



內政部  
110年度三維國土形變及空間智能分析技術  
發展工作案

期末報告書 (修正版)

案號：110CCL031C

主辦單位：內政部

執行單位：國立中央大學 太空及遙測研究中心

國立陽明交通大學 防災與水環境研究中心

計畫期程：自 110 年 3 月 26 日至 110 年 11 月 25 日



# 目 錄

目 錄.....	i
圖目錄.....	iv
表目錄.....	xi
摘要.....	xiii
Abstract .....	xv
第一章 前言.....	1
1.1 計畫背景.....	1
1.2 計畫目的.....	1
1.2.1 技術建立.....	2
1.2.2 應用服務試辦.....	3
1.2.3 數據分析.....	4
1.2.4 科教活動、參與國際事務與成果推廣.....	4
1.3 未來規劃與構想.....	4
第二章 背景分析.....	11
第三章 工作項目.....	13
3.1 工作項目.....	13
3.2 工作進度.....	17
3.3 繳交成果及繳驗時程.....	20
第四章 實施方法與成果.....	22
4.1 應用人工智慧發展衛星影像地表形變分析技術與應用.....	22
4.1.1 利用雷達衛星影像發展長期地表形變智慧分析技術.....	22
4.1.2 建立機器學習於高解析光學影像地表形變分析技術.....	31
4.1.3 發展多元衛星影像智慧處理與立體重建技術.....	38
4.1.4 擴充衛星影像智慧加值應用與後續推動可行性評估.....	46

4.2 應用人工智慧發展航遙測影像辨識技術與應用 .....	49
4.2.1 建立航遙測影像地表形變智慧分析技術 .....	49
4.2.2 建立航遙測影像智慧辨識訓練資料集，須對不同類型之資料集進行整理並分析其適用性 .....	57
4.2.3 建立航遙測自動化地物智慧辨識與分類技術，並評估其精度與成效 .....	74
4.2.4 評估航遙測影像結合測量實工作之智慧整合應用 .....	82
4.3 衛星與航遙測影像智慧分析、辨識與製圖防災整合應用案例試辦 .....	90
4.3.1 雷達衛星影像地表形變分析之試辦，至少包含全臺灣 C-波段多時期雷達影像，及選定之災害潛勢區域 L-波段與 X-波段雷達影像；前述潛勢區域之試辦須選定至少 2 處，並與內政部討論定案，任 1 處之試辦面積須達 100 平方公里以上，且運用包含(或優於) 3 公尺解析度之影像在內進行分析 .....	90
4.3.2 以兩年內高解析(2 公尺或更優)光學衛星影像試辦數值地表模型(DSM)變異分析，試辦區選定須內政部討論且總面積須達 3,600 平方公里以上 .....	102
4.3.3 航遙測影像分析與辨識之結果，須與相關應用平台進行整合試辦，其試辦方案須與內政部討論後辦理 .....	118
4.3.4 前述試辦本團隊需自行取得相關資料，並協調應用平台之整合 .....	138
4.3.5 以臺灣地區航遙測影像進行地物辨識與分類試辦，試辦區範圍至少為五分之一圖幅 10 幅(含)以上，試辦區需與內政部討論選定且得洽內政部協助提供必要之既有測繪圖資 .....	138
4.4 評估智慧物聯網之防災整合應用技術 .....	157
4.4.1 模擬基於感測器與模型資料，發展智慧建築等適地性應用；前述模擬須運用三維圖資在內之整合技術 .....	157
4.4.2 模擬基於三維圖資與路網資訊整合路側影像感測器，發展具跨影像區域分析及物件追蹤之智慧防救災整合技術 .....	173
4.4.3 以實際場域進行適地性服務應用試辦，其試辦方式與場域選擇需與內政部討論定案；前述試辦本團隊需自行取得相關資料或建置物聯網相關所需裝置 .....	187
4.5 數據分析與科教活動 .....	194
4.5.1 辦理高程基準潮位站數據分析工作，其至少須包含基隆與東沙潮位站數據 .....	194
4.5.2 配合內政部及國立海洋科技博物館，規劃水深與高程測量相關成果發表之科學教育教	



材，並舉辦 1 場次(至少 6 小時)之科教活動；受邀參加活動對象需經內政部同意.....	218
4.5.3 蒐集本案相關之航遙測技術與應用文件，製作科學教育數位課程教材 1 式，並舉辦 1 場次(至少 6 小時)之科教活動；受邀參加活動對象需經內政部同意.....	221
4.6 成果發表及技術交流.....	223
4.7 成果效益評估與計畫進度管考.....	226
4.8 工作會議.....	227
第五章 結論.....	228
參考文獻.....	234
其他相關資料及附件.....	239

## 圖目錄

圖 1.2-1、工作項目關聯圖 .....	2
圖 4.1-1、合成孔徑雷達差分干涉示意圖 .....	23
圖 4.1-2、PSINSAR™ 之 PS 篩選概念示意圖 .....	24
圖 4.1-3、永久散射體像素示意圖 .....	25
圖 4.1-4、永久散射體誤差評估流程圖 .....	27
圖 4.1-5、SENTINEL-1 雲林地區 PSINSAR 成果 .....	30
圖 4.1-6、SENTINEL-1 雲林地區 PSINSAR 精度評估成果 .....	30
圖 4.1-7、研究區域 .....	32
圖 4.1-8、部分前處理資料 .....	34
圖 4.1-9、模型訓練階段流程圖 .....	35
圖 4.1-10、訓練模型資料-解析前後影像(編號 7) .....	36
圖 4.1-11、訓練模型資料-解析後影像(編號 37) .....	37
圖 4.1-12、訓練模型資料-解析後影像(編號 368) .....	37
圖 4.1-13、訓練模型資料-解析後影像(編號 855) .....	38
圖 4.1-14、測試區與檢核點位置 .....	40
圖 4.1-15、測試區匹配點雲成果 .....	42
圖 4.1-16、測試區數值地表模型重建成果 .....	43
圖 4.1-17、數值地表模型重建成果局部放大圖：新竹縣第一運動場 .....	44
圖 4.1-18、第一組成果匹配錯誤例：河道變遷 .....	45
圖 4.1-19、第二組成果匹配錯誤例：稻田變遷 .....	46
圖 4.1-20、DATA CUBE 圖資 NDVI 加值應用範例 .....	48
圖 4.1-21、DATA CUBE 圖資 SAR 淹水判釋加值應用範例 .....	49
圖 4.2-1、花蓮縣瑞穗鄉林區數值地表模型 .....	52
圖 4.2-2、使用 DSM 偵測林區滑坡地表位移場之成果(白色虛框為崩塌範圍，黃色箭頭 為崩塌區域主要移動方向) .....	54
圖 4.2-3、比較 DSM PIV 向量(紅色箭頭)與人工量測建築物位移 .....	55
圖 4.2-4、使用航拍影像偵測林區滑坡地表位移場之成果(黑色虛框為崩塌範圍，黃色箭	

頭為崩塌區域主要移動方向).....	56
圖 4.2-5、比較航拍影像 PIV 向量(紅色箭頭)與人工量測建築物位移.....	57
圖 4.2-6、不同應用目的之智慧辨識技術.....	58
圖 4.2-7、AERIAL IMAGE SEGMENTATION 範例(地真類別:建物為紅色;道路為藍色;背景無色)(KAISER ET AL., 2017).....	61
圖 4.2-8、AIRS 範例(地真類別:屋頂為白色;非屋頂為黑色)(CHEN ET AL., 2018).....	62
圖 4.2-9、DRONEDeploy 範例(地真類別:建物為紅色)(PILKINGTON ET AL., 2019).....	63
圖 4.2-10、INRIA AERIAL IMAGE LABELING 資料集範例(地真類別:建物為白色;非建物為黑色)(MAGGIORI ET AL., 2017).....	64
圖 4.2-11、MASSACHUSETTS BUILDINGS 範例(地真類別:建物為紅色;非建物為黑色)(MNIH, 2013).....	65
圖 4.2-12、NZ32KM2 範例(地真類別:建物為白色)(WU ET AL., 2018).....	66
圖 4.2-13、TANZANIA BUILDING FOOTPRINT 範例(地真類別:已完工建物為藍色;未完工建物為黑色;地基為棕色)(OPEN AI TANZANIA, 2018).....	67
圖 4.2-14、LVIER-CD 範例(地真類別:有改變為白色;無改變為黑色)(CHEN & SHI, 2020).....	67
圖 4.2-15、SPACENET 範例(地真類別:建物為黑色)(VAN ETTEN ET AL., 2018).....	69
圖 4.2-16、WHU BUILDING 資料集範例 (JI ET AL., 2018).....	70
圖 4.2-17、AERIAL IMAGE SEGMENTATION 航拍影像對應地真資料 (地真類別:建物為紅色;道路為藍色;背景無色)(KAISER ET AL., 2017).....	73
圖 4.2-18、INRIA AERIAL IMAGE LABELING 航拍影像對應地真資料(地真類別:建物為白色;非建物為黑色)(MAGGIORI ET AL., 2017).....	73
圖 4.2-19、WHU BUILDING 航拍影像對應地真資料 (地真類別:建物為白色;非建物為黑色)(JI ET AL., 2018).....	74
圖 4.2-20、使用傳統機器學習與深度學習房屋辨識成果比較(WU ET AL., 2018).....	75
圖 4.2-21、BR-NET 架構圖, 分別產生房屋範圍與房屋邊界 (WU ET AL., 2018).....	76
圖 4.2-22、初步測試進行房屋偵測之辨識結果.....	77
圖 4.2-23、106 年獨立驗證資料房屋偵測與辨識結果.....	78
圖 4.2-24、CROSS ENTROPY 預測之房屋範圍與房屋邊界差異性.....	79
圖 4.2-25、四種模型訓練方式之成果比較圖.....	81

圖 4.2-26、台北市一千分之一數值地形圖編碼及圖式(台北市政府都市發展局，2004)	84
圖 4.2-27、人手孔圖例製作符號.....	85
圖 4.2-28、人孔智慧判識試辦資料(紅框:獨立驗證區).....	86
圖 4.2-29、辨識類別分類圖.....	87
圖 4.2-30、影像切割後人孔資料將獲得增益.....	87
圖 4.2-31、智慧辨識成果示意圖(紅:人工數化；藍:智慧辨識).....	88
圖 4.2-32、人孔智慧辨識成果.....	89
圖 4.3-1、全臺灣五年多時期形變監測試辦成果.....	92
圖 4.3-2、全台降軌 PSINSAR 衛星視角方向變形量三維拆解成果圖.....	93
圖 4.3-3、TERRASAR-X 形變監測試辦成果.....	95
圖 4.3-4、SENTINEL-1 形變監測成果.....	95
圖 4.3-5、TERRASAR-X 與 GNSS 站精度驗證成果.....	96
圖 4.3-6、SENTINEL-1 年平均速度.....	98
圖 4.3-7、ALOS-2 年平均速度.....	99
圖 4.3-8、GNSS 站位置.....	100
圖 4.3-9、GNSS 與 PS-INSAR 散布圖(左：SENTINEL-1 右：ALOS-2).....	101
圖 4.3-10、地表形變分析試辦區.....	103
圖 4.3-11、南部試辦區域 SPOT 立體對影像.....	104
圖 4.3-12、南部試辦區域利用 SPOT-6/7 立體對產製之數值地表模型.....	104
圖 4.3-13、南部試辦區域數值地表模型地表形變.....	105
圖 4.3-14、中部試辦區域 SPOT 立體對影像.....	106
圖 4.3-15、中部試辦區域利用 SPOT-6/7 立體對產製之數值地表模型.....	106
圖 4.3-16、中部試辦區域數值地表模型地表形變.....	107
圖 4.3-17、南部試辦區域累計地表形變區域面積統計.....	108
圖 4.3-18、南部試辦區域累積增減高度統計.....	108
圖 4.3-19、中部試辦區域累計地表形變區域面積統計.....	109
圖 4.3-20、中部試辦區域累積增減高度統計.....	109
圖 4.3-21、南部試辦區域明顯地表形變之圖幅.....	110

圖 4.3-22、中部試辦區域明顯地表形變之圖幅.....	111
圖 4.3-23、圖 95184059 地表形變及前後時期 SPOT 影像.....	113
圖 4.3-24、圖 95184071 地表形變及前後時期 SPOT 影像.....	114
圖 4.3-25、圖 94181077 地表形變及前後時期 SPOT 影像.....	115
圖 4.3-26、圖 95181051 地表形變及前後時期 SPOT 影像.....	116
圖 4.3-27、圖 96213070 地表形變及前後時期 SPOT 影像.....	117
圖 4.3-28、LANDSAT 8 雲遮示意圖.....	120
圖 4.3-29、104 年衛星判釋全島崩塌地圖.....	122
圖 4.3-30、各年度邊坡變異向量資料.....	122
圖 4.3-31、各年度崩塌地圖與長時綠地示意圖.....	123
圖 4.3-32、邊坡變異點判釋示意圖.....	124
圖 4.3-33、各類別取樣區域示意圖.....	125
圖 4.3-34、時間序列粗差濾除.....	126
圖 4.3-35、時間序列時間戳篩選示意圖.....	127
圖 4.3-36、變異地 NDVI 時間序列示意圖.....	129
圖 4.3-37、正樣本 NDVI 篩選示意圖.....	129
圖 4.3-38、長時綠地負樣本 NDVI 時間序列示意圖.....	130
圖 4.3-39、長時裸地負樣本 NDVI 時間序列示意圖.....	130
圖 4.3-40、時間序列重新取樣示意圖.....	131
圖 4.3-41、TSF 分類混淆矩陣(以> 12 T.S. NON-FILTERING 為例).....	133
圖 4.3-42、逐像元分類評估方式(重心重疊率).....	135
圖 4.3-43、TSF 各篩選組合逐像元分類成果.....	136
圖 4.3-44、獨立驗證區域 TSF 逐像元分類成果(NON-FILTER PP10).....	136
圖 4.3-45、TSF 分類成果於 GEE 呈現.....	137
圖 4.3-46、智慧辨識房屋變遷區域流程圖.....	139
圖 4.3-47、臺灣地區航遙測影像地物辨識 109 年試辦區域.....	140
圖 4.3-48、臺灣地區航遙測影像地物辨識 110 年試辦區域.....	140
圖 4.3-49、房屋偵測深度學習訓練成果.....	142

圖 4.3-50、AI 預測房屋區域.....	143
圖 4.3-51、人工數化及 AI 預測房屋區域.....	144
圖 4.3-52、混淆矩陣.....	144
圖 4.3-53、臺灣通用電子地圖與 AI 偵測房屋區域.....	149
圖 4.3-54、人工數化及 AI 判識房屋變遷物件示意圖.....	151
圖 4.3-55、臺灣通用電子地圖與 AI 判識房屋變遷物件.....	153
圖 4.3-56、房屋高差移位示意圖.....	157
圖 4.4-1、語意網技術整合城市模型與物聯網標準資料模型之架構.....	159
圖 4.4-2、CITYGML LOD4 類別(Gröger & Plümer, 2012).....	161
圖 4.4-3、INDOORGML 類別(Lee et al., 2014).....	162
圖 4.4-4、SENSORTHINGS API PART 1 類別圖(Liang et al., 2016).....	163
圖 4.4-5、SENSORTHINGS API PART 2 類別圖(Liang & Khalafbeigi, 2019).....	164
圖 4.4-6、物聯網裝置為物件(A-DEVICE-AS-A-THING)之整合本體論.....	165
圖 4.4-7、門窗為物件(A-OPENING-AS-A-THING)之整合本體論.....	166
圖 4.4-8、房間為物件(A-ROOM-AS-A-THING)之整合本體論.....	167
圖 4.4-9、建物為物件(A-ROOM-AS-A-THING)之整合本體論.....	168
圖 4.4-10、三維模型及對應之路網結構模擬資料.....	169
圖 4.4-11、三維模型與物聯網資源整合範例.....	169
圖 4.4-12、UNITY 腳本模擬溫度與煙霧感測器數據並上傳至 OGC SENSORTHINGS API 服務.....	171
圖 4.4-13、UNITY 腳本於 SENSORTHINGS API 服務獲取溫度與煙霧感測器數據.....	171
圖 4.4-14、以 SPARQL 查詢異常讀數之房間與路網節點.....	172
圖 4.4-15、以警示符號代表通往火災區域之路徑.....	172
圖 4.4-16、以箭頭符號指引逃生路徑.....	173
圖 4.4-17、跨 CCTV 影像移動物件追蹤處理程序.....	174
圖 4.4-18、MOG 萃取前景物件之範例.....	175
圖 4.4-19、RE <sup>3</sup> 追蹤物件之範例.....	176
圖 4.4-20、攝影機影像坐標轉換之示意圖.....	176
圖 4.4-21、時空移動機率函式(距離-機率)與路網結構.....	178

圖 4.4-22、物件拍攝面向之比對示意圖 .....	178
圖 4.4-23、模擬之場域及攝影機 A 至攝影機 G 之位置 .....	180
圖 4.4-24、移動物件追蹤成果截圖(攝影機視角) .....	181
圖 4.4-25、移動物件追蹤成果截圖(俯視圖) .....	182
圖 4.4-26、追蹤成果之命名 .....	183
圖 4.4-27、物件最低點位置偏移範例 .....	185
圖 4.4-28、物件遮擋範例 .....	185
圖 4.4-29、追蹤器誤差範例 .....	186
圖 4.4-30、桃園捷運 A18 站(影像來源：桃園捷運) .....	187
圖 4.4-31、物聯網裝置開發成果 .....	188
圖 4.4-32、閘道器開發成果 .....	189
圖 4.4-33、LINE 機器人推播訊息 .....	190
圖 4.4-34、智慧廁所布建 .....	191
圖 4.4-35、物聯網裝置 3D 列印包裝 .....	191
圖 4.4-36、資訊面板 .....	192
圖 4.4-37、攝影機等候人數偵測 .....	192
圖 4.4-38、等候時間測試成果 .....	193
圖 4.5-1、基隆潮位站現況 .....	197
圖 4.5-2、K997、K996 及 TG997 示意圖 .....	198
圖 4.5-3、臺灣水準原點高程基準網示意圖 .....	198
圖 4.5-4、水準點 K997 穩定性分析圖 .....	199
圖 4.5-5、水準點 TG997 穩定性分析圖 .....	199
圖 4.5-6、基隆潮位站音波式水位計歷年潮位變化 .....	202
圖 4.5-7、基隆潮位站壓力式水位計歷年潮位變化 .....	203
圖 4.5-8、基隆潮位站雷達式水位計歷年潮位變化 .....	204
圖 4.5-9、基隆潮位站音波式水位計觀測數據與調和分析之重組潮位時序圖 .....	206
圖 4.5-10、基隆潮位站壓力式水位計觀測數據與調和分析之重組潮位時序圖 .....	206
圖 4.5-11、基隆潮位站雷達式水位計觀測數據與調和分析之重組潮位時序圖 .....	207

圖 4.5-12、東沙潮位站線路配置示意圖 .....	211
圖 4.5-13、東沙潮位站水準點 TG77 與壓力式水位計(連續式和自記式)相對高程差 ..	212
圖 4.5-14、東沙潮位站 2009 年至 2013 年觀測潮位(藍)、預報潮位(紅)與殘差(綠)時序圖 .....	215
圖 4.5-15、東沙潮位站 2014 年至 2018 年觀測潮位(藍)、預報潮位(紅)與殘差(綠)時序圖 .....	216
圖 4.5-16、東沙潮位站 2019 年至 2021 年觀測潮位(藍)、預報潮位(紅)與殘差(綠)時序圖 .....	217
圖 4.5-17、研習營活動紀實 .....	220
圖 4.5-18、科教活動推廣簡介 .....	222
圖 4.5-19、衛星遙測基礎應用教育推廣工作坊活動照片 .....	223
圖 4.6-1、GEOAI 實驗室活動照片 .....	226
圖 4.7-1、政府研究資訊系統登載畫面 .....	227



## 表目錄

表 1.3-1、規劃之發展目標.....	5
表 3.2-1、預定工作進度表.....	17
表 3.3-1、各期程成果繳交項目.....	21
表 4.1-1、影像處理參數列表.....	26
表 4.1-2、雲林地區 GNSS 站列表.....	29
表 4.1-3、SPOT-6/7 測試影像日期.....	40
表 4.1-4、影像匹配成果.....	42
表 4.1-5、數值地表模型精度評估.....	46
表 4.2-1、PIV 參數設定.....	53
表 4.2-2、DSM PIV 向量場與人工量測成果比較.....	54
表 4.2-3、航拍影像 PIV 向量場與人工量測成果比較.....	56
表 4.2-4、國際標竿資料集基本資料.....	59
表 4.2-5、五種深度學習模型之比較(預測 108 年 9522I089).....	77
表 4.2-6、四種模型訓練方式之成果比較表(預測 106 年 9622IV4072).....	80
表 4.2-7、人孔測量相關作業規範.....	83
表 4.2-8、原始與增益後之人孔資料.....	87
表 4.2-9、人孔偵測之成果(獨立驗證).....	88
表 4.2-10、智慧辨識與人工數化資料之人孔形心的距離差異量.....	89
表 4.3-1、TERRASAR-X 拍攝模式列表.....	94
表 4.3-2、ALOS-2 拍攝模式列表.....	97
表 4.3-3、影像集資訊.....	120
表 4.3-4、時間戳篩選與 AOI 數量.....	127
表 4.3-5、錯誤濾除門檻設計.....	130
表 4.3-6、TSF 測試資料分類成果(以 AOI 為單元).....	133
表 4.3-7、TSF 逐像元分類誤授誤差(僅討論變異地).....	136
表 4.3-8、航遙測影像地物辨識資料集.....	141

表 4.3-9、房屋區域偵測方法 .....	146
表 4.3-10、房屋偵測精度分析:單圖幅 .....	147
表 4.3-11、房屋偵測精度分析:22 幅圖幅 .....	150
表 4.3-12、房屋變遷偵測方式 .....	151
表 4.3-13、房屋變遷偵測精度評估 .....	152
表 4.3-14、房屋變遷偵測錯誤之類型 .....	154
表 4.3-15、房屋變遷偵測成果之面積統計 .....	155
表 4.4-1、資訊整合方法比較(LIU ET AL., 2017) .....	158
表 4.4-2、第一組移動物件 .....	180
表 4.4-3、第二組移動物件 .....	180
表 4.4-4、身份辨識分群一致性 .....	183
表 4.4-5、追蹤位置誤差 .....	184
表 4.5-1、基隆潮位站設備、型號及數量 .....	197
表 4.5-2、基隆潮位站 2018 至 2020 年水位計參考點高程 .....	200
表 4.5-3、基隆潮位站水位計異常及排除狀況 .....	201
表 4.5-4、基隆潮位站各水位計主要分潮比較 .....	205
表 4.5-5、基隆潮位站水位計平均海水面高(單位：M) .....	208
表 4.5-6、基隆潮位站逐年水位計平均海水面高(單位：M) .....	208
表 4.5-7、東沙潮位站設備廠牌及規格 .....	211
表 4.5-8、東沙潮位站異常及排除狀況 .....	213
表 4.5-9、東沙潮位站觀測潮位平均海水面高 .....	217
表 4.5-10、東沙潮位站調和分析分潮重組平均海水面高(單位：M) .....	218
表 4.5-11、科教活動預定議程 .....	219
表 4.5-12、科教活動議程表 .....	222
表 4.6-1、蒐集研討會報告資訊 .....	224
表 4.8-1、工作會議舉辦時間表 .....	227

## 摘要

為發展與推廣智慧國土及智慧測繪科技以及相關應用，內政部 109 年度辦理「智能測繪科研發展計畫」，透過發展人工智慧與大量數據分析技術，利用衛星與航遙測影像進行國土地表形變分析、整理國際遙測影像訓練資料集、辦理相關科教活動等，進一步提升國土利用與形變分析技術。隨著人工智慧技術逐漸受到重視，如何將這些技術擴充及應用於國土利用與形變分析技術上，已成為刻不容緩的重要課題。

本計畫目的為發展人工智慧於測繪科技之相關應用，並透過人工智慧技術進行航遙測影像分析、辨識等應用。在技術發展與應用方面，本計畫工作成果包含：(1)透過雷達衛星影像地表形變智慧分析、機器學習等相關技術，發展衛星影像地表形變分析技術、(2)建立航遙測影像地表形變智慧分析、影像智慧辨識訓練資料集等相關技術，發展航遙測影像辨識技術與應用、(3)衛星與航遙測影像智慧分析與辨識，進行製圖防災整合應用案例試辦、(4)發展智慧物聯網之防災整合應用技術。在推動與評估方面，本計畫工作成果包含：(1)高程基準潮位站數據分析、(2)科教活動之推廣、(3)協助與配合內政部推動國際測繪合作事務、(4)發展智能實驗室。

本期報告詳述上列工作內容之實施方法以及階段性成果。透過本計畫的執行，達到整合與強化人工智慧應用之發展、落實科技紮根、厚植國家

科研人才，以及提昇相關產業與國家整體的競爭力。

## Abstract

In order to develop and promote related technologies and applications for smart land use and deformation monitoring and analyses, the Ministry of Interior (MOI) has initiated the “Technology Development for Smart Surveying and Mapping” project in 2020. The initiative aims to develop and integrate satellite and airborne remote sensing analysis with artificial intelligence (AI) and Big Data Analysis related technologies for land use and deformation monitoring and applications. In addition, the project will also promote the use of these new technologies and increase the public awareness of their applications.

In terms of technology development, the primary contents of this project include: (1) satellite-based optical and SAR data analysis for land change and deformation analysis and machine learning for this type of analysis; (2) airborne image analysis for land use and deformation monitoring and object detection applications; (3) smart analysis of satellite and airborne images for mapping and hazard mitigation applications; and (4) integrated IoT technologies for hazard mitigation applications.

On the other hand, this project also undertakes necessary tasks to promote the related technologies and their applications. These tasks include: (1) analysis of tidal station data; (2) promotion and popular science education of related topics; (3) international promotion and collaboration on surveying and mapping; and (4) establishment of smart mapping laboratories.

This report describes the materials, algorithms, and methodologies used and developed in this project as well as the progress and preliminary results of the tasks listed above. The outcomes of this project not only will integrate AI

and remote sensing for smart surveying and mapping but also build and increase the capacity for technology development and applications.

# 第一章 前言

## 1.1 計畫背景

內政部自100年起藉由「應用先進航遙測技術發展空間資訊計畫」引進國外先進行航遙測技術進行測試研究，105年接續推動「空間測繪應用研究發展計畫」進一步扶植自主科研技術，加速基礎圖資之測製效率，作為災害防救、國土規劃及民生經濟等重大事務應用。為進一步提升國土利用與形變分析技術，內政部109年度賡續辦理「智能測繪科研發展計畫」，透過發展人工智慧與大量數據分析技術，利用衛星與航遙測影像進行國土地表形變分析、整理國際遙測影像訓練資料集、研發自動化地物辨識技術、評估物聯網防災整合應用、潮位數據檢討分析、辦理相關科教活動、協助內政部推動國際測繪合作事務、成立智能實驗室厚植國家科研人才。

## 1.2 計畫目的

本計畫目的為發展人工智慧之相關應用，包含：(1)透過雷達衛星影像地表形變智慧分析、機器學習等相關技術，發展衛星影像地表形變分析技術、(2)建立航遙測影像地表形變智慧分析、影像智慧辨識訓練資料集等相關技術，發展航遙測影像辨識技術與應用、(3)衛星與航遙測影像智慧分析與辨識，進行製圖防災整合應用案例試辦、(4)發展智慧物聯網之防災整合

應用技術、(5)高程基準潮位站數據分析與科教活動之推廣。透過本計畫的執行，不僅可以整合與強化人工智慧應用之發展，落實科技紮根，工作項目關聯如圖 1.2-1所示。此外，對於人工智慧應用的推廣和人才培育等也有正面貢獻，更能提昇相關產業與國家整體的競爭力。

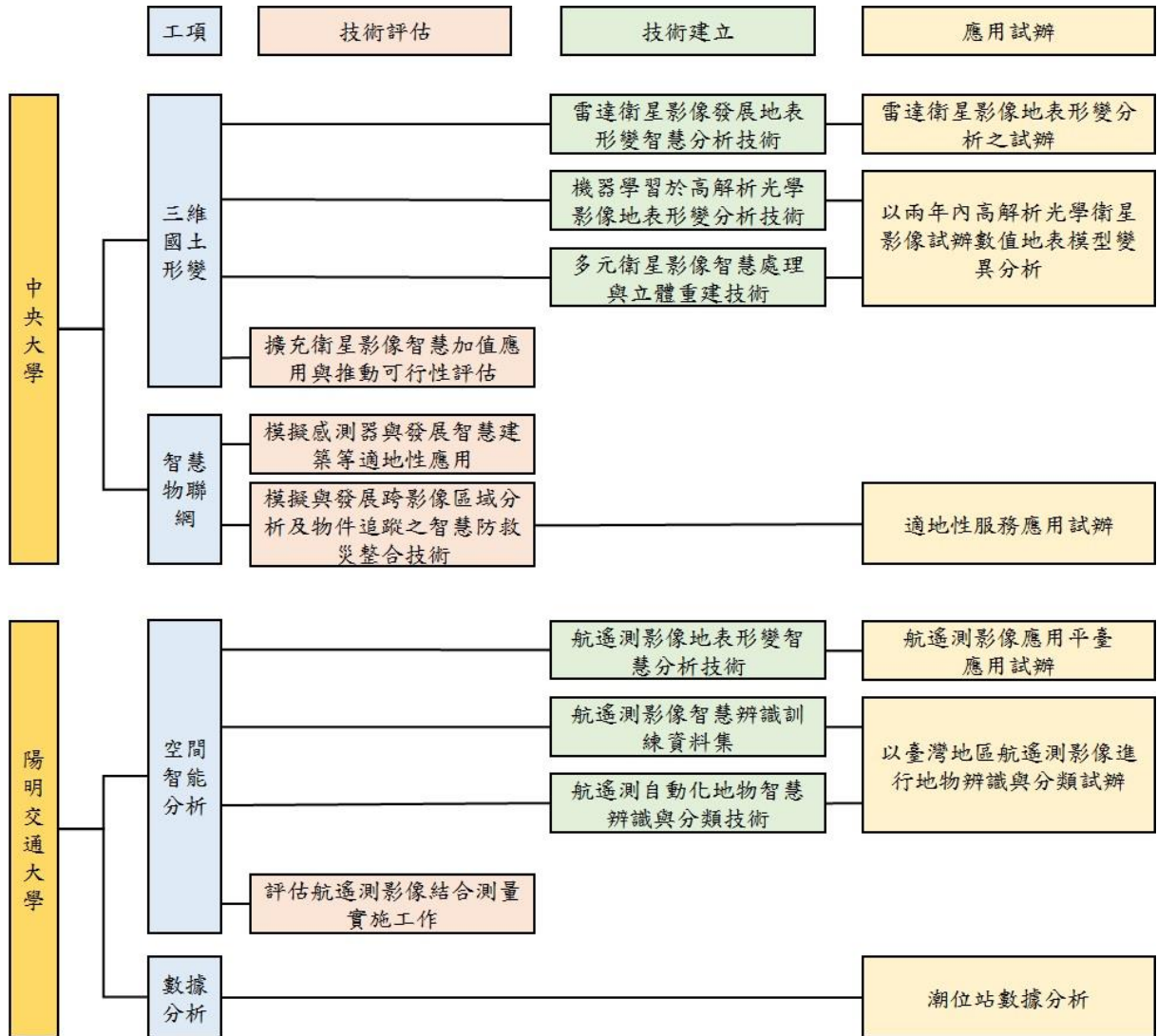


圖 1.2-1、工作項目關聯圖

### 1.2.1 技術建立

本計畫以「三維國土形變」及「空間智能分析」為主軸發展以下各項



技術：

- (1) 雷達衛星影像發展地表形變智慧分析技術。
- (2) 機器學習於高解析光學影像地表形變分析技術。
- (3) 多元衛星影像智慧處理與立體重建技術。
- (4) 航遙測影像地表形變智慧分析技術。
- (5) 航遙測影像智慧辨識訓練資料集。
- (6) 航遙測自動化地物智慧辨識與分類技術。

### 1.2.2 應用服務試辦

本計畫以「智慧防災」為應用服務試辦主題，將前項工作發展之技術整合於防災應用領域，此外，亦針對「智慧物聯網」進行適地性服務應用試辦：

- (1) 雷達衛星影像地表形變分析之試辦，至少包含全臺灣 C-波段多時期雷達影像，及選定之災害潛勢區域 L-波段與 X-波段雷達影像。
- (2) 以兩年內高解析(2 公尺或更優)光學衛星影像試辦數值地表模型(DSM)變異分析。
- (3) 以實際場域進行適地性服務應用試辦，評估智慧物聯網之防災整合應用技術之成效。
- (4) 航遙測影像應用平臺應用試辦，以坡地監測應用為試辦主題，將航

遙測影像分析與辨識之結果，整合 Google Earth Engine 雲端應用平台之時序即可分析影像。

(5) 以臺灣地區航遙測影像進行地物辨識與分類試辦。

### 1.2.3 數據分析

潮位站數據分析是檢視高程基準之必要工作，本計畫針對基隆與東沙潮位站之觀測數據進行分析工作，提供該區域岸際潮位觀測資料及高程參考基準。

### 1.2.4 科教活動、參與國際事務與成果推廣

為落實科普教育及計畫成果推廣，本計畫規劃配合內政部及國立海洋科技博物館，規劃水深與高程測量相關成果發表之科學教育教材；並規劃航遙測技術與應用相關成果發表之科教活動，以及製作科學教育數位課程教材 1 式。除此之外，本計畫以研發三維國土形變與空間智能分析之相關智慧製圖技術為主題發展「GeoAI Lab」實驗室，強化智慧製圖與空間資訊領域產業之聯結。

## 1.3 未來規劃與構想

本計畫全程為三年期，本年度為第二年計畫，為使工作項目達到有效之研究與技術開發，因此增列現階段規劃之發展目標，且每年將根據

規劃目標之進度、國際相關之發展等進行內部評估，檢視、修改規劃之發展目標，以維持後續精進研究之技術。規劃之發展目標如表 1.3-1 所示。

表 1.3-1、規劃之發展目標

工作項目	分年工作		
應用人工智慧發展衛星影像地表形變分析技術與應用	1. 利用雷達衛星影像發展長期地表形變智慧分析技術		
	109	影像處理參數的建立與測試	
	<b>110</b>	<b>處理參數成果精度驗證</b>	
	111	利用機器學習進行參數最佳化	
	各期程工作項目之關聯	本項工作規劃於三年完成地表智慧形變分析之功能，主要聚焦於智慧的影像處理參數抉擇使得形變分析成果最佳化，去(109)年度以建立自動化的影像處理系統為主要工作，今(110)年度規劃完成參數資料建立與成果精度分析，並於 111 年度啟動智慧參數學習的工作。	
	2. 建立機器學習於高解析光學影像地表形變分析技術		
	109	應用高解析光學影像以機器學習偵測地表崩坍	
	<b>110</b>	<b>應用多時期影像及地表模型以機器學習偵測地表形變</b>	
	111	以機器學習進行地物類別分類及形變分析	
	各期程工作項目之關聯	本項工作規劃於三年完成機器學習進行地表形變分析之功能，去(109)年度以機器學習偵測高解析光學影像之地表崩坍為主要工作，今(110)年度規劃透過機器學習偵測多時期影像及地表模型之地表形變分析，優化去年度分析流程，提供訓練影像資料，並於 111 年度完成機器學習進行地表類別分類及形變分析(增加類別)的工作。	
	3. 發展多元衛星影像智慧處理與立體重建技術		
	109	衛星立體像對重建數值地表模型	
	<b>110</b>	<b>多重疊衛星影像重建數值地表模型</b>	
	111	以機器學習提升數值地表模型智慧處理	
	各期程工作項目之關聯	本項工作去(109)年度目標為建立影像之物像空間關係與進行影像密匹配產生深度影像，進而產製點雲資料。今(110)年度預計以更多重疊之衛星影像，進行重建數值地表模型，利用多視角影像相互補償遮蔽區域，並提高匹配及定位品質，希望能夠產製更高品質之數值地表模型。而 111 年度則預計針對所產製之數值地表模型，進行特徵目標物之萃取，例如建物或道路等目標物。	
	4. 擴充衛星影像智慧加值應用與後續推動可行性評估		

工作項目	分年工作	
	109	建立衛星影像成果圖資
	<b>110</b>	<b>智慧增值應用彙整</b>
	111	智慧增值應用推動可行性評估
	各期程工作項目之關聯	本項工作去(109)年度目標為進行圖資之蒐集與建立工作。今(110)年度以智慧增值應用案例彙整為主。而 111 年度則根據前兩年整合及評估成果，進行智慧增值應用可行性評估。
應用人工智慧發展航遙測影像辨識技術與應用	1. 建立航遙測影像地表形變智慧分析技術	
	109	建立多時期 光學影像地表形變智慧分析技術
	<b>110</b>	<b>建立多時期 地形模型地表形變智慧分析技術</b>
	111	整合多時期 光學影像及地形模型之三維地表形變智慧分析技術
	各期程工作項目之關聯	本項工作發展使用不同遙測資料獲取地表位移之技術。去(109)年度建立多時正射影像為基礎之二維地表位移偵測技術，並驗證發展技術之可行性。在航測產製正射影像的過程中，同時產出數值地形模型，提供高程方向上的改變，因此今(110)年度發展以數值地形模型進行地表位移偵測，比對使用正射影像之光譜(Spectral Information)及數值高程之高度(Shape Information)進行匹配之效益。111 年度則是整合前兩期的技術，分別從正射影像及數值地形模型獲取平面及高程位移，探討取得三維地表位移之可行性。
	2. 建立航遙測影像智慧辨識訓練資料集，須對不同類型之資料集進行整理並分析其適用性	
	109	國際遙測影像標竿資料集整理與分析：以影像分類為主
	<b>110</b>	<b>國際遙測影像標竿資料集整理與分析：以影像分割為主</b>
	111	持續更新國際遙測影像標竿資料集整理與分析
	各期程工作項目之關聯	本項工作蒐集及分析不同類型的訓練資料集。去(109)年度標竿資料蒐集以影像單一類別(Single Label)分類為主，即每一張影像對應單一類別（例如分類影像是否是房屋類別），這類的標竿資料是普及化最高的測試標竿資料集。在遙測影像的分類應用中，需要知道地物在影像中的區域，即每一張影像中地物的輪廓（如偵測影像中房屋區域），因此今(110)年度將針對影像語意分割之標竿資料進行分析。111 年度則是針對前兩期的標竿資料集進行更新，以獲取最新的標竿資料集，並償試使用開放資料建置臺灣地區的分類資料集。
	3. 建立航遙測自動化地物智慧辨識與分類技術，並評估其精度與成效	
	109	發展深度學習於遙測 地物 智慧辨識技術
	<b>110</b>	<b>發展深度學習於遙測 房屋 智慧辨識技術</b>
	111	發展深度學習於遙測 道路 智慧辨識技術

工作項目	分年工作	
各期程工作項目之關聯		本項工作發展使用深度學習技術自動化判識不同地物、房屋區域偵測及道路區域偵測。去(109)年度配合所蒐集之影像分類訓練資料集，針對多光譜遙測影像進行地物之判識，判識影像場景的地物類別，例如分類影像是否是房屋類別。今(110)年度則是配合所蒐集之影像語意分割資料集，針對遙測影像進行房屋區域偵測，以萃取影像中的房屋區域。111 年度則是配合所蒐集之影像語意分割資料集，針對遙測影像進行道路區域偵測，以獲取影像中的道路區域。
	4. 評估航遙測影像結合測量實工作之智慧整合應用	
	109	評估使用無人機輔助 地籍測量製圖 作業
	110	評估使用無人機輔助 人孔調查測量 作業
	111	評估使用無人機輔助 道路普查測量 作業
各期程工作項目之關聯		本項工作評估無人機測繪技術於不同測量實工作之智慧整合應用。去(109)年度評估導入無人機測繪技術於「地籍測量」製圖實施作業，探討無人機影像輔助辦理非都區地籍圖更新、土地複丈等業務之案例。今(110)年度則是評估導入無人機測繪技術於「人孔調查」測量實施作業，探討無人機影像應用於公共設施管線資料庫系統之人孔測量智慧整合。111 年度則是評估導入無人機測繪技術於「道路普查」測量實施作業，探討無人機影像應用於道路設施測量應用。經由前述評估作業，探討在測量作業中引入無人機測繪技術及智慧製圖技術之應用案例。
衛星與航遙測影像智慧分析、辨識與製圖防災整合應用案例試辦	1. 雷達衛星影像地表形變分析之試辦，至少包含全臺灣 C-波段多時期雷達影像，及選定之災害潛勢區域 L-波段與 X-波段雷達影像；前述潛勢區域之試辦須選定至少 2 處，並與內政部討論定案，任 1 處之試辦面積須達 100 平方公里以上，且運用包含(或優於) 3 公尺解析度之影像在內進行分析	
	109	影像處理流程、參數設定與對應成果的產製
	110	引入更多試辦案例，完成參數資料建立與成果精度分析
	111	引入前期成果為人工智慧參數學習基礎，啟動智慧參數學習工作
	各期程工作項目之關聯	本項工作去(109)年度利用雷達衛星影像發展長期地表形變智慧分析技術，完成影像處理流程、初始參數設定與對應成果的產製。規劃今(110)年度引入更多試辦案例，逐步建立影像處理之參數數據庫與經驗，於 111 年度，引入前期成果作為人工智慧參數學習之基礎，同時亦逐步建立臺灣各地的初步形變分析圖資。



工作項目	分年工作		
	2. 以兩年內高解析(2 公尺或更優)光學衛星影像進行數值地表模型(DSM)變異分析，試辦區總面積須與達 3600 平方公里以上，且須內政部討論選定		
	109	分析光學衛星影像，進行數值地表模型的高程差異分析	
	<b>110</b>	<b>不同種類多時期地表形變分析</b>	
	111	不同種類多時期地表形變分析	
	各期程工作項目之關聯	本項工作去(109)年度分析光學衛星影像，進行數值地表模型的高程差異分析。透過去(109)年度發展之技術，今(110)年度規劃以更多種類型之多時期地表形變分析。於 111 年度，規劃更多種類型(或精進)之多時期地表形變分析	
	3. 航遙測影像分析與辨識之結果，須與相關應用平台進行整合試辦，其試辦方案須與內政部討論後辦理		
	109	坡地防災應用平台試辦	
	<b>110</b>	<b>精進坡地防災應用平台試辦</b>	
	111	精進坡地防災應用平台試辦	
	各期程工作項目之關聯	本項工作使用 Google Earth Engine (GEE)應用平台進行坡地防災應用。GEE 遙測大數據平台是遙測應用的重要發展趨勢，其優勢是可進行遙測大數據時序分析與應用。去(109)年度使用 GEE 應用平台整合航遙測影像分析與辨識之結果，發展以時序光學衛星影像為基礎之坡地防災植生復育。為提升辨識效率，今(110)年度持續精度使用 GEE 應用平台發展坡地防災應用，進一步發展機器學習演算法進行時序分析，以辨識坡地變異點。111 年度則是融合光學衛星影像及雷達回波影像，坡地防災應用平台試辦。	
	4. 以臺灣地區航遙測影像進行地物辨識與分類試辦，試辦區範圍至少為五千分之一圖幅 10 幅(含)以上，試辦區需與內政部討論選定且得洽內政部協助提供必要之既有測繪圖資		
	109	地物辨識試辦	
	<b>110</b>	<b>地物變遷試辦</b>	
	111	精進地物辨識與變遷試辦	
	各期程工作項目之關聯	本項工作去(109)年度選定試辦區，並進行不同年度航空正射影像之地物辨識作業。今(110)年度為選定試辦區，進行房屋變遷試辦，而 111 年度將基於 109 年及 110 年之試辦成果，精進地物辨識與變遷試辦。	
評估智慧物聯網之防災整合	1. 模擬基於感測器與模型資料，發展智慧建築等適地性應用；前述模擬須運用三維圖資在內之整合技術		
	109	針對數項智慧應用進行模擬測試	
	<b>110</b>	<b>以模擬之資料探討潛在整合應用案例</b>	

工作項目	分年工作		
應用技術	111	針對數項智慧應用進行模擬測試	
	各期程工作項目之關聯	本項工作於去(109)年度測試並證明透過模擬可避免花費大量時間與金錢成本實際布設物聯網硬體設施。今(110)年度將以模擬之資料探討潛在整合應用案例，例如連結火警通報系統、物聯網抽風機與灑水機之火災逃生系統等。於 111 年度將依據 109 年及 110 年之模擬研究成果，進行更適用於實際場域之模擬應用。	
	2. 模擬基於三維圖資與路網資訊整合路側影像感測器，發展具跨影像區域分析及物件追蹤之智慧防救災整合技術		
	109	研究跨 CCTV 攝影機影像移動物件追蹤技術	
	110	納入時間與空間資訊進行 CCTV 追蹤技術優化	
	111	精進追蹤技術並試辦應用	
	各期程工作項目之關聯	本項工作於去(109)年度發展跨 CCTV 攝影機影像移動物件追蹤技術作為物聯網位置資訊之重要來源。今(110)年度將於模擬場域散佈不同位置之 CCTV 攝影機，安排多個移動物件於此模擬環境隨機移動。於 111 年度根據模擬之成果，持續研究、精進追蹤技術。	
	3. 以實際場域進行適地性服務應用試辦，其試辦方式與場域選擇需與內政部討論定案；前述試辦本團隊需自行取得相關資料或建置物聯網相關所需裝置		
	109	於實際場域建置物聯網基礎建設測試智慧應用	
	110	於實際場域建置物聯網基礎建設測試智慧應用	
	111	於實際場域建置物聯網基礎建設測試智慧應用	
	各期程工作項目之關聯	本項工作於去(109)年度測試跨 CCTV 攝影機影像移動物件追蹤之技術，並於中央大學太遙中心進行試辦應用。今(110)年度選擇桃園捷運 A18 站進行智慧廁所為主題進行物聯網的建置與應用。於 110 年度將尋找合作單位於實際場域部署相關之物聯網基礎建設及智慧應用。	
	數據分析與科教活動	1. 辦理高程基準潮位站數據分析工作，其至少須包含基隆與東沙潮位站數據	
		109	基隆新設潮位站、東沙潮位站之潮位數據分析
110		基隆新設潮位站、東沙潮位站之潮位數據分析	
111		配合內政需求辦理	
各期程工作項目之關聯		本項工作去(109)年度工作為分析基隆新設潮位站、東沙潮位站之潮位數據。今(110)年度擬持續分析基隆新設及東沙潮位站，前述兩個潮位站擬於 111 年移交給氣象局，111 年工作將視後續需求辦理。	

工作項目	分年工作		
	2. 配合內政部及國立海洋科技博物館，規劃水深與高程測量相關成果發表之科學教育教材，並舉辦 1 場次(至少 6 小時)之科教活動；受邀參加活動對象需經內政部同意		
	109	於海洋科技博物館辦理研習營	
	<b>110</b>	<b>規劃水深與高程測量相關成果發表之科學教育教材，並舉辦科教活動</b>	
	111	配合內政部需求辦理	
	各期程工作項目之關聯	本項工作去(109)年度於海洋科技博物館辦理「海洋與生活：空間資訊篇」，教材以基隆潮位站及鄰近之臺灣水準原點為主題，內容包含水準原點、潮汐、高程測量，對象為高中職學生為主。今(110)年度規劃水深與高程測量相關成果發表之科學教育教材，並舉辦 1 場次(至少 6 小時)之科教活動，111 年度規劃將配合內政部需求辦理。	
	3. 蒐集本案相關之航遙測技術與應用文件，製作科學教育數位課程教材 1 式，並舉辦 1 場次(至少 6 小時)之科教活動；受邀參加活動對象需經內政部同意		
	109	規劃航遙測技術與應用相關成果之科教活動	
	<b>110</b>	<b>規劃航遙測技術與應用相關成果之科教活動，並製作科學教育數位課程教材</b>	
	111	配合內政部需求辦理	
	各期程工作項目之關聯	去(109)年度本團隊與國立中央大學太空及遙測研究中心-資源衛星接收站合辦，規劃航遙測技術與應用相關成果，並以衛星遙測科技應用案例進行說明，對象為高中、國中與國小教師為主。今(110)年度蒐集本計畫相關之航遙測技術與應用文件，製作科學教育數位課程教材 1 式，並舉辦 1 場次(至少 6 小時)之科教活動，111 年度規劃將配合內政部需求辦理。	
成果發表及效益評估	109	進行期刊與論文投稿、成立人工智能實驗室，配合內政部之年度計畫成果發表活動，進行三小時之成果發表	
	<b>110</b>	<b>進行期刊與論文投稿、發展人工智能實驗室</b>	
	111	配合內政部需求辦理	
	各期程工作項目之關聯	去(109)年度共投稿 5 篇期刊、論文，成立 GeoAI@NCU 及 GeoAI@NCTU 實驗室，研發三維國土形變與空間智能分析之相關智慧製圖技術，推動智慧製圖與空間資訊領域產業之聯結。並配合內政部參加 11 月 17 日舉辦之智能測繪應用相關之年度計畫成果發表活動，本團隊進行三小時之成果發表，共四項主題。今(110)年度進行期刊與論文投稿 4 篇，參加 1 場次實體或線上之國內外測繪相關研討會，發展人工智能實驗室，強化產學合作。111 年度規劃將配合內政部需求辦理。	



## 第二章 背景分析

「數位國家、智慧島嶼」為國家的發展願景，其中「前瞻基礎建設之數位建設」及「臺灣 AI 行動計畫」為推動發展的重要政策，不論是數位化或智慧化，空間資訊在數位國家基礎建設均扮演關鍵且必要的角色，因此內政部極積推動「邁向 3D 智慧國土-國家底圖空間資料基礎建設計畫」及「智能測繪科研」等發展計畫，以發展智慧國土及智慧測繪科技。

智慧國土(ide@Taiwan 2020 政策白皮書)與三維國土形變發展的背景分析：臺灣地處歐亞大陸、太平洋與菲律賓三大板塊聚合交界處，地質條件複雜。不論在平地或山區，受天然災害或人為因素的影響，地表形變的動態分析是重要議題，因此智慧國土管理與三維國土形變分析密不可分。傳統地面測量可提供高精度的地表形變監測成果，因有限的測站及經費，不易達成多時期及面狀地表形變監測的需求。航遙測影像具有高機動性及大範圍取樣的特性，為滿足大範圍三維國土形變分析的需求，有必要發展合成孔徑雷達干涉或影像匹配等國土形變分析技術。

智慧測繪與空間智能發展的背景分析：人工智慧被稱為第四次工業革命的核心，人工智慧為各個領域帶來許多新的發展契機。2019 年 Nature 期刊報導使用深度學習(Deep Learning)可自動化從航遙測影像萃取豐富的語意空間資訊(Reichstein et al., 2019)，對地球觀測、測量與繪圖、或空間智能

的發展都有顯著正面的助益，因此國內外各單位均積極投入這項發展，也造就了關鍵領域的發展，如 GeoAI 及 AI4EO 等。圖資的繪製為維持所需精度與正確性，需投入大量繪點人力。從製圖的角度出發，導入人工智慧可渴望提升效能，測繪領域亦必須掌握此發展脈動及契機進行測繪產業技術升級。

綜合以上，本計畫以「三維國土形變」及「空間智能分析」為主軸，進行技術評估、技術發展及應用試辦。

## 第三章 工作項目

### 3.1 工作項目

本團隊由國立中央大學太空及遙測研究中心、國立陽明交通大學防災與水環境研究中心系所組成。110 年度計畫期程自簽約日次日起至 110 年 11 月 25 日止，各項工作項目之說明如下。

#### 一、應用人工智慧發展衛星影像地表形變分析技術與應用

- (一)利用雷達衛星影像發展長期地表形變智慧分析技術。
- (二)建立機器學習於高解析光學影像地表形變分析技術。
- (三)發展多元衛星影像智慧處理與立體重建技術。
- (四)擴充衛星影像智慧加值應用與後續推動可行性評估。

#### 二、應用人工智慧發展航遙測影像辨識技術與應用

- (一)建立航遙測影像地表形變智慧分析技術。
- (二)建立航遙測影像智慧辨識訓練資料集，須對不同類型之資料集進行整理並分析其適用性。
- (三)建立航遙測自動化地物智慧辨識與分類技術，並評估其精度與成

效。

(四)評估航遙測影像結合測量實工作之智慧整合應用。

### 三、衛星與航遙測影像智慧分析、辨識與製圖防災整合應用案例試辦

(一)雷達衛星影像地表形變分析之試辦，至少包含全臺灣 C-波段多時

期雷達影像，及選定之災害潛勢區域 L-波段與 X-波段雷達影像；

前述潛勢區域之試辦須選定至少 2 處，並與內政部討論定案，任 1

處之試辦面積須達 100 平方公里以上，且運用包含(或優於) 3 公尺

解析度之影像在內進行分析。

(二)以兩年內高解析(2 公尺或更優)光學衛星影像試辦數值地表模型

(DSM)變異分析，試辦區選定須內政部討論且總面積須達 3,600 平

方公里以上。

(三)航遙測影像分析與辨識之結果，須與相關應用平台進行整合試辦，

其試辦方案須與內政部討論後辦理。

(四)前述試辦本團隊需自行取得相關資料，並協調應用平台之整合。

(五)以臺灣地區航遙測影像進行地物辨識與分類試辦，試辦區範圍至少

為五千分之一圖幅 10 幅(含)以上，試辦區需與內政部討論選定且得

洽內政部協助提供必要之既有測繪圖資。

#### 四、評估智慧物聯網之防災整合應用技術

- (一)模擬基於感測器與模型資料，發展智慧建築等適地性應用；前述模擬須運用三維圖資在內之整合技術。
- (二)模擬基於三維圖資與路網資訊整合路側影像感測器，發展具跨影像區域分析及物件追蹤之智慧防救災整合技術。
- (三)以實際場域進行適地性服務應用試辦，其試辦方式與場域選擇需與內政部討論定案；前述試辦本團隊需自行取得相關資料或建置物聯網相關所需裝置。

#### 五、數據分析與科教活動

- (一)辦理高程基準潮位站數據分析工作，其至少須包含基隆與東沙潮位站數據。
- (二)配合內政部及國立海洋科技博物館，規劃水深與高程測量相關成果發表之科學教育教材，並舉辦 1 場次(至少 6 小時)之科教活動；受邀參加活動對象需經內政部同意。
- (三)蒐集本計畫相關之航遙測技術與應用文件，製作科學教育數位課程教材 1 式，並舉辦 1 場次(至少 6 小時)之科教活動；受邀參加活動對象需經內政部同意。

## 六、成果發表及技術交流

- (一)提送國內外期刊或研討會論文文稿至少 4 篇，且其中 1 篇需提送國際期刊（SCI/EI 等級）並應配合機關需求，參加至少 1 場次實體或線上之國內外測繪相關研討會，以蒐集本計畫相關資料製作研討報告。
- (二)以航遙測及空間數據為主題發展人工智能實驗室，強化產學合作。
- (三)配合內政部辦理 110 年度行政院災害防救科技創新服務方案，並協助研發災後智慧監測、變異分析及物聯網防災應用相關作業與成果展示。

## 七、成果效益評估與計畫進度管考

依據科技計畫績效管考平台（<http://stprogram.stpi.narl.org.tw/>）提供格式，配合內政部辦理本案計畫「科技發展計畫績效評估作業」自評作業需求，參考內政部提供之相關績效作業範本，填寫本案相關成果效益報告書、績效指標、佐證資料、政府科技發展計畫績效評估；另配合將本案各期資訊登載政府研究資訊系統（GRB，<https://www.grb.gov.tw/>），且將登載結果繳附於各期工作成果，並適時接受諮詢。

## 八、工作會議

本團隊定期召開工作會議，並適時接受諮詢。其中 2 次需邀請使用者（名單需先與內政部討論）參與交換意見，並作為後續應用方向或執行參考，所需費用由本團隊負擔。

### 3.2 工作進度

本團隊各項工作預定進度如表 3.2-1，藍色線段為預計進度，黃色區塊為實際進度，透過工作進度表以利檢測工作進度。

表 3.2-1、預定工作進度表

項次	工作項目	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	期中進度	期末進度
<b>1</b>	<b>工作計畫書與各期報告</b>												
	工作計畫書		■										
	期中報告			■	■	■						100	
	期末報告					■	■	■	■	■		0	100
<b>2</b>	<b>應用人工智慧發展衛星影像地表形變分析技術與應用</b>												
	利用雷達衛星影像發展長期地表形變智慧分析技術		■	■	■	■	■	■	■	■		35	100
	建立機器學習於高解析光學影像地表形變分析技術		■	■	■	■	■	■	■	■		45	100
	發展多元衛星影像智慧處理與立體重建技術			■	■	■	■	■	■	■		40	100
	擴充衛星影像智慧增值應用與後續推動可行性評估						■	■	■	■		0	100
<b>3</b>	<b>應用人工智慧發展航遙測影像辨識技術與應用</b>												

項次	工作項目	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	期中進度	期末進度
	建立航遙測影像地表形變智慧分析技術											45	100
	建立航遙測影像智慧辨識訓練資料集，須對不同類型之資料集進行整理並分析其適用性											40	100
	建立航遙測自動化地物智慧辨識與分類技術，並評估其精度與成效											20	100
	評估航遙測影像結合測量實施工作之智慧整合應用											40	100
<b>4</b>	<b>衛星與航遙測影像智慧分析、辨識與製圖防災整合應用案例試辦</b>												
	雷達衛星影像地表形變分析之試辦，至少包含全臺灣 C-波段多時期雷達影像，及選定之災害潛勢區域 L-波段與 X-波段雷達影像											30	100
	以兩年內高解析(2公尺或更優)光學衛星影像試辦數值地表模型(DSM)變異分析，總面積須達 3,600 平方公里以上											30	100
	航遙測影像分析與辨識之結果，須與相關應用平台進行整合試辦，其試辦方案須與內政部討論後辦理											40	100
	前述試辦本團隊需自行取得相關資料，並協調應用平台之整合											100	100
	以臺灣地區航遙測影像進行地物辨識與分類試辦，試辦區範圍至少為五分之一圖幅 10 幅(含)以上											45	100
<b>5</b>	<b>評估智慧物聯網之防災整合應用技術</b>												
	模擬基於感測器與模型資料，發展智慧建築等適地性應用；前述模擬須運用三維圖資在內之整合技術											40	100



項次	工作項目	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	期中進度	期末進度
	模擬基於三維圖資與路網資訊整合路側影像感測器，發展具跨影像區域分析及物件追蹤之智慧防救災整合技術											40	100
	以實際場域進行適地性服務應用試辦，其試辦方式與場域選擇需與內政部討論定案；前述試辦本團隊需自行取得相關資料或建置物聯網相關所需裝置											0	100
<b>6</b>	<b>數據分析與科教活動</b>												
	辦理高程基準潮位站數據分析工作，其至少須包含基隆與東沙潮位站數據											40	100
	配合內政部及國立海洋科技博物館，規劃水深與高程測量相關成果發表之科學教育教材，並舉辦1場次(至少6小時)之科教活動											35	100
	蒐集本案相關之航遙測技術與應用文件，製作科學教育數位課程教材1式，並舉辦1場次(至少6小時)之科教活動											10	100
<b>7</b>	<b>成果發表及技術交流</b>												
	提送國內外期刊或研討會論文文稿至少4篇，且其中1篇需提送國際期刊(SCI/EI等級)並應配合機關需求，參加至少1場次實體或線上之國內外測繪相關研討會，以蒐集本案相關資料製作研討報告											20	100
	以航遙測及空間數據為主題發展人工智能實驗室，強化產學合作											10	100

項次	工作項目	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	期中進度	期末進度
	配合內政部辦理 110 年度行政院災害防救科技創新服務方案，並協助研發災後智慧監測、變異分析及物聯網防災應用相關作業與成果展示											50	100
8	成果效益評估與計畫進度管考											50	100
9	工作會議											40	100

### 3.3 繳交成果及繳驗時程

本計畫之執行分為三個期程完成下列項工作項目，包含工作計畫書、期中報告及期末報告，各期程成果繳交項目如表 3.3-1 所示。本團隊依照契約書及工作規格書相關規定確實執行，並於工作項目完成後將應繳交之各項成果送交內政部，經審核認可後為合格，若有資料不詳、不全、錯誤或系統功能不符合需求者，則退還本團隊補正，本團隊應於內政部發文通知日次日起 14 天內完成資料之修正。各期程之說明如下：

- 一、 工作計畫書：本團隊於簽約日起 1 個月內，就以下各項工作採目標管理法(OKR)規劃繳交「工作計畫書」，並依工作計畫書核定方式（或更優方式）辦理相關工作。
- 二、 期中報告及期末報告：期中報告初稿將於 110 年 7 月 9 日前繳交，期末報告初稿將於 110 年 11 月 25 日前繳交，俟內政部指定期限內，依

審查意見修正後於分別繳交期中報告及期末報告定稿。

表 3.3-1、各期程成果繳交項目

期別	成果繳交項目及份數	成果繳交期限
第 1 期	工作計畫書書面資料 2 份及電子檔 1 份。	簽約日起 1 個月內。
第 2 期	1. 期中報告書 8 份。 2. 國內外期刊或研討會論文文稿 1 篇	110 年 7 月 9 日前繳交。
第 3 期	1. 期末報告書 8 份。 2. 國內外期刊或研討會論文文稿 3 篇	1. 110 年 11 月 25 日前繳交。 2. 期末報告書經召開審查會議辦理驗收後，倘需修正，本團隊需於內政部指定期限內繳交修正後期末報告書 5 份及其電子檔 1 份。

## 第四章 實施方法與成果

### 4.1 應用人工智慧發展衛星影像地表形變分析技術與應用

#### 4.1.1 利用雷達衛星影像發展長期地表形變智慧分析技術

本項工作為應用人工智慧發展雷達遙測形變監測技術，本項工作規劃於三年完成地表智慧形變分析之功能，主要聚焦於智慧影像處理參數抉擇使得形變分析成果最佳化，前年度(109) 以建立自動化的影像處理系統為主要工作，本年度 (110) 規劃完成參數資料建立與成果精度分析，並於 111 年度啟動智慧參數學習的工作。

本次期末報告完成雷達差分干涉與永久散射體之誤差精度評估方法，未來工作為能結合人工智慧技術來分析過去影像處理經驗，縮短影像處理的時程，了解不同影像處理參數對誤差之影響。

長時間的地表形變如地層下陷、斷層滑動、坡地潛移等常會造成災害的發生，該類變遷光學衛星難以觀測，因此常以合成孔徑雷達差分干涉技術 (Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar, DInSAR) 來實現，本方法係以衛載雷達系統，對地面發射雷達波後接收其回波，從而得到地表回波之強度與相位資訊。人造衛星於以太陽同步軌道運行，可以對單一地點進行週期性的拍攝，而得到此地區連續時間的雷達影像，將兩幅不同時

間拍攝的影像進行差分干涉，可以得到在兩幅影像拍攝期間因目標距離變化產生的波相位差，經過計算後便得到地表形變的量值(圖 4.1-1) (Massonnet and Feigl, 1998)。

利用軌道衛星持續拍攝的特性，用長時間獲取之雷達遙測影像進行 DInSAR 分析，獲取不同時期的地表變形量，便能重建觀測區域的地表形變歷史，本技術已成功應用於火山、斷層等地表形變的監測 (Tai et al., 2018; Tsai et al., 2019)。

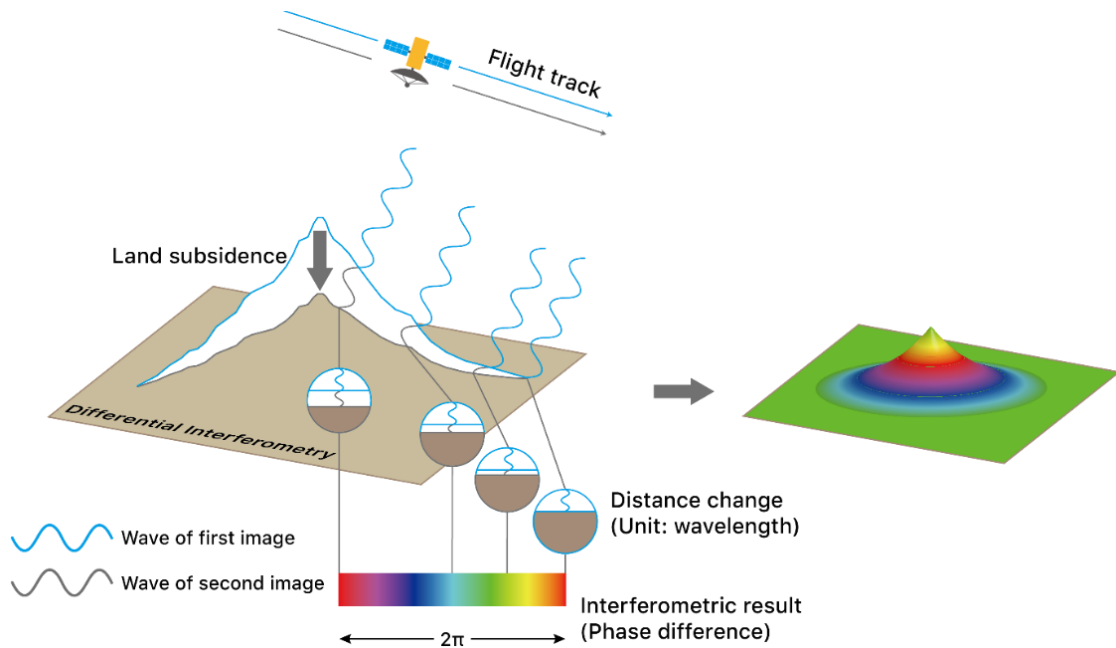


圖 4.1-1、合成孔徑雷達差分干涉示意圖

傳統 DInSAR 技術已發展數十年，其在測地學的應用已經相當純熟，但由於該技術的物理特性，使其使用上仍有諸多限制，其中主要限制來自於雷達相位同調性會隨影像時間差距拉大而降低，因此長時間的地表形變觀測需要更有效的資料處理方法。

Ferretti 等人提出的永久散射體雷達差分干涉技術成功解決多年來傳統 DInSAR 於雷達影像嚴重失相關的地區無法取得正確地表形變資訊的問題。此技術之核心理念為：選取雷達影像中具有高相關性的像素為永久散射體，概念見圖 4.1-2，此類像素通常具有高訊號強度，又相位穩定性與回波訊號強度呈正相關，因此藉由設定雷達回波訊號的強度門檻，可以篩選出具備 PS 潛力的像素，稱作 PS 候選點 (Permanent Scatterers Candidates, PSC)，這些 PSC 像素能真正反映地表形變的情況，而後再利用 DEM 與大氣模型來對這些 PSC 進行地形效應及大氣效應的修正，進而得到正確的干涉結果。此法已經成功使用於斷層活動的測量以及山崩活動的觀測(Colesanti et al., 2003)。

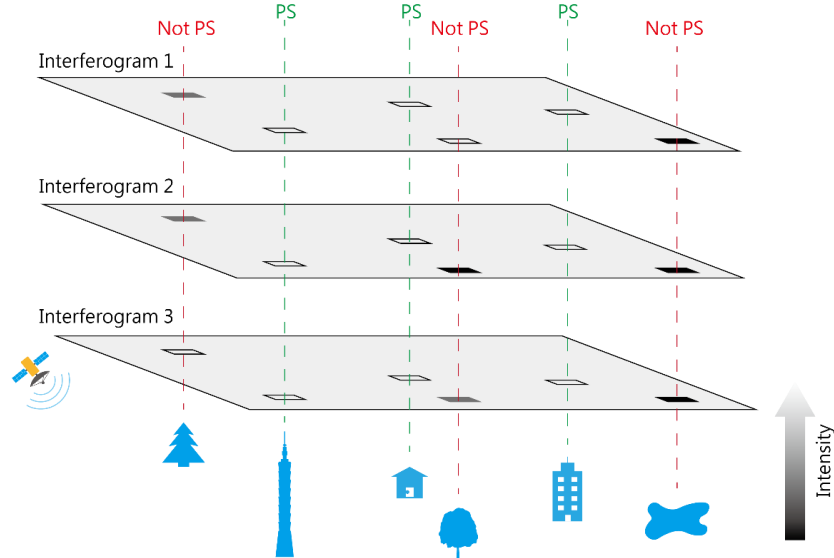


圖 4.1-2、PSInSAR™ 之 PS 篩選概念示意圖

利用雷達回波的訊號強度作為 PS 像素選取依據的方法，在高訊噪比 (SNR>10) 之環境可以正確選出相位穩定的 PS 像素，進而解算出優良的結

果；然而在訊噪比低的環境，訊號強度與相位穩定度不再呈現正相關，單純考慮訊號強度所選出來的 PSC 未必具有 PS 像素的性質，因此 Permanent Scatterers InSAR 便不再適用。

因此 Hooper 等人發展出另一種永久散射體雷達差分干涉技術 (Persistent Scatterers InSAR, PSInSAR)，此方法基於雷達反射波強度分析，選出可能具備 PS 性質的像素後，在對其進行相位穩定性分析，篩選相位表現相對穩定的 PSC 作為後續干涉運算與誤差估計的 PS 像素，經篩選過之永久散射體像素其相位資訊能真正反映該地區之地表形變，概念見圖 4.1-3(Hooper, 2004)。

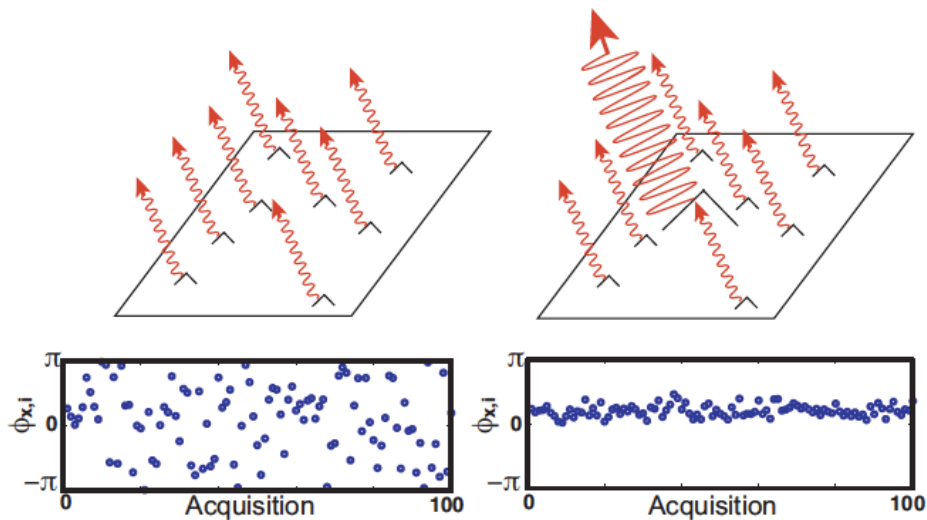


圖 4.1-3、永久散射體像素示意圖

永久散射體雷達差分干涉技術之影像處理過程中牽涉多項參數的調整，選用劣質的參數將導致形變計算精度不佳，甚至難以獲取地表形變，因此影像處理參數的選擇至關重要。

影像處理參數之建立需要依據影像處理經驗來決定起始的參數設定，對於無經驗的使用者而言，一般會使用影像處理方法作者或程式設計者所設定的預設值作為初始參數設定，此類預設值大多能正常完成影像處理流程並獲得成果，僅有少部分影像可能會處理失敗。然而即使成功完成影像處理，成果仍須經過進一步驗證，方能確保變形數據符合實際情況，若該成果呈現的地表變形不合理，通常需要更動影像處理參數並重新進行處理。此處以雲林地區 Sentinel-1 影像 PSInSAR 處理成果為示範，建立並列出各項影像處理關鍵參數使用的值，見表 4.1-1。

表 4.1-1、影像處理參數列表

處理步驟	參數名稱	參數值
Coregistration	DEM file	內政部全台 20m DEM
	DEM resample method	Cubic Convolution
	Images resample method	Bilinear interpolation
	Mask out area with no elevation	true
Interferogram formation	Subtract flat earth phase	true
	Degree of “flat earth” polynomial	5
	Number of “flat earth” estimation points	501
	Orbit interpolation degree	3
	Include coherence	true
	Square pixel	true
	Coherence azimuth win size	10
	Coherence range win size	2
Topographic phase removal	DEM file	內政部全台 20m DEM
	Orbit interpolation degree	Same as interferogram formation operator
	Tile Extension	100%



處理步驟	參數名稱	參數值
	Output topophase band	false
	Output elevation band	true
	Output Lat/Lon bands	true
PSInSAR	Low-pass filter win size	32
	Low-pass filter wavelength	800
	Low-pass filter alpha	1
	Low-pass filter beta	0.3
	PS select method	Density
	Density rand	20
	Weed standard deviation	1
	Unwrap method	3D
	Unwrap grid size	200
Unwrap time win	730	

為了瞭解 DInSAR / PSInSAR 影像處理參數對形變觀測成果精度之影響，此處採用全球衛星導航系統 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 觀測資料作為誤差計算之參考資料，利用雙重差分 (Double Difference) 的方式來計算 PSInSAR 技術之觀測誤差，資料處理流程如(圖 4.1-4)。以下為本項工作使用之方法流程說明。

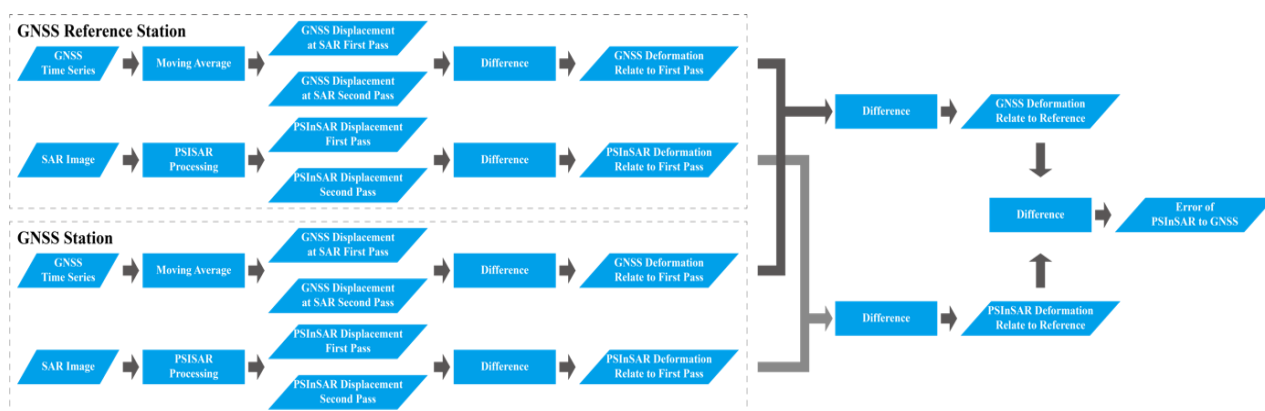


圖 4.1-4、永久散射體誤差評估流程圖

### 1. GNSS 站資料選取與處理

首先選取一個 GNSS 站作為參考點，該參考站建議位於 SAR 影像中央或已知形變相對穩定之區域，計算該 GNSS 站於兩 SAR 影像拍攝期間之相對變形量，可以得到 GNSS 參考站於觀測期間( $t_1 - t_2$ )之絕對變形量時間序列(式 4-1-1)，接著計算 SAR 影像涵蓋區域內之其餘 GNSS 站對應時間段之形變(式 4-1-2)，之後求得 GNSS 站於觀測期間相對於參考站之相對變形量(式 4-1-3)，最後由於 GNSS 觀測資料為三維方向形變，須轉換至衛星視角方向才能與永久散射體之相對變形量進行比較(式 4-1-4)，其中 $\theta$ 為雷達衛星入射角， $\phi$ 為衛星飛行方向夾角 U、E、N 分別代表 GNSS 垂直、東西、南北方向相對形變觀測量。

$$Defo_{GPS_{Ref,t_{12}}} = GPS_{Ref,t_2} - GPS_{Ref,t_1} \quad \text{式 4-1-1}$$

$$Defo_{GPS_{N,t_{12}}} = GPS_{N,t_2} - GPS_{N,t_1} \quad \text{式 4-1-2}$$

$$Diff_{GPS_{N,t_{12}}} = Defo_{GPS_{N,t_{12}}} - Defo_{GPS_{Ref,t_{12}}} \quad \text{式 4-1-3}$$

$$Diff_{LOS} = Diff_U \cos \theta - Diff_E \sin \theta \cos \phi + Diff_N \sin \theta \sin \phi \quad \text{式 4-1-4}$$

## 2. PSInSAR 資料選取與處理

選取 GNSS 站周圍固定範圍內之永久散射體，以反距離加權插值 IDW(Inverse Distance Weight)來計算代表 GNSS 站之永久散射體於觀測期間之變形量(式 4-1-5、式 4-1-6)，計算 GNSS 站永久散射體相對於 GNSS 參考站永久散射體之相對變形量(式 4-1-7)，最後便可以藉由 GNSS 與 PS 之相對變形量差值來評估 PSInSAR 成果精度。

$$Defo_{PS_{Ref,t12}} = PS_{Ref,t2} - PS_{Ref,t1} \quad \text{式 4-1-5}$$

$$Defo_{PS_{N,t12}} = PS_{N,t2} - PS_{N,t1} \quad \text{式 4-1-6}$$

$$Diff_{PS_{N,t12}} = Defo_{PS_{N,t12}} - Defo_{PS_{Ref,t12}} \quad \text{式 4-1-7}$$

此處以雲林地區為例，採用之 GNSS 見表 4.1-2。Sentinel-1 衛星之 PSInSAR 成果見圖 4.1-5，其中白色點為 GNSS 站位置，此範例以 TASI 站為參考站，分別計算其餘 GNSS 站與該區域之永久散射體與參考站之間的相對變形量，成果見圖 4.1-6，其中藍點為 GNSS 站之 LOS 方向相對變形量時間序列，紅圈則為 PSInSAR 相對變形量時間序列，藉由兩者之殘差可計算 PSInSAR 與 GNSS 觀測之 RMSE，本範例之觀測成果 RMSE 約在 10mm 左右。

表 4.1-2、雲林地區 GNSS 站列表

Site	Start	Stop	Longitude	Latitude
TASI	2007	Now	120.18881	23.72027
ANES	2018	Now	120.24907	23.70389
CHSG	1980	Now	120.28914	23.86034
FRES	2016	Now	120.31223	23.79113
HUWE	2005	Now	120.28662	23.72940
LYES	2018	Now	120.30667	23.72271
YSSL	1980	Now	120.22233	23.73917

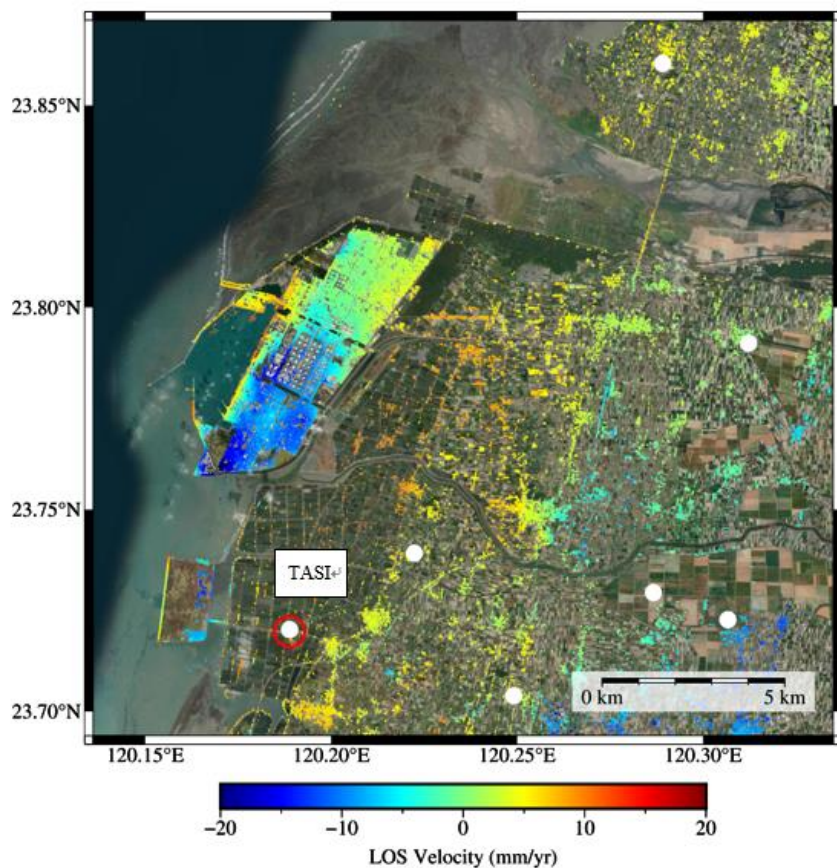


圖 4.1-5、Sentinel-1 雲林地區 PSInSAR 成果

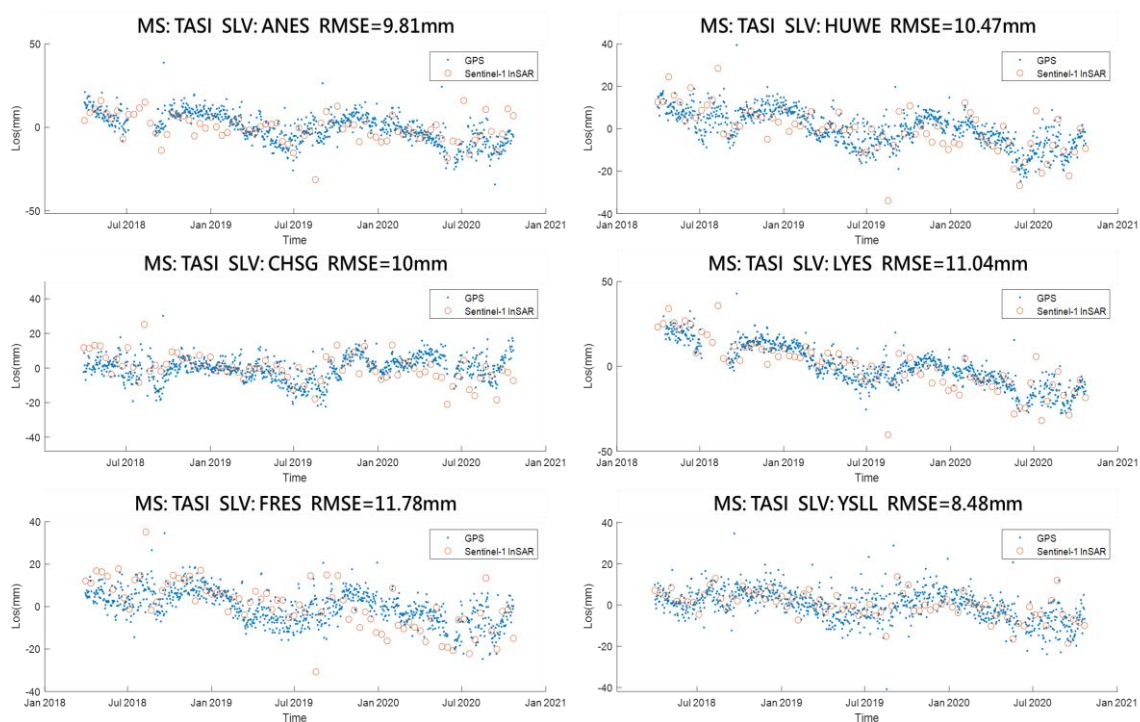


圖 4.1-6、Sentinel-1 雲林地區 PSInSAR 精度評估成果

#### 4.1.2 建立機器學習於高解析光學影像地表形變分析技術

應用雷達衛星影像進行地表形變分析時，可得公分等級之形變狀況，雖然光學衛星影像所產製之數值地表模型精度較低，但可同時取得多光譜之光學衛星影像，藉由多光譜影像資訊可輔助判斷地表形變情況。另外，現今之光學衛星具靈活取像能力及高機動性，可於短時間內獲取同軌衛星立體像對，雖然所產製之數值地表模型精度及解析度，均不及航照或空載光達所產製之數值地表模型，但可在較低成本需求下取得多時期之數值地表模型，用以分析地表形變情況。藉由機器學習利用大量資料，透過不同的訓練方式進行學習，最後透過學習好之模型提供分析成果。為進行地表形變分析，可利用多時期光學衛星立體像對，產製不同時期之數值地表模型，並同時產製相應之多光譜正射影像。另外，地表形變亦常與其坡度及坡向有關。本項工作擬利用多時期之數值地表模型、多光譜正射影像、坡度圖及坡向圖等資料作為訓練來源，以機器學習方式分析地表形變。

本年度目標在於應用不同時期之高解析光學影像及數值地表模型，機器學習偵測地表崩坍，使用多項機器學習之演算法模型與概念，並透過全色態及多光譜影像產生訓練模型資料。最後，解析訓練模型資料，以利推廣與使用。由於使用資料為前期與後期多光譜影像，所以本項工作特別加入具備空間(CNN)與時間(LSTM)架構關連性的 ConvLSTM 演算法，以取得更精確之分析成果。本次期末報告完成資料前處理作業，並取得 DEM、坡



度、地真資料等，分析紋理特徵資訊、規劃模型訓練流程、產製 918 組訓練模型影像，進行訓練模型之解析。未來工作規劃為持續優化機器學習偵測多時期影像及地表模型技術，增加地表形變類型之分析作業。本項工作延續去年之試辦區域，研究區域為荖濃河流域，如圖 4.1-7 所示。

