

SAR画像の後方散乱強度変化による土砂災害調査手法の適用

鈴木大和・松田昌之・野村康裕・中谷洋明

1. はじめに

土砂災害による被害は広域に及ぶことがあり、人家への直接的な被害に限らず、河道の閉塞や交通網の寸断等による二次的な社会影響を引き起こすことがある。そのため、広域に発生する土砂災害に対して、その影響範囲を早期に把握する等の初動対応が重要である。そこで、水管理・国土保全局は（国研宇宙航空研究開発機構（以下「JAXA」という。）との間で「人工衛星等を用いた災害に関する情報提供協力に係る協定」を締結し、災害時における衛星画像等の活用強化を図っている¹⁾。

なかでも、JAXAが運用する陸域観測技術衛星2号「だいち2号」（以下「ALOS-2」という。）には、合成開口レーダー（以下「SAR」という。）が搭載されている。SARは夜間に観測可能な能動型センサであるほか、悪天候時に観測できる全天候性という特長があり²⁾、緊急性が高い災害初動時における活用が期待される。一方で、SARの解析方法には位相差干渉解析³⁾や偏波特性に着目した解析⁴⁾が良く用いられてきたが、一般的に多発する土砂災害の規模に対しては分解能が不足し、災害初動調査に適した技術とは言えない。このため、豪雨後や地震後に迅速に被災状況を調査できるSARの活用法の開発が求められている。

本研究ではSAR画像の後方散乱強度に着目し、災害前後におけるその変化から土砂災害の発生を速やかに特定する手法を検討した。本稿では、本手法の実用化に向けた実災害時における適用性の検討結果について報告する。合わせて、山地領域で適用する際の留意点と関連分野における適用の可能性を検討した。

2. 方法

2.1 SAR画像の後方散乱強度

SARから照射されたマイクロ波は地表面の凹凸やテクスチャによって散乱が生じる。このうち、照射側への散乱の大きさを後方散乱強度と呼ぶ（図-1）。また、地表の各点における後方散乱強度に比

例した濃淡を各画素として可視化したものがSAR画像である⁵⁾。一般的に、水域等の滑らかな面に対しては後方散乱強度が非常に小さく、森林は樹木の幹等による複雑な散乱が生じて後方散乱が卓越する。

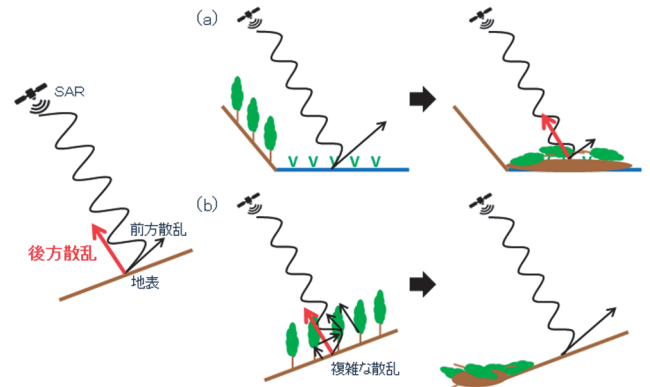


図-1 後方散乱強度とその変化のイメージ

2.2 SAR画像の後方散乱強度の解析方法

災害前後における後方散乱強度の変化に着目し、図-1に示す（a）崩壊土砂の流入や（b）斜面崩壊の蓋然性が高い場所を抽出する方法を検討した。後方散乱強度の変化を可視化するため、同一観測条件の災害前後のSAR画像を用いて使用し、災害前を赤、災害後を緑と青（混色によりシアン）としてカラー合成した画像（以下「強度差分SAR画像」という。）を作成した。そして、表-1の関係に基づき、強度差分SAR画像の目視判読を行った。

表-1 強度差分SAR画像上で色と後方散乱強度の変化

色	災害前後の後方散乱強度の変化	例
白	後方散乱強度があり、変化がない	森林、農地
黒	後方散乱強度が小さく、変化がない	海面、湖面
シアン	災害後に後方散乱強度が増加	土砂流出 漂流物
赤	災害後に後方散乱強度が低下	斜面崩壊 浸水・湛水

