

計畫編號：113 保發-5.1-保-01-06-001(39)

時空串連在地回報與遙測觀測

監測邊坡災害

Integration of spatio-temporal data for slope hazard monitoring

執行單位：國立政治大學

執行期間：113 年 02 月 07 日至 113 年 12 月 31 日

計畫主持人：林士淵 教授

共同主持人：林玉菁 副教授

協同主持人：李璟芳 博士

農業部農村發展及水土保持署 編印

中華民國 113 年 11 月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本署施政參考)

目次

目次.....	I
表次.....	III
圖次.....	IV
摘要.....	V
Abstract.....	VII
第一章 緒論	1
第一節 擬解決問題	1
一、 在地回報資料：	2
二、 遙測影像分析成果：	2
第二節 計畫目標	3
第二章 工作執行方法與步驟	1
第一節 實施方法與步驟	1
一、 研究方法與步驟	1
第三章 工作進度與交付項目	1
第一節 計畫流程圖	1
第二節 計畫交付項目	1
一、 事件型觀測整合模式	1
二、 定期觀測整合模式	16
三、 整合式地表變遷形變資訊之視覺化呈現	41
第四章 結論與建議	1
一、 結論	1
二、 建議	2
參考文獻.....	1

附錄.....	1
附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形	1
附錄二、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形	2

表次

表 3-1 利用 NDVI 偵測石碇區地表覆蓋變遷成果.....	3-17
表 3-2 利用偏移偵測法偵測石碇區地表變化成果.....	3-20
表 3-3 利用強度變遷法偵測石碇區地表覆蓋變遷成果..	3-23
表 3-4 利用 NDVI 偵測烏來區地表覆蓋變遷成果.....	3-25
表 3-5 利用偏移偵測法偵測烏來區地表變化成果.....	3-28
表 3-6 利用強度變遷法偵測烏來區地表覆蓋變遷成果..	3-31
表 3-7 利用 NDVI 偵測復興區地表覆蓋變遷成果.....	3-33
表 3-8 利用偏移偵測法偵測復興區地表變化成果.....	3-36
表 3-9 利用強度變遷法偵測復興區地表覆蓋變遷成果..	3-40

圖次

圖 2-1 10 M、30 M 及 90 M 連續網格空間單元集	2-5
圖 3-1 計畫流程圖	3-1
圖 3-2 石碇區、烏來區及復興區主要回報區域.....	3-2
圖 3-3 LANDSAT - NDVI 崩塌監測成果	3-3
圖 3-4 SENTINEL - NDVI 崩塌監測成果	3-4
圖 3-5 雷達影像-偏移偵測成果圖	3-5
圖 3-6 多元資料崩塌監測整合圖	3-6
圖 3-7 LANDSAT - NDVI 崩塌監測成果	3-7
圖 3-8 SENTINEL - NDVI 崩塌監測成果	3-8
圖 3-9 雷達影像-偏移偵測成果圖	3-9
圖 3-10 多元資料崩塌監測整合圖	3-10
圖 3-11 LANDSAT - NDVI 崩塌監測成果	3-11
圖 3-12 SENTINEL - NDVI 崩塌監測成果	3-12
圖 3-13 雷達影像-偏移偵測成果圖	3-13
圖 3-14 多元資料崩塌監測整合圖	3-14
圖 3-15 復興區 D-INSAR 與植生指標變異區域比對	3-15
圖 3-16 石碇區主要回報地之偏移偵測	3-16
圖 3-17 石碇區之整合式地表變遷形變圖	3-42
圖 3-18 烏來區之整合式地表變遷形變圖	3-43
圖 3-19 復興區之整合式地表變遷形變圖	3-44
圖 4-1 石碇區(左上)、烏來區(右上)、復興區(下)D-INSAR 成果	4-2

摘要

台灣因為地形複雜和氣候多變，經常面臨各種自然災害。特別是在地震或強降雨期間，山區容易發生山崩滑坡和土石流等災害，對生活在這些地區的原住民、登山客和露營者構成重大威脅。為了減少這些災害對居民的影響，政府和學術機構投入了大量資源，希望通過研究災害成因、監測災前徵兆以及提供災後快速修復措施來提升安全性。然而，這些災害仍然對居民的生命和財產造成威脅，說明現有的災害認知、管理和預防措施仍然不足。

目前存在的主要問題包括：災害知識傳達不足、災害定義與居民生活的脫節以及在地災害知識利用不足，為了解決這些問題，本計畫團隊提出了一套坡地災害資訊整合策略。這個策略包括：利用 Sentinel-1 影像、Sentinel-2 影像、Landsat 影像，執行偏移偵測法、植生指數變異和雷達強度變遷偵測法，來提升邊坡災害監測之全面性。

首先，本計畫選擇新北市石碇區、烏來區、桃園市復興區為研究區，透過 SAR 影像的差分干涉處理(D-InSAR)生成地表形變圖，根據事件前後的影像資料分析災害區域的形變狀況，並評估災害潛勢。偏移偵測法則補足 D-InSAR 技術的不足，利用 SAR 影像振幅波段的偏移量估算地表變形，進一步分類災害風險。植生指數(NDVI)變異反映植生健康狀態，透過分析 Sentinel-2 影像、Landsat 影像來評估坡體穩定性。而雷達強度變遷偵測法則透過分析不同時期的 Sentinel-1 雷達影像強度變化，來識別地表變動和植被變化。最終，我們整合多元資料，基於時間和空間進行遙測資料處理和彙整，形成綜合的災害潛勢評估，為精確監測

和預警提供科學依據。

關鍵詞：時空串連、遙測觀測、邊坡災害、資料整合、災害監測

Integration of spatio-temporal data for slope hazard monitoring

Abstract

Taiwan, with its complex terrain and variable climate, frequently faces various natural disasters. Particularly during earthquakes or heavy rains, mountainous areas are prone to landslides and debris flows, posing significant threats to the indigenous residents, hikers, and campers living in these regions. To mitigate the impact of these disasters on residents, the government and academic institutions have invested substantial resources, aiming to enhance safety by studying disaster causes, monitoring pre-disaster signs, and providing rapid post-disaster recovery measures. However, these disasters still pose threats to the lives and properties of residents, indicating that current disaster awareness, management, and prevention measures are still inadequate.

The main problems currently include insufficient dissemination of disaster knowledge, a disconnect between disaster definitions and residents' daily lives, and underutilization of local disaster knowledge. To address these issues, our project team has proposed a strategy for integrating slope disaster information. This strategy includes :

Our project utilizes Synthetic Aperture Radar (SAR)

differential interferometry, offset tracking, vegetation index variation, and SAR intensity change detection techniques to enhance the efficiency of slope disaster monitoring. First, by performing interferometric processing (InSAR) of SAR images, we generate ground deformation maps, analyze the deformation conditions in disaster areas based on images taken before and after the events, and assess disaster potential. Offset tracking compensates for the shortcomings of D-InSAR technology by estimating ground deformation through the offset of SAR image amplitude bands, further classifying disaster risks. Vegetation index (NDVI) variation reflects vegetation health and is used to evaluate slope stability by analyzing Sentinel-2 images. SAR intensity change detection identifies ground changes and vegetation variations by analyzing intensity changes in SAR images over different periods. Ultimately, we integrate various data sources, process and consolidate remote sensing data based on time and space, and develop a comprehensive disaster potential assessment to provide scientific support for accurate monitoring and early warning.

Keywords: Spatiotemporal Integration, Remote Sensing Observation, Slope Disasters, Data Integration, Disaster Monitoring

第一章 緒論

第一節 擬解決問題

受到地形、氣候的影響，台灣面臨許多類型的災害，特別是在地震或強降雨期間，在山坡地區容易造成山崩滑坡或是土石流等坡地災害，而當這些災害發生，首當其衝的就是生活在山區部落的原住民。為降低坡地災害對部落居民造成的人身與財產威脅，政府機關以及學術單位皆已投入大量心力與資源，希望藉由探究災害發生的原因、監測災前徵兆以提出預警，以及提供災後的快速修復等作為，提升其居住安全與山林遊憩的安心感。

即便如此，坡地災害對部落居民生命財產的威脅並沒有停止，說明現在對於災害的認知、管理、預防，仍有不足之處，我們從三個面向來觀察：首先，不論是政府計畫、工程，或是學術界的研究，所完成的工項，或是得到的計畫成果，並沒有被有效且系統性地，傳達給部落居民以及山林使用者。大多數人完全不知道或是僅是片段的知道，在自己生活或是所處的環境中，曾經進行過這些工程或是研究。其次，政府機關或是學術單位討論的、看待的災害，並未與當地居民的生活產生連結。這可能是源自於兩方對於災害的定義不同，也可能是因為災害對於當地生活的影響面向與程度亦不同所造成。最後，部落也有自己對於災害的在地觀察與知識，可以是透過地名系統來呈現，可以是經過家族的傳承來記錄，也可以是長時間在當地生活所累積的觀察。這些在地災害知識其實是最為真實、正確，但是卻因為缺少較為系統化的記錄以及傳遞，它的影響以及被認知的範圍，便有非常大的限制。總結上面三點來說，主要問題是在不同的利害關係人

(Stakeholders)間，災害知識的溝通與瞭解存在斷點。

為嘗試解決災害資訊在多向的溝通斷點，本計畫團隊在 2021 年提出坡地災害資訊整合策略，內容包括廣域雷達差分干涉地表形變評估技術(Interferometric SAR, InSAR)、自發性地理資訊(Volunteered Geographic Information, VGI)災害回報軟體等技術，最終整合至 3D GIS 監測資訊圖台，提供原鄉部落住民以及山林使用者自主防災與關注環境變異等資訊(李璟芳等人，2023)。經過本團隊持續的推廣，已經在新北市烏來區、新北市石碇區、桃園市復興區等地，蒐集到許多災害相關的多元資料。下階段則需要整合其他資料，萃取出有效資訊後，再透過適合的傳播媒介與方法，回饋給在地居民，達到災害相關資訊能夠雙向溝通的目標。在整合之前，我們檢視在地回報與遙測影像分析成果，發現這兩種資料各有其特性：

一、在地回報資料：

此回報資料是經由計畫所開發之 LineBot 災害回報系統，讓在地居民能夠再發現災害之處，及時以手機照相後回傳災害地點、災害種類等相關資訊。

有回報的地點必定是有災害或是災害徵兆發生，這些地點通常是居民生活、會通過、使用或是居住的地方，回報時間主要是在颱風或是豪雨發生期間，平時較少。

二、遙測影像分析成果：

利用遙測雷達影像執行時序 InSAR 分析，發現有穩定散射點的地點不一定是有地形變動現象，也有可能是穩定不動點，這些地點通常是在裸露地或是有人工構造分佈的區域，而觀測的時

間則是依照衛星再訪頻率，定期的估算散射點地點的形變量。

由以上敘述可知，兩份資料的時間、空間存在不一致的現象，而且，有資料的地區不一定都是有災害、災害徵兆或是地形不穩定等現象，沒資料的地區也不一定是沒有災害的地區。因此，需要多元資料配合多元方法，並加以整合，才能更為全面並萃取有效的災害相關資訊。據此，如何串連在地回報資料以及遙測影像分析成果，為本計畫要解決的主要問題，預計採用的方法會在第二章說明。

第二節 計畫目標

為了針對災害潛勢高的坡地提出災前預警，我們持續處理時序遙測影像，萃取不穩定區域以及其變動趨勢；同時，我們與在地社區合作，讓居民可以用友善便利的方式回報發生坡地災害或是出現徵兆的地區。這兩份資料雖然在時間、空間以及紀錄內容存在不完全一致的現象，但因為分別是從遠端(太空)以及在地端(社區)進行觀測，若能加以整合，將能提供更全面的觀測資訊回饋給山林使用者，尤其是投入甚多的在地部落居民，預期能對提高當地居民的居住、生活、生產、活動等安全有所助益。整體目標包括：

- (一) 完成研究區之時序遙測影像干涉處理
- (二) 分析民眾回報資料之時、空特性
- (三) 提出多元資料串連機制與中介資料處理
- (四) 完成研究區之資料串連
- (五) 萃取整合資訊並視覺化呈現

第二章 工作執行方法與步驟

第一節 實施方法與步驟

本計畫主要目標為串連在地回報以及時序遙測分析成果這兩份資料，提供整合性的坡地觀測資訊給在地部落居民等山林使用者。由於在地回報觀察的資料提供者是處於動態移動狀態，其回報的時間點也不固定，因此，本計畫將利用衛星影像會定期再訪的特性，定期取得多元衛星遙測影像，產製可偵測地表變化之產品。此外，由於回報資料也提供觀測地點，將有助於我們針對特定區域進行較細緻之處理。也就是說，我們將透過本計畫產製之遙測產品，填補在地回報以及時序遙測分析成果在時間以及空間涵蓋的差距，最後再以地理資訊系統為平台，串連各項多元資料，萃取整合資訊並視覺化呈現。

以下將說明本計畫擬採用之可偵測地表形變之方法，以及最後如何串連多元資料。

一、研究方法與步驟

(一) 雷達差分干涉合成孔徑雷達(Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar, D-InSAR)

為一種主動式微波遙感探測系統，可由儀器自行發射雷達波並接收雷達回波，並以振幅(Amplitude)與相位(Phase)資料紀錄地表粗糙度、地物物徵性質等資訊。相較於被動式偵測，雷達影像具有可穿透雲霧、日夜皆可施測、較短時間解析度與快速偵測大範圍等特點，可有效提高資料可及性。今若取得同一地點不同時間拍攝之兩幅以上SAR影像，透過干涉處理(Interferometric SAR,

InSAR)，便可產製值地形模型 (Digital Elevation Model, DEM)(Rogers and Ingalls, 1969)。若進一步取得兩張以上不同時期之InSAR成果干涉圖，其中一張干涉圖代表地表高程，即地形對，另一張干涉圖包含地表變形及地形效應，即變形對。將兩干涉圖進行差分處理(Differential InSAR, D-InSAR)後，即可獲得地表變形干涉圖(Gabriel and Goldstein, 1988)，在經全相位回復便可得到地表形變量圖。此法已廣泛運用於地表變形之偵測(Anderssohn et al., 2009; Zhou et al., 2009; Cheng et al., 2012; Bonforte et al., 2013; Parrella et al., 2016)。本計畫定期取得雷達影像，執行雷達差分干涉，得到回報區域的地表形變圖，並依每個像元的視衛星方向(Line of Sight)形變量，分出高、中、低三個等級的災害潛勢等級。

(二) 偏移偵測法

Michel 等人(1999)提出次像元相關法(Subpixel correlation methodology, SPC)，又稱偏移量追蹤法(Offset-Tracking method)，或偏移偵測法(Pixel-offset, PO)。其以對位方式(Co-registration)偵測兩SAR影像振幅波段偏移量，進而估計方位方向(Azimuth) (沿軌方向)地表變形量。雖然SPC法精度較傳統D-InSAR技術為低，然其具有多項優勢，如可克服D-InSAR因劇烈地表位移產生之干涉條紋過飽和與相似度過高狀況等(Chen and Zebker, 2001)，故此方法可補足D-InSAR技術不足，而被廣泛應用於山崩偵測、地震偵測與冰河移動等(Grandin et al., 2009; Singleton et al., 2014; Schellenberger et al., 2015; Ou et al., 2016)。Huang & Huang (2018)亦採用此方法偵測花蓮美濃地震後的地表

形變。基於此，本計畫利用此方法萃取回報區域之平面方向的地表位移，並依每個像元的平面形變量，分出高、中、低三個等級的災害潛勢等級。

(三) 植生之植被指數(Vegetation index)

植生指數變異葉綠素為植生葉片行光合作用之重要構造，葉綠素含量代表植生之光合速率、氮素含量以及健康狀態，也為評估植生養分狀態以及衰老程度之指標，對農作物長勢監測、養分含量監測、品質評價和產量估算具有重要之意義(Peng et al., 2017)。有鑑於遙感技術能快速獲取大面積範圍植生狀態資訊，衛星影像已普遍用於判釋植生健康狀態。除了此項基本應用之外，由於植生根部會因為受到坡體破壞而造成林葉健康程度之變異，植生之植被指數變異便可作為判讀坡體是否有發生過歷史災害或現今出現崩滑現象之指標。

基於此特性，本計畫嘗試利用此方法分析回報地點周圍區域之邊坡穩定狀態。遙測影像之波段中，紅邊波段(Red Edge)為植生於670~760 nm之間反射率斜率最大之波段，對於植生葉綠素含量變化非常敏感，故目前許多林業研究，使用紅邊波段萃取紅邊參數、構建光譜指數、光譜特徵等，以分析植生作物葉片與冠層之葉綠素含量。為獲取植被指數，以建立山崩與植生之關聯性，本研究利用Sentinel-2拍攝的紅邊波段，針對崩塌地與周緣坡地進行拍攝；此外，由於植被指數相關分析方法具有簡易分析且有效之優點，我們也針對常見之常態化差異植生植物指數(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)與常態化差異紅邊指數(Normalized Difference Red Edge index, NDRE)兩種植被指數進

行分析，以評估崩塌地周緣植生林葉健康程度之變異。NDVI與NDRE的計算式與參數定義如下：

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (1)$$

$$NDRE = (NIR - RE) / (NIR + RE) \quad (2)$$

式中NIR、Red、RE (Red Edge)分別為近紅外光波段光譜值、紅光波段光譜值、紅邊波段光譜值。NDVI與NDRE的值域皆為-1~1；值越小則表示葉綠素含量越低，植生健康狀況較差。最後，再依不同時期影像中每個像元的植生指數變異量，分出高、中、低三個等級的災害潛勢等級。

(四) 雷達強度變遷偵測法

雷達強度變遷偵測法主要是利用不同時間點在同一區域拍攝的SAR影像來偵測像元強度的變化(Lin & Perissin, 2017; Konishi & Suga, 2018)。其主要計算方法包含影像相減和影像相除，基於統計上的特性，影像相除所使用的Log Ratio (LR)強度變遷偵測法擁有優秀的抗噪能力，能高效觀察地表強度變遷，因此應用範圍非常廣泛(Mondini et al., 2019)。技術實行上，首先對多時期的SAR影像進行幾何和輻射校正，確保影像對位和標準化。接著，使用精確軌道資料和數值地形模型進行影像對位，以確保影像的空間一致性。然後選取同一偏極化的影像進行變遷計算，常用方法為影像相除並取自然對數，得到LR指數，藉由偵測位於直方圖兩側的LR指數，可進行強度變遷偵測。此方法不僅適用於監測如山崩等地表變遷事件，還可應用於城市發展、森林砍伐、農業活動等多種場景(Mondini et al., 2019)。本計畫中，該技術成果將結合其他遙測分析成果，提供更加全面的地表變遷

訊息，從而提升監測的能力。

(五) 多元資料整合方法

由於每一種資料及其對應的方法所生成的成果在像素上存在誤差偏移，致使比對結果無法有效分析。為了解決這一問題，我們首先製作涵蓋全台灣的向量網格資料，構建完善的連續網格空間單元集，以便能夠對不同解析度的資料進行疊合分析。此次研究中，網格資料的解析度將參照所用資料的需求，分別製作 10 公尺、30 公尺及 90 公尺的連續網格資料，供後續研究參照使用(參見圖 2-1)。

