



農業部農村發展及水土保持署
Agency of Rural Development and Soil and Water Conservation, MOA

運用合成孔徑雷達（SAR）衛星影像 之坡地災害判讀指引

報告者：陳俊廷

114年3月25日

運用合成孔徑雷達（SAR）衛星影像之坡地災害判讀指引

- 出版單位：林野廳 國有林野部 業務課
- 出版日期：2022年（令和4年）
- 農林水產省(MAFF)→ 林野廳(Forestry Agency)→ 國有林野部(National Forest Management Division)→業務課
- 負責政策規劃、森林管理與資源保護。

計畫來源：

2022年度運用陸域觀測技術衛星之災害對應處理手法等的檢討與調查（委託廠商：PASCO衛星測量公司）

合成開口レーダ（SAR）衛星を
活用した山地災害判読ガイドブック

林野庁

国国有林野部 業務課

原文：

[https://www.rinya.maff.go.jp/j/gyoumu/sai
gai/attach/pdf/index-2.pdf](https://www.rinya.maff.go.jp/j/gyoumu/sai gai/attach/pdf/index-2.pdf)

翻譯本：

<https://tech.ardswc.gov.tw/api/File/2189>



大綱

1.前言

2.SAR基本事項

3.運用SAR影像注意要點

4.以SAR影像判讀與調查流程

5.以SAR影像判讀坡地災害之案例

地滑、山崩、土石流(坡面崩塌)

崩塌土砂之堆積

河道阻塞形成堰塞湖(天然壩)

漂流木等漂流

風倒木、伐木跡地

6.補充資料



前言

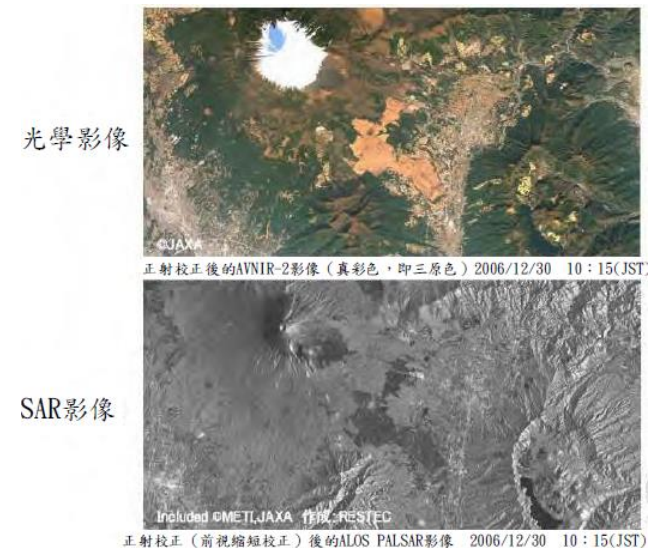
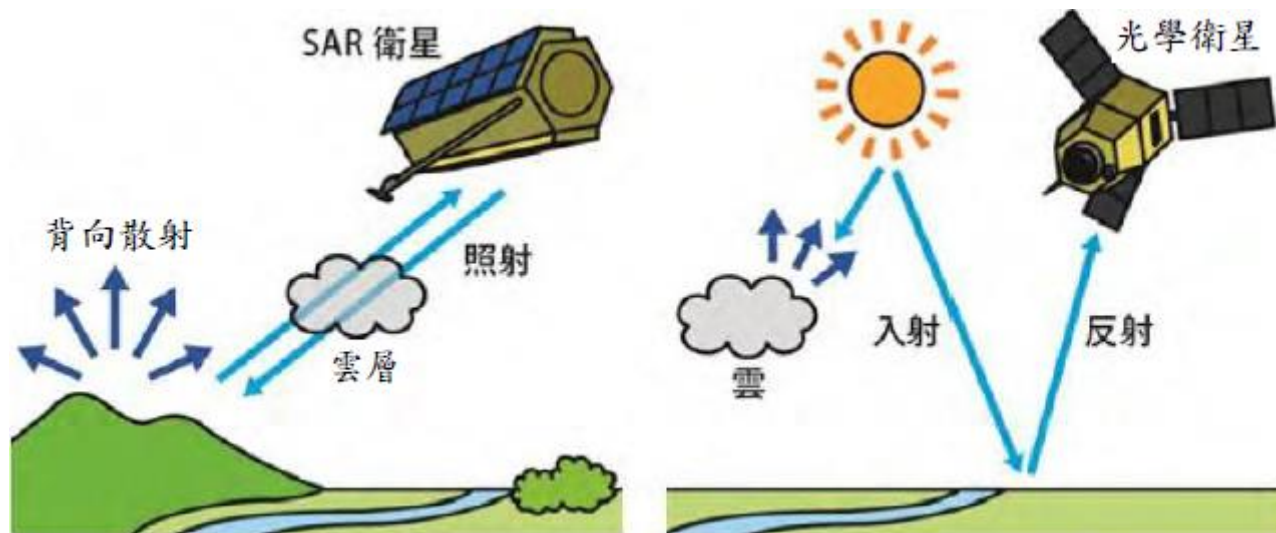
- 大規模災害發生時應迅速掌握災區狀況，擬定對策。
- 應用陸域觀測衛星（ALOS-2）等人造衛星進行觀測。
- 本指引係以山崩、地滑、土石流、崩塌土砂之堆積、漂流木等之漂流、河道阻塞形成堰塞湖（天然壩）及風倒木為對象，利用合成孔徑雷達（SAR）衛星影像說明坡地災害判讀之運用程序。



前言-署內文獻導讀

- 篇名 :國土交通省「遙測-依合成孔徑雷達 (SAR) 圖像判讀土砂災害指引」 - 林恩如
- 導讀日期 : 2025.03.04
- 摘要內容 : 針對ALOS-2判讀土砂災害的方法進行解說 , 針對**土砂災害判讀調查手法及強度差分判讀調查的試用結果** 。 <https://www.youtube.com/watch?v=FVWhYrWVgGo>
- 篇名 :國土交通省「遙測-災害時的合成孔徑雷達 (SAR) 散射變化案例解說集」 - 莊承穎
- 導讀日期 : 2024.04.02
- 摘要內容 : 國土交通省於2017年與JAXA簽訂人在衛星等相關災害協定 , 並於2020年4月公布「依合成孔徑雷達(SAR)圖像判讀土砂災害指引」 , 利用SAR對地表散射變化之災害前後案例進行解說 。 https://www.youtube.com/watch?v=TVhmTJN_DXE

SAR基本事項



光學衛星

可觀測自然放射光與反射光。因此，其所拍攝影像或影像可如一般相片進行判讀。但夜間無陽光照射地點及雲層所覆蓋地面即無法進行觀測。

合成孔徑雷達衛星（SAR衛星）

對地表面斜射電波觀測其地表面反射波（背向散射）的狀況。SAR衛星電波可穿透雲層，觀測時不需陽光，能不受限於天候與夜間完成觀測。但所拍攝影像需專門知識才能判讀。

SAR基本事項

空間解析度(Spatial resolution) 可詳農村水保署[電子報57期](#)

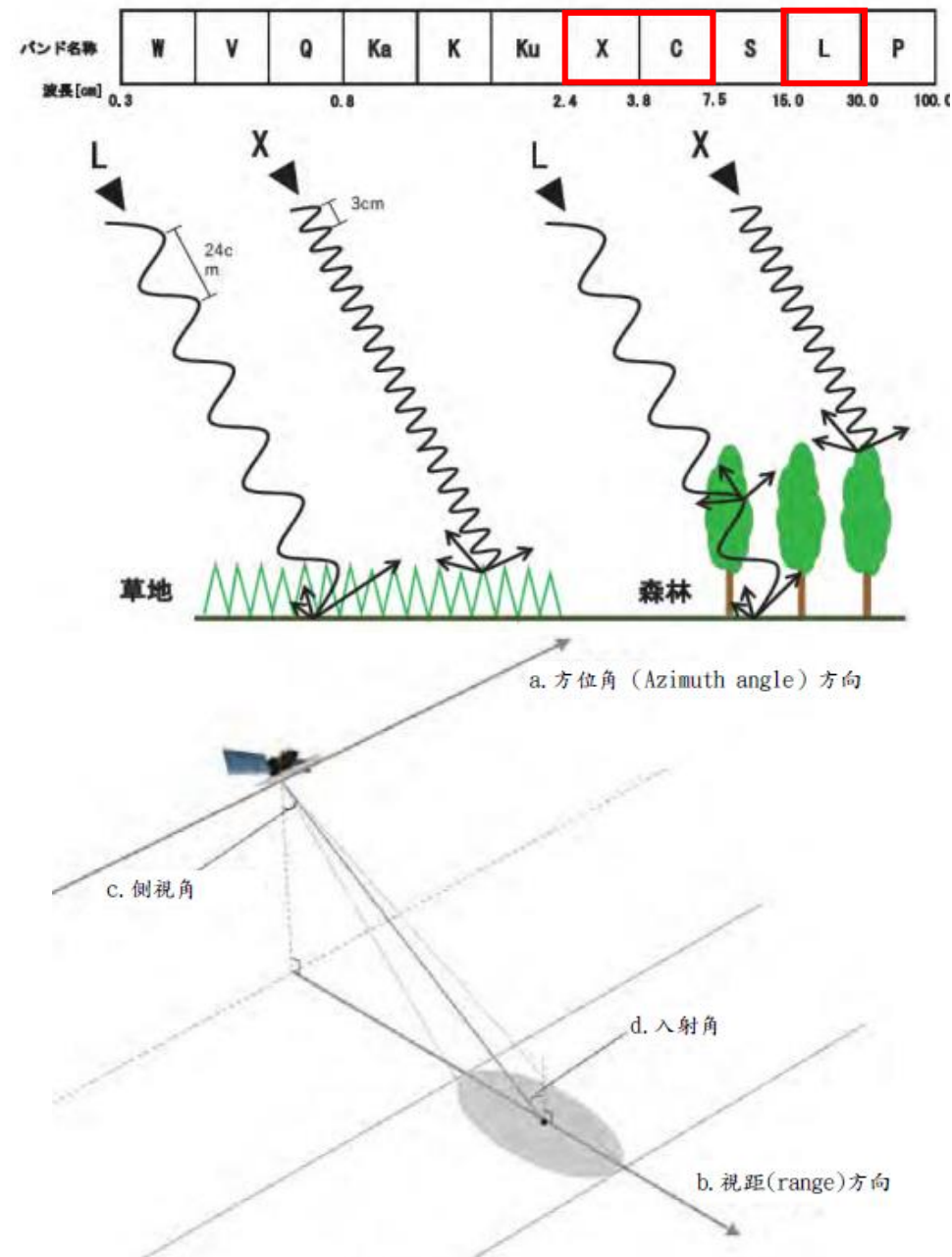
「空間解析度」是每個像元在地面上所代表的長度。一般要觀測特定目標物，其目標物大小須為解析度的10~20倍左右。

波長 (wavelength)

主要使用電波波長為X波段 (25-37.5mm)、C波段 (37.5-75mm)、L波段 (150-300mm) 三種。波長越短越容易被地面小物體反射，波長越長更容易穿透遮蔽物。

側視角 (Off-Nadir)

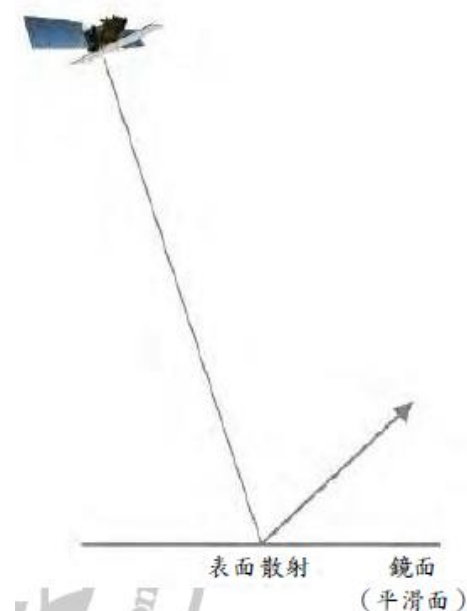
SAR衛星係與衛星行進方向呈直角地往右斜下方或左斜下方發射電波。從衛星朝地表面方向 (向下觀測、天底點，Nadir) 垂直的角度為 0° ，與此傾斜的角度稱為「側視角」



SAR基本事項-散射分類

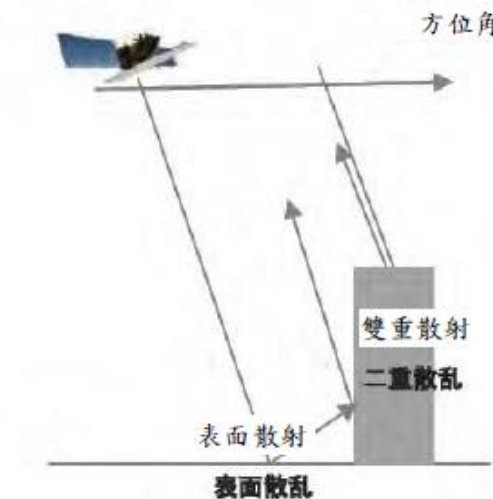
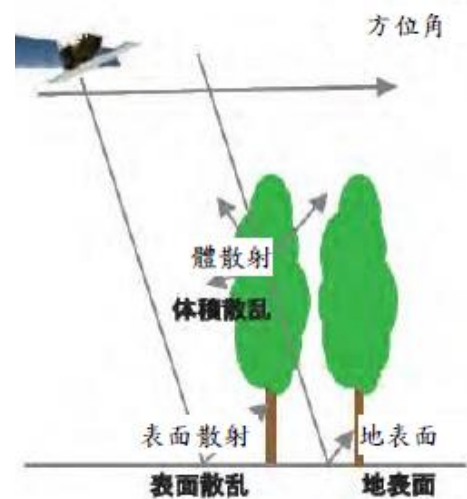
1.表面散射

