

行政院農業委員會林務局
農林航空測量所



108年度委託專業服務採購案
成果報告書

「雷達衛星影像輔助林地災害偵測之研究(2/2)」

全 程 計 畫：自 107 年 3 月至 108 年 12 月 止

本 年 度 計 畫：自 108 年 1 月至 108 年 12 月 止

執行單位：國立臺灣大學

中 華 民 國 108 年 12 月 10 日

目錄

目錄.....	i
圖目錄.....	iii
表目錄.....	v
摘要.....	vii
Abstract.....	viii
壹、 緒論.....	1
一、 計畫整體概述.....	1
二、 107 年度研究成果.....	2
三、 本年度工作內容概述.....	3
貳、 多時期雷達衛星影像分析技術輔助林地災害偵測之研究.....	4
一、 雷達影像多時期濾波處理.....	8
(一) 平原區.....	10
(二) 山區.....	12
二、 雷達影像多時期變遷偵測.....	14
(一) 山崩偵測.....	17
(二) 淹水偵測.....	23
三、 雷達影像林地變遷偵測.....	25
(一) 2016 年 4 月 9 日發生於大甲溪事業區的火災.....	29
(二) 2018 年 11 月 8 日發生於美國加州的火災.....	31
四、 偏移偵測法在雷達影像上的應用.....	33
(一) 2018 年 9 月印尼蘇拉威西規模 7.5 地震.....	38
(二) 2018 年 9 月日本北海道規模 6.6 地震.....	41
參、 林地災害之雷達衛星影像分析判讀準則建立.....	43
一、 淹水變遷偵測.....	47
二、 山崩變遷偵測.....	49
肆、 建立以開源軟體為主之雷達衛星影像林地災害偵測流程.....	50
一、 軟體安裝與設定.....	53

(一) SNAP	53
(二) QGIS 與 GRASS-GIS	55
(三) R 與 R-Studio	56
(四) GAWK	57
二、雷達影像災害偵測之處理腳本設定	58
(一) 淹水災害偵測	58
(二) 崩塌地災害偵測	62
伍、緊急災害處置與教育訓練	65
(一) 緊急災害處置	65
(二) 教育訓練	69
陸、研究成果討論	74
柒、結論與未來方向	76
(一) 結論	76
(二) 未來方向	77
英文專有名詞對照	78
參考文獻	79
委員審查意見	82
期初委員審查意見	82
期中委員審查意見	88
期末委員審查意見	98

圖目錄

圖 2-0.1	雷達影像水體偵測.....	5
圖 2-0.2	2015 年 5 月梅雨前曾文水庫區 Sentinel-1 VV 極化雷達影像數值的機率密度分布圖	6
圖 2-0.3	雷達影像山崩偵測.....	6
圖 2-0.4	2009 年莫拉克颱風於臺東太麻里溪之堰塞湖雷達影像辨識成果	7
圖 2-1.1	單時濾波與多時期濾波的差異，多時期濾波可保留較好的影像地物邊緣特徵解析力（Mirelva and Nagasawa, 2017）。	9
圖 2-1.2	影像套疊良莠之檢查。套疊良好會如右圖呈現黃色，未能精準套疊則會像左圖色調分離的現象。	11
圖 2-1.3	平原區多時期濾波的效果.....	12
圖 2-1.4	地形崎嶇與植被茂密的山區多時期濾波的效果。	13
圖 2-2.1	以干涉同調性與強度相關性進行災害偵測所需最少三張雷達影像（Plank, 2014）	14
圖 2-2.2	多時期雷達影像災害偵測流程圖（Plank, 2014）	15
圖 2-2.3	正規化差異指標處理流程圖.....	18
圖 2-2.4	以多時期變遷分析偵測 2009 莫拉克颱風所造成的臺灣西南部山崩	19
圖 2-2.5	2017 年 6 月豪雨事件前後之 Sentinel-2 光學衛星假色影像辨識的布唐布納斯溪集水區山崩（概略為綠線區域）	20
圖 2-2.6	以多時期變遷分析偵測 2017 年 6 月豪雨後布唐布納斯溪集水區山崩	21
圖 2-2.7	以多時期變遷分析偵測 2017 年 6 月豪雨後布唐布納斯溪集水區小區域的山崩	22
圖 2-2.8	以多時期變遷分析偵測淹水事件.....	24
圖 2-3.1	多時期雷達影像對剛果共和國濕熱帶地區森林變遷的偵測流程圖（Deutscher et al., 2017）。	26
圖 2-3.2	多時期雷達影像對剛果共和國濕熱帶地區森林變遷的偵測成果（Deutscher et al., 2017）	27
圖 2-3.3	2016 年 4 月 9 日大甲溪事業區的火災前後的光學影像	29
圖 2-3.4	2016 年 4 月大甲溪事業區火災偵測結果	30
圖 2-3.5	大甲溪事業區雷達影像 ROI 的時間序列.....	30
圖 2-3.6	2018 年美國加州營溪火災事件過程的光學影像（Sentinel-2 與 Landsat-8）	31
圖 2-3.7	2018 年 11 月加州火災偵測結果	32
圖 2-4.1	偏移偵測法分析 2018 年 9 月印尼地震的水平位移場	34
圖 2-4.2	印尼 Palu 東方山谷的地表變形場（Valkaniotis et al., 2018）	34
圖 2-4.3	美國科羅拉多州斯拉姆古利恩滑坡的水平位移場（Wang et al., 2016）	35
圖 2-4.4	雷達影像的偏移偵測結果：2018 年 9 月印尼地震水平位移場	38
圖 2-4.5	印尼 Palu 東方山谷的山崩與雷達影像偏移偵測結果.....	40
圖 2-4.6	日本北海道厚真町地震後 Planet Labs 衛星（鴿子衛星）影像（2018/09/11）	41
圖 2-4.7	日本北海道地震後山崩區域與雷達影像偏移偵測結果.....	41
圖 3-0.1	2018 年 6 月 13 日豪雨屏東淹水雷達影像偵測結果，淹水區為藍色系區域	43
圖 3-0.2	2009 年莫拉克颱風臺灣西南部山崩偵測結果，山崩變異區則為紅色區塊範圍	44
圖 3-0.3	2017 年 6 月豪雨後布唐布納斯溪集水區山崩偵測，坡地上偏紅與偏藍之區域為山	

崩發生之區域.....	45
圖 3-1.1 雷達影像在水體辨識上的特徵（邱俊穎等人，2019）	47
圖 4-0.1 雷達影像淹水辨識處理流程圖.....	51
圖 4-0.2 雷達影像山崩辨識基本處理流程圖.....	51
圖 4-0.3 雷達影像崩塌地與淹水災害偵測作業流程圖.....	52
圖 4-1.1 SNAP 下載網頁畫面.....	53
圖 4-1.2 SNAP FileCache 設定	54
圖 4-1.3 SNAP 常用工具視窗設定.....	54
圖 4-1.4 QGIS 下載網頁畫面	55
圖 4-1.5 GRASS-GIS 基本設定	55
圖 4-1.6 新增 GRASS-GIS 模組 r.stream.distance	56
圖 4-1.7 R 語言與 R-Studio 下載網頁.....	56
圖 4-1.8 GAWK 下載網頁	57
圖 4-2.1 哈吉貝颱風在日本關東地區的雷達影像淹水判釋地圖.....	61
圖 4-2.2 2018 年 9 月 6 日日本北海道地震後的雷達影像崩塌地判釋地圖	64
圖 5-1.1 中央氣象局日降雨累積圖.....	65
圖 5-1.2 8/15 豪雨事件分析使用之 Sentinel-1 影像範圍。紅框：8/15，白框：8/9	65
圖 5-1.3 雷達影像變遷分析顯示嘉義地區可能淹水的區域，藍色區域代表可能淹水之區域	66
圖 5-1.4 雷達影像變遷分析顯示曾文溪水體變化的區域，藍色區域代表可能被水覆蓋之區域.....	66
圖 5-1.5 烏山頭水庫上游異常訊號.....	67
圖 5-1.6 雷達影像變遷分析顯示可能山崩的區域，圖片由左至右分別為 8/9 的影像、8/15 的影像與 RGB 多時變遷分析影像.....	68
圖 5-2.1 教育訓練辦理實況-教育訓練開始	70
圖 5-2.2 教育訓練辦理實況-教育內容大綱	70
圖 5-2.3 教育訓練辦理實況-計畫緣起與目的	71
圖 5-2.4 教育訓練辦理實況-水體偵測原理及處理流程	71
圖 5-2.5 教育訓練辦理實況-崩塌地偵測原理及處理流程	72
圖 5-2.6 教育訓練辦理實況-回饋討論	72
圖 5-2.7 教育訓練辦理實況-雷達影像處理軟體實機操作	73

表目錄

表 2-3.1 火災偵測事件 SAR 影像列表	28
表 3.1 林地災害之雷達衛星影像分析判讀準則	46
表 3-1.1 雷達影像水體辨識與光學影像水體參考之混淆矩陣，矩陣中之數值代表影像屬於 行與列特性交集的像元總數	48
表 3-1.2 雷達影像堰塞湖辨識與光學影像堰塞湖參考之混淆矩陣，矩陣中之數值代表影像 屬於行與列特性交集的像元總數	48
表 3-2.1 山崩辨識成功率計算之混淆矩陣，矩陣中之數值代表影像屬於行與列特性交集的 像元總數	49
表 5-2.1 教育訓練簽到單	69

摘要

本計畫分為兩年期，第一年度主要工作在了了解各類雷達衛星於颱風或豪雨後淹水與崩塌的偵測能力與應用開源軟體 SNAP、GRASS-GIS 與 R 語言在上述分析的能力。在第一年的研究成果基礎上，本年度嘗試探討多時期雷達影像對分析的影響，並將第一年的研究成果建置一套較為自動化的處理流程，以利防災應變的應用。多時期雷達影像分析的結果顯示：多時期濾波處理可以在保留原有影像解析力的情況下進行斑駁雜訊的濾除；多時期變遷偵測可以使用單一極化影像進行山崩偵測分析，相較於使用雷達植被指標 RVI 需要兩種極化影像，限制性較少；多時期變遷分析雖然有能力對林地火災跡地進行辨識，但農地栽種、灌溉、低植被灌木生長與地形差異等現象所造成的雷達訊號變異，會造成辨識的困難，降低辨識的精確性；偏移偵測法的結果顯示相當大的變形量與低相關性所發生的區域，可以指示山崩發生的概略位置。為解決實際操作複雜性，已於農航所建構以腳本操作來串接不同軟體的淹水與崩塌地緊急災害偵測標準流程，只需輸入事件前與事件後影像的檔名，處理的結果可產生由特定色系突顯可能災害區域的變遷偵測影像，影像帶有坐標系統，可匯入 GIS 軟體與相關地理資訊套疊，做為緊急應變的依據。

Abstract

The first year of two-year project focus on assessing the feasibility of radar images applied in detection on landslide flood areas induced by typhoon and heavy rainfall by using open-source software: SNAP, GRASS-GIS and R Language. Based on the experience of several case studies in the first year, we attempt to study the ability of multi-temporal radar images in detection of natural hazards after the typhoon and heavy rainfall. We also attempt to establish an automated platform for processing of radar images for quick response of governmental agency for detection of natural hazards. The preliminary study of multi-temporal radar images suggests that the multi-temporal filtering could keep the spatial resolution to remove the speckle signals. In addition, the single polarized radar images could be used for the detection of the landslide area, which is much more feasible than the method of radar vegetation index (RVI) using two polarized radar images. Although the multi-temporal radar analysis could detect the forest fire area, however the cultivation, irrigation, lower dense of bush and difference of topography could change the backscatter of radar signals and reduce the ability for accurate detection. The pixel offset tracking could detect the landslide area with large displacement and low coherence area, which can approximately indicate the landslide. However, the predicted landslide area is much larger than the actual landslide area. To resolve the operational difficulty and complexity for hazard detection, we already establish a standard flowchart by different scripts using in corresponding software for quick response in flood detection and landslide detection. The pre-event and post-event files are required to reproduce a specific color tuned hazard area image from change detection. This image has coordinate system that display with other geographic data in GIS software. It can be used for decision making of quick response after a hazardous event.

壹、緒論

一、計畫整體概述

崩塌地治理為林地管理中重要的一環，除長期進行復育與監測外，如何在重大自然災害之後，在最短時間內，偵測出崩塌地位置及範圍，同時提升其偵測之效能與廣度，提供政府部門應急反應之參考，則為研究之主要方向。遙測影像已為現今各類天然災害發生後，取得災情資訊之重要工具之一，惟光學影像受雲層阻擋，常無法取得地面影像。幸而目前已有多個國家發展雷達衛星，可較不受天候之影響，取得偵測分析所需之雷達影像。單一衛星受限於固定的繞行軌道與到訪週期，常無法於災後即時取得偵測分析之影像，若能再發展多時期雷達影像林地災害偵測相關分析模式，除能建置光學影像以外之災害偵測能量外，結合既有光學衛星群，形成多元感測器之災害偵測模式，其效果將可等同縮短同地點之再訪週期，進而提升災害資訊蒐集之應變效能。

雷達因設計方式不同，而有不同波長、偏極、再訪週期、軌道等，因此必須因應使用目的差異，選用不同感測器之產品，而目前國際間可選用之雷達影像類別繁多，如欲應用於林地災害偵測，仍應根據不同的災害類型，評估適用之產品類型。又雷達影像之分析處理極其專業，所需技術與分析人才非一般政府機關所能自行建置，惟為災害應變仍有加速災情資訊蒐集之需求，故有依所需災情資訊取得目的，建置較為一般化之處理流程之需求，以快速處理國際上因應地區災害所提供之交流圖資。此外，為盡可能發揮雷達影像之功能，需能取得更原始之影像產品並具備初期處理之量能，所需功能非一般商業影像分析軟體所能提供，而現已有多套開源軟體為此類影像（SNAP、GMTSAR、ISCE...等）提供所需處理模組，並能透過網際網路取得相關支援，如能適當運用，應能減省相當之採購與維護費用。

本計畫分為兩年期，第一年主要工作在了解各類雷達衛星於颱風或豪雨後淹水與崩塌的偵測能力與應用開源軟體在上述分析的能力。在第一年的研究基礎上，第二年嘗試探討多時期雷達影像對偵測分析的影響，並將第一年的研究成果幫所方建置處理流程，以利防災應變的應用。

二、 107 年度研究成果

(一) 各類雷達衛星影像種類資訊之蒐集、分析與功能評估

蒐集並整理目前常用的雷達衛星資訊，就其波長、解析度、穿透特性、偏極特性、再訪週期、影像取得、費用等，評估其於不同災害所需之影像處理及可行性，如堰塞湖、溢淹、崩塌地等分析判釋。考慮水氣的穿透特性、水面起伏的粗糙度、地物偏極特性與分析所需的影像等級，在颱風豪雨後洪水溢淹、堰塞湖的偵測中，建議以長波長的 L 波段優先，C 波段與 X 波段次之；在偏極特性的選擇上，以平行極化 (HH, VV) 優先，交叉極化 (VH, HV) 次之；影像處理等級的選擇上，由於分析上並不需要相位資訊，可以選擇多觀點振幅影像產品，或正射振幅影像產品。在颱風豪雨後崩塌地的偵測中，受到臺灣山區地形影響，所造成的疊置及陰影區域，會有相當範圍無法進行分析。若崩塌發生視為植被到裸地的變化過程，可使用對體散射特性敏感的 HV 偏極影像或計算雷達植被指標 (Radar Vegetation Index, RVI) 作為指標，進行變遷分析。

(二) 雷達衛星影像於颱風豪雨後洪水溢淹及堰塞湖之偵測研究與試作

颱風豪雨後之洪水溢淹、堰塞湖，進行判釋之可行性與方法的研究中，可藉由計算背向散射係數 (Backscatter coefficient) 的差異作為洪水溢淹或堰塞湖範圍判斷。2015 年曾文水庫梅雨前後水體變化與 2009 年莫拉克颱風於臺東太麻里溪堰塞湖的案例結果顯示，偵測的精確指標 F1-Measure 與 Kappa 皆可達 70% 以上。分析的成果有一定程度以上可信度，在防災應變時能提供相當的幫助，但比較大的挑戰在於衛星影像是否能在水體存在的期間進行拍攝，並快速取得影像。

(三) 雷達衛星影像於颱風豪雨後崩塌地之偵測研究與試作

颱風豪雨後之崩塌地，進行判釋之可行性與方法的研究中，可由以下三種方式分析，(1) 事件前後的 RVI 或 H/alpha 極化分解的亂度指標 (H)，可以估計地物散射特性的變化 (植被→裸地)；(2) 先利用地物的雷達影像的不同特徵 (不同極化的背向散射、極化分解的參數、RVI 等等)，先進行監督式訓練，找出各個類別 (例如：植被、裸地、建物等) 的參數模型，可作為不同時期的類別變異的偵測；(3) 利用前後期影像進行背向散射係數差異法與強度相關法之計算，可以作為山崩區域的變異偵測。2009 年莫拉克颱風臺灣西南部山崩與 2018 年日本

北海道地震山崩的分析結果顯示，精度指標 F1-Measure= 24%~ 32% 或 Kappa= 20%~27%。可以判釋較大面積的山崩，這些山崩的面積多數大於 0.06 平方公里，而許多面積小於 0.016 平方公里的山崩未能被辨識。以目前可取得的影像與分析成果，顯示雷達影像對於大型山崩有比較好的辨識能力，卻無法解析較小的山崩。

(四) 現有雷達衛星影像處理開源軟體之評估與測試

現有雷達衛星影像處理開源軟體之評估與測試中，建議可使用 SNAP 軟體，該軟體可將影像進行讀取、處理、顯示、分析，更包含輻射校正、雜訊濾除、套合、正射處理、數據轉換、極化處理、產製干涉圖等功能；當進一步進行數據分析時(Ex:影像網格計算、影像聚焦計算、統計分析等)，可利用 R 語言與 GRASS GIS 進行處理。

三、 本年度工作內容概述

(一) 多時期雷達衛星影像分析技術輔助林地災害偵測之研究

以多時期之雷達衛星影像分析技術進行洪水溢淹、堰塞湖及崩塌地等各種林地災害偵測，進一步研究林地變遷偵測、森林火災跡地偵測等之可行性。

(二) 林地災害之雷達衛星影像分析判讀準則建立

根據研究結果，就洪水溢淹、堰塞湖、崩塌地偵測等影像成果建立判讀準則。

(三) 建立以開源軟體為主之雷達衛星影像林地災害偵測流程

以雷達衛星影像輔助林地災害偵測之影像蒐集前置工作、影像前作業及影像處理、分析作業，建立以開源軟體為主之作業流程，並制定各分析產出之檔案標準。

(四) 發表報告及辦理教育訓練

將本研究成果發表於國內期刊論文，並辦理雷達衛星影像輔助林地災害偵測之教育訓練（包含實機操作教學）。

貳、多時期雷達衛星影像分析技術輔助林地災害偵測之研究

雷達衛星影像採用微波波段，其波長從約 1 公分至 100 公分不等，幾乎可以穿透大氣層，較不受天候影響，且為主動式的遙感探測工具，具有不分晝夜的資料獲取能力，於颱風豪雨時的災害應變，相較於光學影像，有機會提供災情偵測的能力。雷達影像經過輻射校正後的背向散射係數，在統計上提供了良好的水體與非水體的分辨 (Foumelis, 2015; Stewart, 2016) (圖 2-0.1 及圖 2-0.2)。背向散射係數和雷達成像後的紀錄值可由式 2-1 和式 2-2 表示。

$$\sigma^0 = \beta^0 \sin(\alpha) \dots \dots \dots \text{式 2-1}$$

$$[DN]^2 = \text{constant} \times \beta^0 \dots \dots \dots \text{式 2-2}$$

α : 入射角 (Incidence angle)

σ^0 : 背向散射係數 (Backscatter coefficient)

β^0 : 地體單元的雷達亮度 (Radar brightness)

DN: 雷達成像後的紀錄值

Constant: 雷達天線紀錄數值與地體單元雷達亮度的轉換常數

現今合成孔徑雷達系統中，感測器本身均會將自身輻射校正參數以及定期校正修正量登錄於詮釋資料中。

RVI 可以作為山崩所造成的植被變化依據，再配合 Konishi and Suga (2018) 的聚焦演算法，可以進行崩塌地的偵測。本研究團隊過去針對颱風豪雨期間的洪水溢淹、堰塞湖與崩塌地，透過雷達衛星影像進行偵測的研究，已獲得一定成果 (胡植慶等人, 2018) (圖 2-0.3 及圖 2-0.4)。針對這些案例，進一步探討多時期雷達衛星影像在洪水溢淹、堰塞湖與崩塌地的分析與精進能力。RVI 和差異指標 (d) 可由式 2-3 及 2-4 求得：

$$RVI = 20 \times \log\left(\frac{\sigma_{\text{cross polarization}}^0}{\sigma_{\text{parallel polarization}}^0}\right) \dots \dots \dots \text{式 2-3}$$

$$d = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Ia_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Ib_i \dots \dots \dots \text{式 2-4}$$

RVI: 雷達植被指標

d: 差異指標

i: Moving Windows 中第 i 個像元的指標，Windows 大小預計採用 19x19 至

25x25

N: Moving Window 的像元總數

Ia_i 與 Ib_i : 分別為事件前與事件後影像 Moving Window 內像元的數值，此處係指 RVI 數值

崩塌範圍為 L_d ，可根據式 2-5 判定：

$$L_d > \mu + a\sigma \dots\dots\dots \text{式 2-5}$$

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \dots\dots\dots \text{式 2-6}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (d_i - \mu)^2} \dots\dots\dots \text{式 2-7}$$

μ : 式 2-4 中差異指標 d 的平均值

σ : 式 2-4 中差異指標 d 的標準差

n : 影像總像元數

a : 門檻參數，在 1.5 至 2 有較佳之結果

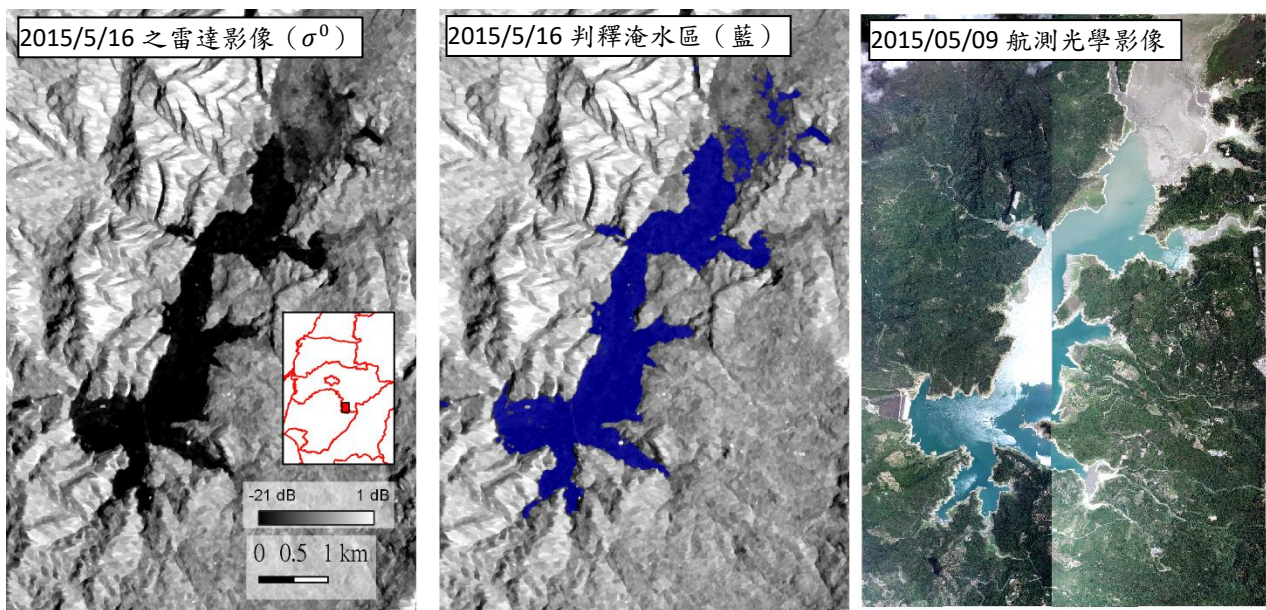


圖 2-0.1 雷達影像水體偵測

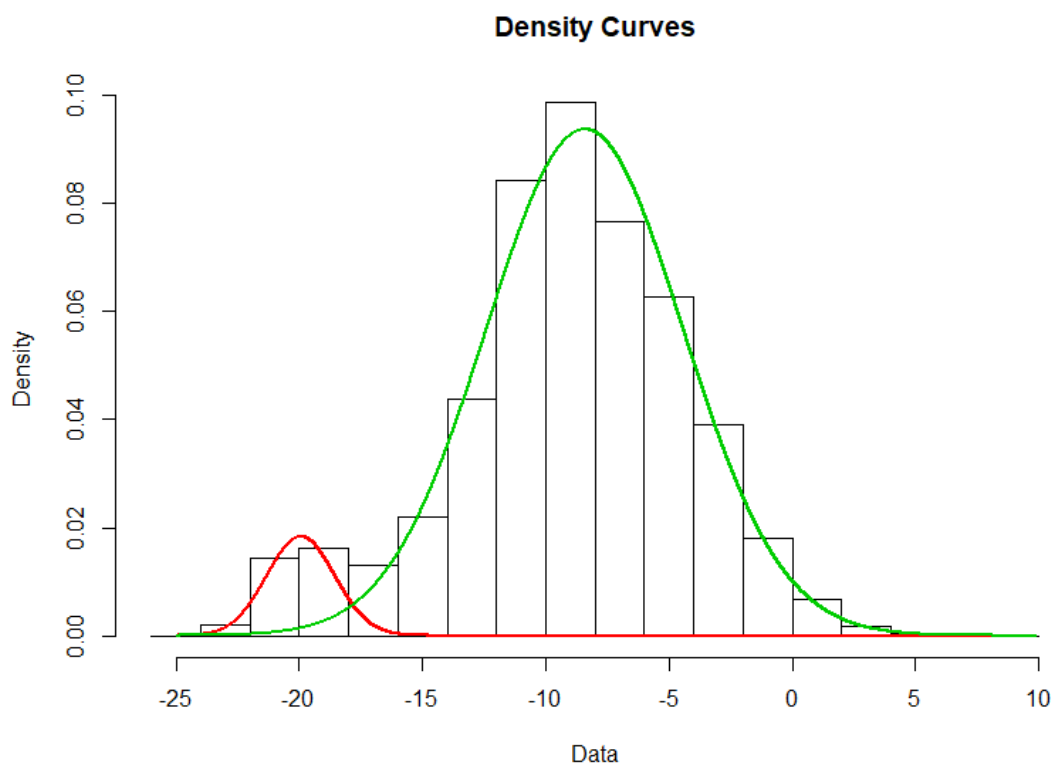


圖 2-0.2 2015 年 5 月梅雨前曾文水庫區 Sentinel-1 VV 極化雷達影像數值的機率密度分布圖

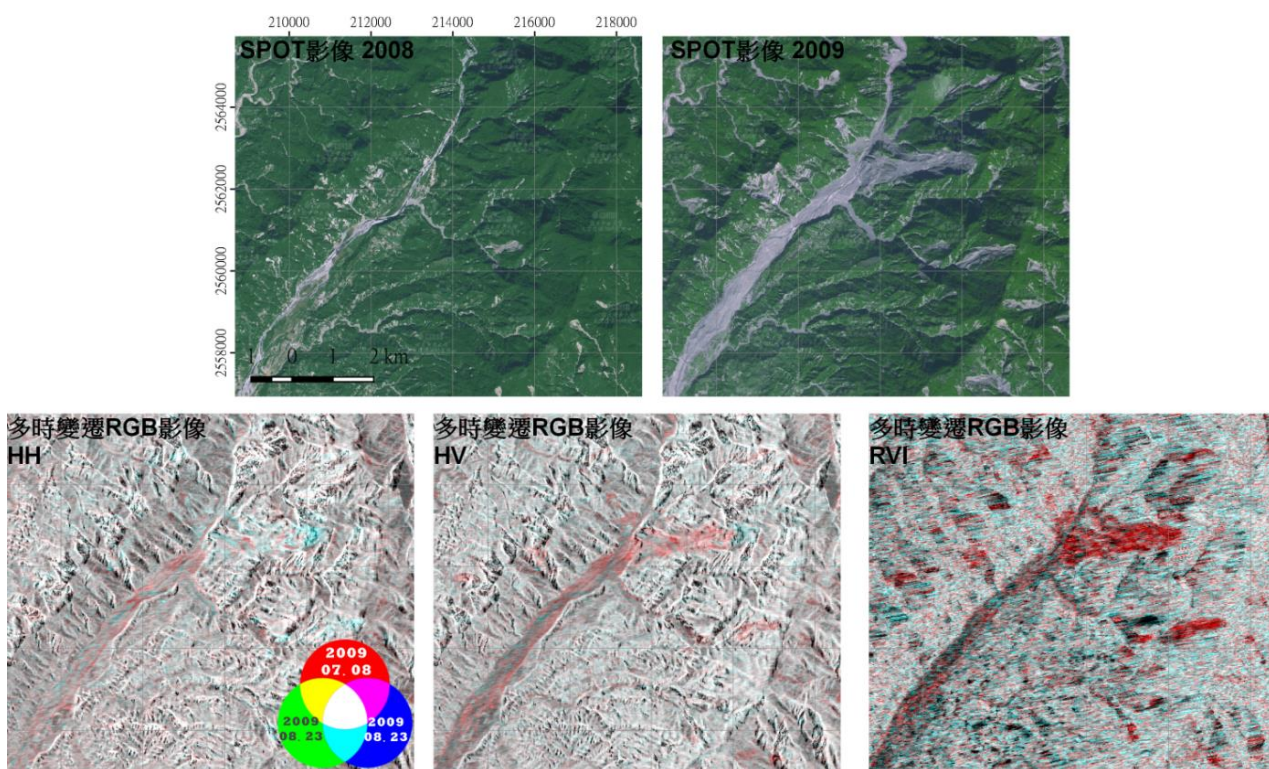


圖 2-0.3 雷達影像山崩偵測

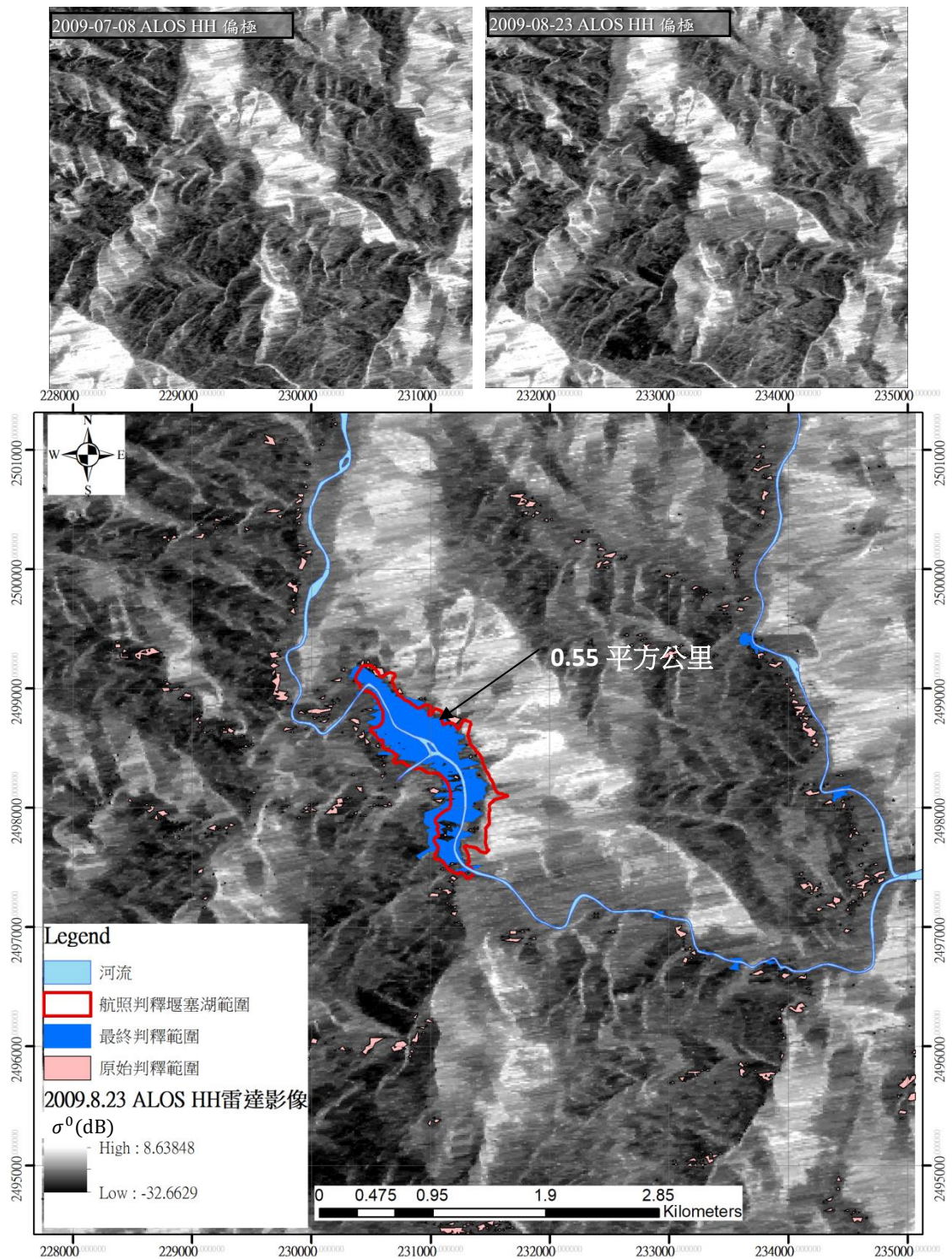


圖 2-0.4 2009 年莫拉克颱風於臺東太麻里溪之堰塞湖雷達影像辨識成果

根據胡植慶等人(2018)的研究，雷達影像在淹水與崩塌災害中已具有一定的偵測能力。而導入多時期資料的分析，藉由多時期濾波處理可提高影像解析能力，多時期的同調性或相關性變化等指標能提供另一種變遷偵測的依據，也有機會了解林地變遷在雷達影像中的特性。

一、雷達影像多時期濾波處理

雷達影像因其成像特性，地面像元內部分布著大量的隨機散射體，每個散射體的回波特性皆由地物結構、粗糙度、介電性質、雷達波長、極化方式及雷達波入射角等綜合因素共同決定，在同一個解析力單元(resolution cell)內，由於雷達波波長與地表粗糙程度相近（公分級），造成的干涉現象會使所有散射體回波相互的疊加或抵消，彼此之間相互干擾的結果則導致雷達影像上出現隨機分布的亮點或暗點，此種雷達影像特性即稱為斑駁雜訊（Speckle noise）。斑駁雜訊是影響雷達影像判讀及應用的一個很大因素。斑駁雜訊雖然可以藉由多視處理（Multi-looking processing）來降低其影響，但同時也降低影像之空間解析能力。另外學者們也提出多種以數學模式的斑駁雜訊濾波（Speckle filtering）處理來降低雜訊，例如李氏濾波法（Lee, 1981）、MAP 濾波法（Lopes et al., 1993），但處理窗增大仍會降低影像之空間解析能力（Bruniquel and Lopes, 1997; Quegan et al., 2000）。衛載 SAR 可定時接收，且不易受天候影響，在一定時間範圍內的地物特徵應該具有相當接近的回波特徵，因此可藉由這段時間內多時期的影像作為濾波處理的依據，保留空間解析力來進行斑駁雜訊的濾除（王志添與陳錕山，2003; Mirelva and Nagasawa, 2017）（圖 2-1.1）。本研究所利用的開源軟體 SNAP 進行多時期斑駁雜訊濾波是依據 Quegan et al（2000）所提出的方法，公式如下：

$$J_k(x,y) = \frac{E[I_k]}{N} \sum_{i=1}^N \frac{I_i(x,y)}{E[I_i]} \dots\dots\dots \text{式 2-8}$$

$J_k(x,y)$: 影像中位置 (x,y) 多時期斑駁濾波的數值

For $k = 1, \dots, N$

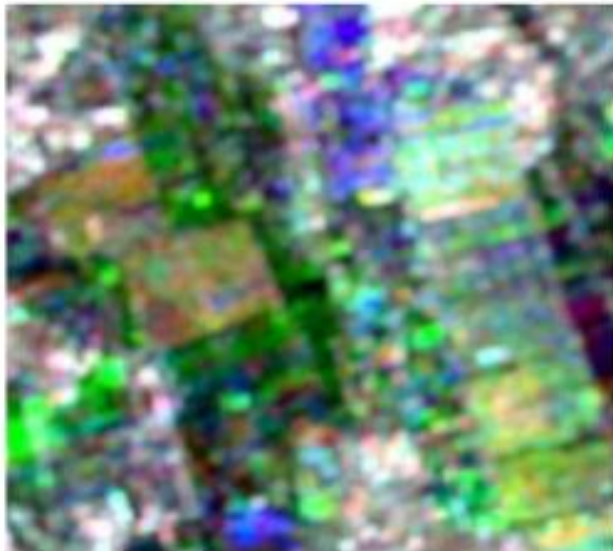
N : N 個時序的影像

$I_i(x,y)$: 第 i 張影像中 (x,y) 位置的影像強度（Intensity）

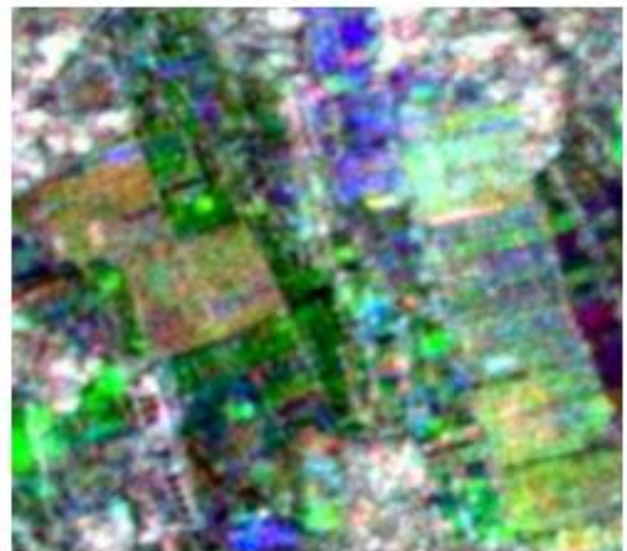
$E[I]$: (x,y) 位置的期望值，以平均值來表示之

考慮緊急應變之需，使用 3 張影像就足以保留空間解析力進行斑駁雜訊的抑制。

光學影像



Single filtering



Multi-temporal filtering

圖 2-1.1 單時濾波與多時期濾波的差異，多時期濾波可保留較好的影像地物邊緣特徵解析力（Mirelva and Nagasawa, 2017）。

多時期濾波雖然以時間概念增加濾波的可用因子取代空間因子來保留空間解析力，但這表示計算時需涵蓋更長一段時間內變化。而不同地域隨時間變化的特性並不相同，許多建物、道路等，並不容易隨著時間有較大的變化，而植被茂密的山區容易隨著時間有植被的變遷。針對去年度已經處理過的案例，我們測試「平原區」以及「地形崎嶇與植被茂密的山區」在多時期濾波實際應用的效果。

