

計畫編號：SWCB-107-143

山崩特徵監測與製圖系統之建置
SLAMMP - Systematic LAndslide
Monitoring and Mapping Prototype

執行單位：國立政治大學地政學系

執行期間：107 年 2 月 9 日至 107 年 12 月 31 日

計畫主持人：Stephan van Gasselt 副教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 107 年 12 月

（本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考）

山崩特徵監測與製圖系統之建置

摘要

在台灣，山崩是最常見的災害之一，往往是由主要災害如大規模降雨和地震引發，是對環境影響最直接的自然災害。山崩的發生在空間和時間上是一個複雜的相互作用機制，儘管目前許多山崩事件發生後的觀察揭示了空間隨著時間的推移而產生的變化，但對於定期且即時監測的嘗試依然有努力空間。

本計畫(SLAMMP)廣泛利用高空間和高時間解析度的遙測資料，使用非結構化數據和大量數據，對台灣山崩事件的時空關係進行長時間的監測和識別。這當中我們會運用不同波長的感測器，透過多元空間訊息的整合，來評估這些觀察結果，並以提取有意義的遙測識別標誌(Remote sensing signatures)，作為觀測山崩的指標。

在本報告中，我們呈現遙測光學與雷達資料之處理與分析，說明如何利用已經蒐集累積的遙測影像，嘗試各種方法進行系統性處理，以獲得變遷偵測成果。

關鍵詞：山崩、遙測識別標誌、光學影像、雷達影像

SLAMMP - Systematic LANDslide Monitoring and Mapping Prototype

Abstract

In Taiwan, landslides are one of the most frequent and with respect to their impact also most immediate natural hazards which are often triggered by primary hazards, such as extensive rainfalls and earthquakes. Landslide mechanisms are fairly understood and their occurrences in space and time a matter of a complex interplay of poorly constrained factors. While a-posteriori observations reveal indicators of spatial patterns shifting over time that are potentially induced by climate change, near real-time monitoring attempts are still sparse, in particular due to the complexity and large amount of unstructured data.

At this point, the SLAMMP project stands in and aims at close-to-realtime monitoring and identifying landslide occurrences in Taiwan with respect to their spatial and temporal context by making use of remote-sensing data with high spatial and high temporal resolution over a broad range of sensor wavelengths. These observations are evaluated by incorporating spatial context information in order to extract meaningful signals. We have successfully accumulated all primary remote sensing data which is now undergoing systematic processing to obtain higher-level products. These datasets include optical, terrain model and radar remote sensing data covering one decade of observations.

Keywords: Landslide, Remote Sensing Signature, SAR, Optical Image

目次	
摘要.....	I
Abstract.....	II
表次.....	IV
圖次.....	V
第一章 緒論	1
第一節 研究背景與動機	1
第二節 計畫目標	3
第二章 遙測資料蒐集	4
第三章 工作執行方法與成果	9
第一節 利用光學遙測影像偵測地表變遷	9
第二節 利用雷達遙測影像偵測地表變遷	21
第三節 光學與雷達影像偵測變遷成果分析	36
第四節 實地觀測與 UAV 資料蒐集	42
第四章 結論	44
參考文獻.....	46
附錄.....	1
附錄一、期中報告審查意見紀錄暨回覆辦理情形	附錄 1
附錄二、期末報告審查意見紀錄暨回覆辦理情形	附錄 3

表次

表 1 雷達/光學影像變遷偵測成果之矩陣.....	41
---------------------------	----

圖次

圖 1 研究區域-高雄市布唐布納斯溪集水區	2
圖 2 山崩事件與歷史資料表 (節錄, 本計畫產製)	4
圖 3 光學影像組管理之 Google Drive 資料夾(上)與資料管理檔案(下) (節錄, 本計畫產製).....	5
圖 4 雷達影像組管理之 Google Drive 資料夾(上)與資料管理檔案(下) (節錄, 本計畫產製).....	6
圖 5 本計畫使用之光學影像波段說明	7
圖 6 山崩事件與歷史資料表	8
圖 7 檔案管理時間表	8
圖 8 資料時間預覽表	8
圖 9 實驗區無雲覆蓋情況下各種影像分類成果	12
圖 10 實驗區有雲覆蓋情況下各種影像分類成果	13
圖 11 2008/07/16 卡玫基颱風造成布唐布納斯溪集水區及周遭地區之 地表變遷圖	15
圖 12 2009/08/05 莫拉克颱風造成布唐布納斯溪集水區及周遭地區之 地表變遷圖	16
圖 13 2017/6/1 豪大雨造成布唐布納斯溪集水區及周遭地區之地表變 遷圖.....	18
圖 14 2017/6/1 豪大雨造成布唐布納斯溪集水區及周遭地區之地表變 遷圖(使用 NDVI 影像)	20
圖 15 利用 ArcMap 的 Model Builder 工具自動化產生地表變遷圖流 程.....	20
圖 16 利用 Python 程式結合 ArcMap 模組化之部分程式碼	21
圖 17 莫拉克風災前後之雷達差分影像圖, 紅色區域為實驗區範圍	23

圖 18 2015 年 5-6 月豪雨事件過後前後 10 天內的同調性圖與差分相位干涉圖	24
圖 19 2018/02/06 發生之地震造成布唐布納斯溪集水區及周遭地區之地表變遷圖(採用 2018/02/05 與 2018/02/17 兩張 Sentinel-1 影像)	25
圖 20 2018/02/06 發生之地震造成布唐布納斯溪集水區及周遭地區之地表變遷圖(採用 2018/02/05 與 2018/03/13 兩張 Sentinel-1 影像)	26
圖 21 雷達幾何變形在經由地形改正、投影後之情形	27
圖 22 選取之山崩區域樣本的雷達強度變遷成果與對照之航照圖	27
圖 23 利用 Polarimetric Decomposition 獲取之 Entropy 影像	28
圖 24 利用 Polarimetric Decomposition 獲取之 Anisotropy 影像	29
圖 25 利用 Polarimetric Decomposition 獲取之 Alpha 影像	29
圖 26 Entropy+Anisotropy+Alpha 合成假色影像	30
圖 27 Entropy+Anisotropy 合成假色影像	31
圖 28 利用 Polarimetric Decomposition 成果之分類象限圖	31
圖 29 Unsupervised classification 影像	32
圖 30 由上至下分別為 Alpha、Entropy、Entropy+Anisotropy、Entropy+Anisotropy+Alpha 之 Supervised Classification 成果	34
圖 31 實驗區某處邊坡之永久散射點分佈與形變	36
圖 32 測試範圍，背景為 2009/07/30 SPOT5 假色影像 (R channel: NIR band, G channel: Red band, B channel: Green band)	37
圖 33 2009/07/30(左)與 2009/08/20(右)之 SPOT-5 假色影像	38
圖 34 2009/07/15(左)與 2009/08/19(右)之 SAR backscatter 影像	38
圖 35 2009/07/30 與 2009/08/20 之光學影像處理成果	39
圖 36 2009/07/15 與 2009/08/19 之雷達影像處理成果	40

圖 37 雷達/光學影像變遷偵測圖	41
圖 38 範例 UAV 影像與蒐集位置(布唐布納斯溪集水區數值地形模型 取自 Lo et al. (2018))	43

第一章 緒論

第一節 研究背景與動機

自 2009 年莫拉克風災後，中央地質調查所利用光達地形圈繪之潛在大規模深層山崩區為數眾多，目前仍多仰賴單一場址之 PS-InSAR(Persistent scatterers interferometry，永久散射點干涉)分析位移量與現地長期監測，以釐清山崩活動性與潛移徵兆。對於全臺數百個已圈繪之大規模崩塌點位，目前仍缺乏廣域之山崩活動性評估方法，災防單位僅能暫以保全住戶較多者作為優先監測整治目標。另有鑑於國發會於 2015/12/05 通過農委會提案之「氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫」(第一期：2017-2020 年)，為發展潛在大規模山崩破壞機制研判與活動性評估技術，掌握具滑動高潛勢區位，本計畫擬採用多元遙測資料與相關技術，萃取出一系列之遙測識別標誌(Remote sensing signatures)，以建立山崩熱區之自動辨識方法，藉此可監測並分析 Deep-seated gravitational slope deformations (DSGSD)之破壞區位、型態與可能誘發之土砂害類型(如：圓弧形滑動、平面型崩塌或土石流等)，且有助於長期研判其潛移(復發)活動性。

本計畫擬以高雄市桃源區布唐布納斯溪集水區作為研究區，該集水區面積為 678 公頃，溪流長度為 4.85 公里(參見圖 1)。該集水區曾於 2009/8/8 莫拉克颱風，發生大規模崩塌，發生土石下移，並約有

2,000 萬立方公尺之崩積料源停淤坡面與溪床上。後續則於 2010/9 及 2012/9 凡娜比颱風及 611 豪雨侵襲期間再次發生崩塌。該集水區溪流亦為水土保持局公開之土石流潛勢溪流(編號：高市 DF060；潛勢等級：高)，由於溪流內堆積土砂供應豐沛，常可於豪雨事件過後，於下游荖濃溪匯流口觀察到土石流堆積扇地貌。高市 DF060 集水區下至上游依序位於潮州層(Co)、長枝坑層(Cc)及糖恩山砂岩(Tn)。且集水區內有兩條地質構造通過(高中斷層與土壟灣斷層)。因本集水區內同時存在土石流(debris flow)、岩屑崩滑(debris slide)及岩體滑動(rock slide)三種類型土砂災害，且山崩潛勢仍高(財團法人中興工程顧問社，2009; 2015)。為了瞭解集水區內未來山崩活動性及輔助山崩熱區自動判釋方法學之建立與驗證，故挑選此集水區作為研究區域。

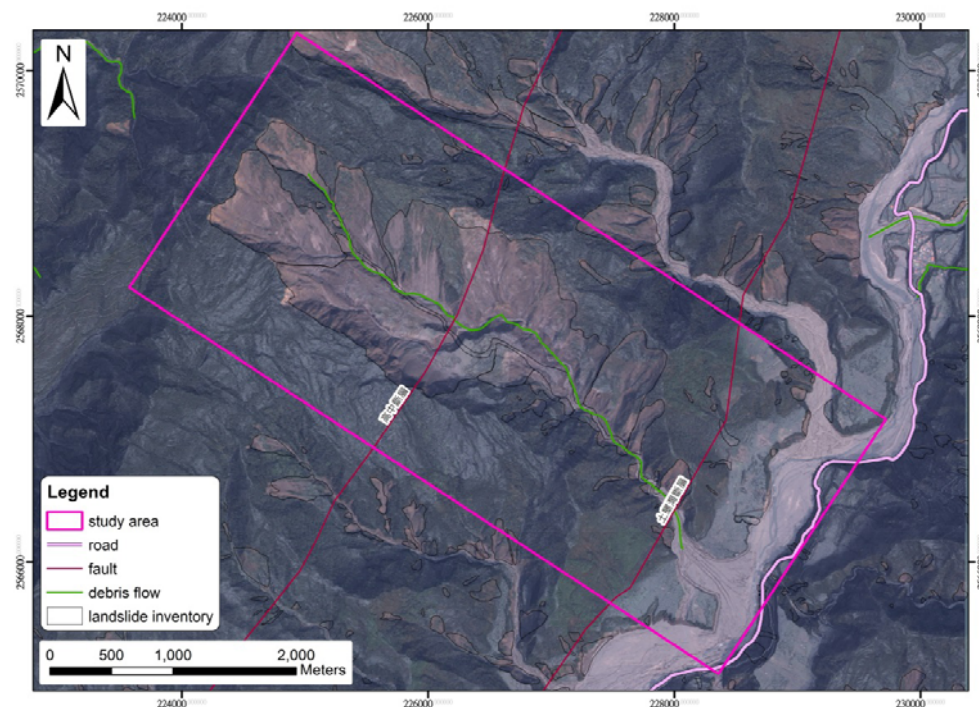


圖 1 研究區域-高雄市布唐布納斯溪集水區

第二節 計畫目標

(一) 全程目標

山崩特徵與熱區之自動辨識為本計畫之最終目標，本計畫規劃以三個工作項目(Work Package)為主軸，用三年的時間完成。原則上第一年為研究團隊的自我學習，透過空間資料的處理與實地調查的相互驗證，本團隊將建立能顯示山崩地形特徵位置之遙測識別標誌與辨識原則。第二年為自我學習轉化到機器學習的過程，我們將第一年(以及至第二年持續)累積之標誌與原則，透過在新增遙測資料中的訓練與反覆驗證，預期能建立山崩特徵自動萃取的初步方法。第三年為自動化萃取工作的最終階段，本計畫在此階段將確定需要的遙測資料、處理程序、遙測識別標誌等，自動辨識原則與演算式也會調整(Tune)完成。

(二) 本年度目標

在前述三年計畫的架構下，本年度欲達成之目標主要是聚焦於實驗區的歷史山崩事件的整理，本計畫將蒐集各個山崩事件的時空屬性，包括發生時間、位置、範圍、驅使原因等，並著手相關空間資料的處理，從成果中觀察山崩的時空地理特徵、各項屬性與遙測識別標誌之間的關係，並將其紀錄在本計畫特別建置之資料庫。

第二章 遙測資料蒐集

至目前為止主要進度為各類資料之蒐集、整理與處理工作，我們在執行時首先蒐集 2007-2016 年間之山崩歷史資料(參見圖 2)，同時將遙測資料區分為光學、雷達與數值地形模型三類，各類分別由助理即時進行蒐集與整理，為了能夠有效控制進度，研究團隊定期討論，並且統一使用 Google Drive 做為資料共享平台，可讓計畫主持人與助理之間隨時了解彼此進度、存取資料(參見圖 3、4)。

month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
year	09												10											
Dataset and material of SLAMMP project (2015-2016)																								
year	15												16											
month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
rainfall event																								
earthquake														0206										
aerial image																								
satellite image																								
UAV image																								
LIDAR DEM																								
Sentinel-1A(SLC)																								
PS-InSAR (Radarsat2)																								
landsat8																								
ASTER																								

圖 2 山崩事件與歷史資料表 (節錄，本計畫產製)

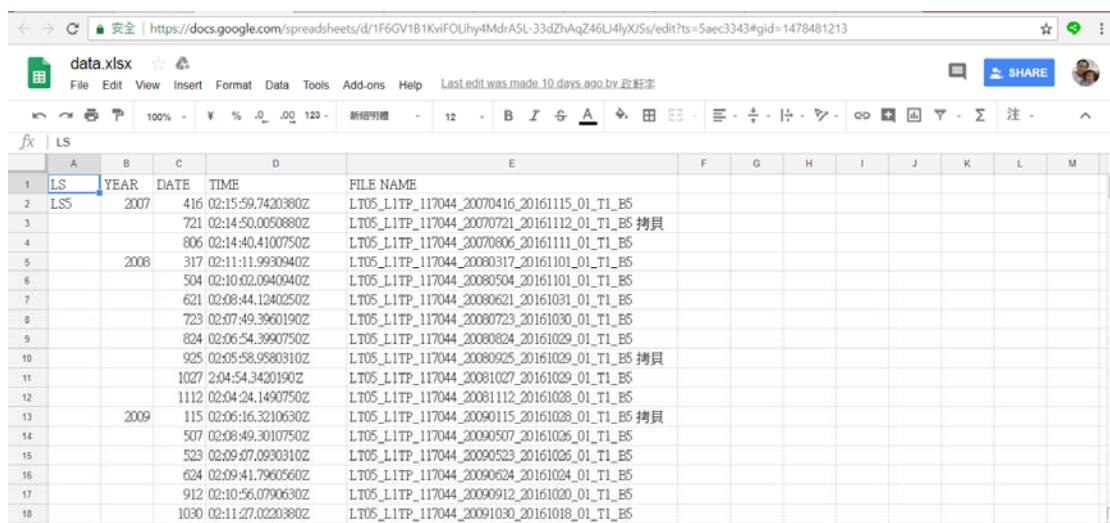
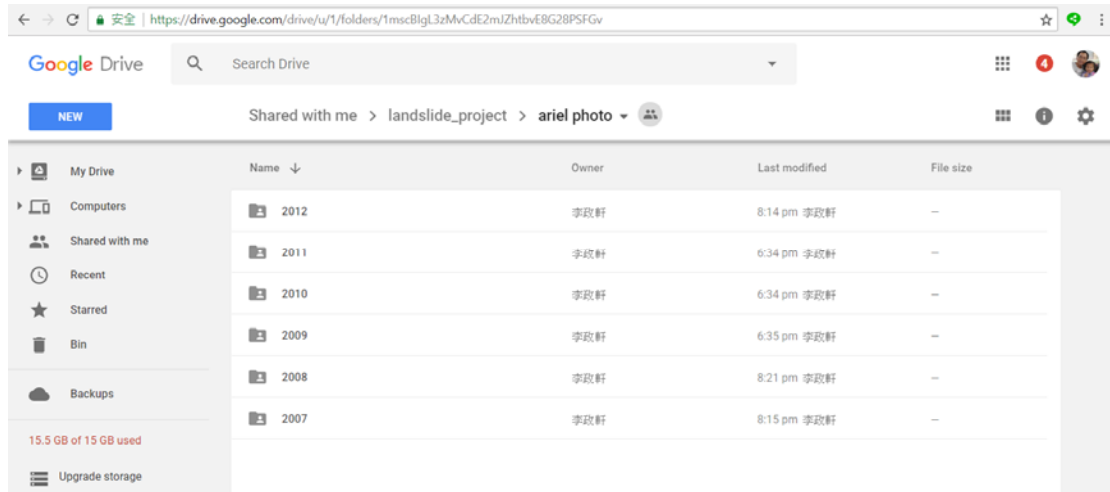
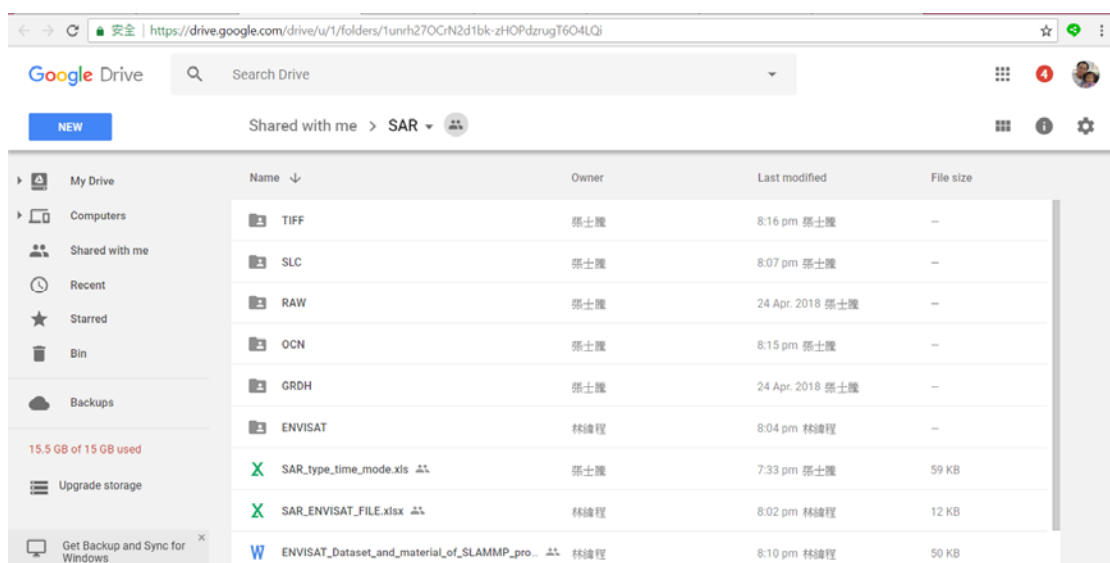


