

行政院農業委員會林務局
農林航空測量所



107年度委託專業服務採購案
期末報告書

「雷達衛星影像輔助林地災害偵測之研究(1/2)」

全 程 計 畫：自107年3月至108年12月止

本年度計畫：自107年3月16日至107年12月15日止

執行單位：國立臺灣大學

中 華 民 國 107 年 12 月 13 日

目 錄

目 錄.....	I
圖 目 錄.....	III
表 目 錄.....	VI
摘要.....	VII
Abstract.....	VIII
壹、 緒論.....	1
一、計畫整體概述.....	1
二、研究目的.....	1
三、本年度工作內容概述.....	2
貳、 各類雷達衛星影像種類資訊之蒐集、分析與功能評估.....	3
一、各類衛星影像基本資訊之介紹.....	5
二、各類衛星影像產品種類、產品編號格式說明與線上數據目錄.....	13
三、各類雷達影像分析與功能評估.....	34
四、機載合成孔徑雷達(Airborne SAR and UAVSAR).....	39
參、 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.....	43
一、案例分析：2015 年曾文水庫梅雨前後的水體範圍變化.....	52
二、案例分析：2009 年莫拉克颱風於臺東太麻里溪之堰塞湖.....	56
三、案例分析：2018 年 6 月梅雨滯留鋒於臺灣西南部淹水.....	58
四、案例分析：2018 年 8 月熱帶性低壓於臺灣西南部淹水.....	61
肆、 雷達衛星影像於颱風豪雨後崩塌地之偵測研究與試作.....	65
一、案例分析：2009 年莫拉克颱風臺灣西南部山崩.....	72
二、案例分析：2018 年日本北海道地震山崩.....	75
三、案例分析：2015 年蘇迪勒颱風臺灣北部山崩.....	79
伍、現有雷達衛星影像處理開源軟體之評估與測試.....	80
一、SNAP.....	80
二、R 語言.....	84
三、GRASS-GIS.....	86
陸、結論.....	88

參考文獻	90
委員審查意見	95
期中委員審查意見	95
期末委員審查意見	99
第一次教育訓練	110
第二次教育訓練	115

附錄：判釋操作步驟案例說明

一、2009 年 8 月莫拉克颱風，合成孔徑雷達影像太麻里溪堰塞湖判釋操作步驟	附 1
二、2018/08/23 豪雨，西南部淹水合成孔徑雷達影像淹水判釋操作步驟	附 11
三、2009 年 8 月莫拉克颱風，合成孔徑雷達影像臺灣西南部山崩判釋操作步驟	附 30

圖 目 錄

圖 2.1	雷達訊號不同的偏極模式(POLARIZATION MODE)與對應的影像地物分類之應用	4
圖 2.2	雷達影像的斑駁雜訊(SPECKLE NOISE)去除.....	5
圖 2-1.1	本研究團隊目前擁有的雷達衛星影像資料	11
圖 2-2.1	EOLi-SA 軟體介面	14
圖 2-2.2	RADARSAT-1 衛星拍攝組態示意圖	17
圖 2-2.3	RADARSAT-2 衛星拍攝組態示意圖	17
圖 2-2.4	RADARSAT-2 產品檔案組成	19
圖 2-2.5	RADARSAT 衛星影像搜尋網頁	19
圖 2-2.6	SENTINEL-1 產品拍攝模式	20
圖 2-2.7	SENTINEL-1 產品種類與等級區分	20
圖 2-2.8	SENTINEL-1 產品檔案名稱編碼說明	21
圖 2-2.9	SENTINEL 衛星影像搜尋網頁	21
圖 2-2.10	JERS-1 衛星影像搜尋網頁	22
圖 2-2.11	ALOS-2 影像拍攝模式.....	25
圖 2-2.12	ALOS 與 ALOS-2 衛星影像搜尋網頁	26
圖 2-2.13	COSMO-SEYMED 衛星影像搜尋網頁	30
圖 2-2.14	TERRASAR-X 產品資料結構.....	32
圖 2-2.15	TERRASAR-X 衛星影像搜尋網頁	32
圖 2-3.1	ESA 建議雷達影像各波段適用的分析.....	34
圖 2-3.2	不同波段雷達影像在雲與水氣干擾的情況	34
圖 2-3.3	反射面起伏程度對於不同雷達波長的反應不同	35
圖 2-3.4	不同波長之雷達影像對於水體與泥濘的分辨率	35
圖 2-3.5	HH, HV 與 VV 極化影像於相同區域內的數值分布	36
圖 2-3.6	SENTINEL 1A VV 與 VH 極化在水體辨識的差異	37
圖 2-3.7	不同飛行方向的疊置與陰影分析	38
圖 2-4.1	NASA UAVSAR 入口網站	42
圖 3-1.1	SAR 影像於洪災判釋的應用	43
圖 3-1.2	ALOS-2 雷達影像應用於淹水範圍偵測.....	44
圖 3-1.3	ALOS-2 影像偵測到哈維颶風淹沒的美國東南得克薩斯州的地區	44
圖 3-1.4	TERRASAR-X 雷達影像應用於 2012 年蘇拉颱風後宜蘭淹水範圍判釋	45
圖 3-1.5	TERRASAR-X 於 2012 年 6 月豪雨南投和社溪堰塞湖判釋	45
圖 3-1.6	BIORESITA ET AL.(2018)以 SENTINEL-1 影像進行淹水地圖自動化研究的方法流程圖	46
圖 3-1.7	2009 年莫拉克颱風造成之堰塞湖位置分布圖	50
圖 3-1.8	太麻里溪堰塞湖航空相片圖	50

圖 3-1.9	2015 年旱災曾文水庫水情.....	51
圖 3-1.10	2015 年曾文水庫運轉歷線圖	51
圖 3-1.11	雷達影像水體辨識處理流程圖	52
圖 3-1.12	2015 年 5 月梅雨前曾文水庫區 SENTINEL-1A 雷達影像水體判釋與光學影像之比對	53
圖 3-1.13	2015 年 5 月梅雨前曾文水庫區 SENTINEL-1A VV 極化雷達影像數值分布.....	53
圖 3-1.14	2015 年 5 月梅雨前後曾文水庫區 SENTINEL-1A 雷達影像	54
圖 3-1.15	SENTINEL-1A 雷達影像判釋 2015 年梅雨季前後曾文水庫水體變化	55
圖 3-2.1	雷達影像堰塞湖辨識處理流程圖	56
圖 3-2.2	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	57
圖 3-3.1	6.15 日雷達回波圖與累積降雨分布情況	58
圖 3-3.2	雷達影像淹水辨識處理流程圖	58
圖 3-3.3	多時變遷 RGB 影像呈現淹水之原理	59
圖 3-3.4	2018/06/13 豪雨屏東積淹水雷達影像辨識結果	60
圖 3-4.1	2018/08/26 日嘉義縣東石鄉栗子崙地區空拍淹水情況	61
圖 3-4.2	2018/08/26 當日臺灣上空之雷達回波圖與氣象雲圖	61
圖 3-4.3	2018/08/23 豪雨雲嘉南積淹水雷達影像辨識結果	64
圖 3-4.4	2018/08/23 豪雨雲嘉南積淹水雷達影像辨識結果	63
圖 4.1	2015/03/12 發生於美國查爾斯頓機場(YEARGER AIRPORT)的崩塌	66
圖 4.2	2015/04/01 發生於俄羅斯克麥羅沃洲的崩塌	66
圖 4.3	2011 年 9 月日本紀伊半島地區山崩	67
圖 4.4	雷達影像山崩偵測之指標差異	69
圖 4.5	雷達影像山崩辨識基本處理 SOP 流程圖	70
圖 4.6	ALOS 雷達影像以 RVI 做為指標，並以 BACKSCATTERING COEFFICIENT DIFFERENCE 進行山崩偵測的準確性指標 F-MEASURE。	70
圖 4.7	SENTINEL-1 雷達影像以 RVI 做為指標，並以 BACKSCATTERING COEFFICIENT DIFFERENCE 進行山崩偵測的準確性指標 F1-MEASURE。	71
圖 4.8	SENTINEL-1 雷達影像以 RVI 作為指標，並以 INTENSITY CORRELATION 進行山崩偵測的準確性指標 F1-MEASURE。	71
圖 4-1.1	SPOT 光學影像莫拉克風災前後對照圖	72
圖 4-1.2	2009 年莫拉克颱風臺灣西南部山崩多時變遷雷達影像	73
圖 4-1.3	ALOS 影像於 2009 莫拉克風災後臺灣西南部山崩初步偵測結果	73
圖 4-1.4	ALOS 影像於 2009 莫拉克風災後臺灣西南部山崩偵測結果	74
圖 4-2.1	日本北海道厚真町地震後 PLANET LABS 衛星(鴿子衛星)影像	75
圖 4-2.2	日本北海道厚真町地震多時變遷雷達影像	76
圖 4-2.3	SENTINEL-1 影像於日本北海道厚真町山崩初步偵測結果	76

圖 4-2.4	SENTINEL-1 影像於日本北海道厚真町山崩偵測結果	77
圖 4-2.5	SENTINEL-1 影像於日本北海道厚真町山崩偵測結果與鴿子衛星影像	78
圖 4-3.1	蘇迪勒颱風災前(左)災後(右)崩塌地分布圖	79
圖 4-3.2	2015 蘇迪勒颱風多時變遷雷達 RGB 影像	79
圖 5-1.1	SNAP 多視(MULTI-LOOK)處理圖	80
圖 5-1.2	SNAP 軟體	81
圖 5-1.3	SNAP 軟體計算輻射指數圖	82
圖 5-1.4	SNAP 軟體多波段展示圖	83
圖 5-1.5	SNAP 軟體光譜調整示意圖	83
圖 5-1.6	SENTINEL-1 雷達衛星影像經由 SNAP 製作洪泛區域判定之範例	83
圖 5-2.1	R 與 PYTHON 在資料科學的使用比例	84
圖 5-2.2	R-STUDIO 操作介面	85
圖 5-3.1	GRASS 開啟畫面	86
圖 5-3.2	GRASS GUI 介面	86
圖 5-3.3	GRASS SHELL 介面	87

表 目 錄

表 2-1.1	各種衛載 SAR 感測器規格	10
表 2-1.2	各種衛載 SAR 影像購買費用相關說明	12
表 2-2.1	ERS 產品種類與產品編號.....	13
表 2-2.2	ERS 檔案名稱說明	14
表 2-2.3	ENVISAT 產品種類與產品編號	15
表 2-2.4	ENVISAT 檔案名稱說明	16
表 2-2.5	RADARSAT-1 產品種類與代碼	17
表 2-2.6	RADARSAT-2 產品種類與代碼	18
表 2-2.7	RADARSAT-2 拍攝模式代碼	18
表 2-2.8	JERS-1 產品檔案名稱編碼.....	22
表 2-2.9	ALOS/PALSAR 產品種類編碼說明.....	23
表 2-2.10	ALOS/PALSAR 產品檔案名稱編碼.....	24
表 2-2.11	ALOS-2 影像產品種類與參數.....	25
表 2-2.12	ALOS-2 產品檔案名稱編碼	27
表 2-2.13	COSMO-SKYMED 產品檔案名稱編碼	29
表 2-2.14	TERRASAR-X 影像種類與參數	31
表 2-2.15	TERRASAR-X 產品檔案名稱編碼說明.....	33
表 2-3.1	雷達影像偏極模式與地物辨識的適用性	36
表 2-3.2	SENTINEL-1 VV 與 VH 極化在水體辨識的準確度性指標	37
表 3-1.1	2015/5/16 雷達影像水體辨識與光學影像水體參考之混淆矩陣	54
表 3-4.1	SENTINEL-1 影像不同時期之常駐水體的數值分布之門檻值	64
表 5-1.1	SNAP SENTINEL-1 工具箱特性	81

摘要

本計畫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的影像，並對颱風豪雨後之洪水溢淹、堰塞湖與崩塌地，進行判釋之可行性與分析方法研究。

洪水溢淹或堰塞湖的地點及範圍可由雷達背向散射係數的差異進行分析與判釋，在影像偏極特性的選擇上，平行極化(HH 與 VV)會比交叉極化(VH 與 HV)有更好的分析結果。在其它細部上，要注意水面起伏的粗糙度會對分析造成干擾，使用長波長的 L 波段相對於短波長 X 波會有較少的干擾，而且較不容易受到颱風豪雨的水氣干擾。洪水溢淹或堰塞湖的分析結果顯示 F1-Measure 與 Kappa 皆可達 70%以上，表示此法有一定的可信度，且在防災應變時能提供相當的幫助，但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。

崩塌地區域的偵測，則以對體散射特性敏感的 HV 偏極影像或雷達植被指數 RVI 作為分析之指標，進一步以背向散射係數差異法分析，結果顯示 F1-Measure= 24%~ 32% 或 Kappa= 20%~ 27%。就目前可取得的影像與分析成果中，雖然正確辨識的山崩區域面積有大有小，但 90%面積大於 0.06 平方公里，而判釋失敗的山崩區域面積較小，有 90%面積小於 0.016 平方公里。顯示雷達衛星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。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；若要進一步對數據進行統計與分析，可利用 R 語言與 GRASS GIS 處理。

Abstract

This project provides the information of radar images in terms of wavelength, spatial resolution, transmittance, polarization, revisit time, images sources, and purchase prices to facilitate the image processing and the feasibility in respond to different natural hazards induced by typhoon and heavy rainfall. Through the above-mentioned characteristics in radar images, the current project also attempts to build a series of processing methods and test their availabilities for flood area, landslide dammed lake and potential landslide zone.

The range and location of flood area and landslide dammed lake could be determined by calculating the difference of radar backscatter coefficients in the current project. In the application, parallel polarization (HH or VV) would lead clearer consequence than cross polarization (HV or VH). Furthermore, for reducing the signal disturbances made by ripple on water surface, L band is better adopted for its relatively long wavelength. The consequence of flood area and dammed lake detection shows that this analysis could reach above 70% in both F1-Measure and Kappa, which proves the analysis of the difference of backscatter coefficients is trustworthy in disaster detection. However, obtaining the image of the water-covered area instantly during a disaster remains a challenge so far due to the long revisit time.

The range and location of landslide area could be determined by Backscattering Coefficient Difference algorithm with Radar Vegetation Index (RVI) and the analysis of HV polarimetric image as indexes in first stage. The analysis accuracy shows 24% - 32% and 20% - 27% in F1-Measure and Kappa respectively. Among the detected landslide area, there were 90% of correct-discerned area are larger than 0.06 km^2 , and 90% of wrong-discerned area are smaller than 0.016 km^2 . This information indicates that the radar image represents better discernment for wide ranging landslide.

After the tests and evaluation of the open software for resolving the current radar satellite image, the software SNAP is recommended in this project. The SNAP is capable to import, process, display, analyze the images, the other advanced functions contain radiometric calibration, speckle (single and multi-temporal) filtering, coregistration, terrain correction, data format conversion, polarimetric processing and InSAR processor. For the data analysis in further, R language and GRASS GIS are qualified to do spatial statistics and spatial analysis.

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，如何在重大天災之後縮短崩塌地發現的時間，同時提升其偵測的效能與廣度，為此應用研究投注努力的方向。航遙測影像已成為現今各類天然災害發生後，取得災情資訊的重要工具之一，惟光學影像易受雲層與霧霾阻擋，常無法取得地面影像。幸而目前已有多個國家發展商用及免費之雷達衛星進行分析。雷達屬主動式感測器，可自行發射雷達波並據其地面反射訊號重組為影像，也可在夜間取像；而依波長不同，部分種類的雷達更可穿透雲層，進而取得雲下之地面影像以供分析。

惟雷達因設計方式不同，而有不同的波長、偏極、再訪週期等，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的雷達影像類別繁多，如欲應用於林地災害偵測，仍應根據不同的災害類型，評估適用的產品類型。又雷達影像的分析處理極具專業，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，建置較為一般化處理流程之必要，以快速處理國際上因應自然災害所提供的圖資。此外，為盡可能發揮雷達影像的功能，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，應能節省相關的採購與維護費用。

二、研究目的

單一衛星受限於固定的繞行軌道與再訪週期，常無法於災後即時取得欲偵測地點之影像，若能再發展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的災害偵測能量外，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的再訪週期，進而提升災害資訊蒐集之及時應變能力。

基於開源軟體之流程建構，儘量減少商業軟體的使用，除可節省相當的購置與維護費用外，且可利用開源軟體於網際網路的大量資源，可使相關處理功能可獲得較快地更新頻率，有效因應日新月異的影像科技，應用於自然災害之偵測和分析。

三、本年度工作內容概述

1. 各類雷達衛星影像種類資訊之蒐集、分析與功能評估

就現有不同的商業及非商業雷達衛星影像(如 ALOS-2、Sentinel-1、TerraSAR 等)，就其波長(L-band、C-band、X-band 等)、解析度、穿透特性、偏極特性、再訪週期、影像取得、費用等，評估其於不同自然災害，如堰塞湖、溢淹、崩塌地等分析判釋所需之規格及可行性。

2. 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

不同的雷達感測器，其訊號特性對地表的反應亦不相同，本研究必須針對前述相關雷達衛星影像的規格，研究並因應洪水溢淹偵測及堰塞湖偵測提出所需之處理參數。預計以 2009 年莫拉克颱風於臺東太麻里溪上游造成的堰塞湖與近年來高雄林邊地區的洪泛與溢淹作為測試，進行雷達影像判釋淹水與堰塞湖方法建立與判釋門檻值之分析，最終將建置處理方法之 SOP，以利未來面對事件時的快速處理。

3. 雷達衛星影像於颱風豪雨後崩塌地之偵測研究與試作

不同的雷達感測器，其訊號特性對地表的反應亦不相同，本研究必須針對前述相關雷達衛星影像之規格，研究並因應崩塌地偵測提出所需參數。預計以 2015 年 8 月蘇迪勒颱風於臺灣北部所造成的崩塌區域作為分析案例，以進行雷達影像判釋方法建立與判釋門檻值之分析，最終將建置處理方法之 SOP，以利未來面對事件時的快速處理。

4. 現有雷達衛星影像處理開源軟體之評估與測試

基於本所目前處理雷達衛星影像的商業軟體資源，以現有的雷達衛星影像處理開源軟體評估其功能、介面操作及後續維護之可行性，進而提出相關建議，使其作為 108 年度以開源軟體為主的雷達衛星影像林地災害偵測流程之開發基礎。

貳、各類雷達衛星影像種類資訊之蒐集、分析與功能評估

雷達系統為自行發射電磁波，不須依賴接收太陽光與物體本身輻射之電磁波，故稱為主動系統，不分晝夜皆可使用，可以全天候發送及接收數據，取得資料。遙測系統所使用的雷達波，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。目前地球觀測衛星所使用的雷達波波長以 X、C、L 波段最為常見，X 波段的波長約為 3.1 公分，C 波段約 5.6 公分，L 波段則約 23.5 公分。雷達系統的波長會影響其穿透地物的能力，一般而言，波長越長，穿透地物就越深，如 L 或 P 等長波長雷達波穿透力較強，可穿透樹林濃密的樹葉而探測到樹枝樹幹或地面；波長越短則相反，如 X 或 K 等較短波長之雷達波穿透力較弱，在植物頂層就會被反射回去，較適合用來對樹頂或樹葉的偵測；而介於中間波長的 C 波段雷達波，則可提供目標物表面或目標物以下的資訊。另外，雷達波照射水體以反射為主，穿透能力有限，即使穿透也難有回波訊號。因此，在選擇波段時應考慮偵測的目的與偵測地區的地表覆蓋情況。

雷達訊號發射與接收時，可用不同的偏極模式(Polarization Mode)，雷達波水平發射或接收的波稱為水平偏極化(H)，而垂直發射或接收的波稱為垂直偏極化(V)。而依照不同的發射與接收組合可分為 4 種不同的偏極模式，如 HH：水平發射與水平接收；VV：垂直發射與垂直接收；HV：水平發射與垂直接收；VH：垂直發射與水平接收。當雷達波發射與接收回波皆為相同的偏極模式時，稱為平行極化(Parallel Polarization)，如 HH、VV。當雷達波發射與接收回波為不同的偏極模式時稱為交叉極化(Cross Polarization)，如 HV、VH。根據發射與接收的偏極模式不同，雷達波與地表相互作用以及回波散射方式也有差異。

綜合上述，吾人可知雷達影像的結果會受到雷達波波長以及極化方式所影響，因此使用不同波長和偏極模式的組合，可以依照情況提供所需的雷達影像，藉以偵測各式各樣的地表目標物，且結合不同的波長及偏極化的影像特性，可以偵測出相異且互補的地表訊息(圖 2.1)。HV 偏極對於體散射特性反應較為敏感，而植被對於電磁波傳遞而言，多屬於體散射特性；HH 偏極對於二次散射特性較敏感，如建築物、船隻或橋梁等。

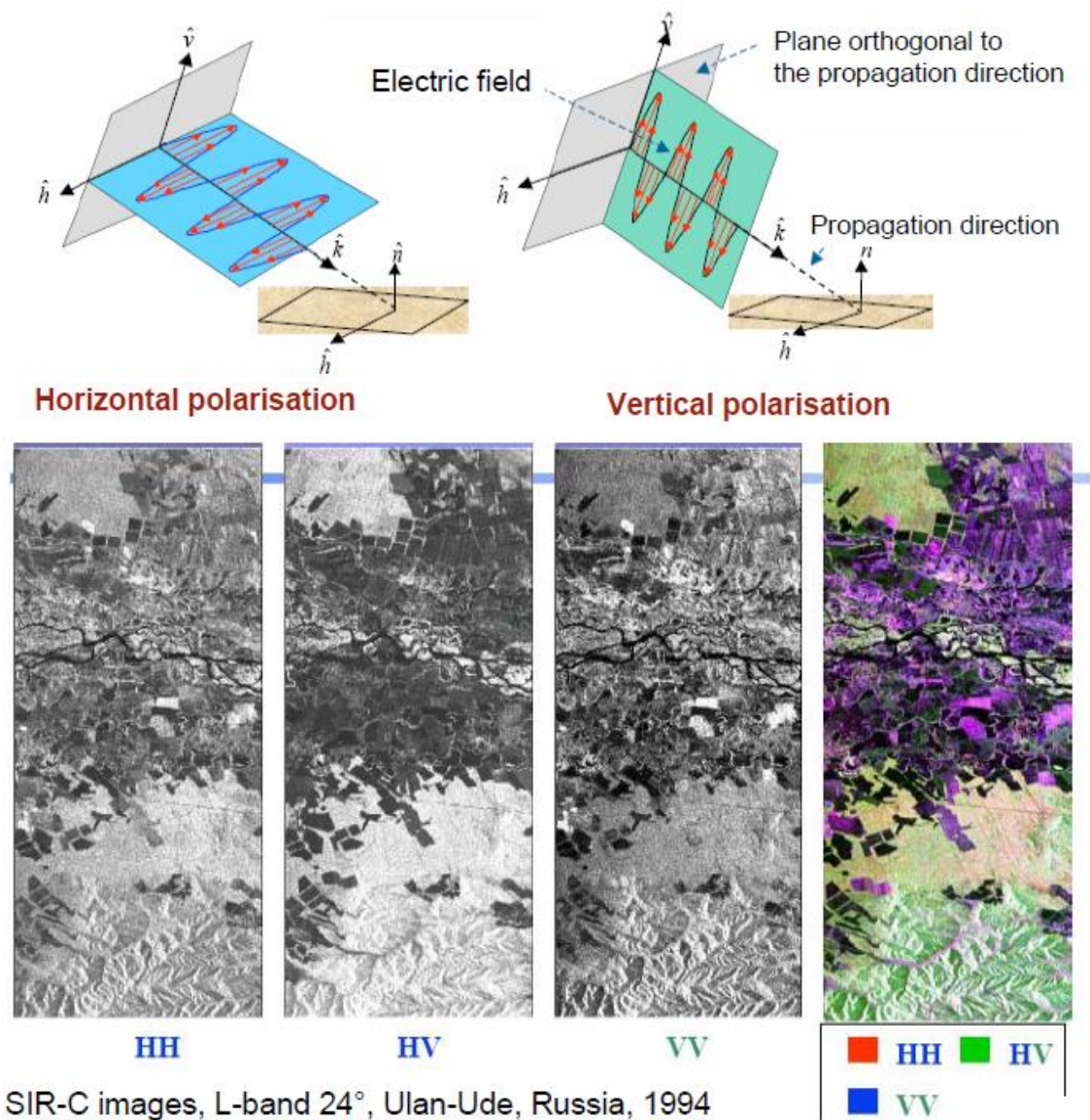
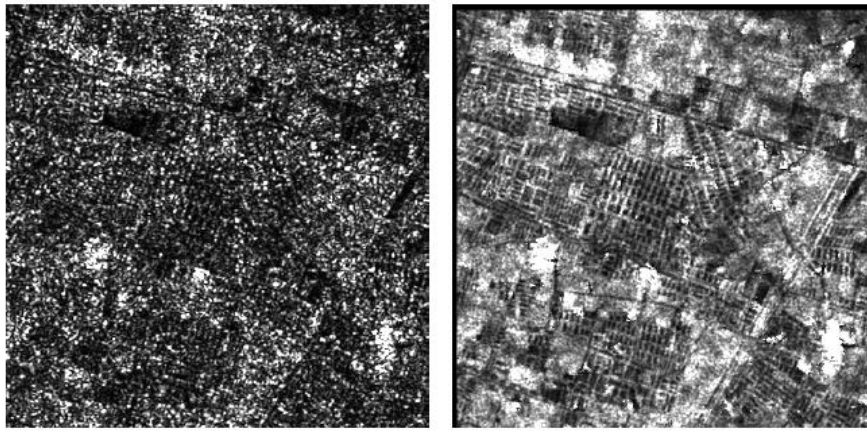


圖 2.1 雷達訊號不同的偏極模式(Polarization mode)與對應的影像地物分類之應用(資料來源：ESA Advanced Training Course <https://earth.esa.int/landtraining07/D1LA1-LeToan.pdf>)

雷達影像因其成像特性，地面像元單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，在同一分辨單元內，其回波信號是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點雜訊(Speckle noise)。斑點雜訊是影響雷達影像判讀及應用的一個很大因素，因此在進行雷達影像處理前，必須有適當的前處理，如多視處理(Multilooking)與斑駁雜訊濾波(Speckle filtering)處理，才能將相關的雜訊去除，獲得較正確的處理及判讀訊息(圖 2.2)。



Same image, after speckle filtering

圖 2.2 雷達影像的斑駁雜訊(Speckle noise)去除(資料來源：ESA Advanced Training Course <https://earth.esa.int/landtraining07/D1LA1-LeToan.pdf>)

一、各類衛星影像基本資訊之介紹

雷達影像因其波長與主動發射脈衝波之特性，於不同大氣及環境下，皆可用於紀錄相關的地表訊息，不受天候及夜間造成對環境監測的限制。因此各國已大量利用合成孔徑雷達的技術，發展不同波段的雷達衛星系統，以偵測地表變化，並達到維護國土安全之目的。目前常用的影像資料有歐洲太空總署(ESA)發射的 ERS-1、ERS-2、ENVISAT、Sentinel，日本宇宙航空研究開發機構(JAXA)發射的 JERS-1、ALOS 與 ALOS-2，加拿大太空局(Canadian Space Agency, CSA)發射的 RADARSAT，德國國家太空中心(German Aerospace Center)與德國民間公司 EADS Astrium 所共同開發的 TerraSAR-X，及義大利航太中心(Italian Space Agency，簡稱 ASI)發展的 COSMO-SkyMed。

1. ERS-1/2

ERS-1 與 ERS-2 為歐洲太空總署(European Space Agency, ESA)分別於 1991 年 7 月與 1995 年 4 月發射的太陽同步衛星，並於 2003 年 3 月 10 日與 2011 年 7 月 4 日除役。ERS-1/2 的軌道高度約 785 公里，再訪週期皆為 35 天。衛星上所酬載的 SAR 感測器系統，以 23° 入射角斜視地面，雷達波波段為 C 波段，波長 5.6 公分，解析度約 20 公尺，像幅寬度約 100 公里 ([ESA_EO_Missions_ERS](#))。

2. ENVISAT

ENVISAT 為歐洲太空總署為延續 ERS-1/2 之地球觀測任務，於 2002 年 3 月所發射之衛星，2012 年 5 月 9 日因失聯而宣布停止觀測。ENVISAT 為一太陽同步衛星，軌道高度約

800 km，再訪週期為 35 天(同 ERS-1/2)。衛星上共酬載有 10 個載具，其中包括一合成孔徑雷達系統，名為 ASAR(Advanced SAR)，是屬於多偏極雷達，具有 19°至 44°多重入射角度，有五種拍攝模式，雷達波波段為 C 波段，波長 5.6 公分，解析度從 10 至 150 公尺不等，像幅寬度約 100 公里([ESA_EO_Missions_Envisat](#))。

3. RADARSAT

加拿大太空總署與美國於 1995 年合作發射 RADARSAT-1 遙測衛星，並於 2013 年結束任務。此衛星為太陽同步衛星，軌道高度介在 793 至 821 公里，重返週期為 24 天。RADARSAT-1 酬載 C 波段合成孔徑雷達(SAR)系統，波長 5.6 公分。由於可調式入射角的設計，使得衛星能在不同軌道上獲取同一地區的影像，因此設計縮短了影像獲取的時間週期，提高了即時應用的能力。以亞洲地區而言，其週期約為三天。RADARSAT-1 衛星酬載之 SAR 系統有 25 種不同影像模式可供選擇，入射角由 20°變化至 49°，C 波段的雷達波長為 5.5 公分，像幅寬度從 45 至 200 公里。在解析度部分可提供 10 公尺至 100 公尺的影像資料。像幅大小則隨著拍攝條件不同而改變，從 50 km × 50 km 至 500 km × 500 km([CSA_Satellites_RADARSAT-1, eoPortalDirectory_Satellite_Missions_RADARSAT-1](#))。

RADARSAT-2 於 2007 年 12 月 14 日成功發射，RADARSAT-2 為 C 波段衛星影像，預計使用壽命為 7.25 年，但目前仍持續運作中。它是 RADARSAT-1 的後續衛星，軌道高度同樣約在 800 公里。迴歸週期、天線入射角度和雷達波長也與上一代相同，但觀測方式可選擇左視或右視，除延續 RADARSAT-1 的拍攝能力和成像模式外，RADARSAT-2 增加了解析度為 3 公尺的超精細模式和 8 公尺全極化模式，像幅寬度從 10 公里到 200 公里([CSA_Satellites_RADARSAT-2, eoPortalDirectory_Satellite_Missions_RADARSAT-2](#))。

RADARSAT Constellation Mission(3Sat)計畫於 2018 年 11 月發射，未來將延續及補足即將除役的 RADARSAT-2，此衛星座由三個載具所組成，其主要目的為持續提供前代衛星所供給之 C 波段資訊，波長約 5.5 公分，入射角由 20°變化至 55°，改進合成孔徑雷達的操作使用，並提高系統可靠性。預計該群衛星的軌道高度會在 586 至 615 公里間，單顆衛星的重返週期是 12 天，整個星座的重返週期則是 3 天。解析度部分可提供 5 公尺至 20 公尺的影像資料，像幅寬度從 30 公里到 350 公里。RADARSAT CONSTELLATION 的載具將會酬載一個 SAR 感測器結合一套自動識別系統(AIS)。目前預計 RADARSAT CONSTELLATION 主要用途將會是海上監控(包含船隻探測、海冰監測以及漏油點探測)、災害處理與管轄、生態系統

監測等，並每日訪問地球表面的 90%([CSA_Satellites_RADARSAT-3](#), [eoPortalDirectory_Satellite_Missions_RADARSAT-3](#))。

4. Sentinel-1

Sentinel-1 是歐洲太空總署哥白尼計畫(GMES)中的地球觀測衛星，由兩顆衛星(Sentinel-1a 與 1b)組成，並配有 C 波段合成孔徑雷達(SAR)，於 2014 年 2 月與 4 月順利發射升空，預計可運作 12 年至 2026 年。Sentinel-1 是軌道高度為 693 公里的太陽同步衛星，單顆衛星軌道重返週期為 12 天，兩顆衛星迴歸週期為 6 天，衛星上所載之 SAR 感測系統的觀測入射角角度由 20°變化至 47°，觀測模式分為 Strip Map Mode(SM)、Interferometric Wide Swath Mode(IW)、Extra Wide Swath Mode(EW)與 Wave mode。雷達波為 C 波段，波長為 5.6 公分，空間解析度分別為 5 × 5m、5 × 20m、25 × 100m 與 5 × 20m，像幅寬度從 80 到 400 公里。有別於其他 SAR 衛星影像是商業化資料，Sentinel 衛星影像可以免費取得，歐洲太空總署也開發及提供 Sentinel-1 雷達影像處理的軟體 SNAP(Sentinel Application Platform)，大力推廣雷達影像的處理與應用([ESA_User_GUIDES_Sentinel-1](#))。

5. JERS-1

日本國家太空發展署於 1992 年 2 月 11 日發射 JERS-1(Japanese Earth Resources Satellite)衛星，其裝置兩個光學感測器與一個 HH 極化、L 波段之合成孔徑雷達，波長 23.5 公分。此衛星為太陽同步衛星，軌道平均高度為 568 公里，重返週期為 44 天，入射角度為 35°，影像解析度為 18 公尺，像幅寬度為 75 公里，主要應用於國土調查、農林漁業、環境保護、災害監測等方面，但 JERS-1 已於 1998 年 10 月 12 日停止運作([eoPortalDirectory_Satellite_Missions_JERS-1](#))。

6. ALOS/ALOS-2

ALOS 衛星於 2006 年 1 月 24 日發射，2011 年 5 月 12 日除役，為日本地球觀測衛星計畫中，負責針對陸地區域進行觀測的衛星。ALOS 為太陽同步衛星，平均軌道高度 691.65 公里，軌道重返週期 46 天。ALOS 衛星上共有三個 SAR 感測器系統，分別為 PRISM、AVNIR-2 及 PALSAR(Phased Array type L-band SAR)，PALSAR 的雷達波為 L 波段，波長為 23.6 公分。可提供 7.2°至 60°的多觀測入射角與多偏極、全偏極等選項。ALOS 衛星總共提供三大拍攝方式，分別為 Fine 拍攝方式、ScanSAR 拍攝方式、Polarimetric 拍攝方式，Fine 拍攝方式又可分為高解析單偏極 FBS(Fine-Beam Single)(HH 或 VV)與雙偏極 FBD(Fine-Beam Dual)(HH+HV 或

VV+VH)方式，其空間解析度分別為 7 至 44 公尺與 14 至 88 公尺(依觀測方式而異)，像幅寬度為 40 至 70 公里([JAXA_ALOS](#))。

ALOS 衛星自 2006 年 1 月發射後，已完成了階段性的任務，包括：製圖、區域觀測、災害監測和資源調查，故於 2011 年正式除役，接續的衛星 ALOS-2 於 2014 年 5 月 24 日發射，是日本宇宙航空研究開發機構(JAXA)計畫延續 ALOS 衛星的大型 L 波段合成孔徑雷達衛星任務，其波段波長為 L 波段 22.9 公分，朝向高解析度的同時，更朝向多偏極與全偏極的應用。該衛星設計使用目標為 7 年，預計其軌道重返週期為 14 天，天線入射角度為 8°到 70°，影像空間解析度為 3 公尺到 100 公尺，像幅寬度為 25 公里到 490 公里(依觀測方式而異)([JAXA_ALOS2](#), [eoPortalDirectory_Satellite_Missions_ALOS2](#))。

7. COSMO-SkyMed

COSMO-SkyMed 為義大利航太中心(Italian Space Agency[[Italian](#): Agenzia Spaziale Italiana; ASI])利用 4 顆衛星組成的星座衛星，4 顆衛星皆酬載 X 波段之 SAR 感測器，分別於 2007 年、2008 年與 2010 年發射運作。2017 年已達到其工作壽命，但仍持續運作中。由於該衛星座共有四顆衛星運作，故軌道重返週期從 2.5 天至 10 天，軌道高度為 619.6 公里，天線入射角度分為正常範圍 25°到 50°與極限範圍 20°到 59.5°，波長為 3.1 公分，影像空間解析度從 1 公尺至 100 公尺，像幅寬度從 10 公里到 200 公里(依觀測方式而異)([eoPortalDirectory_Satellite_Missions_COSMO-SkyMed](#))。

COSMO-SkyMed 第二代(COSMO-SkyMed Seconda Generazione，簡稱 CSG)將會是雙衛星任務，目的在提高影像解析度與觀測的靈活性，第一顆 CSG-1 衛星預計於 2018 年發射，而第二顆 CSG-2 預計於隔一年發射，預計工作壽命為 7 年。預計 X 的波段波長不變，但影像空間解析度將會大幅提高至 0.35 公尺到 40 公尺，像幅寬度從 3 公里到 200 公里([eoPortalDirectory_Satellite_Missions_COSMO-SkyMed2](#))。

8. TerraSAR-X

TerraSAR-X 衛星雷達是由德國國家太空中心(German Aerospace Center)與德國民間公司 EADS Astrium 所共同開發。為了提升及確保 TerraSAR-X 品質，EADS Astrium 於 2001 年成立 Infoterra 公司，專職負責 TerraSAR 系列衛星運作及銷售。TerraSAR-X 為 TerraSAR 系列的第一顆商用衛星，已於 2007 年 6 月 15 日順利發射升空，所能提供之解析度高達 0.25 公尺，為目前所有商用衛星雷達中，所能提供最高解析度之衛星。設計使用壽命為 5 年，但目前運

作良好，預計至少服務至 2020 年。TerraSAR-X 衛星是軌道高度為 514 公里的太陽同步衛星，軌道重返週期為 11 天，天線入射角度為 15°到 55°，其 X 波段的雷達波波長為 3.1 公分，影像空間解析度為 0.25 公尺至 40 公尺，像幅寬度為 4 公里至 270 公里(依觀測方式而異)([eoPortalDirectory_Satellite_Missions_TSX](#), Buckreuss et al, 2009)。

為了延續 TerraSAR-X 任務，第二代 X 波段的 SAR 衛星 TerraSAR-X2 於 2016 年開始服務，預計使用壽命為 9 年。空間解析度一樣維持在精準的 0.25 公尺，並新增 TOPS 的觀測模式，可應用於大面積的觀測。目前預計 TerraSAR-X 的軌道高度在 505 至 533 公里之間，其軌道重返週期為 11 天，天線入射角度為 20°至 50°，其波長一樣在 3.1 公分，影像解析度 0.25 公尺至 30 公尺，像幅寬度從 10 公里到 400 公里(依觀測方式而異)([Janoth et al, 2012](#))。

上述常用雷達影像來源，整理如表 2-1.1 所示。

表 2-1.1 各種衛載 SAR 感測器規格

衛星	波長 (cm)	任務時間 (年)	解析度 (m)	再訪週 期(天)	像幅寬 度(km)	入射角 (°)	偏極
C 波段							
ERS-1/2	5.6	1991- 2011	20	35	100	23	VV
Envisat	5.6	2002- 2012	10-150	35	100	19-44	HH,VV,HV,VH HH/VV, HH/HV, VV/VH, VH/VV
RADARSAT-1	5.5	1995- 2013	10-100	24	45-200	20-49	HH
RADARSAT-2	5.5	2007-	3-100	24	10-200	20-49	HH,VV,HV,VH HH/VV, HH/HV, VV/VH, VH/VV, HH/VV/HV/VH
Radarsat Constellation Mission(3Sat)	5.5	2018- 2026	5-20	3,12	30-350	20-55	HH, VV, HV, VH HH/VV, HH/HV, VV/VH, VH/VV, HH/VV/HV/VH
Sentinel-1 (2Sat)	5.5	2014- 2026	5-100	6,12	80-400	20-47	VV, HH, VV/VH, HH/HV
L 波段							
JERS	23.5	1992- 1998	18	44	75	35	HH
ALOS/PALSAR	23.6	2006- 2011	7-88	46	40-70	7.2-60	HH, VV, HH/VV, VV/VH, HH/HV, VH/VV
ALOS-2/PALSAR -2	22.9	2014- 2021	3-100	14	25-490	8-70	HH, VV, VH, HV, HH/HV, VH/VV, HH/HV/VH/VV
X 波段							
COSMO-skyMed (4Sat)	3.1	2007-	1-100	2.5-10	10-200	20-59.5	HH, VV, HV, VH, HH/VV, HH/HV, VV/VH
COSMO-skyMed -2(2Sat)	3.1	2018- 2025	0.35-40	-	3-200	-	HH, VV, HV, VH, HH/VV, HH/HV, VV/VH, HH/HV/VV/VH
TerraSAR-X	3.1	2007- 2020	0.25-40	11	4-270	15-55	HH,VV, HH/VV, HH/HV, VV/VH
TerraSAR-X2	3.1	2016- 2025	0.25-30	11	10-400	20-50	HH, VV, HV, VH, HH/VV, HH/HV, VV/VH, HH/HV/VV/VH

因本研究團隊長期研究雷達應用於地質災害等相關議題，已擁有多種不同波段、不同衛星來源的大量雷達影像資料可供研究用，而不同衛星與影像種類的檔案格式並不一致，會將不同的衛星影像檔案格式整理說明。

為獲得不同特性雷達影像在臺灣地區相關應用的處理參數，本團隊已有的影像可提供試作，並以此參數建立標準作業程序，以期快速地獲取相關資訊，進行後續判讀及應用。經整理目前既有的北臺灣地區影像如圖 2-1.1 所示。

因應本計畫未來於颱風豪雨時可對山崩、淹水與堰塞湖進行判釋，針對目前有在運行的衛星任務，未來可能需採購雷達影像的購買(取得)單位與影像價格也列於表 2-1.2。

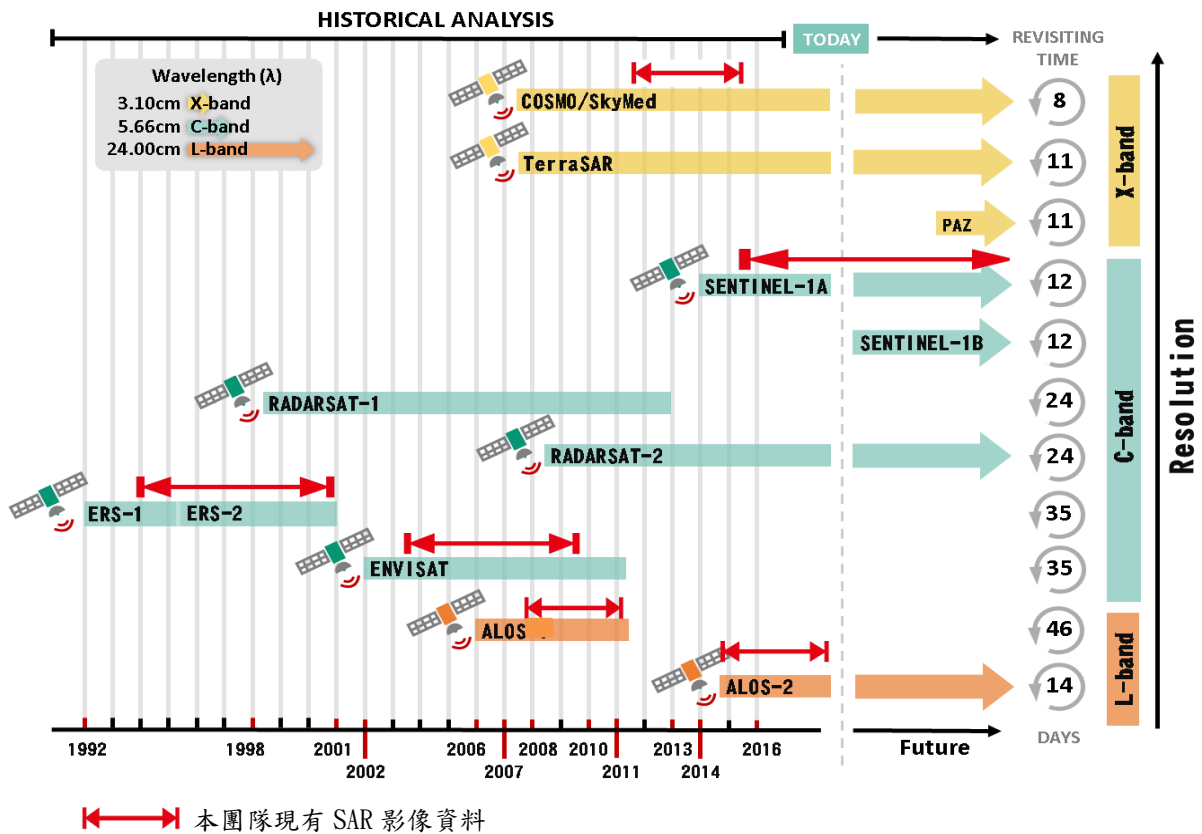


圖 2-1.1 本研究團隊目前擁有的雷達衛星影像資料

表 2-1.2 各種衛載 SAR 影像購買費用相關說明

衛星	影像購買 (取得)單位	價格資訊				
C 波段						
Sentinel-1	ESA SciHUB	免費				
RADARSAT -2	北極星測繪科技有限公司 電話： (02)2553-2509 聯絡人：高小姐 代購費用為表格價格加 25%	RADARSAT-2 Digital Product: \$Cad (Per Scene)				
		Beam Mode	Single Look Complex (SLC)	Path Image (SGF, SCN, SCW, SCS, SCF)	Path Image Plus (SGX)	Map Image (SSG)
		Spotlight (1m)	\$6000	\$6000	\$6000	\$6000
		Ultra-Fine (3m)	\$5400	\$5400	\$5400	\$5400
		Wide Ultra-Fine (3m)	\$7800	\$7800	\$7800	\$7800
		Extra-Fine (5m)	\$7500	\$7500	\$7500	\$7500
		Multi-Look Fine (8m)	\$4200	\$4200	\$4200	\$4200
		Wide Multi-Look Fine (8m)	\$7500	\$7500	\$7500	\$7500
		Fine (8m)	\$3600-single pol \$3800-dual pol	\$3600-single pol \$3800-dual pol	\$3600-single pol \$3800-dual pol	\$3600-single pol \$3800-dual pol
		Wide Fine (8m)	\$7500-single pol \$7800-dual pol	\$7500-single pol \$7800-dual pol	\$7500-single pol \$7800-dual pol	\$7500-single pol \$7800-dual pol
		Fine Quad-pol (8m)	\$5400	N/A	\$5400	\$5400
		Wide Fine Quad-pol (8m)	\$7800	N/A	\$7800	\$7800
		Standard (25m)	\$3600-single pol \$3800-dual pol	\$3600-single pol \$3800-dual pol	\$3600-single pol \$3800-dual pol	\$3600-single pol \$3800-dual pol
		Extended High (25m)	\$3600	\$3600	\$3600	\$3600
		Extended Low (25m)	\$3600	\$3600	\$3600	\$3600
		Standard Quad-pol (25m)	\$5400	N/A	\$5400	\$5400
		Wide Standard Quad-pol (25m)	\$7800	N/A	\$7800	\$7800
		Wide (30m)	\$3600-single pol \$3800-dual pol	\$3600-single pol \$3800-dual pol	\$3600-single pol \$3800-dual pol	\$3600-single pol \$3800-dual pol
		Scansar Narrow (50m)	N/A	\$3600-single pol \$3800-dual pol	N/A	N/A
		Scansar Wide (100m)	N/A	\$3600-single pol \$3800-dual pol	N/A	N/A
		Ship Detection	N/A	\$5400	N/A	N/A
		Ocean Survenllance	N/A	\$3600-single pol \$3800-dual pol	N/A	N/A
L 波段						
ALOS-2	JAXA	免費 (胡植慶教授為 JAXA RA6 Principal Investigater)				
	北極星測繪科技有限公司 電話： (02)2553-2509 聯絡人：高小姐 代購費用為表格價格加 25%	ALOS-2 Standard Products				
		Acquisition Mode (Polarimetry)	Standard Scene Size (km)	Resolution (m)	New Acquisitions	Archive
		Spotlight (single)	25 × 25	3 × 1	¥550,000	¥400,000
		Ultra-Fine (single/dual)	55 × 70	3 × 3	¥390,000	¥240,000
		High-Sensitive (single/dual)	55 × 70	6 × 4.3	¥390,000	¥240,000
		Fine (single/dual)	70 × 70	9.1 × 5.3	¥390,000	¥240,000
		High-Sensitive (Full Polarimetry)	40-50 × 70	5.1 × 4.3	¥390,000	¥240,000
		Fine (Full Polarimetry)	30 × 70	8.7 × 5.3	¥390,000	¥240,000
		ScanSAR nominal (28 Mhz) (single/dual)	350.5 × 355	47.5 × 77.7	¥230,000	¥80,000
		ScanSAR nominal (14 Mhz) (single/dual)	350.5 × 355	95.1 × 77.7	¥230,000	¥80,000
		ScanSAR wide (490 km) (single/dual)	489.5 × 355	44.2 × 56.7	¥230,000	¥80,000
		X 波段				
COSMO-skyMed (4Sat)	太空及遙測研究中心 專線一： (03)422-9332	COSMO-skyMed Standard Products				
		Acquisition Mode (Polarimetry)	Standard Scene Size (km)	Resolution (m)	New Acquisitions	Archive
		Spotlight-2	10 × 10	1 × 1	€ 6,000	€ 3,000
		Stripmap HIMAGE	40 × 40	5 × 5 (multilook)	€ 3,000	€ 1,500
		Stripmap PingPong	30 × 30	20 × 20 (multilook)	€ 1,900	€ 950
		ScanSAR Wide	100 × 100	30 × 30 (multilook)	€ 1,650	€ 825

