

Xバンド小型 SAR 衛星画像を用いた土砂災害発生箇所推定手法の検討

パシフィックコンサルタンツ株式会社

○佐々木央・飛岡啓之・澤田悦史・松田尚郎・黒川祐梨・柳町年輝・熊田和人
株式会社 Synspective 木村詩織

1. はじめに

近年、衛星に搭載した合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar 以下, SAR) を活用した広範囲を面的なモニタリングする技術開発が、様々な分野で進められている。

地震や豪雨後における河道閉塞や斜面崩壊等の土砂移動現象 (土砂災害) は山間部で発生することが多い。これらについて、地上からの現地調査では、発生箇所の把握に時間を要することが課題として挙げられている。この課題に対して、SAR 衛星の優位性である天候に左右されることなく、夜間でも撮像可能な特性を活かした土砂災害発生箇所の推定方法の研究が進められている¹⁾²⁾。

2. Xバンド小型 SAR 衛星の活用

既往研究では、植生の影響を比較的に受けづらい ALOS-2 (Lバンド) での事例が多く、Xバンド衛星では植生の影響により、電磁波の反射性や干渉性の観点から、山間部での適用には課題が多いことが言及されている。一方で、ALOS-2 を含めた各種 SAR 衛星では、観測頻度が数日に1回程度であり、災害発生時の迅速な対応が求められる際に、時間を要することが課題の一つと言える。

この課題の解決策として本稿では、2020年に打ち上げられ、運用を開始した Synspective 社の Xバンド小型 SAR 衛星 StriX を用いて、土砂災害発生箇所の推定に関する適用性や課題の把握を目的として各種の検証を実施した。Synspective 社では、2020年代後半には30機による小型 SAR 衛星コンステレーション体制の構築を目指している。現時点では衛星基数に限りがあるが、この体制が実現した際は、高頻度かつ複数の軌道方向および照射方向からの撮像が可能となるため、ALOS-2を用いた既往手法の補間になりうる。また、高頻度の撮像が可能であることから、比較的新しい災害前の画像を使用することができ、災害以外の森林伐採や土砂採取等の人工改変による誤判読の低減も見込まれる。

3. 土砂災害発生箇所の推定

3.1 StriX 衛星の後方散乱強度の分布特性の整理

災害時における土砂災害発生箇所の判読は、図1に示すように、災害前後において地表面が「森林域から崩壊地に変化」することに着目した二時期強度差分析により実施されている。

StriX による二時期強度差分析を実施するにあた

り、地表被覆ごとの後方散乱強度から算出した後方散乱係数の特性を整理した。対象範囲は令和4年8月豪雨災害で土砂災害が多かった新潟県村上市南部とし、StriXによる強度画像を図2に示す。平面図上で見ると、強度の高低 (明暗) から道路や鉄道などの構造物、市街地、河川や斜面等の判別は可能であるものの、後方散乱係数の変化だけで具体的にどこで土砂災害が発生しているのかを判断することは困難であった。

同地域における地表被覆ごとの後方散乱強度の分布を図3に示す。使用した地表被覆は、環境省生物多様性センターで公開する植生調査結果のGISデータを基に統合・整理を行ったものである。後方散乱強度は、撮像対象範囲の地形条件、軌道や照射方向等の撮像条件、斜面の状況等の様々な要因によって変化する。このため、全ての事例に共通するわけではないが、StriXの後方散乱係数はALOS-2と比較して、森林域や市街地では同等程度であることに対して、水域や自然裸地、水田ではやや高い傾向にある。また、StriXの後方散乱係数だけで見た場合、地表被覆ごとに大きな違いがないことも一つの特徴と言える。

3.2 異なる衛星による二時期強度差分析

本来であれば、二時期強度差分析は、同一衛星による同一観測条件で実施すべきである。しかし、StriXは運用開始から間もないため、日本全国におけるアーカイブデータが少ない。このため、瀧口ら³⁾の研究を参考として、異なる衛星を用いた二時期強度差分析

