

強度差分 SAR 画像を用いた土砂移動箇所判読の精度に対する観測条件の影響分析

株式会社パスコ ○吉田 巧, 平田 育士, 柴山 卓史, 杉本 惇, 橋本 裕紀, 平河内 翔太
国土交通省近畿地方整備局 明見 章史, 中辻 忠, 奥野 誠一郎
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、既往研究¹⁾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があり、これらの判読精度には主に局所入射角 (土砂移動箇所の斜面の法線と衛星からの電波照射方向のなす角) などが影響することが指摘されており、観測条件の影響が大きいものと考えられる。

2024 年 1 月 1 日に発生した令和 6 年能登半島地震では、地震後に ALOS-2 により異なる軌道・オフナディア角での観測が複数回実施された。そのため、同じ土砂移動箇所であっても観測条件が異なるため、それぞれの観測結果から得られた画像や判読結果を比較することにより、判読精度に対する観測条件の影響を分析することができる。そこで、本研究では観測条件として、オフナディア角、観測間隔、局所入射角を取り上げ、判読精度に対するこれらの影響を分析した。

2. 方法

2.1. 異なる軌道での強度差分 SAR 画像の作成

地震発生後に観測された 5 つの異なる軌道の観測結果と対応するアーカイブを収集し、強度差分 SAR 画像を作成した (表-1)。

2.2. 対象とする土砂移動箇所の選定

災害時の強度差分 SAR 画像を活用した土砂移動箇所の判読において、規模の大きい土砂移動箇所を早期に把握できることが期待されているため、国土地理院の斜面崩壊・堆積分布データから河道閉塞が発生した箇所と面積が概ね 3 万 m² 以上の箇所 (計 29 箇所) を分析の対象に選定した (図-1)。

2.3. 画像ごとの判読精度の評価

作成した 5 枚の画像ごとに、対象の土砂移動箇所を判読し、判読できた場合を「正解」、判読できなかった場合を「見逃し」として判定した。その際、土砂移動箇所の範囲の概ね半分以上が不可視領域に該当する場合は「不可視領域」、強度差分 SAR 画像の範囲外にあるものは「範囲外」と判定した。判定結果をもとに、画像ごとに再現率 (正解 / (正解 + 見逃し)) を算出し、判読精度を評価した。

2.4. 判読精度に対する観測条件の影響分析

画像ごとに再現率とオフナディア角、観測間隔 (災害後とアーカイブの観測日の差) との関係性を分析した。また、箇所ごとに局所入射角と判定結果の関係を分析し、さらに局所入射角の影響によらず判読が困難な箇所の原因を分析した。

3. 結果と考察

3.1. 画像ごとの判読精度の評価

画像ごとの評価の結果、画像 B, D, E は再現率が 50 % 以上

表-1 作成した強度差分 SAR 画像の観測条件等

画像名	観測日 (災害後)	観測日 (アーカイブ)	観測間隔 (日)	軌道	観測方向	ビーム番号	オフナディア角	電波照射方向
A	2024/1/1	2022/9/26	462	北行軌道	左側観測	U2-6	29.1	概ね東から西
B	2024/1/2	2023/6/6	210	南行軌道	左側観測	U2-8	35.4	概ね西から東
C	2024/1/3	2023/12/6	28	北行軌道	右側観測	U2-9	38.2	概ね西から東
D	2024/1/8	2023/6/12	210	北行軌道	右側観測	U3-13	46.4	概ね西から東
E	2024/1/12	2023/11/3	70	北行軌道	右側観測	U2-7	32.7	概ね西から東

