

Xバンド小型 SAR 衛星画像を利用した後方散乱係数の一考察

パシフィックコンサルタンツ株式会社

○相馬竜司・飛岡啓之・澤田悦史・佐々木央・黒川祐梨・木村香帆・柳町年輝
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の開発が、災害対策をはじめとする様々な分野で進展している。

特に、地震や豪雨に伴う河道閉塞や斜面崩壊などの土砂移動現象（土砂災害）は、発災直後における被災状況の全容把握に時間を要する。また、地上からの現地調査では、アクセスの困難性や広域性といった課題があり、迅速な対応を阻む要因となる。これらの課題に対し、SAR 衛星が有する「天候や昼夜を問わず観測が可能」という特性に着目し、災害発生箇所の推定や変化抽出への活用が期待されている。特に、近年では X バンド小型 SAR 衛星を用いた高頻度かつ高解像度な観測手法が注目されており、土砂災害発生箇所の早期把握に資する可能性がある。

本稿では、小型 SAR 衛星「StriX」により撮像された X バンド SAR 画像を用いて、「令和 6 年 9 月能登半島豪雨」災害前後の土砂移動箇所における後方散乱係数などの変化を解析・考察した。

2. X バンド小型 SAR 衛星の活用

土砂災害の把握や地形変動の検出において、L バンド SAR 衛星である ALOS-2 は広域かつ高精度な観測が可能手段として活用されてきた。ALOS-2 は大型衛星であるがゆえに観測頻度が限られ、撮像モードや軌道の関係から、特に急峻な山間部における不可視領域や取得タイミングの課題が指摘されている。このような課題を補完する技術として、小型 SAR 衛星による高頻度観測体制が注目されており、なかでも Synspective 社が展開する X バンド小型 SAR 衛星が選択肢となり得る。「StriX」は約 100kg の小型衛星でありながら、1~3m の高分解能と 10~30km の観測幅を実現している。「StriX」は将来的に 30 機のコンステレーション体制を構築し、2 時間以内で世界の任意地点を再訪可能な高頻度観測ネットワークを目指している。これにより、災害発生直後の撮像、被害状況の早期把握、継続的なモニタリングが可能となる。

「StriX」は、観測の「頻度」「分解能」「即時性」において L バンド衛星の補完的役割を果たし、災害対応における SAR 活用の可能性をさらに広げている。

3. 土砂災害発生箇所の推定

3.1 後方散乱係数とその特徴

SAR（合成開口レーダ）画像における後方散乱係数は、地表に照射されたマイクロ波が物体や地形表面で

反射し、再びセンサに戻ってくる反射強度を示す物理量である。この係数は、対象地表の物理的・構造的な性質（粗さ、含水状態、植生の有無など）を反映するため、地表変化の検出や地物判別に有効な指標である。

同指標は、地表面の物理状態の変化に伴い大きく変動する。特に、土砂災害（斜面崩壊や土石流）後における地形や地表状態の変化は、後方散乱係数に顕著に反映されるため、その傾向を把握することで、災害箇所の推定や分類が可能となる。

一般的に、崩壊地（馬蹄型の斜面崩壊など）では、後方散乱係数が低下する傾向がある。原因としては、植生が失われて滑落した土砂が鏡面反射しやすくなるため、衛星に戻る散乱波が減少することが挙げられる。画像上では暗色（黒～灰）で表現されることが多い。

流下・堆積域（土石流堆積地など）では、後方散乱係数が増加する傾向がある。これは、多様な粒径の堆積物が不均一な反射面を構成し、複雑な後方散乱が発生するためである。画像上では明色（灰～白）で表現されることが多い。なお、これらの傾向は、撮像条件（オフナディア角、偏波、解像度など）や現地の土質・植生状態に依存するため、すべてのケースで一律に適用できるわけではない（図 1）^{1) 2)}。



図 1 災害前後における後方散乱強度の変化イメージ

3.2 能登地域における後方散乱係数の傾向把握

「令和 6 年 9 月能登半島豪雨」では、令和 6 年 1 月に発生した能登半島地震の復旧工事に影響を及ぼし、土砂崩れや仮設材の流出・破損が生じた。特に輪島市では、河原田川の氾濫による浸水域が、計画規模（およそ 50 年に 1 度）のハザードマップで対象外とされていた地域にも広がった。

(1) 解析対象と手法

解析対象は、国土地理院が判読した土砂災害発生箇所（本検討で崩壊地・流下堆積域に分類）のうち、「StriX」衛星により災害前後で撮像された能登地域の 2 地区（以下、01 地区、02 地区）である（図 2）。01 地区では 3m 解像度のストリップマップモード画像（オフナディア角：24.9° → 21.6°）、02 地区では 1m 解像度のスライディングスポットライトモード画像（オフナディア角：27.6° → 36.1°）を使用した。

災害前後の画像から、それぞれのピクセルごとに後方散乱係数を算出したうえで、画素値の類似性と空間的近接性に基づき、「集合体 (clump)」としてグルーピングした。これにより、後方散乱係数の分布変化のみならず、局所的な構造の広がりや分布傾向も評価可能とした(図2)。