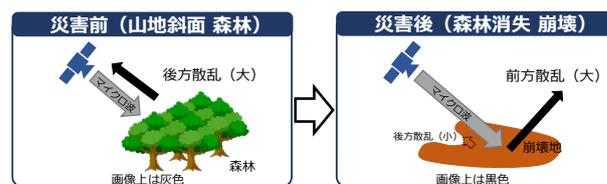


図1 災害前後における後方散乱強度の変化イメージ

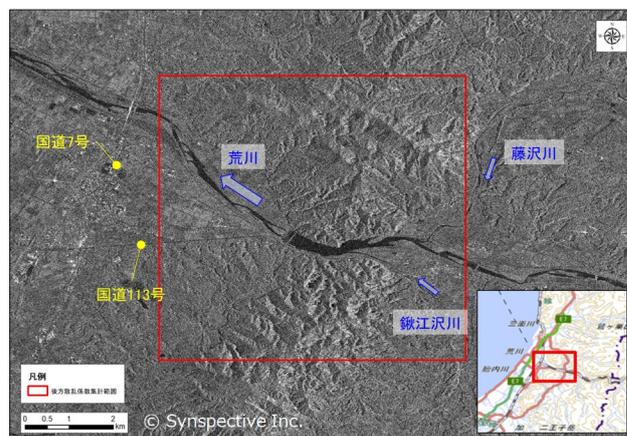


図2 災害後の StriX 強度画像 (新潟県村上市南部)

の適用性検証を実施した。同手法は、アーカイブデータの少ない StriX においても有効な手法と考えられる。検証は令和 4 年 8 月豪雨災害および令和 6 年能登半島地震での土砂災害発生箇所を対象とし、災害前画像 ALOS-2、災害後画像 StriX を採用した。

解析の結果、比較的大きな土砂移動箇所（概ね 10,000m²以上）については、溪流内での土石流の流下（図 4 および図 5）や平坦面への土砂流出（図 6）等を推定することでできた。一方で、両衛星は比較的近い撮像条件を採用したが、土砂災害発生箇所以外の山間部全体においても後方散乱係数の増減が認められた。この理由として、異なる波長の衛星を用いたため、植生からの反射特性の違いによる影響が大きいことが推察される。

今回の検証で得られた異なる衛星を用いた土砂災害発生箇所の推定する際の留意点は以下となる。

- 土砂災害が発生していない箇所においても、後方散乱係数の増減が認められ、土砂災害発生箇所と分けるための有意な指標が確立できていない。
- 周辺斜面においても、後方散乱係数の増減があるため、想定される土砂の流下形態（土石流、斜面崩壊等）との整合性を確認する必要がある。

4. 今後の展望

今回の検証では、限られた事例ではあるものの、X バンド小型 SAR 衛星による土砂災害発生箇所の推定への適用性を示唆することができた。

今後は地形条件や実際の崩壊状況を考慮した詳細な検証を進めていくとともに、StriX による同一条件での二時期強度差分解析および他衛星の組み合わせによる事例を蓄積していく。また、これらの知見を基に土砂災害以外の河川や道路分野での維持管理や災害対応への適用性も検討していく予定である。

解析技術以外にも、実利用への展開に向けて平常時および災害時における StriX の運用方法の最適化や効率化も同様に検討していきたい。

謝辞

検討に使用した SAR 画像および各種衛星データは、内閣府で実施する「令和 5 年度小型 SAR 衛星コンステレーションの利用拡大に向けた実証事業」から提供いただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 鈴木ら,合成開口レーダ (SAR) 画像による土砂災害判読の手引き,令和 2 年 4 月,国土技術政策研究所資料 第 1110 号
- 2) 鈴木ら,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,令和 3 年 4 月,国土技術政策研究所資料 第 1159 号
- 3) 瀧口ら,複数の衛星 SAR 画像を用いた土砂災害発生箇所推定手法の高度化の検討,令和 5 年度,砂防学会研究発表会概要集,P.477-478

