

ALOS-2/PALSAR-2 多偏波データを用いた土砂移動箇所を検出

国土技術政策総合研究所 ○三浦 俊介^{※1}, 瀧口 茂隆, 中谷洋明^{※2}

※1: 現 アジア航測株式会社, ※2: 現 砂防・地すべり技術センター

1. はじめに

災害初動期において、土砂移動箇所を迅速かつ正確に把握することは、捜索救助活動や二次的な災害を防ぐために非常に重要である。航空機やヘリコプターによる調査手法は、広域災害の場合には面的調査に時間がかかることや、光学衛星画像は広域な情報把握は可能なものの夜間・悪天候時には情報収集できないなどの課題があった。一方、合成開口レーダ (SAR) は、衛星に搭載されている場合、夜間・悪天候時にも広域的に観測を行うことができる。このことから、国土技術政策総合研究所では、災害初動期における衛星 SAR の活用方法、特に地表面観測に適した L バンドの観測を行う ALOS-2/PALSAR-2 の活用方法を検討してきた (例えば、鈴木ら, 2020; 鈴木ら, 2021)。しかし、鈴木ら^{※1}の手法は、災害前後二時期の後方散乱強度の変化 (差分) のみに注目していることから、観測ノイズの影響を受けやすく、特に小規模な土砂移動箇所の検出率が低いことが指摘されている。一方、近年、偏波に注目して土砂移動箇所の検出を試みた事例が増えてきている (例えば、Shimada et al., 2014; Ohki et al., 2020)。ALOS-2/PALSAR-2 や一部の衛星 SAR では水平 (H) 偏波と垂直 (V) 偏波の 2 種類の偏波を用いて観測を行っており、送受信時の組合せで HH・HV・VH・VV (1 文字目: 送信、2 文字目: 受信) 偏波の 4 種類 (フルポラリメトリ) のデータを観測することができる。一般的に、反射波は入射波とほとんど同じ偏波で反射されるが、ターゲットの形状や位置、材質によって偏波の向きが変わることが知られており、この特性を利用して、モデルベースでの散乱分解 (Freeman and Durden 1998; Yamaguchi et al., 2005) や固有値解析 (Cloude and Pottier 1996) などの偏波解析が提案されている。

前述のとおり、偏波に注目した土砂移動箇所の検出に関する研究は、これまでも多くの研究事例が報告されている。しかし、「1) 鈴木ら^{※1}の手法 (災害前後二時期の主に HH 偏波の差分を活用した手法) と比較した事例が少ない」「2) 偏波解析によって得られたパラメータを単独で評価しており、複数のパラメータを組み合わせることで議論をした事例が少ない」といった課題がある。

そこで本研究では、ALOS-2/PALSAR-2 のフルポラリメトリデータを用いて「1) 鈴木ら^{※1}の手法と比較して偏波を活用する手法は土砂移動箇所の検出に有効かを議論する」さらに、「2) 偏波解析のパラメータを複数組合せることは土砂移動箇所の検出に有効かを検討すること」を目的とした。

2. 研究方法

2.1. 偏波解析について

本研究では以下の 3 つの偏波解析によって得られたパラメータを用いた。

2.1.1. モデルベースによる 4 成分分解モデル

モデルベースによる 4 成分分解法は Yamaguchi et al.(2005)によって提案されたモデルで、観測されたポラリメトリデータの後方散乱強度と位相を用いて、地表面での散乱

成分 (表面散乱、2 回反射散乱、体積散乱、ヘリックス散乱) の割合を表現する手法である。なお、ヘリックス散乱は直線偏波を円偏波に変える散乱過程で人口建造物の表面から発生する散乱であることから、主に森林域を対象とする本研究では、4 成分分解法で得られたパラメータのうち表面散乱 (Ps)、2 回反射散乱 (Pd)、体積散乱 (Pv) の成分のみで全電力 (Tp) になると仮定した。このパラメータは、災害前後で土地被覆が変化した箇所や災害後の裸地域の検出に利用することが期待できる。

