遷偵測之最佳選擇。雖然遙測影像的空間解析度較差，但衛星影像具有取得快速之優點，且應用於電腦統計分析更為方便。

(四) 其他可攜式攝影機載具之拍攝影像

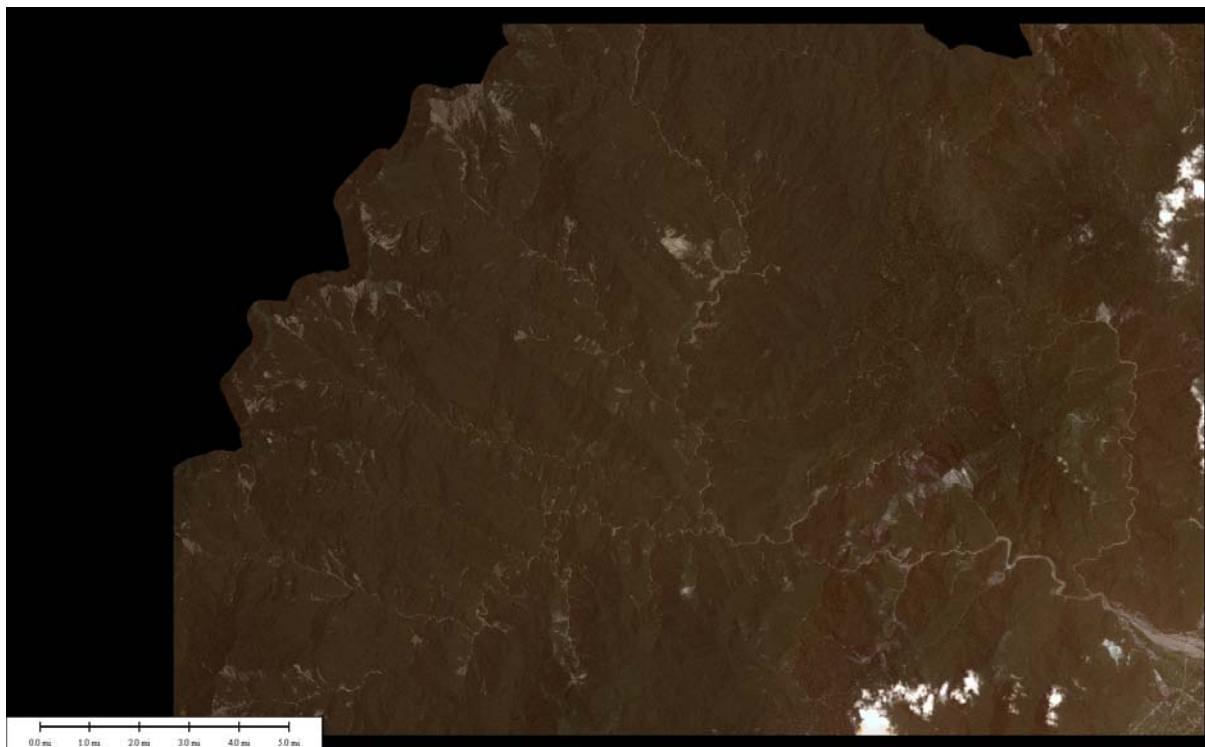
飛行裝置配備攝影機，可進行污染監測、林地監控及災區現況之勘查。此方式雖然具有機動性及時效性，並可針對需要強調或具代表性的地方來做更細緻的拍攝，將取得之影像資料與現有航空照片及衛星影像做比對整合，但由於遙控飛行裝置操控不易，而載人直昇機無法大量運用於一般之空中監測任務。

本研究經評估後，所篩選購得之太魯閣地區之衛星影像，選用 2005 年及 2009 年福衛二號所拍攝的衛星影像(圖 4-24)進行崩塌地的辨識與分析，並以二幅不同時段之衛星影像結果，比較增加崩塌地之面積與變化情形。使用影像辨識軟體為「IDRISI Taiga」，研究步驟以圖 4-25 作說明，圖 4-25a 為欲進行辨識之影像範圍，首先進行主要辨識區的選取，包括植生區(圖 4-25b)與崩塌地(圖 4-25c)，最後執行程式光譜運算，二幅不同時段的影像進行辨識後，所得結果分別如圖 4-26 及圖 4-27 所示，確認辨識結果大致相符，但有部份區域會受其光譜較為接近，造容易成辨識失敗之區域，如圖 4-28 中黑色圈選部份。檢視辨識結果，使用「IDRISI Taiga」進行運算可計算出多數光譜定義區，若以增生之崩塌地為使用目的，則影像拍攝時序在較早期出現雲區(如圖 4-26)，而後期之影像如無遮蔽物(如圖 4-26)，「IDRISI Taiga」可獨立選取定義光譜波段之增加範圍，並計算出增加之定義區塊，因此並不會影像崩塌地增生之辨識結果。

運算結果如圖 4-28 中黑點範圍所示便可得到 2005 -2009 年所增加之崩塌地區域，另外，亦可進一步以光譜差異性，辨識二幅衛星影像所產生不同變化之區域，如圖 4-29 所示，進行植生(粉紅色區域)、植生復育(米白色區域)、新增崩塌地(綠色區域)、相同崩塌地(橙色區域)的辨識，雖然在軟體的操作上無法改變任何顏色顯示，造成呈現出的影像較不容易以肉眼觀察，但此步驟仍可作為崩塌地研究或監控的初步依據，若能配合現場觀測或航空照片的交叉比對，除能確認軟體辨識能力外，同時可有效監測崩塌地之增減情形，對於人為活動的安全性，以及立霧溪河道侵蝕、側蝕情形，甚至是太魯閣峽谷的演育過程，都能有相當程度的助益。

雖然目前已有許多針對崩塌地的研究方法，無論是在現地辨識，或是透過航空照片、衛星影像的辨識，到現在藉用電腦的辨識方法，在研究過程仍有許多困難待克服，除了高品質的影像(清晰、無遮蔽物)取得不易，主要受制於使用之衛星影像無法移除圖面上的雲影，致使運算結果無法使用。另外，影像辨識的可信度，是受到拍攝時的光線影響，包括所拍攝的能見度或光影角度…等基本問題，都會改變辨識結果，若能對於裸露地及崩塌地的光譜定義更嚴謹，定能增加崩塌地辨識的準確性。

(a)



(b)

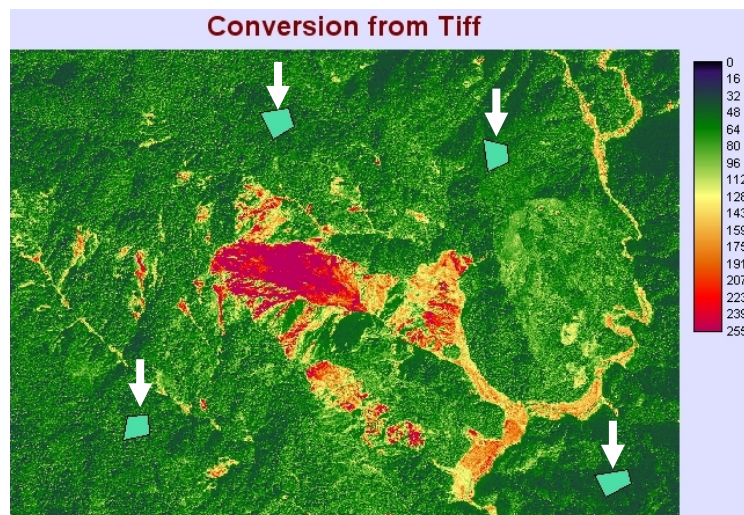


圖 4-24 福衛二號所攝之太魯閣地區衛星影像：圖 (a) 2005 年，圖 (b) 2009 年。

(a)



(b)



(c)

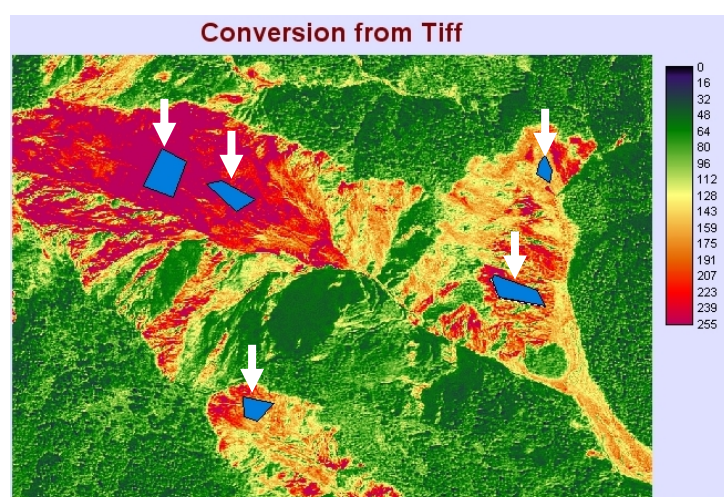


圖 4-25 福衛二號影像辨識圖：(a) 為所選衛星影像；(b) 為植生地定義區；(c) 為崩塌地定義區，白色箭號所指處為圈選定義光譜範圍。

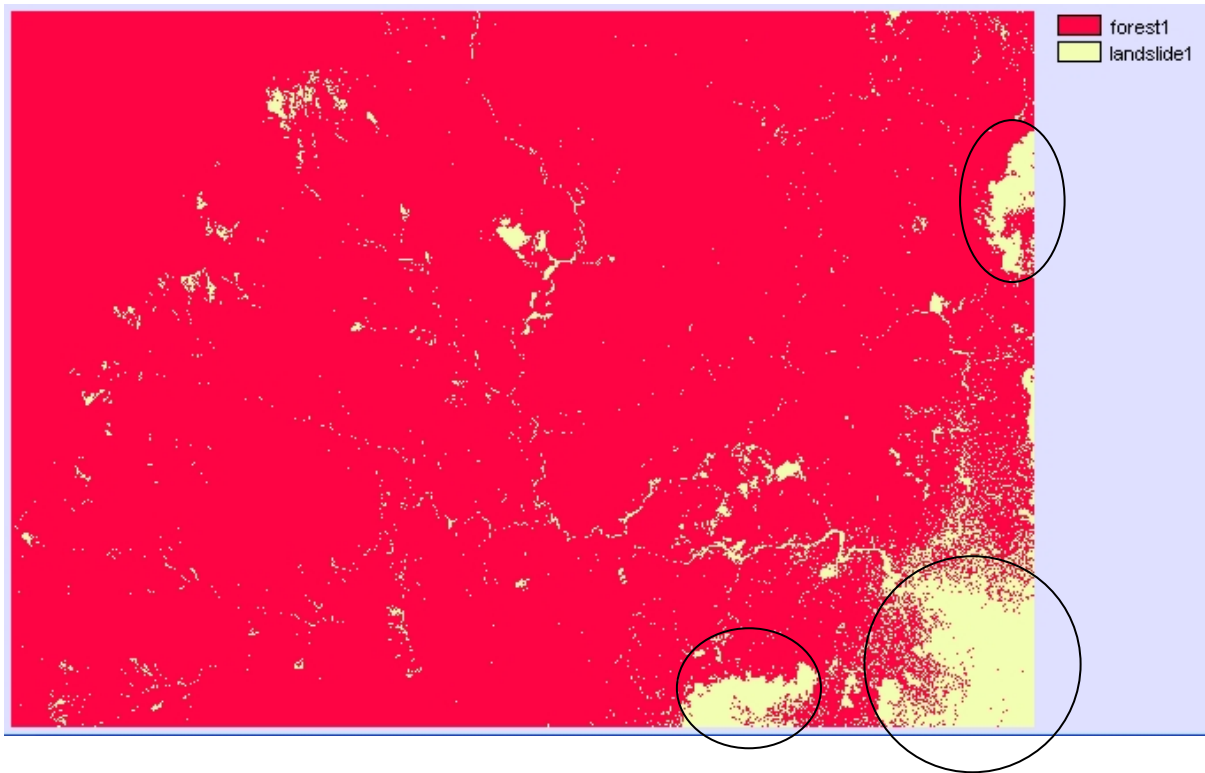


圖 4-26 2005 年福衛二號影像崩塌地與植生辨識圖（黑圈部份為雲區，易造成辨識失敗）。

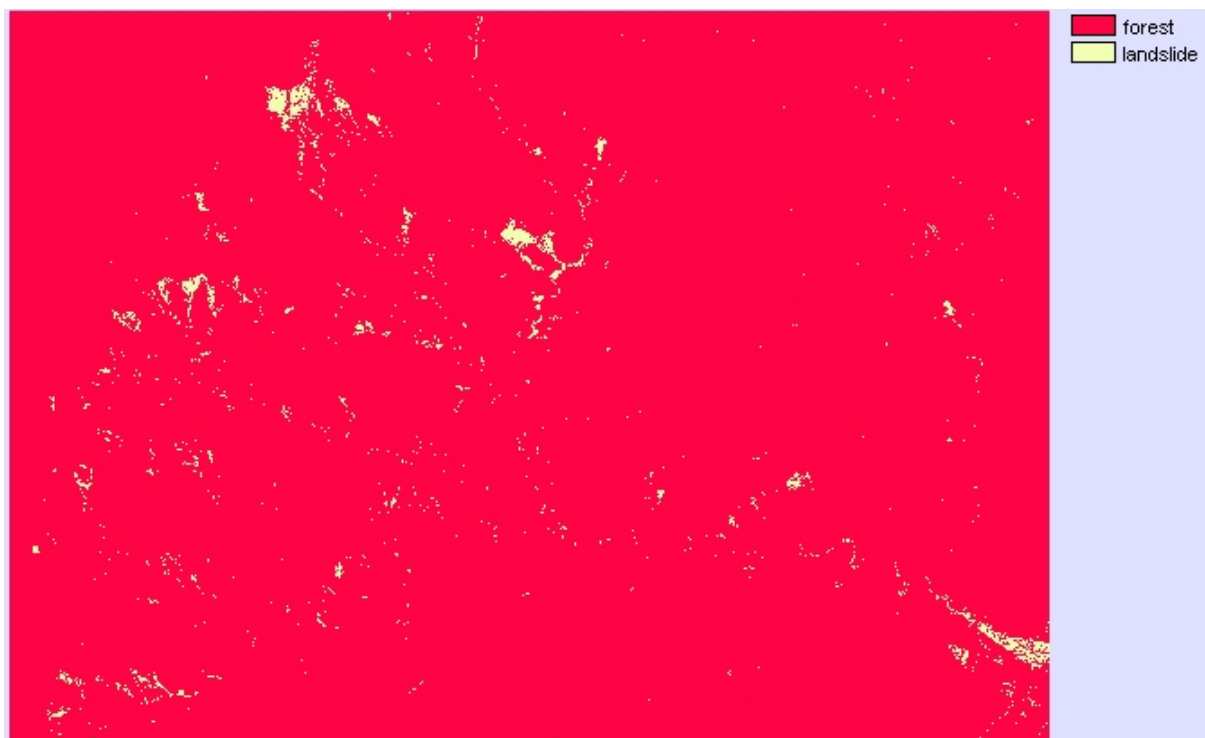


圖 4-27 2009 年福衛二號影像崩塌地與植生辨識圖。



圖 4-28 2005-2009 年新增崩塌地（黑點區域）位置圖。



圖 4-29 2005-2009 年福衛二號影像辨識增生範圍示意圖：植生（粉紅色區域）、植生復育（米白色區域）、新增崩塌地（綠色區域）、相同崩塌地（橙色區域）。

由於影像辨識的像素位元大小為 4m^2 ，在辨識後會得到許多極小範圍的地區，而本研究為提昇資料準確度進行品質管理，將辨識之增生地結果小於 16m^2 的範圍視為雜訊並予以濾除。並將影像區域劃依增加面積大小分別區分為：A ($16-100\text{m}^2$)、B ($100-1000\text{m}^2$)、C ($1000-5000\text{m}^2$)、D ($5000-10000\text{m}^2$)、E ($10000-30000\text{m}^2$)、F ($>30000\text{m}^2$)，如表 4-2 所示。再累加各區面積，所得面積分佈結果如圖 4-28 所示，依逆時針顯示各區域面積分佈，以所佔面積範圍可歸納出，太魯閣地區之崩塌地面積，主要為 $100-5000\text{m}^2$ 的區域增加範圍共有 4541697m^2 ，區域面積分佈如圖 4-30 所示。

再將資料品管後的結果進行細部分析，顯示 2005-2009 年間立霧溪流域新增崩塌地，大於某崩塌面積之出現次數作圖呈現有兩段冪次關係 (Power Law)，崩塌面積介於 100 與 30000 平方公尺間之崩塌地有極佳之迴歸結果 ($\log(N) = 7.301 - 1.3516 \times \log(k)$, $R^2 = 0.987$, 圖 4-31)，N 為發生次數，k 為面積門檻值，假設崩塌面積門檻值小於 1000 平方公尺，以迴歸公式推算結果為每年發生超過 440 次小區域崩塌 (四年約有 1763 次)；崩塌面積較大 (超過 30000 平方公尺，最大為 122314 平方公尺) 的記錄只有 14 個，假設迴歸結果可信，估計超過 10000 平方公尺的崩塌地約 1000 年出現 1 次，因此以四年間之衛星影像辨識結果，可初步判定太魯閣地區之崩塌地，以小範圍 (小於 1000 平方公尺以下) 為主。

表 4-2 崩塌地面積定義範圍、個數、累加面積分佈表

編號	定義面積大小範圍 (m^2)	個數	累加面積 (m^2)
A	16-100	10726	452974
B	100-1000	4080	1181859
C	1000-5000	556	1157339
D	5000-10000	98	685796
E	10000-30000	57	871517
F	>30000	14	645186

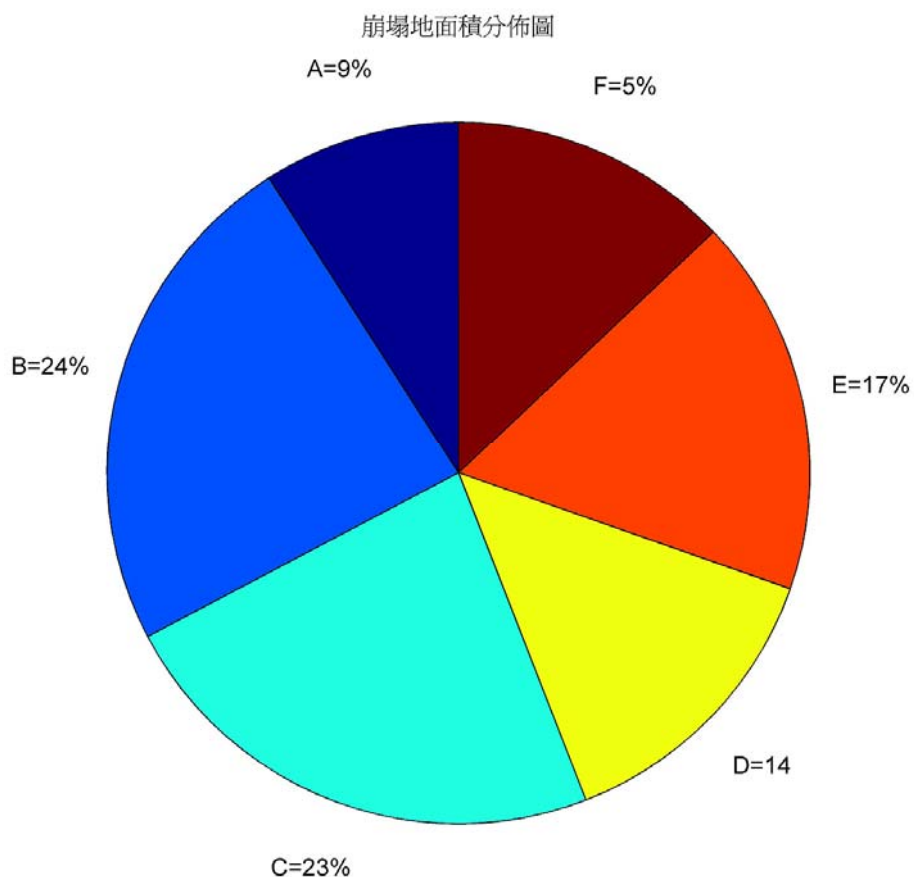


圖 4-30 2005-2009 年衛星影像辨識增生崩塌地面積分佈圖。

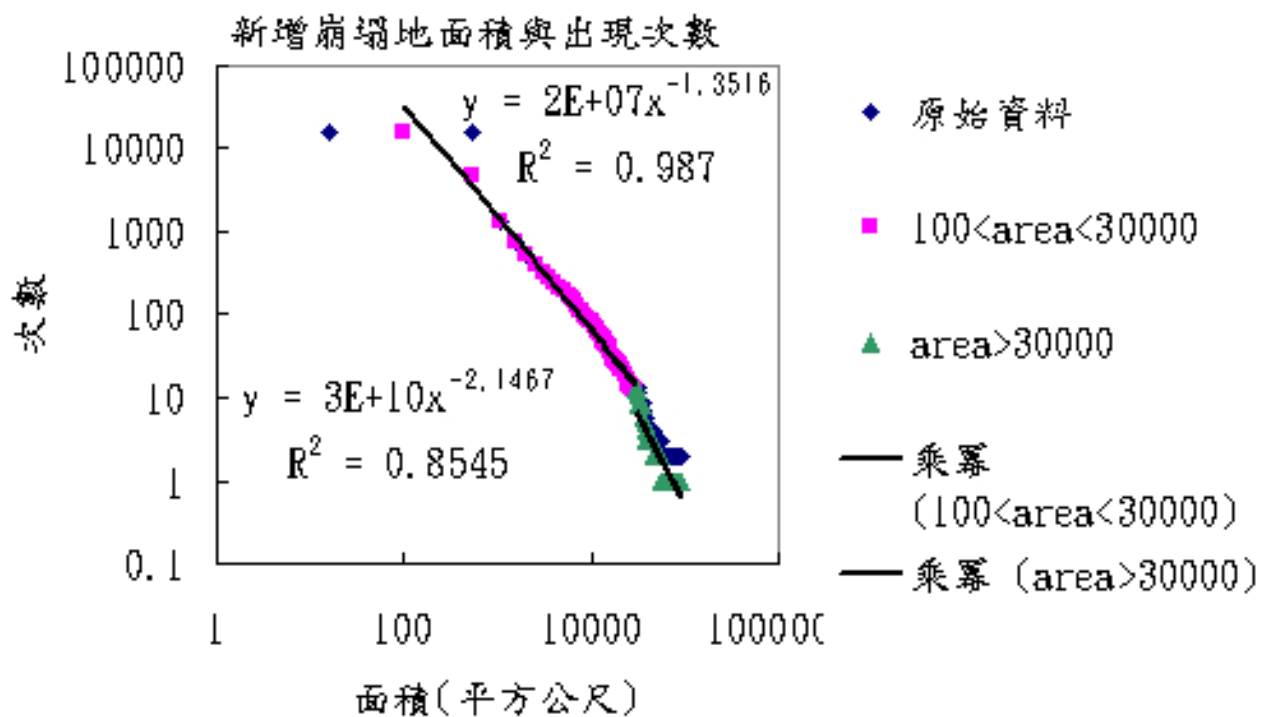


圖 4-31 2005-2009 年衛星影像辨識增生崩塌地迴歸分析圖。

4.5 河道剖面的改變

立霧溪在各河段的河道剖面，受限於所處位置之陡峭度、崩塌地、岩質、河道曲度…等因素，造成各有不同堆積、侵蝕及側蝕現象，其中以綠水段河道的變化最為特殊，在數十公尺內的變化有極大的差異度，也引起許多國內外學者的興趣及研究工作。另外，立霧溪出海口附近也是河道研究的重點之一，除可瞭解立霧溪所排出之沈積物外，對於錦文橋及太魯閣大橋橋墩的侵蝕情形及安全性，也有很大的幫助。

本研究以張有和與張成華（2008）在2007~2008年間，分別在立霧溪綠水段及錦文橋的3D雷射掃瞄成果為基礎，並與2008年資料進行比較與河道剖面的討論。本研究為求更詳細之綠水河段的年變化，以橫切4剖面作為討論，如圖4-32所示，各剖面在中15-60公尺間為主要河道區，可看出多數剖面位置有約2公尺的下切侵蝕，但在兩側河岸區的變化則較不規則，有部份堆積（黑圈部份）、侵蝕現象，在張有和與張成華（2008）的研究結果（圖4-33）也能看到相同的情形；錦文橋河段的變化如圖4-34所示，在橋墩上游的切線位置10-70公尺處為堆積，兩側位置為側蝕，但橋墩下游的河道變化則正好相反，而張有和與張成華（2008）的研究結果則是皆為侵蝕情形（圖4-35），只有剖面3右處有約2公尺的堆積高度。