SAR衛星所發射電波在地表等邊界面形成的散射稱為「表面散射」。表面散射會受到邊界面的粗糙狀況影響。



2.體散射

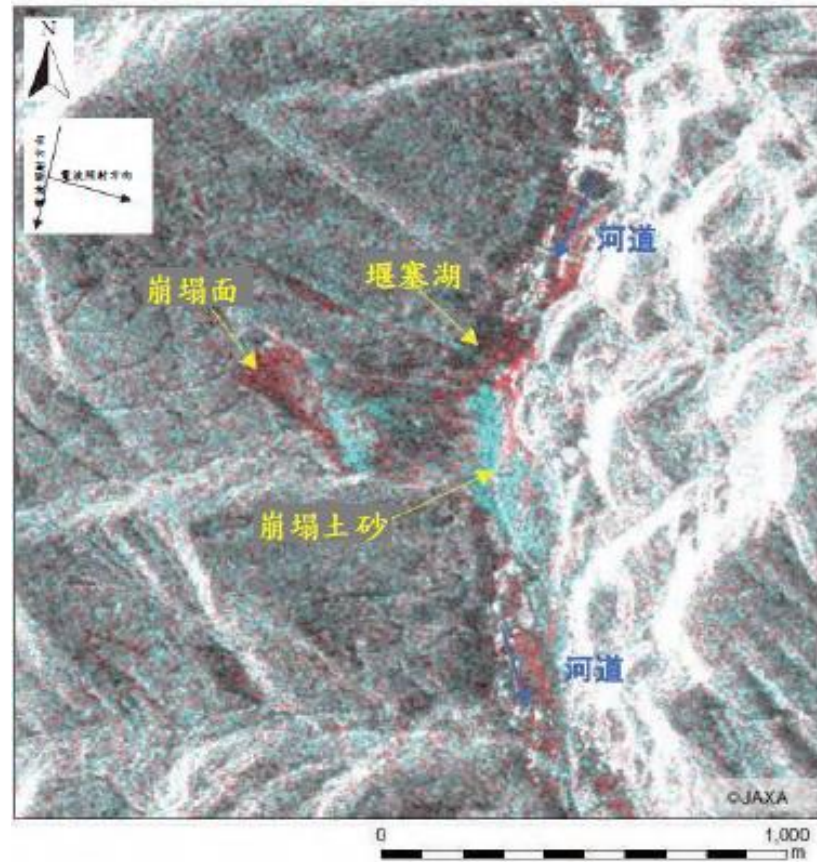
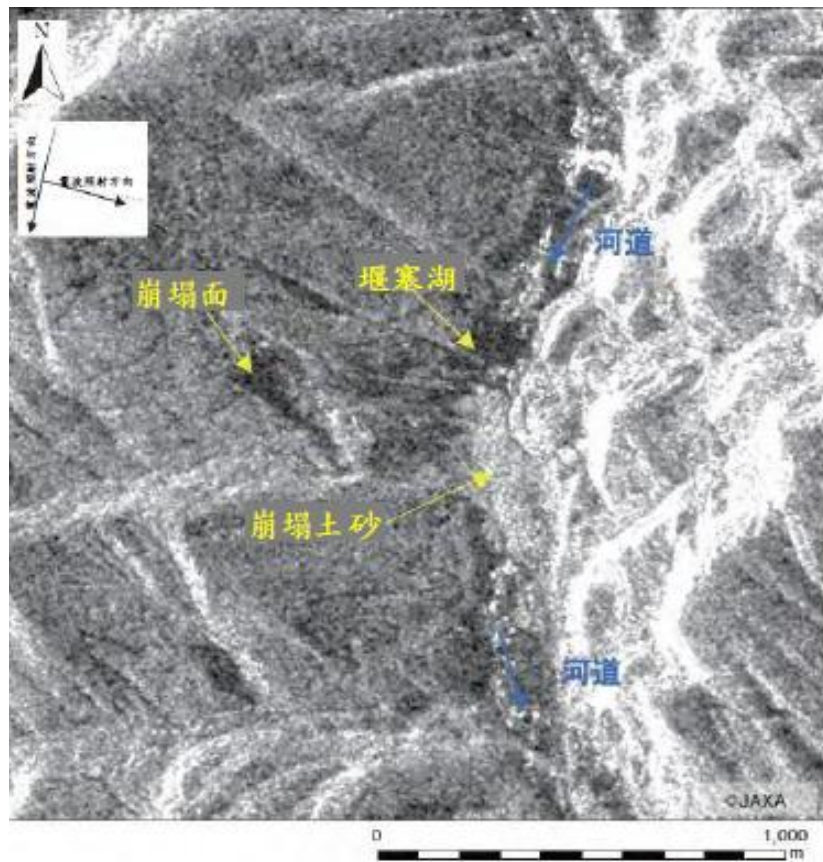
SAR衛星所發射電波穿透邊界面進入之後，因內部介電常數不均勻所產生的散射稱為「體散射」。



3.雙重散射

表面散射後再度產生散射而擴大背向散射的現象，稱為「雙重散射」。

SAR基本事項-強度影像 v.s. 二時期彩色合成影像



SAR基本事項-ALOS-2介紹

主要觀測模式

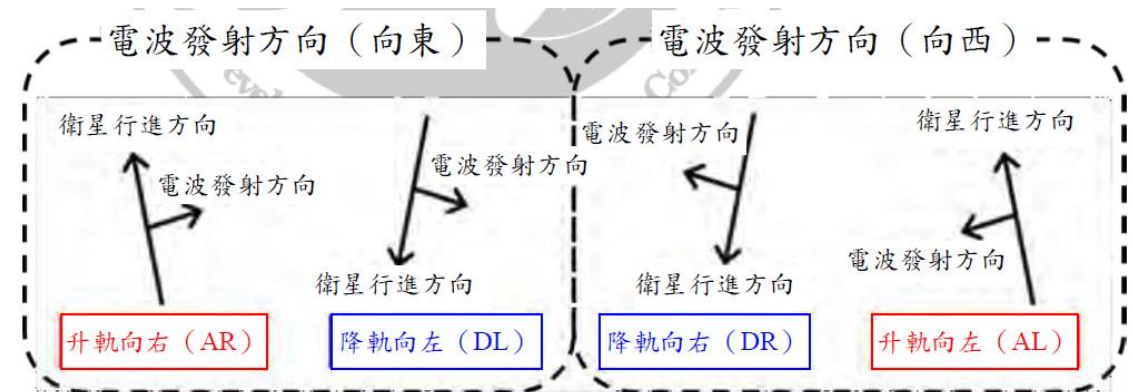
1. 聚光 (Spotlight聚束凝視)
2. 條帶 (Stripmap , 具高方位角解析度Ultimate)
3. 寬掃描 (Wide Scan)

三種觀測模式各有不同的解析度與觀測幅寬。使用災害前後二時期的ALOS-2影像時，應注意不同觀測模式的差異。

觀測類型

ALOS-2的觀測類型依衛星行進方向 (升軌、降軌) 與電波發射方向 (向右、向左) 形成四種組合 (AR、DR、AL、DL)。此外，電波發射的方位分類有向東與向西2種。

開始觀測年	2014年	
軌道周期	14日	
波段名稱	L波段	
解析度	聚光模式 (S)	1-3 m
	高解析度 (U)	3/6/10 m
	廣域觀測 (W)	100/60 m
影像跨幅	聚光模式 (S)	25 km
	高解析度 (U)	50/50/70 km
	廣域觀測 (W)	350/490 km



運用SAR影像注意要點

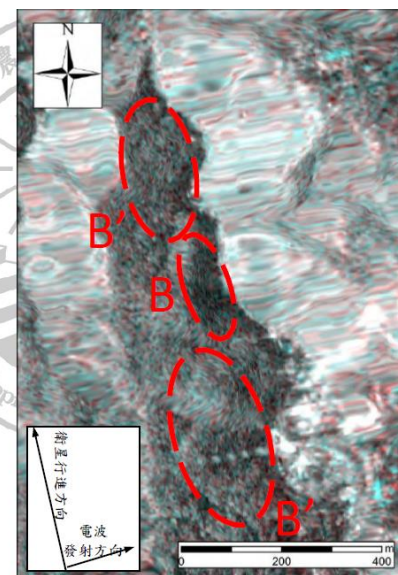
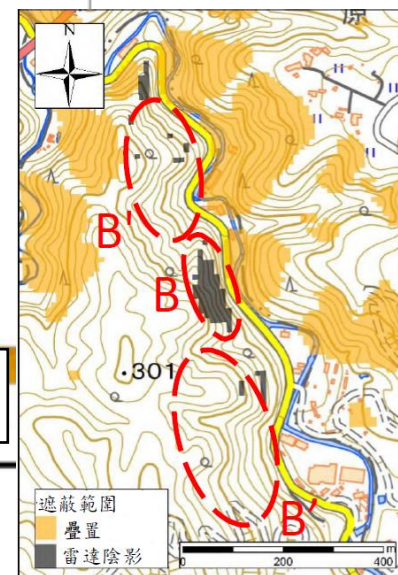
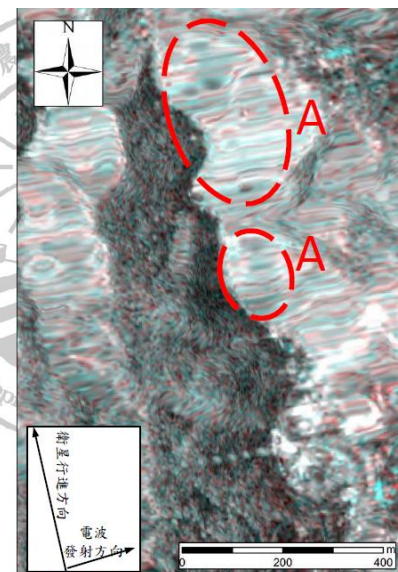
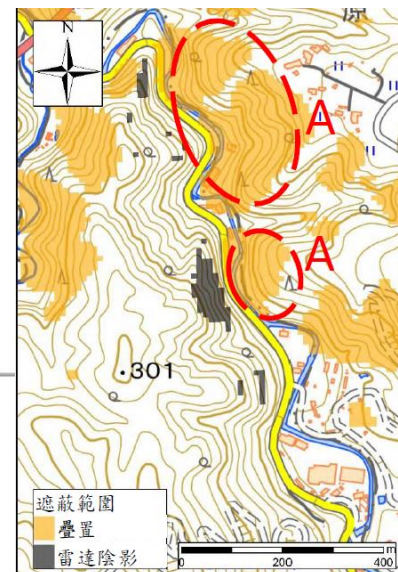
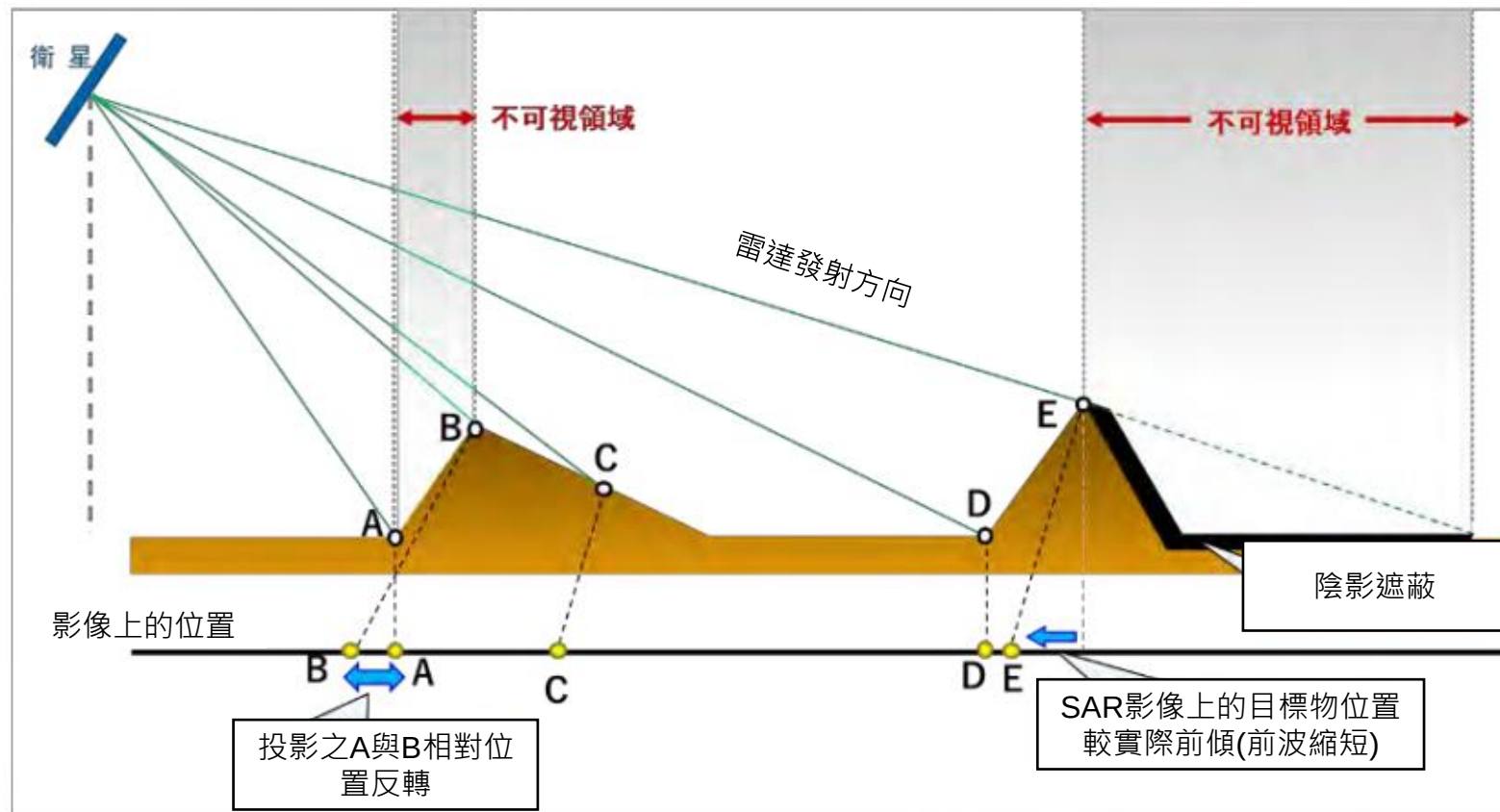
前視(波)縮短 (Foreshortening)

疊置 (Layover)