圖 3 光學影像組管理之 Google Drive 資料夾(上)與資料管理檔案(下)
(節錄，本計畫產製)



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	Type		Time					S.M		Satellite											
2	SLC		20171123T100059			20171123T100127		IW		S1A											
3	SLC		20171111T100031			20171111T100101		IW		S1A											
4	SLC		20170912T100031			20170912T100101		IW		S1A											
5	SLC		20171205T100058			20171205T100126		IW		S1A											
6	SLC		20180227T100056			20180227T100124		IW		S1A											
7	SLC		20180110T100057			20180110T100125		IW		S1A											
8	SLC		20160202T100019			20160202T100049		IW		S1A											
9	SLC		20180203T100029			20180203T100058		IW		S1A											
10	SLC		20180329T100009			20180329T100039		IW		S1B											
11	SLC		20151005T100027			20151005T100057		IW		S1A											
12	SLC		20171231T1215230			20171231T1215305		IW		S1A											
13	SLC		20150820T1215221			20150820T1215256		IW		S1A											
14	SLC		20171207T1215231			20171207T1215306		IW		S1A											
15	SLC		20171111T100059			20171111T100127		IW		S1A											
16	SLC		20180313T1215229			20180313T1215304		IW		S1A											
17	SLC		20170608T100054			20170608T100121		IW		S1A											
18	SLC		20170409T100023			20170409T100053		IW		S1A											
19	SLC		20170316T100050			20170316T100117		IW		S1A											
20	SLC		20170529T1215226			20170529T1215301		IW		S1A											
21	SLC		20170220T100025			20170220T100054		IW		S1A											
22	SLC		20171030T100059			20171030T100127		IW		S1A											

圖 4 雷達影像組管理之 Google Drive 資料夾(上)與資料管理檔案(下)
(節錄，本計畫產製)

光學影像的蒐集包括 Landsat 系列影像、Sentinel-2 多光譜影像(影像波段說明請見圖 5)，因為光學影像資料量大，為了便於管理以及資訊共享，本團隊使用 Google Drive 教育版，產製山崩事件與歷史資料表、檔案管理時間表、資料預覽時間表(參見圖 6-8)，以達到計畫團隊成員間能追蹤進度，並快速便捷的資料存取、共享的目的。此類影像提供進行假色影像製作與多時期影像分類，以利後續變遷偵測；雷達影像包括 ASAR、Sentinel-1 影像，作為干涉處理所需資料，已取得地表形變趨勢；數值地形模型則包括 SRTM、ASTER、內政部公開之 DTM，利用這些地形模型製作多角度 Hillshaded DTM。如此一來，除了可以有效率處理歷史影像，對於一直在拍攝並供免費下載的 Sentinel 系列衛星影像，亦可達到近即時的影像處理與變遷偵測。

Landsat-5 衛星影像波段(衛星使用時間 1984-2014)					
- Band 1 Visible (0.45 - 0.52 μm) 30 m - Band 2 Visible (0.52 - 0.60 μm) 30 m - Band 3 Visible (0.63 - 0.69 μm) 30 m - Band 4 Near-Infrared (0.76 - 0.90 μm) 30 m - Band 5 Near-Infrared (1.55 - 1.75 μm) 30 m - Band 6 Thermal (10.40 - 12.50 μm) 120 m - Band 7 Mid-Infrared (2.08 - 2.35 μm) 30 m					
Landsat-8 衛星影像波段(衛星使用時間 2013-至今)					
- Band 1 Visible (0.43 - 0.45 μm) 30 m - Band 2 Visible (0.450 - 0.51 μm) 30 m - Band 3 Visible (0.53 - 0.59 μm) 30 m - Band 4 Red (0.64 - 0.67 μm) 30 m - Band 5 Near-Infrared (0.85 - 0.88 μm) 30 m - Band 6 SWIR 1(1.57 - 1.65 μm) 30 m - Band 7 SWIR 2 (2.11 - 2.29 μm) 30 m - Band 8 Panchromatic (PAN) (0.50 - 0.68 μm) 15 m - Band 9 Cirrus (1.36 - 1.38 μm) 30 m					
Sentinel 2 衛星影像波段(衛星使用時間 2015-至今)					
Sentinel-2 bands	Sentinel-2A		Sentinel-2B		Spatial resolution (m)
	Central wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	Central wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	
Band 1 – Coastal aerosol	443.9	27	442.3	45	60
Band 2 – Blue	496.6	98	492.1	98	10
Band 3 – Green	560.0	45	559	46	10
Band 4 – Red	664.5	38	665	39	10
Band 5 – Vegetation red edge	703.9	19	703.8	20	20
Band 6 – Vegetation red edge	740.2	18	739.1	18	20
Band 7 – Vegetation red edge	782.5	28	779.7	28	20
Band 8 – NIR	835.1	145	833	133	10
Band 8A – Narrow NIR	864.8	33	864	32	20
Band 9 – Water vapour	945	26	943.2	27	60
Band 10 – SWIR – Cirrus	1373.5	75	1376.9	76	60
Band 11 – SWIR	1613.7	143	1610.4	141	20
Band 12 – SWIR	2202.4	242	2185.7	238	20

圖 5 本計畫使用之光學影像波段說明

Dataset_and_material_of_SLAMMP_project.docx

檔案 編輯 查看 插入 格式 工具 外掛程式 說明 顯示內容的新更新

100% 一般文字 Arial 16 B I U

Dataset and material of SLAMMP project (2007-2008)

year	07												08											
month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
rainfall event								Sepat 0816											Kahmas off 8					
earthquake																								
aerial image																								
satellite image																								
UAV image																								
LIDAR DEM																								
Sentinel-1A(SLC)																								
PS-InSAR (Radersat2)																								
Landsat 5																								

圖 6 山崩事件與歷史資料表

optical image time list.xlsx

檔案 編輯 查看 插入 格式 資料 工具 外掛程式 說明 上次編輯: 4月24日 (編輯者: 政軒李)

100% 一般文字 Arial 12 B I U

LS	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	LS	YEAR	DATE	TIME	FILE NAME					
2	LS5	2007	416	02:15:59.7420380Z	LT05_L1TP_117044_20070416_20161115_01_T1_B5					
3			721	02:14:50.0050880Z	LT05_L1TP_117044_20070721_20161112_01_T1_B5 拷貝					
4			806	02:14:40.4100750Z	LT05_L1TP_117044_20070806_20161111_01_T1_B5					
5		2008	317	02:11:11.9930940Z	LT05_L1TP_117044_20080317_20161101_01_T1_B5					
6			504	02:10:02.0940940Z	LT05_L1TP_117044_20080504_20161101_01_T1_B5					
7			621	02:08:44.1240250Z	LT05_L1TP_117044_20080621_20161031_01_T1_B5					
8			723	02:07:49.3960190Z	LT05_L1TP_117044_20080723_20161030_01_T1_B5					
9			824	02:06:54.3990750Z	LT05_L1TP_117044_20080824_20161029_01_T1_B5					
10			925	02:05:58.9580310Z	LT05_L1TP_117044_20080925_20161029_01_T1_B5 拷貝					
11			1027	2:04:54.3420190Z	LT05_L1TP_117044_20081027_20161029_01_T1_B5					
12			1112	02:04:24.1490750Z	LT05_L1TP_117044_20081112_20161028_01_T1_B5					
13		2009	115	02:06:16.3210630Z	LT05_L1TP_117044_20090115_20161028_01_T1_B5 拷貝					
14			507	02:08:49.3010750Z	LT05_L1TP_117044_20090507_20161026_01_T1_B5					
15			523	02:09:07.0930310Z	LT05_L1TP_117044_20090523_20161026_01_T1_B5					
16			624	02:09:41.7960560Z	LT05_L1TP_117044_20090624_20161024_01_T1_B5					
17			912	02:10:56.0790630Z	LT05_L1TP_117044_20090912_20161020_01_T1_B5					
18			1030	02:11:27.0220380Z	LT05_L1TP_117044_20091030_20161018_01_T1_B5					
19		2010	203	02:12:05.3990880Z	LT05_L1TP_117044_20100203_20161017_01_T1_B5					
20			510	02:12:01.2200630Z	LT05_L1TP_117044_20100510_20161015_01_T1_B5					

圖 7 檔案管理時間表

2017/10/29 11/2	V+				
2017/11/5	-	-	-		
2017/11/12 11/17	V+				
2017/11/19 11/21	V+				
2017/11/26	-	-	-		
2017/12/3 12/7	V+				
2017/12/10	-	-	-		
2017/12/17 12/23	V+				
2017/12/24 12/27	V+				
2017/12/31	-	-	-		
2018/1/7	-	-	-		
2018/1/14 1/16	V+				
2018/1/21	-	-	-		

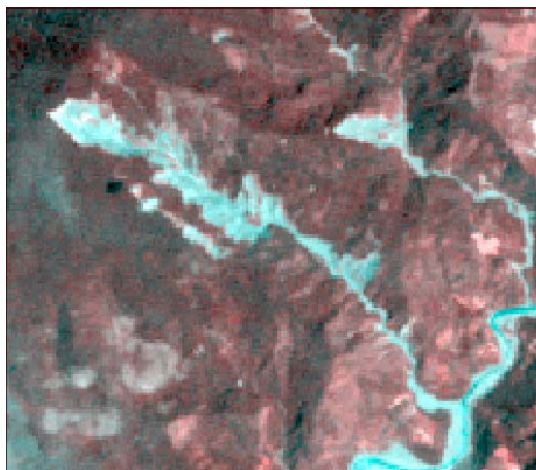
圖 8 資料時間預覽表

第三章 工作執行方法與成果

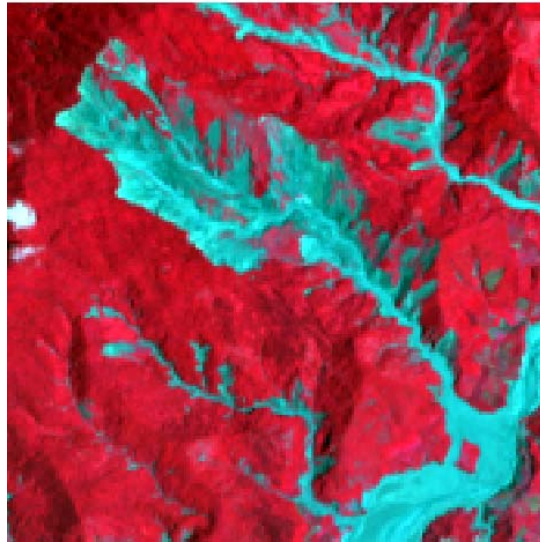
第一節 利用光學遙測影像偵測地表變遷

遙測衛星影像是可用來偵測地表覆蓋變遷的資料，在選擇造成地表變化之事件(如：颱風、地震、豪雨等)後，以該事件發生時間為準，找出變遷前、後所攝得之衛星影像，利用該組光學影像便可初步辨識出地表變遷。而為了自動化進行，影像分類(Image classification)為常用之方法之一，將影像內的所有像元歸類至各個地表覆蓋類別後，便可利用事件前、後影像之像元類型的變化，偵測出發生變化的區位與規模。以下我們將介紹此項工作的執行方法與初步成果，首先說明影像的挑選與便於視覺化之處理程序：

◎ 2007 至 2011 年間，利用 Landsat-5 衛星所拍攝之資料，為有助於視覺化，嘗試多種不同的波段組合形成假色影像，經測試後決定由波段 4、波段 3、波段 2 所組合之假色影像為主，如右圖，藍色部分為裸地，紅色部分為森林，黑色部分為山的陰影。



◎ 2013 到 2018 年間，利用 Landsat-8 衛星所拍攝之資料，空間解析度與 Landsat-5 一樣為 30 m/pixel，形成假色影像(波段 5、波段 4、波段 3)後，藍色部分為裸地，紅色部分為植物覆蓋區

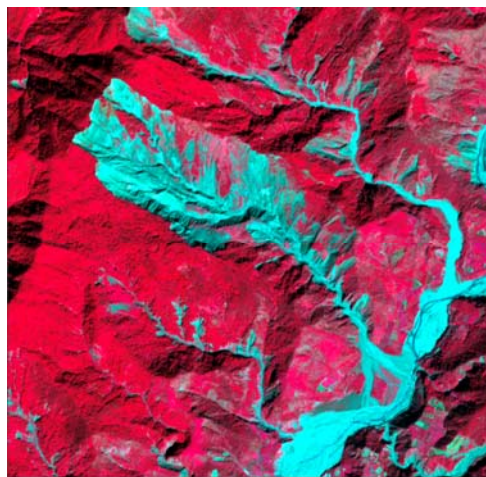


◎ 2015 年 6 月 23 日，Sentinel-2 升空啟用，因其解析度較高，故為之後使用的主要資料，此資料我們嘗試形成真實彩色影像(波段 4、波段 3、波段 2)後，綠色部分為森林，土灰色部分為裸地。



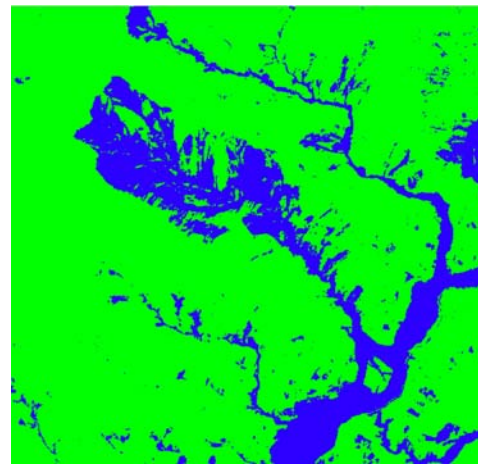
從上述的各類影像，我們大致皆可觀察到計畫範圍內的植被與裸露的的分佈區域，但若需要更進一步得到變遷之量化數值，可透過影像分類來進行，此處理主要是透過影像像元之光譜特性，以監督式(Supervised)或是非監督式(Unsupervised)分類演算式，將影像內的所有像元歸類至各個地表覆蓋類別。本計畫已嘗試監督式分類下的

Maximum Likelihood、Parallelepiped、Mahalanobis Distance、Minimum Distance 演算法，圖 9 與圖 10 分別展示在有雲與無雲的情況下，各種分類方法的成果。從測試的成果發現在無雲影像的情況下，Mahalanobis Distance 演算法測試的成果最接近人眼直觀之認知；但是在有雲的情況下，Maximum Likelihood 演算法測試的成果最接近真實狀況。



