

令和 4 年 5 月 22 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H02949

研究課題名(和文) 浅水波・噴煙結合モデルによる火砕流ダイナミクスの解明

研究課題名(英文) Numerical study of dynamics of pyroclastic flows using shallow-water and eruption-cloud models

研究代表者

小屋口 剛博 (Koyaguchi, Takehiro)

東京大学・地震研究所・教授

研究者番号：80178384

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,800,000円

研究成果の概要(和文)：爆発的火山噴火では、火砕物と火山ガスの混合物が火口から噴出し、火砕流として地表を流れることがある。火砕流は著しい粒子濃度成層構造を持つ重力流である。上部の低濃度層は、粒子沈降や取り込まれた空気の影響を強く受け、下部の高濃度層は、底面における摩擦・堆積・侵食に支配される。本研究では、これら長さスケールの異なる物理過程の影響を統一的に解析するために、高濃度層に対しては2次元(2D)浅水波モデル、低濃度層に対しては3次元(3D)噴煙モデルを適用する数値モデルを新たに開発した。このモデルにより、地形や噴火条件が火砕流の到達距離に及ぼす影響を系統的に調べることが可能になった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

火山噴火で発生する火砕流のダイナミクスについては、最大到達距離の決定要因をはじめとする、学術上・防災上重要な基本的問題が解明されていない。これらの基本的問題が解決困難であった理由は、火砕流のダイナミクスが大気を取り込みや堆積作用など、長さスケールの異なる様々な物理過程の影響を受けることにある。本研究は、長さスケールの異なる現象を同時に扱う数値モデル(「二層浅水波モデル」および「2D浅水波・3D噴煙結合モデル」)を新たに開発し、それらを用いて火砕流の到達距離や堆積物の分布範囲・性質を支配する要因を系統的に調べた点に意義がある。

研究成果の概要(英文)：During explosive volcanic eruptions, a mixture of pyroclasts and gas is ejected from the volcanic vent, and can flow on the ground surface as a pyroclastic density current (PDC). PDCs are generally stratified with respect to particle concentration and are composed of two layers: the upper dilute layer and the lower dense layer. The dynamics of these two layers are controlled by various physical processes with different length scales. The upper dilute layer is affected by particle settling, thermal expansion of entrained air, and resistance at the flow front, whereas the lower dense layer is controlled by friction, deposition, and erosion at the base. We developed a two-layer PDC model where an eruption-cloud model is applied to the upper dilute layer and a depth-averaged model to the lower dense layer. The new model enables us to investigate the complex effects of volcanological factors (e.g., topographic effects as well as eruption conditions) on the run-out distances of PDCs.

研究分野：火山学

キーワード：火砕流 数値計算 浅水波モデル 流体力学 重力流

1. 研究開始当初の背景

爆発的火山噴火においては、高温のマグマの破片（火砕物）とガスの混合物が重力流として地表を駆け下る「火砕流」という現象が発生する。火砕流は、高温物質が高速度で火山麓に到達する現象であり、重大な火山災害の原因となる。

火砕流に関しては、野外観測事例（例えば、雲仙 1991 年噴火）や堆積物について多くの研究が蓄積され、その内部構造や物理素過程に関して以下のような知見が得られている。火砕流内部は、著しい粒子濃度の成層構造によって特徴付けられ、大局的に、粒子体積分率が 10^{-1} のオーダーの下部高濃度高密度層（高濃度層と呼ぶ）、粒子体積分率が 10^{-3} のオーダー以下の上部低濃度低密度層（低濃度層と呼ぶ）で構成される。高濃度層のダイナミクスは底面における摩擦や堆積作用の影響を強く受けるのに対し、低濃度層のダイナミクスは大気からの抵抗や大気との混合の影響を受ける。火砕流全体の振る舞いは、これら高濃度層と低濃度層のダイナミクス、および、その相互作用に支配される。例えば、火砕流の到達距離は、(1)高濃度層の粒子が全て堆積・静止すること、(2)低濃度層に取り込まれた大気が高温マグマによって熱せられ、火砕流全体が上昇する噴煙（灰神楽と呼ぶ）として離陸すること、という 2 つの要因によって決まる。(1)、(2)のいずれの要因が支配的かは、高濃度層と低濃度層の間の粒子のやり取り等の相互作用によって決まる。

