

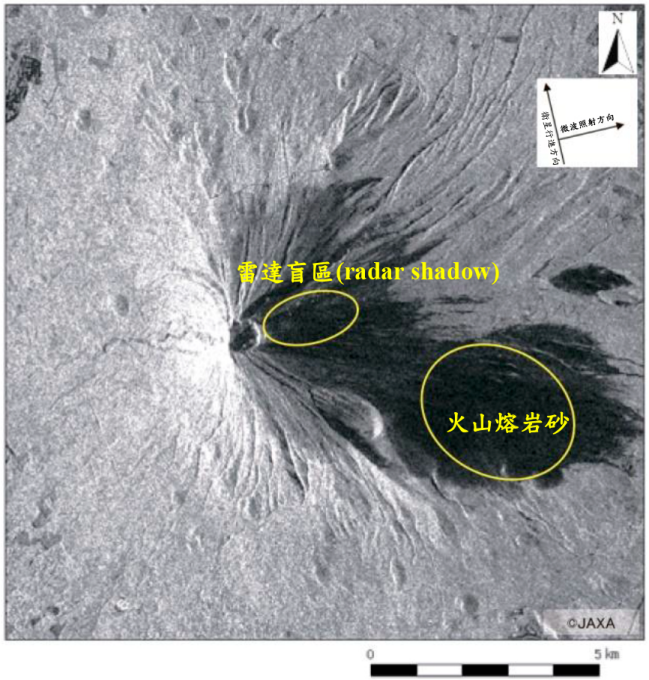
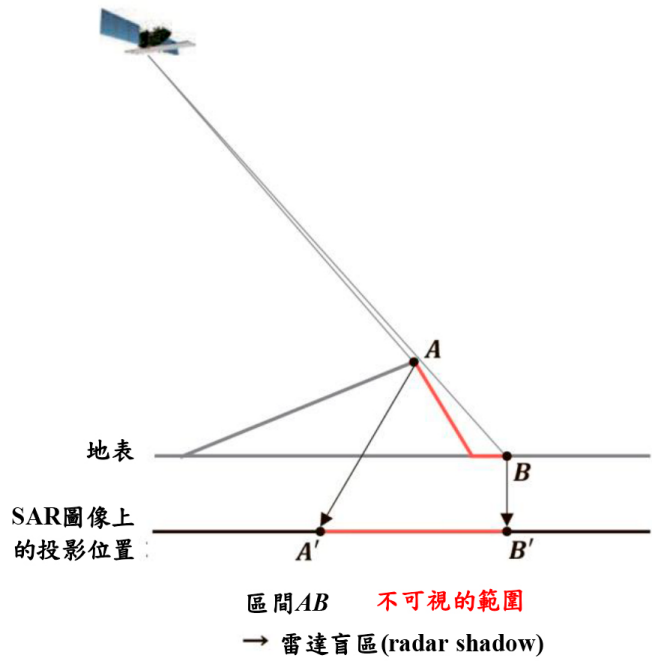


110
年度日本土砂災害防治相關文獻翻譯

110年度日本土砂災害防治 序號9：遙測-依合成孔徑雷達 (SAR) 圖像判讀土砂災害指引

行政院農業委員會水土保持局
與您一起打拼

(序號9：遙測-依合成孔徑雷達)
(SAR) 圖像判讀土砂災害指引



110
年度
行政院農業委員會水土保持局



行政院農業委員會水土保持局
54044南投市中興新村光華路6號
<https://www.swcb.gov.tw>

行政院農業委員會水土保持局 編印
中華民國110年12月

ISSN1346-7328

國總研資料第1110號

2020年4月

國土技術政策總合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1110 April 2020

依合成孔徑雷達（SAR）圖像判讀土砂災害指引

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

Guideline for the interpretation of sediment-related disasters by synthetic aperture radar (SAR) images

SUZUKI Yamato
MATSUDA Masayuki
TAKIGUCHI Shigetaka
NOMURA Yasuhiro
YAMASHITA Kumiko
NAKAYA Hiroaki

國土交通省 國土技術政策總合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

依合成孔徑雷達（SAR）圖像判讀土砂災害指引

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*****

Guideline for the interpretation of sediment-related disasters by synthetic aperture radar (SAR) images

SUZUKI Yamato*, MATSUDA Masayuki**, TAKIGUCHI Shigetaka***, NOMURA Yasuhiro ****,
YAMASHITA Kumiko*****, NAKAYA Hiroaki*****

概要

預估可能發生土砂災害時，可迅速採取初步因應，因此將針對夜間和天候不佳時，也能有效運用的合成孔徑雷達進行觀測圖像判讀和特定發生地區的方法進行解說。

關鍵字：SAR圖像、坡面崩塌、土砂災害、河道閉塞、圖像判讀、背向散射係數

Synopsis

This guideline describes synthetic aperture radar images interpretation of sediment-related disasters that can be used even at night or under adverse weather conditions, in order to enable to identify disaster-stricken area.

Key Words: SAR Image, Slope Collapse, Sediment-related Disaster, Landslide Dam, Image Interpretation, Backscatter Coefficient

*	土砂災害研究室研究官	Researcher, Sabo Risk-Management Division
**	土砂災害研究室交流研究員	Guest Research Engineer, Sabo Risk-Management Division
***	土砂災害研究室主任研究官	Senior Researcher, Sabo Risk-Management Division
****	前土砂災害研究室主任研究官	Former Senior Researcher, Sabo Risk-Management Division
*****	前土砂災害研究室交流研究員	Former Guest Research Engineer, Sabo Risk-Management Division
*****	土砂災害研究室長	Head, Sabo Risk-Management Division

〔前言〕

若因發生大規模坡面崩塌和深層崩塌而造成河道內堆積土砂時，有可能形成攔阻河川的積水領域。堵塞河道的土砂大多呈現不穩定狀態，如果積水領域急速擴大時，恐因發生潰堤等而為下游區域帶來莫大災害之虞，因而要求迅速掌握災害後的情況。此外，最重要的是，盡早掌握集中發生坡面崩塌和淺層崩塌的場所及其範圍，同樣的也應盡早著手緊急應變措施。

截至目前為止，國總研著眼於利用合成孔徑雷達（以下稱「SAR」）圖像，無論白天黑夜或天候情況為何，皆可觀測並進行判讀，再檢討迅速掌握河道閉塞區位的手法。相關成果已彙總成2013年11月國土技術政策總合研究所資料第760號「藉由單偏振的高解析度SAR圖像，進行河道閉塞區位判讀調查手法（草案）」（以下稱「國總研資料第760號」）。其後，為了更迅速且確實掌握河道閉塞區位，發展出使用高解析度雙偏振SAR圖像進行掌握的手法，並將其成果彙整成2014年6月國土技術政策總合研究所資料第791號「藉由雙偏振SAR圖像，進行大規模崩塌及河道閉塞區位的判讀調查手法（草案）」（以下稱「國總研資料第791號」）。

近年來，已有效運用透過恆常性觀測不斷累積的數據資料，增加可有效運用災害前後的SAR圖像機會。國總研除了運用累積的知識見解，同時也在考量使用災害前後SAR圖像以執行土砂災害判讀調查方法，已開始適用在近年來的災害因應領域上。其結果，除了已確立目前為止列為調查對象的大規模坡面崩塌，也一併掌握更小規模的崩塌現象、地形和土地覆蓋變化區位，並在短時間內可掌握密集發生的大範圍坡面崩塌和土砂災害的受害情況。本資料針對藉由SAR圖像判讀土砂災害的方法進行解說，同時也彙總適用條件和注意事項。為了提升地區整備局等因應災害時的效率性，因而要求更進一步有效運用衛星圖像，希望能透過盡早鎖定受害範圍，以作為一項確實支援初步調查技術的參考。

再者，本資料是與國立研究開發法人宇宙航空研究開發機構（以下稱「JAXA」）共同研究「藉由陸域觀測技術衛星2號「大地2號」，開發土砂災害監視手法相關共同研究」（2017年度～）的部分成果。

2020年4月 國總研土砂災害研究部 土砂災害研究室

〔本資料的目的和構成〕

本資料為地區整備局職員等，在發生土砂災害時，使用SAR圖像進行土砂災害判讀調查的程序和技術方針。此外，已針對SAR圖像相關基本事項和技術上的注意事項進行解說，因此不僅是防災專責人員，參與土砂災害等判讀調查等其他技術人員均可善加利用。

本資料是由以下3篇章節所構成，關於詳細內容請參照目錄。

第1篇 合成孔徑雷達（SAR）圖像相關基本事項

解說藉由SAR觀測及SAR圖像的特徵和運用上的注意事項等基本事項。

第2篇 解說根據SAR圖像的土砂災害判讀調查手法

解說使用SAR圖像判讀土砂災害的程序。

第3篇 依強度差分SAR圖像進行土砂災害判讀調查的適用結果

針對使用強度差分SAR圖像的土砂災害判讀調查，適用於實際災害的結果。

再者，本資料連同「災害時有效運用人造衛星指南 土砂災害版」（JAXA衛星利用運用中心、國土交通省水管理・國土保護局砂防部砂防計畫課）一併運用，可望藉由更具效果的SAR圖像，實現土砂災害的判讀調查。

依合成孔徑雷達 (SAR) 圖像判讀土砂災害指引

目錄

第1篇	合成孔徑雷達 (SAR) 圖像相關基本事項	1
1.	合成孔徑雷達 (SAR)	1
1.1	SAR的觀測原理	1
1.2	SAR的特徵	3
1.3	波長 (波段)	4
1.4	散射特性	5
1.5	偏振特性(polarization characteristics)	7
2.	SAR圖像	8
2.1	SAR圖像的生成	8
2.2	SAR圖像的特徵	9
2.3	SAR圖像的注意事項	10
2.4	SAR圖像的解析度	13
2.5	SAR圖像的分析和種類	14
3.	將SAR圖像有效運用於土砂災害判讀調查	17
3.1	適合土砂災害判讀調查的SAR圖像觀測條件	17
3.2	將SAR圖像有效運用於土砂災害判讀調查時的注意事項	18
第2篇	解說根據SAR圖像的土砂災害判讀調查手法	20
1.	依SAR圖像所做的土砂災害判讀調查手法的選擇	20
1.1	根據可取得SAR圖像的條件進行選擇	20
1.2	根據作為判讀調查對象的土砂災害規模選擇	21
2.	依雙偏振SAR圖像所做的土砂災害判讀調查	22
3.	依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查	23
3.1	強度差分SAR圖像的生成	23
3.2	強度差分SAR圖像的解釋	24
3.3	強度差分SAR圖像的標示和檢視方式	26

3.4	依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查流程	27
3.5	依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查檢查表	30
4.	應用依SAR圖像所做的土砂災害判讀調查	33
4.1	有效率的判讀調查方法	33
4.2	提高結果可靠性的判讀調查方法	35
5.	依SAR圖像進行土砂災害判讀調查手法的注意事項	36
5.1	因人為改變所帶來的影響	36
5.2	對微波照射方向的坡面方向	38
第3篇	依強度差分SAR圖像進行土砂災害判讀調查的適用結果	40
1.	依強度差分SAR圖像，進行土砂災害判讀調查的所需時間	40
2.	依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查精準度	41
2.1	精準度驗證條件	41
2.2	精準度驗證結果	43
參考文獻		46
本文中的SAR圖像技術規格		47
參考資料1・依各災害強度差分SAR圖像，進行土砂災害判讀調查的所需時間		48
參考資料2・依各災害強度差分的SAR圖像，判讀和調查土砂災害的精準度		56
參考資料3・依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查檢查表		61

第1篇 合成孔徑雷達（SAR）圖像相關基本事項

1. 合成孔徑雷達（SAR）

1.1 SAR的觀測原理

衛星所搭載的「合成孔徑雷達：Synthetic Aperture Radar」是讓衛星行進方向，對（方位角方向）呈直角方向（範圍方向）後，朝斜下方照射微波（圖-1.1.1）。

將形成衛星垂直正下方和衛星微波照射方向角度稱為「側視角」；從物件的天頂方向所見，形成衛星的微波照射方向角度即稱為「入射角」（圖-1.1.1）。有不少衛星可改變觀測時的側視角，且在斜坡上形成圖-1.1.2所示坡面法線和微波照射方向的角度，即稱為「局部入射角」。再者，即使在平地上，地球仍是球體，因而成立側視角 $<$ 入射角的關係。

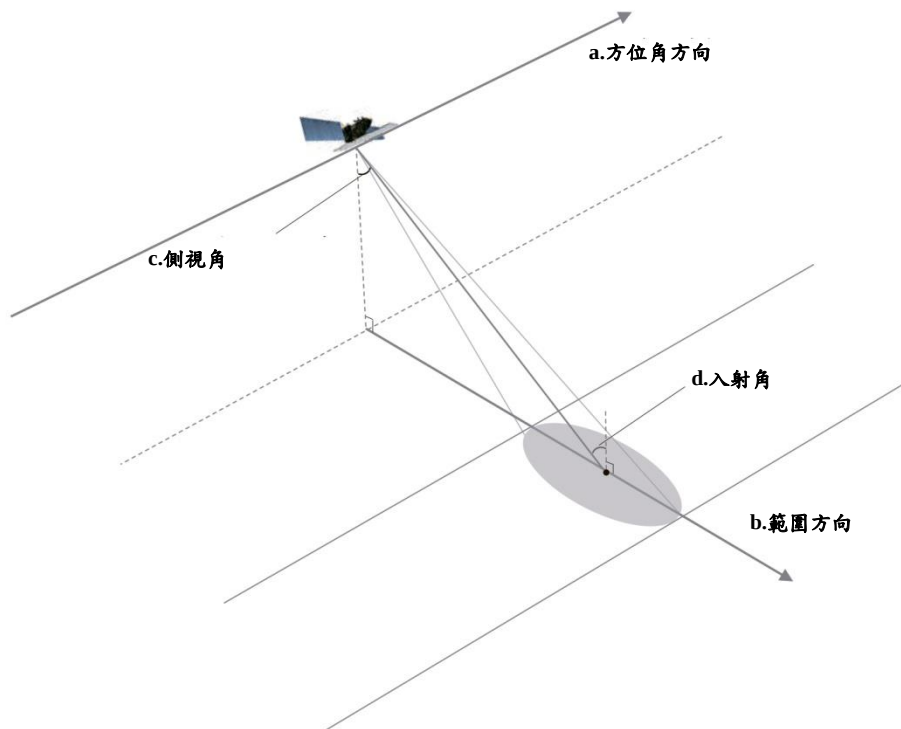


圖-1.1.1 SAR觀測相關用語和概念圖

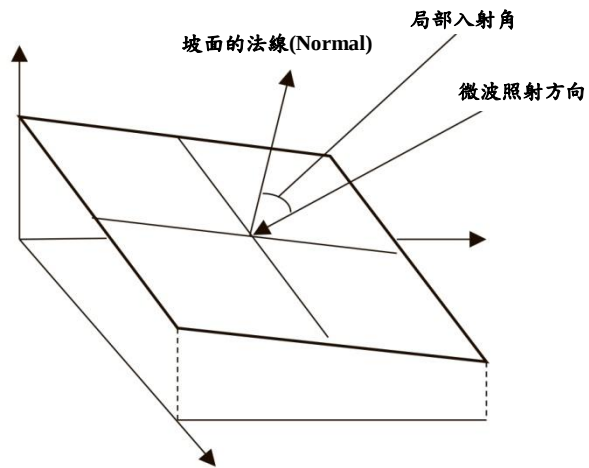


圖-1.1.2 局部入射角

合成孔徑技術是利用衛星穩定的高速飛行進行連續觀測，實現等同於透過比天線物理長度（實際孔徑長度（ D_r ））還長的虛擬天線（合成孔徑長度（ D_s ））所觀測的結果效果（圖-1.1.3）。此外，理論上，SAR方位角空間解析度為實際孔徑長度（ D_r ）一半的值，因此可取得高解析度的觀測數據資料。

此外，SAR為圖像雷達，是專為觀測對象建立圖像（生成成像(imaging)）的感測器。

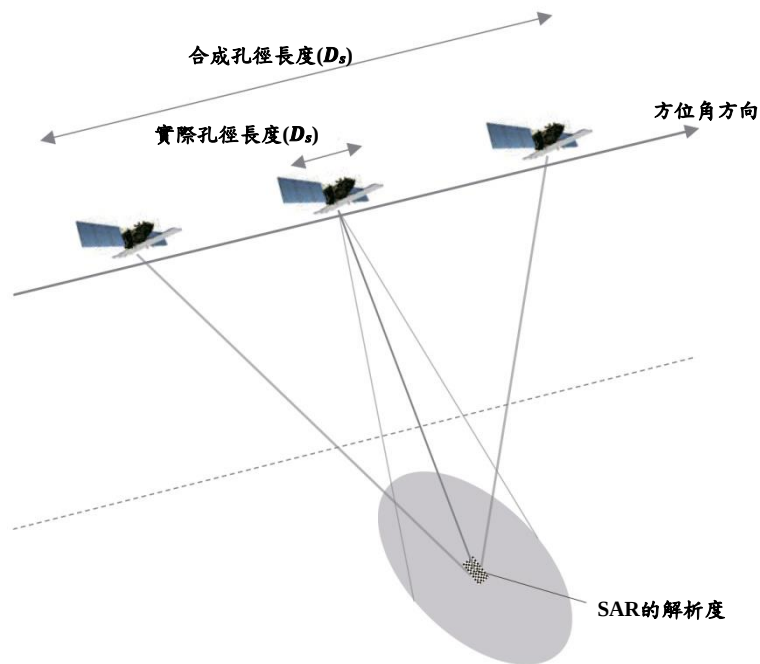


圖-1.1.3 合成孔徑技術的原理

1.2 SAR的特徵

藉由SAR所做的觀測，是從雷達天線本身，將微波對準觀測物件照射，再用天線接收透過觀測物件散射之電磁波能源的主動型感測器（active sensor）。由於並不是利用太陽放射電磁波能源的被動型感測器（passive sensor），因此無論白天或黑夜均可進行觀測。此外，SAR照射微波（圖-1.1.4），波長比雲、雨等大氣中微粒大小還長，因此不易被雲等所影響。

這種SAR具有「全天候性」的特徵，其優點在於無需在意時段或氣象情況即可進行觀測。

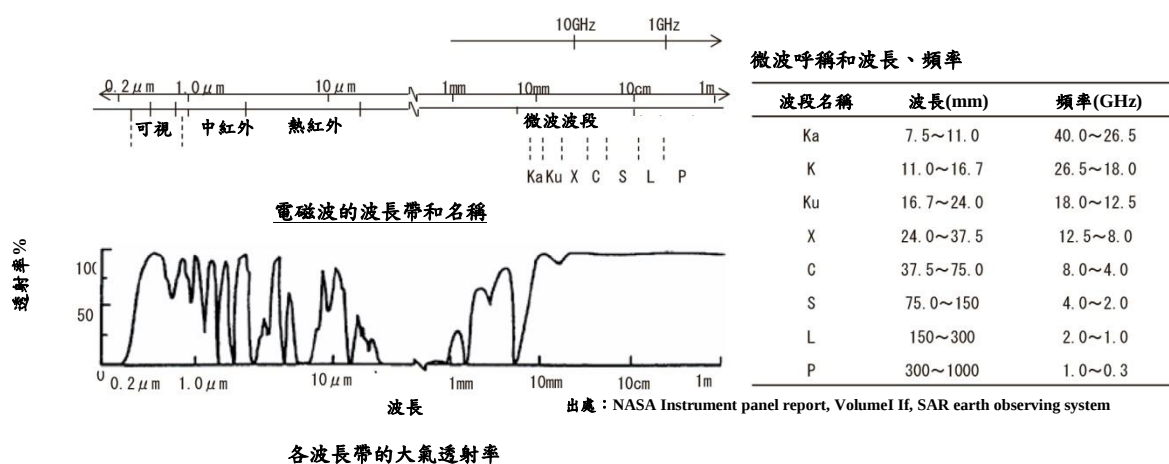


圖-1.1.4 微波和大氣、雲、雨的關係

出處：遙測技術研修講義「微波遙測」

1.微波的特徵 從微波和大氣、雲、雨的關係（RESTEC製作、編輯）

1.3 波長（波段）

SAR在電磁波中也使用微波（波長約0.1~100cm）。如圖-1.1.5所示，根據波長細分波段名稱。

像是X波段波長較短的微波，會在草地和樹冠、樹木葉片表面產生散射。另一方面，像是L波段的長波長時，會穿透草地和樹冠，而在樹幹和地表面產生散射。關於因波長而異的散射特性，將在「第1篇1.4散射特性」中敘述。

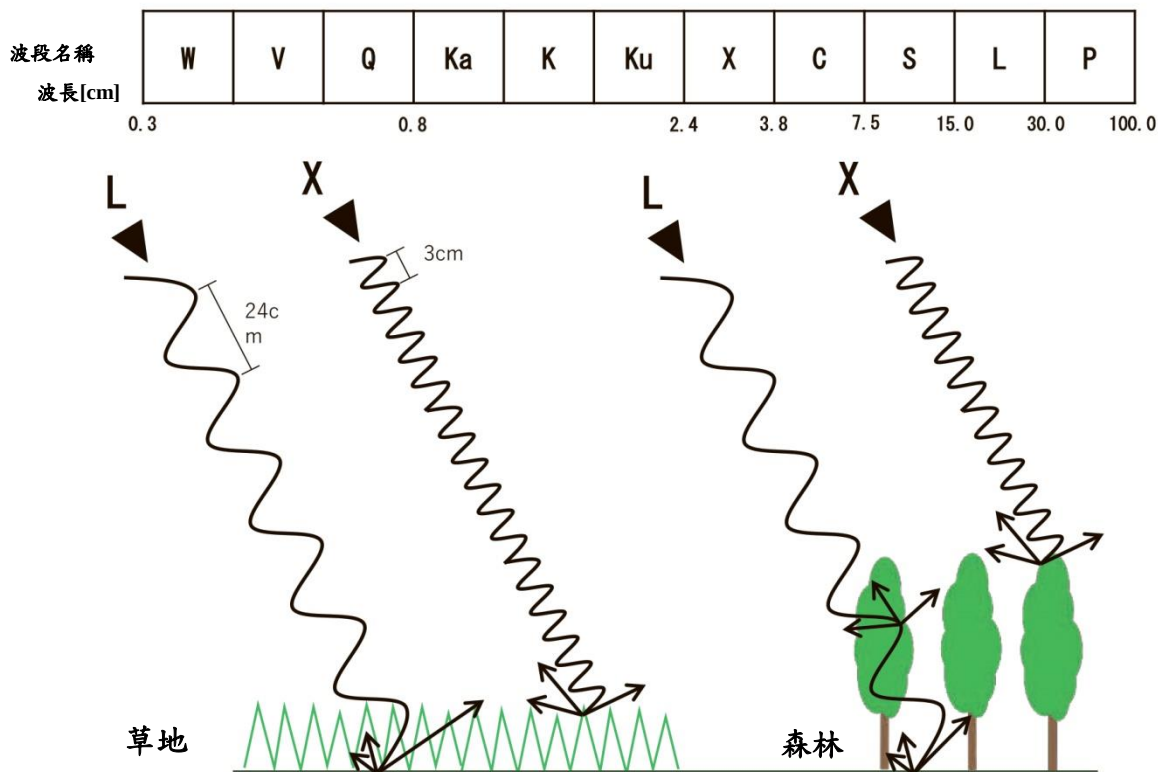


圖-1.1.5 波段名稱和波長的分類和特徵

1.4 散射特性

照射的微波在地表面等上散射後，返回照射方向側的微波強度即稱為「背向散射強度」，並在SAR觀測數據資料上記錄成「背向散射係數」。背向散射係數根據散射面的粗糙性，具有入射角依存性。