再配合立霧溪在各流域的陡峭度（圖2-12）討論河道堆積、侵蝕現象，某些河段坡度可能超過安定角，也將導入從地震或大量降雨所引發崩塌所造成懸浮物質，由水文、氣象資料可說明（圖4-22）；但是崩塌與河流下切造成沖刷側蝕外亦可能造成堆積（圖4-32及圖4-33）。進一步探討立霧溪流域的地表物質移動情形，假設物質移除的來源範圍是集水區全區，以河道堆積、侵蝕情形，推論每年集水區內各地地表應降低5mm左右；物質移除來源若只由流域中崩塌地供應，必須扣除對河道無影響之崩塌地（未使沈積入匯入河道），且需有大量與崩塌與土石流，才足夠提供夠大量侵蝕、堆積現象。

因此，在太魯閣地區的颱風、暴雨或地震…等氣候條件，有時未必增加河道側蝕機會，反而可能造成河道阻塞與河流改道，使河道自上游到下游之剖面出現轉折點，目前這些轉折點通常與流域內特殊的岩性有關，且容易影響立霧溪對於河道堆積或侵蝕（或側蝕）的結果。

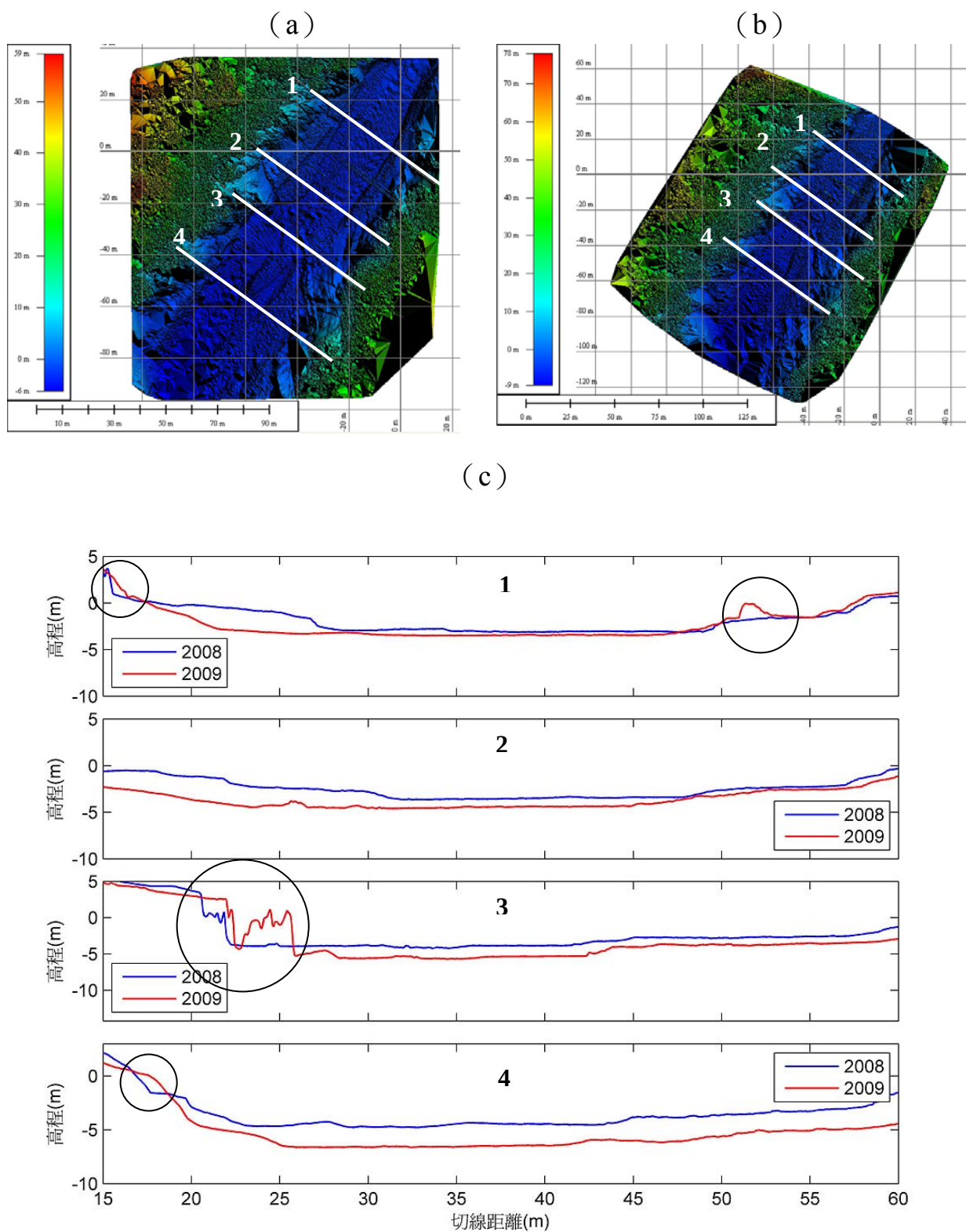


圖 4-32 2008-2009 立霧溪綠水河段二次河道掃瞄結果：(a) 2008/9/2、(b) 2009/6/29、(c) 河道剖面高程變化，數字代表相同橫切位置，黑圈內為堆積或侵蝕明顯之區域。

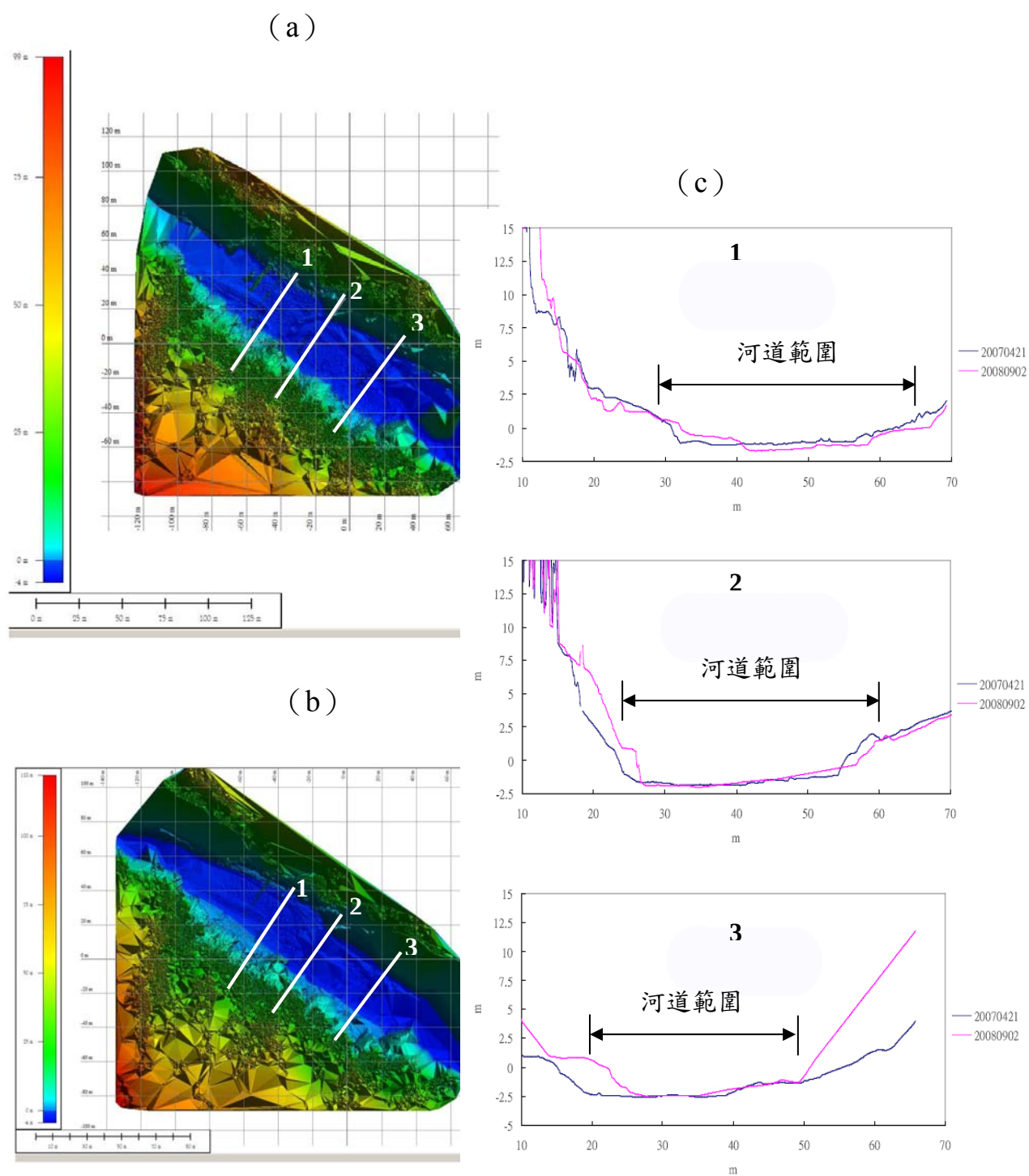


圖 4-33 2007-2008 立霧溪綠水河段二次河道掃瞄結果：(a) 2007/4/21、
(b) 2008/9/2、(c) 河道剖面，數字代表橫切位置（張有和與張成華，2008）。

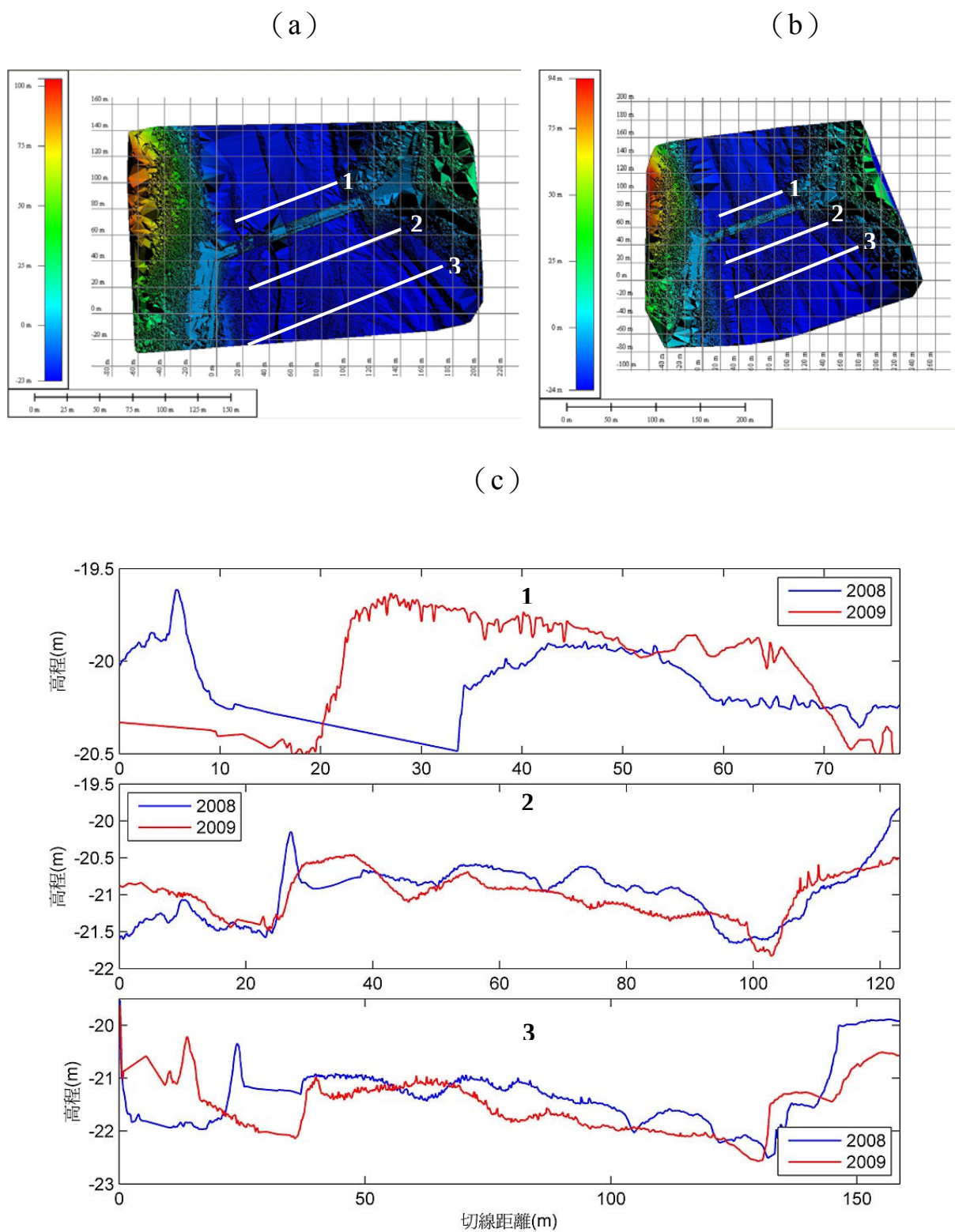


圖 4-34 2008-2009 立霧溪錦文橋河段二次河道掃瞄結果：(a) 2008/9/2、
(b) 2009/6/29、(c) 河道剖面高程變化，數字代表相同橫切位置。

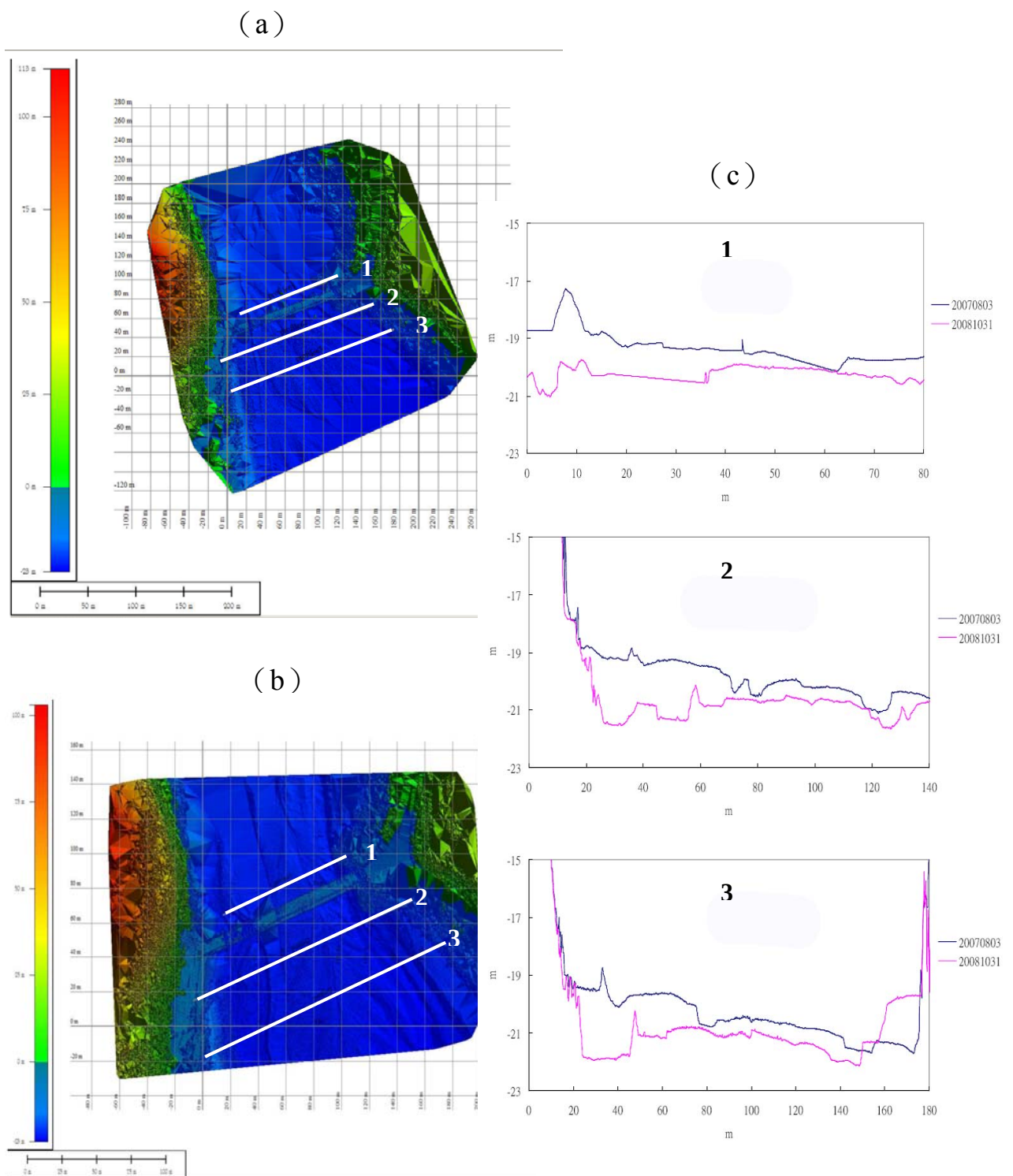


圖 4-35 2007-2008 立霧溪錦文橋河段兩次河道掃瞄結果：(a) 2007/4/21、(b) 2008/9/2、(c) 河道剖面，數字代表橫切位置（張有和與張成華，2008）。

針對河流侵蝕、地表物質移動及太魯閣流域的岩質特性的綜合討論，可以瞭解針對立霧溪流域內河道剖面的研究，是有非常大的困難度，且河道剖面觀測的時間點及前後觀測的時段，會導致最後研究結果的改變。因此，本研究在取得初始地形資料後，將研究時程訂為年變化的探討，除觀測特殊自然條件造成的改變外，希望能持續做定期且長期的記錄，探究立霧溪各河段的變化情形，以瞭解崩塌地、河流侵蝕、河道側蝕、河道堆積…等現象對太魯閣峽谷地區演育情形所造成的影響。

另外，本研究引用張有和與張成華（2008）針對立霧溪中太魯閣閣口至天祥間峽谷地形之垂直河道剖面之位置，包括剖面1：太魯閣閣口；剖面2：溪畔至長春橋間；剖面3：燕子口；剖面4：綠水；剖面5：天祥等位置，進行河道剖面比較如圖4-36所示，三角形記號一等一級水準點。圖4-37為圖4-36中垂直河道剖面，並將河道最低點平移置中。水平軸高度最低者為太魯閣閣口，以海拔高度依序上升至天祥位置。

剖面位置由低而高進行討論，其中剖面1：立霧溪峽谷出口之太魯閣閣口形成較開闊之拋物線外形，但並無河流下切作用；剖面2：溪畔至長春橋間剖面亦為拋物線形，但中間位置有河流下切作用；剖面3：燕子口是著名峽谷寬度較窄處也是重要之觀光景點，受河流下切作用非常明顯；剖面4：綠水是在立霧溪流域中，經數據模式計算出來河道侵蝕最大之區域，應該有較大規模側蝕與崩塌，所以綠水地區的剖面形狀較類似不對稱拋物線，且有輕微河流下切作用；剖面5：天祥地區剖面也和綠水大致類似，唯不對稱形更寬闊，且河流下切作用更輕微。

另外，本研究在3D雷射掃瞄儀使用困難度較高之區域，亦嘗試用全測站儀取得河道剖面資料，先選以太魯閣閣口附近處及燕子口步道二處進行量測，結果如圖4-38所示，雖然全測站儀測距可超過1000公尺，受限於觀測位置及地物的影響，並無法有效取得此二處之完整河道剖面資料。未來會進一步找尋適合的點位，或河道兩岸皆可施測之處，以全測站儀進行立霧溪剖面量測，以節省資料蒐集時間。

由於立霧溪流域受各項自然條件的影響，在蒐集河道剖面資料時，需考量諸多可能發生的情形，包括現場水位、測量儀器、測量方法，甚至是天候

等因素。然而，河道亦有可能有堆積、侵蝕的循環現象，或是進一步探討其與地體抬升或自然崩塌或人為棄土等問題，這些都是造成增加河道剖面資料取得的困難度。即使在同一區域內的河道，所產生的侵蝕、堆積現象亦有差異性（例如立霧溪綠水河段），因此論述立霧溪流域各河段的河道改變情形，是需要較長期的研究結果，才可能看出較明顯的變化趨勢。

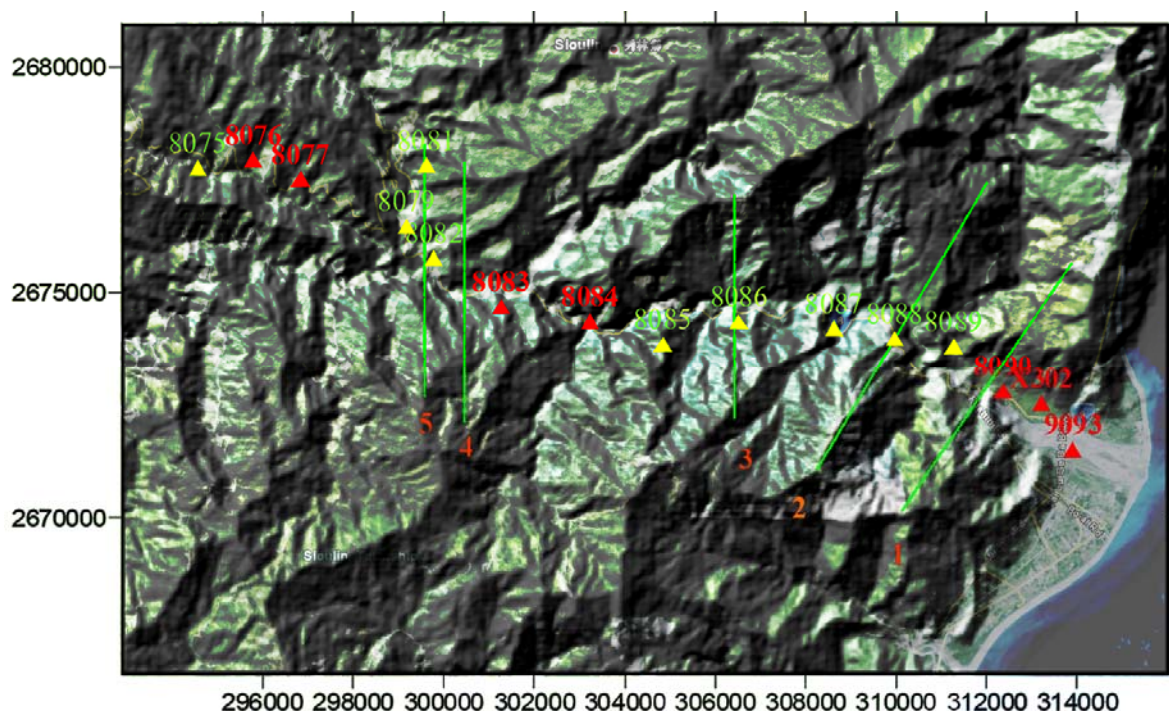


圖 4-36 立霧溪河道剖面橫切位置示意圖：綠線為橫切剖面線，三角形位置代表水準測量點（張有和與張成華，2008）。

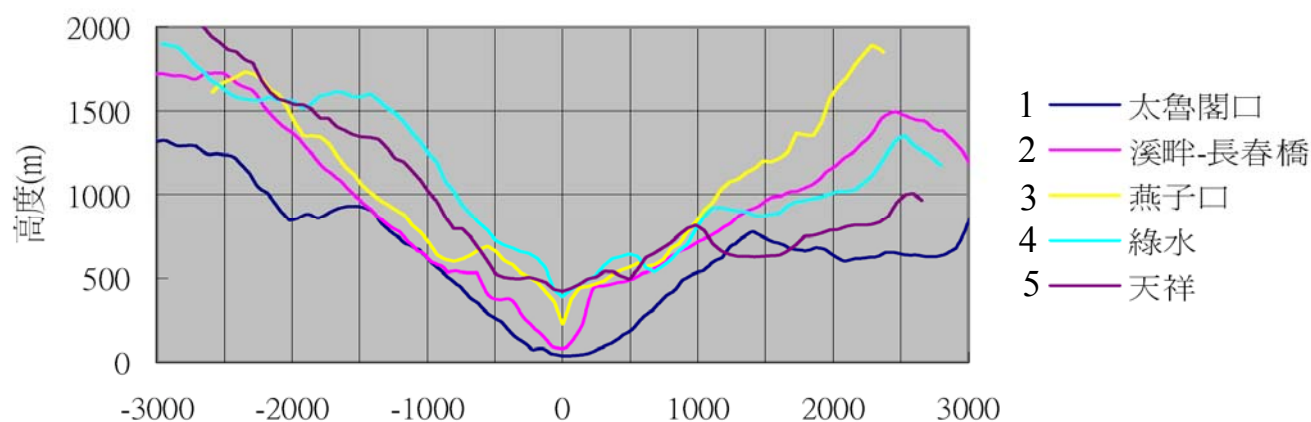
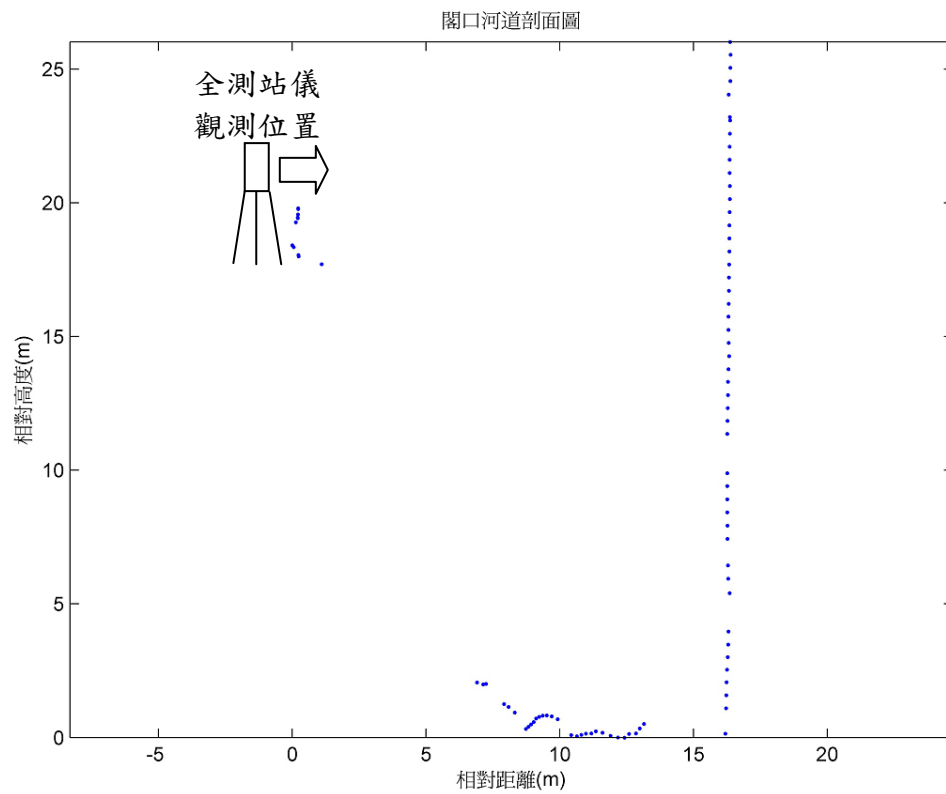


