

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510220

研究課題名(和文) 3個以上のマグマ溜りによる大規模火砕噴火に関する岩石学的研究

研究課題名(英文) Petrological study on the voluminous pyroclastic eruptions from triple or more magma chambers

研究代表者

石崎 泰男 (Ishizaki, Yasuo)

富山大学・大学院理工学研究部(理学)・准教授

研究者番号：20272891

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円、(間接経費) 1,260,000円

研究成果の概要(和文)：男体火山の末期活動と沼沢火山の沼沢湖噴火の噴出物についての岩石学的解析により、これらの大規模火砕噴火が3つ以上の複数マグマ溜りに由来するマグマ間の相互作用を経て発生したことが明らかになった。末期噴火では、2つのデイサイト質マグマ溜りが比較的短時間で形成され、各々へ独立したマグマ溜りから供給された苦鉄質マグマが注入し噴火が発生している。沼沢湖噴火のデイサイト質マグマ溜りは、この噴火の約2万年前には形成されており、先行噴火期には溶岩噴火を起こした。その後、独立したマグマ溜りから供給された2種類の苦鉄質マグマが順次デイサイト質マグマ溜りに注入し火砕噴火を発生させた。

研究成果の概要(英文)：Petrological investigation on the pyroclastic products of the Late stage eruption (ca 17,000 years ago) of Nantai volcano and the Numasawako eruption (BC 3,400 years) of Numasawa volcano shows that the two voluminous pyroclastic eruptions have been generated by mixing between magmas from the independent, multiple magma chambers. Two dacitic magma chambers were formed just prior to the Late stage eruption, and they tapped explosively after the invasions of magmas from the independent mafic magma chambers. Approximately 20,000 years before the Numasawako eruption, single dacitic magma chamber was formed, and the initial tapping of the chamber generated lava dome. Then, the explosive tapping of this dacitic chamber occurred just after the sequential replenishments of two genetically-unrelated mafic magmas that were supplied from the independent magma chambers.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：火山噴火 マグマ溜り

1. 研究開始当初の背景

カルデラ形成噴火などの大規模火砕噴火をどのように迎えるかは、その被害規模が甚大なため、人間社会にとっても大きな問題である。このような噴火の長期予測には、噴火したマグマについての成因論的研究に加え、マグマの蓄積過程、蓄積されたマグマの噴火開始条件、マグマ溜りの構成と噴火様式・規模との関係、といった課題を一つ一つ解決する必要がある。このような背景のもと、研究代表者はいくつかの国内の活火山を研究対象とし、溶岩噴火と火砕噴火という対照的な様式・規模の噴火を起こしたマグマ溜りについての岩石学的研究に取り組んできた。これらの火山岩の組成多様性には一般にマグマ混合が重要な役割を果たしており、噴出物の組成が端成分マグマの組成を結んだ直線状の混合トレンドをつくる。そのため、混合トレンドを検出し解析することで、噴火前にいくつの端成分マグマが独立したマグマ溜りを作って存在したかを推定することができる。

研究代表者のこれまでの研究により、典型的な溶岩噴火である焼岳 BP2300 年噴火と新潟焼山第 3 期噴火のマグマ溜りは、デイサイト質マグマ溜り 1 個と玄武岩質マグマ溜り 1 個から構成されていたことが明らかになっている (Ishizaki, 2007)。一方、大規模火砕噴火である沼沢火山の BC3400 年カルデラ形成噴火 (沼沢湖噴火) と男体火山の約 17,000 年前の噴火 (末期噴火) のマグマ溜りは、3 つ以上の独立したマグマ溜りから構成されていたことが明らかになっている (増淵・石崎, 2011; 石崎・呉山, 2004)。複数マグマ溜りの構成は、沼沢湖噴火 (デイサイト質主マグマ溜り 1 個 + 玄武岩質副マグマ溜り 2 個) と男体火山末期噴火 (デイサイト質主マグマ溜り 2 個 + 玄武岩質副マグマ溜り 1 個以上) とで異なる (増淵・石崎, 2011; 石崎・呉山, 2004)。

