

強度差分 SAR 画像を用いた土砂移動範囲推定手法の精度向上に向けた試み

株式会社パスコ ○吉田 巧, 平田 育士, 柴山 卓史
国土交通省近畿地方整備局 廣澤 元彦, 和泉 美智子, 奥野 誠一朗

1. はじめに

地震や大雨による自然災害が予見される際、土砂移動現象の発生場所や規模を迅速に把握することは、その後の対策の早期着手のために重要である。人工衛星は一度に広域の観測が可能であり、特に合成開口レーダー (SAR) は夜間や悪天候時でも地表の観測が可能であるため、河道閉塞を伴うような大規模な土砂移動現象の発生場所や規模をいち早く把握できることが期待されている。

強度差分 SAR 画像を用いた従来の目視判読では、土砂移動箇所のおおよその位置の把握は可能であるものの、その範囲を特定することは難しく、規模の評価には限界がある。これに対して、国総研が開発した判読アルゴリズムをはじめとした自動判読技術を用いることで、ピクセル単位で土砂移動箇所の範囲の抽出ができるようになり、規模の評価が可能になることが期待される。一方で、現時点での判読アルゴリズムによる判読事例では、実際の土砂移動範囲を部分的にしか抽出できない場合が多い。特に、Lindsay et al. (2025) が指摘するように、土砂移動範囲の上部や滑落崖周辺など、裸地化が顕著な部分は比較的高い精度で抽出できるが、斜面下方の流木や崩壊土砂が残存する範囲は抽出が困難である。ここで、実際の土砂移動現象は斜面上部のみ限定して発生することは少なく、多くの場合は斜面裾部までの一連の範囲にわたって生じることを考えると、判読アルゴリズムにより抽出された滑落崖などの斜面上部をもとにその下方の一連の斜面を土砂移動範囲として推定することにより、実際の土砂移動範囲を精度よく推定できる可能性がある。そこで、本発表では判読アルゴリズムによる抽出結果をもとに、地形を参考に判断される一連の斜面を土砂移動範囲として推定する手法について検討した。

2. 対象とした災害事例と使用したデータ

大規模な土砂移動現象が多数発生し、かつ ALOS-2 による緊急観測が実施されたことから、令和 6 年能登半島地震を対象とした。2024/1/1 の観測と、その翌日の逆軌道の観測が行われており、これらの観測結果を用いて強度差分 SAR 画像を作成した。以下、それぞれ画像 A、画像 B と呼ぶ (表-1)。また、当該災害で生じた実際の土砂移動範囲の把握には、国土地理院による斜面崩壊・堆積分布データを使用した。検討の対象範囲内の土砂移動箇所数は 2,349 箇所である。

3. 方法

3.1 判読アルゴリズムによる抽出方法

松田ら (2021) により提案された判読アルゴリズムを一部変更し、強度差分 SAR 画像上で後方散乱係数の差分値が -2.5dB 以下となるピクセルが $1,500\text{m}^2$ 以上の面積で連続して分布する範囲を、土砂移動が生じた可能性のある範囲として抽出した (図-2)。なお、不可視領域に該当する範囲は、抽出対象から除外した。

表-1 強度差分 SAR 画像作成に用いた観測結果の諸元

画像名	軌道	観測方向	オフナディア角	観測日	アーカイブ観測日	観測間隔 (日)
画像A	北行軌道	左側	29.1	2024/1/1	2022/9/26	462
画像B	南行軌道	左側	35.4	2024/1/2	2023/6/6	210