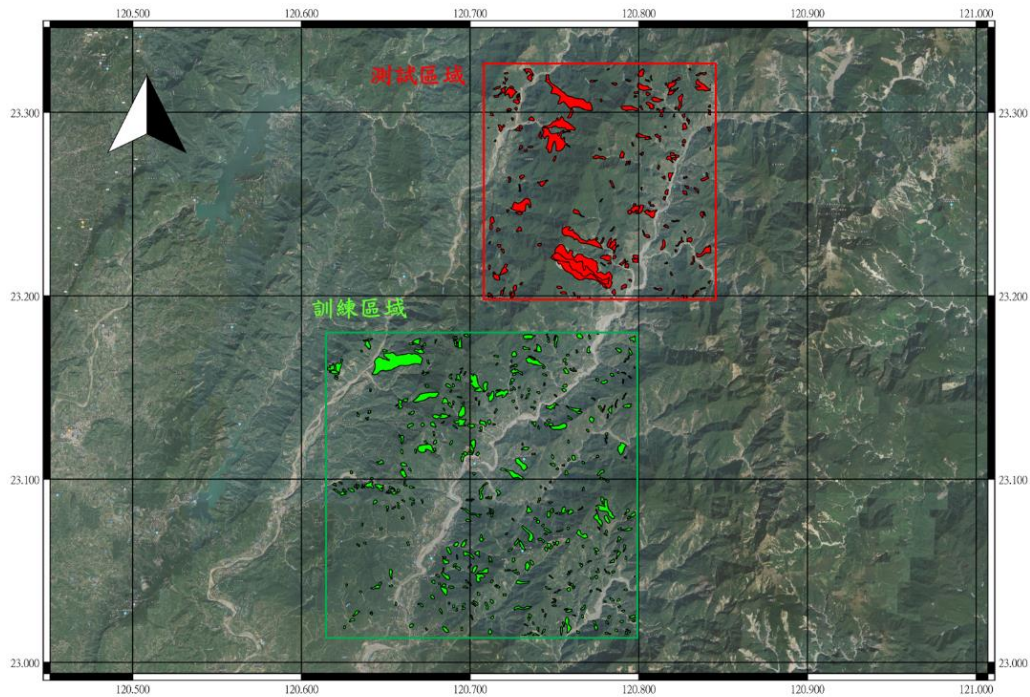


圖 4.1-7、研究區域

使用資料包含前期與後期之 SPOT-5 多光譜及全色態影像以及災害前期之 DEM 資料，測試之崩塌事件為 2009 年八八風災。作業程序分為三部分，第一部分為資料前處理，目的在產生訓練所需之特徵資料，包括以前後期多光譜影像變異向量分析法處理前後期多光譜影像、針對全色態影像產生其紋理特徵。第二部分為模型訓練，先利用前後期多光譜影像、地真資料與萃取之模型特徵，以 ConvLSTM 進行訓練產生預先訓練模型，並以

隨機森林進行訓練產生模型權重。最後再利用所偵測到之地表崩坍位置，分析地表變形量。第三部分為解析訓練模型之影像，解析上一步驟產製之訓練模型內容，並轉換成常見之影像格式。詳細說明如下：

### (1) 資料前處理

本項工作利用不同分析方式計算不同之特徵資訊，首先利用前期與後期之多光譜影像以變異向量分析計算兩時期之變異向量特徵，透過後期之全色態影像以紋理特徵分析計算影像中的紋理特徵、常態化差異植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)，最後利用前期 DEM 計算地形因素，其中包括高度、坡度等資料，分析出模型特徵資訊。本項工作應用之紋理特徵為利用灰階共生矩陣 (Gray Level co-occurrence matrix, GLCM)(Haralick et al., 1973) 計算之，其目的在於量化影像中物體之紋理與特徵，而其公式計算如式 4-1-8 與式 4-1-9。圖 4.1-8 為部分前處理資料案例，圖 4.1-8 (a) 為 DEM 資料，圖 4.1-8 (b) 為 DEM 之坡度，圖 4.1-8 (c) 為地真資料。

$$Entropy = - \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} p(i,j) * \ln p(i,j) \quad \text{式 4-1-8}$$

$$Energy = \sum_i \sum_j \{p(i,j)\} \quad \text{式 4-1-9}$$

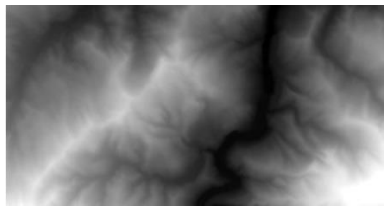
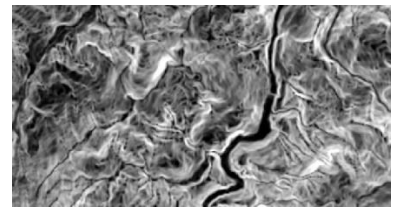
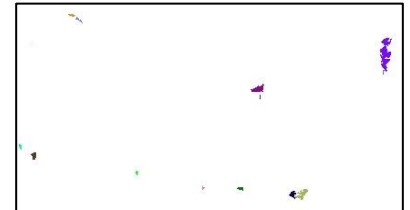
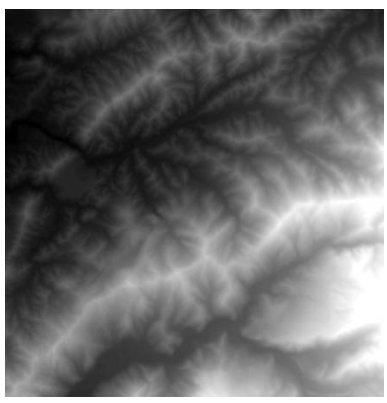
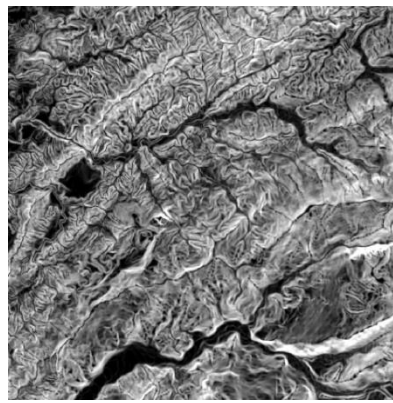
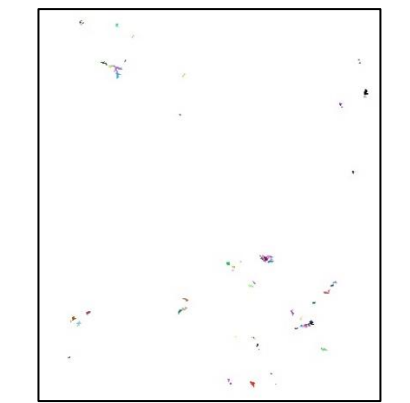
案例一			
案例二			
	(a) DEM	(b) 坡度	(c) 地真資料

圖 4.1-8、部分前處理資料

## (2) 模型訓練

本項工作之模型訓練階段流程圖如圖 4.1-9，利用前期與後期之多光譜影像、模型相關資料(如 DEM、坡度、地真資料等)、萃取之模型特徵，使用之 ConvLSTM U-Net 為基於深度學習使用之 U-Net 結構與卷積長短期記憶 (Convolutional long short-term memory, ConvLSTM) (Shi et al., 2015) 的知識構建、訓練模型，藉此產製預先訓練好之模型，再透過隨機森林(random forest)進行分析，得到真正訓練好之模型與模型權重資料，共 918 組訓練模型資料。選擇隨機森林進行模型訓練之原因，主要為隨機森林可以處理的資料較廣泛，並支援連續型與離散型之資料分析(將多個連續型數值分箱成較少組別，進行離散化)，且可以處理高維度之特徵影像。



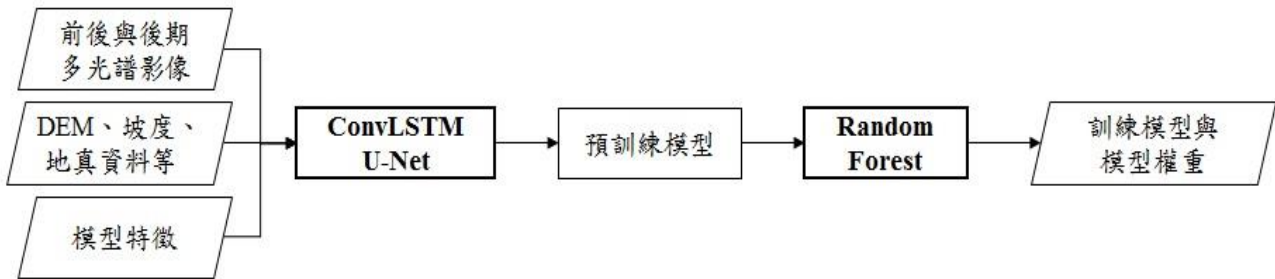


圖 4.1-9、模型訓練階段流程圖

### (3) 解析訓練模型之影像

本項工作為解析上一步驟產製之訓練模型內容，並轉換成常見之影像格式。由於訓練模型資料較難透過軟體或程式進行直觀的影像呈現，透過解析後成果，除了能直觀的顯示，在推廣訓練模型時，也能根據不同的需求進行相對應之應用研究。

訓練模型資料成果共有 918 組，每組訓練模型資料皆具有 7 種特徵影像資訊，訓練模型影像如圖 4.1-10。若是不解析直接將訓練模型資料透過 ArcGis 或 QGis 等平台上呈現會得到如圖 4.1-10(a)內容，進行解析後可得到 7 種特徵影像，分別為圖 4.1-10(b)至圖 4.1-10(h)之成果。特徵影像依序為綠色波段、紅色波段、近紅外光(NIR)波段、全色態(PAN)、熵(Entropy)、能量(Energy)與常態化植生指標(NDVI)等七種。圖 4.1-11 至圖 4.1-13 為別組訓練模型影像解析之成果。

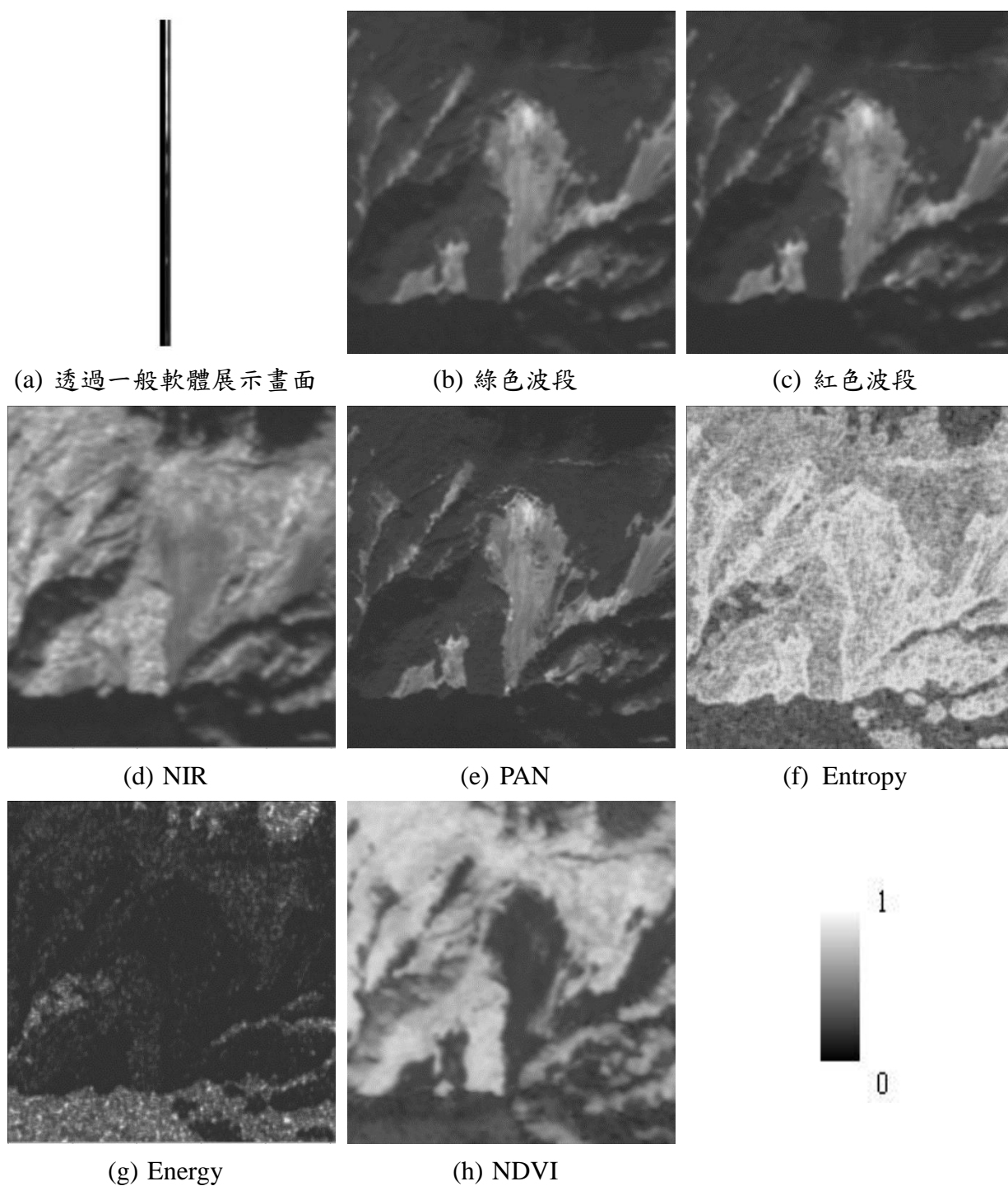


圖 4.1-10、訓練模型資料-解析前後影像(編號 7)

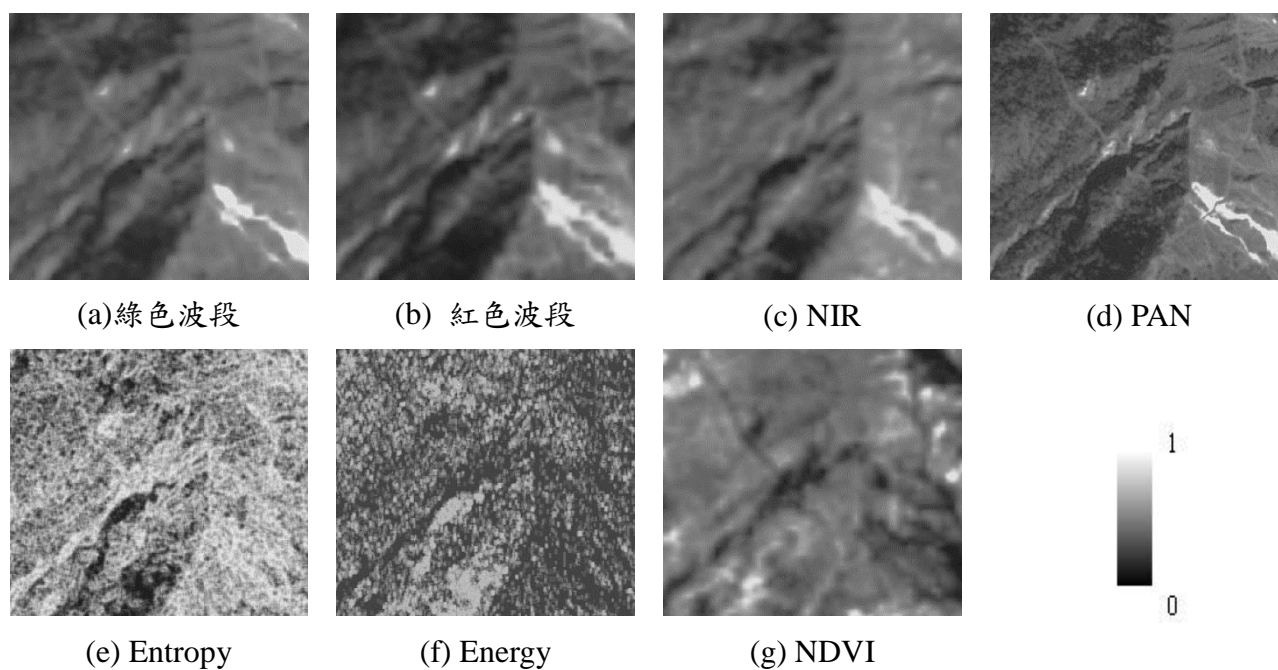


圖 4.1-11、訓練模型資料-解析後影像(編號 37)

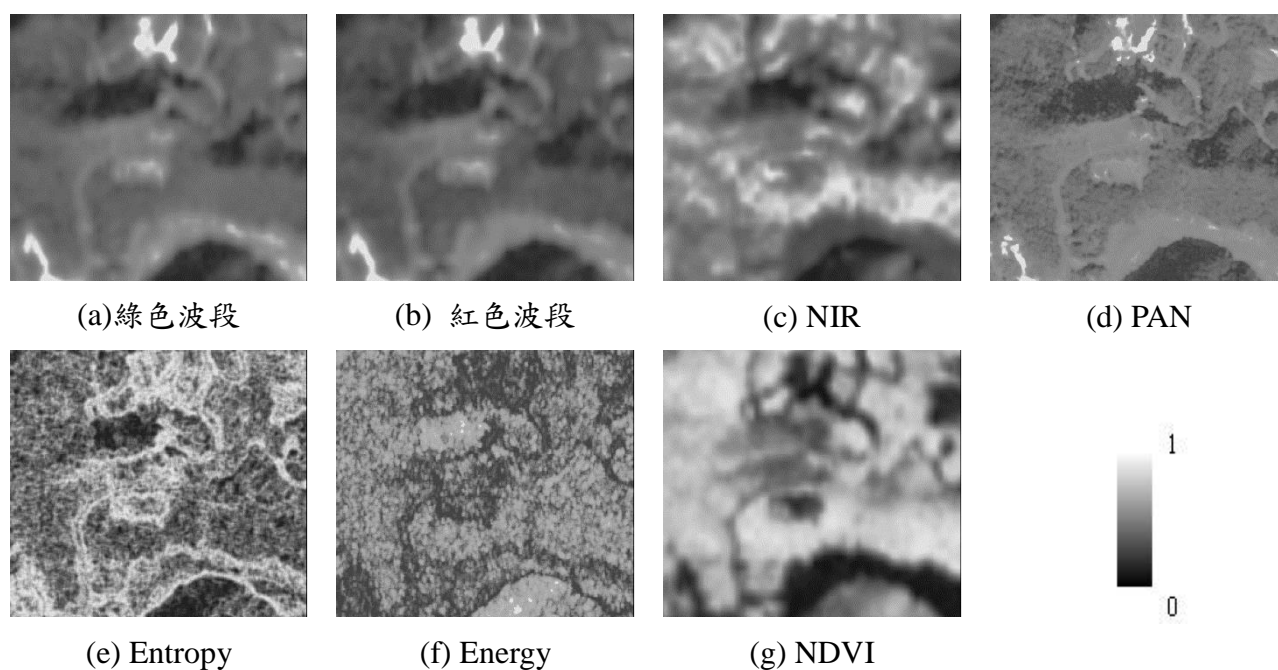


圖 4.1-12、訓練模型資料-解析後影像(編號 368)

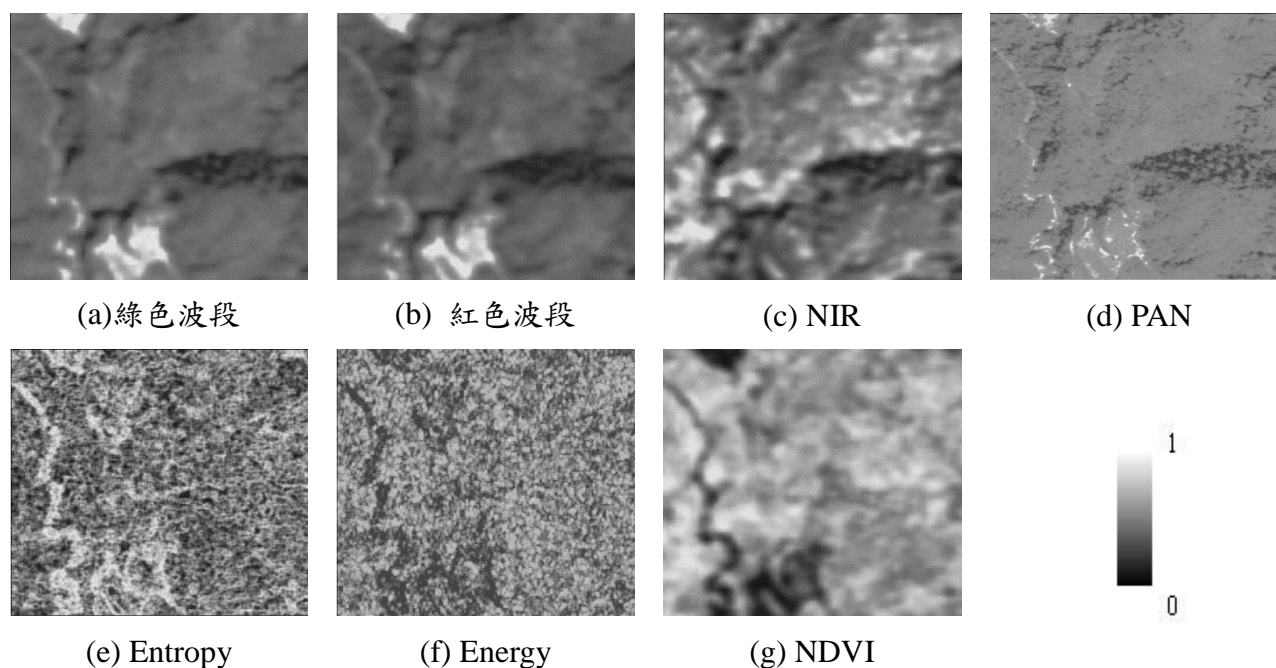


圖 4.1-13、訓練模型資料-解析後影像(編號 855)

### 4.1.3 發展多元衛星影像智慧處理與立體重建技術

光學衛星影像立體像對可用於三維定位、精確地物數化及三維地表模型建置等應用，可提供豐富之三維資訊。其中數值地表模型提供完整之三維物空間資訊，後續更可用於三維房屋模型產製、三維飛行模擬、視域分析及熱島效應等各項應用。因衛星影像有廣域的優點，於天然災害發生所造成地形大幅改變時，使用衛星影像更新數值高程模型，可以較快速且大範圍的產製。本項工作將針對光學衛星影像立體像對，發展數值地表模型重建技術。

傳統上利用衛星影像重建數值地表模型，多使用兩幅影像組成之立體像，匹配成功率及定位精度常受限於影像數量不足。本項工作運用法國國家地理院所發展之開源軟體 MicMac，使用多重衛星影像重建數值地表模型。

大量相同拍攝區域之衛星影像其拍攝角度均不相同，可建立良好之幾何交會條件，提升三維定位精度。另外，透過近似拍攝角度之影像，則因高差移位近似則可提升匹配成功率。為取得大量相同拍攝區域之衛星影像，需蒐集多元衛星影像或是不同拍攝時間之影像。本案考量影像成像與定位精度品質之一致性，選擇同感測器之衛星影像並拉長蒐集影像之拍攝時間。然而，蒐集長時間之影像可能因地物變遷的現象造成匹配錯誤的發生，故本案依拍攝日期排序影像，依序增加匹配影像以測試不同影像張數重建數值地表模型。本次期末報告完成不同影像張數重建數值地表模型測試，以下說明工作成果與其精度評估。未來規劃將針對所產製之數值地表模型，進行特徵目標物之萃取，如建物或道路等目標物。

### (1) 資料及研究區域

測試資料為 SPOT-6/7 多重疊影像，共計 30 張。影像為 1.5 公尺解析力之全色態影像，測試區位於新竹，圖 4.1-14 顯示測試區與人工量測之檢核點位，檢核點數共 39 點。蒐集之測試影像日期由 2018/01/10 至 2020/03/26，如表 4.1-3 所示。測試分析依影像日期由近至遠增加匹配影像，共分四組(黃底部分為該組新增影像、綠底部分為前一組使用之重覆影像)：第一組為 2020 年之影像，共 4 張；第二組為 2019 年七月後之影像，共 10 張；第三組為 2019 至 2020 年之影像，共 17 張；第四組為 2018 年至 2020 年之影像，共 30 張。



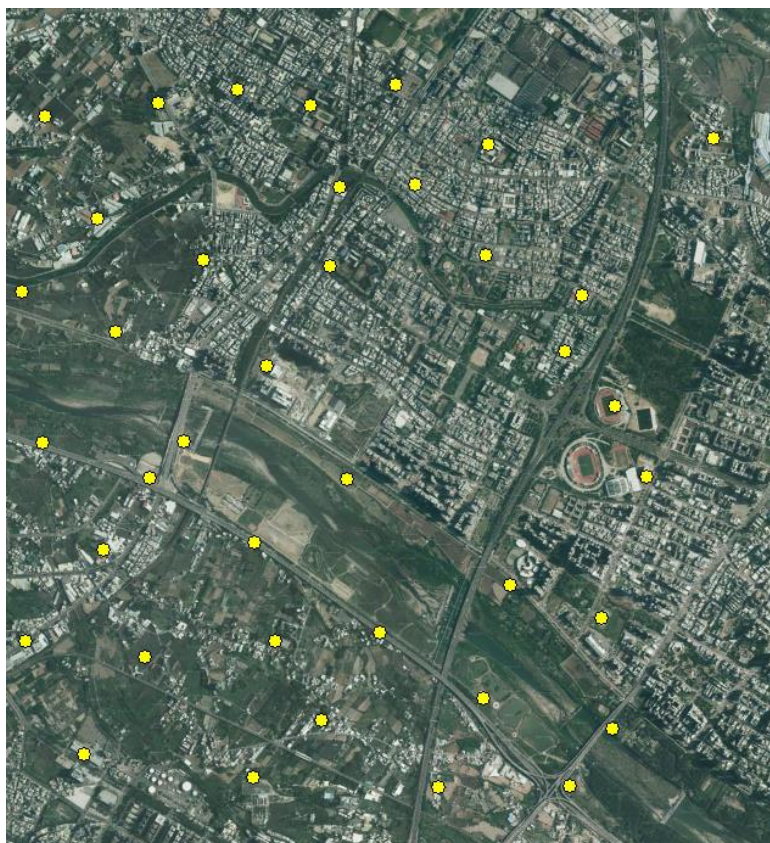


圖 4.1-14、測試區與檢核點位置

表 4.1-3、SPOT-6/7 測試影像日期

組別	使用影像與日期						
	黃底部分為該組新增影像、綠底部分為前一組前一組使用之重覆影像						
第一組 (2020)	SPOT-6 2020/03/26	SPOT-6 2020/03/24	SPOT-7 2020/01/09	SPOT-6 2020/01/08	使用 4 張影像		
第二組 (2019/07 至 2020)	SPOT-6 2020/03/26	SPOT-6 2020/03/24	SPOT-7 2020/01/09	SPOT-6 2020/01/08	SPOT-6 2019/12/13	SPOT-6 2019/10/22	SPOT-6 2019/09/12
	SPOT-7 2019/08/23	SPOT-6 2019/08/17	SPOT-6 2019/08/17	使用 10 張影像			
第三組 (2019 至 2020)	SPOT-6 2020/03/26	SPOT-6 2020/03/24	SPOT-7 2020/01/09	SPOT-6 2020/01/08	SPOT-6 2019/12/13	SPOT-6 2019/10/22	SPOT-6 2019/09/12
	SPOT-7 2019/08/23	SPOT-6 2019/08/17	SPOT-6 2019/08/17	SPOT-6 2019/05/19	SPOT-7 2019/04/22	SPOT-7 2019/04/08	SPOT-6 2019/03/28
	SPOT-6 2019/03/12	SPOT-7 2019/02/03	SPOT-7 2019/02/03	使用 17 張影像			

組別	使用影像與日期						
	黃底部分為該組新增影像、綠底部分為前一組前一組使用之重覆影像						
第四組 (2018 至 2020)	SPOT-6 2020/03/26	SPOT-6 2020/03/24	SPOT-7 2020/01/09	SPOT-6 2020/01/08	SPOT-6 2019/12/13	SPOT-6 2019/10/22	SPOT-6 2019/09/12
	SPOT-7 2019/08/23	SPOT-6 2019/08/17	SPOT-6 2019/08/17	SPOT-6 2019/05/19	SPOT-7 2019/04/22	SPOT-7 2019/04/08	SPOT-6 2019/03/28
	SPOT-6 2019/03/12	SPOT-7 2019/02/03	SPOT-7 2019/02/03	SPOT-6 2018/12/19	SPOT-7 2018/12/01	SPOT-7 2018/12/01	SPOT-6 2018/11/30
	SPOT-7 2018/11/24	SPOT-7 2018/10/29	SPOT-6 2018/10/28	SPOT-6 2018/10/28	SPOT-7 2018/05/24	SPOT-6 2018/03/10	SPOT-7 2018/02/18
	SPOT-6 2018/01/15	SPOT-6 2018/01/10	使用 30 張影像				

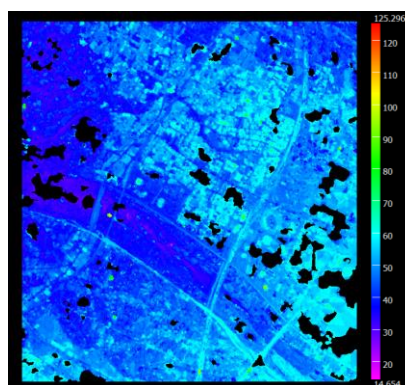
## (2) 影像密匹配與數值地表模型重建

影像視差計算部分 MicMac 使用匹配代價函數進行，當代價最小時為最佳解，而代價函數是由相似度加上梯度指標，其中相似度之計算是利用正規化互相關法(Normalized Cross-Correlation, NCC)得到相關係數，而相似度則為(1-相關係數)，因此當影像完全一樣時相似度為零(Rupnik et al., 2017)。梯度指標則為影像規律性標準，影像變化大則指標越大。完成影像匹配後可得影像間之視差，再配合衛星方位產生深度影像。為提升匹配成功率，使用影像金字塔之匹配策略，由解析度粗至細逐層進行匹配。進行影像密匹配後，將兩兩一組產生之深度影像合併並進行錯誤移除，產生三維點雲資料，最後再經內插產生數值地表模型。本次期末報告測試不同匹配張數，共 4 組成果，表 4.1-4 顯示各組成果匹配的高程範圍與匹配點數。圖 4.1-15 為匹配點雲成果。由表 4.1-4 可看出增加十張以上影像後匹配點數可從一百

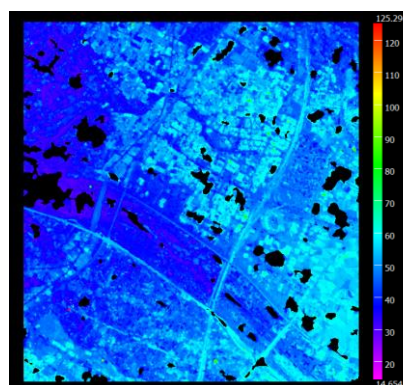
四十多萬點提升超過一百七十多萬點，從圖 4.1-15 亦可看出隨匹配影像的張數增加，三維點雲分布的均勻性亦較好，但在某些局部區域，如河水旁植生區域(測區左側居中處)，可能因地物的變遷使得第四組點雲數量不如第一組之成果。

表 4.1-4、影像匹配成果

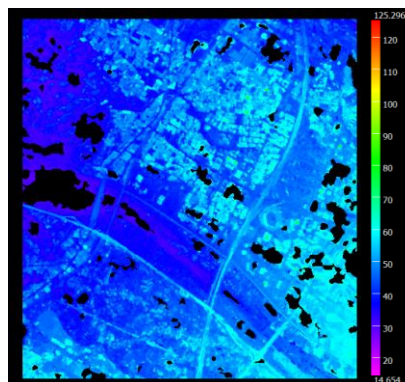
	第一組 (2020)	第二組 (2019/07 至 2020)	第三組 (2019 至 2020)	第四組 (2018 至 2020)
匹配影像張數	4	10	17	30
最小高程值(m)	14.65	20.99	20.90	22.78
最大高程值(m)	108.66	125.30	93.12	113.28
匹配點數	1594476	1746737	1718894	1760773



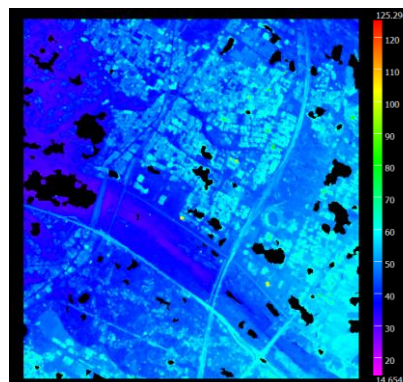
(a) 第一組(2020)



(b) 第二組(2019/07 至 2020)



(c) 第三組(2019 至 2020)



(d) 第四組(2018 至 2020)

圖 4.1-15、測試區匹配點雲成果



三維點雲內插(反距離加權法)後產製之數值地表模型成果如圖 4.1-16 所示。由圖 4.1-16 可發現在河道區域，僅 4 張影像匹配之第一組成果與 10 張影像匹配而成之第二組成果，其應該是平滑的區域明顯有不合理之雜訊。由 17 張影像所得之第三組成果在河道區域就有明顯之改善。30 張影像匹配之第四組成果則得到最平滑之成果，但在上述點雲成果中所述之無匹配到點雲之局部區域，則出現一區錯誤高程內插結果，代表當中因變遷有少數匹配錯誤點造成不合理的高程。圖 4.1-17 呈現新竹縣第一運動場區域之成果放大圖，亦可看出在操場中央平坦的區域第三組與第四組之成果可得到較合理之地形。

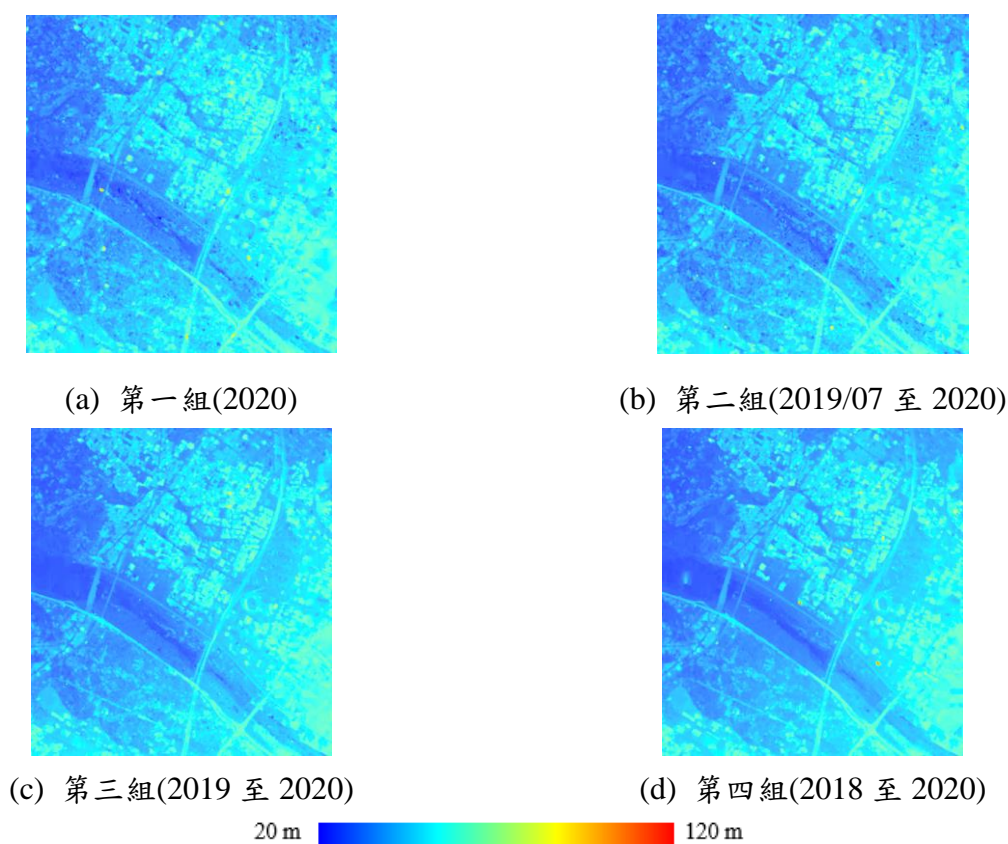
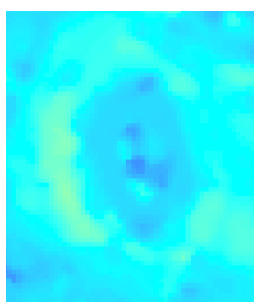


圖 4.1-16、測試區數值地表模型重建成果



(a) 影像(SPOT-6 2020/03/26)



(b) 第一組(2020)

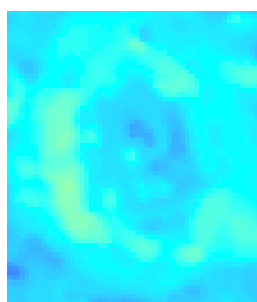
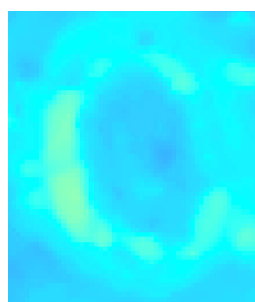
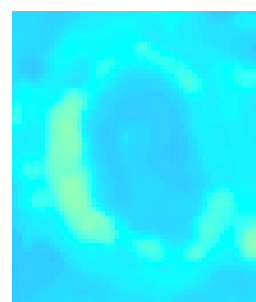
(c) 第二組  
(2019/07 至 2020)(d) 第三組  
(2019 至 2020)(e) 第四組  
(2018 至 2020)

圖 4.1-17、數值地表模型重建成果局部放大圖：新竹縣第一運動場

另外，綜觀成果圖可發現當中有局部不合理之亮點(高程較高處)，推測是因為匹配錯誤而形成。圖 4.1-18 為一匹配錯誤例造成之地形重建錯誤，由圖 4.1-18(e)與圖 4.1-18(f)可看出河水部分的變遷，在 2020 年 3 月 26 號之影像有明顯之淤沙堆積，而在 2020 年 1 月 8 號之影像中較少淤沙的堆積，而第一組成果是由兩張 2020 年之 3 月與 1 月之影像匹配而成，兩種現象之影像數剛好相同，從匹配成果除錯點雲是由多數決的過程來看，此例子剛好較難有除錯能力，故該區域匹配錯誤之點雲無法濾除，造成一不合理之地形重建。

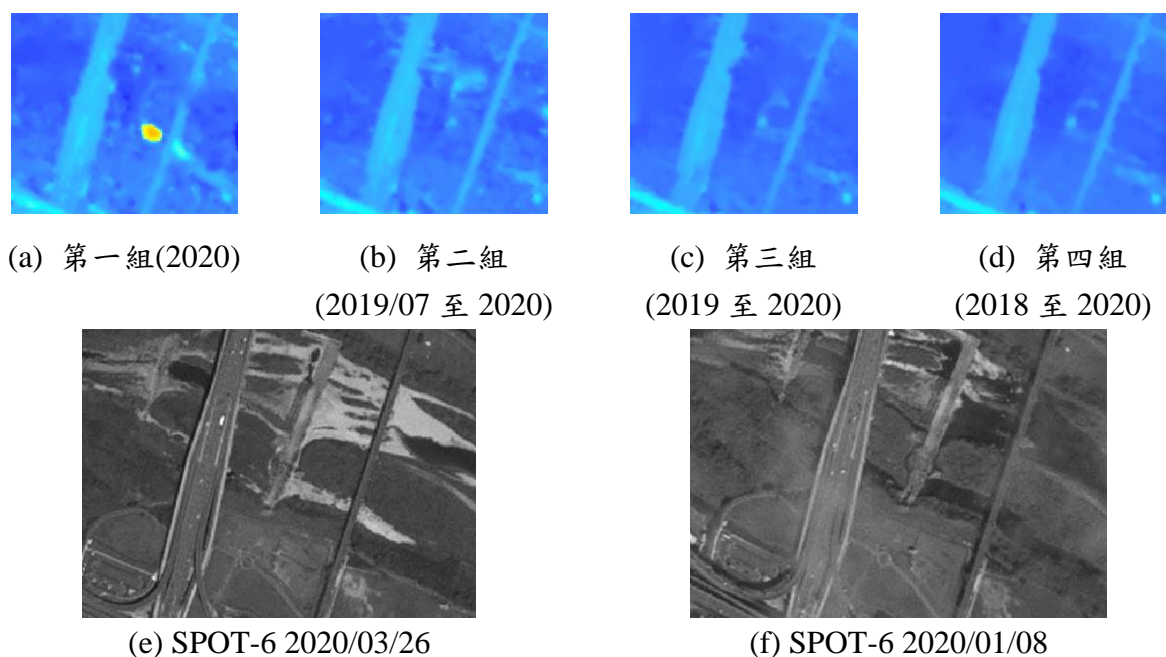


圖 4.1-18、第一組成果匹配錯誤例：河道變遷

重建之數值地表模型檢核點精度評估結果列於表 4.1-5。由誤差平均值來看，越多張影像之成果誤差越低，第一組誤差平均為 1.14 公尺，17 張影像匹配而成之第三組結果誤差平均降為-0.00 公尺。由均方根誤差來看，第二組成果劣於第一組，其均方根誤差值為 3.28 公尺，探究其原因，因為有一點檢核點剛好位於第二組匹配錯誤之區域，如圖 4.1-19 所示。圖 4.1-19(e) 可看出該點檢核點處於田埂間，而不同季節在影像中該區域稻田之紋理有明顯之變化(圖 4.1-19(f)、圖 4.1-19(g))，此現象剛好在第二組之影像組成中出現錯誤匹配的成果，使得該點誤差大。若排除該檢核點，第二組成果之誤差平均值與均方根誤差可降至 0.65 公尺與 2.41 公尺，顯示在正確的匹配結果中，增加匹配影像張數可確實提升定位精度。在本案研究中，17 張影像匹配重建地形成果(第三組)可達-0.00 公尺的誤差平均與近 2 公尺的均

方根誤差，使用 30 張影像之成果(第四組)則可達到 1.94 公尺之精度。

表 4.1-5、數值地表模型精度評估

	第一組 (2020)	第二組 (2019/07 至 2020)	第三組 (2019 至 2020)	第四組 (2018 至 2020)
誤差平均值(m)	1.14	1.00	-0.00	-0.00
均方根誤差(m)	2.75	3.28	2.01	1.94

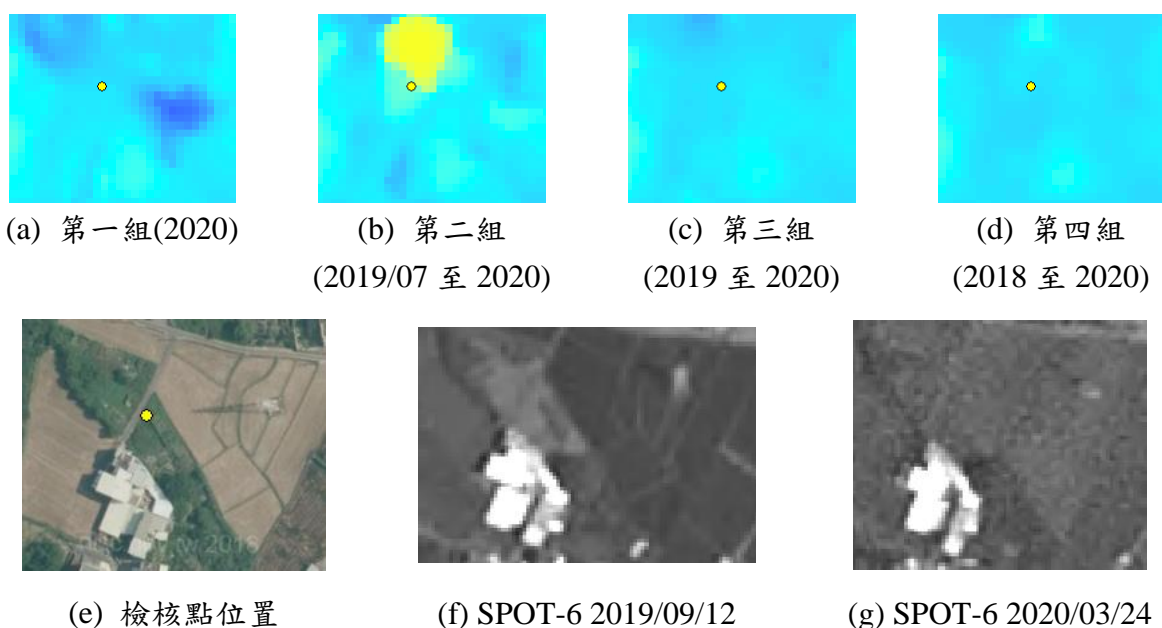


圖 4.1-19、第二組成果匹配錯誤例：稻田變遷

#### 4.1.4 擴充衛星影像智慧加值應用與後續推動可行性評估

本項工作以圖資之搜集與建立工作為主，而圖資之建立與處理工作則於 4.3 節之試辦工作中完成。大量且穩定的資料有利於我們長時間進行形變的觀測，成為穩定有效且可靠的大地測量工具，長期地表形變監測之成果可結合如雨量、地形坡度、潛勢區圖資等其他相關資訊來做進一步分析，對於未來國土規劃、災害預警、設施整治等議題上有相當地著墨空間。衛

星影像智慧加值應用產品後續可作為相關平台的圖資，提供決策單位充足的資訊對應未來的挑戰與難題。

具體作法為將衛星影像智慧加值應用成果產製成地理資訊系統等平台之空間資訊圖層資料，建議可以引入目前趨勢的即可分析資料 ARD (Analysis Ready Data)的 Open Data Cube 系統，Data Cube 在國際間已開始推動，已有地球觀測衛星委員會(The Committee on Earth Observation Satellites, CEOS)及美國太空總署與澳洲團隊(Australian Geoscience Data Cube, AGDC)所開發之 Data Cube 技術，建置即可分析並同時可提供服務之衛星影像資料倉儲模型。國內目前有中央大學太遙中心以及國家太空中心在 Data Cube 領域進行相關的研究應用與開發。

本中心建置之 Data Cube 系統目前除了來自 USGS 的 Landsat 8 及一般國際免費衛星資料，如 Sentinel-1/2 可由 Open Source 獲取相關前置處理流程，並可依此將其資料匯入 Open Data Cube 中。另外配合本中心接收站 SPOT 直接接收任務，本中心建置之系統亦支援 SPOT 影像匯入作業，現有 SPOT 影像資料將處理為大氣層頂反射率(Top of Atmosphere Reflectance, TOAR)產品，並匯入系統中作為即可分析 (Analysis-Ready)資料提供使用者可直接進行分析的影像，進行線上即時如 NDVI(圖 4.1-20)或淹水判識等應用之影像運算(圖 4.1-21)。



Open Data Cube Home Data Cube Manager Tools Task Manager Submit Feedback Logged in as: localuser Logout

### Task Details

Title	Band Math Query
Description	None
Status	Complete
Start Time	09/07/2020 02:31
End Time	09/07/2020 02:45

### task Parameters

(Lat, Lon) Min	(23.796100, 120.564400)
(Lat, Lon) Max	(23.957500, 120.766700)
Compositing Method	Least Recent Pixel

### Scene Metadata

05/12/2019	
Clean pixels	8243797
Total Pixels	10583652
Clean Pixel Perc...	77.89%
04/30/2019	
Clean pixels	2250812
Total Pixels	10583652
Clean Pixel Perc...	21.27%

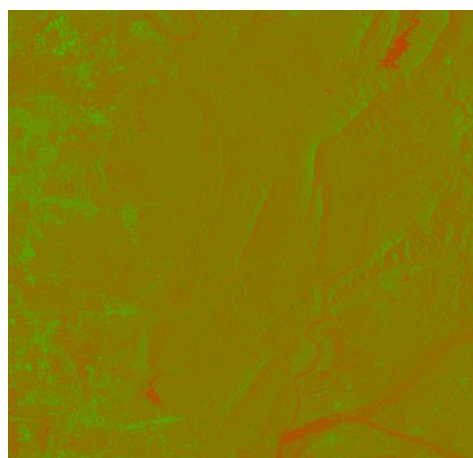
### task Metadata

Platform	SPOT6_MS
Scene Count	2
Pixel Count	10583652

### task Outputs

Mosaic Path	<a href="#">View image</a>
Filled Mosaic Path	<a href="#">View image</a>
NetCDF Path	<a href="#">Download nc</a>
GeoTIFF Path	<a href="#">Download tiff</a>
Animation Path	<a href="#">Download gif</a>

圖 4.1-20、Data Cube 圖資 NDVI 加值應用範例



(a) Sentinel-1 前期影像



(b) Sentinel-1 後期影像



(c) Sentinel-1 淹水區域判識成果

圖 4.1-21、Data Cube 圖資 SAR 淹水判釋加值應用範例

## 4.2 應用人工智慧發展航遙測影像辨識技術與應用

### 4.2.1 建立航遙測影像地表形變智慧分析技術

本項工作之目標為發展以前後期數值地表模型(Digital Surface Model, DSM)進行地表位移偵測之技術，利用 DSM 建立二維地表位移場(2D Displacement Field)(Wu et al., 2016)，並驗證技術之可行性。本年度(110)具體成果為自動化萃取 DSM 之地表位移場，比較人工量測與自動化萃取地表形變量外，亦分析使用前後期 DSM 之高度(Shape Information)及前後期正射影像之光譜(Spectral Information)進行地表位移分析之效益，以驗證使用

DSM 萃取地表位移向量場之可行性。未來成果可應用於坡地防災相關分析，如輔助山坡地大面積監測及管理應用，降低因地層滑動造成的災害與損失。

航遙測影像地表形變分析技術可使用(1)主動式雷達影像進行合成孔徑雷達差分干涉技術(Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar, DInSAR)或(2)被動式光學影像進行質點影像量測法(Particle image velocimetry, PIV) (Thielicke & Stamhuis, 2014)又稱光學影像匹配(Optical image correlation, OIC)或偏移偵測法(Pixel-offset, PO) (Leprince et al., 2007)等。當地表發生位移而地表特徵沒有劇烈改變的情況下，這兩種方法都被證明能有效偵測地表形變，但考量到光學影像空間解析度較高，可獲得較密集的位移場，及雷達影像在局部地表特徵變化較大區域的時間去相關(Temporal Decorrelation)及空間去相關(Spatial Decorrelation)效應較為嚴重，因此，本項工作發展 PIV 技術計算密集的地表像元位移場。

頻率域匹配以移動視窗作為子分析區域(Interrogation area)，匹配的過程首先設定子分析區域視窗大小與相鄰視窗重疊率(Overlap)，接著匹配前後期資料上所有等間距的子分析區域，在區域中心產生位移量。經過第一次頻域匹配後，每個子分析區域中心點會得到對應的位移量，這些位移量利用雙線性內差法(Bilinear Interpolation)可計算子分析區域每個像元概略的位移量，並使子分析區域產生形變。接著，為了得到最佳解，第二次頻域匹配



會以上一次匹配的成果為起始值，再縮小子分析區域視窗大小並依相鄰視窗重疊率改變視窗跨距，鎖定局部區域將原始子分析區域與形變的子分析區域進行匹配，計算區域之間的相關性，獲得精化後的子分析區域中心點位移量。以此類推，累積每次縮小子分析區域範圍及間距的剩餘位移資訊，由大視窗(粗)到小視窗(細)，最後獲得高精度、密集且等間距分布的位移場。

計畫實驗區域位於花蓮縣瑞穗鄉林區，實驗材料為 2019/5/30 與 2020/3/24 的數值地表模型，空間解析度均為 0.2 公尺。圖 4.2-1 展示實驗區域的航拍影像與數值地表模型，以黑色虛線框選的範圍為主要崩塌區域 (area of interest, AOI)。為確保 PIV 匹配成果為地表形變造成，而不是影像前處理的系統偏差，本研究利用多重疊航空影像進行空中三角測量平差，以人工量測明確的道路標記位置作為控制點，此道路標記位於滑坡區域外，道路位移量遠小於山區地表形變，因此前後期航測影像均採用相同的控制，經多視角航測影像密匹配作業程序產生 DSM。



(a) 前期(2019/5/30)航拍正射影像



(b) 後期(2020/3/24)航拍正射影像

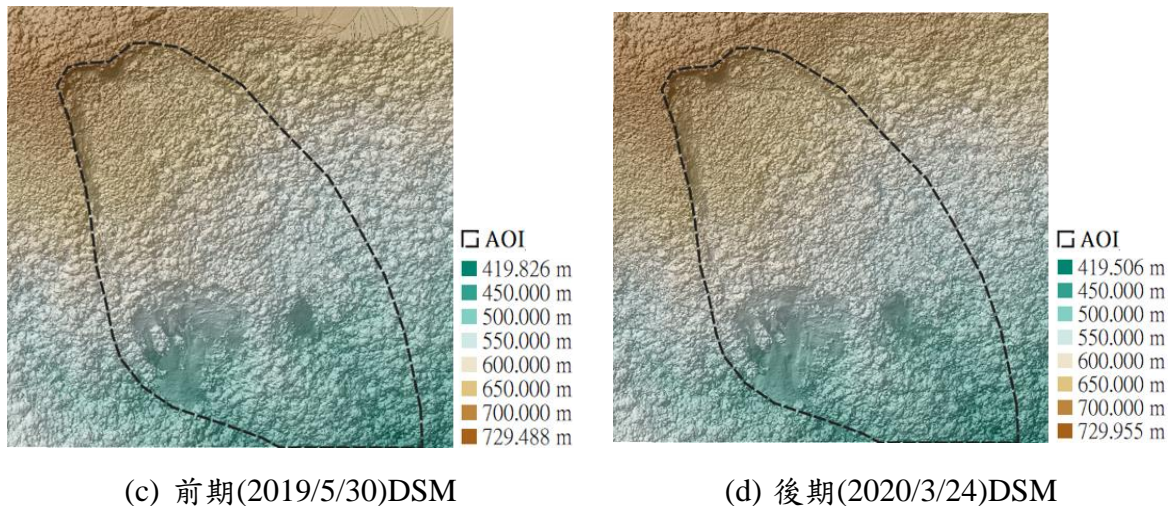


圖 4.2-1、花蓮縣瑞穗鄉林區數值地表模型

執行頻率域匹配時，為找到合適的子分析區域視窗大小與相鄰視窗重疊率，本團隊使用三組不同的 PIV 參數(表 4.2-1)執行林區崩塌地位移場偵測。第一組參數具有四種尺寸的子分析區域，為 four-pass 視窗變形的 PIV；第二組參數具有三種尺寸的子分析區域，為 three-pass 視窗變形的 PIV；第三組參數具有二種尺寸的子分析區域，為 two-pass 視窗變形的 PIV。以 PIV 參數設定三(Setting 03)為例，第一次頻域匹配(Pass 1)設定 512 x 512 pixels 大小的移動視窗作為子分析區域，視窗間的重疊率為 50%，相鄰視窗跨距為 128 pixels。第二次頻域匹配(Pass 2)先將視窗中心移到位移點約略的位置後，再縮小視窗尺寸為 256 x 256 pixels，視窗間的重疊率同樣為 50%，相鄰視窗跨距為 128 pixels。

表 4.2-1、PIV 參數設定

		Interrogation area (pixel) 子分析區域視窗大小	Step (pixel) 相鄰視窗跨距	Overlap (%) 相鄰視窗重疊率
Setting 01	Pass 1	512 x 512	256	50
	Pass 2	256 x 256	128	
	Pass 3	128 x 128	64	
	Pass 4	64 x 64	32	
Setting 02	Pass 1	512 x 512	256	50
	Pass 2	256 x 256	128	
	Pass 3	128 x 128	64	
Setting 03	Pass 1	512 x 512	256	50
	Pass 2	256 x 256	128	

使用前後期 DSM 進行林區滑坡位移場偵測之實驗成果(圖 4.2-2)顯示，PIV 參數設定的最終子分析區域範圍越小，獲得的向量場越密集。成果分析利用人工量測前後期航拍正射影像上建築物右上方的坐標(圖 4.2-3 (a)、(b) 黃點位置)，計算地物在前後期影像上移動的距離與方向，並與 PIV 獲得的數值地表模型位移場相比，以位移量差及位移方位差成果討論何組參數較適用。比較三組 PIV 成果與人工量測建築物的位移量(表 4.2-2 及圖 4.2-3)，使用 PIV 第一組參數(Setting 01)得到的向量場與人工量測的位移量及位移方位差異最小，位移量相差約 0.3 公尺，位移方位差約 8 度。以本次實驗成果而言，PIV 第一組參數較合適，獲得的向量場與人工量測成果最接近。推測原因是第一組參數為 four-pass 視窗變形的 PIV，偵測前後期地表位移時執行四次頻域匹配，得到較密集的地表位移場，使地表位移向量與人工量測的地物位置偏差較少，相對較能展現實際地表位移。



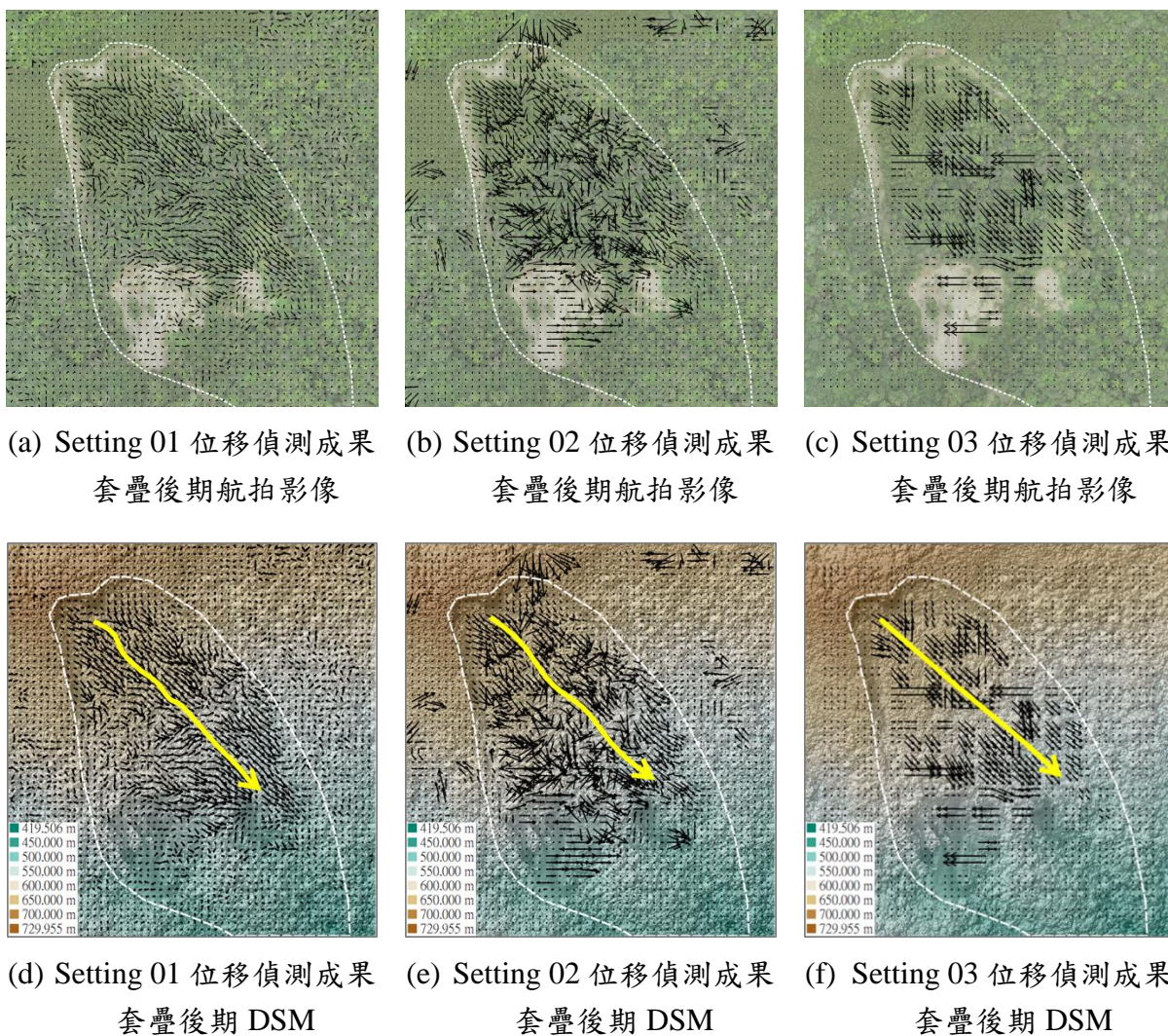


圖 4.2-2、使用 DSM 偵測林區滑坡地表位移場之成果(白色虛框為崩塌範圍，黃色箭頭為崩塌區域主要移動方向)

表 4.2-2、DSM PIV 向量場與人工量測成果比較

		位移量(m)	位移方位	長度差(m)	方位差
人工量測		6.331	133°07' 05"	-	-
DSM: PIV 向量場	Setting 01	6.040	141°03' 36"	-0.291	7°56' 31"
	Setting 02	9.499	125°53' 14"	3.168	7°13' 51"
	Setting 03	5.266	140°41' 57"	-1.065	7°34' 52"

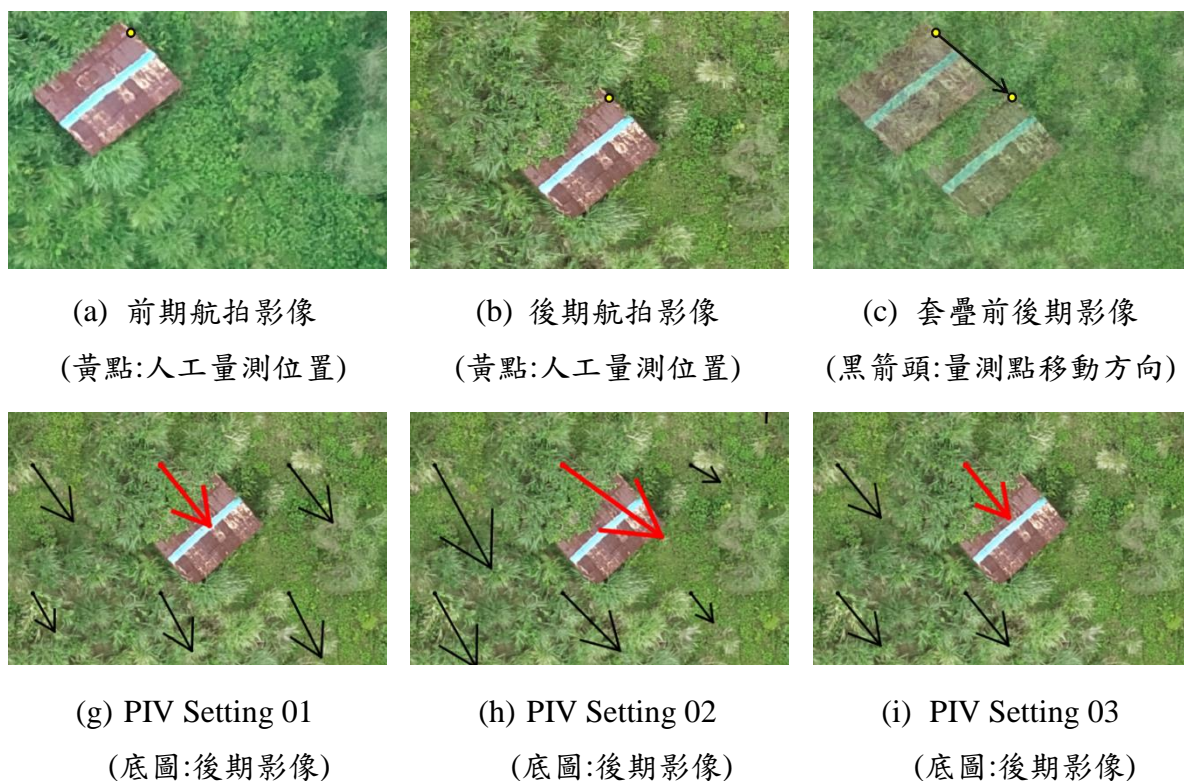


圖 4.2-3、比較 DSM PIV 向量(紅色箭頭)與人工量測建築物位移

為比較使用 DSM 高度 (Shape Information) 及使用光譜 (Spectral Information) 進行地表位移分析之差異，本項工作使用前後期航拍正射影像之光譜產生實驗區域的地表位移場(圖 4.2-4)進行比較，並比較兩種不同資訊獲得的地表位移偵測成果。觀察由 DSM 及航拍影像產生的地表位移場，兩種資料所獲得的坡地滑動趨勢相同，在崩塌範圍內的地表皆往右下方移動。利用 DSM 產生的位移場與人工量測地表位移量相差約 0.29 公尺，位移方位差約 8 度；航拍影像產生的位移場與人工量測地表位移量相差約 0.16 公尺，位移方位差異小，低於 1 度(表 4.2-3 及圖 4.2-5)。比較成果顯示，雖然 DSM 獲取的局部地表位移場的成效比航照影像成果差，但整體地表位



移場的趨勢是一致的，經由實際案例及參數設定分析，本項工作驗證可後期數值地表模型萃取整體地表位移向量場之可行性，未來精進的方向將採用原始三維雲點進行地表位移場計算，以降低內插成網格式資料的影響。

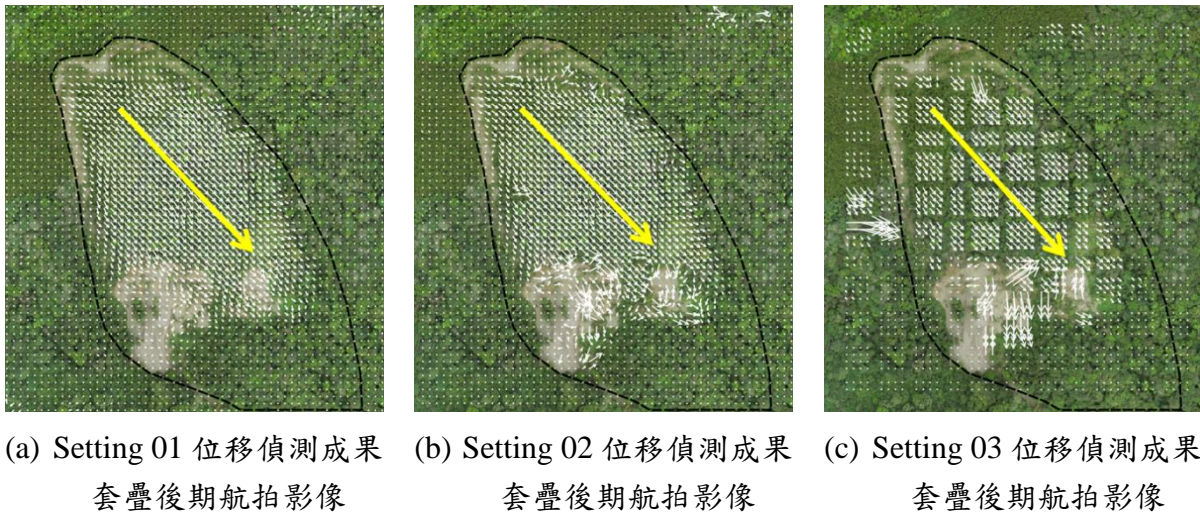


圖 4.2-4、使用航拍影像偵測林區滑坡地表位移場之成果(黑色虛框為崩塌範圍，黃色箭頭為崩塌區域主要移動方向)

表 4.2-3、航拍影像 PIV 向量場與人工量測成果比較

		位移量(m)	位移方位	長度差(m)	方位差
人工量測		6.331	133°07' 05"	-	-
航拍影像: PIV 向量場	Setting 01	6.169	133° 40' 08"	-0.162	0° 33' 03"
	Setting 02	6.501	133° 01' 23"	0.170	-1° 54' 18"
	Setting 03	5.852	140° 54' 05"	-0.479	7° 47' 00"

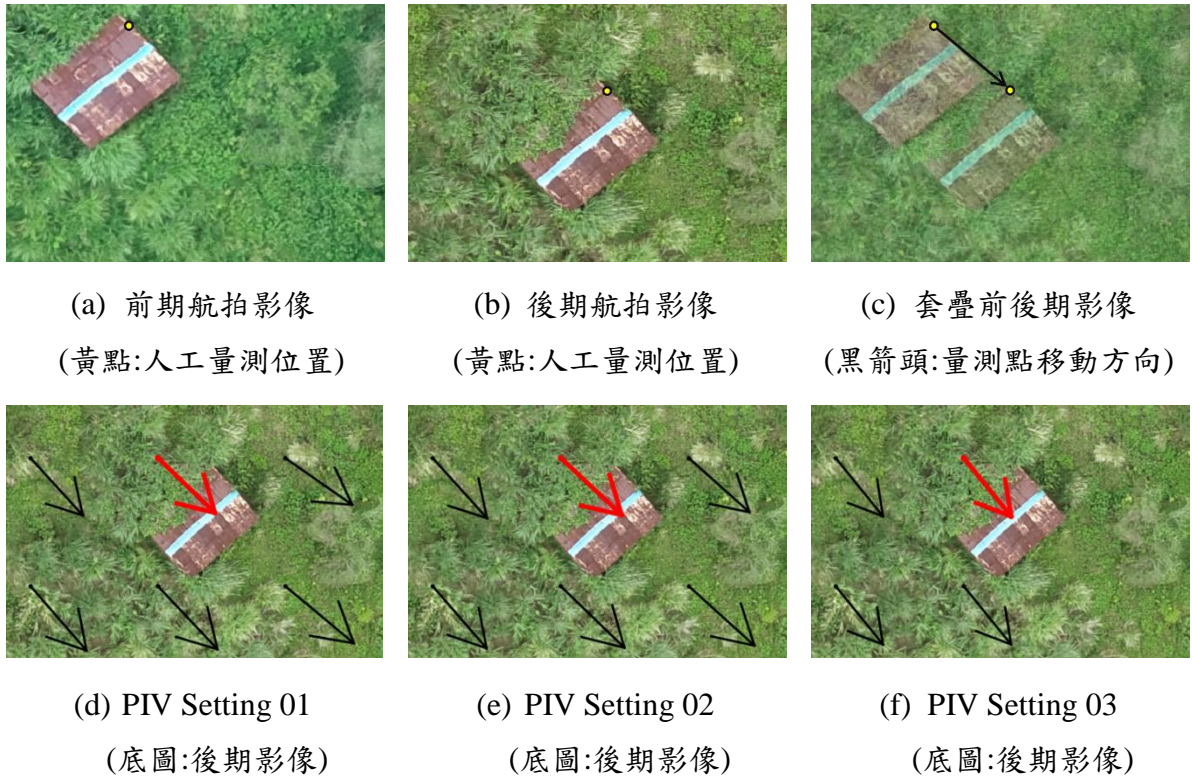


圖 4.2-5、比較航拍影像 PIV 向量(紅色箭頭)與人工量測建築物位移

#### 4.2.2 建立航遙測影像智慧辨識訓練資料集，須對不同類型之資料集進行整理並分析其適用性

本項工作工作目標為蒐集及分析針對航遙測影像語意分割(Semantic Segmentation)之國際標竿資料集(Benchmarking Data)。本年度(110)具體成果為蒐集已標註建築物類別之國際標竿資料集，並整理標竿資料集之建置方式，橫向比較與分析各資料集，如資料集影像來源、區域、範圍、解析度等，探討各資料集用於臺灣之適用性。使用國際標竿資料集建立航遙測影像智慧辨識訓練資料集，以利後續發展航遙測自動化房屋智慧辨識與分類技術。未來可應用房屋智慧辨識訓練資料集進行深度學習，經由訓練模型



參數值萃取航遙測影像的深度特徵(deep feature)，並應用於房屋辨識。

智慧辨識使用深度學習方法，而深度學習必須依賴大量且多元的訓練資料集建立智慧辨識的分類參數，航遙測影像智慧辨識依不同應用目的可以分為影像分類(Image Classification)、物件偵測(Object Detection)、語意分割(Semantic Segmentation)及實體分割(Instance Segmentation)(圖 4.2-6)，不同應用目的之訓練資料集提供不同的標籤(Label)資料，如影像類別、物件外框、或像元類別等。



(a) 影像分類(Image Classification):  
分類此影像為房屋



(b) 物件偵測(Object Detection):  
偵測房屋物件外框



(c) 語意分割(Semantic Segmentation):  
萃取屬於房屋的像元



(d) 實體分割(Instance Segmentation):  
分割不同房屋區域的像元

圖 4.2-6、不同應用目的之智慧辨識技術

不同國家或城市受歷史文化、人口密度、地理環境與天候條件等影響，各自發展出不同的建築物型態與特色，因此並非所有國際標竿資料集皆適合用於辨識臺灣的房屋。為了選出較適用於臺灣之國際標竿資料集，本計



畫蒐集十個國際標竿資料集(表 4.2-4)，比較不同國際資料集的內容與建置方式，並以可能影響自動化房屋辨識成果的要素為主要分析項目，例如資料集影像內建物屋頂的樣式與複雜程度、建物的分布型態，及影像內房屋是否受高差移位(Relief Displacement)影響等。臺灣地狹人稠，土地使用密度高，大部分地區的建築物分布密集外，受氣候等因素影響，房屋多半為平屋頂且頂樓空間有許多功能不同的用途(如放置水塔、排風扇與冷氣室外機、架設太陽能板等)。另外，由於都市化程度高，市區多高樓層建物，在航遙測影像中容易因透視投影造成高差移位，且高樓層建物周圍的低樓房容易被高樓陰影遮蔽。

表 4.2-4、國際標竿資料集基本資料

資料集名稱	影像類型	解析度 (m <sup>2</sup> /pixel)	涵蓋區域	面積 (km <sup>2</sup> )	類別數
Aerial Image Segmentation	Aerial imagery	0.091 ~ 0.111	Berlin、Chicago、Paris、Zurich、Potsdam	162.02	3 (建物、道路、背景)
Aerial Imagery for Roof Segmentation	Aerial imagery	0.075	Christchurch	457	2 (屋頂、非屋頂)
DroneDeploy	Aerial imagery	0.1	-	-	7 (建築、雜物、植被、水、地面、汽車、忽略)
Inria Aerial Image Labeling	Aerial imagery	0.3	Vienna、Tyrol、Kitsap、Chicago、Austin	810	2 (建物、非建物)
Massachusetts Buildings	Aerial imagery	1	Boston	340	2 (建物、非建物)

資料集名稱		影像類型	解析度 (m <sup>2</sup> /pixel)	涵蓋區域	面積 (km <sup>2</sup> )	類別數
NZ32km2		Aerial imagery	0.075	Christchurch	32	1 (建物)
Tanzania Building Footprint		Aerial imagery	0.059~ 0.079	Unguja (Zanzibar Island)	-	3 (已完工建物、未 完工建、地基)
LVIER-CD		Satellite imagery	0.5	cities in Texas of the United States	168.6	2 (改變、未改變)
SpaceNet	Building Detection v1	Satellite imagery	0.5	Rio	2544	1 (建物)
	Building Detection v2		0.3	Vegas、Paris、 Shanghai、 Khartoum	3011	
WHU Building	Satellite dataset I	Satellite imagery	0.3 ~ 2.5	cities over the world (內含臺灣的城市)	-	1 (建物)
	Satellite dataset II		2.7	East Asia (North Korea)	550	

十個國際標竿資料集的簡述與分析如下: (1) Aerial Image Segmentation (Kaiser et al., 2017)資料集由空間解析度為 0.091 至 0.111 公尺之航拍影像，及語意類別地真資料組成(圖 4.2-7)。影像拍攝區域包含美國芝加哥(Chicago)、法國巴黎(Paris)、瑞士蘇黎世(Zurich)、德國柏林(Berlin)與波茨坦(Potsdam)，五個城市，面積共約 162 平方公里。地真資料來自開放街圖(OpenStreetMap, OSM)標籤(tag)，分為建築物、道路與背景，三種語意類別。此資料集涵蓋不同城市，大部分房屋分布集中。建物類型多樣化，房屋高度不一，高樓層建物在影像中存在高差移位。屋頂樣式包括斜屋頂與平屋頂，多數屋頂上有天窗、排氣管或煙囪，少數有架設太陽能板。除此之外，

部分的住宅建物周圍種植高樹，在影像中房屋屋頂會被樹木與樹影遮蔽(圖 4.2-7(i))。



(a)芝加哥航拍影像



(b)芝加哥影像對應地真資料



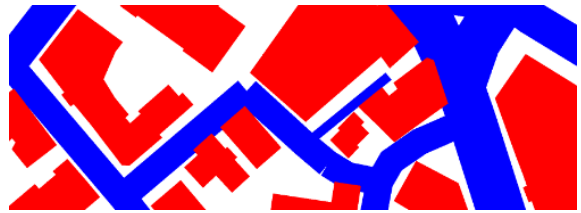
(c)巴黎航拍影像



(d)巴黎影像對應地真資料



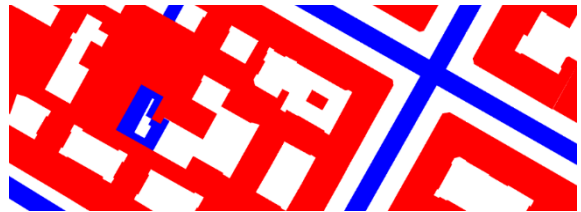
(e)蘇黎世航拍影像



(f)蘇黎世影像對應地真資料



(g)柏林航拍影像



(h)柏林影像對應地真資料



(i)波茨坦航拍影像



(j)波茨坦影像對應地真資料

圖 4.2-7、Aerial Image Segmentation 範例(地真類別:建物為紅色；道路為藍色；背景無色)(Kaiser et al., 2017)

(2) Aerial Imagery for Roof Segmentation (AIRS) (Chen et al., 2018)資料集由空間解析度為 0.075 公尺之航拍影像與語意類別地真資料(圖 4.2-8)組成。影像拍攝區域為紐西蘭基督城(Christchurch)，面積共約 457 平方公里；地真資料來自經過人工編修改進後的 OSM 標籤，分為屋頂與非屋頂兩種語意類別。此資料集涵蓋整個基督城，城內的建物一半以上為低樓層房屋，影像中地物受高差移位影響小。屋頂樣式絕大多數為斜屋頂，有些屋頂上方會設置衛星天線或天窗。郊區的建物分散(圖 4.2-8(c))，而市區的建物集中(圖 4.2-8(a))，房屋旁大多種植樹木，影像上屋頂會被植物與樹影遮蓋。

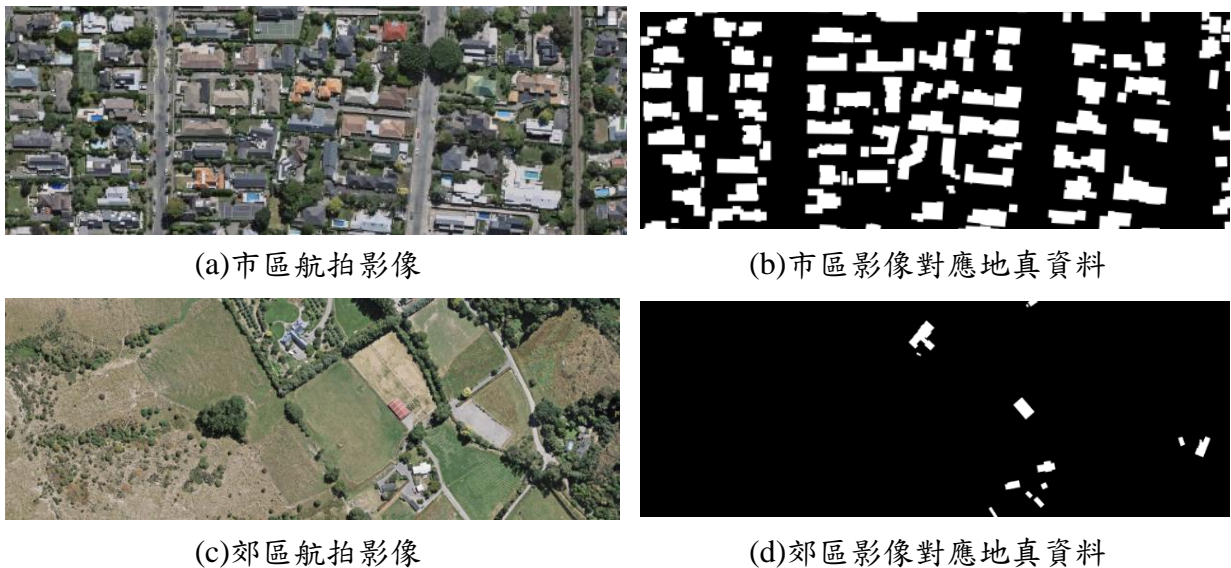


圖 4.2-8、AIRS 範例(地真類別:屋頂為白色；非屋頂為黑色) (Chen et al., 2018)

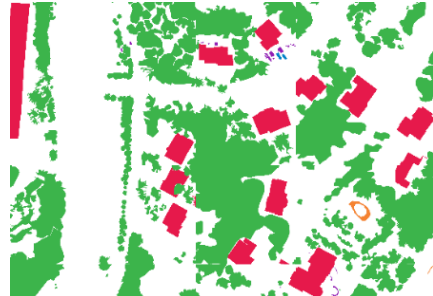
(3) DroneDeploy (Pilkington et al., 2019)的訓練資料集由 55 張空間解析度為 0.1 公尺之航拍影像，及語意類別地真資料組成，地真資料分為建築、雜物(Clutter)、植被、水、地面、汽車、忽略(Ignore)，共七種語意類別。



DroneDeploy 影像數量較其他標竿資料集少，雖然資料集內含有房屋的影像皆來自不同城市，建物外觀多樣化，但屬於建物類別的像元僅占整個資料集 5.6% (Parmar et al., 2020)，可用資料量少。影像中無高樓層建物，故無高差移位的問題。屋頂樣式以斜屋頂居多，通常設有太陽能板、天窗、排風扇或煙囪等，此外，有部分房屋的屋頂被積雪覆蓋(圖 4.2-9(a))。



(a) 航拍影像



(b) 語意類別地真資料

圖 4.2-9、DroneDeploy 範例(地真類別:建物為紅色) (Pilkington et al., 2019)

(4) Inria Aerial Image Labeling (Maggiori et al., 2017)訓練資料集由空間解析度為 0.3 公尺之航拍影像，及語意類別地真資料(圖 4.2-10)組成。影像拍攝區域包含美國基薩普(Kitsap)、芝加哥(Chicago)、奧斯汀(Austin)及奧地利維也納(Vienna)與提洛爾(Tyrol)，五個城市，面積共約 810 平方公里(訓練資料約 405 平方公里；檢核資料約 405 平方公里)。地真資料為當地政府公開的官方地籍資料，分為建物與非建物兩種語意類別。此資料集涵蓋高密度與低密度城市，屋頂樣式包括斜屋頂與平屋頂，斜屋頂的比例較高。屋頂多半有天窗或煙囪，少部分有裝設排風扇或太陽能板。低密度城市的房屋分散，多為低樓層建物且相鄰建物之間的高度相似，但部分房屋周圍有

種植樹木，在影像中樹木與樹影會遮蔽建物(圖 4.2-10(a))；而高密度城市的房屋集中，不同高度的建物常聚集在一起，低樓建物除了可能會被樹木遮蓋外，若相鄰建物之間高度落差大，也容易被高樓陰影遮蔽(圖 4.2-10(c))，另外，高樓建物在影像中會受到高差移位影響。



(a) 基薩普航拍影像



(b) 基薩普影像對應地真資料



(c) 芝加哥航拍影像



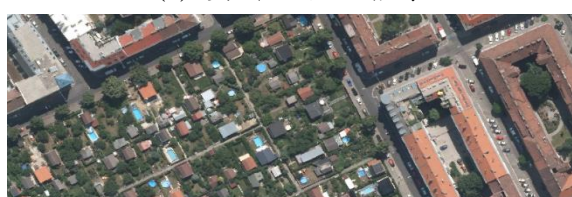
(d) 芝加哥影像對應地真資料



(e) 奧斯汀航拍影像



(f) 奧斯汀影像對應地真資料



(g) 維也納航拍影像



(h) 維也納影像對應地真資料



(i) 提洛爾航拍影像



(j) 提洛爾影像對應地真資料

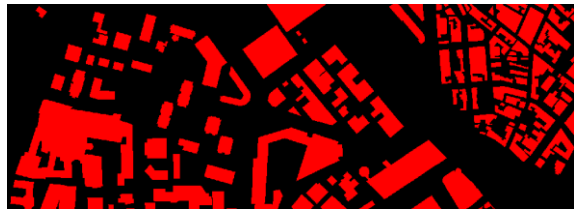
圖 4.2-10、Inria Aerial Image Labeling 資料集範例(地真類別:建物為白色；

非建物為黑色) (Maggiori et al., 2017)

(5) Massachusetts Buildings (Mnih, 2013)的資料集由空間解析度為 1 公尺之航拍影像，及語意類別地真資料(圖 4.2-11)組成。影像拍攝區域為美國波士頓(Boston)，面積共約 340 平方公里(訓練資料約 308 平方公里)。地真資料為經過人工編修後的 OSM 標籤，分為建物與非建物兩種語意類別。此資料集影像包含波士頓的市區和郊區，建物相當密集，屋頂樣式包含斜屋頂與平屋頂，多數為斜屋頂，屋頂上方通常設有煙囪、排風扇與天窗等。市區的高樓建物在影像中容易存在高差移位，且經常因光線照射產生陰影，遮蔽周圍的低樓層建物(圖 4.2-11(a))。郊區主要為住宅房屋，建物旁絕大多數有種植樹木，在影像上建物常被植物與樹影遮蓋(圖 4.2-11(c))。



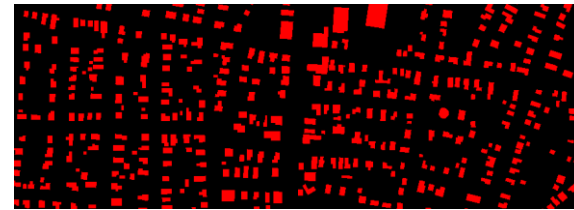
(a) 市區航拍影像



(b) 市區影像對應地真資料



(c) 郊區航拍影像



(d) 郊區影像對應地真資料

圖 4.2-11、Massachusetts Buildings 範例(地真類別:建物為紅色；非建物為黑色) (Mnih, 2013)

(6) NZ32km2 (Wu et al., 2018)的資料集由空間解析度為 0.075 公尺之航



拍影像，及語意類別地真資料(圖 4.2-12)組成。影像拍攝區域為紐西蘭基督城，面積共約 32 平方公里(訓練資料約 18 平方公里)。地真資料來自紐西蘭土地資訊局(Land Information of New Zealand)，並以人工編修，僅標示建築物語意類別。此資料集選擇基督城內建築物較集中的區域，建物主要為住宅房屋與工廠，絕大部分為低樓層建物，影像中地物受高差移位影響小。屋頂樣式多半為斜屋頂，屋頂上方會設置衛星天線或天窗。住宅房屋旁大多種植樹木，在影像上部分植物與樹影會遮蔽建物。