	專線二：李小姐 -(03)422-7151#576 01	ScanSAR Huge	200 × 200	100 × 100 (multilook)		
TerraSAR-X	專線三：王小姐 -(03)422-7151#576 02 代購費用為表格價格加 25%	TerraSAR-X Basic Image Products				
		Image Product	Standard Scene Size (km)	Resolution (m)	New Acquisitions	Archive
		Staring Spotlight (ST)	4 × 3.7	Up to 0.25	€ 6,950	€ 3,475
		High Resolution Spotlight (HS)	10 × 5	Up to 1	€ 5,950	€ 2,975
		Spotlight (SL)	10 × 10	Up to 2	€ 4,250	€ 2,125
		StripMap (SM)	30 × 50	Up to 3	€ 2,950	€ 1,450
		ScanSAR (SC)	100 × 150	Up to 18.5	€ 1,750	€ 875
		Wide ScanSAR (WS)	Up to 270 × 200	Up to 40	€ 1,750	€ 875

二、各類衛星影像產品種類、產品編號格式說明與線上數據目錄

1. ERS-1/2

完整的ERS SAR產品與產品種類編號描述如表2-2.1。每張影像的檔案名稱共有62個字，前面10個字為產品編號(Product ID)，第15個字開始為影像拍攝日期與時間，格式為YYYYMMDD_HHMMSS，其他資訊可參考表2-2.2 ERS檔案名稱說明。

表 2-2.1 ERS 產品種類與產品編號(ESA, 2006)

Product Name	Description	Product ID
IM Level 0	Image mode level 0	SAR_IM__0P
SLC/IMS	Image mode single-look complex image	SAR_IMS_1P
PRI/IMP	Image mode precision image	SAR_IMP_1P
GEC/IMG	Image mode geocoded image	SAR_IMG_1P
MR /IMM	Image mode medium resolution image (stripline)	SAR_IMM_1P
BRW/IMB	Image mode browse image (stripline)	SAR_IM__BP
APS	Simulated alternating polarisation single-look complex image	SAR_APS_1P
APP	Simulated alternating polarisation precision image	SAR_APP_1P
APG	Simulated alternating polarisation geocoded image	SAR_APG_1P
APM	Simulated alternating polarisation medium resolution image (stripline)	SAR_APM_1P
APB	Simulated alternating polarisation browse image (stripline)	SAR_APB_BP
WV Level 0	Wave mode level 0	SAR_WV__0P
WVI	Wave mode SLC imagette and imagette cross spectra	SAR_WVI_1P
WVS	Wave mode imagette cross spectra	SAR_WVS_1P
WWV	Wave mode imagette ocean wave spectra	SAR_WWV_2P

表 2-2.2 ERS 檔案名稱說明(ESA, 2006)

產品名稱			
AAA_AAA_AABCCCYYYMMDD_HHMMSS_00000000D***_000000_*****_00000.E*			
範例：SAR_IMP_1PTPDE19951221_103430_0000015A000_00000_00001_0005.E1			
衛星資訊	格數	格數段落	範例中的段落
產品編號	10	AAA_AAA_AA	SAR_IMP_1P
處理階段標誌	1	B	T
起始序號	3	CCC	PDE
拍攝日期	8	YYMMDD	19951221
分隔底線	1	—	—
啟用時間	6	HHMMSS	103430
分隔底線	1	—	—
持續時間	8	00000000	0000015
相位標示	1	D	A
相位內的週期數	3	***	000
分隔底線	1	—	—
週期內的相對軌道	5	00000	00000
分隔底線	1	—	—
絕對軌道	5	*****	00001
分隔底線	1	—	—
產品類型的文件數	4	0000	0005
句號	1	.	.
衛星編號	2	E*	E1

藉由 EOLi(Earth observation Link：<http://earth.esa.int/EOLi/EOLi.html>)中 ESA 地球觀測任務的服務，下載此網站上所提供的 EOLi-SA 軟體之後，可依時間與區域查詢符合使用者所需的 ERS 衛星影像(圖 2-2.1)。

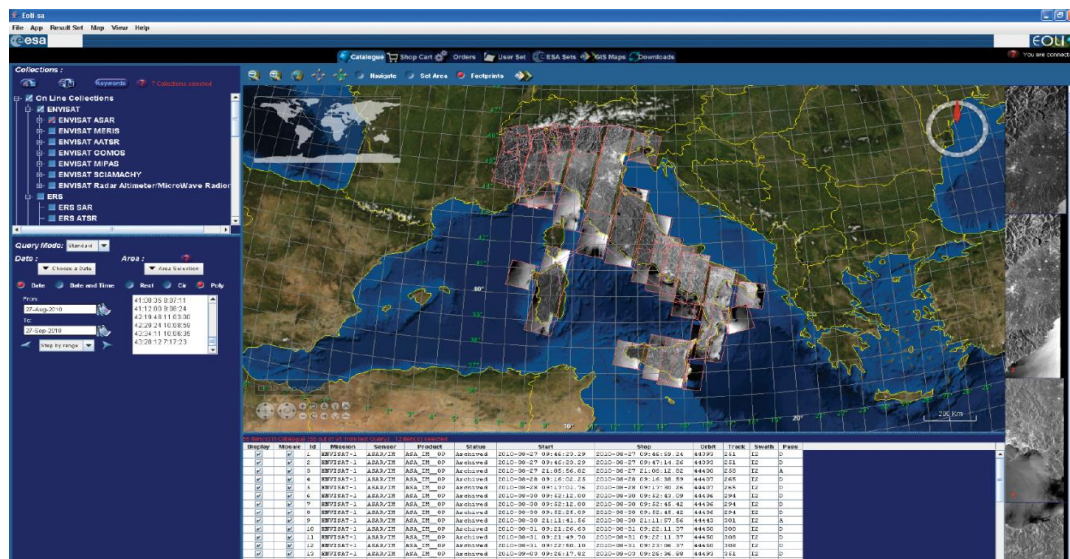


圖 2-2.1 EOLi-SA 軟體介面

2. ENVISAT

完整 ENVISAT SAR 產品與種類編號描述如表 2-2.3。影像的檔案名稱前面 10 個字為產品編號(Product ID)，第 15 個字開始為影像拍攝日期與時間，格式為 YYYYMMDD_HHMMSS，其他資訊可參考表 2-2.4 檔案名稱說明。藉由 EOLi(Earth observation Link：<http://earth.esa.int/EOLi/EOLi.html>)ESA 地球觀測任務服務，並下載網站上所提供的 EOLi-SA 軟體之後，可查詢使用者所需要時間與區域的 ENVISAT 衛星影像(圖 2-2.1)。

表 2-2.3 ENVISAT 產品種類與產品編號(ESA, 2012)

Product ID	Product Name	Nominal Resolution (m - Range x Azimuth)	Pixel Spacing (m)	Coverage (km - Range x Azimuth)	Equivalent No. Looks
ASA_IMP_1P	Image Mode Precision	30 × 30	12.5	56-100 × 100	>3
ASA_IMS_1P	Image Mode Single-Look Complex	9 × 6	natural*	56-100 × 100	1
ASA_IMM_1P	Image Mode Medium resolution	150 × 150	75	56-100 × 100	40
ASA_APP_1P	Alternating Polarisation Precision Image	30 × 30	12.5	41-106 × 100	>1.8
ASA_APS_1P	Alternating Polarisation Single-Look Complex	9 × 12	natural*	41-106 × 100	1
ASA_APM_1P	Alternating Polarisation Medium resolution	150 × 150	75	41-106 × 100	50
ASA_WSM_1P	Wide Swath Mode Medium resolution	150 × 150	75	400 × 400	11.5
ASA_WSS_1P	Wide Swath Mode Single-Look Complex	11.5-20 × 117	7.8x80	400 × 400	1
ASA_GM1_1P	Global Monitoring Mode Image	1000 × 1000	500	400 × 400	7-9
ASA_WVI_1P	Wave Mode Imagette and power spectrum	9 × 6	natural*	5 × 5	1
ASA_WVS_1P	Wave Mode Image Spectra	-	-	5 × 5	-
ASA_WVW_2P	Wave Mode Ocean Wave Spectra	-	-	5 × 5	-

*natural：natural pixel spacing in range and azimuth

表 2-2.4 ENVISAT 檔案名稱說明(ESA, 2015)

filename = <product_ID> <processing_stage_flag><originator_ID> <“ ”> <duration> <phase><cycle> <“ ”> <relative_orbit> <“ ”> <absolute_orbit> <“ ”><counter><“.”> <satellite_ID> <.extension>		
Field	Size in Characters	Description
Product_ID	10	10 character string identifies sensor, mode and processing level. See Volume 4 for details. Characters not used are replaced with an underscore character.
Processing Stage flag	1	Set to “N” for Near Real Time product Set to “V” for fully validated (consolidated) product Set to “T” for Test product Set to “S” for a special product. Letters between N and V are assigned in order of level of consolidation (i.e., closer to V = better consolidated)
Originator ID	3	Identification of the center which generated the file.
Start_day	8	In the case of instrument products it corresponds to the start day of the product from the UTC time of the first DSR. The format is YYYYMMDD. For Auxiliary files it may correspond to file creation date.
Start_time	6	Time coverage of the product expressed in seconds. If the duration of a product is not relevant information it will be set to “00000000”.
Duration	8	Time coverage of the product expressed in seconds. If the duration of a product is not relevant information it will be set to “00000000”.
Phase	1	Mission phase identifier
Cycle	3	Cycle number within the mission phase
Relative_orbit	5	Relative orbit number within the cycle at the beginning of the product
Absolute_orbit	5	Absolute orbit at the beginning of the product
Counter	4	Numerical wrap-around counter for quick file identification. For a given product type the counter is incremented by 1 for each new product generated by the product originator (see note 1)
Satellite ID	2	E1 = ERS-1, E2 = ERS-2, N1 = ENVISAT-1
Extension	Variable	Optional field. Used only for distribution to users to indicate common archiving and compression standards if used (e.g., .gz, .Z, .tar, .tarZ, .gif, .jpeg, etc.)

3. RADARSAT

RADARSAT-1 衛星有 7 種不同影像拍攝模式(圖 2-2.2)，產品種類與編號如表 2-2.5 所示，影像以 CEOS(Committee on Earth Observations Satellites)標準格式儲存。而 RADARSAT-2 衛星則多達 20 種不同影像拍攝模式(圖 2-2.3)，主要產品種類區分為 9 個分類(表 2-2.6)，每一個產品由一個產品資訊檔、數個影像資訊檔與相關支援檔案所組成，其中產品資訊檔為 xml 格式，拍攝模式的欄位名稱為 beamModeMnemonic，各種拍攝模式的代碼如表 2-2.7 所示。RADARSAT-1 與 RADARSAT-2 影像皆可藉由 NRA(Natural Resources Canada)網站(https://neodf.nrcan.gc.ca/neodf_cat3/index.php?lang=en)，設定使用者所需要的時間、區域、影像種類來搜尋。

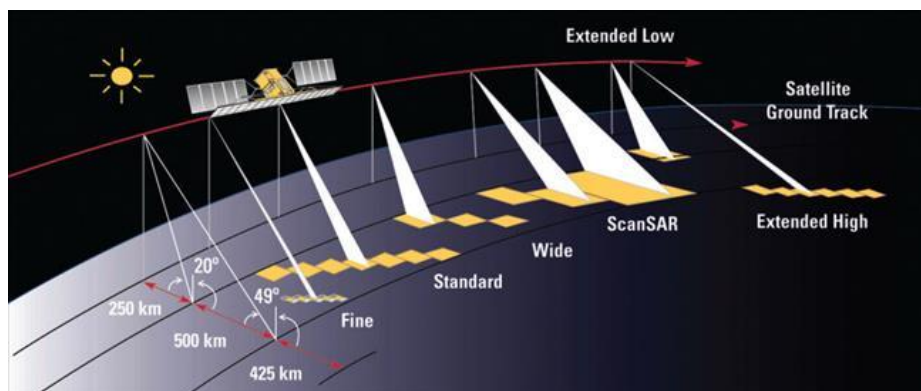


圖 2-2.2 RADARSAT-1 衛星拍攝組態示意圖

(資料來源：CSA 網站 <http://www.asc-csa.gc.ca/eng/search/images/watch.asp?id=460>)

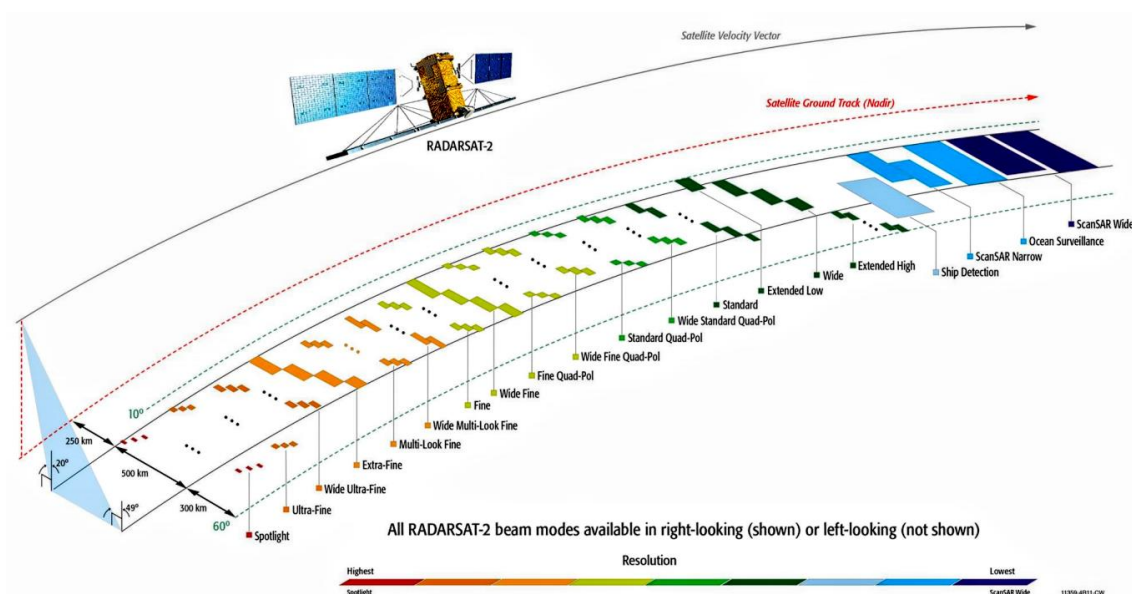


圖 2-2.3 RADARSAT-2 衛星拍攝組態示意圖(資料來源：RADARSAT-2 MDA https://mdacorporation.com/docs/default-source/technical-documents/geospatial-services/52-1238_rs2_product_description.pdf?sfvrsn=10)

表 2-2.5 RADARSAT-1 產品種類與代碼(RSI, 2004)

Processing Level	Product type in RADARSAT	Product Type in RSI Terminology	Product Level in Network Station Certification
RAW (signal data)	RAW	RAW signal data	Level 0
Georeferenced data (Satellite path oriented)	SLC	Single Look Complex	Level 1
	SGF	Path Image	
	SGX	Path Image Plus	
	SCN	ScanSAR Narrow	
	SCW	ScanSAR Wide	
Geocoded data (Map oriented)	SSG	Map Image	Level 2
	SPG	Precision Map Image	

表 2-2.6 RADARSAT-2 產品種類與代碼(RSI, 2016a)

Product Types		Abbreviation	Processing Level	Product Descriptive Name
Slant Range	Single Look Complex	SLC	Georeferenced	Single Look Complex
Ground Range	SAR Georeferenced Extra	SGX	Georeferenced	Path Image Plus
	SAR Georeferenced Fine	SGF	Georeferenced	Path Image
	ScanSAR Narrow Beam	SCN	Georeferenced	Path Image
	ScanSAR Wide Beam	SCW	Georeferenced	Path Image
	ScanSAR Fine	SCF	Georeferenced	Path Image
	ScanSAR Sampled	SCS	Georeferenced	Path Image
Geocorrected	SAR systematic Geocorrected	SSG	Systematic Georeferenced	Map Image
	SAR Precision Geocorrected	SPG	Precision Georeferenced	Precision Map Image

表 2-2.7 RADARSAT-2 拍攝模式代碼(RSI, 2016b)

Type	Code	Type	Code
Standard	Sn	Wide Multi-Look Fine	MFnW
Wide	Wn	Ultra-Fine	Un
Extended High	EHn	Wide Ultra-Fine	UnWn
Extended Low	Eln	ScanSAR Narrow	SCNA, SCNB
Fine	Fn	ScanSAR Wide	SCWA, SCWB
Wide Fine	F0Wn	Spotlight	SLAn,SLBn
Std Quad-Pol	SQn	Ocean SURVEILLANCE	OS
Wide Std Quad-Pol	SQnW	Detection of Vessels	DV
Fine Quad-Pol	FQn	Extra Fine	XF0
Wide Fine Quad-Pol	FQnW	MODEX	MX
Multi-Look Fine	MFn	TOPS	PS

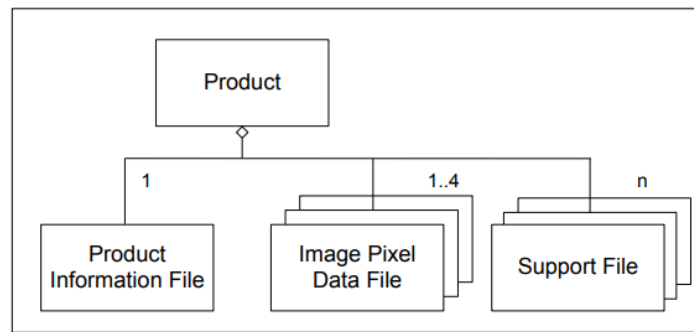


圖 2-2.4 RADARSAT-2 產品檔案組成(RSI, 2016b)

Background

Contact us

Search criteria

Maps

Canada ☐

World ☐

Selection method

Enter Coordinates

Draw on map ☐

Geographic Location

Current Map Extent

Acquisition dates

From (YYYY-MM-DD):

2009-06-17

To (YYYY-MM-DD):

2012-06-18

Linear Period ☐

Seasonal Period ☐

Your area of interest (AOI)

Satellite

☐ Product only

Optical

RADAR

☒ RADARSAT-1

☒ RADARSAT-2

Aerial Photo

Value-Added Satellite Products

Current map layers

Execute Query

National Earth Observation Data Framework Catalogue

Keyboard users: Use the arrow keys to move the map and use plus and minus to zoom.

Search results

150 results from a total of 3697 returns

RADAR

Save results

Footprint on the map	Satellite	Acq Start Date	Beam	Polarization	Metadata	Type	Image ID	Quicklook on map	Zoom
☒	RADARSAT-1	2012-06-17 02:29:44	ScanSAR Wide A (W1 W2 W3 S7)	HH	See Meta	raw		Not Available	
☐	RADARSAT-1	2012-06-13 14:51:18	Standard 4	HH	See Meta	raw		Not Available	
☐	RADARSAT-1	2012-	ScanSAR	HH	See Meta	raw		Not	

圖 2-2.5 RADARSAT 衛星影像搜尋網頁

https://neodf.nrcan.gc.ca/neodf_cat3/index.php?lang=en

4. Sentinel-1

Sentinel-1 分為四種拍攝模式 Stripmap、Interferometric Wide Swath Mode、Extra Wide Swath Mode 與 Wave，可依據處理等級與解析度再分為不同的產品(圖 2-2.6 與圖 2-2.7)，檔案名稱編碼由：衛星任務、拍攝模式、產品種類、解析度、處理等級、極化、拍攝日期與時間、軌道資訊等所組成(圖 2-2.8)。Sentinel 的資料可以免費在 ESA SciHUB 網站(<https://scihub.copernicus.eu/>)中搜尋與下載(圖 2-2.9)。

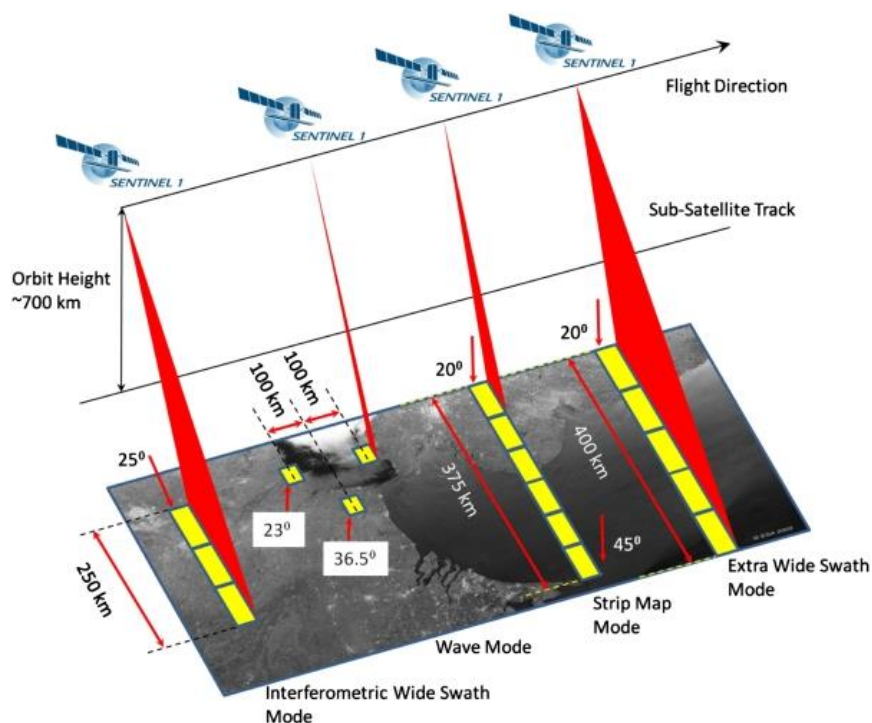


圖 2-2.6 Sentinel-1 產品拍攝模式(資料來源：ESA Sentinel-1 SAR User Guides <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/acquisition-modes>)

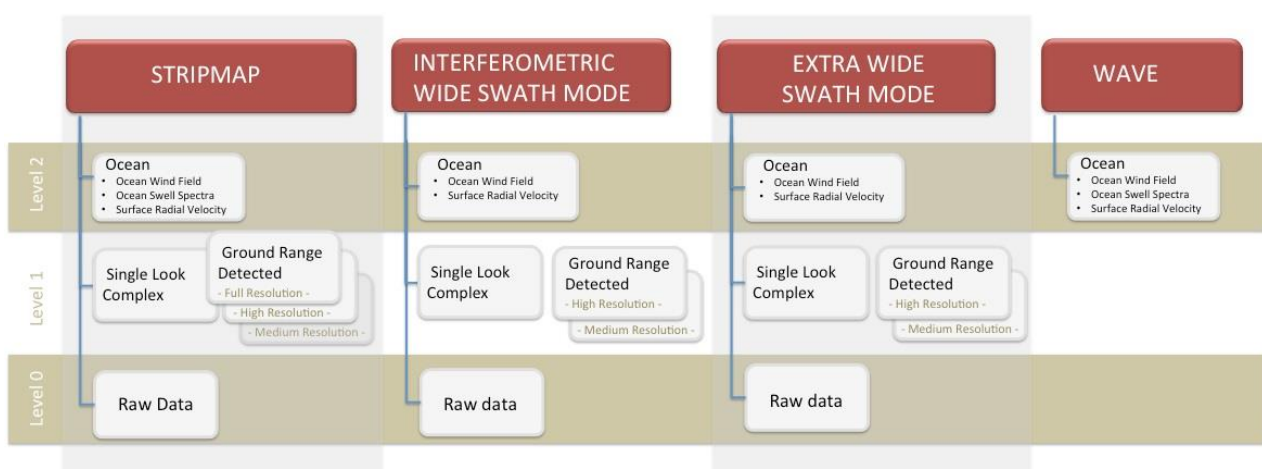


圖 2-2.7 Sentinel-1 產品種類與等級區分(資料來源：ESA Missions Sentinel-1 <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/data-products>)

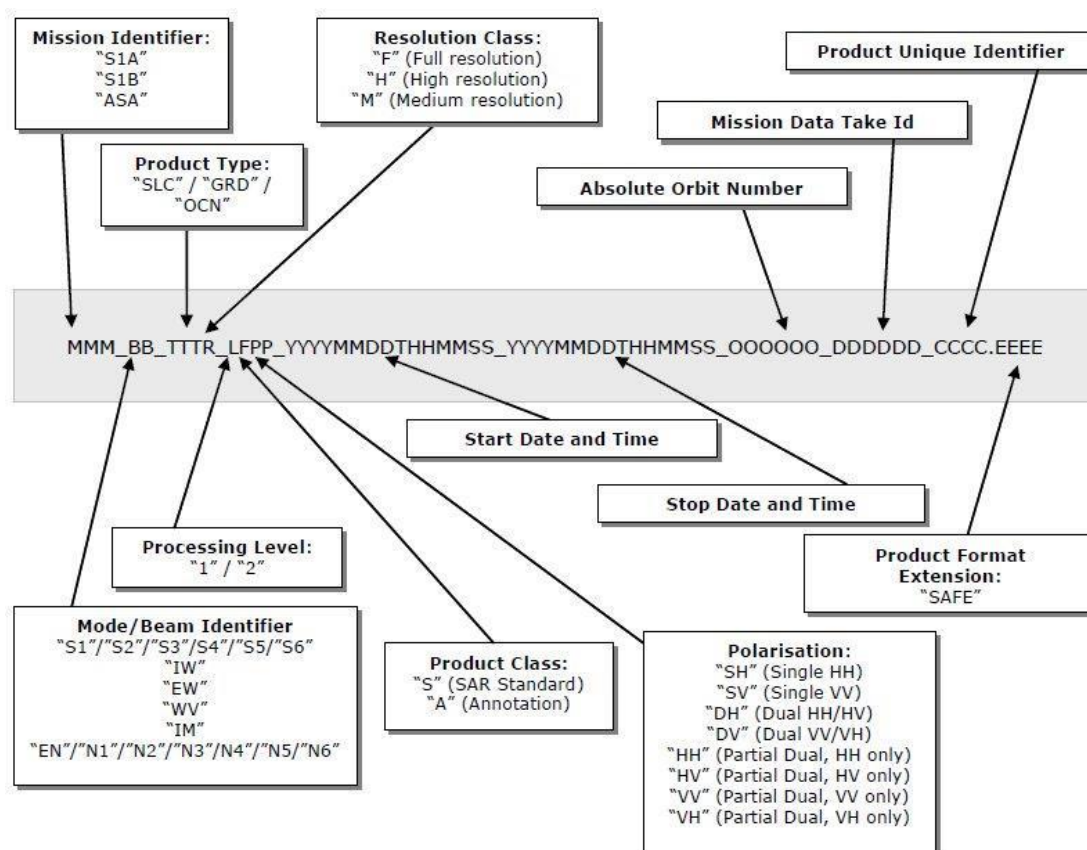


圖 2-2.8 Sentinel-1 產品檔案名稱編碼說明(資料來源：ESA Sentinel-1 SAR Technical Guides <https://earth.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-1-sar/products-algorithms/level-1-product-formatting>)

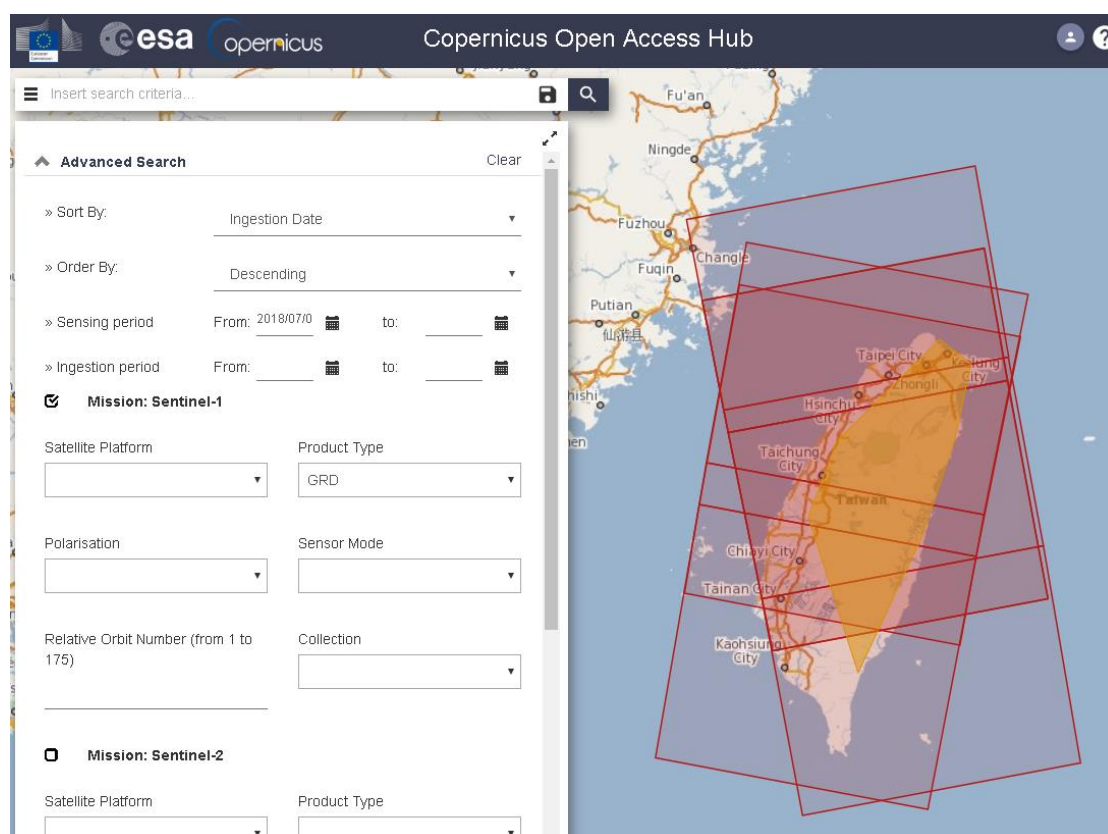


圖 2-2.9 Sentinel 衛星影像搜尋網頁 <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

5. JERS-1

JERS-1 產品分為四種，包含 RAW、Precision Image、Single Look Complex(SLC)、Medium Resolution Image，其編碼分別為：JSA_RAW_0P、JSA_PRI_1P、JSA_SLC_1P 與 JSA_IMM_1P，產品檔案名稱由：衛星任務、產品種類、拍攝時間、軌道資訊等所組成(表 2-2.8)。2018 年 1 月 ESA 宣布 JERS SAR Level1 影像可免費下載，但需要經過註冊與認證(<https://earth.esa.int/web/guest/jers-1-news/-/article/jers-1-sar-and-optical-data-available>)。目前可由 NASA EARTHDATA 網站(<https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>)搜尋影像資料(圖 2-2.10)。

表 2-2.8 JERS-1 產品檔案名稱編碼(ESA, 2015)

filename = <Platform>_<OPER>_<product_ID>_<Start_time>_<End_time>_<abs_orbit>_<track_number>_<frame_node_number>_<crc_code>		
Field	Size	Description
Platform	3	JE1 (JERS-1) or SE1 (SEASAT)
Product_ID	10	product code JSA_RAW_0P
Start_time	15	YYYYMMDDTHHMMSS
End_time	15	YYYYMMDDTHHMMSS
Abs_orbit	6	Absolute orbit number
Track_number	4	Track number
Frame_node_number	4	Node number at centre of image frame
Crc_code	4	4-digit random hex string as unique identifier

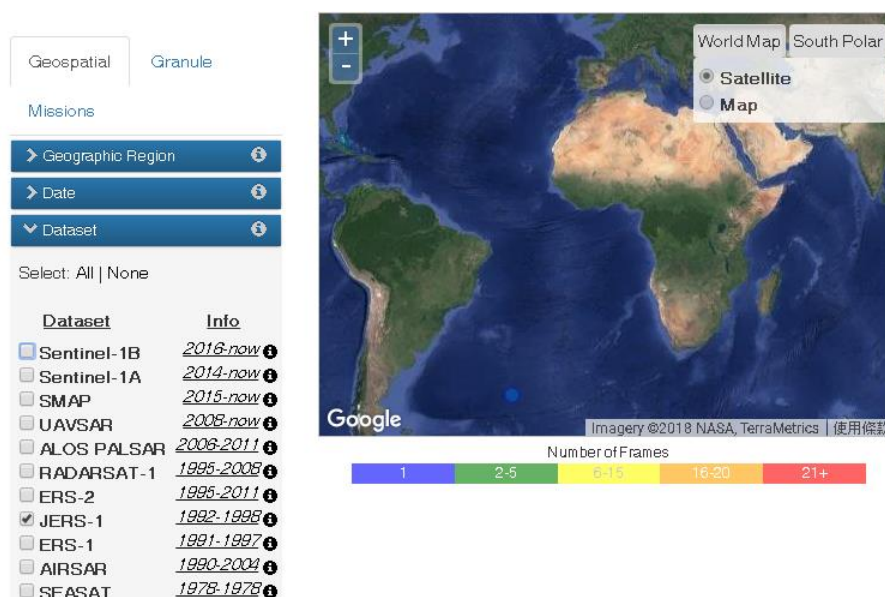


圖 2-2.10 JERS-1 衛星影像搜尋網頁 <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>

6. ALOS/ALOS-2

ALOS 提供三種拍攝模式：Fine 模式、ScanSAR 模式與 Polarimetric 模式，Fine 模式又可分為高解析單偏極與雙偏極，詳細產品編號如表 2-2.9 所示。產品的檔案名稱編碼為 ALPSR<swath mode><orbit number><frame number>- <obs mode><level>< processing option code ><projection><asc/desc>.tar，各項參數之說明如表 2-2.10 所示。

ALOS-2 提供三種拍攝模式：Spotlight、Stripmap 與 ScanSAR，各模式再依據解析度、掃描寬度與極化，區分為不同的產品(圖 2-2.11，表 2-2.11)。產品檔案名稱的編碼格式為 IMG-XX-ScenID-ProductID(詳見表 2-2.12)。以 IMG-HH-ALOS2132560470-161105-HBQR1 為範例，代表影像極化：HH、衛星：ALOS-2、軌道參數：13256、Scene frame：0470、影像時間：20161105、影像產品：High-sensitive mode Full(Quad.)polarimetry、觀測方向：右視、產品等級：Level 1.1。

ALOS 與 ALOS-2 的影像都可以藉由 JAXA 網頁(<https://auig2.jaxa.jp/ips/home>)設定條件來搜尋影像(圖 2-2.12)。

表 2-2.9 ALOS/PALSAR 產品種類編碼說明(ESA, 2013)

Order Type	PALSAR mode	Corresponding ESA Product Type	Description
RAW	All	RAW_0P	Unfocussed raw SAR data
SLC	FBS	FBS_SLC_1P	Single look complex (SLC) slant range, products. Side-lobe reduction is not applied.
	FBD	FBD_SLC_1P	
	PLR	PLR_SLC_1P	
	DN	DN_SLC_1P	
GDH	FBS	FBS_GDH_1P	Multi-looked, detected ground range, products. Side-lobe reduction is applied.
	FBD	FBD_GDH_1P	
	PLR	PLR_GDH_1P	
	DN	DN_GDH_1P	
	WB1	WB1_GDH_1P	SCANSAR products processed to 3 bursts per pixel (3 independent azimuth looks). Side-lobe reduction is applied.
GDL	FBS	FBS_GDL_1P	Multi-looked, detected ground range, low resolution products. Side-lobe reduction is applied. Generated by processing to GDH parameters and then spatially averaging by a factor of 12 (24 for FBS_GDH) to provide a ground range spatial resolution ~ 150m and an ENL>100.
	FBD	FBD_GDL_1P	
	PLR	PLR_GDL_1P	
	DN	DN_GDL_1P	
GEC	FBS	FBS_GEC_1P	Side-lobe reduction is applied.
	FBD	FBD_GEC_1P	

	PLR	PLR_GEC_1P	
	DN	DN_GEC_1P	
	WB1	WB1_GEC_1P	
GDH GDL GEC	PLR	PLP_GDH_1P PLP_GDL_1P PLP_GEC_1P	SCANSAR products processed to 3 bursts per pixel (3 independent azimuth looks). Side-lobe reduction is applied. Multi-looked, detected ground range, low resolution products. Side-lobe reduction is applied. Generated by processing to GDH parameters and then spatially averaging by a factor of 12 (24 for FBS_GDH) to provide a ground range spatial resolution ~ 150m and an ENL>100.

*FBS: single polarization; FBD: dual polarization; PLR: quad polarization; WB1,WB2: SacanSAR wide beam; DN: digital number

表 2-2.10 ALOS/PALSAR 產品檔案名稱編碼(ESA, 2013)

filename = ALPSR<swath mode><orbit number><frame number>- <obs mode><level>< processing option code><projection><asc/desc>.tar		
Field	Size	Description
< swath mode >	1	S – wideswath P - otherwise
< orbit number >	5	Absolute orbit number
<frame number>	4	Frame number
<obs mode>	1	H – High resolution mode W – Wide observation mode D – Direct downlink P – Polarimetry mode C – Calibration mode
<level>	3	1.0 (RAW), 1.1 (SLC), 1.5 (Detected)
<processing option code>	1	1-character identifier -see table below
<projection>	1	U – Universal Transverse Mercator P – Universal Polar Stereographic “-“ – Not geocoded
<asc/desc>	1	A – Ascending D - Descending

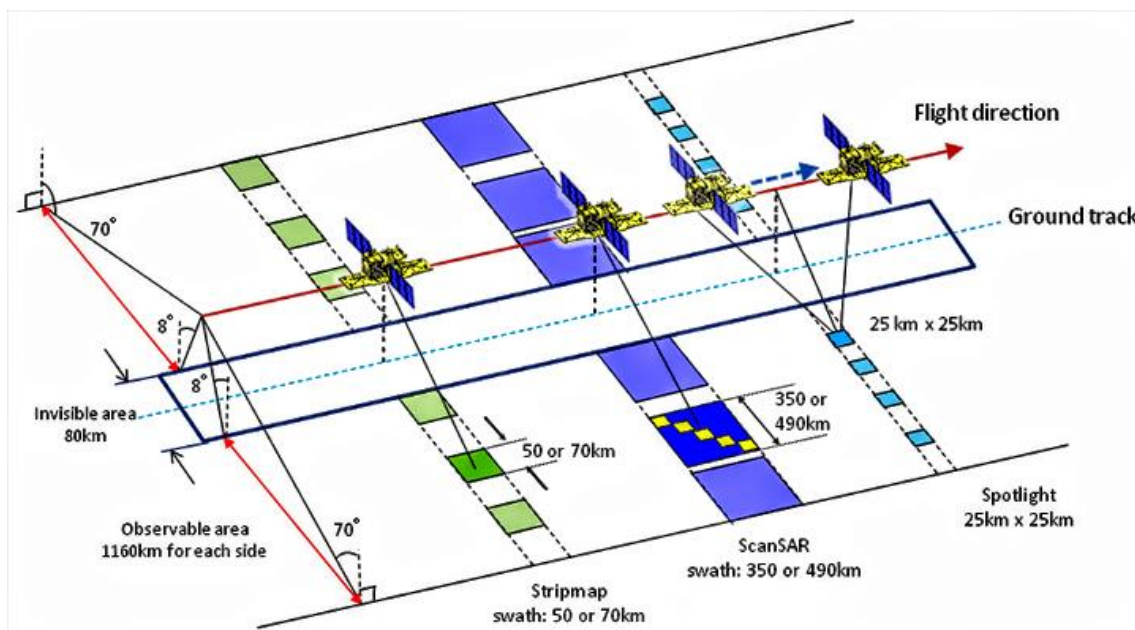


圖 2-2.11 ALOS-2 影像拍攝模式

(JAXA ALOS-2 Overview [http : //www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/en/about/palsar2.htm](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/en/about/palsar2.htm))

表 2-2.11 ALOS-2 影像產品種類與參數(JAXA_ALOS2)

Observation mode	Spotlight	Stripmap					ScanSAR		
		Ultrafine (3m)	High sensitive (6m)		Fine (10m)		Normal		Wide
Bandwidth (MHz)	84	84	42		28		14	28	14
Resolution (m)	3×1	3	6		10		100 (3 looks)		60
Incidence angle (deg.)	8 - 70	8 - 70	8 - 70	20 - 40	8 - 70	23.7	8 - 70		8 - 70
Swath (km)	25×25	50	50	40	70	30	350 (5 scans)		490 (7 scans)
Polarization*	SP	SP/DP	SP/DP /CP	FP	SP/DP /CP	FP	SP/DP		SP/DP
NESZ (dB)	-24	-24	-28	-25	-26	-23	-26	-23	-26
S/A (dB)	Rg	25	25	23	23	25	20	25	20
	Az	20	25	20	20	23	20		20

*SP : HH or HV or W; DP : HH+VH or W+VH; FP : HH+HV+VH+VV; CP : compact pol. (experimental)

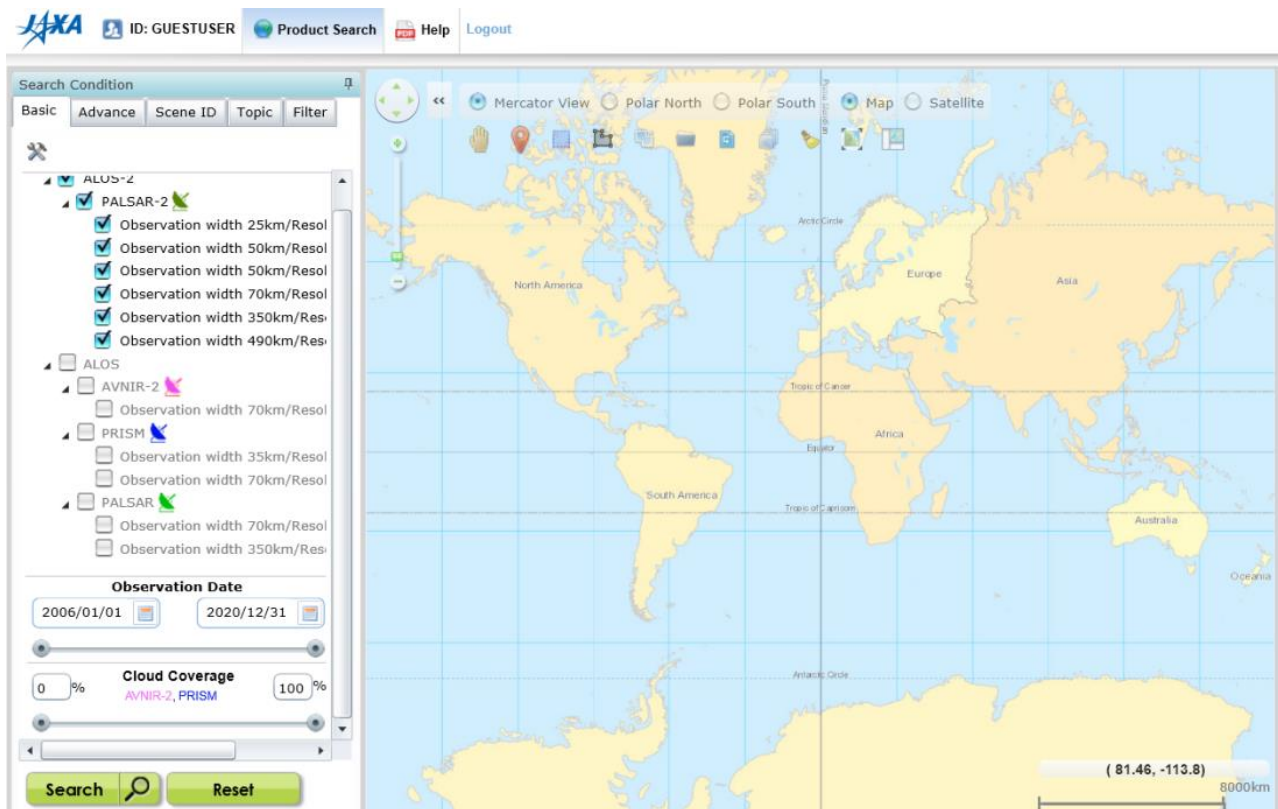


圖 2-2.12 ALOS 與 ALOS-2 衛星影像搜尋網頁 <https://auig2.jaxa.jp/ips/home>

表 2-2.12 ALOS-2 產品檔案名稱編碼(JAXA, 2014)

filename = IMG-XX-ScenID-ProductID		
Field	Description	
XX	Polarization (Transmission and Receiving) HH : Horizontally polarized wave transmission / Horizontally polarized wave receiving HV : Horizontally polarized wave transmission / Vertically polarized wave receiving VH : Vertically polarized wave transmission / Horizontally polarized wave receiving VV : Vertically polarized wave transmission / Vertically polarized wave receiving	
Scene ID	AAAAABBBBBBBBBBCCCC-YYMMDD	
	AAAAA	Satellite ID = 'ALOS2'
	BBBBB	Orbit accumulation number of a scene center
	CCCC	Scene frame number of a scene center
	-	Separator (hyphen)
	YYMMDD	Observation date of a scene center
Product ID	DDDEFFFGHI	
	DDD	Observation Mode
		SBS Spotlight mode
		UBS Ultra-fine mode Single polarization
		UBD Ultra-fine mode Dual polarization
		HBS High-sensitive mode Single polarization
		HBD High-sensitive mode Dual polarization
		HBQ High-sensitive mode Full (Quad.) polarimetry
		FBS Fine mode Single polarization
		FBD Fine mode Dual polarization
		FBQ Fine mode Full (Quad.) polarimetry
		WBS ScanSAR nominal [14MHz] mode Single polarization
		WBD ScanSAR nominal [28MHz] mode Single polarization
		WWS ScanSAR nominal [28MHz] mode Single polarization
		WWD ScanSAR nominal [28MHz] mode Dual polarization
		VBS ScanSAR wide mode Single polarization
		VBD ScanSAR wide mode Dual polarization
	E	Observation Direction (L : Left looking, R : Right looking)
	FFF	Processing Level (1.1 : Level 1.1, 1.5 : Level 1.5, 3.1 : Level 3.1)
	G	Processing Option (G : Geo-Coded, R : Geo-Reference, _ : Not specified (underscore))
	H	Map Projection (U : UTM, P : PS, M : MER, L : LCC, _ : Not specified)
	I	Orbit Direction (A : Ascending, D : Descending)

7. COSMO-SkyMed

COSMO-SkyMed 影像拍攝模式分為 Stripmap、Scansar 與 Spotlight 三種，區分為標準產品與高階處理產品，其中標準產品再根據處理的程度又可區分為下列 5 種產品：