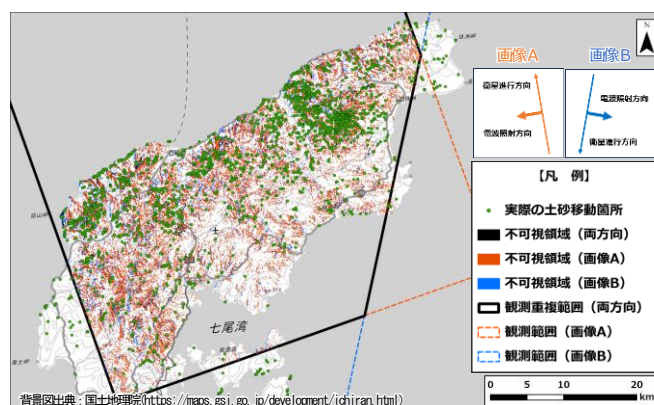


図-1 観測範囲, 不可視領域, 実際の土砂移動箇所の分布

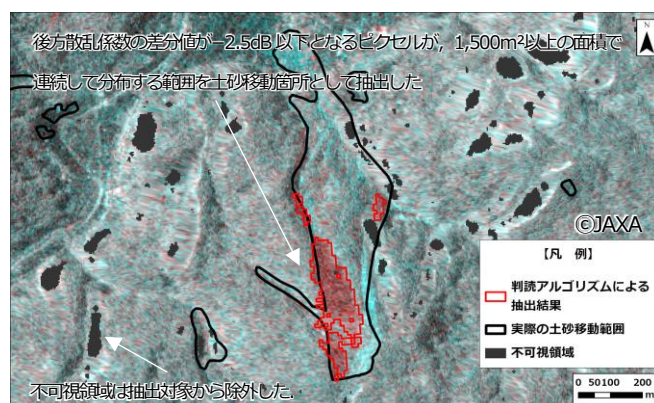


図-2 判読アルゴリズムによる抽出範囲の例

3.2 判読アルゴリズムによる抽出結果を拡張した推定手法

判読アルゴリズムにより抽出された各ピクセルを起点として、下方の一定の傾斜角以上の範囲に落水線を設定し、その落水線で囲まれた領域を土砂移動範囲として推定した。落水線を設定する対象範囲は、土砂移動が生じる可能性を考慮し、傾斜角 5° 以上の範囲とした。傾斜角の算出には国土地理院の 10m 解像度 DEM を使用し、落水線の自動生成には ArcGIS Pro の地形解析ツールを用いた。

これらの処理の結果、局所的な地形の影響により推定範囲の形状が歪となり、推定範囲内に局所的な欠損や不連続が生じる場合が確認された。そこで、これらの不具合を解消するため、推定範囲に対してさらに 1 ピクセル分拡張した範囲を最終的な推定範囲とした。さらに、使用した DEM と強度差分

SAR 画像の間には平面的な位置ずれが生じる場合が多く、両者が必ずしも完全に一致しない。そのため、滑落崖が存在する斜面とは異なる斜面が抽出範囲に含まれてしまう事例が確認された。このように、地形的に不自然で本来抽出対象とすべきでない領域が推定結果に含まれた場合には、実際の地形と照らし合わせた上で、手動により推定範囲を修正した。

4 結果と考察

提案手法による土砂移動範囲の推定結果の例を図-3、図-4に示す。従来の判読アルゴリズムによる抽出範囲と比較すると、提案手法によって推定された範囲は、多くの事例において実際の地形条件を考慮して範囲が拡張され、実際の土砂移動範囲により近い結果を示した。

次に、判読アルゴリズムによる抽出範囲および提案手法による推定範囲について、それぞれ実際の土砂移動範囲の面積と比較し、提案手法による推定精度を評価した。なお、規模が大きい箇所ほど重要性が高いと考え、評価の対象は面積が概ね1万m²以上の土砂移動箇所とした。判読アルゴリズムによる手法では、滑落崖より下方の斜面など、後方散乱係数の差分値の変化が十分に現れない範囲の抽出が困難である。そのため、箇所によっては面積が1オーダー程度小さく評価される場合があり、両画像とも全体として過小評価となる傾向が認められた(図-5 左)。一方、提案手法では、両画像とも推定範囲の面積が実際の土砂移動範囲との1:1の直線付近に多く分布する傾向が見られ、判読アルゴリズムによる手法と比較して推定精度が向上したことが確認された(図-5 右)。

また、提案手法を用いた場合でも、画像Bの観測結果のみでは観測条件の影響により土砂移動範囲の推定精度が十分ではなかったが、逆方向から観測した画像Aでは精度よく推定できた事例が認められた(図-6)。一方の観測方向では観測条件が不利となる場合であっても、逆方向では有利となる場合が多く、両方向の観測結果を活用して土砂移動範囲の抽出および推定を行うことで、推定精度が向上する可能性が示された。さらに、両方向の観測結果を用いることによって、不可視領域の減少も期待される。

5. まとめ

本検討の結果から分かったことを以下にまとめる。

- 判読アルゴリズムによる抽出範囲をもとに、地形を考慮して拡張し、一連の斜面の範囲を土砂移動範囲として推定する手法を検討した。その結果、多くの事例で推定範囲は実際の土砂移動範囲に近づき、土砂移動範囲の推定精度が向上することを確認した。
- 両方向の観測結果を用いて土砂移動範囲を抽出、推定することによって、推定精度が向上する可能性が示された。
- 検証事例は限定的であるため、今後は事例数を増やし、手法の妥当性について継続的な検証が必要である。

