

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 23 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2012

課題番号：20540415

研究課題名（和文） カルデラ噴火機構とマグマ溜まりの発泡プロセスに関する研究

研究課題名（英文） Research on caldera-forming eruptions and vesiculation of magma chambers.

研究代表者

齋藤 元治 (SAITO GENJI)

独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・主任研究員

研究者番号：20357057

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、「メルト包有物」という特殊かつ微小な岩石試料を用いて、国内の巨大カルデラを形成した噴火のマグマの揮発性成分濃度を決定し、マグマ溜まり内の揮発性成分（主として、 $H_2O$ ,  $CO_2$ , S）の濃集と発泡がカルデラ噴火において果たした役割を検証することである。本研究によって、95,000年前に起きた鬼界カルデラの鬼界葛原噴火では噴火直前に圧力低下によってマグマ溜まりが発泡していたことが明らかになった。また、同カルデラの7,300年前の鬼界カホヤ噴火においては、圧力低下および深部マグマからのガス供給という2つのプロセスでマグマ溜まりが発泡したことが明らかになった。さらに、本研究の成果として、メルト包有物のSIMS分析技術が改良されたこと、他の4つのカルデラ噴火（始良、阿多、阿蘇3および4）についての研究準備が整ったことが挙げられる。

研究成果の概要（英文）：

Purpose of this study is investigation on behavior of volatile material ( $H_2O$ ,  $CO_2$ , S) in magma chambers of caldera-forming eruptions based on melt inclusion analysis. Melt inclusion analyses of Kikai-Tozurahara caldera-forming eruption (95 ka) and Kikai-Akahoya caldera-forming eruption (7.3 ka) of Satsuma-Iojima volcano, Japan, were carried out. The results indicate that (1) vesiculation of the magma chamber with pressure decrease occurred just before the Kikai-Tozurahara caldera-forming eruption, and (2) two processes of pressure decrease and injection of  $CO_2$  gas to the magma chamber from a deeper part caused vesiculation of the magma chamber just before the Kikai-Akahoya caldera-forming eruption. In addition, SIMS analysis of melt inclusions was improved and melt inclusions of the other four caldera-forming eruptions (Aira, Ata, Aso3 and Aso4) were prepared for their analyses in this study.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	400,000	120,000	520,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：カルデラ・マグマ・火山・メルト包有物・発泡・SIMS

## 1. 研究開始当初の背景

カルデラ噴火は、噴火頻度は低い、ひとたび起きると、大規模火砕流の流出や大量の火砕物降下によって広域に甚大な被害をもたらす。防災上、火山観測データを元にカルデラ噴火を予測する必要があるが、そのためには、なぜ、どのようにして、カルデラ噴火が起きるのか、を理解しなくてはならない。カルデラ噴火では、その噴火直前に巨大なマグマだまりが地殻内に形成されていたはずである。このマグマだまりからマグマが地表まで上昇する（噴火）には、噴火の引き金が必要で、この噴火の引き金として予想されているプロセスが、マグマ溜まり内の揮発性成分（主として、 $H_2O$ ,  $CO_2$ , S）の濃集と発泡である。このマグマ溜まり内の揮発性成分の濃集と発泡が噴火を引き起こすというモデルを検証するには、実際のマグマ溜まり内の揮発性成分の濃度を正確に把握する必要がある。しかし、現在のところ、実際のマグマ溜まり内にどのくらい揮発性成分が存在しているかという基礎的なデータ自体が乏しく、定量的な議論に到っていない。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、「メルト包有物」という特殊かつ微小な岩石試料を用いて、国内の巨大カルデラを形成した噴火のマグマの揮発性成分濃度を決定し、マグマ溜まり内の揮発性成分（主として、 $H_2O$ ,  $CO_2$ , S）の濃集と発泡がカルデラ噴火で果たした役割を検証することである。

