

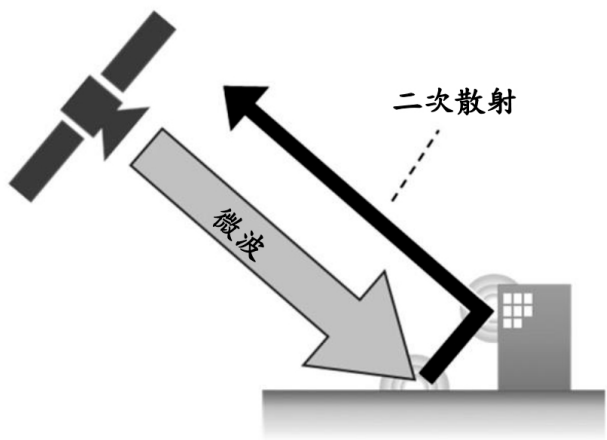


110
年度日本土砂災害防治相關文獻翻譯

110年度日本土砂災害防治 序號8：遙測-災害時的合成孔 徑雷達（SAR）散射變化案例解說集

行政院農業委員會水土保持局
與您一起打拼

序號8：遙測-災害時的合成孔
徑雷達（SAR）散射變化案例解說集



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1159號

2021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.1159 April 2021

災害時の合成孔径雷達（SAR）散射變化案例解説集

鈴木大和、松田昌之、中谷洋明

Expository casebook of scattering changes in synthetic aperture radar (SAR) in time of disaster

SUZUKI Yamato MATSUDA Masayuki 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

災害時の合成孔径雷達（SAR）散射變化案例解説集

鈴木大和* 松田昌之** 中谷洋明***

Expository casebook of scattering changes
in synthetic aperture radar (SAR) in time of disaster

SUZUKI Yamato*, MATSUDA Masayuki**, NAKAYA Hiroaki***

概要

若因夜間或天候不佳，而難以使用光學感測器的災害時，可基於SAR的散射變化有效實施調查，因而要求廣泛瞭解各式各樣的SAR散射變化特性。

本資料是用近年來的災害案例，解說SAR散射變化的特徵和判讀上的注意事項，並提案依SAR圖像判讀土砂災害的調查要領。

關鍵字：合成孔径雷達（SAR）、散射變化、背向散射、土砂災害

Synopsis

In time of disaster, it is useful to utilize survey results based on scattering changes of SAR when it is difficult to collect information using optical sensors during the night or bad weather. It is essential to have a broad understanding of various scattering changes of SAR.

This casebook explains scattering change of SAR in recent disaster cases in terms of characteristics and its pitfalls, and shows a survey procedure to better the interpretation of sediment-related disasters using SAR images.

Key Words: Synthetic Aperture Radar (SAR), Scattering Change, Backscatter Intensity, Sediment-related Disaster

* 土砂災害研究室研究官 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

國土交通省為了迅速且確實因應災害，因而在2017年與國立研究開發法人宇宙航空研究開發機構（以下稱「JAXA」）簽訂「協助提供使用人造衛星等災害相關資訊協定」。可藉此在初步發生災害時掌握受災情況的場面上，增加有效運用衛星圖像的機會。

本研究室已和JAXA攜手實施「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」，並於2020年4月公布國土技術政策總合研究所資料第1110號「依合成孔徑雷達（SAR）圖像判讀土砂災害指引（以下稱「判讀指導方針」）」¹⁾。

判讀指導方針是著眼於發生土砂災害所產生的SAR散射變化，載明調查土砂發生災害情況的方法。可望藉此減輕因判讀者的經驗差異和見識的不同，而出現判讀結果的誤差，以期發揮判讀技術普遍化的效果。

然而，發生土砂災害所伴隨的侵蝕和堆積情況各有不同，有時則呈現不規則的SAR散射變化。再者，預設在發生帶來土砂災害的豪雨和地震過後，會發生國土和基礎設施受災、消失和流失等情況，與災害前有大幅改變的情況。

基於SAR的散射變化，實施土砂災害判讀調查時，可有效瞭解各式各樣的SAR散射變化特性。

本資料是用近年來的災害案例，解說SAR散射變化的特徵和判讀上的注意事項。並整理災害時的SAR散射變化傾向，提議SAR圖像判讀土砂災害的調查要領。

希望能成為加深理解使用SAR圖像的土砂災害判讀技術資料，同時帶動發展針對國土和基礎設施領域在災害時利用SAR圖像的監視技術。

2021年4月

土砂災害研究部 土砂災害研究室

〔本資料處理的SAR圖像和災害案例〕

本資料是用透過JAXA運用之陸域觀測技術衛星2號「大地2號」（以下稱「ALOS-2」）上搭載的L 波段SAR（PALSAR-2）高解析度模式（Strip map），觀測解析度3m的HH單偏振SAR圖像²⁾。因此，本資料將針對L 波段HH偏波中的SAR散射變化特性，進行案例解說。

關於SAR的散射變化，則使用依照判讀指導方針生成的強度差分SAR圖像。

本資料的解說案例是列舉，從開始運用ALOS-2（2014年秋）～到目前為止發生過的豪雨、地震及火山噴發當中，透過ALOS-2呈現災害前後觀測實際績效的現象。

目錄

1. 合成孔徑雷達 (SAR) 的散射	
1.1 背向散射	1
1.2 前向散射	2
1.3 二次散射	3
1.4 體散射	4
1.5 局部入射角之間的關係	5
2. 災害時的SAR散射變化	
2.1 發生災害時，對SAR散射變化的概念	6
2.2 災害時的SAR散射變化模型	7
3. 災害時的SAR散射變化案例解說	
A) 對農地和道路的土砂堆積	11
B) 漂流木等漂流	16
C) 因河道閉塞而發生積水 (堰塞湖)	19
D) 淹水、洪水	22
E) 橋梁流失	27
F) 森林坡面崩塌 (馬蹄形)	31
G) 森林坡面崩塌 (細長形)	37
H) 裸地坡面的崩塌	40
I) 對住宅區堆積土砂	43
J) 建築物、結構物倒塌	46
K) 降灰	48
L) 火山碎屑流流下	50
4. 根據災害時SAR散射變化的判讀調查要領	
4.1 災害時的SAR散射變化傾向	52
4.2 依SAR圖像判讀土砂災害的調查要領	54
4.3 其他注意事項	55
參考文獻	56
強度差分SAR圖像的技術規格	57

1. 合成孔徑雷達（SAR）的散射

搭載於巡視高度數百km上空人造衛星的SAR，朝地表以斜下方照射微波（電波的一種）後，再以高解析度觀測回射微波。可透過SAR觀測取得背向散射強度、相位、偏振共計3種資訊，本章將針對背向散射強度相關4種散射進行解說³⁾、⁴⁾、⁵⁾。

1.1 背向散射

從SAR照射的微波在地表面衝向地面、森林、建造物等地上物後，便朝向各方向進行散射。其中，唯有朝微波照射方向產生的散射，會形成可透過衛星進行觀測的反射波。相對於微波的照射方向，因朝向後方進行散射，因而將這種反射波稱為「背向散射（backscatter）」。

將這種背向散射強度分配成色階，再以強度越強越明亮、強度越弱越昏暗的方式建立可視化之後，即形成「SAR強度圖像」。

可列舉容易產生強烈背向散射的場所則有，形狀極度凹凸不均、容易朝各方向發生散射的形狀。

【背向散射】

在地表面產生的散射當中，相對於微波照射方向朝後方產生的散射。

在形狀極度凹凸不均的場所會強烈發生背向散射，但強度會依物件結構和方向而異。

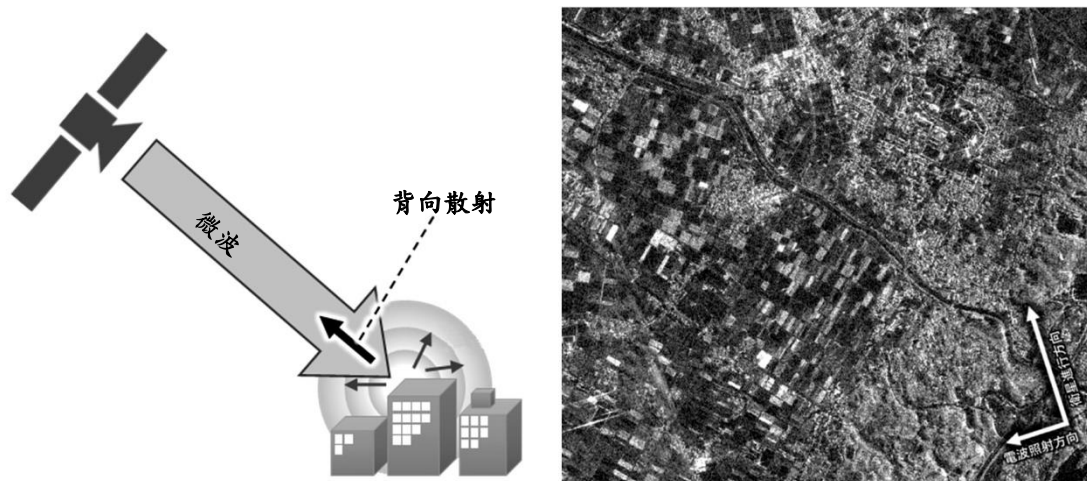


圖-1.1 表示背向散射的概念（左）及背向散射的SAR強度圖像例（右）

1.2 前向散射

若從SAR對無起伏的平坦地上物照射微波後，會因為鏡面反射而朝向微波照射方向增強散射，而無法獲得背向散射。因朝微波照射方向進行散射，因而稱為「前向散射」。

在湖沼和大規模河川等不起浪的平靜水面和停車場、運動場、大規模建築物的平屋頂等，會增強前向散射，由於無法從這些平坦地上物觀測反射波，因此在SAR強度圖像上，會以昏暗領域呈現強烈產生前向散射的場所。

【前向散射】

在地表面產生的散射當中，發生於微波照射方向的散射。在無起伏的平地上，會因為鏡面反射而增強前向散射。

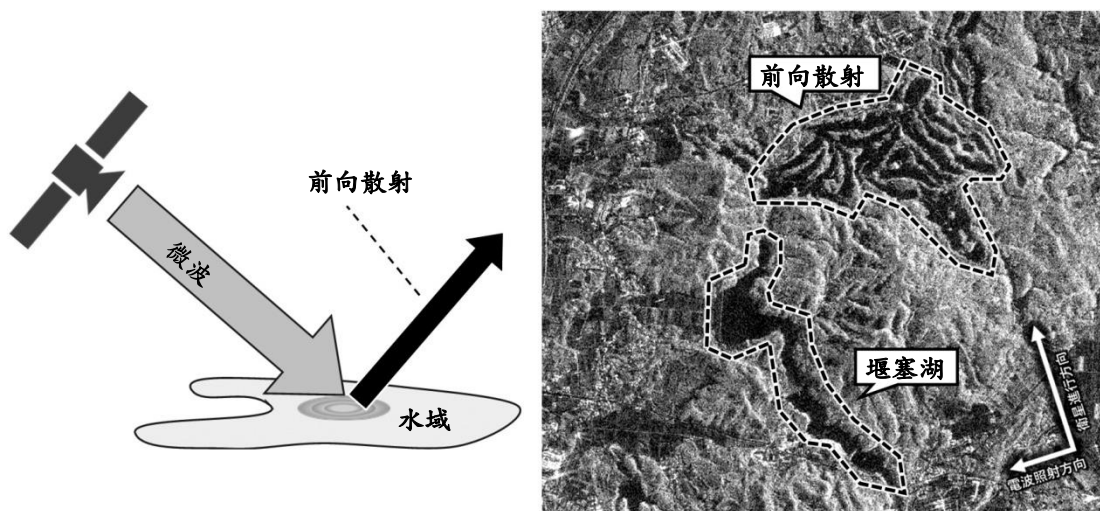


圖-1.2 表示前向散射的概念（左）及前向散射的SAR強度圖像例（右）

1.3 二次散射

在正對從SAR照射微波的方向上，如有建築物等垂直矗立的地上物時，會在地表面和牆面發生二次反射後，再朝微波照射方向產生折返的強烈反射波。再加上透過這種物件的背向散射，而使背向散射變得非常強烈即稱為「二次散射」。

在SAR強度圖像上，發生二次散射的場所會因為強烈的背向散射，而呈現非常明亮的色彩領域。

【二次散射】

在地面反射的前向散射，透過正對微波照射方向的結構物再度進行反射的散射。
會觀測到極為強烈的背向散射。

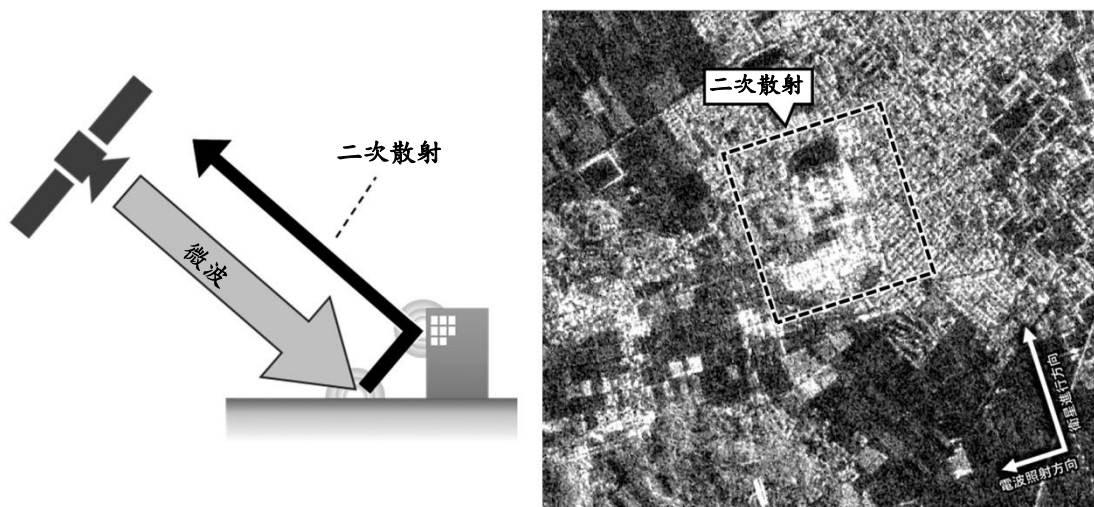


圖-1.3 表示二次散射的概念（左）及二次散射的SAR強度圖像例（右）

1.4 體散射

存在樹木、植物等具有枝葉複雜立體結構的地上物中，會在立體結構內朝向所有方向產生散射。這種散射型態即稱為「體散射(volume scattering)」。

與正常散射的相異之處在於，微波貫通立體結構內的同時，在各種場所進行反射的結果，對全方位產生散射，因此相較於相同面的反射，會形成模糊的散射情況。此外，若排除地形效果，即使從不同方向進行照射，也鮮少在背向散射的強度上看出變化。

【體散射】

微波貫穿複雜立體結構內的同時，在各種場所進行反射的散射。

若與結構物做比較，體散射會降低背向散射的強度，而呈現模糊辨識。

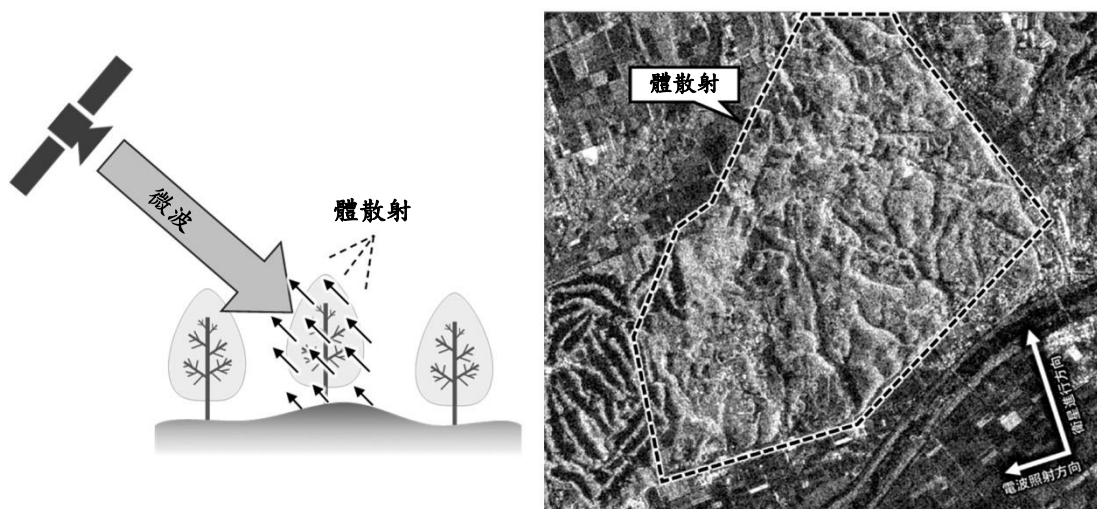


圖-1.4 體散射的概念（左）及體散射的SAR強度圖像例（右）

1.5 局部入射角之間的關係

再加上散射面的平滑度後，背向散射強度也大幅仰賴入射到散射面的角度（以下稱「局部入射角(local incidence angle)」）。

如圖-1.5所示，一般而言具有當局部入射角變大時，背向散射強度則變小的傾向。相較於粗糙散射面，局部入射角對平滑散射面的影響較大。森林中的鮮明體散射，在根據局部入射角的背向散射強度上變化較小⁶⁾。

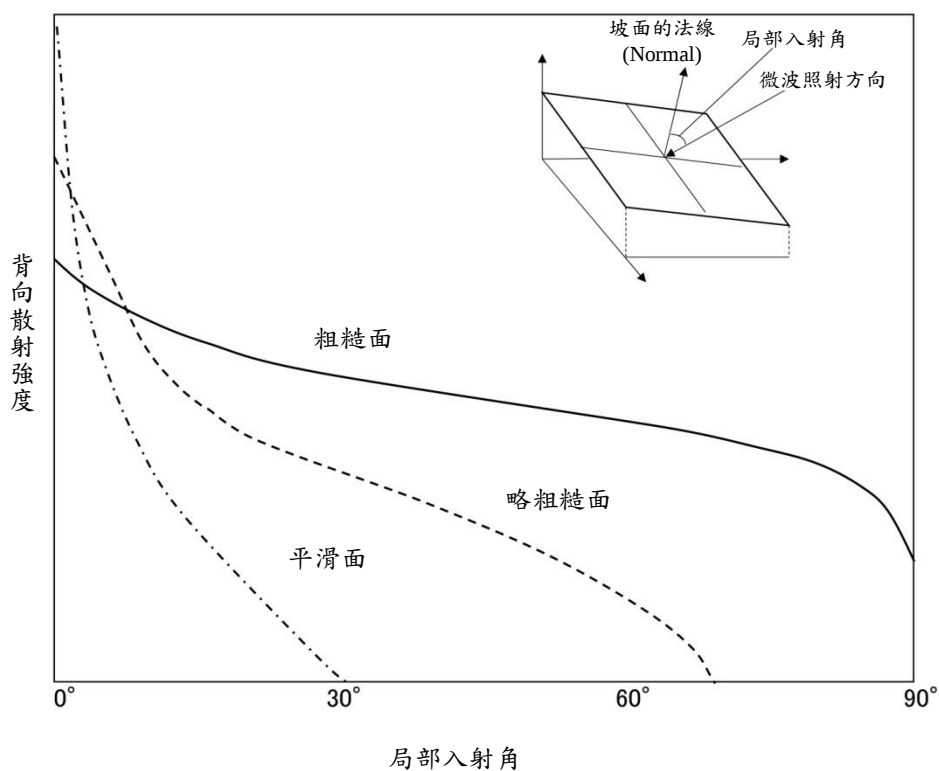


圖-1.5 對散射面光潔度的背向散射強度和入射角之間的關係

2. 災害時的SAR散射變化

2.1 發生災害時，對SAR散射變化的概念

本章將介紹災害時的SAR散射變化概念。

災害時的SAR散射變化是指，將災害前和災害後所觀測之SAR背向散射強度進行比較的結果，大致可分為以下2種。

- 相較於災害前，災害後的背向散射強度上升時
- 相較於災害前，災害後的背向散射強度下降時

在瞭解SAR的散射變化時，應當考量複雜多分歧的散射主因，但要正確考量所有影響並不容易。

而且，在初步災害時需迅速有效運用基於SAR散射變化的調查結果，因此需要某種程度的簡化解釋。

因此，在本資料中，如下建立各種散射的影響模型（以下稱「散射變化模型」）。

再者，在發生災害時的部分SAR散射變化上，有時會涵蓋水田積水・森林採伐等人為影響¹⁾。在散射變化模型中，假定因災害而改變SAR散射的蓋然性為最高，而不考慮針對災害時的SAR散射變化，進行人為影響的區別。

2.2 災害時的SAR散射變化模型

SAR的散射可分為背向散射、前向散射、二次散射和體散射，並根據土地利用和土地披覆，闡述鮮明的特定散射。因此，災害時的SAR散射變化會以某程度呈現受災情況。

將災害後背向散射強度上的升散射變化模型，分為以下2種。

(a) 產生散射面

對於背向散射弱的平滑散射面而言，會因為災害而另行流入散射體，而產生提高散射面粗糙度時的散射變化。因在災害後顯現增強背向散射的強烈散射，因而稱為「產生散射面」。

(b) 產生二次散射

因災害而產生高低差後，發生新二次散射時的散射變化。因在災害後，產生增強背向散射的二次散射，因而稱為「產生二次散射」。

再者，一旦產生體散射後，背向散射強度會上升，但在本資料中，有鑑於因災害而變化的發生頻率低，因此未呈現於散射變化模型中。

將災害後背向散射強度下降的散射變化模型，分為以下3種。

(c) 散射面消失

相對於背向散射鮮明的粗糙散射面，因災害而提高散射面平滑度時的散射變化。因災害前失去背向散射，因而稱為「散射面消失」。

(d) 體散射消失

因災害而失去體散射鮮明的散射體，當提高散射面的平滑度時即發生散射變化。因災害前的體散射失去背向散射，而稱為「體散射消失」。

(e) 二次散射消失

因災害高低差消失，而失去二次散射時即發生散射變化。會因為災害前的二次散射而失去強烈的背向散射，因而稱為「二次散射消失」。

此外，若屬特定的土地利用和土地覆蓋時，則根據局部入射角改變背向散射強度。換言之，若因災害發生地形變化而改變局部入射角時，就會發生SAR的散射變化。

因災害造成地形變化，而改變散射的模式如下。

(f) 散射面的變形

因災害發生地形變化等，而改變局部入射角時的散射變化。因地形變化等因素而改變背向散射，因而稱為「散射面的變形」。

3. 災害時のSAR散射變化案例解説

針對近年來發生災害時的以下A)～L) 案例，解説SAR散射變化的特徵和注意事項。

A) 對農地和道路的土砂堆積

- A-1 2018年7月豪雨（吳市安浦地區）
- A-2 2018年7月豪雨（高屋JCT）
- A-3 2018年北海道膽振東部地震（厚真町高丘地區）
- A-4 〔例外〕堆積細粒土砂

