

運用合成孔徑雷達（SAR）衛星影像 之坡地災害判讀指引

林野廳

國有林野部 業務課

目錄

1. 前言
2. SAR基本事項
3. 運用SAR影像注意要點
4. 以SAR影像判讀與調查坡地災害的流程
5. 以SAR影像判讀調查坡地災害之判讀案例
6. 判讀環境

【參考資料】坡地災害解說與坡地災害發生主要因素及其案例

1. 前言

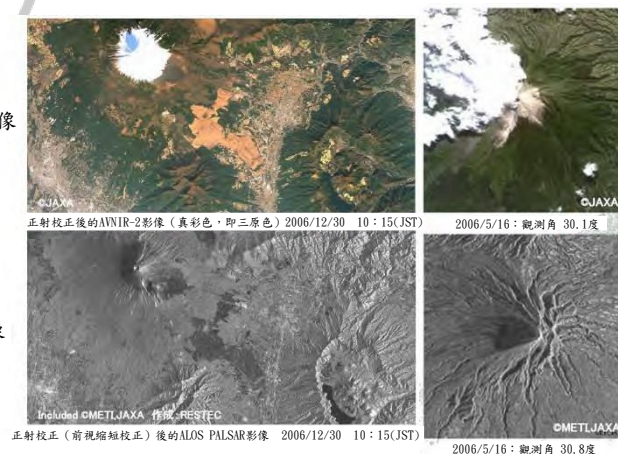
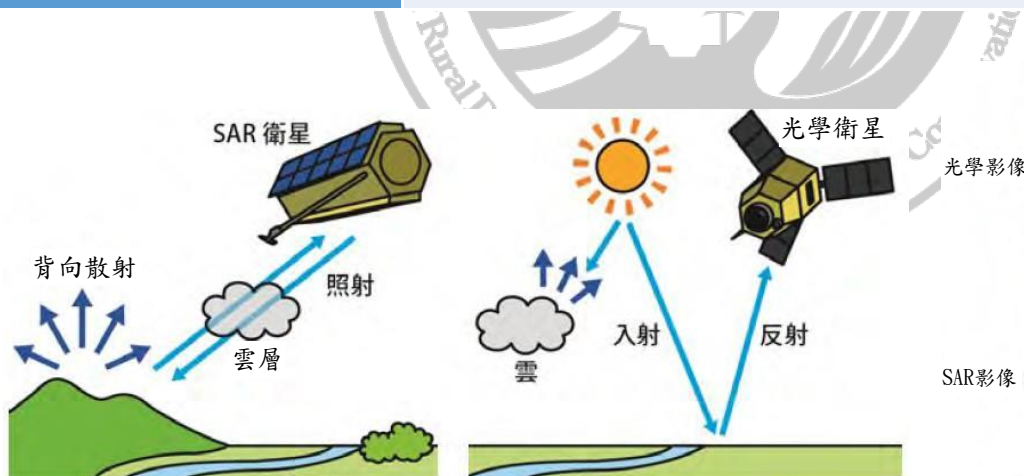
- 大規模災害發生時應迅速掌握災區狀況，擬定對策。應用陸域觀測衛星（ALOS-2）等人造衛星進行觀測，不需人員派往現場即可完成廣域狀況調查，是災害對應有效之方法。
- 本指引係以山崩、地滑、土石流、崩塌土砂之堆積、漂流木等之漂流、河道阻塞形成堰塞湖（天然壩）及風倒木為對象，利用合成孔徑雷達（SAR）衛星影像說明坡地災害判讀之運用程序。

2. SAR基本事項

• 地球觀測衛星之種類

地球觀測衛星主要有光學衛星與合成孔徑雷達（SAR）衛星二種。

地球觀測衛星種類	特徵
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。



出處：內藤（2018）

2. SAR基本事項

• SAR基本事項(1)

■ 空間解析度

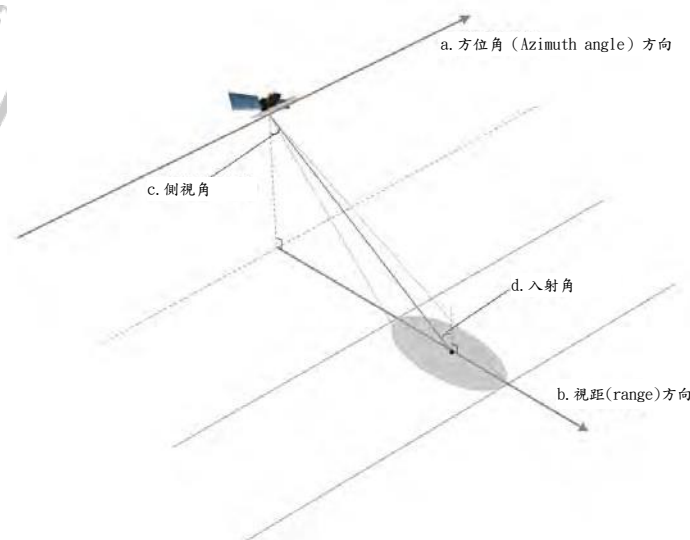
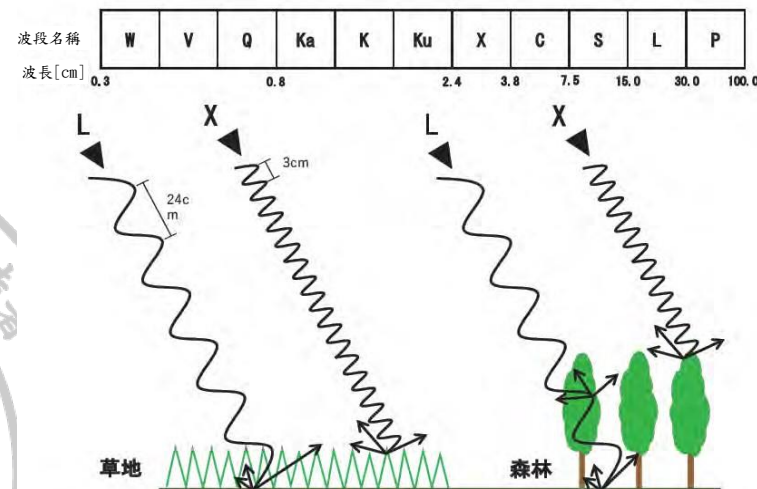
「空間解析度」是每個像元在地面上所代表的長度。一般要觀測特定目標物，其目標物大小須為解析度的10~20倍左右。

■ 波長

SAR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。因此，若要觀測樹冠枝葉，可使用X波段或C波段；若要穿透枝葉觀測森林樹幹或森林下方地面，可使用L波段。

■ 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。因此，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」。



出處：鈴木等（2020）

2. SAR基本事項

• SAR基本事項(2)

■ 散射

衛星所發射電波在地表面等產生散射之後，返回發射方向側的電波強度稱為「背向散射強度」。與背向散射強度有關的散射種類有表面散射、體散射與雙重散射。

① 表面散射

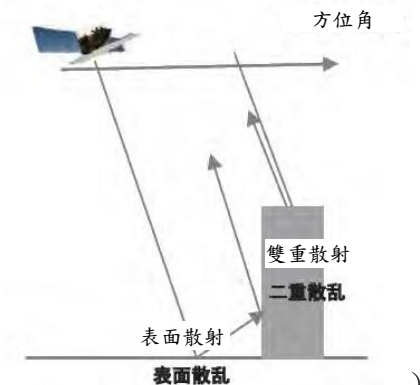
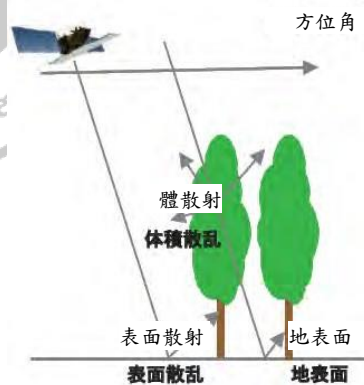
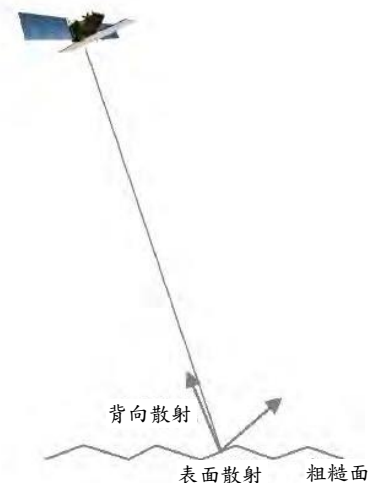
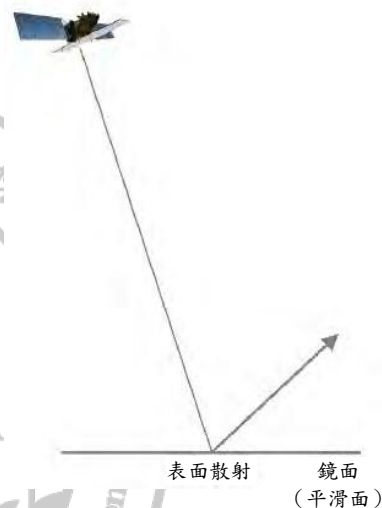
SAR衛星所發射電波在地表等邊界面形成的散射稱為「表面散射」。表面散射會受到邊界面的粗糙狀況影響。其特性為，邊界面平滑時，與電波發射方向之反方向的散射（前向散射）變大；邊界面粗糙時，往電波發射方向側的散射（背向散射）變大。

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」，L波段在森林內部產生的體散射為其典型案例。觀測森林內部需同時掌握樹木體散射與地表面的表面散射。

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」。若所觀測的建築物或結構物正對電波發射方向，就可能強烈地發生這種散射。



