

研究概要・成果の要旨

研究テーマ：水路実験による火山泥流の堆積機構の解明と数値モデルの開発

研究代表者： 酒井 佑一（宇都宮大学 農学部）

【研究概要】（200 文字程度。この部分の記述は、中間評価・事後評価を公表する際に、評価コメントと併せてホームページで公開します）〔1行40文字です。5行程度を目安に記載してください。〕

火山噴火に伴い発生する火山泥流は、石礫型土石流とは異なり細粒成分が主体で、より緩勾配まで流れる傾向にある。本課題では、水路実験において間隙水圧の測定などにより、火山泥流（泥流型土石流）の流動・堆積機構を明らかにする。さらに、実験成果を取り入れた火山泥流の数値モデルを開発し、現地（浅間山など）においてシナリオ検討を行うことで、火山ごとの特徴に応じた火山泥流の規模・到達範囲を比較検討する。

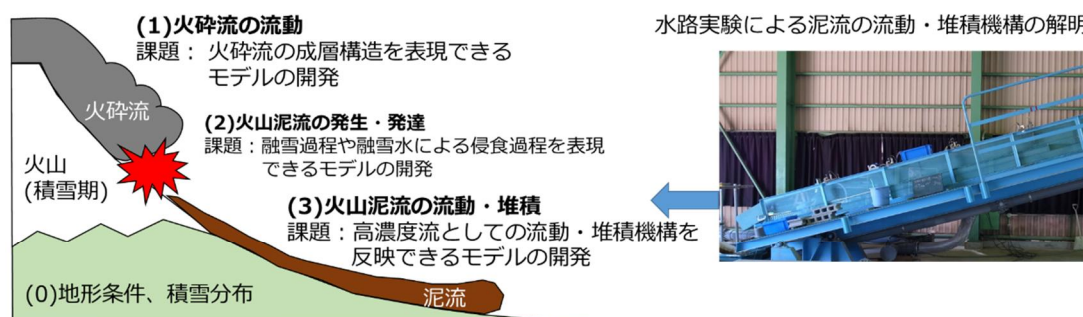
【研究成果の要旨】 主要な成果を以下に示す（図 A）。

① 水路実験に基づく泥流モデルの開発

泥流の流動機構に関する実験により、石礫型から泥流型への遷移は連続的で、遷移領域の流れは上層が乱流、下層が層流の二層構造をもつことが分かった。この実験結果をもとに、石礫型から泥流型までの遷移を統一的に表現できる泥流の二層モデルを提案した。次に、泥流の堆積実験を行い、二層モデルに基づいて導出された泥流の平衡勾配によって、泥流の堆積発生勾配を説明できることを確認した。以上の実験成果を浅水流方程式に取り入れることで、泥流の数値計算モデルを開発した。

② 融雪型火山泥流の数値計算モデル開発とシナリオ検討

融雪型火山泥流の数値計算について従来手法を改良し、新たに開発した泥流の数値計算モデルを用いて、泥流の発生から流動・堆積までを一連で計算できるモデルを提示した。浅間山を対象に、想定噴火条件と積雪条件を与えてシナリオ検討を行ったところ、代表粒径が泥流の挙動に与える影響は大きく、代表粒径の設定が重要となることが分かった。また、泥流の発生から堆積までを一連で計算することで、避難計画策定において重要な到達時間のより厳密な議論や、施設配置計画において重要な土砂収支の検討が可能となった。



1. 水路実験により泥流の流動・堆積機構を解明しモデル化（R4, 5年度実施）
2. (1)火砕流の流動、(2)火山泥流の発生・発達、(3)流動・堆積の素過程をより精緻に取り入れた融雪型火山泥流の数値計算モデルを開発（R6年度実施）
3. 現地（浅間山）を対象として、想定噴火規模・積雪分布に対するシナリオ検討（R6年度実施）

