

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 26 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05682

研究課題名(和文)阿蘇-5マグマ溜まり準備過程の物質科学的探求

研究課題名(英文) Petrological investigation of pre-eruptive processes of Aso-5 magma reservoir

研究代表者

長谷中 利昭 (Hasenaka, Toshiaki)

熊本大学・くまもと水循環・減災研究教育センター・特任教授

研究者番号：50202429

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：阿蘇火山は次のカルデラ噴火の準備過程が進んでいるのか、という問題設定を行い、先カルデラ期(>27万年前)、カルデラ形成期(27～9万年前)、後カルデラ期(<9万年前)のマグマ組成、特にメルト包有物を調べた。後カルデラ期では小規模で均質な珪長質マグマ溜りの形成を中央火口丘軽石2、3、4において確認した。しかし最も新しい中央火口丘軽石1は不均質で、その後は(<4千年)玄武岩マグマ活動が主体で、珪長質マグマの痕跡は少ない。3活動期のマグマ組成範囲に大きな違いはないが、主要なマグマが安山岩-->デイサイト-->玄武岩(完新世)と変化する点がマグマ供給系発達の際の変化を反映すると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

阿蘇4のような巨大カルデラ噴火が起こる可能性を科学的に見積もることは、社会インフラの建設、維持、管理において重要である。メルト包有物はマグマ供給系の各所の組成、温度、圧力などの情報をもたらす。後カルデラ期では中央火口丘軽石2、3、4で小規模で均質な珪長質マグマを検出したが、4千年前以降では、珪長質マグマの存在はほとんど検出されておらず、喫緊の巨大カルデラ噴火の可能性は低いと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Is the present Aso volcano ready to make caldera-forming eruption? In order to answer this question, analyses of magma compositions, especially those of melt inclusions were conducted for volcanic products of pre-caldera stage (before 270 ka), caldera-forming stage (270 ka ~ 90 ka), and post-caldera stage (90 ka ~ present). Development of small silicic magma reservoir was detected for post-caldera Aso central Cone Pumice (ACP) -2, -3, -4, however, inhomogeneous reservoir was assumed for the youngest ACP-1 pumice. It was followed by dominant basaltic magma activities with trace of silicic magma. Compilation of analyzed magma indicate compositional range did not change through three stages. However, dominant composition changed from andesite (pre-caldera) to dacite (caldera-forming), then to basalt (Holocene-present), which probably reflect the distinct difference in magma plumbing system.

研究分野：火山岩岩石学

キーワード：阿蘇カルデラ カルデラ噴火 マグマ供給系 噴火準備過程 メルト包有物 阿蘇中央火口丘軽石 先阿蘇火山岩類

1. 研究開始当初の背景

【メルト包有物の有用性】

カルデラ噴火が文明社会に与える影響は甚大であるが、科学的手法で観測された例はなく、噴火の準備過程について判断する基準を我々は十分持ち合わせていない。火山爆発指数(VEI)が7以上(100 km³以上の噴出物)の大規模噴火は日本では阿蘇4(9万年前)、始良(3万年前)であり、世界を見渡しても有史の大規模噴火は存在しない。地球物理学的なモニタリングデータは無く、噴出物の物質科学的データが、噴火の準備過程を判断する上で重要な役割を果たす。噴出物の鉱物に含まれるメルト包有物はマグマ溜り内で成長した結晶が、周囲のメルトを取り込んだもので、マグマ溜りの情報を得るには最適な研究対象である。メルトの組成分布からマグマ溜り内の組成の均質性、不均質性、層状構造、場合により珪長質マグマと苦鉄質マグマの混合過程などが読み取れる。メルトと親鉱物の平衡関係、鉱物間の平衡関係から温度、圧力、酸素分圧の推定が可能である。また FT-IR 分析でメルト中の含水量を求めることができ、揮発性成分が爆発的噴火に果たす役割が議論できる。