2. SAR基本事項

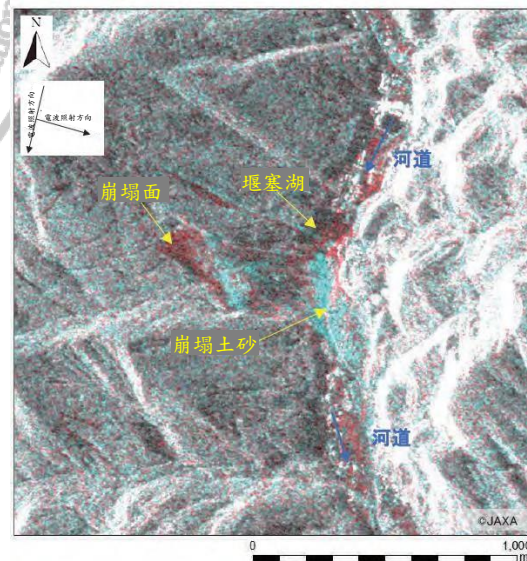
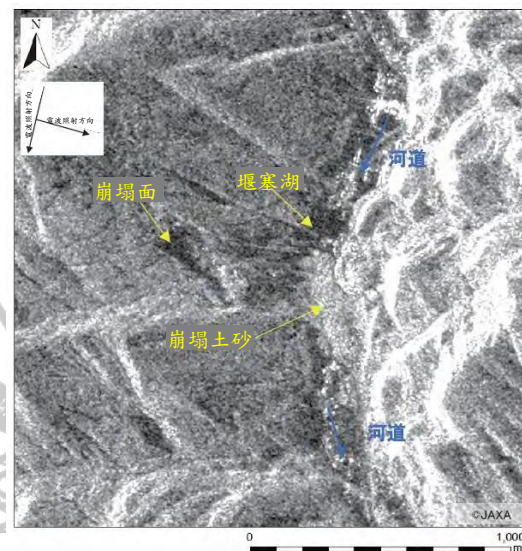
• 本指引所使用的SAR影像

■強度影像

發射之電磁波返回的強度以黑白灰階呈現之影像，稱為「強度影像」。電磁波於平滑面幾乎反射掉，無法取得回波資料；反之照射到明顯凹凸面時產生背向散射，衛星便可接收大部分回波資料。因此，強度影像於森林或農地等較多凹凸地點呈現白色，於水面或崩塌面等平滑地點呈現黑色。

■二時期彩色合成影像

二時期彩色合成影像係合成孔徑雷達前時期影像之背向散射強度較高時呈白色的部分變成紅色，後時期影像之背向散射强度高時則白色部分著上藍或綠色而作成合成影像。災害前後二時期彩色合成影像之中，災害發生後電波強度增強部分標示為藍綠色，減弱部分顯示為紅色，因此，呈現藍綠色部分推測為土砂或漂流木流入使地表面產生凹凸部分；呈現紅色部分則推測為崩塌或淹水使表面平滑的部分。



2. SAR基本事項

• ALOS-2介紹

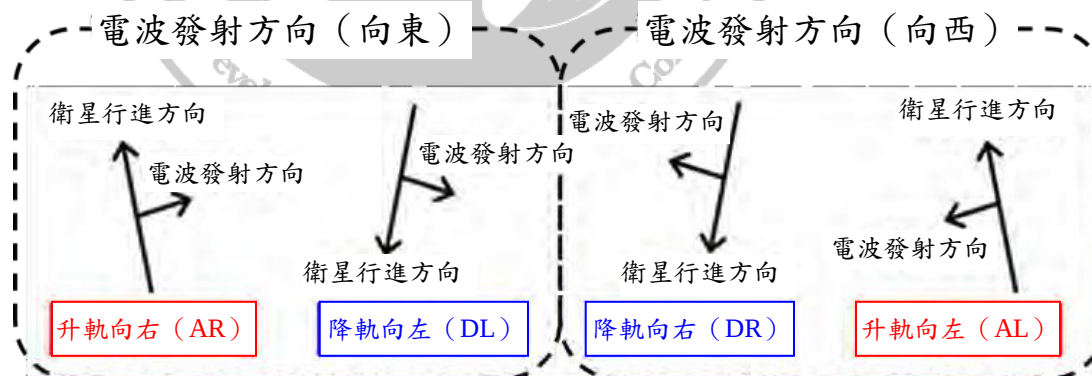
■ 各單元

ALOS-2主要的各單元包含，主要觀測模式有聚光（Spotlight聚束凝視）、條帶（Stripmap，具高方位角解析度Ultimate）、寬掃描（Wide Scan）等三種觀測模式（mode），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



3. 運用SAR影像注意要點

• SAR影像的變形（失真）

SAR衛星係以相對於衛星行進方向斜下方的方向發射電波，因此有時會產生SAR影像特有的變形現象，因而降低影像的辨識性。ALOS-2 組合東向與西向之發射方向可降低遮蔽之範圍。

■ 前視縮短（foreshortening）

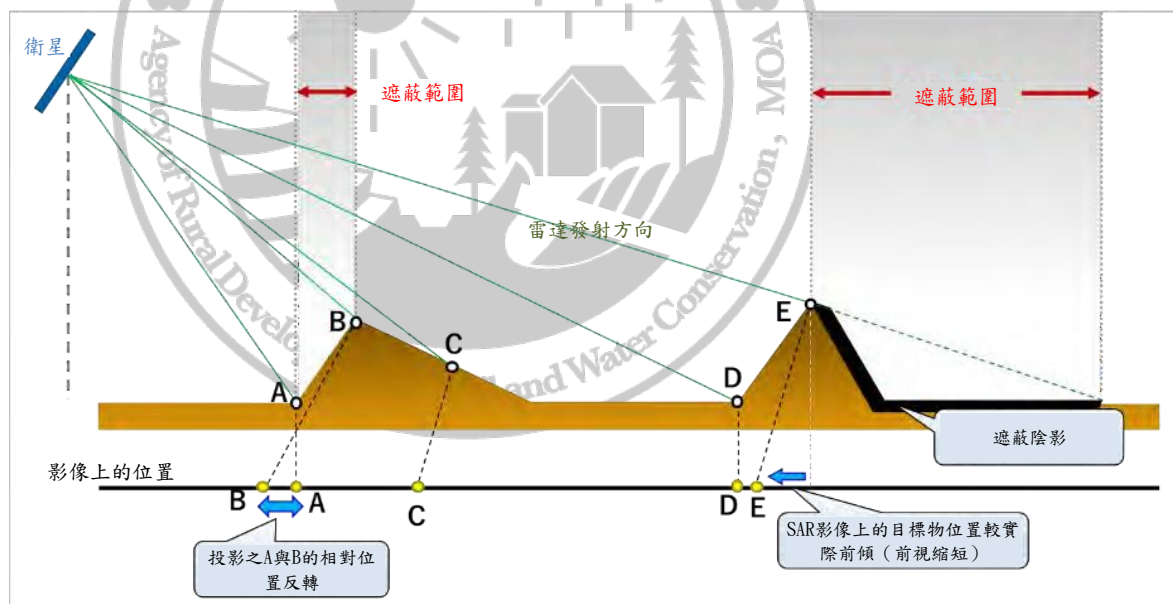
觀測目標物有高度時，電波發射與接收時間較短的部分會先往前方投影，因而具高程的目標物在SAR影像上會看到倒向電波發射方向側（較實際前傾）。

■ 疊置（layover）

所觀測目標物若為斜面，坡度越大者前視縮短現象越明顯，而形成與斜面頂端、底端位置關係相反的投影。

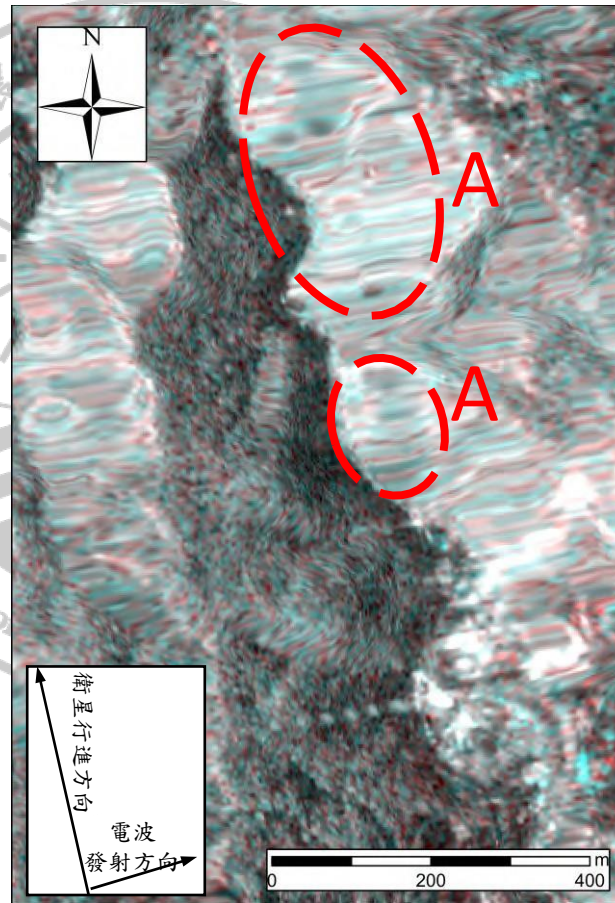
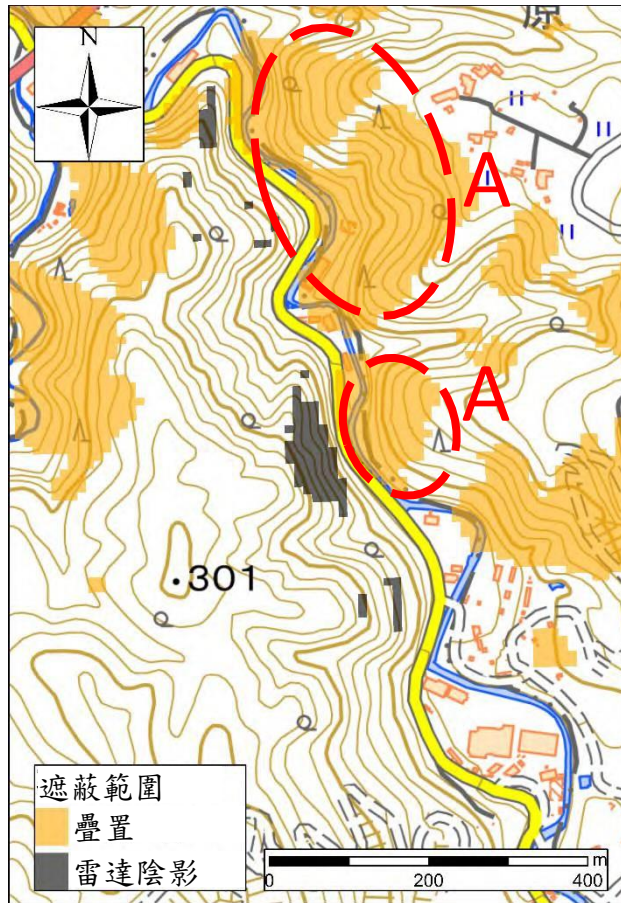
■ 遮蔽（雷達盲區陰影，radarshadow）

