

機関番号： 14501
 研究種目： 基盤研究 (C)
 研究期間： 2008~2010
 課題番号： 20510172
 研究課題名 (和文) 火山噴火様式の予測に関する基礎的研究
 研究課題名 (英文) Studies on the control parameters of the mode of volcanic eruptions
 研究代表者 佐藤 博明 (SATO HIROAKI)
 神戸大学・大学院理学研究科・名誉教授
 研究者番号： 60019495

研究成果の概要 (和文)： 火山噴火には爆発的噴火と非爆発的な噴火様式があり、それぞれ防災対策は異なり、噴火様式の違いを生む機構の解明が求められている。この研究では富士火山等について、噴出物結晶組織・組成の分析から、噴火様式を左右するファクターとして浅所でのマグマ脱ガスの程度、及び最終的な浅所火道でのマグマ上昇率が重要であることを示唆した。また、噴火様式を左右する要因である結晶を含むマグマの粘性係数測定をショショナイト、海嶺玄武岩等について行った。

研究成果の概要 (英文)： We analyzed eruption products of Fuji volcano etc, to find that the eruption styles (either explosive or effusive) are mainly determined by degree of degassing in shallow chamber as well as the eruption rate in the shallowest part of the volcanic conduit. We also carried out viscosity measurements on crystal-bearing magmas of MORBs, shoshonite etc, to evaluate the effect of crystal morphologies on the relative viscosities.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野： 火山学

科研費の分科・細目： 自然災害科学 A

キーワード： 火山噴火様式, 噴火機構, 結晶組織, 脱ガス・結晶作用, マグマ含水量

1. 研究開始当初の背景

(1) 同じ火山で類似したマグマが活動しても爆発的/非爆発, 火砕流の有無, 溶岩流の流動性等, 異なる噴火タイプを生じることは頻繁に生

じているが, 我々は富士火山では宝永噴火と貞観噴火について, 元々ほぼ類似した含水量の玄武岩質マグマが直接上昇噴火して爆発的噴火を生じた場合 (宝永) と浅所で脱ガス・結晶作用

を行ったのが貞観噴火であることを見出していた。

(2) 世界的にみると、1986年に Eichelberger et al.が Mono Lake の噴出物について、元々多量の水を含むマグマが爆発的になったり静かな溶岩流出を生じたりする場合があります、浅所でのマグマの発泡・脱ガスの程度によって噴火様式が支配されることを指摘した。その後、このモデルはより定量化され、Jaupart & Allegre(1991)や Woods & Koyaguchi(1994)ではマグマの上昇速度や噴出率が噴火様式の主要な支配要因であることをモデル計算で示唆した。しかし、天然の噴出物について、比較岩石学的な検討を行った例は殆ど無く、この研究で富士火山を中心に、岩石組織から噴火様式の支配要因を判定することを試みることになった。

(3) また、噴火様式を支配するもう一つの要因としてマグマの粘性があるが、これについては基礎的な結晶を含むマグマの粘性率測定を行い、

2. 研究の目的

(1) 富士火山については比較的最近の主要な噴出物の噴火様式、規模、その岩石組織を解析し、浅所でのマグマの含水量を推定することを第一の目標とした。これが判ると、浅所での脱ガス残存含水量が噴火様式の支配要因かどうかを決定できると考えた。

(2) 結晶を含むマグマの粘性係数測定は、海嶺玄武岩、ハワイソレアイト、伊豆大島ソレアイト、ブルカネロ火山シヨシヨナイトについて実施することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 富士火山については、過去 3500 年間の主要な噴出物の地質調査と試料採取を行い、それらについて、全岩組成の決定、結晶量の決定、斜長石組成からの含水量の推定を行う。