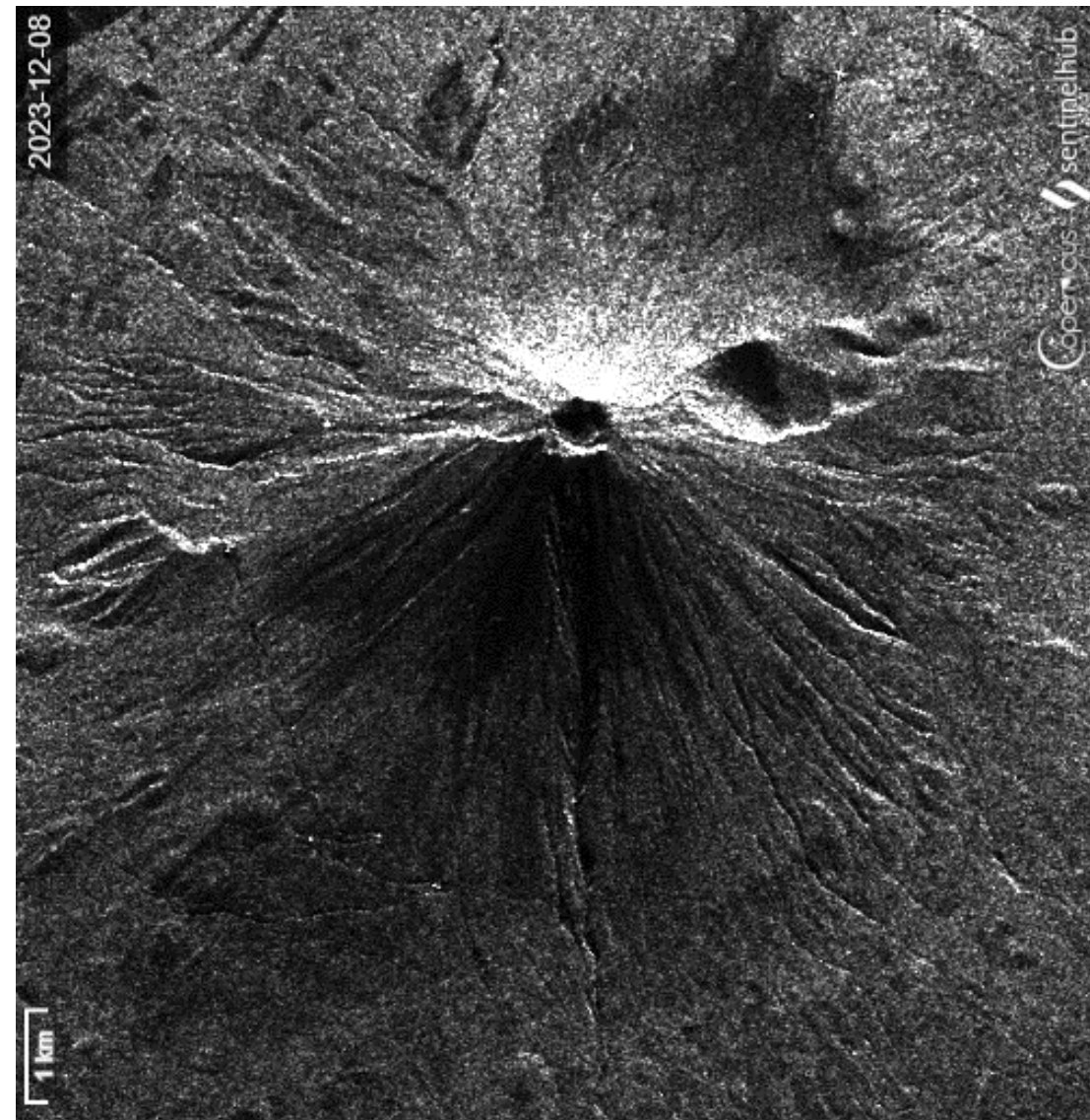
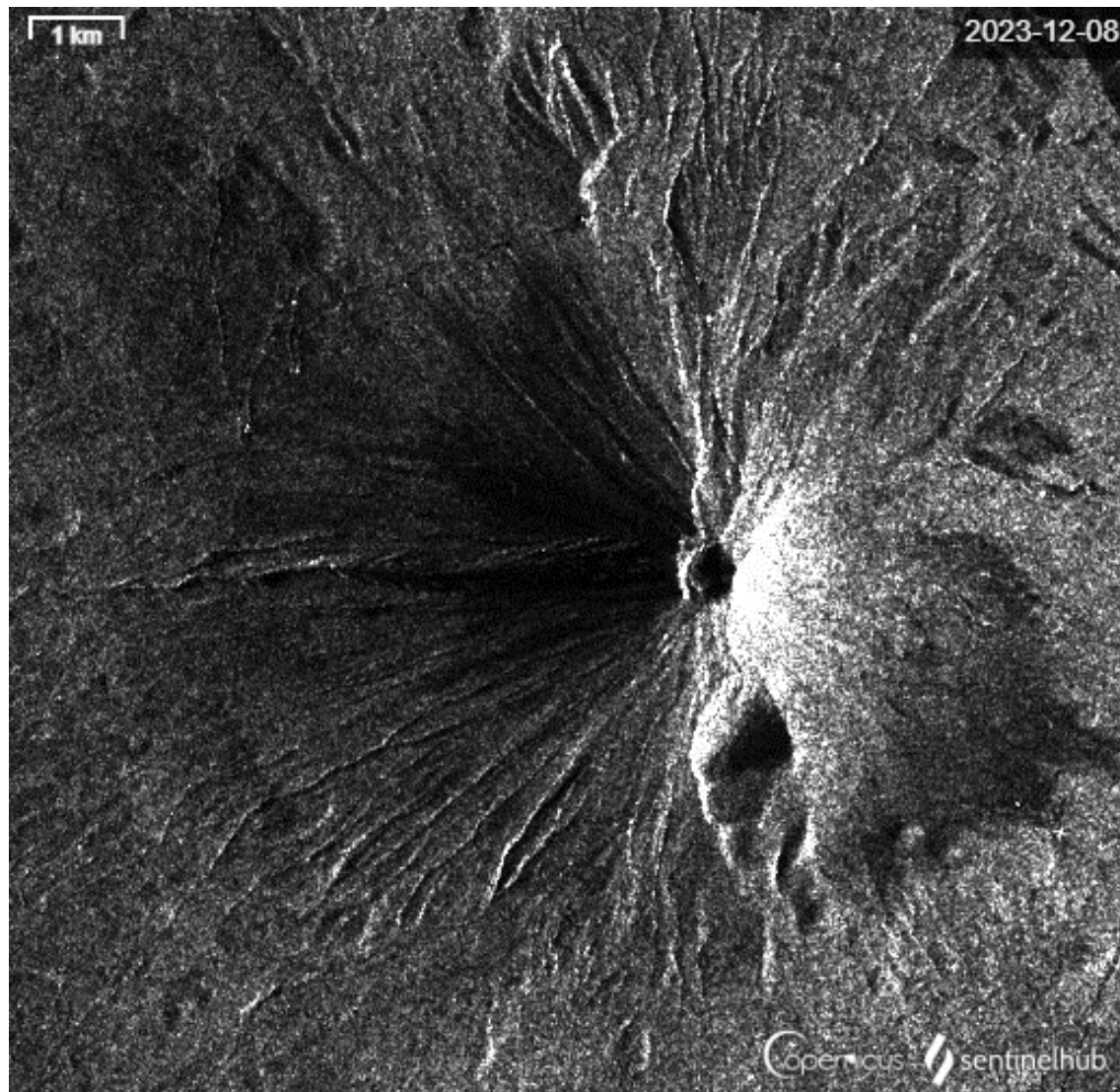
陰影 (Radar Shadow)

見右圖A框

見右圖B框



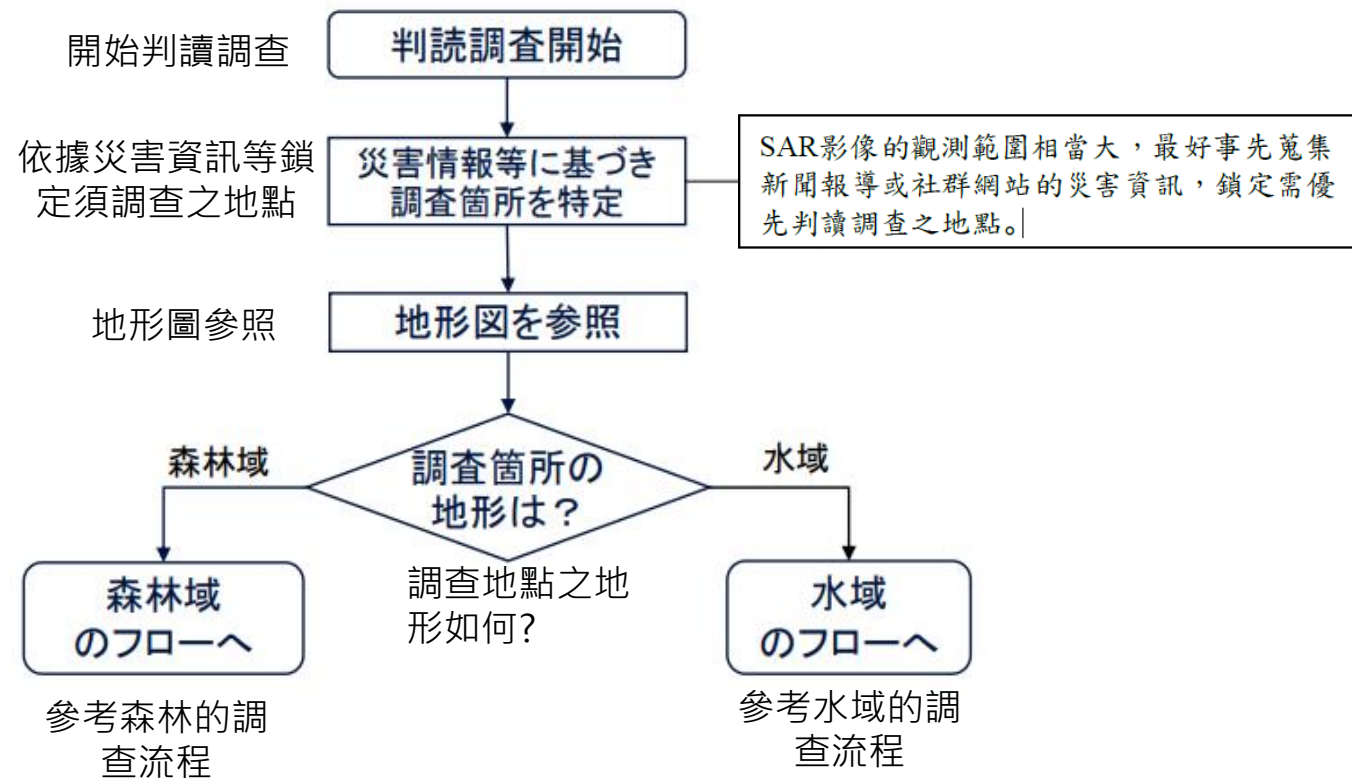
運用SAR影像注意要點



以SAR影像判讀與調查坡地災害的流程

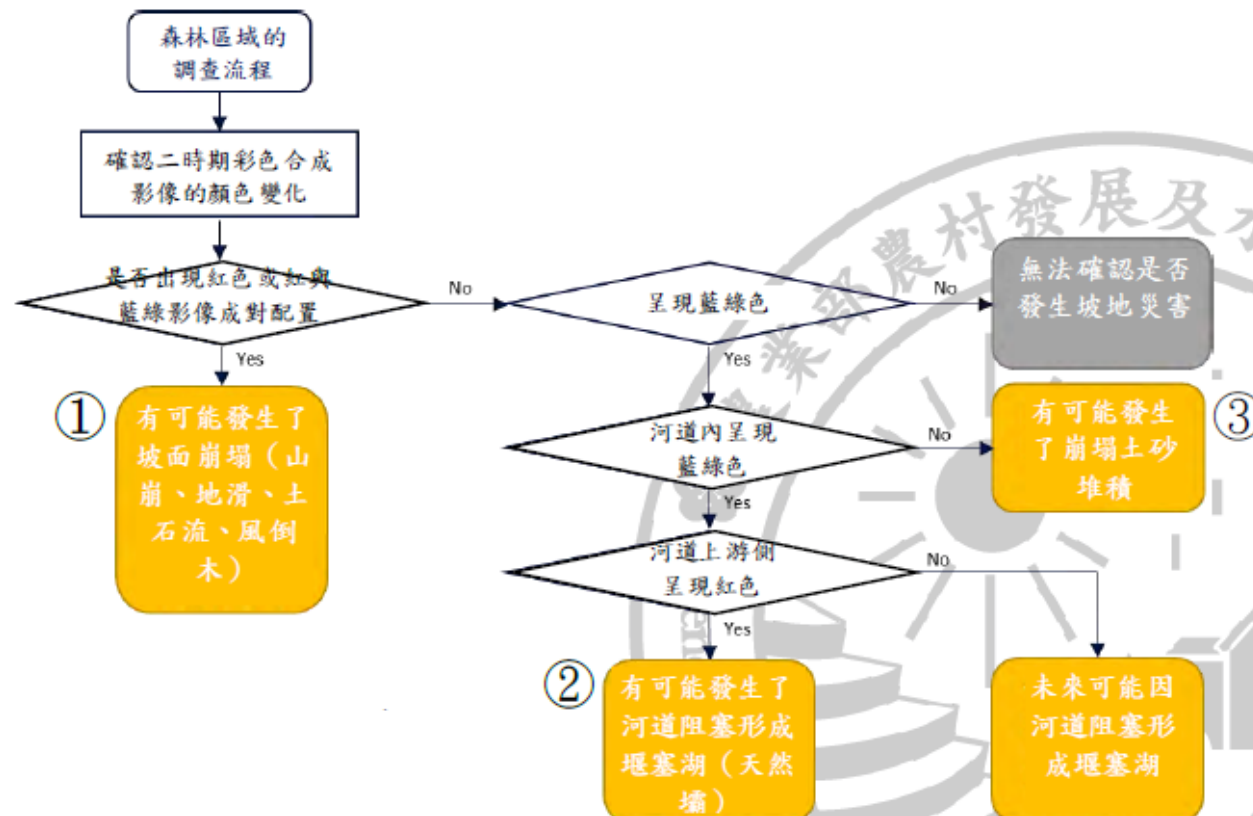
使用ALOS-2災害速報圖判讀調查坡地災害時，參考本流程進行。依緊急度區分第1階段與第2階段實施。