B) 漂流木等漂流

- B-1 2017年7月九州北部豪雨（寺內水壩）
- B-2 2020年7月豪雨（八代海）

C) 因河道閉塞而發生積水（堰塞湖）

- C-1 2017年7月九州北部豪雨（日田市小野地區）
- C-2 2018年北海道膽振東部地震（日高幌內川）

D) 淹水、洪水

- D-1 2015年9月關東與東北豪雨（鬼怒川）
- D-2 2017年7月梅雨鋒面伴隨的大雨（雄物川）
- D-3 2019年東日本颱風（千曲川）
- D-4 〔參考〕水田積水

E) 橋梁流失

- E-1 2016年熊本地震（阿蘇大橋）
- E-2 2020年7月豪雨（深水橋）
- E-3 〔參考〕新設橋梁

F. 森林坡面崩塌（馬蹄形）

- F-1 2016年熊本地震（大津町瀬田地區）
- F-2 2017年7月九州北部豪雨（乙石川）
- F-3 〔例外〕草地坡面の崩塌
- F-4 〔參考〕採伐地
- F-5 〔參考〕採石場

G. 森林坡面崩塌（細長形）

- G-1 2017年7月九州北部豪雨（東峰村寶珠山）
- G-2 2018年7月豪雨（吳市安浦地區）

H. 裸地坡面の崩塌

- H-1 2020年7月豪雨（雨畑川）
- H-2 2020年7月豪雨（球磨村松野地區）

I. 對住宅區堆積土砂

- I-1 2017年7月九州北部豪雨（寒水川）
- I-2 2018年7月豪雨（總頭川）

J. 建築物、結構物倒塌

- J-1 2016年熊本地震（益城町）

K. 降灰

- K-1 2018年草津白根山噴發

L. 火山碎屑流流下

- L-1 2015年口永良部山噴發

A) 對農地和道路的土砂堆積

〔散射變化的解說〕

當農地和道路堆積土砂時，災害後的背向散射強度上升。
在強度差分SAR圖像上，用藍色做表示。

從SAR照射的微波，對農地和鋪裝道路等無起伏的平坦地表面，產生前向散射鮮明的散射。因而降低災害前的背向散射強度。若因災害造成土砂流入農地和道路等時，堆積的土砂即促成微波的背向散射，災害後的背向散射強度上升。^{1)、7)}。有時可從這個SAR的散射變化中，特定農地和道路等堆積土砂的區位。

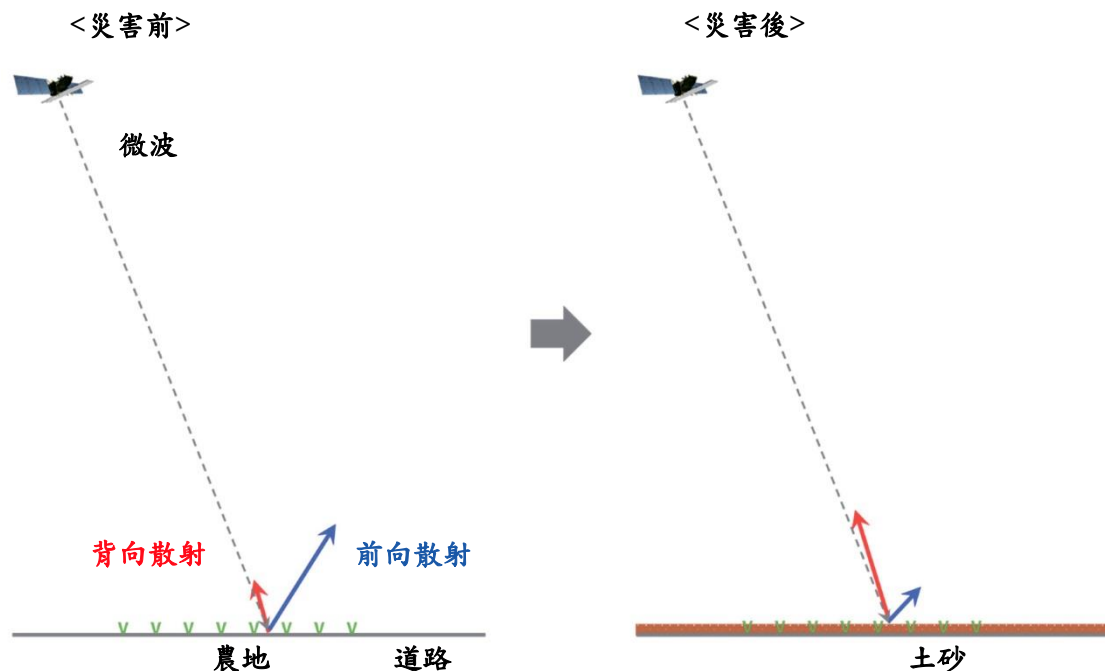


圖-3.1 農地和道路堆積土砂時的散射變化相關概念

〔注意事項〕

- 災害前必須是農地和鋪裝的道路等平滑地表面。
- 若道路如同幹線道路般的寬敞時，散射變化辨識性較高。
- 在特定條件下，災害後的背向散射強度可能下降（詳情參照P15）。

A-1 2018年7月豪雨（吳市安浦地區）

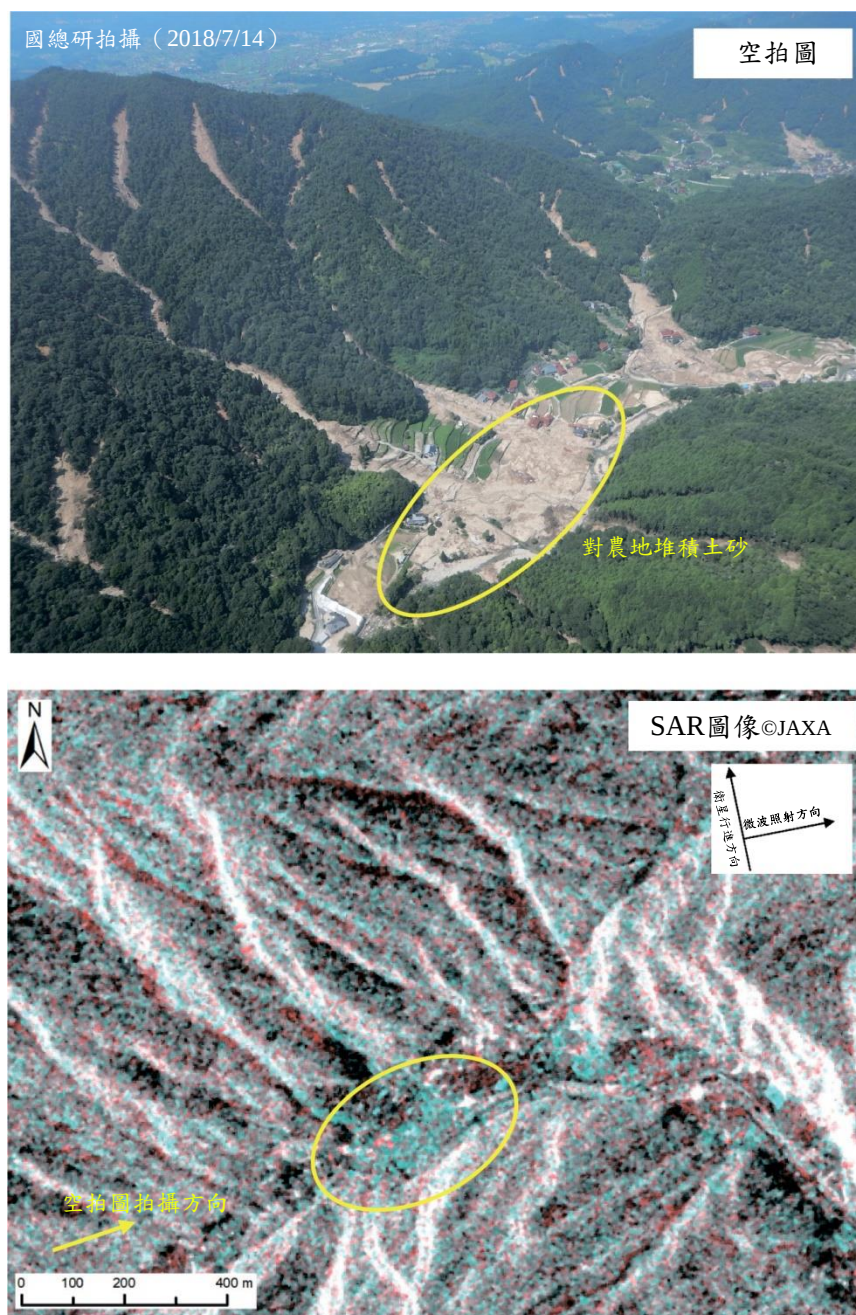


圖-3.2 空拍圖（上）和強度差分SAR圖像（下）（廣島縣吳市）

水田等作為農地之用的場所堆積土砂的結果，災害後的背向散射強度上升。在強度差分SAR圖像上，用藍色做表示。

A-2 2018年7月豪雨（高屋JCT）

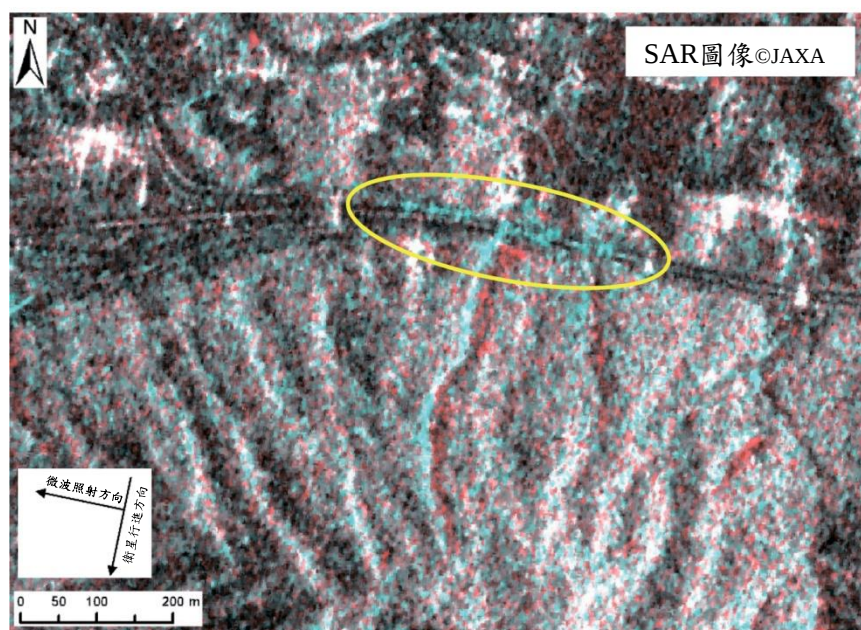


圖-3.3 現場照片（上）和強度差分SAR圖像（下）（廣島縣東廣島市）

山陽自動車道高屋JCT附近車道土砂堆積的結果，災害後的背向散射強度上升。在強度差分SAR圖像上，用藍色做表示。

A-3 2018年北海道膽振東部地震（厚真町高丘地區）

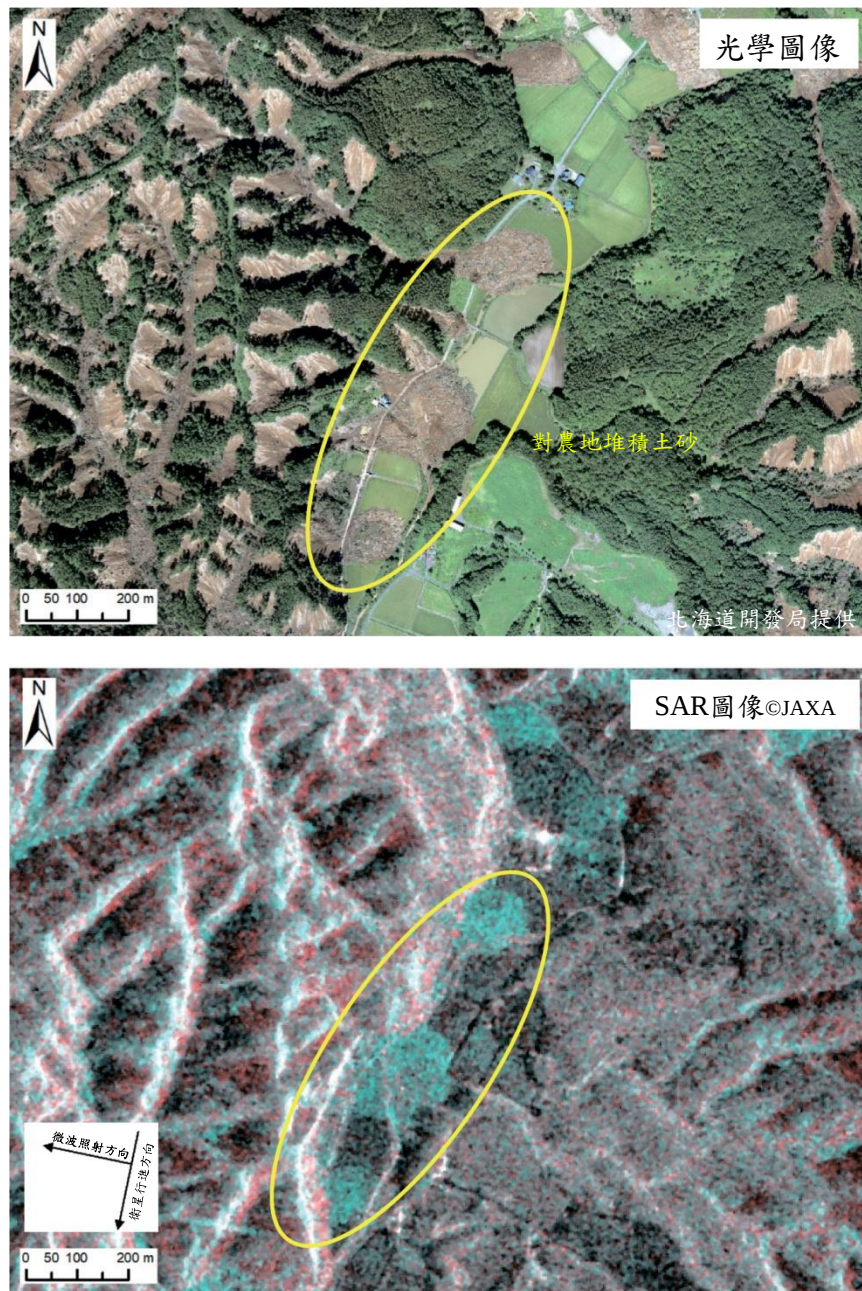


圖-3.4 光學圖像（上）和強度差分SAR圖像（下）（北海道勇払郡厚真町）

水田等作為農地之用的場所堆積土砂的結果，災害後的背向散射強度上升。在強度差分SAR圖像上，用藍色做表示。

A-4 〔例外〕堆積細粒土砂

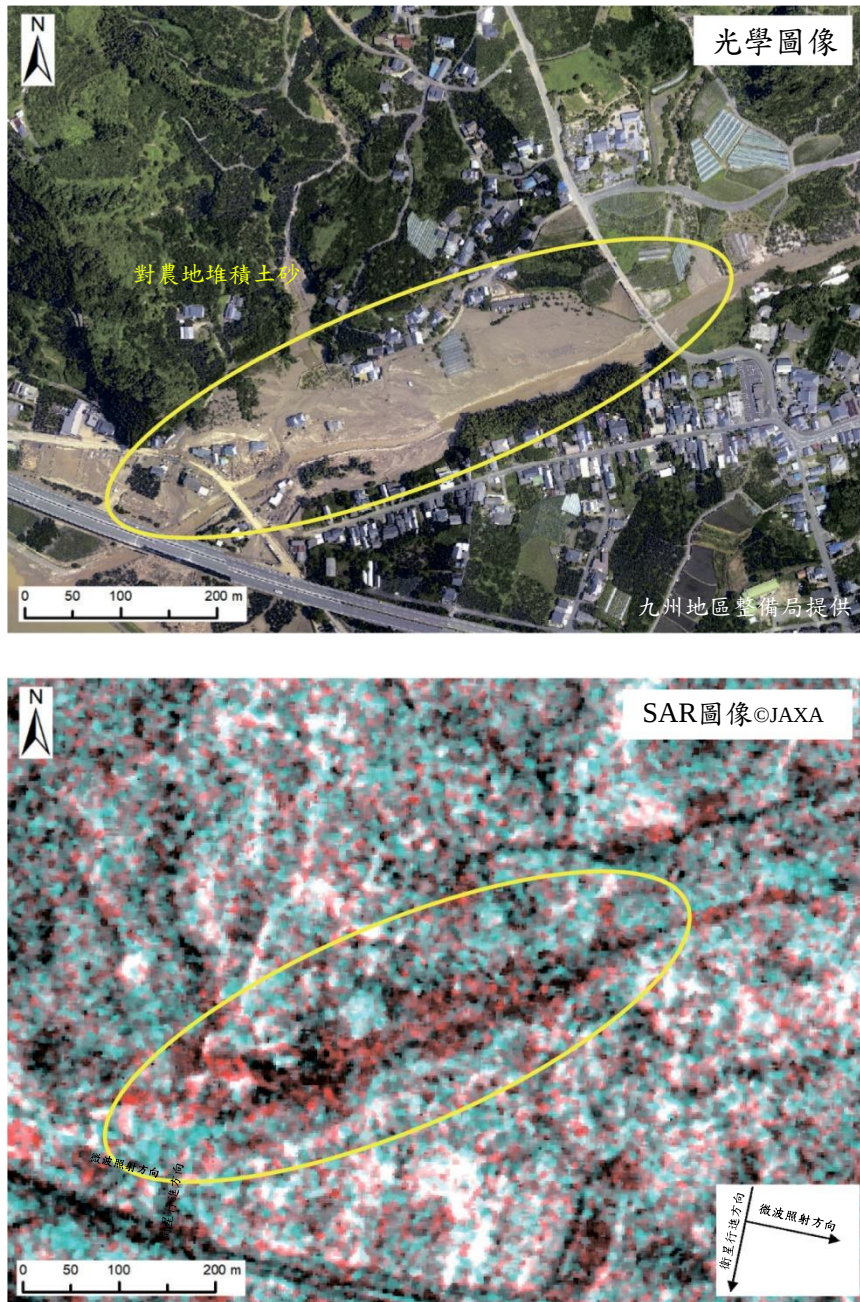


圖-3.5 光學圖像（上）和強度差分SAR圖像（下）（福岡縣朝倉市）

相較於災害前，若因氾濫等因素而堆積細粒土砂時，會形成無起伏的平坦地表面，因此災害後的背向散射強度下降。此時，在強度差分SAR圖像上呈現紅色。

B) 漂流木等漂流

〔 散射變化的解說 〕

如有漂流木等，災害後的背向散射強度會上升。
在強度差分SAR圖像上，用藍色做表示。

從SAR照射的微波對於如同水域般的平靜水面，產生前向散射鮮明的散射。因此，會明顯降低災害前的背向散射強度。若因災害而流出漂流木時，漂流物即促成微波的背向散射，因此災害後的背向散射強度上升。⁷⁾。有時可從這種SAR的散射變化，特定流出漂流木等分布。

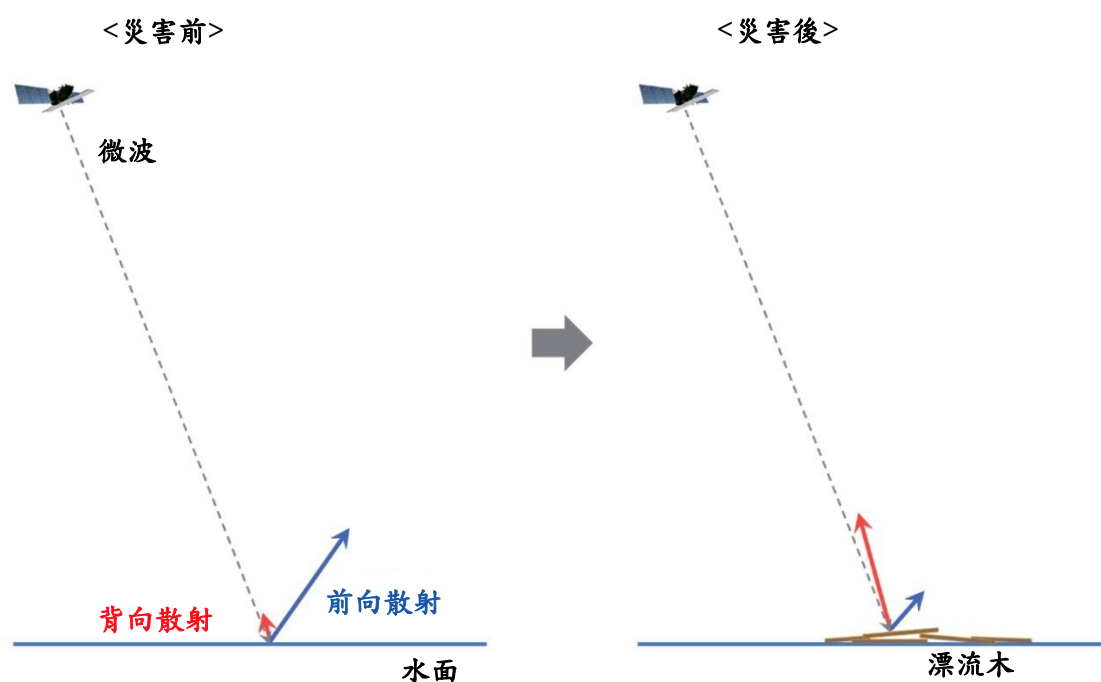


圖-3.6 流出漂流木等時的散射變化相關概念

〔 注意事項 〕

- ・ 從災害後進行觀測開始經過一段時間後，漂流物有可能因潮流而移動。
- ・ 災害前，若已有廣域分布漂流物的水面和繁茂的植物時，就難以進行特定。
- ・ 潮流湍急的場所，有可能因波浪而誤視散射變化。

