



NLSC-106-25

106 年度發展無人飛行載具系統測繪技術

工作總報告

主辦機關：內政部國土測繪中心

執行單位：經緯航太科技股份有限公司

中華民國 106 年 12 月 28 日

目錄

目錄.....	I
圖目錄.....	III
表目錄.....	VII
第壹章 前言.....	1
第一節 計畫名稱.....	1
第二節 計畫緣起.....	1
第三節 工作項目及內容.....	2
第四節 工作時程及交付成果.....	3
第貳章 近三年國內外研究測試與應用案例.....	4
第一節 UAS 搭載多光譜感測器之研究測試與應用案例.....	4
第二節 UAS 搭載光達之研究測試與應用案例.....	6
第三節 小結.....	10
第參章 多光譜感測器研究測試作業.....	11
第一節 多光譜感測系統設備說明.....	13
第二節 多光譜感測器設備整合.....	20
第三節 多光譜感測器航拍規劃作業.....	21
第四節 多光譜感測資料後處理流程.....	25
第五節 多光譜感測資料崩塌地判釋應用.....	26
第六節 多光譜感測資料影像分類分析.....	35
第肆章 光達研究測試作業.....	72
第一節 光達系統設備說明.....	72
第二節 光達系統設備整合.....	73
第三節 光達系統航拍作業.....	75
第四節 光達系統資料處理及分析.....	76
第伍章 結論與建議.....	81
第一節 結論.....	81
第二節 建議.....	82
第陸章 附錄.....	84



附錄一	期中報告審查意見回覆說明表	84
附錄二	作業計畫書甲方工作小組意見回覆說明表	88
附錄三	每月工作會議紀錄	89
附錄四	高解析度彩色數位相機率定報告	99
附錄五	參考文獻	104

圖目錄

圖 2-1 定翼型無人飛行載具 eBee(Keun, S.,2017)	4
圖 2-2 作業流程(摘自 Keun, S.,2017)	5
圖 2-3 農業災情評估成果 1	6
圖 2-4 農業災情評估成果 2	6
圖 2-5 多光譜原始影像波段套合(詹鈞評,2016)	6
圖 2-6 修正後影像波段套合(詹鈞評,2016)	6
圖 2-7 無人飛行載具(Wallace, 2016).....	7
圖 2-8 樹林結構側向成果,(a)ALS 作業成果;(b)SfM 作業成果(Wallace, 2016)	7
圖 2-9 無人飛行載具(S. Khan, 2017)	8
圖 2-10 光達資料(a)森林地區光達資料 2D 展示;(b)森林地區 3D 點雲展示;(c)森林地區點雲資料剖面圖(S. Khan, 2017)	8
圖 2-11 無人直升機搭載光達及 GNSS/INS(G. J. Tsai, 2017).....	9
圖 2-12 加入 ICP 技術改善 DG 不足(G. J. Tsai, 2017).....	9
圖 3-1 六旋翼型 UAS 整合多光譜感測器	11
圖 3-2 多光譜感測資料處理流程	12
圖 3-3 六旋翼型 UAS	13
圖 3-4 Sequoia 多光譜感測器	14
圖 3-5 RGB 影像.....	14
圖 3-6 單色影像(紅光)	15
圖 3-7 單色影像(綠光)	15
圖 3-8 單色影像(紅邊光)	15
圖 3-9 單色影像(近紅外光)	15
圖 3-10 多光譜感測器 Sequoia	16
圖 3-11 Sony α7 全片幅數位相機.....	16
圖 3-12 本團隊中科廠房之相機內方位率定實驗室	17
圖 3-13 相機率定拍攝程序示意圖	17
圖 3-14 相機率定拍攝方式(夾角 45 度)	18
圖 3-15 相機率定拍攝方式(夾角 90 度)	18
圖 3-16 相機率定拍攝範例	18
圖 3-17 六旋翼型 UAS POS 原型設計.....	19
圖 3-18 六旋翼型 UAS POS	19
圖 3-19 LEA-6T.....	19
圖 3-20 ADIS16405	19
圖 3-21 多光譜感測器設備整合	20
圖 3-22 電力規劃	20

圖 3-23 多光譜感測系統整合成果.....	21
圖 3-24 Sequoia 控制介面(摘自 Sequoia 使用手冊)	22
圖 3-25 系統姿態率定(摘自 Sequoia 使用手冊).....	22
圖 3-26 系統姿態率定實際作業	22
圖 3-27 反射板	23
圖 3-28 輻射校正作業	23
圖 3-29 航拍設定畫面	25
圖 3-30 參數計算畫面	25
圖 3-31 影像拍攝控制	25
圖 3-32 新竹縣尖石鄉秀巒地區衛星影像.....	26
圖 3-33 秀巒地區崩塌範圍 2 次作業航線.....	26
圖 3-34 秀巒地區崩塌範圍現場.....	27
圖 3-35 現場系統測試.....	27
圖 3-36 任務作業現況.....	27
圖 3-37 輻射校正影像.....	28
圖 3-38 多光譜感測影像.....	28
圖 3-39 影像拼接成果.....	29
圖 3-40 第 1 次航拍成果.....	29
圖 3-41 第 2 次航拍成果.....	29
圖 3-42 104 年航拍成果.....	30
圖 3-43 持續崩塌造成河道縮減.....	30
圖 3-44 104 年度影像套疊 DEM.....	30
圖 3-45 第 1 次航拍影像套疊 DEM.....	30
圖 3-46 第 2 次航拍影像套疊 DEM.....	31
圖 3-47 第 1 次航拍與 104 年影像套疊.....	32
圖 3-48 第 2 次航拍與 104 年影像套疊.....	32
圖 3-49 第 1 次作業與 104 年 DEM 差值圖.....	32
圖 3-50 第 2 次作業與第 1 次作業 DEM 差值圖.....	32
圖 3-51 第 1 次作業之 NDVI 分布圖.....	33
圖 3-52 第 2 次作業之 NDVI 分布圖.....	33
圖 3-53 第 1 次作業之影像分類崩塌範圍(NDVI).....	33
圖 3-54 第 2 次作業之影像分類崩塌範圍(NDVI).....	33
圖 3-55 第 1 次作業之 NDWI 分布圖.....	34
圖 3-56 第 2 次作業之 NDWI 分布圖.....	34
圖 3-57 第 1 次作業之影像分類崩塌範圍(NDWI).....	34
圖 3-58 第 2 次作業之影像分類崩塌範圍(NDWI).....	34
圖 3-59 第 1 次作業之崩塌範圍(人工數化).....	35

圖 3-60 第 2 次作業之崩塌範圍(人工數化)	35
圖 3-61 第 1 次作業之崩塌範圍套疊	35
圖 3-62 第 2 次作業之崩塌範圍套疊	35
圖 3-63 影像分類訓練樣區分布圖	36
圖 3-64 影像分類結果	36
圖 3-65 不同影像解析度分類精度	36
圖 3-66 航拍範圍及航線	37
圖 3-67 影像後處理成果(GSD 10 公分)	37
圖 3-68 影像後處理成果(GSD 20 公分)	37
圖 3-69 影像後處理成果(GSD 30 公分)	38
圖 3-70 支持向量機(摘自 https://zh.wikipedia.org/wiki/支持向量機)..	38
圖 3-71 訓練樣區	39
圖 3-72 地真資料	39
圖 3-73 測試範圍 NDVI 影像	40
圖 3-74 測試範圍 NDWI 影像	40
圖 3-75 測試範圍 nDSM 影像	40
圖 3-76 測試 A 最大概似法分類成果	42
圖 3-77 測試 A 類神經網路分類成果	44
圖 3-78 測試 A 支持向量機分類成果	45
圖 3-79 測試 B 最大概似法分類成果	47
圖 3-80 測試 B 類神經網路分類成果	49
圖 3-81 測試 B 支持向量機分類成果	50
圖 3-82 測試 C 最大概似法分類成果	52
圖 3-83 測試 C 類神經網路分類成果	54
圖 3-84 測試 C 支持向量機分類成果	55
圖 3-85 測試 D 最大概似法分類成果	57
圖 3-86 測試 D 類神經網路分類成果	59
圖 3-87 測試 D 支持向量機分類成果	60
圖 3-88 測試 E 最大概似法分類成果	62
圖 3-89 測試 E 類神經網路分類成果	64
圖 3-90 測試 E 支持向量機分類成果	65
圖 3-91 測試 F 最大概似法分類成果	67
圖 3-92 測試 F 類神經網路分類成果	69
圖 3-93 測試 F 支持向量機分類成果	70
圖 4-1 Velodyne VPL-16	72
圖 4-2 Trimble BD982	73
圖 4-3 ADIS16488	73

圖 4-4 光達設備整合成果	74
圖 4-5 垂直飛行方向掃描	74
圖 4-6 光達系統方塊圖	75
圖 4-7 光達率定控制場(摘自 http://www.chsurvey.com.tw/page03_up0303_result01.html)	76
圖 4-8 光達點雲資料後處理作業流程	76
圖 4-9 GeoPoint 軌跡解算畫面	77
圖 4-10 光達點雲資料展示	77
圖 4-11 TerraMatch 點雲匹配	78
圖 4-12 光達點雲及控制點分布	78
圖 4-13 TerraScan 點雲分類	79
圖 4-14 TerraScan 三維向量資料數化	79
圖 4-15 北外環道路工程作業範圍	80
圖 4-16 北外環道路高壓電塔光達點雲掃描成果	80
圖 5-1 不同氮濃度肥料對於水稻生長影響	82
圖 5-2 多光譜感測器積水判釋應用(NDWI)	83
圖 5-3 多光譜感測器積水判釋應用(熱感影像)	83

表目錄

表 1-1 各階段檢核點交付成果說明	3
表 3-1 六旋翼型 UAS 規格表	13
表 3-2 Sequoia 多光譜感測器規格表	14
表 3-3 Sony α7 全片幅數位相機規格表	16
表 3-4 地面解析度及航高對照	24
表 3-5 測試 A 最大概似法分類成果矩陣	41
表 3-6 測試 A 最大概似法分類成果分析	42
表 3-7 測試 A 類神經網路分類成果矩陣	43
表 3-8 測試 A 類神經網路分類成果分析	43
表 3-9 測試 A 支持向量機分類成果矩陣	44
表 3-10 測試 A 支持向量機分類成果分析	45
表 3-11 測試 B 最大概似法分類成果矩陣	46
表 3-12 測試 B 最大概似法分類成果分析	47
表 3-13 測試 B 類神經網路分類成果矩陣	48
表 3-14 測試 B 類神經網路分類成果分析	48
表 3-15 測試 B 支持向量機分類成果矩陣	49
表 3-16 測試 B 支持向量機分類成果分析	50
表 3-17 測試 C 最大概似法分類成果矩陣	51
表 3-18 測試 C 最大概似法分類成果分析	52
表 3-19 測試 C 類神經網路分類成果矩陣	53
表 3-20 測試 C 類神經網路分類成果分析	53
表 3-21 測試 C 支持向量機分類成果矩陣	54
表 3-22 測試 C 支持向量機分類成果分析	55
表 3-23 測試 D 最大概似法分類成果矩陣	56
表 3-24 測試 D 最大概似法分類成果分析	57
表 3-25 測試 D 類神經網路分類成果矩陣	58
表 3-26 測試 D 類神經網路分類成果分析	58
表 3-27 測試 D 支持向量機分類成果矩陣	59
表 3-28 測試 D 支持向量機分類成果分析	60
表 3-29 測試 E 最大概似法分類成果矩陣	61
表 3-30 測試 E 最大概似法分類成果分析	62
表 3-31 測試 E 類神經網路分類成果矩陣	63
表 3-32 測試 E 類神經網路分類成果分析	63
表 3-33 測試 E 支持向量機分類成果矩陣	64
表 3-34 測試 E 支持向量機分類成果分析	65

表 3-35 測試 F 最大概似法分類成果矩陣.....	66
表 3-36 測試 F 最大概似法分類成果分析.....	67
表 3-35 測試 F 類神經網路分類成果矩陣.....	68
表 3-36 測試 F 類神經網路分類成果分析.....	68
表 3-39 測試 F 支持向量機分類成果矩陣.....	69
表 3-40 測試 F 支持向量機分類成果分析.....	70
表 3-23 不同分類方法之分類精度及作業時間表.....	71
表 4-1 Velodyne VPL-16 光達規格表.....	73
表 4-2 單旋翼型 UAS 規格表.....	73
表 4-2 系統設備電力規格.....	75

第壹章 前言

第一節 計畫名稱

本計畫名稱為「106 及 107 年度發展無人飛行載具系統測繪技術採購案」(以下簡稱本案)。

第二節 計畫緣起

測繪工作為國家發展規劃的重要基礎，對於政府各項施政建設規劃、國土與環境資源調查、整體防災決策體系均有重大助益，世界各先進國家無不重視國土測繪作業。近年來由於測量與空間資訊技術不斷進步，結合測量製圖的技術與整合式導航定位定向系統，搭配多種感測器來蒐集空間資料，普遍應用於國土保安、環境變遷、土石流即時監測、海洋及森林資源探測保護等工作。在臺灣地區特殊環境及氣候條件下，藉由具備視距外自主飛行能力之無人飛行載具系統 (Unmanned Aircraft System, UAS) 搭載數位相機與整合式全球導航衛星系統 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 與慣性測量元件 (Inertial Measurement Unit, IMU) 酬載，同時具備定位系統、自動飛行控制、即時影像及資訊傳輸等先進功能，使得空間資料的蒐集更有效率，並可提供空間資料庫最新資訊。

內政部國土測繪中心 (以下簡稱國土測繪中心) 積極發展測繪科技新技術，於「測繪科技發展後續計畫」之「發展無人飛行載具航拍技術作業案 (100 至 103 年度)」共計 4 年度計畫期間，完成建置 1 套定翼型 UAS 及 48 區航拍與影像處理作業、影像處理軟體整合作業及升級數值航測影像工作站圖資編修軟體等多項工作。

為廣續發展 UAS 技術及推廣應用，國土測繪中心於「現代化測繪科技發展計畫」中研擬「發展無人飛行載具系統測繪作業計畫 (104 至 107 年度)」，規劃辦理發展多元化 UAS 載具技術、研究測試搭載多元化感測器、提升 UAS 航拍及影像處理技術。目前已於 104 年度及 105 年度完成 GNSS 與 IMU 設備機電整合優化、多相機組合雲台研究測試、多光譜感測器研究測試、三維影像模型及全景攝影研究測試及成果展示等作業。

106 年度計畫主要針對多光譜感測器及光達設備分別整合於 UAS 載具，並透過整合後之 UAS 進行航拍作業，更進一步針對航拍成果進行資料處理及資料分析，最後彙整相關作業成果撰寫成果報告。

第三節 工作項目及內容

一、需求訪談與資料蒐集

- (一) 於決標次日起15日內派員至國土測繪中心辦理需求訪談，並於決標次日起30個日曆天內將訪談紀錄送交國土測繪中心。
- (二) 蒐集近3年國內外有關UAS搭載多光譜感測器(3例以上)與光達(3例以上)設備辦理研究測試與應用案例。

二、UAS航拍作業：

- (一) 研究測試以UAS搭載多光譜感測器(設備由本團隊自行提供)辦理航拍作業。
- (二) 研究測試以UAS搭載光達(設備由本團隊自行提供)辦理航拍作業。
- (三) 航拍時需搭載整合全球導航衛星系統 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 及慣性測量元件 (Inertial measurement unit, IMU) 之定位定向系統 (Position and Orientation System, POS)。
- (四) 每次執行任務前需檢查 UAS 系統功能是否正常，並製作航拍任務紀錄表，記錄航拍日期、天氣狀況、飛航方向、飛行時間等資料。

三、多光譜感測器研究測試作業：

- (一) 研究提升多光譜影像自動化處理及分類作業方式，並評估地物分類精度。
- (二) 針對多光譜資料成果進行分類與資料分析及評估應用於地物與植被分類或國土監測勘查或災害判釋等作業可行性。
- (三) 測試作業由國土測繪中心指定測試區(面積 1 平方公里以上，須拍攝不同時間點影像 2 次以上)辦理。

四、光達研究測試作業：

- (一) 106 年規劃 UAS 與定位定向系統 (POS) 及光達軟硬體設備整合，包含電力系統、光達控制及資料儲存、點雲資料解算處理、點雲資料視覺化模組等設計與整合。

- (二) 107 年由國土測繪中心指定測試區（面積 1 平方公里以上）辦理航拍測試作業及地物（如道路、建物等）資料萃取測試，並評估提供國土測繪中心圖資更新之可行性。
- (三) 由國土測繪中心選定 1 處重要地標，研究整合空中及地面影像及光達資料等不同拍攝角度資料產製三維影像模型。

第四節 工作時程及交付成果

本案之工作時程分為 5 個階段辦理，各階段交付項目及期限如表 1-1 所列，現已完成第 1 階段、第 2 階段及地 3 階段之作業成果，主要完成多光譜感測器設備整合及資料後處理與分析作業。

表 1-1 各階段檢核點交付成果說明

階段	交付項目	數量		繳交情形
		書面	電子檔	
第 1 階段 106 年 5 月 13 日	作業計畫書(含需求訪談紀錄)	10	1	106 年 5 月 12 日發文提送
第 2 階段(1) 106 年 7 月 12 日	多光譜感測器設備整合成果報告	10	1	106 年 7 月 12 日發文提送
第 2 階段(2) 106 年 10 月 10 日	多光譜感測器航拍成果(含任務執行紀錄、原始數據資料、解算及資料分析成果)	-	1	106 年 10 月 11 日發文提送
第 3 階段 106 年 11 月 19 日	期中報告	10	1	106 年 11 月 20 日發文提送
第 4 階段 107 年 3 月 29 日	光達設備整合及測試成果報告	10	1	
第 5 階段(1) 107 年 9 月 15 日	1.光達航拍及應用成果(含任務執行紀錄與原始數據資料及解算成果) 2.三維影像模型成果	-	1	
第 5 階段(2) 107 年 10 月 15 日	工作總報告	20	1	

第貳章 近三年國內外研究測試與應用案例

第一節 UAS 搭載多光譜感測器之研究測試與應用案例

一、植被覆蓋率估計

韓國中北大學 Keun, S. 等人(2017)運用定翼型無人飛行載具(如圖 2-1)搭載多光譜感測器，針對沙丘地區進行植被覆蓋率(Fractional Vegetation Cover, FVC) 估計，其作業流程如圖 2-2，分別 GI (Gutman and Ignatov)模型及 RF (Random Forest)模型進行估計，其中 GI 模型僅採用 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)資訊配合合適之固定參數進行植被覆蓋率估計；而 RF 模型則分別利用 RGB 影像分類成果及 NDVI 搭配 RGB 影像分類成果，透過像元計算進行植被覆蓋率估計。成果顯示，加入 NDVI 資訊進行植被覆蓋率估計，其作業成果優於僅採用 RGB 資訊之估計成果。此外，RF 模型估計成果受到影像分類成果影響，利用 GI 模型可取得較高作業精度，且當 NDVI 資訊維持一定水準即可確保作業品質，其均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)較 RF 模型低 0.182。

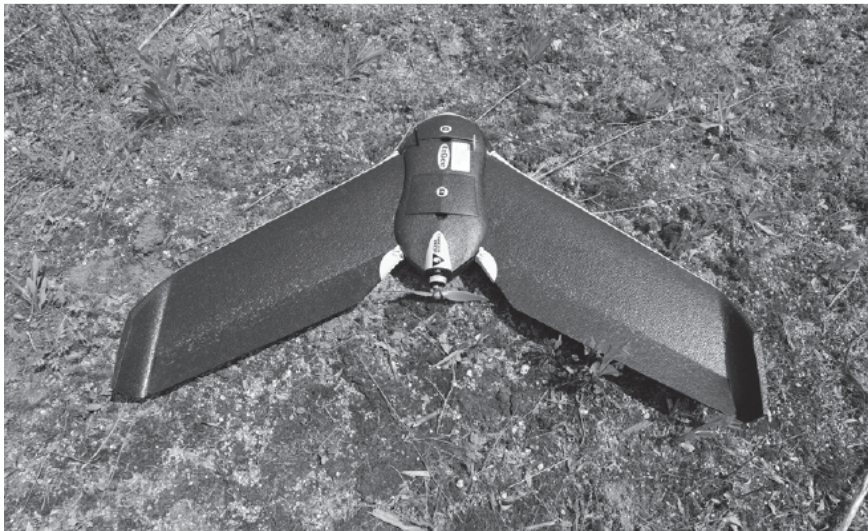


圖 2-1 定翼型無人飛行載具 eBee(Keun, S.,2017)

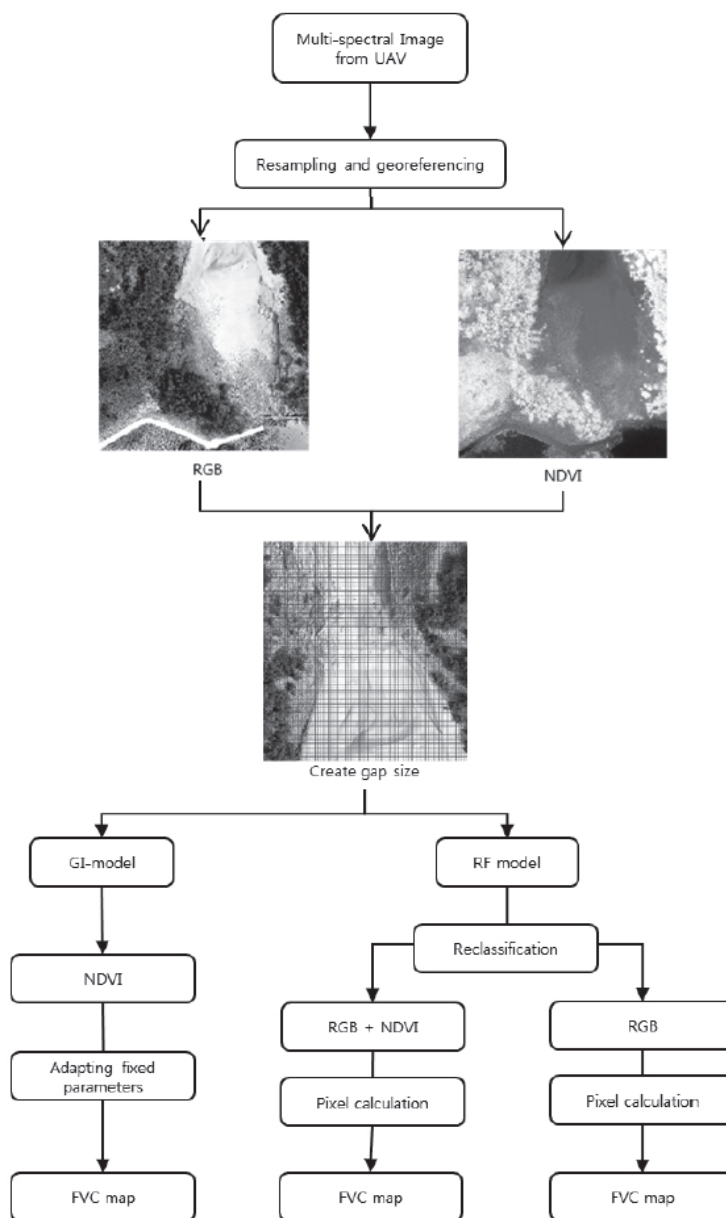


圖 2-2 作業流程(摘自 Keun, S.,2017)

二、農業災損評估

國內行政院農業委員會農業試驗所持續利用無人飛行載具搭載多光譜感測器針對不同物種進行判釋，亦用以進行農業災損評估，其中「建立遙航測協助農情災損勘查技術可行性評估-以尼伯特颱風對台東縣釋迦園損害評估為例」之工作報告針對 105 年 7 月尼伯特颱風對台東縣釋迦園的損害進行評估，透過無人飛行載具搭載多光譜感測器於災後 3 天進行航拍作業，透過 Pix4DMapper 進行影像處理，如圖 2-3 紫色區域為植被區域，而白色圓圈顯示該範圍為倒伏的枯萎果樹；圖 2-4 之綠色斑點即為落果的套袋。

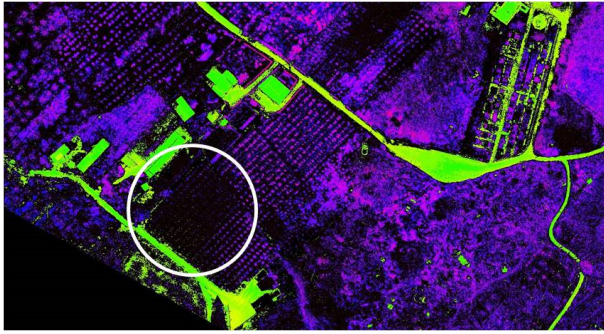


圖 2-3 農業災情評估成果 1

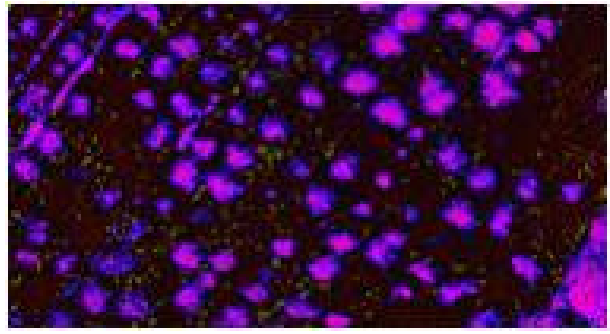


圖 2-4 農業災情評估成果 2

三、多相機陣列之波段套合

多光譜感測器大部份採用多鏡頭相機，針對不同波段資訊進行影像採集，每個鏡頭之透視中心與觀測方向皆不同，各鏡頭間包含不同的透鏡畸變量，相機之間亦包含幾何轉換關係，將造成波段错位的情形，而國內成功大學詹鈞評等人(2016)提出微型化多相機陣列(Miniature Multiple Camera Array, MiniMCA)的波段套合程序，透過率定各相機之內方位及相對方位，取得各相機之透鏡畸變參數及相機間之透視投影轉換參數，最後結合系統性誤差修正以達到波段套合，並以無人飛行載具搭載 MiniMCA-12 進行驗證，原始影像及修正後影像之波段套合成果分別如圖 2-5 及圖 2-6，修正後相鄰波段的平均套合誤差皆在 0.2 至 0.5 個像元之間。

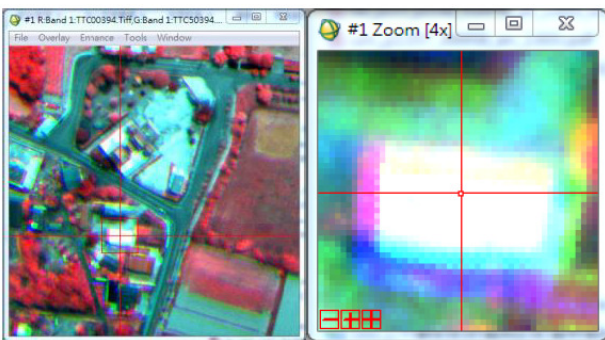


圖 2-5 多光譜原始影像波段套合(詹鈞評,2016)

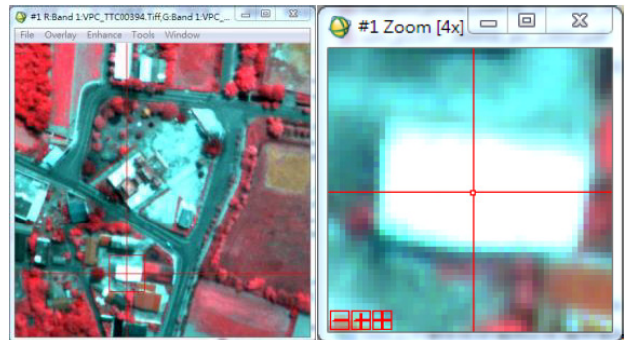


圖 2-6 修正後影像波段套合(詹鈞評,2016)

第二節 UAS 搭載光達之研究測試與應用案例

一、樹林結構估計

澳洲塔斯馬尼亞大學利用多軸無人飛行載具平台搭載光達針對樹冠高低不同之尤加利樹林(面積為 30 公尺 x50 公尺)進行資料蒐集(如圖 2-7)，並以不同角度進行影像拍攝，分別利用光達技術(Airborn

Laser Scanning, ALS)及運動回復結構技術(Structure from Motion, SfM)進行尤加利樹林之三維結構分析，估計該區域之地面高度、樹冠之水平與垂直分布以及樹木相關資訊，結果顯示兩者皆可用以描述該區域之地表以及樹冠資訊。當樹冠密度較高時，SfM 攝影技術效果則不如 ALS，因此資料蒐集不足將造成誤差，而該誤差將影響樹冠資料估計，進而影響樹高等資訊，ALS 樹高估計之均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)為 0.92 公尺，而 SfM 之均方根誤差為 1.30 公尺，而這樣的差異亦反映在樹冠覆蓋估計上。雖然 ALS 技術針對樹林結構估計在垂直方向可獲取較準確之成果，而低成本之 SfM 技術仍經常使用於樹林調查。(Wallace, 2016)



圖 2-7 無人飛行載具(Wallace, 2016)

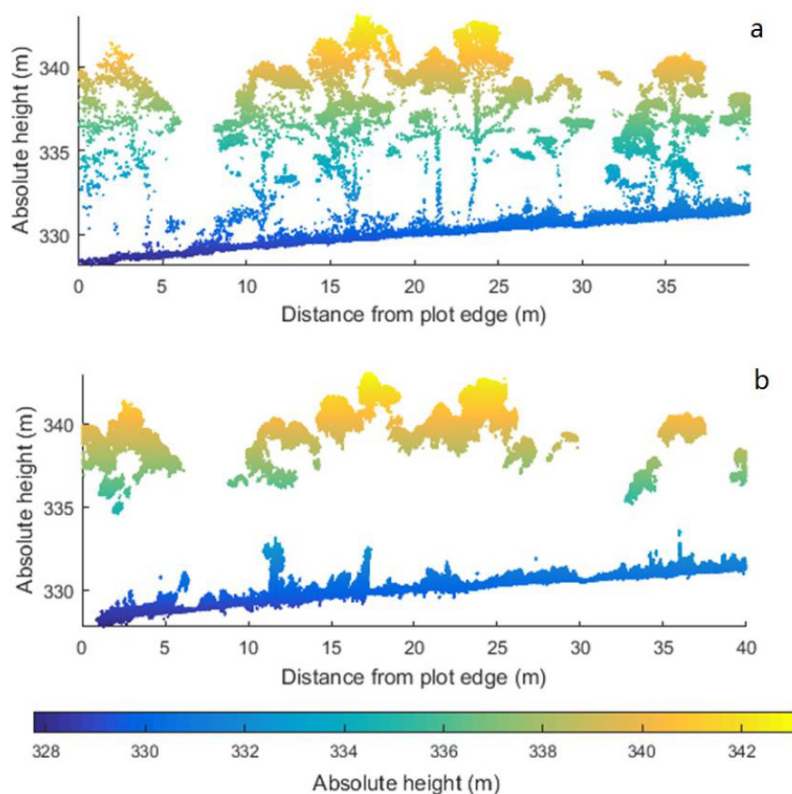


圖 2-8 樹林結構側向成果，(a)ALS 作業成果；(b)SfM 作業成果(Wallace, 2016)

二、考古領域應用

S. Khan 等人(2017)將遙測技術應用於考古領域，利用無人飛行載具搭載光達及多光譜感測器(如圖 2-9)，進行亞馬遜雨林地區之資料蒐集，針對前哥倫布亞馬遜考古學(Pre-Columbian Amazonian archaeology)研究，結合光達、多光譜感測器資料與當地考古學、古生物學、植物學、土壤科學及景觀生態學等資料，研究前哥倫布時期人類對於亞馬遜雨林的景觀影響，研究成果將影響未來雨林保護、保持及生態相關政策。

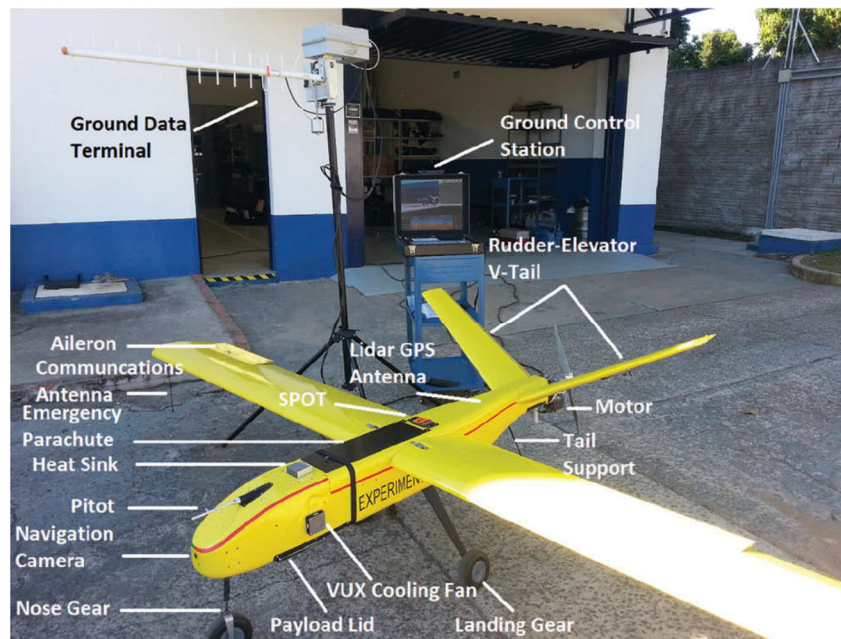


圖 2-9 無人飛行載具(S. Khan, 2017)

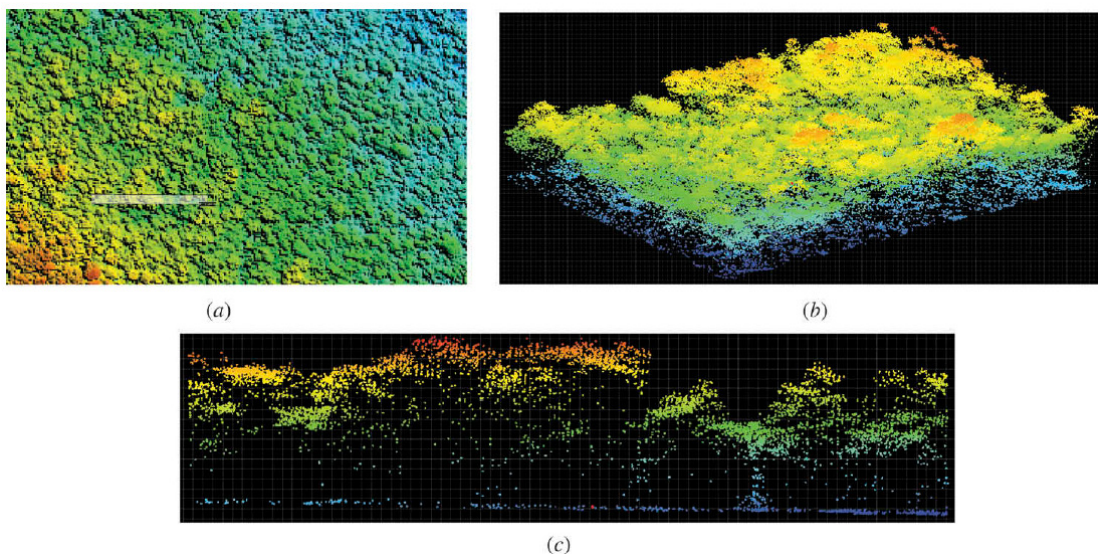


圖 2-10 光達資料(a)森林地區光達資料 2D 展示；(b)森林地區 3D 點雲展示；(c)森林地區點雲資料剖面圖(S. Khan, 2017)

