

# 103 年度發展高光譜與光達 技術結合之應用工作案

## 工作總報告書

計畫主持人：王驥魁 副教授

共同主持人：張智安 副教授

林志交 測量技師

委託單位：內政部

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

國立交通大學

中興測量有限公司

中華民國 103 年 11 月 27 日

## 摘要

高光譜與空載光達技術結合，為偵測及測繪地物之更有利技術。本案延續使用內政部於 101 年及 102 年辦理發展高光譜與光達技術結合之應用工作案所獲取之高光譜影像及空載光達資料，精進研發對於測繪業務更廣泛之應用。本案探討議題包含，以地面光達探討森林地區之光達點雲穿透率，並藉由空載光達點雲穿透率探討與衛星影像及植生指數之相關性，高精度數值地形模型應用於繪製林下產業道路、集水區地形變異分析、山區道路坡面水系及其變異分析之探討，並結合高光譜與空載光達資料分析土地覆類別可行性之探討。本案使用資料為 ATLM Pegasus 光達系統搭配 Itres CASI-1500 高光譜系統所獲取，包含火山測試區與水庫測試區二測試區。本案成果顯示，地面光達於 4 到 10 月之現地資料所推估之森林穿透率並無顯著差異，本案執行時期雖包含四季之四次現地資料，但並未包含測試區之落葉時節，故可推測此期間內植群之物候無顯著改變。由遙測衛星影像、植生指數與空載光達點雲穿透率之相關性測試成果顯示，兩測試區之森林穿透率與葉面積指數的線性迴歸  $R^2$  達 0.596，當穿透率越高時葉面積指數愈低。由光達資料疏化測試結果顯示，當資料疏化至點雲密度 1.3 點/平方公尺，其 DEM 成果僅判釋 65% 之林下產業道路，且道路邊界產生較多大於 1 公尺以上的誤差量。集水區地形變異及山區道路坡面水系變異分析成果顯示，利用多期光達數值地形可有效掌握土砂侵淤量體與趨勢推估。另外，本案於結合高光譜與空載光達資料分析土地覆蓋類別之應用成果，使用像元式與物件式分類方式，皆可於二測試區獲得整體精度 78% 以上，與 Kappa 值 0.75 以上之分類成果，此外物件式分類的成果較像元式分類的成果更適合用於區塊與範圍的判斷。

## Abstract

As a succeeding project, following the 2012 and 2013 MOI projects, with an emphasis on exploiting data fusion of airborne hyperspectral and LiDAR technologies for Geomatics purposes, the goals of this project are stated as follows. Using four field collections of terrestrial laser scanner data to investigate the change of laser penetration rate of forests. To identify the relationship between laser penetration rate of forest and vegetation indices derived from satellite images. Exploring the use of high accuracy DEM for delineating understory estate road, change of landform in watershed, and delineating and analyzing the change of drainage system of small watersheds on the roadside in the mountain area. To investigate the feasibility of using integrated hyperspectral and LiDAR data for land cover classification. The remotely sensed data were collected for a volcano and reservoir area by an Itres CASI-1500 hyperspectral system and ALTM Pegasus LiDAR system, both of which were installed in the same vehicle. Our results show that no obvious change of laser penetration rate was observed in the terrestrial laser scanner data, which is due to the allowable time span for terrestrial laser field data collection does not include leaf fall events. The results also found that the laser penetration rate of the forest is negatively linear correlated with leaf area index with a  $R^2$  value of 0.596. When downsampling the original airborne LiDAR data to a point density of 1.3 point/m<sup>2</sup>, it is shown that only 65% of the estate road was correctly identified and a large portion of the edge of the estate road were identified with errors larger than 1 m. The high accuracy DEM is an effective tool for calculating sand erosion and accretion and for estimating the trend of these changes. Finally, both pixel- and object-based classification algorithms

were able to achieve at least 78% total accuracy of and 0.75 Kappa value for land cover classification when using integrated airborne hyperspectral and LiDAR data. Furthermore, the object-based classification results was more suitable for identifying polygonal and areal attributes.

## 目錄

摘要	I
Abstract	II
目錄	IV
圖目錄	VIII
表目錄	XVI
第 1 章 前言	1
第 2 章 工作項目及進度控管	3
第 3 章 測試區選定與作業計畫	5
3-1 測區選定	5
3-2 工作計畫與實施方法	7
3-2.1 研析高光譜與光達相關技術與應用研究文獻	7
3-2.2 研析森林地區之光達點雲穿透率資料	15
3-2.3 評估空載光達技術測繪林下產業道路	22
3-2.4 探討遙測衛星影像、植生指數與空載光達點雲穿透率之 相關性	26
3-2.5 集水區之地形變異分析	30
3-2.6 山區道路坡面水系及其變異分析	37
3-2.7 評估融合高光譜與空載光達資料分析土地覆蓋類別之	

可行性.....	40
第 4 章 高光谱與光達資料綜合應用成果 .....	56
4-1 研析森林地區之光達點雲穿透率資料.....	56
4-1.1 地面光達掃瞄作業.....	56
4-1.2 地面光達資料處理.....	61
4-1.3 地面光達穿透率之計算.....	68
4-2 評估空載光達技術測繪林下產業道路.....	75
4-2.1 點雲密度疏化.....	76
4-2.2 林下產業道路判釋.....	78
4-2.3 林下產業道路檢核成果.....	80
4-2.4 不同點雲密度對林下產業道路判釋之影響.....	86
4-3 探討遙測衛星影像、植生指數與空載光達點雲穿透率之相關 性 .....	91
4-3.1 衛星影像資料之取得.....	91
4-3.2 植生指標之推估.....	94
4-3.3 空載光達穿透率之計算.....	95
4-3.4 葉面積指數與空載光達穿透率之關係.....	96
4-3.5 建構空載光達穿透率與衛星影像植生指標之關係 ....	100
4-4 集水區之地形變異分析.....	108

4-4.1 數值地形資料蒐集分析.....	108
4-4.2 分析遮罩產製.....	111
4-4.3 集水區分區.....	111
4-4.4 地形變異分析.....	112
4-4.5 土砂遞移率分析.....	122
4-5 山區道路坡面水系及其變異分析.....	125
4-6 評估融合高光譜與空載光達資料分析土地覆蓋類別之可行性 .....	130
4-6.1 像元式(Pixel-based)分類.....	130
4-6.2 物件式(Object-based)分類.....	145
4-6.3 物件式分類與像元式分類比較分析.....	172
4-6.4 高光譜影像外業檢核.....	174
4-6.5 小結.....	180
第 5 章 結論與建議.....	183
5-1 結論.....	183
5-2 建議.....	184
第 6 章 參考文獻.....	186

附件一 地面光達各測站絕對中心點坐標及精度

附件二 地面光達各期各測站相對精度

附件三 林下道路導線觀測紀錄表

附件四 衛星影像植生指標與穿透率分布盒形圖

附件五 高光譜影像像元式光譜特徵與紋理測試誤差矩陣表

附件六 本案相關附件與辦理實況相片

附件七 期中報告審查委員意見及回覆

附件八 期末報告審查委員意見及回覆

附件九 中程個案計畫方案

附件十 工作計畫成果效益報告書

附件十一 科技計畫績效指標

附件十二 投稿論文 2 篇



## 圖目錄

圖 3.1 火山區測試區位置圖.....	5
圖 3.2 水庫測試區位置圖.....	6
圖 3.3 多光譜光達資料示意圖.....	9
圖 3.5 本案地面光達樣區位置圖.....	16
圖 3.6 相位式測距訊號相位差示意圖.....	17
圖 3.7 時間差量測法示意圖.....	18
圖 3.8 地面光達掃瞄與資料處理流程圖.....	20
圖 3.9 模擬空載光達雷射光之方法.....	21
圖 3.10 模擬空載光達雷射與穿透率之研究流程圖.....	21
圖 3.11 Original 半變異元模型圖.....	24
圖 3.12 測繪林下產業道路流程圖.....	24
圖 3.13 林下導線位置示意圖.....	25
圖 3.14 LAI-2000 植物冠層分析儀(Anon, 1992).....	28
圖 3.15 LAI 野外調查示意圖(引用自林子方, 2012).....	28
圖 3.16 以 2m 厚度搜尋完整地面點之示意圖.....	29
圖 3.17 集水區之地形變異分析作業流程.....	31
圖 3.18 裸露地判釋圈繪示意圖.....	32
圖 3.19 密林區之光達穿透率低導致土砂變化分析異常示意圖.....	33

圖 3.20 分析遮罩產製示意圖.....	33
圖 3.21 前、後期地形變異分析遮罩示意圖.....	34
圖 3.22 地形變異分析遮罩圖(99 年至 101 年間部分區域).....	34
圖 3.23 前、後期地形變異分析示意圖.....	35
圖 3.24 集水區系統化圖.....	36
圖 3.25 土砂輸送概念圖.....	37
圖 3.26 利用 1 公尺解析度之光達 DEM 資料產製水系圖.....	38
圖 3.27 不同時期之坡面水系變異比較圖.....	39
圖 3.28 土地覆蓋類別分類工作流程圖.....	41
圖 3.29 人工圈選訓練區及分佈圖火山區(左)、水庫區(右).....	44
圖 3.30 光達特徵示意圖.....	48
圖 3.31 光譜特徵示意圖.....	50
圖 3.32 影像分類主要步驟流程圖(Qihao,2011).....	52
圖 3.33 本案像元式分類主要步驟流程.....	53
圖 3.34 物件式分類成果示意圖.....	54
圖 3.35 檢核位置分布圖(左:火山區、右:水庫區).....	55
圖 3.36 現地調查示意圖.....	55
圖 4.1 研究區坐標轉換樁位佈設.....	56
圖 4.2 現地共軛球標擺放圖.....	57

圖 4.3 外業掃瞄情形控制點觀測.....	57
圖 4.4 雜訊資料處理.....	62
圖 4.5 自動濾除後點雲資料.....	62
圖 4.6 邊緣雜訊.....	63
圖 4.7 懸浮粒子之影響.....	63
圖 4.8 混合像元分類(Tuley& Vandapel,2005).....	64
圖 4.9 點雲上彩圖.....	65
圖 4.10 站與站之共軌球標選取.....	66
圖 4.11 掃瞄光束法平差成果.....	66
圖 4.12 點雲資料檢查.....	67
圖 4.13 地面光達點雲轉換為三維立方體示意圖.....	69
圖 4.14 模擬雷射光產製之點雲分布資料。(a)點雲俯視圖。(b)地面點與 非地面點。(c) 回波代號分布圖。.....	70
圖 4.15 樣區光達模擬魚眼展示圖.....	71
圖 4.16 四期地面光達資料模擬點雲之穿透率.....	72
圖 4.17 地面光達樣區現地概況.....	74
圖 4.18 林下產業道路測試區位置圖.....	75
圖 4.19 原始點雲產製之 DEM 及其日照陰影圖及坡度圖.....	75
圖 4.20 光達點雲疏化各密度等級之 DEM 日照陰影圖.....	77

圖 4.21 光達點雲疏化各密度等級之 DEM 坡度圖.....	77
圖 4.22 林下產業道路判釋數化成果.....	79
圖 4.23 現地測量作業圖.....	81
圖 4.24 導線測量成果圖.....	85
圖 4.25 網格式圖層向量化.....	87
圖 4.26 林下產業道路中心線長度統計結果.....	88
圖 4.27 林下產業道路邊界評估示意圖.....	88
圖 4.28 光達點雲展示林下產業道路上下坡邊界.....	89
圖 4.29 各密度等級之林下產業道路邊界距離誤差值分布圖.....	90
圖 4.30 火山測區與水庫測區之福衛二號影像(a)火山測區 FS2。(b)水庫 測區 FS2_1 衛星影像。(c)水庫測區 FS2_1 衛星影像。.....	92
圖 4.31 研究樣區範圍之 SPOT5、GeoEye 與 Worldview2 衛星影像...	93
圖 4.32 利用 ACTOR3 大氣糾正前後 SPOT5 衛星影像與 NDVI 之差異 .....	94
圖 4.33 水庫測試區 8 m 穿透率分布圖與航空照片.....	95
圖 4.34 火山測試區 8 m 穿透率分布圖與福衛 2 號衛星影像.....	96
圖 4.35 LAI 調查樣區位置圖.....	97
圖 4.36 火山與水庫測試區葉面積指數與空載光達穿透率之關係.....	99
圖 4.37 兩測試區總體葉面積指數與空載光達穿透率之關係.....	99
圖 4.38 藍色區域為穿透率小於 0.9 之區域.....	100

圖 4.39 大氣糾正對於衛星影像植生指標與穿透率分布盒形圖 .....	101
圖 4.40 大氣糾正前(左圖)後(右圖)各衛星影像穿透率與平均 NDVI 分布圖 .....	102
圖 4.41 穿透率與 4 種植生指標之相關性.....	106
圖 4.42 本計畫蒐集 3 期空載光達數值地形範圍圖.....	108
圖 4.43 各期地形未改變點位置圖.....	109
圖 4.44 前、後期地形變異分析遮罩產製成果圖.....	111
圖 4.45 集水區分區成果圖.....	112
圖 4.46 集水區編號 7 範圍內 99 年至 102 年土砂量變異區分析圖 ...	114
圖 4.47 集水區編號 10 範圍內 99 年至 102 年土砂量變異區分析圖 .	115
圖 4.48 集水區編號 42 上游 99 年至 102 年土砂量變異區分析圖 .....	116
圖 4.49 計畫範圍 99 年~101 年集水區土砂沖淤分布圖 .....	121
圖 4.50 計畫範圍 101 年~102 年集水區土砂沖淤分布圖 .....	121
圖 4.51 計畫範圍 99 年~102 年，各集水區土砂沖淤變化圖 .....	122
圖 4.52 利用 1 公尺解析度之光達 DEM 資料產製水系圖.....	125
圖 4.53 光達 DEM 資料產製水系分析異常位置.....	125
圖 4.54 光達數值地形建議編修位置圖.....	126
圖 4.55 光達數值地形建議編修位置現地摘要照片.....	127
圖 4.56 光達數值地形編修前、後水系比較圖(以 101 年 DEM 為例)	128

圖 4.57 水系改變導致道路災害位置發生變化實況照片.....	129
圖 4.58 坡面人工構造物改變導致水系變化實況照片.....	129
圖 4.59 火山測區光譜特徵整體精度長條圖.....	131
圖 4.60 紋理特徵視窗大小精度分析圖.....	132
圖 4.61 火山測區高光譜加入紋理特徵(19×19)與 NDVI 特徵分類成果 .....	133
圖 4.62 火山測區高光譜(左)與加入光譜特徵(右)影像分類成果.....	134
圖 4.63 火山測區高光譜加入光譜特徵影像與光達特徵分類成果.....	136
圖 4.64 火山測區分類成果局部放大圖.....	137
圖 4.65 水庫測區光譜特徵整體精度長條圖.....	138
圖 4.66 水庫測區像元式影像分類成果.....	142
圖 4.67 水庫測區分類成果局部放大圖.....	143
圖 4.68 國土利用調查成果(左)與像元式分類成果(右)比對圖.....	144
圖 4.69 國土利用調查成果(左)與成像元式分類成果向量(右)比對放大圖 .....	145
圖 4.70 影像分割成果(左為水庫測區，右為火山測區).....	147
圖 4.71 分割成果局部放大(左為水庫測區，右為火山測區).....	147
圖 4.72 物件形狀特徵：物件大小(左)、物件長寬比(中)、物件密度(右) .....	148
圖 4.73 特徵的數值分布(藍色為道路，黑色為裸露地).....	149
圖 4.74 樣本區人工圈選流程圖.....	149

圖 4.75 數化區位置分布圖(左:火山區、右:水庫區).....	151
圖 4.76 物件式分類成果邊界評估.....	151
圖 4.77 火山測區光譜特徵整體精度折線圖.....	153
圖 4.78 火山測區高光譜加光譜特徵(左)與整合光達資料(右)分類成果 .....	155
圖 4.79 火山測區地物光譜圖.....	155
圖 4.80 火山測區局部比較.....	156
圖 4.81 火山測區物件式各類精度長條圖.....	158
圖 4.82 水庫測區光譜特徵整體精度長條圖.....	161
圖 4.83 水庫測區高光譜加光譜特徵(左)與整合光達資料(右)分類成果 .....	162
圖 4.84 水庫測區局部比較.....	163
圖 4.85 水庫測區物件式分類各類精度長條圖.....	165
圖 4.86 高光譜影像及 Worldview-2 影像 8 波段分類精度長條圖.....	168
圖 4.87 Worldview-2 多光譜影像與高光譜影像訓練區光譜平均圖... ..	168
圖 4.88 Worldview-2 影像 4 波段與 8 波段分類精度長條圖.....	169
圖 4.89 Worldview-2 影像 8 波段影像與 4 波段影像訓練區光譜平均圖 .....	169
圖 4.90 分類成果與國土利用圖層套疊.....	171
圖 4.91 分類成果與國土利用調查圖層比較.....	172
圖 4.92 物件式成果與像元式成果比較.....	173

圖 4.93 高光譜影像分類外業屬性調查示意圖.....	174
圖 4.94 高光譜影像分類外業屬性調查與高光譜檢核樣區示意圖 .....	177
圖 4.95 水庫測區平面距離測量示意圖.....	178
圖 4.96 火山測區平面距離測量示意圖.....	178



## 表目錄

表 2.1 成果繳交項目及日期.....	3
表 2.2 工作進度甘特圖.....	4
表 3.1 各測區之坐標一覽表.....	6
表 3.2 本案相關研究文獻一覽.....	12
表 3.3 地面光達掃瞄作業時程規劃.....	17
表 3.4 地面雷射掃瞄儀規格表.....	19
表 3.5 常見之植生指標推估方式.....	27
表 3.6 水庫測區集水區內特定範圍光達數值地形資料一覽表.....	31
表 3.7 土地覆蓋分類目標設定表.....	45
表 3.8 光達分類特徵.....	46
表 3.9 光譜分類特徵.....	49
表 3.10 形狀分類特徵.....	51
表 4.1 各測區地面光達掃瞄站數統計.....	56
表 4.2 測區內三等點 TWD97【2010】坐標.....	58
表 4.3 控制點位坐標.....	59
表 4.4 導線精度.....	61
表 4.5 各測站相對坐標拼接精度(第一期).....	67
表 4.6 四期地面光達資料模擬點雲之穿透率.....	72

表 4.7 地面光達樣區主要樹種.....	73
表 4.8 各等級之平均點雲密度.....	76
表 4.9 導線控制點坐標成果表.....	80
表 4.10 附合導線測量坐標成果表.....	82
表 4.11 開放導線測量坐標成果表.....	82
表 4.12 導線精度分析統計表.....	83
表 4.13 導線觀測計算表.....	83
表 4.14 開放導線成果表.....	86
表 4.15 各密度等級數化成果對應道路邊界之檢核點數量(個數).....	89
表 4.16 火山測區與水庫測區衛星影像拍攝日期表.....	93
表 4.17 水庫測區與火山測區 LAI 蒐集位置與數據.....	98
表 4.18 穿透率與各衛星影像植生指標之敘述與相關性統計 .....	104
表 4.19 穿透率與衛星影像線性迴歸方程式.....	107
表 4.20 各期地形未改變點高程值及高程差異統計一覽表.....	110
表 4.21 計畫區內各集水區 99 年~101 年數值地形變異統計一覽表 ..	117
表 4.22 計畫區內各集水區 101 年~102 年數值地形變異統計一覽表	119
表 4.23 土砂遞移率分析統計一覽表.....	123
表 4.24 數值地形編修現地調查資料一覽表.....	127
表 4.25 火山測區光譜特徵組合影像分類測試表.....	131

表 4.26 火山測區紋理特徵組合影像分類測試表.....	132
表 4.27 火山測區分類成果表.....	134
表 4.28 火山測區 MNF 後之高光譜影像分類誤差矩陣表.....	135
表 4.29 火山測區高光譜影像加入光譜特徵分類誤差矩陣表.....	135
表 4.30 火山測區高光譜影像加入光譜與光達特徵分類誤差矩陣表.....	136
表 4.31 水庫測區光譜特徵組合影像分類測試表.....	138
表 4.32 水庫測區分類成果表.....	139
表 4.33 水庫測區 MNF 後之高光譜影像分類誤差矩陣表.....	140
表 4.34 水庫測區高光譜影像加入光譜特徵分類誤差矩陣表.....	140
表 4.35 水庫測區高光譜影像加入光譜與光達特徵分類誤差矩陣表.....	141
表 4.36 火山測區光譜特徵組合影像分類測試表.....	152
表 4.37 火山測區物件式分類成果表.....	154
表 4.38 火山測區高光譜影像加入光譜特徵分類誤差矩陣表.....	157
表 4.39 火山測區高光譜影像加入光譜與光達特徵分類誤差矩陣表.....	157
表 4.40 火山區各類精度改善量.....	158
表 4.41 火山區邊界差異量.....	159
表 4.42 水庫測區光譜特徵組合影像分類測試表.....	160
表 4.43 水庫測區物件式分類成果表.....	162
表 4.44 水庫測區高光譜影像加入光譜特徵分類誤差矩陣表.....	164

---

---

表 4.45 水庫測區高光谱影像加入光谱與光達特徵分類誤差矩陣表 .	164
表 4.46 水庫區各類精度改善量 .....	165
表 4.47 比較高光谱影像及 Worldview-2 8 波段分類(水庫區) .....	167
表 4.48 比較 Worldview-2 4 波段及 8 波段分類(水庫區).....	167
表 4.49 水庫區邊界差異量 .....	170
表 4.50 融合影像像元式與物件式分類成果精度總表.....	173
表 4.51 地物屬性調查成果表.....	176
表 4.52 地物平面距離調查成果表.....	179

## 第1章 前言

隨科技日益進步，遙測影像空間解析度或光譜解析力的提升，提高了地物描繪與判釋分類的能力，為資源調查與環境監測等相關領域一個良好的應用分析材料。空載光達(Airborn LiDAR)為近年遙測領域的一項新技術，可用於大面積之地形測繪作業。高精度與高空間解析力的優勢，更能將其產製成品廣泛用於森林經營、坡地監測、災害模擬，數值地形建模等後端應用研究。

延續內政部於 101 年及 102 年辦理發展高光譜與光達技術結合之應用工作案所獲取高光譜影像及空載光達資料，提供後續更廣泛之應用，爰此，本計畫研究著重於「森林地區之光達點雲穿透率」、「評估空載光達技術測繪林下產業道路」、「探討遙測衛星影像、植生指數與空載光達點雲穿透率之相關性」、「集水區地形變異分析」、「山區道路坡面水系及其變異分析」及「評估融合高光譜與空載光達資料分析土地覆蓋類別之可行性」等研究項目之探討，有助於將高光譜與光達技術應用於各領域之中。

在許多空載光達之應用上，為取得高精度之 DEM，需要有良好的森林穿透率以獲得林下地面點。國內一般光達飛航規劃多以高度、地形及山勢走向為主要考量因子，然而要產製良好的 DEM，光達穿透率則為重要的影響因素，故必須有穿透率規劃。陳朝圳、余蘭君(2003)對於四個季節的葉面積指數，進行長期調查，其結果顯示森林的冬季與夏季葉面積指數差異大，表示森林冠層的葉量會受到季節的影響。由於森林有落葉與展葉期，森林樹冠層之密度均不同，對於空載光達穿透率具相當程度上之影響，因此可就季節的變化對森林穿透率之影響進行探討。便利獲得的衛星影像之植生指標(Lillesand et al., 1987; Eabta, 2001)，可利用該特性推估植物生長情形，故可藉由衛星影像計算植生指標，並利用回歸方程式推估植生指標與空載光達穿透率之關係，當兩者有明顯相關時，可提供未來空載光達飛航規劃時之參考依據。

光達數值地形為土砂災害、國土監測等重要的應用，且空載光達系統主要有多重回波的特性，可以穿透森林冠層到達森林地表，對於林下產業道路之測繪，為一個重要的偵測工具。不同時期之DEM可進行土砂量的變異分析，並可推估其變異趨勢，故本計畫利用該特性來探討不同時期水庫土砂量變異分析、地形變異趨勢分析及山區道路坡面水系及其變異分析，了解坡面因降雨導致道路崩壞之潛在路段，並建立分析作業流程，以供防災單位參考。

國土利用調查常需要投入大量的人力與物力，國內空載光達測繪技術已達成熟的階段，高光譜測繪技術亦逐漸發展中，由過去研究之成果可以發現，結合三維之高程特性對於光譜接近之地物分辨，在判釋上得以發揮明確的輔助功效(Gou et al., 2011)，提升判釋能力，因此為了能夠提升影像判釋成果，本計畫將整合高光譜影像之影像光譜特徵及空載光達之點雲特徵，以提升影像判釋的可靠度，供未來應用於國土利用調查之可行性評估。

## 第2章 工作項目及進度控管

本案於 103 年 4 月 8 日完成簽約，作業時間為 103 年 4 月 9 日起至 103 年 11 月 30 日止，分三期繳交成果(表 2.1)。依規劃進度，本團隊實際工作進度約完成本案總工作進度之 100%。各項工作及其他工作項目進度如表 2.2，工作完成百分比為：

1. 工作計劃書撰寫(完成 100%)
2. 地面光達掃瞄作業(完成 100%)
3. 地面光達應用分析(完成 100%)
4. 相關文獻蒐集彙整(完成 100%)
5. 期中報告書撰寫(完成 100%)
6. 多光譜衛星影像資料處理與光達資料分析(完成 100%)
7. 數值地形模型應用分析(完成 100%)
8. 高光譜與全波形光達融合之精度評估分析(完成 100%)
9. 研提與本案相關之中程個案計畫方案(完成 100%)

表 2.1 成果繳交項目及日期

期別	成果繳交項目及份數	成果繳交日期
第一期	工作計畫細部規劃書 2 份。	於簽約次日起 2 個月內繳交。
第二期	期中報告 10 份及電子檔 1 份，內容至少應含： (一) 地面光達掃瞄規劃與執行概況。 (二) 各項外業檢核作業規劃與執行概況。 (三) 工作進度與執行進度控管。	於 103 年 7 月 31 日前繳交。
第三期	一、工作總報告書初稿 10 份及電子檔 1 份。 內容需包含： (一) 中英文摘要及前言。	於 103 年 11 月 30 日前繳交。經甲方審查工作總報告書初稿後，於甲方

<p>(二) 相關資料蒐集情形</p> <p>(三) 研究方法</p> <p>(四) 分類成果分析與精度評估。</p> <p>(五) 檢討與建議。</p> <p>(六) 成果效益評估</p> <p>(七) 參考文獻。</p> <p>(八) 歷次會議意見及回覆。</p> <p>(九) 本案之相關附件與辦理實況相片。</p> <p>二、地面光達掃瞄原始數據與處理後相關成果各 1 份。</p> <p>三、光達相關技術應用論文文稿至少 2 篇。</p> <p>四、期末審查通過後送修正之工作總報告書(定稿) 3 份及電子檔 1 份。</p>	<p>發文通知日次日起 14 天內依甲方審查意見修正後繳交。</p>
--	------------------------------------

表 2.2 工作進度甘特圖

期別	時程	工作比重	完成率	完成比重	第一期		第二期		第三期			
					第1月 103.04	第2月 103.05	第3月 103.06	第4月 103.07	第5月 103.08	第6月 103.09	第7月 103.10	第8月 103.11
工作計劃書撰寫		5%	100%	5.0%								
地面光達掃瞄作業		10%	100%	10.0%								
地面光達應用分析		10%	100%	10.0%								
期中報告書撰寫		10%	100%	10.0%								
多光譜衛星影像資料處理與光達資料分析		15%	100%	15.0%								
相關文獻蒐集彙整		2%	100%	2.0%								
數值地形模型應用分析		15%	100%	15.0%								
高光譜與全波形光達融合之精度評估分析		15%	100%	15.0%								
研提與本案相關之中程個案計畫方案		5%	100%	5.0%								
投稿相關研究論文2篇		3%	100%	3.0%								
工作總報告書		10%	100%	10.0%								



## 第3章 測試區選定與作業計畫

### 3-1 測區選定

承內政部於 101 年及 102 年辦理發展高光譜與光達技術結合之應用工作案，配合前 2 年度工作案所蒐集之資料進行相關研究。101 年火山測試區位於新北市金山區，屬於北部火山區之部分範圍，面積約 36 平方公里，為金山地區往陽明山之省道台 2 甲線鄰近 7 幅 1/5000 圖幅範圍(圖號：97233004、97233005、97233014、97233015、97233024、97233025、97233034)，其中 97233004、97233005、97233014 及 97233034 等 4 幅皆為部分圖幅，如圖 3.1。

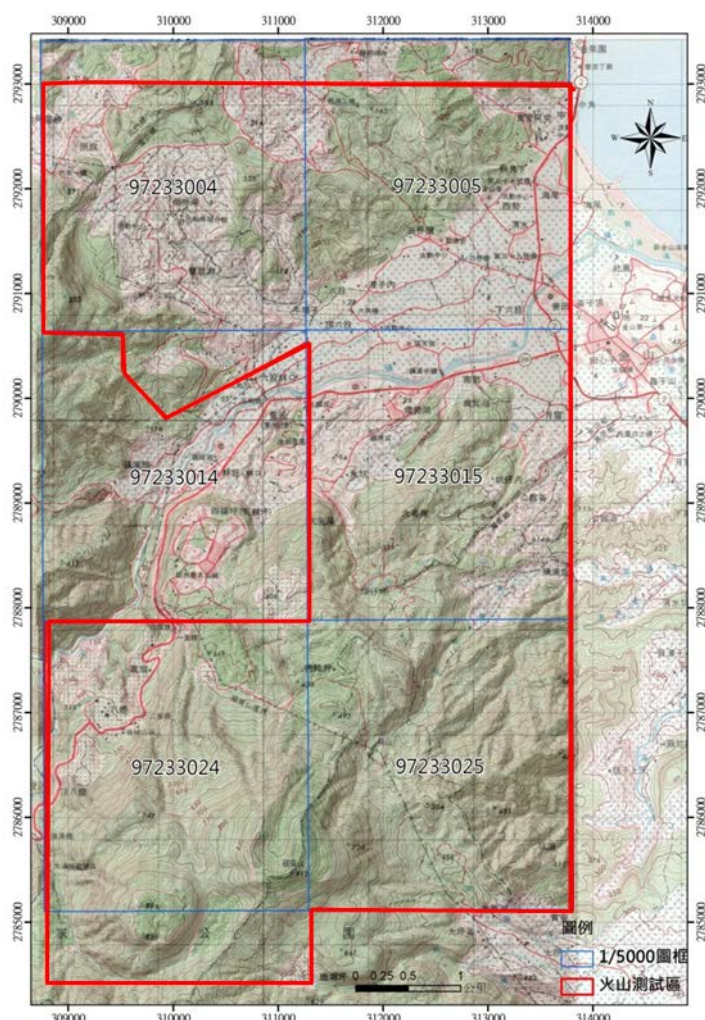


圖 3.1 火山區測試區位置圖

101 年測區位於其位曾文溪主流之上游河段，範圍包含共 9 幅之 1/5000 圖幅(圖號：95194066、95194067、95194068、95194076、95194077、95194078、95194086、95194087、95194088)。102 年測試區面積約為 21 平方公里，範圍包含共 6 幅之 1/5000 圖幅(圖號：95194076、95194077、95194078、95194086、95194087、95194088)，水庫測試區位置圖參考圖 3.2，各測區坐標參照表 3.1。

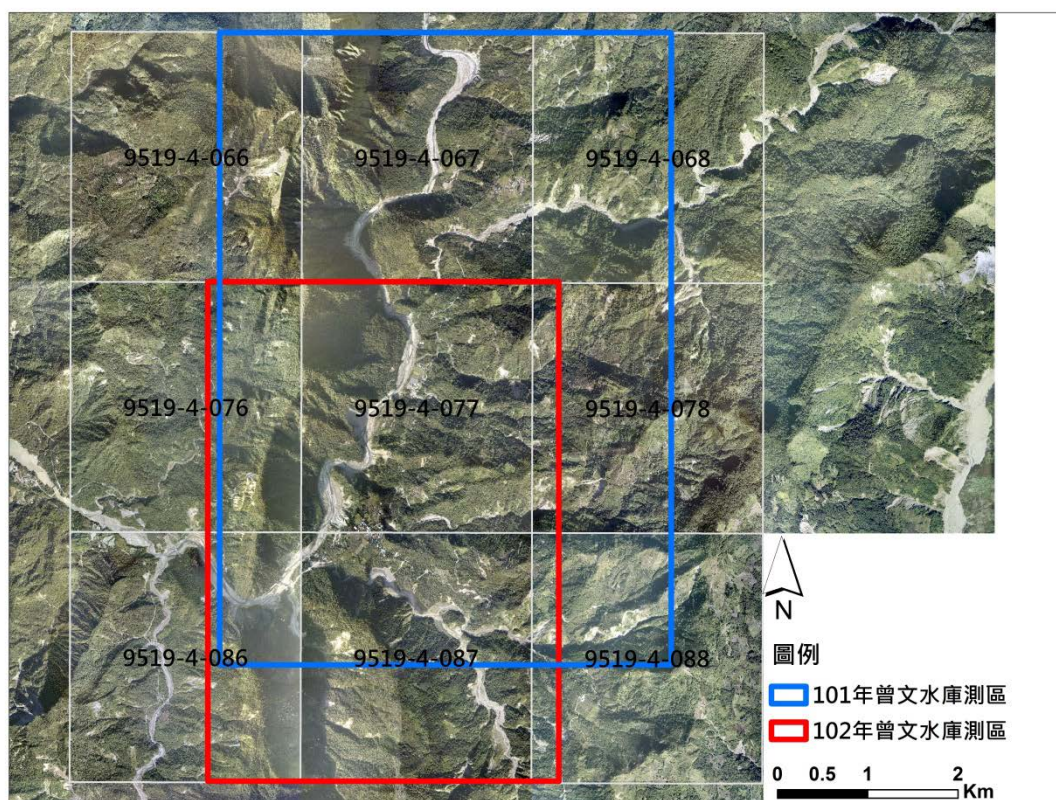


圖 3.2 水庫測試區位置圖

表 3.1 各測區之坐標一覽表

測試區	左上角坐標(TWD97)	右下角坐標(TWD97)
101 年 火山區	(308757.286, 2793010.382)	(313779.617, 2785117.170)
101 年 水庫區	(214127.268, 2582880.695)	(219127.268, 2575880.695)
102 年 水庫區	(213997.262, 2580123.005)	(217882.075, 2574595.021)

## 3-2 工作計畫與實施方法

### 3-2.1 研析高光譜與光達相關技術與應用研究文獻

蒐集高光譜與光達資料相關應用文獻，將從其相關學術期刊及學術研討會論文集著手進行。蒐集重點將針對「融合高光譜與光達資料於分類方法之應用」與「空載光達穿透率與葉面積指數之研究」兩大方向之相關研究文獻資料蒐集及彙整，以對應於本案之工作重點。將其各類文獻羅列於表 3.2，文獻內容整理分述於以下兩個小節。

#### 1. 融合高光譜與光達資料於分類方法之應用

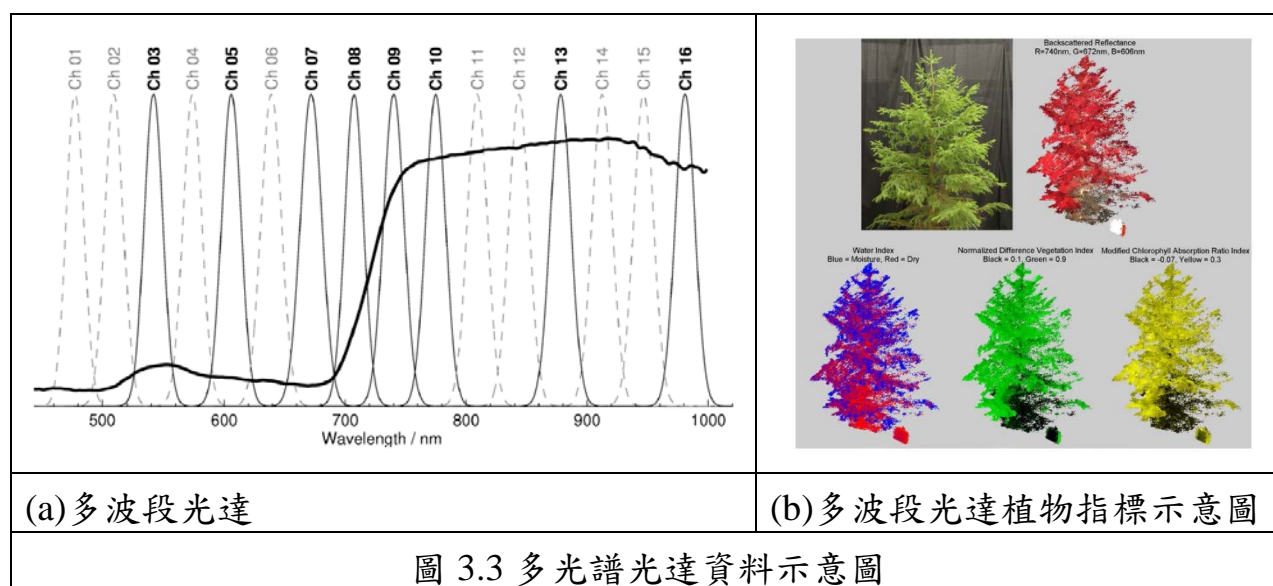
高光譜感測器為一被動式的遙測系統，可提供地表物豐富的光譜資訊，以區別不同光譜反射之地表物；而光達感測器為一主動式的遙測系統，可提供地表物豐富的幾何資訊，以區別不同幾何形狀之地表物。整合這兩種互補的感測器可提供更豐富的資訊於不同之應用(Gamba, 2014)。國際間亦有相關的學術活動關注高光譜及光達之整合研究，如 IEEE GRSS Data Fusion Technical Committee 分別於 2013 年及 2014 年舉行高光達及光達 Data Fusion Contest(Debes et al., 2014; Moser et al., 2014)，主要目的為探討都市區分類精度之提升及資料融合之應用，分析結果顯示，在分類的過程中融合不同資料，可提升分類精度及分類類別數。除了資料的融合外，多元方法(Multi-approach)的整合亦是未來的重要發展方向。

從結合方法討論高光譜與光達的整合，主要可以分為兩種策略：像元融合(pixel data fusion)及特徵融合(feature data fusion)。像元融合是指直接將兩種資料的原始數據進行融合，如光譜反射率及光達高程直接融合；而特徵融合則是從資料中萃取特徵，再將不同來源的特徵進融合，如分別從光譜中萃取植生指標(NDVI)及光達中萃取穿透率進行融合，可同時獲取植物垂直的結構分佈及光譜的反射率。特徵融合可獲得具有物理意義的融合資料，且針對不同地表覆蓋可整合不同特徵，有較佳的擴充性，因此特徵融合較像元融合有更多的優勢。

完成資料的融合後，融合資料主要應用在分類(Classification)及特定目標的偵測(Detection)，因此再從分類方法討論高光譜與光達的整合文獻，主要可以分為單一方法及多方法整合策略。傳統的分類程序是單一方法的程序，如監督式分類在圈選訓練區後，再以特定分類器(如最大適然法)進行分類。使用單一分類方法可能會受分類器的限制，為提升分類精度，多方法的整合分類策略是主要的發展方向，以 2014 年 IEEE GRSS Data Fusion Contest 的分類評比為例，由多個分類程序或階層式分類(hierarchical classification framework)具有較高分類精度的策略(IEEE, 2014)。

從整合的應用面討論高光譜與光達融合，主要可以分為森林區、都市區及海洋區域相關之應用研究。高光譜影像廣泛應用在森林方面的應用研究，加入光達的優點是加入形狀(或紋理)特性區對樹物做分割及樹種分類(Dalponte et al., 2008; Koetz et al., 2006)，配合光達提供的體積及光譜指標可進一步推估生物量(Swatantrana et al., 2011)。在都市區的應用包含都市區不同地物的分類(Debes et al., 2014)，光譜及光達斜率於不同質材建物屋頂的分類(Lemp and Weidner, 2005)，物件式都市區樹種的分類(Sugumaran and Voss, 2007)，以光達預估陰影區形狀再以高光譜偵測陰影區之車輛(Shimoni et al., 2011)。在海洋方面，可應用高光譜區別海岸線的水陸邊界，進行海岸線測繪及製圖(Elaksher, 2008)；此外，使用透水光達可產生深度改正高光譜影像，進行海底底質或珊瑚分類(Lee, 2003)。

從高光譜系統及光達系統的發展進行討論，高光譜系統朝向超光譜(Ultrospectral)系統獲取更多波段的資料。傳統上光達主要使用綠光及紅光雷射，為提升光達的光譜資訊，光達系統亦在發展全波形高光譜光達(Full waveform hyperspectral LiDAR)(Hakala et al, 2012)，即使用不同波長的雷射進行資料獲取，以取得不同波長的主動式系統背向散射能量，圖 3.3 用 606nm、672nm、740nm 雷射之多光譜光達示意圖。



綜合上述之文獻分析，本研究擬定的分類策略是使用特徵融合成果進行階層式分類，並分別比較像元式及物件式的分類成果。

## 2. 空載光達穿透率與葉面積指數之研究

空載光達具有在短時間內快速獲得大量點雲資料的能力，點雲資料包含三維空間坐標及反射強度值(Akay et al., 2009, Farid et al., 2008)。空載光達多重回波的特性使雷射光能穿透樹林遮蔽物到達地表面，隱含著地表面高程資訊 (Akay et al., 2009; 彭炳勳與陳朝圳, 2008)，因此森林區域可以利用空載光達取得地面高程(DEM)資料 (黃紹東等, 2008)。

以空載光達資料產製數值高程模型時，地面點的分佈與密度會影響成果的品質 (黃清美等, 2008; Bao et al., 2008)，而光達雷射的穿透率乃是影響地面點分佈情形的重要因子 (彭炳勳等, 2008)。雷射的穿透率會受到地表覆蓋物 (何心瑜等, 2008)、航高 (Næsset, 2009; Morsdorf et al., 2008) 以及雷射入射角 (黃清美等, 2008; Zhao et al., 2009; Morsdorf et al., 2008) 與雷射掃描頻率(Lee and Wang, 2014)的影響。

由於植物葉片是層層相疊，在空間中為多層的結構，而葉面積指數(Leaf area index, LAI)是指為每單位面積中葉面積數量，即將空間中之葉片垂直投影

於地面所佔之面積比，而葉面積指數常見的調查方法為利用光學魚眼鏡頭推估，並計算葉子分布之角度，修正其葉面積指數，如闊葉樹的修正係數為 0.5(Chen, 1992)。

在森林生態研究常利用葉面積指數(LAI)表示森林冠層的茂密程度，而空載光達之雷射穿透指標(laser penetration index, LPI)或稱為穿透率(ratio of penetration)與葉面積指數有高度相關，在國外許多的文獻都均探討兩種指標之相關性(Duursam et al.,2003; Solberg, 2010)。Solberg(2010)利用 4 種不同的雷射穿透率指標計算葉量之變化，目的為尋找蘇格蘭松受到病蟲危害範圍，受蟲害之森林葉量會有明顯之變化，而空載光達可以達成大面積監測樣區，相較於 LAI 利用魚眼鏡頭小區域的推估，可以獲得更大效益，研究結果顯示 LAI 與 LPI 有高度相關，相關係數  $R^2$  高達 0.95，並且推估受蟲害區域，建議將其立木砍伐避免蟲害繼續擴散。文獻中得知 LAI 與 LPI 有著高度相關性，故可探討後續之研究議題。

植物調查主要是依靠野外調查觀測為基礎，但需耗費大量人力與物力來達成，隨著衛星技術的成熟，植物的生長狀態可以利用衛星影像來觀察，相較於森林調查常有地形或交通上的限制，是一個可靠的資料獲取方式。綠色植物具有吸收藍光、紅光及強烈反射紅外光之特性，利用該特性推估植物生長情形，稱為植生指標(vegetation index) (Lillesand et al., 1987)。植生指表推估的公式眾多，常被拿來運用的指標為 VI(vegetation index, VI)、NDVI(normalized difference vegetation index, NDVI)與 EVI(enhanced vegetation index)，其推估研究均有為數不少的文獻，因此瞭解大面積森林區域的植物生長情形，可藉由衛星影像推估之植生指標來達成(Eabta, 2001)。許多的研究均顯示葉面積指數與植生指標呈現高度的相關，Vargas et al., (2002)以 SDL1800 計算作物之植生指標，其儀器為 2 個波段 640-660nm(red)和 790-810nm(infrared)的感測器，其 LAI-NDVI 的相關係數  $R^2$  值高達 0.82，而另一指標 NDVI-RVI 的相關係數  $R^2$  值也達 0.75，結果顯示 LAI-NDVI 有高度的相關性。

以國內森林而言，林子方(2012)於全台各地挑選森林均值狀態之樣區，進行 LAI 蒐集，建立 LAI 與福衛二號影像多種植生指標之推估模式，其結果 NDVI、SAVI 及 MSAVI 等指標對於 LAI 之關係具有 74% 的較高解釋能力。林莉萍(2013)以空載光達資料推估葉面積指數，結果顯示在墾丁南仁山天然林中，LPI 與 LAI 最大的解釋能力( $R^2$ )約在 13 與 14m 範圍，統計之資料均以圓範圍為主，在本案之 LPI 為 8 m 網格大小方形，主要是以全區估算的概念為手段，配合福衛二號之解析力 8 m，所得之折衷方案，故 LPI 與 LAI 之相關係數接近 0.6 將視為高度相關。

根據上述文獻分析，本案探討衛星影像推估植生指標與葉面積指數之關係，建立植生指標與森林的葉量相關性。由於森林的葉量會影響到空載光達之穿透率，故本案期望透過直接連接穿透率與植生指標之關係，探討是否有其相關性，以尋求一個合理的連結方式。植生指標的資料取得，相較於光達的穿透率便利，故在飛航規劃時可以利用植生指標掌握現地森林狀況增加穿透率。

表 3.2 本案相關研究文獻一覽

類別	相關文獻
融合高光谱與光達資料於分類方法之應用	<ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="427 304 1439 488">1. Koetz, B. G. Sun, F. Morsdorf, K. J. Ranson, M. Kneubler and K. Itten (2007) Fusion of imaging spectrometer and lidar data over combined radiative transfer models for forest canopy characterization. <i>Remote Sensing of Environment</i>, 106(4): 449-459.</li> <li data-bbox="427 510 1439 694">2. Debes, C. H. Jürgen, L. Wenzhi, G. Sidharta and D. Qian (2014) Hyperspectral and LiDAR Data Fusion: Outcome of the 2013 GRSS Data Fusion Contest, <i>IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing</i>.</li> <li data-bbox="427 716 1439 945">3. D. Lemp and U. Weidner (2005) Improvements of roof surface classification using hyperspectral and laser scanning data, in <i>Proc. ISPRS Joint Conf.: 3rd Int. Symp. Remote Sens. Data Fusion Over Urban Areas (URBAN)</i>, 5<sup>th</sup> International Symposium on Remote Sensing Urban Areas (URS). Tempe, AZ, USA, pp.14-16.</li> <li data-bbox="427 967 1439 1151">4. IEEE, (2014) IEEE GRSS Data Fusion Contest Outcome of the Classification Contest,  url:<a href="http://cucciolo.dibe.unige.it/IPRS/IEEE_GRSS_IADFTC_2014_Classification_Contest_Results.htm">http://cucciolo.dibe.unige.it/IPRS/IEEE_GRSS_IADFTC_2014_Classification_Contest_Results.htm</a>.</li> <li data-bbox="427 1173 1439 1254">5. F. Elaksher (2008) Fusion of hyperspectral images and lidar-based DEMs for coastal mapping. <i>Optics Lasers Eng</i>, 46(7): 493-498.</li> <li data-bbox="427 1276 1439 1402">6. Moser, G. D. Tuia and M. Shimoni (2014) IEEE GRSS Data Fusion Contest: Multiresolution Fusion of Thermal Hyperspectral and VIS Data”, <i>IEEE Geoscience and remote sensing magazine</i>, 3: 21-22. March 2014.</li> <li data-bbox="427 1424 1439 1550">7. Dalponte, M. L. Bruzzone, and D. Gianelle (2008) Fusion of hyperspectral and lidar remote sensing data for classification of complex forest areas, <i>IEEE Transactions on Geoscience and remote sensing</i>, 46(5): 1416-1427, May 2008.</li> <li data-bbox="427 1572 1439 1697">8. Shimoni, M. G. Tolt, C. Perneel, and J. Ahlberg (2011) Detection of vehicles in shadow areas, in <i>Proc. 3rd Workshop Hyperspectral Image Signal Process.: Evol. Remote Sens. (WHISPERS)</i> pp.1-4.</li> <li data-bbox="427 1720 1439 1863">9. Lee, M. (2003) Benthic mapping of coastal waters using data fusion of hyperspectral imagery and airborne laser bathymetry. Ph.D. dissertation, University of Florida. Gainesville, Florida, p119.</li> <li data-bbox="427 1886 1439 2020">10. Gamba, P. (2014) Image and data fusion in remote sensing of urban areas: status issues and research trends, <i>International Journal of Image and Data Fusion</i>, 5(1): 2-12.</li> </ol>



	<ol style="list-style-type: none"> <li>11. Sugumaran, R. and M. Voss (2007) Object-oriented classification of lidar fused hyperspectral imagery for tree species identification in an urban environment, in Proc. Urban Remote Sensing, Joint Event (JURSE). Paris, France, pp. 1-6.</li> <li>12. Swatantrana, R. Dubayaha, D. Robertsb, M. Hoftona, and J. B. Blairc (2011) Mapping biomass and stress in the Sierra Nevada using lidar and hyperspectral data fusion, Remote Sensing of Environment, 115(11): 2917-2930.</li> <li>13. Hakala, T. J. Suomalainen, S. Kaasalainen and Y. Chen, Y(2012) Full waveform hyperspectral LiDAR for terrestrial laser scanning, Optics Express, 20(7): 7119-7127.</li> </ol>
空載光達穿透率與葉面積指數之研究	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 林子方 (2013) 以MODIS影像數據推估台灣不同林型之夜面積指數，國立屏東科技大學森林系碩士論文。</li> <li>2. 林莉萍 (2013) 應用空載光達資料估計森林樹冠高度模型及葉面積指數，國立成功大學測量及空間資訊學系碩士論文。</li> <li>3. 何心瑜、陳大科、史天元、徐偉城 (2008) 人工編修空載光達資料產製DEM成果之探討，航測及遙測學刊，第13卷，第4期，pp.231-239。</li> <li>4. 彭炳勳、謝依達、陳朝圳，2008，空載光達雷射穿透率指數與柳杉林葉面積指數之關係探討，台灣林業科學，第23卷，pp.63-73。</li> <li>5. 黃清美、史天元 (2008) 雷射入射角與空載光達穿透率關係探討，航測及遙測學刊，第13卷，第1期，pp.67-73。</li> <li>6. 黃紹東、徐明鑑、黃英婷、蘇惠璋 (2008) 應用空載光達 (LiDAR) 技術於國土利用調查資料庫建置之研究，第二十七屆測量及空間資訊研討會論文集，pp.393-403。</li> <li>7. Farid, A. D.C. Goodrich, R. Bryant, and S. Sorooshian, 2008. Using airborne to predict Leaf Area Index in cottonwood trees and refine riparian water-use estimates, Journal of Arid Environments, 72(1): 1-15.</li> <li>8. Akay, A.E. H. Oğuz, I. Rakip and K. Argua, 2009. Using LiDAR technology in forestry activities, Environ Monit Assess, 151: 117-125.</li> <li>9. Chen, J. M. and T. A. Black, 1992. Defining leaf area index for non-flat leaves, Plant Cell and Environment 15:421-429.</li> <li>10. Curran, P. J. J. L. Dungan, H. L. Gholz, 1992. Seasonal LAI in slash pine estimated with landsat TM. Remote Sensing of Environment, 39:3-13.</li> <li>11. Ebata, M. and R. Tateishi, 2001. Phenological stage monitoring in Siberia by using NOAA/ AVHRR data. The 22nd Asian Conference on Remote Sensing: 529. November 2001, Singapore.</li> <li>12. Næsset, E. 2009. Effects of different sensors, flying altitudes, and pulse repetition frequencies on forest canopy metrics and biophysical stand properties</li> </ol>

- from small-footprint airborne laser data, *Remote Sensing of Environment*, 113(1): 148-159.
13. Morsdorf, F. O. Frey, E. Meier, K. I. Itten, and B. Allgöwe, 2008. Assessment of the influence of flying altitude and scan angle on biophysical vegetation products derived from airborne laser scanning, *International Journal of Remote Sensing*, 29(5): 1387-1406.
  14. Zhao, K. Sorin Popescu, 2009. Lidar-based mapping of leaf area index and its use for validating GLOBCARBON satellite LAI product in a temperate forest of the southern USA, *Remote Sensing of Environment*, 113(8): 1628-1645.
  15. Morsdorf, F., O. Frey, E. Meier, K. I. Itten and B. Allgöwer, 2006. Assessment of the influence of flying altitude and scan angle on biophysical vegetation products derived from airborne laser scanning, *3D Remote Sensing in Forestry Workshop*: 1387-1406. February 2006, Vienna, Autriche.
  16. Vargas, L. A., Andersen, M. N., Jensen, C. R. and Jørgensen, U., 2002. Estimation of leaf area index, light interception and biomass accumulation of *Miscanthus sinensis* "Goliath" from radiation measurements. *Biomass and Bioenergy*, 22:1-14.
  17. Chung-Cheng Lee and Chi-Kuei Wang, 2014, ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF FLYING ALTITUDE AND PULSE REPETITION FREQUENCY ON FOREST PENETRATION RATE DERIVED FROM AIRBORNE LASER SCANNING. *The International Symposium on Remote Sensing 2014*, Busan, Korea.
  18. Bao, Y. G. Li, C. Cao, X. Li, H. Zhang, Q. He, L. Bai, C. Chang, 2008. Classification of LiDAR point cloud and generation of DTM from LiDAR height and intensity data in forested area, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol.37, PartB3b, pp.313-318, Beijing.

### 3-2.2 研析森林地區之光達點雲穿透率資料

空載光達應用於DEM產製，需要良好的森林穿透率以獲得林下地面點雲，國外文獻常見於落葉時期蒐集之光達資料，但國內之光達DEM測製案常受限於預算規劃時程導致於3-9月蒐集光達資料，此一時期通常為草木盛開時，光達穿透率可能較差。臺灣森林林相複雜，樹種歧異度高，一年四季有不同程度上的差異，最直接反應的就是植物在生理週期上的變化，受到環境的溫度、光周期等控制，會有生長、開花、結果、落葉與展葉等現象。國內外許多研究報告將森林四季變化定義為葉候和花候，葉候即為展葉期(leaf-on)與落葉期(leaf-off)的時間，即最大樹葉量與最小樹葉量在一年中的時間點，為一個規律的時期，而花候為開始開花期、開花盛期與開花末期等，當觀測的植物上存有極少數的花時，是開花末期(沈志，1999)。

葉子主要的分布區域稱之為樹冠層，樹冠層為三維的空間分布，其目的為擷取陽光、二氧化碳燃料(CO<sub>2</sub> fluxes)與水分，如欲測量樹冠層的葉量，必須採集樹葉樣本來合理推估全部葉量，傳統的方式需要大量人力為破壞性測量的一種。在測量樹冠結構的間接方法，有大量的文獻表示可以利用下列方式來達到，如森林葉面積指數(forest leaf area index)、冠層覆蓋率(canopy cover)、孔隙大小分布(gap size distribution)、光氣候(light climate)。植物冠層孔隙率(canopy gap fraction)的定義是光線穿透森林冠層總面積與未被植生遮蔽的面積比，Weiss et al.,(2004)指出森林冠層孔隙率與葉面積指數有高度相關，其測量方式是以半球形魚眼鏡頭推估植物冠層孔隙率。地面光達系統(terrestrial laser scanners, TLS)最近幾年被利用於推估森林冠層孔隙率，其掃瞄特性為水平方向360°與垂直方向，可以達到天頂角0°，類似模擬魚眼鏡頭的觀測方式來推估森林冠層孔隙率。

### 3-2.2.1 地面光達樣區選定

本案以內政部於 101 年度(火山測試區)及 102 年度(水庫測試區)範圍內圖 3.4，依據兩個測試區之森林樹種組成、樹高高度及覆蓋情形等條件，選出具有代表測試區的森林，作為地面光達掃瞄之研究樣區。火山測試區位於北部金山山區一帶，測區面積約 36 平方公里，包含較多森林組成，主要的樹種以樟科大葉楠及紅楠、茜草科九節木、茶科大頭茶、桑科雀榕以及相思樹人工林居多，故火山測試區挑選 4 處。水庫測試區位於曾文水庫上游，面積約 21 平方公里，森林主要組成以桑科榕樹屬為主，包括菲律賓榕、榕樹、幹花榕及白肉榕；樟科楨楠屬之大葉楠、菲律賓楠等；榆科山麻黃，茜草科水錦樹，由於水庫測試區屬低海拔次生林，森林樹種組成大致相似，因此挑選 3 處。每處於地面方圓 10 公尺範圍內以地面光達掃瞄植物頂部(森林覆蓋)，計畫期程內共進行 4 次掃瞄作業觀察森林生長變化，作業時間如表 3.3 所示，以此瞭解不同時期森林地區光達穿透率之變化情形，提供各界未來規劃空載光達飛航掃瞄計畫之參考。

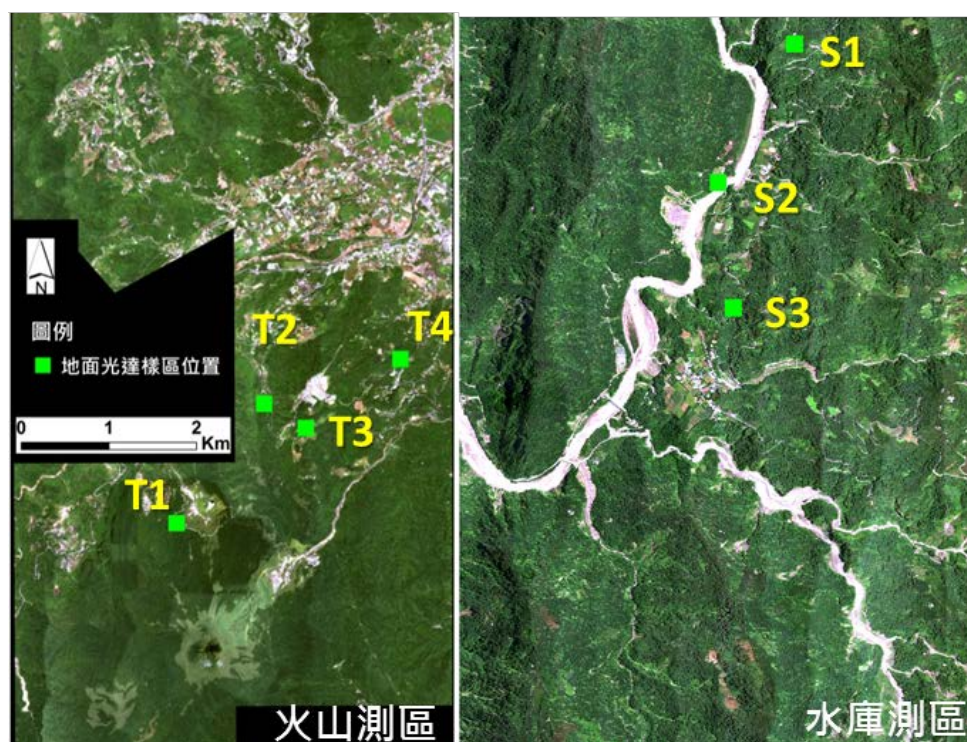


圖 3.4 本案地面光達樣區位置圖

表 3.3 地面光達掃瞄作業時程規劃

季節	春			夏			秋			冬		
月份	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月
地面光達 掃瞄作業 ( $\Delta$ )			$\Delta$		$\Delta$		$\Delta$		$\Delta$			

### 3-2.2.2 地面光達掃瞄原理

3D 雷射掃瞄(3D Laser Scanner)技術自 1970 年代即開始萌芽(Jennifer and Jeff,1999)，最初是由美國的航太總署 NASA 所研發，為目前光達 (LiDAR) 測量儀器的前身。主要構造是一部快速準確的雷射掃瞄系統，內含一組可導引雷射光以等角速度掃瞄的反射稜鏡，雷射測距儀可主動發射雷射光束(Laser Beam)，同時接收自「自然物表面」反射之訊號進行測距，而地面雷射測距儀共可分為兩種，一為相位位移式(Phase Comparison)，其施測原理主要藉由連續波在空間中行進時，相位隨著時間一直不斷的在發生變化，而利用此波動的特性，只要知道在固定時間相對固定距離的相位變化，即可以求得距離，頻率為的弦波在空間中傳遞時可寫成式(1)公式；圖 3.5 所示為其量測的示意圖(張鈞傑，2006)。

$$S(t) = \cos(2\pi f_0 t) = \cos \phi \quad (1)$$

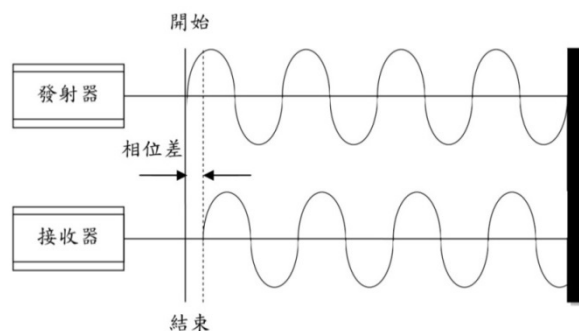


圖 3.5 相位式測距訊號相位差示意圖

另一種為脈衝式(Pulsed Ranging)地面光達，主要施測方式，即由雷射發射源發射雷射光，再經由接收物體反射回來的訊號，藉此求取反射物體的空間位置，使用方式為時間差量測法 (Time-of-Flight)，其施測原理主要藉由掃描儀本身發射脈衝雷射光至待測物體表面，並接收物體表面反射回來的訊號，依公式(2)計算出掃描儀與待測物體間的距離，其中  $\rho$  為距離， $c$  表光速， $t$  為時間；圖 3.6 所示為其量測的示意圖。

$$\rho = \frac{1}{2}c\Delta t \quad (2)$$

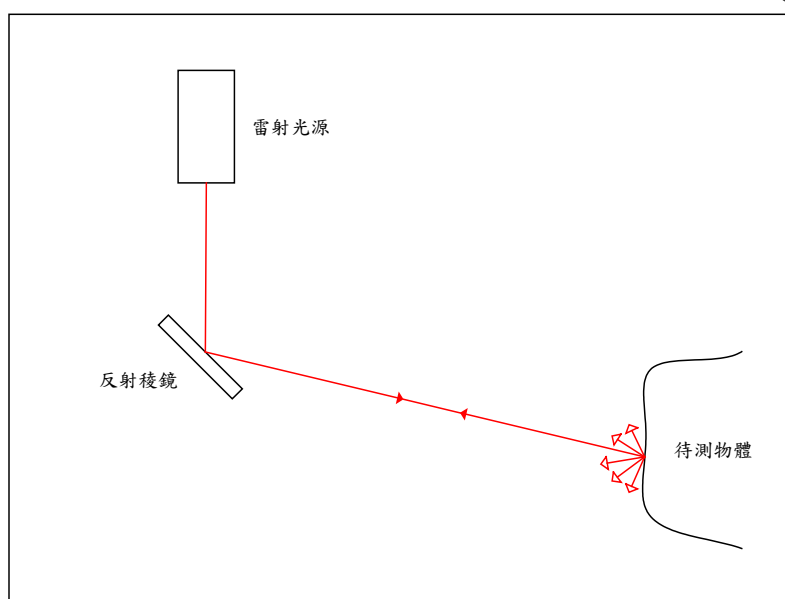


圖 3.6 時間差量測法示意圖

近年來地面光達掃瞄技術發展成熟其應用範圍廣泛，地面雷射掃瞄儀掃瞄密度與定位精度均較空載光達密度為高，在覆蓋面下進行掃瞄，可記錄更多地表或地物空間資訊，並可立體展示三維掃瞄成果。經利用各種搜尋與演算方法進行後期處理後，可獲取更多樣化空間資訊(陳永寬、詹進發等, 2005)。此外，可應用於工程測量之高精度三維雷射掃瞄儀陸續商業化，掃瞄點數從每秒數千點至數萬點，進而至目前的一百萬點，雷射測距精度為毫米 (mm) 等級。因三維雷射掃瞄儀可快速掃瞄待測物，且不需反射稜鏡即可直接獲得高密度的掃瞄點之三維坐標，此種快速獲得物空間三維資訊的儀器是一項嶄新的測量利器。

本工作案採用德國 Zoller+Fröhlich 公司所製造之 Z+F IMAGER 5010 相位式 3D 雷射掃瞄儀，主要的優點為測距精度高與掃瞄點數多，儀器出廠精度檢測結果符合規範值要求，此儀器之產品規格概述如表 3.4。

表 3.4 地面雷射掃瞄儀規格表

項次	項目	規格
1	儀器型號	Z+F IMAGER 5010 雷射掃瞄儀 
2	測距能力	最長 187 m 最短 0.3 m
3	雷射測距精度	0.1~1 mm
4	資料獲取點數	1,000,000 pts/sec
5	測距雜訊(10m)	0.5 mm rms 反射率 14% (黑色) 0.3 mm rms 反射率 80% (白色)
6	解析力	水平方向 0.0002° 垂直方向 0.0004°
7	測角精度	± 0.007° rms (水平與垂直)
8	掃瞄時間	3:22 min (high resolutions)
9	雷射等級	一級安全雷射 (眼睛可直視)
10	回波數	單一回波
11	測距方式	相位式
12	相機	M-Cam 500 萬畫素工業相機

### 3-2.2.3 地面光達掃瞄作業

地面光達掃瞄所產製之點雲資料為相對性的測站坐標系統，為轉換成絕對坐標系統，需額外的絕對坐標資訊，導線測量部分則提供平面與高程資料來作為後續坐標轉換之用，此外執行導線測量同時以固定距離訂出外業測量時地面光達掃瞄儀器擺設位置，以提供品質相同掃瞄的資料。控制測量部分

包含 GPS 控制點測量及導線測量部分。此外，地面光達作業流程可分外業地面光達掃瞄與內業地面光達資料處理，其整體工作流程如圖 3.7。

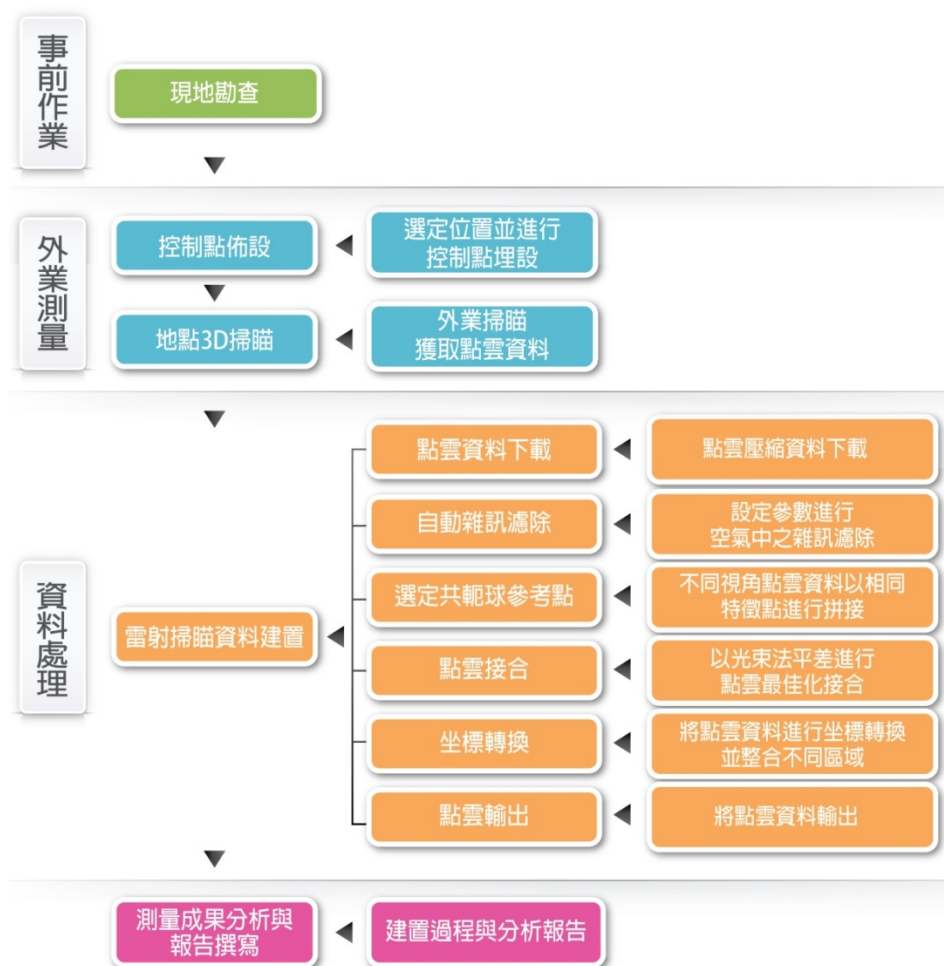


圖 3.7 地面光達掃瞄與資料處理流程圖

#### 3-2.2.4 模擬空載光達雷射與穿透率之計算

空載光達與地面光達由於觀測角度之不同，空載光達是利用雷射光由上往下測量，而地面光達則相反，本案利用地面光達建構三維空間森林植群的分布與模擬由上往下之雷射光特性，並考慮雷射光之面積、間距、方向角與入射角，如圖 3.8，在地面光達的資料方面，建構三維立方體(Voxel)資料，主要是將地面光達點雲以立方體的方式呈現，主要是由於點雲並無法代表空間上體積的分布，故必須將其轉換成立方體資料，有利於雷射光模擬時，決定雷射光是否被遮蔽。



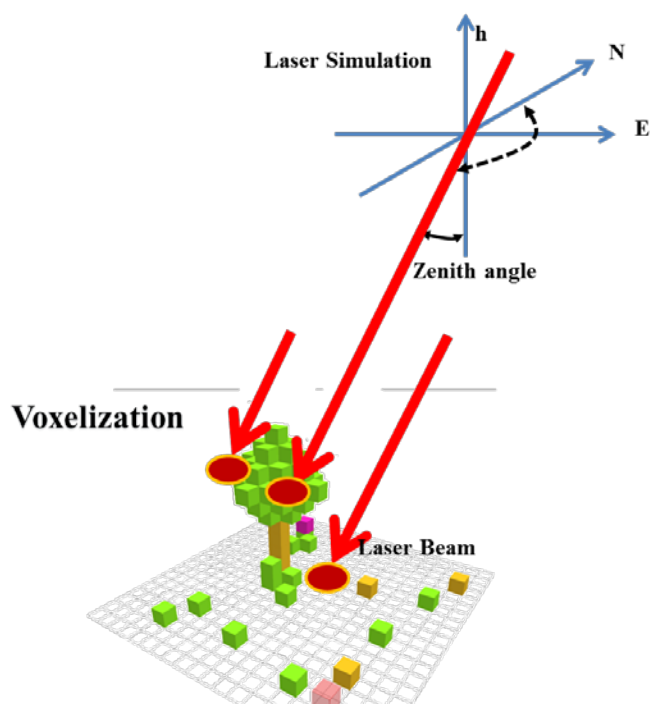


圖 3.8 模擬空載光達雷射光之方法

穿透率的計算必須決定模擬之雷射光是否接觸到地面，而地面光達資料之優點在於有完整之地面點分布，故本案利用光達地面點資料建構三維地面立方體，當入射模擬雷射接觸到地面立方體時，即為有穿透森林樹冠層之雷射光，研究流程如圖 3.9。

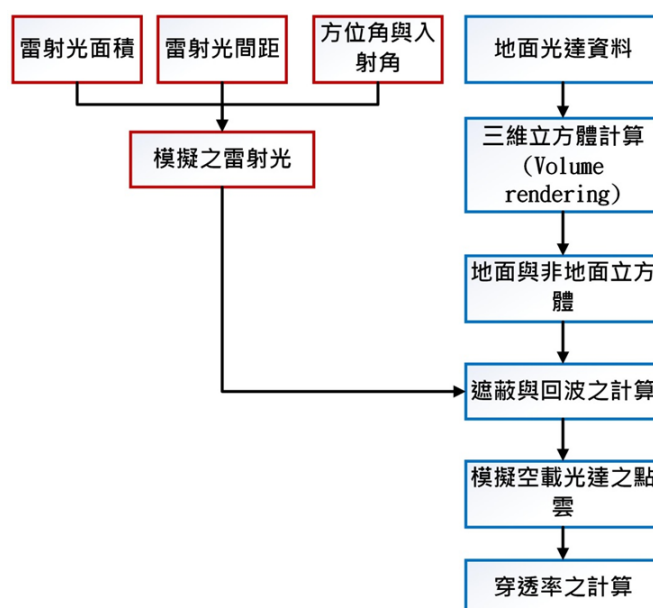


圖 3.9 模擬空載光達雷射與穿透率之研究流程圖

### 3-2.2.5 森林穿透率四季之變化

葉面積指數(leaf area index, LAI)與孔隙率存在著高度的相關，最主要是葉面積指數是由孔隙率所推估出來，在陳朝圳與余蘭君(2003)探討南仁山區域夏季與冬季葉面積指數的差異顯示，夏季平均 LAI 為  $3.93 \pm 0.31$ ，而冬季為  $2.85 \pm 0.24$ ，其差異約為 27.44%，表示森林冠層葉量，隨著季節不同有明顯的差異。

由於空載光達飛航的成本較高，必須挑選合適的月份進行掃瞄作業，展葉期的森林區域空載光達穿透率應該較落葉期低，為達成空載光達對於地形測量上的應用，必須探討森林冠層葉量對於穿透率的影響程度。本案測試台灣南北兩個測試樣區，4 個季節的孔隙率變化，比較季節造成森林穿透率之影響，挑選的樣區人為干擾較少，大徑木較多，符合台灣大部分的森林林相。

### 3-2.3 評估空載光達技術測繪林下產業道路

空載光達對於森林之穿透能力，可發展其對於國土監測之應用。台灣山坡地有許多農民自行開發之產業道路，並無單位管理該產業道路資訊，雖於透空度良好的路段可透過正射影像測繪，但林下的路段，則受上方森林遮蔽影響，無法直接由影像上得到路面資訊。而空載光達於森林覆蓋區域具有一定之穿透能力，對於森林遮蔽不嚴重區域仍可藉由部分點雲穿透之特性，清楚展現林下產業道路之線型，可提供國土監測分析之參考資訊。本工作項目應用不同密度的光達地面點資料產製 DEM，進行林下產業道路之數化判釋，評估空載光達技術測繪林下產業道路所需之最低點雲密度及測繪林下產業道路之機制，以提供規劃空載光達掃瞄點雲之適切密度參考資訊，節省飛航掃瞄之經費與時間成本。

### 3-2.3.1 點雲密度疏化

本案期望產出最適 DEM 以判釋林下產業道路，故針對疏化後的不同點雲密度之高程值進行內插產製 1 m × 1 m 的 DEM。利用 102 年水庫測區所蒐集的高密度空載光達點雲資料(點雲密度每平方公尺 42.3 點)，依雷射發射順序，等距間隔取樣資料，模擬當 LiDAR 發射的雷射筆數相對減少的狀態下，取得對照地形表現應有之點雲資料，以不同點雲取樣密度分為六級，疏化取樣選取原始 LiDAR 掃瞄之數據(All points)之 1/2、1/4、1/8、1/16 及 1/32 的等比級數降低原始資料之點雲密度，再進行點雲過濾，將資料分為地面點與非地面點。

後續為產製不同點雲密度之 DEM，本案採用 Kriging 內插模式的一般克利金法(Ordinary Kriging)進行空間內插，Kriging 內插法是對有限區域內的變化量進行無偏估計的一種方法，此方法建立在半變異函數理論分析基礎上。此方法不但考慮了待預測點與鄰近樣點數據的空間距離關係，也考慮了各參與預測的樣點之間的位置關係，利用各樣點數據的空間分布結構特徵，可更有效地避免系統誤差的出現。而一般克利金法(Ordinary Kriging)是假設偏移值不存在，著重在空間相關要素，衡量所選已知點之間空間相關程度的度量是半變異數(semi-variance)，公式如下(式 3.1)：

$$r(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (z(x_i) - z(x_i + h))^2 \quad (\text{式 3.1})$$

$h$  是樣本點間的距離， $n$  是被  $h$  分出的成對樣本數， $z$  值是屬性值， $x_i$  為位於  $x$  處之位置。如果在點與點之間有存在著空間相依性，距離較近的點，它們的值會比距離較遠的點的值接近。在具有空間相關性時  $r(h)$  會隨著  $h$  的增加而增加。在不同距離的半變異數算出後，可以繪製出半變異元圖(semi-variogram)(圖 3.10)。半變異元圖必須與數學函數或模型擬合(fit)，如高斯(gaussian)、線性(linear)、球面(spherical)、圓形(circular)和指數(exponential)模型，本案則使用高斯模型進行擬合，進而內插產製 1 m 網格大小之 DEM。

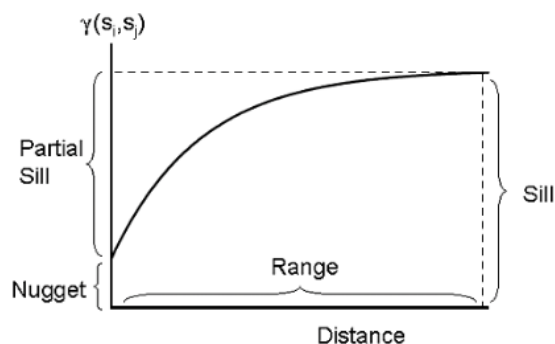


圖 3.10 Original 半變異元模型圖

(圖片來源 <http://www.gis.tw/>)

後續利用 ArcGIS 將不同點雲密度等級之 DEM 資料，產製 1 m 網格坡度圖及日照陰影圖作為林下產業道路判釋數化之材料，作業流程如下(圖 3.11)。

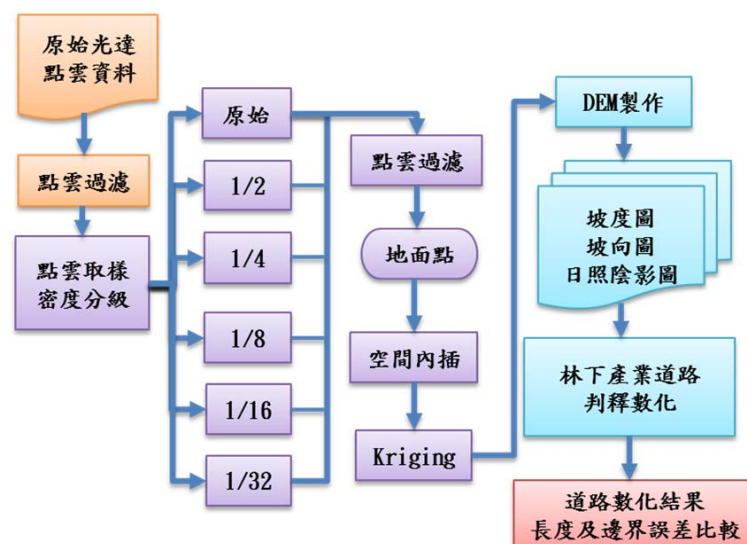


圖 3.11 測繪林下產業道路流程圖

### 3-2.3.2 林下產業道路判釋

本研究應用空載光達點雲不同密度疏化等級所產製之 DEM，利用 ArcGIS 空間分析功能將 DEM 轉為 1 m 網格坡度圖及八方位之日照陰影圖，透過坡度圖及有立體效果的日照陰影圖，其灰階色彩可清楚展現林下產業道路的分布情況，再以人工視覺判釋影像中的明暗交界處，作為判斷林下道路之邊界，進而利用 ArcGIS 進行人工數化不同密度等級之道路邊界，供後續評估林下產業道路之完整性。

### 3-2.3.3 林下產業道路檢核作業

本案以外業地面測量檢核空載光達技術所測繪之林下產業道路，使用導線測量方式所得成果與空載光達產製之 DEM 進行比對，檢核之測線總長度至少 1 公里，總檢核點不少於 20 點，其施測規範與林下導線施測位置如下圖 3.12。導線測量「水平角」觀測採用單角法施測，其較差不得大於 12"，「距離」使用光波測距儀對向測距 1 測回，其較差應在 10mm 以內。水平角閉合差不得超過  $20''\sqrt{N}$ ，N 為導線點數，位置閉合差不得超過導線總邊長之 1/5,000。



圖 3.12 林下導線位置示意圖

### 3-2.4 探討遙測衛星影像、植生指數與空載光達點雲穿透率之相關性

國內一般光達飛航規劃多以高度、地形及山勢走向為主要考量因子，然而要產製良好的 DEM，光達穿透率則為重要的影響因子，故必須有穿透率規劃，但在實際執行飛航計畫時，無法先行掃瞄計算穿透率。因此本項工作目的為，探討衛星影像推估植生指標及葉面積指數分別與穿透率之關係，建立植生指標與森林的葉量相關性。由於森林的葉量會影響到空載光達之穿透率，故本案期望透過直接連接空載光達穿透率(Laser penetration index, LPI)與植生指標探討其關係。在本計畫中將嚴謹探討兩種指標的特性，並尋求一個合理的連結方式，測試是否可以利用植生指標以代替 LPI。植生指標的資料取得，相較於光達的 LPI 便利，故期望在飛航規劃時可透過植生指標掌握現地森林狀況來增加穿透率。

#### 3-2.4.1 植生指標之推估

綠色植物具有吸收藍光、紅光及強烈反射紅外光之特性，利用此特性推估的指標稱為植生指標。本案挑選與空載光達資料獲取時間相近之衛星影像，火山測試區為 2012 年 8 月與水庫測試區為 2013 年 7 月的影像進行植生指標之計算。植生指標計算的方式眾多，本案探討常見的下列幾種植生指標(表 3.5)，從下列指標的發表的進展發現，由於遙測技術的進步，增加對於植生指標的複雜性，並且需要加入的參數較多，主要是由於遙測為大面積測量，如果要應用於台灣大尺度的範圍，必需考慮不同森林區域特性，但大多數研究對於植生指標的估算，還是以 NDVI 為主要的推估公式。

表 3.5 常見之植生指標推估方式

Vegetation index	Reference
$(\text{RVI, Ratio Vegetation Index}) = \frac{\text{NIR}}{\text{RED}}$	Pearson & Miller, 1972
$(\text{NDVI, Normalized Difference Vegetation Index}) = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$	Rouse, Haas, Schell, Deering, & Harlan, 1974
$(\text{PVI, Perpendicular Vegetation Index}) = \frac{\text{NIR} - (B \times \text{RED}) - A}{\sqrt{1 + B^2}}$	Richardson & Wiegand, 1977
$(\text{SAVI, Soil - Adjusted Vegetation Index}) = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED} + L} (1 + L)$	Huete, 1988
PVI 經驗式參數為 A=0.011, B=1.16。 SAVI north Taiwan L=0.9 south Taiwan L=0.8	

### 3-2.4.2 葉面積指數(Leaf area index, LAI)之調查

調查葉面積指數的方法大致上可分為直接收穫法和間接收穫法。直接收穫法雖然最準確，但卻非常耗時費力，而且屬破壞性取樣，故無法在森林中廣泛執行。間接收穫法之取樣方法眾多，均由其它因子求得葉面積指數，其中以瞬間拍攝法最為便捷，且影響誤差因子較小，可運用於廣大森林之樣區測量，因此法不需破壞林木，故可應用於長期監測上，為一便捷準確之測量方法，而國內外常使用 LAI-2000 為測量葉面積之儀器。

LAI-2000 的儀器是利用樹冠透光的原理，以魚眼鏡頭的光感應器水平向上接收樹冠地下的光源，同時另一台儀器接受未受到遮蔽的全天光亮度進行比較，藉由其亮度比值求得葉面積指數。最理想的測量天氣為陰天或陽光斜射的時間。光感應器的魚眼鏡頭接受的光線會以五個同心圓方式，如圖 3.13，

分別記錄不同角度範圍內的光線，每個環形所接受的光線，會依照天空照射的範圍進行比例上的計算(林莉萍，2013)。本案進行野外調查取得 LAI 資料，調查示意圖如圖 3.14。

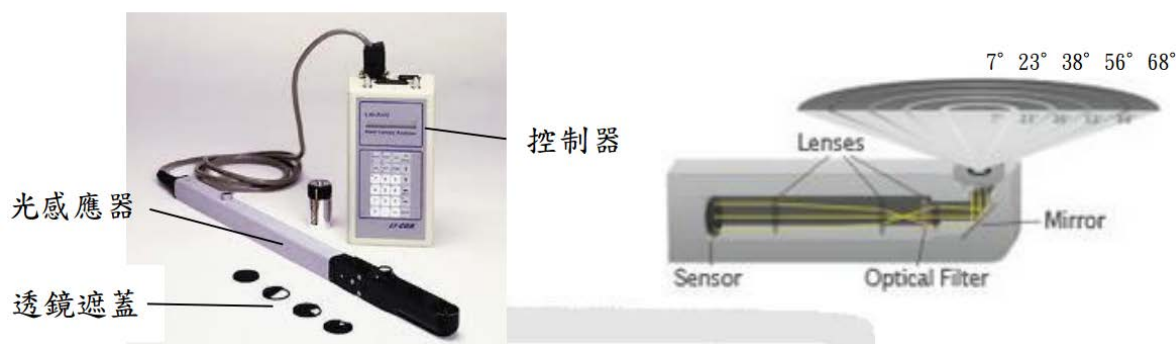


圖 3.13 LAI-2000 植物冠層分析儀(Anon, 1992)

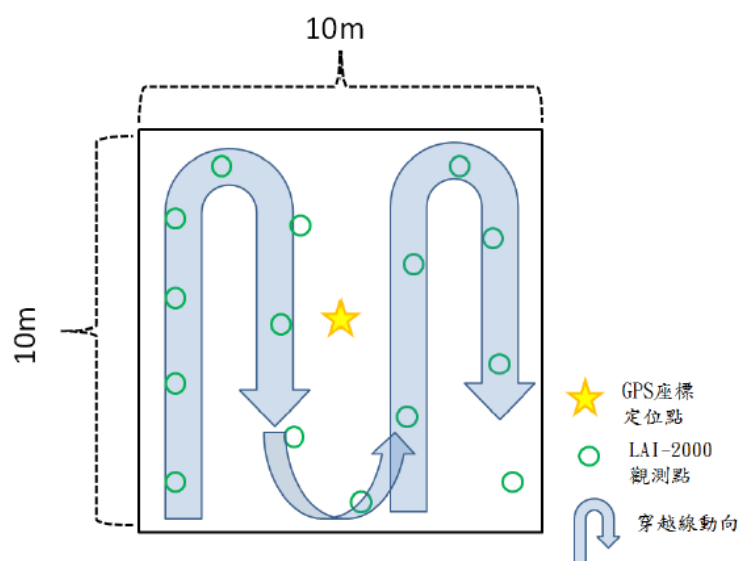


圖 3.14 LAI 野外調查示意圖(引用自林子方，2012)



### 3-2.4.3 空載光達穿透率之計算

計算穿透率之前必須將完整的地面點搜尋出來，國外文獻以 1.25 m 為搜尋厚度(Morsdorf et al., 2006)，但本案測試區處於副熱帶森林植被覆蓋較複雜，因此以 2 m 為搜尋厚度，其厚度之範圍內視為全部地面點，如圖 3.15，橘色點為人工分類之地面點，從圖中顯示並非所有的地面點被選取到，綠色點為處理過後的地面點較完整，可以進行穿透率的評估。

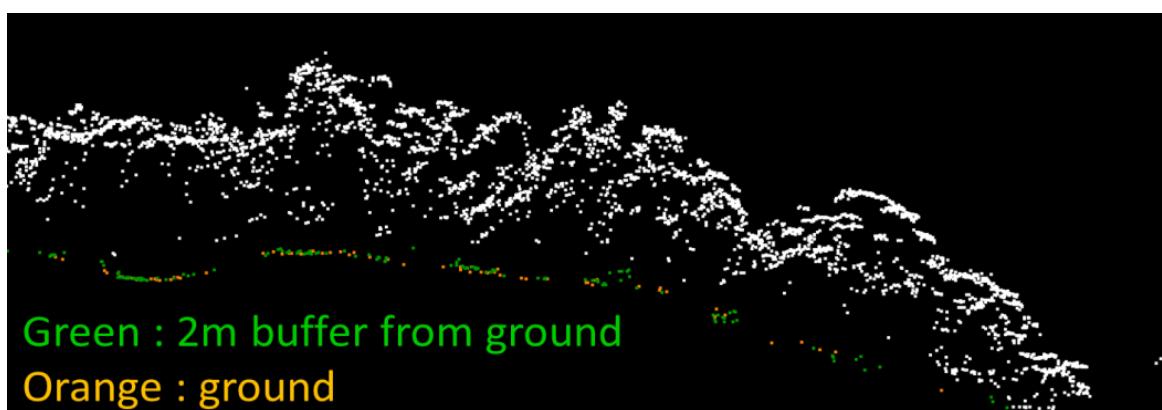


圖 3.15 以 2m 厚度搜尋完整地面點之示意圖

計算空載光達穿透率的方式為配合衛星影像之解析度 2 m× 2 m、8 m× 8 m 與 10 m× 10 m 網格大小，統計網格範圍內的雷射發射數量與接觸地面的雷射數量比例，如下公式 3，因考慮光達具多重回波的特性，故以雷射發射數量計算穿透率，而非點雲數量。雷射發射數量可由空載光達的記錄檔取得；而以 2 m 厚度為地面點界線，低於此界線下方，視為地面點，當穿透森林冠層到地面之雷射數量，才是有效穿透雷射。當樹冠層愈蓊鬱，雷射不易穿透至地表，則地面點雲數量較少，故穿透率低，反之則越高。

$$\text{穿透率} = \frac{\text{穿透森林冠層雷射數量}}{\text{森林冠層區之雷射發射數量}} \quad (\text{式 } 3)$$

#### 3-2.4.4 葉面積指數與空載光達穿透率之相關

衛星影像所計算之植生指標，需要有可靠的地真資料來驗證，本案利用 LAI-2000 所測定的葉面積指數，進行驗證衛星影像推估植生指標的可靠性，並利用地面調查資料，輔助探討穿透率的成果計算解釋。

#### 3-2.4.5 建構空載光達穿透率與衛星影像植生指標之關係

衛星影像計算之植生指標，主要的目的在於飛航規劃初期時的參考資料，當樣區有較高的植生指數時，表示該區穿透率較低，飛航規劃必須考慮到雷射能量的穿透率，例如降低飛行高度或減少雷射脈衝頻率，可達成提高森林穿透率(內政部，2012)，提供完整的地面點雲為目的。本研究分別計算北部火山測試區與南部水庫測試區全區域之穿透率，並購買與光達掃瞄時間相近的衛星影像，探討植生指標與光達穿透率的關係，嘗試建構其關係式。

#### 3-2.5 集水區之地形變異分析

本工作項目蒐集前期計畫範圍內不同時期空載光達資料，進行土砂量變異分析、土砂量影響因子與地形變異趨勢分析。目前本區域之光達數值地形共有 3 期如表 3.6，包括 99 年經濟部中央地質調查所產製之光達數值地形資料，101 年及 102 年內政部地政司所產製之光達數值地形資料，而資料內容包括橢球高之 DEM 及 DSM 兩種資料為主要分析對象，此 3 個年度之測區重疊約為 16 平方公里。

表 3.6 水庫測區集水區內特定範圍光達數值地形資料一覽表

測製年代	測製單位	計畫名稱	解析度
99 年	經濟部中央地質調查所	莫拉克颱風受災區域之地質敏感特性分析(3-1)	1 公尺
101 年	內政部地政司	101 年度發展高光譜與光達技術結合之應用工作案	1 公尺
102 年	內政部地政司	102 年度發展高光譜與光達技術結合之應用工作案	1 公尺

而本計畫進行此 3 期光達 DEM 之地形變異分析，以探討集水區內地形變異特性及趨勢。集水區之地形變異分析主要針對研究區域內之坡面崩塌與河道土砂等裸露地範圍進行地形變異分析，作業流程如下圖 3.16 所示。

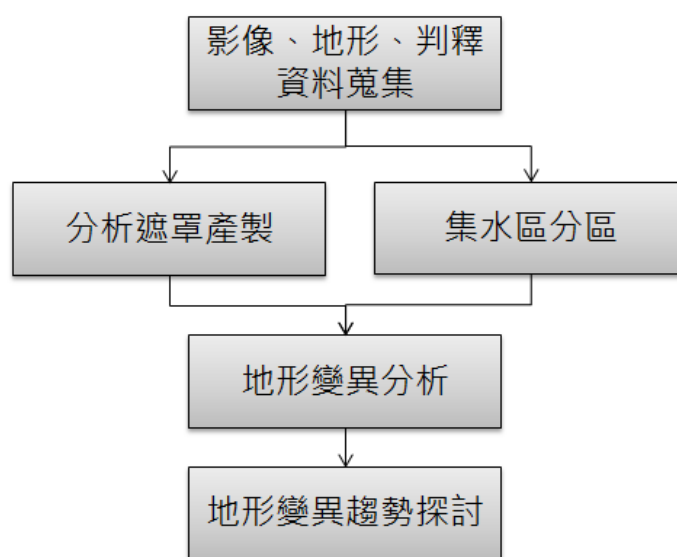


圖 3.16 集水區之地形變異分析作業流程

### 3-2.5.1 影像、地形、判釋資料蒐集

本案蒐集計畫中表 3.6 之正射航照、光達數值地形與崩塌判釋成果以為後續地形變異分析使用。其中，正射航照主要為裸露地判釋圈繪、光達數值地形則用於產製集水區與地形變異分析、崩塌資料則供作分析遮罩編修之參考。

### 3-2.5.2 分析遮罩產製

本工作案主要是針對坡面崩塌與河道土砂等裸露地範圍進行地形變異分析，因此需進行各期崩塌地判釋成果蒐集，再利用各期之正射航照進行河道土砂範圍圈繪，以此完成各期裸露地判釋圈繪。以往相關研究主要利用人工進行崩塌地及河道土砂堆積範圍判釋，但此方式受到人工判釋經驗與崩塌植生復育程度影響，導致崩塌範圍不易界定(如圖 3.17)，再者因密林區域之光達穿透率低，導致地面點不足，而使 DEM 的產製並非為真正之地形面，此亦影響地形變異分析的結果(圖 3.18)。

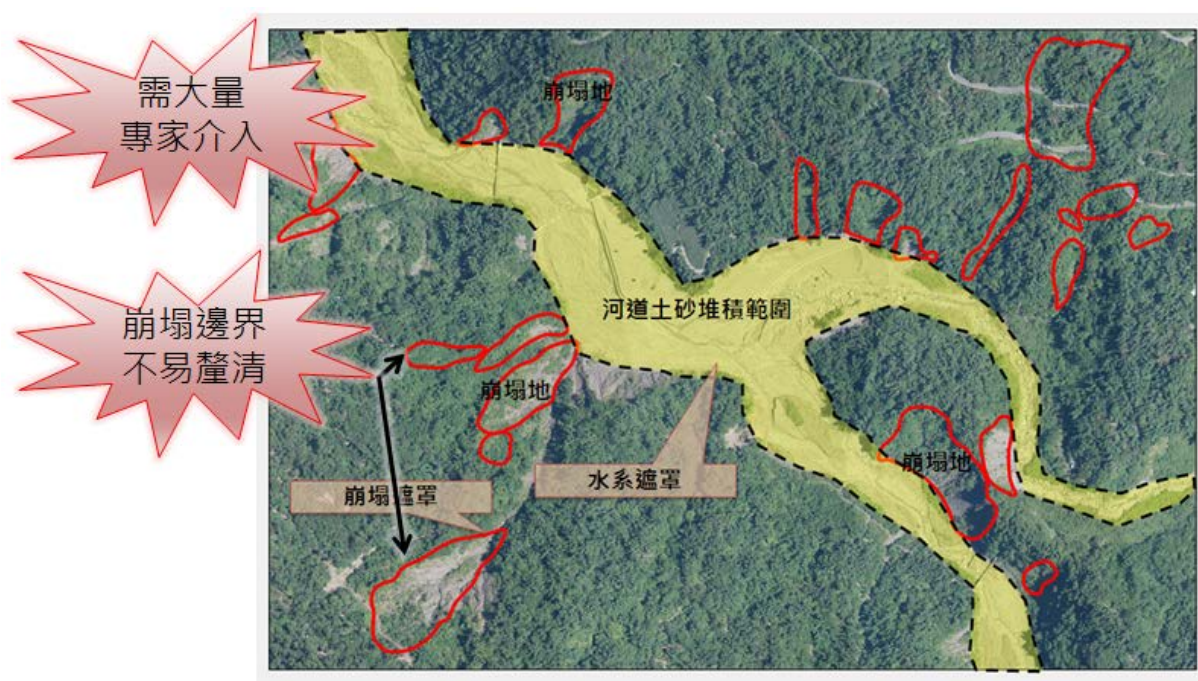


圖 3.17 裸露地判釋圈繪示意圖

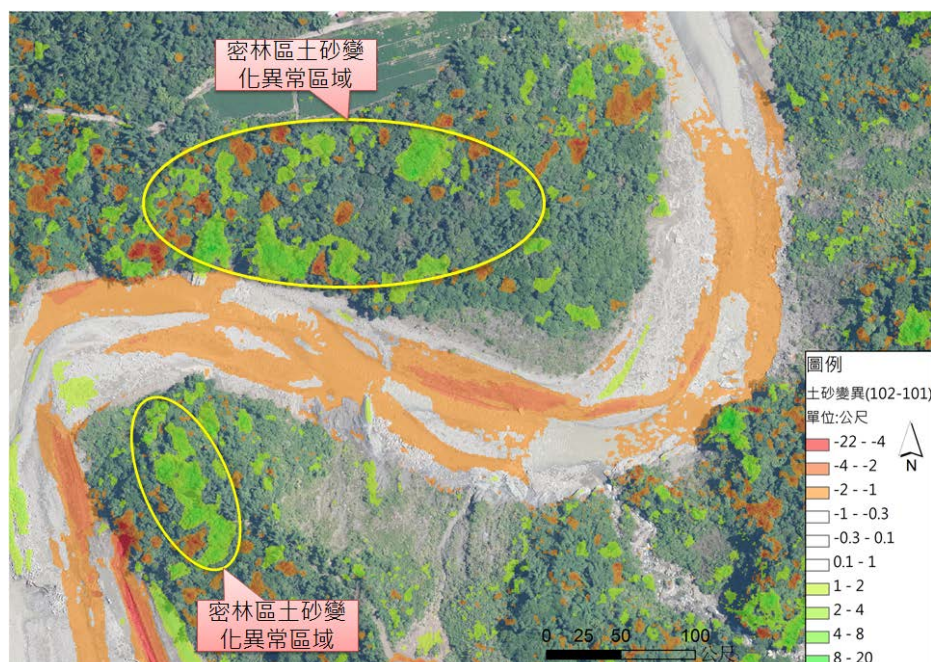


圖 3.18 密林區之光達穿透率低導致土砂變化分析異常示意圖

有鑑於上述原因，此工作項目以同一期之 DSM 減去 DEM 之高程差絕對值小於 2 公尺的區域為分析範圍(圖 3.19)。此高度範圍亦呼應本案在森林穿透率計算以 DEM 為底層搜尋 2 m 厚度之範圍為全部地面點的條件。而此範圍主要可濾除建物及樹木區域，留下崩塌地、植生復育崩塌地、農耕地、草地、道路、空地等區域，再藉由人工檢核，依據地表特徵的形狀、顏色、聚落、主要道路等，綜合研判並進行排除。如此可避免分析 LiDAR 穿透率低區域(通常為植生茂密區)，並完整找出研究區域內單期之土砂變異分析範圍。

