

新潟大学災害・復興科学研究所
共同研究報告書

大規模崩壊地における土砂生産の過去と未来

研究代表者氏名 早川 裕弼¹⁾
研究分担者氏名 今泉 文寿²⁾
研究分担者氏名 西井 稜子³⁾

1) 北海道大学地球環境科学研究院 2) 静岡大学農学部 3) 新潟大学災害・復興科学研究所

研究要旨

湿潤変動帯に位置する日本列島は、急峻な地形で頻発する地すべり・斜面崩壊により、大起伏山地の削剥速度が世界的にも高く、とくに大規模崩壊地においてはその形成後の数十年から数百年にわたる長期的な土砂生産が重要であることが指摘されている。一方、大規模崩壊地における数ヶ月から数年単位の短期的な土砂生産プロセスの評価には従来制約があったが、無人航空機等を用いた地表観測により、その地形変化や表層状態の詳細な把握が可能となり、高精細な地表環境情報が蓄積されつつある。本研究では、南アルプス・七面山崩れを主対象に、数年単位での土砂生産プロセスの変動を理論的・実証的に解析し、その変化を数十年から数百年にわたる過去および将来の双方向に拡張することを目指す。また、地域の知としての普及のため、3D プリントやメタバースを活用したコンテンツを提供し、地域住民や訪問者に情報を提供する。

A. 研究目的

湿潤変動帯に位置する日本列島は、世界的にも山地斜面の削剥速度が高いことで知られている (e.g. Yoshikawa, 1974; Matsushi and Matsuzaki, 2010; Korup et al. 2014)。急傾斜な上流域に頻発する斜面崩壊や地すべりによる土砂生産と、河川作用による活発な土砂移動とが、山地全体の高い削剥速度の維持に寄与しているが、とくに大起伏山地における大規模崩壊地に関しては、その発生時よりも、形成された後の数十年～数百年スケールでの長期継続的な土砂生産が総量としては重要であることが指摘されている (Nishii et al., 2018 ; 西井ほか, 2022)。一方、そうした長期的な土砂生産の量的評価に対し、数ヶ月～数年スケールでの短期的な土砂生産プロセスの詳細な評価はこれまで観測手法の制約などから限定的であった。これに対し、無人航空機を活用した面的な地表観測が可能となり、これまでに大規模崩壊地における地形変化、表層状態変化についての現地観測が実施されてきている (Hayakawa et al., 2023)。これにより高精細な地表環境情報が蓄積されてきてお

り、同時に連続観測している気象要素 (降雨強度、地温) 等の時系列データと併せて、大規模崩壊地における土砂生産プロセスの実態が明らかとなりつつある。

本研究では、これまでに蓄積された数年単位の高精細地表環境情報を基軸として、大規模崩壊地における季節および年単位での土砂生産プロセスの変動を精査するとともに、その数十年～百年単位の変化を過去および将来の双方向に拡張することを目指し、崩壊地内における土砂移動の理論的な評価とその実地データにもとづく検証を試みる。これにより、たとえば、その大規模崩壊地がいつできたのか、あるいはいつまで拡大が続くのか、また周辺の斜面にどのような影響が及ぼされるのか、といった疑問に一定の答えを提示することが期待される。

さらに、こうした大規模崩壊地の過去と未来について、その地域の知としての普及を試みる。そのために、現地取得した 3 次元観測データを活用して、3D プリントやメタバース等での閲覧コンテンツを整備し、地域住民や訪問者に提供する。

B. 研究方法

調査対象は、南アルプス（富士川水系早川流域）の大規模崩壊地「七面山崩れ」（ $3.5 \times 10^5 \text{ m}^2$ ）である。ここは、複数時期の航空レーザ測量データの地形解析から、数年～十年単位での活発な土砂生産が生じていることが明らかになっており（西井ほか, 2022）、より細かい季節・年周期の土砂生産プロセス、すなわち無積雪期（5–10月）における降雨に関連する地表面侵食・崩壊と、積雪・融雪期（11–4月）における凍結破碎作用にともなう侵食・崩壊とが定量的に観測されつつある（Hayakawa et al. 2023）。これまで約5年間、年に数回の定期的な無人航空機による写真測量による高精細地形計測と、連続的な地上気象観測（降水、気温、地温、積雪）・定点カメラ観測を継続している。2022年からはレーザ測量（Lidar）、マルチスペクトル（MS）および熱赤外（TIR）センサによる観測も加わり、従来のRGBセンサによる観測と合わせて詳細な地表面環境（岩盤地形、植生分布、土砂分布、地表温度等）の状況把握と変動解析が可能となった。これらの時空間データを精査し、時期ごとの細かな土砂移動の実態を、土砂コネクティビティの観点から解析し、大規模崩壊地内部での土砂生産と移動を定量的に評価する。

一方、理論的なアプローチとして、そうした土砂移動のプロセスを物理的な観点から説明する。降雨時の地表流の流量、土砂の粒径、傾斜をもとに、土砂の移動条件をモデル化する。その上で、観測時期ごとに得られた土砂移動との対応を検証し、過去および将来の変動推定を試みる。