斜面陰影處電波無法照射到的地點無法產生散射，SAR影像產生陰影效果。



3. 運用SAR影像注意要點

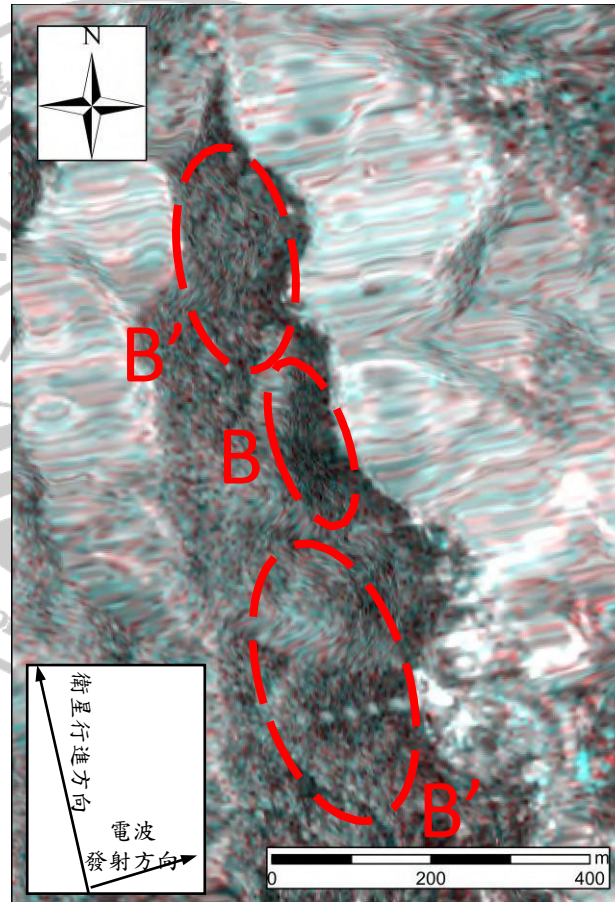
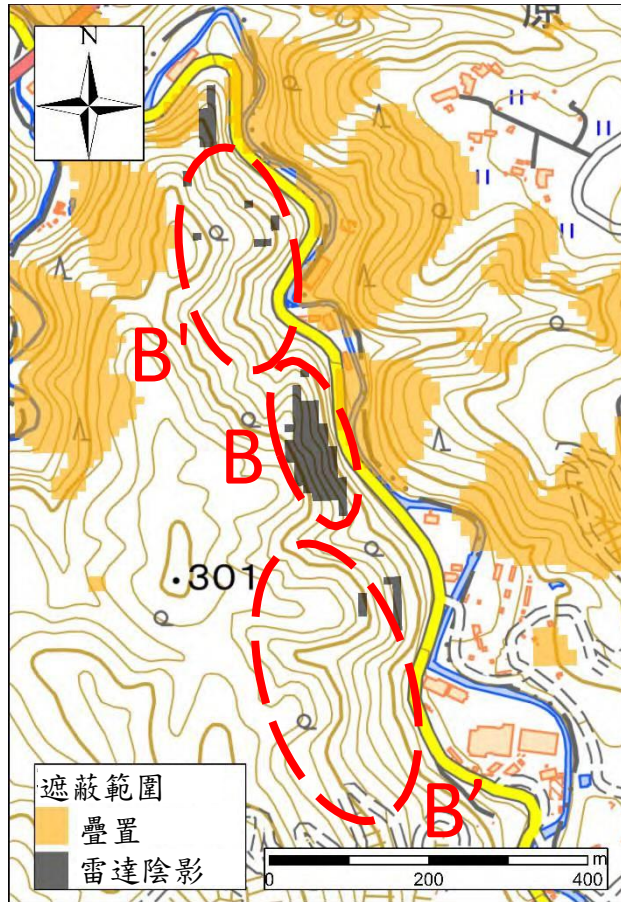
- 前視縮短、疊置



A為面對電波發射方向的斜面，接收電波時間較短。這類地點的前視縮短現象較明顯，因此產生疊置現象。出現疊置現象的區位在影像之中看起來較明亮，且往電波發射方向延伸。

3. 運用SAR影像注意要點

- 雷達陰影



影像中央的B位處
斜面背部、電波無法照
射到地表面的位置，因
此產生雷達陰影。雷達
陰影所在區位無電波散
射，因此呈現暗色影像。

但B'雖與B同處相
同方向的斜面，但因坡
度和緩不會遮蔽電波，
因此並未形成雷達陰影，
仍為可視。

4. 以SAR影像判讀與調查坡地災害的流程

步驟1

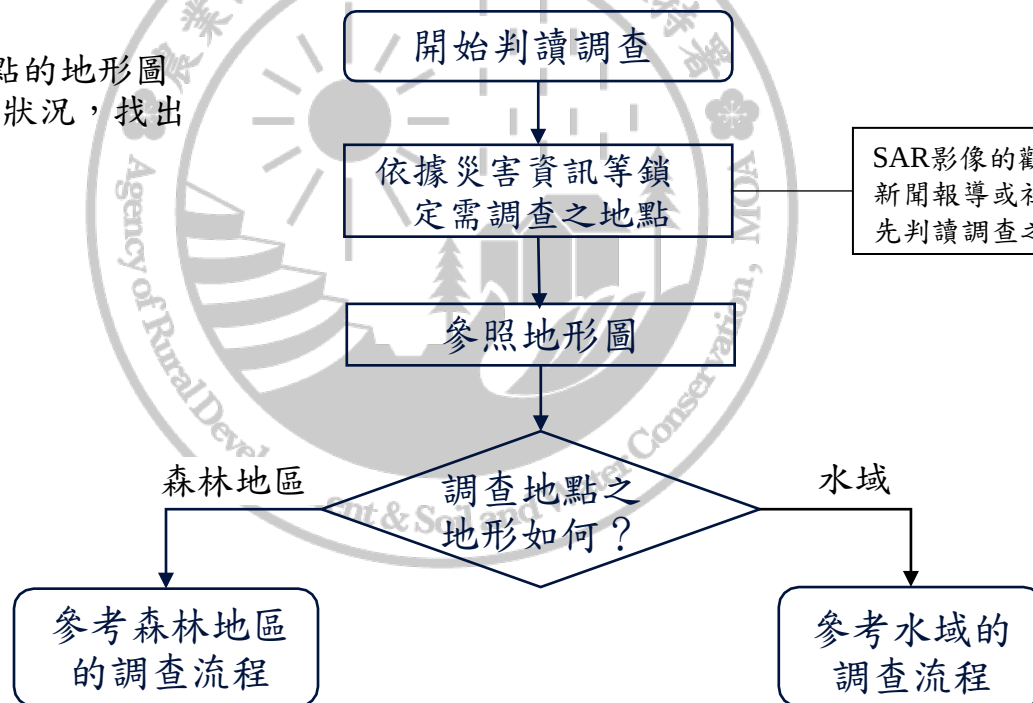
使用ALOS-2災害速報圖判讀調查坡地災害時，參考本流程進行。依緊急度區分第1階段與第2階段實施。

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）

步驟1

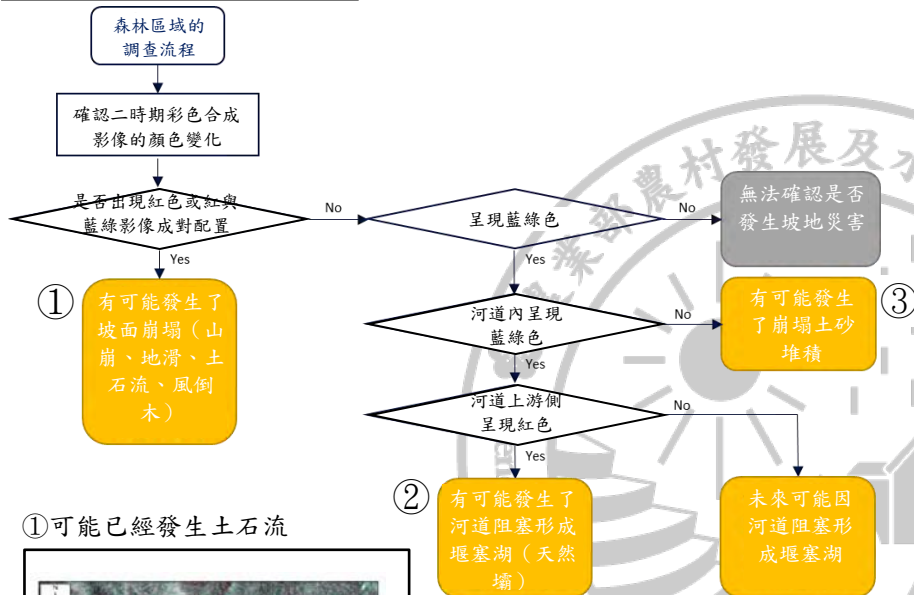
步驟1是藉由調查地點的地形圖與SAR影像顏色標示狀況，找出坡地災害潛勢地點。



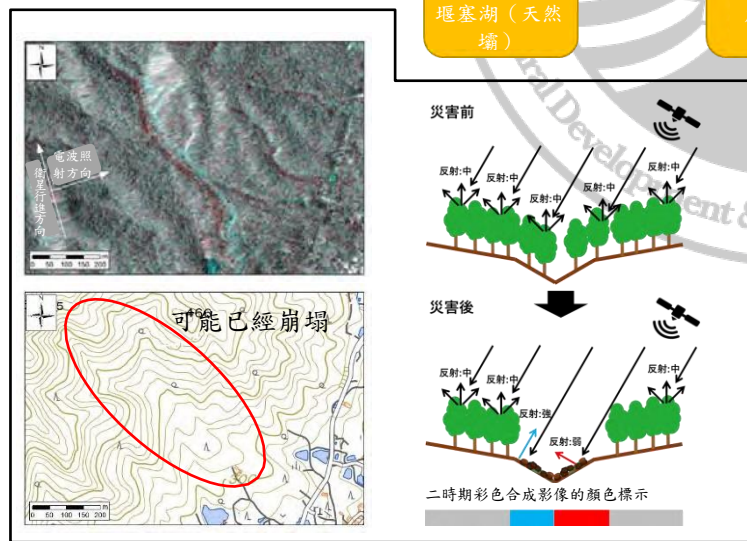
4. 以SAR影像判讀與調查坡地災害的流程

一步驟1一

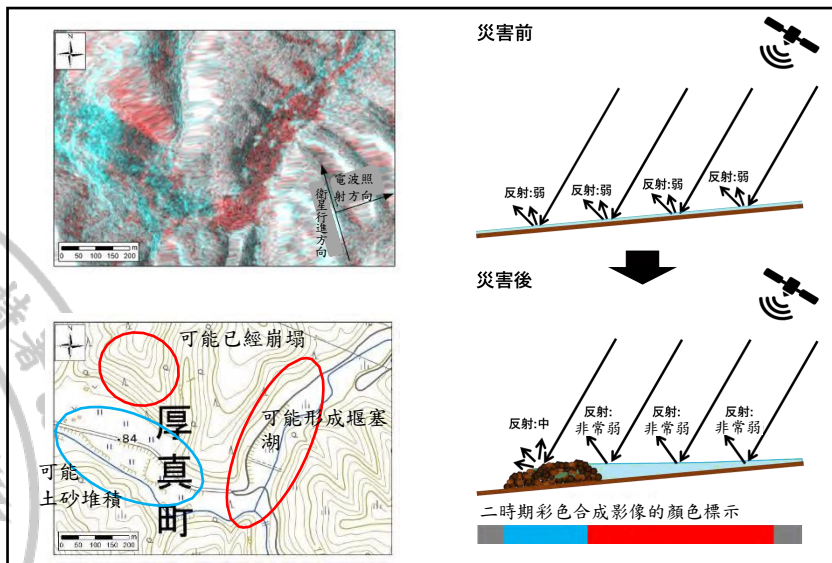
步驟1 (森林地區)