(一) 平原區

以 2018 年 8 月 23 日豪雨在臺灣西南部淹水的事件作為範例，測試多時期濾波在淹水變遷偵測的效果。

臺灣地區淹水事件通常在短時間內就會退水，而 C 波段 Sentinel-1 是在事件後最短 3 天 (8/26) 進行拍攝，且因為 8/26 影像是升軌影像，因此取事件相隔最短時間的 3 幅升軌影像進行分析，影像時間依序為 8/2、8/14 和 8/26。根據胡植慶等人 (2018) 的報告，Sentinel-1 在水體辨識使用 VV 極化有較好的結果，因此作為淹水分析的影像，處理的步驟如下：

1. 輻射校正：校正雷達強度影像為背向散射係數影像。
2. 套疊：每張影像拍攝時的軌道略為不同，大小也有差異，多時期影像需要經過影像強度的相關性計算，找出屬於相同地物的位置作為控制點，將多張影像套疊至其中一幅主影像，形成影像範圍與網格大小一致的影像對，才得以進行之後的矩陣運算與分析。套疊時主影像的選擇要考慮軌道與時間基線較小，來降低計算誤差，這個案例中選用時間基線最短的 8/14 作為主影像。另外在相關性計算時，可調整計算視窗大小來影響套疊的良莠，通常在發現套疊結果不良時 (圖 2-1.2)，才會更改 SNAP 的預設值，在此案例當中，只要使用計算視窗大小預設值 128 即可。
3. 地形校正：使用 5m DEM 進行地形校正，將影像轉換為地理坐標 (WGS 84)。
4. 斑駁濾波：為了比較差異，影像分為未濾波、一般濾波與多時期濾波。根據極隼科技股份有限公司 (2012) 從 2012 年東港溪溢淹的分析結果顯示，Refined Lee 濾波器可以較有效的分離水體與非水體，SNAP 內建該濾波器，因此作為本研究的濾波器選擇。

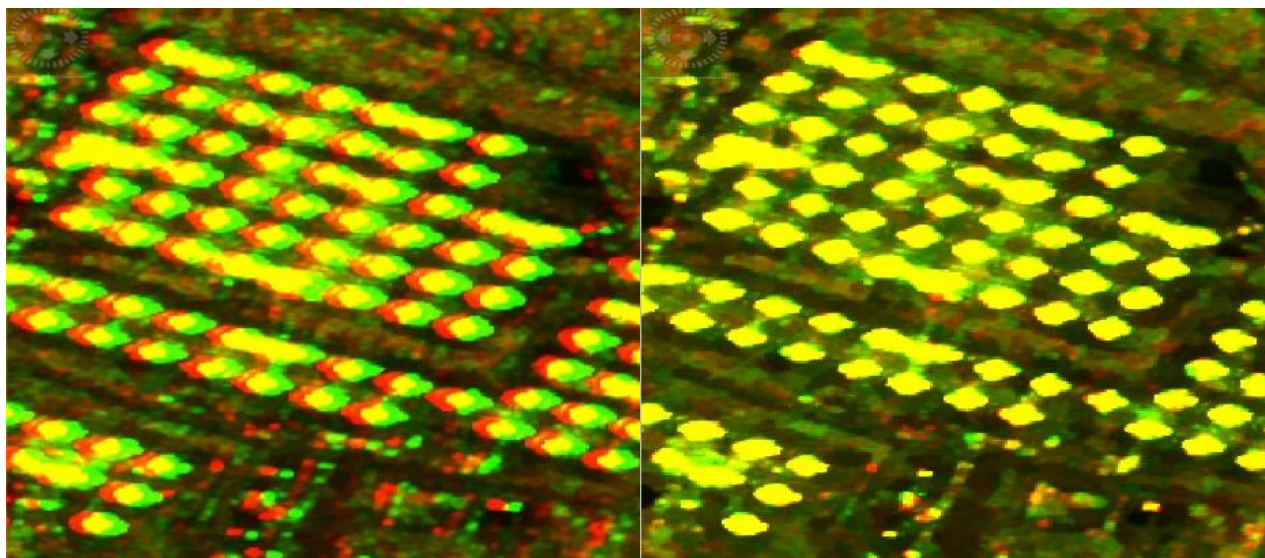


圖 2-1.2 影像套疊良莠之檢查。套疊良好會如右圖呈現黃色，未能精準套疊則會像左圖色調分離的現象。

在平原區淹水變遷偵測的案例中，研究結果顯示使用多時期濾波能保留較好的影像解析力（圖 2-1.3）。平原區建物、道路等強回波的地物較多，這些地物不容易在短時間內有變化，理論上在雷達影像上的強度應該相似，在一段時間的數值變化可能來自於斑駁雜訊或大氣誤差，但多時期濾波則能在時間尺度上進行濾波來移除這些雜訊，找到地物平常穩定的「特徵訊號」，並保留影像的空間解析力。多時期濾波所得到的穩定特徵訊號，會使得事件對地物造成的變化突顯出來，因此在變遷分析當中具有其優勢。但其缺點是必須取得相同區域、相同軌道編號的多時期影像，除了影像取得是否容易之外，影像越多，其計算時間就越長，也是一個缺點。

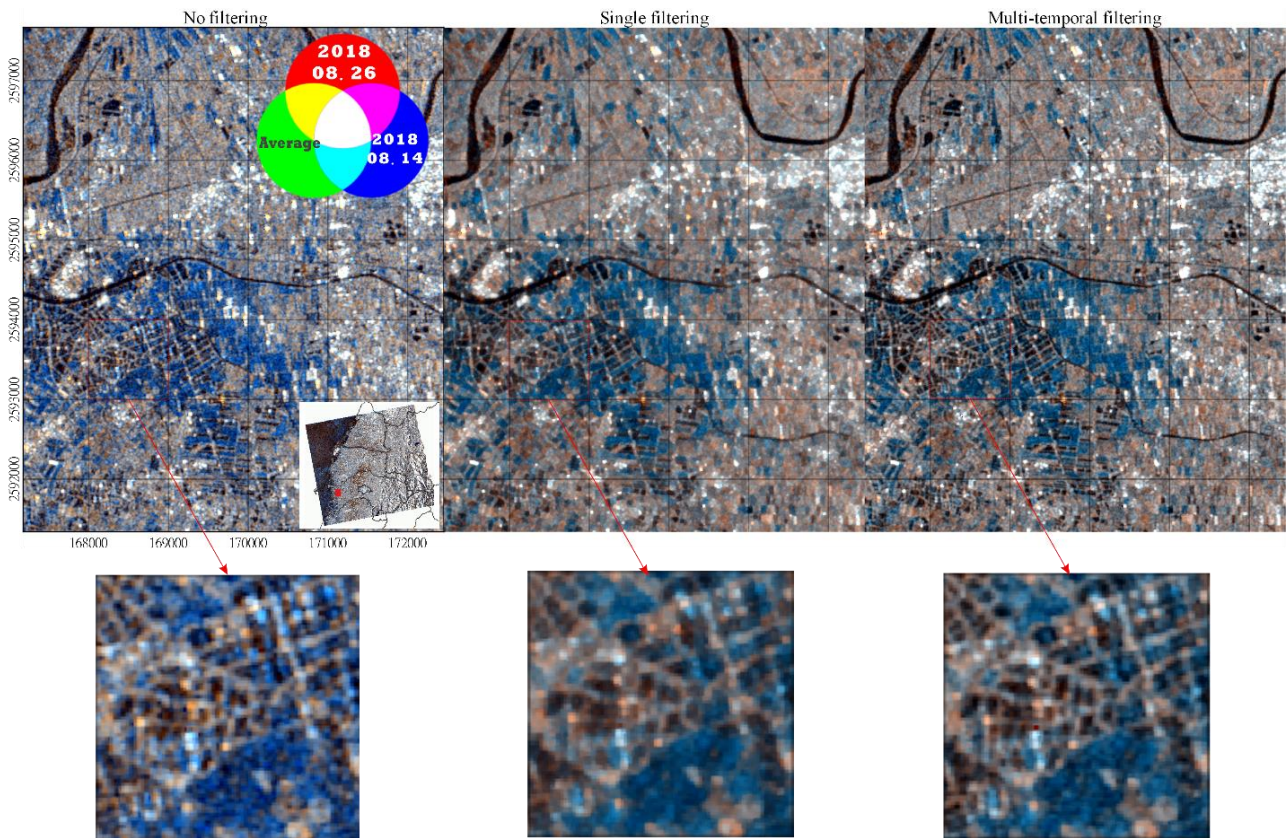


圖 2-1.3 平原區多時期濾波的效果

(二) 山區

以 2009 年 8 月 8 日莫拉克颱風在臺灣西南部山崩事件作為範例，測試多時期濾波在山崩變遷偵測的效果。

該事件前後只有 L 波段 ALOS 的 3 幅升軌影像可以用來分析，影像時間依序為：1/5、7/8 和 8/23。我們測試與植被體散射較相關的 HV 極化與 RVI 作為分析。處理的步驟如下：

1. 偏移校正：ALOS 影像需要先進行 ALOS Deskewing 校正都卜勒中心。
2. 輻射校正：校正雷達強度影像為背向散射係數影像。
3. 套疊：每張影像拍攝時的軌道略為不同，大小也有差異，多時期影像需要經過影像強度的相關性計算，找出屬於相同地物的位置作為控制點，將多張影像套疊至其中一幅主影像，形成影像範圍與網格大小一致的影像對。選取時間基線最短的 7/8 作為主影像。
4. 地形校正：使用 5m DEM 進行地形校正，將影像轉換為地理坐標（WGS 84）
5. 斑駁濾波：使用 Refined Lee 濾波器，為了比較差異，影像分為未濾波、

一般濾波與多時期濾波。

在地形崎嶇與植被茂密的山區使用多時期濾波，與平原區有相似的效果，當直接使用 HV 極化來分析山地山崩變遷偵測時，多時期濾波的確比一般濾波更能保留更多地形上的細節，但與一般濾波相比，並沒有特別突顯出山崩的區域，且使用 RVI 來分析山崩時，結果顯示一般濾波與多時期濾波並沒有明顯的差異（圖 2-1.4）。這樣的結果可能是由於此案例可以使用的影像較少，影像時間基線超過好幾個月，山區植被茂密，就算非山崩，植被隨著時間的變化也相當明顯，這些因素都可能造成多時期濾波計算的誤差。

植被茂密地區在不同時間的變化再加上斑駁雜訊，往往會使我們想關注的變遷事件無法被辨識出來，然而多時期濾波有機會藉由時間上的濾波，濾除掉在時間上的變化與斑駁雜訊，藉此增加變遷事件的相對變化強度。為了找出植被的特徵值，需要多時期的影像，但時間拉得太長又會造成太多誤差，建議取較短時間基線的多時期影像（一個月內）進行多時期濾波，以得到事件前較穩定的訊號特徵，再進行變遷分析。

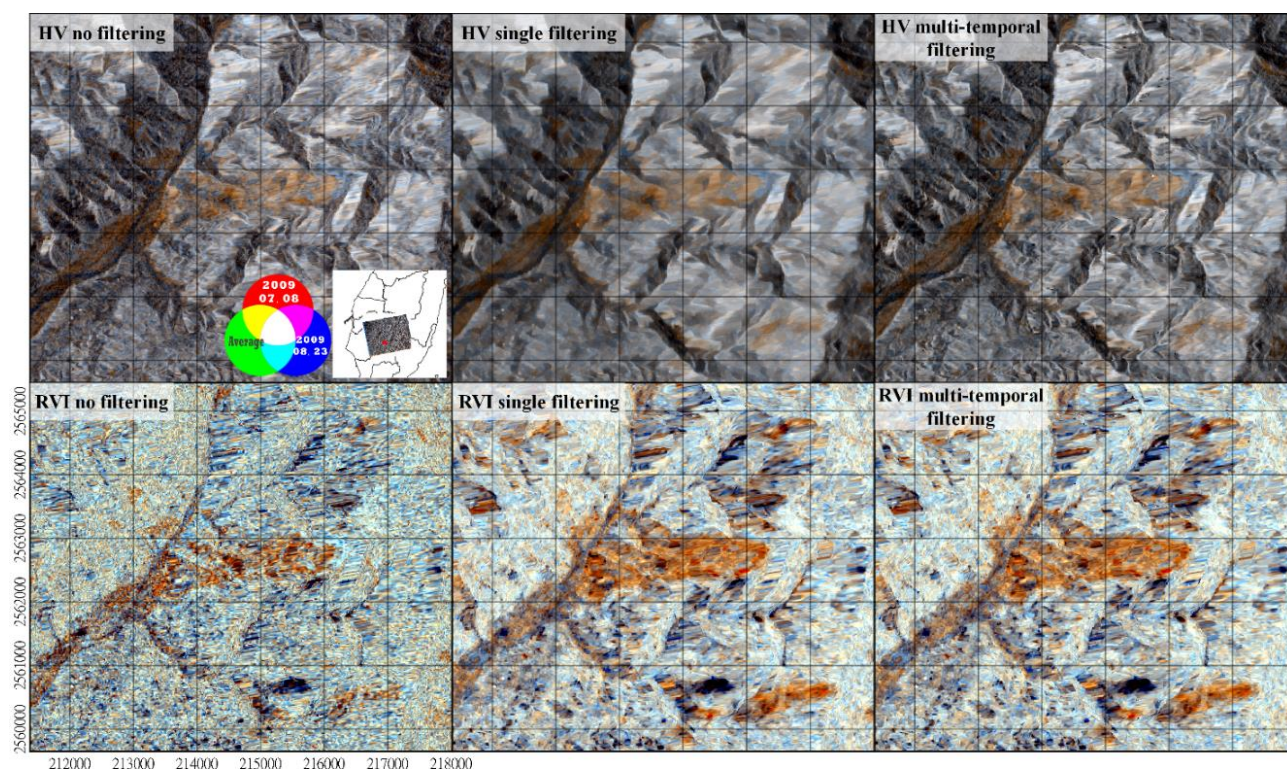


圖 2-1.4 地形崎嶇與植被茂密的山區多時期濾波的效果。

二、雷達影像多時期變遷偵測

雖然藉由簡單的災害前後影像指標（例如：背向散射係數或 RVI）差異，已經具備災害偵測的能力，但 [Matsuoka and Yamazaki \(2000\)](#) 指出，簡單的災害前後影像比對法，仍存在一些問題，災後的變遷可能同時存在影像訊號增強與減少。例如建築物在災後變成碎片，造成背向散射係數的增加，特別是在建築物前的雷達陰影區。而相反的，海嘯或洪水可能沖走整個建築物，或清除所有建築物的碎片，導致背向散射係數的減少。

利用災害前後多時期影像的干涉同調性（Interferometric Coherence）與強度相關性（Intensity correlation），比單純災害前後影像差異更適合於災害的變遷偵測（[Plank, 2014](#)）。多時期影像的災害偵測最少使用 3 張影像，包括兩張災前短時間內的影像與一張災時（後）的影像。所有影像需要有相同的影像幾何特性（拍攝入射角、波長、軌道、飛行方向、影像模組等）（[圖 2-2.1](#) 及 [圖 2-2.2](#)）。

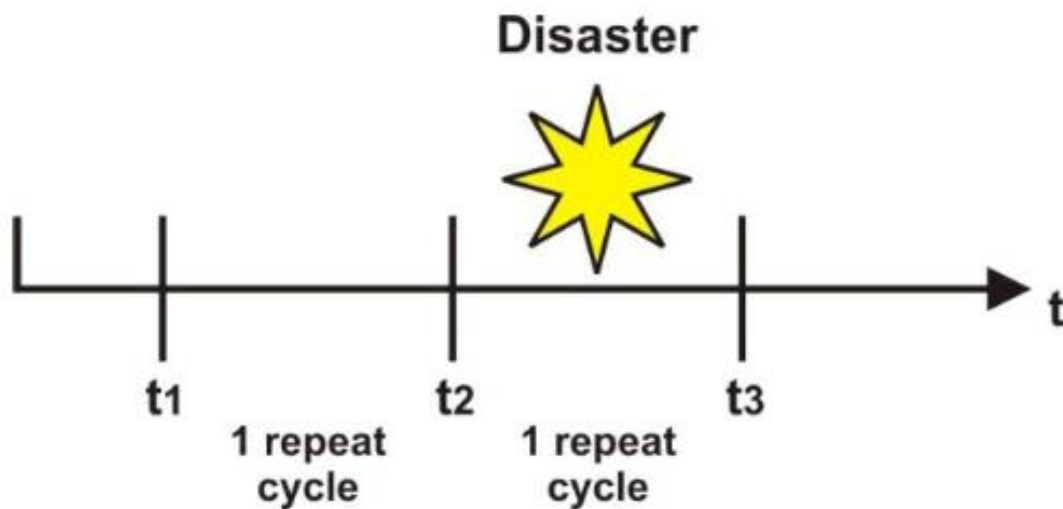


圖 2-2.1 以干涉同調性與強度相關性進行災害偵測所需最少三張雷達影像（[Plank, 2014](#)）

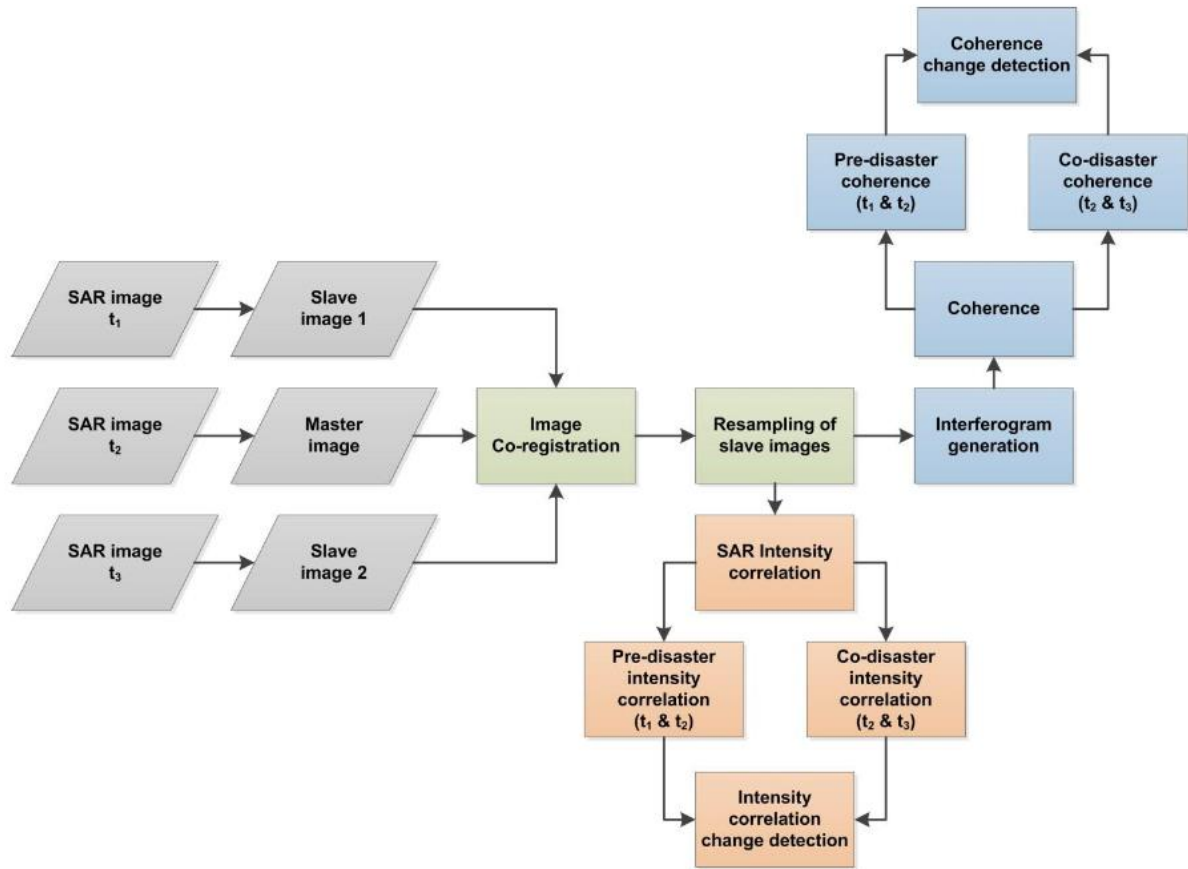


圖 2-2.2 多時期雷達影像災害偵測流程圖 (Plank, 2014)

同調性 (Coherence, γ) 代表兩張影像的相似程度，與干涉處理中相位的一致程度 (Löffler, 2013)。同調性 γ 的範圍從 0-1，根據以下公式計算 (Yonezawa & Takeuchi, 1999; Takeuchi et al., 2000; Stramondo et al., 2006)：

$$\gamma = \frac{E\langle C_1 C_2^* \rangle}{\sqrt{E\langle C_1 C_1^* \rangle E\langle C_2 C_2^* \rangle}} \dots\dots\dots \text{式 2-9}$$

C_1 與 C_2 是 t_1 與 t_2 影像的複數數值， C^* 代表 C 的共軛複數， E 代表期望值。

強度相關性 (Intensity correlation, ρ) 範圍從 0-1，根據以下公式計算 (Yonezawa & Takeuchi, 1999; Takeuchi et al., 2000)：

$$\rho = \frac{E\langle I_1 I_2 \rangle}{\sqrt{E\langle I_1^2 \rangle E\langle I_2^2 \rangle}} \dots\dots\dots \text{式 2-10}$$

I_1 與 I_2 是 t_1 與 t_2 影像的強度數值， E 代表期望值。

災前影像對與跨災時影像對的差異性變化，進一步計算可得到正規化差異指標（Normalized differences, ND）（[Arciniegas et al., 2007](#); [Takeuchi et al., 2000](#); [Yonezawa and Takeuchi, 2001](#); [Suga et al., 2001](#)）：

$$ND = \frac{X_{pre} - X_{co}}{X_{pre} + X_{co}} \dots \dots \dots \text{式 2-11}$$

ND 應用在干涉同調性與強度相關為 ND_γ 與 ND_ρ ：

$$ND_\gamma = \frac{\gamma_{pre} - \gamma_{co}}{\gamma_{pre} + \gamma_{co}} \dots \dots \dots \text{式 2-12}$$

$$ND_\rho = \frac{\rho_{pre} - \rho_{co}}{\rho_{pre} + \rho_{co}} \dots \dots \dots \text{式 2-13}$$

γ_{pre} 、 γ_{co} 、 ρ_{pre} 與 ρ_{co} 分別為災前同調性影像對、跨災時同調性影像對、災前強度相關影像對與跨災時強度相關影像對。計算出 ND 值作為偵測指標之後，接下來選擇有效的門檻值則是一般變遷偵測中區分受災與非受災的重要依據（[Tzeng et al., 2007](#)）。

(一) 山崩偵測

以 2009 年 8 月 8 日莫拉克颱風在臺灣西南部山崩的事件作為範例，測試多時期變遷在山崩偵測的效果。

該事件前後只有 L 波段 ALOS 的 3 幅升軌影像可以用來分析，影像時間依序為：1/5、7/8 和 8/23。與之前使用交叉極化 HV 或 RVI 指標作為分析略有不同，我們測試一般雷達影像較好取得的平行極化影像，測試其偵測效果。使用 L 波段 ALOS HH 極化影像作為分析。影像根據前一章節的多時期濾波進行前處理，再計算 ND 值以進行山崩偵測分析（圖 2-2.3），處理的步驟如下：

1. 輻射校正：校正雷達強度影像為背向散射係數影像。
2. 套疊：將多張影像套疊至其中一幅主影像，形成影像範圍與網格大小一致的影像對。
3. 地形校正：使用 5m DEM 進行地形校正，將影像轉換為地理坐標（WGS 84）。
4. 斑駁濾波：以 Refined Lee 濾波器進行多時期濾波。
5. 計算強度相關性：根據式 2-8 計算事件前兩幅影像的強度相關性與跨事件兩幅影像的強度相關性。SNAP 軟體無法進行強度相關性這類的影像聚焦計算，在此我們利用 R 語言進行計算，程式碼如下：

```
intenCorr<-function(x,y,W){  
  # x : raster 1  
  # y : raster 2  
  # W : Windows Size  
  library(rgdal)  
  library(raster)  
  x[is.nan(x)]<-NA  
  y[is.nan(y)]<-NA  
  ID<-is.na(x)|is.na(y)  
  x[ID]<-NA  
  y[ID]<-NA  
  xx<-x^2  
  yy<-y^2  
  xy<-x*y  
  N<-x  
  N[!ID]<-1  
  
  # total elements in windows  
  Nf<-focal(N,w=matrix(1,W,W),na.rm=TRUE)  
  
  # sum of x*y in windows  
  xyf<-focal(xy,w=matrix(1,W,W),na.rm=TRUE)  
  
  # sum of x*x in windows
```

```

xxf<-focal(xx,w=matrix(1,W,W),na.rm=TRUE)

# sum of y*y in windows
yyf<-focal(yy,w=matrix(1,W,W),na.rm=TRUE)

# r : intensity correlation
r<-(xyf/Nf)/sqrt((xxf/Nf)*(yyf/Nf))

return(r)
}

```

6. 計算正規化差異指標：以事件前的強度相關性與事件後的強度相關性，根據式 2-11 計算該指標。

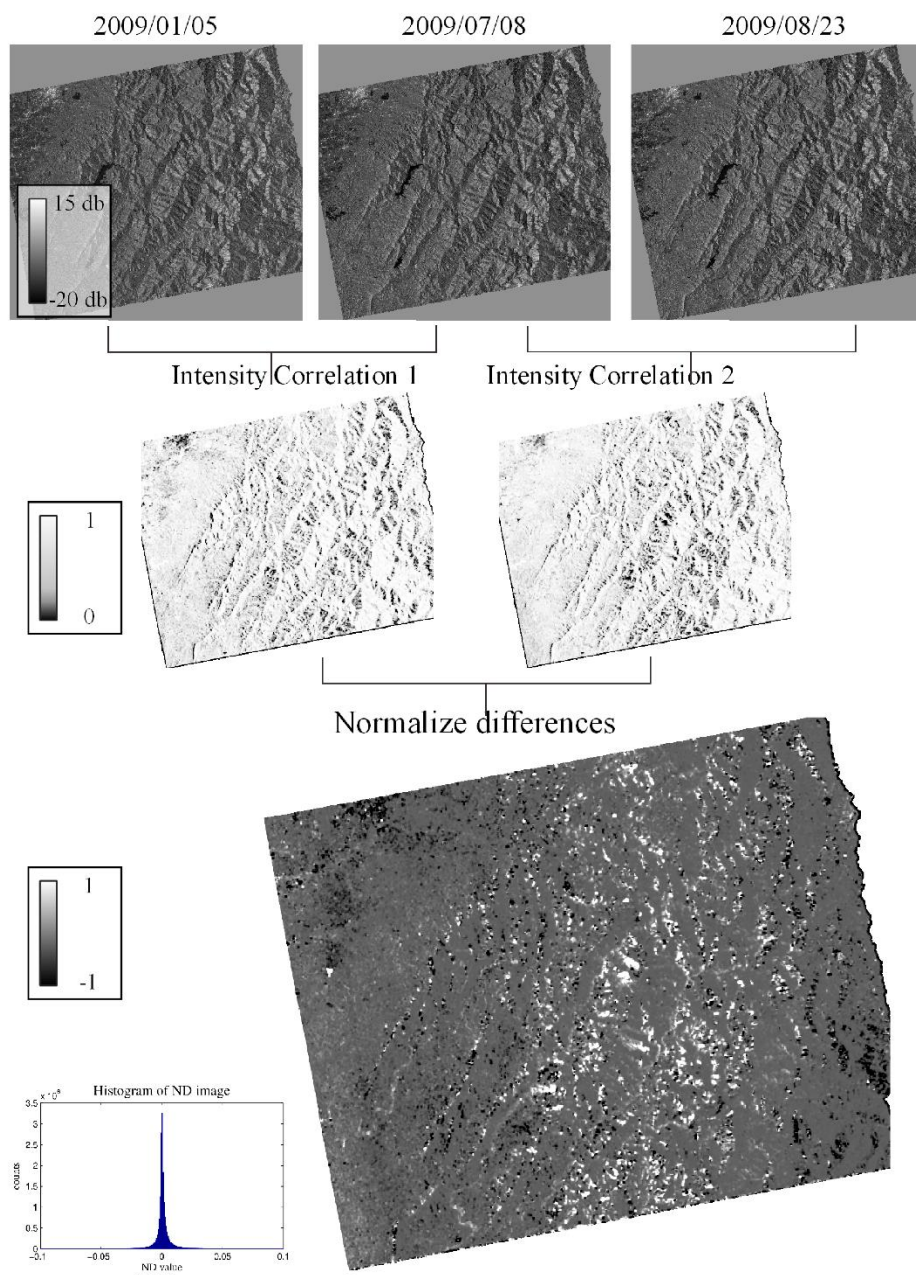


圖 2-2.3 正規化差異指標處理流程圖

分析的結果顯示，ND 數值大於 2 個標準差（在此案例中 ND 數值約 0.02）的區域大多能與山崩的範圍匹配（圖 2-2.4），顯示多時期變遷偵測在山崩偵測有相當的能力。過去我們曾利用 RVI 指標進行山崩偵測（圖 2-0.3），但 RVI 的計算需要 SAR 影像具有交叉極化與平行極化的條件，在可以使用的影像條件上較為嚴苛，然而在多時期變遷分析法當中，雖然需要多一張事件前的影像，但影像種類只要相同單一極化的影像，即可進行分析。

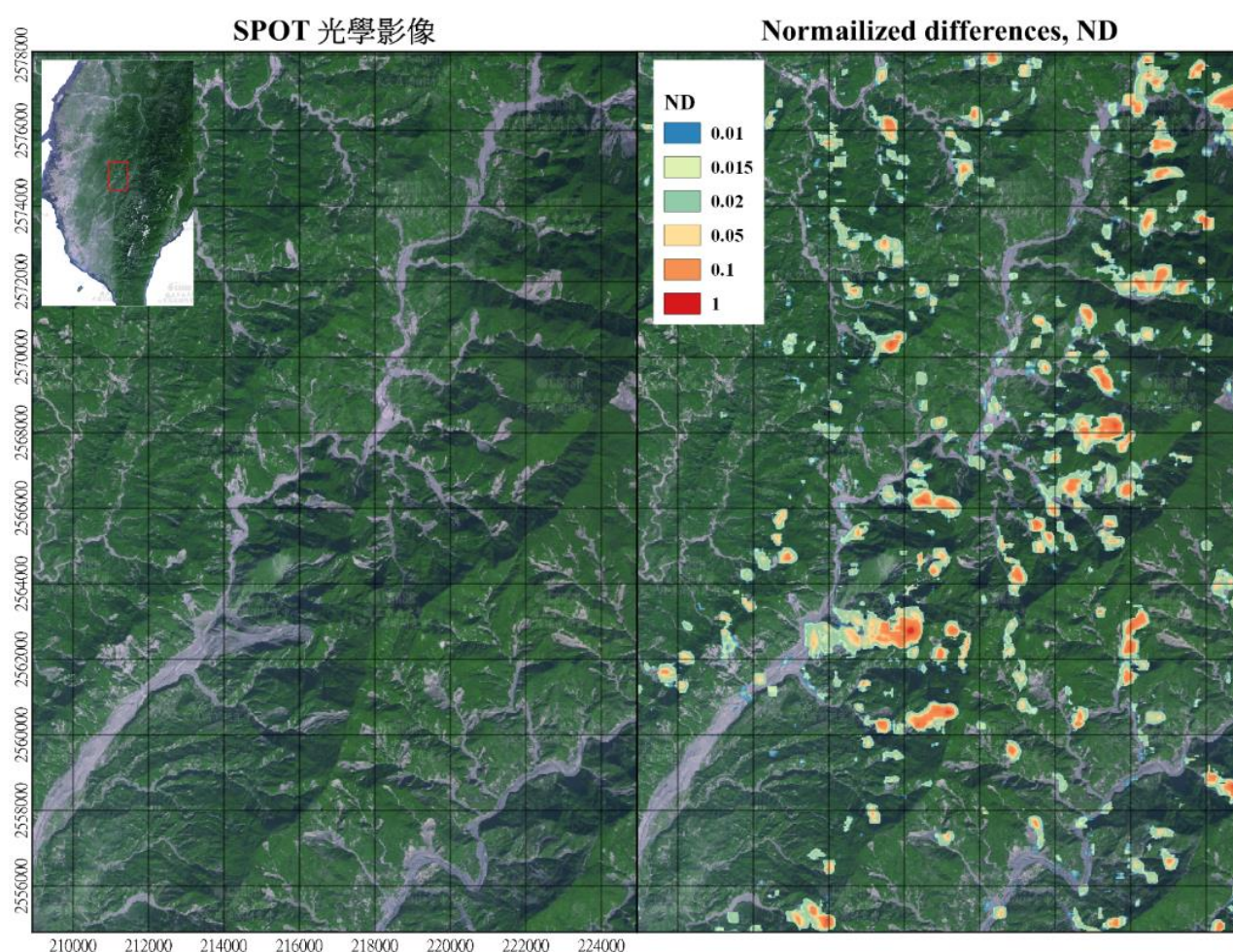


圖 2-2.4 以多時期變遷分析偵測 2009 莫拉克颱風所造成的臺灣西南部山崩

另外一個案例是西南部荖濃溪的支流布唐布納斯溪集水區於 2017 年 6 月豪雨後發生崩塌（圖 2-2.5）。

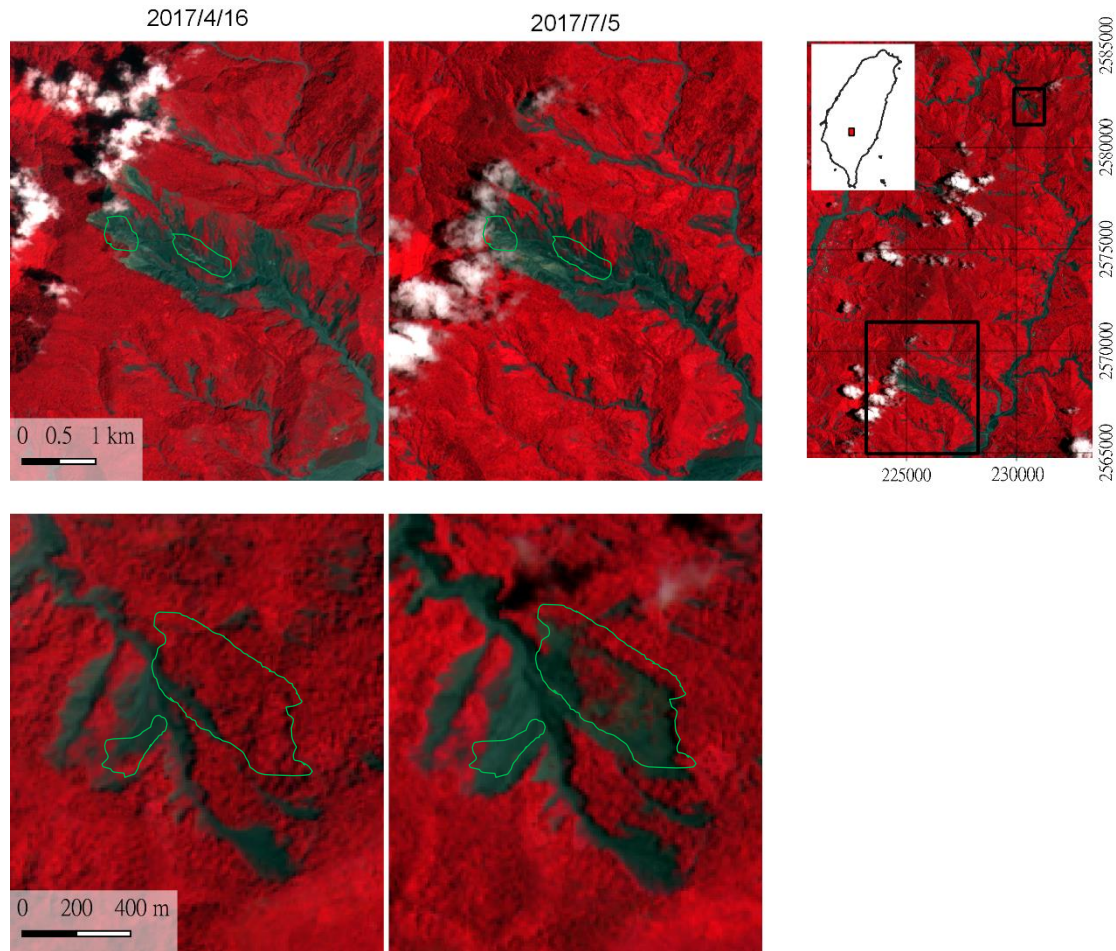


圖 2-2.5 2017 年 6 月豪雨事件前後之 Sentinel-2 光學衛星假色影像辨識的布唐布納斯溪集水區山崩（概略為綠線區域）

該事件前有具有 X 波段 COSMO-SkyMed 的 5 幅降軌影像（單極化：HH）與 C 波段 Sentinel-1 的 5 幅降軌影像（雙極化：VV 與 VH）可以用來分析，COSMO-SkyMed 影像時間依序為：5/8、5/24、6/1、6/25 和 6/29，Sentinel-1 影像時間依序為：5/5、5/17、5/29、6/10 和 6/22。與前一個案例相同，我們以一般雷達影像較好取得的平行極化影像，測試其偵測效果。使用 X 波段 HH 極化影像與 C 波段的 VV 極化影像作為分析。影像根據前一章節的多時期濾波進行前處理，再計算 ND 值以進行山崩偵測分析，處理的步驟可參考上一個案例。

分析結果 ND 數值大於 2 個標準差（Sentinel-1：約 0.05；COSMO-SkyMed：約 0.07）的區域大多能與山崩的範圍匹配（圖 2-2.6）。該區域主要兩處山崩（圖 2-2.5）不論以 C 波段 Sentinel-1 或 X 波段 COSMO-SkyMed 影像都能以 ND 大於

2 個標準差的門檻所辨識。兩者略有差異，C 波段 Sentinel1 所辨識的山崩區域有較大的面積，而解析度約 2 公尺的 X 波段 COSMO-SkyMed 可呈現更細緻山崩變異區域。這些區域是由山崩改變了地形坡度與地物，最終在雷達回波上有變異，可以透過變遷偵測辨識出來。

圖 2-2.6 顯示了一些雷達影像判釋為明顯變異的區域，在光學影像上是被雲層覆蓋的，這表示要透過光學影像在山區進行崩塌地判釋的限制性，而雷達訊號可穿透雲層的特性，則突顯了利用雷達影像在山崩辨識的優點。

