水土保持局創研計畫分享

崩塌地之雷達迴波訊號與影像紋理特性之分析研究

- 計畫主持人：姜壽浩 副教授
- 研究助理：姚柏成
- 執行單位：國立中央大學太空及遙測研究中心
- 日期 ： 2020.09.15

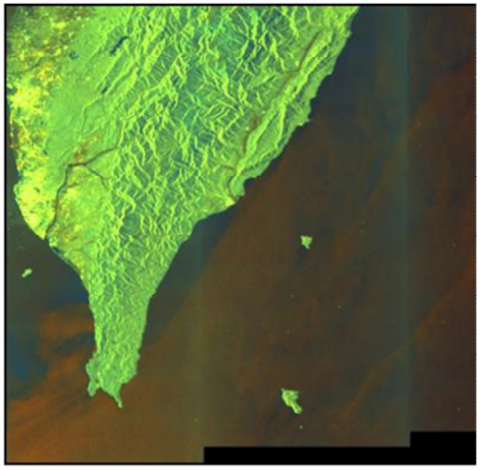
1

背景

2006年至2019年 台灣土砂災害

水土保持局統計2006年至2019年土砂災害事件，共計52件，其中因颱風造成之災害有30件，而因豪雨造成之事件有16件，70%之土砂災害原因都為大雨沖刷造成。因崩塌災害發生時常常伴隨著好幾天的強降雨或是雲霧持續存在，而導致光學圖像的可用性因而受到影響。

合成孔徑雷達影像



2017/1/15 Sentinel-1A SAR

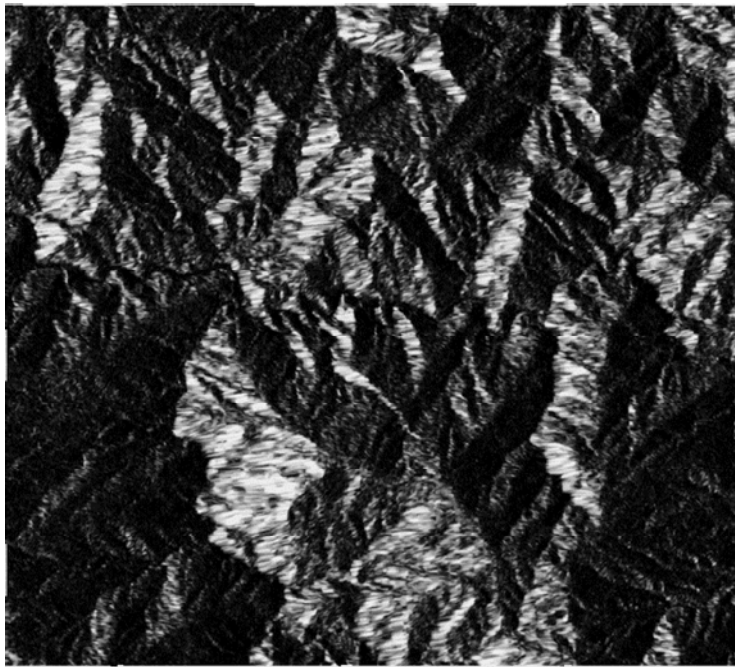
光學影像



2017/1/16 Sentinel-2 optical

2 問題

山區雷達影像陰影



蘇迪勒颱風事件後 (2015 年9月22日) 的 Sentinel-1A VH極化升軌 (ascending model) 雷達影像



蘇迪勒颱風事件後 (2015年8月21日) 的Sentinel-1A VH極化降軌 (descending model) 雷達影像

1 緒論

動機

隨著自動化及半自動化技術的進步，利用多時序雷達影像觀察空間自相關的變化，可快速判釋崩塌地，而雷達影像會因地形關係在影像成像時產生幾何偏差，但目前回顧相關研究，並無針對雷達影像做地形校正後再進行多時序分析，又因歐洲太空總署(European Space Agency, ESA)於2014年發射Sentinel-1 雷達衛星，將衛星資料免費開放給使用者，因此本研究希望能普及雷達資料之應用，建立一套標準流程，以校正地形過後的多時序雷達資料為基礎去偵測新增崩塌地。

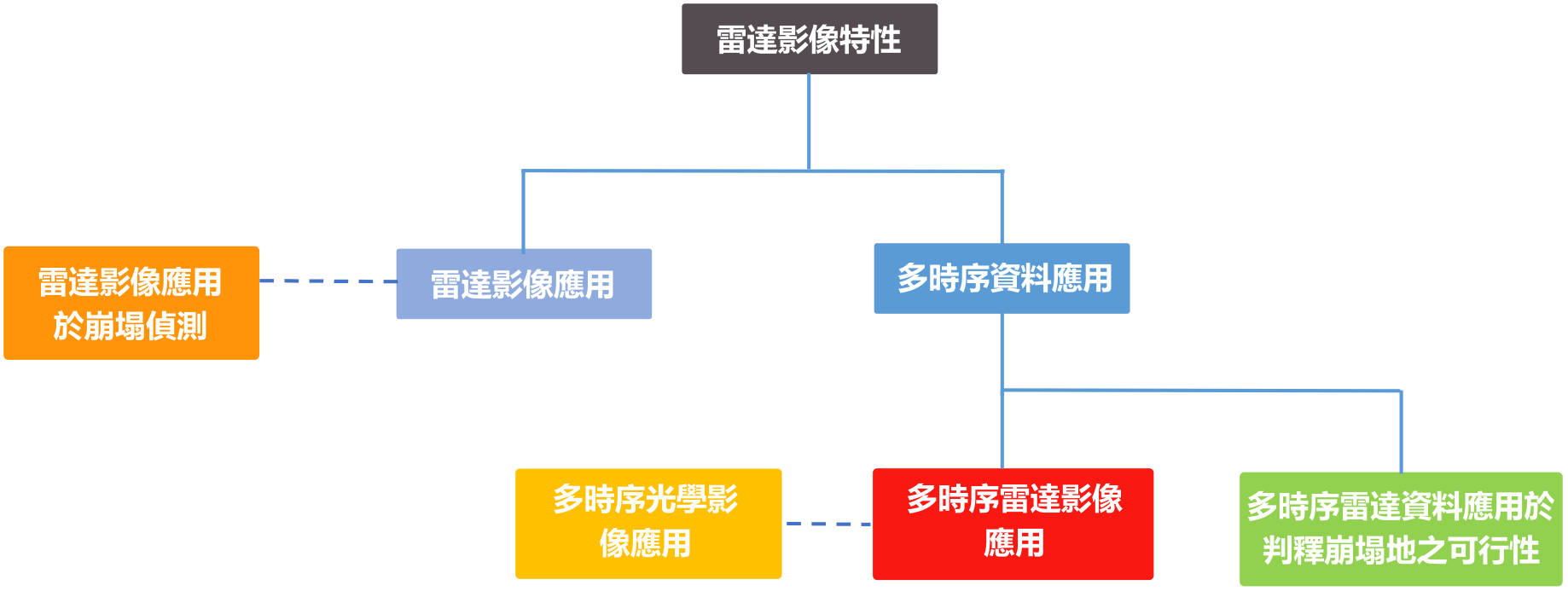
問題

1. 消除地形效應造成雷達影像的迴波強度變化，與減少雷達影像在亮面及暗面之迴波強度差異。本研究將進行地形校正並融合升軌影像與降軌影像能減少因地形造成迴波訊號不均之影響。

2. 觀察不同大小崩塌地的迴波特性。本研究將崩塌地以面積大小作為分類，對每種大小之崩塌地進行迴波特性分析。

3. 分析多時序雷達資料結合監督分類器對崩塌地進行判釋。

2 方法


雷達影像特性
雷達影像應用
雷達影像應用於崩塌偵測
多時序資料應用
多時序光學影像應用
多時序雷達影像應用
多時序雷達資料應用於判釋崩塌地之可行性

2 方法

雷達影像應用

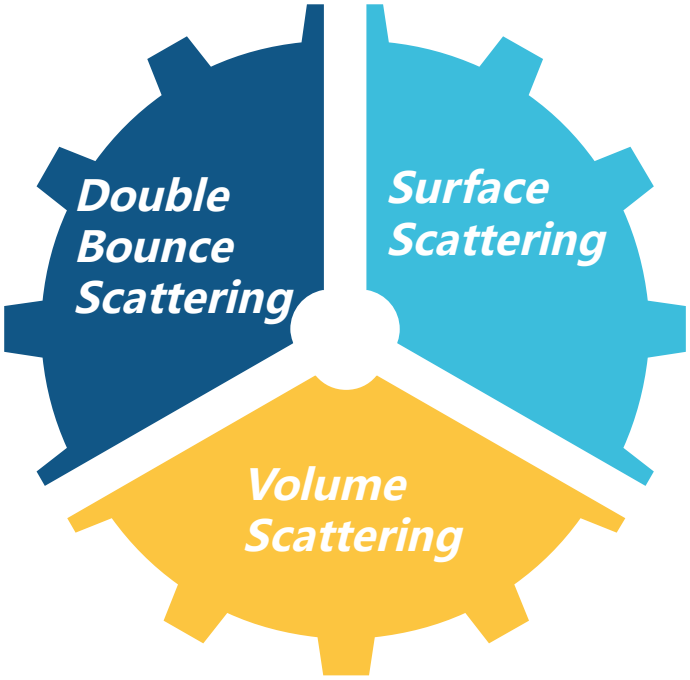
	目的/方法	說明	參考文獻
雷達影像應用於崩塌偵測	散射機制	雷達訊號藉地表粗糙度不同，將達訊號之散射特性分為四種散射機制，分別為：表面散射、二次散射、體積散射以及螺旋散射。	Yamaguchi et al., 2005
	PolSAR	極化資料(Polarimetry SAR, PolSAR）對於散射目標的幾何結構、方向和物理特性特別敏感，而因崩塌裸露地的散射特性與周圍植生不同，所以極化數據中的雷達散射被認為是一種可以用於偵測崩塌地的方法。	Shibayama et al., 2015
	不同波長偵測崩塌地	不同波長對於地物的偵測效果也不同，越長的波長對偵測崩塌地的效果越佳。因L-band波長較長，在樹木覆蓋的狀況下依然可以穿透樹冠層，有效的偵測崩塌地，而X-band之波長較短，容易在傳回迴波訊號的過程中被植物散射，因此X-band對偵測崩塌地之效果不及L-band。	Shimuda et al. 2014
		波長介於X-band及L-band間的Sentinel-1 C-band適用於山區林地，對於大型崩塌地進行偵測也有不錯的效果。	Mondini 2017; Murillo-Feo et al. 2018
雷達影像其他應用	DInSAR	合成孔徑雷達差分干利用相位(phase)值取得地表的三維資訊，可用於偵射地表變形、地層下陷或變形量預估等。	Hopper et al., 2004
	PS-InSAR	永久散射體差分干涉技可穩定反射雷達波之PS點，提供更良好的相位資訊，計算對衛星軌道方像之相對位移速率。	Colesanti et al., 2006