(2) 粘性係数測定については、それぞれの試料について複数回の実験を行い、組織解析と相組成から相対粘性係数を計算し、結晶形態の影響を評価する。

4. 研究成果

(1) 当初、このプロジェクトでの狙いは、例えば富士火山のようにほぼ類似した化学組成のマグマが異なる噴火様式を生じている機構を理解するために噴出物の鉱物組織・組成を検討する取り組みと、これまで行ってきて噴火過程に大きな影響を持つ結晶を含むマグマの粘性係数測定実験をおこなう取り組みの2つを重点的に行うことにあった。結果から見ると、2点目の粘性係数測定については次に述べるようにある程度の成果を挙げることができたが、噴火様式と結晶組織の関係の検討については、分析を行ったものの、噴火様式を左右する要因の抽出という意味ではまだ道半ばの状態である。

富士火山について、以前、斜長石組成の含水

量依存性に基づいて、A. D. 1707 年宝永噴出物は 3-4%の水を含む玄武岩マグマが深所から上昇してそのまま爆発的噴火を生じたのに対して、A. D. 864 年貞観噴出物が一旦浅所で脱ガス・結晶化したマグマに水に富むマグマが貫入・混合して非爆発的噴火を生じたことを議論したが、今回はより多数の噴出物についてそれが一般的な性質かどうかを検討した。また、A. D. 864 年噴出物に見られる斜方輝石とカンラン石の反応組織の記載を行い、上記のモデルの確認を行った。斑晶量と噴火様式については宮地 (1988) でも指摘があるが、実際には、大室山溶岩や南部の小規模溶岩では無斑晶に近い溶岩流があり、また結晶量約 10%で爆発的噴火を生じている湯船第 2 噴出物のような例外がかなり認められる。噴火様式、つまり爆発的/非爆発的噴火の違いはマグマの上昇速度 (Jaupart & Allegre, 1991) や噴出率 (Woods & Koyaguchi, 1994) などのモデルが提案されている、今回の検討では、対象試料の噴出率は宝永、貞観噴火についてはある程度の噴出率の推定はあるが、より古いものについては噴出率が知られていないので、その代わりに総噴出量を参照した。また、玄武岩質マグマから晶出する斜長石の $Ca/(Ca+Na)$ 比はマグマ含水量に左右されるので、晶出時のマグマ含水量を推定するために斜長石組成の分析を行った。実際には結晶作用により液組成が分化するのでその補正を行う方法を開発して、結晶量と斜長石組成 (An 量) のプロットから含水量を推定できるようにした。結果から見ると、噴火直前のマグマ含水量が多い場合 (斜長石組成が An に富む) は爆発的噴火になる場合が多く、それが低い場合は非爆発的になる傾向が認められた。ただ、非爆発的な場合でも浅所マグマ溜りでの斜長石晶出時の含水量が高い場合があり、この場合には最終的な噴出率が噴火様式を左右している可能性がある。

(2) 結晶を含むマグマの粘性係数測定は、この間にほぼ代表的な玄武岩マグマについての測定を行った。すなわち、島弧ソレアイト (伊豆大島)、高アルミナ玄武岩 (富士)、アルカリ玄武岩 (北九州)、島弧シヨシヨナイト (イタリア、ブルカネロ火山)、海嶺ソレアイト (東太平洋)、ホットスポット (ハワイソレアイト)、等について測定を行い、順次印刷公表の努力を継続している。Ishibashi (2009) は富士高アルミナ玄武岩の実験を行い、非ニュートン的な性質をべき乗則で解析して結晶が多くなると冪の値が 1 から

外れることを示した。Ishibashi & Sato(2010)は同じ実験結果についてビンガム流体則を適用して、降伏応力の値を回転粘度計の測定から実際に求めることに成功した。Vetere et al. (submitted)では、ブルカネロ火山のショシヨナイトについて実験を行ったが、リキダス相は単斜輝石であり、その針状の形態のためか、相対粘度がEinstein-Roscoe式よりも5-8倍になることが示された。これらの結果を見ると、結晶が存在する場合の相対粘度測定結果はEinstein-Roscoe-Marsh式と比べて、リキダス相がカンラン石の場合はほぼ同じであるが、リキダス相が斜長石あるいは単斜輝石の場合には2-8倍の値になる。特に熔融実験で冷却して晶出する斜長石や単斜輝石は大きな縦横比を示すため、このような大きな相対粘度を出すものと考えられる。天然の斜長石や単斜輝石は実験のものほど大きな縦横比は示さないの、実験結果を天然に適用する場合には気をつける必要がある。今後、実験で結晶の形態を制御する技術の開発が望まれる。