三、防救災領域應用

國內成功大學 G. J. Tsai 等人(2017)為了災害管理提出利用無人飛行載具搭載光達，針對受災區域進行快速空間資料採集以及環境重建，採用穩定性高的無人直升機做為載具(如圖 2-11)，可保持進入災區之資料蒐集過程較為穩定。此外，該研究設計直接地理定位(Direct Georeferenced, DG)機制，以 GNSS/INS 整合系統配合點雲匹配技術 Iterative Closest Point (ICP)，減少傳統直接地理定位做法造成的誤差(如圖 2-12)，並提供反饋機制以減少作業過程中校準誤差及振動所造成的影像。此研究分別於荒地及城市進行測試，成果顯示荒地及城市皆可獲取良好的點雲成果。



圖 2-11 無人直升機搭載光達及 GNSS/INS(G. J. Tsai, 2017)

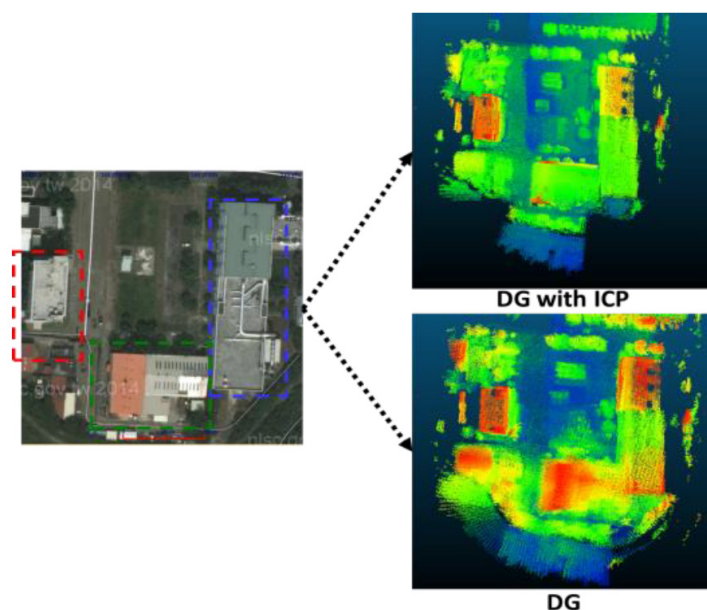


圖 2-12 加入 ICP 技術改善 DG 不足(G. J. Tsai, 2017)

第三節 小結

綜合所蒐集案例，無論國內或是國外皆有相關採用無人飛行載具搭載多光譜感測器及光達設備進行不同研究案例，顯示使用高機動性 UAS 搭載不同類型感測器，以快速獲取高解析度之空間資訊為當前的應用趨勢。因植被與其他地物在近紅外光波段有顯著的反射量差異，在多光譜影像資訊中透過計算 NDVI 可自動分類與顯示植生變化情形，於判釋植被生長情況及分布範圍等應用具有優勢。在植被覆蓋率估計案例中，以 NDVI 配合自行開發演算法估算結果可提高植被覆蓋率之作業精度(Keun, S., 2017)；農業災損案例中亦可透過多光譜影像資料處理後之 NDVI，進行農作物損害評估(行政院農業委員會農業試驗所, 2016)。而多相機陣列波段錯位問題，目前多光譜感測器設備(如 Sequoia) 已可透過加入校正資訊，配合後處理軟體(如 Pix4DMapper) 進行輻射校正，消除各波段間影像套合影響。因此本團隊參考上述蒐集案例，整合 UAS 與多光譜感測器(Sequoia) 進行崩塌地及地物分類應用之航拍作業，並利用 NDVI 計算結果自動劃設崩塌範圍與分類地物，後續可應用於災害判釋或國土監測勘查。

另 UAS 搭載光達設備可針對小範圍地形與地物進行點雲資料掃描，優點在於可以高解析度呈現掃描範圍三維地形及地物之接近真實狀況，在所蒐集案例中主要應用於樹林結構評估與考古領域及災害管理。而在 105 年成功大學針對 UAS 搭載光達進行設備整合作業中，本團隊亦參與其中，因此本案將延續該光達設備整合方式並針對研究期間所發現問題進行後續精進與研究進一步之航拍應用，並利用光達點雲資料辦理道路與建物等資料萃取測試；另一方面，也測試結合空中及地面影像與光達資料產製三維影像模型。

第參章 多光譜感測器研究測試作業

國土涵蓋範圍包含陸地、海洋、領空等，陸地上之植物、湖泊、土壤等，海洋浮游物、鹽分等，領空上有大氣、懸浮粒子等多種物質，大部分物質多對可見光或紅外線光會產生特徵光譜，依照這些反射或穿透光譜反應，運用多光譜感測器蒐集相關資訊，可用於遙測影像判釋使用，或可以進一步進行國土利用分類調查等工作，也因為植物對於近紅外光有強烈反射光譜反應，有別於一般數位相機影像，透過多光譜資料更易於快速分辨植被範圍，對於農業勘查應用有顯著的效益。

本案參考 105 年度相關多光譜測試作業經驗，將研究提升多光譜影像自動化處理及分類作業方式，並評估該作業方式之地物分類精度；另針對多光譜資料成果進行資料分析及評估應用於地物與植被分類或國土監測勘查或災害判釋等作業可行性。為達到前述目標，本案運用自有之六旋翼型 UAS 搭載自有之多光譜感測器 Sequoia 進行本測試作業，目前已完成整合如圖 3-1，並規劃多光譜感測資料處理作業流程如圖 3-2。在 UAS 搭載多光譜感測器取得 RGB 影像及多光譜感測影像之後，分別針對 RGB 影像及多光譜感測資料進行影像處理，並針對影像特徵進行資料分析，進而分類不同地物以取得分類成果。



圖 3-1 六旋翼型 UAS 整合多光譜感測器

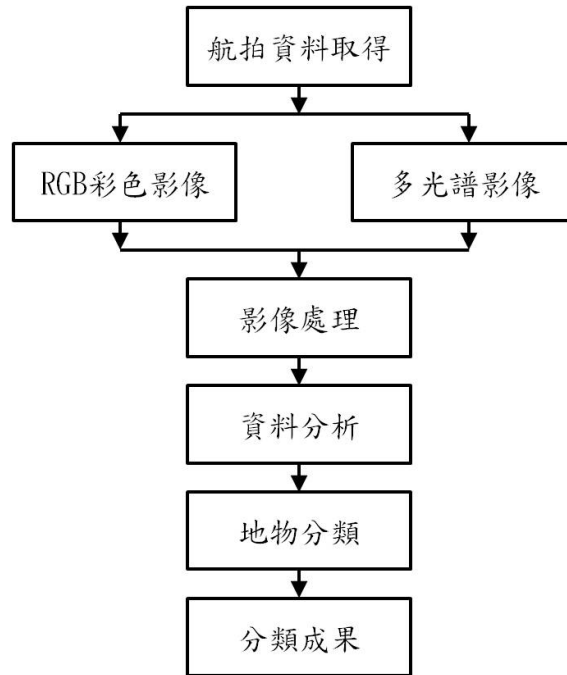


圖 3-2 多光譜感測資料處理流程

因多光譜感測資料包含可見光以外之光譜資訊，一般以近紅外光較為常見，經過資料處理，可提供光譜、地形及紋理等特徵資訊以進行後續分類及判釋工作。其中光譜特徵包含原始各波段資料，以及利用光譜資料計算取得各類指標，如用以判釋植物生長情況之正規化植生指數 NDVI 以及根據水體完全吸收近紅外光之特性進行水體判釋之正規化水指數 NDWI 等指標；地形特徵包含坡度、坡向以及由 DSM 及 DEM 相減而得之 nDSM，可取得植被高度資訊；而紋理特徵則包括灰度共生矩陣(Gray-level Co-occurrence Matrix)、熵(entropy)及 Gabor 轉換等，配合不同特徵可判釋不同類型地物進而進行地物分類。

利用多光譜感測資料之特徵資訊進行地物分類，其分類方法可分為以像元為基礎(Pixel-based)以及以物件為基礎(Object-based)之分類方式，透過影像特徵對各種地物進行定義，配合不同學習模式對軟體進行訓練，以進行地物分類，而常見之學習模式包括以統計區別分析之最大概似法(Maximum Likelihood)、誤差倒傳遞類神經網路(Back Propagation Neural Network, BPNN)以及機器學習演算法如支持向量機(Support Vector Machine)等，本團隊針對不同分類方法及學習模式進行測試評估，並進一步提出地物分類在精度與效率上之最適作業方法。

第一節 多光譜感測系統設備說明

本團隊採用六旋翼型 UAS 為多光譜感測器之載具，將多光譜感測器 Sequoia 及本團隊之六旋翼型 UAS 進行整合，其中設備包含六旋翼型 UAS、多光譜感測器 Sequoia、高解析度彩色數位相機及定位定向系統，分別說明如下。

一、六旋翼型UAS

本團隊所拍攝測區影像之六旋翼型 UAS，全機直徑約 120 公分，標準酬載設備可搭載 1800 萬畫素以上之數位相機(含影像發射模組)，如圖 3-3，本案將採用六旋翼型 UAS 搭載多光譜感測器航拍工作，六旋翼型無人飛行載具的操作高度可達 500 公尺，每次滯空拍攝作業時間可達 20 分鐘，可有效拍攝小範圍區域之高畫質影像。多旋翼機基本規格資料如表 3-1 所示。

表 3-1 六旋翼型 UAS 規格表

載具寬度	120 公分	最大航高	< 500 公尺
載具重量	5.0 公斤	載具飛行距離	< 1000 公尺
酬載重量	1.0 公斤	酬載搭配	Canon-5DM2、 Canon-550D、 SONY-DV 等
滯空時間	< 20 分鐘		



圖 3-3 六旋翼型 UAS

二、多光譜感測器

採用法國無人機科技公司 Parrot 所開發之微型多光譜感測器 Sequoia(如圖 3-4)，Sequoia 是農業應用而設計的多光譜感測器，其設計標準為精度高、尺寸小重量輕、操作簡便。此款相機擁有 1600 萬像素的 RGB 感測器及 4 個 120 萬像素的單色多光譜感測器。多光譜

感測器的感測波段分別為綠光(530-570nm)、紅光(640-680nm)、紅邊光(730-740nm)及近紅外光(770-810nm)，Sequoia 內置 GNSS 接收器，可取得多光譜感測資料拍攝瞬間位置，且其重量僅 107 克，適用裝載於任何類型的無人機上，Sequoia 詳細規格如表 3-2，RGB 影像及 4 個單色感測影像分別如圖 3-5 至圖 3-9 所示。

表 3-2 Sequoia 多光譜感測器規格表

項目	規格
影像感測器	RGB 感測器: 1600 萬像素 4 個波段及同步化的多光譜感測器: 120 萬像素 (綠光: 530-570nm、紅光:640-680nm、紅邊光:730-740nm、近紅外光:770-810nm)
鏡頭焦距	RGB 感測器: 4.88mm 多光譜感測器: 3.98mm
像素大小	RGB 感測器: 1.34 μ m 多光譜感測器: 3.75 μ m
影像捕抓模式	延時、自動模式、距離模式
快門	RGB 感測器: 滾動快門 多光譜感測器: 全局快門
影像解析度	1280 x 960
記憶卡容量	32GB SD 記憶卡
影像格式	RAW, TIF & JPG
內存大小	64G,可提供 10 次拍攝



圖 3-4 Sequoia 多光譜感測器



圖 3-5 RGB 影像



圖 3-6 單色影像(紅光)



圖 3-7 單色影像(綠光)



圖 3-8 單色影像(紅邊光)



圖 3-9 單色影像(近紅外光)

多光譜感測器 Sequoia 主要分為多光譜感測器及光照感測器 (Sunshine Sensor) 二部分，如圖 3-10 左方為多光譜感測器，右方為光照感測器，其重量分別為 72 公克及 35 公克，需分別固定於 UAS 之上方及下方，並將其感測元件分別面向上方及下方。光照感測器之感測元件置於 UAS 上方，以感測作業現場之光照情形，感測資料可用於後續輻射校正作業。Sequoia 內置 GNSS 接收器，可取得多光譜感測資料獲取瞬間之位置，可取得較高精度之多光譜感測資料，故 Sequoia 高精度且重量輕的特性，非常適合以 UAS 為載具進行多光譜感測資料蒐集。



圖 3-10 多光譜感測器 Sequoia

三、高解析度彩色數位相機

本團隊另加入高解析度彩色數位相機，以取得高解析度彩色影像，提供多光譜感測資料後處理之參考，本團隊之六旋翼型 UAS 可搭載多款高解析度彩色數位相機，採用相機則視作業要求及任務調度使用，一般採用 Sony $\alpha 7$ (如圖 3-11)進行多光譜感測資料蒐集之高解析度彩色影像蒐集，Sony $\alpha 7$ 之感光元件為全片幅尺寸(24mm * 36mm)規格，詳細規格如表 3-3。

表 3-3 Sony $\alpha 7$ 全片幅數位相機規格表

項目	規格
影像感測器	有效畫素 2470 萬畫素 全片幅(35.9mm x 24.0mm) Exmor CMOS 感光元件
鏡頭焦距	21mm 焦距定焦鏡頭
記憶卡容量	32GB、64GB
影像格式	JPEG/RAW
記錄畫素	最高 6000 x 4000pixels
連拍速度	每秒 5 張
快門速度	最快可達 1/8000 秒，提供外部觸發快門
ISO 感光度	ISO 100-25600



圖 3-11 Sony $\alpha 7$ 全片幅數位相機

本案採用之高解析度彩色數位相機 Sony $\alpha 7$ 已於航拍作業前，於本團隊中科廠房室內率定場(如圖 3-12)進行相機內方位率定作業，率定報告如附錄四所示。



圖 3-12 本團隊中科廠房之相機內方位率定實驗室

1. 攜帶欲率定之相機至相機率定場，並固定鏡頭與機身間連接。
2. 參考文獻 Fraser(1997)，透過旋轉率定圓盤及旋轉相機製造環繞交會式拍攝的效果，如圖 3-13 為示意圖。相機拍攝位置不動，僅旋轉圓盤，每旋轉 45 度拍攝，即圓盤於 0、45、90、135、180、225、270、315 度時拍攝，故每 1 組拍攝共 8 張照片。

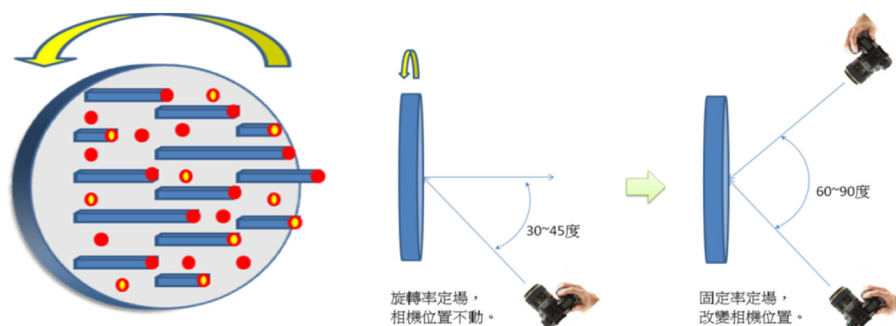


圖 3-13 相機率定拍攝程序示意圖

3. 關於相機拍攝位置與方式，首先相機光軸與圓盤夾角約為 30 度至 45 度，分別以相機正拍(圖 3-14(a))、機身向右旋轉 90 度(圖 3-14 (b))及機身向左旋轉 90 度(圖 3-14(c))3 種角度拍攝，並依前述步驟旋轉圓盤各拍攝 8 張，共 24 張照片。

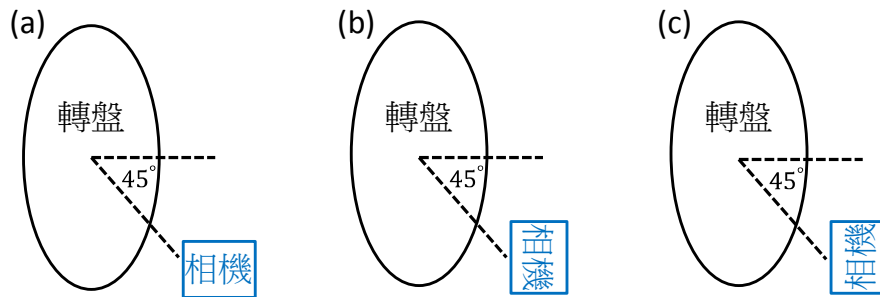


圖 3-14 相機率定拍攝方式(夾角 45 度)

4.以相機光軸與圓盤夾角為 90 度拍攝，分別以相機正拍(圖 3-15(a))及機身向右旋轉 90 度(圖 3-15(b))配合旋轉圓盤各拍攝 8 張，共 16 張照片。

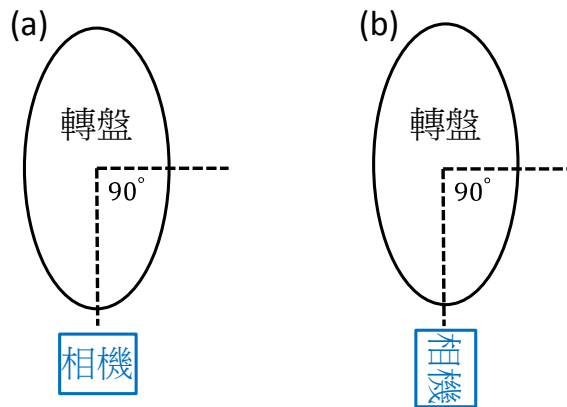


圖 3-15 相機率定拍攝方式(夾角 90 度)

5.拍攝作業時，視窗畫面須佈滿率定標且清晰可辨別，如圖 3-16。

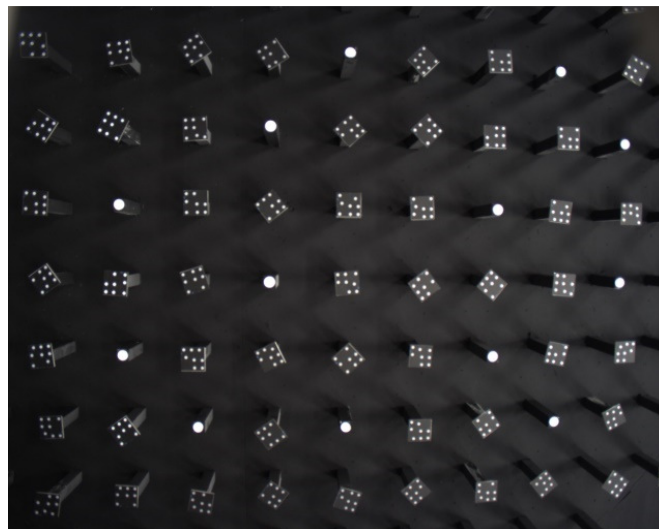


圖 3-16 相機率定拍攝範例

6.將率定影像匯入相機率定軟體 Australis，經率定標辨識及光束法平差計算，得率定成果。

四、定位定向系統

本團隊另搭載數位單眼相機同時獲取高解析彩色影像，可提供多光譜感測資料之分類參考，亦可提供作業範圍內高解析度紋理及地形特徵資料。數位單眼相機將配合本團隊針對多旋翼型 UAS 設計之簡易型 POS 系統（圖 3-17 及圖 3-18），運用 GNSS 模組與微機電等級 IMU 整合設計而成。在 GNSS 模組選擇方面，採用單頻載波相位接收儀 U-BLOX LEA-6T 模組（圖 3-19）；IMU 模組則選擇 ADIS16405（圖 3-20），兩者優點皆是精度高、價格便宜、重量輕，適合做為酬載重量相對較小的旋翼型 UAS 使用。此外本 GNSS 模組亦支援外部 Time mark 記錄功能，可記錄拍攝相片時的 GNSS 時間，做為相片與 POS 資料同步解算的基準。高解析彩色影像與多光譜感測影像雖採用不同之定位定向系統，而其資料整合可透過影像空中三角測量作業時，加入相同之已知地面控制點進行約制，使不同影像資料可進行整合，以減少不同系統間的差異，增加後續分析作業之素材。



圖 3-17 六旋翼型 UAS POS 原型設計



圖 3-18 六旋翼型 UAS POS

LEA-6T GPS接收模組	
Receiver type	GPS L1 C/A Code 50-Channels
Update rate	5 Hz
Accuracy	Position 2.5m CEP SBAS 2.0m CEP
Acquisition	Cold starts : 29s Hot start : 1s



圖 3-19 LEA-6T

ADIS16405	
陀螺量測範圍	± 350 deg/sec
陀螺飄移	25.2 deg/h
加速度計測範圍	± 18 g
加速度計飄移	0.2 mg



圖 3-20 ADIS16405

第二節 多光譜感測器設備整合

Sequoia 包含多光譜感測器及光照感測器二部分，其重量分別為 72 公克及 35 公克，本團隊透過魔鬼氈的方式分別固定於旋翼型 UAS 之上方及下方，如圖 3-21 所示，並使光照感測器之感測元件面向 UAS 上方，而多光譜感測器之感測元件面向下方。



圖 3-21 多光譜感測器設備整合

電力系統規劃根據需要用電之設備分為 3 個部分(如圖 3-22)，包含六旋翼型 UAS、高解析度彩色數位相機及多光譜感測器，各部分皆採取獨立電力系統，其中高解析度彩色數位相機採用內建電池提供相機電力，Sony α7 採用常見的 NP-FW50 鋰電池，作業電力無虞。本團隊採用 6S5C 之 10500mAh 之鋰電池提供六旋翼型 UAS 及定位定向系統之電力需求，可提供六旋翼型 UAS 約 20 分鐘作業時間。



圖 3-22 電力規劃

多光譜感測器 Sequoia 採獨立電力系統，Sequoia 之消耗功率為 5 至 12 瓦特，為求作業安全乘上安全係數 1.414，則系統應提供 $12 \times 1.414 = 16.968$ 瓦特之電力，本團隊採用 3S5C 之 2250mAh 鋰電池做為系統電力，其中鋰電池電壓為 3.7 伏特，而 3S 鋰電池意即串聯 3 個鋰電池，電壓以 $3.7 \text{ 伏特} \times 3 = 11.1 \text{ 伏特}$ 計算，故所需電流為 1529 毫安培 ($16.968 \text{ 瓦特} / 11.1 \text{ 伏特} = 1529 \text{ 毫安培}$)，因此 2250mAh 之鋰電池即可提供約 1.5 小時之系統電力。此外，本團隊選用之鋰鐵電池為 5C，表示電池可承受瞬間最大電流為 5 倍，即可提供瞬間最大電流為 $2250 \text{ 毫安培} \times 5 = 11.25 \text{ 安培}$ ，即瞬間最大功率為 $11.1 \text{ 伏特} \times 11.25 \text{ 安培} = 124.875 \text{ 瓦特}$ ，為系統所需電力 16.968 瓦特之 7 倍，故足以承受系統用電，系統供電安全。

多光譜感測器、數位單眼相機、簡易型 POS 及電力系統分別固定於六旋翼型 UAS，並連接電源線及訊號線等相關線路，完成設備整合(如圖 3-23)，酬載總重量約為 700 公克。



圖 3-23 多光譜感測系統整合成果

第三節 多光譜感測器航拍規劃作業

Sequoia 提供 Wi-fi 功能，透過電腦或智慧型手機連線即可至控制頁面，進行航拍設定(如圖 3-24)，包含欲開啟之攝影鏡頭、拍攝模式及影像解析度調整。Sequoia 航拍作業之前，應先針對系統姿態進行率定並進行感測器輻射校正作業，其中系統姿態率定的部分，應分別以感測器三軸為基準旋轉 UAS(如圖 3-25 及圖 3-26)，直至感測器對應燈號指示完成，亦可透過控制頁面確認率定狀態。Sequoia 亦提供影像輻射校正功能，將多光譜感測器以約 1 公尺高度對原廠提供之反射板(如圖 3-27)進行拍攝，拍攝過程中應盡可能使感測器及反射板保持水平，輻射校正實際作業畫面如圖 3-28 所示。

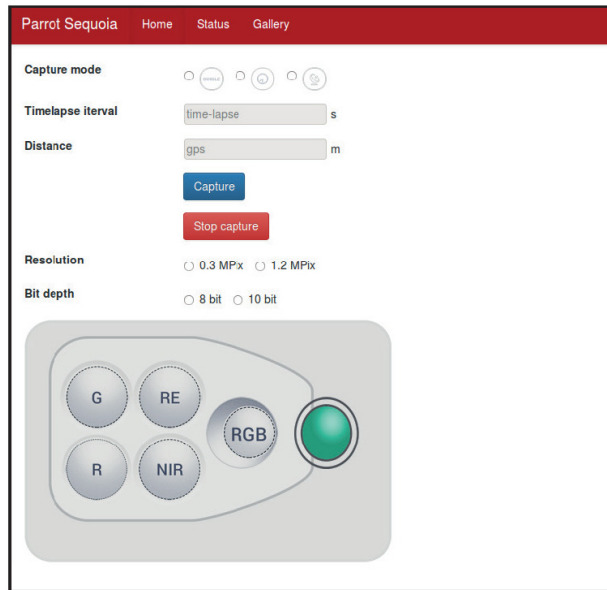


圖 3-24 Sequoia 控制介面(摘自 Sequoia 使用手冊)



以 Z 軸為基準旋轉

以 Y 軸為基準旋轉

以 X 軸為基準旋轉

圖 3-25 系統姿態率定(摘自 Sequoia 使用手冊)



以 Z 軸為基準旋轉



以 Y 軸為基準旋轉



以 X 軸為基準旋轉

圖 3-26 系統姿態率定實際作業



圖 3-27 反射板

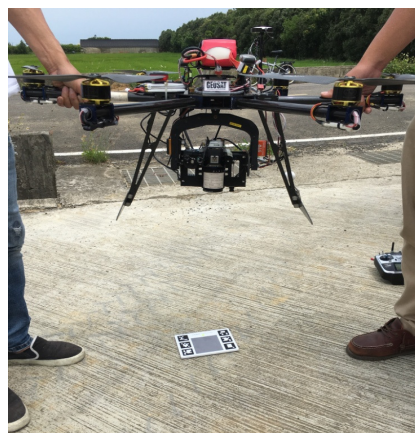


圖 3-28 輻射校正作業

多光譜感測器航拍作業開始之前，應先根據任務要求，計算飛行高度，本團隊採用 Sequoia 進行多光譜感測資料蒐集，其多光譜感測鏡頭之感光元件經換算後可得到感光元件上每一像素之實際尺寸為 $3.75 \mu\text{m}$ ，而多光譜感測鏡頭之焦距為 3.98 公厘，由於每一像素之寬度與焦距長相對於地面解析度(GSD)與航高(AGL)為相似三角形，因此可得下式 1：

$$\frac{\text{Pixel Size}}{\text{Focal Length}} = \frac{\text{GSD}}{\text{AGL}} \quad (1)$$

將相機鏡頭焦距、感光元件像素尺寸及需求之地面解析度帶入上式 1 中，即可計算出對應的航高，如欲取得地面解析度 10 公分之航拍成果，則可透過上式 1 計算得 $\text{AGL} = \text{GSD} \times \frac{\text{Focal Length}}{\text{Pixel Size}} = 0.1 \times \frac{3.98}{0.00375} = 106.1333(\text{m})$ ，故航高約為 106 公尺。

此外，Sequoia 原廠另提供地面解析度及航高對照，本團隊利用式 1 計算地面解析度及航高對照，如表 3-4 所示，顯示原廠建議之數值與式 1 計算之結果有些許差異，如欲進行多光譜感測影像地面解析度 10 公分之航拍作業，透過式 1 計算，航高約為 106 公尺，而原廠建議之航高約為 80 公尺，差異甚大，由於式 1 根據攝影測量理論而得，故本團隊建議實際作業應以上述算式計算較為正確。

表 3-4 地面解析度及航高對照

地面解析度(公分/像元)				
航高(公尺)	原廠建議		本團隊計算	
	多光譜	彩色影像	多光譜	彩色影像
30	3.7	0.8	2.8	0.8
40	4.9	1.1	3.8	1.1
50	6.2	1.4	4.7	1.4
60	7.4	1.6	5.7	1.6
70	8.6	1.9	6.6	1.9
80	9.9	2.2	7.5	2.2
90	11.1	2.4	8.5	2.5
100	12.4	2.7	9.4	2.7
110	13.6	2.9	10.4	3.0
120	14.8	3.3	11.3	3.3
130	16.1	3.5	12.2	3.6
140	17.3	3.7	13.2	3.8
150	18.6	4.1	14.1	4.1
200	原廠未提供		18.8	5.5
300	原廠未提供		28.3	8.2

利用電腦、智慧型手機或平板電腦連接 Sequoia 控制頁面進行拍攝參數設定(如圖 3-29)，可設定採用時間間隔拍攝或距離間隔拍攝，為了避免 GPS 訊號問題影響作業品質，本團隊建議採用時間間隔進行拍攝設定，點選圖 3-29 紅框進入參數計算畫面(如圖 3-30)，輸入飛行速度、飛航高度及影像前後重疊率，其中飛行速度由飛行人員根據作業環境評估，依本團隊作業經驗多以 8 (m/s)速度進行飛航作業；飛行高度則根據地面解析度需求計算而得，以地面解析度 10 公分計算得飛行高度約 106 公尺，實際飛航作業則以 100 公尺計算；而影像前後重疊率一般採用 80%，輸入完畢則點選畫面中「Calculate」，取得航拍時間間隔為 2.3 秒，確認無誤後則點選畫面中「Apply」，並確認設定畫面中時間間隔設定是否正確。

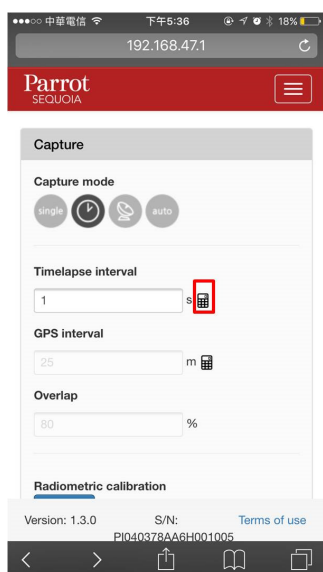


圖 3-29 航拍設定畫面

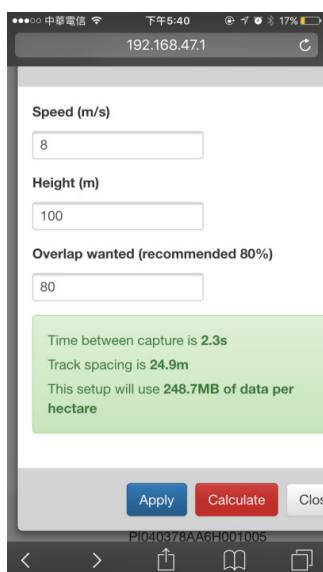


圖 3-30 參數計算畫面

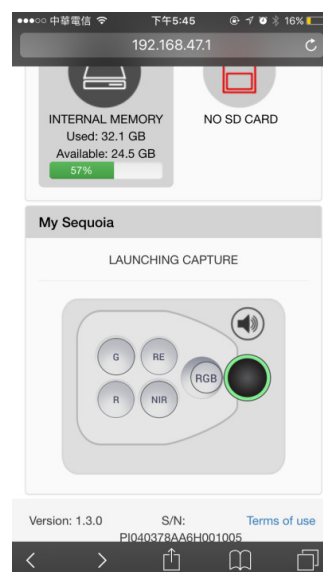


圖 3-31 影像拍攝控制

完成設定後，將設定介面畫面滑動至下方(如圖 3-31)，顯示各對應之感測鏡頭，可點選圖示開啟或關閉對應鏡頭，建議採用預設值開啟所有鏡頭進行航拍作業，確認設定無虞即可點選畫面中黑色圓形圖示，開始影像拍攝，可透過多光譜感測器對應之綠色燈號以及快門聲響確認影像拍攝作業無虞，若系統作業正常即可配合飛航人員進行航拍作業，航拍完成後亦點選黑色圓形圖示終止影像拍攝。此外，多光譜感測器 Sequoia 透過無線網路進入控制頁面進行相關設定，因此當 Sequoia 仍在無線網路訊號範圍內時，則可隨時透過控制頁面更改相關設定，若離開無線網路訊號範圍則以最後一次設定進行拍攝作業。

第四節 多光譜感測資料後處理流程

多光譜感測器航拍作業完成可取得多光譜感測資料、高解析度彩色影像及定位定向資料，其中多光譜感測資料包含綠光、紅光、紅邊光、近紅外光及彩色影像。本團隊利用 Pix4DMapper 進行影像後處理，Pix4DMapper 包含多光譜感測器 Sequoia 專用模組，內建 Sequoia 多光譜感測器相關設定，可對不同波段影像進行波段套合，加入多光譜感測器之輻射校正影像則可進行輻射校正。

高解析度彩色影像及多光譜感測影像需分開處理，空三解算全程以 Pix4Dmapper 空三解算軟體來自動進行解算，解算過程利用已知地面控制點進行影像約制，以確保不同影像資料間之位置資訊一致，整合不同來源之影像對位，空三解算完成後，以點雲加密提高點雲密度產製數值地表模型，進而產製正射影像，包含各波段之拼接影像及數

值地形模型，並可預先設定各式指標(如 NDVI)計算方式，則可產出各式指標影像。

第五節 多光譜感測資料崩塌地判釋應用

由於臺灣位於地殼變動激烈的區域，受到頻繁的地震，加上颱風侵襲以及人為的濫墾濫伐，部分山坡地逐年崩塌，歷年來常常發生規模大小不一的崩塌(Chang, K. T., 2012)，而新竹縣尖石鄉秀巒地區自 105 年以來持續發生小規模崩塌，目前崩塌原因仍不明，崩塌範圍持續擴大，衛星影像對照圖如圖 3-32 所示，。

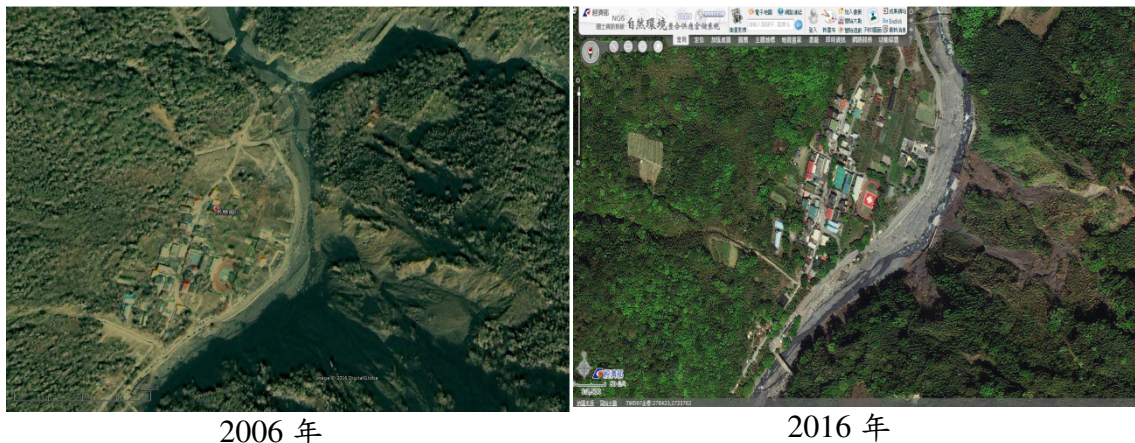


圖 3-32 新竹縣尖石鄉秀巒地區衛星影像

本團隊針對新竹縣尖石鄉秀巒地區之崩塌區域分別於 106 年 6 月 27 日及 106 年 9 月 7 日進行 2 次不同時間之影像拍攝，考量山區容易出現雲層，皆於上午 9 點進行航拍作業，航拍作業時間各約 150 分鐘。2 次航拍作業之航線如圖 3-33，綠色線條為第 1 次航拍，藍色線條為第 2 次航拍，而崩塌範圍之現地照片如圖 3-34，作業現況如圖 3-35 及圖 3-36 所示。