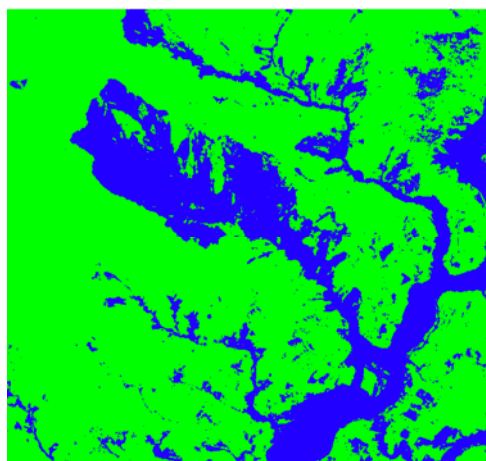
■ 裸地
■ 植物覆蓋
■ 山陰影

假色影像



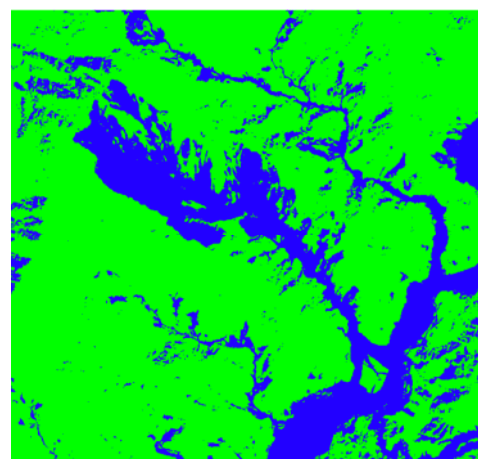
■ 裸地
■ 植物覆蓋

Mahalanobis Distance 分類



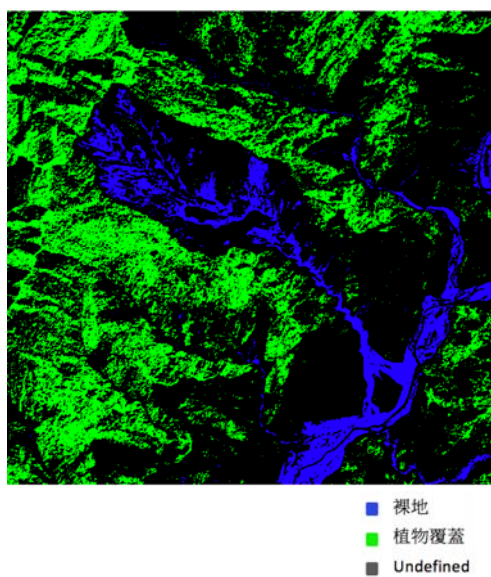
■ 裸地
■ 植物覆蓋

Maximum Likelihood 分類



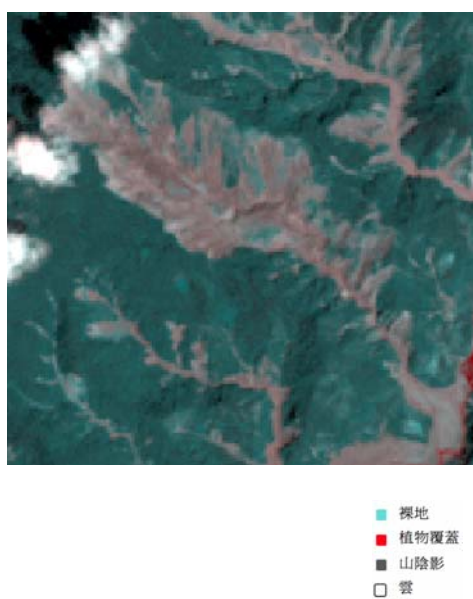
■ 裸地
■ 植物覆蓋

Minimum Distance 分類

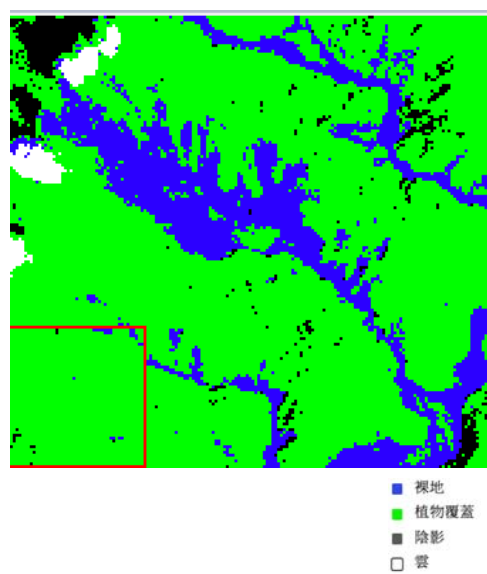


Parallelepiped 分類

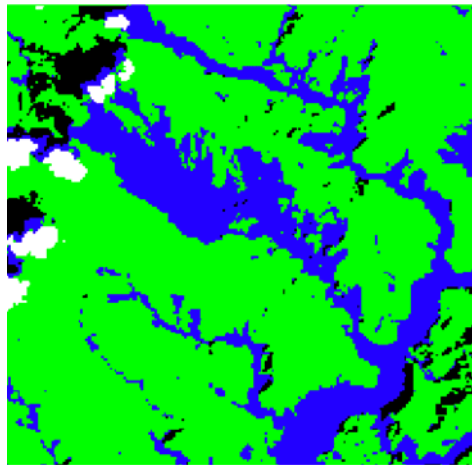
圖 9 實驗區無雲覆蓋情況下各種影像分類成果



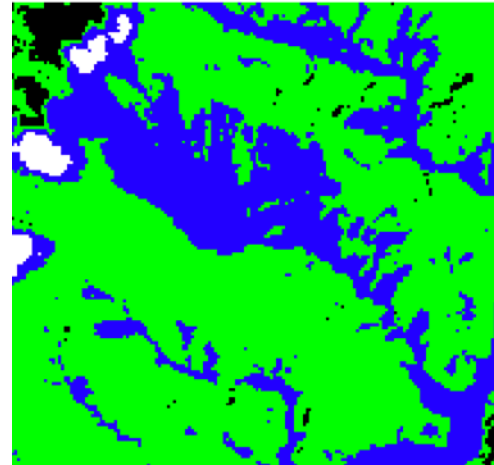
假色影像



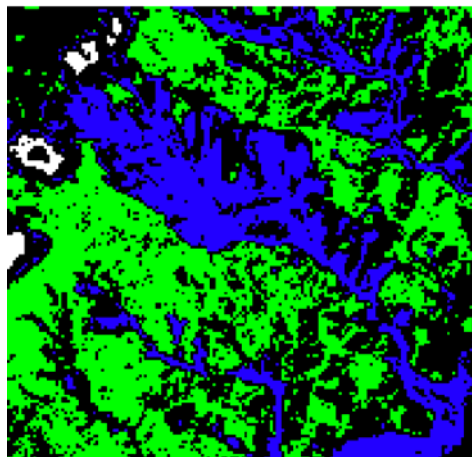
Mahalanobis Distance 分類



Maximum Likelihood 分類



Minimum Distance 分類

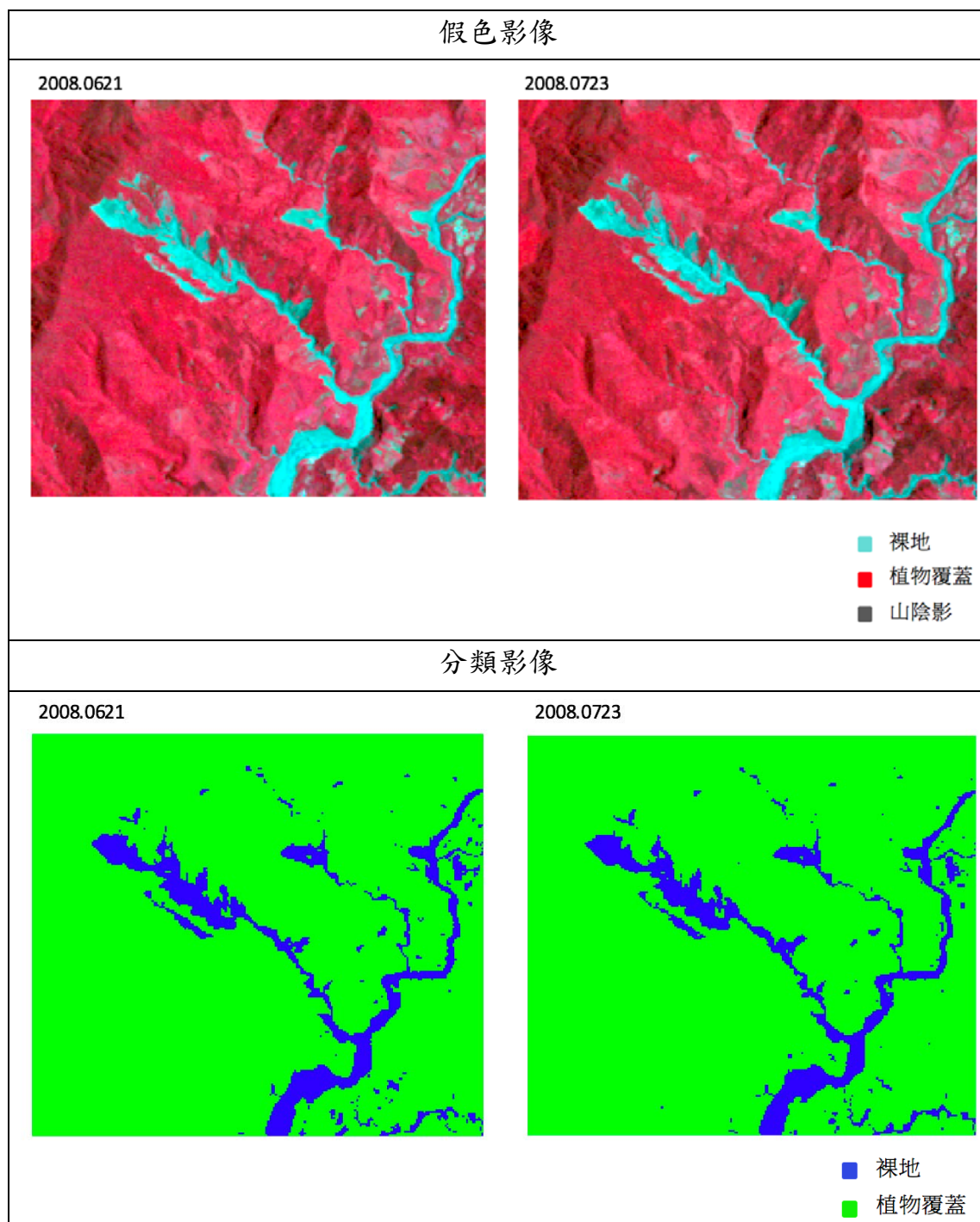


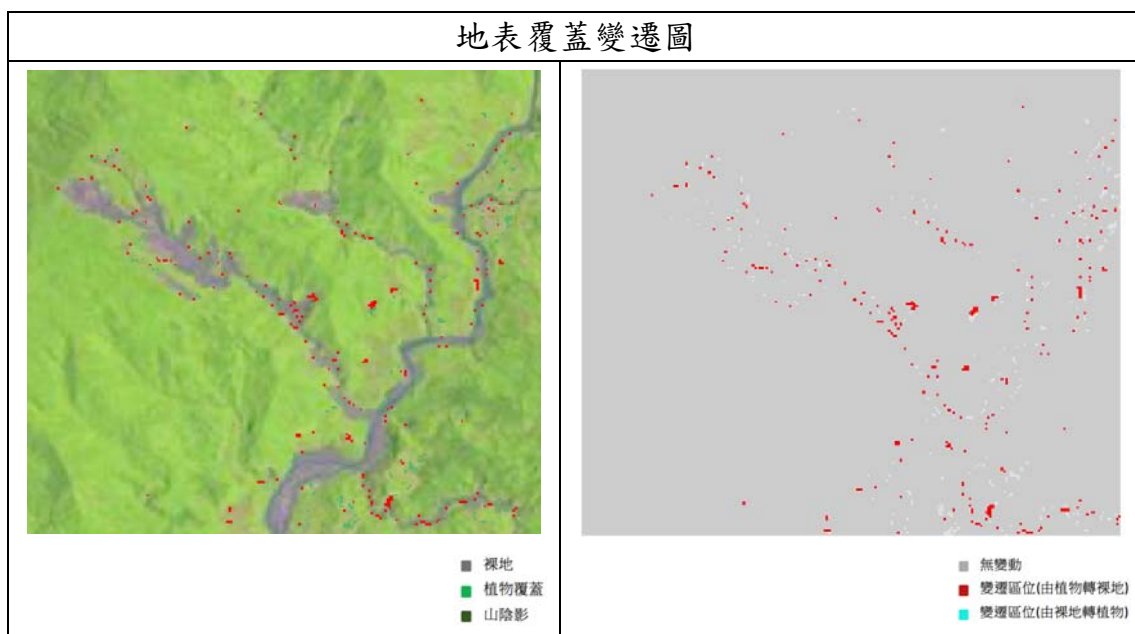
Parallelepiped 分類

圖 10 實驗區有雲覆蓋情況下各種影像分類成果

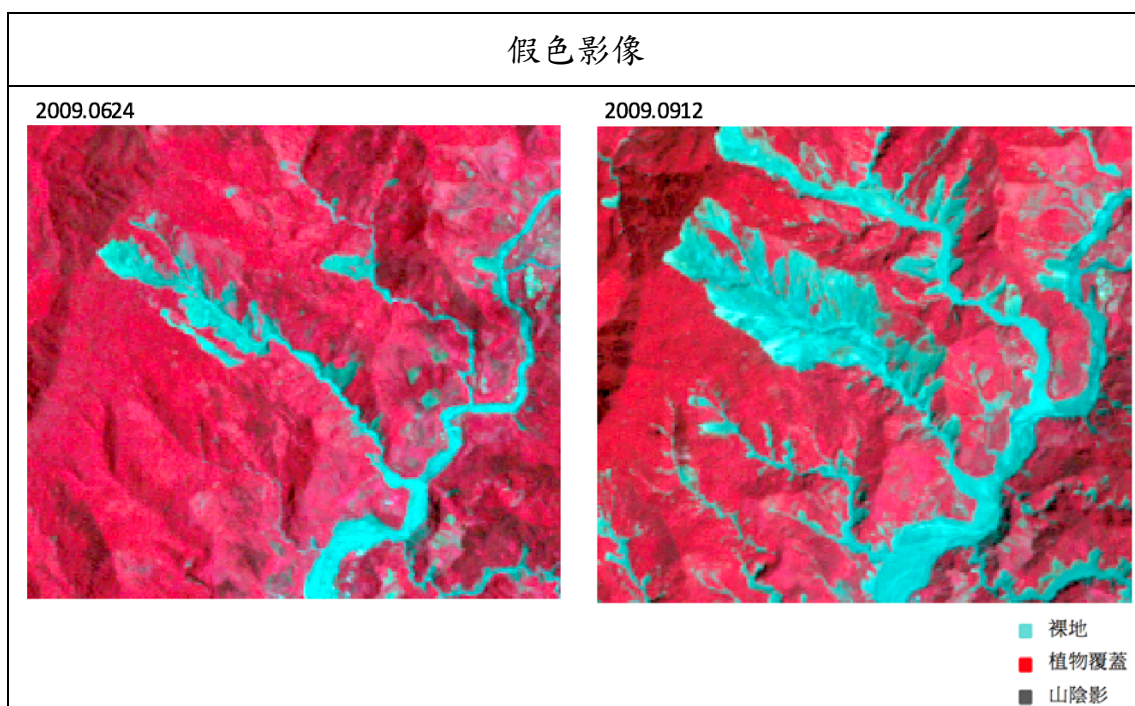
將以上之分類結果，裸地與植被分別以藍色、綠色顯示，並設定裸地數值為 0，植物部分數值為 1。選定一事件，將事件前後之影像皆進行分類以產製分類成果圖，再以事件後之影像減去事件前之影像，由各像元所得之差值，可得出此事件所造成之變遷(數值 0 代表沒有變動的部分，以灰色表示；數值 1 代表由裸地轉為植物，以白色

表示；數值-1 則代表由植物轉為裸地(有可能是山崩區域)，以紅色表示)。以下選定 2008/07/16 卡玫基颱風(圖 11)、2009/08/05 莫拉克颱風(圖 12)、2017/6/1 豪大雨(圖 13)等三個事件為例，說明此部分之執行成果。





**圖 11 2008/07/16 卡玖基颱風造成布唐布納斯溪集水區及周遭地區之
地表變遷圖**



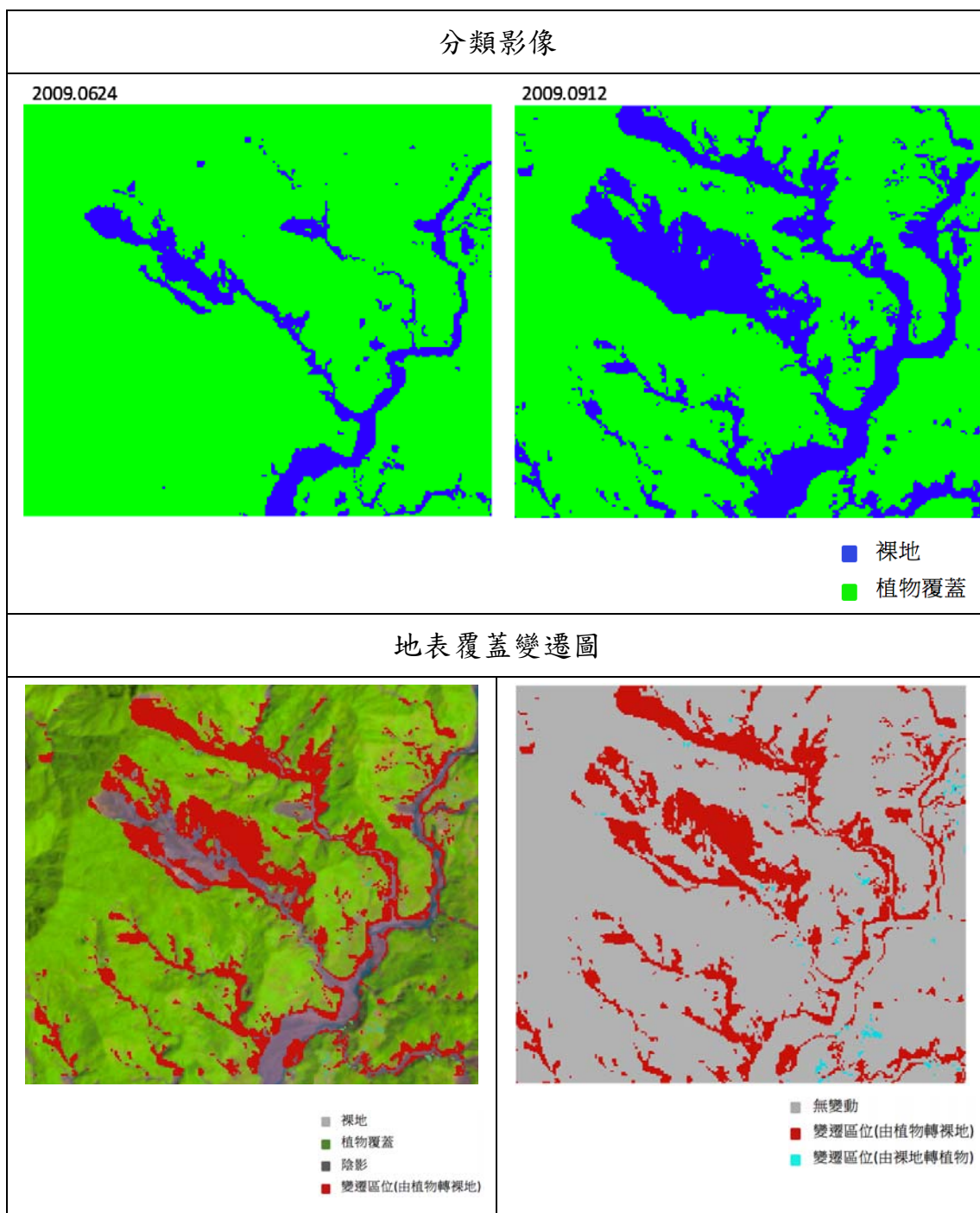
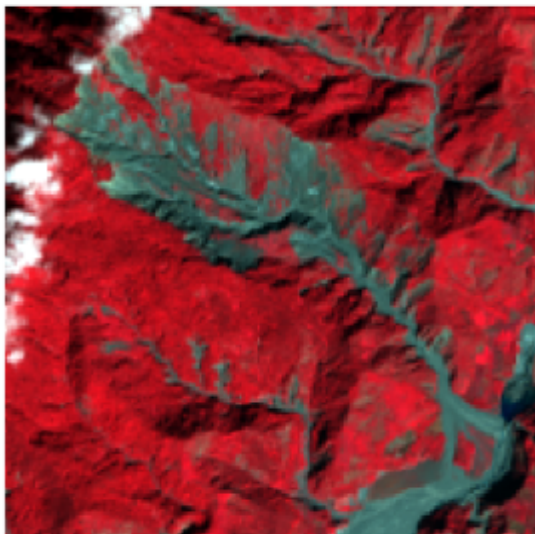


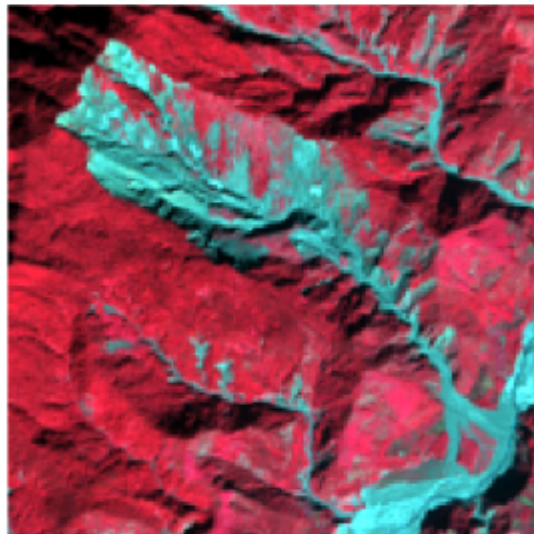
圖 12 2009/08/05 莫拉克颱風造成布唐布納斯溪集水區及周遭地區之
地表變遷圖