背向散射係數如下。

將傳輸功率(transmit power)定為 P_t 、波長定為 λ 、來自天線的距離定為 R 、天線・增益定為 G 、雷達截面積定為 σ 後，讓SAR適用透過單一天線傳送和接收電波的單基地雷達(monostatic radar)方程式，以公式-1.1.1表示接收功率(received power) P_r 。

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \sigma \quad \text{公式-1.1.1}$$

背向散射係數(σ^0)為各散射面單位面積(A)的雷達截面積(σ)，以公式-1.1.2表示。

$$\sigma^0 = \frac{P_r (4\pi)^3 R^4}{P_t G^2 \lambda^2 A} \quad \text{公式-1.1.2}$$

1.4.1 表面散射(surface scattering)

從SAR照射的微波在地表等邊界面散射，即稱為「表面散射」。表面散射會受到邊界面粗糙性所影響。對平滑的表面而言，與微波照射方向呈反方向的散射（前向散射）會變大；對粗糙邊界面而言，朝微波照射方向側的散射（背向散射）會變大的特性（圖-1.1.6）。

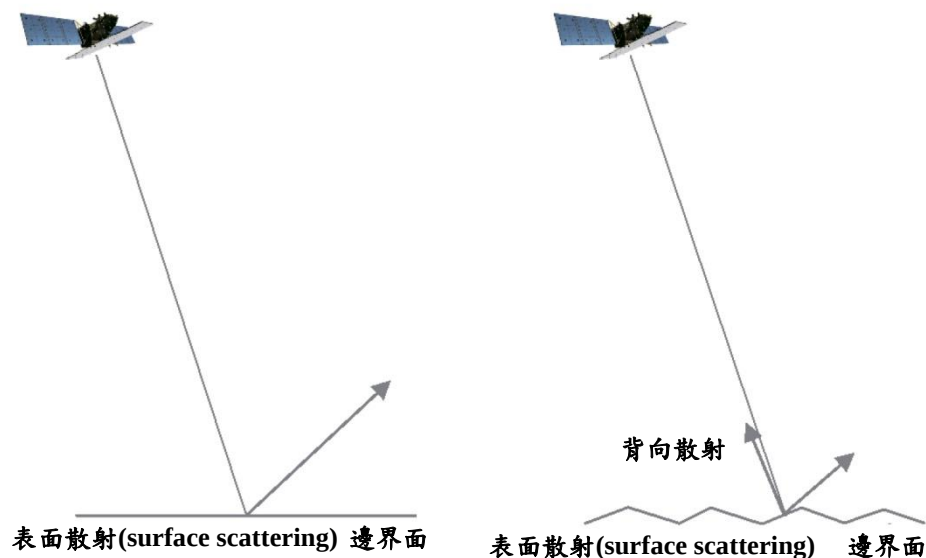


圖-1.1.6 表面散射概念圖

1.4.2 體散射

從SAR照射的微波透過邊界部進入後，藉由內部介電常數(permittivity)的不均一性所產生的散射，即稱為「體散射」。屬於微波侵入內部所產生的一種現象，因此處理長波長的微波時，具有不易產生表面散射低介電常數的平滑邊界面對象，在觀測時需注意。

若為L波段時，森林內部的體散射為典型例，而且必須同時考量樹木內部的體散射和地表面的表面散射（圖-1.1.7左）。

1.4.3 雙重散射

如圖-1.1.7右所示，在表面散射後再度產生散射，而形成擴大背向散射的「雙重散射」現象。有時微波照射方向正對建造物和結構物等時會強烈發生。

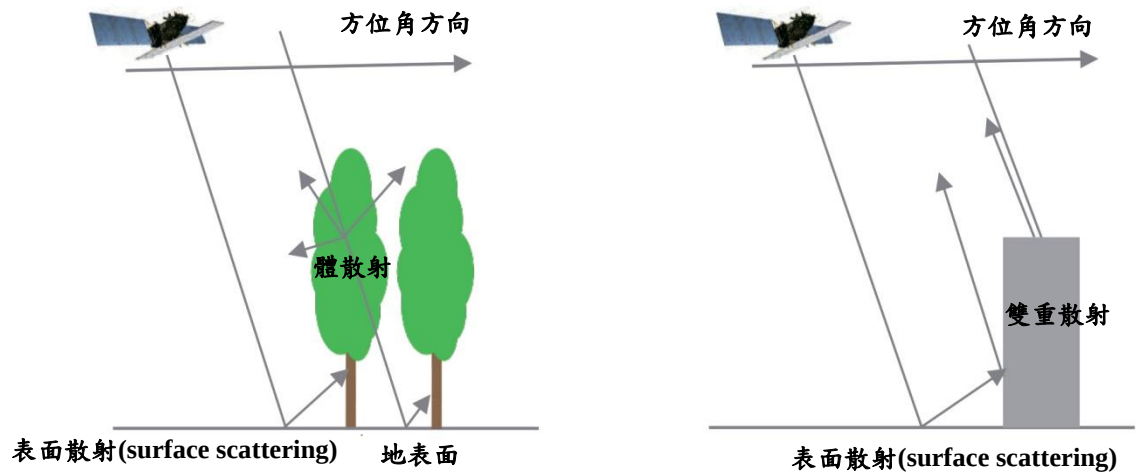


圖-1.1.7 體散射和雙重散射概念圖

1.5 偏振特性(polarization characteristics)

電磁波是依包括電場方向在內的面（偏振面），而分類成水平偏振（振幅對行進方向具有水平的面：H）和垂直偏振（振幅對行進方向具有垂直的面：V）（圖-1.1.8），並透過傳送和接收的組合。而以HH、HV、VH、VV做呈現（第1個文字：照射、第2個文字：接收）。

電磁波有時會依物件的幾何學形狀，而在反射或散射時改變偏振的狀態。因此會有使用微波SAR時，水平偏振和垂直偏振所生成的圖像會不同的特徵。

對於像是森林這種有立體結構的物件照射水平偏振（H）時，有部分會旋轉，並反射為垂直偏振（V）；照射垂直偏振（V）時也同樣具有部分反射為水平偏振（H）的性質。將HH及VV稱為「同極化」，會依此偏振特性，對森林等體散射鮮明的觀測對象縮小背向散射。另一方面，將HV及VH稱為「交叉極化」，對森林等會擴大背向散射。

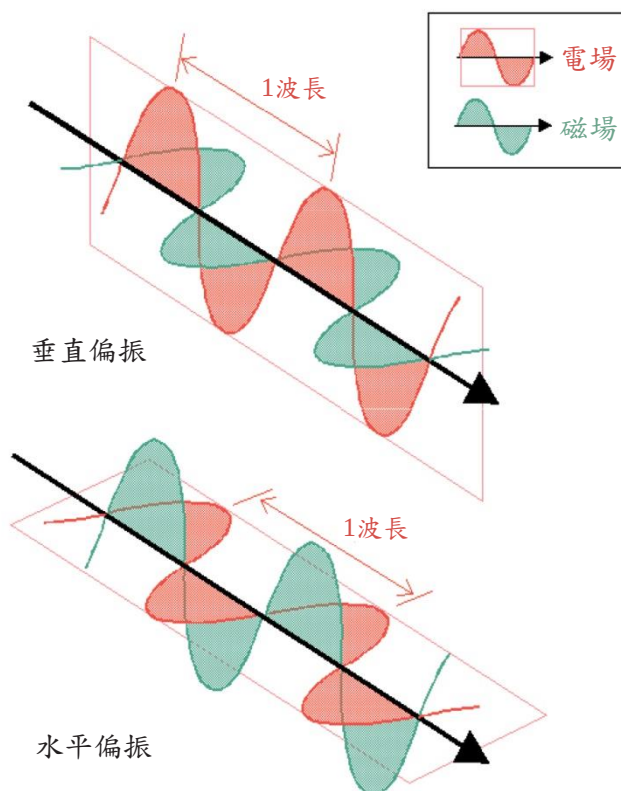


圖-1.1.8 水平偏振、垂直偏振概念圖

出處：遙測技術研修講義「微波遙測」

3-2.源自SAR圖像的特徵偏振測定法(polarimetry) (RESTEC製作、編輯)

2. SAR圖像

2.1 SAR圖像的生成

「SAR圖像」是以根據SAR所觀測之地表各點上的背向散射強度的濃淡等級為各畫素之後，建立成可視化的數據資料。將表示某偏振背向散射強度的SAR圖像，稱為「單偏振SAR圖像」。

圖-1.2.1為單偏振SAR圖像。可從單偏振SAR圖像確認到呈馬蹄形如同滑坡懸崖般的地形特徵。此外，朝滑坡懸崖正下方南北向流動的河道內，是由具有強烈背向散射意義的淺色為主導，有可能有堆積土砂。再者，在崩積土的上游側（北側）可發現，有些許被研判為積水領域，且背向散射明顯偏低的深色所呈現的範圍，可依此推測因河道閉塞而形成堰塞湖。

綜上所陳，藉由採用空間解析度高的單偏振SAR圖像的地形判讀，大多能掌握到平面投影面積大約在10,000m²以上的大規模坡面崩塌等所致的河道閉塞區位。關於詳細，請參照國總研資料第760號。

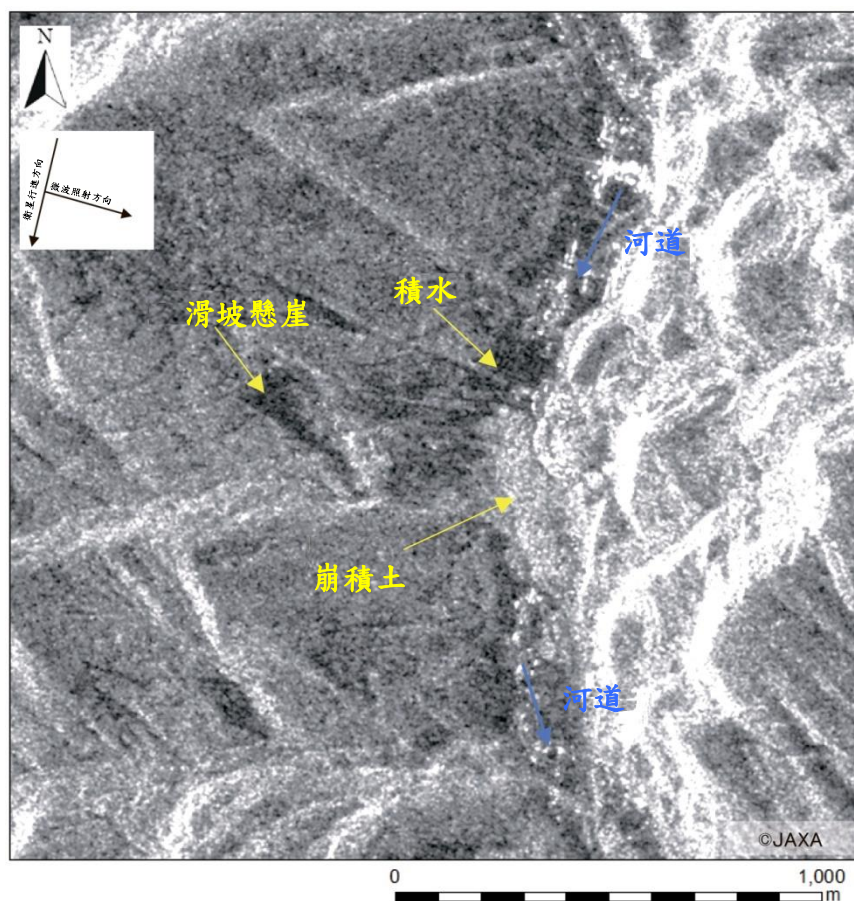


圖-1.2.1 單偏振SAR圖像例（大分縣日田市）

2.2 SAR圖像的特徵

因「第1篇1.1 SAR的觀測原理」的前述主因，而使SAR圖像看似失真（地形呈顛倒的倒塌）鳥瞰圖的檢視方法。此外，SAR圖像上可見的背向散射強度，是以形成散射面的土地覆蓋和因應其紋理的濃淡顏色做呈現，因此難以用直覺來解釋觀測物件。在圖-1.2.2的單偏振SAR圖像中，祖谷川的彎道部分明顯失真，而難以區別森林和農地等。

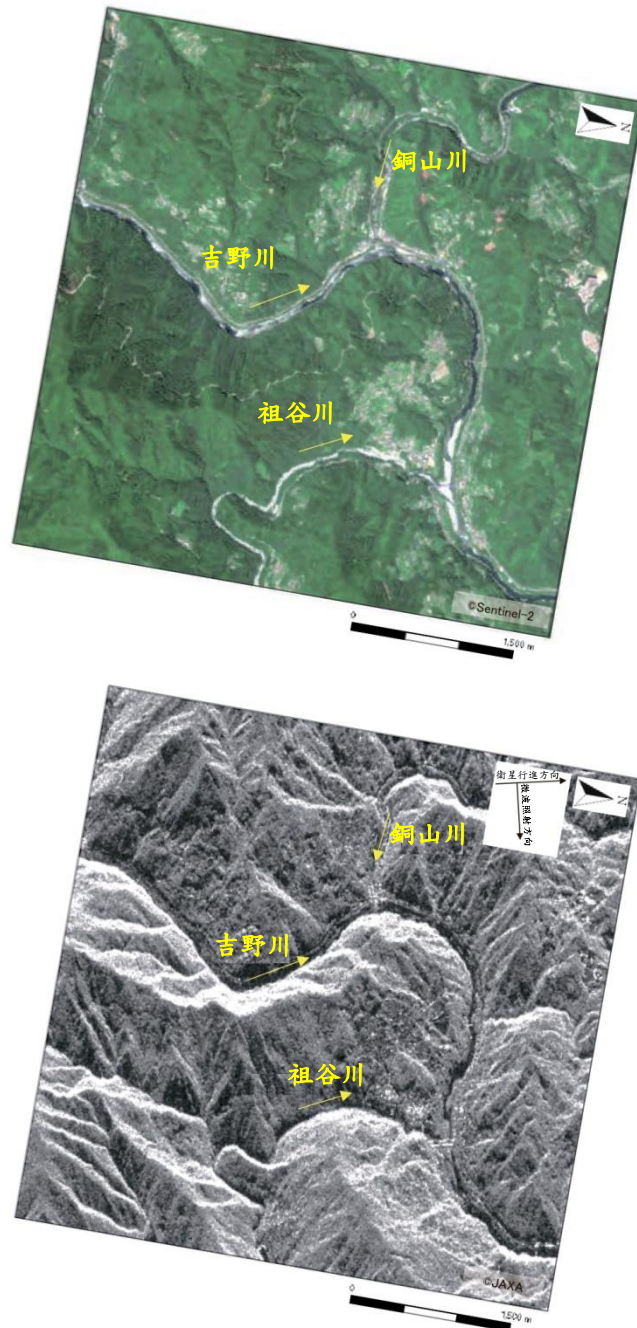


圖-1.2.2 光學圖像（上）和單偏振SAR圖像（下）檢視方法的不同（德島縣三好市）

2.3 SAR圖像的注意事項

有可能因「第1篇1.1 SAR的觀測原理」所述之微波照射方向為斜下方和地形之間的幾何關係，而在SAR圖像內發生失真或起因於此的不可視範圍。此影響統稱為「幾何學圖形的圖像調製」，以下將以3點進行解說。

2.3.1 前縮透視(foreshortening)

以微波傳送和接收所需往返時間，決定SAR觀測物件圖像上的位置。觀測物件如有高度時，只有縮短微波傳送和接收時間的部分會投影在身前側，在SAR圖像上具有高程的物件，則可看出倒向微波照射方向側。將此現象稱為「前縮透視」。

以圖-1.2.3所示富士山為案例進行解說時可看出，相較於實際情況，所投影出顯示高程較高的山頂點 A ，看似倒向微波照射方向側（西側）的點 A' 位置。另一方面，低高程區位受前縮透視的影響較小，實際位置點 B 和點投影位置 B' 幾乎不變。

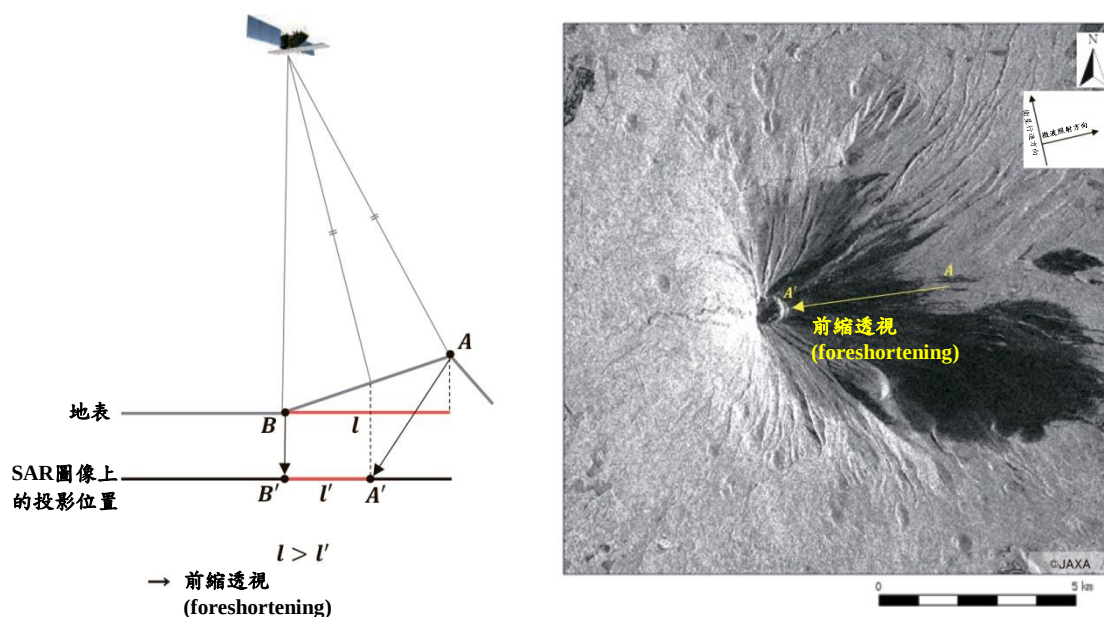


圖-1.2.3 前縮透視的模式圖和單偏振SAR圖像案例（富士山周邊）

2.3.2 疊置

有時當坡面的傾斜度變大時，會擴大前縮透視的效果，而以逆轉方式投影坡面的頂端和底端的位置關係。將此現象即稱為「疊置」。

以圖-1.2.4所示富士山為案例進行解說時可看出，富士山頂的點 A 在西側發生大幅的前縮透視，而以覆蓋西側坡面的點 B 方式進行投影後，西側坡面（區間 $AB-BC$ ）變成廣闊的不可視範圍。此外，發生疊置的西側坡面因散射密集，因此是以在SAR圖像上，透過顯著的淺色，顯示有無大幅背向散射強度為特徵。

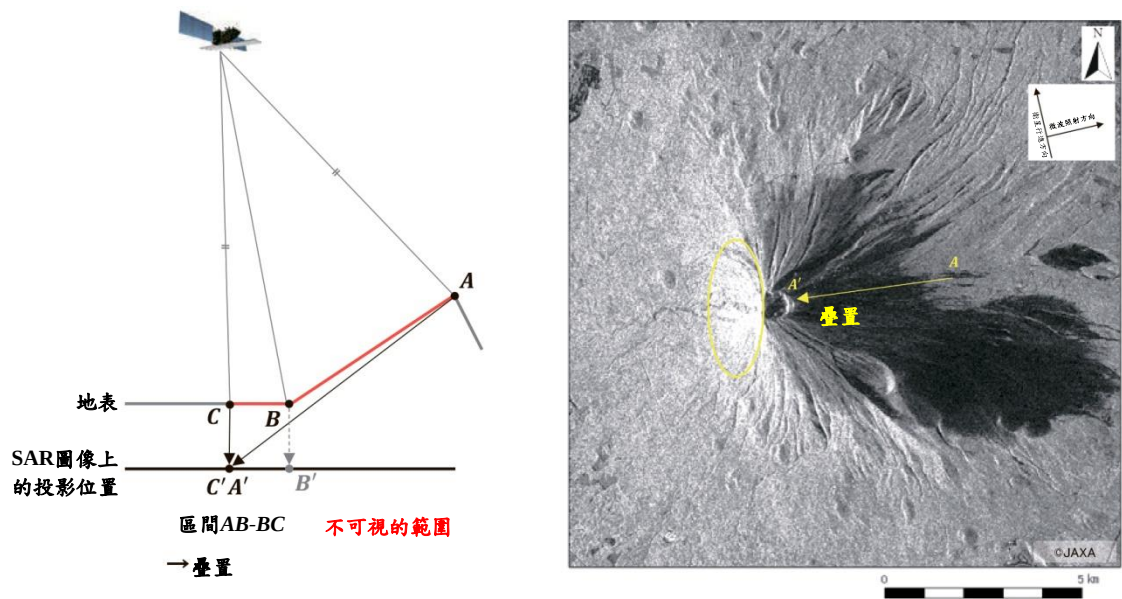


圖-1.2.4 疊置的模式圖和單偏振SAR圖像案例（富士山周邊）

2.3.3 雷達盲區(radar shadow)

未照射微波而形成坡面陰影的區位，則在完全不產生散射之下，在SAR圖像上投影出猶如產生陰影效果的情況。此稱為「雷達盲區」，此範圍為不可視。側視角變大時，發生雷達盲區的範圍也將一併擴大。

以圖-1.2.5所示富士山為案例進行解說時可看出，由於微波未到達地表面，因此從富士山的山頂A到東側坡面產生雷達盲區。雷達盲區部並無散射的微波，因此在SAR圖像上，背向散射明顯偏低，並以深色做呈現。在識別上需注意，水面等平滑平地部所發生的表面散射和辨識性極為類似。