Level O : RAW, Received SAR signal; 原始影像

Level 1A : SCS, Single look, Complex, Slant Range; 單視複數斜距影像

Level 1B : DGM, Detected, Ground project, Multilooked; 聚焦地距多視影像

Level 1C : GEC, Geocoded Ellipsoid Corrected; 橢球體校正影像

Level 1D : GTC, Geocoded Terrain Corrected; 地形校正影像

高階處理產品則分為：

Quicklook : reduced spatial resolution image for browsing purposes; 低解析度、用於快速瀏覽

Co-registered products : a set of image layers coregistered together (i.e. merged in vertical direction), for interferometry, change detection and so on; 套合影像的產品

Mosaiked products : a set of image joined together (i.e. merged in horizontal direction), for large spatial coverage representation; 鑲嵌影像的產品

Speckle filtered image : an image with an increased equivalent number of looks (ENL); 多視濾波的產品

Interferometric products (interferometric coherence and phase) : in support of the interferometric applications; 干涉的產品(InSAR)

DEM : Digital elevation data and related height error map obtained with interferometric techniques; 數值高程

產品檔案名稱的編碼格式為 CSKS<i>_<YYY_Z>_<MM>_<SS>_<PP>_<s><o>_<D><G>_<YYYYMMDDhhmmss>_<YYYYMMDDhhmmss>.h5(詳見表 2-2.13)。

COSMO-SkyMed 的影像可以藉由 e-geos 網頁(<http://catalog.e-geos.it/#query:undefined>) 設定條件來搜尋影像(圖 2-2.13)。

表 2-2.13 COSMO-SkyMed 產品檔案名稱編碼(ASI, 2009)

filename = CSKS<i>_<YYY_Z>_<MM>_<SS>_<PP>_<s><o>_<D><G>_<YYYYMMDDhhmmss>_<YYYYMMDDhhmmss>.h5		
Code	Meaning	Allowed values
<i>	Identifier of the satellite within the SAR constellation that acquired the scene	1 2 3 4
<YYY_Z >	Product Type	Standard Products : RAW_B SCS_B SCS_U DGM_B GEC_B GTC_B
<MM>	Instrument Mode used during the acquisition	HI (Himage) PP (PingPong) WR (WideRegion) HR (HugeRegion) S2 (Spotlight 2)
<SS>	Identifier of the swath (or subswath combination in the case of ScanSAR mode) used for the data acquisition	[0A-0B-01-...-24] for Himage Mode [0A-0B-01-...-23] for PingPong Mode [00-...-07] for WideRegion Mode [00-...-05] for HugeRegion Mode [0A-...-0D-01-...-33] for Enhanced Spotlight Mode
<PP>	Polarizations used during the acquisition	HH = Horizontal Tx/Horizontal Rx for Himage, ScanSAR and Spotlight modes VV = Vertical Tx/ Vertical Rx for Himage, ScanSAR and Spotlight modes HV = Horizontal Tx/ Vertical Rx for Himage, ScanSAR VH = Vertical Tx/ Horizontal Rx for Himage, ScanSAR CO = Co-polar acquisition (HH/VV) for PingPong mode CH = Cross polar acquisition (HH/HV) with Horizontal Tx polarization for PingPong mode CV = Cross polar acquisition (VV/VH) with Vertical Tx polarization for PingPong mode
<s>	Identifier of the Look Side	L = LEFT R = RIGHT
<o>	Identifier of the Orbit Direction	A = Ascending D = Descending
<D>	Delivery Mode	F = Fast Delivery mode S = Standard Delivery mode
<G>	State of the Selective Availability during the acquisition, affecting Orbital Data derived by GPS Instrument	N = ON F = OFF
<YYYYMMDDhhmmss>	Sensing Start Time rounded to the closest integer second	YYYY = year MM = month DD = day of the month hh = hour mm = minute ss = second
<YYYYMMDDhhmmss>	Sensing Stop Time rounded to the closest integer second	As for sensing start time

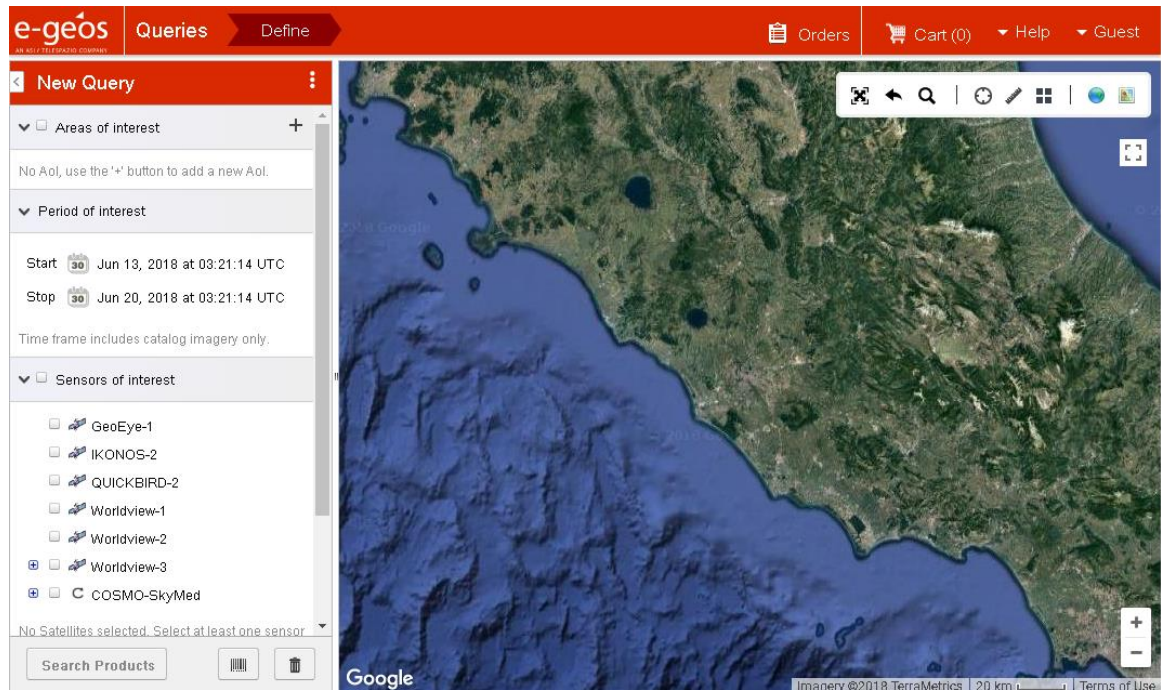


圖 2-2.13 COSMO-SeyMed 衛星影像搜尋網頁 <http://catalog.e-geos.it/#query> : undefined

8. TerraSAR-X

TerraSAR-X 有三種拍攝模式：Spotlight、Stripmap 與 Scansar，再根據空間解析度與掃描寬度又可再分為主要 7 種影像模式(表 2-2.14)。TerraSAR-X 的產品格式如圖 2-2.14 所示，最上層資料夾名稱格式為 TSX1_SAR__AAA_BBBB_CC_D_EEE_XXXXXXXXTxxxxxx_yyyyyyy yTyyyyyy，而影像檔案名稱格式為 IMAGE_FF_GGG_[beam ID](詳見表 2-2.15)。TerraSAR-X 的影像都可以藉由 AIRBUS 網頁(<https://terrasar-x-archive.terrasar.com/>)設定條件來搜尋影像(圖 2-2.15)。

表 2-2.14 TerraSAR-X 影像種類與參數(Buckreuss et al, 2009)

Imaging Mode	Standard Scene Size (km)	Maximum Acquisition Length (km)	Slant Range Resolution (m)	Azimuth Resolution (m)	Polarisation	Full Performance Range (°)
Staring SpotLight (ST)	4 × 3.7	3.7	0.6	0.24	Single (VV or HH)	20° - 45°
HighRes SpotLight 300 MHz (HS300)	10 × 5	5	0.6	1.1	Single (VV or HH)	20° - 55°
HighRes SpotLight (HS)	10 × 5	5	1.2	1.1	Single (VV or HH)	20° - 55°
			1.2	2.2	Dual (HH & VV)	
SpotLight (SL)	10 × 10	10	1.2	1.7	Single (VV or HH)	20° - 55°
			1.2	3.4	Dual (HH & VV)	
StripMap (SM)	30 × 50 Single pol	1650	1.2	3.3	Single (VV or HH)	20° - 45°
	15 × 50 Dual pol		1.2	6.6	Dual (HH & VV, HH & HV, or VV and VH)	
ScanSAR (SC)	100 × 150	1650	12 (at 150 MHz)	18.5	Single (VV or HH)	20° - 45°
Wide ScanSAR (WS)	270 × 200	1550	Depending on range bandwidth 1.7 - 3.3	40	Single (VV, HH, HV or VH)	15.6° - 49°

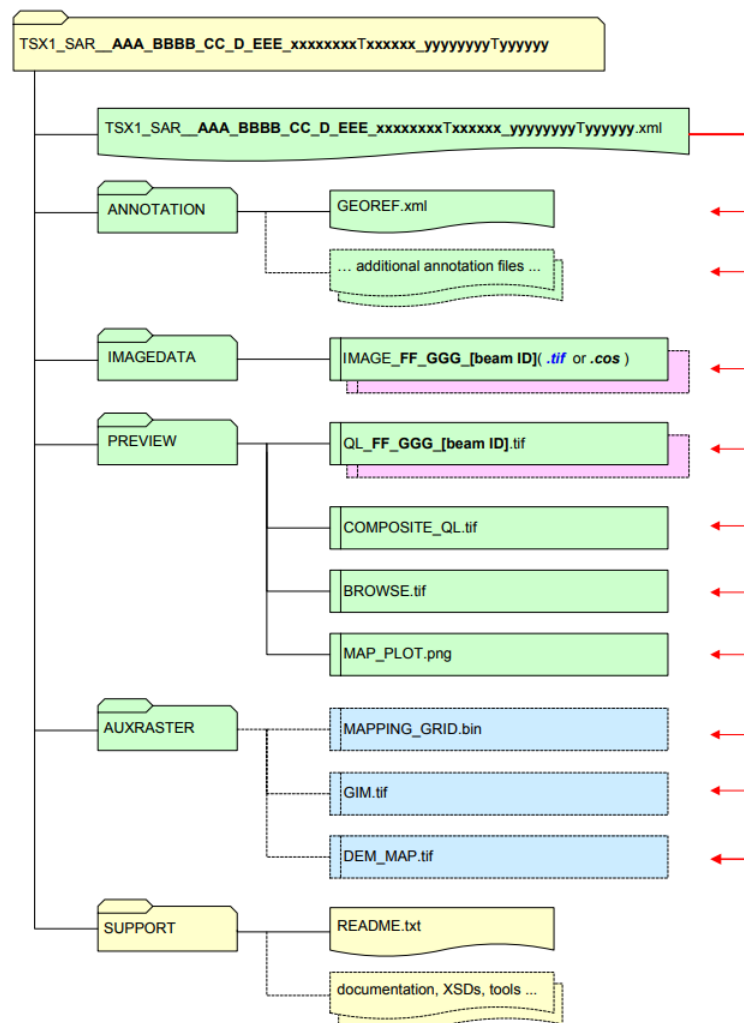


圖 2-2.14 TerraSAR-X 產品資料結構(DLR, 2007)

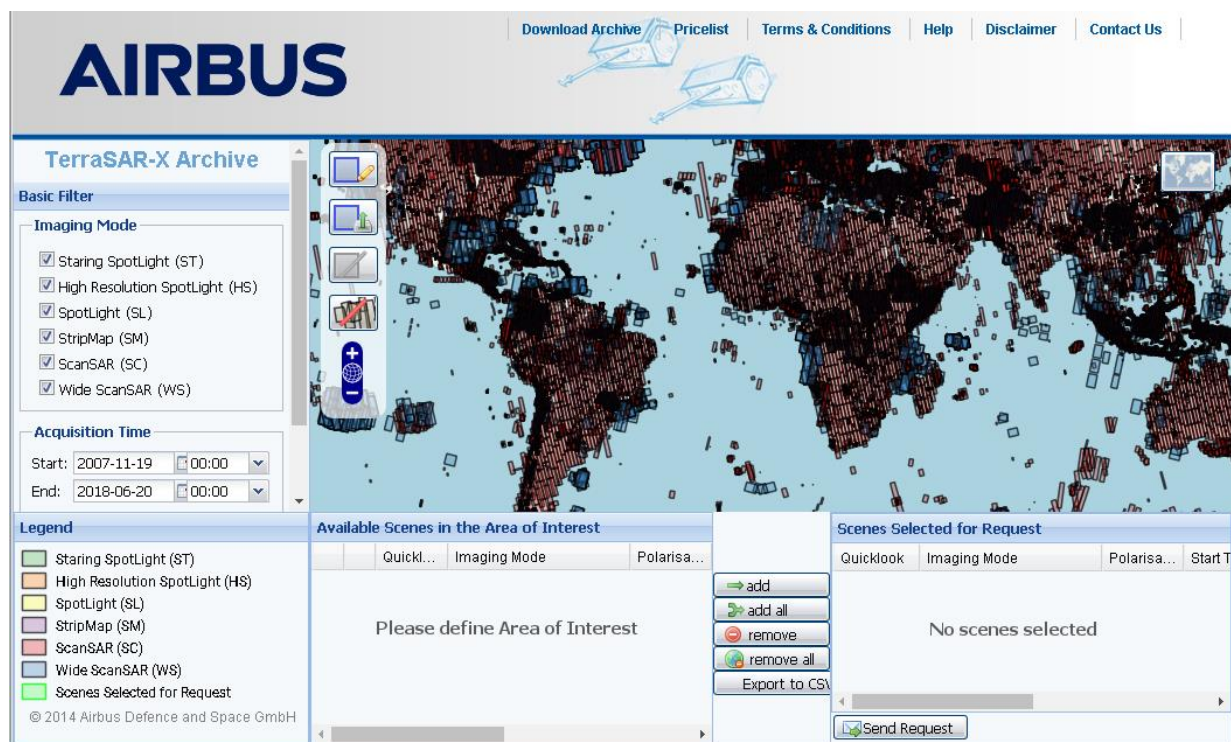


圖 2-2.15 TerraSAR-X 衛星影像搜尋網頁 <https://terrasar-x-archive.terrasar.com/>

表 2-2.15 TerraSAR-X 產品檔案名稱編碼說明(DLR, 2007)

最上層資料夾名稱=			
TSX1_SAR_AAA_BBBB_CC_D_EEE_xxxxxxxxTxxxxxx_yyyyyyyyTyyyyyy ,			
Constituent ID	Constituent Name	Value Range	Remark
-	Mission	TSX1	Fixed
-	Sensor	SAR_	Fixed
AAA	Product variant	SSC, MGDMGEC, EEC	Product class
BBBB	Resolution variant	SE_,RE_	Product sub-class : spatially or radiometrically enhanced. No entry (____) for sscs.
CC	Imaging mode	SM, SC, SL, HS	Example : HS for High-Resolution spotlight
D	Polarisation mode	S, D, T, Q	Example : T for TWIN polarization mode
EEE	Antenna receive configuration	SRA, DRA	SRA for single-receive antenna DRA for dual-receive antenna
xxxxxxxxTx xxxxx	UTC start time	-	Format : yyyymmddthhmmss
yyyyyyyTy yyyyy	UTC stop time	-	
影像檔案名稱=			
IMAGE_FF_GGG_[beam ID]			
FF	Polarization channel image layer	HH, HV, VH, VV	TxRx polarization
GGG	Geometric (antenna receive channel) image layer	SRA, FWD, AFT	Geometric layers for DRA/ATI mode (forward and after). Quadpol data is processed with the “SRA” geometric phase center offset (thus 0)
[beam ID]	Elevation beam (configuration) ID	e.g. strip_007, scan_009, ...	As taken from the order file for detected products (e.g. Scan_009, strip_009, stripfar_009). Identifying the different image layers for each subswath of (experimental) complex scansar products (e.g. Strip_009, strip_010, strip_011 and strip_012).

三、各類雷達影像分析與功能評估

1. 堰塞湖與洪水溢淹

雷達影像不受晝夜影響且不易受大氣雲霧干擾、有較大的影像面積與對同一地點較短的再訪週期，並且對水體表面屬於鏡面散射，其背向散射訊號非常低的特徵，在洪氾區辨識的分析上是非常好的工具。

但在分析上仍會受到雷達波長的差異，有不同的應用。較小的波長可以相對有較高解析度，然而短波長容易受到水氣干擾，在颱風豪雨期間會有資料品質的問題，長波長雷達影像則相對不容易受到水氣干擾(圖 2-3.1 與圖 2-3.2)。另外，當水表面受到風的作用或者水流的作用，並非完全平坦的情況下，相對於短波長雷達波的粗糙度較大，會有較大的背向散射訊號，可能會導致水體辨識的誤差，這種情況下的水面對於長波長雷達波的粗糙度較短波長雷達波小，鏡面反射的效應更明顯，較容易辨識水體，不受水面起伏影響(圖 2-3.3)。但如果要區分出洪泛區域中水體與泥濘的差異，短波長的雷達波會具有較高的辨識度(圖 2-3.4)。考慮雷達波長對於水體的反應差異，在堰塞湖與洪水溢淹的判釋上的雷達影像選擇，L 波段優於 C 波段，而 C 波段優於 X 波段。

	Mapping+ reconnaissance intelligence		Hydrology+ land cover/use		Flood under vegetation Biomass		Biomass DEM under forest	
Bands	Ka	K	Ku	X	C	S	L	P
Frequency (GHz)	40-26.5	26.5-18	18-12.5	12.5-8	8-4	4-2	2-1	1-0.3
Wavelength (cm)	0.75-1.1	1.1-1.67	1.67-2.4	2.4-3.75	3.75-7.5	7.5-15	15-30	30-100
Polarization	HH, VV, HV, VH							

圖 2-3.1 ESA 建議雷達影像各波段適用的分析(資料來源：

ftp://ftp.itc.nl/pub/dragon4/SAR/D2SP2-Floodsmonitoring-HYEsou/DS2L2_yesou_lakes_flood_SAR.pdf 第 35 頁)



圖 2-3.2 不同波段雷達影像在雲與水氣干擾的情況(資料修改自：https://earth.esa.int/c/document_library/get_file?folderId=226458&name=DLFE-2124.pdf 第 5 頁)

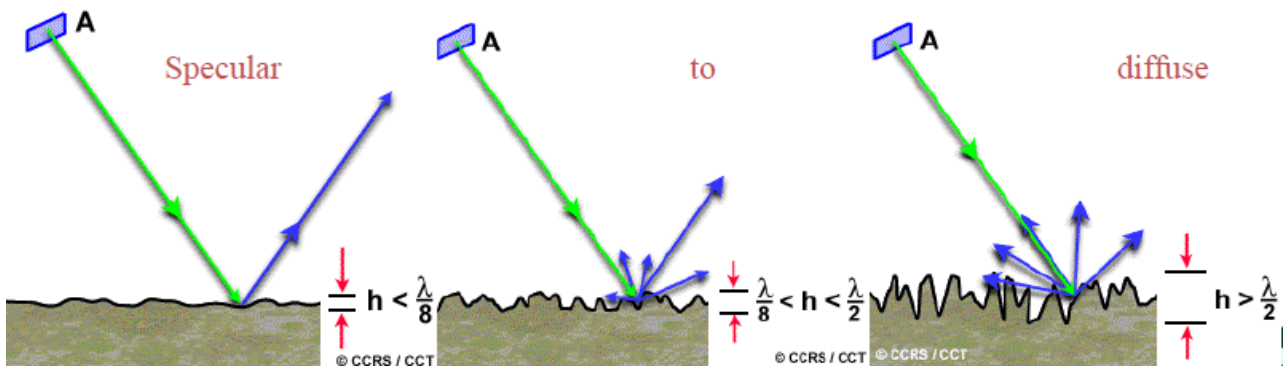
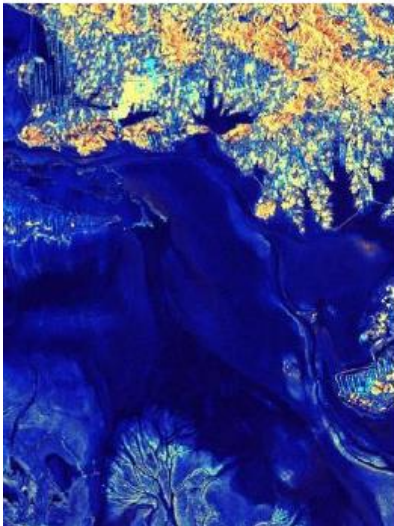


圖 2-3.3 反射面起伏程度對於不同雷達波長的反應不同。 h 為反射面起伏高度， λ 為雷達波長(資料來源：ESA Advanced training course https://earth.esa.int/documents/10174/643004/D4T1a_yesou_LTC2013.pdf 第 22 頁)

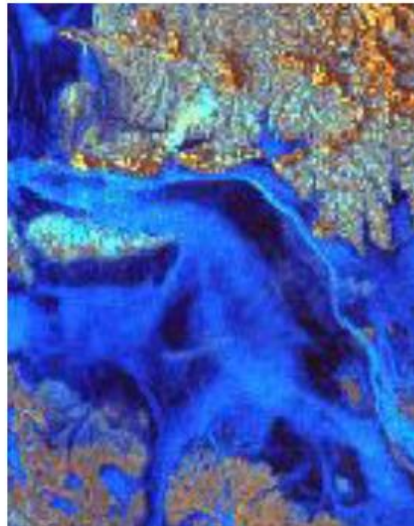
PALSAR band L HH/HV

Low level of water
Commision between mud
banks and open water



ASAR band C HH/HV

Intermediate level of water



TerraSar band X HH/HV

Low level of water
Good différenciation
between mud/water



圖 2-3.4 不同波長之雷達影像對於水體與泥濘的分辨率(資料來源：ESA Advanced training course https://earth.esa.int/documents/10174/643004/D4T1a_yesou_LTC2013.pdf 第 54 頁)

雷達影像依據訊號發射與接收時不同，分為 4 種不同的偏極模式(Polarization Mode)，HH：水平發射與水平接收、VV：垂直發射與垂直接收、HV：水平發射與垂直接收、VH：垂直發射與水平接收。不同的極化對於地表地物的反應也有所差異，Henry et al.(2006)以 Envisat 對於水體的研究指出，平行極化(HH,VV)相較於交叉極化(HV,VH)對於水體的辨識更有優勢，但由於 HV 對於水面的起伏的粗糙度比較不敏感，因此在實際應用上，又比 VV 更適合應用於水體的辨識(表 2-3.1)，而且在同一張區域影像中，HH 極化的數值直方圖分布比其他極化更廣，意指 HH 極化在不同類別的區分更具有優勢(圖 2-3.5)。然而 Twele et al.(2016)又進一步分析 Sentinel-1 VH 與 VV 極化對水體偵測的差異，結果顯示兩者對於水體辨識的準確度指標 kappa coefficient 都有 85%以上，而 VV 極化的結果較 VH 好一點，kappa 值高達 91%(圖 2-3.6 與表 2-3.2)。

表 2-3.1 雷達影像偏極模式與地物辨識的適用性(Henry et al., 2006)。+-號代表適用性，+號越多代表適用性越佳。

	HH	HV	VV
Forest	+	+++	++
Fields	++	+++	++
Urban areas	+++	-	++
Water bodies	+++	++	+

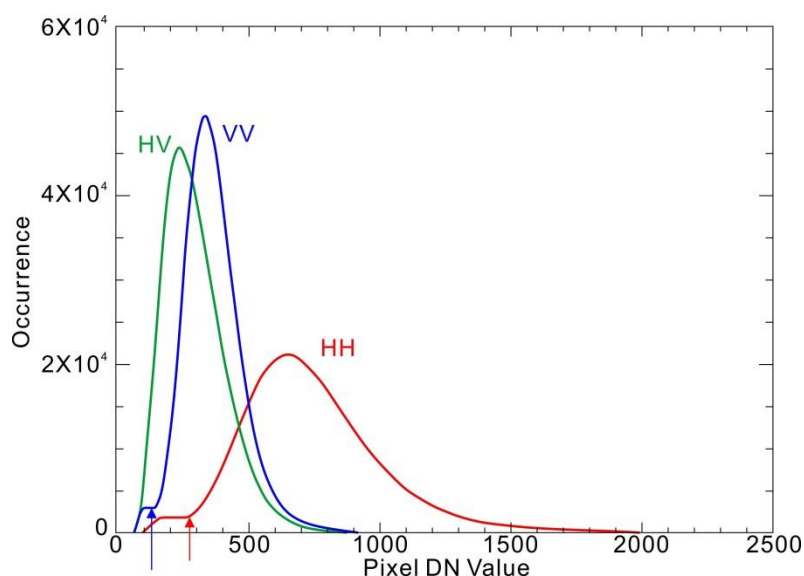


圖 2-3.5 HH, HV 與 VV 極化影像於相同區域內的數值分布。箭頭代表區分水體的門檻值(Henry et al., 2006)

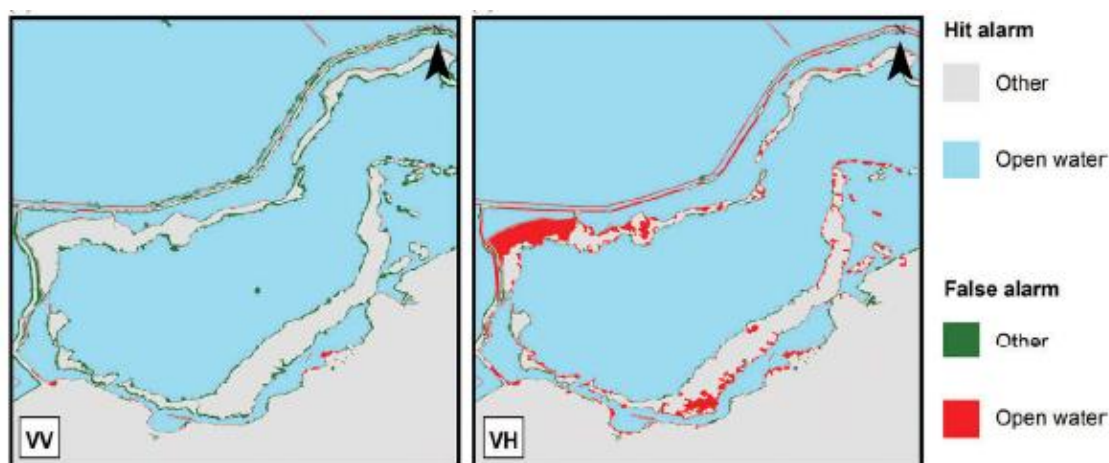


圖 2-3.6 Sentinel-1 VV 與 VH 極化在水體辨識的差異。左圖為 VV 極化辨識之結果；右圖為 VH 極化辨識之結果(Twele et al., 2016)

表 2-3.2 Sentinel-1 VV 與 VH 極化在水體辨識的準確性指標(Twele et al., 2016)

Polarization	OA (%)	PA open water (%)	UA open water (%)	PA other (%)	UA other (%)	κ
VV	96.1	95.2	99.2	98.2	90.0	0.910
VH	95.2	98.5	94.7	87.7	96.2	0.883

綜合以上資訊，在堰塞湖與洪水溢淹的辨識中所需要選擇的雷達影像，以 L 波段優先，C 波段次之，X 波段最後，而使用的極化影像一般原則則以 HH 優先，VH、HV 次之，VV 最後，但對於 Sentinel-1 會優先選擇 VV 極化。由於作為水體辨識的資料為雷達影像的背向散射值，並不需要原始的相位資訊，因此在影像處理等級的選擇上，可以選擇多觀點振幅影像產品，或正射振幅影像產品。但如需快速取得影像，仍可購買單觀點複數影像產品，再藉由軟體處理，則可得到背向散射值做為水體之分析。

2. 崩塌地

颱風豪雨後的崩塌地辨識理論上有三種方式可以進行分析，第一種是利用事件前後的地物散射特性變化(植被→裸地)，需要全極化雷達影像來計算植被指數(RVI)或 H/alpha 極化分解的分析，獲得亂度之指標(H)，才能進行分析(陳錕山，2010; 極隼科技股份有限公司，2012; Plank et al., 2016)。第二種方式需要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，再進行不同時期的類別變異偵測(陳錕山，2010; Novresiandi and Nagasawa, 2017)。第三種是利用前後期雷達影像進行背向散射係數差異法(Backscattering coefficient difference)與強度相關法(Intensity correlation)之計算，來進行山崩區域的變異偵測(Suga and Konishi, 2012; Plank, 2014; Konishi and Suga, 2018)，這種方式只須要前後期相同極化的影像來進行分析，並不需要全極化影像，所需要的雷達影像限制較少。

綜合以上資訊，前兩種方式所需要的雷達影像規格為全極化雷達影像、單視複數影像(Single Look complex, SLC)，而第三種方式雖然不需要全極化影像，但由於山崩事件前後可能有明顯的植被變化(體散射特性)，建議使用對體散射特性敏感的 HV 偏極影像或雷達植被指標 RVI(Kao et al., 2010)作為指標來進行分析(Novresiandi and Nagasawa, 2017)。

雷達影像雖然可以不受晝夜影響且不易受大氣雲霧干擾得到地物影像資料進行分析，但相較於光學影像，雷達影像的成像原理受地形起伏影響，有相當的限制，當雷達脈衝觀測角度小於目標物坡度時，坡頂回波訊號比波底回波訊號先達到天線，造成疊置 (Layover) 現象；當坡度大於側視觀測角度時，會使得坡頂與天線形成陰影區(Shadow)，造成影像上沒有回波訊號的區域。這些現象都會使雷達影像在山坡地有相當大的區域無法進行分析(圖 2-3.7)。

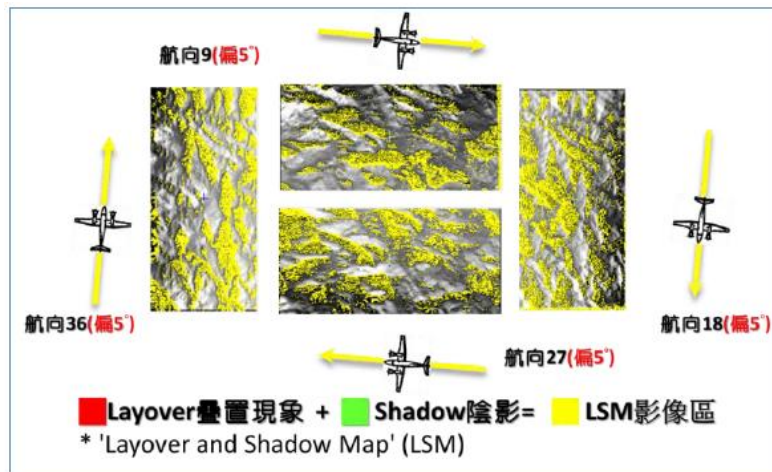


圖 2-3.7 不同飛行方向的疊置與陰影分析(極隼科技股份有限公司，2012)

四、機載合成孔徑雷達(Airborne SAR and UAVSAR)

1. 機載合成空徑雷達發展

在 1980 年代早期，隨著美國國家航空航天局(NASA)埃姆斯研究中心(Ames Research Center)的 CV-990 飛機的研究，空載合成孔徑雷達(AIRSAR)也同時被 NASA 的噴氣推進實驗室(JPL)發展與設計出來，L 波段 PolSAR 的系統掛載在 Convair CV-990 飛機上。雖然 1985 年 7 月由於飛行事故，該系統已經報廢，但它指示著空載 SAR 系統進入實用階段。此後 JPL 對 AIRSAR 進行重建與升級，並裝載於 DC-8 型飛機上。新的 AIRSAR 系統同時能獲取 P、L、C 三個波段的雷達影像，提供了沿軌道(Along-track)與不同軌道(Across-track)的雷達影像干涉在 L 與 C 波段，並可以產出 5 m 或 10 m 的數值高程(Lou, 2002; Lee and Pottier, 2009)。

之後將近 20 年 AIRSAR 成為 NASA 主要機載化雷達系統，德國航空太空中心(Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., DLR)、日本宇宙航空研究開發機構(Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA)以及加拿大、法國、丹麥等國家的相關機構也相繼推出了自己研發的機載 SAR 系統(Boerner et al., 1998; [NASA JPL](#); [CCRS](#); [DCRS](#); [DLR](#); [JAXA](#))。

2. 現今無人飛行載具合成孔徑雷達的發展

隨著科技、半導體與資訊技術的突飛猛進，SAR 發展重點將持續朝體積小、重量輕、成本少、功能增強方向前進，並且更有能力掛載於小型飛行器，因此得以發展無人飛行載具合成孔徑雷達。NASA UAVSAR(Uninhabited Aerial Vehicle Synthetic Aperture Radar)研究發展的無人飛行載具合成孔徑雷達，主要目標是研製小型的極化 L 波段合成孔徑雷達，用於無人飛行器或最小限度有人駕駛的飛行載具，針對目標物即時成像，進而執行自動導航與精準攻擊技術。NASA 的噴射推進實驗室(Jet Propulsion Laboratory, JPL)主要負責雷達設計、製作與操作以及資料分析，Dryden 飛行研究中心提供重複軌跡干涉儀(Repeat-Pass Interferometry, RPI)中間平臺(NASA C-20A Gulfstream III)以及飛行操作，還要研製精確自動駕駛儀平臺(Platform Precision Autopilot, PPA)。

3. 各國小型合成孔徑雷達發展

目前無人飛行載具酬載技術的重點之一在於合成孔徑雷達，美國、德國、英國、以色列、荷蘭、瑞典、澳洲均等國有生產無人飛行載具使用的各型雷達。

1) 美國

A. 「通用原子」(General Atomics)研發「空中武士」(Sky Warrior)無人飛行系統

配有 Lynx SAR/GMTI「地面移動目標指示」(Ground Moving Target Indication, GMTI)、即時影像(Real-time video)與數位顯示、包含掃描(Stripmap)模式解析度 0.3 - 3.0 m，聚束(Spotlight)模式解析度 0.1 - 3.0 m 的聚焦科技。

該雷達系統為 Ku-頻段，重量為 36 公斤。該系統整合下列 UAV 系統：MQ-9A Predator B UAS、RQ-1 Predator UAS、IGNAT UAS、RQ-8A Fire Scout、C-12/U-21/ King Air 200、EH-60 Black Hawk、U.S. Army ER/MP UAS 與 MQ-1C Sky Warrior。

B. ImSAR 公司研發的極微型合成孔徑雷達(NanoSAR)

一種重量非常輕的雷達是由 ImSAR 公司研製的「極微型合成孔徑雷達」(NanoSAR)，僅 0.9 公斤重，作業頻段為 8 到 12.5 千兆赫(Ku 波段)，偵測距離及解析度分別為 1 公里與 1 公尺，已經裝置在「掃描之鷹」(Scan Eagle)小型無人飛行載具上完成飛測。其中 NSP-5 的 SAR 模組為由美國軍方的分支機構使用，已被證明是一種強大而有效的雷達系統。NSP-5 為較低飛行速度與高度的小型無人機與有人駕駛飛機提供高解析力成像(成像範圍 44 公里與 1 公尺的解析度)、移動目標指示與變遷偵測能力。在此成功基礎上，更開發 NSP-5 ER 產品，設計使用於更大、更快的飛機上(ImSAR)。ImSAR 系統目前已經開始販售，為無人載具使用的發射系統及處理軟體約為 10 萬美金（不含載具）。

C. 「諾斯洛普·格拉曼」(Northrop Grumman)研發的戰術持續合成孔徑雷達(TacticalEndurance SAR, TESAR)

另一種裝在 UAV 的 SAR 系統是諾格公司(Northrop Grumman)的戰術持續合成孔徑雷達(TacticalEndurance SAR, TESAR)，其設計上經由掠奪者(Predator)中空 UAV 所攜載；當然也有其他或更大型的無人空中載具可供選用，整套系統僅重 76 公斤且以 1,158 瓦功率即可達到要求性能。TESAR 解析度為 0.3 公尺影像的 SAR 系統，所獲影像經壓縮後、透過 Ku 頻段資料鏈，經衛星傳送至地面控制站。多載臺雷達技術置入則是可擴充功能的主動電子掃描陣列式地面活動目標指示／合成孔徑雷達，目前已安裝美國空軍全球之鷹(RQ-4)上，天線部分由長 1.5 公尺、厚 0.45 公尺的主動電子掃描陣列構成，具有空中攻擊、自主搜索、同時進行移動目標指示與搜索、地面移動目標指示以及先進合成孔徑雷達操作模式。

2) 德國

「歐洲國防航太公司」(European Aeronautic, Defense and Space Company, EADS)研發的小型合成孔徑雷達 (MiSAR)

3.95 公斤重、35 千兆赫(GHz)的微型合成孔徑雷達(MiSAR, miniature SAR-system)即是專為無人飛行載具研發，解析度為 50 公分，影像寬度為 1-2 公里、長度為 2-4 公里，裝載在德國陸軍「魯那」(Luna)小型無人飛行載具。

3) 以色列

「艾爾塔系統公司」(EltaSystems)研發的 EL/M-2022U 合成孔徑雷達

無人飛行載具生產 EL/M-2022U 及 EL/M2055 系列雷達，其中 50-114 公斤重的 EL/M-20 22U 雷達系用於海上偵巡用感測器，已裝載於印度與以色列海軍的蒼鷺無人飛行載具上；38-100 公斤的 EL/M2055 系列，則屬於地面移動目標指示/合成孔徑雷達系統，可安裝於戰術型「中航高／長續航」(Medium-Altitude/ Long-Endurance, MALE)及「高空／長續航」(Height-Altitude/Long-Endurance, HALE)無人飛行載具上，偵測距離可達 35-100 公里。

4) 荷蘭

「荷蘭應用科學研究組織」(The Netherlands Organization For Applied Scientific Research，簡稱 TNO，其荷蘭文為「Nederlandse Organisatie voor toegepastnatuurwetenschappelijk Onderzoek, TNO」)研發的 MiniSAR(小型合成孔徑雷達)

低於 50 公斤的微型合成孔徑雷達，使用頻段在 10 千兆赫(GHz)，最大掃描寬度為 4 公里、長度為 5 公里，最低可偵測時速 3 公里的移動目標，解析度介於 5-30 公分之間。

4. 無人飛行載具合成孔徑雷達的特性與應用

以美國為例，UAVSAR 為 NASA 所發展的無人飛行載具合成孔徑雷達，為極化 L 波段合成孔徑雷達，具有較高的訊號雜訊比(signal-to-noise ratio)(Fore et al., 2015)，重複飛行軌道精度 $\leq \pm 5\text{m}$ (Hensley et al., 2009)。機載 SAR 的飛行軌道相較於衛載 SAR 不穩定，飛行姿態所產生的誤差會較大。另外，飛行高度也會導致不同的效應，UAVSAR 的飛行高度約 12.5 公里，相對於衛載 SAR，具有較大的拍攝視角變化，在像幅寬度 22 公里的情況下，拍攝視角即可達到 $25^\circ\text{-}60^\circ$ ，在距離方向(Range Direction)會產生強烈的對流層相位斜坡誤差。UAVSAR 的訊號會受到對流層的延遲影響，對流層當中的壓力、溫度與相對溼度在時間與空間上的變化，

是造成 InSAR 干涉計算中主要對流層誤差訊號來源(e.g., Hanssen, 2001; Bekaert et al., 2015a) , 但對流層的誤差訊號可以藉由 ERA-Interim 全球大氣模型(Doin et al., 2009)來估計其校正值, 實際計算則以軟體(TRAIN: the Toolbox for Reducting Atmospheric InSAR Noise)來實現, TRAIN 目前已更新可處理空載 SAR 的資料, 包括 UAVSAR(Bekaert et al., 2015b)。UAVSAR 的影像資料目前可以在其入口網站(<http://uavsar.jpl.nasa.gov>)取得其單頻道的二進制檔案(圖 2-4.1), 也提供了以 KML 或 KMZ 格式的檔案, 可以直接匯入 Google Earth 與 Google Maps。Wang et al.(2012)更進一步發展 GIS Web 的服務, 可以讀取與處理 UAVSAR 的資料。UAVSAR 的資料也已經實際應用於區域地殼變形的相關研究中(e.g., Hensley et al., 2012; Jones and Blom, 2015; Wei et al., 2015; DeLong et al., 2016; Donnellan et al., 2017; Parker et al., 2017)。

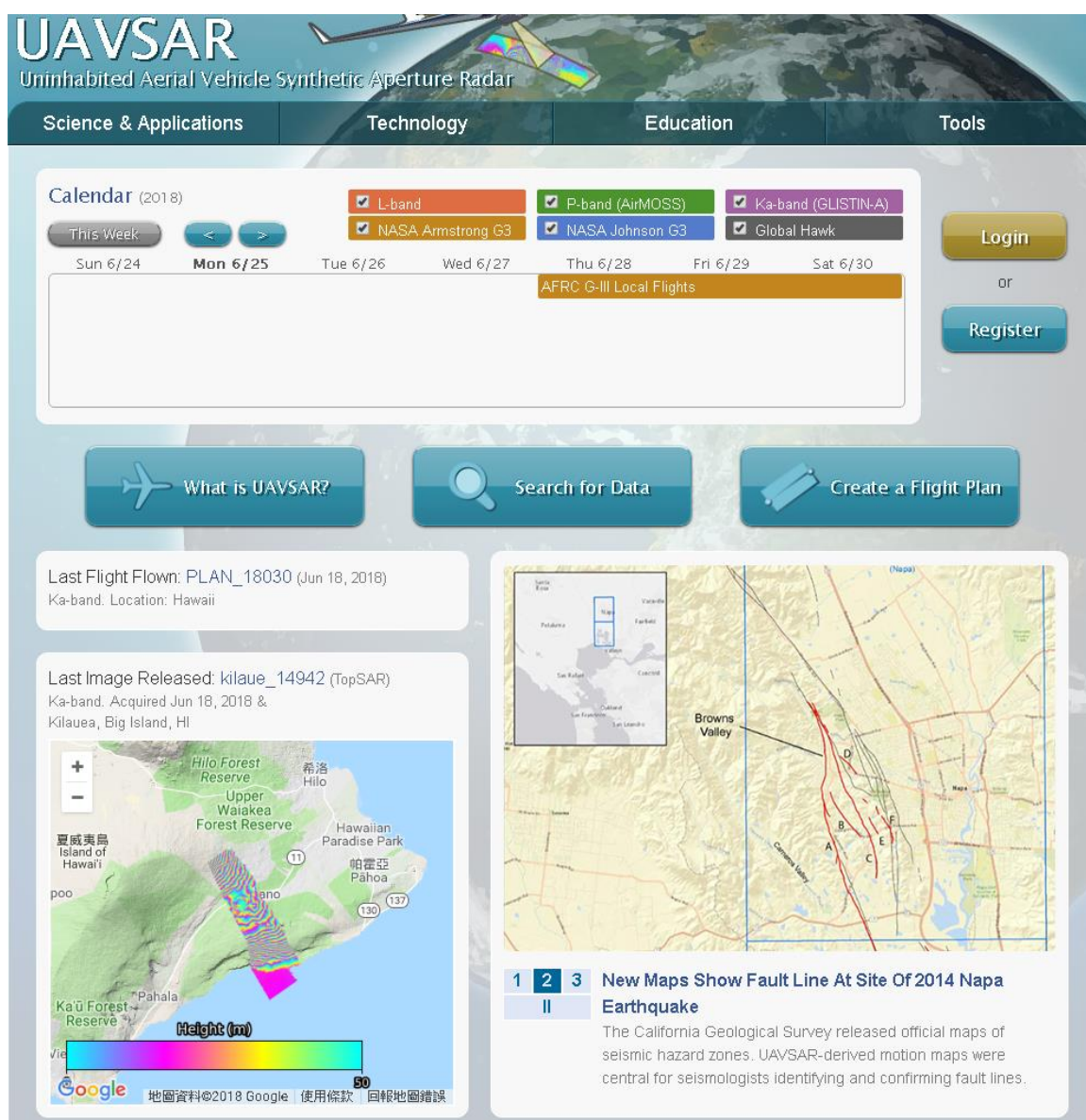


圖 2-4.1 NASA UAVSAR 入口網站 <http://uavsar.jpl.nasa.gov>

參、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

近年來因全球暖化加劇，於世界各地造成的各種環境災害愈趨頻繁，其中洪澇災害不僅造成經濟上巨大的損失，更嚴重威脅人類的生命安全。因此如何快速、準確地提供即時淹水資訊實施救援工作，或給予政府機關評估災害影響範圍，是當今世界各國都在努力的課題。合成孔徑雷達具有可以穿透雲霧、24 小時全天候運作之特性，雷達波對靜止水體屬於鏡面反射，回波能量相當低，能提供淹水範圍清楚的特徵。因此，在洪澇災害緊急應變實務工作上，需要發展能夠快速處理洪澇災害之合成孔徑雷達衛星影像，並從中準確地判釋出淹水範圍的技術。

近年來結合遙測與地理資訊系統，已經成為監測洪水的有效工具，合成孔徑雷達影像監測分析比現地調查所需成本更低。藉由計算前後期雷達影像的背向散射值是否有明顯變化，可做為洪水溢淹或堰塞湖範圍判斷的一種方式。其原理為水體特性的鏡面反射率高，而背向散射回波率很低，因此在洪水災害的應用上，可以藉由其低回波的特性來判別水體的增加、洪水溢淹與堰塞湖範圍的判定。

相關的研究及成果如圖 3-1.1 為利用 TerraSAR-X 應用於 2008 年美國密西西比河洪災之偵測及判釋。

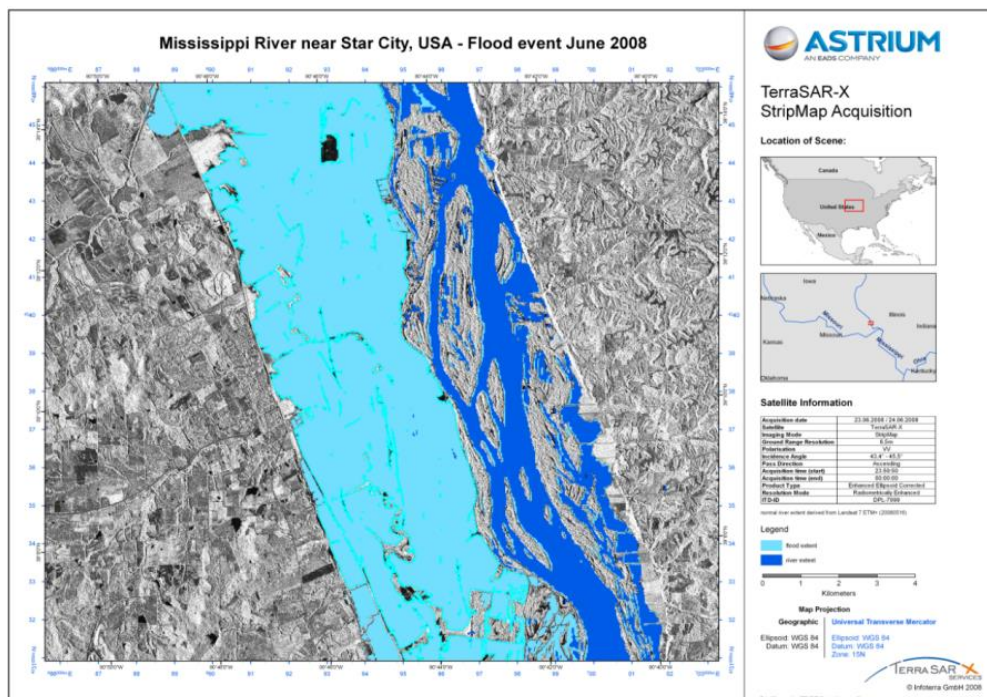


圖 3-1.1 SAR 影像於洪災判釋的應用。圖為 TerraSAR-X 應用於 2008 年美國密西西比河洪災 (Scheuchl et al., 2009)。淺藍色為淹水區域，深藍色為常駐水域。