2 方法

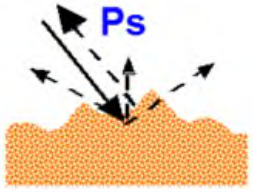
雷達影像應用

	目的/方法	說明	參考文獻
多時序光學影像應用	監測土地利用變化	利用Landsat 7和IRS-P6兩個光學衛星的多時序影像，結合地理資訊系統和數值地形圖監測包括河流流域、土壤沉積等自然變化及土地開發、新增建物等人工發展，觀察城市地區的土地利用和土地覆蓋變化。	Manonmani et al., 2010
	進行洪水評估和繪製河流圖	使用MODIS光學影像，利用多時間的時間序列分析搭配人工神經網絡，提取洪水的光譜訊息進行洪水評估和繪製河流圖結果顯示從多時序資料中分析空間訊息進行圖像分類，對於預判積水區域是準確而可靠的。	Senthilnath et al., 2014
多時序雷達影像應用	地物分類	使用多時序雷達影像搭配神經網絡分類器提取多時序雷達影像中的SAR信號特徵，利用訊號的相干性和後向散射時間變異性之概念，根據不同地物類別的多時序SAR信號變遷模式，對地物類別進行定義，生成準確的土地覆蓋圖。	Bruzzone et al., 2004
		將不同研究地點以及不同年份的C-band 合成孔徑雷達之數據詳細整理，使用最大似然度分類器進行分析，最終統計準確性評估之結果證實，利用多時序雷達影像可提高分類效率且精準的分析土地覆蓋別	Waske et al., 2009
多時序雷達資料應用於判釋崩塌地之可行性	判釋崩塌地的位置	運用多時期的Sentinel-1 C-band資料，利用power ratio方法進行影像變遷分析，並發現影像的空間自相關可用於界定崩塌地的位置。	Mondini et al., 2018

2 特性



表面散射
surface scattering



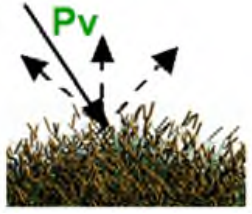
由粗糙表面所引起，
如裸土或裸露表面

二次散射
double bounce scattering



發生在人造結構物上，
如房屋、大廈等

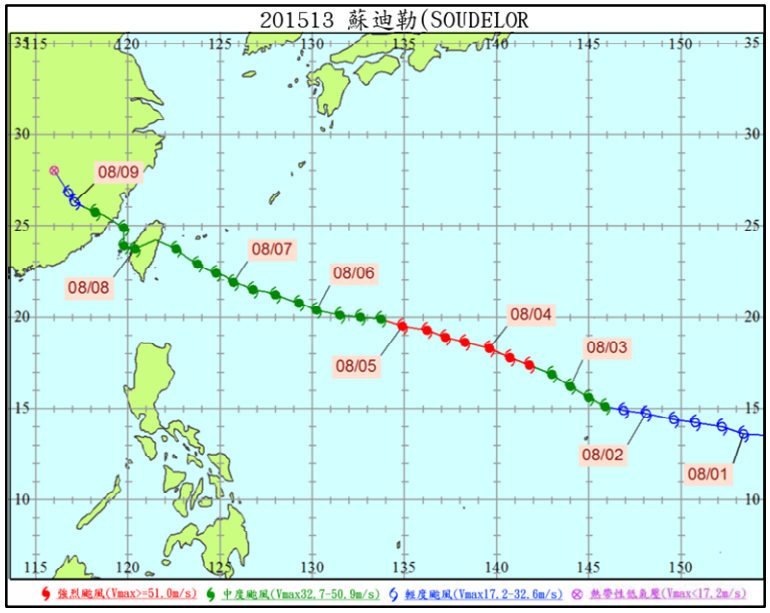
體散射
volume scattering



發生在粗糙表面，
如樹林冠層

(圖片來源: Shibayama et al., 2015)

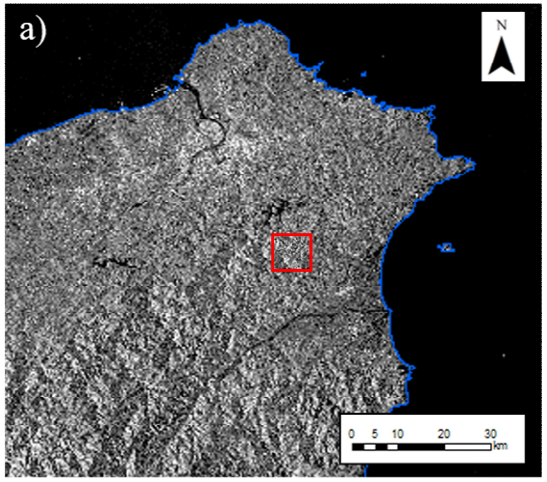
3 研究區與研究資料 – 蘇迪勒颱風

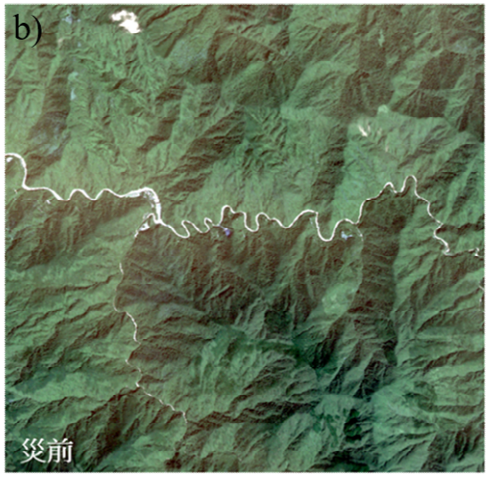


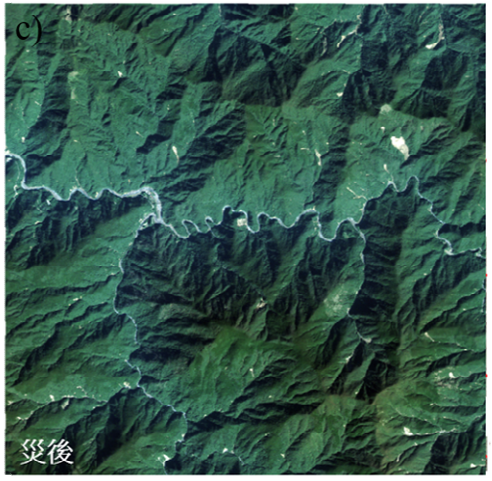
(圖片來源: 中央氣象局)

蘇迪勒颱風

- 研究區: 新北市烏來區桶後溪
- 研究區面積: 5050公頃
- 發生時間: 2015/08/08



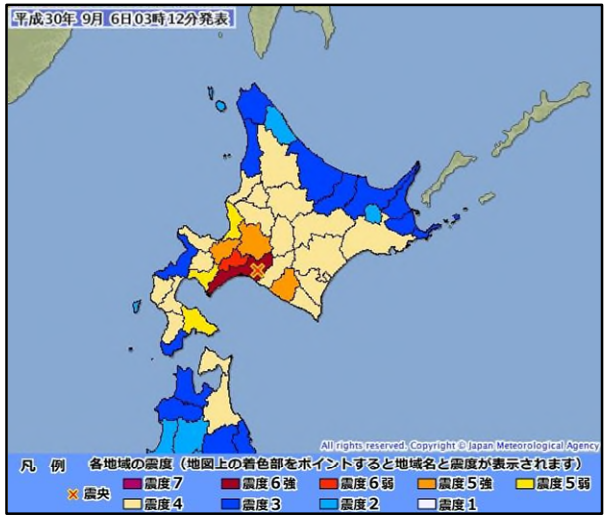




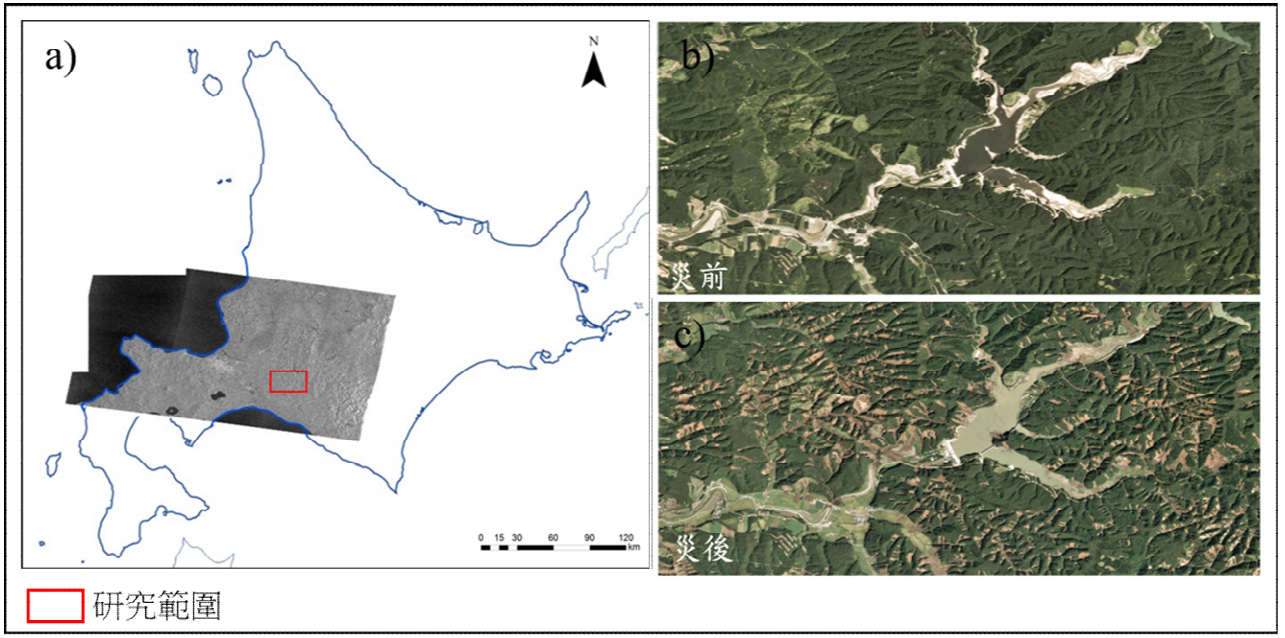
研究區面積: 5050 公頃
崩塌面積: 48.6 公頃

研究範圍

3 研究區與研究資料 – 2018北海道地震



(圖片來源: 日本氣象廳)



(圖片來源:路透社)



2018北海道地震

- 研究區: 日本北海道厚真町
- 研究區面積: 5557公頃
- 發生時間: 2018/09/06

研究區面積: 5557 公頃
崩塌面積: 935 公頃

3 研究區與研究資料

雷達影像: Sentinel-1

C-band
空間解析度: 10公尺
重返週期: 12天
極化方向: VV and VH
Ascending and Descending

影像預處理:
輻射校正 (Radiometric correction)
幾何校正 (Geometric correction)
影像斑駁雜訊濾除 (Speckle noise removal)