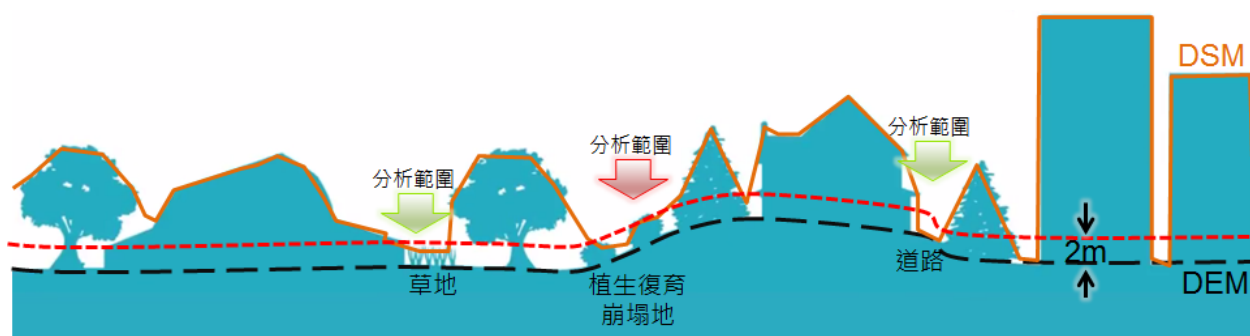


圖 3.19 分析遮罩產製示意圖

地形變異分析主要針對前、後時期裸露地進行分析，而前後期之分析遮罩範圍(M)為前期分析範圍(B)與後期分析範圍(A)之聯集範圍(如圖 3.20 所示)。於此分析遮罩範圍內進行前、後時期 DEM 之差異分析，可排除地形未變動區或密林區納入統計，而影響分析結果。因土砂變異分析主要針對裸露地(崩塌及河道)，而密林區則假設為為土砂未變動區域，因此不列入分析對象。圖 3.21 之紫色區域為 99 年與 101 年分析範圍聯集成分析遮罩之結果。

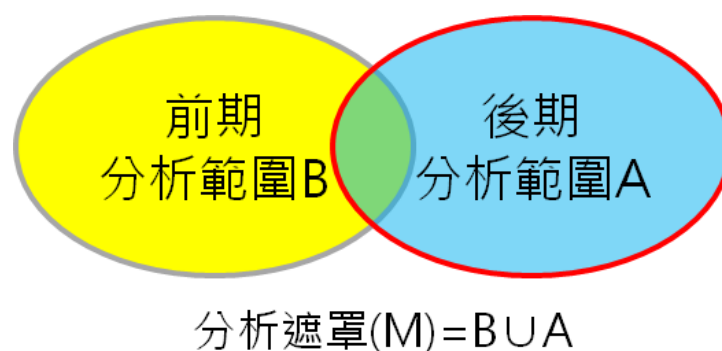


圖 3.20 前、後期地形變異分析遮罩示意圖

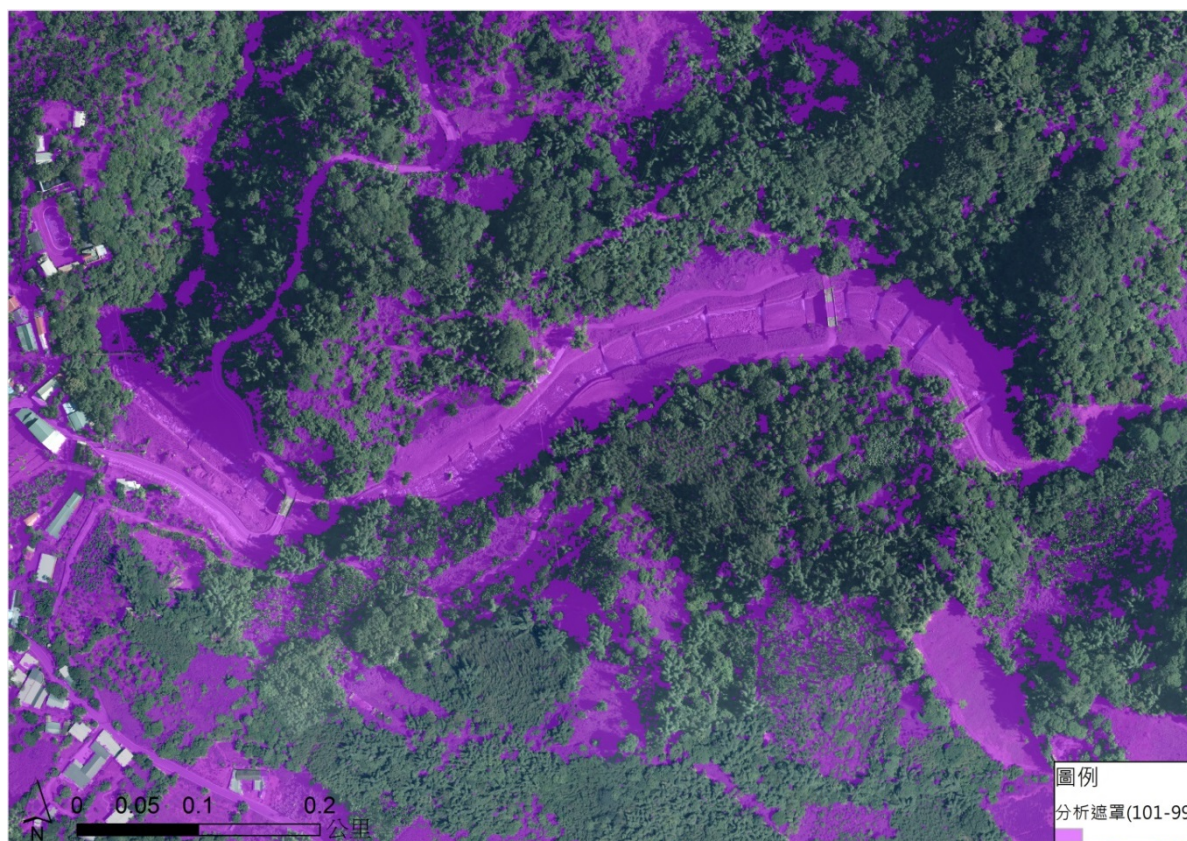


圖 3.21 地形變異分析遮罩圖(99 年至 101 年間部分區域)

### 3-2.5.3 集水區分區

地形變異分析主要以集水區為單元，進行土砂之變異分析。而集水區分區方法則採用光達 DEM 資料，以 ArcGIS 之 ArcHydro 水文分析模組之集水區產製工具，將研究區域分為數個集水區分區，再依據各集水區之崩塌地與河道土砂堆積範圍之土砂變化分析與統計。

### 3-2.5.4 水庫土砂量變異分析

在地形變異分析方法上，本計畫利用不同時期之 DEM 網格進行分析運算，以產出地形分析遮罩範圍內之土砂變化量。地形變異分析原理係將兩期之 DEM 應用 ArcGIS 地理資訊系統軟體之網格運算工具(Raster Calculator)進行相減(後期減前期)，以求得網格間之高程差位，若 2 期 DEM 網絡相減為正值，表示該區域為淤積區；反之若為負值則為沖刷區，如此即可瞭解不同時期之崩塌土砂變化及河道沖淤趨勢，如圖 3.22 所示。最後若將各網格之高程差值乘以單一網格大小後再進行加總即可得到土砂變化量。

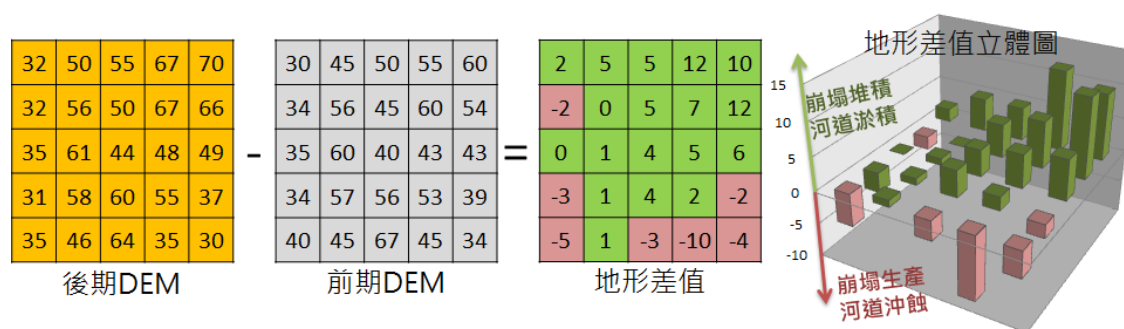


圖 3.22 前、後期地形變異分析示意圖

### 3-2.5.5 地形變異趨勢探討

本案以集水區為分析單元，探討集水區內地形變異趨勢。地形變異原因主要是由於風化、侵蝕、搬運、沉積等外營力與人為活動所致，其中因降雨導致外營力作用為地形與土砂變異地主要影響因子，本案選定研究區域內相對上下游較完整之集水區，以集水區內崩塌地與河道等裸露地之土砂運移變

化進行分析。在土砂運移的物理機制建立方面，先簡化現實現象，方便進行計算，如圖 3.23 中所示，建立子集水區之分區及其連結關係，將流域分割為許多子集水區，各子集水區再透過連結關係進行串聯。圖 3.24 為研究區域內部分之子集水區之崩塌土砂生產、堆積，河道侵蝕、淤積，河道上下游輸送的示意圖。

一般而言，集水區坡面在颱風豪雨期間發育崩塌所生產的土砂，部分土砂則在事件後仍停留在坡腳或河道(堆積或殘留)等待下次之颱風豪雨事件繼續搬運，而部分則在當次事件即受水流挾帶進入河道往下游輸送(崩塌生產-崩塌堆積)。

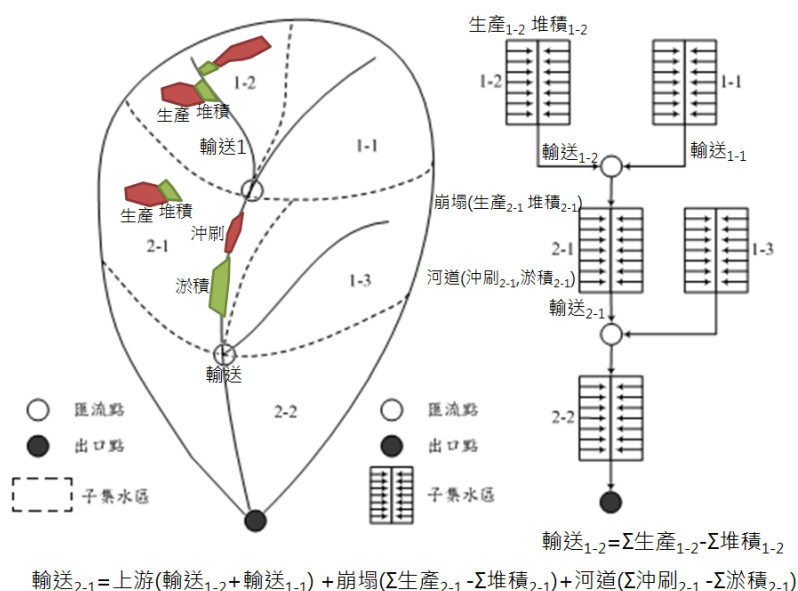


圖 3.23 集水區系統化圖



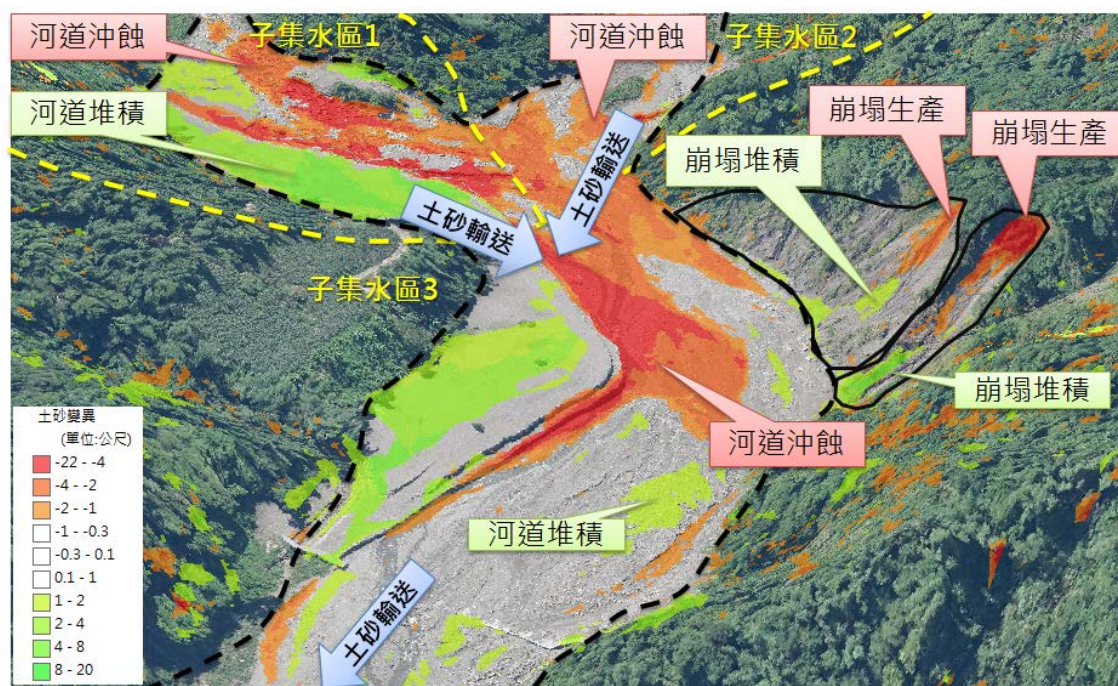


圖 3.24 土砂輸送概念圖

對於單一集水區而言，土砂運移趨勢可以土砂遞移率(Sediment Delivery Ratio, SDR)(「水庫集水區土砂整治成效評估」，經濟部水利署，民國 92 年)來表示，估算方式如下：

$$\text{土砂遞移率} = \frac{\text{上游集水區土砂總輸送量}}{\text{上游集水區土砂總生產量}} \times 100\% \quad (1)$$

式(1)中，上游土砂生產主要為該集水區上游所有集水區(含該集水區)之土砂生產量總和，而上游土砂輸送為該集水區上游所有集水區(含該集水區)之土砂輸送量總和，遞移率之意義為單次事件期間或任兩時間點之間，集水區生產之土砂被水流挾帶而離開集水區之比例，由遞移率之數值分布可瞭解未來潛在可移動土砂之量體。

### 3-2.6 山區道路坡面水系及其變異分析

本工作項目主要利用 99 年、101 年及 102 年之三期光達 DEM 之地形，選定一集水區建立完整之野溪、蝕溝、坡面排水以及道路側溝等構成水系網路，並分析不同時期之水系網路之變異。利用 102 年度產製之 1 公尺解析度

之光達 DEM 資料進行水系分析，結果顯示可呈現蝕溝、河道水系、河道流心、道路側溝、農路排水等細部之水系狀況，顯示此方法確實可行，且能呈現出接近現地之水系(包含人工構築之排水設施)發育情形(圖 3.25)。



圖 3.25 利用 1 公尺解析度之光達 DEM 資料產製水系圖

而本項作業方法即利用不同時期產製之水系，進行坡面水系之變異分析，並探討水系發育變化對於山區道路崩壞之影響，同時建立不同時期光達資料於水系分析之作業方法與流程。而細部之工作方法說明如下：

### 3-2.6.1 進行不同時期之坡面水系之變異分析

不同時期之水系變異狀況常影響下一次坡面災害發生位置，尤其是降雨逕流集中區域。因此為了解水系變異情形，有助於掌握後續災害發生之區位。本計畫將各期之 DEM 以 ArcGIS 之 ArcHydro 水文分析模組之水系分析工具，使用相同集水區面積門檻值進行水系繪製，再疊合不同時期之水系圖，找出有水系消長、位置改變等差異的區域圖 3.26，以為水系現況與災害情形之勘查地點選定依據。

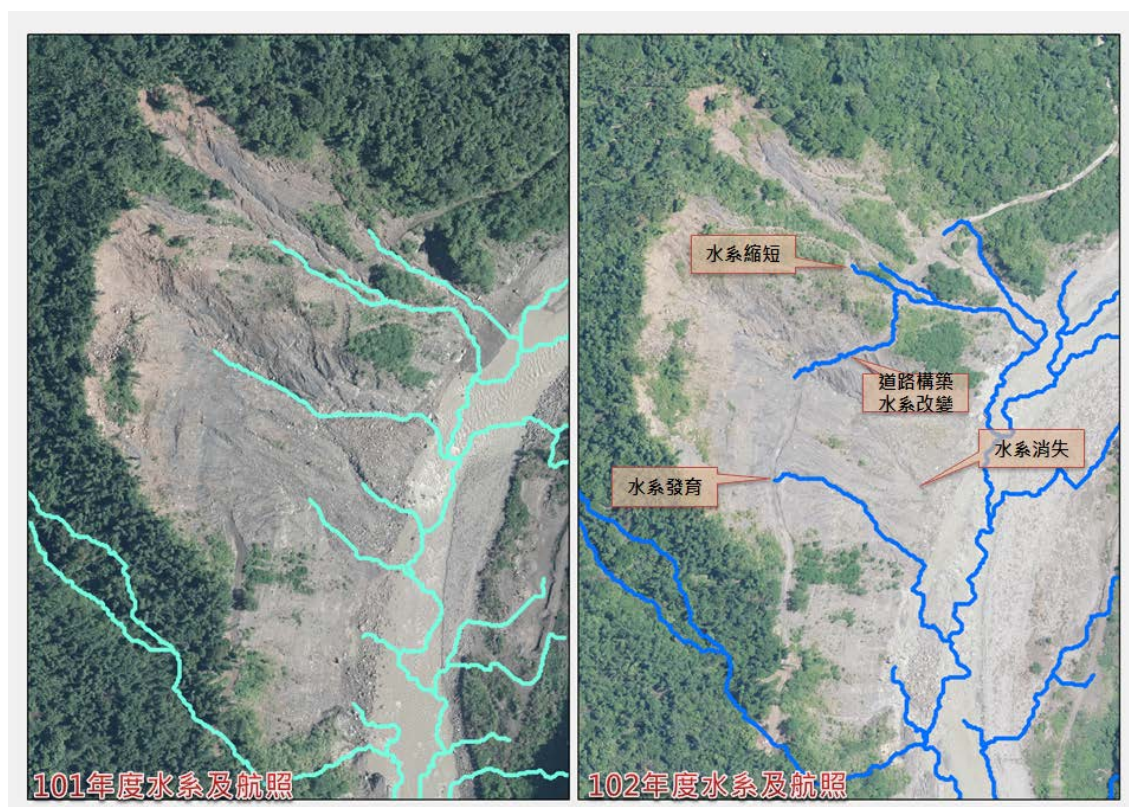


圖 3.26 不同時期之坡面水系變異比較圖

### 3-2.6.2 探討水系發育變化對於山區道路崩壞之影響

本案將利用後期崩塌的新增與擴大資料與前期的水系資料，探討前期水系分布與後續崩塌發育之空間關係，找出潛在山區道路崩壞的區位，並透過現地查核以進行確認，提供後續因降雨導致坡面崩壞防治之工程策略參考。

### 3-2.7 評估融合高光譜與空載光達資料分析土地覆蓋類別之可行性

為了瞭解國家建設、國土復育、保安等國家發展之基礎資訊，透過國土利用調查可建立土地利用之基礎資料庫，並以此為土地管理及國土政策規劃的重要參考依據之一。現今國土利用調查之土地使用類別共分為三級，其中第一級分為 9 大類，第二級就第一級之架構再細分 41 類，第三級則就第二級之架構再向下劃分為 103 類，等級越高細緻度越高而分類之類別數就越多。目前用於國土利用調查的重要工作程序包含航遙測影像之判釋以及現場外業調查作業(<http://lui.nlsc.gov.tw>)。第一項作業程序由專業人員透過航遙測影像對地物進行影像判釋，如立體判釋及單像判釋等，分辨其類別屬性；並於第二項作業，透過現場外業調查將航遙測影像中無法辨識的細部分類做調查及確認。因此為了提升現地調查作業的效能，可從提升第一項作業中影像判釋成果之精確度著手。

根據過去對於高光譜影像分類之研究(Ifraguerri and Chang, 2000; Miao et al., 2006; Prasad and Bruce, 2008; Shaw and Manolakis, 2002; Xing et al., 2005)，高光譜影像具有豐富的光譜資訊，因此研究者常透過影像處理等方式從中萃取有用之光譜特徵資訊，以達到提升光譜分類成果。

此外由於空載雷射掃描系統發展成熟，透過該系統可以快速取得高密度及高精度之三維坐標，透過掃描所獲得之三維坐標便可用做地表面高程之分析，因各類地物擁有自身之高程特性，透過此項資訊可以提供更多分類依據，由過去研究之成果可以發現，結合三維之高程特性對於光譜接近之地物分辨，在判釋上得以發揮明確的輔助功效(Gou et al., 2011)，提升判釋能力，因此為了能夠提升影像判釋成果，本項工作擬整合高光譜影像之影像光譜特徵及空載光達之點雲特徵，以提升影像判釋的可靠度。

### 3-2.7.1 研究流程

本研究中主要工作包含高光譜影像與光達點雲資料融合、影像及點雲的特徵萃取及分析、精度分析。由於高光譜影像是由像元組成之網格資料，而空載光達點雲資料是離散的點雲資料，為了完成二維高光譜影像與三維空載光達點雲之整合分析之作業，須對空載光達點雲資料進行網格化之處理，使其與高光譜影像成為一致之資料形式，並完成空間之套合，再進行點雲之特徵精萃取及分析，並分別進行像元式及物件式分類，最後針對分類成果之精度分析。研究流程如圖 3.27 所示。

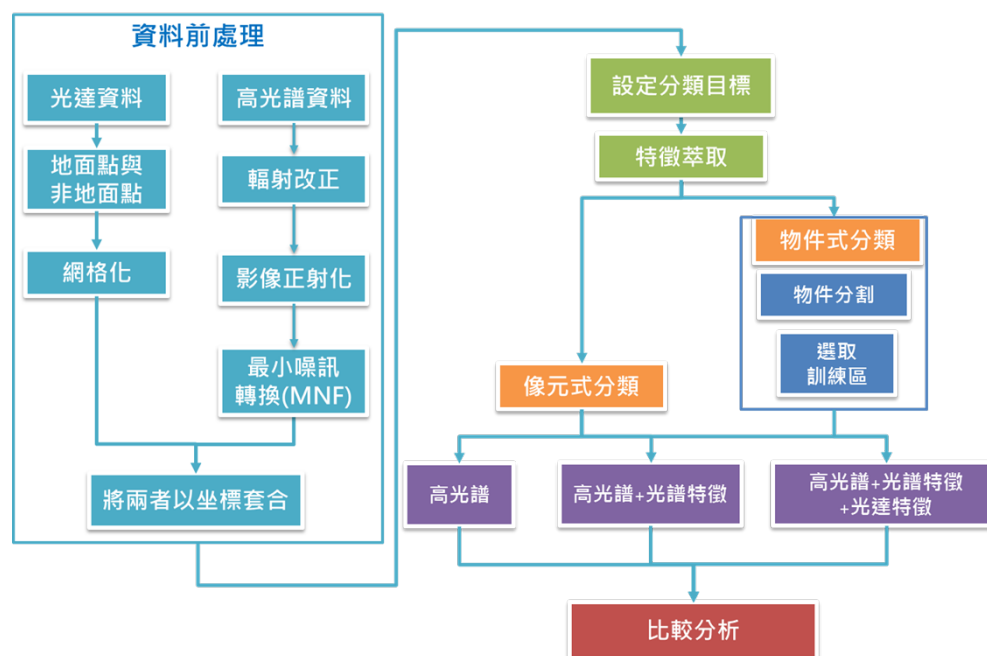


圖 3.27 土地覆蓋類別分類工作流程圖

分類方法主要分為傳統之像元式分類(Pixel-based)，以及物件式分類(Object-based)二種分類方式(Duro et al., 2012; Myint et al, 2011; Zhang and Xie, 2012)。由於物件式分類根據像元之同質性進行影像分割，將影像之像元透過集合成長之方式組合為物件，因此在分類時得以考量各物件周圍之鄰近區塊，且物件具有明確的空間概念，分類過程中可以納入空間關聯性之考量，以區塊的方式進行分類，故物件式分類中除了根據光譜的變化外還提供了形狀及紋理等特徵進行判斷(Ke et al., 2010)。

本案以 101 年火山測試區及 102 年水庫測試區為研究範圍，結合測試區高光譜影像及光達點雲資料進行地表覆蓋分類，分別採用此兩種方式進行分類，最終比較兩種分類策略之成果，並評估整合高光譜與空載光達資料應用於國土利用調查之可行性。本項目之方法主要包含高光達及光達之資料前處理、設定分類目標、影像及點雲的特徵萃取及分析、像元式分類及物件式分類、精度分析。

### 3-2.7.2 資料前處理

高光譜影像與空載光達點雲分別為二維影像及三維點雲，為整合物空間光達點雲及像空間高光譜資料，需分別進行影像及點雲之資料前處理，以有效整合兩組資料進行分類。

#### 1. 光達資料

光達原始數據為三維離散點雲，若要與影像整合以用於後續之分析，需先進行網格化處理。此外，光達網格化亦可提升資料處理效能並減少資料量。首先，對光達進行地面點及非地面點分類，經內插處理獲得數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)以及數值表面模型(Digital Surface Model, DSM)。DSM 可以應用於高光譜影像之影像正射化，使高光譜影像與網格化光達資料，兩者具有一致的坐標系統。

## 2. 高光譜影像資料

本研究使用 ITRES CASI1500 高光譜儀於 101 年及 102 年獲取之高光譜影像，高光譜影像具有 72 波段，光譜波長範圍為 362.8 至 1051.3 nm。高光譜影像處理包含輻射改正、幾何改正及光譜特徵萃取。為得到地表反射率，使不同航帶間具有一致的反射率，101 年及 102 年之影像採用 ATCOR4 方法進行影像輻射改正，輻射改正考量入射角、地形、大氣等造成影像輻射不均勻因素以減少資料取得過程中系統之影響，輻射改正成果詳見本案前期(102 年)成果報告。幾何改正則是為了消除成像方位及地形起伏造成的變形，以地面控制點經方位求解恢復影像方位；高差移位則使用光達產製的 DSM 進行影像正射化。此外，高光譜影像具有 72 個波段，在有限的訓練樣本下，降低影像維度可以提升運算效能、減少對訓練區數量及提升分類精度。光譜特徵萃取將使用最小噪訊成分轉換法 (Minimum Noise Fraction Transformation, MNF) 進行特徵的提取與轉換。

### 3-2.7.3 設定分類目標

本次研究目標在於國土利用調查中，遙測影像判釋作業效率之提升，因此分類目標以國土利用調查之分類為依據。由於影像資訊僅能取得土地覆蓋之資訊，分類時只能獲得土地覆蓋之區分，如表 3.7 所示。在國土利用調查土地使用分類系統中，人工建物或構造物等是屬於土地利用較細的類別，僅使用遙測影像及光達不易進行自動化建築使用辨識，但此問題在植物區域的影響較小，因此細分之重點在於農作物以及植物的部分，期望將作物及植物之部分做更加細部的區分，例如農作地、茶園、竹林及森林等，然而本案設定之目標為國土利用調查第二級，森林在本案測試區多為複雜混合林，因未具備詳細的樹種分布資料，導致在缺乏樹種訓練區分佈的情況下，未能針對不同樹種進行分類。人工訓練樣區主要透過人工進行影像中不同地物之選取，選取之標準在於選取地物之純像元部分，避免選取地物邊緣像元與避開混合地物的像元，因此訓練區採取小區塊的策略進行圈選，根據分類設定之目標

物，每種目標物圈選 15-20 個訓練樣區，作為後續高光譜影像分類的訓練樣區，人工訓練區之選取如圖 3.28。



■ 訓練區位置

圖 3.28 人工圈選訓練區及分佈圖火山區(左)、水庫區(右)



表 3.7 土地覆蓋分類目標設定表

國土利用調查土地使用分類系統			水庫測試區土地覆蓋 (land cover) (分類目標)		火山測試區土地覆蓋 (land cover) (分類目標)	
第一級	第二級	第三級	類別	定義	類別	定義
農業使用土地	農作	旱作	農作地	農作物種植之土地	農作地	各類農作物種植之土地
			茶園	指人工種植茶園		
		果樹	果樹	指人工種植之水果		
			檳榔	指人工種植檳榔園		
		農業附帶設施	溫室	有固定照明及網室	溫室	有固定照明及網室
森林使用土地	天然林	天然闊葉林	森林	指闊葉森林：包含天然林、人工林。 竹林：包含各類竹林	森林	指闊葉森林：包含天然林、人工林。 竹林：包含各類竹林
		天然竹林	竹林		竹林	
	人工林	人工闊葉林	森林		森林	
		人工竹林	竹林		竹林	
交通使用土地	道路	一般道路	道路	指人工鋪面之柏油路	道路	指人工鋪面之柏油路
水利使用土地	河道	河川、溪	水體	包含溪流、水池	水體	包含溪流、水池
	蓄水池	池				
	水利構造物	其他設施(攔沙壩、跨河橋梁保護工程)	河道	指人工建築物用地，包含住宅、公共設施、學校	河道	指人工建築物用地，包含住宅、公共設施、學校
建築使用土地	住宅	純住宅	建物		建物	
	其他建築用地	殯葬設施(墓地)			墳墓	
公共使用土地	醫療保健	衛生所	建物		建物	

表 3.7 土地覆蓋分類目標設定表(續)

國土利用調查土地使用分類系統			水庫測試區地覆蓋 (land cover) (分類目標)		火山測試區土地覆蓋 (land cover) (分類目標)	
	休閒設施	體育場、球場	運動場		運動場	
	學校	小學				
其他使用土地	草地	草地	草地	包含草地、草生荒地、廢耕草生之土地	草地 芒草	包含草地、草生荒地、廢耕草生之土地
	裸露地	崩塌地 裸露空地	裸露地	包含崩塌地、裸露空地、及泥土產業道路	裸露地	包含崩塌地、裸露空地、及泥土產業道路
			水泥地	指人工鋪面的水泥地		

## 3-2.7.4 特徵萃取

特徵萃取是從光譜及光達資料中產生分類所需的分類特徵，光達特徵包含幾何、波型及統計特徵，而在物件式分類中尚有形狀特徵，詳細光達特徵如表 3.8 所列，對應之光達特徵示意圖如圖 3.29 所示。高光譜則是使用光譜特徵及統計特徵，詳細光譜特徵如表 3.9 所列，對應之光達特徵示意圖如圖 3.30 所示。物件式分類之形狀特徵如表 3.10 所列，對應示意圖如圖 3.31 所示。

表 3.8 光達分類特徵

類別	特徵	公式	說明
幾何特徵	nDSM	$nDSM = DSM - DTM$	地表覆蓋物的高度；不同地物類別之高度均有一定範圍；可區別地表物及地上物
幾何特徵	粗糙度	$STD(DSM) = \sqrt{\sum(Z - Z')^2 / (n - 1)}$	高程 Z 方向的點雲離散程度；值愈大表地物結構愈複雜
波型特徵	反射強度	Intensity	回波的雷射能量；值愈大代表地物吸收雷射的情形

			愈不明顯
統計特徵	回波率	$ER = \frac{n_{\text{first}} + n_{\text{intermediate}}}{n_{\text{last}} + n_{\text{single}}} * 100\%$	回波數量的比值；值愈大代表地物垂直結構愈複雜；可區別植物及非植物
統計特徵	紋理特徵	<p>GLCM</p> $P(i, j) = \# \{ (x1, y1), (x2, y2) \in M \times N \mid f(x1, y1) = i, f(x2, y2) = j \}$ $ENT = \sum(P(i, j) * (-\ln(P(i, j))))$ $HOM = \sum(p(i, j)/(1 + (i - j)^2))$	計算資料在不同位置的各類統計數值；熵(Entropy, ENT)為特徵之一，值愈大表 GLCM 中所有元素有最大的隨機性且值幾乎相等；均調性(Homogeneity, HOM) 為另種特徵，反映了紋理的清晰程度和規則程度，值愈大表紋理清晰、規律性較強。由於不同光達特徵皆具備其紋理特性，因此針對各圖層皆計算其紋理。


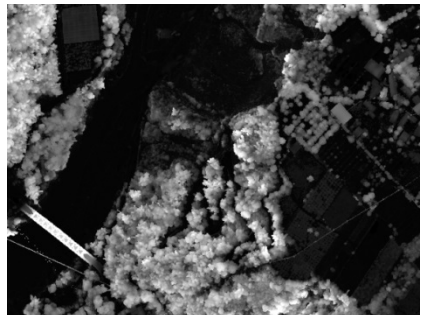
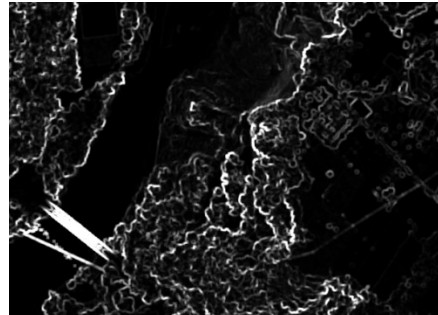

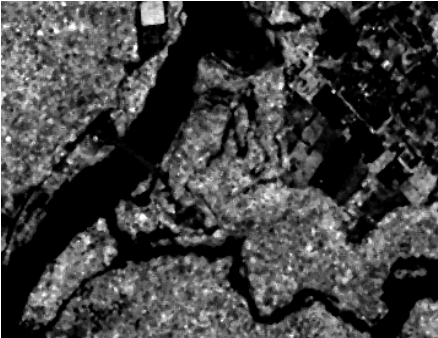
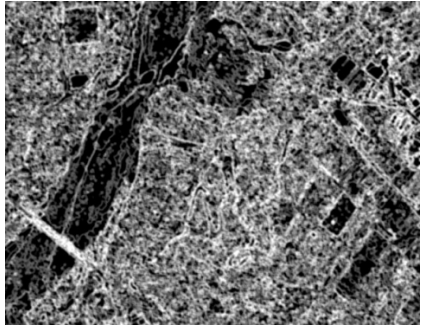
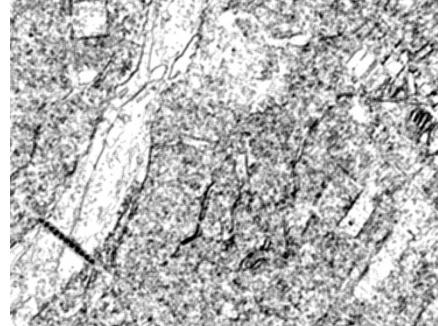
True Color	
	
nDSM	Roughness
	
Intensity	Echo Ratio
	
Texture / ENT	Texture / HOM
	
圖 3.29 光達特徵示意圖	

表 3.9 光譜分類特徵

類別	特徵	公式	說明
光譜特徵	MNF	$\Sigma = \Sigma_S + \Sigma_N$	最主要的目的在於分離原遙測影像中之雜訊及訊號，以簡化後續處理，MNF 轉換主要的概念來自主軸分析(PCA)，MNF 以最大化訊雜比取代 PCA 的於最大化變方，可降低資料維度，提高運算效率。本項特徵會先選擇據特徵值最大的前十個圖層，在由這十個圖層中，去除錯誤資訊特徵較明顯的圖層，例如出現明顯航帶不均勻的圖層。
光譜特徵	NDVI	$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$	判別植生反射量之多寡，適用於監測植生之變化。NDVI 之值落於-1.0~1.0 範圍，指數越大時，代表綠色生物量之增加，為綠色探勘最常用之指標。NDVI 指標使用第 30 個波段(645.7nm)與第 45 個波段(788.8 nm)
光譜特徵	WBI	$WBI = \frac{R_{900nm}}{R_{970nm}}$	判斷植生冠層水分含量狀態，一般綠色植生範圍為 0.8~1.2。WBI 則為第 57 個波段(903nm)及第 64 個波段(970.1nm)。
光譜特徵	EVI	$EVI = G * \frac{(NIR - R)}{(NIR + C1 * R - C2 * B + L)}$	判別植生反射量之多寡，適用於監測植生之變化
統計特徵	紋理特徵	GLCM	(同光達分類特徵之統計特徵\紋理特徵)
備註		選用波段 R:644nm、B:450nm、NIR:790nm	

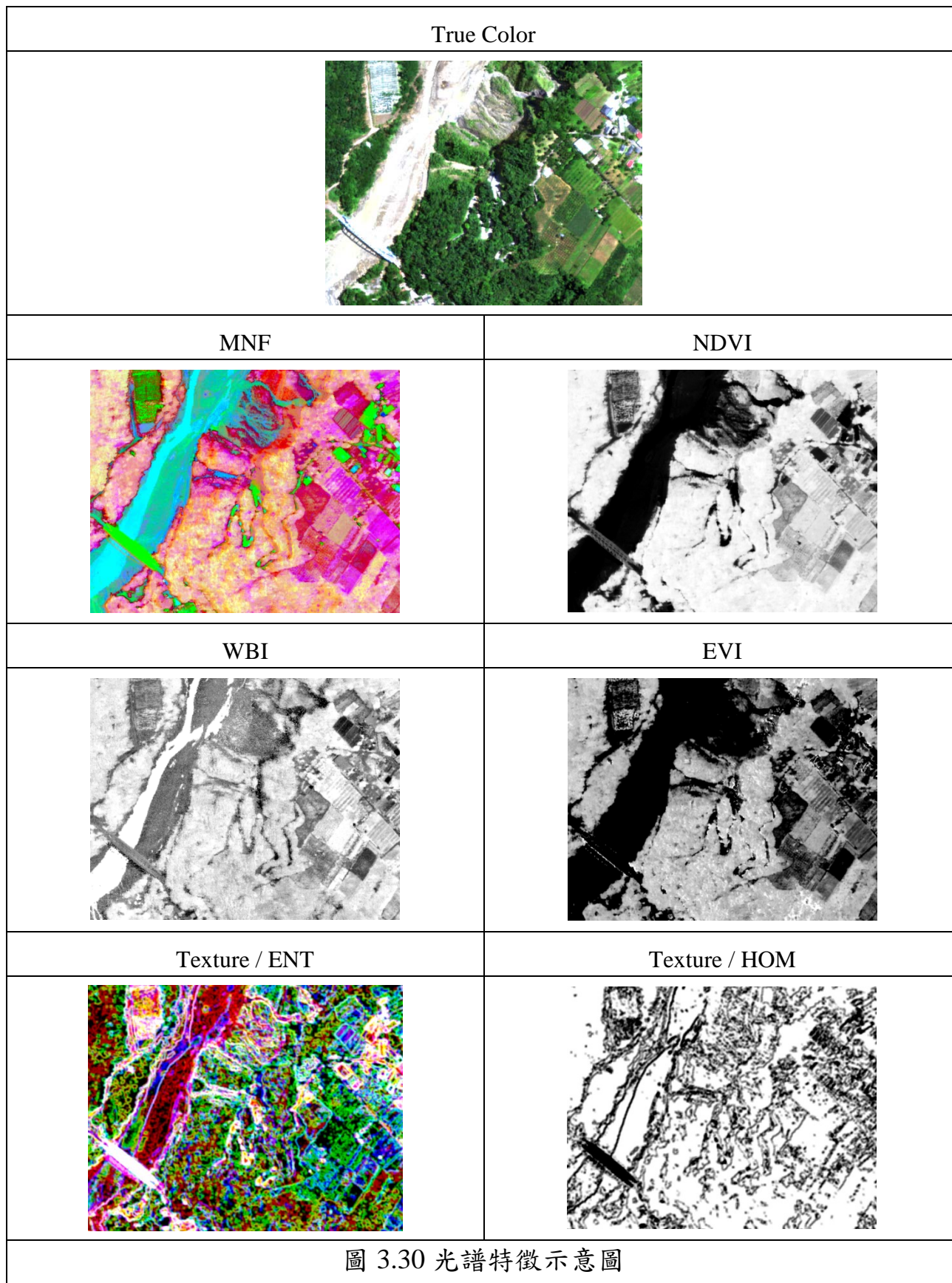


表 3.10 形狀分類特徵

類別	特徵	公式	說明
形狀特徵	區域大小 (Area)	物件內總像元數	該特徵計算物件內總像元數，用以區別範圍大小不同的同質性區域，越均勻的具有較大的數值，反之細節較多的位置數值較低。
形狀特徵	長寬比 (Length/Width)	$\gamma_V = \frac{\lambda_1(V)}{\lambda_2(V)}$ $\gamma$ 為長寬比  $\lambda$ 為特徵值，較大者做為分子	該特徵透過協變方矩陣的特徵值的比值進行計算，可用以區別物件形狀較細長亦或是方正。
形狀特徵	密度 (Density)	$D = \frac{\sqrt{P_V}}{\sqrt{\text{Var}X + \text{Var}Y}}$ $\sqrt{P_V}$ :表 $P_V$ 個像元的正方形物件直徑  $\sqrt{\text{Var}X + \text{Var}Y}$ :表橢圓形的直徑	透過物件的協變方矩陣計算物件密度，在 eCognition 的環境中，正方形物件具有最大密度，因此該值越高，表示物件越接近方形

### 3-2.7.5 像元式(Pixel-based)分類

像元式的分類方法即是利用像元光譜的統計與特徵進行目標物之分類方式。影像分類需要考慮諸多因素，通常可分為以下流程圖步驟，如圖 3.32 所示。

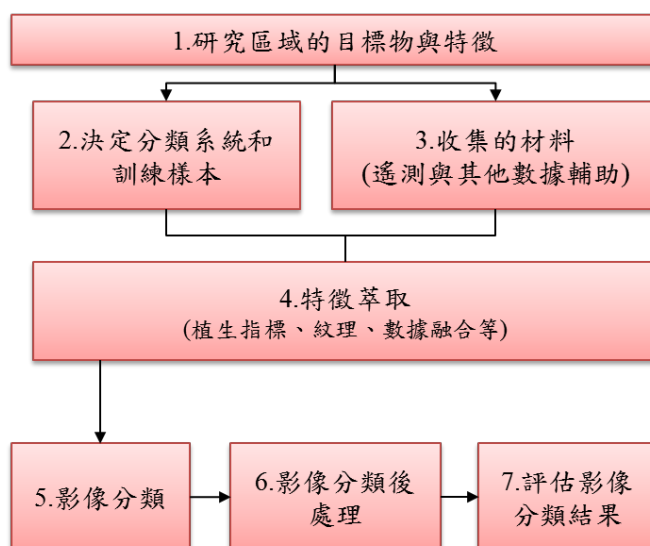


圖 3.31 影像分類主要步驟流程圖(Qihao,2011)

像元式分類使用 101 年度火山測區與 102 年度水庫測區的高光譜與光達資訊進行影像分類工作，本次工作案之高光譜影像皆已使用 MNF 進行維度縮減，並加入使用光譜與光達特徵進行分類，本案研究方法如圖 3.33。此外最後為降低像元式分類椒鹽反應(pepper and salt)之情形，分類後使用 majority 的方式處理椒鹽反應，此方式為以視窗內類別出現次數最多的類別(亦即視窗中之眾數)取代視窗中心像元之類別。



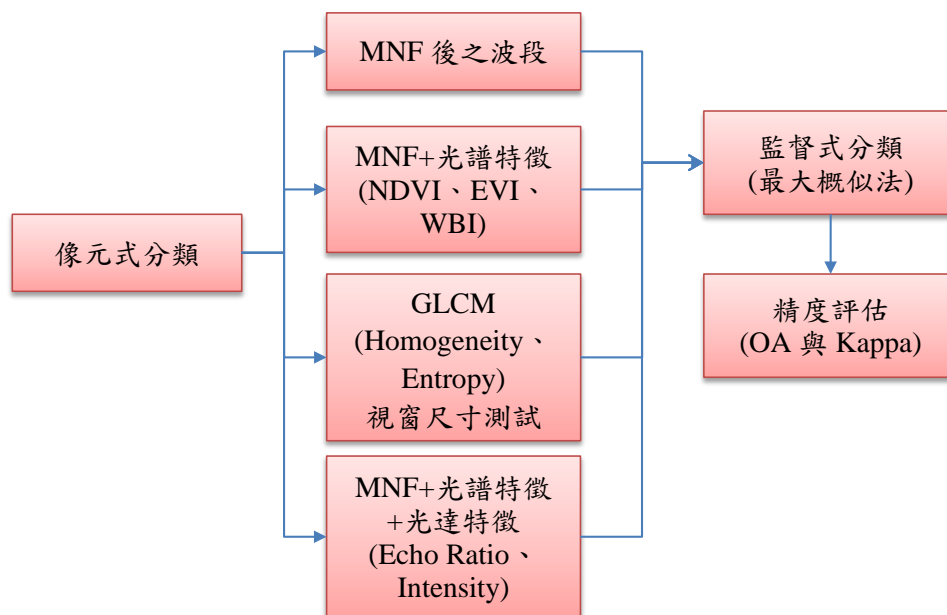


圖 3.32 本案像元式分類主要步驟流程

### 3-2.7.6 物件式(Object-based)分類

傳統的像元式影像分類，大多以像元為單位個別進行屬性值分析，未能考量像元彼此間的相關性，但實際空間中，具有意義的地物大多是由多個像元所組成，相鄰像元間的相關性高，所以可透過連結具相同光譜屬性的像元為一個物件，以物件的概念進行影像分析，藉此提升地物分類的正確性。研究顯示，以物件式進形地物分類，提供多項形狀因子，例如長寬比、緊密度、面積周長比等條件，有助於地物的判釋，同時也提升分類成果的精度。因此，本研究將結合光達與高光譜影像資料，以物件式分類法進行地物判釋及分類。主要工作包括影像分割、特徵分析及最小距離分類等步驟。透過影像光譜屬性實施影像分割，產生性質相似的個別物件，接著利用光達及高光譜影像進行特徵分析(包括光達高程特性、影像光譜特性、紋理特性及形狀特性等)，最後設定各種屬性及條件，以物件為單元進行分類及分析。圖 3.34 為物件式分類成果示意圖。

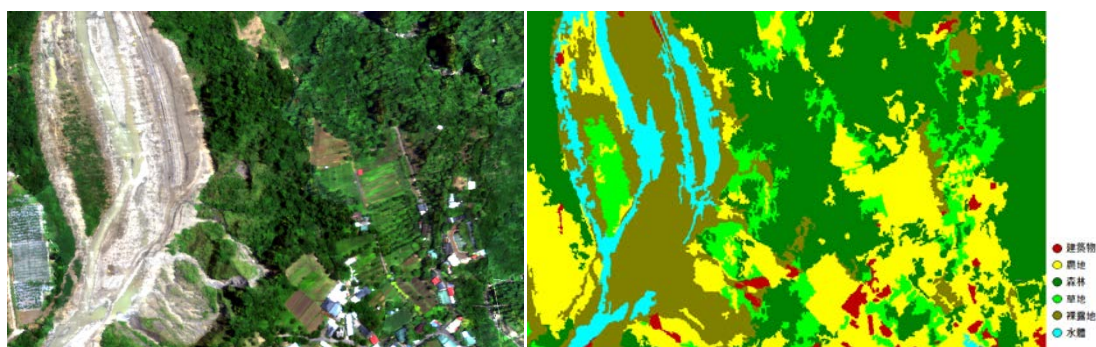
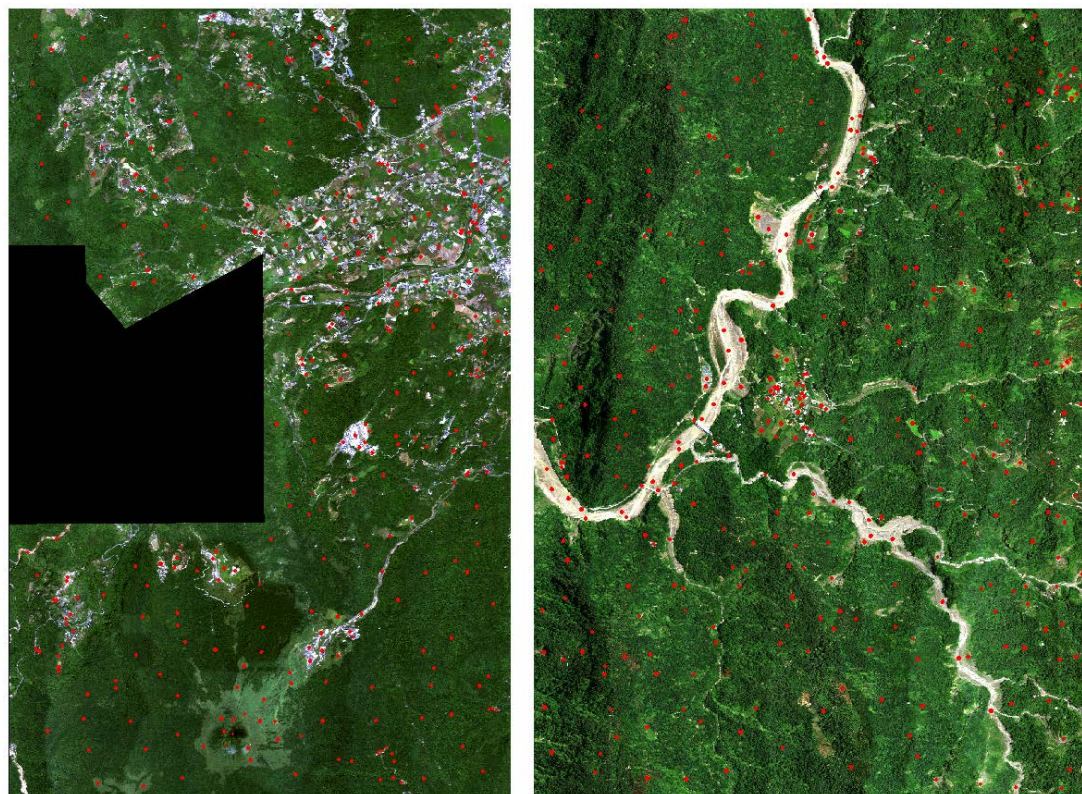


圖 3.33 物件式分類成果示意圖

### 3-2.7.7 分類精度分析比較

本項工作主要目的在於針對物件式分類與像元式分類的成果進行比較，進而後續與現地實際情況進行比對。為確認分類成果的正確性，以人工作業方式根據正射影像圈選檢核區(分布如圖 3.35)及現地調查檢核區域作為分類精度評估方式。

本作業使用均勻分布於測區中的檢核點，檢核區的圈選需均勻分佈測區，並透過套疊已確定不會與訓練區重疊為原則，並將該檢核區視為地真資料，比較檢核區資料與分類成果是否一致，結果以誤差矩陣方式呈現。外業檢核方式則是參考國土利用調查檢核機制，針對兩個測區分類後高光譜影像至少檢核 30 個平均分布於圖面之點位，檢核方式為以點位為中心，以前後 5 m 的範圍畫設檢核方框範圍，因此現地檢核大小樣區約為 10 m×10 m 之方框，對方框內之地物進行屬性查核。此外並量測方框內之地物相對距離，其測量方式為地物明顯易見之角點與角點間的相對距離。透過此現地查核方式，除可以得知現地地物屬性外，亦可得知不同地物之相對距離與平面精度。現地實際調查之檢核方式，如圖 3.36 現地調查示意圖。



■ 檢核區位置

圖 3.34 檢核位置分布圖(左:火山區、右:水庫區)

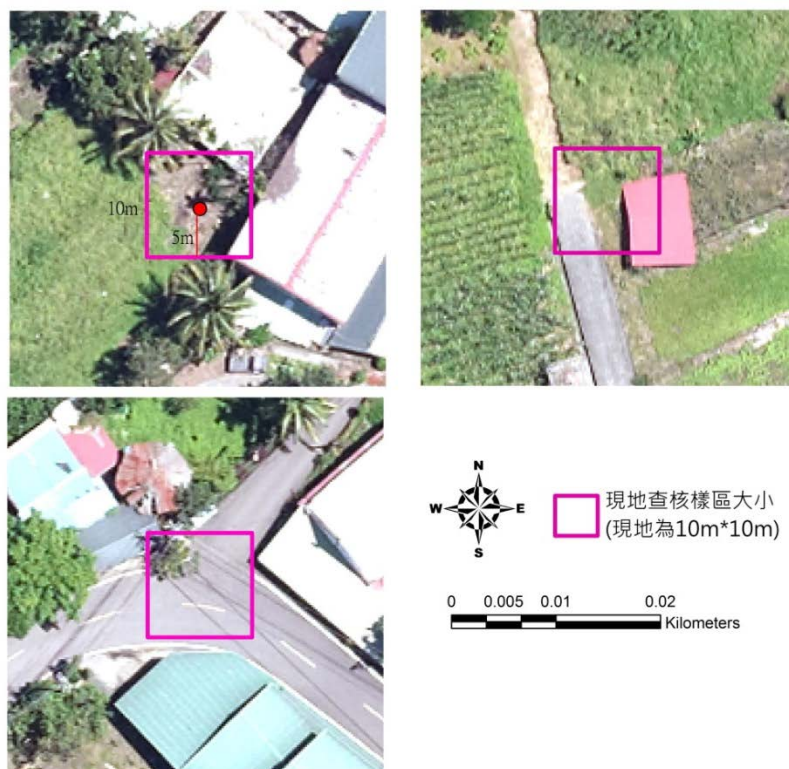


圖 3.35 現地調查示意圖

## 第4章 高光譜與光達資料綜合應用成果

### 4-1 研析森林地區之光達點雲穿透率資料

#### 4-1.1 地面光達掃瞄作業

##### 1. 外業掃瞄作業

於 103 年 4 月、6 月、8 月及 10 月進行水庫測區與北部火山測區內進行地面光達掃瞄作業，水庫測區有 3 個樣區，火山測區內則有 4 個樣區。本案掃瞄作業將點雲轉換至 TWD97【2010】坐標系統上，並在現地裝設固定樁以做為後續轉換的依據與增加現地架站的辨識性，如圖 4.1。此外本次研究地面光達掃瞄外業總站數共 31 站如表 4.1。



圖 4.1 研究區坐標轉換樁位佈設

表 4.1 各測區地面光達掃瞄站數統計

測區	樣區	站數	測區	樣區	站數
火山測區	第一處	5	水庫測區	第一處	4
	第二處	4		第二處	5
	第三處	5		第三處	4
	第四處	4		-	-

為避免資料上的遺漏，於作業前應當規劃好掃瞄路線，避開過多遮蔽與死角，以提升資料的完整性。為確保各站掃瞄資料的拼接精度，在各站掃瞄範圍內需佈設共軛球球標或共軛規標，並確保每次掃瞄可重疊 4 個以上共軛點資料。此外，由於後續資料需提供轉換後之坐標，故先在作業區域設置樁位點，並擺上規標球作為轉換的依據，如圖 4.2 所示，如此可於不同測站間利用共軛球標進行拼接，得到完整並連續的點雲資料。外業掃瞄情形，如圖 4.3 所示。其控制測量與精度解算如後文所述。



圖 4.2 現地共軛球標擺放圖



圖 4.3 外業掃瞄情形控制點觀測

## 2. 控制點觀測

為進行地面雷射掃描之控制點作業，控制點測設採用內政部國土測繪中心之「e-GPS 即時動態定位系統」所提供之即時動態定位服務測設，其系統利用多個衛星定位基準站所組成的 GPS 網絡，評估涵蓋地區的定位誤差，以最近的實體基準站為主要參考站，建構一個虛擬參考站 (Virtual Reference Station ; VRS) 供即時動態定位 (Real Time Kinematic ; RTK) 主站使用，並透過網路及無線數據傳輸的即時動態定位技術 (VRS-RTK)。

由於內政部國土測繪中心的 e-GPS 坐標系統，可能與已知點 TWD97【2010】坐標系統不一致，因此外業施測得到的點位坐標並不能直接應用於平差上，需先進行兩坐標系統間的比較及轉換。於兩測區附近之三等點為基站，如表 4.2，經過比較後，兩測區的已知點平面差距在 2 公分以內，高程差距在 5 公分以內，屬 VRS 精度範圍內，故後續直接使用內政部國土測繪中心之 e-GPS 坐標系統。

表 4.2 測區內三等點 TWD97【2010】坐標

點號	縱坐標	橫坐標	橢球高
Q308	2577741.414	212270.489	29.163
F028	2788880.633	316603.692	288.641

在測區的每處掃描位置外圍，皆先測定至少 2 個點，作為後續導線測量的控制點使用，其中水庫第 1 及第 3 測區原為開放導線，於第三次地面光達作業時新設了 5 個點位，並重新施測閉合導線，其點位坐標如下表 4.3。

表 4.3 控制點位坐標

點號	縱坐標 N(m)	橫坐標 E(m)	橢球高 h(m)	備註
水庫測區				
QQ1	2577867.290	216136.015	440.285	S1 閉合導線
QQ2	2577901.431	216117.752	443.093	S1 閉合導線
QQ2-1	2578029.987	216171.395	437.956	S1 閉合導線
QQ2-2	2578078.949	216111.615	437.152	S1 閉合導線
QQ5	2578952.957	215977.173	323.188	S2 閉合導線
QQ6	2578923.014	215964.209	321.229	S2 閉合導線
QQ7	2578838.031	215967.142	317.37	S2 閉合導線
QQ8	2578801.794	215986.373	317.556	S2 閉合導線
QQ3	2579950.930	216573.174	474.822	S3 閉合導線
QQ3-1	2579914.255	216540.306	469.576	S3 閉合導線
QQ3-4	2579822.554	216490.330	462.228	S3 閉合導線
QQ3-5	2579805.070	216488.628	460.773	S3 閉合導線
火山測區				
Q10	2787204.304	310696.076	405.309	T1 閉合導線
Q11	2787206.156	310666.562	401.6	T1 閉合導線
Q15	2787297.766	310622.013	387.747	T1 閉合導線
Q16	2787322.095	310674.487	381.939	T1 閉合導線
Q20	2788639.158	311621.283	193.618	T2 閉合導線
Q21	2788614.113	311634.628	197.081	T2 閉合導線
Q24	2788545	311667.41	207.8189	T2 閉合導線
Q25	2788520.07	311691.32	212.0072	T2 閉合導線
Q30	2788336.044	312112.3	333.397	T3 閉合導線
Q31	2788315.632	312089.278	333.473	T3 閉合導線
Q34	2788230.37	312083.91	325.8569	T3 閉合導線
Q35	2788211.25	312093.3	321.9533	T3 閉合導線

Q40	2788909.384	313117.354	120.892	T4 閉合導線
Q41	2788949.653	313123.454	118.825	T4 閉合導線
Q44	2789081.62	313248.43	112.6531	T4 閉合導線
Q45	2789096.01	313259.14	113.1669	T4 閉合導線

### 3. 導線測量

於測區內每一處附近已知控制點，利用全測站經緯儀採「測角」、「測距」實施導線點坐標測量，並同時施測間接高程。「測角」以經緯儀正倒鏡觀測一測回，較差不得超過 10"，「距離」使用光波測距儀觀測。依據計算成果，以求解所有導線點的坐標與高程，作為後續測量平面及高程基準使用。而整個測量之作業程序如下所述：

- (1) 作業計畫及準備：依照本次作業計畫之目的、用途、範圍及區域之大小、地形之情況，實地踏勘，並依待測及已知點之分布及密度，導線測量精度及測量儀器，並擬定相關作業計畫。
- (2) 距離及角度測量：測量導線之各邊長與相鄰之折角。
- (3) 間接高程測量：測量導線之各邊天頂距。
- (4) 測定方位角：由起始測站之已知坐標與後視測站已知坐標計算方位角，並據此推算其他各邊之方位角。
- (5) 點位坐標高程計算：依起點已知坐標值與高程值逐步推算其他各點坐標與高程。

導線部分由各處控制點為基準，分別於各處設置五個導線點形成閉合或開放導線，解算觀測量和精度如表 4.4 所示。



表 4.4 導線精度

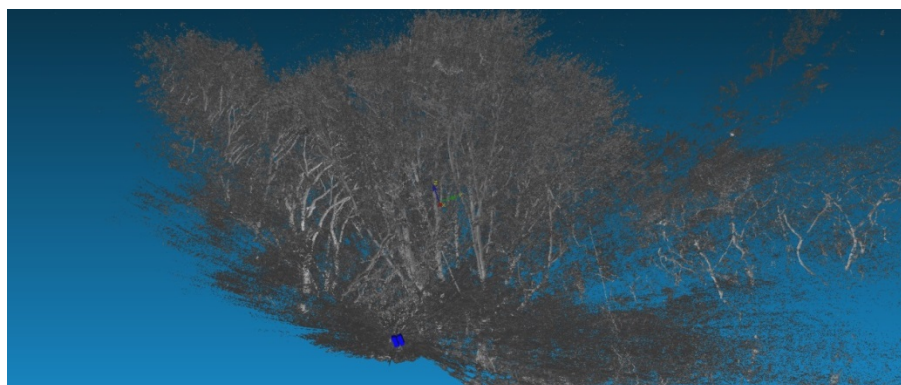
測區	導線編號	測站數	角度閉合差(秒)	導線長度(M)	方位角閉合差		平面坐標閉合比	
					限制	實測	限制	實測
S	S1	3	16.81	141.677	20√N	9.7	1/8000	1 / 14359
S	S2	3	4.03	88.648	20√N	2.3	1/8000	1 / 12759
S	S3	5	11.67	104.614	20√N	5.2	1/8000	1 / 9010
T	T1	5	-36.57	121.988	20√N	16.4	1/8000	1 / 5546
T	T2	4	-5.53	87.030	20√N	2.8	1/8000	1 / 13380
T	T3	4	-46.62	87.525	20√N	23.3	1/8000	1 / 15103
T	T4	4	23.21	184.179	20√N	11.6	1/8000	1 / 10698

#### 4-1.2 地面光達資料處理

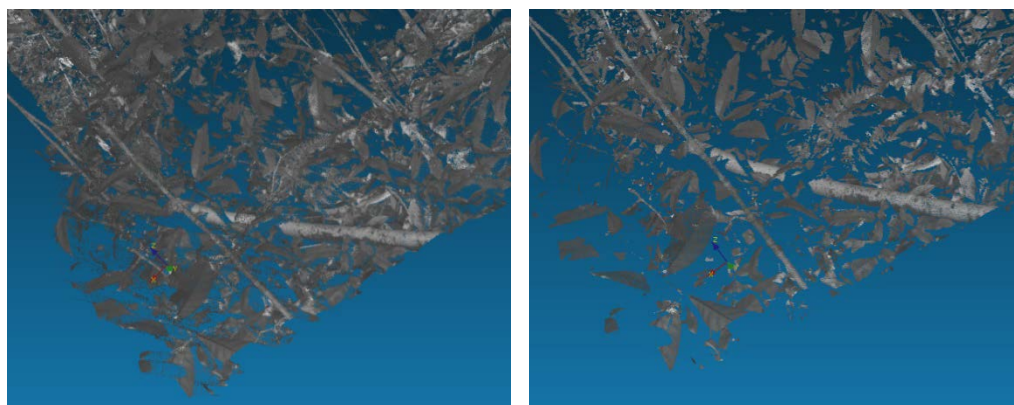
點雲資料獲取後，須經由內業的處理，包含雜訊的過濾、上色、各測站的接合及平差的檢核，才能輸出至其他應用研究上使用。

##### 1. 自動雜訊濾除

由於掃瞄後的點雲資料因空氣中粉塵而存在許多雜訊，而掃瞄物體之間存在著多路徑效應所產生的雜訊，因此必須使用自動濾除方法並設定濾除參數來濾除這些雜訊點，避免產生干擾，而如車輛或人員經過所產生的雜訊則需要利用人工手動來進行濾除，如圖 4.4，圖 4.5 為自動濾除後之點雲資料。



空氣中雜訊資料處理



雜訊資料處理

圖 4.4 雜訊資料處理



圖 4.5 自動濾除後點雲資料

## 2. 點雲進階處理

經由前述點雲經過自動濾除後，能過濾多數的雜點(noise)，但在較為複雜的環境中(例如林區)，有些雜訊透過自動濾除並無法消除，這時需要進一步的人工判釋與進階參數設定。一般會面臨的雜訊問題如下：

- (1) 當雷射光正好打在目標物的邊緣上，光斑的一半打中前方的物體邊緣，而另一半打到後方的物體，會在兩個物體中間產生一個錯誤的點位資訊，此為目標物邊緣的雜訊如圖 4.6。



圖 4.6 邊緣雜訊

(2) 空氣中懸浮粒子所造成的影響。空氣中的懸浮粒子(如灰塵)會造成雷射光的反射，一般反射的強度值會遠小於目標物的反射強度值如圖 4.7。

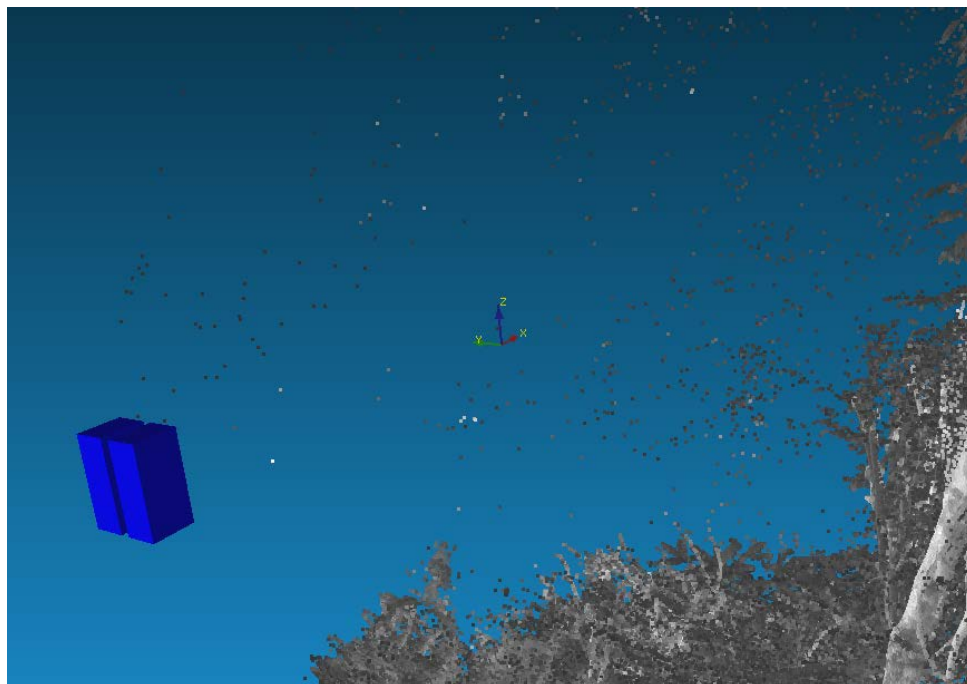


圖 4.7 懸浮粒子之影響

針對這些問題，使用軟體內建之 4 種參數進行雜訊濾除，分述如下：

- (1) Mixed pixels(混合像元)：去除上述描述之邊緣錯誤資訊點，如圖 4.8 紅色點為邊緣欲濾除之點雲，綠色點才是目標物之點雲，透過軟體內部的 pixel 大小以及雷射光與目標物之角度設定進行邊緣點雲濾除。

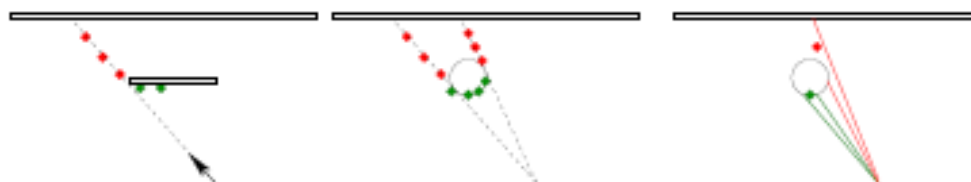


圖 4.8 混合像元分類(Tuley& Vandapel,2005)

- (2) Single pixels(單一像元)：接續 Mixed pixels 步驟，用來檢查 Mixed pixels 步驟是否還有遺漏點，必利用此功能除去遺漏的點。
- (3) Intensity filter(強度值濾波)：去除空氣中懸浮粒子的反射，一般空氣中懸浮粒子的反射都會偏弱，反射值為 0.03% 以下，以此為指標能除去大部分的雜訊。
- (4) Range filter(測距過濾)：在樹林較為複雜的區域，較遠距離通常會有折射或者較破碎的點雲等不能使用的資料，以此功能最為合適之距離過濾點雲。

以上 4 種方法處理方法並未破壞點雲原始資料，僅使用遮罩將不需要的點雲蓋住，供輸出使用，並隨時可還原成最原始的點雲資訊。

### 3. 點雲上色

使用地面光達掃瞄儀的連動相機，可同時拍照獲取色彩資訊，本掃瞄儀之相機雖同軸卻不同心，需要透過原廠提供之率定參數將相片與點雲結合，進行點雲上色，使其後續輸出之點雲具有 RGB 色彩資訊，如圖 4.9。



圖 4.9 點雲上彩圖

#### 4. 點雲接合與坐標轉換

本次點雲掃描採用單站式進行點雲獲取，因此點雲資料是建立於測站的相對坐標系統上，站與站之間至少需有 4 個以上的共同共軛點，才能進行三維空間點雲拼接，以利後續進行光束法平差。本次點雲拼接精度皆於 5mm 以下，其拼接過程如圖 4.10 所示，先擬合規標球，取得規標中心坐標，軟體會利用規標坐標進行計算，將各測站進行平移及旋轉，最後將所有測站建置在同一原點上，並計算各測站重複的規標，其坐標殘差值為多少，用於判定拼接是否有誤，若過大將重新檢視點雲資料，排除規標擬合不良或規標遭到移動等狀況，確定拼接誤差在合理範圍後，再轉換至本研究之規定坐標系統，輸入坐標於坐標轉換點進行轉換，如此各樣區皆位在相同坐標系統之下，其兩研究區域內各樣區之相對坐標精度分析如表 4.5，各期測站精度分析及中心絕對坐標如附件一，各其測站相對精度報表如附件二。

在最後產出之報表中(圖 4.11)，會呈現使用的規標數、平均偏差以及標準偏差，平均偏差為所有規標殘差值的平均值，標準偏差主要適用於觀察規標點的離散程度，在本案中每個地面光達單站皆用同樣重複的 4~5 個規標點互相比較，誤差值應該要相近，而標準差數值越大表示離散程度越大，可能表示有錯誤的點位被包含在裡面，如標準差數值太大可針對最大的標準偏差進行確認。

點雲拼接一般會受到一些因素影響，包含掃描的密度、距離、遮蔽等等，造成拼接規標上的點雲缺失，影響擬合精度，進而影響拼接精度。故在相對拼接時，會先進行初步的人工篩選，排除因點雲缺失而無法準確擬合的規標；再進行光束法平差後，針對較差的規標再次擬合，檢討是否現場有遭到移動，並進行排除，以確保拼接精度

而在進行絕對坐標轉換的過程，會遭到更多因素的影響，包含導線的精度、規標定心定平的人為誤差、以及上述的一些掃描因素影響，因為坐標的轉換並不會改變點雲的尺度，僅作坐標軸的旋轉及平移，故在合理的整體誤差下，單一規標的精度誤差通常視為現場的人為誤差而不多做討論。



圖 4.10 站與站之共軛球標選取

Result	Report	Logging	Targets	Viewer		
Viewpoint	d [mm]	dx [mm]	dy [mm]	dz [mm]	from scan	to scan
3						
▲A2	1.9	-1.5	1.1	-0.3	As3.zfs	As6.zfs
▲A6	3.6	3.0	0.4	-1.9	As3.zfs	As6.zfs
▲T1	2.6	-1.4	-1.7	1.4	As3.zfs	As6.zfs
▲T2	1.0	0.2	0.1	1.0	As3.zfs	As4.zfs
4						
▲A2	1.5	-1.4	-0.2	0.3	As4.zfs	As3.zfs
▲A3	1.3	0.3	0.9	0.8	As4.zfs	As6.zfs
▲A6	3.1	2.1	1.6	-1.5	As4.zfs	As3.zfs
▲T2	1.0	0.2	0.1	1.0	As4.zfs	As3.zfs
▲T3	0.7	-0.6	-0.2	-0.2	As4.zfs	As6.zfs
5						
▲A1	0.6	-0.2	0.1	-0.6	As5.zfs	As6.zfs
▲A2	1.8	-1.7	0.4	0.4	As5.zfs	As3.zfs
▲A3	1.1	0.7	0.8	-0.0	As5.zfs	As4.zfs
▲A4	1.3	0.5	-0.4	-1.1	As5.zfs	As6.zfs
▲A5	2.1	-1.1	0.2	1.8	As5.zfs	As6.zfs
▲A6	2.2	1.9	-0.1	-1.1	As5.zfs	As3.zfs
▲T1	1.9	-1.6	-1.0	0.4	As5.zfs	As3.zfs
▲T2	1.0	0.6	0.6	0.4	As5.zfs	As3.zfs
▲T3	0.6	-0.2	0.0	-0.5	As5.zfs	As6.zfs
▲T4	0.6	-0.4	-0.1	0.4	As5.zfs	As6.zfs
6						
▲A1	0.6	-0.2	0.1	-0.6	As6.zfs	As5.zfs
▲A2	1.9	-1.5	1.1	-0.3	As6.zfs	As3.zfs
▲A3	1.3	0.3	0.9	0.8	As6.zfs	As4.zfs
▲A4	1.3	0.5	-0.4	-1.1	As6.zfs	As5.zfs
▲A5	2.1	-1.1	0.2	1.8	As6.zfs	As5.zfs
▲A6	3.6	3.0	0.4	-1.9	As6.zfs	As3.zfs
▲T1	2.6	-1.4	-1.7	1.4	As6.zfs	As3.zfs
▲T2	0.9	0.3	0.0	-0.8	As6.zfs	As4.zfs
▲T3	0.7	-0.6	-0.2	-0.2	As6.zfs	As4.zfs
▲T4	0.6	-0.4	-0.1	0.4	As6.zfs	As5.zfs

圖 4.11 掃描光束法平差成果

表 4.5 各測站相對坐標拼接精度(第一期)

樣區測站名	總覘標數	平均偏差	標準偏差	最大偏差
<b>S1</b>	20	2.7 mm	1.2 mm	5.0 mm
<b>S2</b>	26	1.9 mm	1.1 mm	4.5 mm
<b>S3</b>	17	2.0 mm	0.8mm	4.1 mm
<b>T1</b>	25	1.5 mm	0.5 mm	2.6 mm
<b>T2</b>	24	1.5 mm	1.7 mm	3.2 mm
<b>T3</b>	21	1.5 mm	0.7 mm	3.2 mm
<b>T4</b>	17	1.8 mm	0.6 mm	3.0 mm

## 5. 點雲輸出檢查

坐標轉換完成後，為確保各站精度無誤，需先輸出並確定點雲的疊合程度，以避免影響後續其他的運用與作業，如圖 4.12 所示。

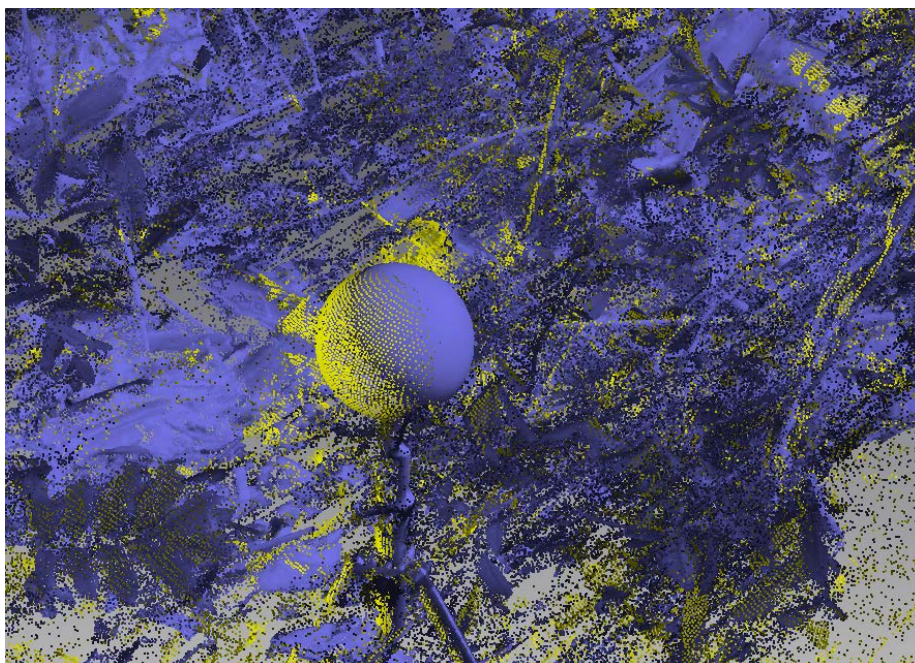


圖 4.12 點雲資料檢查

本計畫在地面光達作業上，共實行了四次資料收集的作業，並利用現地的樁位，將四次資料移轉到相同坐標系統上。在相對的精度上，前期因作業的流程不夠熟悉，較常出現資料上的缺失，包含覘標球被樹葉或雜草所遮蔽、無法通視或缺少部分資料無法擬合等等，使得接合的精度相較於後期的成果，

誤差值有比較大的情況，在後期及時修正作業的相關注意事項，也提升了相對接合的精度。另外，南部曾文水庫第 1 樣區以及第 3 樣區，原為開放導線，為確保導線成果之可信度，於第三次掃瞄時，於第 1 樣區新設 QQ2-1, QQ2-2，第 3 樣區新設 QQ3-1, QQ3-4 及 QQ3-5(原控制點 QQ4 已遺失)，共新設五支樁位，並重新施測閉合導線測量。其施測成果也達到在林區中合理的精度要求。

#### 4-1.3 地面光達穿透率之計算

本案以火山與水庫測區共 7 個掃瞄樣區，分別為 4、6、8 與 10 月份地面光達資料，利用模擬的方式探討雷射光穿透森林冠層應有的點雲分布特性，推估模擬範圍之光達穿透率。其模擬雷射光的方式，必須考量到各種模擬參數的設定，如雷射光光斑(footpoint)大小、各雷射光間距與雷射被遮蔽程度等之計算。本案利用第一期掃瞄之 S1 樣區與實際空載光達穿透率比較具有高度相關，其該樣區實際空載光達平均穿透率為 0.2，多次測試模擬參數後將 S1 樣區模擬與實際空載光達穿透率調整為相同，並利用該參數計算後續之樣區資料，達成與實際空載光達穿透率連結的目的，故各期的模擬參數均統一，並以此計算其他站與掃瞄時期資料。

詳細的參數與步驟如下，將點雲分布換算成三維立方體(voxel)，如圖 4.13，每發模擬雷射光間距 X, Y 軸均為 0.1 m，zenith angle 為  $0^\circ$ ，最多可以產生 4 個回波量(Echo)，多重回波的產生需先決定雷射光圓半徑(footpoint)，亦可模擬各種形狀之雷射光，本案預設為 0.1m 半徑之雷射光，而回波的決定主要是以計算模擬雷射光被遮蔽之程度，分別為雷射光被植生完全遮蔽、半遮蔽至輕微遮蔽，當遮蔽比率 0.75 以下為視為半遮避或輕微遮蔽，而其為 echo 之位置，半遮避或輕微遮蔽之模擬雷射光繼續穿透，當累加到遮蔽率達 0.75 以上視為雷射光已無足夠回波能量被偵測到，故為 echo 產生方式。另一方面在計算過程中必須決定模擬之雷射光是否接觸到地面，因此以地面光達資料利用 TerraScan 前處理過濾地面點，當模擬雷射光接觸到地面點時，即停止模擬雷



射光入射。

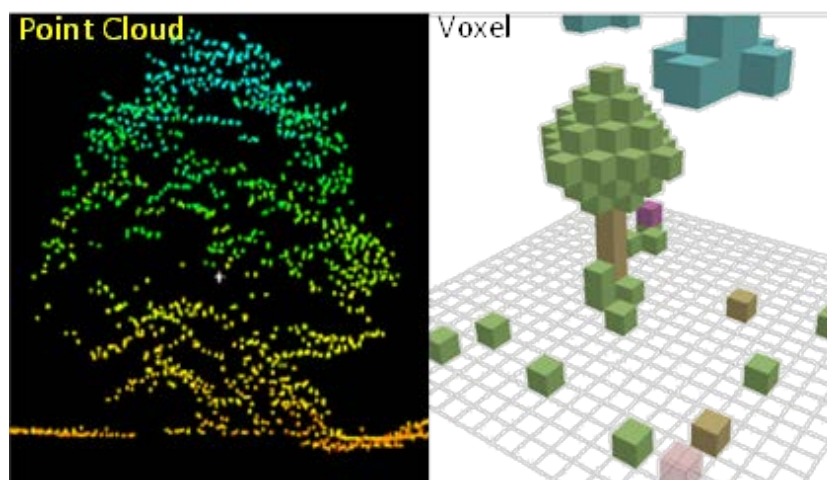


圖 4.13 地面光達點雲轉換為三維立方體示意圖

模擬後的結果以點雲方式展示如圖 4.14 所示，記錄點雲的分類、強度值與回波代號，由於地面光達與空載光達觀測角度之不同，為達成相同的觀測特性故需要以模擬的方式轉換地面光達資料，並且利用雷射發射數量與雷射接觸地面的數量比例計算穿透率，與本案之空載光達穿透率計算一致。

本案利用模擬空載光達雷射光發射的方式，定量 4 期地面光達之穿透率，比較季節差異是否影響到穿透率，由於地面光達與空載光達觀測角度上之差異，雖然均利用雷射光測量目標物，但空載光達主要是由上往下觀測，並具有多重回波之資料，即雷射光會穿透森林冠層到達地表，而地面光達主要是掃瞄樣區範圍內植生分布之情形，並無法直接計算穿透率，故利用模擬雷射光配合地面光達所計算之植生遮蔽空間分布，來達成有效的定量森林之穿透率，主要目的為連結實際空載光達之穿透率，該方法為合理之地面光達穿透率之計算方式。

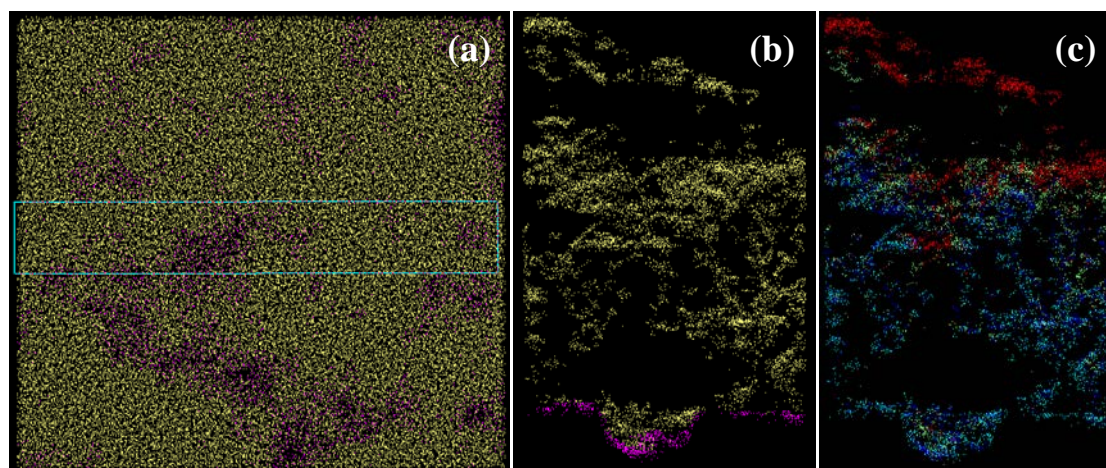


圖 4.14 模擬雷射光產製之點雲分布資料。(a)點雲俯視圖。(b)地面點與非地面點。(c) 回波代號分布圖。

圖 4.15 為光達模擬魚眼的展示情形，本案總共調查 4 個時期相同地點之地面光達資料，南北測區總共 7 個樣區，每個樣區有 4 至 5 個光達測站，將各測站拼接成完整的樣區資料，並利用模擬空載光達雷射光的方式計算穿透率，結果如表 4.6 所示，但第一期 S2 樣區資料由程式計算後，發現資料上許多錯誤的雜點，故呈現較低穿透率之趨勢。由於 4 到 10 月並非明顯落葉的季節，故本案 4 期之穿透率差異不大，從圖 4.16 的分布趨勢，僅有水庫樣區 S3、火山樣區 T1、火山樣區 T2 至 10 月份時穿透率有些許提升。本案經由現地調查樣區主要樹種，如表 4.7 所示，樣區狀況如圖 4.17，各樣區樹種皆為常綠樹種，推測是由於今年 9 月有一個颱風事件因而造成的落葉，使得模擬穿透率有所差異，故本案在資料獲取時間其穿透率並無明顯改變，往後可以期待更長的時間序列來探討葉量之變化。在各樣區間的穿透率有差異，主要為挑選具代表性森林，並各樣區林相需有差異，如樹種或密度的差異，故計算過後各樣區間穿透率有差異，是合理的結果。

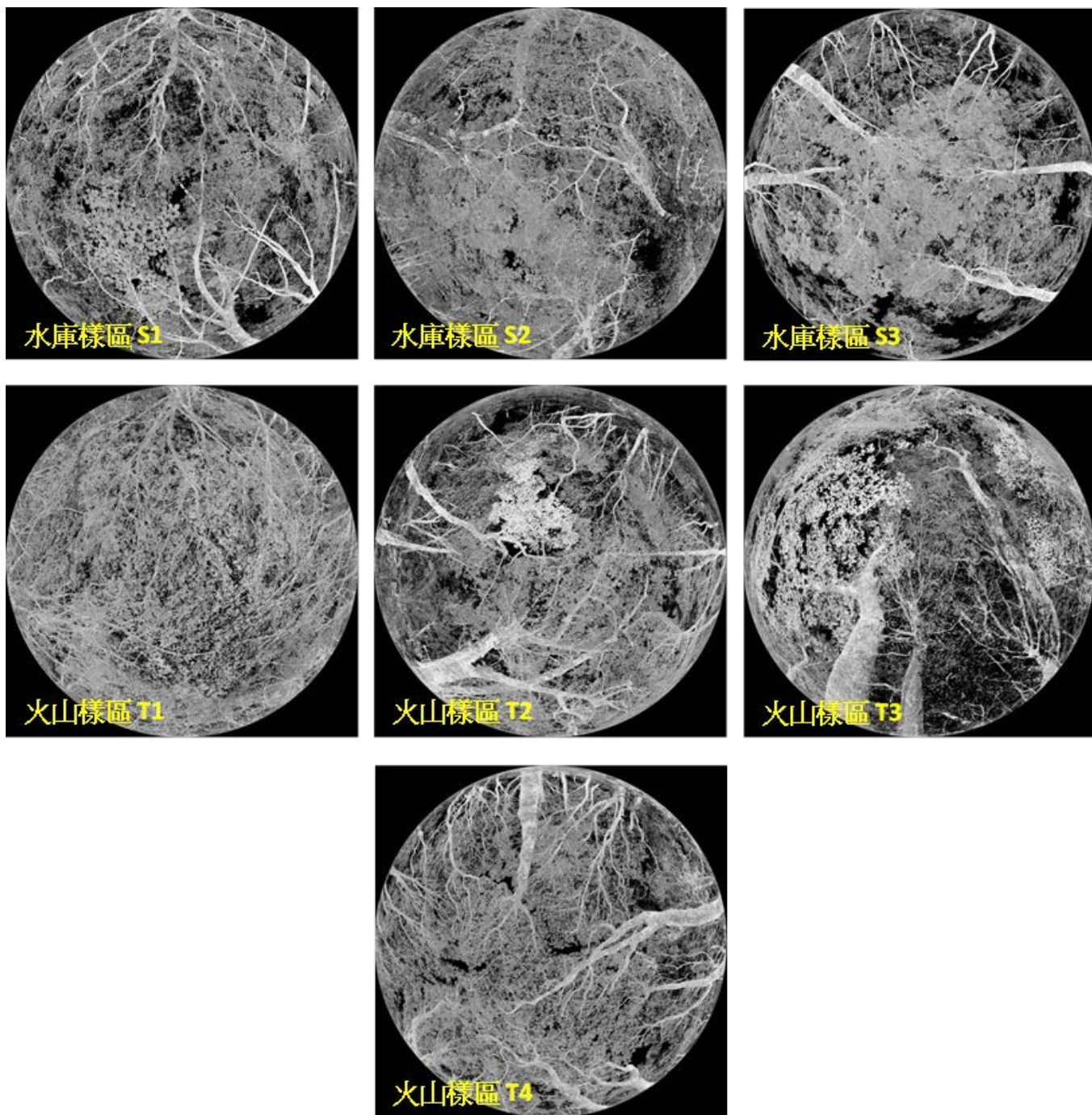


圖 4.15 樣區光達模擬魚眼展示圖

表 4.6 四期地面光達資料模擬點雲之穿透率

TLS 樣區	1 <sup>st</sup> _四月	2 <sup>nd</sup> _六月	3 <sup>rd</sup> _八月	4 <sup>th</sup> _十月
水庫樣區 S1	0.24	0.23	0.25	0.24
水庫樣區 S2	0.04	0.11	0.14	0.14
水庫樣區 S3	0.53	0.51	0.50	0.55
火山樣區 T1	0.48	0.44	0.40	0.48
火山樣區 T2	0.48	0.46	0.49	0.50
火山樣區 T3	0.41	0.41	0.41	0.39
火山樣區 T4	0.49	0.42	0.41	0.44

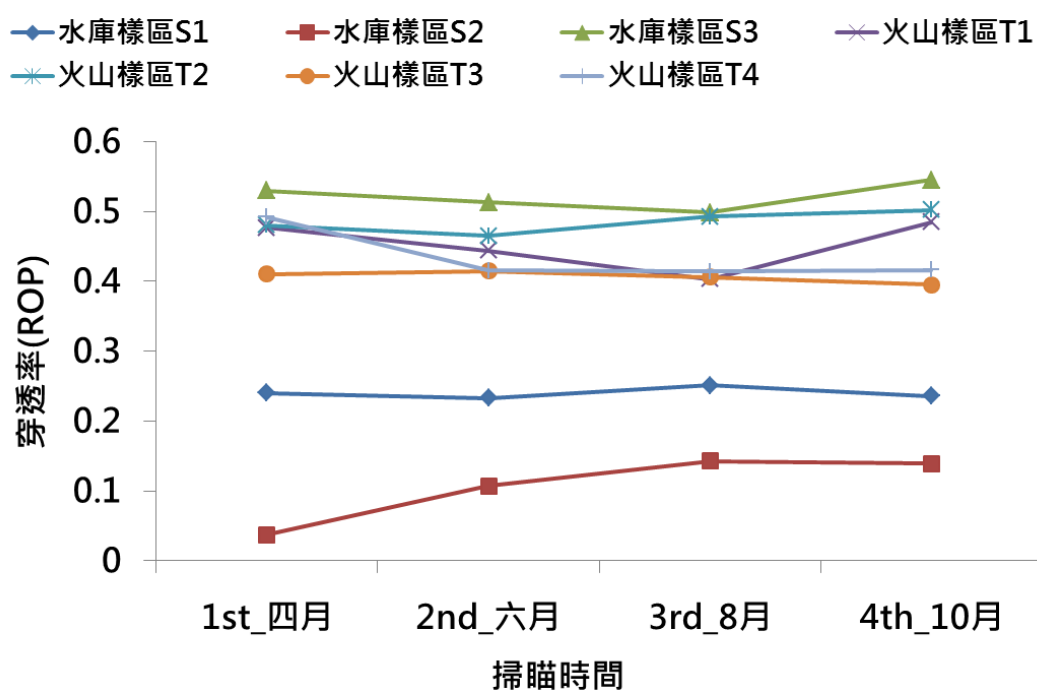
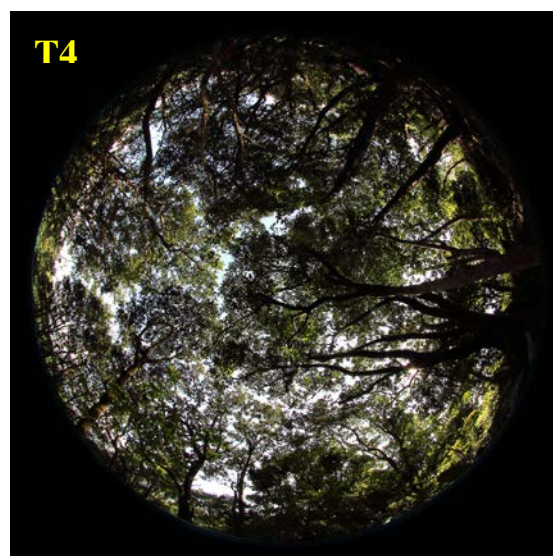


圖 4.16 四期地面光達資料模擬點雲之穿透率

表 4.7 地面光達樣區主要樹種

樣區	主要樹種
水庫樣區 S1	大葉楠、山黃麻、香楠
水庫樣區 S2	棱果榕、無患子、野桐
水庫樣區 S3	樟樹、油桐樹
火山樣區 T1	紅楠、樹杞、山黃梔
火山樣區 T2	水同木、紅楠、白匏子
火山樣區 T3	大青、山豬肝、相思樹、水金京
火山樣區 T4	江棗、紅楠、深氏紅淡比、薯豆



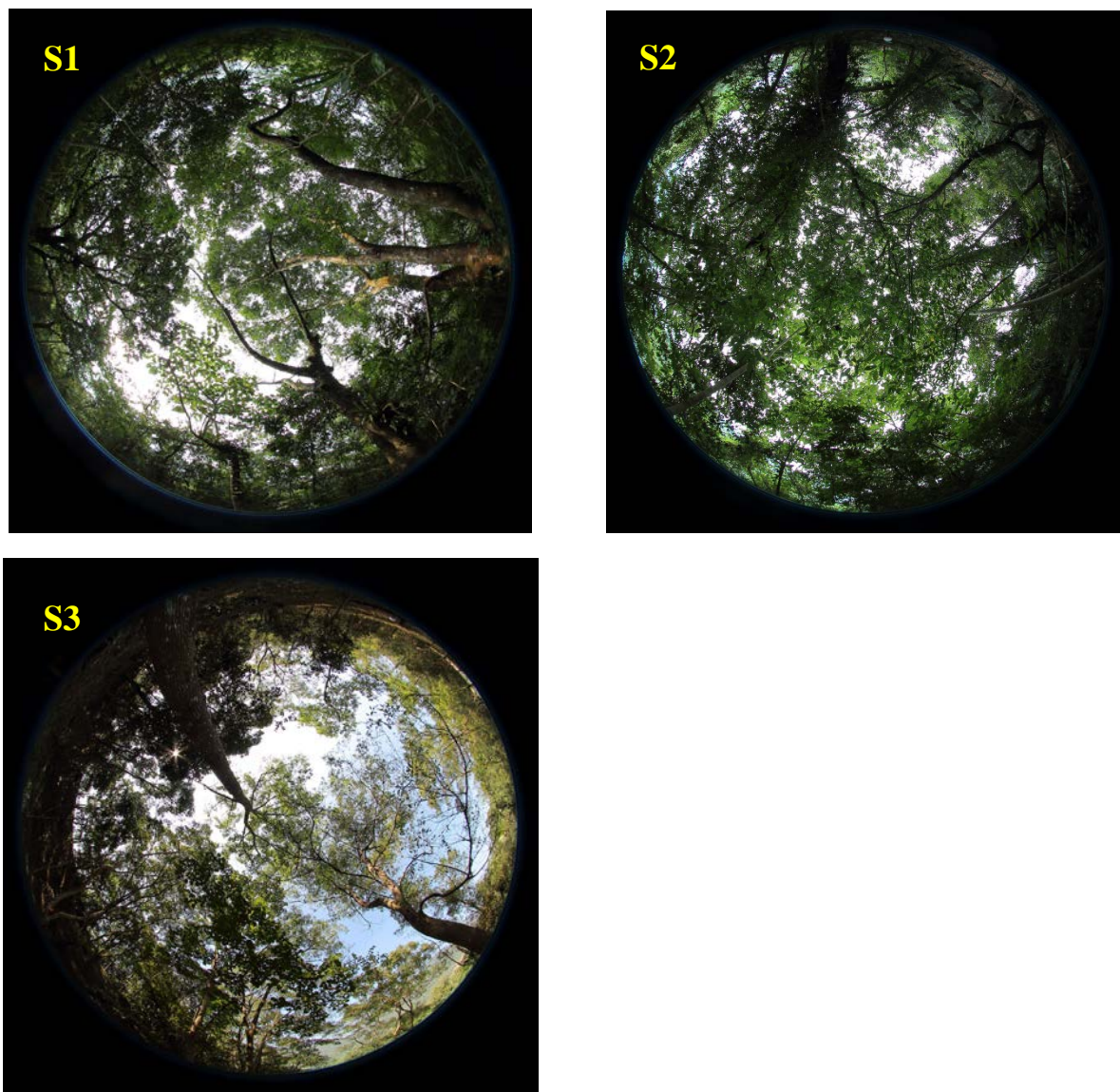


圖 4.17 地面光達樣區現地概況

## 4-2 評估空載光達技術測繪林下產業道路

本案以 1 km×1 km 為林下產業道路試驗區域範圍(圖 4.18)，分析不同點雲密度對於林下產業道路判釋之影響，原始全部點雲資料內插 DEM 後，再進行地形因子空間分析包含日照陰影圖及坡度圖如圖 4.19 所示。