B-1 2017年7月九州北部豪雨（寺內水壩）

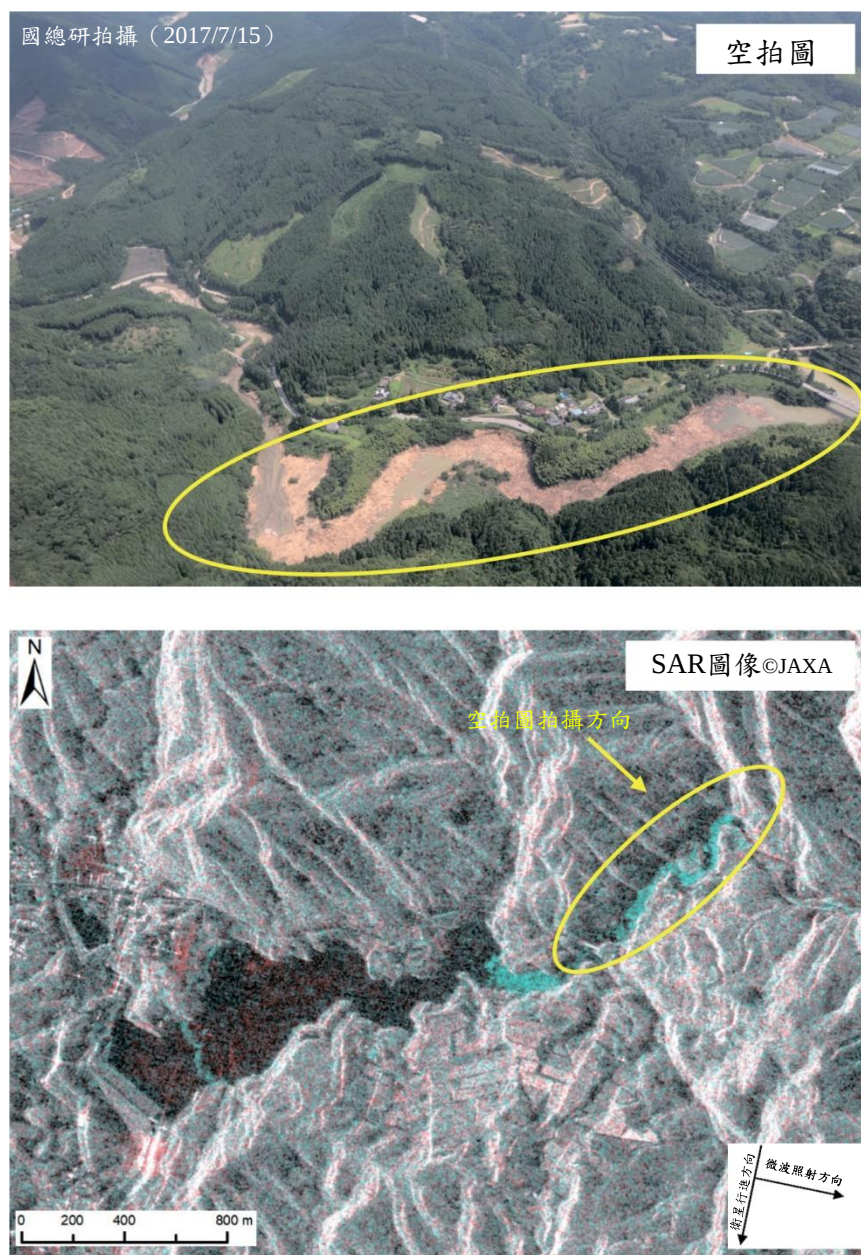


圖-3.7 空拍圖（上）和強度差分SAR圖像（下）（福岡縣朝倉市）

漂流木漂流於寺內水壩水面的結果，災害後的背向散射強度上升。在強度差分SAR圖像上，用藍色做表示。

B-2 2020年7月豪雨（八代海）

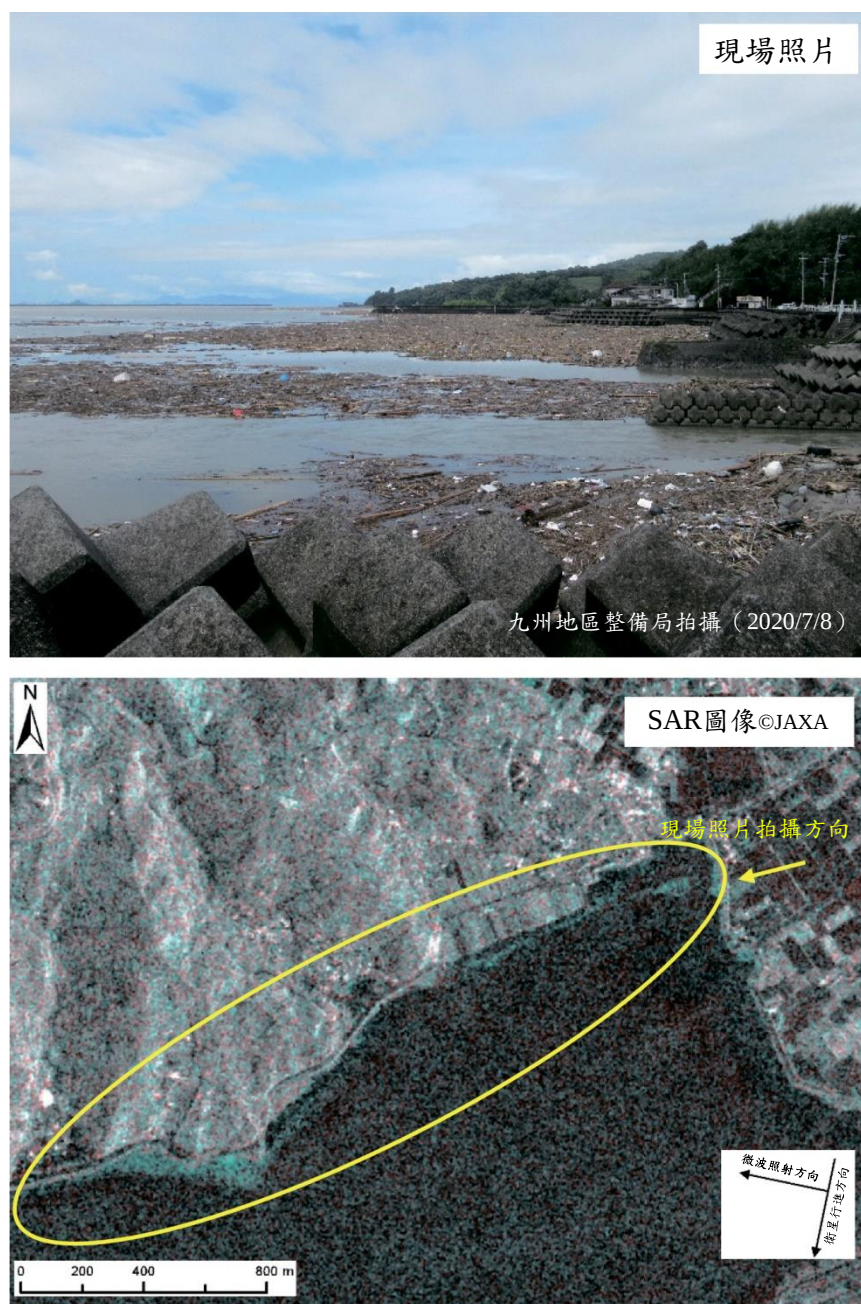


圖-3.8 現場照片（上）和強度差分SAR圖像（下）（熊本縣宇城市）

漂流木漂流於八代海沿岸的結果，災害後的背向散射強度上升。在強度差分SAR圖像上呈現藍色。

C) 因河道閉塞而發生積水（堰塞湖）

〔散射變化的解說〕

若因河道閉塞而積水時，災害後的背向散射強度明顯下降。
在強度差分SAR圖像上呈現鮮明紅色。

從SAR照射的微波，會根據河道周邊等地表面的形狀和形狀極度凹凸不均的情況，產生背向散射。因此，會以一定程度的大小，顯現災害前的背向散射強度。若因災害使得土砂等堵塞河道而形成積水領域時，積水領域的水面即促成微波的前向散射，使得災害後的背向散射明顯下降⁸⁾。有時可從這種SAR的散射變化，特定因河道閉塞而發生的積水區位。

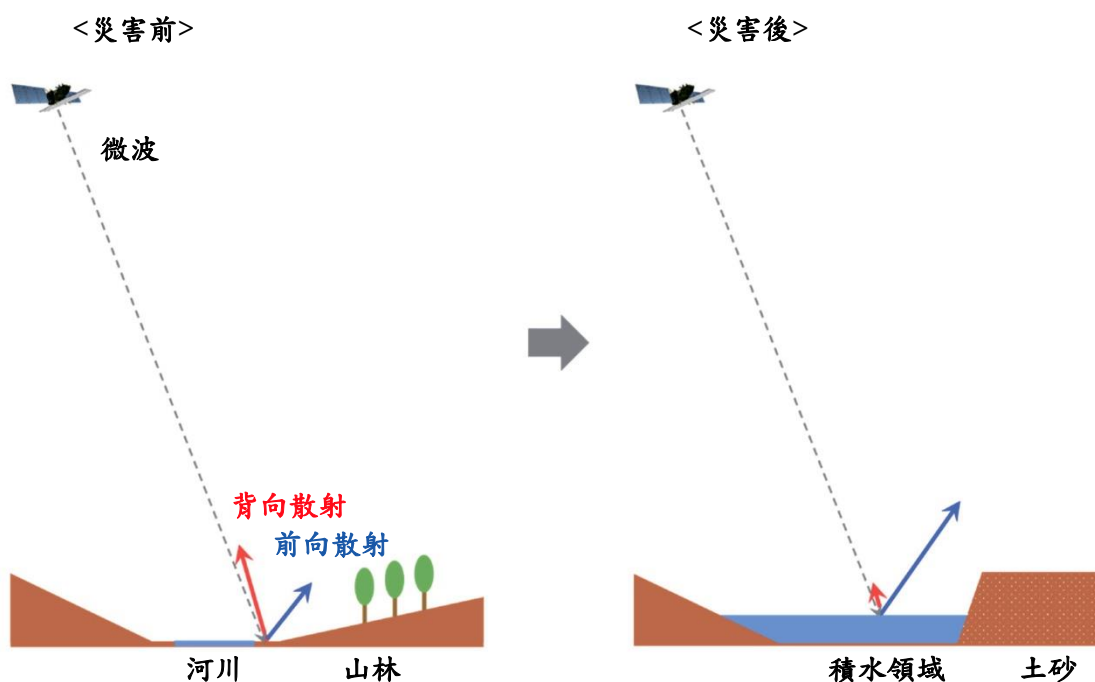


圖-3.9 因河道閉塞而形成積水領域時的散射變化相關概念

〔注意事項〕

- 周邊一旦發生淹水或洪水後，散射變化經過同化而缺乏辨識性。
- 歸檔檔案圖像為乾涸期時的情況，有可能在誤視為蓄水設施積水。

C-1 2017年7月九州北部豪雨（日田市小野地區）

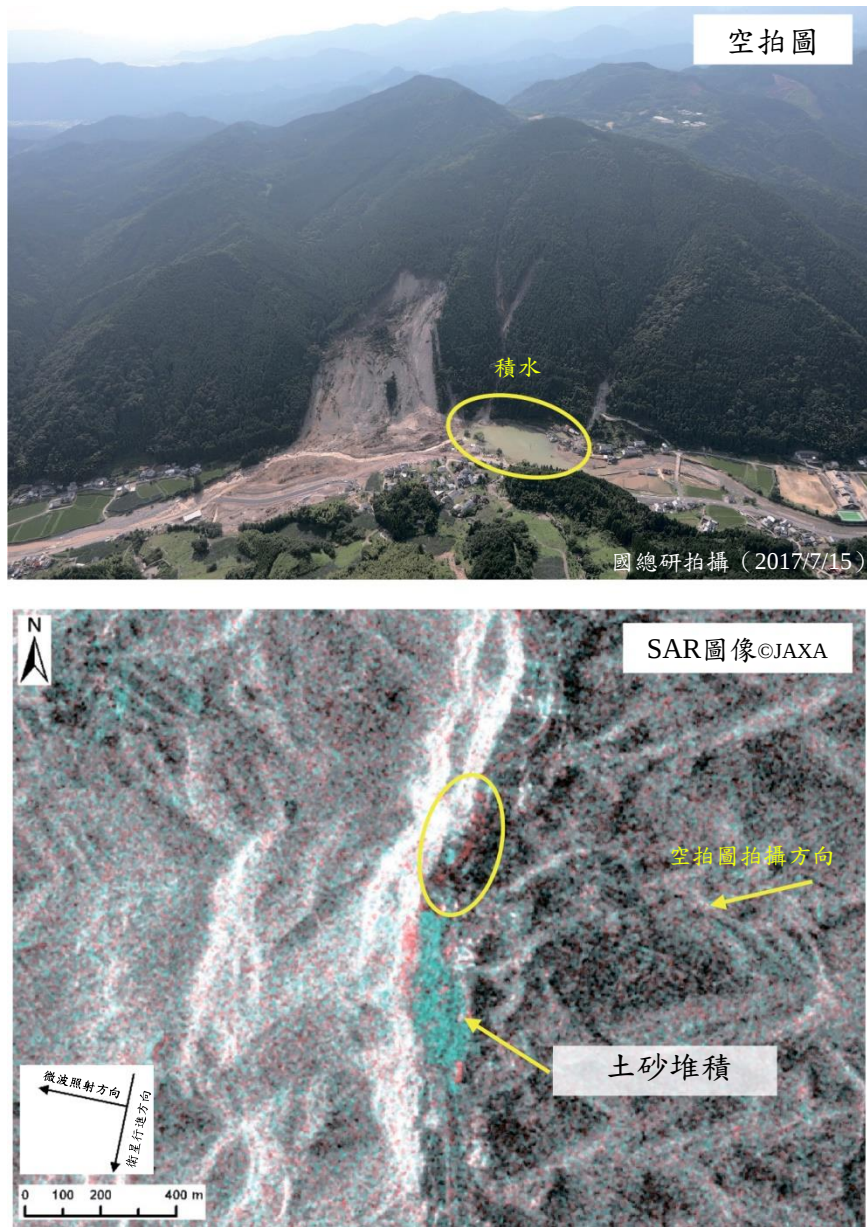


圖-3.10 空拍圖（上）和強度差分SAR圖像（下）（大分縣日田市）

土砂堆積於河道內，而形成積水領域的結果，災害後的背向散射強度下降。在強度差分SAR圖像上呈現紅色。

此外，河道內堆積土砂的場所，顯現災害後的背向散射強度上升的情況，因此在強度差分SAR圖像上呈現藍色。

C-2 2018年北海道膽振東部地震（日高幌內川）

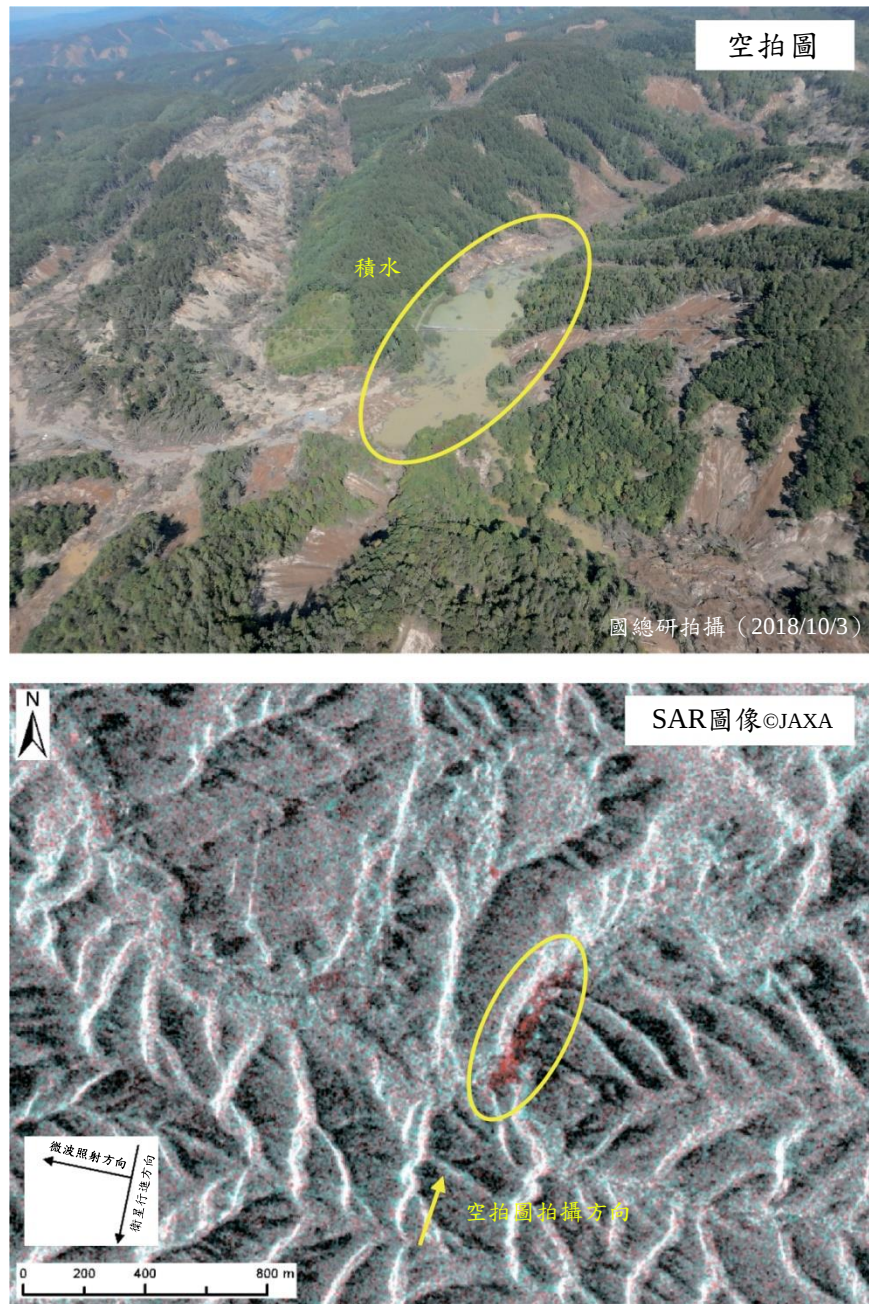


圖-3.11 空拍圖（上）和強度差分SAR圖像（下）（北海道勇払郡厚真町）

土砂堆積於河道內，而形成積水領域的結果，災害後的背向散射強度下降。在強度差分SAR圖像上呈現紅色。

再者，因積水領域的形成速度減緩，歸檔檔案圖像仍用災害後圖像進行監視，因此河道內土砂堆積場所的變化並未顯示。

D) 淹水、洪水

〔散射變化的解說〕

當發生淹水或洪水時，災害後的背向散射強度明顯下降。
在強度差分SAR圖像上呈現鮮明紅色。

從SAR照射的微波，會根據河道周邊等地表面的形狀和形狀極度凹凸不均的情況，產生背向散射。因此，會以一定程度的大小，顯現災害前的背向散射強度。因災害而發生淹水或洪水時，淹水面即促成微波的前向散射，因此災害後的背向散射明顯下降⁸⁾。有時可從這種SAR的散射變化，特定淹水或洪水範圍。