また、これまでに得られた3次元データから、3Dプリントおよびデジタルモデルを作成し、大規模崩壊地の時系列変化を実体として、あるいは仮想空間（メタバース）に再現する。これらの可視化手法を援用して、現地における住民（七面山敬慎院の関係者）や訪問者に、非専門家でも理解してもらえるコンテンツとして提供し、その反応を調査する。

References: Yoshikawa, Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo, 1974. Matsushi and Matsuzaki, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B, 2010. Korup, Hayakawa, Codilean,

Matsushi, Saito, Oguchi, Matsuzaki, Earth-Sci. Rev., 2014. Nishii et al., Geomorphology, 2018. 西井・今泉・早川, JpGU, 2022. Hayakawa, Imaizumi, Nishii, 2nd Intl. Sust. Mtn. Develop. Tourism Conf., 2023.

C. 研究結果

定点カメラと気象センサによる現地モニタリングの結果、降水量や積雪量のデータ蓄積に加え、日周期や年周期の凍結融解が発生する特徴が明らかとなった。

無人航空機による計測を、2024年5月（MS計測）、2024年12月（Lidar/SfM計測およびMS計測）に実施した。これまでに蓄積したデータとの比較検討を進めているところである。簡易的な解析の結果、崩壊地内で崩落した岩屑は、一度に下流まで流下することは多くなく、崖錐堆積物として崩壊地内斜面に一度定置することが示されている。

当該現地における研究活動について、広報のためのA4三つ折りパンフレットを作成した。日本語版、英語版の2種類ある。印刷物を現地の七面山敬慎院に置かせてもらい、訪問者に自由に手に取ってもらえるようにした。また、登山道沿いの360°ストリートレベルビューや、ウェブサイトにおける七面山登山ルートジオ的紹介記事を執筆し、敬慎院を通して訪問者に閲覧してもらう広報をウェブ上で行った。

D. 考察

崩壊地内の土砂移動の空間分布と接続性（土砂コネクティビティ）について、崩壊地内にとどまる土砂は、斜面上の蓄積可能量に至るか、一定の強度以上の降雨があった際に、流水の侵食で削られるものが多いと考えられる。

また、崩壊地と隣接する流域を含む、山地斜面の地形的特徴について見ると、南向き・北向き斜面それぞれの勾配が異なる傾向がみられた。凍結融解の風化作用による侵食の促進が、長期的に継続することにより、斜面地形の異方性をもたらしめている可能性が示唆される。

大規模崩壊地における短期的な地形変化だけでなく、中・長期的な変化の把握とその予測に向けた視点が強化された。現地での継続的な観測と高精細な計測を通じて、地形変化の時系列的な蓄

積が行われ、斜面や流域における土砂移動の予測式の確立にむけた基礎情報収集が行われた。

調査活動や研究成果は、地域社会への還元を意識して展開されている。とくに調査対象地は南アルプスユネスコエコパークの緩衝地域でもあり、今後ジオサイトとしての価値をもつ可能性も鑑みると、地域資源としての地形景観の理解を深める取り組みが期待される。また、調査地周辺には歴史的・文化的価値を有する寺院が存在し、信仰の場であると同時に、観光や環境教育の拠点としても機能することが期待される。本研究の成果も、こうした地域資源としての価値の増幅のために活用されることが、地形や自然環境に対する理解の促進にも寄与すると考えられる。

E. 結論

七面山の大規模崩壊地において卓越する土砂生産プロセスの状況が、現地モニタリングと、無人航空機に搭載されたマルチセンサ観測による多次元的な空間情報解析により、定量的に明らかとなってきた。今後も、継続的な現地観測による点的・面的データ収集が必要であり、これにより、短期的な季節サイクルから、長期的な年単位での変動まで、総合的に評価できる可能性が示された。また、研究成果の社会還元の取り組みを開始した。

2025年度も観測を継続し、マルチセンサで明らかにした面的な土砂生産と定点カメラ等による点的な土砂生産との比較解析を行う予定である。一般の現地訪問者に対するアウトリーチ活動も引き続き実施する。

F. 研究発表

1.論文発表

Yousefi, S., Imaizumi, F., Hasui, R., Nishii, R., Hayakawa, Y.S. (2025.04) Quantitative analysis of landslide impact on vegetation: Insights from field surveys and UAV imagery. Ecological Engineering, 214, 107581.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2025.107581>

Hayakawa, Y.S., Gomez, C., Watanabe, T., Wang, T., Kobayashi, Y., Inomata, M., Sakai, T., Imagawa, S. (2025.04) Effects of ground-contacting gear on trail surface deformation from trampling. Environmental Challenges, 18, 101107.

<https://doi.org/10.1016/j.envc.2025.101107>

2.学会発表

早川裕式 (2024) 高精細多層地表情報を用いた景観をまたぐ相互接続性の解明に向けて. 日本地理学会 2024 年春季学術大会シンポジウム S6「地形・植生・人の見えないつながりを見える化する——高精細地理情報を用いた流域内コネクティビティの研究——」, S501. [2024/03/19-20, 青山学院大学]

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1.特許取得

該当なし

2.実用新案登録

該当なし

3.その他

該当なし