光學影像: SPOT 6/7

蘇迪勒颱風

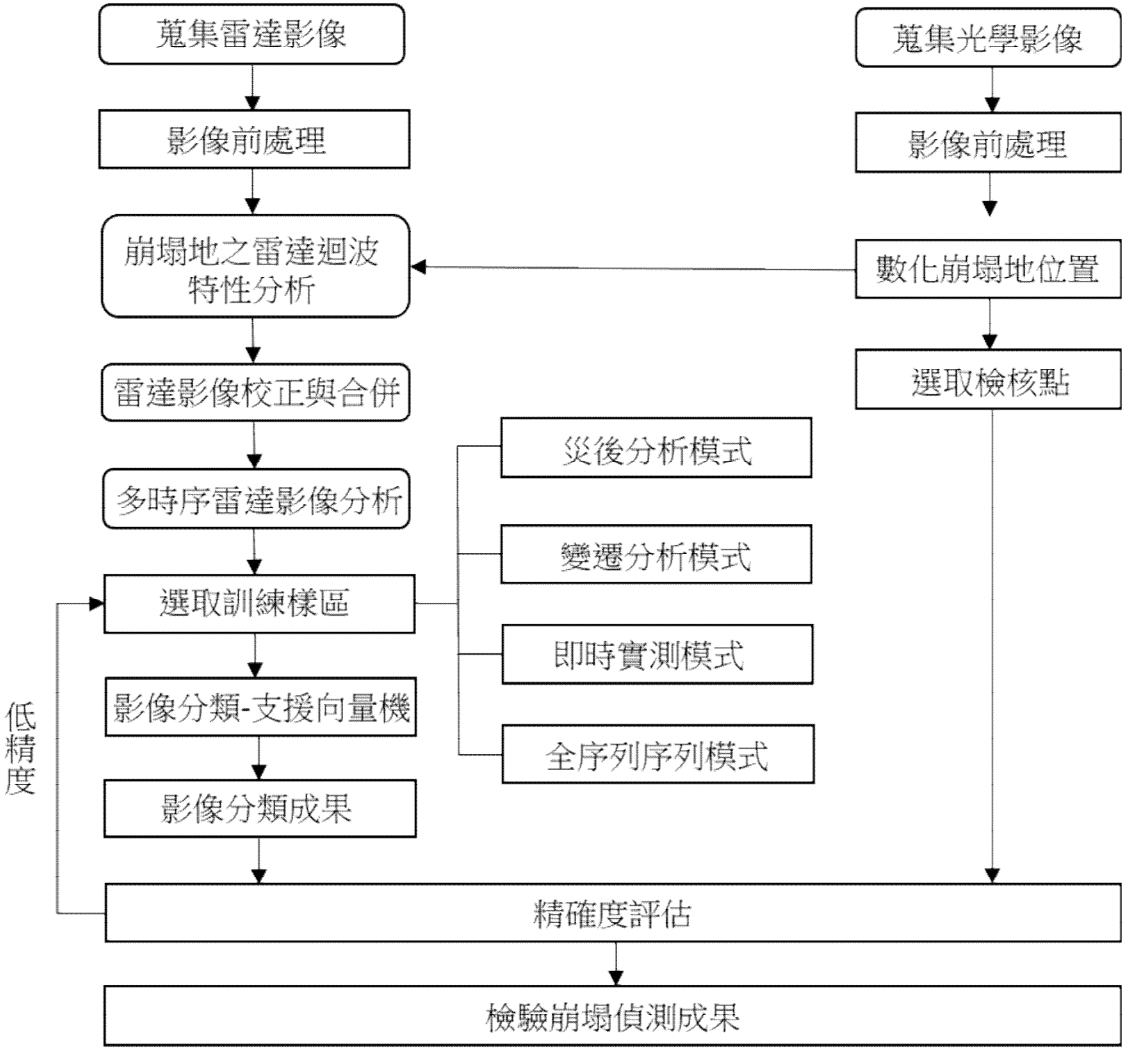
空間解析度: 6公尺
重返週期: 每日

光學影像: Planet Labs

北海道地震

空間解析度: 5公尺
重返週期: 每日

4 流程


蒐集雷達影像
影像前處理
崩塌地之雷達迴波特性分析
雷達影像校正與合併
多時序雷達影像分析
選取訓練樣區
影像分類-支援向量機
影像分類成果
低精度
蒐集光學影像
影像前處理
數化崩塌地位置
選取檢核點
災後分析模式
變遷分析模式
即時實測模式
全序列序列模式
精確度評估
檢驗崩塌偵測成果

4 研究方法

雷達影像陰影區去除

由數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)去模擬衛星在軌道上往地表照射之情形

本研究將升軌模式與降軌模式之影像做結合，挑選日期相近之升軌與降軌影像進行整合，並設計一套算法，對雷達影像進行幾何校正，通過考慮衛星到地表之方位角、最近入射角與最遠入射角等因素，調整高差位移、傾斜位移等地形起伏偏移，可消除因山區地形而造成背向衛星之坡面的迴波訊號不均問題。

$$\sigma_{(\phi_s,\theta_\perp)} = \Omega \times \sigma_{(\phi_s,\theta_s)}$$

$$\mathrm{I} = \mathrm{k} \cdot \{\cos(\theta) \cdot \cos(\phi) + \sin(\theta) \cdot \sin(\phi) \cdot \cos(\theta - \omega)\}$$

$$\Omega = \frac{\mathrm{I}_{(\phi_s,\theta_\perp)}}{\mathrm{I}_{(\phi_s,\theta_S)}}$$

$$\sigma_{ij}^{fusion} = min_\omega\{\sigma_{ij}^{as}(\phi_s,\theta_\perp), \sigma_{ij}^{ds}(\phi_s,\theta_\perp)\}$$

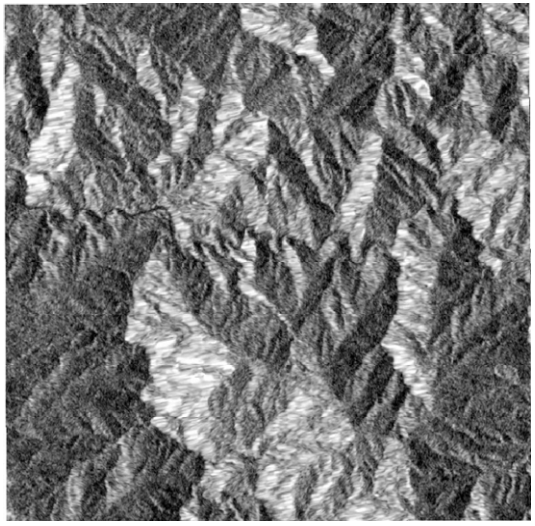
σ = 後向散射係數
ϕ_s =衛星軌道方位角
$\theta_\perp$= 天頂角
Ω =兩者之比例關係
θ_s=衛星軌道的最遠入射角與最近入射角的平均
I = Illumination
$slope_rad$ = 坡度
$Aspect_rad$ = 坡向
σ_{ij}^{fusion} =表示網格位置i,j融合之後向散射係數

4 研究方法

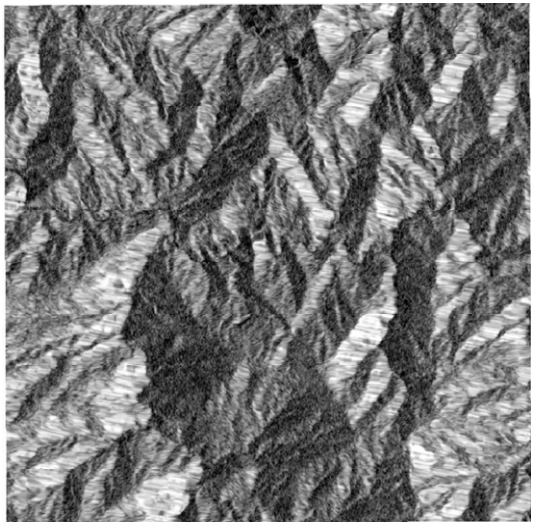
升軌降軌模式合併

升軌和降軌模式之角度互補(約140~150度)

因Sentinel-1雷達影像具有升軌和降軌兩種模式，因此本研究將升軌模式與降軌模式之影像做結合，挑選日期相近之升軌與降軌影像進行整合，以減少因山區地形產生的迴波強度不均問題。



