

衛星観測条件に着目した SAR 強度画像による土砂移動箇所判読精度の検証
 -九州北部豪雨の事例-

国土技術政策総合研究所 ○山下 久美子、神山 嬢子（現 土木研究所）、鈴木 大和、野呂 智之
 株式会社パスコ 杉本 惇、柴山 卓史、鶴殿 俊昭

1 はじめに

昼夜・天候問わず観測ができる合成開口レーダ（以下、SAR）を用いた大規模土砂災害の判読調査手法が提案され¹⁾²⁾など、災害対応時の効果的な活用が目指されている³⁾。その中でも、二時期 SAR 強度画像は災害前後で地表面被覆に変化があった箇所を容易に抽出できるため、深層崩壊等の大規模な土砂移動に加えてより規模が小さい土砂移動現象も判読の対象にできる可能性がある。

SAR 画像は斜面に対する電波の照射方向や角度により、画像の幾何学的な歪みや後方散乱強度の違いが発生する。そのため、電波の照射方向に対する観測地域の斜面向きや入射角によって画像の見え方が異なり、土砂移動箇所の判読精度にも影響を与えると考えられる。衛星観測条件の違いによる判読精度の傾向を明らかにすることは、重点的に確認が必要な斜面を予め把握し、判読調査の効率化を図る上で必要不可欠である。

本研究では、判読精度に影響を及ぼすと考えられる斜面向きと局所入射角に着目し、これらが二時期 SAR 強度画像を用いた土砂移動の判読精度に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、SAR 画像と光学画像の判読による土砂移動範囲の比較から判読可否の傾向を整理し、高い確度で判読できる条件を検証した。

2 研究方法

研究対象地域は平成 29 年 7 月九州北部豪雨で多数の土砂移動が確認された福岡県朝倉市周辺の 8 流域とした。判読に用いる SAR 画像として、ALOS-2/PALSAR-2 により災害前後に観測された HH 偏波 SAR 強度画像をカラー

合成し、二時期 SAR 強度画像を作成した。SAR 画像上で土砂移動の可能性がある後方散乱強度の変化箇所を判読し、その範囲を示すポリゴンデータ（以下、「判読ポリゴン」）を作成した（図-1）。実際の土砂移動範囲を示すデータとして、光学画像の判読により得られた土砂移動範囲のポリゴンデータ（以下、「検証ポリゴン」）を用いた。1つの土砂移動箇所でも位置によって斜面向きや局所入射角が異なるため、判読ポリゴンおよび検証ポリゴンから 10m グリッドの検証点を発生させ、それぞれの検証点における斜面向きと局所入射角を計測した（図-2）。斜面向き (φ) は、地表から見て衛星の方向を 0° として、時計回りに $+180^\circ$ 、反時計回りに -180° で整理し、さらに衛星との方向の関係から表面・側面・裏面の 3 区分に分類した（図-3）。局所入射角 (θ) は、地表面の法線ベクトルと衛星視線方向とのなす角度より 0° から 90° で整理し、さらに 45° を基準として入射角大・小の 2 区分に分類した（図-3）。検証点の計測結果は、これらを組み合わせた 6 つの角度区分で振り分けた。