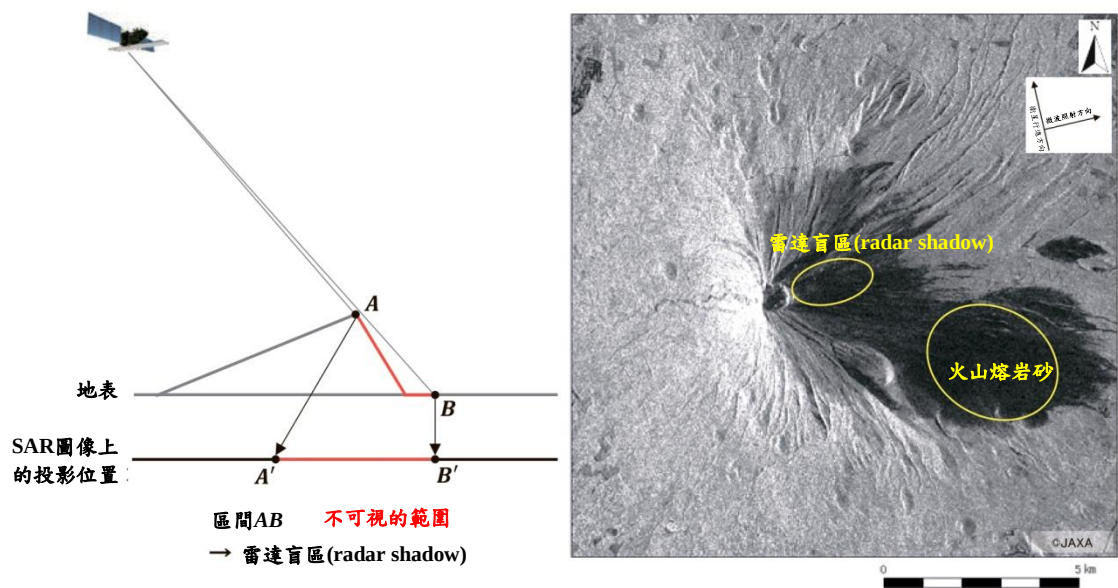


圖-1.2.5 疊置的模式圖和單偏振SAR圖像案例（富士山周邊）

2.4 SAR圖像的解析度

點A和點B的2點間距離充足時，雖可識別分別散射的微波，但點A和點B的位置關係相近時，就無法識別各散射情況（圖-1.2.6）。這種可識別極限的2點間距離即稱為解析度。

但可判別為SAR圖像解析度的觀測對象大小不同，一般而言，在辨識特定對象上，需要10~20倍左右的解析度規模。

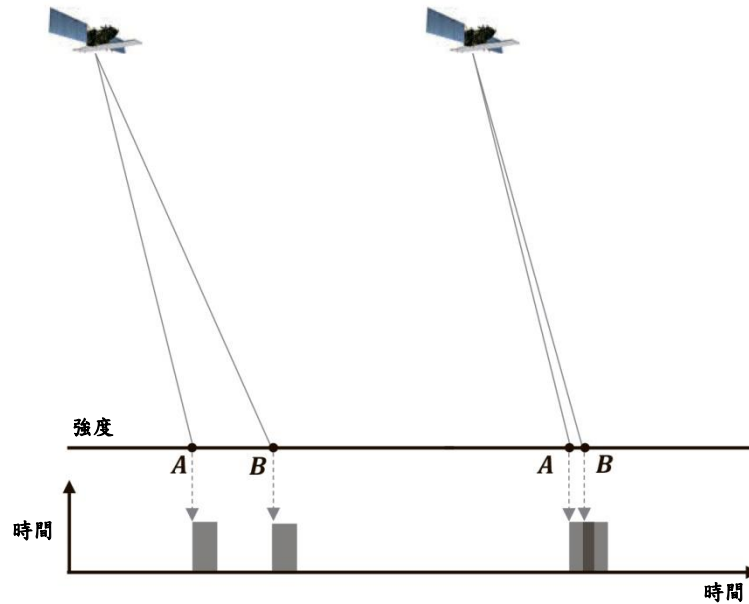


圖-1.2.6 解析度概念圖

以公式1.2.1表示SAR圖像的解析度 R 〔m〕，在理論上入射角越大解析度越高。

$$R = \frac{c}{2B \sin \theta} \quad \text{公式-1.2.1}$$

c 〔m/s〕：微波空氣中的速度（光速）、 B 〔Hz〕：啣聲訊號(chirp signal)的頻帶寬度、 θ 〔°〕：入射角

2.5 SAR圖像的分析和種類

比較藉由多偏振合成的SAR圖像或不同時期所觀測的SAR圖像後，即生成可更精密判別地上物和地表覆蓋情況的SAR圖像。在本資料中，處理表-1.2.1所示3種SAR圖像。

表-1.2.1 本資料處理的SAR圖像種類和特徵

種類	特徵
單偏振SAR圖像	• 將單一時期的單偏振背向散射強度可視化 • 以濃淡做呈現的圖像
雙偏振SAR圖像	• 將單一時期各偏振的散射特性的差異可視化 • 空間解析度低於單偏振SAR圖像
強度差分SAR圖像	• 將不同時期的單偏振背向散射強度變化可視化 • 非觀測時期，則需相同條件的單偏振SAR圖像

2.5.1 單偏振SAR圖像

單偏振SAR圖像為表示微波散射強度的基本濃淡圖像。除了HH，還可生成HV、VV、VH各偏振成分的單偏振SAR圖像。又，前示圖-1.2.1為HH偏振的單偏振SAR圖像。

在單偏振SAR圖像中，可從表示背向散射強度的濃淡中，大致掌握地形和地表覆蓋情況。特別是水域，具有明顯降低背向散射強度的特徵，因此有時可藉由形成的堰塞湖，判讀河道域內的積水領域。

2.5.2 雙偏振SAR圖像

雙偏振SAR圖像是將2種不同偏振散射特性的各向異性，做成可視化的圖像。可透過三原色光(RGB color)合成處理，建立同極化(like polarization)的單偏振SAR圖像和交叉極化(cross polarization)的單偏振SAR圖像。

圖-1.2.7表示依照國總研資料第791號，用R（紅色）：HH偏振、G（綠）：HV偏振、B（藍）：HH偏振進行三原色光合成處理後所建立的雙偏振SAR圖像。森林區域以綠色、無森林的裸地區域則以紫紅色呈現，可從圖像顏色識別包括森林和崩塌地在內的裸地。

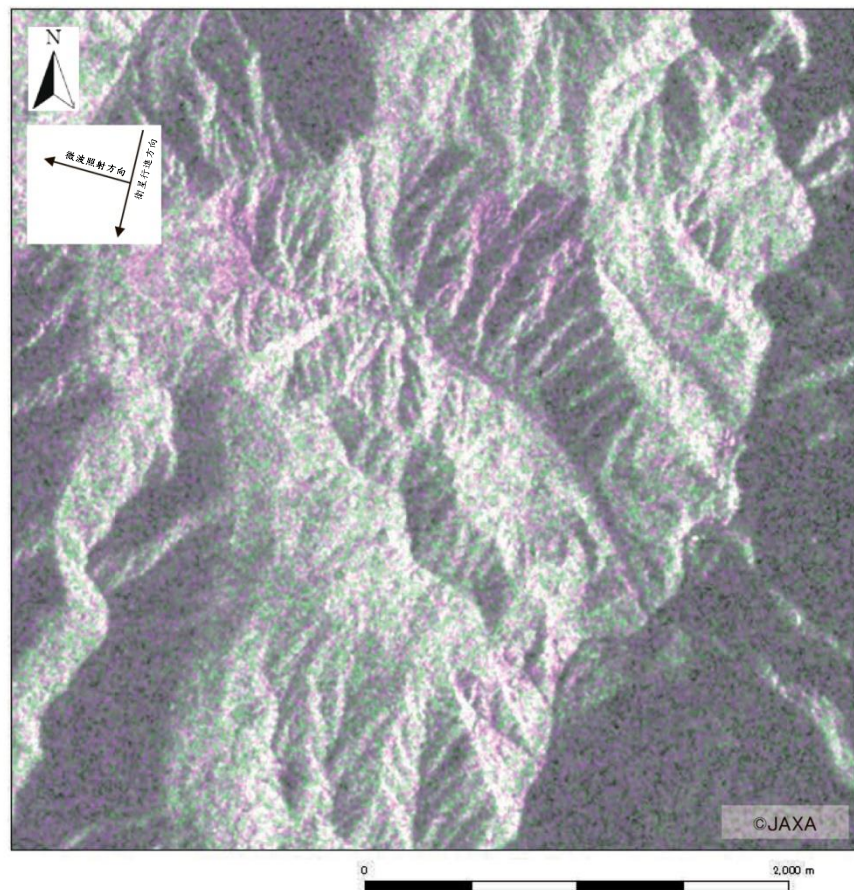


圖-1.2.7 雙偏振SAR圖像例（靜岡縣靜岡市葵區）

2.5.3 強度差分SAR圖像

強度差分SAR圖像是將不同時期觀測到的單偏振SAR圖像間的背向散射強度變化，做成可視化的圖像。可透過三原色光合成處理，建立觀測時期以外的觀測條件相同的2個單偏振SAR圖像。

在本資料中，R（紅色）：歸檔檔案圖像、G（綠）：新觀測圖像、B（藍）：分配新觀測圖像，以建立強度差分SAR圖像（圖-1.2.8）。2時期中，背向散射強度下降處用紅色；背向散射強度擴大之處，則用藍色（接近水藍色的藍綠色）呈現，可透過圖像的顏色變化識別發生土砂災害的情況。

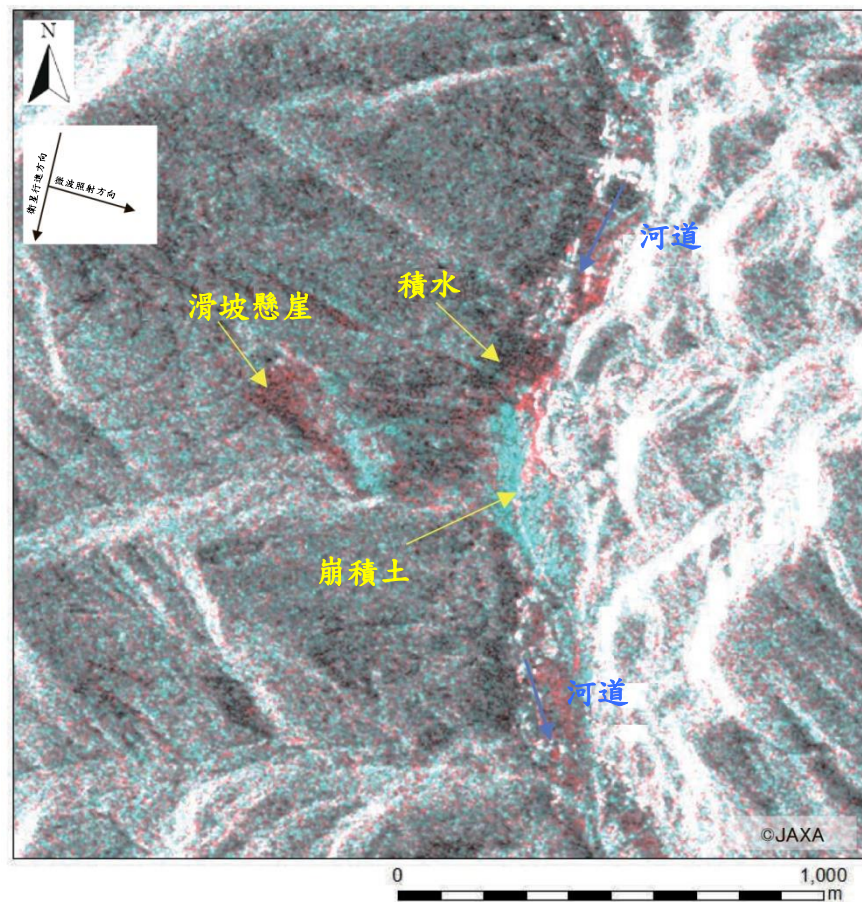


圖-1.2.8 強度差分SAR圖像例（大分縣日田市）

3. 將SAR圖像有效運用於土砂災害判讀調查

3.1 適合土砂災害判讀調查的SAR圖像觀測條件

如「第1篇2.2 SAR圖像的特徵、2.3 SAR圖像的注意事項」所述，SAR圖像因為源自觀測原理特有的失真或地形倒塌，而存在不可視的範圍。可透過考量觀測條件，減輕部分不可視範圍的影響。表-1.3.1表示適合土砂災害判讀調查的SAR圖像觀測條件。

表-1.3.1 適合土砂災害判讀調查的SAR圖像觀測條件

觀測條件	建議值
側視角	30°～45°左右
解析度	～3m左右
波長（波段）	3～30cm左右（X・C・L）

側視角變小時，疊置的影響則變大；側視角變大時，雷達盲區的影響擴大。因此，在土砂災害判讀調查對象的山地地區，採用側視角30°～45°左右所觀測的SAR圖像較為適當。

一般而言，因容易判別地上物和地表覆蓋，因此最好能將解析度更高的SAR圖像善用於土砂災害判讀調查上。在本資料中，是針對用3m左右解析度的SAR圖像所確認的土砂災害判讀調查手法進行解說。

判別發生土砂災害時，X～L 波段中的辨識性差異較小。因此，據預測，若屬X～L 波段所觀測的SAR圖像，即可有效運用本資料所解說之土砂災害判讀調查手法。

3.2 將SAR圖像有效運用於土砂災害判讀調查時的注意事項

3.2.1 SAR圖像內的不可視範圍

「第1篇2.3 SAR圖像的注意事項」如前述所示，SAR圖像會因為發生地形倒塌等而存在不可視的範圍。在土砂災害判讀調查對象的山地地區，更明顯呈現此影響。

圖-1.3.1為土砂災害的發生情況和強度差分SAR圖像辨識性的對比。以此要領，注意依SAR圖像所做的土砂災害判讀調查中，存在無法判讀崩塌地的範圍，且必須意識微波照射方向和坡面方向之下，處理判讀調查結果。

再者，無論「第1篇2.5 SAR圖像的分析和種類」所述SAR圖像的種類為何，均會產生這種不可視的範圍。

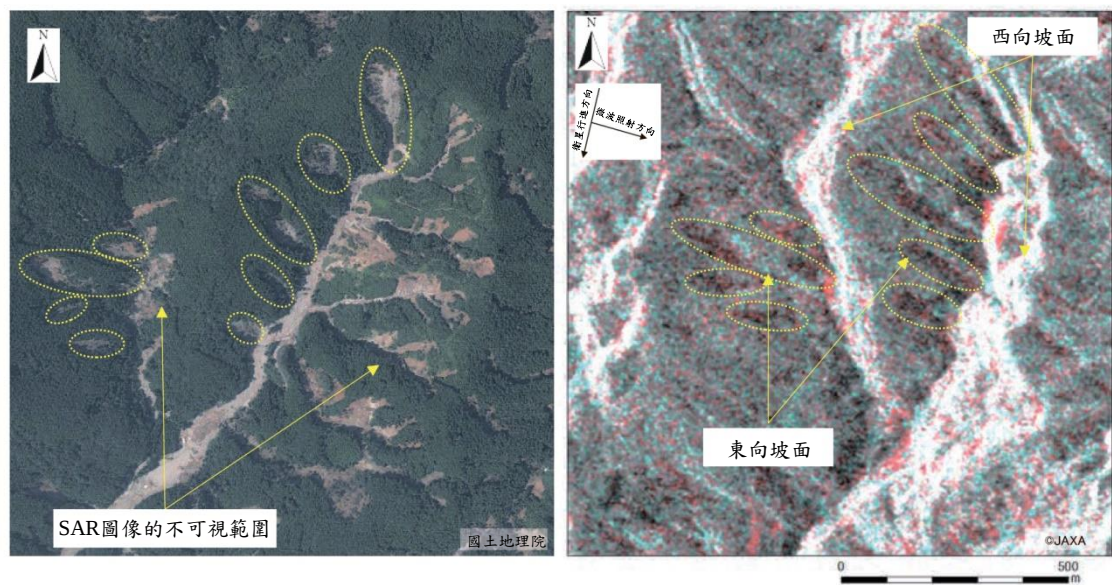


圖-1.3.1 SAR圖像不可視範圍例（福岡縣朝倉市）

3.2.2 藉由SAR圖像識別地上物的課題

以山地地區為對象實施土砂災害判讀調查時，從SAR圖像所得的偏振特性和背向散射強度的變化當中，有發生土砂災害和呈現類似樣貌的區位，因此有可能發生誤判。

在雙偏振SAR圖像中，難以識別採伐地和既有崩塌地等裸地（圖-1.3.2），因此在強度差分SAR圖像上，需注意2時期的人為改變（森林採伐、地形改變等）和季節變化（農地積水等）（圖-1.3.3）。第2篇將詳述強度差分SAR圖像變化的相關解釋。

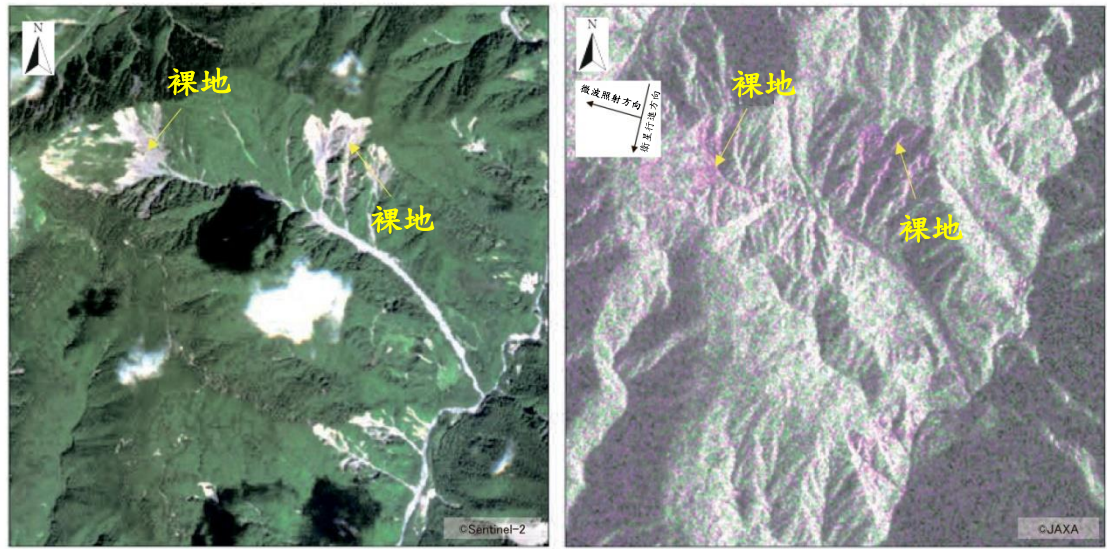


圖-1.3.2 雙偏振SAR圖像中的裸地模樣（靜岡縣靜岡市葵區）

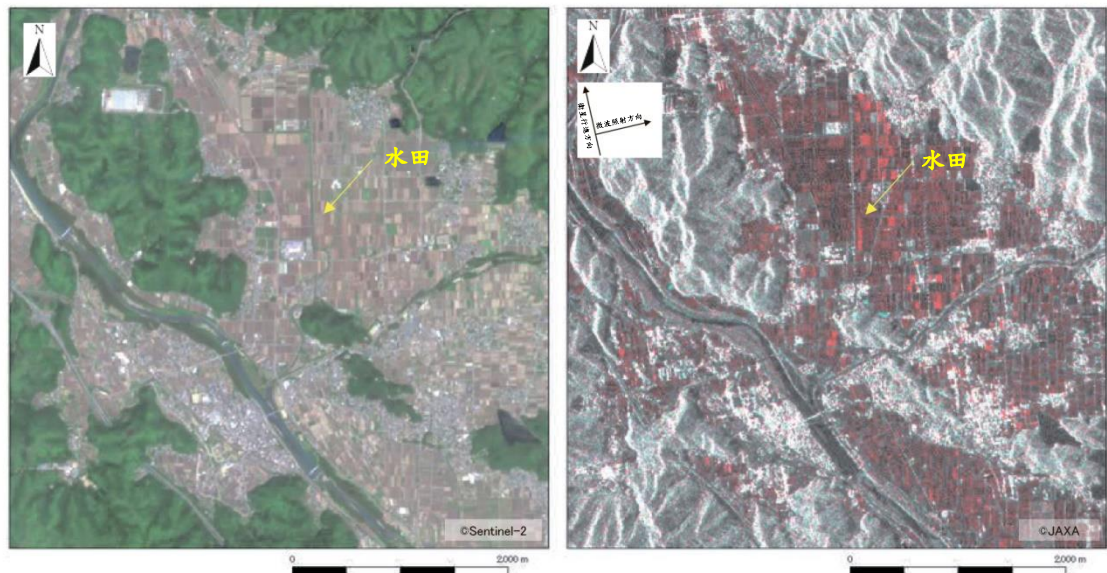


圖-1.3.3 在強度差分SAR圖像上的水田模樣（京都府南丹市）

第2篇 解說根據SAR圖像的土砂災害判讀調查手法

1. 依SAR圖像所做的土砂災害判讀調查手法的選擇

1.1 根據可取得SAR圖像的條件進行選擇

選擇依SAR圖像所做土砂災害判讀調查的手法時，則根據可取得單偏振SAR圖像的觀測條件，判斷要採用雙偏振SAR圖像或強度差分SAR圖像。此SAR圖像的選擇流程如圖-2.1.1所示。

首先，選定實施土砂災害判讀調查範圍。接著，搜尋囊括調查範圍的SAR觀測實際績效後，確認可否用等同歸檔檔案的觀測條件進行新觀測。

若可以時，則要求以相同觀測條件進行觀測，再透過歸檔檔案和新觀測，取得單偏振SAR圖像。運用上述方式生成強度差分SAR圖像，以實施土砂災害判讀調查。

無法用等同歸檔檔案的觀測條件進行新觀測時，要求藉由雙偏振進行觀測，以取得SAR數據資料。從雙偏振的SAR觀測數據資料生成雙偏振SAR圖像，以實施土砂災害判讀調查。

再者，歸檔檔案的搜尋或觀測要求，必須向標的SAR的運用者和數據資料處理者等進行確認。

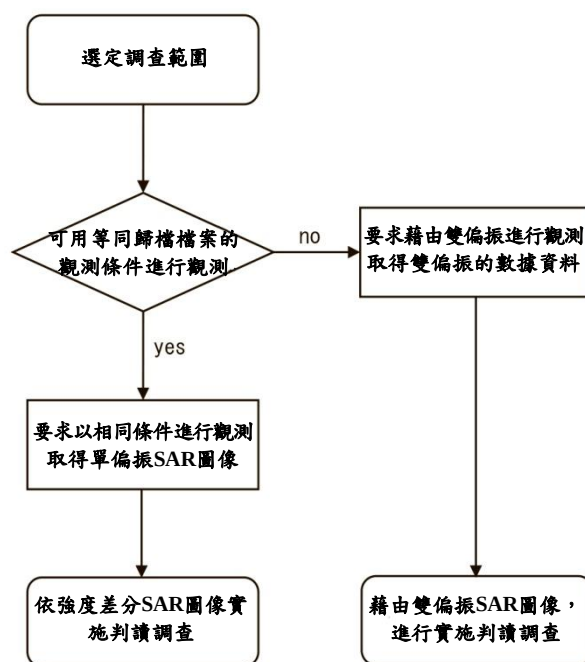


圖-2.1.1 根據可取得SAR圖像的條件進行選擇土砂災害判讀調查手法的流程

1.2 根據作為判讀調查對象的土砂災害規模選擇

可根據作為判讀調查對象的土砂災害規模選擇（表-2.1.1）。

依據國總研資料第791號，雙偏振SAR圖像可應用在大約10,000m²以上大規模崩塌及河道閉塞的判讀。對於10,000m²以上的大規模崩塌及河道閉塞而言，強度差分SAR圖像的準確率較高，辨識2,000m²以上較小規模的崩塌，也能獲得7成程度的檢出結果（將於第3篇詳述）。發生高密度淺層崩塌時，若為可特定該範圍和外緣程度的精準度，即可充分應用。