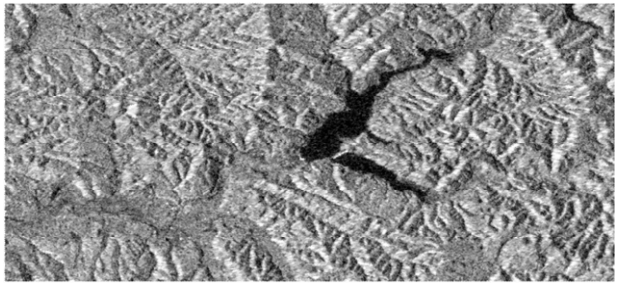
Ascending



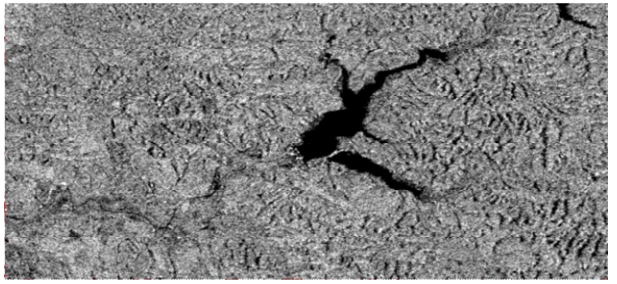
Descending



Ascending+Descending





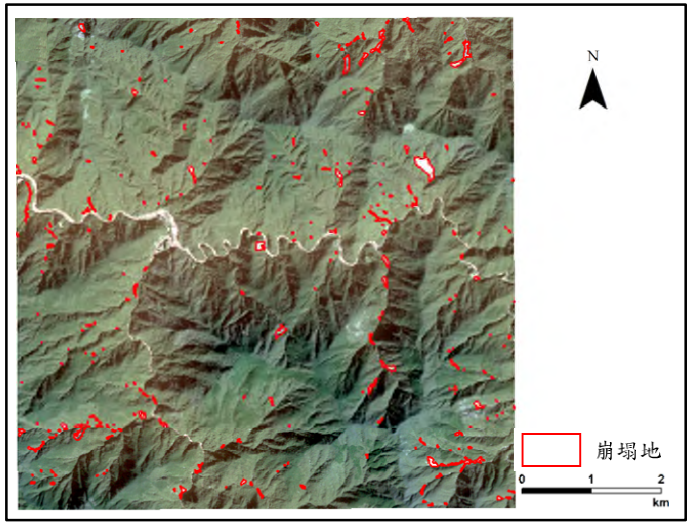


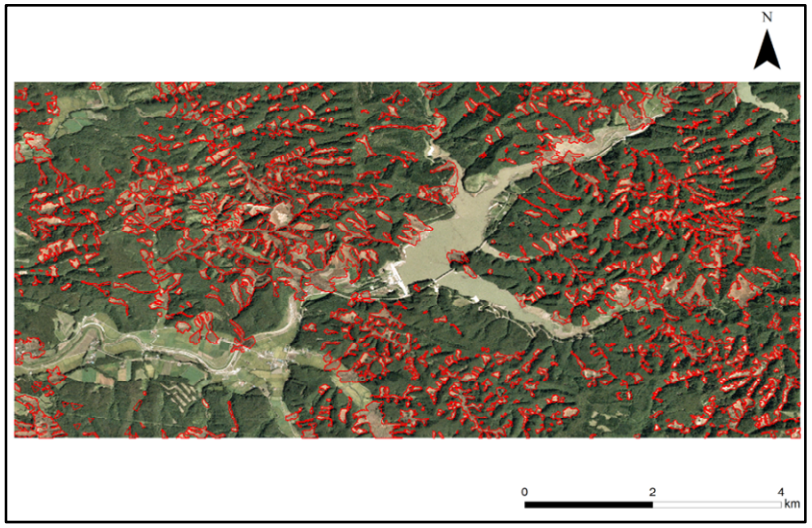
4 實驗結果與討論

建置影像分析資料庫

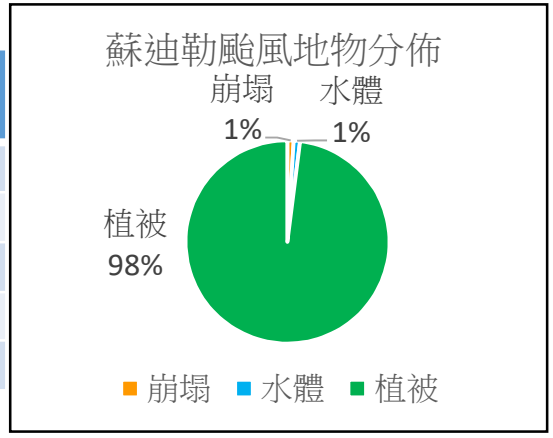
數化地表覆蓋類型

本研究藉由收集事件之前後期無雲的光學影像，以人工判釋之方式比對災前災後發生之變化，將災害發生後新增之崩塌及地物進行判釋。

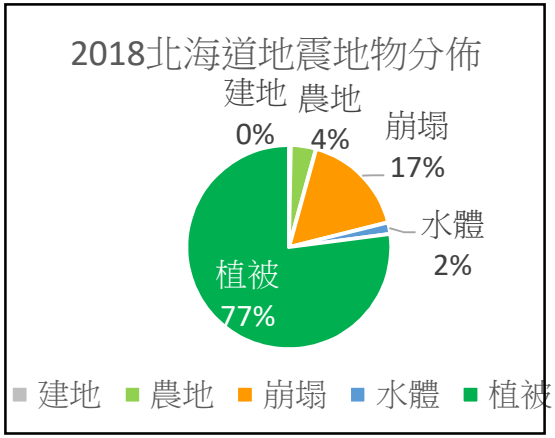




崩塌面積(單位:公頃)	崩塌數量
More than 1	8
0.5-1	16
0.1-0.5	66
Under 0.1	184
Total	274



崩塌面積(單位:公頃)	崩塌數量
More than 50	1
10-50	9
1-10	180
0.5-1	508
0.1-0.5	111
Under 0.1	47
Total	856



5 實驗結果與討論 蘇迪勒颱風事件

類型 / 崩塌面積	升軌模式(Ascending)		降軌模式(Descending)		小計
	亮面側	暗面側	亮面側	暗面側	
1公頃以上	0	8	8	0	8
0.5-1公頃	0	16	16	0	16
0.1-0.5公頃	6	60	60	6	66
0.1公頃以下	12	172	172	12	184
總計	18	256	256	18	274

事件前後崩塌地之迴波強度變化

本研究分別在升軌模式及降軌模式分別取一張災害發生前的雷達影像，及一張災害發生後的雷達影像，觀察位於崩塌地之雷達迴波強度在災害前後的變化情形，再利用成對T檢定(T-test)以驗證崩塌地之迴波強度變化。

VH極化在崩塌地迴波強度變化T-test統計表

類型 / 崩塌面積	P-value						
	升軌模式(Ascending)			降軌模式(Descending)			融合影像
	不分側	亮面側	暗面側	不分側	亮面側	暗面側	
全部	0.079	0.187	0.118	<0.05	<0.05	0.152	<0.01
1 公頃以上	<0.05	-	<0.05	<0.05	<0.05	-	<0.01
0.5-1 公頃	0.159	-	0.159	<0.01	<0.01	-	<0.01
0.1-0.5 公頃	0.147	0.267	<0.05	0.123	<0.05	0.263	<0.01
0.1 公頃以下	0.187	0.267	0.406	0.271	0.448	0.056	0.07

VV極化在崩塌地迴波強度變化T-test統計表

類型 / 崩塌面積	P-value						
	升軌模式(Ascending)			降軌模式(Descending)			融合影像
	不分側	亮面側	暗面側	不分側	亮面側	暗面側	
全部	<0.01	0.126	<0.01	<0.01	<0.01	0.298	<0.01
1 公頃以上	<0.05	-	<0.05	<0.01	<0.01	-	<0.01
0.5-1 公頃	<0.01	-	<0.01	<0.01	<0.01	-	<0.01
0.1-0.5 公頃	<0.01	0.379	<0.01	<0.01	<0.01	0.051	<0.01
0.1 公頃以下	0.102	0.139	0.091	0.07	0.082	0.429	0.102

5 實驗結果與討論

2018北海道地震事件

類型 / 崩塌面積	升軌模式(Ascending)		降軌模式(Descending)		小計
	亮面側	暗面側	亮面側	暗面側	
10公頃以上	4	6	6	4	10
1-10公頃	19	161	161	19	180
0.5-1公頃	45	463	463	45	508
0.1-0.5公頃	9	102	102	9	111
0.1公頃以下	3	44	44	3	47
總計	80	776	776	80	856

事件前後崩塌地之迴波強度變化

本研究分別在升軌模式及降軌模式分別取一張災害發生前的雷達影像，及一張災害發生後的雷達影像，觀察位於崩塌地之雷達迴波強度在災害前後的變化情形，再利用成對T檢定(T-test)以驗證崩塌地之迴波強度變化。

VH極化在崩塌地迴波強度變化T-test統計表

類型 / 崩塌面積	P-value						
	升軌模式(Ascending)			降軌模式(Descending)			融合影像
	不分側	亮面側	暗面側	不分側	亮面側	暗面側	
全部	<0.01	<0.05	<0.05	<0.05	0.209	<0.05	0.207
1 公頃以上	<0.05	0.083	<0.01	0.097	0.147	0.483	<0.05
0.5-1 公頃	<0.05	0.170	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01
0.1-0.5 公頃	<0.05	0.119	<0.05	<0.01	<0.05	<0.05	<0.05
0.1 公頃以下	0.273	0.327	0.313	0.229	0.356	0.431	0.03

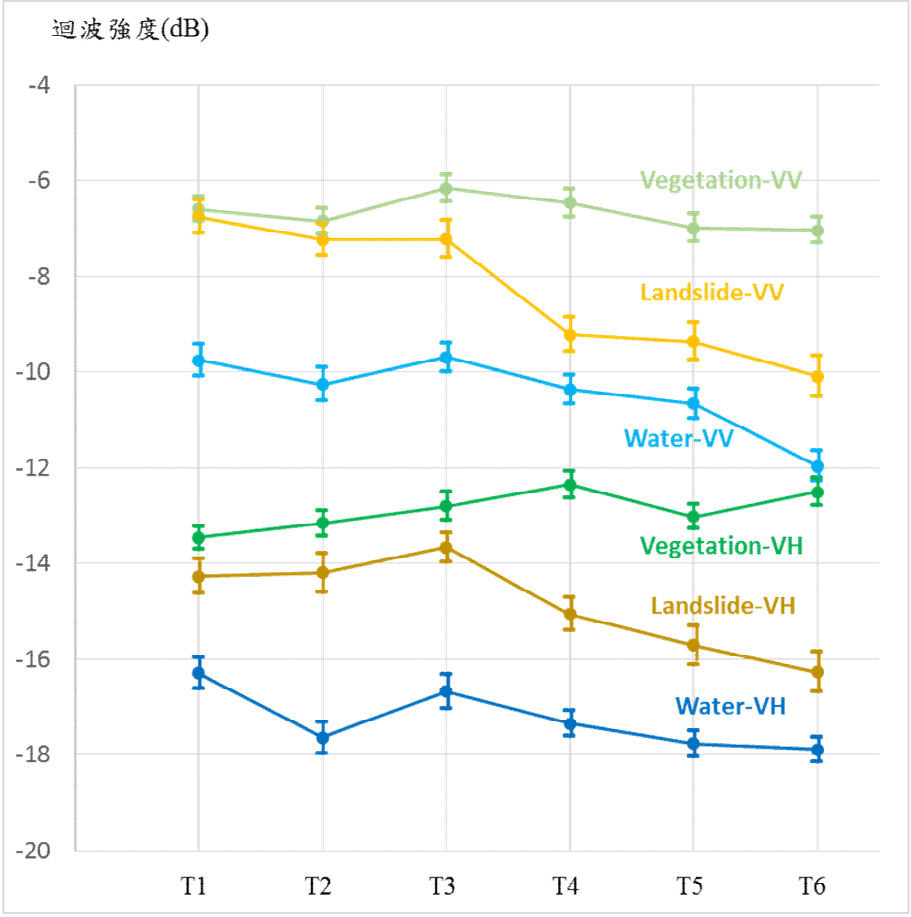
VV極化在崩塌地迴波強度變化T-test統計表

類型 / 崩塌面積	P-value						
	升軌模式(Ascending)			降軌模式(Descending)			融合影像
	不分側	亮面側	暗面側	不分側	亮面側	暗面側	
全部	<0.01	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.201	<0.01
1 公頃以上	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	<0.05	0.124	<0.05
0.5-1 公頃	<0.01	<0.01	0.062	0.010	0.053	0.133	<0.01
0.1-0.5 公頃	<0.01	0.097	0.102	<0.05	0.087	0.187	<0.01
0.1 公頃以下	0.127	0.114	0.092	0.178	0.366	0.249	0.113

多時序影像變遷分析

使用合併影像分析各種不同地物在多時序影像變遷中之特性，方法為利用光學影像對地物進行人工判釋，再將各類別分別選取50點之平均值與正負標準差，以此分析各類別地物在多時序之迴波強度變化。