【カルデラ火山の一般的マグマ溜りモデル】

Hildreth (1981, 2004) はアメリカのロングバレーカルデラで、噴出物の化学組成、鉱物組成、層序を丁寧に調べて、珪退置な浅部エ-エ溜りと深部から供給される苦鉄質マグマの相互作用でマグマ供給系が発達するモデルを描いた。彼は液体が満たす大きな溜りが存在するのではなく、結晶粒間の隙間に液体のマグマが存在するお粥状のマグマ溜りモデルを提唱した。このモデルでは噴火する液体マグマは溜まり上部に限られた領域にしか存在しない。アメリカのカルデラにおいて角閃石圧力計で求められた圧力は、3-5 km、日本の始良カルデラにおいて安田ら(2015) がメルト包有物を使って得た圧力も 4-5 km と予想外に浅い値であった。このモデルや圧力の推定値は本研究で比較検討すべきであると考えている。

2. 研究の目的

カルデラ火山が大規模噴火の準備過程のどの段階かを見極めるモニタリング手段を持つことは減災上重要である。マグマ溜りの情報を知る最良の方法は、噴出物中の鉱物に含まれるメルト包有物の分析である。メルトの組成、含水量、親結晶との平衡関係から推定される温度や圧力値は、準備過程を判断するのに欠かせないが、そのようなデータベースを我々は持ち合わせていない。本研究では、阿蘇-4 カルデラ噴火(9万年前)以後に活動した阿蘇4 類似の珪長質(=SiO₂に富むデイサイトや流紋岩)マグマ溜りの情報をメルト包有物から得て、カルデラ噴火、前兆噴火のマグマと比較することを主な目的とする。阿蘇4 とカルデラ形成に至らなかった噴火では種々のパラメータの何が違うのか。メルト包有物データベースの構築は、カルデラ噴火の準備過程の理解を深める大きなステップになると期待する。

3. 研究の方法

大規模噴火の準備過程を評価するために、阿蘇カルデラ火山における珪長質マグマ溜り中の結晶およびそれらに含まれるメルト包有物のデータベースを構築する。対象は(1)カルデラ前駆噴火の噴出物(阿蘇4前の阿蘇 ABCD テフラ, 同じく大峰スコリア, 阿蘇1前の先阿蘇溶岩)、(2)カルデラ形成期噴出物の小谷サブユニット、(3)後カルデラ期の珪長質マグマ(阿蘇中央火口丘軽石)、(4)最新期の苦鉄質マグマに含まれる非平衡結晶中の珪長質メルトである。(a)全岩組成評価、(b)メルト包有物の組成評価、(c)鉱物組成評価と平衡関係の検証、(d)メルト包有物の含水量測定、(e)マグマ溜りの温度、圧力、含水量の推定を行った。

上記(1)~(3)の岩石試料を粉砕し、粉末に融剤(四ホウ酸リチウム)を混ぜて電気炉で融解して均質なガラスビードを作成し、北九州自然史博物館の蛍光 X 線分析装置で全岩化学分析を行った。またテフラ試料からメルト包有物を含む斜長石、単斜輝石、直方輝石、普通角閃石を選び出し、ダイヤモンドペーストで1μmまで片面研磨し、東京大学地震研究所の顕微 FT-IR 装置および SEM-WDS、および熊本大学理学部地球環境科学教室の SEM-EDS を用いて、テフラに含まれる斜長石、単斜輝石、斜方輝石中のメルト包有物の主成分組成と H₂O, S, Cl 含有量を測定した。

4. 研究成果

(1) 阿蘇4 火砕噴火の直前に噴火した大峰火砕丘(2 km³)について、大規模噴火の準備過程の情報を得るために、スコリア試料に含まれる斜長石、輝石斑晶中のメルト包有物の分析を行い、阿蘇4、小谷(おやつ)サブユニットの軽石のメルト包有物と比較した。全岩組成で、両者の間にわずかな違いがあったが、メルト包有物でも明瞭に異なる事(SiO₂=68-70 wt.% vs. 71-74 wt.%)、さらに斜長石、輝石組成幅でも異なることを確認した。単斜輝石温度圧力計、角閃石温度圧力計、両輝石温度計などで、大峰マグマの噴火前温度 920~970、圧力 1.3~1.5 kbar(深さ 5~8 km)の推定値を得た。また含水量の推定については、メルト包有物の FT-IR 分析によって大峰スコリアが 1-2 wt.%、小谷軽石が 3-5 wt.%という値を得ていたが、斜長石-メルトの含水量計による計算でも、ほぼ同じ傾向になることを確認した。揮発成分の違いが、溶岩流主体の噴火と大規模な火砕噴火の違いに結びついたと推測した。