図 A 本課題の全体計画と各年度の実施事項

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

氏 名 (ふりがな)		所 属		役 職	
①研究代表者		酒井 佑一		宇都宮大学 農学部	
		さかい ゆういち			
②研究テーマ	名称	一般型 水路実験による火山泥流の堆積機構の解明と数値モデルの開発			
③研究経費 (単位: 万円)		令和 4 年度	令和 5 年度	令和 6 年度	総 合 計
※端数切り捨て。		171 万円	185 万円	138 万円	496 万円
③ 研究者氏名 (研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)					
氏 名		所属機関・役職 (※令和6年3月31日現在)			
酒井 佑一		宇都宮大学 農学部・助教			
堀田 紀文		東京大学大学院 農学生命科学研究科・准教授			
志水 宏行		(一財) 砂防・地すべり技術センター・研究員			
⑤技術研究開発の目的・目標 (様式地砂-1、地砂-2に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)					
【FSスタートの場合は、FS研究と一般研究を別立てで記入してください】					
火山地帯では、火山噴火にともなって泥流が発生する。特に積雪期に噴火が発生すると、火砕流等により生じた融雪水が大規模の泥流を引き起こし、大きな被害につながる可能性がある。このような火山泥流は、一般的な山地領域で発生する石礫型土石流とは異なり、細粒成分を多く含んで到達範囲が広がる傾向にあるが、その堆積機構は十分に明らかになっていない。 本課題では、水路実験により泥流の堆積機構を明らかにし、これを実装した数値モデルを開発する。開発した数値モデルをもとに、現地(浅間山など)において火山の噴火規模に応じた火山泥流の規模・到達範囲をシナリオ検討する。この際、火砕流の数値モデルによる計算とカップリングさせることで、与えた積雪深分布に対応する火山泥流の発生・発達過程も計算する。以上により、火山ごとの特徴に応じた火山泥流の規模・到達範囲を比較検討する。 開発された数値モデルは、火山泥流の災害対策に活かされる。本研究により、火山泥流の堆積機構を正確に反映することで、到達範囲の予測が飛躍的に向上すると考えられる。					

⑥研究成果

(具体的にかつ明確に記入下さい。4ページ程度。)

本課題では、水路実験により泥流の流動・堆積機構を明らかにし、実験成果をもとに泥流の数値モデルを新たに構築した。さらに、この泥流モデルを用いた融雪型火山泥流の数値計算モデルを提案し、浅間山を対象として融雪型火山泥流のシナリオ検討を行った。

1. 水路実験に基づく泥流モデルの開発 (R4, 5 年度実施)

まず、泥流の流動機構を検討するため、侵食・堆積が生じない固定床上の流れを対象とした実験を実施した。ここでは、水路床において圧力センサーにより間隙水圧を測定し、石礫型から泥流型における土石流の内部応力の変化を検討した。粒径 d は石礫型から泥流型の流れまでの幅広い条件を想定して、それぞれ 0.2, 0.5, 0.8, 1.3, 2.2, 2.9 mm の 6 種類の一様砂を用いた。

間隙水圧の測定結果を図 1 に示す。ここで、測定された間隙水圧 P_{exp} は静水圧 $P_{static} = \rho_w g h \cos \theta$ と全圧力 $P_{total} = \rho_m g h \cos \theta$ の値によって正規化されている。ただし、 ρ_w は水の密度、 ρ_m は土石流の密度、 g は重力加速度、 h は流動深、 θ は河床勾配である。また、間隙水圧の測定結果を、乱れの影響度合いと比較するために、土石流のレイノルズ数を用いた。土石流のレイノルズ数 Re_D は、慣性力と土石流の粒子間応力の比で以下のように定義される(宮本・伊藤, 2003)。

$$Re_D = \frac{\rho_m / \rho_w}{K(c)} \left(\frac{z}{d} \right)^2 \quad (1)$$

ここで、 z は河床を 0 としたときの流れ鉛直方向の位置、 $K(c)$ は土石流の構成則中に現れる土砂濃度 c の関数である。 Re_D は z を変数として含むため、流れ鉛直方向に値は変化するが、ここでは流れを代表する値として、自由水面の位置($z = h$)でのレイノルズ数 $\overline{Re}_D$ を用いた。