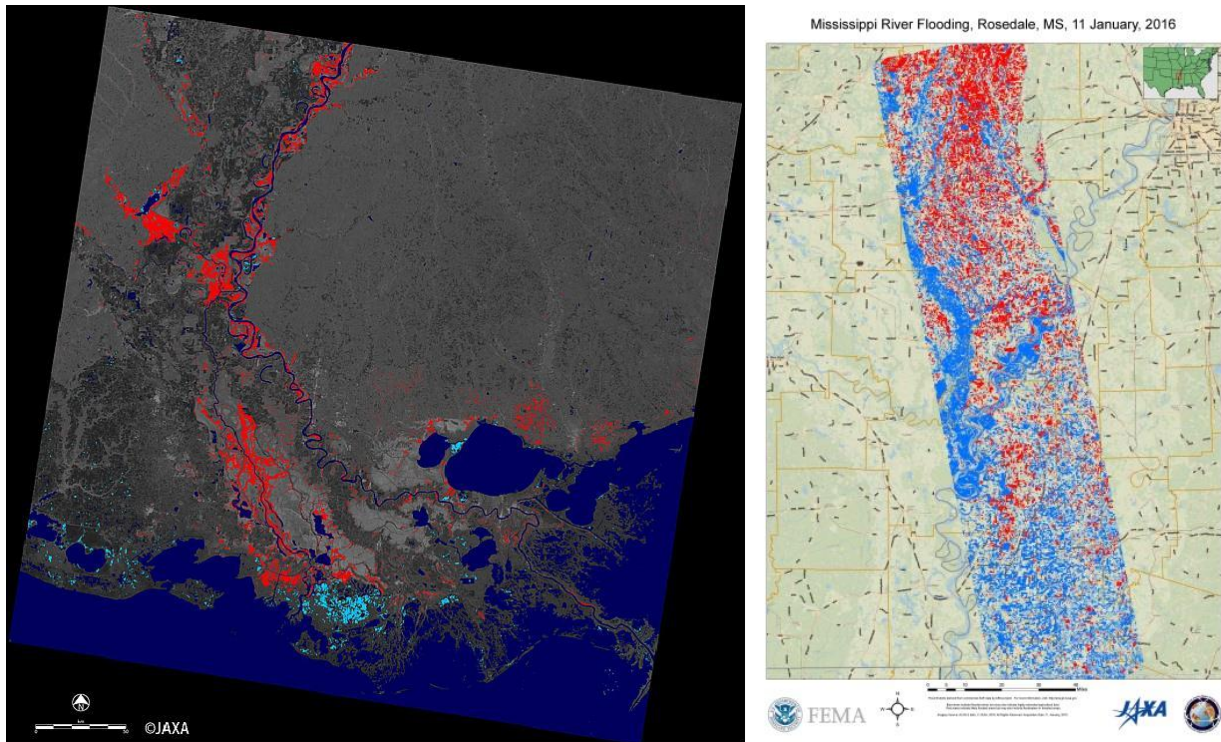


圖 3-1.2 ALOS-2 雷達影像應用於淹水範圍偵測。左圖為 2016 年 1 月 16 日，JAXA 美國新奧爾良地區密西西比河的淹水範圍估計(圖片來源：https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/en/img_up/dis_pal2_mississippi-flood_20160106.htm)。右圖為 ALOS-2 應用於 2016 年美國密西西比河洪災(資料來源：<https://disasterscharter.org/web/guest/activations/-/article/flood-in-united-states>)。紅色為淹水區域，藍色為常駐水域。

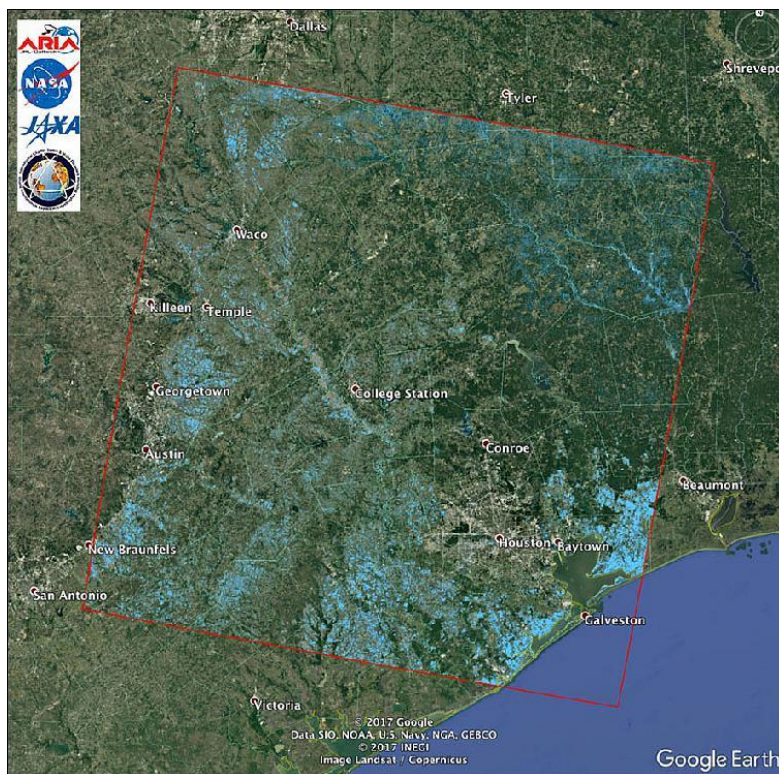


圖 3-1.3 ALOS-2 影像偵測到哈維颶風(淺藍色)淹沒的美國東南得克薩斯州的地區(資料來源：<https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details.php?id=PIA21928>)。藍色為淹水區域。

過去國家太空中心曾與 ASTRIUM 合作，運用 TerraSAR-X 影像對於淹水(張子瑩等,2012)與堰塞湖範圍進行判釋(資料來源：全天候遙測資訊平台)，成果分別如圖 3-1.4 和圖 3-1.5。



圖 3-1.4 TerraSAR-X 雷達影像應用於 2012 年蘇拉颱風後宜蘭淹水範圍判釋 (摘自張子瑩等, 2012)

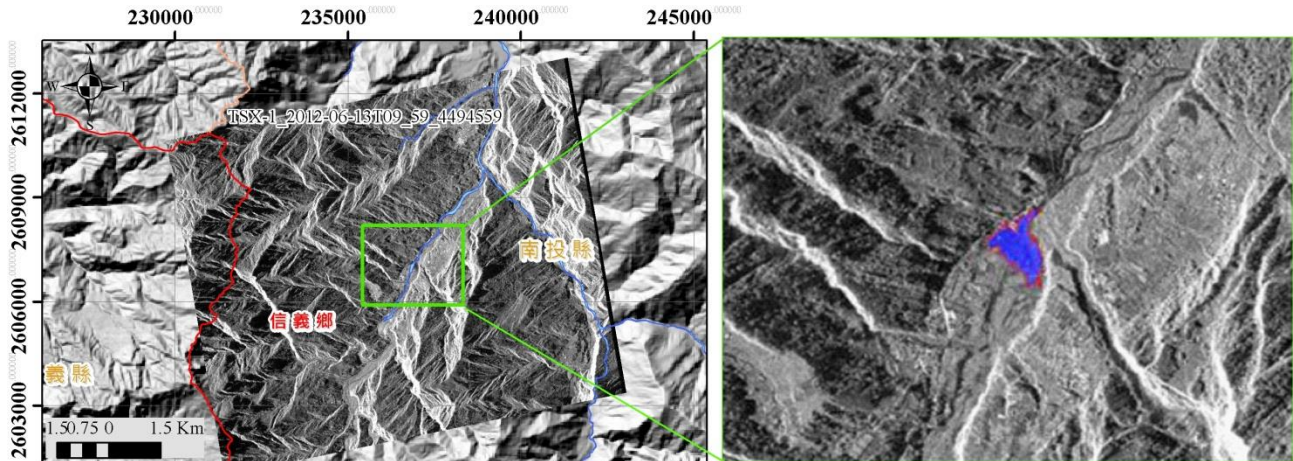


圖 3-1.5 TerraSAR-X 於 2012 年 6 月豪雨後南投和社溪堰塞湖判釋 (藍色)(摘自張子瑩等, 2012)

相關研究指出，藉由 SAR 影像偵測淹水的方式仍存在影響判釋的因素，包含水體表面由風形成的波浪，使水體背向散射回波增加，增加淹水區域判釋之困難度；另外，植森茂密區受到二次散射影響，背向散射值會比非淹水區更大，因此在植森茂密區的淹水判釋需要特別注意(Sanyal and Lu, 2004)。

過去研究有許多方式利用雷達影像來判釋洪水溢淹或堰塞湖(De Roo et al., 1999; Martinis,

2010; Evans et al., 2010; Martinis et al., 2011; Bartsch et al., 2012; Muster et al., 2013; Simon et al., 2014; Chapman et al., 2015), 這些方法中門檻值是最常用來區分水域與非水域的方法, 該方法是基於水體低雷達回波與周圍區域高雷達回波值的差異。但建築物的陰影區、植被茂密區的二次散射與強風造成水表面的起伏程度, 都會造成淹水區域判釋的困難(Martinis, 2010), 而需要根據不同影像數值分布, 人為調整門檻值的設定。

近幾年雷達影像自動洪水地圖的服務也一直在增加(Martinis et al., 2009; Matgen et al., 2010; Pulvirenti et al., 2012), 透過這些服務, 使用者可以進行雷達影像淹水區的初步判釋, 比如 NASA Goddard's Office of Applied Science 提供了每日自動全球淹水地圖的服務(<http://oas.gsfc.nasa.gov/floodmap/>) 與 TerraSAR-X 的洪泛服務 (TerraSAR-X Flood Service, TFS)(Martinis, 2010), TerraSAR-X 提供的洪泛服務目前也正在調整適應 Sentinel-1 的資料(Twele et al., 2016), 這些工具都可以在初步洪水溢淹判定提供相當的幫助。

Bioresita et al.(2018)更提出了對於 Sentinel-1 自動快速淹水區判釋的處理流程, 在系統為 Intel 雙核心 1.9 GHz 與 32G RAM 的條件下, 每次處理的時間為 10 小時, 該方法總體精度超過 98%, F 值(F1-Measure)範圍從 0.64-0.92。為配合自由軟體的使用與防災應變速度的提升, 本研究簡化 Bioresita et al.(2018)之方法, 在各案例中列出處理 SOP, 並於附錄中詳列範例之操作。Bioresita et al.(2018)所提出的處理方法流程圖如圖 3-1.6 所示, 資料處理步驟分述如下。

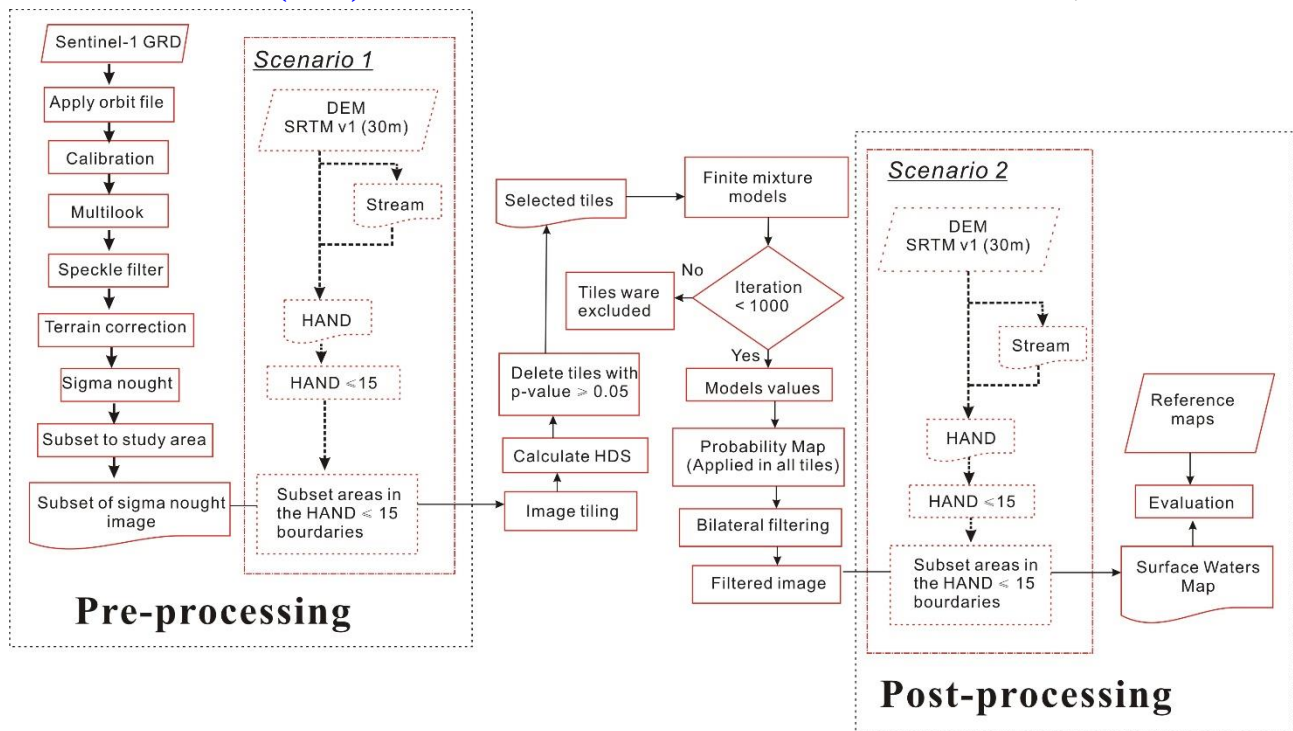


圖 3-1.6 Bioresita et al.(2018)以 Sentinel-1 影像進行淹水地圖自動化研究的方法流程圖。影像進行前處理後, 取 HAND(Height above nearest drainage)<15 的區域, 進行 MSBA(Modified

Split-Based Approach)與 FMM(Finite Mixture Models)分類出水體與非水體區，最後以雙邊濾波降雜與平滑化。

A. Sentinel-1 數據前處理

收集 Sentinel-1 IW GRDH 數據，以減少軌道誤差、斑駁雜訊與幾何變形(geometric distortion)。在這一步驟中，可以從 SNAP(Sentinel Application Platform)取得精確軌道資訊，以提升定位精度，並利用 SNAP 取得的校準資料中，取得背向散射係數(sigma-nought: σ^0)，因為 σ^0 在統計上提供了更好的水體與陸地的分辨率(Foumelis, 2015; Stewart, 2016)。進一步使用 5×5 像素的多視圖(multilooking)與斑駁濾波(speckle filter)來降低斑駁雜訊(speckle noise)。

B. Image Tiling Using a Modified Split-Based Approach (MSBA)

A Split-Based Approach(SBA)的方法過去被使用在淹水範圍的測量(Bovolo and Bruzzone, 2007)，原始的方法中，會依賴變異係數來預選區塊以進行進一步分析，並且使用全域門檻值方法來產生地表水覆蓋的二值化影像，然而全域門檻值無法適用於小範圍。為了解決這個問題，新的方式僅在區分出的類別中進行預選區塊。

C、利用有限混合模型(Finite Mixture Models, FMM)進行分類模組化

FMM 表示一大群體中存在子群體的混合機率模型，每個子群在母群當中的機率為 $\lambda_j(j=1,2,...m \text{ 個子群})$ ，子群的機率密度函數為 $\phi_j(x_i)$ ， x_i 為第 i 個觀測資料數值，依據可能的機率分布(例如高斯分布)是子群混合的結果，將之每個子群區分出來(Benaglia et al., 2009)。假設雷達影像整個群體是兩個高斯分布的組群混合，它們的初始平均值從二值化影像數值分布的直方圖(binned histograms)中確定，機率密度函數的標準差設置為 3，根據過去的研究，淹水子群的初始機率設定為 0.1(Bazi et al., 2007; Martinis et al., 2009)。接下來會進行期望最大化分布擬合模型(Expectation-Maximization, EM)的計算，以最大概似估計(maximum likelihood estimation: MLE)量化每個子群的標準差與機率參數，過程中會進行 1000 次的迭代計算，沒有收斂的 tile 會被排除在門檻值的計算之外。利用這些過程並非直接確定門檻值，而是用來計算淹水機率地圖的後驗概率(posteriori probability)。

對於正常混合的 EM 計算方法，每次迭代包含 E-step 與 M-step，兩個步驟，第一步成為 E-step(式 3-1)，

$$p_{ij}^{(t)} = [1 + \sum_{j' \neq j} \frac{\lambda_{j'}^{(t)} \phi_{j'}^{(t)}(x_i)}{\lambda_j^{(t)} \phi_j^{(t)}(x_i)}]^{-1} \dots \dots \dots (\text{式 3-1})$$

$p_{ij}^{(t)}$: 在第 t 次迭代時，第 i 個資料數值在第 j 個子群分布中的後驗概率。

$\lambda_j^{(t)}$: 在第 t 次迭代時，第 j 個子群在整體存在的概率。

$\phi_j^{(t)}(x_i)$: 在第 t 次迭代時，第 i 個資料數值於第 j 個子群分布的機率。

第二步為 M-step(式 3-2)(Benaglia et al., 2009)，在 M-step 當中會找出使來自 E-step 期望值最大化的模型參數 λ ，

$$\lambda_j^{(t+1)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_{ij}^{(t)}, \text{ for } j = 1, \dots, m \dots \dots \dots (\text{式 3-2})$$

在得到每個區塊的模式參數(水體與非水體的機率、水體分布的平均值與標準差、非水體的平均值與標準差)之後，參數的平均值將運用於整個影像，以進行下一步分析。

D. Bilateral Filtering for Smooth Labeling

二值化閾值處理方法通常將每個像素獨立處理，以分配類別標籤，例如陸地和地表水域，在這種情況下要利用濾波來降低機率分布影像雜訊與均一性，降低不同類別邊緣出現失真的問題。考慮到區域像素之間會存在空間的自相關，可以假定每個像素鄰近區域的像素傾向於具有相同的類別標記(Smoothness Assumption)(Schindler, 2012)，雙邊濾波器是一個非常有用的工具，可以有效地將影像上的雜訊去除，同時保存影像上的邊緣資訊。之後將所有像素可能為水域的機率大於 0.9 作為門檻，將所得到的圖像轉換成屬於水體與非水體的二值化影像。

E. Post-Processing and Accuracy Assessment

將影像區分為淹水區與非淹水區，是一個二分的問題：陽性(positive)與陰性(negative)，對一個二分的問題來說，會出現四種情況：

- 1) 真陽性(True positive, TP)：實例是陽性，被歸為陽性
- 2) 真陰性(True negative, TN)：實例是陰性，被歸為陰性
- 3) 假陽性(False positive, FP)：實例是陰性，被歸為陽性
- 4) 假陰性(False negative, FN)：實例是陽性，被歸為陰性

可透過一些相關之測量方式(準確率、精確率、綜合評價指標、陽性預測值、陰性預測值、漏判、誤判、總體精度與 Kappa)來評估最終水域陸域二值化影像的精確性。

$$\text{準確率(Accuracy, A)} = \frac{FP + TN}{TP + FN + FP + TN}$$

$$\text{精確率(Precision, P)} = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$\text{召回率(Recall, R)} = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$\text{綜合評價指標(F1 - measure)} = \frac{2PR}{P + R}$$

$$\text{陽性預測率(Positive Predictive Value, PPV)} = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$\text{陰性預測率(Negative Predictive Value, NPV)} = \frac{TN}{TN + FN}$$

$$\text{漏判率(omission Error)} = \frac{FN}{FN + TP}$$

$$\text{誤判率(commision Error)} = \frac{FP}{FP + TP}$$

$$\text{Kappa} = \frac{\text{整體精度} - \text{期望精度}}{1 - \text{期望精度}} = \frac{N \sum_{i=1}^n d_{ii} - \sum_{i=1}^n (\text{Row}_i \times \text{Col}_i)}{N^2 - \sum_{i=1}^n (\text{Row}_i \times \text{Col}_i)}$$

n 表示類別；N 代表類別個數的總合；d_{ii} 表示誤差矩陣第 i 個對角線元素；Row_i 表示類別第 i 列總合；Col_i 表示類別第 i 行總合。

由於淹水事件或堰塞湖事件存在的時間可能不會太長，需要在水尚未退去得到衛星影像，才可能進行分析，本計畫在此項目中以 2009 年莫拉克颱風於臺東太麻里溪上游造成的堰塞湖與近年來高雄林邊地區的洪泛與溢淹作為測試，進行雷達影像判釋淹水與堰塞湖方法建立與判釋門檻值之分析，最終將建置處理方法之 SOP，以利未來面對事件時的快速處理。

其中 2009 年 8 月 7-9 日莫拉克颱風事件，該事件在山區造成許多堰塞湖，也在各地造成淹水災情，這些災害區域範圍在過去的研究多有已經確認的資料，可作為本計畫在淹水與堰塞湖範圍判釋上作為參考依據(圖 3-1.7)。

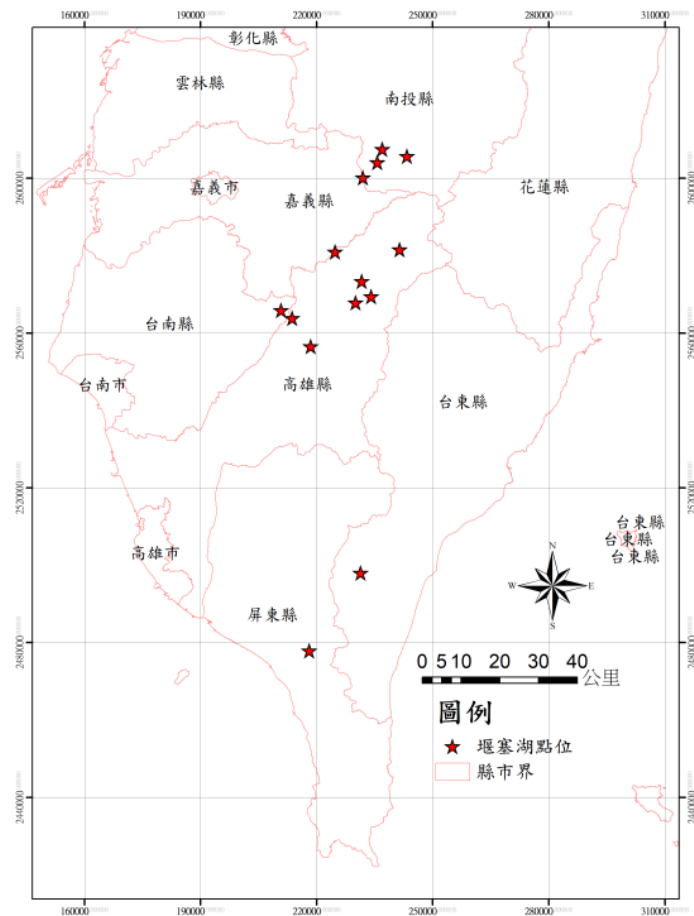


圖 3-1.7 2009 年莫拉克颱風造成之堰塞湖位置分布圖(陳樹群與許中立，2009)

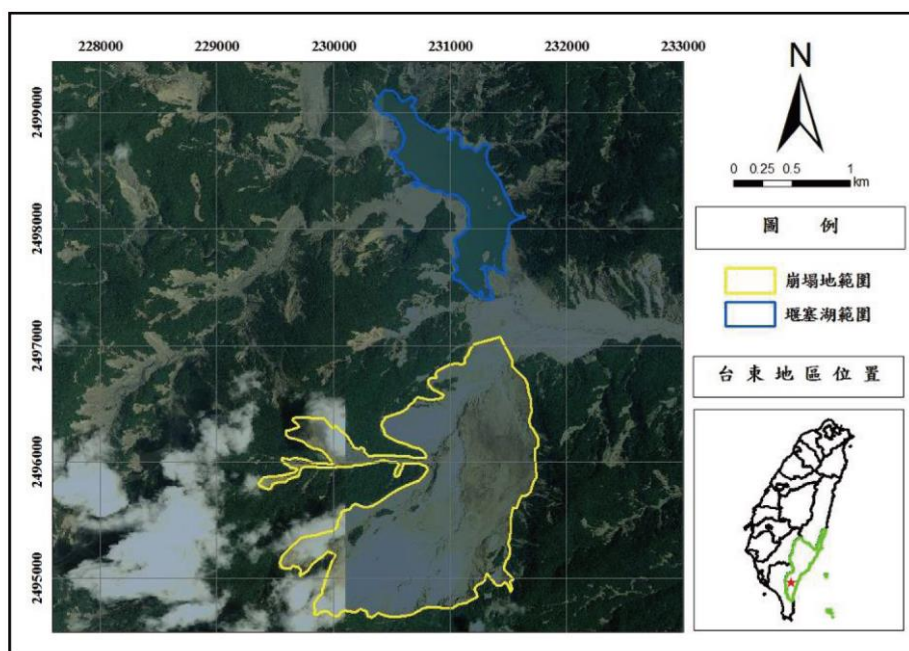


圖 3-1.8 太麻里溪堰塞湖航空相片圖(陳昆廷等，2010)

另外，由於水庫的水體在枯水期進入梅雨季或颱風豪雨後滿水的變化與河川在颱風豪雨後形成堰塞湖有類似，而且水庫每年都會有明顯的變化(圖 3-1.9、圖 3-1.10)，可以考慮以水庫水體覆蓋範圍變化的辨識，作為方法與參數訓練的一種案例。



圖 3-1.9 2015 年旱災曾文水庫水情，蓄水量不到 30%。

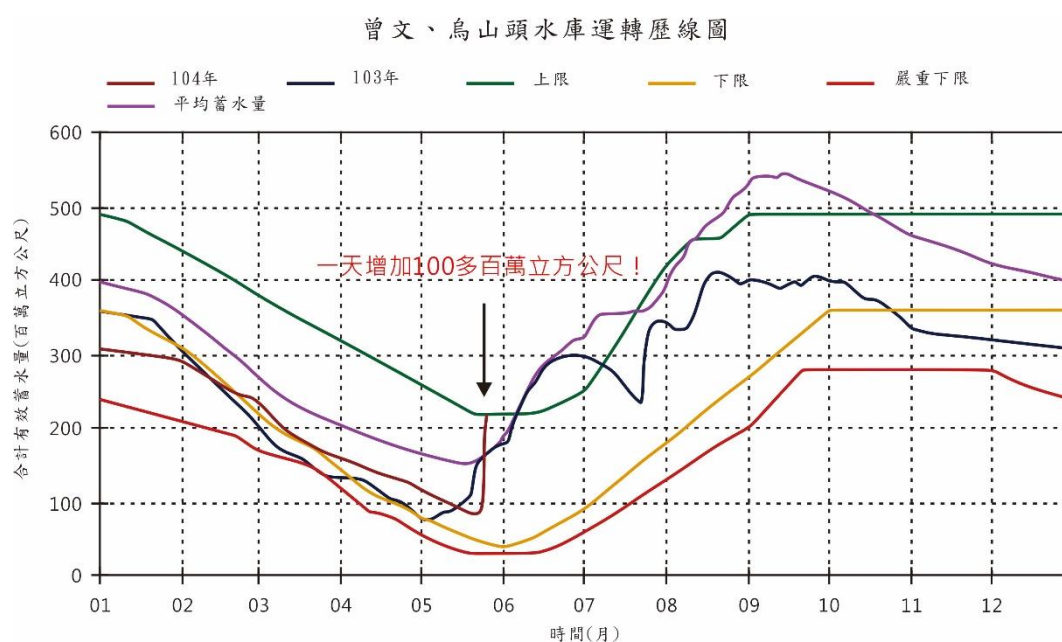


圖 3-1.10 2015 年曾文水庫運轉歷線圖。2015 年 5 月下旬的梅雨，讓曾文水庫一天增加 100 多萬立方公尺的進水量(資料來源：南區水資源局)。

一、案例分析：2015 年曾文水庫梅雨前後的水體範圍變化

2014 年的豐水期，除了麥德姆及鳳凰颱風帶來一點雨量外，很反常的沒有甚麼雨水，2014 年 10 月及 11 月為氣象局 13 個平地站有完整紀錄 67 年以來的最低雨量，並且預估冬季雨情為：北部正常、中南部則為偏少趨勢，經濟部因此示警「十年來最大枯旱」來臨！最終演變成 2015 年大旱災，一直到 5 月 20 日起的梅雨鋒面，讓臺南地區的旱象獲得紓解，曾文與南化等水庫入流量逾 2.5 億立方公尺。

此案例使用 Sentinel-1 GRD VV 極化雷達影像，前期影像為 2015/05/16，後期影像為 2015/06/09，依照淹水辨識處理流程(圖 3-1.11)進行前處理。必須先將影像進行前處理，包括輻射校正轉換為背向散射係數、斑駁濾波降低雜訊干擾，與地形校正將影像坐標轉為真實地理坐標系統(WGS84)。雷達影像的背向散射值分布較暗之區域可與光學影像之水域做比對(圖 3-1.12)，相當吻合。雷達影像中水體與非水體的數值分布是兩個子群，可再進一步對雷達影像之數值(背向散射係數)分布進行高斯混合模型擬合(GMM)，可區分這兩個群的統計特徵(圖 3-1.13)，其中數值低的群包括可能的水體區域與雷達陰影區域(Giustarini et al., 2016)，其中雷達陰影區可藉由 DEM 所模擬的 SAR 影像的疊置與英影區來移除，或採用 HAND(Height Above the Nearest Drainage)門檻來移除(Bioresita et al., 2018)。

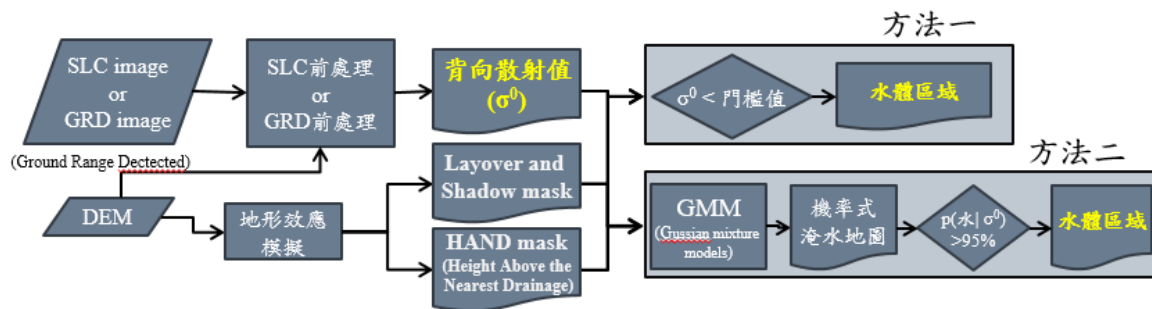


圖 3-1.11 雷達影像水體辨識處理流程圖。影像必須進行前處理，包括輻射校正轉換為背向散射係數、斑駁濾波降低雜訊干擾，與地形校正將影像坐標轉為真實地理坐標系統(WGS84)，再區分水體與非水體的門檻。影像的數值分布可藉由高斯混合模型的擬合轉換為是否為水體的機率分布影像，再以特定機率條件為門檻，則可將影像二值化為水體與非水體。數值高程可以用來計算疊置與陰影遮罩與 HAND 遮罩，兩者皆可用來降低判水體誤判。

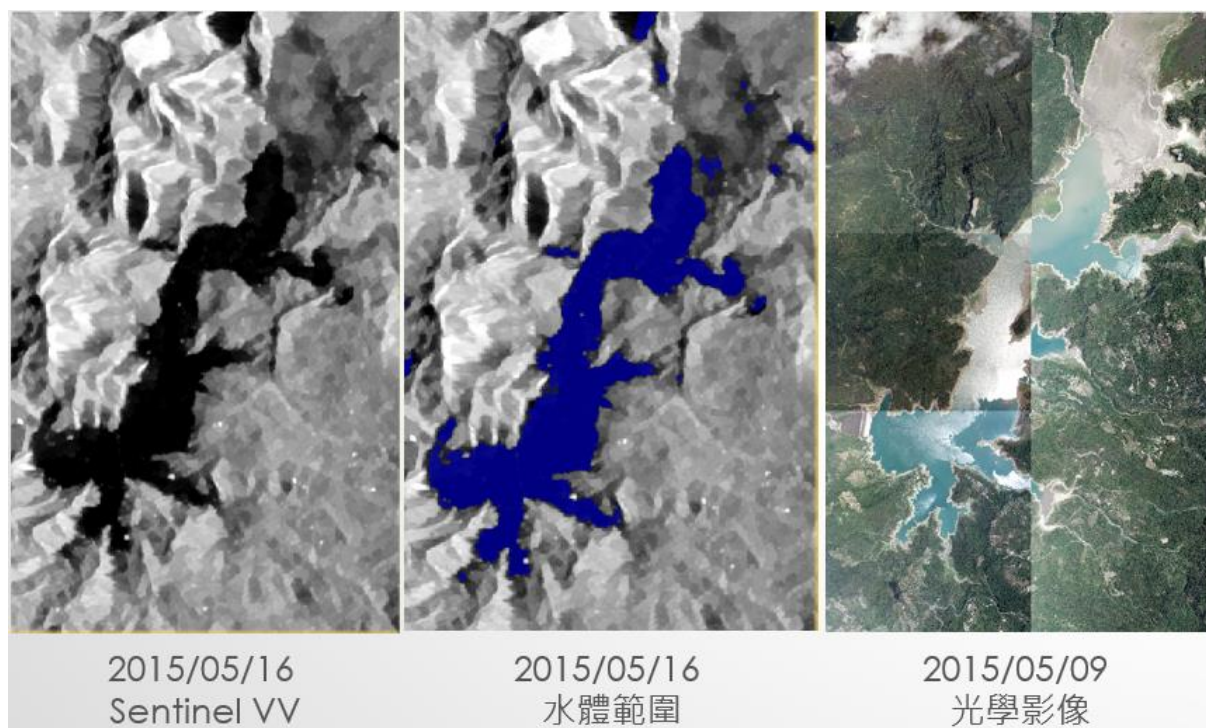


圖 3-1.12 2015 年 5 月梅雨前曾文水庫區 Sentinel-1a 雷達影像水體判釋與光學影像之比對。左圖：2015/5/16 之雷達影像；中圖：2015/5/16 判釋淹水區(藍)；右圖：2015/05/09 光學影像。

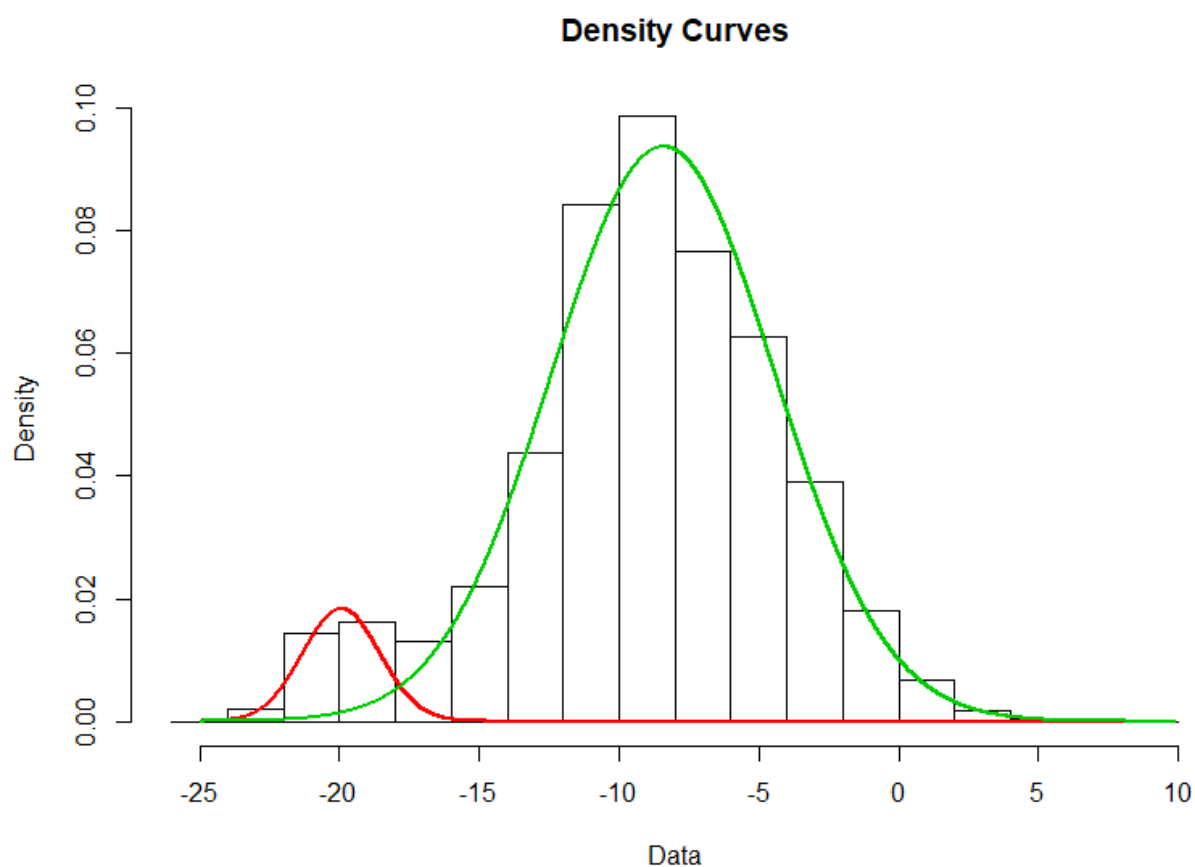


圖 3-1.13 2015 年 5 月梅雨前曾文水庫區 Sentinel-1 VV 極化雷達影像數值的機率密度分布圖。橫軸表示圖 3-1.12 中雷達影像的數值分布範圍，縱軸代表機率密度。

根據高斯混合模型的結果，95%為水體的門檻約為-18 dB，再加上 HAND 與 Layover and Shadow mask 去除雜訊，雷達影像在水體辨識的結果可由混淆矩陣(confusion matrix)(表 3-1.1)來計算相關精度的指標，準確率 (Accuracy)=98.3%，精確率 (Precision)=81.7%，召回率 (Recall)=88.5%、F1-Measure=84.9%和 Kappa=84.12%。本研究簡化的分析方法所得到的結果與 Bioresita et al.(2018)提出之方法的結果：「精度超過 98%，F 值(F1-Measure)範圍從 64%-92%」準確性略為下降，但差異並不明顯，並且處理時間可以縮短至 4 小時內，在防災應變上仍有相當之價值。

不同時期的水體變化可並進一步了解梅雨前後水庫的變化，結果顯示在梅雨過後水體面積增加約 7.38 平方公里(圖 3-1.14)。並且可以套疊至 google earth 當中與其他圖層一起檢視(圖 3-1.15)。

表 3-1.1 2015/5/16 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

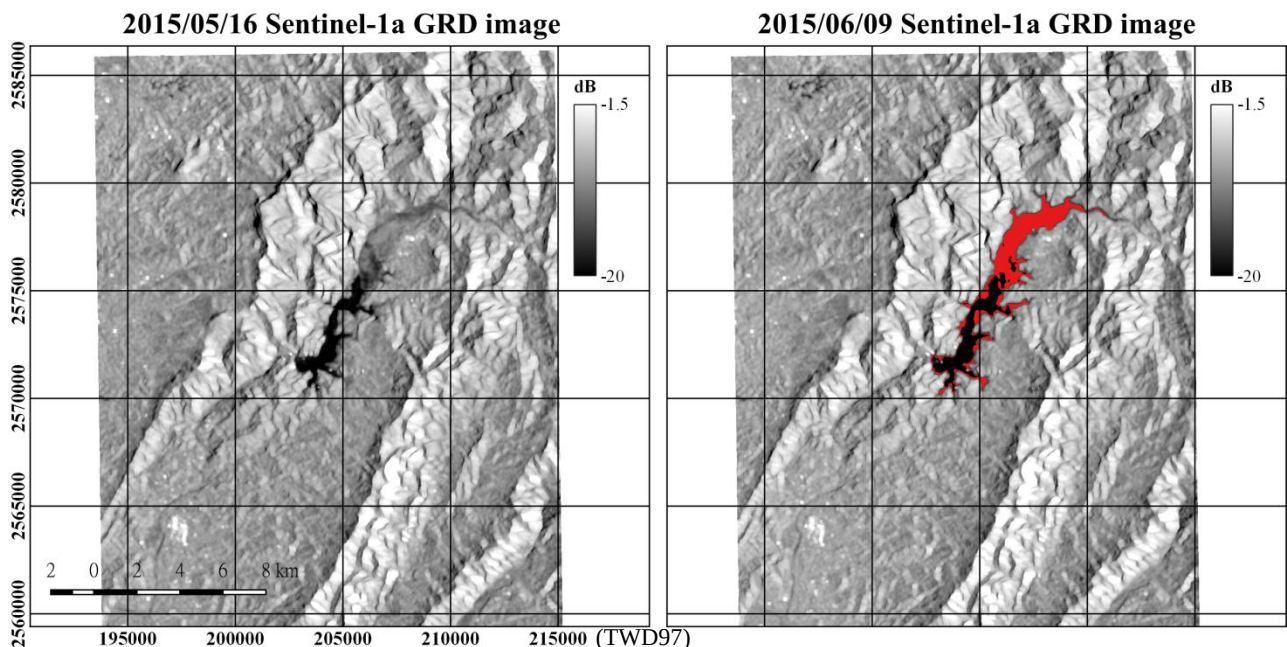


圖 3-1.14 2015 年 5 月梅雨前後曾文水庫區 Sentinel-1 雷達影像。左圖：2015/05/16 之影像；右圖：2015/06/09 之影像，紅色範圍為辨識之水體增加區域，面積約 7.38 平方公里。

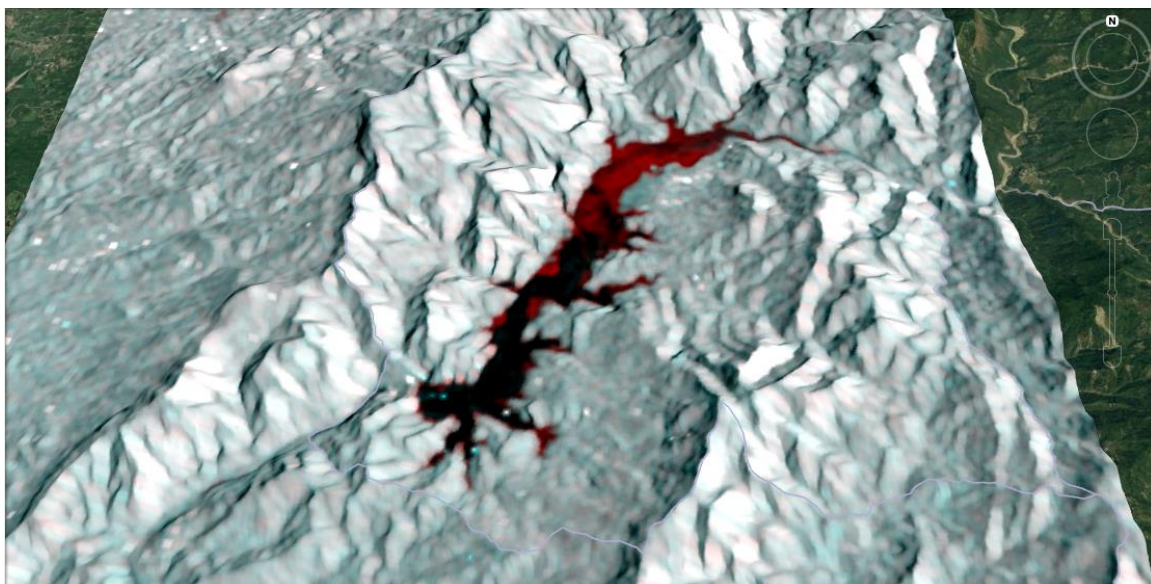


圖 3-1.15 Sentinel-1 雷達影像判釋 2015 年梅雨季前後曾文水庫水體變化。以 RGB 影像表示水庫水體變化之範圍(紅色)，並套疊至 GoogleEarth 軟體中呈現(坐標系統為：WGS84)。

二、案例分析：2009 年莫拉克颱風於臺東太麻里溪之堰塞湖

莫拉克颱風於民國 98 年 8 月襲臺，造成臺灣南部豪大雨，引發臺灣多處大規模崩塌，崩塌之土石阻塞河道，形成多處堰塞湖。其中太麻里溪(包盛社)堰塞湖位於臺東縣境內之太麻里溪流域上游，天然壩體遭水流沖刷形成一寬度約 20 公尺之溢流水道，既有壩高約為 10 公尺，阻塞河道之土體長度約為 1.2 公里，蓄水體積約 533 萬噸(圖 3-1.8)。現地於民國 98 年 12 月進行溢流口處溢流水道簡易挖降作業，減少堰塞湖蓄積之水體體積，降低堰塞湖水面高度。

本案例使用影像為 L 波段 ALOS 影像，包含事件前 7/8 日之影像與事件後 8/23 日之影像，根據 Henry et al.(2006)的研究採用 HH 偏極作為分析之指標，影像前處理中的濾波器根據極隼科技股份有限公司(2012)的研究採用 Refined Lee 濾波器。堰塞湖判釋也屬於水體變遷分析的一種，主要原理在判釋不同時間的水體範圍，再將變化的範圍作為判釋的依據。但堰塞湖判釋之區域屬於山地，地形效應會有較大影響，如果需判釋的目標地屬於雷達陰影區，則該區域就無法得到資料作為分析。

基本處理 SOP 流程如圖 3-2.1 所示。詳細操作流程可參考附錄一。

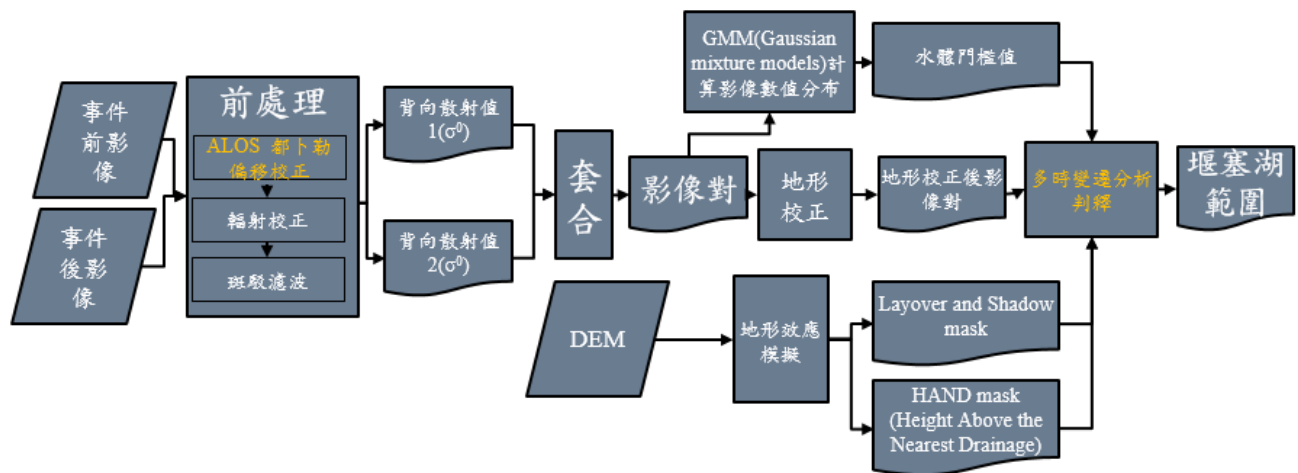


圖 3-2.1 雷達影像堰塞湖辨識處理流程圖。影像必須先進行前處理，包括 ALOS 影像的都卜勒偏極校正、輻射校正轉換為背向散射係數、斑駁濾波降低雜訊干擾。接著套合是為了將兩張影像之像元配對在一起，再進行地形校正，將影像坐標轉為真實地理坐標系統(WGS84)。GMM 對影像的分析，可以區分水體與非水體的門檻。數值高程可以用來計算疊置與陰影遮罩與 HAND 遮罩，兩者皆可用來降低判水體誤判。配合所有資訊進行多時變遷分析，可判釋堰塞湖的範圍。