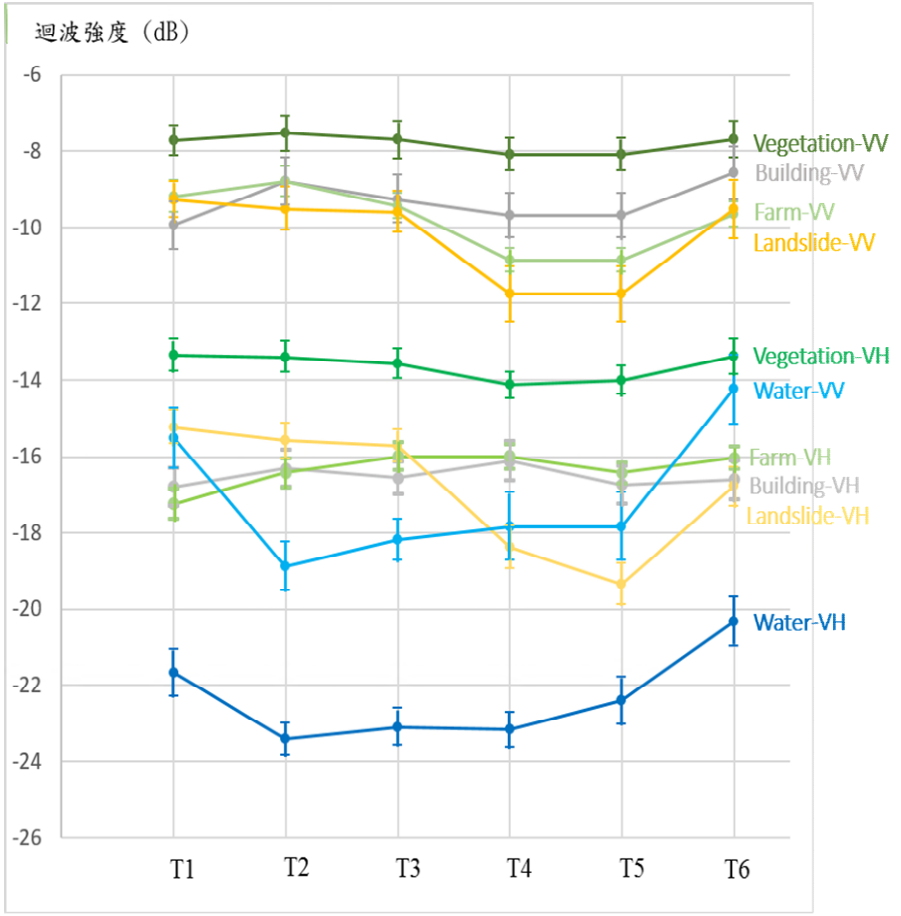
軌道模式 / 期別日期	升軌模式 (Ascending)	降軌模式 (Descending)
T1	2015-06-19	2015-06-10
T2	2015-07-01	2015-07-04
T3	2015-07-25	2015-07-28
T4	2015-08-18	2015-08-21
T5	2015-09-11	2015-09-14
T6	2015-10-05	2015-10-08



多時序影像變遷分析

使用合併影像分析各種不同地物在多時序影像變遷中之特性，方法為利用光學影像對地物進行人工判釋，再將各類別分別選取50點之平均值與正負標準差，以此分析各類別地物在多時序之迴波強度變化。

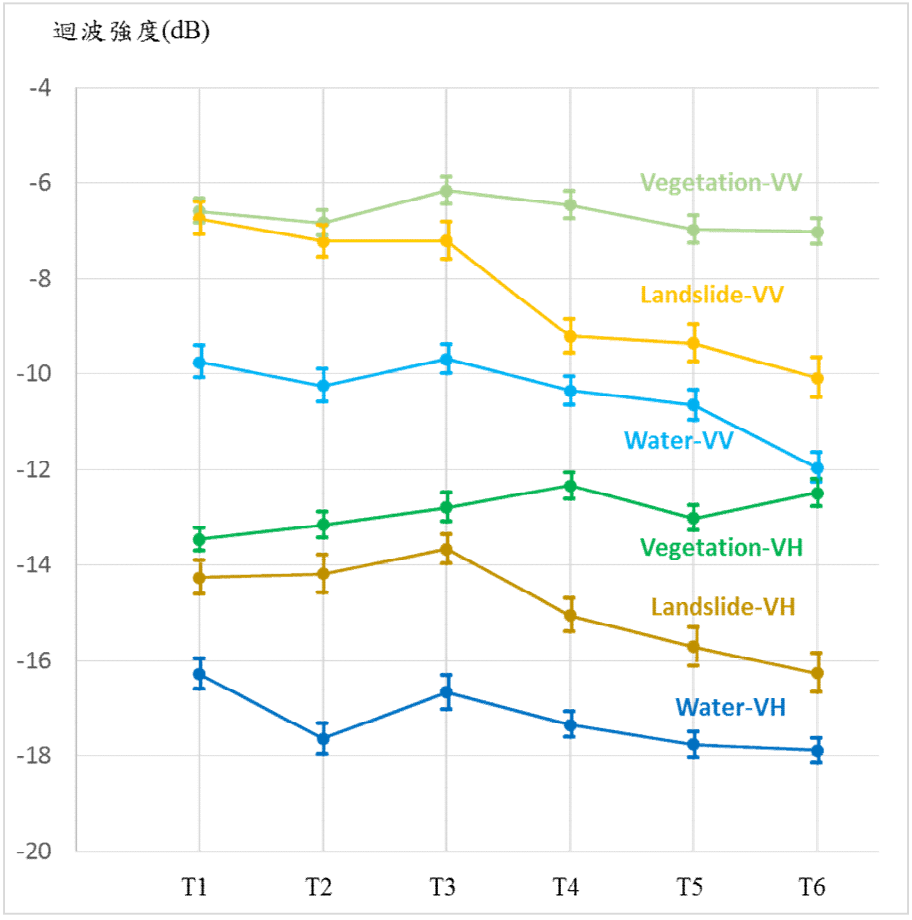
軌道模式 / 期別日期	升軌模式 (Ascending)	降軌模式 (Descending)
T1	2018-08-08	2018-08-07
T2	2018-08-20	2018-08-24
T3	2018-09-01	2018-09-05
T4	2018-09-13	2018-09-12
T5	2018-09-25	2018-09-24
T6	2018-10-31	2018-09-29



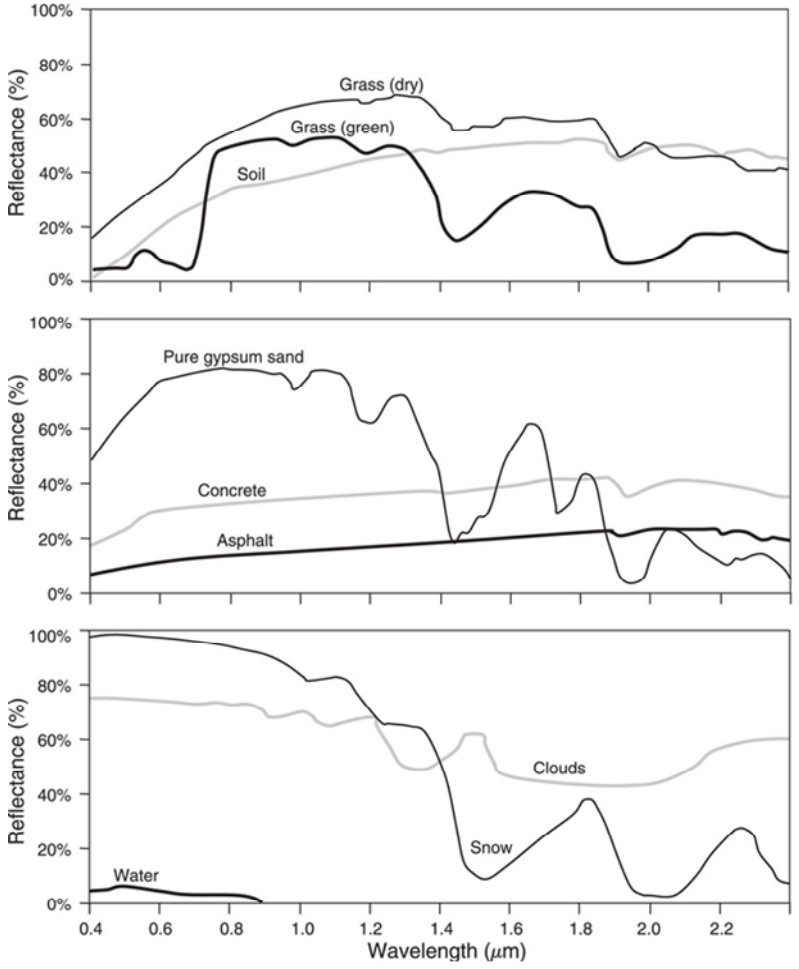
5 實驗結果與討論

多時序雷達訊號<->波段特徵曲線

多時序雷達訊號



波段特徵曲線



5 實驗結果與討論 多時序影像分類結果

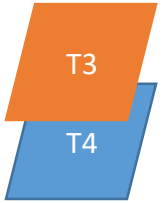
多時序雷達資料影像分類

依據上一節多時序影像變遷分析之結論，本節以VH極化、VV極化以及VH+VV極化三種多時序影像種類搭配SVM監督式分類器對研究區地物進行分類，並設計四種模型以分析多時序資料在不同時間組合上之適用性。模式概述如下:

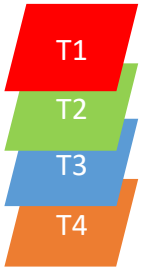
1.僅災後一張影像(T4)：僅使用最接近災害發生後的一張影像，目的為觀察僅依賴災後雷達影像之迴波係數是否能區判崩塌與非崩塌區域。



2.模式二(T3、T4):應用變遷分析之概念，使用兩個時期的影像，分別是災害發生前的T3與災害發生後的T4，利用兩張影像之迴波差異判釋崩塌地。



3.模式三(T1~T4):使用四個時期的影像，分別是災害發生前的T1、T2和T3，以及事件發生後最近一期(T4)之影像，希望增加災害發生前的影像數量增強崩塌地位置之迴波強度變化的特徵，若能達到不錯的判釋精度精度，則此方式則可建議用於崩塌地的持續性、即時性監測。



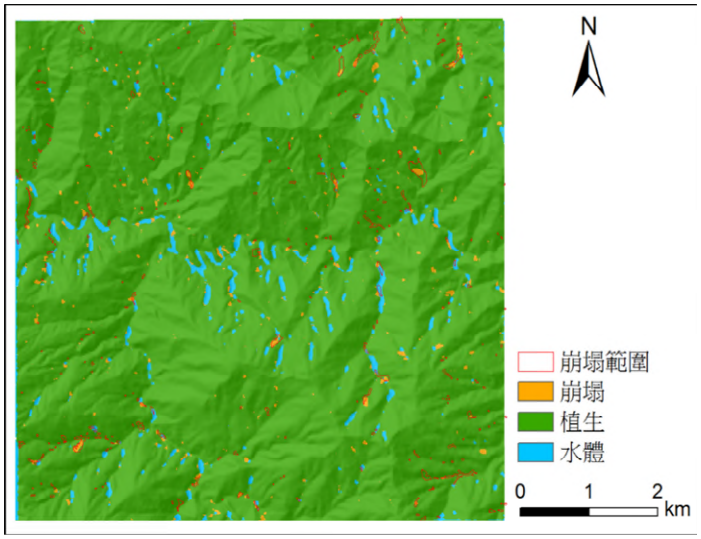
4.模式四(T1~T6):全序列影像模式，利用完整的多時序資料進行分析，使用六個時期的影像，分別是災害發生前三張及災害發生後三張，T1至T6所有影像。