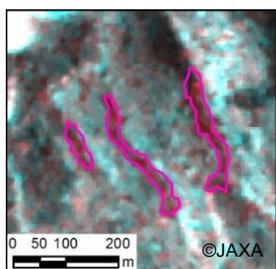


図-1 判読ポリゴン作成事例

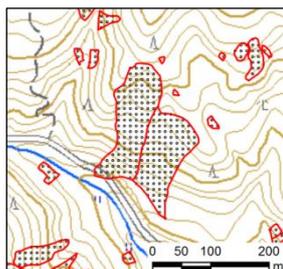


図-2 検証点の配置イメージ

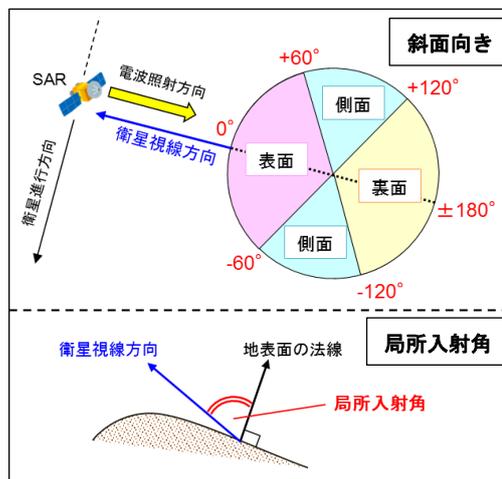


図-3 斜面向き・局所入射角

その後、判読ポリゴンと検証ポリゴンが一致する範囲の判読ポリゴンの検証点の数から判読率を、判読ポリゴンと一致しなかった範囲の検証ポリゴンの検証点の数から見逃し率を算出し、それぞれの角度区分における判読精度の傾向を分析した（表-1）。なお、レイオーバ、レーダシャ

ドゥにより原理的に SAR 画像判読が困難な領域については、本研究では判読不能領域として取り扱うこととした。

表-1 判読率・見逃し率の説明

<p>A: SAR画像で判読した土砂移動範囲 (判読ポリゴン) B: 光学画像で判読した土砂移動範囲 (検証ポリゴン) C: 判読ポリゴンと検証ポリゴンの重複範囲</p>					
	<table border="1"> <tr> <th>判読率(100%に近いほど精度良)</th> <th>見逃し率(0%に近いほど精度良)</th> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	判読率(100%に近いほど精度良)	見逃し率(0%に近いほど精度良)		
判読率(100%に近いほど精度良)	見逃し率(0%に近いほど精度良)				
概念図					
説明	<p>SAR画像から判読された範囲が正しく土砂移動範囲を表している割合</p> <p>実際の土砂移動範囲のうち、SAR画像から判読できなかった箇所の割合</p>				
計算方法	<p>判読ポリゴンと検証ポリゴンが重なる範囲の判読ポリゴンの検証点の数を計上</p> <p>判読ポリゴンと重なっていない検証ポリゴンの検証点の数を計上</p>				
計算式	<p>C/A</p> <p>$1 - C/B$</p>				

3 研究結果

3.1 判読率・見逃し率による評価

判読ポリゴン 289 箇所に含まれる検証点 5,852 点から判読率の特徴を整理した (表-2)。側面や裏面の斜面では判読率は 60% 台後半から 70% となり、局所入射角が大きいうかが判読率は向上することがわかった。

表-2 斜面の地形的特性で評価した判読率

斜面の地形的特性	斜面向き・局所入射角の範囲	判読率
表面かつ入射角小	$ \varphi < 60^\circ, \theta_i < 45^\circ$	50.2% = 111/221
表面かつ入射角大	$ \varphi < 60^\circ, 45^\circ < \theta_i$	49.1% = 28/57
側面かつ入射角小	$60^\circ < \varphi < 120^\circ, \theta_i < 45^\circ$	66.5% = 567/852
側面かつ入射角大	$60^\circ < \varphi < 120^\circ, 45^\circ < \theta_i$	72.4% = 618/854
裏面かつ入射角小	$120^\circ < \varphi < 180^\circ, \theta_i < 45^\circ$	67.0% = 213/318
裏面かつ入射角大	$120^\circ < \varphi < 180^\circ, 45^\circ < \theta_i$	75.9% = 2695/3550

次に、検証ポリゴン 6,259 箇所に含まれる検証点 28,218 点から見逃し率の整理を行った。表面の斜面に対して、側面、裏面の斜面では見逃し率が低下する傾向が見られたが、いずれの斜面においても見逃し率は 75% を超えていた。

