

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01315

研究課題名(和文) 多量の高密度玄武岩質火砕物を噴出した特異なプリニー式噴火の発生条件解明と災害予測

研究課題名(英文) Elucidation of occurrence conditions and disaster prediction of peculiar Plinian eruption that ejected a large amount of high-density basaltic pyroclastic material

研究代表者

石崎 泰男 (Ishizaki, Yasuo)

富山大学・学術研究部都市デザイン学系・教授

研究者番号：20272891

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)：男体火山で約3万年前に発生したプリニー式噴火は、噴火終盤に多量の高密度玄武岩質火砕物が噴出した特異な噴火であった。この噴火の噴出物(男体小川テフラNt-0g)について物質科学的解析を行い、噴火前のマグマ溜りが、デイサイトマグマ、安山岩マグマ、玄武岩マグマが上下に配置した層状マグマ溜りであったこと、各マグマが単一の親マグマから斑晶鉱物の除去と付加、地殻物質の同化により形成されたことが明らかになった。Nt-0gのように高密度火砕物を多量に噴出したプリニー式噴火の例は他になく、同様の噴火が発生した場合、火口の風下側10 km内では甚大な人的被害が発生する可能性が高い。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題では、高密度火砕物噴出型玄武岩質プリニー式噴火というこれまで報告例のない特異な噴火様式の実態を、主に噴出物の地質学的・岩石学的解析から明らかにした。この噴火様式では、火口の10 km以上遠方でも粗大な高密度火砕物が噴煙から降下することから、国内外の玄武岩質活火山でのプリニー式噴火堆積物の見直しやハザードマップの再検討などの波及効果が予想される。また、本課題で着目した、火砕物密度という新たなパラメータを用いることにより、従来の噴火様式分類を見直すきっかけになる可能性もある。

研究成果の概要(英文)：The Plinian eruption that occurred about 30,000 years ago at Nantai Volcano was a peculiar eruption in which a large amount of high-density basaltic pyroclastic material erupted at the end of the eruption. Material elucidation of the ejecta of this eruption (Nt-0g tephra) revealed that (1) the magma reservoir before the eruption was a layered, and dacite magma, andesite magma, and basalt magma coexisted, and (2) each magma was formed by removal and addition of phenocryst minerals from a single parent magma with assimilation of granitic crustal material. There is no other example of a plinian eruption that ejected a large amount of high-density pyroclastic material such as Nt-0g. If a similar eruption occurs, serious human damage is highly likely to occur within 10 km downwind of the crater.

研究分野：火山学

キーワード：プリニー式噴火 玄武岩質火砕物 マグマ溜り 火砕物密度 災害予測

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究代表者はこれまで、国内外の活火山の噴火履歴解明と並行し、プリニー式噴火を発生させたマグマ供給系についての岩石学的研究に取り組んできた。これらの研究では、高含水量・高粘性のデイサイト質マグマによるプリニー式噴火を主な研究対象としてきたが、研究の過程で、高密度の火砕物を噴出する特異な玄武岩質プリニー式噴火(高密度火砕物噴出型玄武岩質プリニー式噴火)が男体火山で過去に発生したことを明らかにし、その堆積物である男体小川テフラ(Nt-0g)について予察的な研究を進めてきた。

珪長質マグマによるプリニー式噴火では、揮発成分(主にH₂O)の離溶によるマグマの発泡に始まり、気泡量の増加によるマグマ破碎を経て密度が1 g/cm³前後の低密度・多孔質の火砕物(軽石及び軽石が細片化した火山灰)が形成され、それらが噴煙となって遠方まで運搬され堆積する(Sparks, 1977; Houghton and Wilson, 1989)。このような珪長質マグマによるプリニー式噴火及びその堆積物とは対照的にNt-0gは、低粘性・低含水量の玄武岩質マグマ由来の高密度、すなわち気泡が少ない火砕物を主要構成物とする。つまり、Nt-0gを形成した噴火では、火砕物堆積に至るまでの諸マグマプロセスが珪長質マグマによる“通常のプリニー式噴火”とは大きく異なっていたと考えるのが自然である。