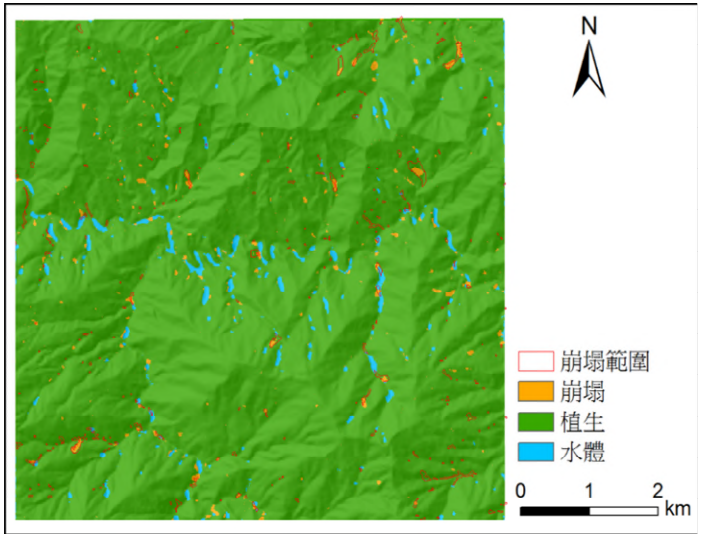
實驗結果與討論

蘇迪勒颱風事件

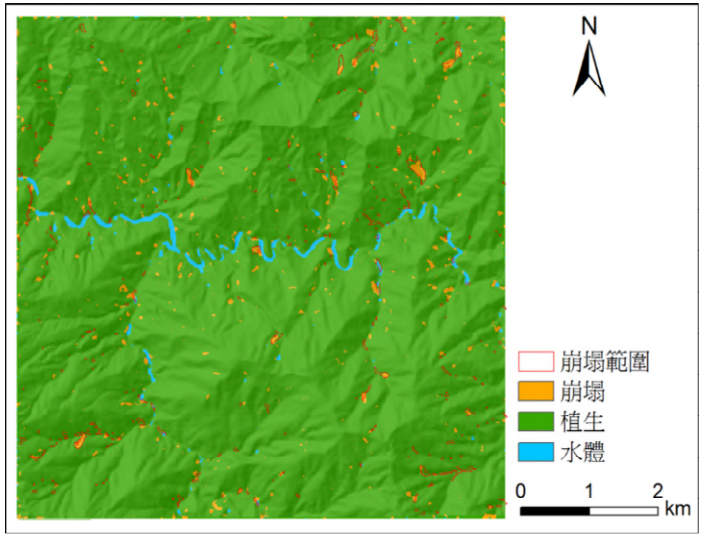
模式二 (T4)-VH+VH極化



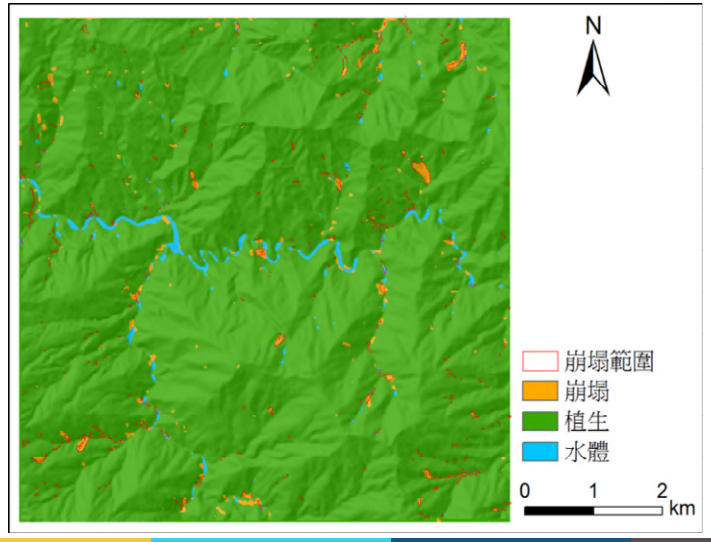
模式二 (T3、T4)-VH+VV極化



模式三 (T1~T4)-VH+VV極化



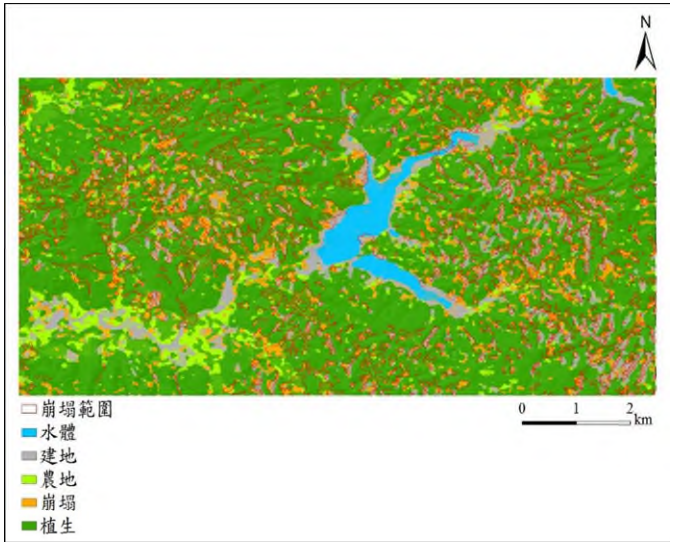
模式四 (T1~T6)-VH+VV極化



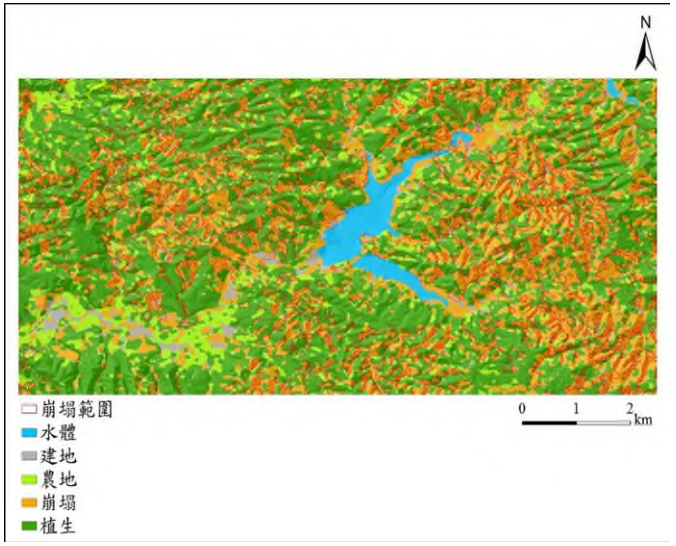
5 實驗結果與討論

北海道地震事件

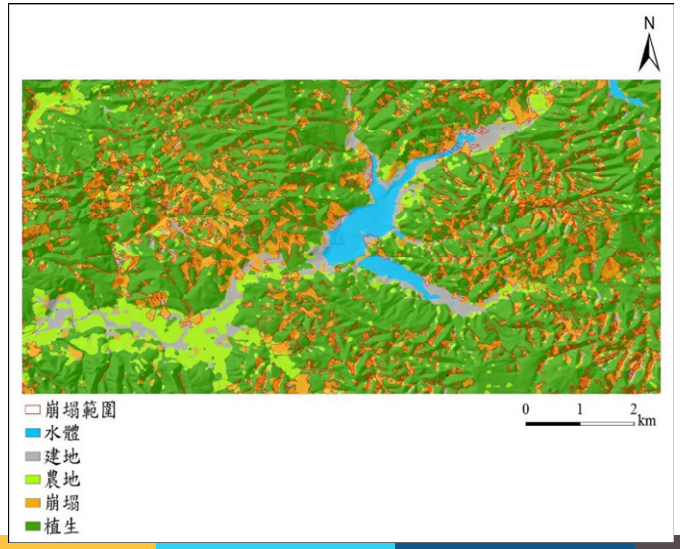
模式二 (T4)-VH+VH極化



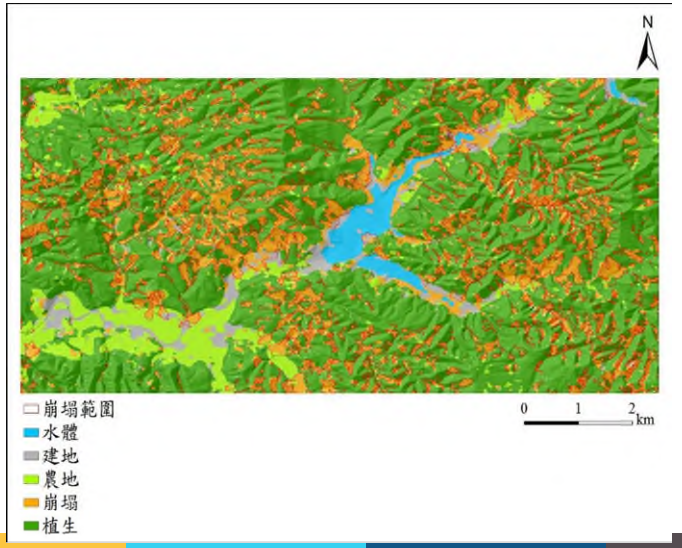
模式二 (T3、T4)-VH+VV極化



模式三 (T1~T4)-VH+VV極化



模式四 (T1~T6)-VH+VV極化



5 實驗結果與討論

混淆矩陣與KAPPA統計進行精度驗證

蘇迪勒颱風事件崩塌地偵測率(生產者精度)

崩塌面積		1-5 公頃		0.5-1 公頃		0.1-0.5 公頃		總計	
崩塌數量		8		16		66		90	
模式與極化		判釋數	生產者精度	判釋數	生產者精度	判釋數	生產者精度	判釋數	生產者精度
T1 | T6	VH	8	100%	12	75%	27	41%	47	52%
	VV	7	88%	12	75%	21	32%	40	44%
	VH+VV	8	100%	15	94%	33	50%	56	62%
T1 | T4	VH	7	88%	12	75%	43	65%	62	69%
	VV	7	88%	14	88%	41	62%	62	69%
	VH+VV	8	100%	13	81%	32	48%	53	59%
T3 | T4	VH	7	88%	9	56%	16	24%	32	36%
	VV	8	100%	13	81%	28	42%	49	54%
	VH+VV	7	88%	9	56%	27	41%	43	48%
T4	VH	7	88%	9	56%	24	36%	40	44%
	VV	7	88%	10	63%	24	36%	41	46%
	VH+VV	7	88%	11	69%	30	45%	48	53%

2018北海道地震事件崩塌地偵測率(生產者精度)