圖 4-37 立霧溪河道剖面比較圖：為圖 4-34 中各線橫切剖面高程（張有和與張成華，2008）。

(a)



(b)

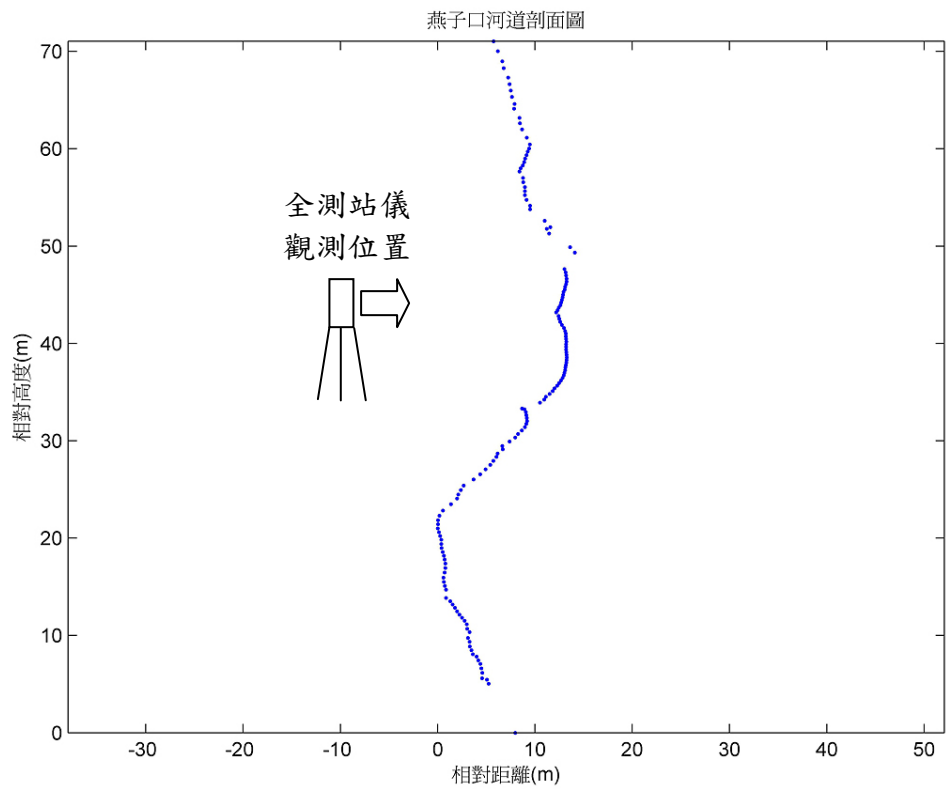


圖 4-38 全測站觀測河道剖面圖：圖 (a)：太魯閣閣口附近；圖 (b)：於燕子口步道，因觀測視角、觀測位置及遮蔽物導致僅有一側面資料。

4.6 短期區域抬升速率

河流下切及地體抬升速率為峽谷地形演育歷程中，最重要的兩項因素（不直接考慮降雨或地震…等自然現象），根據張有和與張成華（2008）比較2000年至2007年七年間，中橫公路太魯閣至洛韶之間一等一級水準點高程變化情形，（所有測點皆測回原點，閉合誤差優於 $3 \times K$ ，K：測線長以公里為單位，實測前後皆進行視準軸校正），結果如圖4-39所示，各點位抬升情形列於表4-3，進一步討論相對移動情形及河道剖面形狀：

- （1）圖 4-40 為圖 4-36 中之剖面 1：假設位於立霧溪出太魯閣峽谷處，海拔高度 55 公尺的富世國小（編號：9093），自 2000 年至 2007 年七年間高度不變，太魯閣節點（編號：X302）相對抬升 20.6 mm，兩處地體抬升速率差異約為 3 mm/yr，其中太魯閣節點位於立霧溪北岸，其餘一等一級水準點皆在南岸。低海拔高度立霧溪北岸抬升速率較快，同樣的現象也反映在河流兩側等距離處山的高度北岸較南岸，高度 500-1000 m 間剖面南岸高度開始超過北岸。富世國小至太魯閣節點，往返測距 2.6 km，測回高程誤差 4.4 mm。
- （2）圖 4-41 為圖 4-36 中之剖面 4，假設太魯閣峽谷中，海拔高度約 376 公尺的合流（編號：8084）高度不變，祥綠（編號：8083）自 2000 年到 2007 年七年間下降 1 mm，兩處地體抬升速率幾乎無異，往返測距 5.3km，測回高程誤差 4.6 mm。此區域為立霧溪河流剖面中凹陷最大之區域，代表可能有最大之河道下切侵蝕速率，綠水南往北河道與峽谷剖面，河流兩側等距離處山的高度南岸較北岸高，大約在燕子口附近兩岸河流兩側等距離處山的高度相當。
- （3）圖 4-42 為圖 4-36 中之剖面 5，假設天祥到太魯閣峽谷地形東側荻板（編號：8077）海拔高度約 1043 m 之高度，自 2000 年到 2007 年七年間維持不變，西側之洛韶橋（編號：8076）七年間抬升 7 mm，兩處地體抬升速率差異為 1 mm/yr，往返測距 3.8 km，測回高程誤差 3.4 mm。河流兩側等距離處山的高度南岸仍較北岸高，兩者高度顯示北岸可能發生過較大規模之崩塌。

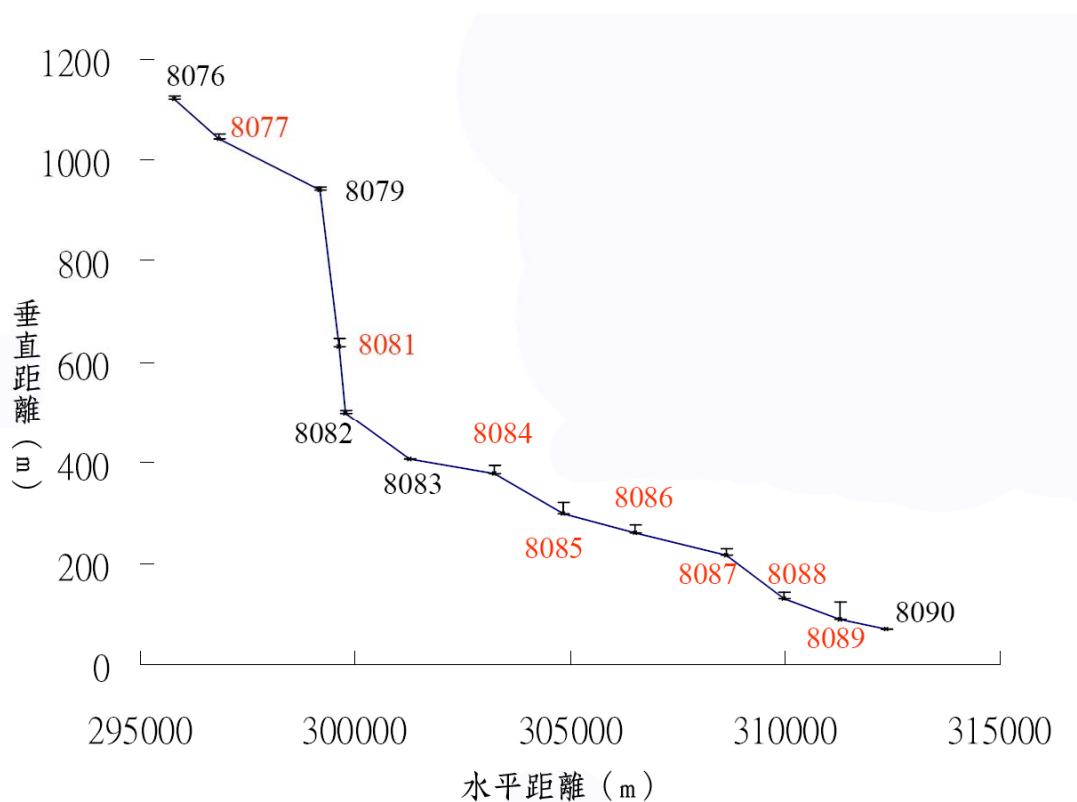


圖4-39 洛韶橋至太魯閣閣口一等一級水準點高程示意圖：投影到東西方向，2000~2007年高程變化以誤差符號表示，測點位置如圖4-36所示（張有和與張成華，2008）。

表 4-3 一等一級水準點位及上升高度

測點位置	編號	累積上升 (m)	鄰近點相對上升 (m)
禪光寺	8090	固定	0.000
長春北	8089	0.034	0.034
立芹	8088	0.047	0.013
上溪	8087	0.062	0.015
錐麓	8086	0.078	0.016
九曲洞口	8085	0.099	0.021
合流	8084	0.116	0.017
祥綠	8083	0.115	-0.001
南文山	8082	0.120	0.005
谷園	8081	0.134	0.014
鰻頭山	8079	0.141	0.007
荻板	8077	0.131	-0.010
洛韶橋	8076	0.139	0.007

資料來源：張有和與張成華（2008）

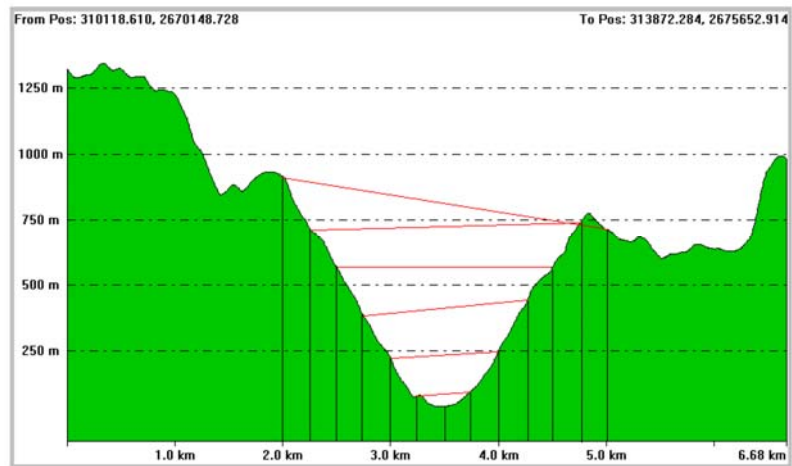


圖4-40 太魯閣閣口處由西南往東北切過立霧溪之河道與峽谷剖面圖：為圖4-36中剖面1。

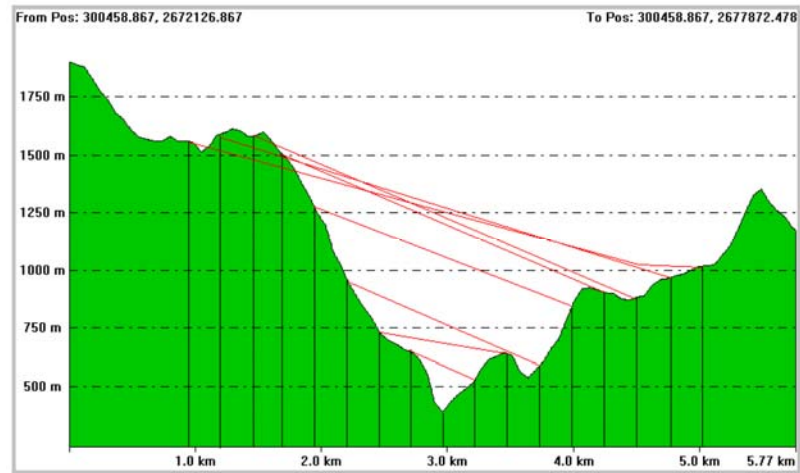


圖4-41 綠水南往北切過立霧溪河道與峽谷剖面圖：為圖4-36中剖面4。

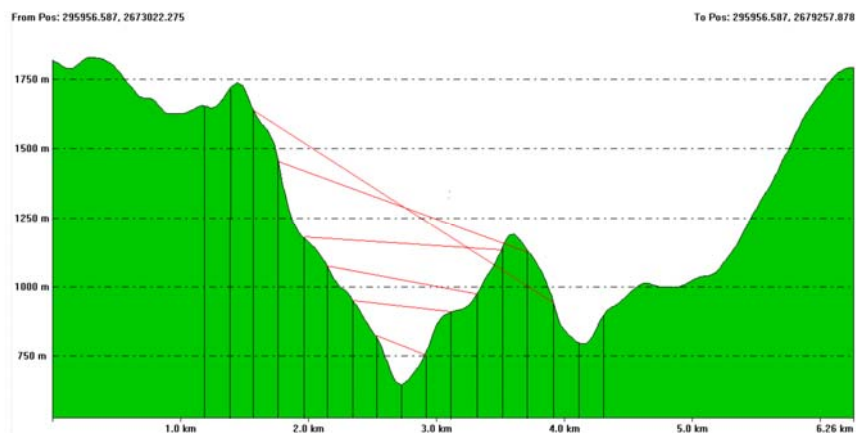


圖4-42 洛韶橋與荻板間南往北切過立霧溪河道與峽谷剖面圖：為圖4-36中剖面5。

張有和與張成華（2008）將兩組中橫一等一級水準點測量成果進行比較如圖4-43所示（紫線：2001~2007（張有和與張成華，2008）；褐線：2001~2008（內政部衛星測量中心成果），兩組測量結果所得到的高程變化非常接近。

張有和與張成華（2008）由禪光寺（編號：8090）向西進行一等一級水準點之逐點測量，至洛韶橋（編號：8076）約33公里。若固定禪光寺，則至合流間水準點間7年來上升13~34 mm，累積至合流總共上升116.3 mm（16.6 mm/yr）；合流至洛韶橋間水準點間7年來上升10~14 mm（文山上升14mm除外），累積至洛韶橋上升138.5 mm（20.2 mm/yr）。

另外，禪光寺至合流主要以大理岩為主之區域，相對於太魯閣閣口外富世國小（編號：9093）上升速率約15.2mm/yr；合流以西至洛韶橋以片岩為主（含部份礫岩層與階地）之區域相對合流抬升情形較小，上升速率約3.2 mm/yr，初步說明抬升速率可能受岩質或岩性之影響，但仍需進一步證實。

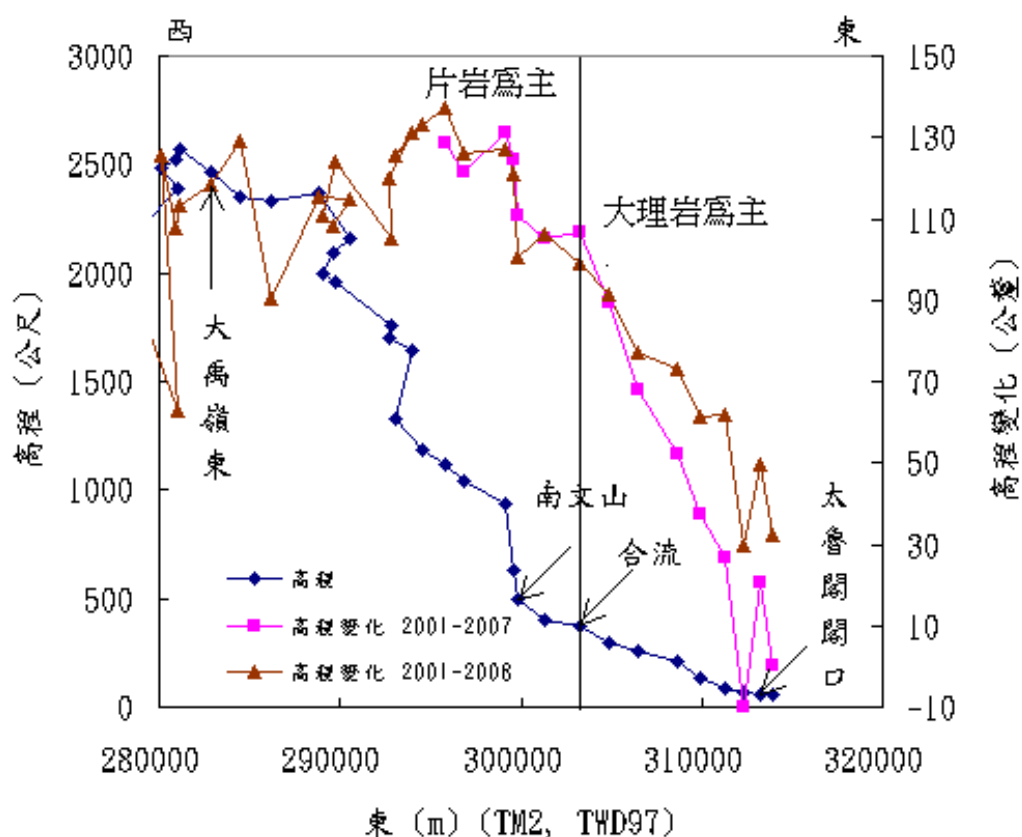


圖 4-43 中橫公路一等一級水準點測量成果比較圖（資料來源：張有和與張成華，2008（紫線）；內政部衛星測量中心成果，
<http://www.gps.moi.gov.tw/satellite/cpQuery/cpQuery.jsp>（褐線））

4.7 河階鑽探結果

太魯閣地區擁有廣大的集水區範圍，以及豐沛的降雨量，在雨季、颱風期間、暴雨期，甚至是偶爾性的地區性降雨，皆容易造成立霧溪流量增加。由於集水區內有許多裸露地或崩塌地，受雨水或地表逕流使其剝蝕後，或是河道受蝕侵、側蝕，將許多礫石或砂質持續不斷地帶入立霧溪之中，由圖 4-44 中比較綠水地區流量、含砂量及天祥雨量，雖然綠水站資料並非逐日量測資料，仍可看出天祥雨量站累積日雨量超過 20mm 時，即可能造成含砂量突增之情形，以此數年間資料可推研判每年可能有十次以上小事件（超過 20mm/day），進一步歸納其變化關係，可確認累積日雨量超過 200mm/day，可能造成較大事件，如圖 4-42 中黑色箭號所指之時段。

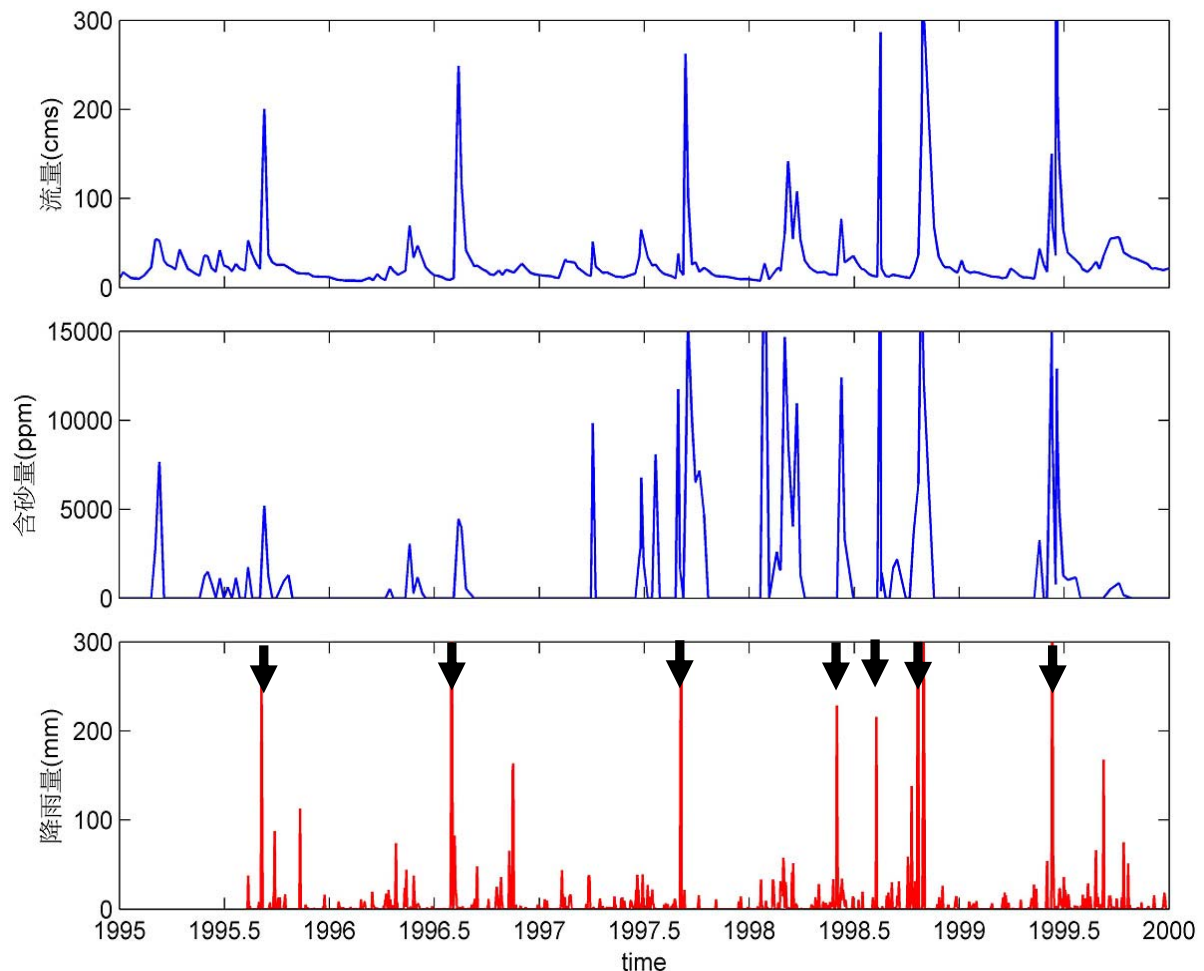


圖 4-44 綠水站流量、含砂量與天祥降雨量比較圖：虛線代表累積日雨量超過 200mm/day（黑色箭號所指時段），且流量、含砂量皆有突增之時段。

以 1995-2000 年所記錄的流量、含砂量及雨量資料，能明顯看出立霧溪造成之堆積或侵蝕情形，若將時間尺度延長，或許能對於過去至今的河水氾濫或河川襲奪的事件有初步的瞭解，亦能確認各河段在不同時期所造的堆積現象，再經過長時間地體抬升作用，產生了現今的河階地景，其中可能堆積的漂流木標本、動物屍體、花粉…等，也是太魯閣地區內各領域研究中，不可或缺的定年證據資源。

本研究原定於太魯閣峽谷各處河階開挖，找尋可利用 ^{14}C 方法定年之物質（例如漂流木標本），交叉比對不同河階發生的事件及堆積年代，但在多次實地野外勘查中，研判地質及沈物情形非常不利於人工開挖，且多數河階地處偏遠以致車輛、機具無法抵達大部份河階位置。經由審慎評估後，決定先在其中一堆積性河階進行鑽探，若能先瞭解單一河階沈積情形，除能提供作為立霧溪改道與河階堆積次數參考外，也可以其為一標準，藉此推估各河段河階可能之堆積情形，若能進一步由鑽探結果找出可定年物質，便可得知正確堆積之年代，對於立霧溪流域曾經發生的事件，甚至是太魯閣峽谷的演育過程，皆有非常大的幫助。

目前先選定布洛灣河階的上台地進行鑽探工作，岩心鑽探深度為 130 公尺，因現場地質因素，在約 100 公尺處分別採用不同管徑之鑽掘套管，100-130 公尺的採用較小管徑以利鑽探工作。岩心可概分為五段，由地表往下算起，第一段 0-47.4 公尺為礫石層，第二段 47.4-49.8 公尺為砂層，第三段 49.8-110.8 公尺為礫石層偶夾粗砂薄層，第四段 110.8-122.0 公尺為礫石與粗砂互層，第五段 122.0-130 公尺為礫石層，詳細分層說明如下：

