

令和元年6月18日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K01246

研究課題名(和文) 粉体力学の視点にもとづく大規模火砕流の流走プロセス解明と災害評価

研究課題名(英文) Elucidation of runout process of large-scale pyroclastic density currents based on the view point of powder mechanics, and hazard evaluation

研究代表者

前野 深 (MAENO, Fukashi)

東京大学・地震研究所・准教授

研究者番号：20444078

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：大規模火砕流の挙動を表現するための二次元数値モデルの改良を行った。流走過程における Manning 型摩擦則と減速・停止過程におけるクーロン型摩擦則の役割および導入の効果について明らかにした。火砕流堆積物の温度、層厚、ガス量等の条件に依存した、堆積物の冷却・溶結モデルを改良し、火砕流の溶結構造の形成過程と、噴火推移の時間スケール推定に応用した。代表的な大規模火砕流および中小規模火砕流について、観察記録や堆積物をもとにそれらの発生、流走、堆積過程や物理量を明らかにし、噴火推移を復元した。これらの火砕流現象の解明をもとに、噴火プロセス全体の理解を進展させ、災害現象とその評価手法について考察した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

数値モデル改良は、シミュレーションによる火砕流分布域の推定精度向上や、ハザード評価に貢献するものである。近年の噴火事例をもとに解明した中小規模火砕流の噴出量・噴出率と流走距離との関係は、数値モデル検証のためにも活用できる。鬼界カルデラの大規模噴火については、火砕流発生のタイミング、発生様式などが明らかになった。堆積物の溶結・冷却モデルと堆積物解析にもとづき、プリニー式噴煙柱崩壊後、大規模火砕流の発生に至るまで、日または週のオーダーのギャップがあった可能性を示した。この結果は、大規模噴火の推移の理解を進めるとともに、災害の規模や時間スケールの評価にも活用できるものである。

研究成果の概要(英文)：The two-dimensional numerical model to represent the behavior of large-scale pyroclastic flows was improved. The roles of Manning-type friction law in the runout process and Coulomb-type friction law in the decelerating and stopping processes and the effects of their introduction were clarified. The model of cooling and welding of deposit, which depends on conditions such as temperature, thickness and gas amount of deposit, was improved, and applied to formation process of welding structure of large-scale pyroclastic flow and estimation of a time-scale of eruption. With regard to typical large-scale and small-scale pyroclastic flows, their generation, runout, sedimentary processes and physical parameters were clarified based on observation records and deposits, and the eruptive process was reconstructed. The elucidation of these pyroclastic flow phenomena contributes to advancement of understanding of entire eruption processes and to evaluation of hazards.

研究分野：火山学

キーワード：火砕流 噴火 粉体 摩擦 火山

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

火山噴火に伴い発生する「火砕流」は、火山砕屑物（火山灰・軽石・溶岩片など）と火山ガスが混在した高温（数百以上）・高速の流れであり、極めて危険な現象である。日本国内では1991年雲仙普賢岳噴火の際に火砕流により43名が死亡した例があるように、多くの活火山において火砕流災害が発生する脅威が存在する。近現代に観測されている火砕流の多くは、流走距離は長くても数 km 程度であり、地質学的には小規模な火砕流に分類される。数千年あるいは数万年という時間を遡ると、巨大噴火に伴う、流走距離が数 10 km に達するような大規模火砕流が日本国内でも発生している。大規模火砕流の存在や規模は、地質学的研究によって推定されているのみで、その発生、流走、堆積過程の定量的理解は不十分である。堆積物をもとにした火砕流とそれに伴う諸現象の復元は、火山噴火全体の推移やそれを支配する物理量の理解において重要であり、噴火による周辺環境への影響や災害のリスクを知ることにもつながる。一方、近年の火山噴火の際にしばしば観測されている中小規模火砕流については、現象の特徴や支配パラメータに関する知見を大規模火砕流の理解にも拡張できる可能性があるため、並行して、その発生、定置過程、噴火推移との関係を解明していくことが重要である。

2. 研究の目的

大規模火砕流の流走や堆積の過程ではガスの効果（流動化、ガスの散逸に伴う溶結などの現象）が重要な役割を担う可能性がある。この効果の定量化手法を開発、改良することは、大規模火砕流の堆積物形成過程の理解を進めるとともに、その影響評価を行う上で重要である。このような背景のもと、本研究では実際の火砕流の現象や堆積物データと、粉体（火砕物）粒子群に対するガスの効果や摩擦に関する理論および従来の実験的研究の成果に基づき、火砕流の運動を特徴付ける物理量や、火砕流の発生・流走・定置および定置後冷却プロセスの理解を進めることを主な目的として研究を進めた。また、上記の解明を基礎として、噴火現象全体の推移の理解を進展させ、災害の評価についても考察することを目指した。