火砕流のダイナミクスについては、近年、数値モデルの研究が進展しつつある。然しながら、研究開始当初において、それらの数値モデルは上記の野外観測事例に基づく知見を十分に再現するものではなかった。例えば、火砕流モデルとしては、粉体流などを対象とした 2D 浅水波モデル (TITAN2D; Patra et al., 2005) が広く用いられているが、このモデルは単独の高濃度層の振る舞いを再現するものの、低濃度層のダイナミクスや低濃度層・高濃度層の相互作用については考慮されていない。また、高濃度層と低濃度層を一括して噴煙のダイナミクスとして解く固気混相流モデル (e.g., Dufek et al., 2009) は、特徴的な長さスケールが小さい高濃度層の流れを空間解像度が粗い低濃度層の流体モデルで解くため、堆積作用を伴う地表付近の流れを正確に解くことには必ずしも成功していない。高濃度層と低濃度層の物理素過程や相互作用を考慮するモデルとしては、本研究課題開始時点で、火砕流を高濃度層・低濃度層の二層重力流として表現した二層浅水波モデルが提唱されていたが (Doyle et al., 2011)、このモデルは、低濃度層の大気の熱膨張を考慮しておらず、噴煙領域の多様な振る舞いが再現できていなかった。低濃度層における大気の熱膨張については、定常浅水波モデルが提唱されていたが (Bursik and Woods, 1996)、このモデルでは高濃度層との相互作用が考慮されていなかった。

2. 研究の目的

爆発的火山噴火において発生する火砕流については、未だ、到達距離などの基本的問題を定量的に再現する物理的モデル化ができていない。モデル化を困難にする主要因は、火砕流が、底部高濃度層と上部低濃度層（および灰神楽）によって構成される重力流であり、両層が全く異なる長さ（厚さ）スケールを持つことに由来する。すなわち、前者は数 m から高々数十 m の厚さであるのに対し、後者は数 km 以上に及ぶ場合がある。さらに、高濃度層と低濃度層では、異なる物理素過程が重要な役割を果たしている。高濃度層のダイナミクスは、底部の堆積作用や摩擦に支配されているのに対し、低濃度層のダイナミクスにおいては、周囲大気との混合と熱膨張が重要な役割を果たす。このような掛け離れた特徴的長さスケールと異なる物理素過程に支配された流れを単一の数値モデルで正確に解くことは原理的に極めて難しい。

本研究では、この問題を解決するために、高濃度層に対しては 2 次元 (2D) 浅水波モデル、低濃度層（および灰神楽）に対しては 3 次元 (3D) 噴煙モデルを適用し、さらに両者の相互作用（粒子やエネルギーの収支）を境界条件として考慮することによって、火砕流のダイナミクスと堆積作用を同時に再現する新数値モデル（「浅水波・噴煙結合モデル」）を構築することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究課題で目的としている「浅水波・噴煙結合モデル」は、高濃度層と低濃度層の双方を浅水波モデルで表現する「二層浅水波モデル」の考え方を基礎とし、それを発展させたモデルである。一方、項目 1 で述べたように、先行研究の「二層浅水波モデル」 (e.g., Doyle et al., 2011) は、低濃度層の大気の熱膨張を考慮しておらず改良の余地があった。本研究課題では、旧来の「二層浅水波モデル」を適切に改良し、二層モデルの基本的考え方の妥当性について改めて検証した上で、低濃度層に対して 3D 噴煙モデルを適用し、最終目標である「2D 浅水波・3D 噴煙結合モデル」の構築を目指す。具体的には、以下の 4 段階の中間目標を設定し、研究を推進した。

(第 1 段階) 3D 噴煙モデルによる火砕流発生条件の再現。

(第 2 段階) 1D 二層浅水波モデルの改良と検証。

(第 3 段階) 1D-2D 二層浅水波モデルの開発。

(第 4 段階) 2D 浅水波・3D 噴煙結合モデルの構築。

4. 研究成果

各段階の成果は、以下の通りである。

(第1段階) 3D 噴煙モデルによる火砕流発生条件の再現

爆発的噴火における火砕流発生条件について、噴煙ダイナミクスの理論モデルに基づいて解析解を導出するとともに、申請者らが既に開発していた構造格子 3D 噴煙モデルを用いて、解析解に基づく火砕流発生条件の検証、および火砕流発生時の噴煙の挙動について広範な数値シミュレーションを行なった。これらの成果については国際誌に公表した (Koyaguchi and Suzuki, 2018; Koyaguchi et al., 2018)。