崩塌面積		1-50 公頃		0.5-1 公頃		0.1-0.5 公頃		總計	
崩塌數量		190		135		373		698	
模式與極化		判釋數	生產者精度	判釋數	生產者精度	判釋數	生產者精度	判釋數	生產者精度
T1 | T6	VH	186	98%	124	92%	271	73%	581	83%
	VV	189	99%	121	90%	277	74%	587	84%
	VH+VV	189	99%	125	93%	291	78%	605	87%
T1 | T4	VH	175	92%	104	77%	201	54%	480	69%
	VV	166	87%	105	78%	194	52%	465	67%
	VH+VV	186	98%	122	90%	258	69%	566	81%
T3 | T4	VH	155	82%	87	64%	196	53%	438	63%
	VV	149	78%	101	75%	208	56%	458	66%
	VH+VV	184	97%	121	90%	306	82%	611	88%
T4	VH	51	27%	25	19%	38	10%	114	16%
	VV	47	25%	35	26%	75	20%	157	22%
	VH+VV	147	77%	64	47%	85	23%	296	42%



結論與未來工作建議

1 結論與未來工作

結論

1.本研究將雷達影像進行影像合併後可減少因山區地形陰影區的問題，有利於後續影像分析與崩塌判釋工作。

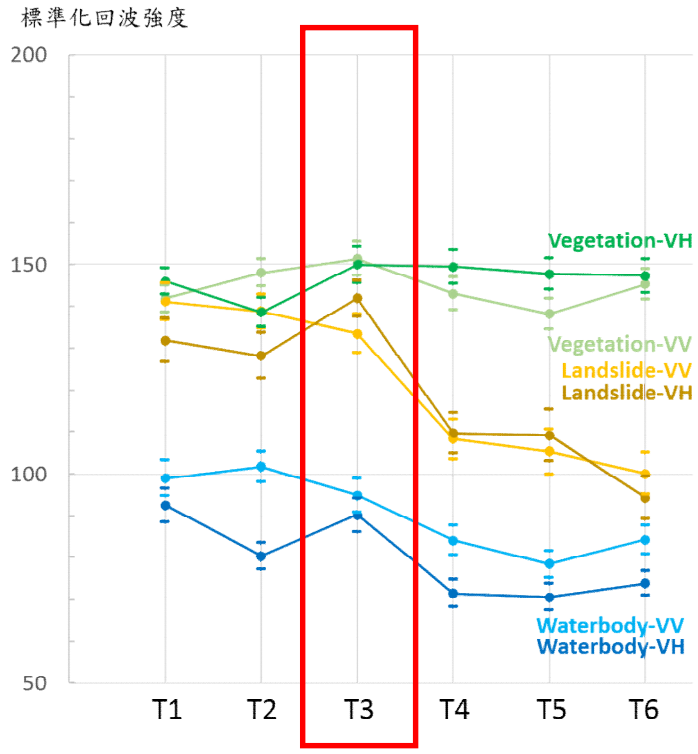
2. 本研究分析中可發現C-band適用於偵測0.5公頃以上之崩塌地，正確率可達七成以上(VV+VH組合)，小面積崩塌地的漏判狀況較為嚴重。

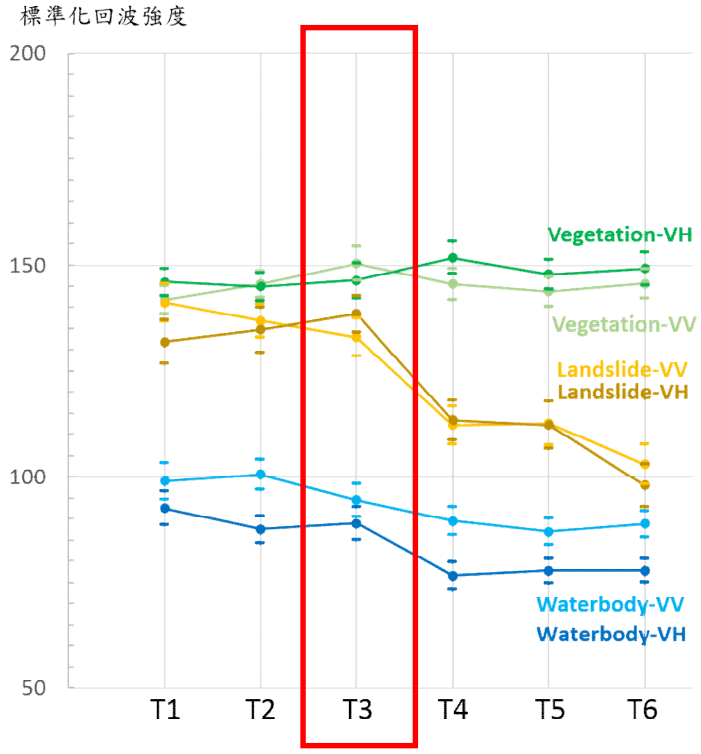
3. 研究利用多時序雷達資料結合監督分類器對地物進行分類，第三種模型(T1~T4)以及第四種模型(T1~T6)，合併使用VH及VV極化影像可以有相當好的判釋正確率。

結論與未來工作

討論與未來工作

- 雷達多時序資料的系統性偏誤問題



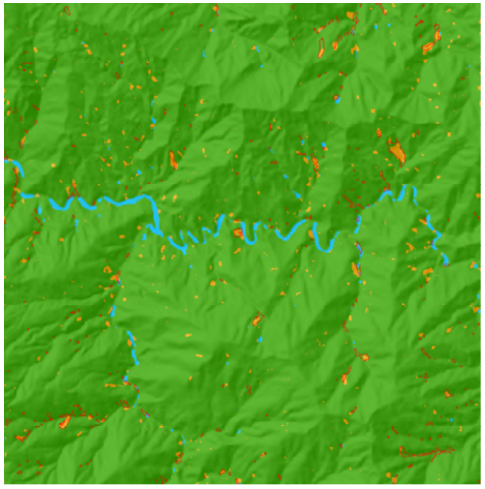


1 結論與未來工作

討論與未來工作

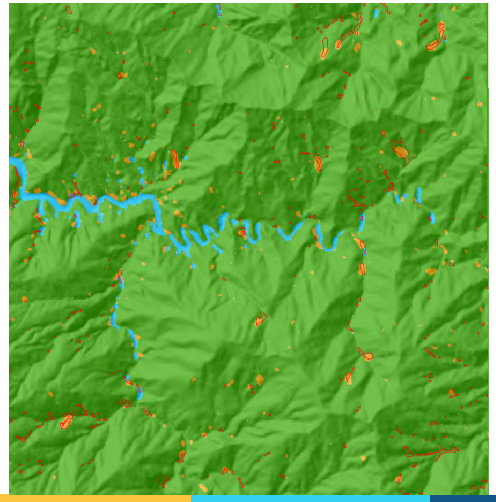
模式三 (T1~T4)-VH+VV極化

- 結合紋理與多時序影像進行崩塌地判釋



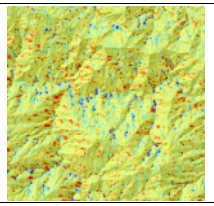
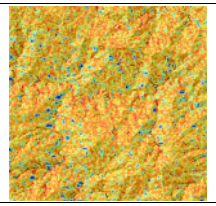
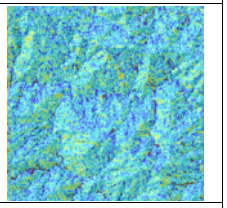
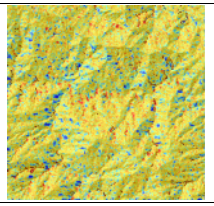
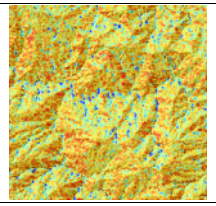
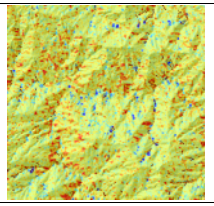
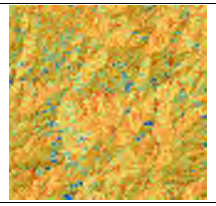
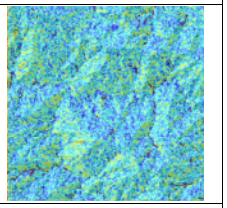
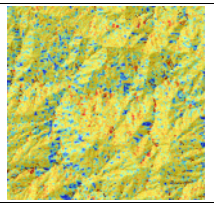
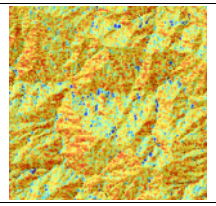
未加入紋理資訊進行崩塌判釋

- 總體精度：69%
- Kappa: 0.49



加入紋理資訊進行崩塌判釋

- 總體精度：79.5%
- Kappa: 0.62

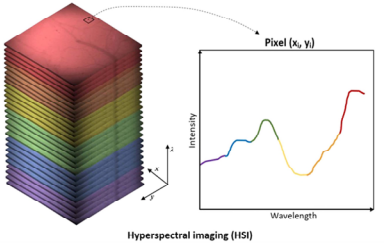
紋理	Contrast	Energy	Entropy
VH極化			
紋理	Homogeneity	STD	
VH極化			
紋理	Contrast	Energy	Entropy
VV極化			
紋理	Homogeneity	STD	
VV極化			

1 其他關於崩塌判釋的遙測方法發展

討論與未來工作

建立影像指標以應用於深層崩塌之判釋

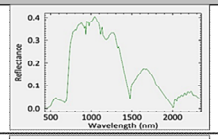
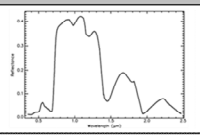
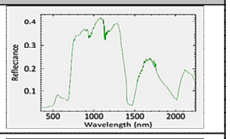
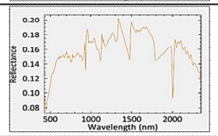
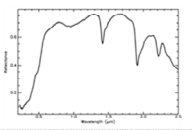
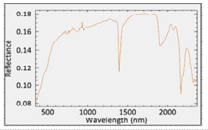
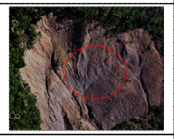
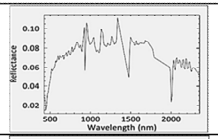
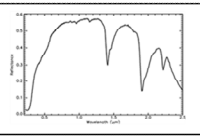
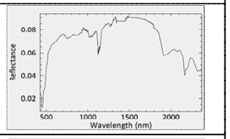
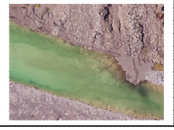
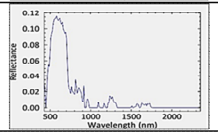
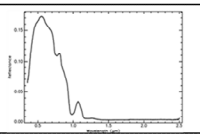
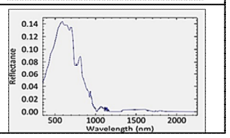
- 淺層崩塌：發生在風化土層、岩屑和崩積層之崩落或滑動現象。
- 深層崩塌：滑移面深入到新鮮的岩體中，並導致母岩出露（露頭）的崩塌。
- 利用光譜儀進行現地實測