3. 研究の方法

(1) 火砕流流走・堆積物冷却モデルの開発・改良

火砕流を、ガスを含む粉体流と仮定してモデル化を試みる。従来、高密度粉体に対して開発されてきた浅水理論にもとづく二次元数値モデルについて（Maeno et al., 2013）抵抗項の記述の妥当性を重点的に検討する。ガスを注入して流動化を起こした粉体を用いた実験では、粉体の流動化により水とよく似た性質を示すことなどが明らかにされている。このようなガスに富む粉体の流動過程では、クーロン型摩擦則の導入は適切でないことが予想されるため、水流の抵抗の記述に用いられるマニング則と同型の摩擦則の導入について検討する。また、火砕流定置後の堆積物の溶結・冷却プロセスについて既存研究をもとにモデル化し、堆積物の層厚、温度、ガス量等の条件に依存した堆積構造の形成過程を明らかにする。これらのモデルを実際の堆積物に応用し、火山噴火の推移の理解に役立てる。

(2) 火砕流の現象および堆積物の解析と噴火推移復元

南九州の始良カルデラおよび鬼界カルデラ起源の大規模火砕流（火砕物密度流）を対象に、堆積物の調査、解析を行う。このうち、とくに鬼界カルデラ起源の火砕流（7300年前）について、発生、流走、堆積、堆積後のプロセスや、この噴火の推移について詳細に検討を行う。また国内では他に小規模火砕流の事例として、御嶽山 2014 年噴火で発生した火砕流、海外については、インドネシア・ケルト火山 2014 年噴火で発生した中規模火砕流を対象に、観察記録や噴火堆積物をもとに発生、流走、堆積過程を明らかにし、噴火現象との関係について検討する。さらに、これらの火砕流イベントの解明をもとに、噴火現象全体の推移の理解を進展させ、災害現象とその評価手法について考察する。

4. 研究成果

(1) 火砕流流走・堆積物冷却モデルの開発・改良

これまで単純系や溶岩ドーム崩壊型火砕流に対して用いられてきたクーロン型摩擦則に基づく二次元浅水流型モデルの枠組みを、ガスに富むより規模の大きい火砕流に適用できるように修正することを試みた。また、改良型モデルの妥当性を検証するため、既存の室内粉体流実験

についてレビューし、粉体流の運動において重要となるパラメータの調査、実験データの収集を行った。この中で、とくに摩擦則（クーロン型やマニング型）や停止条件の影響について検討し、単純な系における火砕流の流走、定置の数値実験を試みた。マニング型摩擦則は、流動化した粉体流の挙動（時間-距離変化）を表現するのに適しているが、流れの減速段階では不適合となる。これは、流動化した粉体流では、流れが進行するにつれてガスが散逸するため、減速・停止時には粒子同士の接触が顕著になり、濃密な粉体流としての挙動が卓越するためと考えられる。初期段階はマニング型摩擦則の導入により表現できるが、減速・停止段階ではクーロン型摩擦則にもとづく必要がある。また、減速・停止段階では摩擦係数の物理量依存則（厳密には速度・粒径などの関数である‘慣性数’と呼ばれる無次元数に依存する）の導入も、堆積物形状の再現においては重要である。火砕流の流走過程のモデル化において、マニング型摩擦則の導入は有意義であるが、定置プロセスを重視する場合、依然として、クーロン型摩擦則の導入が重要である。数値モデルを実際の火砕流の影響評価に活用する際にはこの点に十分注意する必要がある。