- 階段1：重視速報性，利用地形圖與SAR影像進行判讀。
- 階段2：針對階段1所選取之地點，參照災害前完成的光學影像，提升判讀精度（減少誤判）。

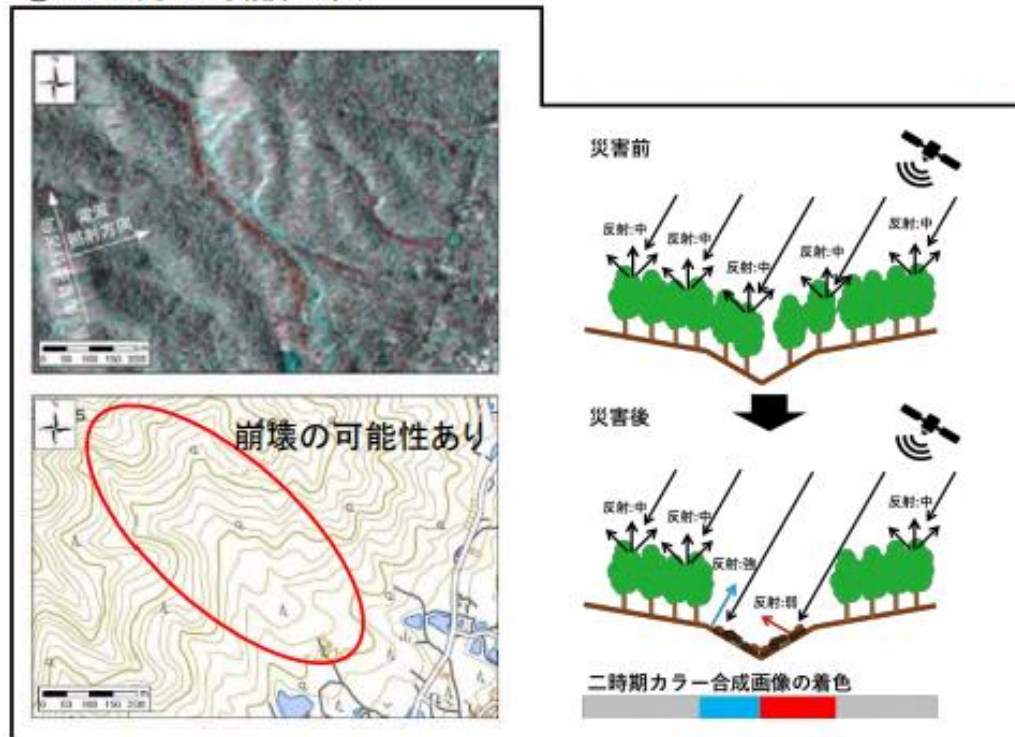


以SAR影像判讀與調查坡地災害的流程

步驟1 (森林地區)



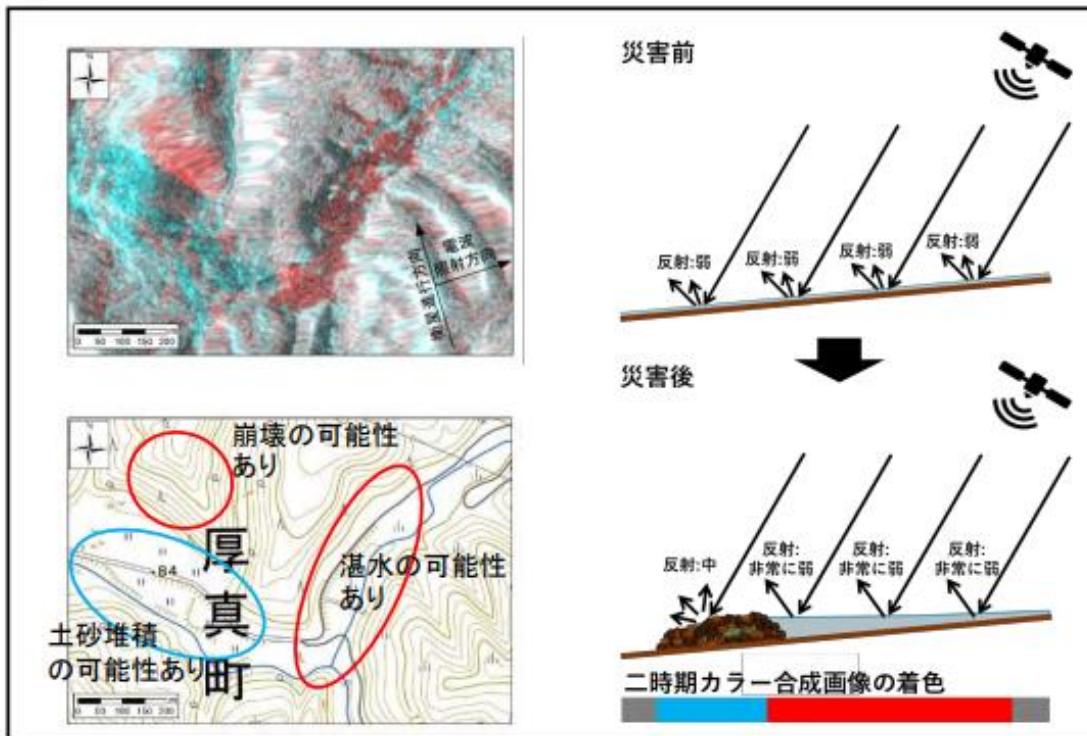
① 土石流の可能性あり



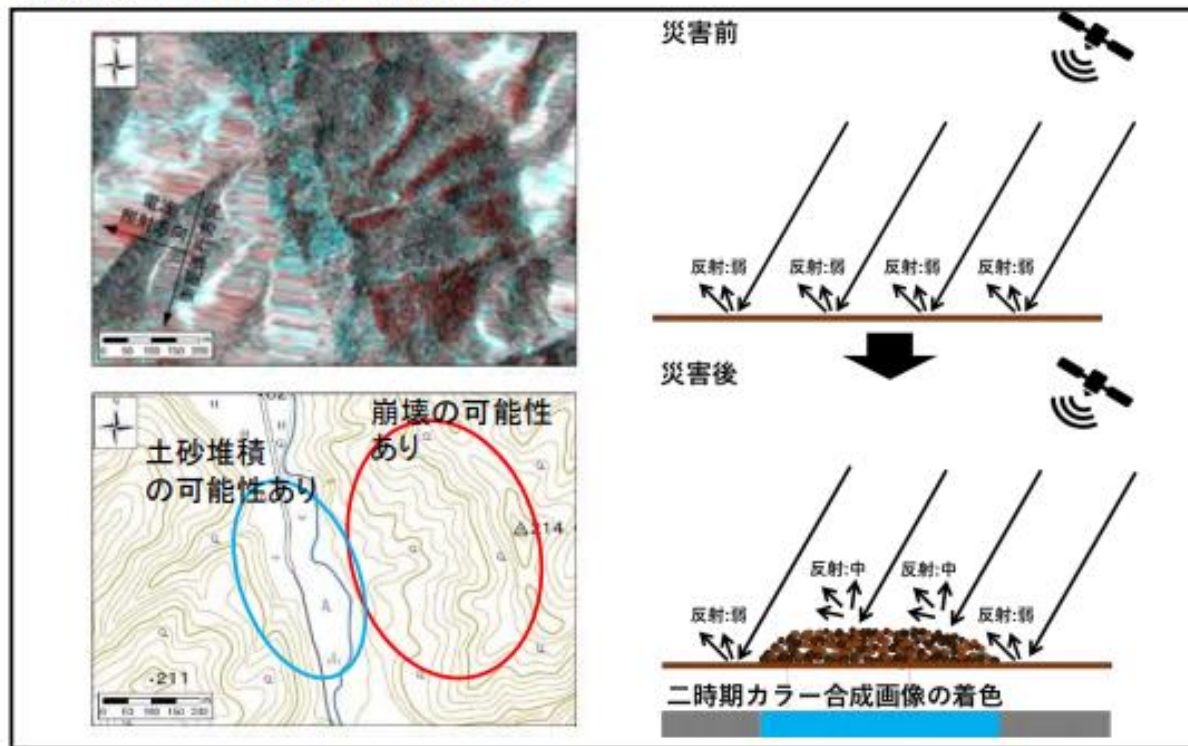
以SAR影像判讀與調查坡地災害的流程

步驟1 (森林地區)