(2) 前駆噴火として阿蘇 4 火砕噴火の約 9 千年前に噴火した Aso-A,B,C,D 一連のテフラの軽石および火山灰 (3.5 km³) を研究テーマとして追加した。試料の全岩組成, 鉱物組成, メルト包有物組成を分析し, 阿蘇 4 小谷軽石と比較した。Aso-A,B,C,D 軽石の全岩化学組成は阿蘇 4 よりもやや SiO₂ に乏しく, メルト包有物組成は SiO₂=70-72 wt.% で, K₂O などに着目すると阿蘇 4 ではなく, 阿蘇 3 にほぼ一致することがわかった。斜長石の組成も阿蘇 4 ではなく, Kaneko et al. (2015) が報告した阿蘇 3 の組成に近いことがわかった。9 千年では阿蘇 4 の準備過程には至っていないと結論される。単斜輝石温度圧力計で 860-950 , 圧力は 1.1-2.7 kbar の推定値を得た。

(3) 阿蘇 4 巨大噴火以降の珪長質マグマの活動, すなわち阿蘇中央火口丘第 1 ~ 第 6 軽石 (ACP1 ~ 6) に焦点を当てた。今年度は第 1 ~ 第 4 軽石 (ACP1 ~ 4) の全岩分析, 鉱物分析, 鉱物に含まれるメルト包有物の分析を行い, 米塚, 中岳等, 完新世の玄武岩マグマの供給系との比較を行った。分析した軽石の組成・給源は, ACP1: 黒雲母複輝石デイサイト, 不明, ACP2: 複輝石デイサイト, 草千里ヶ浜火口, ACP3: 黒雲母複輝石流紋岩, 高野尾羽根, ACP4: 複輝石デイサイト, 立野溶岩火口である。また ACP3/4 間に給源不明のかんらん石, 両輝石を含むスコリアを発見した。

これらの軽石, スコリアに含まれるメルト包有物の分析をしたところ, 組成が狭い範囲に集中するもの, 直線的トレンドを示すもの, 広くばらつくものの 3 つのパターンが認められた。ACP1 は SiO₂=60 ~ 70 wt.% の範囲で組成が大きくばらつき, K₂O 含有量が他のものより高かった。ACP2, 3, 4 は SiO₂=70 ~ 75 wt.% の中で, 狭い組成範囲に集中し, それぞれ K₂O レベルが異なった。ACP3/4 は SiO₂=50 ~ 65 wt.% で直線的なトレンドを描き, 完新世のスコリアの組成パターンに似るが, K₂O レベルが少し低い。大規模噴火を起こした阿蘇 4 マグマは, いくつかの組成のマグマの混合パターンを示し, 層状で各層が均質なマグマ溜りの存在が推定できる。現在の中央火口丘群の活動を見ると, ACP4, 3, 2 では均質なマグマ溜りの成長が認められるが, その後, 火道が北に移動し ACP1 で幅広い組成の混合マグマを「吸い出した」後に, 完新世の玄武岩マグマの活動に移行した。ある程度の規模の珪長質マグマ溜りは 4 千年前以降発達していないと思われる。

(4) 阿蘇 4 火砕噴火初期の小谷軽石中のメルト包有物組成の再検討, およびマグマ溜り深度の推定を行った。阿蘇 4 層状マグマ溜りを仮定すると, 小谷軽石流は最上部 (最初期) の肥猪火山灰流の下の主要部分を占める。これまでの分析通り, 二つの組成に集中が見られたが, SiO₂ に富む部分は斜長石の, SiO₂ に乏しい部分は角閃石, 直方輝石のメルト包有物が多い。マトリックsgラスは両者と同様の組成を持つ。少数だが, さらに SiO₂ に乏しく, カリウムに富むメルト組成が見つかった。総じて SiO₂ に富むメルトは S に乏しい傾向がある。角閃石, 直方輝石中のメルト包有物と斜長石中のメルト包有物から求めた温度・圧力は明らかに異なる推定値を示し, 斜長石が角閃石, 直方輝石より低圧・低温で晶出したことを見出した。また低圧で捕獲されたメルトほど SiO₂ に富む傾向がある。Ishibashi et al. (2018) 同様, 角閃石がより深部, おそらく 10~15 km で晶出し, より浅部のマグマおよびマグマから晶出した鉱物と混合したことが求められた。鉱物はマグマ溜りの異なる深さ, あるいは火道上昇中の異なる深さで polybaric に晶出したことを示す。これらの推定結果は, 後カルデラ期の噴出物におけるものと明瞭に異なる。