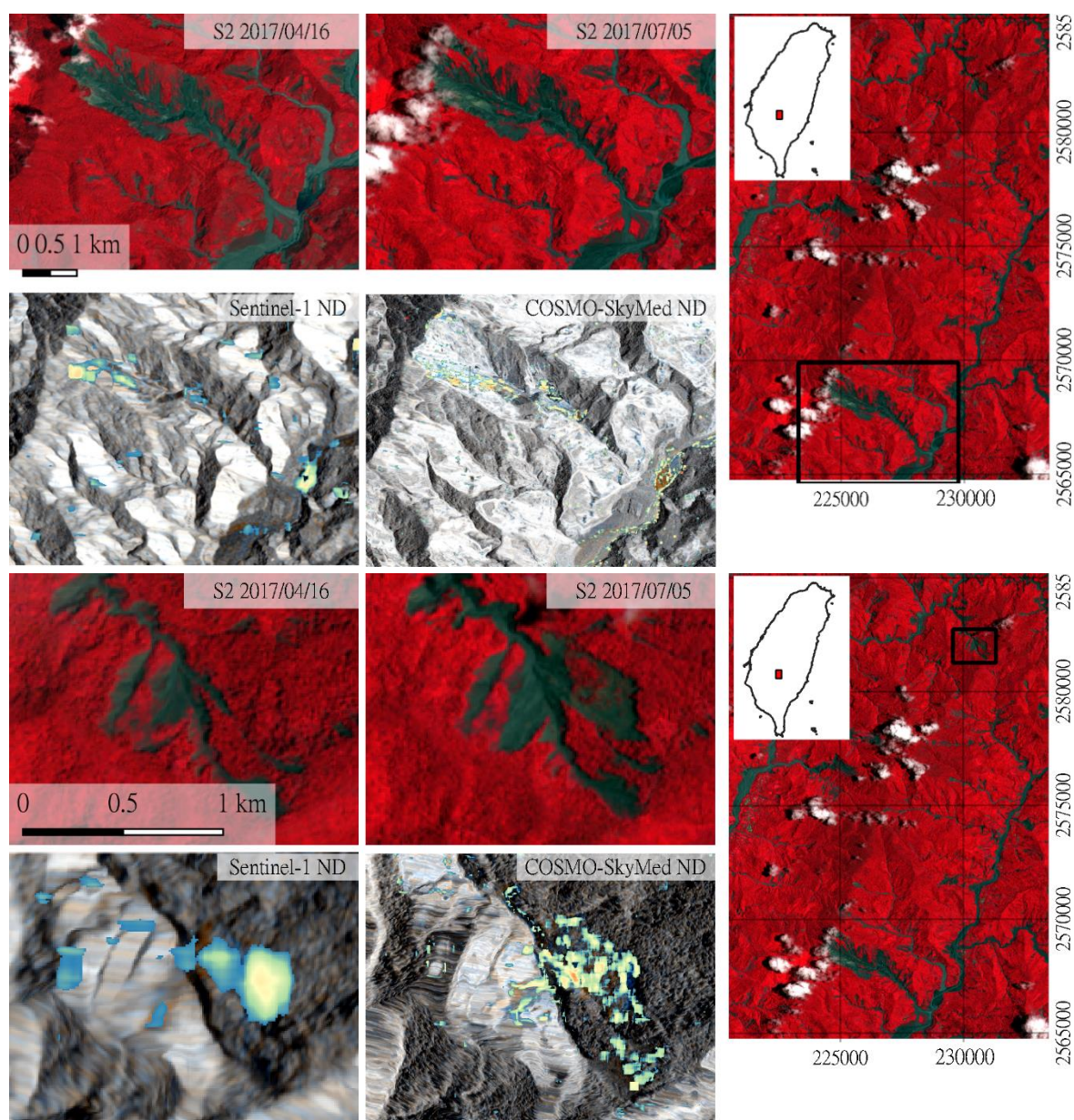


圖 2-2.6 以多時期變遷分析偵測 2017 年 6 月豪雨後布唐布納斯溪集水區山崩

除了原來從光學影像上較清楚辨識出來的兩個山崩區域，藉由 COSMO-SkyMed 所計算的 ND 更發現了小區域的山崩（圖 2-2.7）。

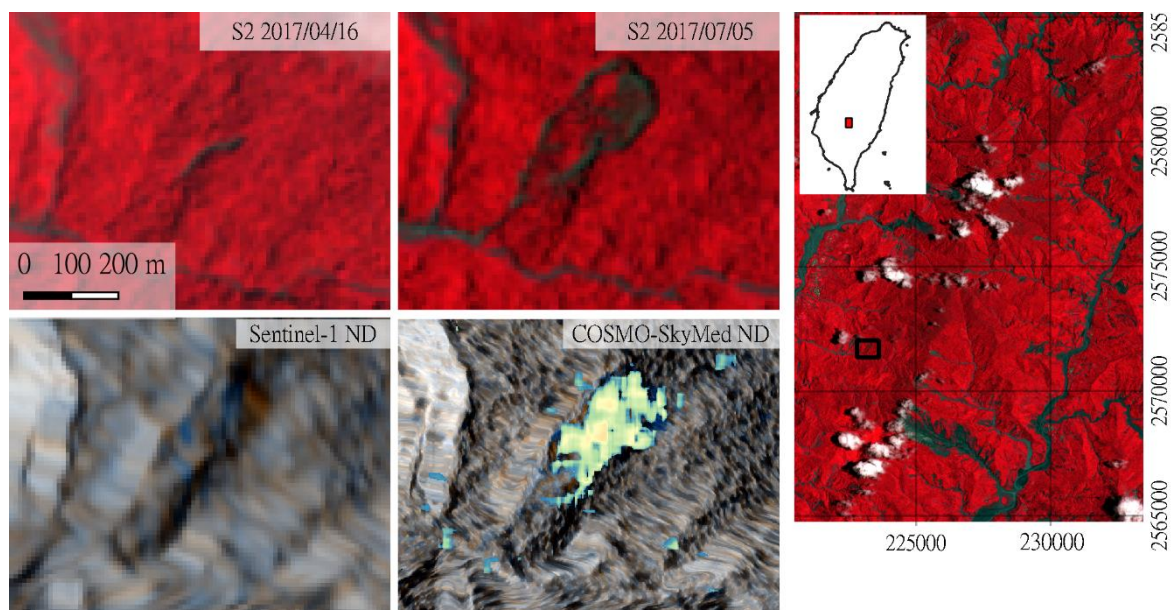


圖 2-2.7 以多時期變遷分析偵測 2017 年 6 月豪雨後布唐布納斯溪集水區小區域的山崩

從 X 波段、C 波段到 L 波段的雷達影像都有能力以多時期變遷分析來偵測山崩。L 波段對於大型山崩有良好的辨識能力（圖 2-2.4），且較少的變異區顯示於河道當中，由於河道的變異並非我們所關注的變異，此特性對於山崩變異辨識上具有優點；C 波段對於山崩也有一定偵測能力，包括河道上的變異也有被辨識出來，但有較多山坡地的辨識區域，從光學影像上看起來並沒有山崩；X 波段對於山崩變異的區域有更精細的辨識能力，從分析結果顯示，誤判的機會比 C 波段更少，而河道上的變異也有被辨識出來。C 波段與 X 波段都會顯示河道上的變異，因此在做山崩辨識時，需要輔助地形資料來排除河道的變異。

(二) 淹水偵測

我們測試平原區淹水的案例：2018 年 8 月 23 日豪雨在臺灣西南部淹水的事件，與山區堰塞湖的案例：2009 年 8 月 8 日莫拉克颱風於臺東太麻里溪堰塞湖的事件。

由於影像取得與事件匹配，平原區淹水案例使用 C 波段 Sentinel-1 雷達影像，共取 3 幅升軌影像，影像時間依序為：8/2、8/14 與 8/26，根據胡植慶等人 (2018) 的報告，Sentinel-1 在水體辨識使用 VV 極化有較好的結果，因此作為淹水分析的極化影像。山區堰塞湖案例使用 L 波段 ALOS HH 極化影像作為分析，共取 3 幅影像，影像時間依序為：1/5、7/8 與 8/23。處理方式與流程可參考山崩偵測當中的敘述。

目前的多時期分析研究成果顯示，以多時期變遷分析的 ND 作為淹水區域判釋的指標並不理想。在 2018 年 8 月臺灣西南部豪雨的淹水案例中，ND 數值高的區域只能指示部分有淹水的區域，有許多誤判的區域是事件前後變化大但非淹水的區域，例如圖 2-2.8 左上部分當中偏橘紅色的區域，代表 8/26 日的雷達訊號比 8/14 大相當多的區域，由於水體會造成較少的雷達反射訊號，因此這些區域應該不是淹水造成。2009 年 8 月莫拉克颱風臺東堰塞湖的偵測案例中也有相同的情況，ND 值較大的區域指涵蓋了部分堰塞湖，但主要堰塞湖的部分卻沒有包括其中。ND 數值較大的區域在主要發生在堰塞湖下游，這些區域從圖 2-2.8 左下的 RGB 多時期變遷影像可以得知，應是山崩堆積物造成雷達的反射訊號增強的結果（圖 2-2.8）。

目前多時期影像的分析成果並不良好，而且多期影像的分析需要更複雜的計算，將增加災害應變時提供災情資訊的複雜度，在胡植慶等人 (2018) 的研究中顯示兩張雷達影像之強度差異即可有效的對淹水區域進行偵測，建議在淹水偵測上不須以多時期影像作為分析方法。

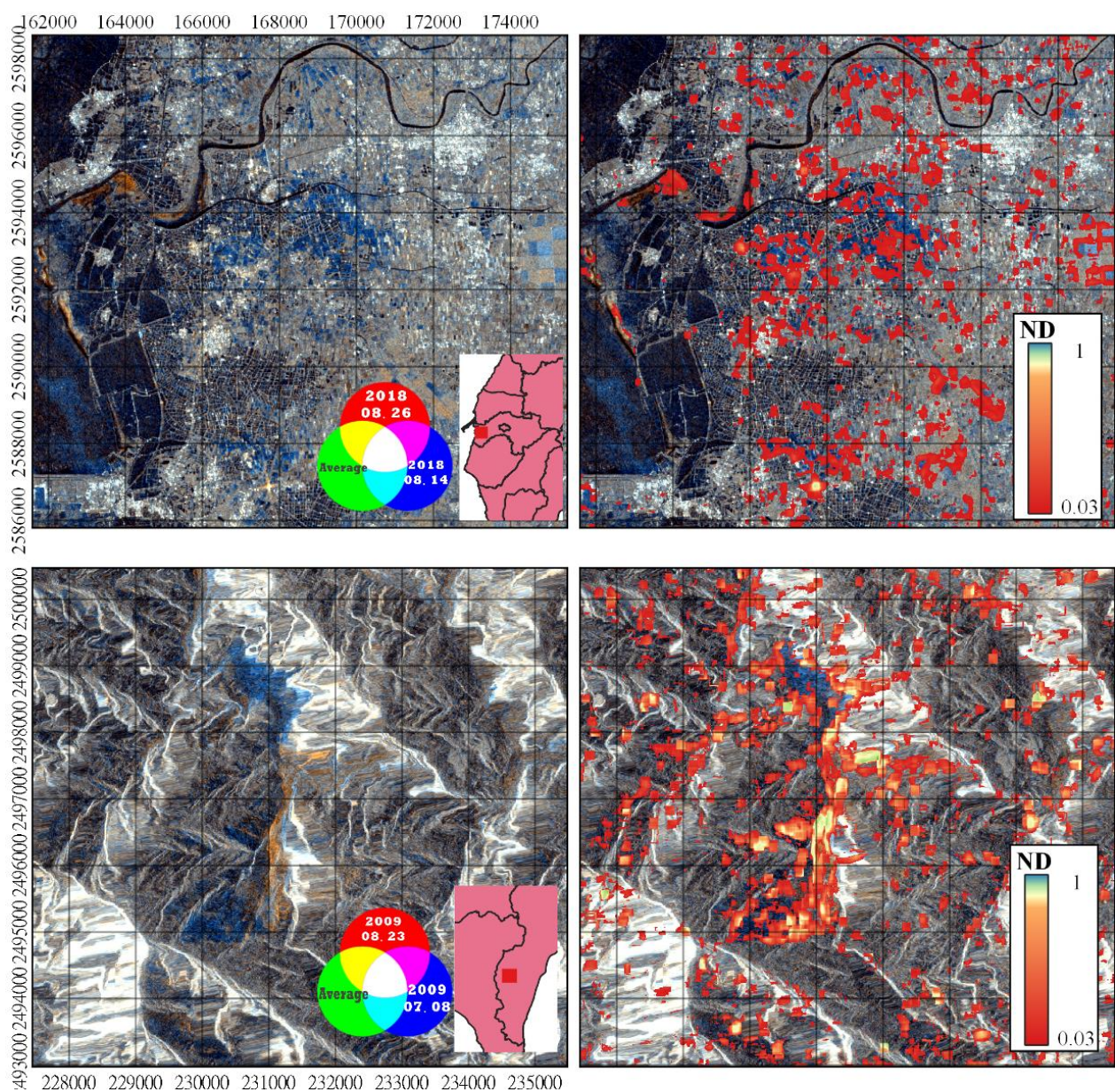


圖 2-2.8 以多時期變遷分析偵測淹水事件

三、雷達影像林地變遷偵測

森林幾乎涵蓋了全世界第三大的面積，是地球生態系統與氣候變遷的重要因素，也提供大型動植物的棲息地，保護全球生物多樣性。森林的快速萎縮會造成重大威脅，也增加氣候變遷的影響，對於林地進行變化的精確監測，包括森林砍伐、森林疏伐、森林火災、栽種物種改變...等，可以減少其負面的影響。然而森林地區往往與水氣雲霧區域重疊，藉由遙測進行林地變遷監測，會受到雲霧覆蓋與植物快速植生的影響，衛載雷達影像具有不分日夜與不受氣候影響的特性，能長時間固定周期的拍攝，可以克服這些困難。

Deutscher et al. (2017) 以多時期雷達影像對剛果共和國濕熱帶地區的林地進行變遷監測研究，對於森林災跡與原始森林轉變為棕櫚油種植物的變異，建構一套處理流程，並得到良好的結果。這個方法必須先將雷達影像進行前處理，包括單幅影像的多視處理、輻射校正與斑駁濾波，多時期影像的套合與多時期斑駁濾波，並根據統計指標（最小值、最大值、平均值、標準差、變異係數、背向散射係數趨勢）進行變遷分析（圖 2-3.1 及圖 2-3.2），結果顯示在大於 0.5 公頃的變異區域之偵測準確率相當高：ALOS PALSAR=76%、TerraSAR-X=96%與 Sentinel-1=98%。

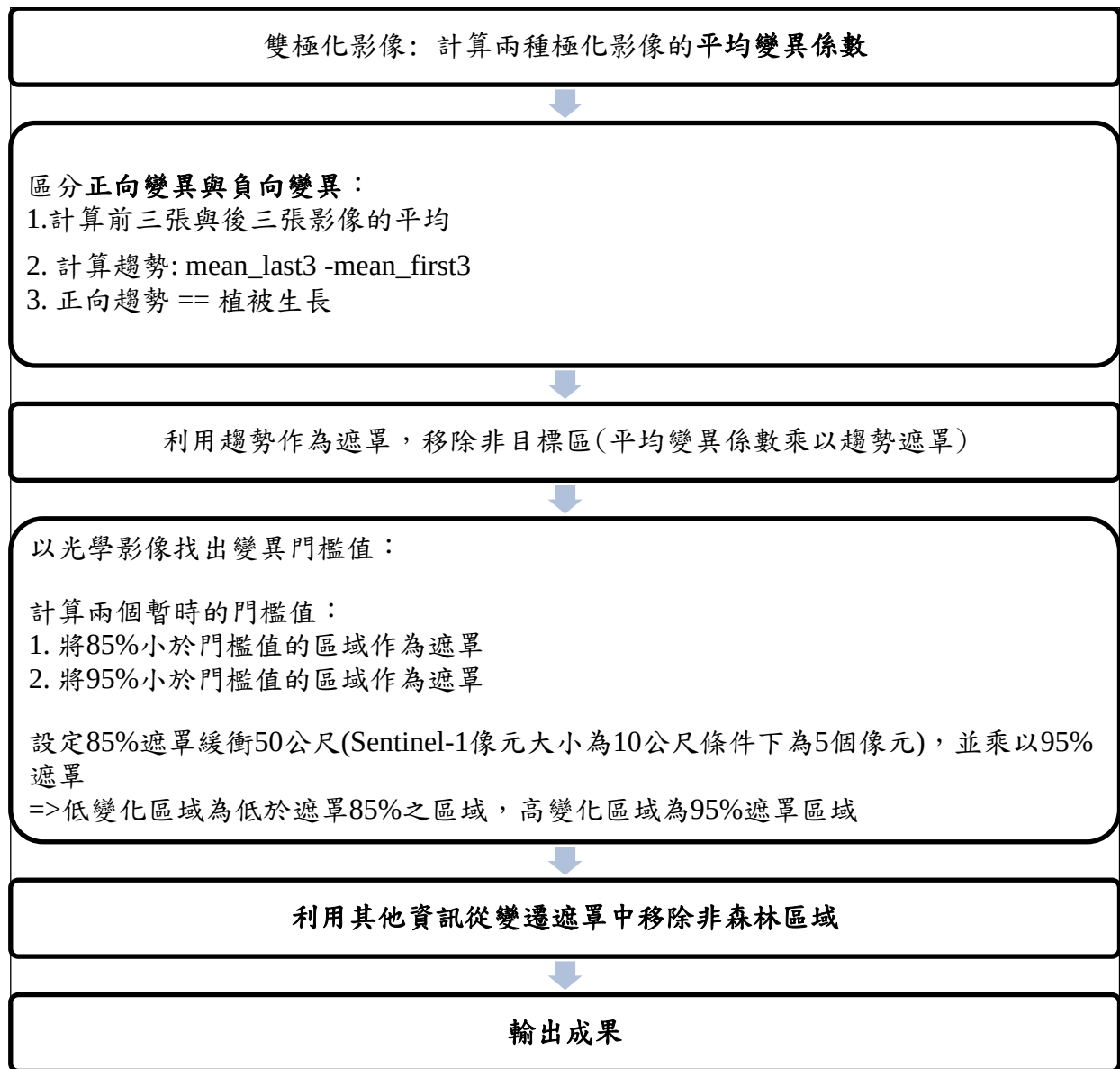


圖 2-3.1 多時期雷達影像對剛果共和國濕熱帶地區森林變遷的偵測流程圖 (Deutscher et al., 2017)。

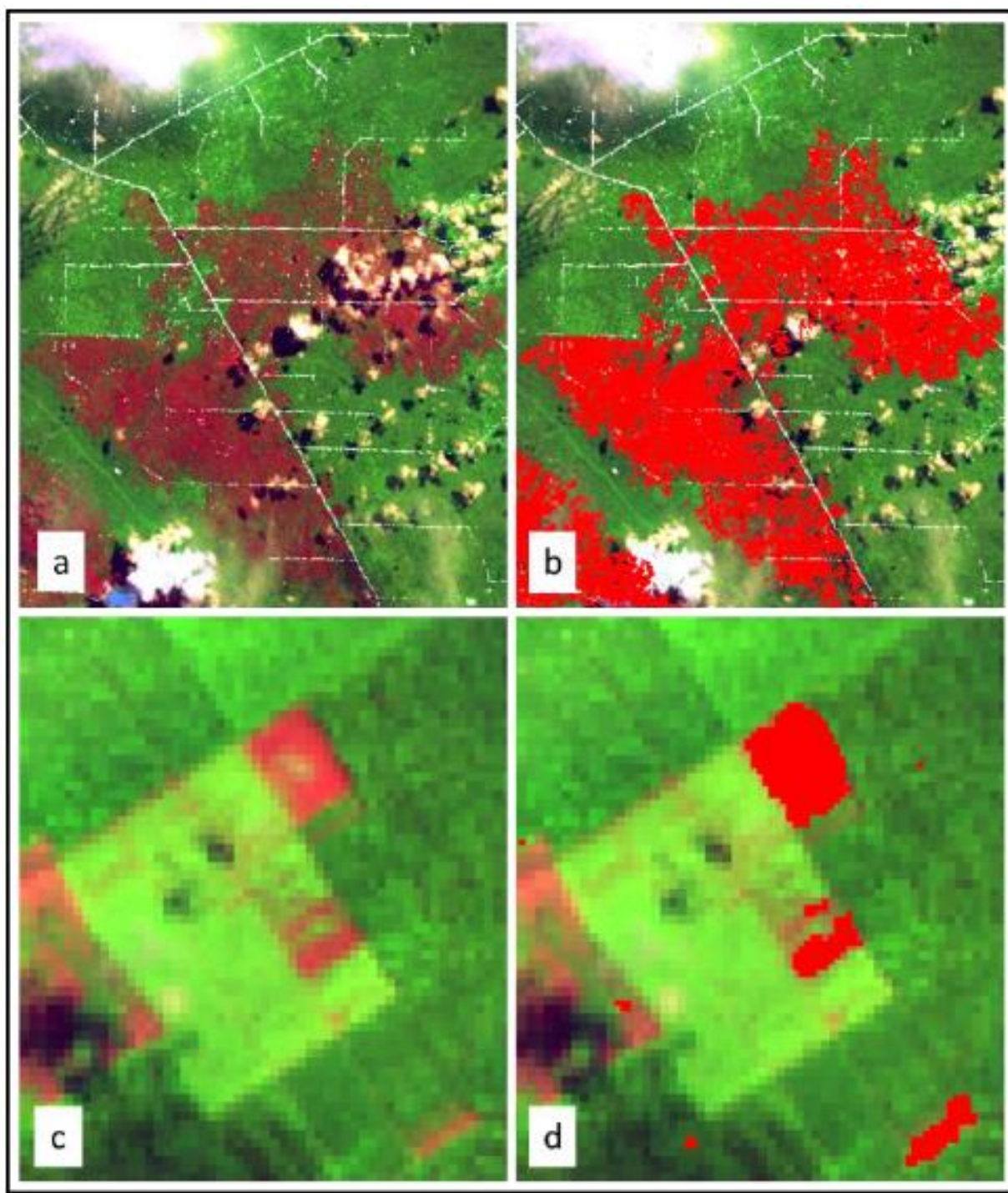


圖 2-3.2 多時期雷達影像對剛果共和國濕熱帶地區森林變遷的偵測成果
([Deutscher et al., 2017](#))

根據農航所提供的資料，我們選擇兩個近年來面積較大的林地火災案例與一個國外火災案例進行測試，包括：2016 年 4 月 9 日發生於大甲溪事業區的火災，災害面積 13.88 公頃；2018 年 11 月 8 日發生於美國加州的火災，災害面積 6.2 萬公頃。根據 [Deutscher et al. \(2017\)](#) 的研究方法，必須包含事件前後各多於 3 張的影像，該研究使用了超過一年約 11 張的 Sentinel-1 的影像進行分析，然而在四季變化明顯的區域，植被在季節的變化太大，時間太長會受到區域植被本身變化的干擾，因此在初步測試的案例中，每個事件前後各取 4 張影像，共 8 張影像進行分析，影像資訊如表 2-3.1 所示。

表 2-3.1 火災偵測事件 SAR 影像列表

事件	衛星	軌道方向	影像種類	數量	時間範圍
2016 年 4 月 9 日發生於大甲溪事業區的火災	Sentinel-1	升軌	GRD IW VV/VH	8	2016/01/9-2016/06/13
2018 年 11 月 8 日發生於美國加州的火災	Sentinel-1	升軌	GRD IW VV/VH	8	2018/09/24-2018/12/17

根據 [Deutscher et al. \(2017\)](#) 的研究，林地變遷是根據影像對的變異係數與背向散射係數的變化趨勢來進行分析，接下來會參考 [Deutscher et al. \(2017\)](#) 的研究所提供的研究方法與參數進行處理。

1. 輻射校正：根據提供之 DEM（臺灣地區使用 5m DEM，其他地區使用 SRTM DEM）進一步校正地形起伏對雷達影像的影響，轉換為 gamma naught。
2. 多視處理：以多視處理將影像處理為 20 m x 20 m。
3. 斑駁濾波：每幅影像單獨進行視窗 3x3 的 Frost filter，以降低雜訊。
4. 套疊：將多張影像套疊至事件前最短時間之影像作為主影像，形成影像範圍與網格大小一致的影像對。
5. 多時期斑駁濾波：以視窗 3x3 的 Frost filter 進行多時期濾波，進一步降低雜訊。
6. 計算影像統計值：最小值/最大值/平均值/標準差/變異係數/背向散射係數趨勢。
7. 地形校正：在臺灣地區使用 5m DEM 進行地形校正，其他地區使用預設之 SRTM DEM 進行地形校正，將影像轉換為地理坐標（WGS 84）。

8. 林地變遷偵測：偵測原則為高變異係數與背向散射係數趨勢是負值的區域，代表植被移除之區域，處理流程參考圖 2-3.1。

(一) 2016 年 4 月 9 日發生於大甲溪事業區的火災

2016 年 4 月 9 日於臺中市和平區武陵地區發生的火災，發生於高度約 2300 公尺，被害樹種為臺灣二葉松林與乾枯草，火災於 10 日 17 時獲得控制，11 日進行殘火整理，火災面積約 13.88 公頃（圖 2-3.3）。



圖 2-3.3 2016 年 4 月 9 日大甲溪事業區的火災前後的光學影像

臺中大甲溪事業區火災的偵測是以 Sentinel-1 2016 年 1 月至 6 月之間 8 幅影像，根據前述的分析流程進行處理，結果如圖 2-3.4，火災區域在平均變異係數與背向散射係數趨勢上，都沒有特別的差異，因此無法有效辨識火災的區域。

本案例的火災面積約 14 公頃，是 2014 至 2018 年間第二大面積的火災事件，遠大於 Deutscher et al. (2017) 研究中可以偵測的 0.5 公頃，但卻無法有效辨識出火災的區域。這可能是由於從光學影像的資料就顯示火災區域在事件前後並沒有太大的植被變化（圖 2-3.3），在地物特性沒有太大變化的情況下，雷達影像的分析方法也無法偵測到明顯的變異性。圖 2-3.5 為火災區域的雷達影像的時間序列，結果也顯示該區域並沒有太大的變異性。

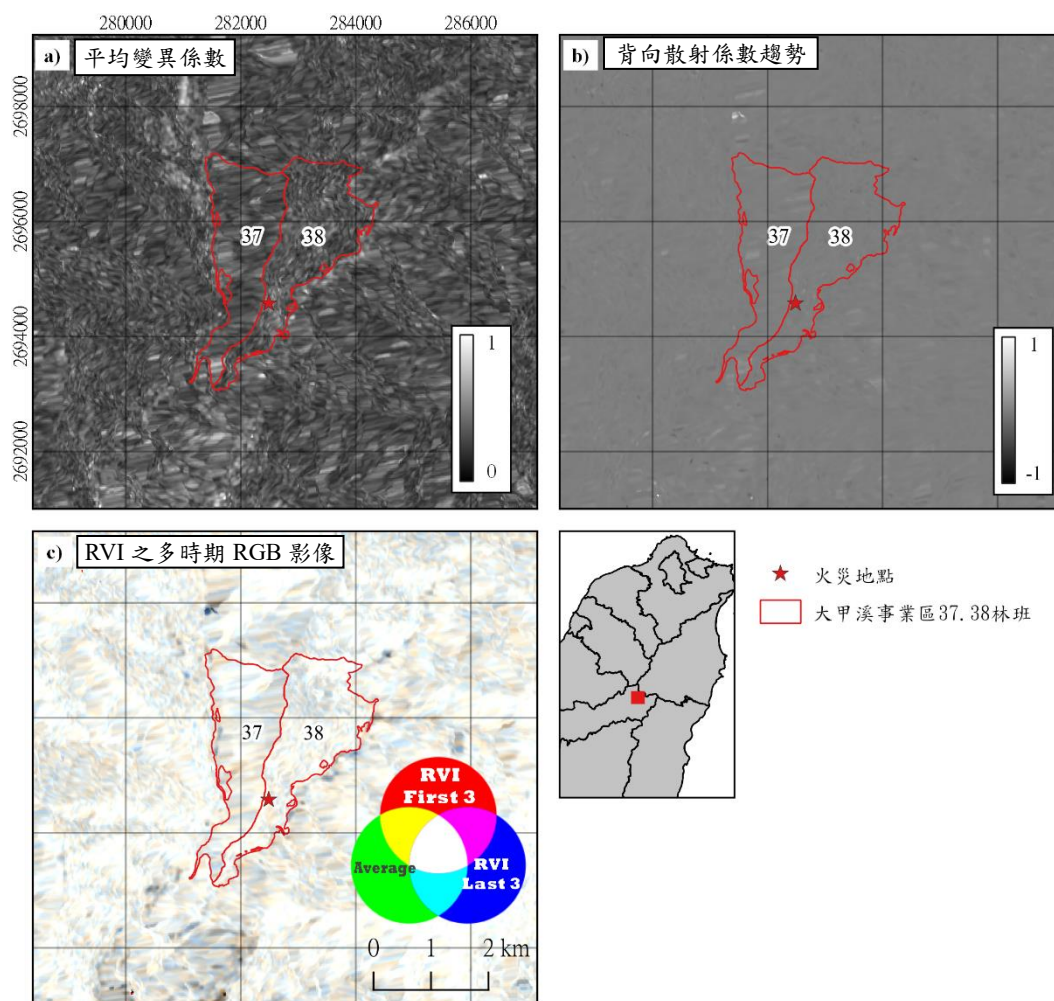


圖 2-3.4 2016 年 4 月大甲溪事業區火災偵測結果

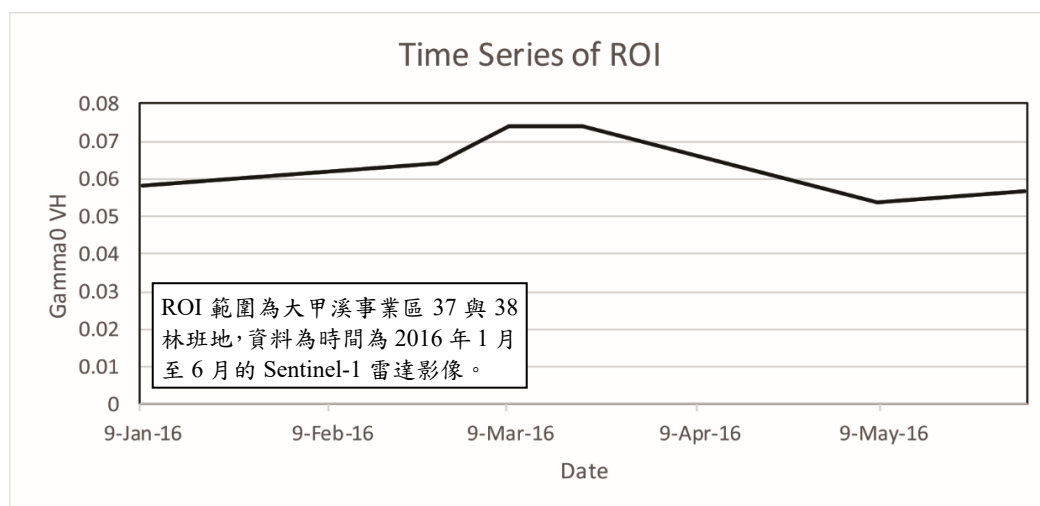


圖 2-3.5 大甲溪事業區雷達影像 ROI 的時間序列

(二) 2018 年 11 月 8 日發生於美國加州的火災

這場火災稱為加州營溪大火，是加州歷史上最嚴重的火災，發生於 11 月 8 日，大火造成至少 85 人死亡，火場面積約 6.2 萬公頃（圖 2-3.6）。

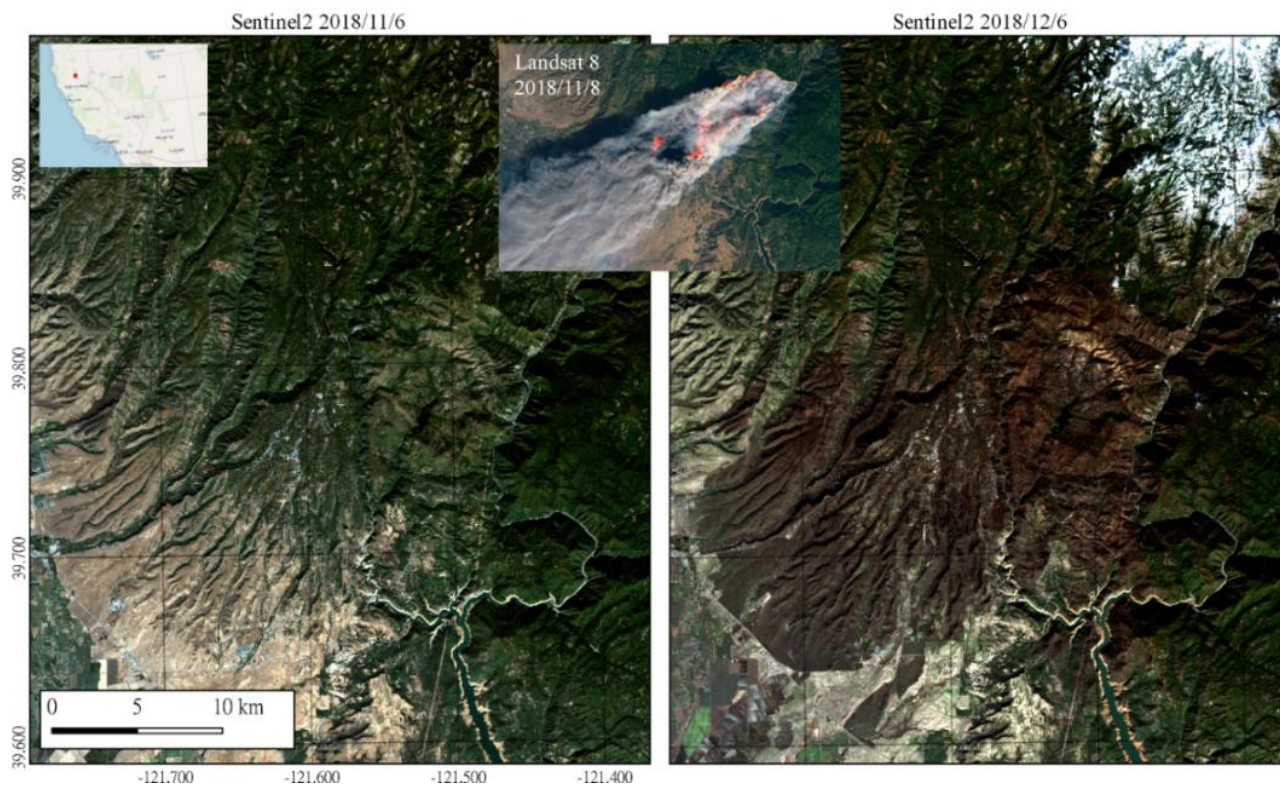


圖 2-3.6 2018 年美國加州營溪火災事件過程的光學影像（Sentinel-2 與 Landsat-8）

美國加州火災的偵測是以 Sentinel-1 2018 年 9 月至 12 月之間 8 幅影像，根據前述的分析流程進行處理，結果如圖 2-3.7，a) 所有影像的平均變異係數，代表這時間內，每一個像素的變異性，數值越高代表這段時間的變化越大；b) 以這段時間前三張影像與最後三張影像的平均，計算得到的背向散射趨勢，正值代表的植被生長的區域，負值指示植被被移除的區域；c) 根據平均變異係數、背向散射趨勢，再比對光學影像的火災範圍（圖 2-3.6），可以照圖 2-3.1 找出火災對植被影響的區域（紅色）；d) 利用火災造成 RVI 變化的概念，以 RVI 多時 RGB 影像呈現火災的區域（紅色系）。

本案例分析結果與 Deutscher et al. (2017) 研究的差異，除主要發生火災區域，有更多非火災區域也被指示出來，可能是由於 Deutscher et al. (2017) 的研究區域屬於地物與變化都相對單純的熱帶森林區域，如果沒有火災、砍伐，森林

不會有太大的變化，因此變遷偵測較為明確。然而本案例所在的都會區或鄉村會有較多且複雜的變化形態，包括農地栽種、灌溉、低植被的灌木生長...等，這些情況多少都會造成雷達訊號的變異，也會造成火災變遷偵測的誤判。

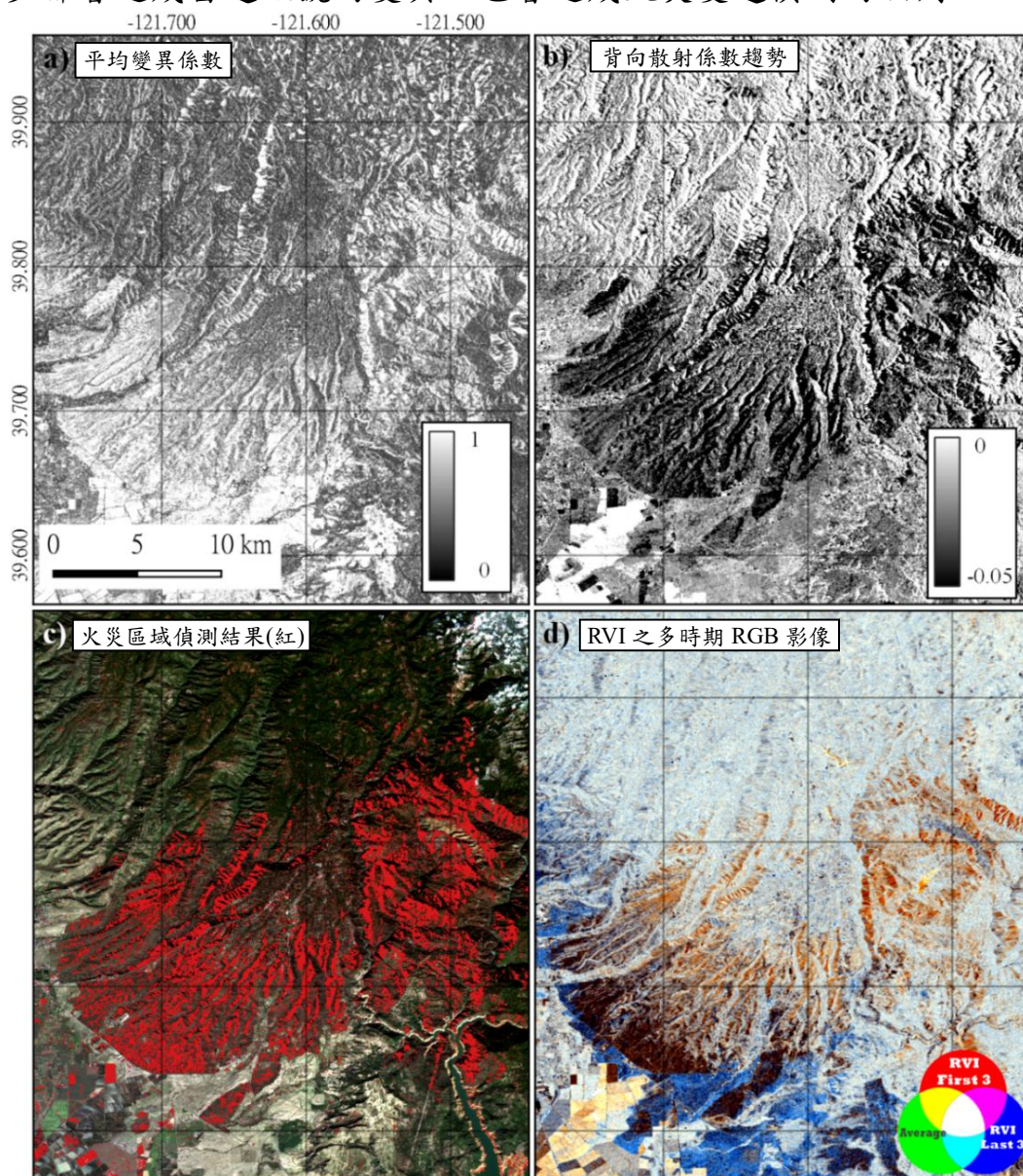


圖 2-3.7 2018 年 11 月加州火災偵測結果

四、 偏移偵測法在雷達影像上的應用

淹水、崩塌、火災後的植被改變，這些地表特徵變化明顯，有機會藉由多時期雷達影像來進行變遷的分析與偵測。但對於那些地表有位移，但並沒有造成地物特徵明顯改變的事件，可藉由合成孔徑雷達干涉（D-InSAR）或次像元相關法（Subpixel correlation）來進行分析。