②河道閉塞による湛水の可能性あり

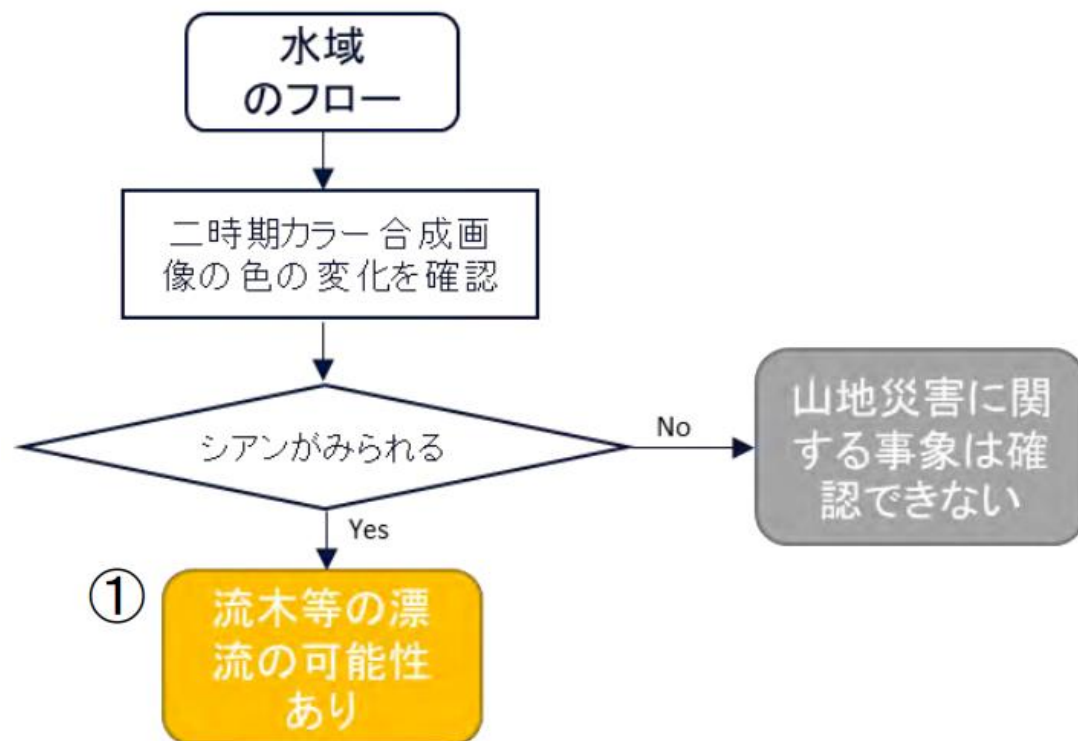


③崩壊土砂の堆積の可能性あり

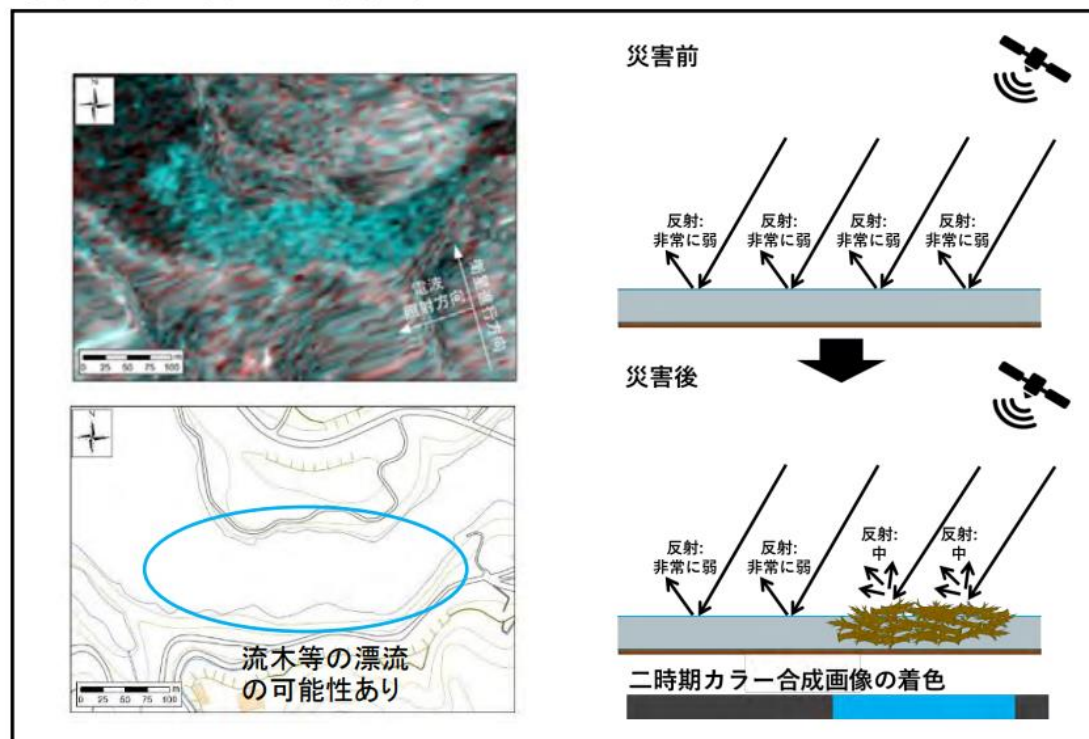


以SAR影像判讀與調查坡地災害的流程

步驟1（水域）



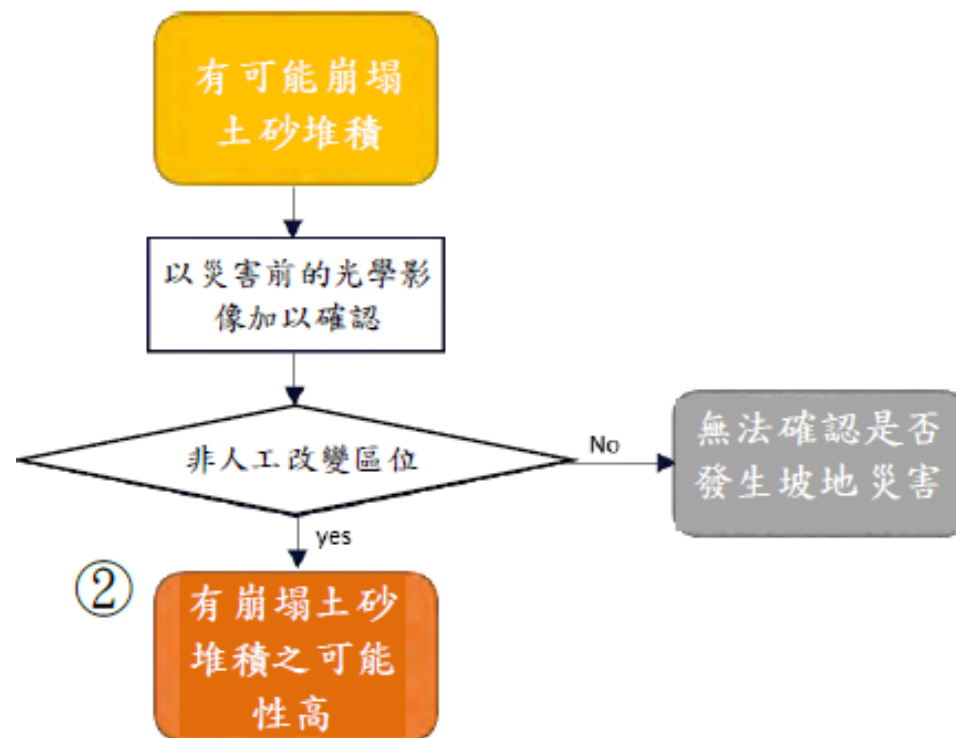
①流木等の漂流の可能性あり



以SAR影像判讀與調查坡地災害的流程

步驟2

步驟2就步驟1所選取之地點，參考災害前的光學影像辨識人工改變區位或貯水設施（堰塞湖），提升判讀精度。



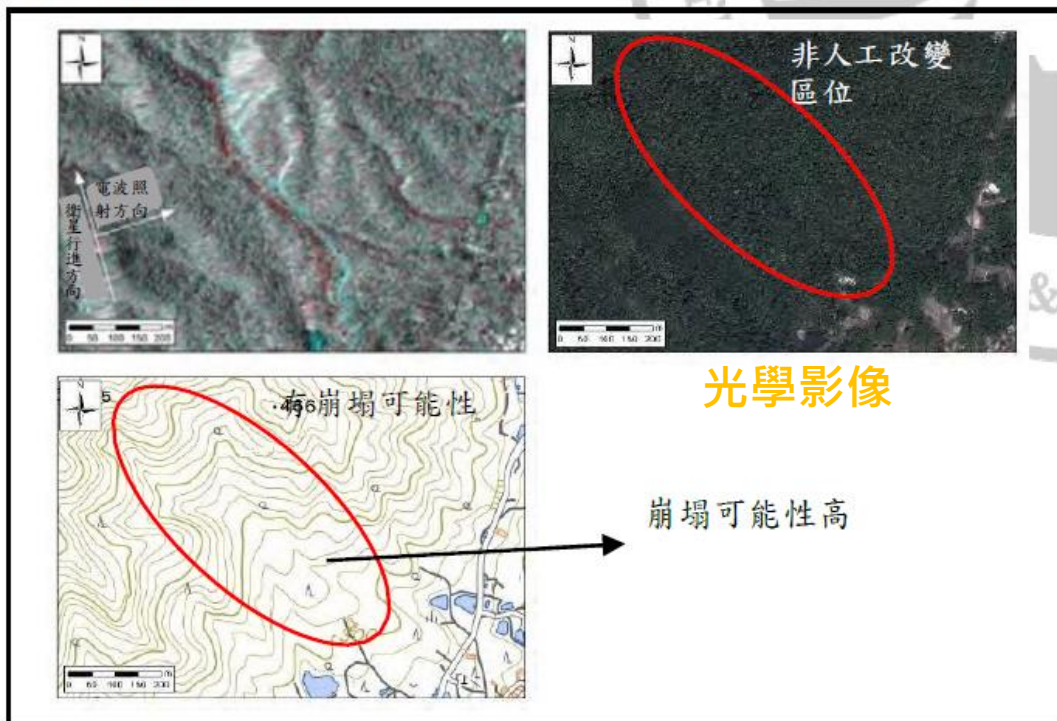
以SAR影像判讀與調查坡地災害的**流程**

步驟2 (土石流、崩塌土砂堆積)

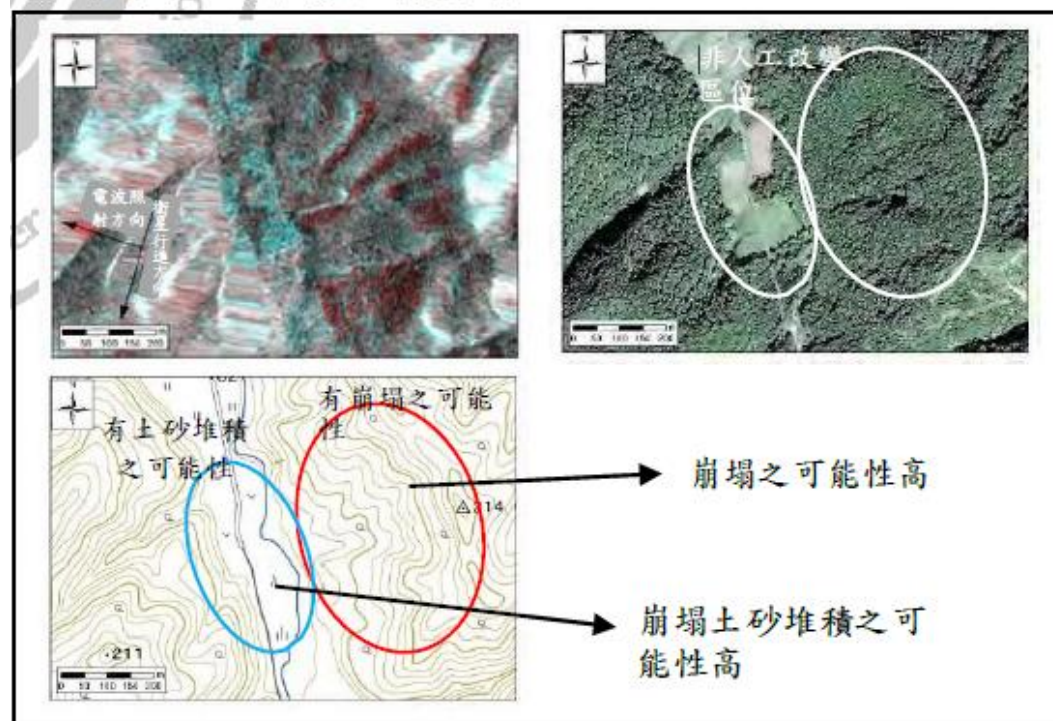
衛星影像

地形圖

① 土石流



② 有崩塌土砂堆積之可能性高



光學影像

崩塌可能性高

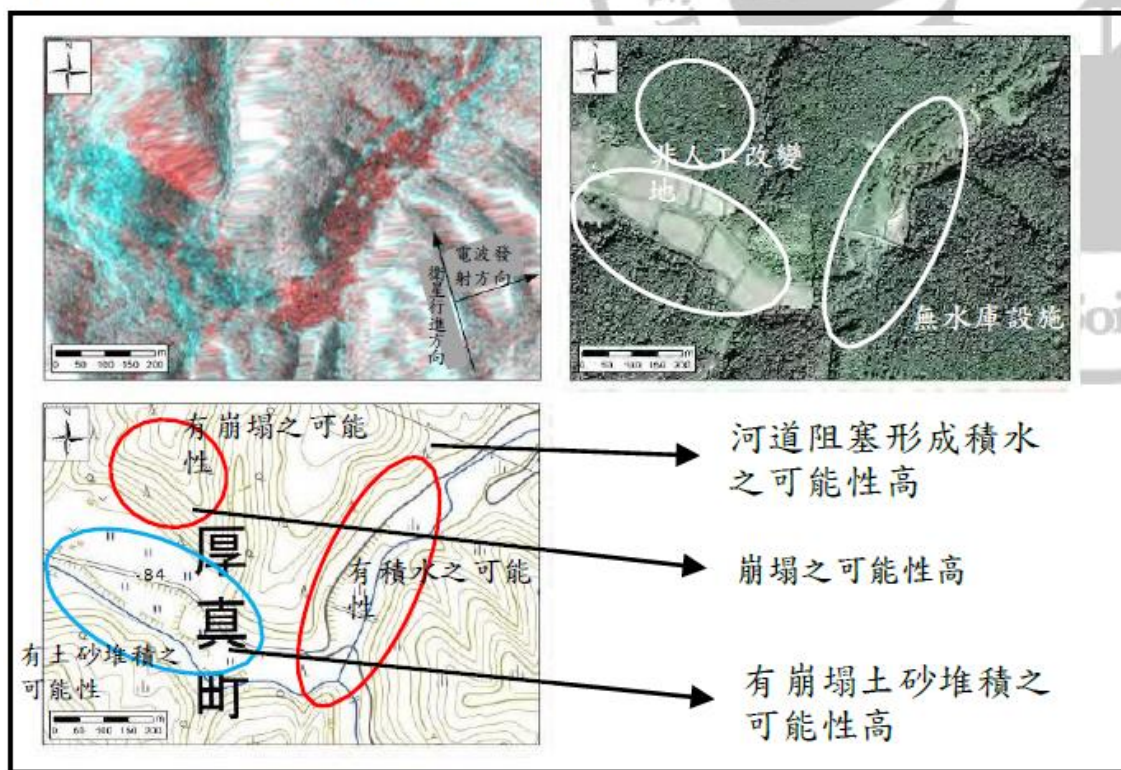
崩塌之可能性高

崩塌土砂堆積之可能性高

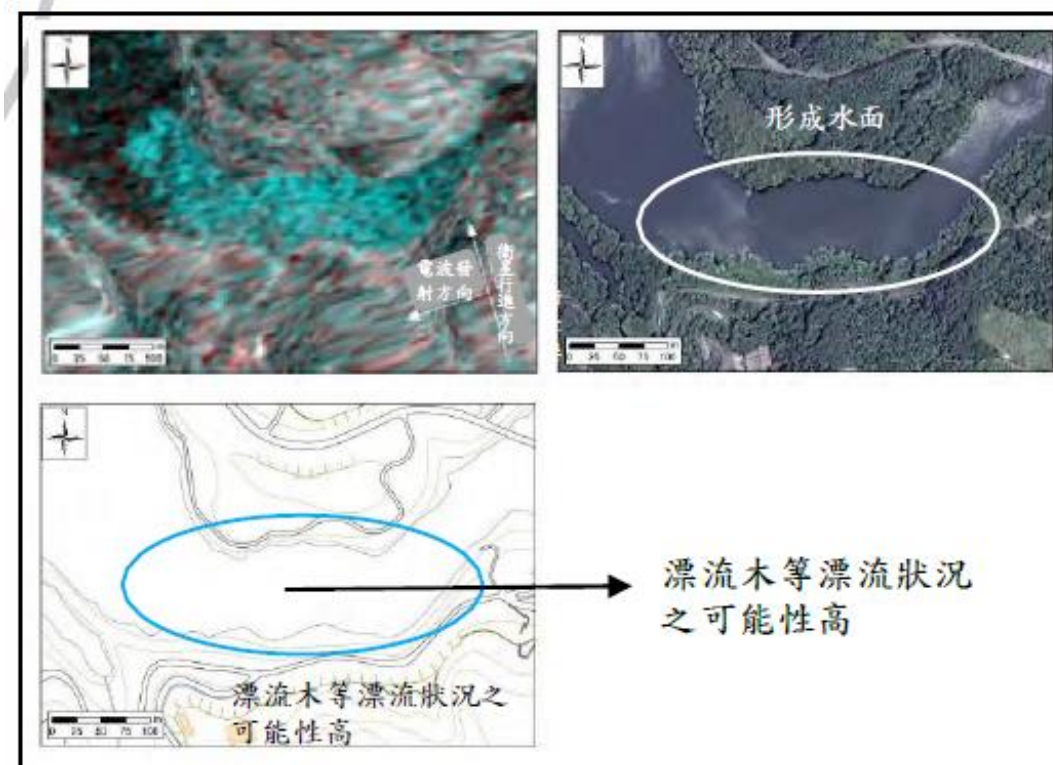
以SAR影像判讀與調查坡地災害的**流程**

步驟2(堰塞湖、漂流木)

① 河道阻塞造成貯水之可能性高



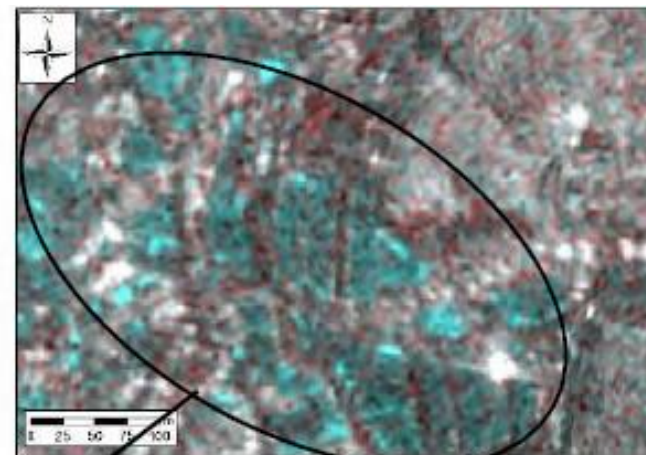
② 漂流木等漂流狀況之可能性高



以SAR影像判讀與調查坡地災害的流程

判讀時的注意事項

1. 二時期彩色合成影像受雜訊影響，為確認無數像元單位所形成的紅或藍綠之標色，可著眼於標色範圍有明顯擴大，參照地形圖進行判讀甚為重要。
2. 不同SAR影像攝影時期形成不同的水田蓄水狀況，二時期彩色合成影像上的水田標示為紅或藍綠色為多，容易錯誤判讀為水面或土砂堆積，需加注意。參考地形圖確認土地利用情形，可減少錯誤判讀。

