

令和元年6月17日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K01245

研究課題名(和文)火山爆発現象の火山地質学的高解像度復元とその減災への活用

研究課題名(英文) Volcano-geological approach towards high-resolution reconstructions of explosive eruption phenomena and their utilization to the volcanic hazard mitigations

研究代表者

藤縄 明彦 (FUJINAWA, Akihiko)

茨城大学・理工学研究科(理学野)・教授

研究者番号：10143140

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：水蒸気噴火について高解像度解明から、蔵王では最近約800年間で7回の水蒸気爆発を伴う噴火を認識、識別した。いずれも熱水変質堆積物中に、様々な割合でマグマ性物質が含まれることが分かった。水蒸気噴火、マグマ噴火への移化は那須岳や5000年前の吾妻火山でも複数確認でき、移化過程に関する高解像度復元データが蓄積できた。水蒸気噴火に伴う火山泥流には、共通の粒度特性が認められることを指摘できた。大規模カルデラ噴火でも詳細な噴火推移とマグマ系の変遷を解明した。一連とされていた噴火を3噴火様相に細分し、個々に移動様式を解明でき、噴火直前における2種の珪長質マグマの共存、混合過程が解明された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高解像度の噴火復元を蓄積した事で、詳細な噴火様式や爆発規模の時間変遷が解明できた。これは噴火現象の具体的な描像を動画的に再現でき、分解能をあげた噴火現象の議論を可能にする。具体的には、溜まりから火口に至る移動発泡現象を実験、理論物理的に解明する研究にも直接対応する記載データが提供できる。水蒸気噴火のメカニズム考察にも、本研究の成果は物理現象とリンクした地質学的証拠を提示しつつある。社会的意義は噴火予知に対する具体的な描像の提供にある。目撃情報と堆積物対比に基づく水蒸気爆発の復元は高解像度、高信頼度の噴火変遷を、カルデラ噴火では現代人がほぼ未体験の破局噴火の具体的な描像を、それぞれ具現化できた。

研究成果の概要(英文)：High-resolution reconstruction approach revealed 7 distinct phreatic explosion events that occurred during recent 800 years at Zao volcano. Each bed of the phreatic explosion origin contains considerable amounts of juvenile materials with varying juvenile/non-juvenile ratios, showing commonly temporal transition from phreatic to magmatic eruption phases. Such transitions are recognized at Nasu 1408 eruptions and also at Azuma-Kofuji volcano about 5000 years ago. Thus, we collected intensively the high-resolution data on the phreatic explosions that invited magmatic eruptions. Lahar deposits show rather distinctive grain-size distributions than the other concurring deposits of the common phreatic origin. Similar approaches have been made for several caldera-forming explosions. The deposits once regarded as the product of single eruption event are newly subdivided into several facies resulted from distinct eruption modes with different transportation and/or deposition mechanisms.

研究分野：火山地質学, 岩石学

キーワード：火山噴火 水蒸気爆発 カルデラ噴火 マグマ 火砕流 火砕サージ 火砕物

## 1. 研究開始当初の背景

2014年9月に発生した御岳火山の水蒸気爆発では戦後最悪という噴火災害をもたらす結果となった。ここで我々は、従来の火山噴火の理解や減災対策では、火山防災に関する社会的要請に応えることはできないことを痛感せざるを得なかった。

爆発的噴火現象を理解し、減災対策に有効な情報を提供するために地質学が果たする役割とは、従来以上に時間、空間解像度を高めて、個々の火山噴火事象を克明に復元することにある、という結論に至った。これができれば、個別の噴火現象を、時間空間的に高解像度かつ定量的に理解し、その推移を現実的描像と共に、動的に捉えることが可能となるはずである。また、こうした地質学的一次データの蓄積は、個別の噴火現象を物理過程として捉え、理解しようとする地球物理学的研究にも、現実的直接的な物理パラメータを提供することとなり、定量モデル化を伴う、噴火現象の理解の深化にも役立つことが期待できる。

更に、申請時、すでに藤縄、伴、大場は、水蒸気爆発現象を、古文書の解読と併用しつつ高解像度で復元する研究を進め、一部成果公表も行っていった。大場は、水蒸気爆発発生直前における火山下の熱水系に関する情報収集を地質、岩石学的に行うノウハウを独自に蓄積し、爆発メカニズムの解明を進めつつあった。長谷川は、主要な研究テーマとして、カルデラ形成を伴う大規模マグマ噴火の、従来にない高解像度解明を丁度進めているところであった。