## 3. 研究の方法

(1) 研究対象は、研究開始当初、後期第四紀に国内で起きた、テフラ量が $>100km^3$ 以上の巨大カルデラ噴火9つ（鬼界葛原、鬼界アカホヤ、始良、阿多、阿蘇3、阿蘇4、洞爺、支笏、クッチャロ）としていた。しかし、平成22年度末に、それまでの研究進捗状況を考慮し、研究対象を九州の4火山の噴火（鬼界葛原、鬼界アカホヤ、始良、阿多、阿蘇3、阿蘇4）に絞って研究を進めた。

(2) 九州の各カルデラ噴火について、現地地質調査を行い、メルト包有物および全岩分析用の岩石試料（軽石や火山灰）を採取した。各噴出物とも、降下軽石や火砕流堆積物等の

噴火様式・噴火ユニット毎に試料採取を行った。

(3) 採取した岩石試料（軽石等）について蛍光X線分析（XRF）を行い、岩石試料の全岩化学組成を決定した。

(4) 岩石試料を粉砕し、メルト包有物を含む斑晶を取りだした。斑晶を樹脂にマウントし、切断・研磨を行い、メルト包有物の研磨片を作成した。電子線マイクロアナライザー（EPMA）でメルト包有物の主成分元素およびS濃度を測定した。また、メルト包有物を捕獲している母斑晶について、走査電子顕微鏡（SEM）による反射電子像観察、EPMAによる化学分析・元素分布測定を行い、斑晶の成長過程を推定した。以上の分析結果とマグマの全岩化学組成から、マグマの分化プロセスとメルト包有物が捕獲された時点のマグマの分化の度合いを推定した。

(5) メルト包有物の $H_2O$ および $CO_2$ 濃度は二次イオン質量分析計（SIMS）を用いた。SIMS分析では、メルト包有物と同じ主成分元素組成を持ち、かつ、 $H_2O$ および $CO_2$ 濃度既知の標準ガラス試料を用いて検量線を作成する必要がある。この標準ガラス試料は市販されていないため、本研究では下記のようにして作成した。火山岩粉末試料に、試薬を適宜加え、メルト包有物と同様な主成分元素組成を持つ出発物質を調整する。これに炭酸イオンを含んだ水溶液を適当量入れ、高圧実験容器である金パイプに封入する。内熱式ガス圧装置を用いて $1000^{\circ}C$ 、 $200MPa$ で加熱し、熔融後、急冷し、ガラスを作成した。作成したガラス試料の両面研磨片を作成し、 $H_2O$ および $CO_2$ 濃度を顕微赤外分光光度計（FTIR）で決定した。

(6)  $H_2O$ および $CO_2$ 濃度を決定した標準ガラス試料を用いて、最適のSIMS測定条件を決定し、検量線を作成した。SIMSは、産総研に現有するCameca製IMS1270を用いた。さらに、SIMSでメルト包有物の $H_2O$ および $CO_2$ の濃度測定を行い、作成した検量線を用いて定量した。

(7) 各メルト包有物の分化の程度と揮発性成分濃度に基づき、各マグマ溜まり内での揮

発性成分の濃集・発泡プロセス（結晶分化、圧力低下、別起源のガスの付加等）を考察した。

#### 4. 研究成果

##### (1) メルト包有物の SIMS 分析技術の改良

本研究を遂行する過程で、研究当初に実施していたメルト包有物の前処理および EPMA 分析方法では炭素が混染し分析誤差が大きくなる可能性が判明した。そこで、本研究内で炭素が混染しない前処理および EPMA 分析方法を開発した。

また、メルト包有物の SIMS 測定条件を検討した結果、 $H_2O$  および  $CO_2$  の検出感度は機器および試料の状態に大きく依存することが判明した。この結果を受けて、未知試料と標準ガラス試料を交互に測定する分析方法を作成した。

さらに、SIMS 測定のための標準ガラス試料は、玄武岩、安山岩、デイサイトおよび流紋岩の様々な化学組成について作成した。この標準ガラス試料を用いて、SIMS によるメルト包有物の  $H_2O$  および  $CO_2$  濃度測定の測定条件および分析誤差を決定した。この結果は平成 22 年度に論文の一部として公表した。また、上記の玄武岩から流紋岩までの様々な化学組成の標準ガラス試料をひとつのマウントに埋め込み、SIMS 分析用の標準ガラス試料マウントを作成した。このマウントを用いることで、様々な化学組成のメルト包有物を迅速に分析することが可能になった。

