

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25400491

研究課題名(和文)阿蘇-4巨大噴火直前に流出した高遊原溶岩の物質科学的研究

研究課題名(英文) Petrological study of Takayubaru lava which effused immediately before Aso-4 large-scale eruption

研究代表者

長谷中 利昭 (Hasenaka, Toshiaki)

熊本大学・自然科学研究科・教授

研究者番号：50202429

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)：日本で最大規模のカルデラを形成した阿蘇-4火砕流堆積物と、その直前に噴火した大峰スコリア、高遊原溶岩の岩石学的特徴を分析して比較した。全岩化学組成、斜長石組成、鉱物に含まれるメルト包有物組成の全てで、両者は異なる組成あるいは組成範囲を示した。また阿蘇-4火砕流堆積物も初期のものからクライマックスにかけて、単一マグマから複数マグマの混合を示すものへと変化した。分析結果を説明できるモデルとして、1) 深部からの熱と玄武岩質マグマの供給、2) 地殻浅部での珪長質成層マグマ溜りの成長、3) 枝分かれしてカルデラ外に形成した、より高温でドライな独立マグマ溜りからの前駆噴火を考えた。

研究成果の概要(英文)：Omine scoria and associated Takayubaru lava flow effused immediately before Aso-4 pyroclastic eruption, which formed one of the largest caldera in Japan. We compared the compositions of Aso-4 products with those of the precursor, in terms of bulk rock, plagioclase, and melt inclusions found in phenocrysts. Result of analyses showed overlapping but distinct compositional trends between the two. Compositional differences among the earliest, climax, and late stage of Aso-4 products indicate evolution of magma from a single composition to a mixed composition indicating multiple origin. A possible model to interpret the observation consists of 1) a supply of heat and basaltic magma from the deep source, 2) growth of a shallow crustal silicic stratified magma reservoir, and 3) branched small but relatively hot and dry reservoir outside the caldera which caused a precursory eruption.

研究分野：火山岩岩石学

キーワード：大峰火山 阿蘇火山 阿蘇-4噴火 高遊原溶岩 マグマ供給系 前駆噴火

1. 研究開始当初の背景

国内外の有史以前の巨大噴火について、火山灰や軽石の化学組成変化、鉱物組成変化を丁寧に調べることで、マグマ溜りのモデルが確立されてきた。それは、地殻浅所にある巨大な珪長質(=SiO₂に富む、デイサイトや流紋岩)マグマ溜りに、マントル上部あるいは地殻下部から供給された苦鉄質(=SiO₂に乏しい、玄武岩や安山岩)マグマが定期的に注入し、噴火前のマグマ溜りに成層構造が形成するというモデルである。さらに斑晶鉱物の組成変化、累帯構造のパターンから拡散作用を調べて、深部からマグマが供給されて噴火するまでの経過時間を見積られるようになった。従来のモデルでは、巨大噴火が起るまでに非常に長いマグマ蓄積期間があり、満を持して噴火すると考えられていたが、新しい知見では、深部からのマグマ供給から巨大噴火までの時間は予想よりはるかに短いことがわかってきた(例えばDruitt et al., 2012)。すなわち巨大噴火の準備期間に起っている重要な過程は、「静的なマグマ蓄積」による過剰圧の形成ではなく、「動的なマグマ移動」であり、その直前変化が捉えられる可能性が高いと考えられる。

我々は始良カルデラ火山の10~2.9万年前の噴出物の化学組成の変遷を調べて(1)苦鉄質マグマから始まり珪長質マグマで終わる2つの組成サイクルと(2)深部から供給されたマグマの存在を示唆するマグマ混合イベントを発見した。また(3)2.9万年前に巨大噴火を起こしたマグマとほぼ同じ組成のマグマが6万年前から既に活動していたことを明らかにした(関口ら, 2014)。しかし(4)巨大噴火を含む直前約0.7万年間の噴出物の化学組成に変化はなく、巨大噴火直前のマグマ供給系の変化に関して物質科学的手がかりを得ることはできなかった。小林ら(2010)は鬼界カルデラの詳細な噴火史、特に前兆現象を検討して、頻繁な苦鉄質マグマの噴出、直前の珪長質な溶岩流の流出を明らかにし、従来の成層マグマ溜りモデルの再検討が必要なることを示した。いずれのケースも巨大噴火の直前に、似通った組成の珪長質マグマが出ていることが注目値する。