堰塞湖判釋結果如圖 3-2.2 所示，結果顯示在初步判釋的區域會包括山域低窪集流區，這些範圍較小的區域，也是 8/23 與 7/8 相比較變化較大的地方，雖然這些區域不是航照判釋堰塞湖的區域，但這些地方仍可能是莫拉克颱風過後地表含水的區域。

進一步藉由與主要河川圖層可萃取出最可能為堰塞湖的區域，結果顯示雷達影像判釋的堰塞湖面積約為 0.55 平方公里，與航照判釋的堰塞湖之精度指標：準確率(Accuracy)= 99.3%、精確率(Precision)= 63.2%、召回率(Recall)= 81.1%、F1-Measure= 71.0%和 Kappa= 70.7%。

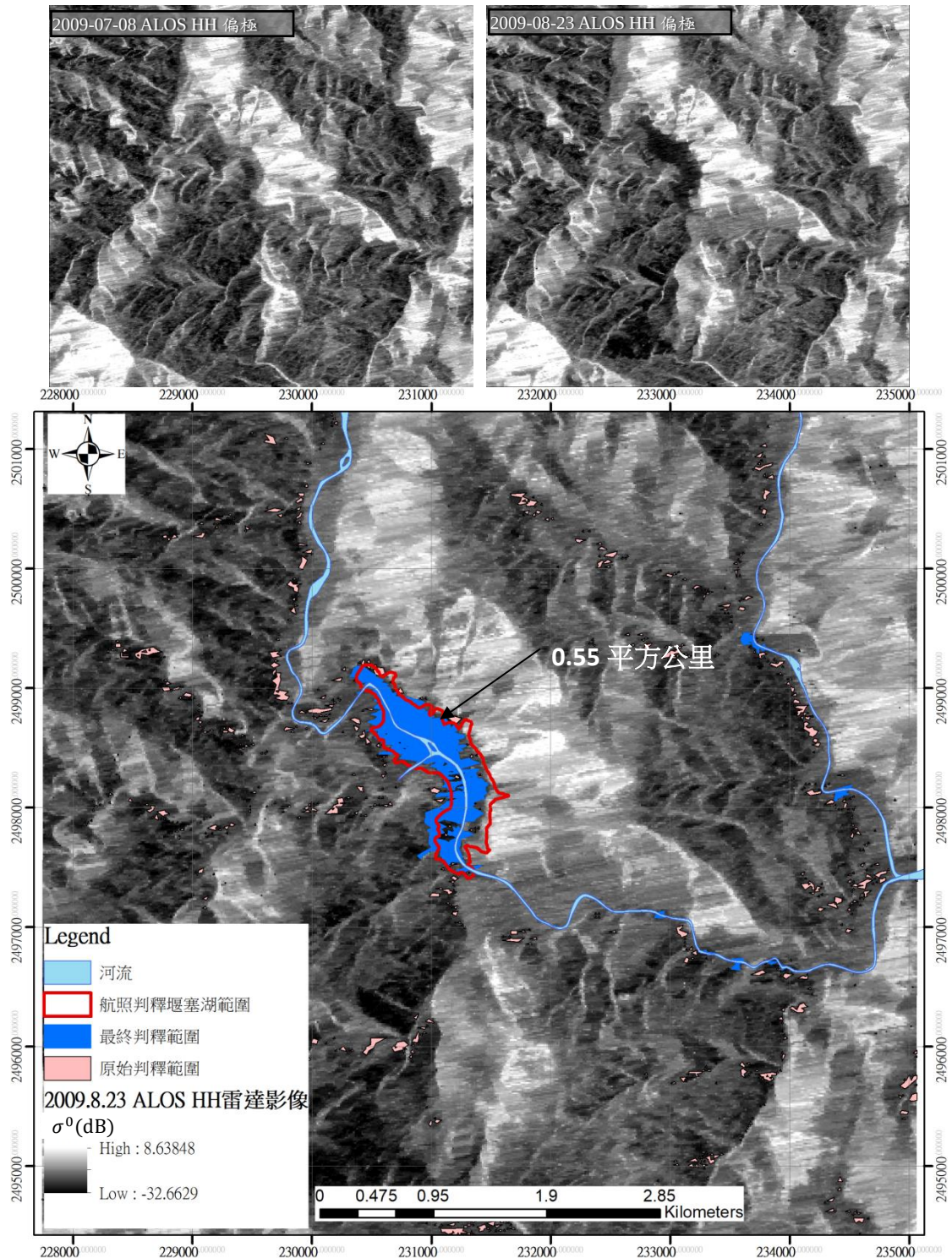


圖 3-2.2 2009 年莫拉克颱風於臺東太麻里溪之堰塞湖雷達影像辨識成果。粉紅色為初始判釋區域，包含河道與山谷積淹水所造成的變遷，藉由河流圖層可萃取堰塞湖的範圍(藍)，與航照所判釋的區域(紅)比較略有差異。

三、案例分析：2018 年 6 月梅雨滯留鋒於臺灣西南部淹水

2018 年 6 月 13 日傍晚起臺灣受梅雨鋒面與西南氣流雙重影響，在臺灣西南部強降雨，最大累積降雨發生在屏東縣(圖 3-3.1)。

本案例使用影像為 C 波段 Sentinel-1 影像，包含事件前 6/3 日之影像與事件時 6/15 日之影像，根據 Tvele et al.(2016)的研究採用 VV 偏極作為分析之指標，影像前處理當中濾波器根據極隼科技股份有限公司(2012)的研究採用 Refined Lee 濾波器。雷達影像淹水判釋的基本處理 SOP 流程可參考本章第一個案例：「2015 年曾文水庫梅雨前後的水體範圍變化」圖 3-1.11，但本案例地形屬於平原區，地形效應所造成的影響相對小，不需要使用雷達疊置陰影區與 HAND 遮罩來移除，提高判釋精確性，且 SNAP 分析軟體對於 Sentinel-1 有較多可應用的處理程序，因此修改之 SOP 如圖 3-3.2 所示。詳細操作流程可參考附錄二。

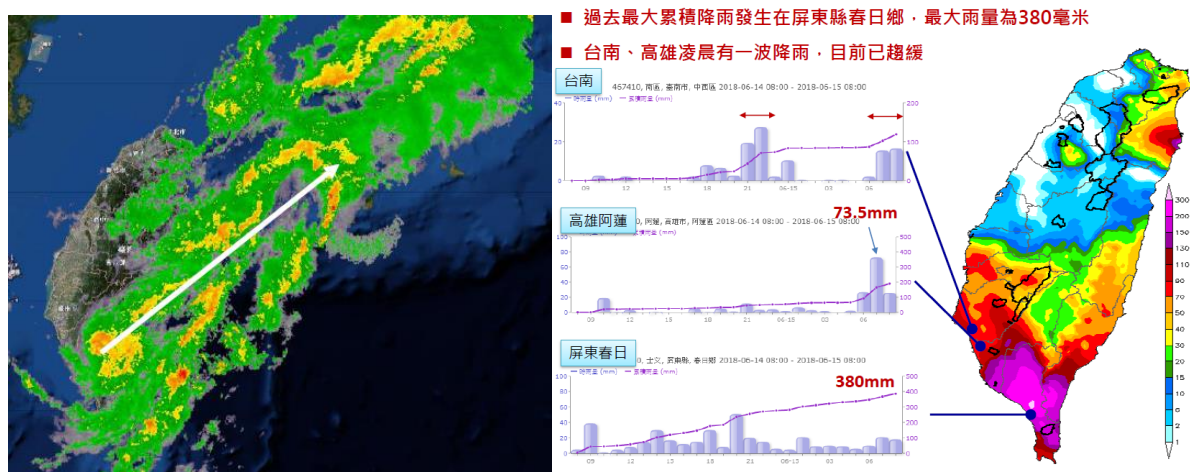


圖 3-3.1 2018/06/15 日雷達回波圖與累積降雨分布情況(資料來源：國家災害防救科技中心, NCDR)

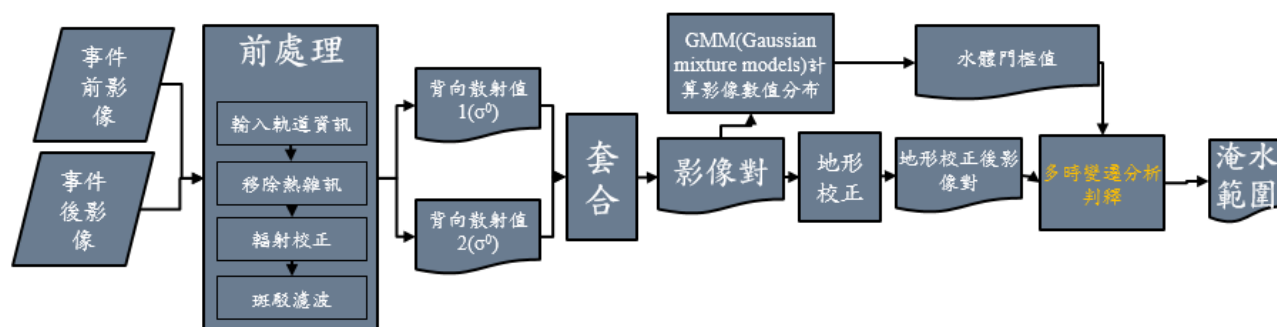


圖 3-3.2 雷達影像淹水辨識處理流程圖。影像必須先進行前處理，包括精確軌道資訊的提供、移除熱雜訊、輻射校正轉換為背向散射係數、斑駁濾波降低雜訊干擾。接著套合是為了將兩張影像之像元配對在一起，再進行地形校正，將影像坐標轉為真實地理坐標系統(WGS84)。GMM 對影像的分析，可以區分水體與非水體的門檻。配合所有資訊進行多時變遷分析，可判釋溢淹的範圍。

除了以「先判別不同時期的水體範圍，再進一步分析範圍的差異」做為溢淹的判釋，也可利用「淹水區事件前後影像強度變化大」之特徵，以多時變遷 RGB 影像來表示可能的溢淹範圍。事件前後影像，分別以 R、G、B 來呈現成一幅 RGB 影像，可以將特徵區域以特定色調呈現。例如，將事件前影像設定為藍色調，事件後影像設定為綠色調與紅色調，由於原來水域不論前後影像都呈現相當低的數值，因此最後在 RGB 影像中偏黑色，而淹水區域是事件後影像才有，在綠色調與紅色調的數值都偏低，因此淹水區會呈現藍色，而前後事件都沒有差異的地方，RGB 數值相近，因此是灰色調(圖 3-3.3)。

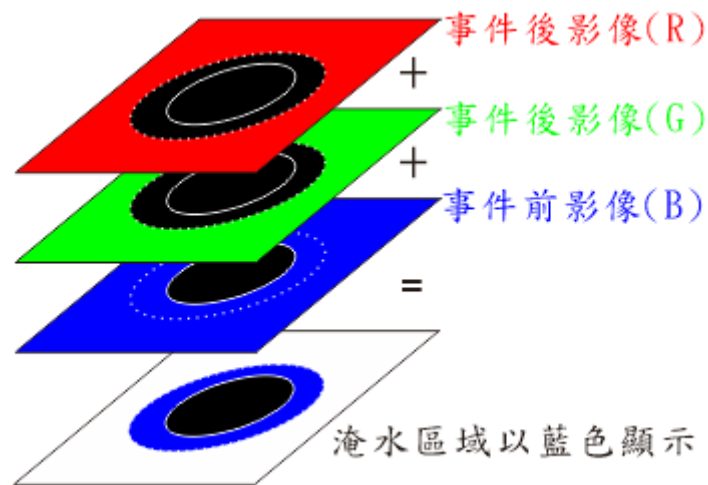


圖 3-3.3 多時變遷 RGB 影像呈現淹水區之原理

雷達影像的背向散射係數經過混合高斯分布模型分析，已經轉換為使否為水體的機率，結果顯示 95%為水體的背向散射係數門檻約為-21dB 左右，依據此門檻值進行淹水偵測，結果如圖 3-3.4 所示，判釋淹水區域包含平原空曠地淹水與河道淹水，而都會區建物林立的情況，不論是否有淹水都會有角反射之強回波，無法反應都會區的淹水情況，判釋總積淹水面積約為 16.7 平方公里。

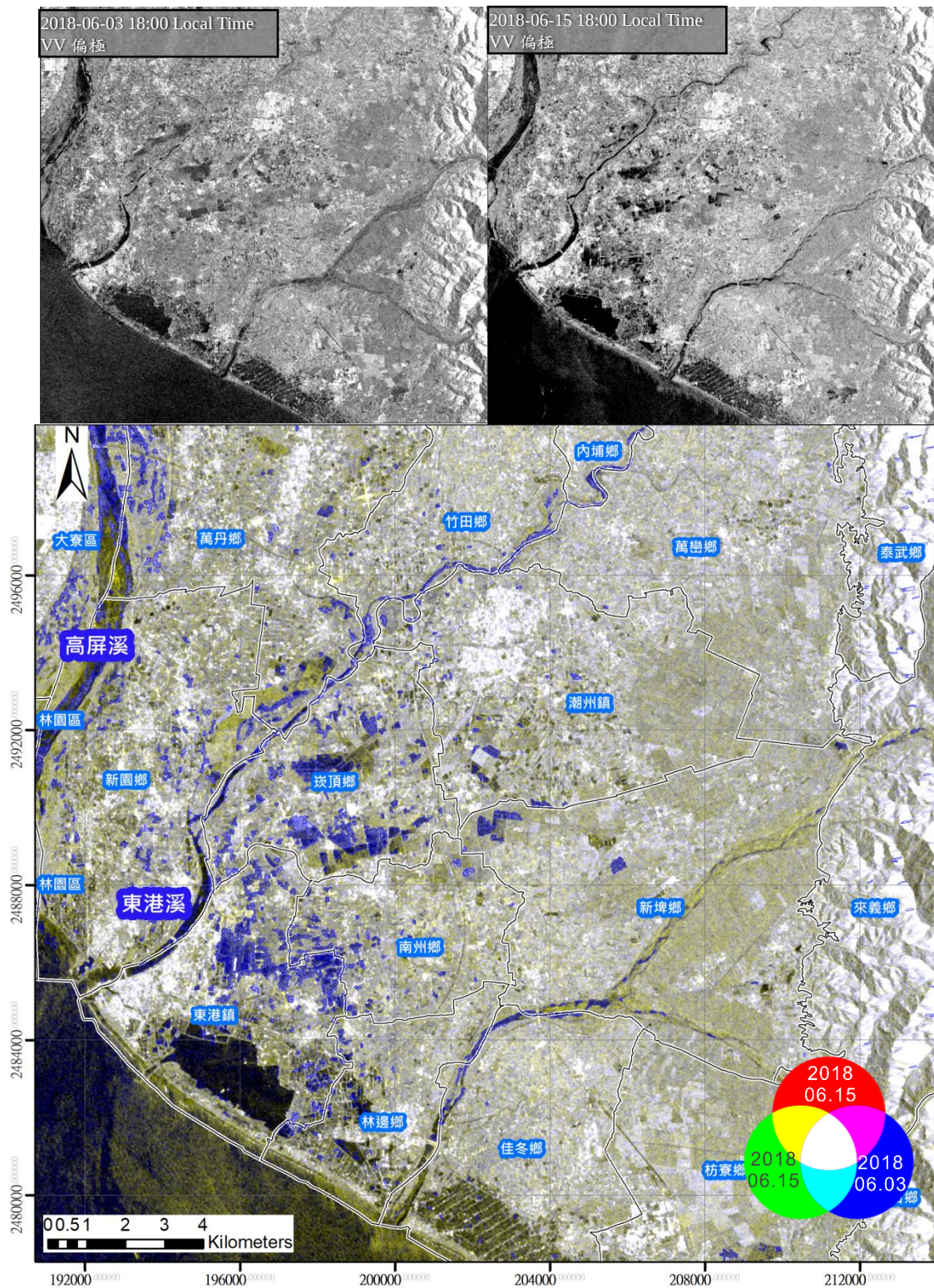


圖 3-3.4 2018/06/13 豪雨屏東積淹水雷達影像辨識結果。上圖左側為事件前雷達影像，上圖右側為事件時的雷達影像，下圖為多時變遷 RGB 影像，藍色系代表淹水區域。

四、案例分析：2018 年 8 月熱帶性低壓於臺灣西南部淹水

2018 年 8 月底，熱帶性低氣壓在中、南部造成嚴重淹水災情，高雄、臺南、嘉義縣市，這些淹水地區累積雨量高達 400、500 毫米，已超過 100 年重現期，遠遠超過目前區域排水只有 10 年重現期的設計保護標準。一直到 8/26 日，嘉南地區仍有淹水的情況存在(圖 3-4.1)。



圖 3-4.1 2018/08/26 日嘉義縣東石鄉栗子崙地區空拍淹水情況(資料來源：<https://tw.appledaily.com/new/realtime/20180826/1418234/>)

本次 0823 水災，災區持續下雨且風勢強勁，包括衛星、航攝飛機、UAV 等工具，直到 8 月 29 日仍無法取得光學影像來評估淹水範圍，且上空持續有雲雨發生(圖 3-4.2)。

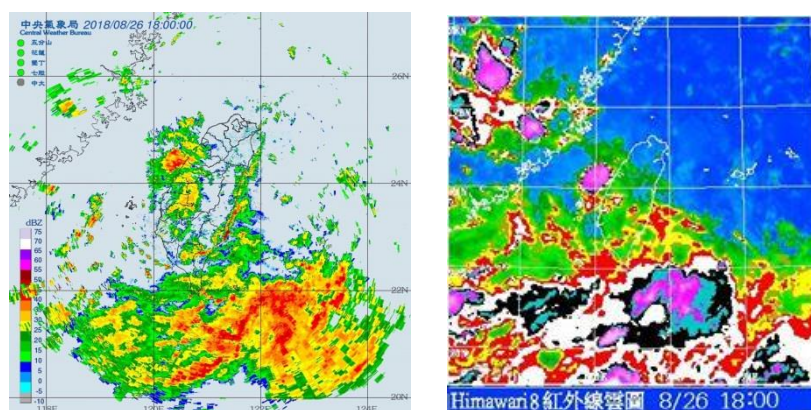


圖 3-4.2 2018/08/26 當日臺灣上空之雷達回波圖與氣象雲圖

本案例使用影像為 C 波段 Sentinel-1 影像，包含事件前 8/14 日之影像與事件時 8/26 日之影像。根據 Twele et al.(2016)的研究採用 VV 偏極作為分析之指標，影像前處理當中濾波器的選擇根據極隼科技股份有限公司(2012)的研究採用 Refined Lee 濾波器。雷達影像淹水判釋的基本處理 SOP 流程可參考本章案例：「2018 年 6 月梅雨滯留鋒於臺灣西南部淹水」圖 3-3.2。

本案例於附錄中有詳細操作說明。溢淹判釋成果如圖 3-4.3 與圖 3-4.4 所示。

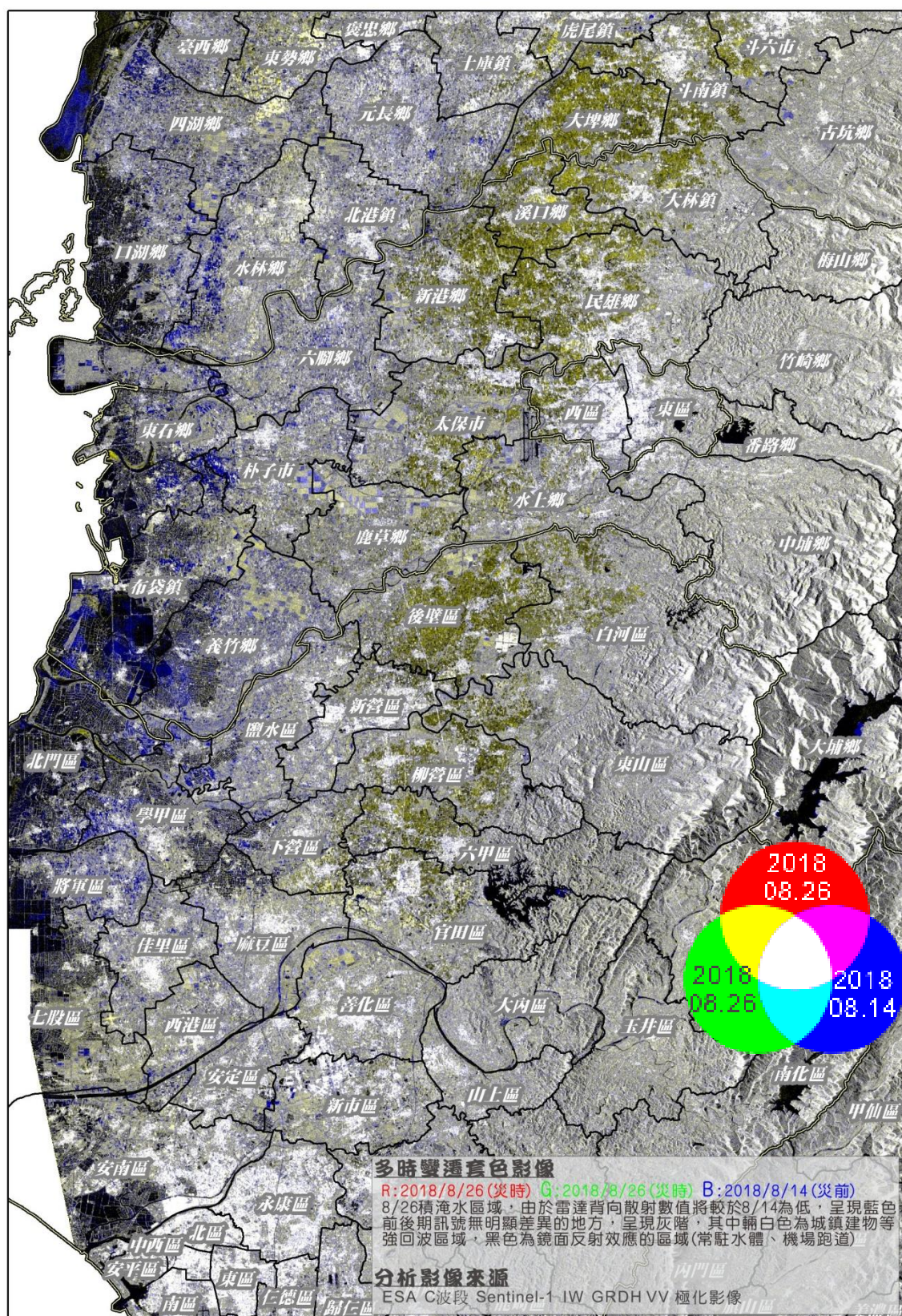


圖 3-4.3 2018/08/23 豪雨雲嘉南淹水雷達影像辨識結果。多時變遷 RGB 影像表示 8/26 與 8/14 比較，有淹水的區域會以藍色系呈現。雲林、嘉義與台南地區於 8/26 都還有相當多區域屬於淹水範圍。

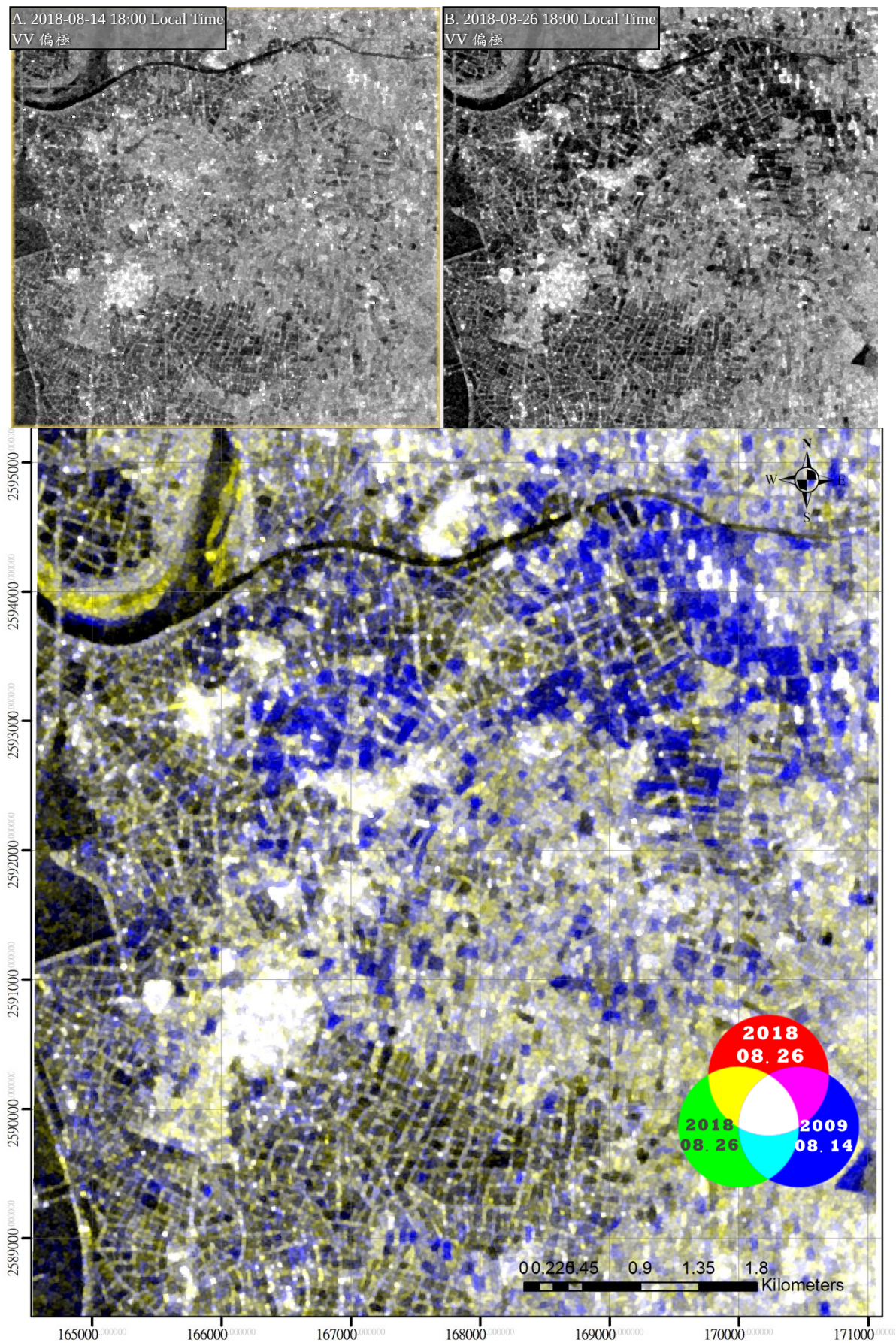


圖 3-4.4 2018/08/23 豪雨雲嘉南積淹水雷達影像辨識結果:(嘉義縣-東石鄉-東崙村、塭仔村)。上圖左側為事件前雷達影像，上圖右側為事件時的雷達影像，下圖為多時變遷 RGB 影像，藍

色系代表淹水區域。

雷達影像之背向散射係數統計分析的結果顯示，95%屬於水體的數值門檻於不同影像與不同極化略有差異(表 3-4.1)，以 8/14 與 8/26 之 VV 影像而言，數值在-13~-17dB 之間。數值差異的原因可能來自於拍攝時的大氣水氣情況、地表水的表面粗糙度與水的深度。因此在不同影像判釋水體時，建議先對已知常駐水域進行統計分析，在得到該幅影像水體較精確之門檻值之後，進行水體判釋，判釋淹水總面積約為 46.5 平方公里。

表 3-4.1 Sentinel 1 影像不同時期之常駐水體(水庫或河川)的背向散射係數分布門檻值(dB)

影像		95%門檻	90%門檻	85%門檻
北段	Sigma0_VV_slv2_14Aug2018_db	-17.247	-17.9777	-18.4745
	Sigma0_VV_mst_26Aug2018_db	-16.56	-17.2902	-17.8014
	Sigma0_VH_slv1_14Aug2018_db	-23.253	-23.9261	-24.4156
	Sigma0_VH_mst_26Aug2018_db	-23.44	-24.1582	-24.6481
南段	Sigma0_VV_mst_14Aug2018_db	-13.785	-14.9567	-15.6179
	Sigma0_VV_slv2_26Aug2018_db	-15.693	-16.6079	-17.1262
	Sigma0_VH_mst_14Aug2018_db	-21.724	-22.9428	-23.6239
	Sigma0_VH_slv1_26Aug2018_db	-21.976	-23.0438	-23.7114

肆、雷達衛星影像於颱風豪雨後崩塌地之偵測研究與試作

山崩滑動塊體之偵測，除利用地形判釋與現地調查之外，遙測方法提供一個大面積範圍調查的重要工具，有別於地面儀器的點位或線狀的監測，遙測影像提供崩塌地範圍圈繪，以影像判釋進行的調查工作有較高的廣度及便利性。其中，透過雷達影像 HV 與 HH 偏極對於不同地物的散射特性，經過適當的樣本訓練與分類後，可有效分辨聚落與非聚落、植被與非植被之特徵，便可將變遷偵測(change detection)技術應用於合成孔徑雷達影像(SAR)之崩塌地辨別，但需要獲取崩塌前後短時間內的高精度 SAR 影像才能進行。

若無法順利獲得崩塌前後的高精度合成孔徑雷達影像，可以光學影像來做替代，透過計算崩塌前光學影像的常態化差異植生指數(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)，定義出植生覆蓋之區域，接著利用崩塌後的雷達影像進行 H/alpha 極化分解的分析，獲得亂度之指標(H)，便可以區分出裸露之地區，最後再進行變遷偵測之處理，篩選出崩塌前的高 NDVI 數值與崩塌後低指標 H 的區域，便能有效且快速地圈繪出崩塌發生的範圍與地點(圖 4.1、圖 4.2)，Plank et al.(2016)的研究中，這樣的方法應用於 2015 年美國查爾斯機場崩塌調查的整體準確度(Overall accuracy)為 99.9%，生產者精度(Producer's accuracy)大於 64%。

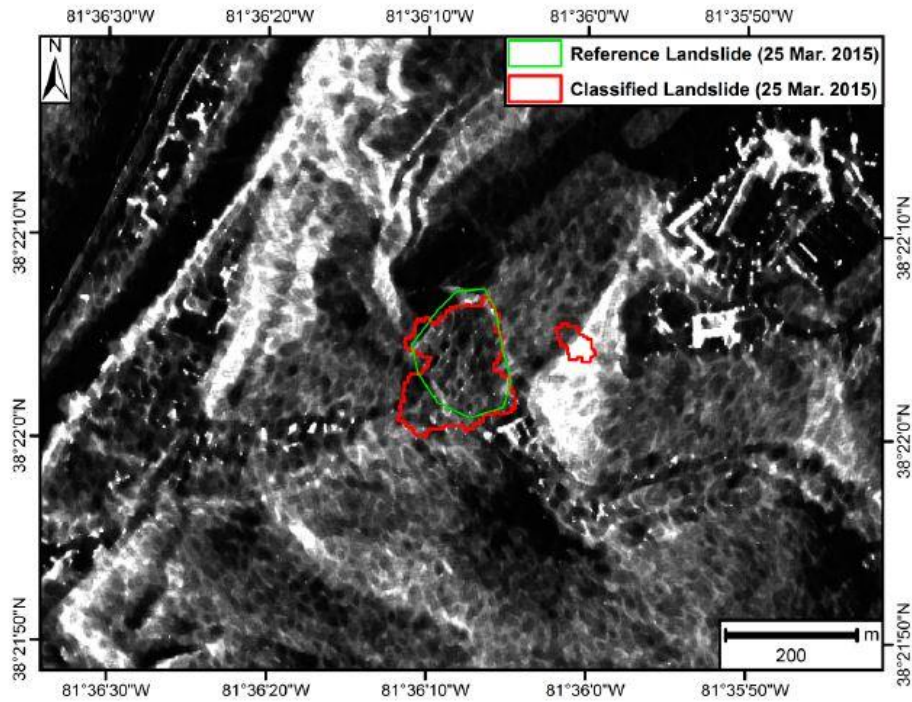


圖 4.1 2015/03/12 發生於美國查爾斯頓機場(Yeager Airport)的崩塌。透過崩塌前(2015/01/15)的 Landsat-8 影像與崩塌後(2015/03/25)的 TerraSAR-X 影像進行分析，紅線範圍為崩塌自動判釋圈繪之成果，綠線範圍為根據 TerraSAR-X 影像人為判釋所圈選之區域(Plank et al., 2016)。

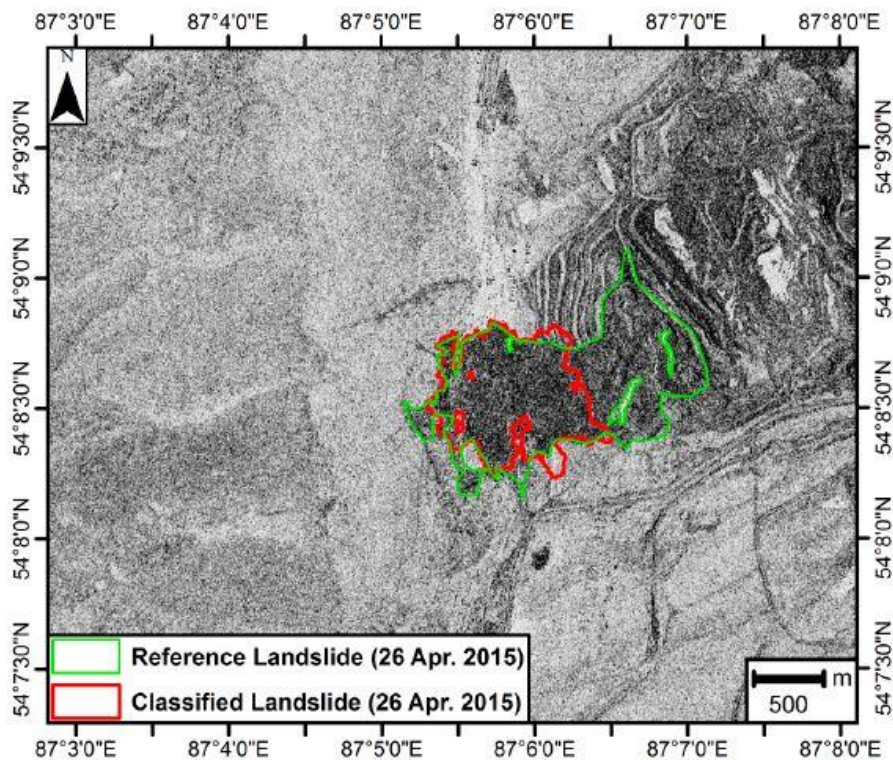


圖 4.2 2015/04/01 發生於俄羅斯克麥羅沃洲的崩塌。透過崩塌前(2014/09/14)的 Landsat-8 影像與崩塌後(2015/04/26)的 TerraSAR-X 影像進行分析，紅線範圍為崩塌自動判釋圈繪之成果，綠線範圍為根據 TerraSAR-X 影像人為判釋所圈選之區域(Plank et al., 2016)。

Plank et al.(2016)的研究結果，雷達影像需要全極化影像或具有 HH 與 VV 極化之影像得以進行 H/alpha 極化分解，得到亂度之指標(H)，但並非所有雷達影像都具有這樣的極化可以進行分析。Konishi and Suga(2018)對日本紀伊半島地區的山崩，以 COSMO-SkyMed 雷達影像，利用背向散射係數差異法(式 4-1)與強度相關法(式 4-2)兩種演算法計算事件前後影像的差異，差異大於門檻值者為山崩範圍。

$$d = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I a_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I b_i \dots\dots\dots(\text{式 4-1})$$

$$r = \frac{N \sum_{i=1}^N I a_i I b_i - \sum_{i=1}^N I a_i \times \sum_{i=1}^N I b_i}{\sqrt{(N \sum_{i=1}^N I a_i^2 - (\sum_{i=1}^N I a_i)^2) \times (N \sum_{i=1}^N I b_i^2 - (\sum_{i=1}^N I b_i)^2)}} \dots\dots\dots(\text{式 4-2})$$

i : pixel number

N : the number of pixels inf the moving window

Ia_i 與 Ib_i : the values of the N-pixels inside the moving window

背向散射係數差異法所分析的山崩範圍為 L_d，根據以下公式區分

$$L_d < \mu - a\sigma \text{ or } L_d > \mu + a\sigma \dots\dots\dots(\text{式 4-3})$$

強度相關法所分析的山崩範圍為 L_c，根據以下公式區分

$$L_c < \mu - a\sigma \dots\dots\dots(\text{式 4-4})$$

a : 門檻參數

結果顯示綜合評價指標(F1-measure)、精確度(Precision)與召回率(Recall)分別為 61.24%、65.39%與 57.58%。Konishi and Suga(2018)與 Plank et al.(2016)的分析方法相比較，雖然在判釋的準確性較低，但可以應用的衛星影像卻較不受限制(圖 4.3)。

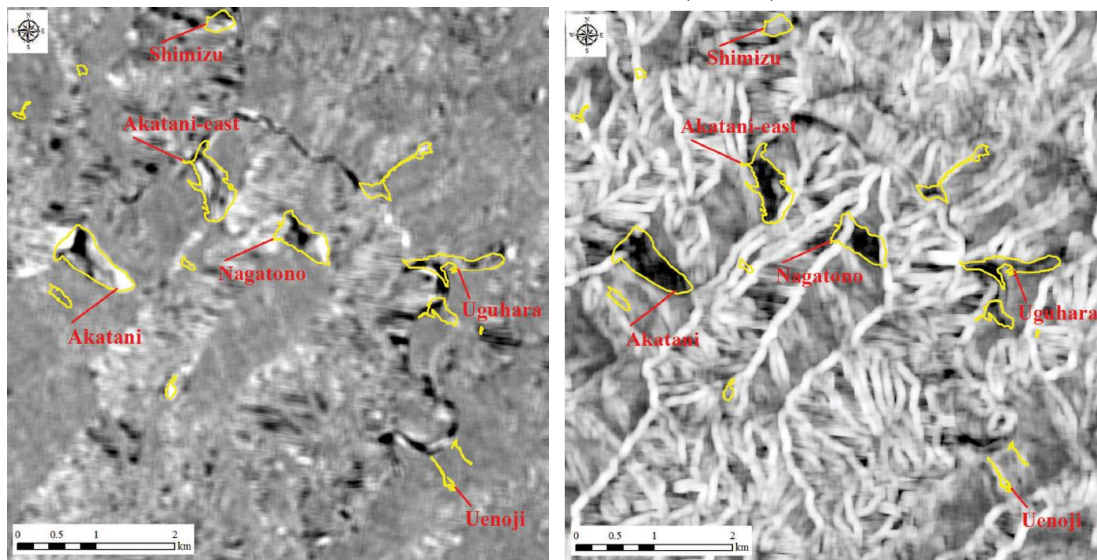


圖 4.3 2011 年 9 月日本紀伊半島地區山崩。右圖為 Intensity correlation 所計算之影像，左圖為 Backscattering coefficient difference 所計算之影像(黃線為山崩範圍)。

雖然雷達影像不受雲霧、日照等因素的影像，但不論是光學或是雷達影像，在颱風豪雨後之崩塌地偵測上，皆會受到影像取得時間的限制，若能利用兩者進行有效的搭配與分析，將有助於未來更快速獲得颱風豪雨事件後之崩塌地圈繪成果。從相關研究中可以明顯看出，利用雷達影像進行山區崩塌地的偵測方法為利用崩塌前後因崩塌地表改變，導致雷達反映的背向散射係數不同所引起的亮度值及相關性改變進行偵測，此部分偵測的原理與前述水體偵測原理類似，但因地表特徵屬性不同，影像處理之參數不同，仍需以實際案例進行試作，以評估出最符合崩塌區偵測之參數值。

本研究以「2009 年莫拉克颱風臺灣西南部山崩」、「2015 年蘇迪勒颱風臺灣北部山崩」與「2018 年日本北海道地震山崩」三個案例，測試前述之山崩偵測方法，結果顯示當我們交叉極化與平行極化的比值對於山崩所造成的體積散射差異，有較佳的偵測結果，如果雷達衛星具有 HH 與 HV 極化，可以參考 Kao et al.(2010)所計算的雷達植被指數(Radar Vegetation Index, RVI)，作為偵測指標 (圖 4.4 與式 4-5)，如果只具有 VV 與 VH 極化，則可參考 Kao et al.(2010)雷達植被指標計算方式，將 HH 替換成 VV，HV 替換成 VH，一樣可以得到良好的山崩偵測指標(式 4-6)，這兩者在本研究中一併以雷達植被指標(RVI)代表。

$$RVI = 20 \times \log\left(\frac{HV}{HH}\right) \dots\dots\dots(式 4-5)$$

$$RVI' = 20 \times \log\left(\frac{VH}{VV}\right) \dots\dots\dots(式 4-6)$$

有了良好的指標種類，配合 Konishi and Suga(2018)研究中背向散射係數差異法的分析(式 4-1)，並且由於山崩事件是從原來有植被，變成沒有植被，RVI 從數值高變為數值低，將山崩區域判斷式(式 4-3)更改為

$$L_d > \mu + a\sigma \dots\dots\dots(式 4-7)$$

會得到較佳的結果。

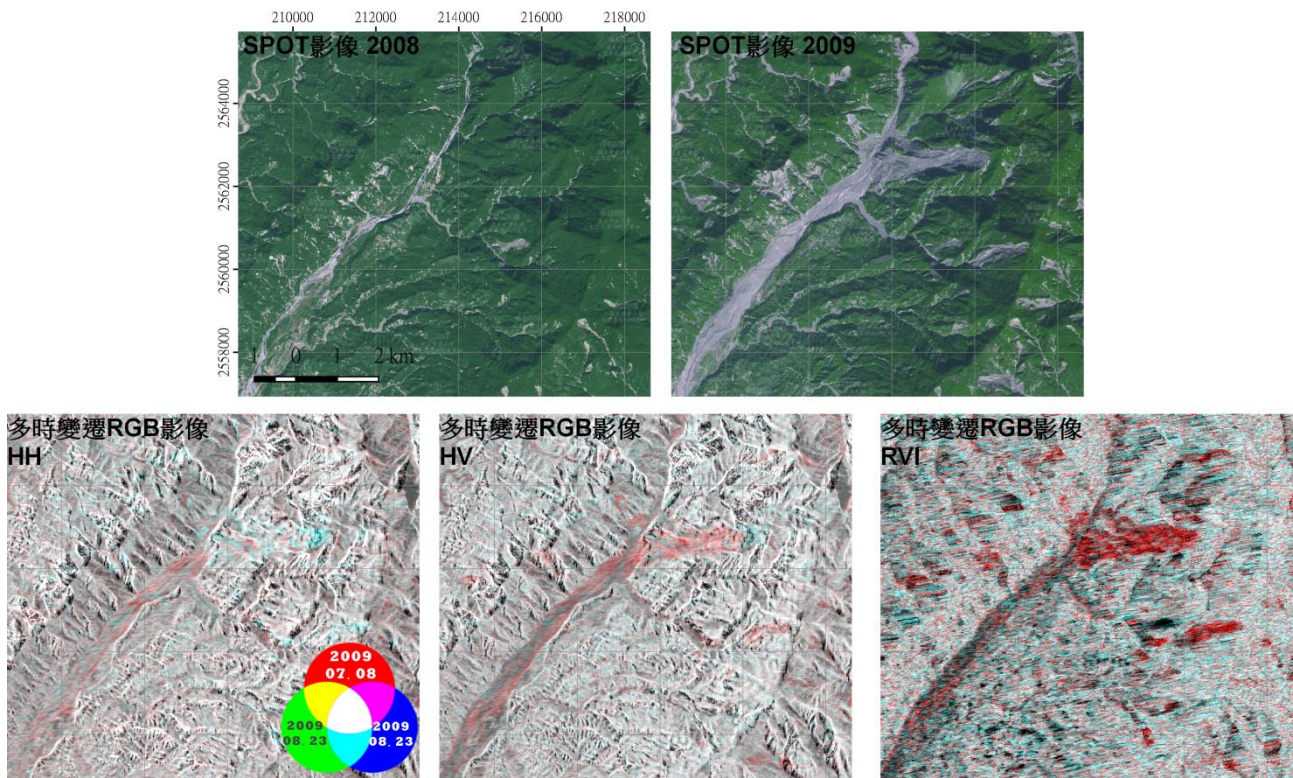


圖 4.4 雷達影像山崩偵測之指標差異。上圖為小林村獻肚山山崩前後之光學影像。下圖為多時變遷 RGB 影像，由左而右分別為以 HH、HV 與 RVI 作為指標的差異。

雷達影像進行山崩辨識之基本 SOP 流程如圖 4.5，其他參數也經過測試，L 波段 ALOS 影像：Moving Windows 大約為 25x25 與 α 等於 1 的條件下，可得到最佳的結果(圖 4.6)，而 C 波段 Sentinel-1 影像：Moving Windows 大約為 19x19 與 α 等於 1.5 的條件下，可得到最佳的結果，(圖 4.7)。測試的結果也發現以背向散射係數差異法的方式進行山崩偵測比強度相關法得到的結果更好(圖 4.8)。詳細操作流程可參考附錄三。

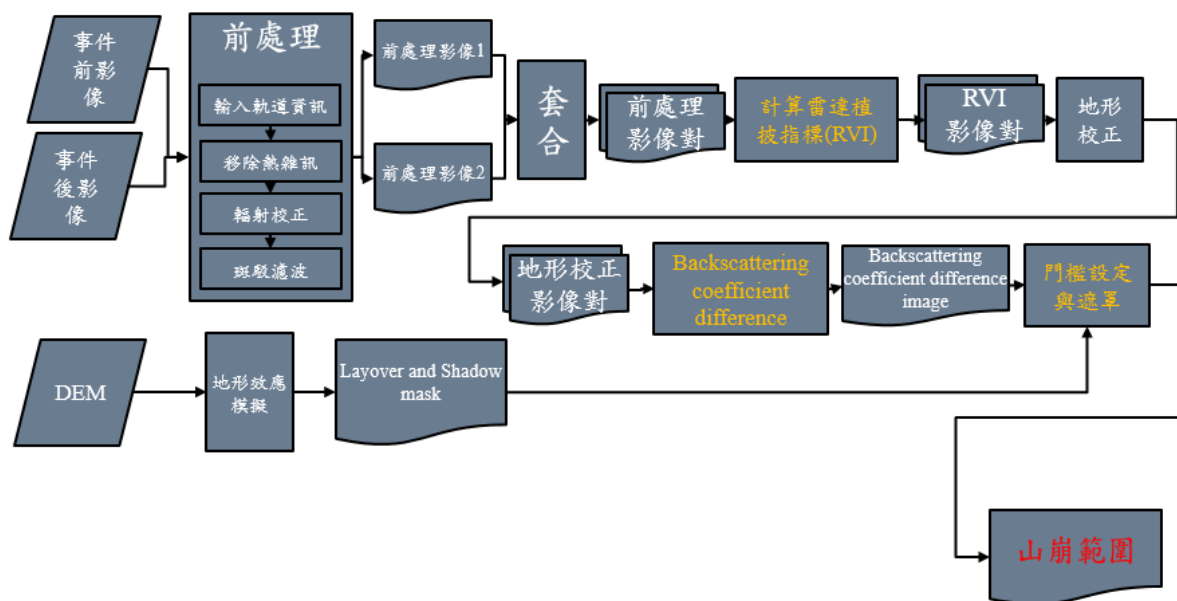


圖 4.5 雷達影像山崩辨識基本處理 SOP 流程圖。影像必須先進行前處理，包括精確軌道資訊的提供、移除熱雜訊、輻射校正轉換為背向散射係數、斑駁濾波降低雜訊干擾。接著套合是為了將兩張影像像元配對在一起，計算 RVI，再進行地形校正，將影像坐標轉為真實地理坐標系統(WGS84)。進一步以背向散射係數差異法計算影像變遷的程度，配合門檻值的設定與地形效應遮罩，最終可得到山崩範圍判釋區域。