(2) 崩壊地・流下堆積域における傾向

災害前後で後方散乱係数および集合体に有意な変化が確認された。以下にその特徴を示す(図3, 図4)。

崩壊地: 後方散乱係数(dB)は、災害前と比較して同程度またはやや低い dB レンジに集中した。崩壊により植生が除去されたことに起因して、鏡面反射が増えた結果、後方散乱が減少したと考えられる。集合体は、災害後に明確に増加し、均質な散乱特性の領域が拡大していることが示唆された。

流下堆積域: 後方散乱係数(dB)は、災害前と比較して同等またはやや高い dB レンジへと移行した。これは、土砂や礫など不均一な堆積物による散乱増加が要因と考えられる。集合体は崩壊地と同様に災害後に大きな面積で出現した。

(3) 考察

本解析では、後方散乱係数と集合体の2軸で土砂移動箇所の傾向把握を試みた。災害による地表面の変化は、反射特性の変化として SAR 画像に反映され、統計的処理によってその傾向が可視化できることを示した。集合体は災害後で増加する。一方で、同様の災害条件でも地区によって後方散乱係数の傾向が異なるケースが存在する。その要因としては、撮像条件(オフナディア角や解像度)の差異、崩壊斜面の土質・含水状態、崩壊前の植生状況などが考えられる。

これらの要因が複合的に影響を与えることから、後方散乱係数の変化だけに依存した一律の土砂移動箇所の抽出は困難であり、現地の地形・地質条件等と併せた解釈が必要である。また、集合体の生成アルゴリズムについても、分類精度向上のための再検討が今後の課題である。

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6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

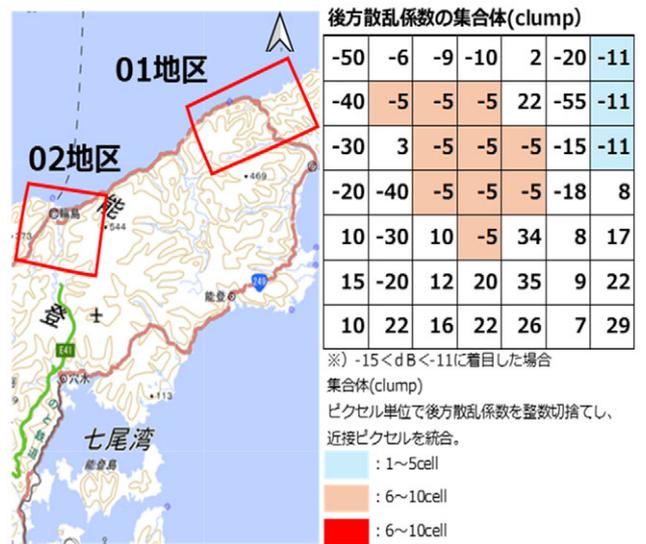


図2 対象位置と集合体の考え方

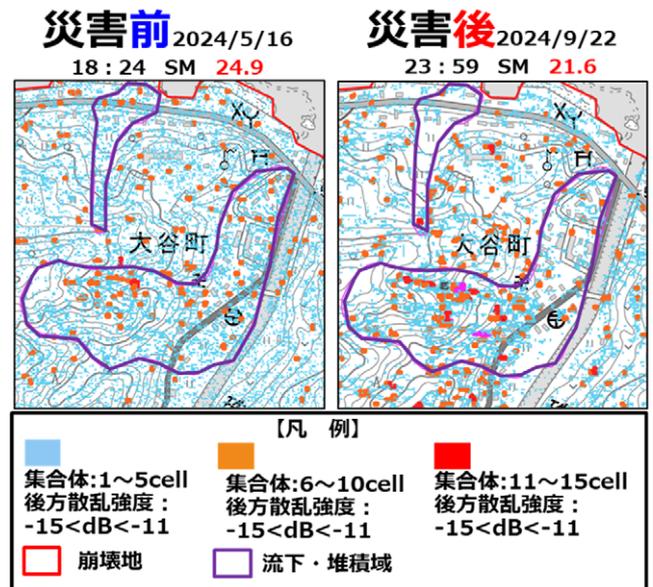


図3 01地区での後方散乱係数と集合体の変化

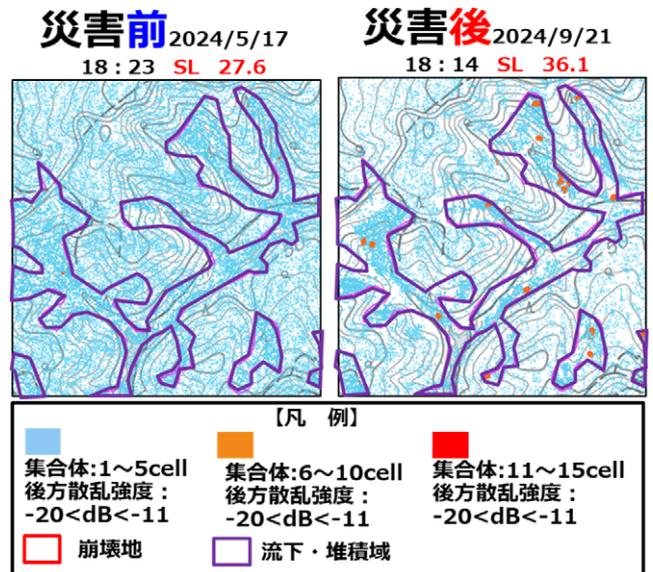


図4 02地区での後方散乱係数と集合体の変化