(a) 航拍影像

(b) 地真資料

圖 4.2-12、NZ32km<sup>2</sup> 範例(地真類別:建物為白色) (Wu et al., 2018)

(7) Tanzania Building Footprint (Open AI Tanzania, 2018)資料集由空間解析度為 0.059 至 0.079 公尺之航拍影像及向量式地真資料圖檔(圖 4.2-13)組成。影像拍攝區域為安古賈(Unguja)，地真資料由人工框選並標示為已完工建物、未完工建物及地基這三種類別。此資料集內的房屋皆為低樓層建物，在影像高差移位影響不顯著。另外，屋頂樣式包含斜屋頂與平屋頂，屋頂上無加裝或設置物品。

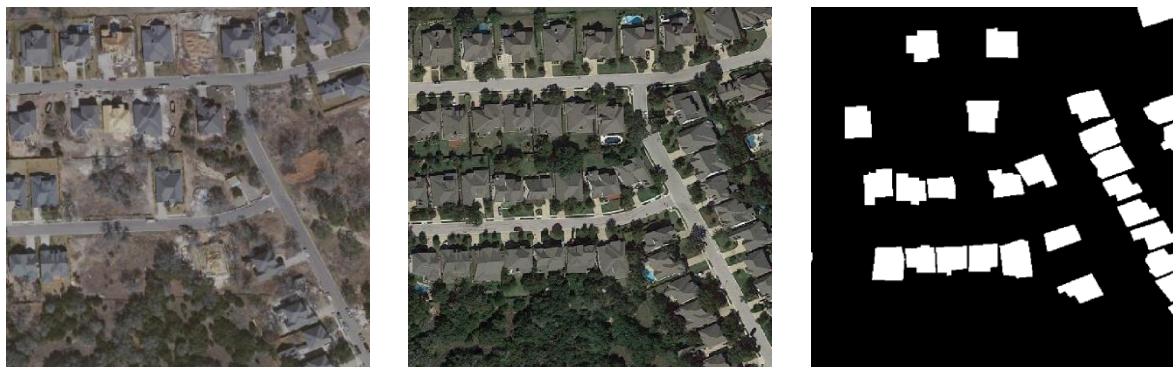


(a) 航拍影像

(b) 地真資料

圖 4.2-13、Tanzania Building Footprint 範例(地真類別:已完工建物為藍色；未完工建物為黑色；地基為棕色) (Open AI Tanzania, 2018)

(8) LEVIR building Change Detection (LVIER-CD) (Chen & Shi, 2020) 資料集由空間解析度為 0.5 公尺之衛星影像，及語意類別地真資料(圖 4.2-14)組成。影像拍攝區域為美國德克薩斯州(Texas)多個城市，面積共約 168.6 平方公里，地真資料由遙測專家人工分為有改變與未改變建物，兩種語意類別。此資料集影像皆拍攝於郊區，大多數建物屬於住宅房屋，皆為低樓層建物，影像中地物無高差移位。屋頂樣式包含斜屋頂與平屋頂，以斜屋頂占多數，部分屋頂上有煙囪或排風扇等外，有些房屋旁種植樹木，在影像上屋頂會被植物與樹影遮蔽。



(a) 前期衛星影像

(b) 後期衛星影像

(c) 地真資料

圖 4.2-14、LVIER-CD 範例(地真類別:有改變為白色；無改變為黑色) (Chen & Shi, 2020)

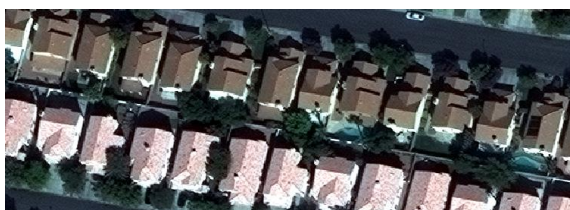
(9) SpaceNet (Van Etten et al., 2018)資料集內含多個子資料集，本工作項目僅分析 Building Detection v1 與 Building Detection v2 資料集。Building Detection v1 由空間解析度為 0.5 公尺之衛星影像，及向量式地真資料圖檔(圖 4.2-15)組成。影像拍攝區域為巴西里約熱內盧(Rio De Janeiro)，面積共約 2544 平方公里，地真資料由遙測專家建置，僅框選建築物範圍。此資料集建物分布密集，大部分為低樓層房屋，影像中地物受高差移位影響小。屋頂樣式包含斜屋頂與平屋頂，多數的屋頂上無加裝或設置物品。Building Detection v2 資料集由空間解析度為 0.3 公尺之多光譜衛星影像，及語意類別地真資料(圖 4.2-15)組成。影像拍攝區域包括美國拉斯維加斯(Vegas)、法國巴黎(Paris)、中國上海(Shanghai)與蘇丹卡土穆(Khartoum)，面積共約 3011 平方公里，地真資料由遙測專家建置，僅框選建築物範圍。此資料集涵蓋四個城市，建築物分布密集，部分高樓層房屋會到受高差移位影響。屋頂樣式包括斜屋頂與平屋頂，多半有設置天窗、煙囪或排風扇等。



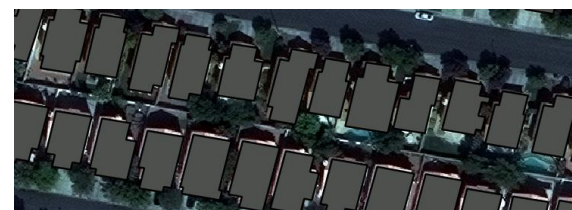
(a) 里約熱內盧衛星影像



(b) 里約熱內盧影像對應地真資料



(c) 拉斯維加斯衛星影像



(d) 拉斯維加斯影像對應地真資料





(e) 巴黎衛星影像



(f) 巴黎影像對應地真資料



(g) 上海衛星影像



(h) 上海影像對應地真資料



(i) 卡土穆衛星影像



(j) 卡土穆影像對應地真資料

圖 4.2-15、SpaceNet 範例(地真類別:建物為黑色) (Van Etten et al., 2018)

(10) WHU Building (Ji et al., 2018)資料集內含四個子資料集，考慮到其中兩個子資料集的影像拍攝區域與 AIRS 及 NZ32km2 相同，故本工作項目僅討論另外兩個子資料集，分別為 Satellite dataset I 與 Satellite dataset II。Satellite dataset I 資料集由空間解析度為 0.3 至 0.25 公尺之衛星影像，及語意類別地真資料(圖 4.2-16(a))組成。影像拍攝區域為世界各地，其中也包含臺灣的城市，地真資料由人工手動建置，僅框選建築物範圍。此資料集涵蓋高密度與低密度城市，建物類型多樣化，房屋高度不一，高樓建物在影像中存在高差移位，低樓建物則不受影響。此外，屋頂樣式包括斜屋頂與平屋頂，屋頂複雜程度也不同，部分屋頂上方無加裝物品；部分屋頂則設

有天窗、煙囪或排風扇等。Satellite dataset II 資料集由空間解析度為 2.7 公尺之衛星影像，及語意類別地真資料(圖 4.2-16(b))組成。影像拍攝區域位於東亞(北韓)，面積共約 550 平方公里，地真資料由人工手動建置，僅框選建築物範圍。此資料集影像拍攝於郊區，建物分散且類型相像，主要為低樓層的住宅房屋，不存在高差移位。屋頂樣式大部分為斜屋頂，無加裝或設置物品。



(a) Satellite dataset I 資料集範例(地真類別:建物為白色)



(b) Satellite dataset II 資料集範例(地真類別:建物為白色)

圖 4.2-16、WHU Building 資料集範例 (Ji et al., 2018)

綜整上述，AIRS、Massachusetts Buildings、NZ32km2、Tanzania Building Footprint、SpaceNet: Building Detection v1 與 WHU Building: Satellite dataset

dataset II 資料集皆僅蒐集單一城市的影像，儘管 AIRS 與 Massachusetts Buildings 資料集涵蓋了市區與郊區的房屋，但建物樣式仍少於涵蓋多城市的資料集。Aerial Image Segmentation、DroneDeploy、Inria Aerial Image Labeling、LVIER-CD、SpaceNet: Building Detection v2 與 WHU Building: Satellite dataset I 資料集蒐集了不同密度且多種城市景觀的影像，使建物類型多樣化。不過，DroneDeploy 資料集內的建物皆為低樓層住宅，且含有被雪覆蓋的房屋，與臺灣常見的建物特性不同，不適合用於辨識臺灣建物外，用途為偵測建物改變的 LVIER-CD 資料集，在影像上的建物對應至地真資料類別可能屬於改變，亦可能屬於未改變，因此也不建議於本計畫執行航遙測影像辨識建物時使用。

分析資料集的地真語意類別建置方式，Aerial Image Segmentation 資料集的地真資料來自 OSM 標籤，但由於 OSM 是由地圖志工產生，可能會發生標籤缺漏或不正確的問題，若未經專業人原編修即直接使用，容易產生錯誤(圖 4.2-17)，進而降低地真資料的準確度及辨識成果的可信度。另外，利用影像辨識房屋時，屋頂輪廓為辨識建物的關鍵，故在建置地真資料時應考量建物在影像上可能存在高差移位，導致建物屋頂與基地(Footprint)位置不一致的問題。

因此，建物地真資料應為房屋屋頂輪廓而非建物基地範圍。Inria Aerial Image Labeling 的地真資料來自當地政府公開的地籍資料，使用地籍資料作

為地真可能會出現地籍範圍與建物實際占地面積不同的情況(圖 4.2-18 (a)~(c))外，地籍數化範圍為建物基地，故影像中受高差移位影響的建物的屋頂輪廓會與地真資料位置不同(圖 4.2-18(d)~(f))。WHU Building: Satellite dataset I 與 SpaceNet: Building Detection v2 資料集的地真資料皆由人工建置，不過兩者數化的建物範圍不同。WHU Building:Satellite dataset I 是框選建物屋頂輪廓(圖 4.2-19)；SpaceNet:Building Detection v2 則是框選建物基地。

除此之外，WHU Building:Satellite dataset I 資料集影像包含房屋分布集中與分散的區域，而 SpaceNet:Building Detection v2 資料集影像則主要拍攝於房屋分布密集的區域，建物群聚型態單一。另外，WHU Building:Satellite dataset I 資料集含有臺灣房屋的影像，有利於本計畫建立適用於臺灣之自動化房屋智慧辨識與分類技術。

整體而言，航照影像的房屋訓練資料集中，NZ32km2 提供高空間解析度及良好的房屋輪廓資料，影像與地真有良好的的一致性，有利航照影像深度學習訓練使用。而衛星影像的房屋訓練資料集中，WHU 的多元性較佳，可作為衛星影像自動化房屋辨識及分類技術所需之訓練資料集。由於本計畫欲發展並建立航遙測自動化地物智慧辨識與分類技術，故選擇 NZ32km2 資料集作為後續應用於深度學習模型之訓練資料。



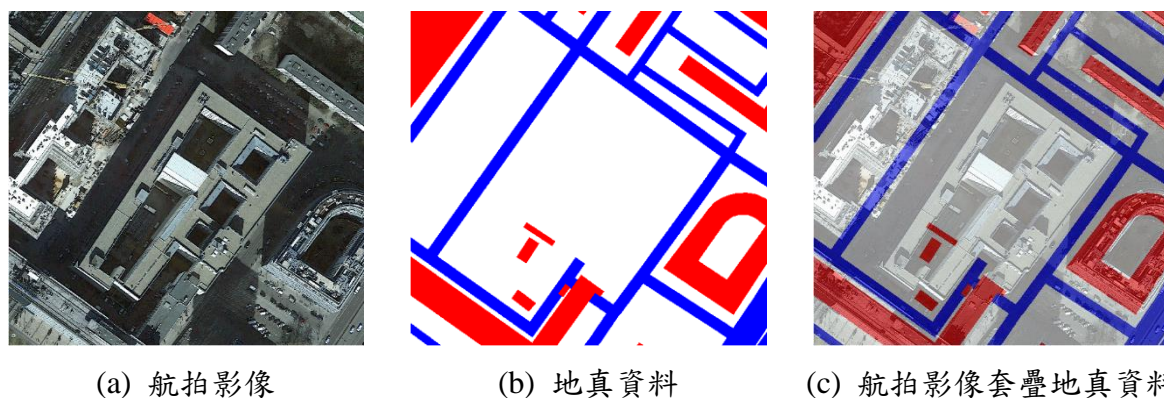


圖 4.2-17、Aerial Image Segmentation 航拍影像對應地真資料 (地真類別: 建物為紅色；道路為藍色；背景無色) (Kaiser et al., 2017)

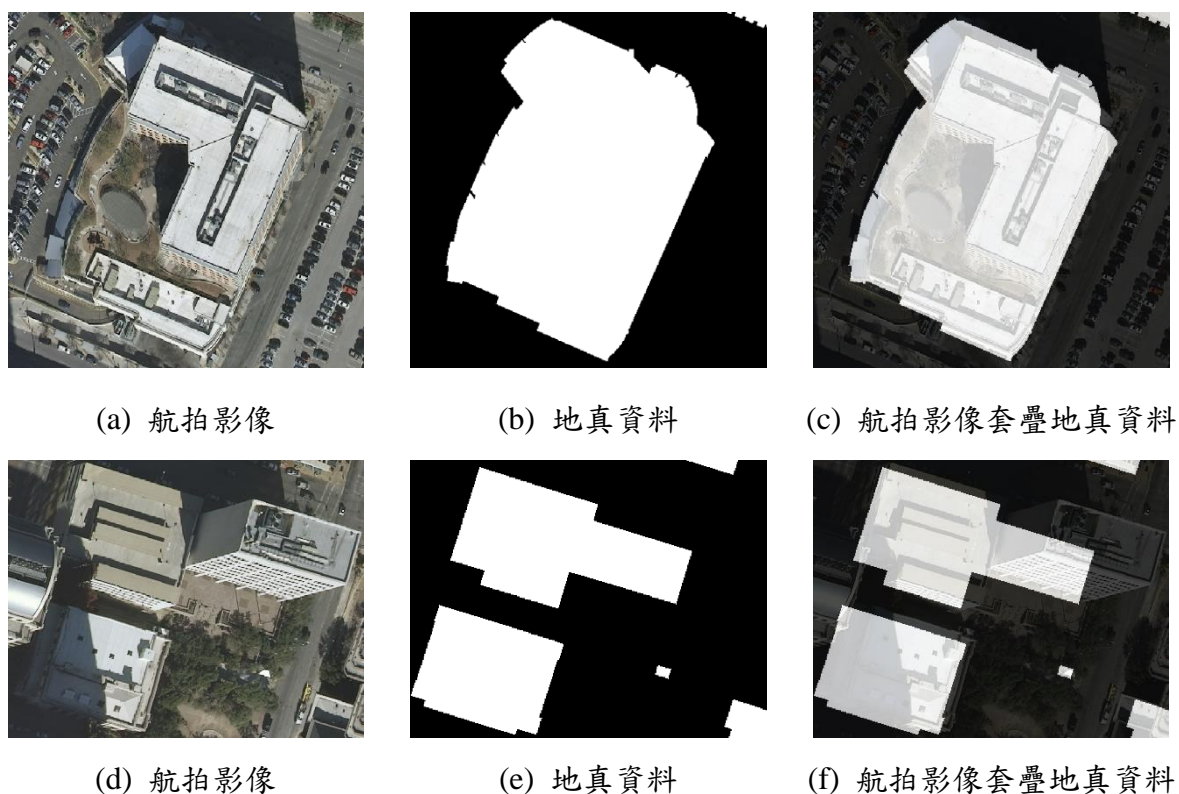


圖 4.2-18、Inria Aerial Image Labeling 航拍影像對應地真資料(地真類別: 建物為白色；非建物為黑色) (Maggiori et al., 2017)

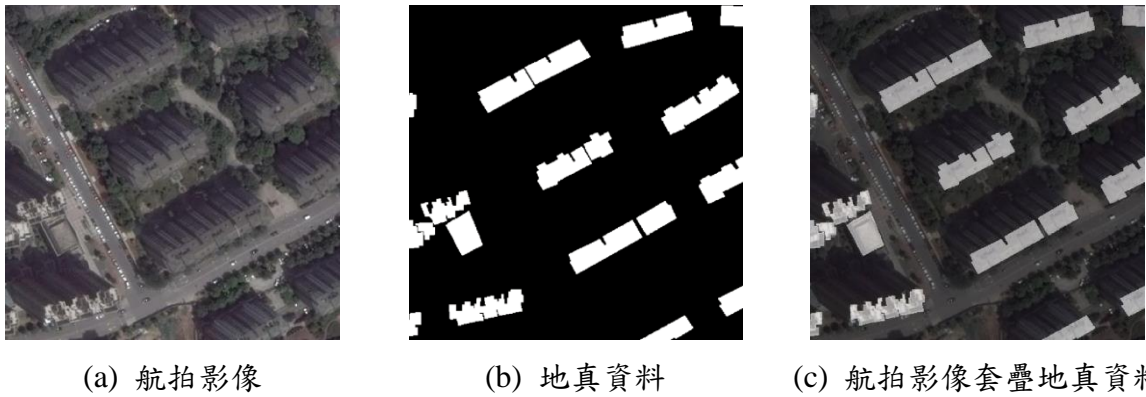


圖 4.2-19、WHU Building 航拍影像對應地真資料 (地真類別:建物為白色；非建物為黑色) (Ji et al., 2018)

#### 4.2.3 建立航遙測自動化地物智慧辨識與分類技術，並評估其精度與成效

大比例尺數值地形圖及臺灣通用電子地圖均需要繪製房屋輪廓，為能提升製圖效率，自動化房屋區域智慧辨識有其發展的必要性。使用傳統機器學習技術進行辨識的主要挑戰是需要先驗知識定義所需的特徵(Feature)，若特徵定義不完全會造成辨識的錯誤。人工智慧技術（如深度學習）已大量應用於影像辨識與分類任務，深度學習方法可經由訓練資料學習最佳化的特徵，能夠大幅度提升地物辨識與分類成果(Wu et al., 2018)。圖 4.2-20 比較傳統機器學習Adaboost (Freund & Schapire, 1996) 搭配特徵萃取演算法(Histogram of oriented gradient, HOG) (Dalal & Triggs, 2005)及U-Net深度學習(Ronneberger et al., 2015)的房屋偵測成果差異，其中紅色區域為誤判，藍色區域為漏判，綠色區域為正確識別。由偵測成果可見，U-Net深度學習方式應用於萃取房屋輪廓的任務有較佳的表現，HOG演算法萃取的特徵無法有效區分重複構造的相似物體，都市內紋理相似的道路與房屋易產生混淆。

去年度(109)研究建立影像單一類別分類之智慧辨識技術，本年度(110)針對語意分割目的，使用深度學習進行測量製圖之房屋區域智慧辨識。


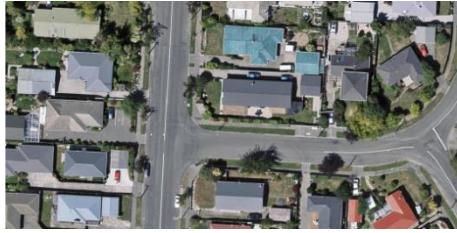
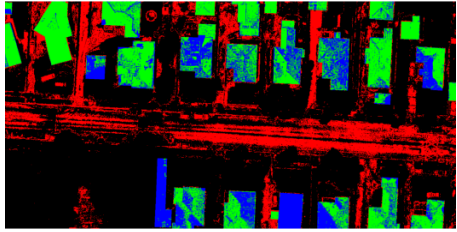
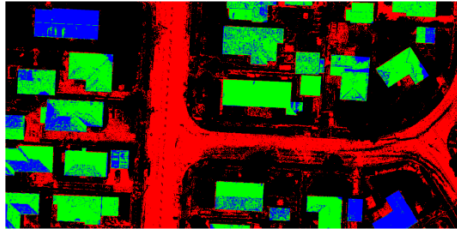
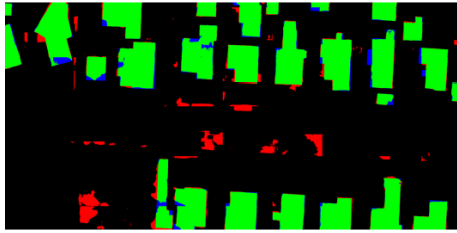
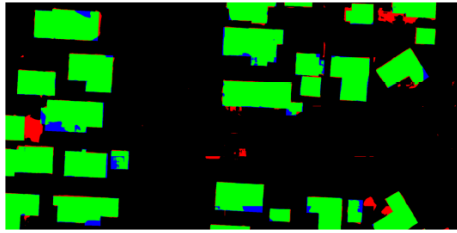
	地區一	地區二
影像		
HOG-Adaboost		
U-Net		

圖 4.2-20、使用傳統機器學習與深度學習房屋辨識成果比較(Wu et al., 2018)

本年度(110)工作目標配合4.2.2節所蒐集之房屋辨識資料集，發展航遙測自動化房屋智慧辨識與分類技術，從航遙測影像上萃取房屋區域。本年度具體成果為建立航遙測自動化房屋智慧辨識與分類技術，並使用現有房屋公開資料集完成遷移式學習。未來成果可應用於自動化判識航遙測影像中的房屋區域。

Yang et al., (2018)比較直接上採樣(Upsampling)的Fully convolutional network (FCN) (Long et al., 2015)與使用 Encoder-decoder 的 SegNet



(Badrinarayanan et al., 2017)模型，SegNet在上採樣的過程中有引用Encoder時pooling的資訊，故SegNet提供較佳的房屋偵測成果。Wu et al., (2018)進一步比較 FCN、U-Net(Ronneberger et al., 2015) 及 Boundary-Regulated(BR)-Net(Wu et al., 2018)三種深度學習方法，BR-Net是基於U-Net架構進行擴充，其收斂條件同時考慮房屋區域面積差異及房屋邊緣差異需最小化，其架構圖可參考圖 4.2-21，故BR-Net提供較FCN及U-Net佳的房屋偵測成果。

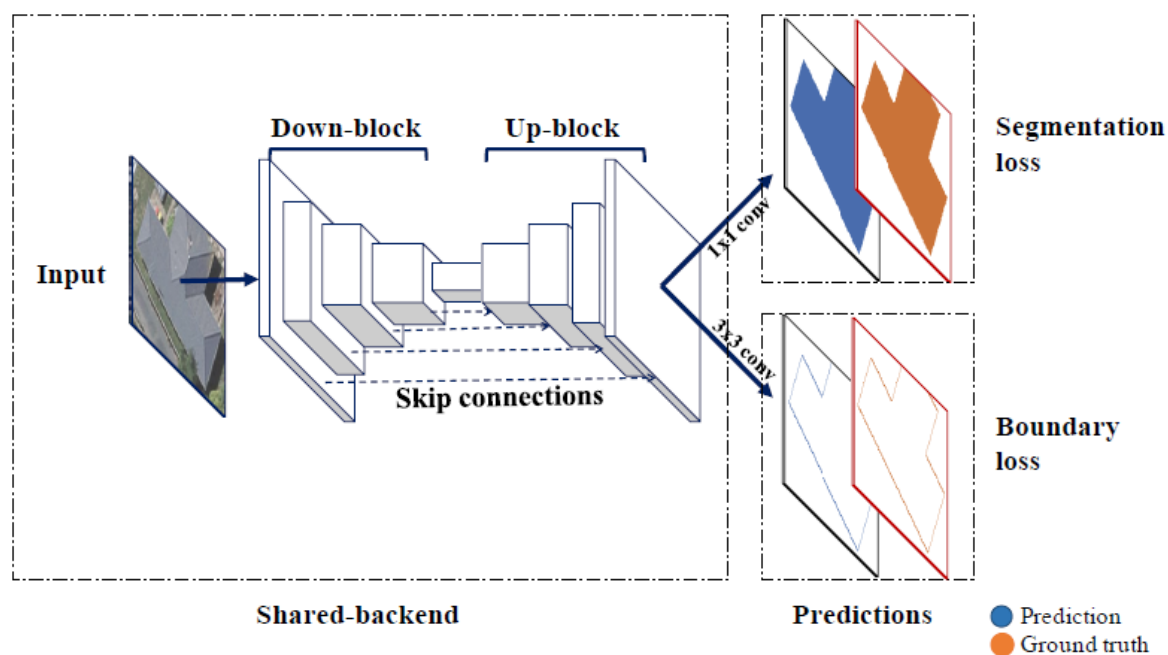


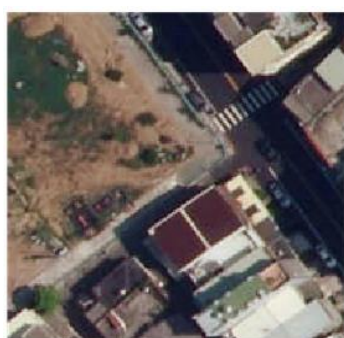
圖 4.2-21、BR-Net 架構圖，分別產生房屋範圍與房屋邊界 (Wu et al., 2018)

本計畫使用NZ32km2(Wu et al., 2018)訓練資料集建置四種預訓練模型(BR-Net, SegNet, UNet, FCN)外，並使用106年臺灣地區正射影像及臺灣通用電子地圖(Taiwan e-Map)對BR-Net進行遷移式學習產生BR-Net(106 e-Map)

模型。研究中使用108年臺灣通用電子地圖(圖幅號:9522I089)及其對應航空正射影像，對上述五種深度學習模型(四種預訓練模型及一遷移式學習模型)進行驗證分析(表 4.2-5)，成果顯示經過遷移式學習的BR-Net(106 e-Map)模型有較佳的判識精度，由此可驗證利用BR-Net進行房屋偵測及遷移學習之可行性。另外，考量到BR-Net是針對房屋偵測而設計(圖 4.2-22)，且應用於航空影像的深度學習模型，與本計畫應用試辦的正射影像屬同一類影像，因此本研究選擇使用BR-Net作為深度學習骨幹模型。

表 4.2-5、五種深度學習模型之比較(預測 108 年 9522I089)

	<b>Overall Accuracy</b> = $(TP+TN)/(TP+FN+TN+FP)$	<b>Precision</b> = $TP/(TP+FP)$	<b>Recall</b> = $TP/(TP+FN)$	<b>F1_Score</b> = $2/(1/Precision + 1/Recall)$
BR-Net (NZ32km2)	61.20%	60.10%	48.20%	52.00%
SegNet (NZ32km2)	62.20%	62.30%	48.80%	53.00%
UNet (NZ32km2)	51.00%	49.60%	24.70%	26.00%
FCN (NZ32km2)	61.20%	61.40%	44.90%	50.30%
BR-Net (106 e-Map 遷移式學習)	76.30%	74.20%	75.70%	73.40%



(a)輸入航照影像



(b)預測房屋區域



(c)人工數化房屋區域

圖 4.2-22、初步測試進行房屋偵測之辨識結果

為進一步觀察使用BR-Net進行房屋辨識成果的效益，本項工作使用一幅106年正射影像(圖幅號:9622IV4072)進行分析，圖 4.2-23比較人工數化、BR-Net直接訓練及BR-Net遷移式學習之成果，直接訓練會將影像中高鐵的高架軌道誤判別為房屋，而遷移式學習的判識為正確，故可驗證以遷移式學習模型偵測房屋之優勢。

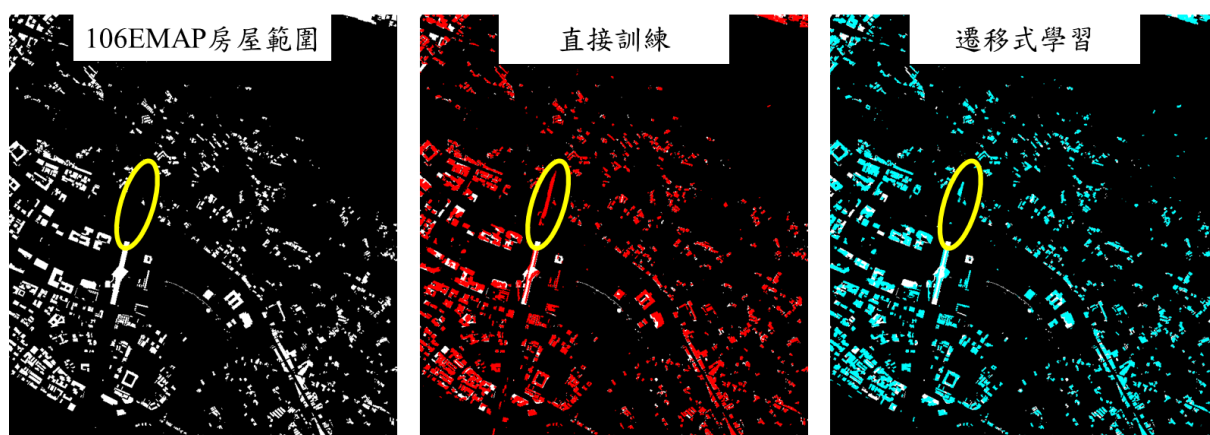


圖 4.2-23、106 年獨立驗證資料房屋偵測與辨識結果

本研究進一步改良BR-Net判斷的損失函數(Loss function)，BR-Net評估房屋範圍(Building Regions)與房屋邊界(Building Boundaries)之損失函數都是使用交叉熵(Cross Entropy)與地真影像比對計算，由於房屋邊界標籤只有邊界是1，其他非邊界的值都是0，非邊界值佔的比例十分高，房屋範圍標籤也有相同的問題。由於標籤中絕大多數的值是0，利用Cross Entropy計算而得的損失函數會有資訊量不均衡的問題(圖 4.2-24)。

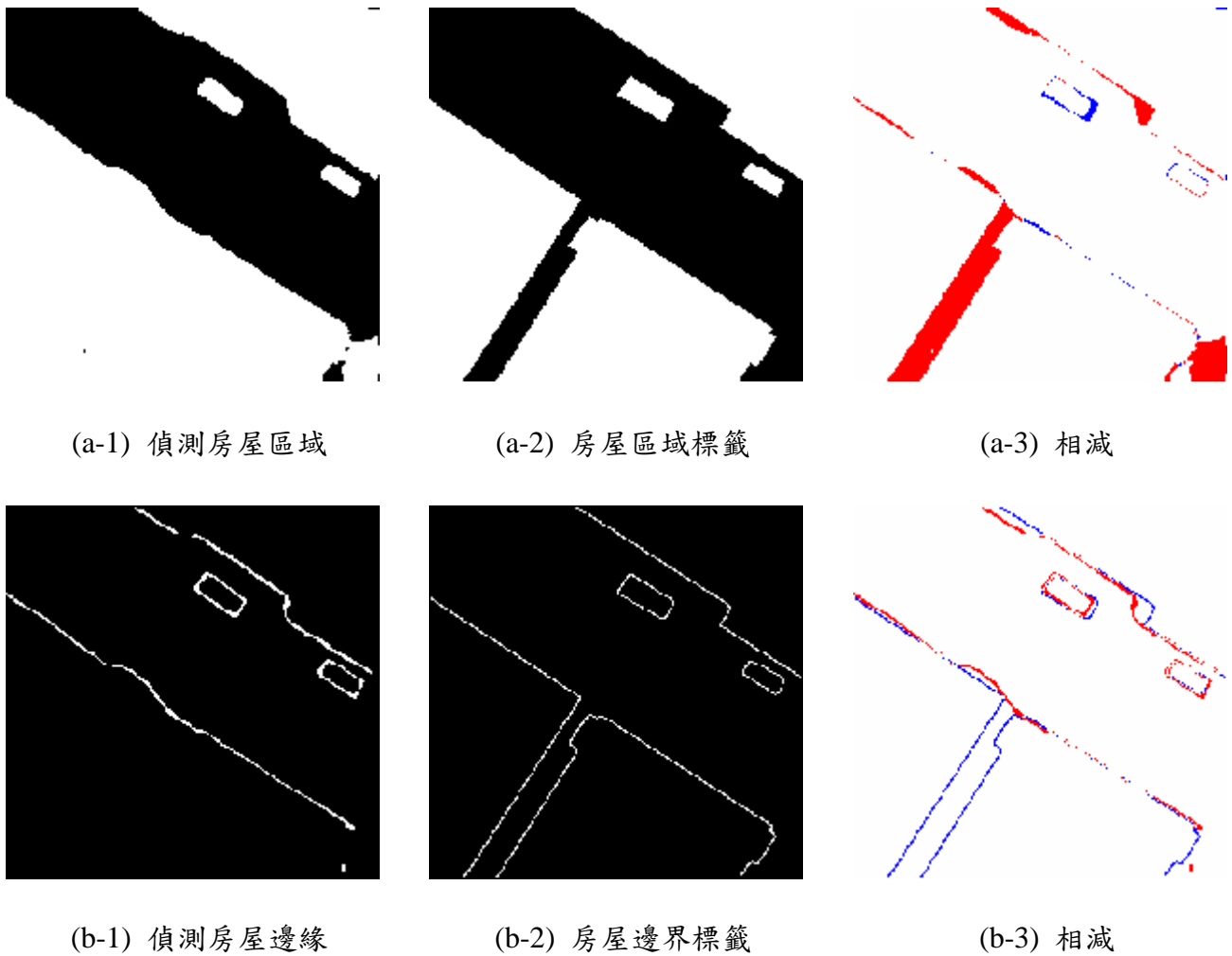


圖 4.2-24、Cross Entropy 預測之房屋範圍與房屋邊界差異性

為改進Cross Entropy評估房屋邊界差異性的損失函數計算方式，本研究以Wasserstein Distance替代Cross Entropy，以Wasserstein Distance計算邊界線之損失函數(Vallender, 1974)，Wasserstein Distance以便更符合邊界影像性質。接著比較四種不同方法的成果進行後續實驗了四組方式訓練(表 4.2-6)：

- 1.使用 106 e-Map 資料直接訓練(Cross Entropy)
- 2.使用 106 e-Map 資料直接訓練(Wasserstein Distance)



## 3.NZ32km2 預訓練模型及 106 e-Map 資料遷移式學習(Cross Entropy)

## 4.NZ32km2 預訓練模型及 106 e-Map 資料遷移式學習(Wasserstein Distance)

整體成果評估使用 106 年正射影像(圖幅號:9622IV4072)之預測成果進行分析,比較直接訓練(訓練 950 次收斂)及遷移式學習(訓練 750 次收斂)的量化成果,兩者都達到斂收故成果相似,遷移式學習的成果有些許的改進,但遷移式學習可以減少訓練時間有降低運算量,在資料量龐大時具有一定的優勢。比較使用 Cross Entropy 及 Wasserstein Distance 的量化成果,兩者的量化成果差異有限,以視覺展示成果之差異(圖 4.2-25),整體而言 Wasserstein Distance 在低矮房屋邊界方面有較佳的表現。

遷移式學習的優點是可以提升深度學習參數收斂的速度,在訓練資料集龐大時,具有減少運算量的優勢。試辦成果比較兩種方法的精度表現,雖然兩者的精度表現接近,但因遷移式學習只需要 750 次疊代收斂,而直接訓練要花費 950 次疊代才達到收斂,故實務應用會採用遷移式學習方法。

表 4.2-6、四種模型訓練方式之成果比較表(預測 106 年 9622IV4072)

	Overall Accuracy = $(TP+TN)/(TP+FN+TN+FP)$	Precision = $TP/(TP+FP)$	Recall = $TP/(TP+FN)$	F1_Score = $2/(1/Precision + 1/Recall)$
使用 106 e-Map 資料直接訓練(Cross Entropy)	96.14%	73.44%	79.61%	76.40%
使用 106 e-Map 資料直接訓練(Wasserstein Distance)	96.23%	74.42%	79.15%	76.72%

	Overall Accuracy = $(TP+TN)/(TP+FN+TN+FP)$	Precision = $TP/(TP+FP)$	Recall = $TP/(TP+FN)$	F1_Score = $2/(1/Precision + 1/Recall)$
NZ32km2 預訓練模型 及 106 e-Map 資料遷移 式學習(Cross Entropy)	96.27%	77.70%	73.65%	75.62%
NZ32km2 預訓練模型 及 106 e-Map 資料遷移 式學習(Wasserstein Distance)	96.32%	78.55%	73.12%	75.74%



(a) 直接訓練(Cross Entropy)



(b) 直接訓練(Wasserstein Distance)



(c) 遷移式學習(Cross Entropy)



(d) 遷移式學習(Wasserstein Distance)

圖 4.2-25、四種模型訓練方式之成果比較圖

#### 4.2.4 評估航遙測影像結合測量實工作之智慧整合應用

因應數位科技發展，各項測繪業務隨著科技發展改變作業的方法與程序，提高圖資品質與更新頻率並減少人力資源是測量技術發展的重要方向之一。無人飛行載具系統(Unmanned Aircraft Systems, UAS)、移動測繪系統(Mobile Mapper System, MMS)等皆為新興之測量技術，其中，無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)機動性強且成本低，利用攝影測量技術可快速獲取地面拼接影像，因此結合無人機影像及智慧辨識可快速提供測量製圖所需的資訊。

本工作項目為探討無人機輔助「人孔調查」測量作業之智慧整合。「三維管線」是國土資訊系統重要的發展工作之一，而人孔是三維管線資料庫中必要的圖資，此外，在內政部「公共設施管線資料標準(第 2 版)」(內政部營建署，2020)、「一千分之一數值航測地形圖測製作業規定」(內政部國土測繪中心，2011)、「高精地圖圖資內容及格式標準」(臺灣資通產業標準協會，2020)中均有定義人孔圖資。

本年度(110)工作目標為評估導入無人機測繪技術於「人孔調查」測量實施作業，探討無人機影像與人工智慧技術於人孔測量之智慧整合，以提升人孔測量實施作業之效能。本年度具體成果為透過無人機影像人孔資料集進行 Mask-RCNN 深度學習模型之訓練和預測，並完成可行性評估及精度

評估。未來成果可應用於公共設施管線資料庫或數值航測地形圖之人孔圖徵建置作業。

本計畫整理三項人孔調查測量作業相關之規範，分析人孔圖徵類別及其量測精度規範，以探討使用無人機攝影測量於人孔智慧判識的可行性，

表 4.2-7 整理人孔測量相關作業規範，說明如下：

表 4.2-7、人孔測量相關作業規範

	內政部 一千分之一數值航測地形圖 測製作業規定 內政部 100 年 2 月 9 日台內 地字第 1000025069 號函修訂	內政部營建署 公共設施管線資料標準 NGISTD-ANC-028-2020.01.13 (內政部營建署，2020)	臺灣資通產業標準 協會 高精地圖圖資內容 及格式標準 TAICS TS-0024 v1.0
人孔 相關 物件	道路上(含人行道)之電力人孔、電信人孔、自來水人孔、雨 污水下水道人孔、電線桿(電力、電信)、路燈等均需測繪，手孔及管線免予施測。	人孔類別包含： 1.電信管線的人孔(Manhole) 2.電力管線的人孔 3.自來水管線的人孔 4.污水及雨水下水道管線的人孔	人孔類別包含： 1.孔蓋: holeCover 2.水溝蓋: drainCover
精 度 要 求	一千分之一數值航測地形圖成果檢查作業規定(內政部，2011)，地形地物之幾何精度檢查：抽查點位重複量測之平面位置與原平面位置之均方根誤差(RMSE)不大於 25 公分或地物點間之相對距離與原距離之均方根誤差不大於 40 公分。	人孔幾何精度要求： 1.孔蓋中心坐標測量，其施測成果之坐標誤差應小於正負二十公分。 2.孔蓋蓋頂高程測量，其高程為間接高程，其施測成果之誤差應小於正負二十公分。	人孔幾何精度要求： 1.平面坐標誤差應小 20 公分。 2.三維坐標誤差應小 30 公分。

(1)內政部「一千分之一數值航測地形圖測製作業規定」(內政部國土測

繪中心，2011)，規定道路上（含人行道）之電力人孔、電信人孔、自來水人孔、雨污水下水道人孔、電線桿（電力、電信）、路燈等均需測繪，手孔及管線則免予施測，圖 4.2-26 展示台北市一千分之一數值地形圖不同的人孔類別編碼及圖示。依內政部「一千分之一數值航測地形圖成果檢查作業規定」探討人孔測量所需的量測精度，地形地物之幾何精度檢查中，抽查點位重複量測之平面位置與原平面位置之均方根誤差不大於 25 公分，或地物點間之相對距離與原距離之均方根誤差不大於 40 公分。







地形資料名稱	人孔		地形資料名稱	電信人孔	
基本地形圖資料庫地形編碼	96920		基本地形圖資料庫地形編碼	96925	
圖式	⊙		圖式	⊕	
圖例碼	2207		圖例碼	2502	
顏色	0		顏色	0	
圖層	22	圖層	25		
地形資料名稱	電信人孔		地形資料名稱	電力人孔	
基本地形圖資料庫地形編碼	96924		基本地形圖資料庫地形編碼	96926	
圖式	⊕		圖式	⊕	
圖例碼	2501		圖例碼	2503	
顏色	0		顏色	0	
圖層	25	圖層	25		
地形資料名稱	污水排水溝蓋		地形資料名稱	地下排水溝蓋	
基本地形圖資料庫地形編碼	96921		基本地形圖資料庫地形編碼	96922	
圖式	⊙		圖式	⊙	
圖例碼	2303		圖例碼	2304	
顏色	0		顏色	0	
圖層	23	圖層	23		

圖 4.2-26、台北市一千分之一數值地形圖編碼及圖式(台北市政府都市發展局，2004)

(2) 內政部「公共設施管線資料標準(第 2 版)」(內政部營建署，2020)之適用範疇為國內具有二維或三維數值坐標描述之設施與管線資料，包括歸屬於公共管線之電信管線、電力管線、自來水管線、下水道、瓦斯管線、水利管線、輸油管線、綜合管線等八大類管線，以及非屬公共設施管線之



工業用管線。在管線標準圖例製作符號中，圓形人手孔直徑 3mm，圓形中為管線代號，下地之人手孔則於距孔蓋頂端 0.5mm 加一橫線代表；方形人手孔直徑 3mm，方形中為管線代號，下地之人手孔則於距孔蓋頂端 0.5mm 加一橫線代表(圖 4.2-27)。管線代號可分為電信(T)、電力(E)、自來水(W)、污水下水道(SS)、雨水下水道(SD)、瓦斯(G)、輸油(O)、綜合(C)以及工業用(P)。孔蓋中心坐標施測成果之坐標誤差應小於正負二十公分；孔蓋蓋頂高程測量，其高程為間接高程，施測成果之誤差應小於正負二十公分。



圖 4.2-27、人手孔圖例製作符號

(3) 在「高精地圖圖資內容及格式標準」(臺灣資通產業標準協會,2020)中，人孔的類別包含孔蓋(holeCover)及水溝蓋(drainCover)兩大類，其精度要求為孔蓋中心平面坐標誤差應小於正負二十公分，孔蓋中心三維坐標誤差應小於正負三十公分。

綜合以上三項人孔測量相關製圖規範，現行無人機攝影測量製圖作業可獲取空間解析度小於 10cm 的影像且空中三角測量作業可達到 10cm 以內的均方根誤差(國土測繪中心,2020)，因此有機會結合無人機攝影測量與人工智慧技術於人孔測量實施工作之智慧整合應用。

為評估導入無人機測繪技術於人孔智慧判識作業，本項工作蒐集 36 幅

(每幅 155m x 155m) 無人機正射影像，影像拍攝地點為臺中市西屯區水湳經貿園區，面積共約 84 公頃，影像空間解析度為 2cm，空三定位精度小於 10cm，精度上滿足人孔調查測量作業之規範要求。36 幅影像中，其中 35 幅作為 Mask-RCNN 深度學習模型之訓練及驗證資料，另 1 幅則用於獨立驗證分析(圖 4.2-28)。

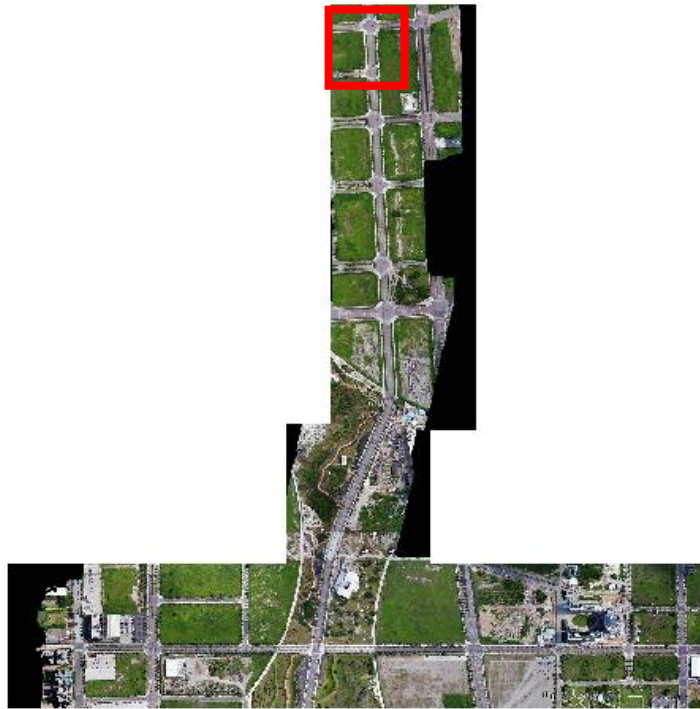


圖 4.2-28、人孔智慧判識試辦資料(紅框:獨立驗證區)

受限於無人機影像的空間解析度，難在影像上辨別不同孔蓋之紋理，故本研究僅區分孔蓋與水溝蓋(drainCover)，孔蓋部分又細分成道路區間之孔蓋(holeCover)及非道路區間之孔蓋(holeCover2) (圖 4.2-29)。透過人工數位化無人機正射影像之坐標位置，獲得原始人孔資料共 4,539 筆。為增加訓練資料，在訓練學習模型前將每幅影像切割成 512 x 512 pixels 大小的區塊

(Patch)影像，並使區塊影像之間重疊 50% (圖 4.2-30)，以 50%重疊率進行資料增益(Data Augmentation)後，完成人孔訓練資料建置。人孔資料增益成果如表 4.2-8 所示，36 幅影像共產生 12,888 張區塊影像，其中 10,973 張區塊影像作為訓練及檢驗影像。




類別(classes)	drainCover	holeCover	holeCover2
特徵樣本			

圖 4.2-29、辨識類別分類圖

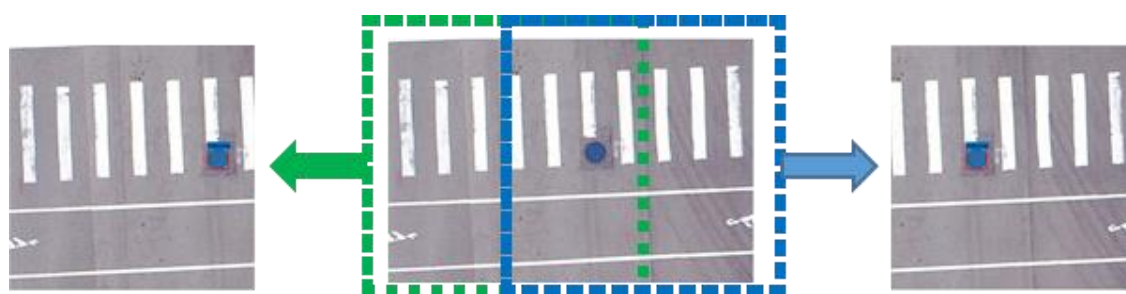


圖 4.2-30、影像切割後人孔資料將獲得增益

表 4.2-8、原始與增益後之人孔資料

	原始人孔資料(36 幅)	增益後人孔資料(36 幅)
holeCover	706	1953
holeCover2	1569	4064
drainCover	2264	6871
總數	4539	12888

本次工作以 Mask-RCNN 深度學習模型進行人孔物件偵測，藉由資料擴增技術增加訓練資料，並利用遷移式學習進行深度學習模型的訓練，最後完成影像語意分割的任務。圖 4.2-31 為智慧辨識成果示意圖，表 4.2-9 為

深度學習模型之預測成果，此次預測成果中所有人孔類別之漏授和誤授皆小於 10%，在人孔類別中水溝蓋(drainCover)之辨識成果最佳，道路之孔蓋(holeCover)成果則較為差。

表 4.2-9、人孔偵測之成果(獨立驗證)

	人孔是否被成功偵測			自動萃取人孔是否正確		
	成功	失敗	漏授	成功	錯誤	誤授
所有類別	196/217	21/217	<b>9.68%</b>	196/209	13/209	<b>6.22%</b>
drainCover	67/69	2/69	2.90%	67/69	2/69	2.90%
holeCover	9/14	5/14	35.71%	9/16	7/16	43.75%
holeCover2	118/134	16/134	11.94%	118/124	6/124	4.84%



圖 4.2-31、智慧辨識成果示意圖(紅:人工數化；藍:智慧辨識)

無人機正射影像使用 TWD97 橫麥卡托二度分帶(TM2)投影系統，經由智慧辨識可偵測人孔，並獲取人孔在物空間的坐標位置。透過比較人工數化人孔及智慧辨識人孔的形心坐標，計算形心坐標間之差值以分析辨識精度。表 4.2-10 以人工數化之人孔形心作為參考依據，統計利用深度學習模型自動萃取及人工數化的人孔形心間之距離差異量，由統計成果可知，自動化偵測與人工數化成果的均方根誤差小於 5 公分。

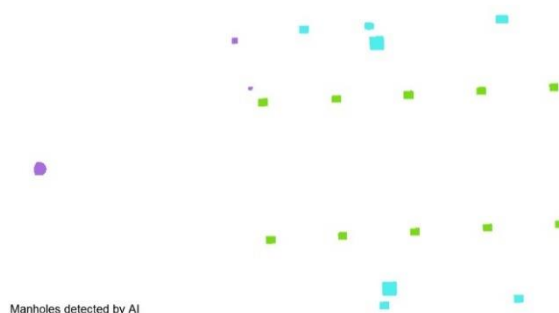
綜整實驗成果與分析，無人機影像與人工智慧技術之智慧整合可輔助「人孔調查」測量施測作業，其預測成果亦可從網格式資料模式轉換成向量式資料模式(圖 4.2-32)，供給後續測量製圖運用。

表 4.2-10、智慧辨識與人工數化資料之人孔形心的距離差異量

	Mean		RMSE	
	dE(cm)	dN(cm)	dE(cm)	dN(cm)
所有類別之人孔	1.00	-1.22	3.57	3.62
drainCover	-0.46	-1.35	3.30	3.64
holeCover	1.26	-1.15	2.94	2.14
holeCover2	1.65	-1.05	4.45	3.57



(a)無人機正射影像



(b)人工智慧預測之網格式人孔



(b)人工智慧預測之人孔多邊形



(d)人工數化之人孔多邊形

圖 4.2-32、人孔智慧辨識成果



### 4.3 衛星與航遙測影像智慧分析、辨識與製圖防災整合應用案例試辦

#### 4.3.1 雷達衛星影像地表形變分析之試辦，至少包含全臺灣 C-波段多時期雷達影像，及選定之災害潛勢區域 L-波段與 X-波段雷達影像；前述潛勢區域之試辦須選定至少 2 處，並與內政部討論定案，任 1 處之試辦面積須達 100 平方公里以上，且運用包含(或優於) 3 公尺解析度之影像在內進行分析

本項工作去年度 (109) 以影像分析與處理為主，本年度 (110) 與 111 年度逐步建立影像處理之參數數據庫與經驗，以供後續人工智慧參數學習之基礎，同時亦逐步建立臺灣各地的初步形變分析圖資。本次期末報告完成五年期間之全臺灣 PSInSAR 相對形變速率觀測(C 波段)、麥寮六輕工業區(X 波段)與高雄中寮山區域(L 波段)地表形變分析之試辦成果。未來工作為以試辦案例做不同影像處理參數調整並分別進行成果精度評估，逐步建立影像處理之參數數據庫與經驗。各波段研究成果如下：

##### (1) C 波段多時期雷達影像地表形變試辦-全臺灣多時期形變監測

雷達衛星影像應用分為兩個部分進行，第一部分為全臺灣多時期變形監測試辦，規劃利用歐洲太空總署(European Space Agency, ESA)發射之 C 波段雷達衛星 Sentinel-1 所拍攝之影像來進行分析。Sentinel-1 衛星為歐洲太空總署哥白尼計畫(Copernicus Programme)的衛星任務之一，該計畫預計

發射多顆地球觀測衛星，組成全球環境監測網路，提供全球環境保護、海洋觀測、歐洲政策、民間防禦、維和行動等用途。Sentinel-1 為該計畫之首顆資源衛星，由 A/B 兩顆衛星構成星系，提供最高 6 天的再訪周期，優異的 C 波段雷達感測器能提供最高五米的空間解析度與寬達 400 公里的幅寬，相當適合用作大範圍的地表監測用途。Sentinel-1A 於 2014 年 4 月發射成功，2014 年 10 月開始提供涵蓋臺灣地區之影像，Sentinel-1B 亦於 2016 年 4 月發射成功，由於 1B 觀測目標區規劃與 1A 不同，因此於臺灣地區僅拍攝北部之影像，故涵蓋全臺灣的變形監測僅能以 Sentinel-1A 影像進行。本年度工作規劃拓展全臺灣形變監測之觀測時間，由前期計畫之 2016 至 2018 三年擴展為 2016 至 2020 共五年之變形觀測成果。

本節之全臺灣多時期變形監測試辦採用雷達差分干涉技術來產生多時序的地表變形成果，技術細節與影像處理流程參照 4.1.1 節說明，蒐集自 2016 年至 2020 年全臺灣共 121 張之 Sentinel-1 影像，完成三年期間之全臺灣 PSInSAR 相對變形速率觀測成果，見圖 4.3-1，圖中每個 PS 像素皆為具有 121 期觀測值之獨立資料，配合軟體處理即能分析出五年期間變形之時間序列。成果可見自 2016 年至 2020 年五年期間全臺灣地表變形狀況，其中以雲林地區之地層下陷、2016 年高雄美濃地震與 2018 年花蓮地震產生的地變形狀況最為顯著，雲林地區之地層下陷速率測得每年下陷約 5 公分，需注意地震事件屬於瞬間發生的事件型地表變形，兩地震事件皆於地震發生當

下產生約 15 公分的地表變形，但由於觀測期間為五年，因而最後以呈現為約每年 30mm 之變形速度，於變形解釋時需要特別小心。

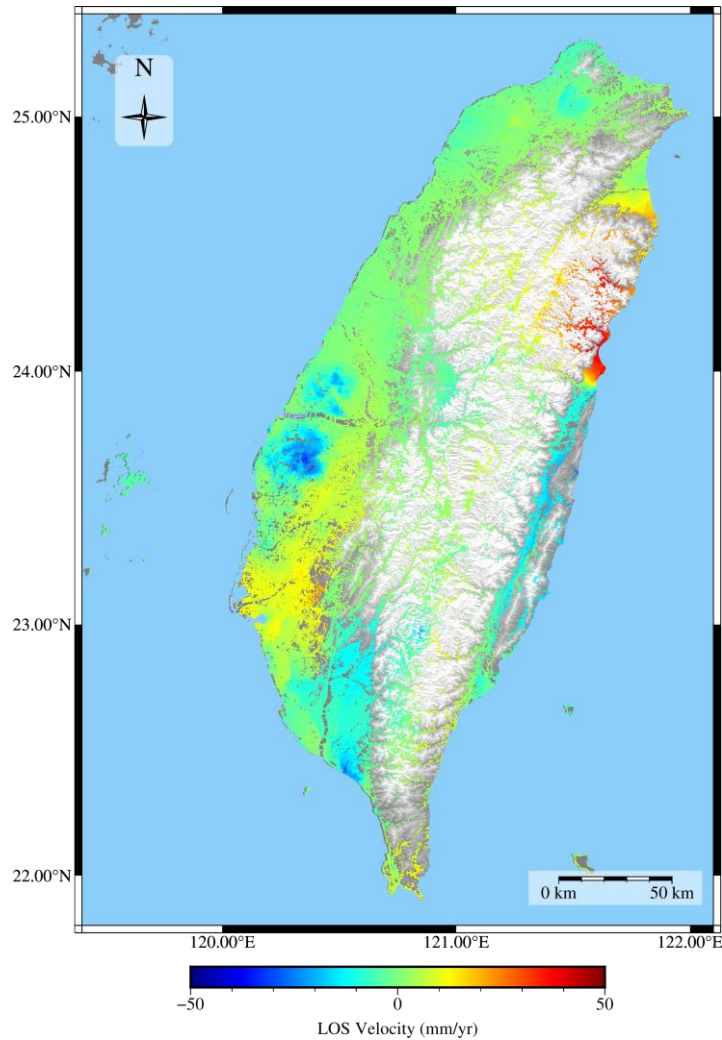


圖 4.3-1、全臺灣五年多時期形變監測試辦成果

永久散射體雷達差分干涉法測得 PS 多時序變形乃是雷達衛星視角方向 (LOS) 變形量，可以看做是東西、南北及垂直這三維空間上的變形，以一維方向的衛星視角方向呈現的綜合觀測量，因此在利用雷達影像評估垂直向變形時，會受到水平方向變形的貢獻而產生誤判。本年度試辦採用結合 GNSS 觀測之垂直形變量分析，雷達衛星受觀測幾何影響，沿衛星飛行

方向的地表變化(南北向之位移)較不敏感，對垂直向的變化較為敏銳；相反的，GNSS 則對水平向的運動較為敏銳，對垂直向的位移較為不敏感。取 GNSS 觀測資料的優點，衛星視角方向中水平方向位移量的貢獻可利用 GNSS 所觀測之水平向位移去除，剩餘部分為垂直向的貢獻 (LiuXuan Jian, 2020)，三維形變分析成果見圖 4.3-2。

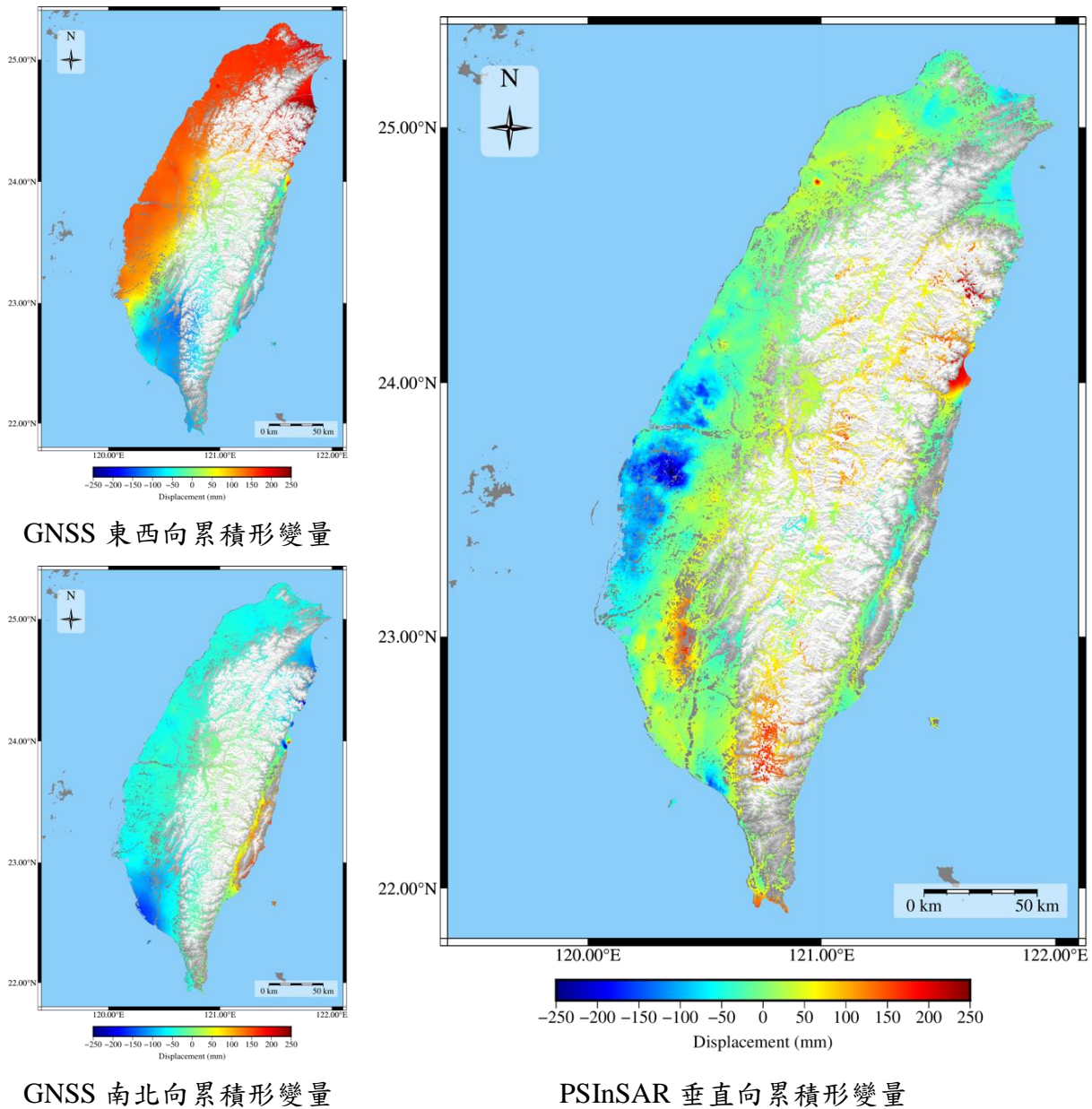


圖 4.3-2、全台降軌 PSInSAR 衛星視角方向變形量三維拆解成果圖

## (2) X 波段多時期雷達影像地表形變試辦-麥寮六輕工業區

X 波段之雷達衛星規劃採用德國太空總署(DLR)發射之超高解析度 X 波段雷達衛星 TerraSAR-X 所拍攝之影像，目前 TerraSAR-X 系列衛星共有 3 顆衛星，TerraSAR-X 於 2007 年發射，二號衛星 TanDEM-X 於 2010 年發射，而第三顆衛星 PAZ 也於 2018 年升空，三顆衛星皆由法國空中巴士公司 (Airbus) 負責營運，提供最高 11 天的再訪周期，TerraSAR-X 衛星能夠採用特殊的 Staring Spotlight 模式進行拍攝，於該拍攝模式下解析度高達 25 公分，但該模式拍攝範圍僅 4x4 公里，適合特定目標之觀測，而大範圍的地表形變監測通常採用 StripMap 拍攝模式，該模式之地面解析度為 3 公尺，雖低於 Staring Spotlight 但具有 50 公里的幅寬，TerraSAR-X 詳細拍攝規格見表 4.3-1。

表 4.3-1、TerraSAR-X 拍攝模式列表

拍攝模式	像幅大小 (寬 x 長)	解析度
Staring Spotlight	4 x 3.7 km <sup>2</sup>	0.25 公尺
High Resolution Spotlight	10 x 5 km <sup>2</sup>	1 公尺
Spotlight	10 x 10 km <sup>2</sup>	2 公尺
StripMap	30 x 50 km <sup>2</sup>	3 公尺
ScanSAR	100 x 150 km <sup>2</sup>	18.5 公尺
Wide ScanSAR	270 x 200 km <sup>2</sup>	40 公尺

本期試辦區選定為臺灣中部雲林之麥寮六輕工業區，該地為填海造陸形成之海埔新生地，多年來存在地層下陷的疑慮，再加上工業管線遍佈其中，管線變形帶來的液、氣體外洩風險疑逐年提高。X 波段多時期雷達影



像地表形變試辦成果見圖 4.3-3，底圖為 Pleiades 高解析度光學影像，，暖色系代表於衛星視角方向地表呈現抬升，冷色系為下沉。由成果可知麥寮工業區儲氣槽區域以南相較於北側有相當明顯的地層下陷狀況，年平均沈陷量約為 20mm。另外本案例也使用 Sentinel-1 影像來進行資料處理，藉由同時比較兩種不同解析度之觀測成果來展現 TerraSAR-X 衛星超高解析度影像之優勢，Sentinel-1 多時期雷達影像地表形變成果見圖 4.3-4，Sentinel-1 雖然整體形變趨勢與量值與 TerraSAR-X 試辦成果相當一致，但受限於解析度之關係，永久散射體之數量與密度均不如 TerraSAR-X 影像之成果。

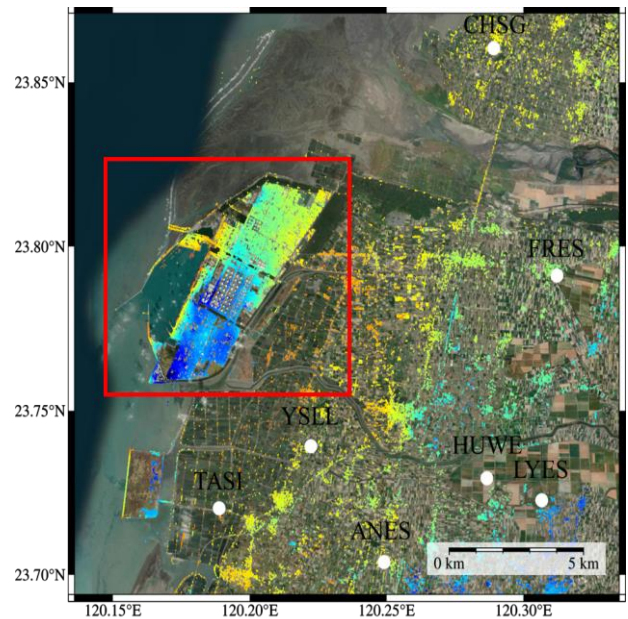
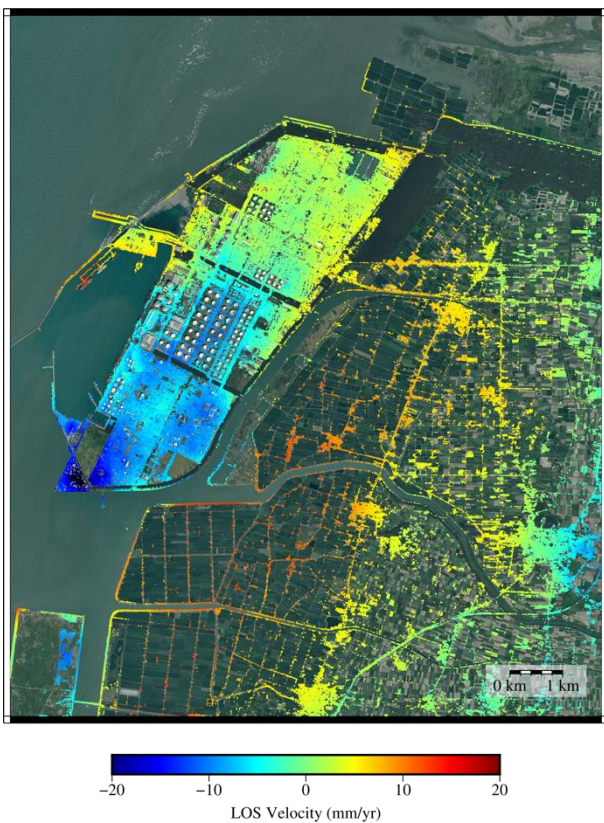


圖 4.3-3、TerraSAR-X 形變監測試辦成果

圖 4.3-4、Sentinel-1 形變監測成果

本期試辦區採用 GNSS 站資料進行雙差分之精度驗證，GNSS 站雙差分

精度驗證方法詳見 4.1.1 節，精度驗證之成果將用作後續影像處理參數調整之參考，由於本試辦案例之影像涵蓋範圍較缺乏 GNSS 站資料，僅有三個 GNSS 站進行兩組雙叉分精度驗證，以 TASI 站作為參考基準，精度驗證成果見圖 4.3-5，由成果可見 GNSS 站相對形變與 PSInSAR 趨勢符合，量值也相當接近，RMSE 最佳可到 8.4mm，顯示 TerraSAR-X 形變成果相當可靠。

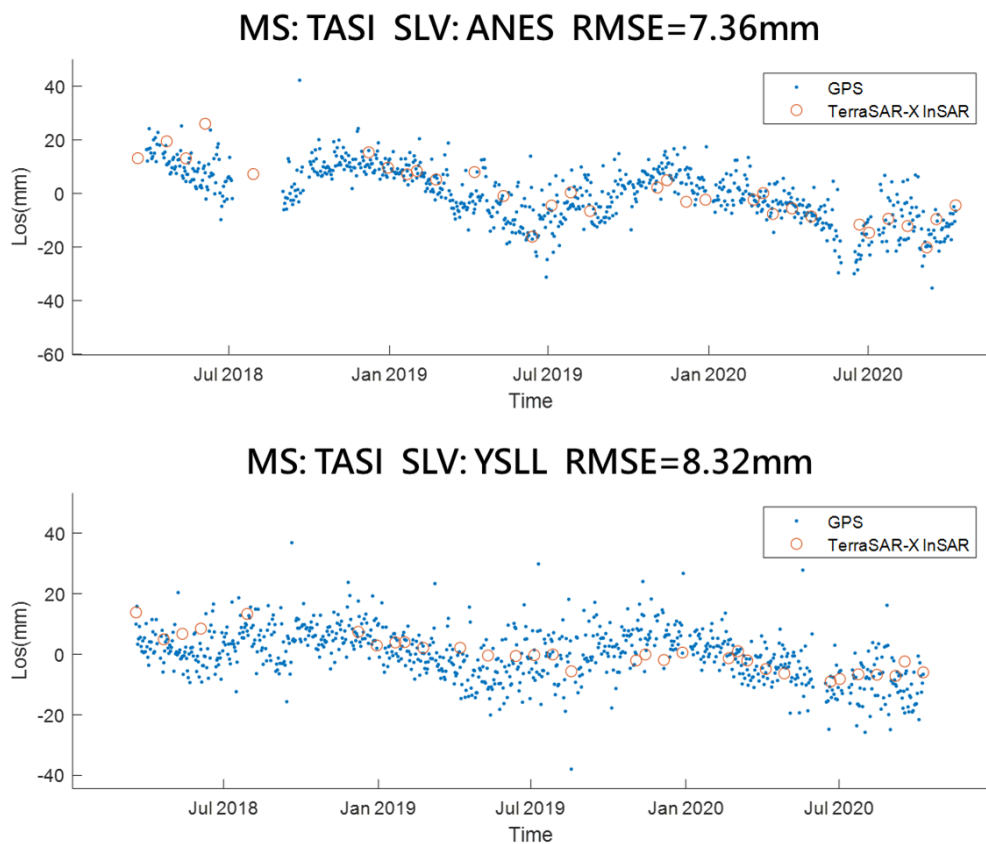


圖 4.3-5、TerraSAR-X 與 GNSS 站精度驗證成果

### (3) L 波段多時期雷達影像地表形變試辦-高雄中寮山區域

雷達影像地表形變分析：監測國道三號於高雄市中寮隧道位置形變分析，採用日本太空總署發射之雷達遙測資源衛星 ALOS-2 拍攝之影像，

ALOS-2 衛星全名為進階地表觀測衛星(Advanced Land Observing Satellite)，為日本地球觀測衛星計畫中，負責針對陸地區域進行觀測的衛星，其主要工作為製圖、環境監測、災害監測及自然資源調查等。第一代 ALOS 衛星於 2007 年升空運行，2011 年除役，而目前運行中的 ALOS-2 為該計畫之第二代遙測資源衛星，於 2014 年升空，配備的 L 波段雷達感測器 PALSAR-2 改良自 ALOS 搭載之 PALSAR，具備最高 1 公尺的地面解析度，並且可以使用更多元的拍攝模式進行觀測，詳細之拍攝模式參數見表 4.3-2，衛星在訪週期為 14 天。

表 4.3-2、ALOS-2 拍攝模式列表

拍攝模式	像幅大小 (寬 x 長)	解析度
Spotlight	25 x 25 km <sup>2</sup>	1 公尺
Ultra-Fine StripMap	55 x 70 km <sup>2</sup>	3 公尺
High-Sensitive StripMap	55 x 70 km <sup>2</sup>	4.3 公尺
Fine StripMap	70 x 70 km <sup>2</sup>	5.3 公尺
ScanSAR	350.5 x 355 km <sup>2</sup>	77.7 公尺
ScanSAR Wide	489.5 x 355 km <sup>2</sup>	112 公尺

本節以永久散射體差分干涉法(Persistent Scatterers InSAR, PS-InSAR)，產生多時序的地表形變成果，研究自 2015 年至 2017 年共 57 張 Sentinel-1 影像，可得此時期內衛星視角方向之形變速度。此外，亦比對由日本宇宙航空研究開發機構(JAXA)發射之 L 波段(23.5cm)雷達衛星 ALOS-2 於同時期 7 張 ALOS-2 影像之 PS-InSAR 分析成果。最後以 GNSS 驗證兩雷達衛星 PS-InSAR 分析成果並比較精度上的誤差。



圖 4.3-6 為 Sentinel-1 衛星 PS-InSAR 分析成果，圖 4.3-7 為 ALOS-2 衛星 PS-InSAR 分析成果，圖中數值為衛星視角方向(Line of sight, LOS)之平均形變速度，負值為藍色，代表地表相對下沉；而正值為紅色，代表地表相對抬升。以兩圖中心的山脈為界，皆顯示於西北方向區域有相對抬升的情況，而東南方向區域則是相對下沉，圖中的紅色圈選處為中寮隧道的出口，在 Sentinel-1 成果中，北方的出口相對於南方的出口以每年平均 25~30mm 速度抬升；而 ALOS-2 中，則以每年平均 15mm~20mm 速度抬升。

PS Velocity Plot

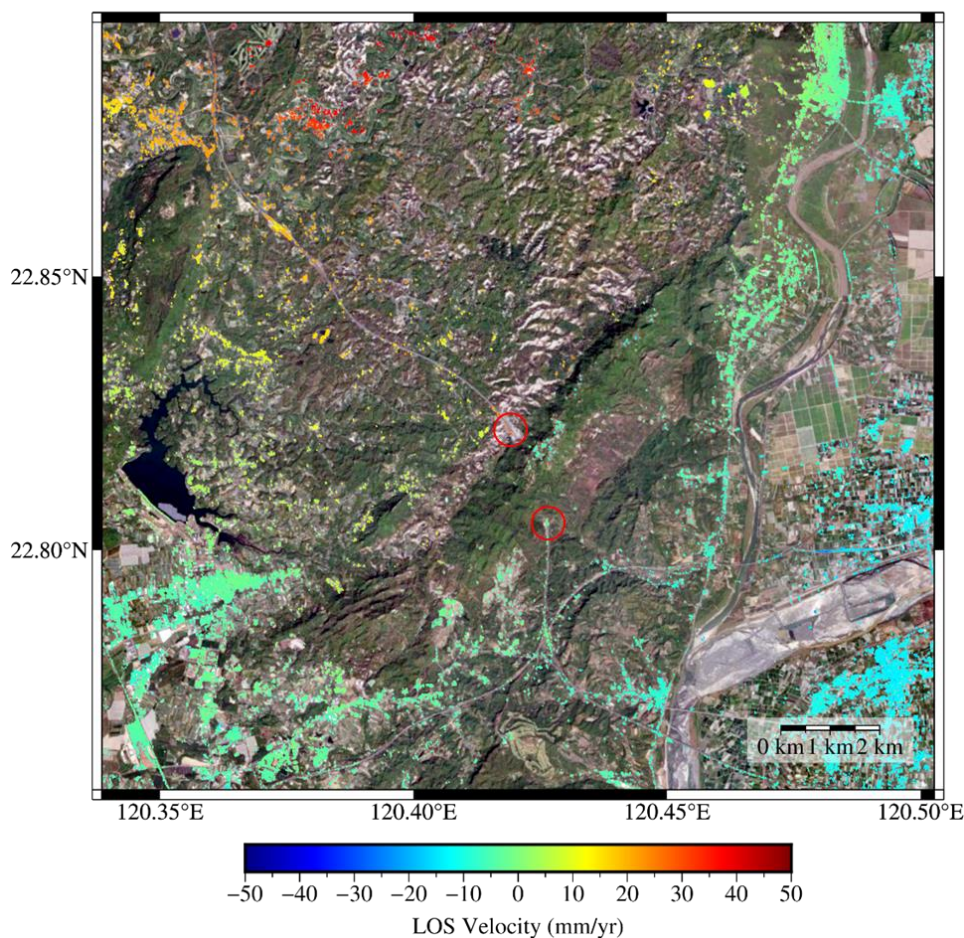


圖 4.3-6 、Sentinel-1 年平均速度

### PS Velocity Plot

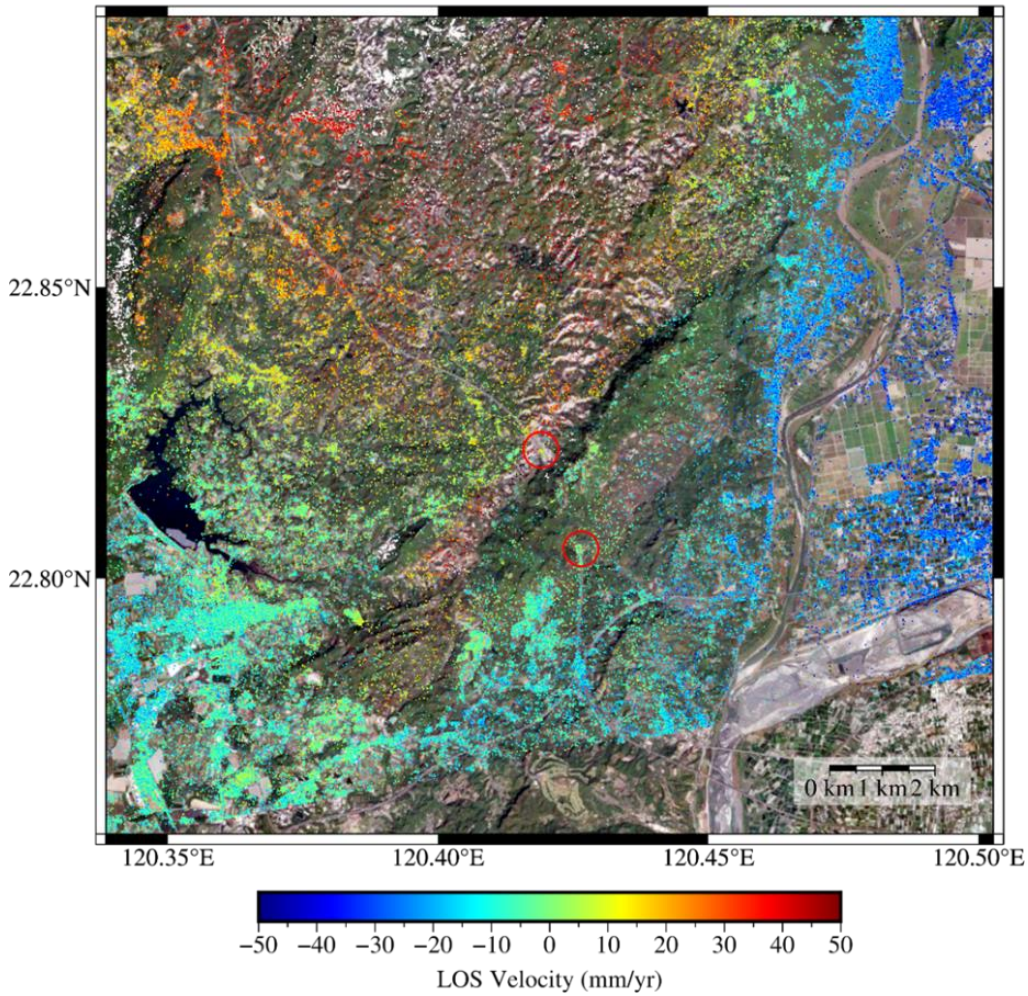


圖 4.3-7、ALOS-2 年平均速度

將使用 GNSS 資料驗證兩種雷達影像 PS-InSAR 分析成果，圖 4.3-8 為該區域時間內所有還有活動的 GNSS 站位置，將以 GS80 為主，計算各 GNSS 站與 GS80 在 LOS 方向的相對變位，再與 GPS 站位置的 PS 相互比較。圖 4.3-9 為各個 GNSS 站與 PS-InSAR 成果的散布圖，左面為 Sentinel-1 資料，右面為 ALOS-2 資料，藍點為 GNSS 投影至 LOS 的相對位移量，紅圈為 PS-InSAR 位移量，從散布圖中可看出，GNSS 與 InSAR 趨勢是一致的，這



證明此 PS-InSAR 成果是可靠的，且 RMSE 大部分於 15mm 內。在 Sentinel-1 與 ALOS-2 比較上，Sentinel-1 雖解析度較低但有時間基線短的優勢，可減少因時間基線過長造成相關性降低的問題，也因此圖中 Sentinel-1 比 ALOS-2 更與 GNSS 趨勢吻合，RMSE 也較小，成果更為精準；而 ALOS-2 影像因使用 L 波段雷達感測器，可穿透植被覆蓋區域，也因此 PS 點數上比 Sentinel-1 成果還要更多，在具有植被的區域上更具潛力。

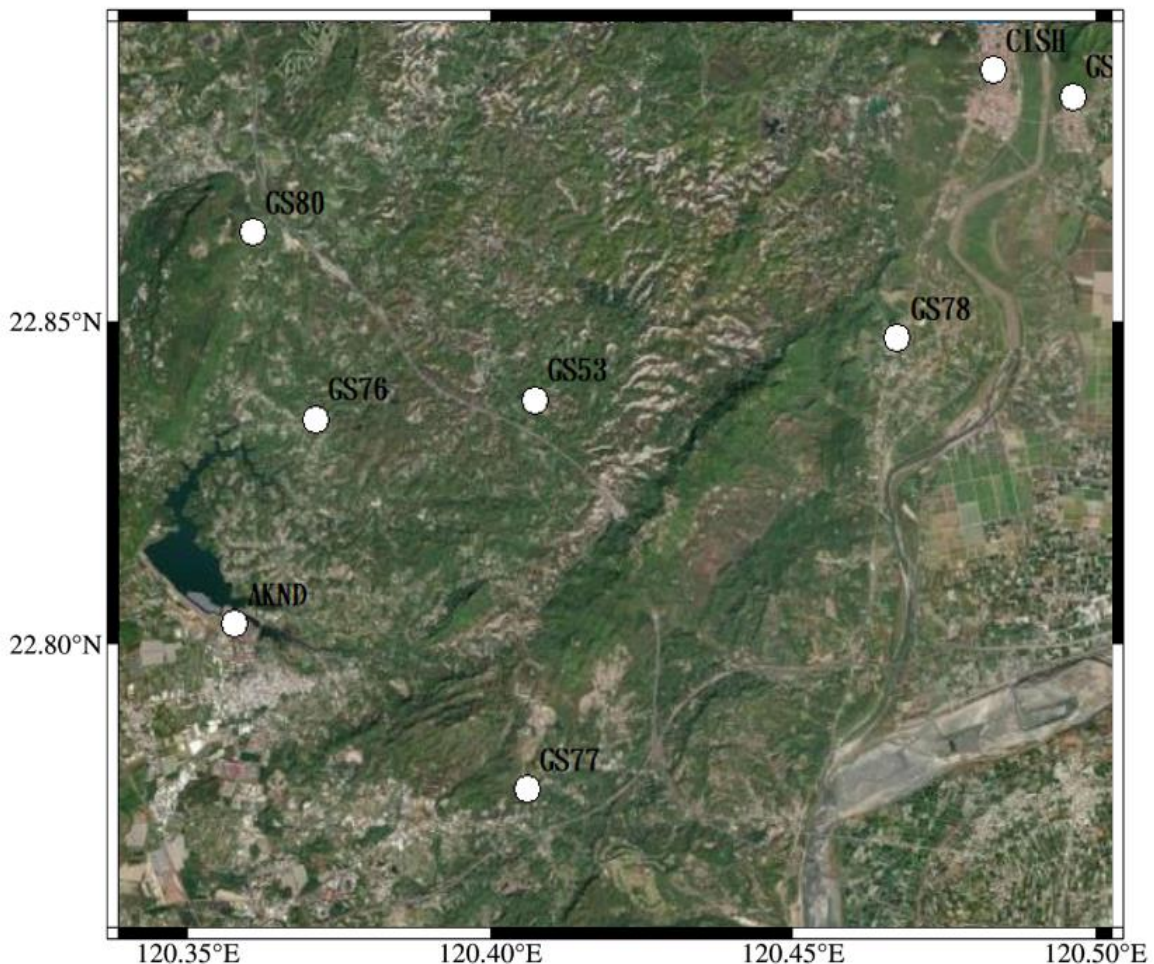


圖 4.3-8、GNSS 站位置

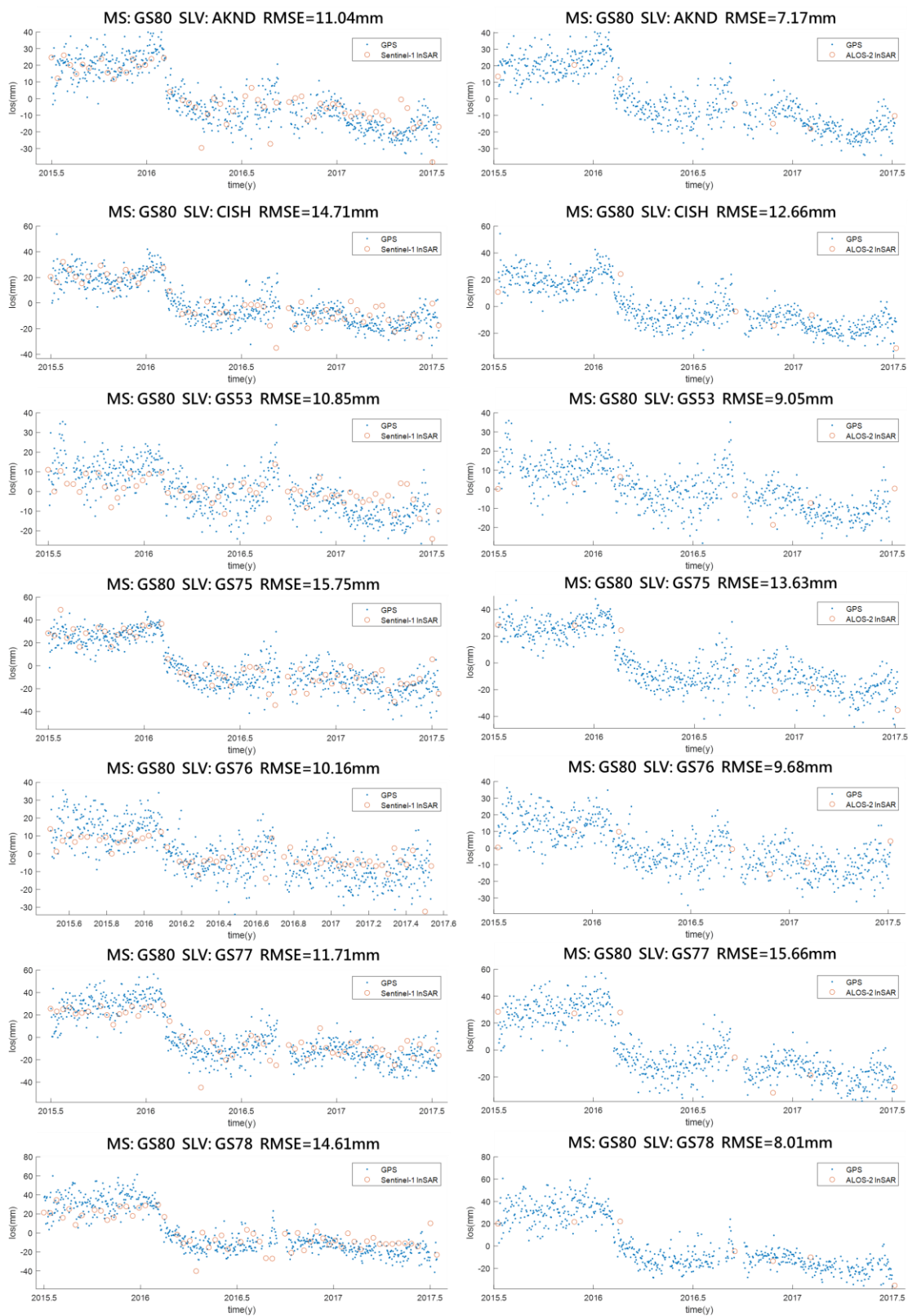


圖 4.3-9、GNSS 與 PS-InSAR 散布圖(左：Sentinel-1 右：ALOS-2)