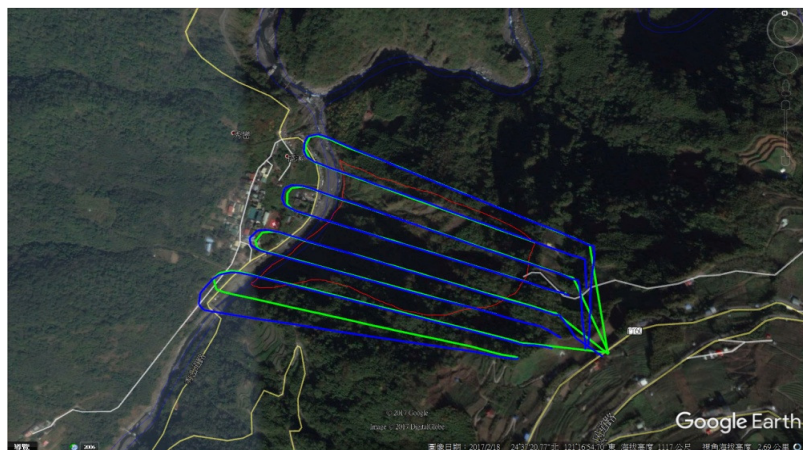


圖 3-33 秀巒地區崩塌範圍 2 次作業航線



圖 3-34 秀巒地區崩塌範圍現場



圖 3-35 現場系統測試



圖 3-36 任務作業現況

2 次航拍作業皆以航高約海拔 1300 公尺進行拍攝，離地高度因地勢高低起伏較大，約為 100 公尺至 434 公尺之間。2 次航拍作業之前皆應先進行輻射校正作業，取得輻射校正影像如圖 3-37，2 次作業分別取得多光譜感測影像 607 組及 1484 組，另分別取得高解析度彩色影像 330 張及 380 張，多光譜感測影像及高解析度彩色影像如圖 3-38 所示。

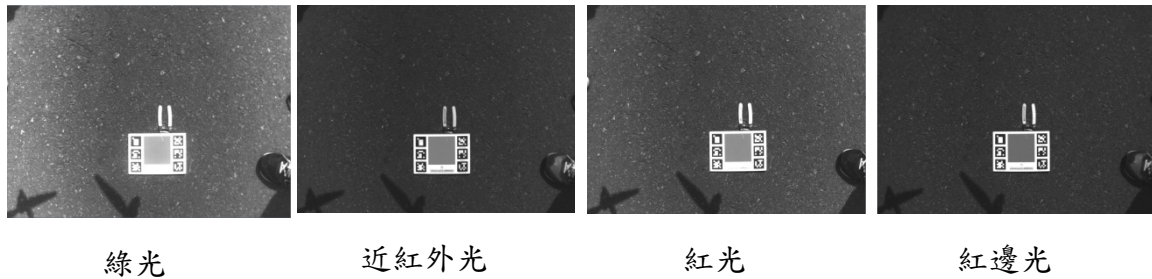


圖 3-37 輻射校正影像

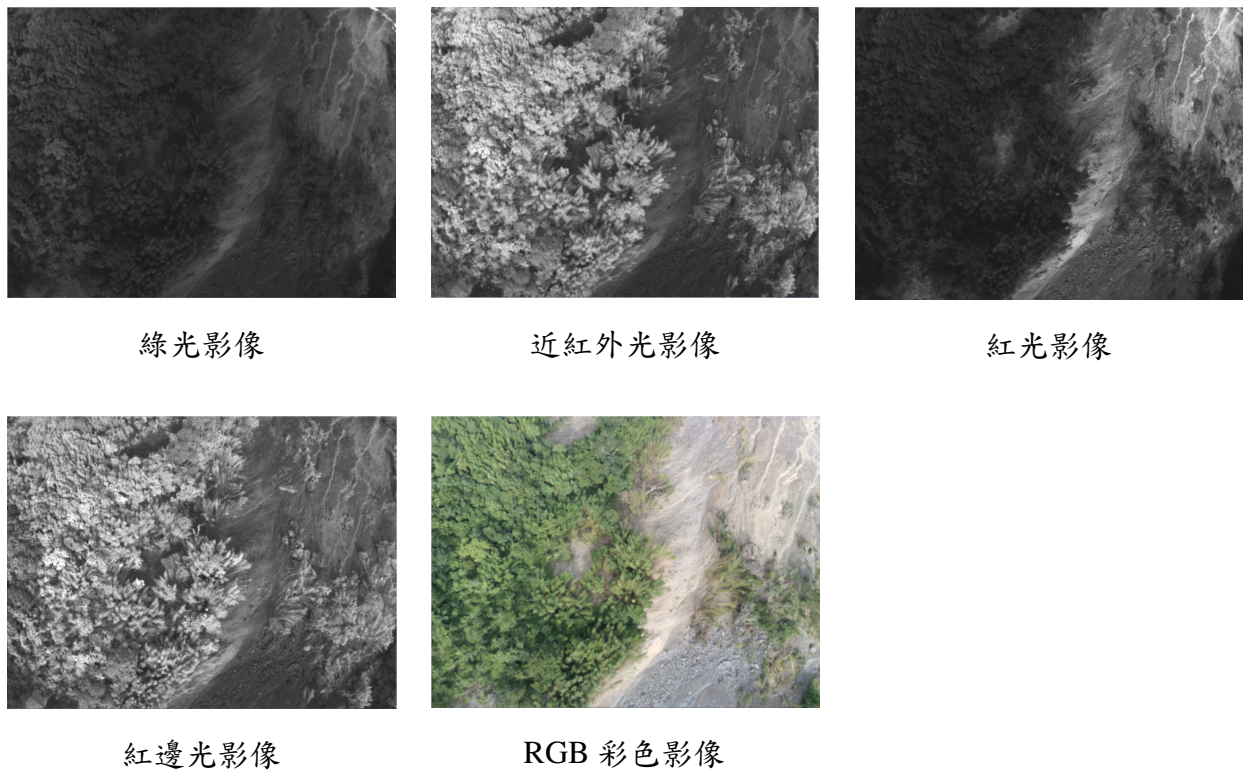


圖 3-38 多光譜感測影像

2 次航拍影像皆透過 Pix4DMapper 進行影像後處理，每次作業共可取得多光譜感測影像拼接成果 5 張(RGB、綠光、紅光、紅邊光及近紅外光)以及高解析度彩色數位影像 1 張，如圖 3-39 所示，顯示多光譜感測器設備整合作業無虞。

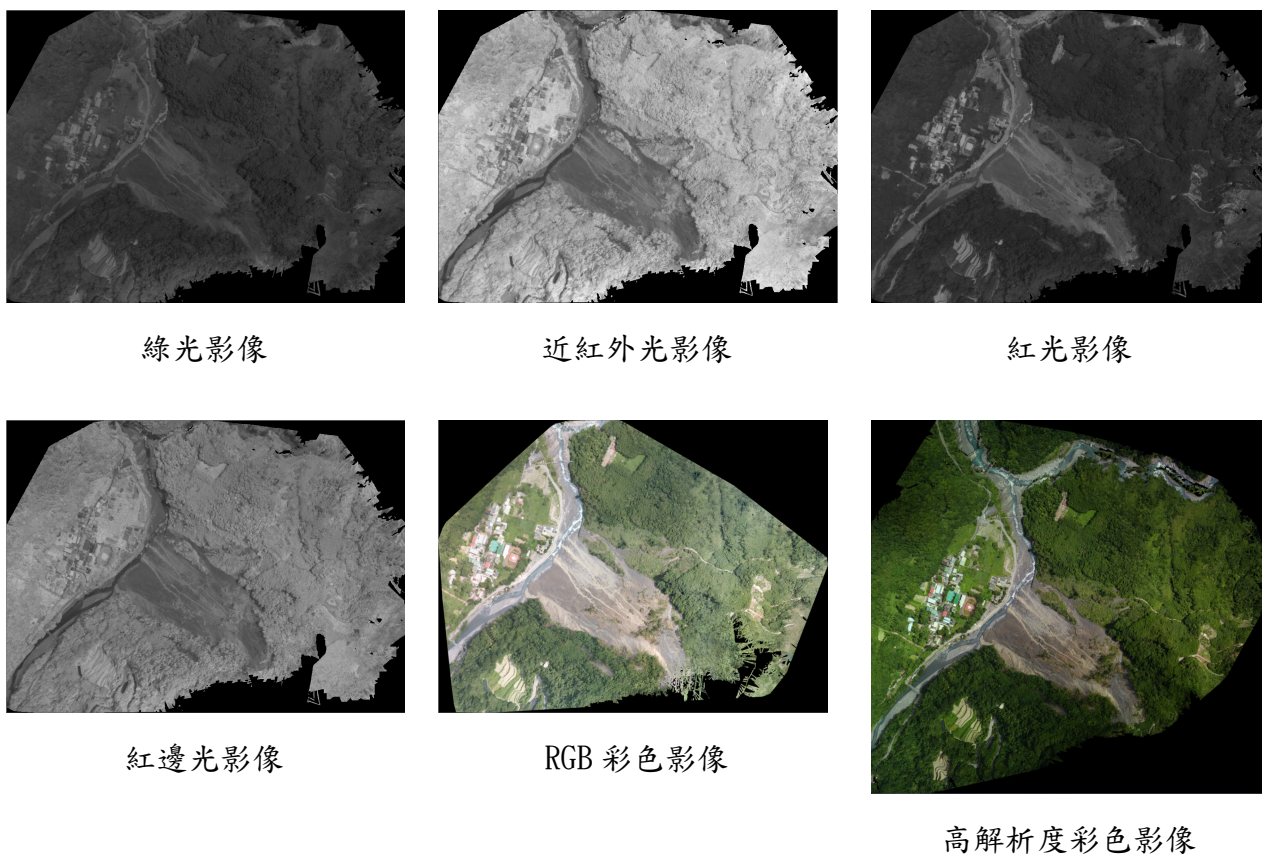


圖 3-39 影像拼接成果

2 次航拍成果分別如圖 3-40 及圖 3-41 所示，另以 104 年航拍之正射影像(如圖 3-42)進行比較，可清楚判釋該區域於 106 年已產生崩塌情形。比較 106 年 2 次航拍成果，由於航拍時間相近，時間差距不到 3 個月，崩塌範圍無明顯差異，但可從 106 年第 2 次航拍影像看出該崩塌地區持續崩塌，下方河流泥沙堆積，造成河道縮減，如圖 3-43。



圖 3-40 第 1 次航拍成果



圖 3-41 第 2 次航拍成果



圖 3-42 104 年航拍成果



第 1 次航拍成果放大圖

第 2 次航拍成果放大圖

圖 3-43 持續崩塌造成河道縮減

套疊影像及數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)可更清楚顯示航拍區域之地勢起伏，分別將 104 年航拍之正射影像及 106 年度 2 次航拍之正射影像套疊 DEM，如圖 3-44、圖 3-45 及圖 3-46。



圖 3-44 104 年度影像套疊 DEM



圖 3-45 第 1 次航拍影像套疊 DEM



圖 3-46 第 2 次航拍影像套疊 DEM

以不同作業時間之影像及 DEM 相互套疊，則可判釋地形之變化情形，圖 3-47 套疊 104 年航拍之正射影像及 106 年第 1 次航拍影像，可明顯看出崩塌範圍上方持續崩塌，高程降低；崩塌區域下方土石堆積，高程增加。再套疊 106 年第 2 次航拍影像，如圖 3-48，崩塌區域下方紅色圈選處存在土石堆積情形，其餘範圍無明顯差異。本團隊將不同作業時間之 DEM 相減，以高程變化情形判釋崩塌情形，圖 3-49 為 106 年第 1 次作業與 104 年作業之 DEM 差值圖，圖中黃色為高程增加之範圍，綠色為高程降低之範圍，圖中顯示之折線圖為利用黑色線條取得崩塌範圍剖面之高程差異折線圖，崩塌情形確實存在。然而第 2 次作業與第 1 次作業之 DEM 差值圖如圖 3-50，由於 2 次作業時間相近，高程變化情形則無明顯差異



圖 3-47 第 1 次航拍與 104 年影像套疊



圖 3-48 第 2 次航拍與 104 年影像套疊

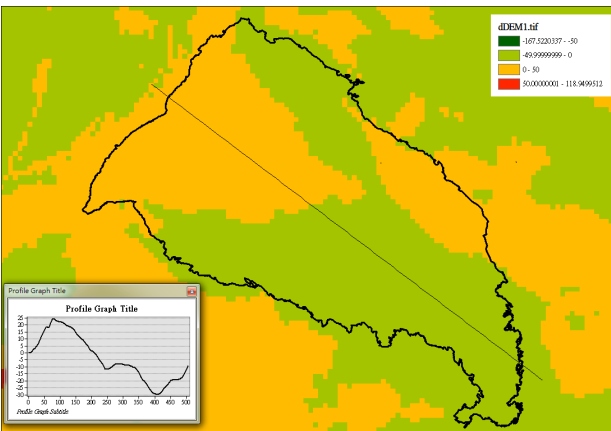


圖 3-49 第 1 次作業與 104 年 DEM 差值圖

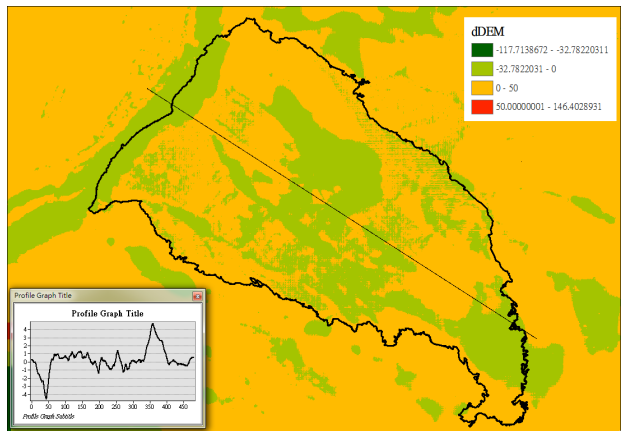


圖 3-50 第 2 次作業與第 1 次作業 DEM 差值圖

在多光譜感測器應用領域，常利用近紅外光對於健康植物有強烈反應，對水體沒有反應的特性，進行植物及水的判釋，最常見的就是常態化差值植生指標(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)，其中 $NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$ ，NDVI 數值落於-1 及 1 之間，當作業區域存在健康植被，則 NIR 數值接近 1，則 NDVI 數值接近於 1。本團隊利用 2 次航拍成果計算 NDVI，分別如圖 3-51 及圖 3-52 所示，由於崩塌區域缺乏植被，NDVI 數值較低，相較於未崩塌區域有明顯區隔，故本團隊透過商用軟體 ENVI 以監督式分類方法最大概似法(Maximum Likelihood)進行崩塌區域之影像分類，由於崩塌範圍內仍包含部分綠地，本團隊以最大範圍定義崩塌範圍，因此合併範圍中小部分綠地，分別取得最大崩塌範圍如圖 3-53 及圖 3-54 所示，崩塌範圍面積分別為 8.3 公頃及 8.9 公頃，其中第 2 次作業時崩塌範圍下方已遭土石堆積，造成河道縮減，分類所得之崩塌範圍包含河道堆積之泥沙。

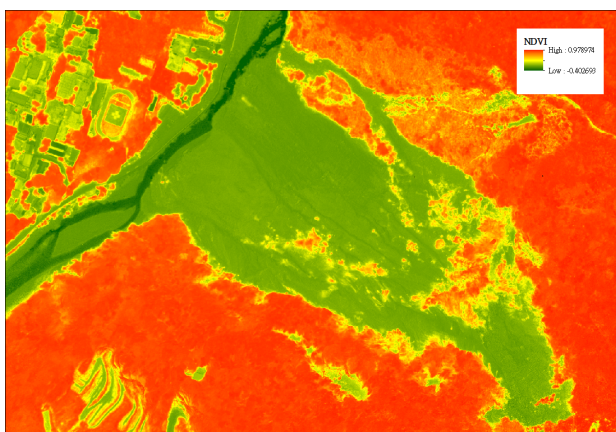


圖 3-51 第 1 次作業之 NDVI 分布圖

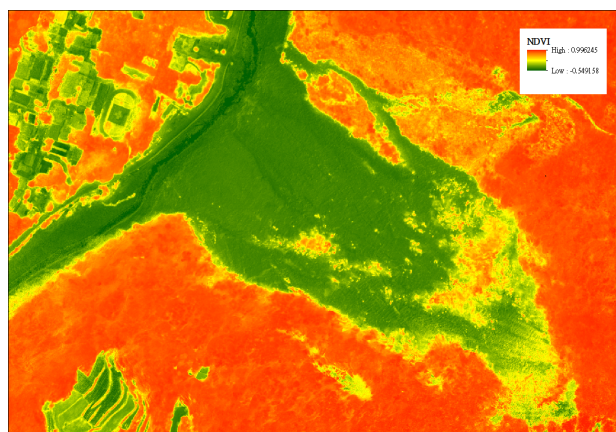


圖 3-52 第 2 次作業之 NDVI 分布圖



圖 3-53 第 1 次作業之影像分類崩塌範圍 (NDVI)



圖 3-54 第 2 次作業之影像分類崩塌範圍 (NDVI)

近紅外光對水體沒有反射，也常應用於判釋水體分布，最常見的是正規化水指數(Normalized Difference Water Index, NDWI)，其中 $NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$ ，數值介於-1 與 1 之間，當作業區域存在水體，NIR 數值接近於 0，則 NDWI 數值接近於 1，因此當 NDWI 數值愈大，表示水含量越多。本團隊利用 2 次航拍成果計算 NDWI，分別如圖 3-55 及圖 3-56 所示，崩塌區域之 NDWI 數值與未崩塌區域存在明顯區隔，故本團隊以 NDWI 進行崩塌區域之影像分類，分別取得最大崩塌範圍如圖 3-57 及圖 3-58 所示，崩塌範圍面積分別為 8.3 公頃及 8.6 公頃。利用 NDVI 及 NDWI 透過影像分類方法可快速取得崩塌範圍，且無明顯差異，相較於利用一般彩色影像透過人工框選崩塌範圍更加快速且明確，顯示多光譜感測資料可協助崩塌地判釋，有利於防救災相關應用。

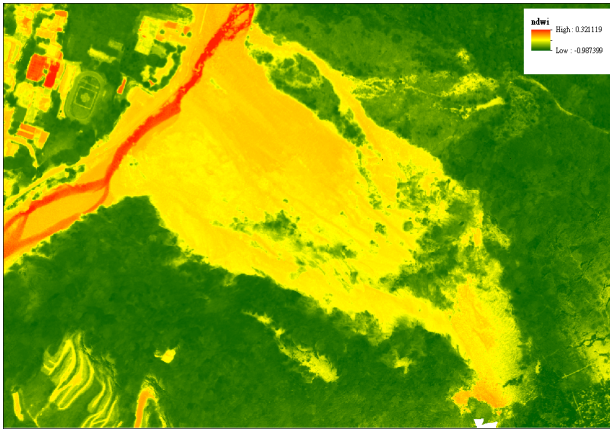


圖 3-55 第 1 次作業之 NDWI 分布圖

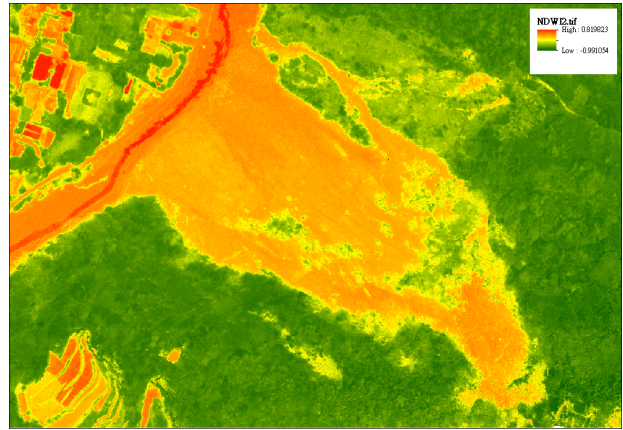


圖 3-56 第 2 次作業之 NDWI 分布圖



圖 3-57 第 1 次作業之影像分類崩塌範圍 (NDWI)



圖 3-58 第 2 次作業之影像分類崩塌範圍 (NDWI)

本團隊另以人工分別進行 2 次崩塌範圍數化，數化作業時間各需約 30 分鐘，數化成果分別如圖 3-59 及圖 3-60，2 次數化之崩塌範圍面積分別約為 8.9 公頃及 8.8 公頃，而崩塌範圍現地並無明確界線，故數化作業則需透過人工判斷，崩塌範圍及精細程度則因作業人員不同而有差異。分別以 2 次作業之 NDVI 進行判釋之崩塌範圍套疊人工數化崩塌範圍如圖 3-61 及圖 3-62，NDVI 判釋之崩塌範圍以紅色斜線範圍表示，套疊成果顯示利用 NDVI 或 NDWI 進行判釋取得之崩塌範圍與人工數化之崩塌範圍並無明顯差異，且作業時間僅需約 15 分鐘，作業效率提升 50%，因此透過影像判釋方法取得崩塌範圍可於較短時間取得合理之崩塌範圍，在防救災領域作業中，為可行之作業方法。



圖 3-59 第 1 次作業之崩塌範圍(人工數化)



圖 3-60 第 2 次作業之崩塌範圍(人工數化)

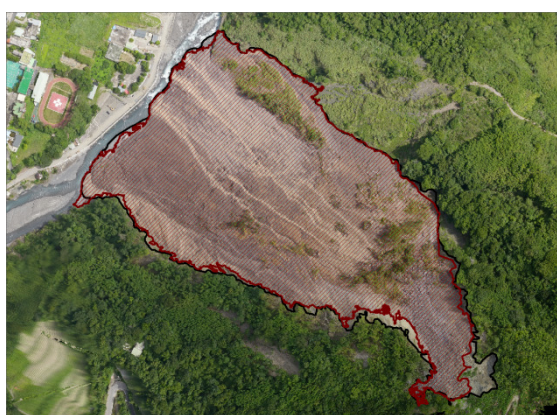


圖 3-61 第 1 次作業之崩塌範圍套疊



圖 3-62 第 2 次作業之崩塌範圍套疊

確認崩塌範圍後，即可透過不同時期之 DEM 資料進行崩塌前後之土方變化，新竹縣尖石鄉秀巒地區之崩塌區域，以 106 年第 1 次航拍成果與 104 年成果比較，崩塌範圍內已減少土方約 177,741 立方公尺，應防止下游河川過度堆積，形成堰塞湖，並避免造成更大災害。本研究測試作業顯示利用無人飛行載具搭載多光譜感測器可用於崩塌地區監測，配合相關單位分析土地崩塌原因，可防止災害發生或減輕災害所造成的影響。

第六節 多光譜感測資料影像分類分析

本團隊已於 105 年度利用多光譜影像進行地物分類，主要針對建物、水體、道路、農田及無耕作之農田進行分類，其訓練樣區分布如圖 3-63，其中紅色為建物、洋藍色為水體、橘色為道路、綠色為農田、黃色為無耕作之農田，統計不同解析度影像進行分類時電腦所需的計算時間，而統計成果顯示當解析度 5 公分時影像需花費超過 30 分鐘計算，而隨著解析度下降，電腦所需耗費時間將大幅度縮減。此外，亦透過選定的地面真像(Ground-Truth)評估不同影像解析度之分類精

度，其中解析度 5 公分影像分類結果如圖 3-64，評估結果如圖 3-65，顯示當解析度小於 40 公分時，隨著解析度下降而分類精度有些許提升；解析度大於 40 公分時，分類精度開始下降，而解析度 160 公分時分類精度有顯著性的下滑，因此並非高解析度影像就能獲取高分類精度。

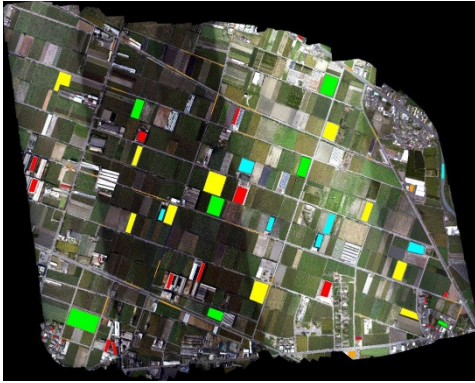


圖 3-63 影像分類訓練樣區分布圖

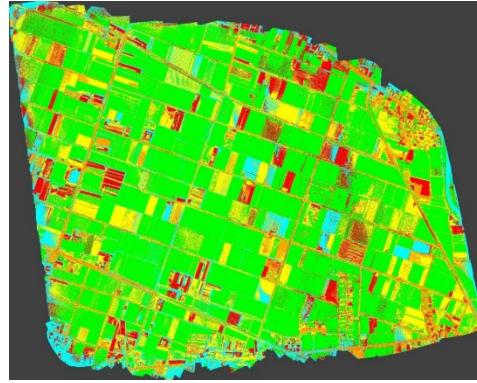


圖 3-64 影像分類結果

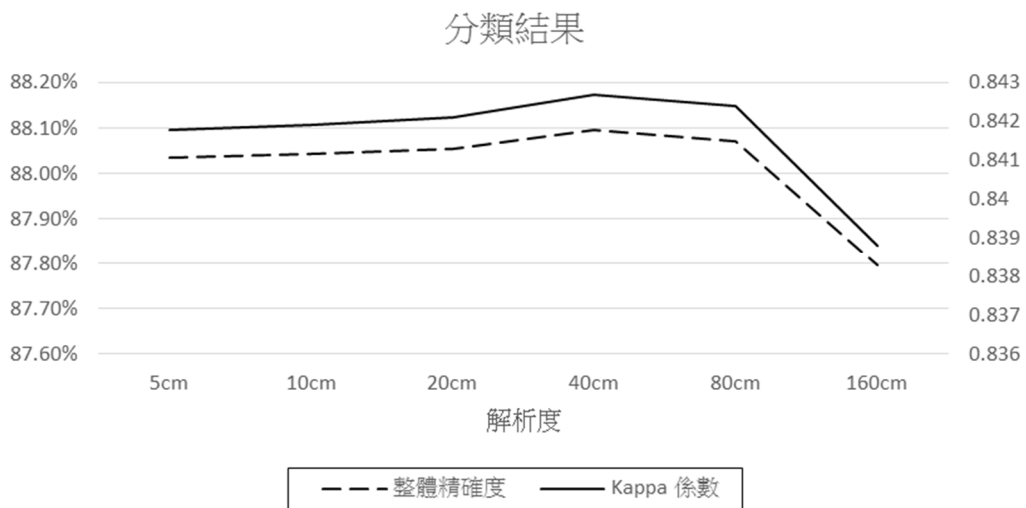


圖 3-65 不同影像解析度分類精度

106 年度延續 105 年度測試作業，同以彰化縣芳苑鄉之部分範圍為測試區域，本團隊已於 106 年 7 月 21 日以多旋翼型 UAS 搭配多光譜感測器 Sequoia 進行多光譜資料蒐集，並以 3 種不同地面解析度(10 公分、20 公分及 30 公分)進行航拍，作業範圍如圖 3-66 之綠色框選處，而 10 公分、20 公分及 30 公分地面解析度之航線分別如藍色線條、桃紅色線條及黃色線條所示，分別取得多光譜感測資料 551 組、299 組及 481 組，及高解析度彩色影像 236 張、153 張及 145 張。3 種不同地面解析度之航拍影像分別以 Pix4DMapper 進行影像後處理，分別如圖 3-67、圖 3-68 及圖 3-69 所示

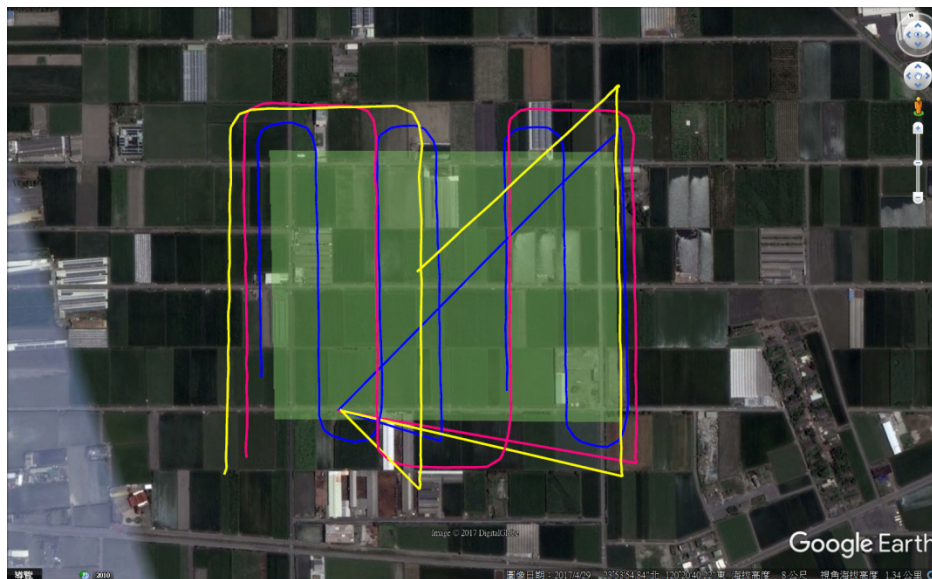
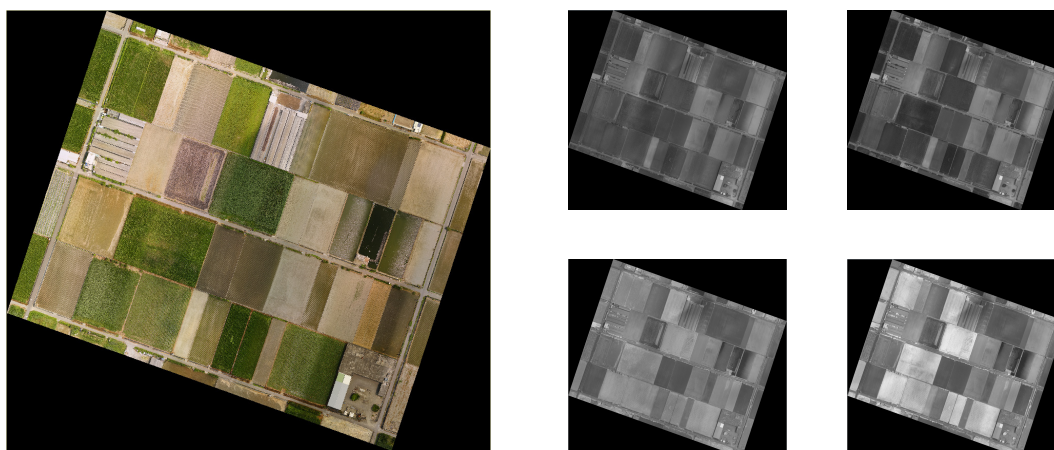


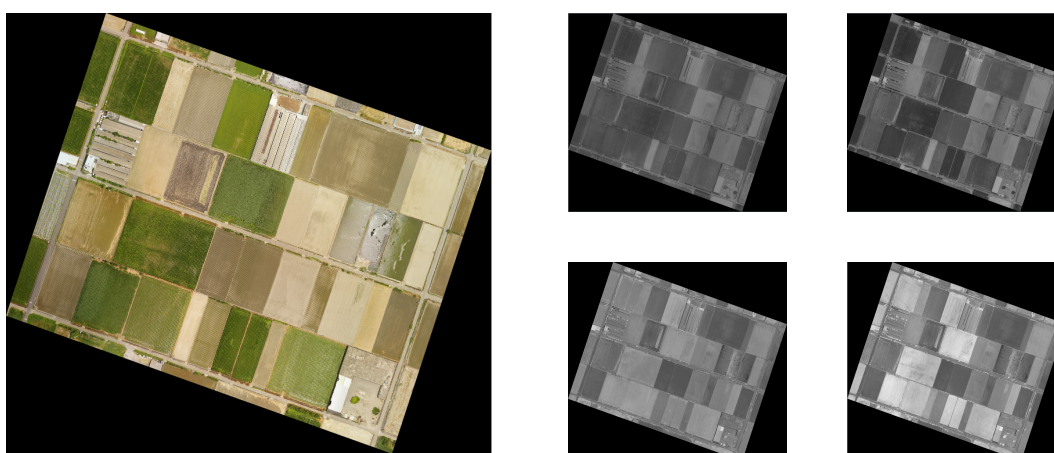
圖 3-66 航拍範圍及航線



高解析度彩色影像

多光譜感測影像

圖 3-67 影像後處理成果(GSD 10 公分)



高解析度彩色影像

多光譜感測影像

圖 3-68 影像後處理成果(GSD 20 公分)

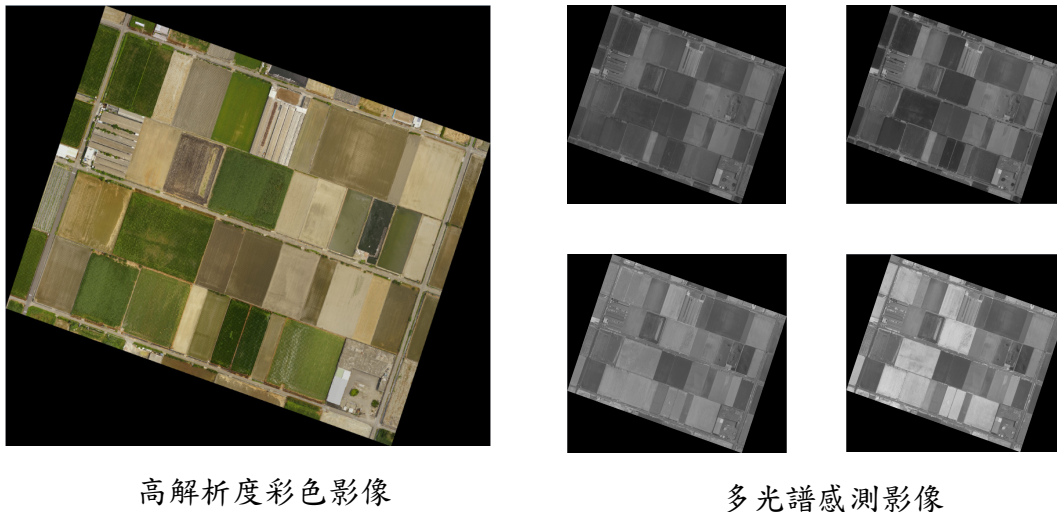


圖 3-69 影像後處理成果(GSD 30 公分)

本團隊利用商用軟體 ENVI 進行地物分類，針對耕作農田、無耕作農田、水體、建物及道路，以 3 種較常見之監督式分類方法分別進行分類作業，包含最大概似法(Maximum Likelihood)、類神經網路(Neural Network)及支持向量機(Support Vector Machine)，其中最大概似法以統計的概念，利用訓練樣區資料推導出最佳化機率模型進行分類；類神經網路則是一種模擬生物神經系統的數學方法，其架構分成輸入層、隱藏層及輸出層，將真實現象之不同情況加入類神經網路輸入層之不同神經元進行訓練，透過隱藏層之神經網路進行計算，由輸出層得到訓練結果；而支持向量機將訓練樣本標記於 N 維空間中(N 代表特徵個數)，透過尋找區分樣本的超平面來對數據進行分類處理，圖 3-70 即說明支持向量機之分類概念，圖中 H_1 不能將類別分開， H_2 雖可將類別分開，但間隔較小，而 H_3 可以最大間隔進行分類。