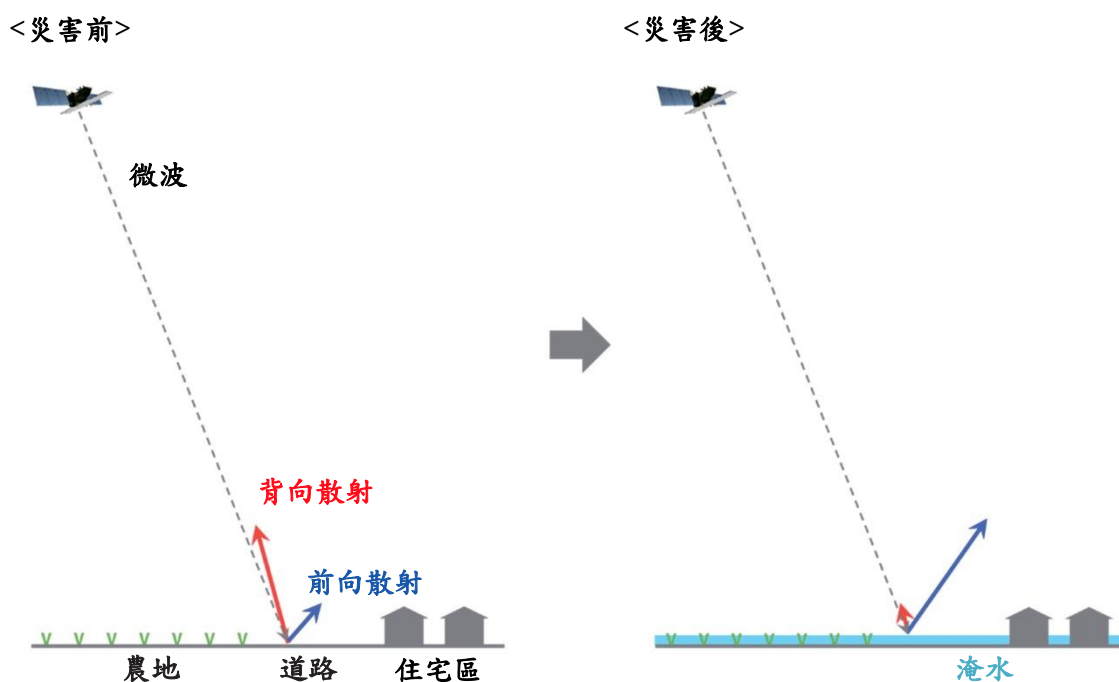


圖-3.12 發生淹水或洪水時的散射變化相關概念

〔注意事項〕

- 水田如有積水，散射變化經過同化而缺乏辨識性（詳情參照P26）。
- 隨著時間經過而進行災害後的觀測時，有可能與最大淹水範圍不同。

D-1 2015年9月關東與東北豪雨（鬼怒川）

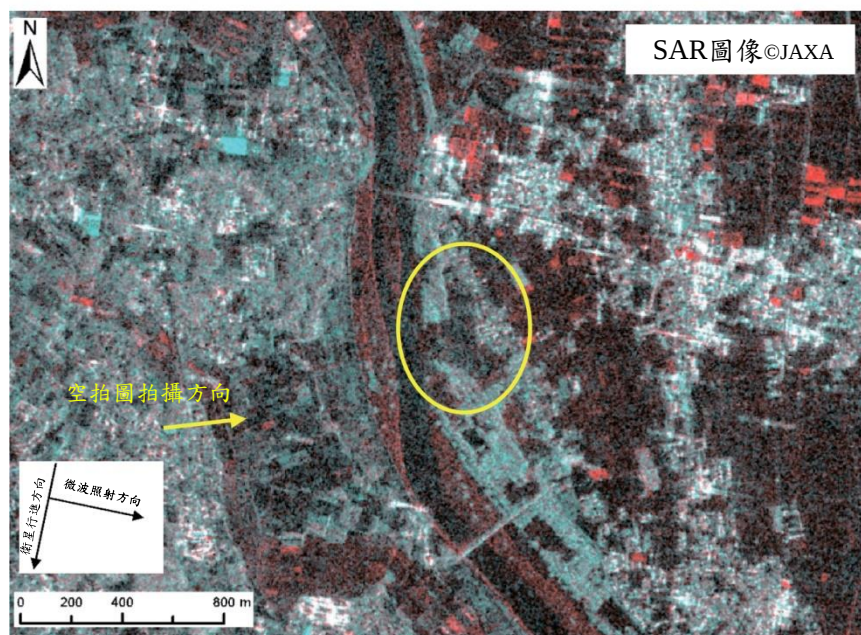
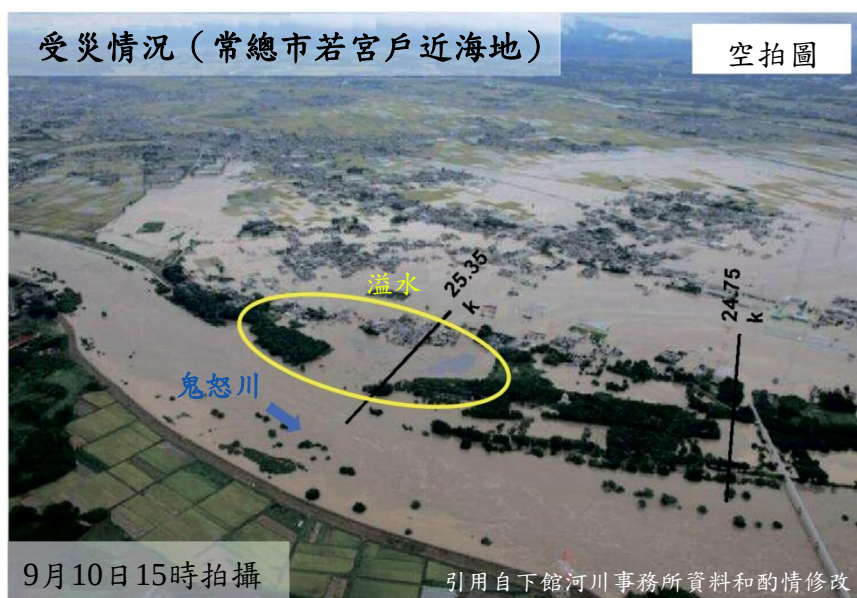


圖-3.13 空拍圖（上）和強度差分SAR圖像（下）（茨城縣常總市）

鬼怒川沿岸淹水的範圍，災害後的背向散射強度下降。在強度差分SAR圖像上呈現紅色。

D-2 2017年7月梅雨鋒面伴隨的大雨（雄物川）

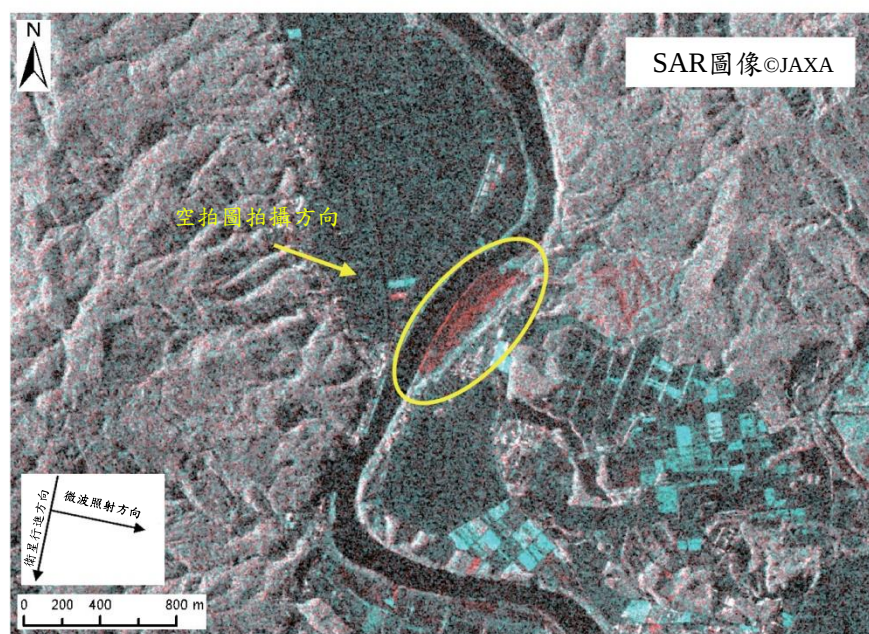


圖-3.14 空拍圖（上）和強度差分SAR圖像（下）（秋田縣秋田市）

雄物川沿岸淹水的範圍，災害後的背向散射強度下降。在強度差分SAR圖像上呈現紅色。

D-3 2019年東日本颱風（千曲川）

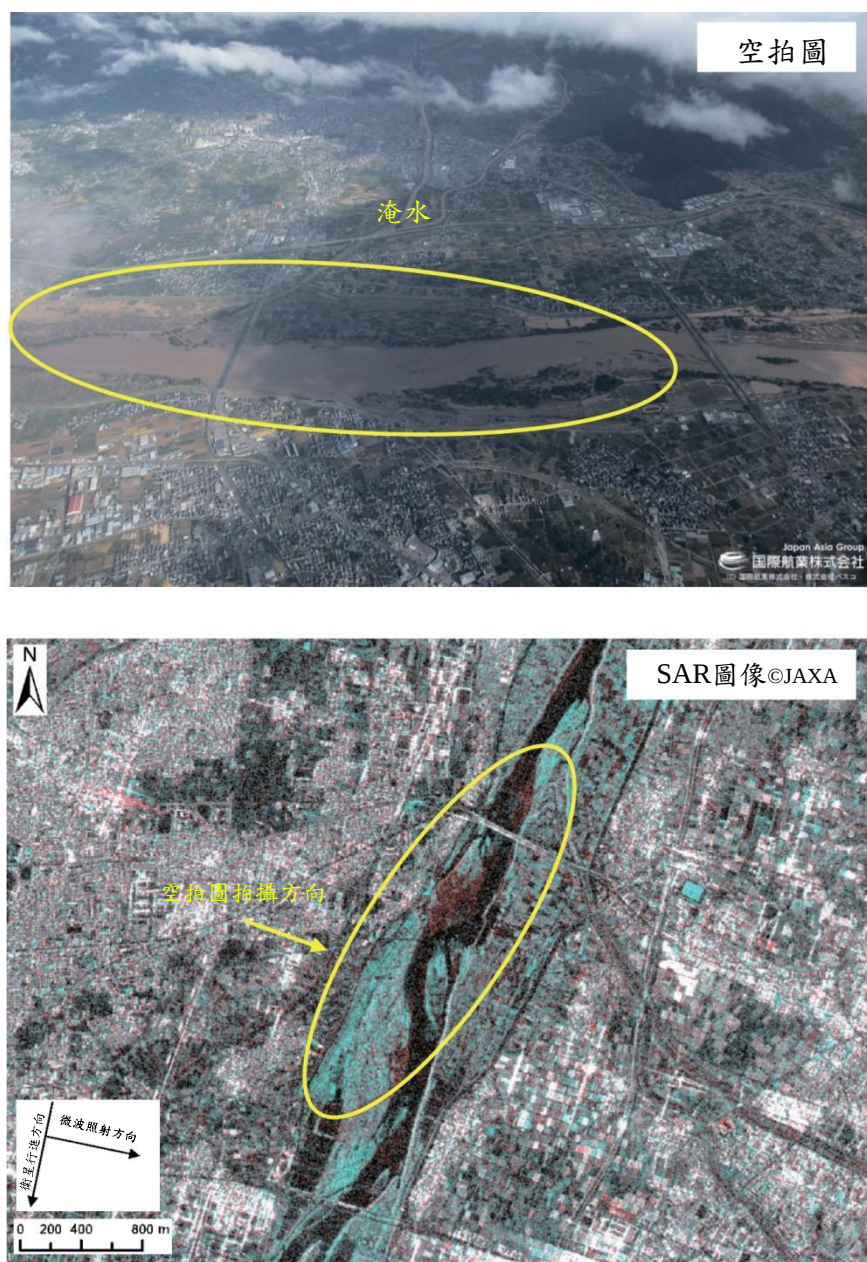


圖-3.15 空拍圖（上）和強度差分SAR圖像（下）（長野縣長野市、須坂市）

千曲川沿岸淹水的範圍，災害後的背向散射強度下降。在強度差分SAR圖像上呈現紅色。

此外，淹水消退的範圍，則因土砂和漂流物的堆積，而提升災害後的背向散射強度，而在強度差分SAR圖像上呈現藍色。

D-4 〔參考〕水田積水

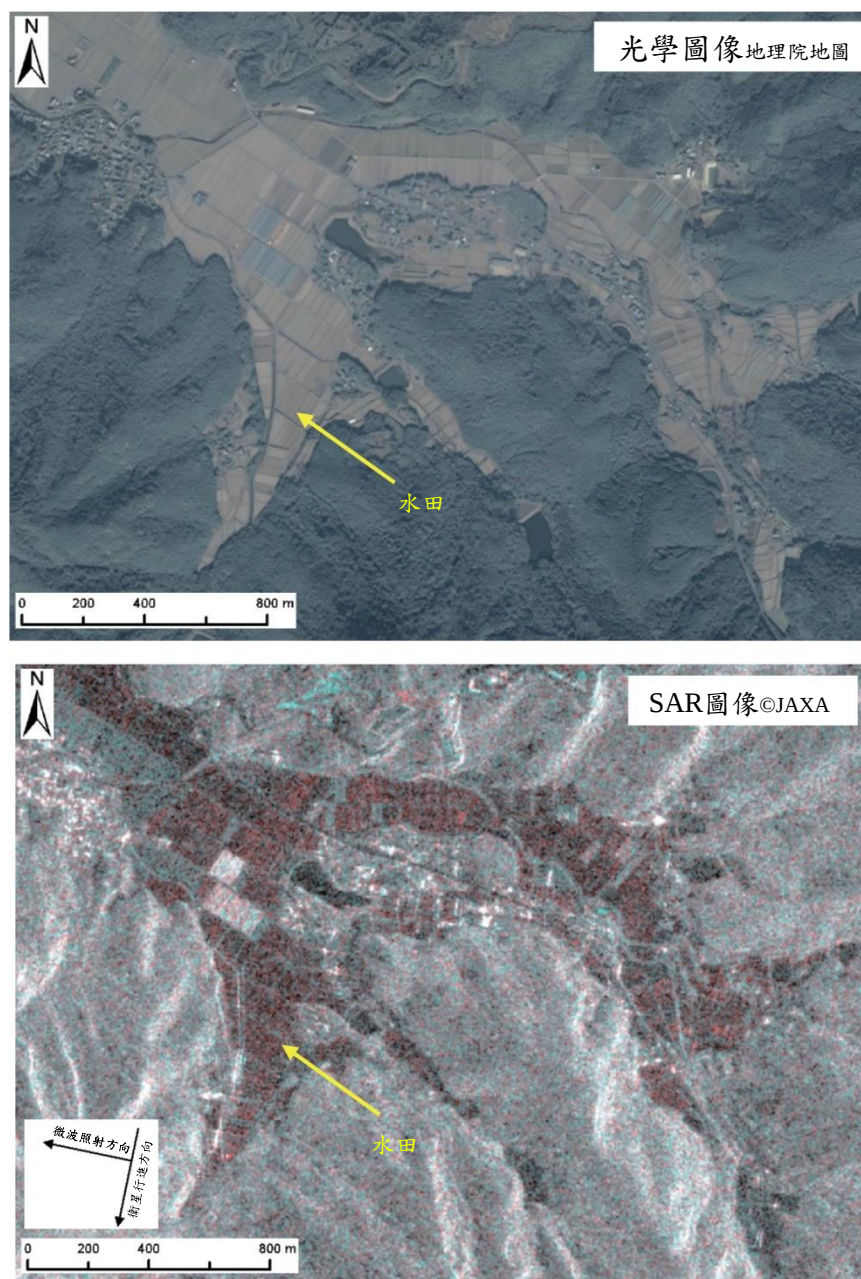


圖-3.16 光學圖像（上）和強度差分SAR圖像（下）（大分縣宇佐市）

當水田積水時，即呈現背向散射強度下降的情況。在強度差分SAR圖像上呈現紅色。容易誤判為淹水等，因此必須用歸檔檔案圖像確認觀測時期後再進行判讀。

E) 橋梁流失

〔散射變化的解說〕

當橋梁流失時，災害後的背向散射強度明顯下降。

在強度差分SAR圖像上呈現鮮明紅色。

從SAR照射的微波根據橋梁的形狀和方向，產生背向散射。因此，會以一定程度的大小，顯現災害前的背向散射強度。當橋梁因災害而流失時，即失去微波的背向散射，因此災害後的背向散射明顯下降⁹⁾。有時可從這種SAR的散射變化，特定橋梁流失的區位。