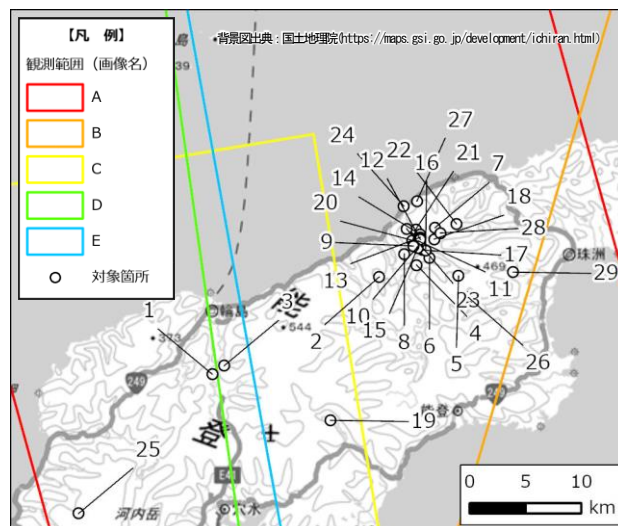


図-1 画像ごとの観測範囲と対象箇所の分布

表-2 画像ごとの判読精度評価結果

画像名	画像A	画像B	画像C	画像D	画像E
正解	4	15	3	17	16
見逃し	18	12	1	10	8
不可視領域	7	2	0	0	2
範囲外	0	0	25	2	3
再現率	18%	56%	75%	63%	67%

であるのに対し、画像 A は比較的正解が少なく、再現率は 18 % であり低い結果となった (表-2)。なお、画像 C はほとんどの箇所が範囲外であったため、他画像の結果との単純な比較は困難である。

3.2. 判読精度に対する観測条件の影響分析

(1) オフナディア角

画像ごとの再現率とオフナディア角との比較の結果、本検討のように概ね 50 ° 未満の範囲ではオフナディア角が大きいほど再現率が高い傾向が見られた (図-2)。既往研究²⁾より、局所入射角が大きくなるほど、森林と裸地の後方散乱係数の差が相対的に大きくなることが示唆されている。土砂移動箇

所ごとの局所入射角はオフナディア角に依存することから、オフナディア角が大きくなるほど局所入射角が大きい箇所が多くなり、明瞭な赤色の着色が現れやすくなることで正解しやすくなったと考えられる。一方、画像Aはオフナディア角が最も小さかったことから、局所入射角が比較的小さい箇所が多く、見逃しや不可視領域が多くなったと考えられる(図-3)。また、画像Aで不可視領域であった7箇所のうち5箇所は、画像Aとは逆軌道の画像Bでは正解であった。これは、画像AとBでは電波照射方向が互いに逆方向であり、相互の不可視領域を補完することにより、画像Aの不可視領域の判読が可能になったためであると考えられる。

(2) 観測間隔

画像ごとの再現率と観測間隔との関係を確認した結果、観測間隔が短いほど再現率が高い傾向が見られた(図-2)。一般に、観測間隔が長くなるほど土砂移動現象ではない様々な変化が現れやすくなるため、空振り(実際の土砂移動箇所を誤って判読すること)の数が増加する傾向にあるが、再現率にも影響する理由は十分に分らなかった。

(3) 局所入射角

各箇所の局所入射角の平均値を算出し、判定結果との関係を確認した(図-5)。その結果、本検討のように局所入射角が70°までの範囲では局所入射角が大きくなるほど正解が多くなる一方、小さくなるほど見逃しや不可視領域が多くなる傾向が見られた。特に、局所入射角が30°以下の場合には全て見逃しか不可視領域であり、再現率は0%であった。既往研究¹⁾より、局所入射角が小さくなるほど再現率が低くなるのが指摘されており、既往研究と整合する結果が得られた。

全画像で見逃した箇所について、空中写真や地形図等を参照し個別に見逃した原因を確認した結果、倒木等の残存が多い場合と、比較的谷幅の狭い土石流である場合に該当する箇所が多かった(図-4)。このような場合は、観測条件によらず判読が困難になる可能性が高いことが考えられる。

4. 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。

- ・本検討のように概ね50°未満の範囲ではオフナディア角が大きいかほど再現率が高い傾向が見られた。また、両軌道の観測結果を活用することで相互の不可視領域を補完し、判読精度の向上をはかることが可能になることが示され、既往研究³⁾と整合する結果が得られた。
- ・観測間隔が短いほど再現率が高い傾向が見られたが、その理由は十分に分らなかった。
- ・局所入射角が判読精度に大きく影響することが示された。特に局所入射角が30°未満の場合は再現率が0%であり、判読が困難であると考えられる。また、倒木等の残存が多い場合や、谷幅の狭い土石流の場合は観測条件によらず判