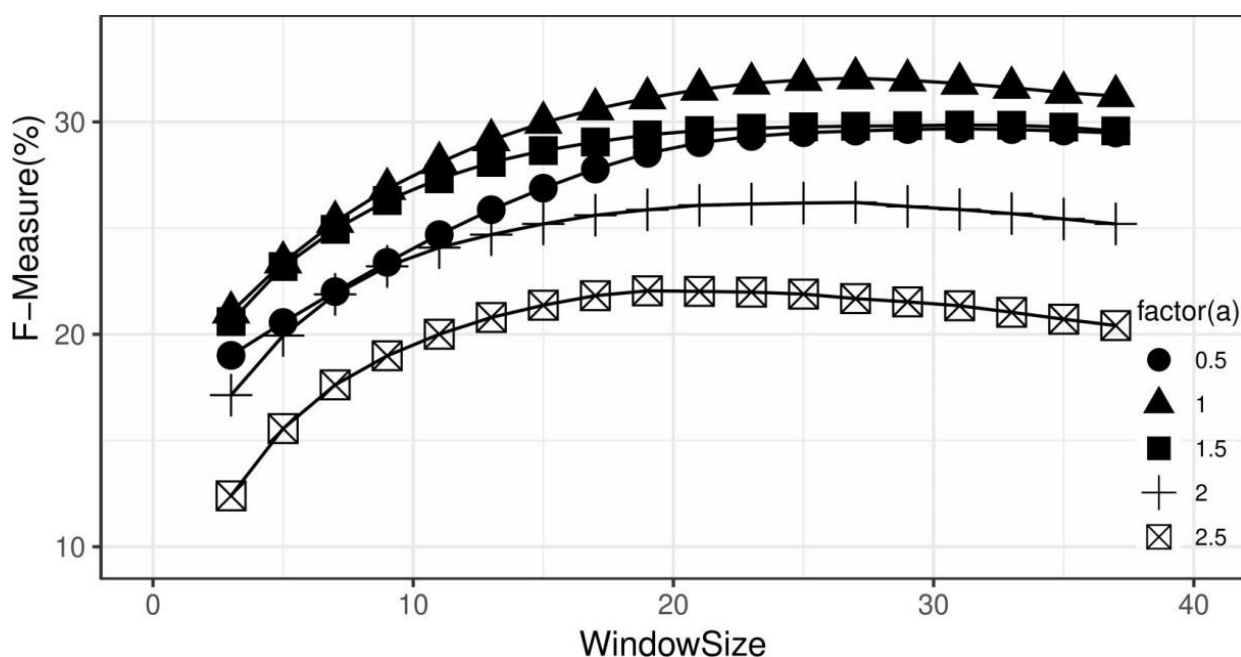


圖 4.6 ALOS 雷達影像以 RVI 做為指標，並以背向散射係數差異法進行山崩偵測的準確性指標 F1-Measure。最佳的參數落在 Windows=25 與 a=1。

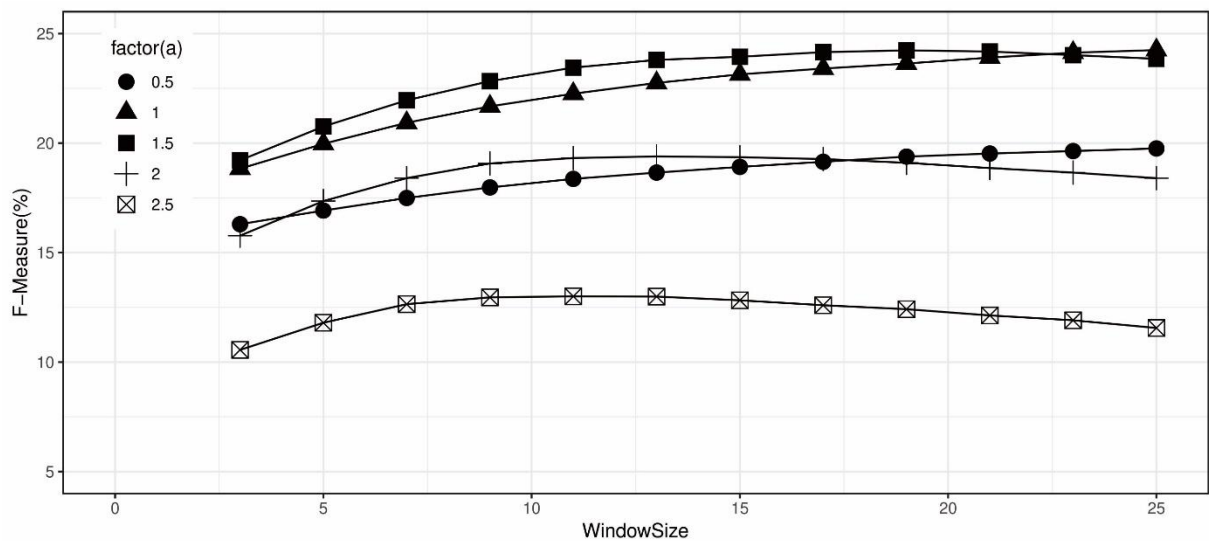


圖 4.7 Sentinel-1 雷達影像以 RVI 做為指標，並以背向散射係數差異法進行山崩偵測的準確性指標 F1-Measure。最佳的參數落在 Windows=19 與 $a=1.5$ 。

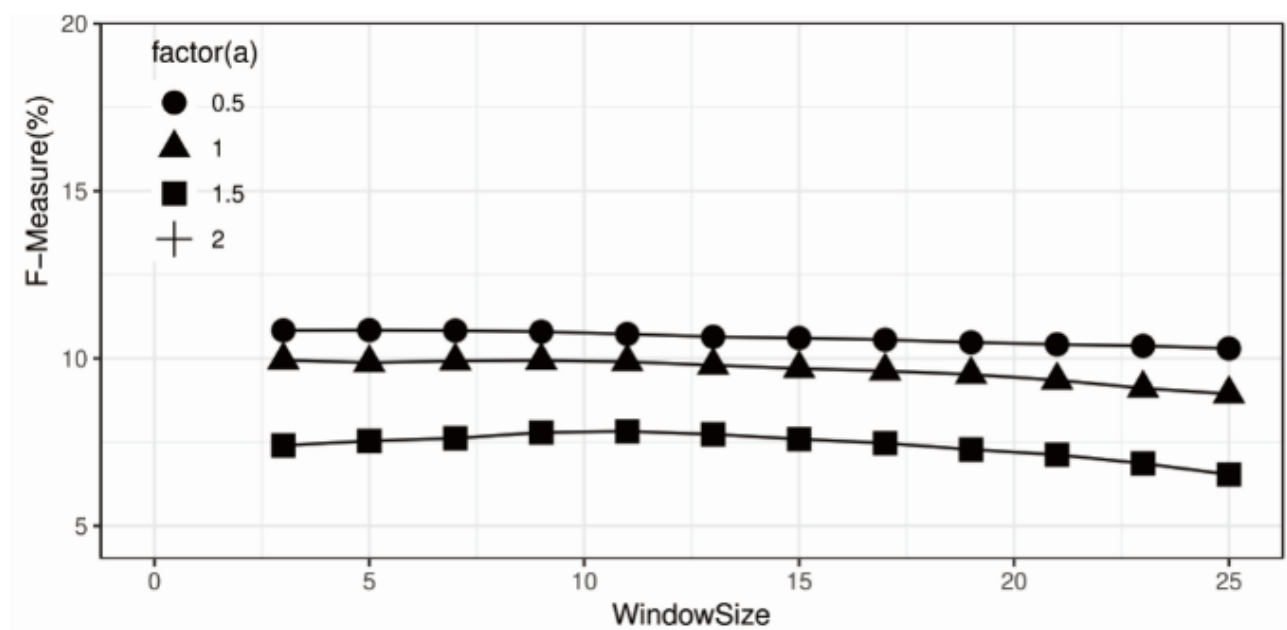


圖 4.8 Sentinel-1 雷達影像以 RVI 作為指標，並以強度相關法進行山崩偵測的準確性指標 F1-Measure。強度相關法所得到的精度比背向散射係數差異法來得不好。

一、案例分析：2009 年莫拉克颱風臺灣西南部山崩

2009 年 8 月莫拉克颱風為臺灣地區帶來嚴重災情，在甲仙鄉 72 小時累積雨量高達 1856 毫米，超大雨量造成甲仙鄉小林村、那瑪夏鄉發生多起山崩，其中小林村後方的獻肚山因超大豪雨造成深層崩塌，進而造成大規模山崩，最終造成小林村被掩埋的不幸事件。

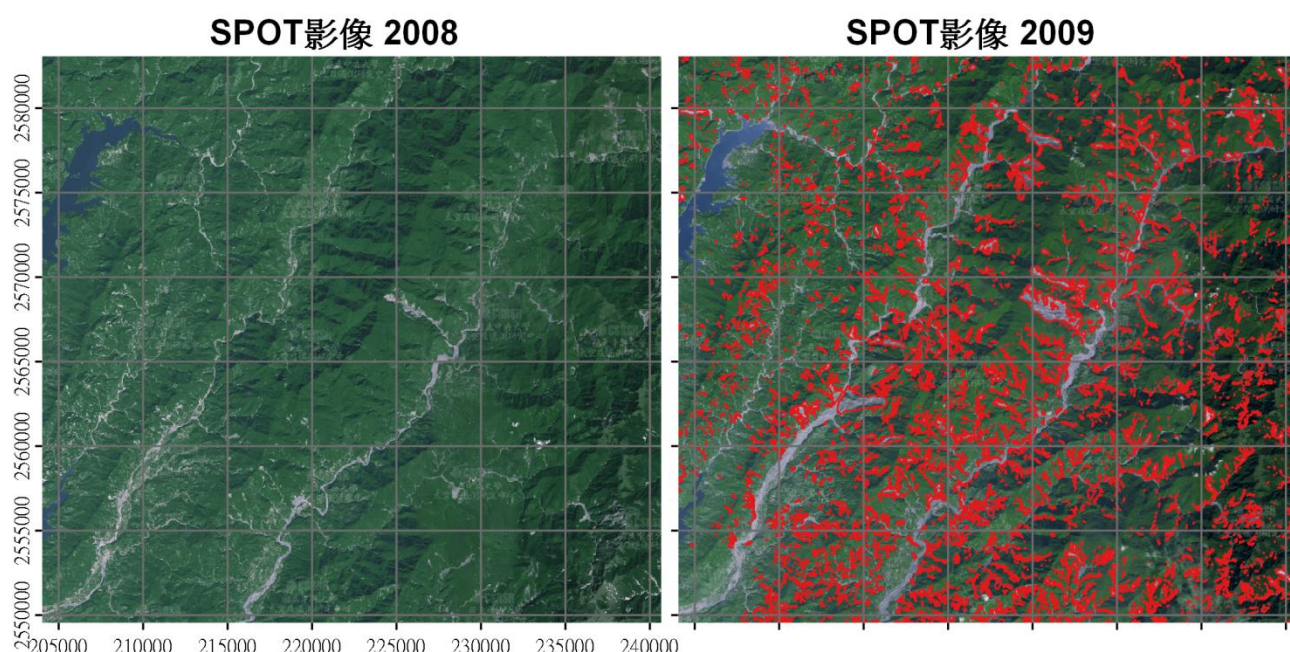


圖 4-1.1 SPOT 光學影像莫拉克風災前後對照圖。紅線為 NCDR 提供之山崩範圍。

本案例使用影像為 L 波段 ALOS 雷達影像，包括事件前 7/8 與事件後 8/23 之影像(UTC+0)。利用多偏極雷達影像以(式 4-5)計算雷達植被指數 RVI 作為山崩偵測之指標，再以本研究之山崩偵測 SOP(圖 4.5)進行山崩區域之判釋。

RVI 作為指標使得植被變化明顯的山崩地區有機會在第一時間從多時變遷 RGB 影像辨識出來。圖 4-1.2 將災前 RVI 影像設為紅色與災後 RVI 影像設為綠色與藍色作為多時變遷 RGB 影像，紅色系凸顯的是事件前後植被變化，RVI 由大變小的區域，而山崩正是這樣的特徵。但除了山崩，平常植被的生長變化就會有 RVI 的變化(樹葉的變化、農作物採收等等)，因此也會顯示紅色系。直接以特定門檻區分，雖然可以找出山崩區域，但同時也會顯示許多零散非山崩區域(圖 4-1.3)。

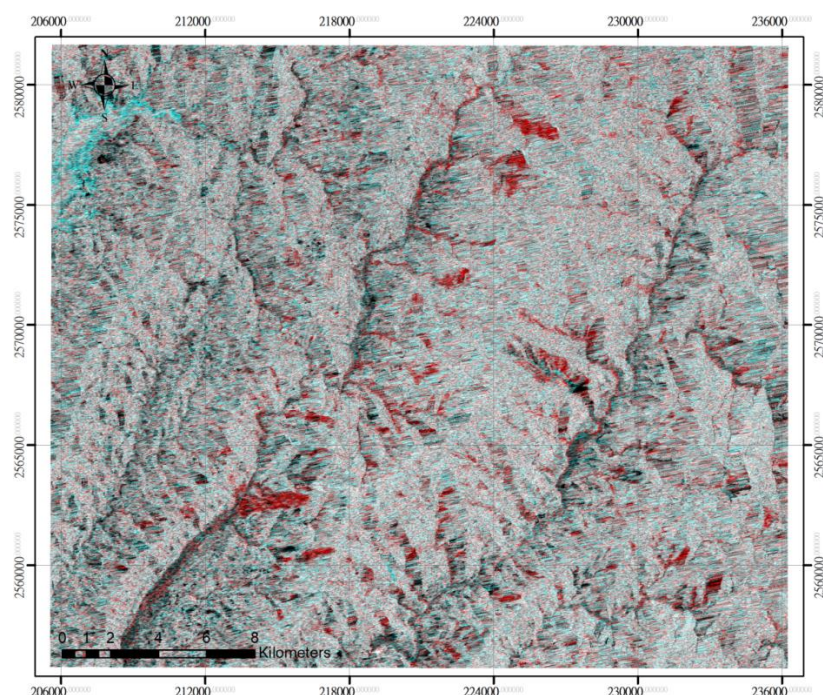


圖 4-1.2 2009 年莫拉克颱風臺灣西南部山崩，多時變遷雷達影像(紅色：地震前平均 RVI; 綠色與藍色：地震後平均 RVI)。顏色越偏紅色，表示事件前後植被指數 RVI 差異越大，是山崩區域判釋的指標之一。

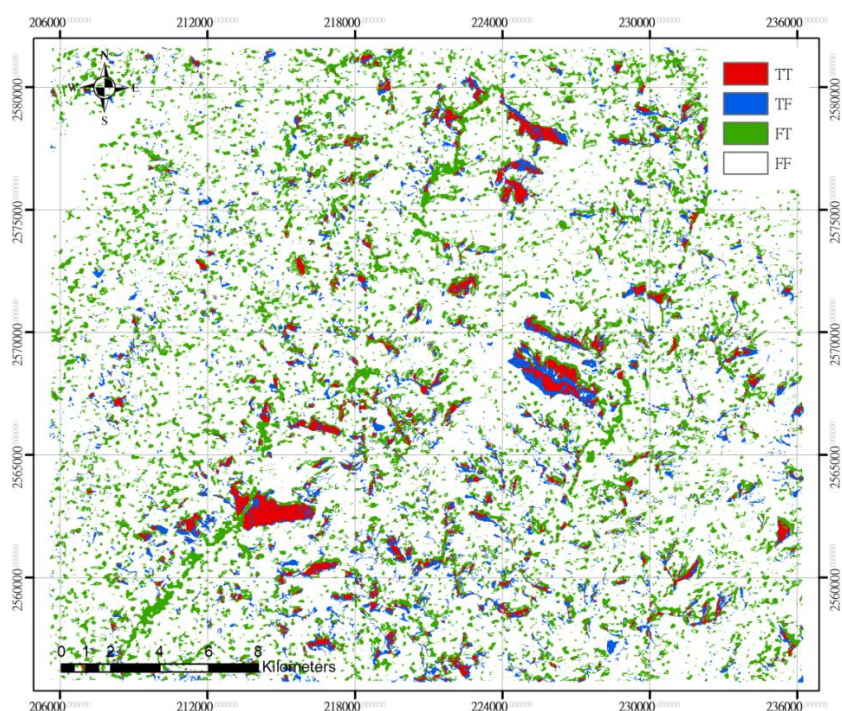


圖 4-1.3 ALOS 影像於 2009 莫拉克風災後臺灣西南部山崩初步偵測結果。事件前後 RVI 變化大於 2dB 為判釋山崩區。TT：實際山崩與辨識有山崩之區域；TF：實際山崩與辨識非山崩之區域；FT：實際非山崩與辨識有山崩之區域；FF 實際非山崩區與辨識非山崩之區域。

本研究山崩偵測 SOP 處理的結果如圖 4-1.4 所示，與國家災害防救科技中心(NCDR)所提供之山崩區比對後，雖然成功辨識的山崩區域面積有大有小，但 90%所辨識出來的區域大於 0.13 平方公里，而大部分無法辨識的山崩，面積小很多，有 90%面積小於 0.016 平方公里，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%。非山崩被辨識為山崩的範圍已經大幅減少。但此分析方法提高了辨識準確性，卻使得較小區域的山崩無法被辨識出來。另外，在河道區域有些較大區域被判釋出來，這些地方並非實際山崩區域，而是屬於莫拉克颱風過後，河道明顯有變化的區域。

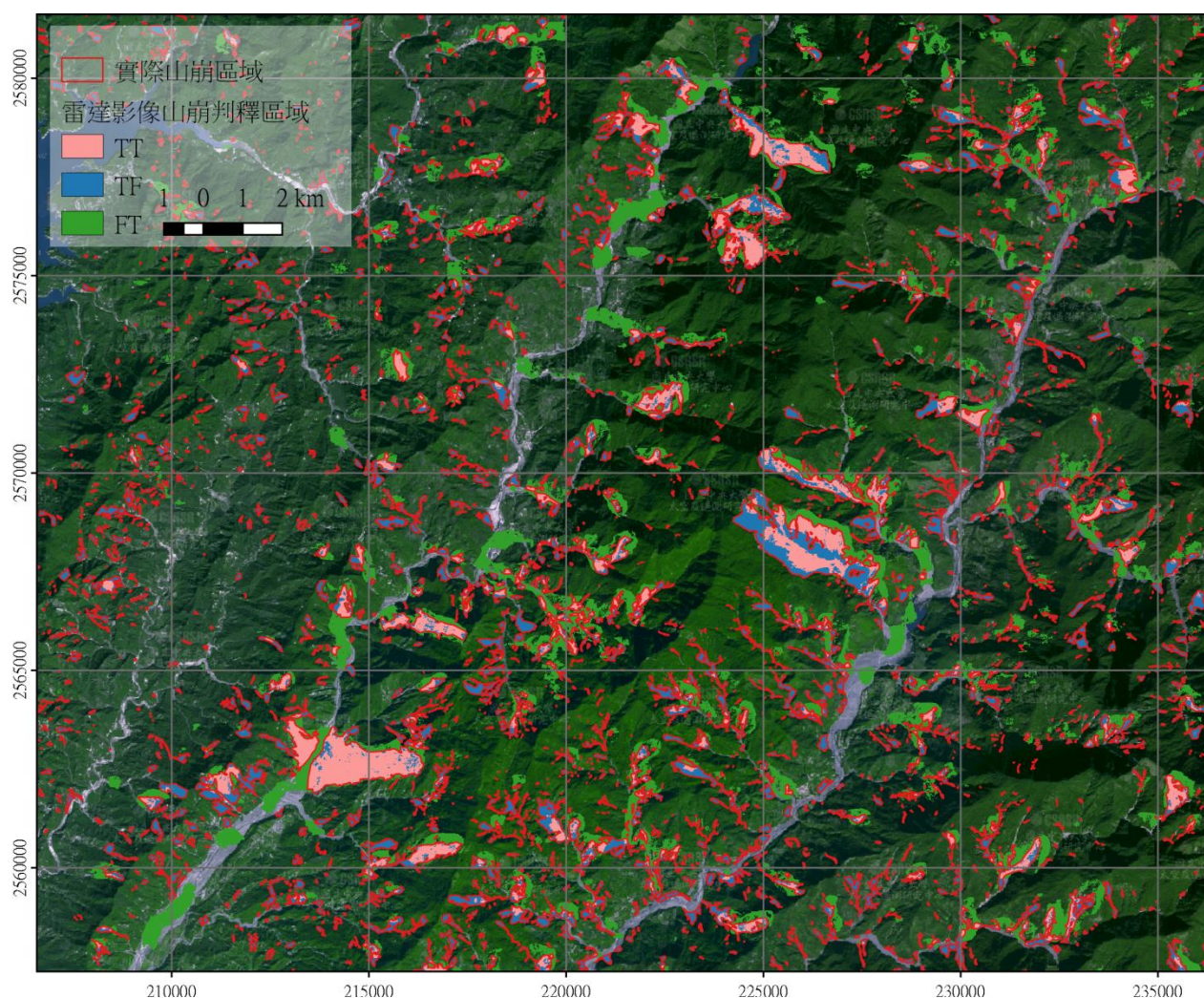


圖 4-1.4 ALOS 影像於 2009 莫拉克風災後臺灣西南部山崩偵測結果。TT：實際山崩與辨識有山崩之區域；TF：實際山崩與辨識非山崩之區域；FT：實際非山崩與辨識有山崩之區域。

二、案例分析：2018 年日本北海道地震山崩

2018 年 9 月 6 日清晨日本北海道發生了 6.7 級強震，接近震央的厚真町丘陵地一帶更發生大規模走山，災情最為嚴重(圖 4-2.1)，崩塌面積約達 24 平方公里。

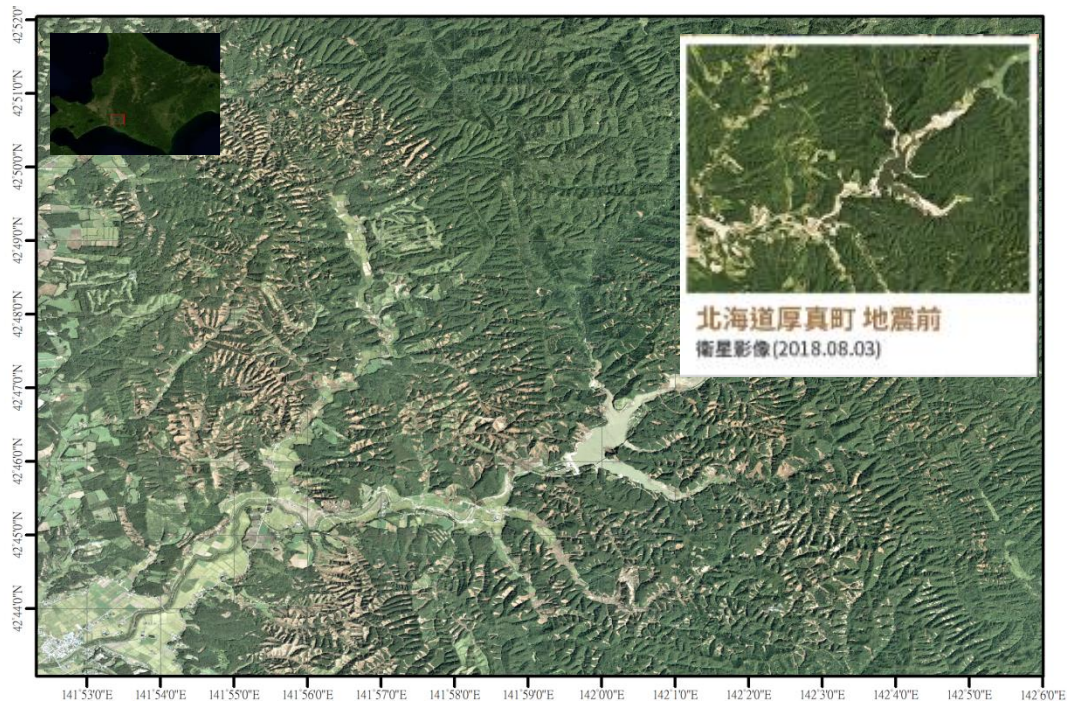


圖 4-2.1 日本北海道厚真町 地震後 Planet Labs 衛星(鴿子衛星)影像 (2018.09.11)

本案例使用影像為 C 波段 Sentinel-1 雷達影像，包括事件前 8/12、8/24 與事件後 9/5、9/17 之影像(UTC+0)。

本案例使用的雷達影像為 Sentinel-1，只具有 VV 與 VH 極化，我們參考 Kao et al.(2010) 的研究使用交叉極化 VH 與平行極化 VV 的比值，取 log 後，再乘 20 作為本研究的山崩偵測指標(式 4-6)。

由於不同衛星可以提供的極化影像不同，導致 RVI 指標的計算方式略有不同，在山崩判釋的流程是一樣的。藉由多時變遷 RGB 影像，使山崩區域以特定顏色凸顯出來。圖 4-2.2 將災前 RVI 影像設為紅色與災後 RVI 影像設為綠色與藍色作為多時變遷 RGB 影像，紅色系代表可能山崩的區域。許多零散非山崩區域(圖 4-2.3)一樣呈現紅色，代表平常植被的生長變化所造成的 RVI 變化(樹葉的變化、農作物採收等等)。

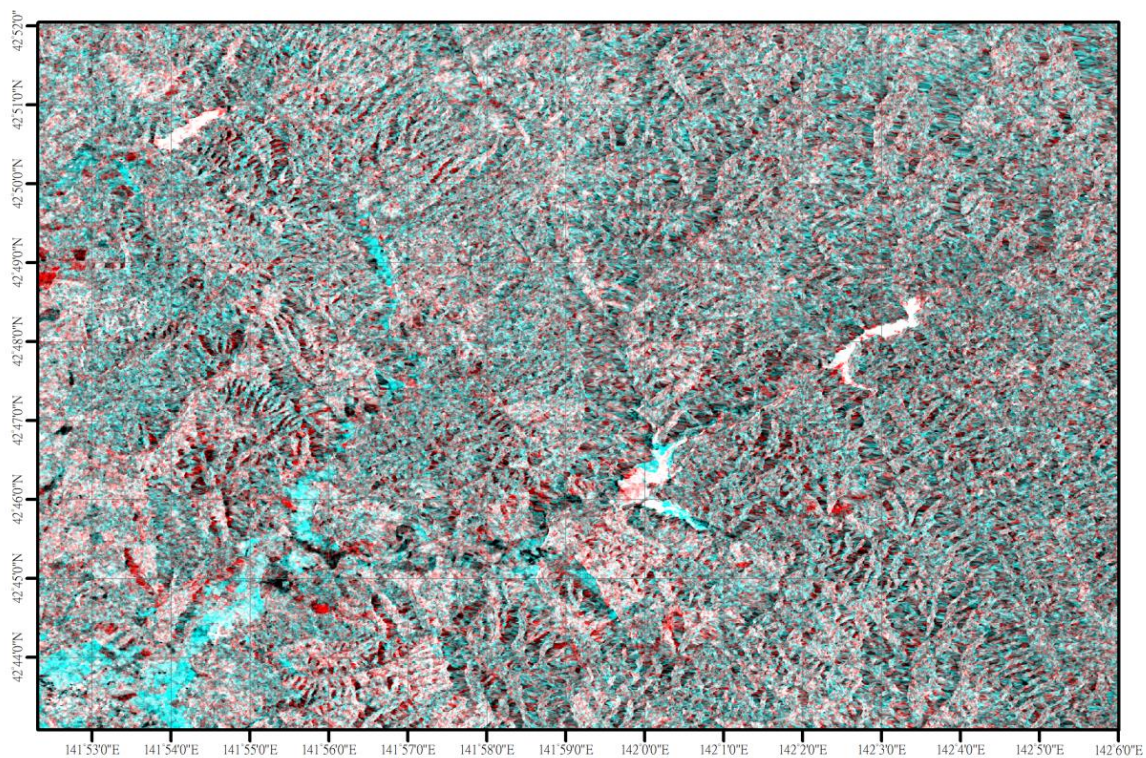


圖 4-2.2 日本北海道厚真町山崩多時變遷雷達影像(紅色：地震前平均 RVI; 綠色與藍色：地震後平均 RVI)。顏色越偏紅色，表示事件前後植被指數 RVI 差異越大，是山崩區域判釋的指標之一。

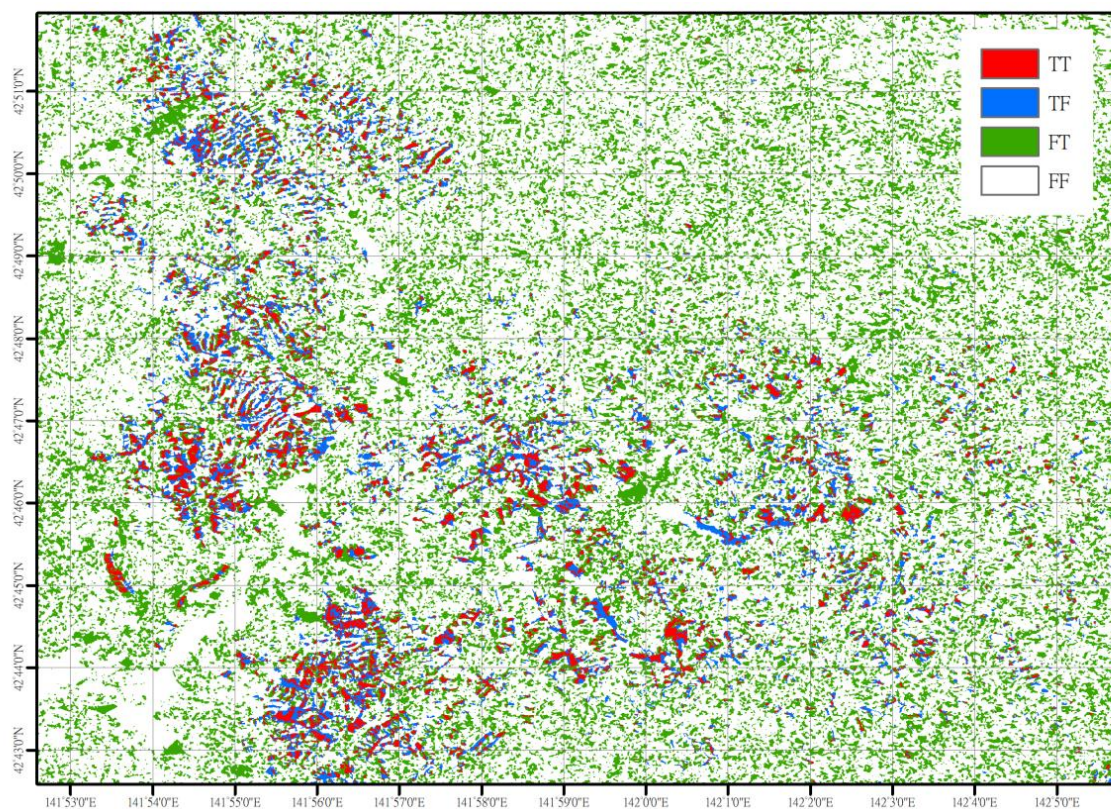


圖 4-2.3 Sentinel-1 影像於日本北海道厚真町山崩初步偵測結果。事件前後 RVI 變化大於 2dB 為判釋山崩區。 TT：實際山崩與辨識有山崩之區域；TF：實際山崩與辨識非山崩之區域；FT：實際非山崩與辨識有山崩之區域；FF 實際非山崩區與辨識非山崩之區域。

山崩偵測的分析結果如圖 4-2.4 與圖 4-2.5 所示，雖然成功辨識的山崩區域面積有大有小，有 90% 面積大於 0.06 平方公里，而無法辨識的山崩面積較小，90% 面積小於 0.012 平方公里，與光學衛星影像所判釋之山崩區比對之精度指標：準確率(Accuracy)= 91.3%，精確率(Precision)= 22.3%，召回率(Recall)= 26.5%，F1-Measure= 24.2% 和 Kappa= 19.7%。非山崩被辨識為山崩的範圍已經大幅減少。兩個案例的山崩偵測結果都顯示，此分析方法提高了辨識準確性，卻使得較小區域的山崩無法被辨識出來。另外，與 Konishi and Suga(2018)研究的結果相比，精確性較小，大約一半左右而已，這可能是由於 Konishi and Suga(2018)研究所採用的 COSMO-SkyMed StripMap 影像解析度高達 1-2 公尺，而本案例採用的 Sentinel-1 IW GRD 影像解析度為 20 公尺的所造成的差異。

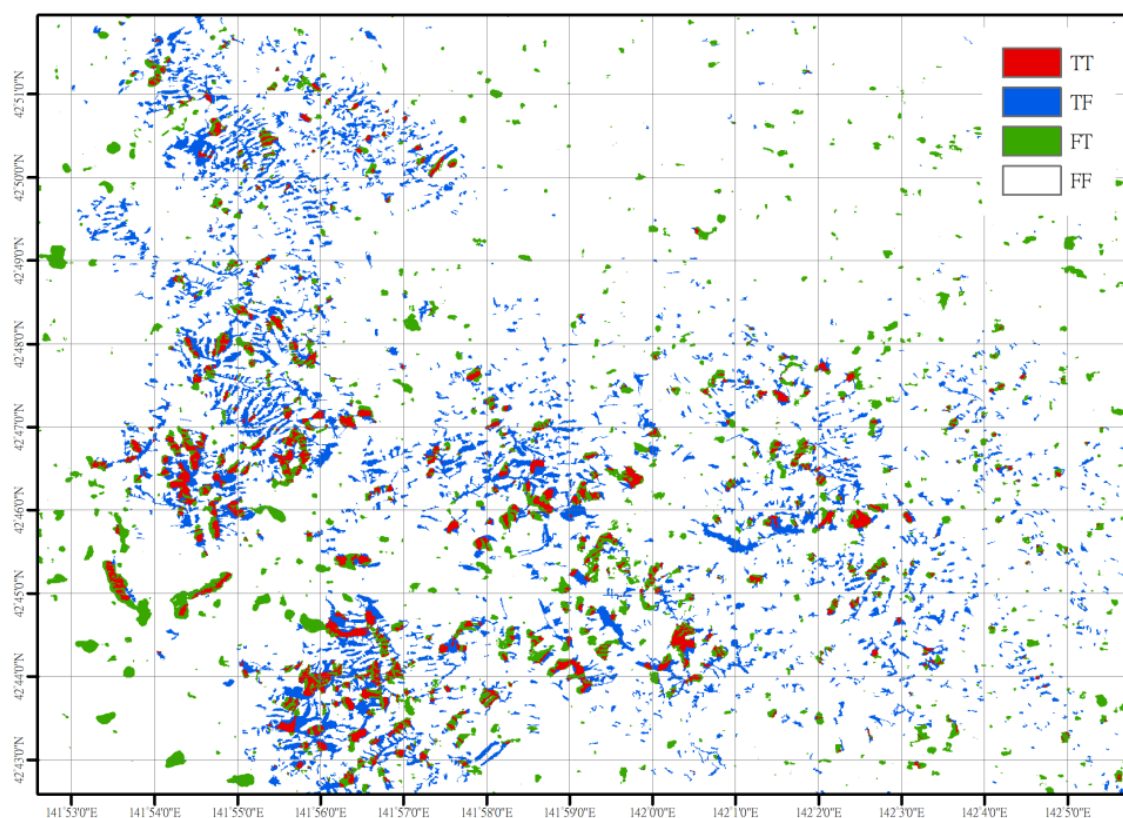


圖 4-2.4 Sentinel-1 影像於日本北海道厚真町山崩偵測結果。TT：實際山崩與辨識有山崩之區域；TF：實際山崩與辨識非山崩之區域；FT：實際非山崩與辨識有山崩之區域；FF 實際非山崩區與辨識非山崩之區域。

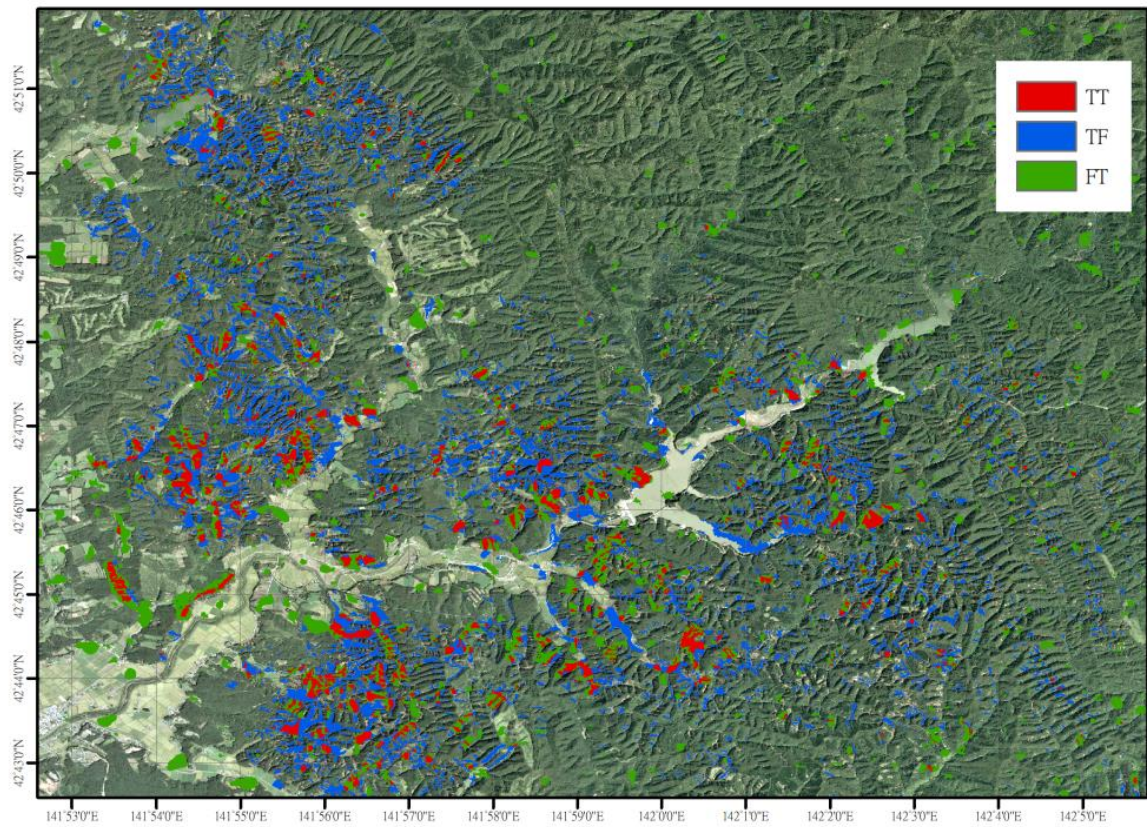


圖 4-2.5 Sentinel-1 影像於日本北海道厚真町山崩偵測結果與鴿子衛星影像。TT：實際山崩與辨識有山崩之區域；TF：實際山崩與辨識非山崩之區域；FT：實際非山崩與辨識有山崩之區域。

三、案例分析：2015 年蘇迪勒颱風臺灣北部山崩

2015 年 8 月 7 日中度颱風蘇迪勒侵襲，根據農航所提供之「蘇迪勒颱風緊急航攝作業及崩塌地判釋成果報」，顯示在調查範圍當中，崩塌總面積增加約 0.2 平方公里，新生崩塌面積都小於 0.06 平方公里，並沒有特別大的山崩發生(圖 4-3.1)。而根據前兩個分析案例，以目前所測試的雷達影像對於山崩偵測的結果，大約 0.1 平方公里以下的山崩，並沒有好的偵測結果。本案例使用影像為 C 波段 Sentinel-1 雷達影像，包括事件前 8/6 與事件後 8/18 之影像(UTC+0)。多時變遷 RGB 影像與分析結果並沒有成功判釋的山崩事件(圖 4-3.2)。

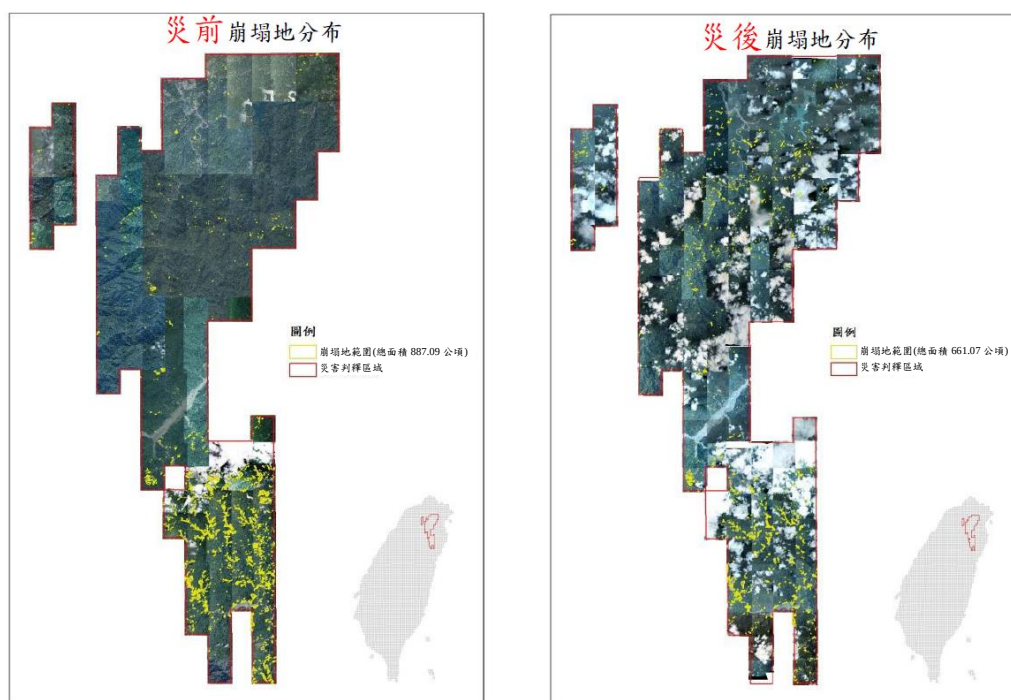


圖 4-3.1 蘇迪勒颱風災前(左)災後(右)崩塌地分布圖(資料來源：農航所)。整體災後崩塌地面積增加 0.2 平方公里，新生崩塌地面積都小於 0.06 平方公里。

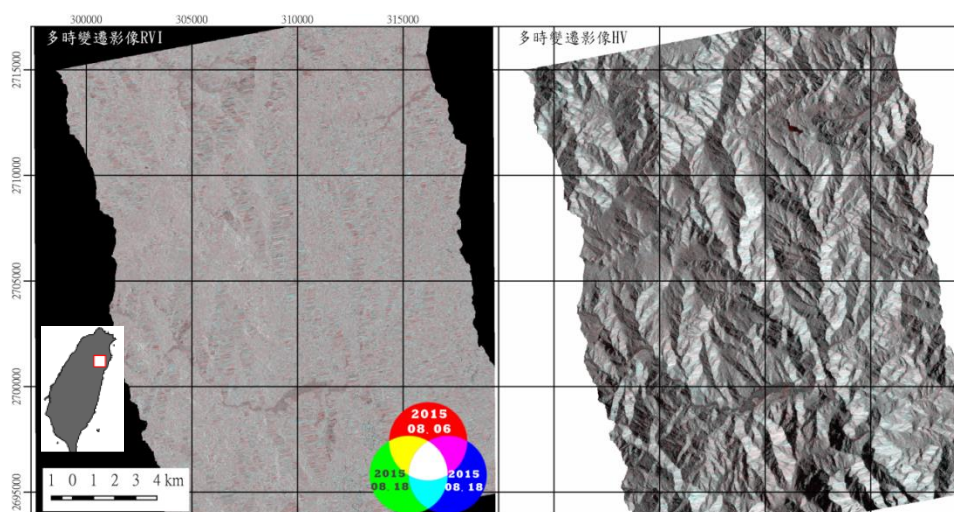


圖 4-3.2 2015 年 8 月蘇迪勒颱風多時變遷雷達 RGB 影像。影像呈現灰階色系，並沒有發現明顯山崩的訊號。

伍、現有雷達衛星影像處理開源軟體之評估與測試

經過實際案例分析與處理，本研究主要使用雷達衛星影像之開源軟體 **SNAP** 進行雷達衛星影像的處理，後續再輔以開源的地理資訊系統：**GRASS-GIS** 與開源的編程語言：**R 語言**，即可進行完整分析，本研究即以 SNAP 為主評估其功能、介面操作及後續維護之可行性，並提出相關建議。

以 SNAP 為例，可主動載入 Sentinel-1 衛星影像，可以利用 Sentinel Toolbox-1 引入其他雷達影像，Sentinel Toolbox-2 引入其他光學影像，另外可搭配第三方軟體直接進行應用測試，如利用 StaMPs 產製 DInSAR 及 PSInSAR 成果，或利用 RUS(Resarch and User Support)所提供的服務，製作洪水區域圖。由於 SNAP 提供 Python 與 Java 的模組，可撰寫腳本執行程式，可以配合特殊需求，開源軟體之評估與測試以 SNAP 為主架構進行探討。

一、SNAP

SNAP 軟體簡介將複雜的開源碼處理流程，透過圖形化介面提供操作使用，總共分成三種不同的工具，分別為 Sentinel-1 工具箱、Sentinel-2 工具箱、Sentinel-3 工具箱。本計畫主要利用其中的 Sentinel-1 工具箱來處理 SAR 影像。

Sentinel-1：處理 ESA SAR 的影像(Sentinel-1; ERS-1 & 2; ENVISAT; ALOS PALSAR; TerraSAR-X; COSMO-SkyMed; RADARSAT-2 的第三方 SAR 數據)，將 SAR 影像進行處理的工具，將影像進行讀取、處理、顯示、分析的應用程式，功能中包含糾正、雜訊濾除、套合、正射處理、數據轉換、極化處理、產製干涉圖，詳細功能種類說明如表 5-1.1。

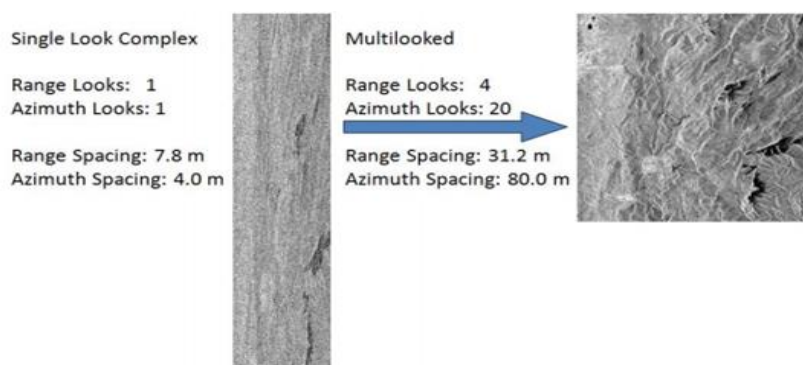


圖 5-1.1 SNAP 多視(Multi-look)處理圖

表 5-1.1 SNAP Sentinel-1 工具箱特性。

支援的雷達影像種類
Sentinel-1, ENVISAT ASAR, ERS-1/2, RADARSAT-2, ALOS, ALOS-2, Cosmo-Skymed, TerraSAR-X/TanDEM-X
功能種類
1. SNAP 內包含所有一般性地球觀測資料處理(裁切、重新取樣、影像計算) 2. 影像校正(SENTINEL-1, ENVISAT ASAR, ERS 1/2, ALOS, RADARSAT-2, TerraSAR-X, COSMO-SkyMed) 3. 多視處理與斑駁雜訊(單時與多時)濾波 4. 精確軌道處理(SENTINEL-1, Doris, Prare and Delft orb.) 5. 複數影像產品的套疊與偵測 6. Sentinel-1 TOPS 影像的干涉、影像條帶(Burst)去除、切片影像(slice)合併 7. 都卜勒地形校正 8. 地形校正期間的輻射標準化 9. SAR 模擬、疊置和陰影遮罩 10. SAR 地形校正模擬 11. 橢球校正、地圖重新投影、鑲嵌 12. 海洋工具：基於 SAR 資料的基本程序：溢油偵測、船舶偵測和風場估計 13. 完全集成 InSAR 處理器(Jlinda)可用於條帶模式和去除成像時的都卜勒效應 14. 四波長和雙波長矩陣轉換，斑點濾波，分解和分類器 15. 與 PolSARpro 工具箱兼容(讀取，輸出)