このような知見から、噴火前のマグマ溜りの個数が噴火の様式・規模と密接に関連しており、大規模火砕噴火のマグマ溜りは 3 個以上の複数のマグマ溜りから構成されることが分かってきた。また、研究代表者の研究 (Ishizaki et al., 2010; 石崎, 2010) により末期噴火前後の男体火山の噴火史が、また、産総研・山元孝広氏の一連の研究 (例えば、山元, 1995) により沼沢火山の噴火史が明らかになってきている。このように、マグマ蓄積過程や複数マグマ溜りの形成時期、消滅時期を明らかにするために不可欠な情報である噴火史・噴火年代の全容がこの二つの火山では解明されつつある。

沼沢湖噴火のマグマ溜りの構成は、最近明らかになりつつある巨大カルデラを形成した火砕噴火のマグマ溜りの構成と似ている (例; 支笏カルデラ: 中川・他, 月刊地球, 2006; 屈斜路カルデラ: 松本・他, 号外地球, 2008)。また、男体火山末期噴火と同じ構成

のマグマ溜りも、テネリフェ火山の Poris 部層や始良カルデラの大規模火砕噴火で活動したことが明らかになっている (Edgar et al., 2002; 坂東・他, 地惑関連合同大会要旨, 2007)。これらの研究は噴出物の記載・分析を中心としており、マグマの蓄積過程については十分には検討していない。したがって、複数マグマ溜りの形成過程の解明を目的とした本研究は、非常に特色のある研究になると考えられる。

大規模火砕噴火を起こすためには、予め多量のマグマを地下に蓄積する必要がある。そのため、噴火の前に長い休止期間が想定されることが普通である。申請者の最近の研究により、男体火山末期噴火の前には長期の休止期間は認められず、末期噴火以前には、末期噴火での主要岩質 (デイサイト) とは対照的に玄武岩 ~ 玄武岩質安山岩マグマの活動が継続していたことが明らかになってきた (Ishizaki et al., 2010)。つまり、珪長質マグマの噴出を主体とする大規模火砕噴火にとって、長い休止期間は必須の要素でない可能性がある。また、山元 (1995) により沼沢火山の噴火史もほぼ解明されたため、沼沢湖噴火の噴出物とそれ以前の噴火期の噴出物の成因関係を明らかにすることで、沼沢湖噴火の複数マグマ溜りがいつ頃から形成され始めたのかを解明できる下地ができあがった。以上から、本課題による男体火山末期噴火および沼沢湖噴火での更なる研究展開により、大規模火砕噴火でのマグマの蓄積過程および 3 つ以上の複数マグマ溜りの形成過程の具体像解明が期待でき、現在の火山学では “Out of Range” とされている大規模火砕噴火の長期予測にも寄与できると考えた。

2. 研究の目的

上記の背景及びこれまでの研究成果をもとに、本研究は、男体火山 (末期噴火) と沼沢火山 (沼沢湖噴火) を研究対象として、以下の目的を設定した。

- (1) 男体火山末期噴火前後の噴火の年代を明らかにする。
- (2) 男体火山末期噴火と沼沢湖噴火の複数マグマ溜りの形成時期・消滅時期および形成に要した時間を明らかにする。
- (3) 男体火山末期噴火および沼沢湖噴火で噴出した各端成分マグマの成因と成因関係を解明する。
- (4) 男体火山末期噴火および沼沢湖噴火の主・副各マグマ溜りの容積・深度を明らかにする。

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) 年代測定、(3) 採取試料の全岩及び鉱物化学分析である。

(1) 地質調査と試料採取

男体火山については、末期活動前後の噴火史、特に末期活動後の噴火史を明らかにする

ために、小～中規模噴火の噴出物が保存されやすい火口周辺で調査を行った。末期活動の噴出物については、噴火に關与した各端成分マグマの噴出量及び複数マグマ溜りからのマグマ噴出過程を明確にするために、まず4か所の模式的露頭を選定して、岩相に基づいて末期噴火の火砕堆積物のサブユニット区分を行った。その後、各サブユニットからバルク試料を採取し、粒度分析後に代表的粒度における各端成分マグマ由来の火砕物の存在度と、噴火の推移に伴う存在度の経時変化を検討した。