假色影像

• 170206

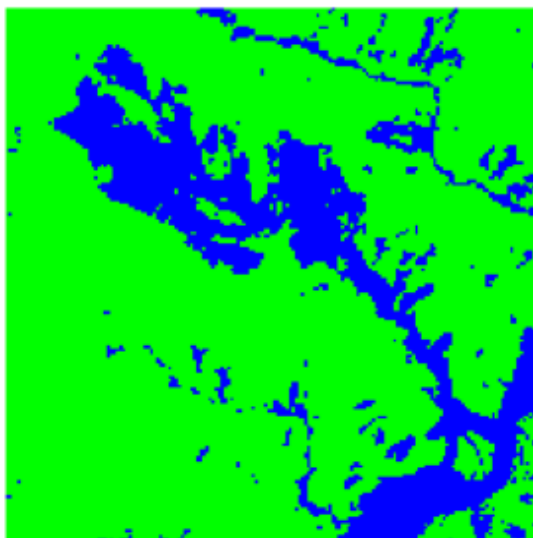


• 171223

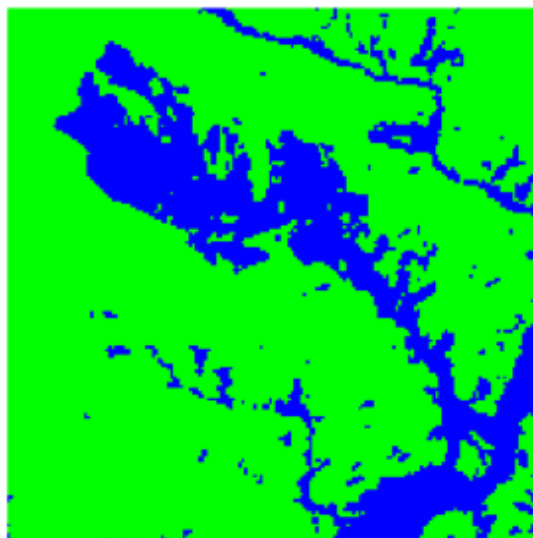


分類影像

• 170206



• 171223



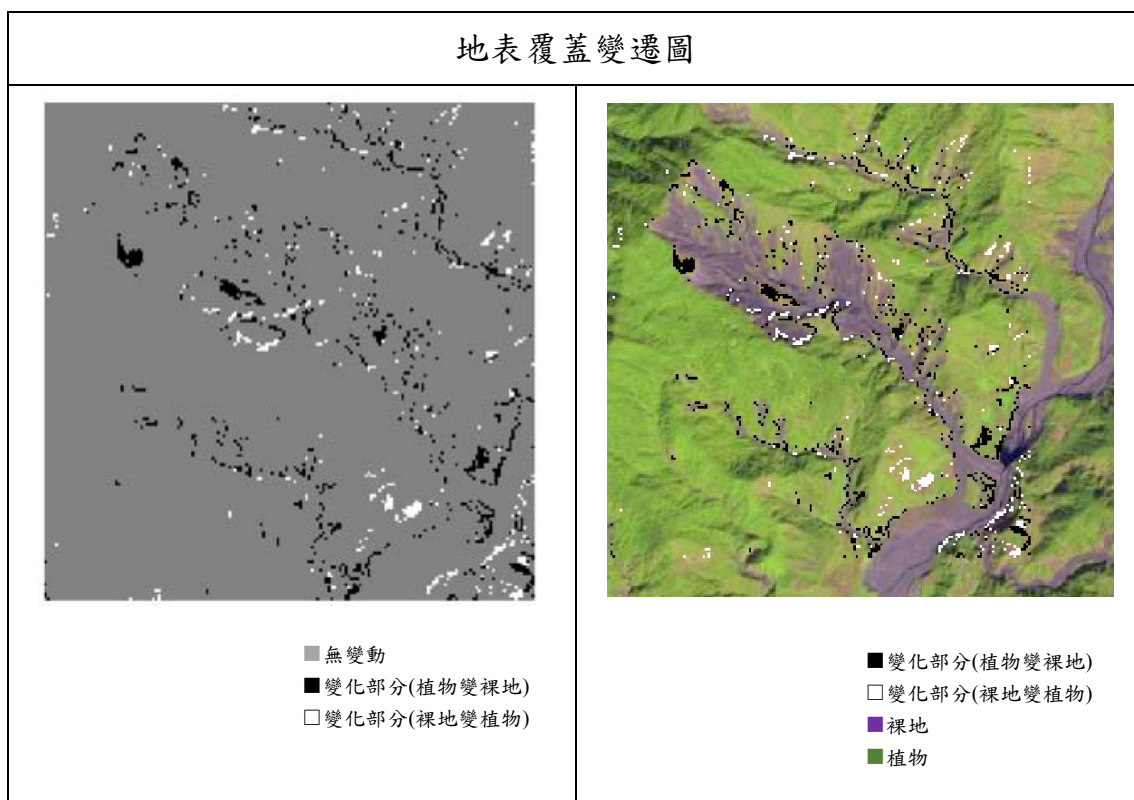


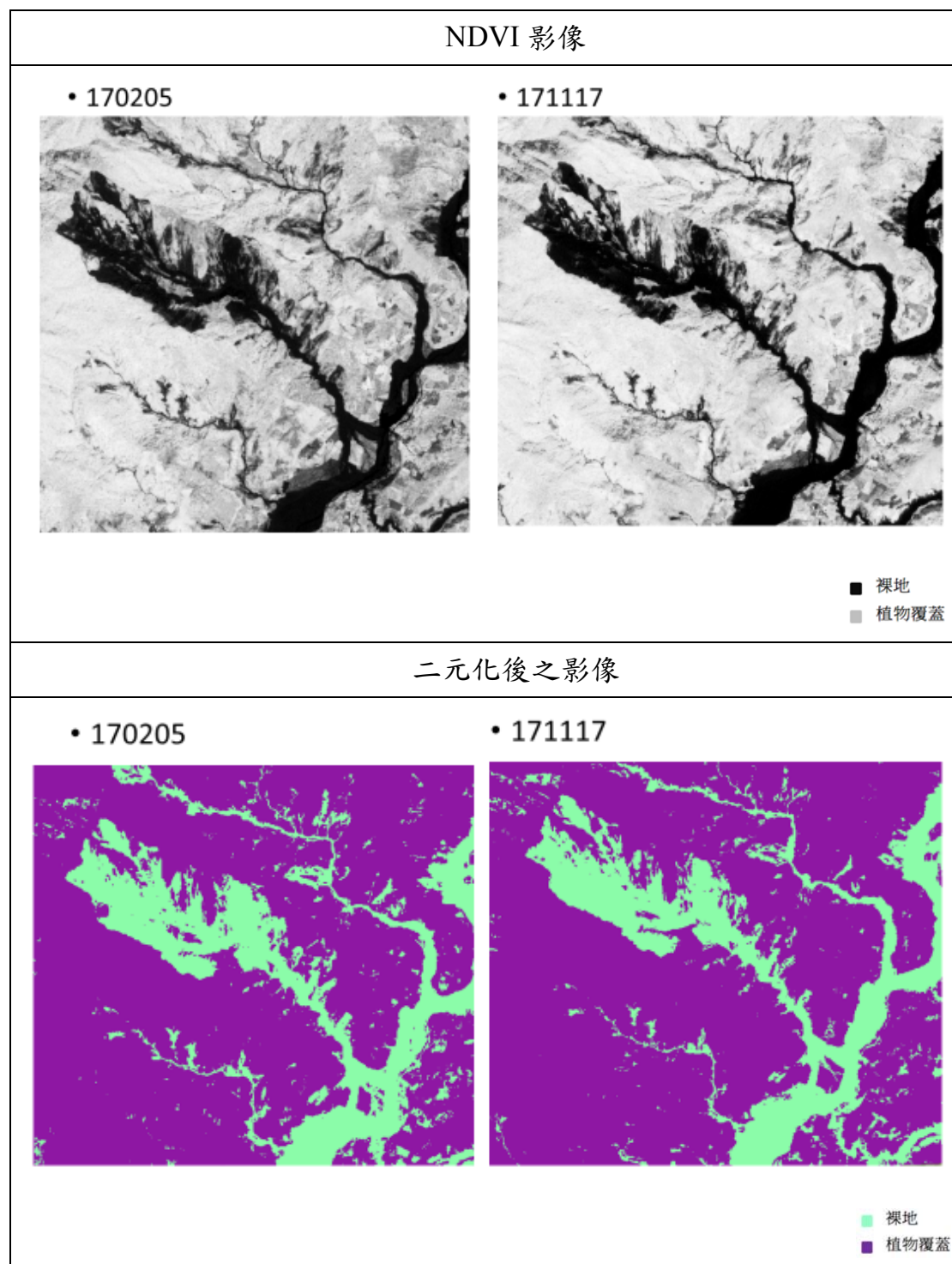
圖 13 2017/6/1 豪大雨造成布唐布納斯溪集水區及周遭地區之地表變遷圖

此種偵測變遷的方法為利用三個波段組合成假色影像，將假色影像分類再相減的動作。但在監督式分類過程中有一些操作上的不確定因素，將導致大量資料之自動化工作的困難，例如：

- ◎ 每張圖必須重新畫訓練樣區，耗時費力；
- ◎ 每個人主觀判斷分類依據，成果可能因此有誤差；
- ◎ 肉眼判斷畢竟容易有誤，無法建立一個正確的分類依據。

基於這些缺點，本計畫改嘗試利用常態化差值植生指標(NDVI)數值分類，避免上述分類的限制，並較容易實現自動化處理。同樣以

2017/6/1 豪大雨事件為例，計算出事件前、後之影像的 NDVI 圖後，以 0.4 作為分類之分界點，數值大於 0.4 之部分視為綠地，將其值設為 1；數值小於 0.4 之部分為裸地，將其值設為 0。相減後得出此事件所造成之變遷，成果請見圖 14。



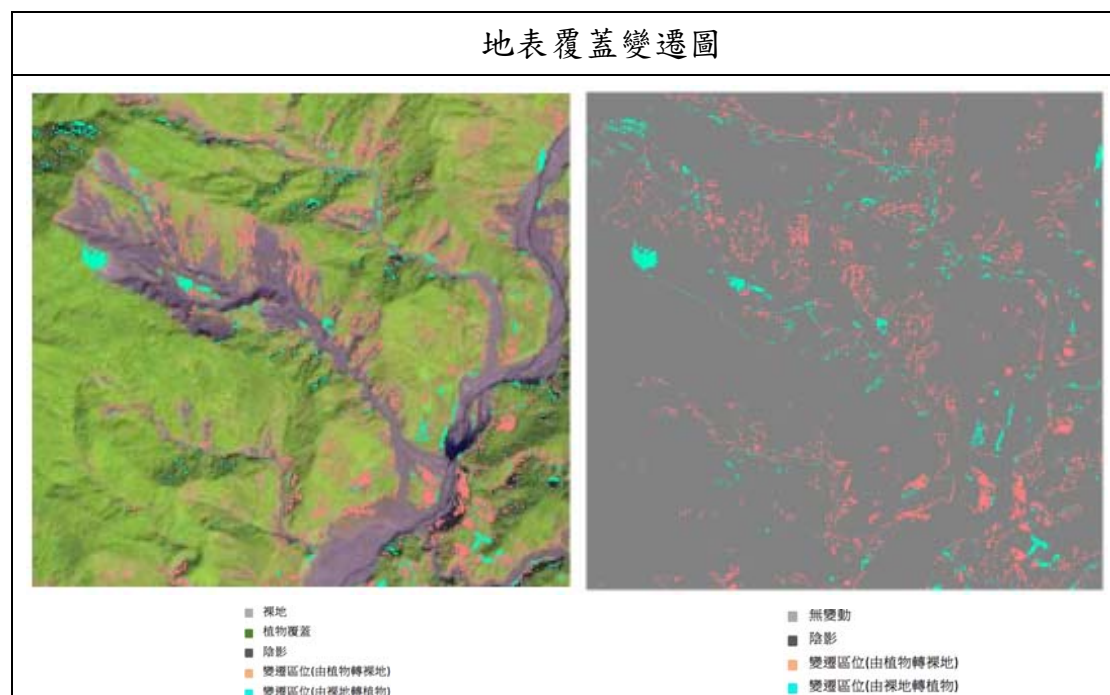


圖 14 2017/6/1 豪大雨造成布唐布納斯溪集水區及周遭地區之地表變遷圖(使用 NDVI 影像)

找出了以上偵測變遷的最適方法後，便制定一套流程以方便每次作業，以下為利用 ArcMap 的 Model Builder 工具，自動化產生地表變遷圖之流程(參見圖 15)。

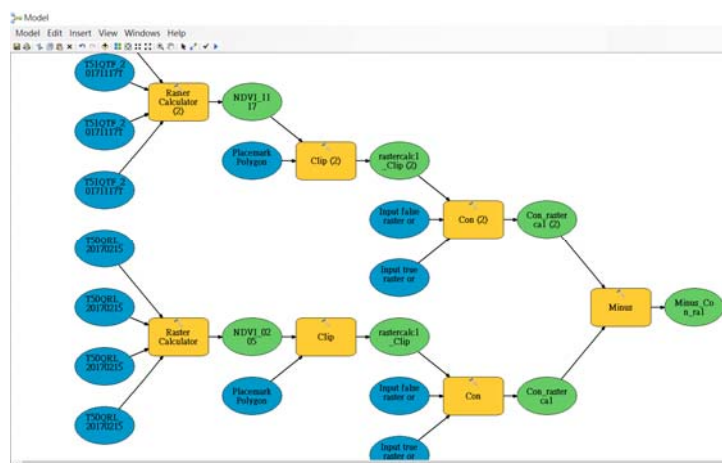


圖 15 利用 ArcMap 的 Model Builder 工具自動化產生地表變遷圖流程

另外，本計畫也正在嘗試將此流程利用 Python 程式結合 ArcMap 模組化(參見圖 16)，可利用程式快速處理影像資料。

```
1  # -*- encoding = BIG5
2  import arcpy
3  from arcpy import env
4
5  env.workspace = "C:\landslide\composite\sentinel2"
6  name_source = "T50QRL_20180312T022551"
7
8
9  for i in range(1,13,+1):
10     #clip the image from b01 to b12
11     if i < 10 :
12         title = name_source + "_B0" + str(i) + ".jp2"
13         output_title = "S2_" + name_source + "_B0" + str(i) + ".clip.tif"
14     else :
15         title = name_source + "_B" + str(i) + ".jp2"
16         output_title = "S2_" + name_source + "_B" + str(i) + ".clip.tif"
17     arcpy.Clip_management(title,"268706.377 2565368.789 275713.743 2571521.19",output_title, "#", "#", "NONE")
18     #source = source + output + ";"
19
20 band4 = "S2_" + name_source + "_B04clip.tif"
21 band3 = "S2_" + name_source + "_B03clip.tif"
22 band2 = "S2_" + name_source + "_B02clip.tif"
23 source = band4 + ";" + band3 + ";" + band2
24 output = "S2_" + name_source + "_432natural.tif"
25 arcpy.CompositeBands_management(source , output)
```

圖 16 利用 Python 程式結合 ArcMap 模組化之部分程式碼

第二節 利用雷達遙測影像偵測地表變遷

本節主要說明利用雷達衛星影像，利用 DInSAR(差分干涉測量)、PSInSAR(永久散射體技術)對一地區地表變遷的監測及應用。

(一)DInSAR

DInSAR，即 Differencial-InSAR，雷達差分干涉技術。雷達為一主動觀測系統，其能夠主動發射出訊號，並接收自地表反射之回波，其結果包含相位以(Phase)及振幅(Amplitude)，而雷達差分干涉技術主要是藉由兩張以上之影像，透過相位資訊之解算，獲得地表高程，理論精度可達公分等級。

其原理為利用兩張以上之影像，藉由對於兩幅不同時期的雷達遙測影像進行相對應像素的相位值(Phase)進行相減，產生出「干涉相位

圖」，再進行差分處理，利用干涉之原理於圖面上顯示干涉條紋，其圖形可以顯示出地表起伏和型態之變化。相位有每經過 2π 即循環一次的特性，圖面上有發生相位值改變的地方，即會出現干涉條紋。以 C 波段之波長 5.6 公分為例，出現一條波紋即代表有 π ，也就是 2.8 公分的變化產生。本計畫利用干涉條紋之出現，判斷山崩特徵之發生以及其發生之範圍。

本計畫採用 SNAP 為主要處理工具，以天然災害事件作為挑選依據，挑選災害事件前後之影像，並對於選定之 ENVISAT、Sentinel-1 影像進行前處理，以進行 DInSAR，對影像的相位之差異進行偵測。以期透過 ENVISAT 對先前發生之事件進行分析，再預計透過資料齊全且至今仍持續更新的 Sentinel-1 開放衛星資料，進行變形監測以及建置模組化的處理流程。

今以已經之發生大面積崩塌之 2009 年莫拉克颱風為基礎，選取其前後之 2009/07/15、2009/08/19 兩張影像，進行雷達差分干涉處理，其在實驗區之成果如下圖 17 所示，在實驗區範圍內，約略可看見為差分干涉生成之干涉條紋。和光學影像相較，有干涉條紋產生之部分大抵和光學影像上發生崩塌之部分重合，但由於圖面上條紋及其他像點較為紊亂之故，就肉眼而言於辨識上造成些許不便，對於要準確地對於山崩範圍作出界定上有些許難度。

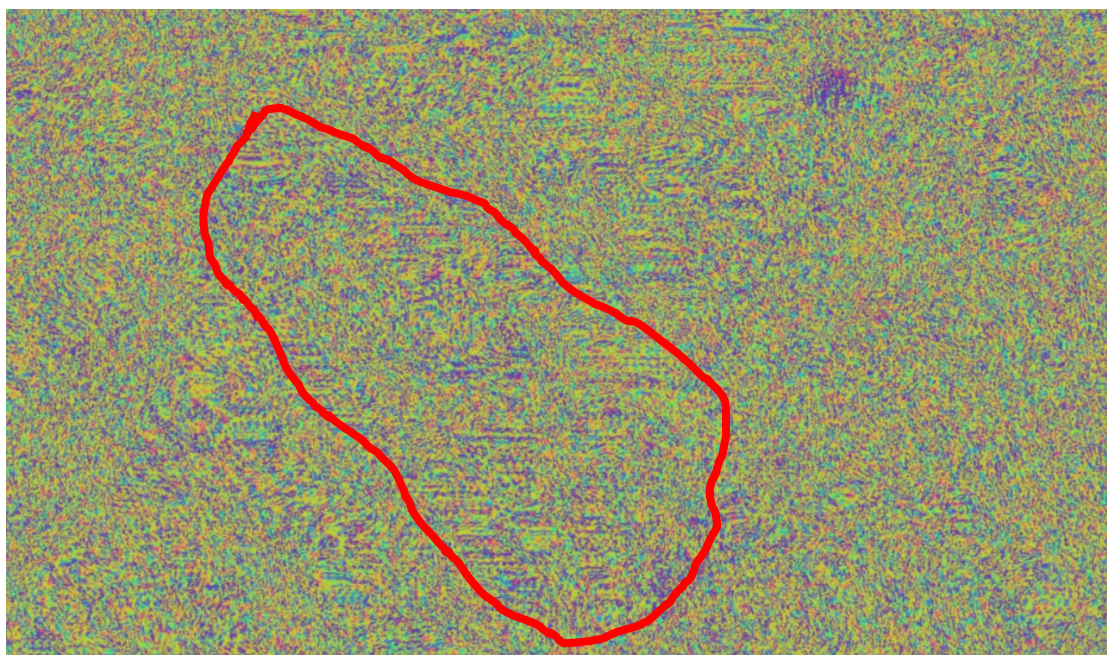


圖 17 莫拉克風災前後之雷達差分影像圖，紅色區域為實驗區範圍

本計畫選用 2015 年 5-6 月間發生之大雨為事件基礎，對 Sentinel-1 影像進行處理，其成果如下圖 18。可發現其在實驗區內形成了十分明顯之干涉條紋，可以明顯辨認崩塌地區範圍，由同調性干涉圖，亦可以發現其在河道或是實驗區等裸露地的部分，有較高之同調性，其範圍和相位干涉圖大部分相同。將成果和光學影像相比較，其範圍亦大致吻合。