此研究監測國道三號於中寮隧道的形變分析，於衛星 LOS 上年平均相

對位移可達 25~30mm，長時間的地表持續變位，將使隧道產生裂縫、形變等，可能導致危害發生。持續對該位置進行地表形變監測，若發生更嚴重的地表變位時，可及時對隧道進行補強，預防危害發生。

#### 4.3.2 以兩年內高解析(2公尺或更優)光學衛星影像試辦數值地表模型(DSM)

變異分析，試辦區選定須內政部討論且總面積須達 3,600 平方公里以上

本項工作規劃使用 SPOT-6/7 光學衛星影像，其全色態影像解析度為 1.5 公尺而多光譜影像解析度為 6 公尺，本項工作主要將利用 SPOT-6/7 立體像對產製數值地表模型，利用兩年內之光學衛星影像立體像對產製數值地表模型，與舊有 5 公尺數值地表模型進行變異分析。試辦區域選擇中部及南部山區各一處(如圖 4.3-10 所示)，中部試辦區(大甲溪北港溪)位於 108 年空載光達更新範圍，使用 2021/08/27 拍攝之 SPOT-7 立體像對，南部試辦區(荖濃溪)位於 105-107 年空載光達更新範圍，使用 2020/07/20 拍攝之 SPOT-6 立體像對，兩處試辦區面積合計為 4,427 平方公里。最後以 1/5000 圖幅為單元評估圖幅內之地表高程變異程度，可用於未來空載光達測製工作之規劃。



圖 4.3-10、地表形變分析試辦區

本次期末報告完成針對中部及南部兩處試辦區之數值地表模型變異分析，未來規劃加入更多種類型(或精進)之多時期地表形變分析，以下說明本次工作之中部及南部試辦區之成果。

南部試辦區使用 2020/07/20 之 SPOT-6 立體像對(圖 4.3-11)，產製之目標區域數值地表模型如圖 4.3-12 所示。中部試辦區使用 2021/08/27 之 SPOT-6 立體像對(圖 4.3-14)，產製之目標區域數值地表模型如圖 4.3-15 所示，部分區域受雲遮蔽影響無法產製正確數值地表模型則以人工方式刪除。將立體像對產製之數值地表模型減去空載光達所產製數值地表模型，可得地表高程變化量。由於立體像對產製數值地表模型其精度大約為 5 公尺左右，取其 2 倍 10 公尺作為地表形變之高程變化門檻



值。以高程變化門檻值找出地表形變區域後，再使用形態學之開啟運算濾除零碎之區塊。地表形變區域成果如圖 4.3-13 (a)及圖 4.3-16 (a)所示，圖中黃色至紅色部分為正值，代表立體像對產製之數值地表模型高程較高，綠色至藍色部分代表立體像對產製之數值地表模型高程較低，圖中高程變化小於 10 公尺以及零碎區塊則為黑色，挑選局部放大圖如圖 4.3-13(b)至圖 4.3-13 (d)與圖 4.3-16(b)至圖 4.3-16(c)。

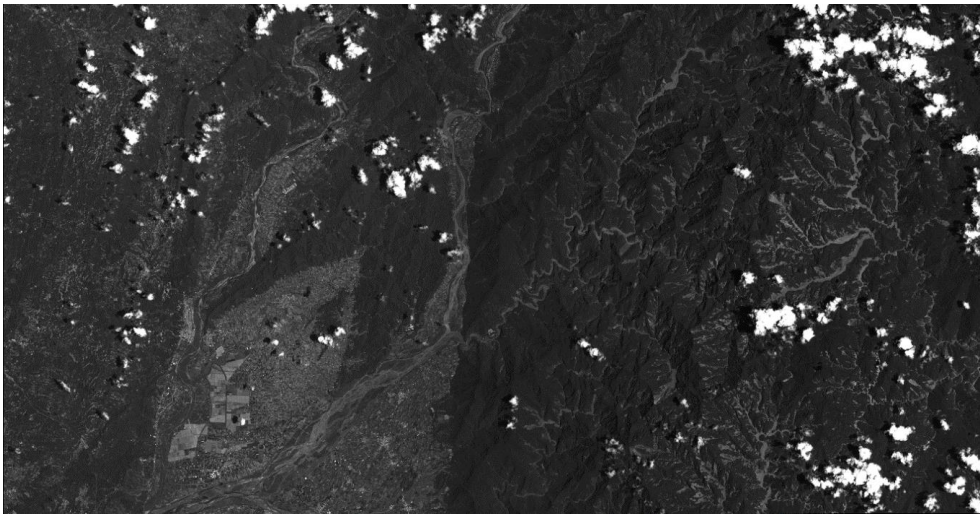


圖 4.3-11、南部試辦區域 SPOT 立體對影像

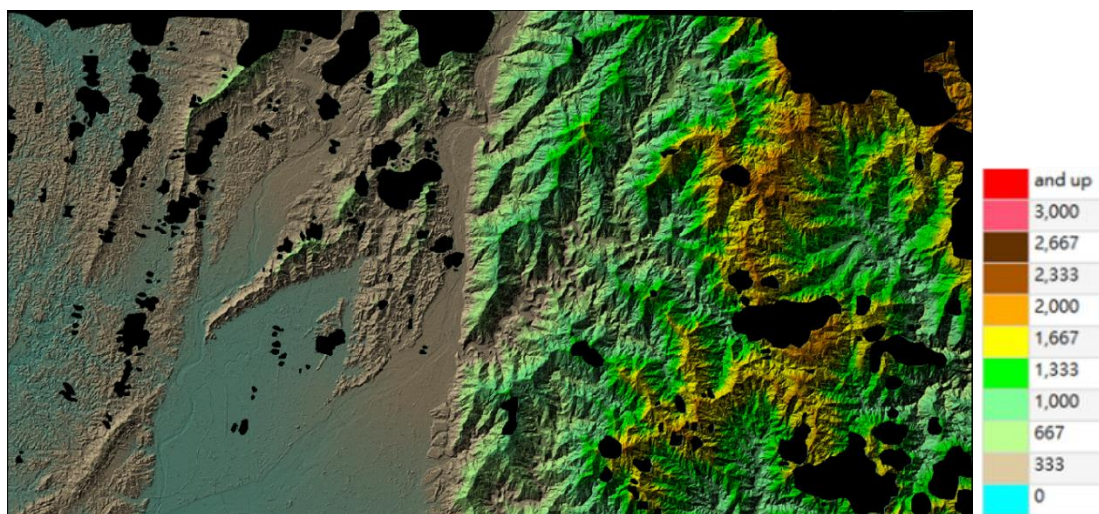
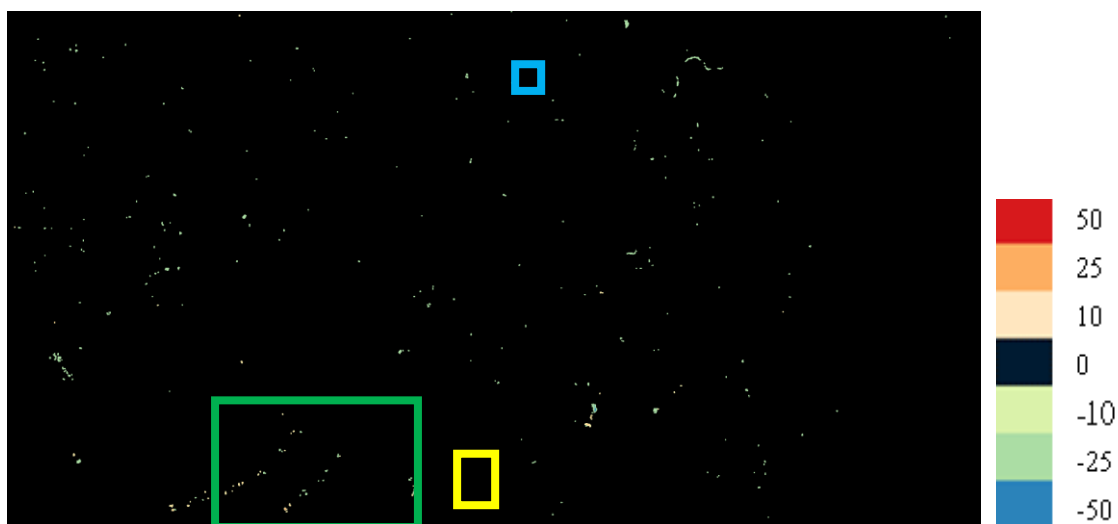
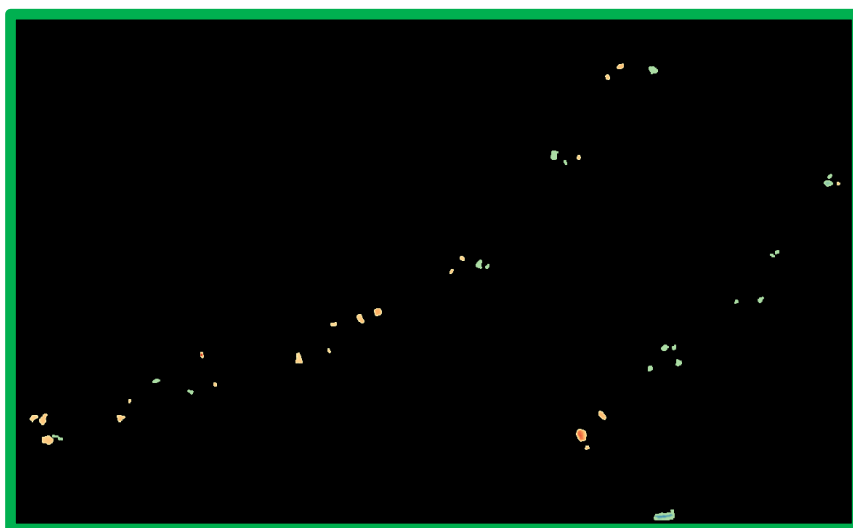


圖 4.3-12、南部試辦區域利用 SPOT-6/7 立體對產製之數值地表模型

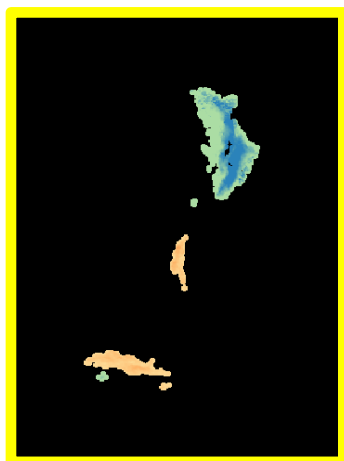




(a) 地表形變區域



(b) 局部放大圖 1



(c) 局部放大圖 2



(d) 局部放大圖 3

圖 4.3-13、南部試辦區域數值地表模型地表形變



圖 4.3-14、中部試辦區域 SPOT 立體對影像

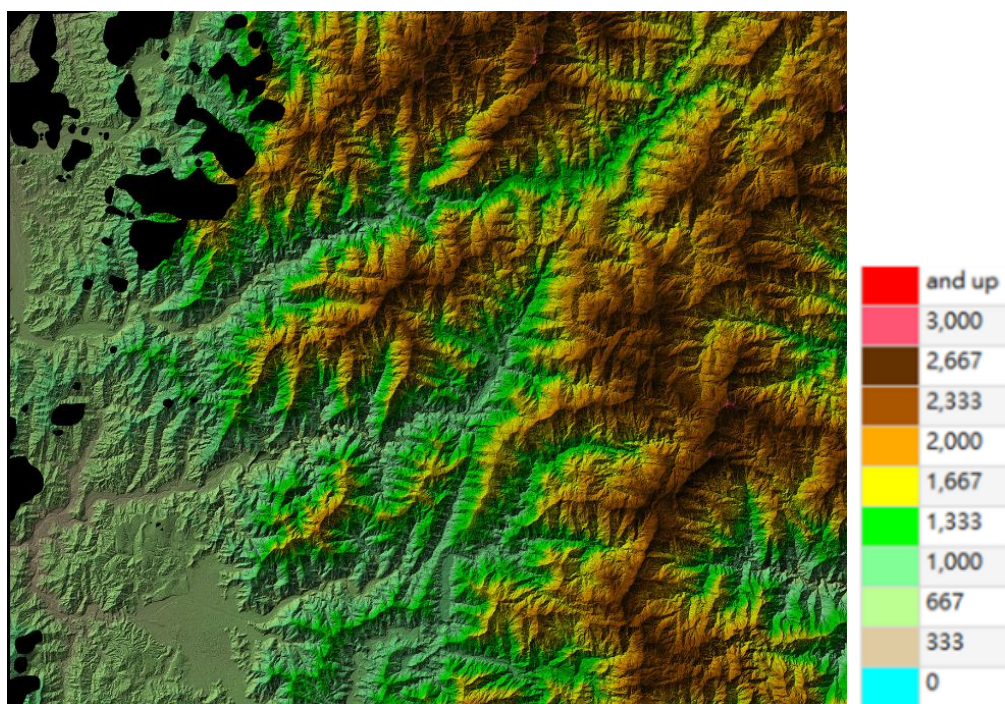
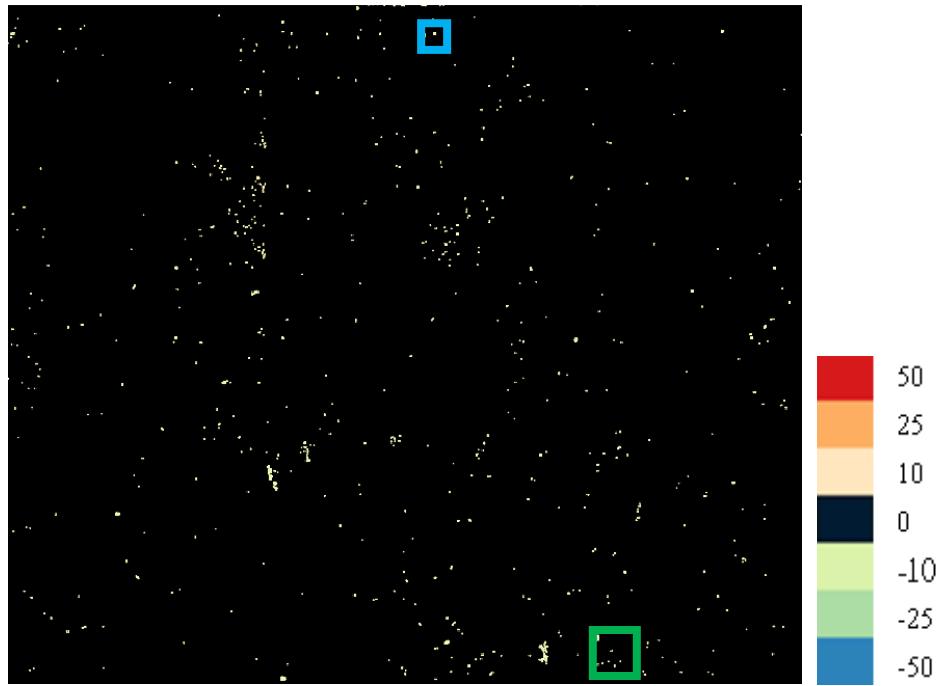
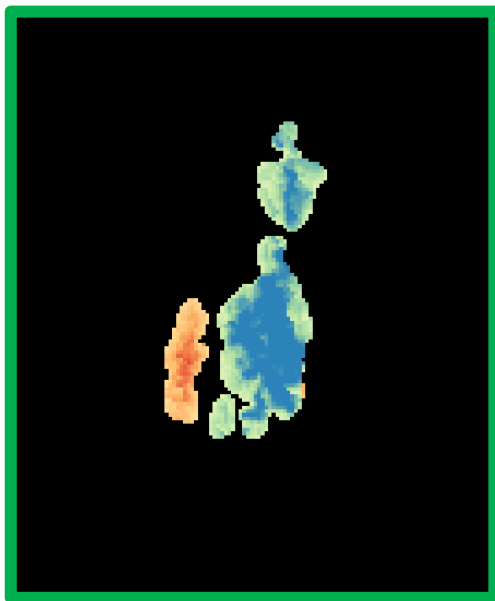


圖 4.3-15、中部試辦區域利用 SPOT-6/7 立體對產製之數值地表模型



(a) 地表形變區域



(b) 局部放大圖 1



(c) 局部放大圖 2

圖 4.3-16、中部試辦區域數值地表模型地表形變

為了解地表高程變異程度用於未來空載光達測製工作之規劃，以 1/5000 圖幅為單元進行評估，評估之指標包括累計地表形變區域面積及累積增減高度。累計地表形變區域面積代表單一 1/5000 圖幅中有多少面

積之區域有地表形變情形如圖 4.3-17 及圖 4.3-19，而累積增減高度則分別統計單一 1/5000 圖幅中高程增加及高程減少的累積高度如圖 4.3-18 及圖 4.3-20。

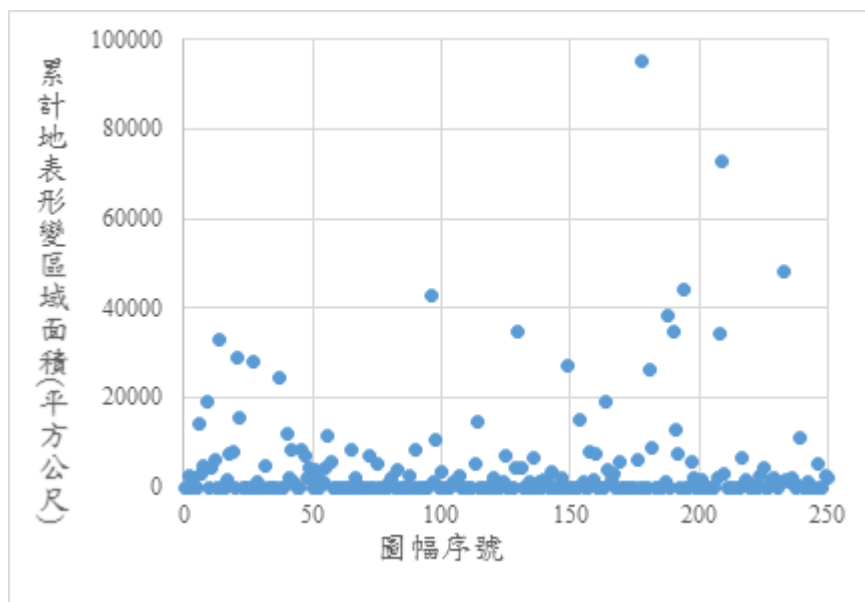


圖 4.3-17、南部試辦區域累計地表形變區域面積統計

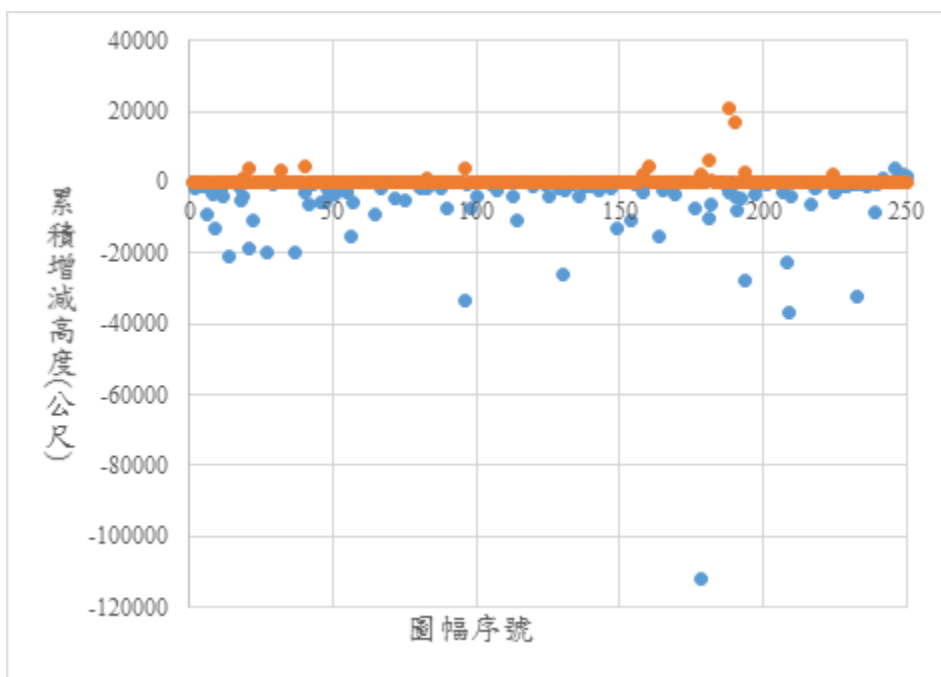


圖 4.3-18、南部試辦區域累積增減高度統計

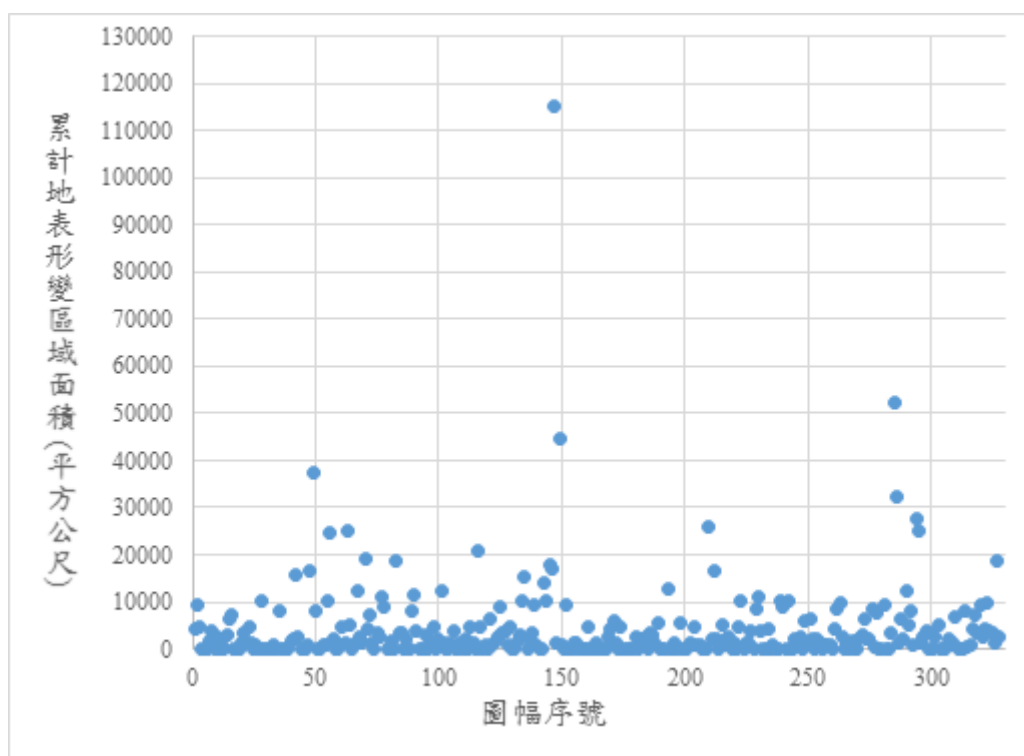


圖 4.3-19、中部試辦區域累計地表形變區域面積統計

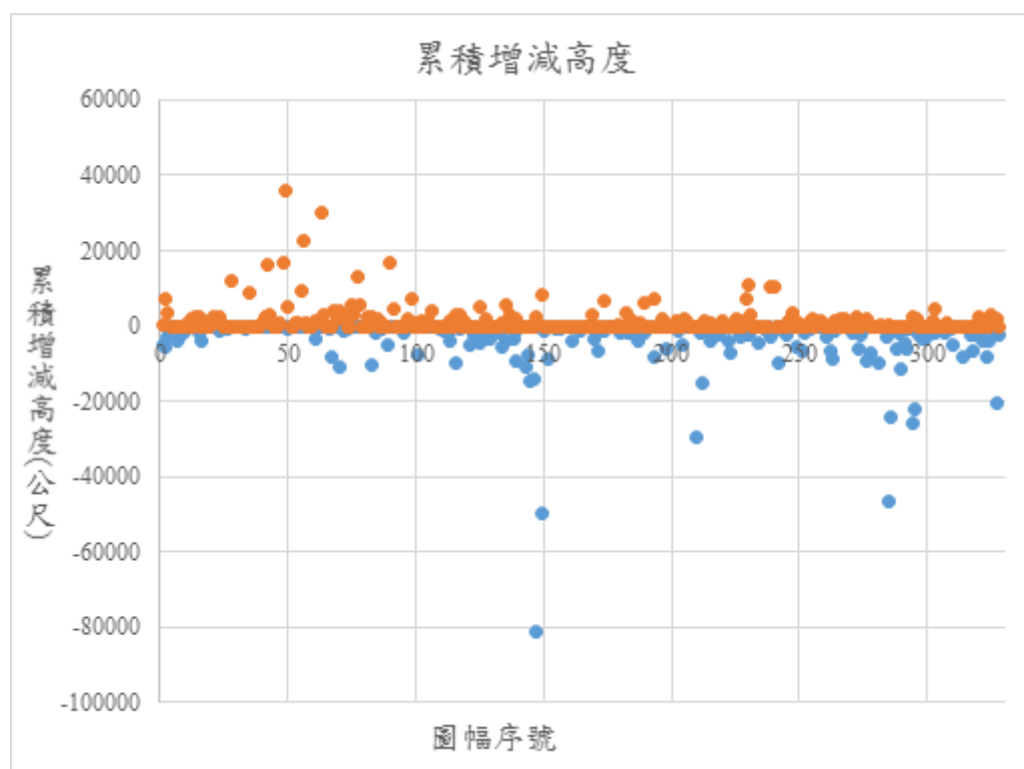


圖 4.3-20、中部試辦區域累積增減高度統計

為取得有明顯地表形變之圖幅，可分別對累計地表形變區域面積及



累積增減高度設定門檻值。以本案試辦區為例，分別以累計地表形變區域面積大於 20000 平方公尺以及累積增減高度大於 20000 公尺為門檻值，可得有明顯地表形變之圖幅為如圖 4.3-21 及圖 4.3-22 中紅框部分。南部試辦區共有 253 幅，其中 15 幅之地表形變大於門檻，中部試辦區共有 374 幅，其中 12 幅之地表形變大於門檻。上述門檻值之設定，可視欲了解之地表形變程度大小再進行調整。

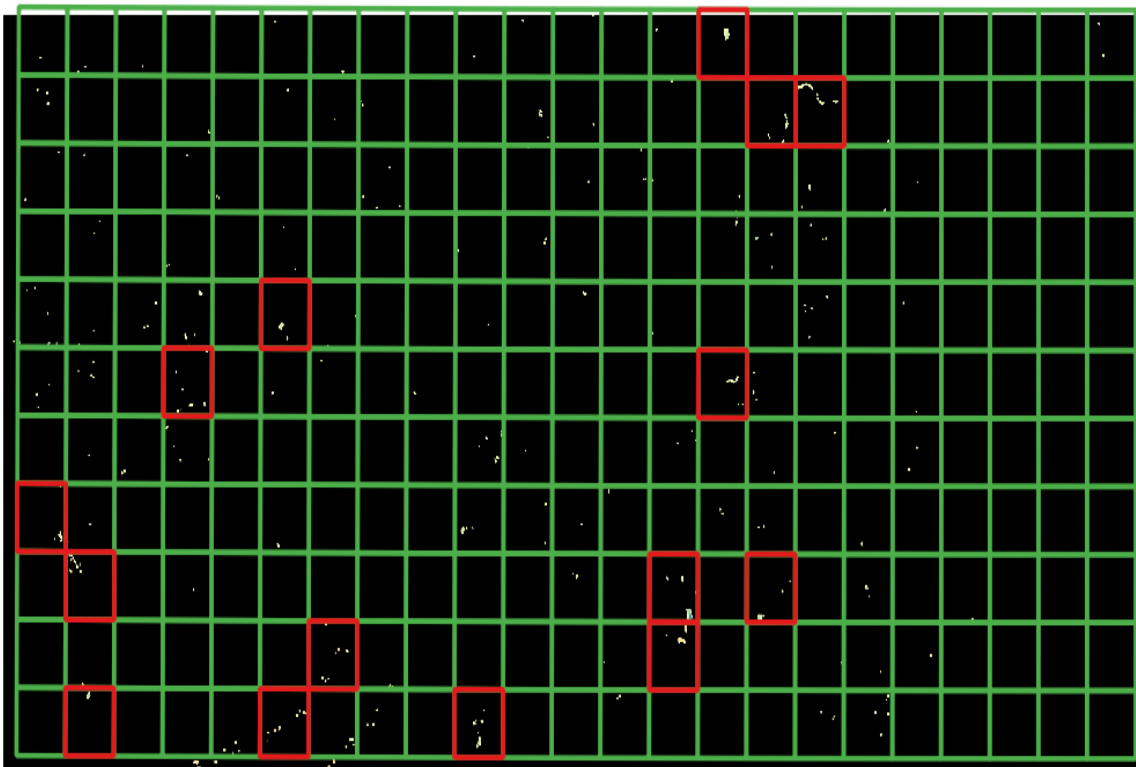


圖 4.3-21、南部試辦區域明顯地表形變之圖幅

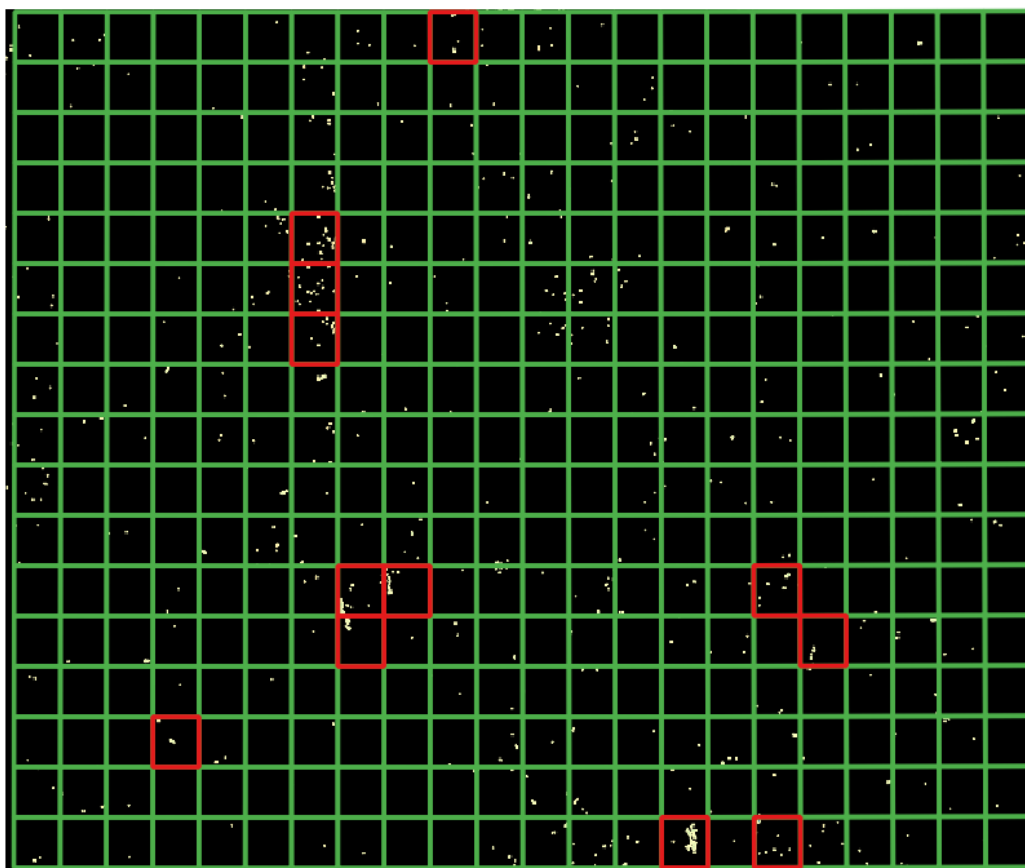


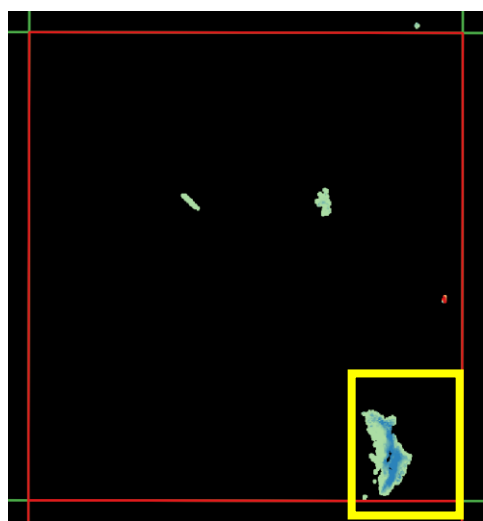
圖 4.3-22、中部試辦區域明顯地表形變之圖幅

由前述明顯地表形變之圖幅中，挑選 5 幅進行觀察，並比對前後期之 SPOT 全島拼合影像，以了解造成地表形變的原因。

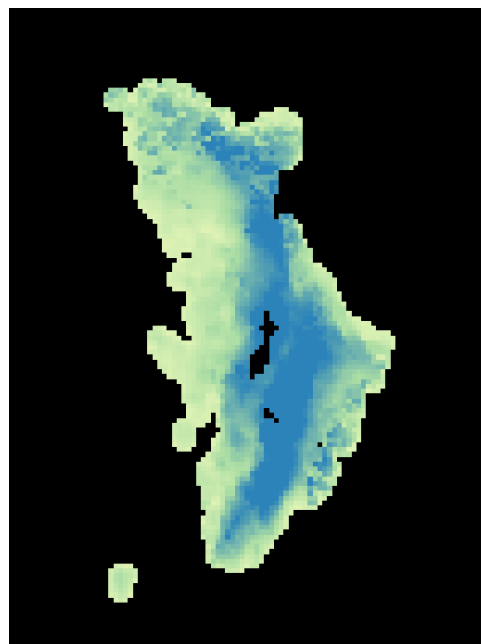
1. 圖 95184059 地表形變及前後時期 SPOT 影像如圖 4.3-23 所示，圖 4.3-23(b) 中可觀察到有明顯高程降低情形，高程降低最多可達約 50 公尺，由 SPOT 影像中可以觀察到在原有的崩坍區域再次發生土石崩落情形，應為造成地表形變之原因。
2. 圖 95184071 地表形變及前後時期 SPOT 影像如圖 4.3-24 所示，圖 4.3-24(b) 中可觀察到有高程提升情形，由 SPOT 影像中可以

觀察到該區域為砂石堆置區域，地表形變原因應為砂石堆置量之差異造成。

3. 圖 94181077 地表形變及前後時期 SPOT 影像如圖 4.3-25 所示，圖 4.3-25(b)中可觀察到有高程降低情形，由 SPOT 影像中可以觀察到該區域為中寮隧道口，地表形變原因應為隧道口施工造成。
4. 圖 95181051 地表形變及前後時期 SPOT 影像如圖 4.3-26 所示，圖 4.3-26(b)中可觀察到有明顯高程降低及增加情形，左側小範圍高程增加，右側則有高程降低情形，由 SPOT 影像中可以觀察到在原有的崩坍區域發生土石崩落並堆積情形，應為造成地表形變之原因。
5. 圖 96213070 地表形變及前後時期 SPOT 影像如圖 4.3-27 所示，圖 4.3-27(b)中可觀察到有高程降低情形，由 SPOT 影像中可以觀察到該區域新增一處土石崩落情形。



(a) 圖 95184059 圖框



(b) 局部放大地表形變

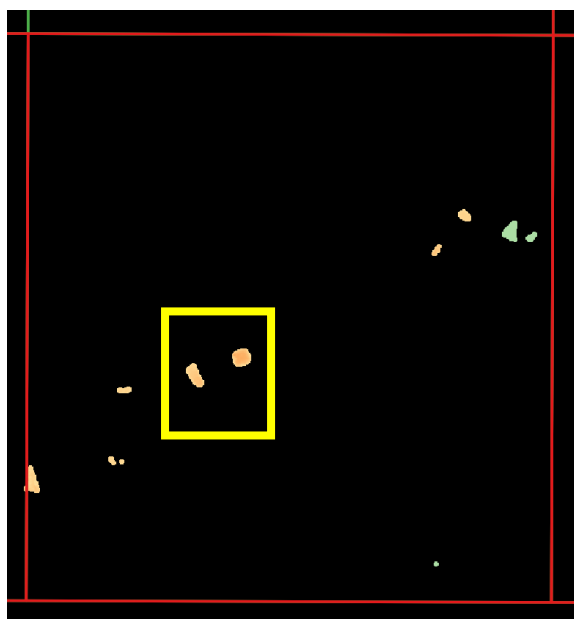


(c) 2016 年 SPOT 影像



(d) 2020 年 SPOT 影像

圖 4.3-23、圖 95184059 地表形變及前後時期 SPOT 影像



(a) 圖 95184071 圖框



(b) 局部放大地表形變



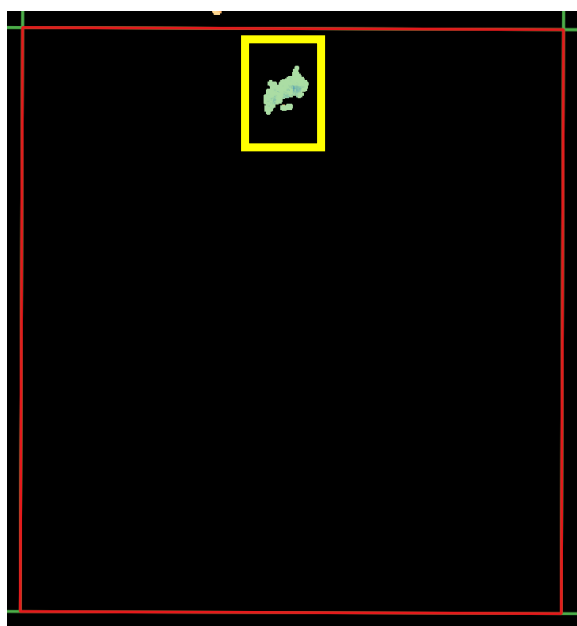
(c) 2016 年 SPOT 影像



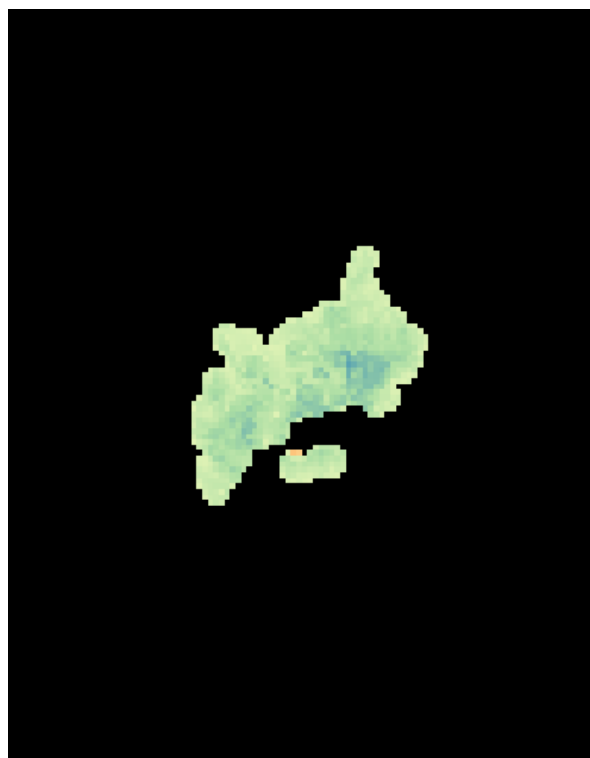
(d) 2020 年 SPOT 影像

圖 4.3-24、圖 95184071 地表形變及前後時期 SPOT 影像





(a) 圖 94181077 圖框



(b) 局部放大地表形變

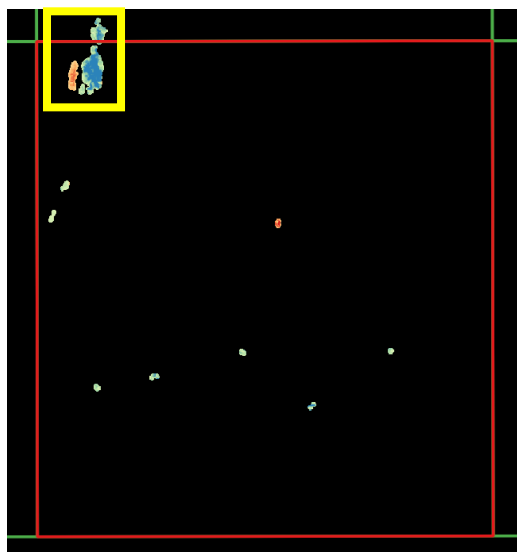


(c) 2016 年 SPOT 影像

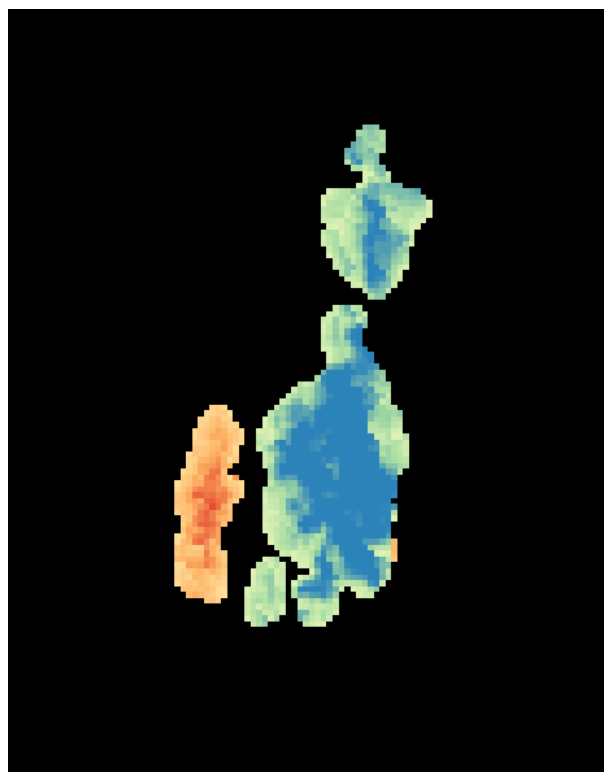


(d) 2020 年 SPOT 影像

圖 4.3-25、圖 94181077 地表形變及前後時期 SPOT 影像



(a) 圖 95181051 圖框



(b) 局部放大地表形變

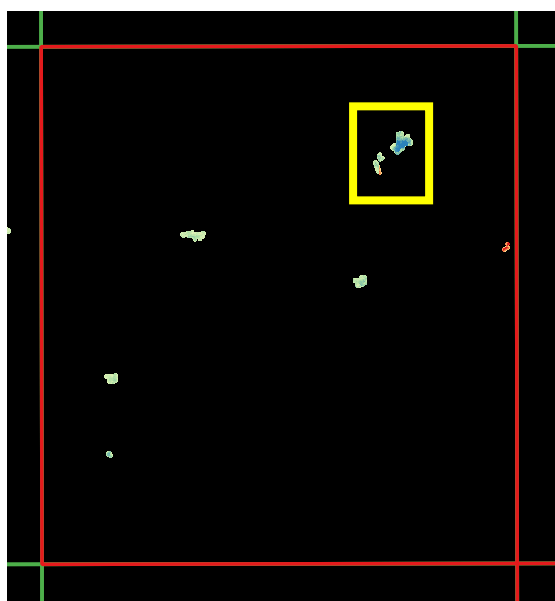


(c) 2018 年 SPOT 影像

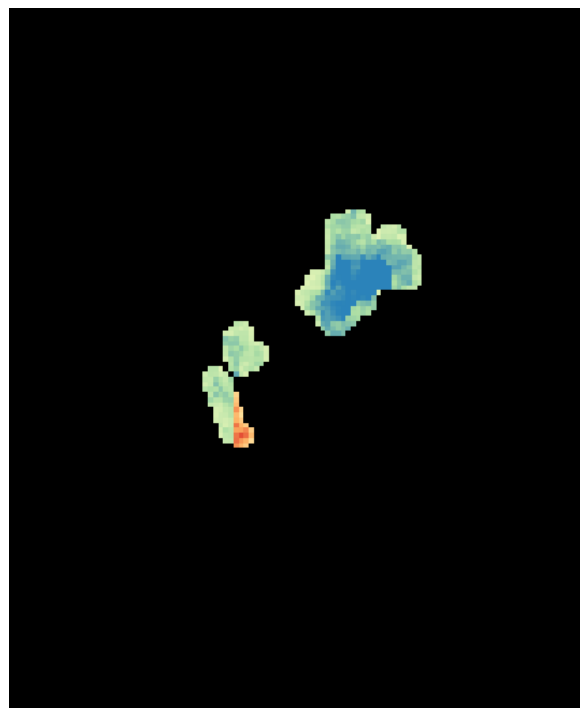


(d) 2020 年 SPOT 影像

圖 4.3-26、圖 95181051 地表形變及前後時期 SPOT 影像



(a) 圖 96213070 圖框



(b) 局部放大地表形變



(c) 2018 年 SPOT 影像



(d) 2020 年 SPOT 影像

圖 4.3-27、圖 96213070 地表形變及前後時期 SPOT 影像



### 4.3.3 航遙測影像分析與辨識之結果，須與相關應用平台進行整合試辦，其試辦方案須與內政部討論後辦理

邊坡破壞往往對人員、財產及環境造成嚴重威脅，成因複雜且難以模式化之邊坡破壞行為，導致無法準確預估各式規模邊坡破壞之時間與位置。雖然不能預先得知新生崩塌地或邊坡變異地之時間與位置，但曾經歷大規模山崩的區域由於地質條件弱化且植被不易復育，有較高機率會重複地發生崩塌(陳棋炫等，2017)。進行監測以確切了解崩塌位置與規模有助於坡地管理，因此坡地變異點偵測為重要的研究工作。為進行大範圍坡地監測，本項工作以坡地防災為應用試辦主題，利用航遙測影像分析與辨識技術進行坡地變異點偵測，配合 4.2 節發展之人工智慧航遙測影像辨識技術及 Google Earth Engine(GEE)雲端應用平台進行坡地監測。坡地防災為國立陽明交通大學防災與水環境研究中心的核心研究主題之一，因此本項應用亦整合陽明交大防災中心之研究專長，以介接及試辦本計畫發展之技術的應用性。

本年度(110)工作目標為使用 GEE 平台發展坡地防災應用，以時序多光譜衛星影像及機器學習演算法進行坡地變異點偵測(Change Detection)，可供坡地植生復育分析，使用 GEE 多光譜衛星影像的優勢是可週期性的進行大範圍坡地變異點分析。本年度(110)具體成果為透過時間序列資料前處理與

樣本篩選程序建立時序多光譜崩塌變異點資料集，再利用機器學習分類方式進行大規模邊坡變異地之分類判釋與精度評估。未來可應用於大範圍初步篩選邊坡變異之區域，輔助坡地大面積監測及管理應用，降低透過人為數化崩塌地之時間成本。

本年度工作內容主要包含三個部分，整體程序皆透過 GEE Python API 於 Google Colab 實現。第一部分為影像前處理及向量資料彙整，影像前處理為整合雲端應用平台上之多時期 Landsat-8 多光譜衛星影像並建立雲遮罩；向量資料彙整為利用林務局提供之 104 至 107 年衛星判釋全島崩塌地圖(行政院農業委員會資料開放平台, 2021)為依據建置時序資料檢索之類別(長時裸地、變異地、長時綠地)向量資料，並以資料集(Data Set)的方式彙整於平台。第二部分為建立機器學習演算法應用於變異點偵測所需之時序多光譜資料集，以第一部分建置之向量資料集為各類別時序資料檢索之依據經處理後建置。第三部分為時間序列機器學習分類，以年為單位提供大範圍邊坡變異地之判釋成果。細節以下分述：

#### **(1)資料彙整與前處理：**

本研究利用 GEE 雲端應用平台獲取 Landsat-8 多時期多光譜開放衛星影像資料。GEE 平台供應不同等級之 Landsat-8 衛星影像產品，為避免變遷分析成果受大氣影響，選擇經過幾何與大氣輻射校正之地表反射率(Surface Reflectance)產品。此外，Landsat-8 利用 CFMask(Foga et al., 2017) 演算法產



生之 Quality Assessment (QA) 波段可用於生成雲遮罩(圖 4.3-28)，排除受雲層覆蓋之像元，故本項工作以此波段對衛星影像資料集進行雲遮前處理。研究使用之影像與波段資訊如表 4.3-3 所示。



圖 4.3-28、Landsat 8 雲遮示意圖

表 4.3-3、影像集資訊

影像時間		供應者	GEE 代碼
2013/04/11-present		USGS	LANDSAT/LC08/C01/T1_SR
Band	Resolution (m)	Wavelength	Description
B2	30	0.45 - 0.51 $\mu\text{m}$	Blue
B3	30	0.53 - 0.59 $\mu\text{m}$	Green
B4	30	0.64 - 0.67 $\mu\text{m}$	Red
B5	30	0.85 - 0.88 $\mu\text{m}$	NIR
BQA	30		Landsat Collection 1 QA Bitmask

為進行邊坡變異之機器學習監督式分類，須建立以區域(Area of Interest,

AOI)為單元之訓練樣本。邊坡變異向量資料定義(正樣本)為各年度崩塌地與前一年度崩塌地之差集(差集是指前後期之間有崩塌與非崩塌之變化)，產製方式為透過行政院農業委員會資料開放平台下載林務局提供 104 至 107 年衛星判釋全島崩塌地圖(圖 4.3-29)，再利用開放地理資訊系統 QGIS 進行向量資料之截切(差集)與投影面積(俯視)之計算，最後以資料集形式彙整於 GEE 雲端平台(圖 4.3-30)。正樣本為發生變異之區域，而負樣本則為未發生變異之區域，然由於未發生變異之區域在山區地貌上可能長時間為裸露地或長期被植生覆蓋，故將負樣本另分為「長時裸地」與「長時綠地」兩個類別。長時裸地標籤建置方式與建立變異地標籤(正樣本)相似，皆使用林務局提供之衛星判釋全島崩塌地圖，唯向量處理方式由差集改為交集(Intersection) (交集是指前後期之間都是崩塌區的裸露地)，長時綠地標籤建置則是於 GEE 平台，由人工框選多邊形向量區域。為快速獲取大量長時綠地類別資料，將各年度衛星判釋崩塌地圖匯入 GEE 平台中以避免框選與正樣本(變異地)重疊之區域，並以可視化之框選介面有效且快速地建立長時綠地資料集(圖 4.3-31)。綜上所述，本研究建置之時間序列標籤分為變異地、長時裸地與長時綠地，三個類別。經由上述資料彙整與前處理，可在雲端應用平台存取判釋所需的多時期衛星影像及崩塌地標籤。

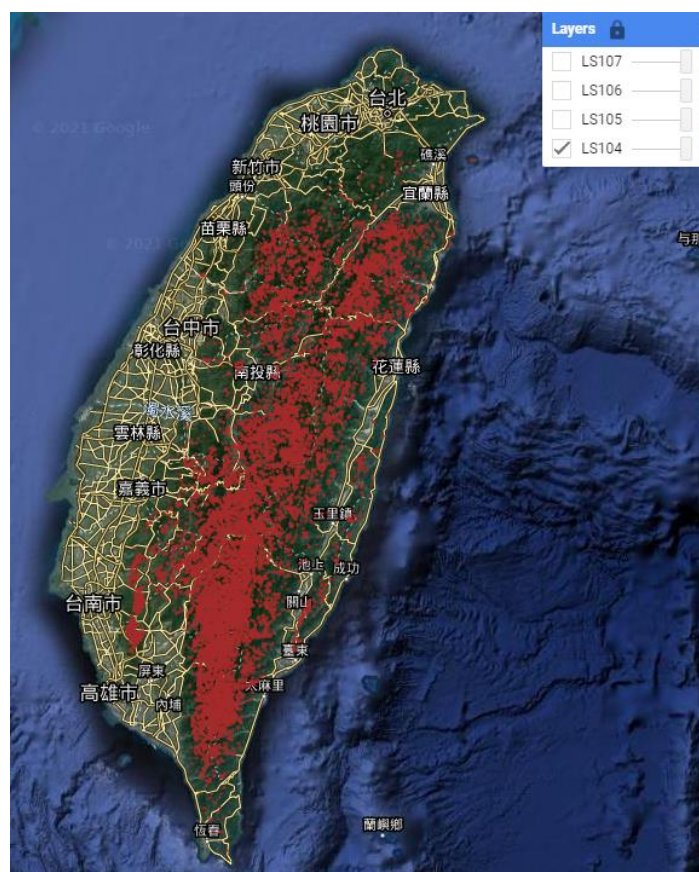
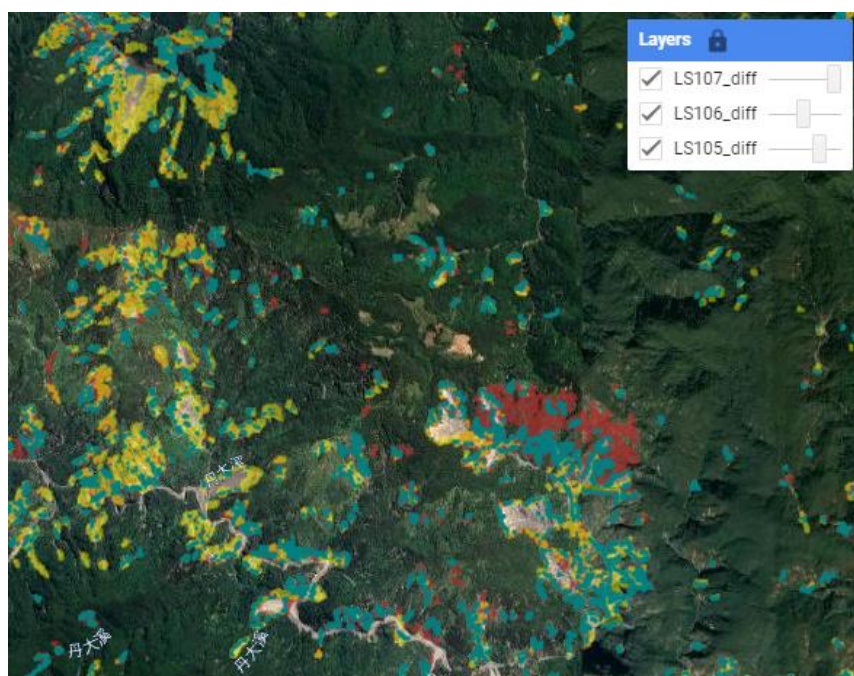


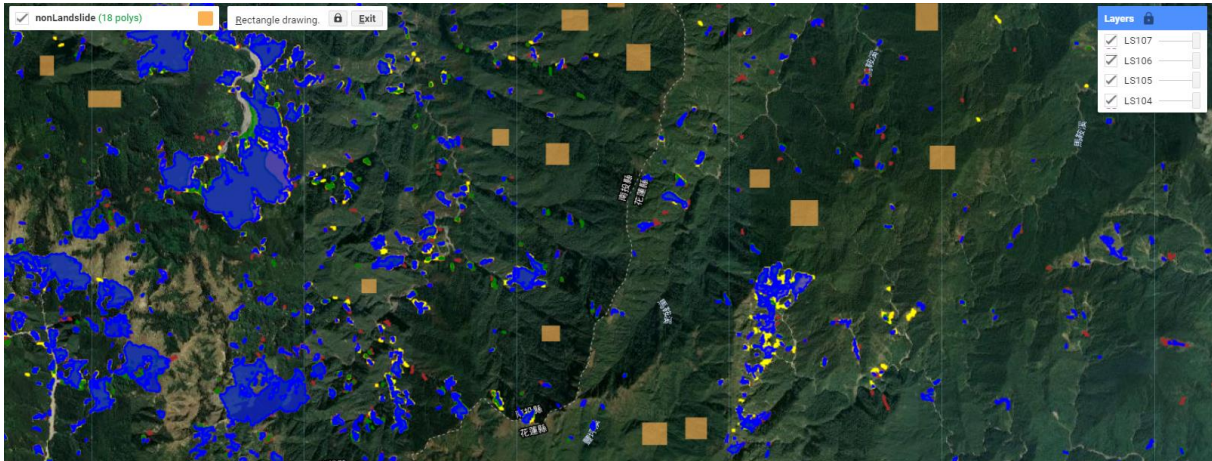
圖 4.3-29、104 年衛星判釋全島崩塌地圖



(105 年-104 年為紅色; 106 年-105 年為黃色; 107 年-106 年為綠色)

圖 4.3-30、各年度邊坡變異向量資料





(104 年為紅色；105 年為黃色；106 年為綠色；107 年為藍色；長時綠地區域為橘色)

圖 4.3-31、各年度崩塌地圖與長時綠地示意圖

### (2) 建立時序資料集：

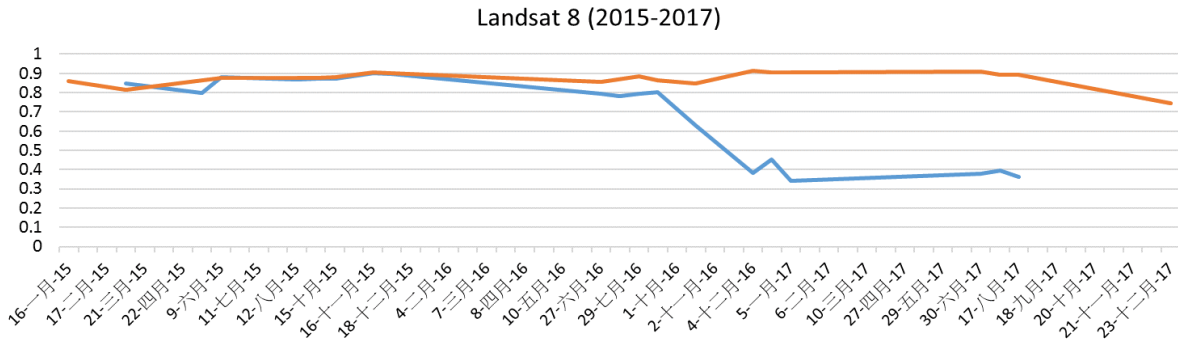
邊坡變異多發生在山區與地形變化快速之區域，通常伴隨地貌的驟變，最常見的現象即為由植被覆蓋轉變為裸露地(Deijns et al., 2020)，故以常態化差值植生指標(NDVI)作為時間序列之計算單元，可有效辨別變異與非變異點，如圖 4.3-32。



(a) 2015 年 Landsat-8 影像  
(藍點:無變異點；紅點:變異點)



(b) 2017 年 Landsat-8 影像  
(藍點:無變異點；紅點:變異點)



(c) 有變異及無變異點時序植生指標

圖 4.3-32、邊坡變異點判釋示意圖

本研究時間序列取樣區間為 2016 年 1 月至 2018 年 12 月為止，以年為單位，共 3 組時序資料。每一時間序列取樣各類別多邊形區域內像元之 NDVI 平均值與標準差。由於單一區域可能落在衛星同一日拍攝之重疊區域，導致重複取樣，當單一區域於同一日有兩個以上的取樣值時，僅選取 NDVI 標準差最低之值作為當日之輸出。為維持各類別時間序列樣本數量之平衡，及考量已建置之長時綠地標籤向量個數，以各年度向量資料集中面積前 500 大之 AOI 建立各類別時間序列樣本，變異地取樣之平均面積為 4.801 公頃；長時裸地平均面積為 4.417 公頃；長時綠地平均面積則為 19.356 公頃。本研究建立之原始時間序列資料集(未經過濾除與篩選)，共 3(年) $\times$ 500(AOIs) $\times$ 3(類別)=4500 筆，隨機選取 80% 作為訓練資料，20% 為測試資料，各類別標籤之訓練與測試資料如圖 4.3-33 所示。



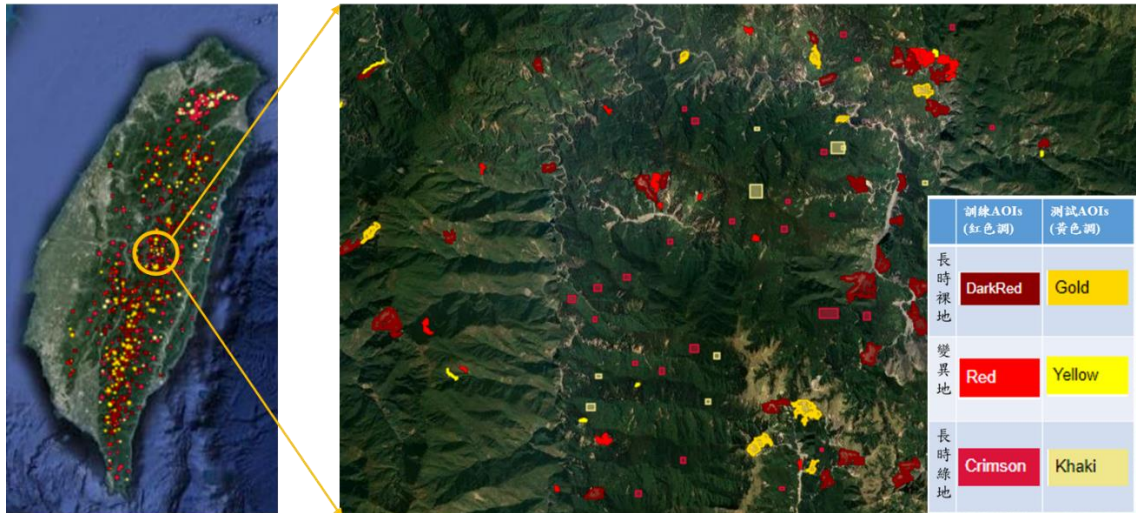


圖 4.3-33、各類別取樣區域示意圖

為建置可供機器學習分類之時序資料，本研究針對以年為單位之各類別時間序列資料進行前處理，程序包含粗差濾除、高斯平滑、樣本篩選與重新採樣。粗差濾除主要為剔除時間序列上有明顯錯誤之時間戳(Time stamp, t.s.)，粗差產生之可能因素為利用 CFMask 評估與描述像元品質時，明顯被雲層覆蓋或存在雲影的像元能被正確判別為雲像元或是雲陰影像元，但存在薄雲的像元較難被正確評估，故在 NDVI 計算時可能因為沒有完全排除被雲覆蓋之區域，而有明顯錯誤的計算量產生。當發現明顯粗差產生在同一個拍攝時間之影像對，不同 AOI 計算之 NDVI 值皆異常接近於 0，推估為影像有大量雲層覆蓋且未正確遮蔽導致，故予以剔除，如圖 4.3-34 上紅色圓圈框選處。

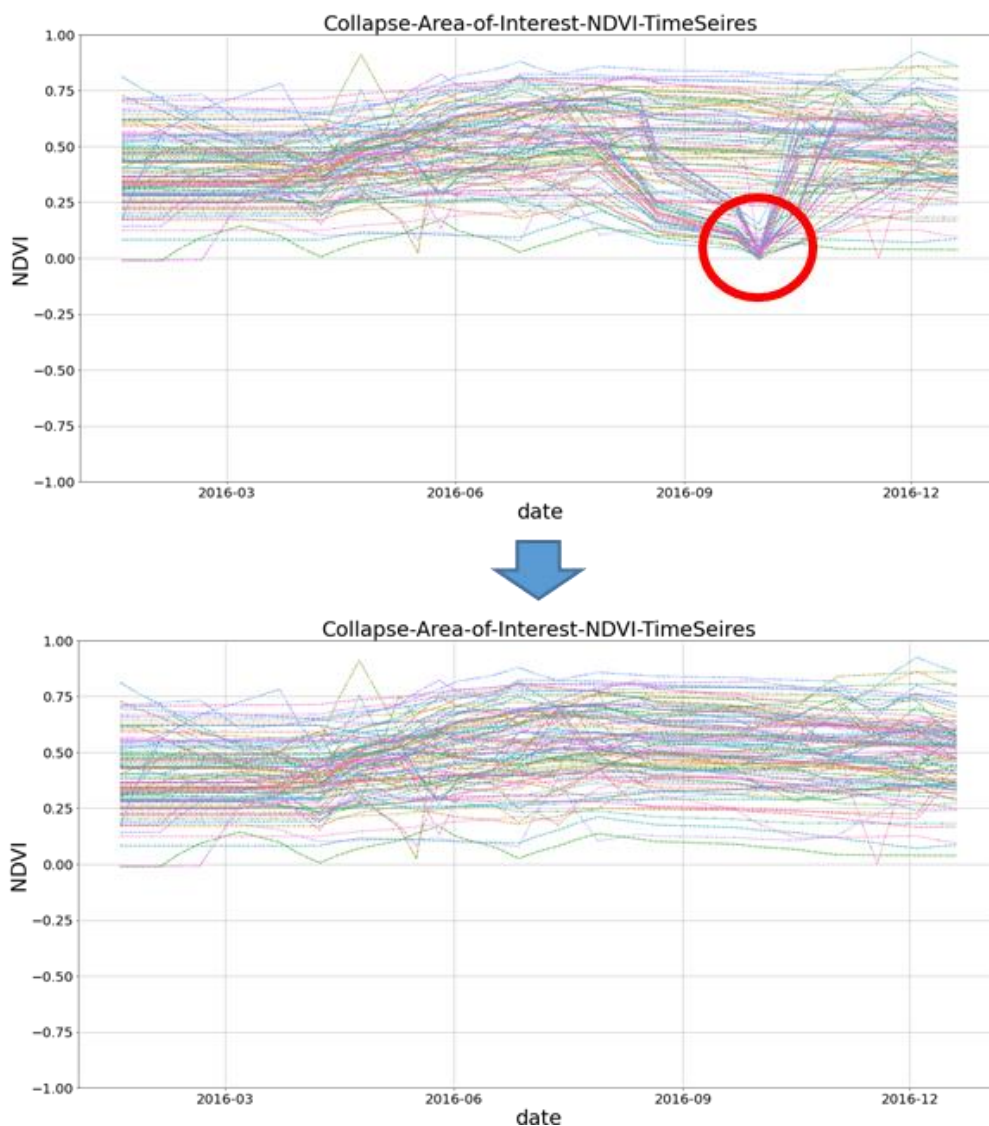


圖 4.3-34、時間序列粗差濾除

經過粗差濾除後之時間序列資料可能仍受薄雲等影響而包含許多雜訊，故透過移動窗口對時間序列資料進行高斯平滑以降低雜訊造成之影響。時間序列資料以多邊形向量為取樣單元，為避免各 AOI 於該年度時間戳過少導致訓練樣本不可靠(圖 4.3-35)，故透過設計濾除門檻進行剔除，以表 4.3-4 中 2016 年變異地 AOI 時間序列為例，其原始數據包含 500 個 AOI，且有數據之時間戳為 35 筆，透過粗差別除與該年度最少 6 筆時間戳(> 6 t.s.)之篩

選後剩下 492 個 AOI，最少 8 筆時間戳則剩 435 個 AOI，若以算術平均數考慮每月一筆資料，剔除少於 12 筆時間戳之資料，將僅剩 182 個 AOI。

表 4.3-4、時間戳篩選與 AOI 數量

AOI × Total time stamps(t.s.)		Raw	> 6 t.s.	> 8 t.s.	> 10 t.s.	> 12t.s.
2016	長時裸地	500 × 34	497 × 34	480 × 34	382 × 34	216 × 34
	變異地	500 × 35	492 × 35	435 × 35	320 × 35	182 × 35
	長時綠地	500 × 35	499 × 35	457 × 35	294 × 35	142 × 35
2017	長時裸地	500 × 37	495 × 37	469 × 37	377 × 37	224 × 37
	變異地	500 × 37	465 × 37	403 × 37	297 × 37	146 × 37
	長時綠地	500 × 40	434 × 40	253 × 40	161 × 40	89 × 40
2018	長時裸地	500 × 40	500 × 40	496 × 40	469 × 40	396 × 40
	變異地	500 × 41	499 × 41	492 × 41	458 × 41	401 × 41
	長時綠地	500 × 40	498 × 40	480 × 40	423 × 40	249 × 40

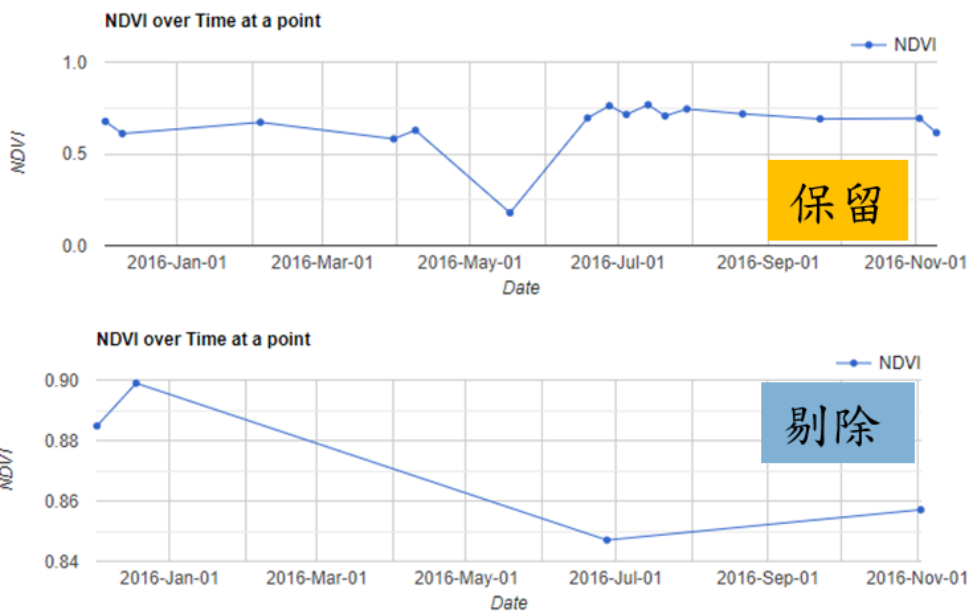


圖 4.3-35、時間序列時間戳篩選示意圖

圖 4.3-36 為 105 年邊坡變異與非變異區域之時間序列，並僅展示投影面積前 20 大之變異區域，其中可發現並非所有 NDVI 時間序列皆能顯示邊坡變異之現象，故為建立可用於分類之時間序列資料庫，另設計門檻過濾錯誤(Deijns et al., 2020)，如圖 4.3-37 之 AOI 15 時間序列明確顯示變異發生，為良好之訓練資料，AOI 16 時間序列平穩且 NDVI 值較低，推估為長期崩塌則應予以剔除。長時綠地區域在資料集建置時，已經過初步篩選並僅選取長時期植被覆蓋之山地區域作為樣本，故在時間序列上 NDVI 值穩定且接近 1(圖 4.3-38)，而長時裸地資料集亦未顯示有錯誤標籤之現象(圖 4.3-39)，皆可作為良好之時間序列負樣本。本研究依變異地時間序列人工設計兩種錯誤過濾篩選門檻 CriterionA(CA)與 CriterionB(CB)，分別對變異區域時間序列進行錯誤分類標籤資料之剔除，以建置顯著特性之時間序列。以表 4.3-5 中 CA 為例，變異地時間序列資料須滿足至少有一筆時間戳 NDVI 高於 0.7，且整體 NDVI 時間序列極值相減需大於 0.4，若不滿足將予以剔除。

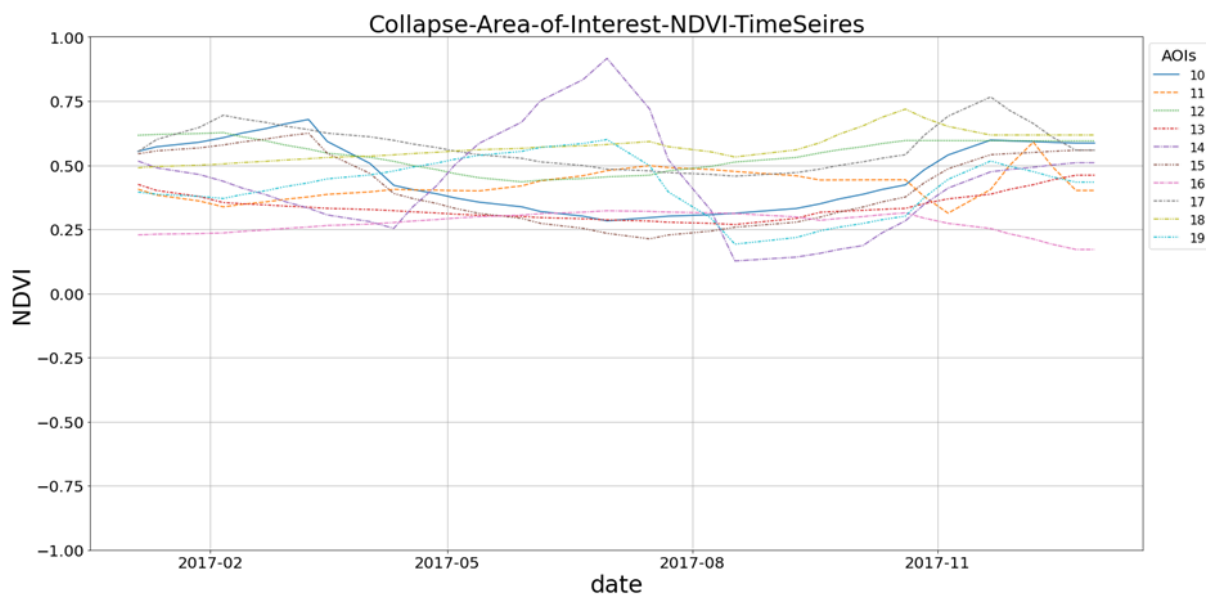


圖 4.3-36、變異地 NDVI 時間序列示意圖

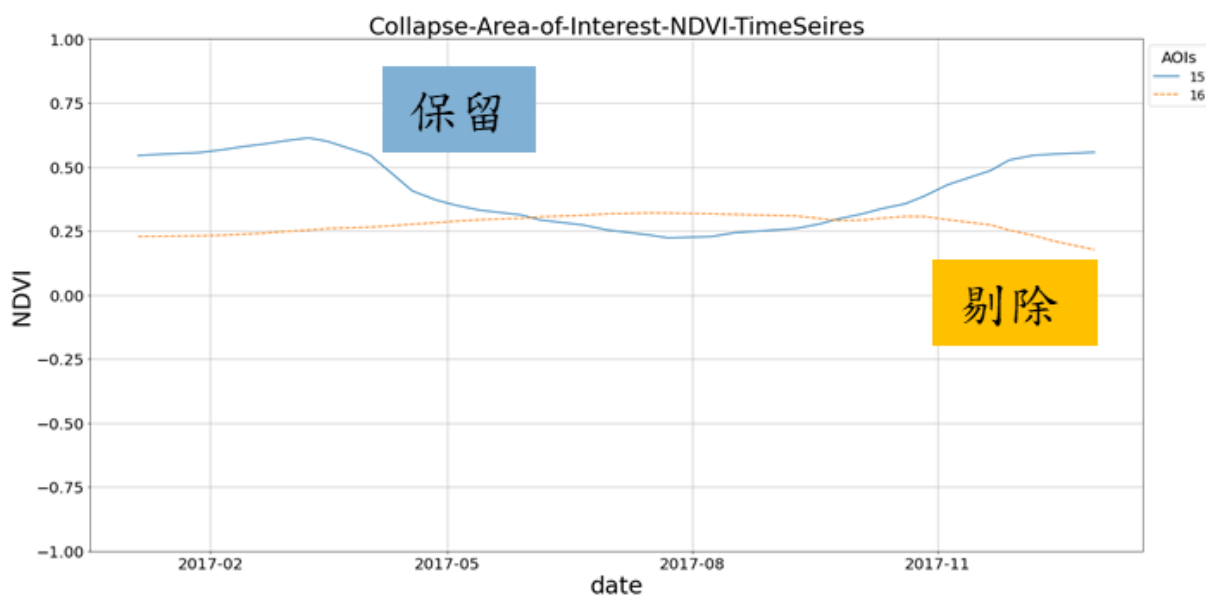


圖 4.3-37、正樣本 NDVI 篩選示意圖



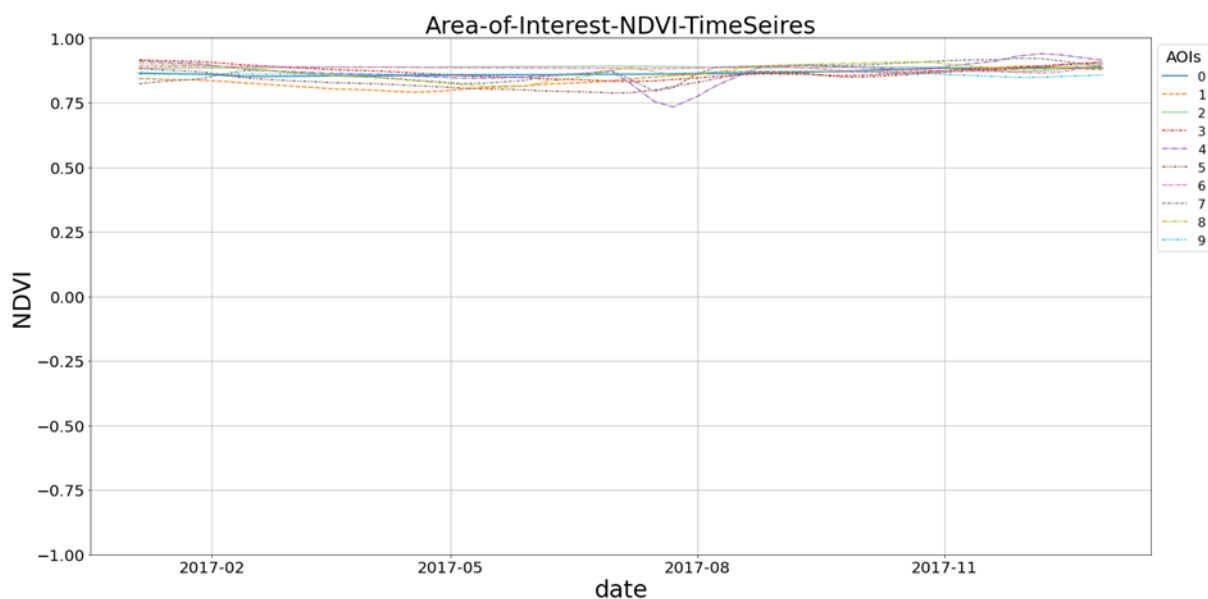


圖 4.3-38、長時綠地負樣本 NDVI 時間序列示意圖

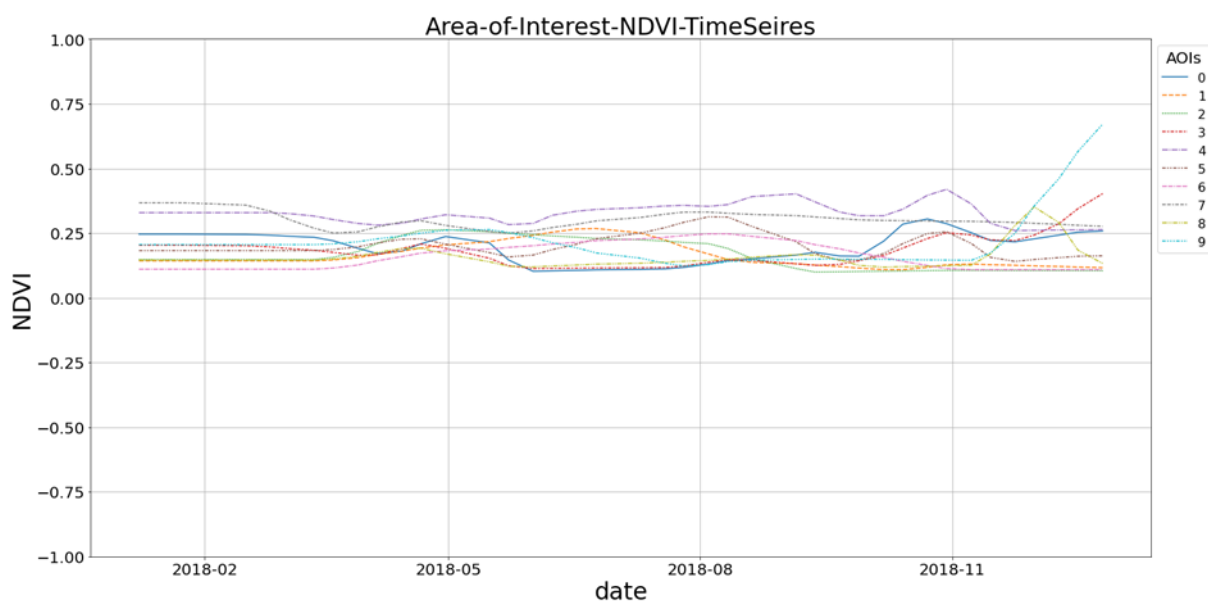


圖 4.3-39、長時裸地負樣本 NDVI 時間序列示意圖

表 4.3-5、錯誤濾除門檻設計

	Criterion A (CA)		Criterion B (CB)	
	Threshold 1	Threshold 2	Threshold 1	Threshold 2
變異區域	NDVI (any) >0.7	NDVI(diff)>0.4	NDVI (any) >0.6	NDVI(diff) >0.4

時間序列前處理最後一個程序為重新採樣，目的為將不同長度之時間序列進行規則化處理，以建置相同時間戳數量之時間序列(圖 4.3-40)，有利機器學習分類模型訓練。本研究以年為單位，將經過粗差濾除與高斯平滑後之各時間序列進行重新取樣至每周一筆(53 筆/年)，以完成建立機器學習分類所需之資料集。

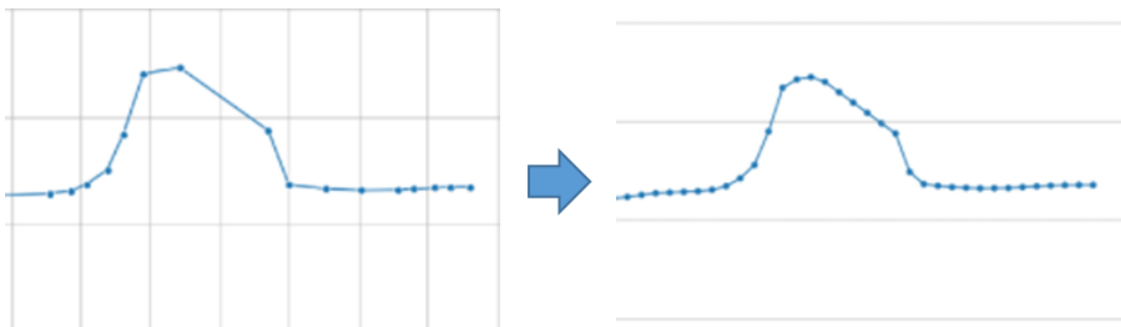


圖 4.3-40、時間序列重新取樣示意圖

### (3)時間序列分類：

本研究使用 Deng et al., (2013)提出之 Time Series Forest (TSF)演算法進行時間序列之分類，該演算法為基於時間序列區間特徵之決策樹集成分類器，並引入一個新的資訊增益計算方式—Entrance gain，在時間序列分類上優於以 Entrophy gain 為資訊增益之演算法。另外，TSF 提出透過時間重要性曲線(Temporal Importance Curve)來獲取時間區間特徵以提升時間序列分類成果。TSF 分類器可視為時間序列的隨機森林分類器(Random Forest Classifier)，其將時間序列拆分為多個隨機的時間區間，並在每個區間提取特徵(如：平均值、標準差與斜率)後，在萃取之特徵上訓練各個決策樹，並

以集成學習方式將這些弱分類器組合起來以提升分類成果。

表 4.3-6 為不同濾除組合時間序列資料分類測試資料之成果，每筆時間序列資料皆以多邊形向量為取樣單元，並透過以 AOI 為單元計算 Accuracy、Precision、Recall、F1-score 與 Kappa 值進行精度評估。表 4.3-6 中之 Num of timeseries 為透過各組合濾除後整個時間序列資料集隨機取樣 20% 之樣本數，TSF 分類以資料集隨機之 80% 為訓練資料，20% 為測試資料進行訓練，由表 4.3-6 得知以 AOI 為單位之測試資料 TSF 分類成果，有進行濾除之組合中以最少 10 筆時間戳(>10 t.s.)之 CA, CB 有最好成果，Non-Filter(Non)之組合為未經過錯誤標籤剔除之樣本，以最少 12 筆時間戳(>12 t.s.)為最佳。由於 AOI 面積皆為公頃等級，在時間序列上有相當好的分辨力，無論是哪一種篩選組合皆有相當好的分類成果。此外，建立分類成果之混淆矩陣(Confusion Matrix)可發現以 AOI 為單元進行 TSF 分類中，長時綠地之漏授誤差(Omission error)與誤授誤差(Commission error)為最低；長時裸地之誤授誤差最大，且多錯誤分類為變異地；變異地則為漏授誤差較大，有較多標籤為變異地之 AOI 錯誤分類為其他類別(圖 4.3-41)。