4度の巨大噴火を起こした阿蘇カルデラ火山の場合も、珪長質マグマと苦鉄質マグマの活動が観察され、両者が成層したマグマ溜りの存在が提唱されている(Kaneko et al., 2007)。また阿蘇-4火砕流堆積物の前にカルデラ外に大規模な高遊原溶岩が流出しており、巨大噴火直前のマグマ供給系について重要な情報を得ることができる。

2. 研究の目的

9万年前に起った阿蘇-4カルデラ噴火の前にカルデラ外に流出した高遊原溶岩は、巨大噴火直前のマグマ供給系に関して希少かつ重要な情報を与えてくれる。本研究の目的は、高遊原溶岩および噴出源の大峰火砕丘と阿蘇-4カルデラ噴出物に対して、両者の化学組成、鉱物組成、斑晶鉱物に包有されたメルト組成を詳しく調べ、地下のマグマ溜りによって起った物理化学過程の変化を捉えることで、非常に少ない事例の巨大噴火の前兆現象を知る手がかりを求めることである。

3. 研究の方法

(1) 高遊原溶岩台地の側端崖、末端崖の溶岩試料、噴出源の大峰火砕丘のスコリア*試料、阿蘇-4火砕流堆積物試料を採集する。高遊原溶岩についてはさらに国土交通省九州地方整備局、熊本河川国道事務所に保管されている溶岩27本のボーリングコアのうち、空間的、時間的組成変化を分析するのに適した代表的コア数本を選んで、等間隔で採集する。阿蘇-4火砕流についてはWatanabe(1978)が記載した最下位の小谷(おやつ)軽石流、肥猪(こえい)火山灰流、八女(やめ)軽石流、苦鉄質成分と珪長質成分の混合が認められる弁利(べんり)火砕流の堆積物を採集する。

(*注:大峰スコリアはデイサイト組成であるが、暗灰色なので「スコリア」という名称を用いた。)

(2) 採集した火山岩試料の薄片を記載し、代表的薄片についてモード(体積)分析を行う。

(3) 高遊原溶岩の流動形態についての検討を行う。溶岩が単一フローユニットからなるか、複数のフローユニットからなるかを調べる。溶岩流の長さや流出率の関係式から、流出率、流出期間を推定する。ボーリングデータから古地形を復元し、溶岩の流動形態を明らかにする。

(4) 熊本大学理学部のビードサンブラを用いて岩石粉末試料からガラスビードを作成し、北九州自然史博物館の蛍光X線分析装置で主成分元素と一部の微量元素の測定をする。

(5) 代表的な火山岩試料について研磨薄片を作り、含まれる鉱物、石基ガラス、およびメルト包有物について、熊本大学理学部地球環境科学講座のSEM-EDS(走査型電子顕微鏡/エネルギー分散型X線分析装置)および東京大学地震研究所のSEM-WDS(波長分散型電子プローブ分析装置)FT-IR(顕微)で化学分析を行う。

(6) 全岩分析で得られた火山岩試料の分析値の組成変化の幅について、その変化幅を作ったメカニズムを検討する。高遊原溶岩間の变化、阿蘇-4 火砕流堆積物(小谷, 肥猪, 八女, 弁利)間の变化, 高遊原 阿蘇4(小谷)などについて、結晶分化作用, マグマ混合, 混成作用を検討する。外来結晶, 暗色包有物があれば, マグマ混合や混成作用の検討をする。

4. 研究成果

(1) 全岩分析で得られた火山岩試料の分析値の組成変化の幅について、その変化幅を作ったメカニズムを検討した。結晶分化作用モデルで検討した結果, 高遊原溶岩と阿蘇-4 カルデラ噴出物は異なった分化トレンドを描くので, 異なる場所において結晶分化作用を行ったことがわかった。すなわち, 巨大噴火を起こしたマグマ溜りとは別の派生したマグマ溜まりが存在したことを明らかにした。