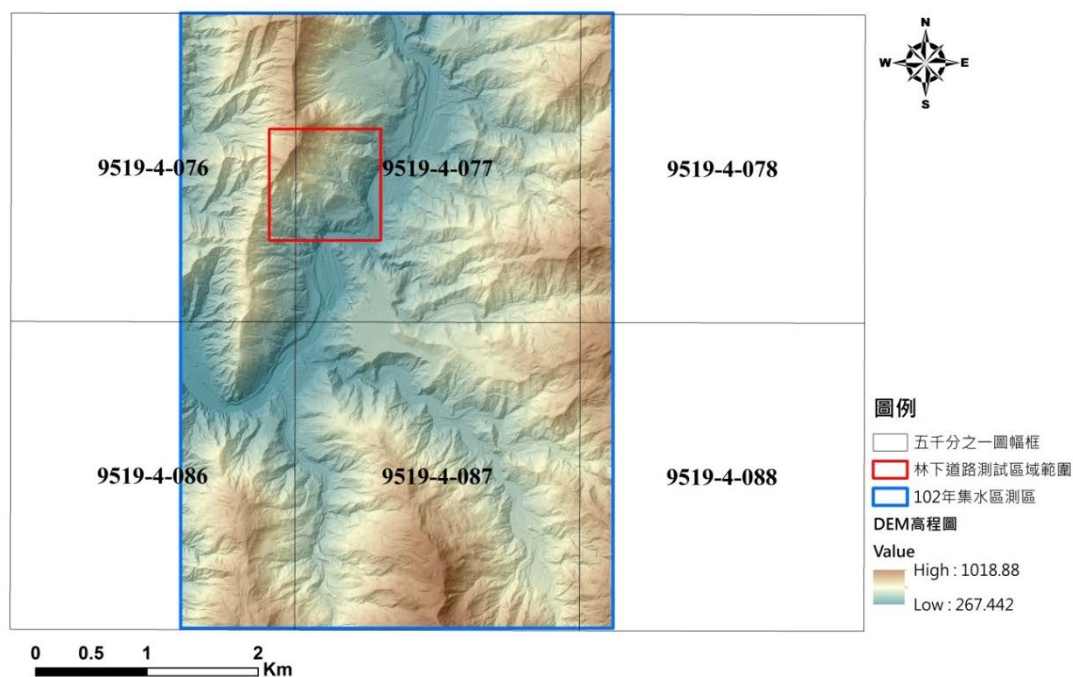


圖 4.18 林下產業道路測試區位置圖

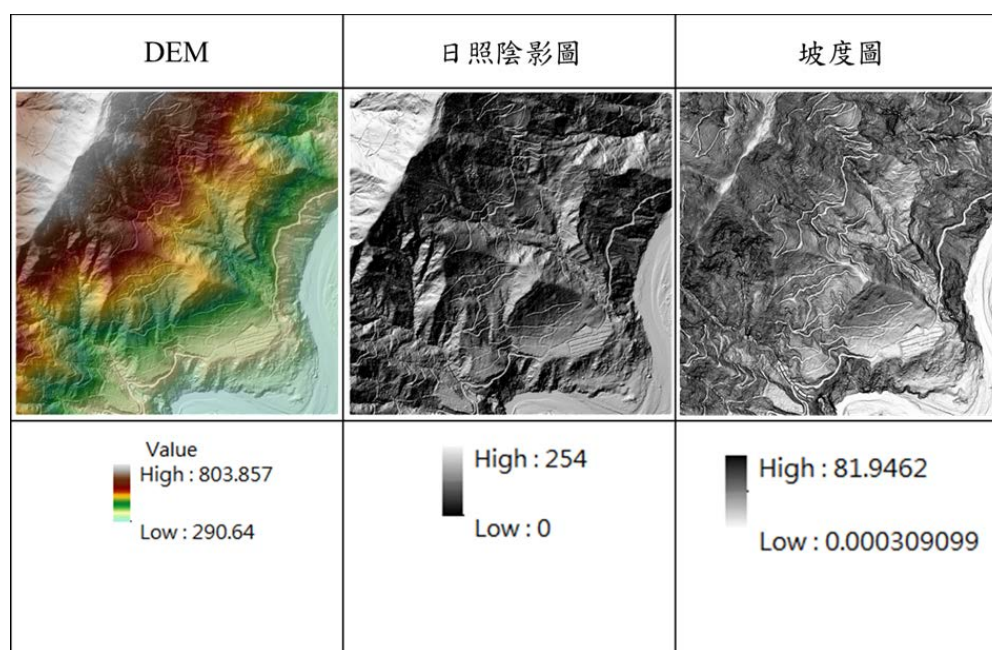


圖 4.19 原始點雲產製之 DEM 及其日照陰影圖及坡度圖

#### 4-2.1 點雲密度疏化

本案之光達點雲資料，依不同點雲取樣密度分為 6 級，以疏化取樣方式選取原始 LiDAR 掃瞄之數據之 1/2、1/4、1/8、1/16 及 1/32 的等比級數降低原始資料之點雲密度，再進行點雲過濾，將資料分為地面點與非地面點。試驗範圍內各密度等級之平均點雲密度計算結果如下表 4.8 所示，其疏化後的資料量最小密度每平方公尺至少有 1 點。

表 4.8 各等級之平均點雲密度

等級密度	原始	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32
點雲密度(點/m <sup>2</sup> )	42.37	21.18	10.59	5.29	2.64	1.32
地面點-點雲密度(點/m <sup>2</sup> )	2.99	1.49	0.74	0.37	0.18	0.09

本案以 LiDAR 掃瞄之數據(All points)、1/2、1/4、1/8、1/16、1/32 等 6 個等級的點雲密度取樣資料，產製坡度圖及日照陰影圖，作為林下產業道路之判釋材料如圖 4.20、圖 4.21 所示。



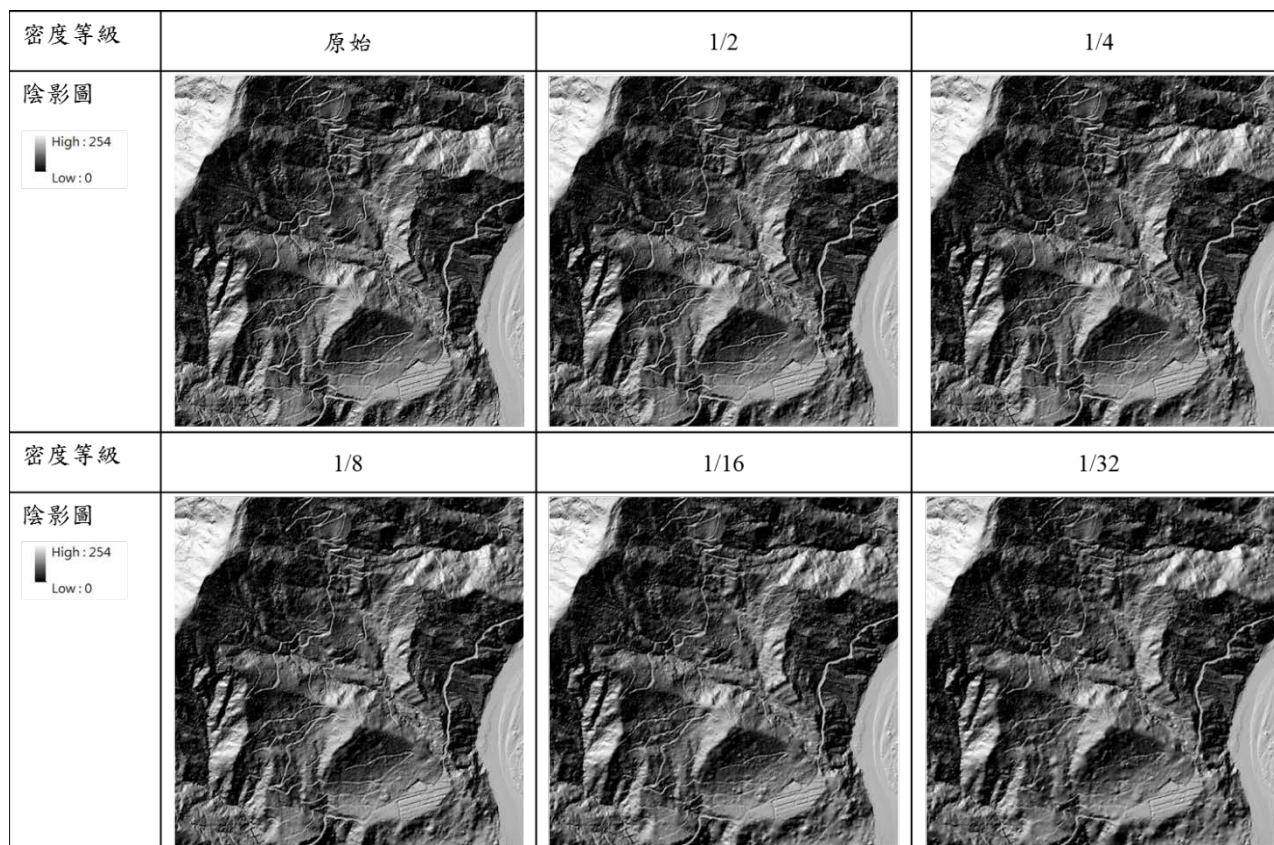


圖 4.20 光達點雲疏化各密度等級之 DEM 日照陰影圖

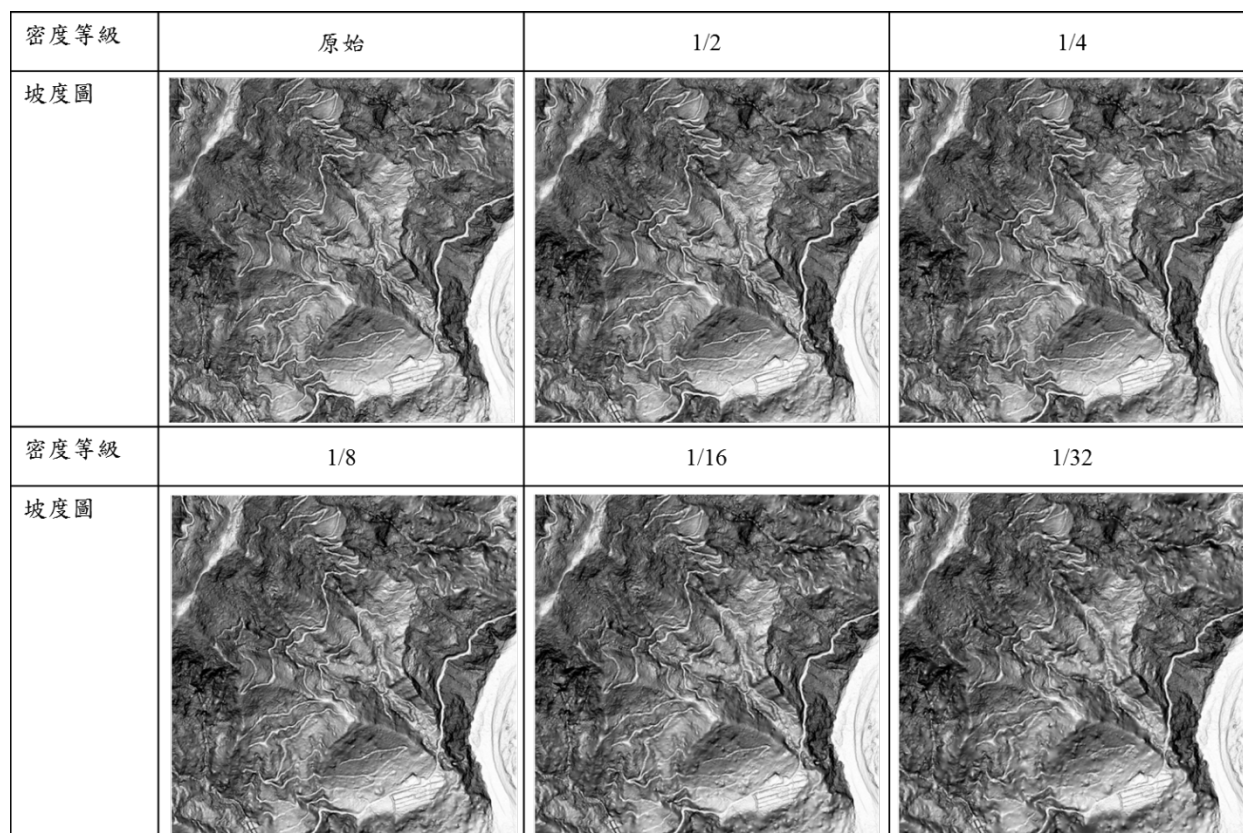


圖 4.21 光達點雲疏化各密度等級之 DEM 坡度圖

#### 4-2.2 林下產業道路判釋

本研究以 6 個不同密度等級之坡度圖及日照陰影圖，利用人工數化方式判釋林下產業道路，數化分析範圍其成果如下圖 4.22 所示。經由 Kriging 內插不同疏化密度之 DEM 所產製日照陰影圖及坡度圖，可發現密度等級越低者，在地形上有趨於模糊化的情況，隨疏化密度降低，試驗區內之林下產業道路有一部分已無道路邊界特徵可供人工辨識(圖 4.22 黑框處)，數化結果則呈現斷斷續續不完整的路網。

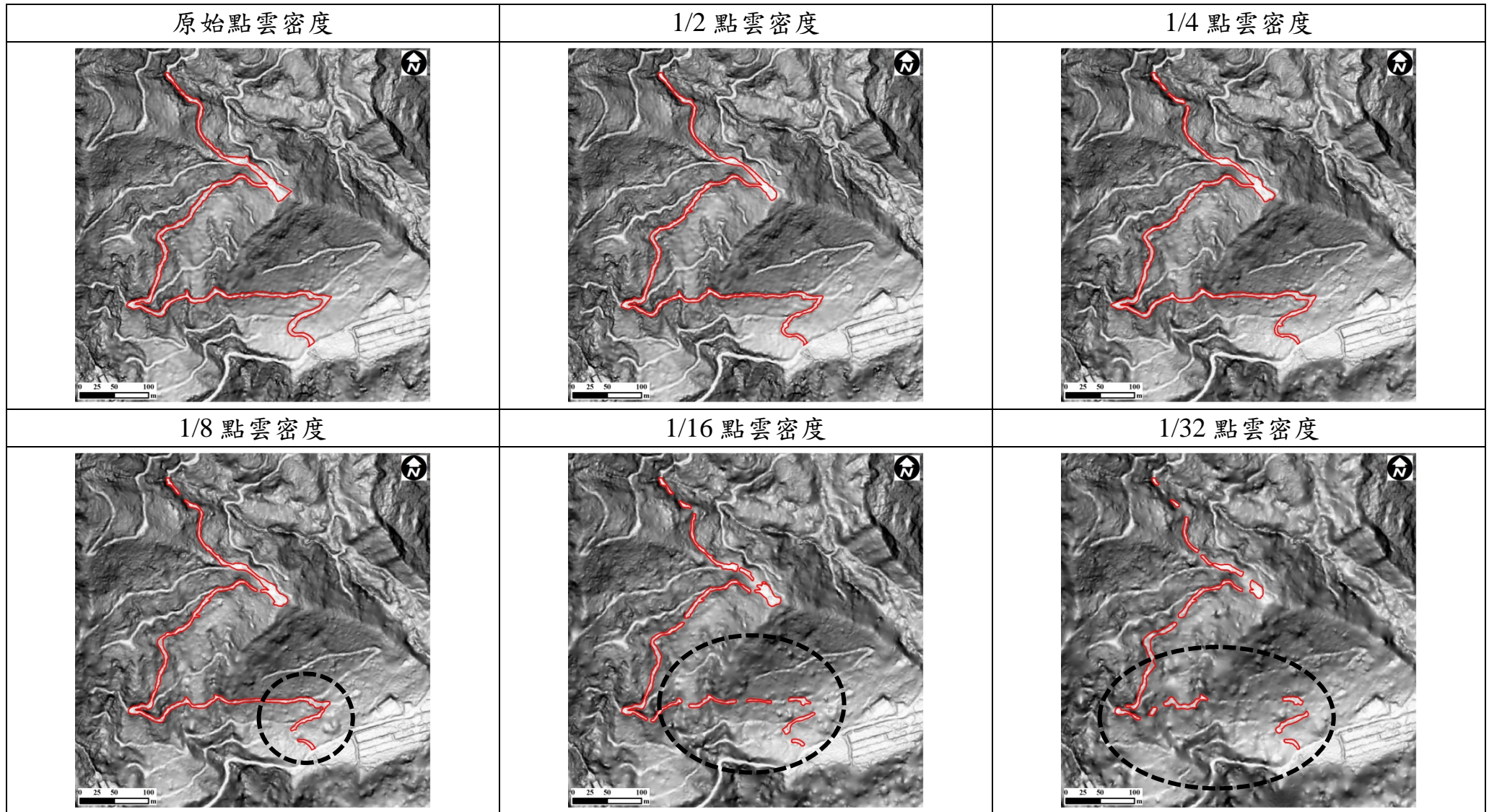


圖 4.22 林下產業道路判釋數化成果

### 4-2.3 林下產業道路檢核成果

#### 1. 林下導線測量精度成果

本次實際林下導線測量之目的在於完整測繪林下道路之地形，導線控制點使用 VRS 進行現地測量，最後採用 TWD97【2010】坐標系統，其測量程序如下所述，導線已知點及新設控制點坐標成果如下表 4.9。

- (1) 作業計畫及準備：依照本次作業之目的、用途、範圍及區域之大小、地形之情況，實地踏勘，並依待測及已知點之分布及密度，導線測量精度及測量儀器，並擬定相關作業計畫。
- (2) 距離及角度測量：測量導線之各邊長與相鄰之折角。
- (3) 測定方位角：由起始測站之已知坐標與後視測站已知坐標計算方位角，並據此推算其他各邊之方位角。
- (4) 點位坐標計算：依起點已知坐標值逐步推算其他各點坐標。

現地測量作業可見圖 4.23，本案附合導線測量坐標成果如表 4.10、開放導線坐標成果如表 4.11、導線精度分析如表 4.12，其測量成果符合 4 等導線規定，導線觀測計算如表 4.13，開放導線成果表如表 4.14，林下道路導線觀測紀錄表如附件三。導線測量成果如圖 4.24，附合導線距離為 841.16 公尺，開放導線為 298.76 公尺，總導線距離為 1139.92 公尺。

表 4.9 導線控制點坐標成果表

點號	縱坐標(m)	橫坐標(m)	橢球高 h(m)	備註
X1	2578503.811	215369.344	503.192	控制點
X2	2578519.859	215354.042	503.688	控制點
X3	2578317.853	215491.524	371.428	控制點
X4	2578332.489	215558.813	371.299	控制點



圖 4.23 現地測量作業圖

表 4.10 附和導線測量坐標成果表

點號	縱坐標(m)	橫坐標(m)	橢球高 h(m)	備註
XA1	2578516.052	215343.542	502.675	
XA2	2578522.498	215300.523	493.903	
XA3	2578515.190	215270.602	486.854	
XA4	2578465.369	215233.018	474.258	
XA5	2578443.592	215192.371	466.404	
XA6	2578409.568	215199.842	457.421	
XA7	2578349.906	215177.438	443.967	
XA8	2578338.290	215152.020	437.794	
XA9	2578327.946	215192.532	429.178	
XA10	2578349.847	215217.557	423.294	
XA11	2578347.864	215248.854	421.568	
XA12	2578353.454	215302.618	411.998	
XA13	2578355.539	215383.653	393.666	
XA14	2578355.718	215412.323	389.696	
XA15	2578350.368	215438.711	385.755	
XA16	2578331.722	215418.570	381.814	
XA17	2578320.573	215391.641	378.016	
XA18	2578296.942	215380.892	374.514	
XA19	2578296.075	215402.555	371.237	
XA20	2578282.393	215420.830	369.292	

表 4.11 開放導線測量坐標成果表

點號	縱坐標(m)	橫坐標(m)	橢球高 h(m)	備註
XB1	2578544.083	215323.367	508.744	
XB2	2578559.794	215280.582	511.792	
XB3	2578592.295	215251.052	518.839	
XB4	2578632.903	215252.112	526.364	
XB5	2578652.121	215222.231	530.995	
XB6	2578680.439	215203.413	534.342	
XA18A	2578297.448	215342.892	380.622	

表 4.12 導線精度分析統計表

測站數	角度閉合 差(秒)	導線長度 (M)	方位角閉合差		平面坐標閉合比數		備註
			限制	實測	限制	實測	
22	56.77	841.160	20√N	12.1	1/5000	1 / 9881	符合 4 等 導線規定

表 4.13 導線觀測計算表

點名	觀測角度	方位角	實測距離	縱距差	橫距差	縱座標	橫座標
	配賦值		投影距離	配賦值	配賦值		
X2						2578519.859	215354.042
X1	339-01-16.00	136-21-49.46	22.176			2578503.811	215369.344
	2.58		22.174				
XA1	163-08-33.00	295-23-08.04	28.562	12.244	-25.802	2578516.052	215343.542
	2.58		28.560	-0.003	0.000		
XA2	157-45-01.00	278-31-43.62	43.503	6.451	-43.019	2578522.498	215300.523
	2.58		43.500	-0.004	0.000		
XA3	140-45-08.00	256-16-47.20	30.802	-7.305	-29.921	2578515.190	215270.602
	2.58		30.799	-0.003	0.000		
XA4	204-47-28.00	217-01-57.78	62.408	-49.815	-37.583	2578465.369	215233.018
	2.58		62.402	-0.006	-0.001		
XA5	105-47-23.00	241-49-28.36	46.114	-21.772	-40.646	2578443.592	215192.371
	2.58		46.110	-0.005	0.000		
XA6	212-58-03.00	167-36-53.94	34.834	-34.021	7.471	2578409.568	215199.842
	2.58		34.831	-0.004	0.000		
XA7	224-51-39.00	200-34-59.52	63.729	-59.655	-22.403	2578349.906	215177.438
	2.58		63.723	-0.006	-0.001		
XA8	38-52-21.00	245-26-41.11	27.947	-11.613	-25.418	2578338.290	215152.020
	2.58		27.945	-0.003	0.000		
XA9	124-29-10.00	104-19-04.69	41.815	-10.340	40.513	2578327.946	215192.532
	2.58		41.811	-0.004	0.000		
XA10	224-48-46.00	48-48-17.27	33.260	21.904	25.025	2578349.847	215217.557
	2.58		33.257	-0.003	0.000		
XA11	170-26-22.00	93-37-05.85	31.362	-1.979	31.297	2578347.864	215248.854
	2.58		31.360	-0.003	0.000		
XA12	184-27-40.00	84-03-30.43	54.060	5.595	53.765	2578353.454	215302.618
	2.58		54.055	-0.005	0.000		
XA13	181-07-01.00	88-31-13.01	81.069	2.093	81.035	2578355.539	215383.653
	2.58		81.062	-0.008	-0.001		
		89-38-16.59	28.673	0.181	28.670		

點名	觀測角度	方位角	實測距離	縱距差	橫距差	縱座標	橫座標
	配賦值		投影距離	配賦值	配賦值		
XA14	191-48-57.00	101-27-16.17	28.671	-0.003	0.000	2578355.718	215412.323
	2.58		26.927	-5.347	26.388		
XA15	305-45-18.00	227-12-36.75	26.924	-0.003	0.000	2578350.368	215438.711
	2.58		27.447	-18.643	-20.140		
XA16	200-18-12.00	247-30-51.33	27.444	-0.003	0.000	2578331.722	215418.570
	2.58		29.148	-11.147	-26.930		
XA17	136-56-42.00	204-27-35.91	29.145	-0.003	0.000	2578320.573	215391.641
	2.58		25.960	-23.628	-10.748		
XA18	67-49-29.00	92-17-07.49	25.957	-0.003	0.000	2578296.942	215380.892
	2.58		21.682	-0.865	21.662		
XA19	214-31-50.00	126-49-00.07	21.680	-0.002	0.000	2578296.075	215402.555
	2.58		22.831	-13.680	18.276		
XA20	116-32-20.00	63-21-22.65	22.829	-0.002	0.000	2578282.393	215420.830
	2.58		79.100	35.469	70.694		
X3	194-22-20.00	77-43-45.23	79.093	-0.008	-0.001	2578317.853	215491.524
	2.58		68.867				
X4			68.861			2578332.489	215558.813
距離投影尺度因子= 0.999915							
角度不符值 = 56.77 秒				縱線閉合差 = -0.085 公尺			
角度配賦值 = 2.58 秒				橫線閉合差 = -0.007 公尺			
角度觀測精度 = $12.10 \sqrt{N}$ 秒				位置閉合差 = 0.085 公尺			
導線距離總和 = 841.160 公尺				導線精度 = 1 / 9881			



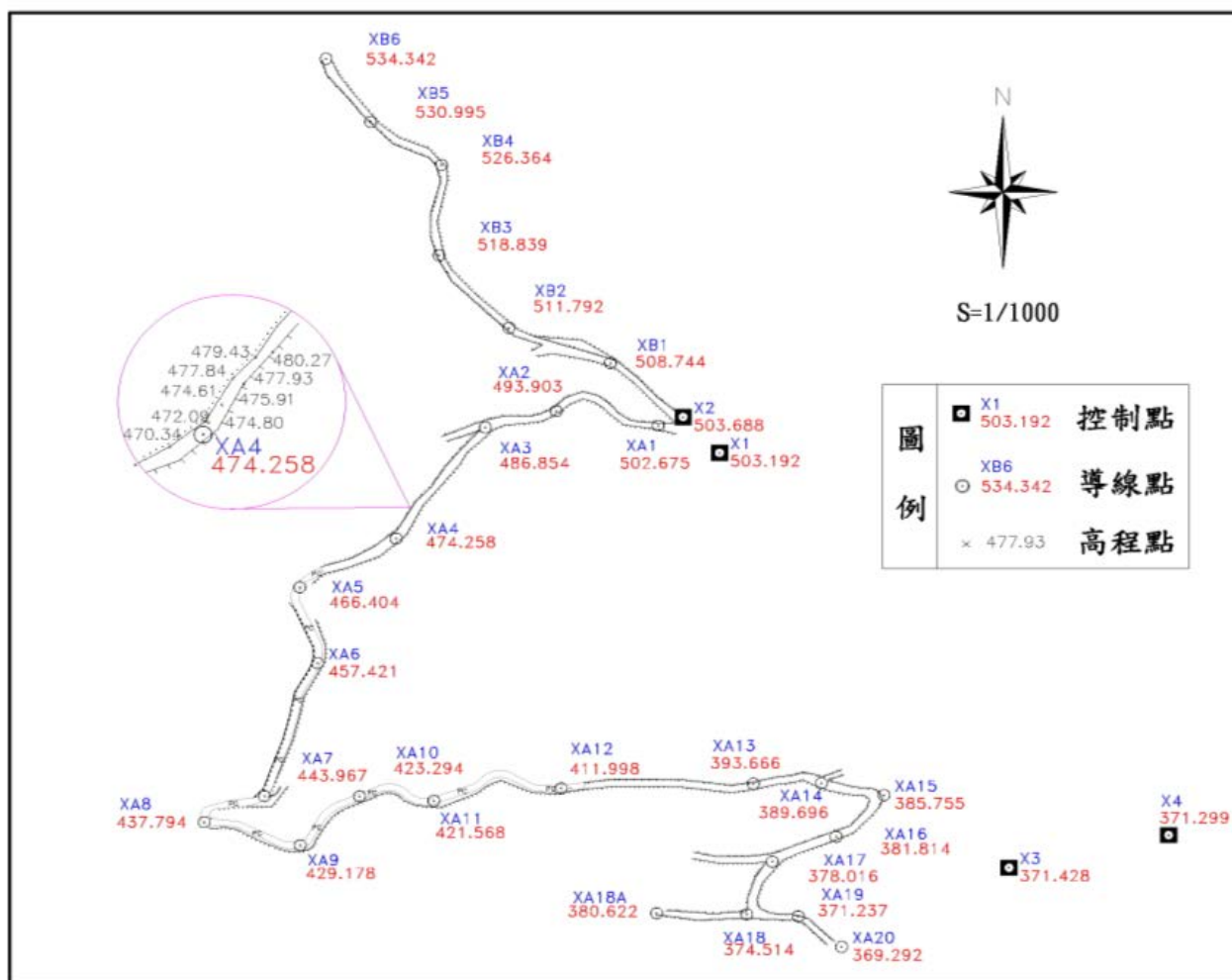


圖 4.24 導線測量成果圖

表 4.14 開放導線成果表

點 名		視標高 儀器高 視標高	後視方位角 (觀測水平角) 前視方位角	平 距 投影距離	天頂距 高程差	縱 座 標	橫 座 標	間接高程
後視	X2		316-21-49			2578519.859	215354.042	503.688
測站	X1	1.548	( 354-51-06 )	61.126	84-58-16	2578503.811	215369.344	503.192
前視	<b>XB1</b>	<b>1.375</b>	<b>311-12-55</b>	<b>61.121</b>	<b>5.552</b>	<b>2578544.083</b>	<b>215323.367</b>	<b>508.744</b>
後視	X1		131-12-55			2578503.811	215369.344	503.192
測站	XB1	1.365	( 158-56-55 )	45.582	86-09-02	2578544.083	215323.367	508.744
前視	<b>XB2</b>	<b>1.384</b>	<b>290-09-50</b>	<b>45.578</b>	<b>3.048</b>	<b>2578559.794</b>	<b>215280.582</b>	<b>511.792</b>
後視	XB1		110-09-50			2578544.083	215323.367	508.744
測站	XB2	1.350	( 207-34-41 )	43.917	80-45-37	2578559.794	215280.582	511.792
前視	<b>XB3</b>	<b>1.448</b>	<b>317-44-31</b>	<b>43.913</b>	<b>7.046</b>	<b>2578592.295</b>	<b>215251.052</b>	<b>518.839</b>
後視	XB2		137-44-31			2578559.794	215280.582	511.792
測站	XB3	1.325	( 223-45-09 )	40.625	79-23-25	2578592.295	215251.052	518.839
前視	<b>XB4</b>	<b>1.410</b>	<b>1-29-40</b>	<b>40.622</b>	<b>7.525</b>	<b>2578632.903</b>	<b>215252.112</b>	<b>526.364</b>
後視	XB3		181-29-40			2578592.295	215251.052	518.839
測站	XB4	1.345	( 121-15-10 )	35.530	82-25-52	2578632.903	215252.112	526.364
前視	<b>XB5</b>	<b>1.435</b>	<b>302-44-50</b>	<b>35.527</b>	<b>4.631</b>	<b>2578652.121</b>	<b>215222.231</b>	<b>530.995</b>
後視	XB4		122-44-50			2578632.903	215252.112	526.364
測站	XB5	1.446	( 203-38-51 )	34.004	84-37-52	2578652.121	215222.231	530.995
前視	<b>XB6</b>	<b>1.295</b>	<b>326-23-41</b>	<b>34.001</b>	<b>3.347</b>	<b>2578680.439</b>	<b>215203.413</b>	<b>534.342</b>
後視	XA17		24-27-29			2578320.573	215391.641	378.016
測站	XA18	1.342	( 246-18-17 )	38.007	80-48-09	2578296.942	215380.892	374.514
前視	<b>XA18A</b>	<b>1.388</b>	<b>270-45-46</b>	<b>38.004</b>	<b>6.108</b>	<b>2578297.448</b>	<b>215342.892</b>	<b>380.622</b>
			總距離(m)	<b>298.765</b>				

#### 4-2.4 不同點雲密度對林下產業道路判釋之影響

探討不同點雲密度等級對林下道路判釋之影響，可由道路長度及道路邊界與現地檢核之平面坐標的偏移距離兩部份進行分析，以評估林下道路的完整性。

## 1. 不同點雲密度對道路長度判釋之影響

為比較道路長度的差異，各密度等級的林下產業道路長度以道路中心線進行長度計算為一種較合理之方法。本案人工判釋數化林下道路邊界之成果為向量式圖層，透過 GIS 向量轉網格之工具模組，將道路邊界轉為網格式圖層，再利用 ArcScan 模組的 Vectorization 功能，可針對網格式圖層自動數化成向量式圖資，ArcScan 的運作原理是依照網格式圖資的網格分佈判斷是否為線段或是面圖徵的邊界，如中心線或面的輪廓萃取，中心線向量化是沿著網格中心產生線性元素，因此可藉由自動向量化網格式道路圖層，以萃取出道路中心線，如圖 4.25 所示。

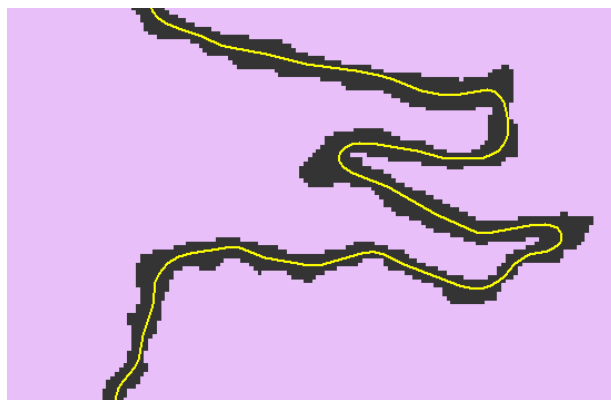


圖 4.25 網格式圖層向量化

不同空載光達點雲密度等級的道路中心線長度的統計結果如下圖 4.26 所示。長度統計結果，隨點雲疏化密度降低，道路長度亦有減少的趨勢，由原始點雲密度道路長度的 1025 公尺，疏化至 1/32 時下降至 664 公尺，相差 361 公尺，判釋長度下降至 65%，顯示道路長度變化會受點雲密度疏化的程度而影響。目前國內常見之空載光達點雲密度為 1~2 點/m<sup>2</sup>，故推估僅使用約 60~70% 空載光達資料可達之效能，由本案結果顯示點雲密度大於 5 點/m<sup>2</sup> 時，可達 95% 以上林下產業道路之判釋，因此空載光達點雲密度的提升，可萃取出較完整的林下道路線特徵。

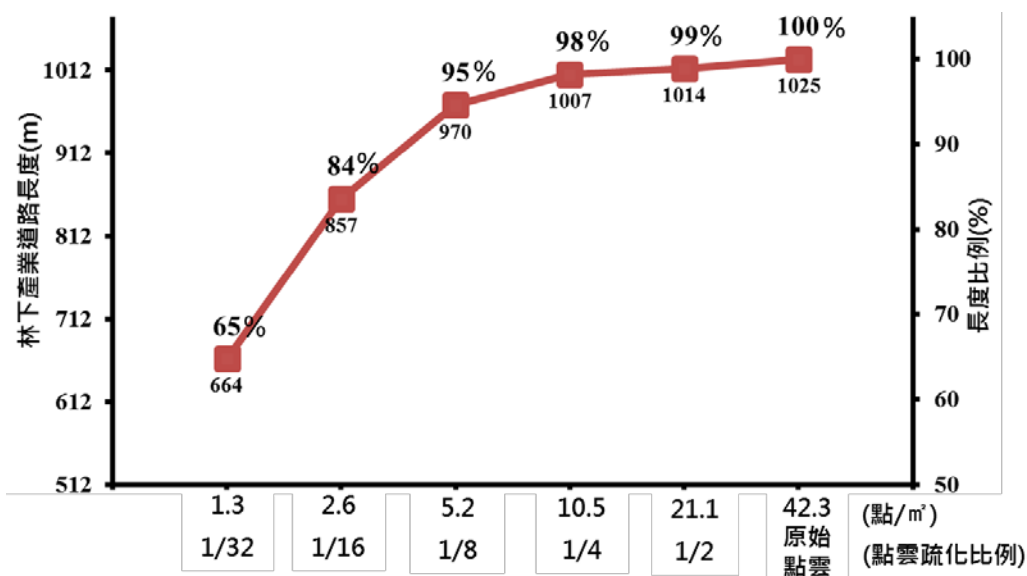


圖 4.26 林下產業道路中心線長度統計結果

## 2. 不同點雲密度對道路邊界判釋之影響

為比較不同點雲密度的人工數化林下產業道路與實際外業測量之道路邊界，兩者距離差距程度。藉由外業量測的邊界位置點具有平面坐標，並統計與數化之邊界的垂直距離，此距離為兩者之間的平面誤差，誤差數值正值為人工數化邊界大於檢核邊界，負值為人工數化邊界小於檢核邊界，示意圖如圖 4.27。

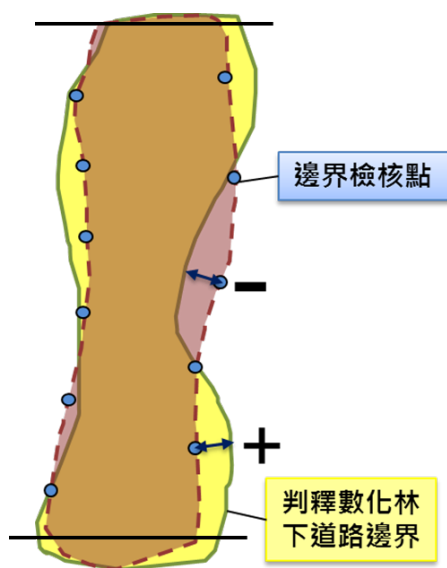


圖 4.27 林下產業道路邊界評估示意圖

本測試區域為山區的林下產業道路，故以道路兩邊邊界而言，由光達點雲資料可看出道路之上坡邊界及下坡邊界(如圖 4.28)，本文以上邊坡及下邊坡分別探討道路邊界之判釋是否會受影響。不同密度等級數化成果的邊界長度不同，因此所對應的檢核點的數量亦不同如表 4.15 所示。

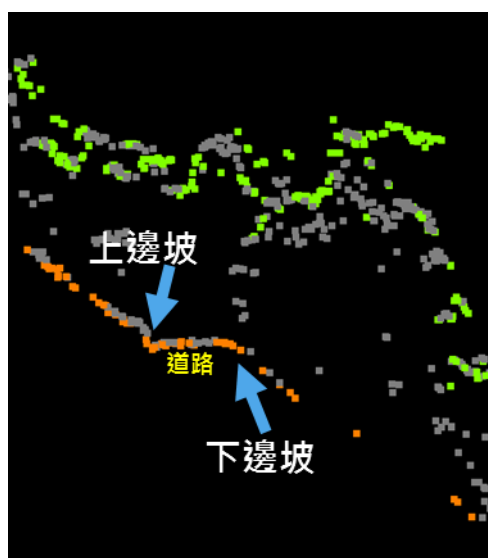


圖 4.28 光達點雲展示林下產業道路上下坡邊界

表 4.15 各密度等級數化成果對應道路邊界之檢核點數量(個數)

密度等級	原始點雲	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32
上邊坡	89	89	86	79	74	57
下邊坡	105	105	104	98	88	72

各密度等級林下產業道路之邊界距離誤差統計結果如圖 4.29 所示，由盒形圖統計結果顯示，林下道路邊界之上邊坡與下邊坡誤差距離有明顯差異，上邊坡原始點雲、1/2、1/4 及 1/8 密度等級的誤差值多集中在-1~1 公尺，相較於 1/16 與 1/32 密度等級道路邊界的誤差程度較小，然而在 1/2 疏化點雲密度的邊界誤差有達 2 公尺之多，誤差值比 1/4 疏化點雲密度高，應為人工數化作業的誤差。下邊坡誤差值則集中在 1~3 公尺，下邊坡邊界誤差結果有明顯增加，表示人工數化之道路邊界超出檢核點邊界，顯示判釋林下產業道路邊界之正確性，以上邊坡優於下邊坡。不同點雲密度的比較下，上下邊坡皆有相同趨勢，其邊界誤差值隨空載光達點雲密度降低而增加，而密度等級在 1/32 時誤差值 75 分位數的位置超過於 3 公尺，表示當點雲密度降低時，產製之 DEM 日照陰影圖道路特徵模糊，故人工在數化道路邊界時產生的誤差會較高。

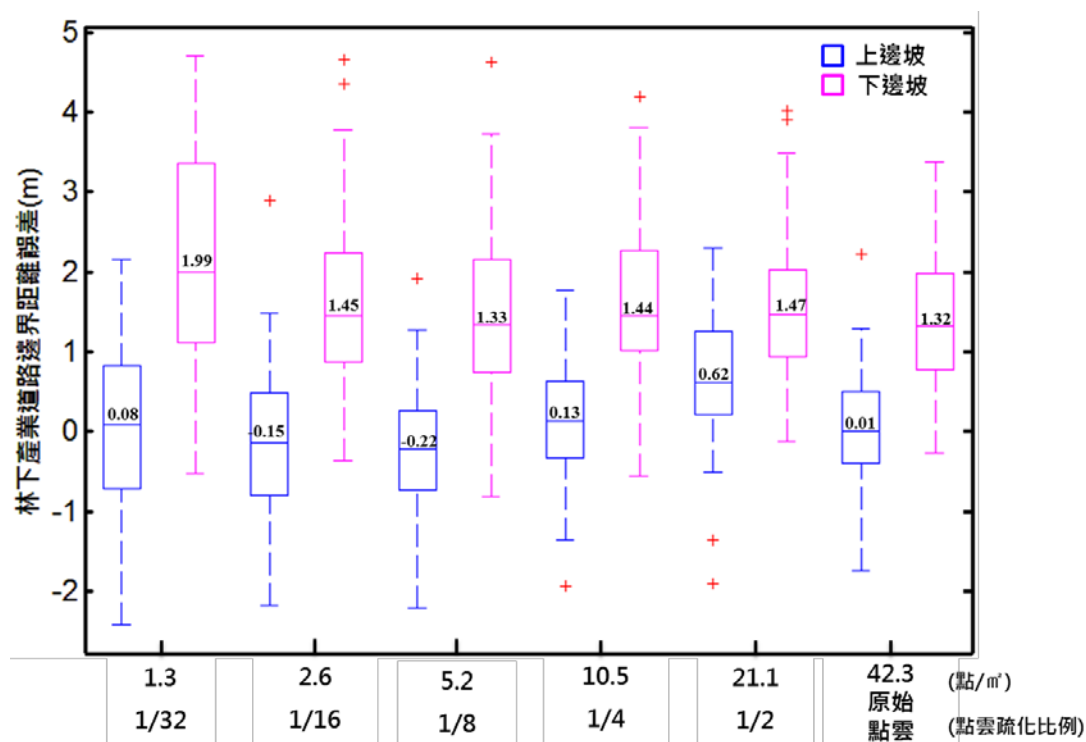


圖 4.29 各密度等級之林下產業道路邊界距離誤差值分布圖

### 4-3 探討遙測衛星影像、植生指數與空載光達點雲穿透率之相關性

本案探討衛星影像植生指標與空載光達穿透率之相關性，由於國內外文獻對於空載光達穿透率與衛星影像植生指標均建構於葉面積指數(LAI)上，並無直接對於空載光達穿透與植生指標建立關係，故本案對於兩者之相關性屬於資料測試階段。LAI 主要可以反映森林的生物量，藉由現地調查量測的 LAI 資料與穿透率之相關性，用以輔助驗證植生指標與光達穿透率建構之關係式。由於衛星影像植生指標眾多，並且大氣條件等均會影響到指標推估上的問題，故本案利用大氣糾正(ATCOR3)後之衛星影像，計算 4 種植生指標與空載光達穿透率建立相關性，作為評估未來空載光達掃瞄推估穿透率之規劃考量。

#### 4-3.1 衛星影像資料之取得

##### 1. 福衛二號衛星影像取得

本案總共取得 3 幅福衛二號衛星影像，影像挑選拍攝日期是配合當年度空載光達掃瞄時間(火山測區:2012 年 8 月 14 日、水庫測區:2013 年 7 月 23-24 日)前後相近的衛星影像，以避免植生有太大之變異。因此，北部火山測區衛星影像其拍攝日期為 2012 年 8 月 19 日，南部水庫測區衛星影像拍攝時間分別為 2013 年 7 月 28 日與 30 日。北部火山測區 1 幅影像，南部水庫測區位置恰好位於 2 圖幅影像之中間，故需購買 2 幅相近時期之福衛二號影像，為多光譜影像，空間解析度 8m 其成色效果如圖 4.30 所示，(a)火山區 FS2 有 10% 雲覆蓋在影像上，(b)水庫區 FS2\_1 水氣或雲含量較低的影像，可清楚看出影像品質較優，(c)水庫區 FS2\_2 影像成色不良，當天雲含量較高。

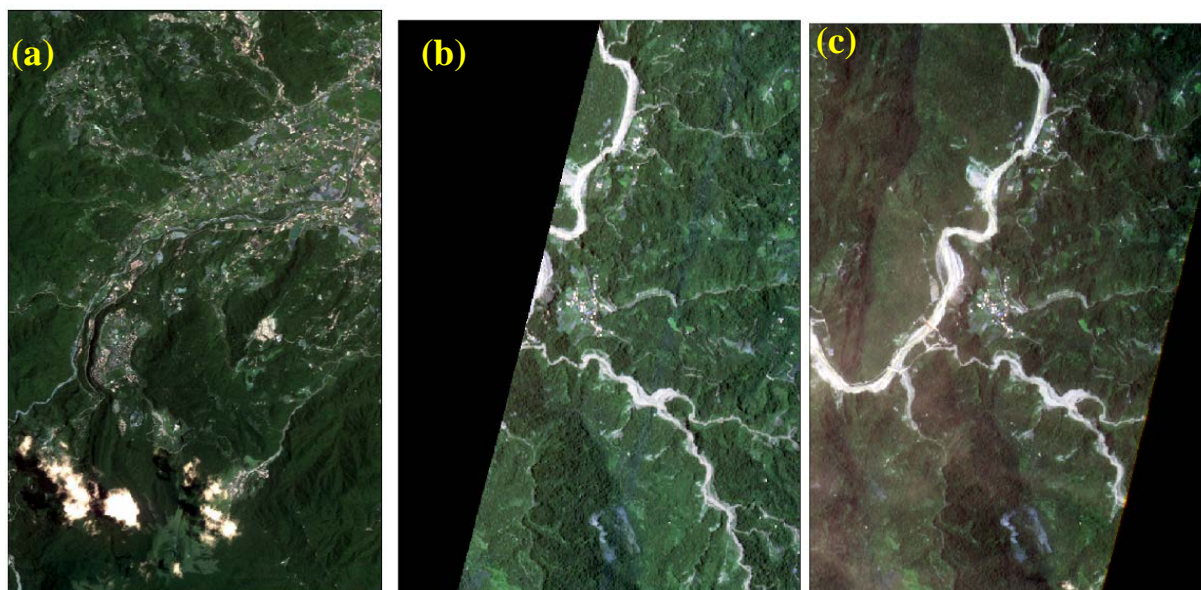


圖 4.30 火山測區與水庫測區之福衛二號影像(a)火山測區 FS2。(b)水庫測區 FS2\_1 衛星影像。(c)水庫測區 FS2\_1 衛星影像。

## 2. 其他衛星影像取得

本案除福衛二號的影像取得外，另外添購 SPOT5、GeoEye 與 Worldview2 等三種衛星影像。SPOT5 為多光譜影像，空間解析度為 10 m，總共有 4 個波段分別為 Green、Red、IR 與 SWIR，缺少藍波段影像常以假色表現，如圖 4.31(a) 與圖 4.31(b)。GeoEye 為多光譜影像，4 個波段為 Blue、Green、Red 與 NIR 與福衛二號波段相同，空間解析度提升為 2 m，如圖 4.31(c)。另一個添購的衛星影像為 Worldview2 高解度衛星影像，全色態 0.5 m 與多光譜 2 m 的高解析度，其多光譜總共 8 個波段，分別為 Red、Green、Blue、NIR1、Coastal Blue、Red-Edge、Yellow、NIR2 波段，如圖 4.31(d)。

本計畫藉由許多的衛星影像資料測試，探討植生指標與穿透率之相關，以瞭解何種衛星影像可以建構與穿透率相關的迴歸方程式，故總共蒐集了 FS2、SPOT5、Worldview2 與 GoeEye 等 4 種共 7 幅衛星影像，各衛星影像拍攝時間如表 4.16 所示。



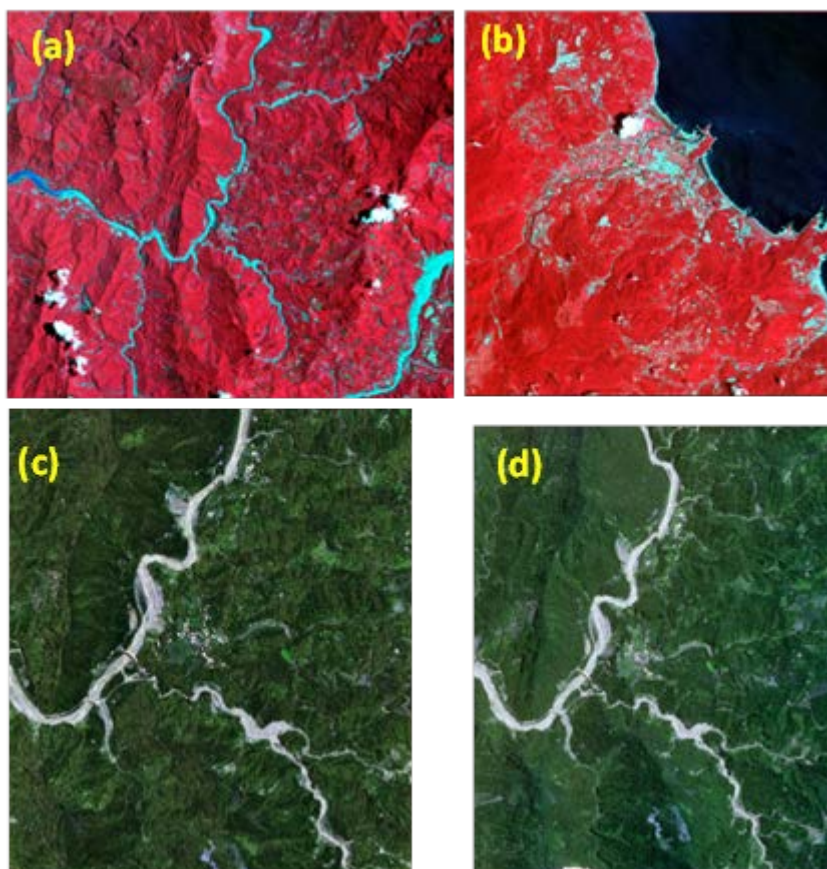


圖 4.31 研究樣區範圍之 SPOT5、GeoEye 與 Worldview2 衛星影像(a)SPOT5 水庫測區 (b) SPOT5 水庫測區 (c) GeoEye 水庫測區 (d)Worldview2 水庫測區

表 4.16 火山測區與水庫測區衛星影像拍攝日期表

Satellite image	South Taiwan	North Taiwan	Spatial Resolution
Formosa-2	2013/07/30 GMT:01:54:05	2012/08/19 GMT:01:56:45	8 m
	2013/07/28 GMT:01:54:06		
GeoEye	2013-08-04 GMT:02:41:37	-----	2 m
WorldView-2	2013/09/14 GMT:02:54:17	-----	2 m
SPOT-5	2013/07/24 GMT:01:58:35	2012/08/16 GMT:02:20:47	10 m

### 4-3.2 植生指標之推估

本案的各衛星影像以 ATCOR3 軟體進行大氣糾正，大氣糾正後之衛星影像單位為反射率(Reflectance)，值域從 0~1 之間，ATCOR3 之除了糾正大氣之影響外，並利用本案空載光達資料所產製之 DEM 糾正地形造成的輻射強度之差異，如圖 4.32(a)為大氣糾正前之 SPOT5 衛星影像，(b)為大氣糾正後之衛星影像，糾正後之影像亮度值較為平均，陰影的差異較小，而在植生指標 NDVI 方面，圖 4.32(c)為大氣糾正前之 NDVI 值，(d)為大氣糾正後之 NDVI 值，結果顯示糾正後較糾正前之 NDVI 地形影響較小，故本案植生指標需經過大氣糾正後計算才符合推估之正確性，計算 NDVI、PVI、RVI 與 SAVI 等指標皆以大氣糾正後之影像。

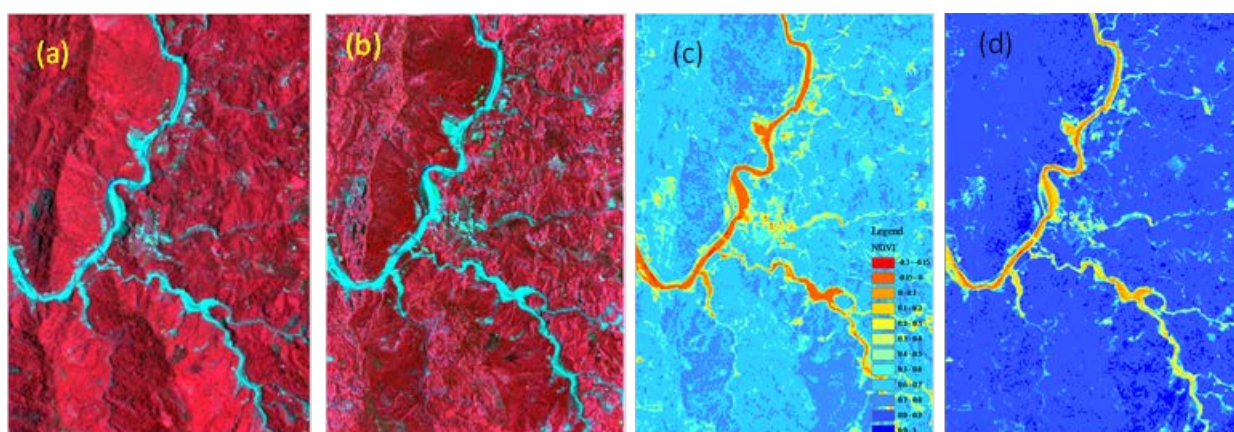


圖 4.32 利用 ACTOR3 大氣糾正前後 SPOT5 衛星影像與 NDVI 之差異。(a)大氣糾正前 SPOT5 衛星影像。(b)大氣糾正後 SPOT5 衛星影像。(c)大氣糾正前 SPOT5 NDVI 影像。(d)大氣糾正後 SPOT5 NDVI 影像。

### 4-3.3 空載光達穿透率之計算

穿透率的計算是利用雷射光接觸地面的比例來推估，由於資料是呈現多重回波點雲的格式，故需要求解雷射光的數量，本計畫為達成資料計算正確性，利用 GPSTime 當成判斷雷射數量的方式，但由於本案系統為 2 channel 的光達資料，會有相同 GPSTime 的兩發雷射，故須將資料依不同 channel 分離後才能後續計算，本案完成穿透率程式的撰寫，計算兩區共 51 條航帶資料並配合衛星影像之 2m、8 m 與 10m 網格大小與網格位置如圖 4.33 與圖 4.34。水庫測試區地物分布情形主要有大面積河谷、聚落分布與森林，從穿透率圖與航照正射影像可以發現，航照影像為森林區域的部分有著較低的穿透率。

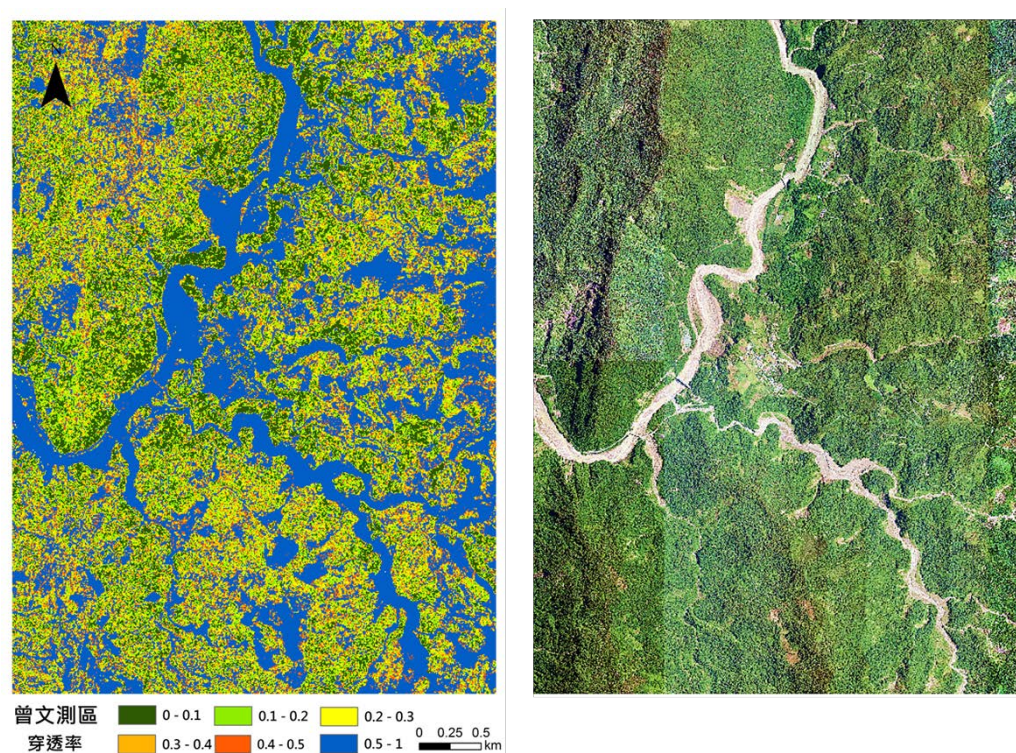


圖 4.33 水庫測試區 8 m 穿透率分布圖與航空照片

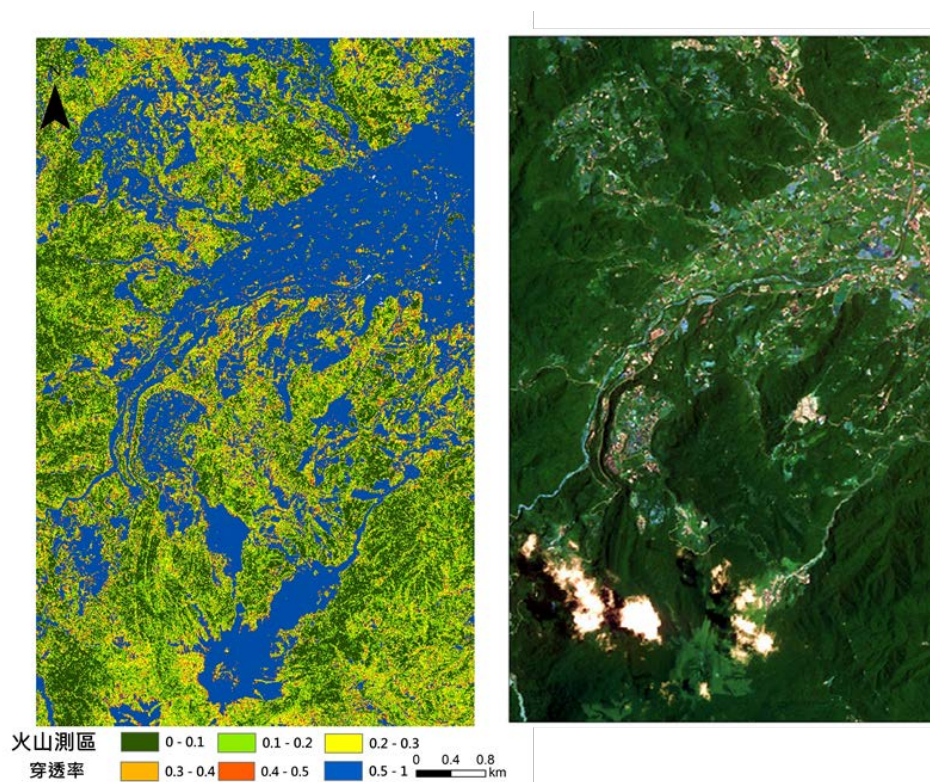


圖 4.34 火山測試區 8 m 穿透率分布圖與福衛 2 號衛星影像

#### 4-3.4 葉面積指數與空載光達穿透率之關係

葉面積指數調查於 2014 年 7 月及 8 月進行調查，配合空載光達掃描的季節以減少植物物候對於 LAI 上的差異，水庫測區於 2014 年 7 月 25~27 日調查，火山測區於 2014 年 8 月 29~31 日調查，兩測區均取得 20 個 LAI 樣區資料。

本案利用 LAI-2000 以 10 m×10 m 為測量範圍，每樣區以 8 個重複資料取其平均值，以手持式 GPS 定位測量位置。樣區的選定主要是依據穿透率之高低來挑選樣區，並且考慮到道路或人工建物的影響，樣區必須要遠離道路或建物，樣區點位位置如圖 4.35 所示。LAI-2000 進行量測時主要需要另一個儀器接收全天光量，故將接受全天光量之儀器設置於離樣區 100 m 內之範圍，其考量因子為雲層影響全天光量，並且適合蒐集 LAI 資料調查時間為上午 6:00~10:00 及下午 3:00~6:00，主要是考慮鏡頭逆光的影響，原廠建議多雲或陰天時測量較為準確，因此本計畫調查時間避開上午 10:00 至下午 3:00，減少強烈的陽光造成鏡頭逆光，葉面積指數推估上之誤差。

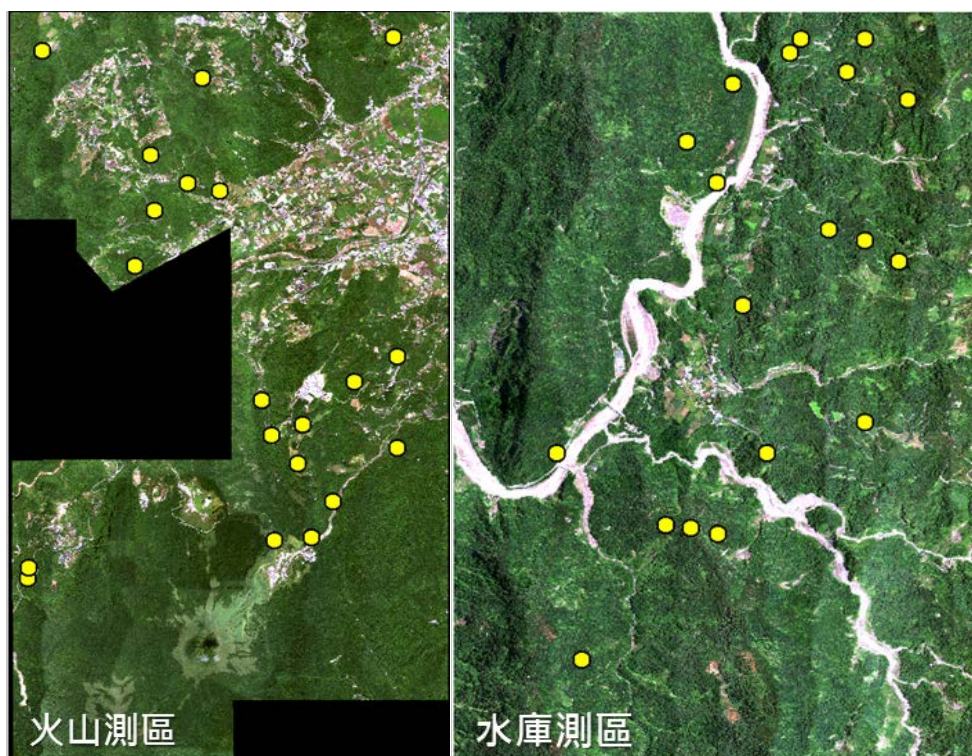


圖 4.35 LAI 調查樣區位置圖

LAI 調查的結果如表 4.17 所示，ROP(ratio of penetration)為光達穿透率，LAI 最小值為 2.2，最大值為 6.11，利用手持式 GPS 調查點位，刪除 PDOP 值較高之數據，位置誤差控制在 5 m 以內，LAI2000 是以半徑 5 m 範圍內測量 8 次重複所得之數據，避開低矮植物照成鏡頭之遮蔽，以較開闊區森林測量 LAI 值，另一台 LAI2000 接收全天光空域資料，每五分鐘測量天頂光度之變化，並距離測區 100 m 以內，達成合理測量樣區 LAI 值之目的。

表 4.17 水庫測區與火山測區 LAI 蒐集位置與數據

水庫測區									
ID	E	N	LAI	ROP	ID	E	N	LAI	ROP
1	215,703	2,579,166	4.41	0.20	11	216,883	2,579,677	2.74	0.15
2	214,931	2,575,349	3.84	0.08	12	216,291	2,576,870	4.08	0.04
3	215,549	2,576,340	3.52	0.11	13	215,732	2,576,315	2.32	0.26
4	216,748	2,578,521	2.31	0.47	14	214,746	2,576,869	6.11	0.03
5	216,042	2,579,588	4.37	0.09	15	217,330	2,579,475	2.93	0.29
6	217,264	2,578,285	2.30	0.35	16	217,014	2,579,919	3.36	0.21
7	216,115	2,577,957	2.20	0.45	17	216,460	2,579,819	3.21	0.09
8	217,010	2,577,096	3.04	0.24	18	215,922	2,578,865	4.52	0.12
9	216,540	2,579,922	2.77	0.36	19	215,934	2,576,274.17	4.49	0.11
10	217,016	2,578,438	2.80	0.35	20	217,872	2,576,423.22	3.44	0.23
火山測區									
ID	E	N	LAI	ROP	ID	E	N	LAI	ROP
1	313,150	2,792,729	3.86	0.09	11	313,196	2,788,007	4.39	0.07
2	310,963	2,792,250	2.79	0.18	12	312,458	2,787,392	4.74	0.07
3	309,123	2,792,563	3.36	0.22	13	312,213	2,786,974	3.56	0.14
4	310,370	2,791,370	3.85	0.05	14	311,781	2,786,950	4.06	0.17
5	310,795	2,791,049	4.98	0.01	15	308,955	2,786,515	2.61	0.23
6	311,162	2,790,955	3.31	0.08	16	308,965	2,786,629	4.06	0.00
7	310,190	2,790,102	5.23	0.06	17	311,636	2,788,551	4.46	0.08
8	310,411	2,790,734	5.72	0.01	18	311,755	2,788,149	4.22	0.07
9	313,193	2,789,053	3.23	0.13	19	312,113	2,788,281	4.01	0.18
10	312,701	2,788,764	4.32	0.07	20	312,048	2,787,832	3.83	0.14

利用 LAI 與光達穿透率進行迴歸分析(圖 4.36)，結果顯示在火山與水庫樣區均有線性負相關，兩者  $R^2$  值達 0.52 與 0.59，各樣區之穿透率如表 4.17，火山測區 20 個樣區穿透率分布介於 0.01~0.23 之間，而水庫測區 20 個樣點穿透率分布範圍在 0.04~0.47 之間，在內業規劃上主要希望尋找穿透率在 0.01~0.5 之間的點位並進行葉面積指數之調查，但實際調查的點位受到人員到達難易之影響會有位置上的差異，故北部火山測區只取樣到穿透率 0.23 以下資料，但從迴歸趨勢而言並無太大差異。結果顯示當葉面積指數增加時穿透率會減

少，葉面積指數可以反映穿透率之高低，當葉面積指數增加 1 時，穿透率分別減少 0.06(火山區)及 0.1(水庫區)。

由於南北測區迴歸趨勢相近，綜合兩樣區資料統計其相關性，如圖 4.37，穿透率與葉面積指數  $R^2$  達 0.59，是屬於合理可接受的趨勢，當穿透率越高時葉面積指數愈低，其斜率為-0.098，表示當葉面積指數增加 1 時，穿透率會減少約 0.098 左右，故本案結果顯示葉面積指數可以反映穿透率大小程度，而葉面積指數可以由現地調查獲得，在葉面積指數較高的森林區域地面點數量會相對較少，故在空載光達掃瞄時需改變飛航規劃設計。

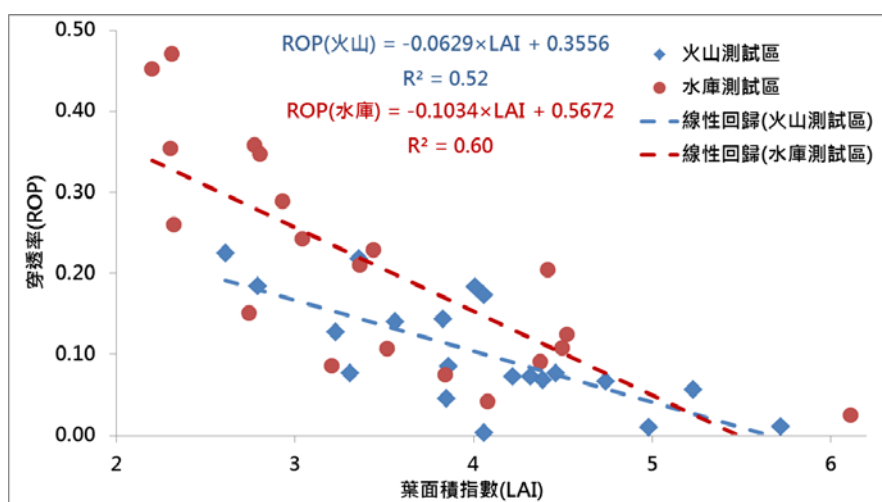


圖 4.36 火山與水庫測試區葉面積指數與空載光達穿透率之關係

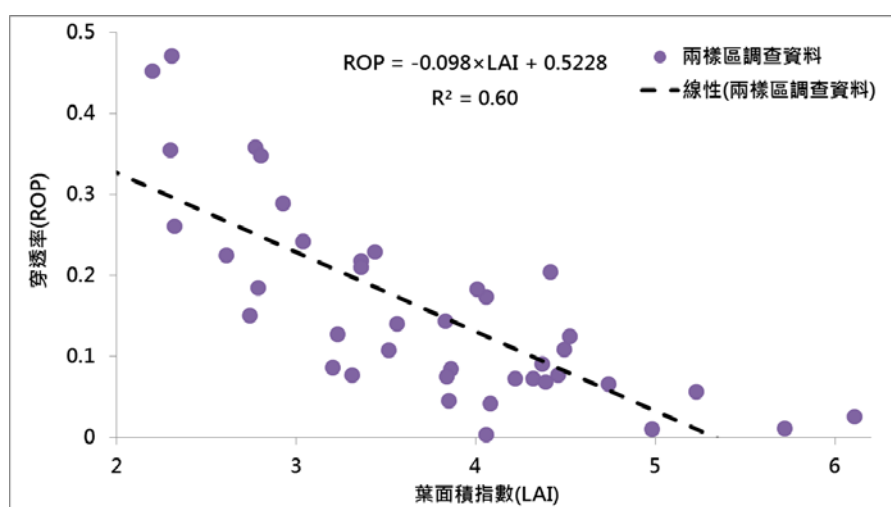


圖 4.37 兩測試區總體葉面積指數與空載光達穿透率之關係

#### 4-3.5 建構空載光達穿透率與衛星影像植生指標之關係

衛星影像的取得相較易於空載光達穿透資料，故本案探討衛星影像計算各種植生指標，是否可以反映空載光達穿透率資料。由於資料分析圖繁多，故報告內文以最常用的 NDVI 指標為主，其餘指標列於附件四。

##### 1. 大氣糾正對衛星影像植生指標推估之影響

本案建構空載光達穿透率與衛星影像植生指標之關係，不探討穿透率大於 0.9 的區域如河系、建物、道路、空地與少數果園，如圖 4.38 藍色區域則為穿透率小於 0.9 的區域。本案探討經大氣糾正後，是否可以消除個影像間的差異，在南部水庫樣區特別選擇兩張大氣條件相異的 FS2 衛星影像，FS2\_1 與 FS2\_2 衛星影像，水氣含量以 FS2\_2 最高。

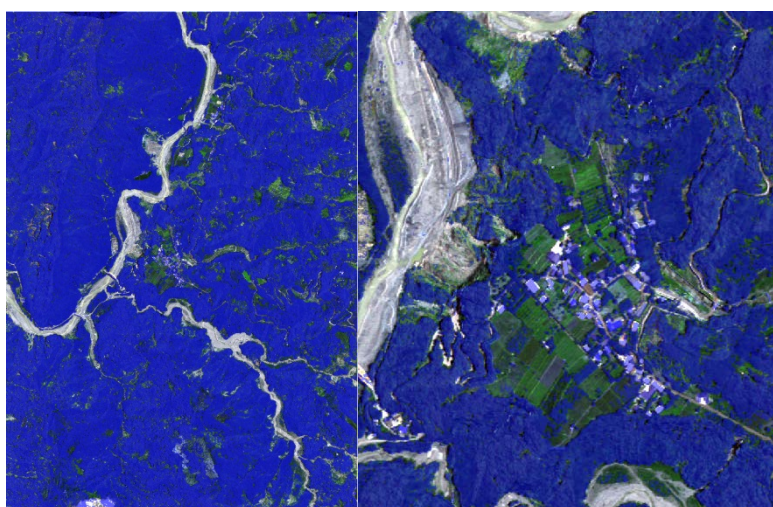


圖 4.38 藍色區域為穿透率小於 0.9 之區域

比較大氣糾正前後 NDVI 植生指標的差異，結果如圖 4.39 所示，其餘指標於附件四呈現。本案大氣糾正的後資料分布較為集中，如圖 4.39(a)與(b)兩張福衛二號 NDVI 影像，大氣糾正前在相同穿透率之植生指標分布區間較大，而經大氣糾正後，相同穿透率其資料分布較集中，其他衛星影像 NDVI 值均有相同趨勢，表示衛星影像經過大氣糾正後可消除大氣及光照等因素對地物反射的影響，以降低對植生指標計算的差異。



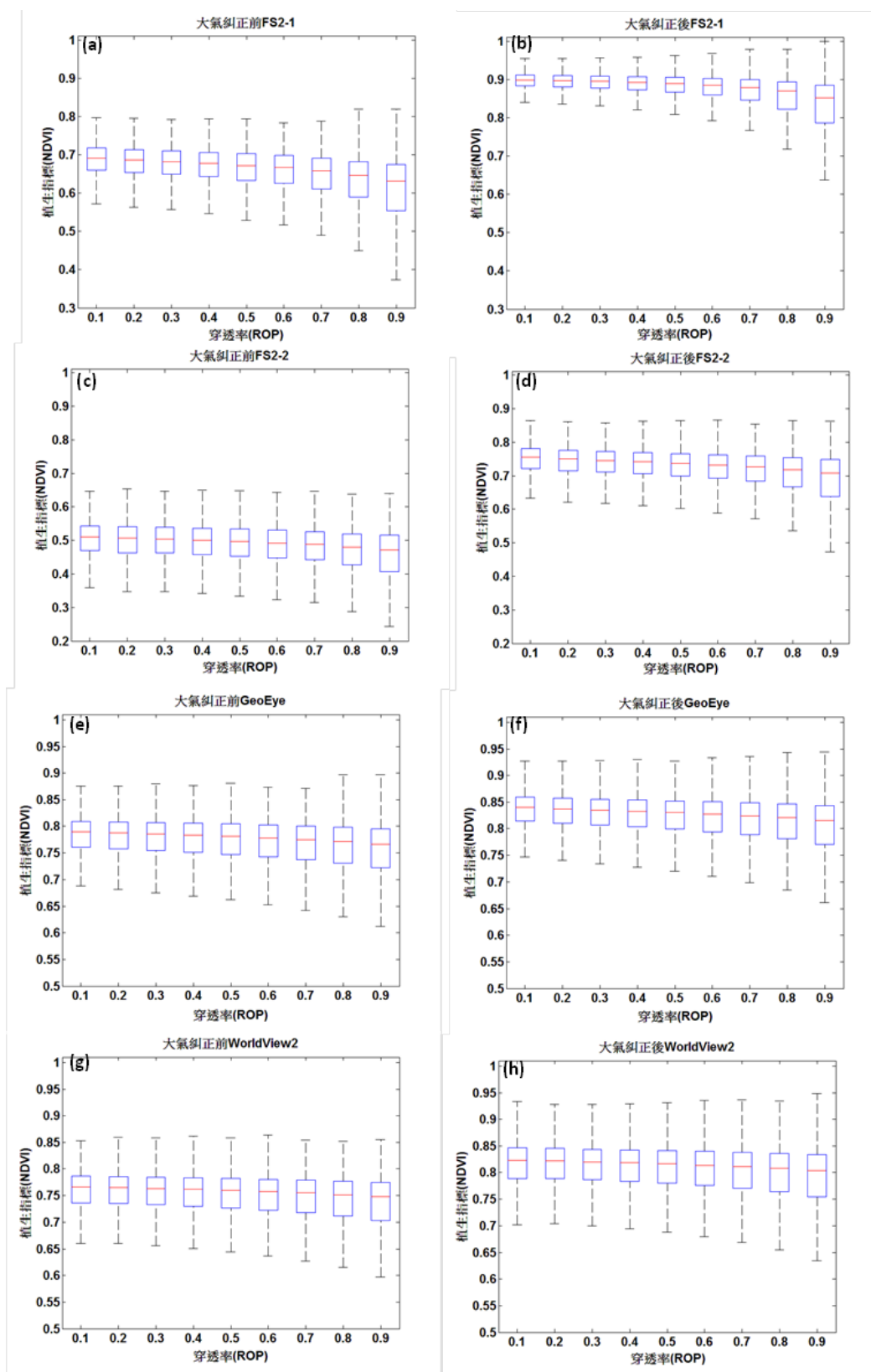
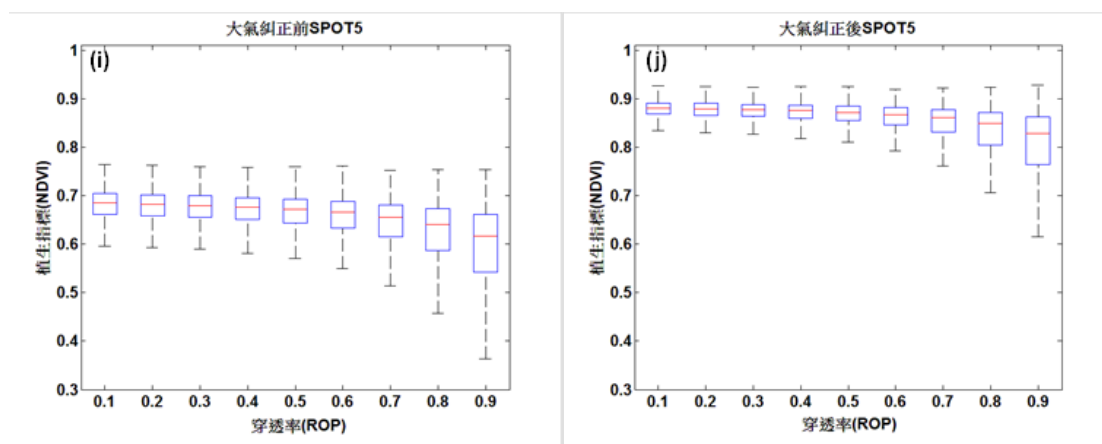


圖 4.39 大氣糾正對於衛星影像植生指標與穿透率分布盒形圖。(a)、(c)、(e)、(g)、(i)大氣糾正前植生指標。(b)、(d)、(f)、(h)、(j)大氣糾正後植生指標



續圖 4.39 大氣糾正對於衛星影像植生指標與穿透率分布盒形圖。(a)、(c)、(e)、(g)、(i)大氣糾正前植生指標。(b)、(d)、(f)、(h)、(j)大氣糾正後植生指標

大氣糾正後之衛星影像單位為反射率(Reflectance)，相較於為大氣糾正前之衛星影像單位輻射量(radiance)，反射率代表地物對於各波段對於反射的程度多寡，而輻射量為衛星感測器接收到的亮度程度，輻射量較易受到大氣氣融膠與水氣的影響，而植生指標主要為 RED 和 NIR 兩個波段推估，水氣會嚴重影響 NIR 值的大小，故本案利用 ATCOR3 大氣糾正軟體處理，處理過後之衛星影像更能減少影響植生指標的大氣因子，比較糾正前後之植生指標，主要利用水庫測區之 5 張衛星影像比較，如圖 4.40 顯示，大氣糾正前之 NDVI 分布趨勢，FS2\_1 與 FS2\_2 水氣差異較大，故在未大氣糾正時 NDVI 值有約 0.2 的間距差異，經過大氣糾正後，各衛星影像植生指標趨勢較接近，才能有效的比較穿透率與植生指標之關係。

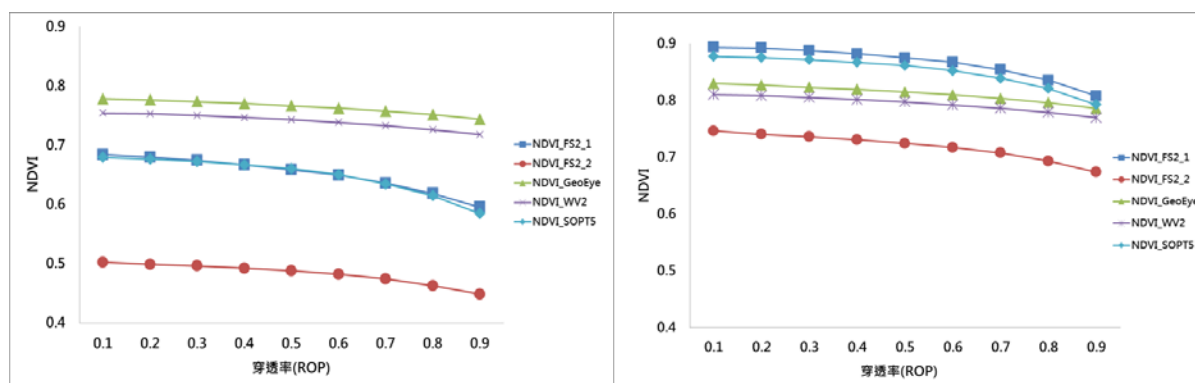


圖 4.40 大氣糾正前(左圖)後(右圖)各衛星影像穿透率與平均 NDVI 分布圖

## 2. 空載光達穿透率與衛星影像植生指標之關係

本案利用四個常見之植生指標分別為 NDVI、PVI、RVI 與 SAVI，各種指標有其推估的參考性，1972 年提出的 RVI 指標，主要是利用 RED 波段與 NIR 波段的比例進行評估，屬於較簡單的植生指標，而 NDVI 是大量廣泛運用的植生指標，最主要有其指標常態化的特性，NDVI 值介於-1~1 之間，而水體大多為負值，另一個指標為 SAVI 是以 NDVI 為主體，利用 L 值大小來調整權重的大小，而 L 值主要是參考 LAI 指標，本案南北兩研究樣區之 LAI 調查，北部火山樣區平均 LAI 為 4.0，而南部水庫樣區平均為 3.5，參考 Huete(1988)發表的 L 值，火山樣區 L 值應為 0.9，而水庫樣區 L 值應為 0.8，最後利用以上各指標之特性來比較各衛星影像植生指標與穿透率之關係。

### (1) 植生指標與空載光達穿透率間之敘述性統計及相關性

本案植生指標與空載光達穿透率的統計資料去除穿透率高於 0.9(非植生)與影像黑邊(nodata)之區域，總共有 7 幅衛星影像與 4 種植生指標，指標已經過大氣糾正處理，統計資料如表 4.18 中所示，N 為樣本數量與影像網格數量相同，統計其平均(mean)與標準差(Std.)值，可展示資料之分布特性，在結果顯示，水庫\_SOPT5 衛星影像，其空間解析力為 10 m，網格數量為 186,507，水庫\_GeoEye 影像空間解析力 2 m，網格數量為 4,135,142，各指標之網格數量差異相當大，由於僅保留穿透率小於 0.9 之區域，屬於植生或森林覆蓋區域，故各指標之平均值均較高，標準差值較小，表示資料有集中的趨勢，在敘述性統計的結果，各衛星影像間平均與標準差差異不大，僅有水氣含量較高的水庫\_FS2\_2 植生指標均小於相同水庫樣區之衛星影像，表示衛星影像之品質會影響的植生指標之推估。

表 4.18 穿透率與各衛星影像植生指標之敘述與相關性統計

NDVI	網格數量(N)	平均值(Mean)	標準偏差(Std.)	相關係數 r
火山_FS2	484721	0.8309	0.1274	-0.2724**
火山_SOPT5	<b>370217</b>	<b>0.7989</b>	<b>0.1104</b>	<b>-0.4135**</b>
水庫_FS2_1	189178	0.8729	0.0799	-0.2999**
水庫_FS2_2	260087	0.7247	0.0942	-0.2133**
水庫_GeoEye	4135142	0.8185	0.0739	-0.1719**
水庫_WV2	4129713	0.7990	0.0900	-0.1392**
水庫_SOPT5	186507	0.8587	0.0612	-0.3556**
PVI	網格數量(N)	平均值(Mean)	標準偏差(Std.)	相關係數 r
火山_FS2	484721	0.1651	0.0451	-0.1913**
火山_SOPT5	<b>370217</b>	<b>0.2000</b>	<b>0.0464</b>	<b>-0.3266**</b>
水庫_FS2_1	189178	0.1897	0.0506	-0.2350**
水庫_FS2_2	260087	0.1660	0.0393	-0.1034**
水庫_GeoEye	4135142	0.1982	0.0590	-0.0933**
水庫_WV2	4129713	0.2582	0.0717	-0.0680**
水庫_SOPT5	186507	0.2240	0.0473	-0.2223**
RVI	網格數量(N)	平均值(Mean)	標準偏差(Std.)	相關係數 r
火山_FS2	<b>484721</b>	<b>13.7104</b>	<b>5.1170</b>	<b>-0.3247**</b>
火山_SOPT5	370217	10.2423	2.7948	-0.5280**
水庫_FS2_1	189178	17.4368	6.4455	-0.2992**
水庫_FS2_2	260087	6.6917	1.5670	-0.2620**
水庫_GeoEye	4135142	10.9654	2.8503	-0.1971**
水庫_WV2	4129713	9.9512	2.8010	-0.1423**
水庫_SOPT5	186507	14.4072	3.4430	-0.4255**
SAVI	網格數量(N)	平均值(Mean)	標準偏差(Std.)	相關係數 r
火山_FS2	484721	0.4132	0.0891	-0.2094**
火山_SOPT5	<b>370217</b>	<b>0.4686</b>	<b>0.0854</b>	<b>-0.3520**</b>
水庫_FS2_1	189178	0.4721	0.0896	-0.2634**
水庫_FS2_2	260087	0.4150	0.0724	-0.1323**
水庫_GeoEye	4135142	0.4768	0.1022	-0.1081**
水庫_WV2	4129713	0.5590	0.1067	-0.0882**
水庫_SOPT5	186507	0.5263	0.0793	-0.2566**

Pearson 相關係數 r:\*\*.在顯著水準為 0.01 時 (雙尾), 相關顯著。

在相關性檢定方面，本案利用 Pearson 相關係數  $r$  值，探討植生指標與穿透統計上的相關性，Pearson 相關主要是討論兩樣本之線性分布趨勢，值域介於  $-1 \sim 1$  之間，正值為兩樣本正相關，負值為兩樣本負相關，接近 0 表示兩樣本線性相關性低，而其首要參考的值為顯著水準，在表 4.18 中，各植生指標與穿透率均呈現相關顯著(雙尾 0.01)，表示穿透率與植生指標是有相關，而相關程度之多寡需參考  $r$  值，本案相關係數  $r$  均為負值，表示當穿透率愈高時，植生指標愈低，為合理的結果。在  $r$  值方面在  $|r|=0 \sim 0.3$  稱為低度相關；在  $|r|=0.3 \sim 0.6$  之間稱為中度相關；而在  $|r|=0.6 \sim 0.9$  為高度相關；若是  $R$  值為正負 1，即表示完全相關，在各衛星影像中以火山\_SOPT5 之 RVI 植生指標相關性最高，可達  $-0.5280$ ，表示其為中度接近高度相關，而水庫\_WV2 之 PVI 植生指標  $r$  值為  $-0.068$ ，其  $r$  值整體趨勢為 SPOT5 優於 FS2，而 Geoeye 與 WorldView2 之  $r$  值差異不大，並且為最低之相關係數  $r$  值，但相關係數僅能表示兩樣本之相關程度高低，並無法解釋自變數(independent variable)與依變數(dependent variable)間的關係，因此利用迴歸分析為探討兩種變數間之關係。

## (2) 穿透率各組距平均值與植生指標之迴歸統計分析

線性迴歸研究結果如圖 4.41(a)~(d)所示，自變數為穿透率而依變數為植生指標，穿透率組距為 0.1，統計組距區間之平均植生指標，平均之理由為植生指標值為非規則分布(unbalance)，直接進行迴歸分析較不適合，故將各組距間平均後之成果，較直接進行迴歸分析合理。圖 4.41(a)為 NDVI 指標之結果，除水氣含量較高的 FS2\_2 衛星影像有明顯趨勢上的差異外，其餘的衛星影像當穿透率增加時，NDVI 指標亦相對的減少，另外 RVI、PVI 與 SAVI 指標，FS2\_2 衛星影像均有偏低指標值，雖然影像經過 ATCOR3 大氣糾正處理，但衛星影像的品質亦會影響到迴歸的結果，而 Worldview2 與 Geoeye 高解析度衛星影像，植生指標的趨勢並無優於解析度較低的 FS2 與 SPOT5 衛星影像，其理由推測是在於當解析度較高時紋理特性會高於光譜特性，地形所產生的陰影會影響到整體的趨勢。

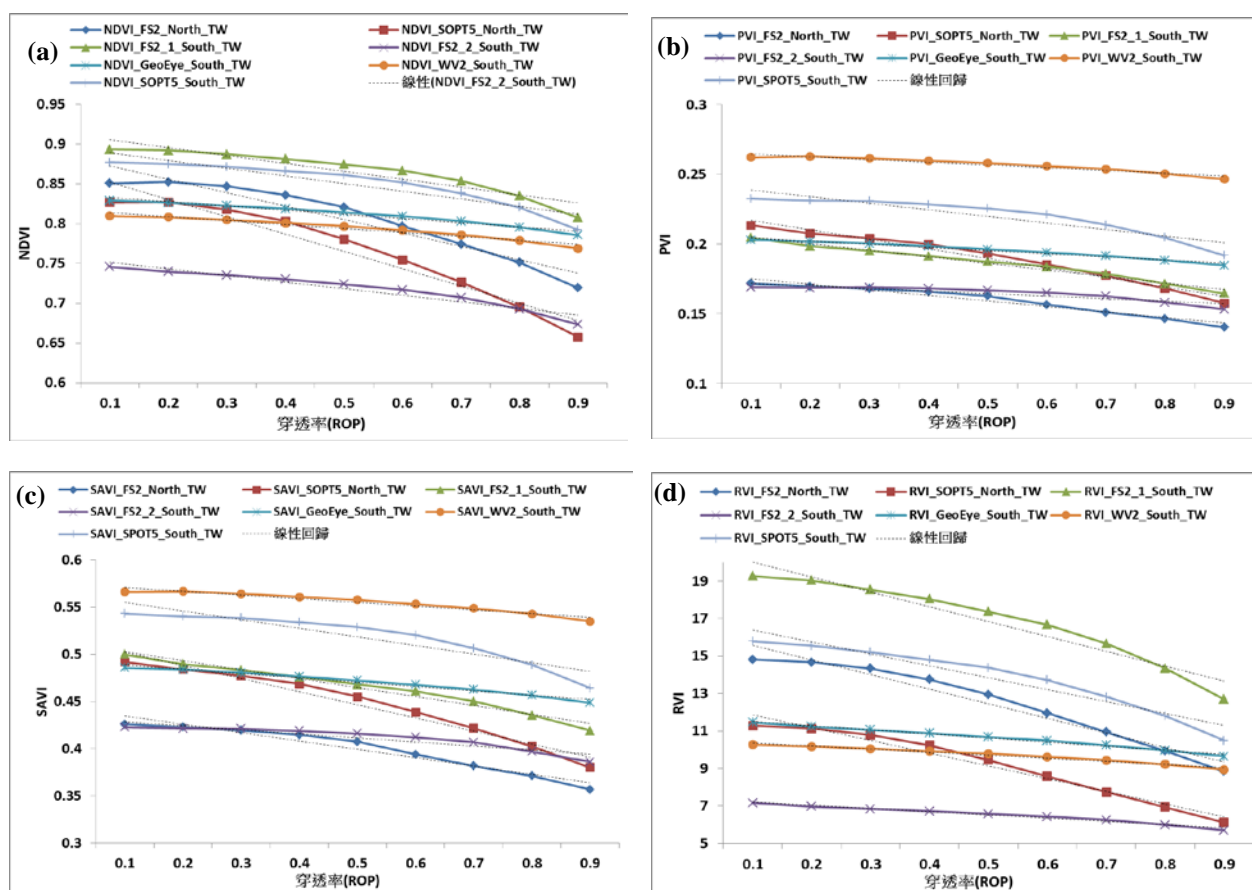


圖 4.41 穿透率與 4 種植生指標之相關性

表 4.19 為上圖 4.41(a)到(d)之線性迴歸方程式，a 為斜率 b 為截距，結果 a 斜率均為負值，表示穿透率與植生指標為負相關，與 Pearson 相關係數檢定結果相同，當穿透率越高時植物覆蓋度越少，各植生指標與穿透率之線性相關， $R^2$  值均超過 0.8，表示該方程式合理性。本案探討各衛星影像植生指標與穿透率的相關程度，在相同植生指標下，當斜率越接近 0 時，表示關聯性不明顯，從表 4.19 顯示，SPOT5 與 FS2 衛星影像斜率均較陡，表示兩種衛星影像可以有效的評估穿透率，而 worldview2 與 GeoEye 衛星影像雖然趨勢為合理的負相關，但穿透率與植生指標間關連並不明顯(斜率較平)，線性迴歸與 Pearson 檢定相關結果相同，關聯程度以 SPOT5 優於 FS2，而 Geoeye 與 WorldView2 之關聯程度差異不大，並且為最低之關聯度，但線性迴歸可以表示如 SOPT5 火山樣區資料，當穿透率減少 0.1 時，NDVI、PVI、RVI 與 SAVI，分別增加 0.0021、0.0007、0.0683 與 0.0014。

表 4.19 穿透率與衛星影像線性迴歸方程式

<b>NDVI</b>	a	b	R <sup>2</sup>	<b>RVI</b>	a	b	R <sup>2</sup>
火山_FS2	-0.0169	0.8896	0.92	火山_FS2	-0.7779	16.3630	0.96
火山_SOPT5	<b>-0.0217</b>	<b>0.8749</b>	<b>0.94</b>	火山_SOPT5	-0.6828	12.5620	0.97
水庫_FS2_1	-0.0100	0.9155	0.88	水庫_FS2_1	<b>-0.7918</b>	<b>20.8170</b>	<b>0.94</b>
水庫_FS2_2	-0.0084	0.7603	0.93	水庫_FS2_2	-0.1714	7.3811	0.98
水庫_GeoEye	-0.0053	0.8380	0.96	水庫_GeoEye	-0.2189	11.7310	0.99
水庫_WV2	-0.0050	0.8189	0.96	水庫_WV2	-0.1621	10.5320	0.98
水庫_SOPT5	-0.0097	0.8990	0.86	水庫_SOPT5	-0.6381	17.0410	0.93
<b>PVI</b>	a	b	R <sup>2</sup>	<b>SAVI</b>	a	b	R <sup>2</sup>
火山_FS2	-0.0040	0.1790	0.95	火山_FS2	-0.0088	0.4435	0.95
火山_SOPT5	<b>-0.0068</b>	<b>0.2238</b>	<b>0.97</b>	火山_SOPT5	<b>-0.0139</b>	<b>0.5162</b>	<b>0.96</b>
水庫_FS2_1	-0.0047	0.2097	0.98	水庫_FS2_1	<b>-0.0094</b>	<b>0.5121</b>	<b>0.97</b>
水庫_FS2_2	-0.0018	0.1737	0.82	水庫_FS2_2	-0.0043	0.4329	0.86
水庫_GeoEye	-0.0023	0.2067	0.97	水庫_GeoEye	-0.0046	0.4935	0.97
水庫_WV2	-0.0020	0.2667	0.93	水庫_WV2	-0.0039	0.5748	0.94
水庫_SOPT5	-0.0047	0.2436	0.86	水庫_SOPT5	-0.0091	0.5641	0.86
<b>回歸方程式 VI=axROP+b</b>							