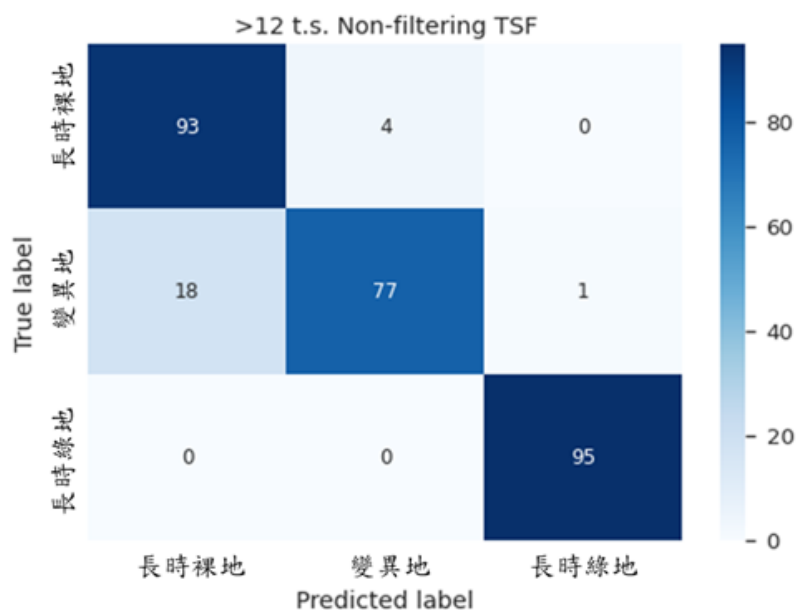


圖 4.3-41、TSF 分類混淆矩陣(以 > 12 t.s. Non-filtering 為例)

表 4.3-6、TSF 測試資料分類成果(以 AOI 為單元)

	> 6 t.s.			> 8 t.s.			> 10 t.s.			> 12 t.s.		
	CA	CB	Non	CA	CB	Non	CA	CB	Non	CA	CB	Non
Filter												
Num of timeseries (AOI×t.s.)	585 × 53	687 × 53	4293 × 53	624 × 53	825 × 53	3570 × 53	540 × 53	708 × 53	2634 × 53	387 × 53	516 × 53	1440 × 53
Accuracy	1.00	0.99	0.89	1.00	0.99	0.90	1.00	1.00	0.91	1.00	0.99	0.92
Precision	1.00	0.99	0.89	1.00	0.99	0.90	1.00	1.00	0.91	1.00	0.99	0.93
Recall	1.00	0.99	0.89	1.00	0.99	0.90	1.00	1.00	0.91	1.00	0.99	0.92
F1-score	1.00	0.99	0.89	1.00	0.99	0.90	1.00	1.00	0.91	1.00	0.99	0.92
Kappa	1.00	0.98	0.84	1.00	0.99	0.85	1.00	1.00	0.86	1.00	0.98	0.89

NDVI 時間序列 TSF 分類成果顯示，以 AOI 為單元之時間序列自動判釋崩塌變異區的整體精度接近 100%，證明時序 NDVI 為有效的特徵，可應用於判釋崩塌變異區，故為驗證建置之 TSF 分類器於大範圍區域之獨立檢

核成果，於獨立驗證區域內以年為單位獲取 2015/11/28 至 2016/11/28 所有 pixel 之時間序列進行逐像元之分類(Pixel-wise classification)，該獨立驗證區域之影像為 Landsat 8，解析度 30m，影像大小為 192 x 168 pixels。獨立驗證為逐像元之分類，並透過網格資料向量化(Polygonize)產生預測變異地之圖資(檔案格式為 Shapefile)，以進行後續精度評估及成果產出。精度評估方式為計算預先建置之變異地多邊形重心與預測多邊形之重疊率來評估各 TSF 分類器之分類成果(圖 4.3-42)，若重心位於預測多邊形內視為正確查找可能之變異地；反之，若變異地多邊形重心位於預測多邊形之外則視為漏授誤差。圖 4.3-43 為各時間篩選組合獨立驗證區域之逐像元分類成果，由可視化之分類成果可以發現紅色階梯框線外之組合有明顯之錯誤，大面積之長時綠地被錯誤分類為變異地，且由表 4.3-5 得知變異地之漏授誤差超過 5 成。另外，圖 4.3-43 中顯示 Non-filter 之時間序列資料集即便可能包含錯誤類別標籤，但其在逐像元之分類成果上都優於相同時間戳濾除門檻之分類成果，且在至少十筆時間戳(> 10 t.s.)之濾除組合有整體實驗最低之漏授誤差(

表 4.3-7)。

獨立驗證分析中 TSF 逐像元分類成果以最少 10 筆時間戳(>10 t.s.)之 Non-filter 組合有最佳之分類成果(圖 4.3-44)，然而預測成果包含大量誤授



誤差，統整如下：(a) 由於河川與河道在枯水與豐水期有明顯之地貌變化，故在此研究中建立之 TSF 分類器將其判釋為變異地(圖 4.3-44)；(b) 透過林務局崩塌資料建置之差集變異區域，在預測時有時間混淆的狀況發生，該年度之預測資料顯示漏授，但在下年度資料上顯示誤授，可能原因為崩塌地真實發生日期與時間序列標籤建置之時間區間不吻合。

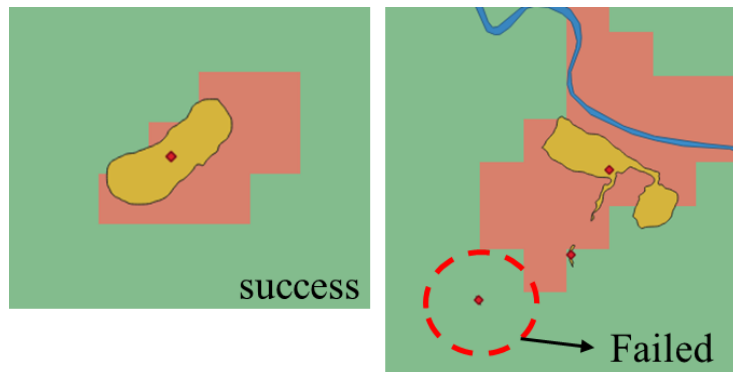


圖 4.3-42、逐像元分類評估方式(重心重疊率)

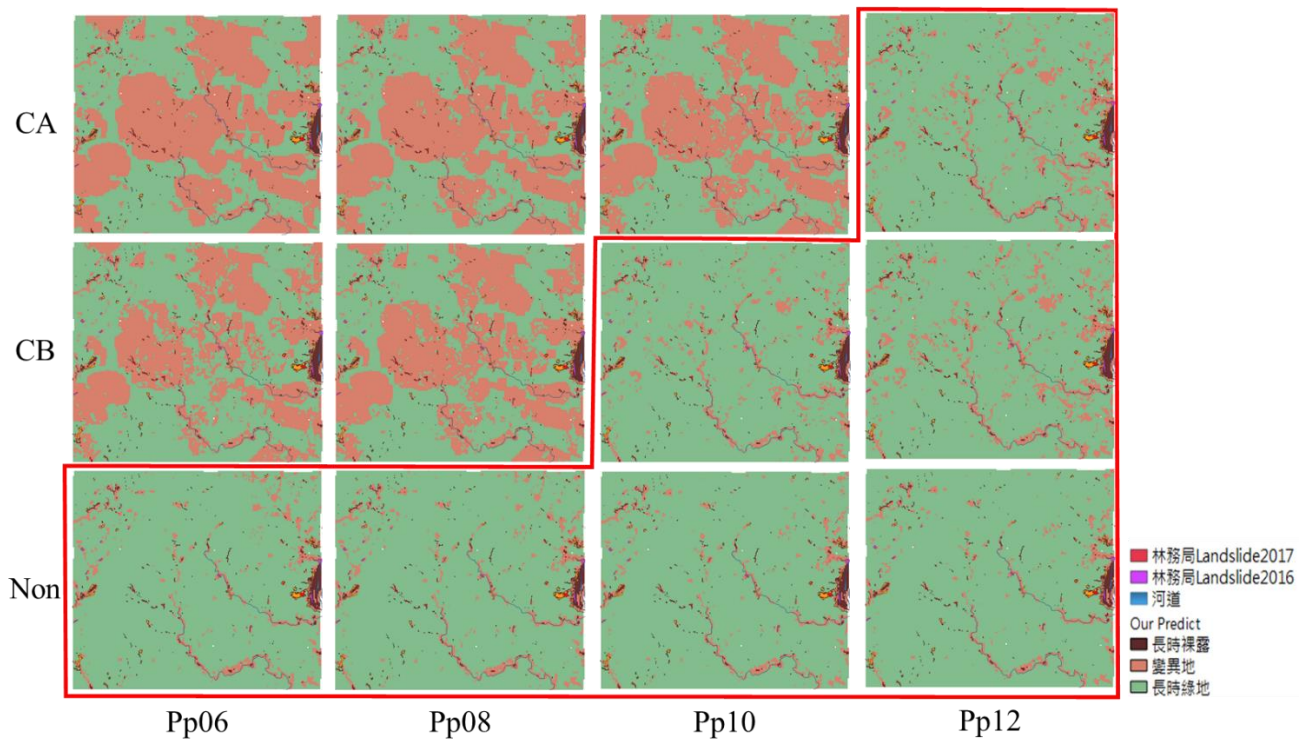


圖 4.3-43、TSF 各篩選組合逐像元分類成果

表 4.3-7、TSF 逐像元分類誤授誤差(僅討論變異地)

Total: 126 centroids	> 6 t.s.			> 8 t.s.			> 10 t.s.			> 12 t.s.		
	CA	CB	Non	CA	CB	Non	CA	CB	Non	CA	CB	Non
Omission errors	0.65	0.60	0.32	0.69	0.59	0.43	0.67	0.28	0.26	0.50	0.27	0.27

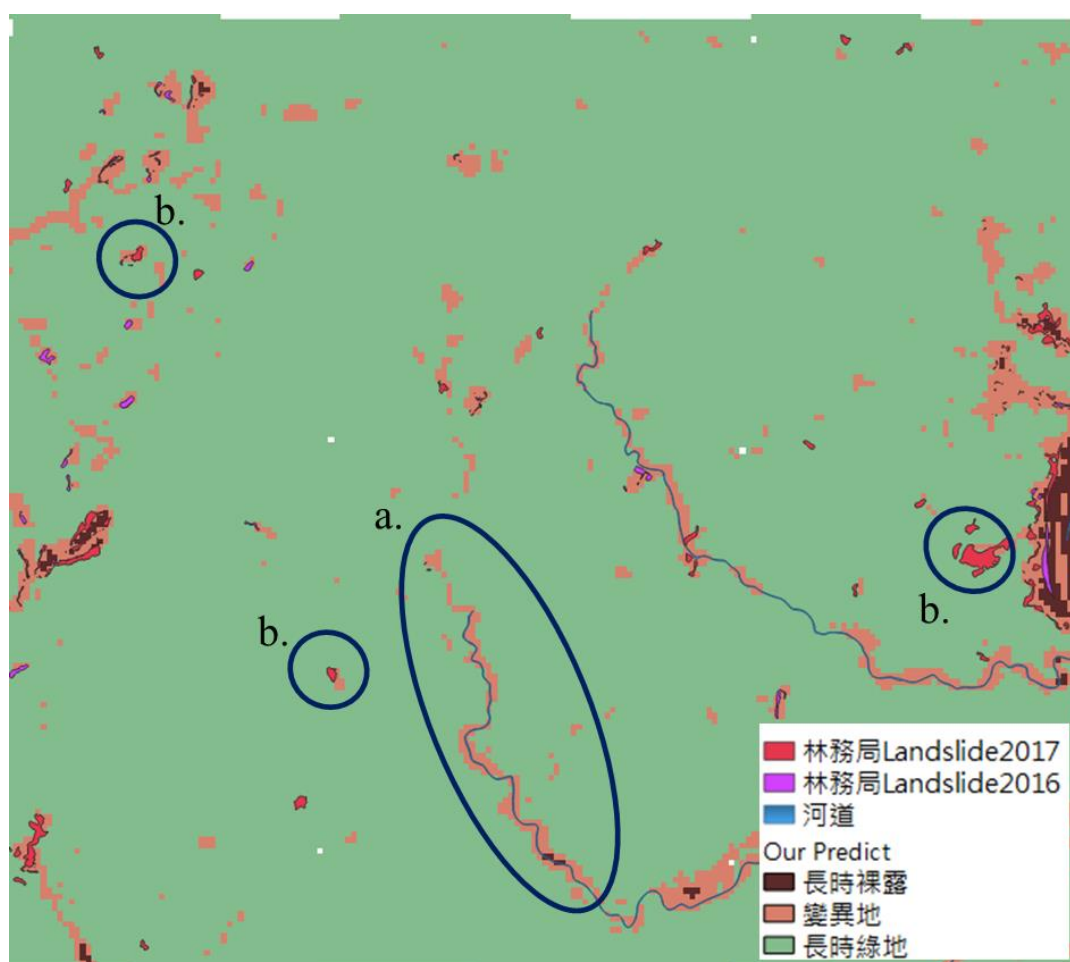


圖 4.3-44、獨立驗證區域 TSF 逐像元分類成果(Non-filter Pp10)

本年度工項完成利用 GEE 平台發展坡地防災應用，發展以時序多光譜

衛星影像及機器學習演算法坡地變異點偵測技術，研究透過 GEE 雲端平台存取大量之時序衛星資料，建立時序資料集以供機器學習演算法訓練。研究以 AOI 為單元自動判識崩塌變異區的整體精度接近 100%，證明時序 NDVI 是可有效之特徵，可應用於判識崩塌變異區。另外，資料導向之 TSF 分類仰賴資料端之正確性與完整性，故研究中討論各篩選組合與分類成果之關係，研究顯示透過濾除較少時間戳之時間序列，以提供可靠之訓練樣本，可提升網路精度，而門檻值濾除錯誤標籤之類別導致訓練資料大幅減少導致 TSF 分類器不具通用性，並且在逐像元之分類上分辨力較差之限制。本研究提出之 TSF 時間序列分類以 GEE Python API 於 Google Colab 應用平台實作，利用時序衛星影光譜資訊提供以年為單位之全島大範圍變異區域 (.shp) (圖 4.3-45)，具有可提供大範圍判識、減少人工判識時間成本等優勢。

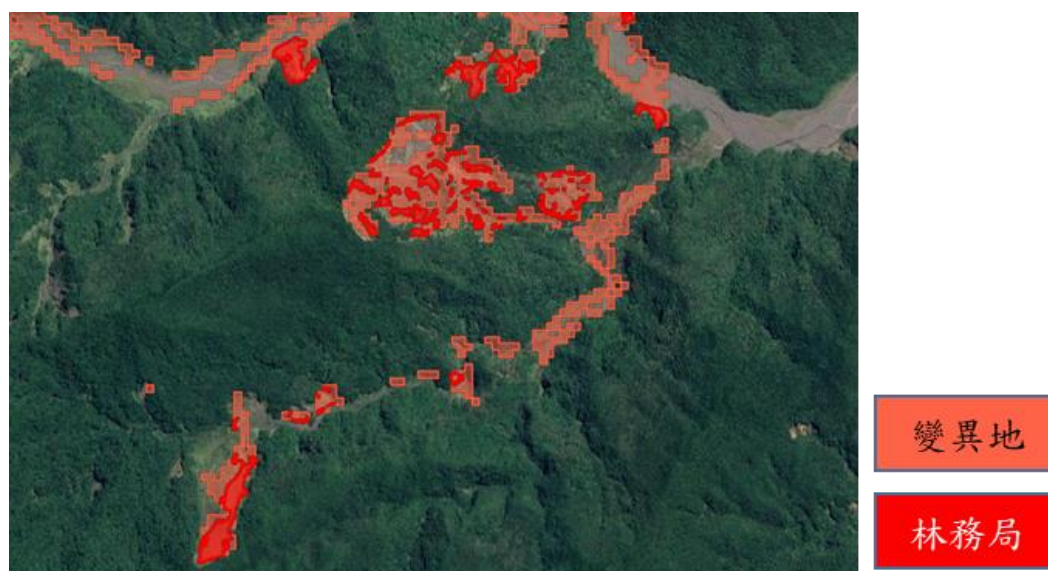


圖 4.3-45、TSF 分類成果於 GEE 呈現

#### 4.3.4 前述試辦本團隊需自行取得相關資料，並協調應用平台之整合

前述應用試辦所需之雷達影像、光學影像及應用平台之取得均由本團隊進行資料獲取。時序光學衛星影像、變異區域向量資料及識別成果均以資料集(Dataset)的方式，整合在 GEE 應用平台中，具有資料存取及處理之便利性。

#### 4.3.5 以臺灣地區航遙測影像進行地物辨識與分類試辦，試辦區範圍至少為

五千分之一圖幅 10 幅(含)以上，試辦區需與內政部討論選定且得洽內政部協助提供必要之既有測繪圖資

本項工作之目標為使用臺灣地區前後期航遙測影像進行房屋區域變遷之試辦作業，研究中採用臺灣通用電子地圖及對應正射化航遙測影像進行分析。本年度(110)完成試辦資料蒐集，並建立以人工智慧(Artificial Intelligence, AI)偵測房屋區域及分析房屋變遷的程序，於試辦區執行房屋變遷偵測之試辦。未來成果可應用於判斷房屋變遷比例，評估圖資更新的優先順序，提升圖資更新效率。

本研究採用 DeepLabV3+ (Chen et al., 2018)卷積類神經網路進行影像語意分割(Semantic Segmentation)，偵測航遙測影像之房屋區域，並比對前期臺灣通用電子地圖建物圖層及後期 AI 偵測房屋物件，以智慧辨識前後期房

屋變遷區域，研究流程如圖 4.3-46 所示。研究材料使用由內政部國土測繪中心提供的 106 年及 108 年臺灣通用電子地圖及其對應 25cm 空間解析度的航空正射影像，臺灣通用電子地圖圖層可分為 10 大類，包括道路、鐵路及捷運、水系、行政界、區塊、建物等，地圖之圖幅分號及圖號沿用五千分之一基本地形圖之分幅及圖號編碼(國土測繪中心，2020)。試辦區位於新竹縣市區域，涵蓋建物明顯變遷之竹北市(圖 4.3-47、圖 4.3-48)，共有 23 幅五千分之一圖幅。109 年試辦區包含 10 幅圖幅，分別為 9622IV071、9622IV072、9522I089、9522I090、9522I099、9522I100、9622IV081、9622IV082、9622IV091、9622IV092；110 年試辦區包含 13 幅圖幅，分別為 9522I079、9522I080、9522I069、9522I070、9622IV061、9622IV062、9522I059、9522I060、9622IV051、9522I049、9522I050、9622IV041、9622IV042。

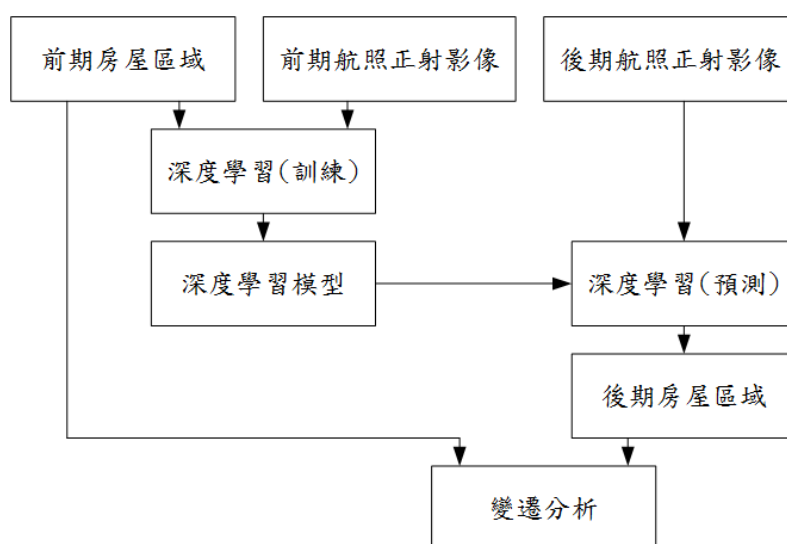


圖 4.3-46、智慧辨識房屋變遷區域流程圖



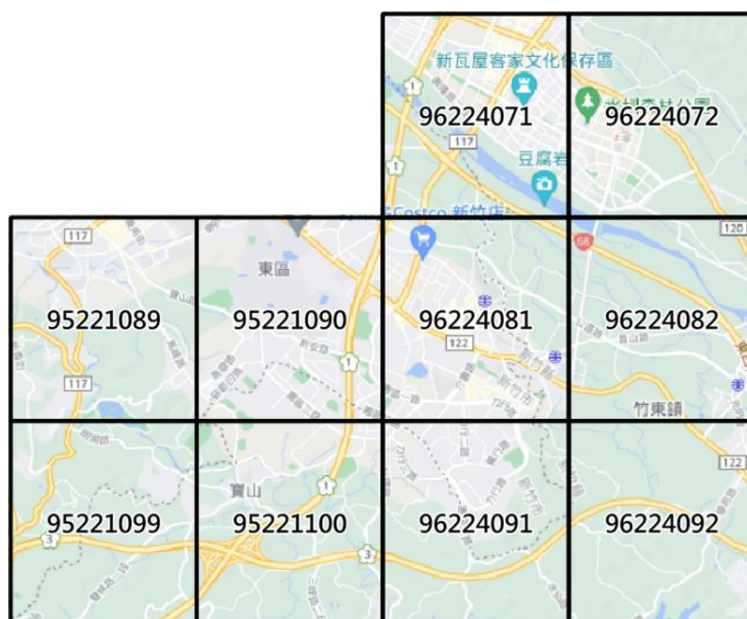


圖 4.3-47、臺灣地區航遙測影像地物辨識 109 年試辦區域

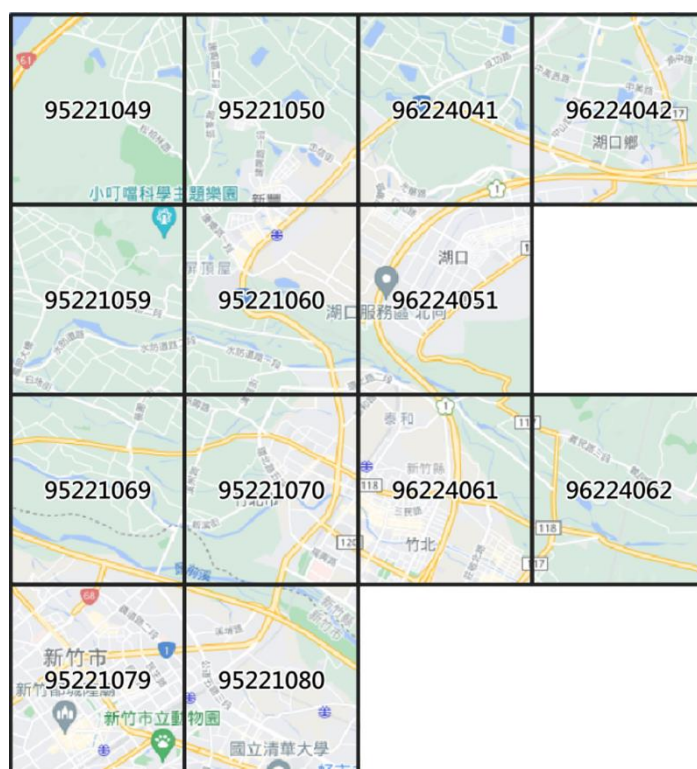


圖 4.3-48、臺灣地區航遙測影像地物辨識 110 年試辦區域

深度學習模型所需的房屋區域標籤及影像分別來自臺灣通用電子地圖建物圖層及對應的航照正射影像。本團隊使用 106 年 22 幅臺灣通用電子地

圖及正射影像作為訓練資料集，預測資料集則包括 1 幅(圖幅號 96224072)涵蓋新竹高鐵站之 106 年正射影像，及 23 幅 108 年正射影像(表 4.3-8)。受限於電腦記憶體大小，必須將訓練資料分割為固定尺寸(例：500 x 500 像素)進行卷積類神經網路模型訓練，以自動化辨識房屋區域。

表 4.3-8、航遙測影像地物辨識資料集

	資料種類	年分	圖幅數	圖幅範圍
訓練資料	臺灣通用電子地圖	106	22	除圖幅號 96224072 外，其餘 22 幅圖幅範圍
	航測正射影像	106	22	
預測資料	航測正射影像	106	1	圖幅號 96224072
		108	23	23 幅圖幅號範圍

利用 DeepLabV3+卷積類神經網路模型訓練 22 幅 106 年臺灣通用電子地圖及正射影像，經過 100 個時期(epoch)的訓練後參數呈現收斂，訓練、驗證及檢核的損失函數(Loss Function)均下降且趨於穩定，最終的檢核資料集的精度(Accuracy)達 81.79%(圖 4.3-49)。使用完成訓練的深度學習模型預測圖幅號 95221070 範圍內之房屋，比較 AI 自動辨識房屋區域及臺灣通用電子地圖(圖 4.3-50)，兩者具高相似性，代表智慧辨識成果有一定可信度。

在運算效能的部分，本團隊使用處理器基礎頻率為 3.8 GHz 的 i7-10700K 處理器，支援 64 GB 的隨機存取記憶體，顯卡為 NVIDIA TITAN RTX 的個人電腦。以 AI 預測 46 幅正射影像的房屋區域只需要 2260.33 秒，平均每幅影像花 49.18 秒，不到一分鐘即可以完成自動辨識；

分析 23 幅前後期房屋變遷則需花 3458.72 秒，平均每幅花 150.38 秒。

總計約 200 秒可完成一幅正射影像房屋區域預測及變遷分析，計算效率

良好。

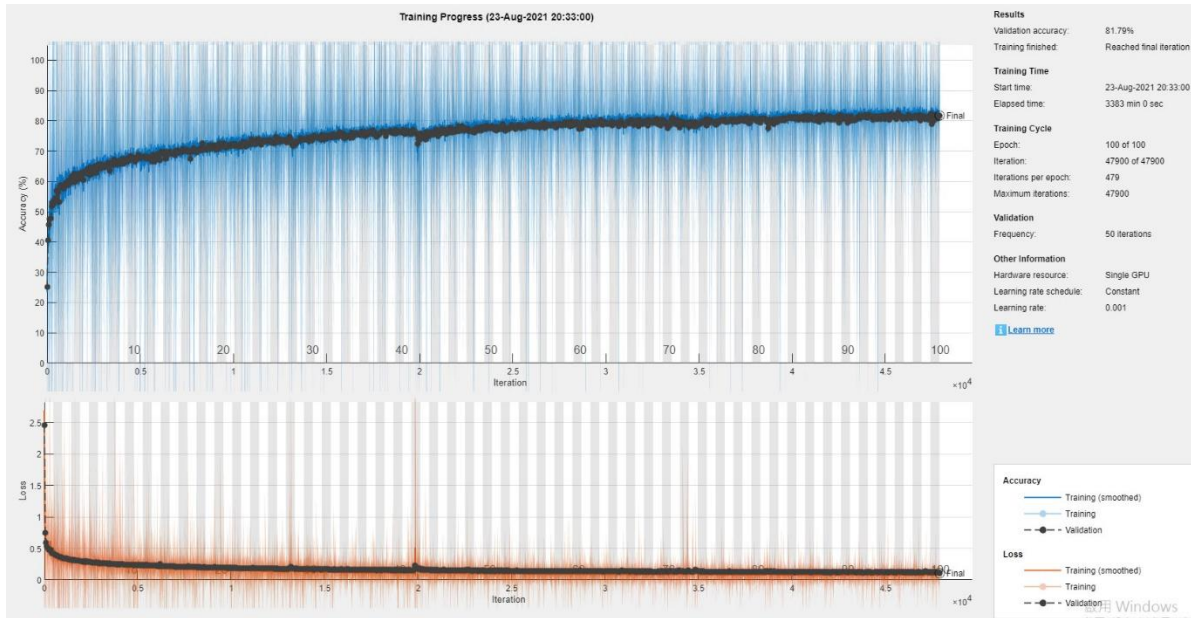
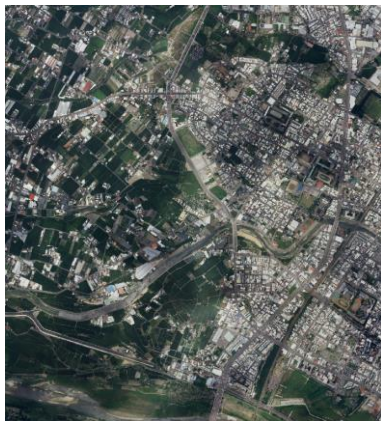


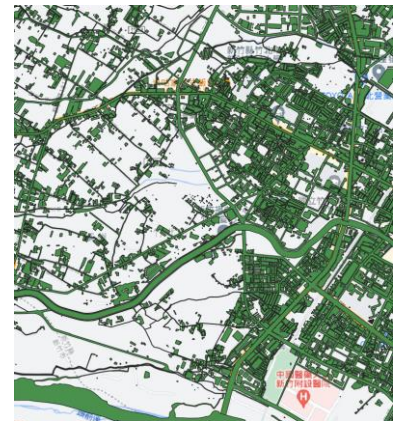
圖 4.3-49、房屋偵測深度學習訓練成果



(a)106 年正射影像



(b)AI 預測 106 房屋區域



(c)106 臺灣通用電子地圖





(d)108 年正射影像

(e)AI 預測 108 房屋區域

(f)108 臺灣通用電子地圖

圖 4.3-50、AI 預測房屋區域

房屋區域偵測精度評估以人工數化的臺灣通用電子地圖建物圖層為基準，比較 AI 自動偵測成果(圖 4.3-51)，並建立混淆矩陣(confusion matrix) (圖 4.3-52)，計算準確率(Precision)、召回率(Recall)、漏授率(Omission)、誤授率(Commission)、F1-Score 及 IoU(Intersection-over-Union)(式 4-3-1 ~ 4-3-6)。用於房屋偵測精度分析的混淆矩陣中，TP(True Positive)代表房屋被正確偵測為房屋；TN(True Negative)代表非房屋被正確偵測為非房屋；FN(False Negative)代表房屋被錯誤偵測為非房屋；FP(False Positive)代表非房屋被錯誤偵測為房屋。

$$\text{Precision} = \text{TP}/(\text{TP}+\text{FP}) \quad \text{式 4-3-1}$$

$$\text{Recall} = \text{TP}/(\text{TP}+\text{FN}) \quad \text{式 4-3-2}$$

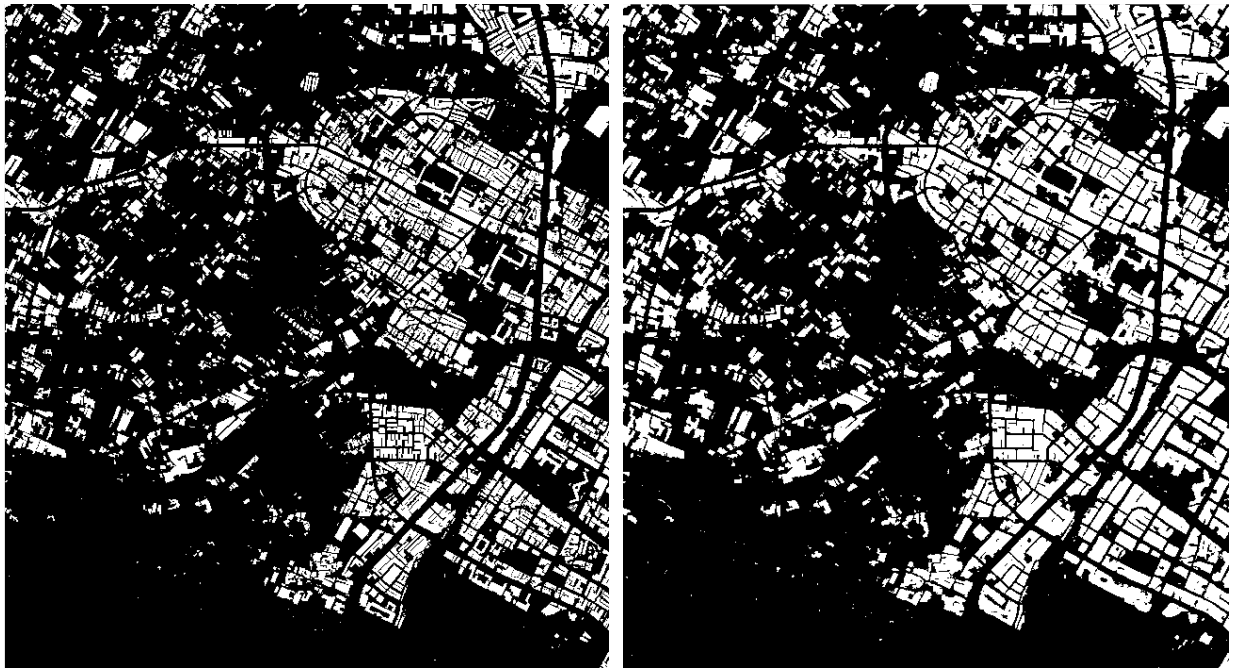
$$\text{Commission} = 1-\text{Precision} \quad \text{式 4-3-3}$$

$$\text{Omission} = 1-\text{Recall} \quad \text{式 4-3-4}$$

$$\text{F1-Score} = 2/(1/\text{Precision} + 1/\text{Recall}) \quad \text{式 4-3-5}$$

$$IoU = TP / (TP + FP + FN)$$

式 4-3-6



(a)人工數化房屋區域

(b)AI 預測房屋區域

圖 4.3-51、人工數化及 AI 預測房屋區域

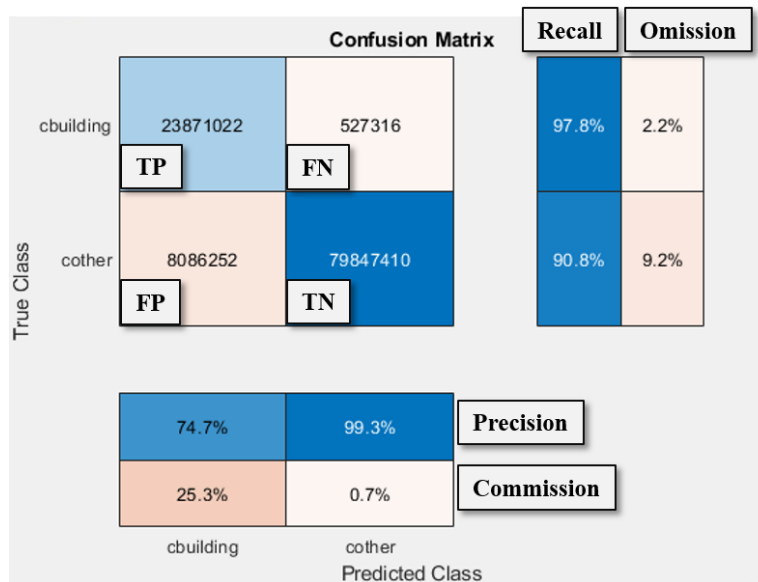


圖 4.3-52、混淆矩陣

本團隊使用不同年度及圖幅範圍之預測資料，將房屋區域偵測成果分



為「單圖幅」及「22 幅圖幅」範圍進行分析，「單圖幅」偵測成果由「跨圖幅預測」及「跨年度預測」兩種方法產生；「22 幅圖幅」偵測成果則由「同年度預測」及「跨年度預測」兩種方法產生(表 4.3-9)。

偵測「單圖幅」房屋區域時，「跨圖幅預測」方法又依輸入的預測資料不同，再分成兩種預測方式，方式(1)為使用 106 年 22 幅航照正射影像與臺灣通用電子地圖(含圖幅號 95221070，不含圖幅號 96224072)進行訓練，並以 106 年圖幅號 95221070 正射影像預測同年度圖幅號 95221070 範圍內之房屋區域。使用相同的圖資做為訓練及預測資料，目的為探討正射影像中房屋高差移位現象對偵測精度的影響程度。方式(2)為使用 106 年 22 幅航照正射影像與臺灣通用電子地圖(含圖幅號 95221070，不含圖幅號 96224072)進行訓練，以 106 年圖幅號 96224072 正射影像進行獨立檢驗，預測同年度圖幅號 96224072 範圍內之房屋區域。

「跨年度預測」同樣依預測資料不同分為兩種預測方式，方式(1)為使用 106 年 22 幅航照正射影像與臺灣通用電子地圖(含圖幅號 95221070，不含 96224072)進行訓練，以 108 年圖幅號 95221070 正射影像預測 108 年圖幅號 95221070 範圍內之房屋區域。此種預測方式使用不同年度但範圍相同的訓練及預測資料，目的為分析跨年度預測房屋的成效。方法(2)為使用 106 年 22 幅航照正射影像與臺灣通用電子地圖(含圖幅號 95221070，不含 96224072)進行訓練，以 108 年圖幅號 96224072 正射影像進行獨立檢驗，預

測 108 年圖幅號 96224072 範圍內之房屋區域。此預測方式之目的為分析獨立驗證區跨年度預測房屋的成效。

表 4.3-9、房屋區域偵測方法

			訓練資料	預測資料	預測成果
單 圖 幅	跨圖幅 預測	(1)	106 年 22 幅 臺灣通用電 子地圖與航 照正射影像	106 年圖幅號 95221070 正射影像	AI 預測 106 年圖幅號 95221070 房屋區域
		(2)		106 年圖幅號 96224072 正射影像	AI 預測 106 年圖幅號 96224072 房屋區域
	跨年度 預測	(1)		108 年圖幅號 95221070 正射影像	AI 預測 108 年圖幅號 95221070 房屋區域
		(2)		108 年圖幅號 96224072 正射影像	AI 預測 108 年圖幅號 96224072 房屋區域
22 幅 圖 幅	同年度預測			106 年 22 幅 正射影像	AI 預測 106 年 22 幅 房屋區域
	跨年度預測			108 年 22 幅 正射影像	AI 預測 108 年 22 幅 房屋區域

單圖幅偵測成果中(表 4.3-10、圖 4.3-53)，使用「跨圖幅預測」方式(1)的漏授率為 2.16%，誤授率為 25.30%。漏授率低的原因是訓練與預測資料重疊，而誤授率高的原因是影像中房屋高差移位造成 AI 預測的房屋區域面積大於人工數化。由此可知，房屋高差移位會造成約 25%的誤授。「跨圖幅預測」方式(2)的漏授率提高至 10.48%，誤授率達 34.86%。AI 找到的房屋區域比實際多，大部分誤授的範圍同樣來自影像中房屋高差移位，故可知獨立驗證區(指未參與任何訓練)的漏授會達到 10%左右。

運用「跨年度預測」方式(1)的誤授率及漏授率分別為 34.05%及 7.74%，跨年度預測的漏授率低於 10%。比對「跨圖幅預測」方式(2)的成果後可發

現，同一區域在訓練模型時使用前期(106 年)資料，對預測該區域後期(108 年)房屋有正面效益。「跨年度預測」方式(2)的誤授率高達 47.34%，漏授率提高至 12.98%。從精度分析成果可知，使用 22 幅 106 年臺灣通用電子地圖與航照正射影像訓練之深度學習模型的泛用性仍不足，故造成誤授的原因除了高差移位現象外，房屋訓練資料樣態不足也是原因之一。

綜上所述，觀察單圖幅「跨圖幅預測」及「跨年度預測」之成果可知，使用 106 年圖資進行訓練，跨年預測 108 年房屋區域，這樣跨年度預測的成果所計算的誤授率高於漏授率。另外，比較四種偵測方式之成果，「跨圖幅預測」方式(1)及「跨年度預測」方式(1)這兩種方式預測成果的準確率與召回率等皆優於其他兩種方式。因此，建議房屋偵測之實務作業應選用與欲預測區域相同範圍且跨年度之訓練資料。

表 4.3-10、房屋偵測精度分析:單圖幅

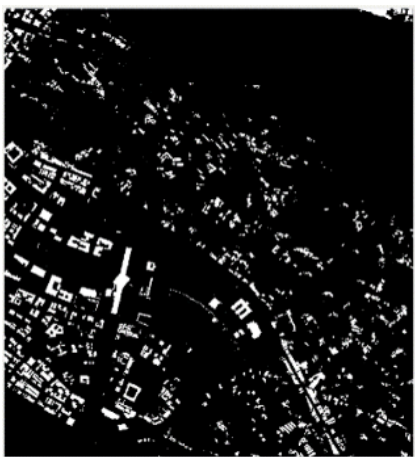
	跨圖幅預測		跨年度預測	
	方式(1)	方式(2)	方式(1)	方式(2)
TP/ FP/ FN/ TN (pixel)	23871022/ 8086252/ 527316/ 79847410	7890317/ 4222863/ 923696/ 99295124	23985096/ 12382406/ 2012607/ 77077171	8408594/ 7560130/ 1253857/ 97499951
準確率	74.70%	65.14%	65.95%	52.66%
誤授率	25.30%	34.86%	34.05%	47.34%
召回率	97.84%	89.52%	92.26%	87.02%
漏授率	2.16%	10.48%	7.74%	12.98%
F1- Score	84.72%	75.41%	76.92%	65.61%
IoU	73.48%	60.52%	62.49%	48.82%



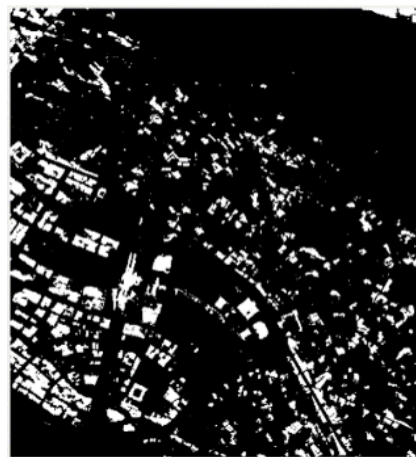
(a) 106 年臺灣通用電子地圖房屋區域  
(圖幅號 95221070)



(b) AI 偵測 106 年房屋區域  
(圖幅號 95221070)



(c) 106 年臺灣通用電子地圖房屋區域  
(圖幅號 96224072)



(d) AI 偵測 106 年房屋區域  
(圖幅號 96224072)

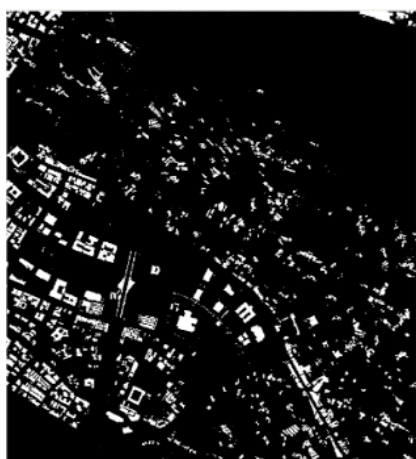


(e) 108 年臺灣通用電子地圖房屋區域  
(圖幅號 95221070)



(f) AI 偵測 108 年房屋區域  
(圖幅號 95221070)





(g) 108 年臺灣通用電子地圖房屋區域  
(圖幅號 96224072)



(h) AI 偵測 108 年房屋區域  
(圖幅號 96224072)

圖 4.3-53、臺灣通用電子地圖與 AI 偵測房屋區域  
(黑色:非房屋；白色:房屋區域)

偵測「22 幅圖幅」房屋區域時，「同年度預測」及「跨年度預測」方法皆使用 106 年 22 幅航照正射影像與臺灣通用電子地圖(含圖幅號 95221070，不含圖幅號 96224072)訓練深度學習模型。「同年度預測」是以 106 年 22 幅正射影像預測 106 年 22 幅圖範圍內之房屋區域，而「跨年度預測」則是以 108 年 22 幅正射影像 108 年預測 22 幅圖範圍內之房屋區域。

逐像元評估 108 年 22 幅房屋偵測成果，精確率達 61.39%，召回率達 94.36%，漏授率為 5.64%，誤授率為 38.61%(表 4.3-11)，與單圖幅偵測中「跨年度預測」方式(2)相比，前者預測精度較佳。雖然兩者使用同樣的訓練資料，但後者所預測的圖幅範圍與訓練資料的圖幅範圍無重疊。因此，建議若欲以後期(108 年)正射影像偵測房屋區域時，應使用相同範圍之前期(106 年)圖資做為深度學習模型的訓練資料。



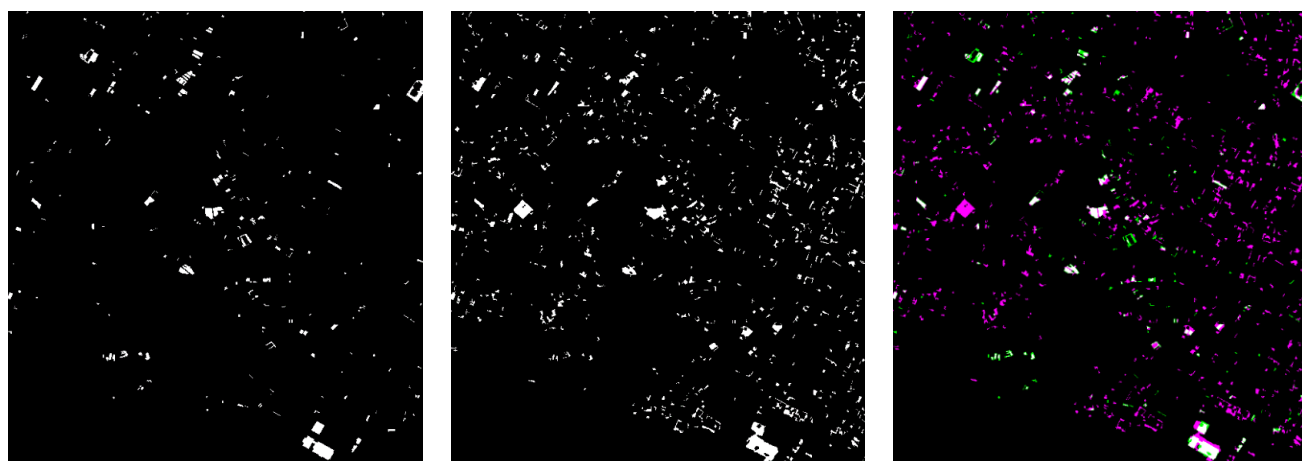
表 4.3-11、房屋偵測精度分析:22 幅圖幅

	跨圖幅預測	跨年度預測
TP/ FP/ FN/ TN (pixel)	379561047/ 126713288/ 7572620/ 1958446164	382916072/ 240818181/ 22896197/ 1879856138
準確率	74.97%	61.39%
誤授率	25.03%	38.61%
召回率	<b>98.04%</b>	<b>94.36%</b>
漏授率	1.96%	5.64%
F1- Score	84.97%	74.39%
IoU	73.87%	59.22%

房屋變遷偵測精度分析以臺灣通用電子地圖前後期變遷為基準，比較 106 年臺灣通用電子地圖與 AI 自動偵測 108 年房屋區域間之變遷區域(圖 4.3-54)，並建立混淆矩陣。用於變遷偵測精度分析的混淆矩陣中，TP 代表人工數化變遷物件，AI 有偵測到改變；TN 代表人工數化無變遷之物件，AI 無偵測到改變，此類物件無變遷，故不納入後續精度分析；FN 代表人工數化變遷物件，AI 無偵測到改變；FP 代表人工數化無變遷物件，AI 有偵測到改變。

單圖幅房屋變遷偵測分析是使用 106 年 22 幅航照正射影像與臺灣通用電子地圖(含圖幅號 95221070，不含 96224072) 做為訓練資料，分別預測圖幅號 95221070 及 96224072 兩個不同圖幅範圍內 108 年房屋區域，再比較 106 年電子地圖及 AI 偵測 108 年房屋區域間之改變。22 幅圖幅房屋變遷偵

測分析則以 106 年 22 幅航照正射影像與臺灣通用電子地圖(含圖幅號 95221070，不含 96224072) 做為訓練資料，預測 22 幅圖幅範圍內 108 年房屋區域，再比較 106 年電子地圖及 AI 偵測 108 年房屋區域間之變化，以評估 22 幅圖幅房屋前後期變遷偵測之精度(表 4.3-12)。



(白色:正確;綠色:漏授;洋紅色:誤授物件)

(a) 臺灣通用電子地圖  
前後期房屋變遷物件

(b) AI 預測房屋變遷區域

(c) 套疊人工數化與 AI 偵測房  
屋變遷物件

圖 4.3-54、人工數化及 AI 判識房屋變遷物件示意圖

表 4.3-12、房屋變遷偵測方式

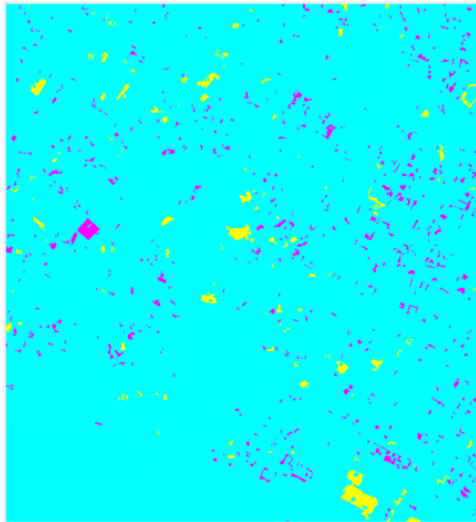
	訓練資料	預測資料	預測成果 (106 年臺灣通用電子地圖/ 108 年 AI 預測)
單圖幅	106 年 22 幅 臺灣通用電子 地圖與航照正 射影像	108 年圖幅號 95221070 正射影像	圖幅號 95221070 房屋前後期變遷物件
		108 年圖幅號 96224072 正射影像	圖幅號 96224072 房屋前後期變遷物件
22 幅圖幅		108 年 22 幅 正射影像	22 幅圖幅 房屋前後期變遷物件

房屋變遷精度分析僅針對變遷區域，並未納入無變遷區域，以避免高

估精度。分析單圖幅或 22 幅圖幅房屋變遷偵測精度，以 AI 偵測圖幅號 95221070 範圍內房屋變遷的漏授率為 48.89%，誤授率為 83.38%；偵測圖幅號 96224072 範圍內房屋變遷的漏授率為 45.19%，誤授率為 86.42%(表 4.3-13、圖 4.3-55)，可見不論訓練資料及預測資料的圖幅範圍是否重疊，前後期房屋變遷偵測的誤授率皆高於 80%。AI 偵測 22 幅圖幅房屋變遷的誤授率及漏授率分別為 88.07% 及 47.10%，整體而言，誤授的比例高於漏授。研究成果顯示，雖然房屋偵測的召回率達 90%，但變遷分析的召回率僅有 50% 左右。

表 4.3-13、房屋變遷偵測精度評估

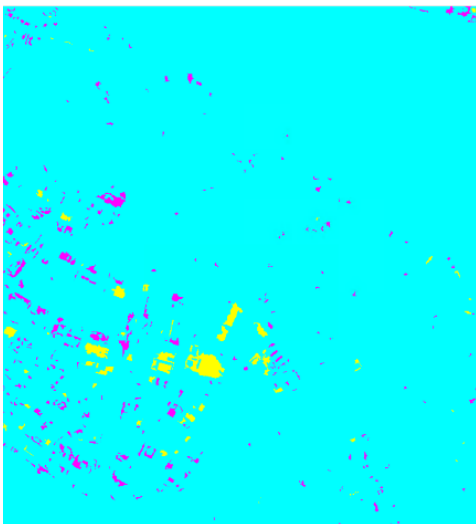
	單圖幅		22 幅圖幅
	95221070	96224072	
TP/ FP/ FN/ (object)	115/ 577/ 110	74/ 471/ 61	1763/ 13013/ 1570
準確率	16.63%	13.58%	11.93%
誤授率	83.38%	86.42%	88.07%
召回率	51.11%	54.18%	52.90%
漏授率	48.89%	45.19%	47.10%
F1- Score	25.08%	21.76%	19.47%
IoU	14.34%	12.21%	10.79%



(a) 95221070 以 AI 偵測成果為基礎  
(黃色:正確物件；洋紅色:誤授物件)



(b) 95221070 以人工數化成果為基礎  
(黃色:正確物件；洋紅色:漏授物件)



(c) 96224072 以 AI 偵測成果為基礎  
(黃色:正確物件；洋紅色:誤授物件)





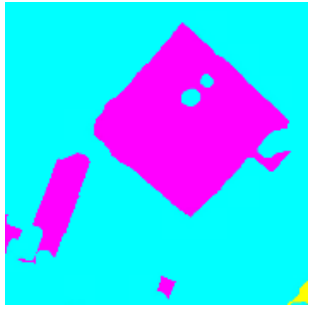


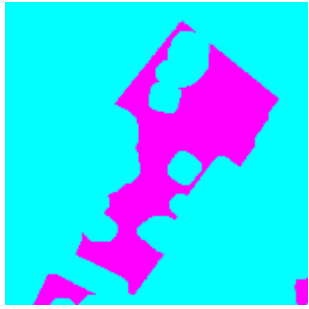


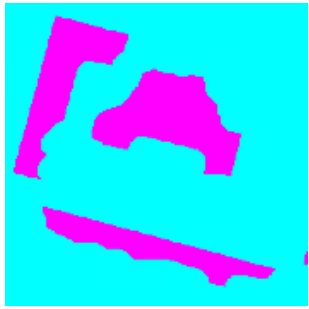

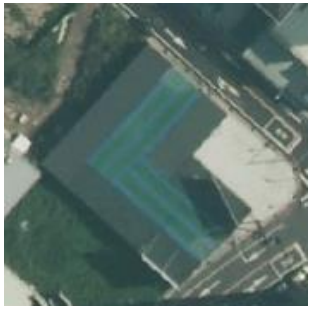
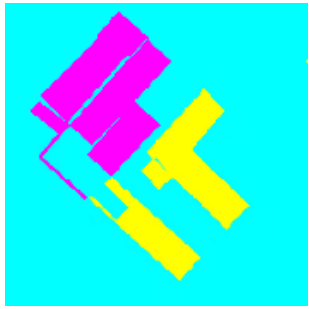
(d) 96224072 以人工數化成果為基礎  
(黃色:正確物件；洋紅色:漏授物件)

圖 4.3-55、臺灣通用電子地圖與 AI 判識房屋變遷物件

進一步探討房屋變遷偵測成果精度不佳的原因，主要可歸為四類(表 4.3-14)。第一類為後期(108 年)正射影像中混凝土路面造成 AI 偵測錯誤，誤將混凝土路面當作房屋；第二類為後期正射影像因拍攝角度與光線等產生陰影，使 AI 將陰影認為是房屋變遷區域；第三類為前後期影像中房屋受高差移位影響，兩期房屋範圍不同，導致 AI 將高差位移量的變化視為變遷；

第四類為 AI 有成功偵測到房屋變遷，但在精化變遷偵測成果過程中，面積小(<16m<sup>2</sup>)的變遷區域會被剔除，造成變遷偵測失敗。

表 4.3-14、房屋變遷偵測錯誤之類型

	106 年正射影像	108 年正射影像	變遷偵測成果 (以 AI 偵測成果為基準) (黃色:正確;洋紅色:誤授)
第一類			
第二類			
第三類			
第四類			



此外，觀察使用 106 年 22 幅圖訓練深度學習模型，預測圖幅號 95221070 及全區(22 幅圖幅+圖幅號 96224072)前後期房屋變遷偵測之物件數量與面積(表 4.3-15)，可發現變遷判識精確率與物件面積相關。觀察統計全區前後期房屋變遷偵測之物件數量與面積，多數被正確偵測的物件面積較大，平均面積約 795.026 m<sup>2</sup>；面積中值約 312.937 m<sup>2</sup>，而多數被遺漏的房屋物件面積較小，平均面積約 147.719 m<sup>2</sup>，面積中值約 102.125 m<sup>2</sup>。由此可知，大面積物件被正確判識的比例較高，面積較小的區域容易被遺漏。

表 4.3-15、房屋變遷偵測成果之面積統計

	變遷偵測:正確		變遷偵測:遺漏	
	單圖幅	全區	單圖幅	全區
物件數量	115	1837 (1763+74)	110	1631 (1570+61)
物件平均面積 (m <sup>2</sup> )	592.635	795.026	123.858	147.719
物件面積中值 (m <sup>2</sup> )	255.625	312.937	102.750	102.125

由上述房屋偵測及變遷分析成果可知，使用臺灣通用電子地圖與正射化航遙測影像以語意分割深度學習進行房屋偵測成果之誤授率落在 25%至 47%之間，主要原因為正射影像中房屋高差移位，使深度學習模型在訓練時因正射影像中房屋範圍與臺灣通用電子地圖中建築物輪廓有落差(圖 4.3-56(c)、(d))，降低 AI 偵測房屋成果之精度，進而影響到前後期房屋變遷

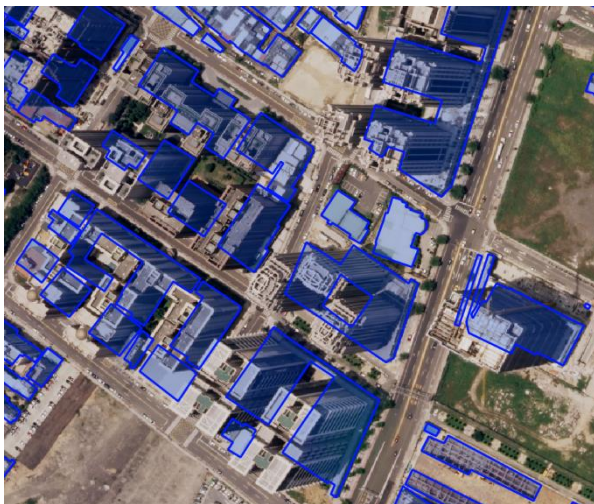
偵測成果。此外，不同年度之正射影像因高差移位量不同，前後期房屋範圍不一致(圖 4.3-56(a)、(b))，導致 AI 在偵測變遷時誤將高差移位量變化視為物件改變，也會降低變遷偵測成果之精度。使用單一影像資料進行偵測有其精度的限制，從資訊融合的角度出發，未來可整合數值地表模型降低高差移位的影響(Teo, 2019)，光譜偵測成果搭配高程資料約制，可以減少誤授區域，進而提升變遷判識的精度。



(a) 106 年航照正射影像



(b) 108 年航照正射影像



(c) 106 年正射影像套疊臺灣通用電子地圖建物輪廓(藍色:106 年建物輪廓)



(d) 108 年正射影像套疊臺灣通用電子地圖建物輪廓(紅色:108 年建物輪廓)

圖 4.3-56、房屋高差移位示意圖

#### 4.4 評估智慧物聯網之防災整合應用技術

智慧城市應用由三項技術整合發展，包含數位城市模型、物聯網與領域應用模型。數位城市模型提供二維地圖、三維模型與路網結構等資訊輔助空間分析。物聯網提供動態感測資訊及遠端裝置控制之能力，幫助了解環境現象之變化，並支援控制任務之啟動。領域應用模型則根據不同領域應用發展物理或統計模型，可分析物聯網即時資訊做出即時決策判斷。本項工作為探討物聯網與數位城市模型之整合應用潛力，規劃以下三項工作，分別為(1)模擬基於感測器與模型資料，發展智慧建築等適地性應用、(2)基於三維圖資與路網資訊整合路側影像感測器，發展具跨影像區域分析及物件追蹤之智慧防救災整合技術、與(3)以實際場域進行適地性服務應用試辦。以下於各小節說明細節及本期進度。

##### 4.4.1 模擬基於感測器與模型資料，發展智慧建築等適地性應用；前述模擬

##### 須運用三維圖資在內之整合技術

如同前述所言，智慧城市相關適地性應用需要數位城市模型與物聯網整合。然而，為達成具互操作性之整合，不但城市模型與物聯網各自須以開放式標準描述，亦需要有可彈性描述資料間關係之整合模型。過往研究顯示，欲達成不同資訊之整合，語意網技術(Semantic Web Technologies)不

但能有效整合亦具有良好的擴充彈性，然而所需要耗費之成本亦較高(Liu et al., 2017)，如表 4.4-1 所示。因此，本項工作提出以語意網技術整合城市模型與物聯網。確切而言，城市模型考量 OGC CityGML 與 OGC IndoorGML，而物聯網標準考量 OGC SensorThings API。

表 4.4-1、資訊整合方法比較(Liu et al., 2017)

<b>Integration Methods</b>	<b>Effectiveness</b>	<b>Extensibility</b>	<b>Effort</b>	<b>Flexibility</b>
New standards and models	case by case	case by case	case by case	case by case
Conversion, translation and extension of existing standards	medium	high	high	medium
<b>Semantic web technologies</b>	<b>high</b>	<b>high</b>	<b>high</b>	<b>medium</b>
Services-based methods	high	low	high	low
Application focused methods	case by case	low	low	low

本工作項目完成物聯網之物件多種類別定義與三種標準資料模型之整合本體論說明，亦根據本節提出之設計將模擬資料描述為語意網標準之 RDF (Resource Description Framework)格式，未來工作為本節提出之設計配合模擬資料，描述為語意網標準之 RDF 格式。本項工作提出上述三種標準資料模型之整合本體論(ontology)，整體架構如圖 4.4-1 所示。此整合本體論可根據確切資料內容描述三種資料間之關係，並以 RDF 格式描述。而所創建之 RDF 資料可透過 RDF 資料庫支援 SPARQL 語意查詢，以完成三種資料之整合查詢，輔助實現不同應用。此技術研發之重點在於了解各資料



標準之模型定義，並找出具有跨資料關係之類別，依其規劃需要的連結關係於整合本體論。其中之困難點在於物聯網之物件(Thing)之定義模糊，在本項工作之範疇可能具有多種定義，如物聯網裝置為物件(a-device-as-a-Thing)、門窗為物件(a-opening-as-a-Thing)、房間為物件(a-room-as-a-Thing)與建物為物件(a-building-as-a-Thing)。因此，如何根據不同的物聯網物件定義設計其整合本體論為重點之一。

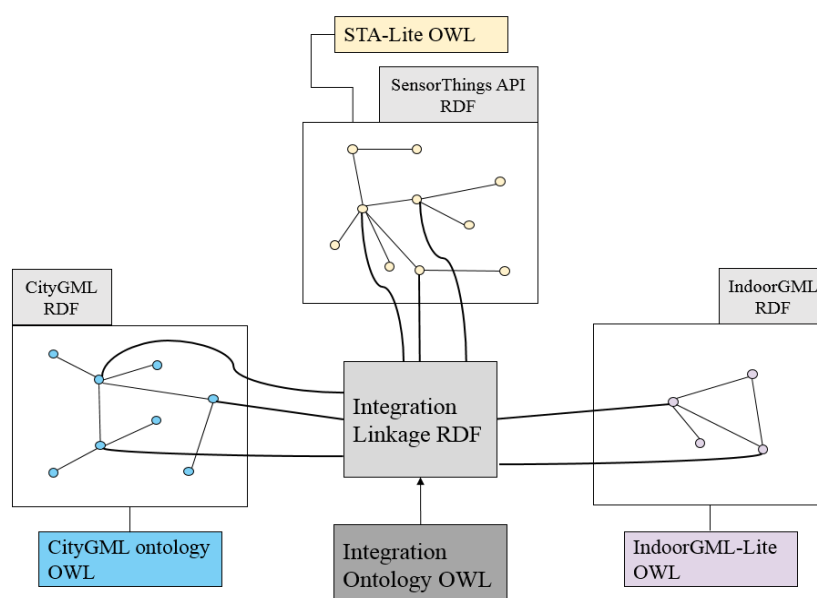


圖 4.4-1、語意網技術整合城市模型與物聯網標準資料模型之架構

為連結 CityGML、IndoorGML、及 SensorThings API 資料模型，須先了解各個標準之定義。首先，由於目前探討之目標為室內環境，故 CityGML 之考量為室內 LoD4 相關類別，如圖 4.4-2 所示。各類別定義如下：

- citygml:Building：具有結構性組件之建物。
- citygml:Room：一個位在建物內的自由空間，可特定代表一個建物



或是一個建物區域的語意物件。

- citygml:BoundarySurface：包含多種類別的抽象類別，代表建物、房間、或建物裝置的外部表面。
- citygml:Opening：抽象類別代表牆面或屋頂的開口，如門或窗。
- citygml:Window：代表建物對外或房間之間的窗戶。與 citygml:Door 之差異在於 citygml:Window 一般非做為人或載具移動使用。
- citygml:Door：代表建物對外或房間之間的門，供人進出建物或房間。
- citygml:BuildingFurniture：房間內之可移動物件，如椅子或傢俱。
- citygml:IntBuildingInstallation：具有特定功能或語意之建物物件，並且為不可移動之物件，與建物永久連接，如階梯、欄杆、散熱器、管線等。可與 citygml:Building 或 citygml:Room 連結。

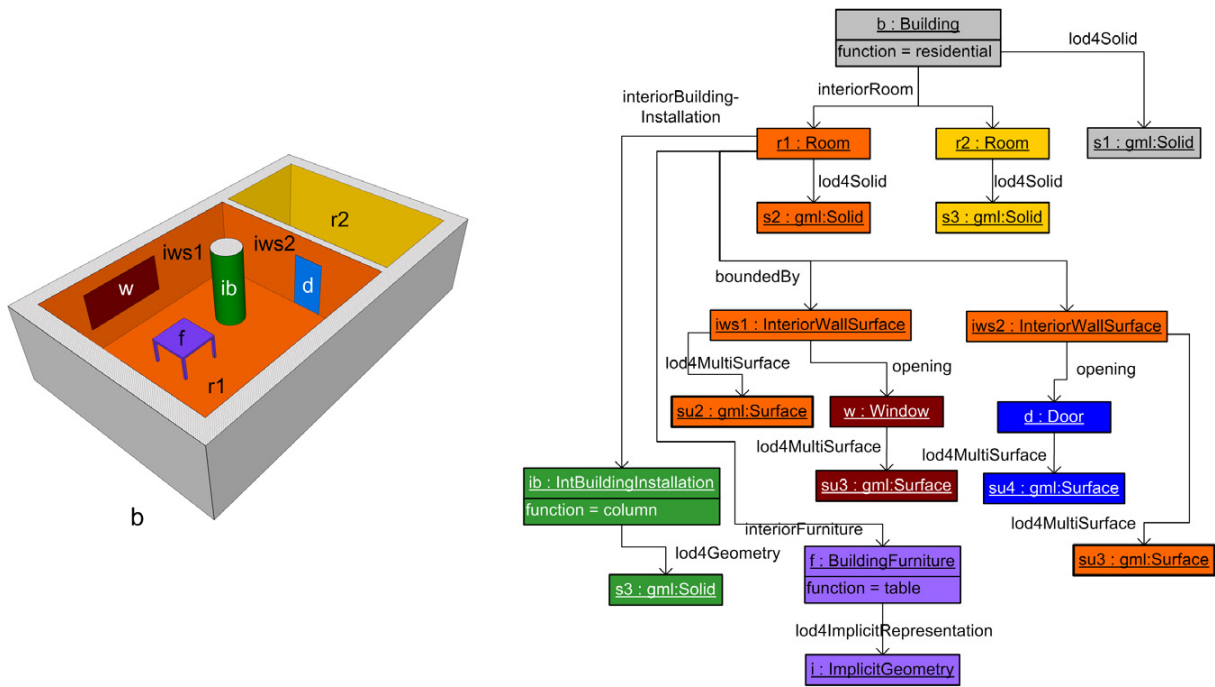


圖 4.4-2、CityGML LoD4 類別(Gröger & Plümer, 2012)

IndoorGML 表示室內空間之路徑網路，進而達成室內導航應用。圖 4.4-3 為 IndoorGML 主要模組之 UML 類別圖。其中，此工作項目使用其導航相關之類別，主要為 `indoorgml:State` 及 `indoorgml:Transition`。`indoorgml:State` 代表建物內之路網節點，如房間、走廊、門等，在 IndoorGML 內以點幾何代表。`indoorgml:Transition` 以線幾何代表兩個相臨之 `indoorgml:State` 的連結關係，如門、階梯、電梯等。

由於此工作項目之範疇為室內環境，房間以 `indoorgml:State` 代表，門與窗以 `indoorgml:Transition` 代表。此外，`indoorgml:MultiLayerGraph` 可用於表示建物內的不同空間，如 WiFi 覆蓋、RFID 空間、拓撲空間等。

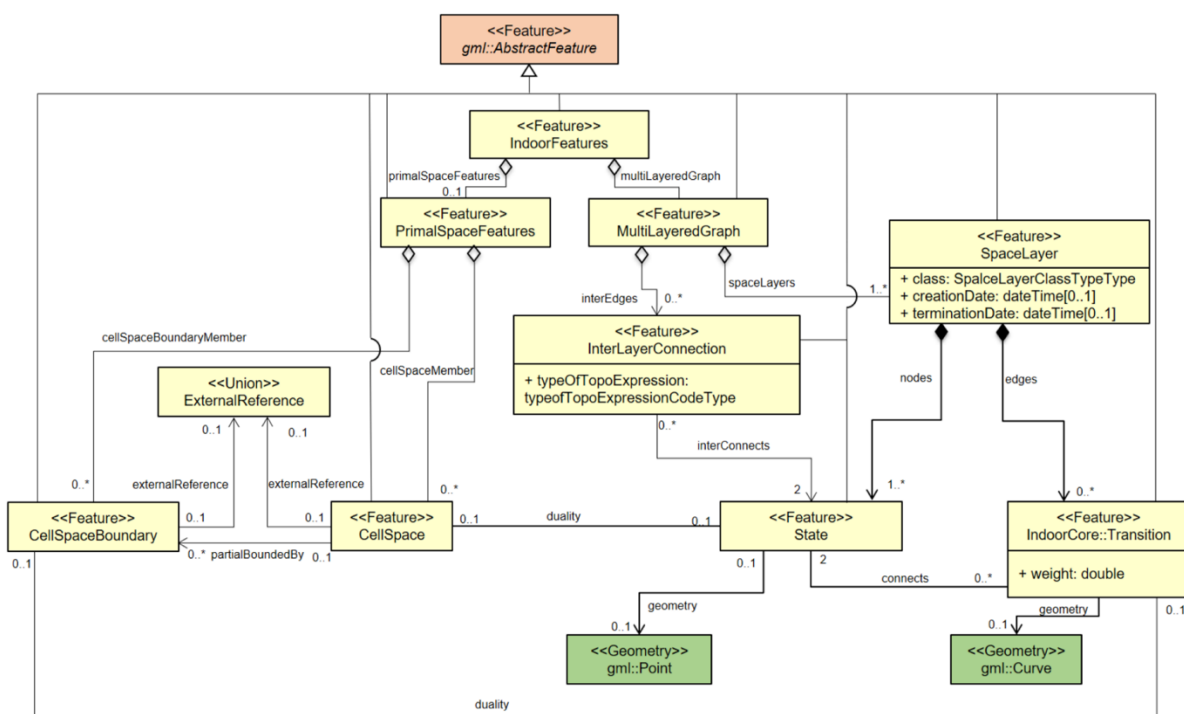


圖 4.4-3、IndoorGML 類別(Lee et al., 2014)

SensorThings API 包含感測及致動能力之類別，其 UML 類別圖如圖 4.4-4 及圖 4.4-5 所示。各類別之定義說明如下。

- sta:Thing：可被辨識並連結通訊網路之物理世界或資訊世界物件 (ITU-T, 2012)。
- sta:Location：sta:Thing 的最後已知位置。
- sta:HistoricalLocation：sta:Thing 在不同時間點或時間段之位置。
- sta:Datastream：sta:Observations 的集合，由相同 sta:Sensor 所量測之相同 sta:ObservedProperty。
- sta:Sensor：量測某屬性或現象之儀器。
- sta:ObservedProperty：sta:Observations 的現象，如空氣溫度、相對濕

度、照度等。

- sta:Observation：針對某屬性決定其數據之量測行為，由一 sta:Sensor 量測 sta:ObservedProperty 所取得之數據。
- sta:FeatureOfInterest：sta:Observation 所觀測之對象。
- sta:TaskingCapability：sta:Thing 之可被控制的能力。
- sta:Task：針對某 sta:TaskingCapability 之控制任務，包含控制之參數。
- sta:Actuator：支援 sta:TaskingCapability 之致動器詮釋資料。

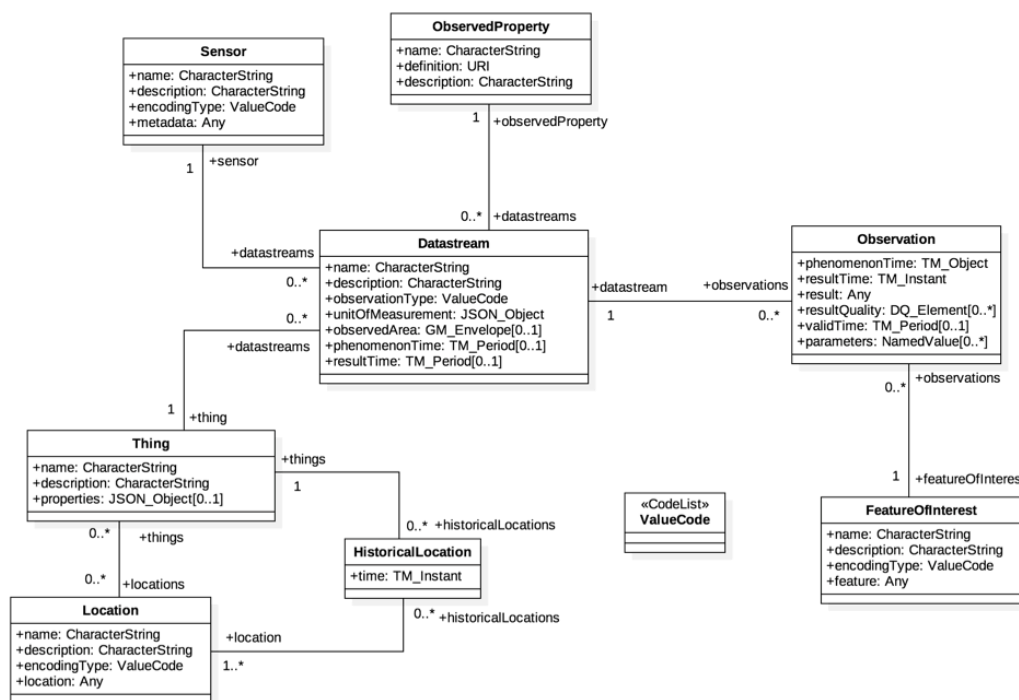


圖 4.4-4、SensorThings API part 1 類別圖(Liang et al., 2016)

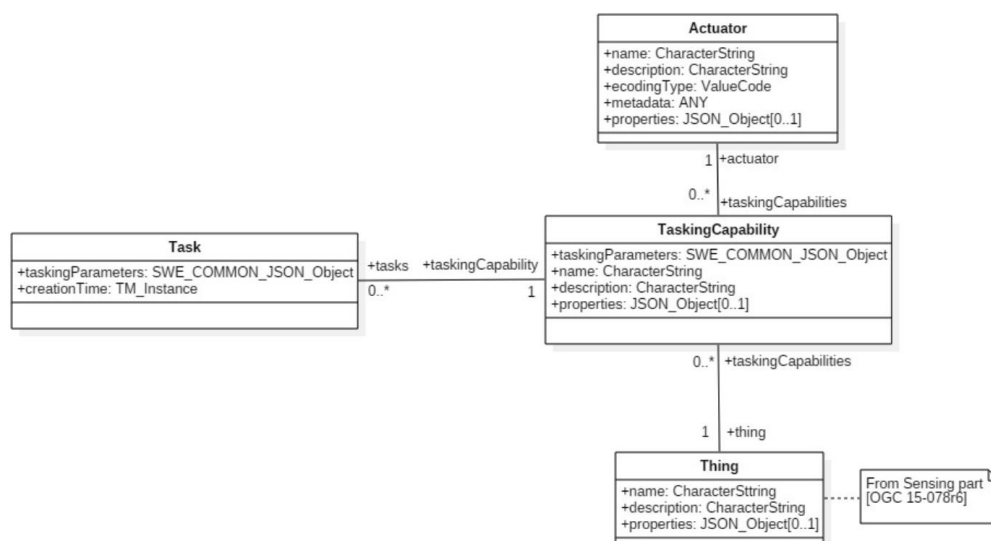


圖 4.4-5、SensorThings API part 2 類別圖(Liang & Khalafbeigi, 2019)

如圖 4.4-6 所示，在物聯網裝置為物件(a-device-as-a-Thing)中，sta:Thing 對應至 citygml:BuildingFurniture。若 CityGML 具有與 sta:Thing 直接對應之物件，則 CityGML 資源直接以 isThing 關係與 sta:Thing 連結。反之，則以 hosts 關係描述 sta:Thing 與 CityGML 資源之涵蓋關係，如 citygml:Room、citygml:BoundarySurface、citygml:Opening、citygml:InteriorBuildingInstallation、及 indoorgml:Transition。

至於 citygml:Room 與 indoorgml:State 之關係，一個 citygml:Room 可以代表一個節點(isState)或是多個節點(containsElement)。此外，當 sta:Thing 位於一個 indoorgml:State 之空間時，該 sta:Thing 則與 indoorgml:State 滿足 withinCellspaceOf 之關係。最終，citygml:Opening 達成(enables) indoorgml:Transition，如門或窗。



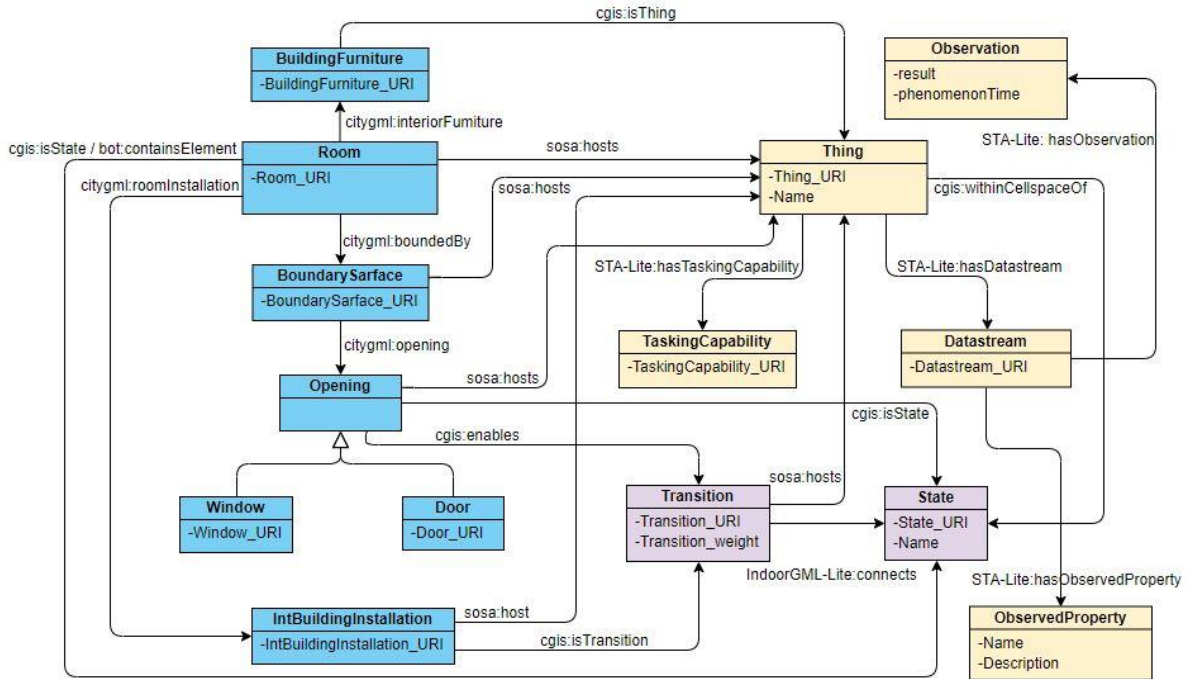


圖 4.4-6、物聯網裝置為物件(a-device-as-a-Thing)之整合本體論

如圖 4.4-7 所示，在門窗為物件 (a-opening-as-a-Thing) 中，`citygml:Opening`，如 `citygml:Window` 或 `citygml:Door`，為一個 `sta:Thing`。因此，`sta:Thing` 可被視為 IndoorGML 的一個節點(`indoorgml:State`)或是連結(`indoorgml:Transition`)。而一個 `sta:Datastream` 可記錄該 `citygml:Opening` 之狀態，如開或關，或是其他條件，如可通過人數。`sta:TaskingCapability` 則代表門或窗可被控制的能力。而 `sta:Thing` 與其他 CityGML 類別之關係亦於圖中表示。

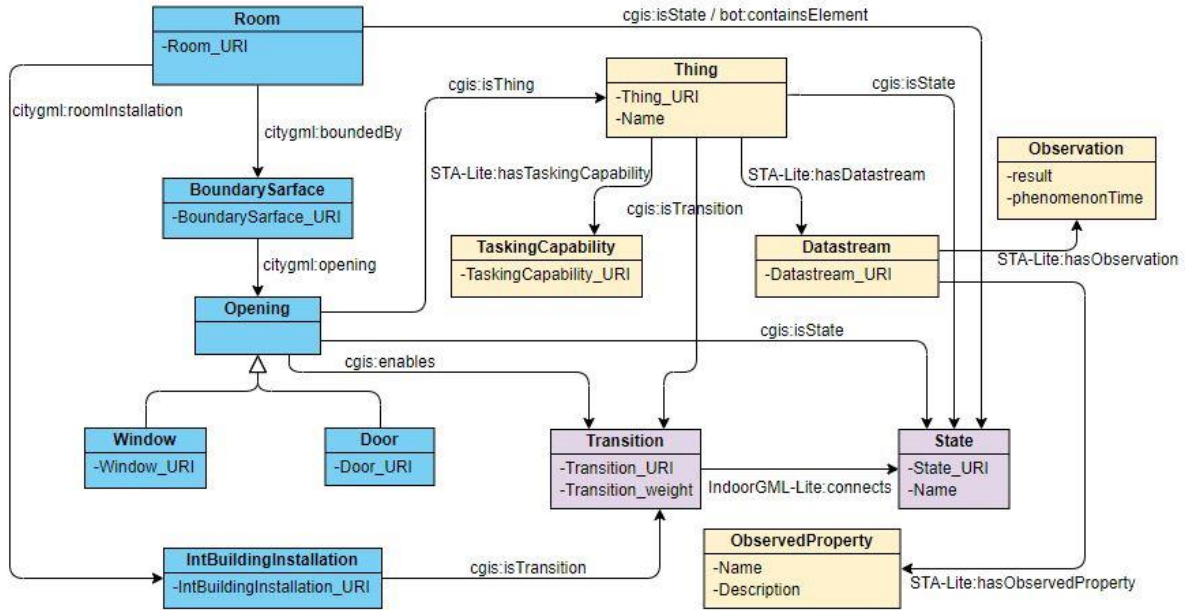


圖 4.4-7、門窗為物件(a-opening-as-a-Thing)之整合本體論

如圖 4.4-8 所示，在房間為物件(a-room-as-a-Thing)中，房間以 sta:Thing 代表並可包含多個 indoorgml:State。而一個 sta:Observation 觀測(observes)該房間或房間內組件之現象；一個 sta:Datastream 為多個觀測該房間相同現象之 sta:Observations。

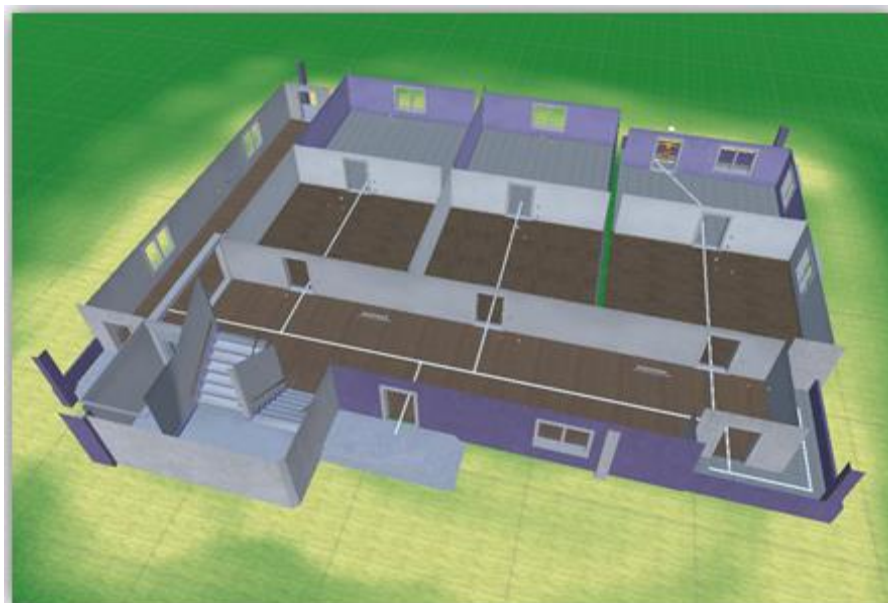
關於 IndoorGML 類別，sta:TaskingCapabilty 可發生於(happensIn)一個 indoorgml:State 或 indoorgml:Transition，如開啟與關閉門窗。citygml:Room 可包含多個代表較小空間範圍之 indoorgml:State。

確切而言，一個 sta:Thing 可包含多個實體，如溫度計、警報器、門、窗、或房間本身，提供不同感測及致動能力。因此，sta:TaskingCapabilities 亦發生於(happensIn)此房間，如變更照明、開關警報等。而此房間之