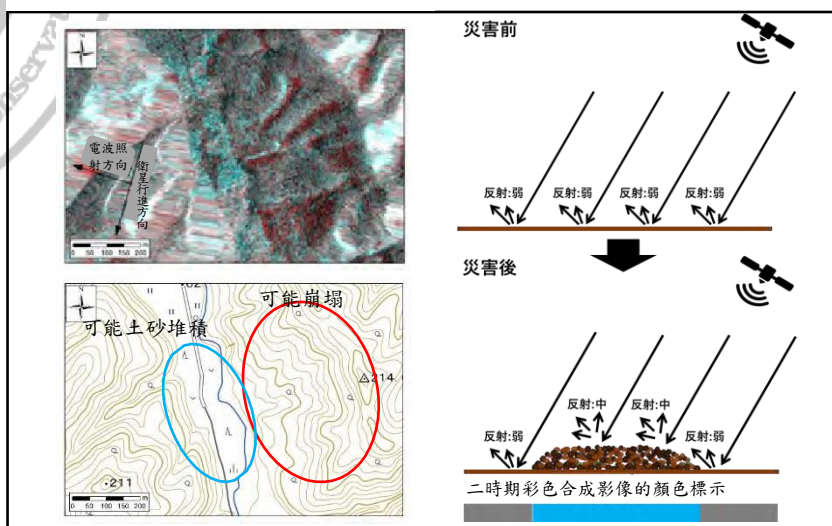
①可能已經發生土石流



②河道阻塞可能已經形成堰塞湖



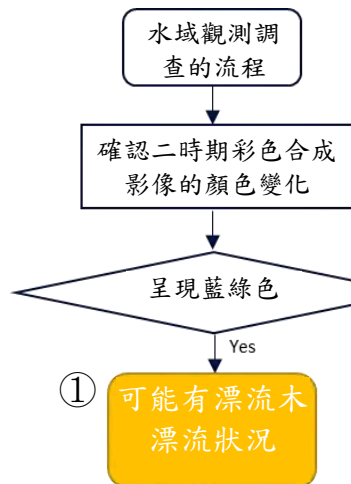
③崩塌土砂可能堆積



4. 以SAR影像判讀與調查坡地災害的流程

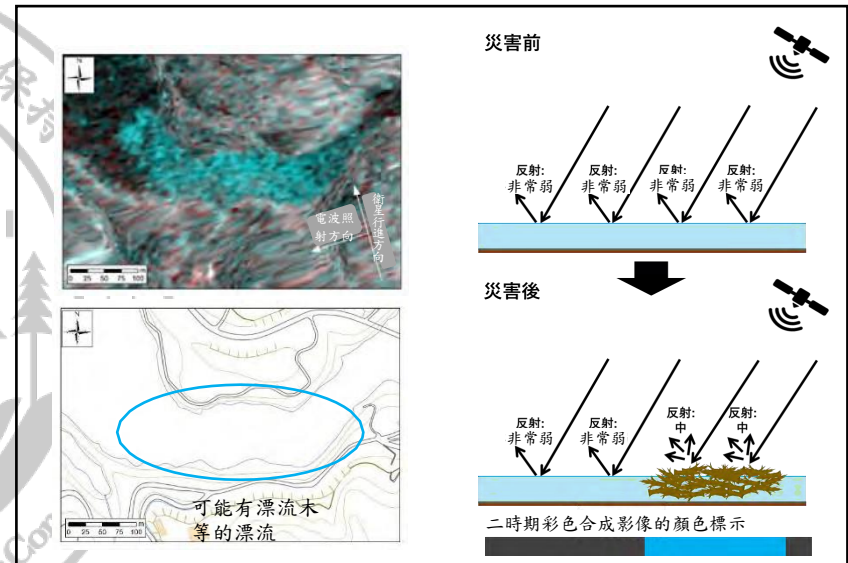
一 步驟1—

步驟1（水域）



無法確認是否發生坡地災害

① 可能有漂流木等的漂流

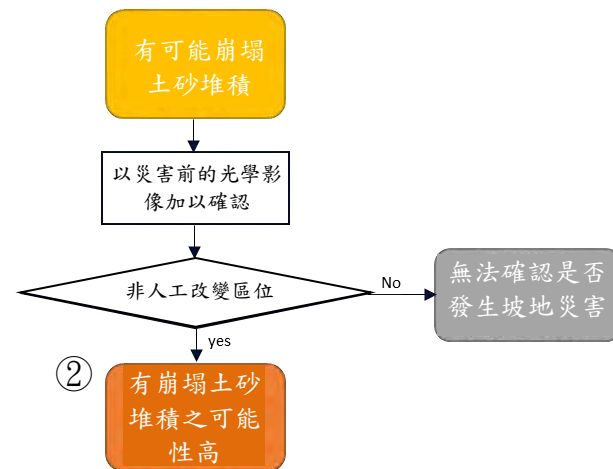
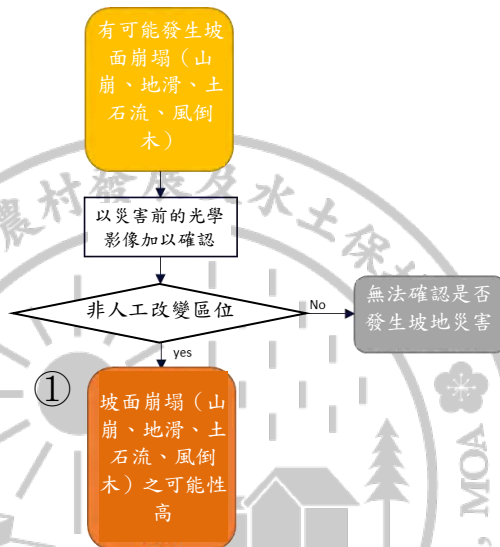


4. 以SAR影像判讀與調查坡地災害的流程

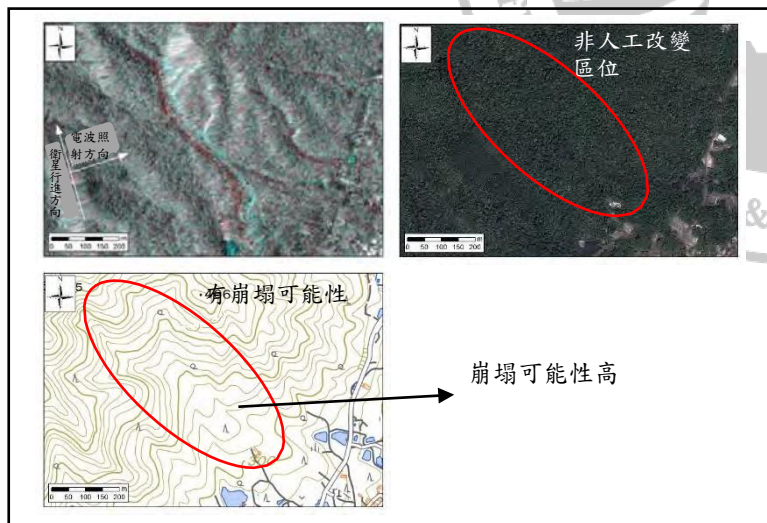
一步驟2一

步驟2

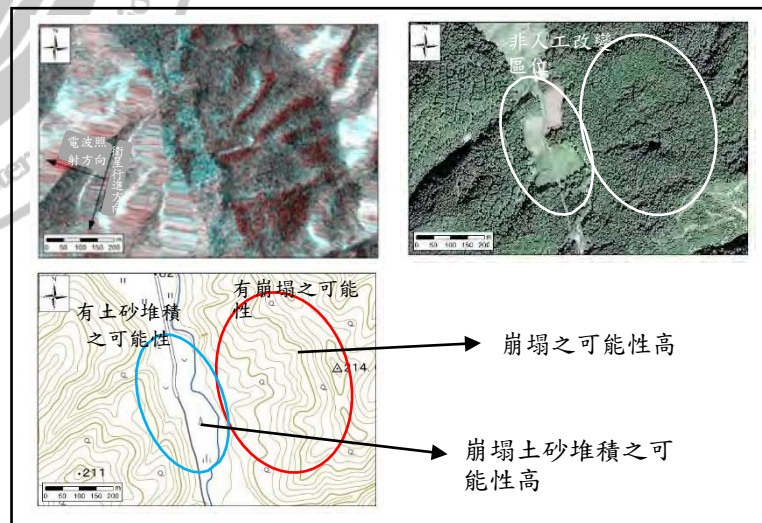
步驟2就步驟1所選取之地點，參考災害前的光學影像辨識出人工改變區位或貯水設施（堰塞湖），提升判讀精度。