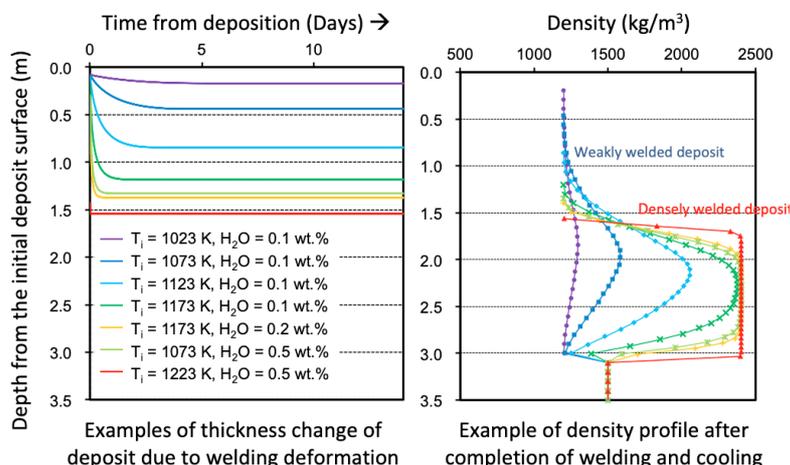
一方、堆積後プロセスについては、空隙を含む高温の粉体（火山灰）堆積物の溶結・冷却の既存モデルを応用し、堆積物層厚、初期温度、含水量（ガス量）等の条件に依存した溶結堆積物の形成プロセスを表現する数値モデルを考案した。これにより堆積物の密度プロファイルと初期条件との関係を定量的に議論することが可能となった。すなわち、高温で定置した堆積物が自重により変形し、十分冷却して層厚や堆積構造（溶結度）が決まるまでの時間スケールを推定できる。このモデルの噴火推移解明への応用に関しては、次の項目で記述する。

(2) 火砕流の現象および堆積物の解析と噴火推移復元

大規模火砕流に関する研究

九州の鬼界カルデラ起源の火砕流堆積物(7.3 ka)と始良カルデラ起源の火砕流堆積物(29 ka)を対象に、代表的露頭において堆積構造や構成物の特徴について調査、解析を行った。とくに鬼界カルデラの火砕流堆積物については、近傍での堆積構造や分布の詳細な調査を行い、火砕流の堆積過程や噴火推移について以下のような知見を得た。噴火堆積物は大きく2ステージ4ユニットに区分される。Unit A、Bはプリニー式噴煙柱形成とそれに続く噴煙柱崩壊を示す堆積物（ステージ1）で、このうちUnit Bは流走距離10 km以上、最大層厚20 mに達する火砕流・火砕サージ堆積物である。斜交層理が発達し層厚数m程度でも溶結するなど、高速・高温の流れからの堆積を示す。Unit C、Dは噴火のクライマックスの堆積物に相当し、大規模火砕流（幸屋火砕流）とそれに伴う広域火山灰（アカホヤ火山灰）を含む（ステージ2）。これらの層序の中で注目すべき点は、Unit Bの溶結ブロック（長径 >1 m）がUnit C基底部に取り込まれている構造など、Unit B-C間に時間間隙を示唆する地質痕跡が存在することである。この構造は、ステージ1のUnit B堆積後に溶結・冷却が十分に進むだけの時間が存在し、その後ステージ2の火砕流によりUnit Bの一部が脆性的に破壊・侵食され、Unit C中に取り込まれたことを示す。（1）で開発した堆積物の溶結・冷却モデルを用い、堆積物データをもとにして様々な条件を仮定して計算した結果（下図）観察される堆積物の構造や溶結度を説明するためには、堆積後数日から一週間以上の時間を要するという結果が得られた。つまりステージ1と2の間には少なくとも日あるいは週のオーダーのギャップがあった可能性が示唆される。

一方、クライマックスの近傍堆積物は礫質及び軽石質火砕流堆積物の互層から



なる。複数の堆積ユニットに区分でき、最上位の軽石質ユニットが最も厚い。堆積物の特徴から、クライマックスでは段階的に火道形成・拡大が進行し、すなわち、火砕流の給源フラックスが大きく変動し、その中で最大規模の火砕流が広域に広がったと考えられる。プリニー式噴火で始まった噴火は、噴煙柱崩壊ステージ後に静穏なステージを挟み、その後カルデラ崩壊を伴うステージ2に移行した。さらにその終盤に大規模火砕流の発生に至ったと考えられる。このように、噴火堆積物の新たな解析により、噴火推移の時間スケールと大規模火砕流の発生のタイミング、発生様式などが明らかになった。従来、多くのカルデラ形成噴火では、先行するプリニー式噴火(ステージ1)とそれに続く大規模火砕流の噴出(ステージ2)という2段階のステージを経て噴火が進行していくことが知られている。鬼界カルデラにおける噴火推移は、プリニー式噴火後にカルデラ崩壊までほぼ連続的に短時間で進行した歴史時代のカルデラ形成噴火(1815年タンボラ火山など)とはやや異なっていたようである。この結果は、大規模噴火開始以降の噴火推移の予測や、避難のタイミングなど防災対策を考える上での基礎データとして活用できるものである。