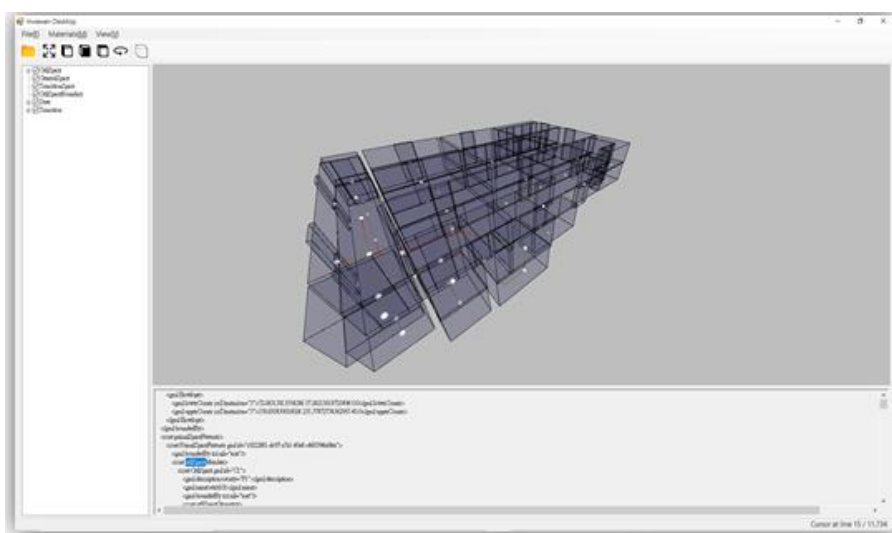








(a)



(b)

圖 4.4-10、三維模型及對應之路網結構模擬資料

```
<!-- http://www.semanticweb.org/wuche/ontologies/2021/7/FES_integration.rdf#room205 -->  
<owl:NamedIndividual rdf:about="http://www.semanticweb.org/wuche/ontologies/2021/7/FES_integration.rdf#room205">  
  <rdf:type rdf:resource="http://www.semanticweb.org/wuche/ontologies/2021/7/untitled-ontology-18#Room"/>  
  <hosts rdf:resource="http://www.semanticweb.org/wuche/ontologies/2021/7/FES_integration.rdf#Smoke213"/>  
  <hosts rdf:resource="http://www.semanticweb.org/wuche/ontologies/2021/7/FES_integration.rdf#Temperature213"/>  
  <isState rdf:resource="http://www.semanticweb.org/wuche/ontologies/2021/7/FES_integration.rdf#S44"/>  
  <isThing rdf:resource="http://www.semanticweb.org/wuche/ontologies/2021/7/FES_integration.rdf#room205"/>  
</owl:NamedIndividual>
```

圖 4.4-11、三維模型與物聯網資源整合範例



基於所提整合方法，本工作項目以 Unity 模擬室內即時火災逃生指引應用，以展現三維模型與物聯網資源整合之潛力。透過 Unity 腳本模擬溫度及煙霧感測器數據，並上傳至所架設之 OGC SensorThings API 服務，如圖圖 4.4-12 所示。同時，亦有一腳本模擬火災逃生指引應用，持續從 SensorThings API 服務獲取感測資料，以偵測異常讀數，如圖 4.4-13 所示。若偵測到異常讀數，將透過 SPARQL 查詢異常讀數之房間與室內路網節點編號，如圖圖 4.4-14 所示。最終，基於路網節點編號，可顯示正確的逃生導引路線。圖 4.4-15 與圖 4.4-16 顯示通往火災區域及逃生之路徑分別以警示及箭頭符號引導人員逃離災害現場。

整體而言，透過語意網技術整合三維模型與物聯網資源可提供具互操作性的資料查詢及解讀。過往常見之整合方式為至各獨立資料萃取所需資訊再自行整合。對單一應用而言，此種方式可達其目標。然而當需支援多項應用時，針對各個應用目標各自萃取資訊進行整合則需花費多餘成本。因此，透過語意網描述動靜態資料間關係作為統一之整合資料庫，預期可直接支援多項應用，除了降低開發成本，亦可正確解讀資訊內容。

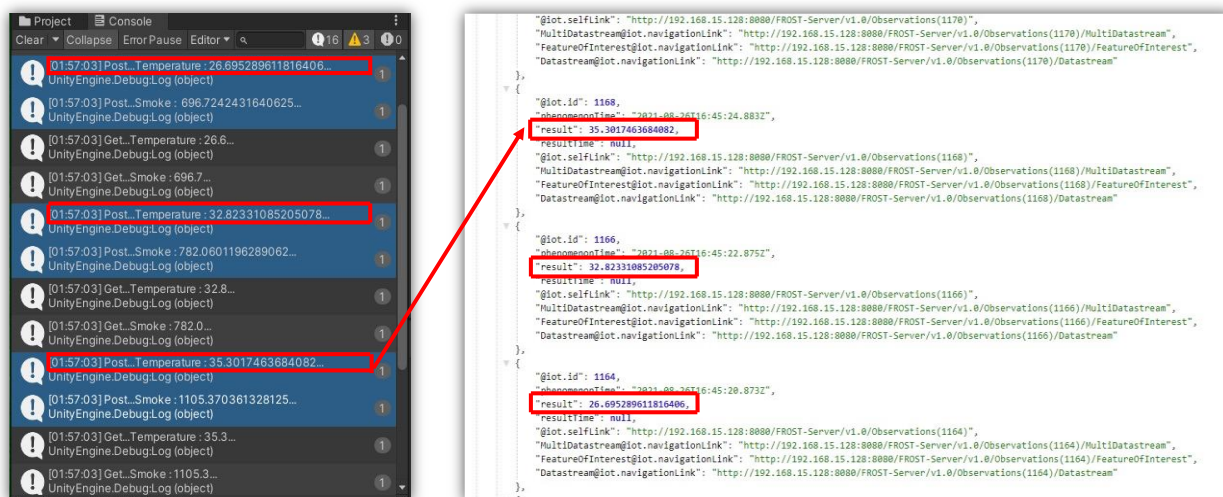


圖 4.4-12、Unity 腳本模擬溫度與煙霧感測器數據並上傳至 OGC

### SensorThings API 服務

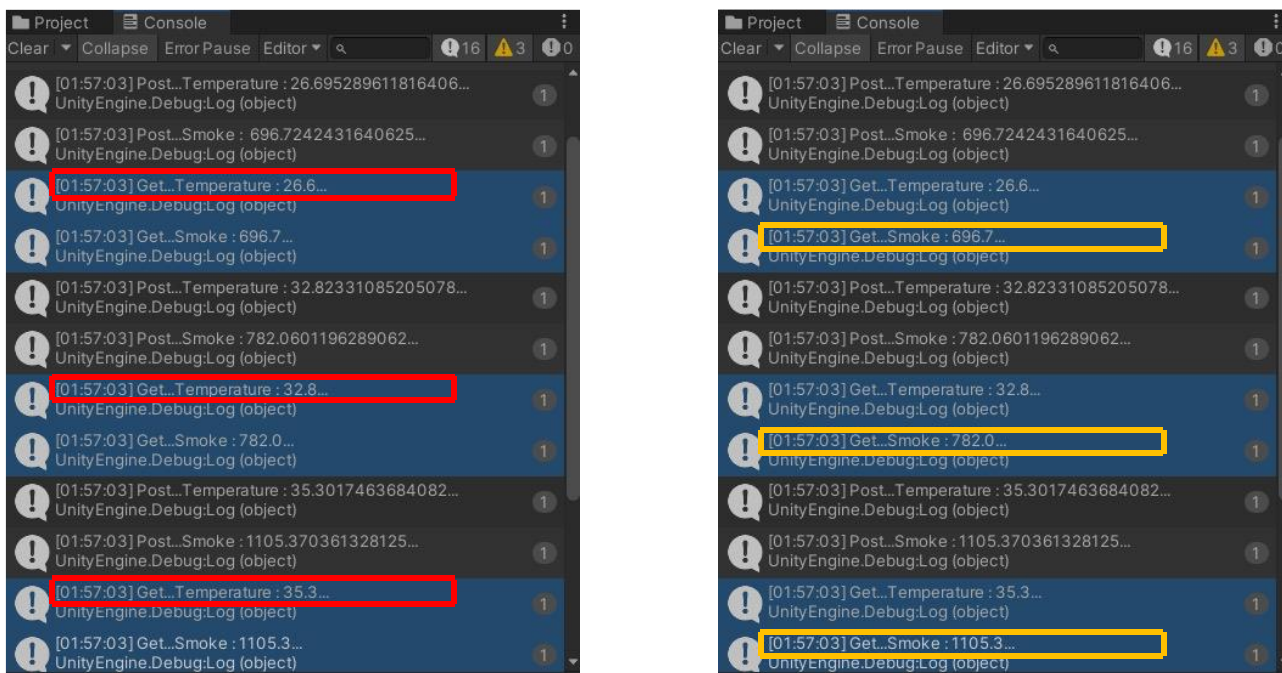


圖 4.4-13、Unity 腳本於 SensorThings API 服務獲取溫度與煙霧感測器數據

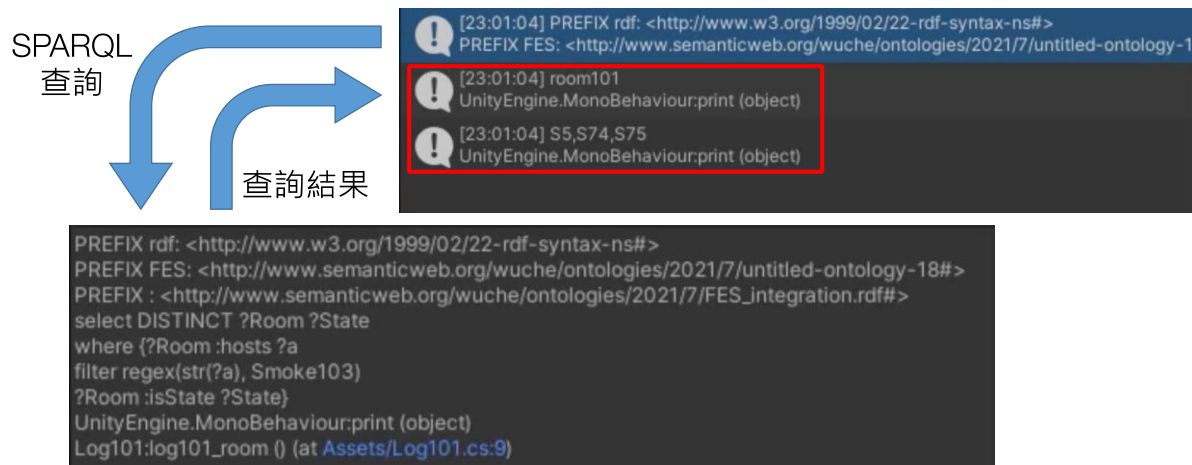


圖 4.4-14、以 SPARQL 查詢異常讀數之房間與路網節點



圖 4.4-15、以警示符號代表通往火災區域之路徑



圖 4.4-16、以箭頭符號指引逃生路徑

#### 4.4.2 模擬基於三維圖資與路網資訊整合路側影像感測器，發展具跨影像區域分析及物件追蹤之智慧防救災整合技術

基於前一年度所研發之跨 CCTV 攝影機移動物件追蹤技術，本項工作進一步納入時間與空間資訊進行追蹤技術優化。本項工作所提出之處理程序如圖 4.4-17 所示，主要包含(1)移動物件偵測(Object Detection)、(2)移動物件追蹤(Object Tracking)、(3)物件身份辨識(Identity Classifier)。其中，物件身份辨識具有數項程序，包含(3.1)地理對位(Geo-matching)、(3.2)時空機率匹配(Spatial-Temporal Probability matching, STP-matching)、(3.3)比對影像挑選(Candidate Finding)、與(3.4)特徵匹配(Feature matching)。比較去年度計畫案成果與本項工作之規劃，主要改進為物件身份辨識程序加入多項時間與空間資訊輔助身份辨識，可避免誤判且提升處理效率。

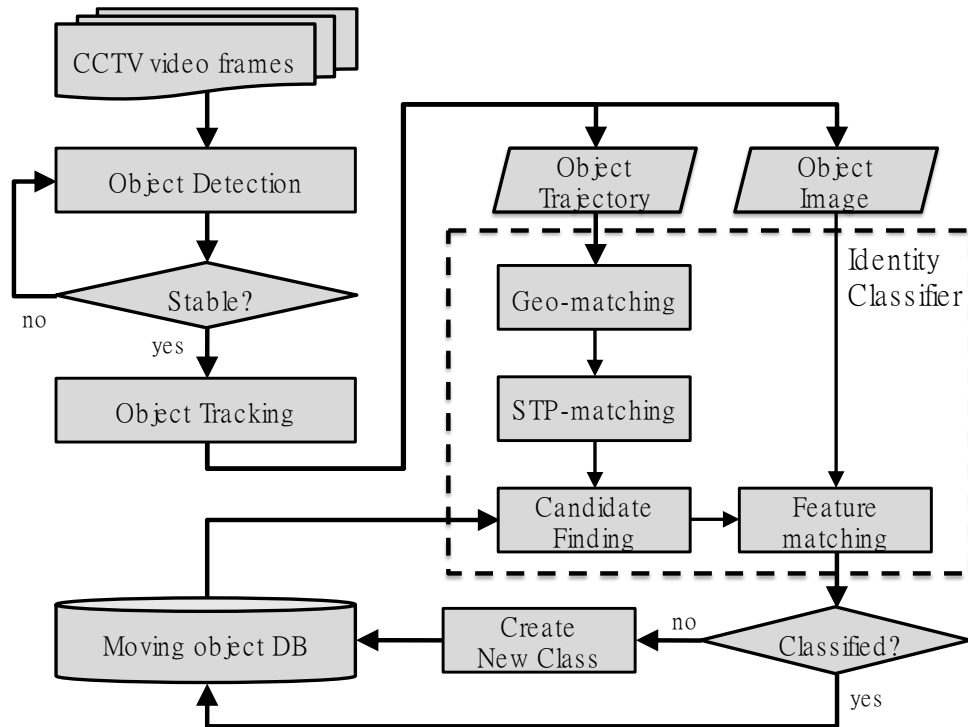


圖 4.4-17、跨 CCTV 影像移動物件追蹤處理程序

**(1) 移動物件偵測(Object Detection)：**傳統的背景分離方法包含影像絕對相減方法及背景建模法。前者使用前後兩幀的像素絕對相減，差值微小的區域為背景，其餘則為前景。由於其對於光照變化及雜訊十分敏感，在環境變動較大的場域誤判率偏高。因此，本項工作選擇採用背景建模法中的高斯混合模型(Mixture of Gaussians, MOG)(Zivkovic, 2004)，以多個高斯常態分布模擬背景像素的行為，且由於其統計了不同幀的背景資訊，能夠處理一定程度的光照變化及陰影。接著將萃取各幀物件的邊界框，並進行 IOU (intersection-over-union) 匹配。若同一物件持續存在，則認定其為穩定物件並初始化追蹤器進行追蹤。MOG 所萃取之前景物件如圖 4.4-18 範例所示，其中左圖為監視器影像，右圖白色像元為前景物件。





圖 4.4-18、MOG 萃取前景物件之範例

**(2)移動物件追蹤(Object Tracking)：**根據不同物件追蹤方法之文獻比較，本項工作使用  $RE^3$  類神經網路追蹤器(Gordon et al., 2018)進行移動物件之追蹤，由於其使用長短期記憶模型(Long Short Term Memory networks, LSTM)(Sak et al., 2014)，當物件外觀一定程度改變時，此追蹤器仍可正確運行。 $RE^3$  之運作方式單純，以物件在影像中之邊界框位置進行初始化，追蹤器在其後的每一幀會輸出該物件之邊界框。由於  $RE^3$  追蹤器無關閉之機制且可能受到雜訊拉扯，因此本項工作設定幾項追蹤器關閉之條件，包含(1) $RE^3$  邊界框內少於 10%之 MOG 前景像元、(2) $RE^3$  邊界框超出攝影機範圍、(3) $RE^3$  邊界框過小、(4) $RE^3$  邊界框之大小突然顯著改變。圖 4.4-19 為  $RE^3$  追蹤物件之範例。最終，利用  $RE^3$  邊界框及 MOG 前景像元萃取物件之最低點位置，如腳之中心位置。



圖 4.4-19、RE<sup>3</sup> 追蹤物件之範例

(3)物件身份辨識(Identity Classifier)：此步驟包含以下程序。

(3.1)地理對位(Geo-matching)：若兩攝影機有重疊範圍，則可能分別追蹤到相同物件。則可透過計算該物件在兩攝影機取得之軌跡相似度，進行物件之連結。為達成此判斷，兩攝影機需對應至相同坐標系統，本工作在各個攝影機影像中選取地面之控制點進行八參數轉換之參數求解，如圖 4.4-20 所示，並將 RE<sup>3</sup> 所追蹤物件之最低位置投影至相同坐標系統進行比對。此處方法可在濾除追蹤雜訊後(如不合理的空間跳躍)，簡單比較時序軌跡中兩個軌跡之平均歐式距離以進行判斷，若距離小於 1 公尺，則判定為相同物件。

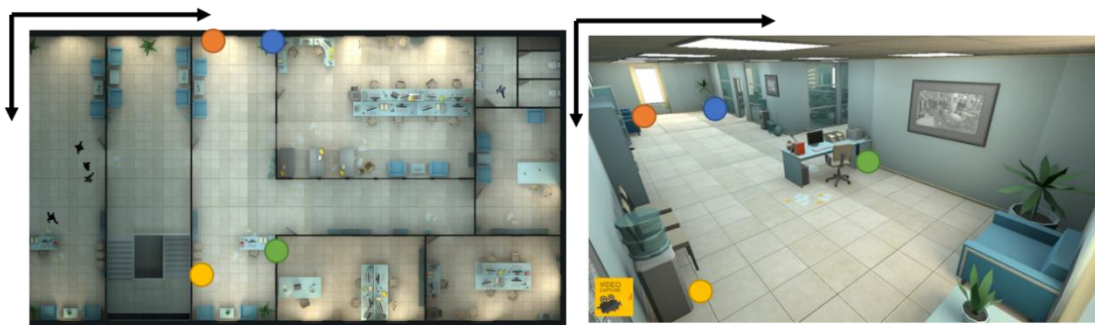


圖 4.4-20、攝影機影像坐標轉換之示意圖

(3.2) 時空機率匹配 (Spatial-Temporal Probability matching, STP-matching)：本項工作利用移動物件與欲分類之類別進行該移動物件移動行為之時空機率估算，進而判斷其為該類別之機率。確切而言，透過移動物件之出現位置與先前消失於具路網連結關係之類別位置，根據該移動物件之平均移動速度，透過所設計之時空移動機率函式計算其歸屬機率。此程序之概念與假設包含(1)移動物件之移動行為須滿足物理限制，意即不會瞬間移動、(2)移動物件之移動速度變化差異不大、(3)移動物件主要沿著路網結構移動、與(4)移動物件可以折返。基於以上概念，所設計之時空移動機率函式如圖 4.4-21 所示，不同顏色之函式代表不同參數設定。其確切演算法如下，其中  $p$  為時空移動機率、 $d$  為移動物件與欲分類類別之距離、 $\mu$  理論距離為  $v$  移動速度與  $\Delta t$  時間間隔相乘、 $\sigma$  為可調整之機率衰減控制因子。

*if*  $d > \mu$ :

$$p = \exp\left[-\frac{1}{2}(d - \mu)^2/\sigma^2\right]$$

*else*:

$$p = 1$$

$$\mu = \Delta t \times v$$

$$\sigma = 2(\text{sec}) \times v$$

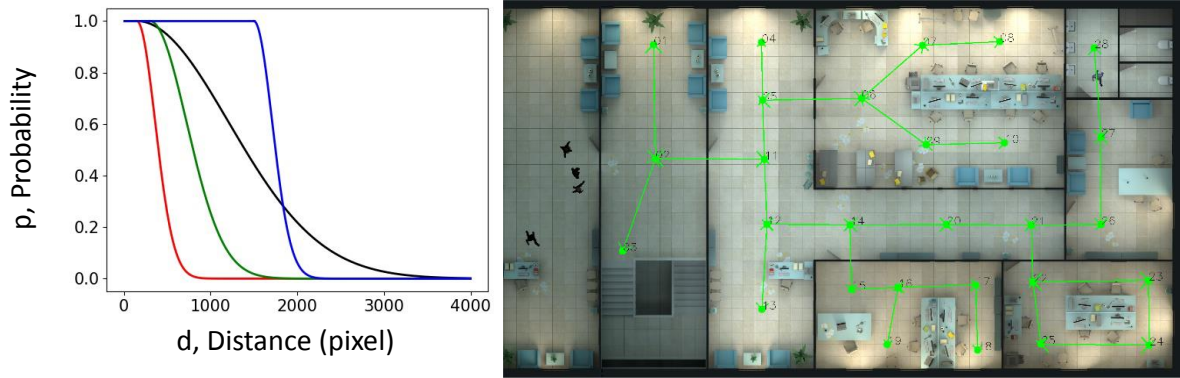


圖 4.4-21、時空移動機率函式(距離-機率)與路網結構

(3.3)比對影像挑選(Candidate Finding)：在挑選需要比對之類別時，最天真的作法為與所有已知類別進行比對，然而此作法須比對大量類別，造成效能問題。因此，可使用物件與類別最後位置的路網連結性進行挑選。然而，本項工作欲進一步判斷移動物件影像及候選類別影像之拍攝面向，並尋找相同拍攝面向之類別影像進行比對。如圖 4.4-22 所示，透過比對兩個方位角，即可尋找相近拍攝面向之比對影像。經此，除可大幅減少須比對之影像數量，亦可提升比對判斷的正確率。

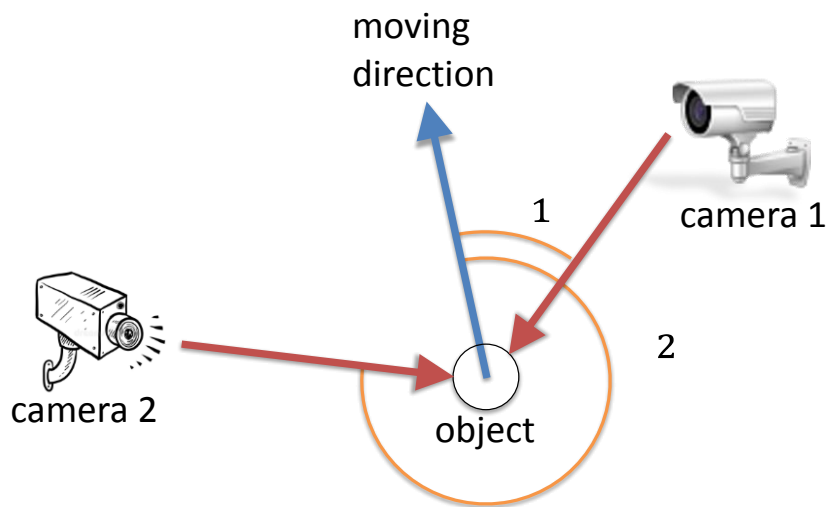


圖 4.4-22、物件拍攝面向之比對示意圖

(3.4)特徵匹配(Feature matching)：外觀特徵之相似度將使用預訓練的類神經網路進行特徵萃取，將二維的影像資料降維成一維特徵向量。過往已測試 VGG16 (Simonyan & Zisserman, 2014)及 ResNet (He et al., 2016)類神經網路進行特徵萃取，然而此二模型需針對不同目標物件進行預先訓練，例如分辨人、動物、車輛等高階類別之模型與分辨不同人之模型將需要以該目標類別預先訓練，模型才可萃取出具代表性的特徵。目前使用 ImageNet 資料集進行模型之訓練。

萃取出特徵向量後，再以餘弦距離或分類法(如支援向量機)計算物體與類別之外觀特徵相似度，相似度最高之類別若大於設定之門檻，則將該物件歸屬於該類別。然而，若無高於門檻之類別，則將該物件視為新類別。

基於前述所提程序，本項工作於 Unity 模擬一辦公室場域並設立不同位置之 CCTV 攝影機，如圖 4.4-23 所示。另外，兩組移動物件亦模擬於此模擬環境隨機移動，第一組具有較多人形物件，第二組包含外觀差異較大之物件，如表 4.4-2 及表 4.4-3 所示。





圖 4.4-23、模擬之場域及攝影機 A 至攝影機 G 之位置

表 4.4-2、第一組移動物件



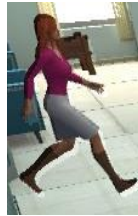




物件	女生 1	女性 2	男生 1	男生 2	男生 3	企鵝
影像						

表 4.4-3、第二組移動物件

物件	椅子	女性	男生 1	男生 2	企鵝	石頭
影像						

透過所研發之跨 CCTV 攝影機影像移動物件追蹤程序進行移動物件追蹤，其成果可從圖 4.4-24(攝影機視角)及圖 4.4-25(俯視圖)看出。其中，圖 4.4-24 各移動物件之白色外框與編號即為所提演算法所追蹤到之位置、範圍、及辨識碼，而圖 4.4-25 各移動物件以紅色外圈及半徑表示其位置與方向。



圖 4.4-24、移動物件追蹤成果截圖(攝影機視角)



圖 4.4-25、移動物件追蹤成果截圖(俯視圖)

本工作比對移動紀錄與追蹤成果，並以兩項指標進行分析。首先，各階段追蹤成果之命名包含移動物件於單一影像中每「幀」之位置，在單一影像中移動「物件」連續幀之移動軌跡，以及物件在跨影像或跨時間經由身份辨識歸類之「群組」，如圖 4.4-26 所示。第一項量化指標為「身份辨識分群一致性」，代表將移動物件歸類至相同身份群組之一致性，其公式為(群組內最多相同身份之幀數/群組之幀數總數)。第二項量化指標為「追蹤位置誤差」，代表追蹤到的「幀」、「物件」、及「群組」位置與實際紀錄位置之偏差。



圖 4.4-26、追蹤成果之命名

表 4.4-4 為身份辨識分群一致性之成果，分別於兩組資料集使用不同設定之時空間機率函式。成果顯示，加入時空間機率函式，可有效提升分群一致性，尤其在移動物件外觀相似的第一組資料集，可提升 12% 的一致性。此外，隨著時空間機率函式的設定嚴格，群組數量增加，而當嚴格程度達一定值後，對一致性的提升幅度相近。

表 4.4-4、身份辨識分群一致性

資料集	時空間機率設定	物件幀數	物件數量	群組數量	加權分群一致性
1	不使用	39,661	1,102	33	72.3%
	$\alpha = 10$			54	84.5%
	$\alpha = 2$			55	84.3%
2	不使用	38,945	626	46	81.8%
	$\alpha = 10$			66	88.1%
	$\alpha = 2$			69	84.8%

表 4.4-5 為追蹤位置誤差，亦於兩組資料集使用不同設定之時空間機率



函式。成果顯示，群組追蹤誤差除了物件追蹤誤差外，亦受到身份辨識歸類之顯著影響，然而在納入時空間機率函式後，可明顯提升分群精度並減少群組追蹤誤差，兩資料集分別可達 30.7% 及 18.9% 的追蹤誤差精度提升，代表尤其在移動物件外觀相似時成效更加顯著。

表 4.4-5、追蹤位置誤差

資料集	時空間機率設定	逐幀追蹤 RMSE(m)	逐幀追蹤之平均誤差(m)	物件追蹤誤差之 RMSE 平均(m)	群組追蹤誤差之 RMSE 平均(m)
1	不使用	2.051	1.009	1.138	4.745
	$\alpha = 10$				3.287
	$\alpha = 2$				3.387
2	不使用	1.370	0.719	1.043	3.330
	$\alpha = 10$				2.700
	$\alpha = 2$				2.502

本工作項目亦細部了解各種誤差的原因，誤差來源歸類如下。

(1)最低點位置偏差：所提方法以各幀追蹤之 MOG 遮罩最低點為該物件之位置，然而由於所記錄之真實位置為物件之中心位置，因此有少量約 0.5 公尺的偏差，如圖 4.4-27 中紅點與藍點所示。





圖 4.4-27、物件最低點位置偏移範例

(2)遮蔽：物件最低點位置的偏差最為顯著的影響來自於遮蔽，當物件之最低點位置被環境或其他物件遮擋時，所萃取之最低點位置可能會經由投影而大幅偏移其真實位置，如圖 4.4-28 被桌子與螢幕遮擋之石頭所示。



圖 4.4-28、物件遮擋範例

(3)追蹤器誤差：由於 RE3 追蹤器可根據物體形變逐步學習新的形狀，在單一物件形變時此優點極為有益，然而追蹤器則可能錯誤地學習影像上

物件交錯之形變，而誤判物件之身份。如圖 4.4-29 所示，左圖中原先女生與男生物件分別為 B30 與 B31 物件，而當物件交錯後，追蹤器誤將 B30 指派給男生物件，而重新給定女生物件之追蹤為 B33。此項亦為目前方法中誤差的主要來源之一。

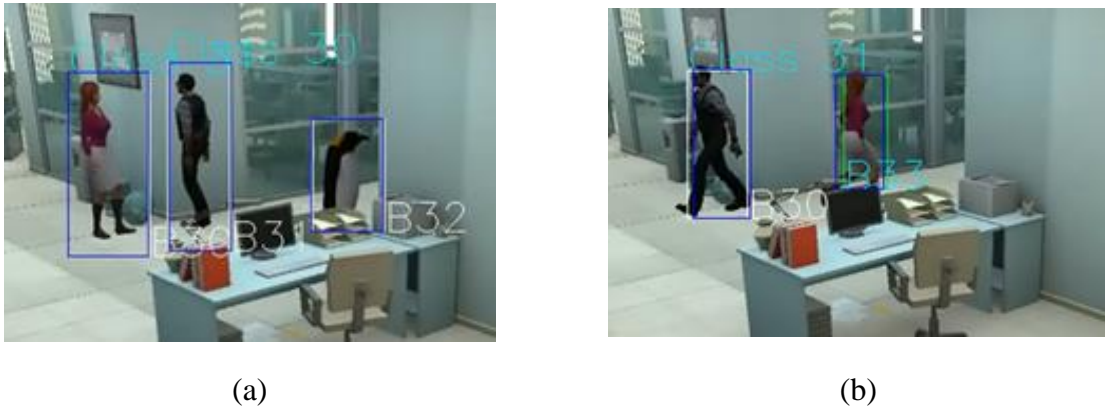


圖 4.4-29、追蹤器誤差範例

(4)時空間機率函式誤差：所設計之時空間機率函式假設移動物件可以折返，亦代表在合理的移動距離內，先前所出現的移動物件類別皆為潛在的類別，造成候選類別數量增加，除了提升誤判的可能性，亦更加仰賴外觀特徵匹配的成效。

(5)外觀特徵匹配誤差：由目前的兩組資料集成果顯示，在物件外觀差異較大時有較好的成果，顯示目前類神經網路模型使用之 ImageNet 訓練資料集無法提供相似物件之細節差異，而需要更多符合目標的訓練資料以更細微的描述物件之差異。若可提升外觀特徵匹配精度，不論是時空間機率函式或追蹤器誤差之影響皆可大幅降低。

### 4.4.3 以實際場域進行適地性服務應用試辦，其試辦方式與場域選擇需與內政部討論定案；前述試辦本團隊需自行取得相關資料或建置物聯網相關所需裝置

本年度以實際場域進行物聯網整合方案應用試辦。本項工作以桃園高鐵站旁之桃園捷運 A18 站作為試辦地點，如圖 4.4-30 所示。經與桃園捷運公司(以下簡稱桃捷)及內政部討論，考量桃捷需求及可行性，本工作項目以智慧廁所為主題進行建置。

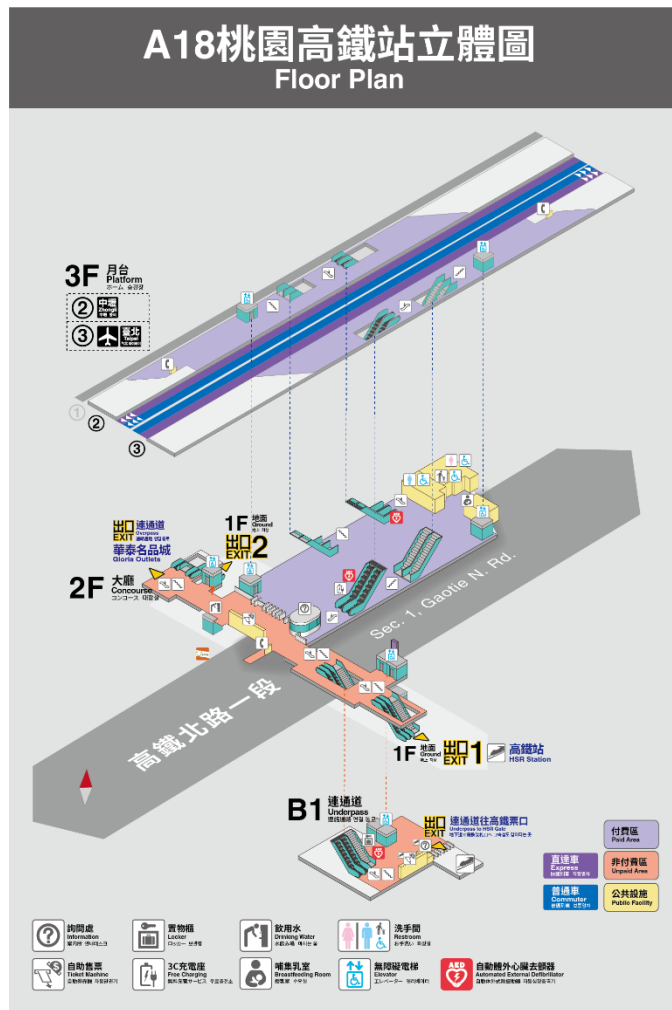
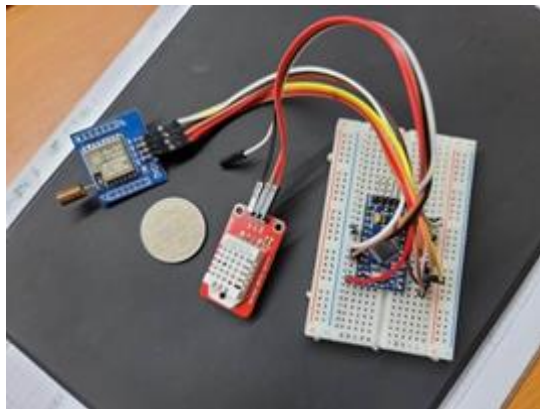


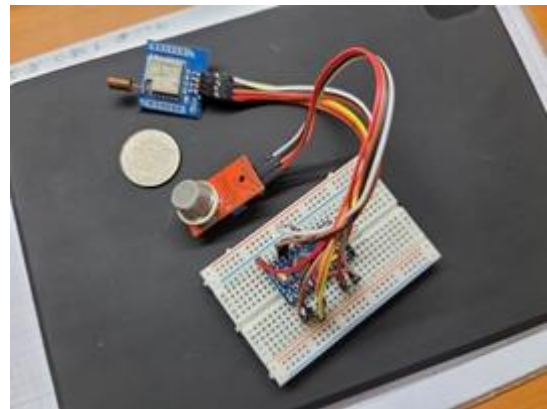
圖 4.4-30、桃園捷運 A18 站(影像來源：桃園捷運)

本項工作以廁所使用情形與排隊人潮監測為首要試辦應用，系統架構分為四層進行，包含(1)物聯網裝置、(2)閘道器、(3)網路服務、(4)應用。

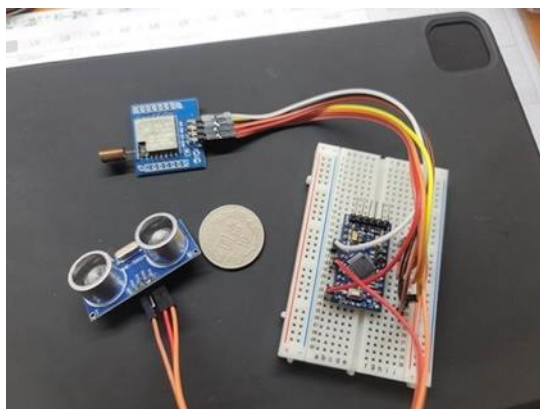
物聯網裝置：將以 Arduino 微控制器結合人體紅外線感測器監測廁所使用情形，並在廁所外以攝影機進行影像分析監測排隊人潮。在目前雛形開發所使用之硬體為體積小的 Arduino Nano 微控制器，連結不同感測器以及 Semtech SX1278 LoRa 晶片之 LoRa Ra-01 作為傳輸模組，如圖 4.4-31 所示。



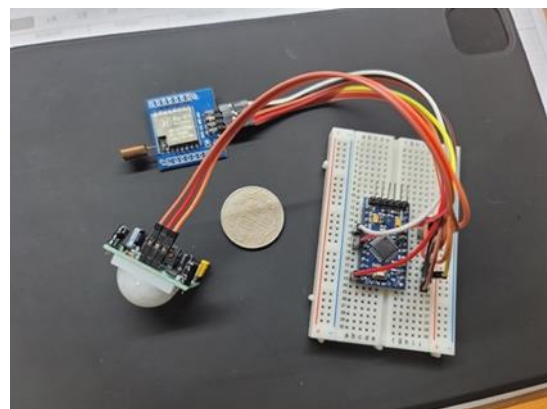
(a)溫濕度感測器



(b)空氣品質感測器



(c)超音波感測器



(d)人體紅外光感測器

圖 4.4-31、物聯網裝置開發成果

(2) 閘道器：以 Raspberry Pi 3 Model B+ 建立，透過 LoRa Ra-01 低功耗廣域網路與物聯網裝置傳遞資訊，雛形如圖 4.4-32 所示。

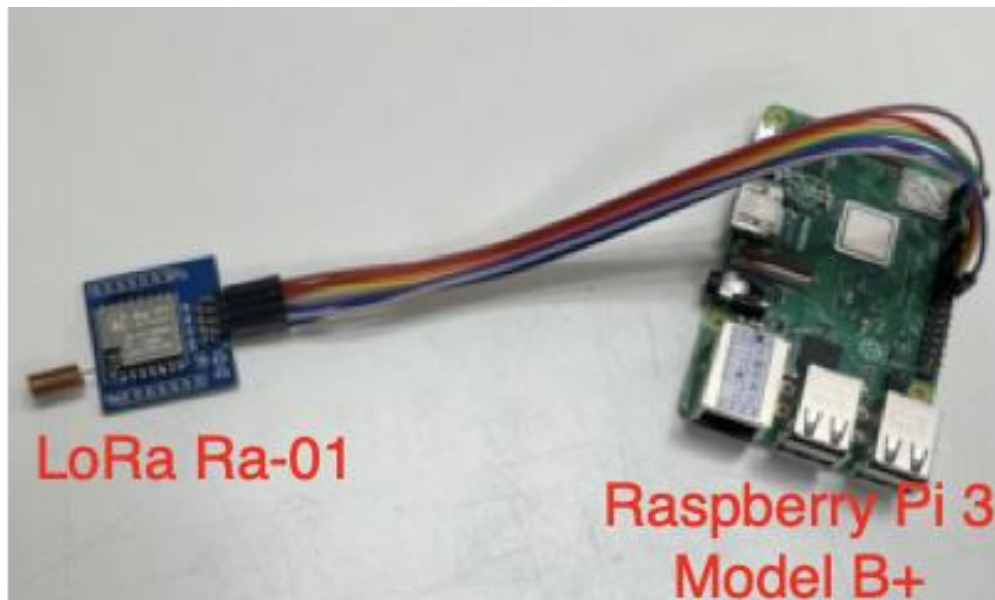


圖 4.4-32、閘道器開發成果

(3) 網路服務：物聯網網路服務以 OGC SensorThings API 標準化物聯網服務，除可提供統一的資料模型及彈性的網路服務查詢協定，當連結物聯網致動器時，亦可透過此標準進行控制介面之統一，協助解決物聯網異質性問題。

(4) 應用：設定廁間平均使用時間，配合排隊人潮數量之監測，可推估當下等候時間。在廁所外提供各間廁所使用情形之面板，顯示預估等候時間。以 Line 機器人推播相關訊息予管理人員及清掃人員，包含垃圾桶狀態、廁間使用過久等，已達更高效率的管理及安全防護，如圖 4.4-33 所示。



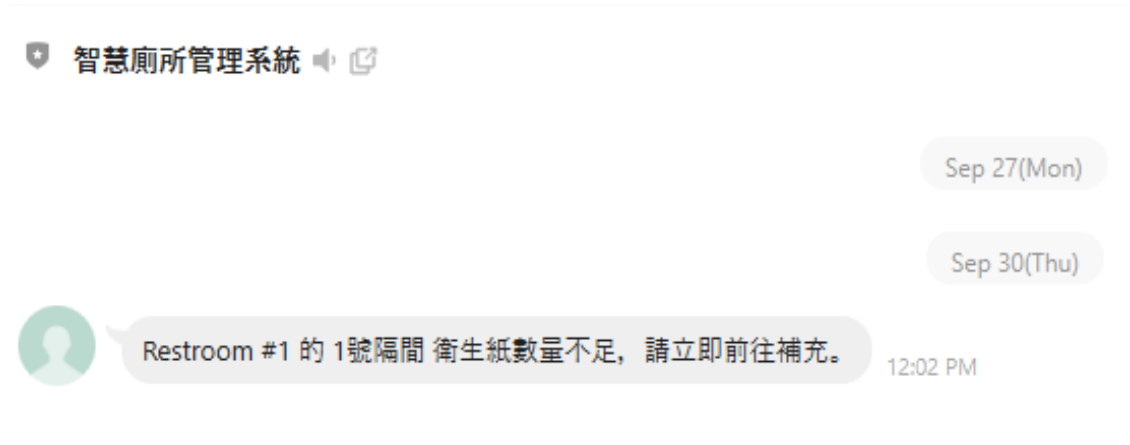


圖 4.4-33、Line 機器人推播訊息

本項工作已至 A18 站施工及布設相關設備，如圖 4.4-34 所示，圖 4.4-34(a)為布設 WiFi 路由及邊緣運算電腦、圖 4.4-34 (b)為布設攝影機、圖 4.4-34 (c)為布設閘道器、圖 4.4-34 (d)為布設人體紅外光感測器與圖 4.4-34 (e)為布設超音波感測器之佈建畫面。物聯網裝置以 3D 印表機印製外殼，並貼上本案名稱，如圖 4.4-35。而資訊面板以 43 吋電視擺放於廁所前展示相關資訊，如圖 4.4-36。所布設之攝影機及人員追蹤成果如圖 4.4-37 所示，於廁間使用滿載時，資訊面板上即會根據等候人數顯示預估等候時間，目前等候時間之預估方式為等候人數\*2 分鐘，未來可根據統計之廁間使用平均時間進行調整。圖 4.4-38 面板上分別顯示等候時間 2 分鐘(1 位等候人數)及 4 分鐘(2 位等候人數)。



圖 4.4-34、智慧廁所布建



圖 4.4-35、物聯網裝置 3D 列印包裝



圖 4.4-36、資訊面板

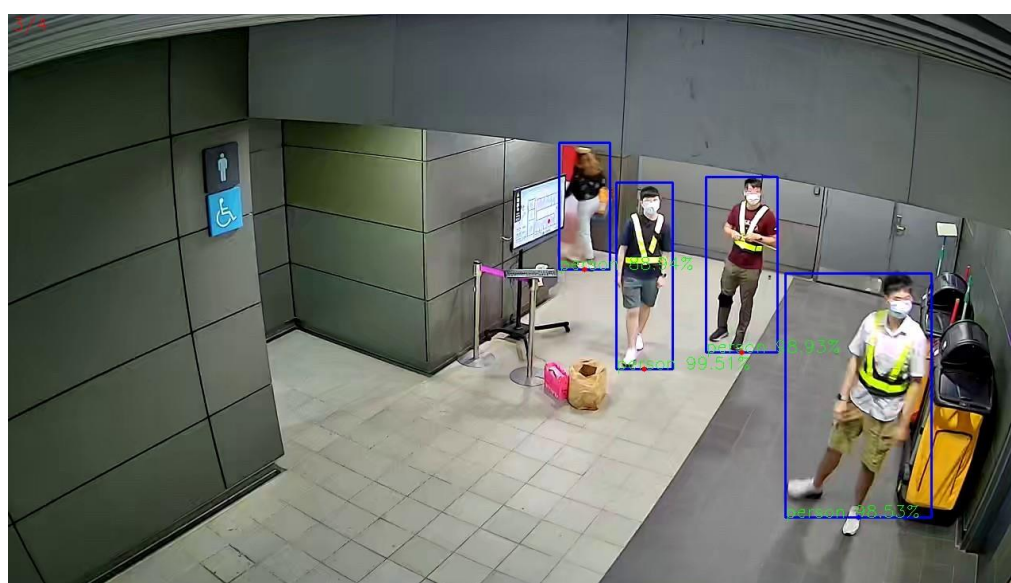


圖 4.4-37、攝影機等候人數偵測





(a) 等候 2 分鐘



(b) 等候 4 分鐘

圖 4.4-38、等候時間測試成果

所布設之智慧廁所預計擺放至年底，進行稍長時間的測試，以期發現

後續改進項目。未來若可將此智慧廁所佈建至各捷運站，則可達成跨捷運站廁所維護與導引應用，不但可降低營運成本，亦可提供旅客更佳的服務。

#### 4.5 數據分析與科教活動

##### 4.5.1 辦理高程基準潮位站數據分析工作，其至少須包含基隆與東沙潮位站數據

本(110)年度已完成基隆潮位站音波式、壓力式及雷達式潮位計之數據分析與不同潮位計之比較及東沙潮位站壓力式潮位計之數據分析為成果。報告完成基隆潮位站音波式、壓力式及雷達式潮位計至 2021/10/31 23:24 及東沙潮位站壓力式潮位計至 2021/7/25 7:54 的潮位數據蒐集及分析，並比較基隆潮位站共站不同潮位計觀測值之差異。東沙潮位站因網路傳輸問題，自 2021/4/16 13:00 後無法即時回傳至中央氣象局，本年度於 7 月 26 日登島下載潮位數據進行後續分析，東沙潮位站現況可參照附件 D 之說明。

基隆潮位站設置於基隆市長潭里海洋科技博物館園區範圍內，距離水準原點現址甚近，除基礎資料建置外，更提供海科館科學教育之輔助。東沙潮位站設置於東沙環礁東沙島，東沙潮位站為該島基礎空間建設之一部，提供該區域岸際潮位觀測資料，不僅可以提供高程參考基準，亦為基本海象資料建置之一環。

潮位資料以 Matlab 程式語言建構之 UTide 程式進行調和分析(Harmonic



Analysis) (Codiga, 2011)，UTide 程式為美國羅德島大學(University of Rhode Island, URI)所開發的潮位分析程式，基於 Foreman (1977)與 Foreman (1978)之 FORTRAN 程式碼為基礎發展而來，其分析振幅與相位角之演算法乃根據 T\_Tide (Pawlowicz et al., 2002)、r\_T\_Tide (Leffler and Jay, 2009)與 versatile (Foreman et al., 2009)為基礎，UTide 主要有兩種分析方法(Codiga, 2011)，分別為普通最小平方法(Ordinary Least Squares method, OLS)與迭代再加權最小平方法(Iteratively Reweighted Least Squares method, IRLS)配合不同加權函數計算。根據 Codiga (2011)建議之方法，本工作案使用迭代再加權最小平方法以及 UTide 調和分析中預設之柯西加權函數(Cauchy weight function)來進行潮位調和分析。迭代再加權最小平方(Iteratively Reweighted Least Squares, IRLS)可將異常值的影響最小化，其最小化值指在觀測值與模型值之間的加權殘差之量測值或加權錯合(misfit)，其通式如式 4.5-1：

$$m = (B^H W B)^{-1} B^H W x^{raw} \quad \text{式 4.5-1}$$

其中 $W$ 為對角矩陣對角線上的純量權值， $m$ 為模型參數向量， $B$ 為複數值矩陣，上標 $H$ 指共軛轉置， $x^{raw}$ 為觀測值。

潮位分析項目如下：

- (1)以統計方法計算潮位站之平均潮位及平均高潮間隙。
- (2)利用調和分析法，將觀測資料之潮汐訊號解析出來，以獲得不同分潮的振幅及相位延遲。

(3)利用調和分析後所獲得主要分潮繪製潮位站之潮位振幅及相位角。

(4)用實測資料進行潮位預報，並與實測資料進行繪製分析比較。

基隆及東沙潮位站概述及潮位分析分述如下。

#### 1、基隆潮位站

基隆潮位站於 2014 年 9 月 23 日完工，潮位站設置於國立海洋科技博物館主題館區（面北寧路 369 巷道）之舊臺電進水口，潮位站以不銹鋼管為靜水井，包含潮位觀測設備、氣象觀測設備（包括氣溫計、氣壓計、海上型風向風速計等）、觀測資料記錄、傳輸及展示設備（包括資料記錄器、太陽能板、充電控制器、GPS 定時器、資訊軟硬體等）。潮位站現況、設備及規格如圖 4.5-1 及表 4.5-1。本站除設置三種依據不同操作原理之水位計外，並設有不銹鋼水尺，以方便直接目視觀測。

潮位站鄰近新臺灣水準原點 K997，2014 年設置潮位站後即設置潮位站水準點 TG997(圖 4.5-2)作為參考基準點，並納入國土測繪中心高程基準網，辦理長期且定期檢測工作。由 2010 至 2020 年 K997 及 TG997 相對於一點水準點 K999(圖 4.5-3)高程變化量顯示，除 2018 年第 2 次高程檢測結果與歷年成果不同(忽略該次成果)，自 2014 年起高程變化量均小於 4 mm(圖 4.5-4 及圖 4.5-5)。



圖 4.5-1、基隆潮位站現況

表 4.5-1、基隆潮位站設備、型號及數量

設備名稱	廠牌	型號	量測精度
音波式水位計	Aquatrak	3000XDCR and 4110 Controller	$\pm 0.025\%$ (FS)
連續式壓力式水位計	GE Druck	PTX 1830	$\pm 0.1\%$ (FS)
雷達式水位計	BM Technologie Industriali S.R.L.	Radar Level Meter CW Series 26GHz	5mm
水溫計	SETRON	PT-100	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ at $0^{\circ}\text{C}$
氣溫計	SKYE	SKH2023/1/A	$\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ at $0^{\circ}\text{C}$
氣壓計	VAISALA	BAROCAP	$\pm 0.35\text{hPa}$
風向風速計	YOUNG	YOUNG 05106	風速量測精度 $\pm 0.3\text{m/s}$ 風向量測精度 $\pm 3^{\circ}$
GPRS 通訊設備	廣新	MA8-2(CWB2)	
RS-232 串列設備聯網伺服器	MOXA	NPort 5210	
資料蒐集記錄器	VAISALA	QML201C	
太陽能板	聚恆	TYNP62409135	
充電控制器	Morningstar	SHS-10	
市電充電器	MEAN WELL	DR-60-12	
電池	YUASA	NP65-12	



影像來源:google earth

圖 4.5-2、K997、K996 及 TG997 示意圖



摘自國土測繪中心，2019

圖 4.5-3、臺灣水準原點高程基準網示意圖

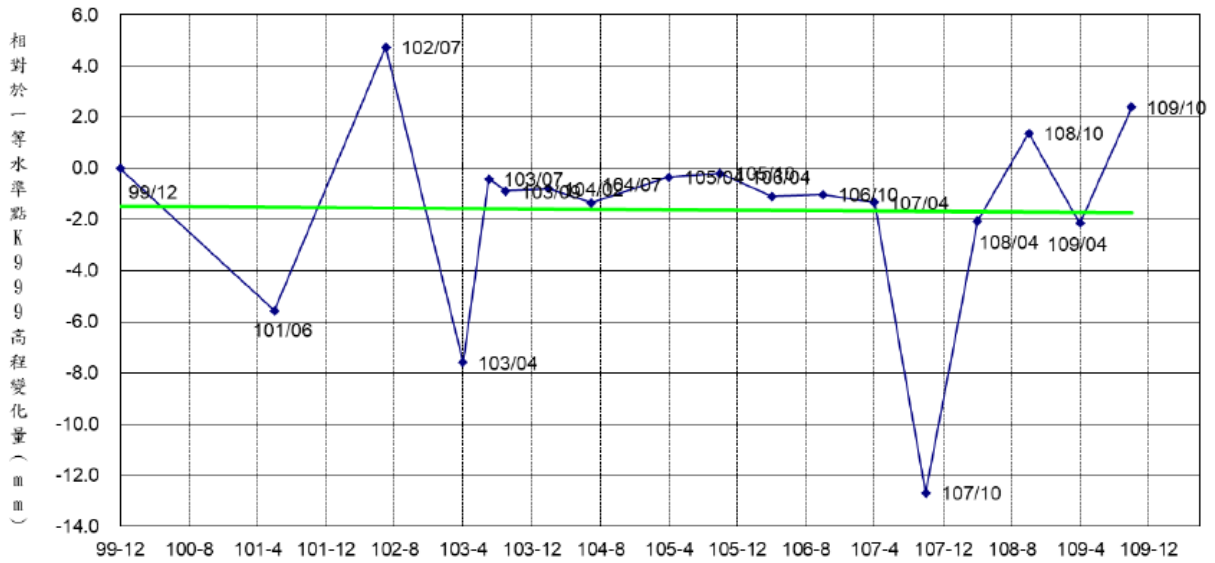


圖 4.5-4、水準點 K997 穩定性分析圖

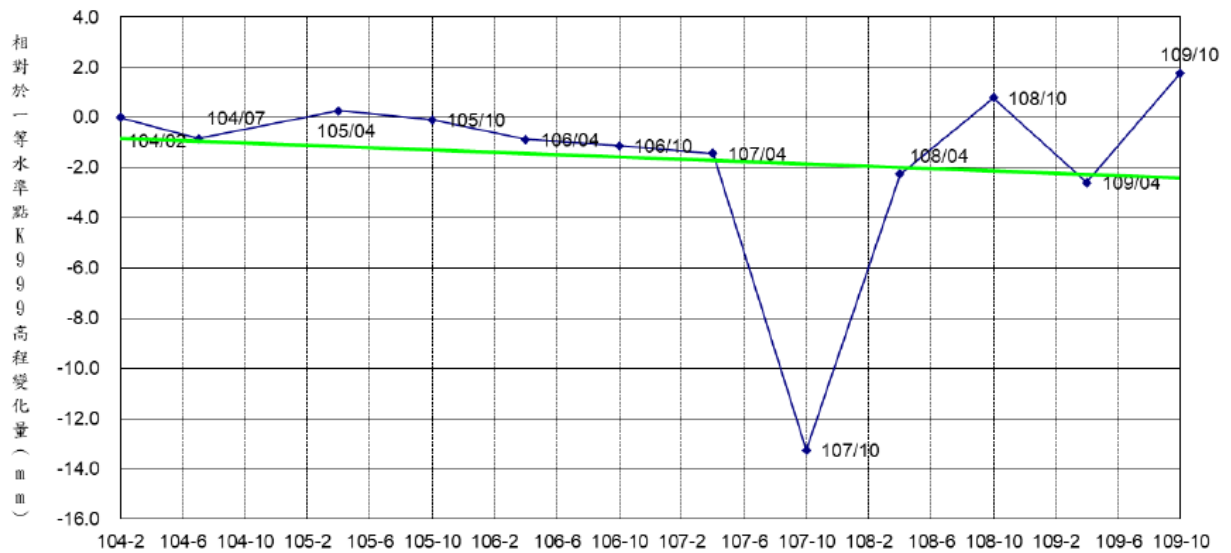


圖 4.5-5、水準點 TG997 穩定性分析圖

基隆潮位站自 2019 年起由氣象局維護，2019 年水準測量由前期研究案執行，2020 年起廠商於維護時進行水準測量，潮位高程以潮位站水準點(TG997)為零點。2020 年 2 月 11 日前之潮位數據，各水位計量測之水深由參考點高程化算至水位，2020 年 2 月 11 日第一次完成水準



測量後之潮位，以潮位站水準點(TG997)為零點，由前一年潮位站水準點(TG997)高程化算。水位計參考點高程如表 4.5-2。

表 4.5-2、基隆潮位站 2018 至 2020 年水位計參考點高程

註:2020/02/11 後潮位高程以水準點(TG997)為零點

測點	2018/12/04 之 高程(m)	2019/8/1 之 高程(m)	2020/02/11 之 高程	2021 年之 高程
水準點 TG997	4.6678 (2017/9/5)	4.6678 (2017/9/5)	4.6662 (2019/10)	4.6628 (2020/10)
音波式水位計	1.0956	1.0979	-	-
壓力式水位計	-5.6264	-5.6298	-	-
雷達式水位計	0.2702	0.2712	-	-

基隆潮位站音波式、壓力式及雷達式水位計開始觀測時間分別 2015 年 2 月 3 日、2014 年 9 月 25 日及 2015 年 4 月 10 日。歷年各水位計異常及排除狀況如表 4.5-3，圖 4.5-6 至圖 4.5-8 分別為音波式、壓力式及雷達式水位計歷年潮位變化，就潮位資料而言，壓力式水位計最完整，音波式及雷達式於 2015 至 2018 年有較長時間缺乏資料。由三個潮位計 2015 至 2021 觀測數據可見，三個潮位計均涵蓋完整年度的為 2019 年至今，為避免因觀測數據不一致造成三種水位計之差異，本年度(110 年)基隆潮位站分析期間統一由 2019 年 1 月 1 日 00:00 至 2021 年 5 月 31 日 23:54。潮位分析數據採用 6 分鐘潮位資料，即為每 10 秒取樣一次，每 6 分鐘之 36 筆取樣資料平均值。

表 4.5-3、基隆潮位站水位計異常及排除狀況

期間	水位計種類	發生原因	處理方法
2015/08/03-2015/08/27	壓力式	故障	更換新品
2016/02/24	雷達式	故障	更換新品
2016/10/07	音波式	電路故障	更換新品
2017/12-2018/06	音波式	導音管阻塞	導音管更換
2017/09-2018/07	雷達式	電阻異常	電阻校正
2018/12/04-2018/12/10	音波式	導音管阻塞	水位計校正 導音管更換
2020/04/16-2020/04/21	壓力式	壓力參數異常	參數校正

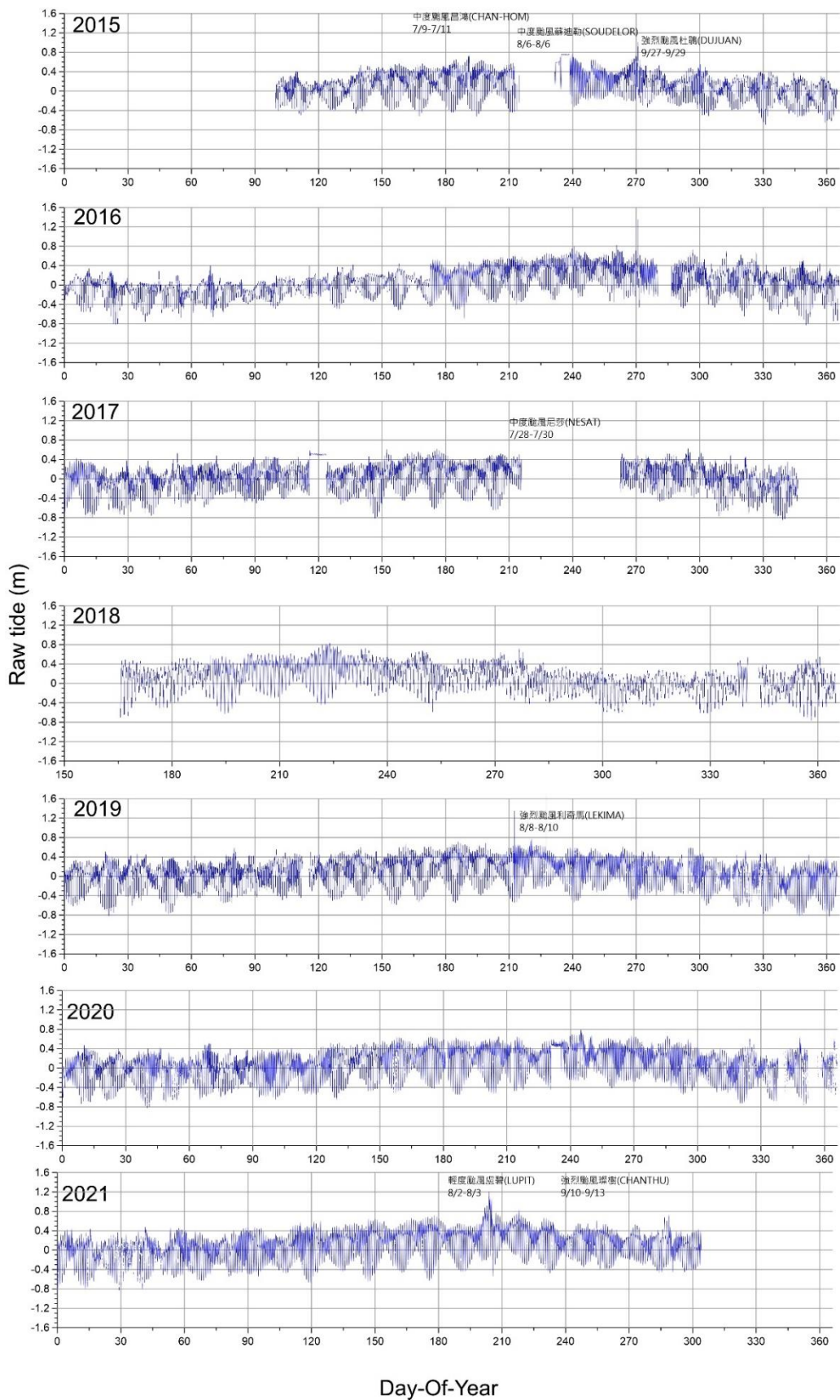


圖 4.5-6、基隆潮位站音波式水位計歷年潮位變化

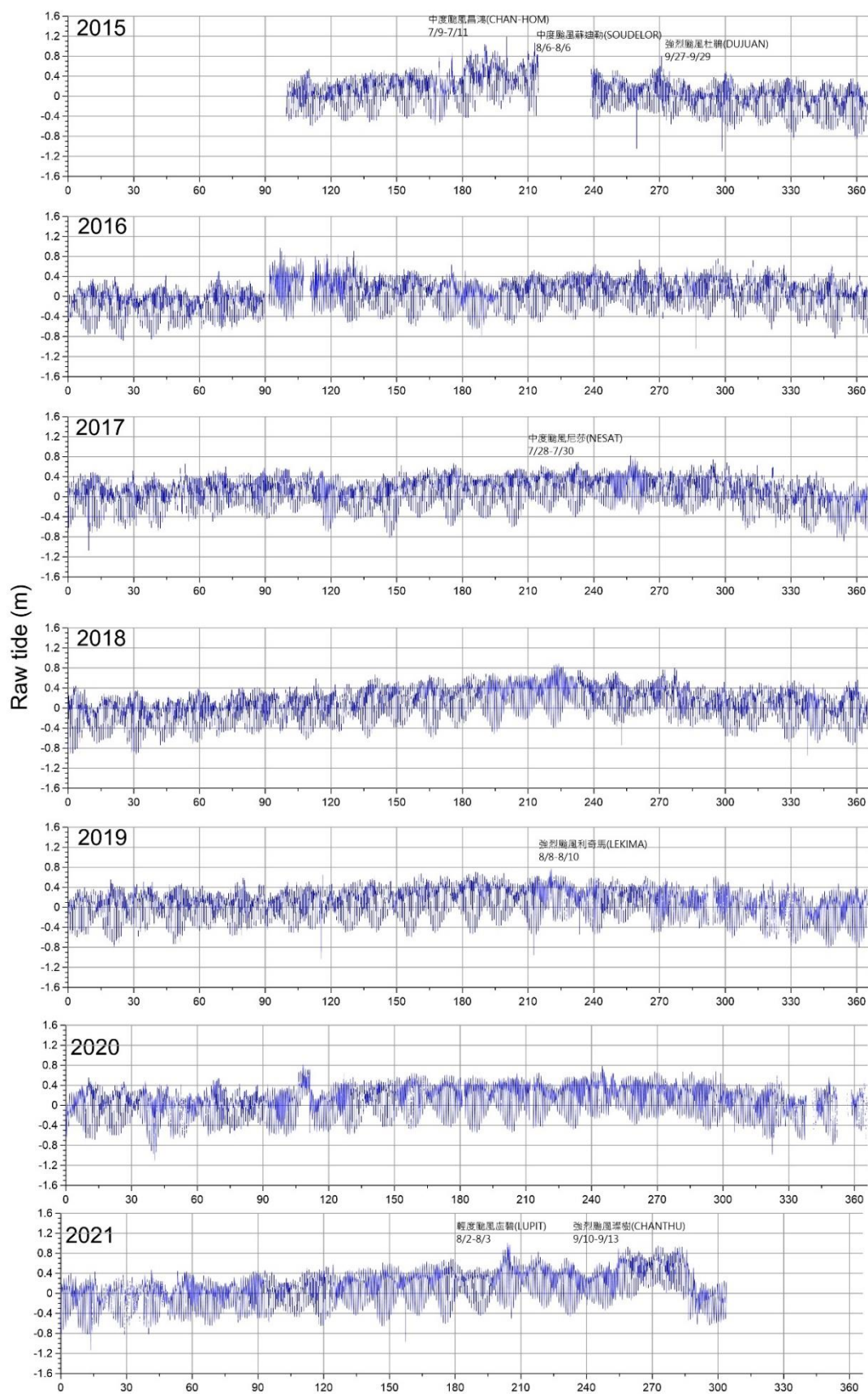


圖 4.5-7、基隆潮位站壓力式水位計歷年潮位變化



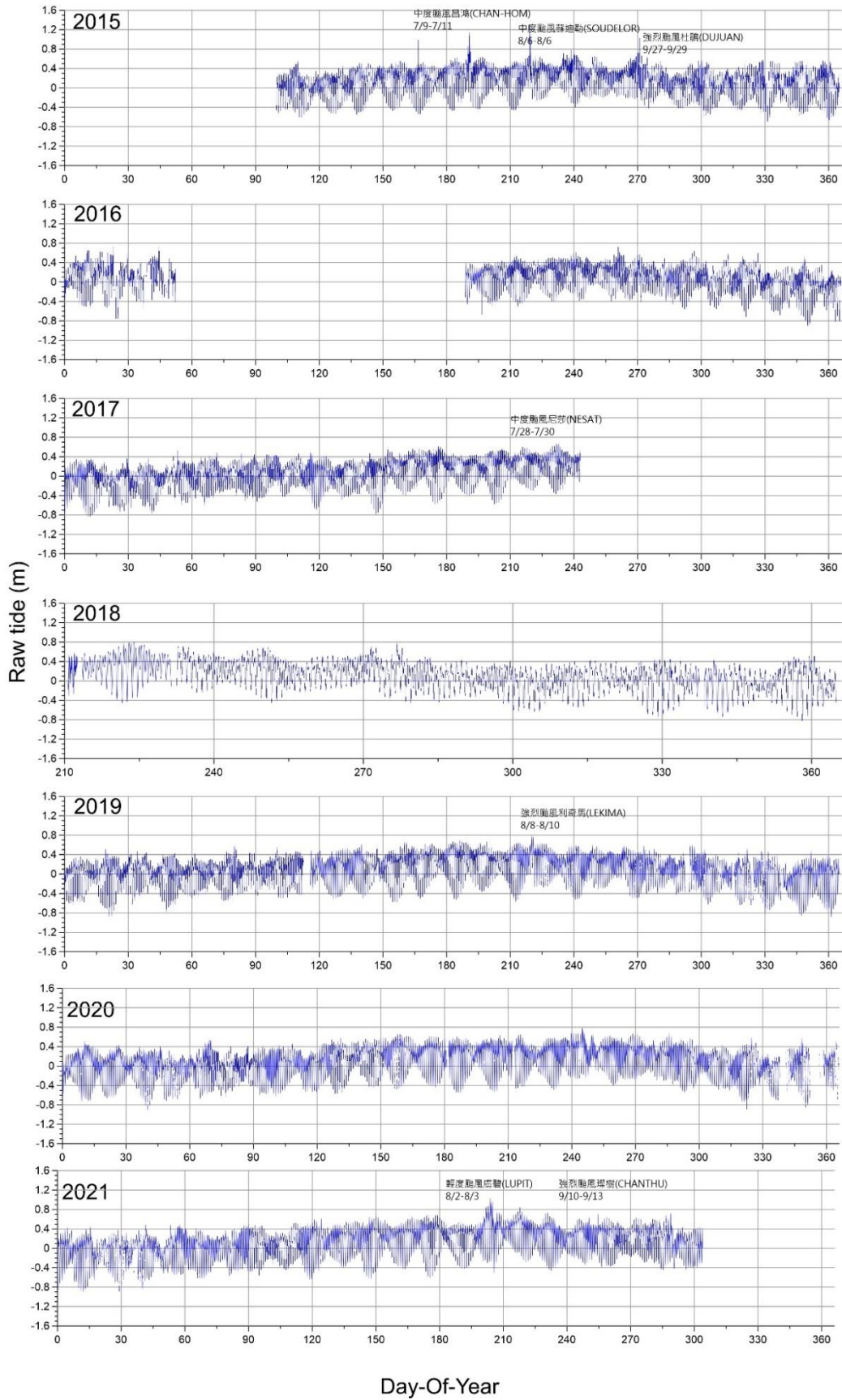


圖 4.5-8、基隆潮位站雷達式水位計歷年潮位變化



近3年之潮位數據經調和分析信噪比(SNR)大於20,95%信心區間，共解析出59(音波式)、59(壓力式)及59(雷達式)個主要分潮，各分潮之頻率、振幅、振幅誤差、相位角、相位角誤差與信噪比詳見附件C。主要分潮為頻率接近1/24(約0.042)，即為24小時附近之全日潮K1、O1與P1，以及頻率為1/12(約0.083)，即為12小時附近之半日潮M2、S2與N2，其振幅及相位角如表4.5-4。三個水位計24小時附近之全日潮及12小時附近之半日潮振幅及相位角相近，振幅差值約0~4mm，相位角差值約0~2度。音波式、壓力式及至雷達式水位計觀測數據與調和分析之重組潮位時序如圖4.5-9至圖4.5-11所示。圖4.5-10可見2021年9月10日至13日期間，壓力式水位計有明顯水位抬升之現象，而音波式及雷達式(圖4.5-9及圖4.5-11)則無此現象，應為颱風期間帶入大量汙泥至靜水井，影響壓力值導致換算之水位高度變高。

表 4.5-4、基隆潮位站各水位計主要分潮比較

	分潮	音波式		壓力式		雷達式	
		振幅 (mm)	相位角 (deg)	振幅 (mm)	相位角 (deg)	振幅 (mm)	相位角 (deg)
全日潮	K1	190±0.4	227±0.2	190±0.4	226±0.1	191±0.4	226±0.1
	O1	155±0.4	195±0.2	155±0.4	193±0.1	156±0.4	194±0.1
	P1	65±0.4	220±0.5	63±0.4	222±0.4	63±0.4	222±0.3
半日潮	M2	203±0.8	260±0.2	207±0.6	257±0.2	207±0.6	258±0.2
	S2	68±0.8	258±0.7	70±0.5	257±0.5	70±0.7	257±0.5
	N2	55±0.8	234±0.8	57±0.6	233±0.6	56±0.6	233±0.6

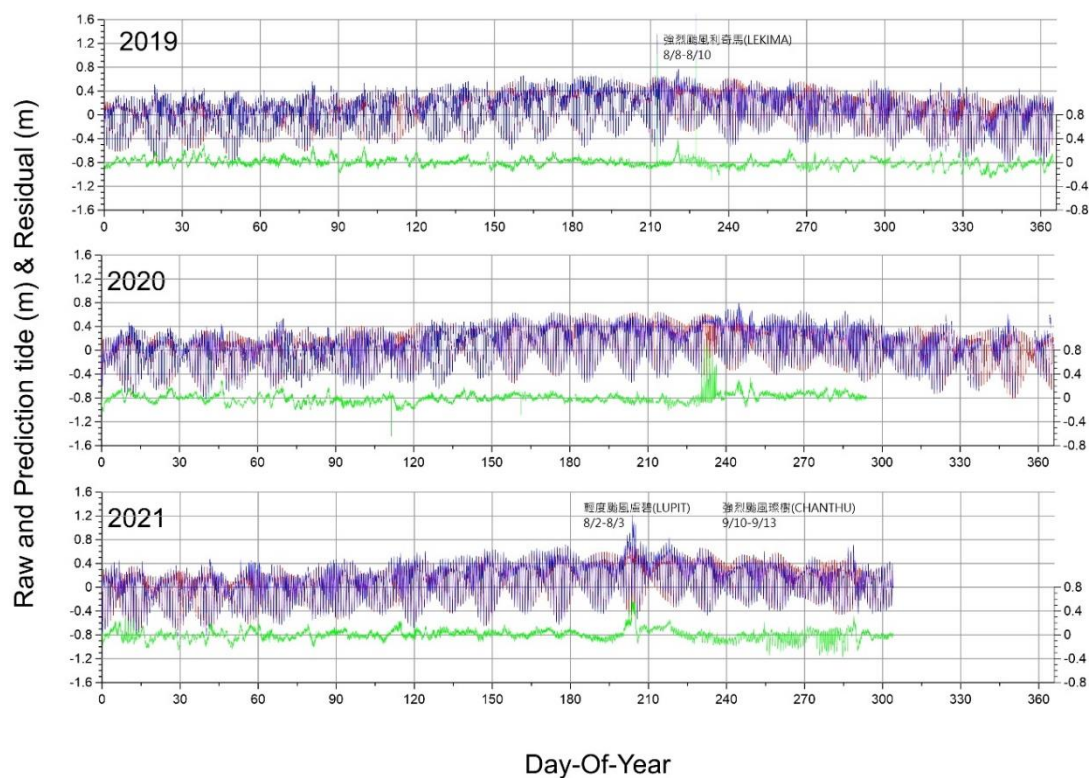


圖 4.5-9、基隆潮位站音波式水位計觀測數據與調和分析之重組潮位時序圖

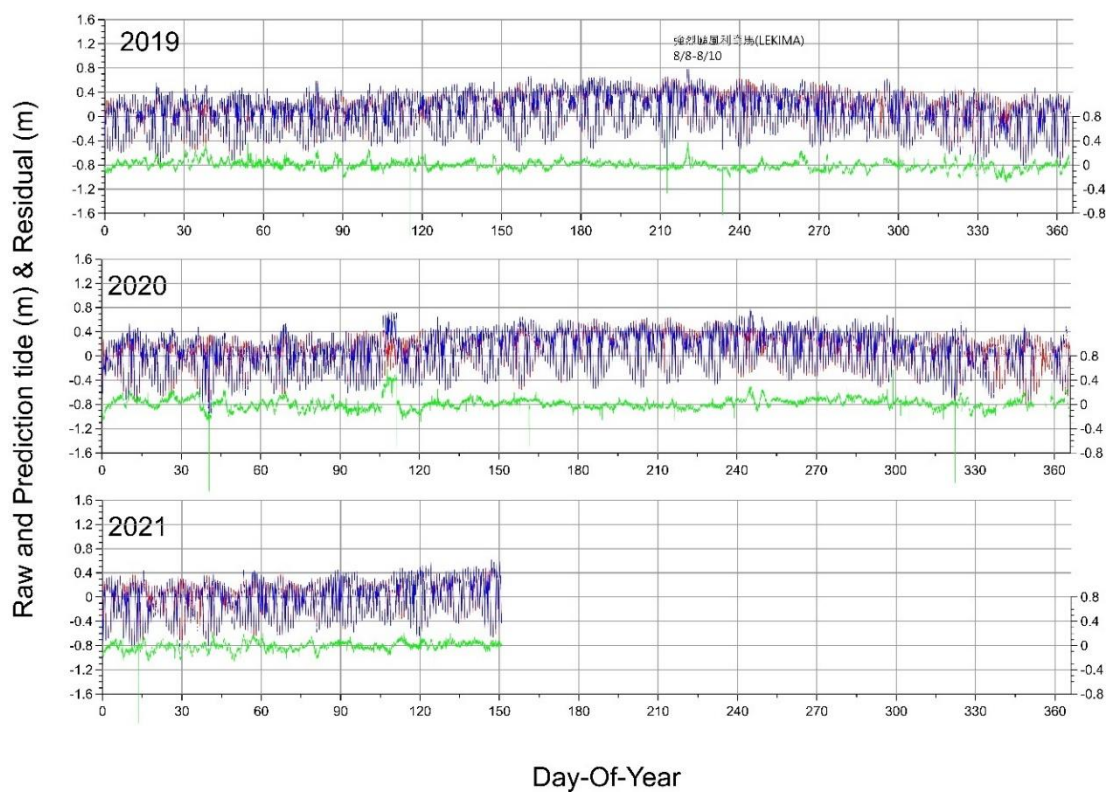


圖 4.5-10、基隆潮位站壓力式水位計觀測數據與調和分析之重組潮位時序圖

圖

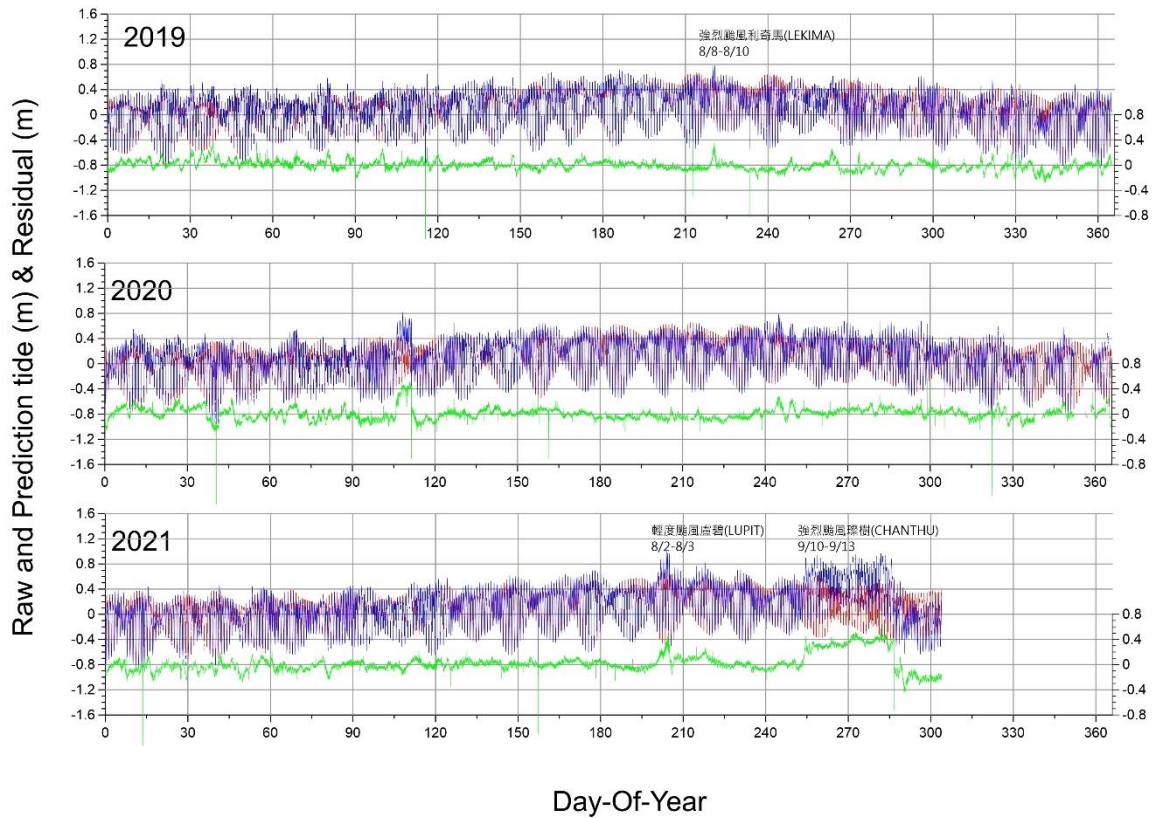


圖 4.5-11、基隆潮位站雷達式水位計觀測數據與調和分析之重組潮位時序

圖

基隆新設潮位站多年期水位計計算平均海水面高，如表 4.5-5 所示，其中觀測值平均為觀測量之算術平均，分潮重組為將潮位數據 UTide 進行調和分析，計算觀測時間範圍內各分潮重組後之平均海水面高。三種水位計中重組值最高的是壓力式水位計，其次為雷達式，最低是音波式，分別為 0.0947、0.0939 及 0.0849 m，差值約在 1-10 mm；比較觀測值平均與分潮重組平均之差值在 8-16 mm。

表 4.5-5、基隆潮位站水位計平均海水面高(單位：m)

潮位數據 2019/01/01 00:00- 2021/10/31 23:24	音波式 (S)	壓力式 (P)	雷達式 (R)	S-P	S-R	P-R
觀測值平均(m)	0.095	0.1109	0.1031	-0.016	-0.008	0.008
標準偏差(m)	0.2784	0.2882	0.2804			
分潮重組後平均(m)	0.0849	0.0947	0.0939	-0.010	-0.009	0.001
觀測值平均與重組平均 之差值(m)	0.0101	0.0162	0.0092			

本工作案另逐年計算各潮位計觀測量之算術平均，以 UTide 進行當年度調和分析計算分潮重組後之平均海水面高，其結果如表 4.5-6 所示。由表 4.5-6 可見，2015 至 2018 年三個水位計逐年觀測值平均及分潮重組海水面不盡相同，2016 年壓力式及音波式水位數據完整(圖 4.5-6 至圖 4.5-8)，平均海水面則相近(觀測值平均 0.0566 及 0.0571 m；分潮重組 0.0545 及 0.0607m)，2019 及 2020 年三個水位計數據完整，壓力式、音波式及雷達式分潮重組之平均海水面差值 3-12 mm。

表 4.5-6、基隆潮位站逐年水位計平均海水面高(單位：m)

年度	項目	S	P	R	S-P	S-R	P-R
2015	觀測值平均	0.1357	0.0818	0.1439	0.0539	-0.0082	-0.0621
	標準偏差	0.2626	0.2992	0.2585			
	分潮重組後平均	0.1716	0.1239	0.1646	0.0477	0.007	-0.0407
2016	觀測值平均	0.0571	0.0566	0.0857	0.0005	-0.0286	-0.0291

年度	項目	S	P	R	S-P	S-R	P-R
	標準偏差	0.2661	0.2723	0.2492			
	分潮重組後平均	0.0607	0.0545	0.0399	0.0062	0.0208	0.0146
	觀測值平均	0.0361	0.1164	0.0666	-0.0803	-0.0305	0.0498
2017	標準偏差	0.2675	0.2665	0.264			
	分潮重組後平均	0.0361	0.1227	0.1635	-0.0866	-0.1274	-0.0408
	觀測值平均	0.1147	0.1054	0.1047	0.0093	0.01	0.0007
2018	標準偏差	0.275	0.2928	0.2767			
	分潮重組後平均	0.1167	0.1092	0.3359	0.0075	-0.2192	-0.2267
	觀測值平均	0.0869	0.0991	0.0906	-0.0122	-0.0037	0.0085
2019	標準偏差	0.2727	0.2714	0.2741			
	分潮重組後平均	0.0897	0.1024	0.0936	-0.0127	-0.0039	0.0088
	觀測值平均	0.0913	0.1052	0.0945	-0.0139	-0.0032	0.0107
2020	標準偏差	0.2805	0.2775	0.2789			
	分潮重組後平均	0.0839	0.0957	0.0888	-0.0118	-0.0049	0.0069
	觀測值平均	0.0913	0.1052	0.0945	-0.0139	-0.0032	0.0107

以量測方式而言，音波式水位計屬於直接量測儀器裝置，因傳導介質之溫度、濕度會影響音波的傳導，需做溫度及濕度的校正，設計上亦包含這些改正的考量；雷達式水位計與音波式水位計很相近，使用雷達波亦受傳導介質之影響；壓力式水位計屬於間接量測，利用感測器感應海水位升降產生之壓力變化，將所量測之壓力值轉換成水位高度。音波



式及雷達式不因海水比重、溫度等影響測量。

以環境而言，基隆新設潮位站於颱風期間，靜水井容易帶入汙泥及垃圾，音波式導音管受到汙泥阻塞之威脅嚴重，現維護時加強防止汙泥進入導音管，近兩年較無阻塞問題。壓力式水位計於汙泥淤積嚴重時，會覆蓋住感測器，導致無法量測水深，或因汙泥與海水密度不同，影響壓力值換算水位高度，長期受汙泥影響易造成感測器故障；雷達式則常因漂浮性垃圾產生觀測異常。以基隆新設潮位站而言，汙泥及垃圾影響潮位計之穩定，雷達式潮位站另受靜水井垃圾影響。整體而言，基隆新設潮位站以音波式為主，壓力式為輔助系統。

## 2、東沙潮位站

東沙潮位站於 2009 年 10 月 31 日完工，為一連續式運作之潮位與水溫觀測站，其組成構件包含設置於碼頭沉箱上靜水井中之一具 Druck PTX 1830 壓力式水位計與一具溫度計，透過訊號線傳輸訊號至東沙漁民服務站文康室內之記錄器，訊號線經由預設之暗管經由碼頭至安檢站旁，再以 PVC 管沿著安檢站屋頂，鋪設至漁民服務站屋頂後至文康室內，線路配置示意圖如圖 4.5-12 所示。壓力式水位計與溫度計分別經由不同暗管，至安檢站後方才在同一 PVC 管內，其目的在降低類比訊號彼此干擾，表 4.5-7 為潮位站設備廠牌及型號。由於地理位置維護不易，故自設站起，以 Druck PTX1830 為主要系統，另以自記式壓力計作