沼沢火山については、沼沢湖噴火の先行噴火期の噴出物を採取し分析に供した。それらは、尻吹峠火砕堆積物(110 ka: 鉍物組成のみ分析)、木冷沢溶岩(70 ka)、水沼火砕堆積物(53 ka)、惣山溶岩(40 ka)、前山溶岩(24 ka)及びカルデラ形成噴火の噴出物である沼沢湖火砕堆積物(BC3400)である。

(2) 年代測定

男体火山の末期噴火後の噴火年代決定のために、各噴火による噴出物に含まれる炭化木の¹⁴C年代を測定した(年代測定は加速器研究所に委託)。末期噴火前の各噴火期の噴出物には炭化木が含まれていないため、レスクロノメトリーを用いて噴火年代を推定した。

(3) 全岩及び鉍物組成分析

男体火山の末期噴火の噴出物と、末期噴火以前の玄武岩～玄武岩安山岩および末期噴火後のデイサイト～玄武岩質安山岩の主・微量成分組成を富山大学機器分析センター設置のXRF(フィリップスPW2404R)で、また、希土類元素含有量をICP-MS(ActLabs社に分析委託)で分析した。沼沢火山については、沼沢湖噴火の先行噴火期の噴出物の主・微量成分組成・希土類元素含有量の測定に加え、Sr同位体比(⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)の分析を北海道大学地球惑星科学科・中川光弘教授の研究室のFinniganMAT262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、斑晶鉍物及び石基ガラス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) 男体火山末期活動前後の噴火履歴

男体火山においては、噴出物層序とレスクロノメトリー及び¹⁴C年代から、これまで最後の噴火と考えられていた約17,000年前の末期活動以降も、約7,000年前まで噴火を繰り返していたことが明らかになった(石崎・他、火山誌に投稿中)。それらを整理すると、約14,000年前には山頂火口北域を噴出中心として溶岩が流出、約12,000年前には山頂火口内においてストロンボリ式噴火によりスコリア丘が形成され、このスコリア丘の崩壊で発生した火砕流が北東麓に堆積した。約12,000年前から8,000年前の間に、山頂火口

内に火口湖が誕生し、湖底に噴出したマグマによって、水中火山岩が形成された。約8,000年前には、山頂火口内において水蒸気マグマ噴火が発生し、タフリングが形成された。約7,500年前には山頂火口の火口壁上部域を噴出中心として水蒸気噴火が発生し、火口近傍に爆発角礫岩を堆積させた。約7,000年前には山頂火口内で水蒸気マグマ噴火が発生した。この約7,000年前の噴火堆積物よりも新しい噴出物を山頂火口内～近傍及び山麓において確認できないことから、男体火山は最近約7,000年間活動を停止していると結論される。一方、北東山麓におけるテフラ層序とレスクロノメトリーから、末期噴火の約300～500年前にも火砕噴火が起きており、安山岩～玄武岩質の降下スコリアを堆積させたことが明らかになった。

(2) 男体火山末期噴火の複数マグマ溜りの形成時期と存続時期

末期噴火では、前半にはソレイト系列のデイサイト～安山岩質スコリアの噴出により、男体今市テフラ・志津スコリア流堆積物およびタカノススコリア流堆積物が形成された。男体今市テフラは、粒径と岩質を基にサブユニット1～11に区分され、サブユニット1～9ではデイサイト質スコリアが構成物の大部分を占め、サブユニット10と11では安山岩質スコリアの割合が増加する。このことから、末期噴火前半には、ソレイト系列のデイサイト質マグマで満たされたマグマ溜りの底部に苦鉄質マグマが注入し、それがトリガーとなり火砕噴火が開始されたと考えられる。スコリア流の発生については、現地での男体今市テフラとスコリア流堆積物の層序関係及び本質物の全岩組成解析から、志津スコリア流堆積物が男体今市テフラのサブユニット9と10の間に、また、タカノススコリア流堆積物が男体今市テフラのサブユニット10・11の堆積時もしくは男体今市テフラの噴出後に堆積したことが明らかになった。