雖然 D-InSAR 技術為現今普遍的地表變形偵測技術，但數公尺級的變形已經超過其波長相位變化可以偵測的範圍，且若變形方向平行衛星飛行方向，或與衛星飛行方向夾較小的角度，則不容易偵測出來。

這種情況可以藉由次像元相關法，或稱為偏移偵測法（Pixel-offset, PO），來進行分析，它可以偵測到約 1/10-1/20 像元大小的水平位移量（Yaseen and Anwar, 2013），其原理概略是將影像數值分布視為波函數，計算前後影像的二維的交叉相關（cross-correlation）（式 2-12），來得到其相關性與偏移量。

$$\rho = \frac{|\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (m_{i,j} - \mu_m)(s_{i,j} - \mu_s)|}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (m_{i,j} - \mu_m)^2 \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (s_{i,j} - \mu_s)^2}} \dots\dots\dots \text{式 2-12}$$

每次計算都會取兩張影像的計算視窗 I_M 與 I_S ，視窗的大小為 $M \times N$ ， $i \in \{1, 2, \dots, M\}$ ， $j \in \{1, 2, \dots, N\}$ ， $m_{i,j}$ 與 $s_{i,j}$ 是影像中 (i, j) 位置的數值， μ_m 與 μ_s 則為視窗內容的平均值。視窗會在每個方向上進行計算，最終會得到相關性平面的極值來決定偏移的方向與偏移量。

2018 年 9 月印尼蘇拉威西規模 7.5 的地震，造成近乎南北向的斷層錯動，而南北向的位移與衛星飛行方向相近，不容易藉由 D-InSAR 來分析，Valkanotis et al. (2018) 利用光學影像以偏移偵測法得到了近斷層的南北向水平錯動幾乎可以到達 3-5 公尺（圖 2-4.1）。在東西方向的整體的水平位移並沒有太大，但有局部區域的數值相當高，可達向西 14 公尺，它對應到的是發生同震山崩與重力滑坡的區域（圖 2-4.2）。這表示偏移偵測法有能力在山崩事件進行偵測。

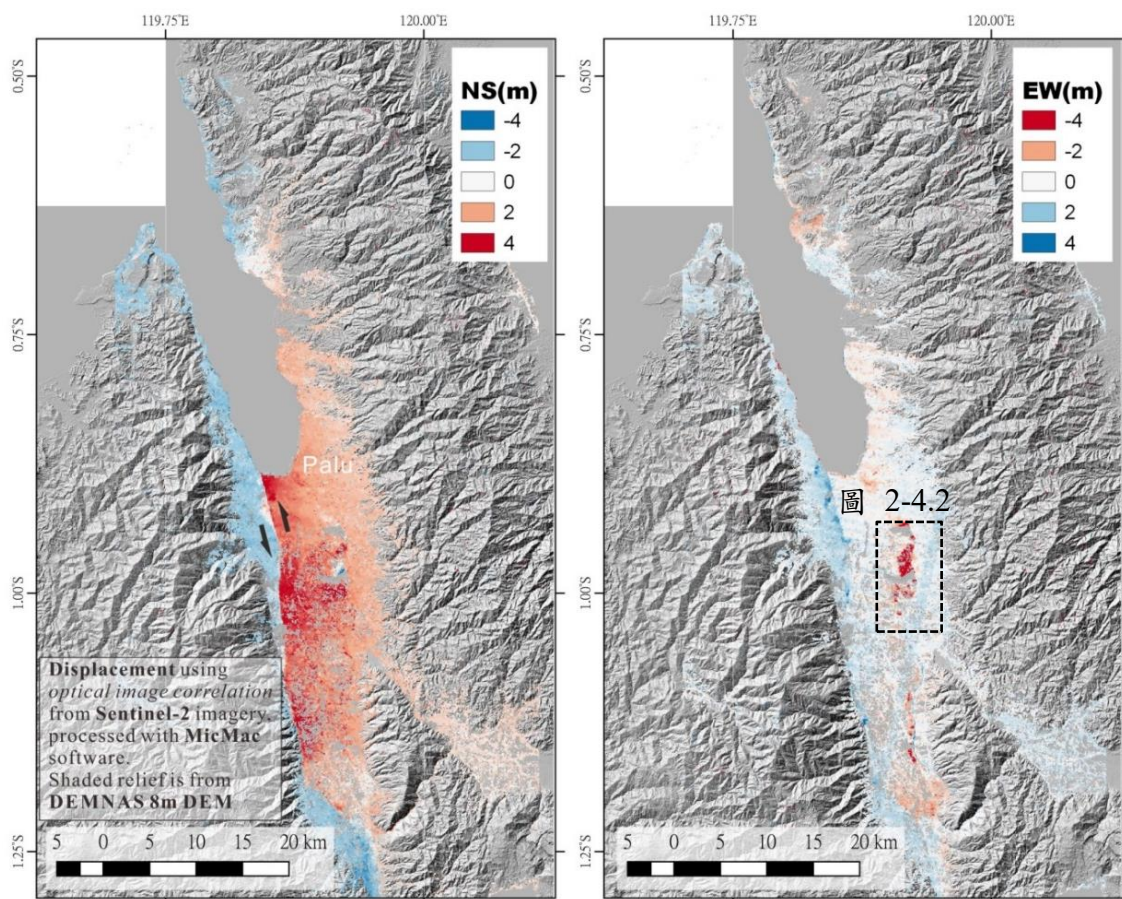


圖 2-4.1 偏移偵測法分析 2018 年 9 月印尼地震的水平位移場

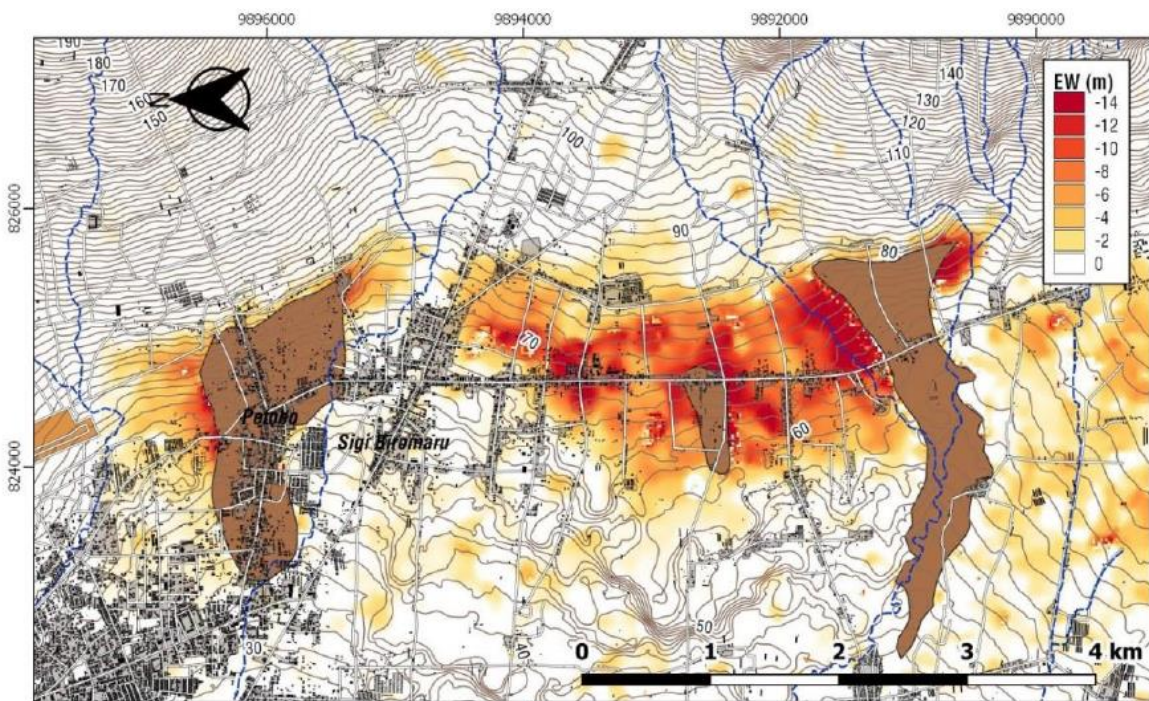


圖 2-4.2 印尼 Palu 東方山谷的地表變形場 (Valkaniotis et al., 2018)

利用雷達影像以偏移偵測法進行變遷偵測的概念與光學影像相似，都是在偵測兩幅影像之間灰階數值的相關性，找出哪個方向、偏移多少會有最大相關性，藉此來計算偏移量。但雷達影像需要考慮斑駁雜訊造成的干擾、影像空間解析度的不同及套疊 (Coregistration) 是否正確。相較於光學影像，則有不受日夜、天候與雲霧干擾的特性等優勢。Wang et al. (2016) 利用 2011 年 5 月 9 日與 8 月 19 日的 UAVSAR (Uninhabited Aerial Vehicle Synthetic Aperture Radar) 影像，對美國科羅拉多州斯拉姆古利恩滑坡 (Slumgullion Slide) 進行分析，UAVSAR 的像元大小為 0.6 m X 1.67 m (Azimuth X Range)，可以偵測到相當小的變形，由 2011-08-19 至 2012-05-09 期間的水平變形量可以估算活動速率約 1.6-10.9 mm/day (圖 2-4.3)。

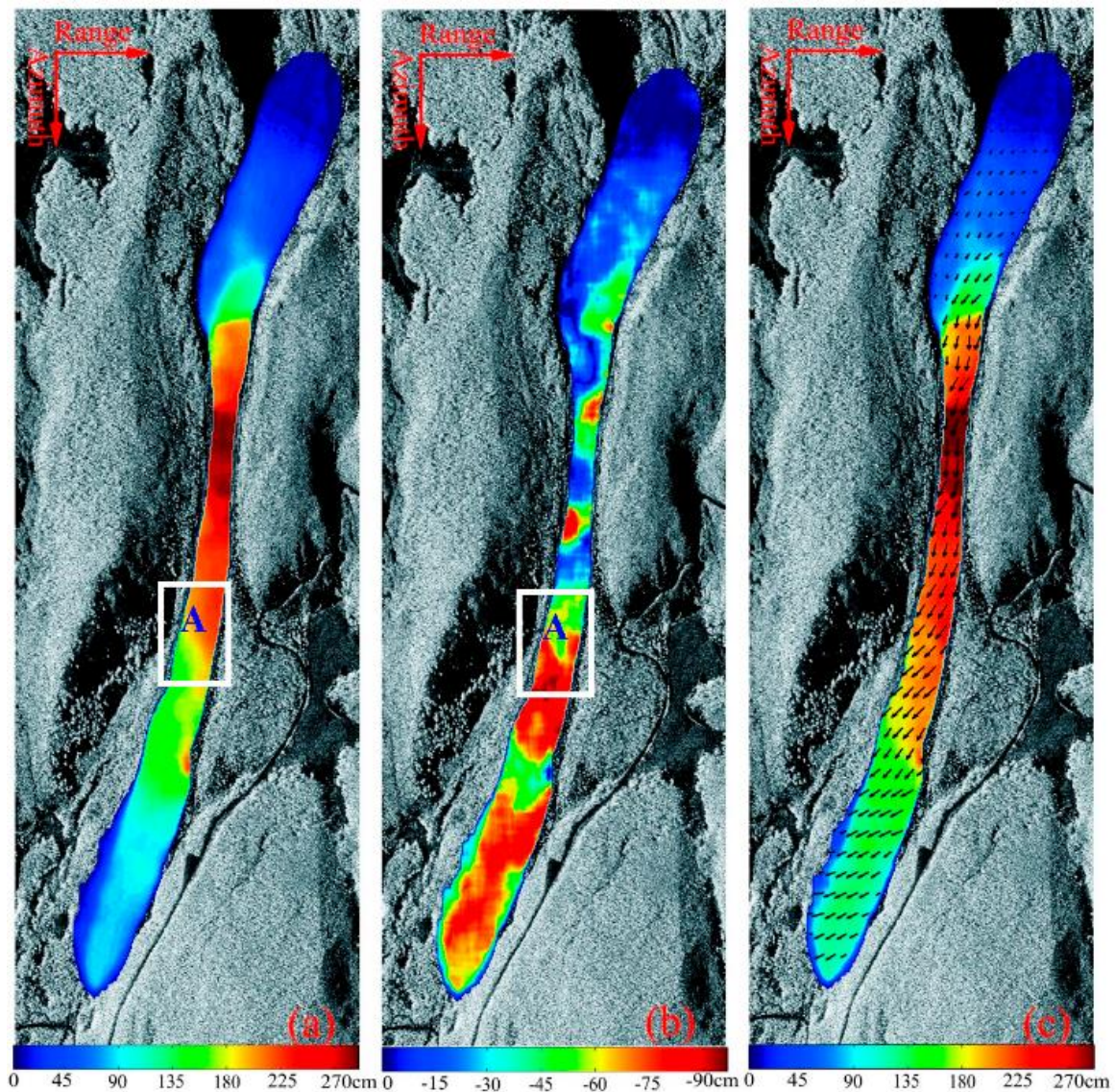


圖 2-4.3 美國科羅拉多州斯拉姆古利恩滑坡的水平位移場 (Wang et al., 2016)

由於未能找到臺灣適用於偏移偵測法的分析案例，因此我們選擇去年的國外案例進行測試，包括：2018 年 9 月印尼蘇拉威西規模 7.5 的地震與 2018 年 9 月日本北海道規模 6.6 地震。

分析的流程主要包括 SAR 影像的前處理、影像套合、地形校正與偏移偵測，SNAP 軟體處理 SAR 影像的前處理、影像套合與地形校正後，利用 QGIS 將用來計算的前後事件影像格式轉換為 GTiff，再根據 Rosu et al. (2015) 針對偏移偵測的軟體分析的結果，以開源軟體 MicMac 進行偏移偵測。分析的步驟如下：

1. 輻射校正：根據 5m DEM 進一步校正地形起伏對雷達影像的影響，轉換為背向散射係數影像。
2. 多視處理：以多視處理將影像處理為 10 m x 10 m 網格大小。
3. 斑駁濾波：每幅影像單獨進行 Refined Lee filtering，以降低雜訊。
4. 套疊：將影像套疊至事件前的影像，形成影像大小與像元大小一致的影像對。
5. 地形校正：使用 5m DEM 進行地形校正，將影像轉換為地理坐標。
6. 轉換影像格式：SNAP 軟體處理的預設影像格式為 ENVI (img 與 hdr)，影像的數值是 Float32，需進行數值與格式轉換，提供 MicMac 可以處理的影像格式，以進行偏移偵測計算。轉換的軟體為 QGIS，數值格式轉換為 UInt16，數值比例縮放到 0~65535，將影像格式轉換為 GTiff 格式。
7. MicMac 軟體計算偏移：MicMac 是以指令模式進行分析的軟體，其中 MM2DPosSism 為計算兩幅影像交叉相關偏移的模組，只要存為 BAT 檔，即可執行，程式碼如下：

```
set im1=beforeEvent.tif
set im2=afterEvent.tif
set W=9

mm3d MM2DPosSism %im1% %im2% SzW=%W%
```

8. 影像後處理：MicMac 所輸出的影像不包含地理坐標，數值的正負的方向為影像坐標的方向，並非地理坐標的方向，數值的大小代表偏移了多少像素。我們利用 R 語言進行處理，將結果轉換為地理坐標，數值代表向東與向北的偏移，程式碼如下：

```

#匯入函數庫
library(rgdal)
library(raster)

#設定工作目錄
setwd(choose.dir())

#選擇具有坐標系統的參考影像
reffile <- choose.files()

#設定分析結果的資料夾
CASE <- "MEC"

#設定x方向,y方向偏移影像與相關性影像檔名
xfile <- paste0(CASE,"\\Px1_Num6_DeZoom1_LeChantier.tif")
yfile <- paste0(CASE,"\\Px2_Num6_DeZoom1_LeChantier.tif")
corrfile <- paste0(CASE,"\\Correl_LeChantier_Num_5.tif")

#輸入影像
refimg <- raster(reffile)
xdisp <- raster(xfile)
ydisp <- raster(yfile)
corr <- raster(corrfile)

#設定pixel size
pixelsize <- 10

#修正坐標與偏移數值的正負
extent(xdisp) <- extent(refimg)
extent(ydisp) <- extent(refimg)
extent(corr) <- extent(refimg)
crs(xdisp) <- crs(refimg)
crs(ydisp) <- crs(refimg)
crs(corr) <- crs(refimg)
xdisp <- (xdisp)*pixelsize
ydisp <- ((ydisp)*-pixelsize)

#輸出檔案
writeRaster(xdisp,'xdisp.tif','GTiff',overwrite=TRUE,NAflag=NaN)
writeRaster(ydisp,'ydisp.tif','GTiff',overwrite=TRUE,NAflag=NaN)
writeRaster(corr,'corr.tif','GTiff',overwrite=TRUE,NAflag=NaN)

```

(一) 2018 年 9 月印尼蘇拉威西規模 7.5 地震

2018 年印尼地震前後恰好有光學影像與雷達影像，可以作為偏移偵測法的比對。本案例使用 L 波段 ALOS2 HH 極化影像作為分析，影像時間為 9/17 與 10/12，軌道方向為升軌。

圖 2-4.4 為雷達影像進行偏移偵測的位移結果，南北向的位移場顯示了斷層兩側的相對位移，與光學影像分析的結果相當匹配，而東西向的位移場在斷層兩側的相對變化並沒有光學影像（圖 2-4.1）分析的結果明顯，但由於這次地震事件的機制是約略南北向的走向滑移，斷層兩側東西向的相對變形本來就較少，加上雷達影像具有斑駁雜訊的特性，因此造成東西方向的變形偵測結果不佳。

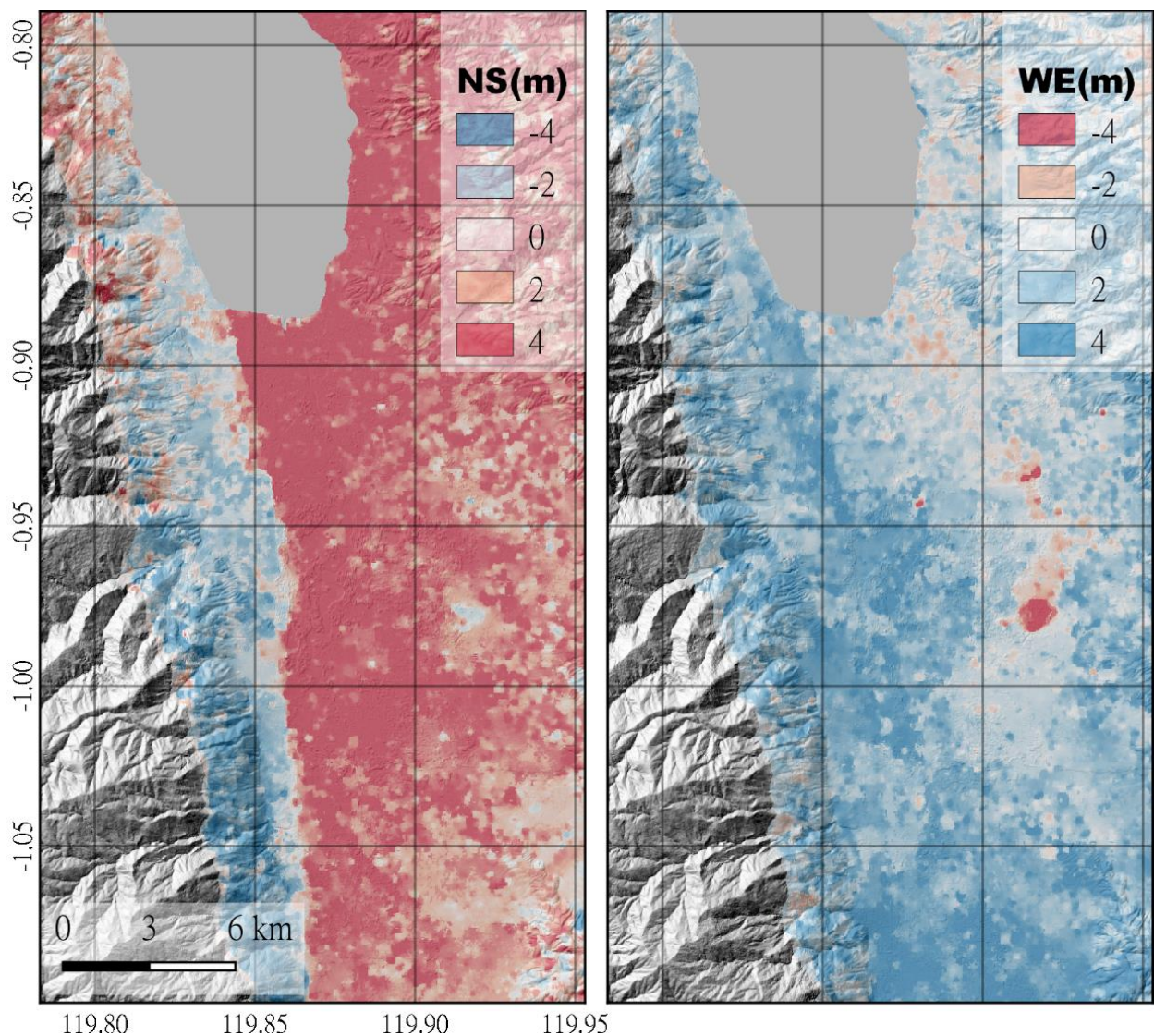


圖 2-4.4 雷達影像的偏移偵測結果：2018 年 9 月印尼地震水平位移場

偏移偵測的結果除了顯示了斷層兩側的相對位移，東西向位移場指出有局部地區有相當大的位移場，這些區域可以與山崩發生的地點做為比對（圖 2-4.2 與圖 2-4.5）。這些區域有相當大的向西位移，與地形上山崩的運動方向一致。光學影像的偏移偵測結果顯示最大位移可以達到 14 公尺，而雷達影像的偏移偵測結果顯示最大約 8 公尺，差異可能來自於影像解析的不同，或者是雷達影像斑駁雜訊在分析過程的平均化。雖然這些異常大位移的區域能與山崩發生的區域匹配，但相當特別的是這些顯示有相當大位移的區域，影像的相關性都是都非常低（圖 2-4.5）。在偏移偵測分析當中，相關性的資訊用來篩選可信賴的區域，相關性越高，代表相同地物的可能性越高，所計算得到的位移數值的可信度越高，而相關性越低，代表在兩張影像中的訊號差異相當大，是相同地物的可能性越低，所得到數值的可信度越低。通常大型山崩以後，鄰近區域的地物特性會有明顯變化，因此事件前後影像的相關性較低，雖然偏移偵測的演算可以顯示這些低相關性的大型山崩區域，但如何與其他不可信賴的低相關性區域有所區分卻是個問題。

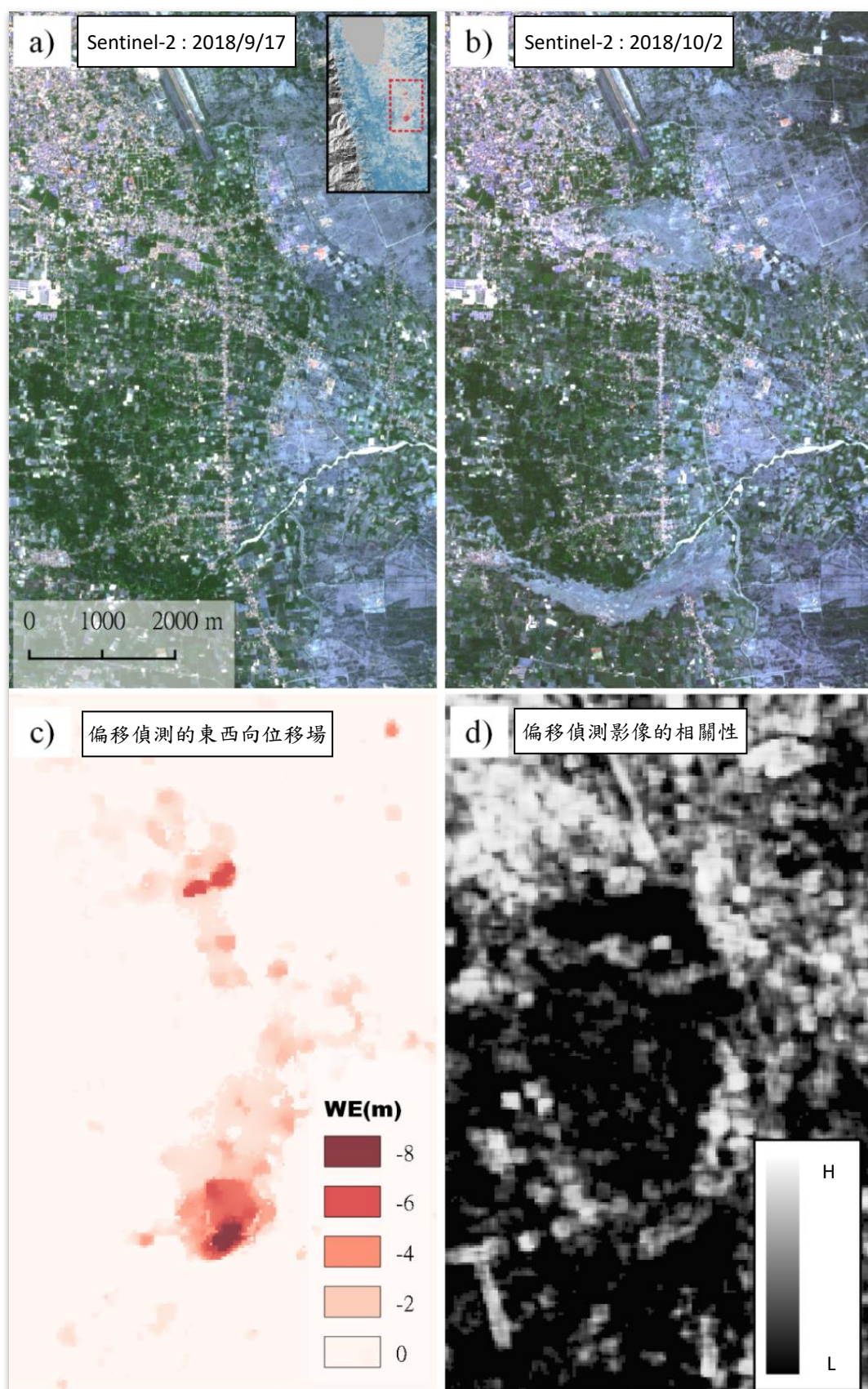


圖 2-4.5 印尼 Palu 東方山谷的山崩與雷達影像偏移偵測結果

(二) 2018 年 9 月日本北海道規模 6.6 地震

日本北海道於當地時間 2018 年 9 月 6 日清晨發生了規模 6.6 強震，接近震央的厚真町丘陵地一帶更發生大規模走山，崩塌面積約達 24 平方公里（圖 2-4.6）。本案例使用 C 波段 Sentinel-1 VV 影像進行分析，影像時間為 2018 年 8/24 與 9/5（UTC+0），軌道方向為降軌。

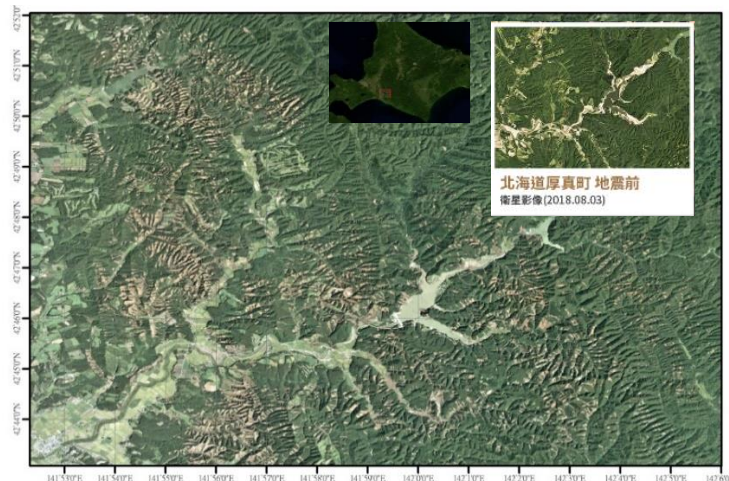


圖 2-4.6 日本北海道厚真町地震後 Planet Labs 衛星（鴿子衛星）影像（2018/09/11）

分析的結果顯示出這些位移量異常大的區域與山崩發生的位置相當吻合，但這些區域的影像相關性非常低（圖 2-4.7）。

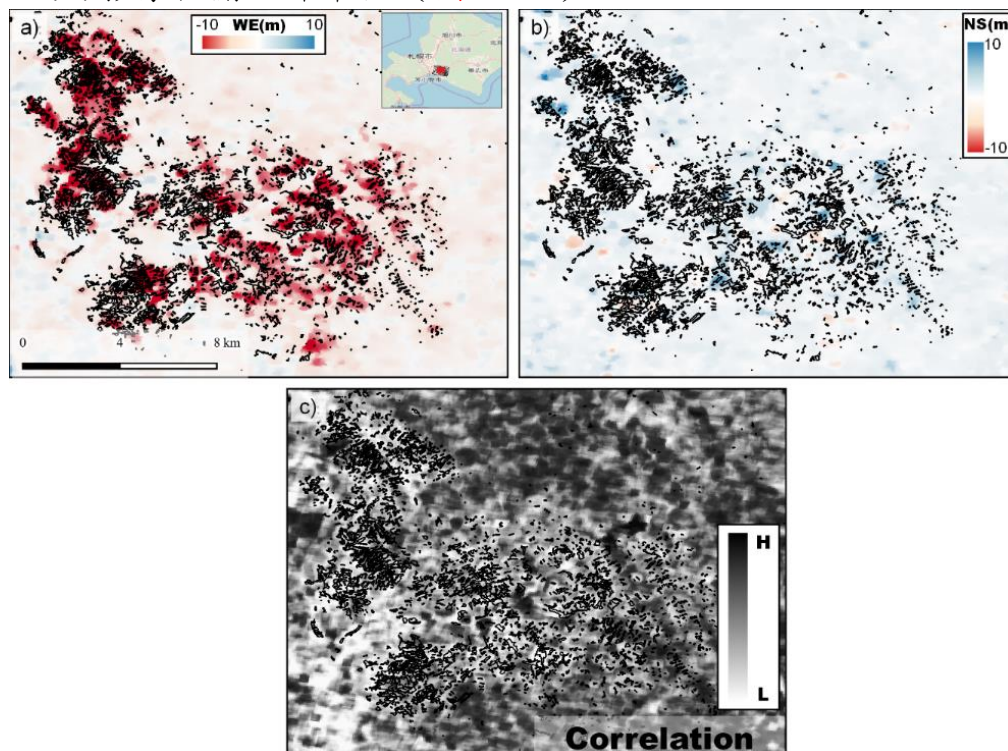


圖 2-4.7 日本北海道地震後山崩區域與雷達影像偏移偵測結果

日本北海道地震案例的分析結果與印尼的案例相似，偏移偵測在山崩區域都會顯示較大的偏移數值，但從相關性來看，這些數值計算背後的相關性非常低，可能不能代表實際山崩的真正偏移量。目前推測可能是由於山崩地點在兩張影像中差異太大，已經沒有甚麼相關性，然而山崩前的山崩地點與山崩後周圍地物卻可能有較高的相關性，偏移偵測的演算所計算的是山崩區域至周圍高相關性區域的偏移距離。另外在這些山崩區遇有許多是向東的坡向，但偏移偵測結果卻顯示位移向西，推測可能是由於向東崩落的區域較為凌亂，與原來地物的特性並沒有良好的相關性，反而是山崩區西側會有較高相關性所造成。

偏移偵測法根據影像的解析力的不同，可以偵測的最小變形量也不同，大約為 1/10 像素的大小，以 10 公尺像素大小的 Sentinel-2 光學影像，可以解析約 1 公尺以上的變形，而處理為 20 公尺像素大小的 Sentinel-1 雷達影像，理論上可以解析約 2 公尺以上的變形，然而雷達影像的斑駁雜訊一定會造成分析結果在空間上的準確程度，可以信賴的變形量可能比 2 公尺更大，圖 2-4.7 的雷達影像偏移偵測結果顯示了這樣的現象，除了山崩區有相當大的變形數值之外，其他地區也有約略 -3~3 公尺的數值震盪，這些數值應該並非真正的變形量，這是使用雷達影像作為偏移偵測之依據需要注意的地方。

偏移偵測法在雷達影像或光學影像的初始目的在偵測兩張影像中相同地物的水平位移場，依據兩幅影像的相關性來找尋相同地物在兩幅影像上的影像區塊位置，分析其偏移方向與偏移量。但根據目前兩個案例的分析結果，異常大變形量與低相關性的區域，可以指示山崩發生的概略位置，但範圍都比實際山崩的範圍更大。這樣的結果顯示偏移偵測法可以偵測出山崩發生的位置，可作為山崩變遷分析的工具。

參、林地災害之雷達衛星影像分析判讀準則建立

根據胡植慶等人(2018)研究，雷達影像在淹水與崩塌災害中已具有一定的偵測能力，背向散射係數的差異可作為洪水溢淹的判斷指標(圖 3-0.1)，而具有雙極化的雷達影像，可以使用 RVI 差異可作為快速山崩判釋的指標(圖 3-0.2)。如果是使用單極化雷達影像，可藉由多時 RGB 影像以特定顏色突顯變異數值大的區域，作為快速山崩判釋的指標(圖 3-0.3)