第一段礫石層

為顆粒支持結構（Grain-Supported）的礫石層。沉積物淘選度極差（Very Poorly Sorted）；礫石圓度多為角形或次角形（Angular or Sub-Angular）；礫石成分以片岩、大理岩、變質砂岩為主，基質部分則是含泥質的粗砂，顏色略呈黃色。

第二段砂層

細礫—中砂，顆粒向下逐漸變細，顏色則由深灰色漸變為黃色。粗砂部分偶夾礫石，中砂部分具有水平紋理。砂層的底部呈現橘色的

鐵鏽沈積。

第三段礫石層

為顆粒支持結構的礫石層，但基質比例較第一段礫石層多，其中部份轉變為基質支持結構（Matrix-Supported）的礫石層。沉積物淘選度差（Poorly Sorted）；礫石圓度為次角形到次圓形（Sub-Angular ~ Sub-Rounded）；礫石形狀多呈扁平狀；礫石成份與第一段大略相同，基質部份則是含泥質的粗砂夾細礫，顏色略呈黃色。另外本段礫石層偶夾粗砂薄層（58.4、62.5、71.7、84.6-84.9 公尺），厚度皆為數公分左右，幾乎都有水平紋理或交錯紋理等沈積構造，且砂層底部皆有橘色鐵鏽沈積，與第二段的砂層類似。

第四段礫石、粗砂互層

此段礫石層部分為顆粒支持結構的礫石層，部分為基質支持結構的礫石層。礫石顆粒淘選度差；圓度為次角形至次圓形；形狀略呈扁平狀；成分為片岩、大理岩、變質砂岩、石英岩；基質則是含泥量高的細礫或粗砂。粗砂層粒徑為中砂至極粗砂，沉積構造具有水平紋理及交錯紋理；部分砂層底部有橘色鐵鏽沉積。與第三段相比，此段的砂層厚度較厚，底部較少呈現橘色鐵鏽沉積，但仍然有部分砂層呈現橘色（115.53、119.2 公尺）。但仍然缺少明顯分層的依據。

第五段礫石層

上半部（122.0-125.6 公尺）為基質支持的礫石層，下半部（125.6-130.0 公尺）的礫石基質部分流失，礫石狀態與上相同，唯下半部的礫石表面呈現紅褐色鐵鏽沉積，基質則多為粗砂或細礫，顯示此處可能有地下水層。

綜合本研究所得到的岩心樣本，第一到第三段的礫石淘選度較差，礫石的也多呈角形，顯示此時的沉積物應該沒有經過太長時間的磨圓作用，藉由其中的砂層出現次數；第三段的礫石層顆粒大小變化較大，又多具稜角，表示當時的水流量相當大，足夠攜帶大量的泥石，並且快速堆積，推測是洪水或是土石流之類的事件所造成的礫石層。由於缺乏定年材料，且整層的礫石

層也難以分段，因此無法判斷該礫石層是否為一次或數次土石流堆積而成的。中間砂層顆粒由上而下逐漸變細，代表沈積當時的水流量越早期水量越小，在中砂部份可以看到水平紋理的沈積構造，亦即當時的水流相對穩定，屬正常的河流相沈積。在砂層的最底部顏色呈現橘色，可能是鐵質沉積，推測當時此處為短暫不流動的水窪所形成。大致上可以猜測此時大約經歷了至少六次的土石流事件；第四段、第五段的礫石顆粒圓度逐漸變圓，部分基質較多的礫石層淘選度也沒有上層那麼差，顯示此時的沉積物有經過較長的搬運過程，加上礫石層與砂層互層之間並沒有明顯的分層，可以說明當時的沉積環境為正常河床中、上游加積的過程。

配合此處為高位河階地形，可以簡單還原此河階的形成過程，河階底部部分的岩層距離河面較近，因此岩心呈現正常的河床沉積物，位於高處的沉積物則是在洪水或是土石流發生時，河床暴漲、沉積顆粒增加，才能將河階加積到更高的高度。如能發現可以定年的材料，配合從岩心中推測出的土石流堆積次數及可初步推估過去該處土石流發生的頻率以及規模。由於此岩心取樣結果顯示砂層過少，且鑽探地勢相對較高，難以造成定年材料的沉積，因此並沒有從岩心中找到可做為定年的物質。

本研究所進行之岩心鑽探，為太魯閣地區首次使用之研究方法，也得以對布洛灣上台地的河階沈積情形有初步瞭解。以鑽探結果可瞭解沉積層以大理石堆積而成的礫石層為主，也說明人工挖掘的困難度非常高，日後若需在此處或其他河階地找尋定年物質，可能必須向下超過四十公尺（第一層泥砂層位置）才有足夠的砂層作為供應層，提高搜尋定年物質的成功率，以便更清楚瞭解立霧溪所發生過的歷史事件，進一步推論太魯閣峽谷的演育過程。

(a)



圖 4-45 布洛灣上台地河階岩心鑽探說明圖：圖 (a) 0-60 公尺、圖 (b) 60-88 公尺，紅圈處有明顯橘色鐵銹沉澱處，能說明當時河階處於相對穩定時期，可視為較長安定期之時間層。

(b)

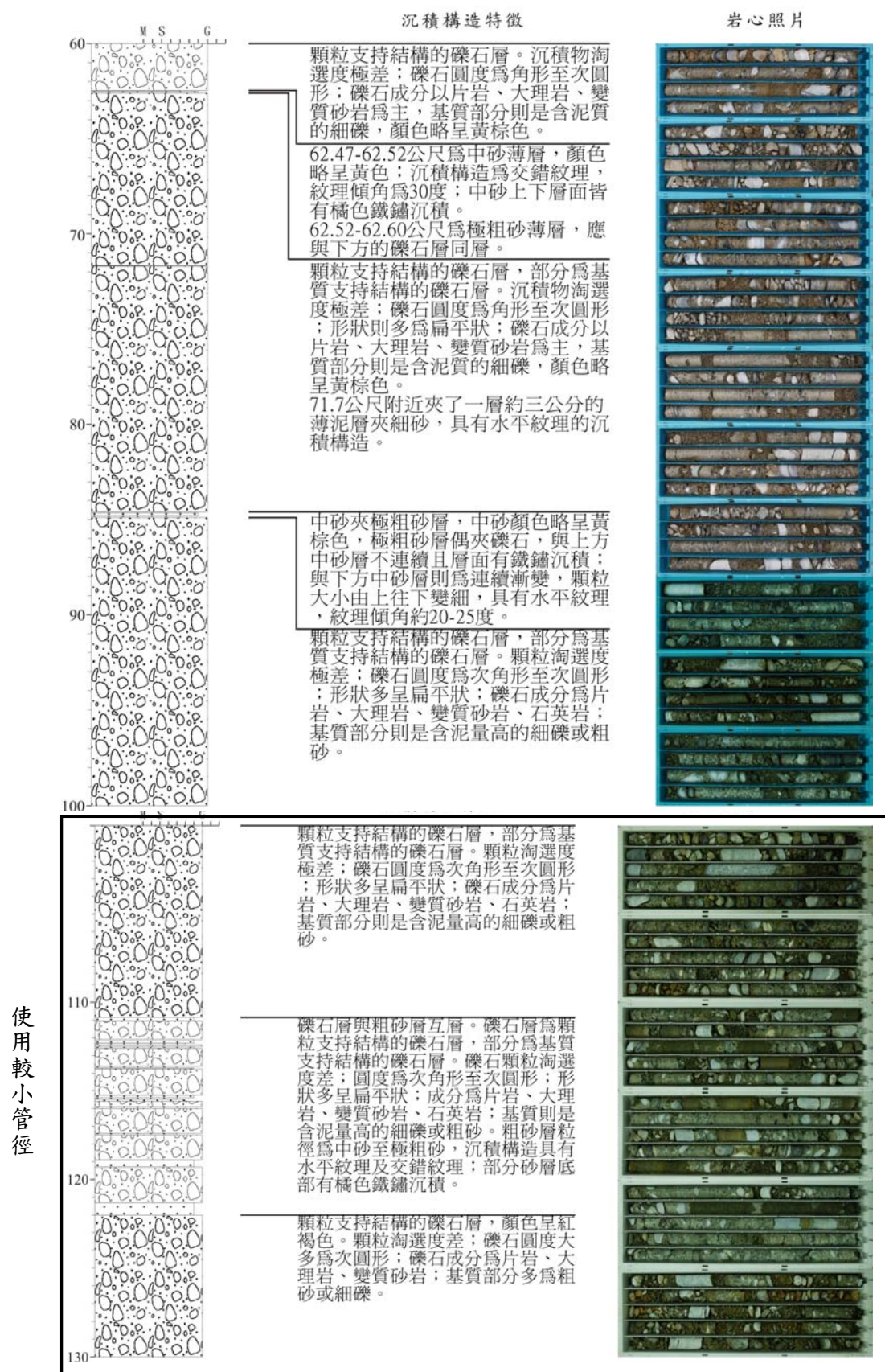


圖 4-45 (續)

4.8 地質景觀名錄登錄表

受板塊運動及地體抬升、河道侵蝕、氣候條件…等因素影響，使得花蓮地區在地質構造、岩石、地形等地質、非地質因子方面，均對形塑優美、特殊地景提供最佳的基礎，因此形成了許多優良的地質、地形景觀，其中又以太魯閣國家地區的自然資源最為獨特，包括高山、峽谷、斷崖…等不同形貌的地景資源。

一般特殊地形、地質景點的選擇，主要是參酌英國所使用的方法，選取區域性重要地質地點（RIGS, Regional Important Geological Site），所訂定的四項原則：

- （1）是否具有學校教育或是社會教育上的價值：重要地質資源在形成年代及演育歷程中，如有急劇變化情形，皆能成為校園教材中的一環，讓學生在學習過程中瞭解重要地景的形成困難度，也藉此教導地景保育的知識。
- （2）是否可提供機會給地球科學界的專家或業餘人士從事研究該地區的地質和地形：人類對於地球所知有限，在初次面對不同風貌的特殊地質地景環境時，皆需要長時間的研究過程，此時更需要地科專家進行研究分析，才能建立新形態地景資源的知訊。
- （3）在地球科學發展史上是否有重大的歷史價值：在瞭解地景資源的演育歷程後，需要對於該景點進行歷史價值的審核，進而給予適當的維護。
- （4）是否有特殊美質，可促進大眾對地球科學的覺知與欣賞：特殊景若有特殊美質意涵，可在維護後開放導覽，增進民眾對於美質地景的基本知訊。

然而多數特殊的地景資源，在開發與遊憩的壓力下往往被忽略與犧牲而將其破壞，因此對於地景的經營管理成為永續利用地景資源的重要工作。本研究將逐步且持續針對太魯閣地區的重要景點，持續以影像、數位資料或文字資料進行地質景觀名錄的登錄（名錄表如表 4-4 至表 4-17），藉以瞭解重要美質景點受自然或人為的破壞情形外，亦能配合本計畫之研究目的，蒐集各項有利證據，對於太魯閣峽谷的演育過程進行更深入的探討。

表 4-4 名錄登錄表：清水斷崖

位置資料	編號：	
地名：清水斷崖	記錄者：	劉瑩三
地理區： ☐ 北區 ☐ 中區 ☐ 南區 ☒ 東區	調查日期：	2009
行政區：花蓮縣秀林鄉		
TW97 座標：東經 121°36'53" 北緯 24°10'30"		

地質地形概況

地質區： ☐ 西部麓山帶 ☒ 脊樑山脈 ☐ 雪山山脈 ☐ 海岸山脈 ☐ 海岸平原區 ☐ 澎湖火成岩區 ☐ 大屯基隆火成岩區
地形區： ☒ 山地 ☐ 丘陵 ☐ 高山(2100m) ☐ 台地 ☐ 盆地 ☐ 平原 ☒ 海岸 ☐ 離島 ☐ 湖泊
地層：大南澳片岩之長春層區及開南岡層
岩性（岩石）：大理岩、白雲岩、綠色片岩、片麻岩
特殊地質構造： ☒ 褶皺 ☒ 斷層 ☒ 其他 <u>解理</u>
礦物：方解石、白雲石、綠泥石、綠簾石、陽起石、鈉長石、磁鐵礦、黃鐵礦
化石：

地景描述:

位於蘇花公路上，和平溪以南、清水山東側的清水斷崖，介於和平至崇德之間綿亙約二十一公里。清水斷崖係由菲律賓板塊與歐亞大陸板塊之界線斷層北延，切穿大理岩、片麻岩及綠色片岩所形成近千米之斷層崖地形而成。由於清水斷崖自海岸到臨近的山峰之間，地勢急遽攀升，緊鄰的崖坡由於劇烈的波蝕作用挖蝕坡角，因而形成幾近九十度的垂直斷崖面。由於清水斷崖地處蘇花公路之重要地點，東臨太平洋，且氣勢磅礴，成為臺灣八景之一。

經營管理資料

景點方圓大小：	長：21 km	寬：1 km
高：1000m	深：	面積：21 km ²
管理單位：太魯閣國家公園管理處		
保育狀況： ☐ 非常好 ☒ 很好 ☐ 普通 ☐ 差 ☐ 極差 ☐ 其他 _____		
威脅景點之行為類型： ☐ 不當之遊憩規劃 ☒ 開發建設 ☐ 遊憩衝擊 ☐ 人為破壞 ☐ 風化與侵蝕作用 ☐ 環境承載 ☐ 其他 _____		
非地質方面的重要內容： ☐ 特有物種 ☐ 特殊生態 ☐ 重要文化資產 ☒ 其他 <u>清水斷崖為臺灣八景之一</u>		
到達路線： ☐ 公車 ☒ 自用車 ☐ 步行 ☐ 其他 _____ 台九丙公路鯉魚潭站		
土地所有權： ☒ 公有 ☐ 私有		
土地所有權姓名、地址：太魯閣國家公園管理處		

文獻、資料

參考資料：

楊貴三（1986）臺灣斷層的地形學研究。文化大學地學研究所博士論文。

陳文山（1996）海岸山脈地區花東縱谷斷層的活動性淺談地工技術雜誌，44 期。

石再添等（1983）臺灣北部與東部活斷層的地形學研究，師大研究所。地理研究報告，第 9 期，20-72。

李思根、鄧國雄（1996）臺灣東部地區特殊地景調查登錄及教育宣導計畫(一)花蓮縣，行政院農業委員會委託，花蓮師範學院辦理。

陳培源（2006）。臺灣地質，臺灣省應用地質技師公會出版。

現場照片（以 Google Earth 標示）（以全景、中景、近景）



表 4-5 名錄登錄表：立霧溪沖積扇

位置資料	編號：	
地名：立霧溪沖積扇	記錄者：	劉瑩三
地理區： ☐ 北區 ☐ 中區 ☐ 南區 ☒ 東區	調查日期：	2009
行政區：花蓮縣秀林鄉		
TW97 座標：東經 121°45' 北緯 24°18'09"		

地質地形概況

地質區： ☐ 西部麓山帶 ☒ 脊樑山脈 ☐ 雪山山脈 ☐ 海岸山脈 ☐ 火成岩區
地形區： ☐ 山地 ☐ 丘陵 ☐ 台地 ☐ 盆地 ☒ 平原 ☐ 海岸 ☐ 離島
地層：階地堆積
岩性（岩石）：大理岩、片麻岩及綠色片岩的礫石
特殊地質構造： ☐ 褶皺 ☐ 斷層 ☐ 其他_____
礦物：
化石：

地景描述：

立霧溪沖積扇位於蘇花斷層海岸的南端，地勢低平，呈瓣狀水系，瓣狀河系發達，三角洲與海相交處呈圓弧狀，形成完美的圓弧沖積扇三角洲平原。由於沖積扇三角洲受到地表間歇隆升作用及河流繼續的下切作用的影響，使河道兩岸原來的沖積扇成為海岸階地，並可明顯看出有三段海階，即富世、太魯閣橋一帶的三層階地。

經營管理資料

景點方圓大小：	長：55 km	寬：11.2 km
高：	深：	面積：616 km ²
管理單位：		
保育狀況： ☐ 非常好 ☐ 很好 ☒ 普通 ☐ 差 ☐ 極差 ☐ 其他_____		
威脅景點之行為類型： ☐ 不當之遊憩規劃 ☐ 開發建設 ☐ 遊憩衝擊 ☐ 人為破壞 ☐ 風化與侵蝕作用 ☐ 環境承載 ☐ 其他_____		
非地質方面的重要內容： ☐ 鳥類 ☐ 爬蟲類 ☐ 老樹 ☐ 特有物種 _____ ☐ 廟宇 ☐ 古蹟 ☐ 建築 ☐ 特殊生態 _____		
到達路線： ☐ 公車 ☒ 自用車 ☐ 步行 ☐ 其他 _____ 台九線（蘇花公路）		
土地所有權： ☒ 公有 ☐ 私有		
土地所有權姓名、地址：		

文獻、資料

參考資料：

楊貴三（1986）臺灣斷層的地形學研究。文化大學地學研究所博士論文，178。

陳文山 (1996) 海岸山脈地區花東縱谷斷層的活動性淺談地工技術雜誌, 44 期, 52-57。

石再添等（1983）臺灣北部與東部活斷層的地形學研究，師大研究所。地理研究報告，第9期，20-72。

徐鐵良、陳培源 (1951) 地質調查所彙刊。第3期。

齊士崢 (1995) 立霧溪流域的地形演育。國立臺灣大學。

現場照片（以 Google Earth 標示）



表 4-6 名錄登錄表：砂卡礑溪谷

位置資料	編號：	
地名：砂卡礑溪谷（神秘谷）	記錄者：	劉瑩三
地理區： ☐ 北區 ☐ 中區 ☐ 南區 ☒ 東區	調查日期：	2009
行政區：花蓮縣秀林鄉		
TW97 座標：東經 121°45'' 北緯 24°18'09''		

地質地形概況

地質區： ☐ 西部麓山帶 ☒ 脊樑山脈 ☐ 雪山山脈 ☐ 海岸山脈 ☐ 火成岩區
地形區： ☒ 山地 ☐ 丘陵 ☐ 台地 ☐ 盆地 ☐ 平原 ☐ 海岸 ☐ 離島
地層：大南澳片岩
岩性（岩石）：大理石、綠色片岩
特殊地質構造： ☒ 褶皺 ☐ 斷層 ☐ 其他_____
礦物：
化石：

地景描述：

砂卡礑溪為立霧溪最東側的支流，河流平行於濱臨太平洋之南北縱走山列之間，於太魯閣附近匯入立霧溪。砂卡礑溪流長約 16 公里，河床坡降為 1/14，集水區面積約為 6011 公頃。由於臺灣地區地殼不斷地隆起，加上豐沛的雨量增加河流侵蝕能力，使得構造現象豐富，特別是褶皺的型態深具多樣性，是構造地質學野外觀察、實習的良好地點。

經營管理資料

景點方圓大小：	長：16km	寬：1km
高：	深：	面積：16 km ²
管理單位：太魯閣國家公園管理處		
保育狀況： ☐ 非常好 ☐ 很好 ☒ 普通 ☐ 差 ☐ 極差 ☐ 其他_____		
威脅景點之行為類型： ☐ 不當之遊憩規劃 ☐ 開發建設 ☒ 遊憩衝擊 ☐ 人為破壞 ☐ 風化與侵蝕作用 ☐ 環境承載 ☐ 其他_____		
非地質方面的重要內容： ☐ 鳥類 ☐ 爬蟲類 ☐ 老樹 ☐ 特有物種 _____ ☐ 廟宇 ☐ 古蹟 ☐ 建築 ☐ 特殊生態 _____		
到達路線： ☐ 公車 ☒ 自用車 ☐ 步行 ☐ 其他 _____ 台九線（蘇花公路）		
土地所有權： ☒ 公有 ☐ 私有		
土地所有權姓名、地址：太魯閣國家公園管理處		

文獻、資料

參考資料：

王執明 (1991)。太魯閣峽谷之變質岩，太魯閣國家公園管理處出版。

何春蓀 (1986)。臺灣地質概論，經濟部中央地質調查所出版，第 11-135 頁。

李思根、鄧國雄 (1996) 花蓮縣地景登錄計畫，行政院農業委員會。

李思根、鄧國雄 (1996)臺灣東部地區特殊地景調查登錄及教育宣導計畫(一)花蓮縣，行政院農業委員會委託，花蓮師範學院辦理。

李思根、鄧國雄 (1999)臺灣東部地區特殊地景調查登錄及教育宣導後續計畫(一)，行政院農業委員會委託，花蓮師範學院辦理。

陳培源 (1963)。花蓮沙卡礑溪及荖西溪產硬綠泥石岩，台大地質系研究報告，10期，11-27 頁。

陳培源 (1987)。太魯閣峽谷地質簡介，北部十條路線地質簡介，國立臺灣師範大學地科系出版。

現場照片（以 Google Earth 標示）



表 4-7 名錄登錄表：長春祠

位置資料	編號：	
地名：長春祠	記錄者：	劉瑩三
地理區： ☐ 北區 ☐ 中區 ☐ 南區 ☒ 東區	調查日期：	2009
行政區：花蓮縣秀林鄉		
TW97 座標：東經 121°45'' 北緯 24°18'09''		

地質地形概況

地質區： ☐ 西部麓山帶 ☒ 脊樑山脈 ☐ 雪山山脈 ☐ 海岸山脈 ☐ 火成岩區
地形區： ☒ 山地 ☐ 丘陵 ☐ 台地 ☐ 盆地 ☐ 平原 ☐ 海岸 ☐ 離島
地層：大南澳片岩
岩性（岩石）：大理岩、石英片岩
特殊地質構造： ☐ 褶皺 ☒ 斷層 ☐ 其他_____
礦物：
化石：

地景描述：

本區之岩石由薄層大理岩夾鈣質石英岩所組成，而且在長春祠附近有一斷層截切而過，又因大理石溶蝕現象，因此本景點可觀察到的地質現象包括山崩、曲流與湧泉。造成山崩的原因： 1. 本地有斷層構造，造成岩體破裂，構造現象發達，為山崩的主要因子。 2. 位處立霧溪攻擊坡，容易產生落石坍方。
--

經營管理資料

景點方圓大小：	長：1.35 km	寬：1 km
高：	深：	面積：1.35 km ²
管理單位：		
保育狀況： ☐ 非常好 ☐ 很好 ☐ 普通 ☒ 差 ☐ 極差 ☐ 其他_____		
威脅景點之行為類型： ☐ 不當之遊憩規劃 ☐ 開發建設 ☐ 遊憩衝擊 ☐ 人為破壞 ☒ 風化與侵蝕作用 ☐ 環境承載 ☐ 其他_____		
非地質方面的重要內容： ☐ 鳥類 ☐ 爬蟲類 ☐ 老樹 ☐ 特有物種 _____ ☐ 廟宇 ☐ 古蹟 ☐ 建築 ☐ 特殊生態 _____		
到達路線： ☐ 公車 ☒ 自用車 ☐ 步行 ☐ 其他_____		
土地所有權： ☒ 公有 ☐ 私有		
土地所有權姓名、地址：太魯閣國家公園管理處		

文獻、資料

參考資料：

游登良 (2005) 太魯閣步道一步道 19，麥田。

楊貴三 (1986) 臺灣斷層的地形學研究。文化大學地學研究所博士論文，178。

陳文山 (1996) 海岸山脈地區花東縱谷斷層的活動性淺談地工技術雜誌，44 期，52-57。

石再添等 (1983) 臺灣北部與東部活斷層的地形學研究，師大研究所。地理研究報告，第 9 期，20-72。

徐鐵良、陳培源 (1951) 地質調查所彙刊。第 3 期。

王執明 (1991)。太魯閣峽谷之變質岩，太魯閣國家公園管理處出版。

何春蓀 (1986)。臺灣地質概論，經濟部中央地質調查所出版，第 11-135 頁。

陳培源 (1987)。太魯閣峽谷地質簡介，北部十條路線地質簡介，國立臺灣師範大學地科系出版。

現場照片（以 Google Earth 標示）



表 4-8 名錄登錄表：布洛灣

位置資料	編號：	
地名：布洛灣	記錄者：	劉瑩三
地理區： ☐ 北區 ☐ 中區 ☐ 南區 ☒ 東區	調查日期：	2009
行政區：花蓮縣秀林鄉		
TW97 座標：東經 121°37'5" 北緯 24°18'20"		

地質地形概況

地質區： ☐ 西部麓山帶 ☒ 脊樑山脈 ☐ 雪山山脈 ☐ 海岸山脈 ☐ 海岸平原區 ☐ 澎湖火成岩區 ☐ 大屯基隆火成岩區
地形區： ☒ 山地 ☐ 丘陵 ☐ 高山(2100m) ☐ 台地 ☐ 盆地 ☐ 平原 ☐ 海岸 ☐ 離島
地層：第四紀沖積層
岩性（岩石）：砂、礫、泥未膠結之礫石層
特殊地質構造： ☐ 褶皺 ☐ 斷層 ☒ 其他 <u>環流丘、河階</u>
礦物：
化石：漂木（依碳-14 定年約 1250 年）