## 4-4 集水區之地形變異分析

### 4-4.1 數值地形資料蒐集分析

本計畫蒐集包括 99 年經濟部中央地質調查所產製之光達數值地形資料，101 年及 102 年內政部地政司所產製之光達數值地形資料等 3 期光達數值地形資料，進行集水區之地形變異分析。蒐集結果如圖 4.42。而各期數值地形重疊面積約為 1,636 公頃，而後續之分析範圍亦為此數值地形重疊範圍。

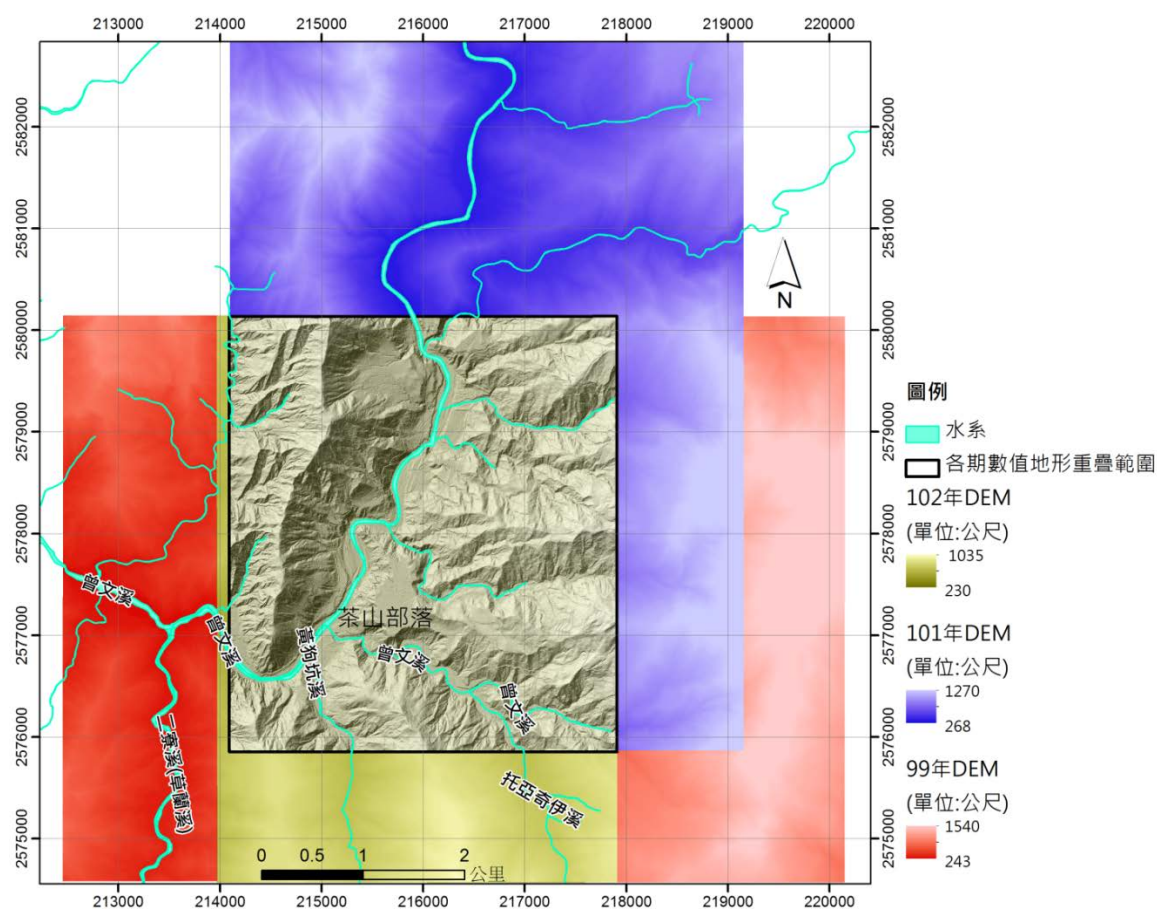


圖 4.42 本計畫蒐集 3 期空載光達數值地形範圍圖



依據彭焱祥(2005)的研究光達數值地形之誤差絕對值的平均 22.2 公分，而本研究為應用於不同時期之地形變異分析，進行此 3 期影像中之地形未改變的地點之高程值擷取工作，並比較各點位之高程差異，以作為各期數值地形之調整依據。而地形未改變的地點選取原則主要為道路、廣場等未受自然災害事件及人為擾動位置，經分析後共挑選 25 處各期地形未改變點(圖 4.43)，其統計結果如表 4.20。

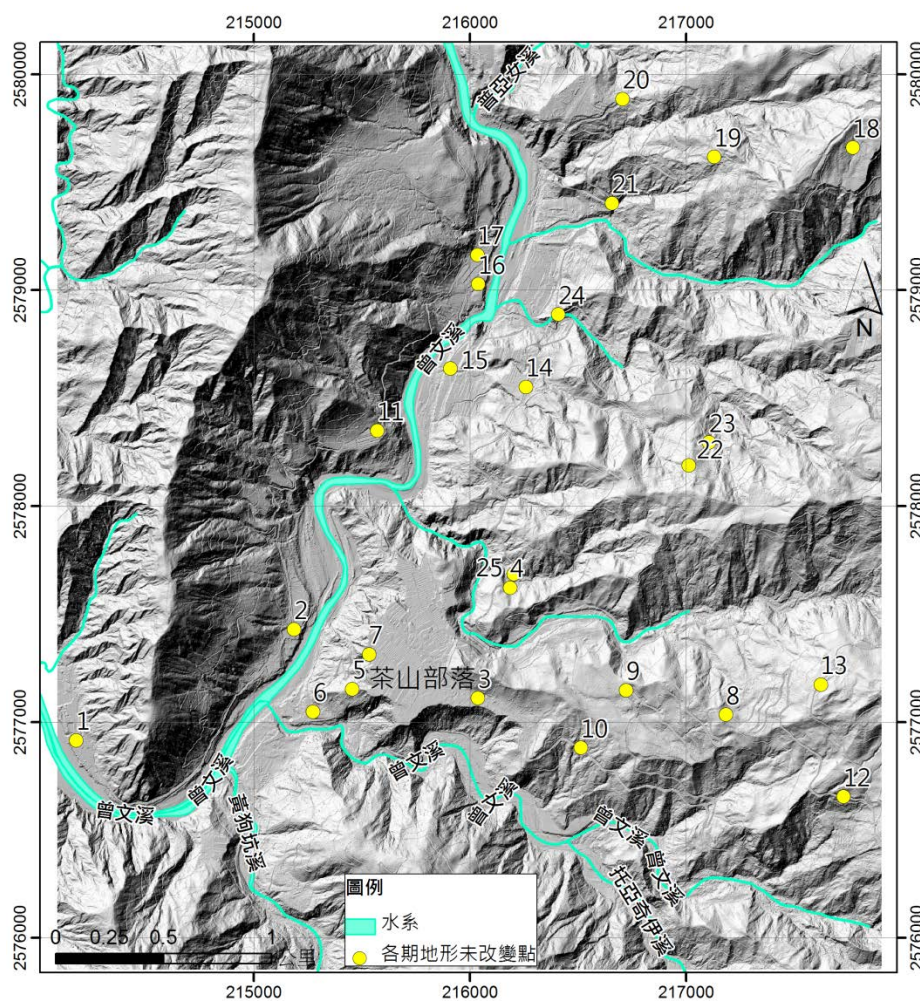


圖 4.43 各期地形未改變點位置圖

經分析此 25 處各期地形未改變點之高程差(橢球高)發現，101 年減去 99 年之高程差異最多為點位編號 14，高程差達 22 公分，而誤差絕對值的平均為 7 公分左右，102 年減去 101 年之高程差異最多為點位編號 19，高程差達 44 公分，而誤差絕對值的平均為 15 公分左右，而此結果優於前人研究之分析結

果，因此後續之地形變異分析，將直接使用此 3 期之高程資料(橢球高)資料進行分析。

表 4.20 各期地形未改變點高程值及高程差異統計一覽表

點位編號	X 坐標	Y 坐標	99 年高程值	101 年高程值	102 年高程值	101-99 高程差	102-101 高程差
1	214177.9	2576913.6	282.88	282.82	282.41	-0.05	-0.41
2	215185.5	2577427.4	303.47	303.46	303.14	-0.01	-0.32
3	216036.7	2577109.2	468.07	468.12	468.14	0.05	0.02
4	216187.3	2577620.9	443.95	444.05	443.76	0.10	-0.28
5	215456.0	2577151.8	413.31	413.45	413.34	0.15	-0.11
6	215274.3	2577046.6	306.05	306.03	305.95	-0.02	-0.08
7	215534.9	2577312.1	442.42	442.38	442.43	-0.04	0.05
8	217185.3	2577033.1	690.69	690.72	690.71	0.02	-0.01
9	216724.1	2577146.0	595.59	595.61	595.38	0.02	-0.23
10	216515.3	2576878.8	506.23	506.34	506.19	0.11	-0.15
11	215571.4	2578348.5	371.81	371.99	371.85	0.18	-0.14
12	217730.5	2576652.3	776.45	776.41	776.13	-0.05	-0.27
13	217624.9	2577171.9	826.14	826.03	825.98	-0.11	-0.05
14	216259.8	2578550.7	397.24	397.46	397.39	<b>0.22</b>	-0.07
15	215909.9	2578636.2	320.24	320.18	320.07	-0.07	-0.11
16	216038.8	2579027.6	325.21	325.15	325.10	-0.06	-0.06
17	216035.6	2579163.0	330.51	330.44	330.51	-0.07	0.07
18	217774.2	2579659.1	740.32	740.30	740.11	-0.01	-0.19
19	217132.7	2579615.9	604.65	604.72	604.28	0.07	<b>-0.44</b>
20	216706.9	2579884.7	471.33	471.39	471.19	0.06	-0.20
21	216657.9	2579401.1	387.72	387.65	387.61	-0.07	-0.04
22	217013.3	2578186.9	652.85	652.84	652.78	-0.01	-0.07
23	217108.0	2578293.7	599.28	599.35	599.25	0.07	-0.10
24	216409.3	2578887.3	353.13	353.16	353.08	0.02	-0.08
25	216203.9	2577684.2	440.02	440.02	439.90	0.00	-0.12
誤差絕對值的平均						<b>0.07</b>	<b>0.15</b>

註:高程單位:公尺;坐標系統:TWD97【2010】

#### 4-4.2 分析遮罩產製

本計畫各期地形變異分析遮罩成果如下圖 4.44。其中 99 年至 101 年分析遮罩之面積約為 745.23 公頃，101 年至 102 年分析遮罩之面積約為 359.42 公頃，其中顯示 101 年至 102 年之分析面積明顯小於 99 年至 101 年，兩者差距約一倍左右。而 99 年至 101 年地形變異分析遮罩範圍，位於坡面及河道兩側的區位明顯比 101 年至 102 年之範圍多。

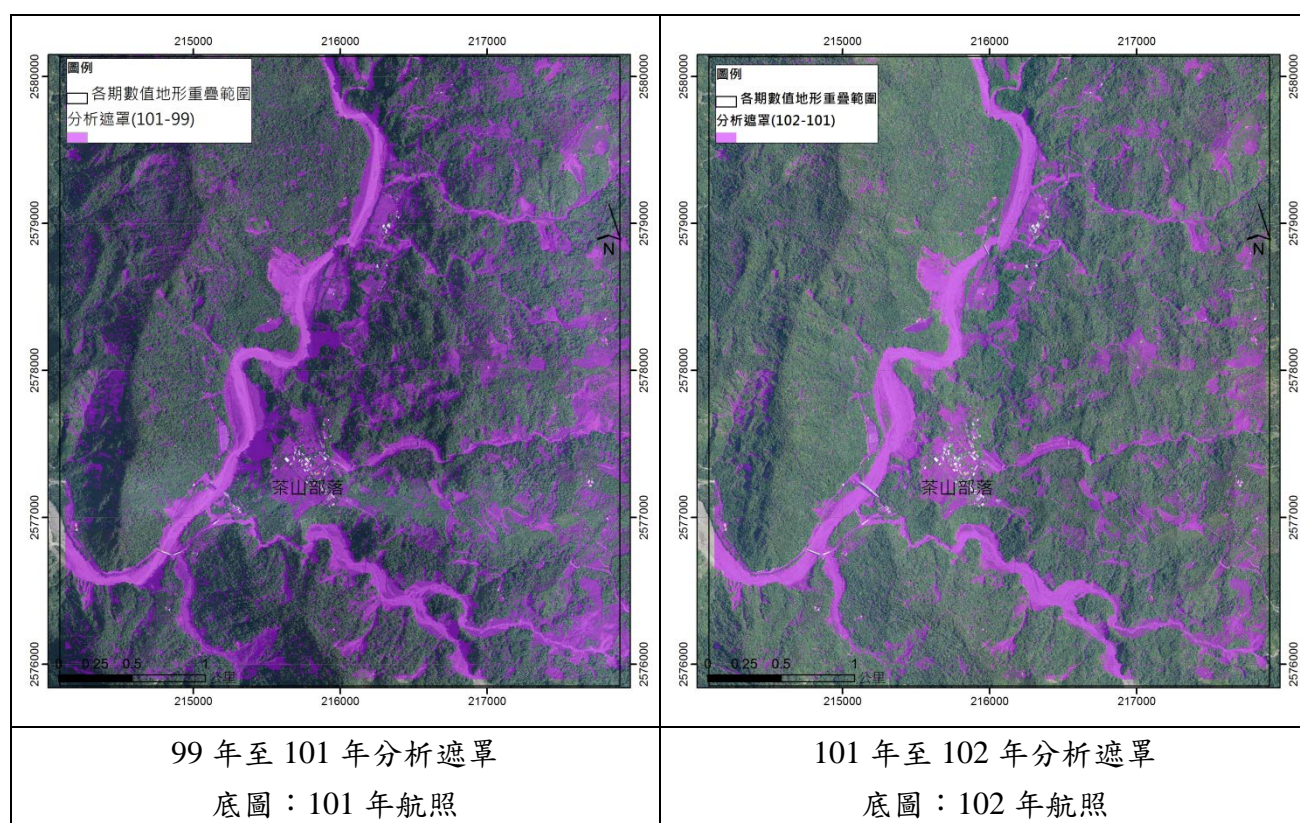


圖 4.44 前、後期地形變異分析遮罩產製成果圖

#### 4-4.3 集水區分區

地形變異分析主要以集水區為單元，進行土砂之變異分析，目的為進行土砂變異分析之分區統計，以瞭解上、下游土砂變化關係。而集水區分區方法則採用光達 DEM 資料，利用 ArcGIS 之 ArcHydro 水文分析模組進行集水區產製，將水系門檻值設為 15 公頃，大於 15 公頃者始為水系源頭，而不同水系向下之游匯流點，該點以上之坡面範圍則為該水系之集水區單元，完成後

再經人工編修後，將研究區域分為 49 個集水區(如下圖 4.45)，其中面積最小的集水區為編號 19，位於研究區域中間位置，面積為 1.59 公頃，面積最大的集水區為編號 7，位於研究區域之東北側，面積為 108.32 公頃。

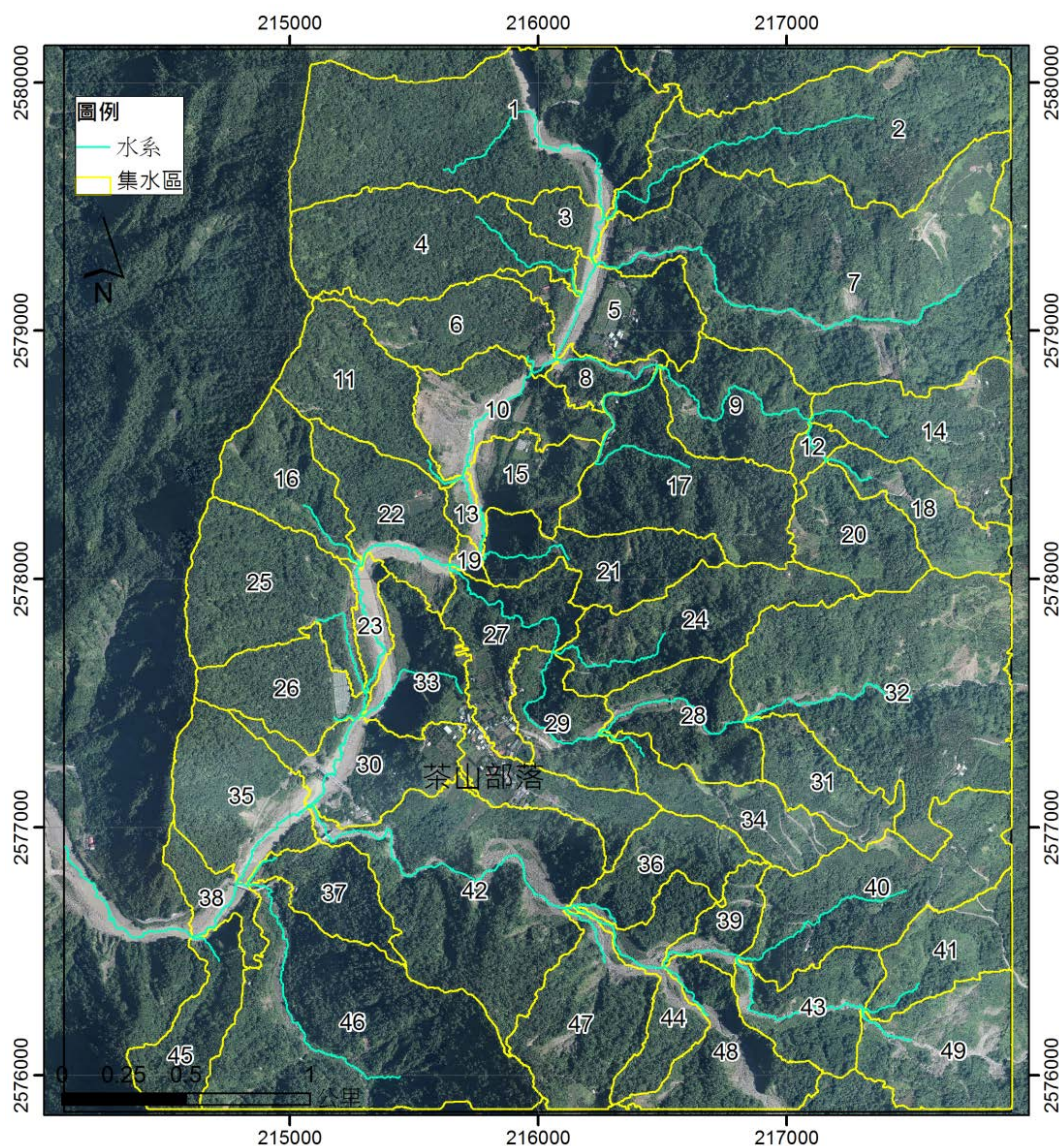


圖 4.45 集水區分區成果圖

#### 4-4.4 地形變異分析

依據本案蒐集之數值地形資料進行土砂變異區域之觀察發現，本計畫區內共有 3 處主要之土砂量變異區域，分別位於集水區編號 7、編號 10 範圍與編號 42 上游、如圖 4.46、圖 4.47 及圖 4.48 所示。

集水區編號 7 範圍內於 99 年至 101 年間，河道南側有一既有崩塌地持續發育擴大，崩塌地刷深平均大於 4 公尺。另在圖 4.46 西北側的農路因施作護坡工程，而有道路邊坡上挖、下填的現象。而在集水區編號 7 的河道上也有河道工程施作的挖填方之地形變化。而於 101 年至 102 年間的地形資料顯示，本區並無明顯之地形變化。

集水區編號 10 範圍內於曾文溪主河道西岸坡面發育(圖 4.47,c)之崩塌地，99 年至 101 年間地形變化顯示，此崩塌地有持續發育擴大的現象，同時崩塌土方亦有殘留於坡面上，未全部下移的現象。另河道亦因水流流向改變，導致上述崩塌地坡趾位置持續受到淘刷，而使坡趾失去保護。而於 101 年至 102 年間的地形資料顯示，崩塌地坡趾位置有持續淘刷現象，刷深約 2 至 4 公尺左右，同時崩塌坡面上亦因道路構築而有道路邊坡上挖、下填的現象，此亦表示施工之剩餘土方並未運出，而接堆置於道路下邊坡(圖 4.47,d)。綜合上述地形變化現象與趨勢研判，建議優先加強此崩塌坡趾之保護，以避免崩塌持續擴大，危及道路。

集水區編號 42 位於茶山部落所處階地南側之溪流中上游處，99 年至 101 年間地形變化顯示，河道有大量之淘刷作用，而於較下游之攔砂壩位置則有淤積現象，此為明顯之河道輸砂作用(圖 4.48,c)。另河道南側之坡面亦有崩塌擴大的現象。而於 101 年至 102 年間的地形資料顯示，河道輸砂作用已趨緩，並不顯著，但河道南側坡面之崩塌仍持續刷深並擴大，此顯示本區崩塌土方有持續供應現象。另因護岸工程施作所導致之地形變化亦相當明顯(圖 4.48,d)。

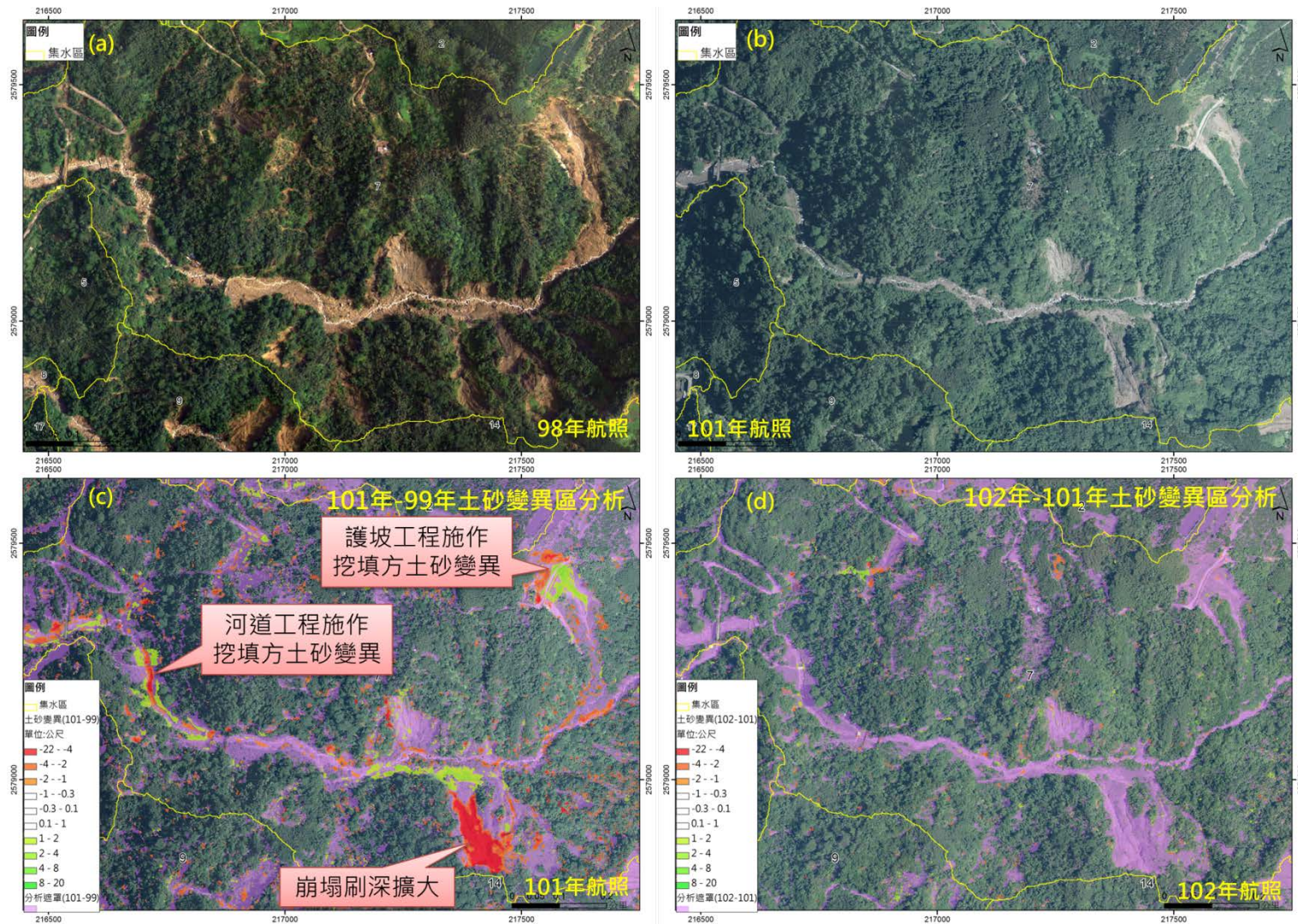


圖 4.46 集水區編號 7 範圍內 99 年至 102 年土砂量變異區分析圖

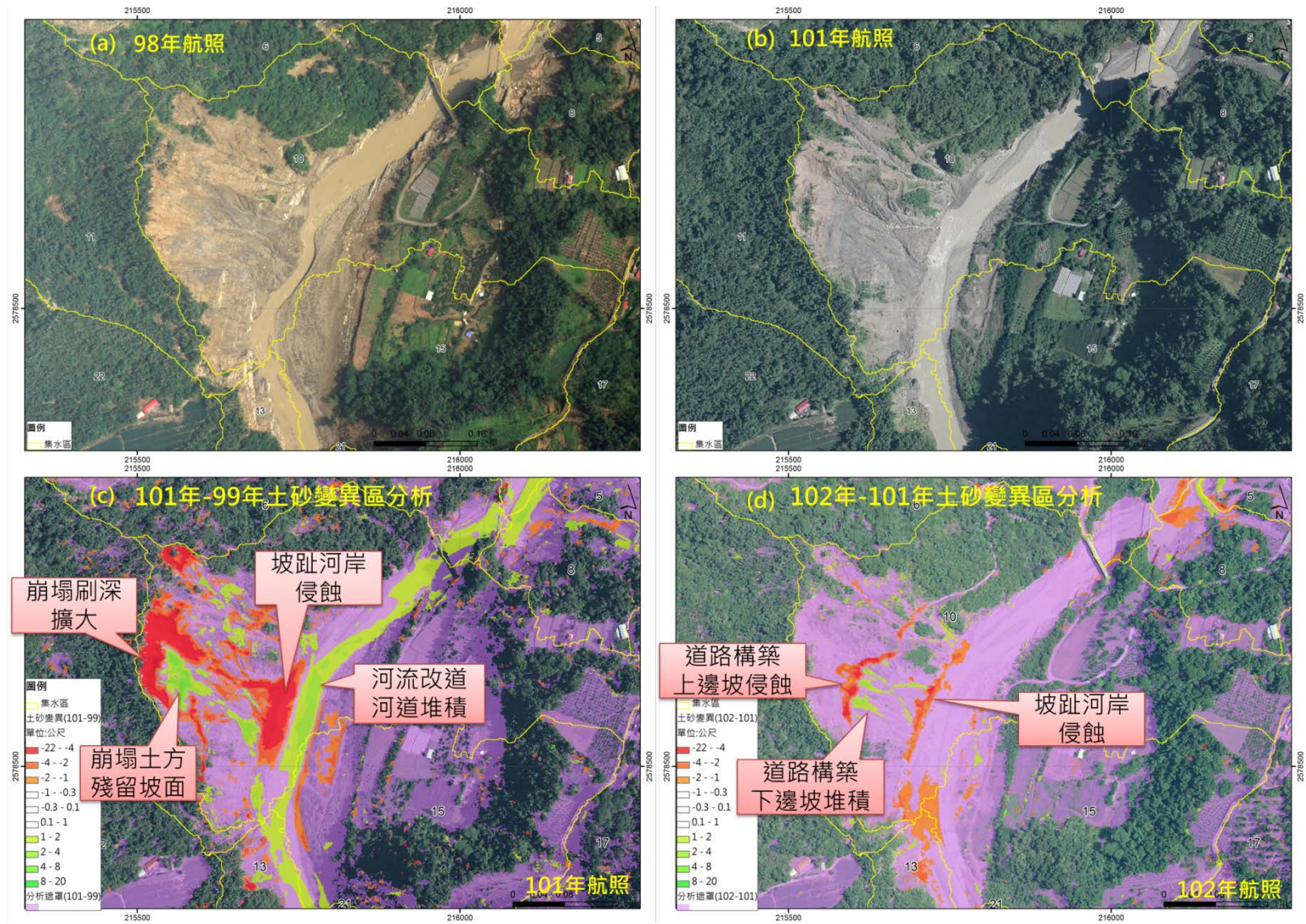


圖 4.47 集水區編號 10 範圍內 99 年至 102 年土砂量變異區分析圖

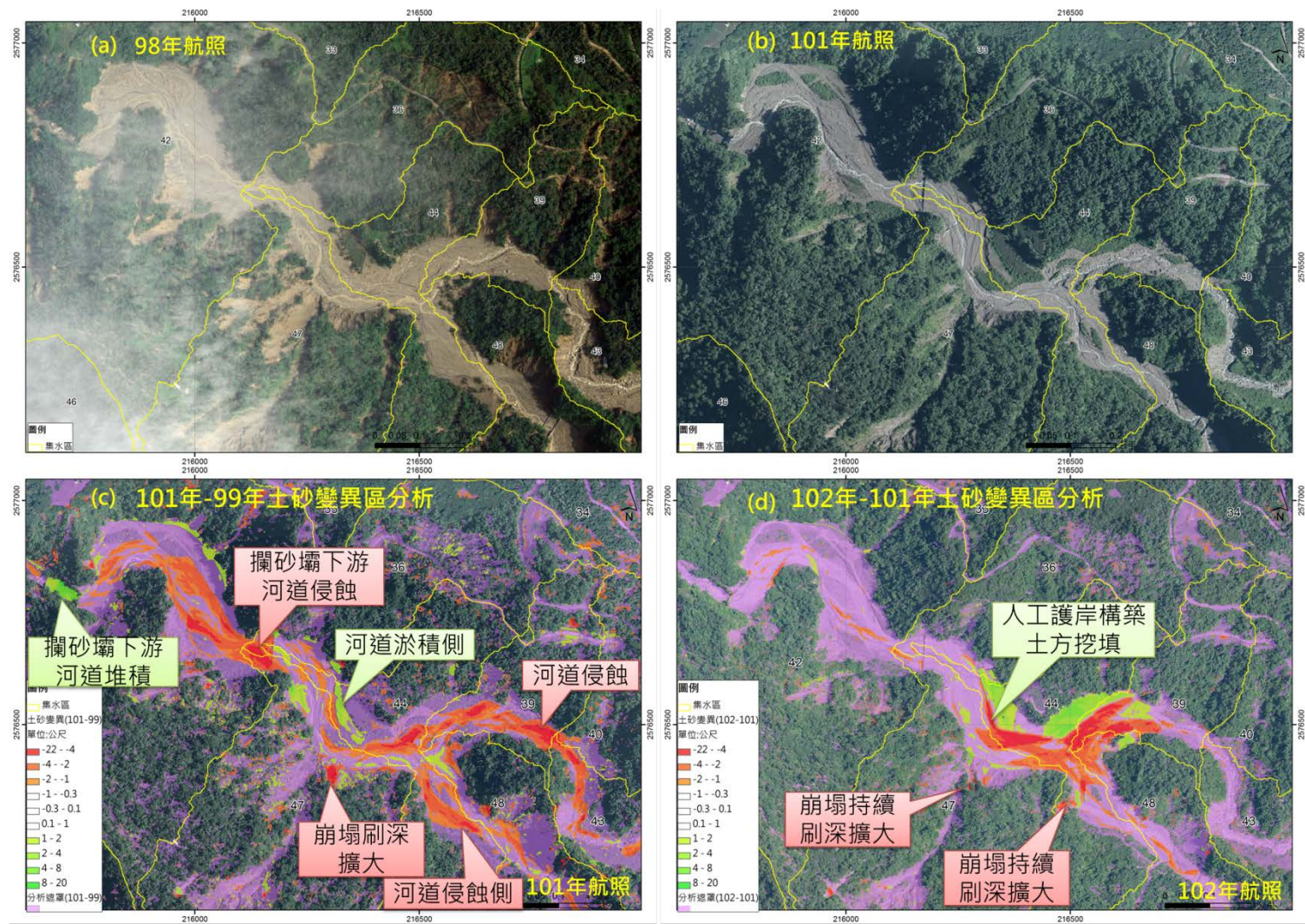


圖 4.48 集水區編號 42 上游 99 年至 102 年土砂量變異區分析圖



而就集水區之地形變化統計方面，計畫區內各集水區 99 年~101 年數值地形變異統計如表 4.21，101 年~102 年數值地形變異統計如表 4.22。99 年~101 年間之土砂總沖淤量為侵蝕 592,604 m<sup>3</sup>，測試區內各集水區，以集水區編號 7 之沖蝕、淤積及總沖淤量為最大，但該集水區單位面積之地形高程變化則小於 20 公分。高程變化部分，最大高程差為 1 號集水區之 19.9 m，最小高程差為 49 號集水區之 -24.9 m。101 年~102 年間之土砂總沖淤量為侵蝕 272,088 m<sup>3</sup>，就各集水區而言，以編號 44 之沖蝕量 48,827.5 m<sup>3</sup> 為最大、編號 7 之淤積量 43,683.3 m<sup>3</sup> 為最大、總沖淤量最大者則以集水區編號 5 之沖蝕 20,611.1 m<sup>3</sup>。高程變化部分，最大高程差為 41 號集水區之 18.2 m，最小高程差為 1 號集水區之 -21 m。

表 4.21 計畫區內各集水區 99 年~101 年數值地形變異統計一覽表

編號	面積	沖蝕	淤積	總沖淤	最大 高程差	最小 高程差
1	754,439.0	-58,395.0	41,624.7	-16,770.3	<b>19.9</b>	-12.5
2	599,753.0	-61,121.8	23,101.7	-38,020.1	4.9	-15.3
3	66,179.0	-4,092.7	3,723.4	-369.3	2.4	-5.0
4	386,942.0	-19,275.1	11,860.1	-7,415.0	4.6	-5.1
5	224,638.0	-22,129.5	49,498.2	27,368.7	5.6	-7.6
6	216,190.0	-16,746.5	11,759.6	-4,986.9	12.5	-6.7
7	1,083,252.0	<b>-198,108.0</b>	<b>99,391.0</b>	<b>-98,717.0</b>	7.8	-16.6
8	66,836.0	-10,767.3	25,433.1	14,665.8	6.6	-7.6
9	231,471.0	-26,324.9	14,311.1	-12,013.8	7.8	-14.8
10	225,171.0	-131,693.0	61,494.9	-70,198.1	8.4	-18.7
11	241,926.0	-19,913.1	7,876.5	-12,036.6	4.3	-10.0
12	32,864.0	-1,711.8	1,289.2	-422.6	4.6	-4.8
13	31,342.0	-3,743.1	16,023.5	12,280.4	4.5	-8.6
14	292,110.0	-35,553.0	4,699.2	-30,853.8	3.7	-20.9
15	138,293.0	-15,139.9	18,131.8	2,991.9	9.2	-9.3
16	200,078.0	-14,783.9	20,424.0	5,640.1	8.7	-5.9
17	373,726.0	-17,247.6	14,893.6	-2,354.0	4.8	-6.8

續表 4.21 計畫區內各集水區 99 年~101 年數值地形變異統計一覽表

18	163,249.0	-35,541.5	16,414.2	-19,127.3	8.2	-17.7
19	15,785.0	-1,065.1	12,232.7	11,167.6	4.9	-4.5
20	189,663.0	-21,021.8	8,587.2	-12,434.6	4.4	-6.9
21	224,792.0	-20,478.3	19,304.0	-1,174.3	5.3	-6.6
22	230,252.0	-22,350.1	41,869.7	19,519.6	14.9	-10.8
23	59,173.0	-4,682.8	31,367.2	26,684.4	3.7	-4.7
24	309,192.0	-44,017.5	16,637.2	-27,380.3	4.5	-6.3
25	344,768.0	-15,675.6	18,892.0	3,216.4	12.8	-6.4
26	189,212.0	-10,778.1	5,255.4	-5,522.7	5.9	-7.0
27	224,778.0	-18,250.8	17,201.5	-1,049.3	9.2	-11.8
28	213,399.0	-33,462.8	44,199.6	10,736.8	10.1	-7.2
29	172,087.0	-27,993.9	32,373.9	4,380.0	9.3	-12.1
30	224,048.0	-21,805.1	36,539.5	14,734.4	13.0	-7.9
31	153,923.0	-12,331.5	6,346.3	-5,985.3	5.0	-8.2
32	802,305.0	-129,007.0	36,688.0	-92,319.0	5.0	-10.4
33	327,971.0	-61,683.4	43,098.7	-18,584.7	8.0	-13.9
34	184,662.0	-20,792.4	10,795.2	-9,997.2	4.9	-7.2
35	275,664.0	-22,856.8	31,643.3	8,786.5	10.5	-6.9
36	173,591.0	-22,157.6	14,725.5	-7,432.1	5.1	-9.4
37	143,906.0	-6,913.6	1,842.5	-5,071.1	1.6	-5.6
38	93,824.0	-15,817.9	7,404.7	-8,413.2	6.8	-9.8
39	88,955.0	-39,082.0	7,603.0	-31,479.0	5.6	-7.1
40	407,926.0	-40,418.4	13,085.3	-27,333.1	5.1	-9.5
41	181,256.0	-26,487.1	15,946.0	-10,541.1	6.4	-20.2
42	647,298.0	-103,918.0	61,406.9	-42,511.1	10.6	-12.1
43	195,751.0	-42,788.2	27,250.8	-15,537.4	16.9	-17.0
44	174,038.0	-50,843.5	15,754.6	-35,088.9	5.2	-6.4
45	172,905.0	-12,383.6	9,080.1	-3,303.5	4.6	-11.1
46	717,364.0	-51,371.1	54,051.2	2,680.1	8.2	-7.0
47	282,666.0	-44,103.6	37,900.5	-6,203.1	6.5	-8.7
48	219,469.0	-47,565.0	18,651.0	-28,914.0	8.0	-16.4
<b>49</b>	267,835.0	-84,612.9	36,715.1	-47,897.8	14.6	<b>-24.9</b>
合計	13,236,917.0	-1,769,003.3	1,176,398.4	<b>-592,604.8</b>		

註：高程單位：m;面積單位：m<sup>2</sup>;沖淤單位：m<sup>3</sup>

表 4.22 計畫區內各集水區 101 年~102 年數值地形變異統計一覽表

編號	面積	沖蝕	淤積	總沖淤	最大 高程差	最小 高程差	99-102 總沖淤
1	754,439.0	-36,933.6	16,532.2	-20,401.4	12.5	<b>-21.0</b>	-37,171.7
2	599,753.0	-22,588.0	18,950.4	-3,637.6	7.7	-4.1	-41,657.7
3	66,179.0	-6,434.0	910.9	-5,523.1	4.7	-2.4	-5,892.4
4	386,942.0	-8,355.3	4,833.0	-3,522.3	7.8	-6.6	-10,937.3
5	224,638.0	-33,161.3	12,550.2	<b>-20,611.1</b>	7.7	-4.3	6,757.6
6	216,190.0	-6,082.9	3,912.6	-2,170.3	6.1	-11.8	-7,157.2
7	1,083,252.0	-47,528.1	<b>43,683.3</b>	-3,844.8	10.4	-8.6	-102,561.8
8	66,836.0	-8,811.0	3,718.1	-5,092.9	4.1	-4.9	9,572.9
9	231,471.0	-7,384.8	8,266.9	882.2	12.4	-7.5	-11,131.6
10	225,171.0	-33,718.8	23,296.7	-10,422.1	8.9	-6.8	-80,620.2
11	241,926.0	-4,059.5	3,137.1	-922.5	4.0	-4.9	-12,959.1
12	32,864.0	-608.3	648.4	40.1	4.0	-4.8	-382.5
13	31,342.0	-12,158.1	1,351.2	-10,806.9	5.9	-3.8	1,473.5
14	292,110.0	-4,546.2	12,579.5	8,033.3	7.2	-4.8	-22,820.5
15	138,293.0	-13,833.6	8,552.2	-5,281.4	5.9	-8.8	-2,289.5
16	200,078.0	-7,160.1	3,957.0	-3,203.0	8.7	-9.6	2,437.1
17	373,726.0	-14,035.1	6,314.6	-7,720.5	5.9	-5.1	-10,074.5
18	163,249.0	-6,864.9	12,007.7	5,142.8	15.2	-3.7	-13,984.5
19	15,785.0	-7,022.2	1,319.7	-5,702.5	13.7	-4.3	5,465.1
20	189,663.0	-8,640.2	6,850.5	-1,789.7	6.0	-4.9	-14,224.3
21	224,792.0	-13,743.1	6,747.1	-6,996.0	5.1	-5.3	-8,170.3
22	230,252.0	-27,727.5	9,962.1	-17,765.4	8.9	-12.3	1,754.2
23	59,173.0	-21,241.6	10,687.3	-10,554.3	4.6	-4.2	16,130.1
24	309,192.0	-14,693.8	11,297.0	-3,396.8	6.5	-3.7	-30,777.1
25	344,768.0	-8,760.8	5,029.9	-3,730.9	6.4	-13.4	-514.5
26	189,212.0	-5,192.0	2,166.9	-3,025.0	3.7	-4.4	-8,547.7
27	224,778.0	-9,970.8	8,349.8	-1,621.0	16.9	-7.2	-2,670.4
28	213,399.0	-11,380.2	7,223.5	-4,156.7	7.2	-7.4	6,580.1
29	172,087.0	-7,541.7	7,235.4	-306.3	6.6	-10.1	4,073.7
30	224,048.0	-20,234.3	10,544.8	-9,689.5	8.4	-7.6	5,044.9
31	153,923.0	-7,713.9	2,566.5	-5,147.4	3.9	-5.9	-11,132.6

續表 4.22 計畫區內各集水區 101 年~102 年數值地形變異統計一覽表

32	802,305.0	-18,001.7	41,190.2	23,188.5	9.2	-6.6	-69,130.5
33	327,971.0	-47,009.8	39,001.2	-8,008.6	8.7	-10.6	-26,593.3
34	184,662.0	-9,817.1	3,505.6	-6,311.5	4.3	-3.8	-16,308.7
35	275,664.0	-19,830.4	10,508.7	-9,321.7	9.5	-8.1	- 535.2
36	173,591.0	-9,599.7	7,426.6	-2,173.1	6.1	-4.5	-9,605.2
37	143,906.0	-2,603.3	1,737.1	-866.2	4.9	-2.2	-5,937.4
38	93,824.0	-7,772.5	1,662.0	-6,110.5	13.8	-7.7	-14,523.7
39	88,955.0	-35,501.7	9,071.3	-26,430.4	5.4	-8.4	-57,909.4
40	407,926.0	-11,657.7	7,107.6	-4,550.1	7.2	-5.2	-31,883.2
<b>41</b>	181,256.0	-10,217.4	6,862.5	-3,354.9	<b>18.2</b>	-5.7	-13,896.0
42	647,298.0	-33,475.1	25,132.0	-8,343.1	16.6	-10.5	-50,854.2
43	195,751.0	-19,505.0	6,281.0	-13,224.0	9.1	-16.6	-28,761.4
<b>44</b>	174,038.0	<b>-48,827.5</b>	43,086.0	-5,741.5	7.1	-8.0	-40,830.4
45	172,905.0	-8,820.9	3,573.5	-5,247.4	7.1	-6.8	-8,550.9
46	717,364.0	-47,057.5	44,563.5	-2,494.0	10.2	-7.9	186.1
47	282,666.0	-26,597.3	12,092.3	-14,505.0	6.4	-6.0	-20,708.1
48	219,469.0	-26,838.7	9,719.8	-17,118.9	14.0	-6.9	-46,032.9
49	267,835.0	-18,278.7	19,746.4	1,467.7	11.1	-14.4	-46,430.1
合計	13,236,917.0	-839,537.5	567,449.5	<b>-272,088.0</b>			-864,692.8

若依據各集水區之侵、淤特性進行分析，同時將兩期地形之高程差 20 cm 內視為無變化，可以發現 99 年~101 年之地形變化，集水區編號 10、39、44 以侵蝕為主，主要由於坡面之崩塌發育所致，而集水區編號 8、13、19、23 則以堆積為主，主要以河道堆積為主，土砂沖淤分布圖如圖 4.49 所示。101 年~102 年之地形變化，集水區編號 13、19、39、44 以侵蝕為主，土砂沖淤分布圖如圖 4.50 所示。綜合上述之分析結果，編號 39 集水區持續侵蝕，而編號 13、19 集水區則由堆積轉為侵蝕現象。而 99 年~102 年間之地形變化總沖淤量為沖刷 86.4 萬立方公尺左右，如圖 4.51 所示。

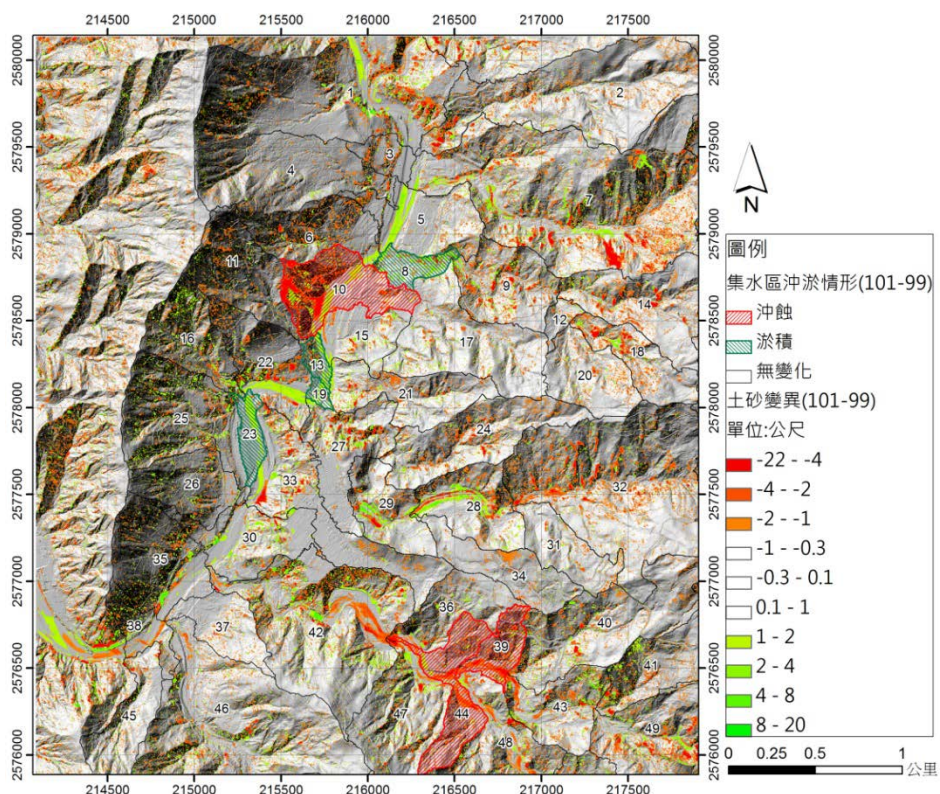


圖 4.49 計畫範圍 99 年~101 年集水區土砂沖淤分布圖

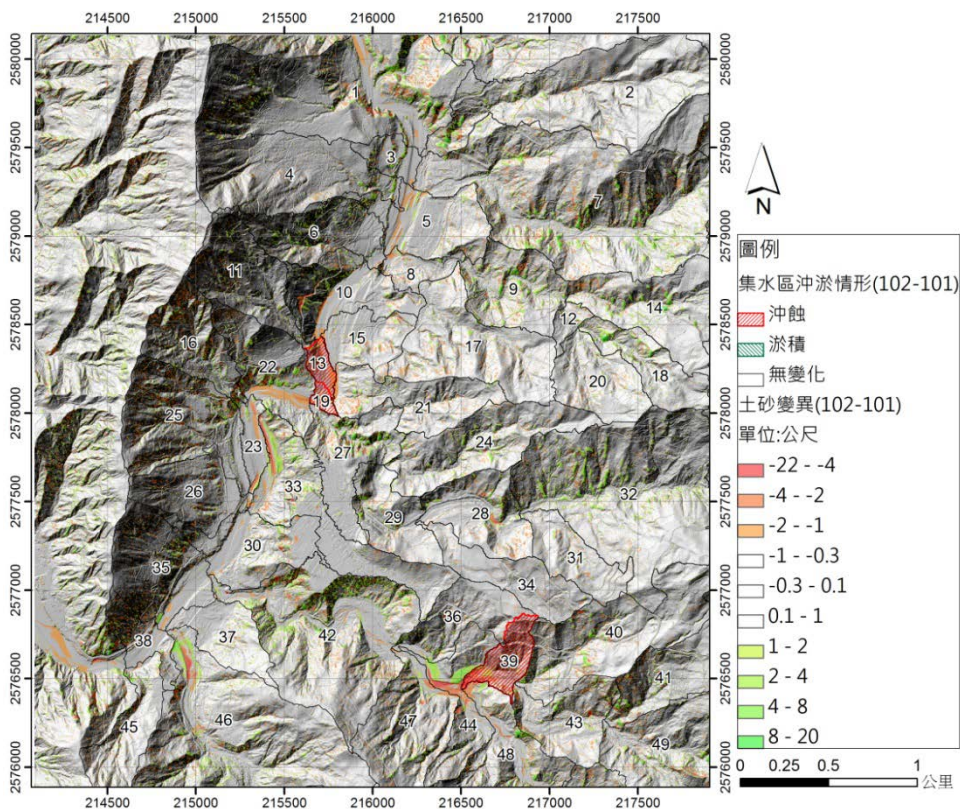


圖 4.50 計畫範圍 101 年~102 年集水區土砂沖淤分布圖

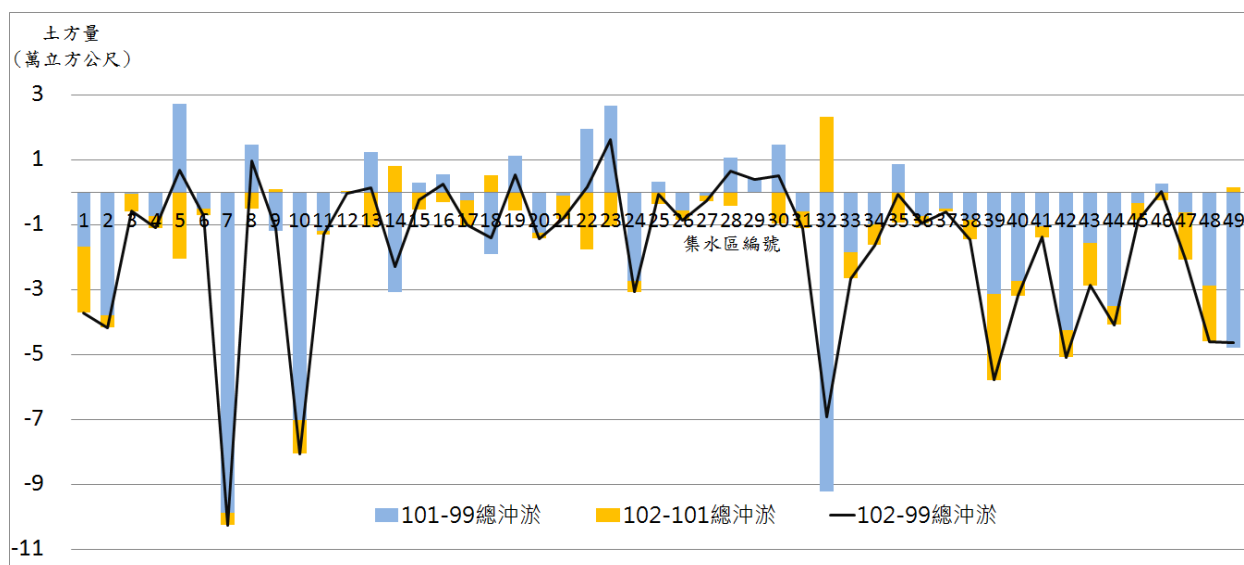


圖 4.51 計畫範圍 99 年~102 年，各集水區土砂沖淤變化圖

#### 4-4.5 土砂遞移率分析

就研究區域內之土砂遞移率分析結果顯示(表 4.23)，99 年~101 年整體之土砂遞移率為 33%，其中以集水區編號 37 之土砂遞移率為最高，達 73%，顯示該集水區崩塌產生之土方及上游輸入之土方，將約有三分之二的量體會持續往下一個集水區搬運。而 101 年~102 年之土砂遞移率為 32.4%，其中以集水區編號 31 之土砂遞移率為最高，達 73%。而整體土砂遞移率結果顯示，本案之集水區崩塌產生土方只有三分之一的量體會搬離集水區，而剩餘之土方仍殘存於集水區內。而土砂遞移率若為負值，則代表土砂堆積於上游，並未運移至該集水區。

表 4.23 土砂遞移率分析統計一覽表

集水區編號	匯入下游集水區編號	101 年上游土砂生產	101 上游土砂輸送	101 土砂遞移率(%)	102 上游上游土砂生產	102 上游土砂輸送	102 土砂遞移率(%)
1	3	58,395	16,770	29	36,933.6	20,401.4	55.2
2	3	61,122	38,020	62	22,588.0	3,637.6	16.1
3	5	123,610	55,160	45	65,955.6	29,562.1	44.8
4	5	19,275	7,415	38	8,355.3	3,522.3	42.2
7	5	198,108	98,717	50	47,528.1	3,844.8	8.1
5	6	363,122	133,923	37	155,000.2	57,540.3	37.1
8	6	148,168	62,540	42	50,890.4	504.7	1.0
9	8	120,153	74,852	62	28,044.3	- 12,308.6	-43.9
17	8	17,248	2,354	14	14,035.1	7,720.5	55.0
12	9	58,275	31,985	55	16,113.4	-3,393.2	-21.1
14	9	35,553	30,854	87	4,546.2	-8,033.3	- 176.7
6	10	528,037	201,450	38	211,973.5	60,215.4	28.4
18	12	35,542	19,127	54	6,864.9	-5,142.8	-74.9
20	12	21,022	12,435	59	8,640.2	1,789.7	20.7
10	13	659,730	271,648	41	245,692.3	70,637.5	28.8
11	13	19,913	12,037	60	4,059.5	922.5	22.7
15	13	15,140	- 2,992	- 20	13,833.6	5,281.4	38.2
13	19	698,526	268,413	38	275,743.5	87,648.3	31.8
21	19	20,478	1,174	6	13,743.1	6,996.0	50.9
19	22	720,069	258,419	36	296,508.9	100,346.9	33.8
27	22	285,856	121,614	43	79,119.2	-2,248.8	-2.8
16	23	14,784	- 5,640	- 38	7,160.1	3,203.0	44.7
22	23	1,028,275	360,514	35	403,355.6	115,863.4	28.7
25	26	15,676	- 3,216	- 21	8,760.8	3,730.9	42.6
23	26	1,047,742	328,189	31	431,757.3	129,620.8	30.0
33	26	61,683	18,585	30	47,009.8	8,008.6	17.0
24	27	44,018	27,380	62	14,693.8	3,396.8	23.1
29	27	223,588	93,185	42	54,454.6	-7,266.6	- 13.3
31	28	12,332	5,985	49	7,713.9	5,147.4	<b>66.7</b>
32	28	129,007	92,319	72	18,001.7	- 23,188.5	- 128.8
28	29	174,801	87,567	50	37,095.8	- 13,884.5	- 37.4
34	29	20,792	9,997	48	9,817.1	6,311.5	64.3
26	30	1,135,879	349,080	31	492,719.8	144,385.3	29.3
30	35	1,157,684	334,346	29	512,954.1	154,074.8	30.0
42	35	501,976	252,938	50	240,498.8	93,973.4	39.1
44	36	331,797	196,791	59	170,826.7	68,952.2	40.4

續表 4.23 土砂遞移率分析統計一覽表

集水區編號	匯入下游集水區編號	101 年上游土砂生產	101 上游土砂輸送	101 土砂遞移率(%)	102 上游上游土砂生產	102 上游土砂輸送	102 土砂遞移率(%)
35	38	1,682,517	578,497	34	773,283.3	257,369.9	33.3
37	38	6,914	5,071	<b>73</b>	2,603.3	866.2	33.3
46	38	51,371	- 2,680	- 5	47,057.5	2,494.0	5.3
40	39	40,418	27,333	68	11,657.7	4,550.1	39.0
43	39	153,888	73,976	48	48,001.1	15,111.3	31.5
36	42	353,955	204,223	58	180,426.4	71,125.3	39.4
47	42	44,104	6,203	14	26,597.3	14,505.0	54.5
41	43	26,487	10,541	40	10,217.4	3,354.9	32.8
49	43	84,613	47,898	57	18,278.7	-1,467.7	-8.0
39	44	233,389	132,788	57	95,160.5	46,091.8	48.4
48	44	47,565	28,914	61	26,838.7	17,118.9	63.8
38		1,756,620	589,301	34	830,716.6	266,840.6	32.1
45		12,384	3,303	27	8,820.9	5,247.4	59.5
合計		1,769,003	592,605	<b>33</b>	839,537.5	272,088.0	<b>32.4</b>

註：單位：m<sup>3</sup>



#### 4-5 山區道路坡面水系及其變異分析

本計畫 99 年、101 年與 102 年之水系繪製分析圖如圖 4.52 所示，從 3 期水系資料發現，光達點雲編修的過程會影響水系的分布，尤其是河流流經道路下方之人工建物如橋梁、涵洞等，若未進行處理則會導致水系產製結果不符現況，如圖 4.53，光達數值地形可以反映出透空之道路排水情形，卻無法展現道路下方的排水網絡。

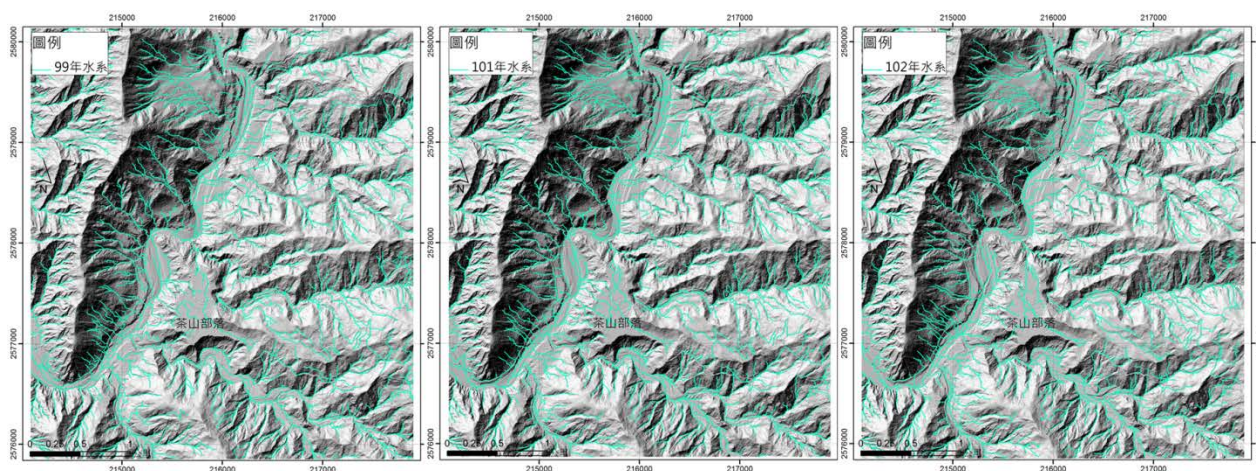


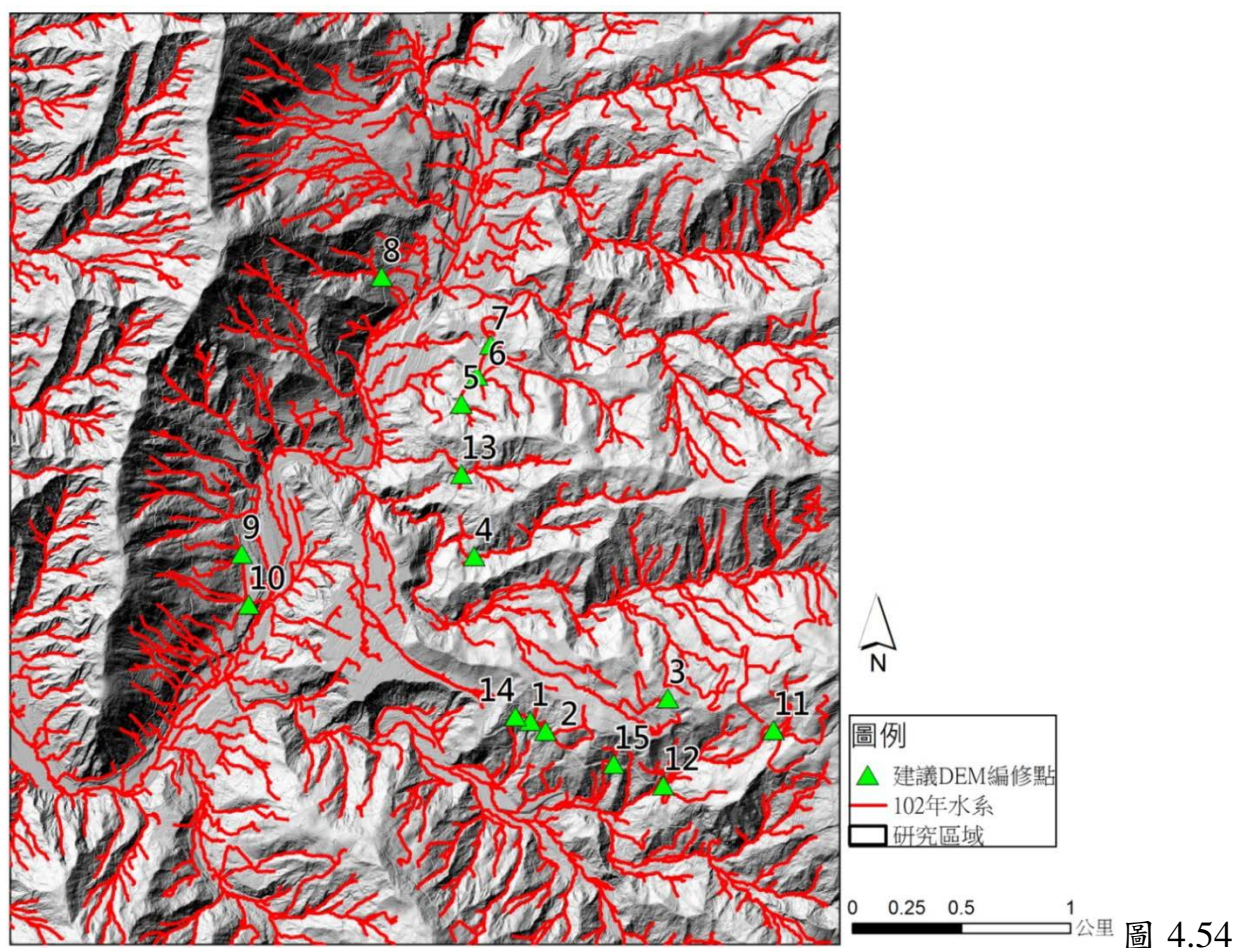
圖 4.52 利用 1 公尺解析度之光達 DEM 資料產製水系圖



圖 4.53 光達 DEM 資料產製水系分析異常位置

因此本案依據上述 3 期水系資料，再經人工檢視水系連接情形，挑選水系連接異常位置，並經現地調查排水構造物有無及尺寸後，確認研究區域內共計 15 處需進行數值地形編修(如圖 4.54)，方能進行後續之水系分析作業。而現地調查資料如表 4.24，相關照片則如圖 4.55。

經由光達數值地形編修後產製之水系與編修前之水系進行比較，水系編修後確實可呈現出道路邊溝、人工排水與坡面水系的狀況，如圖 4.56 之紅色線(於建議編修處)，可明顯看出水系較編修前正確，水系正常連接，而編修後之光達數值地形則可進行水系分析，並進行降雨逕流集中區域，及山區道路可能致災地點研判與分析。



光達數值地形建議編修位置圖

表 4.24 數值地形編修現地調查資料一覽表

點位編號	X 坐標	Y 坐標	構造物類型	寬度(m)	高度(m)
1	216485.8	2576892.5	涵管	1	1
2	216554.5	2576847.5	涵管	1	1
3	217116.0	2576997.0	箱涵	2	2
4	216228.0	2577649.0	箱涵	2	2
5	216168.0	2578348.7	涵管	1.5	1.5
6	216239.9	2578477.6	箱涵	2	2
7	216302.2	2578620.2	涵管	1	1
8	215803.0	2578932.0	箱涵	3	2
9	215159.0	2577660.0	截水溝	0.5	0.5
10	215193.0	2577427.0	涵管	1.5	1.5
11	217602.0	2576852.0	涵洞	1.5	1.5
12	217095.2	2576596.9	涵管	1	1
13	216167.8	2578026.6	箱涵	2	2
14	216416.0	2576913.0	涵洞	2	2
15	216867.7	2576695.4	涵洞	1	1



圖 4.55 光達數值地形建議編修位置現地摘要照片

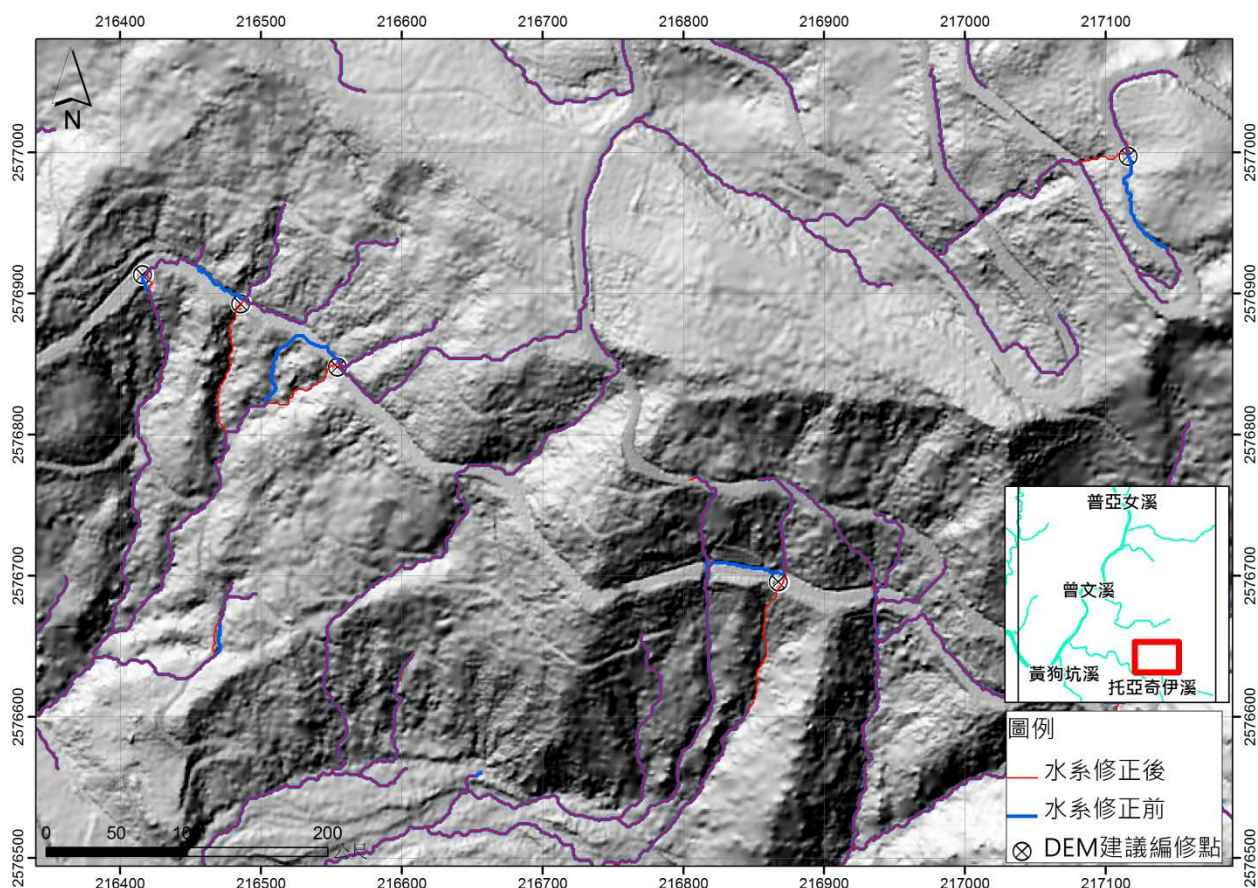


圖 4.56 光達數值地形編修前、後水系比較圖(以 101 年 DEM 為例)

在山區道路可能致災地點研判與分析方面，經由崩塌坡面水系變化位置之現地調查，如圖 4.57，發現 102 年度水系點位編號 1 相較於 101 年水系更為集中，於 103 年時，因坡面土石流運動，導致下邊坡之蛇籠護岸崩壞，此亦可說明降雨集中的效應。而同一崩塌坡面之道路(圖 4.57，點位編號 2)，雖於 102 年度無水系發育(圖 4.58，左圖)，但於 103 年施作下方排水涵管後(圖 4.58，右圖)，有向下刷深下邊坡坡面的現象，導致水系重新發育，因此此處極可能下一次颱風豪雨時再次產生崩壞。



圖 4.57 水系改變導致道路災害位置發生變化實況照片



圖 4.58 坡面人工構造物改變導致水系變化實況照片

## 4-6 評估融合高光譜與空載光達資料分析土地覆蓋類別之可行性

### 4-6.1 像元式(Pixel-based)分類

本次像元式影像分類採取最大概似法作為影像分類器，在進行兩研究區域影像分類前，針對光譜特徵(NDVI、WBI、EVI)、光達特徵(Echo Ratio、nDSM、Intensity 與 GLCM(Homogeneity、Entropy)紋理指標進行特徵影像產製，最後結合 MNF 後之高光譜波段，進行影像分類。遂於分類前為確定這些指標是否皆能提升分類精度，採用試誤法逐一測試 NDVI、WBI 與 EVI 及 GLCM 紋理的合適性。使用高光譜影像逐一搭配光譜特徵或紋理特徵，進行最大概似法分類，將不同組合進行實驗，誤差矩陣表詳如附件五，結果以得到最佳精度與最高 Kappa 值的特徵指標留下，後續再結合光達特徵進行影像分類，所有影像分類結束後，皆會使用 majority 處理椒鹽反應。

#### 4-6.1.1 火山測區像元式影像分類

火山測區之高光譜影像於 MNF 進行第一次影像分類，接著使用上述的方式，逐一將做完 MNF 後之影像與其他光譜特徵進行測試，找出最佳合適的光譜特徵，在此測試中，會針對各項特徵組合計算訓練區分離度，確認所使用的特徵於各類別間具有足夠的分離度，然而為了確定其實際分類之成效，各項特徵組合將會實際進行分類測試，其測試結果如表 4.25。首先分別以 MNF 維度縮減後的高光譜影像單獨與單一光譜特徵影像與紋理影像疊合進行影像分類，可發現單一光譜特徵 NDVI 效果最好，整體精度達 70.64%，Kappa 值為 0.65。分類結果高於只使用 MNF 進行分類的精度，其次為 EVI 與 WBI，最低的為 GLCM(3×3 視窗)的結果，精度只有整體精度只有 35.66%，Kappa 值為 0.30。接著將 NDVI、WBI 與 EVI 疊合 MNF 後之影像再次進行影像分類，其精度降為 54.25%，Kappa 值降為 0.48。由於 NDVI 與 EVI 單獨測試的結果表現較佳，因此使用這兩項指標再次與 MNF 後之高光譜影像結合進行分類測試，其結果仍舊並未高於單獨 MNF 後的高光譜影像分類結果。使用長條圖(圖

4.59)展示全部實驗組合之整體精度與 Kappa 值，可展現各種組合間的精度高低，此外可顯示整體精度下降時，Kappa 值也跟著下降。

表 4.25 火山測區光譜特徵組合影像分類測試表

光譜 特徵 組合	MNF	MNF	MNF	MNF	MNF	MNF	MNF
	-	WBI	-	-	-	-	WBI
	-	-	NDVI	-	-	NDVI	NDVI
	-	-	-	EVI	-	EVI	EVI
	-	-	-	-	GLCM (3×3 視窗)	-	-
OA(%)	69.22	64.11	70.64	67.8	35.66	69.42	54.25
Kappa	0.63	0.57	0.65	0.61	0.3	0.63	0.48

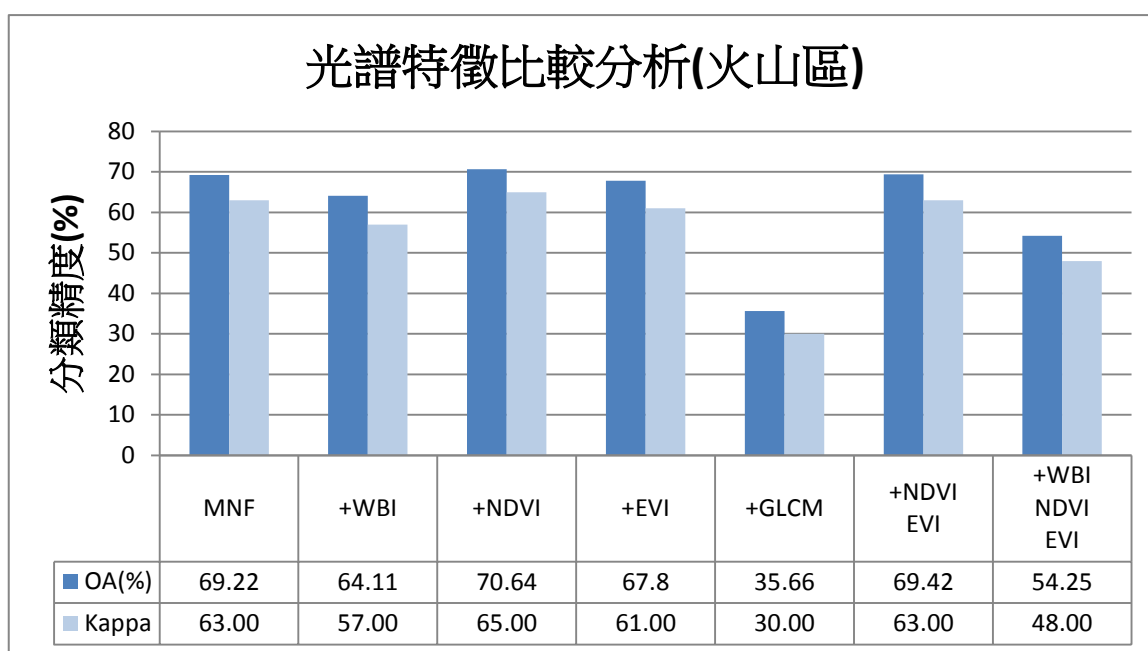


圖 4.59 火山測區光譜特徵整體精度長條圖

本次研究中之紋理特徵(GLCM)產生，主要是使用 MNF 後之影像進行紋理特徵資訊的產製，但根據上述實驗結果可發現，使用 3×3 視窗尺寸之分析結果不甚理想。過往研究指出視窗尺寸(kernel size)對紋理分析的分類成果佔有極大的影響(Marceau et al., 1990)。於是針對紋理資訊產生之視窗大小部分，再次進行實驗。基於時間與視窗組合上之考量，本研究僅針對 ENVI 軟體中可

以調整之參數進行調整，由於視窗組合之可能性過多，本研究遂以 3×3 往上遞增至 5×5、7×7、至 9×9 等。其測試結果(表 4.26)可發現，視窗大小於 13×13 時，整體精度才達 62.44%，其 Kappa 值為 0.56。透過圖 4.60 可發現，視窗大小至 19×19 時，整體精度與 Kappa 值呈現最大化，接著當視窗大小大於 19×19 後，其整體精度與 Kappa 值遂下降。

表 4.26 火山測區紋理特徵組合影像分類測試表

MNF	MNF	MNF	MNF	MNF	MNF	MNF	MNF	MNF
GLCM (窗格大小)	(3×3)	(5×5)	(7×7)	(9×9)	(13×13)	(15×15)	(19×19)	(21×21)
OA(%)	35.66	47.44	54.04	57.43	62.44	64.67	68.02	64.10
KAPPA	0.30	0.42	0.48	0.51	0.56	0.59	0.62	0.57

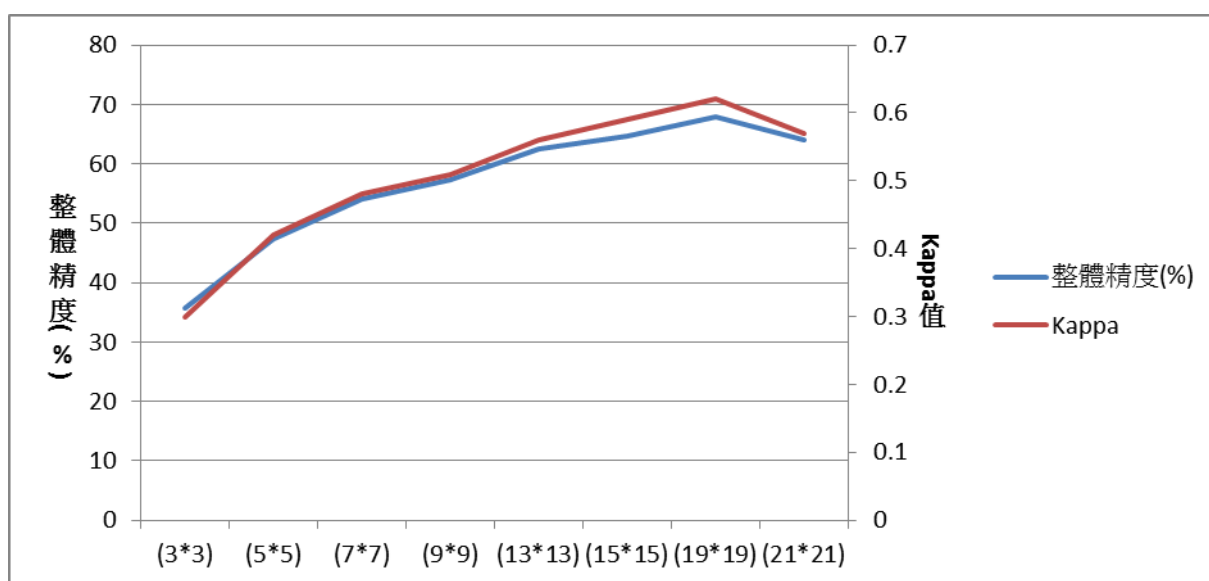


圖 4.60 紋理特徵視窗大小精度分析圖

根據紋理特徵視窗大小實驗結果，挑選 19×19 視窗的紋理特徵與光譜特徵表現結果最佳的 NDVI 一同與 MNF 後之高光譜影像進行疊合後進行影像分類，其整體精度為 69.15%，Kappa 值為 0.63。檢視成果圖(圖 4.61)，可發現加入紋理資訊後，無法分類的像元變多，雖然使用至 19×19 視窗之紋理資訊加入，但整體精度還是低於單一 MNF 後之高光譜影像分類結果(69.22%)。綜合



光譜特徵與紋理特徵測試結果，火山測區光譜特徵只挑選 NDVI 特徵影像進行後續與光達資料整合之影像地物分類，而光達特徵將採用 Echo Ratio、nDSM、Intensity 三種特徵。

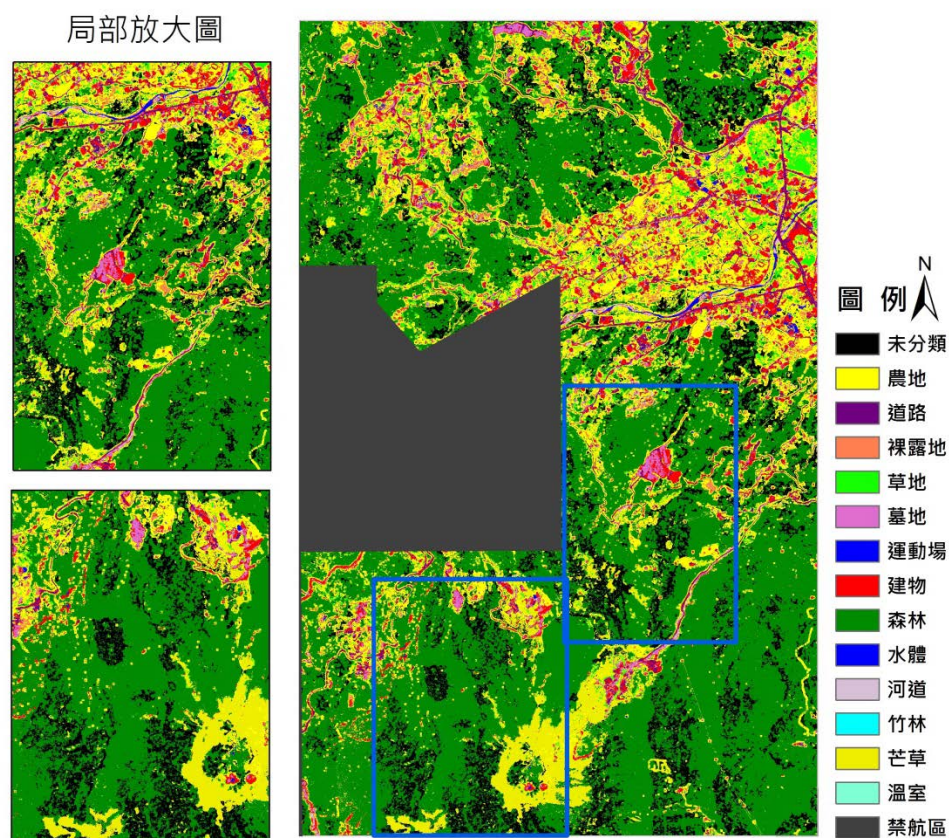


圖 4.61 火山測區高光譜加入紋理特徵(19×19)與 NDVI 特徵分類成果

本次火山測區之高光譜影像分類成果如表 4.27，整體精度在加入光譜特徵時，能提升部分精度，但是在相似地物上仍舊混淆情形上嚴重(圖 4.62)，透過誤差矩陣表 4.28 與表 4.29 歸納易混淆的地物主要分以下四類：(1)農地、裸露地、草地與芒草；(2)裸露地與部分道路；(3)建物與墓地；(4)森林與竹林。其中又以農地、裸露地、草地與芒草這四種混淆較為嚴重，主要原因在於火山測區土地利用情形較為複雜且多元使用，單一光譜特徵資訊可能還不足夠，遂加入光達特徵進行輔助地物分類。加入光達資訊後，其整體精度有效提升至 80.56%，Kappa 值也提升至 0.76，了解加入光達資訊之誤差矩陣表(表 4.30)及分類成果圖 4.63，可發現上述(1)(2)(4)類能有效減少混淆情形，但墓地與建

物的混淆情形上還是存在。透過局部放大圖(圖 4.64)可清楚看到加入光達特徵，農田混淆情形大幅下降。

表 4.27 火山測區分類成果表

影像	MNF	MNF 加入光譜特徵	MNF 加入光譜與光達特徵
特徵		NDVI	NDVI、Echo Ratio、nDSM、Intensity
OA(%)	69.22	70.64	80.56
Kappa	0.63	0.65	0.76

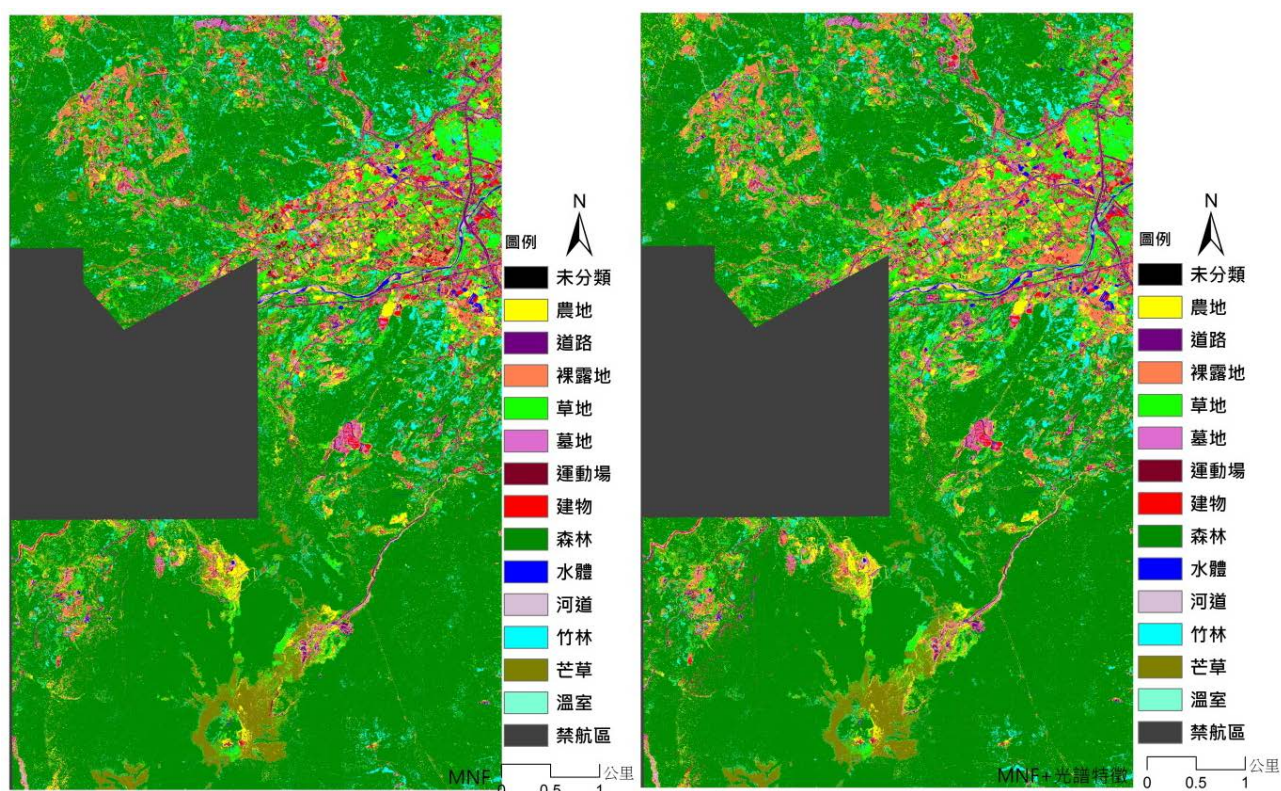


圖 4.62 火山測區高光譜(左)與加入光譜特徵(右)影像分類成果

表 4.28 火山測區 MNF 後之高光譜影像分類誤差矩陣表

火山測區高光譜 (MNF) 資料分類成果誤差矩陣																
		Reference class													總計	使用者精度(%)
		農地	道路	裸露地	草地	墓地	運動場	建物	森林	水體	河道	竹林	芒草	溫室		
User Class	農地	1200	0	0	160	0	0	11	32	0	6	130	231	0	1770	67.8
	道路	0	1316	264	0	9	2	455	0	12	2	0	0	57	2117	62.16
	裸露地	602	34	543	55	13	0	596	0	27	38	34	0	60	2002	27.12
	草地	472	0	0	421	0	0	0	156	0	0	75	89	0	1213	34.71
	墓地	279	58	66	0	258	13	289	0	30	19	0	0	2	1014	25.44
	運動場	400	3	66	116	35	185	86	0	0	0	45	7	0	943	19.62
	建物	24	3	68	0	223	0	1067	0	0	40	0	0	0	1425	74.88
	森林	223	1	0	0	0	0	0	7784	0	0	134	0	0	8142	95.6
	水體	0	2	0	0	0	0	23	5	703	7	0	0	4	744	94.49
	河道	120	38	71	0	1	0	30	0	1	377	1	0	0	639	59
	竹林	1	0	0	46	0	0	0	290	0	0	955	0	0	1292	73.92
	芒草	194	0	0	48	0	0	0	4	0	0	3	1194	0	1443	82.74
溫室	0	326	16	0	41	0	145	0	3	1	0	0	350	882	39.68	
總計	3515	1781	1094	846	580	200	2702	8271	776	490	1377	1521	473	23626		
生產者精度(%)	34.1	73.9	49.6	49.8	44.5	92.5	39.5	94.1	90.6	76.9	69.4	78.5	74			
OA:69.22% Kappa:0.63																

表 4.29 火山測區高光譜影像加入光譜特徵分類誤差矩陣表

火山測區高光譜 (MNF) 與光譜特徵資料分類成果誤差矩陣																
		Reference class													總計	使用者精度(%)
		農地	道路	裸露地	草地	墓地	運動場	建物	森林	水體	河道	竹林	芒草	溫室		
User Class	農地	1228	0	1	202	0	0	0	56	0	8	97	196	0	1788	68.68
	道路	2	1330	251	0	12	0	557	0	9	0	0	0	77	2238	59.43
	裸露地	850	35	658	43	15	0	235	0	39	34	88	29	66	2092	31.45
	草地	489	0	0	442	0	0	0	111	0	0	91	119	0	1252	35.3
	墓地	243	57	37	7	264	10	519	0	26	12	5	0	2	1182	22.34
	運動場	171	4	7	29	35	190	89	0	0	0	0	2	0	527	36.05
	建物	47	5	66	82	218	0	1156	0	0	29	10	0	0	1613	71.67
	森林	231	1	0	0	0	0	0	7884	0	0	125	0	0	8241	95.67
	水體	0	1	0	0	0	0	24	5	690	7	0	0	15	742	92.99
	河道	130	16	60	0	0	0	31	0	8	400	0	0	0	645	62.02
	竹林	1	0	0	36	0	0	0	213	0	0	960	0	0	1210	79.34
	芒草	123	0	0	5	0	0	0	2	0	0	1	1175	0	1306	89.97
溫室	0	332	14	0	36	0	91	0	4	0	0	0	313	790	39.62	
總計	3515	1781	1094	846	580	200	2702	8271	776	490	1377	1521	473	23626		
生產者精度(%)	34.94	74.68	60.15	52.25	45.52	95	42.78	95.32	88.92	81.63	69.72	77.25	66.17	34.94		
OA:70.64% Kappa:0.65																

表 4.30 火山測區高光譜影像加入光譜與光達特徵分類誤差矩陣表

火山測區 高光譜 (MNF) 與 光譜和 光達 特徵 資料 分類 成果 誤差 矩陣																
		Reference class													總計	使用者精度(%)
		農地	道路	裸露地	草地	墓地	運動場	建物	森林	水體	河道	竹林	芒草	溫室		
User Class	農地	2654	0	10	279	0	0	0	0	1	25	42	100	0	3111	85.31
	道路	0	1629	197	0	1	0	517	0	0	0	0	0	1	2345	69.47
	裸露地	327	49	692	0	5	0	220	0	3	18	71	0	87	1472	47.01
	草地	140	0	0	414	0	0	0	0	0	0	64	0	0	618	66.99
	墓地	72	66	75	0	337	0	557	0	1	2	6	0	1	1117	30.17
	運動場	56	0	6	0	15	200	65	0	0	0	0	0	0	342	58.48
	建物	56	3	65	128	222	0	1283	0	15	20	1	101	0	1894	67.74
	森林	55	0	0	0	0	0	0	8191	0	0	310	103	0	8659	94.6
	水體	0	0	0	0	0	0	13	0	755	7	0	0	12	787	95.93
	河道	0	15	49	0	0	0	39	0	1	418	0	0	0	522	80.08
	竹林	0	0	0	0	0	0	0	80	0	0	872	0	0	952	91.6
	芒草	155	0	0	25	0	0	0	0	0	0	11	1217	0	1408	86.43
溫室	0	19	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	372	399	93.23	
總計		3515	1781	1094	846	580	200	2702	8271	776	490	1377	1521	473	23626	
生產者精度(%)		75.5	91.5	63.3	48.9	58.1	100	47.5	99	97.3	85.3	63.3	80	78.7		
OA:80.56%    Kappa:0.76																

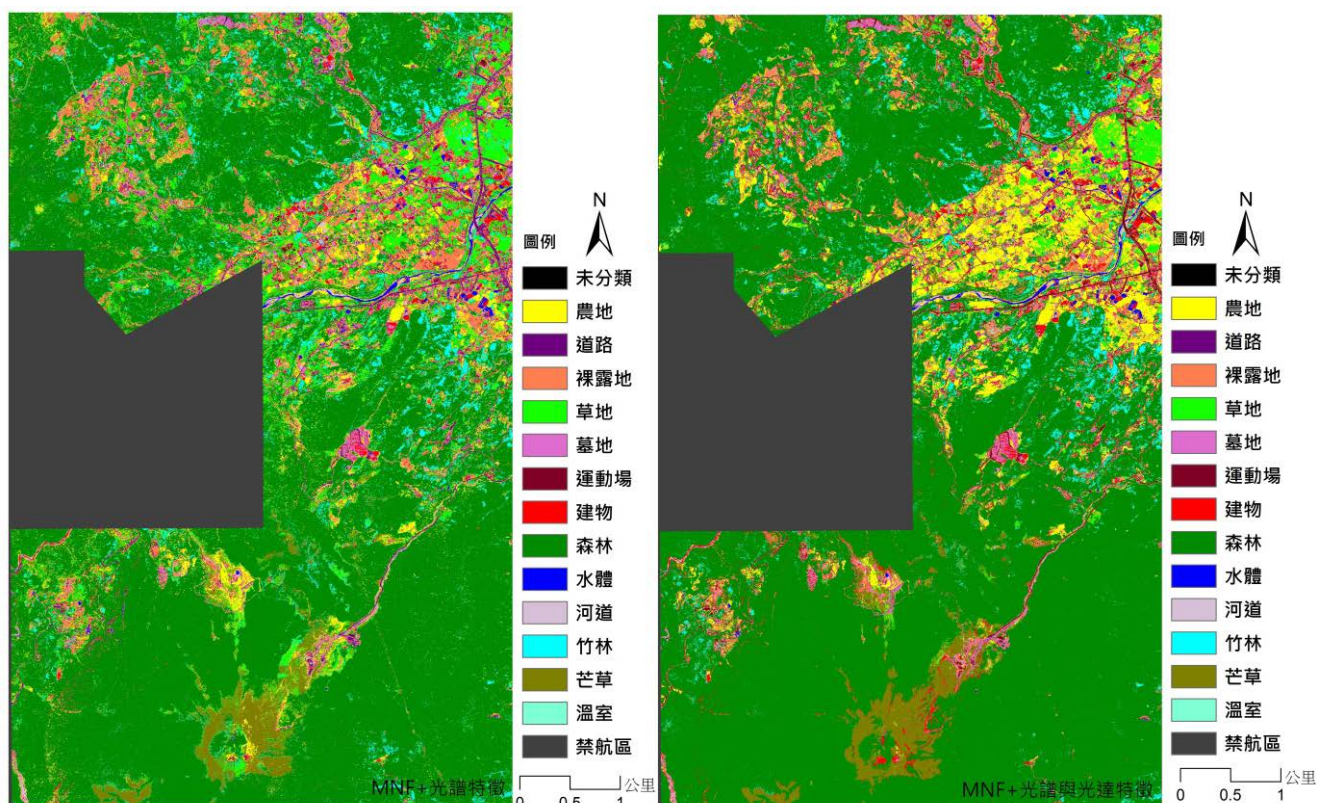


圖 4.63 火山測區高光譜加入光譜特徵影像與光達特徵分類成果

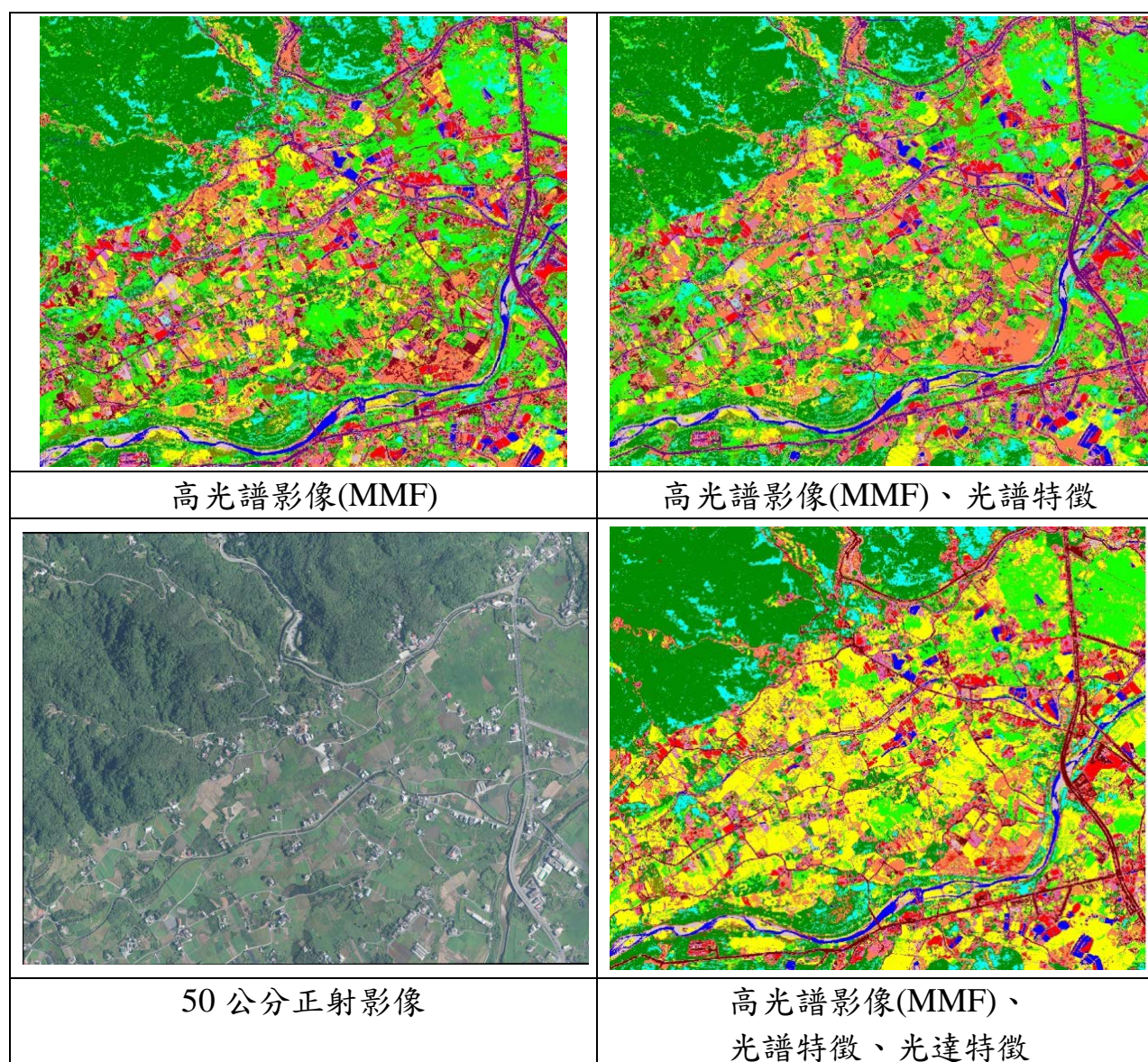


圖 4.64 火山測區分類成果局部放大圖

#### 4-6.1.2 水庫測區像元式影像分類

依據火山測區之實驗結果，顯示三種光譜特徵指標並不一定適用於在任何影像中，因此在進行水庫測區影像分類時，依然對三種光譜特徵進行實驗，同樣經分離度測試後，實際挑選出合適光譜特徵後再結合光達資訊進行後續影像分類，評估不同特徵組合之成果。其使用 MNF 後的高光譜影像整合光譜特徵之分類結果如表 4.31 所示。根據顯示，光譜特徵指標最佳的是 WBI 其次為 NDVI，最差為 EVI，而紋理特徵得到的整體精度(64.68%)雖然不低，但也比單一使用 MNF 後的高光譜影像分類精度(67.05%)來的差，後續皆有測試不