末期活動の後半にはカルクアルカリ系列のデイサイト～安山岩質軽石の噴出により、男体七本桜テフラとそれを覆う荒沢・竜頭軽石流堆積物が形成された。男体七本桜テフラは、岩相と岩質の特徴から4つのサブユニットに区分され、上位に行くほどデイサイト質軽石が増加し、一方で灰色～黒色の安山岩質スコリアが減少する。これは、デイサイト質マグマ溜りに注入した玄武岩質マグマが、噴火時にデイサイト質マグマよりも先に噴出したことを示唆している。荒沢・竜頭軽石流堆積物は、粗粒火砕物濃集部を境に、7つのフローユニットに区分され、全てのサブユニットでデイサイト質軽石が大部分占めていることがわかった。したがって、荒沢・竜頭軽石流の噴火では、男体七本桜テフラの噴火とは対照的に、主にデイサイト質マグマが噴出したと考えられる。

2つのデイサイト質主マグマ溜りに存在し

たデイサイト質マグマの容積は、中村・他(2011)による末期噴火の各噴出物のマグマ噴出量と、本研究で求められた構成物組成(デイサイト質火砕物:安山岩質火砕物の重量比)から、ソレライト系列のデイサイト質マグマが 1 km^3 以上、カルクアルカリ系列のデイサイト質マグマが 0.2 km^3 以上と見積もられる。ソレライト系列のデイサイト質マグマの定置深度については、斜長石斑晶リム-石基ガラスの組成を用いた含水量計(Lange et al., 2009)により含水量が約 5 wt.%と求められ、その含水量が鉍物温度計(QUILF: Anderson et al., 1993)から求められたマグマ温度(950 °C)での離溶圧力が約 200 MPa であることから、200 MPa 以深と推定される。一方、カルクアルカリ系列のデイサイト質マグマの定置深度については、軽石中の角閃石斑晶組成を用いた圧力計(Ridolfi et al., 2010)により、圧力が 150~210 MPa と求められる。したがって、2つのデイサイト質マグマ溜りは、地殻浅所に並置していた可能性が高い。

では、この2つのデイサイト質マグマはいつ形成されたのだろうか?全岩組成(主・微量成分・希土類元素含有量)解析から、末期噴火を起こしたソレライト系列及びカルクアルカリ系列デイサイト質主マグマ溜り中のマグマとその直前の噴火期のマグマの間には親子関係が無いことが明らかになった。このことから、末期噴火の2つのデイサイト質主マグマ溜りは先行噴火期のマグマとは無関係に、非常に短期間の間に形成されたと推定される。また、末期噴火後の噴出物の全岩組成解析から、末期噴火を起こした2つのデイサイト質主マグマ溜りのうちソレライト系列のデイサイト質マグマは、末期噴火後には一度も噴火していないことが明らかになった。それに対し、カルクアルカリ系列デイサイト質マグマのマグマ溜りは苦鉄質マグマの注入が引き金となり約 7000 年前まで繰返し噴火したことが明らかになった。

(3) 沼沢火山の複数マグマ溜りの形成時期

沼沢火山の 11 万年間の活動における本質物の岩石記載、鉍物組成、全岩組成(主・微量成分、希土類元素含有量、Sr 同位体比)の検討から、以下のことが明らかになった。過去 11 万年間の沼沢火山の主な噴出物は流紋岩~デイサイト(SiO_2 64-72 wt.%)であり、それらと同時に噴出した苦鉄質包有岩やスコリアは安山岩(同 55-60 wt.%)に分類される。流紋岩~デイサイトの SiO_2 量は、噴火期が若くなるほど減少する。

過去 11 万年間の沼沢火山の珩長質マグマ溜りは、単一のマグマ溜りが継続的に活動したのではなく、30,000~40,000 年ごとにリセットされたことが全岩組成の解析から明らかとなった。すなわち、全岩組成の類似性から、木冷沢溶岩噴火、水沼火砕噴火と惣山溶岩噴火、前山溶岩噴火と沼沢湖噴火がそれぞれ異なる珩長質マグマ溜りからもた

らされたと考えられる。また、惣山溶岩噴火以降には珩長質マグマとともに苦鉄質マグマの噴出が苦鉄質包有岩の産出というかたちで顕在化している。惣山溶岩噴火とその後の前山溶岩噴火では、噴出物の全岩及び斑晶鉍物組成の解析から、どちらもデイサイト質マグマと安山岩質マグマの2端成分マグマ混合によって噴出物が形成されたと考えられる。苦鉄質マグマが噴出していない水沼火砕噴火以前の活動においても、逆累帯する斜長石などの存在から、苦鉄質マグマの関与があったことが示唆される。噴火期が若くなるほど逆累帯する斜長石の割合が増加すること、珩長質本質物の全岩組成がマフィックになることを考えると、沼沢火山の活動において、苦鉄質マグマの関与の割合が徐々に増加した可能性が高い。