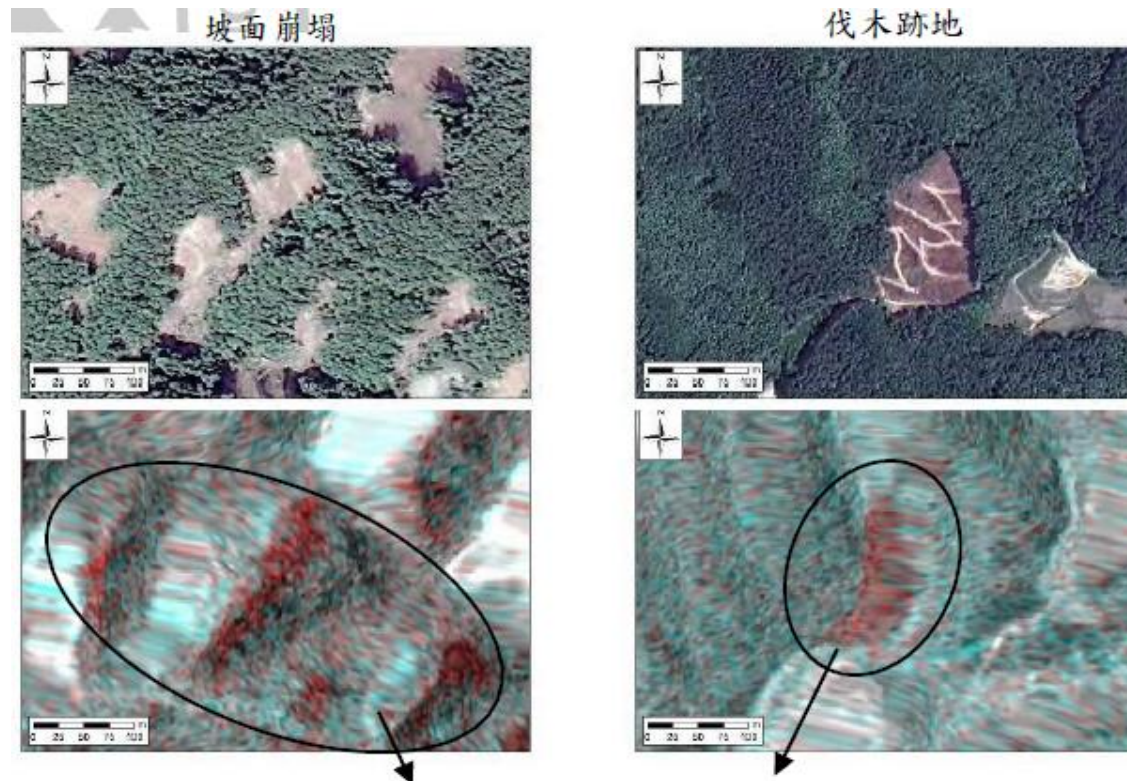


前期SAR影像顯示水田蓄水，後期影像顯示蓄水消失，因背向散射強度增強，二時期彩色合成影像因此著色為藍綠色。

以SAR影像判讀與調查坡地災害的流程

判讀時的注意事項

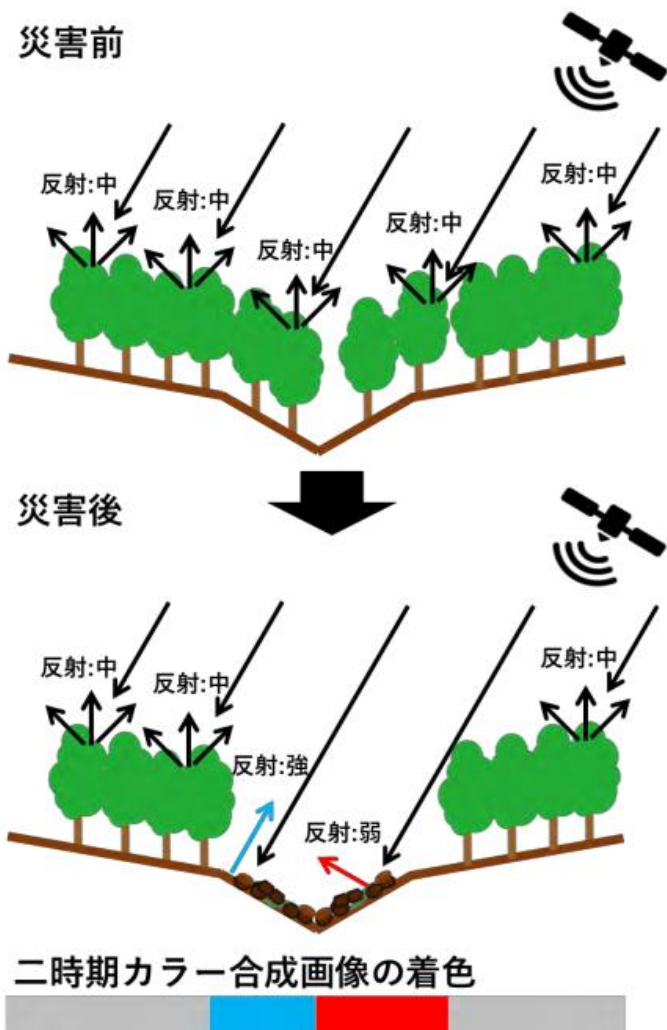
3.森林之**坡面崩塌與伐木跡地**之地表覆蓋**由森林變成裸地**，須注意這類情況的二時期彩色合成影像會著色成紅色。應先確認災害前的光學影像，可減少錯誤判讀。



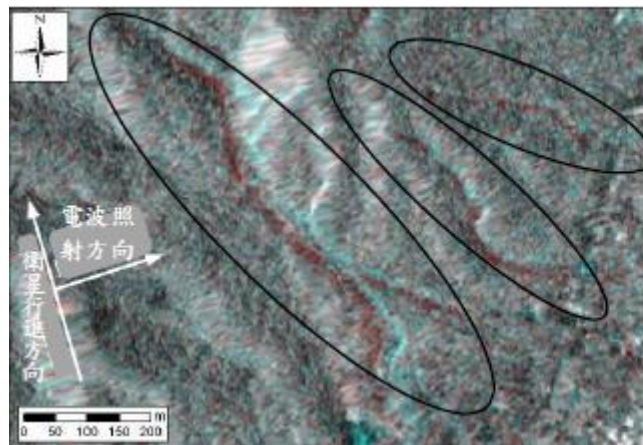
森林範圍的坡面都呈現紅色，只靠二時期彩色合成影像很難辨識是坡面崩塌與伐木跡地。

以SAR影像判讀之案例

地滑、山崩、土石流(坡面崩塌)



二時期彩色合成影像



地形圖



光學影像 (災害前)

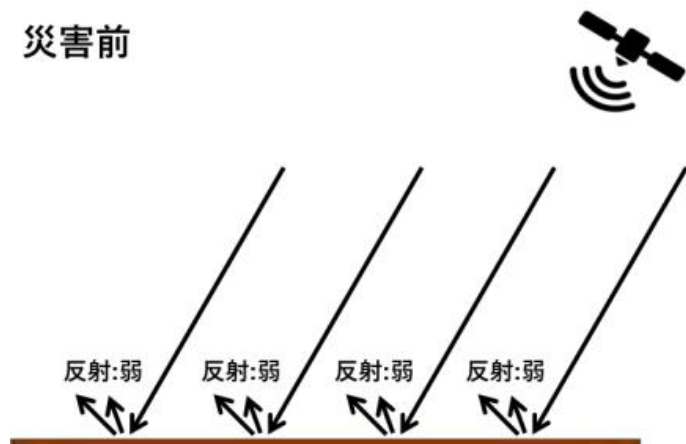


光學影像 (災害後)

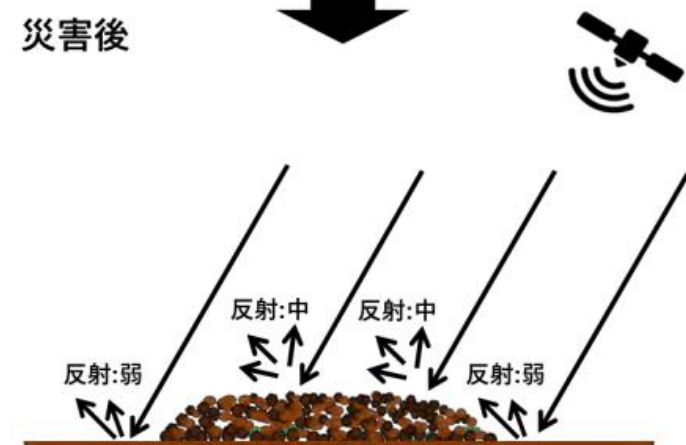
以SAR影像判讀之案例

崩塌土砂之堆積

災害前



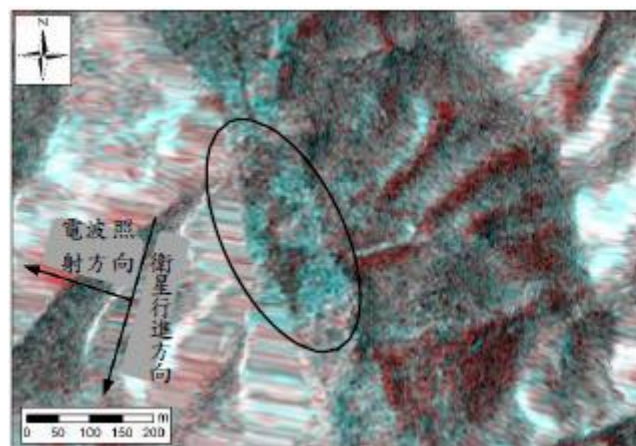
災害後



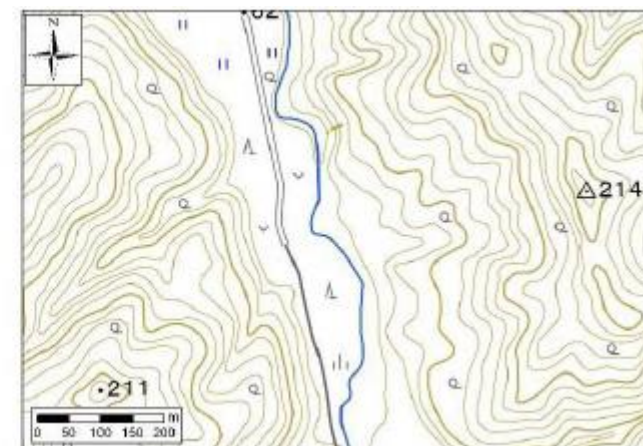
二時期カラー合成画像の着色



二時期彩色合成影像



地形圖



光學影像 (災害前)

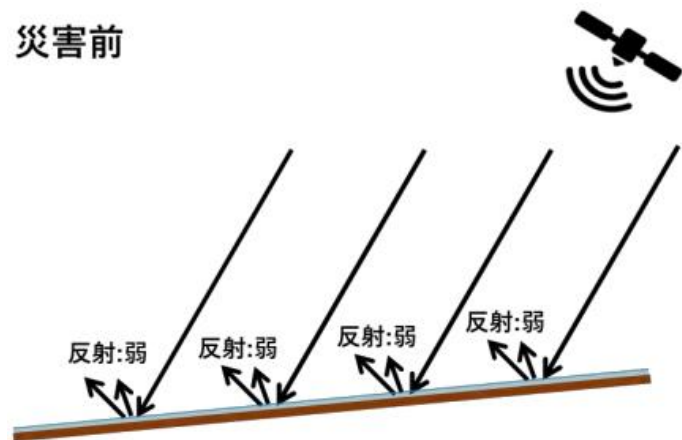


光學影像 (災害後)

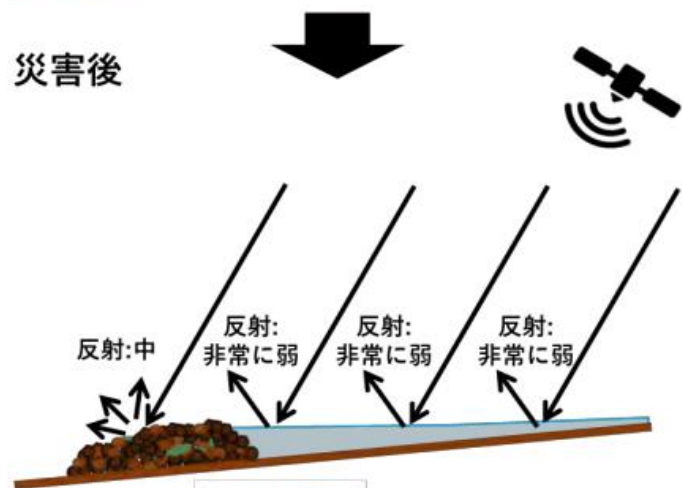
以SAR影像判讀之案例

河道阻塞形成堰塞湖(天然壩)

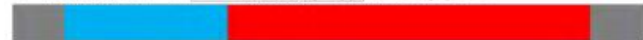
災害前



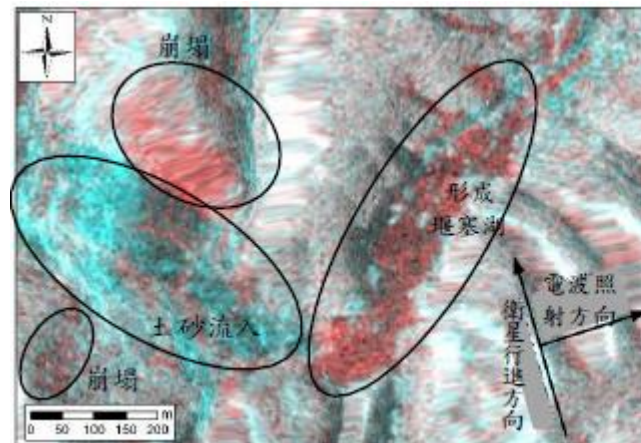
災害後



二時期カラー合成画像の着色

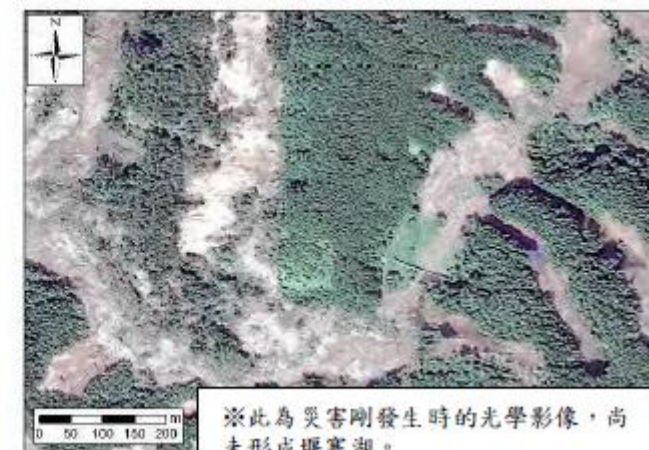


二時期彩色合成影像



光學影像 (災害前)

地形圖

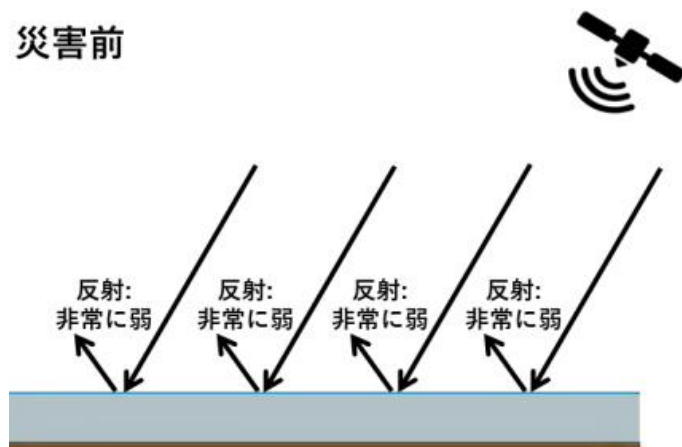


光學影像 (災害後)