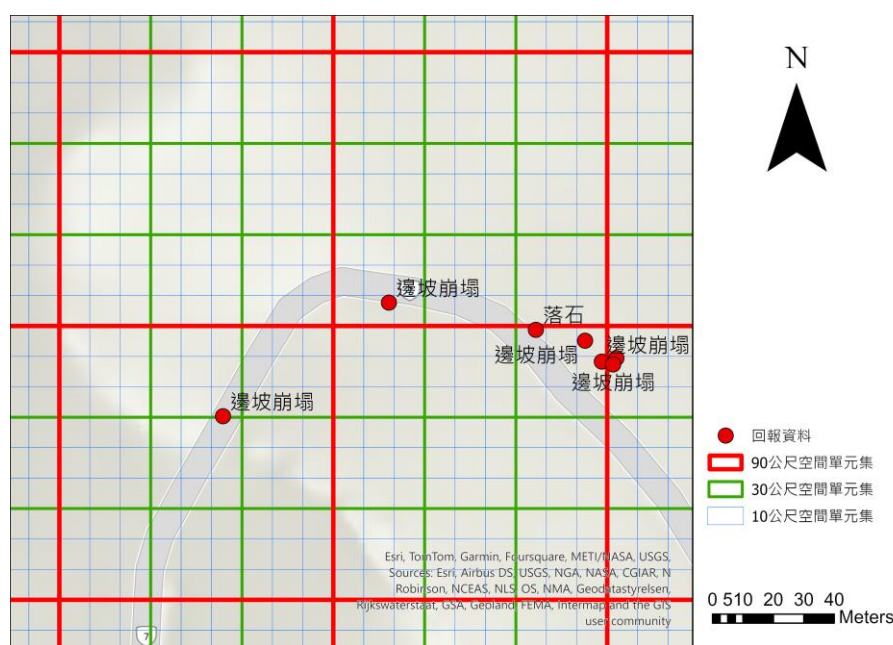


圖 2-1 10 m、30 m 及 90 m 連續網格空間單元集

多元資料整合前面幾個方法都是可以針對定期的或是不定期特定事件，偵測對應時間是否發生變遷的技術，因為本團隊目前儲存的在地回報事件提供明確時間以及空間標籤，因此有潛力可做為多元資料整合的時空索引。

考量坡地災害的好發程度，本計畫選擇新北市烏來區、新北

市石碇區、桃園市復興區的部分聚落區域為研究區，不過，由於遙測資料以及其分析方法皆有其應用限制，特別是山區，因此，本計畫在測試過程會詳實評估各方法之可行性，提出綜合性監測策略建議。預計對應之資料分別為：

- 10 公尺網格: Sentinel 2 衛星影像資料
- 30 公尺網格: Landsat 衛星影像資料
- 90 公尺網格: D-InSAR 成果

第三章 工作進度與交付項目

第一節 計畫流程圖

我們以前章的執行方法為基礎，說明計畫執行的流程(參見圖 3-1)。首先是蒐集各式遙測資料，包括：Sentinel-1 雷達影像、Sentinel-2 以及 Landsat 等多光譜影像，接著是透過合成孔徑雷達差分干涉法、雷達偏移偵測法、強度變遷偵測法、植生指數變異偵測法及光學影像偏移偵測法等方法，產製觀測成果，最終加入地面觀測資料，進行資料整合，提供災害潛勢的評估。

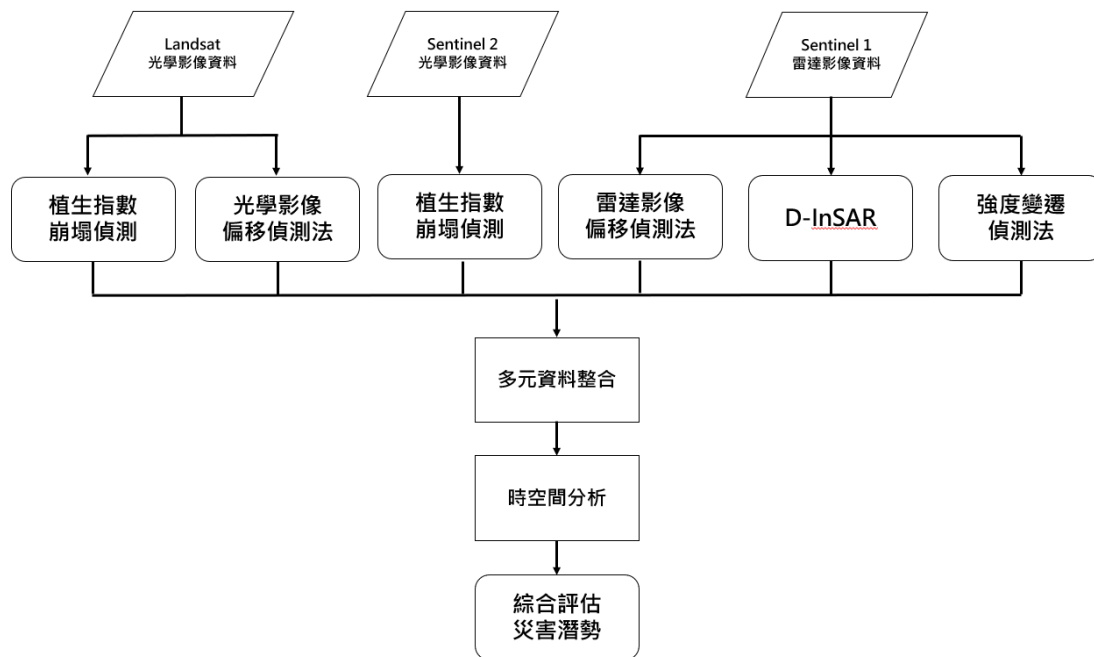


圖 3-1 計畫流程圖

第二節 計畫交付項目

多元資料整合是可以定期或是不定期特定事件的觀測執行，本計畫將展示兩種模式的成果，

一、事件型觀測整合模式

本計畫選定新北市石碇區、桃園市復興區以及新北市烏來區

三個區域，作為主要災害回報的分析區域(參見圖 3-2)。這些區域因其地理特徵和歷史災害記錄，使其成為研究災害回報系統的理想樣本。回報點位屬性資料包括「災害事件、經緯度坐標、回報時間」。這些資料將提供關鍵的災害訊息分布和時間點，使我們能夠進行更完整的區域災害的潛勢分析。

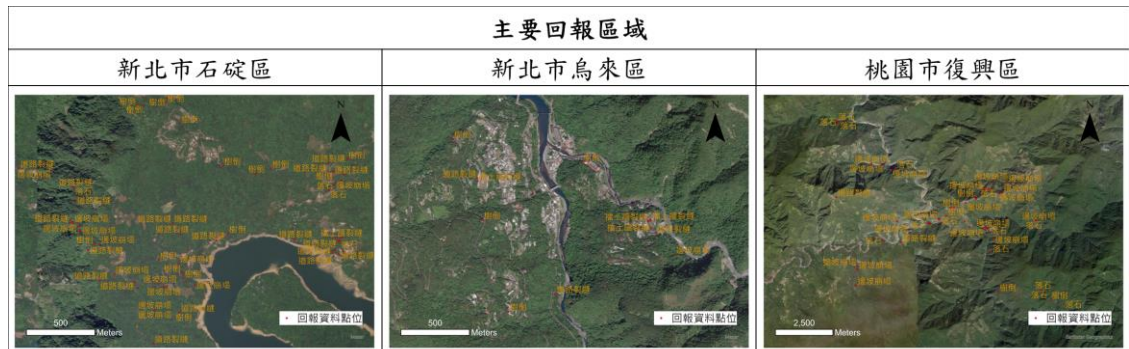


圖 3-2 石碇區、烏來區及復興區主要回報區域

主要研究時間段設定於 2023 年 6 月，選擇此時段的原因在於此期間正值梅雨季節，受滯留鋒面的影響，降雨頻繁，且午後有局部短暫雷陣雨。另外，從 2023 年 5 月至 6 月開始有颱風的產生，包括強烈颱風瑪娃以及中度颱風古超。這些事件使得此時間段成為觀察和分析自然災害發生頻率及其影響的關鍵時期。因此，選用此時間段作為主要研究時間，以確保資料的豐富性和分析結果的可靠性。

以下依序介紹新北市石碇區、桃園市復興區及新北市烏來區這三個地區的分析結果。針對每個區域，將詳細說明所使用的各種方法及其分析成果。期望能夠以此方式清晰地展示每個地區在不同分析方法下所取得的成果和發現。

(一) 新北市石碇區

1.Landsat 影像使用 NDVI 植生指數

本研究所選用影像為 Landsat 9 之衛星影像，由於光學影像容易受到雲層遮蔽以及陰影的限制，致使日期挑選上不盡理想。本次所使用之影像分別為 2023 年 6 月 7 日以及 2023 年 9 月 11 日之衛星影像。以下的植生指數變異結果為兩時間點影像所進行的 NVDI 差異偵測之成果。

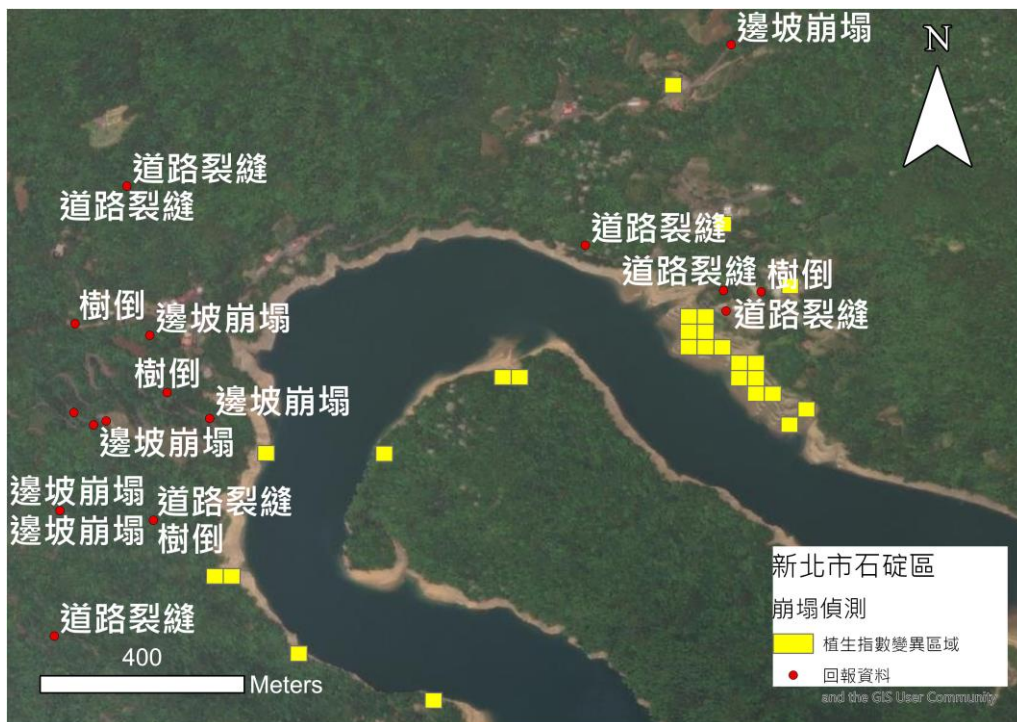


圖 3-3 Landsat - NDVI 崩塌監測成果

圖 3-3 為新北市石碇區永安里的偵測成果。由於回報性質多是道路裂縫、路樹倒塌等小型災害事件，而 Landsat 影像解析度為 30 m，僅有少數點位能夠對應災害回報之點位。但仍舊能發現圖五中右下方有明顯較大範圍的變化，推測原因可能為鄰近河流，且因雨量及颱風等相關因素致使大面積植被崩落。

2.Sentinel-2 影像使用 NDVI 植生指數

利用 2023 年 3 月 6 日和 2023 年 7 月 4 日的 Sentinel-2 影像產製的 NDVI 變異區域成果，我們對位於新北市石碇區北勢溪附近的進行了崩塌偵測，並與回報資料進行比對分析。如圖 3-4 所示，我們可以看到，10 公尺解析度的植生指數變異區域大多出現在溪流沿岸，這表明北勢溪在這段時間內發生了顯著的沿岸變遷。此外，右側幾個回報資料點附近也出現了许多植生指數變異區域，這表明該區域在此期間內有明顯的變化。



圖 3-4 Sentinel - NDVI 崩塌監測成果

3.利用雷達影像使用偏移偵測法

2023 年 5 月 10 日與 2023 年 7 月 9 日的 Sentinel-1 影像利用 SNAP 軟體產製像素偏移偵測的成果，透過該成果對於新北市石碇區永安里附近進行崩塌偵測，並與回報資料進行比對分析。由圖 3-5 可知，左側深藍色區域表示有較明顯的偏移，並與多處回報資料吻合，後續可以持續利用本研究方法來進行崩塌監測，以

預防該區域的災害發生。

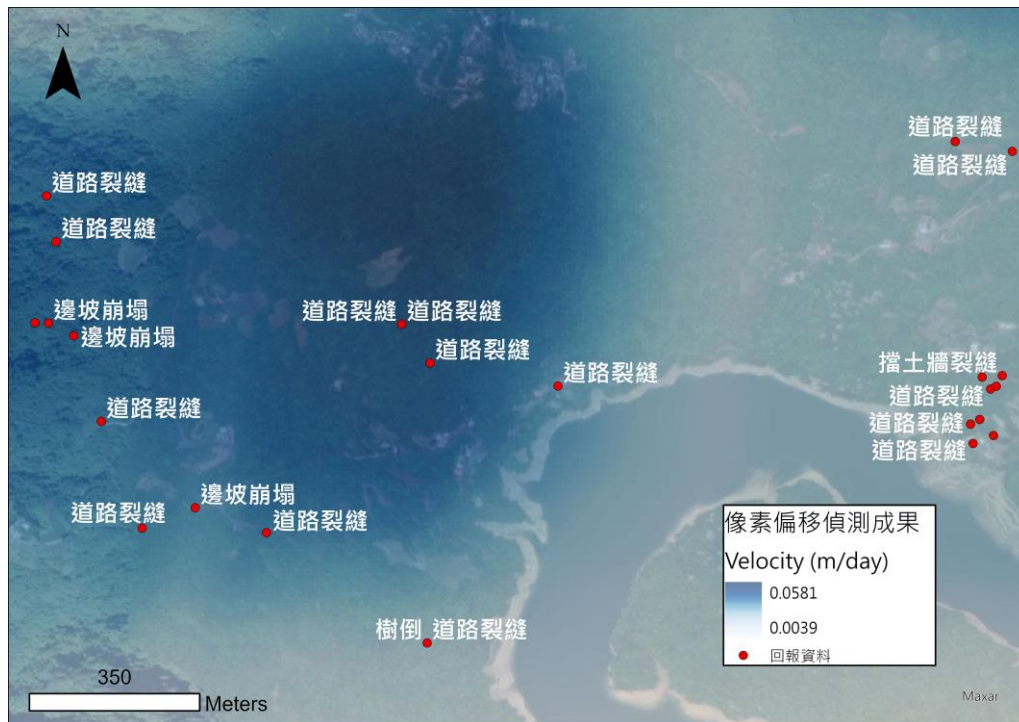


圖 3-5 雷達影像-偏移偵測成果圖

4. 多元資料整合

透過不同空間解析度之資料以及不同時序資料所製作出的成果可以相互套疊萃取出更準確的災害發生地點與資訊。不過，解析度較高之產品，需要耗費較大的製作成本，故可先透過解析度較差之產品，找出大致不穩定區域以限縮範圍，再透過高解析度產品去進行崩塌監測，即可減少執行的時間成本並提升災害資訊的成果。

如圖 3-6 所示，在右上角的回報點附近有一些 30 公尺解析度的植生指數變異區域。雖然 30 公尺的範圍較大，但已經提供粗略定位不穩定的位置。因此，我們進一步將其與 10 公尺解析度的植生指數變異區域進行疊加分析，從而確定崩塌地潛在地於 30 公尺變異區域內的具體位置。

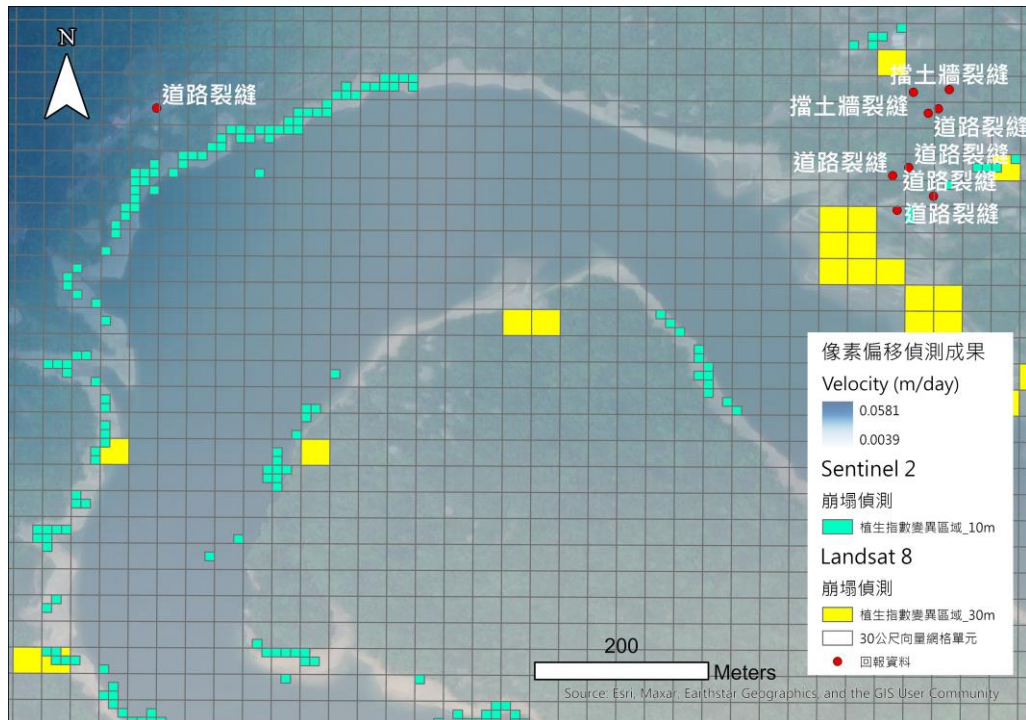


圖 3-6 多元資料崩塌監測整合圖

另外，在相同解析度下，利用不同的方法的成果可以萃取出真正有可能發生災害區域，減少可能因為資料限制等原因導致的錯誤，並且可以更進一步整合多元的災害資訊。不僅可以偵測災害地位置，還可以得知地表形變之程度與方向...等，最後再與回報資料串聯，找出居民較少活動區域的崩塌潛在地，並提升在地居民對災害資訊的認知。