使用的介面簡單化(如圖 5-1.2)，將所需要功能透過連接圖方法組成處理流程，計算干涉成果。

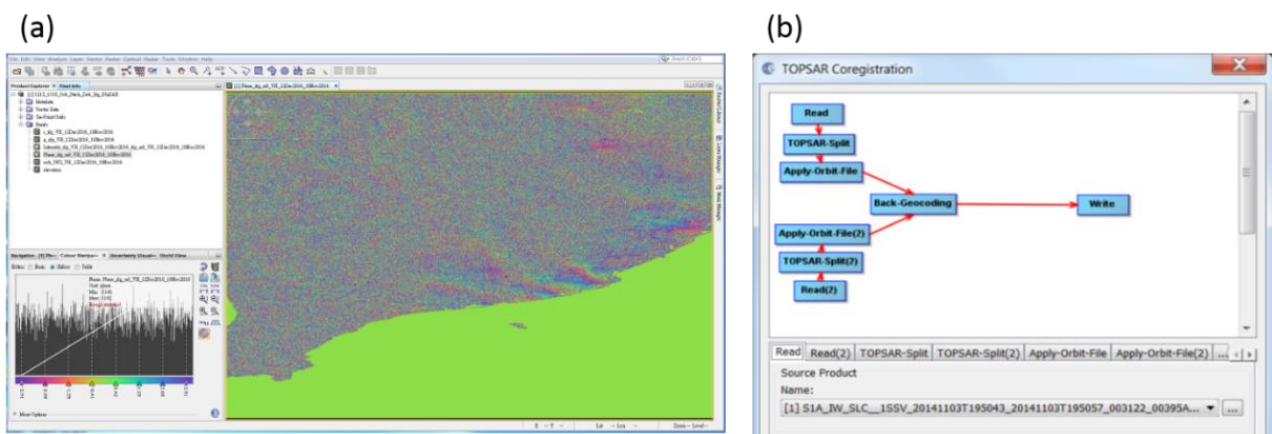


圖 5-1.2 SNAP 軟體 (a)操作畫面。(b)執行處理功能連結圖。

Sentinel-2：處理高解析度光學影像(Sentinel-2 MSI、RapidEye、SPOT、MODIS(Aqua 和 Terra)、Landsat(TM))，功能具有大氣糾正、輻射處理、計算輻射指數如：DVI，RVI，PVI，IPVI，WDVI，TNDVI，GNDVI，GEMI，ARVI，NDI45，MTCI，MCARI，REIP，S2REP，IRECI，PSSRa(如圖 5-1.3)、土壤指數如：SAVI，TSAVI，MSAVI，MSAVI2，BI，BI2，RI，CI、水指數如：NDWI，NDWI2，MNDWI，NDPI，NDTI、提供影像分類、多變數轉化偵測法。

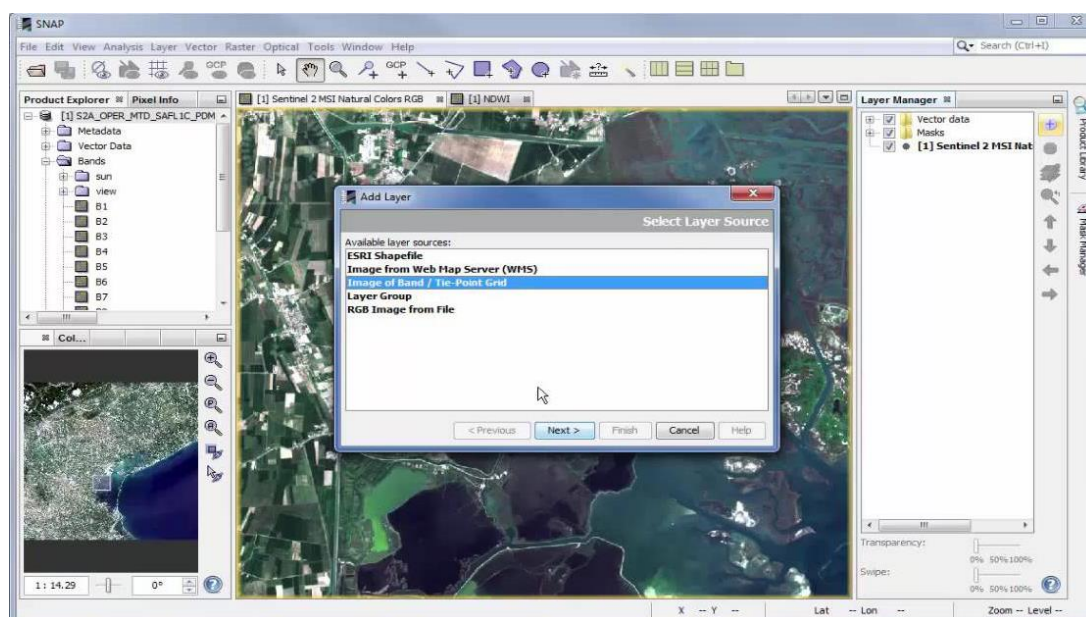


圖 5-1.3 SNAP 軟體計算輻射指數圖

Sentinel-3：處理中等解析度光學影像(Sentinel-3 OLCI/SLSTR; ENVISAT MERIS/AATSR; Landsat 4–8; CHRIS/Proba; Spot VGT; MODIS, SeaWiFS, VIIRS; ALOS, AVHRR)，功能具有可視化快速載入影像，並且可同時多幅影像呈現(如圖 5-1.4)，並具有分析的功能(像素分析、影像直方圖、光譜值、散布圖法)，以及處理的功能(群集分析、光譜融合、影像糾正、影像鑲嵌)(如圖 5-1.5)。為提供更多的處理方案可結合 Python、Java 開發的套件，擴充原本功能的使用性，如搭配其他軟體(如 R 語言、GRASS-GIS 等)可以處理洪氾區域判釋(如圖 5-1.6)。

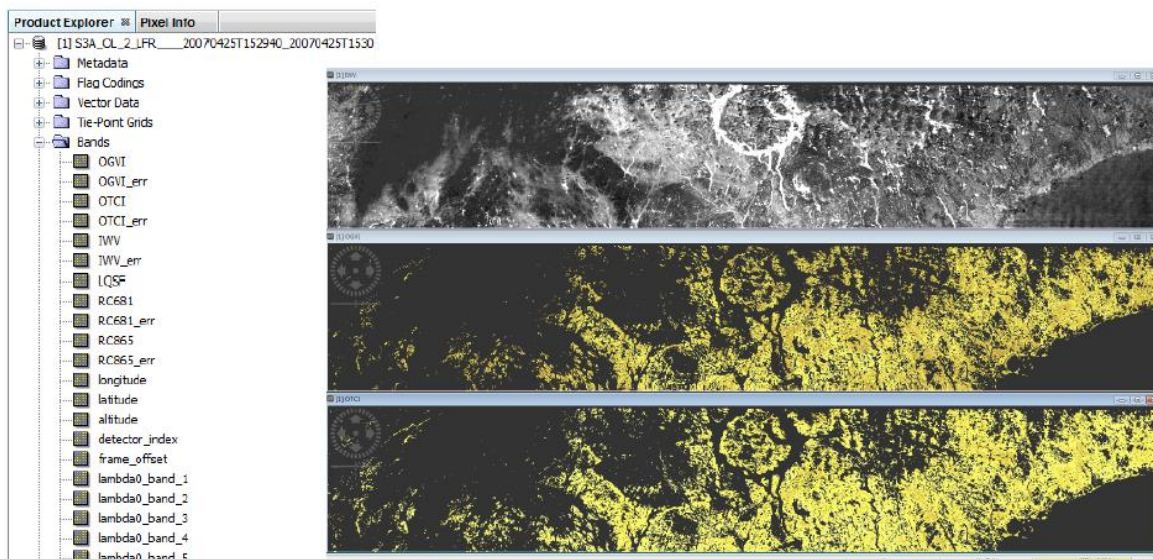


圖 5-1.4 SNAP 軟體多波段展示圖

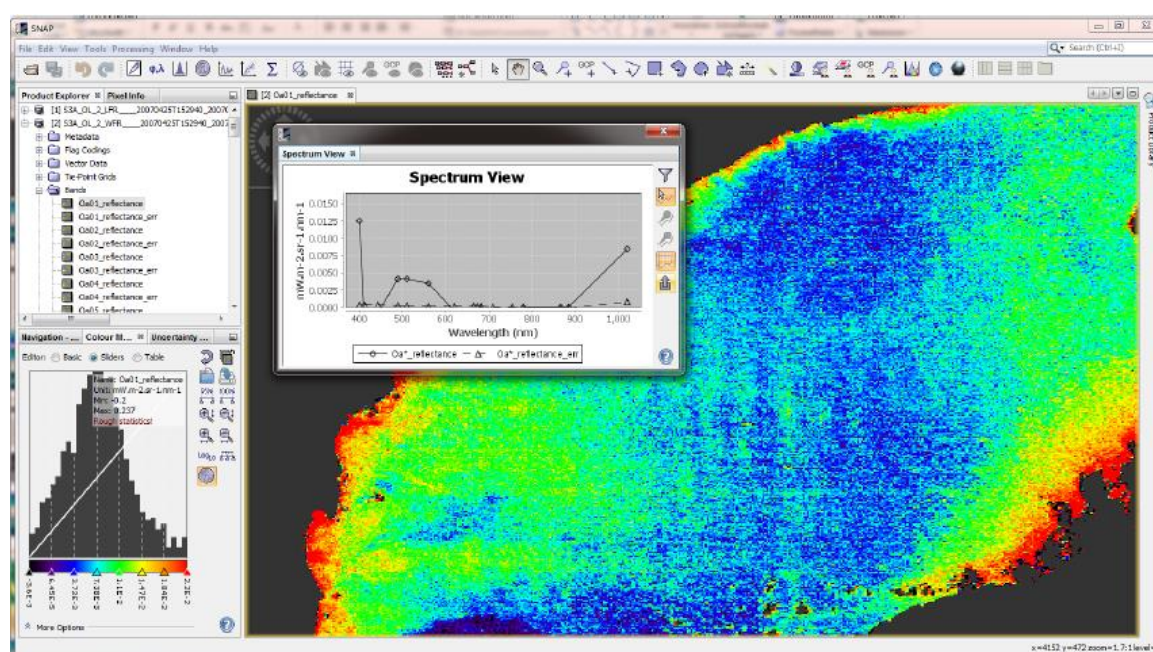


圖 5-1.5 SNAP 軟體光譜調整示意圖

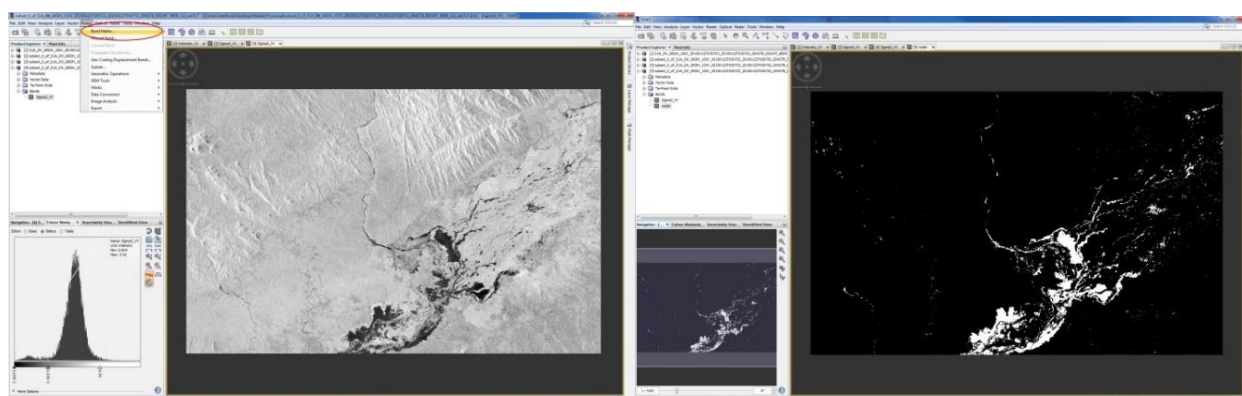


圖 5-1.6 Sentinel-1 雷達衛星影像經由 SNAP 製作洪泛區域判定之範例(資料來源：ESA)

二、R 語言

R 語言是 Ross Ihaka 和 Robert Gentleman 於 1995 年開發的，作為貝爾實驗室 S 編程語言的一種實現，可將它視為資料處理及統計的軟體。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編程語言(圖 5-2.1)。也因為官方網站 CRAN 已經整理與蒐集龐大的數據分析與統計套件(Package)，R 語言從研究人員、數據科學家、統計學家和數量分析專家那裡得到更多的支持。由於 R 語言對於雷達影像的後續處理與檔案 IO 之程式碼較 Python 簡潔，並且可以實踐影像的聚焦統計處理(Raster Focal Statistics)，因此本研究選擇 R 語言來作為後續處理的軟體之一。

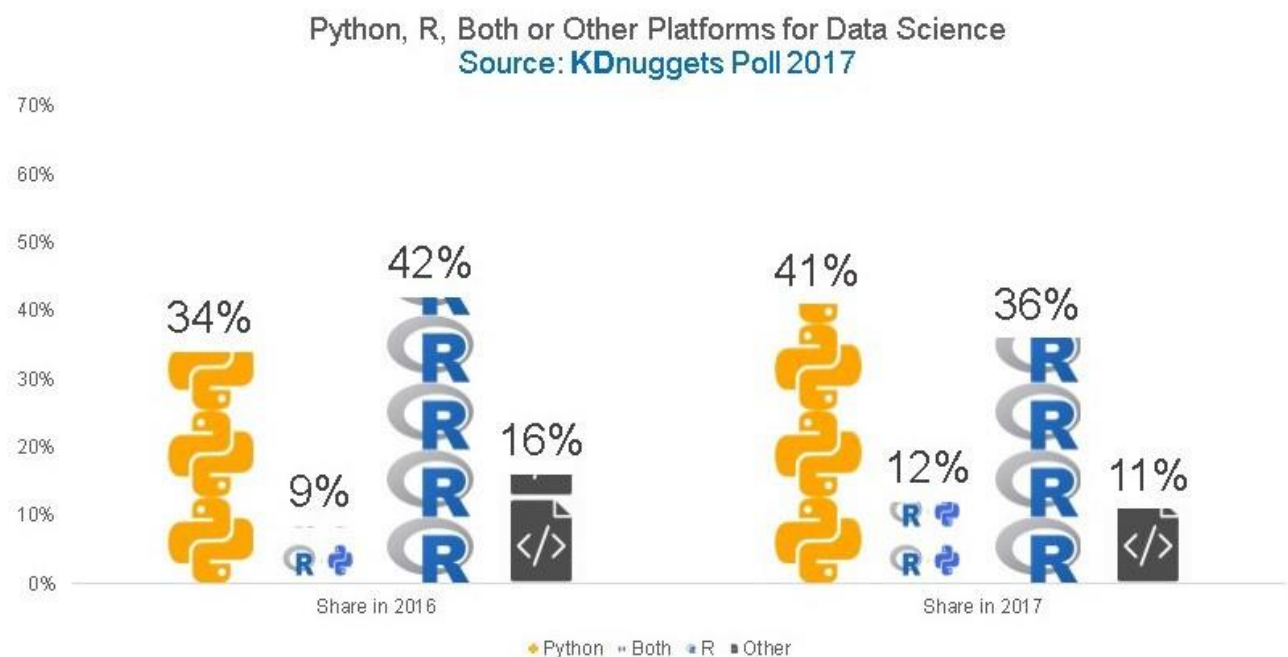


圖 5-2.1 R 與 Python 在資料科學的使用比例(資料來源：<https://dzone.com/articles/r-or-python-data-scientists-delight>)

R 語言的安裝相當簡單，只要安裝 R 語言本身，再加上安裝整合開發環境 RStudio，進入 RStudio 環境中，即可使用。實際操作範例可參考附錄三。

R 語言：<https://cran.r-project.org/bin/windows/base/>

RStudio：<https://www.rstudio.com/products/rstudio/download/>

RStudio 介面主要的四個區塊與功能簡介(圖 5-2.2)：

- 來源(Source)：位於左上角，編寫程式的區塊
- 命令列(Console)：位於左下角，執行程式的區塊
- 環境與歷史：位於右上角
 - 環境(Environment)：目前的變數清單
 - 歷史(History)：在命令列執行過哪些指令
- 檔案、圖形、套件、查詢與預覽器：位於右下角
 - 檔案(Files)：使用者的工作目錄
 - 圖形(Plots)：顯示圖表
 - 套件(Packages)：安裝套件的清單
 - 查詢(Help)：顯示查詢文件
 - 預覽器(Viewer)：顯示網頁

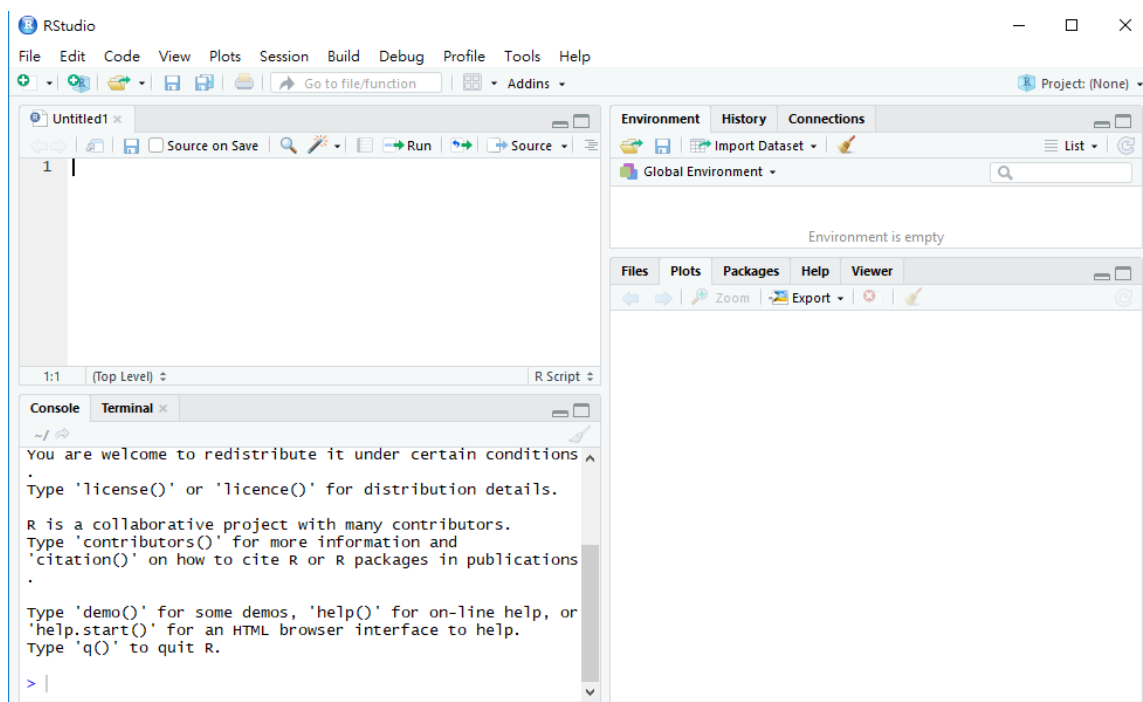


圖 5-2.2 R-Studio 操作介面

三、GRASS-GIS

GRASS GIS (Geographic Resources Analysis Support System，地理資源分析支援系統) 是一個免費、開放原始碼的地理資訊系統(GIS)，可用於處理柵格、拓撲向量、影像和圖表資料(參考自：維基百科)，其強項在於空間分析。與一般認知的 ArcGIS 或 QGIS 有些差異，一開始執行 GRASS 並須設定工作環境的狀態，這個狀態包括一些參數如地理位置、地圖投影系統、使用者等，所有的 GRASS 模組被執行時，會讀取這個狀態。並且 GRASS 可以將要進行的工作預寫成批次檔，在 GRASS 開啟後的命令提式的環境中執行。本研究藉由 GRASS 實踐 HAND(Height Above Nearest Drainage)的計算。實際操作範例可參考附錄一。



圖 5-3.1 GRASS 開啟畫面。需要輸入自訂資料庫資料夾、地點、地圖集等參數。

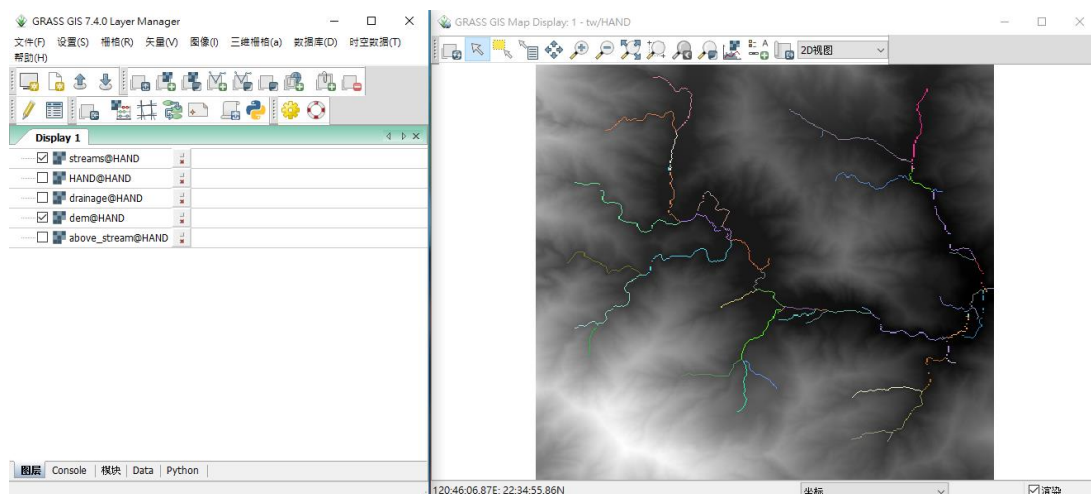


圖 5-3.2 GRASS GUI 介面。左圖為資料，右圖為圖形顯示。

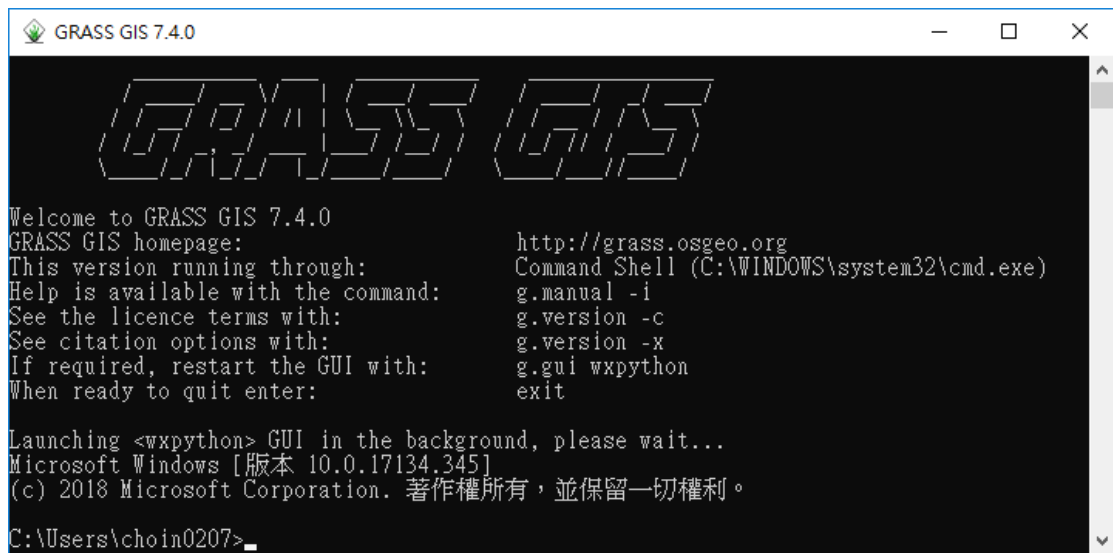


圖 5-3.3 GRASS shell 介面

陸、結論

本計畫已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 Layover 及 Shadow 區域，會有相當範圍無法進行分析。當崩塌地視為植被到裸地的變化情況，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數 RVI 作為指標，進行變遷分析。

颱風豪雨後之洪水溢淹、堰塞湖與崩塌地，進行判釋之可行性與方法的研究中，可藉由計算背向散射值的差異作為洪水溢淹或堰塞湖範圍判斷，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。

崩塌地辨識可由以下三種方式分析，(1)事件前後的全極化雷達影像所計算的植被指數(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。本研究以背向散射係數差異的偵測之結果顯示精度指標 F1-Measure= 24%~ 32% 或 Kappa= 20%~ 27%。可以判釋成功的山崩當中，有 90%面積大於 0.06 平方公里，

而沒有判釋成功的山崩有 90%面積小於 0.016 平方公里。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。

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，可利用 R 語言與 GRASS GIS 進行處理。

本年度針對雷達衛星影像於颱風豪雨後的災害偵測之研究與試作，目前的成果顯示在颱風豪雨期間，雷達衛星影像可提供一定程度的災害偵測能力，但仍有相當的改良空間，需要進一步的分析與測試。未來嘗試以多期雷達影像進行分析，可以降低林地植被生長所造成的干擾雜訊，也有機會得到林地變遷在雷達影像上的特徵。在進行更多案例分析的同時，修正目前已經建立分析判讀準則與處理 SOP，進一步改進 SOP 與自動化，建立以開源軟體為主的雷達影像林地災害偵測流程，提升判釋精度與降低處理時間。

參考文獻

- ASI. (2009). COSMO-SkyMed SAR Products Handbook. Roma, Italy.
- Bartsch, A., Trofai, A. M., Hayman, G., Sabel, D., chlaffer, S., Clark, D. B., Blyth, E. (2012). Detection of Open Water Dynamics with ENVISAT ASAR in Support of Land Surface Modelling at High Latitudes. *Biogeosciences*, 9(2), 703-714, <https://doi.org/10.5194/bg-9-703-2012>.
- Bazi, Y., Bruzzone, L., Melgani, F. (2007). Image Thresholding Based on the EM Algorithm and the Generalized Gaussian Distribution. *Pattern Recognit.*, 40(2), 619-634, <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2006.05.006>.
- Bekaert, D. P. S., Hooper, A., Wright, T. J. (2015a). A Spatially Variable Power Law Tropospheric Correction Technique for Insar Data. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 120(2), 1345-1356, [doi: 10.1002/2014JB011558](https://doi.org/10.1002/2014JB011558).
- Bekaert, D. P. S., Walters, R. J., Wright, T. J., Hooper, A. J., Parker, D. J. (2015b). Statistical Comparison of InSAR Tropospheric Correction Techniques. *Remote Sens. Environ.*, 170, 40-47, [doi: 10.1016/j.rse.2015.08.035](https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.08.035).
- Benaglia, T., Chauveau, D., Hunter, D., Young, D. (2009). Mixtools : An R Package for Analyzing Finite Mixture Models. *J. Stat. Softw.*, 32(6), 1-29.
- Bioresita, F., Puissant, A., Stumpf, A., Malet, J. P. (2018). A Method for Automatic and Rapid Mapping of Water Surfaces from Sentinel-1 Imagery. *Remote Sens.*, 10(2), 217, [doi: 10.3390/rs10020217](https://doi.org/10.3390/rs10020217).
- Boerner, W., Dhantravan, Y., Mott, H. Miller, V., Cloude, S., Papathanassiou, K., Treuhaft, R., Kim, Y., Imel, D., O'Leary, E., VanZyl, J., Schmullius, C., Gabriel, J., Moreira, A., Reigber, K., Darizhapov, D., Suchkov, V., Tatkov, G., Bulgakov, S., Tsybjitov, T. (1998). Air/Space-Borne Repeat-Pass Pol-D-In-SAR Image Overlay Interferometry & Its Application to Geo-Ecologic Stress-Change Monitoring within the Selenga Delta, Kudara Polygon, SE Baikal, Buriatia Using SIR-C/X-SAR Mission 2, NASA-JPL 8 AIRSAR W'shp., 98-01-15/16, Pasadena, CA, pp. 1-11.
- Bovolo, F., Bruzzone, L. (2007). A Split-Based Approach to Unsupervised Change Detection in Large-Size Multitemporal Images : Application to Tsunami-Damage Assessment. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 45(6), 1658-1670, [doi: 10.1109/TGRS.2007.895835](https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.895835).
- Buckreuss, S., Werninghaus, R., & Pitz, W. (2009). The German satellite mission terraSAR-X. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 24(11), [DOI: 10.1109/RADAR.2008.4720788](https://doi.org/10.1109/RADAR.2008.4720788).
- Chapman, B., McDonald, K., Shimada, M., Rosenqvist, A., Schroeder, R., Hess, L. (2015). Mapping Regional Inundation with Spaceborne L-Band SAR. *Remote Sens.*, 7, 5440-5470, [doi: 10.3390/rs70505440](https://doi.org/10.3390/rs70505440).
- De Roo, A., Van Der Knijff, J., Horritt, M., Schmuck, G., De Jong, S. (1999, August). Assessing Flood Damages of the 1997 Oder Flood and the 1995 Meuse Flood. In *Proceedings of the 2nd Int. ITC Symp. on Operationalization of Remote Sens.*, Enschede. The Netherlands (pp. 16-20).
- DeLong, S.B., Donnellan, A., Ponti, D.J., Rubin, R.S., Lienkaemper, J.J., Prentice, C.S., Dawson, T.E., Seitz, G., Schwartz, D.P., Hudnut, K.W. (2016). Tearing the Terroir : Details and Implications of Surface Rupture and Deformation from the 24 August 2014 M6.0 South Napa Earthquake, California. *Earth Space Sci.*, 3(10), 416-430, <https://doi.org/10.1002/2016EA>

000176.

- DLR. (2007). TerraSAR-X Ground Segment Level 1b Product Format Specification. TX-GS-DD-3307.
- Doin, M. P., Lasserre, C., Peltzer, G., Cavalié, O., Doubre, C. (2009). Corrections of Stratified Tropospheric Delays in SAR Interferometry : Validation with Global Atmospheric Models. *J. Appl. Geophys.*, 69(1), 35-50, [doi : 10.1016/j.jappgeo.2009.03.010](https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2009.03.010).
- Donnellan, A., Arrowsmith, R., DeLong, S. (2017). Spatio-Temporal Mapping of Plate Boundary Faults in California Using Geodetic Imaging. *Geosciences*, 7(1), 15, [doi : 10.3390/geosciences7010015](https://doi.org/10.3390/geosciences7010015).
- ESA. (2006). Product Specification for ERS Products within ENVISAT Format. Technical Report PX-SP-50-9105.
- ESA. (2012). ENVISAT payload data segment, Volume 8 ASAR Product Specifications . Technical Report PO-RS-MDA-GS-2009.
- ESA. (2013). ALOS-PALSAR IPF SAR Products, CEOS format specifications. PLSR-CEOS-v3.2.
- ESA. (2014). JERS/SEASAT SAR Products, CEOS format specifications. JSIPF-CEOS-SPEC.
- ESA. (2015). ENVISAT-1 products specifications, product data conventions. Technical Report IDEAS+-SER-IPF-SPE-2337.
- Evans, T. L., Costa, M., Telmer, K., Silva, T. S. (2010). Using ALOS/PALSAR and RADARSAT-2 to Map Land Cover and Seasonal Inundation in the Brazilian Pantanal. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, 3(4), 560-575, [doi : 10.1109/JSTARS.2010.2089042](https://doi.org/10.1109/JSTARS.2010.2089042).
- Fore, A. G., Chapman, B. D., Hawkins, B. P., Hensley, S., Jones, C. E., Michel, T. R., Muellerschoen, R. J. (2015). UAVSAR Polarimetric Calibration. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 53(6), 3481-3491, [doi : 10.1109/TGRS.2014.2377637](https://doi.org/10.1109/TGRS.2014.2377637).
- Foumelis, M. (2015, 14 September). ESA Sentinel-1 Toolbox Generation of SAR Backscattering Mosaics, Course Materials. In Proceedings of the 6th ESA Adv. Trng. Crse. on Land Remote Sens., Bucharest, Romania.
- Giustarini, L., Hostache, R., Kavetski, D., Chini, M., Corato, G., Schlaffer, S., Matgen, P. (2016). Probabilistic Flood Mapping Using Synthetic Aperture Radar Data. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 54(12), 6958-6969, [doi : 10.1109/TGRS.2016.2592951](https://doi.org/10.1109/TGRS.2016.2592951).
- Hanssen, R. F. (2001). Radar Interferometry : Data Interpretation and Error Analysis (Vol. 2). Springer Science & Business Media.
- Henry, J. B., Chastanet, P., Fellah, K., Desnos, Y. L. (2006). Envisat Multi-Polarized ASAR Data for Flood Mapping. *Int. J. Remote Sens.*, 27(10), 1921-1929, [https : //doi.org/10.1080/01431160500486724](https://doi.org/10.1080/01431160500486724).
- Hensley, S., Jones, C., Lou, Y. (2012, July). Prospects for Operational Use of Airborne Polarimetric SAR for Disaster Response and Management. In Proceedings of Int. Geosci. Remote Sens. Symp. (IGARSS), 2012 IEEE International, Munich, Germany, (pp. 103-106). IEEE, [doi : 10.1109/IGARSS.2012.6351626](https://doi.org/10.1109/IGARSS.2012.6351626).
- Hensley, S., Zebker H. A., Jones, C. E., Michel, T., Muellerschoen, R., Chapman, B. (2009, October). First Deformation Results Using the NASA/JPL UAVSAR Instrument. In Proceedings of the 2nd Asian-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar. *Inst. Electr. Electron Eng., Piscataway, N. J.*, pp. 1051–1055, [doi : 10.1109/APSAR.2009.5374246](https://doi.org/10.1109/APSAR.2009.5374246).
- Janoth, J., Gantert, S., Koppe, W., Kaptein, A., & Fischer, C. (2012, July). TerraSAR-X2-mission overview. In Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012 IEEE International

(pp. 217-220). IEEE., DOI : [10.1109/IGARSS.2012.6351599](https://doi.org/10.1109/IGARSS.2012.6351599)

JAXA. (2014). ALOS-2/PALSAR-2 Level 1.1/1.5/2.1/3.1 GeoTIFF Product Format Description.

Jones, C. E., Blom, R. (2015). Pre-Event and Post-Formation Ground Movement Associated with the Bayou Corne sinkhole. In proceedings of 14th Sink. Conf. NCKRI Symp. 5, pp. 415–422.

Kao, J. R., Wang C. T., and Chen K. S. (2010) Landslide Mapping Using Dual-Polarization SAR Imagery : A case study of Xiaulin Village, 2010 Remote Sensing Symposium across Taiwan Strait, National Central University, Taoyuan,Taiwan..

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, [https :
//doi.org/10.1080/22797254.2017.1418185](https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1418185).

Lee, J. S., Pottier, E. (2009). Polarimetric Radar Imaging : from Basics to Applications. CRC press, Boca Raton, FL, USA, 398 pp.

Lou, Y. (2002, June). Review of the NASA/JPL Airborne Synthetic Aperture Radar System. In proceedings of Geosci. Remote Sens. Symp., 2002, Toronto, Canada. IGARSS'02. 2002 IEEE International ,Vol. 3, pp. 1702-1704, IEEE.

Martinis, S. (2010). Automatic Near Real-Time Flood Detection in High Resolution X-Band Synthetic Aperture Radar Satellite Data Using Context-Based Classification on Irregular Graphs, Ph.D. Thesis, LMU Munich, München, Germany, [urn : nbn : de : bvb : 19-123731](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bvb:19-123731).

Martinis, S., Twele, A., & Voigt, S. (2009). Towards operational near real-time flood detection using a split-based automatic thresholding procedure on high resolution TerraSAR-X data. Natural Hazards and Earth System Sciences, 9(2), 303-314, [doi : 10.5194/hess-14-1773-2010](https://doi.org/10.5194/hess-14-1773-2010).

Martinis, S., Twele, A., Voigt, S. (2011). Unsupervised Extraction of Flood-Induced Backscatter Changes in SAR Data Using Markov Image Modeling on Irregular Graphs. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 49(1), 251-263, [doi : 10.1109/TGRS.2010.2052816](https://doi.org/10.1109/TGRS.2010.2052816).

Matgen, P., Montanari, M., Hostache, R., Pfister, L., Hoffmann, L., Plaza, D., Pauwels, VRN., De lannoy, GJM., De Keyser, R., Savenije, H. H. (2010). Towards the Sequential Assimilation of SAR-Derived Water Stages into Hydraulic Models Using the Particle Filter : Proof of Concept. Hydrol. Earth Syst. Sci., 14(9), 1773-1785, [doi : 10.5194/hess-14-1773-2010](https://doi.org/10.5194/hess-14-1773-2010).

Muster, S., Heim, B., Abnizova, A., Boike, J. (2013). Water Body Distributions Across Scales : A Remote Sensing Based Comparison of Three Arctic Tundra Wetlands. Remote Sens., 5(4), 1498-1523, [doi : 10.3390/rs5041498](https://doi.org/10.3390/rs5041498).

Novresianti, D. A., Nagasawa, R. (2017). Polarimetric Synthetic Aperture Radar Application For Tropical Peatlands Classification : A Case Study in Siak River Transect, Riau Province, Indonesia. J. Appl. Remote Sens., 11(1), 016040, [https :
//doi.org/10.1117/1.JRS.11.016040](https://doi.org/10.1117/1.JRS.11.016040).

Parker, J., Glasscoe, M., Donnellan, A., Stough, T., Pierce, M., Wang, J. (2017). Radar Determination of Fault Slip and Location in Partially Decorrelated Images. Pure Appl. Geophys., 174 : 2295, [doi : 10.1007/s00024-016-1403-z](https://doi.org/10.1007/s00024-016-1403-z).

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](https://doi.org/10.3390/rs6064870).

Plank, S., Twele, A., Martinis, S. (2016). Landslide Mapping in Vegetated Areas Using Change Detection Based on Optical and Polarimetric Sar Data. Remote Sens., 8(4), 307, [https :
//doi.org/10.3390/rs8040307](https://doi.org/10.3390/rs8040307).

Pulvirenti, L., Chini, M., Marzano, F.S., Pierdicca, N., Mori, S., Guerriero, L., Boni, G., Candela, L.

- (2012). Detection of floods and heavy rain using Cosmo-SkyMed data : The event in Northwestern Italy of November 2011. In Proceedings of the IEEE Int. Geosci. Remote Sens. Symp., Munich, Germany, pp. 3026–3029, [doi : 10.1109/IGARSS.2012.6350788](https://doi.org/10.1109/IGARSS.2012.6350788).
- RSI. (2004). RADARSAT Data Products Specifications. RSI-GS-026, Revision 3/0, August 19, 2004.
- RSI. (2016a). RADARSAT-2 Product description. RN-SP-52-1238, Revision 1/13, March 21, 2016.
- RSI. (2016b). RADARSAT-2 Product format definition. RN-RP-51-2713, Revision 1/15, OCT. 26, 2016.
- Sanyal, J., Lu, X. X. (2004). Application of Remote Sensing in Flood Management with Special Reference to Monsoon Asia : A Review. *Natural Hazards*, 33(2), 283-301.
- Scheuchl, B., Koudogbo, F., Petrat, L., von Poncet, F., González, A. (2009, April). TerraSAR-X : Applications for Spaceborne High Resolution SAR Data. In the Proceedings of Anais XIV Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil (pp. 25-30).
- Schindler, K. (2012). An Overview and Comparison of Smooth Labeling Methods for Land-Cover Classification. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 50(11), 4534-4545, [doi : 10.1109/TGRS.2012.2192741](https://doi.org/10.1109/TGRS.2012.2192741).
- Simon, R. N., Tormos, T., Danis, P. A. (2014). Geographic Object Based Image Analysis Using Very High Spatial and Temporal Resolution Radar and Optical Imagery in Tracking Water Level Fluctuations in A Freshwater Reservoir. *South-East. Euro. J. Earth Obs. Geomat.*, 3(2S), p-287, hal-01058519.
- Stewart, C. (2016, 5 September) Exercise Sentinel-1 Processing, Course Materials. In Proceedings of the 8th ESA Trng. Crse. Radar Optical Remote Sens., Cesis, Latvia.
- Suga, Y., Konishi, T. (2012, November). Landslide Detection Using Very High-Resolution Satellite Imageries. In *Land Surface Remote Sensing* (Vol. 8524, p. 852428). In Proceedings of the 8th SPIE Asia-Pacific remote sens., Land Surface Remote Sens. (852428–852428-6). Kyoto, Japan., [doi : 10.1117/12.976033](https://doi.org/10.1117/12.976033).
- Twele, A., Cao, W., Plank, S., Martinis, S. (2016). Sentinel-1-Based Flood Mapping : A Fully Automated Processing Chain. *Int. J. Remote Sens.*, 37(13), 2990-3004, [https : //doi.org/10.1080/ 01431161.2016.1192304](https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1192304).
- Wang, J., Pierce, M., Ma, Y., Fox, G., Donnellan, A., Parker, J., Glasscoe, M. (2012). Using Service-Based GIS to Support Earthquake Research and Disaster Response. *Computing in Science & Engineering*, 14(5), 21-30, [https : //doi.org/10.1109/MCSE.2012.61](https://doi.org/10.1109/MCSE.2012.61).
- Wei, S., Avouac, J. P., Hudnut, K. W., Donnellan, A., Parker, J. W., Graves, R. W., Helmberger, D., Fielding, E., Liu, Z., Cappa, F., Eneva, M. (2015). The 2012 Brawley swarm triggered by injection-induced aseismic slip. *Earth Planet Sc Lett*, 422, 115-125, [https : //doi.org/10.1016 /j.epsl.2015.03.054](https://doi.org/10.1016/j.epsl.2015.03.054).
- 全天候遙測資訊平台，([https : //awrsip.csr.sr.ncu.edu.tw/index.aspx](https://awrsip.csr.sr.ncu.edu.tw/index.aspx))。
- 陳昆廷、臧運忠、郭玉樹、呂明鴻、謝正倫(2010)，莫拉克颱風引致堰塞湖之案例分析，*中活防災學刊*，第2卷，第1期，第43-50頁。
- 陳樹群、許中立(2009)，莫拉克颱風形成之堰塞湖及危險度評估，*地工技術*，第122期，77-86頁。
- 陳錕山(2010)，雷達影像觀測技術於坡地災害之應用，*行政院農業委員會委託研究計劃成果報告書*。

張子瑩、葉家承、蘇文瑞(2012)，雷達影像應用於緊急災害規模評估之初探，國家災害防救科技中心，災害防救電子報，第 88 期。

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。

CCRS：[http：//www.nrcan.gc.ca/node/9335](http://www.nrcan.gc.ca/node/9335)

CSA_Satellites_RADARSAT-1：[http：//www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat1/default.asp](http://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat1/default.asp)

CSA_Satellites_RADARSAT-2：[http：//asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat2/default.asp](http://asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat2/default.asp)

CSA_Satellites_RADARSAT-3：[http：//www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat/what-is-rcm.asp](http://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat/what-is-rcm.asp)

DCRS：[http：//www.space.dtu.dk/English/Research/Research_divisions/Microwaves_and_Remote_Sensing/Sensors/emisar.aspx](http://www.space.dtu.dk/English/Research/Research_divisions/Microwaves_and_Remote_Sensing/Sensors/emisar.aspx)

DLR：[http：//www.dlr.de/hr/en/desktopdefault.aspx/tabid-2326/3776_read-5679](http://www.dlr.de/hr/en/desktopdefault.aspx/tabid-2326/3776_read-5679)

ESA_EO_Missions_ERS：[https：//earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/ers](https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/ers)

ESA_EO_Missions_Envisat：[https：//earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/envisat](https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/envisat)

ESA_User_GUIDES_Sentinel-1：[https：//sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar](https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar)

eoPortalDirectory_Satellite_Missions_ALOS2：[https：//directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/a/alos-2](https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/a/alos-2)

eoPortalDirectory_Satellite_Missions_COSMO-SkyMed：[https：//directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cosmo-skymed#mission-status](https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cosmo-skymed#mission-status)

eoPortalDirectory_Satellite_Missions_COSMO-SkyMed2：[https：//directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cosmo-skymed-second-generation#launch](https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/cosmo-skymed-second-generation#launch)

eoPortalDirectory_Satellite_Missions_JERS-1：[https：//earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/j/jers-1](https://earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/j/jers-1)

eoPortalDirectory_Satellite_Missions_RADARSAT-1：[https：//directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/r/radarsat-1](https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/r/radarsat-1)

eoPortalDirectory_Satellite_Missions_RADARSAT-2：[https：//directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/r/radarsat-2](https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/r/radarsat-2)

eoPortalDirectory_Satellite_Missions_RADARSAT-3：[https：//directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/r/rcm](https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/r/rcm)

eoPortalDirectory_Satellite_Missions_TSX：[https：//directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/t/terrasar-x#mission-status](https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/t/terrasar-x#mission-status)

NASA_JPL：[https：//airsar.jpl.nasa.gov/](https://airsar.jpl.nasa.gov/)

ImSAR：<https://www.imsar.com/>

JAXA：[http：//www.eorc.jaxa.jp/ALOS/Pi-SAR/](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/Pi-SAR/)

JAXA_ALOS：[http：//www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/palsar.htm](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/palsar.htm)

JAXA_ALOS2：[http：//www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/en/about/palsar2.htm](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/en/about/palsar2.htm)

委員審查意見

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)王委員成機	
1. 各類雷達衛星影像應用於堰塞湖、洪水溢淹分析之功能評估中，該二類災害偵測係使用L-band較優於C-band、X-band，而極化影像是以HH為最優之，是否有實驗分析或國外文獻來佐證？還是僅以雷達影像的特性來做出這樣的結論。應於期中報告加以敘述。	感謝委員意見，功能評估是參考文獻的研究結果，已詳述於報告「第貳章第三節」當中。
2. 崩塌地分析之功能評估與堰塞湖、洪水溢淹分析之功能評估，這兩種不同需求所使用雷達衛星影像是有何區別，應於期中報告說明。	感謝委員意見，兩者主要區別如下：(1)崩塌地分析：需要平行與交叉極化影像計算雷達植被指數，再分析其差異。(2)堰塞湖、洪水溢淹分析：只需要單極化影像，並計算背向散射係數，即可分析。
3. 本案利用SNAP、StaMPS等二套軟體進行資料分析，建議該二套軟體之操作流程分別以流程圖表述之。	感謝委員意見，已於報告中列出操作流程，並於分析案例中詳述操作。
4. 本案除了利用SNAP、StaMPS二套軟體進行分析外，是否在資料處理過程中需撰寫資料處理程式或使用其他軟體？若有，這些程式可否一併提供給甲方使用？	感謝委員意見，已於報告中列出分析軟體取得方式、操作步驟與執行程式碼。
5. 參考文獻中英文文獻部分較新，而中文文獻僅到2012年，若有較新的中文文獻也請一併更新。	感謝委員意見，如有可參考之中文文獻會一並列入。
(二)王委員國隆	
1. 各類雷達衛星影像之相關基本資料務必正確並附上資料來源。ALOS-1應不是正式名稱，宜變更為ALOS/PALSAR；另其入射角與波長宜正確，並附上參考來源。	感謝委員意見，已更正。
2. 部分雷達衛星之軌道參數資料需另外取得，亦請補充之。	感謝委員意見，根據目前分析所使用的SNAP軟體，軌道資訊是自動取得，也無法另外匯入。
3. 水體分析的成果建議可用光學影像來檢核範圍之面積、位置之正確性。	感謝委員意見。
4. 以山崩形變為例，形變的方向與位置對於山崩機制研判有決定性影響，以LOS或坡向速率可能難以達到。	感謝委員意見，該章節目前已刪除。
5. 部分期初報告內容僅於簡報檔出現，請補充納入期中報告。	感謝委員意見，已補充。
6. 參考文獻宜補充，如RVI之Kao et al.(2010)。	感謝委員意見，已更正。