(5) 阿蘇 1 の直前に噴出した先阿蘇火山岩類を阿蘇カルデラ西部において精査した。合計 200 以上の溶岩試料について化学分析を実施した結果, 大部分は輝石安山岩あるいは角閃石安山岩だが, 少数のかんらん石玄武岩 ~ 玄武岩質安山岩 (高アルミナ玄武岩を含む), 粗面デイサイト, 粗面岩を見つけた。カルデラ形成期, 後カルデラ期と比較して, 組成変化範囲に大きな違いは見られないが, デイサイトが多く産するカルデラ期に対して先カルデラ期では安山岩が多く産することが重要な違いである。K-Ar 年代測定により 30 万年前より若い先阿蘇火山岩が発見された。

< 引用文献 >

- Hildreth, W. (1981) Gradients in silicic magma chambers: Implications for lithospheric magmatism, *J. Geophys. Res.*, v. 86, B11, p.10153-10192.
- Hildreth, W. (2004) Volcanological perspectives on Long Valley, Mammoth Mountain, and Mono Craters: several contiguous but discrete systems, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, v. 136, p. 169-198.
- Ishibashi, H., Suwa, Y., Miyoshi, M., Yasuda, A., and Hokanishi, N. (2018) Amphibole-melt disequilibrium in silicic melt of the Aso-4 caldera-forming eruption at Aso Volcano, SW Japan, *Earth, Planets, and Space*, v. 70, 137.
- 安田敦, 吉本充宏, 藤井敏嗣 (2015) 始良火砕噴火のマグマ溜まり深度, *火山*, v. 60, p. 381-397.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 杉山芙実子・長谷中利昭・安田敦・外西奈津美・森康	4. 巻 号外68
2. 論文標題 阿蘇3, 阿蘇4間テフラに含まれる鉱物中のメルト包有物 --カルデラ噴火前のマグマ供給系の推定--	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 月刊地球	6. 最初と最後の頁 74-79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 椎原航介・長谷中利昭・安田敦・外西奈津美・森康	4. 巻 号外68
2. 論文標題 阿蘇-4火砕噴火直前に噴火した大峰火山 - メルト包有物からみるマグマ供給系の変遷 -	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 月刊地球	6. 最初と最後の頁 80-85
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 川口允孝・長谷中利昭・安田敦・外西奈津美・森康	4. 巻 号外68
2. 論文標題 メルト包有物からみた阿蘇火山における玄武岩質マグマの揮発性成分含有量	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 月刊地球	6. 最初と最後の頁 86-91
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 Hasenaka, T.	4. 巻 1
2. 論文標題 Transition of magma plumbing system of Aso volcano as deduced from mineral and melt inclusion data	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2019 International Conference on Climate Change, Disaster Management, and Environmental Sustainability	6. 最初と最後の頁 273-278
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 該当する

〔学会発表〕 計23件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Hasenaka, T., Shinhara, K., Yasuda, A., Hokanishi, N. and Mori, Y.
2. 発表標題 Pre-eruptive magmatic processes leading to Aso-4 caldera-forming eruption.
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2018 International Session (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hasenaka, T.
2. 発表標題 Contrasting volcanism at Aso volcano, SW Japan, before and after the caldera formation: Petrological effort to find difference in magma supply system.
3. 学会等名 Cities on Volcanoes 10, Naples (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hasenaka, T.
2. 発表標題 Petrological constraints on the precursory event of Aso-4 caldera-forming eruption
3. 学会等名 IAVCEI meeting
4. 発表年 2017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
研究協力者	安田 敦 (Yasuda Atsushi)		