【参考文献】

- Lindsay E. et al. (2025): Understanding Landslide Expression in SAR Backscatter Data: Global Study and Disaster Response Application, Remote Sens. 2025, 17, 3313
- 松田昌之ら (2021): 衛星 SAR 画像による機械学習を用いた土砂移動域の判別可能性検討, 2021 年度砂防学会研究発表会概要集, P2-007

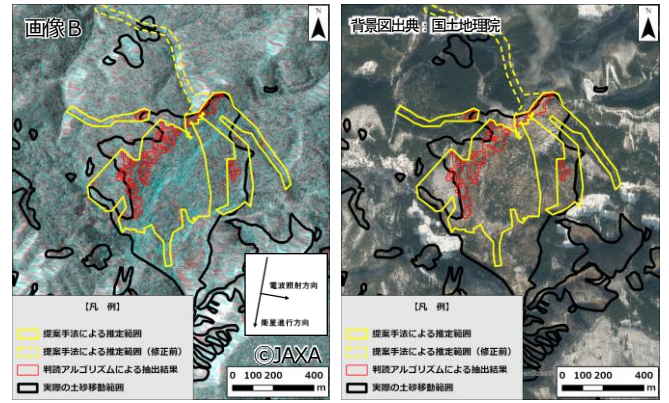


図-3 提案手法による土砂移動範囲の推定結果の例 1

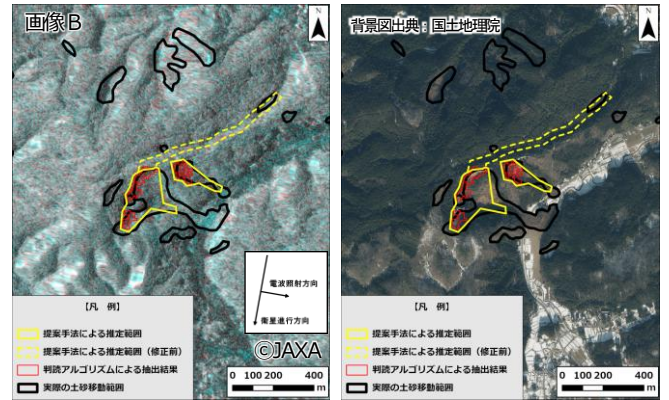


図-4 提案手法による土砂移動範囲の推定結果の例 2

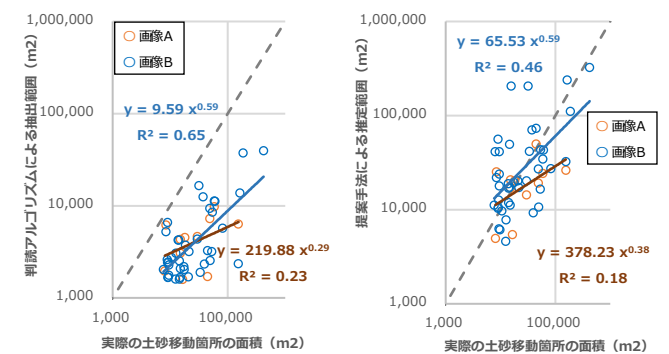


図-5 判読アルゴリズムによる抽出結果(左)と提案手法による推定結果(右)の面積の比較

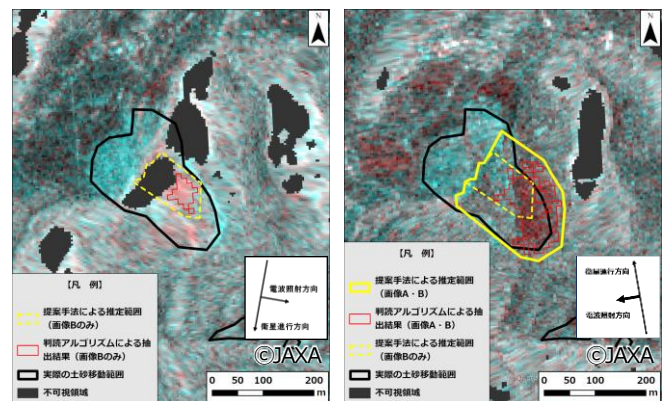


図-6 一方向の観測結果のみで推定した例(左)と両方向の観測結果を用いて推定した例(右)