本研究課題では、第4段階において現実の地形を流走する火砕流のダイナミクスを再現する数値モデルを構築することを目指している。そこで、複雑な地形の形状を表現することが可能な非構造格子のもとで有限体積法を用いて計算を実行する 3D 噴煙モデルを新たに開発した。具体的には、OpenFOAM で用意されている rhoCentralFoam および rhoPimpleFoam を基本ソルバーとし、それらに火山噴煙の状態方程式を適用した改良モデル (VolcanoCentralFoam および VolcanoPimpleFoam) を開発した。

(第2段階) 1D 二層浅水波モデルの改良と検証

先行研究の「二層浅水波モデル」を改良し、低濃度層の大気熱膨張を考慮した「1D 二層浅水波モデル」を開発した。さらに、室内実験および野外観測事実との比較に基づいて、改良した二層モデルの妥当性を検証した。成果の概要は以下のとおりである。

(2-1) 1D 二層浅水波モデルの概要

火砕流は著しい粒子濃度の成層構造によって特徴付けられる。二層浅水波モデルでは、このような成層構造を持つ火砕流に対し、低濃度層と高濃度層のそれぞれのダイナミクスを浅水波方程式に基づいて解くとともに、これらの層から生成される堆積物の量の時空変化を計算する(図1)。第2段階では、先行研究の二層浅水波モデル(Doyle et al., 2011)を改良し、低濃度層における流入大気熱膨張、流れ先端の抵抗の影響を定量的に評価する「改良版 1D 二層浅水波モデル」を開発した。

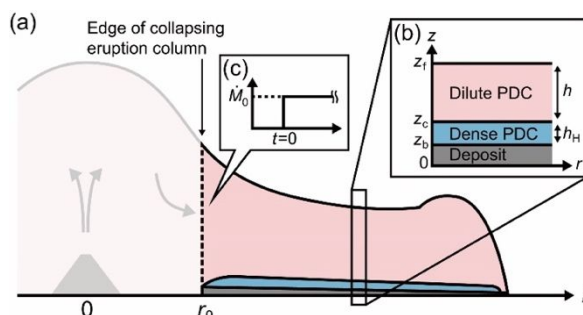


図1 二層浅水波モデルの概要 (Shimizu et al., 2019)

本研究によって、火砕流全体の到達距離が、高濃度層底面での堆積速度(D)と低濃度層底面での粒子沈降速度(W_s)の比に支配されることが分かった。 D/W_s が大きい場合 ($>4 \times 10^{-3}$)、低濃度層の先端が離陸する地点が火砕流全体の到達距離となる。一方、 D/W_s が小さい場合 ($<4 \times 10^{-3}$)、高濃度層の到達距離が低濃度層の離陸地点を越える。本数値計算で得られた低濃度層の到達距離は、野外観測された大規模火砕流(Pinatubo1991年噴火や Kelud2014年噴火)の到達距離よりも有意に短い。このことは、これら観測事例においては、実効的な D/W_s が小さく、高濃度層が火砕流全体の到達距離を決定していたことを示唆している。以上の成果については、国際誌に公表した (Shimizu et al., 2017, 2019)。

(2-2) 室内実験を用いた検証

改良版 1D 二層浅水波モデルの妥当性を確認するために「低濃度火砕流の大規模実験」(Brosch and Lube, 2020)および「高濃度粒子流実験」(Girolami et al., 2008)に基づいて、比較検証を行なった。それぞれの比較検証結果は、以下の通りである。

「低濃度火砕流の大規模実験」では、ホッパー中の粒子と空気から成る混合物が傾斜したチャンネルに落下することによって、成層構造をもつ低濃度乱流サスペンション流(上部 suspended load と下部 bed load から成る)が形成された。低濃度乱流サスペンション流は、給源近傍の傾斜したチャンネルから給源遠方の水平チャンネル中を流動し、流動中に下部 bed load から堆積物が形成された。実験と同じ条件下で、1D 二層浅水波モデルを用いた数値シミュレーションを実施したところ、低濃度層の数値計算結果(先端位置や厚さなど)は、上部 suspended load の実験データとよく一致することが確認された。また、高濃度層(粒子体積分率=0.02)の底面での堆積速度(D)を 3.7×10^{-4} m/s に設定したときに、下部層と堆積物の数値計算結果が実験データと一致することが確認された。