## 2. 研究の目的

御岳火山2014年噴火が典型例となるような（小規模）高頻度発生の水蒸気爆発と、文明を持った我々がほぼ未体験の低頻度大規模な、カルデラ形成を伴うような爆発的マグマ噴火とを両極とし、二面作戦で研究を行うこととした。

高頻度発生の水蒸気爆発について、歴史時代の事例では古文書記述、記録とも照合し、できる限り正確な噴火様相と堆積物との対比を試みた。更に、最新の層相解析法により、1噴火イベント単位ではなく、個々の噴火内での個別のフェーズ（噴火の様相）まで分解能をあげた噴火推移を復元する事を調査上の目的とした。更に、本研究で蓄積する地質、岩石学的データから、水蒸気爆発の特性を抽出し、水蒸気爆発に関する、より一般的発生並びに流動堆積機構の検討を行うこととした。

低頻度大規模マグマ噴火に関しても、特定噴火に対する集約的重点的な調査を行う事で、個別の噴火フェーズまで解像度を上げた噴火推移の復元を目指した。また、この調査で収集した地質学的、岩石学的データを元に、大規模爆発的マグマ噴火の発生メカニズムや、噴出、移動、堆積過程に関する、類型や一般性について検討を加えることを目的に据えた。

## 3. 研究の方法

本研究は基本的に火山噴出物に対し、層相解析の手法を適用するものである。調査では、両極の噴火ともに単相（一つ一つの相）単位まで細分して基本的記載をし、代表的試料の採取、分析を行った。とりわけ蔵王火山については、最新800年間の噴火履歴を、前述の層相解析手法と、古文書解読とを併用して解明した。

層相そのものからは、移動、堆積様式を検討した。また、堆積物の岩石学的な記載、検討からは、水蒸気爆発においては、噴火直前における火山下の熱水系の物理化学的条件の推定の手がかりを得、また、マグマ由来物質の有無や量比の変化等について検討した。さらには水蒸気噴火物の移動、堆積様式と、堆積物の粒度特性との対比を行った。これに関連し、火口噴出型泥流の、粒度特性による同定識別の可能性も検討した。更に、層相の組合せを把握することから、噴火の推移や噴火イベント毎の噴火特性について、考察、検討を加えた。

#### 4. 研究成果

本研究は最新、精密な地質調査、文献調査と、噴出物の岩石学的データを、可能な限り新しい噴出物を対象に蓄積、対比することにより、爆発的火山噴火の対極にある、水蒸気爆発を含む小規模高頻度爆発的噴火と、近代火山学がほとんど実体験していない大規模爆発的マグマ噴火とについて、噴火の推移を、今までにない高精度で解明、復元することを試みたものである。

##### (1) 水蒸気爆発を含む高頻度爆発的噴火

水蒸気爆発を含む噴火については、十勝岳、栗駒山、蔵王、吾妻山、那須岳、鳥海山を中心に行い、さらに、インドネシアのタンクパンパラフ火山、ケルト火山、さらにラジャバサ火山、ラバウル火山についても同様の手法で調査研究を行った。

高解像度推移復元の成果を、蔵王火山を例に詳説する。蔵王山の最近約 800 年間を対象として御釜由来のテフラ層の数、噴出時期について精度を上げて検討を行った結果、テフラ層は 7 枚 (Za-0k1~7) 認められ、各々の年代は、順に 13 世紀、14 世紀、14~15 世紀、15~16 世紀、17 世紀、18 世紀末~19 世紀、1894~1897 年噴火に相当すると推定された。噴火推移に関しては、このうち 5 例については水蒸気噴火 複数のマグマ噴火という変遷が、また最新噴火においても水蒸気噴火主体で典型的なマグマ噴火は認められないが、上部には本質物質も含まれることを明らかにした。