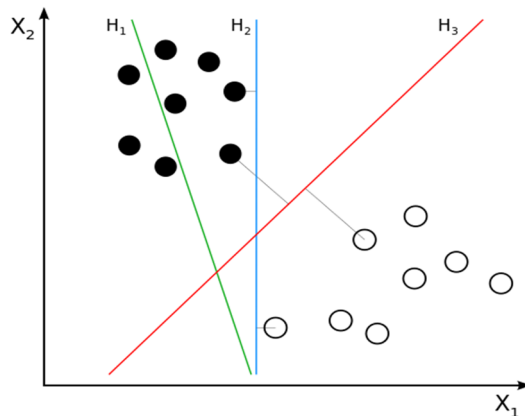


圖 3-70 支持向量機(摘自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/支持向量機>)

利用監督式分類方法進行影像地物分類，需提供訓練樣區使軟體進行分類訓練，本團隊於作業範圍針對 5 種地物畫設訓練樣區如圖

3-71，其中綠色為耕作農田、黃色為無耕作農田、橘色為建物、紅色為道路、藍色為水體，訓練樣區的畫設應盡可能將各類地物之不同樣貌皆畫設於訓練樣區，如耕作樣區因為作物不同，在影像上表現的樣貌也不同，應盡可能都畫設為訓練樣區。訓練樣區畫設範圍內應保持內容單純，如畫設道路之訓練樣區，畫設的範圍內應僅包含道路，不應包含不同欲分類之地物，以避免分類錯誤。另畫設地真資料如圖 3-72，地真資料畫設範圍不應於訓練樣區畫設範圍重疊，而軟體透過學習訓練樣區資料以進行分類，分類結果比對地真資料取得分類精度，然而訓練樣區及地真資料之畫設應使各類型地物之數量一致，避免分類精度計算受到某種數量較多之分類地物影響。

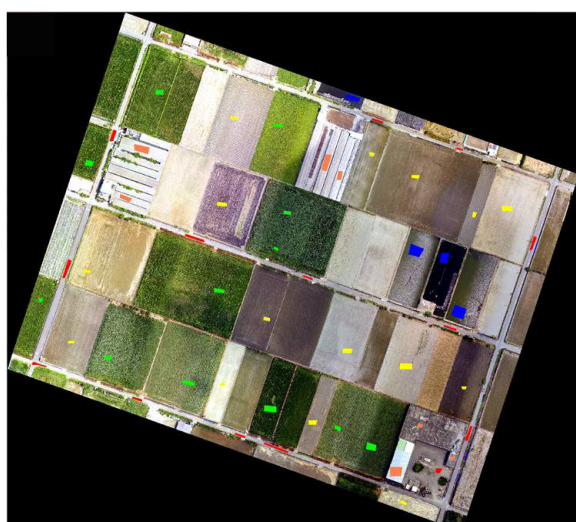


圖 3-71 訓練樣區

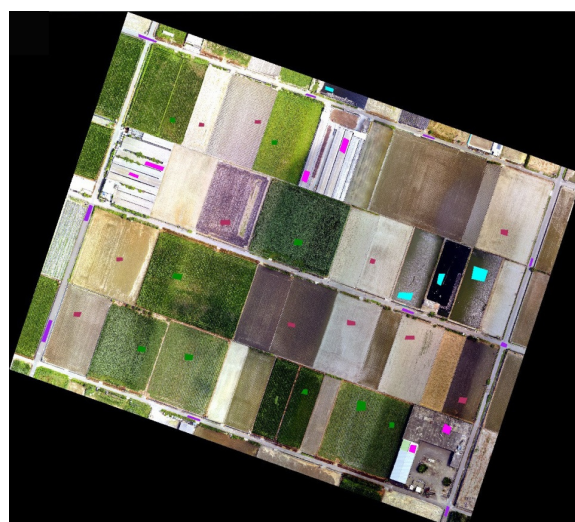


圖 3-72 地真資料

進行影像分類作業需透過可用於描述各類地物之資料，本案建置之多光譜感測系統可提供彩色影像及多光譜感測影像，包含彩色影像之紅色、綠色及藍色資訊，以及多光譜感測影像之綠光、紅光、紅邊光及近紅外光資訊。

透過近紅外光資訊及紅光資訊的計算，取得正規化植生指數 NDVI(如式 2)，可判斷植被分布，當 NDVI 數值越高，表示該處存在健康植被，本測試範圍之 NDVI 影像如圖 3-73 所示，以圖中顏色較白之範圍對應彩色影像即為植被分布區域，期可提升耕作農田及非耕作農田之分類精度。

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2)$$

透過綠光資訊及近紅外光資訊計算，可取得正規化水指數 NDWI(如式 3)，用於判斷水體分布，當 NDWI 數值越高，表示該處

水含量較高，本測試範圍之 NDWI 影像如圖 3-74 所示，以圖中顏色較白之範圍對應彩色影像即為水體分布區域，期可提升水體之分類精度。

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR} \quad (3)$$

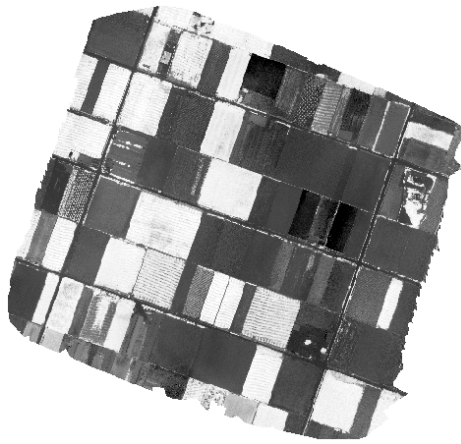


圖 3-73 測試範圍 NDVI 影像

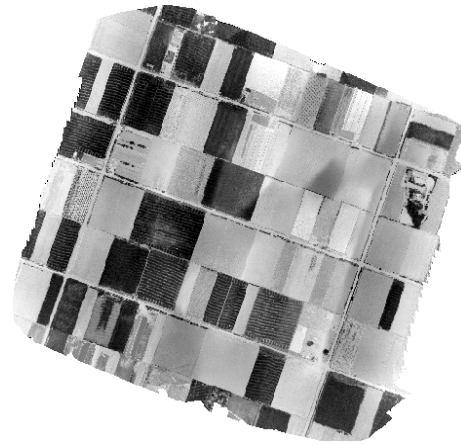


圖 3-74 測試範圍 NDWI 影像

除了影像資訊，可透過影像處理取得之 DSM 及 DEM 資料計算得正規化數值地表模型(Normalized Digital Surface Model, nDSM)，亦稱為樹冠高程模型(Canopy Height Model, CHM)或地物高程模型(Object Height Model, OHM)，及代表了地上物之高度(如式 4)，當 nDSM 數值為 0 時，表示該處無地物(林務局, 2007)。圖 3-75 為本案測試範圍之 nDSM 影像，圖中顏色較白的範圍對應彩色影像即為較高聳地物，期可提升建物及道路之分類精度。

$$nDSM = DSM - DEM \quad (4)$$

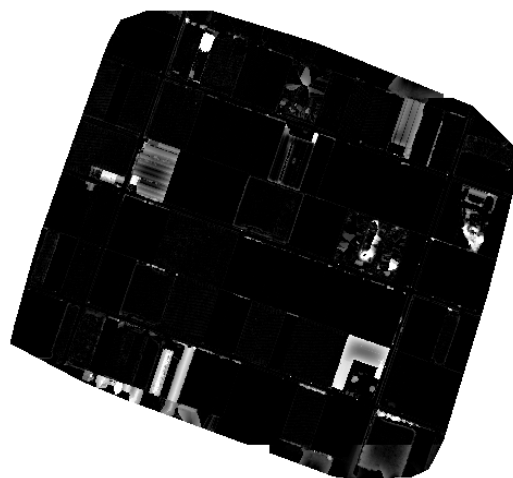


圖 3-75 測試範圍 nDSM 影像

一、測試 A：R+G+B+NDVI

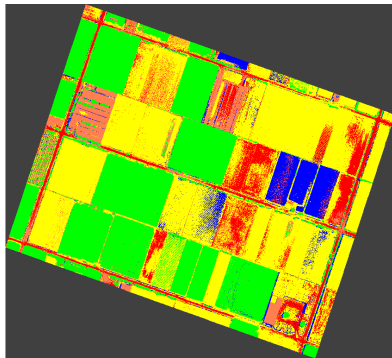
根據 105 年度作業結論，利用彩色影像之紅色、綠色及藍色資訊加上正規化植生指數 NDVI 進行影像分類，可取得較佳分類成果，故本測試作業亦採用彩色影像之紅色、綠色及藍色資訊加上正規化植生指數 NDVI 為素材，透過最大概似法、類神經網路及支持向量機分別進行影像分類，並針對影像解析度 10 公分、20 公分及 30 公分進行影像分類，分類成果如表 3-5 至表 3-10，以及圖 3-76、圖 3-77 及圖 3-78 所示。

表 3-5 測試 A 最大概似法分類成果矩陣

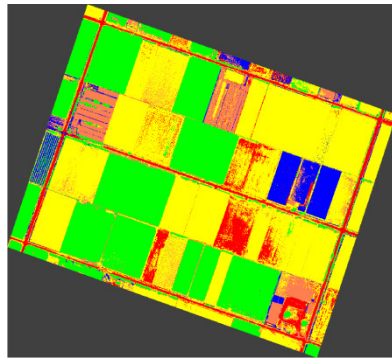
測試 A		地真資料(像元數/百分比)				
類別		農田	無耕作農田	建物	水體	道路
農田	10cm	50238/99.64	50/0.10	1/0.00	4/0.01	0/0.00
	20cm	12658/100.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	30cm	5602/100.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
無耕作農田	10cm	9/0.02	43332/87.81	8729/17.46	380/0.77	2586/5.11
	20cm	0/0.00	11668/94.57	568/4.56	15/0.12	280/2.21
	30cm	0/0.00	4840/88.27	622/11.12	0/0.00	117/2.10
建物	10cm	147/0.29	524/1.06	28838/57.68	1607/3.24	11438/22.59
	20cm	0/0.00	55/0.45	10146/81.37	661/5.37	68/0.54
	30cm	0/0.00	100/1.82	4760/85.12	0/0.00	125/2.24
水體	10cm	27/0.05	584/1.18	1551/3.10	46041/92.96	28/0.06
	20cm	0/0.00	0/0.00	1559/12.50	11540/93.78	327/2.58
	30cm	0/0.00	0/0.00	0/0.00	5488/100.00	0/0.00
道路	10cm	0/0.00	4855/9.84	10877/21.76	1494/3.02	50627/72.24
	20cm	0/0.00	615/4.98	196/1.57	90/0.73	11982/94.67
	30cm	0/0.00	543/9.90	210/3.76	0/0.00	5342/95.67
總計	10cm	50421/100.00	49345/100.00	49996/100.00	49526/100.00	50627/100.00
	20cm	12658/100.00	12338/100.00	12469/100.00	12306/100.00	12657/100.00
	30cm	5602/100.00	5483/100.00	5592/100.00	5488/100.00	5584/100.00
整體精度：82.0375%、92.8974%、93.8124%						
Kappa 係數：0.7755、0.9112、0.9227						

表 3-6 測試 A 最大概似法分類成果分析

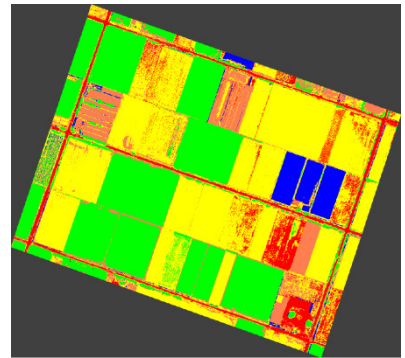
測試 A		總分類像元	總地真像元	誤授像元	誤授誤差 (誤授像元/總分類像元)	漏授像元	漏授誤差 (漏授像元/總地真像元)	生產者精度 (正確分類像元/總地真像元)	使用者精度 (正確分類像元/總分類像元)
農田	10cm	50293	50421	55	0.11%	183	0.36%	99.64%	99.89%
	20cm	12658	12658	0	0.00%	0	0.00%	100.00%	100.00%
	30cm	5602	5602	0	0.00%	0	0.00%	100.00%	100.00%
無耕作農田	10cm	55036	49345	11704	21.27%	6013	12.19%	87.81%	78.73%
	20cm	12531	12338	863	6.89%	670	5.43%	94.57%	93.11%
	30cm	5579	5483	739	13.25%	643	11.73%	88.27%	86.75%
建物	10cm	42554	49996	13716	32.23%	21158	42.32%	57.68%	67.77%
	20cm	10930	12469	784	7.17%	2323	18.63%	81.37%	92.83%
	30cm	4985	5592	225	4.51%	832	14.88%	85.12%	95.49%
水體	10cm	48231	49526	2190	4.54%	3485	7.04%	92.96%	95.46%
	20cm	13426	12306	1886	14.05%	766	6.22%	93.78%	85.95%
	30cm	5488	5488	0	0.00%	0	0.00%	100.00%	100.00%
道路	10cm	53801	50627	17226	32.02%	14052	27.76%	72.24%	67.98%
	20cm	12883	12657	901	6.99%	675	5.33%	94.67%	93.01%
	30cm	6095	5584	753	12.35%	242	4.33%	95.67%	87.65%



GSD 10 公分



GSD 20 公分



GSD 30 公分

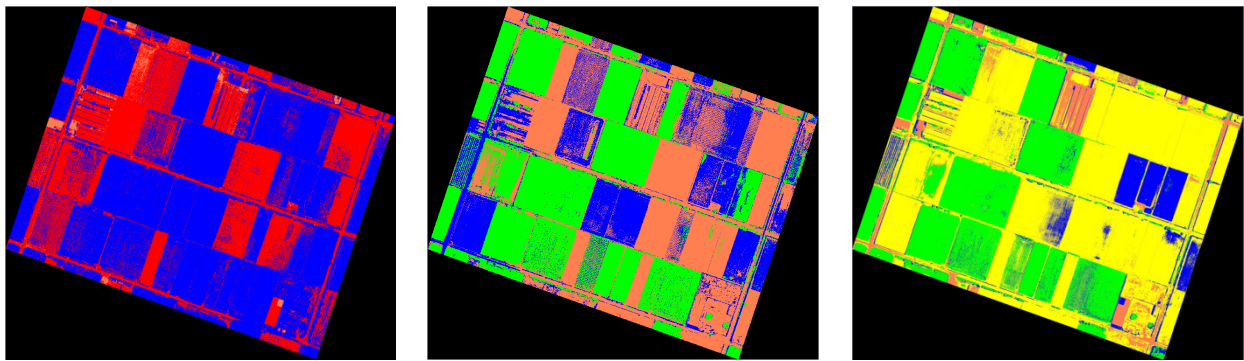
圖 3-76 測試 A 最大概似法分類成果

表 3-7 測試 A 類神經網路分類成果矩陣

測試 A		地真資料(像元數/百分比)				
類別		農田	無耕作農田	建物	水體	道路
農田	10cm	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	20cm	12165/96.11	771/6.25	0/0.00	5656/45.96	0/0.00
	30cm	5149/91.91	213/3.88	0/0.00	160/2.92	0/0.00
無耕作農田	10cm	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	20cm	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	30cm	100/1.79	5169/94.27	3130/55.97	4/0.07	2709/48.51
建物	10cm	0/0.00	174/0.35	6511/13.02	1/0.00	451/0.89
	20cm	257/2.03	6764/54.82	11013/88.32	1725/14.02	6263/49.48
	30cm	9/0.16	53/0.97	2462/44.03	0/0.00	2875/51.49
水體	10cm	49378/97.93	18371/37.23	7758/15.52	44522/89.90	1887/3.73
	20cm	236/1.86	4803/38.93	1456/11.68	4925/40.02	6394/50.52
	30cm	344/6.14	48/0.88	0/0.00	5324/97.01	0/0.00
道路	10cm	1043/2.07	30800/62.42	35727/71.46	5003/10.10	48289/95.38
	20cm	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	30cm	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
總計	10cm	50421/100.00	49345/100.00	49996/100.00	49526/100.00	50627/100.00
	20cm	12658/100.00	12338/100.00	12469/100.00	12306/100.00	12657/100.00
	30cm	5602/100.00	5483/100.00	5592/100.00	5488/100.00	5584/100.00
整體精度：39.7423%、45.0167%、65.2420%						
Kappa 係數：0.2464、0.3128、0.5659						

表 3-8 測試 A 類神經網路分類成果分析

測試 A		總分類像元	總地真像元	誤授像元	誤授誤差 (誤授像元/總分類像元)	漏授像元	漏授誤差 (漏授像元/總地真像元)	生產者精度 (正確分類像元/總地真像元)	使用者精度 (正確分類像元/總分類像元)
農田	10cm	0	50421	0	0.00%	50421	100.00%	0.00%	0.00%
	20cm	18592	12658	6427	34.57%	493	3.89%	96.11%	65.43%
	30cm	5522	5602	373	6.75%	453	8.09%	91.91%	93.25%
無耕作農田	10cm	0	49345	0	0.00%	49345	100.00%	0.00%	0.00%
	20cm	0	12338	0	0.00%	12338	100.00%	0.00%	0.00%
	30cm	11112	5483	5943	53.48%	314	5.73%	94.27%	46.52%
建物	10cm	7137	49996	626	8.77%	43485	86.98%	13.02%	91.23%
	20cm	26022	12469	15009	57.68%	1456	11.68%	88.32%	42.32%
	30cm	5399	5592	2937	54.40%	3130	55.97%	44.03%	45.60%
水體	10cm	121916	49526	77394	63.48%	5004	10.10%	89.90%	36.52%
	20cm	17814	12306	12889	72.35%	7381	59.98%	40.02%	27.65%
	30cm	5716	5488	392	6.86%	164	2.99%	97.01%	93.14%
道路	10cm	120862	50627	72573	60.05%	2338	4.62%	95.38%	39.95%
	20cm	0	12657	0	0.00%	12657	100.00%	0.00%	0.00%
	30cm	0	5584	0	0.00%	5584	100.00%	0.00%	0.00%



GSD 10 公分

GSD 20 公分

GSD 30 公分

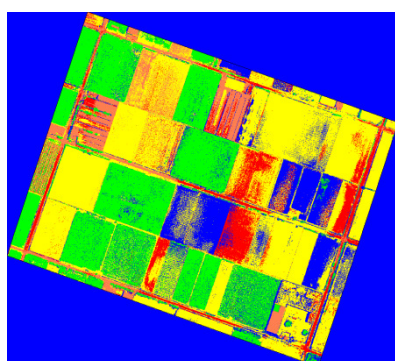
圖 3-77 測試 A 類神經網路分類成果

表 3-9 測試 A 支持向量機分類成果矩陣

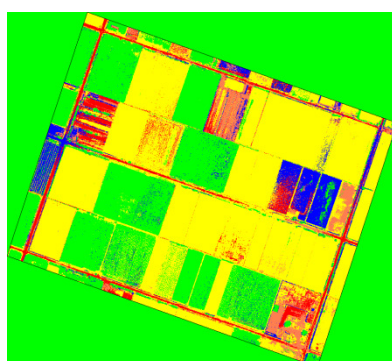
測試 A		地真資料(像元數/百分比)				
類別		農田	無耕作農田	建物	水體	道路
農田	10cm	43235/87.75	0/0.00	0/0.00	4223/8.53	0/0.00
	20cm	11697/92.41	1/0.01	0/0.00	2338/19.00	0/0.00
	30cm	5299/94.59	1/0.02	0/0.00	78/1.42	0/0.00
無耕作農田	10cm	1732/3.44	31035/62.89	7017/14.04	4116/8.31	7231/14.28
	20cm	610/4.82	12215/99.00	4099/32.87	340/2.76	1087/8.59
	30cm	52/0.93	5245/95.66	769/13.75	0/0.00	342/6.12
建物	10cm	20/0.04	1599/3.24	26783/53.57	1125/2.27	16739/33.06
	20cm	25/0.20	38/0.31	5565/44.63	839/6.82	560/4.42
	30cm	0/0.00	173/3.16	3934/70.35	0/0.00	289/5.18
水體	10cm	5291/10.49	9752/19.76	4803/9.61	35772/72.23	278/0.55
	20cm	312/2.46	0/0.00	7/0.06	6438/52.32	2318/18.31
	30cm	250/4.46	0/0.00	0/0.00	5410/98.58	3/0.05
道路	10cm	143/0.28	6959/14.10	11393/22.79	4290/8.66	26379/52.10
	20cm	14/0.11	84/0.68	2798/22.44	2351/19.10	8692/68.67
	30cm	1/0.02	64/1.17	889/15.90	0/0.00	4950/88.65
總計	10cm	50421/100.00	49345/100.00	49996/100.00	49526/100.00	50627/100.00
	20cm	12658/100.00	12338/100.00	12469/100.00	12306/100.00	12657/100.00
	30cm	5602/100.00	5483/100.00	5592/100.00	5488/100.00	5584/100.00
整體精度： 65.3038%、71.4535%、89.5095%						
Kappa 係數：0.5663、0.6431、0.8689						

表 3-10 測試 A 支持向量機分類成果分析

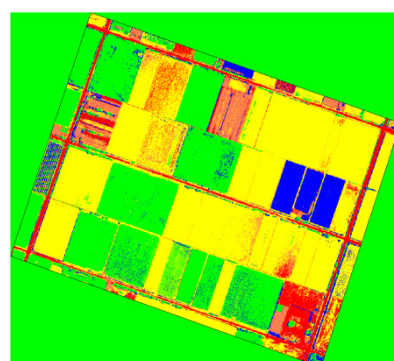
測試 A		總分類像元	總地真像元	誤授像元	誤授誤差 (誤授像元/總分類像元)	漏授像元	漏授誤差 (漏授像元/總地真像元)	生產者精度 (正確分類像元/總地真像元)	使用者精度 (正確分類像元/總分類像元)
農田	10cm	47458	50421	4223	8.90%	7186	14.25%	85.75%	91.10%
	20cm	14036	12658	2339	16.66%	961	7.59%	92.41%	83.34%
	30cm	5378	5602	79	1.47%	303	5.41%	94.59%	98.53%
無耕作農田	10cm	51131	49345	20096	39.30%	18310	37.11%	62.89%	60.70%
	20cm	18351	12338	6136	33.44%	123	1.00%	99.00%	66.56%
	30cm	6408	5483	1163	18.15%	238	4.34%	95.66%	81.85%
建物	10cm	46266	49996	19483	42.11%	23213	46.43%	53.57%	57.89%
	20cm	7027	12469	1462	20.81%	6904	55.37%	44.63%	79.19%
	30cm	4396	5592	462	10.51%	1658	29.65%	70.35%	89.49%
水體	10cm	55896	49526	20124	36.00%	13754	27.77%	72.23%	64.00%
	20cm	9075	12306	2637	29.06%	5868	47.68%	52.32%	70.94%
	30cm	5663	5488	253	4.47%	78	1.42%	98.58%	95.53%
道路	10cm	49164	50627	22785	46.34%	24248	47.90%	52.10%	53.66%
	20cm	13939	12657	5247	37.67%	3965	31.33%	68.67%	62.36%
	30cm	5904	5584	954	16.16%	634	11.35%	88.65%	83.84%



GSD 10 公分



GSD 20 公分



GSD 30 公分

圖 3-78 測試 A 支持向量機分類成果

以最大概似法、類神經網路及支持向量機分別針對地面解析度 10 公分、20 公分及 30 公分之測試 A 進行影像分類，而分類成果顯示，加入 NDVI 進行影像分類，有助於農田、無耕作農田及水體之判釋，而建物及道路之分類成果相對較差。然而 3 種分類方法中，以最大概似法之分類成果較佳，且分類成果顯示 30 公分解析度之分類精度最高，並改善 10 公分解析度在建物及道路分類成果較差之現象。

二、測試 B：R+G+B+NIR

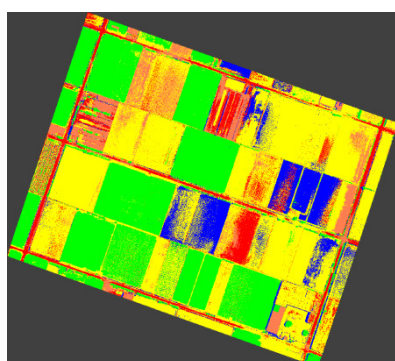
測試 B 將測試 A 中之 NDVI 替換為近紅外光 NIR，欲比較 NDVI 與 NIR 對於農田及無耕作農田之分類效果差異，故測試 B 採用彩色影像之紅色、綠色、藍色資訊及多光譜感測器之近紅外光資訊，透過 3 種不同的監督式分類方法針對 3 種影像解析度進行影像分類，分類成果如表 3-11 至表 3-16，及圖 3-79、圖 3-80 及圖 3-81 所示。

表 3-11 測試 B 最大概似法分類成果矩陣

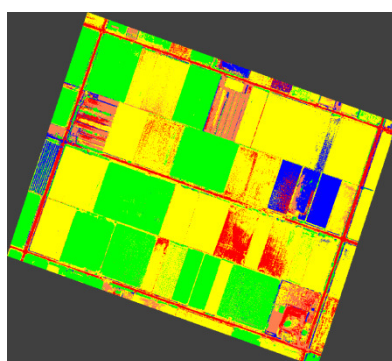
測試 B		地真資料(像元數/百分比)				
類別		農田	無耕作農田	建物	水體	道路
農田	10cm	48059/95.32	7/0.01	20/0.04	119/0.24	0/0.00
	20cm	12443/98.30	1/0.01	1506/12.08	114/0.93	0/0.00
	30cm	5599/99.95	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
無耕作農田	10cm	2148/4.26	34370/69.65	11371/22.74	2266/4.58	4577/9.04
	20cm	170/1.34	12033/97.53	2302/18.46	487/3.96	1159/9.16
	30cm	3/0.05	4903/89.42	1316/23.53	1/0.02	85/1.52
建物	10cm	40/0.08	3047/6.17	17614/35.23	278/0.56	7412/14.64
	20cm	27/0.21	8/0.06	7581/60.80	769/6.25	66/0.52
	30cm	0/0.00	277/5.05	3748/67.02	0/0.00	138/2.47
水體	10cm	11/0.02	5327/10.80	455/0.91	40866/82.51	0/0.00
	20cm	18/0.14	0/0.00	4/0.03	10320/83.86	285/2.25
	30cm	0/0.00	16/0.29	0/0.00	5487/99.98	0/0.00
道路	10cm	163/0.32	6594/13.36	20536/41.08	5997/12.11	38638/76.32
	20cm	0/0.00	296/2.40	1076/8.63	616/5.01	11147/88.07
	30cm	0/0.00	287/5.23	528/9.44	0/0.00	5361/96.01
總計	10cm	50421/100.00	49345/100.00	49996/100.00	49526/100.00	50627/100.00
	20cm	12658/100.00	12338/100.00	12469/100.00	12306/100.00	12657/100.00
	30cm	5602/100.00	5483/100.00	5592/100.00	5488/100.00	5584/100.00
整體精度：71.8432%、85.7372%、90.4465%						
Kappa 係數：0.6480、0.8217、0.8806						

表 3-12 測試 B 最大概似法分類成果分析

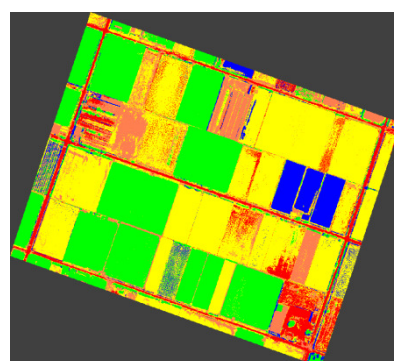
測試 B		總分類像元	總地真像元	誤授像元	誤授誤差 (誤授像元/總分類像元)	漏授像元	漏授誤差 (漏授像元/總地真像元)	生產者精度 (正確分類像元/總地真像元)	使用者精度 (正確分類像元/總分類像元)
農田	10cm	48205	50421	146	0.30%	2362	4.68%	95.32%	99.70%
	20cm	14064	12658	1621	11.53%	215	1.70%	98.30%	88.47%
	30cm	5599	5602	0	0.00%	3	0.05%	99.95%	100.00%
無耕作農田	10cm	54732	49345	20362	37.20%	14975	30.35%	69.65%	62.80%
	20cm	16151	12338	4118	25.50%	305	2.47%	97.53%	74.50%
	30cm	6308	5483	1405	22.27%	580	10.58%	89.42%	77.73%
建物	10cm	28391	49996	10777	37.96%	32382	64.77%	35.23%	62.04%
	20cm	8451	12469	870	10.29%	4888	39.20%	60.80%	89.71%
	30cm	4163	5592	415	9.97%	1844	32.98%	67.02%	90.03%
水體	10cm	46659	49526	5793	12.42%	8660	17.49%	82.51%	87.58%
	20cm	10627	12306	307	2.89%	1986	16.14%	83.86%	97.11%
	30cm	5503	5488	16	0.29%	1	0.02%	99.98%	99.71%
道路	10cm	71928	50627	33290	46.28%	11989	23.68%	76.32%	53.72%
	20cm	13135	12657	1988	15.14%	1510	11.93%	88.07%	84.86%
	30cm	6176	5584	815	13.20%	223	3.99%	96.01%	86.80%



GSD 10 公分



GSD 20 公分



GSD 30 公分

圖 3-79 測試 B 最大概似法分類成果

表 3-13 測試 B 類神經網路分類成果矩陣

測試 B		地真資料(像元數/百分比)				
類別		農田	無耕作農田	建物	水體	道路
農田	10cm	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	20cm	10787/85.22	0/0.00	0/0.00	2206/17.93	0/0.00
	30cm	5062/90.36	39/0.71	2/0.04	232/4.23	0/0.00
無耕作農田	10cm	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	20cm	0/0.00	0/0.00	0/0.00	2206/17.93	0/0.00
	30cm	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
建物	10cm	0/0.00	148/0.30	6486/12.97	0/0.00	437/0.86
	20cm	929/7.34	7801/63.23	11717/93.97	2383/19.36	6537/51.65
	30cm	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
水體	10cm	49374/97.92	18295/37.08	7758/15.52	44612/90.08	1887/3.73
	20cm	942/7.44	4537/36.77	752/6.03	7717/62.71	6120/48.35
	30cm	395/7.05	5/0.09	0/0.00	5256/95.77	0/0.00
道路	10cm	1047/2.08	30902/62.62	35752/71.51	4914/9.92	48303/95.41
	20cm	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	30cm	145/2.59	5439/99.20	5590/99.96	0/0.00	5584/100.00
總計	10cm	50421/100.00	49345/100.00	49996/100.00	49526/100.00	50627/100.00
	20cm	12658/100.00	12338/100.00	12469/100.00	12306/100.00	12657/100.00
	30cm	5602/100.00	5483/100.00	5592/100.00	5488/100.00	5584/100.00
整體精度：39.7739%、48.4094%、57.3066%						
Kappa 係數：0.2468、0.3555、0.4659						

表 3-14 測試 B 類神經網路分類成果分析

測試 B		總分類像元	總地真像元	誤授像元	誤授誤差 (誤授像元/總分類像元)	漏授像元	漏授誤差 (漏授像元/總地真像元)	生產者精度 (正確分類像元/總地真像元)	使用者精度 (正確分類像元/總分類像元)
農田	10cm	0	50421	0	0.00%	50421	100.00%	0.00%	0.00%
	20cm	12993	12658	2206	16.98%	1871	14.78%	85.22%	83.02%
	30cm	5335	5602	273	5.12%	540	9.64%	90.36%	94.88%
無耕作農田	10cm	0	49345	0	0.00%	49345	100.00%	0.00%	0.00%
	20cm	0	12338	0	0.00%	12338	100.00%	0.00%	0.00%
	30cm	0	5483	0	0.00%	5483	100.00%	0.00%	0.00%
建物	10cm	7071	49996	585	8.27%	43510	87.03%	12.97%	91.73%
	20cm	29367	12469	17650	60.10%	752	6.03%	93.97%	39.90%
	30cm	0	5592	0	0.00%	5592	100.00%	0.00%	0.00%
水體	10cm	121926	49526	77314	63.41%	4914	9.92%	90.08%	36.59%
	20cm	20068	12306	12351	61.55%	4589	37.29%	62.71%	38.45%
	30cm	5656	5488	400	7.07%	232	4.23%	95.77%	92.93%
道路	10cm	120918	50627	72615	60.05%	2324	4.59%	95.41%	39.95%
	20cm	0	12657	0	0.00%	12657	100.00%	0.00%	0.00%
	30cm	16758	5584	11174	66.68%	0	0.00%	100.00%	33.32%

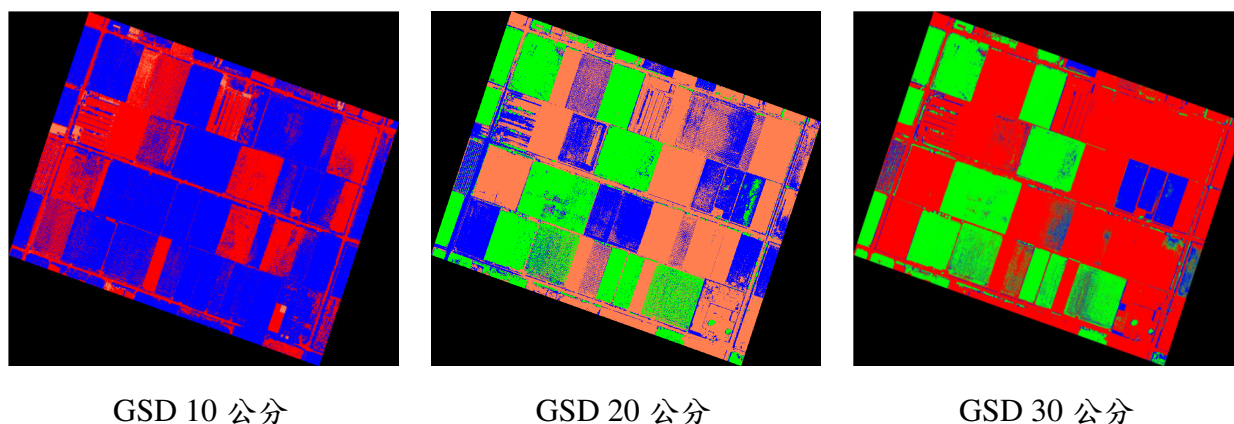


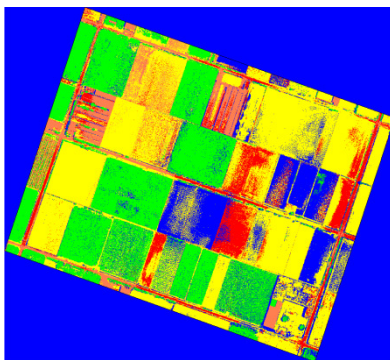
圖 3-80 測試 B 類神經網路分類成果

表 3-15 測試 B 支持向量機分類成果矩陣

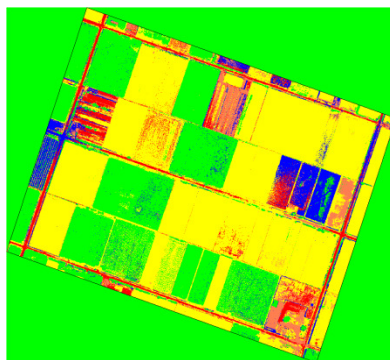
測試 B		地真資料(像元數/百分比)				
類別		農田	無耕作農田	建物	水體	道路
農田	10cm	43236/85.75	0/0.00	0/0.00	4226/8.53	0/0.00
	20cm	11697/92.41	1/0.01	0/0.00	2338/19.00	0/0.00
	30cm	5299/94.59	1/0.02	0/0.00	78/1.42	0/0.00
無耕作農田	10cm	1731/3.43	31035/62.89	7020/14.04	4113/8.30	7233/14.29
	20cm	610/4.82	12215/99.00	4099/32.87	340/2.76	1087/8.59
	30cm	52/0.93	5245/95.66	769/13.75	0/0.00	342/6.12
建物	10cm	20/0.04	1599/3.24	26786/53.58	1124/2.27	16761/33.11
	20cm	25/0.20	38/0.31	5565/44.63	839/6.82	560/4.42
	30cm	0/0.00	173/3.16	3934/70.35	0/0.00	289/5.18
水體	10cm	5291/10.49	9755/19.77	4803/19.77	35772/72.23	276/0.55
	20cm	312/2.46	0/0.00	7/0.06	6438/52.32	2318/18.31
	30cm	250/4.46	0/0.00	0/0.00	5410/95.58	3/0.05
道路	10cm	143/0.28	6956/14.10	11387/22.78	4291/8.66	26357/52.06
	20cm	14/0.11	84/0.68	2798/22.44	2351/19.10	8692/68.67
	30cm	1/0.02	64/1.17	889/15.90	0/0.00	4950/88.65
總計	10cm	50421/100.00	49345/100.00	49996/100.00	49526/100.00	50627/100.00
	20cm	12658/100.00	12338/100.00	12469/100.00	12306/100.00	12657/100.00
	30cm	5602/100.00	5483/100.00	5592/100.00	5488/100.00	5584/100.00
整體精度：65.2966%、71.4535%、89.5095%						
Kappa 係數：0.5663、0.6431、0.8689						