Hyperspectral imaging (HSI)



FieldSpec 3

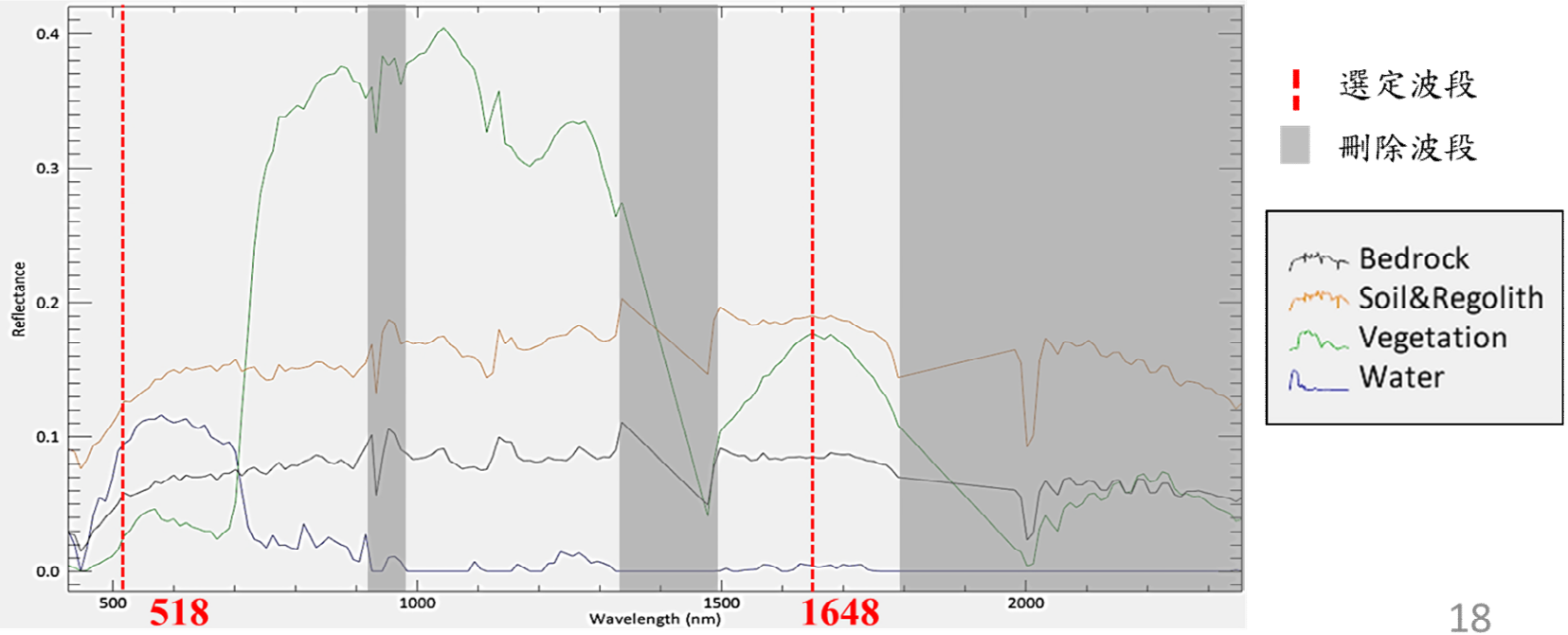
類別	UAV orthophoto	Hyperion	Spectral library	FieldSpec® 3
植被				
土壤及岩屑				
母岩露頭				
水體				

其他關於崩塌判釋的遙測方法發展

討論與未來工作

建立影像指標以應用於深層崩塌之判釋

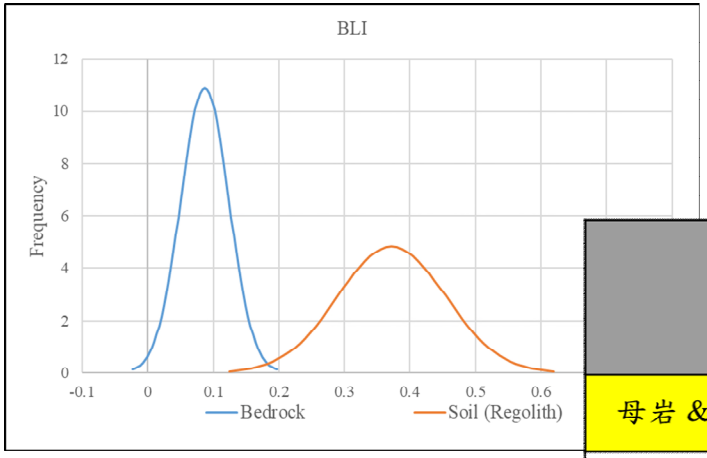
$$BLI = \left(\frac{R_\lambda(1648nm) - R_\lambda(518nm)}{R_\lambda(1648nm) + R_\lambda(518nm)} + NDVI\right) * 0.5$$



1 其他關於崩塌判釋的遙測方法發展

討論與未來工作

建立影像指標以應用於深層崩塌之判釋

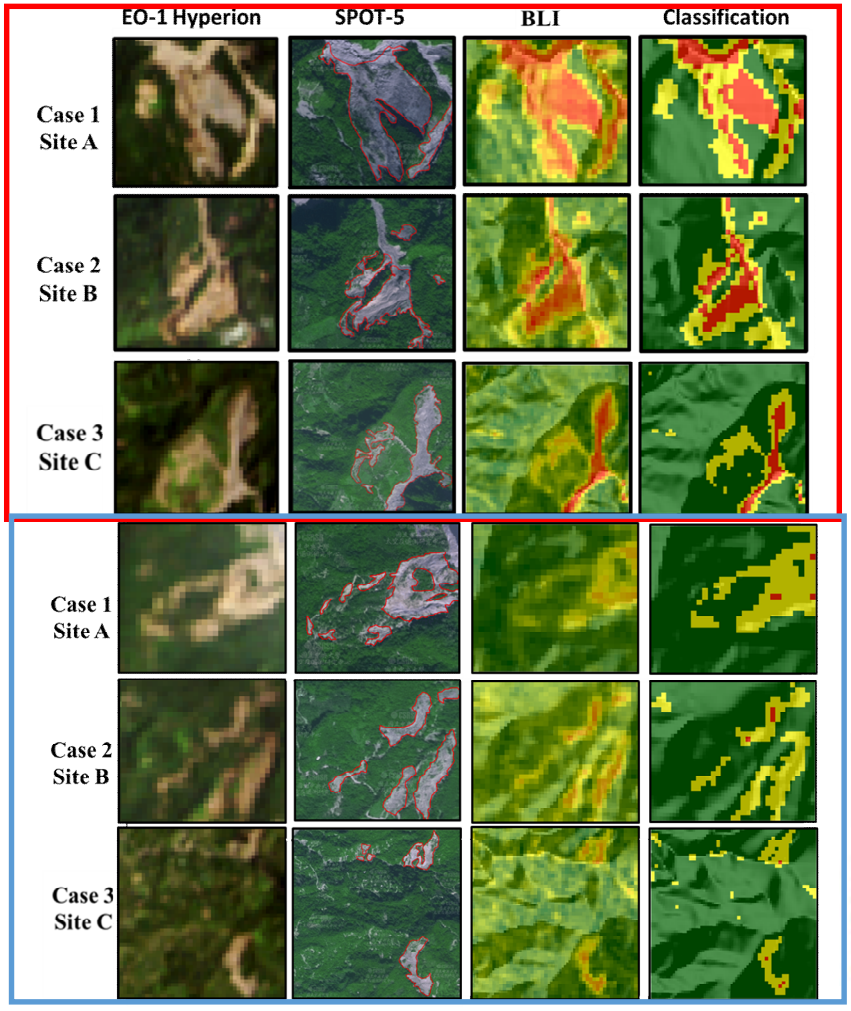


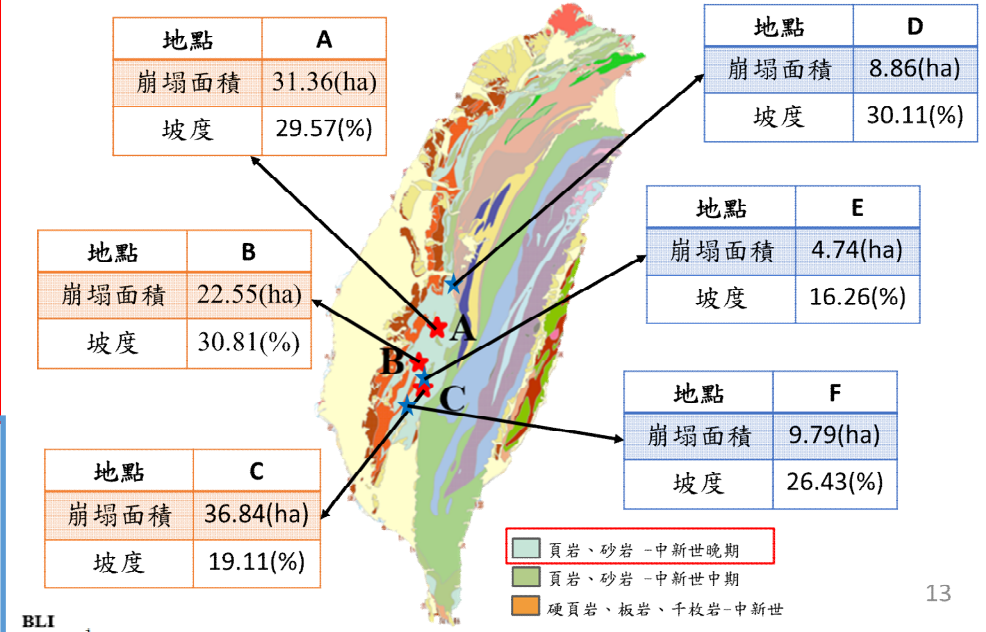
類別	J-M Distance			
	BLI	NDVI	EVI	NDWI
母岩 & 土壤 (岩屑)	1.99908074	1.58189059	1.56187272	1.79010804
母岩 & 植被	2.00000000	2.00000000	1.99999899	1.99999998
母岩 & 水	1.99780753	1.96385106	1.96061842	1.96201442
土壤 (岩屑) & 植被	1.99990269	1.99839871	1.99051100	1.99921134
土壤 (岩屑) & 水	1.99998786	1.97985416	1.98728082	1.99646541
植被 & 水	2.00000000	2.00000000	2.00000000	2.00000000

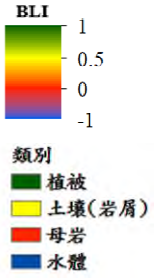
1 其他關於崩塌判釋的遙測方法發展

討論與未來工作

建立影像指標以應用於深層崩塌之判釋







BLI = 0～0.2(母岩出露，紅色)

其他關於崩塌判釋的遙測方法發展

討論與未來工作

崩塌復原及再發生之監測