因此，符合「第2篇1.1根據可取得SAR圖像的條件選擇」所示條件時，建議依強度差分SAR圖像進行判讀調查。

表-2.1.1 本資料處理的SAR圖像種類

依SAR圖像所做的土砂災害判讀調查手法	大規模崩塌河道閉塞	小規模崩塌
藉由雙偏振SAR圖像，進行判讀調查	○ (可適用)	× (不可適用)
依強度差分SAR圖像進行判讀調查	○ (檢測約8成)	○ (可能檢測過半數)

※ 大規模：正射面積10,000m²以上、小規模：正射面積2,000m²以上、

※ 不可視的範圍不包含於驗證中

2. 依雙偏振SAR圖像所做的土砂災害判讀調查

有時可藉由高空間解析度的雙偏振SAR圖像的判讀，掌握大規模坡面崩塌和起因於此的河道閉塞區位。詳細請參照國總研資料第791號。

3. 依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查

針對依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查，使用2018年北海道膽振東部地震案例進行解說。再者，後續土砂災害判讀調查是以有效運用GIS軟體，或圖像處理軟體所具備的標準功能為前提。

3.1 強度差分SAR圖像的生成

如第1篇所述，強度差分SAR圖像備有分別在災害前和災害後觀測的單偏振SAR圖像，可呈現背向散射強度的變化。已取得2種發生地震前（2018年8月23日）所觀測的單偏振SAR圖像（歸檔檔案）和剛發生地震後（2018年9月6日）新觀測的單偏振SAR圖像。將這些圖像分配為R（紅）：2018年8月23日、G（綠）：2018年9月6日、B（藍）：2018年9月6日，再透過三原色光合成處理生成強度差分SAR圖像（圖-2.3.1）。

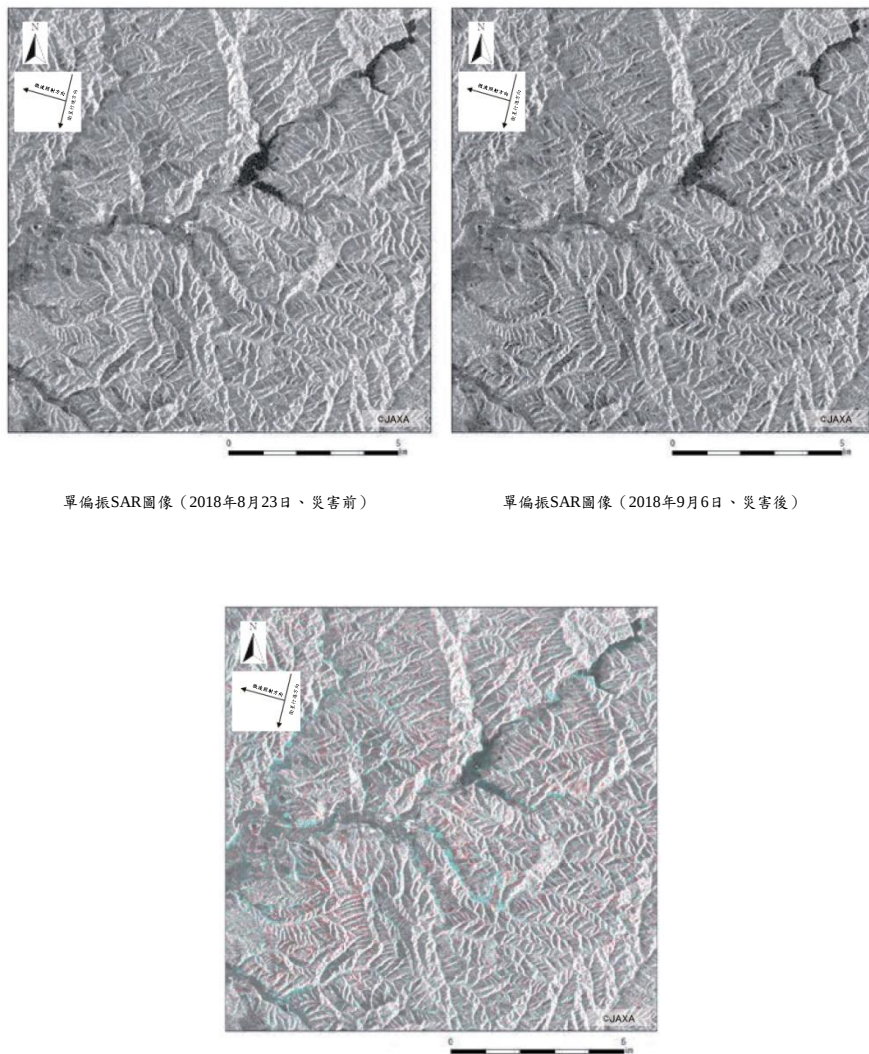


圖-2.3.1 強度差分SAR圖像的生成（北海道厚真町、鵜川町）

3.2 強度差分SAR圖像的解釋

在土砂災害判讀調查上，從表示災害前後背向散射強度變化的強度差分SAR圖像上的顏色變形中，掌握流入崩塌土砂和坡面崩塌的可能性較高的區位。表-2.3.1表示強度差分SAR圖像上的顏色和背向散射強度的變化關係。

森林或農地等，平常便屬背向散射較大的區位，若在災害前後無變化時，則在強度差分SAR圖像上，以白色做標示。此外，海面等如同水域般背向散射明顯較小的區位，若在災害前後並無變化時，則在強度差分SAR圖像上，以黑色做標示。如圖-2.3.2所示，若因發生災害而使土砂流入水田等時，會在災害後增加背向散射強度，因此在強度差分SAR圖像上，用藍色呈現；因坡面崩塌而流出森林的區位，會在災害後降低背向散射強度，因此在強度差分SAR圖像上用紅色呈現。

表-2.3.1 強度差分SAR圖像上的顏色和背向散射強度的變化

顏色	災害前後的背向散射強度變化	例
白	有背向散射強度、無變化	森林、農地
黑	背向散射強度小、無變化	海面、湖面
藍色	災害後增加背向散射強度	土砂流出、漂流物
紅色	災害後的背向散射強度下降	坡面崩塌、淹水與積水

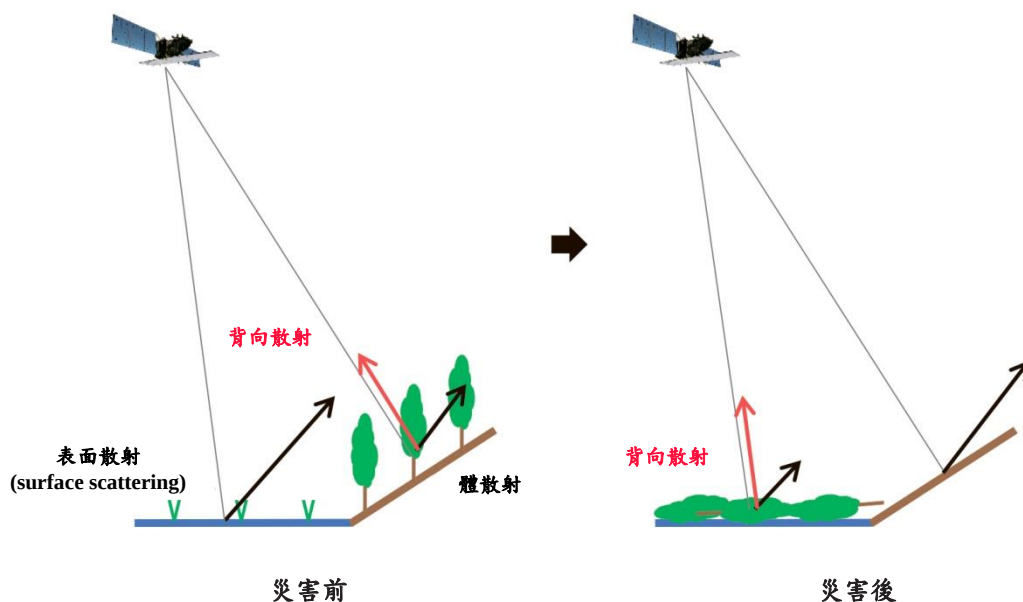


圖-2.3.2 背向散射強度因發生土砂災害而起變化的示意圖

用圖-2.3.3比較強度差分SAR圖像和光學圖像時，強度差分SAR圖像上的紅色範圍，有絕佳因應光學圖像上的崩塌地位置。因發生坡面崩塌流失森林等，而造成平滑崩塌面外露的結果，清楚呈現背向散射強度低於災害前的情況。此外，在強度差分SAR圖像上顯現線狀的藍色變形，符合光學圖像的谷底平野部。農地等平滑平地部上，會因為流出崩塌土砂等，而呈現比災害前背向散射強度增加的模樣。

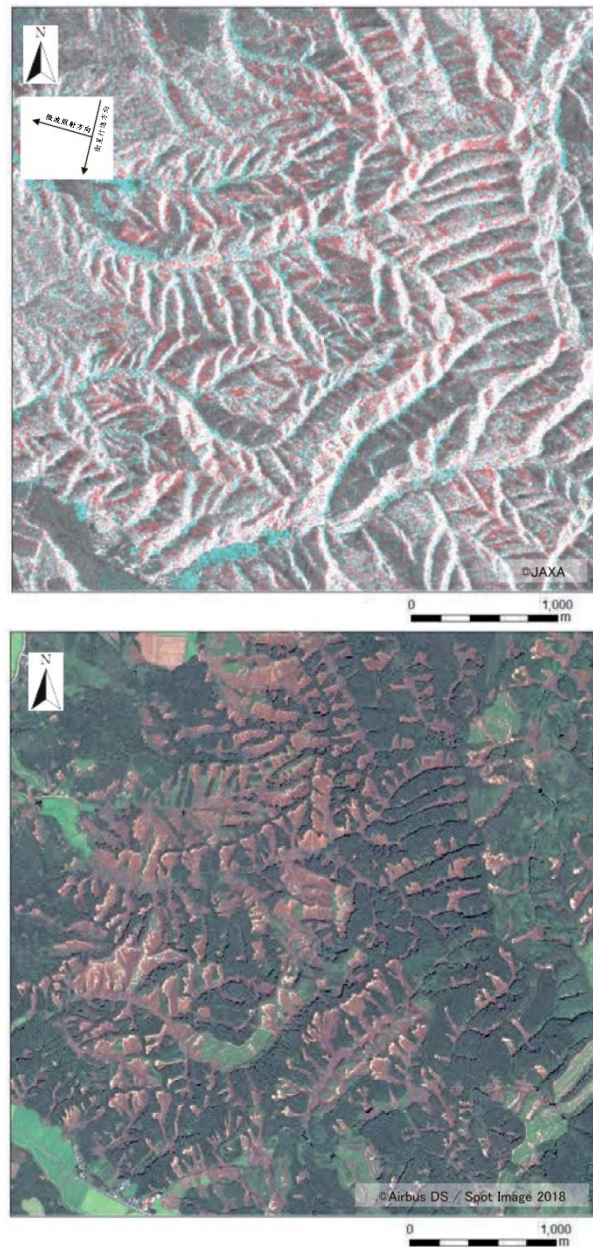


圖-2.3.3 強度差分SAR圖像（上）和光學圖像（下）（北海道厚真町、鵠川町）

3.3 強度差分SAR圖像的標示和檢視方式

標示進行土砂災害判讀調查時的強度差分SAR圖像，以表-2.3.2所示比例尺最為適當。

首先，用1:50,000左右的比例尺進行標示後，俯瞰強度差分SAR整體圖像以進行概查。在概查中，確認有無紅色或藍色等變形，並如圖-2.3.4左所示，設定實施詳細判讀的範圍。

接著，用1:25,000左右的比例尺進行標示後進行徹底調查。在作為參考上，確認各山谷有無變形，並確認有無代表土砂流往山谷出口或谷底平原等平原部位時的藍色範圍，或是代表因上游部崩塌而顯現裸地坡面的紅色範圍（圖-2.3.4中央）。在平原部位上，最好能從藍色所呈現的變形，意識到推斷不可視範圍的坡面崩塌的一系列現象後，再進行判讀。

最後，以1:10,000左右的比例尺標示強度差分SAR圖像，針對各坡面單位實施判定（圖-2.3.4右）。關於判定方法，則建議採用後述方法。

表-2.3.2 表示強度差分SAR圖像時的比例尺參考

調查階段	比例尺
概查 (俯瞰整體圖像)	1:50,000
徹底調查 (山谷單位的判讀)	1:25,000
判定 (坡面單位的判讀)	1:10,000

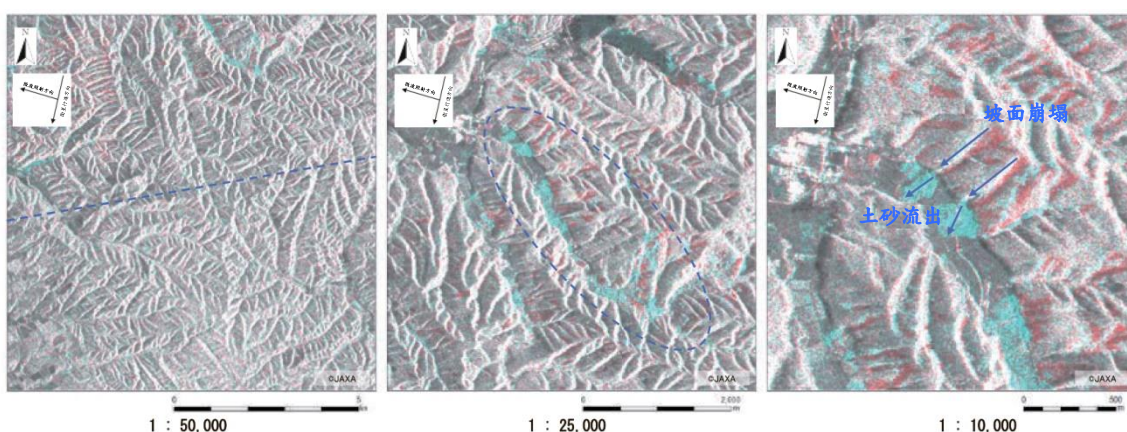


圖-2.3.4 各比例尺標示的強度差分SAR圖像與其檢視方式（北海道厚真町）

3.4 依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查流程

最好以下列步驟1~3階段，展開依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查。

步驟1是在重視調查的速報性之下，依所需最低限度的項目進行判定（圖-2.3.5）。首先，確認強度差分SAR圖像的坡面周邊有無變形，倘若紅色或紅色和藍色的成對形狀有變化時，則目視比較災害前後的單偏振SAR圖像。在災害後的單偏振SAR圖像上，若能看出形成凹地形般的凹陷時，即懷疑有可能發生坡面崩塌。此外，藍色變形鮮明時，則同樣目視確認單偏振SAR圖像，若能確認地形呈隆起般的變化，便有可能因崩塌而堆積土砂。在強度差分SAR圖像上，無法確認紅色或藍色變形時，或無法從災害前後的單偏振SAR圖像的比較，確認地形（凹凸不均）的變化時，即判定難以依強度差分SAR圖像進行判定。

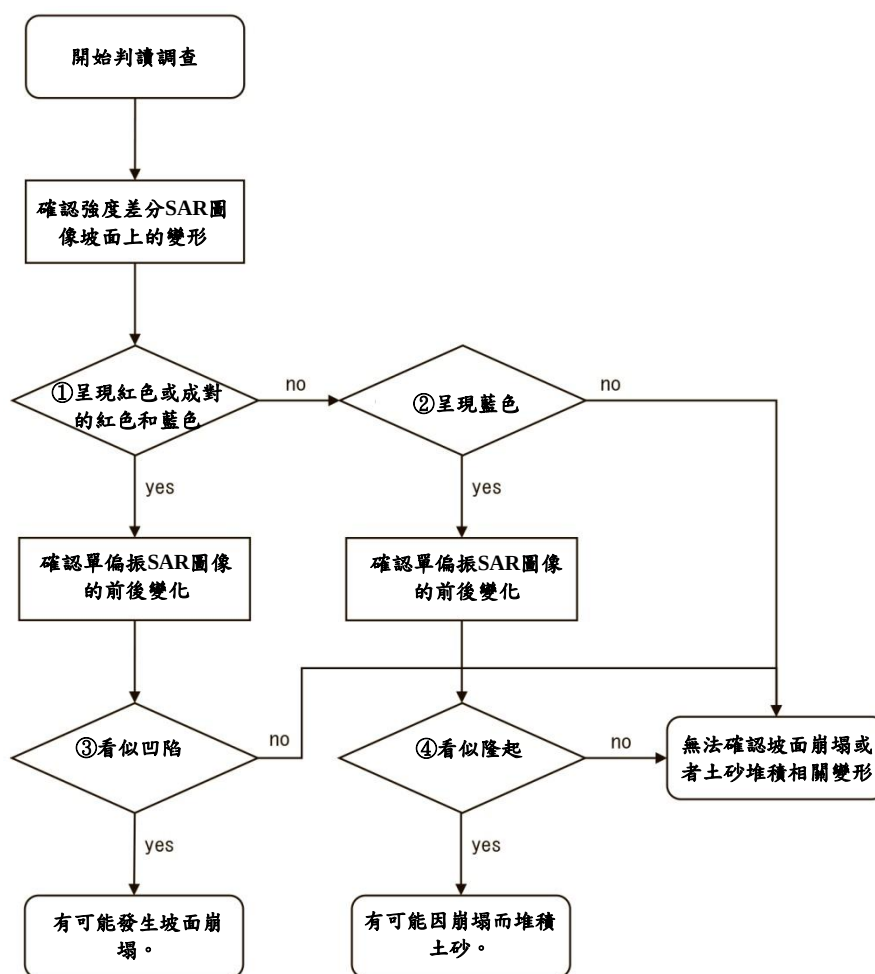


圖-2.3.5 依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查流程（步驟1）

步驟2是針對步驟1所掌握的區位，從SAR圖像以外的資料評估其確實性（圖-2.3.6）。若屬緊急性高的初步災害時，雖可省略本步驟，但最好能在掌握的區位少時著手實施。

在步驟1中符合「有可能發生坡面崩塌。」時，則從地形圖確認為斜坡。以含有坡度為 20° 以上的坡面為基準。接著，參照地形圖和災害前的光學圖像（衛星照片或空拍圖等），確認該坡面的人為改變可能性低、和發生災害前曾經是森林。完全符合上述條件時，即判斷為「發生坡面崩塌的可能性高。」。

此外，「有可能因崩塌而堆積土砂。」時，同樣是從地形圖確認為平地。只需可從山谷出口、谷底平原等地形和住宅地、農地等土地利用進行判斷的程度，即可作為判斷平地的基準。其後，參照地形圖和災害前的光學圖像，針對相應範圍確認人為改變的可能性低，並鄰接紅色變形。完全符合上述條件時，「因崩塌而堆積土砂的可能性高。」。

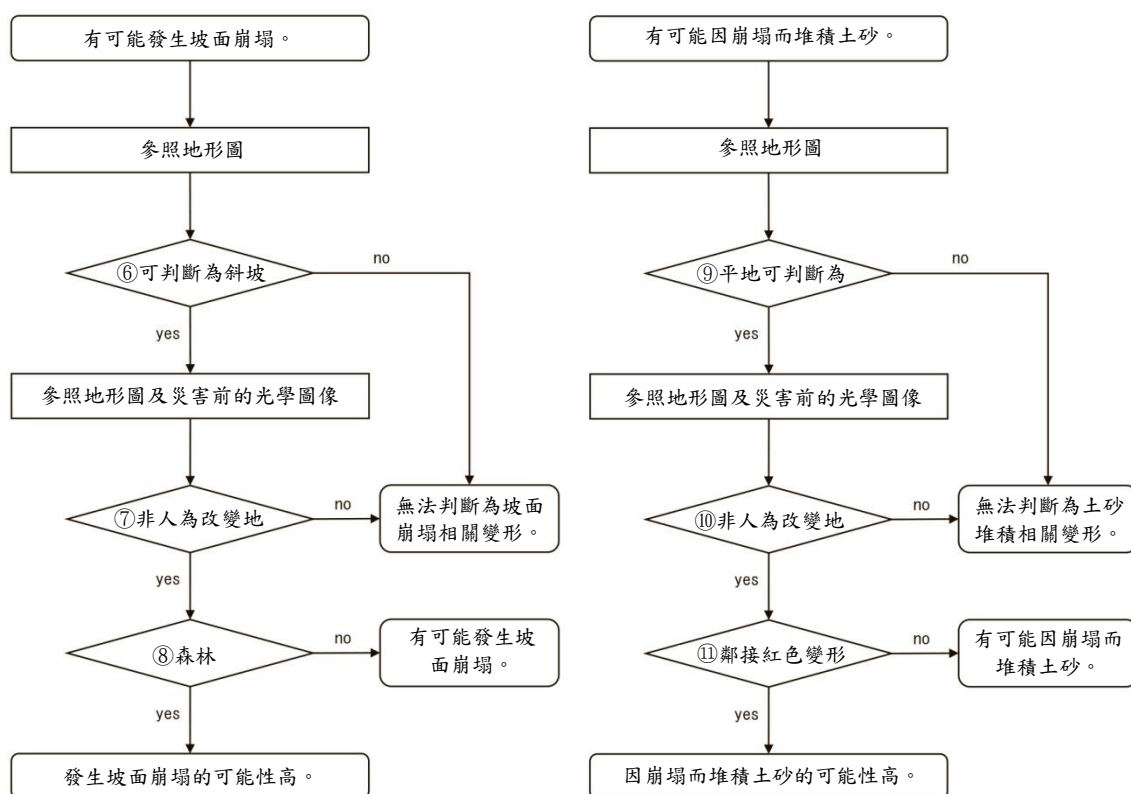


圖-2.3.6 依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查流程（步驟2）

步驟3是針對形成河道閉塞的可能性，確認所有符合步驟1「有可能發生坡面崩塌。」的區位（圖-2.3.7）。鑑於特定河道閉塞區位的緊急性，必須同樣按步驟1的要領確認，以作為第一次報告結果為佳。