備援系統，以確保潮位資料之蒐集。

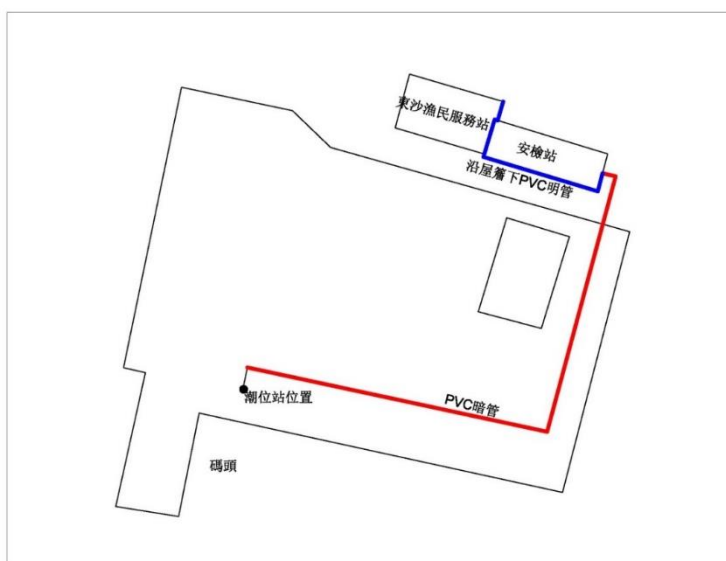


圖 4.5-12、東沙潮位站線路配置示意圖

表 4.5-7、東沙潮位站設備廠牌及規格

設備名稱	廠牌	型號	量測精度	備註
連續式壓力式水位計	GE Druck	PTX1830	±0.1% (FS)	
自記式壓力式水位計	SEA BIRD	SBE 39 TP	±0.1% (FS)	
	SEA BIRD	SBE 39plus	±0.1% (FS)	
	RBR	RBRduet <sup>3</sup> T.D	±0.05% (FS)	
水溫計	SETRON	PT-100	±0.1°C at 0°C	
資料蒐集記錄器	VAISALA	QML201A		
通訊模組	VAISALA	DSU232		
CF 記憶卡	SanDisk	COMPACTFLASH		
溫濕壓計	Lufft	OPUS 20		
無線電模組	MOXA	NPort W2150A		
充電控制器(備用)	Mashin	SR1208		
電池	YUASA	55D23L-SMF		55Ah
充電控制器(通訊)	MorningStar	SHS-6		6A/12V
充電控制器(量測)	SunSaver	6L		12V
太陽能板(新增)	RiTEK	PM150		150W
4G 通訊模組(新增)	Kepro	MA32L-ESEN		4G
電池(新增)	YUASA	NP7-12		7Ah

東沙潮位站化算平均海水面高程為參考以東沙基準點(DSDT)公告

高程，自 DSDT 點位以直接水準測量方式引測至潮位站旁潮位站水準點 TG77(如圖 4.5-13)。水準測量施測時間為 2012 年 7 月，施測儀器為 TrimbleDiNi12 自動紀錄水準儀，設備規格符合，閉合差符合「基本測量實施規則」之二等基本控制測量之精度規範，即  $5\text{mm}*\sqrt{k}$  ( $k$  為水準路線之公里數)，水位計常數測量施測時間為 2018 年 11 月，常數為自計式及連續式水位計的感測器至 TG77 之高程差。自 2018 年 8 月 7 日起自記式水位計為 RBRduet3 T.D，前期為 SBE 39TP。

東沙連續式潮位站現由氣象局維護(2019 年 1 月 1 日起)，潮位數據為壓力式水位計量測之水深，本研究案將水深化算至參考點(連續式 ref 位置)之水位高程。

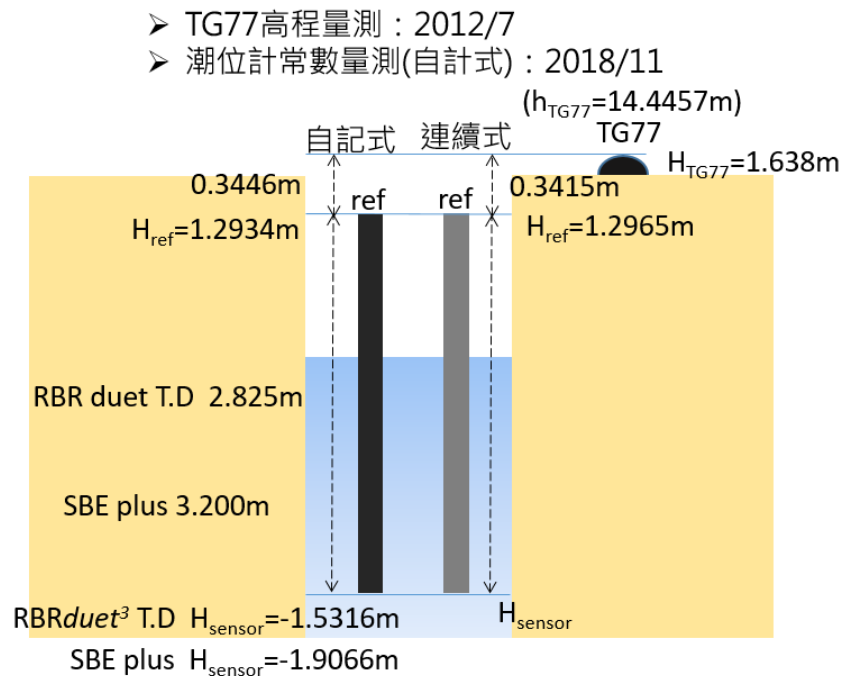


圖 4.5-13、東沙潮位站水準點 TG77 與壓力式水位計(連續式和自記式)相對高程差

東沙潮位站歷年儀器異常期間如表 4.5-8，歷年潮位數據(2009 年 9 月 14 日至 2021 年 7 月 25 日 7 點 54 分)經調和分析信噪比(SNR)大於 20，95%信心區間，共解析出 62 個主要分潮(UTide Cnstit)，各分潮之頻率、振幅、振幅誤差、相位角、相位角誤差與信噪比詳附件 C。主要分潮頻率(Frequency, 單位為 cyclesperhour(cph))為 1/24 (約 0.042)，即為 24 小時附近之全日潮 K1、O1、P1 及 Q1 振幅分別為 277 mm、242 mm、88 mm 及 46 mm，相位角分別為 303 度、253 度、298 度及 230 度，頻率為 1/12(約 0.083)，即為 12 小時附近之半日潮 M2、S2 及 N2 振幅分別為 145 mm、47 mm 及 33 mm，相位角分別為 255 度、272 度及 238 度。

表 4.5-8、東沙潮位站異常及排除狀況

期間	儀器	發生原因	處理方法
2012/10/23~ 2013/12/4	水位計 水溫計	因東沙安檢站施工時挖斷壓力式水位計及水溫計線路，配合安檢站施工，潮位站至 2013/12/4 才完成更換水位計及水溫計。	潮位站重建
2014/03	水溫計	故障	更換新品
2015/06	水位計	故障	更換新品
2016/11	水溫計	故障	更換新品
2019/5/28~ 2019/9/26		因電源供電異常造成資料紀錄器寫入異常	並聯電池並重整資料紀錄器
2021/4/16~		應為通訊問題，數據無法回傳	暫無法排除，數據均紀錄於紀錄器中。

圖 4.5-13、圖 4.5-14 及圖 4.5-15 為東沙潮位站歷年觀測潮位(藍)、重組潮位(紅)與殘差(綠)時序圖，圖中註記影響東沙的颱風與熱帶氣旋時序，可見颱風與數據異常關聯性。2012/10/23 潮位站因東沙安檢站施工時挖斷壓力式水位計及水溫計線路，配合安檢站施工，潮位站至 2013/12/4 才修復，故此區間無潮位數據。由潮位觀測數據直接計算之平均海水面為 0.003 m (如表 4.5-9)，Utide 進行調和分析得平均海水面為 -0.0078 m (如表 4.5-10)，兩平均海水面差值約為 11 mm。由圖 4.5-14 至圖 4.5-16 中殘差值顯示，大部分年份於 1 月至 3 月有殘差值先上升再下降的現象，每次影響約 30 至 40 天，2021 年發生於 2 至 4 月，較往年晚約 1 個月，由於本潮位站為淺水站易受表層海水變化影響，可能受氣象因子(如：冬北季風)或聖嬰現象所影響。



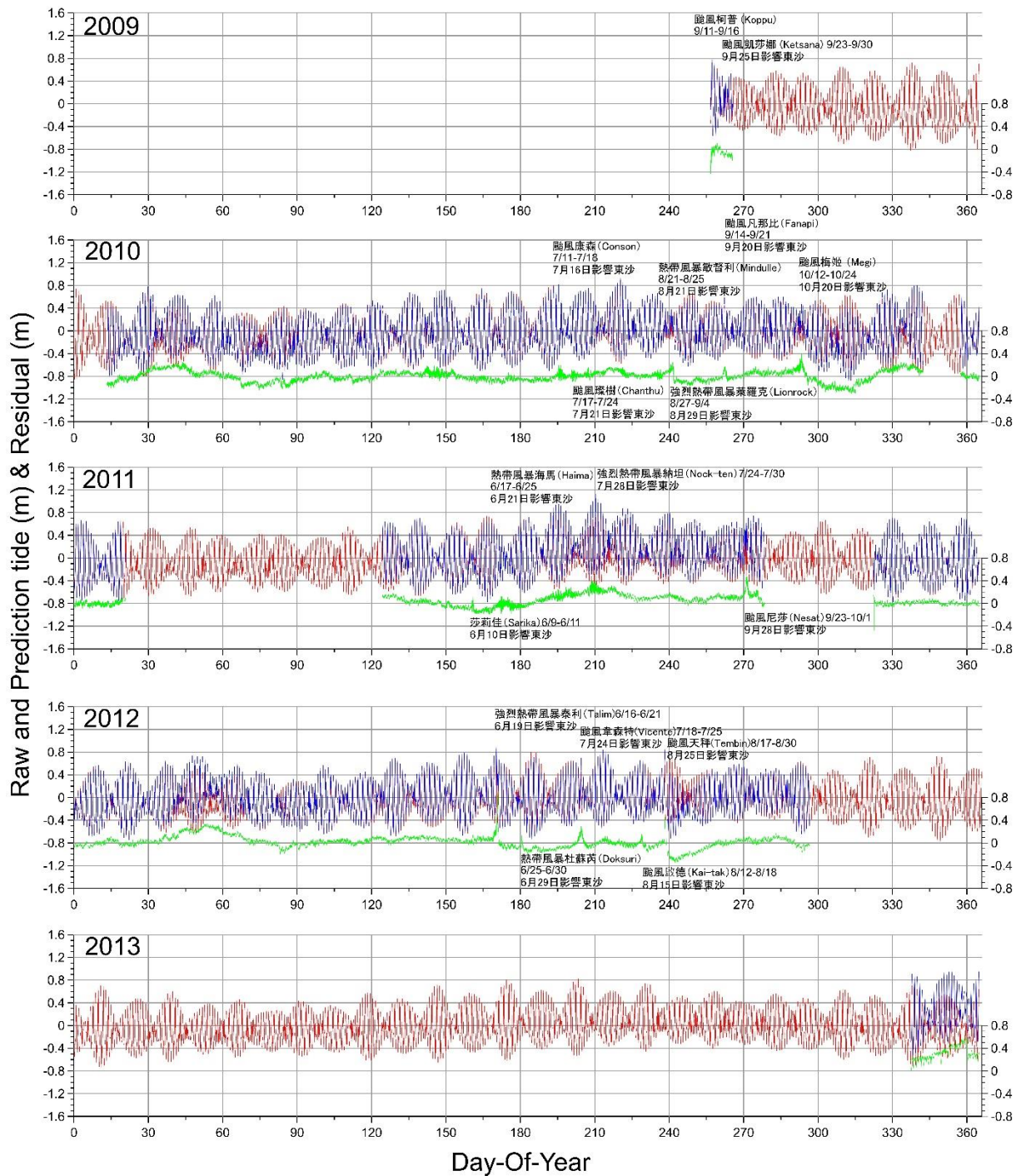


圖 4.5-14、東沙潮位站 2009 年至 2013 年觀測潮位(藍)、預報潮位(紅)與殘差(綠)時序圖

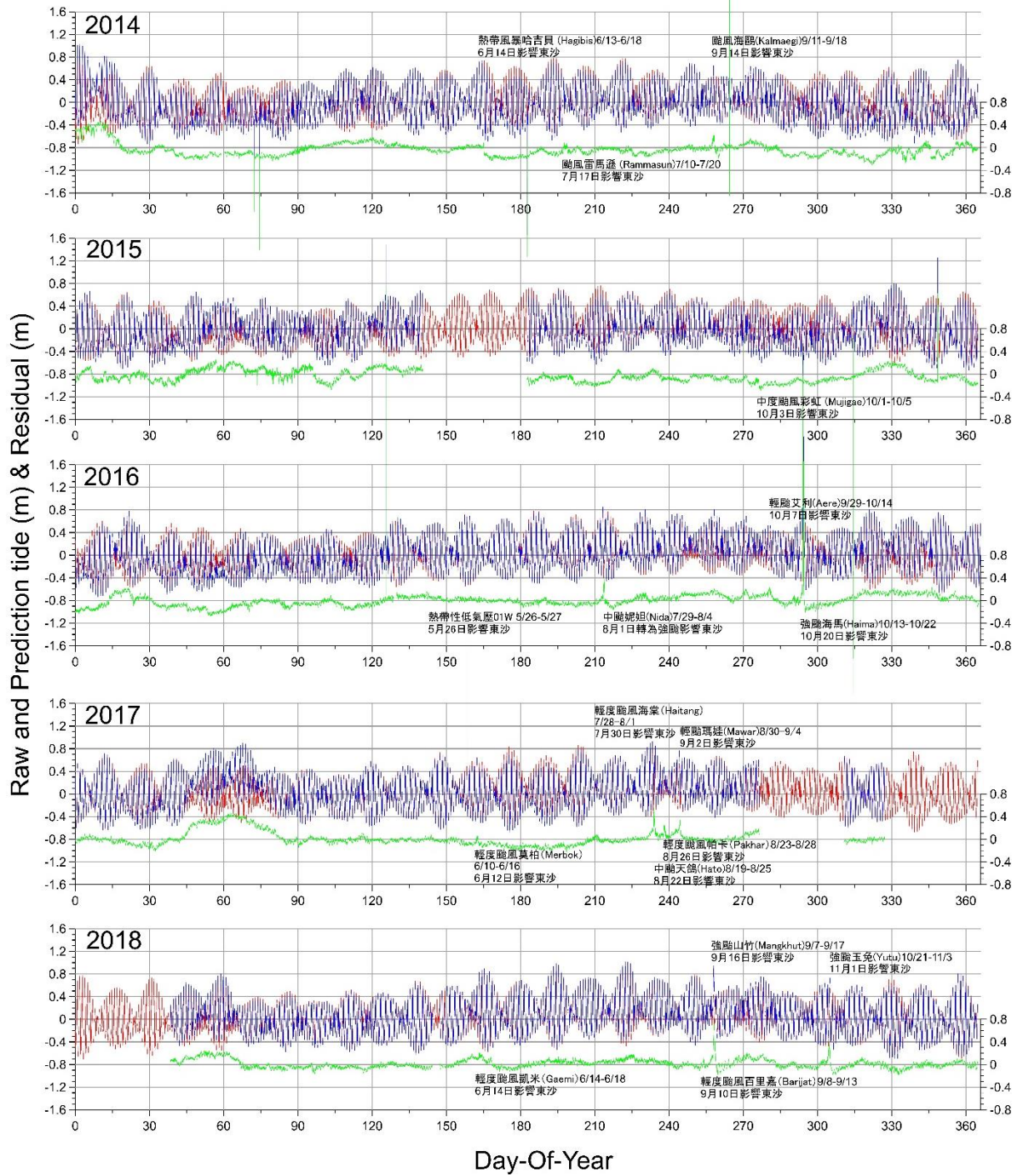


圖 4.5-15、東沙潮位站 2014 年至 2018 年觀測潮位(藍)、預報潮位(紅)與殘差(綠)時序圖

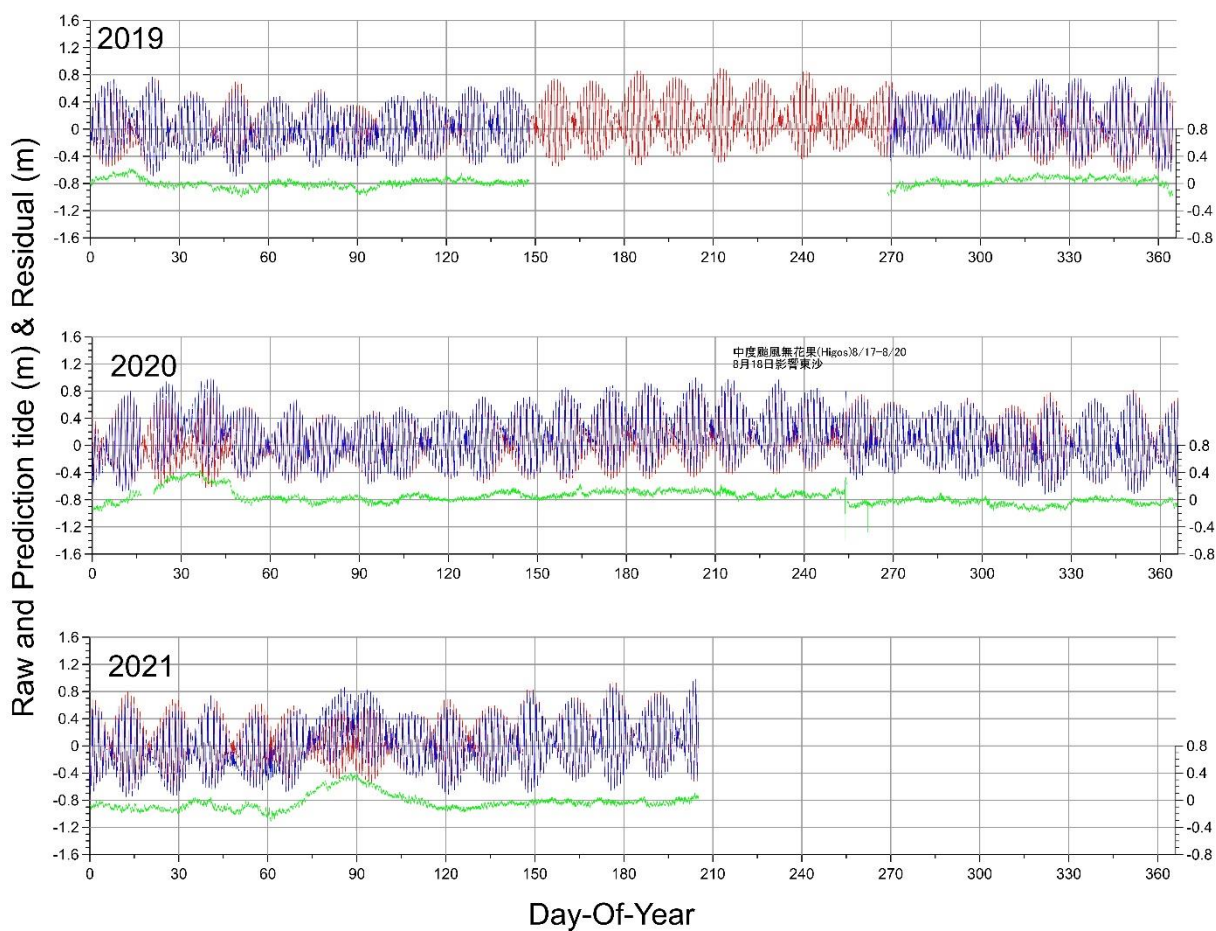


圖 4.5-16、東沙潮位站 2019 年至 2021 年觀測潮位(藍)、預報潮位(紅)與殘差(綠)時序圖

表 4.5-9、東沙潮位站觀測潮位平均海水面高

觀測時間		年平均海水面 (m)	標準偏差 ( $\sigma$ )	平均海水面 (m)
開始	結束			
2009/09/14 08:36	2009/12/30 06:36	0.0737	0.2857	0.003 $\pm 0.3063$
2010/01/14 02:00	2010/12/31 23:54	-0.0635	0.3175	
2011/01/01 00:00	2011/12/31 23:54	0.0193	0.3381	
2012/01/01 00:00	2012/12/31 23:54	-0.0238	0.2948	
2014/01/01 00:00	2014/12/31 23:54	-0.0526	0.2896	
2015/01/01 00:00	2015/12/31 23:54	-0.0437	0.2757	
2016/01/01 00:00	2016/12/31 23:54	0.0043	0.2947	
2017/01/01 00:00	2017/12/31 23:54	0.0328	0.2918	



觀測時間		年平均海水面 (m)	標準偏差 ( $\sigma$ )	平均海水面 (m)
開始	結束			
2018/01/01 00:00	2018/12/31 23:54	0.0525	0.2918	
2019/01/01 00:00	2019/12/31 23:54	-0.0374	0.2778	
2020/01/01 00:00	2020/12/31 23:54	0.0882	0.3206	
2021/01/01 00:00	2021/07/25 07:54	0.0004	0.3346	

表 4.5-10、東沙潮位站調和分析分潮重組平均海水面高(單位：m)

觀測時間		年平均海水面 (m)	平均海水面 (m)
開始	結束		
2009/08/23 03:00	2009/12/30 06:36	-0.0533	-0.0078
2010/01/14 02:00	2010/12/31 23:54	-0.0516	
2011/01/01 00:00	2011/12/31 23:54	0.0672	
2012/01/01 00:00	2012/12/31 23:54	-0.0263	
2014/01/01 00:00	2014/12/31 23:54	-0.0526	
2015/01/01 00:00	2015/12/31 23:54	-0.0483	
2016/01/01 00:00	2016/12/31 23:54	0.0023	
2017/01/01 00:00	2017/12/31 23:54	-0.0108	
2018/01/01 00:00	2018/12/31 23:54	0.0540	
2019/01/01 00:00	2019/12/31 23:54	-0.0074	
2020/01/01 00:00	2020/12/31 23:54	0.0755	
2021/01/01 00:00	2021/07/25 07:54	-	

4.5.2 配合內政部及國立海洋科技博物館，規劃水深與高程測量相關成果發表之科學教育教材，並舉辦 1 場次(至少 6 小時)之科教活動；受邀參加活動對象需經內政部同意

科學教材配合建置於海科館之潮位站及鄰近之臺灣水準原點為主題，

內容包含水準原點、潮汐及高程測量，對象為高工學生，活動安排三場科普演講及海洋科技博物館二個展廳導覽介紹，科普演講由陽明交大土木系史天元教授、氣象局海象測報中心滕春慈主任與陽明交大土木系張智安教授分享高程與潮位測量、潮位與波浪觀測以及由太空看海洋議題，活動課程表如表 4.5-11。

本(110)年度於 10 月 13 日由海大附中(老師與學生共 56 位)及、瑞芳高工(老師與學生共 38 位)共 94 位一同參與，研習營活動照片如圖 4.5-17。

表 4.5-11、科教活動預定議程

時間	內容	主講人
08:00-08:30	報到	
08:30-09:00	高程與深度	陽明交通大學 史天元教授
09:00-10:00	潮位站/水準原點 參觀導覽	陽明交通大學 史天元教授 張智安教授
10:00-11:00	潮位與波浪觀測	中央氣象局 滕春慈主任
11:00-12:00	由太空看海洋	陽明交通大學 張智安教授
12:00-13:00	午餐	
13:00-15:30	海洋科技研發成果展示 基地/職涯探索	陽明交通大學張智安教授、王慧蓉工程師、海洋科技博物館講師





(a) 水準原點介紹



(b) 潮位站介紹



(c) 參觀 RB-02 船



(d) 水準測量介紹



(e) 頒發研習營證書

圖 4.5-17、研習營活動紀實

#### 4.5.3 蒐集本案相關之航遙測技術與應用文件，製作科學教育數位課程教材

1 式，並舉辦 1 場次(至少 6 小時)之科教活動；受邀參加活動對象需經內政部同意

本團隊與國立中央大學太空及遙測研究中心-資源衛星接收站合作，規劃辦理一個場次的「衛星遙測基礎應用教育推廣工作坊」，介紹航遙測技術與應用相關成果，以衛星遙測科技分析應用與實作進行說明，以推廣衛星遙測科學教育。本次活動約 6 小時，參加活動之對象以高中(職)、國中、國小現職教師為主。本次活動原訂暑假期間舉辦，由於今年暑假時疫情略為升溫，因此將活動時間延後至於 10 月 25 日(星期一)辦理，活動報名簡介如圖 4.5-18，活動議程安排如表 4.5-12。透過案例探討、人員互訪等資訊交流活動，培養衛星遙測科學教育種子教師，擴展衛星遙測科技在基層教育之普及性，提升遙測及空間資訊科技教學、研究及應用紮根之目標。本活動所製作的講義及實作教材等資料，亦經整理後提供與會中小學教師等作為科學教育數位教材。本活動原報名人數 41 名，延期舉辦後實際報到人數 18 名，活動相關照片如圖 4.5-19。

## 衛星遙測基礎應用教育推廣 工作坊

**活動目標**

1. 培養衛星遙測種子教師，擴展衛星遙測科技在基層教育之普及性。
2. 啟發及建立創新課程內容、探索與教學。
3. 合作規劃特色課程。

**主辦單位** 國立中央大學太空及遙測研究中心

**研習時間** 110年 10月 25日 (星期一)

**研習地點** 桃園市中壢區中大路300號國立中央大學太空及遙測研究中心

**參加對象**

- 以高中(職)、國中、國小現職教師為主。
- 全程參與學員，本中心核予7小時研習時數。
- 學員以45名為限。

**報名方式**

- 一律線上報名，活動官網：<https://camp.csrnr.ncu.edu.tw/spc/index.php>，即日起至 110年10月 1日止，10月5日於線上公佈錄取名單。
- 免收研習費，為保障學員學習權益，錄取學員將酌收保證金1,000元，全程參與學員，活動結束時退還保證金。

**活動洽詢** (03) 422-7151轉 57677；傳真：(03) 425-5535  
E-mail：spc@csrnr.ncu.edu.tw

圖 4.5-18、科教活動推廣簡介

表 4.5-12、科教活動議程表

時間	主題	授課教師
09:00~09:30	學員報到	
09:30~09:40	開場	林唐煌主任 蔡富安教授
09:40~10:20	太空及遙測研究中心簡介	林唐煌主任
10:20~10:30	休息	
10:30~11:10	衛星接收站與衛星影像資源簡介	蔡富安教授
11:10~11:50	衛星遙測簡介	曾國欣教授
11:50~13:00	交流及用餐	
13:00~14:30	遙測影像變遷分析應用簡介及實作	劉建良助理工程師
14:30~14:40	休息	
14:40~16:10	遙測影像雲端分析應用簡介及實作	林欣穎副工程師
16:10~16:30	心得與座談	





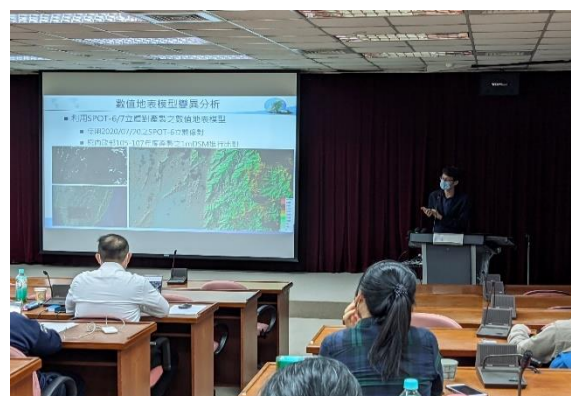
(a)太遙中心-林唐煌主任開場



(b)活動主持人-蔡富安教授課程介紹



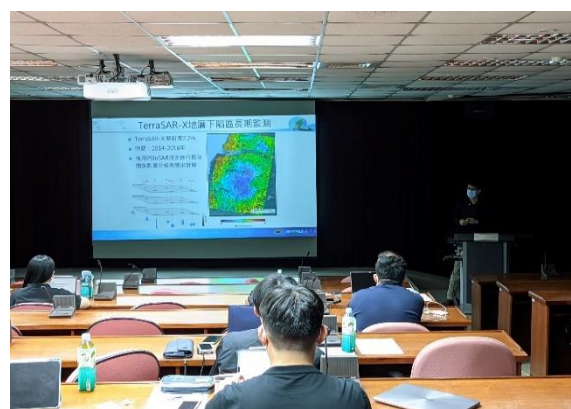
(c)航遙測影像介紹與推廣



(d)航遙測影像變異分析案例



(e)航遙測影像應用教學



(f)航遙測影像監測應用案例

圖 4.5-19、衛星遙測基礎應用教育推廣工作坊活動照片

## 4.6 成果發表及技術交流

(一)本團隊完成期刊及論文(含SCI等級)投稿共4篇,分別為(1) IEEE Internet

of Things，題目為 An Ontology Integrating the Open Standards of City Models and Internet of Things for Smart-city Applications。(2) 2021 國際遙感探測會議 (International Symposium on Remote Sensing, ISRS)，題目為 3D BUILDING MODELS RECONSTRUCTION USING HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGERY WITH DEEP LEARNING NEURAL NETWORK。(3) 航測及遙測學刊，題目：應用深度學習於航照正射影像之房屋偵測。(4) Asian Journal of Geoinformatics，題目：3D Localization of SAR Imagery with Digital Surface Model。投稿證明請參考附件 E。

(二) 本團隊已參加 ISRS2021(International Symposium on Remote Sensing 2021) 線上研討會 (<http://isrs.or.kr/>)，日期為 5 月 26 日至 28 日，並於 6 月份工作會議中進行分享、討論，表 4.6-1 為此次研討論之主題，以及與本計畫有相關之題目列表，各主題詳細內容與說明可參考附件 F。

表 4.6-1、蒐集研討會報告資訊

	題目	備註
1	"Generation of user-friendly image products for new Korean land observation satellites"	主題演講
2	Remote sensing in the era of 'Anthropocene' ~ Observation of atmospheric trace species emitted by human activities.	主題演講
3	Remote Sensing and Geospatial Information in Taiwan –Status and Prospects.	主題演講
4	Introduction of Geo Big Data Open Platform	與本計畫相關之論文題目

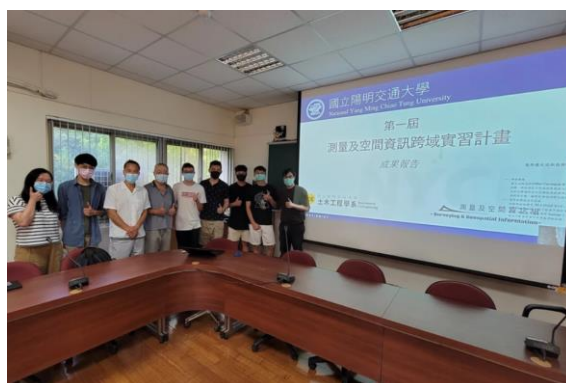


	題目	備註
5	Mapping Inaccessible Areas Using Deep Learning Based Semantic Segmentation of VHR Satellite Images with OpenStreetMap Data	與本計畫相關之論文題目
6	Vehicle Detection from Aerial Images Based on YOLO V4	與本計畫相關之論文題目
7	Damage Proxy Map (DPM) From Sentinel-1 Insar Coherence Applied to 2016 GyeongGju Earthquake	與本計畫相關之論文題目
8	Micro-Level Building Change Detection From True Orthoimages Using Spatio-Temporal Attention Mechanism	與本計畫相關之論文題目
9	Building Semantic Segmentation In Aerial Orthophotos Using Dual Attention With Ndsm	與本計畫相關之論文題目

(三)本團隊成立 GeoAI 實驗室，成立目的為：(1)研發三維國土形變與空間智能分析之相關智慧製圖技術，(2)推動智慧製圖與空間資訊領域產業之連結。GeoAI 實驗室團隊專注於智慧製圖技術之發展，並推動與空間資訊領域之連結。工作內容如圖 4.6-1 所示：



(a)成立 GeoAI 實驗室網頁



(b)暑期跨域實習計畫培育 GeoAI 跨域人才



(c)指導大專生以 AI 道路巡檢為題參與競賽



(d)訪談 Richi Tech，以「人工智慧於智慧製圖」為題進行研討

圖 4.6-1、GeoAI 實驗室活動照片

#### 4.7 成果效益評估與計畫進度管考

依據科技計畫績效管考平台 (<http://stprogram.stpi.narl.org.tw/>) 提供格式，配合內政部辦理本案計畫「科技發展計畫績效評估作業」自評作業需求，參考內政部提供之相關績效作業範本，填寫本案相關成果效益報告書、績效指標、佐證資料、政府科技發展計畫績效評估；另配合內政部將各期資訊登載政府研究資訊系統 (GRB, <https://www.grb.gov.tw/>)，且將登載結果繳附於各期工作成果，並適時接受諮詢。

在政府研究資訊系統部分，已於 2021/08/13 完成期中報告之成果登載 (圖 4.7-1)，待期末報告之定稿版本確定後，再進行期末報告之成果登載。在科技發展計畫績效評估作業部分，已於 2021/10/8 完成期中報告自評作業文件，並提供予內政部，後續將依內政部需求內容，進行期末報告自評作業文件撰寫。

公開設定	計畫名稱	計畫摘要	期中摘要	報告摘要	報告繳交	實際成果
計畫/報告詳目 公開	110年度三維國土形變及空間智能分析技術發展工作案 (年度: 110 編號: 未填)	<a href="#">查看</a>	<a href="#">查看</a>	<a href="#">儲存</a>	未繳	待填
報告電子檔	<a href="#">計畫架構</a> <a href="#">研究(圖說資料)</a> <a href="#">研發成果(技術)</a> <a href="#">研究資料</a> <a href="#">日誌</a>	<a href="#">PDF</a>	<a href="#">PDF</a>	<a href="#">會刪除</a>		

圖 4.7-1、政府研究資訊系統登載畫面

#### 4.8 工作會議

本團隊將定期召開工作會議，並適時接受諮詢。其中 2 次需邀請使用者（名單需先與內政部討論）參與交換意見，並作為後續應用方向或執行參考，所需費用由本團隊負擔。目前已召開 8 次工作會議，舉辦時間資訊如表 4.8-1，工作會議相關內容請參考附件 B。

表 4.8-1、工作會議舉辦時間表

	時間	備註
1	110 年/4/13	邀請內政部地政司-覃美芳參與
2	110 年/5/27	
3	110 年/6/25	邀請內政部地政司-覃美芳參與
4	110 年/7/29	
5	110 年/8/23	
6	110 年/9/22	邀請國立成功大學-曾義星教授參與、交換意見
7	110 年/10/22	邀請國立臺灣師範大學-王聖鐸教授參與、交換意見
8	110 年/11/18	邀請內政部地政司-康家桂參與

## 第五章 結論

本次期末報告執行 3.1 節詳列之各工作項目，並依 3.2 節規劃之工作進度執行工作項目，以確保計畫執行符合預定規劃進度。本計畫目前執行成果總結如下：

### 1. 應用人工智慧發展衛星影像地表形變分析技術與應用

(1) 利用雷達衛星影像發展長期地表形變智慧分析技術：本項工作完成雷達差分干涉成果之誤差精度評估方法與永久散射體誤差評估流程圖規劃。後續將以影像處理參數調整與對應精度評估結果來進行影像處理參數的學習。

(2) 建立機器學習於高解析光學影像地表形變分析技術：本項完成資料前處理作業，取得 DEM、坡度、地真資料等，分析紋理特徵資訊與規劃模型訓練流程，並解析 918 組訓練模型影像。

(3) 發展多元衛星影像智慧處理與立體重建技術：本項工作完成應用 SPOT-6/7 多重疊衛星像對重建數值地表模型之測試，利用 4 張影像匹配重建地形成果之均方根誤差為 2.75 公尺，17 張影像匹配重建地形成果可達近 2 公尺的均方根誤差，使用 30 張影像之均方根誤差成果則可達到 1.94 公尺之精度。

(4) 擴充衛星影像智慧加值應用與後續推動可行性評估：本項工作完

成影像智慧增值應用相關資訊的搜集，後續建議可朝向國際正在推動的即可分析 ARD 衛星影像資料倉儲模式來發展後續應用。

## 2. 應用人工智慧發展航遙測影像辨識技術與應用

(1) 建立航遙測影像地表形變智慧分析技術：本項工作完成數值地表模型進行 PIV 地表位移偵測技術，以人工量測地表位移量進行驗證，在特徵明顯的區域位移量誤差值約為 1 個像元；並比較數值地表模型與多光譜影像地表位移偵測成果，數值地表模型地表位移成果可呈現全區趨勢，但多光譜影像地表位移成果局部區域變化較為細緻。

(2) 建立航遙測影像智慧辨識訓練資料集，須對不同類型之資料集進行整理並分析其適用性：本項工作完成蒐集與分析針對航遙測影像語意分割之建築物標竿資料集，共分析十個國際公開資料集，航測影像建議可選擇 NZ32km<sup>2</sup> 資料集，而衛星影像建議可選擇 SpaceNet 資料集，做為後續應用於深度學習模型之遷移式學習訓練資料。

(3) 建立航遙測自動化地物智慧辨識與分類技術，並評估其精度與成效：本項工作完成深度學習模型於房屋偵測，並比較直接學習及遷移式學習，遷移式學習有較佳的精度表現，驗證應用深度學習於房屋偵測的可行性。

(4) 評估航遙測影像結合測量實工作之智慧整合應用：本項工作完成評估無人機測繪技術於「人孔調查」的可行性，並以無人機影像進



行人孔智慧判識試辦，實驗成果顯示獨立驗證區的偵測成果之誤授及漏授均小於 10%，自動化萃取及人工量測成果之坐標均方根誤差小於 10cm。

3. 衛星與航遙測影像智慧分析、辨識與製圖防災整合應用案例試辦

(1) 雷達衛星影像地表形變分析之試辦，至少包含全臺灣 C-波段多時期雷達影像，及選定之災害潛勢區域 L-波段與 X-波段雷達影像：本項工作完成五年期間之全臺灣 PSInSAR 相對形變速率觀測成果(C 波段)、雲林麥寮工業區(X 波段)與高雄中寮山(L 波段)形變監測試辦。後續為建立影像處理之參數數據庫與經驗分享。

(2) 以兩年內高解析(2 公尺或更優)光學衛星影像試辦數值地表模型(DSM)變異分析：本項工作完成南部及中部試辦區地形變異分析，比對立體像對產製之數值地表模型與前期之空載光達所產製數值地表模型，以 1/5000 圖幅為單元進行評估，了解其地形變異程度，並訂定評估之指標，用以篩選地形變異大之圖幅。

(3) 航遙測影像分析與辨識之結果，須與相關應用平台進行整合試辦：本項工作完成以 Google Earth Engine 應用平台衛星進行時序多光譜崩塌變異分析，使用 3 年的 Landsat-8 衛星影像進行訓練及預測，可達成快篩崩塌變異區域之應用目的。

(4) 以臺灣地區航遙測影像進行地物辨識與分類試辦，試辦區範圍至

少為五千分之一圖幅 10 幅(含)以上：本項工作完成臺灣通用電子地圖房屋偵測試辦，經由「跨圖幅預測」及「跨年度預測」試辦分析，影像中房屋高差移位現象會增加誤授的比例，智慧辨識的房屋面積會大於臺灣通用電子地圖的建物範圍，22 幅圖房屋偵測成果之 F1-Score 達 74%，召回率可達到 90%。

#### 4. 評估智慧物聯網之防災整合應用技術

(1) 模擬基於感測器與模型資料，發展智慧建築等適地性應用：本項工作完成物聯網之物件多種定義說明與三種標準資料模型之整合本體論，亦以 Unity 模擬即時火災逃生導引應用展現此技術之優勢。

(2) 模擬基於三維圖資與路網資訊整合路側影像感測器，發展具跨影像區域分析及物件追蹤之智慧防救災整合技術：本項工作完成跨 CCTV 影像移動物件追蹤處理程序設計，加入時間與空間資訊，顯著提升物件身份辨識與位置追蹤之精度。

(3) 以實際場域進行適地性服務應用試辦：本項工作以桃園高鐵站旁之桃園捷運 A18 站作為試辦地點，選定以智慧廁所為主題進行建置，已完成物聯網布設監測廁間使用情形、垃圾桶狀態等，並以攝影機監測排隊人數，建立資訊面板顯示預估等候時間及 Line 機器人推播相關訊息。

#### 5. 數據分析與科教活動

(1) 辦理高程基準潮位站數據分析工作：本項工作完成基隆潮位站音波式、壓力式及雷達式潮位計至 2021/10/31 及東沙潮位站壓力式潮位計至 2021/7/25 的潮位數據蒐集及分析，並完成基隆潮位站共站不同潮位計觀測值之差異分析。

(2) 配合內政部及國立海洋科技博物館，規劃水深與高程測量相關成果發表之科學教育教材，並舉辦 1 場次(至少 6 小時)之科教活動：本項工作 10 月 13 日於國立海洋科技博物館完成科學教育活動，共 94 位師生共同參與研習營活動。

(3) 蒐集本案相關之航遙測技術與應用文件，製作科學教育數位課程教材 1 式，並舉辦 1 場次(至少 6 小時)之科教活動：與國立中央大學太空及遙測研究中心-資源衛星接收站合辦，規劃航遙測技術與應用相關成果，並以衛星遙測科技分析應用與實作進行說明。本次活動於 10 月 25 日(星期一)辦理(至少 6 小時)，參加活動之對象以高中(職)、國中、國小現職教師為主。透過案例探討、人員互訪等資訊交流活動，培養衛星遙測種子教師，擴展衛星遙測科技在基層教育之普及性，提升遙測及空間資訊科技研究及應用紮根之目標。

## 6. 成果發表及技術交流

1. 本項工作完成投稿期刊及論文共 4 篇：(1) IEEE Internet of Things，題目為 An Ontology Integrating the Open Standards of City Models and

Internet of Things for Smart-city Applications。(2) 2021 國際遙感探測會議(International Symposium on Remote Sensing,ISRS)，題目為 3D BUILDING MODELS RECONSTRUCTION USING HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGERY WITH DEEP LEARNING NEURAL NETWORK。(3)航測及遙測學刊，題目：應用深度學習於航照正射影像之房屋偵測。(4) Asian Journal of Geoinformatics，題目：3D Localization of SAR Imagery with Digital Surface Model。

2. 參加 ISRS2021(International Symposium on Remote Sensing 2021)線上研討會，日期為 5 月 26 日至 28 日，並於 6 月份工作會議中進行分享、討論。

3. 分別成立 GeoAI@NCU 及 GeoAI@NYCU 實驗室。旨在研發三維國土形變與空間智能分析之相關智慧製圖技術，推動智慧製圖與空間資訊領域產業之聯結。

## 參考文獻

- 1、內政部，2011，一千分之一數值航測地形圖成果檢查作業規定。
- 2、內政部國土測繪中心，2011，一千分之一數值航測地形圖測製作業規定。
- 3、內政部國土測繪中心，2020，109 年度多旋翼機航拍與影像處理及設備維護作業採購案，工作總報告。
- 4、內政部營建署，2020，公共設施管線資料標準，NGISTD-ANC-028-2020.01.13。
- 5、內政部營建署，2020，公共設施管線資料標準 2.0 版。
- 6、臺灣資通產業標準協會，2020，高精地圖圖資內容及格式標準，TAICS TS-0024 v1.0。
- 7、行政院農業委員會資料開放平台，衛星判識全島崩塌地圖，<https://data.coa.gov.tw/Search/Search.aspx?Keyword=%u885b%u661f%u5224%u91cb%u5168%u5cf6%u5d29%u584c%u5730%u5716>，上次查訪:2021-07-01。
- 8、陳棋炫，王婷慧，蘇俊陽，趙韋安，陳勉銘，& 費立沅. (2017). 利用多時期山崩目錄評估山崩發生度-以曾文水庫集水區為例. 工程環境會刊, (36), 49-66.
- 9、Badrinarayanan, V., Kendall, A., & Cipolla, R. (2017). Segnet: A deep convolutional encoder-decoder architecture for image segmentation. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 39(12), 2481-2495.
- 10、Chen, H., & Shi, Z. 2020. A spatial-temporal attention-based method and a new dataset for remote sensing image change detection. *Remote Sensing*, 12(10), 1662.
- 11、Chen, L. C., Zhu, Y., Papandreou, G., Schroff, F., & Adam, H. (2018). Encoder-decoder with atrous separable convolution for semantic image segmentation. In *Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV)* (pp. 801-818).
- 12、Chen, Q., Wang, L., Wu, Y., Wu, G., Guo, Z., & Waslander, S. L. Aerial Imagery for Roof Segmentation: A Large-Scale Dataset towards Automatic Mapping of Buildings. *arXiv 2018. arXiv preprint arXiv:1807.09532*.
- 13、Codiga, D. L., 2011, Unified Tidal Analysis and Prediction Using the UTide Matlab Functions, Technical Report 2011-01, Graduate School of Oceanography, University of Rhode Island, Narragansett, RI, pp.59.
- 14、Commandre, B., En-Nejjary, D., Pibre, L., Chaumont, M., Delenne, C., & Chahinian, N. (2017, June). Manhole cover localization in aerial images with a deep learning approach. In *ISPRS Hannover Workshop: HRIGI 17–CMRT 17–ISA 17–EuroCOW 17* (Vol. 42, pp. 333-338).
- 15、Dalal, N., & Triggs, B. (2005, June). Histograms of oriented gradients for human detection. In *2005 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition (CVPR'05)* (Vol. 1, pp. 886-893). IEEE.



- 16、Deijns, A. A., Bevington, A. R., van Zadelhoff, F., de Jong, S. M., Geertsema, M., & McDougall, S. (2020). Semi-automated detection of landslide timing using harmonic modelling of satellite imagery, Buckingham River, Canada. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 84, 101943.
- 17、Deng, H., Runger, G., Tuv, E., & Vladimir, M. (2013). A time series forest for classification and feature extraction. *Information Sciences*, 239, 142-153.
- 18、Foga, S., Scaramuzza, P. L., Guo, S., Zhu, Z., Dilley Jr, R. D., Beckmann, T., ... & Laue, B. (2017). Cloud detection algorithm comparison and validation for operational Landsat data products. *Remote sensing of environment*, 194, 379-390.
- 19、Foreman, M. G. G., 1977. *Manual for Tidal Heights Analysis and Prediction*, Pacific Marine Science Report 77-10, Institute of Ocean Science, Patricia Bay, Sidney, BC, Canada, 97.
- 20、Foreman, M.G.G., 1978. *Manual for tidal currents analysis and prediction*. Pacific Marine Science Report 78-6, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sidney, BC, 57.
- 21、Foreman, M.G.G., Cherniawsky, J.Y., Ballantyne, V.A., 2009, *Versatile Harmonic Tidal Analysis: Improvements and Applications.*, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 26, pp.806-817, DOI: 810.1175/2008JTECHO1615.1171.
- 22、Freund, Y., & Schapire, R. E., 1996. Experiments with a new boosting algorithm. In *icml* (Vol. 96, pp. 148-156).
- 23、Gordon, D., Farhadi, A., & Fox, D. (2018). Re3: Real-Time Recurrent Regression Networks for Visual Tracking of Generic Objects. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3(2), 788-795.
- 24、Gröger, G., Kolbe, T. H., Nagel, C., & Häfele, K.-H. (2012). OGC city geography markup language (CityGML) encoding standard. In *Open Geospatial Consortium standard*.
- 25、Haralick, R. M., Shanmugam, K., & Dinstein, I. (1973). Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 3(6), 610-621.
- 26、He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 770-778).
- 27、Ji, S., Wei, S., & Lu, M. 2018. Fully convolutional networks for multisource building extraction from an open aerial and satellite imagery data set. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 57(1), 574-586.
- 28、Jian, L. X., Tseng, K. H., 2020, *Decomposing Three-Dimensional Land Motion from A Synergy of PSInSAR and GNSS Stations*.
- 29、Kaiser, P., Wegner, J. D., Lucchi, A., Jaggi, M., Hofmann, T., & Schindler, K. 2017. Learning aerial image segmentation from online maps. *IEEE Transactions on*

- Geoscience and Remote Sensing, 55(11), 6054-6068.
- 30、Lee, J., Li, K.-J., Zlatanova, S., Kolbe, T. H., Nagel, C., & Becker, T. (2014). OGC IndoorGML. Open Geospatial Consortium standard.
  - 31、Leffler, K.E., Jay, D.A., 2009, Enhancing Tidal Harmonic Analysis: Robust (hybrid L-1/L-2) Solutions., Continental Shelf Research, 29, pp.78-88. DOI: 10.1016/j.csr.2008.1004.1011.
  - 32、Leprince, S., Barbot, S., Ayoub, F., & Avouac, J. P. 2007. Automatic and precise orthorectification, coregistration, and subpixel correlation of satellite images, application to ground deformation measurements. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 45(6), 1529-1558.
  - 33、Liang, S., Huang, C.Y., & Khalafbeigi, T. (2016). OGC SensorThings API Part 1: Sensing, Version 1.0. Open Geospatial Consortium standard.
  - 34、Liang, S., & Khalafbeigi, T. (2019). OGC SensorThings API Part 2–Tasking Core, Version 1.0. Open Geospatial Consortium standard.
  - 35、Liu, W., Cheng, D., Yin, P., Yang, M., Li, E., Xie, M., & Zhang, L. (2019). Small manhole cover detection in remote sensing imagery with deep convolutional neural networks. ISPRS International Journal of Geo-Information, 8(1), 49.
  - 36、Liu, X., Wang, X., Wright, G., Cheng, J. C., Li, X., & Liu, R. (2017). A state-of-the-art review on the integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS). ISPRS International Journal of Geo-Information, 6(2), 53.
  - 37、Long, J., Shelhamer, E., & Darrell, T. 2015. Fully convolutional networks for semantic segmentation. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 3431-3440).
  - 38、Maggiori, E., Tarabalka, Y., Charpiat, G., & Alliez, P. 2017. Can semantic labeling methods generalize to any city? the inria aerial image labeling benchmark. In 2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) (pp. 3226-3229). IEEE.
  - 39、Massonnet, D., Feigl K.L., 1998, Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface. Rev. Geophys., 36 (4), pp. 441-500.
  - 40、Mnih, V. 2013. Machine learning for aerial image labeling. University of Toronto (Canada).
  - 41、Open AI Tanzania. 2018. Open AI Tanzania Building Footprint Segmentation Challenge. URL: <https://competitions.codalab.org/competitions/20100>. (last date accessed: 24 June 2021).
  - 42、Parmar, V., Bhatia, N., Negi, S., & Suri, M. 2020. Exploration of Optimized Semantic Segmentation Architectures for edge-Deployment on Drones.
  - 43、Pawlowicz, R., B. Beardsley, and S. Lentz, 2002, Classical tidal harmonic analysis

- including error estimates in MATLAB using T\_TIDE, *Computers and Geosciences* 28(8): 929-937.
- 44、Pilkington, N., Svetlichnaya, S., & Holmes, T. 2019. GitHub-dronedeploy/ddml-segmentation-benchmark: DroneDeploy Segmentation Benchmark. URL: <https://github.com/dronedeploy/dd-ml-segmentation-benchmark>. (last date accessed: 24 June 2021).
  - 45、Reichstein, M., Camps-Valls, G., Stevens, B., Jung, M., Denzler, J., & Carvalhais, N. 2019. Deep learning and process understanding for data-driven Earth system science. *Nature*, 566(7743), 195-204.
  - 46、Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T., 2015. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In *International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention* (pp. 234-241). Springer, Cham.
  - 47、Rupnik, E., Daakir, M. & Pierrot Deseilligny, 2017, M. MicMac - a free, open-source solution for photogrammetry. *Open geospatial data, softw. stand.* 2, 14.
  - 48、Sak, H., Senior, A. W., & Beaufays, F. (2014). Long short-term memory recurrent neural network architectures for large scale acoustic modeling.
  - 49、Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv:1409.1556*.
  - 50、Stone, H. S., Orchard, M. T., Chang, E. C., & Martucci, S. A. 2001. A fast direct Fourier-based algorithm for subpixel registration of images. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 39(10), 2235-2243.
  - 51、Tai, Yu-Heng; Chang, Li-Yuan; Tsai, Fuan. 2018. Multi-Temporal Ground Deformation Monitoring for Mt. Agung, Indonesia Using Persistent Scatterer Interferometry. In: *EGU General Assembly Conference Abstracts*. 2018. p. 3830.
  - 52、Teo, T. A., 2019, Deep-Learning For LOD1 Building Reconstruction From Airborne Lidar Data, *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pp.86-89.
  - 53、Thielicke, W., & Stamhuis, E. 2014. PIVlab—towards user-friendly, affordable and accurate digital particle image velocimetry in MATLAB. *Journal of open research software*, 2(1).
  - 54、Tsai, Fuan; Tai, Yu-Heng. 2019. Fast Land Deformation and Damage Assessment After the 2018 Hualien Earthquake in Taiwan Using Multi-Source Remote Sensing Data. *AGUFM, 2019, 2019: NH31F-0912*.
  - 55、Van Etten, A., Lindenbaum, D., & Bacastow, T. M. 2018. Spacenet: A remote sensing dataset and challenge series. *arXiv preprint arXiv:1807.01232*
  - 56、Wu, G., Guo, Z., Shi, X., Chen, Q., Xu, Y., Shibasaki, R., & Shao, X. 2018. A boundary regulated network for accurate roof segmentation and outline extraction. *Remote Sensing*, 10(8), 1195.

- 57、Wu, G., Shao, X., Guo, Z., Chen, Q., Yuan, W., Shi, X., ... & Shibasaki, R. (2018). Automatic building segmentation of aerial imagery using multi-constraint fully convolutional networks. *Remote Sensing*, 10(3), 407.
- 58、Wu, J. Y., Teo, T. A., & Shih, P. T. Y. (2016). Geomorphological change detection using an integrated method: A case study on the Taan River watershed, Taiwan. *TAO: Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 27(4), 521.
- 59、Yang, H. L., Yuan, J., Lunga, D., Laverdiere, M., Rose, A., & Bhaduri, B. (2018). Building extraction at scale using convolutional neural network: Mapping of the united states. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 11(8), 2600-2614.
- 60、Zivkovic, Z. (2004, August). Improved adaptive Gaussian mixture model for background subtraction. In *Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition, 2004. ICPR 2004. (Vol. 2, pp. 28-31)*. IEEE.

## 其他相關資料及附件

附件 A：各期成果審查意見與回覆

附件 B：工作會議紀錄與簽到單

附件 C：基隆潮位站音波式水位計調和分析主要分潮表

附件 D：東沙潮位站現況

附件 E：期刊或研討會投稿全文或證明

附件 F：參與國際測繪相關研討會報告



## 附件 A：第一期成果審查意見與回覆

	意見			意見回應
1	有關「1.3未來規劃與構想」內表3-1工作項目「物聯網之防災整合應用技術」分年工作表及4.4.1末節內容請配合「4.4評估智慧物聯網之防災整合應用技術」各節規劃補充修正。(P.9、45)			已修改、補充表 1.3 未來規劃「物聯網之防災整合應用技術」內容。 已修改、補充 4.4.1 末節內容。
2	有關 4.1.1 利用雷達衛星影像發展長期地表形變智慧分析技術一節，請檢視並整併末 2 段關於參數調整內容(P.23)。			已補充、修正內容。
3	有關 4.1.3 發展多元衛星影像智慧處理與立體重建技術 1 節，請敘明擬評估運用之電腦視覺演算法名稱。(P.25)			已補充、修正內容。
4	有關 4.3.2 該節預期成果，請依本報告書其他章節格式敘明(P.40)。			已修正內容。
5	有關 4.4.1 小節部分，語意網技術請補敘英文名稱，方能對照後表 4.4-1，並請簡要敘述表列之資訊整合方法比較結果(P.45、46)。			已修正內容。
6	有關表 4.5-2 量測精度內容請再確認。(P.59)			已修改表 4.5-2 精度內容。
7	有關 4.5.2 及 4.5.3 有關科教活動部分，請補充因應新冠肺炎疫情之備選方案。(P.59、60)			4.5.2 如因疫情關係，學生無法離校，將採用赴校教學。選擇兩三所學校，安排半日演講。 4.5.3 如因疫情關係，將以網路視訊方式辦理科教活動。
8	工作計畫書(初稿)錯別或贅漏字更正如下，其餘內容請再詳校。			已修正。
	頁碼	原內容	建議修正	備註
	8	.....透過本去 109)年度發展之技術，.....	.....透過去 (109)年度發展之技術，.....	
	9、10	規劃航遙測技術與應用成果之科教活動	規劃航遙測技術與應用成果之科教活動	
	26	.....訂位不佳等問題，	.....定位不佳等問題，	
	35	或「一千分之一數值航測地形圖測製作業規定」	及「一千分之一數值航測地形圖測製作業規定」	

意見				意見回應	
45	、及領域應用模型 、及路網結構 、及(3).....	、及領域應用模型 、及路網結構 、及(3).....	頓號 為贅 字		
52	貴部	內政部			
53	本項工作亦或可與成 功大學.....	本項工作亦可與成 功大學.....			

## 第二期成果審查意見與回覆

	意見	意見回應
<b>劉委員正倫</b>		
1	於4.2.2 內敘述本計畫蒐集10 個國際標竿資料集並加以分析，航照及衛星影像的房屋訓練資料集，分別由NZ32km2 及WHU 提供為佳，請補充說明後續深度學習是依影像來源採用不同的資料集或是同一資料集?(P. 39-56)	已補充文字內容。
2	有關 4.2.4 小節內利用 UAV 影像作實務測量部分，報告書所載「正射影像空間解析度 2cm」及「受限於無人機影像的空間解析度，人孔類別僅能分為圓形及矩形人孔」，文字敘述不甚明確，請修正內容；末 2 行提及「世界坐標」一詞，其定義為何，請補充說明。(P. 64)	已補充、修正文字內容。
3	4.3.1 小節內「本年度工作規劃拓展……，由前期計畫之 2016 至 2018 三年擴展為 2016 至 2020 共五年之變形觀測成果。」惟報告書部分內容仍為 3 年，請修正為 5 年；P67 末 2 行敘及「平均變形速率並不能直接代表該處的變形狀況，必須直接觀察事件發生前後的變形量，而根據本試辦之成果，兩地震事件皆產生約 15 公分的地表變形。」請加強說明如何觀察及分析而得地表變形量，無法明確對應至圖 4.3-1 所展示之試辦成果。(P. 66-67)	4.3.1 小節已修正為五年。此處強調高雄與花蓮測得之平均速度並非長時間之緩慢變形，而是短時間的快速地表變形，以避免誤導。兩者之區別可以藉由時間序列分析來了解。
4	有關圖 4.3-5 之圖例，分析高程變化是以正負 20 公尺為門檻，請說明該門檻值如何訂定?另比對圖 4.3-6，白色區塊為雲遮蔽影響之區域，除刪除此類資料避免影響比對結果外，是否有其他可克服衛星影像受限之先天條件的方式加以前處理，避免影像判釋成果，請補充說明；另 4.3.2 小節內容多處提到 110 年度三維國土形變及空間智能分析技術發展工作案「數值地表模型」、「DSM」、「數值地形模型」，請統一文字寫法。(P. 68-72)	已補充說明門檻值。光學影像受到雲遮蔽影響，可透過增加拍攝量以補償遮蔽區域。已統一使用「數值地表模型」。
5	請補充說明何謂 AOI? (P. 81)	已補充、修正文字內容。

	意見	意見回應		
6	圖 4.3-19 展示房屋智慧判識成果與臺灣通用電子有高相似性，希望後續報告能進一步展示房屋區塊的變異偵測目標：採前期（例如 106 年）正射影像及臺灣通用電子地圖建物區塊成果，藉由後期（例如 108 年）正射影像去判釋出與前期影像內建物區塊變異的位置，再和實際的後期臺灣通用電子地圖建物區塊成果比較，分析變異偵測結果的適用性，並於期末報告提出變異偵測的正確比率或精度等的量化分析結果。（P.85）	已補充變異分析內容。		
7	請補充圖 4.4-18 及 4.4-19 的文字敘述，所提 2 個類別為何？有關「一致性」如何定義及計算？請具體說明「移動物件」、「類別」、「一致性」與物件辨識成果優劣之關聯性。（P.105-106）	已於報告中描述一致性的計算公式以及論述其意義。		
8	報告書文字相關問題。			
	頁碼	原內容	建議修正	備註
	58、59	通用版電子地圖	臺灣通用電子地圖	名詞修正
	63、144	國土測繪中心，2021	國土測繪中心，2020	年份修正
	81	以經過初步篩選……	已經過初步篩選……	文字修正
<b>王委員聖鐸</b>				
1	圖 4.1-7 多張衛星影像匹配點雲成果，36 張影像內紅點（高程較高處）較多之可能原因？另右側圖例之值部分不完全，請修正。（P.32、33）	已補充說明。		
2	建議於圖 4.2-1 內註記滑動方向，可採會議投影片上的箭頭標示，並補充該區域的正射影像以初步瞭解該區地形；圖 4.2-3 可採點的移動方向或線面之形式，加強明確表示位移量比較之情形。（P.36、39）	已修改圖 4.2-1~4.2-3。正射影像補充至圖 4.2-1，地表滑動方向補充至圖 4.2-2。圖 4.2-3 已修改呈現方式。		
3	有關 4.2.3 末段所提「深度學習骨幹模型」及 4.3.3 「(2)建立時序資料集」於報告書內部分較為簡略，請補充本次簡報投影片相關圖表及內容。（P.59、79）	已補充說明。		
4	「圖 4.2-20 台北市一千分之一數值地形圖編碼及圖式」與表 4.2-5 所載之作業規範無法對應，又圖內所示水溝蓋部分，是否納入計畫內之人孔實施測量作業，請確認或加以說明。（P.61）	已補充說明。		

	意見	意見回應
5	圖 4.3-5 請將圖例修正為更直覺化的區間表示，而 None 應修正為黑色；圖 4.3-7 之圖例與底圖展示所用色彩易混淆。(P.71、73)	已修正。
6	報告書內 4.3.4 內容請再補充，加強描述如何整合相關應用平台之工作。(P.82)	已補充說明。
7	圖 4.4-6、圖 4.4-7 及圖 4.4-8 請補充投影片所列 3 種顏色代表之資料標準之模型，是否可簡化表示其關聯性。(P.95-97)	已在文中描述不同顏色所代表之標準類別。
8	圖 4.4-10 物件身分辨識步驟內之程序是否可變更順序，是否可增加判識結果之對應流程，減少處理程序；「(3.2)時空機率匹配」內(2)及(3)所訂之概念與假設可能與現實狀況失真，建議可增加考慮條件。(P.99、102)	步驟之順序設計目前有其原因，主要受限於外觀相似度匹配精度。調整順序是可行，但以目前採用之技術，未必能得到更好的成果。時空機率匹配函式已有為移動速度突然增快的情形設計趨勢函數。主要沿路網結構移動僅代表其距離估算相比於直線距離，路網距離較符合實際情況。
<b>趙委員鍵哲</b>		
1	本計畫從崩塌偵測切入國土形變之議題，該崩塌之類型為表層、深層或二者兼具？可考慮加入雷達衛星影像判識崩塌情形，可能與光學影像有互補之效益，未來以機器學習於雷達衛星影像判識之課題，亦值得討論。	後續將思考以機器學習於雷達衛星影像判識之分析研究內容。
2	影像密匹配之技術有多種影像來源型態，可能為同一感測器之多重影像或不同類型之感測器，牽涉到影像幾何品質及時間變異性，是否有策略性優化密匹配過程，避免幾何交會較差或是雜訊較多之影像，如何選取條件較佳的影像達到更好的成果，可補充說明。	已補充說明。
<b>曾委員義星</b>		
1	本計畫為 3 年期，針對 5 大目的設定 5 大型工作項目，期中報告內容已相當豐碩，惟是否能對應內政部設定之計畫目標，建議工作團隊再跟業務單位討論工作執行情形，另建議期末報告採量化指標，而非以人工評估成果。	遵照辦理，並將與內政部進行討論。



	意見	意見回應
2	報告書內請補充各工作項目及次工作項目連結性和相關性，各工作項目間之連動性也須加強，前 3 大項工作項目較有關聯性，可以嘗試用相同實驗區域作分析，而第 4、5 工作項目具高獨立性，請工作團隊嘗試以圖表來整合各工項的連動性，讓計畫更為清楚完整。	本計劃各工項關聯可參照圖 1.2-1，第 4、5 工作項目則根據規格書內容進行作業辦理，後續則會與內政部業務單位進行相關內容討論。
<b>葉委員大綱</b>		
1	有關 4.1 小節，使用 GPS 坐標及速度場之部分，請團隊於報告書中補充目前使用的 GPS 連續觀測站有哪些？及其數量及間距之內容；並加強說明本計畫採用的 InSAR 影像的時間間距，及計算地表變形時如何扣除 GPS 的位移量，是以扣除當日坐標、數日的平均坐標或計算斜率或有其他方式？	使用之 GPS 連續站已於 4.1 節補充。SAR 影像之時間間距以衛星之取像時間為主，並未有固定之間距，以 Sentinel-1 為例，雖然該衛星具備 12 天之再訪週期且運作期間幾乎能穩定取像，但仍有因為維護或任務安排等因素略過臺灣之取像作業，而如 TerraSAR-X 等商用衛星之取像則完全取決於影像訂購與衛星任務之安排。SAR 資料與 GPS 資料搭配使用時會以 SAR 影像時間為主，由於 GPS 具備每日的時間解析度，因此以 SAR 取像日期來取得對應日期之 GPS 觀測量。GPS、InSAR 之變形量計算公式已於 4.1 節中敘述。
2	本計畫由衛星視角計算求得 InSAR 的 LOS 位移變形量，是否能嘗試藉由 GPS 的三維速度場，利用衛星仰角或方位角轉換為 NEH 三維的變動量。(P. 67)	可以，轉換結果詳述於 4.3.1 節中，此方法可以彌補 GPS 於空間分佈上不足的問題，但需要注意 InSAR 資料於三維方向的敏感度不同，垂直向最為敏感，而南北向的變形則幾乎無法偵測。
<b>本部地政司</b>		
1	4.1.1 所提 PSInSAR 未敘明中文名稱；圖 4.1-2 圖名稱是否修正為「PSInSAR 觀測誤差評估流程圖」？本小節第 2 段文字亦配合修正。(P. 22-24)	已於 4.1.1 補充說明並配合修正

	意見	意見回應		
2	有關 4.1.3(3)影像密匹配部分，請針對表 4.1-2 及圖 4.1-7 內容輔以文字分析或說明。(P. 31-33)	已補充說明。		
3	圖 4.2-1 之圖例請補上高程單位；另報告書內缺漏圖 4.2-22 有關無人機影像之訓練資料地點，又有關表 4.2-5 請概略補充台灣資通產業標準協會「高精地圖圖資內容及格式標準」相關文字說明。(P. 36, P. 61-62)	已補充及修正內容。		
4	有關今年度新增之 1/5000 的圖幅，希望期末報告能賦予其變異程度的評估值，相關理論方法請於報告書詳細說明。(P. 72)	已補充說明。		
5	針對房屋區域之變遷偵測，如何以自動化方式候選出變異範圍，而非以人工檢視。因本部國土測繪中心就該部分有期程之急迫性，請協助強化 POC 實證，並於期末報告提出可行之方法論。(P. 86)	已補充變異分析內容。		
6	工作計畫書部分內容建議修正如下，其餘內容文字請再詳校：	已修正。		
	頁碼	原內文	建議修正	說明
	42	km2	km <sup>2</sup>	應為上標
	72	全島拼合影像	全島拼合影像	
	76	影像集資訊如表4.3-1、影像集資訊所示		可選擇刪除一「影像集資訊」
	80	每一時間戳取樣各向量區域內像素之NDVI 平均值與標準差。	每一時間序列取樣各向量區域內像素之NDVI 平均值與標準差。	名詞請確認
	83	語義分割	語意分割	
	85	效算效率良好	計算效率良好	
	103	此做法需比對大量類別	此作法須比對大量類別	

## 第三期成果審查意見與回覆

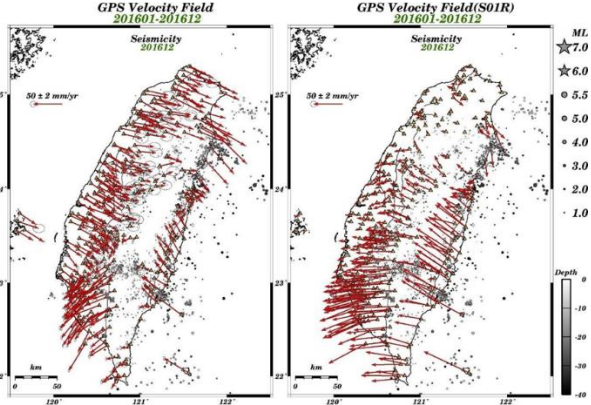
	意見	意見回應
<b>劉委員正倫</b>		
1	於4.1.1節敘及「...，採用衛星導航系統（Global Navigation Satellite System, GNSS）觀測資料...」，建議修正為「...，採用全球衛星導航系統（Global Navigation Satellite System, GNSS）觀測資料...」；另有關GPS站文字，均建議參考上述修正為GNSS站(P.26；全文內有多處，請一併檢視修正)。	已統一採用GNSS作為敘述之用詞。
2	4.1.1節 內容 對照表 1.3-1規劃之發展目標，未敘明「參數資料抉擇 109」及「完成參數資料建立 110」之相關內容，僅成果 精度分析，請補充說明另觀測成果 RMSE 15mm以內，是否達到預期目標，亦補充說明。(P.28)	參數資料建立補充於該小節。由於相對變形評估之參考點選定問題使得PSInSAR與GNSS時間序列之間存在系統性的誤差，因此測得RMSE 15mm較預期來的差，經過參考起始點修正(參考葉委員意見第一項)後重新計算RMSE約在10mm左右，此成果即符合預期之PSInSAR觀測精度目標。
3	於 4.1.2 節內文最後一行「第三部分為解析訓練模型之影像，」敘述內容未完成，請補充相關成果。(P.31)	已補充、修正內容。
4	4.1.4 擴充衛星影像智慧加值應用與後續推動可行性評估之結果，是否係建議使用國內已研究開發之Data Cube成果，請於報告書中明確說明。(P.46)	Data Cube 為眾多展示系統中之一，具有開源程式碼供人研究、修改，因此在客製化功能上，則需對應之程式語言背景才有辦法建置。今年則是在 Google Earth、Cesium、3D ArcGIS 等平台外，提出對於擴充衛星影像智慧加值應用有幫助之平台，若本團隊將於下一年度深入 Data Cube 相關研究。

	意見	意見回應
5	有關 4.2.1 建立航遙測影像地表形變智慧分析技術，P.52 所述內容與 P.54 所述內容，有何不同？圖 4.2-2(a)、(b)、(c)與圖 4.2-4 有何不同？P.54 敘及「...。整體而言，由 DSM獲取地表位移場的成效較差，...」，未來是否有精進之可能性，請補充說明。(P.52-55)	已補充說明，P52是DSM分析成果及人工量測成果之比較；P54則是DSM分析成果及正射影像分析成果之比較。圖4.2-2是DSM分析成果，而圖4.2-4是及正射影像分析成果。未來精進方式方向將採用原始三維雲點進行地表位移場計算，以降低內插成網格式資料的影響。
6	於 4.2.3 節敘及使用「直接訓練」與「以 NZ32km2 預訓練模型遷移式學習」之成果相似，遷移式學習成果有些許改變，惟未顯示使用 NZ32km2 預訓練模型之優點，請明確說明。(P.79)	已補充說明，遷移式學習的優點是可以提升深度學習參數收斂的速度，在訓練資料集龐大時，具有減少運算量的優勢。試辦成果比較兩種方法的精度表現，雖然兩者的精度表現接近，但因遷移式學習只需要750次疊代收斂，而直接訓練要花費950次才達到疊代收斂，故實務應用會採用遷移式學習方法。
7	於 4.2.4 節敘及「...，偵測成果在精度上滿足製圖規範之 20 公分精度要求」表 4.2-10 是智慧辨識與人工數化資料的距離差異，並非製圖規範之 20 公分絕對精度要求；另外，此成果是在無人機影像空間解析度 2cm，空三定位精度小於 5cm 之前提下，才能達到表 4.2-10 之成果，應於報告書中強調說明，以避免誤用。(P.87)	已修正，由統計成果可知，自動化偵測與人工數化成果的均方根誤差小於5公分。
8	於4.3.3 節敘及「本研究提出之TSF 時間序列分類以GEE Python API 於Google Colab實現...，可作為數化崩塌地與崩塌地監測之快篩程序，減少人為查找與搜尋之時間成本。」未來應由全台崩塌地監測主管單位試用是否減少搜尋 時間成本。(P.136)	已修正，本研究提出之TSF時間序列分類以GEE Python API於Google Colab應用平台實作，利用時序衛星影光譜資訊提供以年為單位之全島大範圍變異區域，具有可提供大範圍判識、減少人工判識時間成本等優勢。

	意見	意見回應	
9	於 4.3.5 節敘及「...，未來可整合數值地表模型，以降低高差移位的影響，提升偵測精度。」請說明如何處理及其可行性。(P.155)	已補充說明，使用單一影像資料進行偵測有其精度的限制，從資訊融合的角度出發，未來可整合數值地表模型降低高差移位的影響，光譜偵測成果搭配高程資料約制，可以減少誤授區域，進而提升變遷判識的精度。	
10	於 4.4.3 節敘及「...，於廁間使用滿載時，...分別顯示等候時間 2 分鐘及 4 分鐘。」請補充說明所需等待時間係如何評估。(P.188)	目前等候時間之預估方式為等候人數*2 分鐘，未來可根據統計之廁間使用平均時間進行調整。面板上分別顯示等候時間 2 分鐘(1 位等候人數)及 4 分鐘(2 位等候人數)	
11	報告書文字相關問題：		
	頁碼	原內文	建議修正
	28	表4.1-1、GPS站列表	表4.1-1、雲林地區GPS站列表
	38、39、40、224	部份	部分
	59	大部分房物分布集中	大部分房屋分布集中
	98、100	散步圖	散布圖
	136	以提供可靠之訓練樣本可提升網路精度	以提供可靠之訓練樣本，可提升網路精度
	188	佈設	布設
	192	本(110)年度以完成基隆潮位站...	本(110)年度已完成基隆潮位站...
	216	科學教材擬配合...	科學教材配合...
221	圖4.5-19、航遙測技術與應用相關成果活動照片	圖4.5-19、衛星遙測基礎應用教育推廣工作坊活動照片	
已修正相關文字。			
<b>趙委員鍵哲</b>			



	意見	意見回應
1	本計畫為 3 年期，第 3 年應制定各工作要項里程碑，前 2 年執行上發現之問題，於第 3 年是否可有效解決或發現更多其他問題，以及各研究方法、工具預期可發揮之最大效益為何；目前執行團隊使用之部分工具於未來資料處理或其他功能需求上將有所受限（如：軟體困境），需自行寫程式或尋求其他解決方式，若制定里程碑可明確列舉軟體無法達成之困境及後續相關解決方法，此部分建議納入考量。	在各項工作之研究中，本團隊除了依照制定的目標方向研究，若有新興起之相關資訊，本團隊亦會內部進行內容探討，吸取有益之研究概念。若真的受限於軟體困境，本團隊會透過 AI 技術，達到參數的優化。
2	有關光學影像密匹配部分，目前執行策略係將時間點分開，影像內容有不同時間點時係採相同時期兩兩立體影像匹配；惟應考量未來影像來源有多種型態，若同一時期有多張影像時之兩兩匹配方式該如何搭配及進行，另兩兩匹配方式之選擇係由人工挑選或由軟體自動篩選，建議執行團隊納入考量。	目前多張影像中兩兩匹配是採用所有的組合進行匹配，所有組合的成果再經點雲粗差濾除後得最後的成果。未來會考慮依影像的拍攝時間、交會幾何等條件來篩選進入匹配的影像，以精進匹配成果。
3	語意網係透過資料連結，惟是否有無法資料連結之情況，例如：1 連結 2、2 連結 3，1 連結 3 時是否可連結、有無發生缺漏，是否應建立各資料之共同空間單元，無論各種類之模型資料或可變式之資料內涵，皆可透過資料共通性 屬性作連結。	語意網可以透過連結找尋資料間關係，即便是間接的關係。而各個空間單元、不同尺度、不同格式的資料，只要符合語意網資料連結的基本要求，皆可由「完整的」語意描述與關係，進行資料整合的應用。
<b>曾委員義星</b>		
1	本計畫為 3 年期，強調空間智能分析導入概念，目前部分工項成果已將空間智能分析導入，部分仍於初步規劃及準備工作階段，於第 3 年始進行空間智能分析，例如：光學影像地表形變分析技術及雷達影像發展長期地表形變智慧分析技術，似乎仍處於完成資料傳統作業階段，第 3 年始將智能分析導入。	本計劃於第 1 期時已有初步分析測試，因此於今年(第 2 期)部分工項為進行參數調整與優化、訓練資料增加等作業，以利於第 3 期研究與分析。
2	綜觀前 2 年工作成果，部分於實務應用上非常具有潛力，建議執行團隊可將此類應用持續提升效能，未來可應付需大規模執行或其他高效作業之情況。	本團隊持續進行各工項之研究內容，以及分析、優化相關內容。
3	於 4.1.2 節圖 4.1-10 至 4.1-13 皆無色彩圖示及說明，請補充 colorbar 及說明。(P.35-37)	已修正圖示內容。
<b>葉委員大綱</b>		

	意見	意見回應
1	<p>於4.1節使用GPS三維方向形變，轉換至衛星視角方向來進行相對變形量之比較，請補充說明坐標成果是採用何種方法計算；前次會議說明係使用GPSLab相對於澎湖S01R之成果(下方右圖)，惟假若考量點位在全球框架下之絕對速度場(下方左圖)，兩者會有不同表現。以本計畫選取之台塑六輕區域為例，若相對於澎湖之速度場約為3 mm/yr向西北位移；但以國際框架角度看來，該區域之速度場為1.5 mm/yr向東南位移，是否會影響改正之成果。另長期下來是否會顯現出坐標框架之差異，如圖4.1-6以起算時間2018年將GPS與InSAR套和在一起，惟左邊3張圖顯示經過兩、三年後，GPS與InSAR差異有逐漸增加之趨勢，是否存在系統性誤差，請補充說明。(P.27-29)</p>  <p>圖 1、GPS 速度場 (左：絕對速度場，右：相對速度場)</p>	<p>此處採用 TASI 站於 2018 年 3 月 31 日之觀測資料為相對變形計算起始點，計算其餘 GNSS 站與 PSInSAR 資料成果相對 TASI 站該時間點之相對變形量來進行交互比對驗證，因此驗證成果已脫離 GNSS 站原先採用的框架，而是以 TASI 為控制點之網形，且本案觀測重點為目標區內局部相對變形，框架內平移之系統性變化對觀測結論無影響。</p> <p>另外關於 GNSS 與 InSAR 差異有逐漸增加之趨勢之問題主要源自於採用之相對變形計算起始點，即上述 TASI 站於 2018 年 3 月 31 日之觀測資料，若 GNSS 與 PSInSAR 於該起始點受到誤差影響而實際上存在偏移，即會影響後續時間序列產生系統性誤差，此處已修正為採用 GNSS 時間序列之平均值作為相對變形起始點，兩者差異問題已有所改善，重新計算之 RMSE 也較先前低。</p>
2	<p>於 4.2 節敘及目前透過無人機影像自動辨識人孔之準確率已達 90% 以上，已有非常好之成果，惟對於漏授及誤授部分之後續處理，報告書應補充敘明。未來是否能比較傳統人工法與本案自動辨識法數化一張圖幅所需時間及成本，俾利主管機關評估未來是否可改採自動辨識法來進行此類工作以增加效率；此外，應有部分人孔受到建物、橋樑、車輛等遮蔽致無人機無法拍到，請說明針對此狀況之處理及解決方法。(P.87)</p>	<p>自動化人孔判識之漏授主要來自人孔紋理受雜訊影響(如人孔上有道路標線等因素)，而誤授主要受到顏色較深形狀接近矩形的地磚影響。未來將分析自動化與人工數化人孔之效能分析。受遮蔽是空載無人機的主要限制，在傳統航測作業中，受遮蔽的人孔仍需依賴現地調查作業。</p>

	意見	意見回應
3	<p>4.3 節同 4.1 節之第1個問題，本計畫使用GPS三維方向形變，轉換至衛星視角方向進行相對變形量之比較，請說明坐標成果是採用何種方法計算；將InSAR成果轉換為垂直方向形變量，成果如圖 4.3-2，惟尚無針對結果進行精度評估，請補充說明。建議未來可挑選雲彰地區地層下陷較嚴重之區域，與水利署公告之垂直方向累積變形量作比較，評估此一轉換之精度。若上述轉換方式成果良好，建議後續將麥寮六輕工業區及高雄中寮山區域納入比較，亦將目前提供之LOS速度場轉換成相同方向速度場，成果分析較為直觀。麥寮六輕南方區域下陷量較嚴重之原因，應係南區完全由填海而成，再加上該區域多為重量較重之儲油槽（北區多為辦公室）所致；至於高雄中寮山區域，國立成功大學楊名教授長期針對該區域進行監測，亦建議可蒐集相關資料來驗證本計畫之成果。同4.2節的第一個問題，對於漏授及誤授部分之後續處理，報告書應補充敘明。未來是否能比較傳統人工法與本案自動辨識法數化一張圖幅所需時間及成本，俾利主管機關評估未來是否可改採自動辨識法來進行此類工作以增加效率。(P.92、143)</p>	<p>問題一於第一項意見回應中回覆。</p> <p>4.3 節為 C 波段地表形變試辦，規劃工作內容未考量到精度評估，精度評估工作可以於第三年加入。</p> <p>垂直向累積變形量計算需依靠 GNSS 站之資料進行內插來推估水平向變形，麥寮地區由於 GNSS 站分佈位置之問題，並不建議採用此法來進行垂直相變形反演。</p>
4	<p>有關 4.5 節於東沙島建置長期觀測之潮位站，此類基礎資料短期看不到績效，惟長期而言，該資料對於未來各項工作推展及提供學術研究所需相當重要。由附件 D 現況報告可知該潮位站目前資料無法回傳、儀器櫃背板遭拆開、GPS時間接收機天線被樹木遮蔽等狀況，是否已排除；另從目前主責機關是中央氣象局，是否可委請氣象局協助處理。(P.277-280)</p>	<p>感謝委員建議，基礎資料確實具有重要價值，尤其是外島如東沙。本案現勘後除抄寫回年度觀測數據，並已向中央氣象局反應目前東沙潮位站的現況。因東沙島目前機場跑道維修，氣象局維護廠商不易登島，待交通較為便利時，應可協助改善潮位站現況。若內政部有東沙潮位站簡易維護與數據分析之需求，本團隊將盡力協助。</p>
<p><b>本部國土測繪中心</b></p>		

	意見	意見回應
1	有關 4.3.5 節敘及「...108 年臺灣通用電子地圖中新竹高鐵站的月台不屬於建築物，但 AI 會將月台視為建築物...」，經檢視提供試辦之資料及圖 4.3-53(c) 與圖 4.3-53(g)，可發現臺灣通用電子地圖有繪製新竹高鐵站之月台處，AI 偵測房屋區域已將月台判定為建物(如圖 4.3-53(d) 與圖 4.3-53(h))，建議請再查明及修正。(P.146)	已修正，從精度分析成果可知，使用 22 幅 106 年臺灣通用電子地圖與航照正射影像訓練之深度學習模型的泛用性仍不足，故造成誤授的原因除了高差移位現象外，房屋訓練資料樣態不足也是原因之一。
2	於第五章結論3.(4)敘及「...房屋偵測成果之準確率約 74%...」，參表4.3-11，跨圖幅預測及跨年度預測準確率分別為74.97%及61.39%，建議準確率數值採各自述明，或採平均方式表達。(P.149、229)	「跨圖幅預測」及「跨年度預測」是兩種不同的應用情境不適合平均，改以綜合準確率及召回率的F1-Score指標做為結論。經由「跨圖幅預測」及「跨年度預測」試辦分析，影像中房屋高差移位現象會增加誤授的比例，智慧辨識的房屋面積會大於臺灣通用電子地圖的建物範圍，22 幅圖房屋偵測成果之 F1-Score 達 74%，召回率可達到 90%。
3	參考文獻中「內政部國土測繪中心，2011，一千分之一數值航測地形圖測製作業規定」列2次，請修正。(P.232)	已修正文獻內容。
4	有關本案AI自動偵測房屋及房屋變遷分析結果，待日後本項技術更加成熟、準確率更加提升，本中心再評估納入臺灣通用電子地圖更新作業之參考資訊。	現行成果受限於正射影像房屋高差移位之影響，使用單一影像資料進行偵測有其精度的限制，從資訊融合的角度出發，未來可整合數值地表模型降低高差移位的影響(Teo, 2019)，光譜偵測成果搭配高程資料約制，可以減少誤授區域，進而提升變遷判識的精度。
<b>本部地政司</b>		
1	於4.1.1節文字編排未對齊前文，請修正。(P. 27-28)	已修正內容排版。

	意見	意見回應		
2	有關4.1.3節影像密匹配與數值地表模型重建，以目前方法是否可評估未來產製數值地表模型之潛力；另檢核點精度評估部分，請於報告書中列出檢核點數量及分布位置。(P.44-45)	本案所提出產製數值地表模型的方法在本年度用於多時期影像匹配。未來將測試多元衛星影像之匹配，將有助於降低資料蒐集之成本。另外，已列出檢核點的數量與圖 4.1-14。		
3	於 4.1.1 及 4.3.1 節使用 GPS 三維方向形變轉換至衛星視角方向來進行相對變形量之比較，有系統性問題應釐清是否有系統變異及框架解算之基本定義，避免資料錯誤解析，俾利本部作為後續常態性定期發布之參考。(P.29、100)	已於葉委員之第一項意見回應中回覆。		
4	有關 4.3.2 節試辦區域地表形變門檻值如何選定，請於報告書中敘明定義；另圖 4.3-17 至 4.3-20 請補充單位。(P.107-109)	門檻值之設定，視欲了解之地表形變程度大小進行設定；已補充圖 4.3-17 至 4.3-20 單位。		
5	有關 4.1.3 節及第五章結論 1.(3)皆敘及發展多元衛星影像智慧處理與立體重建技術部分，使用 17 張影像與使用 30 張影像之重建地形成果，惟均方根誤差似乎沒有差異(2 公尺與 1.94 公尺)，請於報告書補充其意涵及建議。(P.44-45、226)	已補充相關內容於對應章節與結論中。		
6	有關本案今年開發之自動化偵測技術方法，是否已有部分可提供本部國土測繪中心後續產製相關圖資業務使用，請於報告書結論與建議中補充說明。	本年度開發成果仍需進一步精進及驗證分析，以確認能滿足應用情境，建議未來精進方向已補充在各章節。		
7	工作計畫書部分內容建議修正如下，其餘內容文字請再詳校：			
	頁碼	原內文	建議修正	說明
	11	語義空間資訊	語意空間資訊	文字修正
	53	圖 4.2-2 (e) Setting 01...、(f) Setting 01...	圖 4.2-2 (e) Setting 02...、(f) Setting 03...	
	84	10cm 以內的均方根誤差(國土測繪中心，2021)	10cm 以內的均方根誤差(國土測繪中心，2020)	
	86	語義分割	語意分割	文字修正
9、191、229、267	佈設	布設	文字修正	
		已修正。		