以上の作業により、玄武岩から流紋岩までの幅広い化学組成のメルト包有物の  $H_2O$  および  $CO_2$  濃度を迅速かつ正確に分析することが可能となった。

##### (2) 薩摩硫黄島火山のカルデラ噴火マグマ溜まりの揮発性成分の濃集・発泡過程

薩摩硫黄島火山のカルデラ噴火である、鬼界葛原 (95Ka) および鬼界アカホヤ噴火 (7.3ka) の地質調査と岩石試料の採取・分析を行い、各噴火マグマ溜まり内の揮発性成分の濃集・発泡過程を考察した。

鬼界葛原噴火の噴出物である長瀬火砕流堆積物中の石英内メルト包有物 5 個について EPMA および SIMS 分析を実施した。メルト包有物は  $SiO_2$  濃度 79-80wt.% の流紋岩組成を持ち、同噴火軽石の石基ガラスの組成に一致する。その揮発性成分は  $H_2O=3-6wt.$ %,  $CO_2=0.006-0.02wt.$ %,  $S<0.01wt.$ % の濃度を持

ち  $H_2O$  濃度の変動が大きい特徴がある。この  $H_2O$  および  $CO_2$  濃度の変化トレンドは圧力低下による発泡を示唆する。

鬼界-アカホヤ噴火の堆積物は、下部から幸屋（船倉）降下軽石層、溶結した船倉火砕流堆積物、非溶結の竹島火砕流堆積物である。幸屋（船倉）降下軽石層と竹島火砕流堆積物について、地質調査および岩石試料の採取・分析を行い、軽石およびスコリアの全岩化学組成、鋳物と石基ガラスの化学組成、メルト包有物の主成分元素および揮発性成分濃度を決定した。その結果、竹島火砕流堆積物は少なくとも 3 ユニットに区分できること、噴出マグマは流紋岩 ( $SiO_2$  濃度 70-72wt.%) と安山岩 ( $SiO_2$  濃度 58-60wt.%) の 2 種類が存在すること、安山岩マグマの割合が噴火後期になるにつれ高くなることが判明した。また、メルト包有物の揮発性成分濃度は噴火ユニットごとに異なる特徴を示す。幸屋（船倉）降下軽石のメルト包有物は  $SiO_2$  濃度 75-76wt.% の流紋岩で、その揮発性成分濃度は  $H_2O=4-6wt.$ %,  $CO_2<0.007wt.$ %,  $S<0.01wt.$ % で、 $H_2O$  濃度が高い。一方、竹島火砕流堆積物の流紋岩質軽石のメルト包有物の  $H_2O$  および S 濃度は幸屋（船倉）降下軽石メルト包有物と同様だが、 $CO_2$  濃度は高い値を持つ (0.01-0.03wt.%)。さらに、安山岩質スコリアのメルト包有物は竹島火砕流流紋岩質軽石メルト包有物よりも  $H_2O$  濃度が低く (2-3wt.%)、 $CO_2$  濃度が同程度、S 濃度が高い (0.08-0.12wt.%) という特徴を持つ。以上のことから、鬼界-アカホヤ噴火直前には、深さ 4km 以下に流紋岩マグマ溜まりが存在し、その下部に安山岩マグマが注入していたと考えられる。また、流紋岩マグマ溜まりでは、圧力低下によるマグマの発泡と  $CO_2$  ガスの付加が起きている可能性が明らかになった。

本研究において、同じ火山（薩摩硫黄島火山）であっても噴火毎にマグマ溜まりの揮発性成分の濃集・発泡過程が異なっている可能性が示唆された。カルデラ噴火機構を理解するには、今後、他のカルデラ噴火についてもマグマ溜まりの揮発性成分の濃集・発泡過程を明らかにし、研究事例を蓄積する必要がある。以上の研究成果は、平成 21 年度の日本火山学会および米国地球物理学連合主催の学会で発表した。

