

衛星 SAR 時系列解析による桜島黒神川流域の土砂移動特性把握に関する基礎的検討

砂防エンジニアリング株式会社 ○福井健太郎、野正博之、安養寺信夫、宮崎勝巳、尾崎順一  
株式会社エア・グラフ 兼富宗威  
長岡技術科学大学 力丸厚

1. はじめに

火山地域では降雨や噴火活動に伴う土砂移動が短期間に繰り返し生じるため、広域的かつ継続的な監視が重要である。桜島では火山噴出物の供給と豪雨が複合的に作用し、河床や斜面における地表被覆状態が時期により変化する特徴を有する。

近年、合成開口レーダ (SAR) 衛星は天候や昼夜の影響を受けずに観測可能であり、長期かつ高頻度の観測データが蓄積されている。このため流域における地表状態変化の広域把握に活用できる可能性がある。一方で、SAR 後方散乱の時系列変動が地表材料や地形条件とどのように関係するかについては十分に整理されていない。

本研究は桜島黒神川流域を対象として、豪雨および土石流発生前後に確認された後方散乱値の特徴的な増減に着目し、その要因として河床材料の粒径変動が関与する可能性を仮定した上で、地形条件を考慮した面的解析により後方散乱変動特性把握の可能性を基礎的に検討することを目的とした。

2. 対象および使用データ

対象地は桜島黒神川流域の土砂堆積地 (地獄河原、図 1) であり、特に火山噴出物の供給が集中しやすく、豪雨時に地表状態の変化が顕著に生じる流域である。

使用データは2021年8月の豪雨前後を含む期間に取得された Sentinel-1 (S-1) 衛星の C バンド SAR 観測画像である。3 軌道について各 3 時期、計 9 シーンを用いて後方散乱の時系列変動を整理した。現象解釈の補助として、光学衛星画像 (Sentinel-2 (S-2)) を参照した。



図 1 解析対象区域 (桜島黒神川)

3. 後方散乱値の特徴的時系列変動

対象とした土砂堆積地では、土石流発生時期に VV 偏波の後方散乱値が増加し、一連降雨終息後には低下する傾向が確認された。この傾向は複数軌道に共通して認められた (図 2、図 3)。

時系列で整理すると、一連の降雨前、降雨継続中、降雨終息後の各時期において、後方散乱値は概ね「低い→高い→やや低い」と変化した。降雨継続中の増加は地表状態の変化として解釈可能である。一方、降雨終息後の低下については、降雨前の水準まで必ずしも