(3) 従来行った研究で本研究期間内にいくつかの成果が公表された。Botcharnikov et al. (2008)では雲仙普賢岳 1991-1995 年噴火のデイサイト中に含まれる苦鉄質包有物が高温端成分マグマを代表しているとして、そのマグマの条件を高温高压実験により推定している。Sato & Sato(2009)はマグマ混合についてマグマポケットの効果を検証したアナログ実験を行ったもので、マグマポケットでの重力不安定により混合が促進する条件を決定することに成功した。以前の火道でのマグマ混合の研究では重力より粘性力が大きい場合にマグマ混合が促進されるが、今回のマグマポケットでのマグマ混合では重力が粘性力より大きい場合に混合が促進されるという違いがある。

(4) そのほか、新富士火山初期溶岩流の三島溶岩と猿橋溶岩について Tokunaga et al. (in prep) は特徴的な集斑状斜長石の記載を行い二面角の測定結果から説明した。一旦雑誌に投稿して修正受理可能な状態だったが、データの再現性をチェックする過程で問題が生じそのままになっている。今後、より多くの測定を行って決着させ再投稿の予定である。Sato(in prep)は青木ガ原溶岩流に見られる斜方輝石とカンラン石の間の反応組織を記載し、それが玄武岩マグマの2度の貫入・混合によって生じたことを示唆した。たまたま研究代表者は以前に学位論

文で四国高松地方新第三紀火山岩を調査したことから、日本地方地質誌「四国地方」に「新第三紀火成岩」の取りまとめを行った。

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 5 件)

- ① Ishibashi, H. and Sato, H. (2010) Bingham fluid behavior of plagioclase-bearing basaltic magma: Reanalyses of laboratory viscosity measurements for Fuji 1707 basalt. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 105, 334-339.
- ② Kuepouo, G., Sato, H., Tchouankoue, J-P., Murata, M. (2009) FeO*-Al₂O₃-TiO₂-rich rocks of the Tertiary Bana Igneous complex, west Cameroon. *Resource Geology*, 59, 69-86.
- ③ Sato, E. and Sato, H. (2009) Effect of magma pocket on the mixing process of two magmas of contrasting viscosity and density: analogue experimental approach. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 181, 115-123.
- ④ Ishibashi, H. (2009) Non-Newtonian behavior of plagioclase-bearing basaltic magma: Subliquidus viscosity measurement of the 1707 basalt of Fuji volcano, Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 181, 78-88.
- ⑤ Botcharnikov, RE., Holtz, F., Almeev, RR., Sato, H., Behrens, H. (2008) Storage conditions and evolution of andesitic magma prior to the 1991-1995 eruption of Unzen volcano: Constraints from natural samples and phase equilibria experiments. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 175, 168-180.

[学会発表] (計 19 件)

- ① 佐藤博明・鈴木桂子・佐藤鋭一・和田恵治・佐野恭平 (2011) 霧島新燃岳 2011 年噴火噴出物の岩石学的性質. 日本地球惑星科学連合大会, 2011. 5, 幕張, ポスター.
- ② 佐藤博明・御堂丸直樹・藤田奈穂 (2011) 富士火山玄武岩に見られる噴火様式と結晶組織の関係. 日本地球惑星科学連合大会, 2011. 5, 幕張, ポスター.
- ③ 佐藤博明・石橋秀巳・中村秀明・齊藤将孝 (2011) 結晶作用に伴うマグマの粘性係数変化. 日本地球惑星科学連合大会, 2011. 5, 幕張, ポスター.