2. 研究の目的

上記の背景及び研究開始当初までの予察調査結果をもとに、本研究は、高密度火砕物噴出型玄武岩質プリニー式噴火の堆積物(Nt-0g)を研究対象として、以下の目的を設定した。

- (1) Nt-0gの噴火推移の特徴を、構成火砕物の密度特性、全岩組成及び粒度組成から明確にする。
- (2) Nt-0g噴火で噴出したマグマの成因と噴火直前のマグマ溜りの岩石学的構造を明らかにする。
- (3) 高密度火砕物降下による災害予測を行う。

3. 研究の方法

本研究における主要な研究手法は、(1)地質調査・試料採取、(2)本質火砕物粒子の粒度組成及び火砕物密度測定、(3)本質火砕物粒子の全岩及び鉱物化学分析である。各研究手法の概要は以下のとおりである。

(1) 本課題で使用した岩石試料の大部分は、これまでの予察調査で見出した模式的露頭(日光市所野露頭)で採取した。Nt-0gの分布調査も、男体火山の東方域(栃木県日光市~大田原市)で行った。

(2) Nt-0gの噴火過程解明のための基礎データとして、噴火堆積物の粒度組成と本質火砕物の高密度を測定した。粒度組成の試料は、模式露頭のNt-0gを岩相をもとに8部位(下位からポジション1~7)に区分し、各ユニットからバルクで採取した。粒度組成の分析手法は、増淵・石崎(2011)に従った。本課題では、本質火砕物の密度特性解析のため、粒径16~8 mmの火砕物の密度を測定した。従来、火砕物の密度測定は粒径32~16 mmの火砕物試料が用いられていた(Houghton and Wilson, 1989)が、本課題ではより細粒な火砕物の密度測定法を開発した。

(3) Nt-0gの本質火砕物の主・微量成分組成を富山大学機器分析センター設置のXRF(PW2404R)で分析した。一部の試料については希土類元素含有量をICP-MS(ActLabs社に分析委託)で、Sr同位体比(⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)の分析を北海道大学マグマ変遷解析センターのICP-MS(NEPTUNE plus)を使用して行った。また、噴火前の複数マグマ溜り内のマグマの物理条件解明のために、斑晶鉱物組成の分析を富山大学機器分析センター設置のEPMA(日本電子製JXA-8230)を用いて行った。

4. 研究成果

(1) Nt-0g噴火で噴出した多様な岩質の火砕物

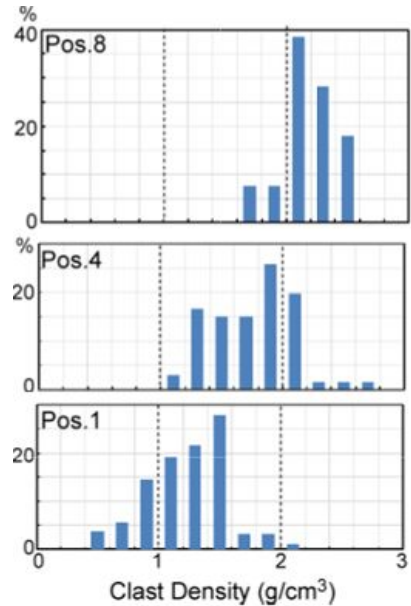
Nt-0gの本質火砕物は、斑晶に乏しいデイサイト質軽石(DP)・斑状の安山岩~玄武岩質スコリア(AS)・斑晶に極度に富む玄武岩質火山弾(BB)から構成される。斑晶組合せは、BBが斜長石(Pl) + カンラン石(Ol) + 単斜輝石(Cpx) ± 斜方輝石(Opx)、ASではこの組合せに不透明鉱物と角閃石(Amp)が加わり、DPではPl + Opx + Ampに変化する。斑晶量と斑晶径の大小関係は、BISc >> GrSc = Pmであり、モード測定による斑晶量はBIScが32~68%、ASが8~22%、DPが19%である。特に斜長石の量が極端に多く、その含有量はBBで25~55%に達する。また、カンラン石の含有量も苦鉄質なものほど多い。全岩SiO₂量(wt.%)は、BBが46.7~51.7%、ASが51.6~62.7%、DPが61.8~63.7%である。本質物は外観色とは無関係にばらつきの少ない連続的な組成変化トレンド上に点示され、多くの成分では組成変化トレンドがSiO₂量53%付近で明瞭に屈曲している。また、試料採取層準と全岩SiO₂量との間には明瞭な対応関係がみられ、初期にはデイサイト~安山岩質火砕物(DP・AS)が主に噴出し、後期には玄武岩質火砕物(BB)が主に噴出している。このように、Nt-0g噴火では、噴火の進行に伴いDP、AS、BBの順に噴出しており、噴火前のマグマ溜りが、デイサイトマグマ層、安山岩マグマ層、玄武岩マグマ層が上下に配置し