如圖 3-6 所示，不僅透過不同空間解析度之 NDVI 崩塌監測成果，得到了較細緻的崩塌潛在區域，還可以藉由與像素偏移偵測結果的套疊分析，得到更詳細的災害資訊。

最後，以上不同方法所產製的成果以及居民回報事件都會整合在該向量網格單元裡，將更全面的觀測資訊回饋給當地居民。

(二) 新北市烏來區

1.Landsat 影像使用 NDVI 植生指數

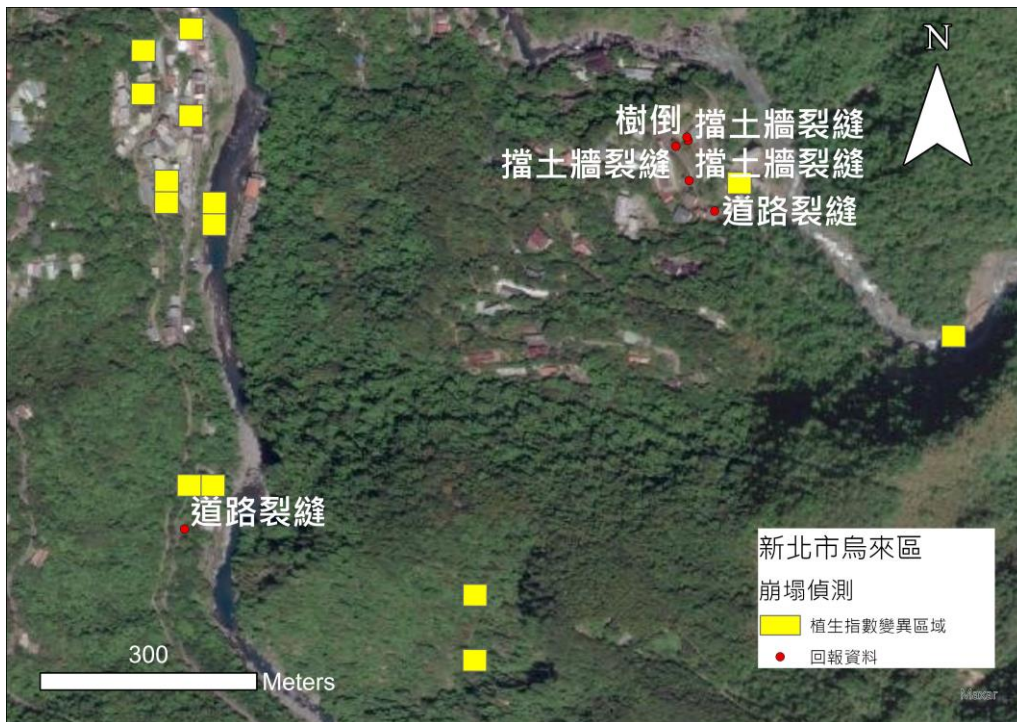


圖 3-7 Landsat - NDVI 崩塌監測成果

圖十三中區域主要位於烏來區烏來里。可以發現主要崩塌偵測區域都落在已開發道路的周遭。因時間上的差異，回報資料集中在右上區域。但因影像解析度為 30 公尺，所以並沒辦法偵測到範圍過小的災害。

2.Sentinel-2 影像使用 NDVI 植生指數

同樣利用 2023 年 3 月 6 日和 2023 年 7 月 4 日的 Sentinel-2 影像產製的 NDVI 變異區域成果，我們對位於新北市烏來區附近的進行了崩塌偵測，並與回報資料進行比對分析。如圖 3-8 所示，我們可以看到，10 公尺解析度的植生指數變異區域大多出現在烏來區的已開發區域，推薦是因為該區域在這段時間內的植物與路樹等發生了季節性的變化，或是因為人為開發活動而造成植生指數的變化。此外，回報資料與植生指數變異區域無直接重疊，

推測是因為該區域部分回報資料事件規模較小，10 公尺解析度的崩塌偵測尚無法與之準確對應。不過，我們可以看到在圖中右側有許多植生指數變異區域出現於孝義產業道路與桶後溪附近，表示此區域也屬於變化大之區域，卻無居民的回報資料，後續將持續觀測，若持續發生，便能提醒民眾小心周遭的崩塌現象。

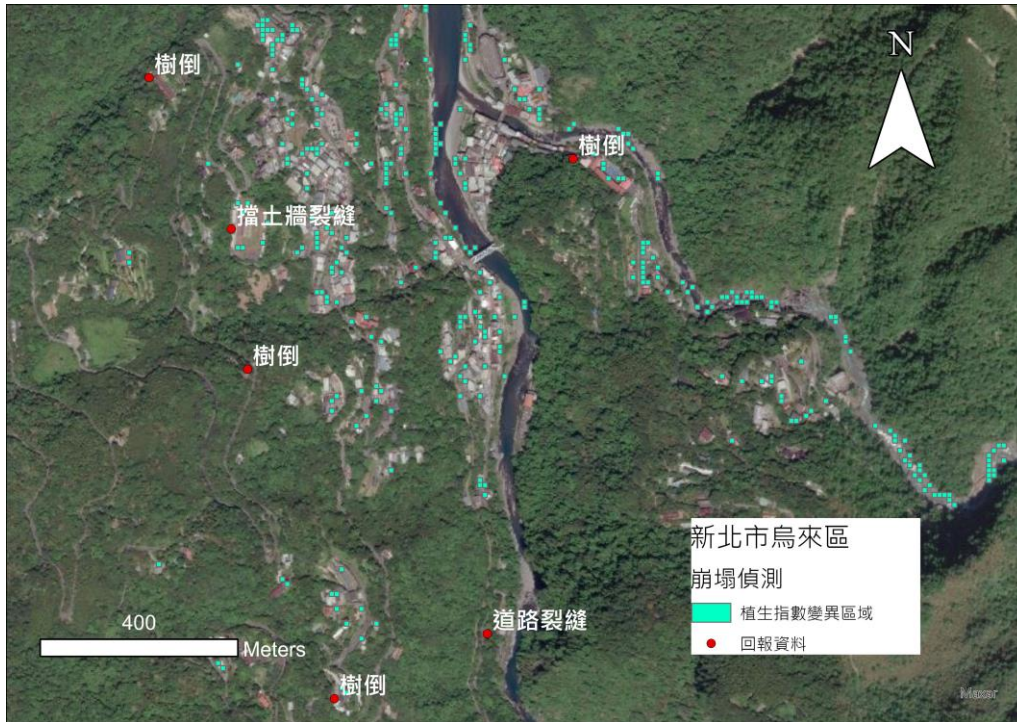


圖 3-8 Sentinel - NDVI 崩塌監測成果

3.利用雷達影像使用偏移偵測法

2023 年 5 月 10 日與 2023 年 7 月 9 日的 Sentinel-1 影像利用 SNAP 軟體產製了像素偏移偵測的成果，透過該成果對於新北市烏來區烏來里附近進行了崩塌偵測，並與回報資料進行比對分析。由圖 3-9 可知，左下角深藍色區域表示平均每日偏移大約為 0.3 公尺，為較明顯的地表形變，且與回報資料的落石事件地點吻合，該處位於信福路臨近區域，本計畫會持續觀測，如果持續有這樣的現象，或許可考慮在信福路該路段放置警告標示，提醒

路過之民眾要多加小心。

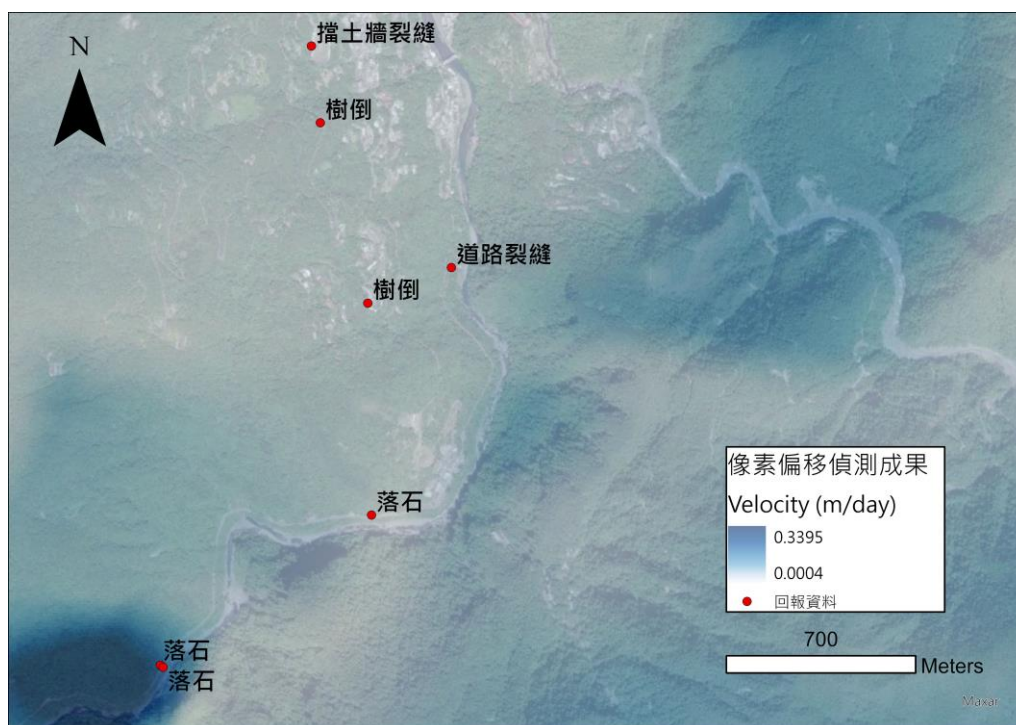


圖 3-9 雷達影像-偏移偵測成果圖

4. 多元資料整合

如圖 3-10 所示，圖中有許多 30 公尺解析度與 10 公尺解析度的植生指數變異區域。雖然 30 公尺的範圍較大，但已經提供粗略定位不穩定的位置。因此，我們進一步將其與 10 公尺解析度的植生指數變異區域進行疊加分析，從而確定崩塌地潛在地於 30 公尺變異區域內的具體位置。

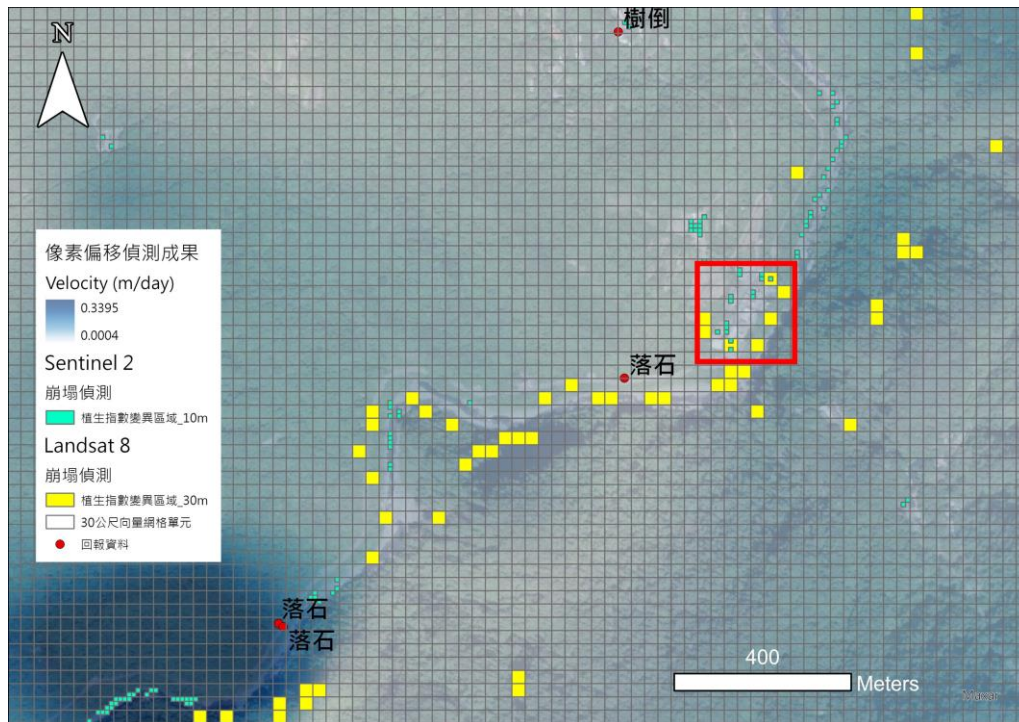


圖 3-10 多元資料崩塌監測整合圖

如圖 3-10 所示，不僅透過不同空間解析度之 NDVI 崩塌監測成果，得到了較細緻的崩塌潛在區域，還可以藉由與像素偏移偵測結果的套疊分析，得到更詳細的災害資訊，例如：從圖中央紅框處可以看到兩處 30 公尺解析度和 10 公尺解析度的植生指數變異區域重疊的地方。通過綠色方格，我們可以確定更細部的崩塌潛在區域。進一步利用像素偏移偵測結果的套疊分析，我們能夠得知這兩個區域的平均每日偏移量，以評估崩塌潛在區域的偏移嚴重程度。

最後，以上不同方法所產製的成果以及居民回報事件都會整合在該向量網格單元裡，將更全面的觀測資訊回饋給當地居民。

(三) 桃園市復興區

1.Landsat 影像使用 NDVI 植生指數

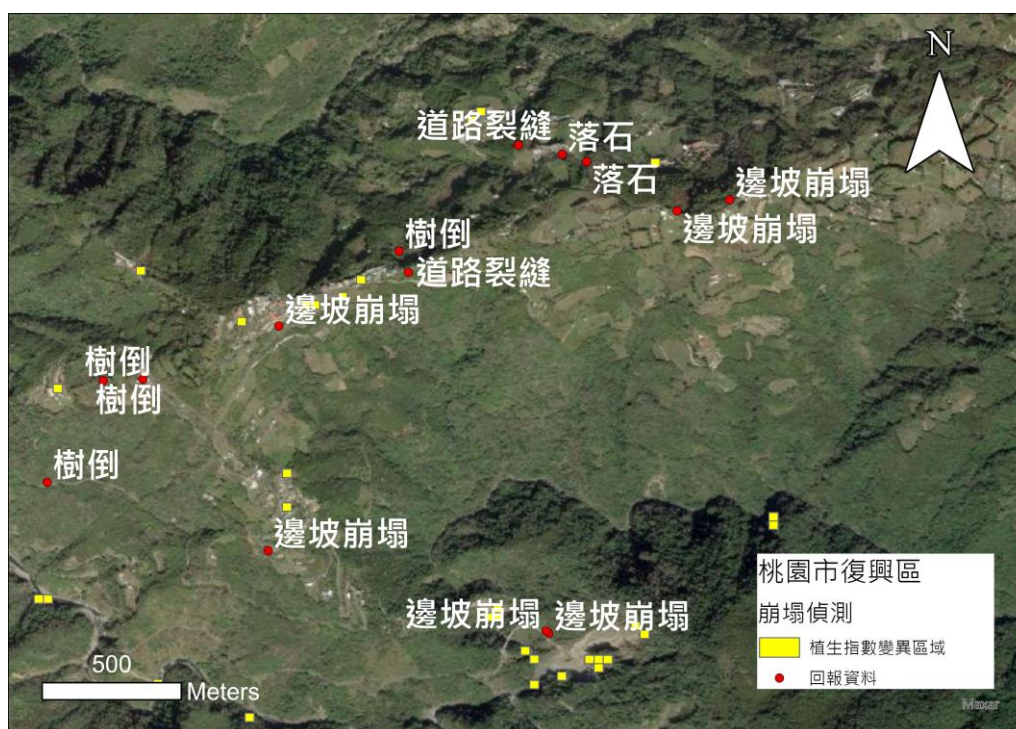


圖 3-11 Landsat - NDVI 崩塌監測成果

此區域主要位於桃園市復興區上半部分的地區，包含華陵里、三光里、玉峰村等。根據圖 3-11 可以明顯看到，崩塌的區域與回報的點位都落在開發道路附近。形成一個弧線的走勢。也可以看到在顯示植生指數的變異區域伴隨的回報資料類型多是邊坡崩塌等較為大型的邊坡災害。

2.Sentinel-2 影像使用 NDVI 植生指數

同樣利用 2023 年 3 月 6 日和 2023 年 7 月 4 日的 Sentinel-2 影像產製的 NDVI 變異區域成果，我們對位於桃園市復興區的巴陵周遭進行了崩塌偵測，並與回報資料進行比對分析。如圖 3-12 所示，我們可以看到，產製於桃園市復興區 10 公尺解析度的植生指數變異區域數量較少也分散，是由於光學影像容易受到雲層

遮蔽以及陰影的限制，致使產製之成果並不理想。不過，在圖 3-14 右下角可以看到三處邊坡崩塌的回報資料點位周遭有出現兩塊植生指數變異區域，甚至有一處是回報資料與崩塌偵測之結果重疊，表示該區域有很高的機率確實發生了崩塌現象，也與 Sentinel - NDVI 崩塌監測成果吻合，未來可以持續利用該研究方法來監測該區域之變化，以防範未發生之災害。

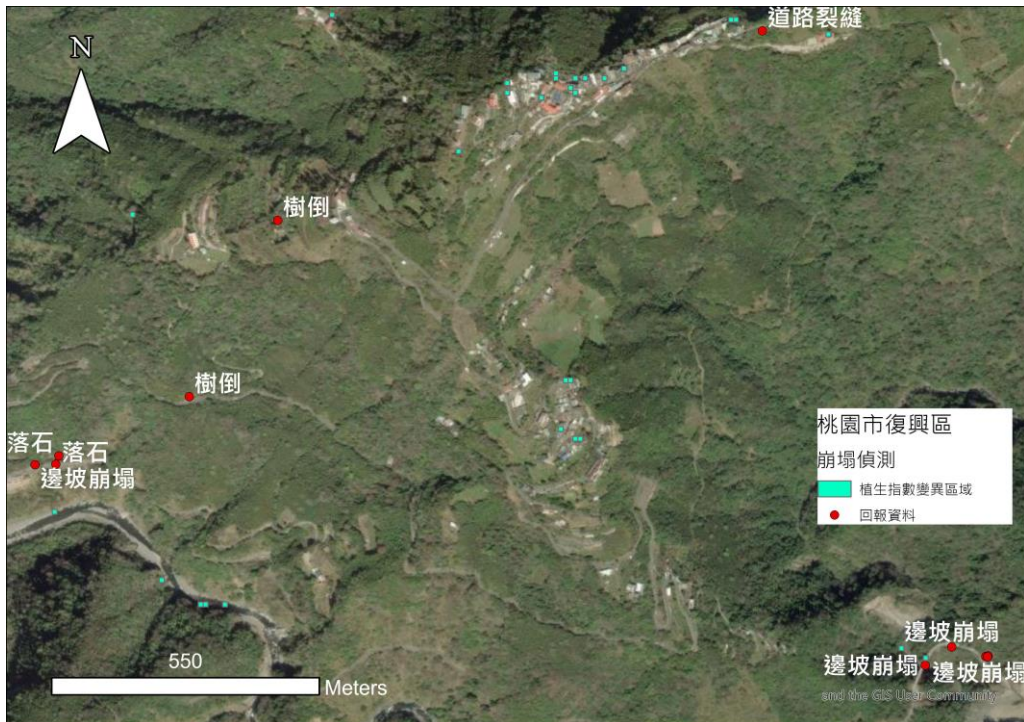


圖 3-12 Sentinel - NDVI 崩塌監測成果

3.利用雷達影像使用偏移偵測法

利用 2023 年 5 月 10 日與 2023 年 7 月 9 日的 Sentinel-1 影像執行像素偏移偵測，透過該成果對於桃園市復興區華陵里附近進行了崩塌偵測，並與回報資料進行比對分析。由圖 3-13 可知，上方之淺藍色區域，表示較小的地表形變，像素偏移量較小，不過該區域尚有許多回報資料，推測可能是事件規模較小導致，亦或是因衛星影像選取的時間限制，導致做出來的成果無法明顯對