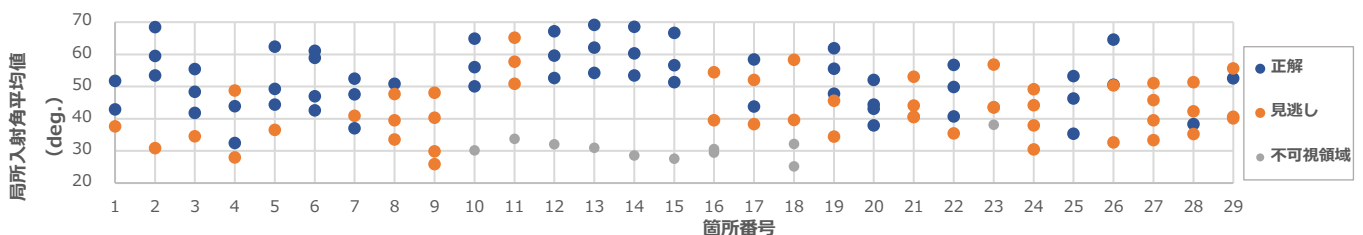


図-5 箇所ごとの局所入射角平均値と判定結果の関係

読が困難となる可能性が高い。

【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) 伊藤ら(2025):人口減少時代における土砂災害安全度を維持・向上させる研究・技術開発,土木技術資料第67巻第1号(R7,1月発行) pp.18-21

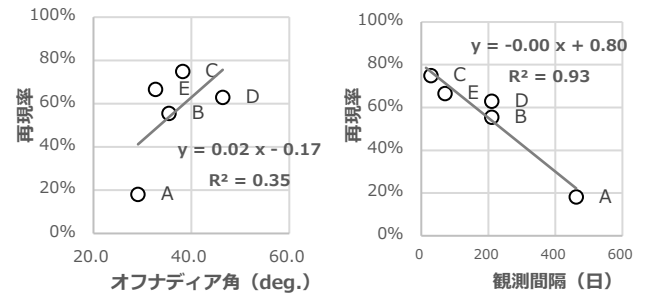


図-2 再現率とオフナディア角および観測間隔の関係

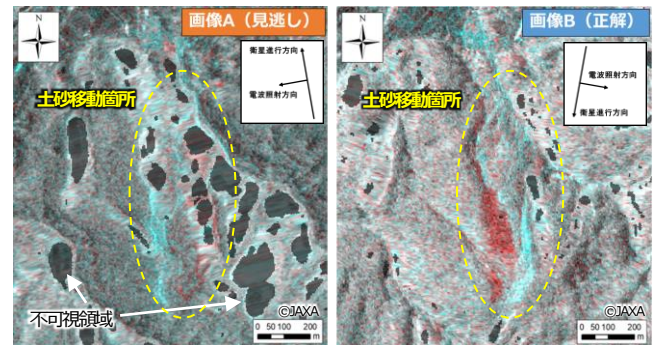


図-3 判読結果例(No.3)(左:A(見逃し),右:B(正解))

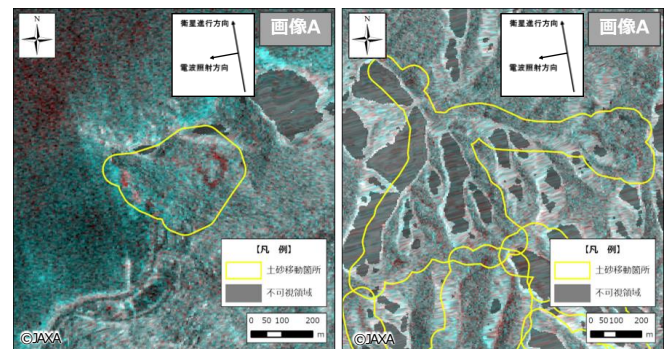


図-4 左:倒木の残存が多い例(No.24),
右:谷幅の狭い土石流の例(No.21)