表 3-16 測試 B 支持向量機分類成果分析

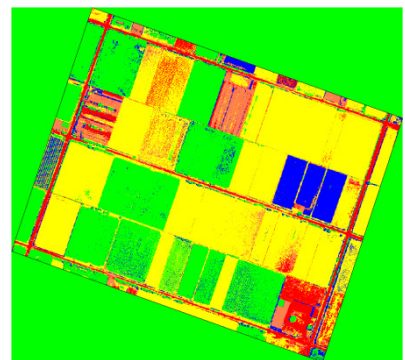
測試 B		總分類像元	總地真像元	誤授像元	誤授誤差 (誤授像元/總分類像元)	漏授像元	漏授誤差 (漏授像元/總地真像元)	生產者精度 (正確分類像元/總地真像元)	使用者精度 (正確分類像元/總分類像元)
農田	10cm	47462	50421	4226	8.90%	7185	14.25%	85.75%	91.10%
	20cm	14036	12658	2339	16.66%	961	7.59%	92.41%	83.34%
	30cm	5378	5602	79	1.47%	303	5.41%	94.59%	98.53%
無耕作農田	10cm	51132	49345	20097	39.30%	18310	37.11%	62.89%	60.70%
	20cm	18351	12338	6136	33.44%	123	1.00%	99.00%	66.56%
	30cm	6408	5483	1163	18.15%	238	4.34%	95.66%	81.85%
建物	10cm	46290	49996	19504	42.13%	23210	46.42%	53.58%	57.87%
	20cm	7027	12469	1462	20.81%	6904	55.37%	44.63%	79.19%
	30cm	4396	5592	462	10.51%	1658	29.65%	70.35%	89.49%
水體	10cm	55897	49526	20125	36.00%	13754	27.77%	72.23%	64.00%
	20cm	9075	12306	2637	29.06%	5868	47.68%	52.32%	70.94%
	30cm	5663	5488	253	4.47%	78	1.42%	98.58%	95.53%
道路	10cm	49134	50627	22777	46.36%	24270	47.94%	52.06%	53.64%
	20cm	13939	12657	5247	37.64%	3965	31.33%	68.67%	62.36%
	30cm	5904	5584	954	16.16%	634	11.35%	88.65%	83.84%



GSD 10 公分



GSD 20 公分



GSD 30 公分

圖 3-81 測試 B 支持向量機分類成果

測試 B 之分類成果，以最大概似法之分類成果最佳，而支持向量機亦於地面解析度 30 公分之分類精度達 89.5095%，分類結果亦顯示 30 公分解析度之影像分類精度最佳。然而加入近紅外光資訊進行影像分類，亦有助於農田、無耕作農田及水體之判釋，但相較於測試 A 之分類成果，NDVI 對於農田、無耕作農田及水體之判釋更佳。此外，支持向量機對於測試 A 及測試 B 之分類成果幾乎無異，顯示近紅外光與 NDVI 對於支持向量機之分類效果無明顯差異。

三、測試 C：R+G+B+紅邊光+NDVI

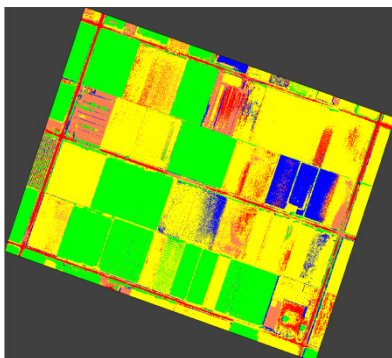
本測試作業採用之多光譜感測器 Sequoia，相較於其他多光譜感測器，增加紅邊光資訊，紅邊光亦對於植被有較強烈反應，故測試 C 加入紅邊光資訊，確認紅邊光對於農田及無耕作農田之分類效果，分類成果如表 3-17 至表 3-22，及圖 3-82、圖 3-83 及圖 3-84 所示。

表 3-17 測試 C 最大概似法分類成果矩陣

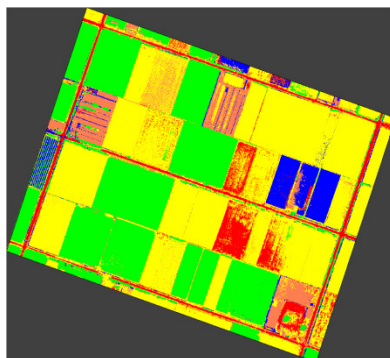
測試 C		地真資料(像元數/百分比)				
類別		農田	無耕作農田	建物	水體	道路
農田	10cm	50194/99.55	42/0.09	1/0.00	1/0.00	0/0.00
	20cm	12658/100.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	30cm	5602/100.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
無耕作農田	10cm	22/0.04	44908/91.01	10461/20.92	408/0.82	2462/4.86
	20cm	0/0.00	11278/91.41	1135/9.10	71/0.58	250/1.98
	30cm	0/0.00	4826/88.02	670/11.98	0/0.00	92/1.65
建物	10cm	150/0.30	1556/3.15	28237/56.48	1544/3.12	8420/16.63
	20cm	0/0.00	250/2.03	11253/90.25	808/6.57	43/0.34
	30cm	0/0.00	118/2.15	4882/87.30	0/0.00	125/2.24
水體	10cm	55/0.11	1249/2.53	1157/2.31	46625/94.14	36/0.07
	20cm	0/0.00	0/0.00	7/0.06	11370/92.39	291/2.30
	30cm	0/0.00	0/0.00	0/0.00	5488/100.00	4/0.07
道路	10cm	0/0.00	1590/3.22	10140/20.28	948/1.91	39709/78.43
	20cm	0/0.00	810/6.57	74/0.59	57/0.46	12073/95.39
	30cm	0/0.00	539/9.83	40/0.72	0/0.00	5363/96.04
總計	10cm	50421/100.00	49345/100.00	49996/100.00	49526/100.00	50627/100.00
	20cm	12658/100.00	12338/100.00	12469/100.00	12306/100.00	12657/100.00
	30cm	5602/100.00	5483/100.00	5592/100.00	5488/100.00	5584/100.00
整體精度：83.8977%、93.9194%、94.2773%						
Kappa 係數：0.7987、0.9240、0.9285						

表 3-18 測試 C 最大概似法分類成果分析

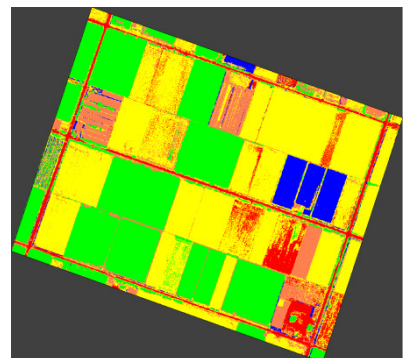
測試 C		總分類像元	總地真像元	誤授像元	誤授誤差 (誤授像元/總分類像元)	漏授像元	漏授誤差 (漏授像元/總地真像元)	生產者精度 (正確分類像元/總地真像元)	使用者精度 (正確分類像元/總分類像元)
農田	10cm	50238	50421	44	0.09%	227	0.45%	99.55%	99.91%
	20cm	12658	12658	0	0.00%	0	0.00%	100.00%	100.00%
	30cm	5602	5602	0	0.00%	0	0.00%	100.00%	100.00%
無耕作農田	10cm	58261	49345	13353	22.92%	4437	8.99%	91.01%	77.08%
	20cm	12734	12338	1456	11.43%	1060	8.59%	91.41%	88.57%
	30cm	5588	5483	762	13.64%	657	11.98%	88.02%	86.36%
建物	10cm	39907	49996	11670	29.24%	21759	43.52%	56.48%	70.76%
	20cm	12354	12469	1101	8.91%	1216	9.75%	90.25%	91.09%
	30cm	5125	5592	243	4.74%	710	12.70%	87.30%	95.26%
水體	10cm	49122	49526	2497	5.08%	2901	5.86%	94.14%	94.92%
	20cm	11668	12306	298	2.55%	936	7.61%	92.39%	97.45%
	30cm	5492	5488	4	0.07%	0	0.00%	100.00%	99.93%
道路	10cm	52387	50627	12678	24.20%	10918	21.57%	78.43%	75.80%
	20cm	13014	12657	941	7.23%	584	4.61%	95.39%	92.77%
	30cm	5942	5584	579	9.74%	221	3.96%	96.04%	90.26%



GSD 10 公分



GSD 20 公分



GSD 30 公分

圖 3-82 測試 C 最大概似法分類成果

表 3-19 測試 C 類神經網路分類成果矩陣

測試 C		地真資料(像元數/百分比)				
類別		農田	無耕作農田	建物	水體	道路
農田	10cm	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	20cm	11382/89.92	0/0.00	0/0.00	4193/34.07	0/0.00
	30cm	4246/75.79	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
無耕作農田	10cm	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	20cm	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	30cm	221/3.95	4909/89.53	755/13.50	1/0.02	27/0.48
建物	10cm	0/0.00	112/0.23	6413/12.83	0/0.00	415/0.82
	20cm	1276/10.08	12338/100.00	12469/100.00	8113/65.93	12657/100.00
	30cm	0/0.00	5/0.09	1932/34.55	0/0.00	70/1.25
水體	10cm	48746/96.68	19191/38.89	8139/16.28	45062/90.99	2526/4.99
	20cm	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	30cm	1016/18.14	0/0.00	0/0.00	5487/99.98	4/0.07
道路	10cm	1675/3.32	30042/60.88	35444/70.89	4464/9.01	47686/94.19
	20cm	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	30cm	119/2.12	569/10.38	2905/51.95	0/0.00	5483/98.19
總計	10cm	50421/100.00	49345/100.00	49996/100.00	49526/100.00	50627/100.00
	20cm	12658/100.00	12338/100.00	12469/100.00	12306/100.00	12657/100.00
	30cm	5602/100.00	5483/100.00	5592/100.00	5488/100.00	5584/100.00
整體精度：39.6779%、38.2056%、79.4875%						
Kappa 係數：0.2457、0.2271、0.7437						

表 3-20 測試 C 類神經網路分類成果分析

測試 C		總分類像元	總地真像元	誤授像元	誤授誤差 (誤授像元/總分類像元)	漏授像元	漏授誤差 (漏授像元/總地真像元)	生產者精度 (正確分類像元/總地真像元)	使用者精度 (正確分類像元/總分類像元)
農田	10cm	0	50421	0	0.00%	50421	100.00%	0.00%	0.00%
	20cm	15575	12658	4193	26.92%	1276	10.08%	89.92%	73.08%
	30cm	4246	5602	0	0.00%	1356	24.21%	75.79%	100.00%
無耕作農田	10cm	0	49345	0	0.00%	49345	100.00%	0.00%	0.00%
	20cm	0	12338	0	0.00%	12338	100.00%	0.00%	0.00%
	30cm	5913	5483	1004	16.98%	574	10.47%	89.53%	83.02%
建物	10cm	6940	49996	527	7.59%	43583	87.17%	12.83%	92.41%
	20cm	46853	12469	34384	73.39%	0	0.00%	100.00%	26.61%
	30cm	2007	5592	75	3.74%	3660	65.45%	34.55%	96.26%
水體	10cm	123664	49526	78602	63.56%	4464	9.01%	90.99%	36.44%
	20cm	0	12306	0	0.00%	12306	100.00%	0.00%	0.00%
	30cm	6507	5488	1020	15.68%	1	0.02%	99.98%	84.32%
道路	10cm	119311	50627	71625	60.03%	2941	5.81%	94.19%	39.97%
	20cm	0	12657	0	0.00%	12657	100.00%	0.00%	0.00%
	30cm	9076	5584	3593	39.59%	101	1.81%	98.19%	60.41%

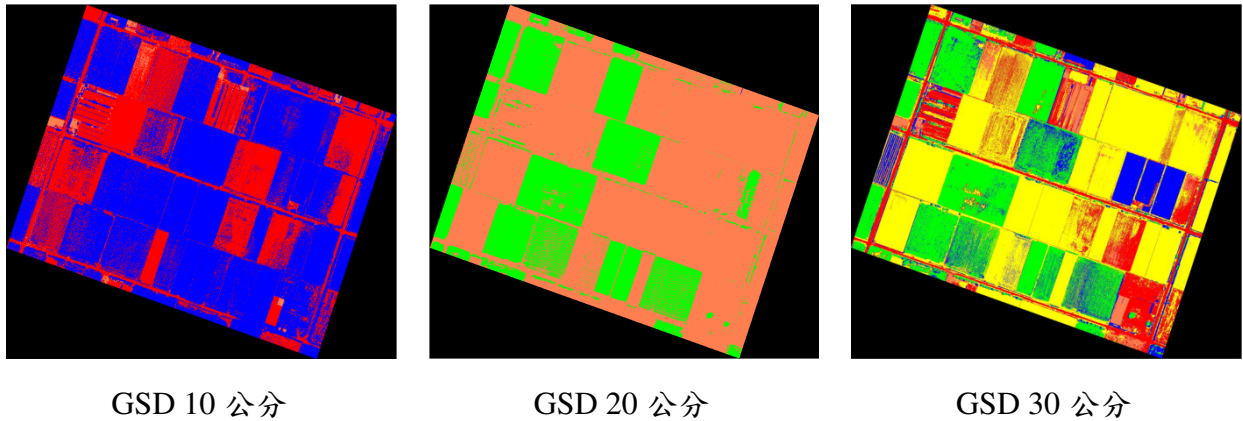


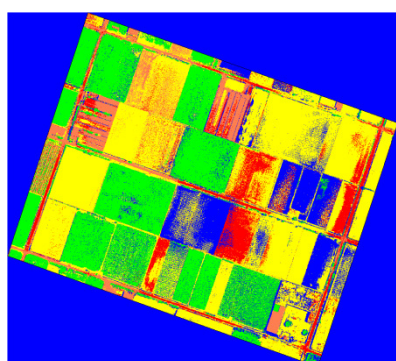
圖 3-83 測試 C 類神經網路分類成果

表 3-21 測試 C 支持向量機分類成果矩陣

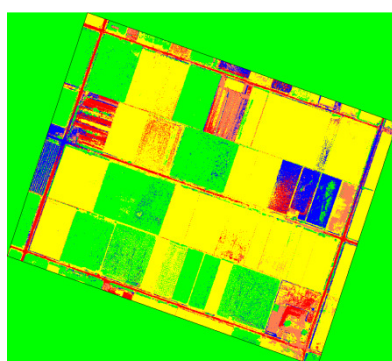
測試 C		地真資料(像元數/百分比)				
類別		農田	無耕作農田	建物	水體	道路
農田	10cm	43239/85.76	0/0.00	0/0.00	4226/8.53	0/0.00
	20cm	11701/92.44	1/0.01	0/0.00	2637/21.43	0/0.00
	30cm	5293/94.48	1/0.02	0/0.00	77/1.40	0/0.00
無耕作農田	10cm	1730/3.43	31025/62.87	7018/14.04	4113/8.30	7233/14.29
	20cm	609/4.81	12217/99.02	4105/32.92	338/2.75	1093/8.64
	30cm	55/0.98	5250/95.75	772/13.81	0/0.00	353/6.32
建物	10cm	20/0.04	1604/3.25	26785/53.57	1124/2.27	16766/33.12
	20cm	22/0.17	28/0.23	5315/42.63	816/6.63	476/3.76
	30cm	0/0.00	158/2.88	3731/66.72	0/0.00	255/4.57
水體	10cm	5289/10.49	9752/19.76	4799/9.60	35769/72.22	276/0.55
	20cm	309/2.44	0/0.00	8/0.06	6127/49.79	2325/18.37
	30cm	253/4.52	0/0.00	0/0.00	5411/98.60	2/0.04
道路	10cm	143/0.28	6964/14.11	11394/22.79	4294/8.67	26352/52.05
	20cm	17/0.13	92/0.75	3041/24.39	2388/19.41	8763/69.23
	30cm	1/0.02	74/1.35	1089/19.47	0/0.00	4974/89.08
總計	10cm	50421/100.00	49345/100.00	49996/100.00	49526/100.00	50627/100.00
	20cm	12658/100.00	12338/100.00	12469/100.00	12306/100.00	12657/100.00
	30cm	5602/100.00	5483/100.00	5592/100.00	5488/100.00	5584/100.00
整體精度：65.2902%、70.6782%、88.8645%						
Kappa 係數：0.5662、0.6334、0.8608						

表 3-22 測試 C 支持向量機分類成果分析

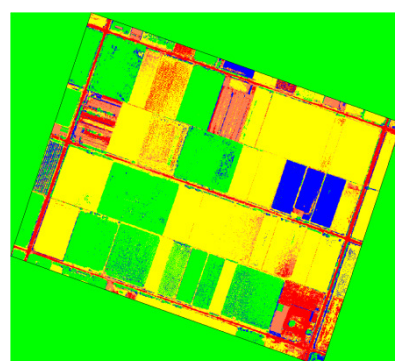
測試 C		總分類像元	總地真像元	誤授像元	誤授誤差 (誤授像元/總分類像元)	漏授像元	漏授誤差 (漏授像元/總地真像元)	生產者精度 (正確分類像元/總地真像元)	使用者精度 (正確分類像元/總分類像元)
農田	10cm	47465	50421	4226	8.90%	7182	14.24%	85.76%	91.10%
	20cm	14339	12658	2638	18.40%	957	7.56%	92.44%	81.60%
	30cm	5371	5602	78	1.45%	309	5.52%	94.48%	98.55%
無耕作農田	10cm	51119	49345	20094	39.31%	18320	37.13%	62.87%	60.69%
	20cm	18362	12338	6145	33.47%	121	0.98%	99.02%	66.53%
	30cm	6430	5483	1180	18.35%	233	4.25%	95.75%	81.65%
建物	10cm	46299	49996	19514	42.15%	23211	46.43%	53.57%	57.85%
	20cm	6657	12469	1342	20.16%	7154	57.37%	42.63%	79.84%
	30cm	4144	5592	413	9.97%	1861	33.28%	66.72%	90.03%
水體	10cm	55885	49526	20116	36.00%	13757	27.78%	72.22%	64.00%
	20cm	8769	12306	2642	30.13%	6179	50.21%	49.79%	69.87%
	30cm	5666	5488	255	4.50%	77	1.40%	98.60%	95.50%
道路	10cm	49147	50627	22795	46.38%	24275	47.95%	52.05%	53.62%
	20cm	14301	12657	5538	38.72%	3894	30.77%	69.23%	61.28%
	30cm	6138	5584	1164	18.96%	610	10.92%	89.08%	81.04%



GSD 10 公分



GSD 20 公分



GSD 30 公分

圖 3-84 測試 C 支持向量機分類成果

根據測試 C 之分類成果顯示，紅邊光資訊亦有助於農田、無耕作農田及水體之判釋，最大概似法與類神經網路在加入紅邊光資訊之後，分類精度皆有些微提升，類神經網路在地面解析度 30 公分之分類精度達 79.4875%，然而支持向量機在加入紅邊光資訊之後，分類精度反而降低，顯示紅邊光對於支持向量機進行影像分類無明顯助益。

四、測試 D：R+G+B+nDSM +NDVI

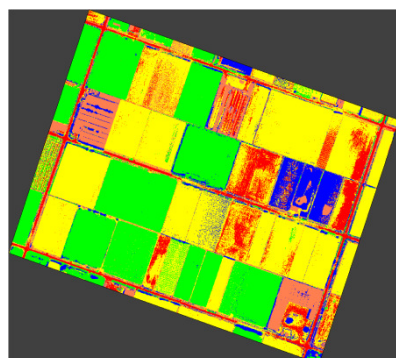
根據測試 A、測試 B 及測試 C 之影像分類成果，可以看出 NDVI、近紅外光及紅邊光對於農田、無耕作農田及水體皆有良好分類效果，其中以 NDVI 之分類效果最為顯著，但對於建物及道路之分類成果卻不甚理想，故測試 D 加入 nDSM 提供地物高度資訊，以期提升建物及道路之分類正確比例。測試 D 之分類成果如表 3-23 至表 3-28，及圖 3-85、圖 3-86 及圖 3-87 所示。

表 3-23 測試 D 最大概似法分類成果矩陣

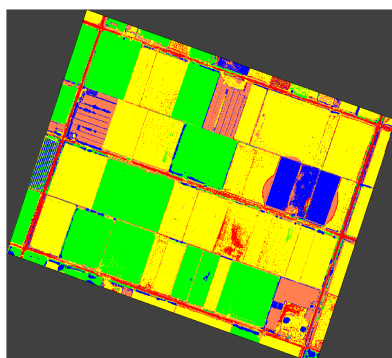
測試 D		地真資料(像元數/百分比)				
類別		農田	無耕作農田	建物	水體	道路
農田	10cm	50304/99.77	47/0.10	1/0.00	0/0.00	0/0.00
	20cm	12658/100.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	30cm	5602/100.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
無耕作農田	10cm	71/0.14	44917/91.03	5294/10.59	2857/5.77	4711/9.31
	20cm	0/0.00	12243/99.23	0/0.00	60/0.49	945/7.47
	30cm	0/0.00	5387/98.25	0/0.00	1/0.02	522/9.35
建物	10cm	29/0.06	128/0.26	32445/64.90	582/1.18	3092/6.11
	20cm	0/0.00	17/0.14	10830/86.86	217/1.76	106/0.84
	30cm	0/0.00	9/0.16	5583/99.84	0/0.00	23/0.41
水體	10cm	17/0.03	97/0.20	3181/6.36	44474/89.80	30/0.06
	20cm	0/0.00	0/0.00	1639/13.14	11939/97.02	452/3.57
	30cm	0/0.00	0/0.00	9/0.16	5487/99.98	6/0.11
道路	10cm	0/0.00	4156/8.42	9075/18.15	1613/3.26	42794/84.53
	20cm	0/0.00	78/0.63	0/0.00	90/0.73	11154/88.13
	30cm	0/0.00	87/1.59	0/0.00	0/0.00	5033/90.13
總計	10cm	50421/100.00	49345/100.00	49996/100.00	49526/100.00	50627/100.00
	20cm	12658/100.00	12338/100.00	12469/100.00	12306/100.00	12657/100.00
	30cm	5602/100.00	5483/100.00	5592/100.00	5488/100.00	5584/100.00
整體精度：86.0028%、94.2269%、97.6323%						
Kappa 係數：0.8250、0.9278、0.9704						

表 3-24 測試 D 最大概似法分類成果分析

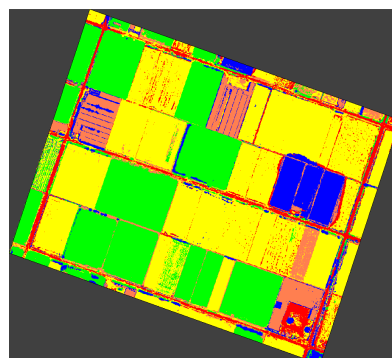
測試 D		總分類像元	總地真像元	誤授像元	誤授誤差 (誤授像元/總分類像元)	漏授像元	漏授誤差 (漏授像元/總地真像元)	生產者精度 (正確分類像元/總地真像元)	使用者精度 (正確分類像元/總分類像元)
農田	10cm	50352	50421	48	0.10%	117	0.23%	99.77%	99.90%
	20cm	12658	12658	0	0.00%	0	0.00%	100.00%	100.00%
	30cm	5602	5602	0	0.00%	0	0.00%	100.00%	100.00%
無耕作農田	10cm	57850	49345	12933	22.36%	4428	8.97%	91.03%	77.64%
	20cm	13248	12338	1005	7.59%	95	0.77%	99.23%	92.41%
	30cm	5910	5483	523	8.85%	96	1.75%	98.25%	91.15%
建物	10cm	36276	49996	3831	10.56%	17551	35.10%	64.90%	89.44%
	20cm	11170	12469	340	3.04%	1639	13.14%	86.86%	96.96%
	30cm	5615	5592	32	0.57%	9	0.16%	99.84%	99.43%
水體	10cm	47799	49526	3325	6.96%	5052	10.20%	89.80%	93.04%
	20cm	14030	12306	2091	14.90%	367	2.98%	97.02%	85.10%
	30cm	5502	5488	15	0.27%	1	0.02%	99.98%	99.73%
道路	10cm	57638	50627	14844	25.75%	7833	15.47%	84.53%	74.25%
	20cm	11322	12657	168	1.48%	1503	11.87%	88.13%	98.52%
	30cm	5120	5584	87	1.70%	551	9.87%	90.13%	98.30%



GSD 10 公分



GSD 20 公分



GSD 30 公分

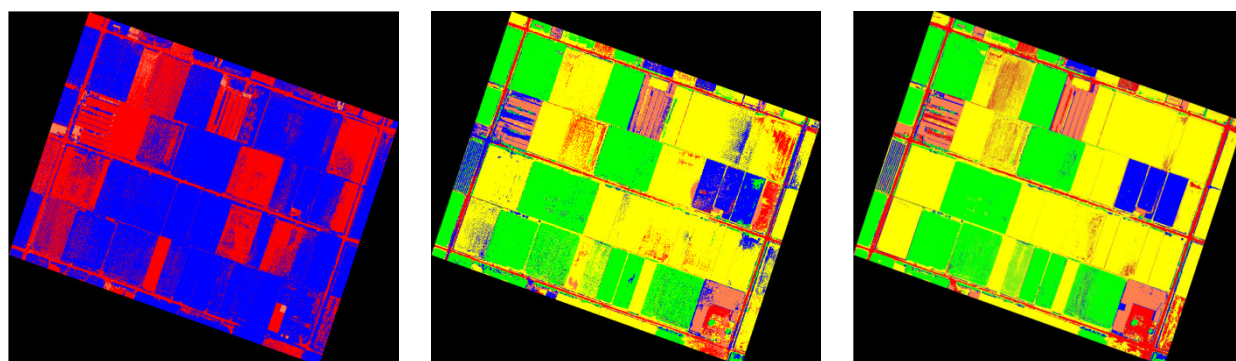
圖 3-85 測試 D 最大概似法分類成果

表 3-25 測試 D 類神經網路分類成果矩陣

測試 D		地真資料(像元數/百分比)				
類別		農田	無耕作農田	建物	水體	道路
農田	10cm	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	20cm	11918/94.15	1/0.01	0/0.00	403/3.27	0/0.00
	30cm	5327/95.09	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
無耕作農田	10cm	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	20cm	477/3.77	12087/97.97	167/1.34	125/1.02	1082/8.55
	30cm	138/2.46	5323/97.08	180/3.22	3/0.05	558/9.99
建物	10cm	0/0.00	74/0.15	6344/12.69	0/0.00	381/0.75
	20cm	3/0.02	3/0.02	11721/94.00	1641/13.33	153/1.21
	30cm	1/0.02	0/0.00	5201/93.01	0/0.00	41/0.73
水體	10cm	48709/96.60	19191/38.89	8191/16.38	45039/90.94	2526/4.99
	20cm	218/1.72	74/0.60	581/4.66	9831/79.89	4218/33.33
	30cm	134/2.39	0/0.00	88/1.57	5485/99.95	48/0.86
道路	10cm	1712/3.40	30080/60.96	35461/70.93	4487/9.06	47720/94.26
	20cm	42/0.33	173/1.40	0/0.00	306/2.49	7204/56.92
	30cm	2/0.04	160/2.92	123/2.20	0/0.00	4937/88.41
總計	10cm	50421/100.00	49345/100.00	49996/100.00	49526/100.00	50627/100.00
	20cm	12658/100.00	12338/100.00	12469/100.00	12306/100.00	12657/100.00
	30cm	5602/100.00	5483/100.00	5592/100.00	5488/100.00	5584/100.00
整體精度：39.6547%、84.5150%、94.6809%						
Kappa 係數：0.2454、0.8065、0.9335						

表 3-26 測試 D 類神經網路分類成果分析

測試 D		總分類像元	總地真像元	誤授像元	誤授誤差 (誤授像元/總分類像元)	漏授像元	漏授誤差 (漏授像元/總地真像元)	生產者精度 (正確分類像元/總地真像元)	使用者精度 (正確分類像元/總分類像元)
農田	10cm	0	50421	0	0.00%	50421	100.00%	0.00%	0.00%
	20cm	12322	12658	404	3.28%	740	5.85%	94.15%	96.72%
	30cm	5327	5602	0	0.00%	275	4.91%	95.09%	100.00%
無耕作農田	10cm	0	49345	0	0.00%	49345	100.00%	0.00%	0.00%
	20cm	13938	12338	1851	13.28%	251	2.03%	97.97%	86.72%
	30cm	6202	5483	879	14.17%	160	2.92%	97.08%	85.83%
建物	10cm	6799	49996	455	6.69%	43652	87.31%	12.69%	93.31%
	20cm	13521	12469	1800	13.31%	748	6.00%	94.00%	86.69%
	30cm	5243	5592	42	0.80%	391	6.99%	93.01%	99.20%
水體	10cm	123656	49526	78617	63.58%	4487	9.06%	90.94%	36.42%
	20cm	14922	12306	5091	34.12%	2475	20.11%	79.89%	65.88%
	30cm	5755	5488	270	4.69%	3	0.05%	99.95%	95.31%
道路	10cm	119460	50627	71740	60.05%	2907	5.74%	94.26%	39.95%
	20cm	7725	12657	521	6.74%	5453	43.08%	56.92%	93.26%
	30cm	5222	5584	285	5.46%	647	11.59%	88.41%	94.54%



GSD 10 公分

GSD 20 公分

GSD 30 公分

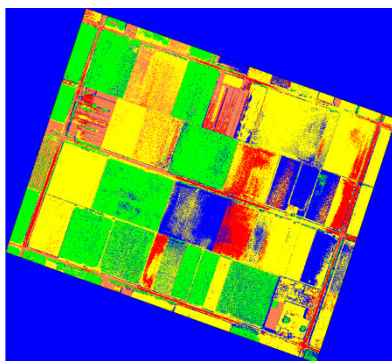
圖 3-86 測試 D 類神經網路分類成果

表 3-27 測試 D 支持向量機分類成果矩陣

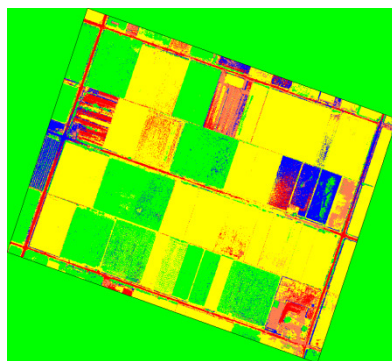
測試 D		地真資料(像元數/百分比)				
類別		農田	無耕作農田	建物	水體	道路
農田	10cm	43239/85.76	0/0.00	0/0.00	4226/8.53	0/0.00
	20cm	11701/92.44	1/0.01	0/0.00	2637/21.43	0/0.00
	30cm	5293/94.48	1/0.02	0/0.00	77/1.40	0/0.00
無耕作農田	10cm	1730/3.43	31025/62.87	7018/14.04	4113/8.30	7233/14.29
	20cm	609/4.81	12217/99.02	4105/32.92	338/2.75	1093/8.64
	30cm	55/0.98	5250/95.75	772/13.81	0/0.00	353/6.32
建物	10cm	20/3.43	1604/62.87	26785/53.57	1124/2.27	16766/33.12
	20cm	22/0.17	28/0.23	5315/42.63	816/6.63	476/3.76
	30cm	0/0.00	158/2.88	3731/66.72	0/0.00	255/4.57
水體	10cm	5289/10.49	9752/19.76	4799/9.60	35769/72.22	276/0.55
	20cm	309/2.44	0/0.00	8/0.06	6127/49.79	2325/18.37
	30cm	253/4.52	0/0.00	0/0.00	5411/98.60	2/0.04
道路	10cm	143/0.28	6964/14.11	11394/22.79	4294/8.67	26352/52.05
	20cm	17/0.13	92/0.75	3041/24.39	2388/19.41	8763/69.23
	30cm	1/0.02	74/1.35	1089/19.47	0/0.00	4974/89.08
總計	10cm	50421/100.00	49345/100.00	49996/100.00	49526/100.00	50627/100.00
	20cm	12658/100.00	12338/100.00	12469/100.00	12306/100.00	12657/100.00
	30cm	5602/100.00	5483/100.00	5592/100.00	5488/100.00	5584/100.00
整體精度：65.2902%、70.6782%、88.8645%						
Kappa 係數：0.5662、0.6334、0.8608						

表 3-28 測試 D 支持向量機分類成果分析

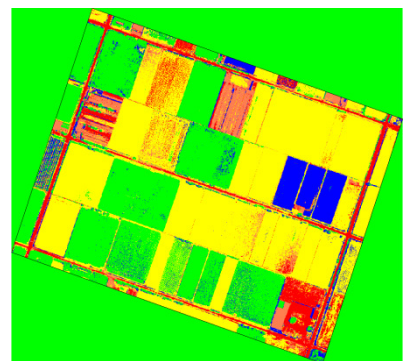
測試 D		總分類像元	總地真像元	誤授像元	誤授誤差 (誤授像元/總分類像元)	漏授像元	漏授誤差 (漏授像元/總地真像元)	生產者精度 (正確分類像元/總地真像元)	使用者精度 (正確分類像元/總分類像元)
農田	10cm	47465	50421	4226	8.90%	7182	14.24%	85.76%	91.10%
	20cm	14339	12658	2638	18.40%	957	7.56%	92.44%	81.60%
	30cm	5371	5602	78	1.45%	309	5.52%	94.48%	98.55%
無耕作農田	10cm	51119	49345	20094	39.31%	18320	37.13%	62.87%	60.69%
	20cm	18362	12338	6145	33.47%	121	0.98%	99.02%	66.53%
	30cm	6430	5483	1180	18.35%	233	4.25%	95.75%	81.65%
建物	10cm	46299	49996	19514	42.15%	23211	46.43%	53.57%	57.85%
	20cm	6657	12469	1342	20.16%	7154	57.37%	42.63%	79.84%
	30cm	4144	5592	413	9.97%	1861	33.28%	66.72%	90.03%
水體	10cm	55885	49526	20116	36.00%	13757	27.78%	72.22%	64.00%
	20cm	8769	12306	2642	30.13%	6179	50.21%	49.79%	69.87%
	30cm	5666	5488	255	4.50%	77	1.40%	98.60%	95.50%
道路	10cm	49147	50627	22795	46.38%	24275	47.95%	52.05%	53.62%
	20cm	14301	12657	5537	38.72%	3894	30.77%	69.23%	61.28%
	30cm	6138	5584	1164	18.96%	610	10.92%	89.08%	81.04%