地景描述：

布洛灣地區的地形特色有二，一為階地，二為環流丘。階地由立霧溪攜帶中、上游的砂、礫、泥，經侵蝕作用開南岡層及九曲層之接觸帶之岩層，而後再經堆積作用形成；而立霧溪河道隨時間變遷，並不斷侵蝕下覆基盤岩層，因河道截彎取直，截斷曲流而在外側形成環流丘。布洛灣的河階地共分上下二層，上台地海拔高約 392 公尺，東西長 200 公尺，南北約 150 公尺；下台地海拔高度約 300 公尺，與立霧溪河床高差約 150 公尺。

布洛灣階地除地形上為一標準河階地外，並於布洛灣上、下台地發掘出史前文化遺址，由文化層的發掘大致可分為兩個不同時代的堆積，即下層的史前時代文化，與上層近代泰雅族文化，其上則近有近代漢人居住過的遺跡。文化層的厚度約 40-50 公分，遺址中出土的遺物以陶器、石器為多，另外有部分鐵器、硬陶、磁片與日本錢幣。依布洛灣遺址出土的遺物、放射性年代及文化內涵，大致和臺灣北部地區史前時代最晚期的十三行文化最接近。

經營管理資料

景點方圓大小：	長：200m	寬：300m
高：	深：	面積：60,000 m ²
管理單位：太魯閣國家公園管理處		
保育狀況： ☐ 非常好 ☐ 很好 ☒ 普通 ☐ 差 ☐ 極差 ☐ 其他 _____		
威脅景點之行為類型： ☐ 不當之遊憩規劃 ☐ 開發建設 ☒ 遊憩衝擊 ☐ 人為破壞 ☐ 風化與侵蝕作用 ☐ 環境承載 ☐ 其他 _____		
非地質方面的重要內容： ☐ 特有物種 _____ ☐ 特殊生態 _____ ☒ 重要文化資產 <u>史前文化遺址</u> ☐ 其他 _____		

到達路線： ☐ 公車 ☐ 自用车 ☐ 步行 ☐ 其他 _____
土地所有權： ☒ 公有 ☐ 私有
土地所有權姓名、地址：太魯閣國家公園管理處

文獻、資料

參考資料：

楊貴三 (1986) 臺灣斷層的地形學研究。文化大學地學研究所博士論文，178。

徐鐵良、陳培源 (1951) 地質調查所彙刊。第3期。

王執明 (1991)。太魯閣峽谷之變質岩，太魯閣國家公園管理處出版。

何春蓀 (1986)。臺灣地質概論，經濟部中央地質調查所出版，第11-135頁。

陳培源 (1987)。太魯閣峽谷地質簡介，北部十條路線地質簡介，國立臺灣師範大學地科系出版。

現場照片（以 Google Earth 標示）（以全景、中景、近景）



表 4-9 名錄登錄表：燕子口

位置資料	編號：	
地名：燕子口	記錄者：	劉瑩三
地理區： ☐ 北區 ☐ 中區 ☐ 南區 ☒ 東區	調查日期：	2009
行政區：太魯閣國家公園管理處		
TW97 座標：東經 121°37'5" 北緯 24°18'20"		

地質地形概況

地質區： ☐ 西部麓山帶 ☒ 脊樑山脈 ☐ 雪山山脈 ☐ 海岸山脈 ☐ 海岸平原區 ☐ 澎湖火成岩區 ☐ 大屯基隆火成岩區
地形區： ☒ 山地 ☐ 丘陵 ☐ 高山(2100m) ☐ 台地 ☐ 盆地 ☐ 平原 ☐ 海岸 ☐ 離島
地層：大南澳片岩之九曲層
岩性（岩石）：大理石及少量白雲岩
特殊地質構造： ☐ 褶皺 ☐ 斷層 ☒ 其他 <u>壺穴</u>
礦物：方解石、白雲石
化石：

地景描述：

燕子口之岩性係由厚層的大理岩所構成，該厚層大理岩屬於大南澳片岩中之九曲層。由其厚層之層理及其他地點（水湫子）發現的二疊紀末期（約 250 百萬年前）珊瑚及紡錘蟲化石得知，大理石的原岩為生物殘骸堆積而成的石灰岩，後來經過發生於七千至八千萬年前的南澳運動，而變質成為大理岩；這些深埋於地底的大理岩，再因為約 400 萬年前開始的蓬萊造山運動，由於持續的隆起、抬升作用與立霧溪不斷下切、侵蝕作用，形成太魯閣峽谷的一部分。 燕子口則因為立霧溪溪水渦流及溪水中攜帶砂石，不斷磨蝕岩壁而形成壺穴，使得原本應生成河床上的壺穴，已經高懸於岩壁，高懸岩壁之洞穴中，有卵石、礫石堆積，是地盤上升水流下切的證據。

經營管理資料

景點方圓大小：	長：60m	寬：20m
高：	深：	面積：1200 m ²
管理單位：太魯閣國家公園管理處		
保育狀況： ☐ 非常好 ☐ 很好 ☒ 普通 ☐ 差 ☐ 極差 ☐ 其他 _____		
威脅景點之行為類型： ☐ 不當之遊憩規劃 ☒ 開發建設 ☐ 遊憩衝擊 ☐ 人為破壞 ☐ 風化與侵蝕作用 ☐ 環境承載 ☐ 其他 _____		
非地質方面的重要內容： ☐ 特有物種 _____ ☐ 特殊生態 _____ ☐ 重要文化資產 _____ ☐ 其他 _____		
到達路線： ☐ 公車 ☒ 自用車 ☐ 步行 ☐ 其他 _____ 中橫公路燕子口站		
土地所有權： ☒ 公有 ☐ 私有		

土地所有權姓名、地址：太魯閣國家公園管理處

文獻、資料

參考資料：

楊貴三 (1986) 臺灣斷層的地形學研究。文化大學地學研究所博士論文，178。

徐鐵良、陳培源 (1951) 地質調查所彙刊。第3期。

王執明 (1991)。太魯閣峽谷之變質岩，太魯閣國家公園管理處出版。

何春蓀 (1986)。臺灣地質概論，經濟部中央地質調查所出版，第11-135頁。

陳培源 (1987)。太魯閣峽谷地質簡介，北部十條路線地質簡介，國立臺灣師範大學地科系出版。

現場照片（以 Google Earth 標示）（以全景、中景、近景）



表 4-10 名錄登錄表：錐麓斷崖

位置資料	編號：	
地名：錐麓斷崖	記錄者：	劉瑩三
地理區： ☐ 北區 ☐ 中區 ☐ 南區 ☒ 東區	調查日期：	2009
行政區：太魯閣國家公園管理處		
TW97 座標：東經 121°36'50" 北緯 24°18'52"		

地質地形概況

地質區： ☐ 西部麓山帶 ☒ 脊樑山脈 ☐ 雪山山脈 ☐ 海岸山脈 ☐ 海岸平原區 ☐ 澎湖火成岩區 ☐ 大屯基隆火成岩區
地形區： ☒ 山地 ☐ 丘陵 ☐ 高山(2100m) ☐ 台地 ☐ 盆地 ☐ 平原 ☐ 海岸 ☐ 離島 ☐ 峽谷
地層：大南澳片岩之九曲層
岩性（岩石）：大理石、白雲石
特殊地質構造： ☐ 褶皺 ☒ 斷層 ☐ 其他_____
礦物：方解石、白雲石
化石：

地景描述：

錐麓斷崖由厚層的大理岩所構成，該厚層大理岩屬於大南澳岩中之九曲層。大理石的原岩為生物殘骸堆積而成的石灰岩，可由其他相同地層發現的二疊紀末期（約 250 百萬年前）珊瑚及紡錘蟲化石得知，大理石的原岩運動為生物殘骸堆積而成的石灰岩，後來經過發生於七千至八千萬年前的南澳運動，而變質成為大理岩；這些深埋於地底的大理岩，再因為約 400 萬年前開始的蓬萊造山運動，由於持續的隆起、抬升作用與立霧溪不斷下切、侵蝕作用，形成太魯閣峽谷的一部分。錐麓斷崖則因後期的斷層作用，復因立霧溪將斷層面的一側侵蝕，而留下高差約六百公尺的斷層崖面。

在錐麓斷崖附近可觀察幾處正斷層的明顯錯動及斷層擦痕現象。此外，斷崖附近河蝕向下切蝕作用劇烈，河谷狹而深，成為峽谷地形。

經營管理資料

景點方圓大小：	長：120m	寬：30m
高：	深：	面積：72,000 m ²
管理單位：太魯閣國家公園管理處		
保育狀況： ☐ 非常好 ☐ 很好 ☒ 普通 ☐ 差 ☐ 極差 ☐ 其他_____		
威脅景點之行為類型： ☐ 不當之遊憩規劃 ☐ 開發建設 ☐ 遊憩衝擊 ☒ 人為破壞 ☐ 風化與侵蝕作用 ☐ 環境承載 ☐ 其他_____		
非地質方面的重要內容： ☐ 特有物種 _____ ☐ 特殊生態 _____ ☐ 重要文化資產 _____ ☒ 其他 <u>合歡越嶺古道東段之錐麓古道</u>		
到達路線： ☐ 公車 ☒ 自用車 ☐ 步行 ☐ 其他 _____ 中橫公路錐麓站		

土地所有權：☒公有 ☐私有

土地所有權姓名、地址：太魯閣國家公園管理處

文獻、資料

參考資料：

楊貴三 (1986) 臺灣斷層的地形學研究。文化大學地學研究所博士論文，178。

徐鐵良、陳培源 (1951) 地質調查所彙刊。第3期。

王執明 (1991)。太魯閣峽谷之變質岩，太魯閣國家公園管理處出版。

何春蓀 (1986)。臺灣地質概論，經濟部中央地質調查所出版，第11-135頁。

陳培源 (1987)。太魯閣峽谷地質簡介，北部十條路線地質簡介，國立臺灣師範大學地科系出版。

現場照片（以 Google Earth 標示）（以全景、中景、近景）



表 4-11 名錄登錄表：九曲洞

位置資料	編號：	
地名：九曲洞	記錄者：	劉瑩三
地理區： ☐ 北區 ☐ 中區 ☐ 南區 ☒ 東區	調查日期：	2009
行政區：太魯閣國家公園管理處		
TW97 座標：東經 121°36'8" 北緯 24°18'46"		

地質地形概況

地質區： ☐ 西部麓山帶 ☒ 脊樑山脈 ☐ 雪山山脈 ☐ 海岸山脈 ☐ 海岸平原區 ☐ 澎湖火成岩區 ☐ 大屯基隆火成岩區
地形區： ☒ 山地 ☐ 丘陵 ☐ 高山(2100m) ☐ 台地 ☐ 盆地 ☐ 平原 ☐ 海岸 ☐ 離島 ☐ 峽谷
地層：大南澳片岩之九曲層
岩性（岩石）：大理石及少量白雲岩
特殊地質構造： ☐ 褶皺 ☒ 斷層 ☐ 其他_____
礦物：方解石、白雲石
化石：

地景描述：

九曲洞因中橫公路蜿蜒曲迴而得名，九曲洞之岩石係由厚層的大理石所構成，該厚層大理岩屬於大南澳岩中之九曲層。大理石的原岩為生物殘骸堆積而成的石灰岩，可由其他相同地層發現的二疊紀末期（約 250 百萬年前）珊瑚及紡錘蟲化石得知，大理石的原岩運動為生物殘骸堆積而成的石灰岩，後來經過發生於七千至八千萬年前的南澳運動，而變質成為大理岩；這些深埋於地底的大理岩，再因為約 400 萬年前開始的蓬萊造山運動，由於持續的隆起、抬升作用與立霧溪不斷下切、侵蝕作用，形成太魯閣峽谷最重要的部分，特別是其中的一線天，河谷寬度僅十餘公尺，最為著名。九曲洞峽谷則因為立霧溪水渦流及溪水中攜帶砂石，不斷磨蝕大理石，而形成聞名遐邇的太魯閣峽谷。

經營管理資料

景點方圓大小：	長：120m	寬：30m
高：600m	深：	面積：72,000 m ²
管理單位：太魯閣國家公園管理處		
保育狀況： ☐ 非常好 ☐ 很好 ☒ 普通 ☐ 差 ☐ 極差 ☐ 其他_____		
威脅景點之行為類型： ☐ 不當之遊憩規劃 ☐ 開發建設 ☒ 遊憩衝擊 ☐ 人為破壞 ☐ 風化與侵蝕作用 ☐ 環境承載 ☐ 其他_____		
非地質方面的重要內容： ☐ 特有物種 _____ ☐ 特殊生態 _____ ☐ 重要文化資產 _____ ☐ 其他 _____		
到達路線： ☐ 公車 ☒ 自用車 ☐ 步行 ☐ 其他 _____ 中橫公路九曲洞站		
土地所有權： ☒ 公有 ☐ 私有		

土地所有權姓名、地址：太魯閣國家公園管理處

文獻、資料

參考資料：

楊貴三(1986)臺灣斷層的地形學研究。文化大學地學研究所博士論文，178。

徐鐵良、陳培源(1951)地質調查所彙刊。第3期。

王執明(1991)。太魯閣峽谷之變質岩，太魯閣國家公園管理處出版。

何春蓀(1986)。臺灣地質概論，經濟部中央地質調查所出版，第11-135頁。

陳培源(1987)。太魯閣峽谷地質簡介，北部十條路線地質簡介，國立臺灣師範大學地科系出版。

現場照片（以 Google Earth 標示）



表 4-12 名錄登錄表：慈母橋

位置資料		編號：	
地名：慈母橋		記錄者：	劉瑩三
地理區： ☐ 北區 ☐ 中區 ☐ 南區 ☒ 東區		調查日期：	2009
行政區：太魯閣國家公園管理處			
TW97 座標：東經 121°45'' 北緯 24°18'09''			

地質地形概況

地質區： ☐ 西部麓山帶 ☒ 脊樑山脈 ☐ 雪山山脈 ☐ 海岸山脈 ☐ 火成岩區
地形區： ☒ 山地 ☐ 丘陵 ☐ 台地 ☐ 盆地 ☐ 平原 ☐ 海岸 ☐ 離島
地層：大南澳片岩
岩性（岩石）：大理石、綠色片岩、石英岩
特殊地質構造： ☒ 褶皺 ☐ 斷層 ☐ 其他_____
礦物：
化石：

地景描述：

慈母橋一帶為厚厚的大理岩（即九曲層）與綠色片岩與薄層大理石所形成的長春層的界限。由於綠色片岩與薄層大理岩的紋路清楚，且受構造運動的作用，極易形成觀察的褶皺構造現象，如偃臥褶皺及劍套型褶皺為常見的構造。位於立霧溪與荖西溪匯流處之青蛙石即為一大型的偃臥褶皺，可觀察到綠色片岩與大理岩互層的長春層岩石，受大地應力的構造作用後所形成。後來又經過立霧溪與荖西溪溪水的差異侵蝕作用而留下此特殊的地質景觀。此外，在慈母橋西側靠近合流台地的一側，可觀察到一厚度約 80 公尺，寬度與約 50 公尺的礫石層。此一礫石層為一舊河道所形成的埋積型河階地。

經營管理資料

景點方圓大小：	長：136m	寬：9.9m
高：	深：	面積：1346.4 m ²
管理單位：太魯閣國家公園管理處		
保育狀況： ☐ 非常好 ☐ 很好 ☐ 普通 ☒ 差 ☐ 極差 ☐ 其他_____		
威脅景點之行為類型： ☐ 不當之遊憩規劃 ☐ 開發建設 ☒ 遊憩衝擊 ☐ 人為破壞 ☐ 風化與侵蝕作用 ☐ 環境承載 ☐ 其他_____		
非地質方面的重要內容： ☐ 鳥類 ☐ 爬蟲類 ☐ 老樹 ☐ 特有物種 _____ ☐ 廟宇 ☐ 古蹟 ☐ 建築 ☐ 特殊生態 _____		
到達路線： ☐ 公車 ☒ 自用車 ☐ 步行 ☐ 其他 _____ 台九線（蘇花公路）		
土地所有權： ☒ 公有 ☐ 私有		
土地所有權姓名、地址：太魯閣國家公園管理處		

文獻、資料

參考資料：

楊貴三 (1986) 臺灣斷層的地形學研究。文化大學地學研究所博士論文，178。

徐鐵良、陳培源 (1951) 地質調查所彙刊。第3期。

王執明 (1991)。太魯閣峽谷之變質岩，太魯閣國家公園管理處出版。

何春蓀 (1986)。臺灣地質概論，經濟部中央地質調查所出版，第11-135頁。

陳培源 (1987)。太魯閣峽谷地質簡介，北部十條路線地質簡介，國立臺灣師範大學地科系出版。

現場照片（以 Google Earth 標示）



表 4-13 名錄登錄表：天祥

位置資料	編號：	
地名：天祥	記錄者：	劉瑩三
地理區： ☐ 北區 ☐ 中區 ☐ 南區 ☒ 東區	調查日期：	2009
行政區：花蓮縣秀林鄉		
TW97 座標：東經 121°35'30" 北緯 24°19'48"		

地質地形概況

地質區： ☐ 西部麓山帶 ☒ 脊樑山脈 ☐ 雪山山脈 ☐ 海岸山脈 ☐ 海岸平原區 ☐ 澎湖火成岩區 ☐ 大屯基隆火成岩區
地形區： ☒ 山地 ☐ 丘陵 ☐ 高山(2100m) ☐ 台地 ☐ 盆地 ☐ 平原 ☐ 海岸 ☐ 河階
地層：大南澳片岩之天祥層
岩性（岩石）：石英雲母片岩、千枚岩、變質砂岩、變質礫岩
特殊地質構造： ☒ 褶皺 ☒ 斷層 ☒ 其他 <u>解理</u>
礦物：石英、方解石、白雲母、鈉長石、綠泥石、黃鐵礦
化石：溝鞭藻

地景描述：

天祥地區的岩石主要是由石英雲母片岩、千枚岩、變質砂岩及變質礫岩所組長，屬於大南澳片岩中之天祥層，從發現的溝鞭藻得知其年代約 120-180Ma，及中生代侏儸紀-白堊紀。天祥附近中可觀察到經過強力剪力作用的岩層，這些岩層有許多剪力構造及夾褶皺，可以推測知其為高度剪力作用下的產物。更由天祥層中，除了石英雲母片岩、千枚岩等岩石外，其中含有許多的外來岩塊，這些外來岩塊包括大理石、變質燧石。從這些大小不等的外來岩塊、強力剪力構造及岩層中雜亂無章的岩石組成可知，天祥層為一弧陸隱沒碰撞上增積楔上的傾瀉岩。 天祥位在陶塞溪與立霧溪合流之河階上，原為泰雅族塔比多（Tupito）部落所在。大南澳片岩，岩質不如大理石堅硬，景觀也不相同，為開闊的河谷，河床上方山坡有一處岩壁裸露，出露類似目前河床上礫石層堆積於基岩上的狀況，是古河床的遺址。
--

經營管理資料

景點方圓大小：	長：50m	寬：20m
高：3m	深：	面積：1,000 m ²
管理單位：太魯閣國家公園管理處		
保育狀況： ☐ 非常好 ☐ 很好 ☒ 普通 ☐ 差 ☐ 極差 ☐ 其他 _____		
威脅景點之行為類型： ☐ 不當之遊憩規劃 ☒ 開發建設 ☐ 遊憩衝擊 ☐ 人為破壞 ☐ 風化與侵蝕作用 ☐ 環境承載 ☐ 其他 _____		
非地質方面的重要內容： ☐ 特有物種 _____ ☐ 特殊生態 _____ ☐ 重要文化資產 _____ ☐ 其他 _____		
到達路線： ☐ 公車 ☒ 自用車 ☐ 步行 ☐ 其他 _____ 中橫公路天祥站		

土地所有權：☒ 公有 ☐ 私有

土地所有權姓名、地址：太魯閣國家公園管理處

文獻、資料

參考資料：

楊貴三 (1986) 臺灣斷層的地形學研究。文化大學地學研究所博士論文，178。

徐鐵良、陳培源 (1951) 地質調查所彙刊。第3期。

王執明 (1991)。太魯閣峽谷之變質岩，太魯閣國家公園管理處出版。

何春蓀 (1986)。臺灣地質概論，經濟部中央地質調查所出版，第11-135頁。

陳培源 (1987)。太魯閣峽谷地質簡介，北部十條路線地質簡介，國立臺灣師範大學地科系出版。

現場照片（以 Google Earth 標示）（以全景、中景、近景）



表 4-14 名錄登錄表：白楊瀑布

位置資料		編號：	
地名：白楊瀑布		記錄者：	劉瑩三
地理區： ☐ 北區 ☐ 中區 ☐ 南區 ☒ 東區		調查日期：	2009
行政區：花蓮縣秀林鄉			
TW97 座標：東經 121°45'' 北緯 24°18'09''			

地質地形概況

地質區： ☐ 西部麓山帶 ☒ 脊樑山脈 ☐ 雪山山脈 ☐ 海岸山脈 ☐ 火成岩區
地形區： ☒ 山地 ☐ 丘陵 ☐ 台地 ☐ 盆地 ☐ 平原 ☐ 海岸 ☐ 離島
地層：大南澳片岩
岩性（岩石）：石英雲母片岩、千枚岩、變質砂岩、大理岩、綠色片岩
特殊地質構造： ☐ 褶皺 ☒ 斷層 ☒ 其他 <u>節理</u>
礦物：石英、方解石、白雲母、綠泥石、黃鐵礦
化石：

地景描述：

白楊瀑布昔稱「達歐拉斯」瀑布，為支流匯入主流時，因河流水量不同，主流的水量多，侵蝕能力強，相對於支流水量少，侵蝕能力較弱，造成差異侵蝕的現象，並經過長時間的地質作用過，形成此一瀑布。 白楊瀑布附近屬天祥層與長春層交界區域，因此可觀察到石英雲母片岩、千枚岩、變質砂岩、薄層大理岩、綠色片岩及石英岩等岩石。由於石英雲母片岩、千枚岩及綠色片岩等片理發達的岩石分佈廣泛，而且小斷層及節理面亦相當豐富，因此常造成山崩現象。此外在白楊吊橋附近的綠色片岩中可觀察到米粒大小的黃鐵礦（俗稱愚人金），這些黃鐵礦為後期作用所形成。

經營管理資料

景點方圓大小：	長：	寬： 10 m
高：850 m	深：	面積：3500 m ²
管理單位：		
保育狀況： ☐ 非常好 ☐ 很好 ☒ 普通 ☐ 差 ☐ 極差 ☐ 其他 _____		
威脅景點之行為類型： ☐ 不當之遊憩規劃 ☐ 開發建設 ☐ 遊憩衝擊 ☐ 人為破壞 ☒ 風化與侵蝕作用 ☐ 環境承載 ☐ 其他 _____		
非地質方面的重要內容： ☐ 鳥類 ☐ 爬蟲類 ☐ 老樹 ☐ 特有物種 _____ ☐ 廟宇 ☐ 古蹟 ☐ 建築 ☐ 特殊生態 _____		
到達路線： ☐ 公車 ☒ 自用車 ☐ 步行 ☐ 其他 _____		
土地所有權： ☒ 公有 ☐ 私有		
土地所有權姓名、地址：太魯閣國家公園管理處		