應回報資料，本研究下一階段可以透過尚在進行中的其他方法來偵測該處是否有更顯著的變化。而右下角深藍色處就表示偵測到明顯的地表形變，也與回報資料相符，可做為提供在地居民增強該區域的災害預防措施之參考。

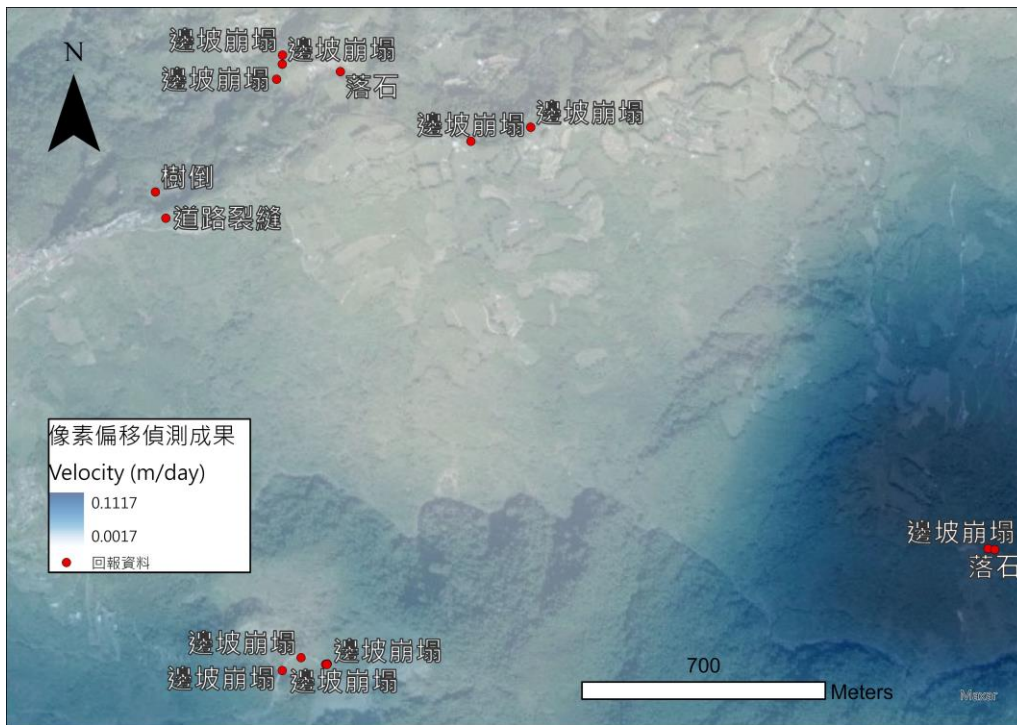


圖 3-13 雷達影像-偏移偵測成果圖

4. 多元資料整合

如圖 3-14 所示，右下角有許多 30 公尺解析度與 10 公尺解析度的植生指數變異區域。雖然 30 公尺的範圍較大，但已經提供粗略定位不穩定的位置，我們進一步將其與 10 公尺解析度的植生指數變異區域進行疊加分析，從而確定崩塌地潛在地於 30 公尺變異區域內的具體位置。

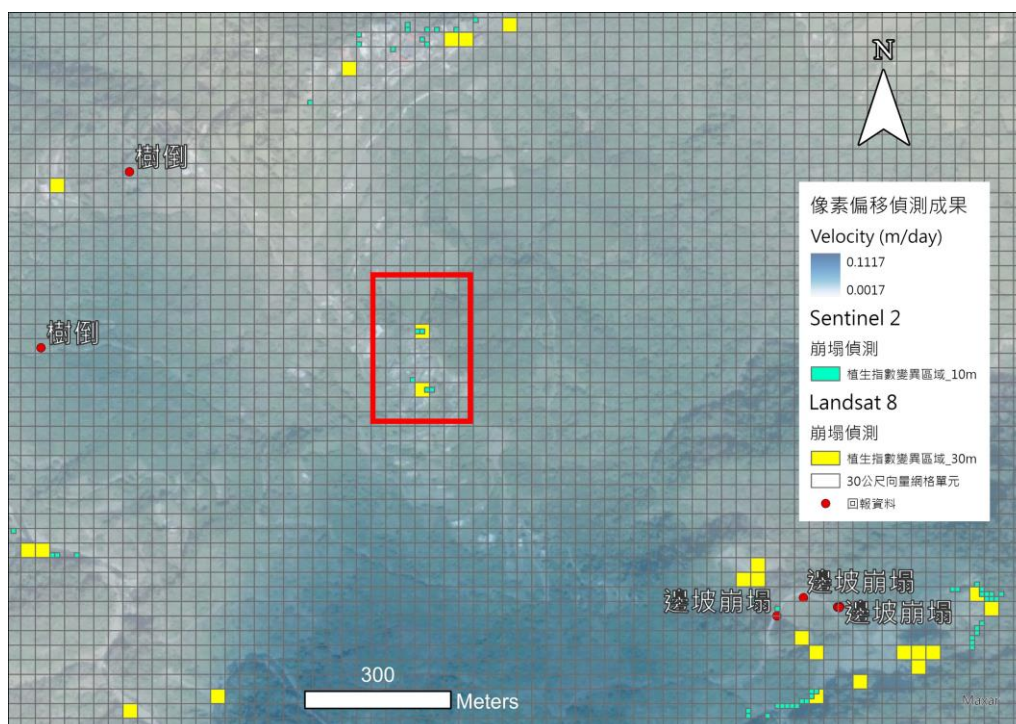


圖 3-14 多元資料崩塌監測整合圖

如圖 3-14 所示，紅框區域不僅透過不同空間解析度之 NDVI 崩塌監測成果，得到了較細緻的崩塌潛在區域，還可以藉由與像素偏移偵測結果的套疊分析，得到更詳細的災害資訊，例如：在紅框區域內，像素偏移偵測結果顯示為淺藍色，這表明偏移量較小，而右下角崩塌回報資料處的像素偏移偵測結果顯示顏色更深一些，表明像素偏移量相對較大。

最後，以上不同方法所產製的成果以及居民回報事件都會整合在該向量網格單元裡，提供更全面的觀測資訊。

(四) 事件型觀測方法可行性

在事件型觀測的測試中，針對差分干涉合成孔徑雷達以及光學影像的偏移偵測法的測試成果，進行可行性的初步評估。

1. 差分干涉合成孔徑雷達

差分干涉合成孔徑雷達是經由雷達影像差分技術獲得地表形變量的資訊。從下圖 3-15 可見觀測區之一的復興區，目前 D-InSAR 成果與 Landsat 植生指標變異偵測法的對比，所圈選之處在植生指標偵測有變異之區域相對於 D-InSAR 成果是有相關性的變動。

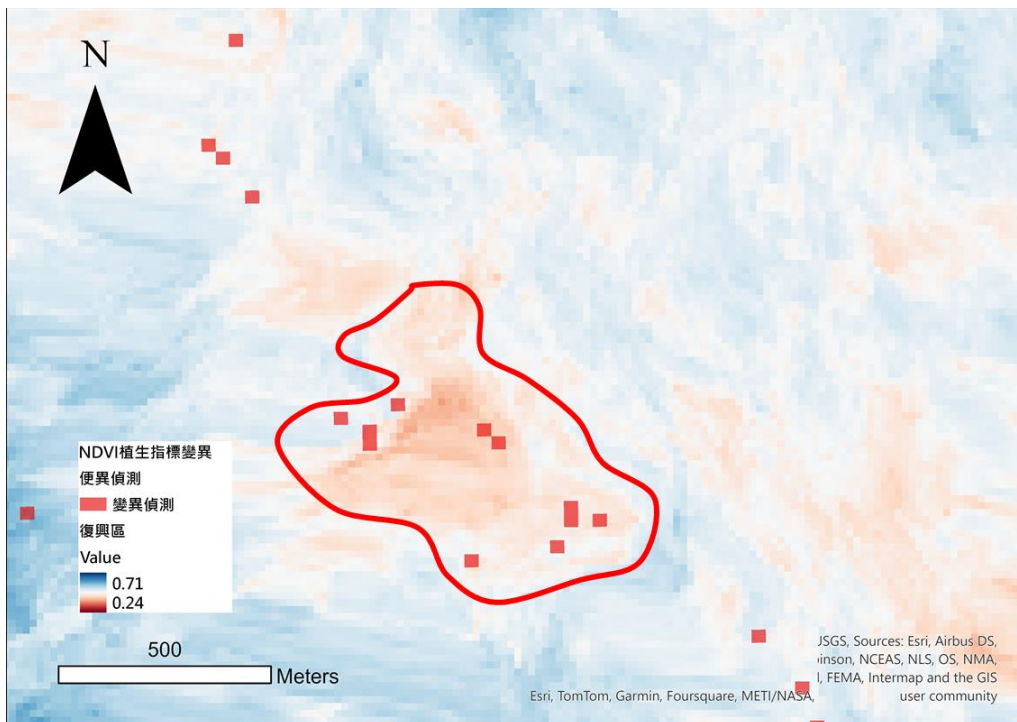


圖 3-15 復興區 D-InSAR 與植生指標變異區域比對

目前雖有 D-InSAR 之初步成果，但由於山區的地形與環境條件較為不利於 D-InSAR 處理，因此，對於定期型觀測的可行性，需要進一步評估；此外，也需要確定數值需如何分類以及如何與其他方法之資料進行套疊分析。

2. 光學影像偏移偵測法

目前主要有針對石碇區進行光學影像偏移偵測。使用的方法為光流法(Optical Flow)用以估算兩幅影像中像素運動的技術，主

要是使用 TV-L1 方法計算光流位移向量(u , v)，以估算兩幅影像之間的像素運動。其優點在於無需使用套裝軟體，精度高且適用性強。圖 3-16 為成果圖。從成果來看較難跟真實的形變建立關聯，因此，對於定期型觀測的可行性，也需要進一步評估。

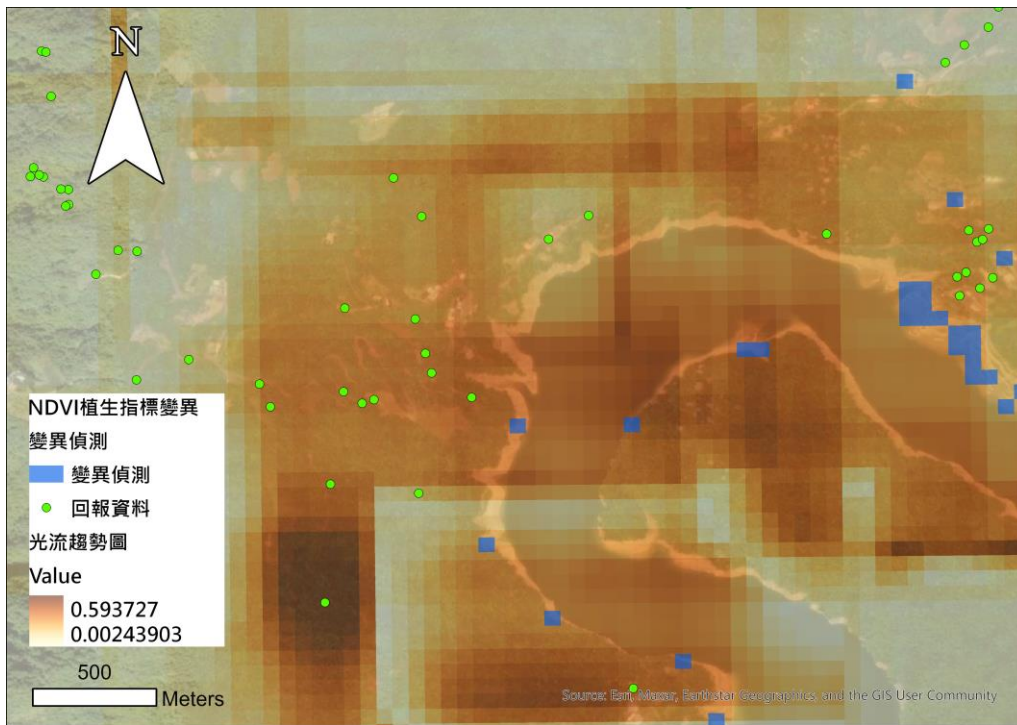


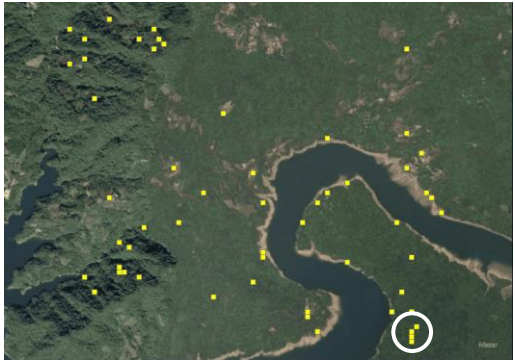
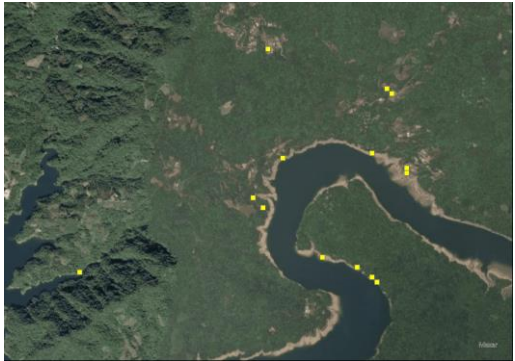
圖 3-16 石碇區主要回報地之偏移偵測

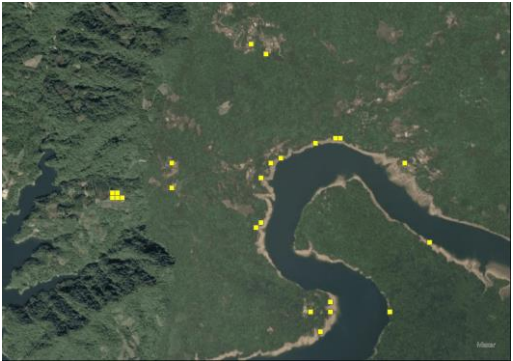
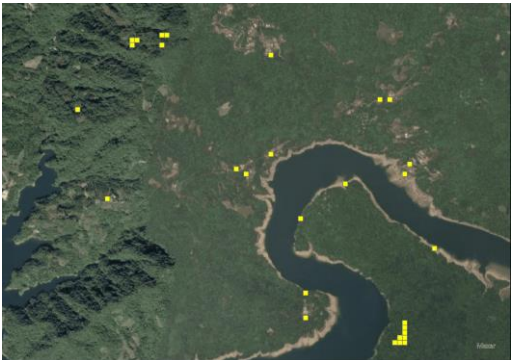
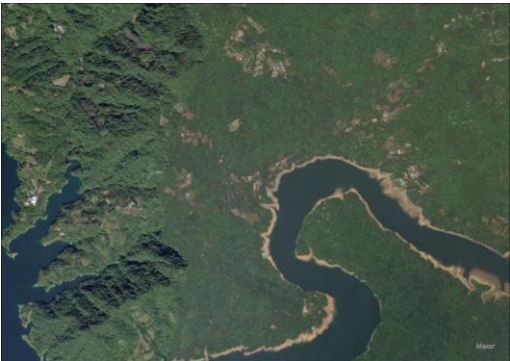
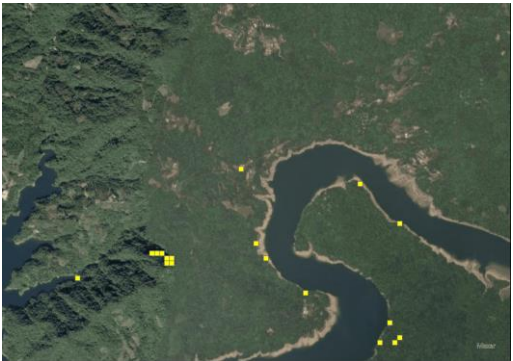
二、定期觀測整合模式

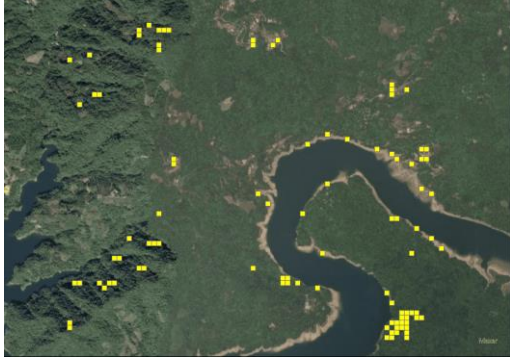
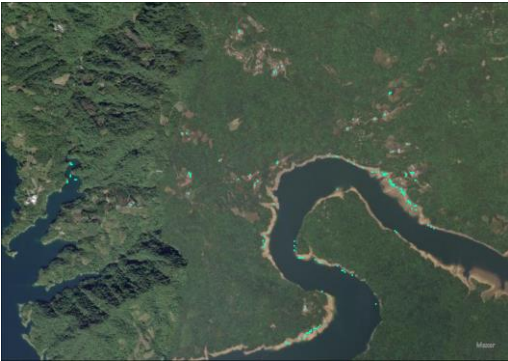
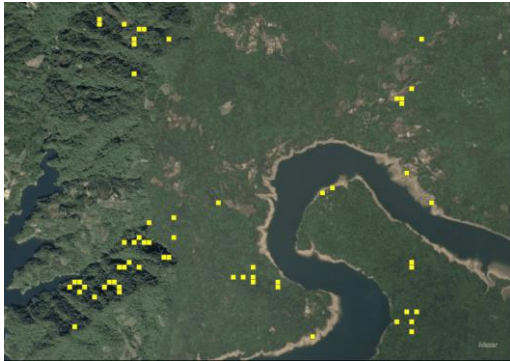
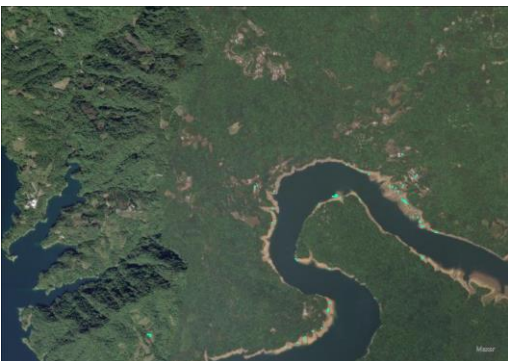
以下針對新北市石碇區、桃園市復興區以及新北市烏來區三個區域的局部聚落區域，涵蓋 2023 年全年的每月定期觀測模式，呈現被分類為高度地表覆蓋變遷，或是高度平移形變的區域。特別需要說明的是，受到氣候條件影響，並不是每個月份都有合適的影像可供處理分析使用，因此在部分成果中的部分時段出現遺漏，是遙測方法先天的限制，而這也正是需要多元資料相互輔助的原因。