GSD 10 公分



GSD 20 公分



GSD 30 公分

圖 3-87 測試 D 支持向量機分類成果

根據測試 D 之分類成果顯示，利用 nDSM 提供地物高度資訊有助於建物及道路分類，尤其是透過類神經網路以地面解析度 20 公分及 30 公分進行測試 D 之影像分類，其分類精度分別達 84.5150%及 94.6809%，相較於其他測試案例改善許多。然而對於支持向量機之分類成果而言，加入 nDSM 對分類精度沒有影響，測試 D 及測試 C 之分類成果無異。

五、測試 E：R+G+B+nDSM +NDVI+NDWI

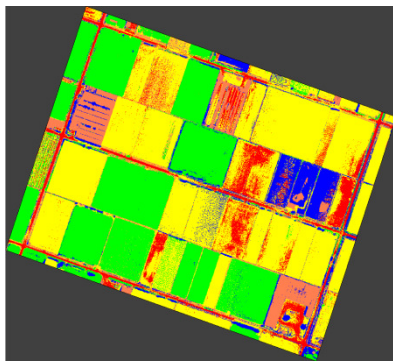
正規化水指數(Normalized Difference Water Index, NDWI)可顯示作業區域之水含量，NDWI 數值介於-1 及 1 之間，當 NDWI 數值接近 1，則表示該作業範圍之水含量較高，故測試 E 加入 NDWI 指數，以期提升水體之分類正確率。測試 E 之分類成果如表 3-29 至表 3-34，與圖 3-88、圖 3-89 及圖 3-90 所示。

表 3-29 測試 E 最大概似法分類成果矩陣

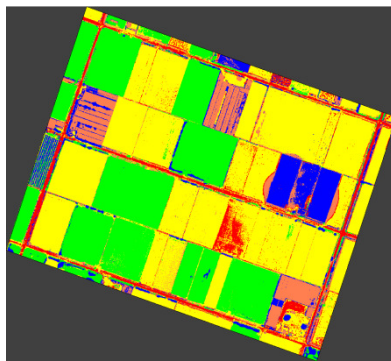
測試 E		地真資料(像元數/百分比)				
類別		農田	無耕作農田	建物	水體	道路
農田	10cm	50164/99.49	24/0.05	1/0.00	0/0.00	0/0.00
	20cm	12658/100.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	30cm	5602/100.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
無耕作農田	10cm	121/0.24	45167/91.53	5281/10.56	2721/5.49	7933/15.67
	20cm	0/0.00	12092/98.01	0/0.00	72/0.59	945/7.47
	30cm	0/0.00	5388/98.27	0/0.00	2/0.04	382/6.84
建物	10cm	81/0.16	109/0.22	32769/65.54	288/0.58	2937/5.80
	20cm	0/0.00	18/0.15	10869/87.17	143/1.16	115/0.91
	30cm	0/0.00	3/0.05	5584/99.86	0/0.00	21/0.38
水體	10cm	55/0.11	117/0.24	2804/5.61	44462/89.78	34/0.07
	20cm	0/0.00	0/0.00	1600/12.83	12006/97.56	389/3.07
	30cm	0/0.00	0/0.00	8/0.14	5486/99.96	5/0.09
道路	10cm	0/0.00	3928/7.96	9141/18.28	2055/4.15	39723/78.46
	20cm	0/0.00	228/1.85	0/0.00	85/0.69	11208/88.55
	30cm	0/0.00	92/1.68	0/0.00	0/0.00	5176/92.69
總計	10cm	50421/100.00	49345/100.00	49996/100.00	49526/100.00	50627/100.00
	20cm	12658/100.00	12338/100.00	12469/100.00	12306/100.00	12657/100.00
	30cm	5602/100.00	5483/100.00	5592/100.00	5488/100.00	5584/100.00
整體精度：84.9429%、94.2414%、98.1513%						
Kappa 係數：0.8118、0.9280、0.9769						

表 3-30 測試 E 最大概似法分類成果分析

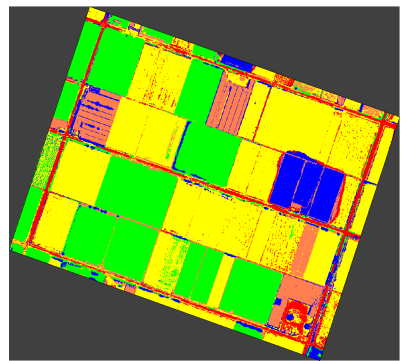
測試 E		總分類像元	總地真像元	誤授像元	誤授誤差 (誤授像元/總分類像元)	漏授像元	漏授誤差 (漏授像元/總地真像元)	生產者精度 (正確分類像元/總地真像元)	使用者精度 (正確分類像元/總分類像元)
農田	10cm	50189	50421	25	0.05%	257	0.51%	99.49%	99.95%
	20cm	12658	12658	0	0.00%	0	0.00%	100.00%	100.00%
	30cm	5602	5602	0	0.00%	0	0.00%	100.00%	100.00%
無耕作農田	10cm	61223	49345	16056	26.23%	4178	8.47%	91.53%	73.77%
	20cm	13109	12338	1017	7.76%	246	1.99%	98.01%	92.24%
	30cm	5772	5483	384	6.65%	95	1.73%	98.27%	93.35%
建物	10cm	36184	49996	3415	9.44%	17227	34.46%	65.54%	90.56%
	20cm	11145	12469	276	2.48%	1600	12.83%	87.17%	97.52%
	30cm	5608	5592	24	0.43%	8	0.14%	99.86%	99.57%
水體	10cm	47472	49526	3010	6.34%	5064	10.22%	89.78%	93.66%
	20cm	13995	12306	1989	14.21%	300	2.44%	97.56%	85.79%
	30cm	5499	5488	13	0.24%	2	0.04%	99.96%	99.76%
道路	10cm	54847	50627	15124	27.57%	10904	21.54%	78.46%	72.43%
	20cm	11521	12657	313	2.72%	1449	11.45%	88.55%	97.28%
	30cm	5268	5584	92	1.75%	408	7.31%	92.69%	98.25%



GSD 10 公分



GSD 20 公分



GSD 30 公分

圖 3-88 測試 E 最大概似法分類成果

表 3-31 測試 E 類神經網路分類成果矩陣

測試 E		地真資料(像元數/百分比)				
類別		農田	無耕作農田	建物	水體	道路
農田	10cm	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	20cm	11753/92.85	84/0.68	0/0.00	64/0.52	0/0.00
	30cm	5524/98.61	0/0.00	0/0.00	18/0.33	0/0.00
無耕作農田	10cm	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	20cm	488/3.86	12121/98.24	1464/11.74	83/0.67	1694/13.38
	30cm	61/1.09	5369/97.92	87/1.56	40/0.73	677/12.12
建物	10cm	1/0.00	70/0.14	6354/12.71	0/0.00	376/0.74
	20cm	31/0.24	0/0.00	10797/86.59	1675/13.61	136/1.07
	30cm	0/0.00	0/0.00	5495/98.27	0/0.00	29/0.52
水體	10cm	48382/95.96	17871/36.22	7894/15.79	44628/90.11	2084/4.12
	20cm	354/2.80	22/0.18	190/1.52	10013/81.37	4182/33.04
	30cm	16/0.29	0/0.00	10/0.18	5430/98.94	22/0.39
道路	10cm	2038/4.04	31404/63.64	35748/71.50	4898/9.89	48167/95.14
	20cm	32/0.25	111/0.90	18/0.14	471/3.83	6645/52.50
	30cm	1/0.02	114/2.08	0/0.00	0/0.00	4856/86.96
總計	10cm	50421/100.00	49345/100.00	49996/100.00	49526/100.00	50627/100.00
	20cm	12658/100.00	12338/100.00	12469/100.00	12306/100.00	12657/100.00
	30cm	5602/100.00	5483/100.00	5592/100.00	5488/100.00	5584/100.00
整體精度：39.6731%、82.2211%、96.1260%						
Kappa 係數：0.2456、0.7779、0.9516						

表 3-32 測試 E 類神經網路分類成果分析

測試 E		總分類像元	總地真像元	誤授像元	誤授誤差 (誤授像元/總分類像元)	漏授像元	漏授誤差 (漏授像元/總地真像元)	生產者精度 (正確分類像元/總地真像元)	使用者精度 (正確分類像元/總分類像元)
農田	10cm	0	50421	0	0.00%	50421	100.00%	0.00%	0.00%
	20cm	11901	12658	148	1.24%	905	7.15%	92.85%	98.76%
	30cm	5542	5602	18	0.32%	78	1.39%	98.61%	99.68%
無耕作農田	10cm	0	49345	0	0.00%	49345	100.00%	0.00%	0.00%
	20cm	15850	12338	3729	23.53%	217	1.76%	98.24%	76.47%
	30cm	6234	5483	865	13.88%	114	2.08%	97.92%	86.16%
建物	10cm	6801	49996	447	6.57%	43642	87.29%	12.71%	93.43%
	20cm	12639	12469	1842	14.57%	1672	13.41%	86.59%	85.43%
	30cm	5524	5592	29	0.52%	97	1.73%	98.27%	99.48%
水體	10cm	120859	49526	76231	63.07%	4898	9.89%	90.11%	36.93%
	20cm	14761	12306	4748	32.17%	2293	18.63%	81.37%	67.83%
	30cm	5478	5488	48	0.88%	58	1.06%	98.94%	99.12%
道路	10cm	122255	50627	74088	60.60%	2460	4.86%	95.14%	39.40%
	20cm	7277	12657	632	8.68%	6012	47.50%	52.50%	91.32%
	30cm	4971	5584	115	2.31%	728	13.04%	86.96%	97.69%

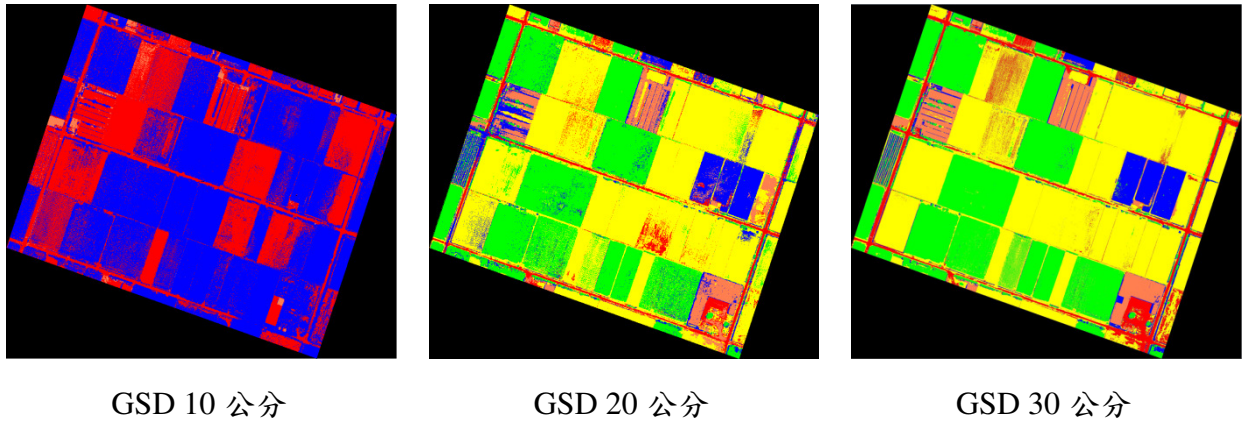


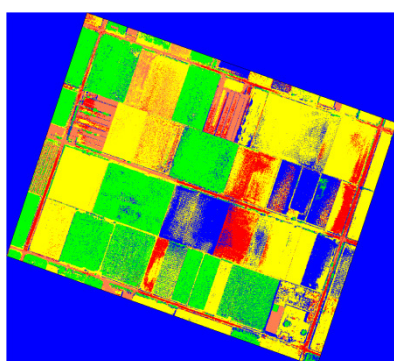
圖 3-89 測試 E 類神經網路分類成果

表 3-33 測試 E 支持向量機分類成果矩陣

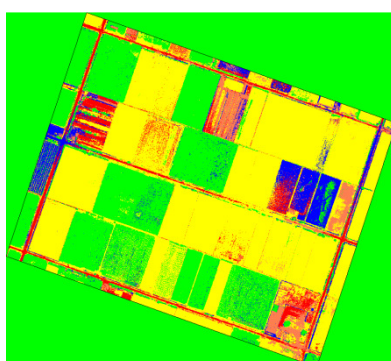
測試 E		地真資料(像元數/百分比)				
類別		農田	無耕作農田	建物	水體	道路
農田	10cm	43229/85.74	0/0.00	0/0.00	4206/8.49	0/0.00
	20cm	11702/92.45	1/0.01	0/0.00	2706/21.99	0/0.00
	30cm	5282/94.29	1/0.02	0/0.00	72/1.31	0/0.00
無耕作農田	10cm	1729/3.43	31028/62.88	7007/14.02	4108/8.49	7227/14.27
	20cm	610/4.82	12215/99.00	4048/32.46	336/2.73	1093/8.64
	30cm	57/1.02	5249/95.73	769/13.75	0/0.00	366/6.55
建物	10cm	20/0.04	1595/3.23	26794/53.59	1134/2.29	16782/33.15
	20cm	20/0.16	19/0.15	5276/42.31	748/6.08	506/4.00
	30cm	0/0.00	154/2.81	3634/64.99	0/0.00	236/4.23
水體	10cm	5300/10.51	9754/19.77	4803/9.61	35791/72.27	276/0.55
	20cm	306/2.42	0/0.00	9/0.07	6060/49.24	2332/18.42
	30cm	262/4.68	0/0.00	0/0.00	5416/98.69	3/0.05
道路	10cm	143/0.28	6968/14.12	11392/22.79	4287/8.66	26342/52.03
	20cm	20/0.16	103/0.83	3136/25.15	2456/19.96	8726/68.94
	30cm	1/0.02	79/1.44	1189/21.26	0/0.00	4979/89.17
總計	10cm	50421/100.00	49345/100.00	49996/100.00	49526/100.00	50627/100.00
	20cm	12658/100.00	12338/100.00	12469/100.00	12306/100.00	12657/100.00
	30cm	5602/100.00	5483/100.00	5592/100.00	5488/100.00	5584/100.00
整體精度：65.2958%、70.4476%、88.5077%						
Kappa 係數：0.5662、0.6305、0.8564						

表 3-34 測試 E 支持向量機分類成果分析

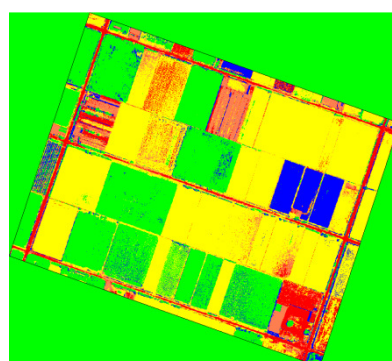
測試 E		總分類像元	總地真像元	誤授像元	誤授誤差 (誤授像元/總分類像元)	漏授像元	漏授誤差 (漏授像元/總地真像元)	生產者精度 (正確分類像元/總地真像元)	使用者精度 (正確分類像元/總分類像元)
農田	10cm	47435	50421	4206	8.87%	7192	14.26%	85.74%	91.13%
	20cm	14409	12658	2707	18.79%	956	7.55%	92.45%	81.21%
	30cm	5355	5602	73	1.36%	320	5.71%	94.29%	98.64%
無耕作農田	10cm	51099	49345	20071	39.28%	18317	37.12%	62.88%	60.72%
	20cm	18302	12338	6087	33.26%	123	1.00%	99.00%	66.74%
	30cm	6441	5483	1192	18.51%	234	4.27%	95.73%	81.49%
建物	10cm	46325	49996	19531	42.16%	23202	46.41%	53.59%	57.84%
	20cm	6569	12469	1293	19.68%	7193	57.69%	42.31%	80.32%
	30cm	4024	5592	390	9.69%	1958	35.01%	64.99%	90.31%
水體	10cm	55924	49526	20133	36.00%	13735	27.73%	72.27%	64.00%
	20cm	8707	12306	2647	30.40%	5246	64.06%	49.24%	69.60%
	30cm	5681	5488	265	4.66%	72	1.31%	98.69%	95.34%
道路	10cm	49132	50627	22790	46.39%	24285	47.97%	52.03%	53.61%
	20cm	14441	12657	5715	39.57%	3931	31.06%	68.94%	60.43%
	30cm	6248	5584	1269	20.31%	605	10.83%	89.17%	79.69%



GSD 10 公分



GSD 20 公分



GSD 30 公分

圖 3-90 測試 E 支持向量機分類成果

由於測試 D 中 NDVI 對水體的判釋效果已達 90% 以上，因此測試 E 加入 NDWI 資訊，對於水體的分類僅些微提升，對於整體分類精度無明顯影響。

六、測試 F：R+G+B+nDSM +NDVI+NDWI

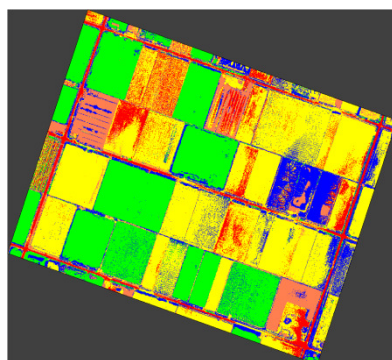
本案使用之多光譜感測系統包含多光譜感測影像及彩色影像，其中彩色影像之紅色與綠色以及多光譜感測器之紅光及綠光，皆呈現紅光波段及綠光波段資訊，其差別是否進行輻射校正，此外彩色影像色彩值已將波段資訊拉伸至 0 至 255 之間。測試 F 則以多光譜感測器之紅光及綠光代替彩色影像之紅色及綠色，確認影像分類成果差異，分類成果如表 3-35 至表 3-38，與圖 3-91、圖 3-92 及圖 3-93 所示。

表 3-35 測試 F 最大概似法分類成果矩陣

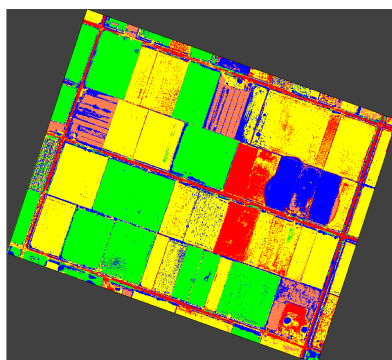
測試 F		地真資料(像元數/百分比)				
類別		農田	無耕作農田	建物	水體	道路
農田	10cm	48633/96.45	6/0.01	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	20cm	12523/98.93	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	30cm	5602/100.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
無耕作農田	10cm	23/0.05	45131/0.01	5297/10.59	2839/5.73	4170/8.24
	20cm	0/0.00	9675/78.42	0/0.00	145/1.18	1431/11.31
	30cm	0/0.00	5167/94.24	0/0.00	39/0.71	478/8.56
建物	10cm	8/0.02	219/91.46	32764/10.59	206/5.73	2978/8.24
	20cm	0/0.00	7/0.06	11133/89.29	26/0.21	0/0.00
	30cm	0/0.00	2/0.04	5479/97.98	0/0.00	16/0.29
水體	10cm	1757/3.48	499/1.01	2815/5.63	43936/88.71	4/0.01
	20cm	135/1.07	165/1.34	1336/10.71	12094/98.28	769/6.08
	30cm	0/0.00	5/0.09	113/2.02	5449/99.29	8/0.14
道路	10cm	0/0.00	3490/7.07	9120/18.24	2545/5.14	43475/85.87
	20cm	0/0.00	2491/20.19	0/0.00	41/0.33	10457/82.62
	30cm	0/0.00	309/5.64	0/0.00	0/0.00	5082/91.01
總計	10cm	50421/100.00	49345/100.00	49996/100.00	49526/100.00	50627/100.00
	20cm	12658/100.00	12338/100.00	12469/100.00	12306/100.00	12657/100.00
	30cm	5602/100.00	5483/100.00	5592/100.00	5488/100.00	5584/100.00
整體精度：85.6047%、89.5143%、96.5044%						
Kappa 係數：0.8201、0.8689、0.9563						

表 3-36 測試 F 最大概似法分類成果分析

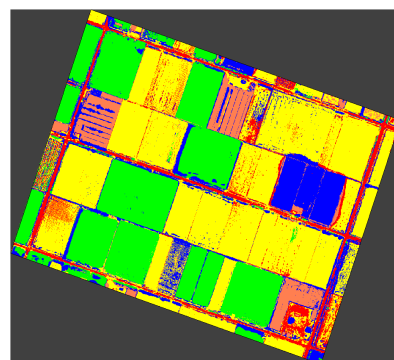
測試 F		總分類像元	總地真像元	誤授像元	誤授誤差 (誤授像元/總分類像元)	漏授像元	漏授誤差 (漏授像元/總地真像元)	生產者精度 (正確分類像元/總地真像元)	使用者精度 (正確分類像元/總分類像元)
農田	10cm	48639	50421	6	0.01%	1788	3.55%	96.45%	99.99%
	20cm	12523	12658	0	0.00%	135	1.07%	98.93%	100.00%
	30cm	5602	5602	0	0.00%	0	0.00%	100.00%	100.00%
無耕作農田	10cm	57460	49345	12329	21.46%	4214	8.54%	91.46%	78.54%
	20cm	11251	12338	1576	14.01%	2663	21.58%	78.42%	85.99%
	30cm	5684	5483	517	9.10%	316	5.76%	94.24%	90.90%
建物	10cm	36175	49996	3411	9.43%	17232	34.47%	65.53%	90.57%
	20cm	11166	12469	33	0.30%	1336	10.71%	89.29%	99.70%
	30cm	5497	5592	18	0.33%	113	2.02%	97.98%	99.67%
水體	10cm	49011	49526	5075	10.35%	5590	11.29%	88.71%	89.65%
	20cm	14499	12306	2405	16.59%	212	1.72%	98.28%	83.41%
	30cm	5575	5488	126	2.26%	39	0.71%	99.29%	97.74%
道路	10cm	58630	50627	15155	25.85%	7152	14.13%	85.87%	74.15%
	20cm	12989	12657	2532	19.49%	2200	17.38%	82.62%	80.51%
	30cm	5391	5584	309	5.73%	502	8.99%	91.01%	94.27%



GSD 10 公分



GSD 20 公分



GSD 30 公分

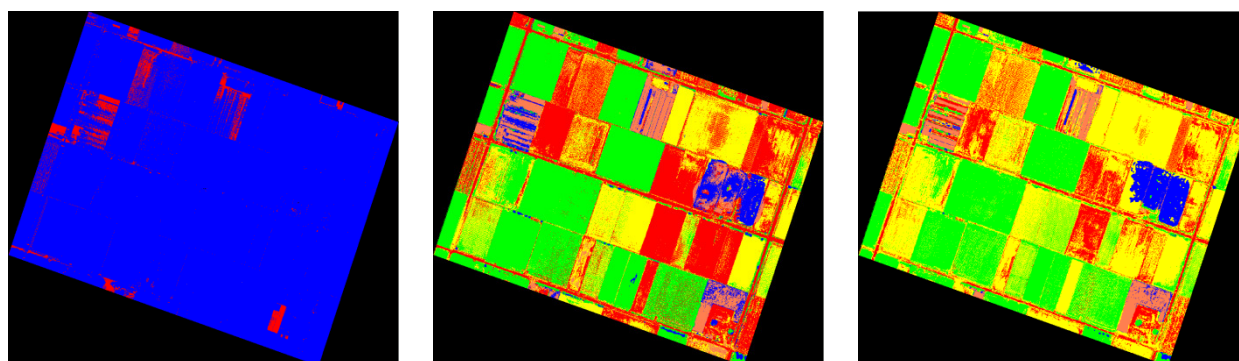
圖 3-91 測試 F 最大概似法分類成果

表 3-37 測試 F 類神經網路分類成果矩陣

測試 F		地真資料(像元數/百分比)				
類別		農田	無耕作農田	建物	水體	道路
農田	10cm	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	20cm	11957/94.46	886/7.18	0/0.00	96/0.78	0/0.00
	30cm	4846/86.50	234/4.27	0/0.00	109/1.99	0/0.00
無耕作農田	10cm	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	20cm	269/2.13	5150/41.74	0/0.00	174/1.41	3256/25.72
	30cm	708/12.64	3891/70.96	785/14.04	1867/34.02	989/17.71
建物	10cm	1/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00	0/0.00
	20cm	11/0.09	0/0.00	899/71.37	2607/21.18	160/1.26
	30cm	0/0.00	0/0.00	3468/62.02	0/0.00	0/0.00
水體	10cm	50420/100.00	48761/98.82	38262/76.53	49475/99.90	48687/96.17
	20cm	0/0.00	0/0.00	3570/28.63	8775/71.31	24/0.19
	30cm	0/0.00	0/0.00	417/7.46	3511/63.98	0/0.00
道路	10cm	0/0.00	584/1.18	11734/23.47	51/0.10	1940/3.83
	20cm	421/3.33	6302/51.08	0/0.00	654/5.31	9217/72.82
	30cm	48/0.86	1358/24.77	922/16.49	1/0.02	4595/82.29
總計	10cm	50421/100.00	49345/100.00	49996/100.00	49526/100.00	50627/100.00
	20cm	12658/100.00	12338/100.00	12469/100.00	12306/100.00	12657/100.00
	30cm	5602/100.00	5483/100.00	5592/100.00	5488/100.00	5584/100.00
整體精度：20.5730%、70.4780%、73.1954%						
Kappa 係數：0.0091、0.6308、0.6650						

表 3-38 測試 F 類神經網路分類成果分析

測試 F		總分類像元	總地真像元	誤授像元	誤授誤差 (誤授像元/總分類像元)	漏授像元	漏授誤差 (漏授像元/總地真像元)	生產者精度 (正確分類像元/總地真像元)	使用者精度 (正確分類像元/總分類像元)
農田	10cm	0	50421	0	0.00%	50421	100.00%	0.00%	0.00%
	20cm	12939	12658	982	7.59%	701	5.54%	94.46%	92.41%
	30cm	5189	5602	343	6.61%	756	13.50%	86.50%	93.39%
無耕作農田	10cm	0	49345	0	0.00%	49345	100.00%	0.00%	0.00%
	20cm	8849	12338	3699	41.80%	7188	58.26%	41.74%	58.20%
	30cm	8240	5483	4349	52.78%	1592	29.04%	70.96%	47.22%
建物	10cm	1	49996	1	100.00%	49996	100.00%	0.00%	0.00%
	20cm	11677	12469	2778	23.79%	3570	28.63%	71.37%	76.21%
	30cm	3468	5592	0	0.00%	2124	37.98%	62.02%	100.00%
水體	10cm	235605	49526	186130	79.00%	51	0.10%	99.90%	21.00%
	20cm	12369	12306	3594	29.06%	3531	28.69%	71.31%	70.94%
	30cm	3928	5488	417	10.62%	1977	36.02%	63.98%	89.38%
道路	10cm	14309	50627	12369	86.44%	48687	96.17%	3.83%	13.56%
	20cm	16594	12657	7377	44.46%	3440	27.18%	72.82%	55.54%
	30cm	6924	5584	2329	33.64%	989	17.71%	82.29%	66.36%



GSD 10 公分

GSD 20 公分

GSD 30 公分

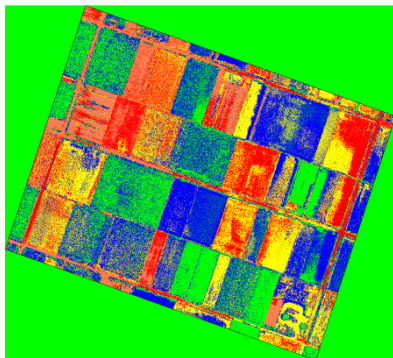
圖 3-92 測試 F 類神經網路分類成果

表 3-39 測試 F 支持向量機分類成果矩陣

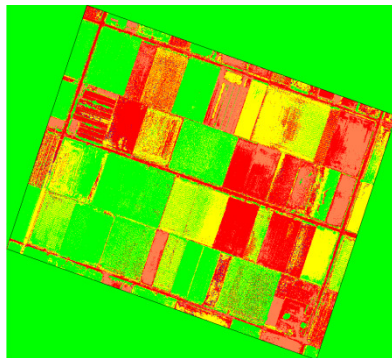
測試 F		地真資料(像元數/百分比)				
類別		農田	無耕作農田	建物	水體	道路
農田	10cm	24411/4.41	5219/10.58	198/0.40	19558/39.49	0/0.00
	20cm	10126/80.00	1403/11.37	0/0.00	3222/26.18	0/0.00
	30cm	3643/65.03	113/2.06	0/0.00	848/15.45	0/0.00
無耕作農田	10cm	3746/7.43	23898/48.43	3551/7.10	8546/17.26	5460/10.78
	20cm	2197/17.36	4793/38.85	882/7.07	2664/21.65	3084/24.37
	30cm	143/2.55	652/11.89	837/14.97	664/12.10	157/2.81
建物	10cm	1/0.00	2447/4.96	24911/49.83	383/0.77	13719/27.10
	20cm	68/0.54	1159/9.39	5406/43.36	2808/22.82	1002/7.92
	30cm	4/0.07	147/2.68	2289/40.93	0/0.00	273/4.89
水體	10cm	22077/43.79	7342/14.88	5536/11.07	18348/37.05	17/0.03
	20cm	31/0.24	84/0.68	335/2.69	67/0.54	120/0.95
	30cm	1746/31.17	2159/39.38	23/0.41	3975/72.43	0/0.00
道路	10cm	186/0.37	10439/21.16	15800/31.60	2691/5.43	31431/62.08
	20cm	236/1.86	4899/39.71	5846/46.88	3545/28.81	8451/66.77
	30cm	66/1.18	2412/43.99	2443/43.69	1/0.02	5154/92.30
總計	10cm	50421/100.00	49345/100.00	49996/100.00	49526/100.00	50627/100.00
	20cm	12658/100.00	12338/100.00	12469/100.00	12306/100.00	12657/100.00
	30cm	5602/100.00	5483/100.00	5592/100.00	5488/100.00	5584/100.00
整體精度：49.2163%、46.2020%、56.6255%						
Kappa 係數：0.3651、0.3266、0.4578						

表 3-40 測試 F 支持向量機分類成果分析

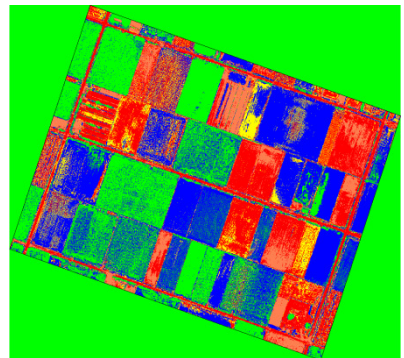
測試 F		總分類像元	總地真像元	誤授像元	誤授誤差 (誤授像元/總分類像元)	漏授像元	漏授誤差 (漏授像元/總地真像元)	生產者精度 (正確分類像元/總地真像元)	使用者精度 (正確分類像元/總分類像元)
農田	10cm	49386	50421	24975	50.57%	26010	51.59%	48.41%	49.43%
	20cm	14751	12658	4625	31.35%	2532	20.00%	80.00%	68.65%
	30cm	4604	5602	961	20.87%	1959	34.97%	65.03%	79.13%
無耕作農田	10cm	45201	49345	21303	47.13%	25447	51.57%	48.43%	52.87%
	20cm	13620	12338	8827	64.81%	7545	61.15%	38.85%	35.19%
	30cm	2453	5483	1801	73.42%	4831	88.11%	11.89%	26.58%
建物	10cm	41461	49996	16550	39.92%	25085	50.17%	49.83%	60.08%
	20cm	10443	12469	5037	48.23%	7063	56.64%	43.36%	51.77%
	30cm	2713	5592	424	15.63%	3303	59.07%	40.93%	84.37%
水體	10cm	53320	49526	34972	65.59%	31178	65.95%	37.05%	34.41%
	20cm	637	12306	570	89.48%	12239	99.46%	0.54%	10.52%
	30cm	7903	5488	3928	49.70%	1513	27.57%	72.43%	50.30%
道路	10cm	60547	50627	29116	48.09%	19196	37.92%	62.08%	51.91%
	20cm	22977	12657	14526	63.22%	4206	33.23%	66.77%	36.78%
	30cm	10076	5584	4922	48.85%	430	7.70%	92.30%	51.15%



GSD 10 公分



GSD 20 公分



GSD 30 公分

圖 3-93 測試 F 支持向量機分類成果

根據測試 F 之分類成果顯示，以多光譜感測器之紅光及綠光資訊替代彩色影像之紅色及綠色資訊，將影響影像分類成果，測試 F 在不同分類方法及不同地面解析度之分類精度皆較測試 E 之成果差，顯示利用多光譜感測器之波段資訊亦可取得良好之分類結果，但其效果較使用彩色影像差。

以上 6 種測試項目，顯示近紅外光、紅邊光及 NDVI 皆有助於農田、無耕作農田及水體分類，NDWI 亦有助於水體分類，加入 nDSM 可增加建物及道路之分類正確率，而可見光波段資訊採用彩色影像之

色彩資訊對於影像分類成果較佳。表 3-41 整理 3 種不同分類方法對於不同地面解析度於 6 種測試項目之分類精度及作業時間(不含訓練樣區選取時間)，在 6 種測試項目中，皆以最大概似法之分類精度最高，且顯示地面解析度 30 公分之影像分類精度最佳，主要因為地面解析度降低可減低各類地物中含有其他物質所造成之影像誤判。另外比較 3 種分類方法之作業時間，以最大概似法之作業時間最短，類神經網路次之，而支持向量機作業時間最長，故以本測試研究作業方法，最大概似法相較於其他 2 種分類方法，較適用於地物分類作業，可於較短作業時間達到最佳分類成果。最大概似法及類神經網路對於測試 E 進行地面解析度 30 公分之影像分類成果皆可得最佳分類精度，而利用支持向量機進行分類亦取得較高之分類精度，故以本案作業方法，利用 30 公分解析度影像配合最大概似法，以彩色影像加入正規化植生指數 NDVI 及地物高程資訊 nDSM 進行 5 種地物分類，可於 3 分鐘內完成分類，並達到 98% 之分類精度，地物分類精度及效率最佳。類神經網路及支持向量機對於大量資料之處理時間較長，而類神經網路對於分類項目較能完整描述之訓練資料可取得較佳之分類成果，而支持向量機除了測試 F 以外，在其他測試項目中訓練資料的調整對分類成果無明顯影響。

表 3-41 不同分類方法之分類精度及作業時間表

		最大概似法		類神經網路		支持向量機	
		分類精度	作業時間	分類精度	作業時間	分類精度	作業時間
測試 A	10 公分	82.0375%	20 分鐘	39.7423%	4 小時 35 分鐘	65.3038%	54 小時
	20 公分	92.8974%	5 分鐘	45.0167%	1 小時 20 分鐘	71.4535%	3 小時 20 分鐘
	30 公分	93.8124%	3 分鐘	65.2420%	30 分鐘	89.5095%	32 分鐘
測試 B	10 公分	71.8432%	17 分鐘	39.7739%	4 小時 13 分鐘	65.2966%	50 小時
	20 公分	85.7372%	6 分鐘	48.4094%	1 小時 4 分鐘	71.4535%	3 小時 20 分鐘
	30 公分	90.4465%	3 分鐘	57.3066%	31 分鐘	89.5095%	33 分鐘
測試 C	10 公分	83.8977%	26 分鐘	39.6779%	5 小時 23 分鐘	65.2902%	51 小時
	20 公分	93.9194%	4 分鐘	38.2056%	1 小時 17 分鐘	70.6782%	3 小時 18 分鐘
	30 公分	94.2773%	3 分鐘	79.4875%	32 分鐘	88.8645%	39 分鐘
測試 D	10 公分	86.0028%	23 分鐘	39.6547%	4 小時 00 分鐘	65.2902%	51 小時
	20 公分	94.2269%	3 分鐘	84.5150%	1 小時 4 分鐘	70.6782%	3 小時 34 分鐘
	30 公分	97.6323%	2 分鐘	94.6809%	34 分鐘	88.8645%	41 分鐘
測試 E	10 公分	84.9429%	13 分鐘	39.6731%	4 小時 34 分鐘	65.2958%	50 小時
	20 公分	94.2414%	6 分鐘	82.2211%	1 小時 7 分鐘	70.4476%	3 小時 25 分鐘
	30 公分	98.1513%	3 分鐘	96.1260%	32 分鐘	88.5077%	37 分鐘
測試 F	10 公分	85.6047%	20 分鐘	20.5730%	4 小時 29 分鐘	49.2163%	45 小時
	20 公分	89.5143%	7 分鐘	70.4780%	1 小時 8 分鐘	46.2020%	3 小時 20 分鐘
	30 公分	96.5044%	3 分鐘	73.1954%	32 分鐘	56.6255%	37 分鐘