文獻、資料

參考資料：

楊貴三 (1986) 臺灣斷層的地形學研究。文化大學地學研究所博士論文，178。

徐鐵良、陳培源 (1951) 地質調查所彙刊。第3期。

王執明 (1991)。太魯閣峽谷之變質岩，太魯閣國家公園管理處出版。

何春蓀 (1986)。臺灣地質概論，經濟部中央地質調查所出版，第11-135頁。

陳培源 (1987)。太魯閣峽谷地質簡介，北部十條路線地質簡介，國立臺灣師範大學地科系出版。

李思根、鄧國雄 (1996) 花蓮縣地景登錄計畫，行政院農業委員會。

現場照片（以 Google Earth 標示）

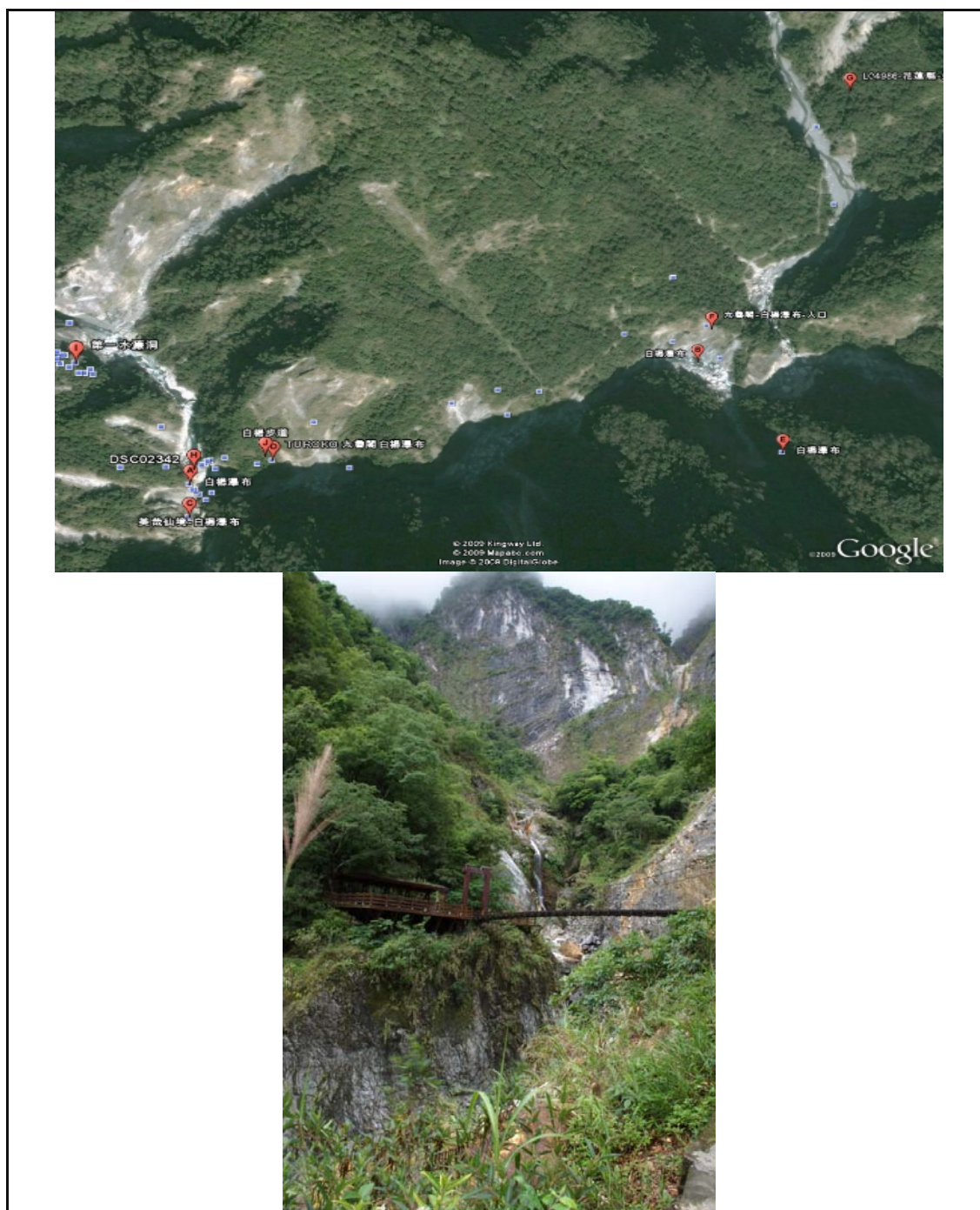


表 4-15 名錄登錄表：文山溫泉

位置資料	編號：	
地名：文山溫泉	記錄者：	劉瑩三
地理區： ☐ 北區 ☐ 中區 ☐ 南區 ☒ 東區	調查日期：	2009
行政區：花蓮縣秀林鄉		
TW97 座標：東經 121°45' 北緯 24°18'09"		

地質地形概況

地質區： ☐ 西部麓山帶 ☒ 脊樑山脈 ☐ 雪山山脈 ☐ 海岸山脈 ☐ 火成岩區
地形區： ☒ 山地 ☐ 丘陵 ☐ 台地 ☐ 盆地 ☐ 平原 ☐ 海岸 ☐ 離島
地層：大南澳片岩
岩性（岩石）：石英雲母片岩、千枚岩、大理石、綠色片岩
特殊地質構造： ☒ 褶皺 ☐ 斷層 ☐ 其他_____
礦物：
化石：

地景描述：

文山溫泉距天祥約 2 公里，溫泉緊臨立霧溪支流大沙溪，為太魯閣國家公園內目前所知唯一一處溫泉。文山溫泉又名深水溫泉，是日據時代最先發現溫泉的日本人—深水氏而命名。文山溫泉為弱鹼性碳酸泉（酸鹼值為 7.1），水溫高達 48℃，溫泉從岩壁縫中冒出，四周盡是大理石、石英雲母片岩及綠色片岩所組成的岩壁。

經營管理資料

景點方圓大小：	長：280m	寬：
高：	深：	面積：
管理單位：		
保育狀況： ☐ 非常好 ☐ 很好 ☐ 普通 ☒ 差 ☐ 極差 ☐ 其他_____		
威脅景點之行為類型： ☐ 不當之遊憩規劃 ☐ 開發建設 ☐ 遊憩衝擊 ☐ 人為破壞 ☒ 風化與侵蝕作用 ☐ 環境承載 ☐ 其他_____		
非地質方面的重要內容： ☐ 鳥類 ☐ 爬蟲類 ☐ 老樹 ☐ 特有物種 _____ ☐ 廟宇 ☐ 古蹟 ☐ 建築 ☐ 特殊生態 _____		
到達路線： ☐ 公車 ☒ 自用車 ☐ 步行 ☐ 其他 _____ 台九線（蘇花公路）		
土地所有權： ☒ 公有 ☐ 私有		
土地所有權姓名、地址：太魯閣國家公園管理處		

文獻、資料

參考資料：

楊貴三 (1986) 臺灣斷層的地形學研究。文化大學地學研究所博士論文，178。

徐鐵良、陳培源 (1951) 地質調查所彙刊。第3期。

王執明 (1991)。太魯閣峽谷之變質岩，太魯閣國家公園管理處出版。

何春蓀 (1986)。臺灣地質概論，經濟部中央地質調查所出版，第11-135頁。

陳培源 (1987)。太魯閣峽谷地質簡介，北部十條路線地質簡介，國立臺灣師範大學地科系出版。

李思根、鄧國雄 (1996) 花蓮縣地景登錄計畫，行政院農業委員會。

現場照片（以 Google Earth 標示）



表 4-16 名錄登錄表：蓮花池

位置資料	編號：	
地名：蓮花池	記錄者：	劉瑩三
地理區： ☐ 北區 ☐ 中區 ☐ 南區 ☒ 東區	調查日期：	2009
行政區：太魯閣國家公園		
TW97 座標：東經 121°45' 北緯 24°18'09"		

地質地形概況

地質區： ☐ 西部麓山帶 ☒ 脊樑山脈 ☐ 雪山山脈 ☐ 海岸山脈 ☐ 火成岩區
地形區： ☒ 山地 ☐ 丘陵 ☐ 台地 ☐ 盆地 ☐ 平原 ☐ 海岸 ☐ 離島
地層：大南澳片岩
岩性（岩石）：大理石
特殊地質構造： ☐ 褶皺 ☐ 斷層 ☐ 其他_____
礦物：
化石：

地景描述：

蓮花池座落於太魯閣國家公園區內，地點為位於立霧溪的支流陶塞溪與西卡拉罕溪匯流口的北側。蓮花池谷地狹窄，中間有一小池塘即為蓮花池。池塘海拔高度約 1100 公尺，池塘略呈圓形，最大直徑約為 150 公尺，池塘深度約 1.6 公尺，與陶塞溪河床的比高約 440 公尺。蓮花池谷地為一舊有河道的遺跡，推測蓮花池谷地是由發源於東側（二子山、朝墩山）的古西卡拉罕溪所形成。

經營管理資料

景點方圓大小：	長：150 m	寬：117 m
高：1100 m	深：1.6 m	面積：17550 m ²
管理單位：		
保育狀況： ☐ 非常好 ☐ 很好 ☒ 普通 ☐ 差 ☐ 極差 ☐ 其他_____		
威脅景點之行為類型： ☐ 不當之遊憩規劃 ☐ 開發建設 ☐ 遊憩衝擊 ☐ 人為破壞 ☐ 風化與侵蝕作用 ☐ 環境承載 ☐ 其他_____		
非地質方面的重要內容： ☐ 鳥類 ☐ 爬蟲類 ☐ 老樹 ☐ 特有物種 _____ ☐ 廟宇 ☐ 古蹟 ☐ 建築 ☐ 特殊生態 _____		
到達路線： ☐ 公車 ☒ 自用車 ☐ 步行 ☐ 其他_____		
土地所有權： ☒ 公有 ☐ 私有		
土地所有權姓名、地址：太魯閣國家公園管理處		

文獻、資料

參考資料：

楊貴三 (1986) 臺灣斷層的地形學研究。文化大學地學研究所博士論文，178。

徐鐵良、陳培源 (1951) 地質調查所彙刊。第3期。

王執明 (1991)。太魯閣峽谷之變質岩，太魯閣國家公園管理處出版。

何春蓀 (1986)。臺灣地質概論，經濟部中央地質調查所出版，第11-135頁。

陳培源 (1987)。太魯閣峽谷地質簡介，北部十條路線地質簡介，國立臺灣師範大學地科系出版。

李思根、鄧國雄 (1996) 花蓮縣地景登錄計畫，行政院農業委員會。

現場照片（以 Google Earth 標示）



表 4-17 名錄登錄表：西寶河階

位置資料	編號：	
地名：西寶河階	記錄者：	劉瑩三
地理區： ☐ 北區 ☐ 中區 ☐ 南區 ☒ 東區	調查日期：	2009
行政區：花蓮縣秀林鄉		
TW97 座標：東經 121°35'10" 北緯 24°20'05"		

地質地形概況

地質區： ☐ 西部麓山帶 ☒ 脊樑山脈 ☐ 雪山山脈 ☐ 海岸山脈 ☐ 海岸平原區 ☐ 澎湖火成岩區 ☐ 大屯基隆火成岩區
地形區： ☒ 山地 ☐ 丘陵 ☐ 高山(2100m) ☐ 台地 ☐ 盆地 ☐ 平原 ☐ 海岸 ☐ 河階
地層：全新世河階礫石層
岩性（岩石）：含板岩、變質砂岩、片岩之河階礫石層
特殊地質構造： ☐ 褶皺 ☐ 斷層 ☐ 其他_____
礦物：
化石：

地景描述:

西寶河階位於天祥西側八公里處，其階面可分為上、下二個階面，其高度分別為 960 公尺及 910 公尺。古河道可在西寶隧道前方觀察到，但是河道的谷底則未出露。

由礫岩的覆瓦狀構造及傾角，推測其古水流方向分布情形，發現上、下二階具不同的古水流方向。上階面主要由水流沉積型(Gw)礫岩相所組成，礫石的粒度為圓形至次圓形，覆瓦狀構造及空隙構造發達。下階面之礫石則由極尖銳至次尖銳的礫石所組成，少部份為圓度較佳的礫石，主要由土質流型(Gms)及高濃度宏流行(Gmw)所組成。

西寶階地形成的歷史推測為二階段性，第一時期為古河道填充形成第一階，在河流下切的過程中，因邊坡不穩定造成大量沉積物崩積，而形成第二階地。

經營管理資料

景點方圓大小：	長：300m	寬：200m
高：500m	深：	面積：60,000 m ²
管理單位：太魯閣國家公園管理處		
保育狀況： ☐ 非常好 ☐ 很好 ☐ 普通 ☒ 差 ☐ 極差 ☐ 其他_____		
威脅景點之行為類型： ☐ 不當之遊憩規劃 ☒ 開發建設 ☐ 遊憩衝擊 ☐ 人為破壞 ☐ 風化與侵蝕作用 ☐ 環境承載 ☒ 其他 <u>山崩</u>		
非地質方面的重要內容： ☐ 特有物種 _____ ☐ 特殊生態 _____ ☐ 重要文化資產 _____ ☐ 其他 _____		
到達路線： ☒ 公車 ☒ 自用車 ☐ 步行 ☐ 其他 _____		
土地所有權： ☒ 公有 ☐ 私有		

土地所有權姓名、地址：太魯閣國家公園管理處

文獻、資料

參考資料：

楊貴三 (1986) 臺灣斷層的地形學研究。文化大學地學研究所博士論文，178。

徐鐵良、陳培源 (1951) 地質調查所彙刊。第3期。

王執明 (1991)。太魯閣峽谷之變質岩，太魯閣國家公園管理處出版。

何春蓀 (1986)。臺灣地質概論，經濟部中央地質調查所出版，第11-135頁。

陳培源 (1987)。太魯閣峽谷地質簡介，北部十條路線地質簡介，國立臺灣師範大學地科系出版。

李思根、鄧國雄 (1996) 花蓮縣地景登錄計畫，行政院農業委員會。

現場照片（以 Google Earth 標示）（以全景、中景、近景）



第五章、結論與建議

5.1 結論

1. 於太魯閣峽谷地區針對主要具價值之景點，使用陸地 3D 雷射掃瞄儀掃描，完成初始地形資料蒐集，包括長春祠、白沙橋河谷、印地安人頭、靳珩峽谷、錐麓斷崖、流芳橋峽谷、九曲洞一線天、九曲洞魚躍龍門、青蛙石、綠水河谷、錦文橋下方河道等，所蒐集資料可作為峽谷發育歷程與景點價值之參考。
2. 依據計畫所需之各類型影像資料，包括衛星影像、相片基本圖、航空照片，或可輔助本計畫目標之佐證資料進行購置，完成閣口及立霧溪沖積扇之地形建立（誤差小於 2 公尺）。
3. 以太魯閣綠水水文站之觀測資料配合氣象資料比較結果顯示，含砂量與流量、降雨量增加時段相符，在颱風發生時較有明顯增加趨勢，而部份災害地震發後，並未受雨量或流量影響卻仍有含砂量增加情形，顯示頻繁的地震會增加鬆動顆粒，並在某次事件（降雨、地震…等）中排入立霧溪中。
4. 禪光寺至合流主要以大理岩為主之區域，相對於太魯閣閣口外富世國小上升速率約 15.2mm/yr；合流以西至洛韶橋以片岩為主（含部份礫岩層與階地）之區域相對合流抬升情形較小，上升速率約 3.2 mm/yr，以短期觀測結果可證明太魯閣峽谷地區受岩質差異，影響地區性之地體抬升速率。
5. 根據衛星影像辨識崩塌地之結果顯示，2005 年至 2009 年新增崩塌地之總面積為 4541697 m²。太魯閣地區主要之崩塌地以小範圍（小於 1000 平方公尺以下）為主，每年發生超過 440 次小區域崩塌。
6. 立霧溪在各河段堆積、侵蝕情形變化迅速，以綠水、錦文橋河段之河道剖面為例，平均河道為下切現象，但部份堆積、侵蝕現象的年變化並不規律，因此說明立霧溪河道變化，無法短期資料描述河流下切情形。
7. 以河階岩心鑽探結果可說明在 88 公尺的沈積厚度中，有六段的礫石堆積，中間夾有五段厚薄不一的砂層沈積，因此可以推估立霧溪河道的變遷過程，在布洛灣河階歷經了至少六次的土石流堆積事件，並有三次較長時段的安定期。

8. 由水文、氣象資料，以及抬升速率、河道剖面、河階鑽探之觀測結果，可進一步說明太魯閣地區受各項強烈自然條件所影響，得以演育成為現今壯闊峽谷地形，峽谷內各地區受影響情形隨地體抬升及河流下切速率不均造成各具獨特性，使得太魯閣峽谷具有高度地質景觀之價值。
9. 目前已在太魯閣峽谷地區內各主要景點，針對具價值之地質景觀進行紀錄，並拍攝現場照片，完成地質景觀名錄共計 14 處。

5.2 遭遇困難

1. 本研究所使用的 3D 雷射掃瞄儀已超過最佳使用年限，在資料蒐集距離與精度皆有所降低，因此亦在太魯閣地區，對於變化極大的區域範圍之研究困難度提高。
2. 由於太魯閣峽谷地區無法完整蒐集 GPS 定位資料，在使用衛星影像或航空照片製作 DEM 的難度增加，目前僅能施作太魯閣閣口地區部份範圍。
3. 河道剖面受人為設施及活動影響（如溪畔、錦文橋河段），造成部份侵蝕、堆積現象可能無法討論。
4. 本研究於布洛灣上台地之河階鑽探所得岩心，除少部份有泥、砂質沉積外，多屬礫石層，缺乏可定年之物質，因此無法得知沉積年代。

5.3 建議

1. 峽谷地區內受地形遮蔽造成衛星定位困難，若需獲得更精確的座標、高程資料，建議可另行規劃為座標量測之計畫。
2. 太魯閣地區之水文資料可有效瞭解集水區內之變化情形，協助提供氣象、災害預警，因此建議可在立霧溪各河段建立水文觀測站，長期蒐集資料對於亦能提升各項研究之可信度。
3. 由於太魯閣峽谷地區之地體抬升速率非常快速，建議可以專案方式持續進行水準測量，不僅能監測地體抬升情形，亦能提供作為太魯閣地區地質、地景及峽谷演育之研究基礎。
4. 本研究於布洛灣上台地之岩心取樣完整性高，可選取適合部份製作岩心柱，提供遊客中心作為展示之用途，使民眾瞭解實際河階沉積現象。

5.4 未來工作

1. 持續進行文獻蒐集，並由前人的研究結果作為研究方向的參考。
2. 應用大地測量方法，對立霧溪的持續對河道剖面進行監測工作，對於不同河段的侵蝕、堆積情形進行討論。
3. 以長期時序資料，包括地震資料、氣象資料、水文資料作時頻分析，探討各控制因子的能量增加頻率或週期，藉以分析各項氣象條件在太魯閣峽谷演育歷史中的影響性。
4. 嘗試以航空照片及衛星影像使用不同辨識方法（如 DInSAR、DEM、色階辨識…等），對各項地形變化進行比較與探討。
5. 對於太魯閣地區特殊地景景點進行觀察與記錄，持續更新名錄登錄表之內容。

第六章、參考文獻

中文部份：

- 王執明（1987）。太魯閣國家公園立霧溪峽谷岩性及岩石成因-大理岩部份。
太魯閣國家公園管理處委託中國地質學會辦理之委託研究案。
- 王執明（1989）。太魯閣國家公園立霧溪峽谷岩性及岩石成因之研究-片麻岩部份。太魯閣國家公園管理處委託中國地質學會辦理之委託研究案。
- 王執明（1991a）。太魯閣國家公園峽谷岩層分佈之研究。太魯閣國家公園管理處委託中國地質學會辦理之委託研究案。
- 王執明（1991b）。太魯閣峽谷的變質岩。太魯閣國家公園管理處出版。
- 王執明（1992）。太魯閣國家公園地質現象之調查及永久觀測站之規劃。太魯閣國家公園管理處委託中國地質學會辦理之委託研究案。
- 王 鑫（1988）。太魯閣國家公園地理、地形及地質景觀。內政部營建署太魯閣國家公園管理處委託，國立臺灣大學地理學系執行。
- 朱德原（2008）。應用陸地三維雷射掃描儀與航照影像調查近期花蓮奇萊鼻海崖之變遷。國立花蓮教育大學理學院地球科學研究所碩士論文。（未出版）
- 何春蓀（1986）。臺灣地質概論-臺灣地質圖說明書，經濟部中央地質調查所。
- 沈淑敏與張瑞津（2003）。圖像資料在臺灣地區地形變遷研究上的應用與限制。師大地理研究報告，38，67-87頁。
- 林卓群（2006）。Lidar高精度數值地形應用於崩塌地區快速調查研究。國立成功大學資源工程學系碩士論文。（未出版）
- 林珮伶（2004）。應用高解析影像對產生DSM 之精度分析。國立臺灣師範大學地理學研究所。（未出版）
- 林朝榮（1957）。臺灣地形。臺灣省文獻委員會。
- 俞震甫、羅清華（1999）。臺灣先第三紀大地構造。「二十世紀臺灣地區地球科學研究之回顧與展望」系列研討會（一）：臺灣的大地構造，145-187頁。
- 陳正祥（1961）。臺灣地誌。數明產業地理研究所報告94號， 909-916頁。

- 陳永寬、葉昆生與詹進發（2000）。應用數位航測技術於三義火炎山地形變遷之研究，航測及遙測學刊，5（1），17-31。
- 陳政恆（1989）。臺灣大南澳片岩區溝鞭藻化石初步研究。國立臺灣大學碩士論文。（未出版）
- 陳英煥（2007）。空照數位像機拍攝高重疊影像匹配高密度點雲。國立成功大學測量及空間資訊學系碩士論文。（未出版）
- 陳培源（2006）。臺灣地質，成陽出版，初版，第九章。
- 許海龍、王偉群與陳立邦（2006）。岩盤工程研討會論文集，377-386。
- 張石角（1990）。太魯閣峽谷地形發育過程的研究。內政部營建署太魯閣國家公園管理處委託，國立臺灣大學地理學系執行。
- 張有和（2003）。衛星影像辨認在花蓮地區萬里溪、馬太鞍溪集水區崩塌地普查之應用，中國地理學會會刊，31期，第1-11頁。
- 張有和（2007）。太魯閣峽谷的雕刻師-立霧溪。經濟部中央地質調查所，地質期刊，第26卷第一期，第47-54頁。
- 張有和與張成華（2008）。中橫公路水準測量：太魯閣至洛韶橋2000-2008年成果比較，中華民國地質學會與中國地球物理學會97年年會，台南成功大學。
- 張瑞津（2000）。立霧溪流域人工壩堤對地形、地質地理景觀之影響。內政部營建署太魯閣國家公園管理處委託，國立臺灣師範大學地理學系執行。
- 曾義星及史天元（2003）。三維雷射掃描技術及其在工程測量上的應用，中國土木水利工程學會刊。
- 黃偉城（2004）。利用地面三維雷射掃描儀研究斷層變形之可行性-2003年Mw6.5台東成功地震池上斷層之同震及震後變形。國立成功大學地球科學研究所碩士論文。（未出版）
- 黃震靜（2002）。數值地形模型與地理資訊系統在基本圖航空攝影規劃上之應用。國立臺灣大學森林學研究所碩士論文。（未出版）
- 齊士崢（1994）。立霧溪流域的河階地，國立臺灣大學地理學系地理學報第17期，33-46。

- 齊士崢（2004）。河階地的對比與成因。環境與世界，第十期，第43-64頁。
- 劉瑩三（2007）。太魯閣峽谷的地景資源。經濟部中央地質調查所，地質期刊，第26卷第一期，第34-39頁。
- 鄧表揚（2007）。應用三維雷射掃描技術於大型儲油槽之變形分析。逢甲大學土地管理學系碩士在職專班碩士論。（未出版）。
- 鄧屬予（2002）：臺灣新生代大地構造：二十世紀臺灣地球科學之回顧，第一冊，臺灣大地構造，黃奇瑜主編，中國地質學會、中國地球物理學會聯合出版，台北，49-93頁。
- 鄧屬予（2002）：板塊間看臺灣地震，科學發展，350期，12-19頁。
- 鄧屬予（2006）：臺灣第四紀大地構造，經濟部中央地質調查所特刊，18期，1-24頁。
- 鄭欣怡（2008）。1993-2005 年花蓮奇萊鼻海崖地形變遷之研究。國立花蓮教育大學生態與環境教育研究所碩士論文，未出版，花蓮。
- 駱香林（1974）。花蓮縣誌-地形篇。花蓮縣政府。
- 賴志凱（2004）。地面雷射掃描儀的精度分析與檢定。國立成功大學測量及空間資訊學系碩士論文。（未出版）
- 賴進貴與王慧勳（1996）。數值等高線內插比較之研究。台大地理學報21：83-94。
- 顏滄波、盛健君與耿文溥（1951）。臺灣變質雜岩中含紡錘蟲石灰岩之發現。臺灣省地質調查所彙刊第三號，第45頁。
- 顏滄波（1953）。臺灣變質雜岩中之古生代晚期化石。臺灣省地質調查所彙刊第四號，第23~26頁。
- 藤肇芸（2002）。立霧溪流域中游峽谷段河道形態與影響因子之探討。國立臺灣師範大學地理研究所碩士論文。（未出版）
- 顧承宇、翁孟嘉、高憲彰、陳建忠與李怡先（2006）岩盤工程研討會論文集，387-396。

英文部份：

- Allen, P. A. (1997). Earth surface processes. *Blackwell, London*, 124pp.
- Anderson, R. S. (1994). Evolution of the Santa Cruz Mountains, California, through tectonic growth and geomorphic decay. *Journal of Geophysical Research*, 99, 20161-20179.
- Antonioli, F., L. Ferranti, K. Lambeck, S. Kershaw, V. Verrubbi, and G. Dai-Pra (2006). Late Pleistocene to Holocene record of changing uplift in southern Calabria and northeastern Sicily (southern Italy, Central Mediterranean Sea). *Tectonophysics*, 422, 23-40.
- Boehler, W., and A. Marbs (2003). Investigating laser scanner accuracy, 19pp.
- Bose, M. (2006). Geomorphic altitudinal zonation of the high mountains of Taiwan. *Quaternary International*, 147, 55-61.
- Bridgland, D. R. (2000). River terrace systems in north-west Europe: An archive of environmental change, uplift and early human occupation. *Quaternary Science Reviews*, 19, 1293-1303.
- Brunsden, D., and J. C. Lin (1991). The concept of topographic equilibrium in neotectonic terrains. *Neotectonics and Resources*, 120-143.
- Burbank, D. W., J. Leland, E. Fielding, R. S. Anderson, N. Brozovic, M. R. Reid, and C. Duncan (1996). Bedrock incision, rock uplift and threshold hillslopes in the northwestern Himalayas. *Nature*, 379, 505-510.
- Burbank, D. W., A. E. Blythe, J. Putkonen, B. P. Sitaula, E. Gabet, M. Oskin, A. Barros, and T. P. Ojha (2003). Decoupling of erosion and precipitation in the Himalayas. *Nature*, 426, 652-655.
- Chen, W. S., M. T. Huang, and T. K. Liu (1991). Neotectonic significance of the Chimei fault in the Coastal Range, eastern Taiwan. *Proceedings of the Geological Society of China*, 34, 43-56.
- Chen, Y. G., and T. K. Liu (2000). Holocene uplift and subsidence along an active tectonic margin southwestern Taiwan. *Quaternary Science Reviews*, 19, 923-930.