図 1 によると、 $\overline{Re}_D < 3000$ では静水圧程度の間隙水圧をとり、粒子間応力によって粒子が支持される石礫型に対応すると考えられる。一方、 $20000 < \overline{Re}_D$ では全圧力程度の間隙水圧をとっており、乱れによって粒子が浮遊している泥流型に対応すると考えられる。その間の $3000 < \overline{Re}_D < 20000$ では、 $\overline{Re}_D$ の増大にともない間隙水圧が静水圧から全圧力まで連続的に増加していた。泥流の内部応力を流速分布に基づき検討した既往研究(伊藤・江頭, 2007)の報告も合わせると、 $3000 < \overline{Re}_D < 20000$ の領域では、 $\overline{Re}_D$ の増大にともなって上層に乱流層が発達し、徐々に泥流型に移行する流れと考えられる。以上のことから、石礫型から泥流型まで流れは二層構造を伴って連続的に移行し、 $\overline{Re}_{Dc} = 3000$ 程度で石礫型からの移行が始まることがわかった。

この結果に基づき、石礫型から泥流型までの移行を統一的に記述できる、泥流の二層モデルを構築した。このモデルでは、上層が乱流、下層が層流となっており、二層の境界位置が自由水面に近いほど石礫型に、底面に近いほど泥流型に近いと考えられる(図 2)。土石流のレイノルズ数 Re_D は流れ鉛直方向に高い位置にいくほど大きな値をとる。つまり、層

間隙水圧 (無次元化)

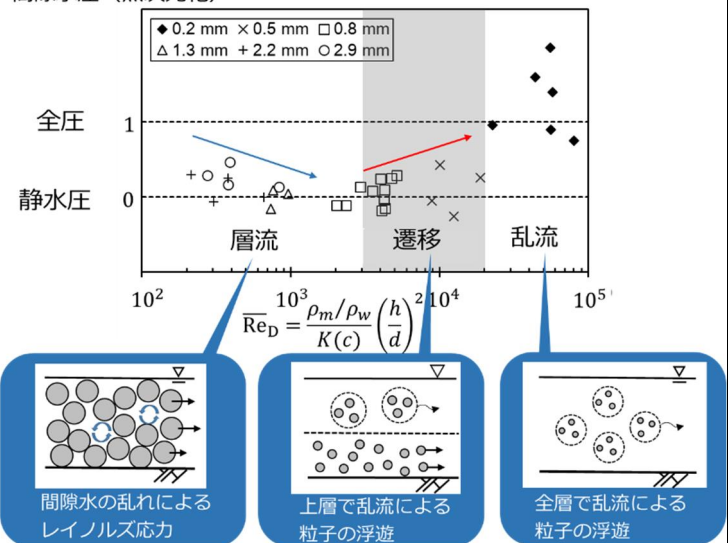


図 1 土石流のレイノルズ数による間隙水圧の測定結果の整理

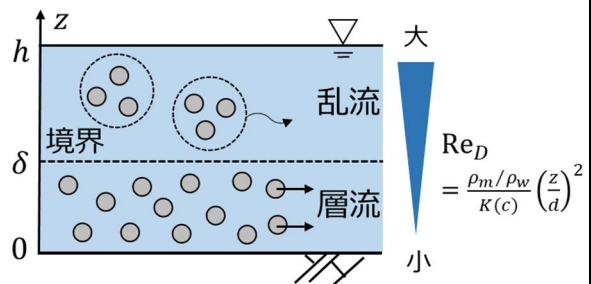


図 2 泥流の二層モデル

流層と乱流層の境界としての境界位置は、層流と乱流の境界レイノルズ数 Re_δ を定めることで決定することができると思われる。

$$Re_\delta = \frac{\rho_m/\rho_w}{K(c)} \left(\frac{\delta}{d} \right)^2 \quad (2)$$

石礫型からの遷移が始まる際、境界位置がちょうど自由水面に位置する状態、つまり、 $\delta = h$ であると考えられる。このとき、 $Re_\delta = \overline{Re}_{Dc}$ となる。実験結果より $\overline{Re}_{Dc} = 3000$ であることから、 $Re_\delta = \overline{Re}_{Dc} = 3000$ と定めることができる。以上の結果から、 δ について式変形することで、境界位置は以下のように決定できる。

$$\frac{\delta}{h} = \sqrt{Re_\delta \frac{K(c)}{\rho_m/\rho_w} / \frac{h}{d}} \quad (3)$$

この式により、石礫型土石流から泥流型土石流までの遷移を二層モデルに基づいて統一的に説明することができる。

ここで、 $\delta/h > 1$ のときは石礫型、 $\delta/h \ll 1$ のときは泥流型、その間は遷移領域であると考えられる。以上で泥流の二層モデルが構築された。