2.3 実証実験の方法

実証実験は2017年4月から開始した。台風の接近や地震の発生等によって土砂災害発生の恐れが高まった際には、JAXA側で協定に基づくALOS-2による緊急観測がなされ、JAXAからSAR画像を取得して判読等の調査を行った。その結果は地方整備局等に提供され、防災への飛行ルート選定や優先調査範囲の決定等、初動調査計画の立案に活用された。

実証実験においては判読結果提供までの所要時間や検出した変化の規模とその精度等を整理した。

3. 結果

3.1 情報提供までの所要時間

平成30年北海道胆振東部地震時の対応について時系列で整理した(図-2)。強度差分SAR画像の判読等を行い、地震発生からおよそ12時間半後に速報結果を提供した。天候の回復を待って15時頃から開始した防災ヘリによる調査結果が出る前に情報提供することができ、衛星写真(SPOT-6)の撮影は地震発生から5日後となった。また、SAR画像の判読によって高密度に崩壊が発生したと推定した範囲について衛星写真と比較すると、崩壊地の分布状況の整合が高く、速報結果の信頼性が高いことが確認された(図-2)。

夜間や休日の対応を除いた実証実験の実績について、情報提供までの所要時間を整理した結果を図-3に示す。災害ごとにばらつきがあるが、平均すると緊急観測後概ね5時間程度、発災後約半日程度で情報提供されており、迅速性について十分に実用的水準であった。ただし、平成29年7月九州北部豪雨の事例のように、ALOS-2による観測機会を得るまでに相当程度の時間を要する場合もある。また、平成29年台風21号豪雨のように判読範囲が広大であった場合、緊急観測から結果提供までの時間を比較的長く要することになる。

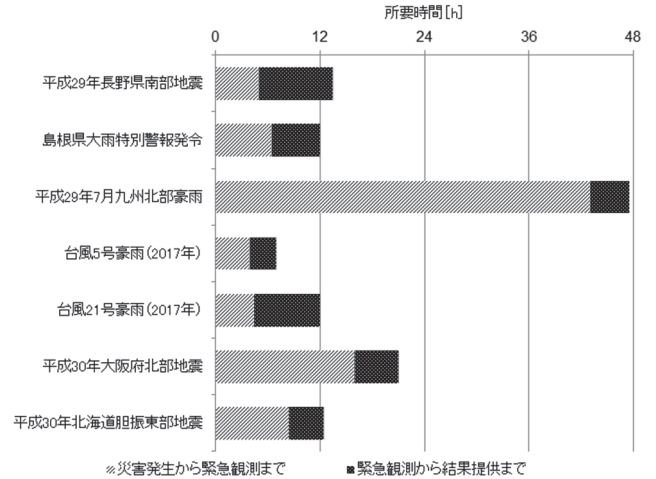


図-3 結果提供までの所要時間

3.2 検出した変化の規模とその精度

実証実験の実績のうち、広域で多数の土砂災害が発生した平成30年7月豪雨および平成29年7月九州北部豪雨について、強度差分SAR画像の判読により検出した変化の規模とその精度を分析した。空中写真等から判読した斜面崩壊と斜面崩壊以外の箇所の検出数を正射面積ごとに示す(図-4)。この結果、1,250~2,500m²程度の狭小な変化についても高精度に斜面崩壊の発生箇所と整合し、高い信頼性を持って検出できていた。また、従来の解析手法⁴⁾と比較しても十分に高分解能であることが確認できた。

