

桜島有村川流域における火山泥流発生時の透水係数と火山灰の堆積厚の関係

新潟大学大学院自然科学研究科 ○菅原隼斗

新潟大学農学部 権田豊

1. はじめに

火山地帯では、火山噴火に伴い噴出された火山灰が地表に堆積することで、地表の浸透能が低下し、火山泥流の発生につながる(地頭菌・下川, 1989)。火山泥流の発生には、火山灰の新規堆積・流亡等による地表の状態変化や降水量が関係しており、火山泥流の被害を軽減するにはこれらの要因と火山泥流の発生危険度の関係解明が重要である。しかし、地表の状態変化を広域にわたって観測する手段が確立されておらず、地表状態の変化と火山泥流発生の関係を定量的に把握する研究は十分に行われていない。

著者らの研究室では、寺本ら(2003)による研究事例を参考に、Kinematic wave法を用いた流出解析モデルを構築し、モデルの計算による流出波形と実測の火山泥流の流出波形が一致するような地表の状態を表す最適な計算パラメータを探索することで、火山泥流発生時の地表状態を間接的に評価する研究が進められている。しかし、モデルによって実測流量波形を再現できないイベントでは、地表状態を適切に評価できない問題がある。栗林(2022)や羽田(2023)によってモデルの改良が進められ、羽田(2023)は計算パラメータとして透水係数を用いることで、波形の再現性が向上する可能性を指摘した。この結果を受け、Ersöz et al. (2024)は各火山泥流発生イベントで最適な透水係数のパラメータ値(以下、最適透水係数)を設定することで、波形の再現が可能イベント数が増加することを報告したが、再現度は全体の約56%に留まった。その要因の一つとして、波形の判定基準の厳しさを考えた。Ersöz et al. (2024)は流出の開始/終了タイミング、ピーク流量の再現可否などの基準に基づき、厳しく再現精度を評価していたが、地表状態の変化と火山泥流発生の関係を明らかにするには、より多くのイベントで最適透水係数を得ることが有益であると考えられる。Ersöz et al. (2024)はまた、火山灰の新規供給や流亡を考慮した火山灰の残存堆積厚の経時変化を推定するDDEという手法を開発し、残存堆積厚と透水係数の関係を分析した結果、残存堆積厚が0.08cm以上になると、透水係数のパラメータ値が30mm/hr以下になることを明らかにした。この結果は興味深いですが、DDEは流域全体の仮想的な残存堆積厚を推定しているものであり、火山泥流の発生に影響を及ぼすと考えられる上流域の残存堆積厚は想定していない。また、侵食量の計算に用いた侵食量式も仮想的な残存堆積厚と透水係数が良好に対応する

ように定式化されたものであり、その物理的な意味は不明であるため、この手法の妥当性を検証できない。将来的にこの手法を他の流域に適用することを考えると、侵食量式には物理的意味が明瞭で、妥当性が検証可能なものを採用すべきと考える。

本研究では、より多くのイベントで最適透水係数を得るため、火山泥流の被害軽減に関係するピーク流量の推定を重視し、波形の判定基準を再考し、Ersöz et al. (2024)と同様の手順で2015年から2020年に発生した55イベントを対象に、流出解析をおこなった。さらに、田村ら(2009)が使用した侵食速度式を有村川に適用して上流域における残存堆積厚を推定し、上流域における残存堆積厚と最適透水係数の関係を定量的に明らかにすることを目的として研究を行った。

2. 研究対象地

研究対象地は鹿児島県桜島有村川流域である。南岳山頂火口より南南東方向に約2.5km地点にある第一有村橋を最下流部とし、火口から下流まで約2.8km²の対象地を設定した。本流域では、火山泥流観測のためワイヤーセンサーや超音波水位計・流速計が設置されており、第一有村橋付近には自動降灰量計も設置されている(図1)。

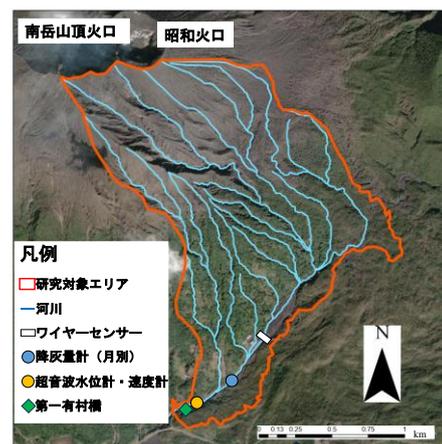


図1 有村川流域と観測機器の位置

3. 火山泥流の流出解析

対象イベント55件のうち、再現性○は40件、再現性×は15件となり、Ersöz et al. (2024)の結果よりも、12イベントで再現性が変化した。

4. 火山灰の残存堆積厚と最適透水係数の関係

4. 1. 年別の残存堆積厚と最適透水係数の関係

2015年～2020年の計6年間の残存堆積厚と最適透水係数の関係を分析した結果、いずれの年も残存堆積厚の増加に伴って最適透水係数の値が低下していく傾向が確認できた(図2)。しかし、2018年を境に回帰式の傾きが鋭くなる傾向が見られた。これは、2018年を境に活発な火口の位置が変化したことで、堆積する火山灰の粒径が細くなり、わずかな堆積厚の変化で透水係数が低下しやすくなったためと推測される。