た層状マグマ溜りであったことを示唆する。各種鉱物温度計を用い、Nt-0g 噴火直前のマグマ溜り内部の温度構造を検討したところ、BB 形成マグマが 1071~1063 °C、AS 形成マグマが 1097~1022 °C、DP 形成マグマが 856~785 °C であった。したがって、Nt-0g 噴火のマグマ溜りは、頂部に低温の分化したマグマ (DP 形成マグマ) が集積し、マグマ溜りの主要部には上下に成層して高温 (1000 °C 以上) の AS 及び BB 形成マグマが存在したと推測される。

(2) 火砕物の密度特性からみた高密度火砕物噴出型玄武岩質プリニー式噴火の推移

粒径 16~8 mm の火砕物のかさ密度 (気泡部分を含めた火砕物の密度) を測定した結果、DP が 0.5~1.2 g/cm³、AS が 0.8~1.6 g/cm³、BB が 1.8~2.4 g/cm³ であることが明らかになった。火砕物の真密度 (気泡部分を除いた火砕物の岩石部の密度であり、岩石粉末の密度で代表させる) は、DP が 2.46g/cm³、AS が 2.56 g/cm³、BB が 2.72g/cm³ であり、これらのかさ密度と真密度から求めた火砕物の発泡度 (気泡の体積%) は、BB が 11~34%、AS が 36~68%、DP が 50~80% である。各火砕物は Nt-0g 噴火の間に DP、AS、BB の順に噴出していることから、噴火初期に低密度 (高発泡度) の火砕物が噴出し、徐々に火砕物密度が増加し、噴火再終盤には高密度 (低発泡度) の火砕物が噴出したと結論できる。

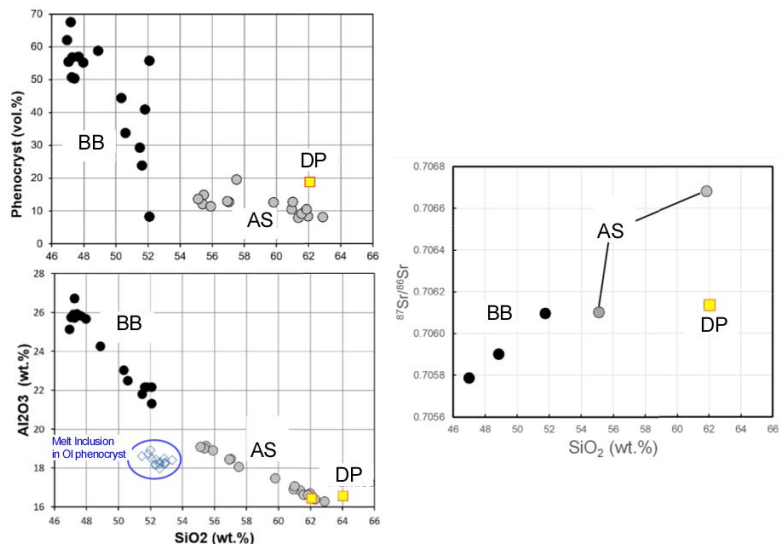
ユニット毎に採取したバルク資料を用いて、粒度及び構成物組成を分析した。粒度 (火砕物の粒形) は、ユニット 2 からユニット 3 にかけて粗粒火砕物の割合が増加しているものの、全体としては上位細粒化の傾向がみられる。構成物は、上部のユニットほど BB が多く、下部のユニットほど AS が多い。ユニット 2 から 3 にかけて花崗岩片が産し始める。ユニット 1 では、他層準に比べ粒径の小さいものが多く、DP が多く含まれている。