「高濃度粒子流実験」では、矩形の領域内で流動化した粒子と大気混合物が時間 $t=0$ で開放され、高濃度粒子流が形成された。この高濃度粒子流は、水平チャンネル内を流動し、流動中に流れ底面において堆積物が形成された。実験と同じ条件下で、1D 二層浅水波モデルの高濃度層モデル(粒子体積分率=0.42)を用いて数値シミュレーションを行ったところ、 D を

1.7×10^{-2} m/s に設定した場合に、流れ先端位置の時間発展と最終堆積物分布について数値計算結果と実験データが一致することが確認された。

上記の2つの結果は、低濃度火砕流の大規模実験で観測された下部 bed load と高濃度粒子流実験で観測された高濃度粒子流が異なる堆積メカニズムをもつことを示唆する。高濃度粒子流の D の値は、干渉沈降モデルで定量的に説明可能であるのに対し、bed load の D の値は、干渉沈降モデルで予測される値よりも大幅に小さくなる。Bed load における小さな D の値は、bed load の堆積作用が侵食や粒子の跳躍・転動・滑走を伴っていることを示唆している。以上の成果については、国際誌に公表した (Shimizu et al., 2021)。

(2-3) 噴火様式の影響

火砕流の到達距離 (i.e., 堆積物の分布限界) や堆積物の性質は、噴火条件 (e.g., マグマ噴出率, 外来水 (地下水や湖水など) の質量混合率) によって著しく変化する。Koyaguchi and Woods (1996) によると、外来水が加わることによって、火砕流の温度は低下する。また、多量の外来水により火砕流の温度が 100 以下となる場合、水蒸気の凝縮に伴う潜熱が重要な役割を果たす。本研究では、これらの外来水の効果を 1D 二層浅水波モデルの低濃度層の状態方程式を通して評価し、それが火砕流の低濃度層と高濃度層の到達距離に与える影響を系統的に調べた。供給源における外来水の混合率を幅広く変えたパラメータスタディ (外来水の質量分率=0~0.7) を実施した結果、低濃度層と高濃度層の到達距離の大小関係が外来水の混合率によって変化することが示された。典型的な条件においては、外来水の混合率が小さい (<0.2) 時に低濃度層の到達距離が高濃度層の到達距離より短くなり、混合率が大きい (>0.2) 時に低濃度層の到達距離が高濃度層の到達距離より長くなる傾向がある。この傾向は、外来水の混合に伴う温度低下によって低濃度層の熱膨張が抑制され、低濃度層の浮力による離陸が遅れるために引き起こされる。この数値計算結果は、マグマ水蒸気噴火に伴う火砕流堆積物において、低濃度層起源の堆積物が広範囲に分布するという野外観察事実を説明する。

(第3段階) 1D-2D 二層浅水波モデルの開発

第4段階で用いる 2D 浅水波モデル、すなわち、高濃度層に対する現実の地形に適用可能な「非構造格子 2D 浅水波モデル」を開発し、それを第2段階の二層浅水波モデルに組み込んだ「1D-2D 二層浅水波モデル」を開発した。成果の概要は以下のとおりである。