特に、18 世紀末~19 世紀のものとして推定される Za-0k6 に関し、該当時期の古記録を再検討し、合計で 38 件の噴火記録の記述を更に精査したところ、1794 年、1809 年、1820 年、1831 年、1867 年前後に活動が活発となったらしいことが判明した。これと露頭観察結果とを照合することで、以下のような噴火推移が復元できた。1794 年に噴火エピソードの最初の水蒸気噴火が起こった。その後の 4 回の活発な噴火活動のうち、1, 4 番目はマグマ噴火が主で、2, 3 番目にはマグマ噴火に加え水蒸気噴火も発生したと思われる。

さらに、Za-0k5~6 の中の初期に発生した水蒸気噴火による噴出物の構成物解析を進めた結果、いずれの場合も、熱水変質を受けた物質が主体であるが、マグマ性の物質もある程度の割合含まれていること、また、マグマ性物質の割合は噴火毎に異なっていることが明らかとなった。その上、マグマ性物質の割合は噴火毎に異なっていることが明らかとなった。類似の事象は那須岳 1408 年噴火の詳細な噴火変遷と粒子分析や 5000 年前の吾妻小富士火山形成の推移復元においても確認できた。高解像度の噴火推移の復元を多くの火山、多数の事例で行った結果、水蒸気噴火からマグマ噴火へと推移した例は決して少なくないことが、具体的な事実をもとに分かってきた。これは、我が国の火山防災を考える上で、大きな束縛条件となる。一方、従来、水蒸気爆発と

マグマ噴火とは、マグマ由来物質の有無により明確に区別できるとされてきた国内外の火山学研究において、この両者が相当程度漸移する現象である事実を、具体的証拠を基に明示したことは、噴火現象の理解において前提、あるいは境界条件を大きく変えることに繋がる新知見でもある。

水蒸気噴火では、しばしば噴火に伴った（火口噴出型の）火山泥流の発生が報告され、水蒸気爆発の災害要因の一つとなっており、実際に蔵王山でも古記録に記録されている。本研究では、古記録に残されたものとは異なるものの、約2~3千年前の水蒸気噴火に伴う火山性泥流堆積物を初めて確認することができた。栗駒火山では1944年、1744年の噴火で、それぞれ規模の違う火口噴出型火山泥流の発生が認められている。本研究では当該堆積物の粒度分特性を明らかにした。泥流堆積物には共通してバイモーダルな粒度特性が認められるが、さらに細かく見ると同一噴出物の相似性と噴出物毎の独自性が認められ、粒度特性によって噴出物の同定識別ができる可能性が指摘できた。つまり、水蒸気爆発由来と思われる堆積物について、その粒度特性から、移動堆積様式や、噴火特性に関する情報を得ることができるとの可能性があることが、今回の知見から指摘できた。これは、水蒸気噴火由来堆積物に関する流動、堆積特性の解明において、粒度分析が有効、有力なデータとなり得ることをあらためて明確に示している。

大場は、十勝岳、吾妻山、鳥海山、タンクバンパラフ火山、ケルト火山、ラジャバサ火山、ラバウル火山の火山噴出物について詳細な地質調査・岩石学的調査を実施し、主に有史時代について高精度な噴火史解析を行った。その結果を基にその噴火事象の復元及び噴火機構の解明を行い、水蒸気噴火・マグマ水蒸気噴火発生における火山熱水系の役割を個別に詳細に解析し、水蒸気爆発発生メカニズムの解明に迫っている。

また、噴出源近傍の調査やボーリング調査によって、これまで見落とされていた小規模水蒸気噴火堆積物も新たに発見でき、放射年代測定や火山灰編年学を用いて新たな噴火履歴を構築されつつある。こうした更なる時間、空間分解能の向上は、噴火の継続時間や発生頻度に関する従来の情報を改訂するものであり、今後の防災対策においても重要な基礎情報となる事が期待される。

## （2）低頻度大規模噴火

北海道東部の火山（屈斜路カルデラとその後カルデラ火山であるアトサヌプリや摩周）と東北日本の鳴子・鬼首カルデラを対象に、大規模噴火堆積物の層序を確立し、各層準から得た岩石試料の粒度分析、構成物分析および化学組成分析を行い、詳細な噴火推移やマグマ系の変遷を検討した。そのほか、北海道南西部の洞爺カルデラとその後カルデラである有珠火山、さらにニュージーランドのタウポ火山なども調査した。