4. 2. 各年の回帰式の年別変化とその要因

残存堆積厚 X (cm) と透水係数 (mm/hr) の関係式は $Y = ae^{-bX}$ で表される。切片 a は回帰式の開始地点を規定するため、すでに堆積している火山灰量の影響を考えた。そこで、2016年～2020年の各年の年始の残存堆積厚との関係を分析した結果(図3)、切片は年始の残存堆積厚量からおおよそ推測できる可能性が示唆された。これは、現在の解析手法では年始の残存堆積厚によって通年の堆積厚が変化するため、年始の堆積厚が増加するほど回帰式の切片が大きくなるためであると考えられる。一方、傾き b は回帰式の形状を規定するため、対象年の前年に削られた火山灰量が関係していると考えた。そこで、対象年の前年に発生した全火山泥流の総流出量との関係を分析した結果、総流出量の増加に応じて傾きが小さくなる傾向が確認でき、前年の総流出量から対象年の回帰式の傾きが推定できる可能性が示唆されたが、2018年を境に総流出量に対する傾きの変化量に違いがあった(図4)。これは、活発な火口が変化し、堆積する火山灰が細くなったためだと考えられる。

4. 3. 2021年、2022年の仮想の回帰式の推定

前節で示唆された回帰式の切片・傾きと諸要素の関係から、2021年と2022年における仮想の回帰式を作成し、実際の回帰式との差を比較した。例として2022年の仮想回帰式と実際の回帰式を図5に示す。実際の回帰式とは多少のずれが見られるが、式間の位置関係は大きく離れておらず、比較的良好に推定できていることが分かる。このことから、年始の残存堆積厚と前年に発生した火山泥流の総流出量を求めることで、対象年の残存堆積厚と透水係数の関係式が推定でき、それを用いて透水係数の推移を推定できる可能性があることが示唆された。

5. まとめと今後の展望

本研究では、波形の再現性判定基準と火山灰の残存堆積厚計算に使用する式を変更した。その結果、2015年から2020年の各年で、残存堆積厚と透水係数の良好な関係性を確認することができた。各年の

残存堆積厚と透水係数の回帰式の年別変化と要因から、将来的に透水係数が推定できる可能性が示唆された。しかし、2016年～2020年間の限られたデータで傾向を分析したため、今後は参考となるデータを増やすとともに、UAVや航空機Lidarの技術を活用し、本研究で推定された残存堆積厚の信頼性を検証する必要がある。

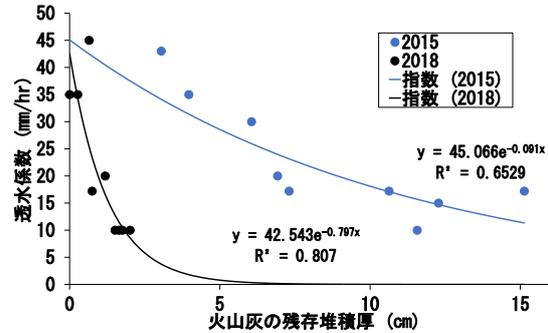


図2 2015年(青)と2018年(黒)の残存堆積厚と透水係数の関係

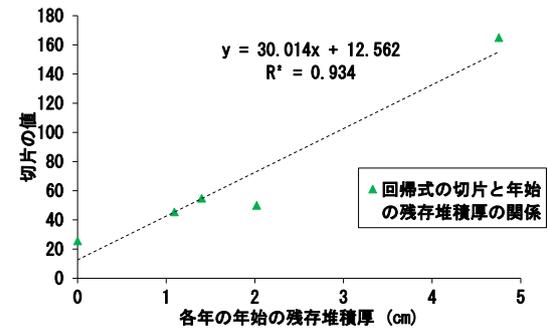


図3 各年の切片と年始の残存堆積厚の関係

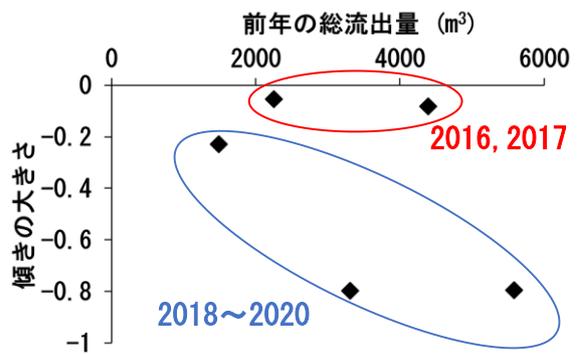


図4 前年の総流出量と回帰式の傾きの関係

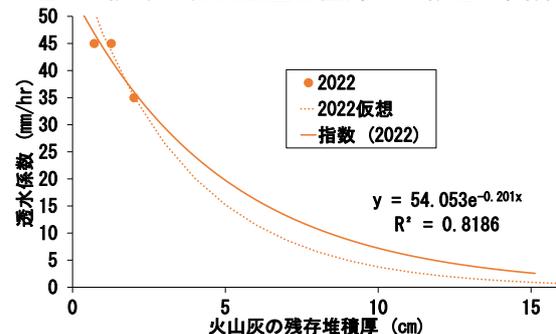


図5 2022年の仮想回帰式と実際の回帰式