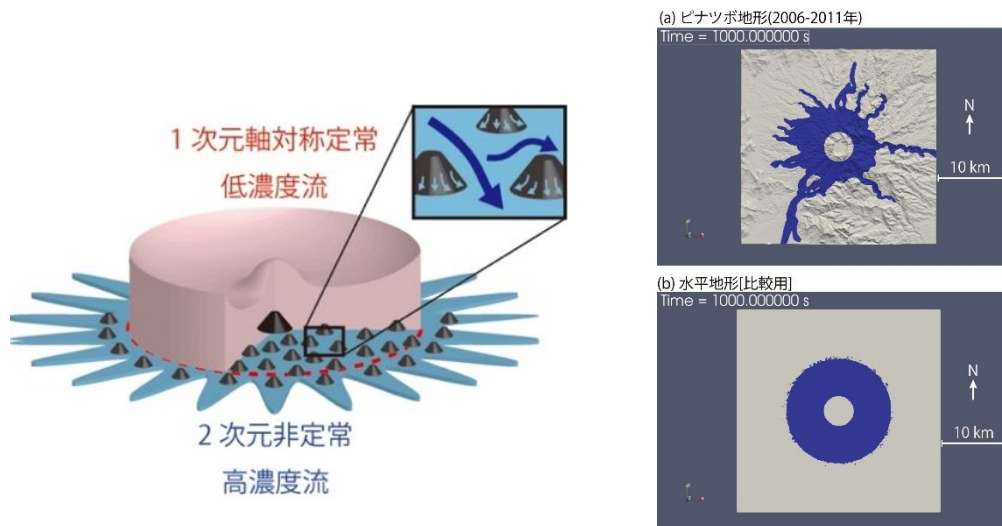


図2 1D-2D 二層浅水波モデルの概要 (左図) と下部高濃度層分布の計算結果 (右図)

(3-1) 1D-2D 二層浅水波モデルの概要

一般に、大規模火砕流の低濃度層の厚さは 10^2 - 10^3 m、高濃度層の厚さは 10^{-1} - 10^0 m となる。従って、 10^2 m 程度以下の起伏を持つ現実の地形は、低濃度層に対しては影響を与えず、高濃度層の振る舞いについては支配的な影響を与える。そこで、第3段階では、低濃度層に対して火口を中心に放射状に拡大する 1D 軸対称浅水波方程式を適用し、高濃度層に対して複雑な地形起伏の影響を評価できる 2D 浅水波方程式を適用する 1D-2D 二層浅水波モデル (図2左図) を開発した。地形の影響を考慮した 2D 浅水波モデルについては、OpenFOAM の雪崩ダイナミクスモデル (faSavageHutterFoam; Rauter et al., 2018) を基本ソルバーとし、ソース項において低濃度層から高濃度層への粒子沈降に伴う質量・運動量輸送を考慮することによって、二層浅水波モデルの高濃度層用のモデル (faSavageHutterFoam_utm) に改良した。数値シミュレーションでは、1D 浅水波モデルにより火口から軸対称に拡大する低濃度層のダイナミクスを計算し、さらに、定常状態に達した低濃度層の底面から沈降する粒子によって高濃度層が形成される過程を faSavageHutterFoam_utm を用いて計算した。

(3-2) 火砕流の最大到達距離に対する地形の影響

本研究課題で開発した 1D-2D 二層浅水波モデルを用いて、Pinatubo 1991 年 6 月 15 日噴火で生じた大規模火砕流と同程度の噴火条件に対する数値計算を実施した (図2右図 a)。また、比較

のために起伏のない平坦面上を流れる同規模火砕流の数値計算も実施した(図2右図b)。

数値解析の結果,地形および火砕流底面での侵食作用が,高濃度層の到達距離(堆積物の分布限界)を伸ばすメカニズムとして重要な役割を果たすことが明らかになった。Pinatubo周辺の地形を考慮した場合,高濃度層は,主に谷筋に沿って流動し,地形を考慮しない平坦面を流れる計算結果に比べて最大到達距離が伸びることが示された。この到達距離の増加は,谷筋の流れにおいて移動距離に対する質量フラックスの減少率が小さくなるために生じる。一方,侵食を考慮した場合,高濃度層の堆積速度は,給源近傍での侵食作用(堆積物の再取り込み)により実効的に小さな値をもち,その結果,火砕流全体として到達距離が伸びることが示された。また,給源近傍での侵食作用の増加は,主に低濃度層からの粒子沈降に伴う運動量供給によって駆動されることが分かった。これらの地形・侵食の効果は,Pinatubo 1991年6月15日噴火の火砕流堆積物が谷筋で厚く,給源近傍の急斜面上で比較的薄いという観測事実を説明する。

(第4段階) 2D浅水波・3D噴煙結合モデルの構築

本研究課題では,第1段階においてOpenFOAMを用いた3D噴煙モデル(VolcanoCentralFoamおよびVolcanoPimpleFoam)を開発し,第3段階でOpenFOAMを用いた2D浅水波モデル(faSavageHutterFoam_utm)を開発した。第4段階として,両モデルをOpenFOAM上で連成計算させる2D浅水波・3D噴煙結合モデルを作成し,本課題の最終目標を概ね達成することができた。