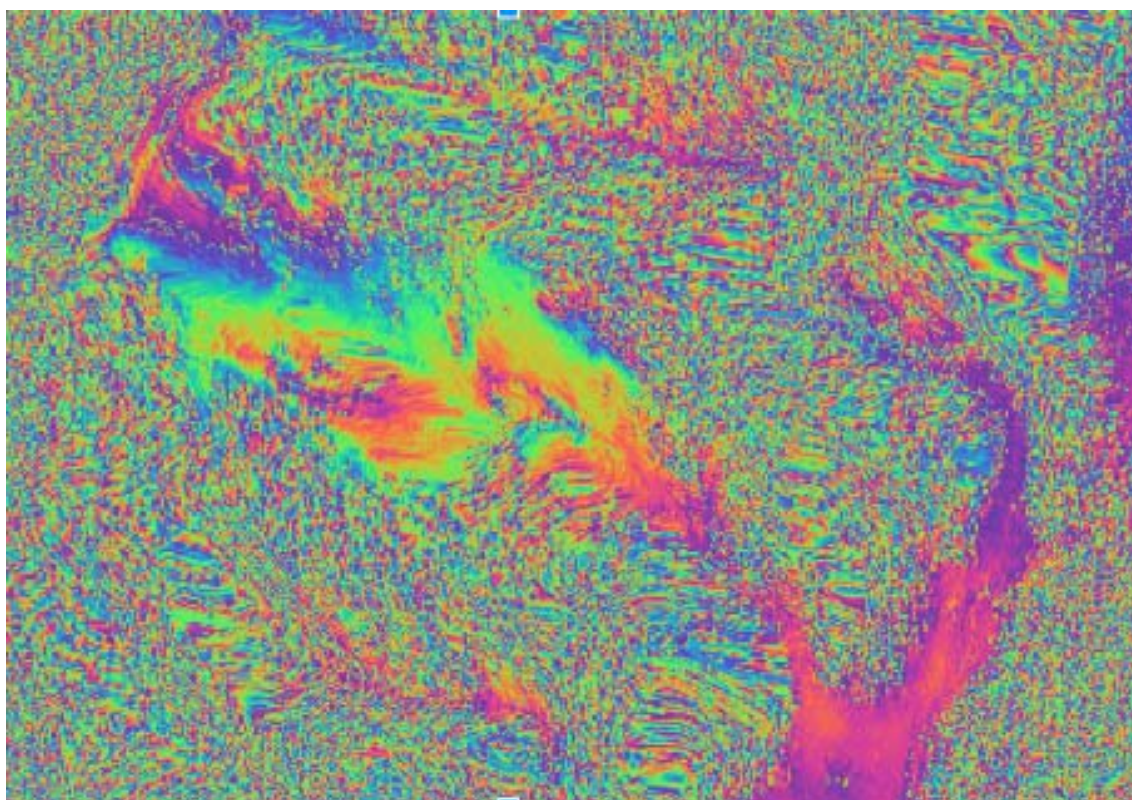
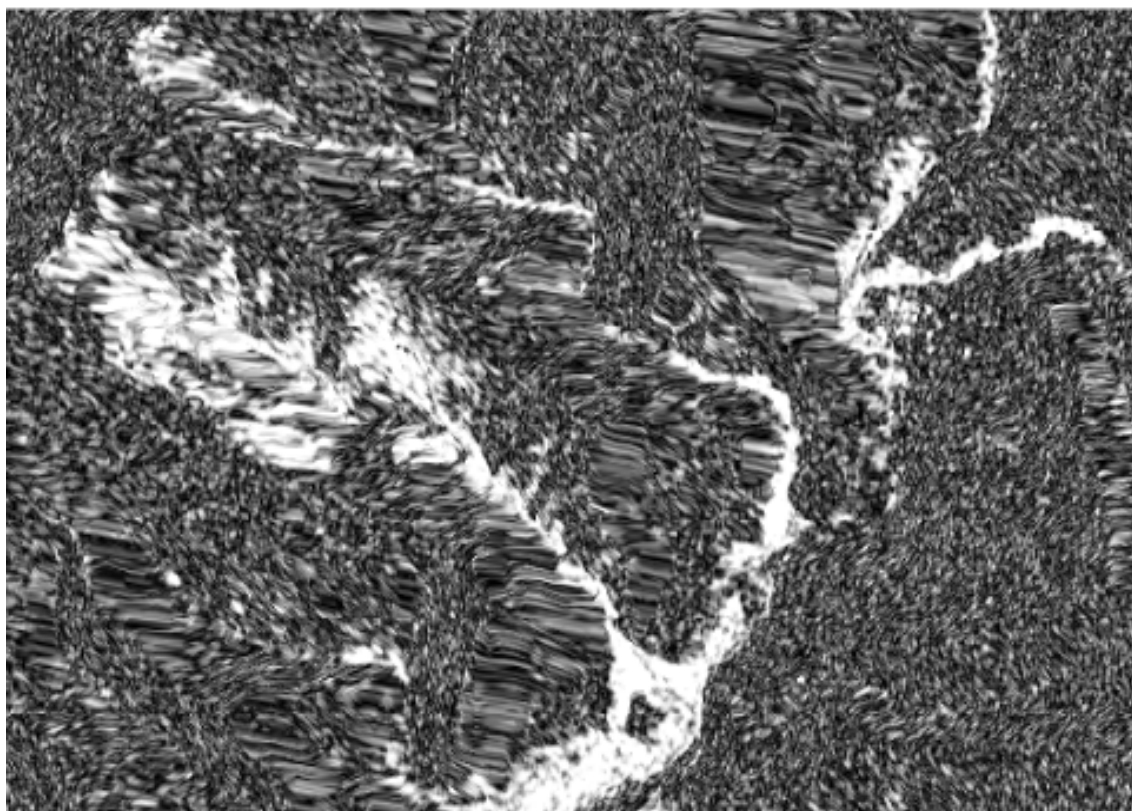


圖 18 2015 年 5-6 月豪雨事件過後前後 10 天內的同調性圖與差分相位干涉圖

(二)變遷偵測

本計畫以 SNAP 主要處理工具，對於選定之 Sentinel-1 影像進行前處理，利用影像強度差異進行地表覆蓋之變遷偵測。此次實驗選擇之事件為 2018/02/06 發生之規模 6 之地震，以事件前一天之 2018/02/05 之影像為主影像，2018/02/17、2018/03/13 兩組影像為從影像，分成兩組進行比較。下圖 19 為 Sentinel-1 影像執行變遷偵測後之成果影像。實驗區難難以在圖片上辨認，反而是實驗區西方之湖泊，其在強度上有明顯的變強反應，大致可以辨認其形狀、位置。

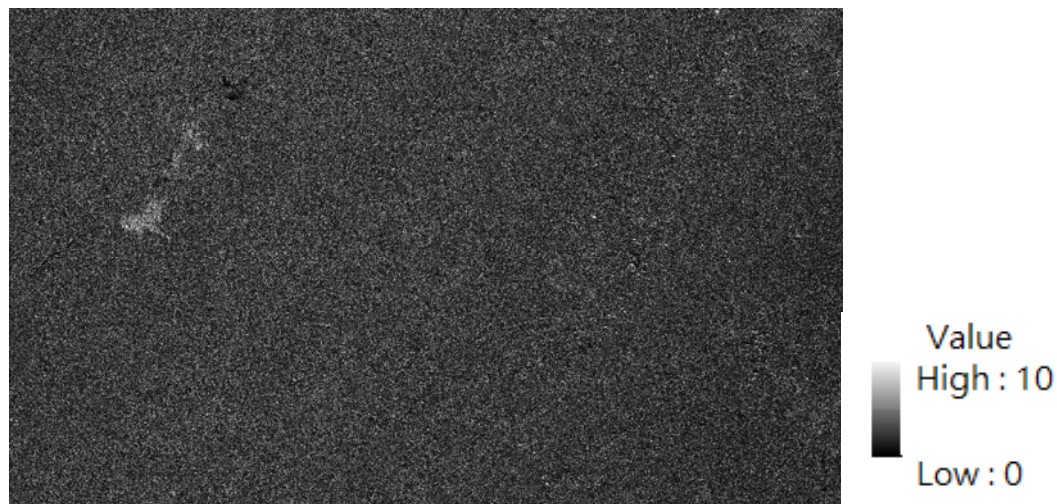


圖 19 2018/02/06 發生之地震造成布唐布納斯溪集水區及周遭地區之地表變遷圖(採用 2018/02/05 與 2018/02/17 兩張 Sentinel-1 影像)

而 2018/02/05 與 2018/03/13 兩張影像的變遷偵測成果(圖 20)，實驗區依然沒有明顯的反應，但是約略可以辨認出河道之形狀，而實驗區西方之湖泊也有明顯的反應，但和前一張影像不同的是，此次為變弱之反應，但是仍然可以辨認其形狀、位置。

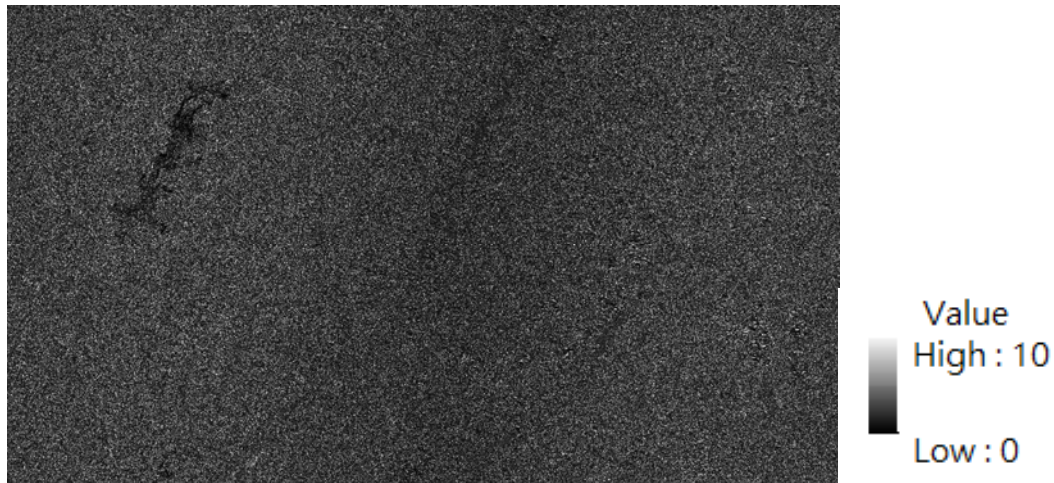


圖 20 2018/02/06 發生之地震造成布唐布納斯溪集水區及周遭地區之地表變遷圖(採用 2018/02/05 與 2018/03/13 兩張 Sentinel-1 影像)

在這項工作中我們觀察到雷達影像的幾何扭曲在投影到地距後變形特別嚴重，難以判斷山崩造成強度變化的形態 (Pattern)。但在斜距(Slant range)的坐標系統下，儘管有幾何的變形，我們仍能得到完整的強度變化特徵(請見圖 21)。此完整的山崩特徵能粗略地偵測到山崩的發生、取得概略位置，且資料處理時間快速，適合作為初步的山崩偵測方式。因此有別於前人的作法，本計畫之雷達強度變遷偵測將不會進行投影，而是在斜距坐標系統下進行，不僅能避免幾何變形造成的判釋錯誤，也能保留完整的強度變化資訊。圖 22 為莫拉克颱風山崩目錄區域之一的雷達強度變遷成果與對照之航照圖，可看出在斜距坐標系統中的強度變遷確實較能反映該邊坡的變化。未來將透過區域內的統計指標計算來全面偵測發生變遷之邊坡。

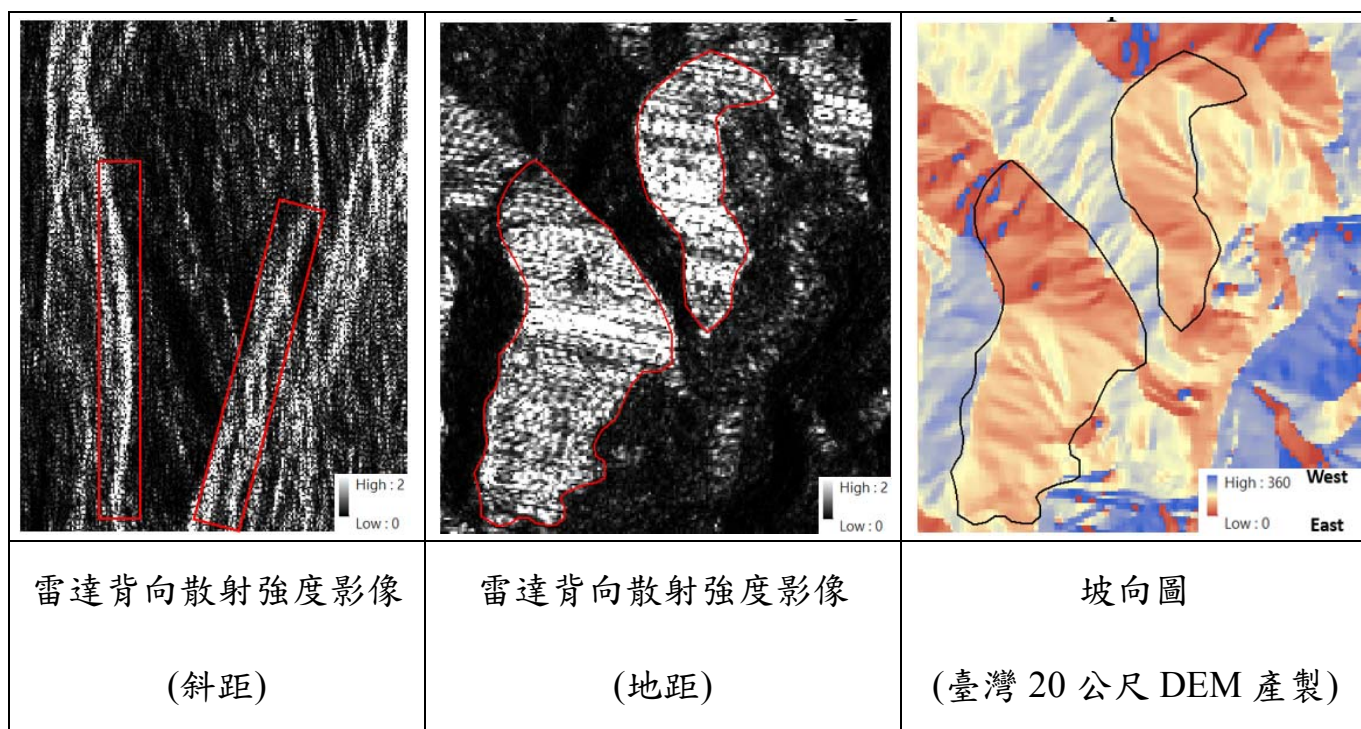


圖 21 雷達幾何變形在經由地形改正、投影後之情形

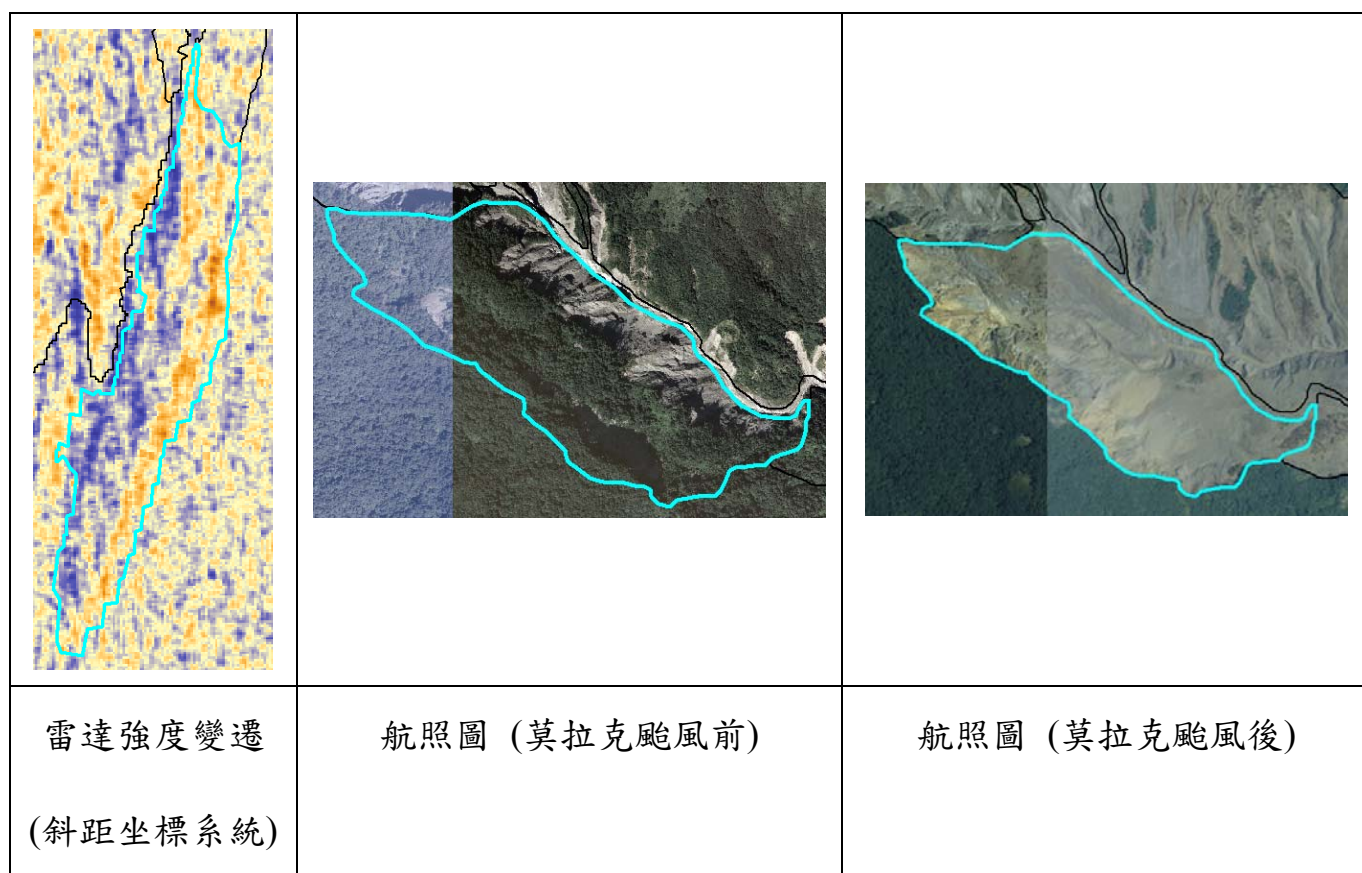


圖 22 選取之山崩區域樣本的雷達強度變遷成果與對照之航照圖

利用強度差異偵測變遷的測試後，本計畫亦嘗試以 Polarimetric Decomposition 進行運算，獲取 Alpha、Entropy、Anisotropy 等三組資料，做為另一組判釋變遷之影像。以 2018 年 2 月 6 號地震前 2 月 5 號之 Sentinel-1A 影像為例，進行處理。其中，Entropy 為反射亂度之意，為介於 0~1 的值，值愈小代表散射機制較單純，而值愈大代表三種散射機制有等量之影響。圖 23 中黑色處為反射較雜亂之處，白色處為反射較不雜亂之處。可以發現實驗區之部分明顯為白色，呈現崩塌狀態；旁邊另有河流極其沿線也成條狀的裸露地。由此可見其應用於萃取遙測識別特徵之潛力。