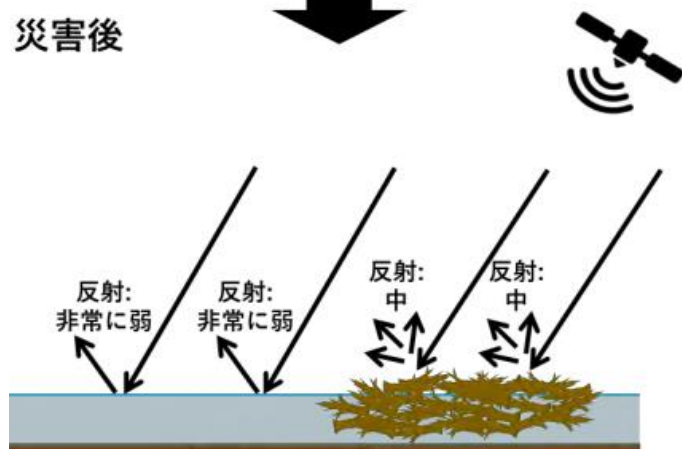
以SAR影像判讀之案例

漂流木等漂流

災害前



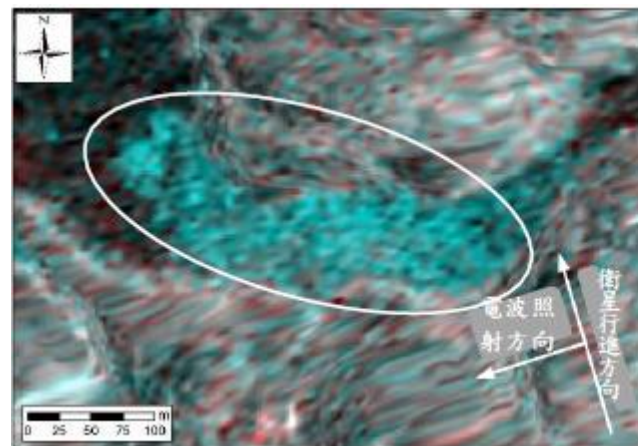
災害後



二時期カラー合成画像の着色



二時期彩色合成影像



地形圖



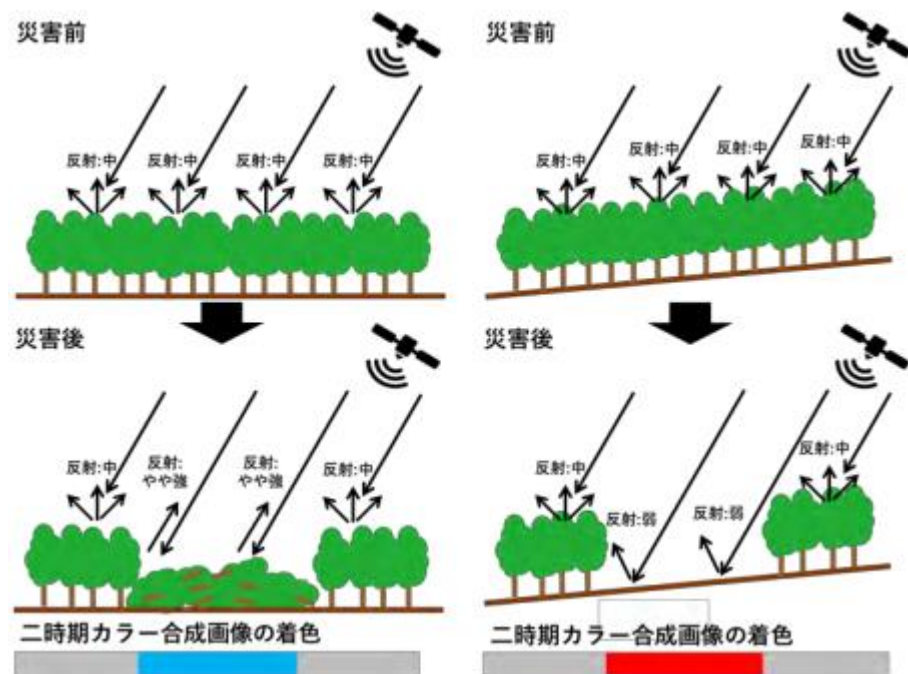
光學影像 (災害前)



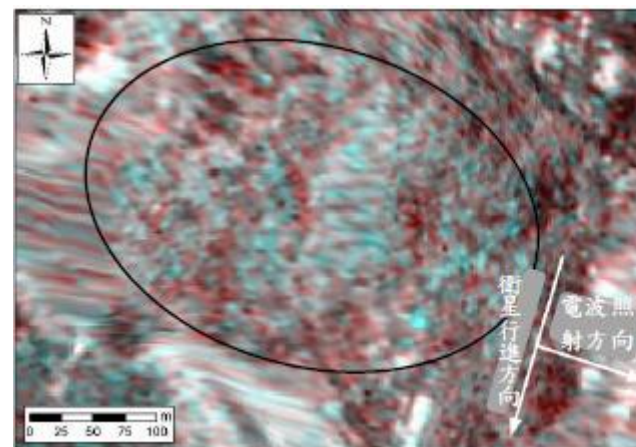
光學影像 (災害後)

以SAR影像判讀之案例

風倒木



二時期彩色合成影像



地形圖



光學影像 (災害前)

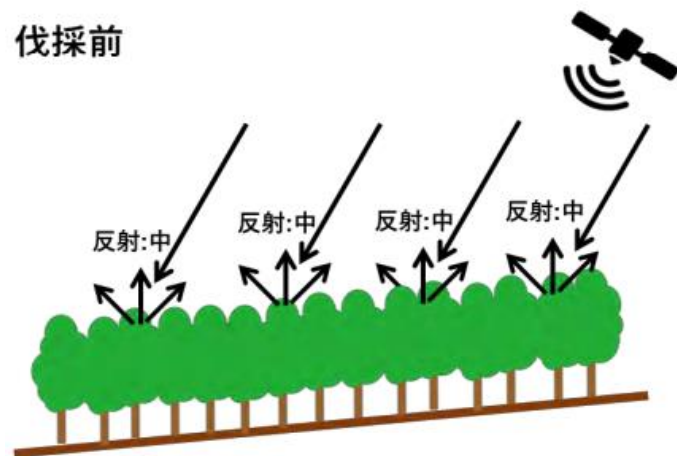


光學影像 (災害後)

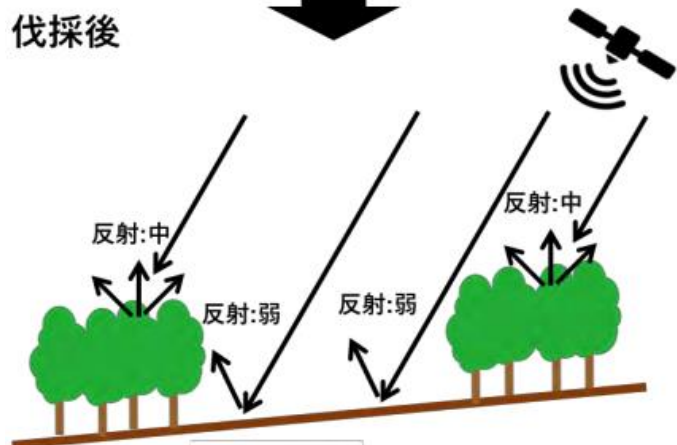
以SAR影像判讀之案例

伐木跡地

伐採前



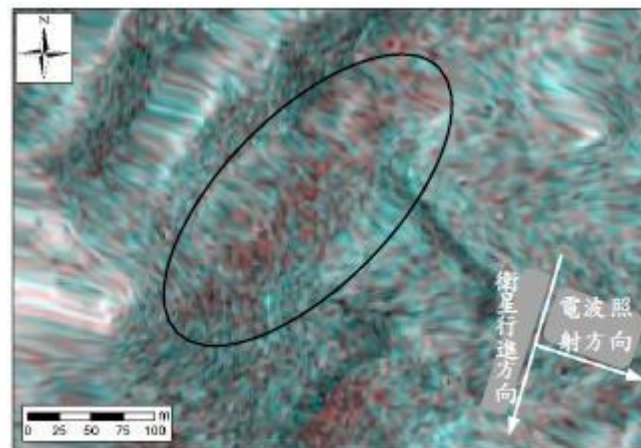
伐採後



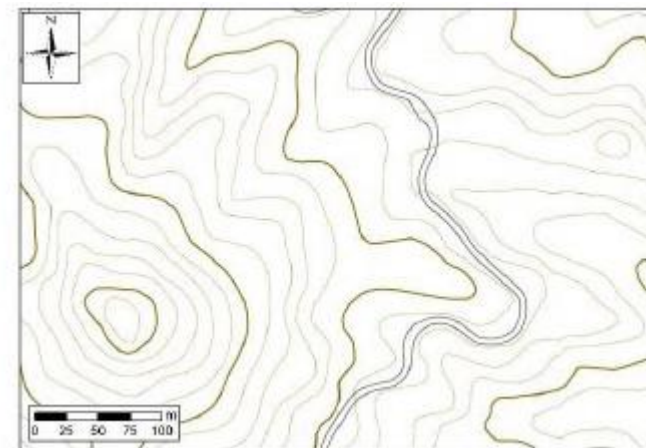
二時期カラー合成画像の着色



二時期彩色合成影像



地形圖



光學影像 (採伐前)



光學影像 (採伐後)



以SAR影像判讀之案例

適合率：即全部判讀多邊形之中，驗證多邊形部分重疊判讀多邊形的比例。越高代表誤判越少。

重現率：即全部驗證多邊形之中，判讀多邊形部分重疊驗證多邊形的比例。越高代表漏判越少。

- 面積大於1公頃的範圍以驗證多邊形計算精度，各判讀方法的重現率都大幅提高。
- 可見1公頃以上之崩塌地，只使用衛星影像，萃取資料也較少遺漏。
- 適合率而言，1公頃以下驗證多邊形重疊小規模的判讀多邊形容易產生誤判，適合度降低，須多加注意。

對象災害	判讀範圍	判讀方法		全多邊形		大於1公頃的驗證多邊形		驗證資料出處
				適合率	重現率	適合率	重現率	
2018年7月 豪雨	廣島縣安藝郡坂町、府中町、熊野町、海田町	地形圖 +SAR影像	判讀流程 步驟1	90%	26%	39%	65%	廣島大學2018年7月 豪雨災害調查團
		地形圖 +SAR影像 +災害前光學影像	判讀流程 步驟2	92%	25%	40%	65%	
		地形圖 +SAR影像 +災害前後光學影像	本指引未使用作為判讀方法	91%	46%	32%	88%	
2017年7月九州北部豪雨	福岡縣朝倉郡東峰村	地形圖 +SAR影像	判讀流程 步驟1	41%	11%	5%	78%	國土地理院
		地形圖 +SAR影像 +災害前光學影像	判讀流程 步驟2	60%	10%	8%	78%	
		地形圖 +SAR影像 +災害前後光學影像	本指引未使用作為判讀方法	59%	41%	6%	89%	

補充資料

SLC資料格式



- SLC 資料是指透過分離單視格式的訊號並使用下述壓縮過程形成影像而創建的資料。
- SLC資料的格式是複數，除了普通影像中使用的實數外，還包含虛數。透過引入複數的概念，可以同時處理SAR無線電波（訊號）中的兩項資訊：①幅度和②相位。

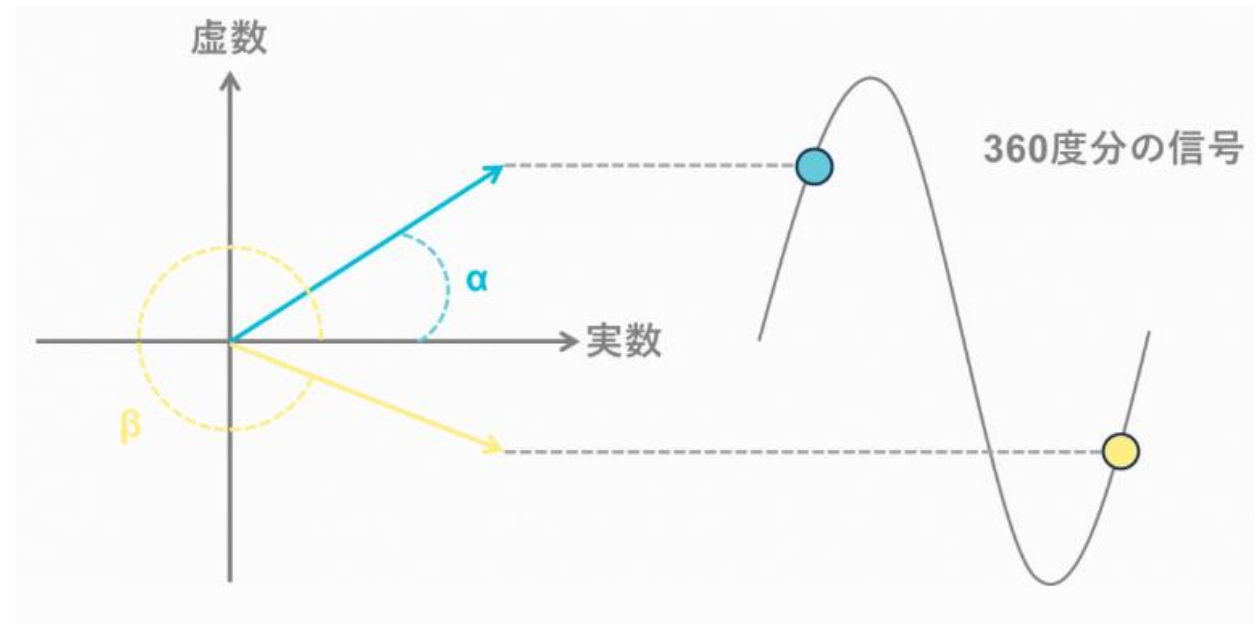
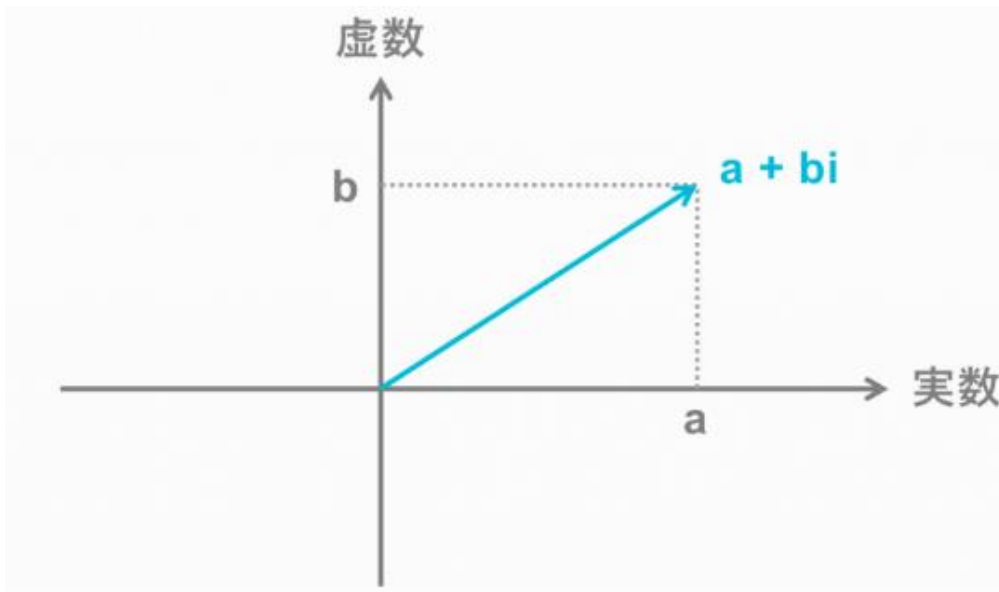


```
[[[ 22.+15.j  8.-15.j 14.+2.j ...  
   -36.-14.j -17.-32.j -40.-41.j]  
 [  0.-1.j -41.+2.j -23.+31.j ...  
   -39.-28.j -26.-34.j -36.-20.j]  
 [-16.+27.j -21.+25.j -18.+40.j ...  
   -34.-7.j -32.-20.j -38.-14.j]  
 ...  
 [ 43.-16.j 24.+38.j 15.+11.j ...  
   44.-36.j 10.-88.j -64.-76.j]  
 [ 16.+24.j 18.+20.j -23.+0.j ...  
   1.+13.j 22.+12.j 1.-54.j]  
 [ 42.+13.j 31.+34.j -15.+25.j ...  
   -36.+7.j -35.+6.j -3.-24.j]]]
```