第肆章 光達研究測試作業

隨著測量與空間資訊技術的發展，國內外皆致力於結合測量製圖技術與整合式導航定位定向系統，搭配多種感測器來蒐集空間資料，而光達(Light Detection And Ranging, LiDAR)以高頻率發射雷射光，可在短時間內獲取大量三維空間資訊，適用於測繪、環境調查、監測及防災等應用。光達技術亦隨著各式應用而逐漸成熟，本研究將於 106 年度整合 UAS 及光達，透過 UAS 搭載光達進行航拍，取得光達點雲資料，並於 107 年度進行光達航拍及應用，評估光達資料進行圖資更新的可行性。

第一節 光達系統設備說明

本團隊採用向成功大學借用之光達設備 Velodyne VPL-16(如圖 4-1)以單旋翼型 UAS 為載具進行本研究測試作業，其硬體規格如表 4-1。Velodyne VPL-16 廣泛應用於 UAS，如澳洲塔斯馬尼亞大學(University of Tasmania)即配合 TERRALUMA 公司以 Foxtech Devourer D130 X8 多旋翼型 UAS 搭載本款光達進行航拍(摘自 <https://www.youtube.com/watch?v=dKb-PVt5PBc>)；此外，美國 Phoenix 公司亦採用本款光達搭配 DJI S1000 旋翼型 UAS 組成光達製圖系統(摘自 https://www.youtube.com/watch?v=BhHro_rcgHo)。

由於光達資料成果受到 POS 精度影響甚大，故本案光達研究測試作業中，定位定向系統採用本團隊整合優化後之定位定向系統(Position and Orientation System, POS)，該系統將 GNSS (Trimble BD982) 與 IMU (ADIS16488) 進行整合，其規格分別如圖 4-2 及圖 4-3 所示。Trimble BD982 雙頻 GNSS 可支援北斗獨立計算與航向解算，並具有 RTK (Real Time Kinematic)、低角度追蹤技術與多路徑抑制功能。另系統中使用雙頻 GNSS 所提供之 GNSS 資料與時間對 IMU 資料進行同步並提供相機 Trigger 時脈，使定位資料、相機姿態與拍照時間完全同步，能有效提高航空攝影測量之準確性，且後製處理可擁有更準確之定位定向資訊。



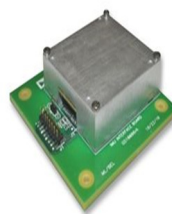
圖 4-1 Velodyne VPL-16

表 4-1 Velodyne VPL-16 光達規格表

廠牌	Velodyne
型號	VPL-16
雷射等級	1
測量頻率	Single Return Mode: 30 萬點/秒 Dual Return Mode: 60 萬點/秒
掃描距離	100 公尺
掃描頻率	5-20 Hz
角度解析度	2 度
作業溫度	-10°C ~ +60°C



Trimble BD982	
Receiver type	GPS: L1 C/A, L2E, L2C, L5 220 Channels
Update rate	50 Hz
Accuracy	DGPS: 0.25m(Horizontal); 0.5m(Vertical) SBAS: 0.5m(Horizontal); 0.5m(Vertical)
Acquisition	Cold start: 45s Warm start: 30s



Item	ADIS 16488
Function	Accelerometer and Gyroscope
Communication port	Its own PIN design
Sample rate	100 Hertz
Voltage	10 V ~ 30 V
Dimension	47 x 46 x 14 mm ³

圖 4-2 Trimble BD982

圖 4-3 ADIS16488

第二節 光達系統設備整合

本團隊協助成功大學之防救災相關研究，以單旋翼型 UAS 搭載 Velodyne VPL-16 光達設備進行設備整合(如圖 4-4)，酬載總重量約為 10 公斤，光達置於 UAS 前方，使光達設備已垂直飛行方向進行掃描(如圖 4-5)。

表 4-2 單旋翼型 UAS 規格表

載具尺寸	169 x 49.5 x 70 公分	最大航高	< 500 公尺
主/尾旋翼 旋轉直徑	190/36 公分	載具飛行距離	< 7,000 公尺
載具重量	9.0 公斤	滯空時間	< 50 分鐘
酬載重量	15.0 公斤		



圖 4-4 光達設備整合成果



圖 4-5 垂直飛行方向掃描

本案將根據該作業經驗進行光達設備整合，包含電力系統、光達控制及資料儲存，其系統方塊圖如圖 4-6，其中光達控制以伺服機的控制方式由遠端遙控紀錄啟動或停止；資料儲存則透過 Velodyne 原廠提供之介面模組，連接光達主機、內建之 GNSS 接收儀以及資料儲存器，而資料儲存器的部分，成功大學採用筆記型電腦進行資料儲存，造成系統載重增加，故本研究作業將改採用記憶卡進行資料儲存，即透過介面模組以用戶封包協定(User Datagram Protocol, UDP)方式將點雲資料以 Velodyne 格式儲存至記憶卡，將可減輕系統重量，延長作業時間，減輕作業風險；電力系統規畫採用 4S 鋰電池提供光達主機作業電力，另透過電源轉換器分別轉換 5 伏特及 12 伏特電力提供資料儲存器及 POS 使用。

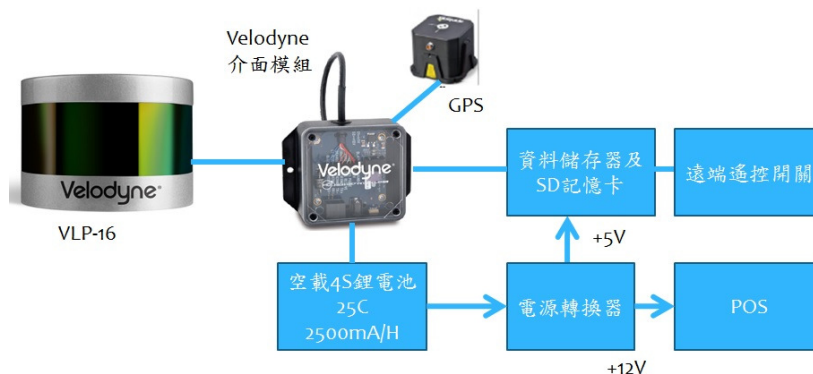


圖 4-6 光達系統方塊圖

而電力規劃的部分，相關設備之電力規格如表 4-2，其總消耗功率為 28 瓦特，為求作業安全乘上安全係數 1.414，則系統應提供 $28 \times 1.414 = 39.6$ 瓦特之電力，本團隊規畫採用 4S25C 之 2500mAH 鋰電池做為系統電力，其中鋰電池電壓為 3.7 伏特，而 4S 鋰電池意即串聯 4 個鋰電池，電壓以 3.7 伏特 $\times 4 = 14.8$ 伏特計算，故所需電流為 2675 毫安培 ($39.6 \text{ 瓦特} / 14.8 \text{ 伏特} = 2675 \text{ 毫安培}$)，因此 2500mAH 之鋰電池即可提供約 1 小時之系統電力。此外，本團隊選用之鋰鐵電池為 25C，表示電池可承受瞬間最大電流為 25 倍，即可提供瞬間最大電流為 2500 毫安培 $\times 25 = 62.5$ 安培，即瞬間最大功率為 14.8 伏特 $\times 62.5 \text{ 安培} = 925$ 瓦特，為系統所需電力 39.6 瓦特之 23 倍，故足以承受系統用電，系統供電安全。

表 4-3 系統設備電力規格

系統元件	電壓(V)	消耗功率 (W)	數量	總消耗功率(W)
Velodyne VPL-16	12	15	1	15
資料儲存器	5	3	1	3
POS	12	10	1	10
總消耗功率				28

第三節 光達系統航拍作業

本團隊採用單旋翼型 UAS 搭載 Velodyne VPL-16 光達進行航拍，相較於現行利用飛機進行光達資料採集方式，擁有高機動性的優點，可針對面積較小的作業範圍進行快速資料蒐集，而單旋翼型 UAS 相較於多旋翼型 UAS，其穩定性較高，也相對較為安全，成功大學亦採用相同機型 UAS 進行防救災領域研究(G. J. Tsai, 2017)。此外，由於 Velodyne VPL-16 之有效掃描距離為 100 公尺，航拍作業需維持飛行高度為 100 公尺以下，根據作業經驗，建議航高應低於 60 公尺，確保地面空間資訊之完整性，並避免於高樓林立之都會區進行航拍作

業，以減低作業風險，增加作業範圍環境安全，故本研究作業則規畫以航高 60 公尺及飛航速度每秒 6 公尺進行航拍作業。本測試作業採用之定位定向系統中，IMU 之角度精度為 0.01 度，在 100 公尺飛行高度下，對點雲資料之精度影響約為 3.3 公分(El-Sheimy. N. ,1996)。

而資料整合的部分，將於硬體設計完成後，進行光達與定位定向系統間之軸角與固定臂率定，取得軸角與固定臂率定參數，藉由直接地理定位計算可直接獲取光達點雲每一筆資料之絕對坐標。本團隊將參考中興測量有限公司之「101 年度三維城市模型技術發展與更新之效能評估及標準作業程序建立工作-車載光達掃描工作」建置光達率定場，率定場地表面坡度應平緩且植被覆蓋率小於 10%，且具有易辨識之大型建物等明顯特徵，故本團隊於成功大學歸仁校區建立光達率定場(如圖 4-7)，進行光達及定位定向系統間軸角與固定臂之率定作業。

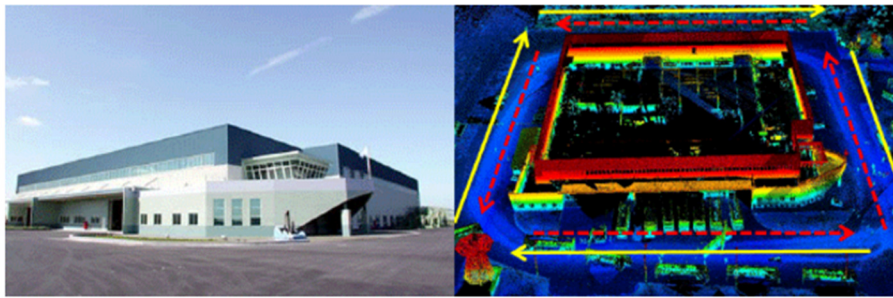


圖 4-7 光達率定控制場(摘自

http://www.chsurvey.com.tw/page03_up0303_result01.html)

第四節 光達系統資料處理及分析

完成航拍後之光達資料後處理作業流程如圖 4-8，包含點雲資料預處理、點雲匹配與平差、點雲過濾與分類以及點雲數化與編輯，其中點雲資料預處理的部分，包含資料解譯及結合定位定向系統展示點雲三維空間位置，本團隊將以自行開發之定位定向解算軟體 GeoPoint 進行定位定向資料解算(如圖 4-9)，加入軸角及固定臂率定成果獲取點雲坐標，配合本團隊 Velodyne 原廠提供之開放軟體(Open Source)自行開發工具，進行資料解譯及點雲資料展示(如圖 4-10)

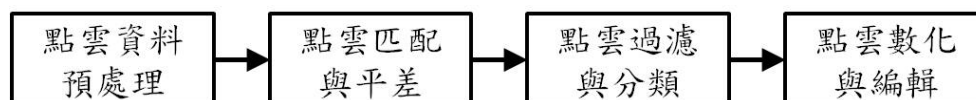


圖 4-8 光達點雲資料後處理作業流程



圖 4-9 GeoPoint 軌跡解算畫面

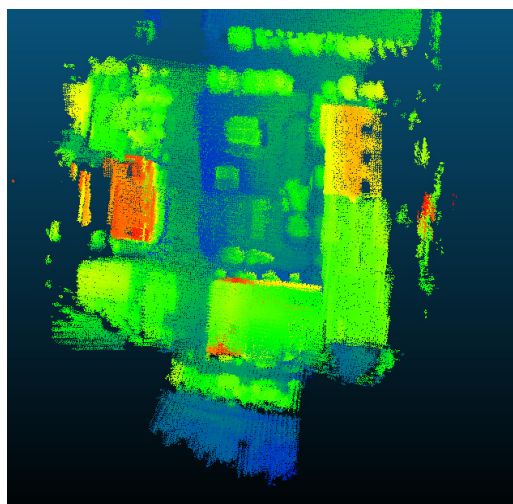


圖 4-10 光達點雲資料展示

經過點雲預處理之附有三維坐標點雲資料，將採用 TerraSolid 系列軟體進行點雲資料處理，包含 TerraMatch 及 TerraScan，然而 TerraSolid 需匯入 LAS 格式之點雲資料，本團隊將利用自行開發之工具進行點雲格式轉換。

透過 TerraMatch 進行不同拍攝位置之點雲資料進行點雲匹配(如圖 4-11)，亦可加入已知幾何資訊進行點雲校正(如圖 4-12)，並進行點雲平差提升原始光達點雲品質及精度。

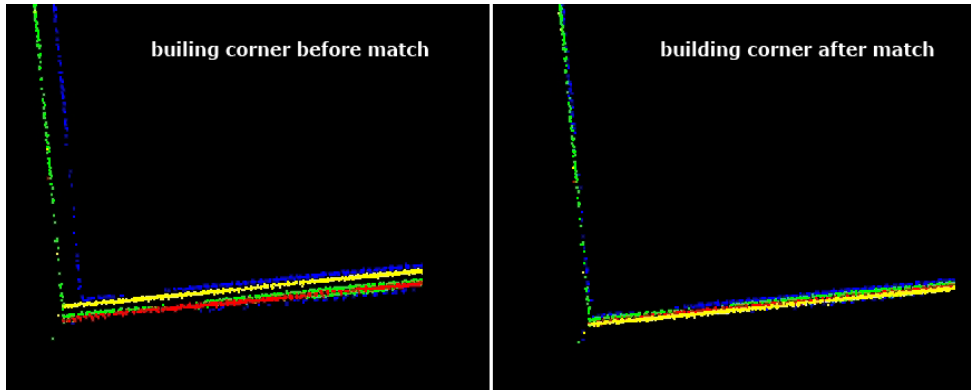


圖 4-11 TerraMatch 點雲匹配

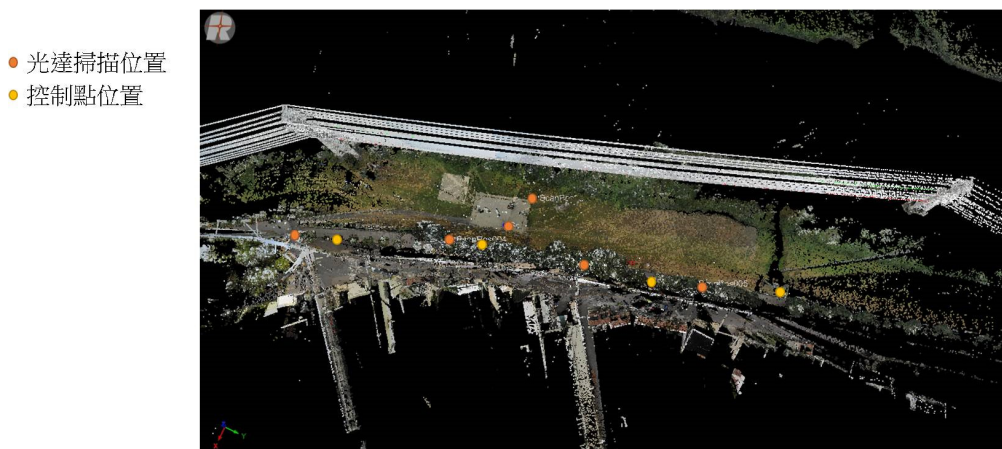


圖 4-12 光達點雲及控制點分布

TerraScan 根據 Axelsson 改進的迭代加密三角網的方式，透過最鄰近法建立不規則三角網，進而進行點雲分類及過濾(Sithole, G. , 2001)，TerraScan 提供分類的類別包含地面點、低矮植被、中等植被、高植被及建築物等，使用者亦可依照需求新增類別，TerraScan 點雲分類如圖 4-13 所示，另外可配合商用軟體 MicroStation 針對點雲進行三維向量資料數化及編輯，如圖 4-14，本團隊將進行道路及建物等地物資料萃取，用以評估圖資更新之可行性。

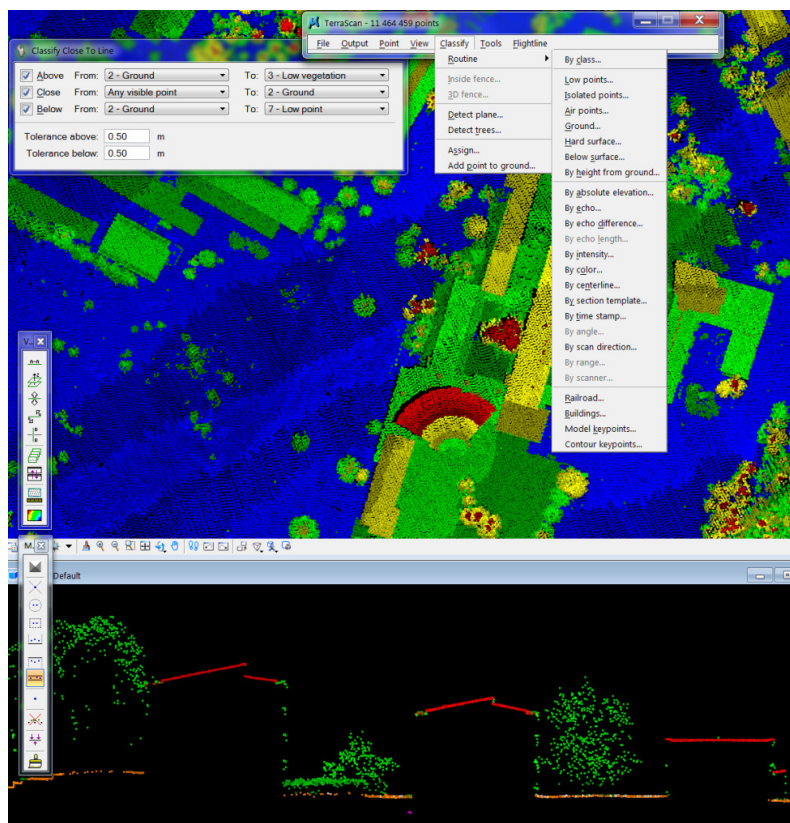


圖 4-13 TerraScan 點雲分類

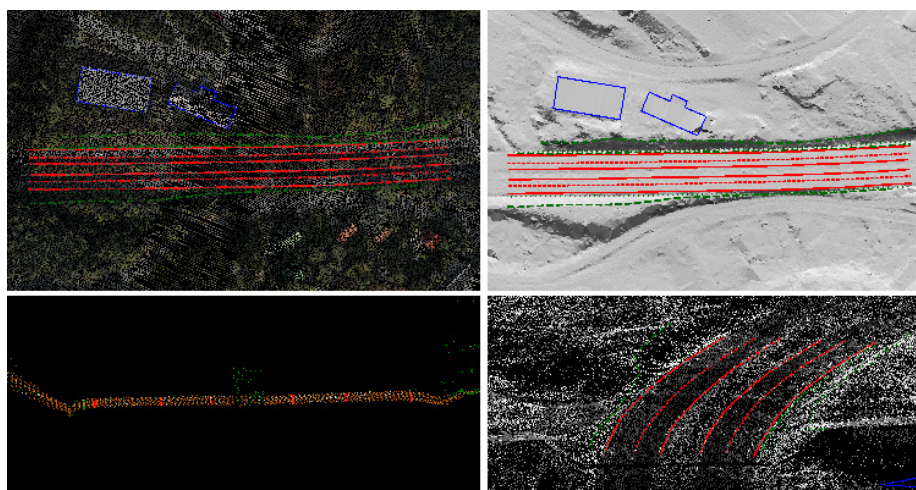


圖 4-14 TerraScan 三維向量資料數化

本團隊已於 106 年利用地面光達設備配合臺南市北外環道路第四期工程進行該路段高壓電塔之光達點雲掃描，作業範圍如圖 4-15 所示，而掃描成果如圖 4-16 所示，本團隊規劃於本測試作業利用單旋翼型 UAS 搭載 Velodyne VPL-16 光達設備進行該範圍之點雲掃描，比較作業成果及其差異，以驗證作業精度。

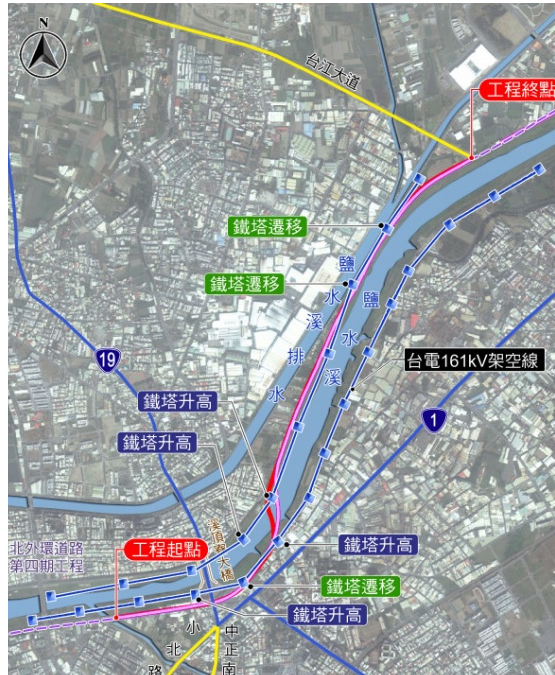


圖 4-15 北外環道路工程作業範圍

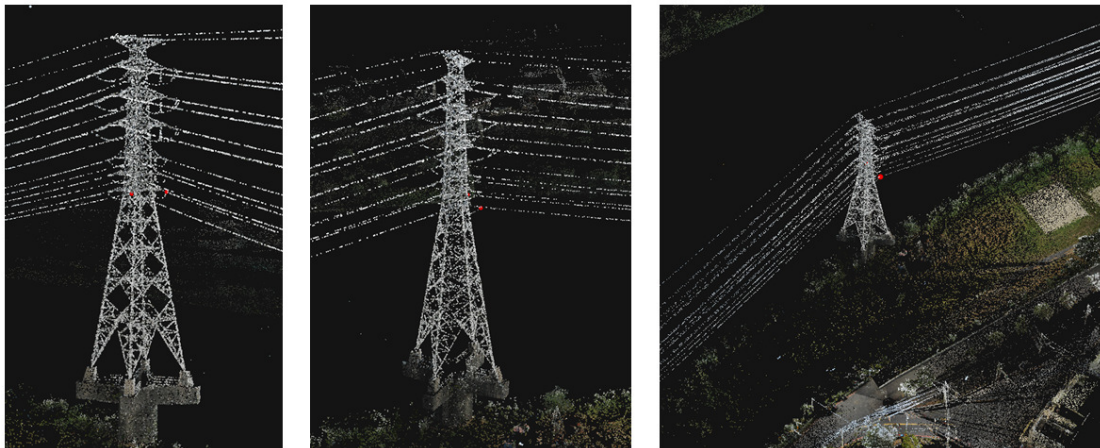


圖 4-16 北外環道路高壓電塔光達點雲掃描成果

第五章 結論與建議

第一節 結論

本案多光譜感測器研究測試結果說明如下：

一、新竹縣尖石鄉崩塌地測試

新竹縣尖石鄉秀巒地區於 104 年起持續發生原因不明的小規模崩塌，本案針對該崩塌區域進行 2 次 UAS 航拍作業，以測試 UAS 搭載多光譜感測器應用於快速蒐集崩塌地空間資訊及產製崩塌範圍相關參考資料之能力。於取得多光譜影像後計算 NDVI 及 NDWI，並配合監督式分類方法可於 15 分鐘內快速劃設及判釋崩塌範圍，較人工描繪（需耗時 30 分鐘以上）崩塌範圍更加快速且範圍明確，能提升作業效率達 50%；另計算結果顯示，該地區迄今已造成約 9 公頃面積崩塌。此外，透過不同時期之數值高程模型計算崩塌範圍土方量，結果顯示約減少 18 萬立方公尺土方。

未來如於緊急應變有崩塌地航拍需求時，可以利用本案整合之 UAS 及多光譜感測器設備，快速蒐集崩塌地區多光譜影像資訊，並利用軟體（如 Pix4DMapper）進行後處理及計算 NDVI 指數自動化劃設崩塌地範圍之相關作業流程，於 48 小時內（取得多光譜影像後）完成崩塌範圍及土方估算，提供相關防災單位參考與協助判釋及分析，以利應變決策或減輕災害可能造成的影響。

二、彰化縣芳苑鄉地物分類測試

本年度延續 105 年彰化縣芳苑鄉地物分類研究測試作業，以 UAS 搭載多光譜感測器分別取得彰化縣芳苑鄉之 10 公分、20 公分及 30 公分解析度多光譜影像資料，並分別測試以最大概似法、類神經網路及支持向量機等分類方法，針對農田、無耕作農田、建物、水體及道路等 5 種地物進行分類。

結果顯示，利用 30 公分解析度影像配合最大概似法，以彩色影像(R、G、B)加入 NDVI 及 nDSM 進行 5 種地物分類，可於 3 分鐘內完成，並平均達到 98% 之分類精度，其地物分類精度及效率最佳。相較於 105 年度作業成果，分類精度由 88 % 提升至 98%，顯示該流程方法可有效進行地物分類。另從不同地物分類方式來看，加入 NDVI、近紅外光以及紅邊光皆有助於農田、無耕作農田及水體之分類，其中以 NDVI 之效果最佳；加入 nDSM 對建物及道路分類精度有明顯提升；而加入 NDWI 有助於水體分類。

第二節 建議

無人飛行載具系統具有高機動性及高效率之優勢，利用無人飛行載具系統搭載多光譜感測器，相較於大型航空飛行載具，可針對小範圍之特局部區域持續監測，常應用於植被生長狀況及水體判釋等相關研究。

本團隊另研究透過多光譜影像資料判釋不同品種之水稻加入不同氮濃度的肥料之生長情形，如圖 5-1 所示，其中分別於包含 10 種不同水稻品種之 N1~N4 區塊內提高肥料之氮濃度，並持續於不同時間針對該測試範圍進行航拍，計算正規化植生指數 NDVI 評估水稻生長狀況，目前之作業成果顯示使用高濃度氮肥之 N3 及 N4 區塊水稻生長較佳。另外近紅外光對於水不反射的特性，亦可應用於積水區域的判釋。透過計算正規化水指數 NDWI，可得水體的分布，如圖 5-2 所示，圖中 1 為水塘、2 為樹木、3 為人工建物及 4 為潮濕土壤，並配合紅外線熱像儀之熱感影像(如圖 5-3)顯示水體分布範圍之 NDWI 數值較高且溫度較低，故可分析水體分布，於災後取得淹水情形概況資料。

因多光譜感測器(Sequoia)包含綠光、紅光、紅邊光及近紅外光等 4 個波段資訊，而近紅外光擁有對於健康植被有強烈反射以及對水不反射的特性，一般常見多進行農業監測相關應用，而在本案進行崩塌地及地物分類研究測試中，透過多光譜影像可快速計算崩塌地範圍且對於農田、無耕作農田及水體等地物有相當良好之分類效果，因此未來除了可應用於崩塌地範圍資料取得及地物自動化分類外，亦可應用於作物災損與水稻生長評估及淹水判釋等相關領域。

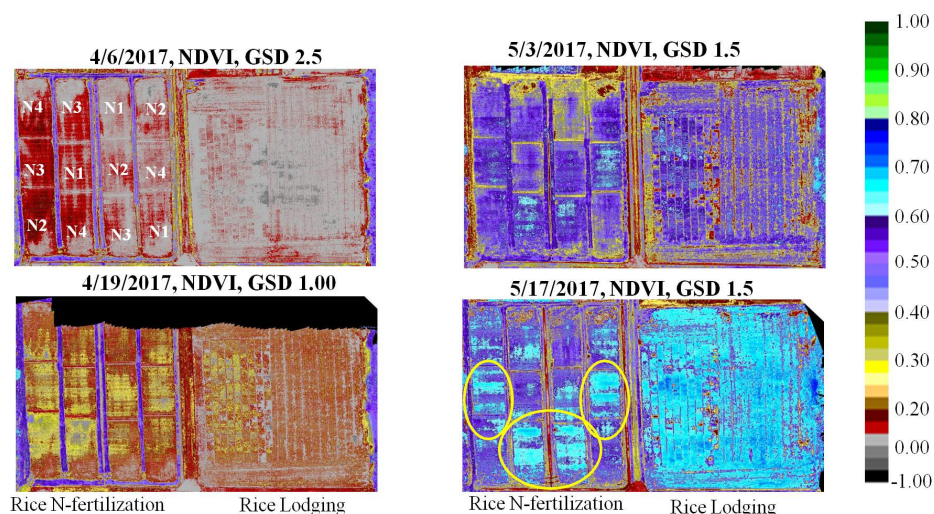


圖 5-1 不同氮濃度肥料對於水稻生長影響

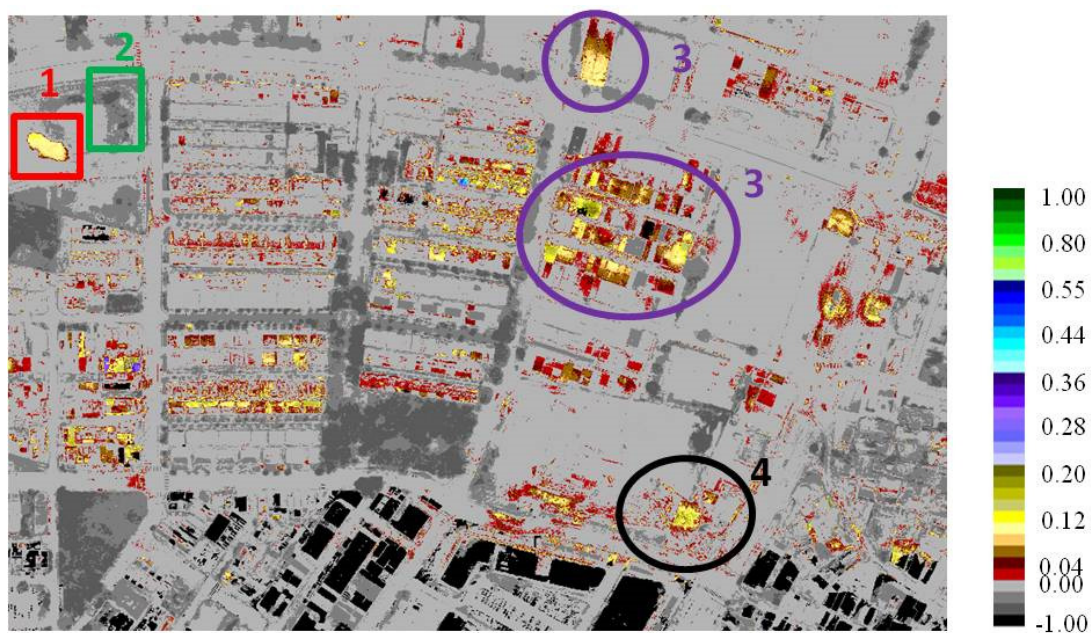


圖 5-2 多光譜感測器積水判釋應用(NDWI)

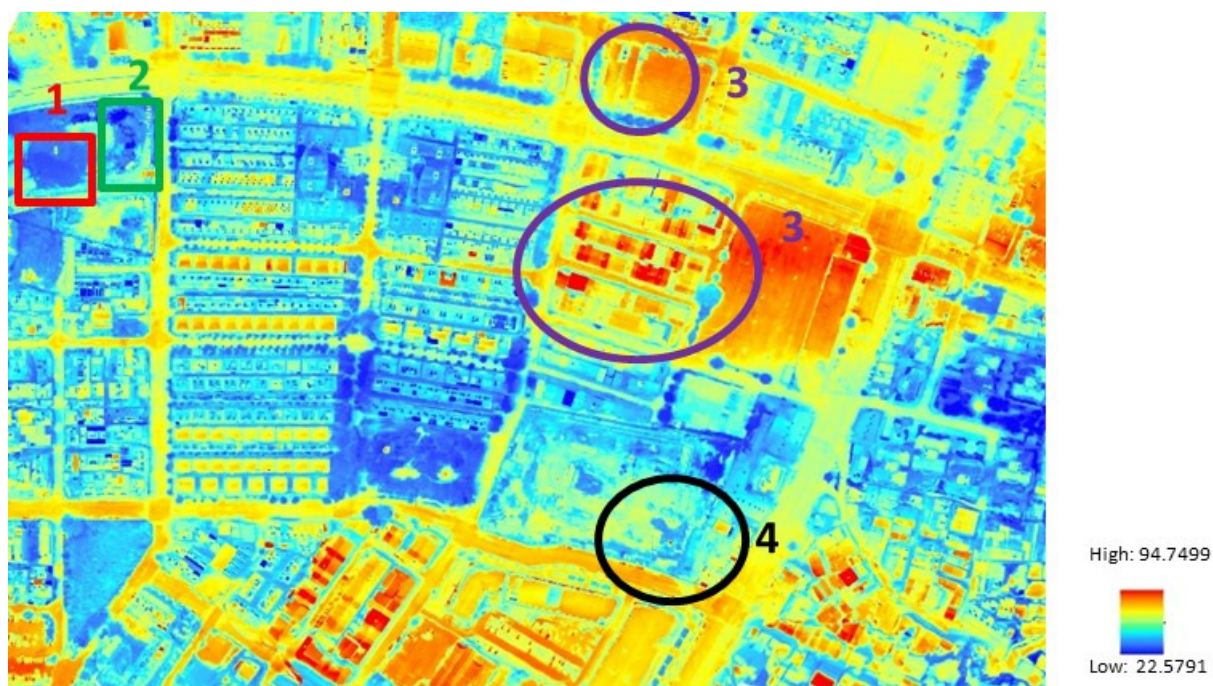


圖 5-3 多光譜感測器積水判釋應用(熱感影像)