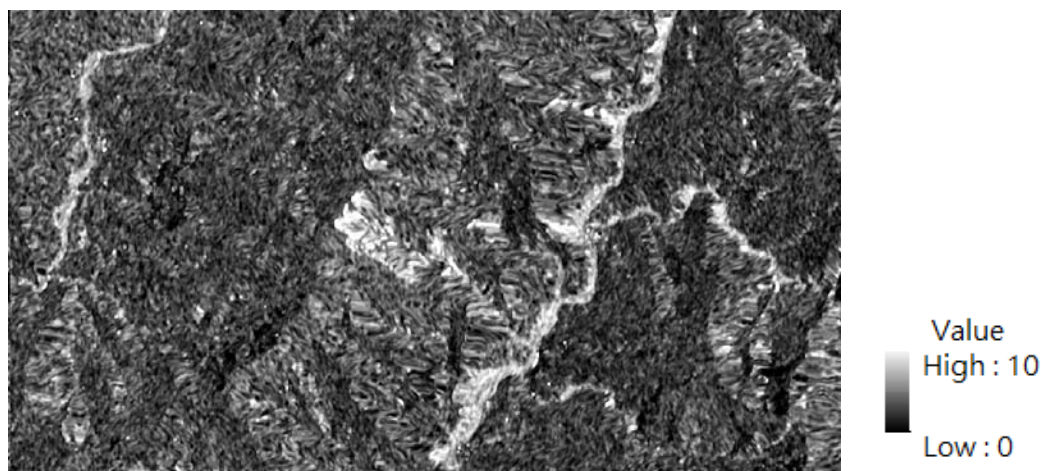


圖 23 利用 Polarimetric Decomposition 獲取之 Entropy 影像

此外，Anisotropy 可用於區分其目標物散射特性的能力，而其物理意義表示觀測物有否有方向性，其值越大代表越無方向性，其值越小代表方向性越強。圖 24 中白色處為方向性較弱之處，黑色處為方向性較強之處。其中實驗區之部分呈現弱方向性之特徵。

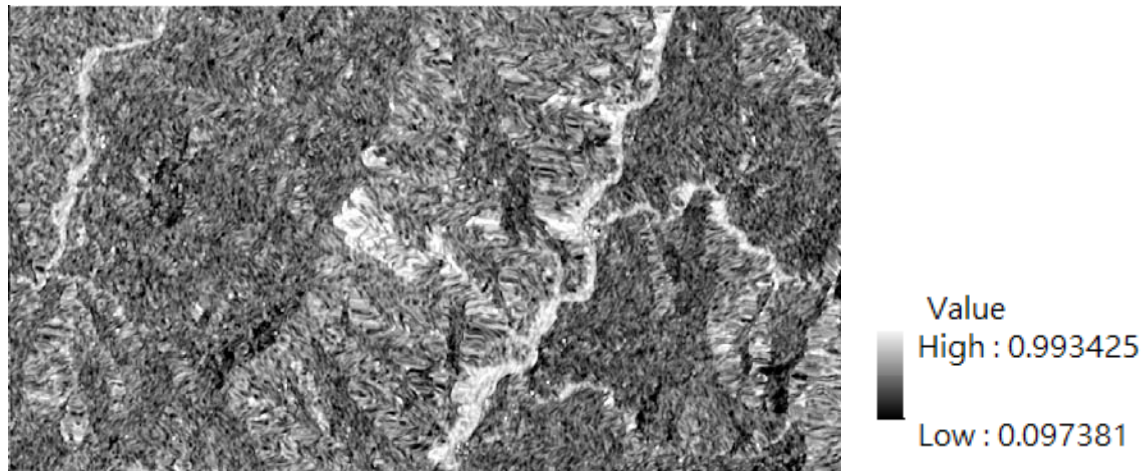


圖 24 利用 Polarimetric Decomposition 獲取之 Anisotropy 影像

Alpha 的值介於 $0^\circ \sim 90^\circ$ 之間， $\alpha = 0^\circ$ 代表目標物的散射機制為等向的奇數次散射，類似表面散射； $\alpha = 45^\circ$ 代表目標物的散射機制為類似偶極散射； $\alpha = 90^\circ$ 代表目標物的散射機制為等向的偶數次散射，類似兩次散射。而 α 顯示由表面散射到二次散射中的平均散射機制。

圖 25 中本實驗區的 α 值多為白色，然而根據文獻資料裸露地常為 α 值較小的地方，和實驗區之數值有所差異，推測可能是由於其為崩塌的、成斜面的裸露地導致。

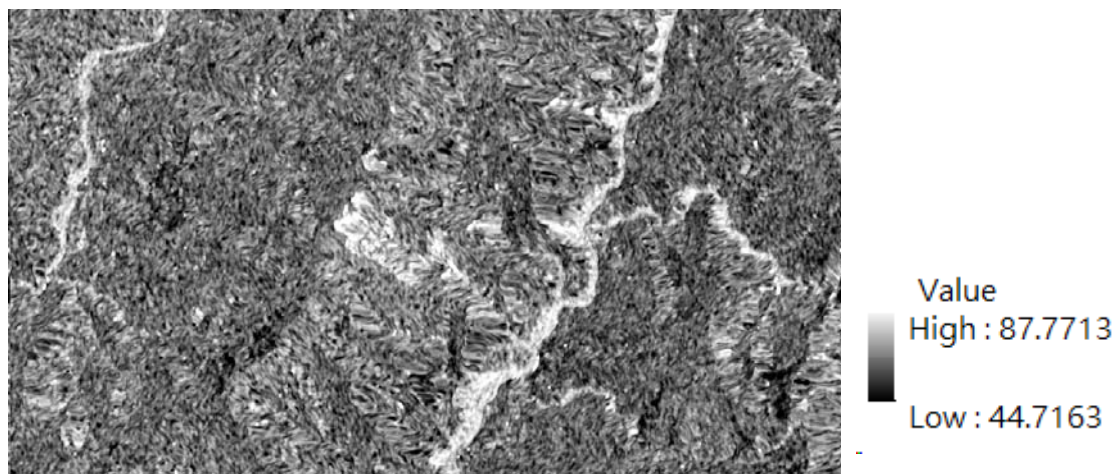


圖 25 利用 Polarimetric Decomposition 獲取之 Alpha 影像

將前述之處理成果匯入 RGB 組成假色影像圖(圖 24)，其中 R Band 為 Entropy，G Band 為 Anisotropy，B Band 為 Alpha，和光學影像互相對照，紅色部分為森林之部分，而藍色部分大致和裸露地之分布吻合。

除此之外，由於 Anisotropy 為指標性之參數，因此我們另將 Entropy 和 Anisotropy 組成假色影像，其結果如下圖 26 所示。其中 R Band 為 Entropy，G Band 為 Alpha，圖中橘紅色以及綠色為主，對照光學影像，可以發現綠色部分多為裸露地，但較無紅色波段的參與；而橘紅色部分為綠色和紅色之混合，意即在兩個波段皆有數值被偵測。和加入 Anisotropy 之三波段之圖片結果相比，推測 Alpha 為對於裸露地較為敏感之波段。

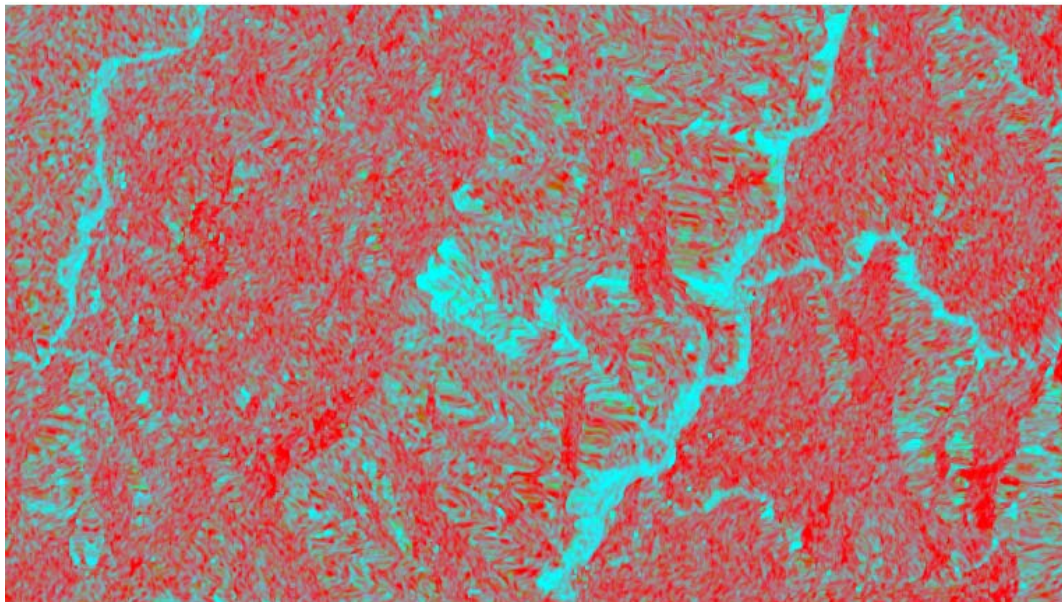


圖 26 Entropy+Anisotropy+Alpha 合成假色影像

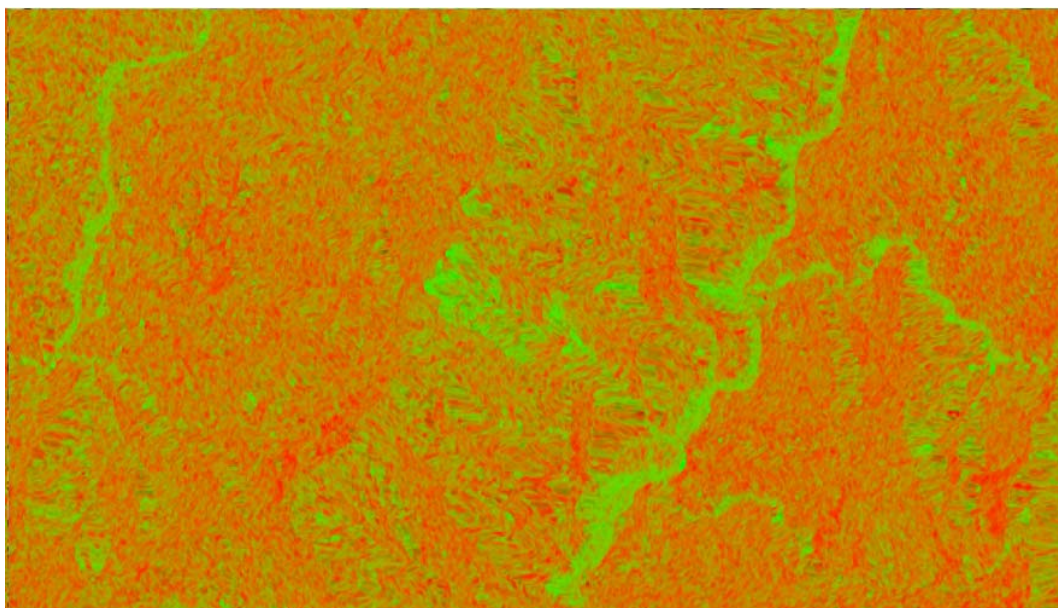


圖 27 Entropy+Anisotropy 合成假色影像

除了透過假色影像直接觀察，本計畫也嘗試依照圖 28 所整理之地表特性，將 Polarimetric Decomposition 成果進行分類，Unsupervised Classification 的成果如圖 29 所示。

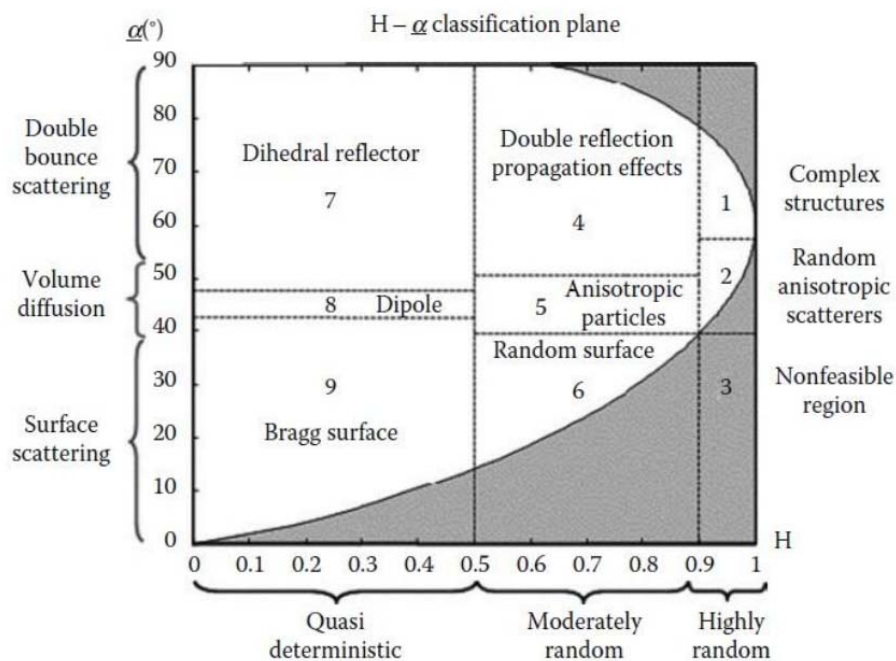
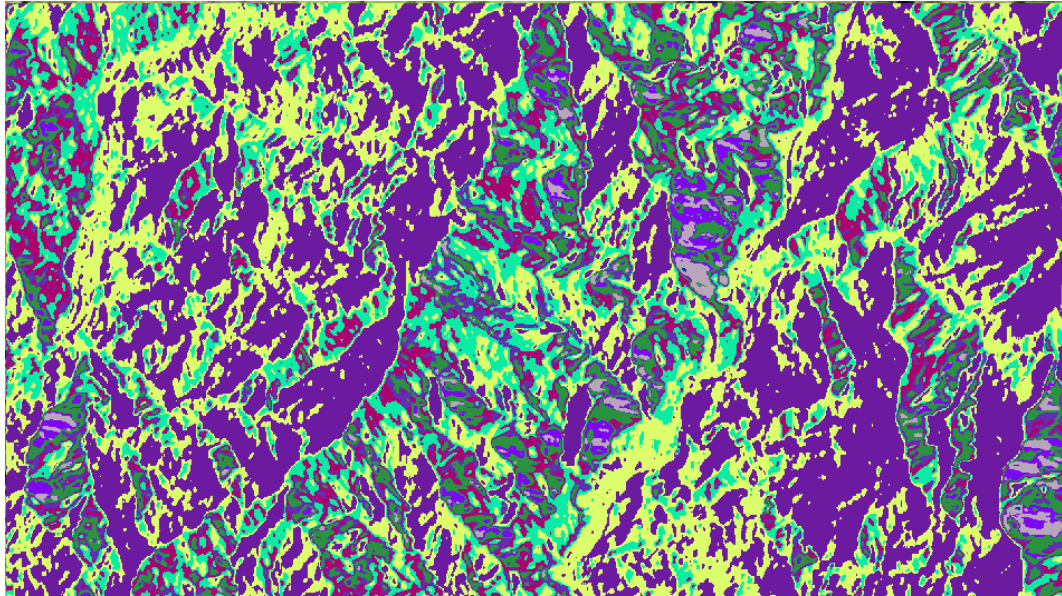


圖 28 利用 Polarimetric Decomposition 成果之分類象限圖



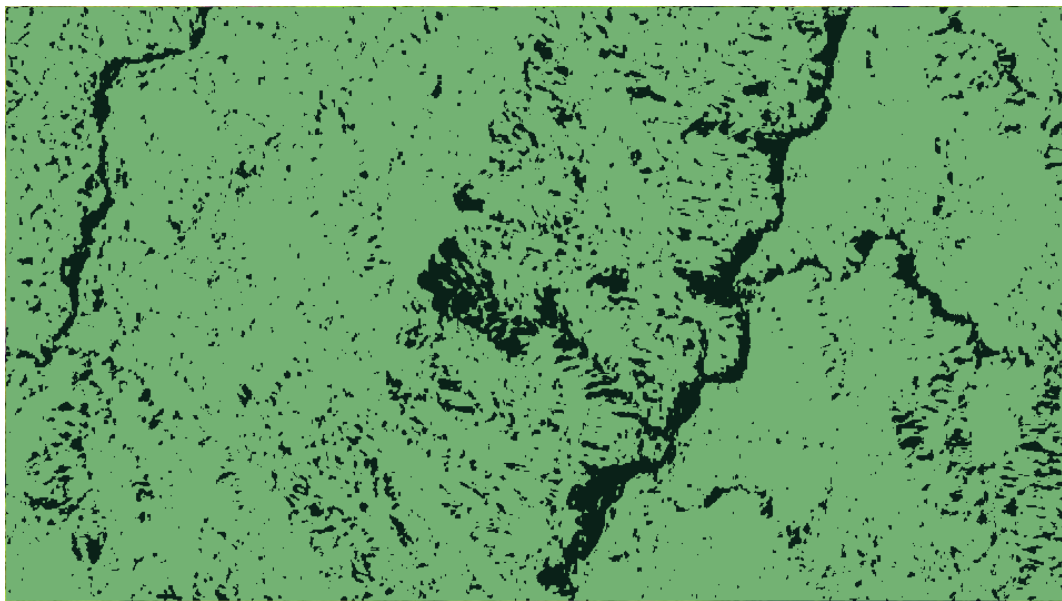
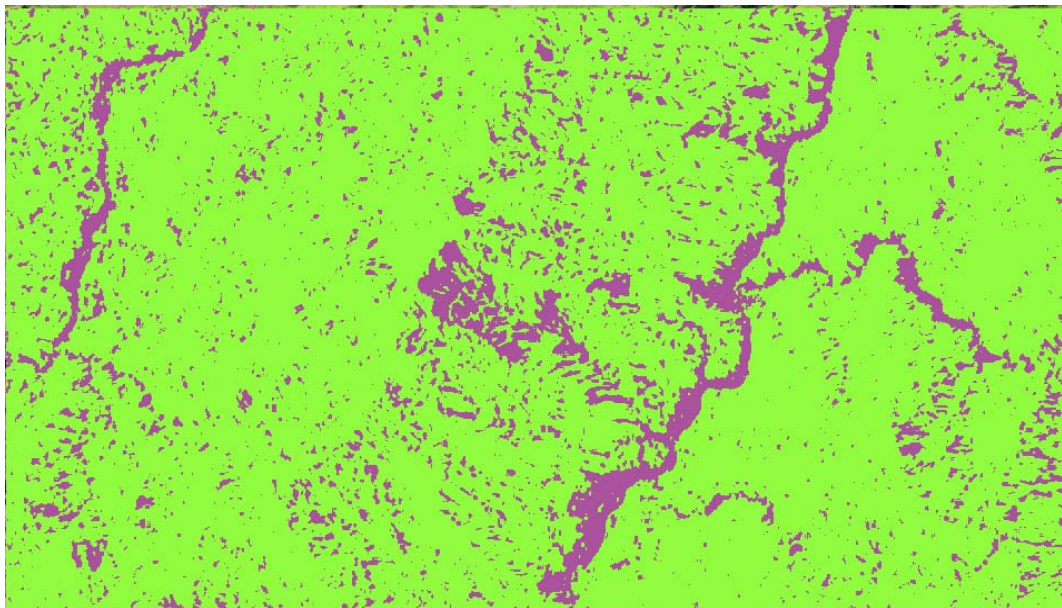
	Name	Value	Type	Unit	Description
0	no data	0	uint32		no data
1	class_1	1	uint32		Dihedral Reflector
2	class_2	2	uint32		Dipole
3	class_3	3	uint32		Bragg Surface
4	class_4	4	uint32		Double Reflection
5	class_5	5	uint32		Anisotropic Particles
6	class_6	6	uint32		Random Surface
7	class_7	7	uint32		Complex Structures
8	class_8	8	uint32		Random Anisotropic Scatterers
9	class_9	9	uint32		Non-feasible