第1図 (上)
代表的層準に産する火砕物のかさ密度

(3) Nt-0g 噴火のマグマプロセスとマグマ系

Nt-0g 本質火砕物は、多くの酸化物含有量の変化傾向が SiO₂ 量 52% 付近で大きく屈曲するという特徴をもつ。また、BB の Ol 斑晶中のガラス包有物の組成もこの屈曲点付近に点示される。マスバランス計算からは、SiO₂ 量約 52% の親マグマにカンラン石と斜長石を濃集させることで BB マグマを形成できること、また、この親マグマから斑晶鉱物を除去することで AS マグマと DP マグマを形成できることが示唆された。このように、Nt-0g 噴火を引き起こしたマグマ溜り内の層構造を形成した主要な機構は、単一の親マグマからの結晶の濃集・除去であると推測される。また、SiO₂ 量が 52% 以上の AS と DP では Eu の負異常、BB では Eu の正異常が見られる。そのため、BB マグマと AS マグマの形成には、それぞれ、SiO₂ 量約 52% の AS マグマ (親マグマ) における斜長石斑晶の濃集と分別が重要な役割を果たしていたと結論される。このように、REE 組成からも、SiO₂ 量約 52% の親マグマの斑晶結晶分別と斑晶結晶濃集により、本質火砕物の組成の多様性がうまく説明できることが明らかになったが、一方で、本質物の ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 比は多様であり、全岩 SiO₂ 量の増加に伴って ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 比が増加する。そのため、本質物にみられる組成多様性は斑晶結晶分別と斑晶結晶濃集のみでは説明が困難である。本質物には大小の花崗岩が異質物として取り込まれていることから、花崗岩質地殻物質の同化も本質物の組成多様性の形成に重要な役割を果たした可能性が高い。



第2図 本質火砕物の斑晶量、Al₂O₃ 量、Sr 同位体比の変化図

(4) 噴火災害予測

過去の研究で報告されている Nt-0g の産出地点(栃木県日光市～大田原市)において調査を行った。多くの露頭では、AS と BB のみが産しており、DP はほとんど確認できなかった。握り拳大の BS の産出限界は、日光市所野(男体火山の火口から東方へ 11km 地点)であり、それより遠方では粗大な BB は確認できなかった。BB は最大密度が $2.4\text{g}/\text{cm}^3$ に達しており、水蒸気噴火やマグマ水蒸気噴火などで災害の原因となる噴石とほぼ同等の密度を有する。そのため、男体火山で Nt-0g 噴火と同様の噴火が発生した場合には、日光市が地まで径 10cm ほどの緻密な岩石 (BB) が大量に降り注ぐことが予想され、人的・物的被害が生じる可能性が高いと判断される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 石崎 泰男、森田 考美、鳥山 光	4. 巻 62
2. 論文標題 男体今市テフラとそれに伴うスコリア流堆積物を形成した爆発的噴火の推移とマグマ供給系	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 火山	6. 最初と最後の頁 95 ~ 116
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18940/kazan.62.3_95	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2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 鈴木暁暉、石崎泰男、吉本充宏、馬場章
2. 発表標題 粒度組成から見た富士火山大室山の噴火の推移
3. 学会等名 日本火山学会2017年度秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木暁暉、石崎泰男、吉本充宏、馬場章
2. 発表標題 火砕物の粒度・密度特性から見た富士火山大室山の噴火
3. 学会等名 日本火山学会2018年度秋季大会
4. 発表年 2018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
---------------------------	-----------------------	----