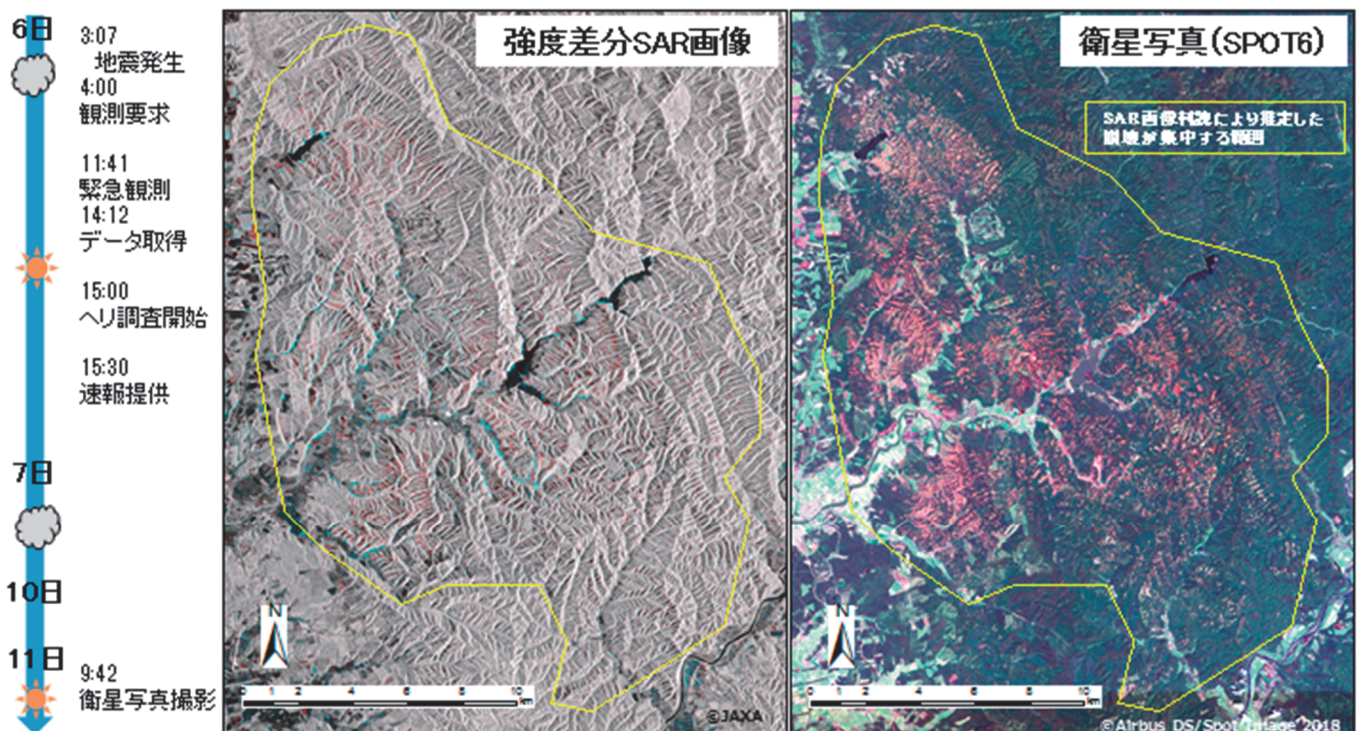


図-2 平成30年北海道胆振東部地震時の対応

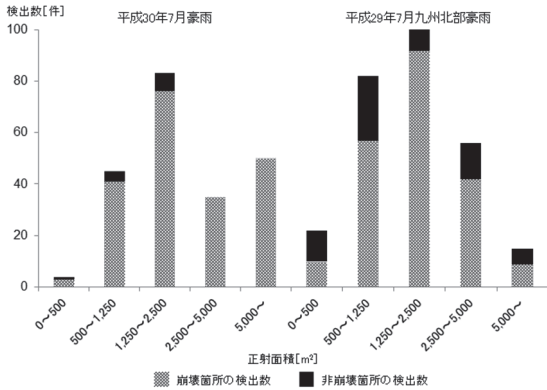


図-4 変化の規模ごとの崩壊および非崩壊箇所の検出数

4. 考察

4.1 山地領域のSAR画像特性から生じる留意点

4.1.1 観測条件による判読精度

SAR画像は電波照射の角度等による幾何条件の影響を受ける。入射角が30度の電波照射方向に正対する斜面を表面、その逆側斜面を裏面とする(図-5)。このとき、全体に占める強度差分SAR画像上の変化の検出数の割合(以下「検出率」という。)を比較すると、表面での検出率が著しく低い(表-2)。また、平成29年九州北部豪雨の際に発生した76,600m²程度の斜面崩壊(大分県日田市)を事例に視認性の比較を行った(図-6)。電波照射方向に対する斜面向きの条件が悪いと、大規模な斜面崩壊であっても判読することが困難となる。これは、SARが斜め下方に電波照射する観測原理上、画像化した際に電波照射方向側に山地が倒れ込むレイオーバー効果⁶⁾によるものと考えられ、SAR画像を扱う上でこの影響は軽減できない。実用上はレイオーバーの影響を受けづらい平野部等への土砂の流出によるシアン色の変化を確認しつつ、視認性が低い斜面向きを念頭に結果を解釈することが必要である。