- ④ 佐藤博明・藤田奈穂・御堂丸直樹 (2010) 富士火山貞観噴出物中の斜長石累帯構造パターン. 形の科学会, シンポジウム, 加古川東高等学校, 口頭.
- ⑤ 石橋秀巳・佐藤博明 (2010) 伊豆大島 1778 年噴火玄武岩質溶岩のサブリキダス粘性率測定実験. 日本火山学会秋季大会, 京都, 口頭.
- ⑥ 佐藤博明・藤田奈穂・御堂丸直樹 (2010) 富士火山の噴火様式の多様性に関する研究. 日本鉱物科学会, 年会, 松江, 口頭.
- ⑦ 徳永有亮・佐藤博明・石橋秀巳 (2010) 新富士火山初期玄武岩質溶岩流に見られる集斑状斜長石の実験的再現. 日本地球惑星科学連合大会, 2010. 5, 幕張, ポスター.
- ⑧ Sato, H., Ishibashi, H., Nakamura, H. (2010) Viscosity measurements of MORBs from Hole 1256D, ODP Leg 206: Effect of thin platy plagioclase on the relative viscosity. Japan GeoScience Union Meeting, 2010. 5, Makuhari, Oral.
- ⑨ Ishibashi, H., Sato, H. (2010) Analyses of the effects of crystals on viscosity of basaltic magmas based on Bingham fluid model. Japan Geoscience Union Meeting, 2010. 5, Makuhari, Oral.
- ⑩ Vetere, F., Sato, H*, Ishibashi, H., De Rosa, R., Donato, P. (2010) Viscosity changes during crystallization in a shoshonitic magma from Vulcanello: new insights on the lava flows emplacement. Japan Geoscience Union Meeting, 2010. 5, Makuhari, Poster.
- ⑪ 中村秀明・佐藤博明*・石橋秀巳 (2009) ODP Leg206, Hole 1256D海嶺玄武岩の 1 気圧での粘性係数測定. 日本火山学会 2009 年秋季大会, 箱根, 口頭.
- ⑫ Sato, H., Nakamura, H., Ishibashi, H. (2009) One atmosphere viscosity measurements of MORBs from ODP Leg 206, Hole 1256D. American Geophysical Union, Fall Meeting, Sanfrancisco, 2009. 12, Poster.
- ⑬ 佐藤博明 (2009) Reaction textures between olivine and orthopyroxene in the A.D. 864 Aokigahara lava flow of Fuji volcano. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張, 口頭.
- ⑭ 徳永有亮・佐藤博明 (2009) Glomeroporphyritic plagioclase in lava flows of early stage Younger Fuji volcano. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張, ポスター.
- ⑮ Zhang, HX, Sato, H., Sangen, K. (2008) Partial melting experiments of a MORB at 1.5 GPa: constraints on the generation conditions of adakite magmas. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張, ポスター.
- ⑯ 本間潮・佐藤博明 (2008) One-atmosphere melting experiments on basalts of Oginosen volcano: Phase relationship and element partitioning. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張, ポスター.
- ⑰ 中村秀明・佐藤博明・石橋秀巳・齊藤将孝 (2008) Viscosity measurements of subliquidus magmas: a MORB of ODP Leg 206, Hole 1256D. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張, ポスター.
- ⑱ 齊藤将孝・佐藤博明・石橋秀巳・中村秀明 (2008) Viscosity measurements of subliquidus magmas: A Kilauean tholeiite. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張, ポスター.
- ⑲ 立尾有騎・佐藤博明 (2008) Petrological studies on the A.D. 1909 lava dome of Tarumae Volcano. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張, ポスター.

[図書] (計 件)

- ① 佐藤博明 (2011) 新第三紀火山岩. 榊原正幸編, 日本地方地質誌「四国地方」朝倉書店.

[その他]

ホームページ等

<http://www.geocities.jp/hsato47/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 博明 (SATO HIROAKI)

神戸大学・大学院理学研究科・名誉教授

研究者番号: 60019495

(2) 研究分担者

石橋 秀巳 (ISHIBASHI HIDEEMI)

東京大学・地震研究所・博士研究員

研究者番号: 70456854