引用文献

- Brosch, E., G. Lube (2020) Spatiotemporal sediment transport and deposition processes in experimental dilute pyroclastic density currents. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol.401, 106946, DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2020.106946.
- Bursik, M., A.W. Woods (1996) The dynamics and thermodynamics of large ash flows. *Bulletin of Volcanology*, Vol.58, 175-193, DOI: 10.1007/s004450050134.
- Doyle, E.E., A.J. Hogg, H.M. Mader (2011) A two-layer approach to modelling the transformation of dilute pyroclastic currents into dense pyroclastic flows. *Proceedings of The Royal Society A*, Vol.467, 1348-1371, DOI: 10.1098/rspa.2010.0402.
- Dufek, J., J. Wexler, M. Manga (2009) Transport capacity of pyroclastic density currents: Experiments and models of substrate-flow interaction. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol.114, B11203, DOI: 10.1029/2008JB006216.
- Girolami, L., T.H. Druitt, O. Roche, Z. Khrabrykh (2008) Propagation and hindered settling of laboratory ash flows. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol.113, B02202, DOI: 10.1029/2007JB005074.
- Koyaguchi, T., Y.J. Suzuki (2018) The Condition of Eruption Column Collapse: 1. A Reference Model Based on Analytical Solutions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol.123, 7461-7482, DOI: 10.1029/2017JB015308.
- Koyaguchi, T., Y.J. Suzuki, K. Takeda, S. Inagawa (2018) The Condition of Eruption Column Collapse: 2. Three-Dimensional Numerical Simulations of Eruption Column Dynamics. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol.123, 7483-7508, DOI: 10.1029/2017JB015259.
- Koyaguchi, T., A.W. Woods (1996) On the formation of eruption columns following explosive mixing of magma and surface-water, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol.101, 5561-5574, DOI: 10.1029/95JB01687.
- Patra, A.K., A.C. Bauer, C.C. Nichita, E.B. Pitman, M.F. Sheridan, M. Bursik, B. Rupp, A. Webber, A.J. Stinton, L.M. Namikawa, C.S. Renschler (2005) Parallel adaptive numerical simulation of dry avalanches over natural terrain. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol.139, 1-21, DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2004.06.014.
- Rauter, M., A. Kofler, A. Huber, W. Fellin (2018) faSavageHutterFOAM 1.0: depth-integrated simulation of dense snow avalanches on natural terrain with OpenFOAM. *Geoscientific Model Development*, Vol.11, 2923-2939, DOI: 10.5194/gmd-11-2923-2018.
- Shimizu, H.A., T. Koyaguchi, Y.J. Suzuki (2017) A numerical shallow-water model for gravity currents for a wide range of density differences. *Progress in Earth and Planetary Science*, Vol.4, 8, 1-13, DOI: 10.1186/s40645-017-0120-2.
- Shimizu, H.A., T. Koyaguchi, Y.J. Suzuki (2019) The run-out distance of large-scale pyroclastic density currents: A two-layer depth-averaged model. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol.381, 168-184, DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2019.03.013
- Shimizu, H.A., T. Koyaguchi, Y.J. Suzuki, E. Brosch, G. Lube, M. Cerminara (2021) Validation of a two-layer depth-averaged model by comparison with an experimental dilute stratified pyroclastic density current. *Bulletin of Volcanology*, Vol.83, 73, 1-12, DOI: 10.1007/s00445-021-01493-w.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Hiroyuki A. Shimizu, Takehiro Koyaguchi, Yujiro J. Suzuki, Ermanno Brosch, Gert Lube, Matteo Cerminara	4. 巻 83
2. 論文標題 Validation of a two-layer depth-averaged model by comparison with an experimental dilute stratified pyroclastic density current	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bulletin of Volcanology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00445-021-01493-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Yujiro J. Suzuki, Antonio Costa, Takehiro Koyaguchi	4. 巻 47
2. 論文標題 Control of vent geometry on the fluid dynamics of volcanic plumes: Insights from numerical simulations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letter	6. 最初と最後の頁 e2020GL087038
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2020GL087038	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Hiroyuki A. Shimizu, Takehiro Koyaguchi, Yujiro J. Suzuki	4. 巻 381
2. 論文標題 The run-out distance of large-scale pyroclastic density currents: A two-layer depth-averaged model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Volcanology and Geothermal Research	6. 最初と最後の頁 168-184
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jvolgeores.2019.03.013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Antonio Costa, Yujiro J. Suzuki, Takehiro Koyaguchi	4. 巻 9
