

人工衛星強度差分 SAR 画像判読による災害時土砂移動箇所判読の事例紹介

株式会社パスコ ○吉田 巧, 柴山 卓史, 平田 育士, 杉本 惇, 橋本 裕紀
 国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所 小林 正直, 岸本 優輝
 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター 竹下 航
 国土交通省国土技術政策総合研究所 瀧口 茂隆, 金澤 瑛

1. はじめに

地震や大雨による自然災害が発生した際、土砂移動現象の発生箇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るため災害の全容把握に有用であり、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、大規模な土砂移動現象や河道閉塞などの発生箇所をいち早く把握できることが期待されている。一方、これまでの研究において、強度差分 SAR 画像を用いた土砂移動箇所の目視判読では実際の土砂移動箇所を見逃す場合や実際の土砂移動箇所ではない箇所を誤って判読する 경우가少なくなく、これらの判読精度には土砂移動箇所の地形的な条件や地表の状況、観測の条件などが影響することが指摘されている。

本発表では、令和5年度に日本全国で発生した自然災害のうち15のイベントを対象に強度差分 SAR 画像を用いた土砂移動箇所の判読を実施したため、その結果を報告するとともに、結果から見出された見逃しや空振りの原因についての分析結果を紹介する。

2. 強度差分 SAR 画像の判読を実施した災害と判読条件

令和5年度に日本全国で発生した自然災害のうち表-1に示す15の自然災害を対象に、災害前後のALOS-2観測画像から作成した強度差分 SAR 画像を用い、土砂移動箇所の判読を実施した。土砂移動箇所の判断基準は国総研資料第1110号を参考とし、土砂移動範囲の面積が5,000m²未満のものやレイオーバー、レーダーシャドウなどの不可視領域に位置するものは原理的に判読が困難と判断し、判読の対象外とした。

3. 判読精度評価

3.1. 評価の対象とした災害

判読を実施した災害のうち、大規模な土砂災害が複数発生した6月29日からの九州北部での大雨(表-1 No. 5, 以下

「事例1」と呼ぶ)と令和6年能登半島地震(表-1 No. 15, 以下「事例2」と呼ぶ)を対象に判読精度を評価した。

3.2. 評価方法

災害後の土砂移動現象の状況が把握可能な資料をもとに特定した実際の土砂移動箇所と強度差分 SAR 画像の判読結果を比較し、実際の土砂移動箇所と判読結果が一致したものを「正解」、実際の土砂移動箇所のうち判読できなかった箇所を「見逃し」、実際の土砂移動箇所では無い箇所を判読した場合は「空振り」と判定した。判定結果をもとに、適合率(正解/(正解+空振り))と再現率(正解/(正解+見逃し))を評価指標として判読精度を評価した。実際の土砂移動箇所は、事例1では関係機関から収集した災害報告等の現地調査結果や斜め写真、および災害前後の光学衛星画像の比較によって判断、整理し、事例2では国土地理院が地震発生後に撮影した空中写真から判読した斜面崩壊・堆積分布範囲のGISデータを活用した。なお、実際の土砂移動箇所のうち、判読において対象外とした面積が5,000m²未満もしくは不可視領域に位置する(概ね半分以上の面積がこれに含まれる)土砂移動箇所は精度評価においても対象外とした。

3.3. 評価結果

事例1では、正解が21箇所、見逃しが48箇所、空振りが9箇所、適合率が70%、再現率は30%であった。事例2では、正解が19箇所、見逃しが295箇所、空振りが0箇所、適合率は100%、再現率は6%であった。どちらも適合率が高いが、再現率が低い結果となった。

4. 見逃し・空振りの原因分析

4.1. 局所入射角に着目した分析

松田ら(2020)では、土地被覆や局所入射角によって後方散乱強度が変化することが指摘されており、例えば局所入射角が大きくなるほど、針葉樹・広葉樹と崩壊地との後方散乱