中小規模火砕流に関する研究

実際に火砕流・火砕サージが観測され、災害にも発展した国内の近年の中小規模噴火、インドネシアの噴火事例などについて、地質調査を行い堆積構造や構成物データを取得し、流れの物理量の推定や堆積過程、噴火推移を解明する研究を進めた。

社会的に注目を浴びた御嶽2014年噴火に関しては、火口近傍堆積物の解析に、噴火画像も加味して噴火過程を明らかにした。初期に乾いた条件下で火道形成に伴う火砕流が発生し、その初速を、浅水流型モデルにもとづく解析により24–28 m/sと推定した。その後火道が発達し、湿った噴煙柱が形成され噴火最盛期を迎え、しだいに噴火活動が衰退したという推移を明らかにした。この成果は、火砕流の物理量や周囲への影響が詳細かつ定量的に解明されたという点で、防災上意義がある。

インドネシア・ケルト火山の2014年プリニー式噴火については、噴火直後の現地調査および衛星画像解析、遠方での地球物理学観測データをもとに噴火推移と物理量について制約を与えた。初期には溶岩ドームの破壊とともに、指向性のある高速かつ希薄なPDC(ブラスト)が発生し、給源から北東約7 kmまでのエリアで倒木が起こり、ブラスト堆積物が形成された。16分後にはプリニー式噴煙柱が上昇を開始し、さらに15分後に海拔20 km以上に達した。18時頃から噴煙柱崩壊が起こり、軽石や火山灰に富む谷埋め型火砕流(最大流走距離約6 km)が断続的に発生し、噴火は終息に向かった。堆積物分布をもとに総噴出量は0.25–0.50 km³、このうち火砕流堆積物は全体の10%程度と推定された。平均噴出率は $6.4 \pm 2.7 \times 10^7$ kg/sであり、火砕流発生時もほぼ同程度の噴出率であったと推定される。この成果はプリニー式噴火の噴煙柱崩壊により発生する火砕流のタイミングや性質、物理量の解明という点で重要であり、軽石や火山灰を主としガスの効果が大きい大規模火砕流の理解にも応用できるものである。噴出量・噴出率と火砕流流走距離との関係は、火砕流数値モデルの検証のために活用できる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計29件)

1. **Maeno, F.**, Nakada, S., Yoshimoto, M., Shimano, T., Hokanishi, N., Zaennudin, A. and Iguchi, M. (2019) Eruption pattern and a long-term magma discharge rate over the past 100 years at Kelud volcano, Indonesia. *J. Disaster Res.*, 14, 1, 27-39, doi:10.20965/jdr.2019.p0027, 査読有.
2. Nakada, S., **Maeno, F.**, Yoshimoto, M., Hokanishi, N., Shimano, T., Zaennudin, A. and Iguchi, M. (2019) Eruption scenarios of active volcanoes in Indonesia. *J. Disaster Res.*, 14, 1, 40-50, doi:10.20965/jdr.2019.p0040, 査読有.
3. Nanayama, F. and **Maeno, F.** (2018) Evidence on the Koseda coast of Yakushima Island of a tsunami during the 7.3 ka Kikai caldera eruption. *Island Arc*, 2018;e12291, doi:10.1111/iar.12291, 査読有.
4. **前野 深**・安田 敦・中野 俊・吉本充宏・大湊隆雄・渡邊篤志・金子隆之・中田節也・武尾 実 (2018) 噴出物から探る西之島の新火山島形成プロセス. *海洋理工学会誌*, 24, 1, 35-44, doi:10.14928/amstec.24.1_35, 査読有.