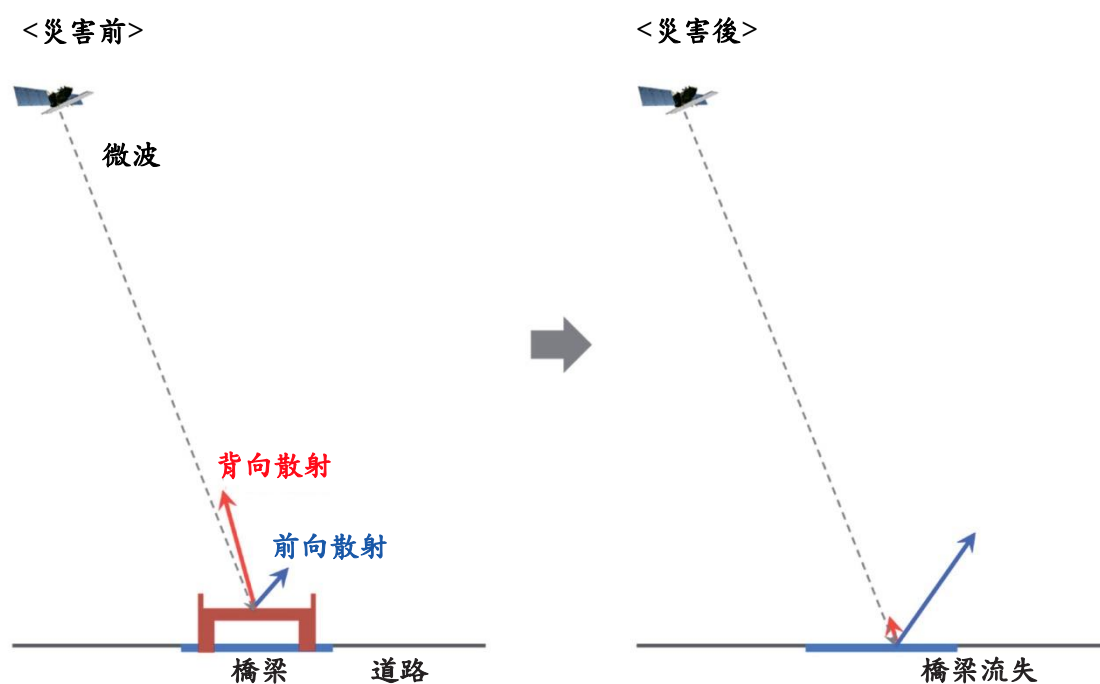


圖-3.17 橋梁流失時的散射變化相關概念

〔注意事項〕

- 周邊一旦發生淹水或洪水後，散射變化經過同化而缺乏辨識性。

E-1 2016年熊本地震（阿蘇大橋）

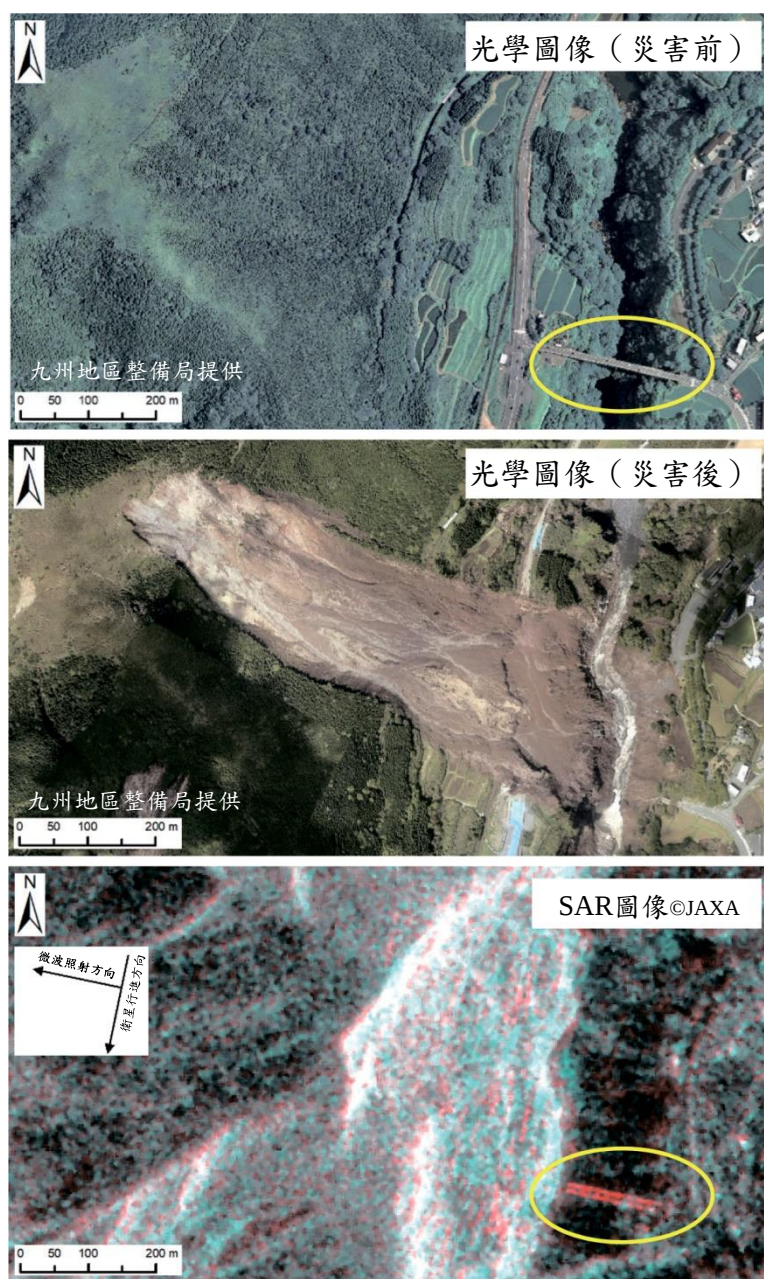


圖-3.18 光學圖像（上：災害前、中：災害後）和強度差分SAR圖像（下）
（熊本縣阿蘇郡南阿蘇村）

因坡面崩塌而阿蘇大橋流失的結果，災害後的背向散射強度下降。在強度差分SAR圖像上呈現紅色。

E-2 2020年7月豪雨（深水橋）

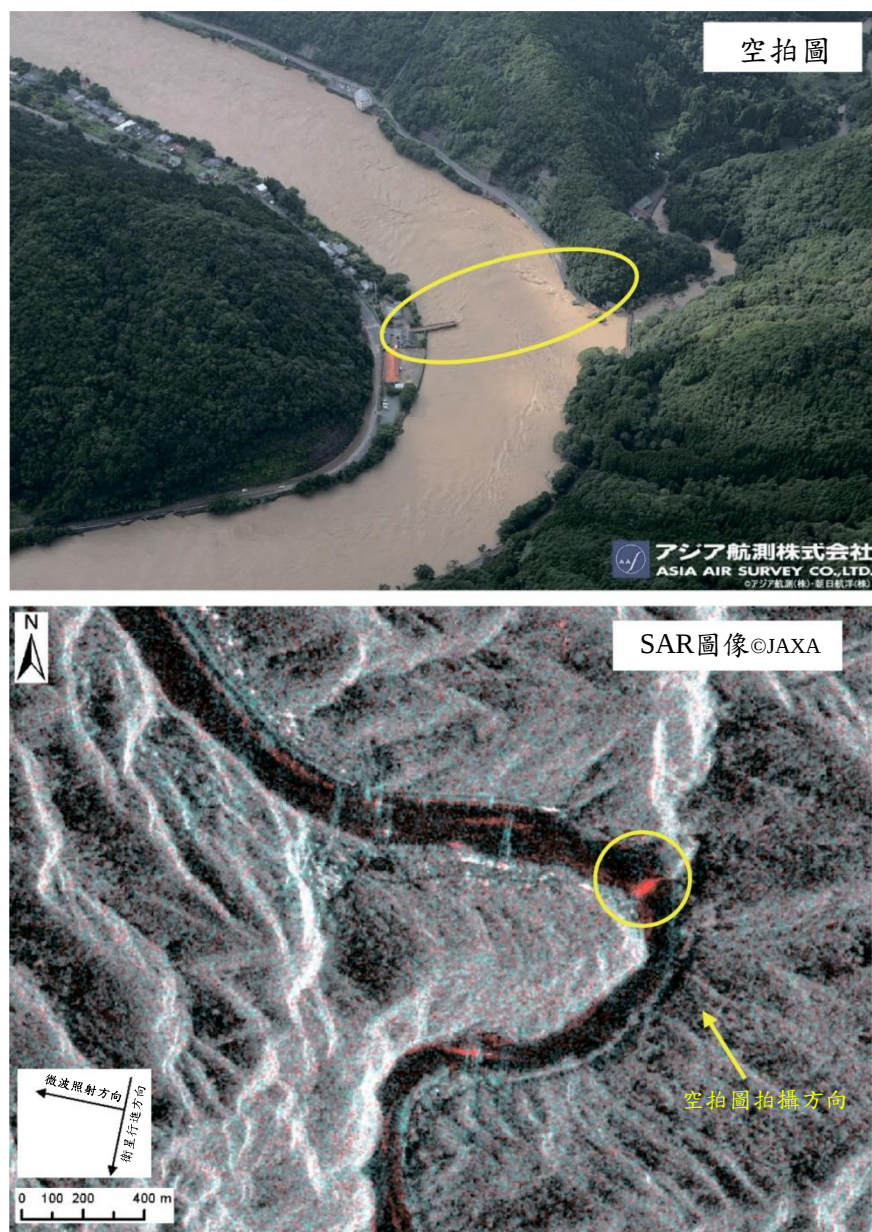


圖-3.19 空拍圖（上）和強度差分SAR圖像（下）（熊本縣八代市）

因球磨川水位上升沖垮深水橋的結果，災害後的背向散射強度下降。在強度差分SAR圖像上呈現紅色。

E-3 [參考] 新設橋梁

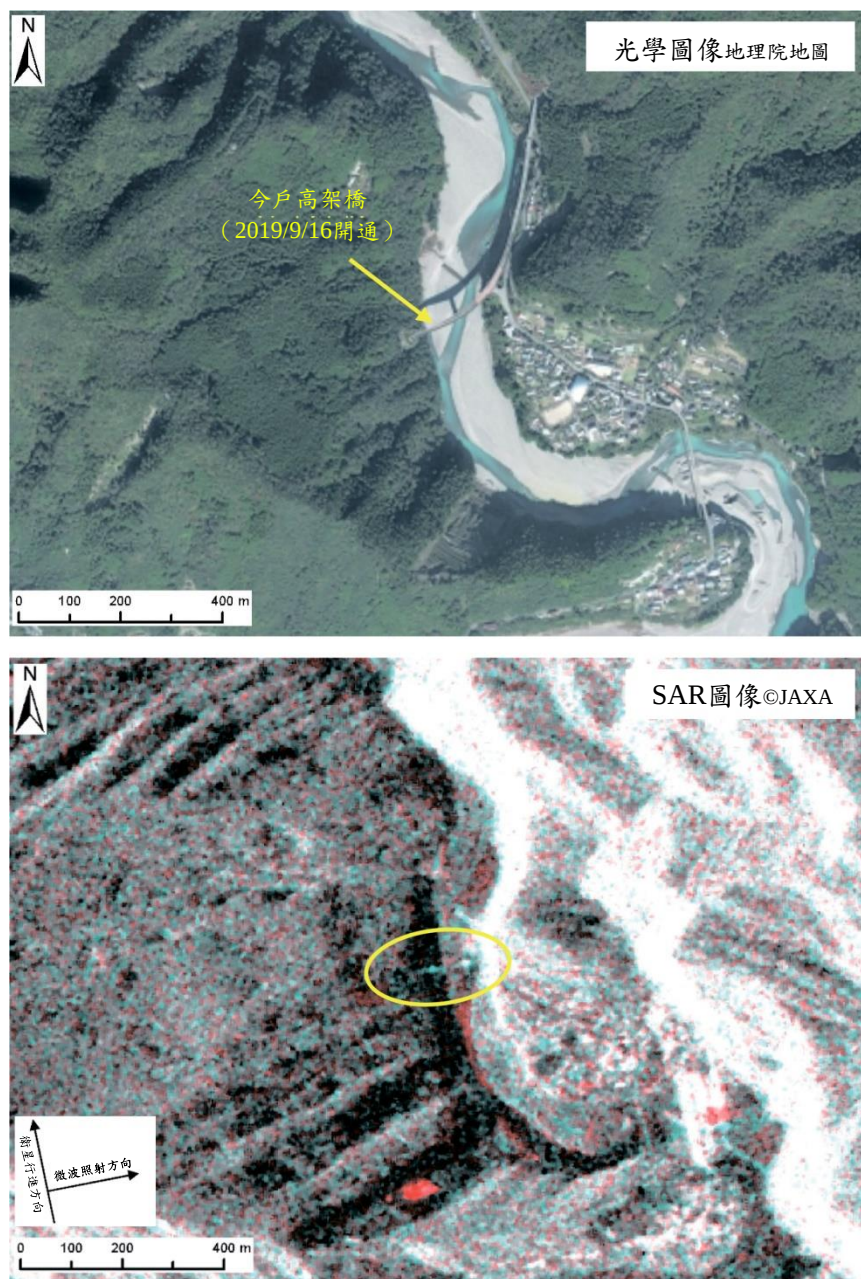


圖-3.20 光學圖像（上）和強度差分SAR圖像（下）（奈良縣吉野郡十津川村）

新設橋梁時，建設後的背向散射強度即上升。在強度差分SAR圖像上，用藍色做表示。

F) 森林坡面崩塌（馬蹄形）

〔散射變化的解說〕

當森林坡面發生馬蹄形崩塌時，災害後的背向散射強度下降。
在強度差分SAR圖像上呈現紅色。

從SAR照射的微波，對森林產生體散射。因而提高災害前的背向散射強度。當坡面因災害而發生崩塌造成森林流失後，微波的前向散射鮮明，因此災害後的背向散射強度下降^{1)、7)}。此外，會因為坡面崩塌（地形變化）而改變局部入射角，災害後的背向散射強度僅些微下降。有時可從這種SAR的散射變化，特定森林坡面發生崩塌的區位。