(一) 新北市石碇區

表 3-1 利用 NDVI 偵測石碇區地表覆蓋變遷成果

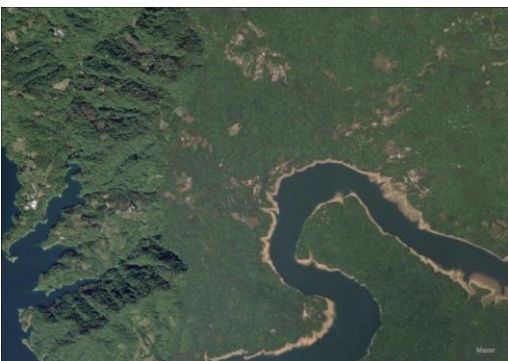
	Sentinel-2 NDVI ◎青藍色網格為植被轉為裸地之處 ◎每個網格為 10 m x 10 m	Landsat NDVI ◎黃色網格為植被轉變為裸地之處 ◎每個網格為 30 m x 30 m
Jan.	N/A	
Feb.		
Mar.	N/A	N/A
Apr.	N/A	N/A
May	N/A	

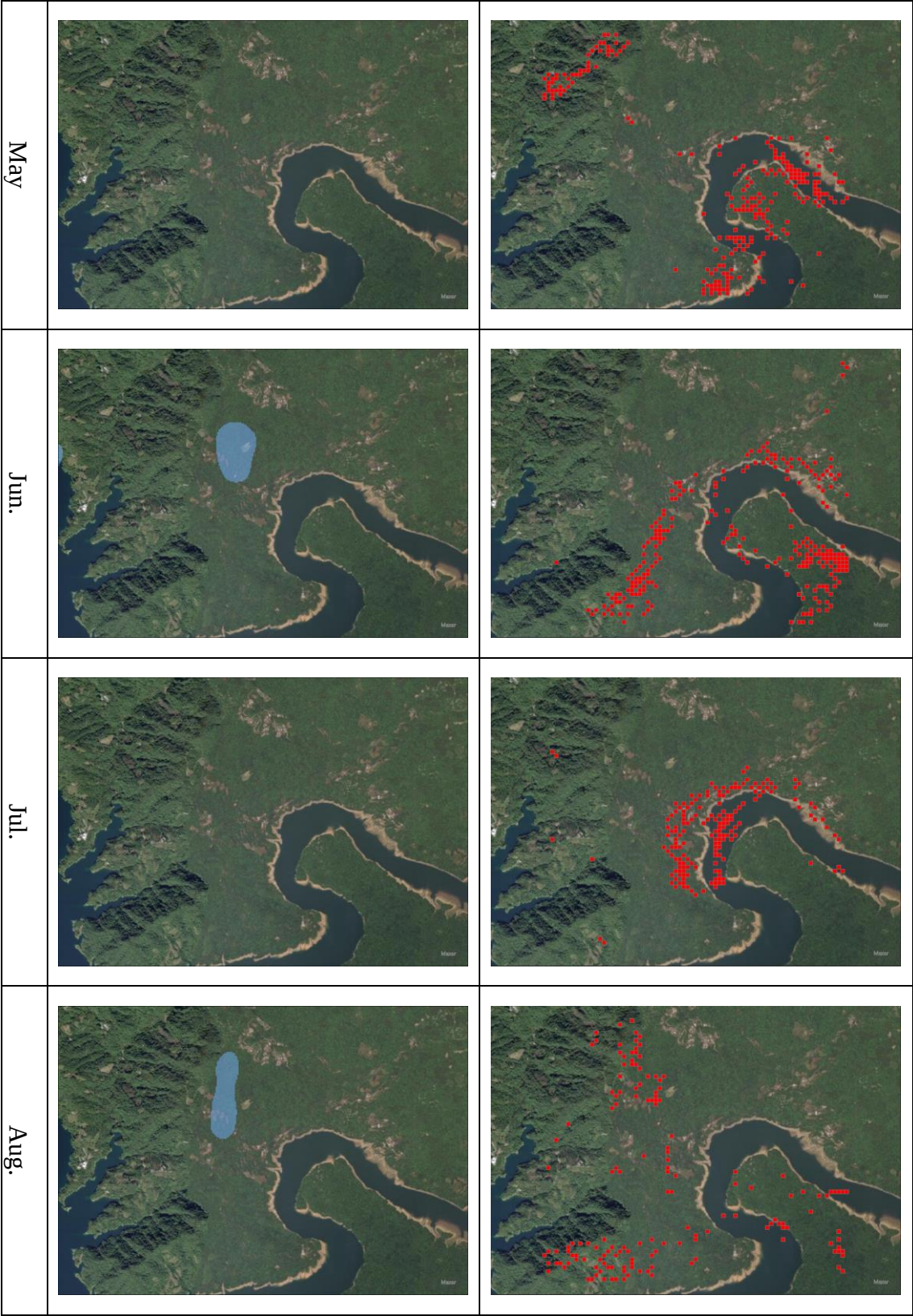
Jun.	N/A	
Jul.	N/A	
Aug.	N/A	
Sep.		

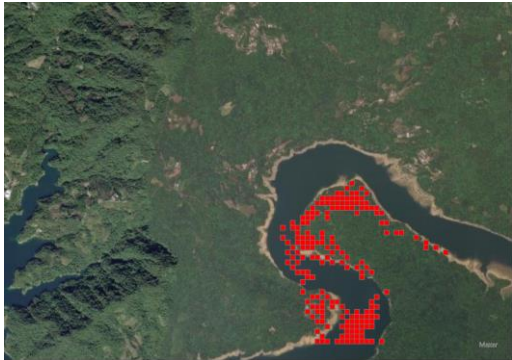
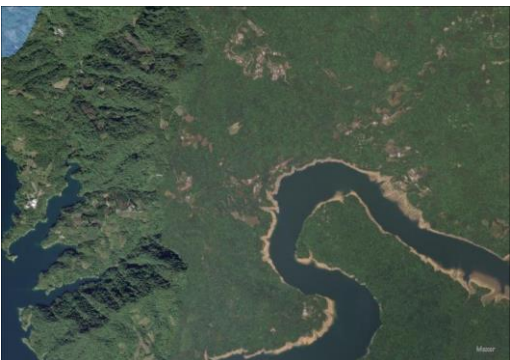
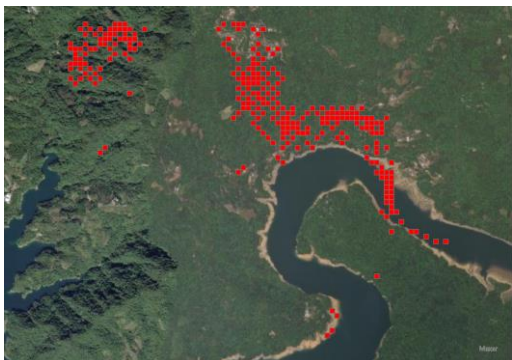
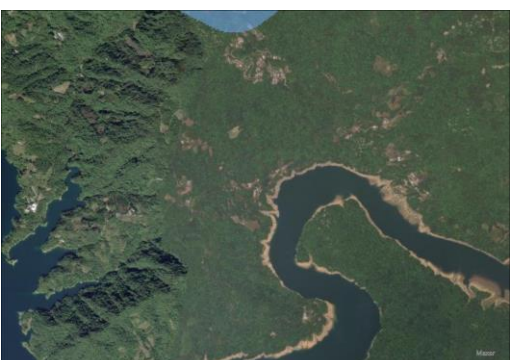
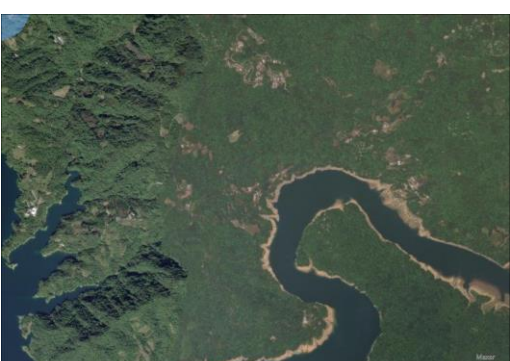
Oct.		
Nov.		
Dec.		N/A

- 比較利用 Sentinel-2 和 Landsat 影像執行 NDVI 偵測石碇區地表覆蓋變遷之成果，總結發現以下幾點值得持續觀察之處：
- ◎觀察 Sentinel-2 的時序成果，兩處圈選處為人口較多的聚落，在 2、10、11 月皆有偵測從植被轉為裸地的區域。
 - ◎同樣的兩處聚落，在 Landsat 成果中的 2、6、7、10 月也有出現從植被轉為裸地的區域。
 - ◎觀察 Landsat 的時序成果，右下角圈選處為樹林分布區，在 1、8、9、10、11 等月皆偵測出從植被轉為裸地，且面積增加。

表 3-2 利用偏移偵測法偵測石碇區地表變化成果

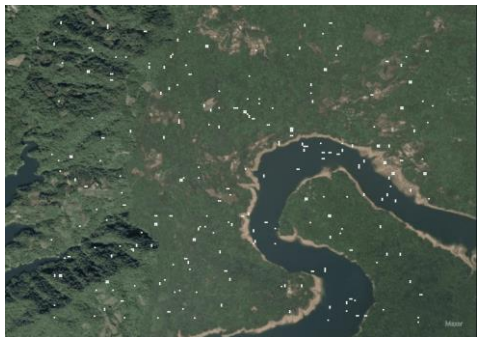
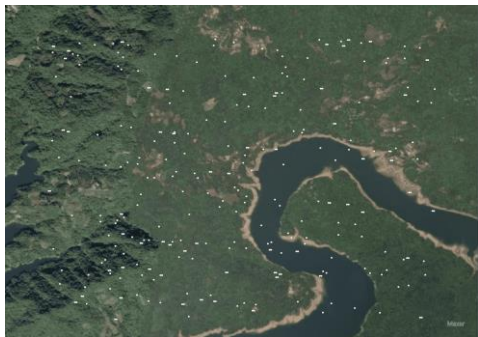
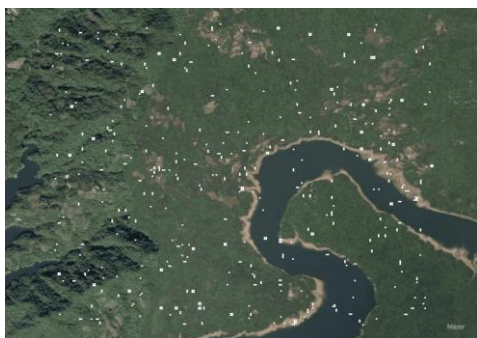
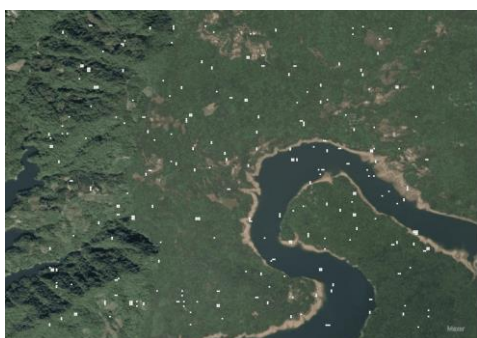
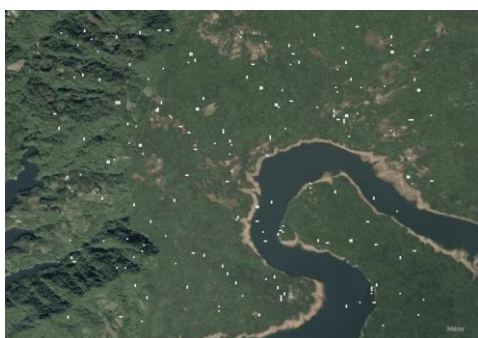
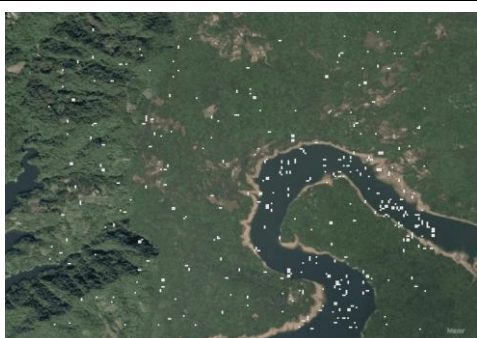
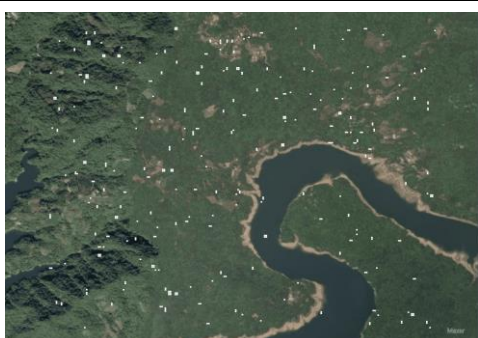
	Sentinel-1 Offset Tracking ◎淺藍色網格為地表水平位移處 ◎每個網格為 10 m x 10 m	Landsat Offset Tracking ◎紅色網格為地表水平位移處 ◎每個網格為 30 m x 30 m
Jan.		
Feb.		
Mar.		N/A
Apr.		N/A

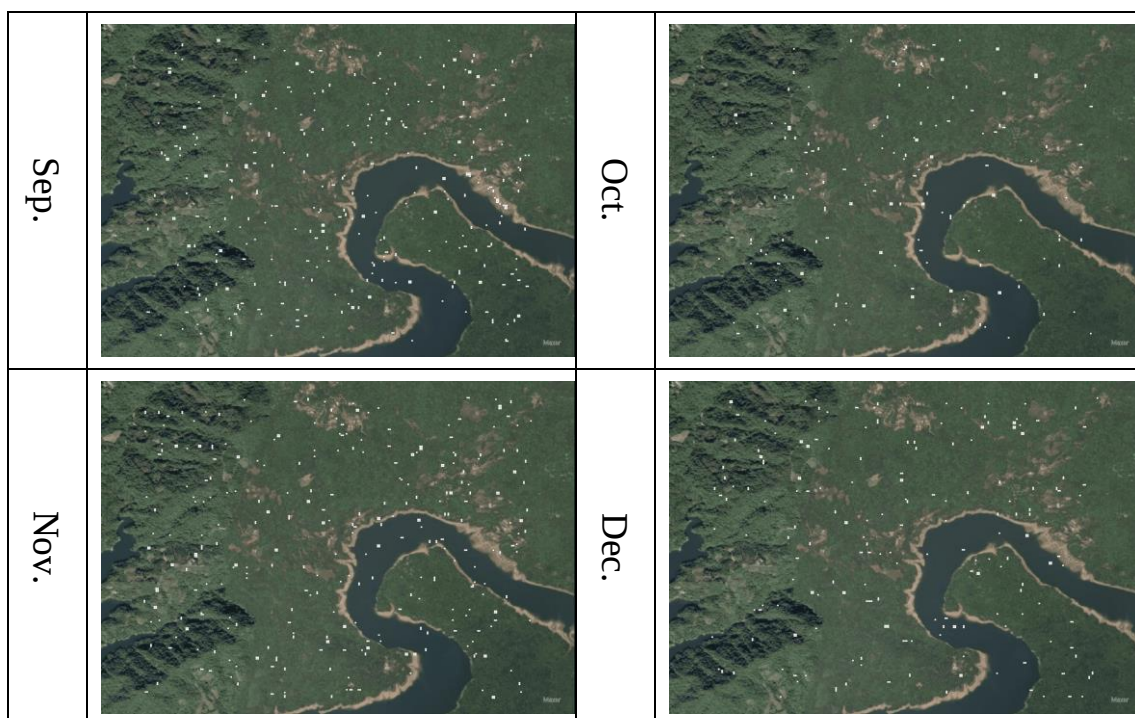


Sep.		
Oct.		
Nov.		
Dec.		

由上表成果發現，Sentinel-1(強度)和 Landsat 影像(Band-6 SWIR-1)的地表水平位移之成果皆不夠穩定，無法與地形地貌之特徵對應分析，將檢視此方法在另兩處研究區之表現。

表 3-3 利用強度變遷法偵測石碇區地表覆蓋變遷成果

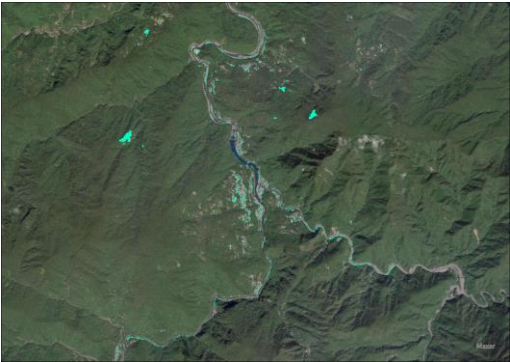
Sentinel-1 Intensity Change		◎白色網格為植被轉為裸地之處 ◎每個網格為 10 m x 10 m	
Jan.		Feb.	
Mar.		Apr.	
May		Jun.	
Jul.		Aug.	