① 土石流



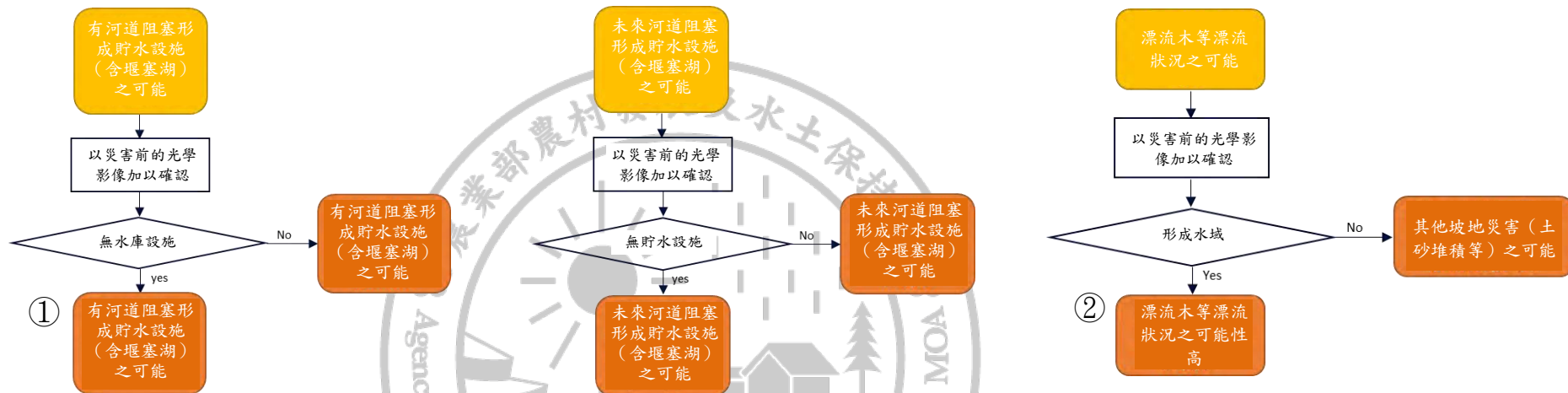
② 有崩塌土砂堆積之可能性高



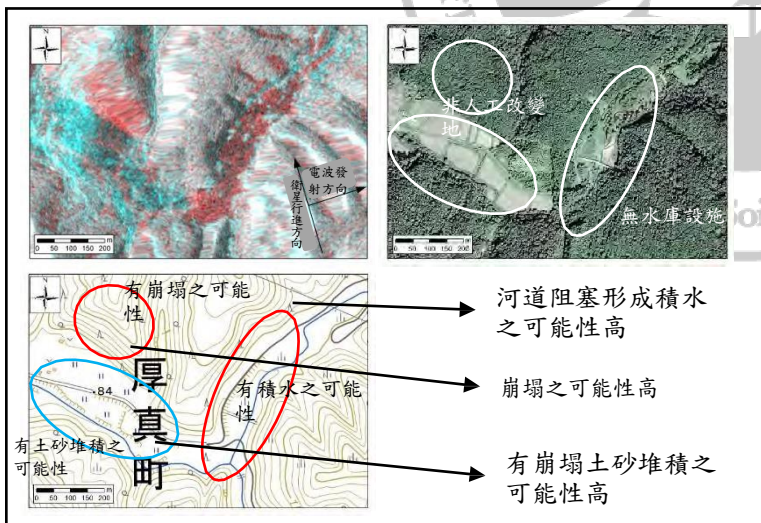
4. 以SAR影像判讀與調查坡地災害的流程

一步驟2一

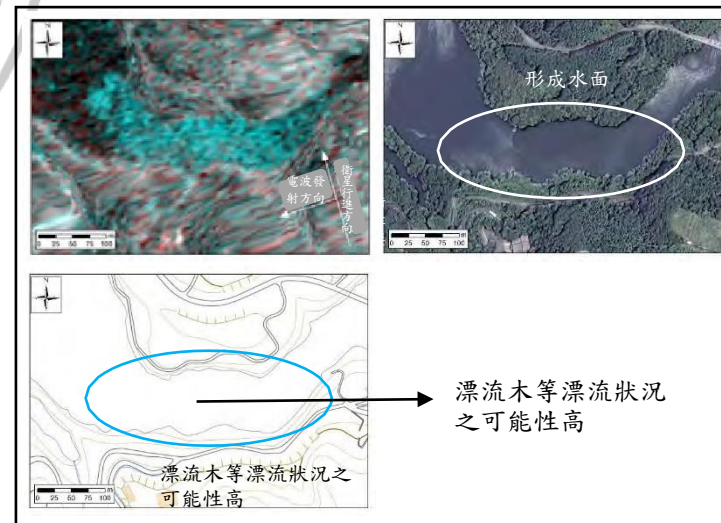
步驟2



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



4. 以SAR影像判讀與調查坡地災害的流程

一判讀時的注意事項一

注意事項①：

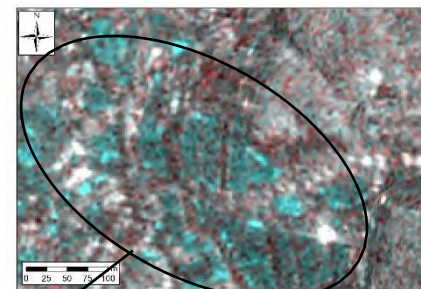
二時期彩色合成影像受雜訊影響，為確認無數像元單位所形成的紅或藍綠之標色，可著眼於標色範圍有明顯擴大，參照地形圖進行判讀甚為重要。

注意事項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（右上圖）。參考地形圖確認土地利用情形，可減少錯誤判讀。

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（右下圖）。應先確認災害前的光學影像，可減少錯誤判讀。

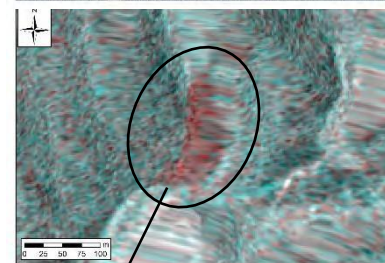
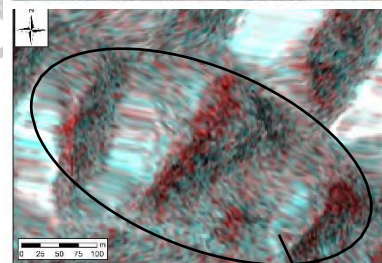


前期SAR影像顯示水田蓄水，後期影像顯示蓄水消失，因背向散射強度增強，二時期彩色合成影像因此著色為藍綠色。

坡面崩塌



伐木跡地



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。

5. 以SAR影像判讀調查坡地災害之判讀案例

- 坡地災害案例的介紹

以下各頁介紹各種坡地災害的案例。解說文中之背向散射強度部分代表SAR影像前後時期的相對強弱關係，應加以注意。

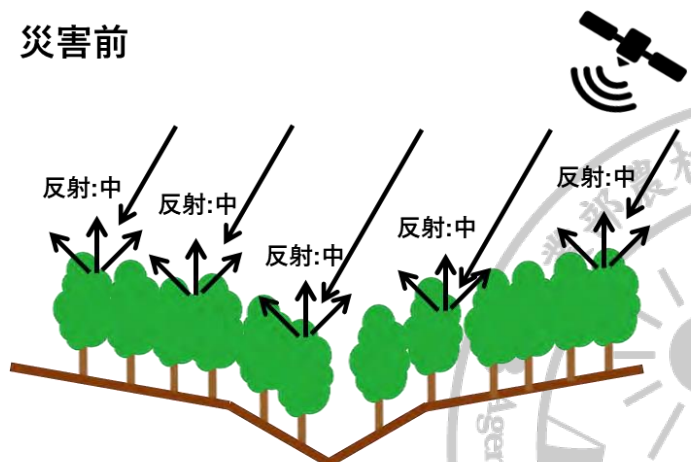


5. 以SAR影像判讀調查坡地災害之判讀案例

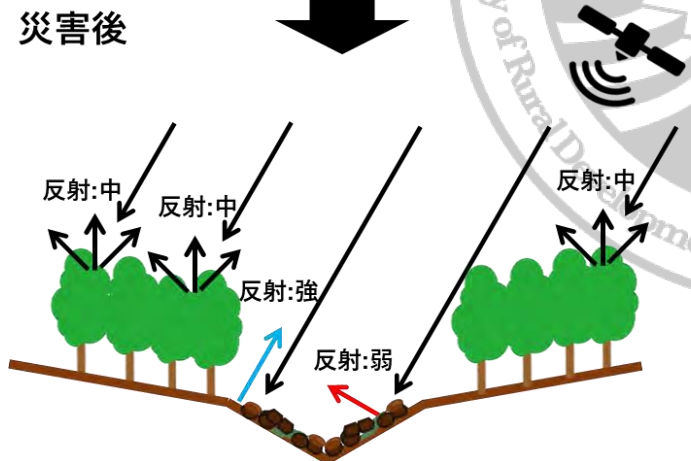
—地滑、山崩、土石流（坡面崩塌）—

地滑、山崩、土石流（坡面崩塌）

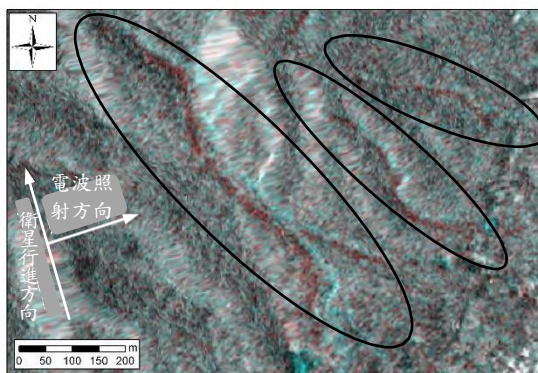
災害前



災害後



二時期彩色合成影像的顏色標示



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）

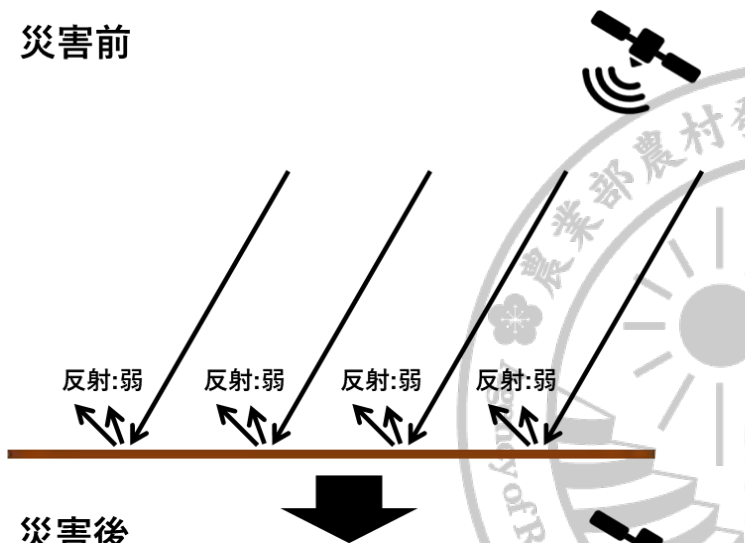
災害前森林坡面上的樹木產生體散射。災害後森林坡面與雷達照射方向非正對的坡面變成裸地，前向散射增強、背向散射減弱，著色成紅色。此外，與照射方向正對的坡面背向散射優勢，背向散射強度提高，著色成藍綠色。