- Dadson, S. J., N. Hovius, H. Chen, W. B. Dade, M. L. Heieh, S. D. Willett, J. C. Hu, M. J. Horng, M. C. Chen, C. P. Stark, D. Lague, and J. C. Lin (2003). Links between erosion, runoff variability and seismicity in the Taiwan orogen. *Nature*, 426, 648-651.
- Fenton, C. R., R. H. Webb, P. A. Pearthree, T. E. Cerling, and R. J. Poreda (2001). Displacement rates on the Toroweap and Hurricane faults: Implications for Quaternary downcutting in the Grand Canyon, Arizona. *Geology*, 29, 1035-1038.
- Fuller, C. W., S. D. Willett, N. Hovius, and R. Slingerland (2003). Erosion rates for Taiwan mountain basins: New determinations from suspended sediment records and a stochastic model of their temporal variation. *The Journal of Geology*, 111, 71-87.
- Gregory-Wodzicki, K. M. (2000). Uplift history of the Central and Northern Andes: A review. *Geological Society of America Bulletin*, 122, 1091-1105.
- Gulyaev, S. A., and J. S. Buckeridge (2004). Terrestrial methods for monitoring cliff erosion in an urban environment. *Journal of Coastal Research*, 20 (3), 871-878.
- Hartshorn, K., N. Hovius, W. B. Dade, and R. L. Slingerland (2002). Climate-driven bedrock incision in an active mountain belt. *Science*, 297, 2036-2038.
- Hovius, N. (1995). Macro scale process systems of mountain belt erosion and sediment delivery to basins. [Ph.D. thesis]: Oxford, United Kingdom, University of Oxford, 232pp.
- Hovius, N., C. P. Stark, H. T. Chu, and J. C. Lin (2000). Supply and removal of sediment in a landslide-dominated mountain belt: Central Range, Taiwan. *Journal of Geology*, 108, 73-89.
- Hovius, N., and C. P. Stark (2006). Landslide-driven erosion and topographic evolution of active mountain belts. *Landslides from massive rock slope failure*, 49, 573-590.

- Hsieh, M. L., P. M. Liew, and M. Y. Hsu (2004). Holocene tectonic uplift on the Hua-tung coast, eastern Taiwan. *Quaternary International*, 115- 116, 47-70.
- Huang, M. H., J. C. Hu, C. S. Hsieh, K. E. Ching, R. J. Rau, E. Pathier, B. Fruneau, and B. Deffontaines, (2006). A growing structure near the deformation front in SW Taiwan as deduced from SAR interferometry and geodetic observation. *Geophysical Research Letters*, 33, L12305.
- Li, Y. H. (1976). Denudation of Taiwan Island since the Pliocene Epoch. *Geology*, 4, 105-107.
- Liew, P.M., P. A. Pirazzoli, M. L. Hsieh, M. Arnold, J. P. Barusseau, and M. Fontugne (1993). Holocene tectonic uplift deduced from elevated shorelines, eastern Coastal Range of Taiwan. *Tectonophysics*, 222, 55-68.
- Lin, C.H., Y.H. Yeh, H.Y. Yen, K.C. Chen, B.S. Huang, S.W. Roecker, and J.M. Chiu (1998). Threedimensional elastic wave velocity structure of the Hualien region of Taiwan: Evidence of active crustal exhumation. *Tectonics*, 17, 89-103.
- Liu, C.C., and Yu, S.B. (1990). Vertical crustal movements in eastern Taiwan and their tectonic implications. *Tectonophysics*, 183, 111-120.
- Liu, C.H. (1995). Geodetic monitoring of mountain building in Taiwan (abstr.). *Eos, Trans. Am. Geophys. Un.*, 76,636.
- Liu, C. S. (1998). Depositional environment and correlation of quaternary stream terraces in the Liwuchi valley, Tailuko national park. *Journal of the Geological Society of China*, 41, 1, 81-107.
- Liu, T. K., Y. G. Chen, W. S. Chen, and S. H. Jiang(2000). Rates of cooling and denudation of the Early Penglai Orogeny, Taiwan, as assessed by fission-track constraints. *Tectonophysics*, 320, 69-82.
- Lundberg, N., and R. J. Dorsey (1990). Rapid Quaternary emergence, uplift, and denudation of the Coastal Range, eastern Taiwan. *Geology*, 18, 638-641.
- Maddy, D., D. Bridgland, and R. Westaway, (2001). Uplift-driven valleyincision

- and climate-controlled river terrace development in the Thames Valley, UK. *Quaternary International*, 79, 23-36.
- Maune, D. F. (2001). Digital elevation model technologies and applications: The dem users manual, American Society for photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, Maryland.
- Molnar, P. (2003). Nature, nurture and landscape. *Nature*, 426, 612-614.
- Peng, T.H., Li, Y.H., Wu, F.T. (1977). Tectonic uplift rates of the Taiwan island since the early Holocene. *Memoir of the Geological Society of China*, 2, 57-70.
- Petley, D. N., C. N. Liu, and Y. L. Liou (1997). Geohazards in a neotectonic terrain, Taroko Gorge, eastern Taiwan. *Journal of the Geological Society of China*, 40 (1), 135-154.
- Petley, D. N., and S. Reid (1999). Uplift and landscape stability at Taroko, eastern Taiwan: In uplift, erosion and stability: Perspective on longterm landscape development (Edited by Smith, B. J., W. B. Whalley, and P. A. Warke). *Geological Society*, London. Special Publications, 162, 169-181.
- Reiners, P.W., T. A. Ehlers, S. G. Mitchell, and D. R. Montgomery (2003). Coupled spatial variations in precipitation and long-term erosion rates across the Washington Cascades. *Nature*, 426, 645-647.
- Sahagian, D., A. Proussevitch, and W. Carlson (2002). Timing of Colorado Plateau uplift: Initial constraints from vesicular basalt-derived paleoelevations. *Geological Society of America*, 30, 807-810.
- Schaller, M., N. Hovius, S. D. Willett, S. I. Ochs, H. A. Synal, and M. C. Chen (2005). Fluvial bedrock incision in the active mountain belt of Taiwan from in situ-produced cosmogenic nuclides. Fluvial bedrock incision in Taiwan. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30, 955-971.
- Schlunegger, F., and M. Hinderer (2001). Crustal uplift in the Alps: why the drainage pattern matters. *Terra Nova*, 13, 425-432.
- Schoenbohm, L. M., K. X. Whipple, B. C. Burchfiel, and L. Chen, (2004).

- Geomorphic constraints on surface uplift, exhumation, and plateau growth in the Red River region, Yunnan Province, China. *Geological Society of America Bulletin*, 116, 895-909.
- Seno, T. (1993). A model for the motion of the Philippine sea plate consistent with Nuvel-1 and geological data. *Journal of Geophysical Research*, 98, 17941-17948.
- Shyu, J. B. H., K. Sieh, Y.G. Chen, and L. H. Chung (2006). Geomorphic analysis of the Central Range fault, the second major active structure of the Longitudinal Valley suture, eastern Taiwan. *Geological Society of America Bulletin*, 118, 1447-1462.
- Sibuet, J. C., and S. K. Hsu (2004). How was Taiwan created?. *Tectonophysics*, 379, 159-181.
- Singh, S. K. (2006). Spatial variability in erosion in the Brahmaputra basin: causes and Impacts. *Current Science*, 90, 1272-1276.
- Song, S. R., C. M. Liu, C. H. Chen, and W. Lo (2004). Pumice layers in marine terraces: implications for tectonic uplift rates on the east and northeast coasts of Taiwan over the last hundreds of years. *Quaternary International*, 115-116, 83-92.
- Suppe, J. (1981). Mechanics of mountain building and metamorphism in Taiwan. *Memoir of the Geological Society of China*, 4, 67-89.
- Teng, L.S., (1982). Stratigraphic and sedimentation of the Shui lien Conglomerate, northern Coastal Range, eastern Taiwan. *Acta Geol. Taiwanica*, 21, 201-220.
- Tsao, S.H. (1996). The geological significance of illite crystallinity, zircon fission-track ages, and K-Ar ages of metasedimentary rocks of the Central Range of Taiwan. Unpubl. doctoral thesis, National Taiwan University, Taipei, Taiwan.
- Vita Finzi, C., and J. C. Lin (1998). Serial reverse and strike slip on imbricate faults: the coastal range of east Taiwan. *Geology*, 26, 279-281.

- Wang, C. H., and W. Burnett (1990). Holocene mean uplift rate across an active plate-collision boundary in Taiwan. *Science*, 248, 204-206.
- Wang, S. C., and Z. Zhang (2006). Impact of Digital Aerial Cameras on Airborne LIDAR. 25th Conference on Surveying and Spatial Information, 179-188.
- Westaway, R., D. Maddy, and D. Bridgland (2002). Flow in the lower continental crust as a mechanism for the Quaternary uplift of south-east England: constraints from the Thames terrace record. *Quaternary Science Reviews*, 21, 559-603.
- Wobus, C. W., K. V. Hodges, and X. W. Keli (2003). Has focused denudation sustained active thrusting at the Himalayan topographic front ? . *Geology*, 31, 861-864.
- Wobus, C. W., B. T. Crosby, and K. X. Whipple (2006). Hanging valleys in fluvial systems: Controls on occurrence and implications for landscape evolution. *Journal of Geophysical Research*, 111, F02017.
- Yoshimura, K., S. Nakao, M. Noto, Y. Inokura, K. Urata, M. Chen, and P. W. Lin (2001). Geochemical and stable isotope studies on natural water in the Taroko Gorge karst area, Taiwan—chemical weathering of carbonate rocks by deep source CO and sulfuric acid. *Chemical Geology*, 177, 415-430.
- Young, A.P., and Ashford, S. A. (2006). Application of Airborne LIDAR for Seacliff Volumetric Change and Beach-Sediment Budget Contributions. *Journal of Coastal Research*, 22 (2), 307-318.
- Yu, S. B., D. D. Jackson, G. K. Yu, and C. C. Liu (1990). Dislocation model for crustal deformation in the Longitudinal Valley area, eastern Taiwan. *Tectonophysics*, 183, 97-109.
- Yu, S. B., H. Y. Chen, and L. C. Kuo (1997). Velocity field of GPS stations in the Taiwan area. *Tectonophysics*, 274, 41-59.
- Yu, S. B., and L. C. Kuo (2001). Present-day crustal motion along the Longitudinal Valley Fault, eastern Taiwan. *Tectonophysics*, 333, 199-217.
- Yui, T. F., and H. T. Chu (2002). Possible factors affecting the topography of the

Backbone Range of Taiwan. *Western Pacific Earth Sciences*, 2, 105-118.

網站資料：

美國地質調查所（2009）。◦ <http://www.usgs.gov/>

太魯閣國家公園（2009）。◦ <http://www.taroko.gov.tw/>

Nikon官方網站（2009）。◦ <http://www.coolpix.com.tw/>

中央氣象局（2009）。◦ <http://www.cwb.gov.tw/>

附錄一 陸地雷射掃瞄儀反光圓柱誤差值結果(單位:公尺)

2007 年 7 月 3 日				2007 年 8 月 30 日				2007 年 11 月 16 日			
位置	編號	距離	誤差	位置	編號	距離	誤差	位置	編號	距離	誤差
1	SOCS_008	15.09	0.002	1	SOCS_00	10.711	0.002	1	SOCS_00	15.08	0.013
	SOCS_002	33.93	-0.002		SOCS_00	15.086	0.004		SOCS_00	33.919	0.022
	SOCS_003	31.58	0.001		SOCS_00	33.932	0.009		SOCS_00	3.89	0.028
	SOCS_004	60.23	-0.006		SOCS_00	31.574	0.003		SOCS_00	10.692	0.027
	SOCS_005	29.51	0		SOCS_00	29.507	-0		SOCS_00	15.069	0.01
	SOCS_006	19.02	0.004		SOCS_00	19.015	0.003	3	SOCS_00	50.219	0.042
	SOCS_007	26.48	0	2	SOCS_00	33.125	-0		SOCS_00	37.777	-0.017
	SOCS_009	10.71	0		SOCS_00	41.591	0.007		SOCS_00	26.575	0.01
	SOCS_001	60.26	0.008		SOCS_00	26.627	-0.01		SOCS_00	34.01	0.001
2	SOCS_000	42.52	0.001		SOCS_00	27.858	0.003		SOCS_00	19.198	0.004
	SOCS_001	33.35	0		SOCS_00	43.653	-0		SOCS_00	27.765	0.006
	SOCS_002	24.46	0.015		SOCS_00	34.207	-0		SOCS_00	26.764	0.006
	SOCS_003	40.16	-0.002		SOCS_00	40.414	0	4	SOCS_00	36.863	0.01
	SOCS_005	56.87	0		SOCS_00	12.581	0.009		SOCS_00	28.509	0.022
	SOCS_006	40.63	0.003		SOCS_00	37.374	-0		SOCS_00	15.637	0.007
	SOCS_007	69.79	-0.012	3	SOCS_00	39.596	-0.01		SOCS_00	40.478	-0.013
	SOCS_008	41.59	0.005		SOCS_00	45.979	0		SOCS_00	54.64	0.008
	SOCS_003	32.58	-0.002		SOCS_00	9.905	0.01		SOCS_00	40.875	-0.011
3	SOCS_001	45.07	0.001		SOCS_00	32.843	0.003		SOCS_00	70.428	0.006
	SOCS_006	57.62	-0.001		SOCS_00	29.001	-0.01		SOCS_00	30.292	0.009
	SOCS_008	11.32	0.001		SOCS_00	23.68	0.001		SOCS_00	32.718	0.016
	SOCS_002	36.33	-0.005		SOCS_00	31.361	0.002		SOCS_00	40.767	0.003
	SOCS_004	47.57	-0.001		SOCS_00	21.709	0.003		SOCS_01	31.646	0.009
	SOCS_007	57.64	0.008		SOCS_00	32.841	0.004		SOCS_01	12.877	0.067
4	SOCS_000	22.46	-0.002	4	SOCS_00	12.791	-0	5	SOCS_00	15.521	0.01
	SOCS_002	52.88	-0.001		SOCS_00	18.98	-0		SOCS_00	10.13	0.001
	SOCS_003	40.01	-0.008		SOCS_00	11.791	0.003		SOCS_00	17.272	0.005
	SOCS_004	46.43	-0.001		SOCS_00	7.752	0		SOCS_00	14.454	0.01
	SOCS_005	10.38	0.005		SOCS_00	34.318	-0.02		SOCS_00	52.049	-0.008
5	SOCS_000	21.48	-0.026		SOCS_00	30.257	0.008		SOCS_00	50.893	-0.015
	SOCS_001	31.98	0.006		SOCS_00	64.02	0		SOCS_00	34.373	0.003
	SOCS_002	35.78	0.002		SOCS_00	4.702	0.004		SOCS_00	64.323	0.008
	SOCS_003	48.91	0.004	5	SOCS_00	68.053	0.004		SOCS_00	77.387	0

	SOCS_004	37.02	0.001		SOCS_00	65.644	-0.01		SOCS_01	2.468	0.003
	SOCS_005	15.71	0.005		SOCS_00	70.954	-0		SOCS_01	12.014	-0.001
	SOCS_007	56.8	-0.003		SOCS_00	44.21	0.007		SOCS_01	17.512	0.003
	SOCS_008	63.59	-0.001		SOCS_00	40.793	-0.02	6	SOCS_00	70.73	-0.006
	SOCS_009	42.64	0.008		SOCS_00	14.004	0.013		SOCS_00	70.456	0.004
	SOCS_010	13.15	0.007						SOCS_00	66.668	0.008
	SOCS_007	35.44	0.006						SOCS_00	40.19	0.007
6	SOCS_001	41.48	-0.007						SOCS_00	67.172	0.005
	SOCS_008	13.53	0.001						SOCS_00	26.09	-0.025
	SOCS_002	38.11	-0.005						SOCS_00	26.508	-0.018
	SOCS_004	48.87	0.002						SOCS_00	12.842	0.014
	SOCS_003	33.53	0.001						SOCS_00	4.813	-0.007
	SOCS_006	32.08	-0.004								
	SOCS_007	26.64	0.011								
	SOCS_008	28	-0.003								
	SOCS_009	27.91	-0.001								
	SOCS_011	45.56	0								
8	SOCS_000	36.21	-0.001								
	SOCS_003	17.79	-0.001								
	SOCS_004	9.151	-0.002								
	SOCS_005	6.591	0.012								
	SOCS_008	4.808	0.003								
	SOCS_010	31.94	0.005								

附錄二 航空照片基本資料及相機參數

2003 年 10 月航空照片資料

拍攝時間	任務航次	相片編號	相機代號	相機焦距	航高	基本圖圖號
2003/10/23 10:11 am	92R117	124	RMK TO P1	152.818 公釐	4536 公尺	97213036
2003/10/23 10:11 am	92R117	125	RMK TOP1	152.818 公釐	4534 公尺	97213036

(資料來源：農林航空測量所)

2006 年 12 月航空照片基本資料

拍攝時間	任務航次	相片編號	相機代號	相機焦距	航高	基本圖圖號
2006/12/08 10:11 am	95R054	12	RMK TO P1	152.818 公釐	4505 公尺	97213035
2006/12/08 10:11 am	95R054	13	RMK TOP1	152.818 公釐	4507 公尺	97213035

(資料來源：農林航空測量所)

2007 年 9 月航空照片基本資料

拍攝時間	任務航次	相片編號	相機代號	相機焦距	航高	基本圖圖號
2007/09/26 12:03 pm	96R025	273	RMK TO P2	152.242 公釐	2429 公尺	97213046
2007/09/26 12:04 pm	96R025	274	RMK TOP2	152.242 公釐	2427 公尺	97213046

(資料來源：農林航空測量所)

RMK TOP1 相機參數

框標點	X (mm)	Y (mm)
1	113.021	0.004
2	-112.988	0.005
3	0.011	113.015
4	0.012	-112.971
5	113.008	113.009
6	-112.986	-112.992
7	-112.99	113.003
8	113.018	-112.990
PPA	0.004	-0.006
焦距	152.818	

(資料來源：農林航空測量所)

RMK TOP2 相機參數

框標點	X (mm)	Y (mm)
1	113.009	0.015
2	-112.986	0.009
3	0.006	113.008
4	0.002	-112.988
5	113.013	113.019
6	-112.995	-112.978
7	-112.991	113.010
8	113.004	-112.980
PPA	0.000	0.011
焦距	152.242	

(資料來源：農林航空測量所)