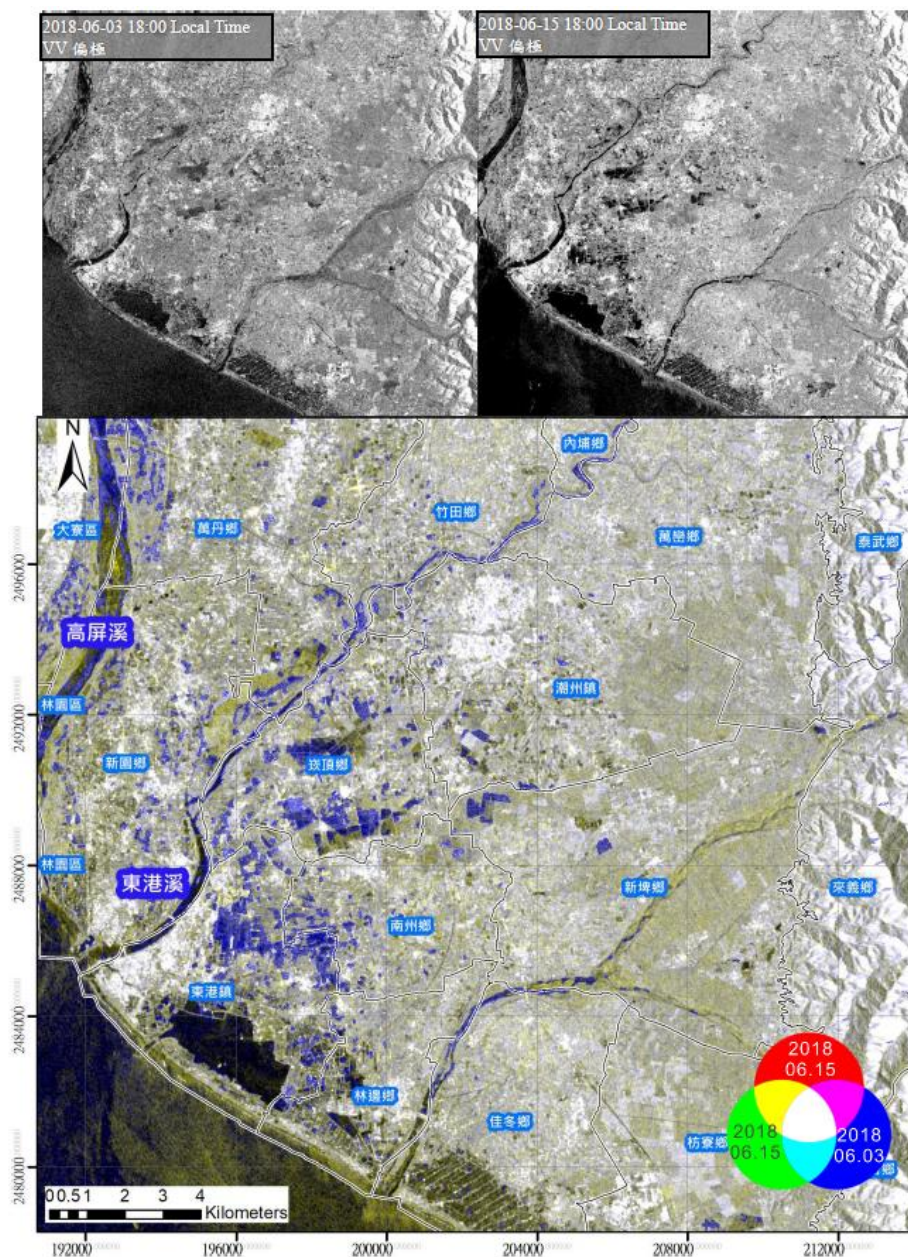


圖 3-0.1 2018 年 6 月 13 日豪雨屏東淹水雷達影像偵測結果，淹水區為藍色系區域

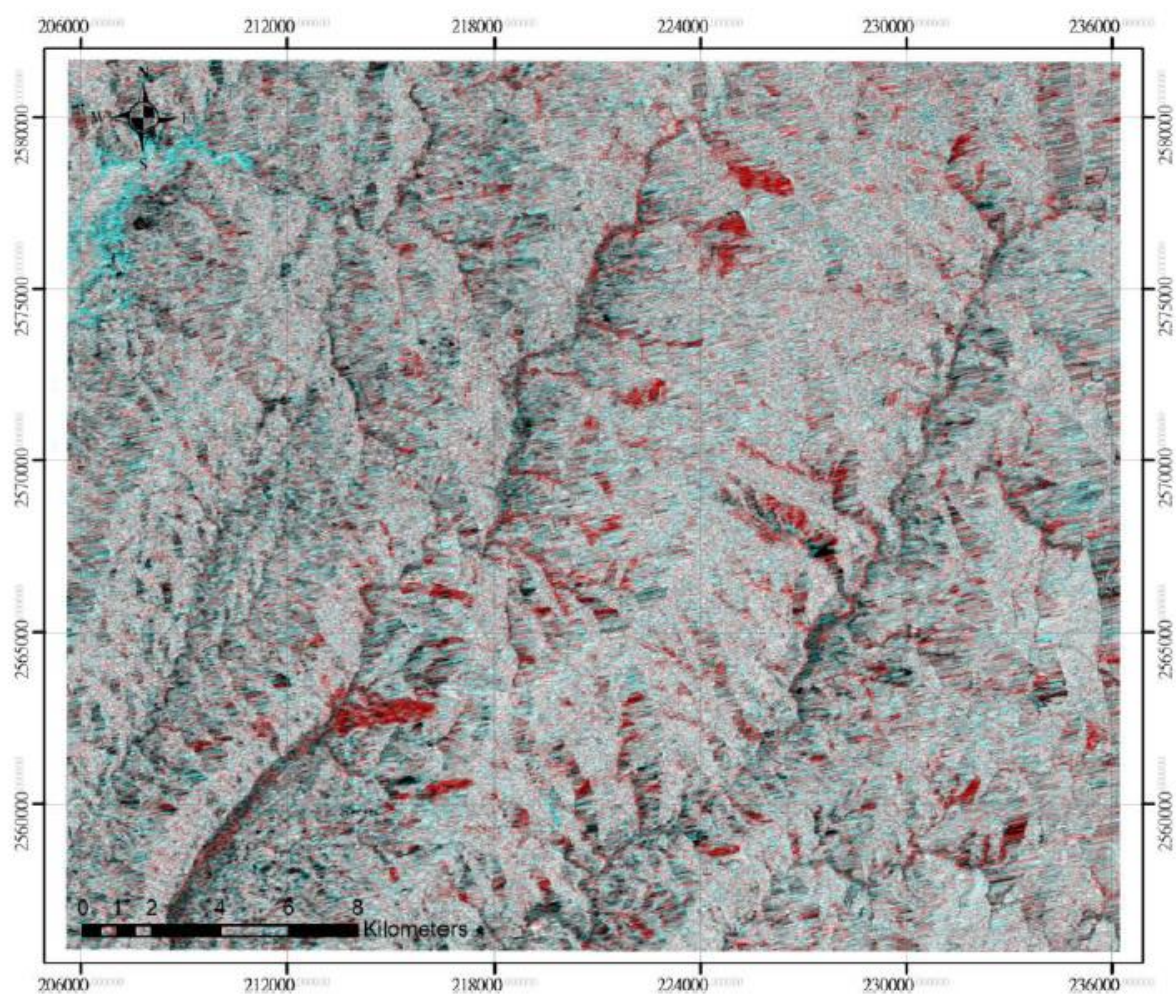


圖 3-0.2 2009 年莫拉克颱風臺灣西南部山崩偵測結果，山崩變異區則為紅色區塊範圍

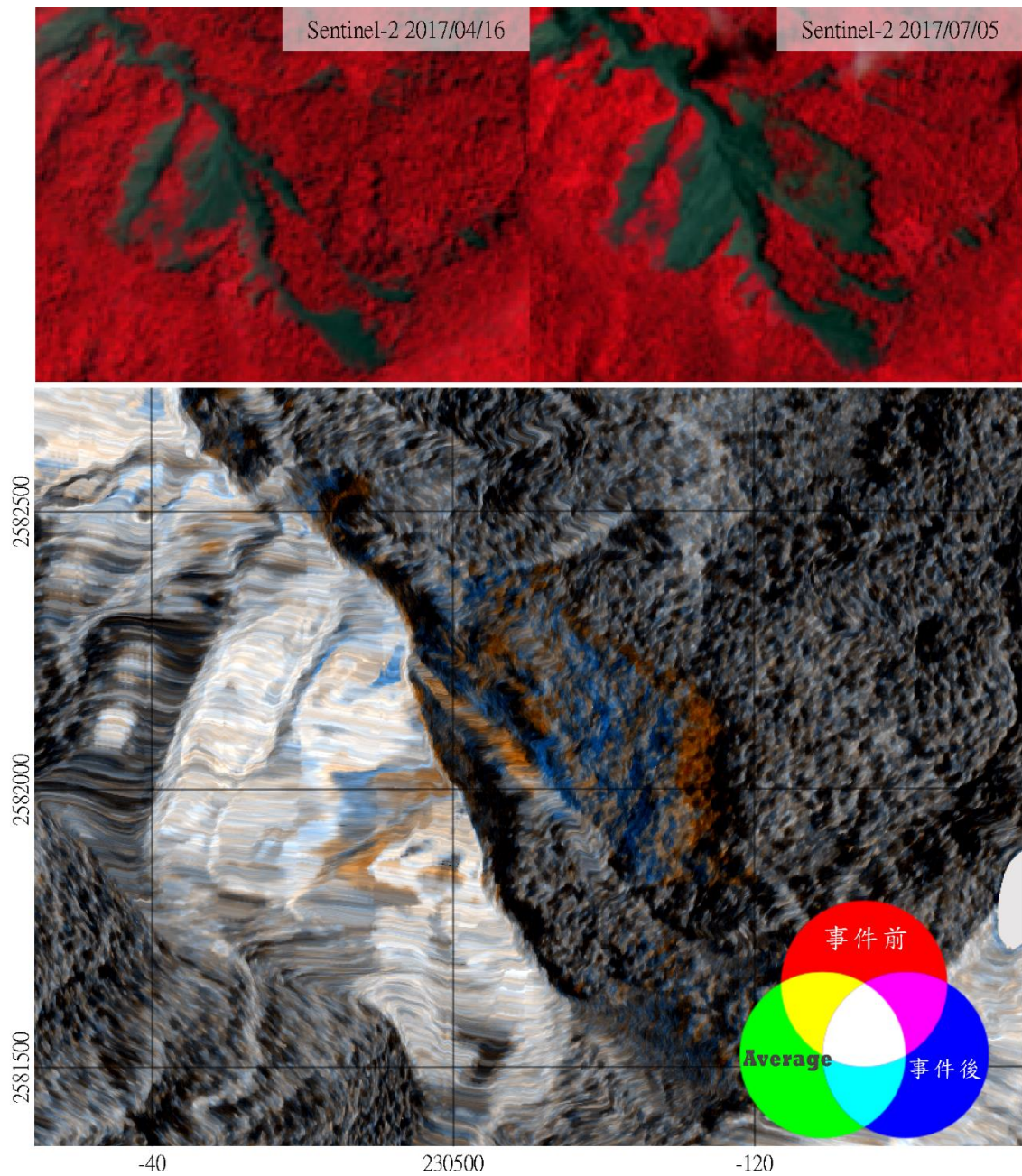


圖 3-0.3 2017 年 6 月豪雨後布唐布納斯溪集水區山崩偵測，坡地上偏紅與偏藍之區域為山崩發生之區域

表 3.1 林地災害之雷達衛星影像分析判讀準則

災害類型	分析方法	使用波段	建議使用衛星	使用指標	判釋原則	使用之軟體
淹水 (無風浪)	水體區域變化	L>C>X	Sentinel-1	HH>VV	1) 將事件前設為藍色，事件後設為綠色與紅色之 RGB 影像中藍色系之區域。 2) 水體門檻數值約-10 dB	SNAP, GRASS-GIS
淹水 (有風浪)	水體區域變化	L>C>X	Sentinel-1	HV, VH	1) 將事件前設為藍色，事件後設為綠色與紅色之 RGB 影像中藍色系之區域。 2) 水體門檻數值約-10 dB	SNAP, GRASS-GIS
山崩	背向散射係數差異法	L>X>C	ALOS、 COSMO-SkyMed	$RVI > (HV, VH) > (HH, VV)$	1) 將事件前 RVI 設為紅色，事件後 RVI 設為綠色與藍色之 RGB 影像中紅色系之區域。 2) 將事件前影像設為紅色，事件後影像設為藍色，影像平均設為綠色之 RGB 影像中偏紅與偏藍系之區域。 3) 式 2-4 的 Moving Windows:19*19~25*25, 式 2-5 的門檻參數:1.5~2	SNAP, R-Language
山崩	常態化差異指標 (ND)	L>X>C	ALOS、 COSMO-SkyMed	HH, VV	ND>2 個標準差	SNAP, R-Language
山崩	偏移偵測	L>X>C	ALOS、 COSMO-SkyMed	HH, VV	低相關性與高位移的區域	SNAP, MicMac, R-Language

一、 淹水變遷偵測

水體對於雷達波有相當接近鏡面反射的行為，再加上側視雷達系統，可以回到衛星被接收到的回波能量非常低，雷達影像的背向散射係數數值分布當中，水體與其他地物訊號會有所區分（圖 3-1.1）。

因此，雷達影像的背向散射係數可作為水體判讀的指標，數值約小於-10 dB，而不同的影像會略有差異，界定的門檻須根據影像的數值分布再進行分析。透過水體區域的變遷分析，可以在颱風或豪雨後的短時間內，取得一定程度的淹水災情資訊，以提供緊急應變。但實際應用上，長波長 L 波段的合成孔徑雷達影像會比短波長的 X 波段，更容易克服惡劣天候當中水氣干擾與水面起伏粗糙度的影響；平行極化影像比起交叉極化影像，有更高的水體分辨率。但具波浪的水面，會造成水體背向散射係數變化的干擾，這種情況下，使用交叉極化影像分析可降低水表面波浪造成的訊號差異干擾。

開闊地形中水體在雷達影像為低回波訊號的區域，但有幾個原因會造成回波的增加，例如：風和雨滴造成的水面波動、植被覆蓋或是密度較高的建物造成的二次反射效果等，這些區域並不容易從雷達影像中進行淹水辨識。

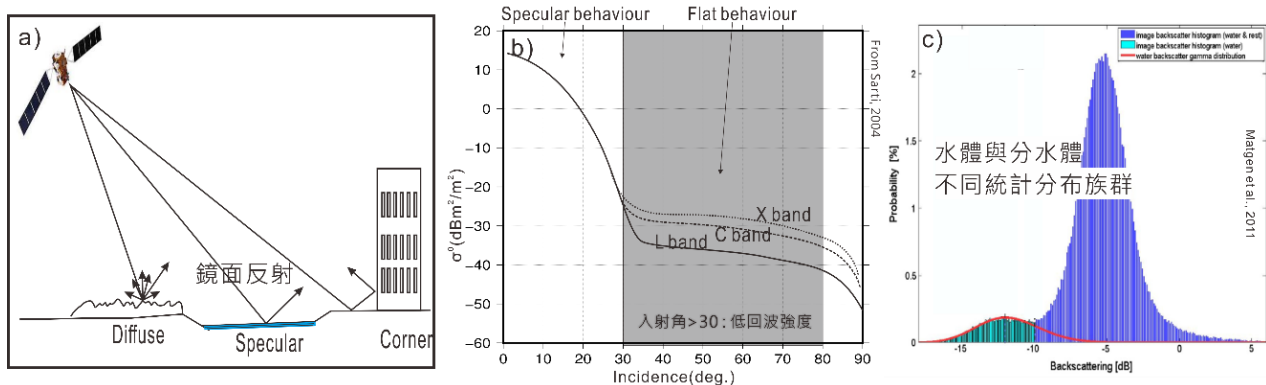


圖 3-1.1 雷達影像在水體辨識上的特徵（邱俊穎等人，2019）

胡植慶等人 (2018) 以 Sentinel-1 VV 雷達影像分析 2015 年臺灣曾文水庫在梅雨前後的水體變化，建構合成孔徑雷達淹水辨識標準處理流程，包括輻射校正、斑駁濾波與地形校正，並配合理論雷達陰影區與 HAND (Height Above the Nearest Drainage) 區等資訊，以降低假訊號的干擾，提高辨識準確度。結果顯示水體變化的辨識精確性：F1-Measure 與 Kappa 為 84.9%與 84.12%。2009 年 8 月莫拉克颱風在臺東太麻里溪形成之堰塞湖，以 ALOS 7/8 與 8/23 HH 雷達影像進行分析，辨識颱風豪雨後山區可能存在的堰塞湖。經過與航照辨識的堰塞湖作比較，雷達影像對堰塞湖目標判釋辨識的精確性：F1-Measure 與 Kappa 為 71.0%與 70.7%。誤判區域多數發生於河道，在颱風豪雨後確會有較大的變異，也被雷達影像辨識出來，但這些區域並非堰塞湖，屬於堰塞湖判釋的失敗區域。

表 3-1.1 雷達影像水體辨識與光學影像水體參考之混淆矩陣，矩陣中之數值代表影像屬於行與列特性交集的像元總數

	光學影像判釋為水體	光學影像判釋非水體
雷達影像判斷為水體	973538	6232
雷達影像判斷非水體	10647	47772

表 3-1.2 雷達影像堰塞湖辨識與光學影像堰塞湖參考之混淆矩陣，矩陣中之數值代表影像屬於行與列特性交集的像元總數

	光學影像判釋為堰塞湖	光學影像判釋非堰塞湖
雷達影像判斷為堰塞湖	2299	1340
雷達影像判斷非堰塞湖	535	248688

二、山崩變遷偵測

山崩會造成地形的變化、坡度的變化或地物的變化，這些變化都可能使得雷達反射訊號在強度上的變化、相位上的變化或是極化特性的變化。透過 RGB 影像，將事件前後影像設定為不同顏色所得到的假色影像，可以將訊號變化明顯的區域以特定顏色標示出來，這些區域如果是在坡地當中被發現，很可能就是山崩發生的區域（圖 3-0.3）。

針對地表特徵變化明顯的山崩，例如植被消失的山崩類型，雷達影像中的體散射特性會明顯改變，可以藉由雷達植被指標 RVI 進行分析。胡植慶等人(2018)以 ALOS 2009 年 7/8 與 8/23 的影像的 RVI，透過變遷分析進行山崩區域之判釋。與國家災害防救科技中心(NCDR)所提供之山崩區比對，偵測結果的精確指標：準確率（Accuracy）= 88.6%，精確率（Precision）= 49.9%，召回率（Recall）= 30.1%，F1-Measure= 35.0% 和 Kappa= 28.9%。

表 3-2.1 山崩辨識成功率計算之混淆矩陣，矩陣中之數值代表影像屬於行與列特性交集的像元總數

	地真資料山崩區	地真資料非山崩區
雷達影像判斷為山崩區	119331	165285
雷達影像判斷非山崩區	276729	3314886

除此，也可以透過多時期變遷偵測與偏移偵測進行山崩偵測。多時期變遷偵測只需要單一極化的影像，透過分析事件前後影像的相關性變化，可以偵測地物變異明顯的山崩（圖 2-2.4），相較於計算 RVI 指標需要兩種極化影像，條件較為寬鬆，但缺點是需要最少三張影像才能進行多時期變遷偵測。偏移偵測也只需要單一極化的影像，透過異常大變形量與低相關性的區域，可以指示山崩發生的概略位置，但範圍都比實際山崩的範圍更大（圖 2-4.7）。

地表特徵變化明顯的山崩事件，有機會藉由變遷分析進行偵測。但對於山崩事件並沒有造成地物特徵明顯改變的區域，可能就不容易藉由變遷分析進行偵測。

肆、建立以開源軟體為主之雷達衛星影像林地災害偵測流程

雖然在 107 年度之林地災害偵測研究結果當中已經提出雷達影像在災害偵測的方法與流程，但實際操作計算有一定的複雜性，包括：(1) 淹水偵測的部分，影像必須先進行前處理，包括精確軌道資訊的提供、移除熱雜訊、輻射校正轉換為背向散射係數、斑駁濾波降低雜訊干擾，接下來進行影像套合，將兩張影像之像元配對在一起，再進行地形校正，將影像坐標轉為真實地理坐標系統(WGS84)，套用高斯混合模型(Gaussian Mixture Model, GMM)對影像的分析，可以區分水體與非水體的門檻，配合所有資訊進行多時期變遷分析，可判釋溢淹的範圍(圖 4-0.1)；(2) 山崩偵測的部分，影像必須先進行前處理，包括精確軌道資訊的提供、移除熱雜訊、輻射校正轉換為背向散射係數、斑駁濾波降低雜訊干擾，接下來進行套合將兩張影像像元配對在一起，計算 RVI，再進行地形校正，將影像坐標轉為真實地理坐標系統(WGS84)，進一步以背向散射係數差異法計算影像變遷的程度，配合門檻值的設定與地形效應遮罩，最終可得到山崩範圍判釋區域(圖 4-0.2)。

實際操作的複雜程度，在災害應變處置時會造成提供災害資訊的困難程度。主要是因為處理過程需多方軟體之配合，包括：

1. SNAP：雷達影像前處理、套合與地形校正。
2. GRASS-GIS：影像計算、Height Above the Nearest Drainage (HAND) 計算、GIS 格式轉換。
3. R-Language：進階數值統計分析、網格資料聚焦統計處理。
4. 每次處理需要依次開啟不同軟體，不同軟體的介面操作都有其複雜性，再加上 SNAP GUI 環境處理雷達衛星影像相當消耗記憶體，就算建置好批次處理，也無法一次處理，需人為判斷分段多次處理。

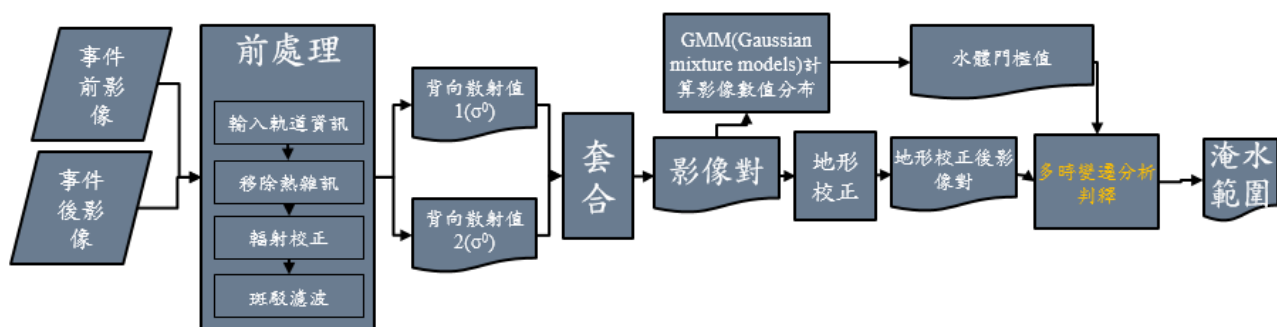


圖 4-0.1 雷達影像淹水辨識處理流程圖

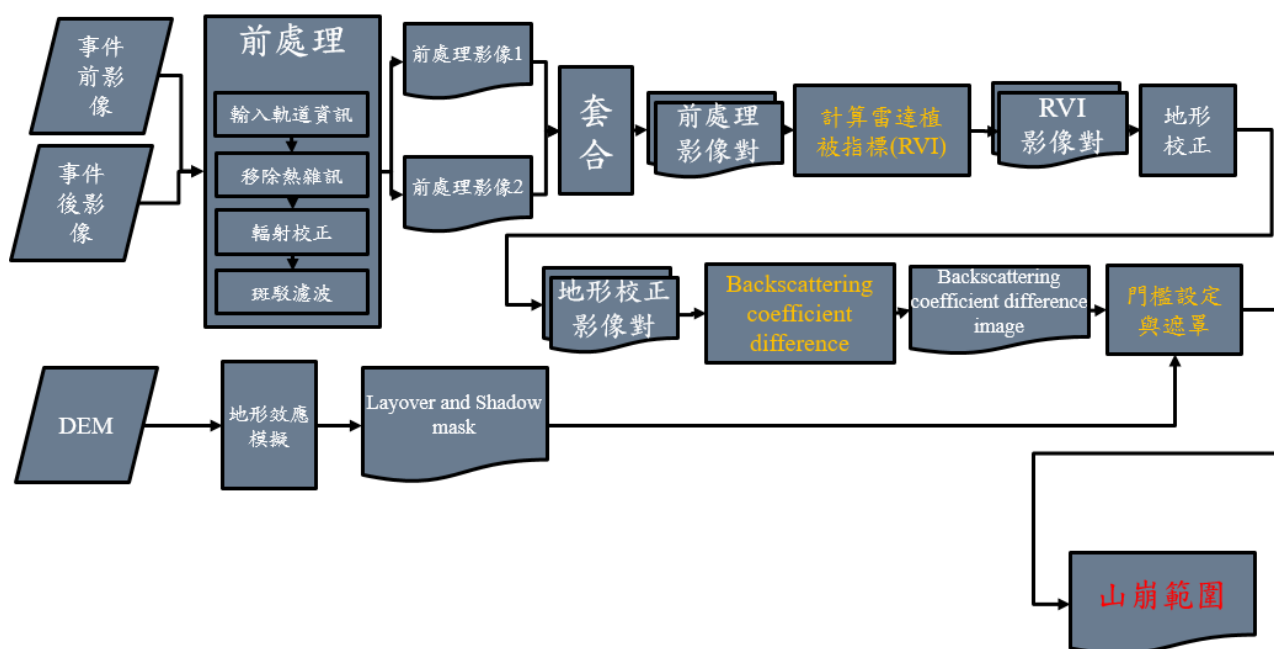


圖 4-0.2 雷達影像山崩辨識基本處理流程圖

為解決實際操作複雜性的問題，建置一套標準化之林地災害雷達衛星影像處理流程，俾利快速提供因應災害地區之圖資，更能加速災情資訊之蒐集。

研究中嘗試找出可以用腳本操作來串接不同軟體處理的方法，各軟體的工作銜接不再需要人為打開軟體介面去操作，只需要把操作流程與參數寫成批次檔，就可以得到接近成果的資訊，最後再以 GIS 套疊相關地理圖資，即可成為災情應變之資訊。

配合災前的氣象資訊、災害敏感區資訊與衛星拍攝預估的資訊，再加上開源軟體為主的緊急災害偵測分析程序，可建構整體災害事件的應變流程(圖 4-0.3)。

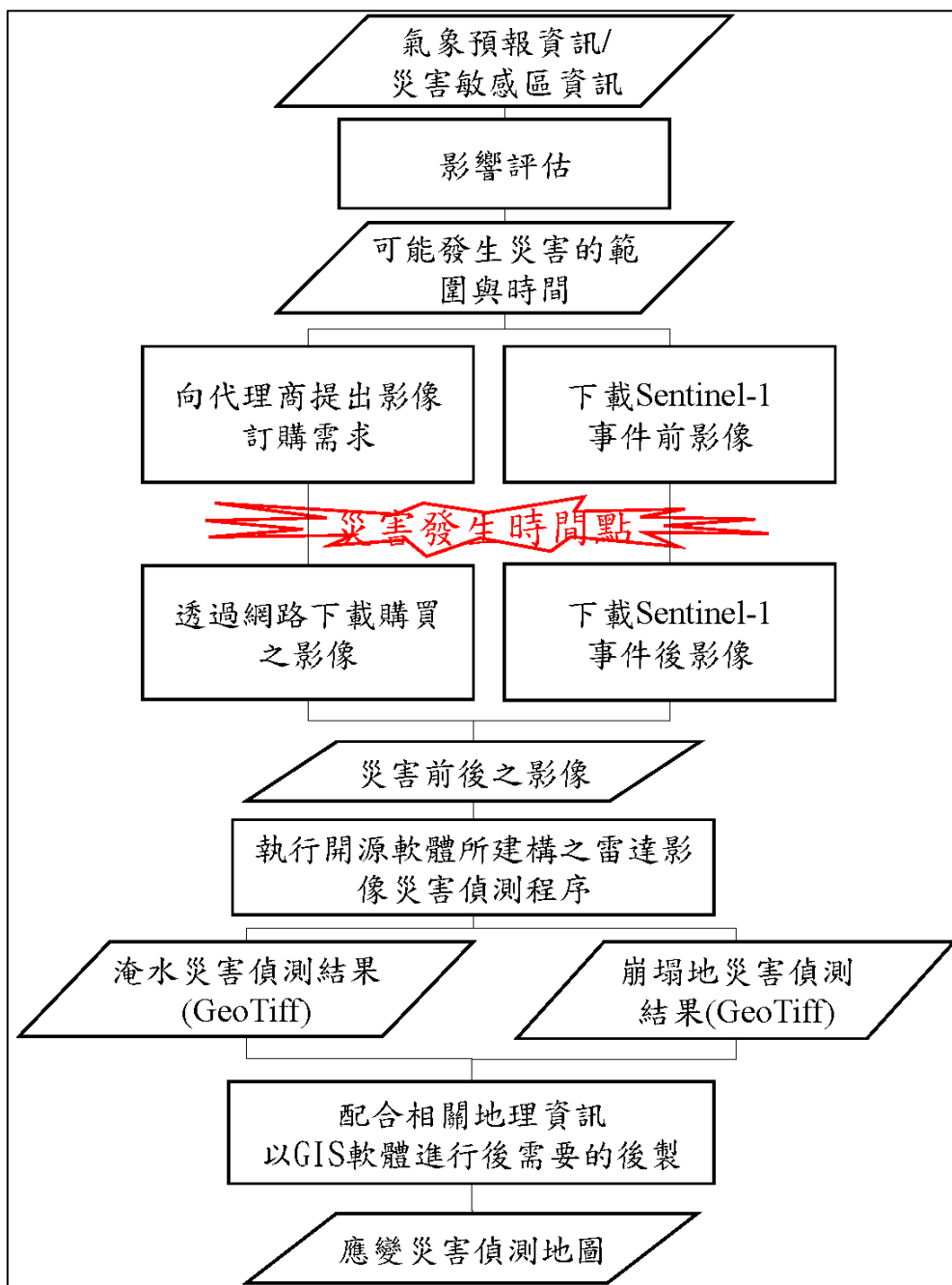


圖 4-0.3 雷達影像崩塌地與淹水災害偵測作業流程圖

本計畫已於農航所的設備建構雷達影像淹水緊急災害偵測與崩塌災害偵測之配置。相關開源軟體的安裝設定與雷達影像災害偵測處理腳本的設定，內容如下：

一、軟體安裝與設定

(一) SNAP

SNAP 是由歐洲太空總署開發的一款用於雷達影像資料處理的開源軟體，目前版本為 7.0，安裝檔案可於連結[\[http://step.esa.int/main/download/snap-download/\]](http://step.esa.int/main/download/snap-download/)進行下載，下載後只要點擊下載檔案即可進行安裝。

	Windows 64-Bit	Windows 32-Bit	Mac OS X	Unix 64-bit
Sentinel Toolboxes	These installers contain the Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3 Toolboxes			
	Download	Download	Download	Download
SMOS Toolbox	These installer contains only the SMOS Toolbox . Download also the Format Conversion Tool (Earth Explorer to NetCDF) and the user manual .			
	Download	Download	Download	Download
All Toolboxes	These installers contain the Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3 Toolboxes, SMOS and PROBA-V Toolbox			
	Download	Download	Download	Download

圖 4-1.1 SNAP 下載網頁畫面

安裝完成後，需要設定使用硬碟空間作為暫存，以防止計算時記憶體不足的計算失敗情況：**開啟 SNAP→Tools→Option→S1TBX→勾選 Use FileCache in readers to conserve memory。**

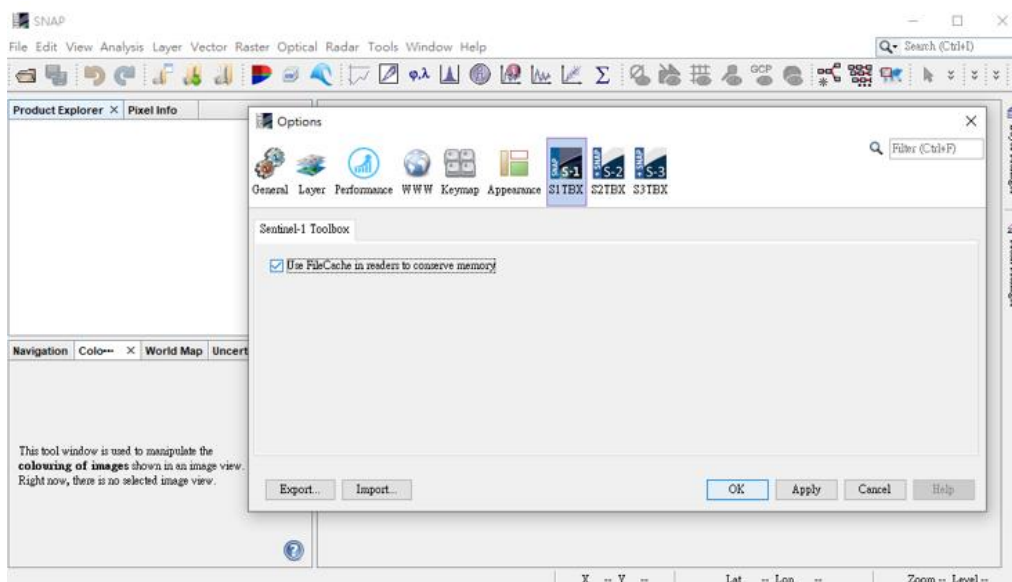


圖 4-1.2 SNAP FileCache 設定

SNAP 軟體有一些較常用的工具視窗在安裝完成時，並沒有打開，需要手動開啟，包括同時比對不同影像的 Navigation、顯示 SAR 影像於世界地圖位置的 World Map 與顯示指標上影像數值的 Pixel Info。這些功能都在 **View->Tool Windows** 當中。

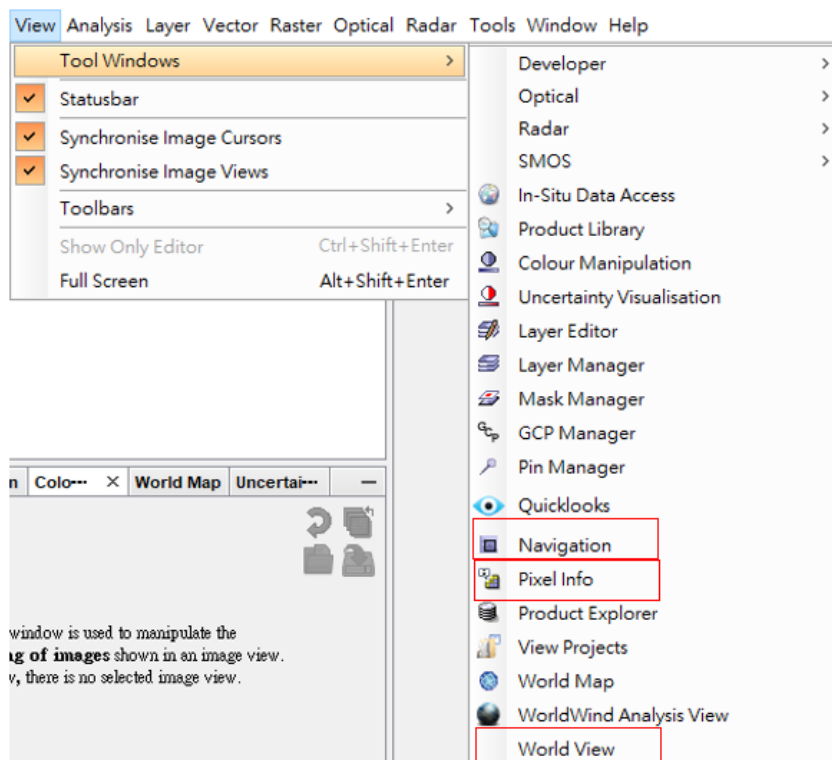


圖 4-1.3 SNAP 常用工具視窗設定

(二) QGIS 與 GRASS-GIS

QGIS 原稱 Quantum GIS 是一個開源的 GIS 軟體，目前版本為 3.8，安裝檔案於連結[<https://qgis.org/en/site/forusers/download.html>]，選擇單機版的版本進行下載。



圖 4-1.4 QGIS 下載網頁畫面

下載後只要點擊下載檔案即可進行安裝，QGIS 3.8 安裝時也會順便安裝 GRASS-GIS 7.6.1，不需要另外安裝 GRASS-GIS。安裝完成後，需先設定 GRASS-GIS：

- 開啟 GRASS GIS 7.6.1
- 選擇 GRASS 資料庫路徑[C:\GRASSDB]
- 選擇 GRASS 地點 [TW]
- 選擇 GRASS 圖集[PERMANENT]
- 以上設定完成時，會打開設定好 GRASS GIS 環境變數的命令視窗 (cmd)，執行指令[g.extension r.stream.distance]新增 GRASS 模組



圖 4-1.5 GRASS-GIS 基本設定



圖 4-1.6 新增 GRASS-GIS 模組 r.stream.distance

(三) R 與 R-Studio

R 語言與 Python 同為目前開源數據分析社群當中相當受歡迎的開源編程語言。R-Studio 是為 R 語言設計的整合開發環境。安裝檔案於連結[<https://cran.r-project.org/bin/windows/base/>, <https://www.rstudio.com/products/rstudio/download/>]，先安裝 R 語言，再安裝 R-Studio。



圖 4-1.7 R 語言與 R-Studio 下載網頁

(四) GAWK

GNU AWK (GAWK) 是歷史悠久的 AWK 編程語言的開放源代碼實現，可用於所有的 UNIX 系統。AWK 語言是一種 UNIX 備用工具，它是一種功能強大的文本操作和模式匹配語言，特別適用於進行信息檢索，這使得它非常適合用於當今的數據庫驅動的應用程序。因為它集成於 UNIX 環境，所以可以設計、構建和快速地執行完整的工作程序，並且立即就能得到結果。安裝檔案位於連結網頁當中 [<http://gnuwin32.sourceforge.net/packages/gawk.htm>]。選擇 Complete package, except sources 的版本，執行安裝即可；或者選擇 Binaries 版本，解壓縮下載後之檔案，將解壓縮後 bin 資料夾內容複製至 C:\Windows\System32 之內。

Description	Download
• Complete package, except sources	Setup
• Sources	Setup
• Binaries	Zip
• Documentation	Zip
• Sources	Zip
• Original source	http://ftp.gn

圖 4-1.8 GAWK 下載網頁

二、雷達影像災害偵測之處理腳本設定

(一) 淹水災害偵測

為解決 SAR 影像應用於淹水實際操作之複雜性，目前建構一套由以腳本操作且相對自動化的緊急災害偵測標準流程，需要輸入事件前與事件後影像的檔名，處理的結果可產生一張由藍色系突顯可能淹水變異區域的變遷偵測影像，做為緊急應變的依據。

整個處理程式包括以下檔案：

- runGPT_General_1.BAT - 使用 Sentinel-1 以外 SAR 影像的串聯程序之主程式
- runGPT_S1_1.BAT - 使用 Sentinel-1 單張 SAR 影像的串聯程序的主程式
- runGPT_S1_2.BAT - 使用 Sentinel-1 兩張 SAR 影像的串聯程序的主程式
- orb.cal.xml - Sentinel-1 專用，給予精密軌道與輻射校正的 xml 參數檔
- Coregistration.xml - 事件前後影像套疊 xml 參數檔
- runGRASSGIS.BAT - GRASS-GIS 工作的啟動程式
- GRASS_JOB.BAT - GRASS-GIS 計算 height above the nearest drainage (HAND) 的內容

runGPT*.BAT 內需要設定一些參數，包括影像檔案位置 (master* and slave*)、裁切範圍 (subregion)、前處理 xml 參數檔與 GRASS-GIS 程式所在目錄 (graph)、輸出資料夾 (project) 與影像種類 (sar_type) 的選擇。以下是每個時間段兩張 Sentinel-1 影像為輸入、興趣範圍 (W/E/S/N) 為 138.576/140.994/35.62/37.368 與輸出產品名稱為 output 的範例：

```

set
master1='../IMAGE\S1A_IW_GRDH_1SDV_20191006T204300_20191006T204325_029343_035
5EA_E1F1.zip'
set
master2='../IMAGE\S1A_IW_GRDH_1SDV_20191006T204325_20191006T204350_029343_035
5EA_1B68.zip'
set
slave1='../IMAGE\S1B_IW_GRDH_1SDV_20191012T204223_20191012T204248_018447_022C
0C_CBFE.zip'
set
slave2='../IMAGE\S1B_IW_GRDH_1SDV_20191012T204248_20191012T204313_018447_022C
0C_53C5.zip'
set subregion='POLYGON ((138.576 35.62,140.994 35.62,140.994 37.368,138.576
37.368,138.576 35.62))'
set graph=graph
set project=output
set sar type=1
if %sar type%==1 (
set sar type=sentinel-1
set pol=VV
)
if %sar type%==2 (
set sar type=general Strip map SAR
set pol=HH
)

```

設定好之後，打開 cmd，執行

```
>runGPT_S1_2.BAT
```

runGPT*.BAT 將執行以下步驟來完成淹水變異區域的標示

1. 當興趣區間跨兩張共軌道影像的區域，需先將共軌道影像合併。

```

gpt SliceAssembly -Ssource=%master1% %master2% -t
%project%\master.dim
gpt SliceAssembly -Ssource=%slave1% %slave2% -t
%project%\slave.dim

```

2. 裁切至興趣區間來降低所需處理的資料量，並減少處理時間。

```

gpt subset -Ssource=%project%\master.dim -PgeoRegion=%subregion% -
PcopyMetadata=true -t %project%\master.sub.dim
gpt subset -Ssource=%project%\slave.dim -PgeoRegion=%subregion% -
PcopyMetadata=true -t %project%\slave.sub.dim

```

3. 給予精密軌道資訊與輻射校正

```

gpt %graph%\%orb_cal% -Ssource=%project%\master.sub.dim -t
%project%\master.sub.orb.cal.dim
gpt %graph%\%orb_cal% -Ssource=%project%\slave.sub.dim -t
%project%\slave.sub.orb.cal.dim

```

4. 斑駁濾波降低雜訊

```

gpt Speckle-Filter -Ssource=%project%\master.sub.orb.cal.dim -t
%project%\master.sub.orb.cal.spk.dim -Pfilter="Refined Lee"
gpt Speckle-Filter -Ssource=%project%\slave.sub.orb.cal.dim -t
%project%\slave.sub.orb.cal.spk.dim -Pfilter="Refined Lee"

```

5. 計算雷達陰影區域

```
gpt SAR-Simulation -Ssource=%project%\master.sub.orb.cal.spk.dim  
-t %project%\master.sub.orb.cal.spk.OSM.dim -  
PsaveLayoverShadowMask=true
```

6. 事件前後影像套疊

```
gpt %graph%\%Coreg% -e -  
PinFile1=%project%\master.sub.orb.cal.spk.OSM.dim -  
PinFile2=%project%\slave.sub.orb.cal.spk.dim -t  
%project%\stack.dim
```

7. 將數值轉換為 dB

```
gpt %graph%\%dB% -Pfile=%project%\stack.dim -t  
%project%\stack.db.dim
```