3.2 見逃しの要因分析

見逃しの要因を考察するために、判読範囲全体の見逃し率を整理した結果、検証ポリゴンの中には判読不能領域に含まれる土砂移動範囲のほか、SAR 画像の空間分解能を考慮すると判読が困難な小規模な土砂移動範囲を多く含んでいることがわかった (表-3)。

表-3 判読範囲全体の面積ごとの見逃し率検証結果

面積区分 (m ²)	検証ポリゴン数	検証ポリゴン数① (判読不能領域考慮)	判読ポリゴン数 ②	見逃し率 (%) $1 - ② / ①$
0~	6,259	4,337	277	93.6
500~	1,653	1,019	197	80.7
1250~	444	266	103	61.3
2500~	107	63	42	33.3
5000~	17	11	9	18.2

※面積区分は正射面積によるものである

つまり、全ての検証ポリゴンを対象とした解析では、見

逃し率の過大評価が示唆される。併せて、面積 2,500 m² 以上の土砂移動範囲については、見逃し率約 30% と精度よく判読できている傾向が見られた。そこで、判読不能領域外で面積 2,500 m² 以上の検証ポリゴンから取得した検証点 3,413 点を対象に見逃し率を整理した結果、側面の斜面では 40%~50%、裏面の斜面については、見逃し率は 20%~30% 台まで改善した (表-4)。単偏波および二偏波 SAR 強度画像の判読では、10,000 m² 以下の土砂移動現象の把握は困難であるとされている²⁾などが、ある程度の精度を担保して土砂移動現象の判読を行う場合、二時期 SAR 強度画像はそのおよそ 1/4 程度の面積にも適用可能であるとする。

表-4 斜面の地形的特性で評価した見逃し率 (判読不能領域等考慮)

斜面の地形的特性	斜面向き・局所入射角の範囲	見逃し率
表面かつ入射角小	$ \varphi < 60^\circ, \theta_i < 45^\circ$	87.4% = 1-83/657
表面かつ入射角大	$ \varphi < 60^\circ, 45^\circ < \theta_i$	86.4% = 1-8/59
側面かつ入射角小	$60^\circ < \varphi < 120^\circ, \theta_i < 45^\circ$	50.8% = 1-387/786
側面かつ入射角大	$60^\circ < \varphi < 120^\circ, 45^\circ < \theta_i$	44.4% = 1-287/516
裏面かつ入射角小	$120^\circ < \varphi < 180^\circ, \theta_i < 45^\circ$	26.9% = 1-133/182
裏面かつ入射角大	$120^\circ < \varphi < 180^\circ, 45^\circ < \theta_i$	31.0% = 1-837/1213

4 まとめ

ある程度の規模を持つ土砂移動については、規模の大きさに加え、斜面向きや局所入射角が判読精度に影響していることが考えられ、平成 29 年 7 月九州北部豪雨の事例では側面または裏面の斜面で発生した土砂移動現象であれば、およそ 7 割は正しく判読することができた。この傾向が他の事例においても同様に見られるか、また災害時に優先的に SAR 画像判読を行う範囲を絞り込む指標として活用できるか、今後検証が必要である。

【謝辞】

判読には、(国研) 宇宙航空研究開発機構が所有する ALOS-2/PALSAR-2 データを提供頂いた。また、検証ポリゴンは九州地方整備局より提供頂いた。ここに記して謝意を表します。

【参考文献】

- 林ほか (2013) : 紀伊半島台風 12 号災害を事例とした人工衛星高分解能 SAR 画像の判読による河道閉塞箇所探索手法の確立、砂防学会誌, 66(3), pp.32-39
- 水野ほか (2014) : 2 偏波 SAR 画像による大規模崩壊及び河道閉塞箇所の判読調査手法(案), 国土技術政策総合研究所資料, No.791
- 阪上ほか (2017) : 二時期衛星 SAR 強度画像を用いた土砂移動箇所の判読特性 (平成 28 年熊本地震を例に), 平成 29 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.460-461