令和6年能登半島地震の土砂災害発生箇所の抽出に関する研究

1. はじめに

令和6年1月1日に石川県能登地方を震源 としたマグニチュード7.6の地震が発生し、交 通網を寸断した要因の一つである土砂災害も 多数発生した。災害復興にとって、空間情報と して災害発生箇所を迅速に把握することは非 常に重要であるが、衛星搭載型の合成開ロレー ダ(Synthetic Aperture Radar: SAR)はその 有用なツールの一つである。渡邉ら¹¹は、L-band SAR の4偏波データを利用して、土砂災害の発 生箇所を抽出する手法を提案し、その有用性を確 認している。

本研究では、令和6年能登半島地震で被災した地域を研究対象地域に設定し、土砂災害が発生した場所についてC-band SARを用いた衛星画像では、どの程度の土砂災害が抽出可能なのか検証した結果について報告する。

2. 研究手法

欧州宇宙機関(ESA)が運用するSentinel-1A は、2014年4月3日に打ち上げられ、C-band SARによって全球を観測している。Sentinel-1Aの観測モードの1つであるIWS (Interferometric Wide Swath)は、250kmもの 観測幅で2偏波(VVおよびVH)の観測をして いる。よって、4偏波ではないもののエントロ ピーアルファ分解が可能であるため、渡邉ら¹⁾ が土砂災害の抽出に使用した $\Delta \alpha$ 画像の作成が 可能であると考えた。表1は、本研究で使用した 震災前後の2つの衛星データの観測日時を示し たものである。また、(1)式は、Sentinel-1Aの 2偏波から偏波間の散乱強度と相関を表す2× 2共分散行列である。

$$c_{2} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \langle |S_{VV}|^{2} \rangle & \langle S_{VV}S_{VH}^{*} \rangle \\ \langle S_{VH}S_{VV}^{*} \rangle & \langle |S_{VH}|^{2} \rangle \end{bmatrix}$$
(1)

日大生産工 (院)	〇中山	裕基
日大生産工	朝香	智仁
日大生産工	野中	崇志
日大生産工	小林	奈央樹

ここで、 $\langle |S_{VV}|^2 \rangle$ および $\langle |S_{VH}|^2 \rangle$ は、VV偏波およ びVH偏波での後方散乱の強度を示す要素、 $\langle S_{VV}S_{VH} \rangle$ および $\langle S_{VH}S_{VV} \rangle$ は、VVとVH偏波間の 相互散乱を示す偏波間の複素共役積である。次 に、 c_2 行列の固有値分解を行い、固有値と固有 ベクトルを取得することで、各散乱メカニズム の寄与度を表す確率 $(P_1 \ge P_2)$ を導き、これに 基づいて、エントロピー $(H) \ge T$ ルファ角 (α) が以下のように導出される²。

$$H = \sum_{i=1}^{2} \log_2 P_i \tag{2}$$

$$\alpha = \cos^{-1}(|e_1|) \tag{3}$$

ここで、*e*₁は主固有ベクトルの第一成分である。 本研究では、表1で示したデータからそれぞ れアルファ角画像を作成し、その差分をΔα画 像とした。アルファ角は、表面散乱から2回散乱 までの散乱を表す指標としてしられており、0~ 40度程度までが平坦な地表などの表面散乱、40 ~60度程度までが植生や森林などの体積散乱、 60~90度までが都市における建物等に由来する 多重散乱を表すことが知られている。

結果と考察

Fig. 1は、2023年12月30日および2024年1月 11日の、エントロピーおよびアルファ角の画 像のRGBカラー合成画像である。Rチャンネル にエントロピー,GチャンネルおよびBチャンネ ルにアルファ角を割り当てている。また、Fig. 2 は、研究対象地とした,石川県輪島市熊野町で 発生した土砂災害周辺のGoogle Earthの可視 画像と、同地域の $\Delta \alpha$ 画像である。 $\Delta \alpha$ 画像は、

表1 使用した衛星データ

観測日時	軌道
2023/12/30 20:59	ディセンディング
2024/1/11 20:59	ディセンディング

Sediment Disaster Detection for 2024 Noto Peninsula Earthquake using Synthetic Aperture Radar

Yuki NAKAYAMA, Tomohito ASAKA, Takashi NONAKA and Naoki KOBAYASHI



(b) Fig. 1 エントロピーおよびアルファ角の RGBカラー合成画像 (a): 2023年12月30 日、(b): 2024年1月11日

赤色や白色に発色している部分では、アルファ角 が災害前より災害後の値が変化した部分を表し ており、地表面の状態が変化していることを示す。 値の増減により支配的な要素がわかる。なお、震 災前に森林部分だった場所は、誤検出を抑止する ためマスク処理を行なっている。

結果として、C-band SARでは検出場所の反応が微弱ではあるが堆積物の検出はできた。土砂災害の発生場所において、赤色に発色した部分は α の差分によって、表面散乱から体積散乱への移行した部分、即ち道路に土砂が堆積していることが予想される。これは、C-bandの特徴として、L-bandよりも波長が短く地表面より手前の枝などに反射する特性のため、検出しやすかったと考えられる。しかしながら、大規模な土砂災害が発生してない箇所でも反応が検出されてしまう現象が見られた。Sentinel-1Aが4偏波の観測ではなかったことが影響している可能性も考えられるが、マスク処理により森林域を除くと、道路等の被害を受けた場所の $\Delta \alpha$ が検出できることがわかった。





(b)
Fig. 2 土砂災害の発生箇所の抽出結果
(a):可視画像、(b): Δα画像

4. まとめ

本研究では、石川県能登半島を研究対象地域 に選定し、Sentinel-1Aデータを使って土砂災 害の抽出を試みた。少ないサンプルではあるが、 土砂災害の検出を行うことが可能ではあるこ がわかったが、反応が微弱であるため Sentinel-1Aのみを使った検出には、まだ研究 の余地が残されていると結論づけられる。

謝辞:本研究は、令和6年度大学院生産工学研 究科横断型プログラム(複雑系とパターン形成) の支援を受けて実施しました。

参考文献

- 渡邉 学,米澤千夏,園田 潤,島田政信,Lband SAR (PALSAR-2)を用いた,"広域デ ータ"からの土砂災害域検出,日本リモート センシング学会誌,37巻,1号,pp. 21-26, 2017.
- Wang, M. et al., Comprehensive Evaluation of Dual-Polarimetric Sentinel-1 SAR Data for Monitoring Key Phenological Stages of Winter Wheat, Remote Sens. 2024, 16, 1659.