5. 以SAR影像判讀調查坡地災害之判讀案例

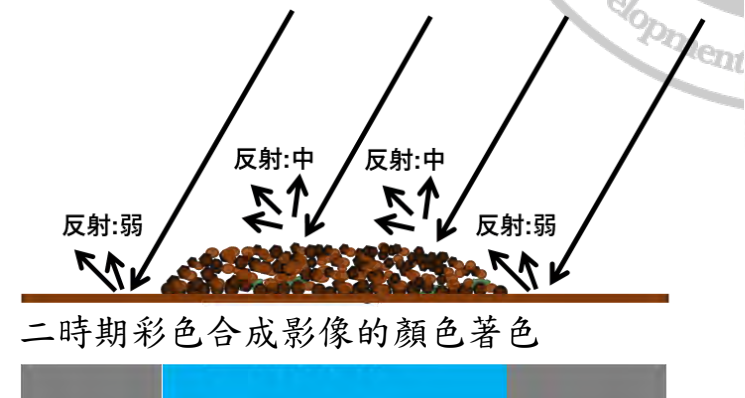
一崩塌土砂之堆積

崩塌土砂堆積

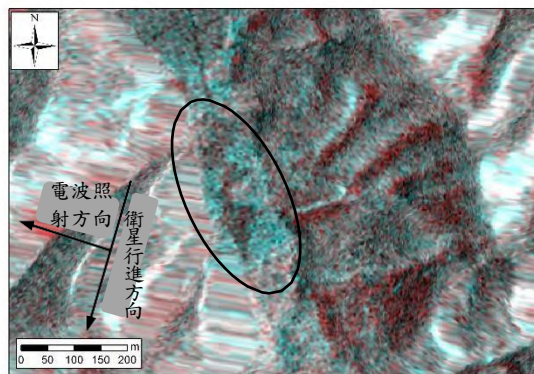
災害前



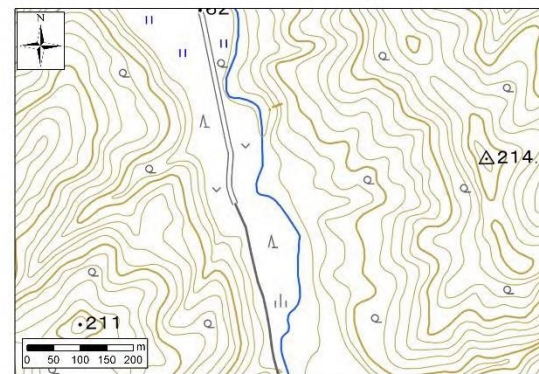
災害後



二時期彩色合成影像的顏色著色



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)

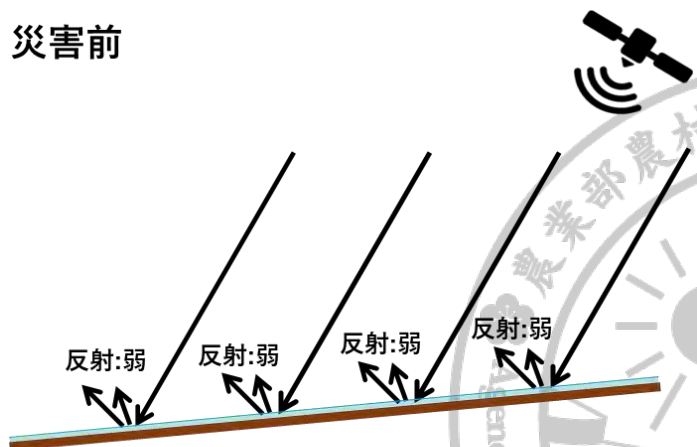
災害前在起伏較小地面之前向散射因較優勢，背向散射強度很小。災害後土砂流入，背向散射增強，背向散射強度提高，該範圍著色成藍綠色。

5. 以SAR影像判讀調查坡地災害之判讀案例

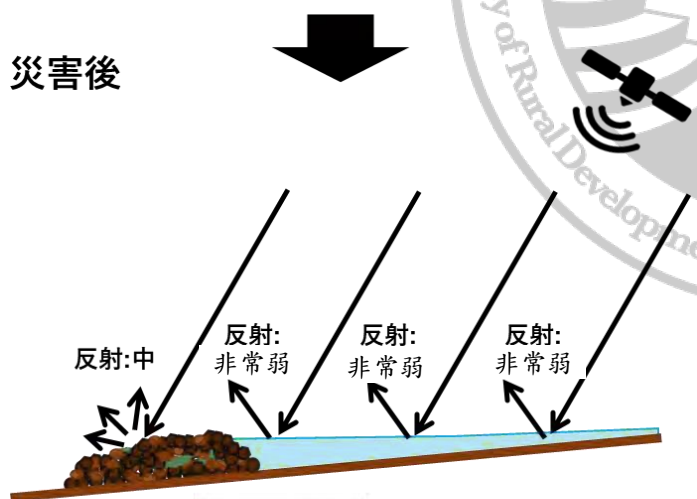
一河道阻塞形成堰塞湖（天然壩）一

河道阻塞形成積水或堰塞湖（天然壩）

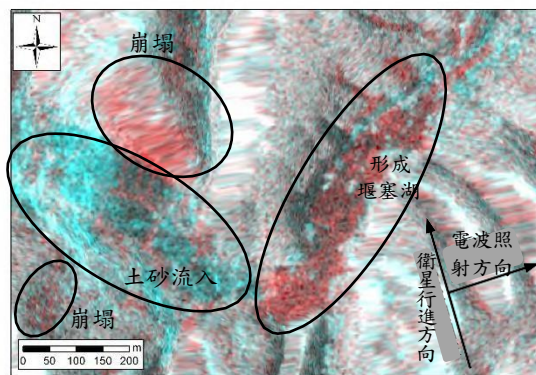
災害前



災害後



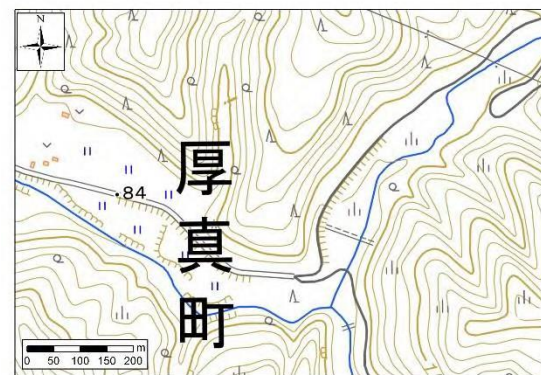
二時期彩色合成影像的顏色標示



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）

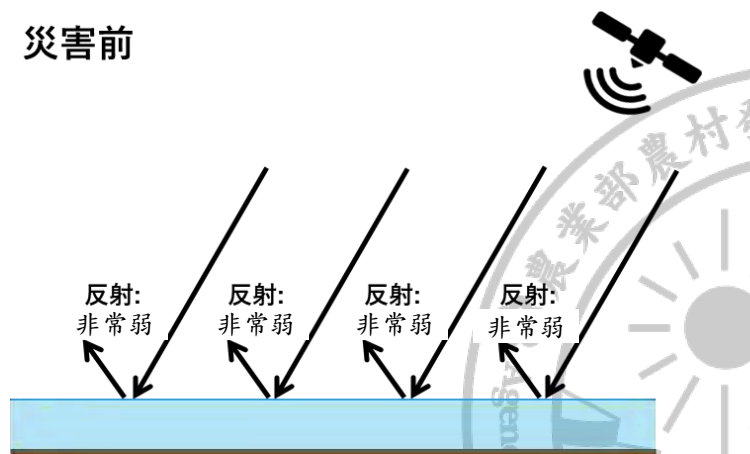
※此為災害剛發生時的光學影像，尚未形成堰塞湖。

災害前之河道多少有起伏，但整體而言前向散射優勢，背向散射強度小。災害後土砂流入阻塞河道形成積水（堰塞湖），上游側之積水地點前向散射進一步增強，背向散射強度減弱，著色成紅色。此外，下游側之土砂流入地點背向散射增強，背向散射強度提高，著色成藍綠色。

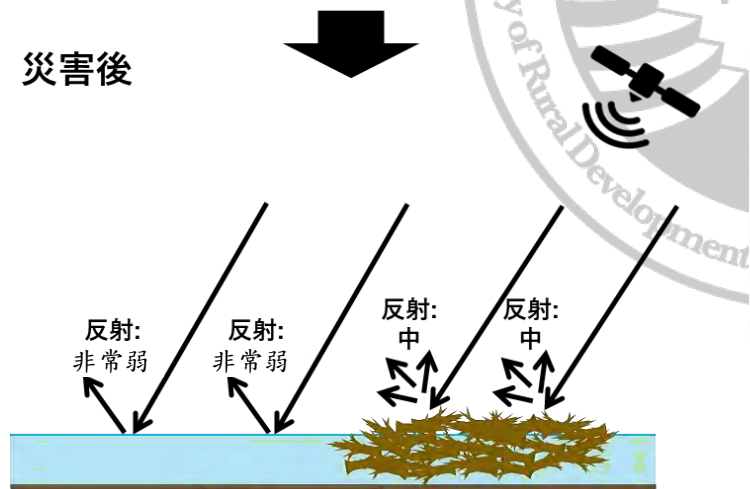
5. 以SAR影像判讀調查坡地災害之判讀案例 —漂流木等漂流—

漂流木等之漂流

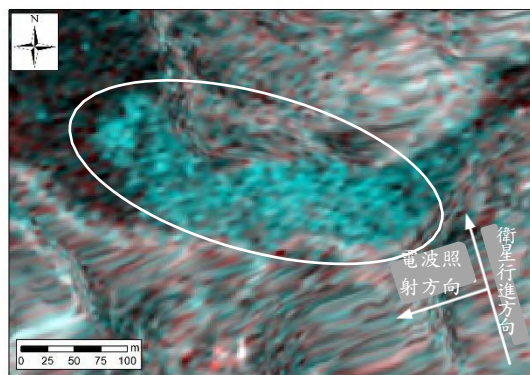
災害前



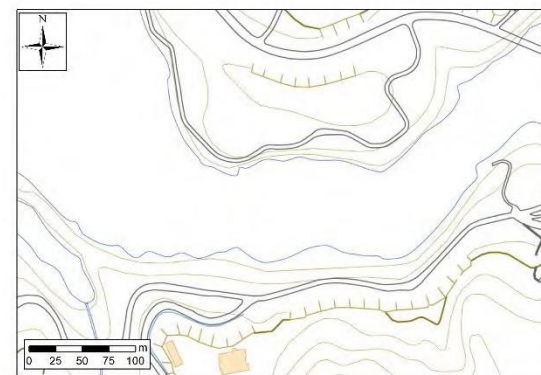
災害後



二時期彩色合成影像的顏色標示



二時期彩色合成影像



地形圖



光學影像 (災害前)