意見				意見回應
227	在特徵明顯的區域	在特徵明顯的區域	文字修正	

附件 B：工作會議紀錄與簽到單

## 110 年度 三維地形圖資技術發展工作案 第一次工作會議紀錄

● 時間：110 年 04 月 13 日 11:00

● 地點：遠端視訊會議

● 出席人員：

內政部地政司

覃美芳

國立中央大學太空及遙測研究中心

蔡富安、黃智遠、劉建良、戴于恒、劉育青

國立陽明交通大學土木工程學系

張智安

● 議題：

### 一、 成果繳交與日期提醒

- 確定工作計畫書、期中與期末需繳交成果、期限與內容。

### 二、 各工項需與內政部討論之試辦內容

#### (1) 應用平台進行整合試辦

- 主題為坡地防災，目的為透過時序 NDVI 分析山區地質敏感區坡地變異點分析
- 平台為 Google Earth Engine

#### (2) 以臺灣地區航遙測影像進行地物辨識與分類試辦

- 測試區為新竹縣市，共 12 幅(含軍事基地要遮蔽，故增加 2 幅)

#### (3) 雷達衛星影像地表形變分析之試辦

- C 波段—全臺灣多時期變形監測試辦
- X 波段—台北港填海造陸區

- L 波段一坡地滑動監測

(4) 以兩年內高解析光學衛星影像試辦數值地表模型變異分析

- 中部試辦區-大甲溪北港溪

- 南部試辦區域-荖濃溪

(5) 以實際場域進行適地性服務應用試辦

- 與桃園捷運公司合作，合作內容將於下次工作會議前確定

(6) 科教活動

- 配合內政部及國立海洋科技博物館，規劃水深與高程測量相關成果發表之科學教育教材

- 規劃活動對象：大安高工、南港高工、海大附中等高中職學生

- 規劃日期：9 月至 10 月間

- 蒐集本案相關之航遙測技術與應用文件，製作科學教育數位課程教材 1 式

- 與中央大學衛星接收站聯繫、討論

- 規劃日期：7 月至 9 月間 (開學前)

三、 其他議題：

- 無

- 散會(12:00)

內政部計畫

110 年度 三維國土形變及空間智能分析技術發展  
工作案-簽到單

第一次工作會議簽到單			
會議時間	110 年 04 月 13 日 上午 11:00		
會議地點	遠端視訊會議		
所屬單位：內政部地政司			
姓名			
所屬單位：國立中央大學			
蔡富安	黃智遠		
郭子恒	劉建良	劉育菁	
所屬單位：國立陽明交通大學			
張宇豪			
其他單位			
單位名稱	姓名		

# 110 年度

## 三維地形圖資技術發展工作案

### 第二次工作會議紀錄

● 時間：110 年 05 月 27 日 11:00

● 地點：遠端視訊會議

● 出席人員：

國立中央大學太空及遙測研究中心 蔡富安、黃智遠、劉建良、戴于恒、劉育青

國立陽明交通大學土木工程學系 張智安

● 議題：

#### 一、 成果繳交與日期提醒

- 工作計畫書修正版於 5 月 26 日送繳於內政部。
- 期中報告書初稿期限為 7 月 9 日
- 期末報告書初稿期限為 11 月 25 日

#### 二、 各工項進度

##### (1) 雷達衛星影像地表形變分析之試辦

- X 波段—台北港填海造陸區
  - 規劃利用空中巴士公司 (Airbus) X 波段雷達衛星 TerraSAR-X 影像進行分析
- L 波段—坡地滑動監測
  - 規劃利用日本太空總署(JAXA) L 波段雷達衛星 ALOS-2 影像進行分析，採用 Ultra-Fine 模式
- 花蓮瑞穗鄉測試區
  - 以 InSAR 技術嘗試驗證該觀測成果

##### (2) 發展多元衛星影像智慧處理與立體重建技術



- 選定測試區面積：約 4 平方公里
  - 蒐集測試影像：SPOT6/7，共 26 張
  - 日期為 2018/01/10 至 2020/01/09
- (3) 數值地表模型變異分析試辦區
- 中部試辦區-大甲溪北港溪
    - 已排程新拍 SPOT-6/7 立體像對
    - 申請 95 年完成之 DSM 及最新版之 DSM (申請中)
  - 南部試辦區-荖濃溪
    - 使用 2020/07/20 之 SPOT-6/7 立體像對
    - 申請 95 年完成之 DSM 及最新版之 DSM (申請中)
- (4) 評估智慧物聯網之防災整合應用技術
- 城市模型標準(OGC CityGML、IndoorGML)與物聯網標準(OGC SensorThings API)，三種標準資料模型之整合本體論(ontology)
  - 探討物聯網之物件(Thing)多種定義，如門窗、裝置、房間、建物等
  - 跨 CCTV 攝影機移動物件追蹤技術，將納入時間與空間資訊進行追蹤技術優化
  - 以廁所使用情形與排隊人潮監測為首要試辦應用，再依照開發情形擴展至其他的智慧廁所應用
- (5) 建立航遙測影像地表形變智慧分析技術
- 利用前後期數值地表模型進行坡地地表位移量，將數值地表模型依固定間距設定規則網格點，再於頻率域匹配後獲取網格點對應的同名點以計算網格點的地表位移量
- (6) 建立航遙測影像智慧辨識訓練資料集
- 蒐集與申請由航遙測影像建立之房屋偵測的國際標竿資料集
- (7) 建立航遙測自動化地物智慧辨識與分類技術
- 選擇適合的深度學習骨幹模型(例如：U-Net、BRNet)，部分房屋辨識資料集有對應的預訓練模型，可利用預訓練模型進行房

### 屋智慧辨識初步分析

#### (8) 評估航遙測影像結合測量實工作之智慧整合應用

- 分析人孔調查測量作業相關規範及蒐集智慧整合所需的無人機影像

#### (9) 航遙測影像分析與辨識之結果，須與相關應用平台進行整合試辦

- 包括資料彙整及前處理，整合邊坡變異向量資料及雲端應用平台的長時期開放多光譜衛星影像，以 Data Set 的方式彙整在平台中

#### (10) 辦理高程基準潮位站數據分析工作

- 基隆潮位站
  - 設置於基隆市長潭里海洋科技博物館園區範圍內，潮位資料蒐集至 2021/04/30
- 東沙潮位站數據
  - 設置於東沙環礁東沙島，潮位資料因網路傳輸問題，目前無法即時回傳至中央氣象局
  - 擬於 7 至 8 月登島下載潮位數據進行後續分析

#### (11) 科教活動

- 配合內政部及國立海洋科技博物館，規劃水深與高程測量相關成果發表之科學教育教材
  - 如仍因疫情學生無法離校，擬採赴校教學。選擇兩三所學校，安排半日演講
- 蒐集本案相關之航遙測技術與應用文件，製作科學教育數位課程教材 1 式
  - 若因疫情關係無法以實體場地舉辦，備選方案則選擇以網路視訊方式辦理科教活動

### 三、 其他議題：

- 無
- 散會(12:10)

內政部計畫

110 年度 三維國土形變及空間智能分析技術發展  
工作案-簽到單

第二次工作會議簽到單			
會議時間	110 年 05 月 27 日 上午 11:00		
會議地點	遠端視訊會議		
所屬單位：內政部地政司			
所屬單位：國立中央大學			
張信宇	劉育青	劉建良	戴于桓
黃智遠			
所屬單位：國立陽明交通大學			
張翰宇			
其他單位			
單位名稱	姓名		

# 110 年度

## 三維地形圖資技術發展工作案

### 第三次工作會議紀錄

● 時間：110 年 06 月 25 日 10:00

● 地點：遠端視訊會議

● 出席人員：

內政部地政司

覃美芳

國立中央大學太空及遙測研究中心

蔡富安、劉建良、戴于恒、劉育青

國立陽明交通大學土木工程學系

張智安

● 議題：

#### 一、 成果繳交與日期提醒

- 期中報告書初稿期限為 7 月 9 日

#### 二、 各工項進度

##### (1) 發展多元衛星影像智慧處理與立體重建技術

- 蒐集測試影像：SPOT6/7，共 26 張
- 初步進行 6 幅影像測試

##### (2) 數值地表模型變異分析試辦區

- 中部試辦區-大甲溪北港溪、南部試辦區-荖濃溪
  - 申請 95 年完成之 DSM 及最新版之 DSM (申請中)

##### (3) 建立航遙測影像地表形變智慧分析技術

- 前後期影像匹配:計算位移
- 去除粗差:刪去訊雜比過低錯誤點

##### (4) 建立航遙測自動化地物智慧辨識與分類技術

- 建立各種房屋偵測方法的比較：測試集 108emap

(5) 評估航遙測影像結合測量實工作之智慧整合應用

- 智慧整合所需的無人機影像及人孔資料

(6) 航遙測影像分析與辨識之結果，須與相關應用平台進行整合試辦

- 彙整林務局每年度之衛星判釋全島崩塌地圖
- 建立變異點偵測機器學習演算法，須建立變異點與非變異點之時間序列資料庫

(7) 以臺灣地區航遙測影像進行地物辨識與分類試辦

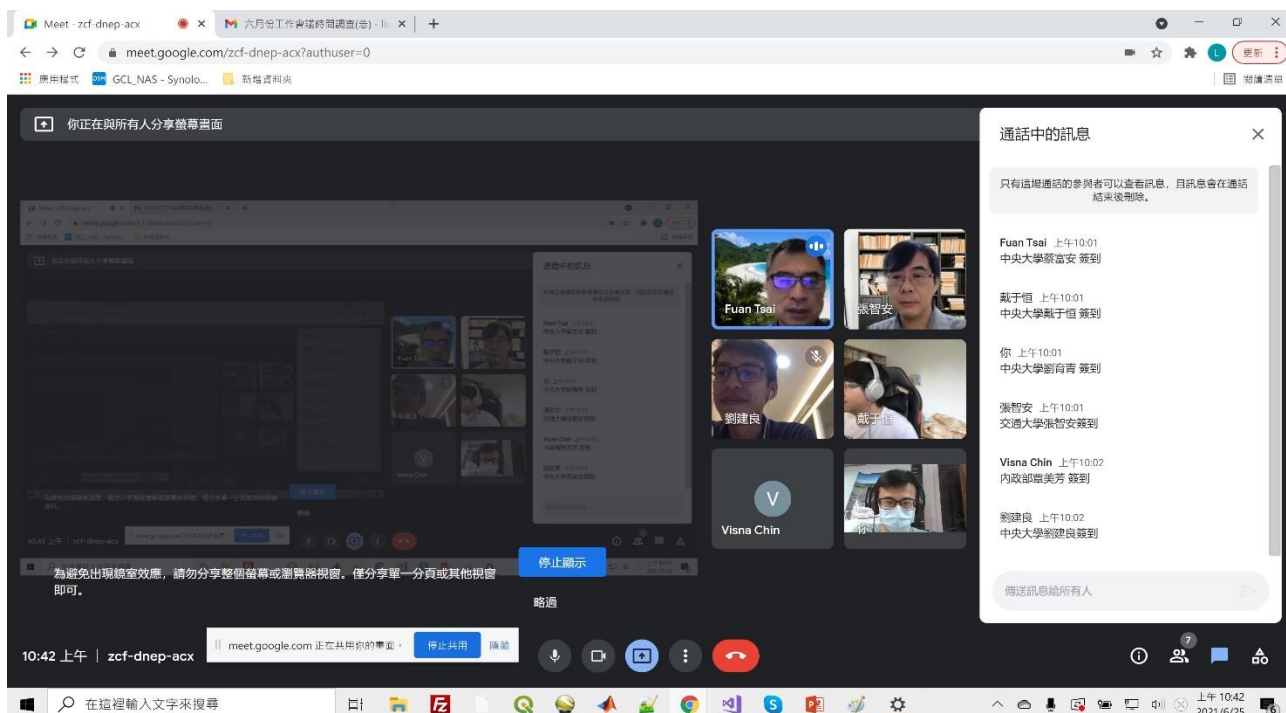
- 取得臺灣通用電子地圖及其對應航空正射影像
- 深度學習模型：DeepLabV3
- 效能：1 分鐘可以完成 1 幅正射影像的預測

(8) 成果發表及技術交流:論文發表

- 已參加 ISRS2021 線上研討會並製作研討報告，且於工作會議中進行分享與討論

- 散會(12:10)

工作會議簽到證明如下：





# 110 年度

## 三維地形圖資技術發展工作案

### 第四次工作會議紀錄

● 時間：110 年 07 月 29 日 13:00

● 地點：遠端視訊會議

● 出席人員：

國立中央大學太空及遙測研究中心 蔡富安、劉建良、戴于恒、劉育青

國立陽明交通大學土木工程學系 張智安

● 議題：

#### 一、 期中審查相關意見討論

- 將試辦區域進行成果整合或驗證，如 4.2.1 節與 4.3.1 節中花蓮區域
- 在 4.3 節中，思考如何在應用層面或是試辦成果與實務達成關聯
- 測試部分工項成果，是否能於 GEE 平台展示，並提供於其他單位使用分析或介接
- 增加工項關聯圖，加深工項間之對應關係

#### 二、 其他事項

##### (1) 成果發表及技術交流

- 期末報告前須提供 3 篇投稿
- 蔡富安教授預計 2 篇、張智安教授預計 1 篇

##### (2) 工作會議邀請專家之名單

- 考量 2 位專家學者從委員中挑選，以便表達更多計畫深層意涵
- 目前考量委員為王聖鐸委員與曾義星委員，會後將請教內政部承辦是否可行

● 散會(14:00)

工作會議簽到證明如下：

The screenshot shows a Google Meet session for the '110th Annual 3D Landform Change and Spatial Intelligence Analysis Technology Development Work Plan' meeting. The main slide displays the following information:

- 內政部**
- 110年度三維國土形變及空間智能分析技術發展工作案**
- 第四次工作會議**
- 計畫主持人：國立中央大學 太空及遙測研究中心 蔡富安 教授
- 共同主持人：國立交通大學 防災與水環境研究中心 張智安 教授
- 協同主持人：國立交通大學 防災與水環境研究中心 史天元 教授
- 國立中央大學 太空及遙測研究中心 黃智遠 副教授
- 國立中央大學 太空及遙測研究中心 曾國欣 副教授
- 工作會議日期：7月29日 計畫期程：自110年3月26日至110年11月25日

The chat window on the right shows the following messages:

- 張智安 下午1:39 隔明交大 張智安 簽到
- Fuan Tsai 下午1:39 中央大學蔡富安 簽到
- 你 下午1:39 中央大學 劉育青 簽到
- Chien-Liang Liu 下午1:39 中央大學 劉桂良 簽到
- 戴子恒 下午1:39 中央大學 戴子恒 簽到

The meeting interface includes a top navigation bar with the URL 'meet.google.com/vxz-hnwc-koz', a toolbar at the bottom with icons for mute, video, chat, and end call, and a participant grid on the right showing avatars for Fuan Tsai, Chien-Liang Liu, 張智安, 戴子恒, and 你.

# 110 年度

## 三維地形圖資技術發展工作案

### 第五次工作會議紀錄

● 時間：110 年 08 月 23 日 11:00

● 地點：遠端視訊會議

● 出席人員：

國立中央大學太空及遙測研究中心 蔡富安、黃智遠、劉建良、戴于恒、劉育青

國立陽明交通大學土木工程學系 張智安

● 議題：

#### 一、 進度說明

(1) 建立機器學習於高解析光學影像地表形變分析技術

- 產製前、後期影像各 918 組訓練影像，每組影像共有 7 個特徵資訊

(2) 發展多元衛星影像智慧處理與立體重建技術

- 增加更大範圍進行測試
- 測區面積約 20.5 平方公里，影像數量 30 張

(3) 雷達衛星影像地表形變分析之試辦

- 引入中研院 GPS 觀測網之三維形變成果，資料時間涵蓋 2016 年至 2019 年
- 垂直變形量精度評估

(4) 數值地表模型變異分析試辦區

- 數值地表模型高程差異比較
- 以 1/5000 圖幅為單位評估數值地表模型高程變化

(5) 評估智慧物聯網之防災整合應用技術

- 完成以 Unity 建置環境及模擬三種資料

- 完成以語意網技術整合及建立潛在整合應用
  - 根據幀、物件、類別進行無時空資訊與時空資訊(10s 與 2s)統計
  - 建置空氣品質、廁所隔間、廁紙存量等感測器上傳至 SensorThings API 服務
- (6) 建立航遙測影像地表形變智慧分析技術
- 應用 PIV 技術於 DSM 獲取坡地地表位移場，比較人工量測與 DSM PIV 成果、人工量測與正射影像 PIV 成果
- (7) 建立航遙測自動化地物智慧辨識與分類技術
- 使用 106 年獨立驗證資料進行成果評估
  - 使用 106 年獨立驗證區域的 108 年份影像進行泛用性測試
  - 評估、訓練與整合無人機影像及人孔資料
  - 未來將把人孔劃分為車道人孔及人行道人孔
- (8) 航遙測影像分析與辨識之結果須與相關應用平台進行整合試辦
- 崩塌地 AOI 之方法與時序 NVDI 前處理
  - 使用機器學習自動判識崩塌變異區(Time Series Forest)
- (9) 以臺灣地區航遙測影像進行地物辨識與分類試辦
- 房屋偵測精度評估：以人工數化為基準，進行 AI 判識成果之精度評估
  - 房屋變遷精度評估：以人工數化變遷為基準，進行 AI 變遷成果之精度評估
- (10) 辦理高程基準潮位站數據分析工作
- 於 7 月 26 日登島下載潮位數據、更換維護標籤、並會請海軍東沙氣象台正、副台長一同會勘線路
  - 潮位資料蒐集分析至 2021/7/24

## 二、 其他事項

### (1) 成果發表及技術交流

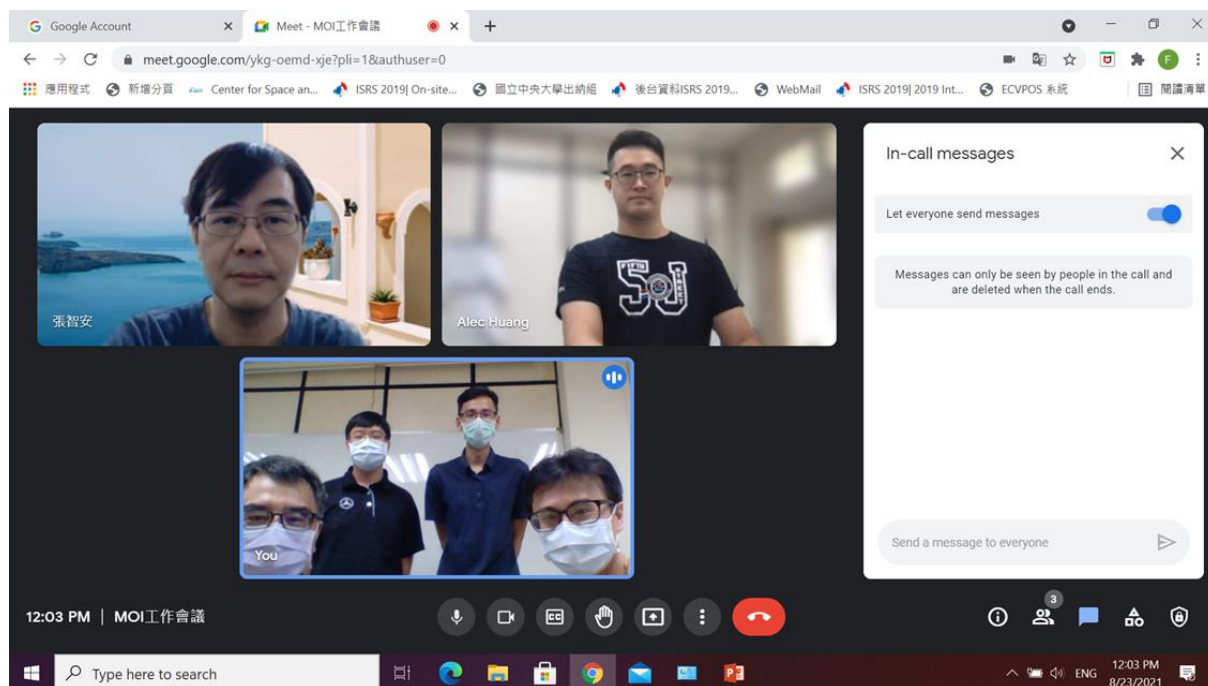
- 蔡富安教授預計 2 篇投稿、張智安教授預計 1 篇投稿

## (2) 工作會議邀請專家之名單

- 9 月份工作會議將邀請曾義星委員進行指導

### ● 散會(12:10)

工作會議簽到證明如下：





# 110 年度

## 三維地形圖資技術發展工作案

### 第六次工作會議紀錄

● 時間：110 年 09 月 22 日 13:00

● 地點：遠端視訊會議

● 出席人員：

國立中央大學太空及遙測研究中心 蔡富安、黃智遠、劉建良、戴于恒、劉育青

國立陽明交通大學土木工程學系 張智安

國立成功大學測量及空間資訊學系 曾義星

● 議題：

#### 一、 進度說明

##### (1) 雷達衛星影像地表形變分析之試辦

- X 波段原定之試辦區域為台北港填海造陸區，但是預估此區於期末僅能獲得總共 10 張影像，用於多時序 PSInSAR 分析之影像資料較為不足，於期末時較難取得分析成果，因此將 X 波段試辦區域改為影像數量 32 張之雲林麥寮地區，會後將與內政部討論此試辦區域之更動可行性
- GPS 站 YSLI 三維方向與 LOS 方向累積變形量展現

##### (2) 數值地表模型變異分析試辦區

- 完成中部試辦區-大甲溪北港溪 DSM 產製
- 利用 SPOT-7 立體對產製之數值地表模型

##### (3) 評估智慧物聯網之防災整合應用技

- 引入中研院 GPS 觀測網之三維形變成果，資料時間涵蓋 2016 年至 2019 年
- 垂直變形量精度評估

(4) 建立航遙測影像地表形變智慧分析技術

- 由 DSM 獲取地表位移場的成效較差，但其偵測建築物的位移量及方向與人工量測的建物位置偏差不大，具參考價值

(5) 建立航遙測影像智慧辨識訓練資料集

- 建議的國際標竿資料集:NZ32km2 資料集
- 適合航照影像深度學習訓練使用
- 提供高空間解析度影像
- 良好的房屋輪廓資料，影像與地真的一致性高

(6) 建立航遙測自動化地物智慧辨識與分類技術

- 比較遷移式學習及直接訓練：106 與 108 年獨立驗證資料(直接訓練與遷移式學習)

(7) 評估航遙測影像結合測量實工作之智慧整合應用

- 蒐集及建立人孔智慧辨識所需的訓練資料
- 精進人孔智慧辨識
- 人孔智慧辨識精度評估

(8) 航遙測影像分析與辨識之結果須與相關應用平台進行整合試辦

- 使用 GEE 雲端應用平台，可有效存取大量時序衛星影像資料，有利時序分析
- 透過濾除錯誤類別與較少時間戳之時間序列，可提升網路精度
- 逐象元預測可供快速查找在時間序列上有變異之區域

## 二、 其他事項

(1) 成果發表及技術交流

- 蔡富安老師預計 2 篇投稿、張智安老師預計 1 篇投稿、黃智遠老師預計 1 篇投稿

● 散會(14:40)

工作會議簽到證明如下：

張智安正在分享螢幕畫面

內政部  
110年度三維國土形變及空間智能分析  
技術發展工作案  
第六次工作會議

計畫主持人：國立中央大學 太空及遙測研究中心 蔡富安 教授  
共同主持人：國立交通大學 防災與水環境研究中心 張智安 教授  
協同主持人：國立交通大學 防災與水環境研究中心 史天元 教授  
國立中央大學 太空及遙測研究中心 黃智遠 副教授  
國立中央大學 太空及遙測研究中心 曾國欣 副教授

工作會議日期：9月22日 計畫期程：自110年3月25日至110年11月25日

2:01 下午 | odo-foci-ayi

通話中的訊息

允許所有人傳送訊息

你 下午1:48  
請大家在訊息欄簽到

曾義星 下午1:49  
曾義星 簽到

你 下午1:49  
中央大學蔡富安 簽到

Alec Huang 下午1:52  
中央大學黃智遠 簽到

張智安 下午2:05  
張智安 簽到

你 下午2:05  
中央大學劉建良 簽到  
中央大學戴于恒 簽到  
中央大學劉育青 簽到

# 110 年度

## 三維地形圖資技術發展工作案

### 第七次工作會議紀錄

● 時間：110 年 10 月 22 日 13:00

● 地點：遠端視訊會議

● 出席人員：

國立中央大學太空及遙測研究中心 蔡富安、黃智遠、劉建良、  
戴于恆、劉育青

國立陽明交通大學土木工程學系 張智安

臺灣師範大學地理學系空間資訊學程 王聖鐸

● 議題：

#### 一、 進度說明

##### (1) 發展多元衛星影像智慧處理與立體重建技術

- 4~30 張共 4 組分析成果與剔除錯誤點分析成果
- 匹配錯誤案例-稻田變化

##### (2) 雷達衛星影像地表形變分析之試辦

- 垂直變形量精度評估
- L 波段形變分析試辦-國道三號中寮山區域
- ALOS2 與 Sentinel-1 分析成果

##### (3) 數值地表模型變異分析試辦區

- 比對 SPOT-6/7 立體對產製與空載光達所產製之 DSM
- 以 1/5000 圖幅為單位評估數值地表模型高程變化

##### (4) 評估智慧物聯網之防災整合應用技

- 身份辨識-比對影像挑選
- 追蹤誤差

- 攝影機偵測排隊人數
  - 下週與桃捷討論並於十一月初至實場測試
- (5) 建立航遙測影像地表形變智慧分析技術
- 完成 DSM PIV 技術可行性評估
  - 由 DSM 獲取地表位移場的成效較差，但其偵測建築物的位移量及方向與人工量測的建物位置偏差不大，具參考價值
- (6) 建立航遙測影像智慧辨識訓練資料集
- 建議的國際標竿資料集:NZ32km2 資料集
  - 適合航照影像深度學習訓練使用
  - 提供高空間解析度影像
  - 良好的房屋輪廓資料，影像與地真的一致性高
- (7) 建立航遙測自動化地物智慧辨識與分類技術
- 比較遷移式學習及直接訓練(106 與 108 年)
- (9) 評估航遙測影像結合測量實工作之智慧整合應用
- 人孔智慧辨識:向量化(獨立檢核區，3 個類別)
- (10) 航遙測影像分析與辨識之結果須與相關應用平台進行整合試辦
- Landsat-8 衛星影像以資料集(Data Set)方式匯整於 GEE 平台，並建立雲遮罩
  - 產生訓練與測試資料
  - 時序分析成果(獨立檢核)
- (11) 以臺灣地區航遙測影像進行地物辨識與分類試辦
- 房屋偵測深度學習訓練成果
  - 房屋偵測精度評估
  - 房屋變遷精度評估
- (12) 配合內政部及國立海洋科技博物館，規劃水深與高程測量相關成果發表之科學教育教材



- 於 10 月 13 日在國立海洋科技博物館舉辦科教活動

## 二、 其他事項

### (1) 成果發表及技術交流

- 蔡富安老師預計 1 篇投稿、張智安老師已提供 1 篇投稿、黃智遠老師已提供 1 篇投稿

- 散會(14:30)

The screenshot displays a Zoom meeting interface. The main window shows a presentation slide with the following text:

內政部  
110年度三維國土形變及空間智能分析  
技術發展工作案  
第七次工作會議

計畫主持人：國立中央大學 太空及遙測研究中心 蔡富安 教授  
共同主持人：國立交通大學 防災與水環境研究中心 張智安 教授  
協同主持人：國立交通大學 防災與水環境研究中心 史天元 教授  
國立中央大學 太空及遙測研究中心 黃智遠 副教授  
國立中央大學 太空及遙測研究中心 曾國欣 副教授

工作會議日期：10月22日 計畫期程：自110年3月26日至110年11月25日

The chat window on the right shows the following messages:

通話中的訊息

允許所有人傳送訊息

Sendo Wang 下午1:47  
王聖輝 簽到

張智安 下午1:47  
張智安 簽到

你 下午1:49  
蔡富安 簽到

戴于恒 簽到

劉育青 簽到

Alec Huang 下午2:27  
黃智遠 簽到

The bottom of the interface shows the time 1:52 下午 and the ID oew-dczz-pjm. The bottom bar contains icons for mute, video, chat, share, and end call.

# 110 年度

## 三維地形圖資技術發展工作案

### 第八次工作會議紀錄

- 時間：110 年 11 月 18 日 14:00
- 地點：遠端視訊會議
- 出席人員：

內政部地政司

康家桂

國立中央大學太空及遙測研究中心

蔡富安、黃智遠、劉建良、  
戴于恒、劉育青

國立陽明交通大學土木工程學系

張智安

- 議題：

#### 一、 進度說明並確認是否滿足計畫需求

##### (1) 利用雷達衛星影像發展長期地表形變智慧分析技術

- 以 GPS 站 GS80 為參考站，分別計算 Sentinel-1 與 ALOS-2 衛星影像之 PSInSAR 成果誤差

##### (2) 建立機器學習於高解析光學影像地表形變分析技術

- 解析訓練模型影像，共 918 組，每組訓練模型具有 7 種特徵影像

##### (3) 發展多元衛星影像智慧處理與立體重建技術

- 根據 4 組影像分析，取得誤差與誤差問題，並剔除錯誤點

##### (4) 擴充衛星影像智慧加值應用與後續推動可行性評估

- 可透過 Data Cube 資料庫系統，提供多時、異源的即可分析 Analysis Ready Data (ARD) 衛星影像資料倉儲

##### (5) 雷達衛星影像地表形變分析之試辦

- 完成 C 波段(全臺灣多時期形變監測)、X 波段(雲林麥寮工業區)、L 波段(高雄中寮山區域)

##### (6) 數值地表模型變異分析試辦區

- 完成中、南部試辦區形變分析作業
- (7) 評估智慧物聯網之防災整合應用技
  - 桃捷試辦場地布設，已取得資料進行評估、分析，並可透過軟體 app 進行通報，現持續蒐集資料中
- (8) 建立航遙測影像地表形變智慧分析技術
  - 進行 PIV 地表位移偵測技術，以人工量測地表位移量進行驗證，
  - 比較數值地表模型與多光譜影像地表位移偵測成果
- (9) 建立航遙測影像智慧辨識訓練資料集
  - 蒐集與分析針對航遙測影像語意分割之建築物標竿資料集，共分析十個國際公開資料集
- (10) 建立航遙測自動化地物智慧辨識與分類技術
  - 深度學習模型於房屋偵測，並比較直接學習及遷移式學習
- (11) 評估航遙測影像結合測量實工作之智慧整合應用
  - 評估無人機測繪技術於「人孔調查」的可行性，並以無人機影像進行人孔智慧判識試辦
- (12) 航遙測影像分析與辨識之結果須與相關應用平台進行整合試辦
  - 使用 3 年的 Landsat-8 衛星影像進行訓練及預測，可達成快篩崩塌變異區域之應用目的
- (13) 以臺灣地區航遙測影像進行地物辨識與分類試辦
  - 經由「跨圖幅預測」及「跨年度預測」試辦分析，房屋偵測成果之準確率約 74%，召回率達到 90%
- (14) 數據分析與科教活動
  - 完成基隆潮位站音波式、壓力式及雷達式潮位計至 2021/10/31 及東沙潮位站壓力式潮位計至 2021/7/25 的潮位數據蒐集及分析
  - 完成基隆潮位站共站不同潮位計觀測值之差異分析
  - 10 月 13 日於國立海洋科技博物館完成科學教育活動
  - 10 月 25 日於中央大學太空及遙測研究中心辦理完成以衛星遙測科

## 技分析應用與實作進行說明

### 二、 其他事項

#### (1) 成果發表及技術交流

- 蔡富安老師提供 1 篇投稿，截至本次工作會議，已有 4 篇投稿，滿足成果發表需求

#### ● 散會(15:15)

The screenshot shows a Google Meet interface. The main window displays a presentation slide titled "4.2 應用人工智慧發展航遙測影像辨識技術與應用". The slide content is as follows:

工項	
4.2.1	建立航遙測影像地表形變智慧分析技術
4.2.2	建立航遙測影像智慧辨識訓練資料集，須對不同類型之資料集進行整理並分析其適用性
4.2.3	建立航遙測自動化地物智慧辨識與分類技術，並評估其精度與成效
4.2.4	評估航遙測影像結合測量實施工作之智慧整合應用

Below the slide, there are four video thumbnails for participants: 智安 (張智安), 柱kang, Alec Huang, and 你 (育青). The chat window on the right shows a list of messages:

- 允許所有人傳送訊息 (checked)
- 張智安 下午2:05 張智安 簽到
- Alec Huang 下午2:05 黃智遠 簽到
- 柱kang 下午2:05 康家柱 簽到
- 你 下午2:19 蔡富安 簽到 劉建良 簽到 戴于恒 簽到 劉育青 簽到

The bottom of the screen shows the meeting controls and a timestamp of 2:20 下午 | avf-qejy-tou.

## 附件 C：基隆潮位站音波式水位計調和分析主要分潮表

基隆潮位站音波式水位計調和分析主要分潮表

UTide Cnstit	Frequency (cph)	Amplitude (mm)	Amp_err (mm)	Phase (deg)	Pha_err (deg)	SNR
M2	0.081	203.4	0.75	259.9	0.19	283359
K1	0.042	190.3	0.42	226.7	0.15	778048
O1	0.039	154.9	0.38	194.5	0.18	651231
SA	0.000	154.0	4.98	201.1	1.81	3673
S2	0.083	67.7	0.77	258.4	0.69	29848
P1	0.042	65.0	0.43	220.3	0.45	86824
N2	0.079	55.1	0.79	234.0	0.77	18911
Q1	0.037	31.7	0.47	175.4	0.81	17572
MU2	0.078	24.5	0.88	125.4	1.75	2990
SSA	0.000	22.0	5.11	265.5	12.89	71
K2	0.084	20.0	0.82	252.1	1.73	2308
NO1	0.040	11.7	0.39	205.8	2.49	3470
L2	0.082	11.5	0.90	5.6	4.29	631
J1	0.043	11.1	0.47	245.2	2.21	2117
M4	0.161	10.8	0.26	261.5	1.60	6480
NU2	0.079	10.2	0.74	260.1	4.40	729
2N2	0.077	9.0	0.78	178.2	4.94	514
H1	0.080	8.9	0.86	260.5	5.16	409
MS4	0.164	7.9	0.27	288.4	1.83	3269
H2	0.081	7.4	0.89	261.9	5.41	266
S1	0.042	7.0	0.43	39.6	3.73	1032
M3	0.121	6.6	0.29	171.3	2.49	1982
EPS2	0.076	6.6	0.78	83.0	7.14	277
LDA2	0.082	6.4	0.81	10.4	6.53	245
RHO1	0.037	6.2	0.43	179.4	3.98	792
PI1	0.041	5.7	0.42	247.5	4.96	711
PHI1	0.042	4.9	0.51	261.4	6.35	363
T2	0.083	4.7	0.85	211.7	9.66	115
TAU1	0.039	4.5	0.44	129.7	6.20	415
2Q1	0.036	4.4	0.51	167.9	6.36	287
SIG1	0.036	4.4	0.40	146.2	6.09	473



UTide Cnstit	Frequency (cph)	Amplitude (mm)	Amp_err (mm)	Phase (deg)	Pha_err (deg)	SNR
OO1	0.045	4.3	0.41	268.3	6.64	421
PSI1	0.042	4.2	0.54	273.0	7.10	226
MN4	0.160	4.0	0.29	247.1	3.55	737
MSN2	0.085	3.7	0.67	252.4	11.67	117
GAM2	0.080	3.3	0.92	344.1	14.73	49
CHI1	0.040	2.9	0.44	208.9	9.58	167
M6	0.242	2.8	0.13	224.6	2.97	1672
R2	0.083	2.8	0.84	129.7	14.16	43
MK4	0.164	2.6	0.24	267.7	5.26	436
SK3	0.125	2.5	0.28	340.7	6.17	310
2MS6	0.244	2.5	0.14	294.0	3.84	1302
ETA2	0.085	2.3	0.75	252.6	18.20	37
MK3	0.122	2.2	0.26	265.6	8.45	273
MKS2	0.081	2.0	0.74	217.0	21.97	27
2MN6	0.240	1.8	0.16	188.7	4.74	496
S4	0.167	1.8	0.27	323.0	8.02	170
SO1	0.045	1.8	0.46	299.6	16.23	57
MO3	0.119	1.6	0.31	323.7	10.66	98
ALP1	0.034	1.5	0.47	131.8	17.28	41
BET1	0.040	1.5	0.46	186.1	16.62	39
2MK6	0.245	1.3	0.14	252.8	7.18	352
SN4	0.162	1.1	0.25	241.4	13.15	71
SO3	0.122	1.0	0.30	281.9	15.77	43
SK4	0.167	0.9	0.26	305.8	18.08	43
2SK5	0.208	0.6	0.15	207.0	14.79	60
MSK6	0.247	0.5	0.16	350.8	17.53	41
2MK5	0.203	0.3	0.12	167.9	27.58	27
M8	0.322	0.3	0.05	205.8	10.59	117

基隆潮位站壓力式水位計調和分析主要分潮表

UTide Cnstit	Frequency (cph)	Amplitude (mm)	Amp_err (mm)	Phase (deg)	Pha_err (deg)	SNR
M2	0.081	207.0	0.60	257.2	0.15	457084
K1	0.042	190.1	0.43	225.7	0.13	761574
O1	0.039	155.2	0.38	192.8	0.14	636945
SA	0.000	149.3	6.14	204.3	2.10	2268
S2	0.083	69.4	0.53	257.4	0.48	65233
P1	0.042	63.0	0.43	221.5	0.40	81006
N2	0.079	56.4	0.59	232.9	0.63	34940
Q1	0.037	32.0	0.41	174.3	0.84	23989
MU2	0.078	24.8	0.62	124.5	1.35	6217
SSA	0.000	23.3	5.83	290.8	12.54	61
K2	0.084	19.9	0.64	248.4	1.94	3661
NO1	0.040	11.5	0.37	205.1	2.06	3644
M4	0.161	11.1	0.28	257.8	1.51	6080
NU2	0.079	11.1	0.62	260.7	2.75	1243
L2	0.082	11.1	0.67	3.2	3.00	1049
J1	0.043	10.9	0.39	246.8	1.83	2934
2N2	0.077	9.1	0.63	181.7	3.60	796
MS4	0.164	8.3	0.26	282.9	1.70	3959
M3	0.121	6.7	0.20	166.9	1.52	4508
EPS2	0.076	6.5	0.67	82.8	5.30	365
LDA2	0.082	6.5	0.66	0.4	15.21	370
RHO1	0.037	6.0	0.37	179.8	3.81	1018
S1	0.042	5.7	0.42	256.4	4.00	711
PI1	0.041	5.4	0.42	227.3	3.56	620
MKS2	0.081	5.1	0.67	174.5	5.47	224
H1	0.080	4.9	0.45	215.1	7.59	465
OO1	0.045	4.9	0.35	272.5	4.92	747
MN4	0.160	4.2	0.24	243.6	3.64	1132
2Q1	0.036	4.0	0.42	163.4	5.63	344
TAU1	0.039	3.9	0.38	147.8	5.27	397
T2	0.083	3.8	0.51	240.0	9.26	218
PSI1	0.042	3.7	0.44	308.0	5.99	273
SIG1	0.036	3.7	0.31	160.6	6.46	556

UTide Cnstit	Frequency (cph)	Amplitude (mm)	Amp_err (mm)	Phase (deg)	Pha_err (deg)	SNR
MSN2	0.085	3.3	0.61	245.6	10.50	113
PHI1	0.042	3.2	0.41	227.6	7.62	230
M6	0.242	3.0	0.16	220.5	2.90	1316
CHI1	0.040	2.7	0.43	207.3	9.21	152
MK4	0.164	2.5	0.23	260.1	5.87	443
2MS6	0.244	2.5	0.15	285.4	3.36	1051
SO1	0.045	2.1	0.39	286.9	11.17	108
H2	0.081	2.0	0.62	228.6	15.25	41
ETA2	0.085	1.8	0.67	259.4	21.86	29
2MN6	0.240	1.8	0.16	179.3	4.76	467
MK3	0.122	1.8	0.21	253.1	6.53	286
BET1	0.040	1.8	0.42	206.4	14.28	70
R2	0.083	1.7	0.64	173.8	18.27	28
ALP1	0.034	1.6	0.41	159.5	13.78	60
S4	0.167	1.3	0.25	297.5	11.65	104
MO3	0.119	1.2	0.21	335.4	8.08	123
UPS1	0.046	1.1	0.35	279.9	19.91	41
SK4	0.167	1.1	0.30	298.3	13.03	48
2MK6	0.245	1.0	0.13	235.8	7.60	236
SK3	0.125	1.0	0.19	287.3	10.58	105
SN4	0.162	0.8	0.25	237.6	18.44	43
SO3	0.122	0.8	0.19	271.3	12.76	68
2MK5	0.203	0.7	0.10	105.1	8.49	187
M8	0.322	0.4	0.06	192.3	8.00	175
2SM6	0.247	0.4	0.13	330.9	27.49	28
3MK7	0.283	0.2	0.07	324.9	15.94	39

基隆潮位站雷達式水位計調和分析主要分潮表

UTide Cnstit	Frequency (cph)	Amplitude (mm)	Amp_err (mm)	Phase (deg)	Pha_err (deg)	SNR
M2	0.081	207.6	0.61	257.7	0.18	447072
K1	0.042	190.8	0.40	226.1	0.12	866731
SA	0.000	158.0	4.86	200.3	1.87	4056
O1	0.039	156.1	0.41	193.7	0.14	569737
S2	0.083	69.4	0.67	257.4	0.45	40767
P1	0.042	62.9	0.38	222.3	0.32	104579
N2	0.079	56.3	0.61	233.2	0.57	32339
Q1	0.037	32.6	0.35	174.9	0.74	33633
MU2	0.078	25.2	0.67	125.1	1.33	5480
K2	0.084	19.3	0.59	248.7	1.71	4109
SSA	0.000	17.8	5.39	287.0	16.16	42
NO1	0.040	11.8	0.41	205.0	1.98	3115
M4	0.161	11.3	0.27	259.3	1.38	6776
L2	0.082	11.2	0.58	3.6	2.89	1406
NU2	0.079	11.1	0.58	263.0	2.91	1401
J1	0.043	11.0	0.38	244.4	1.75	3215
2N2	0.077	9.3	0.56	182.5	3.62	1052
MS4	0.164	8.5	0.25	284.1	1.36	4458
LDA2	0.082	7.1	0.62	4.8	4.88	505
M3	0.121	6.8	0.18	168.3	1.61	5759
EPS2	0.076	6.6	0.51	84.9	5.80	648
RHO1	0.037	6.4	0.36	181.3	3.77	1227
H1	0.080	5.4	0.66	215.8	6.81	256
S1	0.042	5.3	0.37	259.6	3.43	781
PI1	0.041	5.2	0.39	227.1	3.63	686
OO1	0.045	5.0	0.38	278.0	4.17	661
MKS2	0.081	4.7	0.58	173.9	6.27	254
2Q1	0.036	4.5	0.39	166.5	5.07	498
T2	0.083	4.4	0.54	239.8	7.71	260
MN4	0.160	4.4	0.26	246.1	3.16	1141
SIG1	0.036	4.1	0.39	147.6	6.02	407
PSI1	0.042	3.9	0.40	305.3	5.50	378
TAU1	0.039	3.9	0.36	152.3	5.53	457

UTide Cnstit	Frequency (cph)	Amplitude (mm)	Amp_err (mm)	Phase (deg)	Pha_err (deg)	SNR
MSN2	0.085	3.6	0.63	243.1	8.75	126
PHI1	0.042	3.4	0.42	231.9	6.36	247
H2	0.081	3.1	0.53	252.6	10.33	130
M6	0.242	2.8	0.12	221.7	3.04	2154
CHI1	0.040	2.7	0.36	212.8	9.62	221
MK4	0.164	2.6	0.22	264.5	5.39	557
MK3	0.122	2.5	0.20	261.8	4.03	628
2MS6	0.244	2.4	0.14	289.9	3.71	1207
ETA2	0.085	2.2	0.58	253.9	14.88	57
SO1	0.045	2.0	0.37	283.7	10.80	112
BET1	0.040	1.9	0.44	210.6	10.03	71
2MN6	0.240	1.7	0.13	184.1	4.50	630
R2	0.083	1.6	0.58	172.5	20.68	30
S4	0.167	1.5	0.21	299.4	10.07	195
ALP1	0.034	1.4	0.38	145.3	15.39	55
SK3	0.125	1.3	0.20	299.1	7.64	174
SK4	0.167	1.3	0.26	302.1	12.03	93
MO3	0.119	1.3	0.19	308.5	10.52	174
SO3	0.122	1.3	0.18	268.5	8.69	180
2MK6	0.245	1.1	0.12	239.7	7.75	294
SN4	0.162	1.0	0.23	242.0	12.82	78
MSK6	0.247	0.4	0.15	344.9	22.74	25
M8	0.322	0.4	0.05	190.9	7.54	215
2MK5	0.203	0.4	0.09	96.7	16.59	62
2SM6	0.247	0.4	0.15	344.6	23.66	21
3MK7	0.283	0.2	0.06	348.1	23.55	29



東沙潮位站壓力式水位計調和分析主要分潮表

UTide Cnstit	Frequency (cph)	Amplitude (mm)	Amp_err (mm)	Phase (deg)	Pha_err (deg)	SNR
K1	0.042	276.9	0.27	303.1	0.05	4062137
O1	0.039	242.3	0.31	253.2	0.07	2339795
M2	0.081	144.5	0.23	254.8	0.08	1470951
P1	0.042	87.5	0.23	297.9	0.20	553191
SA	0.000	85.2	3.65	219.9	2.61	2091
S2	0.083	46.8	0.19	272.0	0.27	230824
Q1	0.037	46.0	0.30	229.5	0.37	88834
N2	0.079	33.1	0.21	238.0	0.35	98654
NO1	0.000	16.1	3.70	320.8	13.73	73
SSA	0.040	15.4	0.25	271.9	0.96	14448
K2	0.084	11.7	0.19	280.9	1.05	15338
J1	0.043	11.5	0.25	317.7	1.38	8088
MF	0.003	9.5	2.85	17.2	22.58	42
RHO1	0.037	8.8	0.30	230.7	1.55	3269
NU2	0.079	6.6	0.22	251.9	1.67	3609
MU2	0.078	6.3	0.21	192.0	1.71	3576
PI1	0.041	6.0	0.33	292.3	2.68	1279
MSM	0.036	5.6	0.29	212.0	2.55	1421
2Q1	0.077	5.6	0.19	209.5	2.10	3174
2N2	0.036	5.5	0.29	234.3	2.95	1369
S1	0.042	4.7	0.26	18.3	3.27	1198
OO1	0.081	4.4	0.22	174.8	2.84	1592
H2	0.045	4.1	0.29	4.1	3.38	785
H1	0.080	4.1	0.20	140.0	2.80	1589
CHI1	0.119	3.9	0.09	1.2	1.52	6403
MO3	0.040	3.8	0.30	266.2	4.45	613
TAU1	0.039	3.6	0.29	30.1	4.41	612
BET1	0.121	3.3	0.09	264.5	1.82	4739
M3	0.040	3.0	0.33	290.0	4.88	320
MK3	0.122	3.0	0.10	50.7	1.95	3223
THE1	0.042	2.8	0.28	254.6	6.25	401
2MS6	0.043	2.8	0.27	336.5	6.14	424
PSI1	0.244	2.8	0.05	131.7	0.75	13466

UTide Cnstit	Frequency (cph)	Amplitude (mm)	Amp_err (mm)	Phase (deg)	Pha_err (deg)	SNR
M6	0.242	2.7	0.04	70.1	0.85	19524
PHI1	0.042	2.6	0.28	287.1	6.36	332
T2	0.083	2.6	0.19	302.8	4.47	724
L2	0.045	2.2	0.26	290.0	6.50	268
SO1	0.082	2.1	0.20	289.7	6.17	419
SO3	0.122	1.8	0.12	32.9	2.69	948
M4	0.161	1.8	0.08	195.6	2.47	1877
ALP1	0.034	1.6	0.31	241.1	11.05	111
R2	0.083	1.6	0.22	87.9	6.69	209
MKS2	0.081	1.4	0.20	305.7	7.75	186
2MN6	0.240	1.4	0.05	40.5	1.84	3491
SK3	0.125	1.3	0.11	75.6	4.31	534
EPS2	0.076	1.3	0.25	174.2	9.89	97
MSN2	0.080	1.2	0.20	177.3	9.67	132
GAM2	0.085	0.9	0.20	288.8	12.11	82
OQ2	0.245	0.8	0.05	132.8	2.64	1129
2MK6	0.076	0.8	0.21	162.7	16.04	63
ETA2	0.085	0.8	0.22	305.1	15.86	53
MS4	0.164	0.8	0.07	299.1	5.23	434
MN4	0.160	0.7	0.08	128.5	6.34	266
2SM6	0.247	0.5	0.04	195.9	4.76	562
MSK6	0.164	0.4	0.08	294.1	9.02	117
SK4	0.247	0.3	0.05	194.8	7.37	201
S4	0.167	0.3	0.06	97.0	13.06	96
M8	0.322	0.3	0.02	234.9	3.25	1101
3MK7	0.167	0.2	0.07	350.8	19.81	40
SN4	0.283	0.2	0.03	109.1	7.42	224
LDA2	0.162	0.2	0.08	112.8	21.40	21
2MK5	0.203	0.1	0.05	4.9	31.28	37

## 附件 D：東沙潮位站現況

## 東沙潮位站現況

史天元<sup>1</sup>

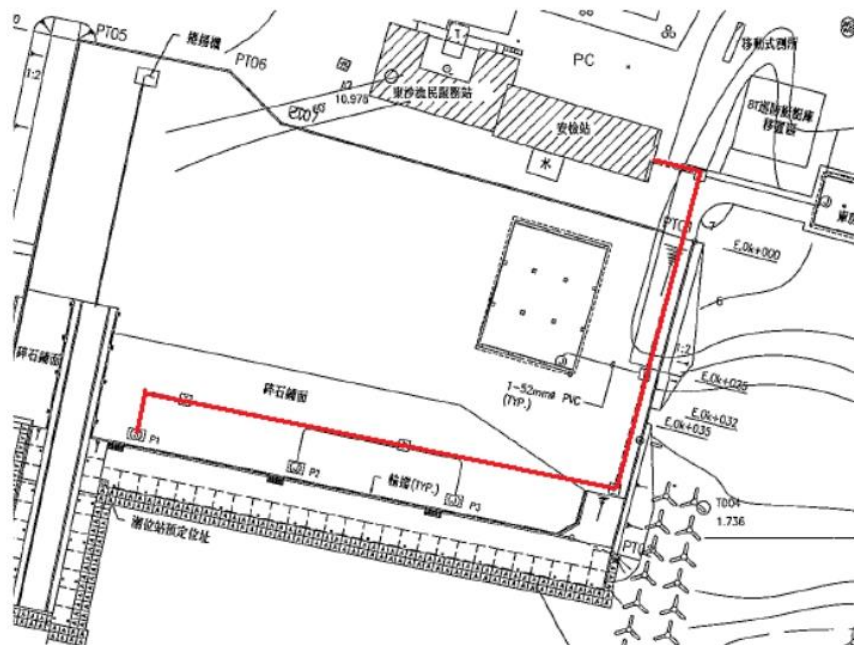
Tian-Yuan Shih

## 摘要

東沙潮位站為由中央氣象局海象中心規劃，經由內政部委請國立交通大學建置於高雄市旗津區東沙島，並負責維護至 108 年底。由 109 年起，內政部移轉該站至中央氣象局，由氣象局負責維護。在 109、110 年度間，內政部委託國立交通大學協助維護。本報告說明 110 年 7 月 26 日現勘時之該站狀況，並陳述工作內容。

## 潮位站概要說明

東沙潮位站為一連續式運作之潮位與水溫觀測站，其組成構件包含設置於碼頭沉箱上靜水井中之一具 Druck PTX 1830 壓力式潮位計與一具 RiXEN TRH-301 PT100 型溫度計，透過訊號線傳輸訊號至漁民服務站文康室內之記錄器，訊號線經由預設之暗管經由碼頭至安檢站旁，再以 PVC 管沿著安檢站屋頂，鋪設至漁民服務站屋頂後至文康室內，如圖一。



圖一、線路配置圖

<sup>1</sup>國立陽明交通大學防災與水環境研究中心教授

Professor, Disaster Prevention and Water Environment Research Center, National Chiao Tung University

### 現況

本次現勘於民國 110 年 7 月 26、27 日進行，於行前了解之狀況為潮位資料業已長期無法經由通訊設施傳輸至氣象局，中央氣象局提供數據機檢查與重新啟動之作業程序，並交付數據機新品一副，在必要時更換。110 年 7 月 26 日現勘時發現數據機本體功能正常，如圖二，LQI 燈號為綠。經較長時間觀察，LQI 燈號有時呈現橘紅色，但是約 3-5 分鐘後又會呈綠色。經與目前氣象局專案維護廠商技術人員李亦仕先生電話聯繫，確認數據機為正常，並佐證登島後網路並非良好之情況，推測應屬通訊品質限制，以致無法傳輸數據。同時，經由讀取 CF 卡，下載數據後，轉換為 ASCII 格式，檢視數據似為正常。檔案下載時為上午 7 時餘，尚未達 8 時，最新檔案為 0724。經李亦仕先生確認，潮位計以 UTC 運作，故屬正常。並經李亦仕先生建議，無須重設數據機，更無須更換。



圖二、數據機狀態

儀器箱內其他各部狀況，如圖三、四。



圖三、紀錄器





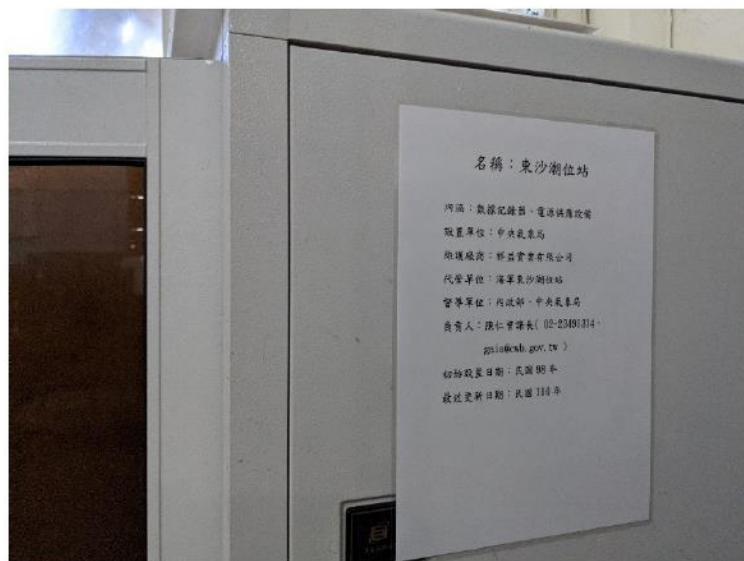
圖四、儀器箱內整體狀態

#### 其他工作與建議事項

本次現勘更換維護標籤、並會請海軍東沙氣象台正、副台長一同會勘線路，整理現況與建議如下。

1. 更換維護標籤

依據海巡署東沙指揮部之規定，儀器箱外需有責任單位標籤，本次更換內政部與交通大學為中央氣象局，如圖五。



圖五、儀器箱責任單位標籤



2. 儀器箱背板

如圖二、三可見，儀器箱背板遭人移除。本次現勘發現儀器箱內有大量骨屑等食物殘渣，在照相前已經清理。由於沒有看到鼠糞，經與現住漁民服務站之施工人員討論，應為貓隻棲息所造成。現住人員並堅決主張背板不是他們所移除。由於貓隻或其他生物棲息於儀器箱中，有可能造成影響，建議未來維護時，重新安置背板。

3. GPS 校時器


如圖六所示，GPS 校時器目前有受到植生遮蔽，建議評估改善作為。



圖六、GPS 校時器現況

附件 E：期刊或研討會投稿全文或證明

1	<p>投稿 2021 ISRS，題目：3D BUILDING MODELS RECONSTRUCTION USING HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGERY WITH DEEP LEARNING NEURAL NETWORK</p>
---	--



International Symposium on Remote Sensing 2021  
Virtual Conference  
26-28 May 2021

**Acceptance Letter**  
18 March, 2021

**Dear Mr. Chen Yung Lu (Civil Engineering, National Central University, Taiwan)**

The ISRS 2021 Technical Program Committee has completed the review process, and we are pleased to inform you that the following abstract has been ACCEPTED for presentation at ISRS 2021.

**Paper No.** P00029  
**Paper Title** 3D Building Models Reconstruction Using High Resolution Satellite Imagery with Deep Learning Neural Network  
 (Authors: Mr. Chen Yung Lu, Prof. Fuan Tsai)

Please kindly visit the official ISRS 2021 website ([isrs.or.kr](http://isrs.or.kr)) to confirm the details of your abstract submission such as title, author information and abstract.

We also would like to remind you the subsequent procedures and to inform you regarding the full paper submission and pre-registration as follows:

- Authors of accepted abstracts are welcome to submit the full paper via the online submission system. The guideline of full paper submission is available on the symposium website at [http://isrs.or.kr/?page\\_id=228](http://isrs.or.kr/?page_id=228).
- The full paper submitted MUST NOT be similar to other literature. If there is a high degree of similarity, we would reject the full paper.
- The reviewers recommend the authors to carefully describe the full paper to avoid plagiarism.
- The deadline of **full paper submission** is **15 April, 2021** and the pre-registration should be done by the same date. Presenting authors MUST **pre-register** for ISRS 2021 **by 15 April, 2021** in order that their paper be retained in the ISRS 2021 final program and proceedings. Please refer to the guideline of registration available at [http://isrs.or.kr/?page\\_id=269](http://isrs.or.kr/?page_id=269).
- If you apply for the Student Paper Competition, you MUST submit your full paper by 15 April, 2021. Unless, the ISRS 2021 Technical Program Committee will NOT consider your application.
- We ask for your kind understanding that some papers could be moved to the appropriate sessions if necessary.

If you have any inquiries, please feel free to contact the ISRS secretariat via email at [ksrs@ksrs.or.kr](mailto:ksrs@ksrs.or.kr).


We look forward to welcoming you to conference in May 2021, and appreciate your contribution to a highly successful symposium that will be of benefit to you and your organization.

Sincerely yours,

The ISRS 2021 Organizing Committee & Technical Program Committee

The Korean Society of Remote Sensing (KSRS)  
 #601, 13th Venture Tower, 13, Jamsil-ro, Songjeong-gu, Seoul 07217, Korea  
 TEL: +82-2-785-4380, FAX: +82-2-788-0500, E-mail: ksrs@ksrs.or.kr  
 Business Registration Number: 204 82 0700, Registered in The Korean Society of Remote Sensing (Hangeul)

2	<p>投稿 IEEE Internet of Things，題目：An Ontology Integrating the Open Standards of City Models and Internet of Things for Smart-city Applications</p>
	<p>Dear Prof. Huang:</p> <p>Your manuscript entitled "An Ontology Integrating the Open Standards of City Models and Internet of Things for Smart-city Applications" has been successfully submitted to the IEEE Internet of Things Journal for possible publication.</p> <p>Your manuscript ID is IoT-20295-2021. Please log into <a href="https://mc.manuscriptcentral.com/iot">https://mc.manuscriptcentral.com/iot</a> to view the status of your paper or to edit any changes in your contact information.</p> <p>The IEEE Internet of Things Journal has dedicated itself to providing the best possible publication opportunity. To that end, all individuals connected with the review and publication process have been requested to do their utmost to maintain the quality of the journal. We appreciate your selecting the IEEE Internet of Things Journal.</p> <p>Please note the peer review process turnaround time varies. For more information regarding the peer review process or general author information, we recommend visiting the <a href="#">IEEE Author Center</a>.</p> <p>While your manuscript is undergoing review, you may also submit it in its current form to TechRxiv, IEEE's preprint server. By uploading your manuscript to TechRxiv you can quickly disseminate your work to a wide audience and gain community feedback. Any comments you receive on the TechRxiv submission have no bearing on the peer review process. Submit your manuscript at <a href="https://www.techrxiv.org/">https://www.techrxiv.org/</a>.</p> <p>Please see an important message about voluntary page charges at the end of this letter.</p> <p>Sincerely, Editorial Office IEEE Internet of Things Journal</p> <hr/> <p>PAGE CHARGES - IEEE Internet of Things Journal</p> <p>Although pages charges are voluntary, all authors are urged to agree to pay them. Acceptance or refusal of the charges has no bearing on the review of the paper. The revenues from the charges help to keep the cost of producing and mailing the journal to subscribers reasonable. These charges also enable the IEEE to pass on the savings to its member subscribers in the form of unusually low subscription fees. Note that most funding agencies recognize that expenses associated with the publication and dissemination of research results are legitimate research costs that can reasonably be included in overall research budgets.</p> <p>The voluntary page charge for IEEE Internet of Things Journal is \$110 per page for the first 8 (eight) pages; mandatory overlength charges of \$175 per page apply thereafter.</p> <p><a href="http://iee-iotj.org/guidelines-for-authors/">http://iee-iotj.org/guidelines-for-authors/</a></p>
3	<p>投稿航測及遙測學刊，題目：應用深度學習於航照正射影像之房屋偵測</p> <p><b>T.A.TEO</b></p> <p>寄件者: 航測及遙測學刊編輯處 &lt;jprssubmit@gmail.com&gt; 寄件日期: 2021年11月9日星期二 上午 10:53 收件者: T.A.TEO 副本: 總編輯mdyang 主旨: 航遙測期刊投稿_稿件110N0801著作權讓渡同意書簽屬 附件: 著作授權同意書(表格一).docx</p> <p>張智安教授 您好：</p> <p>本處已收到您投寄之「應用深度學習於航照正射影像之房屋偵測」稿件，並編號此文件為：110N0801</p> <p>此篇文章已經過編輯委員會初步審視，現將邀請委員進行文章評審，在此之前需麻煩您簽署著作授權同意書，以維護雙方之權益。</p> <p>著作授權同意書之檔案如附件，簽屬完成後請將紙本寄至下方通訊處，掃描之電子檔請寄至 <a href="mailto:jprssubmit@gmail.com">jprssubmit@gmail.com</a> 信箱</p> <p>寄件地址：11681 台北市文山區羅斯福路五段 113 號 3 樓</p> <p>收件人：中華民國航空測量及遙感探測學會 吳岱評小姐</p> <p>聯絡電話：02-86633469</p> <p>崙此，順頌 道 祺</p> <p>航測及遙測學刊編輯處 敬啟 編輯處秘書 鄭心潔</p>
4	<p>投稿 Asian Journal of Geoinformatics (AJG)，題目：3D Localization of SAR Imagery with Digital Surface Model</p>

 **Asian Journal of Geoinformatics** <ajg@aars-ajg.org> 11月12日 週五 下午5:04 (3 天前) ☆ ↶ ⋮  
寄給我 ▾

🌐 英文 ▾ > 中文 (繁體) ▾ 翻譯郵件 關閉下列語言的翻譯功能: 英文 ×

Dear Authors,

The paper is submitted to Asian Journal of Geoinformatics by **liu Yuching** ([liuyuching0402@gmail.com](mailto:liuyuching0402@gmail.com))  
On behalf of Asian Journal of Geoinformatics Editorial Team, we would like to thank you for your submission.  
The paper '3D Localization of SAR Imagery with Digital Surface Model' is received and we will arrange several professional reviewers to review your paper as soon as we can.  
After some reviewed procedures, you will get the current status of paper on **My Papers** page after login ([https://aars-ajg.org/author\\_login.php](https://aars-ajg.org/author_login.php)) or we will send the relative emails.

Should you have any questions, please email to [ajg@aars-ajg.org](mailto:ajg@aars-ajg.org). We will get back to you soon.

Sincerely,  
Asian Journal of Geoinformatics Editorial Team



附件 F：參與國際測繪相關研討會報告

**(1) International Symposium on Remote Sensing 2021 Virtual Conference**

(<http://isrs.or.kr/>)



2021 國際遙感探測會議(2021 International Symposium on Remote Sensing)，主辦單位為韓國遙測學會(KSRS, Korean Society of Remote Sensing)、日本遙測學會(RSSJ, Remote Sensing Society of Japan)及中華民國航空測量及遙感探測學會(Chinese Society Of Photogrammetry & Remote Sensing)，受疫情影響，本次會議為線上舉行，時間為本(2021)年5月26日至5月28日，為期3天。本次會議主要是台日韓三邊遙測領域的會議，會議目的主要是促進台日韓三邊遙測領域間共同合作機會。

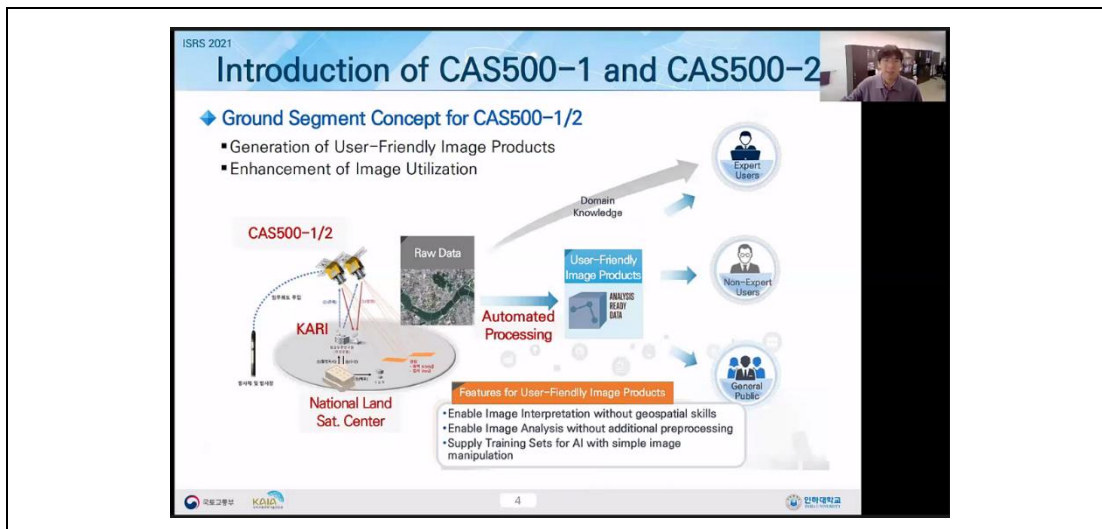
本次會議總共有26個口頭發表場次及4個海報發表場次，此外，還有7個Special Sessions及1個Special Workshop。論文投稿總數為196篇，其中韓國學者的論文數佔149篇，而臺灣投稿的論文數為22篇。

Special Workshop 主題為Public Hearing on Analysis Ready Data Service Plan of National Land Satellite Center, NGII，即韓國Data Cube方面發展規劃的公聽會，本場次韓語進行發表，故無法參與理解實質內容。但從本次會議的其他DataCube英文論文發表場次，韓國系列衛星KompSat或未來CAS500衛星資料會以DataCube的概念進行加值應用推廣。



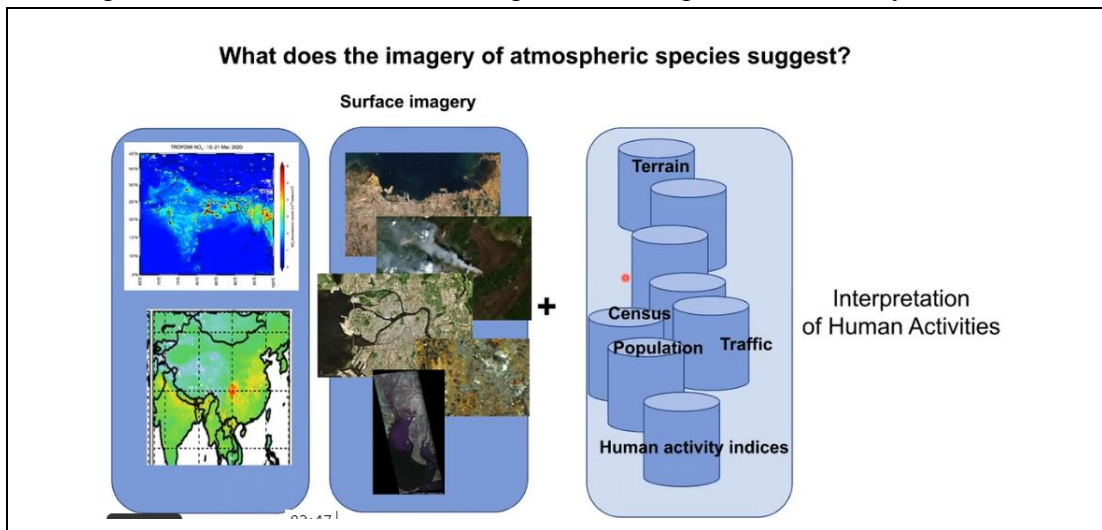
本次會議共安排三場 Keynote Speech :

1. Prof. Taejung Kim (Inha University, Korea): "Generation of user-friendly image products for new Korean land observation satellites"



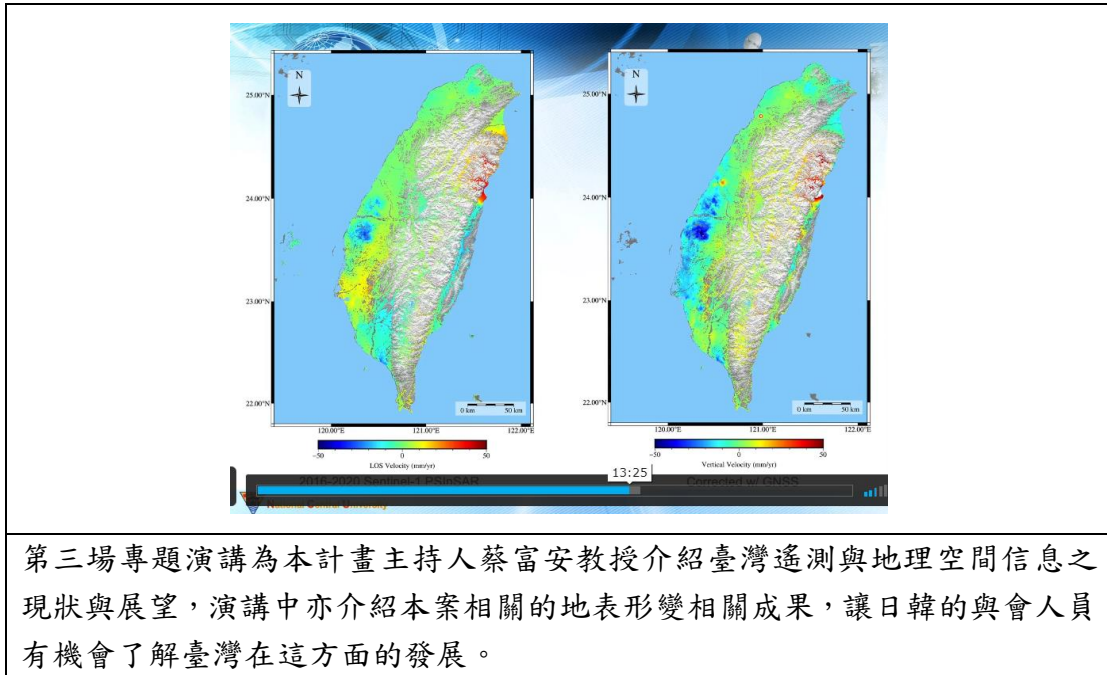
今年(2021)韓國已發射 50cm 空間解析度的 CAS500-1 超高解析度衛星，未來 CAS500 會以衛星星系方向發展。此專題演講討論如何建置對使用者友善的衛星影像產品(User-friendly Image Products)，使非專業領域的使用者也能容易使用 CAS500 高解析度衛星影像產品，全程目標為建立處理系統發展即可分析(Analysis Ready Data)產品。

2. Prof. Sashiko Hayashida (Nara Women’s University, Japan): Remote sensing in the era of ‘Anthropocene’ ~ Observation of atmospheric trace species emitted by human activities.

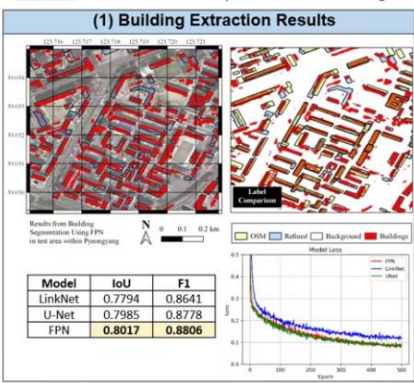
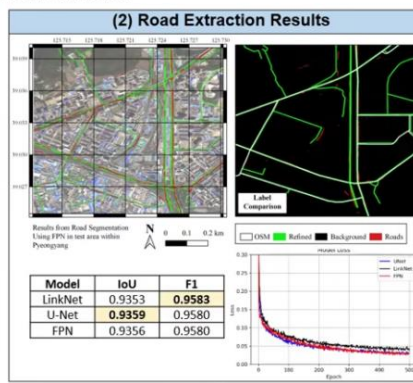


此研究以衛星影像分析大氣中的物質變化，進而分析人類活動，例如人類活動造成的污染物和溫室氣體。為取得可解釋的大氣物質變化，需了解大氣中的化學形成和隨高度變化傳輸過程。研究中介紹三個應用案例：(1) COVID-19 在印度造成的全國封鎖後，空氣污染暫時性改善的案例。(2) 觀測及分析季節效應對南亞甲烷濃度變化的影響。(3) 觀測及分析中國對流層之低層臭氧增加的影響。未來這類衛星影像所提供的大範圍大氣數據，將得到更廣泛的應用，對人類活動能提出更科學的觀測數據。

3. Prof. Fuan Tsai(National Center University, Taiwan):Remote Sensing and Geospatial Information in Taiwan –Status and Prospects.



會議中與本計畫相關之論文發表場次重點整理如下：

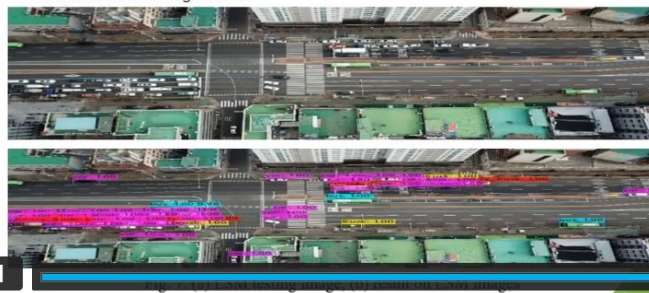
<p>1</p>	<div style="text-align: center;"> <h2>Background</h2> <p>“National data policy direction”, (4th Industrial Revolution Committee, ‘21. 2. 17.)</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p>◆ <b>Background</b> : Although countries around the world are accelerating data-based digital transformation, revising the 3rd data law, and pursuing a digital new deal, the private sector is still having difficulty securing necessary data and complaining of insufficient data utilization system.</p> <p>◆ <b>Main Content</b>: ① Immediately open core data that the government has not opened up until now                  ② Revitalizing the use of my data to strengthen the sovereignty of data                  ③ Supporting companies to use data to strengthen their industrial competitiveness                  ④ Establish a national-level data management strategy in the long term</p> </div> </div>																								
<p>1. 講者: Saro Lee                  2. 單位: Geological Resource Data Center of the Korea, Institute of Geoscience and Mineral Resource (KIGAM), Korea                  3. 題目: Introduction of Geo Big Data Open Platform</p>																									
	<p>演講中介紹韓國地質資源數據中心所建置的資料開放平台，比較特別的是國家資料開放(National data policy direction)的政策依據是為了因應工業 4.0 的發展 (<a href="https://www.4th-ir.go.kr/en/data119">https://www.4th-ir.go.kr/en/data119</a>)，由韓國第四次工業革命總統委員會(The Presidential Committee on the 4th industrial revolution)製定，推動數位轉型及資料開放，將有利產業發展。資料開放的主要提供的服務是 Healthcar, Living, Welfare, KeyFoundation 等，而空間資料在這些服務中都是必要的資料，因此地質資源數據中心建立單一服務平台，供應地質資源數據的開放資料(<a href="http://data.kigam.re.kr/">http://data.kigam.re.kr/</a>)。</p>																								
<p>2</p>	<div style="text-align: center;"> <p>Mapping Inaccessible Areas Using Deep Learning Based Semantic Segmentation of VHR Satellite Images with OpenStreetMap Data <span style="float: right;">Minho Kim, Taehong Kwak, Jaesung Jung, Yongil Kim</span></p> <h3>3 Results and Discussion</h3> <p>Results from Experiment 1: Building and Road Extraction</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>(1) Building Extraction Results</b></p>  <table border="1" style="margin: 10px auto;"> <thead> <tr> <th>Model</th> <th>IoU</th> <th>F1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LinkNet</td> <td>0.7794</td> <td>0.8641</td> </tr> <tr> <td>U-Net</td> <td>0.7985</td> <td>0.8778</td> </tr> <tr> <td>FPN</td> <td><b>0.8017</b></td> <td><b>0.8806</b></td> </tr> </tbody> </table> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>(2) Road Extraction Results</b></p>  <table border="1" style="margin: 10px auto;"> <thead> <tr> <th>Model</th> <th>IoU</th> <th>F1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LinkNet</td> <td>0.9353</td> <td><b>0.9583</b></td> </tr> <tr> <td>U-Net</td> <td><b>0.9359</b></td> <td>0.9580</td> </tr> <tr> <td>FPN</td> <td>0.9356</td> <td>0.9580</td> </tr> </tbody> </table> </div> </div> </div>	Model	IoU	F1	LinkNet	0.7794	0.8641	U-Net	0.7985	0.8778	FPN	<b>0.8017</b>	<b>0.8806</b>	Model	IoU	F1	LinkNet	0.9353	<b>0.9583</b>	U-Net	<b>0.9359</b>	0.9580	FPN	0.9356	0.9580
Model	IoU	F1																							
LinkNet	0.7794	0.8641																							
U-Net	0.7985	0.8778																							
FPN	<b>0.8017</b>	<b>0.8806</b>																							
Model	IoU	F1																							
LinkNet	0.9353	<b>0.9583</b>																							
U-Net	<b>0.9359</b>	0.9580																							
FPN	0.9356	0.9580																							
<p>1. 講者: Minho Kim                  2. 單位: Seoul National University, Korea                  3. 題目: Mapping Inaccessible Areas Using Deep Leraning Based Semantic Segmentation of VHR Satellite Images wth OpenStreetMap Data</p>																									

此研究採用 0.5m 高解析衛星影像 GeoEye，搭配開放街圖的房屋及道路進行深度學習，研究目的是要應用此方法在北韓的房屋及道路偵測，以解決管制區無法到達及製圖的困難。由於南韓在開放街圖中的房屋數量較為完整，此方法可達到不錯的成果。

3

### EXPERIMENTAL RESULTS

- ▶ The vehicles in Figure 7 are mostly horizontal with some vertical and rotated vehicles, test result shows that the model has a good performance on the detection of rotating objects, while the detection may miss one object in the far lower right corner, but the model has 79.77% of (mAP) mean average precision score on LSM testing dataset



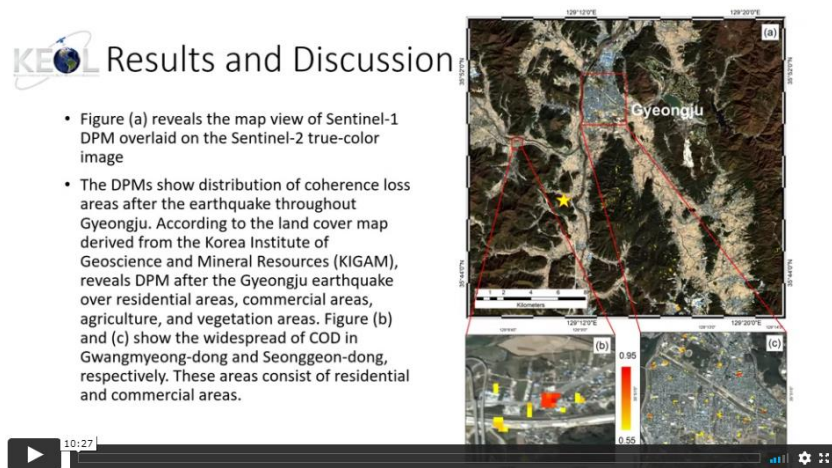
1. 講者: Wael Omar
2. 單位: University of Seoul, Korea
3. 題目: Vehicle Detection from Aerial Images Based on YOLO V4

此研究使用 YOLOV4 進行航空影像的交通工具偵測，其主要研究目的是整合三種不同的資料集進行 AI 訓練，研究結果顯示可以達到約 80mAP 的平均偵測率，完成自動化交通工具偵測，未來可應用於交通動態監測。

4

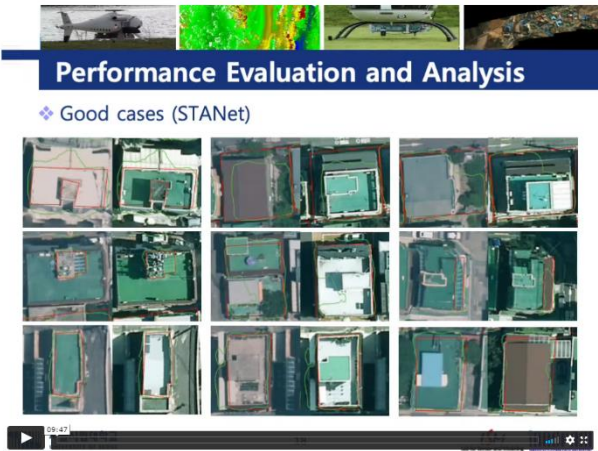
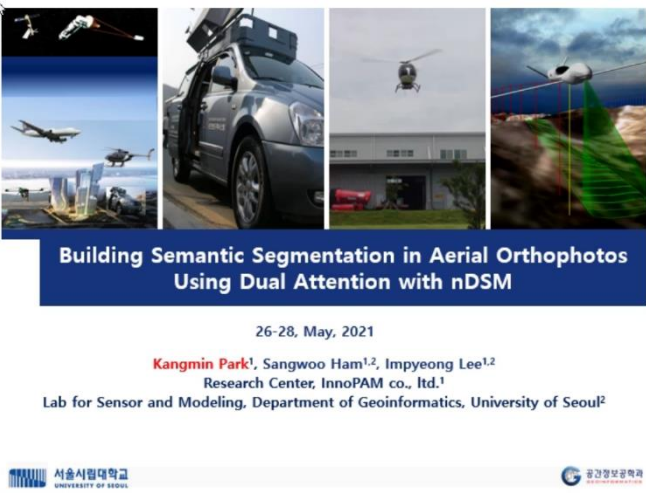
### KEO Results and Discussion

- Figure (a) reveals the map view of Sentinel-1 DPM overlaid on the Sentinel-2 true-color image
- The DPMs show distribution of coherence loss areas after the earthquake throughout Gyeongju. According to the land cover map derived from the Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), reveals DPM after the Gyeongju earthquake over residential areas, commercial areas, agriculture, and vegetation areas. Figure (b) and (c) show the widespread of COD in Gwangmyeong-dong and Seonggeon-dong, respectively. These areas consist of residential and commercial areas.



1. 講者: Arip Syaripudin Nur
2. 單位: Kangwon National University, Korea
3. 題目: Damage Proxy Map (DPM) From Sentinel-1 Insar Coherence Applied to 2016 GyeongGju Earthquake



	<p>研究目的是使用雷達衛星影像，偵測地震後地表變化區域，使用的方法是比較前期及後期 InSAR 的 Coherence，從 Coherence 的變化率判別變遷，假設變化受地震影響，故可以將顯註變化區域判識為受災區域。</p>
5	 <p><b>Performance Evaluation and Analysis</b>          ❖ Good cases (STANet)</p> <p>1. 講者: Sangwoo Ham          2. 單位: University of Seoul, Korea          3. 題目: Micro-Level Building Change Detection From True Orthoimages Using Spatio-Temporal Attention Mechanism</p> <p>此研究使用前後期真實正射改正影像偵測房屋變遷區域，變遷區域是鎖定屋頂加蓋的小區域，建立訓練資料後，使用 W-Net 及 STANet 深度學習方法進行判識，共使用 4772 個變遷多邊形進行訓練，完整性可達 80%，正確性達 60%。此研究特別的地方是使用真實正射改正影像，而不是正射改正影像，故可判識細部變化。</p>
6	 <p><b>Building Semantic Segmentation in Aerial Orthophotos Using Dual Attention with nDSM</b></p> <p>26-28, May, 2021</p> <p>Kangmin Park<sup>1</sup>, Sangwoo Ham<sup>1,2</sup>, Impyeong Lee<sup>1,2</sup>          Research Center, InnoPAM co., Ltd.<sup>1</sup>          Lab for Sensor and Modeling, Department of Geoinformatics, University of Seoul<sup>2</sup></p> <p>1. 講者: Kangmin Park          2. 單位: University of Seoul, Korea          3. 題目: Building Semantic Segmentation In Aerial Orthophotos Using Dual Attention With Ndsm</p>



此研究結合多光譜影像及正規化數值地表模型(nDSM)進行房屋偵測，使用 DeepResUNet 及 Dual attention module 深度學習方法進行判識，研究目的是探討加入 nDSM 的效益。實驗結果顯示，有加入 nDSM 的成果都比只使用多光譜影像佳，大約可以提升 5。