從強度差分SAR圖像，確認河道內是否呈現藍色變形，或河道上游側呈現紅色範圍，倘若任一項皆符合時，即參照地形圖和災害前的光學圖像，確認並不是既設的水壩和蓄水池等被看錯。完全符合上述條件時，

「形成河道閉塞的可能性高。」。此外，若使用初步期所觀測的SAR圖像時，因設想會因為河道閉塞而縮小積水規模，因此被判斷「有可能形成河道閉塞。」的區位，最好也要進行監視或追加調查。

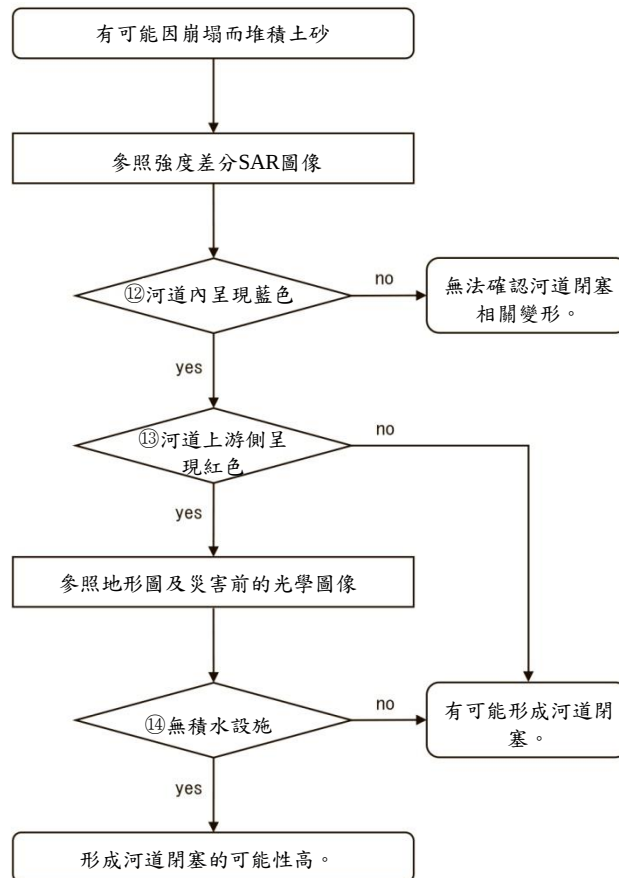


圖-2.3.7 依強度差分SAR圖像判斷有無形成河道閉塞的著眼點（步驟3）

3.5 依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查檢查表

依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查中，實施者的評估觀點或經驗，有可能影響到評估結果，因此需確保一定精準度，以作為普遍化的土砂災害判讀調查結果。為此，建議善用圖-2.3.8所示依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查檢查表（以下稱「檢查表」）。檢查表的各項目均輸入表-2.3.3所示資訊或評估。

實際上，針對2018年北海道膽振東部地震這種頻頻發生的所有坡面崩塌，套用檢查表的判定結果，由於調查時間拉長，因此用檢查表針對代表性的區位個別做判定後，最好能從前述結果實施總體性的判定。圖-2.3.8 依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查檢查表

依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查 檢查表					No.
ID		所在地		緯度	
				經度	
強度差分SAR圖像		單偏振SAR圖像（災害前）		單偏振SAR圖像（災害後）	
地形圖		災害前光學圖像			
步驟	參照圖像等	確認範圍	檢查項目	判斷基準	評估 (○×)
1	強度差分SAR圖像	強度差分SAR圖像的著色範圍	支配色	①呈現紅色或成對的紅色和藍色	
				②呈現藍色	
	單偏振SAR圖像	單偏振SAR圖像的前後變化	形狀變化	③看似凹陷	
				④看似隆起	
	強度差分SAR圖像	強度差分SAR圖像的著色範圍	清晰度	⑤清晰	
①、③：○ ⇒ 2（崩塌） ②、④：○ ⇒ 2（堆積）					
2 （崩塌）	地形圖	地形	坡面坡度	⑥斜坡	
	地形圖 災害前光學圖像	周圍	土地覆蓋	⑦非人為改變地	
	地形圖 災害前光學圖像	周圍	土地覆蓋	⑧森林	
2 （堆積）	地形圖	地形	坡面坡度	⑨平地	
	地形圖 災害前光學圖像	周圍	土地覆蓋	⑩非人為改變地	
	地形圖 災害前光學圖像	周圍	位置關係	⑪鄰接紅色變形	
3	強度差分SAR圖像	河道內	支配色	⑫呈現藍色	
		河道上游側		⑬呈現紅色	
	地形圖 災害前光學圖像	河道上游側	積水設施	⑭無積水設施	
判定結果		a. 發生坡面崩塌 有可能性 / 無法確認變形 b. 因崩塌而堆積土砂 有可能性 / 無法確認變形 c. 河道閉塞的形成 有可能性 / 無法確認變形 d. 無法從SAR圖像充分判讀			

圖-2.3.8依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查檢查表

表-2.3.3 強度差分SAR圖像上的顏色和背向散射強度的變化

項目	輸入	輸入內容
No	不拘	為處理判讀調查結果編列任意的編號。
ID	不拘	編列管理判讀調查區位的任意代碼。
所在地	不拘	填寫判讀調查區位的地址。
緯度與經度	必須	輸入判讀調查區位的緯度及經度。
強度差分SAR圖像	必須	黏貼判讀調查區位的強度差分SAR圖像。
單偏振SAR圖像（災害前）	必須	黏貼判讀調查區位的單偏振SAR圖像（災害前）。
單偏振SAR圖像（災害後）	必須	黏貼判讀調查區位的單偏振SAR圖像（災害後）。
地形圖	不拘	黏貼判讀調查區位的地形圖。
災害前光學圖像	不拘	黏貼判讀調查區位的災害前光學圖像。
步驟1	必須	依照圖-2.3.5進行評估。 再者，⑤是在調查範圍內自由進行相對性評估。
步驟2 （崩塌和堆積）	不拘	依照圖-2.3.6進行評估。
步驟3	必須	依照圖-2.3.7進行評估。
判定結果	必須	從評估結果足以分辨符合a～d的方式填寫。

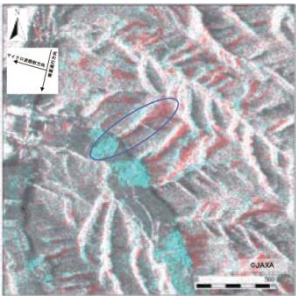
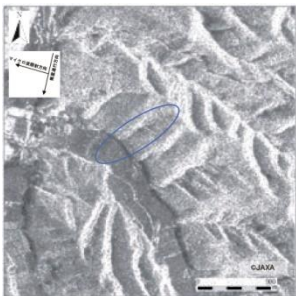
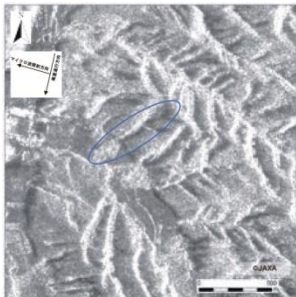
顯示在2018年北海道膽振東部地震中活用判讀調查流程和檢查表的案例（圖-2.3.9）。

強度差分SAR圖像上的判讀調查區位（圖-2.3.9中，以藍色圓圈表示山谷），在坡面部位有紅色變形，並確認從山谷出口呈現藍色變形等步驟1的所有檢查項目後，判定為有可能發生坡面崩塌和因崩塌而堆積土砂。此外，步驟2的崩塌及堆積皆為符合。因此，可推斷發生坡面崩塌和因崩塌而堆積土砂的機率相當高。接著，步驟3雖在河道內上發現藍色，但河道上游部位無法看出紅色變形，因而研判無法確認形成河道閉塞的相關變形。

從以上評估結果判定，雖然該區位具有發生坡面崩塌及因崩塌而堆積土砂的充分可能性，但無法確認形成河道閉塞的變形。

依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查 檢查表

No.1

ID	填寫例	所在地	北海道勇払郡厚真町字幌内	緯度	42.753956
				經度	141.985929
強度差分SAR圖像		單偏振SAR圖像（災害前）		單偏振SAR圖像（災害後）	
					
地形圖		災害前光學圖像			
					

步驟	参照圖像等	確認範圍	檢查項目	判斷基準	評估 (○×)
1	強度差分SAR圖像	強度差分SAR圖像的著色範圍	支配色	①呈現紅色或成對的紅色和藍色	○
	單偏振SAR圖像	單偏振SAR圖像的前後變化	形狀變化	②呈現藍色	○
	強度差分SAR圖像	強度差分SAR圖像的著色範圍	清晰度	③看似凹陷 ④看似隆起	○
				⑤清晰	○

①、③：○ ⇒ 2（崩塌） ②、④：○ ⇒ 2（堆積）

2 （崩塌）	地形圖	地形	坡面坡度	⑥斜坡	○
	地形圖 災害前光學圖像	周圍	土地覆蓋	⑦非人為改變地	○
	地形圖 災害前光學圖像	周圍	土地覆蓋	⑧森林	○
2 （堆積）	地形圖	地形	坡面坡度	⑨平地	○
	地形圖 災害前光學圖像	周圍	土地覆蓋	⑩非人為改變地	○
	地形圖 災害前光學圖像	周圍	位置關係	⑪鄰接紅色變形	○

3	強度差分SAR圖像	河道內	支配色	⑫呈現藍色	○
		河道上游側		⑬呈現紅色	×
	地形圖 災害前光學圖像	河道上游側	積水設施	⑭無積水設施	○

判定結果		a. 發生坡面崩塌 有可能性 / 無法確認變形 b. 因崩塌而堆積土砂 有可能性 / 無法確認變形 c. 河道閉塞的形成 有可能性 / 無法確認變形 d. 無法從SAR圖像充分判讀			
------	--	--	--	--	--

圖-2.3.9 依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查檢查表（填寫例）

4. 應用依SAR圖像所做的土砂災害判讀調查

4.1 有效率的判讀調查方法

4.1.1 有效運用GIS軟體等標示功能

GIS軟體上經常標準搭載的「圖像透視顯示」或「圖像矢量(swipe)顯示」，是在參照多筆圖像數據資料或同時處理廣域(grand range)圖像和正射影像(ortho image)時的判讀調查上，發揮提高效率性的功能。

4.1.2 有效運用GIS數據資料

收集行政邊界、河川、道路、土砂災害警戒區域等GIS數據資料，以作為判讀時的參考。此時，判讀時需注意避免廣域圖像和GIS數據資料在相同場所上重疊之下，參照地形圖等鎖定位置即可。

4.1.3 有效運用廣域圖像

SAR採用為物件之間的距離進行地表投影的廣域SAR圖像（圖-2.4.1）。當正射影像處理（正射投影）時，雖可正確疊合地形圖和行政邊界等GIS數據資料，但因圖像失真而降低崩塌地和河道等辨識性。另一方面，因以對角線照片般的的感覺拍攝地上物，因此可容易進行直覺性的判讀。再者，需花費時間處理正射影像，因此要求迅速判讀時，建議採用提供數據資料較快的廣域圖像。

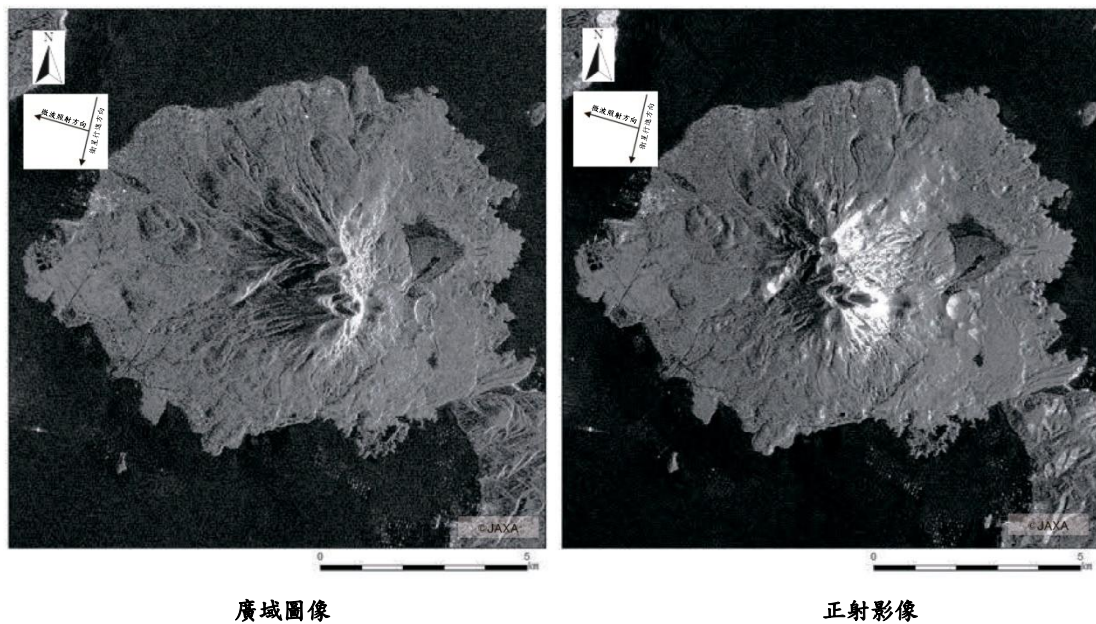


圖-2.4.1 廣域圖像和正射影像的比較（鹿兒島縣鹿兒島市櫻島）

4.1.4 圖像正立

SAR圖像上具有方向依存性，因此圖像正立判讀可提升辨識性。SAR圖像正立時，將微波照射方向（因疊置而讓地形倒塌的方向）朝上，即可突顯地形的立體感（圖-2.4.2）。

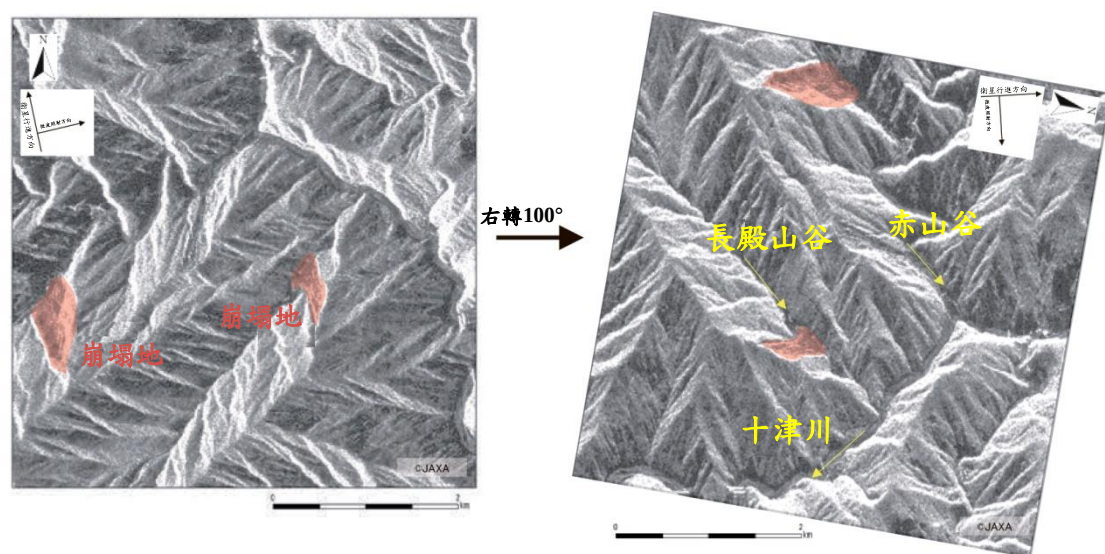


圖-2.4.2 讓SAR圖像正立時的辨識性（奈良縣五條市・十津川村）

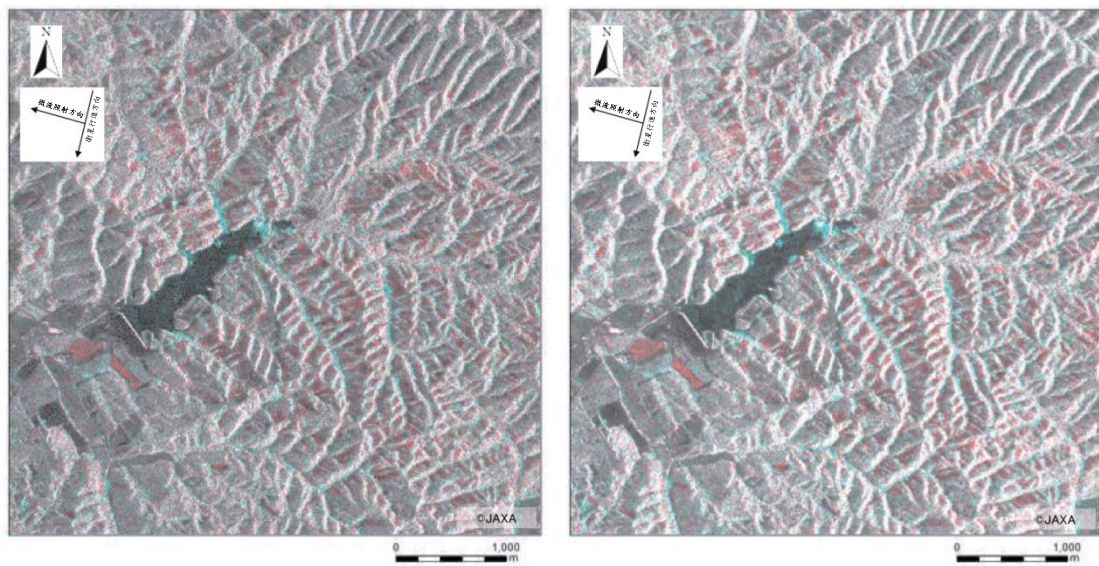
4.2 提高結果可靠性的判讀調查方法

4.2.1 SAR圖像的濾波處理

包括SAR圖像上稱為「斑點噪聲」的斑點狀雜訊在內，這種雜訊是降低圖像辨識性和圖像合成處理等精準度的主因。因此，最好能對於判讀調查所用的SAR圖像，實施濾波處理。一般的參考上，大多採用取得3×3像素的平均值和中央值的濾波處理。

圖-2.4.3表示比較有無濾波處理的強度差分SAR圖像。即使實施濾波處理，紅色或藍色的變形也不受效果所影響，僅會減輕SAR圖像內之芝麻鹽狀斑點的影響，提升辨識性。再者，生成強度差分SAR圖像等時，必須在色彩合成處理前的單偏振SAR圖像上進行濾波處理。

再者，雖然濾波處理所需時間，會依SAR圖像的大小和濾波的種類而起變化，但進行一般軟體標準搭載的處理只需數分鐘左右的時間。



未進行濾波處理的強度差分SAR圖像

已進行濾波處理的強度差分SAR圖像（3×3像素的平均值）

圖-2.4.3 依照有無濾波處理，比較強度差分的SAR圖像（北海道安平町）

4.2.2 追加調查不可視的範圍

後續會在「第2篇5.2對微波照射方向的坡面方向」敘述。然而，依SAR圖像所做的土砂災害判讀調查，會因為微波照射方向和坡面方位的關係，讓特定方位的坡面發生許多不可視的範圍，而在檢測性出現偏差。因此，最好能等待衛星觀測機會，從逆向取得照射微波的SAR圖像後，追加實施土砂災害判讀調查。

5. 依SAR圖像進行土砂災害判讀調查手法的注意事項

5.1 因人為改變所帶來的影響

在預期發生坡面崩塌的山地領域中，森林採伐地和採石地呈現出類似坡面崩塌的背向散射強度變化（圖-2.5.1）。若森林因採伐而喪失時，災害前鮮明的體散射即消失，因此背向散射也會大幅降低，而在強度差分圖像上顯現紅色或者紅色與藍色成對的變形（圖-2.5.2）。此外，會因為採石造成坡面後退，而改變散射面的位置，或因改變坡面坡度而造成局部入射角的變化，而呈現類似的變形（圖-2.5.3）。

這些在目視判讀調查上，都難以和坡面崩塌的背向散射強度變化做出區別，為了避免發生誤判，有以下對策。

- ① 確認是否因土砂流往平原部而呈現藍色變化。
- ② 在可取得範圍，使用最近期歸檔檔案.archive)的SAR圖像。
- ③ 從人造矩形或規則性等變形的形狀做判斷。
- ④ 從災害前的光學圖像，確認人為改變的影響。