次に、泥流の堆積実験を行い、上記の泥流の二層モデルをもとに堆積過程の説明を試みた。実験では、粒径 0.11 mm の一様砂を用い、水路上流端から泥流を定常的に供給した。水路勾配の初期条件は、泥流が堆積しない十分大きい勾配に設定し、堆積が生じるまで水路勾配を 0.1° 刻みで低下させた。これにより、泥流の供給流量・濃度に対して堆積が生じる勾配を検討した。

その結果、泥流の堆積発生勾配は、石礫型土石流の平衡勾配式で想定されるよりもかなり低い勾配になった（図3）。また、石礫型土石流とは異なり、土砂濃度と平衡勾配は一対一対応せず、同じ土砂濃度に対して流動深が大きいほど小さい勾配まで堆積しなかった。

以上の実験結果に対して、泥流の二層モデルを適用する。この際、江頭ら（1994）によって提案されている、泥流の二層モデルを基にした以下の平衡勾配式を用いた。

$$\tan \theta_e = \frac{(\sigma/\rho_w - 1)C}{(\sigma/\rho_w - 1)C + 1} \frac{\delta}{h} \tan \phi_s \quad (4)$$

ここで、 ϕ_s は土砂粒子の内部摩擦角である。石礫型土石流の平衡勾配式と比較すると、泥流の場合は δ/h の項が追加されている。この項により、石礫型土石流の場合は現れなかった粒径や流動深の影響が平衡勾配に現れる。二層の境界位置 δ/h について式(3)を適用することで、泥流の平衡勾配の理論値を求めることができる。

実験で測定された堆積開始時の水路勾配と、二層モデルをもとに算出した理論値を比較した結果を図4に示す。これによると、理論値は実験値を若干過小評価する傾向にはあるものの、全体としては比較的よく対応していることが分かる。

上記の泥流に関する水路実験の成果をもとに、泥流の数値計算モデルを新たに構築した。支配方程式には、従来の石礫型土石流に対する支配方程式と同様、浅水流方程式を用いた。ただし、抵抗則には泥流の二層モデルをもとにした構成則を流動深方向に積分して得られたものを与え、侵食速度式には、石礫型土石流のものと同じ式において、平衡勾配の算出に式(4)を与えた。