##### (3) 研究成果の普及

鬼界アカホヤ噴火マグマ溜りに関するこれまでの研究成果を日本語および英語の Web ページとしてまとめ、所属研究機関のホームページの一部として公開した。

#### (4) 得られた成果の位置づけ

カルデラ噴火マグマ溜まりの揮発性成分濃度とその濃集・発泡過程についてメルト包有物分析から明らかにした研究としては、外国の火山で数例がある程度で、国内の研究としては初めてであり、先駆的な研究成果である。また、本研究で改良されたメルト包有物の SIMS 分析技術は、他のカルデラ噴火やカルデラ噴火以外の噴火様式のメルト包有物にも応用が可能であり、他の火山研究への波及効果も高い。

#### (5) 今後の展望

残念ながら、研究開始当初に分析を予定していたカルデラ噴火 9 つのうち、2 つのみ(鬼界葛原噴火と鬼界アカホヤ噴火)の分析しかできなかった。その理由は、当初予定していたメルト包有物の SIMS 分析方法を改良する必要が生じたこと、2011 年 3 月の東日本大震災による分析機器 (FTIR、EPMA) の破損および修復で、長期間分析ができない状態があったこと、および、研究代表者が 2011 年 1 月に発生した霧島火山新燃岳噴火への緊急対応によって、2011-2012 年の作業が大幅に制限されたこと、である。しかしながら、本研究において始良、阿多、阿蘇 3 および阿蘇 4 の噴火メルト包有物の EPMA および SIMS 分析のための試料調整はすでに終了し、これらのメルト包有物が分析可能な状態になっている。また、本研究内でメルト包有物の SIMS 分析方法も改良され、今後のカルデラ噴火機構の研究を進める体制が整った。

#### 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 1 件)

- ① 斎藤元治、森下祐一、篠原宏志、Magma plumbing system of the 2000 eruption of Miyakejima volcano, Japan, deduced from volatile and major component contents of olivine-hosted melt inclusions、JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH、査読有、115 巻、B11202、DOI:10.1029/2010JB007433、2010 年

[学会発表] (計 3 件)

- ① 斎藤元治、森下祐一、川邊禎久、Melt inclusion record of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O evolution of magma from Kikai-Akahoya caldera-forming eruption of Satsuma-Iojima volcano, Japan、米国地球物理学連合秋季大会、

2009年12月15日、Moscone South (アメリカ合衆国、サンフランシスコ)

- ② 斎藤元治、森下祐一、川邊禎久、薩摩硫黄島火山カルデラ形成期マグマの岩石学的特徴と揮発性成分濃度、日本火山学会、2009 年 10 月 10 日、神奈川県立生命の星・地球博物館 (神奈川県小田原市)

- ③ 斎藤元治、森下祐一、Magma degassing and evolution processes of the 2000 eruption of Miyakejima volcano, Japan, deduced from olivine-hosted melt inclusion analyses、米国地球物理学連合秋季大会、2008 年 12 月 16 日、Moscone South (アメリカ合衆国、サンフランシスコ)

[その他]

ホームページ (鬼界アカホヤ噴火マグマ溜りに関する研究成果の概説を日本語および英語で執筆し所属研究機関のホームページの一部として公開した)

<http://riodb02.ibase.aist.go.jp/db099/vr/sij/doc/006.html>

<http://riodb02.ibase.aist.go.jp/db099/vr/sij/edoc/007.html>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

斎藤 元治 (SAITO GENJI)

独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・主任研究員

研究者番号：20357057

##### (2) 連携研究者

川邊 禎久 (KAWANABE YOSHIHISA)

独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・主任研究員

研究者番号：60356847

東宮 昭彦 (TOMIYA AKIHIKO)

独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・主任研究員

研究者番号：30357553

森下 祐一 (MORISHITA YUICHI)

独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・研究グループ長

研究者番号：90358185