2.1.2. 固有値解析

固有値解析はターゲット分類などに用いられており、エントロピー (H) やアルファ (α) などのパラメータが得られる。H は散乱のランダム性を 0~1 で表現したパラメータで、H=0 で表面散乱のみが起こっていることを、H=1 で表面散乱や 2 回反射散乱、体積散乱などのさまざまな散乱がランダムに起こっていることを表している。 α は散乱メカニズムを 0~90° で表現したパラメータで、0° で表面散乱、45° で体積散乱、90° で 2 回反射散乱を表している。このパラメータは、災害後の裸地域の検出に利用することが期待できる。

2.1.3. 偏波相関係数

複素信号を扱う信号処理では相関やコヒーレンスといった概念があり、複素信号 $S_1(x)$ 、 $S_2(x)$ を散乱行列要素に置き換えると、偏波相関係数あるいは偏波コヒーレンスを 0~1 で定義できる。相関係数は二つの量の関連度合いを示し、互いに同じなら相関係数は 1 となり、全く似ていないなら 0 となる。本研究では先行研究を参考に、 $S_1(x)$ を S_{HH} 、 $S_2(x)$ を S_{VV} に置き換えた HH-VV 偏波相関係数 (γ_{HH-VV}) を用いることとした。このパラメータは、災害前後で土地被覆が変化した箇所や災害後の裸地域の検出に利用することが期待できる。

2.2. 対象災害 (対象地域) と使用したデータ

本研究では、2018 年 9 月 6 日に発生した平成 30 年北海道胆振東部地震 (北海道厚真町周辺) を対象災害 (地域) に設定した。使用した SAR データは、災害前後に観測された ALOS-2/PALSAR-2 のフルポラリメトリデータである (表 1)。土砂移動箇所のデータは、災害後に測量会社が実施した航空写真、LP データを用いて行った判読結果のうち崩壊地と侵食部分 (以下、合わせて「土砂移動箇所」と呼ぶ。) を使用した。

表 1 使用した ALOS-2/PALSAR-2 データの諸元

観測年月日	観測軌道	観測方向	オフナディア角	解像度	備考
2018年8月25日	北行軌道	右	28.4°	6m	災害前
2018年9月8日	北行軌道	右	28.4°	6m	災害後

2.3. 評価手法

本研究では HH 偏波差分 (ΔHH 偏波)、HV 偏波差分 (ΔHV 偏波)、 γ_{HH-VV} 差分 ($\Delta \gamma_{HH-VV}$)、 γ_{HH-VV} の 4 つのデータをベースマップに、偏波解析や地形条件などで得られたパラメータをスクリーニング条件に設定した。そして、土砂移動箇所の検出率や誤検出率を ROC 曲線・AUC (Fan et al., 2006) を用いて評価することとした (表 2)。スクリーニング条件の詳細な閾値は、先行研究や理論モデルなどを参考に設定した。

表2 ベースマップおよびスクリーニング条件

ベースマップ	スクリーニング条件	備考
① ΔHH偏波 (HH偏波差分 (災害前-災害後)) => 鈴木ら (2020; 2021) の手法に対応	① $\alpha < 35^\circ$ (災害後) ② 災害前後の α 変化 ($35^\circ > \alpha - \alpha > 35^\circ$) ③ $H < 0.3$ (災害後) ④ $H < 0.5$ (災害後)	偏波解析 偏波解析 偏波解析 偏波解析
② ΔHV偏波 (HV偏波差分 (災害前-災害後))	⑤ 災害前後のパターン変化 ($P_v \rightarrow P_s$ or P_d) ⑥ P_s 規格化差分 < 0 (災害前-災害後) ⑦ P_v 規格化差分 > 0 (災害前-災害後)	偏波解析 偏波解析 偏波解析
③ $\Delta \gamma_{HH-VV}$ (HH-VV偏波相関係数差分 (災害後-災害前))	⑧ $P_s > 30\%$ $P_d < 10\%$ $P_v < 45\%$ (災害後) ⑨ $P_s > 30\%$ $P_d > 10\%$ $P_v < 45\%$ (災害後)	偏波解析 偏波解析
④ γ_{HH-VV} (HH-VV偏波相関係数 (災害後))	⑩ 局所入射角 (LIA) $> 30^\circ$ ⑪ $LIA < 30^\circ$ ⑫ 勾配 $> 10^\circ$	地形条件 地形条件 地形条件