4.1.2 森林伐採地等の類似した後方散乱強度変化

図-4において非崩壊箇所の検出数を比較すると平成29年7月九州北部豪雨の方が多い。その要因のひとつに森林伐採の影響が考えられる。斜面崩壊の発生が予想される山地領域において、森林伐採は斜面崩壊と類似した後方散乱強度の変化を示すため、その判別が困難となる(図-7)。対策としては、①平野部等への土砂の流出によるシアン色の変化の有無を確認、②人為的な矩形や規則性等の変化の形状から判断、③災害直前の衛星写真や航空写真による伐採の有無の確認が考えられる。

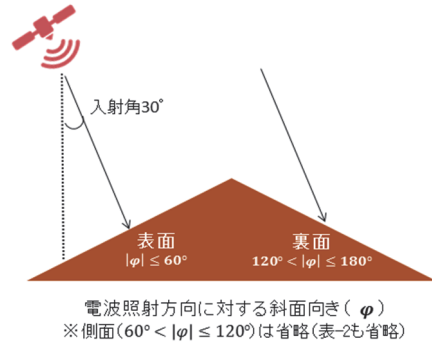


図-5 電波照射方向に対する斜面向きの概念図

表-2 電波照射方向に対する斜面向きごとの検出率

検出率 [%]	平成30年7月豪雨	平成29年7月九州北部豪雨
表面	5.2	2.0
裏面	63.2	69.2

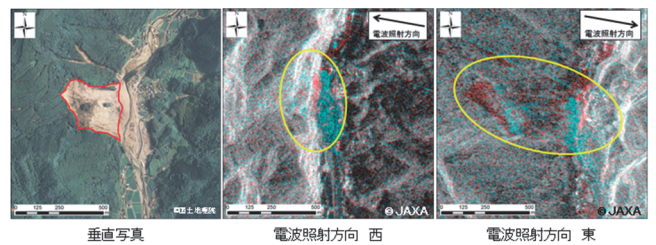


図-6 電波照射方向が異なる場合の視認性比較

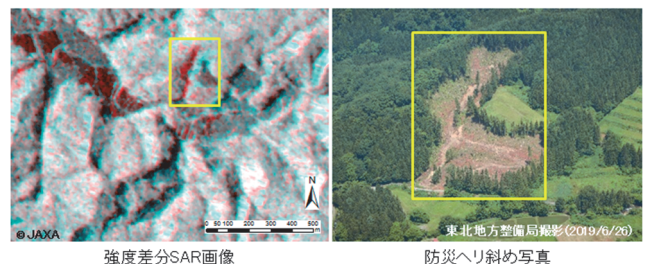


図-7 森林伐採地の検出例(山形県鶴岡市)

4.2 関連分野での適用の可能性

4.2.1 道路分野

平成30年7月豪雨時に高屋JCT(広島県東広島市)付近において道路への土砂流入が発生した。当被災箇所について強度差分SAR画像上でシアン色の変化が確認できた(図-8(a))。これは舗装面に土砂や木々が流入した結果、後方散乱強度が増加したことによるものと考えられる。また、平成28年熊本地震時には、阿蘇大橋(熊本県南阿蘇村)が落橋した。これは、落橋によって橋梁部における散乱が大幅に低下した結果、赤い色の変化として確認できたと考えられる(図-8(b))。

山陽自動車道と阿蘇大橋は東西方向に広がる。一方、ALOS-2は南北方向の軌道で横斜め下方に観測するため、地形の倒れ込み等の影響は東西方向に発生する⁶⁾。今回は観測条件と地理的条件が

幾何学的に良好な関係にあり、十分な衛星視野が確保されたと推察される。詳細な適用条件の検討のために他の事例で検証を重ねていく必要がある。

4.2.2 ダム・港湾分野

平成29年7月九州北部豪雨時に寺内ダム（福岡県朝倉市）に大量の流木が流入した。強度差分SAR画像上の湛水域上流側にシアン色の変化を確認でき、漂流する流木が水面を覆うことで後方散乱強度が増加したと推察される（図-8（c））。