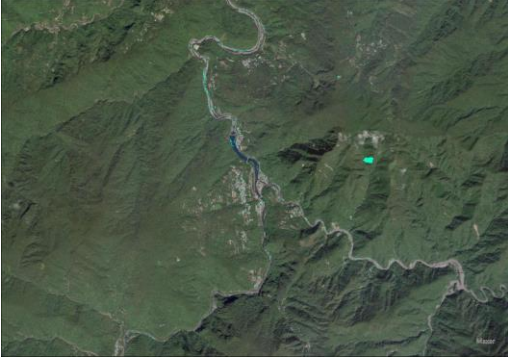
本計畫是採用 $\log(\text{後影像強度}/\text{前影像強度})$ 估算強度變化值 (LR 指數)，觀察 Sentinel-1 時序影像執行強度變遷偵測之成果，發現強度變化大，亦即植被轉變為裸地之區域，離散散佈於各月份的整幅影像。雖然於幾處聚落地區有偵測到地表覆蓋的變化，但是整體來看，並沒有明顯的地表覆蓋變化之處。

(二) 新北市烏來區

表 3-4 利用 NDVI 偵測烏來區地表覆蓋變遷成果

	Sentinel-2 NDVI ◎青藍色網格為植被轉為裸地之處 ◎每個網格為 10 m x 10 m	Landsat NDVI ◎黃色網格為植被轉變為裸地之處 ◎每個網格為 30 m x 30 m
Jan.	N/A	N/A
Feb.		
Mar.		N/A
Apr.		N/A

May	N/A	
Jun.	N/A	N/A
Jul.	N/A	
Aug.	N/A	
Sep.	N/A	N/A
Oct.	N/A	N/A

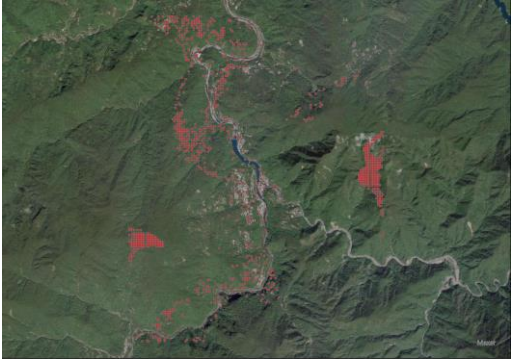
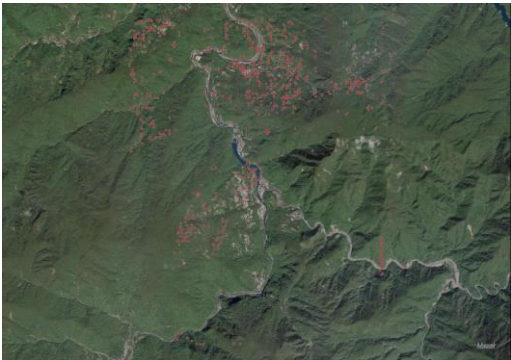
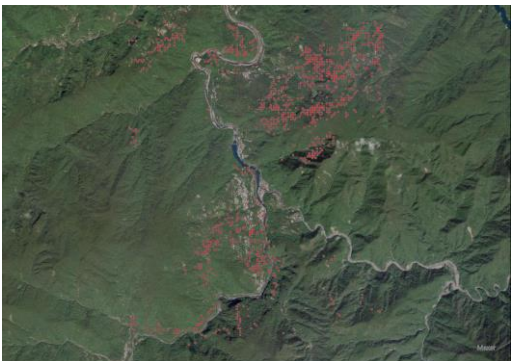
Nov.		N/A
Dec.		N/A

比較利用 Sentinel-2 和 Landsat 影像執行 NDVI 偵測屋來區地表覆蓋變遷之成果，總結發現以下幾點值得持續觀察之處：

- ◎觀察 Sentinel-2 的時序成果，圈選處為人口較多的聚落，在 2、4、5、11、12 月皆有偵測從植被轉為裸地的區域。
- ◎同樣的聚落，在 Landsat 成果中的 2、5、7 月也有出現從植被轉為裸地的零星區域。
- ◎觀察 Sentinel-2 的時序成果，3 月圈選處為樹林分布區的地表變遷區域，在 11 月再度出現。

表 3-5 利用偏移偵測法偵測烏來區地表變化成果

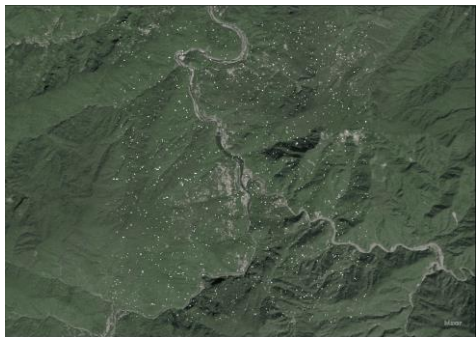
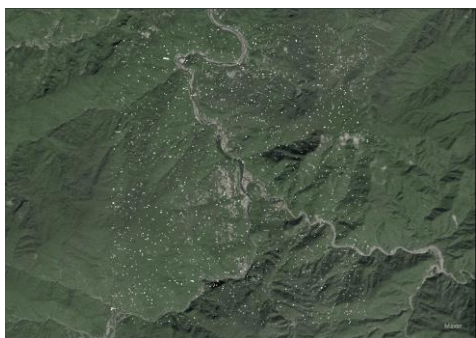
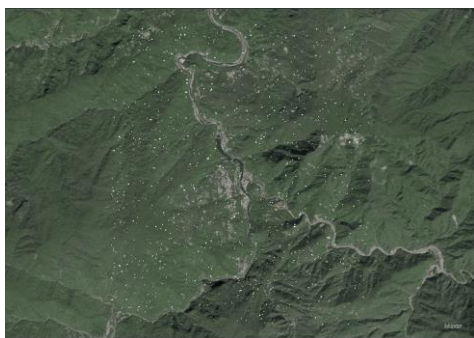
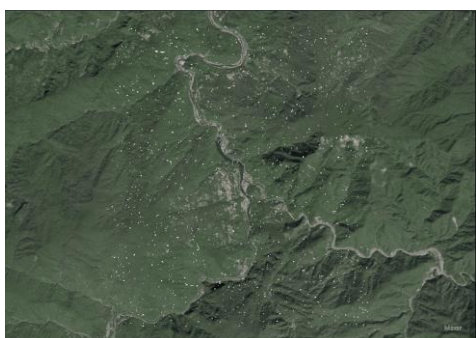
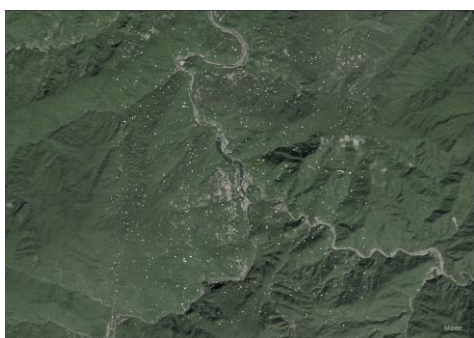
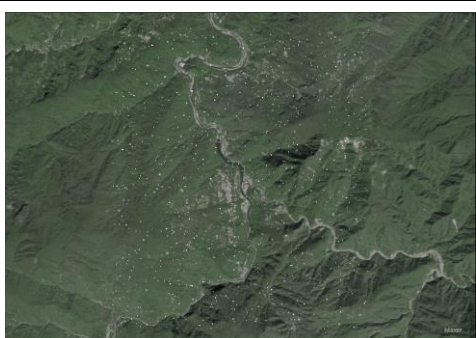
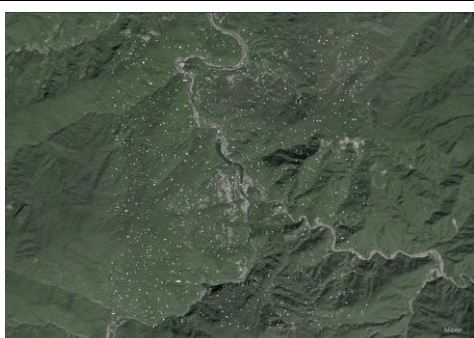
	Sentinel-1 Offset Tracking ◎淺藍色網格為地表水平位移處 ◎每個網格為 10 m x 10 m	Landsat Offset Tracking ◎紅色網格為地表水平位移處 ◎每個網格為 30 m x 30 m
Jan.		N/A
Feb.		
Mar.		N/A
Apr.		N/A

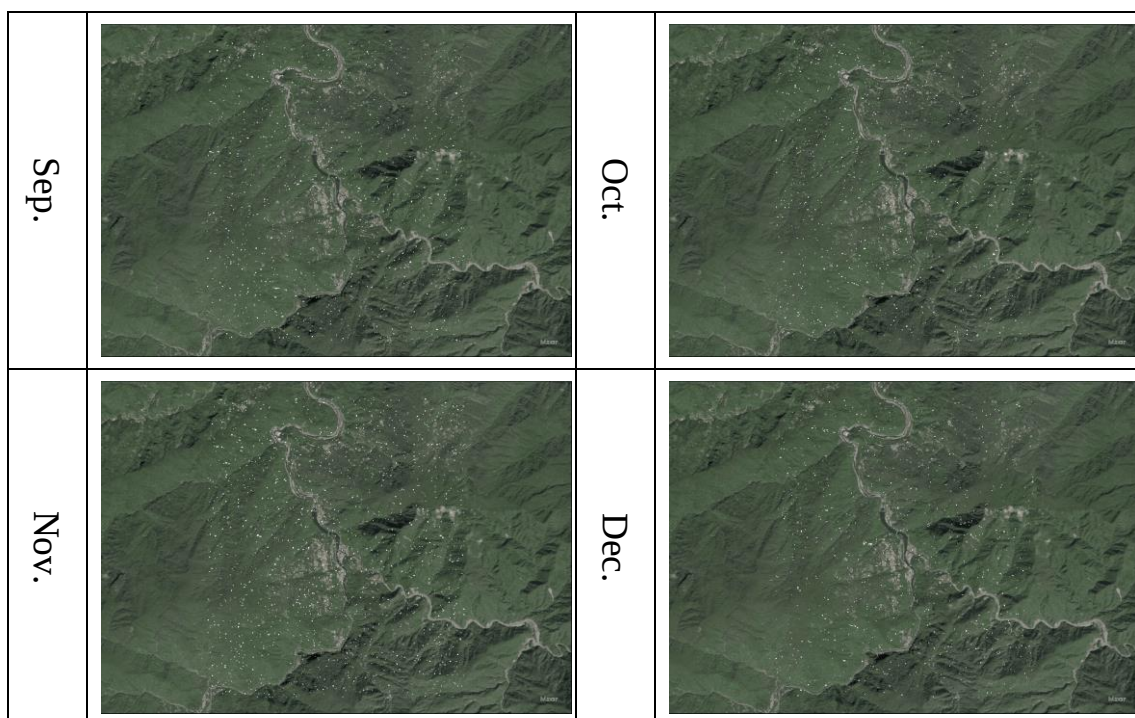
May		
Jun.		N/A
Jul.		
Aug.		

Sep.		N/A
Oct.		N/A
Nov.	 	
Dec.		N/A

觀察烏來區的偏移偵測成果，我們發現從 Sentinel-1 的二月圈選的兩處，分別在 3-6 月皆有持續的水平位移；其中右邊區域的位移現象，也在 Landsat 的 5 月成果中有偵測到。

表 3-6 利用強度變遷法偵測烏來區地表覆蓋變遷成果

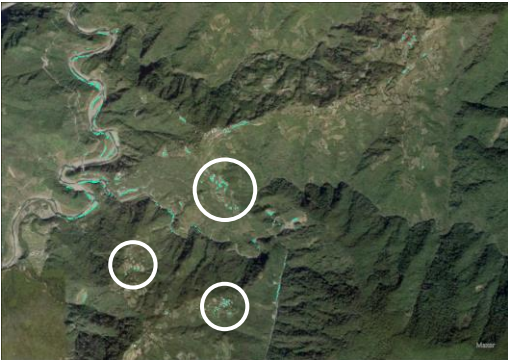
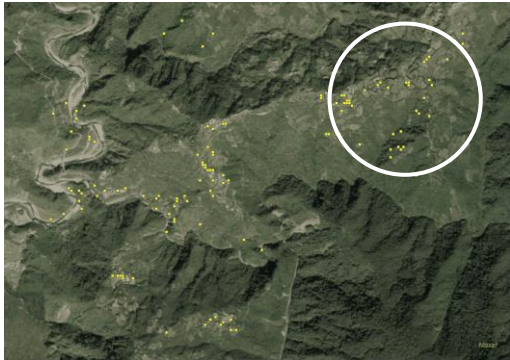
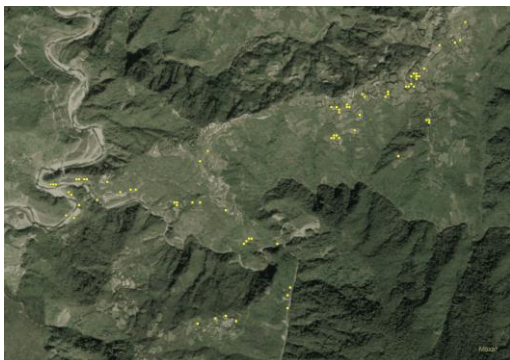
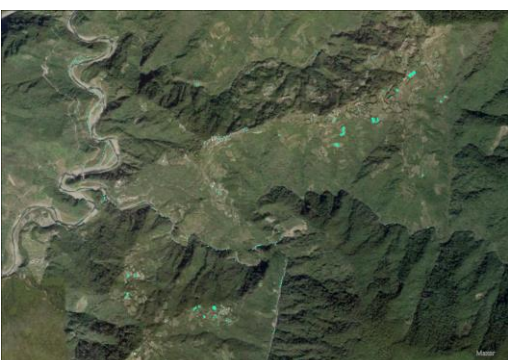
Sentinel-1 Intensity Change		◎白色網格為植被轉為裸地之處 ◎每個網格為 10 m x 10 m	
Jan.		Feb.	
Mar.		Apr.	
May		Jun.	
Jul.		Aug.	

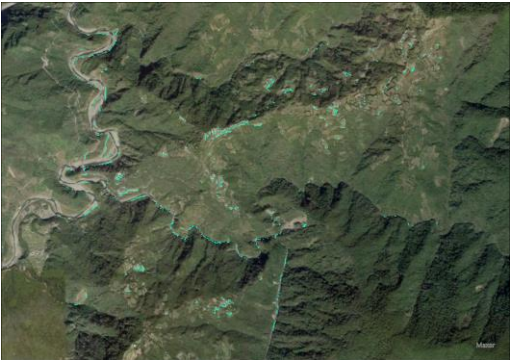
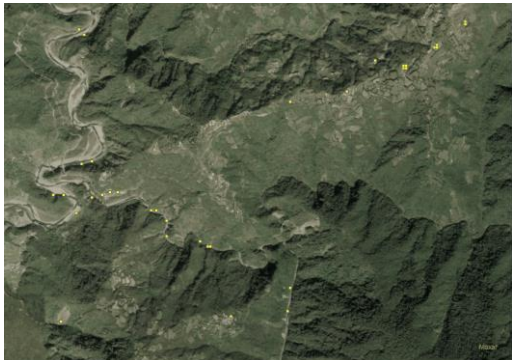
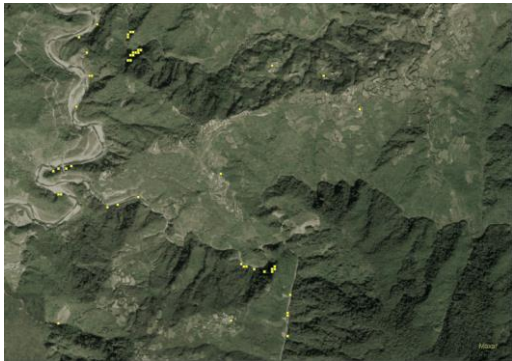


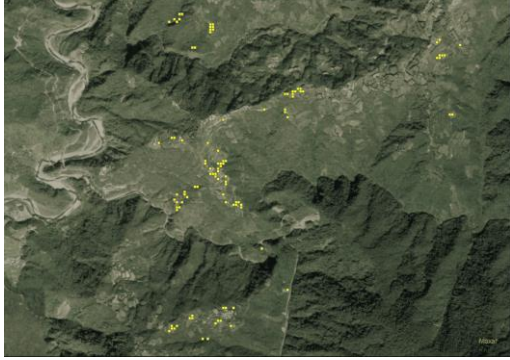
觀察 Sentinel-1 時序影像在烏來區執行強度變遷偵測之成果，發現如同石碇區的成果，強度變化大，亦即植被轉變為裸地之區域，離散散佈於各月份的整幅影像，也沒有發現強度變化大且聚集的區域，整體來看，並沒有明顯的地表覆蓋變化之處，也讓本計畫思考，雷達強度變遷偵測是否為適當的地表覆蓋變遷監測之工具。

(三) 桃園市復興區

表 3-7 利用 NDVI 偵測復興區地表覆蓋變遷成果

	Sentinel-2 NDVI ◎青藍色網格為植被轉為裸地之處 ◎每個網格為 10 m x 10 m	Landsat NDVI ◎黃色網格為植被轉變為裸地之處 ◎每個網格為 30 m x 30 m
Jan.		
Feb.		
Mar.		N/A

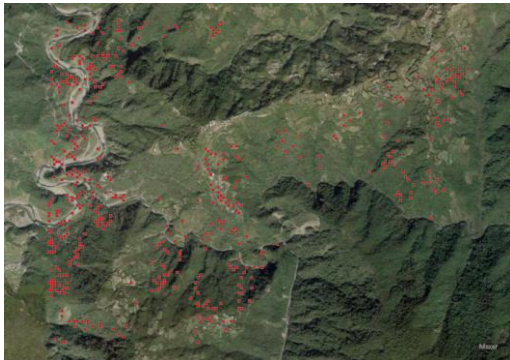
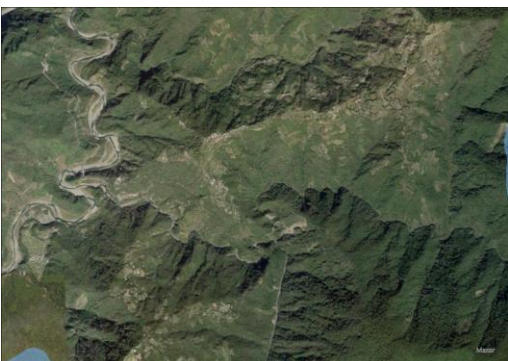
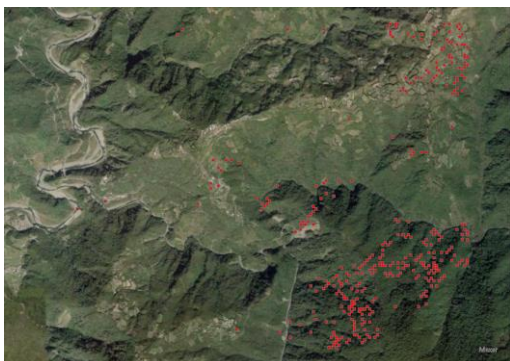
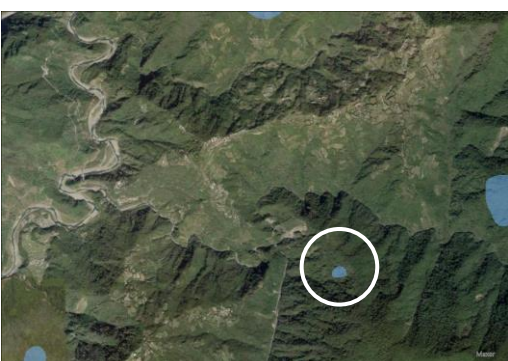
Apr.		N/A
May	N/A	N/A
Jun.	N/A	N/A
Jul.	N/A	
Aug.	N/A	
Sep.	N/A	N/A
Oct.	N/A	N/A

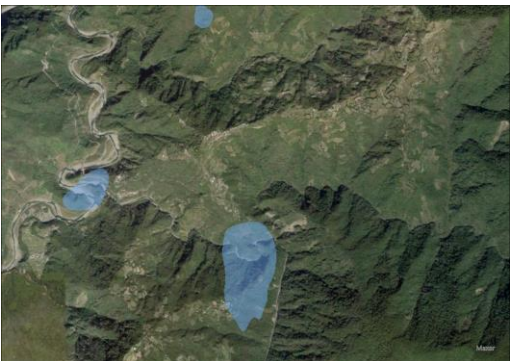
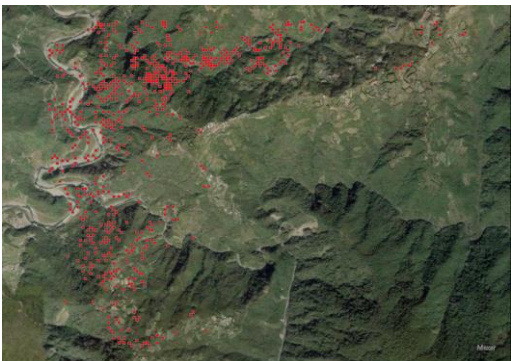
Nov.		
Dec.		N/A