3. 研究結果

3.1. ベースマップのROC曲線・AUC比較

はじめに、各ベースマップのROC曲線・AUCを算出した。算出結果を表3に示す。各ベースマップのAUCはΔHV偏波が最も高く(0.573)、ΔHH偏波は最も低かった(0.540)。ΔHH偏波と比較してΔHV偏波でAUCが高く算出された要因は、HV偏波がHH偏波よりも立木の影響を受けやすく、災害前後で後方散乱強度の差が表れやすいためと考えられる。このことから、鈴木ら^⑧の手法を用いる場合は、HH偏波よりもHV偏波を活用したほうが土砂移動箇所を検出するのに有効であると考えられる。

表3 各ベースマップのAUC

ベースマップ	AUC	ベースマップ	AUC
① ΔHH偏波	0.540	③ $\Delta \gamma_{HH-VV}$	0.566
② ΔHV偏波	0.573	④ γ_{HH-VV}	0.554

3.2. スクリーニングした場合のAUC比較

つぎに、各ベースマップに対してスクリーニングを行ってAUCを算出した。算出結果を表4に示す。算出したAUCは、 $\Delta \gamma_{HH-VV}$ と局所入射角(LIA) 30度以下を組合せたスクリーニング条件⑪の場合に最も高くなった(0.645)。また、スクリーニング条件に α やH、 $P_s \cdot P_d \cdot P_v$ の組合せ、LIAを用いた場合にAUCが向上しやすいことがわかった。さらに、スクリーニングを行うことでベースマップのみよりもAUCが向上した事例数は、ΔHH偏波は5事例、 γ_{HH-VV} は8事例、ΔHV偏波と $\Delta \gamma_{HH-VV}$ では10事例で、ΔHH偏波はAUC(つまり検出率)が向上しにくい、もしくはΔHV偏波と $\Delta \gamma_{HH-VV}$ はAUC(検出率)が向上しやすいことがわかった。

表4 算出したAUC(スクリーニング条件の番号は表2および表5を参照)

ベースマップ	スクリーニング条件																						
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	㉑	㉒	㉓
ΔHH偏波	0.53	0.54	0.53	0.54	0.55	0.54	0.55	0.53	0.55	0.55	0.47	0.55	0.55	0.56	0.46	0.47	0.45	0.47	0.45	0.45	0.45	0.52	0.44
ΔHV偏波	0.57	0.58	0.58	0.57	0.57	0.57	0.58	0.58	0.58	0.58	0.54	0.58	0.58	0.59	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.58	0.54
$\Delta \gamma_{HH-VV}$	0.59	0.58	0.58	0.57	0.57	0.57	0.57	0.58	0.57	0.56	0.64	0.56	0.57	0.56	0.66	0.66	0.67	0.65	0.68	0.68	0.67	0.62	0.69
γ_{HH-VV}	0.55	0.56	0.56	0.56	0.57	0.57	0.55	0.55	0.54	0.55	0.64	0.58	0.54	0.54	0.62	0.64	0.62	0.64	0.62	0.61	0.62	0.55	0.61

<参考文献>

1) Cloude and Pottier (1996) : A review of target decomposition theorems in radar polarimetry. IEEE Trans Geosci Remote Sens 34(2):498-518 2) Fan et al. (2006) : Understanding receiver operating characteristic (ROC) curves. Can. J. Emerg. Med., 8, 19-20. <https://doi.org/10.1017/s1481803500013336> 3) Freeman and Durden (1998) : A three-component scattering model for polarimetric SAR data. IEEE Trans Geosci Remote Sens 36(3):963-973 4) Ohki et al. (2020) : Landslide detection in mountainous forest areas using polarimetry and interferometric coherence. Earth, Planets and Space 72:67. <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01191-5> 5) Shimada et al. (2014) : Detecting mountainous landslides by SAR polarimetry: a comparative study using Pi-SAR-L2 and X-band SARs. Trans JSASS Aerosp Tech Japan. 12(ists29):9-15 6) 鈴木ら (2020) : 合成開口レーダ (SAR) 画像による土砂災害判読の手引き, 国土後術政策総合研究所資料, No.1110 7) 鈴木ら (2021) : 災害時における合成開口レーダ (SAR) の散乱変化事例解説集, 国土後術政策総合研究所資料, No.1159 8) Yamaguchi et al. (2005) : Four-component scattering model for polarimetric SAR image decomposition. IEEE Trans Geosci Remote Sens 43(8):1699-1706