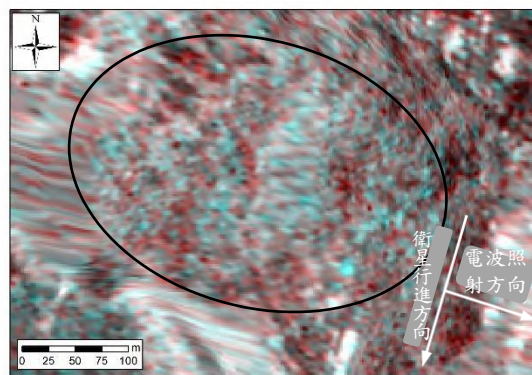
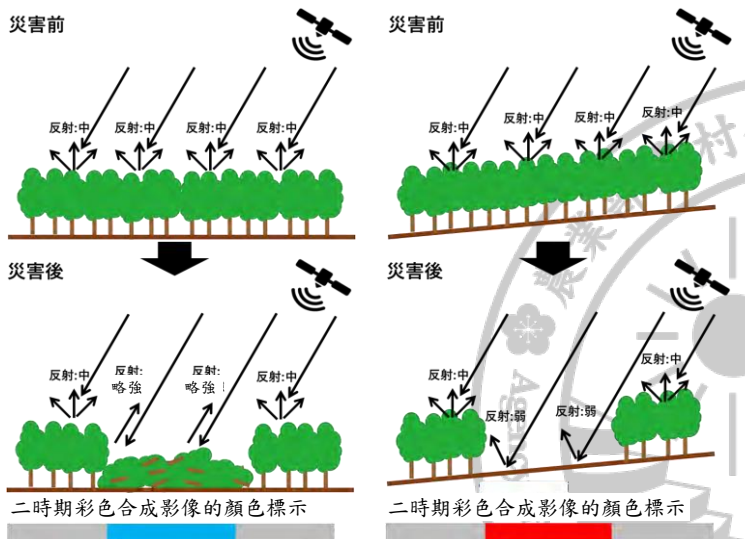
光學影像 (災害後)

災害前，湖泊或池塘之前向散射優勢，背向散射非常小。災後漂流木與土砂等流入使背向散射優勢、背向散射強度提高，該範圍著色成藍綠色。

5. 以SAR影像判讀調查坡地災害之判讀案例

—風倒木—

風倒木



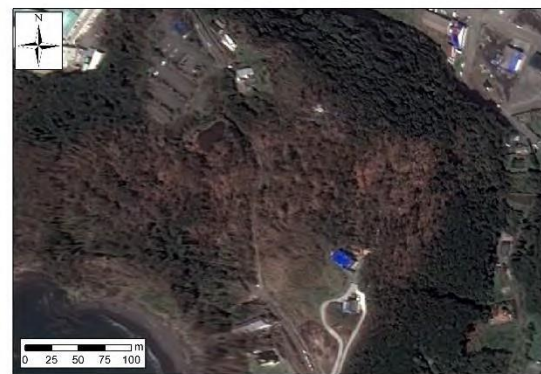
二時期彩色合成影像



地形圖



光學影像（災害前）



光學影像（災害後）

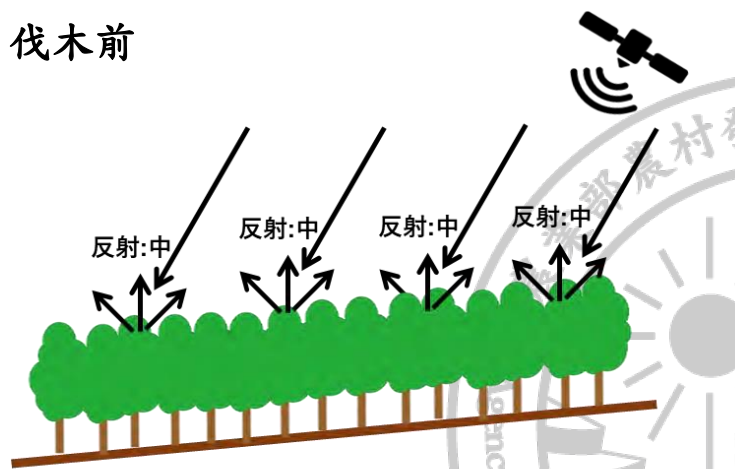
災害前之森林樹木產生明顯體散射。災害後出現倒木，背向散射優勢，背向散射強度增強，該地點著色成藍綠色。此外，倒木大量發生後若有樹木沿坡面流下，前向散射會增強、背向散射強度減弱，該範圍著色成紅色。但須注意可能受樹木倒向、電波發射方向與坡面方向等影響，著色的作法可能有所變化，應加以注意。

5. 以SAR影像判讀調查坡地災害之判讀案例

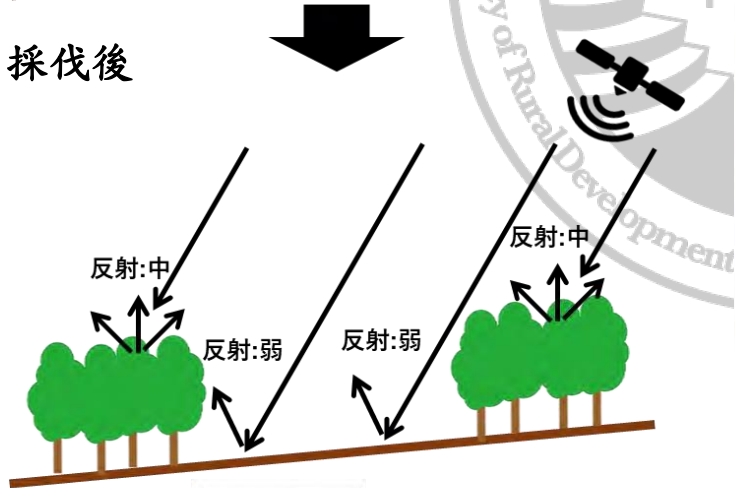
—伐木跡地—

伐木跡地

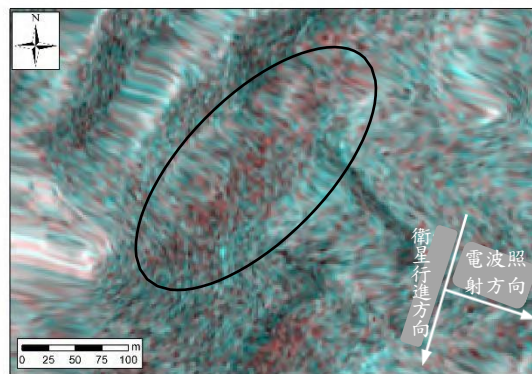
伐木前



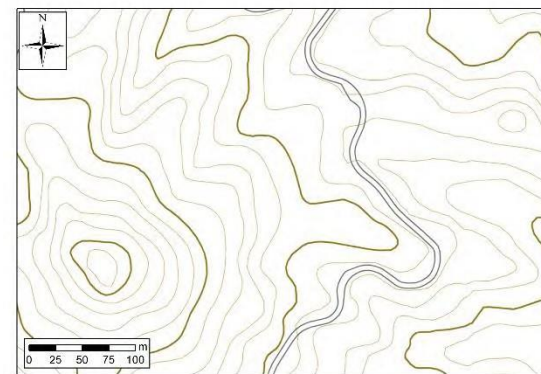
採伐後



二時期彩色合成影像的顏色標示



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）

採伐前之森林樹木產生大量體散射。採伐後樹木消失使前向散射增強，背向散射強度減弱，該範圍著色成紅色。

5. 以SAR影像判讀調查坡地災害之判讀案例

• 判讀的精度

針對過去災害分階段使用SAR影像與光學影像進行坡面崩塌（山崩、地滑、土石流及崩塌土砂堆積）判讀，算出其精度。精度計算使用代表依衛星影像所判讀土砂移動範圍的「判讀多邊形」，以及外部機關所公佈土砂移動範圍的「驗證多邊形」，依下示計算其適合率與重現率。

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。

判讀精度就對象之各災害有差異，和本指引的步驟1相比，在完成本指引步驟2情形下採伐等人工改變地之誤判會減少，適合率提高。再者，運用本指引判讀之對象外的情形，參照災後之光學影像可減少漏判，提升重現率。

此外，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公頃以上之較大規模崩塌地，即使只使用衛星影像，萃取資料也較少遺漏。再者就適合率而言，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%	

6. 判讀環境

- ArcGIS

- 特徵

ArcGIS係ESRI公司所開發的GIS（空間資訊系統）軟體。除了可閱覽、製作地圖之外，可也用來進行精密分析，但需付費。

- 建議規格(ArcMap 10.6.1時)

OS：Windows 10(64位元)、Windows 8.1

CPU：2.2 GHz以上

記憶體：8 GB

參考：https://www.esri.com/products/arcgis-desktop_old/environments/arcmap/

- QGIS

- 特徵

QGIS為開放原始碼的GIS軟體。可無償使用，進行地圖閱覽、製作與分析等，但分析機能與支援軟體受限。

- 建議規格

OS：Windows/MacOS/Linux等

CPU：無

記憶體：無

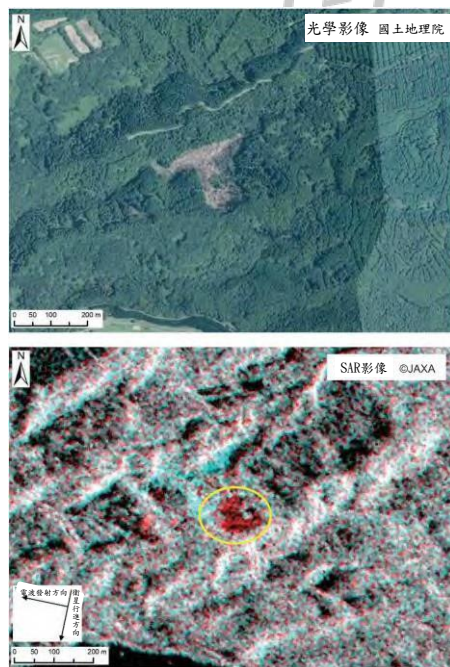
參考：<https://qgis.org/ja/site/forusers/download.html>