8. 地形校正。預設使用 SRTM 3 Sec DEM，使用者可使用其他數值高程，程式碼內有三種額外 DEM 使用的範例，包括農航所提供 5m DEM、內政部公開的 20m DEM 與 ALOS 釋出的 30m DSM。

```
REM Using SRTM 3 sec  
gpt Terrain-Correction -Ssource=%project%\stack.db.dim -t  
%project%\stack.db.TC.dim -PnodataValueAtSea=true -PsaveDEM=true  
  
REM Using externalDEM  
REM gpt Terrain-Correction -Ssource=%project%\stack.db.dim -t  
%project%\stack.db.TC.dim -PexternalDEMFile=5Mdem_wgs84.tif -  
PexternalDEMNoDataValue=-3.40282e+38 -PnodataValueAtSea=true -  
PsaveDEM=true  
  
REM gpt Terrain-Correction -Ssource=%project%\stack.db.dim -t  
%project%\stack.db.TC.dim -PexternalDEMFile=TW20mDEM_wgs84.tif -  
PexternalDEMNoDataValue=-32767 -PnodataValueAtSea=true -  
PsaveDEM=true  
  
REM gpt Terrain-Correction -Ssource=%project%\stack.db.dim -t  
%project%\stack.db.TC.dim -PexternalDEMFile=ALOS30mDSM.tif -  
PexternalDEMNoDataValue=32767 -PnodataValueAtSea=true -  
PsaveDEM=true
```

9. 計算 HAND。會跳出另一個 CMD 視窗執行 GRASS-GIS 計算 HAND 的任務。任完成後，請輸入 exit，並按下 Enter，回到主程式 runGPT*.bat。

```
echo *****  
echo * Type "exit" after another cmd finish GRASS-GIS job *  
echo *****  
copy %graph%\GRASS_JOB.bat GRASS_JOB.bat  
copy %project%\stack.db.TC.data\elevation.* %tmp%  
start /wait %graph%\runGRASSGIS.bat %tmp%\elevation.img  
copy HAND.* %project%\ /Y  
del GRASS_JOB.bat HAND.* %tmp%\elevation.*
```

10. 加入 HAND 作為判斷遮罩

```
gpt Merge -SmasterProduct=%project%\stack.db.TC.dim -  
SsourceProducts=%project%\HAND.hdr -PgeographicError=NaN -t  
%project%\stack.db.TC.HAND.dim
```

11. 以事件前後之雷達差異，將變異之淹水區以藍色標示。

```
dir %project%\stack.db.TC.HAND.data\Sigma0_%pol%*mst*.hdr /b |
gawk -F. "{print \"blue=\""$1\""}" >temp.rgb
dir %project%\stack.db.TC.HAND.data\Sigma0_%pol%*slv*.hdr /b |
gawk -F. "{print \"green=\""$1\""}" >>temp.rgb
dir %project%\stack.db.TC.HAND.data\Sigma0_%pol%*slv*.hdr /b |
gawk -F. "{print \"red=\""$1\""}" >>temp.rgb
pconvert.exe -f tif -p temp.rgb -o %project%
%project%\stack.db.TC.dim
del temp.rgb
```

以 2019/10/12 侵襲日本的哈吉貝颱風造成的淹水作為範例，將事件前設定為藍色，事件後設定為綠色與紅色，由於事件後淹水區域沒有水體，雷達反射數值較高，事件後淹水區沒有雷達訊號，將之設定為紅色與綠色，則淹水區會以藍色系突顯出來，最後會儲存成有坐標系統的 GeoTiff 影像，我們可以將它匯入 QGIS 與其他地理資訊套疊，以進一步了解變異的區域（圖）。

號稱2019年最強颱風19號颱風哈吉貝，於12日傍晚登陸關東地區，受其帶來的暴雨影響，長野縣的千曲川等10條河流的12處決堤，各地居住區發生大規模洪水。使用ESA Sentinel-1 SAR衛星 2019/10/12 與 2019/10/6 資料分析
藍色為淹水區域
結果顯示許多河川滿溢、平原地區積淹水情況嚴重，長原野町的梧棲川可能有形成堰塞湖的情況

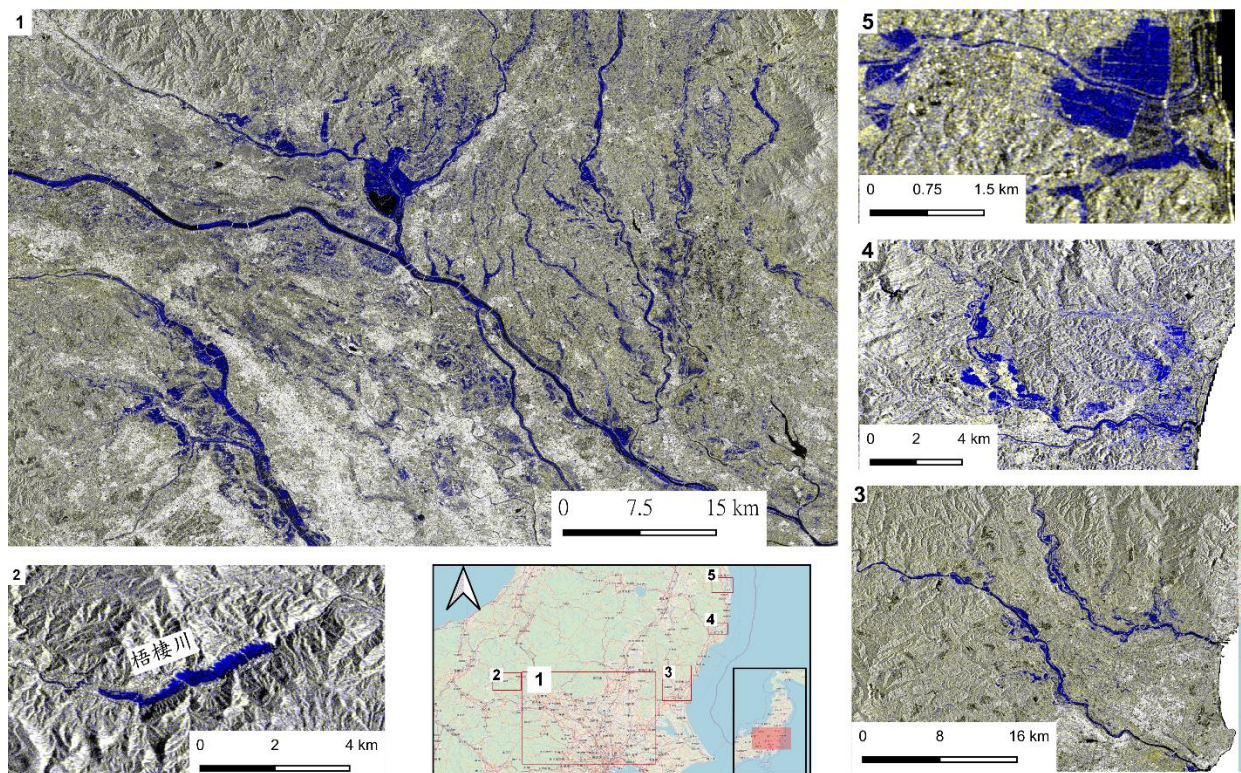
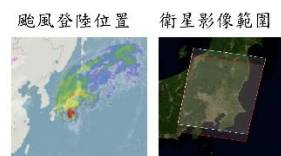


圖 4-2.1 哈吉貝颱風在日本關東地區的雷達影像淹水判釋地圖

(二) 崩塌地災害偵測

為解決 SAR 影像應用於山崩實際操作之複雜性，目前建構一套以腳本操作來進行自動化緊急災害偵測的標準流程，需要輸入事件前與事件後影像的檔名，處理的結果可產生一張由紅色與藍色系突顯可能山崩變異區域的變遷偵測影像，做為緊急應變的依據。

整個處理程式包括以下檔案：

- runGPT_dulPol.BAT – 使用雙極化影像的串聯程序的主程式
- runGPT_singlePol.BAT – 使用單極化影像的串聯程序的主程式
- 01pre_sub_cal_mul_speckle_bat.xml – 前處理 xml 參數檔（一般 stripmap sar 使用）
- 01S1_pre_sub_cal_mul_speckle_bat.xml – 前處理 xml 參數檔（Sentinel-1 使用）
- 02stack_bat.xml – 事件前後影像套疊 xml 參數檔
- 03RVI_bat.xml – 計算植被指標 xml 參數檔
- 04linear2dB_bat.xml – 將數值轉換成 dB

runGPT*.BAT 內需要設定一些參數，包括影像檔案位置、興趣區間、前處理 xml 參數檔位置、輸出資料夾與影像種類的選擇。以下是兩張 ALOS2 雙極化雷達影像為輸入、興趣範圍（W/E/S/N）為 141.86/142.12/42.62/42.89 與輸出產品名稱為 ALOS2output 的範例：

```
set master='ALOS2\0000236705_001001_ALOS2229840850-180825\VOL-ALOS2229840850-180825-HBQR1.1__A'
set slave='ALOS2\0000236706_001001_ALOS2231910850-180908\VOL-ALOS2231910850-180908-HBQR1.1__A'
set subregion='POLYGON ((141.86 42.65, 142.12 42.65, 142.12 42.89, 141.86 42.89, 141.86 42.65))'
set graph=graph
set project=p1
REM sar_type = 1: sentinel-1 SAR(VV/VH); sar_type = 2: general stripmap SAR Type(HH/HV);
set sar_type=2
```

設定好之後，打開 cmd，執行

```
>runGPT_dulPol.BAT
```

runGPT*.BAT 將執行以下步驟來完成山崩變異區域的標示

1. 包括裁切、輻射校正、多視處理、斑駁濾波等步驟的影像前處理，對於 Sentinel-1 會多一個賦予精密軌道(Apply-Orbit-File)的處理。

```
gpt %graph%\%pre_process% -Pfile=%master% -Psubregion=%subregion%  
-t %project%\master  
gpt %graph%\%pre_process% -Pfile=%slave% -Psubregion=%subregion% -  
t %project%\slave
```

2. 事件前後影像套疊

```
gpt %graph%\02stack_bat.xml -Pmaster=%project%\master.dim -  
Pslave=%project%\slave.dim -t %project%\stack
```

3. 計算雷達植被指標

```
dir %project%\stack.data\Sigma0_%pol1%_mst*.hdr /b | gawk -F.  
"{print \"set HH_MASTER=\"%1}\" > tmp.cmd  
call tmp.cmd  
dir %project%\stack.data\Sigma0_%pol2%_mst*.hdr /b | gawk -F.  
"{print \"set HV_MASTER=\"%1}\" > tmp.cmd  
call tmp.cmd  
dir %project%\stack.data\Sigma0_%pol1%_slv*.hdr /b | gawk -F.  
"{print \"set HH_SLAVE=\"%1}\" > tmp.cmd  
call tmp.cmd  
dir %project%\stack.data\Sigma0_%pol2%_slv*.hdr /b | gawk -F.  
"{print \"set HV_SLAVE=\"%1}\" > tmp.cmd  
call tmp.cmd  
set exp1=20*log10(%HV_MASTER%/HH_MASTER%)  
set exp2=20*log10(%HV_SLAVE%/HH_SLAVE%)  
gpt %graph%\03RVI_bat.xml -Pfile=%project%\stack.dim -PEXP1=%exp1%  
-PEXP2=%exp2% -t %project%\stack_RVI
```

4. 地形校正。預設使用 SRTM 3 Sec DEM，使用者可使用其他數值高程，程式碼內有三種額外 DEM 使用的範例，包括農航所提供 5m DEM、內政部公開的 20m DEM 與 ALOS 釋出的 30m DSM。

```
REM Using SRTM 3 sec  
gpt Terrain-Correction -Ssource=%project%\stack_db.dim -t  
%project%\stack_db_TC  
  
REM Using externalDEM  
REM gpt Terrain-Correction -Ssource=%project%\stack_db.dim -t  
%project%\stack_db.TC.dim -PexternalDEMFile=5Mdem_wgs84.tif -  
PexternalDEMNoDataValue=-3.40282e+38 -PnodataValueAtSea=true  
  
REM gpt Terrain-Correction -Ssource=%project%\stack_db.dim -t  
%project%\stack_db_TC.dim -PexternalDEMFile=TW20mDEM_wgs84.tif -  
PexternalDEMNoDataValue=-32767 -PnodataValueAtSea=true  
  
REM gpt Terrain-Correction -Ssource=%project%\stack_db.dim -t  
%project%\stack_db_TC.dim -PexternalDEMFile=ALOS30mDSM.tif -  
PexternalDEMNoDataValue=32767 -PnodataValueAtSea=true
```

5. 以事件前後之雷達植被指標差異，將變異之山崩區以紅色標示。

```
dir %output%.data\RVI_SLAVE*.hdr /b | gawk -F. "{print  
\"blue=\"$1}\" >temp.rgb  
dir %output%.data\RVI_SLAVE*.hdr /b | gawk -F. "{print  
\"green=\"$1}\" >>temp.rgb  
dir %output%.data\RVI_MASTER*.hdr /b | gawk -F. "{print  
\"red=\"$1}\" >>temp.rgb  
pconvert.exe -f tif -p temp.rgb %output%.dim  
del temp.rgb
```

本範例將事件前設定為紅色，事件後設定為藍色與綠色，由於事件後山崩區域 RVI 數值的降低，藍色與綠色數值較低，因此會得到一張以紅色突顯山崩變異的 Geotiff，我們可以將它匯入 QGIS 與其他地理資訊套疊，以進一步了解變異的區域。

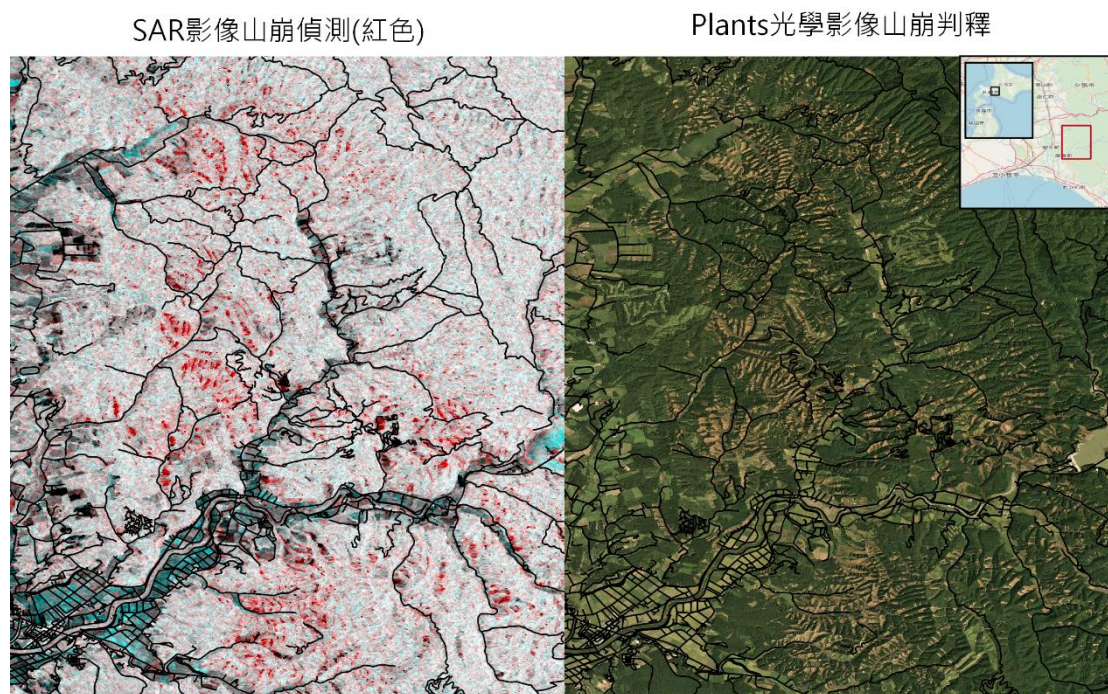


圖 4-2.2 2018 年 9 月 6 日日本北海道地震後的雷達影像崩塌地判釋地圖

伍、緊急災害處置與教育訓練

(一)緊急災害處置

由於西南風引進大量水氣，2019/08/15 發生豪雨，包括嘉義縣茶山、高雄市民權、高雄市那瑪夏國中、高雄市達卡努瓦、嘉義縣表湖、高雄市小林等地皆已突破 200mm，中央氣象局 15 日早上已針對中南部 10 縣市發布大雨特報，現在已擴大至 12 縣市，包含台中市、彰化縣、南投縣、雲林縣、嘉義縣市、台南市、高雄市皆為「豪雨特報」等級(圖 5-1.1)。

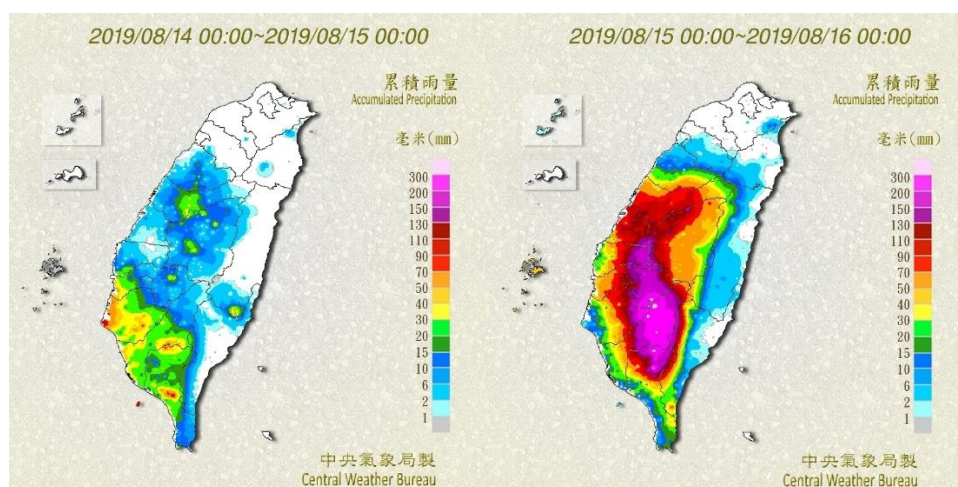


圖 5-1.1 中央氣象局日降雨累積圖

使用 Sentinel-1 2019/8/9 與 8/15 (18:00) 的 SAR 影像進行變遷分析

離災情最近的時間 8/15 (Local Time: 18:00) 剛好有 C 波段 Sentinel-1 的升軌雷達影像，16 日緊急下載該影像並與事件前 8/9 日之雷達影像進行分析(圖 5-1.2)。

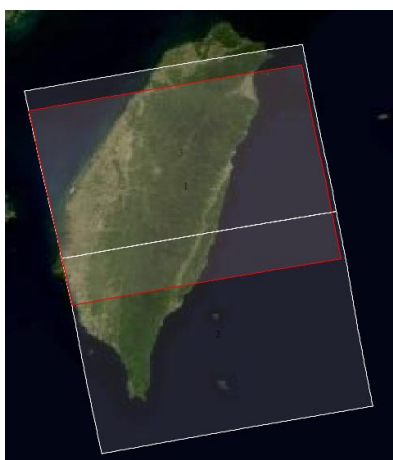


圖 5-1.2 8/15 豪雨事件分析使用之 Sentinel-1 影像範圍。紅框：8/15，白框：8/9

分析結果顯示，嘉義航空站、嘉義新營至白河的急水溪區域有較明顯的淹水可能性，而台南善化至玉井區的曾文溪水位有明顯上漲，淹沒原來的高灘地(圖 5-1.3 與圖 5-1.4)。

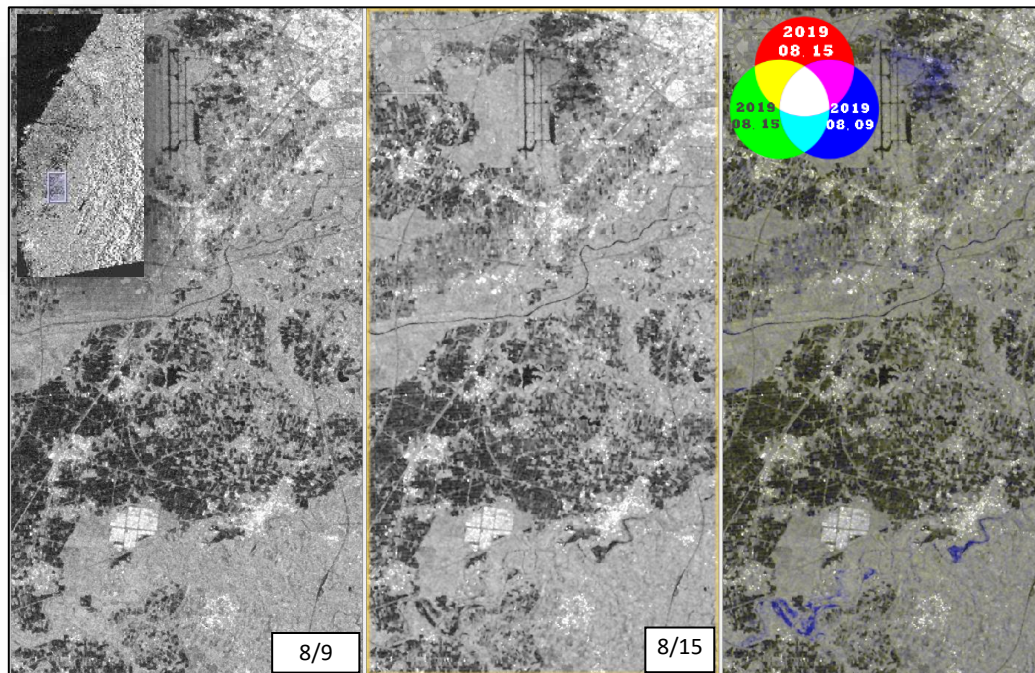


圖 5-1.3 雷達影像變遷分析顯示嘉義地區可能淹水的區域，藍色區域代表可能淹水之區域

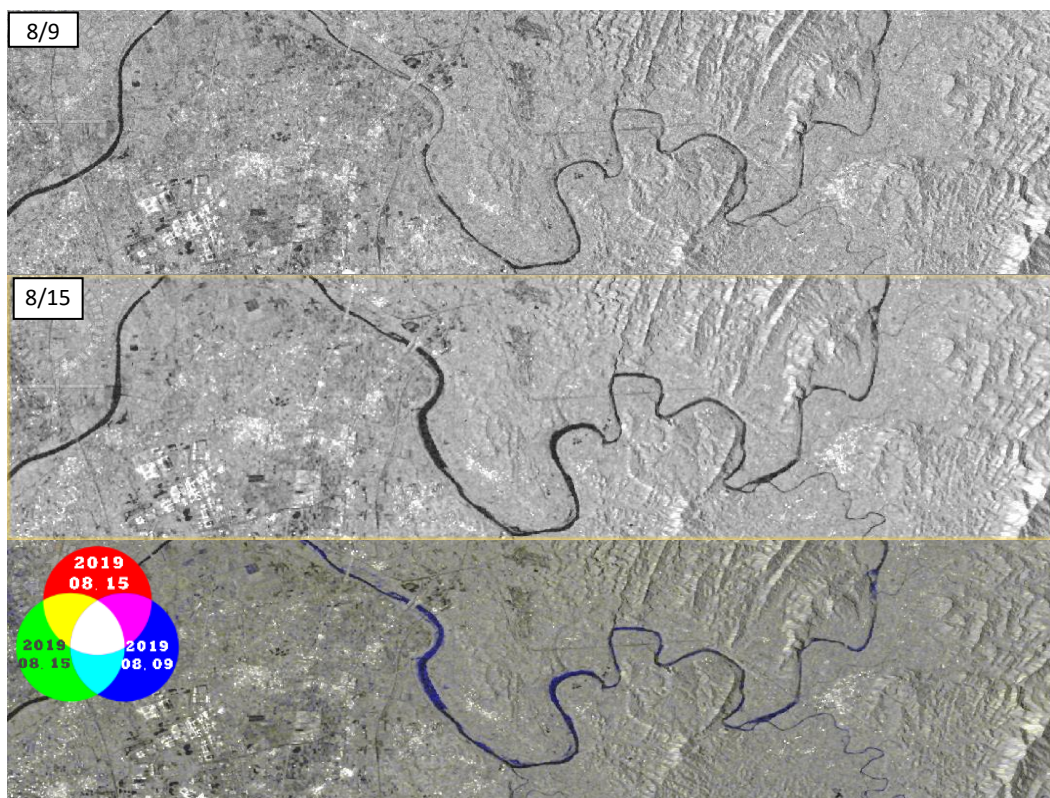


圖 5-1.4 雷達影像變遷分析顯示曾文溪水體變化的區域，藍色區域代表可能被水覆蓋之區域

另外在烏山頭水庫上游發現異常變異訊號，原來屬於水庫水域的區域，在8/15 影像有異常大的雷達反射能量(圖 5-1.5)。這種情況推測可能會由以下情況造成：

1. 原來的水體被其他地物覆蓋，造成較大的雷達反射訊號。
2. 局部性水面波浪或降雨造成水面粗糙度增加，造成較多的雷達反射訊號。
3. 局部密集的雷雨胞，使雷達波受到太厚的水氣干擾，在雲層就有反射訊號。

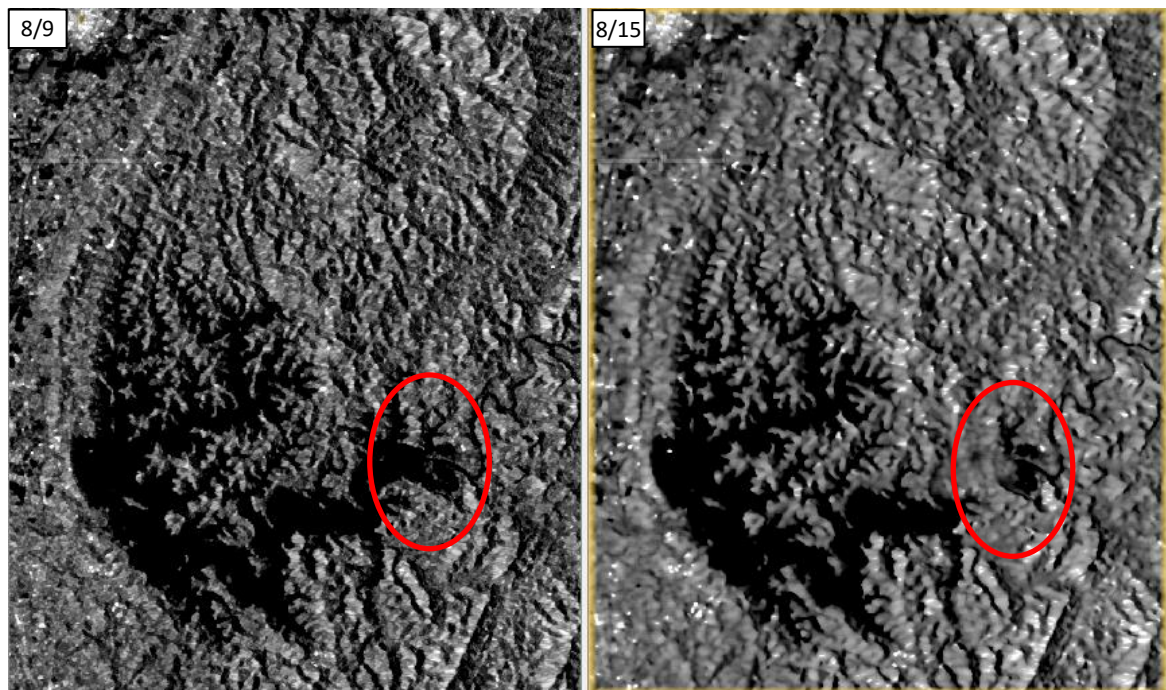


圖 5-1.5 烏山頭水庫上游異常訊號

另外我們也使用雷達植被指標（RVI）進行分析，來看是否有較明顯因為山崩造成植被變化的區域存在，目前的分析結果並沒有顯示明顯的山崩被偵測出來(圖 5-1.6)。

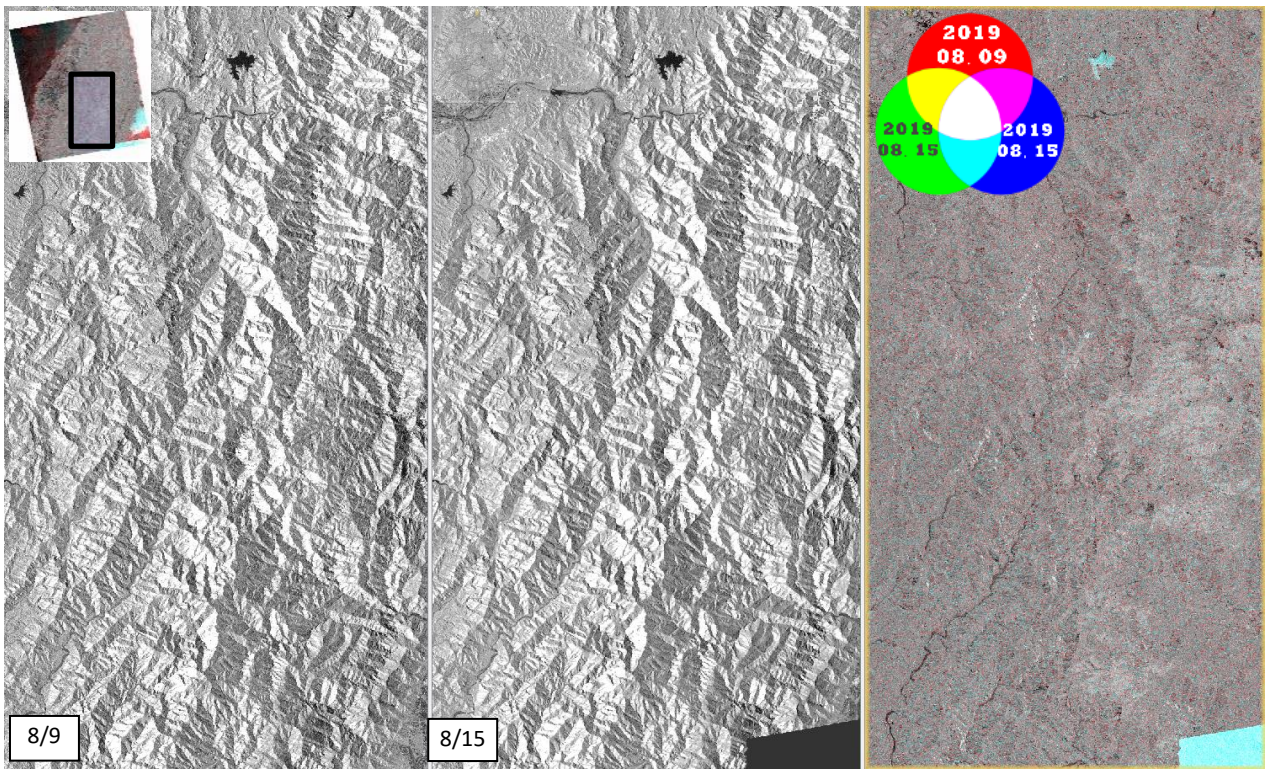


圖 5-1.6 雷達影像變遷分析顯示可能山崩的區域，圖片由左至右分別為 8/9 的影像、8/15 的影像與 RGB 多時變遷分析影像

(二)教育訓練

教育訓練已於 108 年 10 月 28 日辦理完成，訓練時數共計 6 小時。內容包括(1)雷達衛星影像之基礎理論；(2)崩塌地、堰塞湖等各類林地災害偵測原理及處理流程；(3)雷達影像處理軟體安裝說明及教學及(4)雷達影像處理軟體時機操作。

表 5-2.1 教育訓練簽到單

行政院農業委員會林務局農林航空測量所

「雷達衛星影像輔助林地災害偵測之研究(2/2)」案

教育訓練簽到單

時間：108 年 10 月 28 日（一）

講師：國立臺灣大學地質科學系邱俊穎研究助理

單位/課室	職稱	上午簽到	下午簽到	便當
NTU	助理	邱俊穎	邱俊穎	☒ 筆 ☐ 素
臺灣大學	助理	李若芳		☒ 筆 ☐ 素
臺灣大學	教授	胡植慶		☒ 筆 ☐ 素
綠能課	課長	王韻皓		☒ 筆 ☐ 素
" "	技士	曾郁珊	曾郁珊	☒ 筆 ☐ 素
資料管理課	技佐	蘇又	蘇又	☒ 筆 ☐ 素
	秘書	李淑芳		☒ 筆 ☒ 素
資源調查課	技士	蔡家銘	蔡家銘	☒ 筆 ☐ 素
資料管理課	技士	甘中信	甘中信	☒ 筆 ☐ 素

雷達衛星影像輔助林地災害偵測之研究(2/2)

【教育訓練】辦理實況

日期：108 年 10 月 28 日

地點：行政院農業委員會林務局農林航空測量所

201 會議室（上午）、影像作業室（下午）



圖 5-2.1 教育訓練辦理實況-教育訓練開始

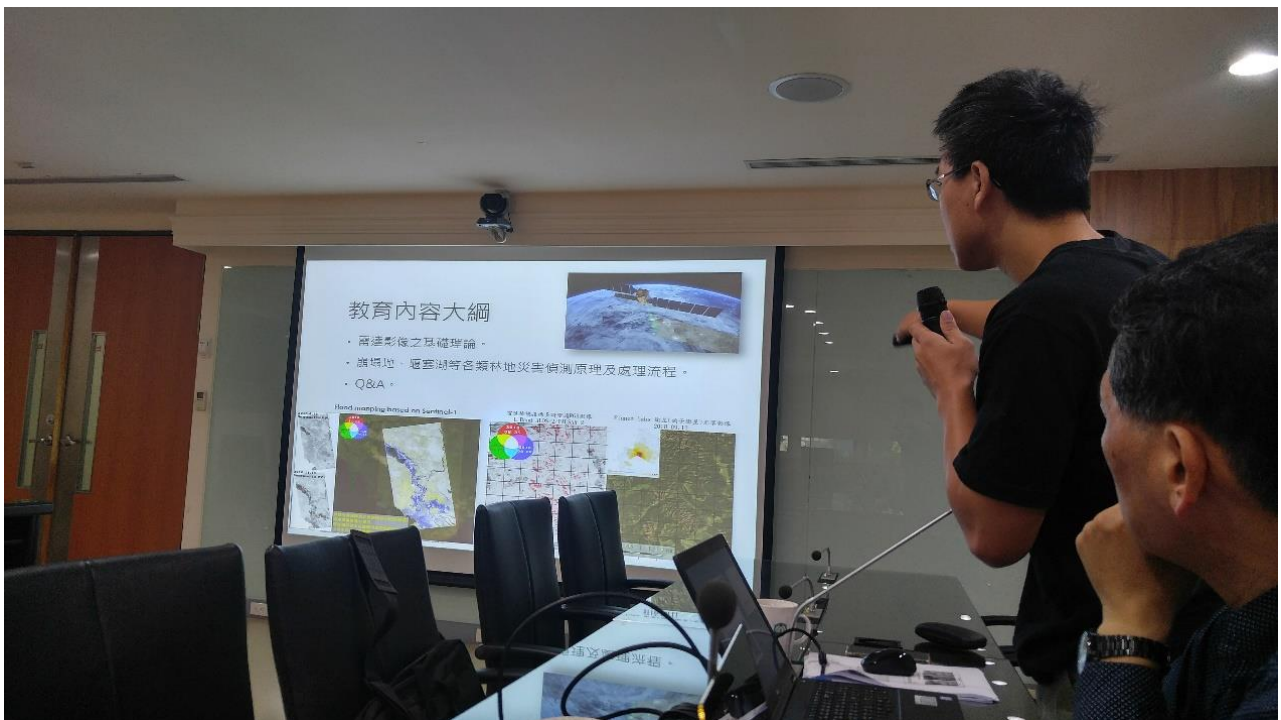


圖 5-2.2 教育訓練辦理實況-教育內容大綱



圖 5-2.3 教育訓練辦理實況-計畫緣起與目的

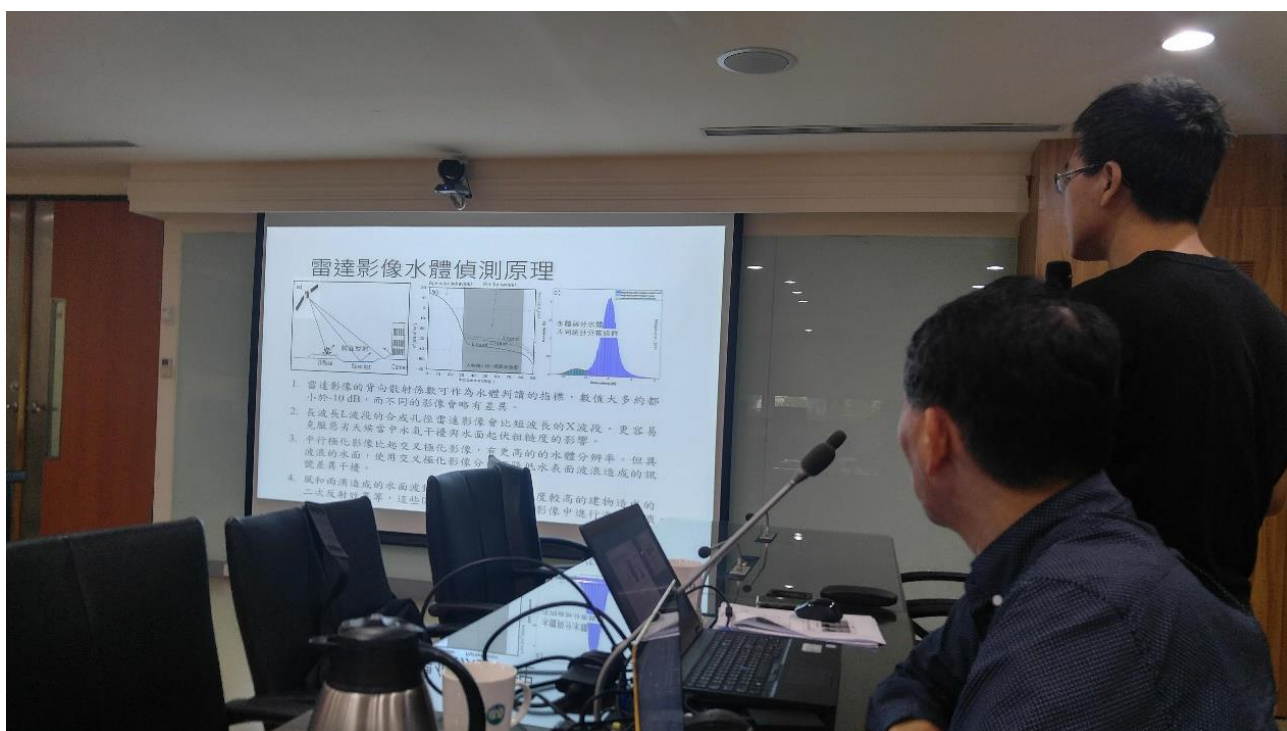


圖 5-2.4 教育訓練辦理實況-水體偵測原理及處理流程



圖 5-2.5 教育訓練辦理實況-崩塌地偵測原理及處理流程



圖 5-2.6 教育訓練辦理實況-回饋討論



圖 5-2.7 教育訓練辦理實況-雷達影像處理軟體實機操作

陸、研究成果討論

去年度的研究成果說明只需事件前後兩張影像即可進行分析，這兩張影像的拍攝參數（衛星、軌道、產品種類）差異越少，越能減少系統上的誤差。通常會在影像搜尋網頁上選擇時間最接近與範圍最接近的兩張影像，降低隨時間變化的影響，而產品的種類不論是 SLC 影像或 GRD 影像都可以，產品的等級需要選擇未經過地形校正的等級，以方便使用更高解析度的 DEM 進行地形校正。今年度的研究使用較長時間段的雷達影像進行分析，得到地物長期穩定的特徵雷達訊號，除了可以在維持影像解析力進行斑駁雜訊的濾除，也可加強事件造成的訊號差異性。但通常人工地物區域或森林茂密區域（如熱帶雨林）的雷達特徵訊號在長時間是穩定的，可使用較長時間段的資料進行分析，但對於四季變化明顯、植生變化明顯、人為變化明顯（農地灌溉與耕作）的區域，使用較長時間的資料，也等同於加入了這段時間內更多的變化因子，這些變化因子在雷達影像造成的影響可能會大過於本來研究想要觀測的事件，造成分析上的困難。如果可以選擇的話，原則上盡量選擇離事件時間接近（約一個月內且時間間隔越短越好）的影像進行分析，俾以降低時間降相關(temporal decorrelation)的干擾。