最後に、複数のパラメータを組合せてスクリーニングを行ってAUCを算出した。スクリーニング条件を表5に、算出結果を表4に示す。算出したAUCは、パラメータが2つの場合では $\Delta \gamma_{HH-VV}$ に $\alpha < 35^\circ$ と $LIA < 30^\circ$ を設定した条件⑰で最も高くなり(0.673)、パラメータが3つの場合では $\Delta \gamma_{HH-VV}$ に $\alpha < 35^\circ$ と $LIA < 30^\circ$ 、 $P_s \cdot P_d \cdot P_v$ の組合せを設定した条件㉑で最も高くなった(0.678)。最終的に、本研究で最もAUCが高く算出されたパラメータの組合せは、 $\Delta \gamma_{HH-VV}$ に $\alpha < 35^\circ$ と $H < 5$ 、 $LIA < 30^\circ$ 、 $P_s \cdot P_d \cdot P_v$ の組合せを設定した条件㉑であった(0.688)。これらのことから、複数のパラメータを組合せていくことで土砂移動箇所のAUC(検出率)が向上していくことがわかった。

表5 複数のパラメータを組合せたスクリーニング条件

スクリーニング条件	備考
⑬ $LIA > 30^\circ$ & $P_s > 30\%$ $P_d < 10\%$ $P_v < 45\%$ (災害後)	地形条件&偏波解析
⑭ $LIA > 30^\circ$ & $P_s > 30\%$ $P_d > 10\%$ $P_v < 45\%$ (災害後)	地形条件&偏波解析
⑮ $LIA < 30^\circ$ & $P_s > 30\%$ $P_d < 10\%$ $P_v < 45\%$ (災害後)	地形条件&偏波解析
⑯ $LIA < 30^\circ$ & $P_s > 30\%$ $P_d > 10\%$ $P_v < 45\%$ (災害後)	地形条件&偏波解析
⑰ $LIA < 30^\circ$ & $\alpha < 35^\circ$ (災害後)	地形条件&偏波解析
⑱ $LIA < 30^\circ$ & $H < 0.5$ (災害後)	地形条件&偏波解析
⑲ $LIA < 30^\circ$ & $\alpha < 35^\circ$ & $H < 0.5$ (災害後)	地形条件&偏波解析
㉑ $LIA < 30^\circ$ & $P_s > 30\%$ $P_d < 10\%$ $P_v < 45\%$ & $\alpha < 35^\circ$ (災害後)	地形条件&偏波解析
㉒ $LIA < 30^\circ$ & $P_s > 30\%$ $P_d < 10\%$ $P_v < 45\%$ & $H < 0.5$ (災害後)	地形条件&偏波解析
㉓ $P_s > 30\%$ $P_d < 10\%$ $P_v < 45\%$ & $\alpha < 35^\circ$ & $H < 0.5$ (災害後)	偏波解析
㉔ $LIA < 30^\circ$ & $P_s > 30\%$ $P_d < 10\%$ $P_v < 45\%$ & $\alpha < 35^\circ$ & $H < 0.5$ (災害後)	地形条件&偏波解析

4. 結論

本研究では、ALOS-2/PALSAR-2のフルポラリメトリデータを用いて「1) 鈴木ら^⑧の手法と比較して偏波を活用する手法は土砂移動箇所の検出に有効かを議論した」。さらに、「2) 偏波解析のパラメータを複数組合せることは土砂移動箇所の検出に有効かを検討した」。その結果、「1) 鈴木ら^⑧の手法で主に用いられているΔHH偏波と比較して、ΔHV偏波を用いたほうが土砂移動箇所の検出には有効である可能性が分かった。また、偏波解析のパラメータでスクリーニングを行うことで検出率が向上することや、ΔHH偏波よりもΔHV偏波や $\Delta \gamma_{HH-VV}$ のほうが向上しやすいことがわかった。」さらに、「2) 偏波解析のパラメータを複数組合せることで検出率が向上する傾向がわかった。」しかし、本研究では1事例のみの検証であることや単純な閾値設定であることから、今後はほかの事例での検証や機械学習などによる検証が望まれる。