補充資料

SLC資料格式

當用複數表示波時，不僅可以有波的振幅，還可以有相位資訊（波的位置資訊）



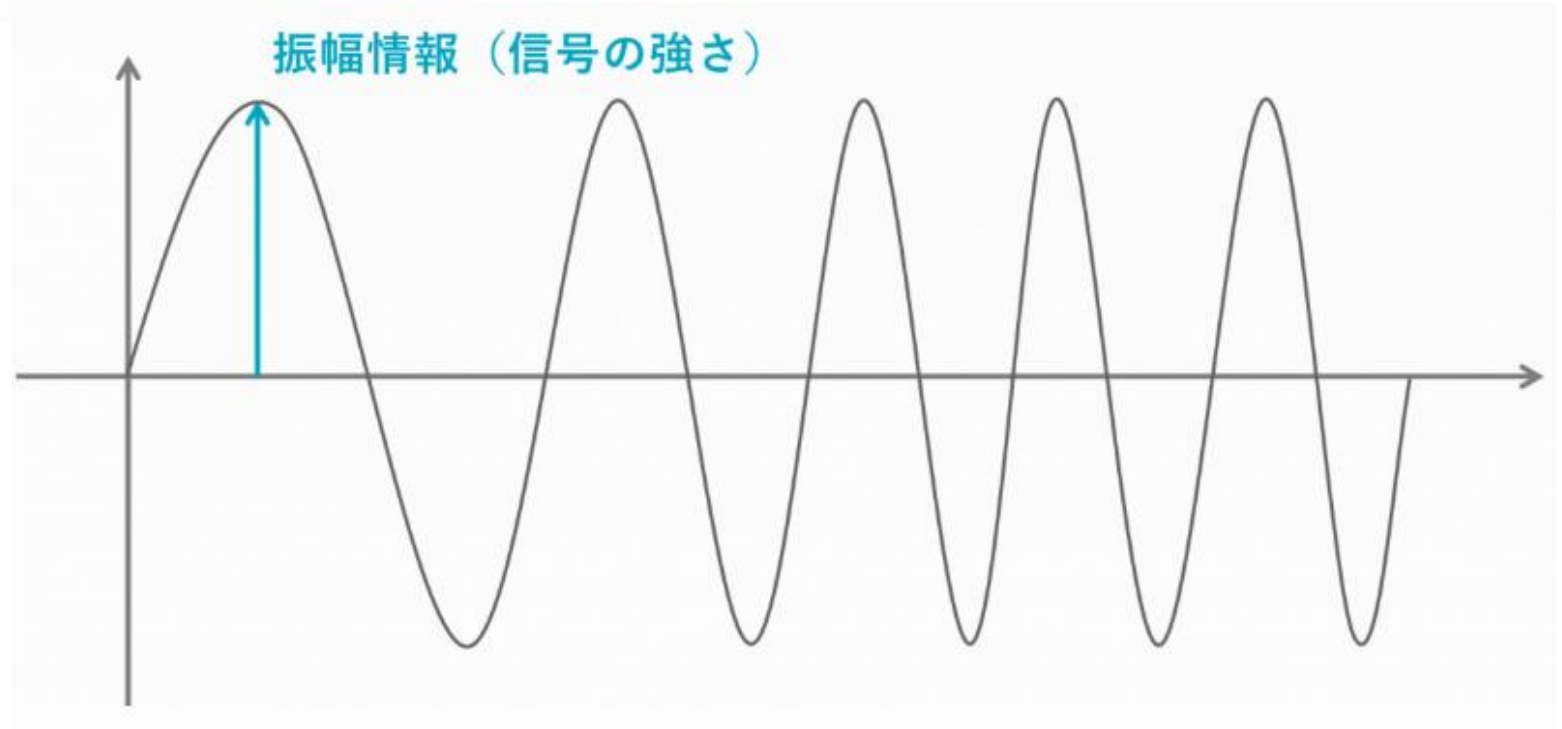
補充資料

SLC資料格式

強度值有時也會以數字來表示

$$|\text{デジタルナンバー}| = |a + bi| = \sqrt{a^2 + b^2}$$

複數也與訊號（波）相關，取複數的絕對值會將其轉換為該訊號（波）的振幅資訊或強度（它不再是複數）。因此，強度圖像也被稱為振幅圖像（儘管它們通常被稱為強度圖像）。



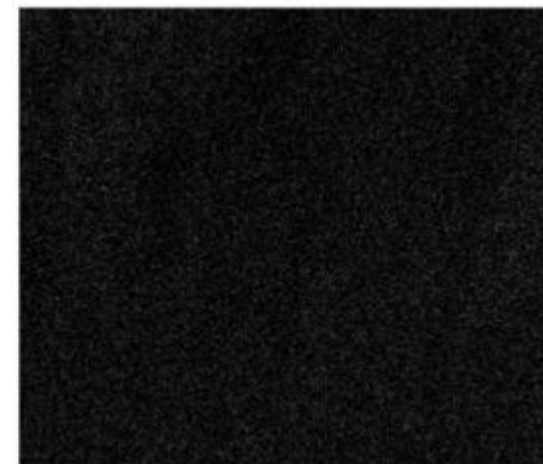
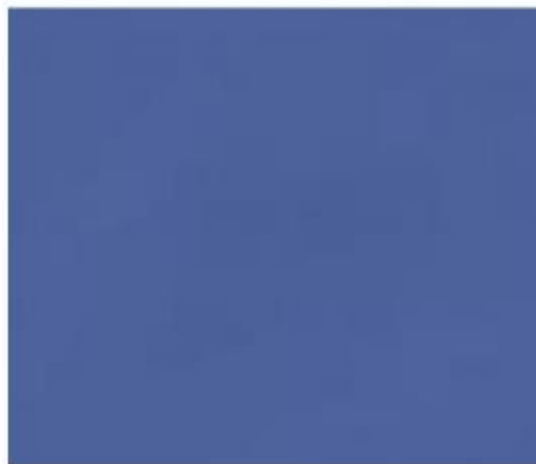
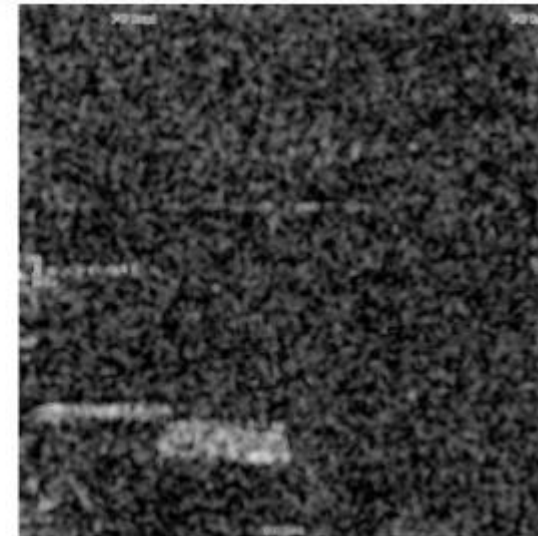
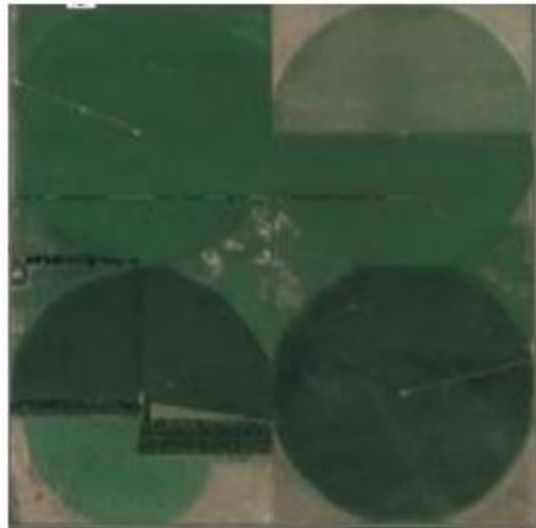
補充資料

斑點噪音影響

- 假設在完全**相同的衛星觀測條件**下，有兩個由完全相同的地表物體組成的像素，理論上也**會產生相同的斑點雜訊**。

但現實中並不如此！

- 在分析SAR影像時，需要根據分析目的應用濾波技術和多視處理

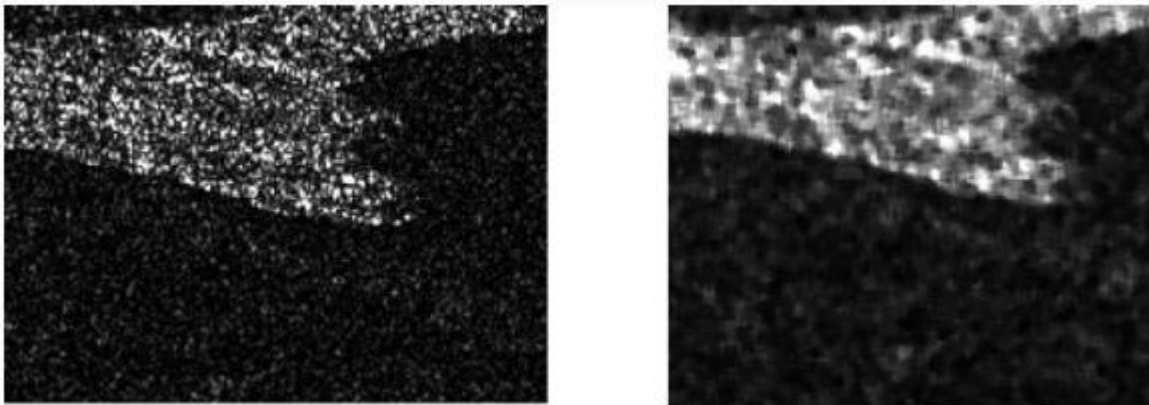


左圖：Google Map、右圖：Copernicus Browser (來源：Sentinel-1)

補充資料

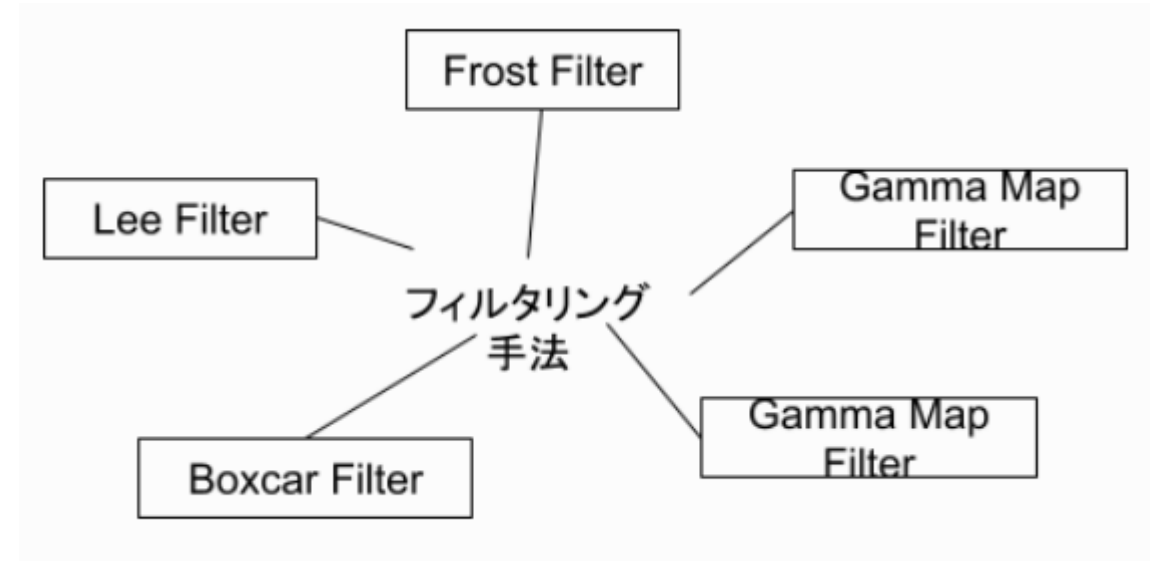
斑點噪音處理方法-過濾技術

中值濾波為例



左圖原始影像，右圖套用中值濾波後之影像(來源：Sentinel-1)

其他濾波技術





補充資料

人造衛星分類表

衛星類型	軌道高度	主要用途	特點	
 高橢圓軌道衛星 (HEO)	高於 36,000 公里	技術開發與觀測	運行周期大於 24 小時，能夠在特定區域提供長時間的觀測能力。	✓ 太陽同步軌道
 地球同步軌道衛星 (GEO)	約 36,000 公里	通訊、氣象監測	繞行速度與地球自轉相同，訊號覆蓋範圍廣泛，只需 3 至 4 顆衛星即可覆蓋整個地球，但通訊延遲較大。	
 中地球軌道衛星 (MEO)	2,000 至 36,000 公里	GPS導航、定位	運行周期較長，通訊延遲介於低軌道與高軌道之間，主要用於導航和定位。	✓ 太陽同步軌道
 低地球軌道衛星 (LEO)	500 至 2,000 公里	通訊、環境監控 氣象監測、科學探索	通訊延遲小，約 70% 用於通訊，適合即時性應用，且設備需求較小，便於快速架設與移動。	✓ 太陽同步軌道

全球低軌道衛星預計從2023年的7,500顆成長至2030年的17,350顆

報告完畢 敬請指教



農業部農村發展及水土保持署
與您一起打拼