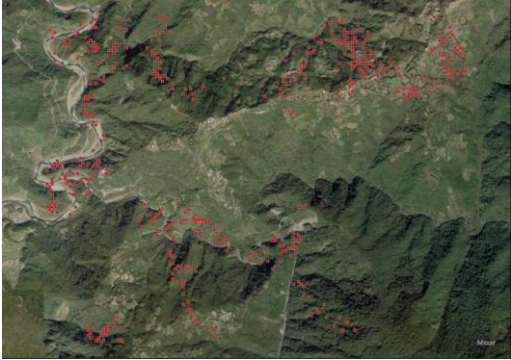
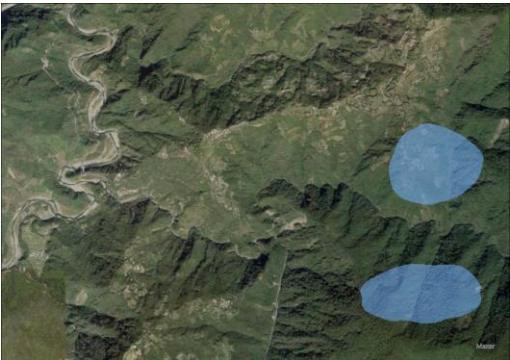
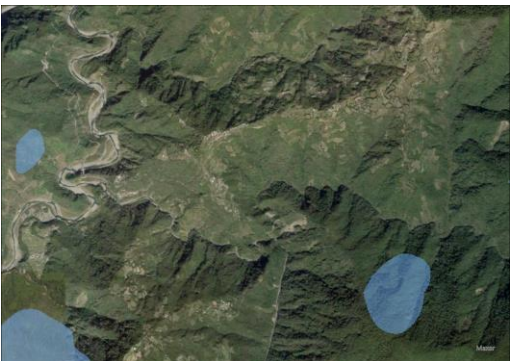
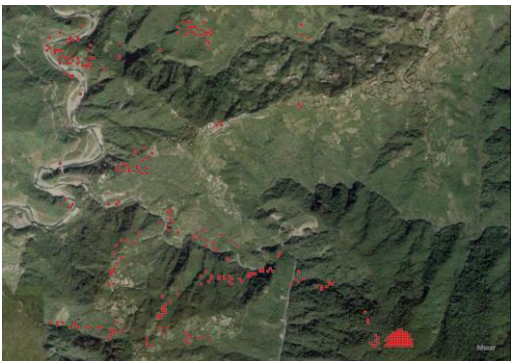
比較利用 Sentinel-2 和 Landsat 影像執行 NDVI 偵測復興區地表覆蓋變遷之成果，總結發現以下幾點值得持續觀察之處：

- ◎觀察 Sentinel-2 的時序成果，在 1、2、3 月皆沿著河道偵測到從植被轉為裸地的區域。
- ◎同樣的河道，雖然在 Landsat 成果中網格數量較少，但於 1、2、7、8 月也有出現從植被轉為裸地的區域。
- ◎在 Sentinel-2 的 1 月成果中圈選的三處聚落，在 2、3、4、11、12 月，皆被偵測到出現植被轉為裸地的區域。這三個區域的變遷也在 Landsat 時序成果中的 1、2、11 月出現。
- ◎觀察 Landsat 的時序成果，右上角圈選處的變遷區域，在 1、2 月中明顯出現。

表 3-8 利用偏移偵測法偵測復興區地表變化成果

	Sentinel-1 Offset Tracking ◎淺藍色網格為地表水平位移處 ◎每個網格為 10 m x 10 m	Landsat Offset Tracking ◎紅色網格為地表水平位移處 ◎每個網格為 30 m x 30 m
Jan.		
Feb.		
Mar.		N/A

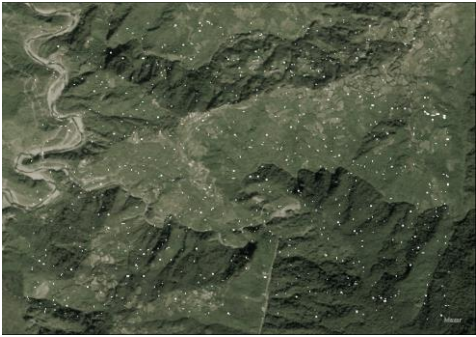
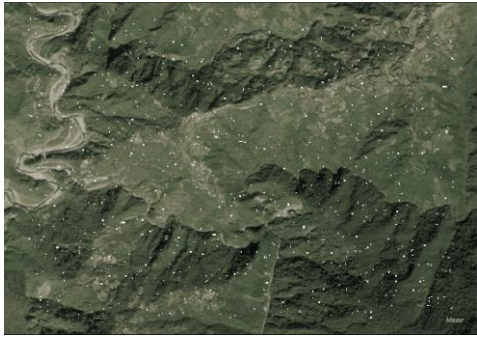
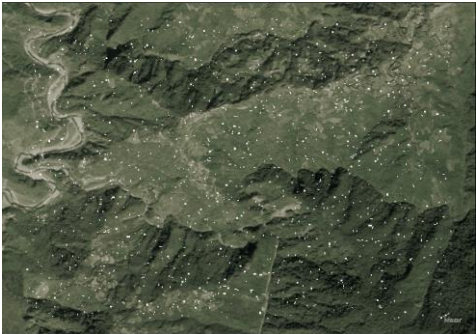
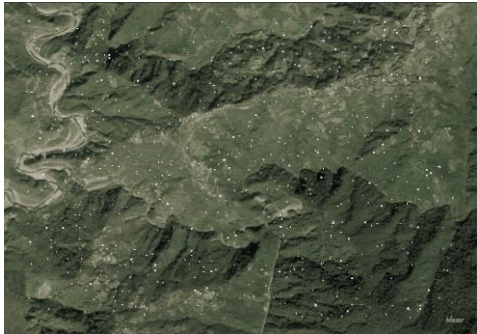
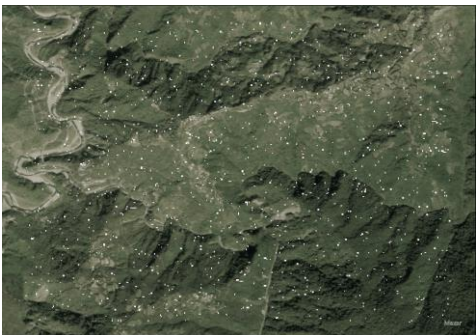
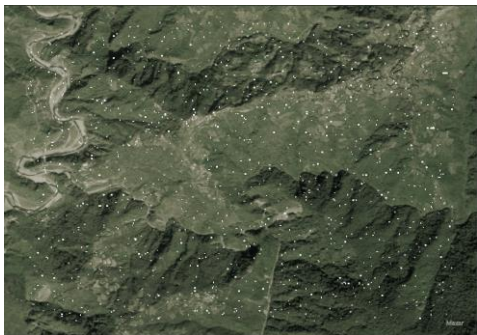
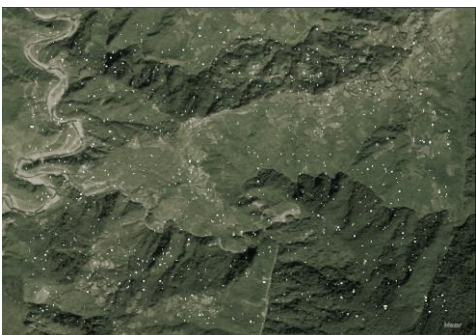
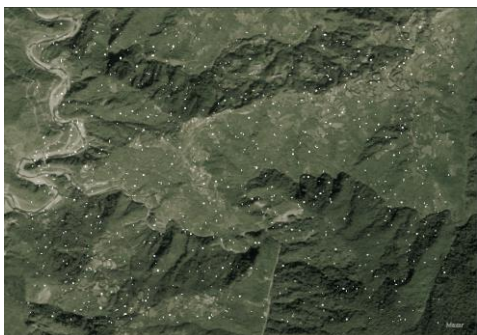
Apr.		N/A
May		N/A
Jun.		N/A
Jul.		

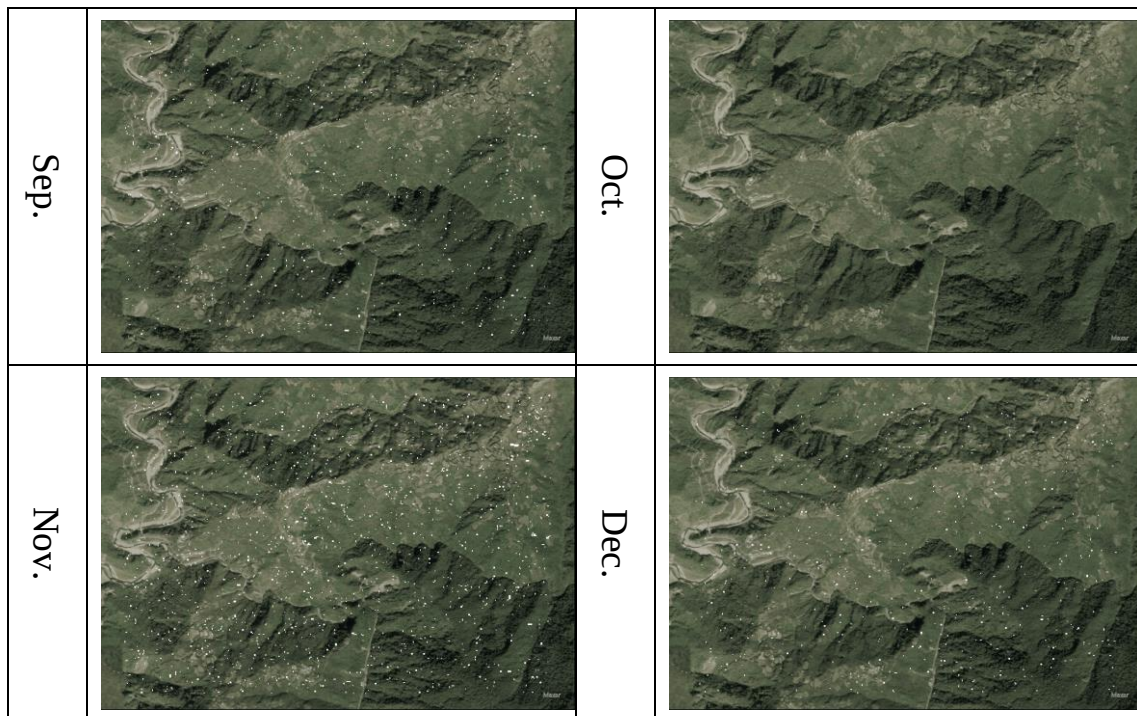
Aug.		
Sep.		N/A
Oct.		N/A
Nov.		

Dec.		N/A
------	---	-----

觀察復興區的偏移偵測成果，我們發現從 Sentinel-1 的 1、3 月各圈選的一處，分別在 1、6、10 月，以及 5、10、11、12 月皆有持續的水平位移；但此趨勢在 Landsat 成果中較不明顯。

表 3-9 利用強度變遷法偵測復興區地表覆蓋變遷成果

	Sentinel-1 Intensity Change		◎白色網格為植被轉為裸地之處 ◎每個網格為 10 m x 10 m	
Jan.		Feb.		
Mar.		Apr.		
May		Jun.		
Jul.		Aug.		



觀察 Sentinel-1 時序影像在復興區執行強度變遷偵測之成果，發現如同石碇區、烏來區的成果，強度變化大之區域，離散散佈於各月份的整幅影像，也沒有發現強度變化大且聚集的區域，整體來看，並沒有明顯的地表覆蓋變化之處。

三、整合式地表變遷形變資訊之視覺化呈現

綜合上述成果，我們認為利用時序 Sentinel-2、Landsat 資料產製 NDVI 圖，再進行變遷偵測，是可以用於偵測地表覆蓋變遷的可行方法。至於偏移偵測法，以 Sentinel-1 的成果較具有對應性；Landsat 的成果的雜訊過多，需要再行過濾，方能妥善使用。而 Sentinel-1 的雷達強度變遷偵測也出現雜訊過多的問題，因此，在最終的整合式形變資訊之視覺化呈現的部分，我們以一年份為單位，套疊各個月份的 Sentinel-1 的偏移偵測法成果為底圖，再套疊兩組各個月份 NDVI 的偵測變遷成果，最後亦呈現一年份居民回報的災害點位，整合式呈現多元坡地形變資訊。

(一) 新北市石碇區

本計畫分別用青藍色、黃色套疊各個月份的 Sentinel-2、Landsat 的 NDVI 變遷偵測成果，所以若是該網格顏色越深，表示出現次數越多；同理，淺藍色的 Sentinel-1 的偏移偵測之成果越深，表示該區域被偵測為水平位移區的次數越多。圖 3-17 中的兩處白色圈選處為表 3-1 指出的關注區，可看到 Sentinel-2、Landsat 的 NDVI 變遷偵測成果與居民回報，確實有所重疊。

若是以居民回報區位來看，有多處的鄰近區域與 NDVI 變遷偵測成果重疊(參見圖 3-17 橘色圈選處)；不同解析度的 Sentinel-2 與 Landsat 的 NDVI 變遷偵測成果則是多在河道邊出現重疊。然而，除了圖中兩處紫色圈選處外，Sentinel-1 的偏移偵測法成果與其他各類的觀測成果較沒有關聯性。

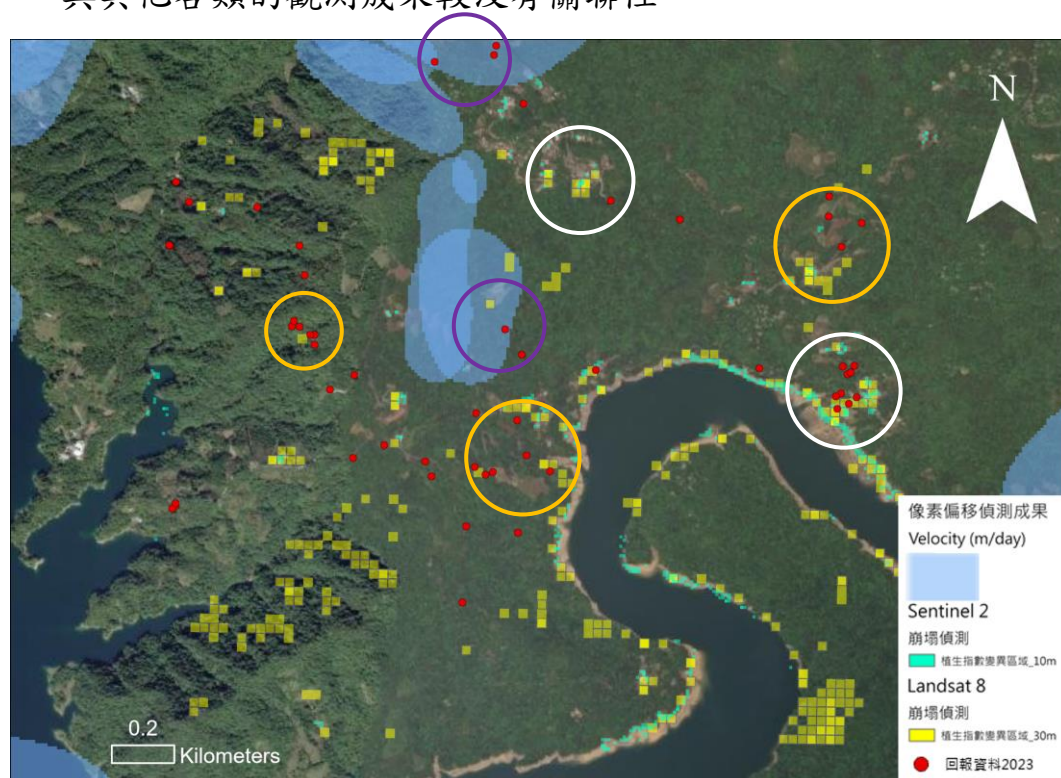


圖 3-17 石碇區之整合式地表變遷形變圖

(二) 新北市烏來區

圖 3-18 中的兩處白色圈選處為表 3-4 指出的關注區，可看到在左邊的圈選處，出現 Sentinel-2、Landsat 的 NDVI 變遷偵測成果與居民回報的重疊；在右邊的圈選處，則是觀察到 Sentinel-2、Landsat 的 NDVI 與 Sentinel-1 的偏移偵測有所重疊。

若是以居民回報區位來看，烏來區的回報數量較少，不過大多數的鄰近區域與 NDVI 變遷偵測成果重疊(參見圖 3-18 橘色圈選處)，甚至還有兩處紫色圈選處，更是出現居民回報與 NDVI 地表變遷、Sentinel-1 的偏移偵測法成果共同重疊的現象。不過，與石碇區的成果圖不同的是，不同解析度的 Sentinel-2 與 Landsat 的 NDVI 變遷偵測成果並沒有明顯的重疊，高解析度的 Sentinel-2 多是偵測河道兩側的變遷，較低解析度的 Landsat 的 NDVI 多是偵測樹林區的變遷。

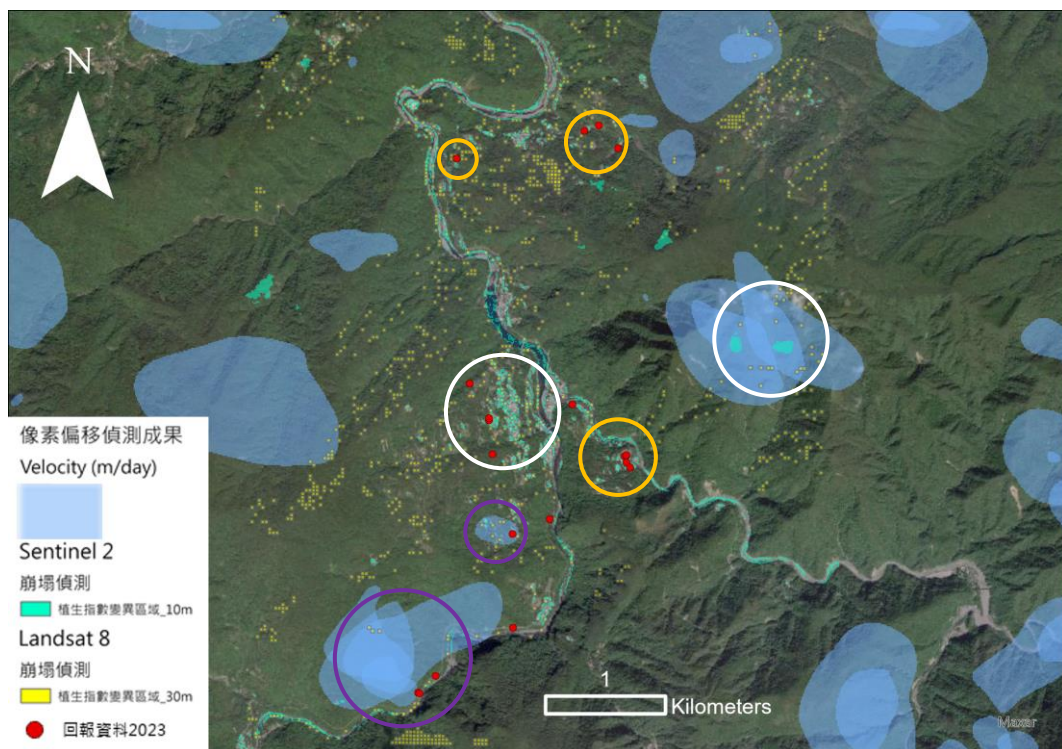


圖 3-18 烏來區之整合式地表變遷形變圖

(三) 桃園市復興區

圖 3-19 中的三處白色圈選處為表 3-7 指出的關注區，可看到在僅有北邊的圈選處，出現 Sentinel-2、Landsat 的 NDVI 變遷偵測成果與居民回報的重疊；在另外兩處則是僅有 Sentinel-2、Landsat 的 NDVI 的重疊。