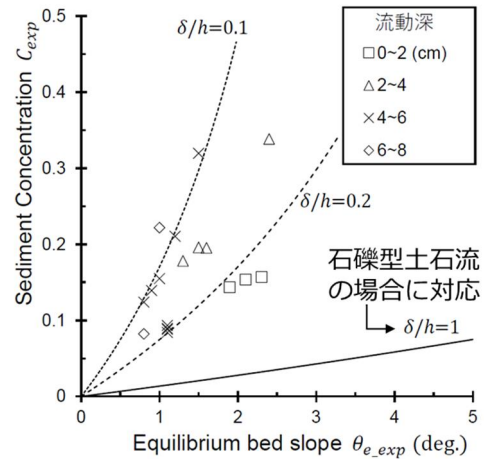


図3 供給した泥流の土砂濃度と流動深に対応する堆積開始時の水路勾配

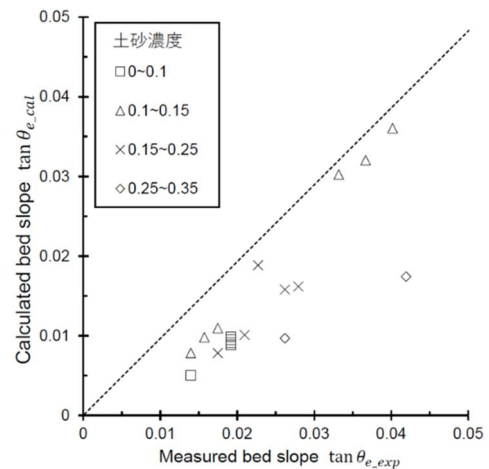


図4 実験で測定された堆積開始時の水路勾配と二層モデルをもとに算出した平衡勾配の関係

2. 融雪型火山泥流の数値計算モデル開発とシナリオ検討（R6 年度実施）

融雪型火山泥流の災害対策には数値計算が有効であるが、その精度向上には火山泥流の発生・流動過程の適切な反映が重要となる。火山泥流は基本的に土石流と同一の流動機構をもつと考えられるが、従来の計算手法では掃流砂量式を用いた河床変動計算が適用されており、高濃度な土砂を含む流れの流動機構を反映できていない可能性がある。また、泥流発生源としての火砕流が火口から方向性をもって流れる場合を想定し、その到達範囲の末端付近を境界条件として泥流計算が行われているが、噴煙柱崩壊型の火砕流では火口から同心円状に広がる場合も多く、従来の手法では境界条件の設定が困難になる。そこで本研究では、噴煙柱崩壊型火砕流により発生する融雪型火山泥流について、新たに開発した泥流の数値計算モデルを用いた計算手法を提案し、浅間山を対象としたシナリオ検討をもとに泥流計算の感度分析を行った。

新たに開発した融雪型火山泥流の計算手法は、火砕流計算、融雪計算、泥流計算の3つの計算過程からなる。その際、対象火山の地形データ、想定噴火規模、想定積雪深分布が必要となる。まず、火砕流計算については、想定噴火規模をもとに噴煙柱崩壊により発生する火砕流の数値計算を行い、火砕流堆積物の厚さの空間分布を求める。次に、融雪計算については、想定した積雪深分布に対して、地形データ上の各セルにおいて積雪層と火砕流堆積物との熱平衡を仮定して融雪水量を計算し、融雪水の水深の空間分布を求める。最後に、泥流計算では、新たに開発した泥流の数値計算モデルを使用する。この際、従来手法のように発達した泥流を境界条件として与えるのではなく、泥流計算の初期条件として融雪水の水深分布を速度0で与え（土石流計算の都合上、土砂濃度を0.05とする）、融雪水が堆積物を侵食して泥流に発達するように計算を行う。

上述の手法を用いて融雪型火山泥流のシナリオ検討を行う。ここでは、冬季に積雪があり、過去に融雪型火山泥流の発生が報告されている浅間山を対象とした。地形データには基盤地図情報の数値標高モデル（10 mメッシュ）を用いて、浅間山の火口を中心とした東西南北方向に15 kmの正方形領域を計算対象とした。噴火規模は、中規模噴火として噴出率 2×10^8 kg/sで継続時間200秒と想定した。積雪深分布は、標高に応じた線形変化を仮定し、浅間山山頂付近の標高2500 mで積雪深が1 m、山麓の標高500 mで積雪深が0 mとなるように与えた（図5）。

火砕流計算では、噴煙柱崩壊型火砕流の二層浅水流モデル（Shimizu & Koyaguchi, 2024）を使用した。このモデルは火砕流の成層構造を反映し、上層の低濃度部と下層の高濃度部それぞれの流れを浅水流方程式に基づいて計算する。大規模火砕流の場合、低濃度部は流れの地形に対する依存性が低いため、火口を中心とした1次元軸対称流として計算し、高濃度部については地形データに基づく2次元計算とした。供給条件として噴煙柱端において火砕物の噴出率を与えた。火砕流の代表粒径は、浅間山における過去の火砕流堆積物調査結果から1 mmとした。計算