5. Suzuki, Y., **Maeno, F.**, Nagai, M., Shibutani, H., Shimizu, S. and Nakada, S. (2018) Conduit processes during the climactic phase of the Shinmoe-dake 2011 eruption (Japan): Insights into intermittent explosive activity and transition in eruption style of andesitic magma. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 358, 87-104, doi:10.1016/j.jvolgeores.2018.02.008, 査読有.
 6. **Maeno, F.**, Nakada, S., Yoshimoto, M., Shimano, T., Hokanishi, N., Zaennudin, A. and Iguchi, M., in press, A sequence of a plinian eruption preceded by dome destruction at Kelud volcano, Indonesia, on February 13, 2014, revealed from tephra fallout and pyroclastic density current deposits. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, doi:10.1016/j.jvolgeores.2017.03.002, 査読有.
 7. Nakada, S., Zaennudin, A., Yoshimoto, M., **Maeno, F.**, Suzuki, Y., Hokanishi, N., Iguchi, M., Ohkura, T., Gunawan, H. and Triustuty, H., in press, Growth process of the lava dome/flow complex during 2013-2016 at Sinabung Volcano, Northern Sumatra, Indonesia. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, doi:10.1016/j.jvolgeores.2017.06.012, 査読有.
 8. 七山太・中川正二郎・**前野 深**・成尾英仁 (2017) 南九州, 屋久島において記載された過去の巨大地震津波を示唆する幾つかの証拠. 月刊地球号外, 67, 99-106, 査読無.
 9. **前野 深**・中田節也 (2016) 火山活動の基礎知識と噴火の特徴. 「火山による災害特性と防災技術」, *地盤工学会誌*, 64, 5, p 48-55, 査読無.
 10. **Maeno, F.**, Nakada, S., Oikawa, T., Yoshimoto, M., Komori, J., Ishizuka, Y., Takeshita, Y., Shimano, T., Kaneko, T. and Nagai, M. (2016) Reconstruction of a phreatic eruption on 27 September 2014 at Ontake volcano, central Japan, based on proximal pyroclastic density current and fallout deposits. *Earth Planets and Space*, 68, 82, doi:10.1186/s40623-016-0449-6, 査読有.
 11. Oikawa, T., Yoshimoto, M., Nakada, S., **Maeno, F.**, Komori, J., Shimano, T., Takeshita, Y. and Ishizuka, Y. (2016) Reconstruction of the 2014 eruption sequence of Ontake Volcano from recorded images and interviews. *Earth Planet. Space*, 68, 79, doi:10.1186/s40623-016-0458-5, 査読有.
 12. Kaneko, T., **Maeno, F.** and Nakada, S. (2016) 2014 Mount Ontake eruption: Characteristics of the phreatic eruption as inferred from aerial observations. *Earth Planet. Space*, 68, 72, doi:10.1186/s40623-016-0452-y, 査読有.
 13. **Maeno, F.**, Nakada, S. and Kaneko, T. (2016) Morphological evolution of a new volcanic islet sustained by compound lava flows. *Geology*, 44, 259-262, doi:10.1130/G37461.1, 査読有.
 14. Nakada, S., Zaennudin, A., **Maeno, F.**, Yoshimoto, M. and Hokanishi, N. (2016) Credibility of volcanic ash thicknesses reported by the media and local residents following the 2014 eruption of Kelud volcano, Indonesia. *J. Disaster Res.*, 11, 53-59, doi:10.20965/jdr.2016.p0053, 査読有.
 15. Miyabuchi, Y., **Maeno, F.** and Nakada, S. (2015) The October 16, 2013 rainfall-induced landslides and associated lahars at Izu Oshima Volcano, Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 302, 242-256, doi:10.1016/j.jvolgeores.2015.07.012, 査読有.
 16. Cassidy, M., Watt, S.F.L., Talling, P.J., Palmer, M.R., Edmonds, M., Jutzeler, M., Wall-Palmer, D., Coussens, M., Gernon, T., Manga, M., Taylor, R., Michalik, A., Inglis, E., Breikreuz, C., Boudon, G., McCanta, M., Adachi, T., Hornbach, M., Lafuerza, S., Endo, D., Fujinawa, A., Kataoka, K.S., **Maeno, F.**, Tamura, Y., Wang, F., Le Friant, A. and Ishizuka, O. (2015) Rapid onset of mafic magmatism facilitated by volcanic edifice collapse. *Geophys. Res. Lett.*, 42, 4778-4785, doi:10.1002/2015GL064519, 査読有.
 17. 中島林彦・**前野 深** (2015) 特集「破局噴火」その時, 何が起きるか. *日経サイエンス*, 2015年4月号, 32-41, 査読無.
- [学会発表](計 25 件)
1. Tsunematsu, K., **Maeno, F.**, Nishimura, K. (2018) Application of the pyroclastic flow friction model to the snow avalanches. *International workshop on snow physics, blowing snow and avalanche*, Niseko, Hokkaido.
 2. **前野 深**・中田節也・吉本充宏・嶋野岳人・外西奈津美・Zaennudin, A.・井口正人 (2018) インドネシア・ケルト火山におけるプリニー式噴火の推移・物理量の変遷と噴火事象系統樹. *日本火山学会秋季大会*.