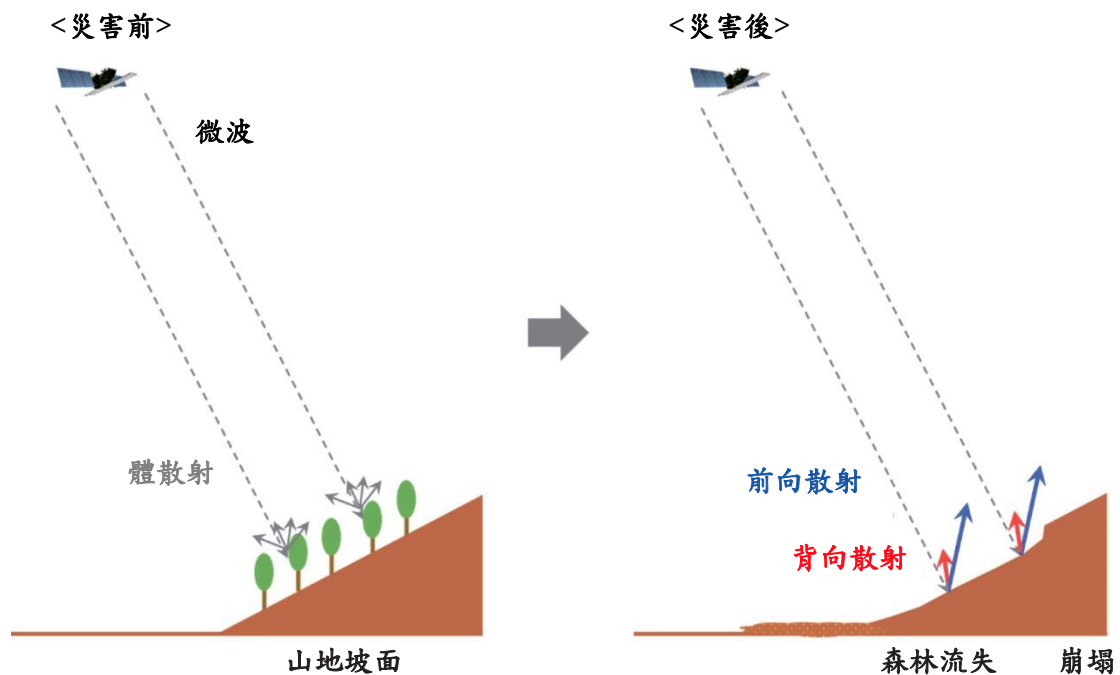


圖-3.21 森林坡面發生馬蹄形崩塌時的散射變化相關概念

〔注意事項〕

- 有時在特定條件下，災害後的背向散射強度會上升（詳情參照P34）。
- 容易誤判為採伐等人為改變地（詳情參照P35-36）。

F-1 2016年熊本地震（大津町瀨田地區）

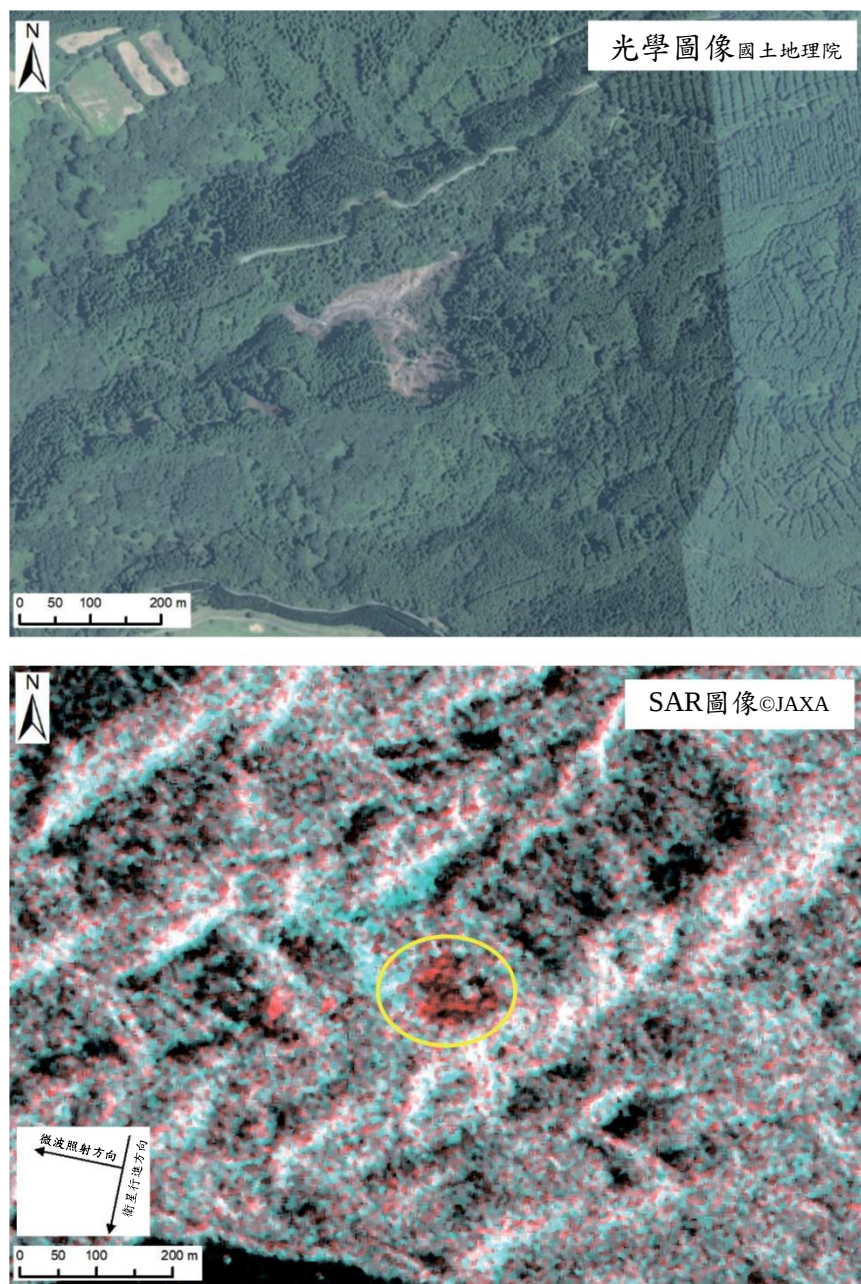


圖-3.22 光學圖像（上）和強度差分SAR圖像（下）（福岡縣菊池郡大津町）

森林坡面發生馬蹄形崩塌的結果，災害後的背向散射強度下降。在強度差分SAR圖像上呈現紅色。

F-2 2017年7月九州北部豪雨（乙石川）

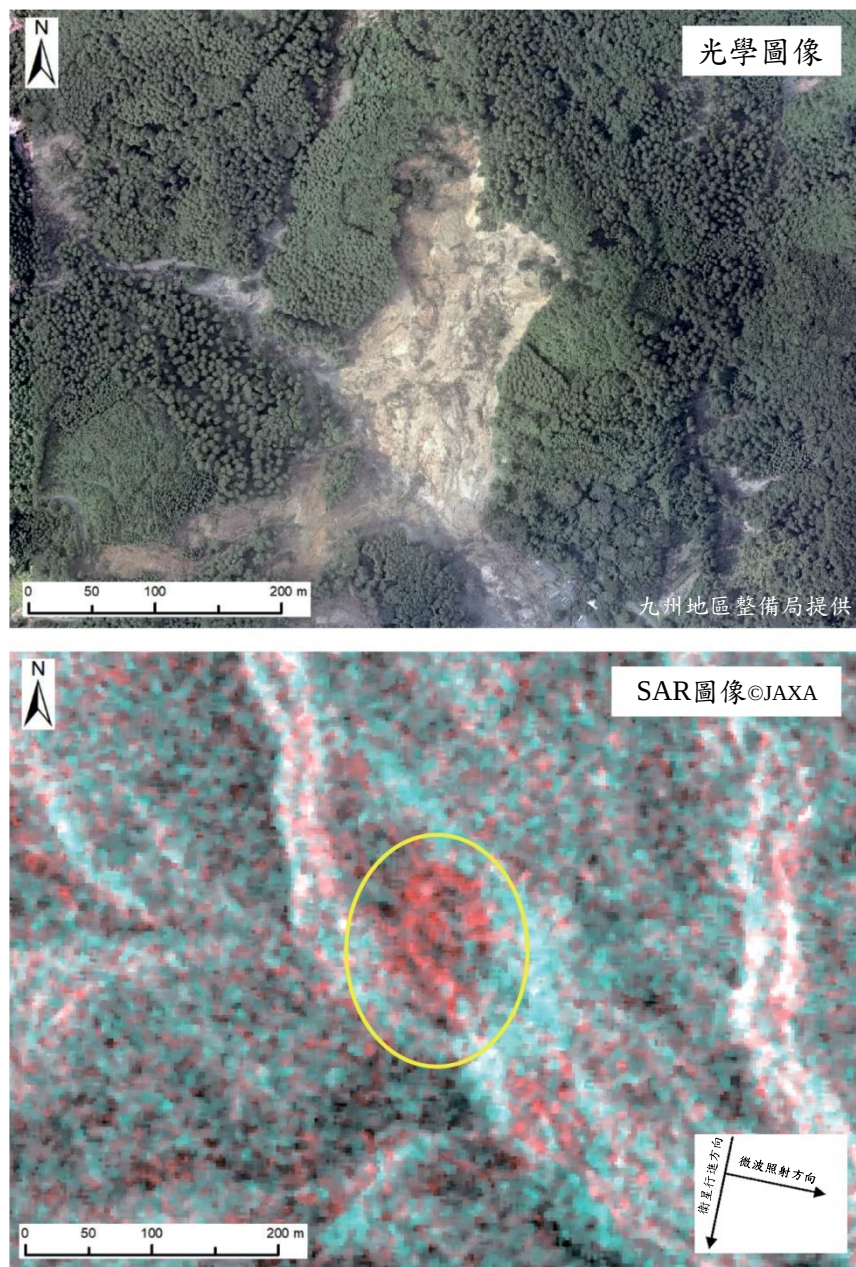


圖-3.23 光學圖像（上）和強度差分SAR圖像（下）（福岡縣朝倉市）

森林坡面發生馬蹄形崩塌的結果，災害後的背向散射強度下降。在強度差分SAR圖像上呈現紅色。

F-3 〔例外〕草地坡面的崩塌

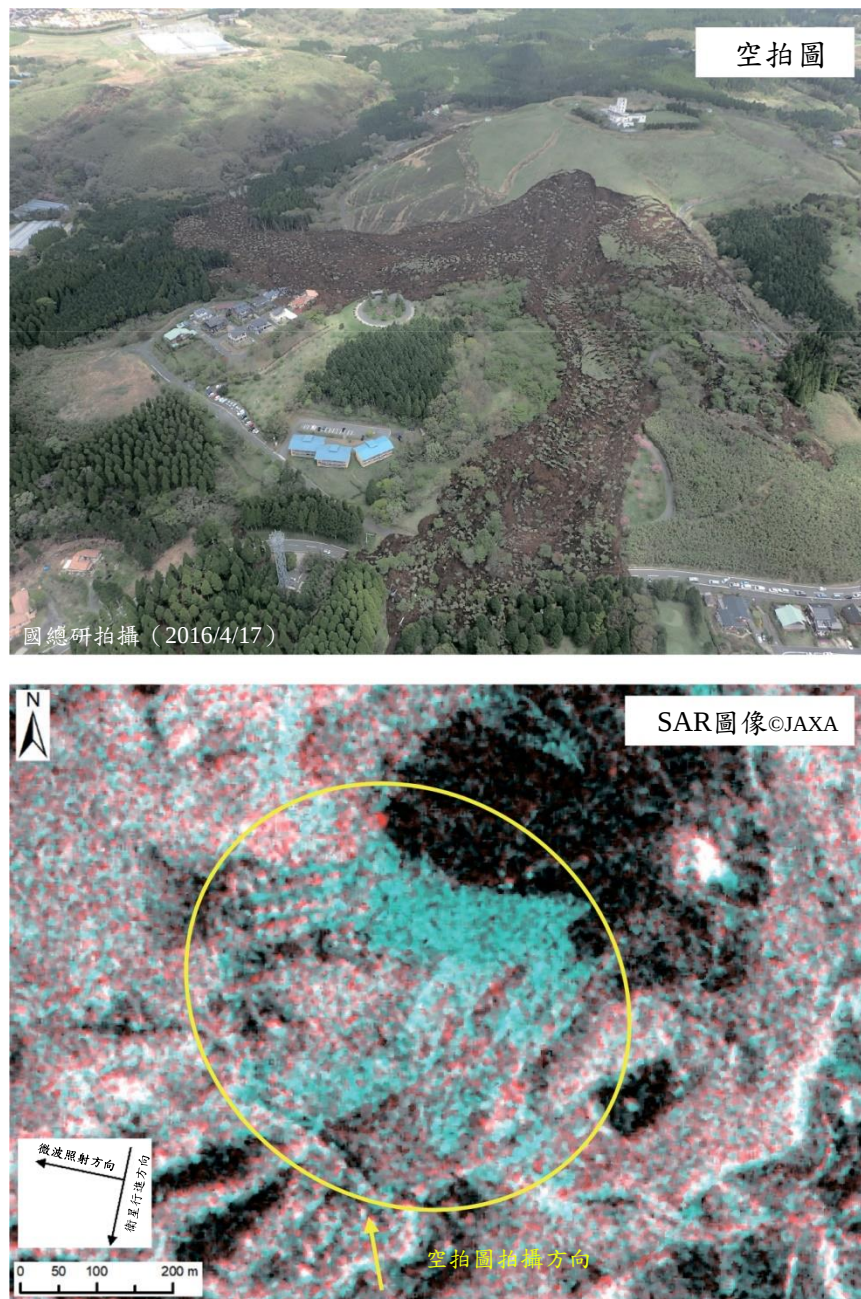


圖-3.24 空拍圖（上）和強度差分SAR圖像（下）（熊本縣阿蘇郡南阿蘇村）

草地坡面發生崩塌時，外露於地表面的土砂將使微波的背向散射鮮明，因此災害後的背向散射強度上升¹⁰⁾。此時，在強度差分SAR圖像上呈現藍色。

F-4 〔參考〕採伐地

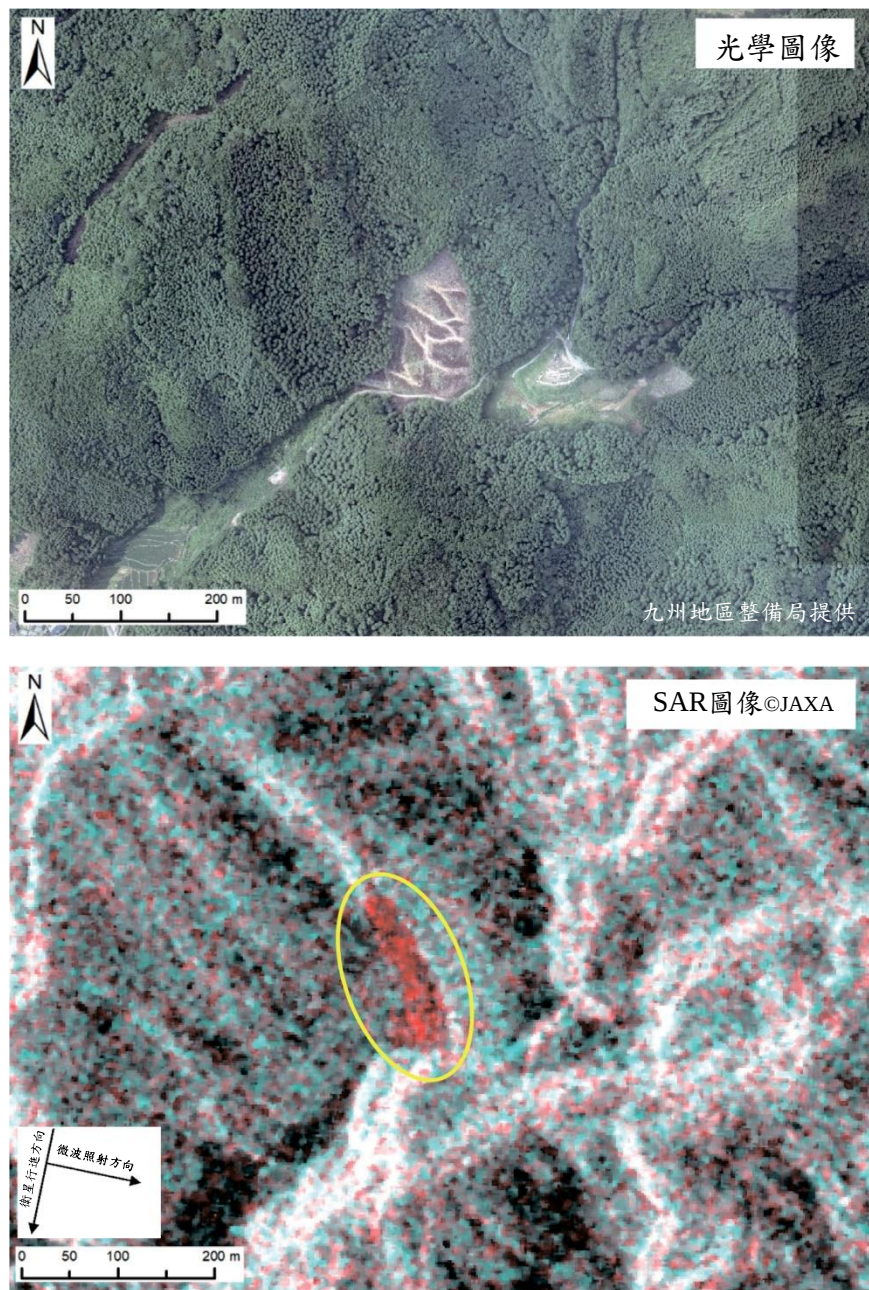


圖-3.25 光學圖像（上）和強度差分SAR圖像（下）（大分縣日田市）

森林坡面如有採伐，背向散射強度會下降¹¹⁾。在強度差分SAR圖像上呈現紅色。容易被誤判為森林坡面崩塌，因此需確認剛發生災害前的光學圖像後再進行判讀。

F-5 [參考] 採石場

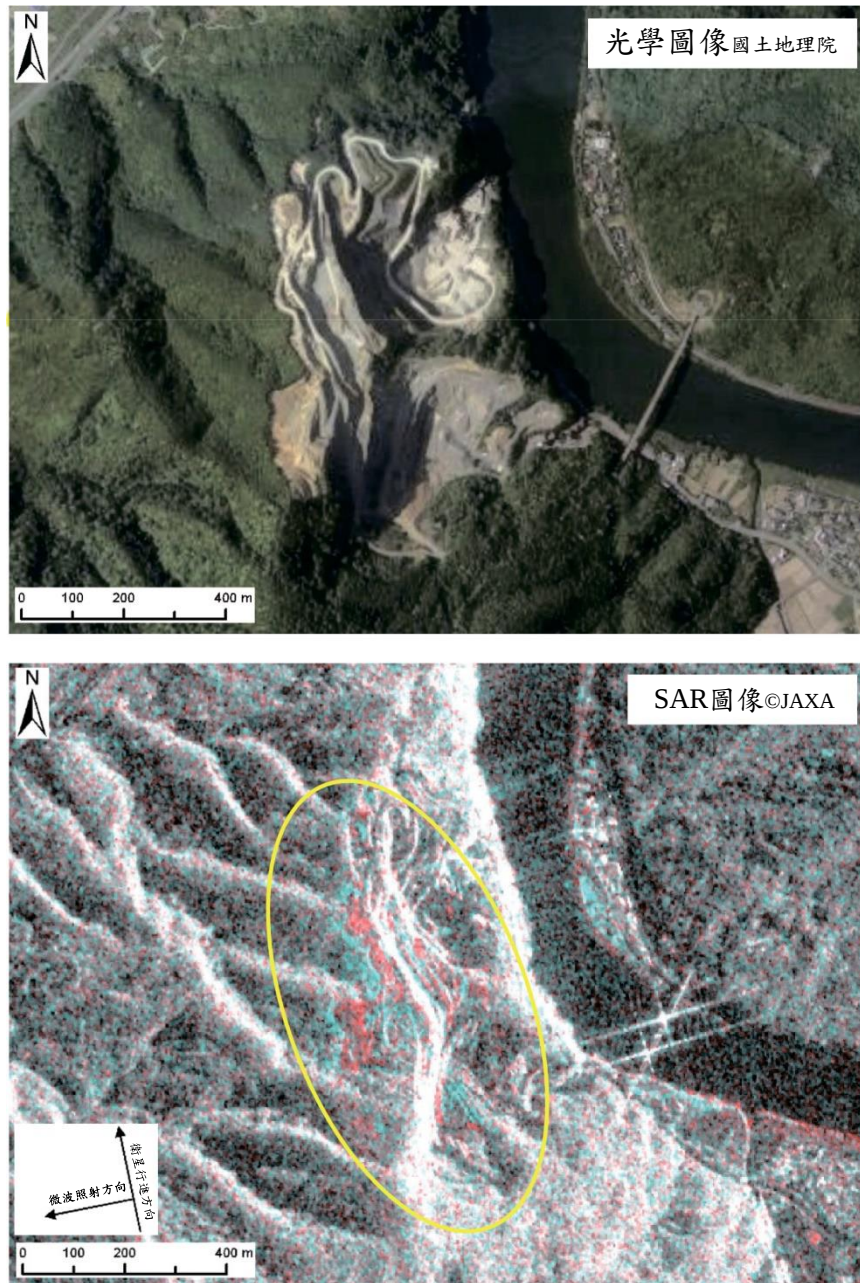


圖-3.26 光學圖像（上）和強度差分SAR圖像（下）（熊本縣八代市）

森林坡面內若被採石，會改變背向散射強度。在強度差分SAR圖像上，呈現紅色或藍色。容易被誤判為森林坡面崩塌，因此需確認光學圖像後再進行判讀。

G) 森林坡面崩塌（細長形）

〔 散射變化的解說 〕

當森林坡面發生細長形崩塌時，侵蝕部位即呈現災害後的背向散射強度下降的情況，滑落崖周邊災害後的背向散射強度會上升。

在強度差分SAR圖像上，侵蝕部位呈現清晰紅、滑落崖周邊呈現藍色。

從SAR照射的微波，對森林產生體散射。因而提高災害前的背向散射強度。當坡面因災害而發生崩塌造成森林流失後，在侵蝕部位上因呈現微波的前向散射鮮明情況，因此災害後的背向散射強度下降^{1)、7)}；滑落崖周邊則產生微波的二次散射，因此災害後的背向散射強度上升。此外，會因為地形變化而改變局部入射角，災害後的背向散射強度僅些微下降。有時可從這種SAR的散射變化，特定森林坡面發生崩塌的區位。

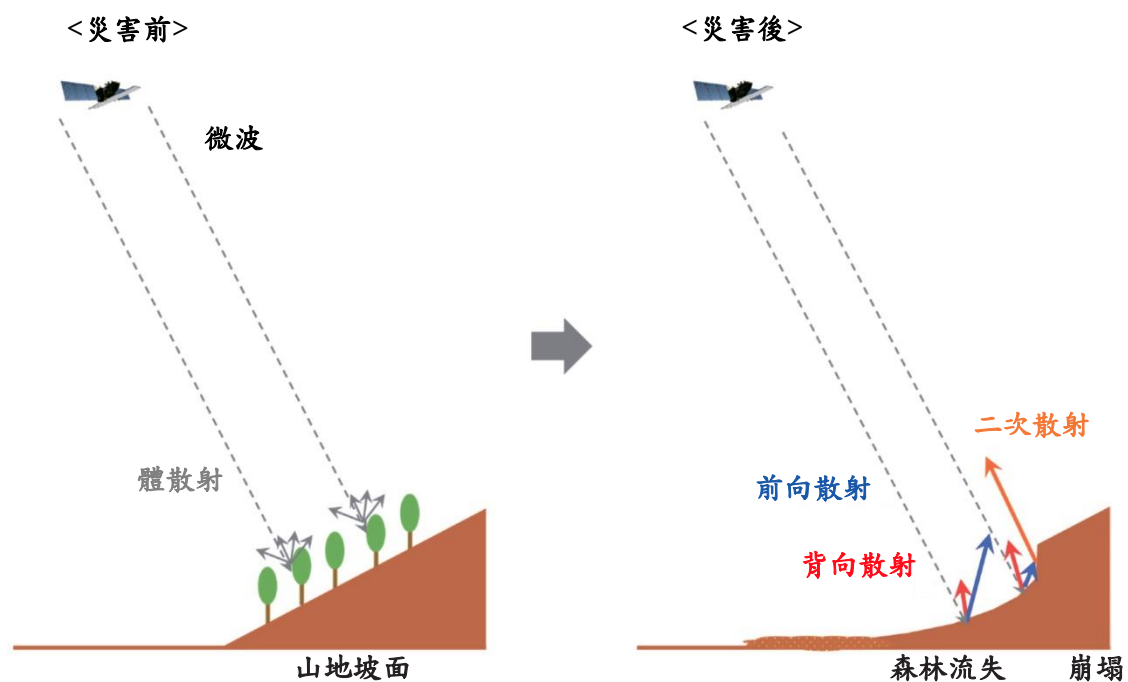


圖-3.27 森林坡面發生細長形崩塌時的散射變化相關概念

〔 注意事項 〕

- 容易誤判為採伐等人為改變地（詳情參照P35-36）。

G-1 2017年7月九州北部豪雨（東峰村寶珠山）

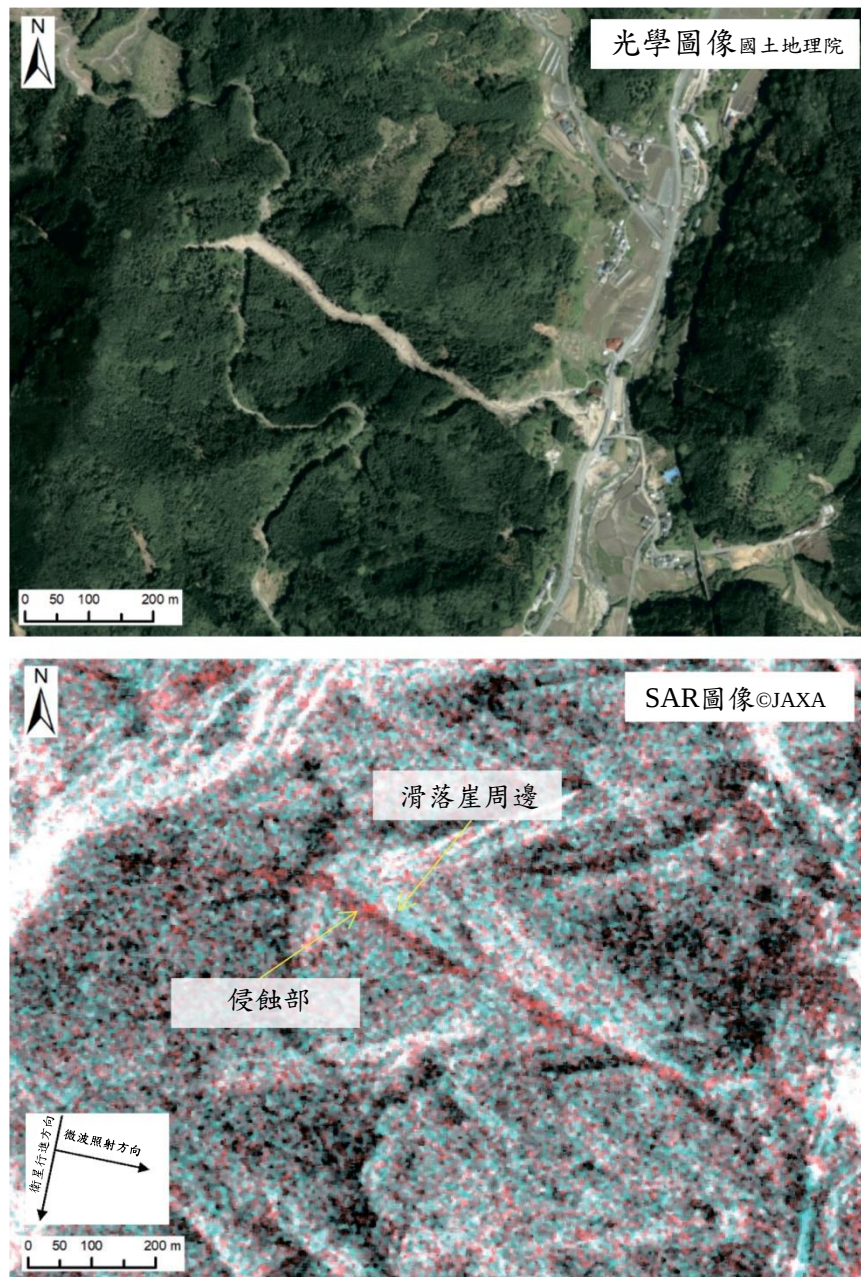


圖-3.28 光學圖像（上）和強度差分SAR圖像（下）（福岡縣朝倉郡東峰村）

森林坡面發生細長形崩塌的結果，侵蝕部位即呈現災害後的背向散射強度下降的情況，滑落崖周邊災害後的背向散射強度上升。在強度差分SAR圖像上，侵蝕部位呈現紅色、滑落崖周邊呈現藍色。

G-2 2018年7月豪雨（吳市安浦地區）

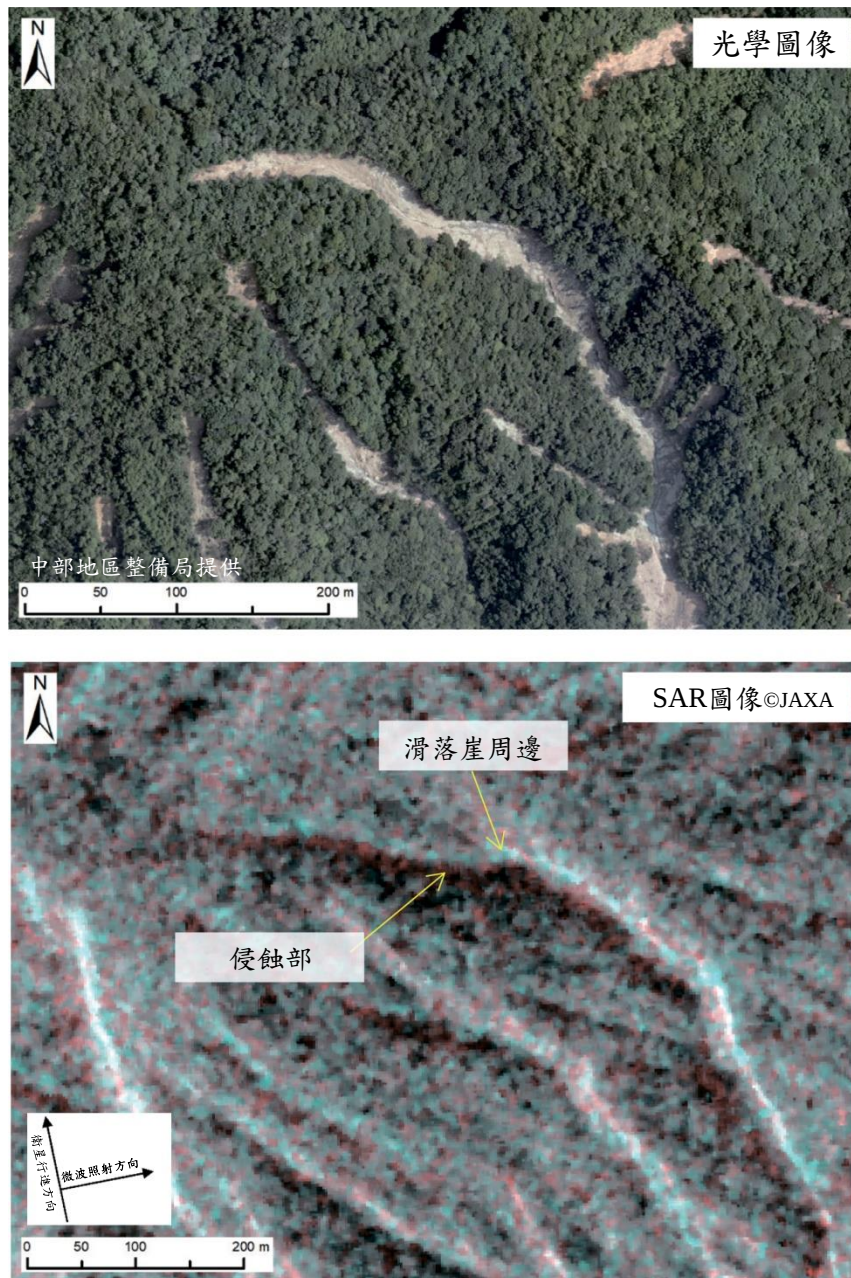


圖-3.29 光學圖像（上）和強度差分SAR圖像（下）（廣島縣吳市）

森林坡面發生細長形崩塌的結果，侵蝕部位即呈現災害後的背向散射強度下降的情況，滑落崖周邊災害後的背向散射強度上升。在強度差分SAR圖像上，侵蝕部位呈現紅色、滑落崖周邊呈現藍色。

H) 裸地坡面的崩塌

〔散射變化的解說〕

當裸地坡面發生崩塌後，背向散射強度僅些微下降。
在強度差分SAR圖像上呈現淡紅色。

從SAR照射的微波，對裸地坡面產生前向散射鮮明的散射。因而降低災害前的背向散射強度。當坡面因災害而發生崩塌後，會因為地形變化而改變局部入射角，災害後的背向散射強度僅些微下降。有時可從這種SAR的散射變化，特定裸地坡面發生崩塌的區位。