【參考資料】1. 坡地災害之解說

- 山崩（2021年山崩發生案例：福岡縣八女市矢部村）

地盤鬆軟坡面崩塌後土砂往山腳下崩落。這類土砂沿陡坡高速往下移動的現象稱為「山崩」。山崩發生在集水區谷型斜面或曾經崩塌乃至於人為開挖造成陡坡的坡面等地點，危險性會提高。山崩多突然發生，若發生在民眾社區附近，容易造成人員受害。

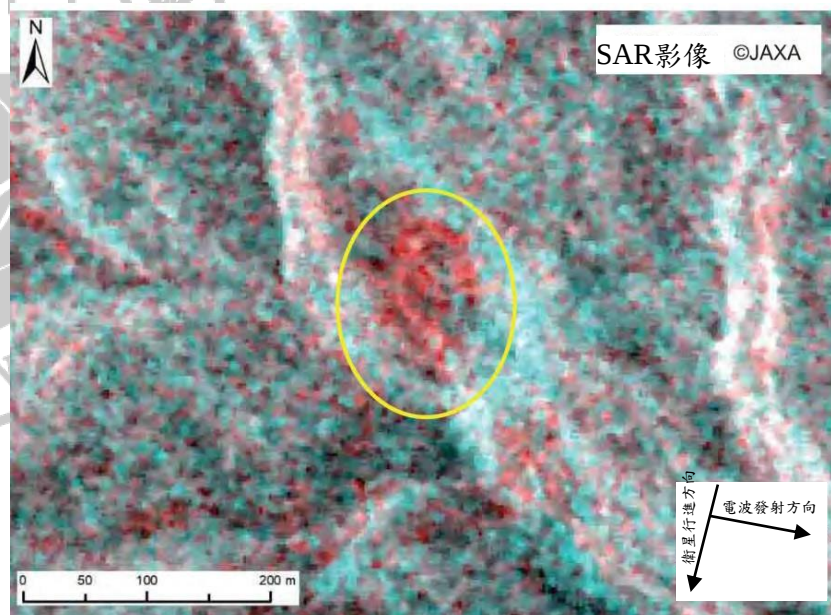


此外，山崩發生在遠離民眾社區或即使是小規模，其土砂與漂流木進入溪流，可能形成後述之土石流災害嚴重發生。特別是產生漂流木的崩塌面積幾乎都小於0.5公頃，但同時多處發生小規模崩塌仍可能引發嚴重土石流與漂流木漂流。

【參考資料】1. 坡地災害之解說

- 地滑（2021年地滑案例：長野縣長野市篠井、熊本縣天草市本渡町）

坡度較緩涵蓋範圍較大之坡面緩慢往下方移動的現象稱為「地滑」。地滑係滑動面受地下水等影響，抵抗土體往下方移動力量的摩擦阻力（摩擦力）因而降低所致。地滑移動速度通常比山崩慢，較不易造成人命傷害，但在地震或豪雨等加成作用下移動可能加速。此外，地滑區域若溪流阻塞，大雨時也可能形成土石流。

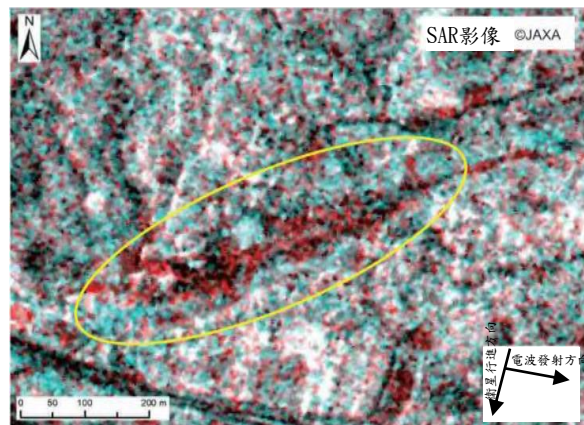


【參考資料】1. 坡地災害之解說

- 土石流（2021年土石流案例：廣島縣廣島市西區田方、靜岡縣熱海市伊豆山）

土砂或石礫與溪流水合為一體往下流動的現象稱為「土石流」。土石流發生於溪流流量增加時，有①溪床堆積土砂等被水流往下推動、②新近發生山崩或地滑所產生土砂等被水流往下帶、③天然壩崩塌（後述）之大量水與土砂一起往下流動，等3種發生形態。

土石流移動速度非常快且移動距離長，一旦沖到住家社區，很容易造成人員傷害、房屋倒塌等嚴重災情。此外，土石流也可能夾雜漂流木流下，漂流木若阻塞橋樑、阻斷流路，可能引發洪氾，或者漂流木直接衝擊社區住屋等，擴大災情。

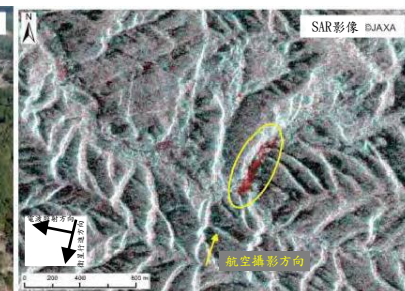


【參考資料】1. 坡地災害之解說

• 災害擴大的主要因素

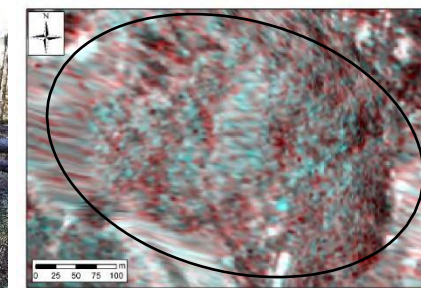
■ 河道阻塞形成積水（天然壩）

坡面崩塌後移動的土砂或漂流木阻塞河道，上游側積水會形成類似水壩的地形（天然壩）。若阻塞河道的土砂若再度崩潰，積水連同土砂快速往下游流動，可能造成大規模土石流。



■ 風倒木

因颱風或陣風吹倒樹木使樹木連根拔起或根系喪失抓地力，造成地盤疏鬆，便容易發生坡面崩塌。此外，風倒木發生後若造成山崩或土石流，可能形成漂流木，成為擴大災情的主要因素。



【參考資料】2. 坡地災害發生的主要因素及其案例

- 大雨

雨水滲透使地盤鬆軟或地下水位上升，可能引發山崩或地滑。此外，河水流量增加時，可能將崩塌土砂、河床堆積物與漂流木等往下游推擠而造成土石流。

- 地震

地盤鬆軟可能引發地滑或山崩。而地震造成地滑坡面內部液化現象時，有時會引發高速地滑。此外，形成天然壩的土體緩慢崩潰時，可能連帶引致土石流發生。

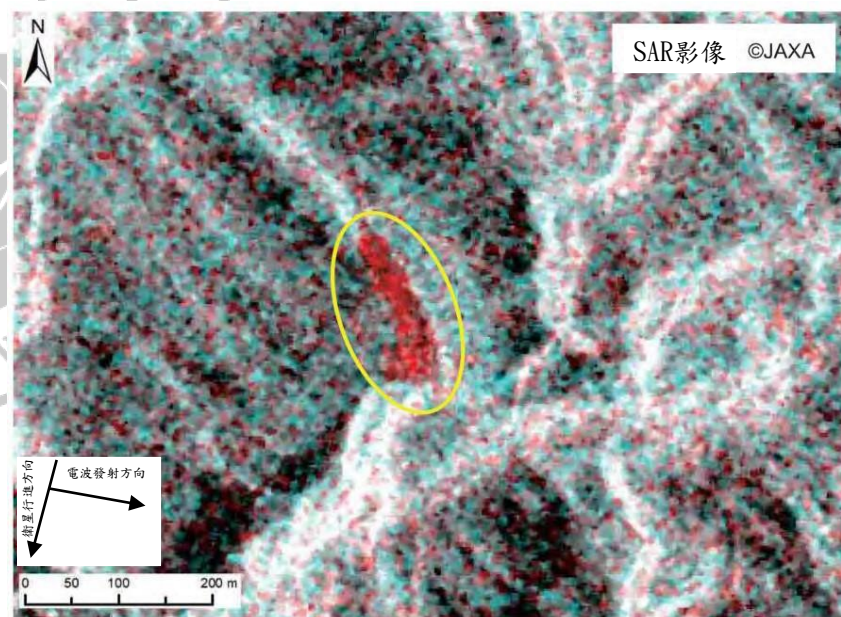
- 大雪

融雪水滲透地面使地盤鬆軟，可能誘發地滑或山崩。此外，若滲入地中的水結凍，可能使地中之裂縫擴大，容易發生崩塌。

【參考資料】2. 坡地災害發生的主要因素及其案例

• 伐木

坡面伐木後原來之立木經過一段時間，根系會失去抓地力，土砂崩塌防止機能降低。此外，裸露地表面受降雨侵蝕，或地表面固結硬化使透水性降低，雨水無法滲透入地中，可能引致河川流量增加。



参考文献

- 広島大学平成30年7月豪雨災害調査団（地理学グループ），2019，平成30年7月豪雨による広島県の斜面崩壊の詳細分布図（第二報：最終報告）・ <https://ajg-disaster.blogspot.com/2018/07/3077.html>
- 国土地理院,2017，平成29年7月九州北部豪雨に関する情報・ https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H29hukuoka_ooita-heavyrain.html
- 内藤一郎，2018，内閣府 国と地方・民間の「災害情報ハブ」推進チーム 第5回 人工衛星の防災活用について・ <http://www.bousai.go.jp/kaigirep/saigaiyouhouhub/dai5kai/pdf/shiryo5.pdf>
- 鈴木大和・松田昌之・瀧口茂隆・野村康裕・山下久美子・中谷洋明，2020，合成開口レーダ（SAR）画像による土砂災害判読の手引き・国土技術政策総合研究所資料，1110・
- 鈴木大和・松田昌之・中谷洋明，2021，災害時における合成開口レーダ(SAR)の散乱変化事例解説集・国土技術政策総合研究所資料，1159・

林野廳

國有林野部 業務課

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）