表-1 判読を実施した災害と使用した SAR 画像

No	SAR 緊急観測日	自然現象名等	主な判読範囲	判読した土砂移動箇所数	軌道	ビーム番号	フレーム数	アーカイブ観測日	観測間隔(日)
1	2023/5/11	地震	房総半島	0	南行	U2-7	2	2023/4/13	28
2	2023/6/4	令和5年台風第2号	紀伊半島	212	北行	U3-12	2	2018/6/10	1,820
3	2023/6/6	令和5年台風第2号	紀伊半島	20	南行	U2-7	3	2022/11/22	196
4	2023/7/3	降雨	九州北部	30	南行	U2-7	4	2023/6/5	28
5	2023/7/10	降雨	九州北部	32	南行	U3-12	2	2021/6/14	756
6	2023/7/13	降雨	富山県西部	0	南行	U2-6	1	2022/10/20	266
7	2023/8/10	令和5年台風第6号	四国西部	1	北行	U3-9	1	2022/6/30	406
8	2023/8/11	令和5年台風第6号	宮崎県	21	南行	U2-7	2	2022/11/4	280
9	2023/8/15	令和5年台風第7号	三重県	6	南行	U2-9	3	2022/12/6	252
10	2023/8/16	令和5年台風第7号	鳥取県	8	南行	U3-14	2	2021/7/21	756
11	2023/8/16	令和5年台風第7号	京都府・和歌山県	0	北行	U2-6	4	2023/5/10	98
12	2023/8/26	令和5年台風第7号	静岡県	6	南行	U3-14	2	2021/12/28	606
13	2023/8/27	令和5年台風第7号	紀伊半島	4	南行	U2-8	3	2023/6/18	70
14	2023/9/19	令和5年台風第13号	千葉県・茨城県	5	南行	U3-13	4	2021/11/29	658
15	2024/1/1	令和6年能登半島地震	能登半島	23	北行	U2-6	3	2022/9/26	462

表-2 判読精度評価結果

判定結果 評価指標	事例1 6月29日からの大雨 (九州北部)	事例2 令和6年能登半島地震
正解	21箇所	19箇所
見逃し	48箇所	295箇所
空振り	9箇所	0箇所
適合率	70%	100%
再現率	30%	6%

係数の差が大きくなるため、判読において有利である可能性がある。このように、局所入射角は判読精度に影響を及ぼすと考え、事例1を対象に局所入射角に着目して分析した。

局所入射角と後方散乱強度の差分値の確認の結果(図-1(左)),局所入射角が一定以上に大きい場合(本発表では概ね60°以上の場合)に見逃しが多く生じていることが分かった。局所入射角が大きい見逃しの事例について確認すると、局所入射角が大きくなるほど一般的に後方散乱係数が小さくなるため、強度差分 SAR 画像上では黒に近い配色となり、赤やシアンの色調の視認性が低下している状況が見られた(図-1(右))。したがって、局所入射角が一定以上に大きい場所では色調の視認性が低下し、見逃しにつながる可能性が高くなるものと考えられる。一方で、松田ら(2020)によると局所入射角が小さくなるほど判読に不利になる可能性も考えられることから、局所入射角は判読に適した一定の範囲があるものと考えられる。

4.2. 土砂移動現象発生後の地表の状態に着目した分析

土砂移動現象発生後の地表の状態が後方散乱強度の変化に影響を及ぼすと考え、斜め写真等をもとに地表の状態の確認を行った。土砂移動現象発生後の斜面において裸地が占める部分と倒木や立木が占める部分の大きさを定性的に評価し、程度に応じて分類して確認した結果、裸地が大部分を占める場合は11箇所中8箇所が正解であったのに対し、倒木や流木が比較的多い場合は5箇所中4箇所が見逃しであり、傾向に違いが見られた。土砂移動現象の発生後に立木や倒木が多く残存している場合、後方散乱強度の変化が小さく、強度差分 SAR 画像上で明瞭な色調の変化が現れにくくなり、見逃しにつながりやすくなるものと考えられる。

4.3. アーカイブとの観測間隔

表-1より、判読した土砂移動箇所はほぼ全ての判読回で概ね30箇所以下であったのに対し、No.2のみ212箇所と多く、アーカイブとの観測間隔が1,820日(約5年)と非常に長かった。なお、その後の確認でNo.2はほとんどが空振りであったことが分かっている。一般に、観測間隔が長くなるほど土砂移動現象以外の地表の変化が含まれやすくなり空振りが多くなる傾向があるが、観測間隔が5年程度になると空振りが非常に多くなることが分かった。