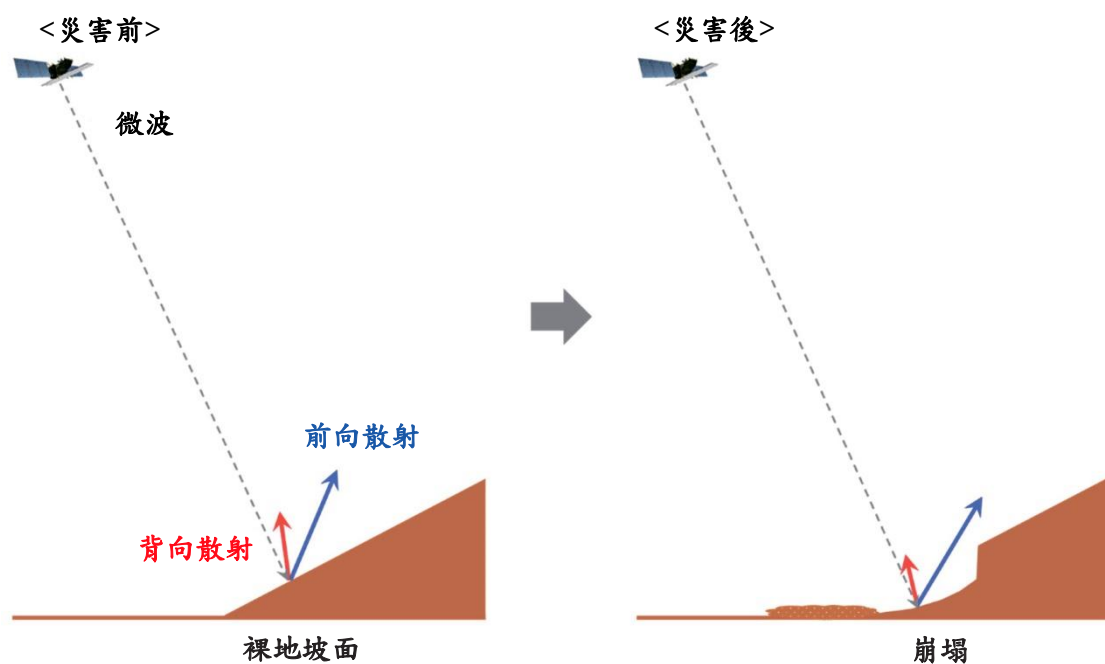


圖-3.30 在裸地坡面發生崩塌時的散射變化相關概念

〔注意事項〕

- 散射變化小、缺乏辨識性。
- 容易誤判為採伐等人為改變地（詳情參照P35-36）。

H-1 2020年7月豪雨（雨畑川）

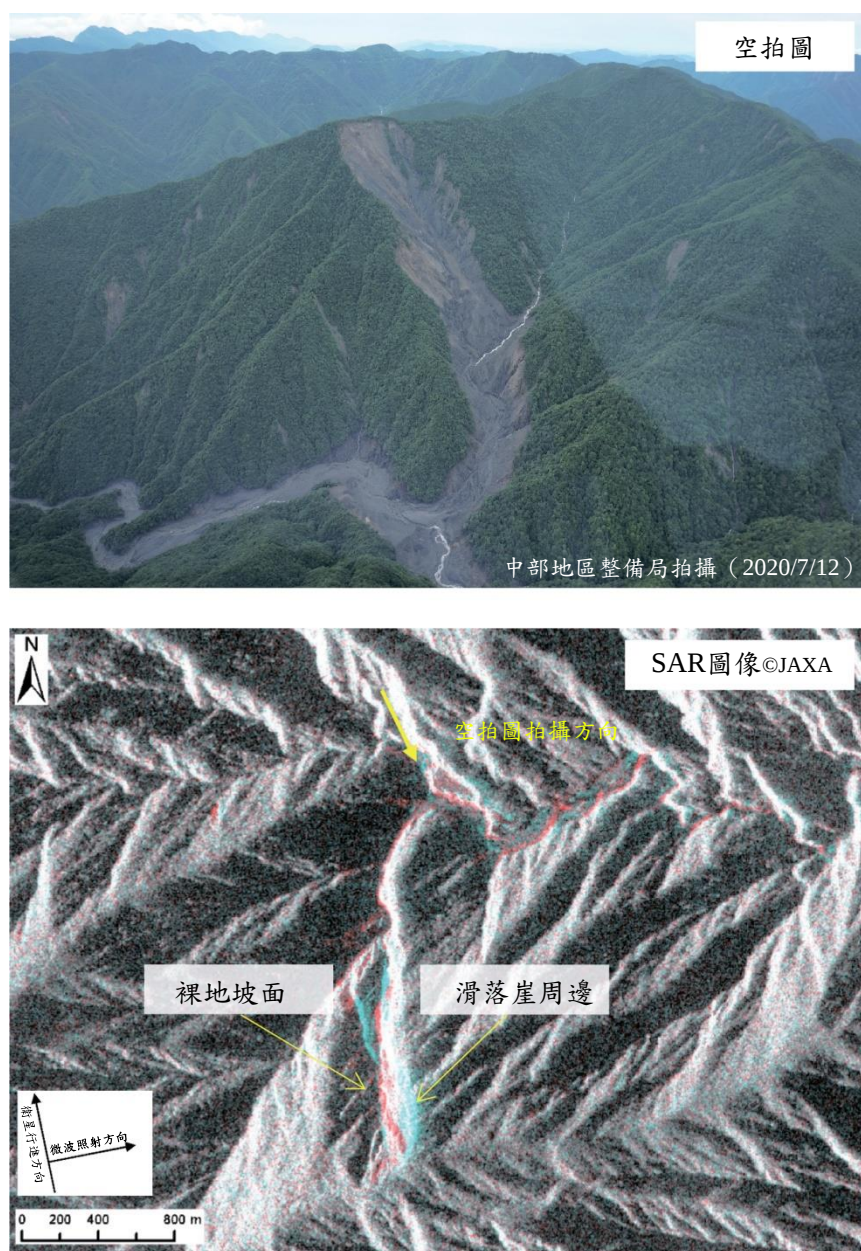


圖-3.31 空拍圖（上）和強度差分SAR圖像（下）（山梨縣南巨摩郡早川町）

在已崩塌地的裸地坡面上，發生擴大崩塌的結果，災害後的背向散射強度僅些微下降。在強度差分SAR圖像上呈現淡紅色。

此外，在發生擴大崩塌的滑落崖周邊產生二次散射，災害後的背向散射強度上升，在強度差分SAR圖像上呈現藍色。

H-2 2020年7月豪雨（球磨村松野地區）

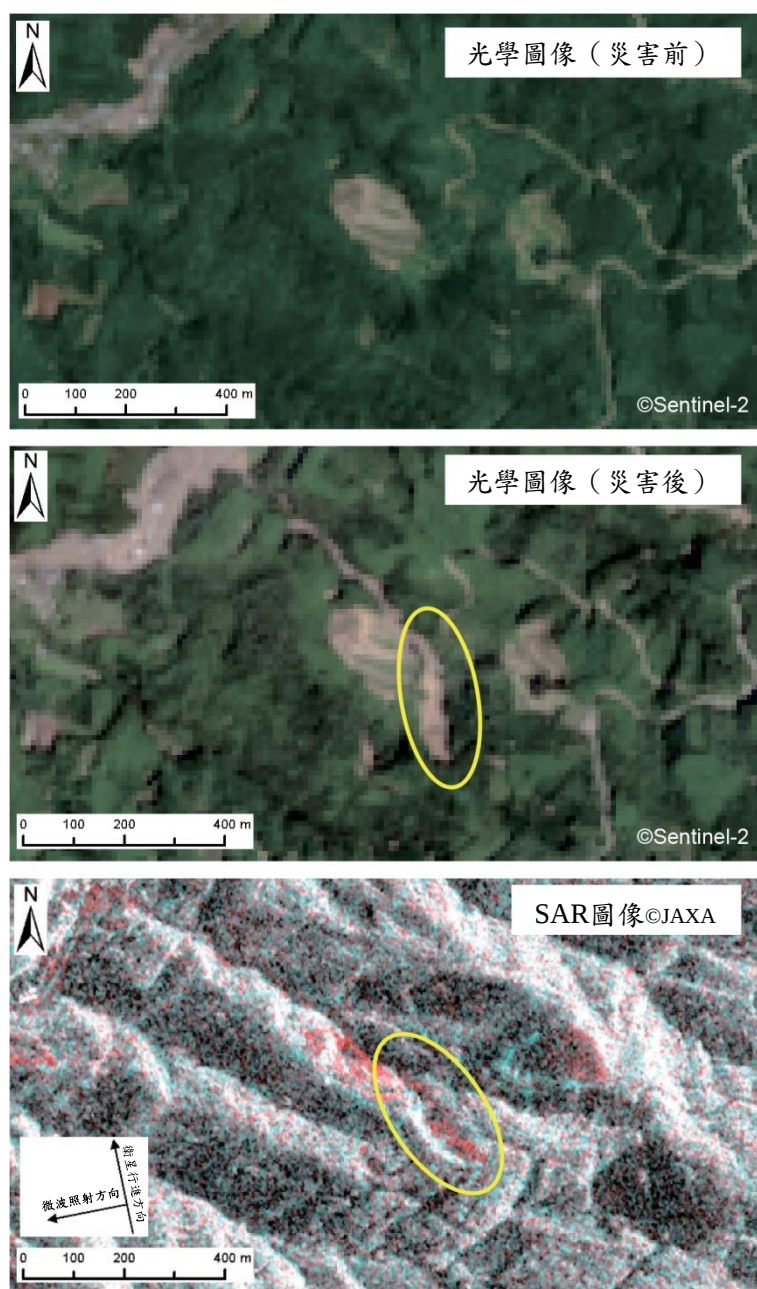


圖-3.32 光學圖像（上：災害前、中：災害後）和強度差分SAR圖像（下）
（熊本縣球磨郡球磨村）

在採伐地的裸地坡面，發生崩塌的結果，災害後的背向散射強度僅些微下降。在強度差分SAR圖像上呈現淡紅色。

I) 對住宅區堆積土砂

〔散射變化的解說〕

當住宅區堆積土砂後，災害後的背向散射強度僅些微下降。
在強度差分SAR圖像上呈現淡紅色。

從SAR照射的微波，對住宅區產生二次散射。因此，災害前的背向散射強度變得非常高。當住宅區因災害而堆積土砂後，減弱微波的二次散射，因此災害後的背向散射強度僅些微下降。有時可從這種SAR的散射變化，特定住宅區堆積土砂的場所。

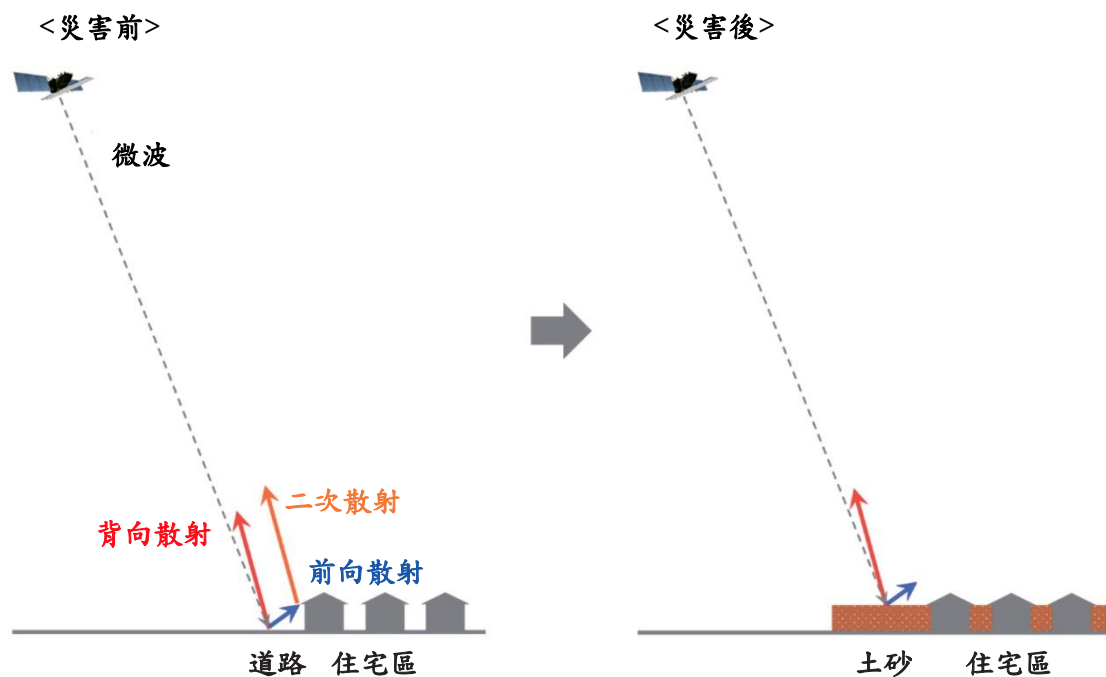


圖-3.33 住宅區堆積土砂時的散射變化相關概念

〔注意事項〕

- 散射變化小、缺乏辨識性。

I-1 2017年7月九州北部豪雨（寒水川）

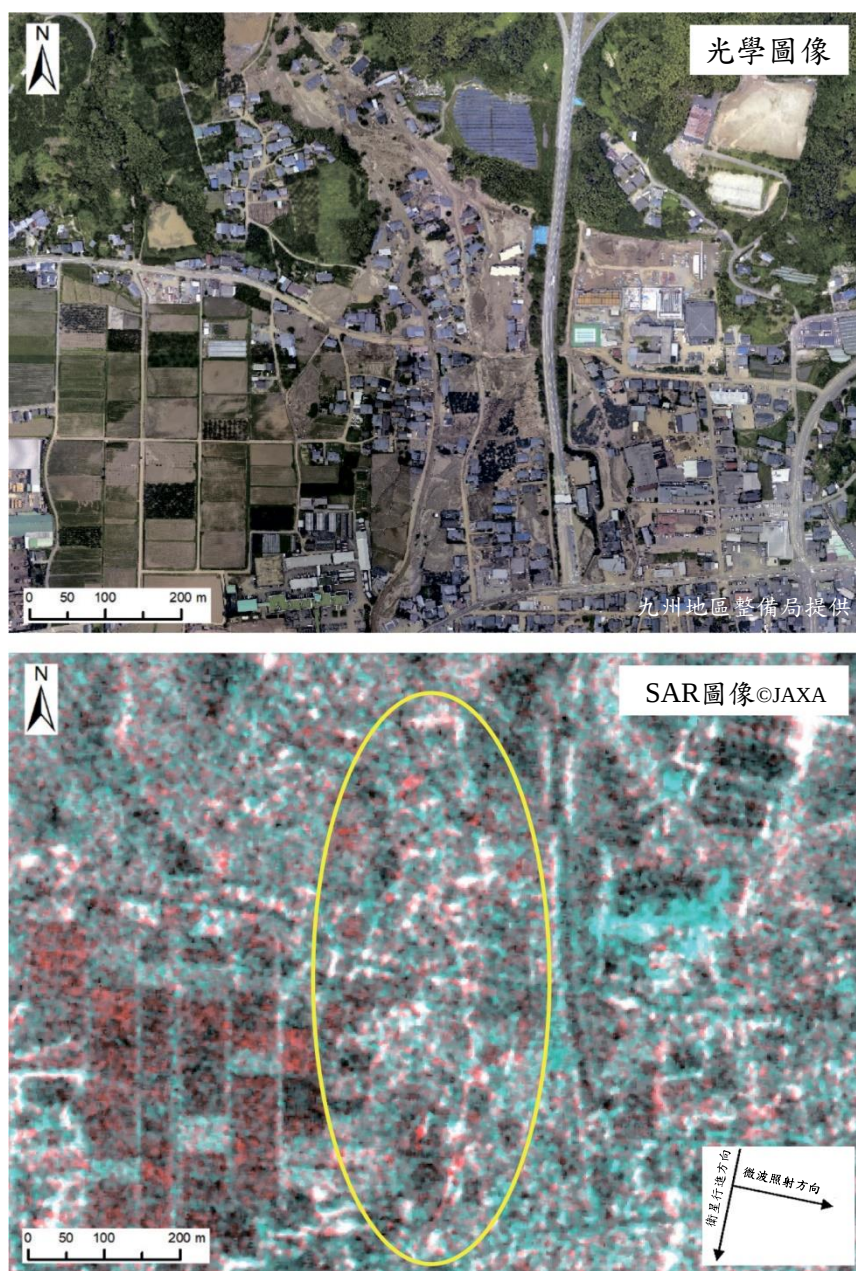


圖-3.34 光學圖像（上）和強度差分SAR圖像（下）（福岡縣朝倉市）

住宅區堆積土砂的結果，災害後的背向散射強度僅些微下降。在強度差分SAR圖像上，雖呈現淡紅色，但散射變化小因此缺乏辨識性。

I-2 2018年7月豪雨（總頭川）

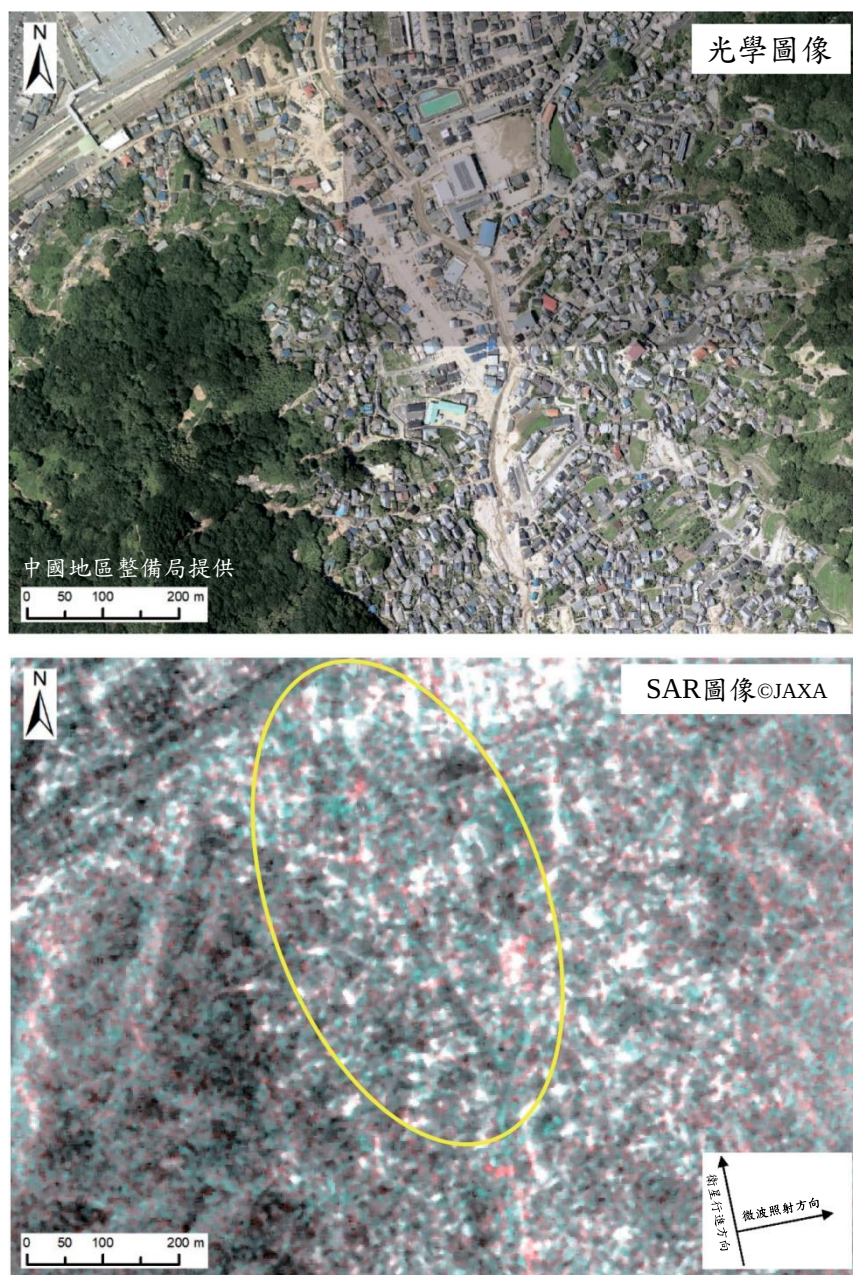


圖-3.35 光學圖像（上）和強度差分SAR圖像（下）（廣島縣安芸郡坂町）

住宅區堆積土砂的結果，災害後的背向散射強度僅些微下降。在強度差分SAR圖像上，雖呈現淡紅色，但散射變化小因此缺乏辨識性。

J) 建築物、結構物倒塌

〔散射變化的解說〕

當建物和建造物倒塌後，災害後的背向散射強度僅些微下降。
在強度差分SAR圖像上呈現淡紅色。

從SAR照射的微波，對住宅區產生二次散射。因此，災害前的背向散射強度變得非常高。當建物和建造物因災害而倒塌後，減弱微波的二次散射，災害後的背向散射強度僅些微下降¹²⁾。有時可從這種SAR的散射變化，特定建造物和結構物的倒塌地區。

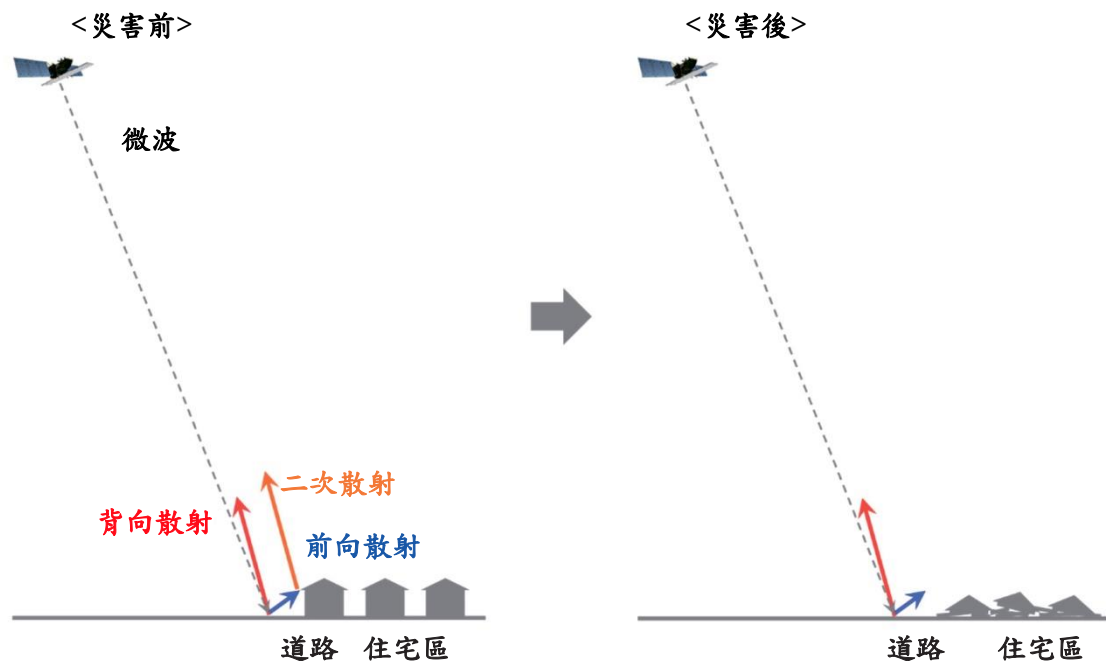


圖-3.36 建物和建造物倒塌時的散射變化相關概念

〔注意事項〕

- 散射變化小、缺乏辨識性。
- 若不是呈現全面性的多棟倒塌，即缺乏辨識性。

J-1 2016年熊本地震（益城町）

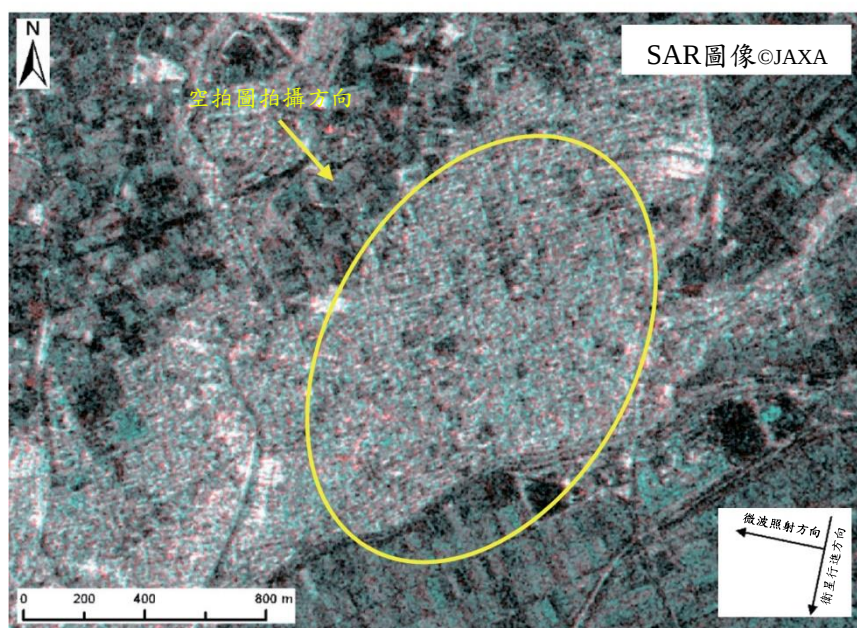


圖-3.37 空拍圖（上）和強度差分SAR圖像（下）（熊本縣上益城郡益城町）

建造物因地震而倒塌的結果，災害後的背向散射強度僅些微下降。在強度差分SAR圖像上，雖呈現淡紅色，但散射變化小因此缺乏辨識性。

K) 降灰

〔散射變化的解說〕

降灰範圍災害後的背向散射強度僅些微下降。

在強度差分SAR圖像上呈現淡紅色。

從SAR照射的微波是根據火口周邊地表面的形狀和形狀極度凹凸不均的情況，產生背向散射。因此，會以一定程度的大小，顯現災害前的背向散射強度。若因噴發而堆積火山灰後，相較於噴發前仍形成無起伏的平坦地表面，災害後的背向散射強度僅些微下降¹³⁾。有時可從這種SAR的散射變化，特定降灰範圍。