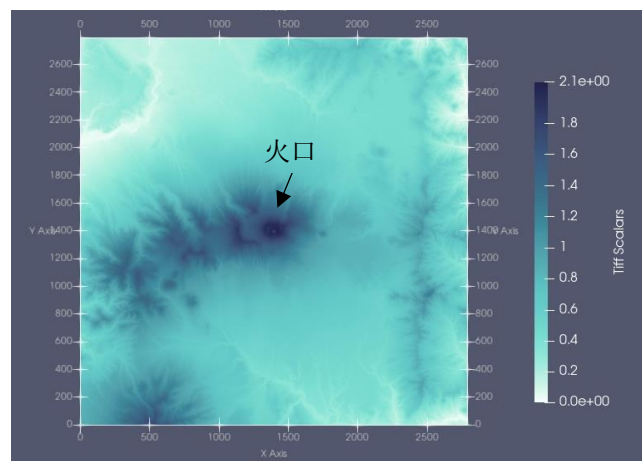


図5 想定した積雪深分布（標高分布に対応）

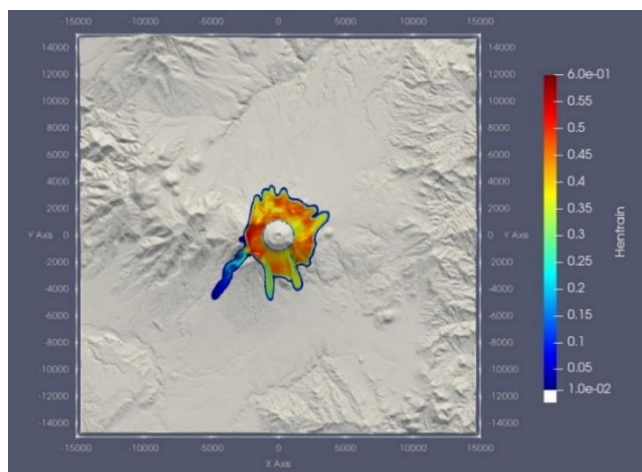


図6 火砕流堆積物の最終層厚分布

では、まず噴煙柱端からの火砕物の供給により、上層の低濃度部が形成されて火口を中心に同心円状に流下する。このとき、低濃度部からの粒子の沈降により、下層の高濃度部が形成される。高濃度部は地形に沿って流下し、粒子の沈降により堆積層を形成する。火砕流堆積物の最終層厚分布を図6に示す。堆積層厚は火口から離れるほど薄くなる傾向を示した。

次に融雪計算では、積雪深分布に対して火砕流の最終堆積物層厚分布を与えることにより、融雪水の水深分布を求めた。融雪計算の結果、融雪水の水深は1 m以下で、積雪深が大きく火砕流堆積物の層厚も大きい山頂付近で大きくなる傾向にあった。

最後に泥流計算では、融雪水の水深分布を初期条件として与えて、泥流の数値計算モデルにより計算を行った。代表粒径は火砕流と同じ1 mmとした。感度分析のため、代表粒径がそれより大きい30 mmのケースでも計算し、比較検討した（火砕流の堆積物分布は同一）。また、火砕流堆積物のみが泥流の土砂のソースとなることを想定し、侵食可能深に火砕流の最終堆積層厚分布を与え、火砕流堆積物が存在しない場所では0 mとした。泥流計算の結果、代表粒径がいずれのケースでも初期の融雪水が地形にそって集水され、火砕流堆積物を侵食しながら発達した。その後、主に蛇掘川などの沢沿いに流下し、地形勾配が低くなるに従い土砂を堆積させた。泥流計算開始から1200秒後の泥流の到達範囲と土砂濃度分布を図7に示す。同時刻における泥流の到達範囲は、代表粒径が1 mmのケースの方が広がる傾向にあった。また、土砂濃度についても、代表粒径が30 mmのケースでは山麓まで流下すると土砂濃度が0.1を下回る低濃度な流れになったのに対し、1 mmのケースでは比較的高い濃度のまま流下した。

泥流計算において掃流砂量式を用いる従来手法では、泥流自体の挙動は洪水流と変わらず、土砂の粒径は流れにほとんど影響しない。一方、本研究の手法では、泥流の挙動に土砂の粒径が大きな影響を与えた。これは、本研究の泥流計算において、粒径に応じて式(3)により粒子骨格が形成される層の厚さ δ が変化し、侵食速度式における平衡勾配（式(4)）を通して大きな影響を与えるためである。このことは、融雪型火山泥流の数値計算において、代表粒径の設定が重要となることを示唆する。

また、従来手法では、火砕流の到達範囲を考慮した流域の末端から泥流計算を開始しており、その上流での融雪過程や泥流の発生過程については別のモデルを用いることが一般的で、両者のモデルの接続における不確実性を含んでいた。一方、本研究のように融雪型火山泥流の発生から堆積まで一連の計算を行うことで、避難計画の策定において重要な泥流の到達時間について、より厳密な議論が可能となる。さらに、従来手法では掃流砂量式を用いた泥流モデルの流入土砂量として土石流の平衡土砂濃度を与えるため、計算開始点付近で不合理な土砂の堆積が発生することが報告されていたが（山口ら, 2019）、本研究では泥流発生から堆積まで一連の侵食速度式を用いており、施設配置計画において重要な土砂収支についても検討することが可能になった。