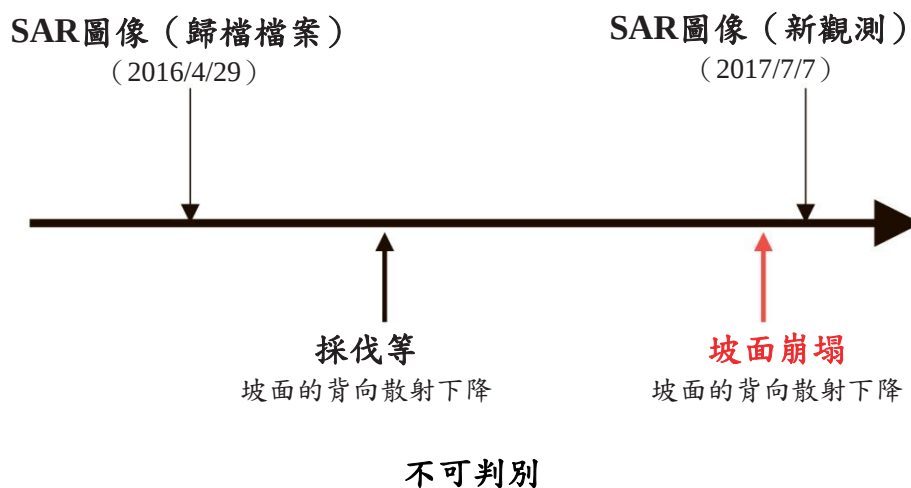


圖-2.5.1 在強度差分SAR圖像上，難以判別坡面崩塌和人為改變時

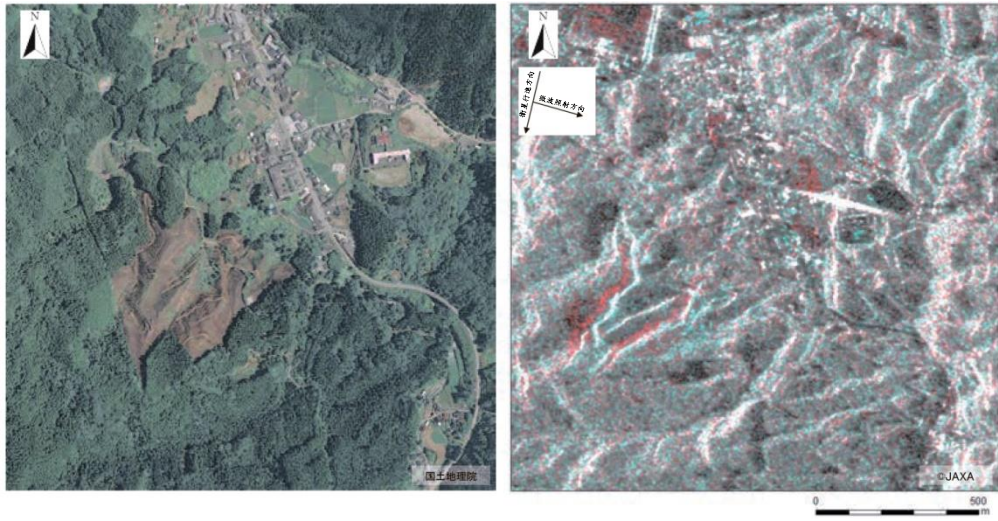


圖-2.5.2 因森林採伐所呈現的背向散射變化例（福岡縣東峰村）

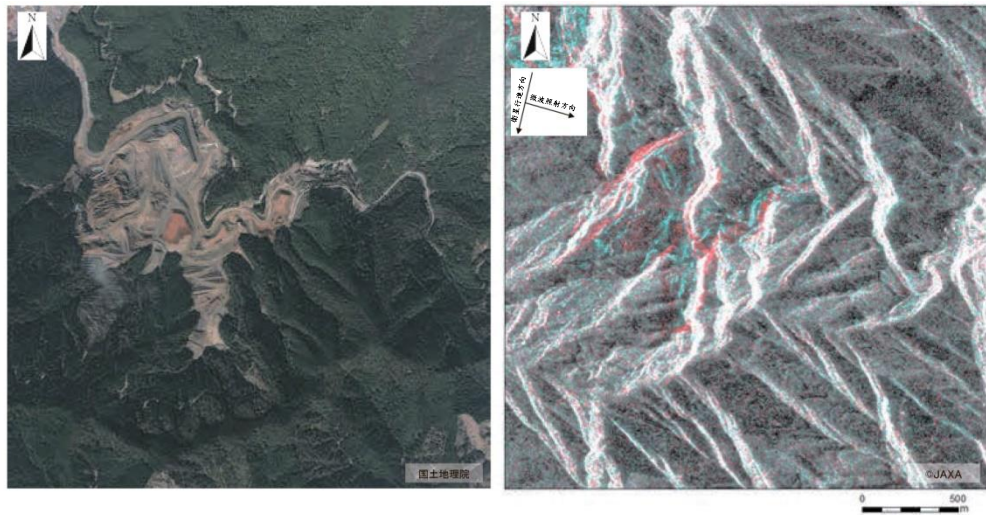


圖-2.5.3 因採石所呈現的背向散射變化例（福岡縣朝倉市東峰村）

5.2 對微波照射方向的坡面方向

SAR圖像受到微波照射角度等幾何條件的強烈影響而投影，受到「第1篇2.3 SAR圖像的注意事項」所述的幾何學圖形(geometric)變調影響，產生不可視範圍。

圖-2.5.4左圖表示藉由微波照射角度和地形模型（10m數值高程模型）之間的幾何計算，所導出的不可視範圍。在各種坡面方向發生多處坡面崩塌之處，比較災後拍攝的空拍圖（圖-2.5.4中央）和強度差分SAR圖像（圖-2.5.4右）之後得知，會依坡面方向而大幅改變強度差分SAR圖像上的辨識性，據推測此影響和判讀調查精準度有關。

換言之，以本資料所建議條件的側視角(off-nadia angle)約為 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 時，正對微波照射方向的坡面（圖-2.5.4中的西向坡面），會因為疊置而形成不可視範圍(layover)，因此無法透過判讀獲得充分的調查結果。如圖-2.5.5所示，即使是面積 $76,600\text{m}^2$ 左右的大規模坡面崩塌，正對微波照射方向的坡面方向（圖-2.5.5中的東向坡面）受到強烈的疊置效應時，便難以進行判讀。

在處理SAR圖像上，無法減輕此影響，因此在實用上需注意以下事項。

- ① 確認不易受到疊置影響的平地等藍色變形後再進行判斷。
- ② 將產生不可視範圍銘記於心實施判讀調查和處理調查結果。



圖-2.5.4 在不可視範圍中比較辨識性（廣島縣東廣島市安浦町）

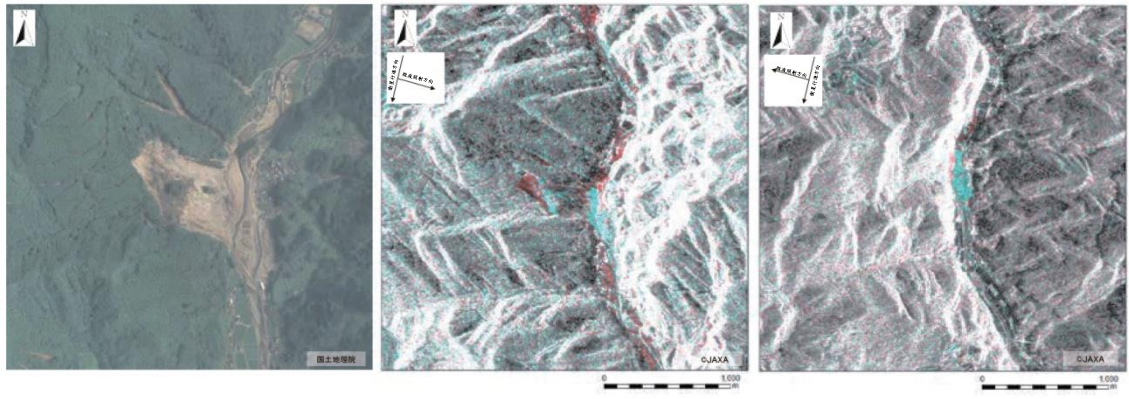


圖-2.5.5 依照微波照射方向比較辨識性（大分縣日田市）

中央：微波照射方向〔東→西〕 右：微波照射方向〔西→東〕

第3篇 依強度差分SAR圖像進行土砂災害判讀調查的適用結果

1. 依強度差分SAR圖像，進行土砂災害判讀調查的所需時間

表-3.1.1表示藉由確認7筆災害的因應，再依強度差分SAR圖像，顯示進行土砂災害判讀調查的所需時間的參考。在降雨災害中，從發生災害（發布土砂災害警戒資訊）起約35小時；在地震災害中，則從發生地震起約15小時。雖然還有大幅仰賴衛星觀測的部分，但藉由SAR觀測後的土砂災害判讀調查約為7小時。

從上述實際績效可解釋為，依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查可說是，從發生土砂災害危險性起0.5～1.5天左右，即可獲得調查結果的方法。

表-3.1.1 依強度差分SAR圖像，進行土砂災害判讀調查的所需時間

災害名稱	所需時間〔h〕		
	災害發生～SAR觀測	SAR觀測～判讀調查	災害發生～判讀調查
2017年長野縣南部地震	4.9	8.7	13.5
2017年7月島根縣豪雨	11.9	7.1	19.1
2017年7月九州北部豪雨	46.7	7.1	53.8
2017年21號颱風	19.5	7.3	26.8
2018年大阪府北部地震	16.0	9.2	25.2
2018年7月豪雨	33.9	7.9	41.8
2018年北海道膽振東部地震	8.6	3.8	12.4
平均值（整體）	20.2	7.3	27.5
平均值（降雨災害）	28.0	7.4	35.4
平均值（地震災害）	9.8	7.2	17.0
中央值（整體）	16.0	7.3	25.2
中央值（降雨災害）	26.7	7.2	34.3
中央值（地震災害）	8.6	8.7	13.5

2. 依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查精準度

2.1 精準度驗證條件

以「2016年熊本地震」、「2017年7月九州北部豪雨」、「2018年7月豪雨」、「2018年北海道膽振東部地震」4筆大規模且廣域發生的土砂災害為對象，確認依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查精準度。

精準度驗證是以SAR圖像的不可視範圍除外的位置為對象，將從災後拍攝空拍圖等判讀結果所選定之土砂災害發生區位（以下稱「驗證對象」）所占強度差分SAR圖像中，判定土砂災害發生蓋然性高的區位（以下稱「檢測對象」）比例，訂為檢測率〔%〕後再進行評估。

對於圖-3.2.1所示「災害誘因」、「面積（正射面積）」、「坡面坡度」、「坡面方位（以北為0°的順時鐘角度）」基準大致為一致的方式，選定驗證對象。此外，檢測對象則以災害初步調查時的精準度，從「第2篇3.4 依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查流程」的步驟1評估中，判定「有可能發生坡面崩塌。」或者「有可能因崩塌而堆積土砂。」的件數。針對「面積」、「坡面坡度」、「坡面方位」、「局部入射角」、「相對方位角（將正對微波照射的方向訂為0°，再以 $\pm 180^\circ$ 予以呈現的角度）」各項目，確認了檢測率。

再者，本驗證是以可判斷出似乎確實發生土砂災害的規模和形狀區位，為驗證對象的結果；關於無法從空拍圖判讀的小規模崩塌和森林陰影等崩塌，則因驗證所用數據資料的性質之故，而未確認。

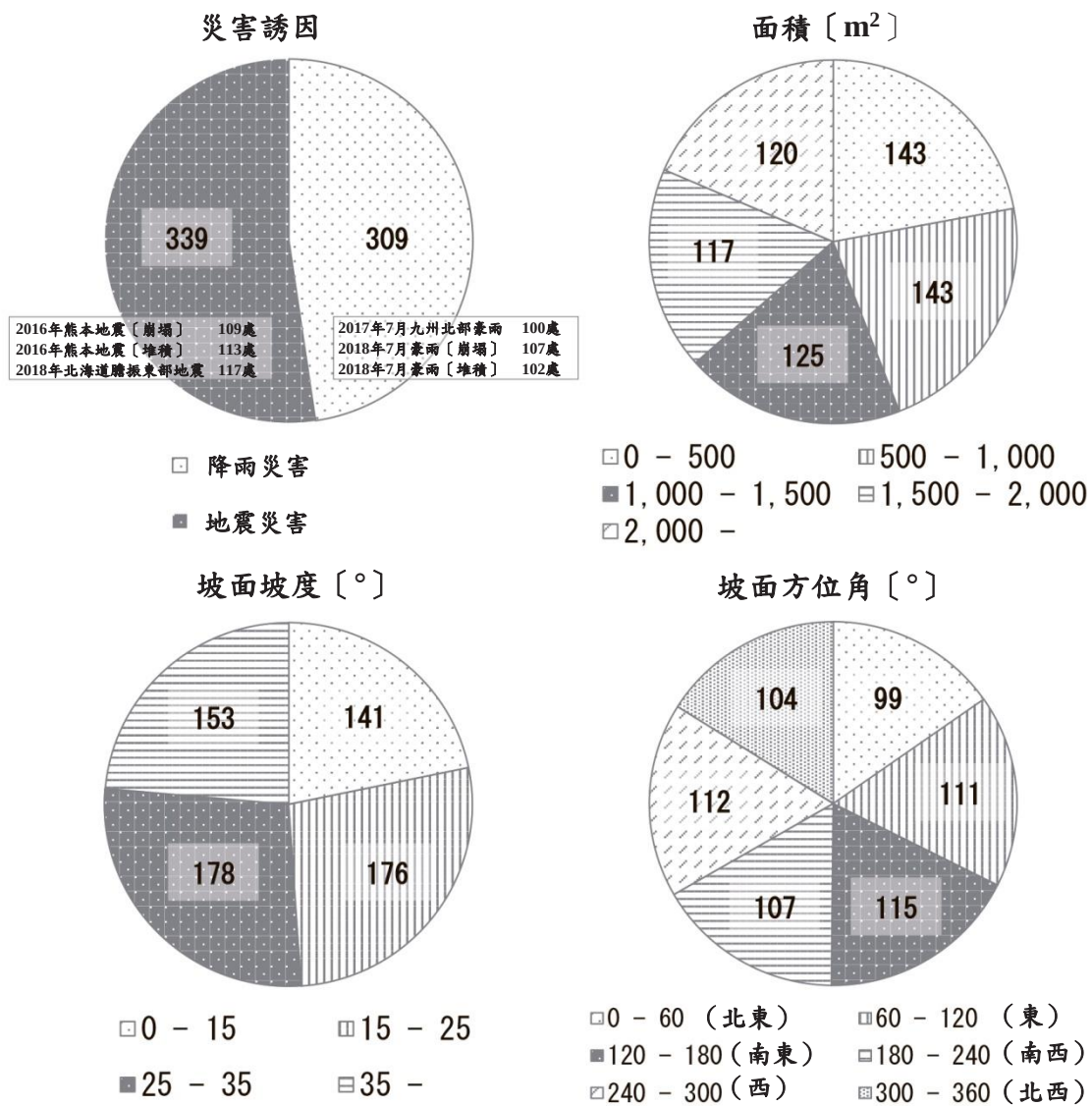


圖-3.2.1 各選定基準的驗證對象數 (N=648)

2.2 精準度驗證結果

依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查精準度如下。

如圖-3.2.2所示，面積和精準度中具有相關性，且可得知變化規模越大檢測率越高。如有發生面積 $2,000\text{m}^2$ 以上的坡面崩塌和土砂流出與堆積時，檢出的機率大約在7成左右。

坡面坡度和坡面方位並非直接影響檢測率的因子（圖-3.2.3、圖-3.2.4）。另一方面，局部入射角和相對方位角，會大幅影響檢測率。檢測率會隨著擴大圖-3.2.5所示局部入射角而提升，在 $45^\circ\sim 60^\circ$ 時，檢測率最大約5成。若呈現 $75^\circ\sim 90^\circ$ 時，雖可看出檢測率下降的傾向，但因屬於驗證數較少的結果，無法確定該傾向。參照「參考資料2·依各災害強度差分的SAR圖像，判讀和調查土砂災害的精準度」時，雖可在各災害上看出局部入射角和檢測率關係的偏差，但無論在任何情況下，當局部入射角極小或者極大時的檢測率都非常低。此外，圖-3.2.6的相對方位角為 $0^\circ\sim \pm 60^\circ$ 時的檢測率約為15~25%，而呈現最低； $\pm 120^\circ\sim \pm 180^\circ$ 時，則可看出檢測率約為50~60%，而有提高的傾向。如「第2篇5.2對微波照射方向的坡面方向」所述，正對微波照射方向的坡面（相對方位角為小的坡面）會因為疊置效應而形成不可視範圍，檢測率因而明顯降低。

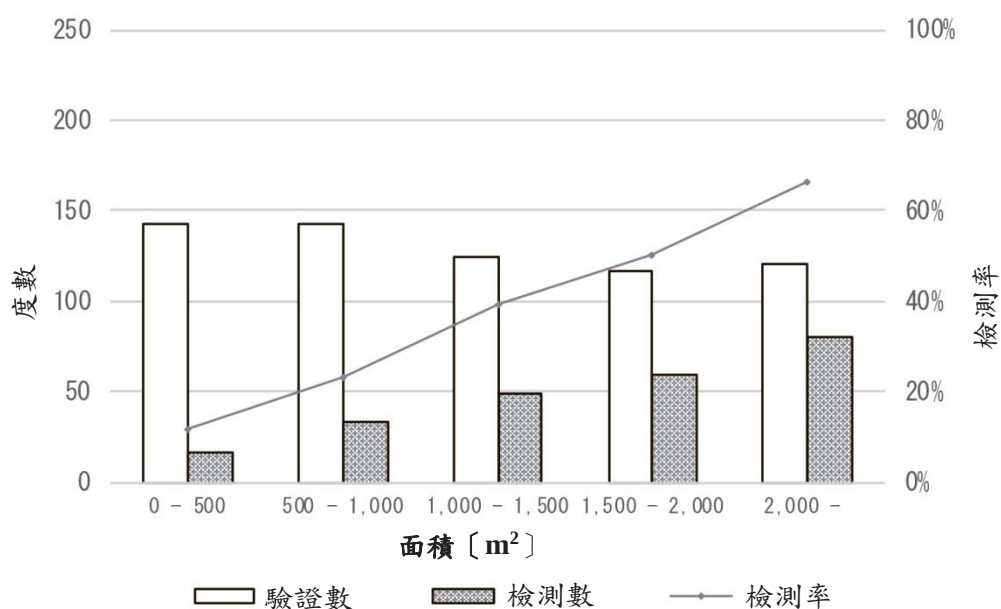


圖-3.2.2 依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查檢測率（面積）

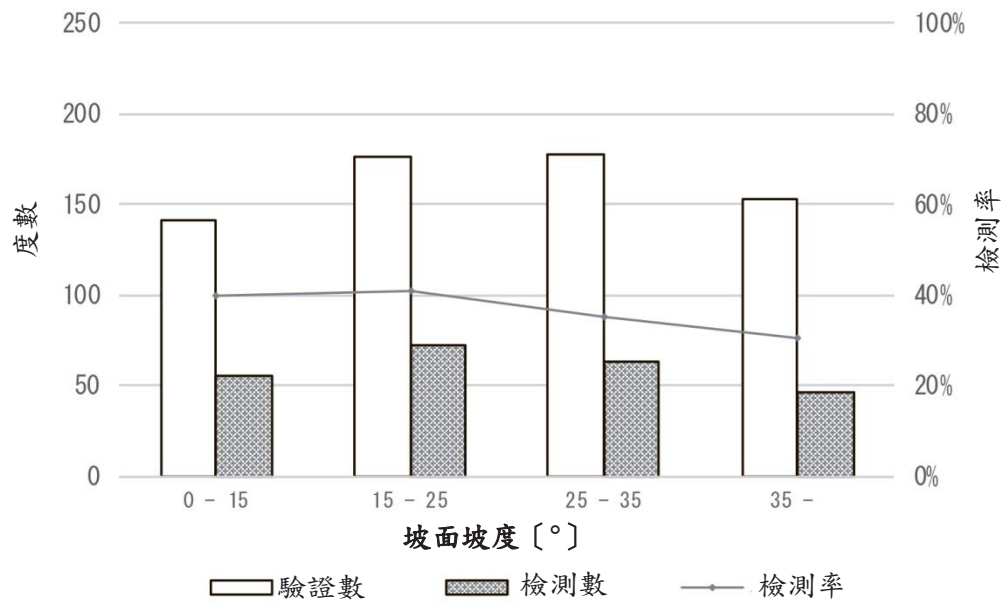


圖-3.2.3 依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查檢測率（坡面坡度）

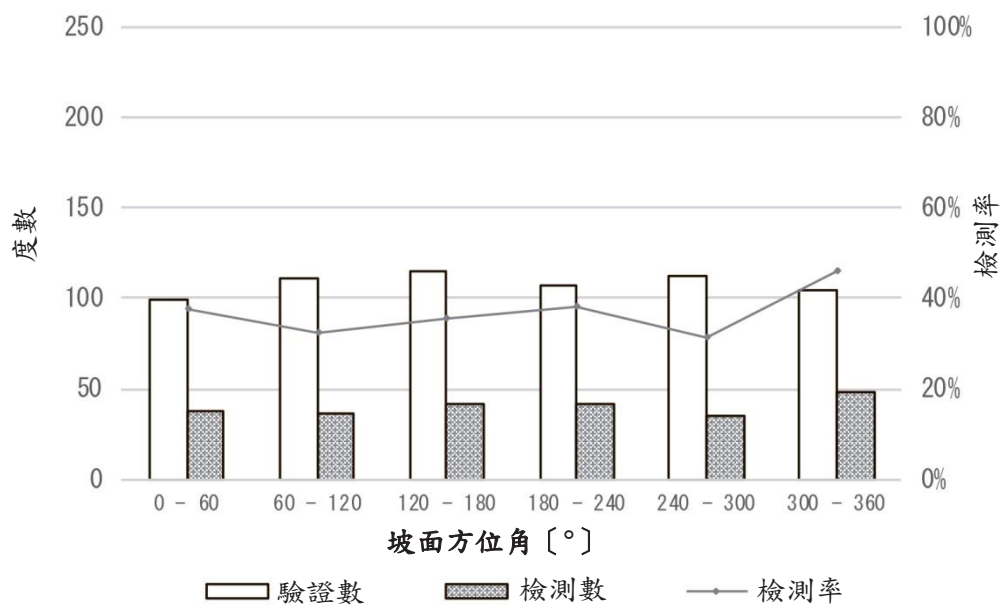


圖-3.2.4 依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查檢測率（坡面方位角）

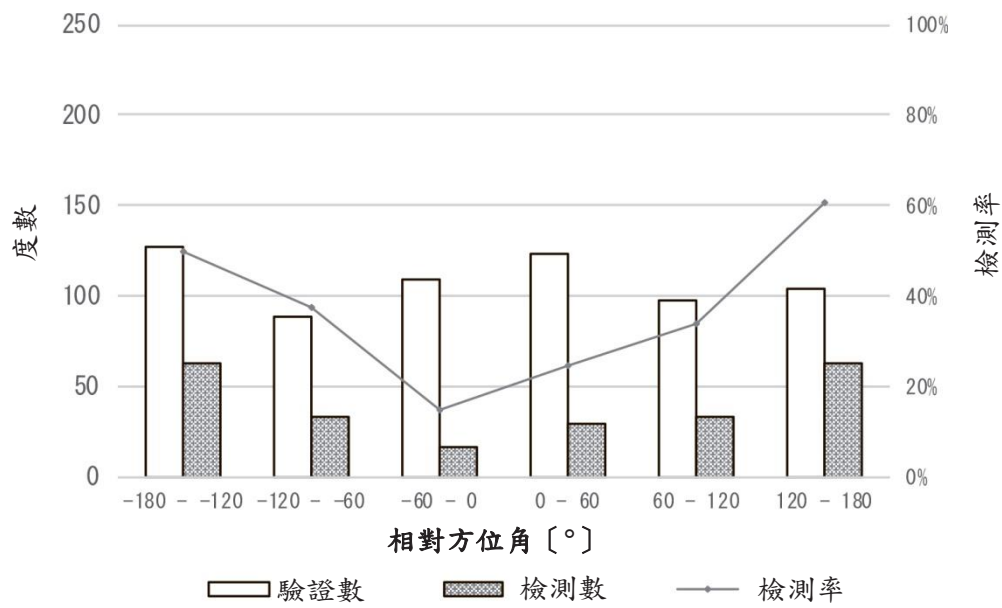


圖-3.2.5 依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查檢測率（相對方位角）

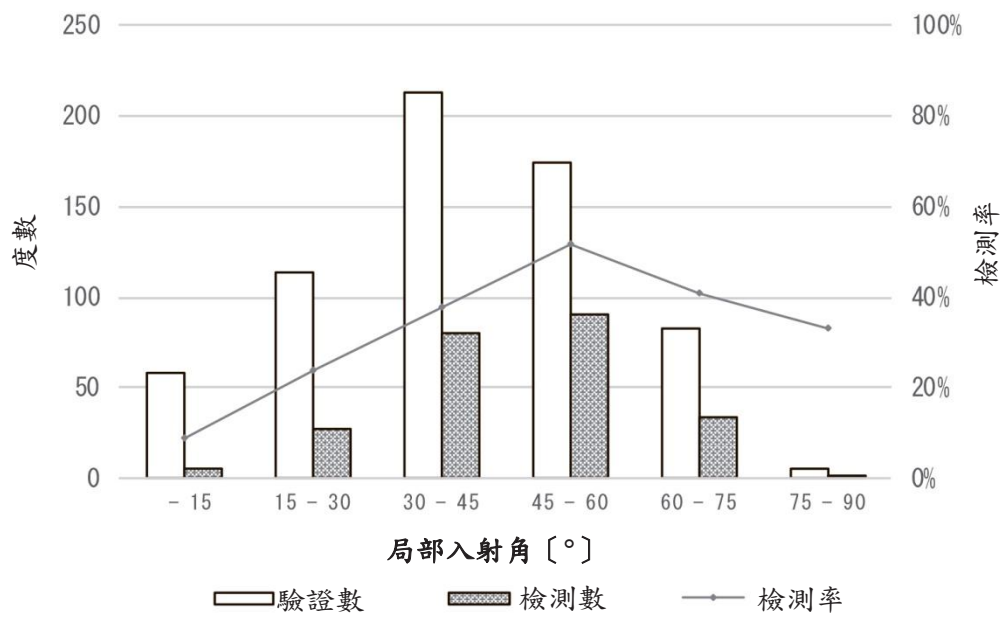


圖-3.2.6 依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查檢測率（局部入射角）

參考文獻

- 1) 水野正樹、神山嬢子、江川真史、佐藤、蒲原潤一、林真一郎（2013）：藉由單偏振的高解析度SAR圖像，進行河道閉塞區位判讀調查手法（草案）、國土技術政策總合研究所資料、No.760
- 2) 水野正樹、神山嬢子、江川真史、佐藤、蒲原潤一（2014）：藉由雙偏振SAR圖像，進行大規模崩塌及河道閉塞區位的判讀調查手法（草案）、國土技術政策總合研究所資料、No.791
- 3) 鈴木大和、松田昌之、野村康裕、中谷洋明（2019）：依照SAR圖像的背向散射強度變化，適用土砂災害調查手法、土木技術資料、Vol.61、No.12、pp16-19
- 4) 山下久美子、神山嬢子、鈴木大和、野呂智之、杉本惇、柴山卓史、鵜殿俊昭（2019）：使用兩時期的SAR強度圖像，驗證土砂移動區位判讀精準度—九州北部豪雨案例一、砂防學會誌、Vol.71、No.6、pp.21-27
- 5) 國立研究開發法人宇宙航空研究開發機構（2018）：從宇宙監視災害衛星—陸域觀測技術衛星2號「大地2號」災害案例集2014～2017—
- 6) 國立研究開發法人宇宙航空研究開發機構、國土交通省（2018）：災害時有效運用人工衛星指南 土砂災害版 http://www.mlit.go.jp/river/sabo/satellite/manual_180327.pdf
- 7) 大內和夫（2004）：用於遙測的合成孔徑雷達基礎、東京電機大學出版局
- 8) 日本遙測研究會（2001）：圖解遙測、社團法人日本測量協會