摩周火山については、大規模噴火の推移が、噴煙柱形成・崩壊、マグマ水蒸気噴火、そしてカルデラ形成の3フェーズに明瞭に区分されることが分かった。屈斜路火山については、大規模噴火時に流紋岩質とデイサイト質の2つの異なる珪長質マグマが共存していることを明らかにした（公表済み）。さらに、鳴子火山由来の2回の大規模火砕流堆積物のデータを元に、爆発的噴火の噴出様式の相違と、噴火直前におけるマグ

マ供給系の物理化学的条件の差異の関連性について、地質学的、岩石学的に検討した。この成果を現在取りまとめている。

このように、大規模噴火についても、従来研究で一連と考えられていた噴火も、堆積構造や粒度変化などに現れるような、ある程度（長くて数年）の時間間隙を複数回挟んで発生している場合が多いことが、各カルデラ噴火、大規模噴火毎に、具体的データとともに明らかにされた。またこれらの大規模爆発的マグマ噴火は、単一ではなく複数の異源、もしくは異組成マグマが噴火直前のマグマ供給系に共存あるいは会合し、十分混合する前に噴火に至る場合が少なくないことも分かってきた。

## 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 15 編）

Nishi, Y., Ban, M., Takebe, M., Alvarez-Valero, M. A, Oikawa, T. and Yamasaki, S., Structure of the shallow magma chamber of the active volcano Mt. Zao, NE Japan: Implications for its eruptive time scales., *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **371**, 137-161, (2019). (査読あり) DOI:

org/10.1016/j.jvolgeores.2019.01.003

井村 匠・大場 司・中川光弘, 噴出物中の熱水変質鉱物の特徴: 十勝岳火山噴出物の例, *地質学雑誌*, **125**, 203-218, (2019). (査読あり) DOI:

10.5575/geosoc.2018.0064

Matsumoto, A., Hasegawa, T., Nakagawa, M., Petrology of the 120 ka Caldera-Forming Eruption of Kutcharo Volcano, Eastern Hokkaido, Japan: Coexistence of Multiple Silicic Magmas and their Relationship with Mafic Magmas., *Journal of Petrology*, **59**, 771-793, (2018). (査読あり) DOI:

org/10.1093/petrology/egy043

及川輝樹, 大場 司, 藤縄明彦, 佐々木 寿, 水蒸気噴火の地質学的研究, *地質学雑誌*, **124**, 231-250, (2018). (査読あり) DOI: 10.5575/gepsoc.2017.0071

〔学会発表〕（計 51 編）

Sato, M. and Ban, M., Pre-eruptive processes of Goshikidake pyroclastic rocks unit 4-5 deposits, Zao volcano, Japan: Zoning profiles of orthopyroxene phenocrysts., JpGU-AGU Joint Meeting 2018 (国際学会), 2018.

Ohba, T., Ito, K., Imura, T. and Minami, Y., Eruptive products from hydrothermal systems beneath active volcanoes., EGU General Assembly (国際学会), 2018.

井村 匠・大場 司・堀越 賢太, 火砕堆積物中に含まれる非本質火山灰の岩石学的特徴: 吾妻-浄土平火山噴出物の例, 日本鉱物科学会 2018 年年会, 2018.

Wati, A. A., Ohba, T., Understanding the 2014 Initial Eruption of Mount Kelud, Indonesia through the Product Sequences Revealed in the Western Flank, 日本火山学会 2018 年秋季大会, 2018.

〔図書〕（計 1 編）

伴 雅雄 (副編集委員長), 藤縄明彦, 大場司 他 9 名, 朝倉書店, 日本地方地質誌 2 「東北地方」9. 第四紀の活動的な火山, 2017, 399-426.

## 6 . 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名 : 伴 雅雄

ローマ字氏名 : (BAN, Masao)

所属機関名 : 山形大学

部局名 : 理学部

職名 : 教授

研究者番号 : 50208724

研究分担者氏名 : 大場 司

ローマ字氏名 : (OHBA, Tsukasa)

所属機関名 : 秋田大学

部局名 : 国際資源学部

職名 : 教授

研究者番号 : 10272014

研究分担者氏名 : 長谷川 健

ローマ字氏名 : (HASEGAWA, Takeshi)

所属機関名 : 茨城大学

部局名 : 大学院理工学研究科 (理学野)

職名 : 准教授

研究者番号 : 00574196