期中審查意見	處理情形
(1) 第 6 頁倒數第 2 段第 3 行應為：「添一系列『微』衛星星『系』可達成的功用。……」。 (2) 座標系統宜更正為『坐』標系統。 (3) 植被宜更正為『植被』。 (4) 圖表標題句號應去除。 (5) 第 59 頁 Sentinel-1 試作應提供衛星基本資料。	
(三)蔡委員展榮	
1. 期中報告於相關段落已載明若干實務重點，表現佳。建議於第60頁後可增加一節詳列本案迄今研究得知之實務重點，以及臺灣地區偵測洪水溢淹、堰塞湖、崩塌地實務應用面臨的挑戰及可能的因應之道。	感謝委意見，於報告中補充。
2. 第60頁提到「LOS速度場轉換成坡向的速度場」，而在圖5-1.8卻改成沿坡面的滑移速度場，建議研究團隊的用詞需統一，避免不一致；另外亦應與甲方討論，是以坡向的速度場呈現較好，抑或分成水平及垂直分量較符合實際應用。	感謝委員意見，該章節目前已刪除。
3. 第49頁 Sentinel-1a 曾文水庫水體變化面積增加7.47km ² ，惟依照第52頁的圖4-1.1的方格網是10''×10''(約300m×300m)、圖4-1.2是30''×30''(約900m×900m)，而沒有更高雷達衛星影像之解析力，較難以達到如此精準，請留意在結果產出時，資料精度與有效位數間之關係，並斟酌使用。	感謝委員意見，圖已修改。
4. 研究團隊選用2009年莫拉克颱風於臺東太麻里溪上游堰塞湖、近年來高雄林邊洪泛溢淹區域及2015年8月蘇迪勒颱風於臺灣北部造成的崩塌地作為本案試做區域，可於期中報告補充目前試作的進度及相關成果。	感謝委員意見，已補充。
5. 淹水堰塞湖事件存在時間短，要在淹水尚未退去前取得雷達衛星影像較為困難；另外崩塌事件前後短時間內亦不易取得高精度之雷達衛星影像，若不及取得雷達衛星影像時應如何因應？	就淹水而言，無法於退水前取得影像則無法進行分析。但對於山崩，崩塌後短期植被未生長前仍有機會藉由雷達衛星影像進行分析。
6. 參考文獻英文摘要未完全對應(第44、54、55頁未列出、第39頁年份不一致、第44、45、47頁錯字)，請修正。	感謝委員意見，已更正。
7. 臺灣地區災害位置偵測之成功率為何？相關地理對位、定位精度如何呈現？	感謝委員意見，已於個案例中列出辨識的地理位置與準確指標。
8. 期中報告的文字修正或補敘： (1) 第 45 頁：公式格式移位，請確認。	感謝委員意見，已修正。

期中審查意見	處理情形
(2) 用詞宜統一，如相位解算 (phase unwrapping)與圖 4-1.3 相位回復。 (3) 第 57 頁搭配其他軟體應載明哪些軟體。 (4) 宜補充「精確自動駕駛儀平台 PPA」之 PPA 全名。 (5) 表 2-2.2、表 2-2.4 宜補充說明相關資料項目的意義。 (6) 圖 3-1.5 比例尺及使用 TerraSAR-X 之影像大小請補充；其正確率與精度宜補敘。	
(四)吳委員孟哲	
1. SNAP軟體只能針對影像前處理，而期中報告內提及的HAND、MSBA及FMM方法是否會於期末時一併遞交？	感謝委員意見，已於期末報告中詳列分析所需的軟體與處理方式。
2. Sentinel-1 為 C-band 雷達衛星影像，使用 intensity correlation可能使correlation會過低，故在於threshold(filter)選擇較為重要。	感謝委員意見。
(五)李委員茂園	
1. 後續相關軟體的教育訓練，希望能有操作手冊並附上實例，應可降低後續同仁上手之難度。	感謝委員意見，已附上案例之操作流程。
2. 有關期中報告所提到的機載SAR、UAV-SAR的例子皆以美國為主，若有鄰近國家(例如日本、韓國等)的相關例子也請一併在報告中補充。	感謝委員意見，如有蒐集到相關之資料再進行補充。
(六)管委員立豪	
1. 現有開源軟體在影像處理時並無法全程使用，建議於期末報告時能將其相關流程列出。	感謝委員意見，已於期末報告中詳列分析所需的軟體與處理方式。
2. 期中報告並沒有結論，建議增加(如簡報檔)；另亦可提出後續作業的內容。	感謝委員意見。
其他出席人員意見：	
(一)林務局潘科長德發	
1. 本計畫係為建立雷達衛星影像應用於洪水溢淹、堰塞湖及崩塌地等林地災害的SOP，是否在第一年就可完成？	本計畫係在研究雷達衛星影像應用於洪水溢淹、堰塞湖及崩塌地等林地災害的偵測可行性，並建立其分析之 SOP。針對其可行性與分析方法之 SOP 已列於期末報告中。
2. 本年度的教育訓練內容為何？	雷達衛星影像應用於洪水溢淹、堰塞湖及崩塌地之實際操作分析。
(二)葉課長堃生	
1. 本案相關之研究設定期望能朝向實用性發展，雷達影像因波長之特性，各有其最佳之應	感謝委員意見，目前利用光學影像所得到的災害範圍與雷達影像辨識之災害範圍作

期中審查意見	處理情形
用方向，惟在實務解決方面，或有必須妥協之處，以緊急災害應變為例，期間最快取得之雷達影像類型或許不是最適合當時的災害類型，然或能在一定的分析水準下及時提供應變所需之重要資訊。故研究除了找出不同災害類型之最適合雷達衛星影像外，是否能再從各種訊號資料裡找出得以評估在不同災害分析目標下，可代表該雷達影像分析結果之可靠度指標或參數等，供使用者掌握所使用資訊之信心程度。	為比對，計算準確度指標：F-measure, kappa 等，作為可靠度指標。
2. 考量本所未來建置相關分析能量所需，請於全案完成時就有效完成相關運算處理之相關軟體規格，提供本所參考以利後續規劃。	本計畫目前使用之運算資源為： DELL T3500 工作站 [CPU] W3680, 3.33 GHz [RAM] DDR3-1333 24G [系統磁碟] PCI-E SSD [作業系統] WIN 10

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)	
(一)王委員國隆	
1. 部各分字體過小，如圖目錄字體大小已小於10號字，請依契約書規定使用之內文字體（中、英文為14號字）修正。	感謝委員意見，已修正。
2. InSAR的系統已經開始販售，為無人載具使用的發射系統及處理軟體約為10萬美金(不含無人載具)，請蒐集並更新報告內容。	感謝委員意見，已補充修正。
3. Kao et al. (2010) RVI為指標進行分析時採用HH偏極，本期末報告中後續為了使用Sentinel-1則採用VV偏極，請比較說明兩者對判釋結果差異及適用條件。	感謝委員建議，目前研究的案例並沒有同時具有相同波段的 HH,VV,VH,HV 雷達影像可以針對崩塌區做比較，但希望未來有機會可以進行分析。
4. 北海道地震造成真町地區山崩災情，日本國土地理院2018年10月已經釋出JSON格式崩塌地圖層，請參考並比較本研究之差異。	感謝委員建議，本研究已參考 Planet Labs(鴿子衛星)之事件前後光學影像所判釋的崩塌地範圍(polygon)，對雷達影像所做的崩塌地範圍，進行比較。
5. 北海道真町地區於地震後緩慢造成堰塞湖，11月中粗估湖水面積約為0.150平方公里，請參考列入分析。	感謝委員建議，如該時間段與地區有影像，未來可參考列入分析。
6. 期中審查會議時曾建議「座標」修改為「坐標」，亦請參考。	感謝委員意見，已修正。
7. 第97頁圖3標題不應為「現況」。	感謝委員意見，已修正。
8. JAXA RA6 P1本期只到2019年3月，是否獲得展延？	胡植慶教授仍在等待回覆資訊
9. 使用背向散射係數差異時，對於可偵測山崩面積請提出建議條件。	由於雷達影像具有斑駁雜訊的特徵，可判釋的山崩仍有相當小的部分涵蓋較小面積的山崩，但 90%都大於 0.06 平方公里，而無法判釋的山崩有 90%都小於 0.016 平方公里，並沒有一個相當準確的門檻數值，以目前的資料分析結果來說，也許可以說 0.06 平方公里以下的山崩，目前所測試的雷達影像並沒有很好的偵測能力。
10.2015年蘇迪勒颱風造成北部山區多處大規模崩塌，報告中之研究區是否為北部地區？	是。農航所提供的「蘇迪勒颱風緊急航攝作業及崩塌地判釋成果報」顯示整體災後崩塌地面積增加 0.2 平方公里，新生崩塌地面積都小於 0.06 平方公里。
(二)蔡委員展榮	
1. 第46頁本案如何計算(式3-1)的第t次迭代的「第j個子群在整體存在的概率」、以及「第i個資料數值於第j個子群分布的機率」呢？如何決定子群的個數m呢？(式3-2)的n之意義為	此處可藉由 R 語言中 mixtools 工具的 normalmixEX 函數計算，由於將雷達影像分為水體與非水體兩群，m 定為 2，而 n 值為整個影像切分為 n 個區塊的意思。。

期末審查意見	處理情形
何？如何決定n值呢？請補充說明。	
2. 第 48 頁 圖 3-1.6 Bioresita et al.(2018) 以 Sentinel-1 影像進行淹水地圖自動化研究的方法流程圖是採用 SRTM v1 (30m) DEM，本案使用台灣地區的DEM嗎？若是，如何處理坐標轉換呢？圖3-1.6的標題「.....分類出水體與分水體區」：是「.....分類出水體與非水體區」嗎？	本案使用的是臺灣地區的 DEM。以 ArcGIS 或 QGIS 進行坐標轉換，將 TWD 97 轉為 WGS84。文字錯誤部分以更正。
3. 第48頁「本計畫在此項目中預計以2009年莫拉克颱風於臺東太麻里溪上游造成的堰塞湖與近年來高雄林邊地區的洪泛與溢淹作為測試」，所謂之預計係指將於第2年來執行嗎？	本年度已經執行。
4. 第50頁「再進一步對雷達影像之數值分布進行高斯混合模型擬合，可區分兩個群的統計特徵(圖3-1.13)」：請補充說明其中的「數值」及圖3-1.13的水平軸「Data」分別為何？	數值為圖 3-1.12 雷達影像背向散射係數。
5. 第50頁「其中數值低的群包括可能的水體區域與雷達陰影區域(Giustarini et al., 2016)，其中雷達陰影區可藉由DEM 所模擬的SAR 影像 Layover and Shadow mask 來移除，或採用 HAND(Height Above the Neast Drainage)門檻來移除(Bioresita et al.,2018)。」若水體區恰好位於雷達陰影區，則如何找出雷達陰影區的水體呢？錯字「Neast」請訂正。	雷達陰影區是沒有雷達回波資料的區域，因此無法進行分析。錯字以更正。
6. 第47頁準確率(Precision, P)與第69、75頁附9.33：精確率(Precision)、準確率(Accuracy)有何不同？請在第47頁下方的7個計算公式中增加第50頁所述的「精確率(Precision)」及「Kappa」二者的計算公式。	感謝委員意見，已補充。
7. 部分敘述前後矛盾：例如第7頁「於2014年2月與4月順利發射升空，預計可運作12年至2024年。」中的2024似乎應該訂正為2014+12=2026。	感謝委員意見，已更正。
8. 第10頁表2-1.1部分： (1) 部分數據未載於第6至9頁，請補充敘述於第6至9頁中，例如 Radarsat Constellation Mission(3Sat)的像幅寬度和入射角。 (2) Sentinel-1(2-Sat)的像幅寬度250km與第7頁「80~400km」不符。 (3) ALOS-PALSAR2的像幅寬度8-490km與第8頁「25~490km」不符。	感謝委員意見，已更正與補充。
9. 第13頁「第15個字開始為影像拍攝日期與時間」，但是第14頁表2-2.2標示的卻是「啟用日期與時間」，請訂正。	感謝委員意見，已更正。
10.第15頁「第15個字開始為影像拍攝日期與時	表 2-2.4 表示第 15 個字開始為<start_day>

期末審查意見	處理情形
間，格式為YYYYMMDD_HHMMSS」，但是p.16表2-2.4標示的卻是「Start_day」和「Start_time」且格式不是「YYYYMMDD_HHMMSS」而是「YYYYMMDDHHMMSS」，請訂正。	<“_”> <start_time>，<start_day>即為YYYYMMDD，而<start_time>為HHMMSS，整體則等於YYYYMMDD_HHMMSS。
11.第15頁開始就大量出現中英文混雜出現的報告內容，建議請洽詢農航所或依照契約規定的文字(中文或英文)格式來撰寫。從來源網站下載後，不宜直接剪貼置入報告書中(例如第27頁)，而是需要花時間編輯、圖表內容中文翻譯、圖片影像處理、歸納、整理。	感謝委員建議。有關檔案格式部分，為了能比對檔案取得時的相關原文，故保留其原文。第27頁部分已補充中文資訊。
12.不正確、不完整的網址：第21頁「圖2-2.9 Sentinel 衛星影像搜尋網頁https://scihub.copernicus.eu/」：請寫出圖示畫面的正確完整的網址。本報告書其他地方也有類似瑕疵：不正確、不完整的網址，請一併訂正，例如： (1) 第21頁「2018年1月ESA宣布JERS SAR Level1影像可免費下載，但需要經過註冊與認證(https://earth.esa.int/web/guest/jers-1-news/-/article/jers-1-sar-and-optical-data-available)。」 (2) 第22頁「ALOS與ALOS-2的影像都可以藉由JAXA網頁(https://auig2.jaxa.jp/ips/home)設定條件來搜尋影像」ALOS-PALSAR2的像幅寬度8-490km與第8頁「25~490km」不符。 (3) 第25頁「圖2-2.12 ALOS與ALOS-2衛星影像搜尋網頁https://auig2.jaxa.jp/ips/home」	Sentinel-1 搜尋網頁網址已更新。JERS-1 保留 ESA 通知可下載的新聞網頁，供使用者得到完整資訊，並進一步註冊與下載。ALOS 與 ALOS-2 的網頁為 https://auig2.jaxa.jp/ips/home 無誤，使用者必須登入才能進入搜尋畫面。
13.建議再仔細檢查找出前後文不一致的疏漏並更正之、或補充說明之，例如第7頁「ALOS」與第11頁圖2-1.1的「ALOS-1」。	感謝委員意見，已更正。
14.部分圖片文字字體太大，卻也有不少圖片文字字體太小，建議宜依據文意來裁切擷取真正需要的圖片內容、調整圖片大小，使得圖片字體大小適中，使其具備良好的可讀性，例如第19頁圖2-2.4字體大，其下方的圖2-2.5卻字體太小。	感謝委員意見，已更正。
15.第34頁「圖2-3.1 ESA建議雷達影像各波段適用的分析」：此圖很棒，但是請補充寫出此圖的來源文獻。	感謝委員意見，已補充。
16.第34頁「圖2-3.2 不同波段雷達影像在雲與水氣干擾的情況(資料來源：https://earth.esa.int/c/document_library/get_file?folderId=226458&name=DLFE-2124.pdf)」：請訂正為「圖2-3.2 不同波段雷達影像在雲與水	感謝委員意見，已更正。

期末審查意見	處理情形
氣干擾的情況(資料修改自： https://earth.esa.int/c/document_library/get_file?folderId=226458&name=DLFE-2124.pdf 第 5 頁) 」。°	
17.第34頁「圖2-3.3 反射面起伏程度對於不同雷達波長的反應不同。h為反射面起伏高度， λ 為雷達波長(資料來源：資料來源：ESA Advanced training course https://earth.esa.int/documents/10174/643004/D4T1a_yesou_LTC2013.pdf)」：請訂正為「圖2-3.3 反射面起伏程度對於不同雷達波長的反應不同。h為反射面起伏高度， λ 為雷達波長(資料來源：ESA Advanced training course https://earth.esa.int/documents/10174/643004/D4T1a_yesou_LTC2013.pdf 第22頁) 」。°	感謝委員意見，已更正。
18.分圖表的說明不足，請補充與本案有關、本案需要的說明內容，例如： (1) 第 35 頁表 2-3.1：請補充說明+號越多，則雷達影像偏極模式與地物辨識的適用性越佳、還是越差？ (2) 第 42 至 44 頁圖 3-1.1~圖 3-1.5 的分析說明文字太少。圖 3-1.2~圖 3-1.3 甚至是只有圖，卻無隻字說明，不妥。 (3) 第 50 頁宜補充說明圖 3-1.11 的資料處理流程步驟，包括補充說明 GMM 的處理。	感謝委員意見，已補充與更正。
19.第39頁「偵測距離及解析度據悉分別為 1公里與 1公尺」：不宜使用「據悉」的猜測文字，宜標示此資料的可靠來源文獻，有錯就由來源文獻負責。	感謝委員意見，已更正。
20.第40頁「雜訊比(signal-to-noise ratio)」：請訂正為「訊雜比(signal-to-noise ratio)」。其中文全名為：訊號雜訊比。	感謝委員意見，已更正。
21.部分敘述語焉不詳：例如第45頁「需要根據不同影像數值分布，人為調整判釋的閾值設定。」	調整的原因在於，相同雷達影像與相同地物由於粗糙度造成回波強度不同，如果地表水體由於水面起伏程度太大，造成較大的反射強度，則該區域的水體辨識需要不同的門檻值來區分。
22.本文使用的「自由」(軟體)與「免費」(軟體/資料)二詞的意義是否相同？	是。
23.第46頁「機率」與「概率(...probability)」：二詞意義不同嗎？	是相同的。
24.部分敘述不當，例如： (1) 第 45 頁「Bioresita et al.(2018)所提出的處理方法與步驟分別如下所述(圖 3-1.6)。」宜訂正為「Bioresita et al.(2018)所提出的處理方	感謝委員指正，已修正。文字已更正為”降低分類影像雜訊與均一性，降低不同類別邊緣出現失真的問題”。是指將機率分布影像大於 90%為水體可能性的區域設定為水

期末審查意見	處理情形
法流程圖如圖 3-1.6 所示，其資料處理步驟分述如下。」 (2) 第 47 頁「利用濾波來降低影像雜訊與平滑化」：文字意思是「利用濾波來降低影像雜訊，並且平滑化 SAR 影像」嗎？ (3) 第 47 頁「之後將所有像素可能為水域的機率大於 0.9 作為標準」？	體，其餘設定為非水體。
25.建議將第8頁「(Italian Space Agency, ASI)」補充修訂為「(Italian Space Agency [Italian : Agenzia Spaziale Italiana; ASI])」，俾讓讀者看出其簡稱ASI的來由。	感謝委員意見，已更正。
26.第43頁圖3-1.2的FEMA：請寫出其全名，本文是指「The Federal Emergency Management Agency (FEMA)」嗎？	是。
27.要第VII頁「崩塌地區域的偵測，則以對體散射特性敏感的 HV偏極影像或雷達植被指數 RVI作為分析之指標，進一步計算背向散射係數差異 (Backscattering Coefficient Difference)，結果顯示 F1-Measure= 24.2%~32%和Kappa=19.7%~26.6%。」部分： (1) 意指「F1-Measure= 24.2%~32%且 Kappa=19.7%~26.6%」還是「F1-Measure= 24.2%~32%或 Kappa=19.7%~26.6%」呢？ (2) 相較於「洪水溢淹或堰塞湖的分析結果顯示 F1-Measure 與 Kappa 皆可達 70%以上」，「F1-Measure= 24.2%~32%和 Kappa=19.7%~26.6%」是否宜修訂為「F1-Measure= 24%~32%和 Kappa=20%~27%」呢？	感謝委員意見，已更正。
28.摘要第VII頁「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。」請補充修訂為「顯示雷達衛星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。」	感謝委員意見，已更正。
29.建議補充寫出第II頁的附錄目錄之頁碼。	感謝委員意見，已更正。
30.摘要第VII頁、第33頁本文採用的「水面起伏的粗糙度」之定義為何？	粗糙程度指的是雷達波長(λ)與地面起伏高差(h)的比較， $h < \lambda/8$:平滑表面， $\lambda/8 < h < \lambda/2$:中等粗糙表面， $h > \lambda/2$:粗糙表面。
31.全文各處的專業術語若需要並列其中英文的時候，宜在其第一次出現的地方就在中文專業術語後面加寫出其英文術語，後文就可以不用再重複中英文專業術語並列。例如摘要第VII頁第3段第2行「背向散射係數差異 (Backscattering Coefficient Difference)」宜修訂	此處之 Backscattering Coefficient Difference 指的是 Konishi and Suga(2018)用以分析山崩的演算法，並非單純背向散射系數的差值。相關文字一併更正。

期末審查意見	處理情形
為「背向散射係數差異」並將「(Backscattering Coefficient Difference)」往前移到此頁第2段第1行「雷達背向散射系數的差異」的後面並將它修改為「雷達背向散射係數的差異(Backscattering Coefficient Difference)」。	
32.英文摘要Abstract：1.有錯字、漏字、不必要的第一個英文字母大寫 2.前後文用詞宜統一(例如”landslide dam” or “ landslide dammed lake”) 3.What is large-scale landslide? Does it mean “landslide in larger area”? 4.英文摘要Abstract的內容未與中文摘要者對應相同。	感謝委員意見，已更正。
33.部分敘述的語意模糊，亦讓讀者混淆，建議修訂之，例如第3頁「雷達波水平發射與水平接收的波稱為水平偏極化(H)，而垂直發射與垂直接收的波稱為垂直偏極化(V)。而依照不同的發射與接收組合可分為4種不同的偏極模式，如HH：水平發射與水平接收；VV：垂直發射與垂直接收」	已更正「雷達波水平發射或接收的波稱為水平偏極化(H)，而垂直發射或接收的波稱為垂直偏極化(V)」
34.部分段落重複撰寫其前面段落已經敘述過的句子，建議刪除之，例如第7頁「波長23.5公分。此衛星為太陽同步衛星，軌道平均高度為568 公里，重返週期為44 天，入射角度為35°，波段波長為23.5公分」前後重複撰寫「波長23.5公分」。	感謝委員意見，已更正。
35.建議將第8頁「軌道重返週期從 10 天至 2.5 天」修訂為「軌道重返週期從2.5天至10天」。	感謝委員意見。
36.第12頁表2-1.2的部分內容字體太小，不易閱讀其紙本，幸好其電子檔PDF的內容可以放大閱讀。建議在本文合適位置補充說明「部分內容字體太小，建議開啟PDF檔並放大內容以利閱讀」。	感謝委員意見，已更正。
37.部分圖片的反差對比不佳，建議略作簡易的影像處理來增強圖片的反差對比，以提高圖片的清晰度和畫質。例如第24頁圖2-2.11。	感謝委員意見，已更正。
38.第33頁「鏡面散射」：與「鏡面反射」兩者有何區別呢？與第42頁比較「雷達波對靜止水體又會強烈反射...其原理為水體特性的鏡面反射率高，而背向散射回波率很低，因此在洪水災害的應用上，可以藉由其低回波的特性來判別水體的增加、」	同一更改為鏡面反射，並更正敘述內容。
39.第 40 頁「小型合成孔徑雷達 (MiSAR, miniature SAR-system)」：建議將「小型(.....miniature.....)」翻譯為「微型.....(.....miniature.....)」。	感謝委員意見，已更正。
40.第 40 頁「中空／長續航 (Medium-Altitude/	感謝委員意見，已更正。

期末審查意見	處理情形
Long-Endurance, MALE)」：建議將「中空……(Medium-Altitude……)」翻譯為建議將「中航高……(Medium-Altitude……)」	
41. 第40頁「應用科學研究組織」(Organization for Applied Scientific Research, TNO)」：TNO的英文全名為「Medical Technology Unit, Netherlands Organization for Applied Scientific Research」，其荷蘭文為「Nederlandse Organisatie voor toegepastnatuurwetenschappelijk Onderzoek, TNO」，建議訂正為=>「荷蘭應用科學研究組織」(The Netherlands Organization For Applied Scientific Research，簡稱TNO，其荷蘭文為「Nederlandse Organisatie voor toegepastnatuurwetenschappelijk Onderzoek, TNO」)。	感謝委員意見，已更正。
42. 前後文用詞宜統一，例如：第47頁的“二元”(圖)或“二值”(圖像)、“波段”或“頻道”(附15)？	已更正為二值化影像。
43. 文書謬誤疏漏(錯字、累贅字、漏字、漏詞、遺漏標點符號、中英對照位置錯誤、用詞不當)：請參閱紙本眉批，俾以訂正。例如： (1) 第45頁「斑駁濾波(speckle filtering)來降低斑駁雜訊(speckle filtering)」=>「斑駁濾波(speckle filter)來降低斑駁雜訊(speckle noise)」。 (2) 第51頁「讓曾文水庫一天上升100多萬立方公尺的進水量」中的「上升」宜修改為「增加」。	感謝委員意見，已修正。
44. 部分圖模糊，請改善之，例如第49頁圖3-1.7。第51頁圖3-1.10。	感謝委員意見，已更正。
45. 第52頁請標示表3-1.1的4個數據之度量衡單位。	數值為影像像元屬於行與列交集特性的總數。
46. 請補充說明第50頁的「F1-Measure」與「F值(F-measure)」二者的區別。	已更正 F-measure 為 F1-measure。
47. 部分圖的配色不當，請改善之。例如： (1) 第51頁圖3-1.11的 layover and Shadow mask 與 HAND mask(Height Above the Nearest Drainage)為紅色字，其背景為深灰色，兩者反差低，不易閱讀和辨認這些英文字。 (2) 第53頁圖3-1.14的紅色斜線範圍，其背景為黑色水體區，不易看出紅色斜線區。	感謝委員意見，已更正。
48. 疑似匆忙交稿，導致謬誤疏漏多、分析略少，僅拷貝段落文字後再改測試案相關文字及數字，請補充說明：	(1) 此研究案為颱風豪雨應變研判之需求，故選擇影像以離災害發生時間最近的兩張相同軌道與圖幅之影像作為分

期末審查意見	處理情形
(1) SAR 影像品質：時間基線、空間基線、同調性、GSD、ALOS($L_1\lambda=23.6\text{cm}$)或 Sentinel($C_1\lambda=5.6\text{cm}$)之選擇。 (2) SAR 影像處理：雜訊過濾前後影像品質比對檢查，不同種類之影像套合是否正確、坐標轉換是否一致、影像分類是否進一步檢查其成果、疊置陰影區是否正確？ (3) 成果檢查、品質評估：SAR 影像、光學影像之 GSD？套疊正確？正射？混合像元？混淆矩陣：列出準確率至 Kappa 計 5 個數值之計算式，讓讀者可以看出樣本數。偵測錯誤出現於何處？可能原因為何？	析優先選擇，可降低拍攝參數差異的誤差。因目前並未進行不同影像像元的干涉分析，也沒有考慮時間基線、空間基線與同調性。L 波段在惡劣氣候下有較好的穿透力可以得到地表資訊，是第一選擇，但 ALOS-2 在台灣地區並沒有太好的影像重複周期，因此 C 波段 Sentinel-1 不論在取得影像方便性與影像重複周期上，都是很好的選擇。 (2) SAR 影像處理的部分都有經過檢查，不論是濾波前後的影像差異、套合坐標的準確度與分類成果檢驗等。 (3) 成果檢查部分，依賴光學影像所提供的範圍作依據，再比對判釋結果。兩種不同偵測方法，其原理、解析度與施測時間皆有差異，雷達影像雖然像元解析度可以達公尺級，但影像仍具有斑駁雜訊之特性，在較小面積的偵測分類的準確性上，仍有其限制性。根據目前的研究，以崩塌地變遷偵測來說，有幾個地方是非崩塌地，卻會被誤判的區域，包括林地植被生長變化較大的區域、農地栽種變化區域與河道變遷的區域，這些區域在不同時期的雷達影像都會有較大的 RVI 變化，卻非崩塌地的範圍。
49. 附錄宜予以編號為附錄一至三，俾本文引用說明。	感謝委員建議。
50. 第57頁中NCDR的全名為何？	National Science and Technology Center for Disaster Reduction, NCDR
51. 第65、66、67、73頁重複使用相同公式編號(式4-4、式4-5)。	感謝委員意見，已更正。
52. 第67頁「Moving Windows大約25」、「Moving Windows大約19」之意義為何？	背向散射差異法需要以 Moving Windows 方式進行聚焦分析計算，數值代表視窗大小(25x25 與 19x19)
53. 第72頁圖4-1.4漏了FF圖式內容。	感謝委員意見，已補充。
54. 請補充說明第67頁(式4-5)的HV、HH及第73頁(式4-5)HV、HH之4者為極化影像的何種數據？	植生指標 RVI 代表的意涵為，體散射訊號與其他訊號的差異，而交叉極化(VH 或 HV)對體散射訊號敏感，在有 HH 與 HV 的影像當中，可以用 HV/HH 的概念來強化植被的體散射訊號與其他訊號之差，而在 VV 與 VH 的影像當中，則用 VH/VV 代表。
55. 第86至90頁部分文獻未被本文引用。	感謝委員意見，已更正。
56. 附錄三測試案例僅使用2張SAR影像。建議考慮多張影像來辨識偵測，以提高成果品質。	本計畫目標在測試緊急時的衛星雷達影像災害判釋，故只取離災害發生最近的影像

期末審查意見	處理情形
	作分析，未來可考慮多影像分析降低誤差
57.第附3、附13、附30頁之裁切範圍（N/W/S/E）是否正確？	正確。
58.第附9至附33的各種軟體的圖示符號之功能：宜補充說明之。	圖示符號大部分都有配合文字說明其功用。
59.請補充說明第附10頁帳號、密碼為5碼？應如何申請？	帳號密碼為本人使用，並非公開，需使用者自行申請至。 可參考 https://rus-training.eu/frequently-asked-questions 至 https://eo-ss0-idp.eo.esa.int/idp/umsso20/registration 頁面申請。
60.第附11頁從8個選4個：如何挑選	網頁會列除圖幅範圍，選擇涵蓋災前與災時的影像，由於範圍分為南北兩個圖幅，所以共四張影像。
(三)吳委員孟哲	
1. 對於 landslide 或許可增加 pixel offset 和 conerence difference 的方法協助分析，請參考。	感謝委員建議。
2. 此計畫使用了RVI的SAR植生指標，是否可分析全偏極和雙偏極之精確度差異？	感謝委員建議，目前研究的案例並沒有同時具有相同波段的 HH,VV,VH,HV 雷達影像可以針對崩塌區做比較，但希望未來有機會可以進行分析。
(四)李委員茂園	
1. 相關手冊如有提供對本所更有助益，對於同仁入門SAR領域更有幫助。	相關手冊會放於報告當中。
2. 目前只有用 Sentinel-1 或 ALOS 等免費 SAR 影像來分析臺灣本島，若有不同波段之 SAR 影像或是其他同波段不同的 SAR 影像來比較，成果會不會差異很大？	不同波段的差異已列於報告當中，但本計畫並沒有使用到其他雷達衛星影性，如未來有機會，這是一個相當好的研究方向。
(五)管委員立豪	
1. 機載 SAR 或無人機 SAR 的資料可否麻煩研究團隊再多增加一些資料？	感謝委員建議，未來有機會可進一步收集資訊，進行研究。
2. 分析成果呈現資料能否再更詳細解說？	已補充內文與圖說
3. 結論部分請增加說明108年度構想與建議。	感謝委員建議
其他出席人員意見：	
(一) 林務局森林企劃組吳技士俊奇	
1. 在行政應用面，在光學影像未能取像前可以先以 SAR 影像確認災害發生地點，因此取像的時效性相當重要，報告第10頁表中列出許多雷達衛星影像，卻只有4個類型有列價格，這裡是為什麼？另外每一 SAR 取像的時間會等候多久也請一併列出。	表列出的衛星當中，只有列出目前有在運作並需要採購的衛星。以本計畫目前所取得的影像，Sentinel-1 可以直接於網路上下載，約半個小時即可取得影像，另外 ALOS-2，則是由於胡老師是 JAXA PI，影像需要在網路上申請後，只要等 JAXA 審核通過，大約半天內，即可下載影像。而其他雷達衛星影像，需要透過代理商取

期末審查意見	處理情形
	得，再給使用者，目前並不確定可取得影像的時間。
2. 第84頁結論建議補充防災可應用的部分(成本、災害發生後多久可以分析成果、多大的範圍可偵測)。	感謝長官建議，影像取得價格已列於報告第貳章，災害發生的分析可事前透過影像代理商與衛星公司商洽拍攝區域，則能及早取得影像，進行分析。但能受到衛星軌道的限制，不一定在災害發生短期內能取得災區之影像。
3. 本計畫為2年期，第2年的目標要如何研究，報告中應補充。	已於結論中補充。
(二)吳副所長淑華	
1. 機載SAR或無人機SAR的資料可否麻煩研究團隊再多增加一些資料？	感謝副所長建議，已補充圖表之說明。
2. 農航所係以機載為主，而科技進步，現有mini SAR、UAV SAR等新科技出現，於報告第38至39頁有相關內容，希望於之後教育訓練或明年可多加上其參考出處或應用成果，以利農航所這邊之後相關發展。	感謝副所長建議。
(二)葉課長堃生	
1. 第10頁表格目前針對每種衛星影像的特性，可否再延伸相關內容，是否能於結論加入不同雷達衛星影像針對不同林地災害之優劣性？並以列表方式呈現，俾利農航所於未來遇到災害時可知道應使用何種類型之影像。	感謝課長建議，不同衛星針對林地災害之優劣是一個很好的研究課題，畢竟林地災害有相當多種類型，每一種類型都要再經過分析與研究，才能得到結論。已目前的研究結果，並無法直接定義出優劣。但對於颱風豪雨期間的崩塌與山崩偵測，長波長的 L 波段較不受水氣干擾，是較佳的選擇。而 C 波段 Sentinel-1 由於免費且再訪周期短，也是不錯的選擇。但針對 X 波段，由於本研究並沒有機會分析，並不清楚其差異性，也許未來有機會列入分析。
2. 本報告撰寫方式每一段落先以文字敘述完畢後才加入相關圖表，後續請調整圖文編排方式以便於閱讀。	感謝課長建議。
3. 有關準確率、召回率之定義為何？而各種參數要如何掌握其代表意義？	準確率與召回率的定義已補充列於報告當中，準確率表示判斷正確的資料佔所有資料中的比例，而召回率表示被判斷為真值的數量在所有應該為真值當中的比例。評價指標有相當多種，使用者可根據其定義，針對不同的需求定義要使用的指標。在本研究案中，以 F1-measure 與 kappa 為主，是因為他綜合考量了二元判釋中 TT, TF, FT, FF 所有因素，可以得到較有代表性的指標。
4. 第55頁圖中紅線與藍色區域有些錯位，是為什麼？	由於雷達影像與光學影像時間並不相同，堰塞湖的範圍(藍)，與航照所判釋的區域

期末審查意見	處理情形
	(紅)比較略有差異。

第一次教育訓練

【教育訓練】雷達衛星影像輔助林地災害偵測之研究(1/2)

簽到單

主辦單位：國立臺灣大學

教育訓練主題：合成孔徑雷達影像淹水判釋

時間	107 年 10 月 3 日	地點	國立臺灣大學 全球變遷中心後棟 403 教室
講師	邱俊穎	紀錄	李秀芳
單位名稱		姓名	
行政院農業委員會 林務局農林航空測量所		葉盛生 陳耀光 許冠 謝幸宜	
國立臺灣大學		邱學萍 林紹弘 朱曼華	
國立高雄科技大學		傅迪詒	
國家地震工程研究中心		張鳴波	

【教育訓練】

雷達衛星影像輔助林地災害偵測之研究(1/2)

辦理實況

主辦單位：國立臺灣大學

教育訓練主題：合成孔徑雷達影像淹水判釋

日期：107 年 10 月 3 日

地點：國立臺灣大學 全球變遷中心後棟 403 教室

時間	內容大綱	講師
14:00 16:00	合成孔徑雷達影像淹水判釋：以「2018/08/23 豪雨」為例。 1. 初步介紹 2. 使用資料及軟體介紹 3. 操作步驟教學 4. Q & A。	國立臺灣大學 地質科學系 邱俊穎 研究助理/博士生



圖 1、計畫主持人胡植慶教授開場介紹



圖 2、教育訓練大綱



圖 3、參加教育訓練人數情況

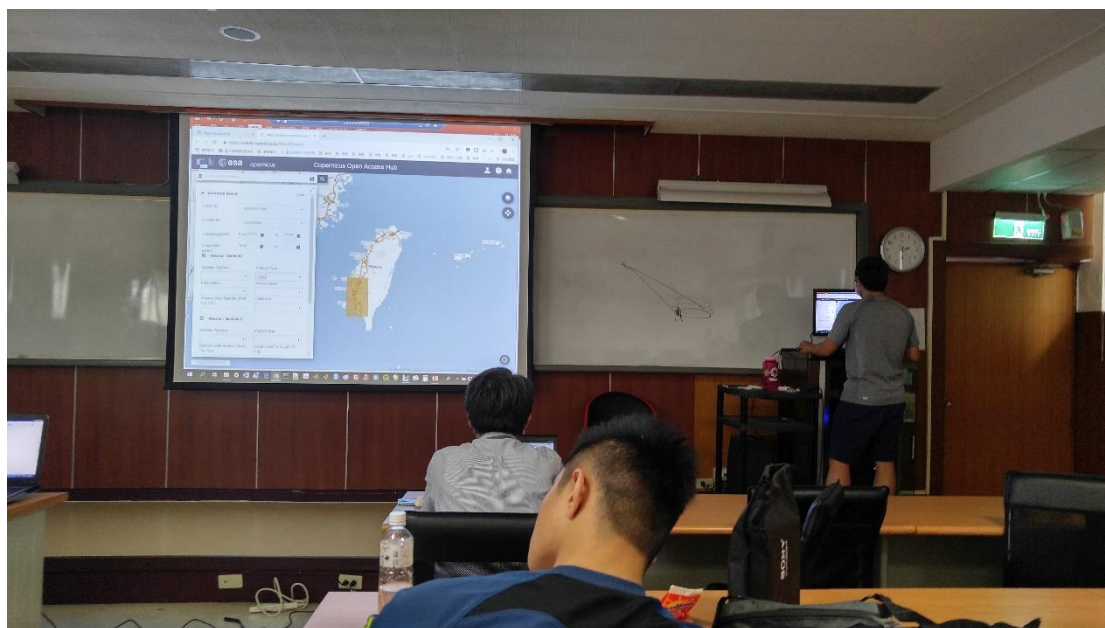


圖 4、SENTINEL-1 影像實際下載教學



圖 5、淹水判釋方法一(RGB 影像顯示)

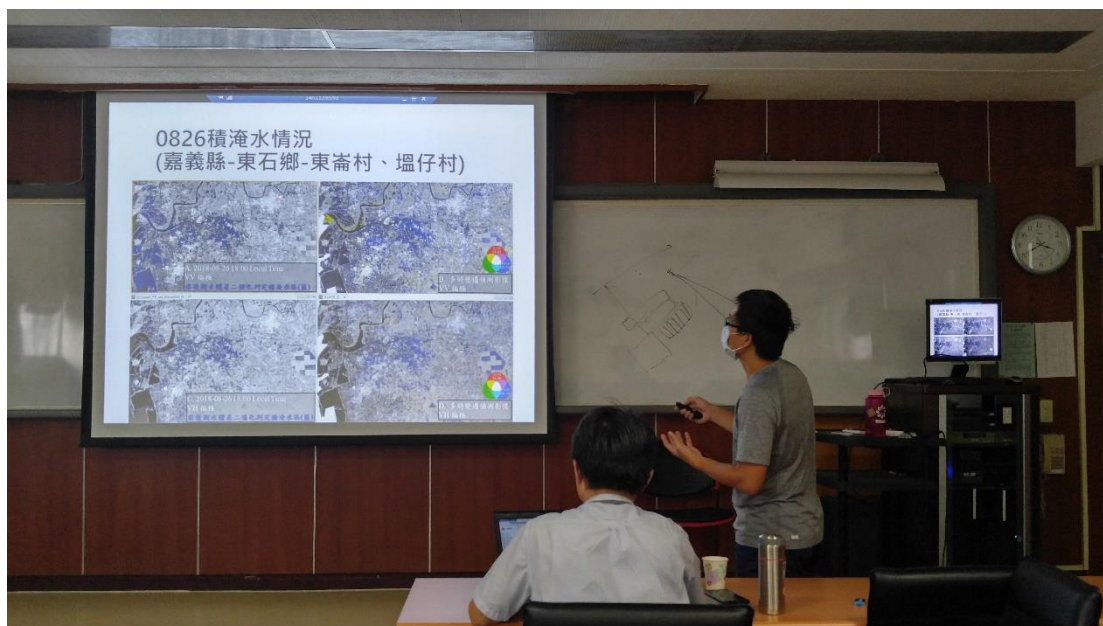


圖 6、淹水判釋方法二(資料二值化處理與顯示)

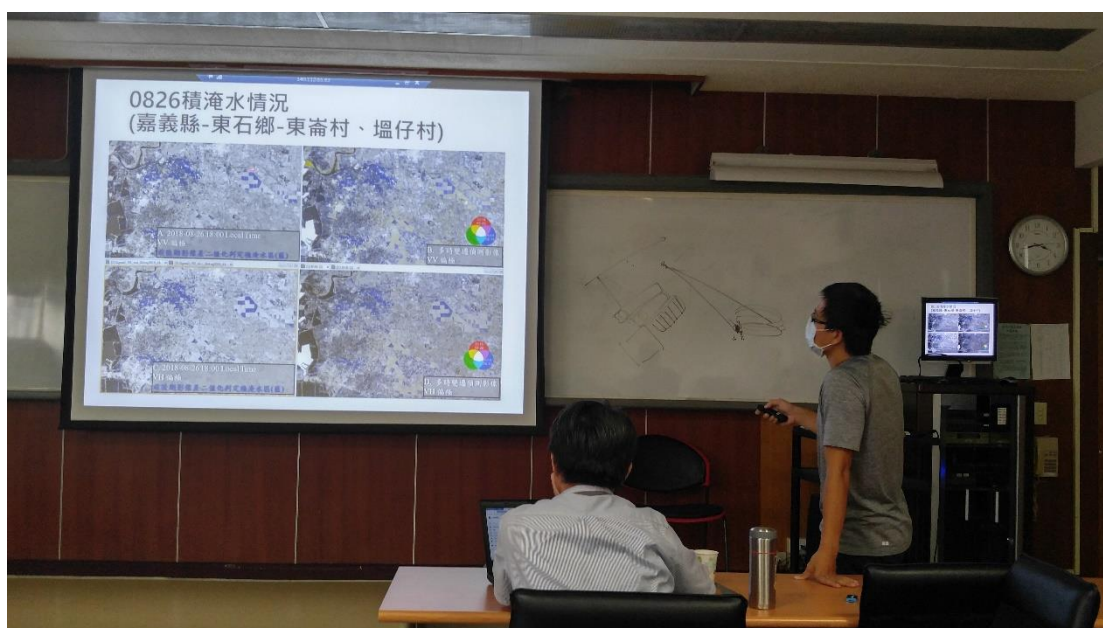


圖 7、淹水判釋方法三(多時影像強度差異法)

第二次教育訓練

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(1/2)」案

第2次教育訓練簽到單

時間：107年12月11日(二)上午9時 地點：農航所201會議室

單位/課室	職稱	姓名	便當
台灣大學	助理	李秀芳	葷 ☒ /素 ☐
台大	助理	邱俊穎	葷 ☒ /素 ☐
國立地理資訊中心	助理研究員	邱學萍	葷 ☒ /素 ☐
台大	助理	葉家平	葷 ☒ /素 ☐
	秘書	李淑芳	葷 ☒ /素 ☐
高雄科大	學生	洪迪詒	葷 ☒ /素 ☐
資料管理課	技佐	廖祿偉	葷 ☒ /素 ☐
調查課	技士	蔡家銘	葷 ☒ /素 ☐
空測課	課長	劉國程	葷 ☒ /素 ☐
調查課	技佐	吳立德	葷 ☒ /素 ☐
調查課	技士	陳淑瑋	葷 ☒ /素 ☐
調查課	技士	陳金宜	葷 ☐ /素 ☒
調查課	約僱	王昶斗	葷 ☒ /素 ☐
調查課	技士	黃卓仁	葷 ☒ /素 ☐

單位/課室	職稱	姓名	便當
			葷 ☐ /素 ☐
管理課	技士	鄧宇文	葷 ☒ /素 ☐
管理課	課長	李福德	葷 ☒ /素 ☐

【教育訓練】

雷達衛星影像輔助林地災害偵測之研究(1/2)

辦理實況

主辦單位：國立臺灣大學

教育訓練主題：合成孔徑雷達影像淹水與崩塌地判釋

日期：107 年 12 月 11 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

時間	內容大綱	講師
09：00 12：00	合成孔徑雷達影像淹水與崩塌地判釋：以「2018/08/23 豪雨」與「2009/08/08 莫拉克颱風」為例。 5. 衛星雷達影像簡介 6. 雷達影像水體判釋原理 7. 雷達影像淹水判釋處理流程 8. 雷達影像崩塌地變遷判釋原理 9. 雷達影像崩塌地判釋處理流程 10. Q & A。	國立臺灣大學 地質科學系 邱俊穎 研究助理/博士生



圖 1、簡介



圖 2、淹水判釋



圖 3、回饋討論

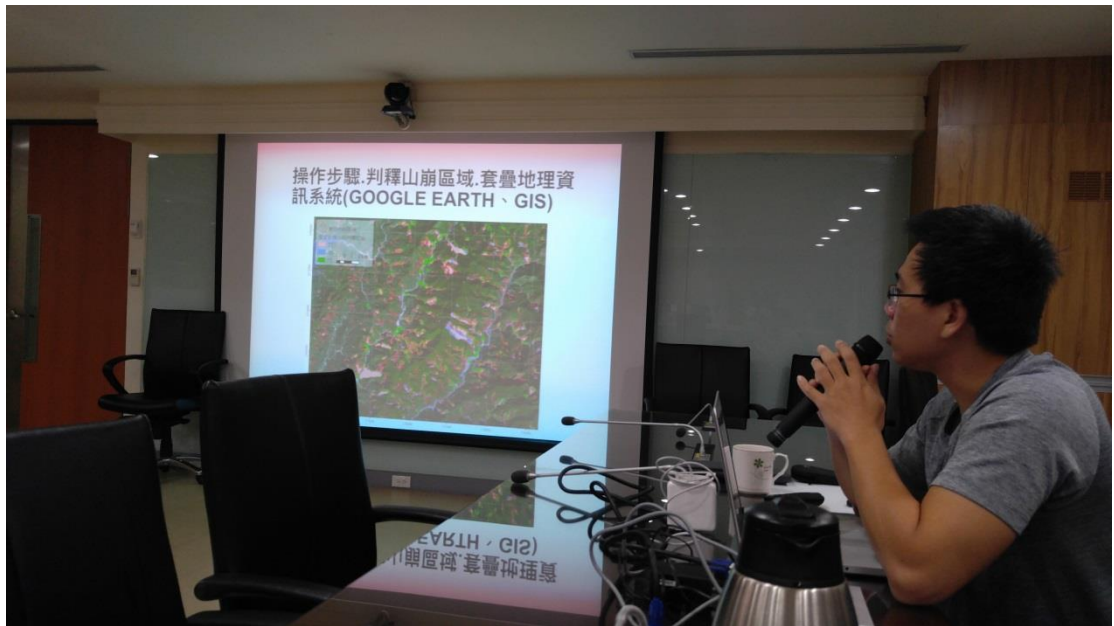


圖 4、崩塌地判釋