3. 池永有弥・**前野 深**・安田 敦 (2018) 伊豆大島安永噴火における層序の細分化と噴火推移の再検討. *日本火山学会秋季大会*.
4. 石塚 治・**前野 深**・片岡香子 (2018) 火山体崩壊のマグマ供給系への影響 - 浅間山での検討 (予報) -. *日本火山学会秋季大会*.
5. **Maeno, F.** (2018) A time-scale leading to the climactic pyroclastic flow phase in the 7.3 ka caldera-forming eruption at Kikai caldera, Japan. *Cities on Volcanoes 10*, Naples, Italy.
6. Ikenaga, Y., **Maeno, F.**, Yasuda, A. (2018) Reconstruction of stratigraphy and time-series variation in composition of ejecta of the An'ei eruption, Izu-Oshima. *Cities on Volcanoes 10*, Naples, Italy.
7. **Maeno, F.**, Nakada, S., Yoshimoto, M., Shimano, Zaennudin, A., Oktory, P. (2018) Eruption history and event tree of Semeru volcano, Indonesia. *Cities on Volcanoes 10*, Naples, Italy.
8. **前野 深** (2018) 鬼界カルデラにおける 7.3 ka 超巨大噴火のクライマックスに至るまでの時間スケール. *日本地球惑星科学連合大会*.
9. 中川光弘・**前野 深**・松本亜希子・小林恭平 (2018) 薩摩硫黄島での火山体掘削：鬼界アカホヤ噴火 (K-Ah) の噴火準備過程解明を目指して. *日本地球惑星科学連合大会*.
10. **前野 深**・吉本充宏・中道治久 (2017) 噴火堆積物にもとづく噴出量・噴出率推定手法の進展. *日本火山学会秋季大会*.
11. **Maeno, F.**, Nakano, S., Yoshimoto, M., Ohminato, T., Watanabe, A., Yasuda, A., Kaneko, T., Nakada, S., Takeo, M. (2017) Emplacement of lava flows in the sea and creation of a new volcanic island at Nishinoshima, Ogasawara, Japan, revealed from first landing and survey. *IAVCEI 2017 Scientific Assembly*, Portland (USA).
12. **Maeno, F.**, Nakada, S., Yoshimoto, M., Shimano, T., Hokanishi, N., Zaennudin, A., Iguchi, M. (2016) A sequence of the 2014 Plinian event and a long-term magma discharge rate at Kelud volcano, Indonesia. *Cities on Volcanoes 9*, Puerto Varas, Chile.
13. **Maeno, F.** (2016) Pyroclastic density current emplacement –phenomena and deposits–. *Workshop on Volcanic Hazard Assessments*, Garut, Indonesia.
14. **Maeno, F.** (2016) Eruption columns, tephra fall and dispersal –key physical processes–. *Workshop on Volcanic Hazard Assessments*, Garut, Indonesia.
15. **Maeno, F.** (2016) On the time interval between initial plinian and climactic pyroclastic flow phases during a caldera-forming eruption at Kikai caldera, Japan. *The 6th International Workshop on Collapse Caldera*, Kitayuzawa, Hokkaido.
16. **前野 深**・中田節也・及川輝樹・吉本充宏・小森次郎・石塚吉浩・竹下欣弘・嶋野岳人・金子隆之・長井雅史 (2016) 火砕物密度流・降下火砕堆積物の解析にもとづく御嶽山 2014 年噴火の再構築と物理量推定. *日本地球惑星科学連合大会*.
17. **前野 深**・中田節也・金子隆之 (2015) 西之島溶岩流の形態的進化とその支配パラメータ. *日本火山学会秋季大会*.
18. **前野 深** (2015) 濃密な粉体流の流動・堆積過程のモデル化と火砕流への応用. *日本地球惑星科学連合大会*.

〔図書〕(計 1 件)

1. Nakada, S., Yamamoto, T. and **Maeno, F.** (2016) Miocene-Holocene volcanism. In: *The Geology of Japan* (Moreno, T., Wallis, S., Kojima, T. and Gibbons, W. eds). *Geol. Soc. Lon.*, p. 273-308.

〔その他〕

1. ホームページ等: <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/people/fmaeno/>
2. NHK サイエンス ZERO 「”超巨大噴火” 薩摩硫黄島に刻まれた噴火の全貌」, 解説, 2016 年 5 月 15 日

6 . 研究組織

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。