(2) 高遊原溶岩台地のボーリングコアのうち, 代表的コア 6 本について, 深度 5m あるいは 10m ごとに斑晶モード組成, 化学組成, 斜長石の配列, 斜長石の溶融の度合い, 気泡量を調べた。これらのデータから溶岩流の各パラメータの垂直変化, 水平変化を検討し, 高遊原溶岩が単一のフローユニットであることの確証を得た。単一の溶岩流における溶岩の流出率(E)を Calvari & Pinkerton(1998)の方法で推定した。雲仙の新焼溶岩について推定すると $E=4.7\text{m}^3/\text{s}$ となり, 総体積から計算すると流出時間が 66 日となり, 古文書に記録されている約 2 ヶ月と良い一致を得た。続いて高遊原溶岩について推定すると $E=42\text{m}^3/\text{s}$ となり, 流出に要した時間は約 1 年 5 ヶ月であった。また古地形を検討すると溶岩は大峰火山から 2.5km で 150m の落差を流下し, 窪地を埋めた後に 5km 先に流れたことが判明した。

(3) 高遊原と対比するために阿蘇-4 火砕流の初期~中期噴出物(肥猪火山灰流, 小谷火砕流, 八女火砕流, 弁利スコリア流の堆積物)の鉱物組成を分析した。その結果, 斜長石の組成が, 高遊原~肥猪は単一ピーク, 小谷, 八女~弁利(軽石)が 2 ないし 3 つのピークがあり, アノ-サイト端成分が増え, 組成幅も広くなる傾向が認められた。高遊原溶岩, 阿蘇-4 初期は単一のマグマが噴出し, マグマ混合の影響も見られないが, 阿蘇-4 のクライマックス期には, 複数マグマの混合の影響が見られ, 最終期には玄武岩スコリアも噴出した。巨大火砕噴火のマグマ溜りの組成累帯の手がかりとなる貴重なデータが得られたと考える。

(4) 鉱物中のメルト包有物を調べた。対象試料は(1)阿蘇-4 火砕噴火の初期の小谷(おやつ)軽石流堆積物, 肥猪(こえい)火山灰流堆積物と(2)大峰スコリアである。大峰スコリア中の斜長石斑晶に含まれるメルト包有物の組成は比較的狭い範囲($\text{SiO}_2=67\text{-}70\text{ wt.}\%$)に集中し, 阿蘇-4 サブユニットの肥猪, 小谷の軽石に含まれるメルト包有物組成($\text{SiO}_2=71\text{-}74\text{ wt.}\%$)より, MgO , FeO^* (全鉄), TiO_2 , P_2O_5 に富み, 異なる組成トレンドを示した。大峰スコリアの SO_3 は阿蘇-4 より多いが, H_2O は 1-2 wt.% で阿蘇-4 (3-5 wt.%) より少なく, 揮発性成分が少なかった可能性が認められた。

研究成果から考えられる阿蘇-4 噴火のモデルは以下の通りである。マントルあるいは下部地殻由来の玄武岩質マグマが, 熱とマグマの両方を供給し, 阿蘇-4 本体の巨大な成層マグマ溜りを成長させた。カルデラ外では本体から枝分かれし, 布田川断層に沿って貫入したマグマ溜りが, 独立して成長した。このマグマ溜りは玄武岩質マグマからは熱だけを供給され, マグマ混合をしないまま, 本体の阿蘇-4 火砕噴火に先立って, 前駆噴火を起こした。揮発性成分が少なく, 爆発的な噴火をせず, 溶岩流の流出が主体となった。

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 3 件)

Miyoshi M., Shinmura T., Sumino H., Sano T., Miyabuchi Y., Mori Y., Furukawa K., Uno K., Hasenaka T., Nagao K., Arakawa Y. and Yamamoto J., Lateral magma intrusion from accumulated caldera-forming magma chamber: Constraints from geochronology and geochemistry of volcanic products from lateral cones around Aso caldera, SW Japan. *Chemical Geology*, 査読有, v. 352, 2013, 202-210. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2013.06.003

関口悠子, 長谷中利昭, 森康, 始良カルデラ火山に見られる 3 回のマグマ活動サイクル, *月刊地球*, 査読無, v. 36, 2014, 303-309.

田村智弥, 長谷中利昭, Paul Wallace, 安田敦, 森康, 九州の火山フロントにおけるマグマ生成プロセス-メルト包有物からのアプローチ--, *月刊地球*, 査読無, v. 37, 2015, 106-112.

[学会発表](計 15 件)

長谷中利昭, 黒川聖, 山崎秀人, 森康, 阿蘇-4 火砕噴火の直前に流出した高遊原溶岩流の岩石学的意義. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 千葉幕張メッセ. 2013.5.21.