同窗格 GLCM 紋理特徵之精度，但其結果也未高於 MNF 後之高光譜影像分類結果，因此在光譜特徵中只選擇精度較佳之 WBI 與 NDVI 光譜特徵，透過圖 4.65 長條圖可以更清楚看出不同實驗組合間的整體精度和 Kappa 值的成果。

表 4.31 水庫測區光譜特徵組合影像分類測試表

光譜 特徵 組合	MNF	MNF	MNF	MNF	MNF	MNF	MNF	MNF	MNF
	-	WBI	-	-	-		WBI	WBI	WBI
	-	-	NDVI	-	-	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI
	-	-	-	EVI	-	EVI	-	-	EVI
	-	-	-	-	GLCM (3×3)	-	GLCM (3×3)	-	-
OA(%)	67.05	70.54	68.01	59.12	64.68	60.24	67.88	71.44	61.82
Kappa	0.62	0.67	0.64	0.52	0.64	0.54	0.64	0.68	0.56

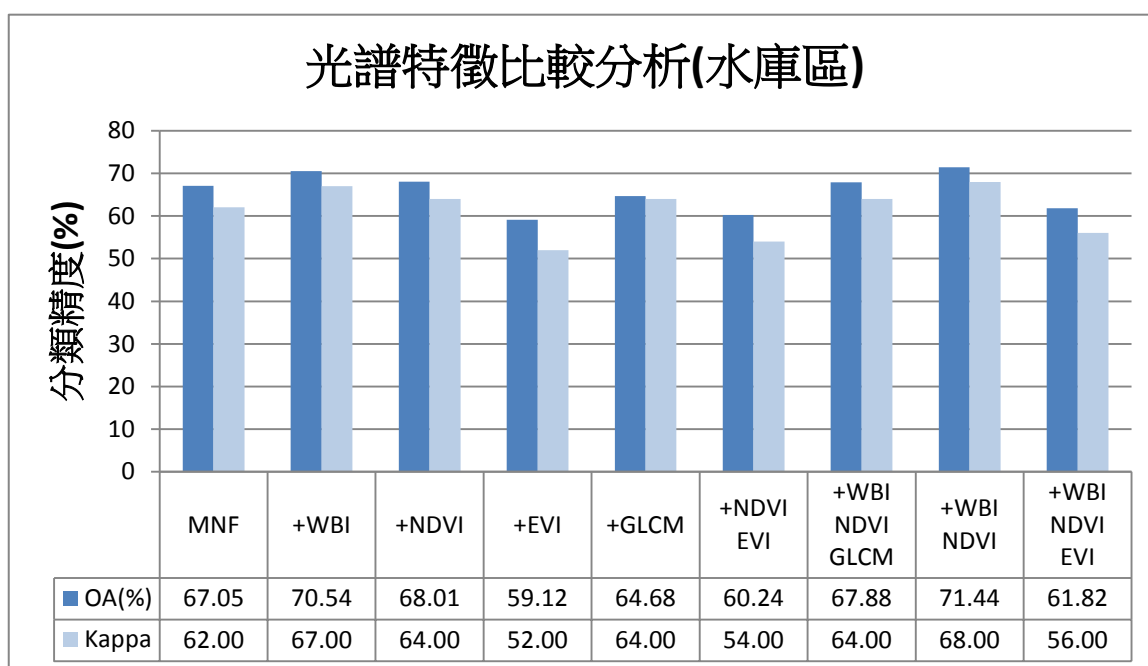


圖 4.65 水庫測區光譜特徵整體精度長條圖

加入光達特徵後之影像分類整體精度大幅提升，從原本加入光譜特徵的 71.44% 提升至 77.89%，Kappa 值也由 0.68 升高至 0.75(表 4.32)。透過表 4.33 使用 MNF 後之高光譜影像能發現較難正確分類與易混淆的地物為(1)水泥地；(2)果樹、竹林與森林；(3)裸露地；(4)檳榔和茶園易與其他植被混淆。表 4.34 加入光譜特徵後，其檳榔與果樹的分辨率提高，其次加入光達資訊後(表 4.35)，各類植生的混淆情形亦下降，但果樹與森林的混淆情形仍舊存在，而裸露地的分類情形仍舊不佳，顯示光達資訊在輔助植被判釋上還是有較佳的成效。

表 4.32 水庫測區分類成果表

影像	MNF	MNF 加入光譜特徵	MNF 加入光譜與光達特徵
特徵	-	NDVI WBI	NDVI、WBI、 nDSM、Echo Ratio、 Intensity
OA(%)	67.05	71.44	78.40
Kappa	0.62	0.68	0.75

表 4.33 水庫測區 MNF 後之高光譜影像分類誤差矩陣表

水庫測區高光譜 (MNF) 資料分類成果誤差矩陣																		
		Reference class															使用者 精度(%)	
		水泥地	水體	竹林	果樹	河道	建物	草地	森林	溫室	道路	裸露地	運動場	檳榔	茶園	農田		總計
User Class	水泥地	151	0	0	0	3	0	0	0	70	89	61	0	0	0	7	381	39.63
	水體	0	1318	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1318	100
	竹林	0	0	4733	375	0	0	9	1277	0	2	0	0	661	978	52	8087	58.53
	果樹	0	0	122	415	0	0	53	368	0	6	2	0	202	0	154	1322	31.39
	河道	0	16	0	0	2066	0	0	0	0	176	444	0	0	0	0	2702	76.46
	建物	91	32	122	0	3	1139	0	72	73	62	104	0	0	0	25	1723	66.11
	草地	0	0	2	4	0	0	1232	373	0	0	0	0	169	74	67	1921	64.13
	森林	0	0	630	130	0	0	150	4025	0	0	0	0	263	69	121	5388	74.7
	溫室	9	0	0	0	5	0	0	0	1120	31	0	0	0	0	0	1165	96.14
	道路	55	0	0	0	171	185	0	0	196	742	283	0	0	0	67	1699	43.67
	裸露地	4	22	0	0	175	0	0	0	0	37	684	0	0	0	10	932	73.39
	運動場	15	0	0	0	3	0	0	0	19	15	34	25	0	0	3	114	21.93
	檳榔	1	0	412	7	0	0	34	41	0	0	0	0	1612	74	54	2235	72.13
	茶園	0	0	280	0	0	0	0	201	0	0	0	0	10	1365	0	1856	73.55
農田	5	0	61	62	0	0	267	145	65	53	27	0	191	11	1965	2852	68.9	
總計		331	1388	6362	993	2426	1324	1745	6502	1543	1213	1639	25	3108	2571	2525	33695	
生產者精度(%)		34.1	45.62	94.96	74.39	41.79	85.16	86.03	70.6	61.9	72.59	61.17	41.73	100	51.87	53.09	77.82	
<b>OA:67.05% Kappa:0.63</b>																		

表 4.34 水庫測區高光譜影像加入光譜特徵分類誤差矩陣表

水庫測區高光譜 (MNF) 與光譜特徵資料分類成果誤差矩陣																		
		Reference class															使用者 精度(%)	
		水泥地	水體	竹林	果樹	河道	建物	草地	森林	溫室	道路	裸露地	運動場	檳榔	茶園	農田		總計
User Class	水泥地	153	0	0	0	0	0	0	0	40	26	0	0	0	2	221	69.23	
	水體	0	1359	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	1368	99.34	
	竹林	0	0	5060	234	0	0	3	1100	0	0	0	0	309	1066	37	7809	64.8
	果樹	0	0	133	532	0	0	43	280	2	19	2	0	208	1	105	1325	40.15
	河道	0	13	0	0	2088	0	0	0	0	173	411	0	0	0	0	2685	77.77
	建物	91	1	55	0	2	1201	0	20	66	62	102	0	0	0	26	1626	73.86
	草地	0	0	3	8	0	0	1253	354	0	0	0	0	154	61	68	1901	65.91
	森林	0	0	618	135	0	0	144	4323	0	0	0	0	240	82	70	5612	77.03
	溫室	13	0	0	0	8	0	0	0	1316	72	0	0	0	0	1	1410	93.33
	道路	57	0	4	0	174	109	0	0	135	767	333	0	1	0	86	1666	46.04
	裸露地	2	15	0	0	154	14	0	0	7	52	707	0	0	0	18	969	72.96
	運動場	10	0	0	0	0	0	0	0	14	5	33	25	0	0	0	87	28.74
	檳榔	1	0	297	38	0	0	16	115	0	0	0	0	1960	51	89	2567	76.35
	茶園	0	0	161	3	0	0	0	174	0	0	0	0	5	1305	0	1648	79.19
農田	4	0	31	43	0	0	286	136	3	23	16	0	231	5	2023	2801	72.22	
總計		331	1388	6362	993	2426	1324	1745	6502	1543	1213	1639	25	3108	2571	2525	33695	
生產者精度(%)			46.22	97.91	79.53	53.58	86.07	90.71	71.81	66.49	85.29	63.23	43.14	100	63.06	50.76	80.12	
<b>OA:71.44% Kappa:0.68</b>																		



表 4.35 水庫測區高光譜影像加入光譜與光達特徵分類誤差矩陣表

水庫測區高光譜(MNF)與光譜和光達特徵資料分類成果誤差矩陣																		
		Reference class																
		水泥地	水體	竹林	果樹	河道	建物	草地	森林	溫室	道路	裸露地	運動場	檳榔	茶園	農田	總計	使用者精度(%)
User Class	水泥地	167	0	0	0	0	0	0	0	0	54	7	0	0	0	0	228	73.25
	水體	0	1369	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	1391	98.42
	竹林	0	0	5687	134	0	0	4	1560	0	0	0	0	89	14	0	7488	75.95
	果樹	0	0	89	482	0	0	4	185	0	8	0	0	236	0	27	1031	46.75
	河道	5	19	0	0	2374	0	0	0	0	287	914	0	0	0	0	3599	65.96
	建物	112	0	15	0	1	1189	0	0	73	65	64	0	0	0	28	1547	76.86
	草地	0	0	0	0	0	0	1409	139	0	0	0	0	195	101	34	1878	75.03
	森林	0	0	270	184	0	0	42	4316	0	1	0	0	272	18	114	5217	82.73
	溫室	2	0	0	0	4	0	0	0	1277	16	0	0	0	0	0	1299	98.31
	道路	37	0	0	0	16	104	0	0	181	711	163	0	0	0	74	1286	55.29
	裸露地	0	0	0	0	31	31	0	0	4	36	427	0	0	0	20	549	77.78
	運動場	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	35	25	0	0	0	65	38.46
	檳榔	0	0	301	186	0	0	0	267	0	2	0	0	2197	19	0	2972	73.92
	茶園	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2419	31	2451	98.69
農田	8	0	0	7	0	0	285	35	3	33	7	0	119	0	2197	2694	81.55	
總計	331	1388	6362	993	2426	1324	1745	6502	1543	1213	1639	25	3108	2571	2525	33695		
生產者精度(%)		50.45	98.63	89.39	48.54	97.86	89.8	80.74	66.38	82.76	58.62	26.05	100	70.69	94.09	87.01		
OA:78.40% Kappa:0.75																		

水庫測區高光譜影像分類成果如圖 4.66，從整體分類成果圖可發現 MNF 與加入光譜特徵之成果整體呈現變化不大，但是加入光達特徵的影像，分類成果增加許多屬於檳榔位置的色塊，竹林分布亦有增加。進一步透過局部放大圖(圖 4.67)可發現，聚落區整體差異性不大，但從中間比較組(果樹、檳榔與樹林)，即可看出只有光譜特徵仍舊無法將檳榔分辨出來，加入光達資訊才將檳榔與部分草地分出。而最後一組比較圖(裸露地、檳榔、草地)可看出光達雖然能正確分辨出檳榔，但在裸露地上卻誤判為農地，但實際看第一組與最後一組的正射影像，可發現裸土的農地與裸露地其實幾乎為相同性質地物，因此在水庫測區，裸露地可能很難被正確分類，主要原因是地物本身性質實屬同一地物，但因使用的方式不同，迫使人為在圈選訓練樣區時，強迫分為不同類別，導致裸露地分類結果的精度較差。

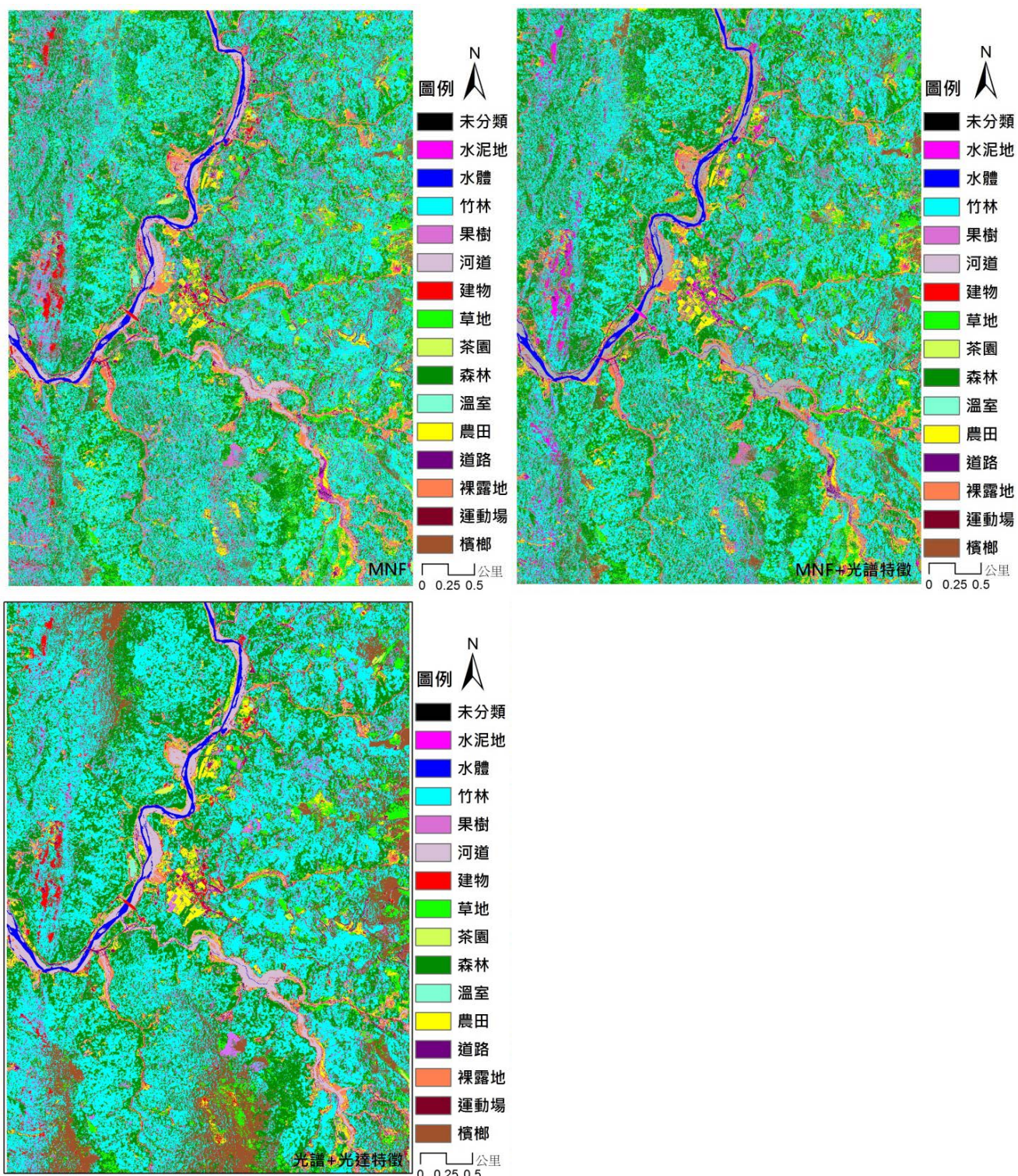


圖 4.66 水庫測區像元式影像分類成果

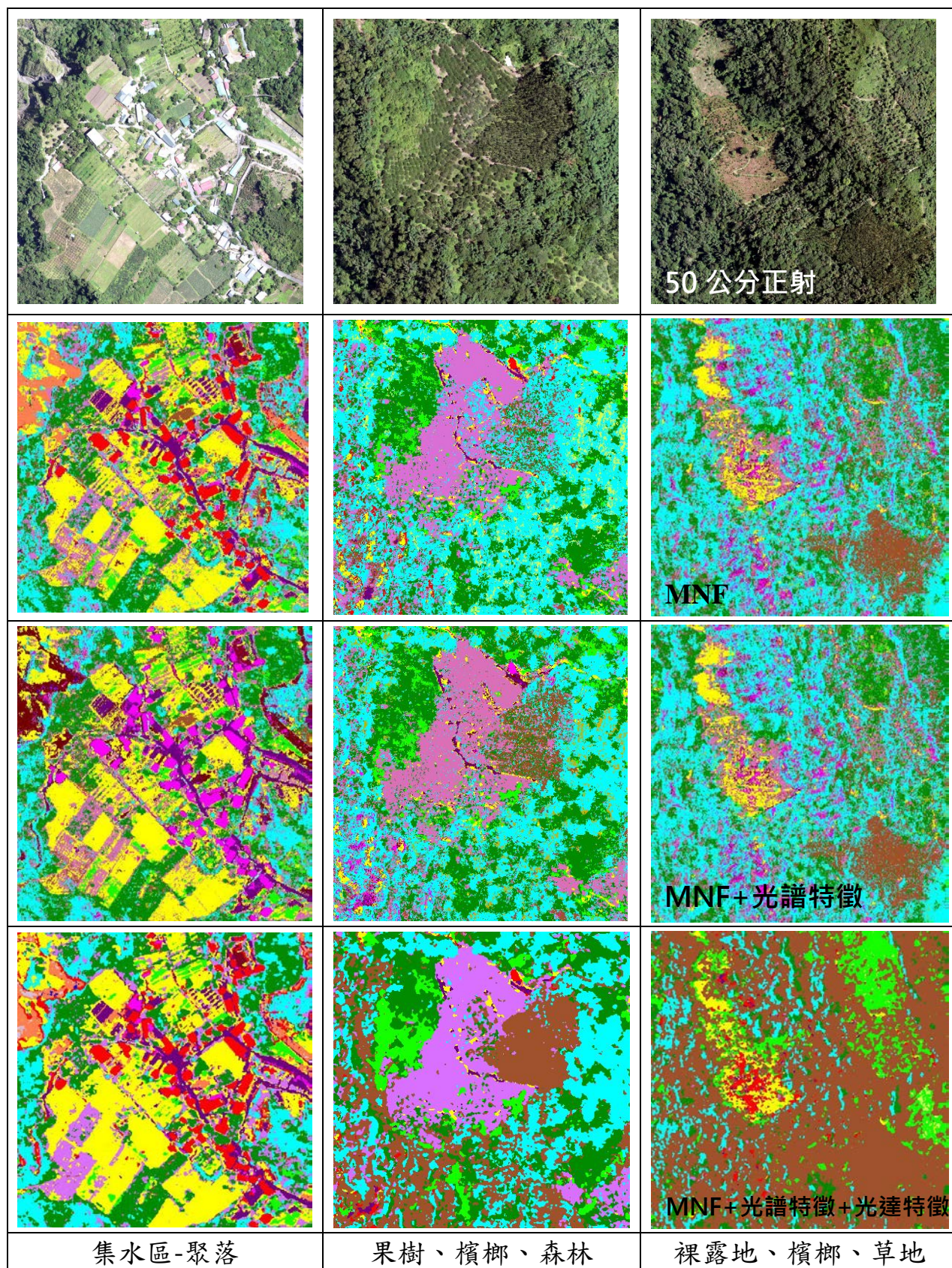


圖 4.67 水庫測區分類成果局部放大圖

### 4-6.1.3 像元式影像分類套疊國土利用調查

將兩研究區域分類成果與土地利用調查層進行套疊(圖 4.68)，除可看出像元式分類的整體正確性外，透過局部大圖(圖 4.69)，像元式分類在細節表現上較為詳細，但由於破碎像元過多，使得整體圖面呈現上較為零碎，但整體表現上仍舊比國土利用調查細緻，未來可使用影像圖資進行分類後，結合現有向量圖資進行屬性資料的更新與替換，可減少人力資源與現地調查的時間與花費。

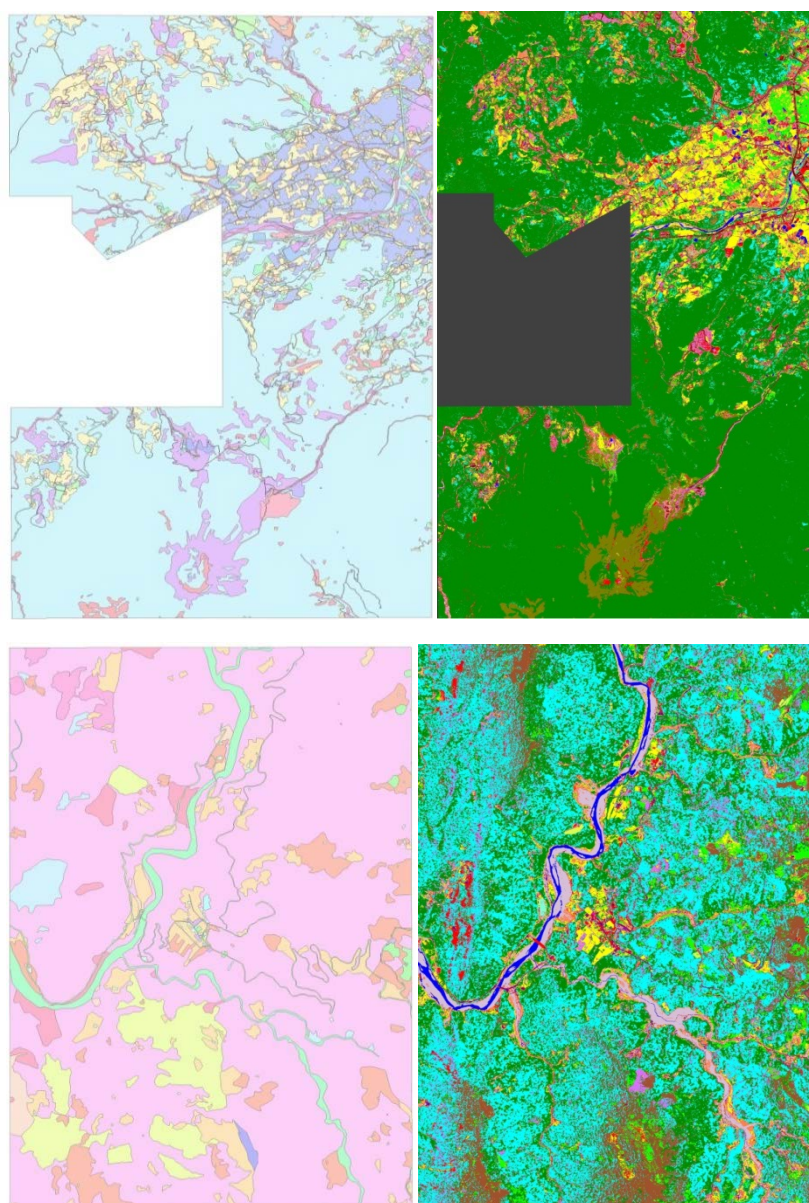


圖 4.68 國土利用調查成果(左)與像元式分類成果(右)比對圖

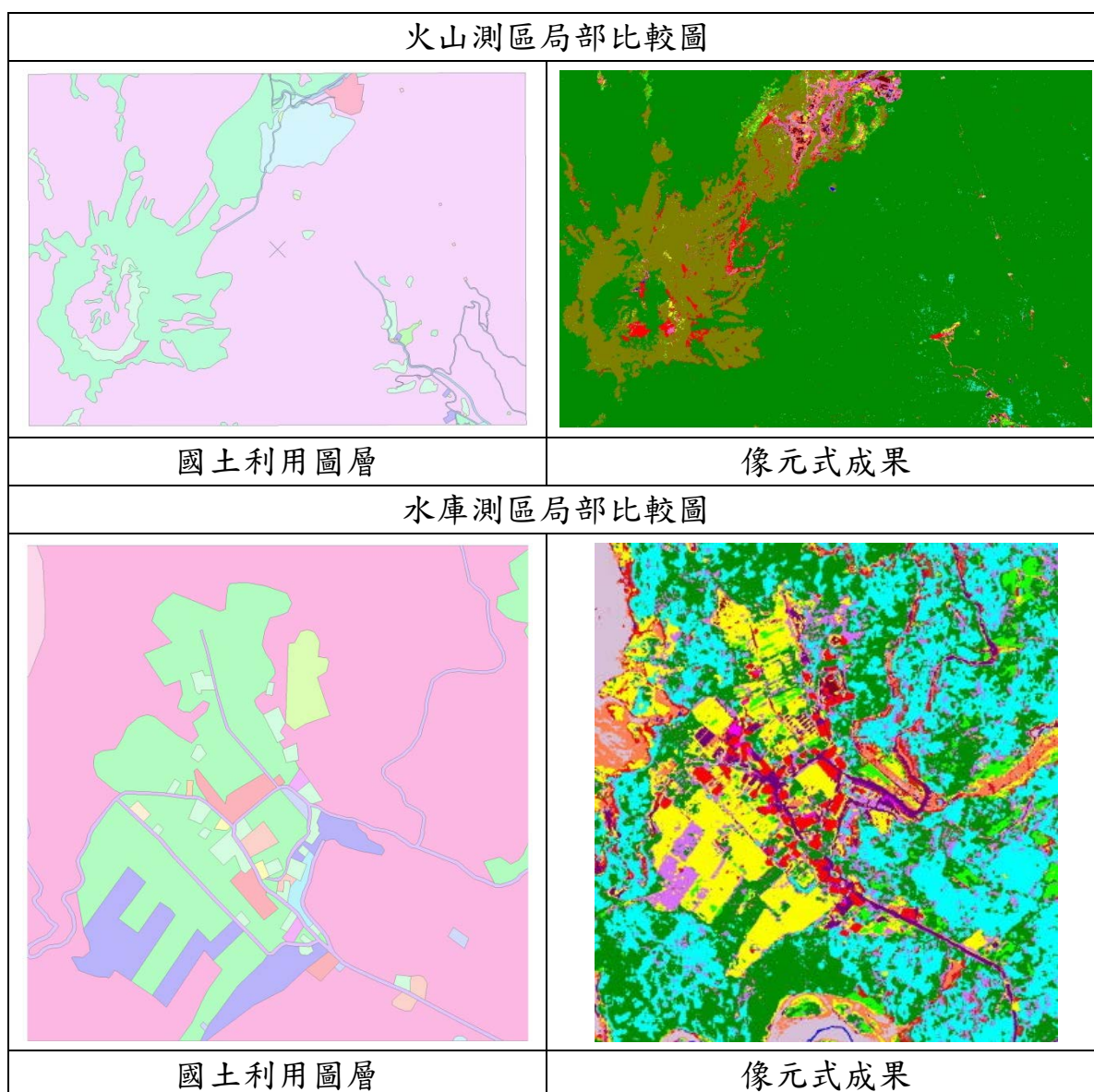


圖 4.69 國土利用調查成果(左)與成像元式分類成果向量(右)比對放大圖

#### 4-6.2 物件式(Object-based)分類

本工作案結合光達與高光譜影像資料，以物件式分類進行地物判釋及分類，主要工作包括影像分割、特徵分析及最小距離法分類等步驟，其成果如下各小節。

##### 4-6.2.1 影像分割

高光譜影像的各個像元(Pixel)在轉為物件(Object)前，須先進行影像分割，利用像元彼此間的光譜特性將影像分割成多個區塊，分割尺度過細將使物件

不完整，分割尺度不足將使物件細節表現不足，故尺度的決定將攸關後續分類成果的良窳。本次作業採用 eCognition 軟體的多尺度分割演算法，為一種由下而上(bottom-up)的分割方式。種子像元根據周圍像元的同質性與異質性狀況進行合併與成長，並透過尺度參數的設定，決定其合併過程中的差異門檻值，且該參數會影響分割成果的細碎度。此外該方法所考量之異質性包含光譜異質性與形狀異質性，若影像具有某項明確的形狀或紋理規則時，可以透過形狀異質性抑制分割邊界破碎的問題，圖 4.70 為兩測區經過影像分割後的成果，圖 4.71 為紅框處局部放大之成果。經過影像分割，原本相互分離之像元會根據同質性結合成完整之物件，由於物件為一個完整之圖塊，因此該物件除了具備光譜性質外，尚能具備紋理、外形等性質，提供分類依據更多資訊。在分割作業中僅使用高光譜影像分類，以 MNF、NDVI、EVI、WBI 等光譜資料使為分類圖層。採用資料融合分類除光譜資料外，增加 nDSM、Intensity、Echo Ratio 等光達資訊。分割波段權重設定為等權；由於測區較廣，使得形狀因子變數較多，故主要以屬性值的異質性為主，因此在人工設定參數作業中，異質性權重部分，將形狀(shape)權重設為 0.1，緊密度(compactness)權重設為 0.5；並為在能將物件細分的情況下盡量合併同質性高的區域，尺度(Scale)參數經實驗測試結果以 15 為原則。



圖 4.70 影像分割成果(左為水庫測區，右為火山測區)



圖 4.71 分割成果局部放大(左為水庫測區，右為火山測區)

#### 4-6.2.2 特徵分析

影像分割作業後，需進行物件特徵分析，以取得分類目標在作業區域中之特徵資訊，並於後續分類作業中以該特徵作為分類之法則進行物件分類。

在本項步驟中，對於物件所分析之特徵，包含物件的光譜特徵、紋理特徵、及幾何特徵。物件之光譜特徵使用資料前處理已完成的特徵萃取影像，利用不同地物之反射率區別不同地物；紋理特徵可反映物件的粗糙程度，如人工建物之表面多為平面，其表面較為平整，而自然生長的植物表面，其表面粗糙度則較為混雜。研究中使用灰階共生矩陣(Grey Level Co-occurrence Matrix, GLCM)分析紋理特徵(Haralick,1973)，並使用熵(Entropy)、均調性(Homogeneity)等量化 GLCM 矩陣。幾何特徵之部分，利用分割後各個物件所具有之外形特徵(包含面積、長寬比、鄰接物件邊緣長度等)，另增加以光達資料所獲取之地物高程資料。在完成前述三大類特徵計算後，可透過圖形介面展示特徵數值的分布狀況(如圖 4.72)，根據特徵數值的統計狀況，比較不同類別間的特徵差異，以道路與裸露地為例，可以看出兩者在物件密度的差異(如圖 4.73)，並建立分類的法則。

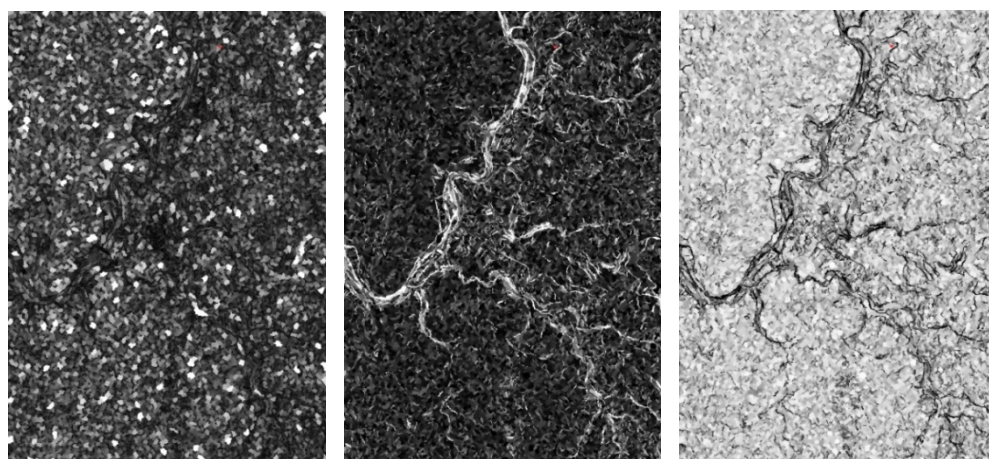


圖 4.72 物件形狀特徵：物件大小(左)、物件長寬比(中)、物件密度(右)



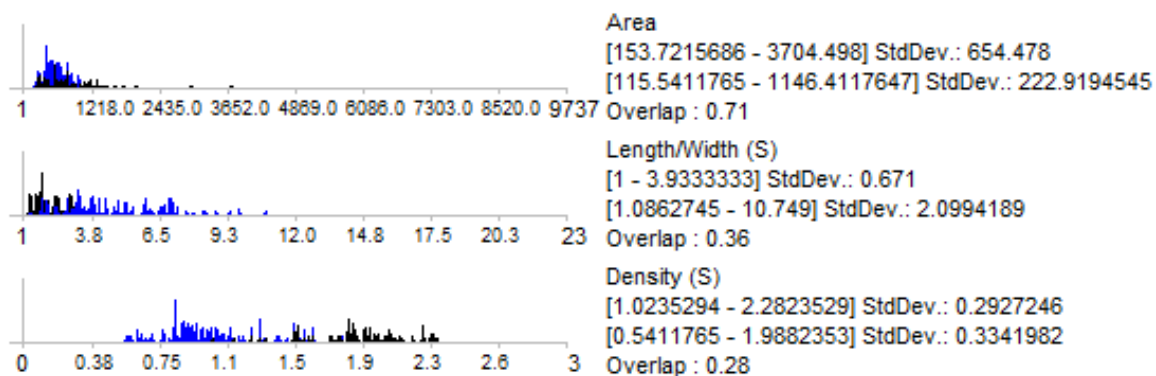


圖 4.73 特徵的數值分布(藍色為道路，黑色為裸露地)

特徵分析的作業程序如圖 4.74 所示，根據影像或其他輔助資料，以物件為基礎並進行人工訓練區圈選，再由軟體自動統計訓練區內各項特性之數值，獲得該類別在各項特性中之特徵，以建立分類的法則。

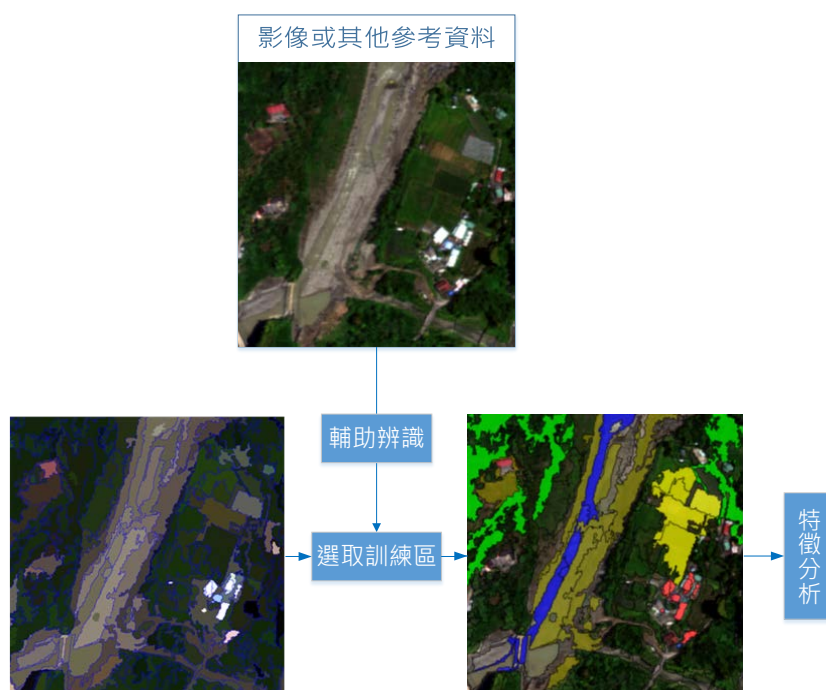


圖 4.74 樣本區人工圈選流程圖

#### 4-6.2.3 最鄰近法分類

最鄰近法分類根據前項作業所圈選的訓練區，根據訓練區統計各類別的資料集合，令未知類別透過距離函數的計算，判斷各未知資料與訓練資料間的差異程度，當未知資料與訓練區資料的距離越小，便表示兩者間的差異小，反之當距離越大則表兩類資料的差異程度較大。因此最鄰近法分類透過比較未知點資料與訓練區資料距離，便可對未知點的類別進行判斷，其優點為運算量小且分類速度快。

#### 4-6.2.4 物件式分類精度評估

本案除針對分類正確性進行評估外，亦針對物件式分類，選取部分分類成果的邊緣與正射影像數化成果做比較，數化區位置如圖 4.75，以評估物件式分類成果對地物邊界偏移量。本項是針對分類正確的地物進行評估，評估的執行方法如圖 4.76，將成果輸出為 shape file 並與數化成果進行套疊，在確認成果的區塊是正確地物類別後，於數化區塊的邊緣均勻取樣，並由數化區塊邊緣繪製一系列的垂線至分類成果邊界，最終統計各塊邊緣距離的差異量平均值。



數化區位置

圖 4.75 數化區位置分布圖(左:火山區、右:水庫區)

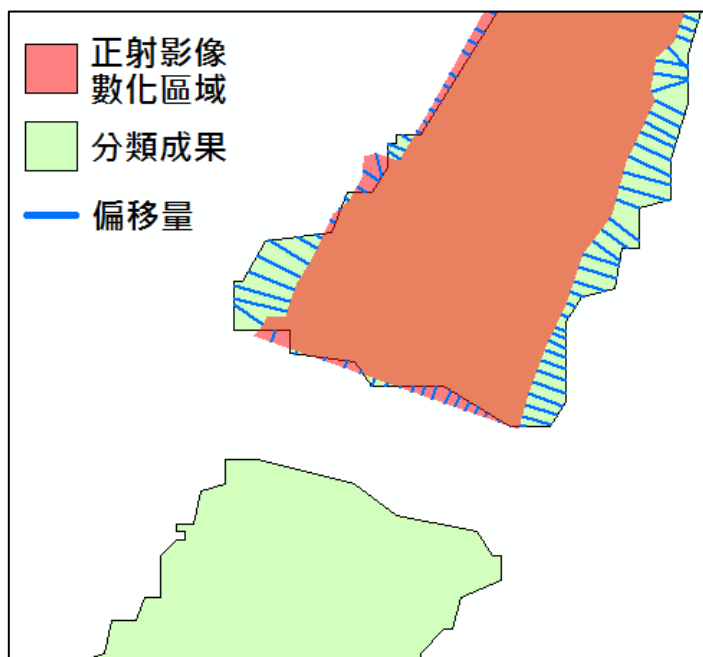


圖 4.76 物件式分類成果邊界評估

## 4-6.2.5 火山測區物件式影像分類

## 1. 光譜特徵組合影像分類

本實驗對影像採物件式分類，首先針對 MNF 影像進行分類，並逐一加入其他光譜與紋理指標，經計算分析各項特徵組合之分離度後進行實際分類測試，並根據組合測試最適於物件式分類之特徵組合，測試成果如下表 4.36。首先對高光譜 MNF 影像與其他指標做組合，可以發現分別加入 WBI、NDVI、EVI 後，以加入 WBI 有較佳的辨識成果，另一方面雖然加入 NDVI 與 EVI 的成果於精度表現未有提升，但也無造成明顯的精度降低，而最後以對 GLCM 的測試成果精度最差，降低了約 5% 的整體精度，辨識後 kappa 也僅有 0.56。由於在像元式分類測試中 NDVI 與 EVI 有最佳表現，而物件式測試分類中又以 WBI 有最佳成果，因此最後針對同時加入 NDVI、EVI、WBI 做測試，整體精度可達 72.5%，kappa 值為 0.66，最後以長條圖 4.77 展示各物件式與像元式於實驗組合之成果。

表 4.36 火山測區光譜特徵組合影像分類測試表

光譜 特徵 組合	MNF	MNF	MNF	MNF	MNF	MNF	MNF
	-	WBI	-	-	-	-	WBI
	-	-	NDVI	-	-	NDVI	NDVI
	-	-	-	EVI	-	EVI	EVI
	-	-	-	-	GLCM	-	-
OA(%)	69.2%	70.6%	68.3%	69.2%	64.1%	68.2%	72.5%
Kappa	0.63	0.64	0.61	0.63	0.56	0.61	0.66

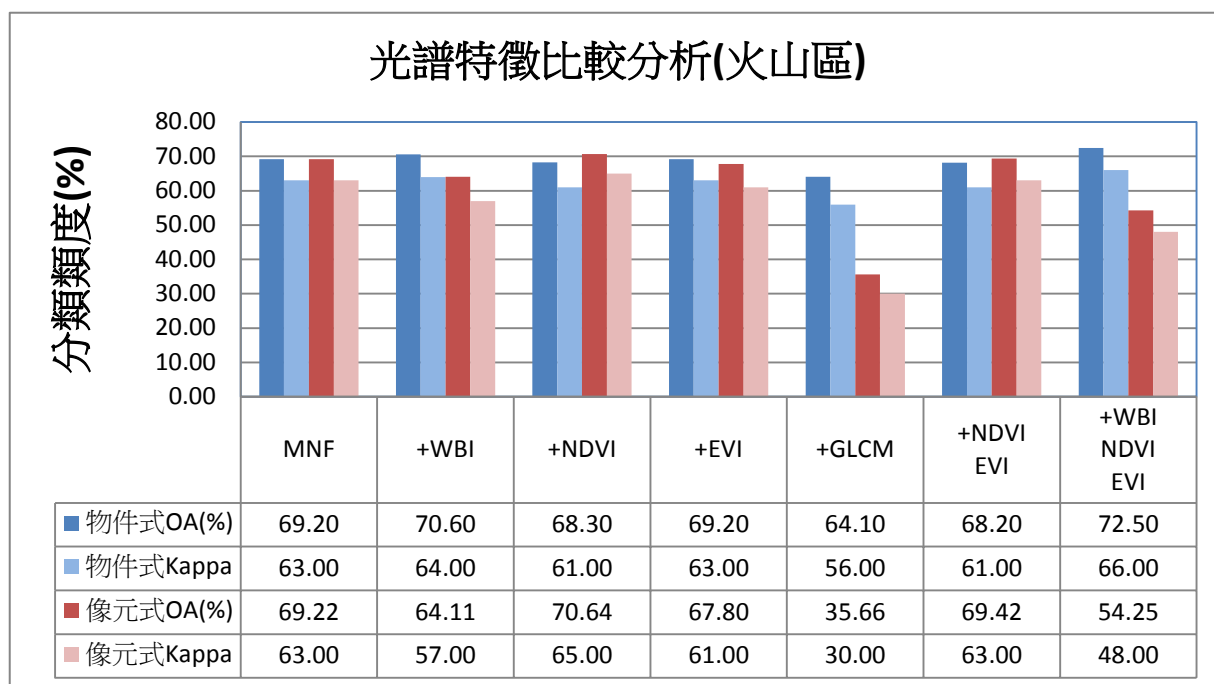


圖 4.77 火山測區光譜特徵整體精度折線圖

## 2. 光譜特徵與光達特徵組合影像分類

火山區物件式分類成果如圖 4.78，精度整理如表 4.37，加入 NDVI、WBI 及 EVI 後可以提升些許分類精度，透過圖 4.79 火山區各地物類光譜圖的觀察可以發現，部份地物在光譜反應較為相似，也因此導致這些地物區分不易，故透過整合光達特徵後輔助辨識，可使精度更進一步提升。火山區由於地物的表現較為複雜，經常出現一個地表覆蓋物會具備數種其他覆蓋物的特性。以農地為例，濕作農地有類似水體表現，休耕農地則有類似裸露地表現，茂盛的農地則與草地接近，導致混淆的類別多。

根據誤差矩陣(表 4.38、表 4.39)在 MNF 加入光譜特徵的分類中，主要易混淆地物包含(1)河道與裸露地；(2)農地與裸露地；(3)農地與草地；(4)農地與人工構造物，如運動場、建物、溫室；(5)各項人工構造物，如：建物、道路、溫室、運動場與墳墓。然而經觀察可發現，有許多混淆地物的幾何高度性質略有不同，如：建物、道路；農地、溫室；草地、樹林以及樹林間的道路等(如圖 4.80)。因此在加入光達資料後，可改善分類成果。經由對誤差矩陣的觀察，可發現建物、道路、河道等幾何特性具有明顯差異的位置，可有顯著的改善。

然而有些類別仍存在明顯混淆狀況，如水體、裸露地。以水體來說，主要原因如前述，因有部分農地具類似水體特性，又兩者同屬相同高度、且粗糙度低，故因此造成分類錯誤(如圖 4.80 下)；此外，火山區的河道狹窄，且河道內容複雜，使物件分割效果不佳，導致水體與河道之間，仍存在不易改善的混淆問題(如圖 4.80 中)。而裸露地主要混淆對象包含農地與建物，主要原因如前述，部分休耕農地具被裸露地的性質，因此不易改善，而在建物的混淆則因該區域多屬低矮建物，使部分粗糙度低且範圍較小的裸露地被視為建物而產生混淆。

表 4.37 火山測區物件式分類成果表

影像	MNF	MNF 加入光譜特徵	MNF 加入光譜與光達特徵
特徵	-	NDVI、WBI、EVI	NDVI、WBI、EVI、 Echo Ratio、nDSM、 Roughness、Intensity
OA(%)	69.2%	72.5%	82.6%
Kappa	0.63	0.66	0.78

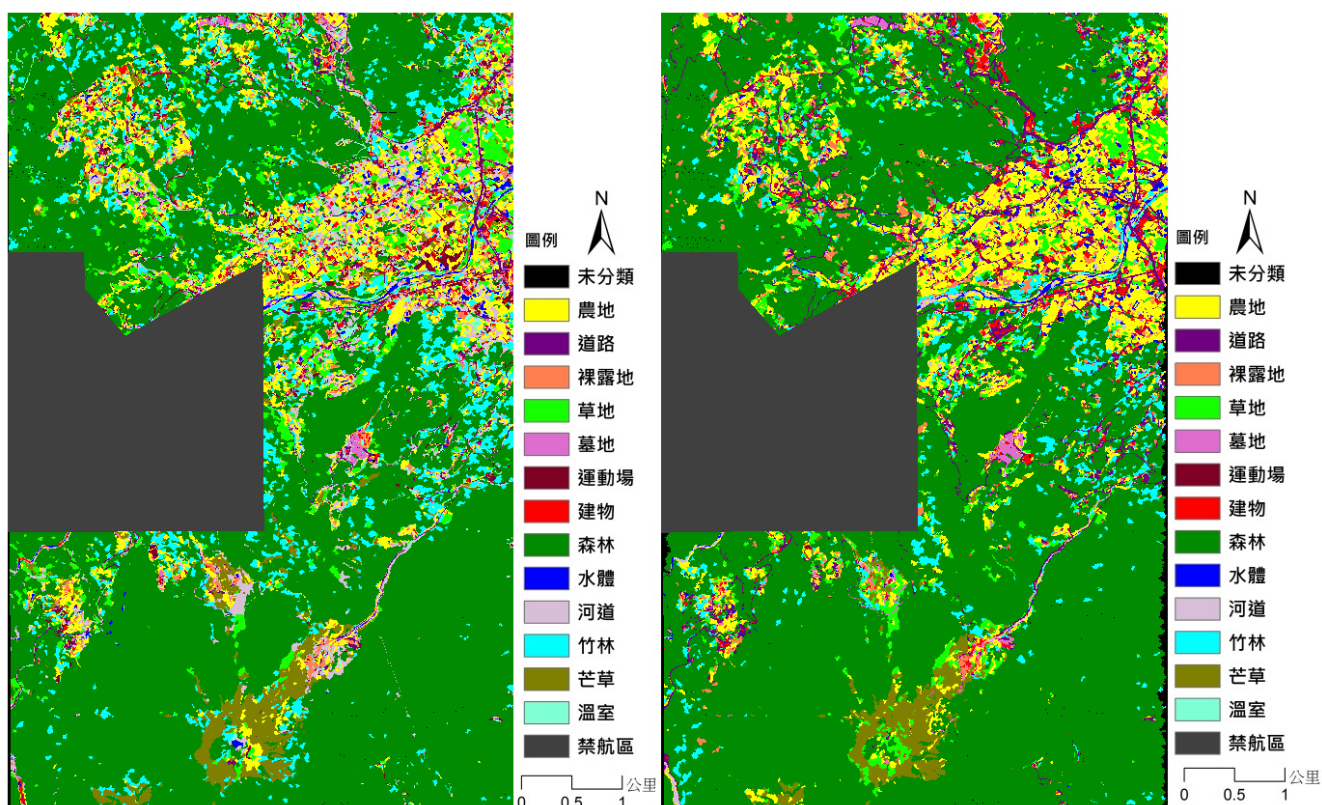


圖 4.78 火山測區高光譜加光譜特徵(左)與整合光達資料(右)分類成果  
 (物件式分類參數設定:影像分割參數之尺度參數為 15、形狀(shape)權重為 0.1、緊密度(compactness)權重為 0.5；最鄰近分類法函數斜率參數採用預設值 0.2)

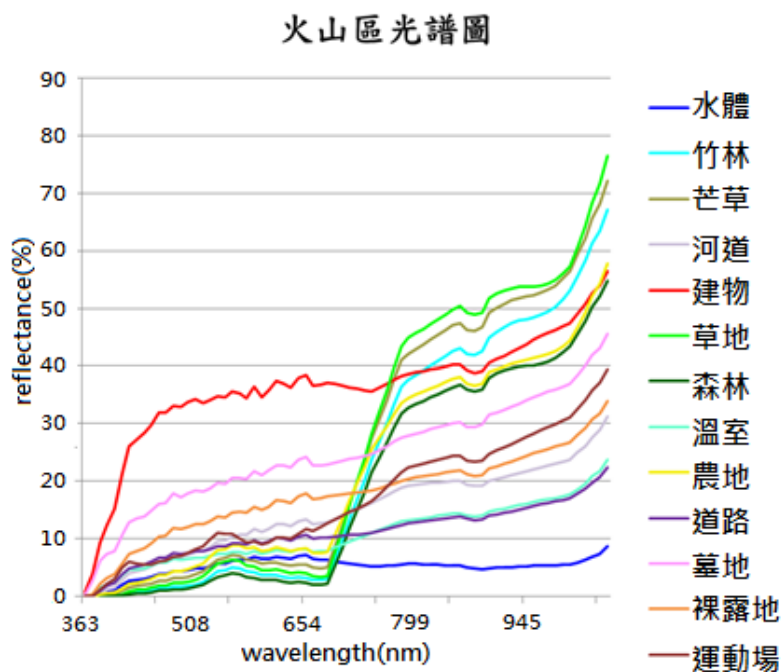


圖 4.79 火山測區地物光譜圖

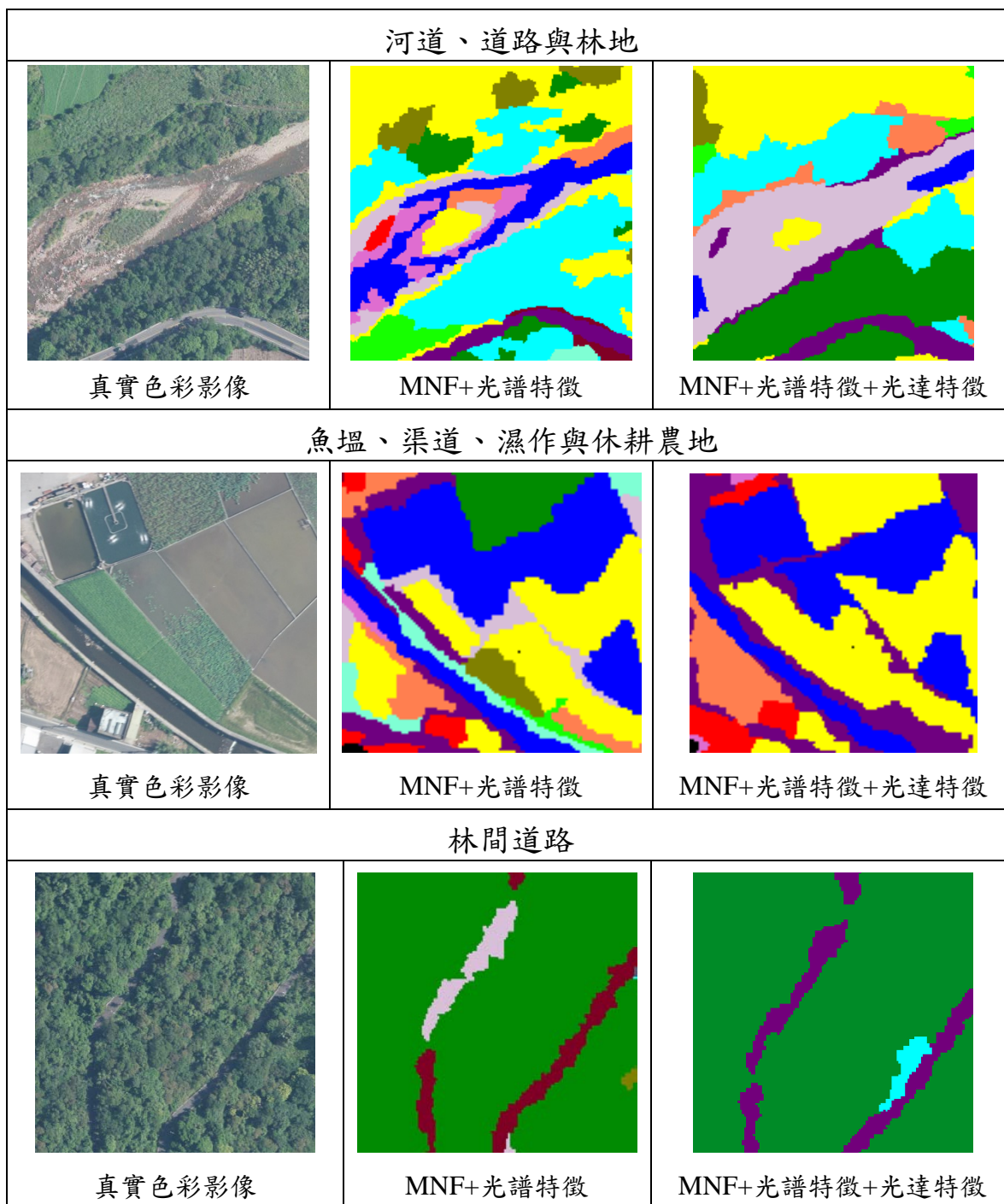


圖 4.80 火山測區局部比較



表 4.38 火山測區高光譜影像加入光譜特徵分類誤差矩陣表

火山測區高光譜 (MNF) 與光譜特徵資料分類成果誤差矩陣																
		Reference class													總計	使用者精度(%)
		水體	河道	道路	農地	裸露地	溫室	竹林	森林	建物	運動場	草地	墳墓	芒草		
User Class	水體	743	54	0	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	823	90.28
	河道	7	132	10	418	0	0	0	0	1	0	96	0	0	664	19.88
	道路	32	0	1948	8	13	100	0	0	657	0	0	0	0	2758	70.63
	農地	0	5	10	1761	63	5	346	0	0	0	145	0	158	2493	70.64
	裸露地	57	107	136	276	1171	0	0	0	402	0	0	0	0	2149	54.49
	溫室	45	0	154	404	69	339	0	0	103	0	4	110	0	1228	27.61
	竹林	0	0	0	11	0	0	779	511	0	0	0	0	0	1301	59.88
	森林	0	0	0	154	0	0	388	11100	0	0	0	0	0	11642	95.34
	建物	0	114	34	190	100	0	0	0	1035	0	0	15	0	1488	69.56
	運動場	0	0	186	360	57	10	0	0	524	200	196	0	0	1533	13.05
	草地	0	0	0	370	0	0	0	211	0	0	518	0	0	1099	47.13
	墳墓	0	75	2	0	0	0	0	0	195	0	0	490	0	762	64.30
芒草	0	0	0	52	0	0	0	0	0	0	264	0	1419	1735	81.79	
	總計	884	487	2480	4004	1473	454	1513	11829	3056	200	1249	630	1579	29838	
生產者精度(%)		84.05	27.10	78.55	43.98	79.50	74.67	51.49	93.84	33.87	100.00	41.47	77.78	89.87	84.05	
<b>OA:72.51% Kappa:0.66</b>																

表 4.39 火山測區高光譜影像加入光譜與光達特徵分類誤差矩陣表

火山測區高光譜 (MNF) 與光譜和光達特徵資料分類成果誤差矩陣																
		Reference class													總計	使用者精度(%)
		水體	河道	道路	農地	裸露地	溫室	竹林	森林	建物	運動場	草地	墳墓	芒草		
User Class	水體	637	54	67	224	0	0	0	0	0	0	26	0	0	1008	63.19
	河道	79	360	0	155	104	0	0	0	0	0	0	0	0	698	51.58
	道路	46	0	2359	179	0	100	0	0	140	0	0	5	0	2829	83.39
	農地	59	0	7	2689	318	0	51	0	0	1	356	0	211	3692	72.83
	裸露地	55	0	28	307	502	0	295	0	0	0	23	0	0	1210	41.49
	溫室	0	0	0	0	0	276	0	0	0	0	0	0	0	276	100.00
	竹林	0	0	0	0	0	0	643	91	0	0	0	0	0	734	87.60
	森林	0	0	0	11	0	0	524	11731	0	0	0	0	0	12266	95.64
	建物	0	73	15	0	441	0	0	0	2766	0	0	19	0	3314	83.46
	運動場	0	0	0	0	0	0	0	0	0	199	0	0	0	199	100.00
	草地	0	0	3	439	0	0	0	0	0	0	628	0	100	1170	53.68
	墳墓	8	0	1	0	108	78	0	0	126	0	0	591	0	912	64.80
芒草	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	216	0	1266	1482	85.43	
	總計	884	487	2480	4004	1473	454	1513	11829	3056	200	1249	630	1579	29838	
生產者精度(%)		72.06	73.92	95.12	67.16	34.08	60.79	42.50	99.17	90.51	99.50	50.28	93.81	80.18	72.06	
<b>OA:82.60% Kappa:0.78</b>																

根據表 4.40，並以長條圖 4.81 呈現，比較 MNF 影像與光譜特徵資料融合光達資料前後之成果差異，由改善量可以發現於河道、道路、建物、農地等三維幾何特性差異較明確的區域有較顯著的精度提升，而水體及裸露地則如前段所述，因類似的幾何特性以及區塊狹窄且複雜等原因，導致此兩類的分類成果仍存在嚴重混淆。

表 4.40 火山區各類精度改善量

火山區		水體	河道	道路	農地	裸露地	溫室	竹林	森林	建物	運動場	草地	墳墓	芒草
MNF+光譜	生產者精度	84.05%	27.10%	78.55%	43.98%	79.50%	74.67%	51.49%	93.84%	33.87%	100.00%	41.47%	77.78%	89.87%
	使用者精度	90.28%	19.88%	70.63%	70.64%	54.49%	27.61%	59.88%	95.34%	69.56%	13.05%	47.13%	64.30%	81.79%
MNF+ 光譜+光達	生產者精度	72.06%	73.92%	95.12%	67.16%	34.08%	60.79%	42.50%	99.17%	90.51%	99.50%	50.28%	93.81%	80.18%
	使用者精度	63.19%	51.58%	83.39%	72.83%	41.49%	100.00%	87.60%	95.64%	83.46%	100.00%	53.68%	64.80%	85.43%
改善量	生產者精度	-11.99%	46.82%	16.57%	23.18%	-45.42%	-13.88%	-8.99%	5.33%	56.64%	-0.50%	8.81%	16.03%	-9.69%
	使用者精度	-27.09%	31.70%	12.76%	2.20%	-13.00%	72.39%	27.73%	0.29%	13.91%	86.95%	6.54%	0.50%	3.64%

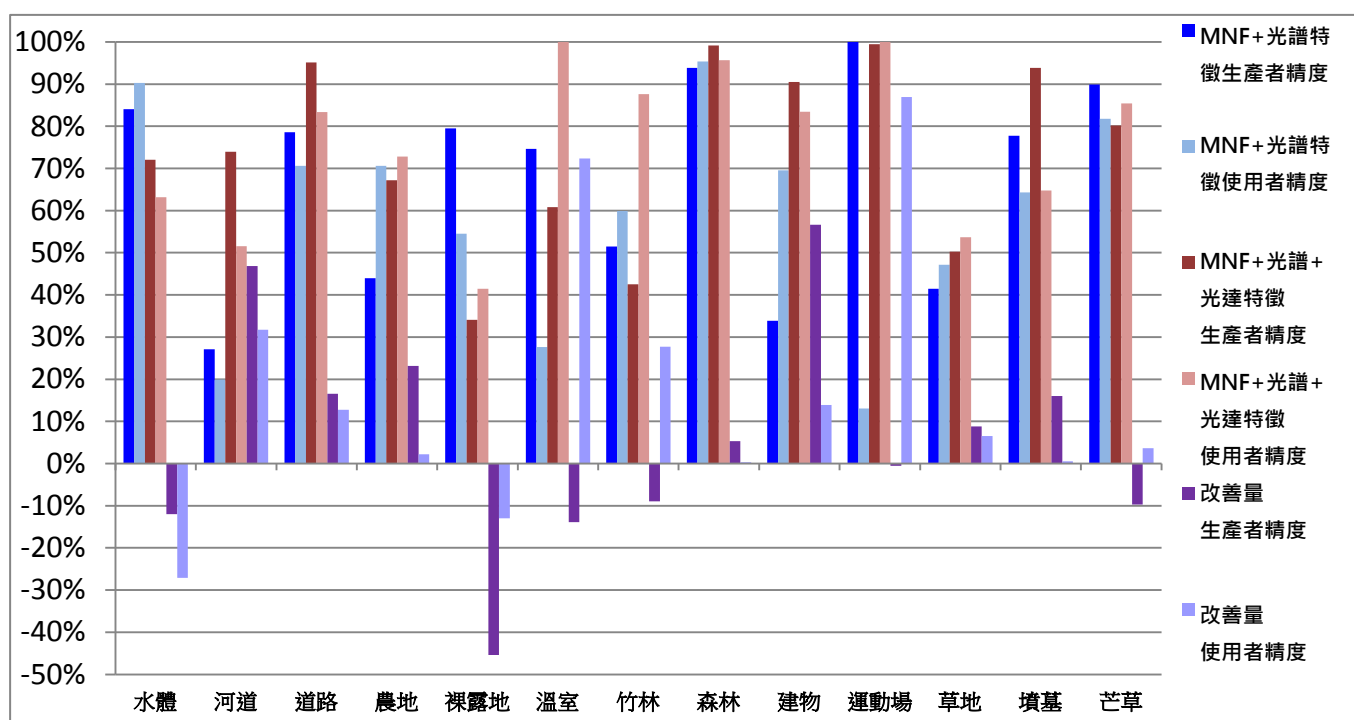


圖 4.81 火山測區物件式各類精度長條圖

## 3.分類成果與數化成果之比較分析

物件式分類因具有區塊特性，可明確辨別目標區塊之邊界位置，為分析其分類成果與實際地物之空間差異，利用人工數化成果為參考基準，將分類正確之地物進行對應邊界之距離量測。由表 4.41 顯示，全區整體距離平均偏差為 1.95 公尺，標準差為 0.72 公尺。其中以道路的誤差較大，探究其可能原因在於火山區之道路，部分路段遭上方覆蓋物遮蔽，導致該區域在物件化時造成邊界未能與數化邊界相吻合，導致產生較大的空間偏差，反觀水體、河道、農田等 3 類，因邊界較明確，故偏差均遠低於道路。因每一像素的空間解析度為 1 公尺，可知整體偏差約為 2 個像素，判斷物件式影像分類對整體成果的空間分布具有相當程度之正確性。

表 4.41 火山區邊界差異量

火山區邊界差異量							
區塊編號	平均距離 (m)	整體平均 (m)	標準差 (m)	區塊編號	平均距離 (m)	整體平均 (m)	標準差 (m)
水體 1	2.64	1.82	0.79	河道 1	1.44	1.74	0.67
水體 2	3.07			河道 2	0.99		
水體 3	1.16			河道 3	2.52		
水體 4	1.11			河道 4	2.01		
水體 5	1.23			1.78	0.68	農地 1	1.95
水體 6	2.12					農地 2	1.30
水體 7	1.43					農地 3	1.41
道路 1	2.15	2.36	0.71			農地 4	0.88
道路 2	1.79					農地 5	2.74
道路 3	1.73					農地 6	2.56
道路 4	1.64					農地 7	1.61
道路 5	3.11			全區	1.95	0.72	
道路 6	3.39						
道路 7	2.71						

## 4-6.2.6 水庫測區物件式影像分類

## 1. 光譜特徵組合影像分類

根據火山區測試結果可發現，分別加入其他光譜及紋理指標會對精度有所影響，且並非所有指標皆適用於分類測試，故同樣在水庫區針對特徵組合進行分離度分析後，進行實際分類測試。在水庫測區同樣對三種光譜特徵指標及 GLCM 紋理特徵進行測試，依照表 4.42 各項成果顯示，在分別加入 WBI、NDVI 及 EVI 時並未分類成果造成顯著改變，而加入 GLCM 後雖 kappa 值可達 0.62 並有 67.1% 的整體精度，但相較於只使用 MNF 影像的分類精度，成果仍有明顯的下降，並且在組合其他指標的測試中亦發現加入 GLCM 的成果明顯較低。最後，同樣以加入 WBI、NDVI 及 EVI 的組合，所獲得的整體精度為最佳，但提升量甚小，由長條圖(圖 4.82)比較各物件式與像元式特徵加入後的成果。

表 4.42 水庫測區光譜特徵組合影像分類測試表

光譜 特徵 組合	MNF	MNF	MNF	MNF	MNF	MNF	MNF	MNF	MNF
	-	WBI	-	-	-	-	WBI	WBI	WBI
	-	-	NDVI	-	-	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI
	-	-	-	EVI	-	EVI	-	-	EVI
	-	-	-	-	GLCM (3*3)	-	GLCM (3*3)	-	-
OA(%)	72.0%	72.1%	72.1%	72.1%	67.1%	72.2%	67.1%	72.2%	72.5%
Kappa	0.68	0.68	0.68	0.68	0.62	0.68	0.62	0.68	0.68

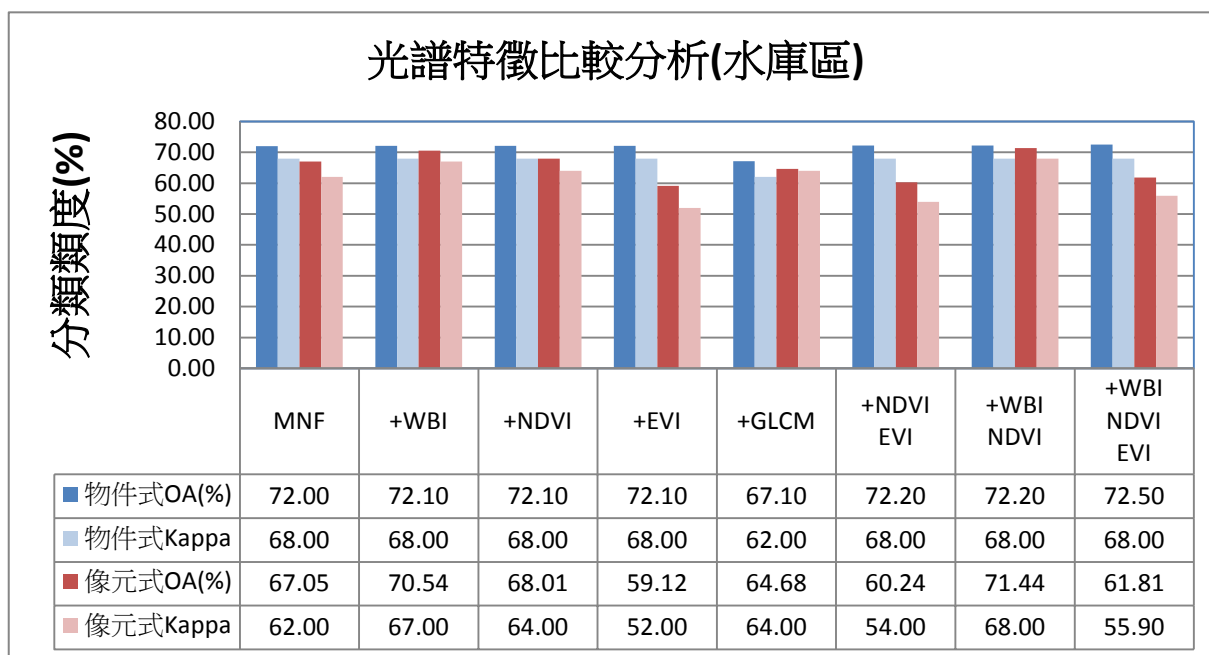


圖 4.82 水庫測區光譜特徵整體精度長條圖

## 2. 光譜特徵與光達特徵組合影像分類

針對水庫區物件式分類測試成果如圖 4.83，分類精度整理如表 4.43，在加入 NDVI、WBI 及 EVI 後對於整體的精度並無顯著提升，而在整合光達特徵後便可發現整體分類精度出現明顯的改善。在水庫區域的地表覆蓋物主要為植被，於本測試中再將植被更細分為森林、竹林、果樹、檳榔等細項，也因此可以發現植被類別會有較多的混淆現象。根據誤差矩陣(表 4.44、表 4.45)在 MNF 加入光譜特徵的分類中，主要的混淆項目包含(1)各植被地區，如：森林、竹林、果園、草地等；(2)道路與水泥地；(3)河道與裸露地。而在光達資料的加入後，可發現整體精度出現顯著提升。從誤差矩陣中可發現，在高程特性不同的區域可有良好的表現(如圖 4.84)，例如草地、果樹與其他樹林的辨識能力提升；不同種類的植生因高度特性，原有的分類錯誤情形大幅獲得改善，例如森林中誤分為草地的部分，然而在此區域的地表覆蓋物分類中，仍有部分難以藉由光達的高程資料獲得改善，例如道路與水泥地同為平坦地區，且部分橋梁或產業道路並非以柏油路建置導致；休耕農地也具備裸露地的性質，因此導致其與裸露地混淆；裸露地與河道也因為類似的特徵使其出現混淆；而竹林與森林，因水庫區中的林地屬於混生林，致改善幅度有限。

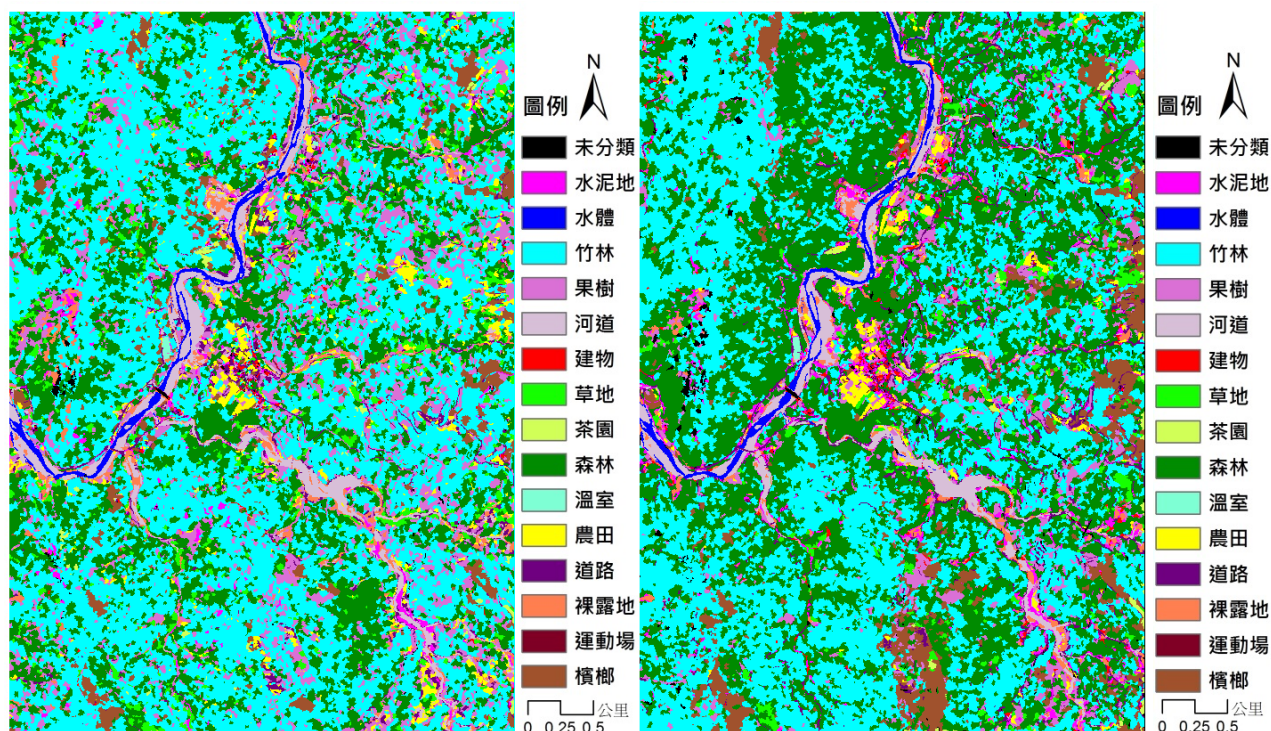


圖 4.83 水庫測區高光譜加光譜特徵(左)與整合光達資料(右)分類成果

(物件式分類參數設定:影像分割參數之尺度參數為 15、形狀(shape)權重為 0.1、緊密度(compactness)權重為 0.5；最鄰近分類法函數斜率參數採用預設值 0.2)

表 4.43 水庫測區物件式分類成果表

影像	MNF	MNF 加入光譜特徵	MNF 加入光譜與光達 特徵
特徵	-	NDVI、WBI、EVI	NDVI、WBI、EVI Echo Ratio、nDSM、 Roughness、Intensity
OA(%)	72.0%	72.5%	81.6%
Kappa	0.68	0.68	0.78

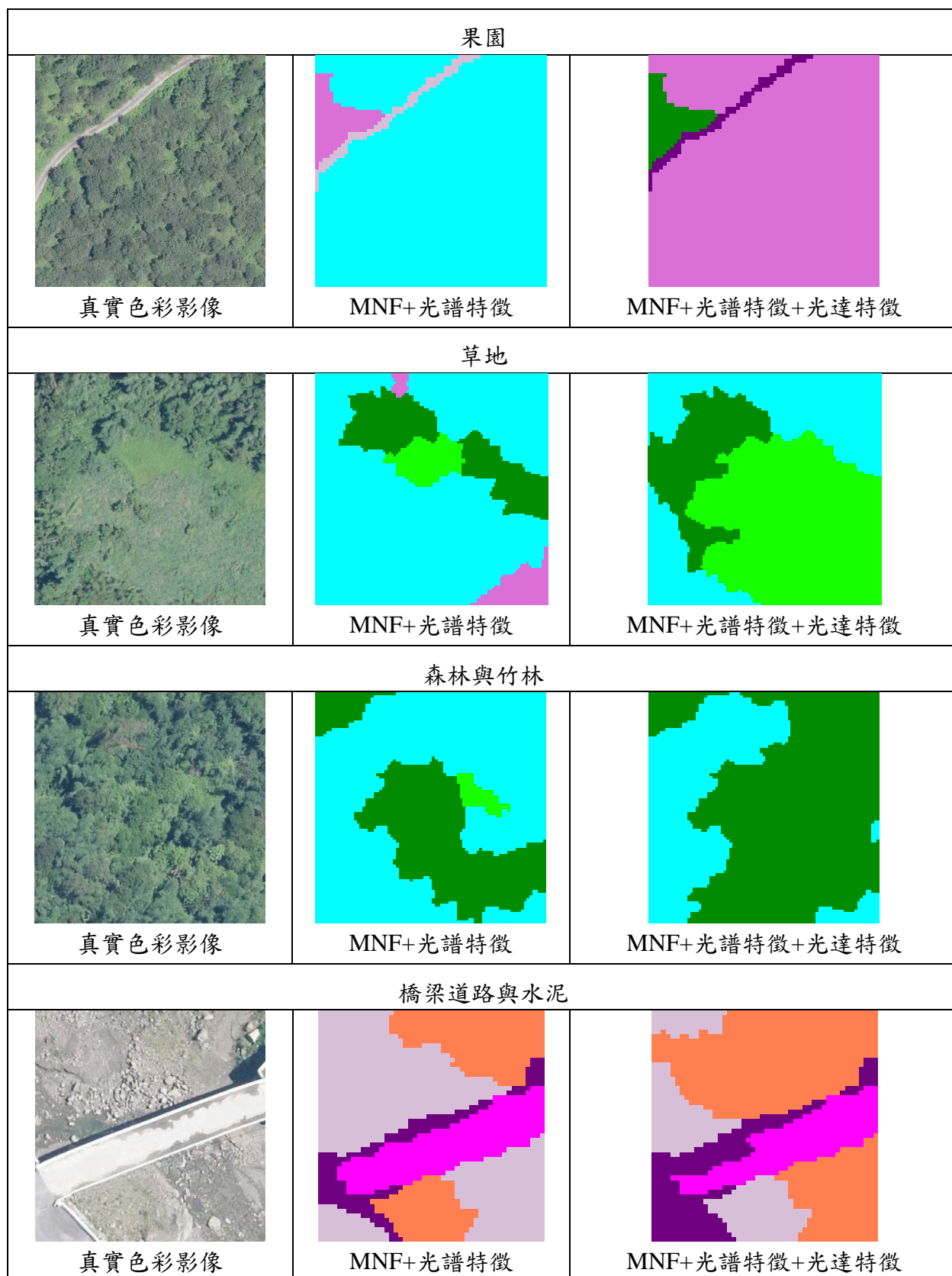


圖 4.84 水庫測區局部比較

表 4.44 水庫測區高光譜影像加入光譜特徵分類誤差矩陣表

水庫測區高光譜 (MNF) 與光譜特徵資料分類成果誤差矩陣																		
		Reference class																
		水體	河道	道路	農地	裸露地	溫室	果園	檳榔	茶園	竹林	森林	水泥地	建物	運動場	草地	總計	使用者精度(%)
User Class	水體	1335	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1335	100.00
	河道	13	2255	16	51	178	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2513	89.73
	道路	0	0	468	301	124	0	0	0	0	0	0	130	25	0	0	1048	44.66
	農地	0	0	0	1452	43	0	0	77	0	0	103	0	0	0	455	2130	68.17
	裸露地	0	128	79	0	1311	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1520	86.25
	溫室	0	0	0	0	0	305	0	0	0	0	0	25	0	0	0	330	92.42
	果園	0	0	0	30	20	0	601	42	0	272	414	0	0	0	183	1562	38.48
	檳榔	0	0	0	100	0	0	115	2290	1	191	46	0	0	0	0	2743	83.49
	茶園	0	0	0	0	0	0	0	0	645	28	0	0	0	0	0	673	95.84
	竹林	0	0	4	113	0	0	280	251	116	5751	2496	0	0	0	81	9092	63.25
	森林	0	0	0	190	0	0	0	27	1	467	3649	0	0	0	86	4420	82.56
	水泥地	0	12	148	0	33	0	0	0	0	45	0	173	3	0	0	414	41.79
	建物	0	0	42	0	0	16	0	100	0	0	0	4	646	0	0	808	79.95
	運動場	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	25	100.00
	草地	0	0	0	0	17	0	4	0	0	21	171	0	0	0	885	1098	80.60
	總計	1348	2395	763	2237	1726	321	1000	2787	763	6795	6879	403	933	25	1690	30065	
生產者精度(%)	99.04	94.15	61.34	64.91	75.96	95.02	60.10	82.17	84.53	84.64	53.05	42.93	69.24	100.0	52.37	99.04		
<b>OA:72.48% Kappa:0.68</b>																		

表 4.45 水庫測區高光譜影像加入光譜與光達特徵分類誤差矩陣表

水庫測區高光譜 (MNF) 與光譜和光達特徵資料分類成果誤差矩陣																		
		Reference class																
		水體	河道	道路	農地	裸露地	溫室	果園	檳榔	茶園	竹林	森林	水泥地	建物	運動場	草地	總計	使用者精度(%)
User Class	水體	1335	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1335	100.00
	河道	13	2355	18	0	293	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2681	87.84
	道路	0	0	582	116	79	0	0	0	1	70	0	62	25	0	0	935	62.25
	農地	0	0	0	1559	38	0	90	0	0	0	0	0	0	0	234	1921	81.16
	裸露地	0	40	0	244	1244	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	1532	81.20
	溫室	0	0	0	0	0	305	0	0	0	0	0	0	0	0	0	305	100.00
	果園	0	0	1	30	30	0	862	0	0	13	0	0	0	0	137	1073	80.34
	檳榔	0	0	0	0	0	0	0	2404	0	195	216	0	0	0	0	2815	85.40
	茶園	0	0	0	42	0	0	0	0	762	0	0	0	0	0	0	804	94.78
	竹林	0	0	0	0	0	0	0	141	0	5740	1517	0	0	0	0	7398	77.59
	森林	0	0	0	175	17	0	0	242	0	729	5146	0	0	0	52	6361	80.90
	水泥地	0	0	111	45	4	16	0	0	0	28	0	314	84	0	0	602	52.16
	建物	0	0	45	0	21	0	0	0	0	0	0	21	658	0	0	745	88.32
	運動場	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	25	100.00
	草地	0	0	0	0	0	0	48	0	0	0	0	0	0	0	1267	1315	96.35
	總計	1348	2395	763	2237	1726	321	1000	2787	763	6795	6879	403	933	25	1690	30065	
生產者精度(%)	99.04	98.33	76.28	69.69	72.07	95.02	86.20	86.26	99.87	84.47	74.81	77.92	70.53	100.0	74.97	99.04		
<b>OA:81.68% Kappa:0.79</b>																		



由下表 4.46 比較，並以長條圖 4.85 呈現 MNF 與光譜特徵資料融合光達資料前後之成果差異，由各改善量可以發現在水庫區大多數的分類精度有所提升，光達特徵可以有效提供對地物的辨識能力，而其中改善狀況較差者如前段所述，裸露地受農地影響精度較差，而道路與水泥地的因部分性質接近，改善的精度有限。

表 4.46 水庫區各類精度改善量

水庫區		水體	河道	道路	農地	裸露地	溫室	果園	檳榔	茶園	竹林	森林	水泥地	建物	運動場	草地
高光譜	生產者精度	99.04%	94.15%	61.34%	64.91%	75.96%	95.02%	60.10%	82.17%	84.53%	84.64%	53.05%	42.93%	69.24%	100.00%	52.37%
	使用者精度	100.0%	89.73%	44.66%	68.17%	86.25%	92.42%	38.48%	83.49%	95.84%	63.25%	82.56%	41.79%	79.95%	100.00%	80.60%
高光譜 +光達	生產者精度	99.04%	98.33%	76.28%	69.69%	72.07%	95.02%	86.20%	86.26%	99.87%	84.47%	74.81%	77.92%	70.53%	100.00%	74.97%
	使用者精度	100.0%	87.84%	62.25%	81.16%	81.20%	100.00%	80.34%	85.40%	94.78%	77.59%	80.90%	52.16%	88.32%	100.00%	96.35%
改善量	生產者精度	0.00%	4.18%	14.94%	4.78%	-3.88%	0.00%	26.10%	4.09%	15.33%	-0.16%	21.76%	34.99%	1.29%	0.00%	22.60%
	使用者精度	0.00%	-1.89%	17.59%	12.99%	-5.05%	7.58%	41.86%	1.91%	-1.06%	14.34%	-1.66%	10.37%	8.37%	0.00%	15.75%

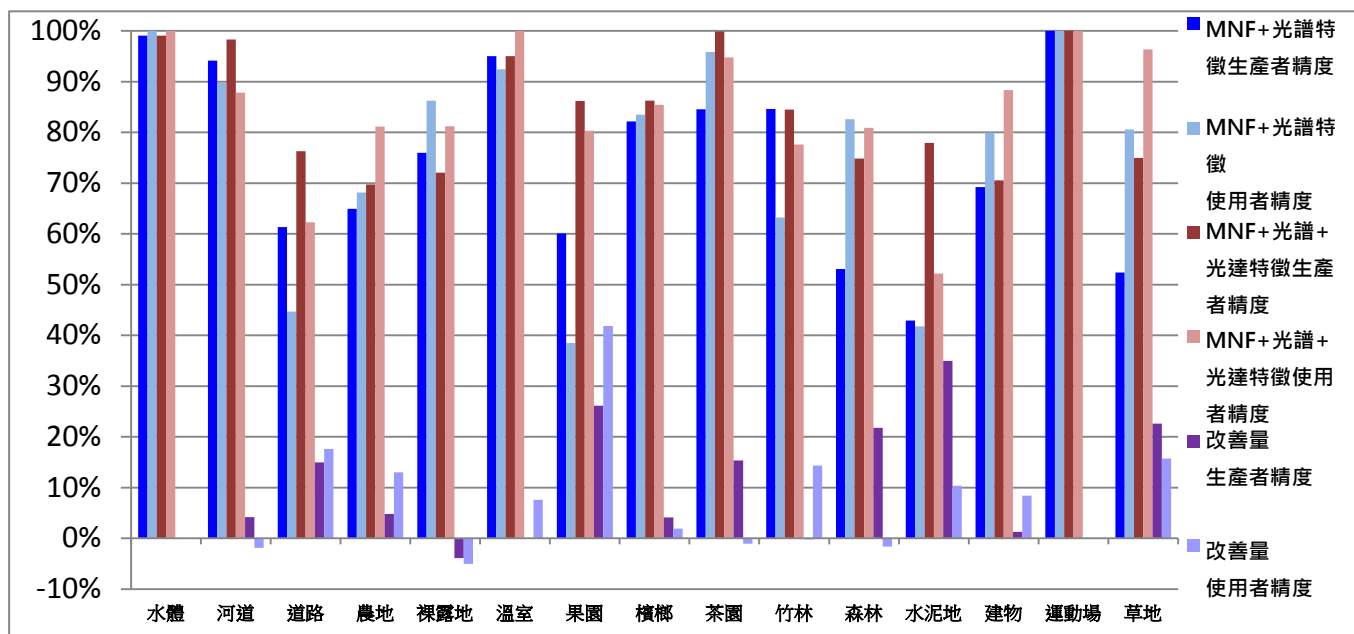


圖 4.85 水庫測區物件式分類各類精度長條圖

### 3.比較多光譜及高光譜分類的效益

在此測試中，採用 WorldView-2 多光譜影像，兩種分類測試均結合光達資料，並採用物件式分類完成資料測試。由表 4.47 及相對應之長條圖 4.86 比較各地物分類成果在多光譜與高光譜的分類精度差異，由圖 4.87 可見因多光譜影像提供的光譜資訊較少，且高光譜影像具備更多資訊針對各地物類別作辨識，因此，進行分類測試時，高光譜影像較多光譜影像，在整體的分類精度與正確量有提升的趨勢。另外使用高光譜影像(MNF)與 WorldView-2 4 波段(B,G,R,NIR1)與 WorldView-2 8 波段(C,Y,B,G,R,RE,NIR1,NIR2)進行分類測試，以測試於非 WorldView-2 影像所分類的狀況，由表 4.48 與長條圖 4.88 可明確地觀察到 8 波段影像的整體分類成果又較 4 波段影像更佳。觀察圖 4.89 可發現，由於 8 波段影像較 4 波段影像多 C(海洋)、Y(黃色)、RE(紅光邊緣)與 NIR2(近紅外光 2)等四個波段，因此 8 波段影像光譜資訊於各類別的整離散程度較 4 波段良好，此狀況導致 4 波段影像不易對地物進行辨識。

表 4.47 比較高光譜影像及 Worldview-2 8 波段分類(水庫區)

水庫區		水體	河道	道路	農地	裸露地	溫室	果園	檳榔	茶園	竹林	森林	水泥地	建物	運動場	草地
多光譜	生產者精度	82.27%	69.56%	52.56%	65.27%	61.99%	59.81%	25.70%	69.00%	84.80%	56.35%	61.92%	43.42%	68.17%	100.0%	50.24%
	+光達 使用者精度	58.43%	65.85%	58.97%	58.24%	84.38%	91.43%	52.02%	57.10%	62.82%	60.61%	59.87%	48.21%	79.80%	50.00%	64.17%
高光譜	生產者精度	99.04%	98.33%	76.28%	69.69%	72.07%	95.02%	86.20%	86.26%	99.87%	84.47%	74.81%	77.92%	70.53%	100.0%	74.97%
	+光達 使用者精度	100.00%	87.84%	62.25%	81.16%	81.20%	100.0%	80.34%	85.40%	94.78%	77.59%	80.90%	52.16%	88.32%	100.0%	96.35%
改善量	生產者精度	16.77%	28.77%	23.72%	4.43%	10.08%	35.20%	60.50%	17.26%	15.07%	28.12%	12.89%	34.49%	2.36%	0.00%	24.73%
	使用者精度	41.57%	21.99%	3.28%	22.92%	-3.18%	8.57%	28.31%	28.30%	31.96%	16.97%	21.03%	3.95%	8.52%	50.00%	32.18%
正確分類	多光譜	1109	1666	401	1460	1070	192	257	1923	647	3829	4254	175	636	25	849
像元數量	高光譜	1335	2355	582	1559	1244	305	862	2404	762	5740	5146	314	658	25	1267
改善程度		20.38%	41.36%	45.14%	6.78%	16.26%	58.85%	235.41%	25.01%	17.77%	49.91%	20.97%	79.43%	3.46%	0.00%	49.23%

表 4.48 比較 Worldview-2 4 波段及 8 波段分類(水庫區)

水庫區		水體	河道	道路	農地	裸露地	溫室	果園	檳榔	茶園	竹林	森林	水泥地	建物	運動場	草地
4波段	生產者精度	77.45%	79.96%	44.95%	58.69%	54.46%	59.81%	27.40%	57.70%	84.80%	48.62%	43.64%	42.68%	58.95%	100.0%	47.93%
	+光達 使用者精度	75.32%	63.14%	48.72%	52.63%	79.93%	58.54%	50.83%	35.65%	63.25%	53.26%	49.25%	37.47%	76.07%	59.52%	65.75%
8波段	生產者精度	82.27%	69.56%	52.56%	65.27%	61.99%	59.81%	25.70%	69.00%	84.80%	56.35%	61.92%	43.42%	68.17%	100.0%	50.24%
	+光達 使用者精度	58.43%	65.85%	58.97%	58.24%	84.38%	91.43%	52.02%	57.10%	62.82%	60.61%	59.87%	48.21%	79.80%	50.00%	64.17%
改善量	生產者精度	4.82%	-10.40%	7.61%	6.58%	7.53%	0.00%	-1.70%	11.30%	0.00%	7.73%	18.28%	0.74%	9.22%	0.00%	2.31%
	使用者精度	-16.89%	2.71%	10.25%	5.61%	4.45%	32.89%	1.19%	21.45%	-0.43%	7.35%	10.62%	10.74%	3.73%	-9.52%	-1.58%
正確分類	4波段+光達	1044	1915	343	1313	940	192	274	1608	647	3304	2998	172	550	25	810
像元數量	8波段+光達	1109	1666	401	1460	1070	192	257	1923	647	3829	4254	175	636	25	849
改善程度		20.38%	6.23%	-13.00%	16.91%	11.20%	13.83%	0.00%	-6.20%	19.59%	0.00%	15.89%	41.89%	1.74%	15.64%	0.00%