本文中的SAR圖像技術規格

圖的編號	觀測日期與時間	解析度 [m]	側視角 [°]	偏振	軌道方向	微波照射方向
圖-1.2.1	2017/07/07	3	29.1	HH	南向	衛星行進方向 左
圖-1.2.2	2018/04/14	3	38.2	HH	北向	衛星行進方向 右
圖-1.2.3	2019/06/21	3	38.2	HH	北向	衛星行進方向 右
圖-1.2.4	2019/06/21	3	38.2	HH	北向	衛星行進方向 右
圖-1.2.5	2019/06/21	3	38.2	HH	北向	衛星行進方向 右
圖-1.2.7	2019/09/09	10	52.4	HH HV	南向	衛星行進方向 右
圖-1.2.8	2017/04/29 2017/07/07	3	29.1	HH	南向	衛星行進方向 左
圖-1.3.1	2017/04/29 2017/07/07	3	29.1	HH	南向	衛星行進方向 左
圖-1.3.2	2019/09/09	10	52.4	HH HV	南向	衛星行進方向 右
圖-1.3.3	2018/06/18	3	38.2	HH	北向	衛星行進方向 右
圖-2.3.1	2018/08/23 2018/09/06	3	32.4	HH	南向	衛星行進方向 右
圖-2.3.3	2018/08/23 2018/09/06	3	32.4	HH	南向	衛星行進方向 右
圖-2.3.4	2018/08/23 2018/09/06	3	32.4	HH	南向	衛星行進方向 右
圖-2.3.9	2018/08/23 2018/09/06	3	32.4	HH	南向	衛星行進方向 右
圖-2.4.1	2020/03/02	3	32.4	HH	南向	衛星行進方向 右
圖-2.4.2	2017/10/23	3	38.2	HH	北向	衛星行進方向 右
圖-2.4.3	2018/08/23 2018/09/06	3	32.4	HH	南向	衛星行進方向 右
圖-2.5.2	2017/04/29 2017/07/07	3	29.1	HH	南向	衛星行進方向 左
圖-2.5.3	2017/04/29 2017/07/07	3	29.1	HH	南向	衛星行進方向 左
圖-2.5.4	2018/03/17 2018/07/21	3	32.4	HH	北向	衛星行進方向 右
圖-2.5.5 中央	2017/04/29 2017/07/07	3	29.1	HH	南向	衛星行進方向 左
圖-2.5.5 右	2017/06/12 2017/07/10	3	32.4	HH	南向	衛星行進方向 右

參考資料1・依各災害強度差分SAR圖像，進行土砂災害判讀調查的所需時間
2017年長野縣南部地震

■ 判讀調查條件和所需時間

災害誘因	災害發生日期與時間	災害發生時的氣象情況	判讀面積 〔km ² 〕	【A】災害發生 ～SAR觀測	【B】SAR觀測 ～判讀調查	【A+B】發生災害 ～判讀調查
地震	2017/6/25 07:02	雨～陰天	約3,500	4:54	8:39	13:33

■ 判讀調查時間軸

日期與時間	傳送來源	接收目的地	因應等
2017/6/25 07:02	-	-	長野縣南部發生地震（在王瀧村、木曾町觀測到最大震度5強）
09:00左右	國土交通省	JAXA	ALOS-2要求緊急觀測
11:56左右	-	-	ALOS-2觀測
17:00左右	JAXA	國總研	ALOS-2提供觀測數據資料、開始判讀
20:01	AXA	國土交通省、國總研	報告判讀結果
20:35	國總研	國土交通省	判讀結果看法報告
20:35	國土交通省	中國地方整備局	提供判讀結果
6/2 67:24左右起，地方整備局等待天氣恢復，直昇機開始調查⇒未發現大規模崩塌			

A

B

■ 用於判讀調查的SAR圖像技術規格

	觀測日期與時間	解析度 〔m〕	側視角 〔°〕	偏振	軌道方向	微波照射方向	場景數
歸檔檔案	2017/05/2811:56左右	3	29.1 （U2-6）	HH	下行(descending) （南向）	進行方向右	2
新觀測	2017/06/2511:56左右						

2017年7月島根縣豪雨

■ 判讀調查條件和所需時間

災害誘因	災害發生日期與時間	災害發生時的氣象情況	判讀面積 〔km ² 〕	【A】災害發生 ～SAR觀測	【B】SAR觀測 ～判讀調查	【A+B】發生災害 ～判讀調查
降雨	2017/7/5 00:15	雨	約2,000	11小時56分	7小時07分	19小時03分

■ 判讀調查時間軸

日期與時間	傳送來源	接收目的地	因應等
2017/7/5 00:15	-	-	島根縣濱田市、益田市發布土砂災害警戒資訊
05:55	-	-	島根縣濱田市、益田市、邑南町、津和野町發布大雨特別警報
12:11左右	-	-	ALOS-2觀測
15:08	國土交通省	國總研	ALOS-2提供觀測數據資料、開始判讀
17:51	國總研	國土交通省	判讀結果（速報）報告
19:03	JAXA	國總研	報告判讀結果
19:18	國總研	國土交通省	判讀結果看法報告
20:04	國土交通省	中國地方整備局	聯繫判讀結果

A

B

■ 用於判讀調查的SAR圖像技術規格

	觀測日期與時間	解析度 〔m〕	側視角 〔°〕	偏振	軌道方向	微波照射方向	場景數
歸檔檔案	2017/03/29 12:11左右	3	38.6 (U2-9)	HH	下行(descending) (南向)	進行方向右	1
新觀測	2017/07/05 12:11左右						

2017年7月九州北部豪雨

■ 判讀調查條件和所需時間

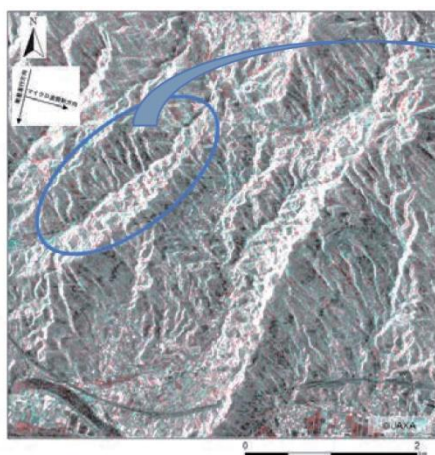
災害誘因	災害發生日期與時間	災害發生時的氣象情況	判讀面積〔km ² 〕	【A】災害發生～SAR觀測	【B】SAR觀測～判讀調查	【A+B】發生災害～判讀調查
降雨	2017/7/5 14:10	雨 隔天早晨開始晴天	約3,500	46小時42分	7小時08分	53小時50分

■ 判讀調查時間軸

日期與時間	傳送來源	接收目的地	因應等
2017/7/5 14:10	-	-	福岡縣朝倉市、東峰村發佈土砂災害警戒資訊
2017/7/5 17:51	-	-	福岡縣發布大雨特別警報
20:00左右	國土交通省	JAXA	ALOS-2要求緊急觀測
7/6 6:00左右起，地方整備局等待天氣恢復，直昇機開始調查⇒在朝倉市發現多起土砂災害			
2017/7/7 12:52左右	-	-	ALOS-2觀測
14:16	JAXA	國總研	ALOS-2提供觀測數據資料、開始判讀
17:21	國總研	國土交通省	報導的主要受災區位判讀結果（速報）報告
18:01	國總研	國土交通省	報告東峰村北側主要找出區位的判讀結果
20:00左右	國總研	國土交通省	報告判讀結果（整體判讀範圍），對九州地方整備局提供資訊

A

B



（左）朝倉市周邊強度差分SAR圖像



（右）透過直昇機調查發現多起崩塌地區

■ 用於判讀調查的SAR圖像技術規格

	觀測日期與時間	解析度〔m〕	側視角〔°〕	偏振	軌道方向	微波照射方向	場景數
歸檔檔案	2016/04/29 12:52左右	3	29.1 (U2-6)	HH	下行(descending) (南向)	進行方向左	1
新觀測	2017/07/07 12:52左右						

2017年21號颱風

■ 判讀調查條件和所需時間

災害誘因	災害發生日期與時間	災害發生時的氣象情況	判讀面積〔km ² 〕	【A】災害發生～SAR觀測	【B】SAR觀測～判讀調查	【A+B】發生災害～判讀調查
降雨	2017/10/22 16:00	雨	約6,000	19小時29分	7小時20分	26小時49分

■ 判讀調查時間軸

日期與時間	傳送來源	接收目的地	因應等
2017/10/22 16:00	-	-	和歌山縣新宮市等發佈土砂災害警戒資訊
2017/10/23 09:33	近畿地方整備局	國土交通省	SAR圖像觀測的要求
11:29左右	-	-	ALOS-2觀測
14:04	JAXA	國總研	ALOS-2提供觀測數據資料、開始判讀
18:35	JAXA	國土交通省、國總研	報告判讀結果
18:49	國總研	國土交通省	判讀結果看法報告

A

B

■ 用於判讀調查的SAR圖像技術規格

	觀測日期與時間	解析度〔m〕	側視角〔°〕	偏振	軌道方向	微波照射方向	場景數
新觀測	2017/10/23 11:29左右	6	56.2 (U5-21)	HV	下行(descending) (南向)	進行方向左	3

2018年大阪府北部地震

■ 判讀調查條件和所需時間

災害誘因	災害發生日期與時間	災害發生時的氣象情況	判讀面積〔km ² 〕	【A】災害發生～SAR觀測	【B】SAR觀測～判讀調查	【A+B】發生災害～判讀調查
地震	2018/6/18 07:58	陰天～雨天天候不佳持續到21日左右	約3,500	16小時00分	9小時10分	25小時10分

■ 判讀調查時間軸

日期與時間	傳送來源	接收目的地	因應等
2018/6/18 07:58	-	-	大阪府北部發生地震（在大阪市北區、高槻市、枚方市、茨木市、箕面市，觀測最大震度6弱）
08:34	國土交通省	JAXA	ALOS-2要求緊急觀測
23:58左右	-	-	ALOS-2觀測
2018/6/19 01:00左右	JAXA	國總研	ALOS-2提供觀測數據資料
07:00頃	國總研	-	開始判讀
08:06	JAXA	國總研	送交判讀結果
09:08	國總研	國土交通省	判讀結果看法報告
6/19 9:30左右起，地方整備局直昇機開始調查⇒未發現重大受害			

A

B

■ 用於判讀調查的SAR圖像技術規格

	觀測日期與時間	解析度〔m〕	側視角〔°〕	偏振	軌道方向	微波照射方向	場景數
歸檔檔案	2018/04/09 23:58左右	3	38.2 (U2-9)	HH	上行(ascending) (北向)	進行方向右	1
新觀測	2018/06/18 23:58左右						

2018年7月豪雨

■ 判讀調查條件和所需時間

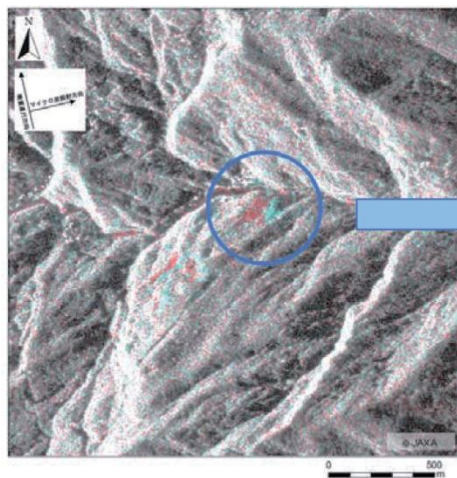
災害誘因	災害發生日期與時間	災害發生時的氣象情況	判讀面積〔km ² 〕	【A】災害發生～SAR觀測	【B】SAR觀測～判讀調查	【A+B】發生災害～判讀調查
降雨	2018/07/06 14:10	雨	約10,000	33小時54分	7小時56分	41小時50分

■ 判讀調查時間軸

日期與時間	傳送來源	接收目的地	因應等
2018/07/06 14:05	-	-	廣島縣廣島市等發布土砂災害警戒資訊
17:00左右	國土交通省	JAXA	ALOS-2要求緊急觀測
19:40	-	-	廣島、岡山、鳥取縣發布大雨特別警報
2018/07/08 00:04左右	-	-	ALOS-2觀測
03:50左右	JAXA	國總研	ALOS-2提供觀測數據資料、開始判讀
08:00左右	國總研	中國・四國地方整備局	報告判讀結果

A

B



（左）判讀SAR圖像時，報告的土砂移動區位

（右）在現場發現大規模崩塌

■ 用於判讀調查的SAR圖像技術規格

	觀測日期與時間	解析度〔m〕	側視角〔°〕	偏振	軌道方向	微波照射方向	場景數
歸檔檔案	2018/04/14 00:04左右	3	38.2 (U2-9)	HH	上行(ascending) (北向)	進行方向右	4
新觀測	2018/07/08 00:04左右						

2018年北海道膽振東部地震

■ 判讀調查條件和所需時間

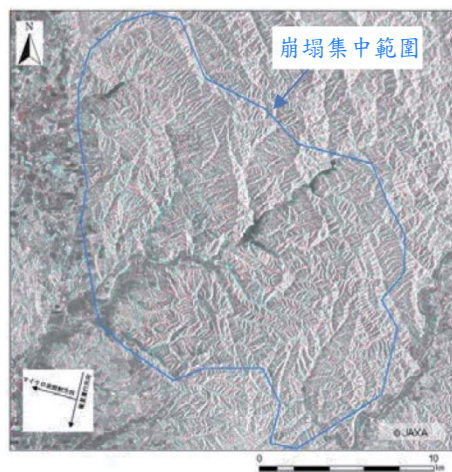
災害誘因	災害發生日期與時間	災害發生時的氣象情況	判讀面積〔km ² 〕	【A】災害發生～SAR觀測	【B】SAR觀測～判讀調查	【A+B】發生災害～判讀調查
地震	2018/9/6 03:07	陰天～雨天 受災後天候不良持續一段時間	約3,000	8小時34分	3小時49分	12小時23分

■ 判讀調查時間軸

日期與時間	傳送來源	接收目的地	因應等
2018/9/6 03:07	-	-	受災
04:00左右	國土交通省	JAXA	ALOS-2要求緊急觀測
11:41左右	-	-	ALOS-2觀測
14:12左右	JAXA	國總研	ALOS-2提供觀測數據資料、開始判讀
15:00左右起，地方整備局等待天氣恢復，直昇機開始調查			
15:30左右	國總研	北海道開發局	提供判讀結果 藉由SAR圖像，迅速報告集中發生坡面崩塌的推測範圍
因天候不佳，而需花時間透過光學圖像掌握受害情況			
2018/9/11 09:42左右	-	-	透過光學衛星進行觀測 確認大致與透過SAR圖像判讀的崩塌集中範圍互為一致

A

B



(左) 判讀SAR圖像時所報告的崩塌集中範圍



(右) 透過光學衛星發現崩塌集中範圍

■ 用於判讀調查的SAR圖像技術規格

	觀測日期與時間	解析度〔m〕	側視角〔°〕	偏振	軌道方向	微波照射方向	場景數
歸檔檔案	2018/08/23 11:41左右	3	32.4 (U2-7)	HH	下行(descending) (南向)	進行方向右	2
新觀測	2018/09/06 11:41左右						

2017年斯里蘭卡西部豪雨

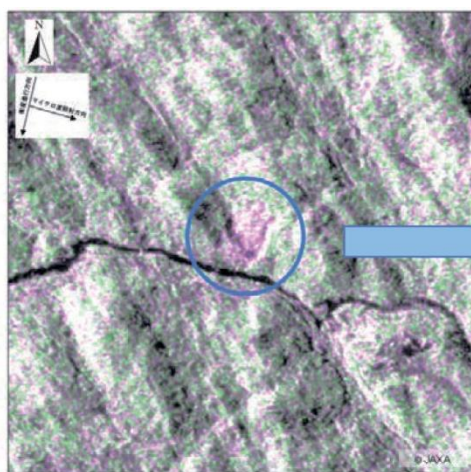
■ 判讀調查條件和所需時間

災害誘因	災害發生日期與時間	災害發生時的氣象情況	判讀面積〔km ² 〕	【A】災害發生～SAR觀測	【B】SAR觀測～判讀調查	【A+B】發生災害～判讀調查
降雨	2017/5/24～26	雨	約5,600	144小時00分	29小時00分	173小時00分

■ 判讀調查時間軸

日期與時間	傳送來源	接收目的地	因應等
2017/5/24～26	-	-	因創紀錄的豪雨，造成斯里蘭卡西部發生土砂災害
2017/5/29	國土交通省	JAXA	ALOS-2要求緊急觀測
2017/5/30	-	-	ALOS-2觀測
2017/5/31 08:30左右	JAXA	國總研	ALOS-2提供觀測數據資料、開始判讀
17:00	國總研	國土交通省	判讀結果看法報告
2017/6/1	國總研	JICA	提供判讀結果