2. 論文標題 Understanding the plume dynamics of explosive super-eruptions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-018-02901-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Takehiro Koyaguchi, Yujiro J. Suzuki	4. 巻 123
2. 論文標題 The Condition of Eruption Column Collapse: 1. A Reference Model Based on Analytical Solutions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 7461-7482
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2017JB015308	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takehiro Koyaguchi, Yujiro J. Suzuki, Kai Takeda, Satoshi Inagawa	4. 巻 123
2. 論文標題 The Condition of Eruption Column Collapse: 2. Three Dimensional Numerical Simulations of Eruption Column Dynamics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 7483-7508
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2017JB015259	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hiroyuki A. Shimizu, Takehiro Koyaguchi, Yujiro J. Suzuki	4. 巻 4:8
2. 論文標題 A numerical shallow-water model for gravity currents for a wide range of density differences	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-017-0120-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計15件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 志水宏行・小屋口剛博・鈴木雄治郎
2. 発表標題 重力流の浅水流理論と実験に基づく火砕流ダイナミクスの二層数値モデルの開発
3. 学会等名 分野横断型研究会「地球表層における重力流のダイナミクス」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 志水宏行・小屋口剛博・鈴木雄治郎
2. 発表標題 マグマ噴火・マグマ水蒸気噴火による大規模火砕流の到達距離：二層重力流モデルによる数値シミュレーション
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会 (JpGU)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroyuki A. Shimizu, Takehiro Koyaguchi, Yujiro J. Suzuki
2. 発表標題 An analysis of sedimentation processes in pyroclastic density currents based on a two-layer depth-averaged model
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会 (JpGU) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Fiodar Perakhzhau, Takehiro Koyaguchi
2. 発表標題 3D numerical simulations of volcanic jets inside a crater during explosive volcanic eruptions
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会 (JpGU-AGU joint meeting) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroyuki A. Shimizu, Takehiro Koyaguchi, Yujiro J. Suzuki, Ermanno Brosch, Gert Lube
2. 発表標題 Experimental validation of a two-layer model for pyroclastic density currents
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会 (JpGU-AGU joint meeting) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroyuki A. Shimizu, Takehiro Koyaguchi, Yujiro J. Suzuki
2. 発表標題 The run-out distance of a two-layer model for large-scale pyroclastic density currents
3. 学会等名 AGU Fall meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yujiro J. Suzuki, Antonio Costa, Takehiro Koyaguchi
2. 発表標題 Simulating dynamics of explosive very large eruptions
3. 学会等名 IUGG General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小屋口剛博・石井憲介・K. Anderson・小園誠史
2. 発表標題 観測データと物理モデルに基づく火山噴火推移予測の可能性
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 志水宏行・小屋口剛博・鈴木雄治郎
2. 発表標題 大規模火砕流の到達距離に対する温度の影響: 二層重力流モデルによる数値シミュレーション
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yujiro J. Suzuki, Antonio Costa, Takehiro Koyaguchi
2. 発表標題 The control of vent geometry on the dynamics of volcanic plumes
3. 学会等名 EGU meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroyuki A. Shimizu, Takehiro Koyaguchi, Yujiro J. Suzuki
2. 発表標題 A two-layer depth-averaged model of pyroclastic density currents: 1. Laboratory-scale flows
3. 学会等名 PDC transport dynamics workshop: Benchmarking numerical models and future avenues (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroyuki A. Shimizu, Takehiro Koyaguchi, Yujiro J. Suzuki
2. 発表標題 A two-layer depth-averaged model of pyroclastic density currents: 2. Large-scale natural flows
3. 学会等名 PDC transport dynamics workshop: Benchmarking numerical models and future avenues (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 志水宏行・小屋口剛博・鈴木雄治郎
2. 発表標題 二層浅水波モデルに基づく火砕流ダイナミクスの数値的研究: 流れの形態と堆積構造の変化
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroyuki A. Shimizu, Takehiro Koyaguchi, Yujiro J. Suzuki
2. 発表標題 Numerical simulations of a two-layer shallow-water model for pyroclastic density current
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yujiro J. Suzuki, Antonio Costa, Takehiro Koyaguchi
2. 発表標題 Fluid dynamics of very large plumes generated by explosive super-eruptions
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	鈴木 雄治郎 (Suzuki Yujiro) (30392939)	東京大学・地震研究所・准教授 (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ニュージーランド	Massey University			
イタリア	INGV			