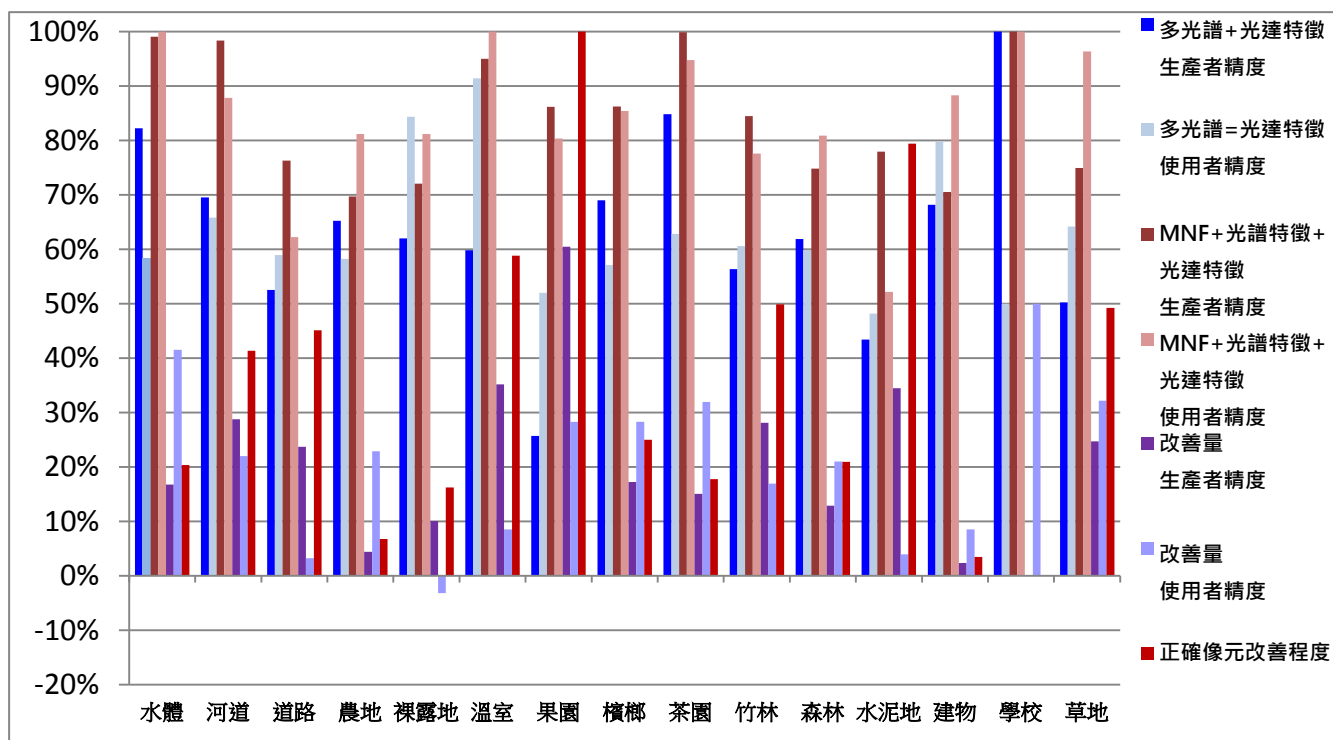


圖 4.86 高光譜影像及 Worldview-2 影像 8 波段分類精度長條圖

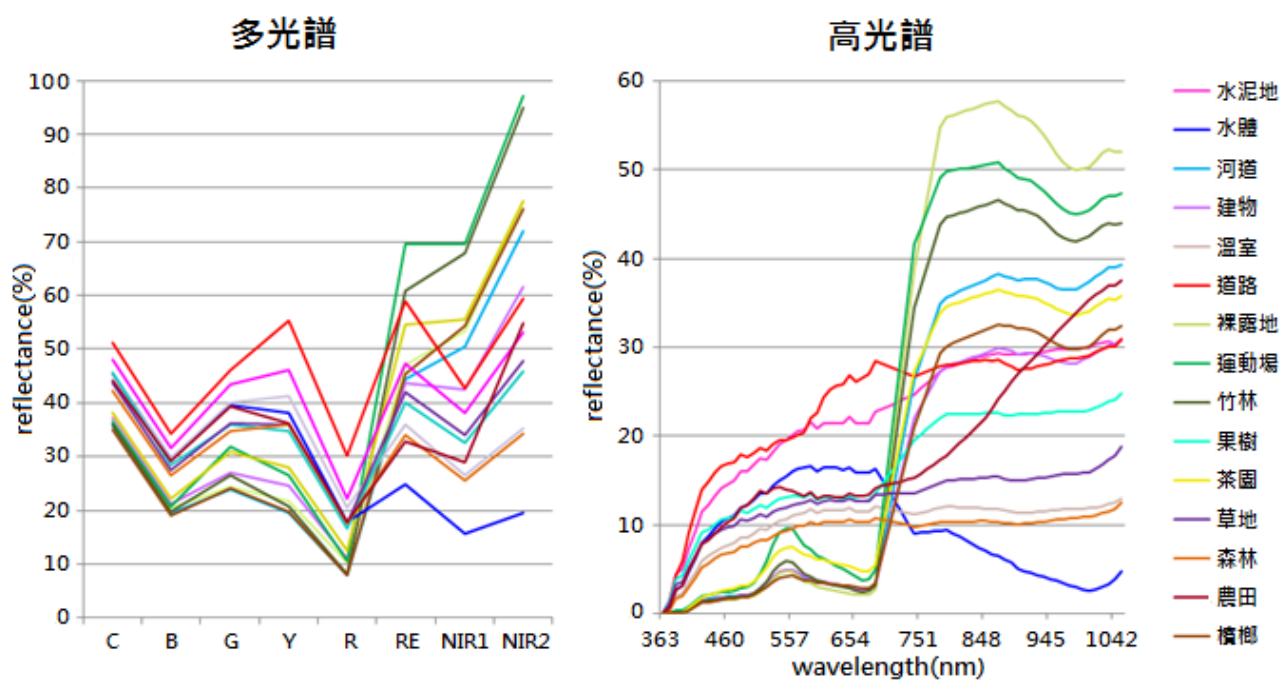


圖 4.87 Worldview-2 多光譜影像與高光譜影像訓練區光譜平均圖

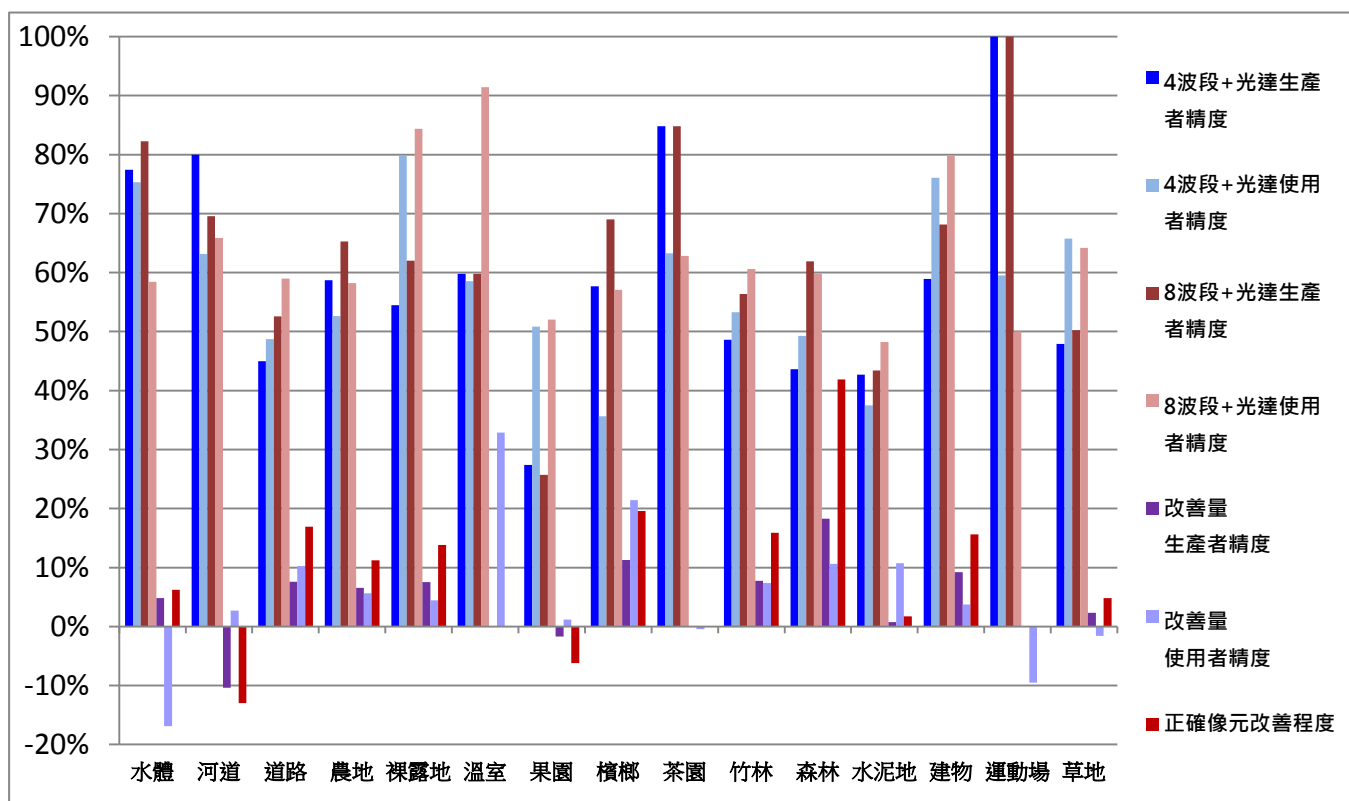


圖 4.88 Worldview-2 影像 4 波段與 8 波段分類精度長條圖

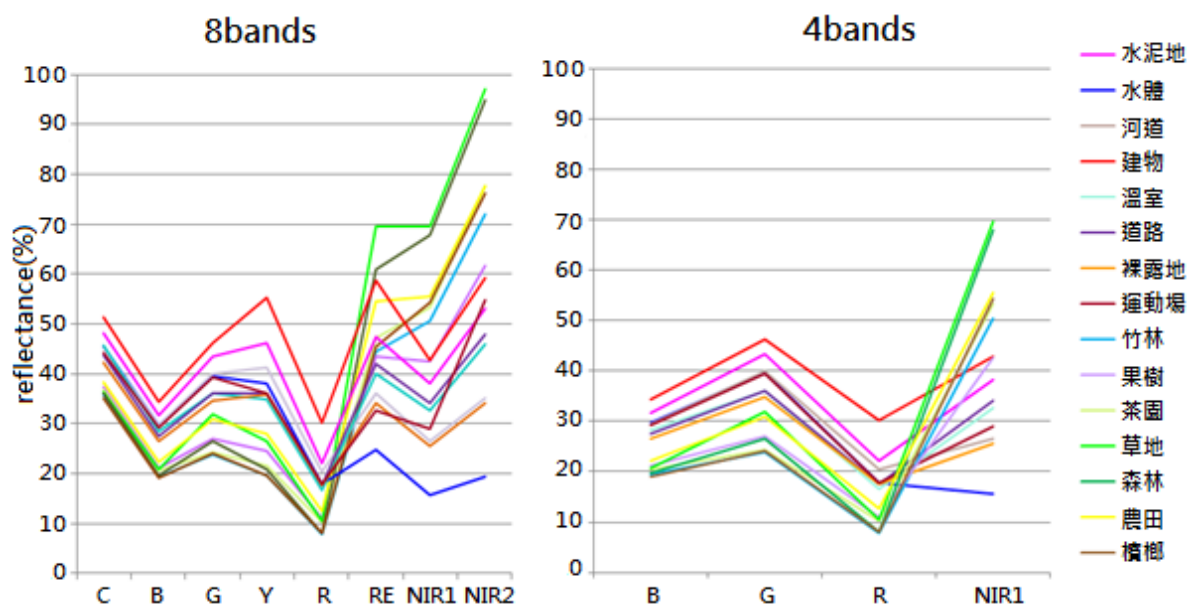


圖 4.89 Worldview-2 影像 8 波段影像與 4 波段影像訓練區光譜平均圖

## 4.分類成果與數化成果之比較分析

由表 4.49 顯示，全區整體距離平均偏差為 2.61 公尺，標準差為 0.68 公尺。其中以水泥地及運動場的誤差較大，偏差約為 3 公尺，主因在於地物本身分類已易與其他人工建物混淆，故有較大的邊界誤差，再者以道路的誤差次之，可能原因在於部分道路遭上方覆蓋物遮蔽，導致該區域在物件化時造成邊界未能與數化邊界相吻合，導致產生較大的空間偏差，反觀水體、河道、農田等 3 類，因邊界較明確，故偏差均低於道路。因每一像素的空間解析度為 1 公尺，可知整體偏差約為 2-3 個像素，判斷物件式影像分類對整體成果的空間分布具有相當程度之正確性。

表 4.49 水庫區邊界差異量

水庫區邊界差異量							
區塊編號	平均距離 (m)	整體平均 (m)	標準差 (m)	區塊編號	平均距離 (m)	整體平均 (m)	標準差(m)
水體 1	2.59	2.08	0.27	道路 1	1.77	2.98	0.72
水體 2	1.88			道路 2	2.63		
水體 3	1.74			道路 3	2.52		
水體 4	2.02			道路 4	2.66		
水體 5	2.17			道路 5	3.64		
水體 6	2.06			道路 7	2.54		
水體 7	2.08			道路 8	3.47		
河道 1	2.23	2.34	0.70	道路 9	3.17		
河道 2	1.64			道路 10	3.99		
河道 3	2.86			道路 11	3.62		
河道 4	3.24			道路 12	3.99		
河道 5	1.74			道路 13	2.14		
農地 1	3.00	2.46	0.61	道路 14	2.55		
農地 2	1.80			運動場 1	2.86		
農地 3	2.57			水泥 1	3.14	3.14	0.00
溫室 1	2.61	2.61	0.00	全區		2.61	0.68

#### 4-6.2.6.1 國土利用套疊成果

因本案目的在於國土利用調查之應用，欲了解透過高光譜遙測影像分類輔助國土利用調查作業之可行性，故由比較國土利用調查資料與分類成果進行評估，將分類成果與國土利用調查圖層進行套疊(如圖 4.90)，可看出融合高光譜及光達資料並採用物件式分類的整體正確性；融合影像分類成果與國土利用調查圖層相較之下，植被地區的物種細節表現較為詳細，例如在森林地中的竹林、果園及農地、草地與芒草地等(如圖 4.91)。此外，物件式式的分類成果以區塊方式呈現，所以不易產生椒鹽效應，可看出許多分類成果的區塊，與國土利用調查圖層的內容可以較完整的疊合，驗證以物件為導向的分類方法及成果可對國土利用調查提供更完整的資訊。

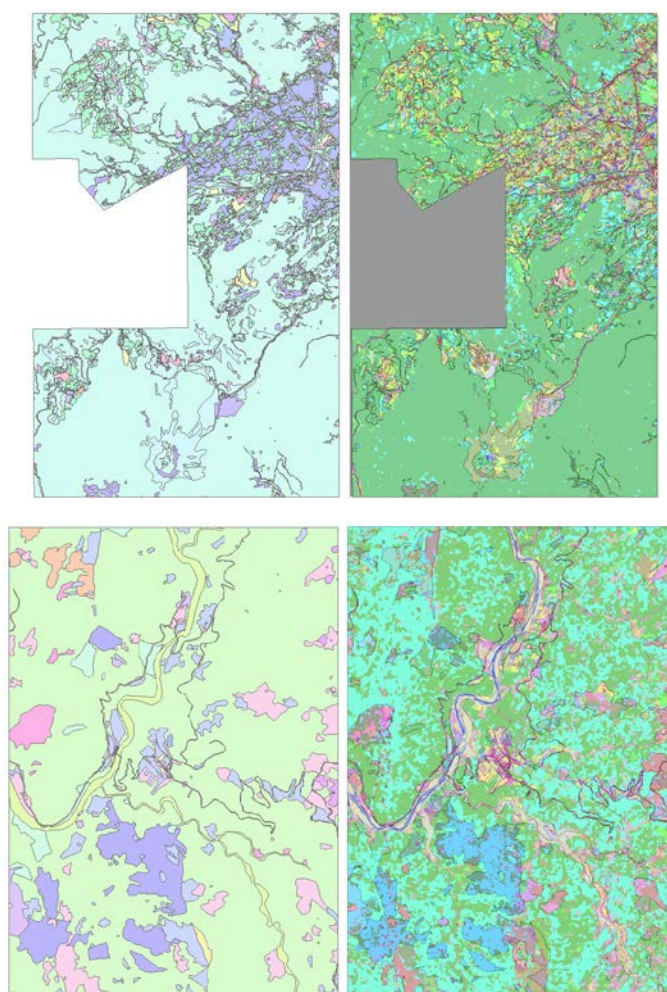


圖 4.90 分類成果與國土利用圖層套疊  
[上:火山區；下:水庫區][左:國土利用圖層；右:成果套疊]

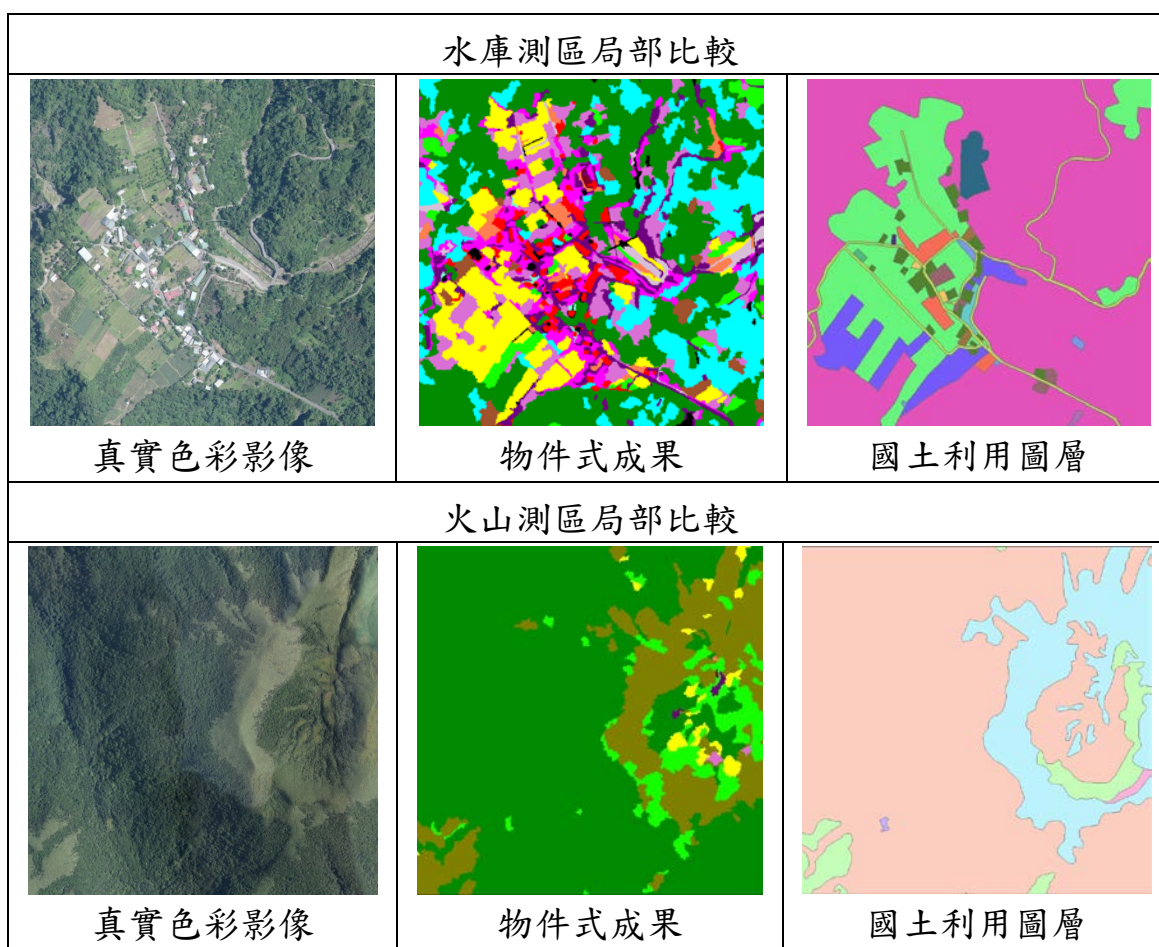


圖 4.91 分類成果與國土利用調查圖層比較

#### 4-6.3 物件式分類與像元式分類比較分析

針對物件式分類與像元式分類的成果進行比較(表 4.50)，資料均是融合高光譜及光達特徵作為分類依據，其中像元式分類使用最大概似法為分類法則，而物件式分類以最小距離法做為分類法則。成果中可發現區塊的概略輪廓可相互對應，唯像元式分類的成果較物件式分類有嚴重的椒鹽效應，導致像元式分類在某一類區域中常會散佈其他類別，例如在果園中存在草地，或竹林穿插在森林，使各個類別的邊界不完整；而物件式分類成果則可以明確看出各地物的區塊性，並區別兩類別間的邊界，以完整的區塊呈現(如圖 4.92)。因此，物件式分類的成果較像元式分類的成果更適合用於區塊與範圍的判斷。



表 4.50 融合影像像元式與物件式分類成果精度總表

測區位置	火山測區		水庫測區測區	
分類基礎	像元式分類	物件式分類	像元式分類	物件式分類
資料型態	融合影像[整合光譜與光達資料]			
分類方法	最大概似法	最小距離法	最大概似法	最小距離法
國土利用地物類別	13	13	15	15
整體精度	80.56%	82.60%	78.40%	81.68%
KAPPA 值	0.76	0.78	0.75	0.79
檢核類別	13	13	15	15

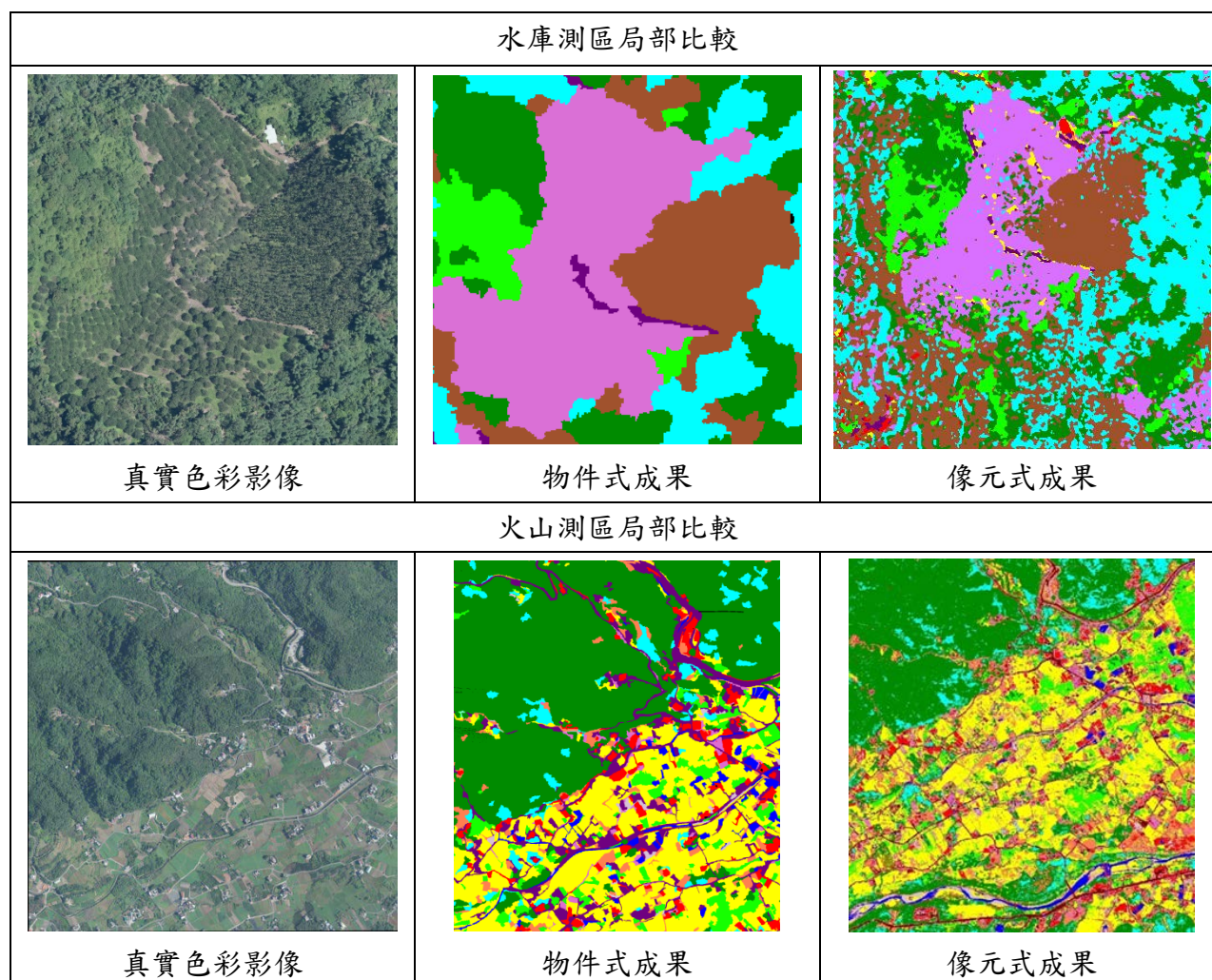


圖 4.92 物件式成果與像元式成果比較

#### 4-6.4 高光譜影像外業檢核

本研究針對高光譜影像分類結果進行外業調查，外業調查方式分為兩部分，一為地物屬性調查，一為平面精度調查。屬性調查結果將作為高光譜影像檢核樣區之一部分，而平面精度調查將於現地調查中測量地物之實際平面距離，了解高光譜影像之實際平面距離與高光譜影像中之測量距離是否有所差異。高光譜影像外業屬性調查成果如圖 4.93。

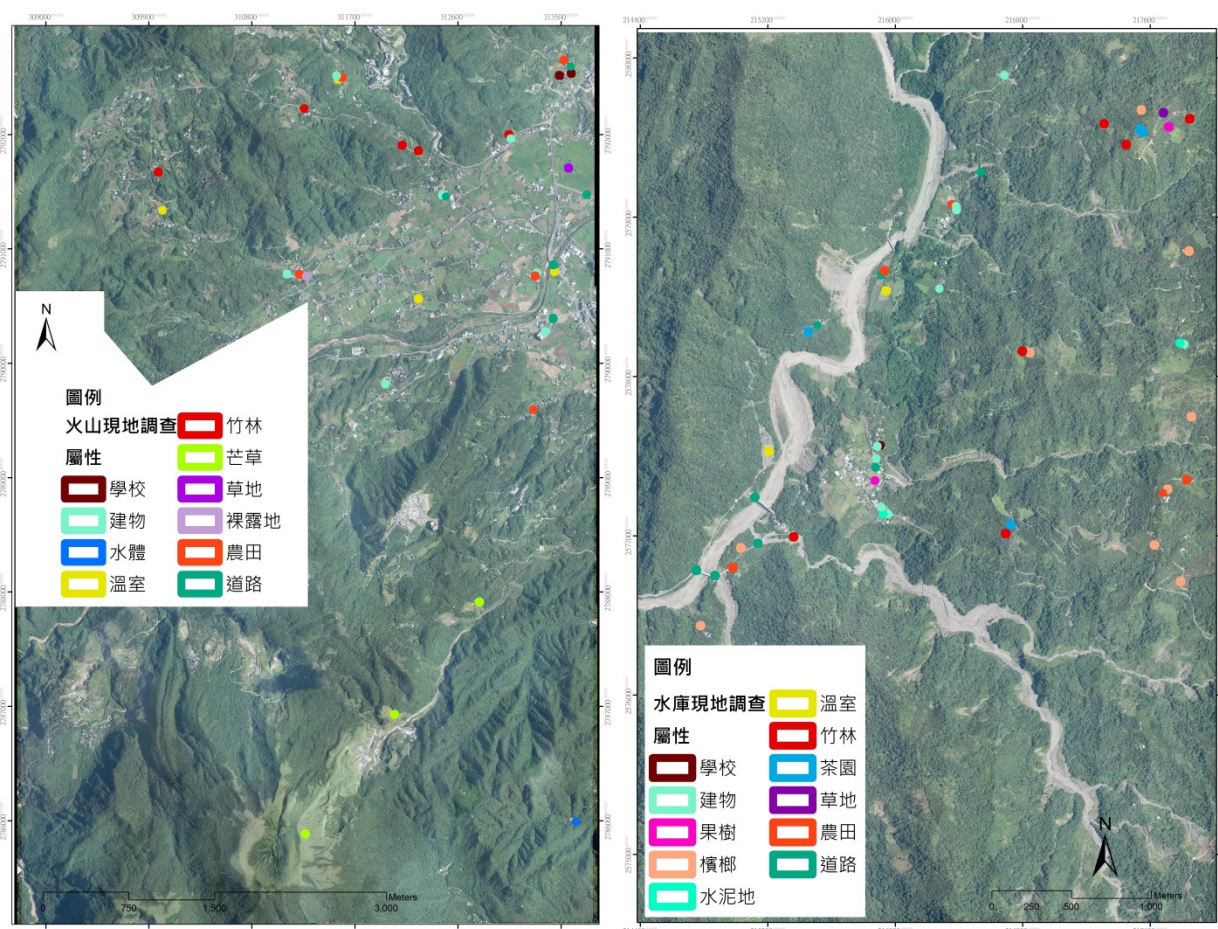


圖 4.93 高光譜影像分類外業屬性調查示意圖

##### 4-6.4.1 高光譜影像現地屬性調查

根據合約規範，本次高光譜影像分類之外業屬性調查部分，火山與水庫測區根據要求皆為 30 個屬性點，考量地物分佈與交通可及與安全性考量，先於內業進行路線與地物規劃並增加備選方案，現地調將依實際環境與現況(道







路改變、突發狀況)進行調整與修正。現地調查時間為 103 年 8 月 18-22 日分別至火山與水庫測區進行現地調查，其現地的地物屬性調查依據，主要根據高光譜影像分類之目標進行隨機選取，除了隨機選取調查目標物外，另一挑選重點在於正射影像較無法明確判釋之地物，如竹林與較難分辨之草皮，最後於現地 10×10(公尺)大小範圍內進行調查。兩測區屬性調查點幾乎分布整個圖幅，曾文測區由於下方圖幅之道路部分產業道路中斷且過於窄小，基於安全考量捨棄下方原先規畫之調查點，實為本次調查限制之一。

此外現地調查中會依實際地物進行紀錄，爾後再依據紀錄進行國土利用調查層級調整，例如：現地調查為薑田，依據國土利用調查之層級視為農田，以此類推其餘地物。最終在火山測區共得到 38 個位置點查點，水庫測區獲得 53 個位置調查點。其地物調查屬性成果表可參見表 4.51，其餘現地調查之實際狀況照片請參考附件六。最後的整理成果將作為高光譜影像檢核樣區。

根據外業調查結果，將其地物屬性資料彙整，一併納入高光譜影像分類成果檢核樣區內，以圖 4.94 為例，測區內調查之屬性成果，由於植被地物之邊界線難以界定加上建物又有部分高差位移之情形發生，考量結果將依當初規畫之 10×10(m)大小方框，放置於高光譜影像內作為檢核成果，但並非所有地物皆能有 10×10(m)大小之面積，例如矮小建物、局部作物、少量的植被分佈等，這時將依現地地物大小，進行影像中檢核樣區面積的調整。

表 4.51 地物屬性調查成果表

火山測區(共 38 個位置)		水庫測區(共 53 個位置)	
屬性	備註(次屬性)	屬性	備註(次屬性)
學校	操場	學校	操場
建物	廟宇涼亭、寺廟	建物	-
水泥地	-	果樹	芭蕉樹、油茶
水體	魚塭	水泥地	-
溫室	-	溫室	-
竹林	蔴竹、蔴竹	竹林	蔴竹、蔴竹、桂竹
芒草	-	草地	-
草地	-	裸露地	-
裸露地	-	農田	甘蔗、稻田、薑、布袋蓮
農田	苗圃、稻田	道路	-
道路	-		

火山測區		
		
		
學校	草地	溫室

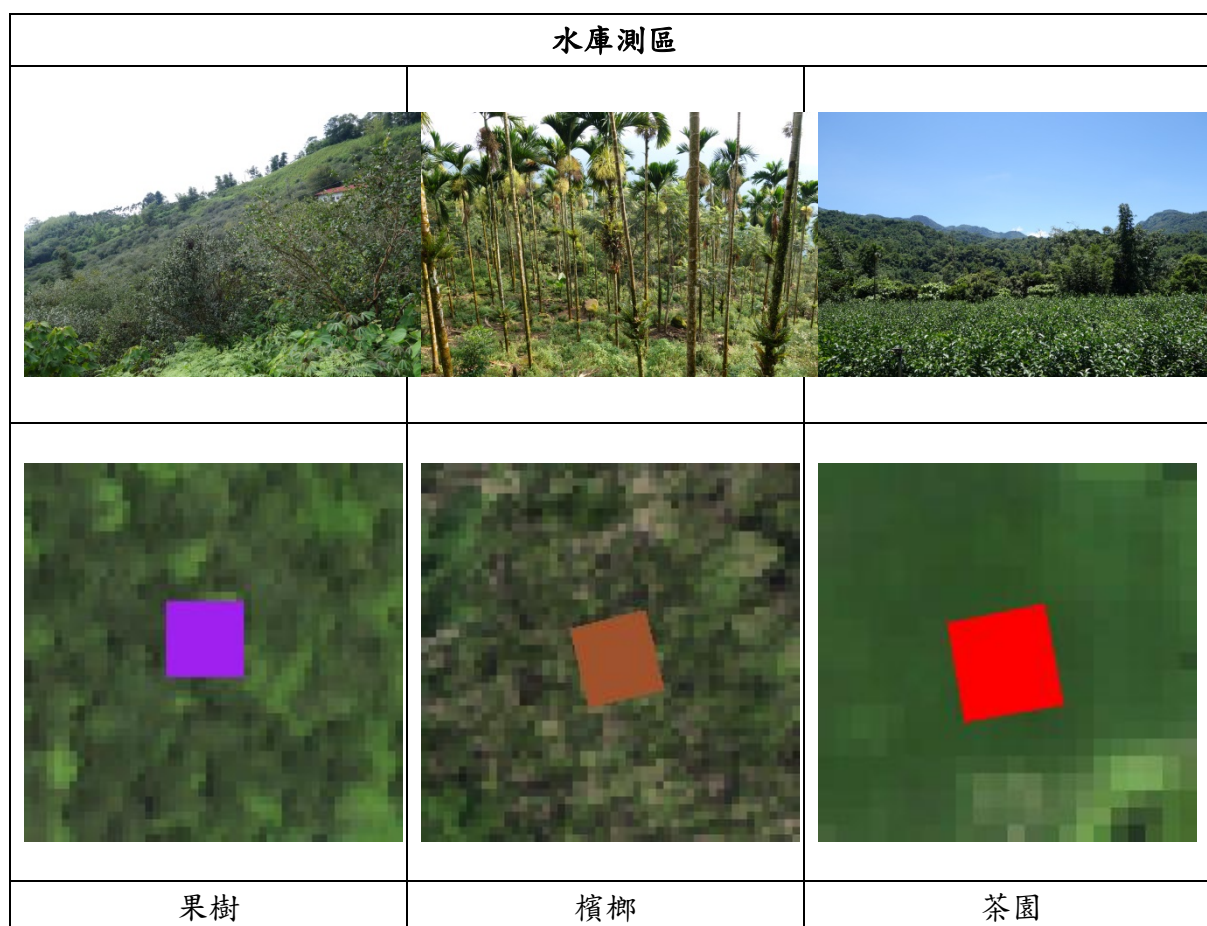


圖 4.94 高光譜影像分類外業屬性調查與高光譜檢核樣區示意圖

#### 4-6.4.2 高光譜影像現地平面測量

本部分主要在於了解高光譜影像透過實際現地測量與影像上的距離彼此之間的差量。現地調查工具採用皮捲尺測量，測量現地實際道路寬度或田地坵塊邊長或建物邊長，進而比對高光譜影像上之距離。同樣地，本次測量與上述地物屬性調查一同作業，並尋找合適之地物測量位置，共調查 30 個位置，並在這 30 個位置內尋找合適的地物角點進行測量，最後共獲得火山測區與水庫測區共 54 個平面位置的測量。其兩測區現地調查位置如圖 4.95~圖 4.96 所示。本作業挑選之位置盡量是以有明確的角點，可清楚擺放皮捲尺進行測量，皮捲尺擺放後，針對兩角點中間區域檢查皮捲尺是否呈現水平與拉緊，最後各角點之間的距離均來回各測量一次，以降低人為因素所造成的誤差。最後結果顯示，兩測區現地調查所測量的距離與影像上的距離顯示皆在 1 公尺以內(參見表 4.52)，與 102 年度高光譜影像之平面精度 1-2 公尺成果相符合。

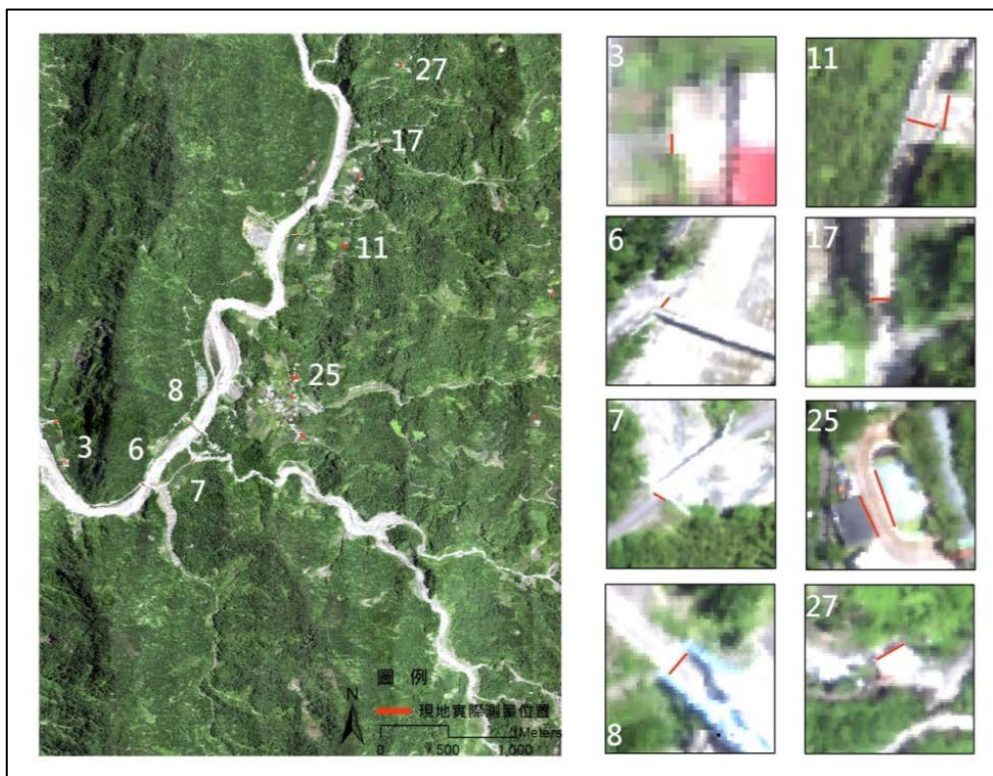


圖 4.95 水庫測區平面距離測量示意圖

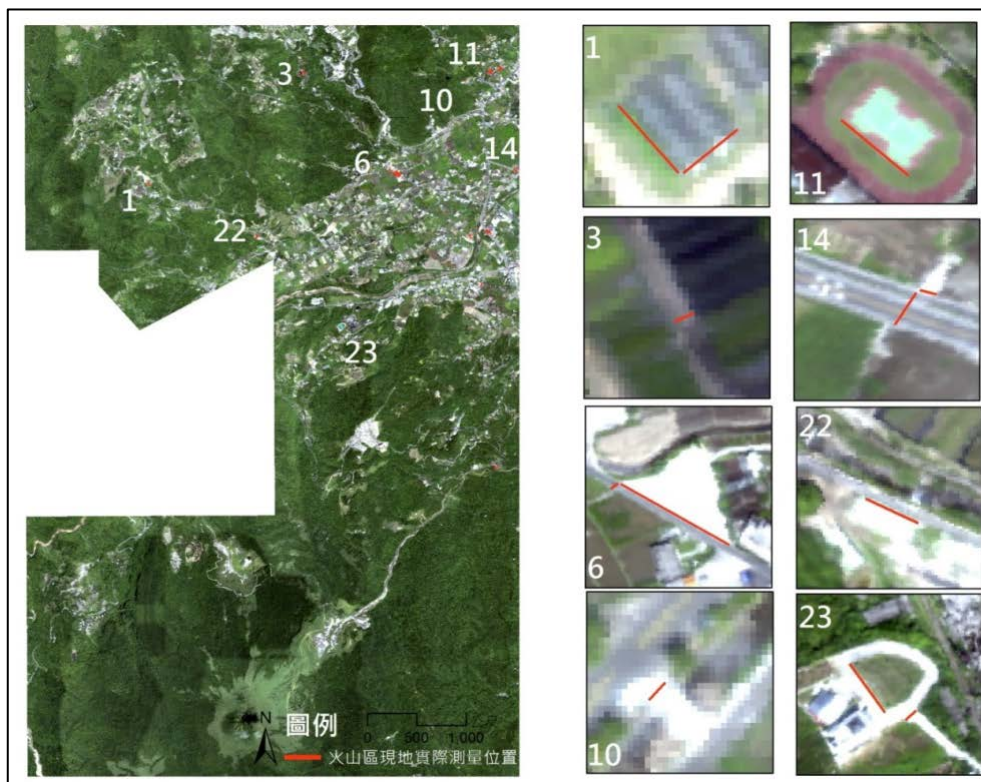


圖 4.96 火山測區平面距離測量示意圖

表 4.52 地物平面距離調查成果表

	火山測區			水庫測區		
	現地測量(m)	影像距離(m)	差量(m)	現地測量(m)	影像距離(m)	差量(m)
1	9.98	10.10	-0.12	13.90	13.10	0.80
2	13.64	13.13	0.51	3.56	3.67	-0.11
3	3.45	3.70	-0.25	3.43	2.94	0.49
4	3.92	4.21	-0.29	5.83	6.03	-0.20
5	19.40	20.33	-0.93	5.35	5.05	0.30
6	71.14	71.83	-0.69	7.04	7.81	-0.78
7	5.41	5.62	-0.21	7.25	8.14	-0.89
8	8.09	8.14	-0.04	7.95	8.01	-0.06
9	7.45	8.68	-1.23	4.11	4.41	-0.30
10	4.41	4.26	0.15	8.15	8.34	-0.19
11	31.92	31.58	0.34	7.91	8.35	-0.44
12	27.98	28.08	-0.10	7.39	7.17	0.22
13	15.08	14.95	0.12	8.51	8.65	-0.14
14	14.22	14.14	0.08	12.00	12.01	-0.01
15	6.10	6.31	-0.21	6.11	6.04	0.07
16	26.14	25.86	0.28	8.82	9.15	-0.33
17	11.79	11.16	0.63	5.50	4.92	0.58
18	8.97	8.95	0.02	4.53	5.05	-0.52
19	11.92	11.31	0.62	9.76	9.41	0.35
20	5.09	5.60	-0.51	12.94	12.01	0.94
21	14.93	15.28	-0.35	9.73	9.09	0.64
22	20.59	21.13	-0.53	16.44	16.39	0.05
23	44.62	43.95	0.67	12.55	12.86	-0.30
24	10.76	10.49	0.27	6.93	6.41	0.52
25	11.52	11.20	0.32	22.03	22.36	-0.33
26	5.74	6.54	-0.80	17.75	16.76	0.99
27	13.66	13.05	0.61	11.23	11.95	-0.71

## 4-6.5 小結

由土地覆蓋類類別之探討，分類中發現，部分地物之性質過於接近，導致分類器在分類過程中錯亂，致使分類精度較差，例如水庫測區之裸露地、河道與部分農田，這三者之光譜性質幾近一致，皆為裸土。差別在於其土地利用與覆蓋型態的不同，這主要在於人為主觀定義，但就其光譜分類上時為同一地物，若要用其土地利用方式強行分類其實具有一定難度，建議後續分類上可先分為同一類後，再細分其屬性。

### 1.分類特徵之探討：

a.光譜特徵：本研究之光譜特徵採用了 NDVI、EVI 與 WBI，過往研究 NDVI 被廣泛使用，本次使用 NDVI 在兩測區分類中確實有助於提升整體精度，證明 NDVI 確實為一種較穩定且通用之指標。而 WBI 在火山測區與水庫測區之成效大為不同，WBI 是一個偵測樹冠水分敏感狀況的指標，可利用此指標對森林火災情況分析、耕地管理與生態系統生理進行研究。本研究中使用 WBI 指標，水庫測區之分類結果明顯高於火山測區，初步推測主要原因可能是水庫測區大都為山區，又擁有許多不同的植被，而火山測區一半皆為都市，植被種類較少，因此 WBI 指標在火山測區較無法凸顯其作用，顯示 WBI 指標較適合用在森林區域或大面積植被區域，而 EVI 為增強型之植被指數，利用藍光的反射率來校正土壤背景信號和降低大氣影響，但在此次像元式分類實驗中，對於提升分類精度之效果較不明顯，未來可在測試於其他研究區域中是否有明顯提升之作用。

b.紋理特徵萃取之方式：透過像元式分類之部分實驗結果可發現，紋理特徵受其視窗大小尺寸之影像，顯示在萃取紋理特徵時，視窗大小的決定是一重要因素，因此未來也可針對紋理特徵萃取之視窗大小決定做一探究，找出合適之方法決定紋理視窗大小，產製合適之紋理特徵再結合後續應用分析研究。



c.多光譜影像與高光譜影像的光譜特徵：多光譜影像採用 WorldView-2 多光譜衛星影像，並根據測試結果的精度報表，發現由於針對植被的類別區分較細，多光譜的整體表現較高光譜影像差，兩者成果比較後可以看出採用高光譜影像的分類成果有顯著的進步，因此可以確定使用高光譜影像能有效提升分類成果的精度。

## 2.分類成果之探討：

a.針對物件式分類與像元式分類的成果進行比較，資料均是融合高光譜及光達特徵作為分類依據，其中像元式分類使用最大概似法為分類法則，而物件式分類使用最小距離法做為分類法則，分類成果顯示，物件式分類整體精度均比像元式佳，成果中可發現區塊的概略輪廓可相互對應，唯像元式分類的成果較物件式分類有嚴重的椒鹽效應，導致像元式分類在某一類區域中常會散佈其他類別。因此，物件式分類的成果較像元式分類的成果更適合用於區塊與範圍的判斷。

b.像元式影像分類結束後，皆使用 majority 中 3×3 視窗方式處理零碎像元之問題，但兩測區之地物與零碎程度較為複雜且變化多，尤其水庫測區之植被生長情形多為穿插與交互使用，即使使用 majority 功能處理，其零碎像元還是大量存在，可能較不易作為後續向量式圖層管理。

c.套合影像分類成果與國土利用調查圖層相較之下，植被地區的物種細節表現較為詳細，物件式的分類成果以區塊方式呈現，不易產生椒鹽效應，可看出許多分類成果的區塊，與國土利用調查圖層的內容可以較完整的疊合，驗證以物件式的分類方法及成果可對國土利用調查提供更完整的資訊。雖分類精度良好且具備完整區塊，然而此成果乃是提供土地覆蓋(Land cover)，此資訊主要可用以國土利用調查初步分類，至於在土地利用(Land use)的分類(如不同建築物內部使用情況)仍需以人工進行調查，無法透過自動分類完成。

### 3.整合效益之探討：

a.光譜分類以光譜特徵為主，而光達資料可提供地物高程資訊，有助地面及地上物之分類，如建築物較道路高。因此使用光譜偵測人造建物後，加入光達地物高程資訊，可有效區別建築物、道路等。

b.光譜特徵仰賴植物的葉綠素含量區別植生及非植生，因此草地及樹林不易區別；而光達使用多重回波特性的計算回波率，其中草地多重回波率低，樹林多重回波率高。因此使用光譜偵測植生區域，加入光達多重回波率，可有效區別森林、竹林、果園、草地等。

## 第5章 結論與建議

### 5-1 結論

1. 本案延續使用內政部於 101 年及 102 年辦理發展高光譜與光達技術結合之應用工作案，所獲取之高光譜影像及空載光達資料，針對本案各項議題精進研發有助於測繪業務更廣泛之應用。結合高光譜與空載光達資料可應用於分析土地覆類別之探討，本案評估融合高光譜與空載光達資料分析土地覆蓋類別，並進一步輔助國土利用調查作業之可行性。土地覆蓋類別之分類成果，使用像元式與物件式分類方式，皆可於二測試區獲得整體精度 78% 以上，與 Kappa 值 0.75 以上之分類成果，物件式分類的成果較像元式分類的成果更適合用於區塊與範圍的判斷。高光譜的光譜特徵仰賴植物的葉綠素含量，可區別植生及非植生，不易區別之草地及樹林，加入光達資料多重回波特性的特性，草地多重回波率低，樹林多重回波率高，可有效區別森林、竹林、果園、草地等。光達的高程資訊，有助地面及地上物之分類，如建築物較道路高。因此使用光譜偵測人造建物，加入光達地物高程資訊，可有效區別建築物、道路等。本案透過高光譜與空載光達兩種資訊之結合，使其在土地覆蓋類別分類上成為更有利的技術。
2. 對於空載光達測繪案產製優良的 DEM，需要有良好的森林穿透率以獲得林下地面點，因此穿透率相關議題之研究有助於未來掃瞄規劃之參考。透過前兩年度的空載光達點雲資料，探討穿透率與衛星影像植生指數之相關性，葉面積指數 LAI 與衛星影像植生指標各別與穿透率皆呈現負相關，表示指標值愈低時穿透率越高，穿透率可以有效反映植生的數量大小。雖然兩者有明顯的負相關，但影像的品質亦會影響推估的結果，故後續可以測試更多的影像糾正模式，並探討其他植生指標對於穿透率之關聯性，達成正規化植生指標的目標。本案在建立福衛二號、SOPT5、WorldView2、GeoEye 等衛星影像可反推穿透率，植生指標與穿透率之關聯程度以 r 值整體趨勢為 SPOT5 優於 FS2，而 Geoeye 與 WorldView2 之 r 值差異不大，是否為影像網格大小所影響，亦為未來可以探討的主題。本案對於穿透率

研究方向的擴展，利用今年度 103 年所獲取的 4 個時期之地面光達資料，模擬空載光達雷射發射之特性，達成穿透率之推估，雖於觀測期間 4 月至 10 月內，4 期穿透率呈現差異不明顯，可能的原因是二測試區位於低海拔，森林多為常綠性樹種，掃瞄期間落葉量不明顯或非落葉的時期，後續將收集冬季末的資料，是否在冬季落葉期有明顯差異，將在未來以投稿文章的方式發表內容。

3. 針對 102 年度獲取高密度空載光達資料，其資料特性有利於細微的地形特徵展現，本案以空載光達技術測繪林下產業道路，結果顯示光達資料疏化至點雲密度 1.3 點/平方公尺，DEM 成果僅判釋 65% 之林下產業道路，且道路邊界產生較多大於 1~2 公尺以上的誤差量。目前國內常見之空載光達點雲密度為 1~2 點/m<sup>2</sup>，故推估僅使用約 60~70% 空載光達資料可達之效能，提高點雲密度可以有效增加道路的正确性。本案道路邊界皆為人工逐一判釋數化之成果，需花費比較多判釋時間，後續建議可利用影像邊緣偵測技術，測試半自動化數化以提升判釋效率。透過本項應用成果可刺激未來空載光達資料品質的提升是一個可以努力的方向。
4. 光達數值地形為土砂災害、國土監測等重要的應用，利用多期光達數值地形進行集水區土砂變異分析，可有效掌握土砂侵淤量體與趨勢。光達數值地形可進行崩塌地與坡面之水系分析，唯針對地表下之人工構造物如箱涵等排水管線位置，需進行數值地形編修，以此方式建立水文編修後之光達數值地形(Hydro Enforced Lidar DEM)，方能提升水系分析之準確度。經分析崩塌地之水系變異區位，尤其是屬逐漸擴大之水系，其下游水系匯集處，常為下一次災害發生之熱點，透過崩塌地之水系變異區位可有效掌握可能之土砂災害熱區，以為防災對策及復建工程配置參考。

## 5-2 建議

1. 建議當使用衛星影像推估植生指標時需經過大氣糾正來減少誤差的存在，本案使用 4 種衛星影像解析度各不同，均有良好的植生指標推估成果，故衛星影像取得上是便利的，可以考慮之影像種類亦較多。在穿透率與植生

- 指標的關係建構，雖然兩者有明顯的負相關，但影像的品質亦會影響推估的結果，故後續可以測試更多的影像糾正模式，並探討更多其他植生指標對於穿透率之關聯性，達成正規化植生指標的目標，或是測試各種大氣條件下其植生指標反映的穿透率為何，將更深入探討兩者之關聯性。
2. 本案利用多期光達數值地形進行集水區土砂變異分析，可有效掌握土砂侵淤量體與趨勢，建議後續可針對山區聚落主要聯外或替代道路之崩塌地持續進行地表光達測量或無人載具空拍，建立特定崩塌地範圍之多期數值地形資料，持續觀測崩塌發育與水系變異之關係。目前水文編修後之光達數值地形(Hydro Enforced Lidar DEM)之編修作業尚未建立相關之作業準則，為建立統一資料品質與規格，建議後續可針對徵詢產官學意見，建立水文編修後之光達數值地形(Hydro Enforced Lidar DEM)編修作業準則。
  3. 本案以多航帶整合後的光達資料進行土地覆蓋分類，以往光達資料多著重在幾何特徵，因此多航帶光達已完成嚴密的幾何套合。受限於以後光達反射值多使用於視覺展示，故以往進行多航帶光達反射值的輻射套合，導致航帶間反射值存在不一致的現象。因本案使用波形光達系統，有條件進行輻射正規化，建議未來進行光達輻射正規化，以提升光達的應用性。
  4. 本年度工作目標為土地覆蓋分類，主要應用於國土利用調查初步分類。從資料更新的角度思考，國土利用圖之更新是必要的工作，建議未來進行高光譜資料之變遷分析。

## 第6章 參考文獻

內政部地政司 (2013) 102 年度發展高光譜與光達技術結合之應用工作案。

內政部地政司(2012) 101 年度發展高光譜與光達技術結合之應用工作案。

史天元(2001)高光譜影像分析及應用之研究—影像分類與光譜分離技術研究，計畫編號：NSC89-2211-E-009-042，行政院國家科學委專題研究計畫成果報告。

何心瑜、陳大科、史天元、徐偉城 (2008) 人工編修空載光達資料產製 DEM 成果之探討，航測及遙測學刊，第 13 卷，第 4 期，pp.231-239。

李哲源 (2010) 區塊物件化分類模式於自動化製圖之研究-以水稻田坵塊主題圖為例，逢甲大學碩士論文。

李瑞陽 (2007) 應用高解析度航空影像於大蒜種植面積調查 (1/2)，行政院農業委員會農糧署。

沈志 (1991) 物候學在生態監測中的應用。乾旱環境監測 5(1): 50-52。

林子方 (2013) 以 MODIS 影像數據推估台灣不同林型之夜面積指數，國立屏東科技大學森林系碩士論文。

林莉萍 (2013) 應用空載光達資料估計森林樹冠高度模型及葉面積指數，國立成功大學測量及空間資訊系碩士論文。

張鈞傑(2006)任意頻率調變式雷射測距儀，中央大學光電科學研究所碩士論文。

陳永寬、詹進發、葉堃生、鄭祈全、施瑩瑄(2005)，應用地面雷射掃瞄儀測算樹高之研究，航測及遙測學刊，10(4): 327-336。

陳良健、羅詔元 (2007) 整合光達資料與二維路網重建三維道路模型。航測及遙測學刊 12(2):179-195。

- 陳朝圳、余蘭君 (2003) 南仁山次生林葉面積指數之季節性變化。林業研究季刊 25(4): 75-82.
- 陳繼藩、張立雨、陳哲俊 (2008) 應用衛星影像進行以區塊為基礎之變遷偵測，2008 國土利用調查成果啟用暨學術研討會論文集
- 彭炳勳、謝依達、陳朝圳，2008，空載光達雷射穿透率指數與柳杉林葉面積指數之關係探討，台灣林業科學，第 23 卷，pp.63-73。
- 黃清美、史天元 (2008) 雷射入射角與空載光達穿透率關係探討，航測及遙測學刊，第 13 卷，第 1 期，pp.67-73。
- 黃紹東、徐明鎰、黃英婷、蘇惠璋 (2008) 應用空載光達 (LiDAR) 技術於國土利用調查資料庫建置之研究，第二十七屆測量及空間資訊研討會論文集，pp.393-403。
- 經濟部中央地質調查所 (2010) 莫拉克颱風受災區域之地質敏感特性分析(1/3) 成果報告。
- 謝邦昌、邱志洲 (2000) 類神經網路分析 (Neural Network Analysis)，台北：曉園出版社。
- Akay, A.E. H. Oğuz, I. Rakip and K. Argua, 2009. Using LiDAR technology in forestry activities, Environ Monit Assess, 151: 117-125.
- Anon(1992) LAI-2000 Plant canopy analyzer. Instruction Manual. LI-Cor: 90p.
- Bao, Y. G Li, C. Cao, X. Li, H. Zhang, Q. He, L. Bai, C. Chang, 2008. Classification of LiDAR point cloud and generation of DTM from LiDAR height and intensity data in forested area, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol.37, PartB3b, pp.313-318, Beijing.
- Beyer, W. H (1987) CRC Standard Mathematical Tables, 28th ed. Boca Raton, FL: CRC Press.

- Burrough, P. A., van Gaans, P. F. M., MacMillan, R. (2000) High-resolution landform classification using fuzzy k-means. *Fuzzy Sets and Systems*, 113(1): 37-52.
- Chen J. M and T. A. Black (1992) Defining leaf area index for non-flat leaves. *Plant Cell and Environment*, 15: 421-429.
- Lee, C. C. and C. K. Wang, (2014) ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF FLYING ALTITUDE AND PULSE REPETITION FREQUENCY ON FOREST PENETRATION RATE DERIVED FROM AIRBORNE LASER SCANNING. The International Symposium on Remote Sensing 2014, Busan, Korea.
- Colombo, R., D. Bellingeri, D. Fasolini, and C. M. Marino (2003) Retrieval of leaf area index in different vegetation types using high resolution satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 86: 120-131.
- CSES (1992) Atmosphere REMoval Program(ATREM) User's Guide, Version 1.1, Center for the study of Earth from Space, Boulder, Colo., 24.
- Curran, P. J. J. L. Dungan, H. L. Gholz, (1992) Seasonal LAI in slash pine estimated with landsat TM. *Remote Sensing of Environment*, 39:3-13.
- D. Lemp and U. Weidner (2005) Improvements of roof surface classification using hyperspectral and laser scanning data, in Proc. ISPRS Joint Conf.: 3rd Int. Symp. Remote Sens. Data Fusion Over Urban Areas (URBAN), 5th International Symposium on Remote Sensing Urban Areas (URS). Tempe, AZ, USA, pp.14-16.
- Dalponte, M. L. Bruzzone, and D. Gianelle (2008) Fusion of hyperspectral and lidar remote sensing data for classification of complex forest areas, *IEEE Transactions on Geoscience and remote sensing*, 46(5): 1416-1427, May 2008.



- Danson, F. M., D. Hetherington, F. Morsdorf, B. Koetz, and B. Allgöwer (2007) Forest canopy gap fraction from terrestrial laser scanning. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 4: 157-160.
- Debes, C. H. Jürgen, L. Wenzhi, G. Sidharta and D. Qian (2014) Hyperspectral and LiDAR Data Fusion: Outcome of the 2013 GRSS Data Fusion Contest, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*.
- Dingle, R. L. and K. J. Douglas (2011) Comparison of pixel- and object-based classification in land cover change mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 32(6): 1505-1529.
- Duro, D.C., S. E Franklin and M.G Dube (2012) Multi-scale object-based image analysis and feature selection of multi-sensor earth observation imagery using random forests. *Int. J. Remote Sens*, 33: 4502-4526.
- Ebata, M and R. Tateishi (2001) Phenological stage monitoring in Siberia by using NOAA/ AVHRR data . The 22nd Asian Conference on Remote Sensing: 529. November 2001, Singapore.
- Ebata, M. and R. Tateishi, 2001. Phenological stage monitoring in Siberia by using NOAA/ AVHRR data. The 22nd Asian Conference on Remote Sensing: 529. November 2001, Singapore.
- F. Elaksher (2008) Fusion of hyperspectral images and lidar-based DEMs for coastal mapping. *Optics Lasers Eng*, 46(7): 493-498.
- Farid, A. D.C. Goodrich, R. Bryant, and S. Sorooshian, (2008) Using airborne to predict Leaf Area Index in cottonwood trees and refine riparian water-use estimates, *Journal of Arid Environments*, 72(1): 1-15.
- Gamba, P. (2014) Image and data fusion in remote sensing of urban areas: status issues and research trends, *International Journal of Image and Data Fusion*,

5(1): 2-12.

Guo, L., Chehata, N., Mallet, C and Boukir, S (2011) Relevance of airborne lidar and multispectral image data for urban scene classification using Random Forests. ISPRS-J. Photogramm. Remote Sens. 66: 56-66.

Hakala, T. J. Suomalainen, S. Kaasalainen and Y. Chen, Y(2012) Full waveform hyperspectral LiDAR for terrestrial laser scanning, Optics Express, 20(7): 7119-7127.

IEEE, (2014) IEEE GRSS Data Fusion Contest Outcome of the Classification Contest,  
url:[http://cucciolo.dibe.unige.it/IPRS/IEEE\\_GRSS\\_IADFTC\\_2014\\_Classification\\_Contest\\_Results.htm](http://cucciolo.dibe.unige.it/IPRS/IEEE_GRSS_IADFTC_2014_Classification_Contest_Results.htm).

Ifarraguerri, A and C.I. Chang (2000) Unsupervised hyperspectral image analysis with projection pursuit. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing 38: 2529-2538.

Irvin, B. J., S. J. Ventura and B. K. Slater (1997) Fuzzy and isodata classification of landform elements from digital terrain data in Pleasant Valley, Wisconsin. Geoderma, 77: (2-4): 137-154.

Ke, Y. H., L. J. Quackenbush, and J. Im (2010) Synergistic use of QuickBird multispectral imagery and LIDAR data for object-based forest species classification. Remote Sens. Environ. 114: 1141-1154.

Koetz, B. G. Sun, F. Morsdorf, K. J. Ranson, M. Kneubler and K. Itten (2007) Fusion of imaging spectrometer and lidar data over combined radiative transfer models for forest canopy characterization. Remote Sensing of Environment, 106(4): 449-459.

Lee, M. (2003) Benthic mapping of coastal waters using data fusion of hyperspectral imagery and airborne laser bathymetry. Ph.D. dissertation, University of Florida. Gainesville, Florida, p119.

- Miao, X., P. Gong, S. Swope, R. L. Pu, R. Carruthers, G. L. Anderson, J. S. Heaton and C. R. Tracy (2006) Estimation of yellow starthistle abundance through CASI-2 hyperspectral imagery using linear spectral mixture models. *Remote Sens. Environ.* 101: 329-341.
- Morsdorf, F. O. Frey, E. Meier, K. I. Itten, and B. Allgöwe, 2008. Assessment of the influence of flying altitude and scan angle on biophysical vegetation products derived from airborne laser scanning, *International Journal of Remote Sensing*, 29(5): 1387-1406.
- Morsdorf, F., O. Frey, E. Meier, K. I. Itten and B. Allgöwer (2006) Assessment of the influence of flying altitude and scan angle on biophysical vegetation products derived from airborne laser scanning, *3D Remote Sensing in Forestry Workshop*: 1387-1406 . February 2006, Vienna, Autriche.
- Morsdorf, F., O. Frey, E. Meier, K. I. Itten and B. Allgöwer, 2006. Assessment of the influence of flying altitude and scan angle on biophysical vegetation products derived from airborne laser scanning, *3D Remote Sensing in Forestry Workshop*: 1387-1406. February 2006, Vienna, Autriche.
- Moser, G. D. Tuia and M. Shimoni (2014) *IEEE GRSS Data Fusion Contest: Multiresolution Fusion of Thermal Hyperspectral and VIS Data*”, *IEEE Geoscience and remote sensing magazine*, 3: 21-22. March 2014.
- Myint, S. W., P. Gober, A. Brazel, S. Grossman-Clarke and Q. H. Weng (2011) Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery. *Remote Sens. Environ.* 115: 1145-1161.
- Næsset, E. (2009) Effects of different sensors, flying altitudes, and pulse repetition frequencies on forest canopy metrics and biophysical stand properties from small-footprint airborne laser data, *Remote Sensing of Environment*, 113(1): 148-159.
- Prasad, S and L.M. Bruce (2008) *Limitations of Principal Components Analysis*

- for Hyperspectral Target Recognition. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* 5: 625-629.
- Qihao (2011) *Advances in Environmental Remote Sensing*, CRC Press. pp.221
- Schmidt, J. and A. Hewitt (2004) Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position. *Geoderma*, 121(3-4): 243-256.
- Shaw, G and D. Manolakis (2002) Signal processing for hyperspectral image exploitation. *IEEE Signal Process. Mag.* 19: 12-16.
- Shimoni, M. G. Tolt, C. Perneel, and J. Ahlberg (2011) Detection of vehicles in shadow areas, in *Proc. 3rd Workshop Hyperspectral Image Signal Process.: Evol. Remote Sens. (WHISPERS)* pp.1–4.
- Song, M., D. L. Civco and J. D. Hurd (2005) A competitive pixel-object approach for land cover classification. *International Journal of Remote Sensing*, 26(22): 4981-4997.
- Sugumaran, R. and M. Voss (2007) Object-oriented classification of lidar fused hyperspectral imagery for tree species identification in an urban environment, in *Proc. Urban Remote Sensing, Joint Event (JURSE)*. Paris, France, pp. 1-6.
- Swatantrana, R. Dubayaha, D. Robertsb, M. Hoftona, and J. B. Blairc (2011) Mapping biomass and stress in the Sierra Nevada using lidar and hyperspectral data fusion, *Remote Sensing of Environment*, 115(11): 2917-2930.
- Tuley, J. and N. Vandapel (2005) *Analysis and Removal of artifacts in 3-D LADAR Data*, Robotics Institute, Carnegie Mellon University. PP.13
- Vargas, L. A., Andersen, M. N., Jensen, C. R. and Jørgensen, U., 2002. Estimation of leaf area index, light interception and biomass accumulation of *Miscanthus sinensis* “Goliath” from radiation measurements. *Biomass and Bioenergy*, 22:1-14.

- Vargas, L. A., M. N. Andersen, C. R. Jensen and U. Jørgensen (2002) Estimation of leaf area index, light interception and biomass accumulation of *Miscanthus sinensis* "Goliath" from radiation measurements. *Biomass and Bioenergy*, 22:1-14.
- Wang, L., W. P. Sousa and P. Gong (2004) Integration of object-based and pixel-based classification for mapping mangroves with IKONOS imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 25(24): 5655-5668.
- Weiss, M., F. Baret, G. J. Smith, I. Jonckheere, and, P. Coppin (2004) Review of methods for in situ leaf area index (LAI) determination-Part II: Estimation of LAI, errors and sampling. *Agric. For. Meteorol.* 121(1/2): 37-53.
- Xing, J., Bravo, C., Jancsok, P.T., Ramon, H., and De Baerdemaeker, J.(2005) Detecting bruises on 'Golden Delicious' apples using hyperspectral imaging with multiple wavebands. *Biosyst. Eng.* 90: 27-36.
- Zhang, C.Y., and Z. X. Xie (2012) Combining object-based texture measures with a neural network for vegetation mapping in the Everglades from hyperspectral imagery. *Remote Sens. Environ.* 124: 310-320.
- Zhao, K. Sorin Popescu, 2009. Lidar-based mapping of leaf area index and its use for validating GLOBCARBON satellite LAI product in a temperate forest of the southern USA, *Remote Sensing of Environment*, 113(8): 1628-1645.

## 附件一

地面光達各期各測站絕對中心點坐標及精  
度

## 第一期

### 水庫測區第一處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>S1-1</b>	2579912.5237	216522.5550	471.4652	1.0000
<b>S1-2</b>	2579912.8981	216516.2121	471.1526	1.0000
<b>S1-3</b>	2579906.9307	216515.9280	470.9707	1.0000
<b>S1-4</b>	2579907.9855	216522.4872	471.3177	1.0000

### 水庫測區第一處精度報表

總覘標數	<b>20</b>
不使用覘標數	<b>4</b>
平均偏差	<b>3.7 mm</b>
標準偏差	<b>1.8 mm</b>
最大偏差	<b>7.2 mm</b>

### 水庫測區第二處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>S2-1</b>	2578864.8124	215942.9259	321.4256	1.0000
<b>S2-2</b>	2578862.3253	215944.2189	321.1210	1.0000
<b>S2-3</b>	2578862.2360	215940.3490	320.7655	1.0000
<b>S2-4</b>	2578867.6466	215939.8682	322.4437	1.0000
<b>S2-5</b>	2578870.0898	215939.2008	322.8635	1.0000

### 水庫測區第二處精度報表

總覘標數	<b>26</b>
不使用覘標數	<b>0</b>
平均偏差	<b>5.2 mm</b>
標準偏差	<b>2.6 mm</b>
最大偏差	<b>10.4 mm</b>

### 水庫測區第三處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>S3-2</b>	2577926.1312	216055.8070	424.0598	1.0000
<b>S3-3</b>	2577921.6031	216060.5216	426.2611	1.0000
<b>S3-4</b>	2577916.6335	216057.3229	426.4222	1.0000
<b>S3-5</b>	2577923.1859	216052.9199	423.9425	1.0000

### 水庫測區第三處精度報表

總覘標數	<b>17</b>
不使用覘標數	<b>0</b>
平均偏差	<b>3.1 mm</b>
標準偏差	<b>1.0 mm</b>
最大偏差	<b>4.2 mm</b>



火山測區第一處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>T1-1</b>	2787188.6523	310634.9062	406.85460	1.0000
<b>T1-2</b>	2787185.7520	310630.0138	408.20300	1.0000
<b>T1-3</b>	2787184.3282	310635.9605	407.71220	1.0000
<b>T1-4</b>	2787190.6938	310630.3472	407.16990	1.0000
<b>T1-5</b>	2787191.2705	310638.4633	406.52710	1.0000

火山測區第一處精度報表

總覘標數	<b>25</b>
不使用覘標數	<b>0</b>
平均偏差	<b>5.3 mm</b>
標準偏差	<b>1.6 mm</b>
最大偏差	<b>8.7 mm</b>

火山測區第二處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>T2-1</b>	2788548.5799	311634.4848	207.11430	1.0000
<b>T2-3</b>	2788548.3595	311629.6382	209.55480	1.0000
<b>T2-4</b>	2788543.4449	311635.5583	209.93690	1.0000
<b>T2-5</b>	2788539.9140	311630.4394	210.79320	1.0000

火山測區第二處精度報表

總規標數	<b>24</b>
不使用規標數	<b>1</b>
平均偏差	<b>5.3 mm</b>
標準偏差	<b>1.3 mm</b>
最大偏差	<b>6.9 mm</b>

火山測區第三處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>T3-1</b>	2788269.9939	312107.2054	335.16440	1.0000
<b>T3-2</b>	2788271.5586	312103.8310	335.29420	1.0000
<b>T3-3</b>	2788265.6161	312106.8732	335.15780	1.0000
<b>T3-4</b>	2788267.6198	312109.0248	335.22460	1.0000
<b>T3-5</b>	2788267.0949	312112.5184	333.79190	1.0000

火山測區第三處精度報表

總規標數	<b>21</b>
不使用規標數	<b>0</b>
平均偏差	<b>6.8 mm</b>
標準偏差	<b>3.0 mm</b>
最大偏差	<b>11.6 mm</b>

#### 火山測區第四處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>T4-1</b>	2789047.3705	313187.2597	108.84380	1.0000
<b>T4-2</b>	2789050.0522	313183.3321	106.67130	1.0000
<b>T4-3</b>	2789055.0400	313189.8717	106.07050	1.0000
<b>T4-4</b>	2789056.0432	313183.2924	104.93810	1.0000

#### 火山測區第四處精度報表

總覘標數	<b>17</b>
不使用覘標數	<b>0</b>
平均偏差	<b>4.0 mm</b>
標準偏差	<b>0.9 mm</b>
最大偏差	<b>6.0 mm</b>

## 第二期

### 水庫測區第一處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>S1-1</b>	2579912.4755	216522.6755	471.3780	1.0000
<b>S1-2</b>	2579912.9957	216516.1095	470.9941	1.0000
<b>S1-3</b>	2579906.8056	216515.8035	470.9055	1.0000
<b>S1-4</b>	2579907.9332	216522.6182	471.2461	1.0000

### 水庫測區第一處精度報表

總覘標數	<b>20</b>
不使用覘標數	<b>3</b>
平均偏差	<b>4.2 mm</b>
標準偏差	<b>1.5 mm</b>
最大偏差	<b>6.0 mm</b>

### 水庫測區第二處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>S2-1</b>	2578864.6395	215942.7983	321.3468	1.0000
<b>S2-2</b>	2578862.6146	215944.0135	321.1591	1.0000
<b>S2-3</b>	2578862.1678	215940.3966	320.7340	1.0000
<b>S2-4</b>	2578867.6980	215939.7232	322.4779	1.0000
<b>S2-5</b>	2578869.9065	215938.9440	322.9086	1.0000
<b>S2-6</b>	2578864.6395	215942.7983	321.3468	1.0000

水庫測區第二處精度報表

總覘標數	<b>26</b>
不使用覘標數	<b>1</b>
平均偏差	<b>5.3 mm</b>
標準偏差	<b>2.6 mm</b>
最大偏差	<b>10.3 mm</b>

水庫測區第三處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>S3-2</b>	2577926.1705	216055.7086	423.7337	1.0000
<b>S3-3</b>	2577921.4145	216060.6949	426.1792	1.0000
<b>S3-4</b>	2577916.5885	216057.2154	426.1771	1.0000
<b>S3-5</b>	2577923.1288	216052.7451	423.6639	1.0000

水庫測區第三處精度報表

總覘標數	<b>17</b>
不使用覘標數	<b>0</b>
平均偏差	<b>3.1 mm</b>
標準偏差	<b>1.0 mm</b>
最大偏差	<b>4.2 mm</b>

火山測區第一處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>T1-1</b>	2787188.6056	310634.9433	406.7895	1.0000
<b>T1-2</b>	2787185.7691	310630.0098	408.1265	1.0000
<b>T1-3</b>	2787184.2910	310635.9323	407.7034	1.0000
<b>T1-4</b>	2787190.7145	310630.3240	407.1826	1.0000
<b>T1-5</b>	2787191.2402	310638.4580	406.5488	1.0000

火山測區第一處精度報表

總覘標數	<b>25</b>
不使用覘標數	<b>0</b>
平均偏差	<b>1.3 mm</b>
標準偏差	<b>0.6 mm</b>
最大偏差	<b>2.8 mm</b>

火山測區第二處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>T2-1</b>	2788548.5659	311634.5821	206.9788	1.0000
<b>T2-2</b>	2788548.3436	311629.6703	209.6134	1.0000
<b>T2-3</b>	2788543.2836	311635.5338	209.9727	1.0000
<b>T2-4</b>	2788539.8492	311630.3812	210.6968	1.0000
<b>T2-5</b>	2788548.5659	311634.5821	206.9788	1.0000

火山測區第二處精度報表

總規標數	<b>24</b>
不使用規標數	<b>1</b>
平均偏差	<b>4.9 mm</b>
標準偏差	<b>1.4 mm</b>
最大偏差	<b>6.9 mm</b>

火山測區第三處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>T3-1</b>	2788270.0958	312107.1252	335.1920	1.0000
<b>T3-2</b>	2788271.5685	312103.8206	335.3084	1.0000
<b>T3-3</b>	2788265.6866	312106.8721	335.1115	1.0000
<b>T3-4</b>	2788267.7420	312108.9843	335.1601	1.0000
<b>T3-5</b>	2788267.1317	312112.6114	333.8051	1.0000

火山測區第三處精度報表

總規標數	<b>26</b>
不使用規標數	<b>0</b>
平均偏差	<b>3.8 mm</b>
標準偏差	<b>1.0 mm</b>
最大偏差	<b>5.5 mm</b>

#### 火山測區第四處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>T4-1</b>	2789047.3265	313187.2159	108.6403	1.0000
<b>T4-2</b>	2789050.0120	313183.3391	106.5780	1.0000
<b>T4-3</b>	2789054.6666	313189.9555	106.1829	1.0000
<b>T4-4</b>	2789056.0268	313183.2720	104.8184	1.0000

#### 火山測區第四處精度報表

總覘標數	<b>17</b>
不使用覘標數	<b>0</b>
平均偏差	<b>4.0 mm</b>
標準偏差	<b>0.9 mm</b>
最大偏差	<b>6.0 mm</b>



### 第三期

#### 水庫測區第一處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>S1-1</b>	2579912.4826	216522.7294	471.3956	1.0000
<b>S1-2</b>	2579913.0555	216516.2507	471.0684	1.0000
<b>S1-3</b>	2579906.8789	216515.8807	470.8509	1.0000
<b>S1-4</b>	2579907.7923	216522.6456	471.2414	1.0000

#### 水庫測區第一處精度報表

總覘標數	<b>18</b>
不使用覘標數	<b>0</b>
平均偏差	<b>3.6 mm</b>
標準偏差	<b>0.7 mm</b>
最大偏差	<b>5.1 mm</b>

#### 水庫測區第二處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>S2-1</b>	2578864.6468	215943.0307	321.4522	1.0000
<b>S2-2</b>	2578862.5635	215944.0262	321.0885	1.0000
<b>S2-3</b>	2578862.4902	215940.3042	320.7278	1.0000
<b>S2-4</b>	2578867.7684	215939.8186	322.2889	1.0000
<b>S2-5</b>	2578869.8412	215938.8801	322.8677	1.0000

水庫測區第二處精度報表

總覘標數	<b>23</b>
不使用覘標數	<b>0</b>
平均偏差	<b>4.0 mm</b>
標準偏差	<b>1.3 mm</b>
最大偏差	<b>6.2 mm</b>

水庫測區第三處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>S3-2</b>	2577926.0898	216055.8602	423.8423	1.0000
<b>S3-3</b>	2577921.6203	216060.4769	426.0819	1.0000
<b>S3-4</b>	2577916.5683	216057.3986	426.3014	1.0000
<b>S3-5</b>	2577923.0797	216052.9255	423.7083	1.0000

水庫測區第三處精度報表

總覘標數	<b>20</b>
不使用覘標數	<b>0</b>
平均偏差	<b>3.9 mm</b>
標準偏差	<b>1.5 mm</b>
最大偏差	<b>6.3 mm</b>

火山測區第一處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>T1-1</b>	2787188.6192	310634.9165	406.8352	1.0000
<b>T1-2</b>	2787185.7341	310629.9628	408.1813	1.0000
<b>T1-3</b>	2787184.3831	310635.9474	407.6605	1.0000
<b>T1-4</b>	2787190.8082	310630.3873	407.1653	1.0000
<b>T1-5</b>	2787191.2476	310638.3963	406.5586	1.0000

火山測區第一處精度報表

總覘標數	<b>23</b>
不使用覘標數	<b>0</b>
平均偏差	<b>3.4 mm</b>
標準偏差	<b>1.0 mm</b>
最大偏差	<b>4.7 mm</b>

火山測區第二處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>T2-1</b>	2788548.8451	311634.4839	207.0617	1.0000
<b>T2-3</b>	2788548.3473	311629.6328	209.6465	1.0000
<b>T2-4</b>	2788543.4110	311635.4498	209.8065	1.0000
<b>T2-5</b>	2788539.9439	311630.4650	210.6367	1.0000

火山測區第二處精度報表

總規標數	<b>20</b>
不使用規標數	0
平均偏差	<b>4.1 mm</b>
標準偏差	<b>1.2 mm</b>
最大偏差	<b>5.6 mm</b>

火山測區第三處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>T3-1</b>	2788270.1271	312107.1273	335.2582	1.0000
<b>T3-2</b>	2788271.6513	312103.9778	335.3010	1.0000
<b>T3-3</b>	2788265.6673	312106.7513	335.1528	1.0000
<b>T3-4</b>	2788267.8233	312109.0421	335.2352	1.0000
<b>T3-5</b>	2788267.0792	312112.6145	333.9062	1.0000

火山測區第三處精度報表

總規標數	<b>21</b>
不使用規標數	<b>0</b>
平均偏差	<b>3.1 mm</b>
標準偏差	<b>1.5 mm</b>
最大偏差	<b>6.2 mm</b>

#### 火山測區第四處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>T4-1</b>	2789047.3332	313187.2118	108.7790	1.0000
<b>T4-2</b>	2789050.0491	313183.4324	106.7405	1.0000
<b>T4-3</b>	2789054.6722	313189.8848	106.2327	1.0000
<b>T4-4</b>	2789056.0858	313183.2704	105.0268	1.0000

#### 火山測區第四處精度報表

總覘標數	<b>18</b>
不使用覘標數	<b>0</b>
平均偏差	<b>3.1 mm</b>
標準偏差	<b>1.3 mm</b>
最大偏差	<b>5.3 mm</b>

#### 第四期

##### 水庫測區第一處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>S1-1</b>	2579912.4474	216522.7365	471.4240	1.0000
<b>S1-2</b>	2579912.9581	216516.3435	471.1820	1.0000
<b>S1-3</b>	2579912.9581	216516.3435	471.1820	1.0000
<b>S1-4</b>	2579907.8572	216522.6857	471.2312	1.0000

##### 水庫測區第一處精度報表

總覘標數	<b>25</b>
不使用覘標數	<b>0</b>
平均偏差	<b>6.4 mm</b>
標準偏差	<b>2.3 mm</b>
最大偏差	<b>10.0 mm</b>

##### 水庫測區第二處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>S2-1</b>	2578864.6872	215942.7813	321.4815	1.0000
<b>S2-2</b>	2578862.6208	215944.0096	321.2973	1.0000
<b>S2-3</b>	2578862.3893	215940.3192	320.8412	1.0000
<b>S2-4</b>	2578867.7475	215939.6623	322.4995	1.0000
<b>S2-5</b>	2578869.7084	215938.7662	322.8592	1.0000

水庫測區第二處精度報表

總覘標數	<b>25</b>
不使用覘標數	<b>1</b>
平均偏差	<b>4.7 mm</b>
標準偏差	<b>1.4 mm</b>
最大偏差	<b>7.3 mm</b>

水庫測區第三處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>S3-2</b>	2577926.0301	216055.8201	424.0182	1.0000
<b>S3-3</b>	2577921.4848	216060.5499	426.2050	1.0000
<b>S3-4</b>	2577916.5291	216057.4582	426.3881	1.0000
<b>S3-5</b>	2577923.1118	216052.8257	423.8004	1.0000

水庫測區第三處精度報表

總覘標數	<b>19</b>
不使用覘標數	<b>0</b>
平均偏差	<b>3.0 mm</b>
標準偏差	<b>1.4 mm</b>
最大偏差	<b>5.3 mm</b>

火山測區第一處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>T1-1</b>	2787188.7918	310634.8861	406.8492	1.0000
<b>T1-2</b>	2787185.7524	310629.9874	408.2403	1.0000
<b>T1-3</b>	2787184.2707	310635.9454	407.7142	1.0000
<b>T1-4</b>	2787190.6917	310630.3402	407.1888	1.0000
<b>T1-5</b>	2787191.2600	310638.4830	406.5647	1.0000

火山測區第一處精度報表

總覘標數	<b>25</b>
不使用覘標數	<b>0</b>
平均偏差	<b>3.5 mm</b>
標準偏差	<b>1.1 mm</b>
最大偏差	<b>5.4 mm</b>

火山測區第二處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>T2-1</b>	2788548.5909	311634.6276	207.0575	1.0000
<b>T2-3</b>	2788548.3558	311629.6522	209.6547	1.0000
<b>T2-4</b>	2788543.1081	311635.5596	210.0166	1.0000
<b>T2-5</b>	2788539.9323	311630.3961	210.7276	1.0000



火山測區第二處精度報表

總規標數	<b>19</b>
不使用規標數	<b>0</b>
平均偏差	<b>5.6 mm</b>
標準偏差	<b>1.7 mm</b>
最大偏差	<b>8.6 mm</b>

火山測區第三處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>T3-1</b>	2788270.1499	312107.1248	335.2462	1.0000
<b>T3-2</b>	2788271.5547	312103.8040	335.3386	1.0000
<b>T3-3</b>	2788265.6662	312106.8732	335.1648	1.0000
<b>T3-4</b>	2788267.7134	312108.9673	335.2582	1.0000
<b>T3-5</b>	2788267.1816	312112.6296	333.8413	1.0000

火山測區第三處精度報表

總規標數	<b>22</b>
不使用規標數	<b>0</b>
平均偏差	<b>5.1 mm</b>
標準偏差	<b>0.9 mm</b>
最大偏差	<b>6.5 mm</b>

#### 火山測區第四處

站名	坐標 N	坐標 E	坐標 h	比例
<b>T4-1</b>	2789047.2681	313187.1838	108.8259	1.0000
<b>T4-2</b>	2789049.9425	313183.3006	106.7166	1.0000
<b>T4-3</b>	2789054.6029	313190.0568	106.2870	1.0000
<b>T4-4</b>	2789056.0124	313183.2735	104.9739	1.0000

#### 火山測區第四處精度報表

總覘標數	<b>18</b>
不使用覘標數	<b>0</b>
平均偏差	<b>3.4 mm</b>
標準偏差	<b>2.1 mm</b>
最大偏差	<b>8.0 mm</b>

## 附件二

### 地面光達各期各測站相對精度

第一期				
樣區測站名	總規標數	平均偏差	標準偏差	最大偏差
S1	20	2.7 mm	1.2 mm	5.0 mm
S2	26	1.9 mm	1.1 mm	4.5 mm
S3	17	2.0 mm	0.8mm	4.1 mm
T1	25	1.5 mm	0.5 mm	2.6 mm
T2	24	1.5 mm	1.7 mm	3.2 mm
T3	21	1.5 mm	0.7 mm	3.2 mm
T4	17	1.8 mm	0.6 mm	3.0 mm
第二期				
S1	20	2.1 mm	1.4 mm	4.9 mm
S2	28	0.8 mm	0.4 mm	2.1 mm
S3	17	1.5 mm	1.0 mm	5.0 mm
T1	25	0.8 mm	0.3 mm	1.5 mm
T2	24	0.9 mm	1.3 mm	1.5 mm
T3	21	1.0 mm	0.4 mm	1.9 mm
T4	24	0.9 mm	0.3 mm	1.8 mm
第三期				
S1	25	0.7 mm	0.4 mm	1.7 mm
S2	25	1.0 mm	0.5 mm	2.1 mm
S3	19	1.0 mm	0.4 mm	1.7 mm
T1	23	1.1 mm	0.4 mm	2.2 mm
T2	19	1.0 mm	0.4 mm	1.7 mm
T3	22	1.4 mm	0.6 mm	2.7 mm
T4	18	1.0 mm	0.5 mm	2.2 mm
第四期				
S1	18	0.9 mm	0.5 mm	2.0 mm
S2	23	0.8 mm	0.4 mm	1.8 mm
S3	20	1.2 mm	0.6 mm	2.4 mm
T1	23	1.1 mm	0.4 mm	2.2 mm
T2	20	1.0 mm	0.5 mm	2.0 mm
T3	21	1.0 mm	0.4 mm	2.1 mm
T4	18	0.9 mm	0.3 mm	1.5 mm

## 附件三

### 林下道路導線觀測紀錄表

# 導線測量觀測手簿

測 站 儀器高	視 點	鏡 位	水 平 角						天頂距(正)			斜 距				
			觀 測 角			正倒平均			測回中數			天頂距(倒)			平 距	
X1 1.548	X2	正	0	00	08							88	53	14	SD:	22.180
	XA1	正	339	01	20	339	01	12				271	06	50	HD:	<b>22.176</b>
		倒	159	01	23	339	01	15				88	53	12	△H:	0.481
	X2	倒	180	00	08							BS = 1.498				
		正	90	05	37							91	18	31	SD:	28.568
		正	69	06	54	339	01	17				268	41	25	HD:	<b>28.561</b>
		倒	249	06	57	339	01	20	<b>339</b>	<b>01</b>	<b>16</b>	91	18	33	△H:	-0.519
		倒	270	05	37							FS = 1.414				
X1 1.548	X2	正	0	00	14							88	53	06	SD:	22.180
	XB1	正	354	51	20	354	51	06				271	06	42	HD:	<b>22.176</b>
		倒	174	51	20	354	51	03				88	53	12	△H:	0.481
	X2	倒	180	00	17							BS = 1.498				
		正	90	05	38							84	58	15	SD:	61.362
		正	84	56	45	354	51	07				275	01	43	HD:	<b>61.126</b>
		倒	264	56	49	354	51	08	<b>354</b>	<b>51</b>	<b>06</b>	84	58	16	△H:	5.552
		倒	270	05	41							FS = 1.375				
XB1 1.365	X1	正	0	00	10							95	01	58	SD:	61.366
	XB2	正	158	57	04	158	56	54				264	58	00	HD:	<b>61.129</b>
		倒	338	57	07	158	56	51				95	01	59	△H:	-5.549
	X1	倒	180	00	16							BS = 1.531				
		正	90	05	38							86	09	00	SD:	45.685
		正	249	02	38	158	57	00				273	50	56	HD:	<b>45.582</b>
		倒	69	02	34	158	56	55	<b>158</b>	<b>56</b>	<b>55</b>	86	09	02	△H:	3.048
		倒	270	05	39							FS = 1.384				
XB2 1.350	XB1	正	0	00	09							93	34	35	SD:	45.673
	XB3	正	207	34	48	207	34	39				266	25	33	HD:	<b>45.584</b>
		倒	27	34	49	207	34	43				93	34	31	△H:	-3.043
	XB1	倒	180	00	06							BS = 1.545				
		正	90	05	38							80	45	45	SD:	44.494
		正	297	40	21	207	34	43				279	14	31	HD:	<b>43.917</b>
		倒	117	40	21	207	34	39	<b>207</b>	<b>34</b>	<b>41</b>	80	45	37	△H:	7.046
		倒	270	05	42							FS = 1.448				
XB3 1.325	XB2	正	0	00	11							98	59	58	SD:	44.465
	XB4	正	223	45	21	223	45	10				261	00	20	HD:	<b>43.918</b>
		倒	43	45	16	223	45	09				98	59	49	△H:	-7.036
	XB2	倒	180	00	07							BS = 1.408				
		正	90	05	35							79	23	25	SD:	41.332
		正	313	50	42	223	45	07				280	36	35	HD:	<b>40.625</b>
		倒	133	50	41	223	45	10	<b>223</b>	<b>45</b>	<b>09</b>	79	23	25	△H:	7.525
		倒	270	05	31							FS = 1.41				
XB4 1.345	XB3	正	0	00	06							100	15	54	SD:	41.291
	XB5	正	121	15	12	121	15	06				259	44	00	HD:	<b>40.630</b>
		倒	301	15	16	121	15	09				100	15	57	△H:	-7.516
	XB3	倒	180	00	07							BS = 1.502				
		正	90	05	39							82	25	43	SD:	35.842
		正	211	20	52	121	15	13				277	33	59	HD:	<b>35.530</b>
		倒	31	20	54	121	15	12	<b>121</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	82	25	52	△H:	4.631
		倒	270	05	42							FS = 1.435				

# 導線測量觀測手簿

測 站 儀器高	視 點	鏡 位	水 平 角						天頂距(正)			斜 距				
			觀 測 角			正 倒 平 均			測 回 中 數			天 頂 距 ( 倒 )			平 距	
XB5 1.446	XB4	正	0	00	09							97	31	03	SD:	35.844
	XB6	正	203	39	00	203	38	51				262	28	55	HD:	<b>35.536</b>
		倒	23	39	00	203	38	53				97	31	04	△H:	-4.634
	XB4	倒	180	00	07							BS = 1.39				
XA1 1.263		正	90	05	40							84	37	50	SD:	34.154
		正	293	44	32	203	38	52				275	22	06	HD:	<b>34.004</b>
		倒	113	44	29	203	38	48	<b>203</b>	<b>38</b>	<b>51</b>	84	37	52	△H:	3.347
		倒	270	05	41							FS = 1.295				
XA2 1.398	XA1	正	0	00	08							88	27	01	SD:	28.574
	XA2	正	163	08	44	163	08	36				271	32	53	HD:	<b>28.564</b>
		倒	343	08	40	163	08	33				88	27	04	△H:	0.517
	XA1	倒	180	00	07							BS = 1.518				
XA3 1.355		正	90	05	37							101	13	06	SD:	44.348
		正	253	14	10	163	08	33				258	47	02	HD:	<b>43.501</b>
		倒	73	14	07	163	08	30	<b>163</b>	<b>08</b>	<b>33</b>	101	13	02	△H:	-8.774
		倒	270	05	37							FS = 1.41				
XA4 1.372	XA1	正	0	00	12							78	44	23	SD:	44.360
	XA3	正	157	45	10	157	44	58				281	15	35	HD:	<b>43.506</b>
		倒	337	45	13	157	45	01				78	44	24	△H:	8.772
	XA1	倒	180	00	12							BS = 1.288				
XA5 1.475		正	90	05	37							102	52	45	SD:	31.594
		正	247	50	40	157	45	03				257	07	03	HD:	<b>30.799</b>
		倒	67	50	42	157	45	02	<b>157</b>	<b>45</b>	<b>01</b>	102	52	51	△H:	-7.049
		倒	270	05	40							FS = 1.404				
XA6 1.446	XA2	正	0	00	12							76	43	22	SD:	31.651
	XA4	正	140	45	22	140	45	10				283	16	34	HD:	<b>30.805</b>
		倒	320	45	23	140	45	09				76	43	24	△H:	7.052
	XA2	倒	180	00	14							BS = 1.572				
XA7 1.475		正	90	05	41							101	26	54	SD:	63.671
		正	230	50	49	140	45	08				258	33	08	HD:	<b>62.404</b>
		倒	50	50	50	140	45	05	<b>140</b>	<b>45</b>	<b>08</b>	101	26	53	△H:	-12.601
		倒	270	05	45							FS = 1.319				
XA8 1.475	XA3	正	0	00	12							78	39	43	SD:	63.653
	XA5	正	204	47	40	204	47	28				281	20	01	HD:	<b>62.411</b>
		倒	24	47	42	204	47	30				78	39	51	△H:	12.596
	XA3	倒	180	00	12							BS = 1.288				
XA9 1.475		正	90	05	37							99	28	50	SD:	46.750
		正	294	53	04	204	47	27				260	31	06	HD:	<b>46.111</b>
		倒	114	53	03	204	47	27	<b>204</b>	<b>47</b>	<b>28</b>	99	28	52	△H:	-7.856
		倒	270	05	36							FS = 1.527				
XA10 1.475	XA4	正	0	00	11							80	23	54	SD:	46.772
	XA6	正	105	47	36	105	47	25				279	35	56	HD:	<b>46.117</b>
		倒	285	47	32	105	47	25				80	23	59	△H:	7.858
	XA4	倒	180	00	07							BS = 1.418				
XA11 1.475		正	90	05	35							104	29	28	SD:	35.976
		正	195	52	56	105	47	21				255	30	18	HD:	<b>34.831</b>
		倒	15	52	53	105	47	21	<b>105</b>	<b>47</b>	<b>23</b>	104	29	35	△H:	-8.983
		倒	270	05	32							FS = 1.455				
XA12 1.475	XA5	正	0	00	13							75	27	02	SD:	35.991
	XA7	正	212	58	15	212	58	02				284	32	40	HD:	<b>34.837</b>

# 導線測量觀測手簿

測 站 儀器高	視 點	鏡 位	水 平 角						天頂距(正)			斜 距				
			觀 測 角			正 倒 平 均			測 回 中 數			天 頂 距 ( 倒 )			平 距	
1.461	XA5	倒	32	58	11	212	58	02				75	27	11	△H:	8.983
		倒	180	00	09							BS = 1.518				
		正	90	05	39							101	54	35	SD:	65.128
		正	303	03	44	212	58	05				258	05	19	HD:	<b>63.726</b>
		倒	123	03	41	212	58	03	<b>212</b>	<b>58</b>	<b>03</b>	101	54	38	△H:	-13.462
		倒	270	05	38							FS = 1.482				
XA7 1.468	XA6	正	0	00	11							78	05	06	SD:	65.134
	XA8	正	224	51	46	224	51	35				281	54	38	HD:	<b>63.731</b>
		倒	44	51	50	224	51	40				78	05	14	△H:	13.453
	XA6	倒	180	00	10							BS = 1.46				
		正	90	05	36							102	25	46	SD:	28.616
	正	314	57	17	224	51	41				257	33	58	HD:	<b>27.945</b>	
	倒	134	57	18	224	51	40	<b>224</b>	<b>51</b>	<b>39</b>	102	25	54	△H:	-6.174	
		倒	270	05	38							FS = 1.482				
XA8 1.557	XA7	正	0	00	15							77	38	09	SD:	28.613
	XA9	正	38	52	40	38	52	25				282	21	49	HD:	<b>27.949</b>
		倒	218	52	42	38	52	21				77	38	10	△H:	6.173
	XA7	倒	180	00	21							BS = 1.511				
		正	90	05	43							101	43	22	SD:	42.704
	正	128	58	03	38	52	20				258	16	20	HD:	<b>41.813</b>	
	倒	308	58	05	38	52	18	<b>38</b>	<b>52</b>	<b>21</b>	101	43	31	△H:	-8.614	
		倒	270	05	47							FS = 1.493				
XA9 1.457	XA8	正	0	00	08							78	07	58	SD:	42.730
	XA10	正	124	29	17	124	29	09				281	52	00	HD:	<b>41.817</b>
		倒	304	29	17	124	29	11				78	07	59	△H:	8.621
	XA8	倒	180	00	06							BS = 1.623				
		正	90	05	38							99	55	26	SD:	33.763
	正	214	34	49	124	29	11				260	04	30	HD:	<b>33.258</b>	
	倒	34	34	46	124	29	09	<b>124</b>	<b>29</b>	<b>10</b>	99	55	28	△H:	-5.880	
		倒	270	05	37							FS = 1.518				
XA10 1.533	XA9	正	0	00	13							79	53	06	SD:	33.787
	XA11	正	224	49	02	224	48	49				280	06	42	HD:	<b>33.262</b>
		倒	44	49	00	224	48	46				79	53	12	△H:	5.891
	XA9	倒	180	00	14							BS = 1.575				
		正	90	05	38							93	15	05	SD:	31.411
	正	314	54	20	224	48	42				266	44	43	HD:	<b>31.360</b>	
	倒	134	54	22	224	48	47	<b>224</b>	<b>48</b>	<b>46</b>	93	15	11	△H:	-1.727	
		倒	270	05	35							FS = 1.478				
XA11 1.457	XA10	正	0	00	15							86	36	43	SD:	31.419
	XA12	正	170	26	34	170	26	19				273	22	59	HD:	<b>31.364</b>
		倒	350	26	38	170	26	20				86	36	52	△H:	1.725
	XA10	倒	180	00	18							BS = 1.588				
		正	90	05	41							100	03	21	SD:	54.900
	正	260	32	06	170	26	25				259	56	31	HD:	<b>54.056</b>	
	倒	80	32	06	170	26	24	<b>170</b>	<b>26</b>	<b>22</b>	100	03	25	△H:	-9.573	
		倒	270	05	42							FS = 1.443				
XA12 1.477	XA11	正	0	00	09							79	55	51	SD:	54.909
	XA13	正	184	27	48	184	27	39				280	04	19	HD:	<b>54.063</b>
		倒	4	27	45	184	27	40				79	55	46	△H:	9.574
	XA11	倒	180	00	05							BS = 1.505				