6/6國際緊急援助隊基於判讀結果，進行現場調查⇒發現大規模崩塌



（左）判讀SAR圖像時，報告的土砂移動區位

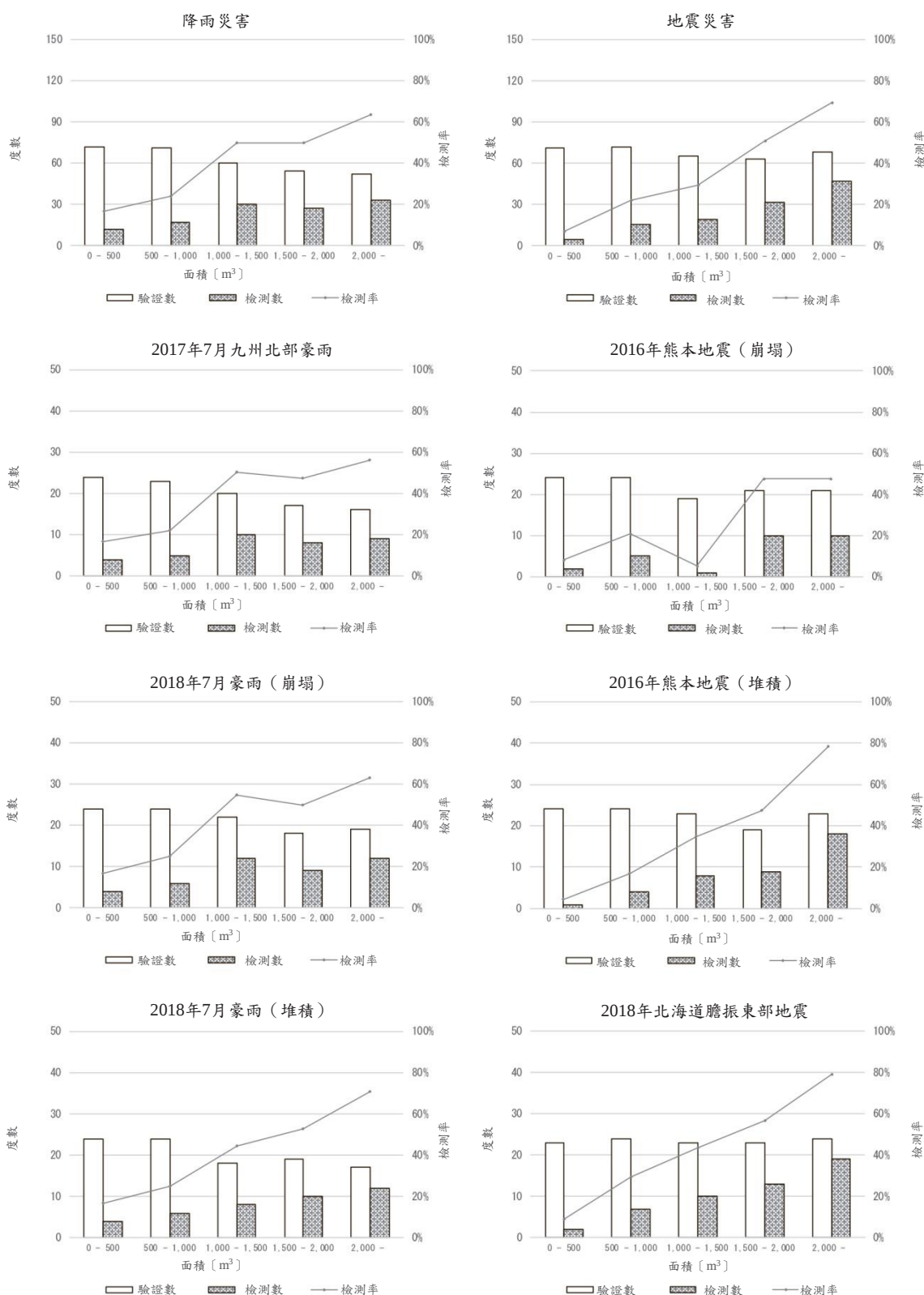


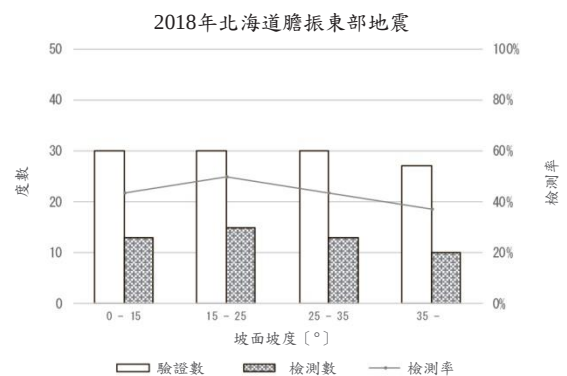
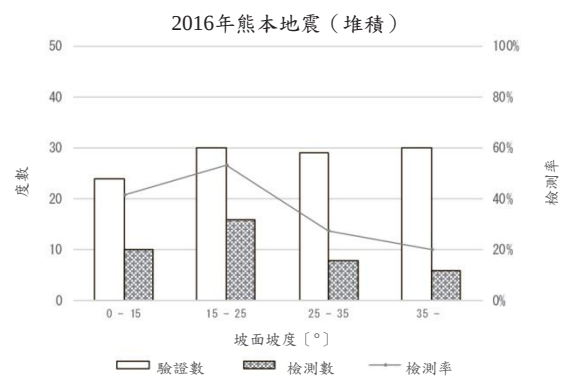
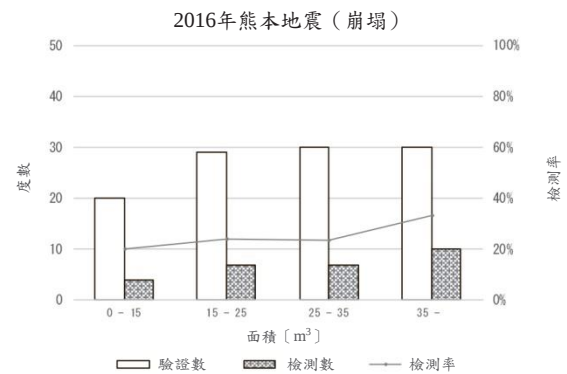
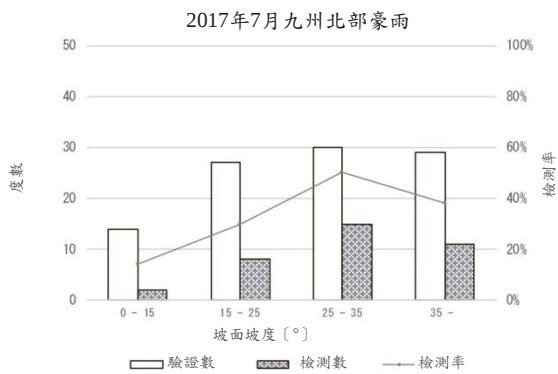
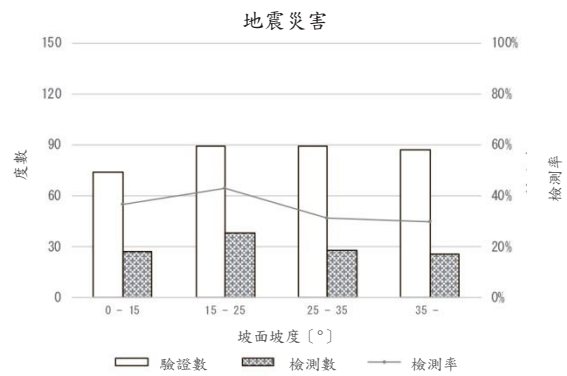
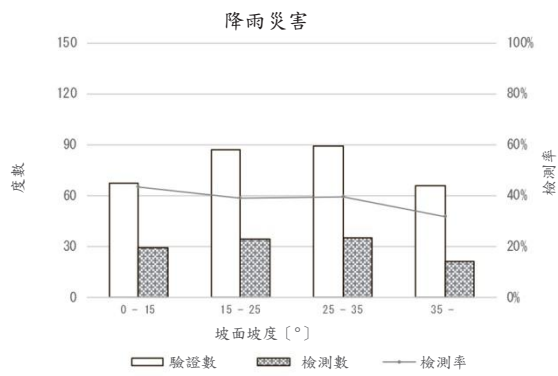
（右）在現場發現大規模崩塌

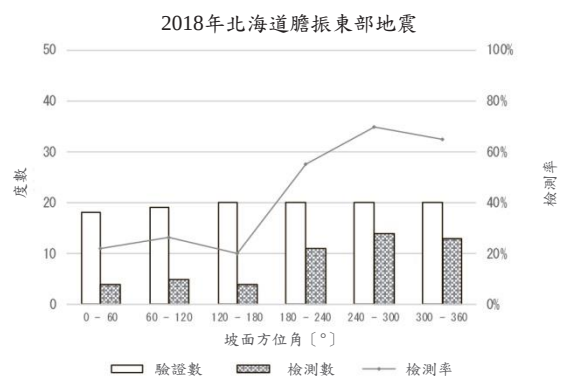
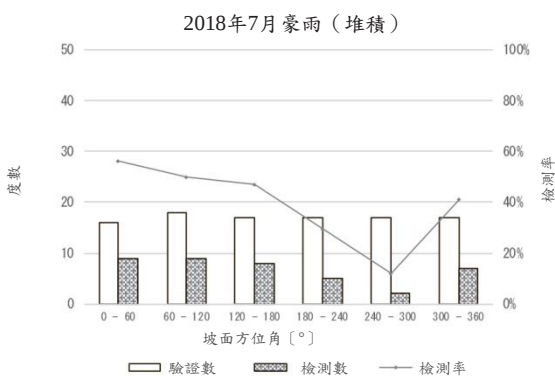
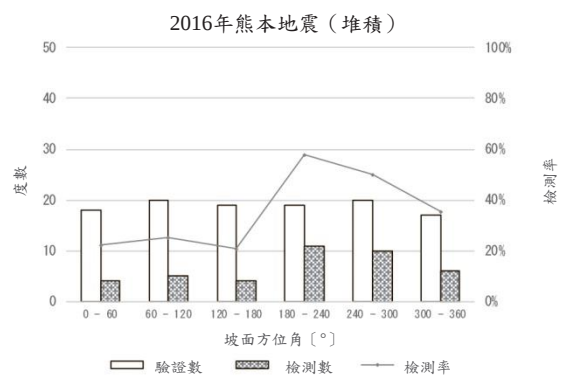
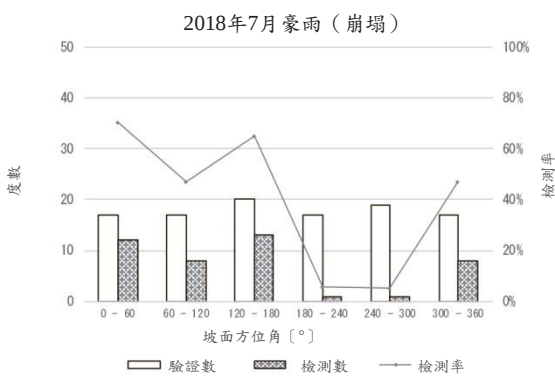
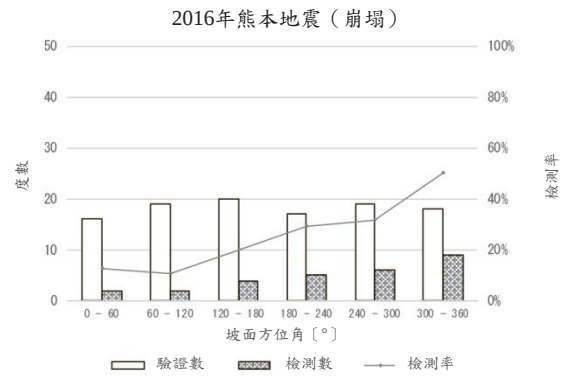
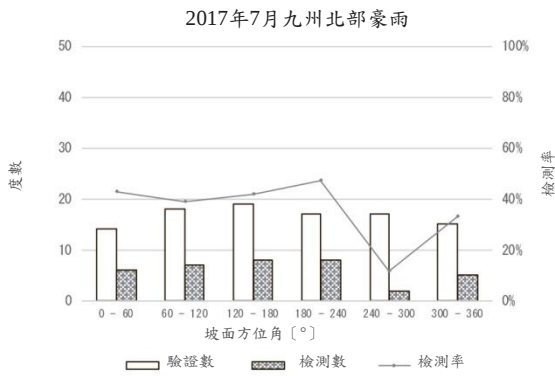
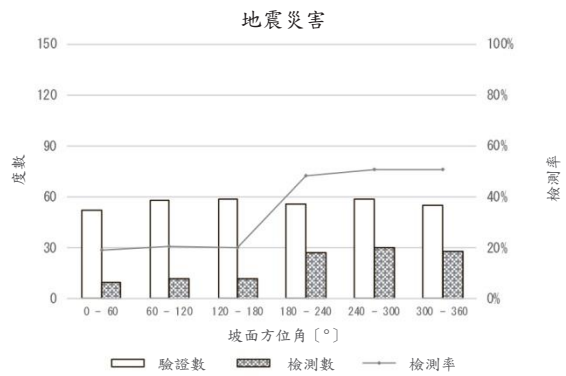
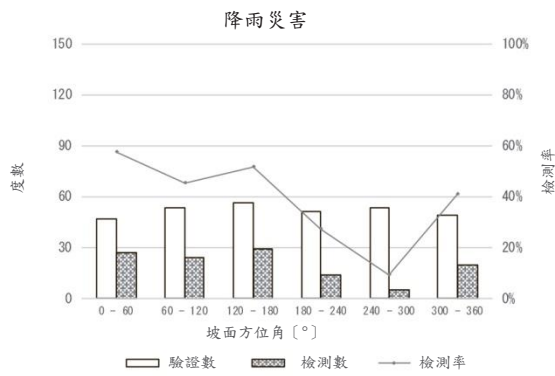
■ 用於判讀調查的SAR圖像技術規格

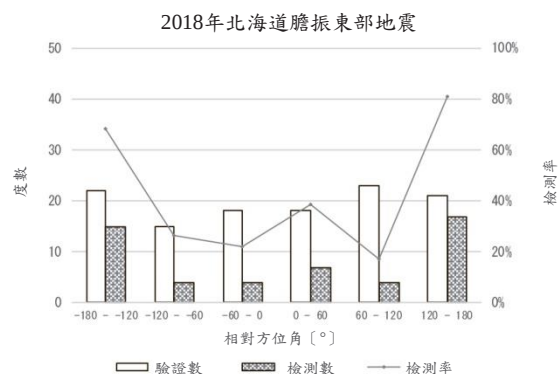
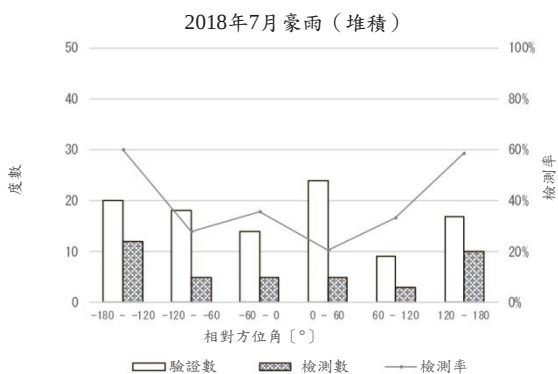
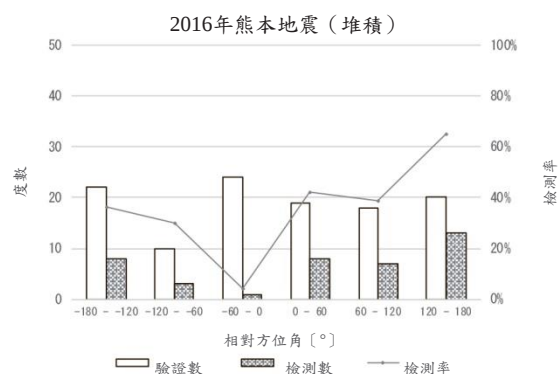
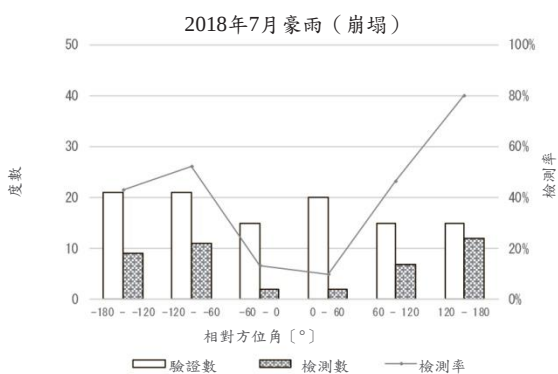
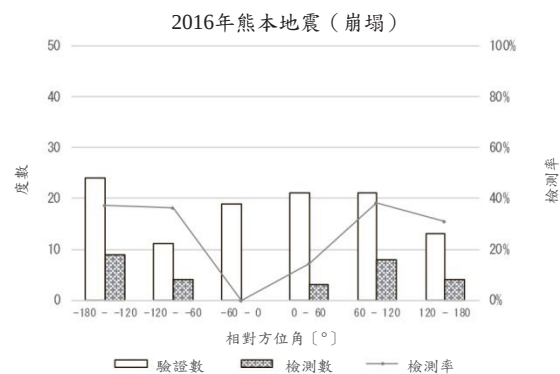
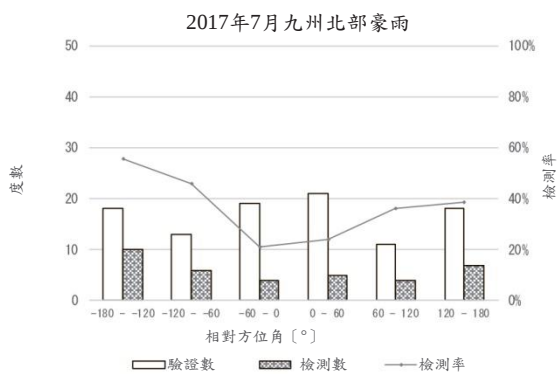
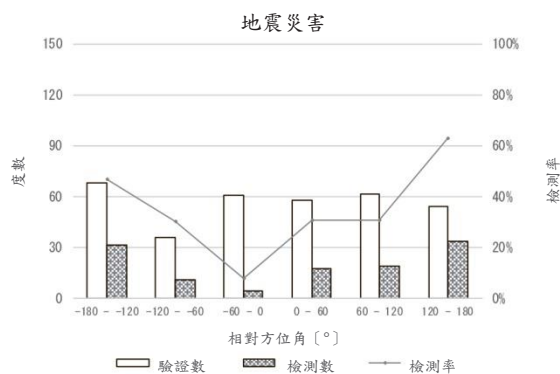
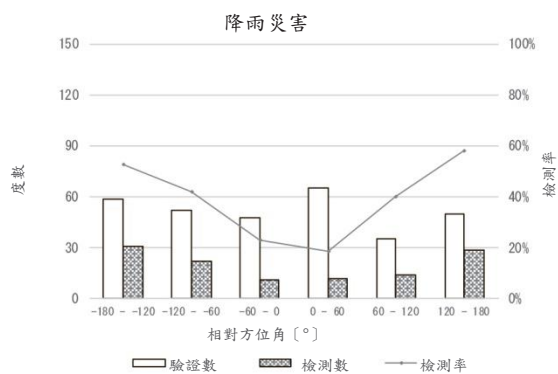
	觀測日期與時間	解析度〔m〕	側視角〔°〕	偏振	軌道方向	微波照射方向	場景數
新觀測	2017/10/23日間通行	10	39.3	HV	下行(descending) (南向)	進行方向左	3

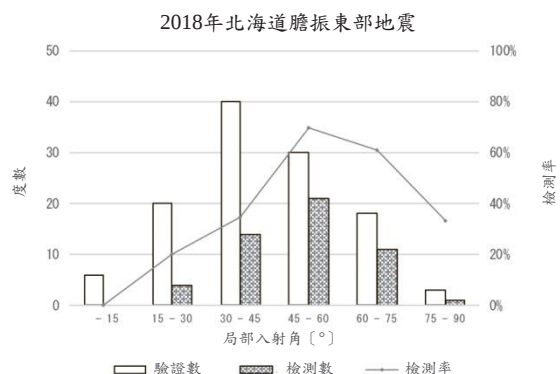
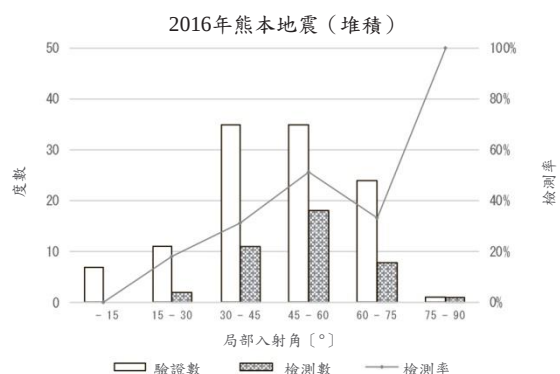
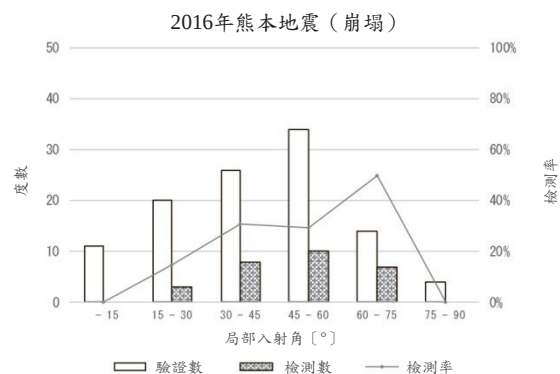
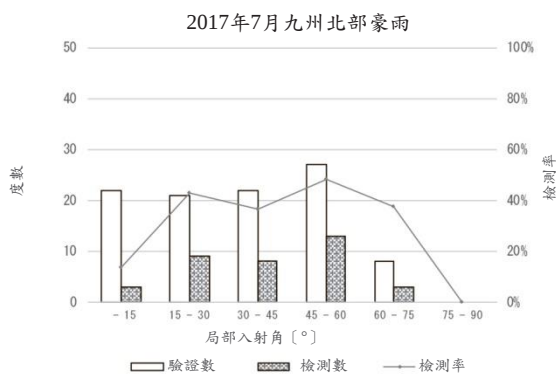
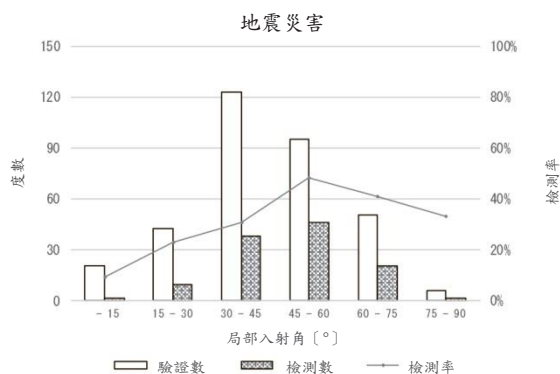
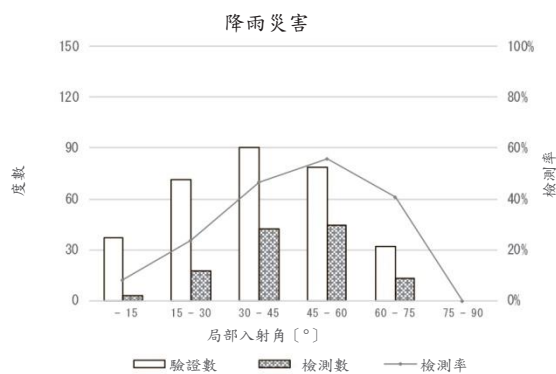
參考資料2・依各災害強度差分的SAR圖像，判讀和調查土砂災害的精準度











參考資料3・依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查檢查表

依強度差分SAR圖像所做的土砂災害判讀調查 檢查表					No.	
ID		所在地		緯度		
				經度		
強度差分SAR圖像		單偏振SAR圖像（災害前）		單偏振SAR圖像（災害後）		
地形圖		災害前光學圖像				
步驟	參照圖像等	確認範圍	檢查項目	判斷基準	評估 (○×)	
1	強度差分SAR圖像	強度差分SAR圖像的著色範圍	支配色	①呈現紅色或成對的紅色和藍色		
				②呈現藍色		
	單偏振SAR圖像	單偏振SAR圖像的前後變化	形狀變化	③看似凹陷		
				④看似隆起		
	強度差分SAR圖像	強度差分SAR圖像的著色範圍	清晰度	⑤清晰		
①、③：○ ⇒ 2（崩塌） ②、④：○ ⇒ 2（堆積）						
2 （崩塌）	地形圖	地形	坡面坡度	⑥斜坡		
	地形圖 災害前光學圖像	周圍	土地覆蓋	⑦非人為改變地		
	地形圖 災害前光學圖像	周圍	土地覆蓋	⑧森林		
2 （堆積）	地形圖	地形	坡面坡度	⑨平地		
	地形圖 災害前光學圖像	周圍	土地覆蓋	⑩非人為改變地		
	地形圖 災害前光學圖像	周圍	位置關係	⑪鄰接紅色變形		
3	強度差分SAR圖像	河道內	支配色	⑫呈現藍色		
		河道上游側		⑬呈現紅色		
	地形圖 災害前光學圖像	河道上游側	積水設施	⑭無積水設施		
判定結果		a. 發生坡面崩塌 有可能性 / 無法確認變形 b. 因崩塌而堆積土砂 有可能性 / 無法確認變形 c. 河道閉塞的形成 有可能性 / 無法確認變形 d. 無法從SAR圖像充分判讀				

.....

國土技術政策總合研究所資料

TECHNICALNOTE of NILIM

No.1110

April 2020

編輯、發行©國土技術政策總合研究所

.....

本資料的轉載和複印相關諮詢

〒305-0804 茨城縣筑波市旭1番地

企畫部研究評估・推行課 TEL029-864-2675

編譯：水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, SWCB, COA

December 2020

本文件之翻譯及轉載，均符合日本著作權法相關規定。