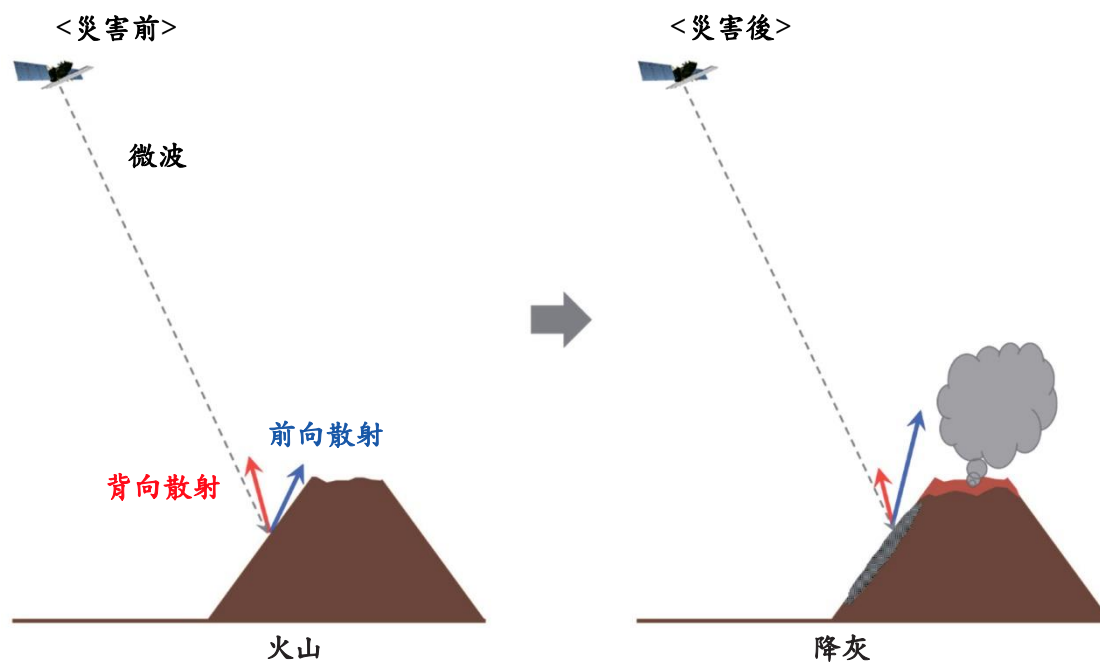


圖-3.38 降灰中的散射變化相關概念

〔注意事項〕

- 案例少，因此散射變化的傾向存在不明確的部分。

K-1 2018年草津白根山噴發

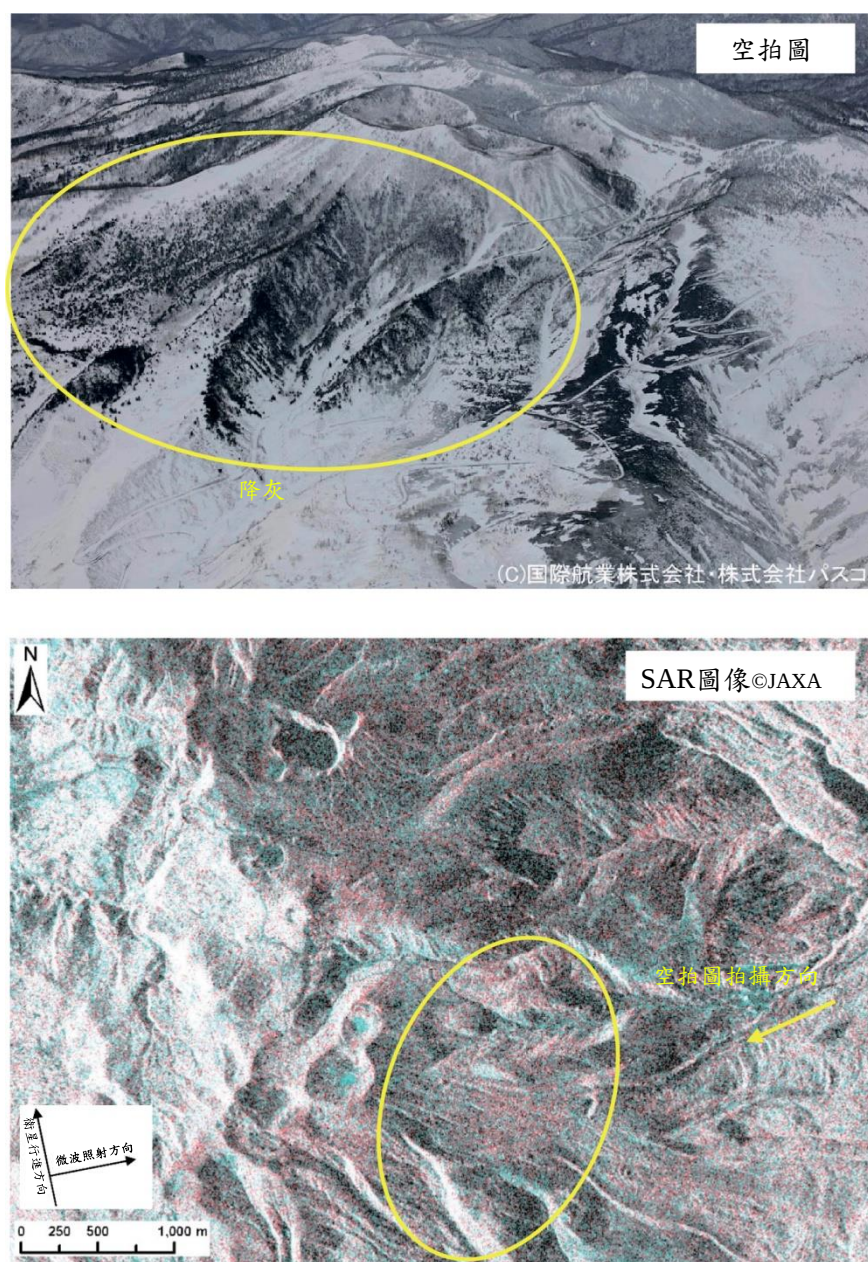


圖-3.39 空拍圖（上）和強度差分SAR圖像（下）（群馬縣吾妻郡嬭戀村・草津町）

因噴發而在火口周邊降灰的結果，災害後的背向散射強度僅些微下降。在強度差分SAR圖像上呈現淡紅色。

但，本案例包含一定程度的積雪影響。

L) 火山碎屑流流下

〔散射變化的解說〕

火山碎屑流的流下範圍，即呈現災害後的背向散射強度下降的情況。
在強度差分SAR圖像上呈現紅色。

從SAR照射的微波，對火口周邊森林產生體散射。因而提高災害前的背向散射強度。發生火山碎屑流且森林一旦燒毀後，即失去微波的背向散射，因此災害後的背向散射強度下降。有時可從這種SAR的散射變化，特定火山碎屑流的流下範圍。

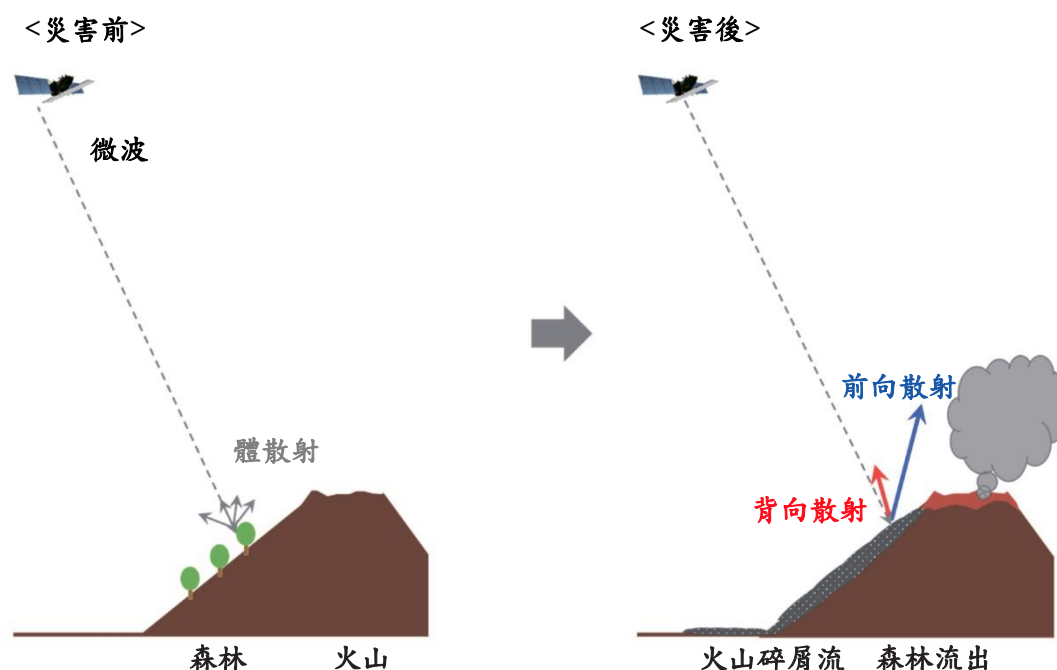


圖-3.40 發生火山碎屑流時的散射變化相關概念

〔注意事項〕

- 火口周邊需要森林等植被。
- 難以判別是火山灰的堆積。
- 案例少，因此散射變化的傾向存在不明確的部分。

L-1 2015年口永良部山噴發

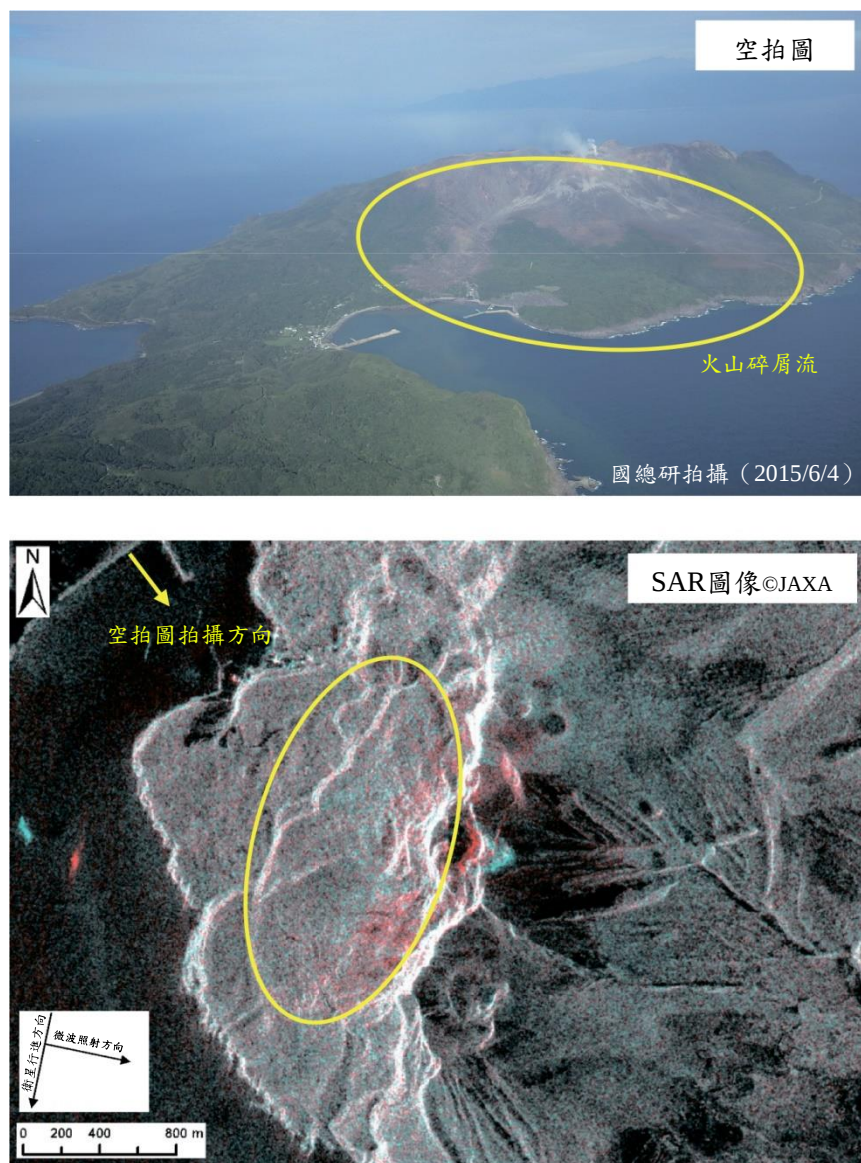


圖-3.41 空拍圖（上）和強度差分SAR圖像（下）（鹿兒島縣熊毛郡屋久島町）

發生火山碎屑流的結果，降低災害後的背向散射強度。在強度差分SAR圖像上呈現紅色。

4. 根據災害時SAR散射變化的判讀調查要領

4.1 災害時的SAR散射變化傾向

已將前章案例解說的災害時SAR散射變化，做成表-4.1一覽表。

發生散射面A) 對農地和道路堆積土砂、B) 漂流木等漂流會提高災害後的背向散射強度，因此強度差分SAR圖像上的辨識性高。此外，發生兩種現象的場所並不同，因此SAR散射變化經過同化後的誤視可能性低。因此，災害時容易從SAR的散射變化中檢測的一種現象。

散射面消失C) 因河道閉塞而發生積水（堰塞湖）、D) 淹水與洪水、E) 橋梁流失會明顯降低災害後的背向散射強度，因此強度差分SAR圖像上的辨識性高。但因這些現象發生在河道周邊，因此SAR的散射變化經過同化後，有可能形成難以判別各現象。

體散射消失F) 森林坡面崩塌（馬蹄形）、G) 森林坡面崩塌（細長形）、L) 火山碎屑流宣洩而下，會降低災害後的背向散射強度，因此強度差分SAR圖像上的辨識性較高。特別是G) 森林坡面崩塌（細長形）具有一併發生二次散射的特徵，災害時容易從SAR的散射變化中檢測的一種現象。

另一方面，二次散射消失I) 對住宅地堆積土砂、J) 建造物・結構物倒塌及散射面變形、H) 裸地坡面崩塌、K) 降灰只降低些許災害後的背向散射強度，因此強度差分SAR圖像上的散射變化並不明確。據研判，災害時可從SAR的散射變化中檢測這些現象的可能性低。

表-4.1 災害時的SAR散射變化一覽表

現象	散射變化模式						災害後的背向 散射強度	強度差分SAR圖像
	(a) 產生散射面	(b) 產生二次散射	(c) 散射面消失	(d) 體散射消失	(e) 二次散射消失	(f) 散射面的變形		
A) 對農地和道路的土砂堆積	○						上升	藍色
B) 漂流木等漂流	○						上升	藍色
C) 因河道閉塞而發生積水（堰塞湖）			○				明顯下降	清晰紅
D) 淹水、洪水			○				明顯下降	清晰紅
E) 橋梁流失			○				明顯下降	清晰紅
F) 森林坡面崩塌（馬蹄形）				○		○	下降	紅色
G) 森林坡面崩塌（細長形）		○		○		○	上升、下降	藍色、紅色
H) 裸地坡面的崩塌						○	些微下降	淺紅色
I) 對住宅區堆積土砂					○		些微下降	淺紅色
J) 建築物、結構物倒塌					○		些微下降	淺紅色
K) 降灰						○	些微下降	淺紅色
L) 火山碎屑流流下				○			下降	紅色

4.2 依SAR圖像判讀土砂災害的調查要領

土砂災害相關SAR的散射變化萬千，表-4.2表示對於根據各現象特性的SAR散射變化的著眼點和依SAR圖像判讀土砂災害的調查注意事項。

〔坡面崩塌〕

森林坡面崩塌為SAR的散射變化辨識性高；裸地坡面崩塌則欠缺SAR的散射變化辨識性。此外，如P35-36所示，森林坡面崩塌常被誤視為採伐地等人為改變地，因此若出現如P34所示的草地坡面崩塌時，需注意SAR散射變化的逆轉。

因此，在開始依SAR圖像判讀土砂災害之前，最好先透過光學圖像等方式，確認調查對象地的森林作業情況、採石場和草地坡面的分布。

〔土砂堆積〕

對農地、道路、河道等堆積土砂的SAR散射變化辨識性高；對住宅地堆積土砂，則欠缺SAR散射變化的辨識性。此外，若如P15所示堆積細粒土砂時，需注意SAR散射變化的逆轉。

最好能事先從調查對象地的地質和過去的災害情況中，根據崩塌土的特性，確認土砂堆積預期場所之土地利用的同時進行判讀。

〔堰塞湖〕

一般而言，因堰塞湖所形成的積水領域，會提高SAR的散射變化辨識性。然而，在流量少的河川中，有可能因積水領域規模較小等因素，而欠缺辨識性。此外，如P23-26所示，需注意因淹水、洪水、水田積水，而與散射變化同化後，欠缺辨識性。除此之外，最好能針對積水設施（水壩和蓄水池等）的分布，從光學圖像進行確認。

表-4.2 災害時的SAR散射變化一覽表

現象	SAR散射變化辨識性高的位置	欠缺SAR散射變化辨識性的場所	容易誤判的現象	SAR散射變化的例外現象
坡面崩塌	森林坡面	裸地坡面	採伐地等人為改變地	草地坡面的崩塌
土砂堆積	農地、道路、河道等	住宅區	-	堆積細粒土砂
堰塞湖	-	流量少的河川	淹水、洪水、水田積水	-

4.3 其他注意事項

首先，在SAR圖像上發生來自SAR觀測原理的不可視領域¹⁾。為此，需瞭解發生災害時的SAR散射變化包含不可視領域時，有時會無法辨識。

接著，在適當解釋SAR的散射變化上，需考量複雜多分歧的主因。在本資料中，在災害初步緊急性高的調查上，為了得以簡化解釋，而用散射變化模式進行解說。

此外，本資料是依開始運用ALOS-2後的限定現象種類和案例數所製作而成。因此，往後將可望透過觀測數據資料的累積，確認不同於本資料所示案例的其他SAR散射變化的例外案例。

特別是發生災害時，最好能基於SAR的散射有時會呈現不規則變化的念頭下，進行機動性的運用。

參考文獻

- 1) 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）：依合成孔徑雷達（SAR）圖像判讀土砂災害指引、國土技術政策總合研究所資料、No.1110<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1110.htm>
- 2) 國立研究開發法人宇宙航空研究開發機構：陸域觀測技術衛星2號「大地2號」（ALOS-2）https://www.jaxa.jp/projects/sat/alos2/index_j.html
- 3) 日本遙測研究會（2001）：圖解遙測、社團法人日本測量協會、pp62-65
- 4) 大內和夫（2009）：用於遙測的合成孔徑雷達基礎（第2版）、東京電機大學出版局、pp103-114
- 5) 日本遙測學會（2011）：從基礎瞭解遙測、理工圖書、pp271-277
- 6) 資源觀測分析中心（1992）：用於資源勘探的遙測實用系列⑤合成孔徑雷達（SAR）、pp271-277
- 7) 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
- 8) 加藤圭太、山崎文雄（2010）：用ALOS/PALSAR圖像找出2008年因岩手與宮城內陸地震所帶來的水域變化、日本地震工學會論文集、第10卷、第3號、pp.1-11
- 9) 井上和樹、劉文、山崎文雄（2017）：基於找出高解析度衛星SAR圖像的變化，掌握因海嘯而受害的橋梁、日本地震工學會論文集、第17卷、第5號、pp.48-59
- 10) 阪上雅之、神山嬢子、野呂智之、古瀬慶博、中嶋憲、山本一二三（2017）：使用二時期衛星SAR強度圖像，判讀土砂移動區位特性（以2016年熊本地震為例）、2017年度砂防學會研究發表會概要集、pp.460-461
- 11) 渡邊學（2018）：藉由合成孔徑雷達監視森林採伐、Journal of The Remote Sensing Society of Japan、Vol.38、No.5、pp.458-461
- 12) 松岡昌志、山崎文雄（2001）：對1995年兵庫縣南部地震造成建造物受害地區監測人工衛星SAR強度圖像的特徵、日本建築學會結構系論文集、第546號、pp.55-61
- 13) Youko NAKANO・Takao YAMAKOSHI・Takeshi SHIMIZU・Keiji TAMURA・Shoji DOSHIDA（2010）：The Evaluation of Eruption Induced Sediment Related Disasters using Satellite Remote Sensing – Applications for Emergency Response、International Journal of Erosion Control Engineering、Vol.3、No.1、pp.34-42

強度差分SAR圖像的技術規格

圖的編號	觀測日期與時間	側視角 [°]	軌道方向	微波照射方向
圖-3.2	2018/03/17 2018/07/21	32.4	北向	衛星行進方向 右
圖-3.3	2015/04/19 2018/07/08	48.0	南向	衛星行進方向 右
圖-3.4	2018/08/23 2018/09/06	32.4	南向	衛星行進方向 右
圖-3.5	2017/04/29 2017/07/07	29.1	南向	衛星行進方向 左
圖-3.7	2017/04/29 2017/07/07	29.1	南向	衛星行進方向 左
圖-3.8	2020/06/08 2020/07/06	32.4	南向	衛星行進方向 右
圖-3.10	2017/06/12 2017/07/10	32.4	南向	衛星行進方向 右
圖-3.11	2018/09/20 2018/10/04	32.4	南向	衛星行進方向 右
圖-3.13	2015/08/13 2015/09/10	35.4	南向	衛星行進方向 左
圖-3.14	2015/06/30 2017/07/25	44.7	南向	衛星行進方向 左
圖-3.15	2015/06/16 2019/10/15	42.7	南向	衛星行進方向 左
圖-3.16	2017/06/12 2017/07/10	32.4	南向	衛星行進方向 右
圖-3.18	2016/03/07 2016/04/18	32.4	南向	衛星行進方向 右
圖-3.19	2020/06/08 2020/07/06	32.4	南向	衛星行進方向 右

圖的編號	觀測日期與時間	側視角 [°]	軌道方向	微波照射方向
圖-3.20	2015/02/25 2019/10/30	29.1	北向	衛星行進方向 右
圖-3.22	2016/03/07 2016/04/18	32.4	南向	衛星行進方向 右
圖-3.23	2017/04/29 2017/07/07	29.1	南向	衛星行進方向 左
圖-3.24	2016/03/07 2016/04/18	32.4	南向	衛星行進方向 右
圖-3.25	2017/04/29 2017/07/07	29.1	南向	衛星行進方向 左
圖-3.26	2017/10/13 2020/10/31	42.7	北向	衛星行進方向 左
圖-3.28	2017/04/29 2017/07/07	29.1	南向	衛星行進方向 左
圖-3.29	2018/03/17 2018/07/21	32.4	北向	衛星行進方向 右
圖-3.31	2018/05/30 2020/07/08	42.7	北向	衛星行進方向 右
圖-3.32	2017/10/13 2020/10/31	42.7	北向	衛星行進方向 左
圖-3.34	2017/04/29 2017/07/07	29.1	南向	衛星行進方向 左
圖-3.35	2018/03/17 2018/07/21	32.4	北向	衛星行進方向 右
圖-3.37	2016/03/07 2016/04/18	32.4	南向	衛星行進方向 右
圖-3.39	2014/11/05 2018/01/24	44.7	北向	衛星行進方向 右
圖-3.41	2014/11/14 2015/05/29	29.1	南向	衛星行進方向 左

.....
國土技術政策總合研究所資料

TECHNICALNOTE of NILIM

No.1159 April 2021

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。