第陸章 附錄

附錄一 期中報告審查意見回覆說明表

委員	審查意見	意見答覆
吳水吉 委員	1.P.18, 第 2 行, 如圖 3-11, 應為圖 3-17。	已修正, 如 P.20。
	2.P.31, 第 5 行, 本團隊利用 2 次航拍成果計算 NDVI, 是否為 NDWI 之筆誤? 又圖 3-50 與圖 3-51 紅色為水體, 則圖 3-51 是否合理? 如何解釋?	已修正, 如 P.33 及 P.34。並調整 NDWI 圖片顯示方式, 以避免誤會。
	3.P.50, 後 2 行, 第 2 次作業時崩塌範圍下方已遭土石堆積, 造成河道縮減, 故崩塌範圍較第 1 次作業之崩塌範圍大, 堆積非崩塌, 在影像上表現非常相似而視為崩塌很不合理, 本計畫有加入高度, 應可以分開。	已修正, 如 P.32。
	4.本計畫使用 sequoia 多光譜感測器, 此儀器有光照儀有何用途?	光照感測器用於感測作業現況之光照情形, 以進行後續輻射校正作業, 另補充於 P.15。
	5.P.10, 第 1 段第 10 行, 提到自動進行輻射校正, 請說明輻射校正的方法, 又如何消除各波段間影像套合。	本案採用之多光譜感測器 Sequoia, 於商用軟體 Pix4DMapper 有專屬模組, 軟體僅需加入輻射校正影像即可進行輻射校正作業, 並進行波段影像套合, 並無提供人工調整之選項。
	6.P.35, 圖 3-62 與圖 3-63 多光譜感測器影像是由哪幾個波段組合而成, 若是相同波段組合而成, 色彩應該很一致, 但似乎還有一些差異, 所以輻射校正之成效如何應作檢討。	由於原圖片顯示方式容易造成誤會, 故修正如 P.37~P.38。
	7.本次計畫執行可以說明 Pixel-base, 是否有機會試著利用 Object-base 的方法作測試。	由於本團隊現行可用之軟體僅可進行 Pixel-base 之作業方式, 故現階段尚無法進行 Object-base 之方法測試, 本團隊將加入此建議納入未來作業評估。
	8.分類成果表如何計算整個精度、kappa 係數, 缺少使用者精度, 樣本數多少? 是否合理。	已修正, 如 P.41~P.70。
	9.光達的測試精度如何? 後續請補充說明。	相關測試精度將於後續工作完成後說明。
蔡榮得	1.針對新竹秀巒地區之航拍影像進行崩塌	已修正, 如 P.32~P.35。

委員	範圍判釋，各方法所得二次作業之崩塌範圍圖，建議加上方法名稱以示區別。同時，請說明應用 ENVI 軟體進行最大概似法監督式分類如何剔除範圍內之孔洞(非崩塌地區)現象。	
	2.第三章第六節多光譜影像之各種分類方法成果，如表 3-5~3-22，以百分比表示地真資料經過分類為不同類別，僅可計算出生產者(或漏授)精度，無法計算使用者精度，且整體精度及 kappa 係數之計算不明，宜修正為真實之像元數量。	已修正，如 P.41~P.70。
	3.第五章第二節建議(第 68-69 頁)，圖 5-1 中未說明氮肥濃度試驗區(N1~N4)之水稻生長情形關係。另外，圖 5-2 中 NDWI 中各類地物框選範圍無法明確顯示 4 類地物之區別。	已修正，如 P.82~P.83。
	4.表 3-23(P.57)是否含訓練樣區選取階段所需之作業時間?	該表格之作業時間不包含訓練樣區選取之作業時間，已修正如 P.71。
夏榮生 委員	建議內容可以針對本計畫在發展無人載具系統測繪技術上有哪些是比較不一樣的地方，精進的地方為何?	已修正，如 P.71。
	是否有可能提供定翼機及旋翼機無人飛行載具在不同應用(測繪技術)上實際測試區資料之成果分析比較。	本團隊多年承接國土測繪中心以定翼機進行航拍與影像處理作業之相關專案，由於定翼機飛行高度較高，作業時間較長，可應用於較大範圍之影像後處理相關應用，而旋翼機作業時間較短，且飛行高度較低，可應用於較小範圍之影像處理及監測工作。
	對於地物分類之農作物種類上是否可以提供不同類別植被的測試區資料(如稻米、玉米、菜類、水果區、森林區)以增加空間解析度在不同植被上是否有不同之效果。	本案之測試作業主要以國土測繪中心相關業務應用為考量，故目前針對較大類別之分類進行研究。
李振燾 委員	1.文字部分:。 (1)P.10, 小結第 1 段末, 建議增列參考文獻。 (2)P.21, 式(1)統一編碼。 (3)P.37, 式(1)統一編碼。 (4)P.54, 測試 F, R+G+B... 與其餘一致。	(1)已修正, 如 P.10。 (2)已修正, 如 P.23。 (3)已修正, 如 P.39~P.40。 (4)已修正, 如 P.66。
	2.UAS 整合系統(多光譜及光達兩部分) (1)說明多光譜及光達部分酬載總重量, 增列單旋翼型 UAS 規格表。	(1)已修正, 如 P21 及 P.73。 (2)高解析度彩色數位相機之同步操控透過簡易型 POS 紀錄觸

	<p>(2)說明飛航及航拍同步如何操控。 (3)說明單次作業能量(解析度、時間、面積) (4)說明記憶體容量(內存、SD 卡) (5)說明感測器校正程序，成果報告。 (6)表 3-4 地面解析度及航高對照，建議跳列至解析度 20 公分、30 公分</p>	<p>發時間進行控制，並說明如 P.19，而多光譜感測器內建 POS 系統，為獨立系統，故不與高解析度彩色數位相機同步。而光達系統則以 GPS 時間進行同步。 (3) 多光譜感測器研究測試作業之各項目作業時間分述於第參章中。 (4) 多光譜感測系統之記憶體容量如 P.14 及 P.16 說明 (5)本案採用之多光譜感測器依照原廠建議之校正程序進行輻射校正及姿態校正，說明如 P.22 及 P.23。而高解析度彩色數位相機之內方位率定作業說明如 P.17~P.19。 (6)已修正，如 P.24。</p>
	<p>3.系統測試成果說明解析度 30 公分表現較佳的原因，另說明表 3-23 作業時間是如何計算?</p>	<p>已修正，如 P.71。</p>
	<p>4.P.68 建議部分增列未來 UAS 整合系統優化說明。</p>	<p>本案多光譜感測器及光達設備之整合，皆根據目前感測器及載具本身之特性以最合適之方式進行整合，未來如相關感測器技術持續精進，可評估 UAS 同時搭載多光譜及光達設備。</p>
<p>林志清 委員</p>	<p>1.第貳章近三年國內外研究測試與應用案例，部分案例如農業災損評估、考古領域應用等未敘述具體成效，請於總報告內補充。</p>	<p>遵照辦理，相關內容將於總報告內補充。</p>
	<p>2.P.24 第五節多光譜感測資料崩塌地判釋應用，有關引用 DEM 的來源及測製時間請註明，另有以下問題： (1)P27 表示「可從 106 年第 2 次航拍.....造成河道縮減，如圖 3-38。」但由上游水量來看很明顯有減少情形，是否必須考慮河川的枯水期。 (2)P30 圖 3-44 及 3-45 來看，全區內土地高度皆有上升與下降情形，即是全區內土地即有堆積及崩塌，不是很合理，建議應考慮 DEM 精度，將非崩塌及堆積區域篩選出來。 (3)既然可以獲得 DEM 了，也可進一步分析崩塌情形，那多光譜資料是扮演什麼角色？</p>	<p>(1)由於 2 次作業時間相近，且該河道之南方為下游，縮減情形較為明顯，故認為受到泥沙堆積影響。 (2)本測試作業採用之 DEM 為本案航拍影像經後處理軟體 Pix4DMapper 製作而得。堆積及崩塌區域已分別劃設及計算面積如 P?? (3)利用多光譜資料可於取得崩塌影像短時間內快速且較自動化方式劃設崩塌範圍並計算面積，後續並可結合取得 DEM 估計崩塌土方量，可提供量化資料</p>

		於救災應用參考。
	3.P.33 第六節多光譜感測資料影像分類分析，圖 3-62、3-63 及 3-64 多光譜影像差異很大，在右下角綠植被位置，是否為處理方式不同所致？請查明。	由於以不同航高進行航拍，拍攝範圍略有不同，故造成原圖看似差異大之問題，為避免誤解，已修正如 P.37~P.38。
	4.有關 UAS 搭載多光譜感測器及 UAS 搭載光達儀器之系統組裝方式請於總報告補充，並摘要說明儀器選擇原因及建置費用。	遵照辦理，相關內容將於總報告內補充。

附錄二 作業計畫書甲方工作小組意見回覆說明表

審查意見	意見答覆
1.P.18-19, 多光譜設備(Sequoia)內置 GNSS, 另 UAS 亦有簡易型 POS 系統, 兩者資料是否同時使用或如何整合?請補充說明。	多光譜設備採用內置 GNSS, UAS 之簡易型 POS 系統則提供 UAS 其他感測器使用, 如數位單眼相機, 兩者之間的差異可透過已知地面控制點進行約制, 如 P.17。
2.P.25, 第三節光達研究為分年度辦理工作, 研究工作項目請補充敘明各於何年度辦理。	已修正, 如 P.24。
3.P.26, 說明光達設備整合將依相關作業經驗進行, 以往作業是否遭遇問題或困難? 具體整合精進方式為何?請補充說明。	已修正, 如 P.26。
4.P.32, 說明利用 Acute3D 影像處理軟體進行不同來源資料之三維模型建置, 惟未說明在資料取得上之相關作業規劃, 如空中 UAS 與地面 MMS 以何種方式拍攝或如何搭配獲取資料, 請補充說明。	已修正, 如 P.32。
5.P.35, 第肆章工作進度內容建議合併於第壹章第二節工作項目及內容撰寫。	已修正, 如 P.2 及 P.3。
6.P.38, 圖 5-1 排版有誤, 請修正。	已修正, 如 P.35。
7.P.44-45, 第二節業績經驗及第三節在建工程內容建議刪除。	已修正, 業績經驗及在建工程已刪除。
8.P.50-51, 有關服務建議書委員審查意見答覆內容, 部分意見未具體答覆, 如吳水吉委員第 1 點意見, 建議請補充研究理論基礎與方法及流程, 並適時修正相關內容。	已修正, 如 P.46, 相關審查意見回覆將根據實際作業經驗, 持續修正相關內容。
9.定稿書面計畫書請以彩色雙面列印裝訂。	遵照辦理。
10.文字修正說明如下: (1)封面請修正為「作業計畫書」。 (2)報告書中「貴中心」請統一修正為「國土測繪中心」; 「本團隊」請統一修正為「本團隊」。 (3)P.23, 倒數第 6 列, 亦透過選定的地面真像...	(1)已修正, 如封面。 (2)已全面修正。 (3)已修正, 如 P.22。

附錄三 每月工作會議紀錄

內政部國土測繪中心

「106 年度航拍與影像處理作業採購案」及「106 及 107 年度發展無人飛行載具系統測繪技術採購案」6 月份工作會議紀錄

- 壹、時間：106 年 6 月 8 日（星期四）下午 4 時
- 貳、地點：本中心第 2 會議室
- 參、主持人：林課長昌鑑 記錄：施錦揮
- 肆、出席單位及人員：如簽到簿。
- 伍、廠商報告事項：「106 年度航拍與影像處理作業採購案」與「106 及 107 年度發展無人飛行載具系統測繪技術採購案」6 月份工作情形。
- 陸、會議結論：
- 一、「106 年度航拍與影像處理作業採購案」
 - (一)、一般航拍作業請優先航拍農林航空測量所委託辦理區域(苗栗火炎山及南投九九峰)，並掌握天候於 6 月 30 日前完成；另彰化縣大城鄉及花蓮縣卓溪鄉請於 6 月 16 日前提提供空域申請資料。
 - (二)、本案使用 Canon 5DSR 相機執行嘉義市東西區航拍任務，請將完成之相機率定結果於修正作業計畫書時一併補充。
 - (三)、有關 UAS 成果展示工作，請配合彙整 UAS 航拍與研究作業成果製作 2 張展示海報，並於本案第 4 階段繳交工作總報告書成果時一併提送。
 - 二、「106 及 107 年度發展無人飛行載具系統測繪技術採購案」
 - (一)、本中心配合測量學術研討會(預定 9 月舉辦)規劃發表 UAS 搭載多光譜設備相關研究成果，請協助於 6 月 30 日前研提成果發表題目，並於 8 月 30 日前完成初步作業成果。
 - (二)、有關多光譜感測器研究測試作業，請針對研究目標與工作項目及方法流程等作業規劃進行加強，尤其是後續 UAS 同時搭載多種感測器設備於緊急災害應變之實際應用部分，相關作業規劃請於下次工作會議中說明。
- 柒、散會：下午 4 時 05 分

內政部國土測繪中心「106 年度航拍與影像處理作業採購案」與「106 及 107 年度發展無人飛行載具系統測繪技術採購案」及「106 及 107 年度發展車載移動測繪系統(MMS)作業採購案」

工作會議簽到簿

時 間：106 年 6 月 8 日(星期四)下午 2 時		
地 點：本中心第 2 會議室		
主 席：林課長昌鑑 林昌鑑		記 錄：施錦揮 鍾文亮
出席人員(單位)	職 稱	簽 到 處
經緯航太科技股份有限公司		林奕翔
		蔡孟倫
		謝佳諭
地形及海洋測量課		
		卓世賢
		施錦揮
		鍾文亮

內政部國土測繪中心

「106 年度航拍與影像處理作業採購案」及「106 及 107 年度發展無人飛行載具系統測繪技術採購案」7 月份工作會議紀錄

- 壹、 時間：106 年 7 月 18 日（星期四）上午 10 時
- 貳、 地點：本中心第 2 會議室
- 參、 主持人：林課長昌鑑 記錄：施錦揮
- 肆、 出席單位及人員：如簽到簿。
- 伍、 廠商報告事項：「106 年度航拍與影像處理作業採購案」與「106 及 107 年度發展無人飛行載具系統測繪技術採購案」7 月份工作情形。
- 陸、 會議結論：
- 一、 「106 年度航拍與影像處理作業採購案」
 - (一)、 有關本案協助其他機關之 UAS 航拍作業，請依契約規定掌握時程辦理，並請儘速繳交成果。
 - (二)、 請配合本中心提升服務品質實地輔導作業（預定 8 月底辦理），協助辦理旋翼機實地操作等相關展示。
 - 二、 「106 及 107 年度發展無人飛行載具系統測繪技術採購案」
 - (一)、 請配合本中心參與第 36 屆測量及空間資訊研討會成果發表，針對多光譜研究測試作業，製作測試成果內容簡報並於 8 月 15 日前送交本中心。
 - (二)、 有關多光譜感測器研究測試作業，請針對新竹縣尖石鄉崩塌地區航拍測試結果，比較與一般 RGB 影像成果差異性及未來應用上優勢並納入期中報告中。另請一併說明測試區域範圍與資料取得至影像處理完成所需時間，以利後續緊急應變應用參考。
- 柒、 散會：上午 11 時 45 分

內政部國土測繪中心「106 年度航拍與影像處理作業採購案」與「106 及 107 年度發展無人飛行載具系統測繪技術採購案」及「106 及 107 年度發展車載移動測繪系統(MMS)作業採購案」

工作會議簽到簿

時 間：106 年 7 月 18 日(星期二)上午 10 時		
地 點：本中心第 2 會議室		
主 席：林課長昌鑑 林昌鑑		記 錄：施錦揮、鍾文彥
出席人員(單位)	職 稱	簽 到 處
經緯航太科技股份 有限公司	副總經理	張瑞隆
	經理	林奕翔
	專案經理	蔡孟倫
□	專案經理	謝信諭
地形及海洋測量課		
	技正	李如賢
	技士	鍾文彥
	課員	施錦揮

內政部國土測繪中心

「106 年度航拍與影像處理作業採購案」及「106 及 107 年度發展無人飛行載具系統測繪技術採購案」7 月份工作會議紀錄

- 壹、 時間：106 年 8 月 17 日（星期四）上午 10 時
- 貳、 地點：本中心第 2 會議室
- 參、 主持人：林技正世賢代 記錄：施錦揮
- 肆、 出席單位及人員：如簽到簿。
- 伍、 廠商報告事項：「106 年度航拍與影像處理作業採購案」與「106 及 107 年度發展無人飛行載具系統測繪技術採購案」8 月份工作情形。
- 陸、 會議結論：
- 一、 106 年度航拍與影像處理作業採購案
 - (一) 有關桃園市（平鎮區與新屋區及觀音區）協助航拍區，請依地面控制點測量成果，分析快速拼接影像與正射影像精度差異，並將結果送交本中心。
 - (二) 請配合本中心服務品質實地輔導作業，提供 1 臺旋翼機並指派 1 名操作人員於 8 月 28 日上午 8 時 30 分前抵達本中心進行設備測試及待命。
 - (三) 有關本中心數位相機（Canon 5D2）故障須維修，因該相機已超過使用年限（5 年）且規劃後續 108 至 111 年科技計畫購置數位相機，故暫不予維修。本案執行期間請配合提供性能相當（或以上）數位相機於國土測繪 1 號辦理航拍作業時使用。
 - 二、 106 及 107 年度發展無人飛行載具系統測繪技術採購案
 - (一) 請配合本中心參與第 36 屆測量及空間資訊研討會成果發表，針對多光譜研究測試結果補充簡報內容（含多光譜應用於崩塌地監測之優勢），並於 8 月 25 日前送交本中心。
 - (二) 有關多光譜感測器研究測試作業（新竹縣尖石鄉崩塌區），請分析 NDVI 與 NDWI 指數計算崩塌面積之成果差異。
- 柒、 散會：上午 12 時

內政部國土測繪中心「106 年度航拍與影像處理作業採購案」與「106 及 107 年度發展無人飛行載具系統測繪技術採購案」及「106 及 107 年度發展車載移動測繪系統(MMS)作業採購案」工作會議簽到簿

時 間：106 年 8 月 17 日(星期四)上午 10 時		
地 點：本中心第 2 會議室		
主 席：林課長昌鑑 <i>林世聖代</i>		記 錄：施錦揮、鍾文彥
出席人員(單位)	職 稱	簽 到 處
經緯航太科技股份有限公司	<i>經理</i>	<i>林奕翔</i>
		<i>譚任諒</i>
		<i>蔡子倫</i>
地形及海洋測量課		<i>林世聖</i>
		<i>施錦揮</i>
		<i>鍾文彥</i>

內政部國土測繪中心

「106 年度航拍與影像處理作業採購案」及「106 及 107 年度發展無人飛行載具系統測繪技術採購案」10 月份工作會議紀錄

壹、 時間：106 年 10 月 5 日（星期四）上午 10 時

貳、 地點：本中心第 2 會議室

參、 主持人：林課長昌鑑

記錄：施錦揮

肆、 出席單位及人員：如簽到簿。

伍、 廠商報告事項：「106 年度航拍與影像處理作業採購案」與「106 及 107 年度發展無人飛行載具系統測繪技術採購案」9 月份工作情形。

陸、 會議結論：

一、106 年度航拍與影像處理作業採購案

(一) 本年緊急航拍區因無接獲任務，請配合本中心電子地圖更新區選定臺南市東區(平實市地重劃)及雲林縣斗六市(湖山水庫)辦理航拍作業，並於 10 月底前完成。

(二) 有關 UAS 成果展示工作，須配合彙整 UAS 航拍與研究作業成果製作 2 張展示海報，請提早作業並於繳交工作總報告書成果時一併提送。另本案已規劃選定臺中車站新站為全景攝影航拍區域，請於 10 月底前完成航拍作業。

(三) 請協助分析計算解析度 0.1 公尺航拍及影像處理作業成本，並於繳交工作總報告書成果時一併提送。

二、106 及 107 年度發展無人飛行載具系統測繪技術採購案

(一) 本案第 3 階段期中報告成果須於 106 年 11 月 19 日繳交且應包含光達設備整合工作進度，請掌握時程辦理並於下次工作會議時簡報光達設備整合作業進度。

(二) 有關多光譜感測器研究測試結果，請參考所蒐集之國內外文獻，針對測試作業所發現之問題及結果進行比較與分析並提出改進建議。另請依不同分類方法之測試結果，提出各地物最適分類方法之建議並納入期中報告。

柒、 散會：上午 12 時

內政部國土測繪中心「106 年度航拍與影像處理作業採購案」與「106 及 107 年度發展無人飛行載具系統測繪技術採購案」及「106 及 107 年度發展車載移動測繪系統(MMS)作業採購案」工作會議簽到簿

時間：106 年 10 月 5 日(星期四)上午 10 時		
地點：本中心第 2 會議室		
主席：林課長昌鑑		記錄：施錦揮、鍾文彥
出席人員(單位)	職稱	簽到處
經緯航太科技股份有限公司		林奕翔
	工程師	胥樹棟
	專案經理	謝佳訓
		蔡孟倫
地形及海洋測量課		林昌鑑
		符世賢
		鍾文彥
		施錦揮

內政部國土測繪中心

「106 年度航拍與影像處理作業採購案」及「106 及 107 年度發展無人飛行載具系統測繪技術採購案」11 月份工作會議紀錄

- 壹、時間：106 年 11 月 8 日（星期三）下午 3 時
- 貳、地點：本中心第 2 會議室
- 參、主持人：林課長昌鑑 記錄：施錦揮
- 肆、出席單位及人員：如簽到簿。
- 伍、廠商報告事項：「106 年度航拍與影像處理作業採購案」與「106 及 107 年度發展無人飛行載具系統測繪技術採購案」10 月份工作情形。
- 陸、會議結論：
- 一、106 年度航拍與影像處理作業採購案
- (一) 有關 UAS 成果展示工作項目，須彙整相關成果資料製作 2 張展示海報，請重點呈現 UAS 航拍（圖資更新及協助航拍）與研究（多光譜資料計算崩塌範圍及地物分類測試）專案作業成果，於繳交工作總報告書成果時一併提送。
- (二) 請配合本中心提升服務品質實地輔導作業（預定 12 月初辦理），協助辦理旋翼機實地操作等相關展示。
- 二、106 及 107 年度發展無人飛行載具系統測繪技術採購案
- (一) 有關多光譜感測器研究測試案，請增加分析新竹縣尖石鄉崩塌地範圍自動分類與人工劃設之效率及 105、106 年彰化縣芳苑鄉地物分類精度及效率上差異，並將相關內容及 UAS 搭載多光譜感測器未來應用建議納入期中報告。
- (二) 請掌握時程辦理光達設備整合作業，相關設備如已整合完成可提早進行測試，以及早發現問題。
- 柒、散會：下午 5 時

內政部國土測繪中心「106 年度航拍與影像處理作業採購案」與「106 及 107 年度發展無人飛行載具系統測繪技術採購案」及「106 及 107 年度發展車載移動測繪系統(MMS)作業採購案」工作會議簽到簿

時 間：106 年 11 月 8 日(星期三)下午 3 時		
地 點：本中心第 2 會議室		
主 席：林課長昌鑑		記 錄：施錦揮、鍾文彥
出席人員(單位)	職 稱	簽 到 處
經緯航太科技股份有限公司		林奕翔
		謝任諭
		林昌鑑
地形及海洋測量課		林昌鑑
		林世賢
		施錦揮
		鍾文彥

附錄四 高解析度彩色數位相機率定報告

CAMERA CALIBRATION REPORT

PROJECT DETAILS

Camera: SONY ILCE-7

Filename: E:\work\20170419_A7II_21mm\20170419_A7II_21mm.aus

Calibration Date: 19/04/2017 17:55pm

METRIC CALIBRATION PARAMETERS

Resolution = 6000 x 4000 pixels

Pixel width = 0.0060mm, Pixel height = 0.0060mm

	VALUE	STANDARD ERROR
Principal distance	c = 21.4456mm	< 0.001mm
Principal point offset in x-image coordinate	xp = 0.1632mm	< 0.001mm
Principal point offset in y-image coordinate	yp = 0.0333mm	< 0.001mm
3rd-order term of radial distortion correction	K1 = 1.44547e-04	2.3130e-07
5th-order term of radial distortion correction	K2 = -2.69382e-07	1.3296e-09
7th-order term of radial distortion correction	K3 = 1.23414e-10	2.4191e-12
Coefficient of decentering distortion	P1 = 2.1500e-06	3.036e-07
Coefficient of decentering distortion	P2 = 1.8317e-05	2.154e-07
No significant differential scaling present	B1 = 0.0000e+00	4.817e-20
No significant non-orthogonality present	B2 = 0.0000e+00	4.817e-20
9th-order term of radial distortion correction	K4 = 0.00000e+00	4.8166e-36
11th-order term of radial distortion correction	K5 = 0.00000e+00	4.8166e-40

STANDARD CORRECTION EQUATION

The corrected image coordinates $x(\text{corr})$ & $y(\text{corr})$ can be calculated from the measured coordinates $x(\text{meas})$ & $y(\text{meas})$ by using the formulas:

$$x = x(\text{meas}) - xp$$

$$y = y(\text{meas}) - yp$$

x and y are now with respect to the principal point,

$$r^2 = x^2 + y^2$$

$$dr = K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7 + K4 \cdot r^9 + K5 \cdot r^{11}$$

$$x(\text{corr}) = x(\text{meas}) - xp + x \cdot dr/r + P1 \cdot (r^2 + 2x^2) + 2 \cdot P2 \cdot x \cdot y$$

$$y(\text{corr}) = y(\text{meas}) - yp + y \cdot dr/r + P2 \cdot (r^2 + 2y^2) + 2 \cdot P1 \cdot x \cdot y$$

Camera self-calibration determined in a network of 40 images and 648 points, to an image measurement accuracy (RMS 1-sigma) of 0.23 pixels or 1.35 μm , and qf of 1.0.

Produced by Australis from Photometrix - <http://www.photometrix.com.au>

PAGE 1 of 5

CAMERA CALIBRATION REPORT

GAUSSIAN RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE (dr)

For principal distance c , Gaussian radial distortion correction dr (microns) is given for any radial distance r (mm) as:

$$dr = K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7 + K4 \cdot r^9 + K5 \cdot r^{11}$$

$$\text{correction } dx = x \cdot dr / r$$

$$\text{correction } dy = y \cdot dr / r$$

	VALUE	STANDARD ERROR
$c =$	21.446mm	0.0009mm
$K1 =$	1.44547e-04	2.3130e-07
$K2 =$	-2.69382e-07	1.3296e-09
$K3 =$	1.23414e-10	2.4191e-12
$K4 =$	-4.19854e-53	4.8166e-36
$K5 =$	-1.79980e-58	4.8166e-40

$r(\text{mm})$	$dr(\text{microns})$
0.00	0.0
2.00	1.1
4.00	9.0
6.00	29.2
8.00	65.4
10.00	118.8
12.00	187.2
14.00	264.8
16.00	342.7
18.00	409.5
20.00	452.3



CAMERA CALIBRATION REPORT

BALANCED RADIAL DISTORTION CORRECTION PROFILE(dr)

For 'balanced' principal distance cb , radial distortion correction dr (microns) is given for any radial distance r (mm) as:

$$dr = K0 \cdot r + K1 \cdot r^3 + K2 \cdot r^5 + K3 \cdot r^7 + K4 \cdot r^9 + K5 \cdot r^{11}$$

$$cb = 21.0166\text{mm}$$

$$K0 = -2.00079\text{e-}02$$

$$K1 = 1.41655\text{e-}04$$

$$K2 = -2.63992\text{e-}07$$

$$K3 = 1.20945\text{e-}10$$

$$K4 = -4.11454\text{e-}53$$

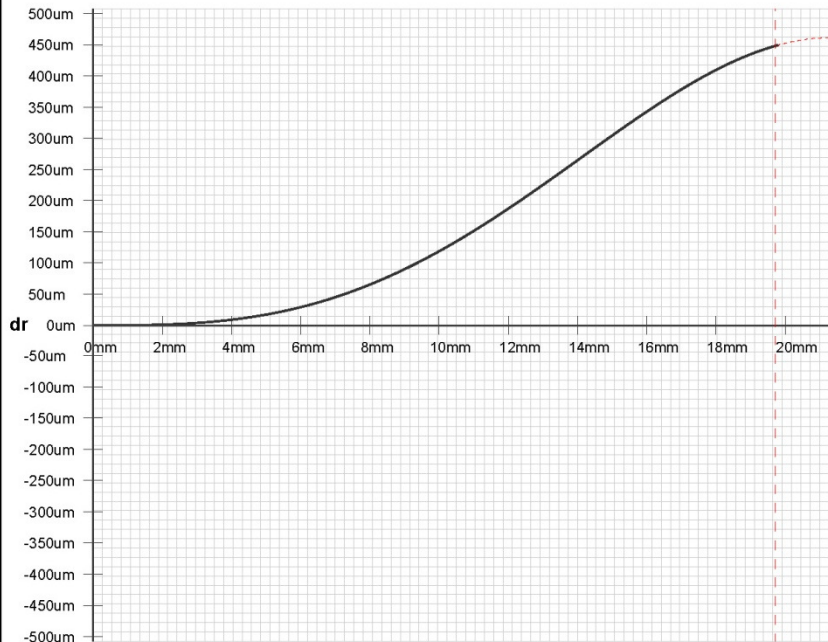
$$K5 = -1.76379\text{e-}58$$

r(mm)	dr(microns)
0.00	0.0
2.00	-38.9
4.00	-71.2
6.00	-91.5
8.00	-95.9
10.00	-83.6
12.00	-56.7
14.00	-20.6
16.00	15.7
18.00	41.2
20.00	43.1

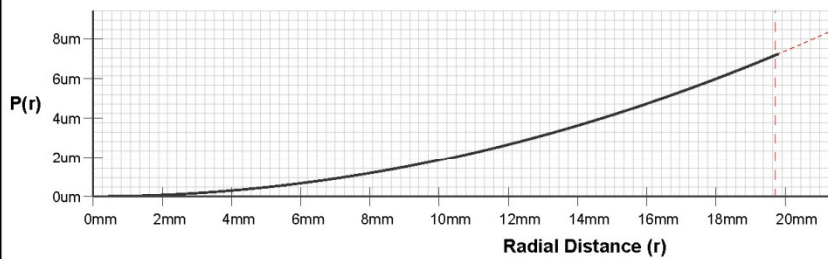
Distortion profile is 'balanced' ($dr = 0.0$) about a radial distance of $r = 15.1\text{mm}$

CAMERA CALIBRATION REPORT

GAUSSIAN RADIAL DISTORTION PLOT [dr shown in micrometres]

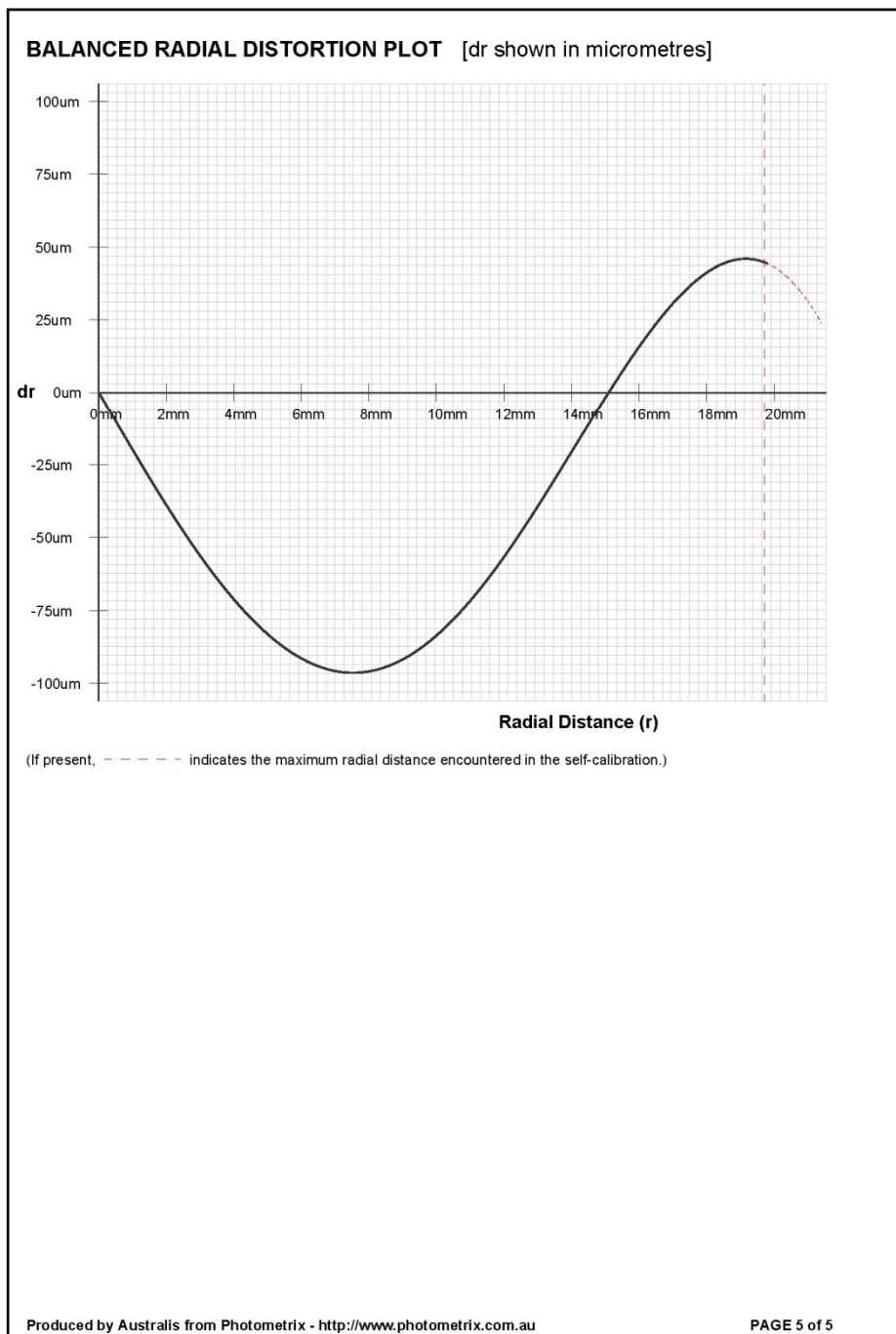


DECENTRING DISTORTION PLOT [P(r) shown in micrometres]



(If present, - - - indicates the maximum radial distance encountered in the self-calibration.)

CAMERA CALIBRATION REPORT



附錄五 參考文獻

1. S. Khan, L. Aragão & J. Iriarte, 2017. A UAV – lidar system to map Amazonian rainforest and its ancient landscape transformations, International Journal of Remote Sensing
2. Keun, S., Ki, S., Heuk, S., Wan, J., Yoen, D., & Jin, S., 2016. Estimation of Fractional Vegetation Cover in Sand Dunes Using Multi-spectral Images from Fixed-wing UAV. 한국측량학회지, 34(4), 431-441.
3. Sithole, G. , 2001. Filtering of laser altimetry data using a slope adaptive filter. International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 34(3/W4), 203-210.
4. Wallace, L., Lucieer, A., Malenovský, Z., Turner, D., & Vopěnka, P. , 2016. Assessment of forest structure using two UAV techniques: A comparison of airborne laser scanning and structure from motion (SfM) point clouds. Forests, 7(3), 62. The 10th International Conference on Mobile Mapping Technology
5. G. J. Tsai, M. C. Tsai, K. W. Chiang & N. El-Sheimy, 2017. The performance analysis of LiDAR-based Unmanned Aerial Vehicles for disaster reduction mapping application, Secssion (C3)- Hall (C), 12-14.
6. El-Sheimy, N. ,1996, The Development of VISAT - A Mobile Survey System For GIS Applications, Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary, Calgary, Canada.
7. Chang, K. T., Liu, J. K., and Wang, Z. Y. ,2012. AN OBJECT-ORIENTED ANALYSIS FOR CHARACTERIZING THE RAINFALL-INDUCED SHALLOW LANDSLIDE, Journal of Marine Science and Technology, 20(6), 647-656 , Dec. 2012. (DOI: 10.6119/JMST-012-0430-2) (SCIE, EI) ISSN : 1023-2796.
8. 詹鈞評, 2016。應用透視投影轉換進行微型化多相機陣列之波段套合, 航測及遙測學刊第二十一卷第3期, 第183-197頁。
9. 行政院農業委員會農業試驗所, 2016。建立遙航測協助農情災損勘查技術可行性評估-以尼伯特颱風對台東縣釋迦園損害評估為例之工作報告。
10. http://www.chsurvey.com.tw/page03_up0303_result01.html
11. <https://zh.wikipedia.org/wiki/支持向量機>

12. 林務局，2007。先進航遙測應用技術開發(3/3)，行政院農委會九十七年度科技專案計畫研究報告。