圖 29 Unsupervised classification 影像

其成果包含 no data 共分成 10 類，分類圖內容十分之複雜，但是對照光學影像，約略可以看出編號 7 之部分為山的陰影面，編號 4 之部分多為裸露地。另外利用以 Alpha 為垂直軸，Entropy 為水平軸之分類圖，可以對其分別以 Alpha 和 Entropy 為基準進行分類，雖然略有改善，可以隱約看出實驗區之形狀，但是和實際光學影像仍然有所差距。

接著再以 Maximum Likelihood 演算法，進行 Supervised

Classification，圖 30 分別為 Alpha、Entropy、Alpha+Entropy、Alpha + Entropy + Anisotropy 共 4 組影像之 Supervised Classification 之結果。前三組影像相比較，其幾乎完全相同，僅在四周零星分布之點上有些許差異，然而在 Alpha+Entropy+Anisotropy 上，卻多出了許多前三張影像未出現之雜點。



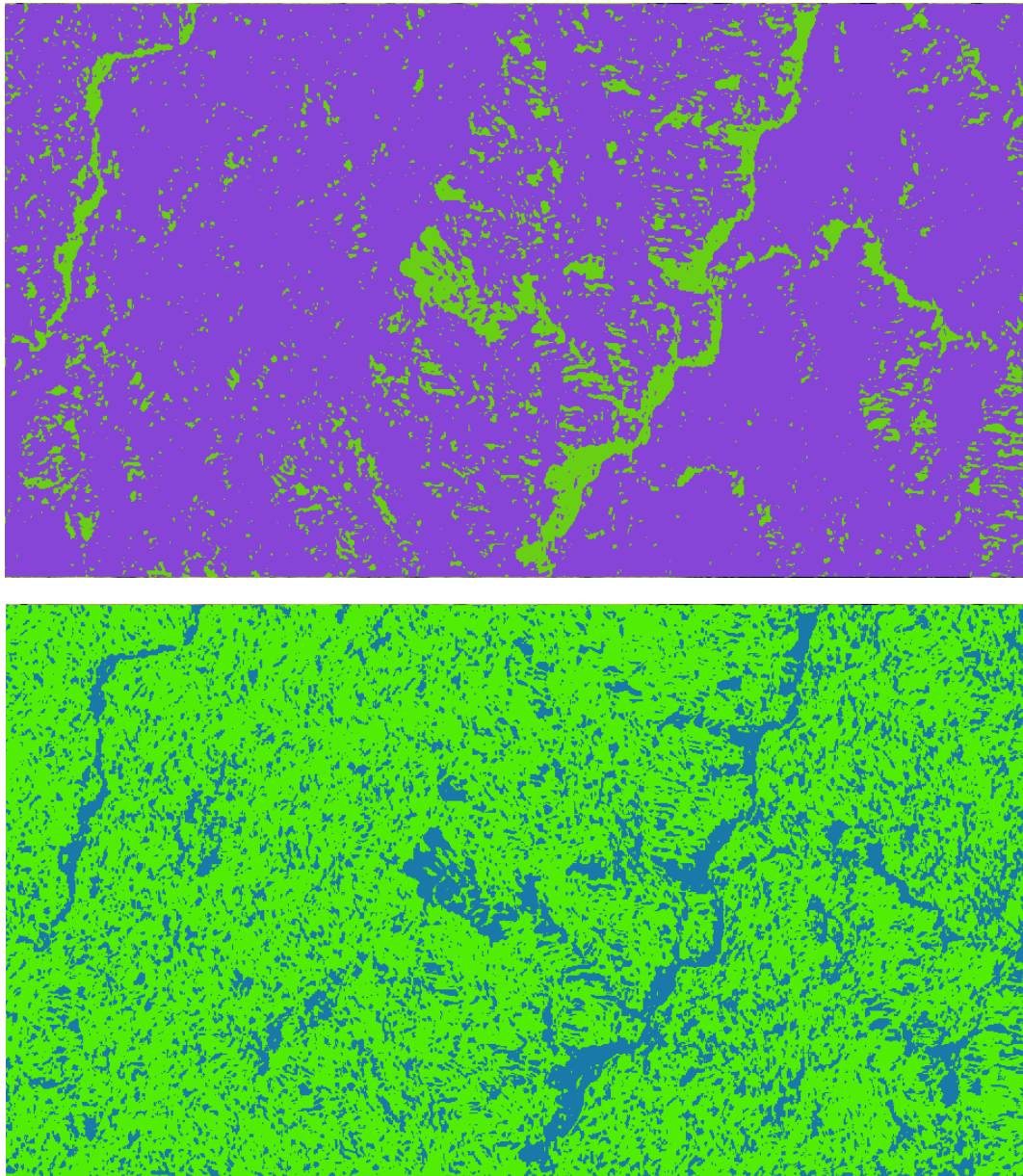


圖 30 由上至下分別為 Alpha、Entropy、Entropy+Anisotropy、Entropy+Anisotropy+Alpha 之 Supervised Classification 成果

分別將 Supervised Classification 和 Unsupervised Classification 之影像，和 Sentinel-2 之影像套疊分析、以肉眼進行對照，雖然 Sentinel-2 之影像解析度僅為 10*10 公尺，對於 10 公尺以下之地貌難以進行判讀，無法確認是發現了肉眼難以發現的地貌，還是進行了錯誤的分

類。但是整體而言，Supervised Classification 所產生之圖片之裸露地、河道等等地貌之分布明顯和光學影像較為接近。Unsupervised Classification 之成果之雜訊點較多，和肉眼所見有較大差異。整理而言，由於 Polarimetric Decomposition 處理後的成果對於分變地表特徵並未有太顯著的效果，必須找到訊號的改善方法，對於後續的變遷偵測才能有所助益。

(三)永久散射點干涉處理

由於地表覆蓋的植被、裸露地、水體等，經常隨著時間的推移而發生改變，為掌握在時間序列拉長間的地表形變，本計畫採用多組影像圖進行永久散射點干涉處理，分析實驗區長時間的地表形變。我們此處呈現降軌拍攝模式的 Sentinel-1 影像進行實驗地的變形趨勢分析，圖 29 為該處位於山崩目錄中某一區域中的永久散射點位，透過檢視其變化模式趨勢，來作為監測和預測該邊坡將來是否有可能再次山崩的參考資料。由圖 31 可以發現該處的永久散射點在邊坡上有密集且變化皆為下降的群集點，因此選定這些點位進行趨勢分析，可以發現在近期 6 個月內下降的趨勢是非常一致的。利用這個方法我們可以持續監測，來了解當地的地表形變趨勢。

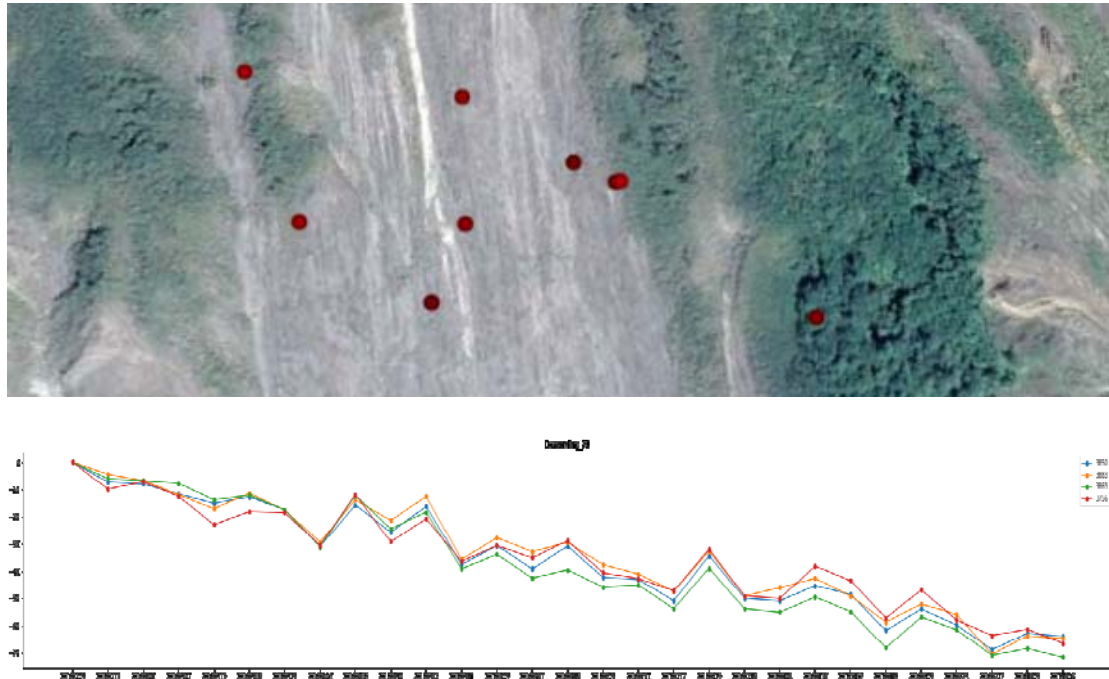


圖 31 實驗區某處邊坡之永久散射點分佈與形變

第三節 光學與雷達影像偵測變遷成果分析

光學與雷達影像透過處理，皆可偵測出地表覆蓋變遷，但是對於兩者偵測表現狀態與成果之異同，尚屬未知，因此本節將針對此兩項成果進行分析，以了解是否能結合光學、雷達影像之變遷偵測方法，得到最準確地變遷偵測結果，並透過不同感測器的特性互補不足。我們以莫拉克風災為事件，在風災前後(2009/08/06-2009/08/10)於研究區域有發生多處山崩，分別利用光學與雷達影像進行偵測，以及後續之成果分析。

一、研究區域與使用資料

此案例探討之研究區域為布唐布納斯溪與其周遭流域，該研究區域位於山區，地勢起伏較大。其地表覆蓋主要為植被區域與有溪流經

過的裸地範圍，研究區域請見圖 32。

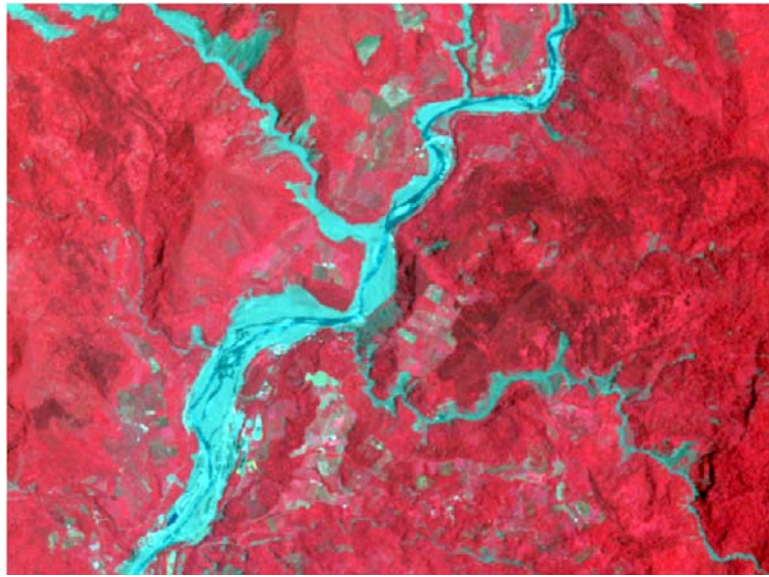


圖 32 測試範圍，背景為 2009/07/30 SPOT5 假色影像 (R channel: NIR band, G channel: Red band, B channel: Green band)

本案例探討所使用的資料其時間為莫拉克風災事件前後之影像，並以光學跟雷達影像時間接近、事件前後影像間隔時間短、光學影像無雲為篩選條件。而使用資料又可分為兩類，分別是衛載感測器所拍攝的多光譜影像與衛載感測器取得的雷達影像，包括：

1、光學影像

使用莫拉克風災前後無雲、現有之最高解析度的 SPOT-5 多光譜影像，其時間分別為 2009/07/30、2009/08/20 兩張影像。由於 SPOT-5 只提供四個波段(Green、Red、NIR、SWIR)的資料，故本案例取前三個波段組合成最適合觀察此區域的假色影像，參見圖 33。

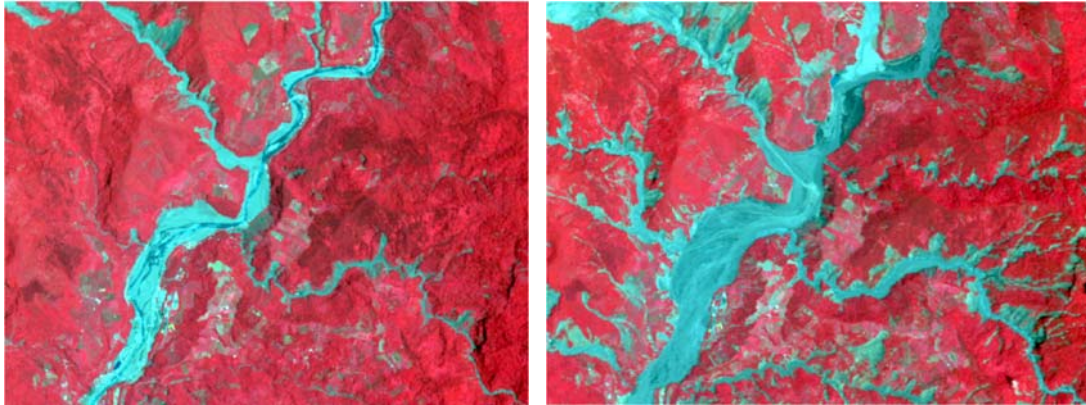


圖 33 2009/07/30(左)與 2009/08/20(右)之 SPOT-5 假色影像

2、雷達影像

本案例於莫拉克風災前後可取得的雷達影像為 ASAR 的 SLC 影像，而其強度資訊為此次變遷偵測主要的使用資料(參見圖 34)。雷達影像的時間分別為 2009/07/15、2009/08/19，這兩個時間與光學影像的時間接近，便於比較。

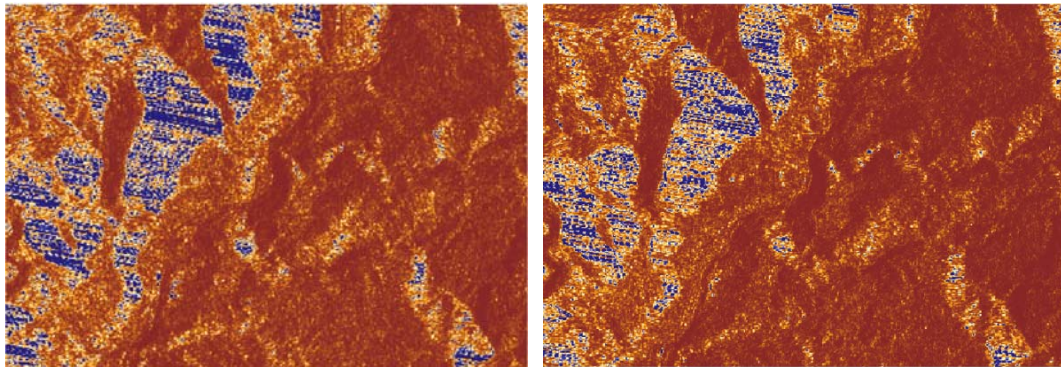


圖 34 2009/07/15(左)與 2009/08/19(右)之 SAR backscatter 影像

二、影像資料處理成果

兩組影像的處理方法即為前章所述之方法，此處不再贅述，僅展示階段成果說明。在光學影像的部分，SPOT-5 的原始影像、分類影像、變遷偵測成果如圖 35 所示。ASAR 的成果展示於圖 36。