目前多時期分析的研究結果顯示，山崩偵測的效果較好，雖然需要使用 3 張影像，但只需使用一般雷達衛星可以獲得的平行極化影像（HH 或 VV）即可進行分析，可以使用的衛星影像上有更多的選擇。研究的結果也顯示高解析度 X 波段的雷達影像對於山崩後的雷達特性變化相當明顯，只需要使用單極化影像的差異進行事件前後 RGB 套色處理，就能有效地把山崩區域偵測出來。本研究也從偏移偵測法在雷達影像的應用發現位移量大與低相關性的區域可以比對到山崩的區域，而且只需事件前後兩張影像即可分析，但由於相關性低的特性，顯示其數值的可信度並不高，需要更進一步的分析，才能了解雷達影像利用偏移偵測法在山崩偵測的能力。

而在淹水偵測方面，只需要使用 2 張雷達影像以 RGB 將水體變化造成的淹水區以藍色呈現，即可快速標示淹水區域，不需要額外再多一張影像進行多時期分析。

我們利用 [Deutscher et al. \(2017\)](#) 方法分析火災造成的林地變遷，該方法主要是考慮時間序列下高變異係數與背向散射係數趨勢負值的區域，再輔以相關地理資訊作為遮罩，移除不相關區域的影響。但測試結果並不理想，臺灣臺中大甲溪的火災區在變異係數與背向散射係數趨勢都沒有特別的差異，無法辨識出火災的區域；美國加州火災的案例，雖然可以辨識出火災的區域，但也有許多非火災區域被包括在其中。原因可能包括：

- (1) 區域的差異：分析方法之文獻中的區域屬溼熱帶，植被終年茂密，火災所造成的區域差異相當明顯，但是像臺灣或加州四季變化明顯的地方，因時間造成的改變相當大，火災造成區域的變化不容易在雷達影像中分辨出來。
- (2) 地形的差異：文獻中的區域是剛果河盆地，地勢較平緩，而像台灣山區地形起伏相當劇烈，就算經過地形平坦化的輻射校正，也無法完全移除地形起伏對側視雷達系統造成的數值差異影響。
- (3) 人為活動的影響：人為活動如灌溉、耕作也會造成變異，文獻中的方法有利用額外的地理資訊作為遮罩，去除森林以外因人為活動造成的變異區域。加州火災的案例就有許多類似耕地的區域被視為變異區，而本研究目前沒有相關資訊以進行排除。

以上原因都會造成該方法在林地變異判釋能力的差異。加州火災分析結果可以知道該方法的確可以實際應用在火災災跡偵測，雖然 2016 年 4 月的大甲火災案例中沒有良好的結果，但由於目前在臺灣分析的案例有限，針對不同林相、不同地形與不同得林地變異，可能都存在差異性，雷達影像在這一塊的研究，未能仍需要更多實際案例的分析以了解其特性與可行性。

柒、結論與未來方向

(一) 結論

雷達影像多時期的分析

1. 多時期濾波處理可以在保留影像空間解析度的情況下，有效降低斑駁雜訊，提高影像特徵。
2. 多時期變遷分析在山崩有良好的偵測效果，雖然需要使用 3 張影像，但只需要較易獲得的平行極化影像（HH 或 VV）即可進行分析。
3. 多時期分析可以應用在火災跡地的辨識，以美國加州火災為例，雷達影像林地變遷偵測在火災跡地的辨識有一定的成果，但在臺灣仍需要更多實際案例的分析以了解其特性與可行性。
4. 淹水區域判釋案例直接利用背向散射係數差異的效果比多時期分析的成果要好。

偏移偵測法的應用

雷達影像在偏移偵測法的應用上，除了可以偵測斷層兩側的地表水平變形，也能從低相關性與異常大變形量的區域反應山崩發生的位置，顯示有能力作為山崩判釋的工具。

林地災害之雷達衛星影像分析判讀準則

本計畫兩年度的研究中使用的雷達衛星影像種類包括 L 波段 ALOS 的 SLC 影像、C 波段 Sentinel-1 的 GRD 影像與 X 波段 COSMO-SkyMed 的 SLC 影像，在使用這些影像做為案例分析的條件下顯示：

1. 雷達影像的背向散射係數的差異就足以作為洪水溢淹的判斷指標。
2. 具有雙極化影像時，可使用 RVI 差異可作為快速山崩判釋的指標。
3. 高解析度 X 波段的單極化影像有能力直接透過背向散射係數的強度差異偵測山崩。
4. 多時變遷偵測與偏移偵測的方法都有能力做為山崩判釋的分析工具。

建立以開源軟體為主之雷達衛星影像林地災害偵測流程

根據過去林地災害偵測的研究結果進行自動化處理流程的建置，已完成淹水災害偵測與崩塌地災害偵測，可提供緊急災害應變時的災害發生區

域偵測能量。

(二) 未來方向

在緊急應變方法已建立的情況下，災害發生時是否能快速取像作為分析是未來需要考慮的方向。目前有新型合成孔徑雷達衛星包括加拿大的 RADARSAT Constellation Mission(C 波段)與芬蘭的 ICEYE(X 波段)有能力在 24 小時內取得相同區域的影像，並且 ICEYE 未來預計要達到 3 小時的再訪週期，是未來在防災應變使用影像上的良好選擇。

另外有鑑於遙感地球觀測數據可從許多自由訪問的開放性儲存庫中獲得，但用戶需要執行一系列複雜的預處理步驟，否則無法實現對數據的有效利用。如果能透過多維數據集(Data Cube, DC)的概念，建構可方便存儲和分析大量柵格數據的地理數據基礎結構，則能降低由這些大數據挑戰引起的障礙，並以分析就緒形式提供對大型時空數據的訪問。未來如果能建立台灣地區的 Sentinel-1 SAR 與 Sentinel-2 光學影像的多維數據集，提供經過輻射校正與地形校正的分析就緒數據，是有利於林地生態系統多樣性的監測訊息(時間與空間)與防災緊急應變時的災害資訊提供。

英文專有名詞對照

Radar Vegetation Index, RVI：雷達植被指標。利用交叉極化與平行極化的差異性，突顯植物在雷達回波訊號上的特徵。

Backscatter coefficient：背向散射係數。是雷達影像成像的紀錄值經過輻射校正後之數值，代表目標物的雷達反應，使合成孔徑雷達可提供定量遙測的資訊。校正後的資料可與不同時間、不同雷達、不同感測參數、不同地區的目標訊息相互比較與匹配。

Coregistration：套疊。每張影像拍攝時的軌道與影像大小有差異，多時期影像需經過影像強度的相關性計算，找出屬於相同地物的位置作為控制點，將多張影像套疊至其中一幅主影像，形成影像範圍與網格大小一致的影像對。

Gamma naugh：背向散射係數的一種，更進一步校正地形起伏對雷達影像強度的影響。

Interferometric Coherence：干涉同調性。兩張複數影像進行干涉處理時，其相位相關的程度。

Intensity correlation：強度相關性。兩張影像強度相關的程度。

Multi-looking processing：多視處理。以多觀點平均來降低雜訊的方法。

Multi-temporal filtering：多時期濾波法。藉由多時期影像作為濾波處理的依據，保留空間解析力來進行斑駁雜訊抑制的方法。

Normalized differences, ND：正規化差異指標。用來計算事件前後影像對差異性變化的演算法。

Speckle noise：斑駁雜訊。雷達影像因其成像特性，地面像元內部分布大量的隨機散射體，每個散射體的回波特性和皆由地物結構、粗糙度、介電性質、雷達波長、極化方式及雷達波入射角等綜合因素共同決定，在同一個解析力單元內，由於雷達波波長與地表粗糙程度相近（公分級），造成的干涉現象會使所有散射體回波相互的疊加或抵消，彼此之間相互干擾的結果則導致雷達影像上出現隨機分布的亮點或暗點，此種雷達影像特性即稱為斑駁雜訊。

Speckle filtering：以數學模式或統計模式演算法降低斑駁雜訊的方法。

参考文献

- Arciniegas, G. A., Bijker, W., Kerle, N., & Tolpekin, V. A. (2007). Coherence-and amplitude-based analysis of seismogenic damage in Bam, Iran, using ENVISAT ASAR data. *IEEE Trans. Geosci. Remote*, 45(6), 1571-1581, doi: 10.1109/TGRS.2006.883149.
- Bruniquel, J., & Lopes, A. (1997). Multi-variate optimal speckle reduction in SAR imagery. *Int. J. Remote Sens.*, 18(3), 603-627, doi: 10.1080/014311697218962.
- Deutscher, J., Gutjahr, K., Perko, R., Raggam, H., Hirschmugl, M., & Schardt, M. (2017). Humid tropical forest monitoring with multi-temporal L-, C-and X-band SAR data. In: *Analysis of Multitemporal Remote Sensing Images (MultiTemp)*, 2017 9th International Workshop, 1-4, doi: 10.1109/Multi-Temp.2017.8035264.
- Foumelis, M. (2015). ESA Sentinel-1 Toolbox Generation of SAR Backscattering Mosaics, Course Materials. In: *Proceedings of the 6th ESA Adv., Bucharest, Romania*.
- Konishi, T., Suga, Y. (2018). Landslide detection using COSMO-SkyMed images: A case study of a landslide event on Kii Peninsula, Japan. *Euro. J. Remote Sens.*, 51(1), 205-221, doi: 10.1080/22797254.2017.1418185.
- Lee, J. S. (1981). Speckle analysis and smoothing of synthetic aperture radar images. *Comput. Graphics Image Processing*, 17(1), 24-32, doi: 10.1016/S0146-664X(81)80005-6.
- Lopes, A., Nezry, E., Touzi, R., & Laur, H. (1993). Structure detection and statistical adaptive speckle filtering in SAR images. *Int. J. Remote Sens.*, 14(9), 1735-1758, doi: 10.1080/01431169308953999.
- Löffler, E. (2013). *Geographie und Fernerkundung: eine Einführung in die geographische Interpretation von Luftbildern und modernen Fernerkundungsdaten*. Springer-Verlag.
- Matsuoka, M., & Yamazaki, F. (2000). Characteristics of satellite SAR images in the areas damaged by earthquakes. In: *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2000. Proceedings. IGARSS 2000. IEEE 2000 International*, 6, 2693-2696, doi: 10.1109/IGARSS.2000.859684.
- Mirelva, P. R., & Nagasawa, R. (2017). Single and Multi-temporal Filtering Comparison on Synthetic Aperture Radar Data for Agriculture Area Classification. In: *Proceedings of the International Conference on Imaging, Signal Processing and Communication*, 72-75, doi: 10.1145 / 3132300.3132316.
- Plank, S. (2014). Rapid damage assessment by means of multi-temporal SAR—A comprehensive review and outlook to Sentinel-1. *Remote Sens.*, 6(6), 4870-4906, doi: 10.3390/rs6064870.
- Quegan, S., Le Toan, T., Yu, J. J., Ribbes, F., & Floury, N. (2000). Multitemporal ERS SAR analysis applied to forest mapping. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 38(2), 741-753, doi: 10.1109/36.842003.

- Rosu, A. M., Pierrot-Deseilligny, M., Delorme, A., Binet, R., & Klinger, Y. (2015). Measurement of ground displacement from optical satellite image correlation using the free open-source software MicMac. *ISPRE J. PHOTOGRAMM*, 100, 48-59.
- Stewart, C. (2016) Exercise Sentinel-1 Processing, Course Materials. In: *Proceedings of the 8th ESA Trng. Crse. Radar Optical Remote Sens., Cesis, Latvia*.
- Stramondo, S., Bignami, C., Chini, M., Pierdicca, N., & Tertulliani, A. (2006). Satellite radar and optical remote sensing for earthquake damage detection: results from different case studies. *Int. J. Remote Sens.*, 27(20), 4433-4447, doi: 10.1080/01431160600675895.
- Suga, Y., Takeuchi, S., Oguro, Y., Chen, A. J., Ogawa, M., Konishi, T., & Yonezawa, C. (2001). Application of ERS-2/SAR data for the 1999 Taiwan earthquake. *Adv. Space Res.*, 28(1), 155-163, doi: 10.1016/S0273-1177(01)00334-9.
- Takeuchi, S., Suga, Y., Yonezawa, C., & Chen, A. J. (2000). Detection of urban disaster using InSAR. A case study for the 1999 Great Taiwan Earthquake. In: *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2000. Proceedings. IGARSS 2000. IEEE 2000 International*, 1, 339-341, doi: 10.1109/IGARSS.2000.860512.
- Tzeng, Y. C., Chiu, S. H., Chen, D., & Chen, K. S. (2007). Change detections from SAR images for damage estimation based on a spatial chaotic model. In: *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007. IGARSS 2007. IEEE International*, 1926-1930, doi: 10.1109/IGARSS.2007.4423203.
- Valkaniotis, S., Ganas, A., Tsironi, V. & Barberopoulou, A. (2018). A preliminary report on the M7.5 Palu earthquake co-seismic ruptures and landslides using image correlation techniques on optical satellite data, doi: 10.5281/zenodo.1467128.
- Wang, C., Mao, X., & Wang, Q. (2016). Landslide Displacement Monitoring by a Fully Polarimetric SAR Offset Tracking Method. *Remote Sens.*, 8(8), 624, doi: 10.3390/rs8080624.
- Yaseen, M., & Anwar, S. (2013). Sensitivity analysis of sub-pixel correlation technique for measuring coseismic displacements using a pair of ASTER images. *J. Asian Earth Sci.*, 62, 349-362, doi: 10.1016/j.jseaes.2012.10.015.
- Yonezawa, C., & Takeuchi, S. (1999). Detection of urban damage using interferometric SAR decorrelation. In: *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1999. IGARSS'99 Proceedings. IEEE 1999 International*, 2, 925-927, doi: 10.1109/IGARSS.1999.774487.
- Yonezawa, C., & Takeuchi, S. (2001). Decorrelation of SAR data by urban damages caused by the 1995 Hyogoken-nanbu earthquake. *Int. J. Remote Sens.*, 22(8), 1585-1600, doi: 10.1080/01431160118187.
- 王志添，陳錕山 (2003)，雷達影像多時處理研究，*航測及遙測學刊*，8，45-56。
- 邱俊穎，胡植慶與謝嘉聲 (2019)，合成孔徑雷達衛星影像於颱風豪雨後洪水溢

淹及堰塞湖之偵測研究，2019 臺灣地球科學聯合學術研討會。

胡植慶，謝嘉聲，邱俊穎與李秀芳（2018），雷達衛星影像輔助林地災害偵測之研究(1/2)，行政院農業委員會林務局農林航空測量所委託研究計畫成果報告書，共 163 頁。

極隼科技股份有限公司（2012），雷達遙測技術於林地災害判釋之研究，農林航空測驗所委託研究計畫成果報告書。

委員審查意見

期初委員審查意見

期初審查意見	處理情形
委員意見：(依委員分列)	
(二) 王委員成機	
1. 第一個工作項目敘述很多方法及案例都是國外地區的影像，而本案為延續第一年的研究計畫，建議在期中報告可以將第一年所做的成果再利用這些方法進行分析。	感謝委員建議。
2. 利用SNAP、GRASS-GIS、R語言等開源軟體，在工作計畫書並沒詳述這些開源軟體使用部分為何，另有關R語言的程式開發部分的程度亦無說明，請於期中報告中加以補述之。	感謝委員建議。
3. 成果精度的評估係以地真資料（Ground truth data）相比較，藉由誤差矩陣獲得若干精度指標，惟這些指標的值該如何評估其優劣並未說明，應該要多加敘述。	感謝委員建議。
(三) 李委員茂園	
1. 有關以開源軟體為主之雷達衛星影像林地災害偵測流程，所建立之流程圖看來使用僅有事件前後期之雷達影像，跟其中有關圖4-1.6說明以干涉同調性與強度相關性進行災害偵測所需最少3張雷達影像，兩者處理流程有何不同？可否相對應？	偵測流程為第一期計畫所完成之雷達影像在淹水與山崩之偵測流程，而圖 4-1.6 為本年度計畫針對多時期雷達影像對災害偵測的概念圖，兩者並不相同。
(四) 蔡委員展榮	
1. 從雷達影像影像的挑選一直到成果產製完成與成果精度評估完畢，整個雷達影像資料處理流程的每一個資料處理步驟之決策（例如：選擇合適的雷達影像影像、參數值、門檻值）以及資料偵錯和品管措施，提高自動化程度，建議團隊可以考慮一併寫出，俾供農航所未來實際空載雷達影像作業之參考。	感謝委員建議。
2. 如果相關的專業術語有常見的不同中文翻譯，建議宜在其第一次出現處或另頁彙整對照說明之，例如第13頁「灰階共現矩陣（Grey Level Co-occurrence Matrix, GLCM）」，亦有中文翻譯為「灰階共生矩陣」、「灰階伴隨矩陣」、「灰度共生矩陣」、「灰度伴隨矩陣」	感謝委員建議。
3. 建議工作計畫書和未來的報告書使用的每一個計算公式及符號、資料計算處理流程、專業術語、圖表等宜做說明，俾於農航所同仁閱讀，了解其內容和意義。	感謝委員建議。

期初審查意見	處理情形
4. 部分語焉不詳的內容宜補充敘明，例如第17頁「但對於那些地表有位移，但並沒有造成地物特徵明顯改變的事件，則需要藉由其他的方法來進行偵測。」宜舉例補充說明此處所謂的「其他的方法」之內容。	感謝委員建議，已更正敘述文字。
5. 第7頁「圖4-1.4 2009年莫拉克颱風於臺東太麻里溪之堰塞湖雷達影像辨識成果。粉紅色為初始判釋區域，包含河道與山谷積淹水所造成的變遷，藉由河流圖層可萃取堰塞湖的範圍（藍），與航照所判釋的區域（紅）比較略有差異。」，有下列幾項問題提出： (1) 使用2009/07/08及2009/08/23的ALOS雷達影像影像（HH偏極），航照影像的空拍日期為何？。 (2) ALOS雷達影像影像（HH偏極）的像元GSD長寬大小分別為多少呢？。 (3) 雷達影像萃取堰塞湖的範圍（藍）與航照所判釋的區域（紅）呈現系統偏移約0.2~0.3km，可能的原因為何？。	(1) 航照範圍資料來源為陳昆廷等(2010)莫拉克颱風引致堰塞湖之案例分析，報告中未說明日期。 (2) 15 m x 15 m (3) 資料取樣時間不同或者是由於地形校正採用的DEM與山區地形不完全一致的誤差。
6. 第20頁「本研究將蒐集相關文獻，並以實際案例分析的結果，彙整建立雷達衛星影像於林地災害的分析判讀準則，包括適用於不同災害的雷達影像特性、判讀指標、判讀門檻、準確性與限制性等。」，這部分作法很好。	感謝委員建議。
7. 第20頁「圖4-2.1 2018/06/13豪雨屏東淹水雷達影像偵測結果。上圖左側為事件前雷達影像，上圖右側為事件時雷達影像，下圖將事件前雷達影像設為紅色，事件中雷達影像設為綠色與紅色，淹水區域則可藉由藍色系作為判讀依據」部分，上圖左側為事件前2018/06/03雷達影像，「下圖將事件前雷達影像設為紅色」，與圖示的「藍色」（2018/06/03）不符。請訂正。	感謝委員建議，已更正。
8. 第22頁「重點在這張災前的影像能夠與災害發生的時間越近越好，這組影像對會有較高的相關性，較不容易對實際變化區域的偵測造成誤判。」部分，近年來，臺灣的好山好水被嚴重破壞，過度開發，未做好水土保持，山區地表陡峭，加上瞬間豪雨，地震運動，斷層活動，導致山崩、土石流、淹水。衛星影像有一定的取像時間間隔（再訪	感謝委員建議。

期初審查意見	處理情形
週期)，發生災情的時刻，未必剛好有雷達影像衛星可以及時取得災區影像，故本案宜及早選定重點觀測區，仔細注意災害預報訊息，盡力收集合適的雷達影像影像，俾行災害偵測之測試分析。或是仔細找尋歷史災害事件且有適用的雷達影像影像，用來進行災害偵測之測試分析。這也顯示了雷達影像影像再訪週期之限制，另凸顯了空載雷達影像之重要性和適用性。	
9. 請再仔細檢查第 25 頁的各項分類精度指標之計算公式之正確性，例如「精確率 (Precision, P)」和「陽性預測率 (PositivePredictiveValue, PPV)」兩者的計算公式相同？建議一併寫出引用這些計算公式的可靠來源文獻。	感謝委員建議，已更正。
10. 第12頁圖 4-1. 8「.....左至右分別為同調性、同調性指標與.....」似乎應訂正為「.....左至右分別為同調性、同調性變化指標與.....」。另外，建議補充說明「災害等級分類」之內容與分類方法。	感謝委員建議，已更正。
11. 第4頁請補充說明式 4-1的符號 α 之意義。	感謝委員建議，已更正補充說明為入射角度 (Incidence angle)。
12. 第4頁式 4-4「i: Moving Windows中第幾個像元的指標」請補充說明擬採用的Window size之大小。	感謝委員建議，已更正補充說明，Windows 大小預計採用 19x19 至 25x25。
13. 第5頁「Iai與Ibi：事件前後影像Moving Window內像元的數值」請補充說明此處的「數值」是那一種數值呢？	感謝委員建議，已更正補充說明為 RVI。
14. 第5頁式 4-5的門檻參數 a =？ 符號 σ 的意義為何？	感謝委員建議，已更正補充說明： a:門檻參數，在 1.5 至 2 有較佳之結果 σ :式 4-4 中差異指標 d 的標準差
15. 第5頁圖4-1.2的綠、紅兩條曲線之意義為何？ 水平軸的Data是那一種數據呢？	已於圖說補充說明，橫軸表示圖 4-1.1 中雷達影像的數值分布範圍，縱軸代表機率密度。紅線與綠線為兩個子群分布的擬合曲線。
16. 第6頁圖4-1.3的多時變遷RGB影像僅使用兩個日期(2009/07/08及2009/08/23)的雷達影像影像嗎？左下圖的RGB示意2009/07/08為R而2009/08/23為G及B，以HH影像為例，似乎是以2009/07/08的HH影像值為R而2009/08/23的HH影像值為G及B，據以產生此圖的彩色影像，是嗎？如果是如此圖標題文字所述，是以兩日期的雷達	是。 是。 R、G、B 三個波段之數值為 0-255。

期初審查意見	處理情形
影像影像HH（或HV或RVI）的差值來定義RGB影像，此時的R、G、B三個波段之數值為何？	
17. 第8頁式4-6有下列問題提出： (1) 「 $I_i(x,y)$ ：第k張影像中 (x,y) 位置的影像強度(Intensity)」的「第k張」似乎應訂正為「第i張」。 (2) 「 $E[I]:(x,y)$ 位置的區域平均值」是否為「 (x,y) 位置的區域期望值，以平均值來表示之」呢？	(1) 已更正 (2) 是
18. 第10頁「圖4-1.6以干涉同調系與...」的「干涉同調系」應訂正為「干涉同調性」。	感謝委員建議，已更正。
19. 第11頁式4-7公式採用大寫 C_1 、 C_2 ，下一行的符號意義說明卻是小寫 c_1 、 c_2 ，建議大小寫宜統一。	感謝委員建議，已更正。
20. 第11頁「把ND值最為偵測指標」語意不明，有錯字？	感謝委員建議，已更正文字敘述。
21. 第12頁宜補充寫出「同震同調性差異之指標(Coseismic Coherence Difference, CCD)」的計算公式。	感謝委員建議，已補充。
22. 第17頁「次像元相關法(Sbupixel correlation)」應訂正為「次像元相關法(Subpixel correlation)」。	感謝委員建議，已更正。
23. 第21頁「圖4-2.2 2009年莫拉克颱風臺灣西南部山崩偵測結果。事件前平均雷達植被指標設為紅色，事件後平均RVI設為綠色與藍色。崩塌區可藉由紅色系作為判讀依據。」部分，其中「平均雷達植被指標」、「平均RVI」，請補充說明圖4-2.2的每一個像元的RGB對應的「平均雷達植被指標」、「平均RVI」分別是以多大的moving window size計算得到的平均雷達植被指標、平均RVI值呢？	感謝委員建議，已更正文字錯誤，刪除平均之敘述。
24. 第22頁「各類衛星拍攝區域(圖4-3.2)」宜補充修訂為「各類雷達影像衛星拍攝區域(圖4-3.2)」。	感謝委員建議，已更正。
25. 第31-32頁表6.2遺漏「發表國內期刊論文至少1篇」及農航所徵求文件第5頁(四)「教育訓練：108年10月31日前，6小時以上」	感謝委員建議，已補充。
(五) 王委員國隆	
1. 蔡委員剛提出熱點區監控的部分，其他的單位應該都有相關災害警示區域的資料可以蒐集、參考。	感謝委員建議。
2. 有關影像取得的部分，今年初台灣山區有發生大規模的森林火災，亦可以作為本研	感謝委員建議。

期初審查意見	處理情形
究之案例。	
3. 本計畫使用之Offset tracking有無分析其精度及能力為何？之前所使用SNAP進行分析之成果不佳，若成果不彰者，有無其他替代方式？	感謝委員建議，本案 Offset tracking 採用開源軟體 MicMac。
4. 有關正確性的部分，第二年係以成果精度評估其成果之正確性，去年則用位移，這裡宜補充。	感謝委員建議，去年是用成果精度評估。
5. 本年度之第四項工作項目「發表報告及辦理教育訓練」，並無在工作計畫書中說明相關規劃，應該要寫在規劃裡。	感謝委員建議。
(六) 管委員立豪	
1. 除了森林火災之外，針對新竹、竹東那邊露營地的非法開發，是否可用雷達影像來偵測？	感謝委員建議，如有相關影像與資料，可以進行測試。
(七) 吳委員孟哲(書面意見)	
1. 有確實訂定出計畫中所需使用或適合的影像處理演算法、處理過程以及分析流程。	感謝委員建議。
2. 考量不同波長所拍攝的雷達影像以及各地區（國家）不同的地形、地物影響，建議在計畫書內提及的門檻值，未來可訂定出適合於台灣地區的值域規範。	感謝委員建議。
3. 相較於計畫執行者（如胡植慶教授團隊），其他一般使用者或是國家行政單位（如農航所）可能較難獲取大量的較高價位的商業雷達影像（如TerraSAR-X、ALOS-2及RADARSAR-2等），因此免費的Sentinel-1雷達影像可能為較常使用之資料。因此建議計畫執行者可提供較多的Sentinel-1的災害案例。但其空間解析度較粗，因此在一些山區崩塌地的災害案例可能較難以判釋；可能原因除了空間解析度較差、台灣山區地形起伏較劇烈以及C波段較難以穿透植被，可能造成崩塌地（地表粗糙度較高）與植被頂層（vegetation canopy）同為體散射（volume scattering），因此造成RVI的誤判等。期望計畫執行者針對較難以辨識之案例中可以整理出一解決方式或是整理出礙於感測器硬體及系統設計上的性能特性，何種條件下確實難以判釋出災區。	感謝委員建議。
其他出席人員意見：	
林務局森林企劃組吳技正俊奇	
1. 請於期中報告納入第一年研究成果，俾於瞭解全程科技計畫之執行情形。	感謝委員建議。

期初審查意見	處理情形
2. 有關森林變遷之偵測，目前係以航照5年1次進行台灣森林資源調查作業，其使用航照之能量受限於天候、陰影之影響，不知以雷達影像輔助進行森林變遷之偵測，是否能補航照作業之不足？	本案在研究雷達影像於林地變遷偵測之方法與可行性，目前無法斷定是否可直接補航照作業之不足。
林務局集水區治理組林貴崑	
1. 本案除使用SNAP、GRASS-GIS、R語言等開源軟體外，是否也有考量使用農航所目前有的相關商用軟體？	本案契約目標在使用開源軟體建構雷達影像於林地災害的偵測方法。如貴所提供軟體，可進行測試。
吳副所長淑華	
1. 有關雷達影像森林變遷之偵測，台灣地區森林的樣態多及尺度小的緣故，擔心工作計畫書之預期成果可能會無法收斂，建議應慎選測試區域及目標。	感謝委員建議。
葉課長堃生	
1. 若發生緊急災害時，能取像之雷達衛星影像受限於其再訪週期，是否可針對每一種雷達衛星影像制訂其作業流程？	對於本計畫已經分析過的雷達影像，可建立較確定的作業流程。雖然雷達影像處理的概念大致相同，但對於未使用過的雷達衛星影像，無法確認其可行性。
2. 本所前於102年購買COSMO-skyMed雷達衛星影像，惟無法從影像上直接分析出有災害區域，希望之後可以再請研究團隊分析，如有需要並購買前期影像，以俾納入期中報告。	感謝委員建議。
黃技士宗仁	
1. 之前與研究團隊討論可否以雷達衛星影像偵測其火災跡地範圍，103年至107年間歷年森林火災圖及詮釋資料並於2月19日mail給研究團隊，再請研究團隊後續找尋是否有適合之雷達衛星影像進行森林火災範圍之偵測研究	感謝委員建議。
2. 本年度徵求文件中有提到履約期間如遇緊急災害時，研究團隊需協助本所以雷達衛星影像輔助林地災害偵測之影像蒐集、影像處理、分析作業等流程至少1次，請研究團隊提出需處理相關作業之硬體設備及網路環境等，並於汛期前至本所安裝開源軟體並進行測試。	感謝委員建議，將於貴所安裝軟體並進行測試。

期中委員審查意見

期中審查意見	處理情形
委員意見：(依委員分列)	
(一)吳委員孟哲	
1. 第5頁提到式4-4為誤植，應修正為式2-4。	感謝委員建議，已修正。
2. 建議第8頁所使用開源軟體SNAP之多時斑駁雜訊濾波有很多選項，本研究所使用是哪一種，應於報告中敘述之。	感謝委員建議，在雷達影像多時期濾波章節內文中有敘述使用 Refined Lee 濾波器(p. 10)。
3. 第24頁列表中提到每一火災偵測事件使用 SAR 影像數量為8張，其選擇影像之依據應補充。	感謝委員建議，已於內文補充說明(p. 27-28)。
4. Pixel Offset會針對不同資料來源有不同視窗大小、參數給定的不同，這邊會需要人工介入調整，在自動化流程上該如何去處理，應做考量。	感謝委員建議，可於 MicMac 計算時改變 SzW 參數的大小來調整計算視窗大小(p. 36)。
(二)蔡委員展榮	
1. 建議將參與計畫的團隊助理們加入參考文獻「胡植慶，謝嘉聲(2018)，雷達衛星影像輔助林地災害偵測之研究(1/2)，行政院農業委員會林務局農林航空測量所委託研究計畫成果報告書，共163頁。」的作者群中。	感謝委員建議。
2. 第27頁 圖2-3.6及第28頁 圖2-3.7是本案之計算成果嗎？報告書中之成果圖表若是引用自參考文獻者，建議加上來源文獻。	是本案計算成果(p. 31)。
3. 第30頁 圖2-4.1是引用自(Valkaniotis et al., 2018)嗎？圖2-4.2的位置是在圖2-4.1的何處呢？請補充之。	感謝委員建議，已更正(p. 34)。
4. 第31頁「對美國科羅拉多州斯拉姆古利恩滑坡(Sluggullion Slide)進行分析，結果顯示活動速率約1.6-10.9 mm/day(圖2-4.3)。」而圖2-4.3之3圖下方色階尺標示的單位是cm，不是速率單位，請確認後修正。	感謝委員建議，已更正說明數值為 2011-08-19 至 2012-05-09 期間的水平變形量，平均速率為 1.6-10.9 mm/day(p. 35)。
5. 部分測試使用5m DEM進行地形校正(例如第10頁)，部分測試卻使用SRTM DEM進行地形校正(例如第24頁)，其原因為何？請說明。	主要是因參考 Deutscher et al. (2017) 的研究進行多時林地變遷偵測時，需要進行地形平坦化的輻射校正，而這一版的 SNAP 在處理這個動作時有 BUG，使用 SRTM DEM 會比較正常執行，網站已公告第 7 版的 SNAP 會修正此問題。
6. 建議調整圖編號：第9頁前圖編號為圖2-0.1至圖2-0.4，後卻改為圖2-1.1；第14頁前圖編號為圖2-1.1至圖2-1.4，後改成圖2-2.1，	在貳、多時期雷達衛星影像分析技術輔助林地災害偵測之研究章節中，一開始的圖編號為 2-0.X，進入小節之後，

期中審查意見	處理情形
以上請修正之。	一、雷達影像多時期濾波處理的部分，圖編號為 2-1.X 二、雷達影像多時期變遷偵測的部分，圖編號為 2-2.X 三、雷達影像林地變遷偵測的部分，圖編號為 2-3.X 四、偏移偵測法在雷達影像上的應用的部分，圖編號為 2-4.X
7. 第11至13頁使用3幅L波段ALOS HV極化影像（1/5、7/8、8/23）來測試山崩變遷偵測的效果，而第16頁卻是使用3幅L波段ALOS HH極化影像（1/5、7/6、8/23）來測試山崩偵測的效果，原因為何？且日期亦不一致，請確認後修正之。	感謝委員建議，已更正日期錯誤的地方，並增加內文說明使用 HH 極化之原因：「與之前使用交叉極化 HV 或 RVI 指標作為分析略有不同，我們測試一般雷達影像較好取得的平行極化影像，測試其偵測效果」（p. 17）。
8. 第36頁「日本北海道於當地時間2018年9月6日清晨發生了規模6.6強震，接近震央的厚真町丘陵地一帶更發生大規模走山，崩塌面積約達24平方公里（圖2-4.6）。本案例使用C波段Sentinel-1VV影像進行分析，影像時間為2018年8/24與9/5（UTC+0）。」，所使用之影像皆為災前，是否誤植，請確認。	雷達影像時間皆以 UTC+0 表示，9/5 之影像為為當地時間 9/6 早上 7:46，而地震時間為當地時間 9/6 早上 3:07。
9. 第42頁「處理過程需多方（開源）軟體之配合，包括：……」，似乎遺漏了第32頁所提的開源軟體MicMac進行偏移偵測，請補充之。	「建立以開源軟體為主之雷達衛星影像林地災害偵測流程」目標在將去年度已經順利測試的成果進行建置，因此尚未包含本年度進行分析與測試的部分。
10. 第43頁圖4-0.1及圖4-0.2兩者的圖標題太冗長，建議宜修訂並將其冗長標題文字移到敘述段落中。	感謝委員建議，已修正(p. 51)。
11. 為了讓農航所同仁們從報告書中具體認識 SAR 資料處理，俾儘早能獨立具體實作來執行未來的常態業務工作，建議：	
(1) 補充說明每一 SAR 資料處理步驟、成果檢核及偵錯項目、及具體的檢核偵錯做法：如何篩選合宜的 SAR 影像、挑選主影像、影像前處理（例如：多視處理、輻射校正、斑駁濾波、SAR 影像套合、地形校正、影像格式轉換）？如何研判和決定合宜的計算參數值？如何判斷用來做地形校正的 DEM 是正確的？如何將成果轉換到 TWD97 及 TWVD 2001 坐標系統中？如何計算式（2-1）的入射角？粗略計算？還是嚴密的精確計算？例如：	

期中審查意見	處理情形
A. 第 19 頁「平原區淹水案例使用 C 波段 Sentinel 1 VV 極化影像作為分析，共取 3 幅影像，影像時間依序為：8/2、8/14 與 8/26，山區堰塞湖案例使用 L 波段 ALOS HH 極化影像作為分析，共取 3 幅影像，影像時間依序為：1/5、7/6 與 8/23。」，宜說明為什麼挑選 C 波段 Sentinel 1 VV 極化影像？為什麼挑選 L 波段 ALOS HH 極化影像？為什麼前者只差 24 天？而後者差了 8 個月？ B. 第 19 頁「目前的研究成果顯示，以多時變遷分析的 ND 作為淹水區域判釋的指標並不理想。」第 25 頁「火災區域在平均變異係數與背向散射係數趨勢上，都沒有特別不一樣的差異，因此無法有效辨識火災的區域。」第 27 頁「本案例分析結果與 Deutscher et al. (2017) 的研究有不同的地方」，成果不理想、無法有效辨識火災的區域、結果與國外者不一樣等的原因是否使因為使用不恰當的計算參數值所造成的呢？還是計算錯誤造成的呢？還是使用的 SAR 影像不恰當所致呢？	A. Plank(2014)多時期的災害偵測最少使用 3 張影像，所以採用離災害發生最近的 3 張影像，包括事件前 2 張與事件後 1 張，而每個災害發生可以使用的影像有限，平原區淹水案例恰好有 C 波段 Sentinel 1 影像可以使用，也只有該影像可以使用，而山區堰塞湖只有 L 波段 ALOS 影像可以使用，兩個事件前後的可取得的影像則定義了影像的時間間距(p. 23)。 B. 感謝委員建議，可能的原因很多，目前認為可能是區域特徵的差異、方法是否適用與是否有相關遮罩資訊降低干擾等因素。 多時變遷分析的淹水分析：ND 法需要使用三張以上影像，並使用 Moving Windows 進行計算，會包含較長期的影像變化，會使得影像特徵有平均的效果，而且不論數值是正變化或負變化都會涵蓋其中，與淹水在背向散射係數負的變化有區別。 在火災辨識的部分：在台灣地區的案例，目前認為從光學影像就看不到地物有明顯的變化，因此雷達影像也不會有變化。而在加州的案例，目前分析的結果認為是區域特徵不同與是否有遮罩資訊降低干擾的差異，Deutscher et al. (2017)該研究區域為地形較平坦與植被茂密的熱帶森林，林木的移除在雷達影像的特徵明顯，而且該方法有使用當地的地理資訊遮罩，移除非森林地區。因此他能將影像有變化的區域聚焦在只有森林的區域。 感謝委員建議，已在各事件增加有關的說明。目前在 SNAP 的地形校正過程，如果是使用自行輸入的 5m DEM，可以先在 GIS 軟體檢查是否有問題，再當作地形校正的輸入檔，但如果是預設使用 SRTM DEM，SNAP 是從網路下載，無法進行檢查，只能在 GIS 軟體比對處理完的雷達影像與其他地理資訊是否吻合，來進行確認。 地理坐標轉換的部分，目前 SNAP 是使用 WGS 84 的資料，大部分 GIS 軟體(ArcGIS