4.4. その他の原因

事例2では、大規模な崩壊や河道閉塞を含め土砂移動現象が多数発生したものの、見逃しが多かった。一般に土砂移動箇所では斜面に赤の着色が見られるが、見逃した箇所の強度差分 SAR 画像を確認すると、多くの箇所では赤の着色が見られず、どちらかというときシアン着色が多く見られた(図-2)。特に、大規模な地すべりや河道閉塞が発生した箇所のいくつかは、このような状況であったために見逃す結果となった。

現時点では、シアン着色になる原因については十分に分かっていないため、今後、詳細な分析を行う必要がある。

5. まとめ

これまでの研究結果などで指摘されている事も含め、今回の評価や分析の結果から分かったことを以下にまとめる。今後、分析をさらに深め、自動判読の実現につなげたい。

- ・ 局所入射角が一定以上に大きい場合(本発表の結果からは約60°以上の場合)には見逃しが多くなる傾向が見られた。局所入射角は判読に適した一定の範囲があるものと考えられる。
- ・ 土砂移動現象の発生後に立木や倒木が多く残存している場合には見逃しが多くなる傾向が確認された。
- ・ 強度差分 SAR 画像作成の際のアーカイブとの観測間隔が一定以上に長くなると、空振りが非常に多くなる。
- ・ 令和6年能登半島地震の判読では、見逃した箇所の多くでシアン着色が見られた。これが見逃しの大きな原因であったため、今後、シアン着色が現れた原因について詳細な分析を行う必要がある。

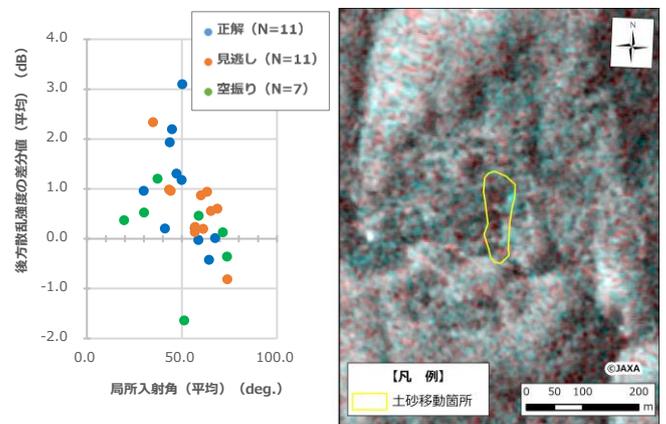


図-1 局所入射角と後方散乱強度の差分値の関係(左)、局所入射角が大きい見逃しの事例(右)

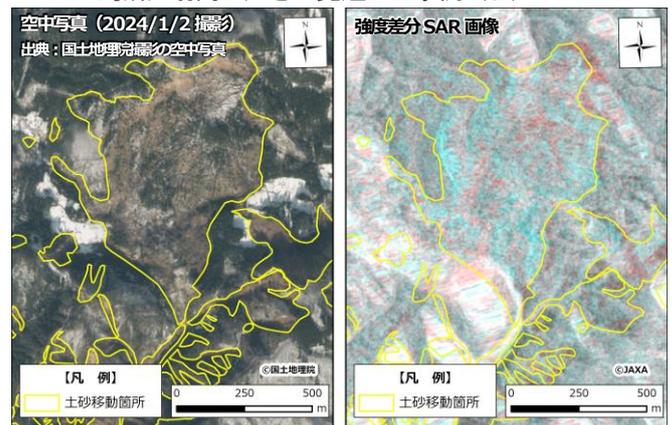


図-2 見逃した河道閉塞箇所の事例(事例2)

出典: 国土地理院撮影の空中写真(2024年撮影)

【参考文献】

- 1) 国土技術政策総合研究所(2020):合成開口レーダ(SAR)画像による土砂災害判読の手引き,国総研資料第1110号
- 2) 松田昌之ら(2020):衛星合成開口レーダ(SAR)における土地被覆等の条件による後方散乱強度の特性,砂防学会研究発表会概要集
- 3) 山下久美子ら(2019):二時期 SAR 強度画像を用いた土砂移動箇所判読精度の検証—平成29年7月九州北部豪雨の事例—,砂防学会誌, Vol. 71, No. 6