附錄三 工作情形與景點照片



附圖 3-1
下至河谷嘗試對長
春祠建物進行陸地
3D 雷射掃瞄。



附圖 3-2
於靳珩橋上對印地
安人頭河谷進行陸
地 3D 雷射掃瞄。



附圖 3-3
為取得良好掃瞄位
置，儀器架設常需配
合實地情況。



附圖 3-4
綠水河谷陸地 3D 雷射掃瞄情形。



附圖 3-5
白沙橋河谷陸地 3D 雷射掃瞄情形。



附圖 3-6
靳珩峽谷明隧道陸地 3D 雷射掃瞄情形。



附圖 3-7
慈母橋青蛙石陸地
3D 雷射掃瞄情形。



附圖 3-8
錐麓斷崖陸地 3D 雷
射掃瞄情形。



附圖 3-9
立霧溪口錦文橋陸
地 3D 雷射掃瞄情
形。



附圖 3-10
白沙橋曲流陸地 3D
雷射掃瞄情形。



附圖 3-11
於反光圓柱位置以
轉點釘做標記。



附圖 3-12
九曲洞進行 3D 雷射
掃瞄，巧遇其他研究
團隊。



附圖 3-13
一線天掃描情形，有時會因距離過遠而超過儀器掃描範圍。



附圖 3-14
反光圓柱、反光腳架的擺設位置是掃描過程的重要關鍵。



附圖 3-15
於錦文橋橋頭水準點架設 GPS 接收站。



附圖 3-16
新城國小操場測量
GPS 方位。



附圖 3-17
亞泥宿舍網球場測
量 GPS 方位。



附圖 3-18
於台九線新城段安
全島上水準點架設
GPS 接收站。



附圖 3-19
布洛灣上臺地鑽探
地點會勘情形



附圖 3-20
旋鑽機架設完成，開
始鑽探。



附圖 3-21
地質鑽探工作情形。



附圖 3-22
剛取出的地質岩心



附圖 3-23
將岩心標本由套管
中推出。



附圖 3-24
深度 47.4 公尺處，
約 2 公尺的砂沉
積，為岩心紀錄中較
特殊的部份。



附圖 3-25
紀錄地質岩心，圖中
岩心標本為深度 0
公尺到 88 公尺。



附圖 3-26
劉瑩三老師、顏君毅
老師、謝孟龍老師共
同視察鑽探結果。



附圖 3-27
燕子口全測站儀架
設。



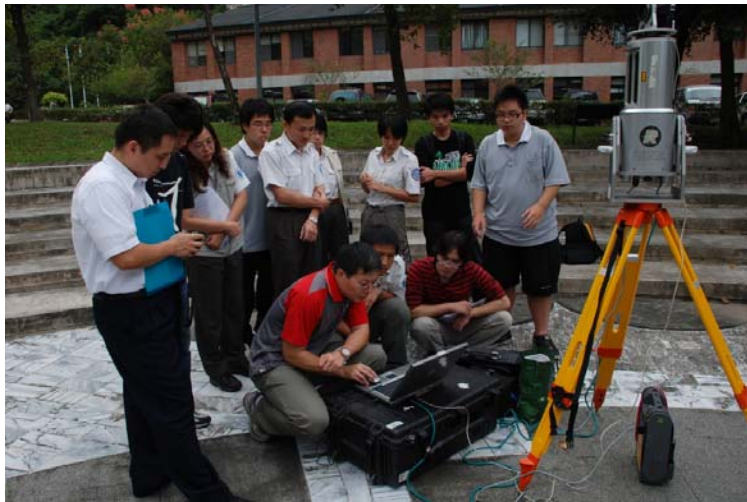
附圖 3-28
閣口台地全測站儀
測量情形。



附圖 3-29
志工教育訓練－劉
瑩三老師室內上課
情形。



附圖 3-30
志工教育訓練－張
有和老師室外上課
情形。



附圖 3-31
實地操作 3D 雷射掃
瞄儀軟體。



附圖 3-32
流芳橋峽谷一景。



附圖 3-33
白沙橋曲流，此處為
地質交界帶，河床遍
布大理岩與片麻岩。



附圖 3-34
九曲洞布道，為防止落石
掉落造成遊客傷害，已設
立防護棚。



附圖 3-35
九曲洞溪水流切情形。



附圖 3-36
九曲洞一線天。



附圖 3-37
水流切出九曲洞魚
躍龍門的地質奇景。



附圖 3-38
綠水河谷亦為地質
交界帶。



附圖 3-39
靳珩峽谷一景。



附圖 3-40
靳珩峽谷一景。



附圖 3-41
由錐麓古道俯拍中
橫公路。



附圖 3-42
清水斷崖一景。



附圖 3-43
印地安人頭一景。



附圖 3-44
長春祠一景。



附圖 3-45
慈母橋青蛙石一景。



附圖 3-46
立霧溪沖積
扇。

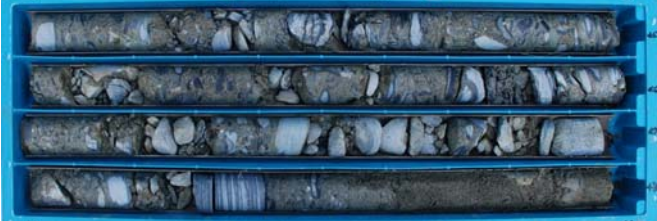


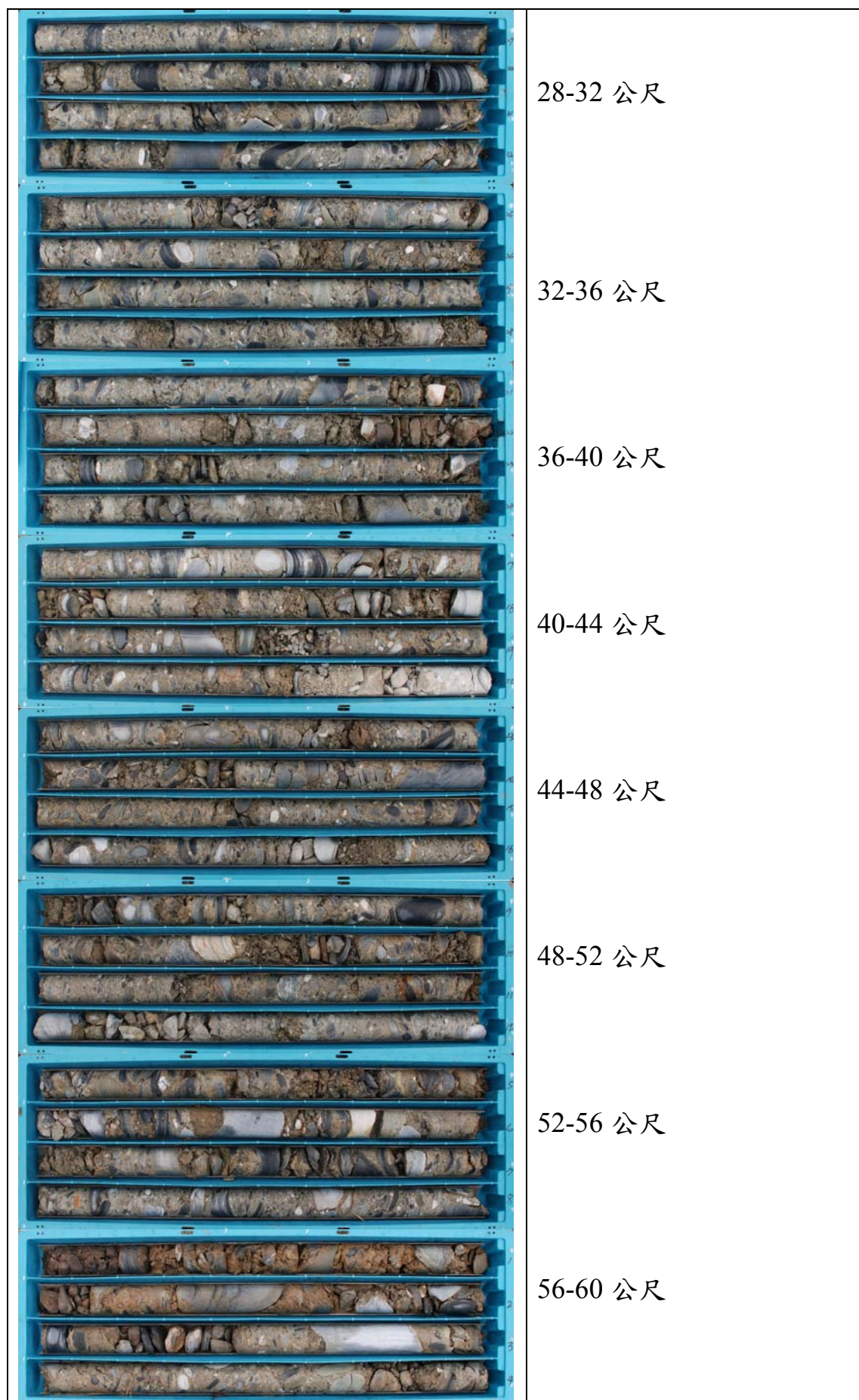
附圖 3-47
神秘谷水石之
美。

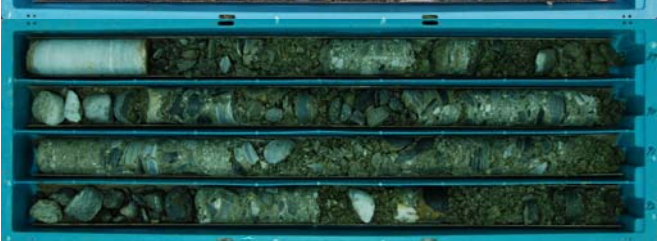


附圖 3-48
布洛灣景觀。

附錄四 地質鑽探所得岩心照片（布洛灣上台地）

	0-4 公尺
	4-8 公尺
	8-12 公尺
	12-16 公尺
	16-20 公尺
	20-24 公尺
	24-28 公尺



	60-64 公尺
	64-68 公尺
	68-72 公尺
	72-76 公尺
	76-80 公尺
	80-84 公尺
	84-88 公尺
	88-92 公尺

	92-96 公尺
	96-100 公尺
	100-105 公尺
	105-110 公尺
	110-115 公尺
	115-120 公尺
	120-125 公尺
	125-130 公尺

附錄五 期中審查會議紀錄

副本

檔 號：

保存年限：

太魯閣國家公園管理處 函

機關地址：97253花蓮縣秀林鄉富世村富世291號

聯絡人：高伙

聯絡電話：03-8621100#703

電子郵件：kaotzu@taroko.gov.tw

傳真：03-8621435

97003

花蓮市華西街123號

受文者：劉瑩三教授

發文日期：中華民國98年7月9日

發文字號：太保字第0980012519號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：普通

附件：期中簡報紀錄一份

主旨：檢送本處98年度委託辦理計畫「太魯閣峽谷景觀發育歷史研究及美質地景監測計畫第一期」期中簡報紀錄一份，請 查照。

正本：中華民國國家公園學會

副本：內政部營建署、劉瑩三教授、本處處長室、各課室站、保育研究課

處長 游堂良

太魯閣國家公園管理處 98 年度委託辦理計畫
「太魯閣峽谷景觀發育歷史研究及美質地景監測計畫第一期」期中簡報紀錄

時間：98 年 6 月 11 日(星期四)上午 10 點 0 分

地點：本處會議室

主持人： 記錄：高欣

報告人：劉榮三 王有和

出席 簽到處

許秘書英文

解說教育課 黃嘉強 余夏蓮

企劃組理課

環境維護課 簡文偉

遊憩服務課 林品升 劉若文

保育研究課 陳俊山 謝娥 林文 張玉清

天祥管理站

布洛灣管理站 邱媚玟

合歡山管理站

蘇花管理站

東華大學 李光中

太魯閣國家公園管理處 98 年度委託辦理計畫
「太魯閣峽谷景觀發育歷史研究及美質地景監測計畫第一期」期中簡報紀錄

時間：98 年 6 月 11 日(星期四)上午 10 點 0 分

地點：本處會議室

主持人： 記錄：高欣

報告人：

出席 簽到處

營建署 黃瑞雲

梁真帆 林麗秋 張錫三

甲、 報告：（略）

乙、 討論：

1. 劉瑩三/張有和：

本案為研究地形變化而需要部分相關測量工作，但因測量所需之參考點不足（一等一級水準點），建議由管理處另個案辦理，未來工程或相關計畫一定會用得到，因為目前無參考點，所以採用相對之基準點。

2. 環境維護課簡民傑：

實質之基準點如確實有其需要，請老師再與本課研議。

3. 李光中教授：

因為個人去年的先期研究看到的是景觀美質與地殼地質的特出性，後續如可確實建立基準點，應持續進行長期調查研究，建立可以與國際討論比較之相關背景資訊，例如河流下切與地殼抬升等更精確的科學數據，說不定對管理處提出爭取列名世界遺產有幫助。

丙、 結論：

1. 本研究案成果可提供國家公園更了解峽谷生成之歷史與景觀變遷，請受託單位繼續辦理補充相關調查資料。

2. 本案期中簡報內容審核通過，並請依合約辦理後續研究與作業。

附錄六 期中教育訓練相關資料

【太魯閣峽谷景觀發育歷史研究及美質地景監測計畫第一期】

【太魯閣國家公園園區急難處理模式與遊憩安全監測第一期】 二案志工培訓課程表

日期：2009/10/8(四)PM 13：20

地點：太魯閣國家公園管理處環境教育中心

主持人：劉瑩三教授、張有和教授、戴文凱教授

時間	內容	講師
13:20~13:30	報到領取資料	—
13:30~14:00	本計畫研究內容之概述	劉瑩三老師
14:00~14:30	3D 雷射掃描儀之應用	張有和老師
14:30~15:20	儀器操作	張有和老師
15:20~16:40	體驗運動生理於登山遊憩安全監測之運用	戴文凱老師

【太魯閣峽谷景觀發育歷史研究及美地景監測計畫第一期】

【太魯閣國家公園國區急難處理模式與遊憩安全監測第一期】

二案志工培訓

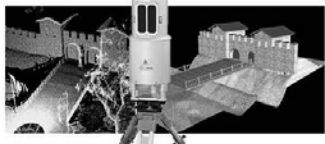
單位	簽到	備註
	徐惠枝	
保育課	周恩惠	
	林佩蓉	
五刻課	蔡登吉	
	李麗文	
	何雅玲	
銀髮維護課	戴正忠	
	高欣	
車庫大學	梁克帆	
~	林松欽	
~	朱德原	

單位	簽到	備註
志願大學	胡文彬	
~	蕭敬勳	
~	江永勝	
~	蔡博文	
~	郭育宏	
志工培訓	卓茂學	
	黃志強	

教育訓練課程內容：

高工培訓課程

陸地三維雷射掃描技術於地表變遷之應用



東華大學地球科學研究所
張有和老師

高工培訓課程

前言

工程測量與各項民生工程息息相關，舉凡土木建設工程、防災與災害調查、建築古蹟維護、坑道與洞穴測量、工廠設施與管線配置、及自然景觀維護等，皆須實施現地的測量以獲得三維實景的空間資訊，是目前應用最廣泛的測量技術。

工程測量的特性有：
測量範圍小：被測物之空間關係複雜且可能正處於變遷化狀態；應用條件是必須快速獲得測量資訊；時常會遇到困難甚至危險的測量環境，使得測量工作倍加困難。

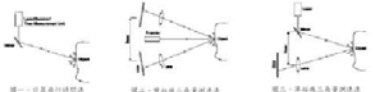
三維雷射掃描儀(3D Laser Scanner)是內含掃描儀之快速雷射測距儀，不需反射棱鏡即可精確測得掃描點之三維坐標，其掃描速度可達數萬點/秒，此種快速獲得物空間三維資訊的儀器，具有相當大的應用潛力與需求，許多困難的工程測量問題，將因此種儀器的引進迎刃而解(Cuo et al., 2000; Naghwa et al., 2002)。其長處有：
雷射掃描儀只需能有一個儀器立足點，即能以不接觸被測物的方式快速獲得掃描範圍內所有高度且高精度的三維點位，經由配合的資料處理軟體即可形成三維面圖形的空間資料；雷射掃描儀另一特點是主動式雷射不需可見光光源，所以在黑暗中亦可進行量測，此種特性對坑道或自然洞穴之測量非常有助；有可見光源時，可同時獲取被測點的彩色值，形成三維影像(3D Image)，可方便建立虛擬實境。

曾義星與史大元(2002)

高工培訓課程

三維雷射掃描原理

計算飛行時間法(Time-of-Flight)：利用計算雷射發射到測點反射回感測器之往返飛行時間求得掃描點至待測點之距離觀測量，據此計算待測點之座標位置(如圖一)



圖一：計算飛行時間法

圖二：雙相機三角測量法

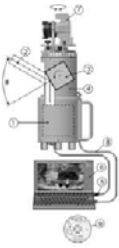
圖三：單相機三角測量法

雙相機三角測量法(Triangulation principle-double camera solution)：利用雷射光發射於待測點上時，瞬間由兩側之相機攝影站光點形成三角關係，而兩相機位置為固定基線長度，藉以計算待測點之座標位置(如圖二)圖

單相機三角測量法(Triangulation principle-single camera solution)：利用雷射光發射於待測點上時，瞬間由另一側之相機攝影站光點形成三角關係，而雷射光與相機位置為固定基線長度，藉以計算待測點之座標位置(如圖三)圖

高工培訓課程

三維雷射掃描原理(以RIEGL LMS Z-系列儀器為例)



(1)Range finder electronic:
三維雷射掃描儀核心處理器,重覆產生帶時間訊息之雷射與接收反射回來之雷射訊號(20000點/秒)

(2)Laser beam:
雷射射出窗口,垂直80°-90°,水平0-360°

(3)Polygon (4)Optic head:
旋轉鏡與光學儀器使(1)產生雷射可以光經(4)分光再藉由尺輪帶動(3)旋轉到不同角度

(5) TCP/IP Ethernet interface (6) Laptop

(7)Camera (8)USB/Firewire interface

(9)RISCAN PRO Software:
傳輸線(5)由電腦(6)經軟體(9)下達指令(掃描範圍,解析度等),再由(5)收回雷射訊號處理,照片訊號則由相機拍攝後由(8)傳回處理

高工培訓課程

三維雷射掃描訊號種類



圖一：點雲影像 掃描儀: Z30i GoloB, 2002

圖二：雷射影像影像 掃描儀: Z30i GoloB, 2002

圖三：三維光學影像 掃描儀: Z30i GoloB, 2002

曾義星與史大元(2002)

高工培訓課程

陸地三維雷射掃描儀種類

依掃描距離遠近與空間解析度與準確度不同可以區分為遠距離(> 200 m),中距離(20-200 m),近距離(<~10 m)與極短距離四類

志工培訓課程

3D雷射掃描儀 (1/4)

奧地利 Dibat Geoscanner



- 有效掃描距離
2500 m
- 精度
2500 m ± 25 mm
1500 m ± 15 mm
- 應用
危險性邊坡監測
土石流量化分析
非住宅區地形圖測繪
遠距離土方資料蒐集

志工培訓課程

Riegl LMS Z620i



Main Features	Main Applications
• Measurement range 2 - 2000 m	• Topography & Mining
• Accuracy 10 mm	• Monitoring
• Laser class 1	• Archaeology & Cultural Heritage
• Measurement angle (horizontal) 0-360°	• Civil Engineering
• Inclination sensor (integrated)	
• Internal data logger (optional)	
• Target detection mode: find target, hold target or following	

志工培訓課程

3D雷射掃描儀 (2/4)

法國 Mensi GS200



- 有效掃描距離
350 m
- 精度
200 m ± 6 mm
100 m ± 3 mm
- 應用
古蹟建物測繪
橋樑、隧道結構變形分析
道路鋪面平坦度分析
儲油槽結構變形分析
交通事故現場重建

志工培訓課程

Riegl LMS Z420i



Main Features	Main Applications
• Measurement Range 2 - 1000 m	• Topography & Mining
• Accuracy 10 mm	• Monitoring
• Laser class 1	• Archaeology & Cultural Heritage
• Measurement angle (horizontal) 0-360°	• Civil Engineering
• Inclination sensor (optional)	
• Internal data logger (optional)	
• Target detection mode: find target, hold target or following	

志工培訓課程

Riegl LMS Z390i



Main Features	Main Applications
• Measurement range 2 - 400 m	• Archaeology & Cultural Heritage
• Accuracy 10 mm	• Monitoring
• Laser class 1	• Archaeology & Cultural Heritage
• Measurement angle (horizontal) 0-360°	• Civil Engineering
• Inclination sensor (integrated)	
• Internal data logger (optional)	
• Target detection mode: find target	

志工培訓課程

3D雷射掃描儀 (3/4)

法國 Mensi S25



- 有效掃描距離
25 m
- 精度
25 m ± 0.6 mm
10 m ± 0.3 mm
- 應用
古蹟建物測繪
橋樑、隧道裂縫偵測
大型文物修補重建
工業設備表面變形偵測
飛安檢查

志工培訓課程

3D雷射掃描儀 (4/4)

日本 Konica-Minolta vivid 910

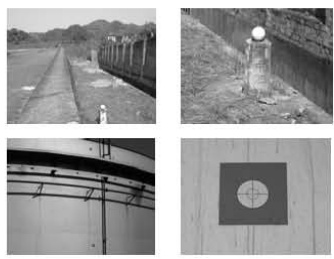


- 有效掃描距離
2.5 m
- 精度
 ± 0.008 mm
- 應用
雕塑測繪
文物數位典藏
掃描複製
模具設計
醫療輔助

志工培訓課程

應用

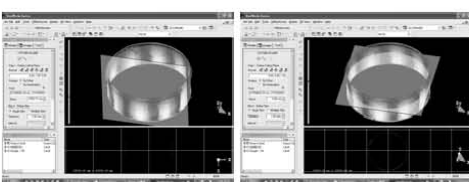
儲槽變形安全評估量測(1/3) (葉大綱2006)



中油苗栗儲槽

志工培訓課程

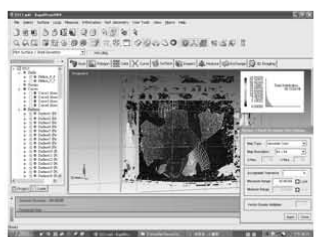
儲槽變形安全評估量測(2/3)



儲槽垂直度掃描量測 儲槽斷面變形掃描量測

志工培訓課程

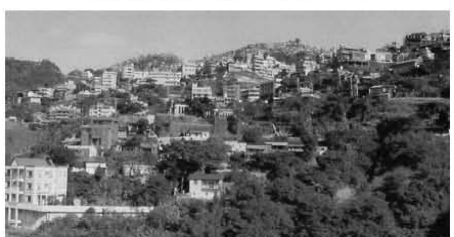
儲槽變形安全評估量測(3/3)



儲槽表面三維變形量測分析

志工培訓課程

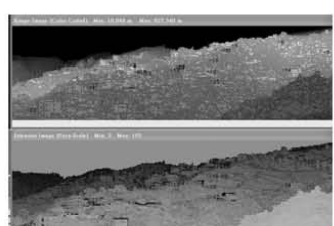
九份地滑監測 (1/3) (葉大綱2006)



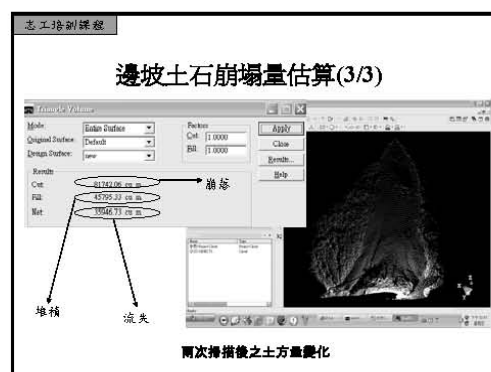
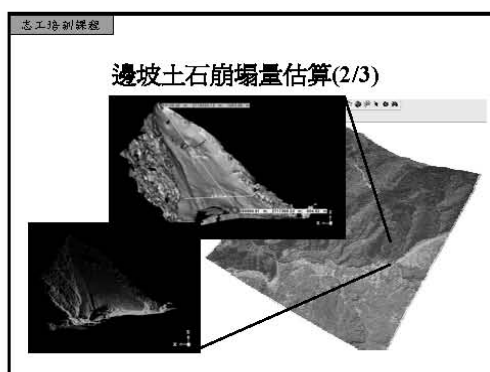
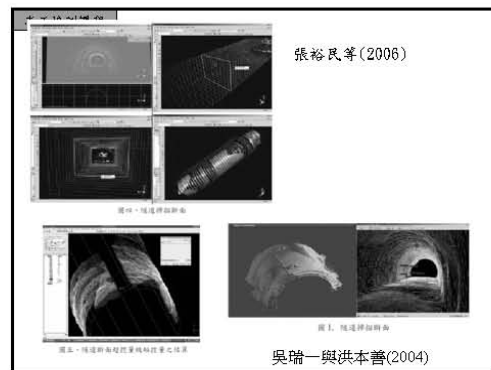
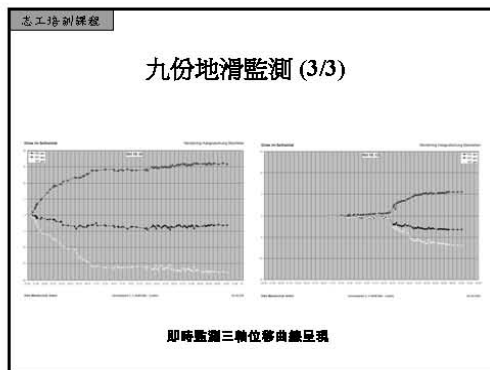
監測地區全景

志工培訓課程

九份地滑監測 (2/3)



掃描點雲成果——單色表示(上), 反射強度表示(下), 紅點表示監測點



志工培訓課程

介紹 Ring LMS 2.50A 二階雷射掃描儀




Technical Data for LMS-2500	
Range/line Performance %	
Eye safety class according to EN 60825-1 2007	Laser Class 1
Measurement range m	0 -
for natural targets, °	80° up to 200 m
for natural targets, °	10° up to 60 m
Maximum range	3 m
Measurement accuracy %	typ. ± 6 mm (average), typ. ± 12 mm (single shot)
Measurement resolution	3 mm
Measurement rate	up to 12 000 points @ low scanning rate (scanning mirror) up to 8 000 points @ high scanning rate (scanning mirror)
Laser wavelength	904 nm

志工培訓課程

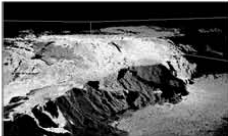
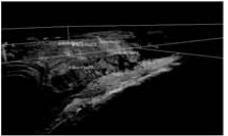







志工培訓課程

花蓮奇萊鼻海崖

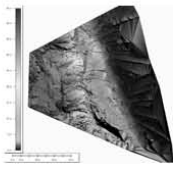
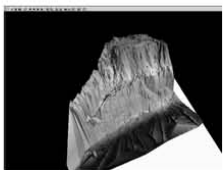



2008/08/30 陸地三維雷射掃描儀點雲圖

2008/08/30 陸地三維雷射掃描儀彩色圖

志工培訓課程

花蓮奇萊鼻海崖

2008/08/30 陸地三維雷射掃描儀 3D 模型

附錄七 期末審查會議紀錄

以稿代簽

檔 號：0604

保存年限：10

太魯閣國家公園管理處（函）稿

機關地址：花蓮縣秀林鄉富世村富世291號

聯絡人：高欣

聯絡電話：03-8621100#702

電子郵件：kaotzu@taroko.gov.tw

傳真：03-8621435

受文者：如行文單位

發文日期：

承辦單位：保育研究課

發文字號：太保字第0980014958號

收文日期：

速別：普通件

收文字號：

密等及解密條件或保密期限：普通

附件：期末簡報紀錄一份

主旨：檢送本處98年度委託辦理計畫「太魯閣峽谷景觀發育歷史研究及美質地景監測計畫第一期」期末簡報紀錄一份，請 查照。

正本：中華民國國家公園學會

副本：內政部營建署、劉瑩三教授、本處處長室、各課室站、保育研究課
處長 游 ○ ○

第一層決行

承辦人

981224
技士 高欣

秘書

秘書室主任 許英文
981224/1421

處長

24
游登良(乙)
981224/1421

課長

課長 陳俊山

副處長

發文

監印



太魯閣：太保字0980014958

太魯閣國家公園管理處 98 年度委託辦理計畫
「太魯閣峽谷景觀發育歷史研究及美質地景監測計畫第一期」
期末簡報紀錄

時 間：98 年 12 月 15 日(星期二)下午 14 點 0 分	
地 點：本處會議室	
主持人：記 錄：高 欣	
報告人：	
出席	簽 到 處
許秘書英文	
解說教育課	黃志強 
企劃經理課	蔡聖志
環境維護課	李永清 代
遊憩服務課	張淑貞
保育研究課	傅俊山 柯泉高 欣 林佩蓉 林居興
天祥管理站	董清波
布洛灣管理站	邱紹印
合歡山管理站	
蘇 花管理站	

甲、報告：（略）

乙、討論：

解說教育課陳顧淋：

1. 本案所蒐集與建立之圖資(包含福衛二號之圖資)在版權與使用權上，是否可供本處之解說教育之使用，另本處今年已針對幾個區域(九曲洞步道)進行行 3D 光達之測量，應可提供給研究團隊進行相關監測分析使用。
2. 關於儀器之使用年限是否會影響相測量的增準度。

布洛灣管理站邱媚真主任：

1. 崩塌地土方處理老師是否有相關建議。
2. 關於布洛灣進行鑽探之岩心可否與人文歷史做連結，並作為解說教育展示之題材運用。

劉瑩三/張有和教授：

1. 關於本案所產出的圖資當然可以提供管理處作解說教育等相關應用。至於處內進行之 3D 光達之測量資料經過座標之轉換或校正，也可供作相關監測與分析之用。
2. 關於儀器之衰退確實會影響可測量之範圍，但可以測量的位製作較短距離之測量，不影響其精確度。
3. 關於崩塌地土方的問題，河流自淨有其一定能力，但目前無數據可以去說明。另公路單位應已有編列棄土之相關運輸費用，並有棄土場等規劃，建議由權責單位處理較為優先。
4. 鑽探之岩心確實可與人文歷史做連結，運用於峽谷地質地形與人文相關的解說教育展示題材。

丙、結論：

1. 本研究案成果可提供國家公園更了解峽谷生成之歷史與景觀變遷，請受託單位繼續辦理補充相關調查資料。
2. 本案期末簡報內容審核通過，並請依合約辦理後續驗收與結案事宜作業。