回復しておらず、地表材料の含水状態の変化に伴う誘電率の低下が影響している可能性が考えられる。

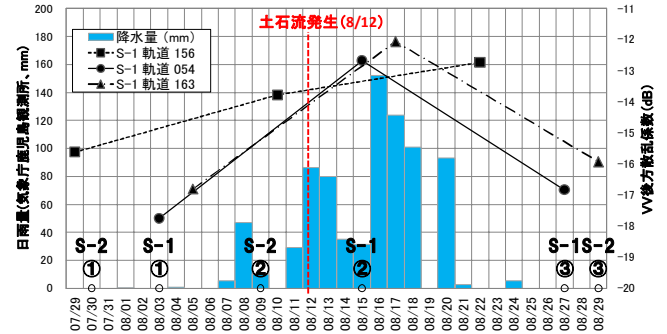


図 2 SAR 後方散乱値 (VV 偏波) の時系列変化

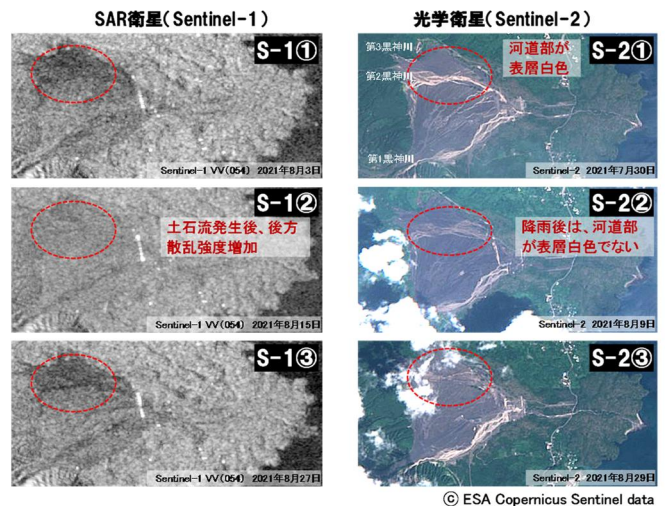


図 3 表層状態の時期別比較

4. 地表被覆状態と後方散乱変動に関する仮説

SAR 後方散乱は地表面粗度や粒径分布の影響を受けることが知られている。河床材料の粒径と SAR 後方散乱の関係については既往研究においても報告されている。Novellino ら 1) は Sentinel-1 SAR 画像を用いた海岸礫の粒径推定に関する研究において、粒径 (D50) と後方散乱係数の間に明瞭な相関関係が認められることを示している (図 4)。この知見は、粒径の増大に伴い表面粗度が増加し散乱成分が強まることで後方散乱が大きくなる可能性を示唆するものであり、本研究における仮説の理論的背景となる。

本研究では、火山灰が表層を覆う状態では粒径がレーダ波長に比べて十分小さくなるため表面粗度が相対的に低下し、レーダ波は鏡面反射的な挙動を示しやすくなる。この結果、センサ方向へ戻る散乱成分が減少し、後方散乱は小さくなる可能性があると考えられる。一方、火山礫が露出する状態では表面粗度が増加し散乱成分が増大するため、後方散乱は相対的に大きくなる可能性がある。このような地表被覆状態の遷移により、後方散乱が時系列的に変動すると仮定した (図 5)。

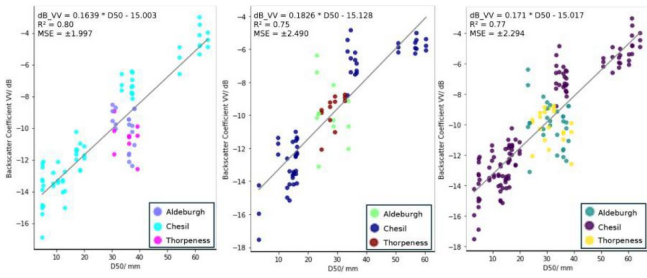


Figure 2. The Sentinel-1 backscatter coefficient (dB) in the VV polarisation and ascending orbit plotted against the D50 (mm) values for 2022 (left), 2023 (middle), and the 2022 and 2023 data combined (right).

図 4 粒径 (D50) と SAR 後方散乱係数の関係

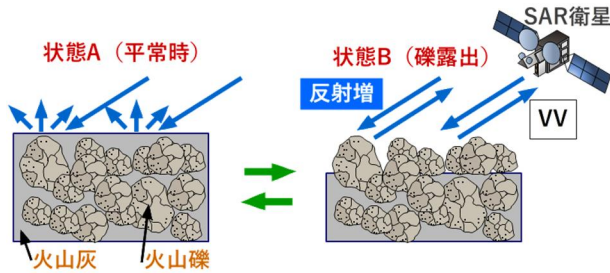
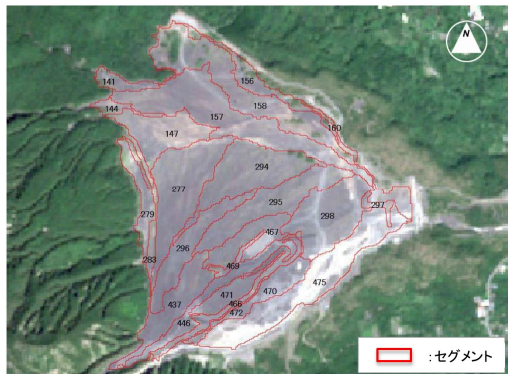


図 5 地表被覆状態と SAR 後方散乱(VV)増減の関係反説

### 5. 地形セグメント単位による解析

微地形単位での変動傾向を把握するため、DEM を用いて流域を土砂移動に関与する地形セグメントに区分した (図 6)。さらに、土石流発生時期を中心とした前後約 3 か月間の複数時期の SAR 後方散乱値 (VV) を画素単位からセグメント単位に集計した (図 7)。