山崎秀人, 長谷中利昭, 森康, 阿蘇 4 小

谷軽石流堆積物と直前に噴出した高遊原溶岩の岩石学的比較．日本地球惑星科学連合 2013 年大会，千葉幕張メッセ．2013.5.20.

Yamasaki H., Hasenaka T. and Mori Y., Petrological comparison between the earliest product of Aso-4 pyroclastic flow and its precursory lava extrusion, in central Kyusyu, Japan. IAVCEI (International Association of Vulcanology and Chemistry of Earth's Interior) 2013, Kagoshima. 2013.7.21.

Kurokawa K., Hasenaka T. and Mori Y., Petrological characteristics of Takayubaru lava flow extruded immediately before the catastrophic Aso-4 pyroclastic eruption in central Kyushu, Japan. IAVCEI, 2013, Kagoshima. 2013.7.21.

黒川聖, 山崎秀人, 長谷中利昭, 森康, 阿蘇-4 火砕流噴火の直前に流出した高遊原溶岩についての岩石学的研究．日本火山学会 2013 年秋季大会，福島県猪苗代町．2013.9.30

長谷中利昭, 阿蘇-4 噴火のマグマ供給系モデルの再検討．第 8 回西日本火山活動研究集会，2013，福岡大学．2013.12.14.

黒川聖, 山崎秀人, 長谷中利昭, 森康, 阿蘇-4 大規模火砕噴火直前および初期噴出物の鉱物組成．日本地球惑星科学連合 2014 年大会，パシフィコ横浜．2014.5.1.

杉山芙実子, 長谷中利昭, 阿蘇カルデラ西方に分布する花房層の鉱物組成の時間変化．日本地球惑星科学連合 2014 年大会，パシフィコ横浜．2014.4.28.

長谷中利昭, 三好雅也, 阿蘇における新第三紀以降の火成活動の変遷．地団研学術シンポジウム，2014，佐賀大学．2014.8.23

長谷中利昭, 阿蘇カルデラ火山における大規模火砕噴火の条件．日本火山学会 2014 年秋季大会，福岡大学．2014.10.4.

山崎秀人, 黒川聖, 長谷中利昭, 阿蘇-4 小谷, 肥猪火砕流堆積物および高遊原溶岩に含まれる斜長石の組成．日本火山学会 2014 年秋季大会，福岡大学．2014.11.3.

田村智弥, 長谷中利昭, Paul Wallace, 安田敦, 森康, 九州の火山フロントにおけるマグマ生成プロセス～メルト包有物からのアプローチ～．西日本火山活動研究集会，2015，福岡大学．2015.2.7.

山崎秀人, 長谷中利昭, 安田敦, 斜長石およびメルト包有物組成からみた阿蘇-4 火砕流マグマ溜りの層構造．日本地球惑星科学連合 2015 年大会，千葉幕張メッセ．2015.5.26.

椎原航介, 長谷中利昭, 森康, 阿蘇-4 火砕噴火直前に活動した高遊原溶岩の定置過程．日本地球惑星科学連合 2015 年大会，千葉幕張メッセ．2015.5.26.

椎原航介, 長谷中利昭, 磯部博志, 山崎秀人, 安田敦, 外西奈津美, 森康, 大峰スコリア中のメルト包有物の化学組成 阿蘇-4 火砕噴火直前のマグマ供給系．日本火山

学会 2015 年度秋季大会 富山大学 2015.9.28

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長谷中 利昭 (HASENAKA, Toshiaki)
熊本大学・大学院自然科学研究科・教授
研究者番号：50202429

(2) 研究分担者

なし ()

研究者番号：

(3) 連携研究者

三好 雅也 (MIYOSHI, Masaya)
福井大学・教育地域科学部・講師
研究者番号：50557353

(2) 研究協力者

関口 悠子 (SEKIGUCHI, Yuko)
気象庁・地震火山部・技術職員
研究者番号：なし

田村 智弥 (TAMURA, Tomohisa)
西日本技術開発株式会社・技術職員
研究者番号：なし

黒川 聖 (KUROKAWA, Kiyoshi)
(元) 熊本大・大学院自然科学研究科・院生
研究者番号：なし

山崎 秀人 (YAMASAKI, Hideto)
(元) 熊本大・大学院自然科学研究科・院生
研究者番号：なし

椎原 航介 (SHI IHARA, Kosuke)
熊本大・大学院自然科学研究科・院生
研究者番号：なし