Sr 同位体比($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)の分析により、沼沢湖噴火に関与したデイサイト質主マグマ溜りの形成時期が明確になった。デイサイトの Sr 同位体比は、惣山溶岩噴火と前山溶岩噴火の間に急増し、水沼火砕噴火と惣山溶岩噴火の間と、前山溶岩噴火と沼沢湖噴火の間はほぼ一定に保たれている。したがって、カルデラ形成噴火に関与したデイサイト質マグマ溜りは、惣山溶岩噴火と前山溶岩噴火の間の休止期間(約 16000 年間)に形成されたと考えられる。このデイサイト質マグマは、角閃石斑晶組成から鉍物圧力計(Ridolfi et al., 2010)で求めた圧力が 70~200 MPa であることから、地殻浅所にマグマ溜りを形成していた可能性が高い。

全岩組成の解析から、2種類の苦鉄質マグマが関与した噴火が、沼沢湖噴火のみであることが明らかになった。沼沢湖噴火の2種類の苦鉄質マグマは、デイサイト質マグマよりも Sr 同位体比が低い安山岩質マグマ、デイサイト質マグマよりも Sr 同位体比が高い安山岩質マグマに明瞭に区別される。このことは、沼沢湖噴火に関わった3種類のマグマ(デイサイト質マグマ1、安山岩質マグマ2)の起源物質が異なっていたことを示唆する。このように起源物質の異なる3種類のマグマがカルデラを形成するような大規模火砕噴火に関与したが単なる偶然なのか、それとも必然なのかは、今後、他のカルデラ形成噴火の噴出物について詳細な岩石学的検討を加えていくことで明らかになっていくことだろう。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計0件)

[学会発表](計8件)

1. 増淵佳子・白井智仁・石崎泰男, 沼沢火山におけるマグマ供給系の長期的進化. 日本

火山学会 2013 年度秋季大会，2013 年 09 月 30 日，猪苗代町体験交流館「学びいや」

2. 石崎泰男・森田考美，岩石学的に見た男体今市テフラ噴火のマグマ供給系．日本火山学会 2013 年度秋季大会 2013 年 09 月 29 日，猪苗代町体験交流館「学びいや」

3. 石崎泰男，テフラの構成物組成から推定される男体火山の末期活動以降の浅所マグマ供給系の環境．2012 年 10 月 14 日，日本火山学会 2012 年度秋季大会 エコールみよた．

4. 森田考美・石崎泰男，構成物組成及び本質物の全岩組成から見た男体今市テフラを形成したプリニー式噴火の推移とマグマ供給系．2012 年 10 月 14 日，日本火山学会 2012 年度秋季大会，エコールみよた．

5. 増淵佳子・石崎泰男，沼沢火山 BC3400 沼沢湖噴火で噴出した 4 種類の本質軽石：カルデラ形成噴火を起こしたデイサイト質マグマ溜り内部の不均質性．日本地質学会第 119 年学術大会，2012 年 09 月 10 日，大阪府立大学．

6. 石崎泰男・森田考美，スコリアコーンの崩落で生じた火砕流堆積物：男体火山弁天河原火砕流堆積物についての事例研究．日本地球惑星科学連合 2012 年大会，2012 年 5 月 21 日，幕張メッセ．

7. 森田考美・石崎泰男，男体火山 17 cal. ka BP 噴火で見られるマグマ溜りからの対照的なマグマ噴出過程．日本地球惑星科学連合 2012 年大会 2012 年 5 月 21 日 幕張メッセ．

8. 石崎泰男・森田考美，男体火山末期噴火のマグマ供給系の構造：複数マグマ溜りの連続噴出による大規模火砕噴火．日本火山学会 2011 年度秋季大会，2011 年 10 月 2 日，旭川市大雪クリスタルホール．

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石崎 泰男 (ISHIZAKI, Yasuo)

富山大学・大学院理工学研究部 (理学)・
准教授

研究者番号：20272891