大規模な出水後には海洋にも流木が流出することがあり、平成30年7月豪雨等では海洋環境整備船による流木等漂流物回収の対応が困難を窮めた⁷⁾。強度差分SAR画像を用いることで、大規模出水後における流木等漂流物の影響範囲を効率的に特定できる可能性がある。

5. まとめ

災害前後におけるSAR画像の後方散乱強度の変化に着目した土砂災害の発生を速やかに特定する手法を検討した。迅速性と分解能の両面において実用的水準にあることを確認し、山地領域で適用する際の留意点を整理した。また、関連分野における災害初動対応にも有効な可能性が示唆された。

地方整備局等の災害対応時の効率性を向上させるため、衛星画像等の一層の活用が求められていることから、被害範囲の早期の絞り込みによる的確な初動調査を支援できる技術として、本検討の結果について国土技術政策総合研究所資料として取りまとめる予定である。

本研究は、国土技術政策総合研究所および宇宙航空研究開発機構による「陸域観測技術衛星2号「だいち2号」による土砂災害監視手法の開発に関する共同研究」によって実施されたものである。

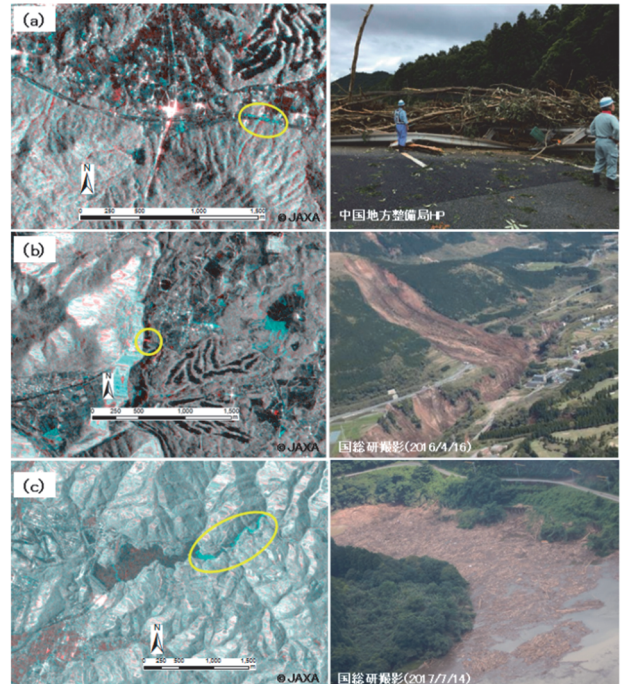


図-8 関連分野における強度差分SAR画像の適用結果

参考文献

- 1) 国土交通省報道発表資料、2017（2019年10月1日閲覧）
https://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo06_h_h_000053.html
- 2) 大内和夫：リモートセンシングのための合成開口レーダの基礎、pp.21～22、東京電機大学出版局、2004
- 3) 佐藤浩、岡谷隆基、小荒井徹、鈴木啓、飛田幹男、矢来博司、関口辰夫：SAR干渉画像を用いた地すべり地表変動の検出について—山形県月山周辺を事例にして—、日本地すべり学会誌、Vol.49、No.2、pp.61～67、2012
- 4) 水野正樹、神山嬢子、江川真史、佐藤匠、蒲原潤一：2偏波SAR画像による大規模崩壊及び河道閉塞箇所の判読調査手法（案）、国土技術政策総合研究所資料、第791号、2014
- 5) 日本リモートセンシング研究会：図解リモートセンシング、pp.78～79、社団法人日本測量協会、2001
- 6) 佐藤匠：土木用語解説「SAR」、土木技術資料、第55巻、第4号、p.54、2013
- 7) 国土交通省中国地方整備局：平成30年7月豪雨～中国地方整備局 災害対応の記録、pp.176～180、国土交通省中国地方整備局、2019

鈴木大和



国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部土砂災害研究室 研究官
Yamato SUZUKI

松田昌之



国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部土砂災害研究室 交流研究員
Masayuki MATSUDA

野村康裕



国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部土砂災害研究室 主任研究官
Yasuhiro NOMURA

中谷洋明



国土交通省国土技術政策総合研究所土砂災害研究部土砂災害研究室長、博士（農学）
Dr.Hiroaki NAKAYA