期中審查意見	處理情形
	or QGIS)只要設定需要顯示的坐標系統，即使資料是屬於不同坐標系統，也能統一顯示在自行設定的坐標系統當中，不需要特別經過轉換。 在 SNAP 軟體中的輻射校正所需要的入射角不需要使用者自行計算，軟體是根據衛星影像詮釋檔案內的參數進行計算。
(2) 補充說明報告書陳述各項測所試使用的SAR影像通過臺灣的軌跡及升軌（或降軌）。	感謝委員建議，已補充。
(3) 具體寫出本計畫使用的開源軟體名稱：例如第iv不同的開源軟體常有不同的SAR資料處理項目和方法，相同的處理項目之處理效能及成果品質也常不同，所得結論也未必相同。	感謝委員建議，已補充(p. v)。
(4) 以下語意於報告書有誤植或不清楚者，請確認後修正： A. 第 19 頁「由於水會造成雷達訊號地『低』下，因此……」。 B. 第 1 頁「現已有多套開源軟體為...」，請具體寫出此處所指的開源軟體名稱。 C. 第 6 頁「Sentinel-1 VV 極化雷達影像數值」是何種數值？是背向散射係數嗎？ D. 第 7 頁圖 2-0.4 如何得到「航照所判釋的區域」？係以人工方式判釋？如何確認與 SAR 的成果兩者的坐標系統一致呢？圖示的平移之可能原因為何？ E. 第 8 頁「E[I]: (x,y)位置的區域期望值，以平均值來表示之」，是以多大的視窗來計算平均值呢？ F. 第 10 頁「每張影像拍攝時的軌道略為不同，大小也有差異」，宜量化描述軌道位置差異大小。 G. 第 10 頁「地形校正：使用 5m DEM 進行地形校正，將影像轉換為地理座標 (EPSG:4326)。」，使用的 5m DEM 是哪時候產製？跟 SAR 影像取像時間相隔多	A. 感謝委員建議，已修正(p. 23)。 B. 感謝委員建議，已補充(p. 1)。 C. 指的是圖 2-0.1 雷達影像的數值，為背向散射係數(p. 6)。 D. 航照範圍資料來源為陳昆廷等(2010)莫拉克颱風引致堰塞湖之案例分析，報告中未說明判釋方式。已在 GIS 系統將坐標統一再進行比對。資料取樣時間不同或者是由於地性校正採用的 DEM 與山區地形不完全一致的誤差(p. 7)。 E. SNAP 軟體將根據使用的濾波器進行計算，並不需要設定。 F. 感謝委員建議，已補充說明套疊動作的文字說明(p. 10)。 G. 5m DEM 為農航所提供之資料，製作時間為 2013 年，與 SAR 影像相隔 5 年。EPSG 的英文全稱是 European Petroleum Survey Group，中文名稱為歐洲石油調查組織

期中審查意見	處理情形
久？地理座標 (EPSG:4326) 意義為何？ H. 第 10 頁「Refined Lee 濾波器可以較有效的分離水體與非水體」，使用的 Refined Lee 濾波器是 SNAP 內建程式呢？抑或由研究團隊自行撰寫？ I. 第 11 頁「相似拍攝參數」，其參數值的差值要多小才算是相似？拍攝參數包括那些？ J. 第 12 頁「影像時間基線超過好幾個月，……建議取較短時間基線的多時影像（1 個月內）進行多時濾波」，影像時間基線超過好幾個月？依據第 11 頁（1/5~8/23）間隔應有 8 個月，又與建議的（1 個月內）不一致。 K. 第 18 頁「ND 數值大於 2 個標準差（約 0.02）的區域」，1 個標準差是 0.01 嗎？ L. 第 19 頁「且仍有相當一部分的區域是指事件前後變化大但非淹水的區域」，係指多大區域？ M. 第 21 頁「結果顯示在大於 0.5 公頃的變異區域之偵測準確率相當高：ALOS PALSAR=76%、TerraSAR-X=96% 與 Sentinel-1=98%。」，如何求得準確率？ N. 第 22 頁圖 2-3.1 宜與其前後文統一使用中文來撰寫，並補充說明其資料處理步驟。	（http://www.epsg.org/），它負責維護併發布座標參照系統的資料集引數，以及座標轉換描述，該資料集被廣泛接受並使用，目前已有的橢球體，投影座標系等不同組合都對應著不同的 ID 號，這個號在 EPSG 中被稱為 EPSG code，它代表特定的橢球體、單位、地理座標系或投影座標系等資訊。EPSG 對世界的每一個地方都制定了地圖，但是由於座標系不同，所以地圖也各不相同。EPSG:4326 在世界地圖方面，EPSG:4326 是比較著名的一個，因為由美國主導的 GPS 系統就是在用它，它還有一個別名為 WGS84(p. 10)。 H. SNAP 內建(p. 10)。 I. 在挑選影像時，可設定影像區域與軌道編號，目前考慮升降軌要各自匹配，不能互用，內文已修正敘述為「相同軌道編號」(p. 11)。 J. ALOS 在該事件並沒有其他影像可以選擇。如果有選擇，建議使用 1 個月內的影像，降低地物隨著時間變化的干擾(p. 12)。 K. 1 個標準差並非 0.01，已修正內文為 ND 數值大於 2 個標準差（在此案例中 ND 數值約 0.02）(p. 19)。 L. 並未計算面積大小，主要是指由圖 2-2.5 左側非藍色淹水區域，卻在 ND 圖中指出有明顯變異的區域(p. 23)。 M. 該研究從光學影像取得已知變異區域，再與雷達影像判釋的區域進行比對，以求得準確率(p. 25)。 N. 感謝委員建議，已更正(p. 26)。

期中審查意見	處理情形
O. 第 24 頁「計算影像統計值：最小值/最大值/平均值/標準差/變異係數/趨勢。」，何謂趨勢，請說明。 P. 第 24 頁「林地變遷偵測：偵測原則為高變異係數與背向散射係數趨勢是負值的區域」，此處所稱「負值」是指什麼？ Q. 第 27 頁「找出火災對植被擾動的區域」，此處所稱「擾動」是指什麼？ R. 第 29 頁「則需要藉由不同的方式來進行偵測。」，不同的方式是指？ S. 第 29 頁「最終會得到相關性平面的極值來決定偏移的方向與偏移量。」，是如何決定偏移的方向與偏移量呢？ T. 第 32 頁「我們利用 R 語言進行處理，將結果轉換為地理座標，數值代表向東與向西的偏移」，為何是向東與向西的偏移？ U. 第 35 頁圖 2-4.5 的灰階尺「高……低」代表的數值為多少呢？第 37 頁圖 2-4.7 的灰階尺「H……L」代表的數值又是多少呢？ V. 第 38 頁、第 42 頁「可以指示山崩發生的概略位置，但範圍都比實際山崩的範圍更大」，建議量化敘述之。	O. 已補充於圖 2-3.1。為後三張影像的平均扣除前三張影像的平均(p. 26)。 P. 趨勢影像數值為負的區域(p. 28)。 Q. 是指火災後植被的變化，已更改敘述為「影響」(p. 31)。 R. 已更改敘述將方法列入，「可藉由合成孔徑雷達干涉 (D-InSAR) 或次像元相關法 (Subpixel correlation) 來進行分析。」(p. 33)。 S. 如同一維交叉相關的計算，會得到多少偏移量時會有最大相關性，來決定偏移量，二維的偏移偵測法也會得到像元在哪個方向與距離有最大的相關性，決定偏移方向與偏移量(p. 33)。 T. 已修正文字錯誤「向西」->「向北」(p. 36)。 U. MiaMac 軟體計算後，會有一張相關性影像，但其數值為灰階的 0-255，並非實際相關性數值，因此以「高……低」、「H……L」來表達影像相關性(p. 40, 42)。 V. 感謝委員建議。
(5) 增列期中報告的結語，歸納並陳述期中工作（包括實作測試及文獻收集的國內外實際經驗）所獲得的SAR輔助林地災害偵測之相關結論要點與建議（建議經驗值及挑選SAR影像，降低實際作業之複雜度）。例如第2頁紅底線標示區的文字。	感謝委員建議(p. 66)。
(6) 建議可增列本案處理分析SAR影像的相關經驗，以降低實際作業之複雜度。	感謝委員建議(p. 64)。
(7) 報告書結尾增列全文使用的英文縮寫之全名及其意義（例如RVI）。	感謝委員建議(p. 67)。

期中審查意見	處理情形
12. 建議檢視各圖的可讀性：部分圖太小、或圖中的字太小、或圖中的字跟其背景反差對比不佳，不易閱讀圖的內容。	感謝委員建議，已修正相關圖之內容。
13. 建議檢視並修訂報告相關敘述文字的恰當性：如第9頁「我們考慮了兩種情境包括平原區與地形崎嶇與植被茂密的山區來測試多時濾波應用於臺灣區域的效果。」，建議要留意有限的測試案例所得到的結論是否具有代表性？	感謝委員建議，已修正內文敘述(p. 9)。
14. 前後文用詞宜統一：例如「多時序」或「多時」、「換取空間解析力」或「保留相當程度的空間解析力」、「地點匹配」或「地點符合」或「地點相同」、「指標」或「指數」、「植被」或「植披」	感謝委員建議，已更正。
15. 數學符號字形宜統一：例如第8頁「N:N個時序的影像」。	感謝委員建議，已更正(p. 8)。
16. 字形及字體大小宜統一：例如第15頁「強度相關性(Intensity correlation, ρ).....t1與t2影像的強度數值.....的正規化指標」。	感謝委員建議，已更正(p. 16)。
17. 建議將第5頁圖2-0.1光學影像做合宜的色調亮度調整，避免出現太明顯的接合線。	感謝委員建議，向農航所同仁請教後，已進行修訂，但該區由兩個航線拍攝，時間差異太大，陰影方向不同，水體的反光也差異太大，只能修正同一航線的影像，兩條航線接合處的色差無法有效去除(p. 5)。
18. 其餘請參閱期中報告書紙本紅色眉批來修訂	感謝委員建議。
19. 宜避免累贅字詞：例如「地面像元單元」。	感謝委員建議，已更正。
20. 部分引用的文獻未列入參考文獻清單中，例如第10頁「極隼科技股份有限公司(2012)」、第31頁「Wang et al., 2016)」。	感謝委員建議，已更正。
21. 在第17頁圖2-2.3中，上圖的Intensity Correlation文字寫到圖片中，遮蔽圖片內容，建議分隔之。下圖右下角直方圖太小，又蓋住了下圖內容，不妥。建議改善之。	感謝委員建議，已更正(p. 18)。
(三)王委員國隆	
1. 請將之前的研究成果一併納入期中報告，俾於瞭解執行情形。	感謝委員建議。
2. 第8頁斑駁處理(Speckle noise)部分，因每1張SAR影像range不同，不用正規化方式而是用同1張處理，則會有過亮或過暗之情形。	影像已先經過輻射校正處理，校正range不同所造成的明顯反射強度差異。
3. 第15頁「災前影像對跨災時影像對的差異性變化，進一步計算可得到『災損評估』的正規化指標.....」，所謂災損是有計算其損失，建議修正這名詞。	感謝委員建議，已更正(p. 16)。

期中審查意見	處理情形
4. 第25頁圖2-3.3之左、右圖是否放相反，請確認之。	感謝委員建議，確認後圖為正確(p. 29)。
5. 本研究以偏移偵測法進行地形變遷偵測，而忽略掉使用雷達影像特性，請問是否考慮使用SNAP內建相關功能？	感謝委員建議，過去曾比較 SNAP 內建功能與 MicMac 的差異，MicMac 在處理速度與成果都比 SNAP 內建功能要好，因此目前考慮使用 MicMac 來進行處理。
6. 第34頁有關圖2-4.4是否在SAR影像的角落處，以致於東西方向的位移量偵測顯示較差。	該地震為近乎南北向的走向滑移斷層活動，在東西向變形較小。偏移偵測法在東西向的偵測結果也是相同(p. 38)。
7. 第35頁圖2-4.5的案例已是山崩較為不合適。	感謝委員建議，研究結果顯示偏移偵測法仍可偵測出山崩發生位置(p. 40)。
8. 補充報告中洪水量呈現較不合理的情形，是否以推估而得的洪水量？	洪水量為模擬之結果，有可能因此造成差異。
(四)李委員茂園	
1. 期中報告中未見期初審查會議各審查委員及與會人員所提列意見之回覆，建議於修正後期中報告內列表呈現。	感謝委員建議，已修正列入(p. 71~)。
2. 補充報告中所使用的UAV-SAR是使用哪種波段的影像？	L 波段。
(五)管委員立豪	
1. 本案分析不同林地災害之偵測，建議報告書於結論前增加研究成果討論之章節，統整本研究報告中的案例的成果及遭遇問題等，對於後續本所在執行上參考價值更高；至於結論則以大方向的前提之下進行總結。	感謝委員建議(p. 64)。
其他出席人員意見：	
吳副所長淑華	
1. 結論部分對於整個行政決策是重要的篇章，若結論的內容過於簡略或肯定，往後在實際執行上會有其風險，本報告的結論有些可能只是或單一案例研究的成果，是否足以成熟到適合下一步決策的推行，在結論的呈現可簡略加上前提，例如說以美國加州火災為例，偵測其火災跡地有一定成果，但在臺灣的地形就無法有效偵測出來，可以加上多大面積或變化情形才能有效被偵測。	感謝委員建議(p. 66)。
2. 有關補充報告UAV-SAR的全文報告是否可提供給本所參考。	感謝委員建議，已提供貴所參考。
林務局森林企劃組吳技正俊奇	
1. 林地變遷偵測及火災跡地偵測的案例多為國外為主，而臺灣的案例較為缺少，建議能從透過林務局相關林地變遷偵測的研究案	感謝委員建議。

期中審查意見	處理情形
例或整理的資訊再搜尋是否有合適的SAR影像。	
2. 第25頁圖2-3.3有關森林火災跡地偵測左、右圖請再確認。	感謝委員建議，確認後圖為正確。
林務局集水區治理組林貴崑	
1. 地形校正在套合後，為何不在影像前處理時就進行地形校正？而其門檻值是依據經驗給定？還是其他方式給定？	地形校正後數值會因修正地形效應(例:前坡縮短與疊置之現象)，造成數值偏移，因此最後才會進行地形校正。門檻值可依過去處理之經驗給定，也可依造目前影像統計分布來給定。
葉課長堃生（書面意見）	
1. 雷達衛星影像林地變遷偵測一節，有關森林火災部分係以Deutscher et al. (2017)之研究進行探討，建議於會議中詢問補充其他文獻之可能性。	感謝委員建議，未來將搜尋是否有其他相關文獻。
2. 合成孔徑雷達干涉(D-InSAR)若變形方向平行衛星飛行方向，或與衛星飛行方向夾角較小時，是不容易偵測出來，報告中提出以偏移偵測法(Pixel-Offset, PO)來進行分析，建議補充說明在變形方向未明之時，判斷使用PO之原則，如無法確認，請說明是否每次都應額外進行PO運算以確保成果？。	由於 D-InSAR 在植被茂密區域的相干性低，不容易進行分析。如果是為了在林地進行變遷分析，建議直接使用 PO 進行分析。
3. 第38頁「……但範圍都比實際山崩的範圍更大，顯示偏移偵測法有能力作為山崩變遷分析的工具」等語，應更具體說明推論「有能力」作為山崩變遷分析之工具之邏輯關係。	感謝委員建議，已修正敘述「偏移偵測法可以偵測出山崩發生的位置，可作為山崩變遷分析的工具」(p. 43)。
黃技士宗仁	
1. 「雷達衛星影像輔助林地災害偵測之研究」案依合約應發表相關成果於國內期刊論文至少1篇，請於審查會議中提醒研究團隊儘早準備。	感謝委員建議。
2. 為精進衛載SAR處理之操作技術，除「雷達衛星影像輔助林地災害偵測之研究」案期末教育訓練外，自7月起請研究團隊規劃每月派員至本所指導操作，屆時請由本所衛載SAR小組成員參加。	感謝委員建議。
許技正玉君	
1. 報告中指出有關地形校正部分係使用內政部5m DEM進行，該資料為正高系統，是否有轉換成橢球高？還是該差值是否可以忽略之？	並未轉換成橢球高，以目前地形校正後的影像與特徵地物比對的結果，並沒有明顯差異，推測在目前計畫的應用上，可忽略其差異。
2. 報告書第32頁有關「套疊」的說明：將影像套疊至事件前的影像，形成大小一致的影	感謝委員建議，已修正內文「形成影像大小與像元大小一致的影像對」(p. 36)。

期中審查意見	處理情形
像對，應更明確定義「大小一致」之空間意涵。	
3. 有關林地災害之雷達衛星影像分析判讀準則建立，於報告中有相當詳細的研究說明與流程，惟因混列較不容易快速查找，建議於該章節最後加上列表，依各類災害及分析需求，列出建議之雷達衛星影像、波段及極化組合、相關門檻值及指標，以及配合的軟體程式功能、分析結果判讀方法等，並以SOP手冊方式呈現，俾利於快速查找及操作。	感謝委員建議。
李課長鴻德	
1. 目前計畫內容有關衛SAR影像材料取用多是以ALOS(L-band)及Sentinel-1(C-band)為主，建議可增加不同頻段的SAR影像使用分析說明，例如解析度較佳之SAR影像(X-band)。	感謝委員建議，已於山崩災害判釋列入 X band 影像分析案例(p.20~22)。
2. 建議手冊增加不同災害影像來源的範例說明，使用衛星的參數也一併納入。	感謝委員建議。

期末委員審查意見

期末審查意見	處理情形
委員意見：(依委員分列)	
(六) 李委員茂園	
5. 期末報告第47頁之表3.1中所列淹水及山崩等災害類型以學理上係使用L band進行偵測為佳，但在結論提到以高解析度X band進行測試，有能力作為山崩判釋的分析工具。這結論是否在臺灣地區以高解析度X band進行偵測效果不錯？抑或僅針對本次案例成果而言？	1) 就山崩改變地表型態的特性，X band 的穿透性較低，確有較佳的能力偵測到地物表面型態的改變，藉而偵測到山崩的區域。但颱風豪雨天候不佳情況容易受水氣影響是他的缺點。 2) L band 的雷達波穿透水氣的能力最佳，有較好的能力在颱風豪雨天候不佳情況對地表取像，但由於其雷達波穿透性大，要偵測山崩的變異，需仰賴交叉極化與平行極化訊號計算 RVI 才有較好的山崩偵測能力。
(七) 吳委員孟哲	
1. 由於之前以C band或X band進行災害InSAR分析時，發現偶有雷達影像會因雲層而會影響到產生之干涉條紋，建議緒論之一、計畫整體概述第5行修正為「……幸而目前已有多个國家發展雷達衛星，『較』不受天候之影響……」。	感謝委員建議，已修正。
2. 期末報告第14頁「……建築物在災後變成碎片，造成背向散射係數的增加……」，但原本完整之建物其反射強度應該較強，災後成為碎片後地表粗糙程度會造成反射訊號較原本為弱，請研究團隊說明。	在建物鄰近區域的雷達陰影區會因為災害後建物破碎造成陰影區的消失，反射訊號會增加。
3. 期末報告第20頁第5行後半段誤植「ALOS」，請修正之。	感謝委員建議，已修正。
4. 森林火災事件偵測係以強度影像來分析，較細微之變化無法有效偵測出來；建議可試以coherence方式進行分析，較能偵測出細微變化。	感謝委員建議，目前測試結果，仍無發現明顯異常。
5. 本研究計畫主要針對緊急災害時以雷達衛星影像進行災區範圍偵測，而衛星精密軌道資訊並非第一時間就可取得，該如何針對災後影像進行衛星軌道參數之修正？請說明之。	感謝委員建議，由於災前影像有精密衛星軌道資料，災前影像可得到較佳的地理座標，之後以災前影像為主影像進行套疊，即可將災後影像在沒有精密軌道的情況下給予良好的地理座標定位。
(八) 王委員成機	
1. 工作項目「林地災害之雷達衛星影像分析判讀準則建立」僅以期末報告第47頁之表3.1中所列相關淹水、山崩等災害類型之分析判讀準則，該內容是否符合農航所之需求，可與所方再討論後增修相關內容。	感謝委員建議

期末審查意見	處理情形
2. 根據專家學者之研究，對於偵測的範圍可到達0.5公頃，惟本期末報告之大甲溪事業區火災偵測範圍有14公頃卻無法有效偵測出來，這邊是否使用此方法在臺灣地區無法偵測出來？而結論卻引用剛果盆地林相變遷偵測之案例較不合適，應改用美國加州森林大火。	感謝委員建議，在結論與未來方向之章節修改與新增內容-多時期分析可以應用在火災跡地的辨識，以美國加州火災為例，雷達影像林地變遷偵測在火災跡地的辨識有一定的成果，但在臺灣仍需要更多實際案例的分析以了解其特性與可行性。
3. 本研究使用內政部公告之5m DTM係正高系統，而SRTM應為橢球高系統，兩者在臺灣地區之差異可高達28公尺，若無轉置於同一系統是否無影響？請研究團隊再確認之。	感謝委員建議，由於雷達影像不具高程資料，使用數值高程的目的在將原來以Range與Azimuth為座標系統的雷達影像，轉換為經緯度或分帶座標。以目前的案例分析測試結果顯示，分析成果之定位座標在應變提供災情資訊的目標上並沒有太大的影響。
4. 期末報告撰寫方式建議將伍、研究成果討論及陸、結論部分以分項呈現，以俾閱讀；另簡報有提到未來發展方向，應納入期末報告中建議部分。	感謝委員建議，以納入未來發展於結論與未來方向之章節。
(九) 蔡委員展榮	
1. 受限於免費和購買的SAR衛星影像的適用性，例：無法充分提供顯著同調(coherent)的SAR影像、需要的SAR影像種類、格式及資料項目、價格昂貴等，亦受限於本案的研究時間及經費，相關的研究得到的結論建議補充必要文字之說明，以避免誤解或誤導。	感謝委員建議，已在(陸、結論)補充說明案例所使用的衛星影像種類。
2. 建議依據執行本兩年期研究案之經驗，提供合建議的具體建議給農航所及林務局，以利未來做正確決策之考量依據。	感謝委員建議，已在(陸、結論)補充內容。
3. 圖標題及其相關說明不建議一起放在圖標題中：建議將圖說明文字寫到其前後文的內容中，讓圖標題簡潔且與圖目錄者一致。	感謝委員建議
4. 期末報告第87至90頁中「緊急災害處置」之內容，該章節應思考找尋合建議的位置來撰寫這一段篇幅，不適合放在「委員審查意見」之後。	感謝委員建議，本報告將緊急應變與教育訓練列為本文之外的附錄。
5. 第iv頁：遺漏第87至90頁的圖1至圖6的圖目錄。且圖編號之格式應與各章節一致，如「圖2-4.3」。	感謝委員建議，圖目錄並未包括本文之外附錄的內容。
6. 文稿有47(+6=53)張圖，卻僅有2個表(其中1個是判讀準則)。建議建議補充本案相關的各項實驗測試成果之量化(數據)分析表。例如第49頁「所提供之山崩區比對，偵測結果的精確指標：準確率(Accuracy)=89.9%，精確率(Precision)=32.1%，召回率(Recall)=31.9%，F1-Measure=32.0%和Kappa=26.6%。」，建議寫出其分類誤差方陣	感謝委員建議，已補充。

期末審查意見	處理情形
(classification error matrix, sometimes called a confusion matrix or a contingency table)。	
7. 第51頁「研究中嘗試找出可以用腳本操作來串接不同軟體處理的方法」中，建議補充說明其適用場合以及針對不適用此腳本的案例之因應做法，俾讓農航所人員順利執行各種案例的SAR衛星影像處理。	感謝委員建議，雷達影像災害偵測之處理腳本設定與雷達衛星影像處理操作手冊中有說明不同場合要使用的腳本。
8. 第52頁圖4-0.3 雷達影像崩塌地與淹水災害偵測作業流程圖中的「預期災害範圍、預期災害發生時間」，一般常無法事先或及時預期災害範圍及發生時間，則其合建議的因應措施為何？補充相關說明。	感謝委員建議，其概念為藉由氣象資訊與災害敏感區資訊所預計可能發生災害的概略區域。
9. 第57至63頁「雷達影像災害偵測之處理腳本設定」及「雷達衛星影像處理操作手冊」，農航所人員是否已經能夠遵循操作手冊之說明順利地獨立操作使用過了？	感謝委員建議，已在教育訓練中進行時機操作，讓貴所人員按照手冊獨立操作。
10. 第67頁「英文專有名詞對照」：	
(8) 僅列出1頁合計11個專有名詞：是否已經足以讓農航所人員認識本案各項的SAR影像操作將遇到的全部專有名詞之定義呢？	感謝委員建議，已將本文內提到之專有名詞進行翻譯與對照。
(9) 部分專有名詞之文字內容未充分說明其意義與功用，例如 backscatter coefficient。建議參酌相關的教科書來補充修訂目前的文字內容。	感謝委員建議
(10) 「兩張負數影像」：請修正為「兩張複數影像」。	感謝委員建議，已修正。
(11) 「在同一分辨單元內」：建議修正為「在一個解析力單元(resolution cell)內」。	感謝委員建議，已修正。
(12) 「Speckle filtering：以數學模式演算法降低斑駁雜訊的方法」：建議修訂為「Speckle filtering：以數學模式或統計模式演算法降低斑駁雜訊的方法」。	感謝委員建議，已修正。
11. 第3頁「可以判釋成功的山崩當中，有 90%面積大於 0.06平方公里」，請補充說明「判釋成功」之判定準則。	感謝委員建議，成功是指地真資料的山崩區被雷達影像分析判釋為山崩，已修正該段文字敘述。
12. 以下幾點之相關敘述建議具體明確：	
(1) 第3頁「當進一步進行數據分析時，可利用R語言與GRASS GIS進行處理」：請具體說明「進一步進行數據分析」之項目。	感謝委員建議，已修正。

期末審查意見	處理情形
(2) 第 4 頁「未來將針對這些案例，進一步探討多時期雷達衛星影像在洪水溢淹、堰塞湖與崩塌地的分析與精進能力」：建議具體說明「未來」所指為何？後續研究案嗎？	感謝委員建議，已修正。
(3) 第 4 至 5 頁式 2-4 的 $N=361(=19 \times 19) \sim 625(=25 \times 25)$ 嗎？	是
(4) 第 5 頁建議具體寫出「 σ ：式 2-4 中差異指標 d 的標準差」及「 μ ：式 2-4 中差異指標 d 的平均值」之計算式。	感謝委員建議，平均值 μ 為 $\frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$ ，n 為整張影像的總像元數，標準差 σ 為 $\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (d_i - \mu)^2}$ 。
(5) 第 23 頁「且仍有相當一部分的區域是指事件前後變化大但非淹水的區域」：建議具體量化寫出區域大小。	感謝委員建議，由於圖 2-2.8 顯示差異相當明顯，並未再量化計算。
(6) 第 29 頁「結果也顯示該區域的數值並沒有太大的變異性」：建議具體量化說明，避免「沒有太大的變異性」之模糊敘述。	感謝委員建議，參考圖 2-3.4 的色階可顯示該區域沒有明顯變異性。
(7) 第 36 頁「多視處理：以多視處理將影像處理為 10 m x 10 m 網格大小」：建議具體說明原影像像元大小及使用的多視處理之做法。	感謝委員建議，偏移偵測的兩個案例，印尼使用了 ALOS2 的 SLC 影像，影像原始像元大小約 3.4~4.29 公尺，在 SNAP 可以 Range Looks x Azimuth Looks= 1 x 3 進行多視處理。
(8) 第 36 頁「數值比例縮放到 0~65535」：應補充說明。	感謝委員建議，只是為了符合 MicMac 可以使用的影像格式 UInt16，數值在 0-65535 之間。
(9) 第 41 頁「但這些區域的影像相關性非常低（圖 2-4.7）」，建議具體量化說明其相關性的數據大小。	感謝委員建議，MicMac 輸出的相關性資料只是一張含有 0-255 的灰階數值，數值越低代表相關性越低，但並非真正數學上「相關性」的數值，因此只用高與低來呈現。
(10) 第 42 頁「已經沒有甚麼相關性，然而山崩前的山崩地點與山崩後周圍地物卻可能有較高一點的相關性，偏移偵測的演算所計算的是山崩區域至周圍有較高一點相關性區域的偏移距離」，建議具體量化說明此處的「較高一點」之數據大小。	感謝委員建議，該段文字是在推測偏移偵測法中山崩區為何會有大位移量與低相關性的原因，MicMac 軟體並沒有提供其演算過程的相關數值可進行分析。
(11) 第 43 頁「判斷是否為相同地物的依據為兩幅影像的相關性」：建議修正為「依據兩幅影像的相關性來找尋相同地物在兩幅影像上的影像區塊位置」。	感謝委員建議，已修正。
(12) 第 49 頁「這些區域如果是在坡地當中被發現，有相當大的機會是山崩發	感謝委員建議，已修正文字內容。

期末審查意見	處理情形
生的區域(圖 3-0.3)」:建議具體量化說明「相當大」之數據大小。 (13) 第 58 頁「當興趣區間涵蓋一張以上,兩張以下的區域」:是 1 張、2 張?抑或 1 至 2 張? (14) 第 62 頁「包括裁切、輻射校正、多視處理、斑駁濾波等步驟的影像前處理,對於 Sentinel-1 會多一個 Apply-Orbit-File 的動作」,補充說明「對於 Sentinel-1 會多一個 Apply-Orbit-File 的動作」之原因及其操作步驟。	感謝委員建議,已修正文字內容。 感謝委員建議,SNAP可透過Apply-Orbit-File給予Sentinel-1 影像精密軌道資料。
13. 相關數據建議標示其度量衡單位,例如第 4 頁式 2-1 及 2-2 建議標示各個符號所代表的數據之度量衡單位。	感謝委員建議,式 2-1 及 2-2 中的數值除了入射角的單位式角度之外,其餘沒有單位。
14. 調整第 5 頁圖 2-0.1 右圖:2015/05/09 光學影像圖幅接邊的亮度,使其色調亮度連續,看不到明顯的接邊線。	感謝委員建議,但該區由兩個航線拍攝,時間差異太大,陰影方向不同,水體的反光也差異太大,只能修正同一航線的影像,兩條航線接合處的色差無法有效去除。
15. 第 7 頁圖 2-0.4 「與航照所判釋的區域(紅)比較略有差異」:建議補充說明造成圖示差異之原因。	感謝委員建議,已修改文字說明。取像時間不同與影像解析度不同都會造成其差異。
16. 第 8 頁「在同一分辨單元內」,其意思是指「在一個雷達影像解析力單元內」嗎?	是
17. 第 8 頁「 $E[I]:(x,y)$ 位置的期望值,以平均值來表示之」,研究團隊用來計算平均值的影像張數 N 建議大於多少?	為緊急應變之需求並考慮雷達影像之購買價格昂貴,且太長時間會將這段時間的變化所造成的誤差列入,如果只是為了保留空間解析力已進行斑駁雜訊的抑制,建議使用 3 張影像就可以了。
18. 第 12、17、36 頁「將多張影像套疊至其中一幅主影像」:建議補充說明貴團隊如何套疊?採用哪一種函數來套疊?	本團隊使用 SNAP 內建功能 Coregistration 進行套疊。
19. 第 12、17、36 頁「地形校正:使用 5m DEM 進行地形校正,將影像轉換為地理坐標(WGS 84)」,請補充說明研究團隊是如何進行地形校正?以及為何不轉換為 TWD97。	本團隊使用 SNAP 內建功能 Terrain Correction 進行地形校正。 SNAP 使用 WGS84 座標格式進行處理。
20. 第 16 頁建議刪除「Xpre 是災前影像對,Xco 是跨災時影像對。」並在式 2-10 及 2-11 下一行撰寫 pre~co 等 4 個符號之意義。	Xpre 是指災前兩張影像的套疊資料,Xco 是指快災時兩幅影像的套疊資料, $X=\gamma$ or ρ 。
21. 第 26 頁圖 2-3.1 「設定 85% 遮罩緩衝 50 公尺」:,50 公尺約對應等於 SAR 影像上的幾個像元?請補充。	以 Sentinel-1 像元大小為 10 公尺的情況下,50 公尺為 5 個像元。
22. 第 28 頁「輻射校正:根據提供之 DEM (臺灣地區使用 5m DEM,其他地區使用 SRTM DEM) 進一步校正地形起伏對雷達影像的影響,轉換為 gamma naught」:貴團隊是否考慮	感謝委員建議,這些差異有可能存在的,但在本研究當中並沒有更適合的資料可以使用。

期末審查意見	處理情形
過DEM產製時間和SAR影像取像時間兩者的時間差異造成的輻射校正採用的DEM錯誤（地表起伏改變了）之影響量？	
23.第48頁「經過與航照所辨識的堰塞湖作比較，雷達影像判釋辨識的精確性：F1-Measure與Kappa為71.0%與70.7%」，建議修訂為「經過與航照辨識的堰塞湖作比較」，另建議補充說明雷達影像判釋錯誤的區域位置。	感謝委員建議，已修正及補充說明。
24.第50頁「雖然在107年度之林地災害偵測研究結果當中已經提出雷達影像在災害偵測的方法與流程。淹水偵測的部分，影像必須先進行前處理，包括精確軌道資訊…」，此部分敘述未完「雖然…，但是…。淹水偵測的部分，…」，請修正。	感謝委員建議，已修正。
25.第51頁「圖4-0.2 雷達影像山崩辨識基本處理SOP流程圖」，建議精簡為「圖4-0.2 雷達影像山崩辨識基本處理流程圖」。	感謝委員建議，已修正。
26.部分圖片模糊（例如第53頁圖4-1.1）或圖片太小（無法或不易閱讀圖片內容的文數字），請修正改善。	感謝委員建議，軟體安裝與設定中的圖片是網頁與軟體畫面之截圖，僅提供參考，配合文字內容的實際項目說明，可較快速進行處理。
27.第64頁「原則上盡量選擇離事件時間接近（約1個月）的影像進行分析，降低時間上變化的干擾」，建議修訂為「原則上盡量選擇離事件時間接近（約1個月內且時間間隔越短越好）的影像進行分析，俾以降低時間降相關（temporal decorrelation）的干擾」。	感謝委員建議，已修正。
28.第65頁「文獻中的方法有利用額外的地理資訊作為遮罩」，請補充說明其意義及具體做法。	感謝委員建議，遮罩用來去除非興趣區域的變化干擾，具體作法是將遮罩區設為 0 與分析資料相乘。
29.第65頁「雖然加州火災分析結果可以知道該方法的確可以實際應用在文獻之外的火災災跡偵測，但在臺灣並沒有好的成果。」，此處的「文獻之外」之意義為何？本案的經驗顯示「在臺灣並沒有好的成果」，請補充說明其原因及其解決辦法。	確認該文獻之方法實際上可以應用於其他區域。 已在研究與成果討論中提到其可能原因，由於目前在臺灣分析的案例有限，針對不同林相、不同地形與不同得林地變異，可能都存在差異性，雷達影像在這一塊的研究，未能仍需要更多實際案例的分析以了解其特性與可行性。
30.簡報末有2頁新增內容「未來發展方向」，建議加入報告書中。	感謝委員建議，已補充。
31.以下建議修正期末報告之文字、統一撰寫格式：	
(1) 第 87 頁筆誤為 2009/08/15 豪雨事件，應為 2019/08/15。	感謝委員建議，已修正。

期末審查意見		處理情形
	(2) 第 26 頁圖 2-3.1「利用其他資訊『移』從變遷遮罩中除非森林區域」之文字誤植，請修正。	感謝委員建議，已修正。
	(3) 第 33 頁「其原理概略是，將影像數值分布視為波函數」，應修正為「其原理概略是將影像數值分布視為波函數」。	感謝委員建議，已修正。
	(4) 「雷達衛星影像處理操作手冊」第 7 頁「斑駁雜訊濾除 (Speckle Reduction)」：建議修訂為「斑駁雜訊抑制 (Speckle Reduction)」。	感謝委員建議，已修正。
	(5) 第 23、57、61 頁「凸顯」或「突顯」：請全文統一且使用正確用詞。	感謝委員建議，已修正。
	(6) 第 35 頁「利用 2011 年 5 月 9 號與 8 月 19 日」：建議修正為「利用 2011 年 5 月 9 日與 8 月 19 日」。	感謝委員建議，已修正。
	(7) 第 57、61 頁「偵『側』」誤植，請修正。	感謝委員建議，已修正。
	(8) 英文摘要：部分語法不恰當，請修正。	感謝委員建議。
	(9) 撰寫格式建議統一，例如「圖 2-2.5 2017 年 6 月豪雨…」、「圖 2-2.6 以… 201706 豪雨…」、「圖 3-0.1 2018/06/13 豪雨…」。	感謝委員建議，已修正。
(十) 王委員國隆		
1.	第 23 頁淹水偵測中提到 2018 年 8 月豪雨在臺灣西南部淹水事件成果不理想與第 1 年的成果有所差異，應彙整兩年試作之成果及分析。	感謝委員建議，已修正與補充。
2.	針對偏移偵測法之研究，所使用的案例是日本北海道之坡向朝東為多，所顯示的位移量大請再補述其相關性為何？以及偵測約 1/10-1/20 像元大小的極限為何？	感謝委員建議，已修正與補充。「偵測約 1/10-1/20 像元大小的極限」是由於偏移偵測法的原理中，將影像像素間的差異擬合成波函數，藉由交叉相關去計算不同影像間波函數是否有偏移，而當位移量小於 1/10-1/20 像元大小時，交叉相關並沒有辦法有效去偵測出其偏移量。
3.	有關 airborne SAR 或 UAV SAR 之可靠度、精度為何，請補述之。	感謝委員建議，已補充。
4.	補充第 47 頁表 3.1 常態化差異指標 (ND) 之名詞解釋。	感謝委員建議，已補充。
其他出席人員意見：		
(一) 林務局森林企劃組吳技正俊奇		
1.	多時期變遷偵測選擇 3 張雷達衛星影像進行分析，為何是使用災前 2 張影像、1 張影像？另有森林季節差異要考慮呢？	1) 利用理論上災害發生前短時間內之 2 張影像差異量小，而跨災害的 2 張影像會有較大的差異量，藉差異量的不同來做災害發生區域的分析。再加上

期末審查意見	處理情形
	災害發生後要快速應變，短時間內也只能取得一張影像，因此整體上是使用災前 2 張與災後 1 張影像。 2) 使用多時期影像分析需要考慮季節明顯變化且植被有變化之區域是否會影響判釋目標的變遷偵測。
2. 期末報告中大甲溪事業區森林火災案例不論是在光學影像及雷達衛星影像都無法顯示火災跡地，可否更換其他案例？	雷達影像林地變遷偵測在火災跡地的辨識有一定的成果，但在臺灣仍需要更多實際案例的分析以了解其特性與可行性。
(二) 許技正玉君	
1. 期末報告較多以強度之差異性來分析討論，另外有關干涉同調性是應用在哪方面？請補充說明。	在都會區會有較高的干涉同調性，因此在災害發生時的同調性變化，可作為變遷偵測之依據。
2. 在淹水判釋部分以VV極化會得到較好的成果，而在第47頁表3.1中的使用指標所列，可否加入使用影像之優先順序？	感謝委員建議，已補充。
(三) 葉課長堃生	
1. 第49頁所標示的圖2-2.4及圖2-4.7是否為誤植？抑或引用前章節的圖來說明？	引用前章節的圖來說明