各時期のセグメントごとの統計値によりセグメント単位での変動特性を整理した。



© ESA Copernicus Sentinel data

図 6 DEM に基づく地形セグメント区分

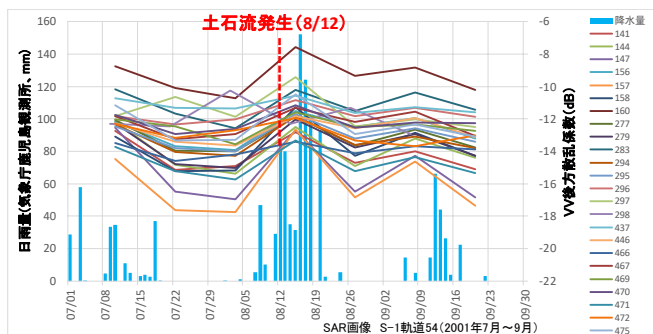


図 7 セグメント別 SAR 後方散乱値(VV)の時系列推移

### 6. 後方散乱変動分布と地形条件との関係

後方散乱変動量の空間分布を整理した結果、変動量は流路沿いや緩斜面堆積域に偏在する傾向が確認された。さらに変動量をランク分けし地形区分と対応させたところ、緩斜面の地獄河原では変動幅が大きく、中流域では流路沿いで変動が大きい傾向が認められた。上流の急斜面域でも局所的に変動の大きな領域が確認された (図 8)。

これらは豪雨に伴う地表被覆状態の変化が地形条件に応じて生じた可能性を示唆する。

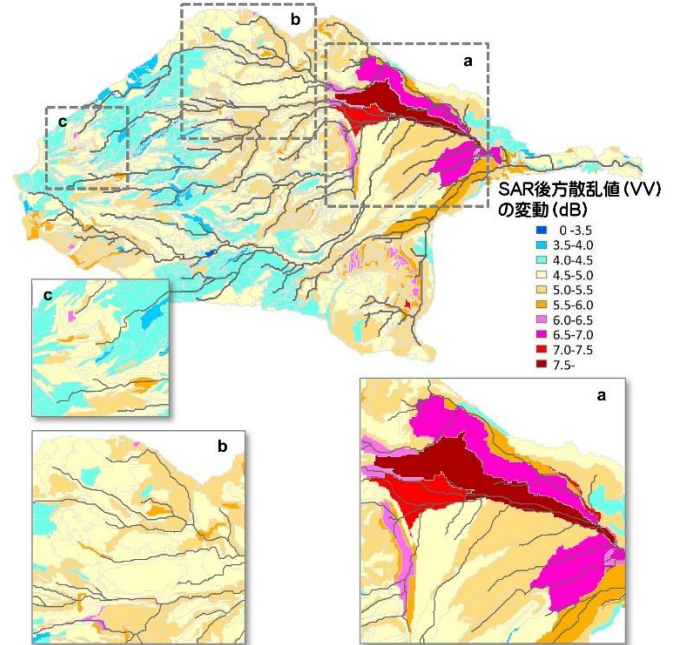


図 8 地形区分別の SAR 後方散乱変動ランク分布図

### 7. 結果の解釈

本研究で確認された SAR 後方散乱の時系列変動分布は、流域内における地表状態変化が生じやすい地形条件を示す可能性がある。特に、流路沿いや堆積域など土砂移動が発生しやすい地形条件と後方散乱変動が対応する傾向が認められたことから、SAR 時系列解析は流域スケールにおける土砂移動特性の把握に資する基礎的情報を提供し得るものと考えられる。

### 8. まとめ

本研究では桜島黒神川流域を対象として衛星 SAR 後方散乱の時系列変動分布を地形セグメント単位で整理し、地形条件との関係を基礎的に検討した。その結果、後方散乱変動が大きい領域は流路沿いや堆積域に偏在する傾向が確認された。

以上より、SAR 後方散乱の時系列変動分布は地表状態変化の広域把握に活用可能な指標となる可能性が示唆された。今後は現地観測と照合し仮説検証を進め、火山砂防の広域監視手法として実用化検討が必要である。

### 参考文献

- Novellini et al. (2024) Remote Sensing, 2024, 16 (10), 1763
- ESA Sentinel-1 Guide
- ESA Sentinel-2 Guide