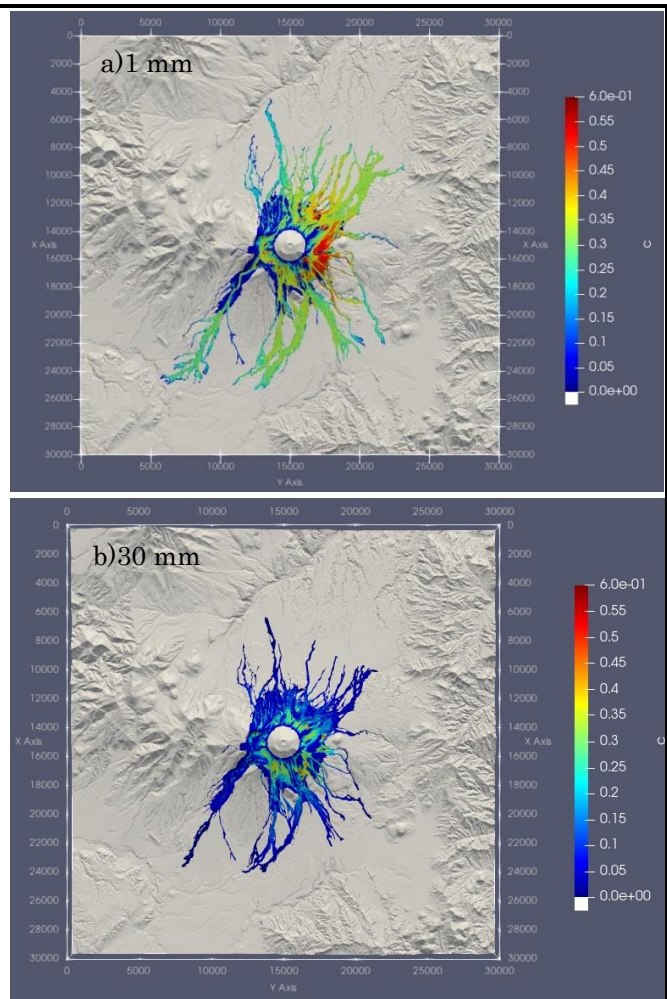


図7 計算開始1200秒後の泥流の到達範囲と土砂濃度分布：代表粒径 a)1 mm、b)30 mm

⑦研究成果の発表状況・予定

【論文】

1. Shimizu, H. A. (2022) Numerical simulations of dome-collapse pyroclastic density currents using aSavageHutterFOAM: Application to the 3 June 1991 eruption of Unzen volcano, Japan, Journal of Disaster Research, 17(5), 768-778
2. Sakai, Y., Hotta, N. (2023) Laboratory investigation of the effects of grain size on the dynamics of debris flows: measurement of pore fluid pressure in an open channel, Proceedings of 8th International Conference on Debris Flow Hazard Mitigation, E3S Web of Conferences, 415, 01022.
3. Shimizu, H. A., Koyaguchi, T., Suzuki, Y. J. (2023) Dynamics and deposits of pyroclastic density currents in magmatic and phreatomagmatic eruptions revealed by a two-layer depth-averaged model., Geophysical Research Letters, 50, e2023GL104616.

【学会発表】

1. 酒井佑一・堀田紀文, 泥流の堆積機構：二層モデルに基づく検討, 令和4年度砂防学会研究発表会, 2022年5月
2. Shimizu, H. A., Koyaguchi T., Development of a two-dimensional two-layer model for large-scale pyroclastic density currents: Effects of topography and erosion on the deposit distribution, JpGU Meeting 2022, May 2022
3. Sakai, Y., Hotta, N., Experimental investigation of mudflow depositional processes, JpGU Meeting 2023, May 2023
4. Sakai, Y., Hotta, N., Laboratory investigation of the effects of grain size on the dynamics of debris flows: measurement of pore fluid pressure in an open channel, 8th International Conference on Debris Flow Hazard Mitigation, June 2023
5. Sakai, Y., Development of a numerical model for mudflows based on a two-layer model, JpGU Meeting 2024, May 2024
6. 酒井佑一・志水宏行・堀田紀文, 噴煙柱崩壊型火砕流により発生する融雪型火山泥流の数値計算に基づくシナリオ検討：浅間山を対象として, 令和7年度砂防学会研究発表会, 2025年5月