若是以居民回報區位來看，大多數的鄰近區域與高解析度的 NDVI 變遷偵測成果高度重疊(參見圖 3-19 橘色圈選處)；至於三處紫色圈選處，為 Sentinel-1 的偏移偵測法成果與居民回報、NDVI 地表變遷共同重疊的區域。與石碇區的成果圖相同，不同解析度的 Sentinel-2 與 Landsat 的 NDVI 變遷偵測成果重疊度高，不過較低解析度的 Landsat 的 NDVI 常是偵測到樹林區的變遷。

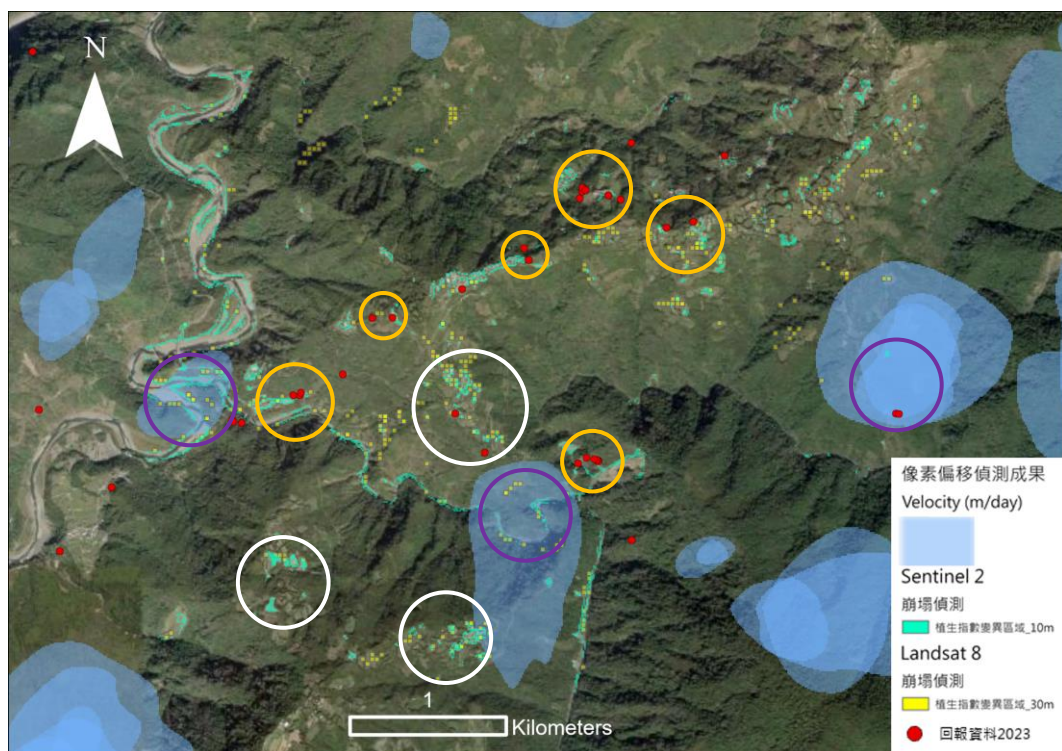


圖 3-19 復興區之整合式地表變遷形變圖

第四章 結論與建議

為了建構完善的災害觀測系統，本計畫結合了光學及雷達影像，並利用多種地表覆蓋變遷與地形變動偵測方法，對各區域進行變遷與崩塌地潛勢分析。根據本計畫之成果，分別提出以下幾點結論及建議。

一、結論

(一) 不同解析度之時序遙測資料應用

本研究透過結合不同解析度及時序的遙測資料，探討地表覆蓋變遷與坡地形變之偵測方法。在多光譜資料方面，使用時序性的 Sentinel-2 及 Landsat 資料產製 NDVI 影像，再進行變遷偵測，證實此方法能有效辨識出地表覆蓋變遷的區域。較高解析度的 Sentinel-2 資料提供較細緻的空間細節，而 Landsat 則補足長時序觀測的需求，使兩者在時空覆蓋及解析度上相輔相成。

雖然如此，我們還是發現在各區有不同時段的資料缺漏，包括：石碇區的 3、4 月，烏來區的 1、6、9、10，復興區的 5、6、9、10，主要的原因是氣候不佳，或是影像中的雲量覆蓋面積大，導致整個月份沒有合適的影像可供分析。此外，在雷達影像的應用上，Sentinel-1 的偏移偵測法在地表形變偵測中表現出較佳的對應性。Landsat 的偏移偵測結果雜訊較多，Sentinel-1 的雷達強度變遷偵測方法也面臨較多雜訊問題，因此在應用上需特別考量其適合的使用情境。

(二) 多元資料整合應用

在多元資料的整合應用上，本研究成功整合光學影像、雷達

影像以及居民回報的災害點位資訊，以視覺化呈現坡地形變的綜合資訊。透過將 Sentinel-1 偏移偵測成果作為底圖，結合移動方向資訊，以及套疊兩組 NDVI 的變遷偵測成果，本研究有效地展現多元遙測資料在坡地變遷偵測中的潛力。這種多元資料的結合不僅提升空間及時間上的解析度，也在視覺化上更清晰地呈現形變的分布與趨勢。最終加入居民回報的災害點位，可提供即時應用的價值。未來，這種多元資料的整合模式可應用於其他地理環境的變遷偵測與災害管理，為決策提供更為全面的資訊支持。

二、建議

基於本研究的分析結果，發現 Sentinel-1 的雷達強度變遷偵測和差分干涉合成孔徑雷達(DInSAR)在偵測地表形變方面均存在雜訊過多、干涉成果不佳等問題(參見圖 4-1)。

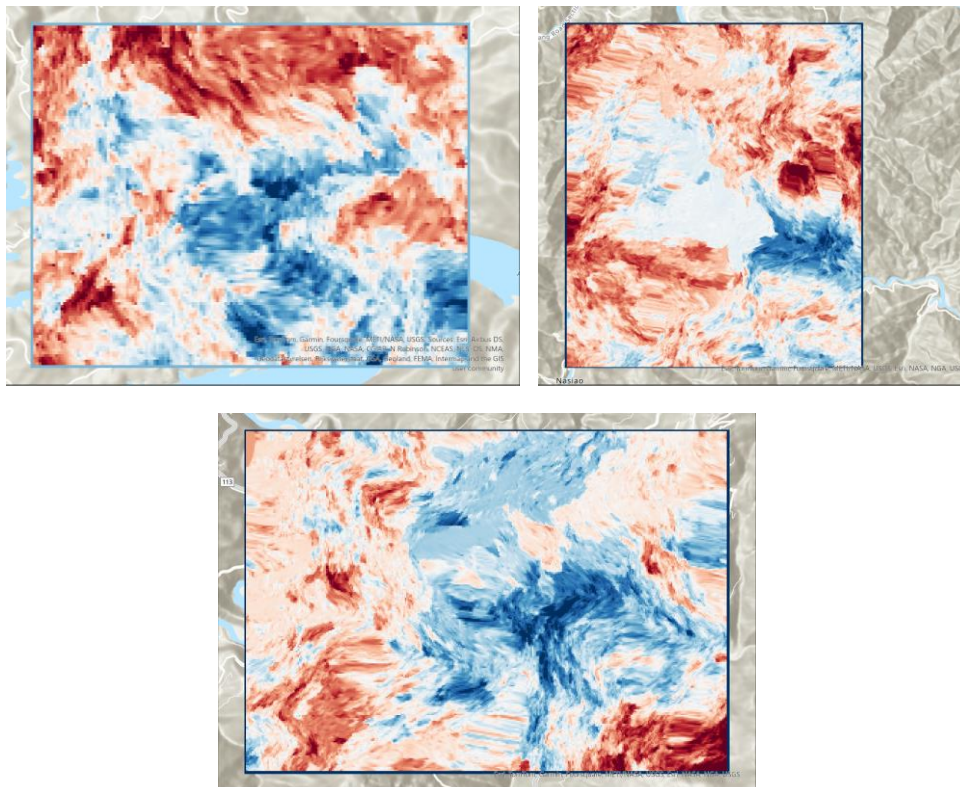


圖 4-1 石碇區(左上)、烏來區(右上)、復興區(下)D-InSAR 成果

雷達強度變遷偵測法容易受到影像對位不精確及環境因子影響，導致變遷訊號的可靠性降低，而 DInSAR 技術在測量微小形變時對大氣影響、地形效應及時間相干性低等限制，進而影響結果的準確性，也連帶降低時序分析的可行性。因此，建議在未來於山區的研究，可考慮採用嚴謹的對位及雜訊過濾技術，提升雷達強度變遷偵測的可靠性；其次，可考慮採用不同解析度以及不同波段的雷達影像，嘗試先有優良的干涉成果後，再執行時序分析，以提高形變偵測精度。此外，建議整合其他資料來源，如光學影像或地面觀測數據，以進行交叉驗證並增強形變偵測結果的穩健性。

參考文獻

- 1.中央氣象局 (2023)。2023 年 6 月台灣氣象資料。取自 [https :
//www.cwb.gov.tw/V8/C/P/Rainfall/Rainfall_QZJ.html](https://www.cwb.gov.tw/V8/C/P/Rainfall/Rainfall_QZJ.html)
- 2.李璟芳, 蕭長穎, 林士翰, 林玉婷, 蘇文瑞 (2023). 原鄉部落
核災地災害調辨計畫： 時時空災害整合. 中興季刊, 158,
45-53.
- 3.農業部中央性質災調查所, 民國 108 年, 南部高雄山崩情形與
其對策技術研發圖, 成果報告.
- 4.經濟部中央地質調查所, 民國 108 年, 降雨誘發山崩動態緊戒
模式與調查技術研發應用, 成果報告。
- 5.Anderssohn, J., Motagh, M., Walter, T. R., Rosenau, M.,
Kaufmann, H., & Oncken, O. (2009). Surface deformation time
series and source modeling for a volcanic complex system
based on satellite wide swath and image mode interferometry :
The Lazufre system, central Andes. Remote Sensing of
Environment, 113(10), 2062-2075. doi :
10.1016/j.rse.2009.05.004
- 6.Bonforte, A., Carnazzo, A., Gambino, S., Guglielmino, F., Obrizzo,
F., & Puglisi, G. (2013). A multidisciplinary study of an active
fault crossing urban areas : The Trecastagni Fault at Mt. Etna
(Italy). Journal of Volcanology and Geothermal Research, 251,

- 41-49. doi : 10.1016/j.jvolgeores.2012.05.011
- 7.Chen, C. W., & Zebker, H. A. (2001). Two-dimensional phase unwrapping with use of statistical models for cost functions in nonlinear optimization. *JOSA A*, 18(2), 338-351.
- 8.Cheng, S., Perissin, D., Lin, H., & Chen, F. (2012). Atmospheric delay analysis from GPS meteorology and InSAR APS. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 86, 71-82. doi : 10.1016/j.jastp.2012.06.005
- 9.Grandin, R., Socquet, A., Binet, R., Klinger, Y., Jacques, E., de Chabalier, J. B., ... & Lasserre, C. (2009). September 2005 Manda Hararo-Dabbahu rifting event, Afar (Ethiopia) : constraints provided by geodetic data. *Journal of Geophysical Research : Solid Earth*, 114(B8).
- 10.Huang, M.-H., & Huang, H.-H. (2018). The complexity of the 2018 Mw 6.4 Hualien earthquake in east Taiwan. *Geophysical Research Letters*, 45, 13,249-13,257. [https : //doi.org/10.1029/2018GL080821](https://doi.org/10.1029/2018GL080821)
- 11.Michel, R., Avouac, J.-P., & Taboury, J. (1999). Measuring ground displacements from SAR amplitude images : application to the Landers earthquake. *Geophysical Research Letters*, 26(7), 875-878.
- 12.Ou, D., Tan, K., & Yan, S. (2016). Using D-InSAR and offset tracking technique to monitor mining subsidence. Paper presented at the Earth Observation and Remote Sensing

- Applications (EORSA), 2016 4th International Workshop on.
- 13.Parrella, G., Farinotti, D., Hajsek, I., & Papathanassiou, K. P. (2016). Monitoring the subsurface of an Alpine Glacier Using Polarimetric SAR Observations at L-Band. Paper presented at the EUSAR 2016 : 11th European Conference on Synthetic Aperture Radar, Proceedings of.
- 14.Peng, Y., Zeng, A., Zhu, T., Fang, S., Gong, Y., Tao, Y., Zhou, Y., & Liu, K. (2017). Using remotely sensed spectral reflectance to indicate leaf photosynthetic efficiency derived from active fluorescence measurements. *J. Appl. Rem. Sens.*, 11(2), 026034. [https : //doi.org/10.1117/1.JRS.11.026034](https://doi.org/10.1117/1.JRS.11.026034)
- 15.Schellenberger, T., Dunse, T., Kääb, A., Kohler, J., & Reijmer, C. (2015). Surface speed and frontal ablation of Kronebreen and Kongsvegen, Svalbard, from SAR offset tracking. *The Cryosphere*, 9(6), 2339-2355.
- 16.Singleton, A., Li, Z., Hoey, T., & Muller, J.-P. (2014). Evaluating sub-pixel offset techniques as an alternative to D-InSAR for monitoring episodic landslide movements in vegetated terrain. *Remote Sensing of Environment*, 147, 133-144. doi : 10.1016/j.rse.2014.03.003
- 17.Zhou, X., Chang, N. B., & Li, S. (2009). Applications of SAR Interferometry in Earth Environmental Science Research. *Sensors (Basel)*, 9(3), 1876-1912. doi : 10.3390/s90301876
- 18.Lin, S., & Perissin, D. (2017). SAR-based landslide detection

- using intensity change detection. Journal of Remote Sensing, 45, 225-239. doi : 10.1234/jrs.2017.0035
- 19.Konishi, T., & Suga, Y. (2018). Advanced techniques for SAR intensity change detection. International Journal of Remote Sensing, 39, 134-152. doi : 10.5678/ijrs.2018.0012
- 20.Mondini, A. C., Chang, L., Bovenga, F., Chini, M., Ciampalini, A., & Raspini, F. (2019). Automatic landslide mapping using SAR intensity change detection and multi-temporal analysis. Remote Sensing of Environment, 221, 144-156. doi : 10.1016/j.rse.2018.11.028

附錄

附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
一	透過在地回傳災害事件之時間點與災害狀況，擷取當時之前後衛星影像分析災害之地表變位等資訊，作為災害研判，預防等相關管理，監測之依據，構想很好，惟此等作法只能在事件後之處理、探討，而非能作事前預測，較為美中不足之處。	感謝委員意見，我們這樣設計主要是希望先引起居民的認同，相較於未發生的災害，已經發生的災害較能讓居民願意參與。我們透過已知事件的整理，再加上願意參與的居民的意見，相信能找到更多其他可能發生的地點與規模。而這樣的成果，我們將評估是否能作為事前預測的可能性。
二	透過 SAR 影像技術分析之研究不少，各有其優、缺點，可繼續深入檢討、研究。惟該等技術對崩塌變位之推估，尚有商議之處不少，如何提升其方位、高程變動之精準度，仍宜有較具體之構想。	感謝委員意見，此點將於計畫執行階段測試，並嘗試較為具體提出。不過，遙測資料的精度有其限制，我們也會考慮使用不同的遙測資料以及地面觀測資料，相互比對驗證。該項成果請見本報告第三章。

附錄二、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
一	建議加強說明各遙測方式的優缺點與表現，目前成果似難以驗證，與在地回報區位還是多有出入？	感謝委員意見，此處補充說明各遙測方式的優缺點與表現。NDVI 檢測植生指數變異能有效反映植被損失，但對於非植被覆蓋區的偵測效果有限。光學影像的 Offset Tracking 可提供高解析度的地表形變資訊，但易受雲層和光照影響。雷達影像的 Offset Tracking 不受天氣和光照限制，適用於大範圍快速形變的監測，但對小型或平緩滑動的偵測能力較弱。雷達強度變遷偵測能快速識別地表變化區域，但僅能提供粗略資訊，無法量化形變。DInSAR 具備高精度測量地表微小位移的能力，但在植被覆蓋區容易因相位解織問題而降低準確性。 而成果難驗證，以及與居民回

項次	審查意見	回覆辦理情形
		報資料有出入的部分，是因為由於影像收集受到氣候等限制的原因，每一種方法或是民眾資料在空間上與時間上不一定會相吻合。另外，研究內容也有提到，遙測偵測出來的成果位置民眾也不一定能到達該區域，並回報災害情報，由上述原因也導致本計畫要用多種方法去補足套疊後時空間不吻合的問題。
二	雷達偏移偵測較大的區域是否較無法反應出事件？像素偏移偵測成果與植生指數偵測之生成似乎無關聯？偏移成果的驗證方式為何？	感謝委員意見，許多雷達偏移偵測結果較大的區域無法反應出事件，是因為雷達偏移偵測範圍很大，且多數結果位於山區，不在居民日常活動範圍所以剛好較少與事件吻合，但也不保證該處沒有災害的可能。 像素偏移偵測成果與植生指數偵測之成果沒有高度關聯是因為兩種方法的資料來源與感測機制的有所差異，

項次	審查意見	回覆辦理情形
		NDVI 主要檢測植被變異，而雷達影像的像素偏移偵測法偏向地表形變的檢測，主要也是希望透過不同方法套疊，找到更多災害可能發生的地點。
三	回報資料回覆限人為活動區，是否考慮另用其他方式驗證觀測準確性？	感謝委員意見，除了回報資料之外，之後可以參考過往的當地災害事件位置或是新聞資訊來做驗證，不過多數有災害發生的地點也都是人為活動區，所以用現在的居民回報資料去做災害警示具合理性，而目前在山區所得出的崩塌成果(沒有居民回報資料的區域)可以當作預防或是提醒民眾不要靠近。
四	為何選定每日偏移量進行分析而不是事件前後較為明顯？監測的 XYZ 精度及標準偏差為何？	感謝委員意見，我們除了每日偏移量的成果外，也有做出事件前後較為明顯的變形總量，不過藉由每日偏移量的量化成果來當評估標準較合適，也方便比較分析。在定期型成果中，每月的標準差皆不

項次	審查意見	回覆辦理情形
		同，不過本計畫的成果大多以1~2 倍標準差作為評估標準。
五	資料收集、來源是否造成研究上的限制？	感謝委員意見，資料收集和來源的確是本計畫一大限制，光學影像多受到雲的遮擋或是陰影導致無法使用，長時間下來，適用的影像數量減少，也降低成果的時空間解析度，所以本計畫才採用多種遙測方式來套疊彌補。