# 導線測量觀測手簿

測 站 儀器高	視 點	鏡 位	水 平 角						天頂距(正)			斜 距				
			觀 測 角			正 倒 平 均			測 回 中 數			天 頂 距 ( 倒 )			平 距	
		正	90	05	35							102	48	41	SD:	83.135
		正	274	33	14	184	27	39				257	11	37	HD:	<b>81.066</b>
		倒	94	33	18	184	27	42	<b>184</b>	<b>27</b>	<b>40</b>	102	48	32	△H:	-18.337
		倒	270	05	36							FS = 1.383				
XA13 1.423	XA12	正	0	00	13							77	06	49	SD:	83.167
	XA14	正	181	07	16	181	07	03				282	53	17	HD:	<b>81.072</b>
		倒	1	07	18	181	07	00				77	06	46	△H:	18.337
XA12	倒	180	00	18							BS = 1.635					
		正	90	05	36							97	51	23	SD:	28.943
		正	271	12	36	181	07	00				262	08	55	HD:	<b>28.672</b>
		倒	91	12	35	181	07	01	<b>181</b>	<b>07</b>	<b>01</b>	97	51	14	△H:	-3.968
		倒	270	05	34							FS = 1.436				
XA14 1.422	XA13	正	0	00	06							81	58	11	SD:	28.959
	XA15	正	191	49	01	191	48	55				278	02	03	HD:	<b>28.675</b>
		倒	11	48	59	191	48	58				81	58	04	△H:	3.975
XA13	倒	180	00	01							BS = 1.494					
		正	90	05	37							98	31	09	SD:	27.225
		正	281	54	34	191	48	57				261	29	05	HD:	<b>26.925</b>
		倒	101	54	32	191	48	58	<b>191</b>	<b>48</b>	<b>57</b>	98	31	02	△H:	-3.938
		倒	270	05	34							FS = 1.328				
XA15 1.315	XA14	正	0	00	11							81	41	06	SD:	27.215
	XA16	正	305	45	30	305	45	19				278	19	06	HD:	<b>26.929</b>
		倒	125	45	27	305	45	20				81	41	00	△H:	3.944
XA14	倒	180	00	07							BS = 1.308					
		正	90	05	41							98	02	56	SD:	27.718
		正	35	50	56	305	45	15				261	57	04	HD:	<b>27.445</b>
		倒	215	50	54	305	45	18	<b>305</b>	<b>45</b>	<b>18</b>	98	02	56	△H:	-3.940
		倒	270	05	36							FS = 1.374				
XA16 1.450	XA15	正	0	00	15							82	18	54	SD:	27.697
	XA17	正	200	18	28	200	18	13				277	41	10	HD:	<b>27.448</b>
		倒	20	18	27	200	18	10				82	18	52	△H:	3.944
XA15	倒	180	00	17							BS = 1.21					
		正	90	05	44							97	32	45	SD:	29.400
		正	290	23	58	200	18	14				262	27	09	HD:	<b>29.145</b>
		倒	110	23	54	200	18	11	<b>200</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	97	32	48	△H:	-3.795
		倒	270	05	43							FS = 1.384				
XA17 1.441	XA16	正	0	00	10							82	52	41	SD:	29.377
	XA18	正	136	56	52	136	56	42				277	07	17	HD:	<b>29.150</b>
		倒	316	56	49	136	56	43				82	52	42	△H:	3.803
XA16	倒	180	00	06							BS = 1.28					
		正	90	05	37							97	48	40	SD:	26.200
		正	227	02	16	136	56	39				262	11	08	HD:	<b>25.957</b>
		倒	47	02	18	136	56	44	<b>136</b>	<b>56</b>	<b>42</b>	97	48	46	△H:	-3.502
		倒	270	05	34							FS = 1.381				
XA18 1.342	XA17	正	0	00	11							82	36	06	SD:	26.179
	XA18A	正	246	18	28	246	18	17				277	23	46	HD:	<b>25.961</b>
		倒	66	18	31	246	18	15				82	36	10	△H:	3.503
XA17	倒	180	00	16							BS = 1.21					
		正	90	05	39							80	48	10	SD:	38.502
		正	336	23	56	246	18	17				279	11	52	HD:	<b>38.007</b>

# 導線測量觀測手簿

測站 儀器高	視點	鏡位	水			平			角			天頂距(正)			斜距	
			觀測角			正倒平均			測回中數			天頂距(倒)			平距	
		倒	156	24	00	246	18	19	<b>246</b>	<b>18</b>	<b>17</b>	80	48	09	△H:	6.108
		倒	270	05	41							FS = 1.388				
XA18 1.342	XA17	正	0	00	11							82	36	17	SD:	26.179
	XA19	正	67	49	42	67	49	31				277	23	57	HD:	<b>25.961</b>
		倒	247	49	43	67	49	31				82	36	10	△H:	3.503
	XA17	倒	180	00	12							BS = 1.21				
		正	90	05	39							98	29	27	SD:	21.920
		正	157	55	06	67	49	27				261	30	37	HD:	<b>21.680</b>
		倒	337	55	06	67	49	27	<b>67</b>	<b>49</b>	<b>29</b>	98	29	25	△H:	-3.276
		倒	270	05	39							FS = 1.382				
XA19 1.512	XA18	正	0	00	09							82	14	08	SD:	21.884
	XA20	正	214	32	00	214	31	51				277	46	12	HD:	<b>21.683</b>
		倒	34	31	58	214	31	52				82	13	58	△H:	3.280
	XA18	倒	180	00	06							BS = 1.19				
		正	90	05	45							94	58	14	SD:	22.916
		正	304	37	32	214	31	47				265	02	00	HD:	<b>22.830</b>
		倒	124	37	30	214	31	50	<b>214</b>	<b>31</b>	<b>50</b>	94	58	07	△H:	-1.943
		倒	270	05	40							FS = 1.47				
XA20 1.545	XA19	正	0	00	13							85	45	02	SD:	22.895
	X3	正	116	32	33	116	32	20				274	15	12	HD:	<b>22.832</b>
		倒	296	32	34	116	32	19				85	44	55	△H:	1.947
	XA19	倒	180	00	15							BS = 1.295				
		正	90	05	42							88	29	16	SD:	79.125
		正	206	38	04	116	32	22				271	30	44	HD:	<b>79.097</b>
		倒	26	38	03	116	32	19	<b>116</b>	<b>32</b>	<b>20</b>	88	29	16	△H:	2.148
		倒	270	05	44							FS = 1.486				
X3 1.511	XA20	正	0	00	07							91	38	56	SD:	79.135
	X4	正	194	22	30	194	22	23				268	20	56	HD:	<b>79.102</b>
		倒	14	22	31	194	22	20				91	39	00	△H:	-2.114
	XA20	倒	180	00	11							BS = 1.347				
		正	90	05	42							90	08	36	SD:	68.867
		正	284	28	01	194	22	19				269	51	06	HD:	<b>68.867</b>
		倒	104	28	01	194	22	18	<b>194</b>	<b>22</b>	<b>20</b>	90	08	45	△H:	-0.129
		倒	270	05	43							FS = 1.465				
X1 1.548	X2	正	0	00	13							88	53	08	SD:	22.180
	XA1	正	339	01	28	339	01	15				271	06	44	HD:	<b>22.176</b>
		倒	159	01	26	339	01	17				88	53	12	△H:	0.481
	X2	倒	180	00	09							BS = 1.498				
		正	90	05	36							91	18	33	SD:	28.568
		正	69	06	52	339	01	16				268	41	27	HD:	<b>28.561</b>
		倒	249	06	48	339	01	16	<b>339</b>	<b>01</b>	<b>16</b>	91	18	33	△H:	-0.519
		倒	270	05	32							FS = 1.414				
X1 1.548	X2	正	0	00	10							88	53	14	SD:	22.180
	XB1	正	354	51	13	354	51	03				271	06	50	HD:	<b>22.176</b>
		倒	174	51	10	354	51	04				88	53	12	△H:	0.481
	X2	倒	180	00	06							BS = 1.498				
		正	90	05	38							84	58	25	SD:	61.362
		正	84	56	46	354	51	08				275	01	53	HD:	<b>61.126</b>
		倒	264	56	47	354	51	09	<b>354</b>	<b>51</b>	<b>06</b>	84	58	16	△H:	5.552
		倒	270	05	38							FS = 1.375				

# 導線測量觀測手簿

測 站 儀器高	視 點	鏡 位	水 平 角						天頂距(正)			斜 距				
			觀 測 角			正 倒 平 均			測 回 中 數			天 頂 距 ( 倒 )			平 距	
XB1 1.365	X1	正	0	00	10							95	02	00	SD:	61.366
	XB2	正	158	57	04	158	56	54				264	58	02	HD:	<b>61.129</b>
		倒	338	57	05	158	56	54				95	01	59	△H:	-5.549
	X1	倒	180	00	11							BS = 1.531				
		正	90	05	40							86	08	59	SD:	45.685
		正	249	02	37	158	56	57				273	50	55	HD:	<b>45.582</b>
		倒	69	02	39	158	56	55	<b>158</b>	<b>56</b>	<b>55</b>	86	09	02	△H:	3.048
		倒	270	05	44							FS = 1.384				
XB2 1.350	XB1	正	0	00	11							93	34	23	SD:	45.673
	XB3	正	207	34	51	207	34	40				266	25	21	HD:	<b>45.584</b>
		倒	27	34	49	207	34	40				93	34	31	△H:	-3.043
	XB1	倒	180	00	09							BS = 1.545				
		正	90	05	41							80	45	34	SD:	44.494
		正	297	40	22	207	34	41				279	14	20	HD:	<b>43.917</b>
		倒	117	40	25	207	34	43	<b>207</b>	<b>34</b>	<b>41</b>	80	45	37	△H:	7.046
		倒	270	05	42							FS = 1.448				
XB3 1.325	XB2	正	0	00	11							98	59	49	SD:	44.465
	XB4	正	223	45	20	223	45	09				261	00	11	HD:	<b>43.918</b>
		倒	43	45	21	223	45	05				98	59	49	△H:	-7.036
	XB2	倒	180	00	16							BS = 1.408				
		正	90	05	39							79	23	26	SD:	41.332
		正	313	50	52	223	45	13				280	36	36	HD:	<b>40.625</b>
		倒	133	50	54	223	45	09	<b>223</b>	<b>45</b>	<b>09</b>	79	23	25	△H:	7.525
		倒	270	05	45							FS = 1.41				
XB4 1.345	XB3	正	0	00	13							100	16	03	SD:	41.291
	XB5	正	121	15	22	121	15	09				259	44	09	HD:	<b>40.630</b>
		倒	301	15	27	121	15	11				100	15	57	△H:	-7.516
	XB3	倒	180	00	16							BS = 1.502				
		正	90	05	44							82	25	58	SD:	35.842
		正	211	20	54	121	15	10				277	34	14	HD:	<b>35.530</b>
		倒	31	20	55	121	15	10	<b>121</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	82	25	52	△H:	4.631
		倒	270	05	45							FS = 1.435				
XB5 1.446	XB4	正	0	00	14							97	31	04	SD:	35.844
	XB6	正	203	39	08	203	38	54				262	28	56	HD:	<b>35.536</b>
		倒	23	39	08	203	38	50				97	31	04	△H:	-4.634
	XB4	倒	180	00	18							BS = 1.39				
		正	90	05	41							84	37	55	SD:	34.154
		正	293	44	32	203	38	51				275	22	11	HD:	<b>34.004</b>
		倒	113	44	28	203	38	49	<b>203</b>	<b>38</b>	<b>51</b>	84	37	52	△H:	3.347
		倒	270	05	39							FS = 1.295				
XA1 1.263	X1	正	0	00	11							88	26	58	SD:	28.574
	XA2	正	163	08	46	163	08	35				271	32	50	HD:	<b>28.564</b>
		倒	343	08	42	163	08	32				88	27	04	△H:	0.517
	X1	倒	180	00	10							BS = 1.518				
		正	90	05	42							101	12	54	SD:	44.348
		正	253	14	12	163	08	30				258	46	50	HD:	<b>43.501</b>
		倒	73	14	11	163	08	35	<b>163</b>	<b>08</b>	<b>33</b>	101	13	02	△H:	-8.774
		倒	270	05	36							FS = 1.41				
XA2	XA1	正	0	00	06							78	44	17	SD:	44.360
	XA2	正	157	45	07	157	45	01				281	15	29	HD:	<b>43.506</b>

# 導線測量觀測手簿

測站 儀器高	視點	鏡位	水			平			角			天頂距(正)			斜距	
			觀	測	角	正	倒	平均	測	回	中	數	天	頂	距	(倒)
1.398	XA1	倒	337	45	03	157	45	01				78	44	24	△H:	8.772
		倒	180	00	02							BS = 1.288				
		正	90	05	37							102	52	47	SD:	31.594
		正	247	50	38	157	45	01				257	07	05	HD:	<b>30.799</b>
		倒	67	50	35	157	45	01	<b>157</b>	<b>45</b>	<b>01</b>	102	52	51	△H:	-7.049
		倒	270	05	34						FS = 1.404					
XA3 1.355	XA2	正	0	00	07						76	43	29	SD:	31.651	
	XA4	正	140	45	14	140	45	07				283	16	41	HD:	<b>30.805</b>
		倒	320	45	17	140	45	10				76	43	24	△H:	7.052
	XA2	倒	180	00	07							BS = 1.572				
		正	90	05	41						101	27	02	SD:	63.671	
		正	230	50	48	140	45	07				258	33	16	HD:	<b>62.404</b>
		倒	50	50	51	140	45	08	<b>140</b>	<b>45</b>	<b>08</b>	101	26	53	△H:	-12.601
		倒	270	05	43							FS = 1.319				
XA4 1.372	XA3	正	0	00	06						78	39	52	SD:	63.653	
	XA5	正	204	47	32	204	47	26				281	20	10	HD:	<b>62.411</b>
		倒	24	47	34	204	47	25				78	39	51	△H:	12.596
	XA3	倒	180	00	09							BS = 1.288				
		正	90	05	41						99	28	46	SD:	46.750	
		正	294	53	10	204	47	29				260	31	02	HD:	<b>46.111</b>
		倒	114	53	12	204	47	32	<b>204</b>	<b>47</b>	<b>28</b>	99	28	52	△H:	-7.856
		倒	270	05	40							FS = 1.527				
XA5 1.475	XA4	正	0	00	14						80	24	00	SD:	46.772	
	XA6	正	105	47	38	105	47	24				279	36	02	HD:	<b>46.117</b>
		倒	285	47	36	105	47	23				80	23	59	△H:	7.858
	XA4	倒	180	00	13							BS = 1.418				
		正	90	05	35						104	29	29	SD:	35.976	
		正	195	52	56	105	47	21				255	30	19	HD:	<b>34.831</b>
		倒	15	52	55	105	47	24	<b>105</b>	<b>47</b>	<b>23</b>	104	29	35	△H:	-8.983
		倒	270	05	31							FS = 1.455				
XA6 1.461	XA5	正	0	00	15						75	27	12	SD:	35.991	
	XA7	正	212	58	20	212	58	05				284	32	50	HD:	<b>34.837</b>
		倒	32	58	19	212	58	05				75	27	11	△H:	8.983
	XA5	倒	180	00	14							BS = 1.518				
		正	90	05	42						101	54	39	SD:	65.128	
		正	303	03	44	212	58	02				258	05	23	HD:	<b>63.726</b>
		倒	123	03	44	212	58	00	<b>212</b>	<b>58</b>	<b>03</b>	101	54	38	△H:	-13.462
		倒	270	05	44							FS = 1.482				
XA7 1.468	XA6	正	0	00	08						78	05	10	SD:	65.134	
	XA8	正	224	51	45	224	51	37				281	54	42	HD:	<b>63.731</b>
		倒	44	51	46	224	51	41				78	05	14	△H:	13.453
	XA6	倒	180	00	05							BS = 1.46				
		正	90	05	45						102	25	52	SD:	28.616	
		正	314	57	24	224	51	39				257	34	04	HD:	<b>27.945</b>
		倒	134	57	23	224	51	39	<b>224</b>	<b>51</b>	<b>39</b>	102	25	54	△H:	-6.174
		倒	270	05	44							FS = 1.482				
XA8 1.557	XA7	正	0	00	10						77	38	10	SD:	28.613	
	XA9	正	38	52	33	38	52	23				282	21	50	HD:	<b>27.949</b>
		倒	218	52	29	38	52	21				77	38	10	△H:	6.173
	XA7	倒	180	00	08							BS = 1.511				

# 導線測量觀測手簿

測 站 儀器高	視 點	鏡 位	水 平 角						天頂距(正)			斜 距				
			觀 測 角			正 倒 平 均			測 回 中 數			天 頂 距 ( 倒 )			平 距	
		正	90	05	41							101	43	39	SD:	42.704
		正	128	58	00	38	52	19				258	16	37	HD:	<b>41.813</b>
		倒	308	58	01	38	52	21	<b>38</b>	<b>52</b>	<b>21</b>	101	43	31	△H:	-8.614
		倒	270	05	40							FS = 1.493				
XA9 1.457	XA8	正	0	00	06							78	08	06	SD:	42.730
	XA10	正	124	29	14	124	29	08				281	52	08	HD:	<b>41.817</b>
		倒	304	29	18	124	29	11				78	07	59	△H:	8.621
	XA8	倒	180	00	07							BS = 1.623				
		正	90	05	37							99	55	29	SD:	33.763
		正	214	34	47	124	29	10				260	04	33	HD:	<b>33.258</b>
		倒	34	34	48	124	29	11	<b>124</b>	<b>29</b>	<b>10</b>	99	55	28	△H:	-5.880
		倒	270	05	37							FS = 1.518				
XA10 1.533	XA9	正	0	00	12							79	53	08	SD:	33.787
	XA11	正	224	48	57	224	48	45				280	06	44	HD:	<b>33.262</b>
		倒	44	49	00	224	48	44				79	53	12	△H:	5.891
	XA9	倒	180	00	16							BS = 1.575				
		正	90	05	41							93	15	14	SD:	31.411
		正	314	54	30	224	48	49				266	44	52	HD:	<b>31.360</b>
		倒	134	54	27	224	48	46	<b>224</b>	<b>48</b>	<b>46</b>	93	15	11	△H:	-1.727
		倒	270	05	41							FS = 1.478				
XA11 1.457	XA10	正	0	00	07							86	37	01	SD:	31.419
	XA12	正	170	26	32	170	26	25				273	23	17	HD:	<b>31.364</b>
		倒	350	26	28	170	26	23				86	36	52	△H:	1.725
	XA10	倒	180	00	05							BS = 1.588				
		正	90	05	38							100	03	32	SD:	54.900
		正	260	31	59	170	26	21				259	56	42	HD:	<b>54.056</b>
		倒	80	31	56	170	26	19	<b>170</b>	<b>26</b>	<b>22</b>	100	03	25	△H:	-9.573
		倒	270	05	37							FS = 1.443				
XA12 1.477	XA11	正	0	00	12							79	55	44	SD:	54.909
	XA13	正	184	27	52	184	27	40				280	04	12	HD:	<b>54.063</b>
		倒	4	27	52	184	27	41				79	55	46	△H:	9.574
	XA11	倒	180	00	11							BS = 1.505				
		正	90	05	43							102	48	24	SD:	83.135
		正	274	33	23	184	27	40				257	11	20	HD:	<b>81.066</b>
		倒	94	33	18	184	27	39	<b>184</b>	<b>27</b>	<b>40</b>	102	48	32	△H:	-18.337
		倒	270	05	39							FS = 1.383				
XA13 1.423	XA12	正	0	00	14							77	06	40	SD:	83.167
	XA14	正	181	07	18	181	07	04				282	53	08	HD:	<b>81.072</b>
		倒	1	07	14	181	07	02				77	06	46	△H:	18.337
	XA12	倒	180	00	12							BS = 1.635				
		正	90	05	37							97	51	15	SD:	28.943
		正	271	12	36	181	06	59				262	08	47	HD:	<b>28.672</b>
		倒	91	12	33	181	06	59	<b>181</b>	<b>07</b>	<b>01</b>	97	51	14	△H:	-3.968
		倒	270	05	34							FS = 1.436				
XA14 1.422	XA13	正	0	00	07							81	58	12	SD:	28.959
	XA15	正	191	49	01	191	48	54				278	02	04	HD:	<b>28.675</b>
		倒	11	49	02	191	48	57				81	58	04	△H:	3.975
	XA13	倒	180	00	05							BS = 1.494				
		正	90	05	42							98	31	01	SD:	27.225
		正	281	54	41	191	48	59				261	28	57	HD:	<b>26.925</b>

# 導線測量觀測手簿

測 站 儀器高	視 點	鏡 位	水 平 角						天頂距(正)			斜 距				
			觀 測 角			正 倒 平 均			測 回 中 數			天 頂 距 ( 倒 )			平 距	
		倒	101	54	41	191	48	58	<b>191</b>	<b>48</b>	<b>57</b>	98	31	02	△H:	-3.938
		倒	270	05	43							FS = 1.328				
XA15 1.315	XA14	正	0	00	10							81	40	51	SD:	27.215
	XA16	正	305	45	25	305	45	15				278	18	51	HD:	<b>26.929</b>
		倒	125	45	23	305	45	17				81	41	00	△H:	3.944
	XA14	倒	180	00	06							BS = 1.308				
		正	90	05	35							98	02	47	SD:	27.718
		正	35	50	54	305	45	19				261	56	55	HD:	<b>27.445</b>
		倒	215	50	57	305	45	21	<b>305</b>	<b>45</b>	<b>18</b>	98	02	56	△H:	-3.940
		倒	270	05	36							FS = 1.374				
XA16 1.450	XA15	正	0	00	11							82	18	44	SD:	27.697
	XA17	正	200	18	26	200	18	15				277	41	00	HD:	<b>27.448</b>
		倒	20	18	29	200	18	13				82	18	52	△H:	3.944
	XA15	倒	180	00	16							BS = 1.21				
		正	90	05	45							97	32	49	SD:	29.400
		正	290	23	56	200	18	11				262	27	13	HD:	<b>29.145</b>
		倒	110	23	53	200	18	09	<b>200</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	97	32	48	△H:	-3.795
		倒	270	05	44							FS = 1.384				
XA17 1.441	XA16	正	0	00	08							82	52	34	SD:	29.377
	XA18	正	136	56	46	136	56	38				277	07	10	HD:	<b>29.150</b>
		倒	316	56	46	136	56	42				82	52	42	△H:	3.803
	XA16	倒	180	00	04							BS = 1.28				
		正	90	05	40							97	48	47	SD:	26.200
		正	227	02	23	136	56	43				262	11	15	HD:	<b>25.957</b>
		倒	47	02	26	136	56	45	<b>136</b>	<b>56</b>	<b>42</b>	97	48	46	△H:	-3.502
		倒	270	05	41							FS = 1.381				
XA18 1.342	XA17	正	0	00	12							82	36	03	SD:	26.179
	XA18A	正	246	18	28	246	18	16				277	23	43	HD:	<b>25.961</b>
		倒	66	18	30	246	18	16				82	36	10	△H:	3.503
	XA17	倒	180	00	14							BS = 1.21				
		正	90	05	41							80	48	09	SD:	38.502
		正	336	23	58	246	18	17				279	11	51	HD:	<b>38.007</b>
		倒	156	24	01	246	18	19	<b>246</b>	<b>18</b>	<b>17</b>	80	48	09	△H:	6.108
		倒	270	05	42							FS = 1.388				
XA18 1.342	XA17	正	0	00	09							82	36	19	SD:	26.179
	XA19	正	67	49	37	67	49	28				277	23	59	HD:	<b>25.961</b>
		倒	247	49	38	67	49	27				82	36	10	△H:	3.503
	XA17	倒	180	00	11							BS = 1.21				
		正	90	05	42							98	29	34	SD:	21.920
		正	157	55	12	67	49	30				261	30	44	HD:	<b>21.680</b>
		倒	337	55	15	67	49	31	<b>67</b>	<b>49</b>	<b>29</b>	98	29	25	△H:	-3.276
		倒	270	05	44							FS = 1.382				
XA19 1.512	XA18	正	0	00	08							82	14	02	SD:	21.884
	XA20	正	214	31	58	214	31	50				277	46	06	HD:	<b>21.683</b>
		倒	34	31	59	214	31	47				82	13	58	△H:	3.280
	XA18	倒	180	00	12							BS = 1.19				
		正	90	05	43							94	58	05	SD:	22.916
		正	304	37	36	214	31	53				265	01	51	HD:	<b>22.830</b>
		倒	124	37	39	214	31	50	<b>214</b>	<b>31</b>	<b>50</b>	94	58	07	△H:	-1.943
		倒	270	05	49							FS = 1.47				

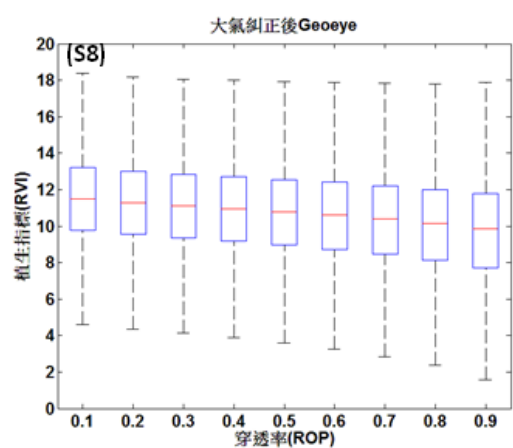
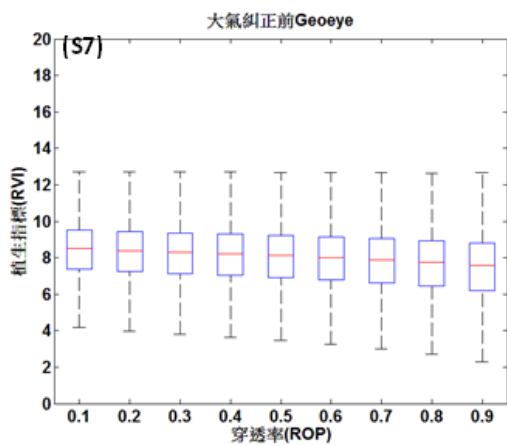
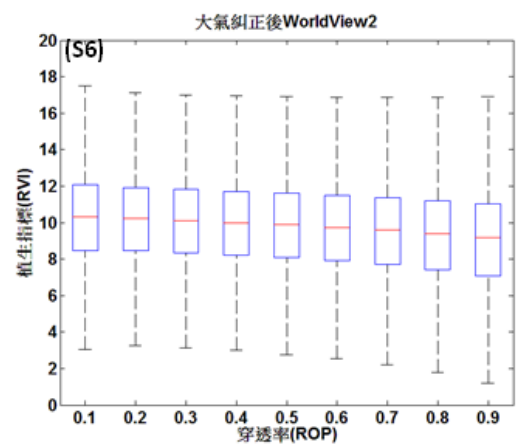
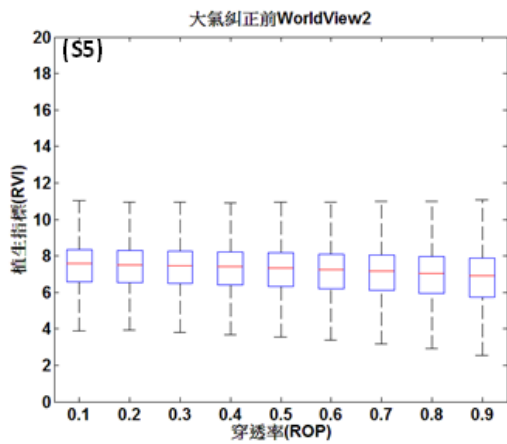
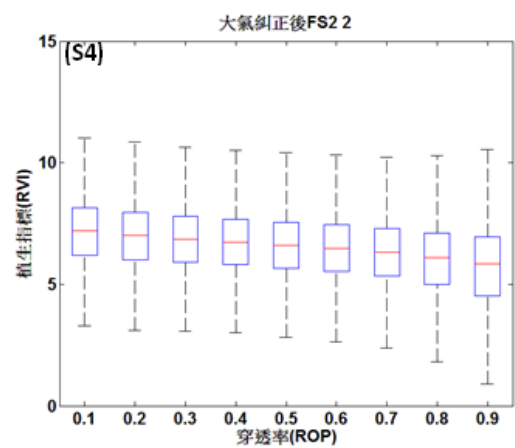
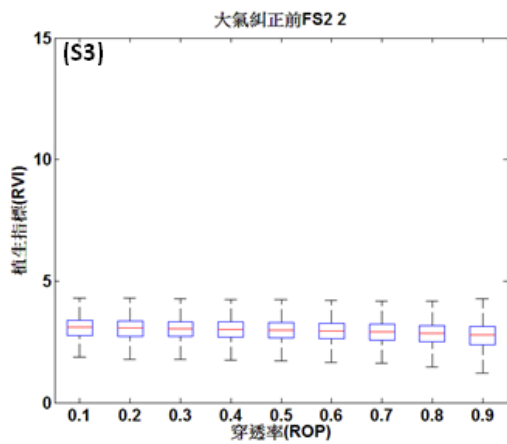
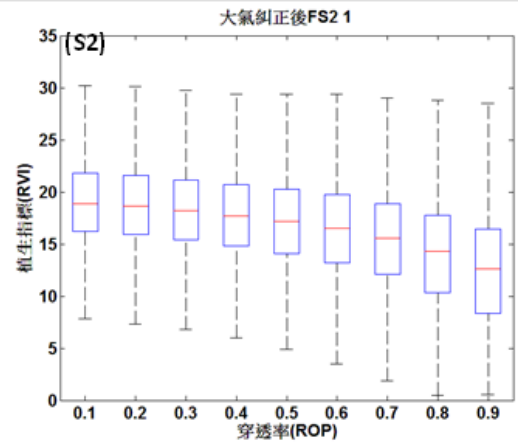
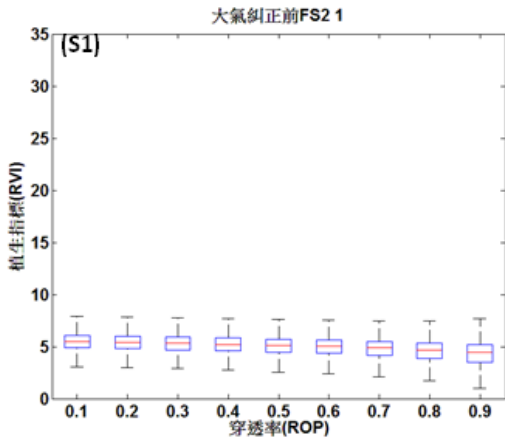
# 導線測量觀測手簿

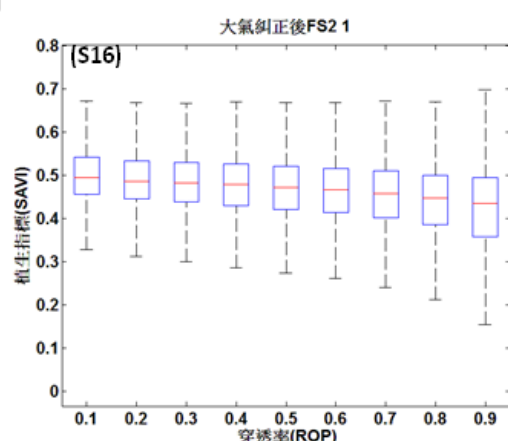
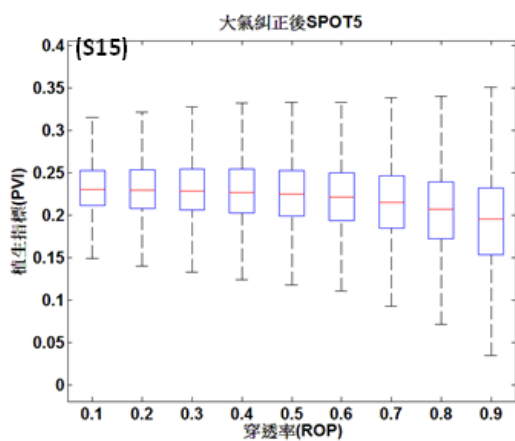
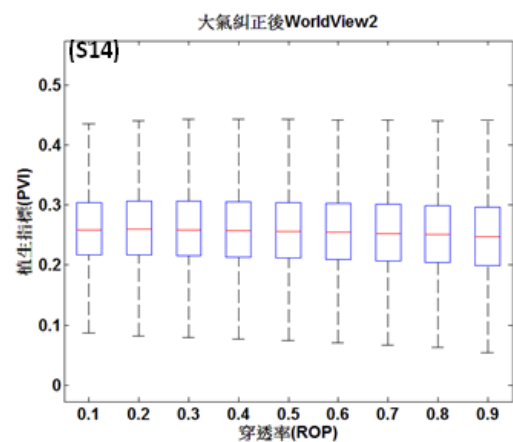
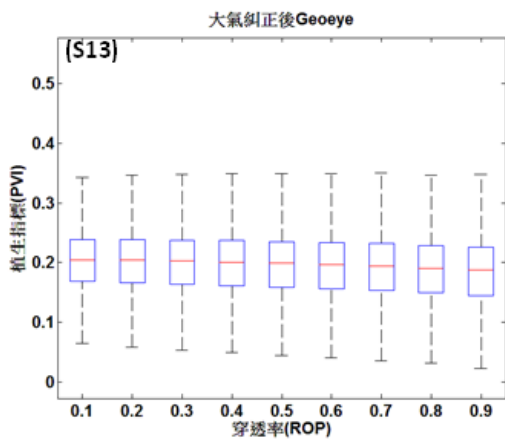
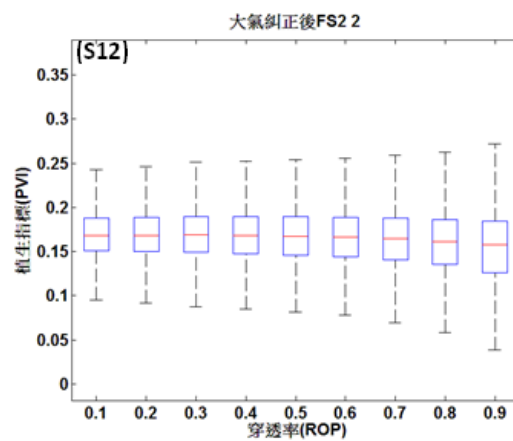
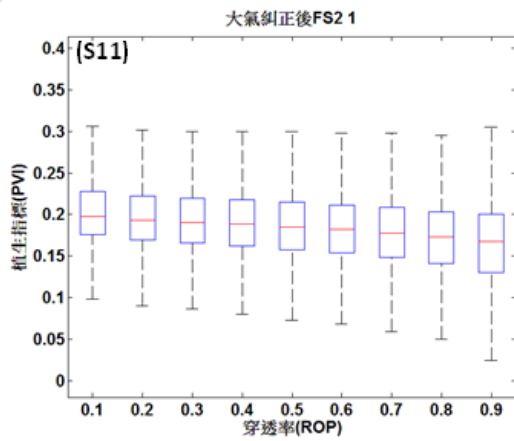
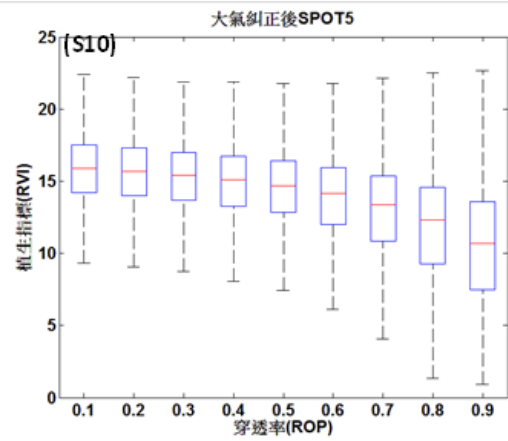
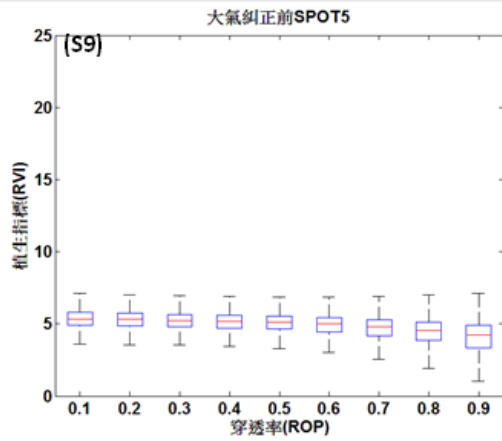
測 站 儀器高	視 點	鏡 位	水 平 角						天頂距(正)			斜距				
			觀 測 角			正倒平均			測回中數			天頂距(倒)			平距	
XA20 1.545	XA19	正	0	00	12							85	44	54	SD:	22.895
	X3	正	116	32	34	116	32	22				274	15	04	HD:	<b>22.832</b>
		倒	296	32	36	116	32	21				85	44	55	△H:	1.947
	XA19	倒	180	00	15							BS = 1.295				
		正	90	05	45							88	29	19	SD:	79.125
		正	206	38	06	116	32	21				271	30	47	HD:	<b>79.097</b>
		倒	26	38	06	116	32	16	<b>116</b>	<b>32</b>	<b>20</b>	88	29	16	△H:	2.148
		倒	270	05	50							FS = 1.486				
X3 1.511	XA20	正	0	00	06							91	38	56	SD:	79.135
	X4	正	194	22	24	194	22	18				268	20	56	HD:	<b>79.102</b>
		倒	14	22	29	194	22	19				91	39	00	△H:	-2.114
	XA20	倒	180	00	10							BS = 1.347				
		正	90	05	36							90	08	37	SD:	68.867
		正	284	27	59	194	22	23				269	51	07	HD:	<b>68.867</b>
		倒	104	28	00	194	22	20	<b>194</b>	<b>22</b>	<b>20</b>	90	08	45	△H:	-0.129
		倒	270	05	40							FS = 1.465				
		正													SD:	
		正													HD:	
		倒													△H:	
		倒														
		正													SD:	
		正													HD:	
		倒													△H:	
		倒														
		正													SD:	
		正													HD:	
		倒													△H:	
		倒														

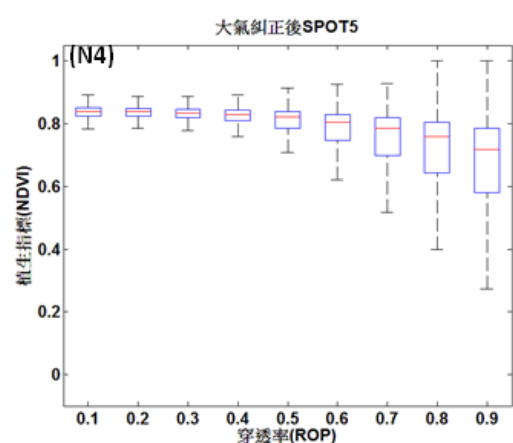
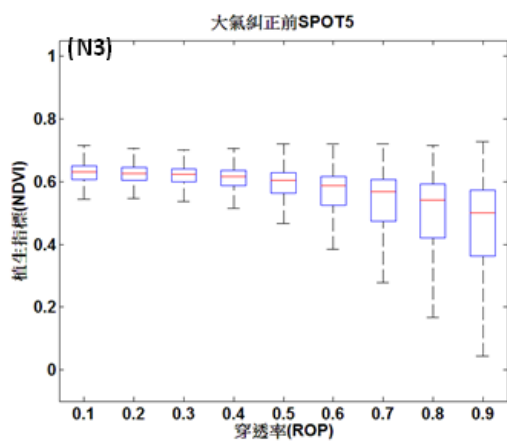
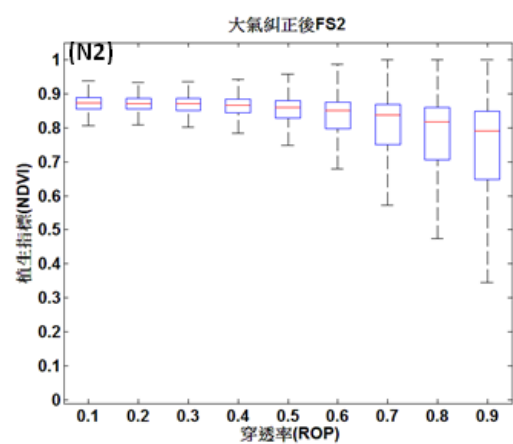
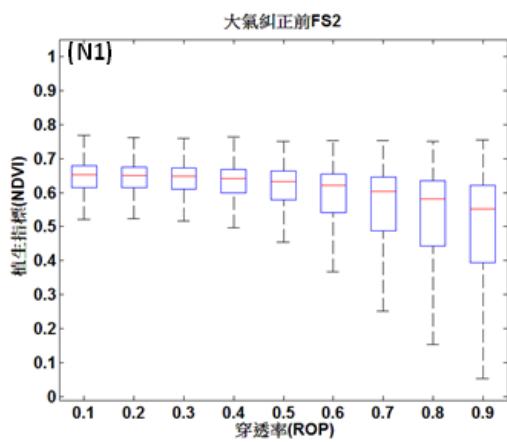
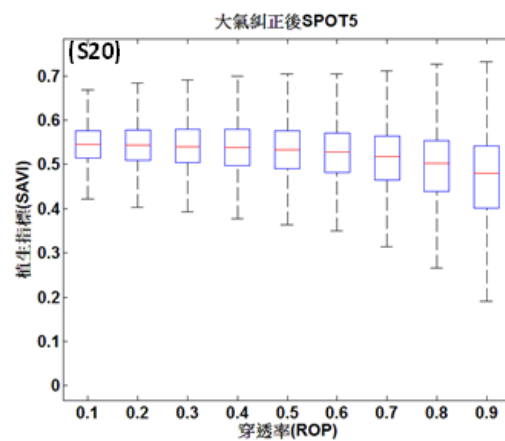
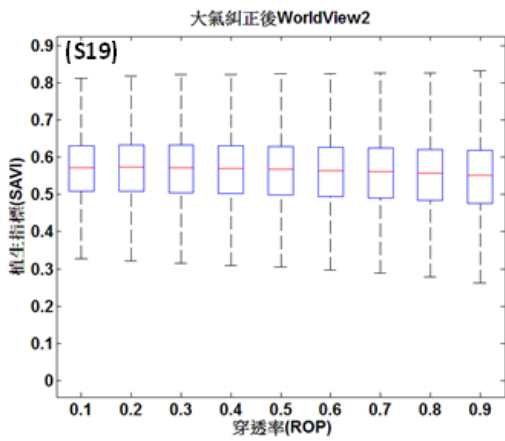
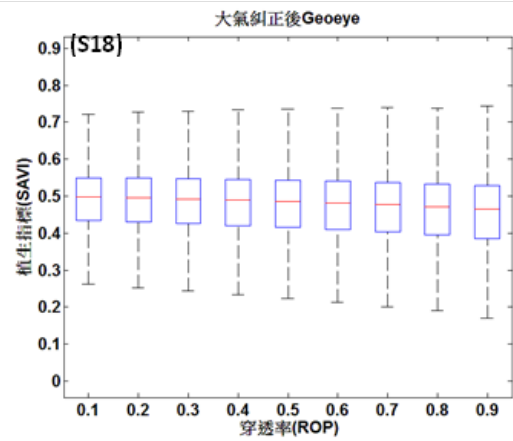
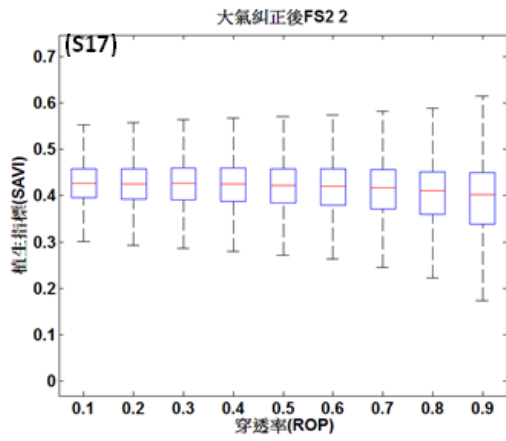
## 附件四

衛星影像植生指標與穿透率分布盒形圖









## 附件五

高光譜影像像元式光譜特徵與紋理測試

誤差矩陣表

火山測區高光譜(MNF)資料分類成果誤差矩陣

		Reference class														總計	使用者精度(%)
		農地	道路	裸露地	草地	墓地	學校	建物	森林	水體	河道	竹林	芒草	溫室			
User Class	農地	1200	0	0	160	0	0	11	32	0	6	130	231	0	1770	67.8	
	道路	0	1316	264	0	9	2	455	0	12	2	0	0	57	2117	62.16	
	裸露地	602	34	543	55	13	0	596	0	27	38	34	0	60	2002	27.12	
	草地	472	0	0	421	0	0	0	156	0	0	75	89	0	1213	34.71	
	墓地	279	58	66	0	258	13	289	0	30	19	0	0	2	1014	25.44	
	學校	400	3	66	116	35	185	86	0	0	0	45	7	0	943	19.62	
	建物	24	3	68	0	223	0	1067	0	0	40	0	0	0	1425	74.88	
	森林	223	1	0	0	0	0	0	7784	0	0	134	0	0	8142	95.6	
	水體	0	2	0	0	0	0	23	5	703	7	0	0	4	744	94.49	
	河道	120	38	71	0	1	0	30	0	1	377	1	0	0	639	59	
	竹林	1	0	0	46	0	0	0	290	0	0	955	0	0	1292	73.92	
	芒草	194	0	0	48	0	0	0	4	0	0	3	1194	0	1443	82.74	
溫室	0	326	16	0	41	0	145	0	3	1	0	0	350	882	39.68		
	總計	3515	1781	1094	846	580	200	2702	8271	776	490	1377	1521	473	23626		
生產者精度(%)		34.1	73.9	49.6	49.8	44.5	92.5	39.5	94.1	90.6	76.9	69.4	78.5	74			
OA:69.22% Kappa:0.63																	

火山測區高光譜(MNF+WBI)資料分類成果誤差矩陣

		Reference class														總計	使用者精度(%)
		農地	道路	裸露地	草地	墓地	學校	建物	森林	水體	河道	竹林	芒草	溫室			
User Class	農地	1727	18	85	145	6	0	99	21	3	86	123	470	1	2784	62.03	
	道路	0	701	207	0	8	0	412	0	9	1	0	0	109	1447	48.45	
	裸露地	12	2	588	2	5	0	225	0	28	11	0	0	1	874	67.28	
	草地	764	0	0	499	0	0	0	162	0	0	80	918	0	2423	20.59	
	墓地	9	52	5	1	198	0	378	0	25	13	0	0	14	695	28.49	
	學校	686	306	77	186	81	200	277	0	1	0	73	2	39	1928	10.37	
	建物	0	15	76	1	253	0	1026	0	2	39	0	0	0	1412	72.66	
	森林	275	1	0	0	0	0	0	7788	0	0	140	1	0	8205	94.92	
	水體	0	0	1	0	0	0	36	5	695	5	0	0	7	749	92.79	
	河道	42	30	55	0	1	0	31	0	4	332	0	0	0	495	67.07	
	竹林	0	0	0	12	0	0	0	295	0	0	961	1	0	1269	75.73	
	芒草	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	129	0	129	100.00	
溫室	0	656	0	0	28	0	218	0	9	3	0	0	302	1216	24.84		
	總計	3515	1781	1094	846	580	200	2702	8271	776	490	1377	1521	473	23626		
生產者精度(%)		49.13	39.36	53.75	58.98	34.14	100	37.97	94.16	89.56	67.76	69.79	8.48	63.85			
OA:64.11% Kappa:0.57																	

火山測區高光譜(MNF+NDVI)資料分類成果誤差矩陣

		Reference class														使用者 精度(%)
		農地	道路	裸露地	草地	墓地	學校	建物	森林	水體	河道	竹林	芒草	溫室	總計	
User Class	農地	1228	0	1	202	0	0	0	56	0	8	97	196	0	1788	68.68
	道路	2	1330	251	0	12	0	557	0	9	0	0	0	77	2238	59.43
	裸露地	850	35	658	43	15	0	235	0	39	34	88	29	66	2092	31.45
	草地	489	0	0	442	0	0	0	111	0	0	91	119	0	1252	35.3
	墓地	243	57	37	7	264	10	519	0	26	12	5	0	2	1182	22.34
	學校	171	4	7	29	35	190	89	0	0	0	0	2	0	527	36.05
	建物	47	5	66	82	218	0	1156	0	0	29	10	0	0	1613	71.67
	森林	231	1	0	0	0	0	0	7884	0	0	125	0	0	8241	95.67
	水體	0	1	0	0	0	0	24	5	690	7	0	0	15	742	92.99
	河道	130	16	60	0	0	0	31	0	8	400	0	0	0	645	62.02
	竹林	1	0	0	36	0	0	0	213	0	0	960	0	0	1210	79.34
	芒草	123	0	0	5	0	0	0	2	0	0	1	1175	0	1306	89.97
溫室	0	332	14	0	36	0	91	0	4	0	0	0	313	790	39.62	
	總計	3515	1781	1094	846	580	200	2702	8271	776	490	1377	1521	473	23626	
生產者精度(%)		34.94	74.68	60.15	52.25	45.52	95	42.78	95.32	88.92	81.63	69.72	77.25	66.17		
OA:70.64% Kappa:0.65																

火山測區高光譜(MNF+EVI)資料分類成果誤差矩陣

		Reference class														使用者 精度(%)
		農地	道路	裸露地	草地	墓地	學校	建物	森林	水體	河道	竹林	芒草	溫室	總計	
User Class	農地	746	1	0	82	0	0	13	2	0	6	70	208	0	1128	66.13
	道路	2	1602	137	3	13	6	686	0	26	4	0	0	102	2581	62.07
	裸露地	606	15	662	12	18	0	452	0	24	36	19	0	34	1878	35.25
	草地	105	0	0	101	0	0	0	1	0	0	4	73	0	284	35.56
	墓地	265	52	69	1	273	11	300	0	33	16	0	0	3	1023	26.69
	學校	385	3	71	181	13	183	86	0	0	0	46	3	0	971	18.85
	建物	29	3	91	3	224	0	1074	0	1	41	0	0	0	1466	73.26
	森林	1017	1	0	195	0	0	0	7955	0	0	234	22	0	9424	84.41
	水體	0	2	7	0	0	0	12	0	685	7	0	0	5	718	95.4
	河道	103	18	50	0	0	0	12	0	1	379	1	0	0	564	67.2
	竹林	126	0	0	227	0	0	0	312	0	0	1001	186	0	1852	54.05
	芒草	131	0	0	41	0	0	0	1	0	0	2	1029	0	1204	85.47
溫室	0	84	7	0	39	0	67	0	6	1	0	0	329	533	61.73	
	總計	3515	1781	1094	846	580	200	2702	8271	776	490	1377	1521	473	23626	
生產者精度(%)		21.22	89.95	60.51	11.94	47.07	91.5	39.75	96.18	88.27	77.35	72.69	67.65	69.56		
OA:67.80% Kappa:0.61																

火山測區高光譜(MNF+GLCM3\*3)資料分類成果誤差矩陣

		Reference class													總計	使用者 精度(%)
		農地	道路	裸露地	草地	墓地	學校	建物	森林	水體	河道	竹林	芒草	溫室		
User Class	農地	1124	0	47	97	0	0	56	4	3	37	77	157	0	1602	70.16
	道路	0	201	106	0	3	0	83	0	3	0	0	0	21	417	48.2
	裸露地	550	26	511	115	11	1	271	0	41	35	40	7	6	1614	31.66
	草地	190	0	0	173	0	0	0	50	0	0	3	2	0	418	41.39
	墓地	176	27	57	0	317	0	174	5	55	59	1	0	0	871	36.39
	學校	126	0	5	27	5	129	57	0	0	0	0	1	0	350	36.86
	建物	127	14	99	6	185	0	1202	0	31	47	0	2	0	1713	70.17
	森林	208	1	0	0	0	0	0	2839	0	0	21	0	0	3069	92.51
	水體	0	0	0	0	0	0	0	0	552	0	0	0	0	552	100
	河道	102	20	51	0	0	0	8	0	6	311	0	0	0	498	62.45
	竹林	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	芒草	361	0	0	116	0	0	0	9	0	0	27	1065	0	1578	67.49
溫室	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	總計	3515	1781	1094	846	580	200	2702	8271	776	490	1377	1521	473	23626	
生產者精度(%)		31.98	11.29	46.71	20.45	54.66	64.5	44.49	34.32	71.13	63.47	0	70.02	0		
OA:35.66% Kappa:0.30																

火山測區高光譜(MNF+NDVI+EVI)資料分類成果誤差矩陣

		Reference class													總計	使用者 精度(%)
		農地	道路	裸露地	草地	墓地	學校	建物	森林	水體	河道	竹林	芒草	溫室		
User Class	農地	791	0	1	120	0	0	0	9	0	8	38	173	0	1140	69.39
	道路	2	1597	149	1	13	0	698	0	27	1	0	0	120	2608	61.23
	裸露地	862	21	763	31	21	0	204	0	40	32	85	29	40	2128	35.86
	草地	84	0	0	184	0	0	0	0	0	0	2	105	0	375	49.07
	墓地	214	47	28	0	276	7	482	0	23	24	5	0	3	1109	24.89
	學校	141	3	7	54	17	193	90	0	0	0	0	4	0	509	37.92
	建物	56	5	93	94	220	0	1147	0	1	24	11	0	0	1651	69.47
	森林	933	1	0	170	0	0	0	8038	0	0	218	2	0	9362	85.86
	水體	0	1	2	0	0	0	18	5	679	9	0	0	13	727	93.4
	河道	110	10	43	0	0	0	12	0	1	390	0	0	0	566	68.9
	竹林	216	0	0	188	0	0	0	218	0	0	1018	180	0	1820	55.93
	芒草	106	0	0	4	0	0	0	1	0	0	0	1028	0	1139	90.25
溫室	0	96	8	0	33	0	51	0	5	2	0	0	297	492	60.37	
	總計	3515	1781	1094	846	580	200	2702	8271	776	490	1377	1521	473	23626	
生產者精度(%)		22.5	89.67	69.74	21.75	47.59	96.5	42.45	97.18	87.5	79.59	73.93	67.59	62.79		
OA:69.42% Kappa:0.63																

火山測區高光譜(MNF+WBI+NDVI+EVI)資料分類成果誤差矩陣

		Reference class														使用者 精度(%)
		農地	道路	裸露地	草地	墓地	學校	建物	森林	水體	河道	竹林	芒草	溫室	總計	
User Class	農地	417	0	0	18	0	0	0	4	4	1	12	41	0	497	83.9
	道路	2	1448	156	0	13	0	630	0	44	1	0	0	104	2398	60.38
	裸露地	530	12	731	2	8	0	150	0	50	27	74	17	23	1624	45.01
	草地	13	0	0	199	0	0	0	0	0	0	0	0	0	212	93.87
	墓地	328	52	60	17	271	0	558	0	24	41	12	0	2	1365	19.85
	學校	574	153	15	135	61	200	286	0	0	0	7	125	55	1611	12.41
	建物	70	3	88	76	208	0	1012	0	0	19	13	0	0	1489	67.97
	森林	721	1	0	32	0	0	0	4918	0	0	84	0	0	5756	85.44
	水體	0	0	0	0	0	0	10	5	645	14	0	0	2	676	95.41
	河道	103	9	35	0	0	0	9	0	0	385	0	0	0	541	71.16
	竹林	439	0	0	285	0	0	0	3343	0	0	1146	181	0	5394	21.25
	芒草	317	0	0	82	0	0	0	1	0	0	29	1157	0	1586	72.95
溫室	1	103	9	0	19	0	47	0	9	2	0	0	287	477	60.17	
	總計	3515	1781	1094	846	580	200	2702	8271	776	490	1377	1521	473	23626	
生產者精度(%)		11.86	81.3	66.82	23.52	46.72	100	37.45	59.46	83.12	78.57	83.22	76.07	60.68		
OA:54.25% Kappa:0.48																

火山測區高光譜(MNF+GLCM5\*5)資料分類成果誤差矩陣

		Reference class														使用者 精度(%)
		農地	道路	裸露地	草地	墓地	學校	建物	森林	水體	河道	竹林	芒草	溫室	總計	
User Class	農地	1135	0	45	101	0	0	46	2	1	36	56	147	0	1569	72.34
	道路	0	1250	126	0	17	0	356	1	12	0	0	0	146	1908	65.51
	裸露地	552	39	637	89	2	2	433	0	51	34	60	5	13	1917	33.23
	草地	152	0	0	232	0	0	0	31	0	0	6	0	0	421	55.11
	墓地	153	33	35	0	381	0	145	0	64	54	0	0	8	873	43.64
	學校	136	0	3	25	0	196	55	0	0	0	0	0	0	415	47.23
	建物	193	31	141	27	178	0	1308	1	49	77	0	1	3	2009	65.11
	森林	248	1	0	0	0	0	0	3744	0	0	42	0	0	4035	92.79
	水體	0	0	1	0	0	0	0	0	546	0	0	0	1	548	99.64
	河道	110	24	49	0	0	0	12	0	26	289	0	0	0	510	56.67
	竹林	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	芒草	382	0	0	164	0	0	0	24	0	0	59	1187	0	1816	65.36
溫室	0	403	57	0	2	2	347	0	27	0	0	0	302	1140	26.49	
	總計	3515	1781	1094	846	580	200	2702	8271	776	490	1377	1521	473	23626	
生產者精度(%)		32.29	70.19	58.23	27.42	65.69	98	48.41	45.27	70.36	58.98	0	78.04	63.85		
OA:47.44% Kappa:0.42																



火山測區高光譜(MNF+GLCM7\*7)資料分類成果誤差矩陣

		Reference class													總計	使用者精度 (%)
		農地	道路	裸露地	草地	墓地	學校	建物	森林	水體	河道	竹林	芒草	溫室		
User Class	農地	1323	0	56	109	0	0	45	8	0	43	58	140	0	1782	74.24
	道路	0	1435	132	0	29	0	481	0	9	1	2	0	179	2268	63.27
	裸露地	486	27	526	11	0	0	366	0	28	35	67	2	13	1561	33.7
	草地	164	0	0	310	0	0	0	27	0	0	17	0	0	518	59.85
	墓地	150	34	37	0	372	0	135	0	44	55	0	0	11	838	44.39
	學校	118	0	0	17	0	200	37	0	0	0	0	0	0	372	53.76
	建物	216	57	233	93	179	0	1443	1	57	80	0	0	3	2362	61.09
	森林	237	1	0	0	0	0	0	4696	0	0	72	0	0	5006	93.81
	水體	0	0	1	0	0	0	0	0	553	0	0	0	2	556	99.46
	河道	120	24	55	0	0	0	12	0	44	276	0	0	0	531	51.98
	竹林	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	芒草	454	0	0	209	0	0	0	70	0	0	102	1368	0	2203	62.1
溫室	0	203	54	0	0	0	183	0	41	0	0	0	265	746	35.52	
	總計	3515	1781	1094	846	580	200	2702	8271	776	490	1377	1521	473	23626	
生產者精度(%)		37.64	80.57	48.08	36.64	64.14	100	53.4	56.78	71.26	56.33	0	89.94	56.03		
OA:54.04% Kappa:0.48																

火山測區高光譜(MNF+GLCM9\*9)資料分類成果誤差矩陣

		Reference class													總計	使用者精度 (%)
		農地	道路	裸露地	草地	墓地	學校	建物	森林	水體	河道	竹林	芒草	溫室		
User Class	農地	1489	2	68	128	0	0	51	14	0	42	53	145	0	1992	74.75
	道路	0	1551	128	0	29	0	505	0	11	2	1	0	217	2444	63.46
	裸露地	451	19	402	1	0	0	288	0	19	29	70	0	10	1289	31.19
	草地	176	0	0	350	0	0	0	20	0	0	29	0	0	575	60.87
	墓地	128	44	35	0	375	0	157	0	29	48	0	0	6	822	45.62
	學校	69	0	0	3	0	200	19	0	0	0	0	0	0	291	68.73
	建物	232	69	376	98	176	0	1547	0	36	97	0	0	2	2633	58.75
	森林	196	0	0	0	0	0	0	5168	0	0	101	0	0	5465	94.57
	水體	0	0	0	0	0	0	0	0	606	0	0	0	0	606	100
	河道	121	13	44	0	0	0	6	0	41	272	0	0	0	497	54.73
	竹林	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	芒草	469	0	0	218	0	0	0	63	0	0	105	1371	0	2226	61.59
溫室	0	83	41	0	0	0	129	0	34	0	0	0	238	525	45.33	
	總計	3515	1781	1094	846	580	200	2702	8271	776	490	1377	1521	473	23626	
生產者精度(%)		42.36	87.09	36.75	41.37	64.66	100	57.25	62.48	78.09	55.51	0	90.14	50.32	42.36	
OA:57.43% Kappa:0.51																

火山測區高光譜(MNF+GLCM13*13)資料分類成果誤差矩陣																	
		Reference class														總計	使用者精度(%)
		農地	道路	裸露地	草地	墓地	學校	建物	森林	水體	河道	竹林	芒草	溫室			
User Class	農地	1731	1	68	139	0	0	40	25	0	28	66	159	0	2257	76.69	
	道路	0	1553	156	0	30	0	520	0	13	1	2	0	243	2518	61.68	
	裸露地	414	3	281	0	0	0	174	0	14	23	80	0	6	995	28.24	
	草地	202	0	0	400	0	0	0	14	0	0	20	0	0	636	62.89	
	墓地	56	64	36	0	391	0	136	0	2	47	0	0	1	733	53.34	
	學校	19	0	0	0	0	200	13	0	0	0	0	0	0	232	86.21	
	建物	357	100	531	109	159	0	1728	0	74	93	0	0	11	3162	54.65	
	森林	114	0	0	0	0	0	0	5982	0	0	151	0	0	6247	95.76	
	水體	0	0	0	0	0	0	4	0	622	0	0	0	4	630	98.73	
	河道	122	10	21	0	0	0	2	0	41	298	0	0	0	494	60.32	
	竹林	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	芒草	398	0	0	195	0	0	0	76	0	0	194	1359	0	2222	61.16	
溫室	0	50	1	0	0	0	85	0	10	0	0	0	208	354	58.76		
	總計	3515	1781	1094	846	580	200	2702	8271	776	490	1377	1521	473	23626		
生產者精度(%)		49.25	87.2	25.69	47.28	67.41	100	63.95	72.32	80.15	60.82	0	89.35	43.97			
OA:62.44% Kappa:0.56																	

火山測區高光譜(MNF+GLCM15*15)資料分類成果誤差矩陣																	
		Reference class														總計	使用者精度(%)
		農地	道路	裸露地	草地	墓地	學校	建物	森林	水體	河道	竹林	芒草	溫室			
User Class	農地	1881	2	67	154	0	0	30	52	0	18	87	183	0	2474	76.03	
	道路	0	1571	148	0	33	0	512	0	23	3	2	0	242	2534	62	
	裸露地	373	9	212	0	0	0	110	0	13	20	82	0	5	824	25.73	
	草地	214	0	0	402	0	0	0	10	0	0	3	0	0	629	63.91	
	墓地	20	51	36	0	415	0	97	0	0	48	0	0	2	669	62.03	
	學校	11	0	0	0	0	200	12	0	0	0	0	0	0	223	89.69	
	建物	405	100	613	109	132	0	1862	0	85	89	0	0	19	3414	54.54	
	森林	80	0	0	0	0	0	0	6294	0	0	198	0	0	6572	95.77	
	水體	0	0	0	0	0	0	7	0	596	0	0	0	3	606	98.35	
	河道	117	10	18	0	0	0	3	0	48	312	0	0	0	508	61.42	
	竹林	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	芒草	361	0	0	181	0	0	0	87	0	0	207	1333	0	2169	61.46	
溫室	0	38	0	0	0	0	69	0	11	0	0	0	202	320	63.13		
	總計	3515	1781	1094	846	580	200	2702	8271	776	490	1377	1521	473	23626		
生產者精度(%)		53.51	88.21	19.38	47.52	71.55	100	68.91	76.1	76.8	63.67	0	87.64	42.71			
OA:64.67% Kappa:0.59																	

火山測區高光譜(MNF+GLCM19*19)資料分類成果誤差矩陣																	
		Reference class														總計	使用者精度(%)
		農地	道路	裸露地	草地	墓地	學校	建物	森林	水體	河道	竹林	芒草	溫室			
User Class	農地	2208	2	115	205	0	0	24	46	0	2	127	215	0	2944	75	
	道路	0	1615	145	0	27	0	544	0	33	6	1	0	235	2606	61.97	
	裸露地	282	5	83	0	0	0	23	0	0	9	93	0	8	503	16.5	
	草地	265	0	0	380	0	0	0	6	0	0	0	9	0	660	57.58	
	墓地	7	7	15	0	465	0	64	0	0	12	0	0	1	571	81.44	
	學校	5	0	0	0	0	200	8	0	0	0	0	0	0	213	93.9	
	建物	366	118	716	106	88	0	1994	0	91	123	0	0	25	3627	54.98	
	森林	51	0	0	7	0	0	0	6710	0	0	221	0	0	6989	96.01	
	水體	0	3	0	0	0	0	1	0	588	0	0	0	4	596	98.66	
	河道	119	8	20	0	0	0	20	0	57	338	0	0	0	562	60.14	
	竹林	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	芒草	209	0	0	148	0	0	0	43	0	0	206	1290	0	1896	68.04	
溫室	0	23	0	0	0	0	24	0	7	0	0	0	200	254	78.74		
	總計	3515	1781	1094	846	580	200	2702	8271	776	490	1377	1521	473	23626		
生產者精度(%)		62.82	90.68	7.59	44.92	80.17	100	73.8	81.13	75.77	68.98	0	84.81	42.28			
OA:68.02% Kappa:0.62																	

火山測區高光譜(MNF+GLCM21*21)資料分類成果誤差矩陣																	
		Reference class														總計	使用者精度(%)
		農地	道路	裸露地	草地	墓地	學校	建物	森林	水體	河道	竹林	芒草	溫室			
User Class	農地	163	0	0	131	0	0	0	1276	0	0	853	1287	0	3710		
	道路	2376	2	130	245	0	0	23	56	0	3	159	223	0	3217	73.86	
	裸露地	1	1617	151	0	23	0	555	0	44	5	1	0	235	2632	61.44	
	草地	219	1	57	0	0	0	12	0	0	6	82	0	5	382	14.92	
	墓地	235	0	0	362	0	0	0	4	0	0	0	10	0	611	59.25	
	學校	3	2	0	0	480	0	40	0	0	2	0	0	1	528	90.91	
	建物	5	0	0	0	0	200	4	0	0	0	0	0	0	209	95.69	
	森林	350	122	736	99	77	0	2016	0	125	138	0	1	22	3686	54.69	
	水體	36	0	0	9	0	0	0	6935	0	0	282	0	0	7262	95.5	
	河道	0	3	0	0	0	0	0	0	562	0	0	0	7	572	98.25	
	竹林	127	8	20	0	0	0	19	0	44	336	0	0	0	554	60.65	
	芒草	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
溫室	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	總計	0	26	0	0	0	0	33	0	1	0	0	203	263	77.19		
生產者精度(%)		3515	1781	1094	846	580	200	2702	8271	776	490	1377	1521	473	23626		
OA:64.10% Kappa:0.57																	

水庫測區高光譜(MNF)資料分類成果誤差矩陣

		Reference class																
		水泥地	水體	竹林	果樹	河道	建物	草地	森林	溫室	道路	裸露地	學校	檳榔	茶園	農田	總計	使用者精度(%)
User Class	水泥地	151	0	0	0	3	0	0	0	70	89	61	0	0	0	7	381	39.63
	水體	0	1318	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1318	100
	竹林	0	0	4733	375	0	0	9	1277	0	2	0	0	661	978	52	8087	58.53
	果樹	0	0	122	415	0	0	53	368	0	6	2	0	202	0	154	1322	31.39
	河道	0	16	0	0	2066	0	0	0	0	176	444	0	0	0	0	2702	76.46
	建物	91	32	122	0	3	1139	0	72	73	62	104	0	0	0	25	1723	66.11
	草地	0	0	2	4	0	0	1232	373	0	0	0	0	169	74	67	1921	64.13
	森林	0	0	630	130	0	0	150	4025	0	0	0	0	263	69	121	5388	74.7
	溫室	9	0	0	0	5	0	0	0	1120	31	0	0	0	0	0	1165	96.14
	道路	55	0	0	0	171	185	0	0	196	742	283	0	0	0	67	1699	43.67
	裸露地	4	22	0	0	175	0	0	0	0	37	684	0	0	0	10	932	73.39
	學校	15	0	0	0	3	0	0	0	19	15	34	25	0	0	3	114	21.93
	檳榔	1	0	412	7	0	0	34	41	0	0	0	0	1612	74	54	2235	72.13
	茶園	0	0	280	0	0	0	0	201	0	0	0	0	10	1365	0	1856	73.55
農田	5	0	61	62	0	0	267	145	65	53	27	0	191	11	1965	2852	68.9	
	總計	331	1388	6362	993	2426	1324	1745	6502	1543	1213	1639	25	3108	2571	2525	33695	
生產者精度(%)		45.62	94.96	74.39	41.79	85.16	86.03	70.6	61.9	72.59	61.17	41.73	100	51.87	53.09	77.82		
OA:67.05% Kappa:0.63																		

水庫測區高光譜(MNF+WBI)資料分類成果誤差矩陣

		Reference class																
		水泥地	水體	竹林	果樹	河道	建物	草地	森林	溫室	道路	裸露地	學校	檳榔	茶園	農田	總計	使用者精度(%)
User Class	水泥地	146	0	0	0	3	0	0	0	8	58	64	0	0	0	4	283	51.59
	水體	0	1331	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	1337	99.55
	竹林	0	0	5010	203	0	0	3	1129	0	0	0	0	325	923	36	7629	65.67
	果樹	0	0	119	587	0	0	58	315	0	15	3	0	226	1	172	1496	39.24
	河道	0	12	0	0	2065	0	0	0	0	170	441	0	0	0	0	2688	76.82
	建物	92	19	55	0	4	1141	0	28	83	64	96	0	0	0	26	1608	70.96
	草地	0	0	2	6	0	0	1248	399	0	0	0	0	148	76	60	1939	64.36
	森林	0	0	630	135	0	0	143	4229	0	0	0	0	238	95	67	5537	76.38
	溫室	9	0	0	0	6	0	0	0	1248	58	0	0	0	0	0	1321	94.47
	道路	60	0	2	0	194	172	0	0	177	755	321	0	0	0	64	1745	43.27
	裸露地	3	26	0	0	152	11	0	0	5	53	651	0	0	0	10	911	71.46
	學校	16	0	0	0	2	0	0	0	15	8	26	25	0	0	0	92	27.17
	檳榔	1	0	335	11	0	0	23	83	0	0	0	0	1961	98	88	2600	75.42
	茶園	0	0	177	3	0	0	0	183	0	0	0	0	8	1374	0	1745	78.74
農田	4	0	32	48	0	0	270	136	7	32	31	0	202	4	1998	2764	72.29	
	總計	331	1388	6362	993	2426	1324	1745	6502	1543	1213	1639	25	3108	2571	2525	33695	
生產者精度(%)		44.11	95.89	78.75	59.11	85.12	86.18	71.52	65.04	80.88	62.24	39.72	100	63.1	53.44	79.13		
OA:70.54% Kappa:0.67																		

水庫測區高光譜(MNF+NDVI)資料分類成果誤差矩陣

		Reference class																
		水泥地	水體	竹林	果樹	河道	建物	草地	森林	溫室	道路	裸露地	學校	檳榔	茶園	農田	總計	使用者精度(%)
User Class	水泥地	149	0	0	0	0	0	0	0	0	40	24	0	0	0	0	213	69.95
	水體	0	1361	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	1365	99.71
	竹林	0	0	4691	397	0	0	11	1324	0	2	0	0	637	1110	42	8214	57.11
	果樹	0	0	144	401	0	0	45	269	2	12	2	0	204	1	100	1180	33.98
	河道	0	16	0	0	2093	0	0	0	0	176	426	0	0	0	0	2711	77.2
	建物	90	0	131	0	4	1196	0	67	72	64	116	0	0	0	22	1762	67.88
	草地	0	0	4	6	0	0	1228	348	0	0	0	0	168	63	87	1904	64.5
	森林	0	0	654	125	0	0	161	4091	0	0	0	0	248	63	94	5436	75.26
	溫室	11	0	0	0	7	0	0	0	1307	65	0	0	0	0	1	1391	93.96
	道路	60	0	2	0	151	124	0	1	143	767	287	0	0	0	100	1635	46.91
	裸露地	2	11	0	0	171	4	0	0	2	47	723	0	0	0	17	977	74
	學校	13	0	0	0	0	0	0	0	13	6	43	25	0	0	6	106	23.58
	檳榔	0	0	406	20	0	0	21	77	0	0	0	0	1617	36	74	2251	71.83
	茶園	0	0	260	1	0	0	0	183	0	0	0	0	8	1286	1	1739	73.95
農田	6	0	70	43	0	0	279	142	4	34	14	0	226	12	1981	2811	70.47	
總計	331	1388	6362	993	2426	1324	1745	6502	1543	1213	1639	25	3108	2571	2525	33695		
生產者精度(%)	45.02	98.05	73.73	40.38	86.27	90.33	70.37	62.92	84.71	63.23	44.11	100	52.03	50.02	78.46			
OA:68.01% Kappa:0.64																		

水庫測區高光譜(MNF+EVI)資料分類成果誤差矩陣

		Reference class																
		水泥地	水體	竹林	果樹	河道	建物	草地	森林	溫室	道路	裸露地	學校	檳榔	茶園	農田	總計	使用者精度(%)
User Class	水泥地	150	0	0	0	1	0	0	0	29	49	33	0	0	0	5	267	56.18
	水體	0	1334	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1334	100
	竹林	2	0	5338	654	0	0	227	1547	3	11	6	0	2188	1074	554	11604	46
	果樹	0	0	0	25	0	0	22	0	0	3	0	0	140	0	111	301	8.31
	河道	0	18	0	0	2009	0	0	0	0	3	384	0	0	0	0	2414	83.22
	建物	75	17	31	0	4	1136	0	14	93	60	80	0	2	0	8	1520	74.74
	草地	0	0	0	0	0	0	278	0	0	0	0	0	50	0	30	358	77.65
	森林	1	0	707	241	0	0	1153	4733	7	7	0	0	518	123	755	8245	57.4
	溫室	8	0	0	0	5	0	0	0	1039	36	0	0	0	0	0	1088	95.5
	道路	57	0	0	0	170	185	0	0	236	787	294	0	1	0	33	1763	44.64
	裸露地	3	19	0	0	230	0	0	0	0	157	725	0	0	0	10	1144	63.37
	學校	32	0	0	0	7	3	0	0	100	66	101	25	0	0	87	421	5.94
	檳榔	0	0	1	7	0	0	1	0	0	0	0	0	38	1	2	50	76
	茶園	0	0	285	0	0	0	0	204	0	0	0	0	10	1372	0	1871	73.33
農田	3	0	0	66	0	0	64	4	36	34	16	0	161	1	930	1315	70.72	
總計	331	1388	6362	993	2426	1324	1745	6502	1543	1213	1639	25	3108	2571	2525	33695		
生產者精度(%)	45.32	96.11	83.9	2.52	82.81	85.8	15.93	72.79	67.34	64.88	44.23	100	1.22	53.36	36.83			
OA:59.12% Kappa:0.53																		

水庫測區高光譜(MNF+GLCM3\*3)資料分類成果誤差矩陣

		Reference class																
		水泥地	水體	竹林	果樹	河道	建物	草地	森林	溫室	道路	裸露地	學校	檳榔	茶園	農田	總計	使用者精度(%)
User Class	水泥地	131	0	0	0	6	0	0	0	87	49	33	0	0	0	1	307	42.67
	水體	0	1280	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1280	100
	竹林	0	0	3781	172	0	0	12	1227	0	0	0	0	273	751	32	6248	60.52
	果樹	0	0	272	578	0	0	109	380	0	0	0	0	144	1	158	1642	35.2
	河道	0	23	0	0	1936	0	0	0	0	115	266	0	0	0	0	2340	82.74
	建物	132	73	126	3	29	1139	2	85	180	138	136	4	7	1	52	2107	54.06
	草地	0	0	10	4	0	0	1127	569	0	0	0	0	153	84	51	1998	56.41
	森林	0	0	1313	140	0	0	173	3860	0	0	0	0	437	109	96	6128	62.99
	溫室	7	0	0	0	5	0	0	0	988	31	2	0	1	0	2	1036	95.37
	道路	57	0	0	0	202	182	0	0	261	767	312	0	0	0	27	1808	42.42
	裸露地	2	12	0	1	248	3	0	0	4	84	856	0	1	0	14	1225	69.88
	學校	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	8	21	0	0	0	32	65.63
	檳榔	1	0	570	14	0	0	24	94	0	0	0	0	1815	149	13	2680	67.72
	茶園	0	0	181	2	0	0	0	76	0	0	0	0	5	1446	10	1720	84.07
	農田	1	0	109	79	0	0	298	211	22	27	26	0	272	30	2069	3144	65.81
總計	331	1388	6362	993	2426	1324	1745	6502	1543	1213	1639	25	3108	2571	2525	33695		
生產者精度(%)	39.58	92.22	59.43	58.21	79.8	86.03	64.58	59.37	64.03	63.23	52.23	84	58.4	56.24	81.94			
OA:64.68% Kappa:0.60																		

水庫測區高光譜(MNF+NDVI+EVI)資料分類成果誤差矩陣

		Reference class																
		水泥地	水體	竹林	果樹	河道	建物	草地	森林	溫室	道路	裸露地	學校	檳榔	茶園	農田	總計	使用者精度(%)
User Class	水泥地	147	0	0	0	0	0	0	0	21	5	0	0	0	0	173	84.97	
	水體	0	1366	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	1375	99.35	
	竹林	3	0	5338	665	0	0	172	1532	7	7	1	0	2123	1176	460	11484	46.48
	果樹	0	0	0	33	0	0	20	1	1	6	0	0	159	0	58	278	11.87
	河道	0	16	0	0	2012	0	0	0	0	6	368	0	0	0	0	2402	83.76
	建物	74	0	37	0	3	1201	0	15	71	63	82	0	1	0	7	1554	77.28
	草地	0	0	0	0	0	0	280	0	0	0	0	0	86	0	42	408	68.63
	森林	0	0	722	229	0	0	1171	4761	0	10	0	0	521	104	792	8310	57.29
	溫室	16	0	0	0	8	1	0	0	1254	68	4	0	2	0	1	1354	92.61
	道路	57	0	0	0	168	118	0	0	177	791	299	0	1	0	60	1671	47.34
	裸露地	3	6	0	0	233	1	0	0	0	178	759	0	1	0	21	1202	63.14
	學校	29	0	0	0	2	3	0	0	31	42	102	25	0	0	80	314	7.96
	檳榔	0	0	1	26	0	0	2	0	0	0	0	0	41	1	2	73	56.16
	茶園	0	0	264	1	0	0	0	187	0	0	0	0	8	1289	1	1750	73.66
	農田	2	0	0	39	0	0	100	6	2	21	10	0	165	1	1001	1347	74.31
總計	331	1388	6362	993	2426	1324	1745	6502	1543	1213	1639	25	3108	2571	2525	33695		
生產者精度(%)	44.41	98.41	83.9	3.32	82.93	90.71	16.05	73.22	81.27	65.21	46.31	100	1.32	50.14	39.64			
OA:60.24% Kappa:0.54																		

水庫測區高光譜(MNF+WBI+NDVI+GLCM3\*3)資料分類成果誤差矩陣

		Reference class																
		水泥地	水體	竹林	果樹	河道	建物	草地	森林	溫室	道路	裸露地	學校	檳榔	茶園	農田	總計	使用者精度(%)
User Class	水泥地	126	0	0	0	0	0	0	0	0	30	10	0	0	0	0	166	75.9
	水體	0	1346	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1349	99.78
	竹林	0	0	4383	129	0	0	5	1221	0	1	0	0	155	932	29	6855	63.94
	果樹	0	0	244	610	0	0	90	372	0	0	0	0	149	1	146	1612	37.84
	河道	0	17	0	0	1940	0	0	0	0	116	280	0	0	0	0	2353	82.45
	建物	128	14	89	2	27	1193	1	32	138	114	147	2	4	2	36	1929	61.85
	草地	0	0	4	4	0	0	1148	598	0	0	0	0	128	82	56	2020	56.83
	森林	0	0	1050	153	0	0	157	3877	0	0	0	0	411	85	68	5801	66.83
	溫室	10	0	0	0	8	0	0	0	1190	61	1	0	0	0	3	1273	93.48
	道路	63	0	5	0	217	108	0	0	200	780	316	0	0	0	48	1737	44.91
	裸露地	2	11	0	0	234	23	0	0	11	90	855	0	1	0	20	1247	68.56
	學校	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	23	0	0	0	30	76.67
	檳榔	0	0	426	28	0	0	20	135	0	0	0	0	1945	86	20	2660	73.12
	茶園	0	0	126	2	0	0	0	77	0	0	0	0	4	1366	9	1584	86.24
農田	2	0	35	65	0	0	324	190	4	21	20	0	311	17	2090	3079	67.88	
	總計	331	1388	6362	993	2426	1324	1745	6502	1543	1213	1639	25	3108	2571	2525	33695	
生產者精度(%)		38.07	96.97	68.89	61.43	79.97	90.11	65.79	59.63	77.12	64.3	52.17	92	62.58	53.13	82.77		
OA:67.88% Kappa:0.64																		

水庫測區高光譜(MNF+WBI+NDVI)資料分類成果誤差矩陣

		Reference class																
		水泥地	水體	竹林	果樹	河道	建物	草地	森林	溫室	道路	裸露地	學校	檳榔	茶園	農田	總計	使用者精度(%)
User Class	水泥地	153	0	0	0	0	0	0	0	0	40	26	0	0	0	2	221	69.23
	水體	0	1359	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	1368	99.34
	竹林	0	0	5060	234	0	0	3	1100	0	0	0	0	309	1066	37	7809	64.8
	果樹	0	0	133	532	0	0	43	280	2	19	2	0	208	1	105	1325	40.15
	河道	0	13	0	0	2088	0	0	0	0	173	411	0	0	0	0	2685	77.77
	建物	91	1	55	0	2	1201	0	20	66	62	102	0	0	0	26	1626	73.86
	草地	0	0	3	8	0	0	1253	354	0	0	0	0	154	61	68	1901	65.91
	森林	0	0	618	135	0	0	144	4323	0	0	0	0	240	82	70	5612	77.03
	溫室	13	0	0	0	8	0	0	0	1316	72	0	0	0	0	1	1410	93.33
	道路	57	0	4	0	174	109	0	0	135	767	333	0	1	0	86	1666	46.04
	裸露地	2	15	0	0	154	14	0	0	7	52	707	0	0	0	18	969	72.96
	學校	10	0	0	0	0	0	0	0	14	5	33	25	0	0	0	87	28.74
	檳榔	1	0	297	38	0	0	16	115	0	0	0	0	1960	51	89	2567	76.35
	茶園	0	0	161	3	0	0	0	174	0	0	0	0	5	1305	0	1648	79.19
農田	4	0	31	43	0	0	286	136	3	23	16	0	231	5	2023	2801	72.22	
	總計	331	1388	6362	993	2426	1324	1745	6502	1543	1213	1639	25	3108	2571	2525	33695	
生產者精度(%)		46.22	97.91	79.53	53.58	86.07	90.71	71.81	66.49	85.29	63.23	43.14	100	63.06	50.76	80.12		
OA:71.44% Kappa:0.68																		

## 附件六



本案相關附件與辦理實況相片



# 一、土地覆蓋類別外業檢核照片

火山測區地物調查

		
<p>竹林與草皮</p>	<p>溫室</p>	<p>竹林</p>
		
<p>溫室</p>	<p>苗圃</p>	<p>建物</p>
		
<p>苗圃</p>	<p>竹林</p>	<p>竹林</p>
		
<p>建物</p>	<p>苗圃</p>	<p>道路</p>















		
建物	竹林	草地
		
草地	溫室	建物
		
作物與道路	建物(醫院)	道路
		
裸露地	建物與道路	建物(佛堂)
		
草皮	水池與作物	建物與道路

		
<p>芒草</p>	<p>芒草</p>	<p>水池(魚塢)</p>
		
<p>草地</p>	<p>道路</p>	<p>稻田與建物</p>
		
<p>建物</p>	<p>竹林</p>	<p>建物</p>
		
<p>學校(操場)</p>	<p>學校(籃球場)</p>	

水庫測區地物調查

		
<p>道路</p>	<p>檳榔</p>	<p>竹林與建物</p>
		
<p>作物(薑)</p>	<p>道路(橋)</p>	<p>竹林</p>
		
<p>道路(橋)</p>	<p>溫室</p>	<p>茶園</p>
		
<p>道路</p>	<p>溫室(地物變遷)</p>	<p>果樹</p>
		
<p>建物</p>	<p>建物(民宿)</p>	<p>建物</p>

水庫測區地物調查

		
道路(橋)	茶園	竹林與茶園
		
檳榔	果樹	竹林
		
水泥地(地物變遷)	檳榔	農田(甘蔗)
		
檳榔	農田(布袋蓮)	檳榔
		
檳榔	茶園	竹林

水庫測區地物調查

		
<p>竹林</p>	<p>檳榔</p>	<p>建物(餐廳)</p>
		
<p>建物</p>	<p>建物</p>	<p>建物(教堂)</p>
		
<p>建物和道路</p>	<p>學校(籃球場)</p>	<p>學校</p>
		
<p>果樹(芭蕉)</p>	<p>建物(工廠)</p>	<p>建物</p>
		
<p>農田(甘蔗)</p>	<p>農田</p>	<p>裸露地</p>

水庫測區地物調查

		
果樹	竹林	道路
		
農田	農田(薑)	建物
		
茶園		

## 附件七

期中報告審查委員意見及回覆



徐委員百輝：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1			由於 LAI 與穿透率是三維的隱性資料，NDVI 是二維資料，各資料間可能是非線性關係，欲探求 LAI 與 NDVI 和穿透率之間的關係，當然也得考慮解析力的影響，且使用解析力為 8 米的福衛影像搭配高解析力之光達是否合適？另分析時需考慮光達資料與新調查之 LAI 資料時間相差 1~2 年的影響。	本案蒐集之國內外文獻指出 LAI 與 NDVI 有線性相關，另外本案 LAI 與空載光達穿透率亦有線性相關。而 NDVI 與穿透率在國內外並無文獻證明其相關性，故本案進行測試與探討兩者間之關係。衛星影像解析度是否會影響到成果，本案亦蒐集其他衛星影像如 SPOT、Worldview 與 Geoeye 等衛星影像將持續進一步交叉測試 NDVI 與穿透率相關。另外，LAI 資料調查時間上的差異，本案挑選與空載光達掃描相同的月份(即表示季節相同)，進行 LAI 資料的蒐集，近期一兩年測區無天災或人為干擾變化，植生生長狀況應無太大變異，應可合理推估相關性。
2			物件分類的成果與測試區概況之描述似未一致？測試區之樹種是否可應用高光譜將其分類出來？	本案設定之分類目標為國土利用調查第二級，且因測試區為複雜混合林，在缺乏樹種訓練區分佈的情況下，未能針對不同樹種(第三級)進行分類。
3	113	121~122	物件式分類採用之影像分割方法為何？是採用影像灰度值還是萃取高光譜影像之波段特徵？分割影像的尺度為何？請將影像分割的部分說明清楚。	影像分割工具採用 eCognition 軟體，以異質性指標做為分割依據。僅使用高光譜影像分類以 MNF 使為分類圖層。採用資料融合則同時使用高光譜 MNF 及光達 nDSM，權重設定為等權，尺度(Scale)參數經實驗測試以 50 為原則，詳細參數設定補充於期中報告書。
4	43、44、46	47、48、52	物件形狀在報告書內似乎沒看見 shape index 的指標？另外紋理資訊使用的是哪個波段？又 MNF 使用的是哪幾個波段？如何挑選？	物件式分類使用物件形狀(面積及長寬比)做為分類特徵，已將形狀特徵之說明移到分類特徵之章節。高光譜及光達 GLCM 紋理特徵分別萃取自 MNF 及 nDSM。MNF 之挑選先自動選定特徵值最大的前十個圖層，再以視覺化方式去除特徵影像不明顯之圖

				層，最終選擇 6 個 MNF 進行分類。
5	117、 123、 124	125、 131、 132	物件分類是如何訂定規則？報告書中物件分類使用最大似然法是否為誤植？還是使用最小距離法？	物件分類之決策樹由人工圈選之訓練區以 eCognition 軟體自動產生，並以最小距離法進行分類。
6	121、 122	129、130	誤差矩陣的生產者精度和使用精度需解釋，另外物件式分類方法是否也放入生產者精度和使用精度？	已於報告書補充生產者精度和使用精度之解釋，物件式分類成果增加誤差矩陣之生產者精度和使用精度。
7		23.24	本案林下道路是用克利金方法內插出來，請補充克利金的方法，建議可測試多種 Kriging 內插方法。	謝謝委員建議。已於報告書補充克利金方法說明。

## 林委員士淵：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1			有關地面光達掃瞄植物生長(如發芽、開花、結果、落葉)情形，是否可與地面光達掃瞄作業時間相呼應。	由於測區森林為闊葉混合林，各物種植物生長情形不一，且計畫時程限制，所以僅能以 2 個月之時間間隔，進行地面光達掃瞄，並無法完全呼應全部植物物種之生長情形，但 2 個月為合理之推估方法，應會觀察到展葉期到落葉期的孔隙變化。
2		25	本案測試區之林下道路是如何進行判釋？請補充說明。	本案林下道路是以人工判釋之方法，利用坡度圖及日照陰影圖，由人工視覺化判釋明暗交界處作為判斷林下道路之邊界，再利用 ArcGIS 軟體進行數化並編輯不同密度等級之道路邊界。
3	107	114	報告書圖 4.55 水庫測試區影像局部分類成果比對圖之高光譜影像及融合影像之分類成果差異，請增加說明。	已補充說明於期中報告書。
4		100	有關地形變異分析使用不同年度之測製成果比對，請於報告書中增加地形套合之精度說明。	不同年度 DEM 之套合精度說明補充於期中報告書。
5			有關使用地面光達掃瞄模擬魚眼鏡頭之成果用來分析森林區之孔隙率可行性如何？兩者之差異為何？是否有更簡單之方法？	調查 LAI 的方法一般分為兩種，直接葉片取樣並計算其葉面積，另一種方式為光學之測量，而光學測量均以魚眼鏡頭拍攝(LAI-2000)或是半球面鏡

				<p>估算葉面積，地面光達的優點在於可以消除相機拍攝天頂時逆光所照成的葉量少估的情形，故地面光達較光學鏡頭可靠。是否有更方便的方式，LAI-2000 應為最方便的測量儀器，光學相機為成本較低，而光達為準確度最高，各有其優缺點，故本案利用準確度最高的光達儀器來推算孔隙率，達成觀察孔隙細微之變化。</p>
--	--	--	--	---

## 侯委員進雄：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1			請於期末報告書增列本案之中文及英文摘要。	謝謝委員意見，後續將於期末報告書增加中英文摘要。
2		6	報告書第 5 頁圖 3.2 請增列測試區之地名及其圖框坐標。	已補充於期中報告書。
3			空載光達穿透率與地面光達孔隙率如何做對比？相關性如何建構？	空載光達穿透率與地面光達進行比對，需將地面光達資料換算成單一孔隙率或換算成 LAI，並以回歸分析建構其與空載光達穿透率之相關性。
4			建議於報告書中增加描述有關 Lidar 穿透率與地面光達量測孔隙率之關係。	空載光達穿透率與地面光達孔隙率之關係，兩者均受樹冠葉量影響，因此可推測兩者應有正相關，一般國外文獻均間接證明相關，如本報告參考文獻中提到 LAI 和地面光達有相關，而空載光達與 LAI 亦有相關性，至於空載光達與地面光達之相關性，需依靠一個合理的指標來連結其兩者之關係。

吳委員水吉：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1	40	44、45	請補充說明本案土地覆蓋分類之訓練樣區與檢核樣區。	已補充土地覆蓋分類訓練樣區與檢核樣區概述等說明於期中報告書。
2			有關物件式分類所使用之方法及如何設定相關分類類別參數，請於期末報告中說明之。	將於期末報告中詳列分類選定之參數。
3			本案分析 NDVI、WBI 等植物生長指標所使用之高光譜影像光譜特徵選的波段，請補充說明。	NDVI 指標使用第 30 個波段(645.7nm)與第 45 個波段(788.8 nm)，WBI 則為第 57 個波段(903nm)及第 64 個波段(970.1nm)。
4			使用高光譜影像是否真的能提高土地覆蓋之分類精度，如果可能的話應與多光譜衛星影像之分類成果進行比對。	將使用 WorldView-2 多光譜衛星影像進行分類，將於期末報告中探討高光譜及多光譜之分類效益及比較。

王委員定平：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1			目前看來土地覆蓋之分類成果平均精度達到 80%~90%，可用於輔助國土利用調查，其優勢和效能如何？剩下無法分出來的部分，是否有方法可再提升或克服？	就土地覆蓋(Land cover)而言，優勢在於以資料融合可達 80% 之分類精度，可應用國土利用調查之初步分類，或國土利用圖之更新依據。然而土地利用(Land use)的分類(如不同建築物使用收況)仍需仰賴人工判識，無法自動分類。
2			本案之火山區(陽明山)對於芒草的穿透率如何？是否有機會穿透？	由於芒草為密生植物，空載光達是否有機會穿透，主要取決於芒草密度，在後續資料處理上，會特別觀察芒草區域，看是否有多重回波之情形，如有則表示雷射光有穿透，但是否穿透到地面，還必須靠現地調查進行驗證。

李委員彥弘：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1		12	建議將本案所蒐集之相關文獻以表格呈現，並簡述其與本案之關係。	感謝委員建議，後續於報告中補充。
2			高光譜的優勢和應用是否介紹，在哪些方面還可以應用？	高光譜的優勢為細緻的高譜反應，其可能應用說明於文獻回顧，可應用於都市、森林及海洋區域之分類、製圖、變遷及特定目標偵測之應用。
3			植生指標和穿透率之間的關係，如何驗證植生指標？LAI、衛星影像植生指標與光達穿透率之間要建構那些關係式？如何建構這3個關係式？	本案探討衛星影像植生指標與空載光達穿透率之關係，由於國內外文獻對於空載光達穿透率與衛星影像植生指標均建構於 LAI 指數上，並無直接對於空載光達穿透與植生指標建立關係，植生指標與光達穿透率均與 LAI 有相關，推測植生指標與光達穿透率應會有程度上的相關，故本案對於兩者之相關性屬於資料測試階段。
4			請釐清林下產業道路檢核作業之導線測量測回數以及是否有進行嚴密導線網平差？又地面光達測區及產業道路都是以開放導線測量，是否為兩測回？如果只做一測回，在森林地區只靠正倒鏡是否適合？後續是否還有其餘檢核方法？	林下導線測量已依實際測量方法進行內文修正。林下導線測量部分在本案扮演之角色為驗證 DEM 疏化成果與道路邊界線之相關性，因此在本案初步設定時即已符合 DEM 精度即可。此外考量山區現地測量時的安全、時間與經費限制，雖有約略 200 公尺的開放導線，但其誤差量其實為 DEM 精度需求範圍內。地面光達開放導線部分將於後續再次進行測量，以要求全部為閉合導線或進行兩測回增加多餘觀測。
5	24、43	28、47	表 3.4，EVI 指標之 R 與 RED 是否相同？另表 3.7 之 STD 是否有誤，請釐清。	期中報告書已修正。
6	55	60	表 4.3 是否誤植？欄位內容是否位移？請修正。	該表確為誤植，期中報告書已修正。
7	61	67	表 4.4 各站點雲拼接都有精度呈現，惟其與附件 1 精度呈現似乎都不相同，請釐清。另標準偏差和平	修正後報告中的表 4.5 為地面光達的相對精度，而附件一之表格為絕對精度之檢核，因此在資料處理上並無錯

			均偏差都很小，平均誤差超過 3 倍中誤差，似乎差太多，於資料處理上是否有誤，請釐清。	誤，後續將於報告中進行說明。
8			導線測量檢核分析 (P83) 中有一個 1.5 公尺偏差，如何確認和外業測量的點和數化的點是一致的，如何計算該偏差值？	本文(P38)所指 1.5 公尺偏差，是由人工判釋數化的道路邊界到外業檢核點之間的最短距離，視為數化之道路邊界與檢核點的偏差值。
9			林下產業道路邊界距離誤差分布圖 (P84) 之偏差量是取絕對值，建議不要取絕對值，應以誤差正負分布情形來看是否有系統誤差或僅有偶然誤差。	感謝委員建議，後續將補充於期末報告。

## 王委員成機：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1			本案所蒐集之光達穿透率可提供未來飛航規劃參考，目前是否有實際將穿透率因素納入飛航掃瞄規劃之實際案例？	主要還在測試各參數階段，但已有初步成果發表於期刊和研討會，後續將提供本案研究成果供需求單位作為未來規劃實際飛航設計參考。
2			林下產業道路之分析係利用克利金方法來疏化光達點雲資料，可否提供建議何種點雲密度即足夠繪製林下產業道路？	後續將於期末報告補充林下產業道路測繪所需之密度建議。
3			請財團法人成大研究發展基金會思考如何將本案之成果運用於更寬廣的應用面上，使其效益更能呈現。	由本案成果在空載光達高密度點雲資料，確實能展現對林下產業道路之測繪有較佳的精度，並獲取更細緻之地形資料，未來可供國內各家廠商飛航掃瞄之參考，林下產業道路成果可應用於國土規劃調查、森林經營、產業道路資訊調查等相關應用。

本部地政司:

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1			報告書之 3-2.5.3 集水區分區，請說明所採用 ArcGIS 之 ArcHydro 水文分析模組之集水區產製工具，其分區之概要方法與分區之意義。	本計畫所使用之 ArcGIS 之 ArcHydro 水文分析模組進行集水區分區之方法是將水系門檻值設為 15 公頃，大於 15 公頃者始為水系源頭，而不同水系向下之游匯流點，該點以上之坡面範圍則為該水系之集水區單元。
2			報告書之 5-5 山區道路坡面水系及變異分析中，使用 3 期的 DTM 成果分析水系所發現之水系連接異常情形是否一致？請補充說明之。	各期水系異常之位置並不一致，主要係光達點雲之空間解析不相同，致橋梁及涵洞等人工構造物下方之排水狀況無法具體呈現。