⑧研究成果の社会への情報発信

酒井・志水らが中心となり、2022～2024年の間、研究集会を1年に一度開催した（参加者総数は各年200名前後）。研究集会の開催については、事前に砂防学会や火山学会等のメーリングリストで告知し、広く参加者を募った。研究集会当日は酒井・志水も発表を行い、土石流・火砕流・火山泥流を含む様々な重力流のダイナミクスについて議論を行った。

- ・研究集会「地球表層における重力流のダイナミクス」
2022年12月26日開催；現地会場とオンラインのハイブリッド形式
研究会HP：<https://sites.google.com/view/gravity-current2022/>
- ・研究集会「地球表層における重力流のダイナミクス」
2023年12月6日開催；現地会場とオンラインのハイブリッド形式
研究会HP：<https://sites.google.com/view/gravity-current2023/>
- ・研究集会「地球表層における粒子重力流：理論・実験・観測と防災への応用に向けて」
2024年11月25～26日；現地会場とオンラインのハイブリッド形式
研究会HP：<https://sites.google.com/view/gravity-current2024/>

⑨表彰、受賞歴

(単なる研究成果発表は⑦⑧に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。)
なし

⑩技術研究開発の今後の課題・展望等

(研究目的の進捗状況・達成状況や得られた研究成果を踏まえ、技術研究開発の更なる発展や砂防政策の質の向上への貢献等に向けた、技術研究開発の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

本研究では、水路実験により泥流の流動・堆積機構を解明し、泥流の数値計算モデルを新たに開発することができた。さらに、融雪型火山泥流の数値計算手法についても、従来手法を改良した新たな手法を提案できた。

本研究で開発した数値計算モデルについて、既往の泥流の発生事例による検証は今後の課題となる。本研究では、従来の融雪型火山泥流のハザードマップにおける計算と同様、火砕流によって発生する融雪型火山泥流の数値計算モデルの開発を目指したが、火砕流によって発生した融雪型火山泥流について、比較的規模の大きい事例はほとんどなく、検証が困難であったためである。火砕流以外の要因によって発生した火山泥流の事例は報告されているため、他の火山泥流の発生条件を取り込んだモデルを開発することで、泥流モデルの事例検証を行いたい。

また、火山の地形に応じた泥流の挙動の検討についても、今後の課題として挙げられる。ガリー地形が発達している場合は、泥流はガリーに沿って流下するが、本研究ではガリーが未発達である浅間山の北部において、流域を超えるような泥流の流動が見られた。また、ガリーの出口で他の流域からの泥流が合流するような挙動も見られ、泥流の挙動は火山の地形に大きく影響されると考えられる。浅間山以外の火山においても本研究で開発したモデルを適用し、比較検討を行っていきたい。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本技術研究開発で得られた研究成果の実務への反映等、砂防政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

融雪型火山泥流は一般的な土石流と比べ、大規模な現象となることが想定され、ハード対策としての構造物も大規模なものになると考えられる。これらを限られた予算の中で適切に配置するには、火山噴火(と火砕流の発生)規模に応じた火山泥流の発生規模や到達範囲を適切に想定することが重要である。

さらに、このような大規模な現象では、ハード対策に加えて、事前のハザードマップ作成が重要になる。全国の活火山において、火山噴火緊急減災対策砂防計画が策定されつつあり、ハザードマップが整備されてきているが、このとき数値計算モデルによるシナリオ検討は有効であると考えられる。ただし、融雪型火山泥流のような発生頻度の少ない現象では、過去の発生事例による再現計算によってモデルの妥当性を検証するのが難しいため、なるべく素過程を適切に組み込んだモデルを構築することが泥流の到達範囲や時間の推定精度の向上に重要である。本研究で開発された高濃度流としての特性を反映した泥流モデルを用いることで、これらの精度向上につながると考えられる。

また、泥流の発生から流動、堆積までを一連のモデルで計算することにより、施設配置計画において重要な土砂収支の検討の可能性も示された。本研究のシナリオ検討では、単純化のため泥流の土砂のソースは火砕流堆積物のみで、河道の堆積土砂はないものと仮定したが、河道の堆積土砂も考慮することにより、河道の堆積土砂の空間分布に応じた泥流の流下過程の検討などのさらに詳細なシナリオ検討も可能になると考えられる。河道の堆積土砂の空間分布は、過去の噴火履歴や地形発達度合いによっても変化するため、火山ごとに応じたよりきめ細やかな災害対策につながる可能性がある。