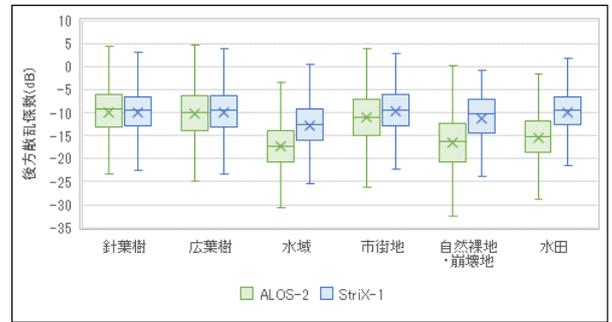


図 3 衛星ごとの後方散乱係数の特性整理

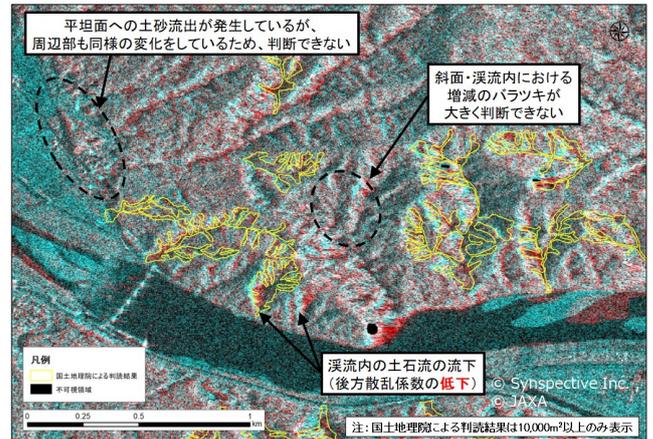


図 4 二時期強度差分解析結果
(令和 4 年 8 月豪雨災害 新潟県村上市南部)

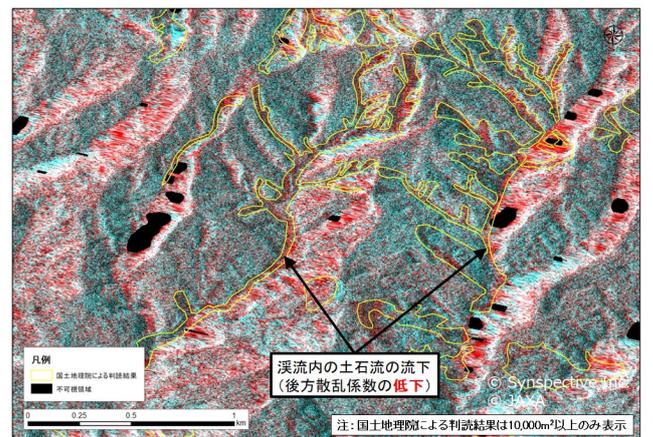


図 5 溪流内における土石流の流下事例
(令和 6 年能登半島地震 石川県輪島市東部)

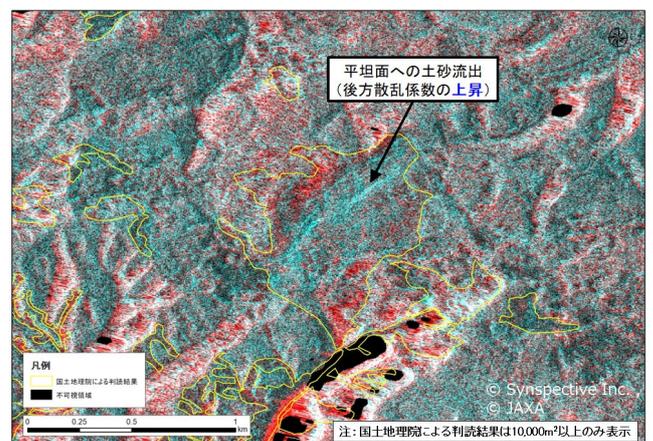


図 6 平坦面への土砂流出事例
(令和 6 年能登半島地震 石川県輪島市東部)