## 附件八

期末報告審查委員意見及回覆



侯委員進雄：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1			有關建議空載光達資料於產業道路測繪之點雲掃瞄密度規劃提升至 5 點/m <sup>2</sup> ，一般採提高掃瞄密度來增加可用地面點雲密度，惟建議應按不同使用目的補充所訂定之標準，使規範能符合目的需求並可實際達成驗收標準。	感謝委員建議。如未來要列入規範依不同林下道路誤差範圍內訂定 1m、2m 的驗收標準，對於實務執行上比較合宜。
2	127.134.148. 149.153.155. 160.	133.140.153. 154.158.159. 160.165.166. 167.168	簡報中部分圖表分析（如 P74）於報告書中並無編排與說明，請納入報告書中並以適當文字解說其意義，以利讀者了解。	已在工作總報告加入直方圖等成果比較圖及文字說明，以提升報告書的可讀性。
3			請將本案投稿之 2 篇文章納入報告書中。	已補充於工作總報告書附件十一。
4			有關研析光達點雲穿透率在四季的變化，因受限於本案工作期間之實際落葉不明顯，致穿透率變化不大。後續如欲分析不同植被或區域之穿透率分析，建議可事先蒐集有落葉明顯之測區資料，以便於評估穿透率變化分析。	在挑選地面光達樣區時，有考慮挑選明顯落葉季的樹種，如槭樹科的青楓或金縷梅科的楓香，但由於其數量占樣區其實為少數，故以具有代表測區常見混合林相之森林為主，南部樣區以樟科、山黃麻、野桐及無患子等常見樹種為主，北部樣區以樟科、桑科、茶科、茜草科、江某及樹杞等樹種為主，本案 4 期穿透率呈現差異不明顯，可能的原因是低海拔森林多為常綠性樹種，掃瞄期間落葉量不明顯或非落葉的時期，後續將收集冬季末的資料，是否在冬季落葉期有明顯差異，將會在報告書或以投稿文章的方式發表內容。

王委員定平：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1			本案工作項目很多，從報告書內容成果豐碩可看出工作團隊的努力與認真。	謝謝委員肯定。
2	173~176	180~181	由於本案各個工作項目之結論採各自呈現方式，建議將本案各項工作所獲得之個別結論彙整成較完整之結論。	後續於工作總報告書補充說明。
3	126.127. 134.148. 149.153. 155.156. 160	130.131. 138.152. 153.158. 160.161. 165	本案以高光譜與光達結合應用於土地覆蓋之 3 種分類方法，建議調整編排讓各項分類方法之優勢得以呈現出來。	已在期末報告增加使用單一資料及資料融合之成果比較圖，並增加分類的優勢比較及文字說明，以提升報告書的可讀性。

吳委員水吉：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1			由本案測試區分析出植被指數與光達點雲穿透率成負相關，未來如欲分析其他地區時，建議可由林務局取得台灣地區樹種分佈或林相圖，以便於分析各地區適合測繪目的之飛航時間。	本案建構出之植生指標與光達之穿透率關係，目前並未探討樹種植生指標與穿透率之關係，未來可以依照樹種來建構植生指標與穿透之相關，是一個可以期待的研究方向。至於林務局之植群圖是否可以與穿透率建立相關，必須考慮植群圖之調查方式，由於植群圖常以優勢樹種來代表，但實際上為混合林，在實務上之使用必須有待進一步測試與驗證。
2		93	本案分析 NDVI 使用多種衛星影像，建議標示其拍攝日期以供分析時參考。	已補充說明於工作總報告書
3	126.127. 134.148. 149.153. 155.156. 160	130.131. 138.152. 153.158. 160.161. 165	土地覆蓋之分類的整體精度應用 LIDAR 資料之優劣請加以敘述。	已在期末報告增加使用單一資料及資料融合之成果比較圖，並增加分類的優勢比較及文字說明，以提升報告書的可讀性。
4	146	55	土地覆蓋分類所使用之現地檢核點	檢核區圈選均勻分佈於測試區，並透

			與影像上分類訓練區於位置上是否不同。	過套疊確認檢核區不與訓練區重疊，但考量部分地物數量過於稀少(如:學校運動場、溫室)，因此在這類地物上，訓練區與檢核區的雖不重疊但彼此樣區距離會較為接近。
5	164	171	本案使用國土利用調查成果與土地覆蓋分類進行比對，因為前者為使用現況調查加入許多人工判斷與分類規則，而後者為自然地貌特徵分類，兩者之間有一定落差，建議可進一步思考本案土地覆蓋分類之應用方式。	因本項工作目的為探討高光譜結合光達分類對輔助國土利用調查作業之效益，故將國土利用調查之成果與分類成果進行比較與分析，而土地覆蓋(Land cover)與土地利用(Land use)具有不同特性，本案分類目標為參考國土利用調查之類別進行歸納整理，結果顯示分類成果較合適於土地覆蓋，未來可應用分類結果於國土利用調查中的土地覆蓋類型中。

## 林委員士淵：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1			建議可思考未來穿透率研究將葉面積指數與植生指標是否納入一起迴歸分析之可能性。	由於葉面積指數是現地調查資料，其原理為森林遮蔽太陽光量的測定，而植生指標的推估，是利用太陽輻射對於植物反射特性進行推估，各別與穿透率比較的相關應該較合理，但亦可以測試一元多次方程式來建構三者之關係，或其他統計手段，亦都是未來可參考研究方向。
2			建議以列表、列點方式說明本案各項工作之目標、所需資料、採用之技術、所獲得之成果、突破點、發展限制。	報告書補充列於報告書附件十
3		126	DTM 於水系編修作業時，應如何決定哪些地區需進行現地查核？	本案利用數值地形進行水系分析後，若有水系連線異常區域則為現地查核之地點，確認有水利構造物後，則列為 DTM 編修之位置。
4			本案計畫成果之效益評估如何做？	本案計畫成果之效益評估補充列於報告書附件十成果效益報告書及附件十一計畫績效指標。

5			本案各項工作請整理出哪些工作是可以自動化方式或是需以人工輔助完成？請補充相關參考資料供地政司未來推動相關計畫之參考。	本案各項工作作業方式整理於附件十經濟效益段落中。
---	--	--	--	--------------------------

徐委員百輝：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1	68	68	以地面光達點雲模擬空載光達點雲之穿透率，是否有實際的空載光達數值可供比較？	本案以各種參數進行點雲模擬，利用第一期掃描之 S1 樣區與實際空載光達穿透率比較具有高度相關，各期的模擬參數均統一，並以此計算其他站與掃描時期資料。
2			地面光達掃描作業所挑選 7 個不同地點，其光達點雲穿透率彼此之間有明顯差異，是否能說明造成這些差異的主要原因？	地面光達掃描之樣區挑選，受限的因子較多，如遙遠的山區儀器搬運不易、遮蔽區域不利於 eGPS 接受與導線測量距離不可過遠等因素的限制。樣區的挑選主要是森林人員會同測量人員，在南北兩測試區現地尋找適合的樣區，整合整體林相及儀器人員安全性，決定南北 7 個樣區，主要目的為挑選具代表性森林，並各樣區林相需有差異，如樹種或密度的差異，故計算過後各樣區間穿透率有差異，是合理的結果。
3		11	穿透率與葉面積指數之決定係數 $R^2$ 為 0.59，對測繪分析一般來說不甚高，報告中提到其相關性屬高的原因為何？	本案參考文獻是引用植生指標與葉面積指數較廣為人引用的文章，至於合理可接受之 $R^2$ 受限於研究的議題之不同，然而過高的 $R^2$ 值會有 overfit 之質疑，故本案以線性迴歸呈現評估之成果，成果趨勢為合理，並且 $R^2$ 為 0.59 接近 0.6，在許多環境森林論文中屬於可接受的值，將附上其他文獻結果於修正版報告。
4	103	105	由衛星影像計算植生指標 (NDVI) 是整個實驗區域的平均值？還是挑選 NDVI 指標比較明顯區域？	本案植生指標是以整個測區之影像進行計算，針對不同衛星影像解析度對應不同網格大小的穿透率，以整幅影像像元的評估，為了呈現其趨勢，

				以穿透率每 0.1 組距，統計該組距內的 NDVI 平均，並無特別挑選明顯穿透率之區域，於附件四附上各植生指標與穿透率之離散趨勢盒形圖。
5			結論第 2 點提到建立水文編修後之光達數值地形 (Hydro Enforced Lidar DEM) 編修作業準則，因需專業之水文知識如由測繪界來發動有相當之難度，是否有建議測繪業可扮演之適當角色？	本案由光達數值地形產生水系，可檢視水系連接情形，再由異常位置現地檢核，進行數值地形編修，整體流程為一個較有效率的作業方式。光達數值地形之產製需處理大量的點雲資料及技術，是測繪業可扮演之角色。
6		130.152	本案分析土地利用分類方法，建議可先計算各類別之分離度後，再挑選分離度大的特徵進行分類即可。	本項工作在選用各項特徵組合後會對其進行各類別之分離度分析，但為了確定各特徵組合的分類成果差異，故每種特徵組合都會進行實際分類測試，並比較不同組合之分類效益。
7	47	46	報告中土地覆蓋分類成果中有分出「學校」的類別，「學校」類別中的建物如何跟「建物」類別進行區分？	學校類別主要描述對象為學校運動場部分，因此於報告中將學校類別修正為運動場。
8	178	186	報告書 P.12 所列出的文獻，於後面參考文獻並未列出，請補充。	已補充於工作總報告書
9	21	21	地面光達模擬空載光達穿透率是否有明確的計算公式？	穿透率的計算必須決定模擬之雷射光是否接觸到地面，本案利用光達地面點資料建構三維地面立方體，當入射模擬雷射接觸到地面立面體時，即為有穿透森林樹冠層之雷射光。地面光達模擬空載光達穿透率與本案之空載光達穿透率計算一致，為雷射發射數量與雷射接觸地面的數量比例。
10	25	25	報告書 P.25 導線為何需使用方向組法？單角法應可達成其目的。	已修正於報告書中
11	35	33	報告書 p.35 圖 3.21 遮罩區域裡有建物，是否合理？	若建物或地物低於 2 公尺，則會落入遮罩區域內，此為分析方法的盲點，後續於進行地形變異分析前，必須採用人工檢核方式，將不合理區域予以剷除。
12		122	關於土砂遞移率是否有進一步計算？	補充土砂遞移率之計算結果於報告書中，土砂遞移率分析一節。

13	41	40	報告書 P.41 提到有關國土利用的調查方法，目前應仍以航測技術為主要的調查方法，遙測分類僅為輔助或參考資料。	報告書修改為：目前用於國土利用調查的重要工作程序包含航遙測影像之判釋以及現場外業調查作業 ( <a href="http://lui.nlsc.gov.tw">http://lui.nlsc.gov.tw</a> )。第一項作業程序由專業人員透過航遙測影像對地物進行影像判釋，如立體判釋及單像判釋等，分辨其類別屬性；並於第二項作業，透過現場外業調查將航遙測影像中無法辨識的細部分類做調查及確認。因此為了提升現地調查作業的效能，可從提升第一項作業中影像判釋成果之精確度著手。
14	61	61	報告書 P.61 表 4.4 方位角閉合比應改為閉合差，實測值應無 $\sqrt{N}$ 。	已於工作總報告書修正。
15			LAI 與穿透率的 $R^2$ 為 0.5，但是植生指標與穿透率的 $R^2$ 高達 0.9，為何有這樣的差別？	主要是由於統計方式的差別，植生指標資料量較大，並且植生指標值為非規則分布(unbalance)，較不適合直接進行迴歸分析，故將各組距間平均後之成果，較直接進行迴歸分析合理。
16		103.104	NDVI 與穿透率的決定係數 $R^2$ 雖高，但所獲的迴歸直線呈現幾乎水平狀態，應進一步計算兩變數間之相關係數(correlation coefficient)，才能確定兩者間之關係。	已於報告書增加相關性 r 值之計算，穿透率與植生指標均有顯著相關，並且 r 值最高為 0.53，穿透率與所有植生指標均為負相關，與迴歸之結果差異不大。
17	129.130. 132.133. 138.139. 141.166	133.134. 136.137. 142.143. 145.173	像元式與物件式分類之類別成果，其展示的顏色應一致。	已於工作總報告書修正。

## 本部地政司：

項次	頁次		審查意見	回覆
	修訂前	修訂後		
1	35	34	報告書第 35 頁提及第 3 行「…排除地形未變動區或密林區納入統計，而影響分析結果」，請補充何種原因。	因土砂變異分析主要針對裸露地(崩塌及河道)。而密林區則假設為為土砂未變動區域，因此不列入分對象。
2	83	84	報告書之第 83 頁導線觀測計算表中「導線精度」請修正為「導線閉	已於工作總報告書修正。

			合比數」。	
3	87	90	報告書第 87 頁第 3 段第 1 行「…以道路兩邊邊界而言，可分為上坡邊界及下坡邊界…」，惟仍不易區分兩邊邊界，請增加說明文字或以圖示說明。	補充說明於工作總報告書
4	110	120	報告書第 110 頁 4-4.4 地形變異分析，對 99 年、101 年及 102 年之間變異分析，請補充 99 年~102 年之變異分析，以比較其與 99 年~101 年及 101~102 年之變異分析之差異。	99 年~102 年之變異分析結果為 99 年~101 年加 101~102 年的結果，已補充加總結果於表 4.22。

## 附件九

中程個案計畫方案



內政部

中程個案計畫方案

「制定空載光達穿透率規範」

計畫全程：105 年 1 月至 108 年 12 月

## 目錄

壹、基本資料表及概述表(A003)	2
貳、計畫緣起	4
參、計畫目標	4
一、目標說明	4
二、達成目標之限制、執行時可能遭遇之困難、瓶頸與解決的方式或對策	5
肆、執行策略及方法	6
一、主要工作項目	6
二、分年執行策略（含時程規劃）	7
伍、資源需求	8
一、人力配置需求	8
二、經費需求	10
陸、預期效益及主要績效指標	11
一、預期效益及影響	11
二、主要績效指標	11

## 壹、基本資料表及概述表(A003)

審議編號					
計畫名稱	制定空載光達穿透率規範				
申請機關					
預定執行機關 (單位或機構)	內政部				
預定計畫主持人	姓名	王驥魁	職稱	副教授	
	服務機關	國立成功大學			
	電話	06-2757575	電子郵件	chikuei@mail.ncku.edu.tw	
額度類別	<input type="checkbox"/> 一般額度 <input type="checkbox"/> 國家型額度 <input type="checkbox"/> 特別申請額度 <input type="checkbox"/> 政策預算額度	計畫屬性	<input type="checkbox"/> 跨部會署方案計畫(重大計畫) <input type="checkbox"/> 國家型科技計畫(重大計畫) <input type="checkbox"/> 特別申請額度計畫(重大計畫) <input type="checkbox"/> 政策預算計畫(重大計畫) <input type="checkbox"/> 大型計畫(重大計畫) <input type="checkbox"/> 經常性業務或基本運作計畫(一般計畫) <input type="checkbox"/> 部會署計畫(一般計畫)		
計畫類別	<input type="checkbox"/> 新興一般計畫 <input type="checkbox"/> 延續型一般計畫 <input type="checkbox"/> 特別申請額度計畫 <input type="checkbox"/> 政策預算計畫 <input type="checkbox"/> 生技醫藥國家型科技計畫 <input type="checkbox"/> 智慧電子國家型科技計畫 <input type="checkbox"/> 能源國家型科技計畫 <input type="checkbox"/> 國家型科技計畫辦公室運作計畫				
計畫群組及比重	生命科技 % 環境科技 % 資通電子 % 工程科技 % 科技服務 % 科技政策 % 資通訊建設 %				
執行期間	105年1月1日至105年12月31日				
全程期間	105年1月1日至108年12月31日				
中英文關鍵詞					
資源投入	年度	經費(千元)		人力(人/年)	
	105	5,000		30	
	106	8,000		40	
	107	11,000		40	
	108	4,000		20	
	合計	28,000		130	
當年度	人事費	2,000	土地建築	0	
	材料費	1,800	儀器設備	0	
	其他經常支出	1,200	其他資本支出	0	
	經常門小計	5,000	資本門小計	0	
	經費小計(千元)		5,000		
政策依據					
本計畫在機關施政 項目之定位及功能					

計畫重點描述	1. 發展雷射能量測定技術 2. 建置森林穿透率檢定場 3. 飛航參數檢核軟體開發 4. 實際測試各家廠牌儀器 5. 訂定穿透率檢定之標準作業程序 6. 訂定多時期光達資料分析作業程序			
預期效益摘要	本計畫設立一套標準的檢驗流程，及設置兩處空載光達穿透率的標準檢定場，可深度探討在不同系統設計、設定參數、飛航規劃和資料後處理的情況下森林穿透率的表現。在相同檢測標準下可比較各家光達系統之特性，有利於日後光達資料跨品牌產製品質的一致性，後續能有效提升國內 DEM 精度，作為國家防災之重要資訊，以利災前防治、災後評估之進行。訂定標準作業程序可強化國內空載光達資料產製之技術門檻，累積國際競爭力，培養相關人才，並能影響國際間對於光達系統穿透率之重視，影響各廠牌技術發展的未來走向。			
主要績效指標 (KPI)	1. 至少發表國內外期刊論文 4 篇，研討會論文 8 篇。 2. 人才培訓上至少支持培養 8 位碩士生，2 位博士生。 3. 至少養成 1 個研究團隊。 4. 至少撰寫 4 份研究報告 5. 訂定 2 項規範及標準作業程序，提供業界生產資料標準作業程序及作業規範。			
前一年計畫或相關聯之前期計畫名稱	發展高光譜與光達技術結合之應用工作案			
計畫連絡人	姓名		職稱	
	服務機關			
	電話		電子郵件	

## 貳、計畫緣起

空載光達(Airborne LiDAR)自 2000 年引進測試至今，約莫已有 14 年之久。仰賴空載光達高精度、高解析力、高自動化之高效率優勢，其技術已廣泛應用於大面積的三維地表測繪作業，更能將其產製程品使用在森林經營、坡地監測、災害模擬、數值地形建模等候端應用研究上。其中特別是在與國家防災的相關應用上，例如：潛在崩塌地判識、山區災害發生前後期變化分析等，需要針對地表的地形地貌做精確地描述，因此由光達資料所產製的數值地形模型(Digital Elevation Model, DEM)即扮演極為重要的腳色。根據多年處理空載光達資料產製 DEM 的經驗，高品質的 DEM 仰賴豐富的地面點雲資料作為描述地表起伏的依據。然而台灣地區森林覆蓋面積大約佔總面積的百分之六十，尤其各個地質敏感的重點區域都位於山區，地表受到大面積的森林覆蓋。因此空載光達系統在進行掃描任務時，是否能有效穿透樹冠層的遮蔽已成為當前的重點課題。

## 參、計畫目標

### 一、目標說明

目前空載光達掃描規劃方式僅以合約規範之點雲密度為執行依據，缺乏對森林穿透率影響之考量。森林穿透率影響地面點分佈的密度，產製良好品質 DEM 需有充足之地面點，而空載光達雷射的穿透率受到地表覆蓋、航高、雷射脈衝頻率以及雷射入射角的影響，故飛航規劃時，需考慮掃描參數的設定。本計畫預計建立穿透率參數表，提供未來空載光達儀器在掃描時飛航參數的設定，有效達成提升資料品質與降低飛航成本之目的。

目前台灣引進的空載光達系統主要有三家廠商，分別為 Optech、Leica、Riegl，有鑑於各家系統設計不同，理應在森林穿透的能力上有不同的表現，但是目前台灣缺乏相同的檢驗標準。因此本計畫將設立一套標準的檢驗流程，並且在台灣設置兩處空載光達穿透率的標準檢定場，深度探討在不同系統設計、設定參數、飛航規劃和資料後處理的情況下森林穿透率的表現。

## 二、達成目標之限制、執行時可能遭遇之困難、瓶頸與解決的方式或對策

### (一) 內部優勢條件 (S-Strength)

- 1.國內多家測量公司具有多年執行空載光達實務經驗，資源豐富、系統完備、實務操作人員充足。
- 2.計畫主管團隊歷年來完成數個全國性專案，成效卓著。
- 3.國內森林基本資料充足，林務機構完善，提供森林專業相關支援足以滿足本案需求。

### (二) 內部需補強之弱點 (W-Weakness)

- 1.國內廠商多侷限於本土競爭，雖有良好條件，但缺乏國際競爭力。
- 2.政府對於光載光達相關研究投資不足，不利空載光達關鍵技術研發以及高階人力產出。
- 3.國外儀器廠商公開關鍵技術意願低，技術細節取得不易。

### (三) 外部機會因素 (O-Opportunity)

- 1.國內有多家測量公司以及不同廠商之系統，有助於跨廠牌的評估、測試。
- 2.本計畫概念新穎，國外尚未有穿透率檢定場的設置，尤以台灣地區森林海拔分布廣、地形豐富，相關檢定經驗可套用至各個國家不同環境，日後可做為國際典範。

### (四) 外部威脅因素 (T-Threat)

- 1.穿透率定期檢定成本較高，若無訂定規範要求廠商配合意願低。因此凸顯制定執行規範之重要性。

SWOT 分析	
優勢 (Strength)	劣勢 (Weakness)
1. 產業界具備豐富實務經驗，系統完備、操作人員充足 2. 計畫團隊歷年執行全國性專案，成效卓著 3. 國內森林基本資料充足，林務機構完善，提供森林專業相關支援	1. 國內廠商雖有良好條件，但並未深入熟悉儀器特性，鮮少針對森林覆蓋優化掃瞄參數 2. 政府對空載光達系統相關長期研究投資較為不足，不利關鍵技術研發及高階人力產出 3. 國外儀器廠商公開關鍵技術意願低，技術細節取得不易
機會 (Opportunity)	威脅 (Threat)
1. 國內多家測量公司以及不同廠商之系統，有助於跨廠牌的評估測試 2. 本計畫概念新穎，國外尚未有森林穿透率檢定場的設置 3. 台灣森林海拔分布廣、地形豐富，相關檢定經驗可套用至各個國家不同環境，做為國際典範	1. 森林穿透率定期檢定成本較高，若無訂定規範要求廠商配合意願低，因此凸顯制定執行規範之重要性

## 肆、執行策略及方法

### 一、 主要工作項目

1. 發展雷射能量測定技術
2. 建置森林穿透率檢定場
3. 飛航參數檢核軟體開發
4. 實際測試各家廠牌儀器
5. 訂定穿透率檢定之標準作業程序
6. 訂定多時期光達資料分析作業程序

## 二、分年執行策略（含時程規劃）

表 2 分期（年）執行策略表

期程	主要工作項目	重點項目說明
105 年度	空載光達雷射能量測定實驗裝置建置	1. 設計建置雷射能量測定之實驗室設備。 2. 建立雷射能量測定之作業程序。 3. 檢測國內各廠牌光達系統之雷射能量。 4. 比較各廠牌光達系統之能量差異及系統特性。
106 年度	設置空載光達森林穿透率檢定場 I	1. 台灣地區穿透率檢定場規劃設置 2. 飛航參數檢核軟體設計開發
107 年度	設置空載光達森林穿透率檢定場 II	1. 制定空載光達穿透率檢定之飛航規範 2. 實測各家廠商之空達系統
108 年度	建立多時期光達資料分析作業程序	1. 建立多時期光達資料分析作業程序

## 三、執行分工

本計畫主管機關為內政部，相關執行事項由內政部依分工及立法院核定之年度計畫經費辦理。本計畫業務分工如下：

表 3 執行機關分工表

實施時程	實施內容	執行機關
105-108	制定空載光達穿透率規範	內政部



## 伍、資源需求

### 一、人力配置需求

#### 人力需求及配置表 (B004)

##### 人力需求及配置說明

--

單位：人/年

計畫名稱	105 年度							106 年度	107 年度	108 年度
	總人力	職級						總人力	總人力	總人力
		研究員級 (含)以上	副研究員級	助理研究員級	研究助理級	技術人員	其他			
制定空載光達穿透率規範	30	5	1	20	3		1	40	40	20

註一：本年度填「申請人力」，過去年度填「實際人力」，核定或執行中者填「核定人力」，預核年度填「預估人力」。

註二：職級（分6級）

1. 研究員級：研究員、教授、主治醫師、簡任技正、若非以上職稱則相當於博士滿三年、或碩士滿六年、或學士滿九年之研究經驗者。
2. 副研究員級：副研究員、副教授、助研究員、助教授、總醫師、薦任技正、若非以上職稱則相當於博士、或碩士滿三年、學士滿六年以上之研究經驗者。
3. 助理研究員級：助理研究員、講師、住院醫師、技士、若非以上職稱則相當於碩士、或學士滿三年以上之研究經驗者。
4. 研究助理級：研究助理、助教、實習醫師、若非以上職稱則相當於學士、或專科滿三年以上之研究經驗者。
5. 技術人員：指目前在研究人員之監督下從事與研究發展有關之技術性工作，且具備下列資格之一者屬之：初（國）中、高中（職）、大專以上畢業者，或專科畢業目前從事研究發展，經驗未滿三年者。
6. 其他：指在研究發展執行部門參與研究發展有關之事務性及雜項工作者，如人事、會計、秘書、事務人員及維修、機電人員等。

註三：當年度應填列詳細資料（含研究員級以上、副研究員級、助理研究員級、研究助理級、技術人員等）。

※ 上述資料建議先在個人電腦以 word 軟體完成並備份後，再至「政府科技計畫資訊網」填寫，由系統自動合併於計畫書中。

## 二、經費需求

### 經費需求表 (B005)

#### 經費需求說明

--

單位：千元

計畫名稱	目標	計畫性質	知識產業化類別	政策工具	105 年度						106 年度			107 年度			108 年度			
					小計	經常支出			資本支出			小計	經常支出	資本支出	小計	經常支出	資本支出	小計	經常支出	資本支出
						人事費	材料費	其他費用	土地建築	儀器設備	其他費用									
制定空載光達穿透率規範					5,000	2,000	1,800	1,200	0	0	0	8,000	8,000	0	11,000	11,000	0	4,000	4,000	0

註一：當年度應填列詳細資料，含經常支出（人事費、材料費、其他費用），資本支出（土地建築、儀器設備、其他費用）。

註二：請針對各細部計畫選擇國家科學技術發展計畫目標：(1) 提升臺灣的學研地位；(2) 做好臺灣的智財布局；(3) 推動臺灣永續發展；(4) 銜接上游學研與下游產業；(5) 推動由上而下的科技計畫；(6) 提升臺灣的產業創新動能；(7) 解決臺灣的科技人才危機。

註三：請針對各細部計畫選擇計畫性質。

註四：請針對各細部計畫選擇知識產業化類別。

註五：請針對各細部計畫選擇政策工具。

## 陸、預期效益及主要績效指標

### 一、預期效益及影響

1. 有效提升國內 DEM 精度，作為國家防災之重要資訊，以利災前防治、災後評估之進行。
2. 強化國內空載光達資料產製之技術門檻，累積國際競爭力，培養相關人才。
3. 在相同檢測標準下可比較各家光達系統之特性，有利於日後光達資料跨品牌產製品質的一致性。
4. 影響國際間對於光達系統穿透率之重視，影響各廠牌技術發展的未來走向。

### 二、主要績效指標

#### KPI 之訂定

1. 選擇計畫的種類：參考「主要績效指標表 (B002)」第 1 列。
2. 選擇適當的指標 (A/B/C…)：參考「主要績效指標表 (B002)」第 1 欄。
3. 填寫「主要績效指標說明 (B003)」：填寫第 3、4 及 5 欄之內容。

### 主要績效指標表 (B002)

(請依計畫性質勾選項目)

計畫類別 績效指標	1	2	3	4	5	6	7	8	9	99
	學術研究	創新前瞻	技術發展 (開發)	系統發展 (開發)	政策、法規、制度、規範與系統之規劃 (制訂)	研發環境建構 (改善)	人才培育 (訓練)	研究計畫管理	研究調查	其他
A. 論文	■									
B. 研究團隊養成	■									
C. 博碩士培育	■		■	■						
D. 研究報告	■		■	■	■					
E. 辦理學術活動										
F. 形成教材	■									
G. 專利										
H. 技術報告			■							
I. 技術活動										
J. 技術移轉										
K. 規範/標準制訂										
L. 促成廠商或產業團體投資	■									
M. 創新產業或模式建立										
N. 協助提升我國產	■		■		■					

業全球地位或產業競爭力										
O. 共通/檢測技術服務										
P. 創業育成										
Q. 資訊服務										
R. 增加就業										
S. 技術服務										
T. 促成與學界或產業團體合作研究										
U. 促成智財權資金融通										
V. 提高能源利用率										
W. 提升公共服務										
X. 提高人民或業者收入										
Y. 資料庫										
Z. 調查成果	■									
XY. 性別平等促進(註)										
AA. 決策依據										
AB. 科技知識普及										
AC. 減少災害損失										

註：性別平等促進指標：為協助政府各部會執行「性別主流化」之政策，提升國內科技研究人才之性別敏感度。「性別主流化」不僅僅是關注「婦女」，或者只是關注男女「兩性」的議題，它更涵蓋對所有「多元性別」族群與權益的重視。

## 主要績效指標說明 (B003)

屬性	績效指標	初級產出量化值	效益說明	重大突破
學術成就(科技基礎研究)	A. 論文	發表國內外期刊論文共 4 篇、研討會論文共 8 篇	為國內外產、官、學各界所引用參考	
	B. 合作團隊養成	財團法人成大研究發展基金會、成功大學	結合相關領域之學者、專家共同進行研發	
	C. 博碩士培育	參與計畫執行之碩士研究生及博士研究生 5 人以上	提升國內培養先進航遙測專業相關人才之能量	產值(薪資)
	D. 研究報告	共產出 4 份工作總報告	為國內產、官、學各界所引用參考	
	E. 辦理學術活動			
	F. 形成教材/手冊/軟體	研發經驗及成果製作成為大學部及研究所課程教材;並為教育訓練課程教材共 2 份	提升學員於處理全波形空載光達資料能力	
	其他			
技術創新(科技技術創新)	G. 專利(智慧財產)			
	H. 技術報告	1 份技術報告	為國內外產、官、學各界所引用參考	
	I. 技術活動			
	J. 技術移轉及智財授權			
	S. 技術服務(含委託案及工業服務)			
	其他			
經濟效益(經濟產業促進)	L. 促成廠商或產業團體投資	促進國內測量公司投入空載光達系統相關技術投資	帶動國內廠商提升空載光達研發能量	
	M. 創新產業或模式建立			
	N. 協助提升我國產業全球地位			
	O. 共通/檢測技術服務			

### 主要績效指標說明 (B003) (續)

屬性	績效指標	初級產出量化值	效益說明	重大突破	
	T. 促成與學界或產業團體合作研究				
	U. 促成智財權資金融通				
	AC. 減少災害損失				
	其他				
社會影響	社會福祉提升	AB. 科技知識普及			
		P. 創業育成			
		Q. 資訊服務			
		R. 增加就業			
		W. 提升公共服務			
		X. 提高人民或業者收入			
		XY. 性別平等促進			
		其他			
	環境保護安全	O. 共通/檢測技術服務			
		V. 提高能源利用率			
		Z. 調查成果	空載光達資料及影像資料	1. 調查面積與精密度 2. 即時映像環境可輔助決之準確度	
		其他			
其它 其他效益(科技政策管理及	K. 規範/標準或政策/法規草案制訂	制定空載光達穿透率檢定之飛航規範	制定或建立政府或產業技術、標準；訂定或完成政策或法規標準之規定		
	Y. 資料庫				
	AA. 決策依據				
	其他				

## 附件十

### 工作計畫成果效益報告書



# 政府科技計畫成果效益報告

計畫名稱：

103 年度發展高光譜與光達技術結合之應用工作案

---

---

( 群組 ) ( 領域 )

主管機關：內政部

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

國立交通大學

中興測量有限公司



## 二、計畫架構：

本計畫工作項目如下表。

項目	工作內容
1. 工作細部規劃書	包括地面光達掃瞄樣區選定，及各項工作作業規劃。
2. 蒐集相關文獻	蒐集「空載光達穿透率與葉面積指數之研究」與「融合高光譜與光達資料於分類方法之應用」兩大方向之相關研究文獻資料蒐集及彙整，以對應於本案之工作重點。
3. 研析森林地區之光達點雲穿透率資料	於南北二測試區，進行4次地面光達掃瞄作業觀察森林生長變化，以此瞭解不同時期森林地區光達穿透率之變化情形，提供各界未來規劃空載光達飛航掃瞄計畫之參考。
4. 評估空載光達技術測繪林下產業道路	針對102年度獲取高密度空載光達資料，其資料特性有利於細微的地形特徵展現，應用不同密度的光達地面點資料產製DEM，進行林下產業道路之數化判釋，以評估所需最低點雲密度及測繪林下產業道路之機制。
5. 探討遙測衛星影像、植生指數與空載光達點雲穿透率之相關性	藉由衛星影像計算植生指標，並利用回歸方程式推估植生指標與空載光達穿透率之關係，當兩者有明顯相關時，可提供未來空載光達飛航規劃時之參考依據。
6. 集水區之地形變異分析、山區道路坡面水系及其變異分析	蒐集99、101、102年不同時期空載光達數值地形資料，進行土砂量變異分析、土砂量影響因子與地形變異趨勢分析及不同時期之坡面水系之變異分析。
7. 評估融合高光譜與空載光達資料分析土地覆蓋類別之可行性	結合高光譜與空載光達資料可應用於分析土地覆蓋類別之探討，本案評估融合高光譜與空載光達資料以像元式及物件式分析土地覆蓋類別，並進一步輔助國土利用調查作業之可行性。
8. 研提與本案相關之中程個案計畫方案	規劃「105至108年制定空載光達穿透率規範」中程個案計畫
9. 投稿相關研究論文文稿	投稿相關研究論文文稿2篇
10. 進度報告及工作總報告	研擬工作進度報告及工作總報告

### 三、計畫主要內容

1. 研析森林地區之光達點雲穿透率資料
2. 評估空載光達技術測繪林下產業道路
3. 探討遙測衛星影像、植生指數與空載光達點雲穿透率之相關性
4. 集水區之地形變異分析、山區道路坡面水系及其變異分析
5. 評估融合高光譜與空載光達資料分析土地覆蓋類別之可行性

註：請依原計畫書上所列計畫目的、架構、主要內容填寫

### 參、計畫經費與人力執行情形

#### 一、計畫經費執行情形：(以下列表格表達)

##### (一)計畫結構與經費

細部計畫		研究計畫		主持人	執行機關	備註
名稱	經費	名稱	經費			
103 年度 發展高光 譜與光達 技術結合 之應用工 作案	3800 千元			王驥魁	財團法人 成大研究 發展基金 會、國立 交通大 學、中興 測量有限 公司	

## (二)計畫人力

計畫名稱	執行情形	總人力 (人年)	研究員級	副研究員級	助理研究員級	助理
	原訂	30	2	2	17	9
	實際	30	2	2	17	9
	差異	0	0	0	0	0

## (三) 主要人力投入情形(副研究員級以上)

姓名	計畫職稱	投入主要工作及人月數	學、經歷及專長	
			學歷	經歷
王驥魁	計畫主持人	計畫掌控及協調	學歷	博士
			經歷	國立成功大學測量及空間資訊學系副教授
			專長	遙感探測、透水光達、海洋水色、空間統計
張智安	共同主持人	協助計畫主持人推動各專業組之作業	學歷	博士
			經歷	國立交通大學土木工程系副教授
			專長	遙感探測、攝影測量、航空測量、EP 空間資訊
林志交	共同主持人	協助計畫主持人推動各專業組之作業	學歷	成功大學測量工程研究所(年資 10 年)
			經歷	中興測量有限公司專案經理兼測量技師
			專長	航空測量、遙感探測、專案管理
黃敏郎	研究人員	地形特徵判釋	學歷	博士候選人
			經歷	國立成功大學防災中心組長
			專長	地質構造、地理資訊系統、遙測影像判釋、地質敏感區調查

## 肆、計畫已獲得之主要成果與重大突破(含量化成果 output)

請就本計畫涉及之(1)學術成就(2)技術創新(3)經濟效益(4)社會影響(5)其他效益方面說明重要之成果及重大之突破，以文字方式分列說明。

- 1.學術成就：延續使用內政部於 101 年及 102 年辦理發展高光譜與光達技術結合之應用工作案，所獲取之高光譜影像及空載光達資料，對本計畫各項議題精進研發皆有助於測繪業務更廣泛之應用。
- 2.技術創新：透過觀察森林生長變化本案蒐集地面光達資料，將地面光達資料模擬空載光達雷射發射之特性，達成森林地區穿透率之推估。
- 3.經濟效益：本計畫各項研究項目皆有自動化方式及人工輔助方式，以達成期程內計畫的完成，並合乎經濟效益的原則，將列表整理於下表，供未來推動相關計畫之參考。

計畫項目	作業方式
研析森林地區之光達點雲穿透率資料	於外業以地面光達儀器掃瞄獲取光達點雲資料，資料經由人工接站與人工處理過濾空間上之雜點，再程式撰寫模擬空載雷射光之幾何關係，其中以程式撰寫較耗費計畫時間，但修正完善程式處理的時間，每期資料自動處理 70GB 容量點雲，約 80 億點資料，僅需 2~3 個小時左右，屬於實用性高的處理方式。
評估空載光達技術測繪林下產業道路	本項目空載光達點雲以程式自動化疏化點雲密度，後續以軟體產製光達 DEM、日照陰影圖、坡度圖等各項判釋分析資料，林下產業道路的判釋本計畫以人工進行辨識及數化道路，外業以人工進行林下道路導線測量，本項目屬人工輔助比例較高的作業方式。
探討遙測衛星影像、植生指數與空載光達點雲穿透率之相關性	植生指標和葉面積指數各自與穿透率建立相關方面，葉面積指數需要依靠人力現地調查獲得，而植生指標需仰賴衛星影像處理的能力，在資料

	處理之間釐清許多衛星影像之限制和影響品質因子，如衛星影像需經過大氣糾正，衛星影像DN值單位的轉換，各植生指標參數的決定，當基本的影像處理步驟建立後，後續均是利用軟體處理計算植生指標，以程式處理穿透率。
集水區之地形變異分析、山區道路坡面水系及其變異分析	本項目集水區之地形變異分析及山區道路坡面水系變異分析方法皆須以人工輔助完成。
評估融合高光譜與空載光達資料分析土地覆蓋類別之可行性	在分類作業中需以人工處理項目包含：物件分割參數設定、圈選訓練區與檢核區、影像數化。而可自動化作業之項目包含：影像椒鹽處理、統計特徵數值、影像分類、精度報表產製等。

4.社會影響：本計畫透過空載光達數值地形在集水區之地形變異分析，可有效掌握土砂侵淤量體與趨勢，山區道路坡面水系變異區位，常為下次災害發生之熱點，本計畫成果可供土砂災害防治之參考。

5.其他效益：本計畫重要之成果及重大之突破整理列於下表。

計畫項目	資料及技術	獲得之成果	突破點	發展限制
研析森林地區之光達點雲穿透率資料	1.103 年度森林地區 4 期地面光達點雲資料 2.地面光達穿透率計算	1.獲取 103 年 4 期森林地區地面光達點雲資料 2.本計畫於 4 期資料觀察森林穿透率無明顯變化	地面光達與空載光達觀測角度上之差異，並無法直接計算穿透率，本計畫以模擬空載光達雷射光發射的方式，以達成有效的定量森林之穿透率。	本計畫在資料獲取時間其穿透率並無明顯改變，往後需期待更長的時間序列來探討葉量之變化。
評估空載光達技術測繪林下產業道路	1.使用 102 年度內政部水庫測試區空載光達資料 2.以光達 DEM 資料進行人工判釋數化林下產業道路	資料疏化至點雲密度 1.3 點/平方公尺，其 DEM 成果僅判釋 65%之林下產業道路，且道路邊界產生較多大於 1 公尺以上的誤差量。	102 年度獲取高密度空載光達資料，其資料特性有利於細微的地形特徵展現。透過本項應用成果可刺激未來空載光達資料品質的提升是一個可以努力的方向。	道路邊界皆為人工逐一判釋數化之成果，需花費比較多判釋時間，建議未來可利用影像邊緣偵測技術，測試半自動化數化以提升判釋效率。
探討遙測衛星影像、植生指數與空載光達點雲穿透率之相關性	1.101、102 年度空載光達資料、4 種衛星影像 2.103 年 LAI 資料 3.衛星影像大氣糾正、指標計算	LAI 與衛星影像植生指標各別與穿透率皆呈現負相關，表示指標值愈低時穿透率越高。	本案使用衛星影像及 LAI 資料與穿透率可有效反映植生的數量大小，有助於未來掃瞄規劃之參考。	衛星影像的品質會影響推估的結果，故未來可測試更多的影像糾正模式，並探討其他植生指標對於穿透率之關聯性，達成正規化植生指標的目標。
集水區之地形變異分析、山區道路坡面水系及其變異分析	1.99、101、102 年空載光達數值地形 2.人工輔助判釋	水庫測區 99 年~102 年間之地形變化總沖淤量為沖刷 86.4 萬立方公尺。整體土砂遞移率結果顯示，集水區崩塌產生土方只有 1/3 的量體會搬離集水區，剩餘土方仍殘存於集水區內。	透過空載光達數值地形在集水區之地形變異分析，可有效掌握土砂侵淤量體與趨勢及山區道路坡面水系變異區位	水文編修後之光達數值地形 (Hydro Enforced Lidar DEM) 之編修作業尚未建立相關之作業準則，為建立統一資料品質與規格，建立水文編修後之光達數值地形 (Hydro Enforced Lidar DEM) 編修作業準則。



計畫項目	資料及技術	獲得之成果	突破點	發展限制
<p>評估融合高光譜與空載光達資料分析土地覆蓋類別之可行性</p>	<p>1.101、102 年度空載光達資料、高光譜影像資料                      2.光譜及光達特徵萃取                      3.圈選訓練區與檢核區                      4.物件分割                      5.像元式與物件式分類方式</p>	<p>土地覆蓋類別之分類成果，使用像元式與物件式分類方式，皆可於二測試區獲得整體精度 78% 以上，與 Kappa 值 0.75 以上之分類成果，物件式分類的成果較像元式分類的成果更適合用於區塊與範圍的判斷。</p>	<p>過高光譜與空載光達兩種資訊之結合，使其在土地覆蓋類別分類上成為更有利區別森林、竹林、果園、草地等光譜易混淆之植生，以光譜偵測人造建物，加入光達地物高程資訊，可有效區別建築物、道路。二類遙測資料整合有助於地物種類辨識的提升。</p>	<p>本計畫物件式分類精度良好且具備完整區塊，然而此成果乃是提供土地覆蓋(Land cover)，此資訊主要可用以國土利用調查初步分類，至於在土地利用(Land use)的分類(如不同建築物內部使用情況)仍需以人工進行調查，無法透過自動分類完成。</p>

## 伍、 主要成就及成果之價值與貢獻度 (outcome)

請依前述重要成果及重大突破說明在學術成就上價值與貢獻度如：

### 一、 學術成就(科技基礎研究)(權重\_\_%)

量化成果評述：

(一) 本計畫共計產出學術論文 2 篇，組成研究團隊 1 個，詳細資料時下列：

研討會論文：

1. 李崇誠、吳坤真、王驥魁，(2014) 空載光達點雲密度對於山區林下道路線與道路邊緣繪製之準確度評估。2014 第 33 屆測量及空間資訊研討會。
2. Huang, C.H., Teo, T.A., 2014.Integration of airborne hyperspectral imagery and airborne lidar point clouds for object-based classification. The 35th Asian Conference on Remote Sensing, Nay Phy Taw, Myanmar, 27-31 October 2014.

研究團隊：發展高光譜資料與光達技術結合之應用（成功大學、國立交通大學、中興測量有限公司、聚禾顧問公司）

研究團隊培育博碩士生共計 6 名(含 3 名碩士生與 3 名博士生)，以及 1 名博士後研究員。

研究成果：形成教材，融入於成大測量及空間資訊系之遙感探測課程。

質化成果評述：

(一) 本計畫之論文產出成果良好，國內外研討會論文之發表有效展示本計畫之研究成果，並促進國內外技術之交流。

(二) 深化國內之空載光達技術，實用化空載光達資料處理，提昇資料處理能力，可執行測繪案等級之大量資料。

## 二、 技術創新(科技整合創新)(權重\_\_\_%)

量化成果評述：

(一)整合高光譜影像與空載光達資料二類遙測資料，於地物覆蓋類別分類大幅提升分類精度，改善林地、草地、竹林、道路、建物等光譜特徵類似區域，對於二類資料均有提升應用之價值。

質化成果評述：

扶植國內業界對於新技術開發及應用之能力，提昇光譜與光達資料之蒐集能力。

## 三、 經濟效益(產業經濟發展)(權重\_\_\_%)

本計畫培育 1 個跨學界與產業界合作團隊。

## 四、 社會影響(民生社會發展、環境安全永續)(權重\_\_\_%)

(一)透過空載光達數值地形在集水區之地形變異分析，掌握土砂侵淤量體與趨勢，山區道路坡面水系變異區位，常為下次災害發生之熱點，本計畫成果可供土砂災害防治之參考。

(二)空載光達對於森林穿透能力，清楚展現遮蔽的林下道路特徵，可提供產業道路資訊供管理單位經營管理之規劃參考。

## 五、 其它效益(科技政策管理及其它)(權重\_\_\_%)

(一)本成果之經驗可協助擬定作業規範與作業標準。

註：請填寫計畫起始年累積至今主要成就及成果之價值與貢獻度。

## 陸、 與相關計畫之配合

一、本計畫對於分類成果可進一步輔助國土利用調查作業之可行性。

二、本計畫藉由衛星影像植生指標及葉面積指數與穿透率之關係，可提供國內於執行飛航掃瞄時之參考依據。

三、本計畫空載光達測繪林下產業道路，可提供合適之點雲密度以供參考。

四、本計畫透過崩塌地之水系變異區位可有效掌握可能之土砂災害熱區，以為防災對策及復建工程配置參考。

## 柒、 後續工作構想之重點

衛星影像推估植生指標時需經過大氣糾正來減少誤差的存在，衛星影像取得上是便利的，可以考慮之影像種類亦較多。而影像的品質亦會影響推估的結果，故後續可以測試更多的影像糾正模式，並探討更多其他植生指標對於穿透率之關聯性，達成正規化植生指標的目標，或是測試各種大氣條件下其植生指標反映的穿透率為何，將更深入探討兩者之關聯性。此外，本計畫利用多期光達數值地形，可有效掌握土砂侵淤量體與趨勢，建議後續可針對山區聚落主要聯外或替代道路之崩塌地持續進行地表光達測量或無人載具空拍，建立特定崩塌地範圍之多期數值地形資料，持續觀測崩塌發育與水系變異之關係。

## 捌、 檢討與展望

以往光達資料多著重在幾何特徵，因此多航帶光達已完成嚴密的幾何套合。受限於以後光達反射值多使用於視覺展示，故以往進行多航帶光達反射值的輻射套合，導致航帶間反射值存在不一致的現象。因本計畫使用波形光達系統，有條件進行輻射正規化，建議未來進行光達輻射正規化，以提升光達的應用性。本年度工作目標為土地覆蓋分類，主要應用於國土利用調查初步分類。從資料更新的角度思考，國土利用圖之更新是必要的工作，建議未來進行高光譜資料之變遷分析。

填表人：\_\_\_\_\_ 聯絡電話：\_\_\_\_\_ 傳真電話：\_\_\_\_\_

E-mail：\_\_\_\_\_

主管簽名：\_\_\_\_\_

# 附件十一

## 科技計畫績效指標

# 績效指標(實際成果)

請選擇合適綱要計畫評估之項目填寫初級產出、效益及重大突破(填寫說明如表格內容，未使用之指標及填寫說明文字請刪除)

屬性	績效指標	原訂值	初級產出量化值	效益說明	重大突破
學術成就(科技基礎研究)	A 論文	發表國內研討會論文 1 篇 發表國外研討會論文 1 篇	發表國內外研討會論文共 2 篇	為國內外產、官、學各界所引用參考	
	B 研究團隊養成	財團法人成大研究發展基金會、成功大學、交通大學、中興測量公司	財團法人成大研究發展基金會、成功大學、交通大學、中興測量公司	結合相關領域之學者、專家共同進行研發	
	C 博碩士培育	參與計畫執行之碩士研究生及博士研究生 5 人以上	參與計畫執行之碩士研究生及博士研究生 5 人以上	提升國內培養先進航遙測專業相關人才之能量	產值(薪資)
	D 研究報告	產出 1 份工作總報告	數量 1	為國內產、官、學各界所引用參考	
	E 辦理學術活動				
	F 形成教材	研發經驗及成果製作成為大學部及研究所課程教材；並為教育訓練課程教材	研發經驗及成果製作成為大學部及研究所課程教材；並為教育訓練課程教材	提升學員於處理全波形空載光達資料與空載高光譜資料之技術能力	
	其他				
技術創新(科技整合創新)	G 專利				
	H 技術報告				
	I 技術活動				
	J 技術移轉				
	S 技術服務				
	其他				

經濟效益 (產業經濟發展)	L 促成廠商或產業團體投資	促進國內測量公司投入全波形空載光達與空載高光譜相關技術投資	促進國內測量公司投入全波形空載光達與空載高光譜相關技術投資	為促進國內全波形空載光達及高光譜影像技術之發展並推廣運用於各航遙測相關領域中		
	M 創新產業或模式建立					
	N 協助提升我國產業全球地位或產業競爭力	空載高光譜影像資料與全波形空載光達之結合應用	空載高光譜影像資料與全波形空載光達之結合應用	增進我國空載高光譜影像與全波形空載光達資料之應用能力。		
	O 共通/檢測技術服務					
	T 促成與學界或產業團體合作研究	供給產製成果，符合學術應用面需求之研究合作。	供給產製成果，符合學術應用面需求之研究合作。	促進產界之新技術成果產製能力與工程顧問公司、學界等資料應用端之合作研究。		
	U 促成智財權資金融通					
	其他					
社會影響	民生社會發展	P 創業育成				
		Q 資訊服務				
		R 增加就業	3 人	3 人	相關調查計畫需增聘專業技術人員，增加就業。	
		W 提升公共服務				
		X 提高人民或業者收入				
		其他				
	環境安全永續	O 共通/檢測技術服務				
		V 提高能源利用率				
		Z 調查成果				
		其他				
非 研	培 才	1. 學程、教材設計，知識平台建立				

		2. 培育人才情形，含人數及內容				
		3. 研討會(學術活動)				
		4. 人才出路(就業去向)				
		5. 證照及競賽獲獎				
		6. 其他				
非研究類成就	法規制度	7. 先進國制度蒐集及研析				
		8. 法規制度訂定，模式或資料庫建構等。				
		9. 法規草案確定				
		10. 主管部會之認可或通過				
		11. 法規被採用或參考情形				
		12. 其他				
	國際合作	13. 人員互動				
		14. 學術活動互動(研討會、專題討論…等)				
		15. 計畫合作研究				
		16. 簽訂協議				
		17. 合作智財申請				
		18. 其他				
	推動輔導	19. 輔導/推廣目標達成率				
		20. 輔導/推廣對象滿意度				



		21. 輔導/推廣對象 相對投入				
		22. 其他				
政策科技		K 規範/標準制訂				
其他 政策管理及其 科技 效益 (其他)		Y 資料庫				
		XY 性別平等促進				
		AA 決策依據				
		其他				

## 附件十二

投稿論文 2 篇

# 空載光達點雲密度對於山區林下道路線與道路邊緣繪製之準確度評估

## Using the airborne LiDAR scanning to estimation the road-length and road-edge form different point density in mountainous forest

李崇誠<sup>1</sup> 吳坤真<sup>2</sup> 王驥魁<sup>3</sup>

Chung-Cheng Lee Kun-Jen Wu Chi-Kuei Wang

### 摘要

台灣山坡地有許多農民自行開發之產業道路，並無工務單位之圖資可取得相關資訊，雖然透空良好的路段，可以航空正射影像測繪，但林下的路段，受植生遮蔽則無任何資訊，由於空載光達有穿透植物冠層到達林下表面的特性，故本研究利用空載光達系統繪製林下道路。測試樣區位於台南市曾文水庫集水區上游，選取1 km × 1 km範圍，並以人工數化的方式，判斷其道路中心線與道路邊緣，平均點雲密度約為每平方公尺42.37點，並將點雲按照雷射發射量等間距疏化為1/2、1/4、1/8、1/16與1/32，不同疏化程度的點雲會有不同的道路長度與邊緣。在現地測量方面，本研究利用導線測量方式，現地施測道路長度約為1 km，共測量264個道路邊界點，結果顯示原始點雲密度道路總長5749.04 m，1/32點雲密度可辨識道路總長3736.52 m，差異高達2012.52 m，得知當點雲密度越低時，道路的長度有明顯差異。另一方面，原始點雲與1/32疏化點雲密度道路邊界偏移量低，偏移誤差平均值分別為1.03與1.24 m。高密度的點雲密度可以提升道路數化上的正確率。

關鍵詞：林下道路、空載光達、道路測繪

### ABSTRACT

The LiDRA lasers can penetrate the tree crown to the ground surface, and it is an effective tool to detect the forest road. In this study, we are using the airborne laser scanner to obtain the road and road-edge from artificial post processing the point clouds. The study area is located in Tseng Wen Reservoir upstream; the area is 1 km × 1 km, the average point density is 42.3 pts/m<sup>2</sup>. In the other hand, we are thinning the point clouds which the 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 and 1/32, and estimate the influence of road and road-edge by different point density. The ground truth data, we are using traverse survey to measure the road and road-edge in suit, the total number of 1 km length be measured. Our results showed that the point density increases with either increasing road-area or

---

<sup>1</sup>國立成功大學測量及空資訊學系 博士候選人

<sup>2</sup>國立成功大學測量及空資訊學系 研究助理

<sup>3</sup>國立成功大學測量及空資訊學系 副教授

road-edge. Specifically, the road length has high error from the lower point density dataset.

*Keywords:* Airborne LiDAR, Forest Road, Road Detection

## 一、 前人研究

空載光達多重回波的特性使雷射光能穿透樹林遮蔽物到達地表面，隱含著地表面高程資訊 (A.E. Akay *et al.*, 2009)，因此森林區域可以利用空載光達取得地面高程(DEM)資料 (黃紹東等, 2008)。萃取道路的方式有兩種，一為光達資料萃取(Lidar-base)，另一種為DEM二維資料萃取(DEM-base)，Zhang 2010，利用光達測量車之資料，以Lidar-base的方式萃取道路與道路邊緣，其主要是利用區域極值訊號偵測濾波器(local-extreme-signal detection filter)，偵測訊號的極值波峰(extreme peaks)的位置，是一種合理搜尋道路邊緣的方式。而二維地形資料的道路萃取，主要是利用半自動化的方式來達成(陳良健與羅詔元, 2007)，利用人工數化的方式繪製道路中心線，並辨識道路邊緣。

本研究利用DEM-base的方式來萃取林下產業道路，主要由於林下產業道路光達點雲複雜度高，一般的線性擬合併無法正確地搜尋出道路面，而DEM資料可以清楚的判斷道路紋理，故利用DEM資料為判斷道路邊緣與中心線的依據。

## 二、 研究材料與方法

### 2.1 研究樣區與資料

研究樣區位於台南市曾文水庫上游，森林主要組成以桑科榕樹屬為主，包括菲律賓榕、榕樹、幹花榕及白肉榕；樟科槿楠屬之大葉楠、菲律賓楠等；榆科山麻黃，茜草科的水錦樹、千屈菜科的九芎等樹種，樣區範圍內有眾多產業道路，如圖1。本研究利用Optech ALTM Pegasus全波形空載光達儀器，掃瞄時間為2013年7月28與30日，掃瞄總面積面積約21 km<sup>2</sup>，其中挑選1×1 km為林下產業道路測試區域範圍(圖1紅色外框)，分析不同點雲密度對於林下產業道路判釋之影響。

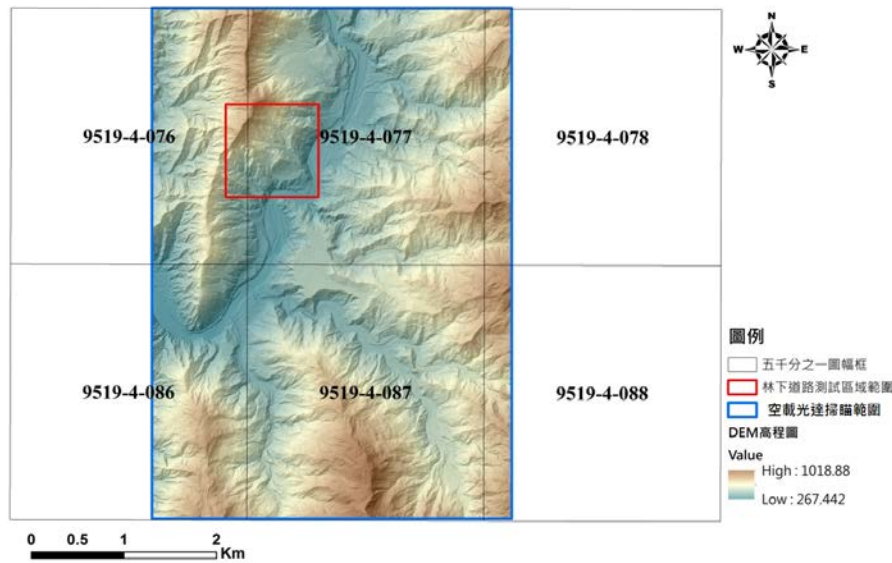


圖 1. 曾文水庫上游研究樣區分布圖

## 2.2 林下道路導線測量

林下道路主要測量樣區內無柏油路面，並且天頂方向有森林植物覆蓋之道路，如圖2，在空曠之位置總共設立4個VRS控制點，以人工觀測的方式判斷道路邊緣線，配合全站儀測量邊緣點位，以附和導線方式測量坐標，最後採用TWD97@2010坐標系統。



圖2. 曾文水庫樣區林下道路現況與現地測量

## 2.3 研究流程

樣區內平均點雲密度為 $42.37 \text{ pts/m}^2$ ，依雷射發射順序，等距間隔取樣資料，模擬當LiDAR發射的雷射筆數相對減少的狀態下，取得對照地形表現應有之點雲資料，以不同點雲取樣密度分為六級，疏化取樣選取原始LiDAR掃描之數據all、1/2、1/4、1/8、1/16及1/32的等比級數降低原始資料之點雲密度，再進行點雲過濾，將資料分為地面點與非地面點後，使用kriging內插法，產製不同點雲密度之DEM，後續計算DEM資料，產製1 m網格坡度圖及日照陰影圖作為林下產業道路判釋數化之材料，研究流程如下圖3。

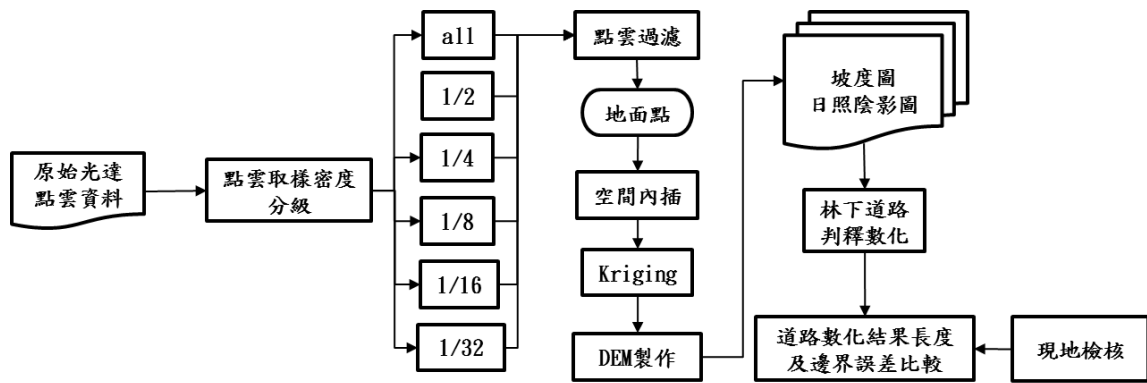


圖3. 研究流程圖

## 2.4 林下道路判釋

本研究以疏化不同等級之空載光達點雲產製DEM、坡度圖與八方位之日照陰影圖，其網格大小為1 m，透過坡度圖及有立體效果的日照陰影圖，其灰階色彩可清楚展現林下產業道路的分布情況，以人工判釋影像中的明暗交界處作為判斷林下道路之邊界，進而編輯數化各密度等級之道路邊界，供後續評估林下道路之完整性。

## 三、 研究結果

### 3.1 點雲密度疏化與資料產製

本研究之光達點雲資料，依不同點雲取樣密度分為6級，以疏化取樣方式選取原始LiDAR掃描之數據之1/2、1/4、1/8、1/16及1/32的等比級數降低原始資料之點雲密度，再進行點雲過濾，將資料分為地面點與非地面點。測試範圍內各密度等級之平均點雲密度計算結果如下表1所示，其疏化後的資料量最小密度為每平方公尺至少有1點。

表1. 各疏化等級之平均點雲密度(pts/m<sup>2</sup>)

疏化等級密度	原始	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32
點雲密度	42.37	21.18	10.59	5.29	2.64	1.32
地面點-點雲密度	2.99	1.49	0.74	0.37	0.18	0.09

研究以LiDAR掃描之數據原始、1/2、1/4、1/8、1/16、1/32等6個等級的點雲密度取樣資料，產製坡度圖及日照陰影圖，作為林下產業道路之判釋材料如圖4、圖5所示。

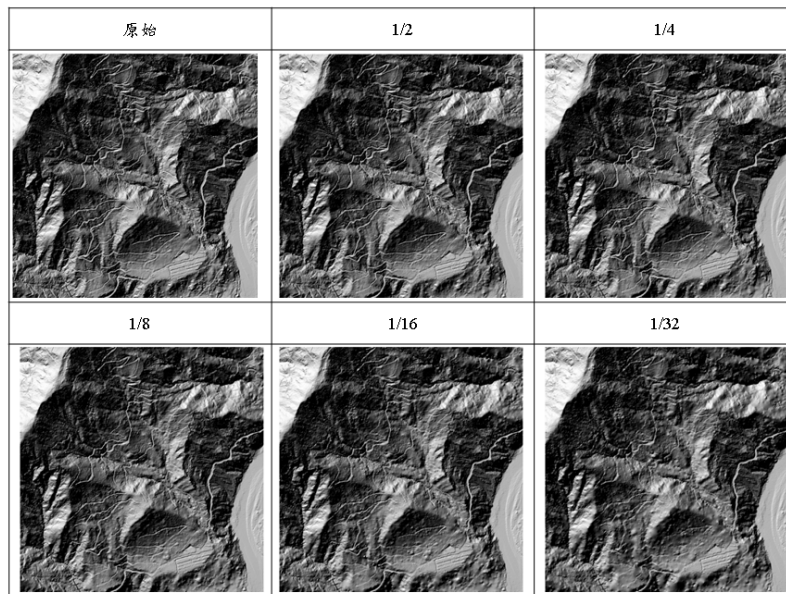


圖4. 光達點雲疏化各密度等級之日照陰影圖

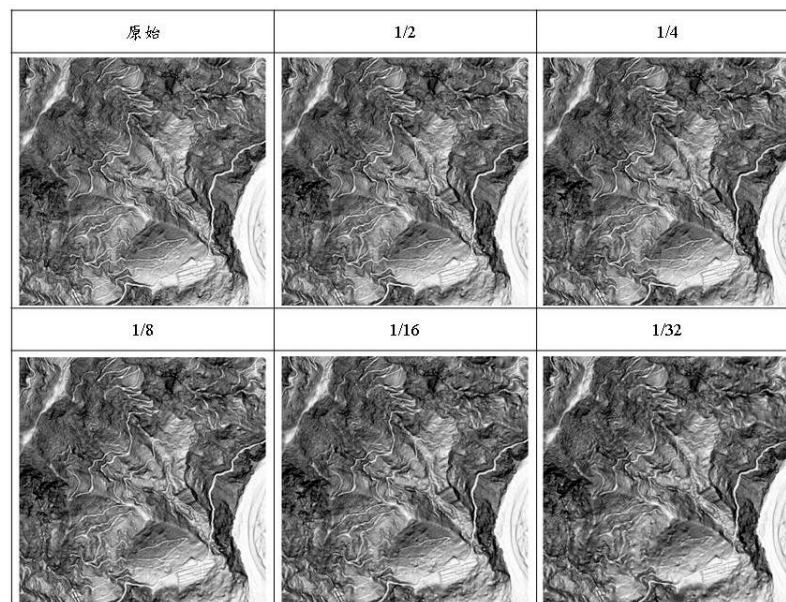


圖5. 光達點雲疏化各密度等級之坡度圖

### 3.2 林下道路辨識

本研究以不同密度等級之坡度圖及日照陰影圖判釋數化林下道路，其成果如下圖6所示。經由Kriging內插不同疏化密度之DEM所產製日照陰影圖及坡度圖，可發現密度等級越低者，測試區內之林下產業道路有一部分已無邊界特徵可供人工辨識(圖6箭頭處)，因此數化結果則呈現不完整的路網。

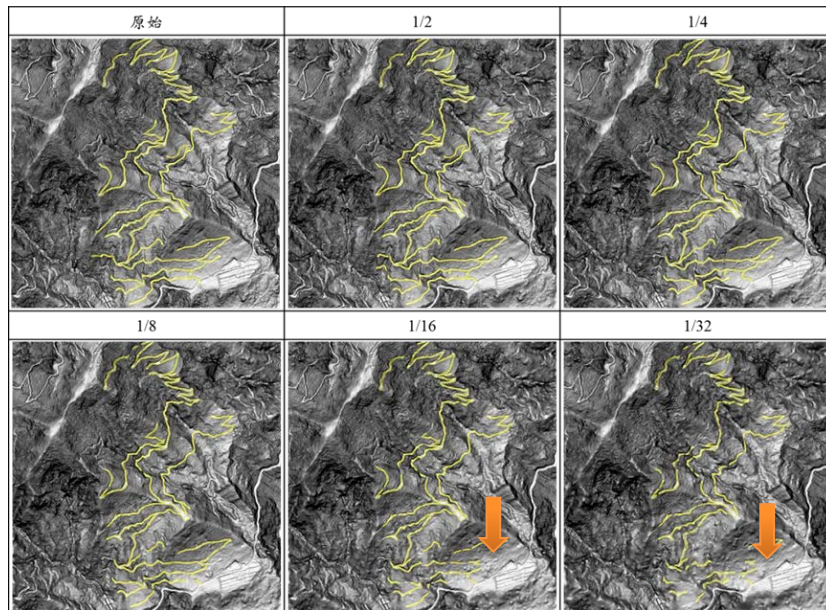


圖6. 林下產業道路判釋數化成果

### 3.2 不同點雲密度等級對林下道路長度判釋之影響

由於數化的資料為道路之兩側邊緣線，需求解出道路中心線，本研究以影像擬合的方式，將兩側邊緣之中心線繪製出來，並產生向量格式道路中心線，不同密度等級的道路中心線長度的統計結果如下圖7所示，長度統計結果，隨點雲密度等級降低，道路長度亦有減少的趨勢，原始點雲密度等級所辨識道路的長度為5749.04 m，疏化至1/32時下降至3736.52 m，相差2012.52 m，顯示道路長度變化會受點雲密度等級的程度而影響，在點雲原始、1/2、1/4與1/8之道路中心線長度差異不大，最小平均點雲密度為5.29 pts/m<sup>2</sup>，而隨著點雲密度再次減少，道路中心線有明顯的差異，故點雲的密度多寡，會影響到道路數化之正確性。

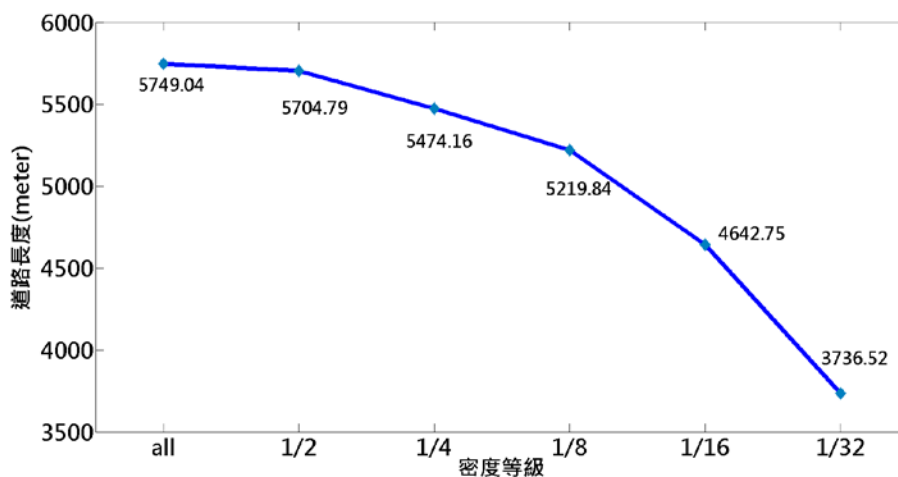


圖7. 林下產業道路中心線長度統計結果



### 3.3 不同點雲密度等級對林下道路邊緣判釋之影響

此項目為比較不同疏化密度等級的人工數化林下產業道路與實際外業測量之邊界位置，兩者距離差距程度。外業量測的邊界位置點有其平面坐標，並計算與數化之邊界的距離，此距離為兩者之間的平面誤差。由於各密度等級之數化成果其邊界長度不同，因此所對應的檢核點的數量亦不同如表2所示。

表2各密度等級數化成果對應道路邊界之檢核點數量

密度等級	原始	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32
檢核點數量	264	258	254	245	213	187

如圖8，從盒形圖中發現，在原始點雲密度其誤差值多分布0.5~1.5之間，誤差值較集中，而密度等級在1/32時誤差值3/4位數的位置接近於3 m，表示當點雲密度降低時，人工在數化道路邊界時產生的誤差會較高，而所有點雲的道路偏移量統計平均值為1.0329 m，疏化程度在1/32時平均道路偏移量為1.2379 m，表示道路邊緣有些許程度上之差異。

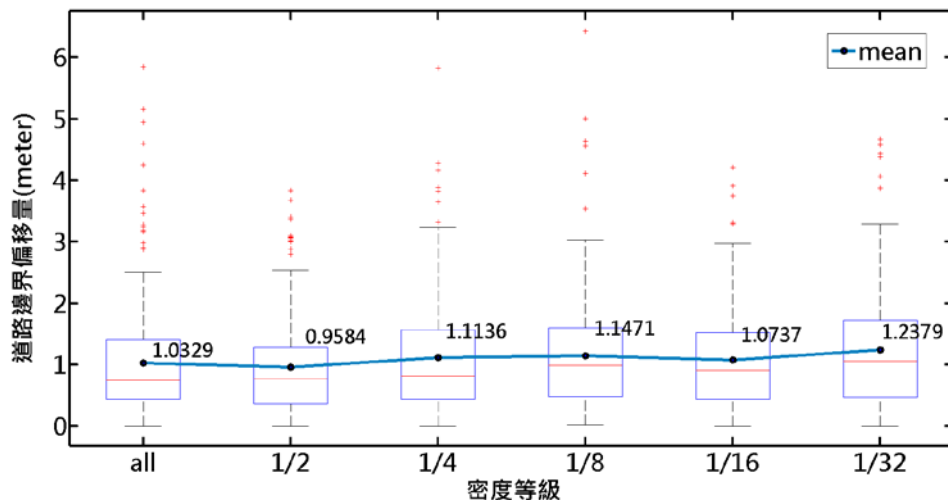


圖8. 不同密度等級其道路邊界偏移量分布盒形圖

由於各密度等級檢核點數量均不相同，故數值分布情形必須利用百分比來表示，如圖9所示，在原始點雲、1/2與1/4密度等級的折線圖發現，資料有較高的百分比分布在道路偏移量1m左右，相較於1/8、1/16與1/32密度等級道路邊緣的誤差，提高點雲密度可以有效增加道路邊緣的正確性。

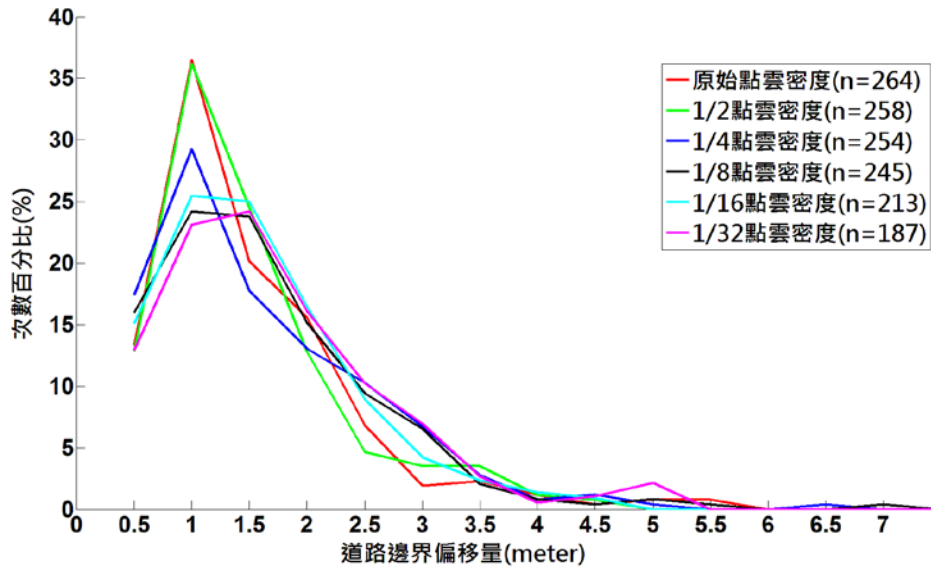


圖9. 不同密度等級道路偏移量之次數百分比

#### 四、結論

林下道路受到上方森林冠層之遮蔽，導致航空照片與衛星影像無法辨識其道路的存在，一般常利用GPS紀錄軌跡的方式來測量林下道路路徑，受限於林下透空程度低，在林下道路的測量並無法利用eGPS高精度定位儀來測量，僅能利用設立控制點進行導線測量，所需的人力與時間成本相對較高，而空載光達的優勢在於可穿透森林冠層，測量到地面的高程資訊，為空載光達的有效附加之應用議題。

本研究利用不同的密度等級探討對於林下道路長度與邊緣的差異，結果顯示當點雲密度越高時，可以判斷出道路長度亦較完整。在道路邊緣的部分，各密度等級由於有其不同的辨識道路長度，所以在道路邊緣誤差檢測的部分，可以明顯發現，平均誤差相差不大，但高密度等級的資料，亦有其相較較好的成果，道路邊緣差異不明顯，主要是由於人工辨識需要依照陰影圖與坡度圖配合數化，當可辨識為道路的特徵其道路邊緣相較於明顯，故在道路邊緣之差異結果並不高。

本研究利用人工數化的方式來判斷林下道路中心線與林下道路邊緣線，主要是為釐清點雲密度是否會影響到林下道路之生成，其主要是森林冠層的遮蔽對空載光達有其能力上的限制，而本研究利用較可靠的人工數化方式來測量道路邊緣與中心線，並且林下道路地形複雜，自動化辨識有其先天上的限制，後續將研究是否有適用於林下道路之自動化辨識的方法，為未來研究的方向。

## 五、 參考文獻

陳良健、羅詔元 (2007) 整合光達資料與二維路網重建三維道路模型。航測及遙測學刊12(2):179-195。

黃紹東、徐明鎰、黃英婷、蘇惠璋，2008，應用空載光達（LiDAR）技術於國土利用調查資料庫建置之研究，第二十七屆測量及空間資訊研討會論文集，pp.393-403。

A.E. Akay, H. Oğuz, I. Rakip, K. Argua, 2009, Using LiDAR technology in forestry activities, Environ Monit Assess, Vol. 151, pp.117-125.

Zhang, W., 2010. LIDAR-Based Road and Road-Edge Detection. 2010 IEEE Intelligent Vehicles Symposium. University of California, San Diego, CA, USA.

# INTEGRATION OF AIRBORNE HYPERSPECTRAL IMAGERY AND AIRBORNE LIDAR POINT CLOUDS FOR OBJECT-BASED CLASSIFICATION

Chun-Hsuan Huang<sup>1</sup>, Tee-Ann Teo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Master Student, Dept. of Civil Engineering, National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan 30010.  
E-mail: rick84032@gmail.com

<sup>2</sup> Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan 30010.  
E-mail: tateo@mail.nctu.edu.tw

**KEY WORDS:** hyperspectral, lidar, data integration, ground classification

**ABSTRACT:** Remote sensing technologies obtain spectral and shape properties of ground objects efficiently. These useful information is suitable for land use management. The hyperspectral image provides more detail of spectral information and there is a great potential to identify species of vegetation using hyperspectral image. Moreover, lidar data provides 3-D surface to identify different objects on the ground. Hence, the aim of this study is to integrate the hyperspectral imagery and lidar feature for object-based classification. The object-based classification uses image segmentation to produce image objects. Different object's features are calculated from hyper spectral image and lidar data for image classification. The proposed scheme includes image segmentation, feature selection, and image classification. In image segmentation, the image is segmented into image objects from pixels. According to the characteristic of image objects, appropriate features are selected for analysis. In feature selection, nearest neighbor method is used to classify the image at image classification step. In the study, the airborne hyperspectral image and lidar point clouds are collected by ITRES CASI-1500 and Optech ALTM Pegasus. The confusion matrix is generated by ground truth information. The verification includes the comparison between pixel-based and object-based classifications, comparison between multispectral and hyperspectral image classifications, and image classification with and without lidar features. The experimental results indicate that the fusion of hyperspectral image and lidar point clouds may improve the accuracy of image classification. In summary, hyperspectral image provide useful spectral information while lidar data provide useful shape information. The integration of these two data may separate different land covers from both spectrum and geometric information.

## 1. INTRODUCTION

Due to the technological and environmental development, human living space is expanding rapidly and globally. Hence, land use management is one of the important issues in climate change. The remote sensing technologies obtain useful information of land cover effectively. It can be used to understand different land covers for environment management.

Hyperspectral image provides detailed spectral information. According to the results of classification provided by previous studies (Ifarraguerri and Chang,2000; Shaw and Manolakis,2002; Miao et al.,2006; Prasad and Bruce,2008; Xing et al.,2005), hyperspectral image has a great potential to identify species of vegetation using spectral information. Moreover, with the development of lidar technology, lidar obtains high density 3-D point cloud rapidly. This lidar point clouds provide 3-D surface information efficiently, and this 3-D surface information can use to assist the identification of land cover (Gou et al., 2011), because every ground object has its own characteristic of height. Therefore, the integration of hyperspectral and lidar is beneficial in land cover classification.

The image classification includes pixel-based and object-based classifications (Myint et al, 2011; Duro et al., 2012; Zhang and Xie, 2012). The pixel-based classification analyzes attribute value by pixel. This method does not consider the relation between pixels. Therefore, object-based classification is used in this study. Through the image segmentation, the related image pixels are combined into image objects. The image object provides not only attribute value but factor of shape to identify the class of ground surface (Ke et al., 2010). The aim of this study is to integrate the hyperspectral imagery and lidar feature for object-based classification, and discuss effectiveness of data integrate and object-based classification.

## 2. MATERIALS

### 2.1 Study area

The test area is located in the junction of Chiaya and Kaohsiung in Taiwan and the total area is about 21.4 square kilometers. It is a mountainous area which has different types of vegetation, for example, bamboo, fruit, etc. This area

also covers some villages and some mountainous regions are developed as farming land and orchard.



Figure 1. The location of study area (red area)

## 2.2 Hyperspectral image

The hyperspectral image in this study is collected from ITRES CASI 1500. Total numbers of the image bands are 72 bands, and spectral wavelength range is from 362.8nm to 1051.3 nm. The preprocessing of hyperspectral image includes radiation and geometric correction. In order to get the same ground surface reflectivity of every strip, ATCOR4 method is used to the radiation correction, this method consider variety of factors include incident angle, terrain effects and atmospheric effects, and decrease effects from these reason. Furthermore hyperspectral image has a large number of bands, in order to avoid curse of dimensionality in limited training area, the minimum noise fraction transformation (MNF) method is used to reduce dimensions of hyperspectral image. Seven MNF's bands are selected for classification.

## 2.3 Lidar data

The lidar data is collected by Optech ALTM Pegasus. In order to integrate the lidar and hyperspectral image, lidar is interpolated to 2D raster grid. The features of lidar include nDSM, roughness, intensity and echo ratio. In lidar data processing, point clouds are classified into ground points and non-ground points for digital terrain model (DTM) and the digital surface model (DSM). The DSM can be used in the process of image ortho-rectification, also the normalized digital surface model (nDSM) can be calculated by subtracting the DSM from DTM. Furthermore, standard deviation of DSM can be treated as surface roughness. For lidar signal features, the echo ratio parameterizes multiple reflections, using to represent extension and transparency in vertical, because the region of vegetation has high extension and transparency, this feature can be used to identify vegetation (Höfle and Hollaus, 2010). The intensity means a relative measure for each lidar signal, this information can use for distinguishing ground object and tree species by reflection characteristics (Kim et al., 2009).

## 3. METHODOLOGY

The work flow of classification is shown as figure 2. First, the purpose in data preprocessing is co-registration, therefore, lidar data and hyperspectral image are registered correctly for classification. Second, setting the land types for classification, according to simple image interpretation the targets of classification are decided. Then, the favorable features are extracted for targets. In object-based classification step include three parts as segmentation, training and classification. Finally, the result of classification has analyzed.

### 3.1 Set targets of classification

According to the characteristics of test area and recognizable features, this area is roughly divided into vegetation and non-vegetation. The non-vegetation included bare ground, river and various types of man-made structures. The vegetation includes forest, grass and various types of crops. The details of land cover are defined in Table 1.

### 3.2 Feature extraction

The feature extraction is to produce feature for classification from hyperspectral image and lidar data. Hyperspectral image mainly provides spectral feature while lidar data mainly provides terrain feature and lidar signal features. These features for classification are shown as Table 2.

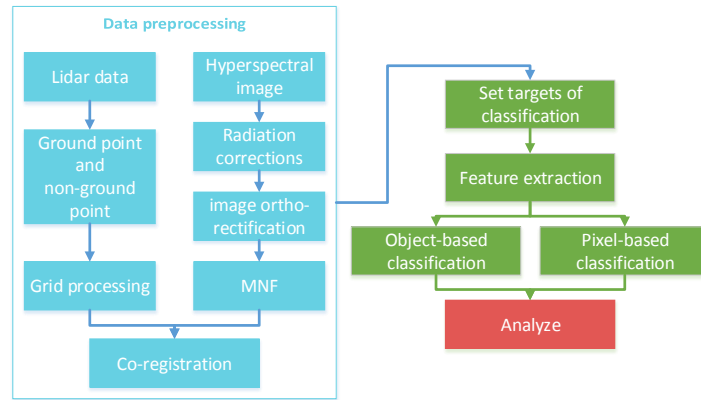


Figure 2. Workflow

Table 1. Targets of classification

Vegetation		Non-vegetation	
1. Broadleaf forest(forest)	5. Bamboo	8. Water	12. Watercourse
2. Grass	6. Fruit tree(fruit)	9. Road	13. Bare ground
3. Tea plantation(Tea)	7. Areca plantation(Areca)	10. Greenhouse	14. Concrete
4. Other crops(Farm)		11. Building	15. School Playground (School)

Table 2. Features for classification

Data	Feature type	Feature	Description
Hyperspectral image	Spectral feature	MNF	Separate noise and signal in image, also reduce the data dimensions of hyperspectral image
		NDVI	Determine the amount of vegetation.
		WBI	Determine the moisture content of the state canopy.
		EVI	Determine the amount of vegetation.
Lidar data	Terrain feature	nDSM	Height of ground surface, can be used to distinguish surface objects.
		Roughness	Point cloud dispersion degree at direction of elevation, also indicates the complexity of ground surface.
	Lidar feature	Intensity	Energy of the laser echo
		Echo ratio	The ratio of also indicates the complexity of vertical direction.

### 3.3 Pixel-based Classification

In pixel-based classification, the Maximum likelihood was used in image classification. The pixel-based classification was according to the statistics and features of pixel to identify targets. Because pixel-based analyzed property value individually in pixel level, leading to the result of pixel-based classification had salt and pepper phenomenon obviously. Therefore, in order to reduce salt and pepper phenomenon, the result of pixel-based classification was processed by majority filtering.

### 3.4 Object-based Classification

In the reality space, the ground surface object was composed by number of pixels. In object-based classification, the segmentation of image aggregates the pixels to image object according to similarity between pixels. For image object, it has both attribute and geometry features, e.g. shape and texture. After segmentation the Nearest neighbor was used to process the object-based classification. The bottom-up method is used for segmentation. This method uses homogeneity index to obtain object. The scale parameter is to control the size of object, and the details of image object are affected by scale parameter.

## 4. EXPERIMENTAL RESULTS

The experiments include four types of classifications. These are object-based multispectral image classification, pixel-based hyperspectral image classification, object-based hyperspectral image classification, and integration of hyperspectral and lidar object-based classification. These classification methods used same training and test areas for

comparison. The training area and test area are manually selected from 50cm aerial orthoimage. The results are presented by overall accuracy and kappa of classification. This study used commercial software, i.e. eCognition™ 8.7 to perform object-based classification. The pixel-based maximum likelihood classification was implemented by ENVI™. Table 3 showed the comparison of these methods.

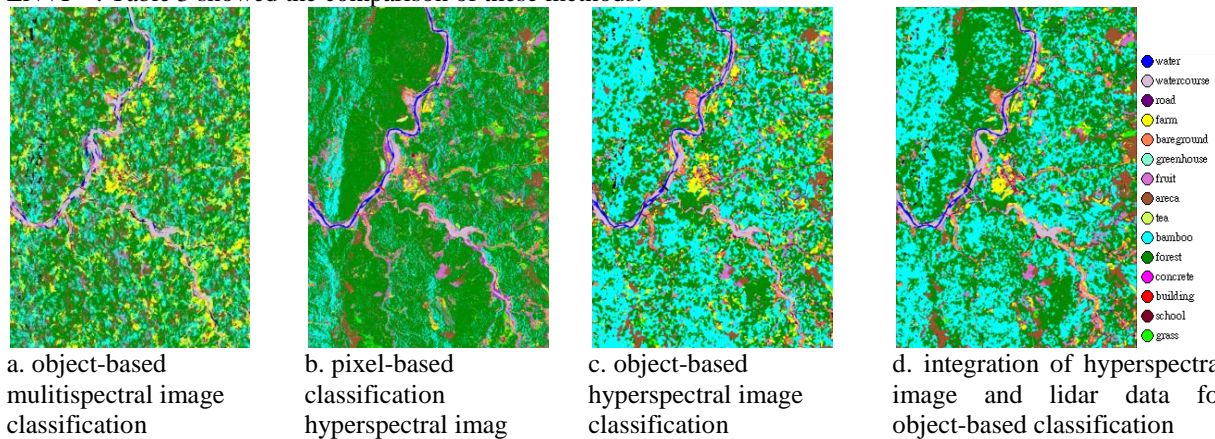


Figure 3. results of classification

#### 4.1 Multispectral vs. hyperspectral image classifications

In this part, Multispectral and hyperspectral images were classified by only spectrum feature. The spectrum feature of multispectral image included four bands, i.e. blue band (450nm), green band (547nm), red band (644nm), near infrared band (780nm) and calculated NDVI, EVI by these four bands. According to the value of spectra and MNF in figure 4, the multispectral image had lower value dispersion degree than hyperspectral MNF image at vegetation. Therefore in Figures 3a and 3c could find the classification in multispectral image had more error than the classification in hyperspectral image at vegetation. In Table 3, the overall accuracy of result of hyperspectral image classification is more accurate than multispectral image classification.

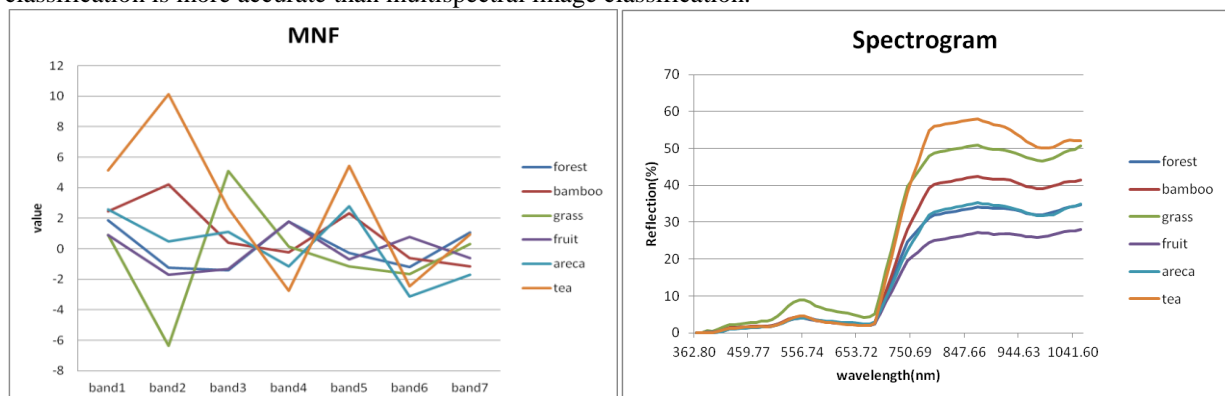


Figure 4. Spectrability of landcovers by spectral and MNF

Table 3. Comparison of different approaches

Data	multispectral image	hyperspectral image	hyperspectral image	hyperspectral image and lidar
Approach	object-based	pixel-based	object-based	object-based
Kappa	0.5062	0.8010	0.9064	0.9554
OA	54.72%	81.77%	91.40%	95.50%

#### 4.2 Pixel-based vs. object-based classifications

The results of pixel-based and object-based classification of hyperspectral image were compared in this section (see figure 5). Because the pixel-based classification classified the land cover using each pixel. The result of pixel-based classification occurred salt and pepper phenomenon significantly. On the other hand, the object-based classification classified the land cover using segmented object. The result showed complete region, e.g. for the fruit plantation and areca plantation in object-based are more complete than pixel-based. Moreover, the pixel-based classification is mixed with other things like grass or broadleaf tree. According to classification accuracy, object-based classification is more helpful than pixel-based classification.

### 4.3 Image classification with and without lidar features

According to figure 4, tree and areca had similar spectral feature. This phenomenon led some misclassifications (see Table 4) like fruit, areca, bamboo and forest etc. The lidar data provide 3D structural features like height and complexity (roughness) for classification. The combination of hyperspectral image and lidar improved the accuracy of classification (see Table 5).

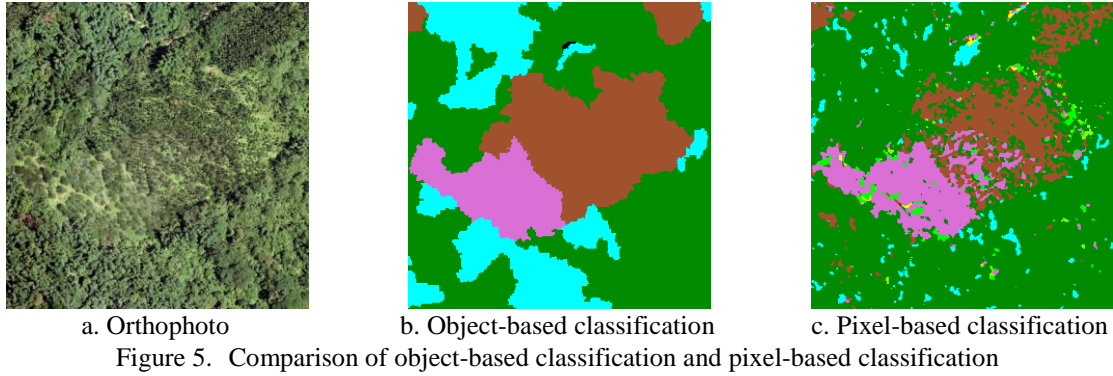


Table 4. Error matrix for result of hyperspectral object-based classification without lidar data

User \ Reference	water	watercourse	road	farm	bareground	greenhouse	fruit	areca	tea	bamboo	forest	concrete	building	school	grass
water	3398	81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
watercourse	12	2990	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
road	0	0	2580	0	88	81	0	0	0	0	0	26	58	0	0
farm	0	0	8	2996	54	0	148	0	0	0	258	0	2	55	235
bareground	0	97	36	0	2750	0	6	0	0	0	0	0	0	5	0
greenhouse	0	11	0	0	0	1810	0	0	0	0	0	3	6	0	0
fruit	0	0	0	0	0	0	2290	38	0	0	0	0	0	0	0
areca	0	0	1	26	145	0	0	2878	32	0	151	0	0	0	0
tea	0	0	0	0	0	0	0	0	3127	0	5	0	0	0	0
bamboo	0	0	19	0	12	1	259	364	0	2971	369	0	0	0	1
forest	0	0	3	0	16	0	269	0	0	294	5384	0	0	0	79
concrete	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	504	27	0	0
building	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1373	0	0
school	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	573	0
grass	0	0	0	179	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2845
unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0
Sum	3410	3179	2680	3201	3068	1892	2972	3280	3159	3265	6167	533	1490	633	3160
Producer Acc.	0.9965	0.9405	0.9627	0.9360	0.8963	0.9567	0.7705	0.8774	0.9899	0.9100	0.8730	0.9456	0.9215	0.9052	0.9003
User Acc.	0.9767	0.9960	0.9107	0.7977	0.9502	0.9891	0.9837	0.8902	0.9984	0.7435	0.8907	0.9164	0.9921	0.9896	0.9399
Overall Acc.	0.9140														
K	0.9064														

Table 5. Error matrix for result of hyperspectral object-based classification with lidar data

User \ Reference	water	watercourse	road	farm	bareground	greenhouse	fruit	areca	tea	bamboo	forest	concrete	building	school	grass
water	3391	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
watercourse	9	3082	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
road	0	0	2609	0	23	0	0	0	0	0	0	33	129	0	0
farm	0	63	7	3022	3	0	0	0	0	0	14	0	2	0	45
bareground	10	34	9	0	2939	81	0	0	0	0	0	0	3	61	0
greenhouse	0	0	0	0	0	1811	0	0	0	0	0	0	0	0	0
fruit	0	0	0	0	0	0	2947	0	0	0	0	0	0	0	5
areca	0	0	0	0	83	0	0	3092	97	0	1	0	0	0	0
tea	0	0	0	0	0	0	0	0	3037	0	0	0	0	0	0
bamboo	0	0	30	0	7	0	0	104	0	3184	377	0	0	0	0
forest	0	0	0	0	0	0	20	84	0	81	5780	0	0	0	0
concrete	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	493	34	0	0
building	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1304	0	0
school	0	0	14	0	0	0	5	0	0	0	0	7	7	572	0
grass	0	0	0	179	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	3110
unclassified	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0
Sum	3410	3179	2683	3201	3068	1892	2972	3280	3159	3265	6172	533	1490	633	3160
Producer Acc.	0.9944	0.9695	0.9724	0.9441	0.9580	0.9572	0.9916	0.9427	0.9614	0.9752	0.9365	0.9250	0.8752	0.9036	0.9842
User Acc.	1.0000	0.9971	0.9338	0.9575	0.9369	1.0000	0.9983	0.9447	1.0000	0.8601	0.9690	0.9113	1.0000	0.9455	0.9384
Overall Acc.	0.9590														
K	0.9554														

## 5. CONCLUSIONS

According to experimental results, hyperspectral image provides detailed spectrum to identify different vegetations when compared to multispectral image. For vegetation which have similar spectral features, we used lidar's surface features to separate vegetations. Therefore, the classification with lidar data classified the type of vegetation more accurate. Moreover, the result of object-based classification is a more accuracy than traditional pixel-based classification. Hence, the object-based classification is more appropriate for the land cover management.



## ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank the Ministry of Interior of Taiwan (project number SYC1030219) for the funding support.

## REFERENCES

- Ifarraguerri, A., and Chang, C.I., 2000. Unsupervised hyperspectral image analysis with projection pursuit. *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, 38(6), pp. 2529-2538.
- Shaw, G., and Manolakis, D., 2002. Signal processing for hyperspectral image exploitation. *Signal Processing Magazine, IEEE*, 19(1), pp. 12-16.
- Miao, X., Gong, P., Swope, S., Pu, R., Carruthers, R., Anderson, G. L., Heaton, J.S., and Tracy, C. R., 2006. Estimation of yellow starthistle abundance through CASI-2 hyperspectral imagery using linear spectral mixture models. *Remote Sensing of Environment*, 101(3), pp. 329-341.
- Prasad, S., and Bruce, L. M., 2008. Limitations of principal components analysis for hyperspectral target recognition. *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*, 5(4), pp. 625-629.
- Xing, J., Bravo, C., Jancsok, P. T., Ramon, H., and De Baerdemaeker, J., 2005. Detecting bruises on 'Golden Delicious' apples using hyperspectral imaging with multiple wavebands. *Biosystems Engineering*, 90(1), pp.27-36.
- Guo, L., Chehata, N., Mallet, C., and Boukir, S., 2011. Relevance of airborne lidar and multispectral image data for urban scene classification using Random Forests. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(1), pp. 56-66.
- Myint, S.W., Gober, P., Brazel, A., Grossman-Clarke, S., and Weng, Q., 2011. Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery. *Remote Sensing of Environment*, 115(5), pp. 1145-1161.
- Duro, D.C., Franklin, S.E., and Dubé, M.G., 2012. Multi-scale object-based image analysis and feature selection of multi-sensor earth observation imagery using random forests. *International Journal of Remote Sensing*, 33(14), pp. 4502-4526.
- Zhang, C., and Xie, Z., 2012. Combining object-based texture measures with a neural network for vegetation mapping in the Everglades from hyperspectral imagery. *Remote Sensing of Environment*, 124, pp. 310-320.
- Ke, Y., Quackenbush, L.J., and Im, J., 2010. Synergistic use of QuickBird multispectral imagery and LIDAR data for object-based forest species classification. *Remote Sensing of Environment*, 114(6), pp. 1141-1154.
- Höfle, B., and Hollaus, M., 2010. Urban vegetation detection using high density full-waveform airborne lidar data-combination of object-based image and point cloud analysis. In: *IAPRS, Vienna, Austria, Vol. XXXVIII, Part 7B*, pp. 281-286.
- Kim, S., McGaughey, R. J., Andersen, H.E., and Schreuder, G., 2009. Tree species differentiation using intensity data derived from leaf-on and leaf-off airborne laser scanner data. *Remote Sensing of Environment*, 113(8), pp. 1575-1586.