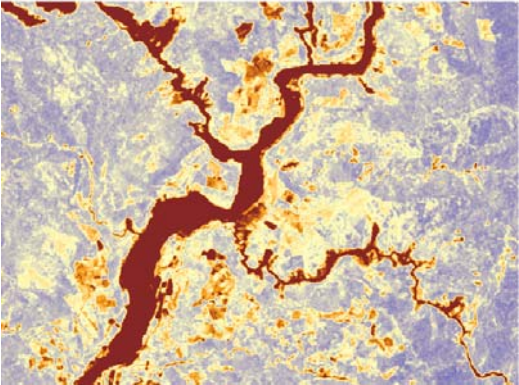
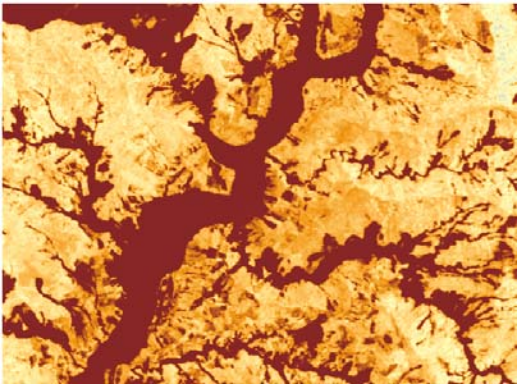
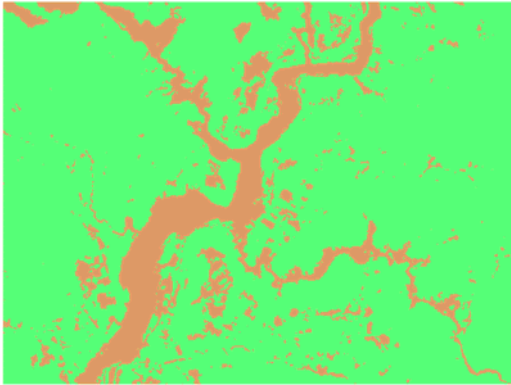
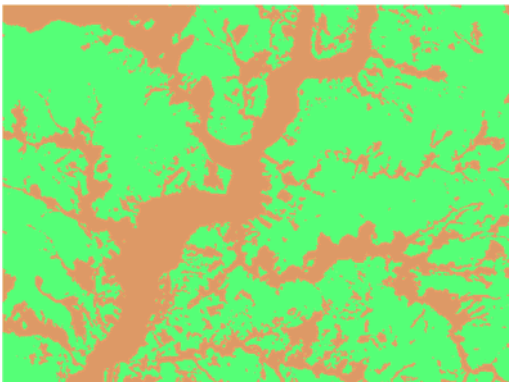
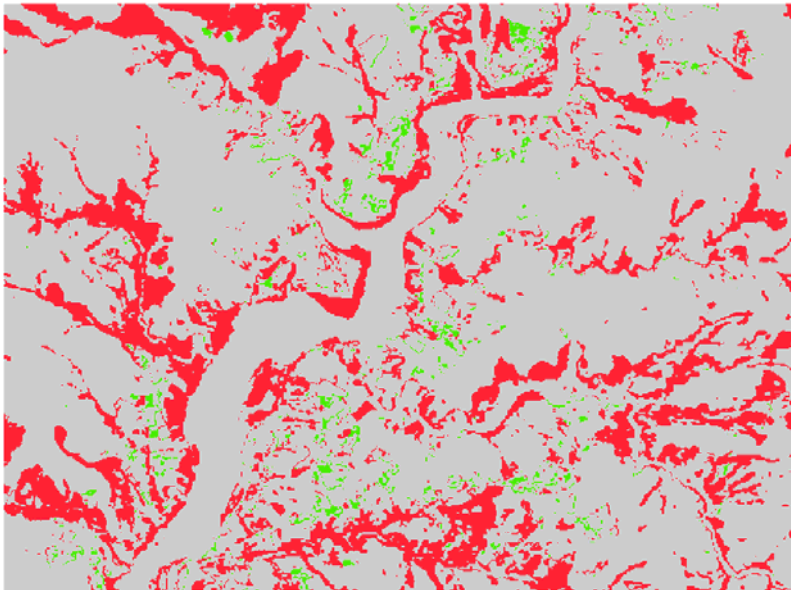
2009/07/30 SPOT5 NDVI 影像	2009/08/20 SPOT5 NDVI 影像
	
分類影像(植物：綠色、裸地：棕色)	
	
光學影像變遷偵測地圖 (灰色：無變遷、紅色：山崩區域、綠色：綠化區域)	
	

圖 35 2009/07/30 與 2009/08/20 之光學影像處理成果

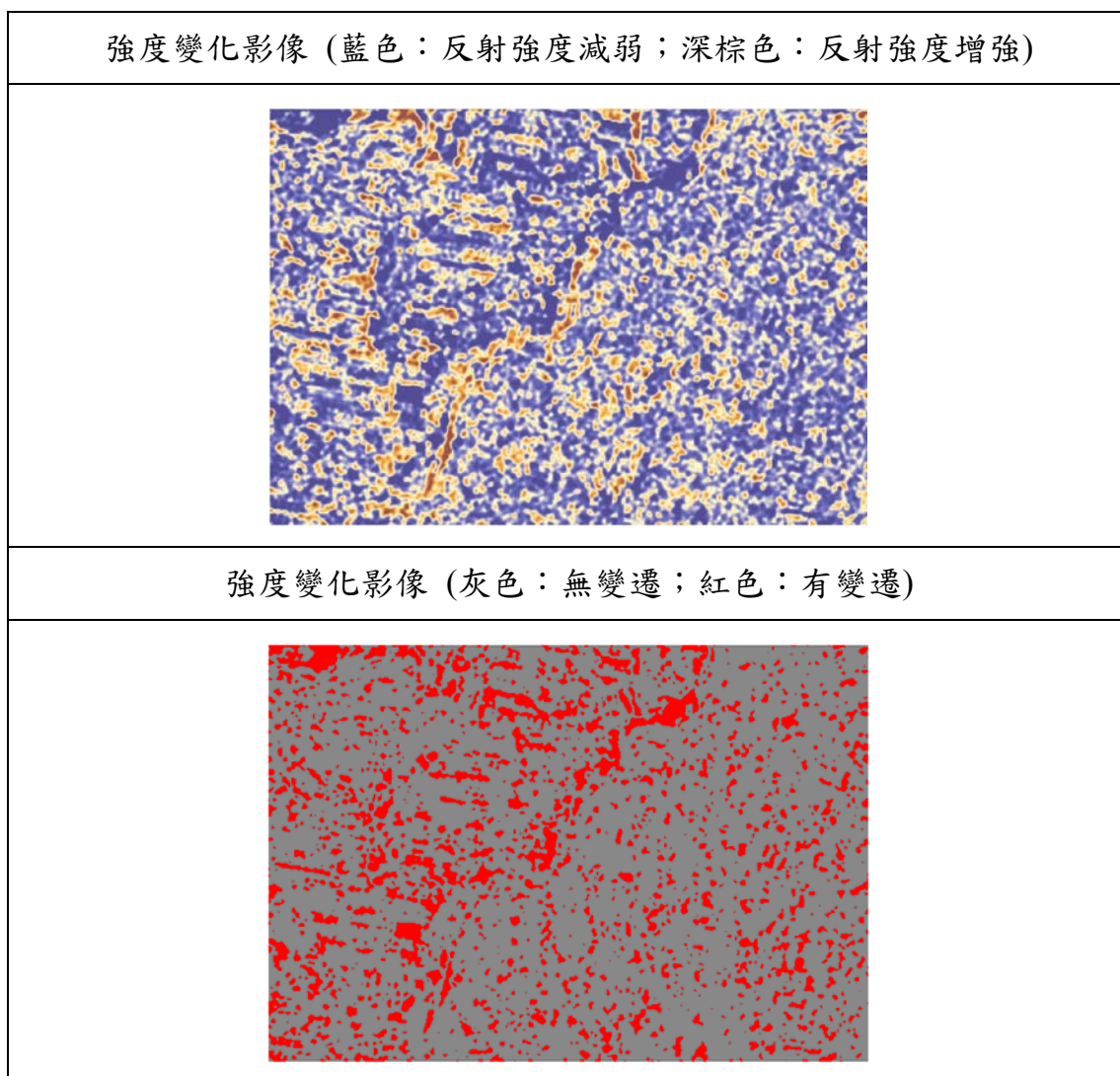


圖 36 2009/07/15 與 2009/08/19 之雷達影像處理成果

為比較光學、雷達影像變遷偵測成果，將兩張變遷偵測影像處理成一致的解析度、影像大小、坐標系統，使每個網格能準確地對齊。接著將兩張變遷偵測影像結合，取得雷達/光學影像變遷偵測圖(圖 37)，並計算兩組成果之矩陣(表 1)。

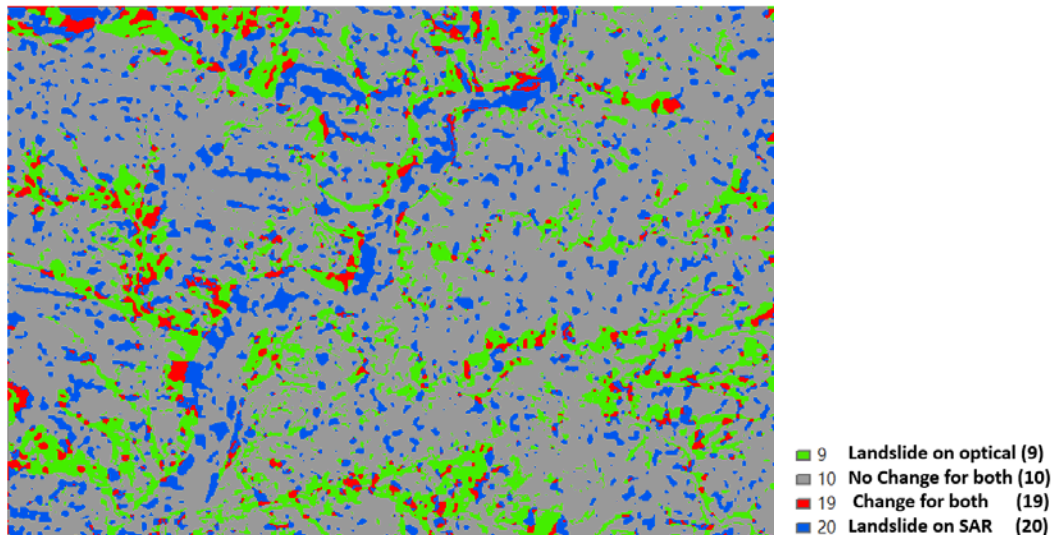


圖 37 雷達/光學影像變遷偵測圖

表 1 雷達/光學影像變遷偵測成果之矩陣

SAR OPTICAL	Landslide	No Change
	Landslide	No Change
Landslide	4.06%	15.77%
No Change	13.55%	66.62%

三、分析與討論

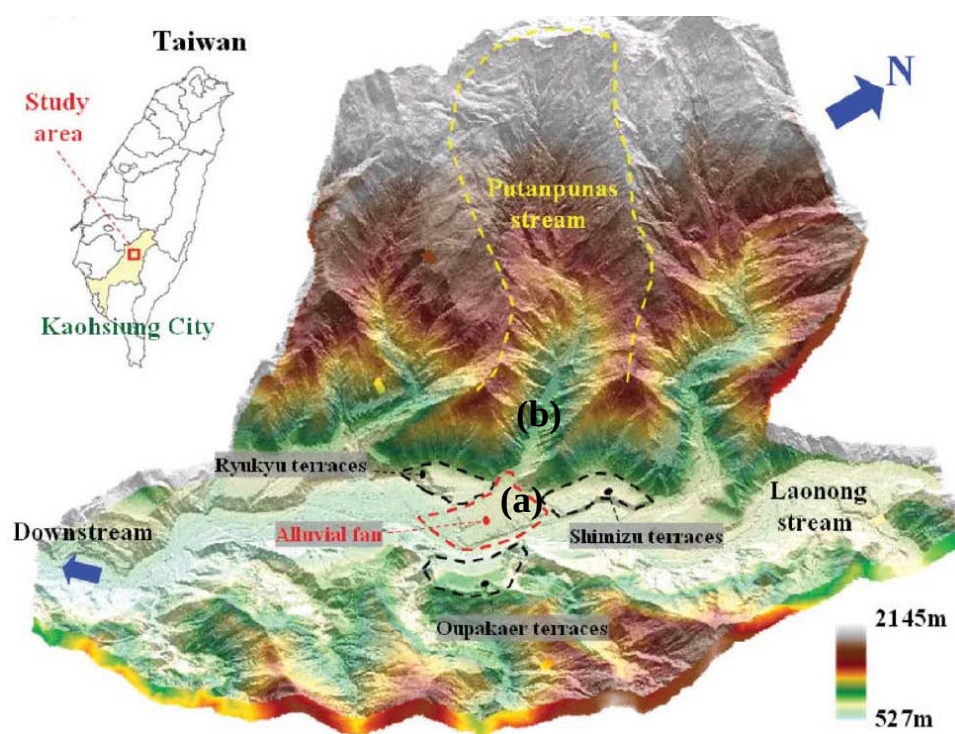
光學影像相當容易受到雲層遮蔽的影響，另外也需要一定的解析度才能判斷新發生的山崩地區。因此，有用的光學影像在取得上是屬不易，雷達影像的特性則有助於解決前述問題。

由圖 37 可知，雷達跟光學影像所產生的變遷偵測成果交集並不大，反而是各自能找到不同的山崩發生地區。由於光學變遷偵測的成果已能透過光學影像的對照驗證山崩的發生，其成果可視為正確的偵測。而雷達的變遷偵測由於資料特性較特殊，故不易以直觀的方式進

行判斷，依據目前將雷達變遷偵測跟光學影像對照的成果，可初步判斷部分由雷達影像偵測的山崩區域其土地覆蓋確實有改變，且它們是不能被前述的光學變遷偵測方法所找出。然而雷達變遷偵測的其他山崩區域是否正確，仍有待驗證。據此，本計畫將持續研究將來是否能以聯集的方式結合兩種感測器的變遷偵測成果，互補不足之處，或是兩者成果有其他關聯。

第四節 實地觀測與 UAV 資料蒐集

本團隊於 2018/8/1 至實驗區進行兩天的實地觀測與 UAV 資料蒐集，目的為透過更高解析度的資料，輔助遙測資料之觀測與變遷偵測成果。UAV 影像整理尚在進行中，以下先呈現本次資料獲取之位置與部分範例影像(圖 38)，在期末報告中將呈現三維模型與正射影像。



(a)



(b)



圖 38 範例 UAV 影像與蒐集位置(布唐布納斯溪集水區數值地形模型
取自 Lo et al. (2018))

第四章 結論

本年度計畫針對覆蓋高雄市布唐布納斯溪集水區的多元遙測影像進行多元處理，目的是為了找出能夠辨識山崩的遙測識別標誌。本計畫完成之工作項目與結論如以下各點所述：

(一) 完成蒐集 2007-2016 年間之山崩與暴雨歷史事件，同時將對應的遙測資料區分為光學、雷達與數值地形模型三類，使用 Google Drive 做為資料共享平台，可有效存取所需資料。

(二) 完成多元光學遙測影像的變遷偵測，資料的部分包括 Landsat 系列影像與 Sentinel-2 多光譜影像，利用多種監督與非監督式分類方法，完成影像分類。經比較後，受限於實驗區的陰影、雲層覆蓋與地表覆蓋等問題，本計畫認為以 NDVI 進行分類可得到最佳分類結果，據此再進行變遷偵測。

(三) 完成多元遙測 SAR 影像的變遷偵測，資料的部分包括 ASAR 與 Sentinel-1 影像，利用強度處理、Polarimetric Decomposition、DInSAR、PSInSAR 等方法，完成地表形變偵測之測試。藉由斜距坐標系統中的強度差異，可有效偵測地表發生變化之邊坡；此外，PSInSAR 是可以獲取時間序列變形的的方法，據此，本計畫認為 SAR 影像具備很高的潛力萃取山崩的遙測識別標誌。

(四) 完成雷達跟光學影像所產生的變遷偵測成果之比較。本計畫發

現同一事件前後兩者成果的交集並不大，反而是各自能找到不同的山崩發生地區。依據雷達變遷偵測跟光學影像對照的成果，可初步判斷部分由雷達影像偵測的山崩區域其土地覆蓋確實有改變，且它們是不能被前述的光學變遷偵測方法所找出。然而雷達變遷偵測的其他山崩區域是否正確，仍有待驗證。據此，本計畫將持續研究將來是否能以聯集的方式結合兩種感測器的變遷偵測成果，互補不足之處，或是兩者成果有其他關聯，以確保遙測識別標誌的可信度。

參考文獻

1. 呂明娟，碩士論文，建築結構工程 4D 模擬系統之研究，國立台灣大學，2006。
2. 財團法人中興工程顧問社，98 年莫拉克颱風後土石流潛勢地區易致災因子調查，農委會水土保持局委託研究報告，2009。
3. 財團法人中興工程顧問社，104 年土石流潛勢溪流資料檢討與更新，農委會水土保持局委託研究報告，2015。
4. Singleton, A., Li, Z., Hoey, T. and Muller, J.-P., Evaluating sub-pixel offset techniques as an alternative to D-InSAR for monitoring episodic landslide movements in vegetated terrain. *Remote Sensing of Environment*, 147, 133-144. doi:10.1016/j.rse.2014.03.003, 2014.
5. Lo, C.-M., Weng, M.-C., Lin, M.-L., Lee, S.-M. and Lee, K.-C., 2018. Landscape evolution characteristics of large-scale erosion and landslides at the Putanpunas Stream, Taiwan. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), 175-195.

附錄

附錄一、期中報告審查意見紀錄暨回覆辦理情形

委員意見	回覆辦理情形
1. 摘要提到山崩發生與大面積降雨恐有誤，應考量大面積降雨及特性。	已修改。
2. Abstract 與 Keywords 與摘要無法對應。	已修改。
3. P18 多期雷達影像比對並無明顯反應，此部分請再詳細考量取像討論方式。	光學影像此問題在本報告書的 P26-27 有提出另外的做法，除了取像模式之外，也考量了坐標系統的影響。
4. 本計畫是在建立宏觀大區域遙測山崩因子分析及熱區討論為主，UAV 及使用目標為何請再留意。	利用 UAV 進行現地資料蒐集的目的是提供地真資料，主要是作為遙測訊號的比對。
5. P37 第 2 點最後及”下班”有誤；小規模崩塌地應指明範圍為	期中報告無 P37，不確定此處所指的問題在哪裡。

宜。	
6. 封面「工作執行計畫書」及內頁「期中工作執行計畫書」名稱似乎不符合本局名稱格式，請確認並修正。	已修改。
7. 摘要字型大小似乎比內文字型還小，是否符合本局要求，請確認。	已修改。
8. 本案相關工作之執行進度，似乎並未有明確的表格呈現現階段各工作執行情況，建議補充說明。	本案工作執行進度在本報告書的第四章結論中提出說明。
9. P10 頁，報告書內容所述，最接近人眼直觀之認知及最接近真實狀況，差異性為何？建議請具體些。人眼直觀不真實？	此處所指為人眼直觀應該最接近真實結果，於本報告書中補充圖 9 與圖 10 輔助說明。
10. P26-28 頁，多圖呈現，相關圖名圖說內容並未逐圖標示，建議補充。	已修改。

附錄二、期末報告審查意見紀錄暨回覆辦理情形

委員意見	回覆辦理情形
1.本研究若達相當成熟的階段， 建議可建立一套標準 SOP 操作的方式，以利各地區針對 未來山崩活動及輔助山崩熱 壓自動判釋。	謝謝委員意見，本計畫進行之初 即以三年時程規劃進度，照第一 年度完成成果來看，應可順利於 第三年達到山崩活動自動判釋之 目標。
2. 尚無驗證資料，故無從得知系 統效益。	本計畫將在後續年度計畫安排現 地的 UAV 調查，進行驗證。
3. What's the difference between the ascending and descending radar images during your analysis?	雷達影像的成像基本上受到地形 影響，會出現前坡縮短、倒置、 陰影等問題，而升軌與降軌影像 因為沿軌道的前進方向不同，影 像中受到前述影響之位置與程度 亦不相同。由於本實驗區大部分 區域之地形特徵較利於使用降軌 影像，因此本報告書第三章第二 節與第三節的雷達影像，皆是使

	用降軌影像進行分析。
4. What's the potential if we use the radar image to generate DEM? And what's the DEM resolution?	我們正在測試利用 Sentinel-1 影像製作 15 公尺解析度之 DEM，從初步成果來看該資料確實具備產製 DEM 的潛力，但是受到外在條件，如：大氣、基線、地形、地表覆蓋等影響，其效果與精度並不穩定，目前仍在持續測試評估。
5.本研究可提供快速大量的資料建置，對於後續判釋相當有益，值得繼續進行。	感謝委員肯定。