

令和元年6月24日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K05576

研究課題名(和文) 珪長質マグマ水蒸気爆発の噴火機構と火砕密度流の流動・堆積機構の研究

研究課題名(英文) Mechanism and the eruption process of rhyolitic phreatomagmatic explosions

研究代表者

鈴木 桂子 (Suzuki-Kamata, Keiko)

神戸大学・海洋底探査センター・教授

研究者番号：20192544

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：爆発規模が大きいとされる珪長質マグマ水蒸気噴火に関し、発生環境の異なる三つの事例(新島向山火山、姫島火山群、神津島天上山火山)について現地調査と試料分析を行い、噴火機構と火砕密度流の発生流動堆積機構を明らかにした。発生環境は、新島向山、神津島天上山、姫島の順に水深が浅くなる。水深が大きいほど火砕噴火の割合が多く、浅いほど溶岩の占める割合が大きくなること、更に火砕噴火の様式も異なり、水との接触が多い場合ほど発泡した本質物質に富む火砕流が発生し、少ない場合はマグマ水蒸気爆発に起因する火砕サージや溶岩ドーム崩壊によるblock-and-ash flow型の火砕流が発生することが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

珪長質マグマのマグマ水蒸気噴火の典型的な事例として、発生環境の異なる向山火山(東京都新島)、姫島火山群(大分県姫島)、天上山火山(東京都神津島)の流紋岩質火砕堆積物を取り上げた。現地調査と試料分析で得られるデータに基づいて、噴火機構と火砕密度流の流動定置機構を検討した結果、それぞれの事例に共通するマグマ水蒸気噴火噴出物の特徴が火口の水深と深く関わることが明らかになった。日本には流紋岩質マグマをはじめとする珪長質マグマを噴出する火山島が多く存在するため、それらの地域の将来の噴火様式を予測する上に火山防災にも役立つような情報を提供することが出来た。

研究成果の概要(英文)：Mode of the rhyolitic phreatomagmatic eruptions in the different environment were researched at Mukaeyama volcano in Niijima Island, Tenjosan volcano in Kozusima Island and Hime-shima Island. Eruptive vent was located at the shallow sea area at Mukaeyama volcano in Niijima, shore area at Tenjosan volcano in Kozusima, and wet environment like a alluvial fan at Hime-shima. The amount of pyroclastics is correlated with the depth of vent location, deeper vent occurs the pyroclastics predominated eruption, and the shallower vent occur the lava predominated eruption. Phreatomagmatic eruptions can occur when high pressure fluids fracture and flow into magma and make contact with molten magma. Even if the direct contact of molten magma and water cannot occur, phreatomagmatic eruption of destruction of phase-equilibrium type may arise when the vapor reservoir with the equilibrium between vapor and water in the brecciated part of magma can form.

研究分野：火山地質学

キーワード：マグマ水蒸気噴火

様式 C - 19, F - 19 - 1, Z - 19, CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

マグマ水蒸気噴火は、外来水とマグマとの爆発的反応によって発生するが、水とマグマとの混合過程は多様である。従って、マグマ水蒸気噴火の噴火機構はマグマの粘性率や外的条件に応じて異なることが想定される。粘性率の小さなマグマでは界面の不安定が引き金になってマグマと水とが混合して爆発に至ると考えられている。一方、珪長質マグマのように粘性率が大きい場合には、マグマの水冷破碎とこれに引き続く水とマグマとの急激な熱交換過程が必要で、界面不安定によらないマグマと水の混合過程とマグマ粉碎過程を想定した噴火機構がいくつか検討されている。火砕密度流は、このような多様な噴火の様式と規模に関係して発生しており、噴火の機構の違いに応じて発生機構や流動様式、定置機構が異なるはずであるが、珪長質マグマ水蒸気噴火起源の火砕密度流については、直接目撃された例はほとんどなく、詳細な検討は未だなされていない。

2. 研究の目的

マグマ水蒸気噴火は爆発的マグマ噴火に比べると小規模ではあるが、火山の中心火道だけでなく、火山麓あるいはそれまで火山が存在しなかったところで発生する。しかも、放出された火砕粒子は火砕密度流(火砕流または火砕サージ)となって給源から数~数十 km を超える距離まで到達する事があるため、マグマ水蒸気噴火起源の火砕密度流の発生・流動・定置機構の解明は、火山防災上、急務の課題である。本研究では、特に爆発規模が大きいとされている珪長質マグマ水蒸気噴火に焦点を絞り、発生環境の異なる三つの事例について現地調査と試料分析を行い、その結果に基づいて、噴火機構と火砕密度流の発生・流動・定置機構を明らかにする。また、それぞれの事例に共通するマグマ水蒸気噴火噴出物の特徴を明らかにして、過去の噴出物がマグマ水蒸気爆発起源か否かを判定する材料を提供する。

3. 研究の方法

本研究では、1) 向山火山(東京都新島)、2) 姫島火山群(大分県姫島)、3) 天上山火山(東京都神津島)において、現地調査と試料分析を行い、噴出物の粒度分析、AMS(磁気帯磁率異方性)測定、熱残留磁化測定による定置温度の推定、フラクタル解析などを行い、構成粒子の粒径、形態、配列、構成比など噴出物の特徴を明らかにする。また、放出された岩片や変質鉱物の種類と量比などを求め、これに基づいて爆発点の深さ、即ち圧力を求める。さらに、火山ガラスや結晶の化学組成、火山ガラス中の揮発性成分、結晶中の液体包有物組成を調べることで、マグマの温度、粘性率を推定する。以上の結果に基づいて噴火様式、爆発エネルギーと放出された火砕粒子の運動方向・様式・速度などを推定する。

4. 研究成果

爆発規模が大きいとされる珪長質マグマ水蒸気噴火に関し、発生環境の異なる三つの事例(新島向山火山、姫島火山群、神津島天上山火山)について現地調査と試料分析を行い、噴火機構と火砕密度流の発生・流動・堆積機構を明らかにした。発生環境は、新島向山、神津島天上山、姫島の順に水深が浅くなる。水深が大きいほど火砕噴火の割合が多く、浅いほど溶岩の占める割合が大きくなること、更に火砕噴火の様式も異なり、水との接触が多い場合ほど発泡した本質物質に富む火砕流が発生し、少ない場合はマグマ水蒸気爆発に起因する火砕サージや溶岩ドーム崩壊による block-and-ash flow 型の火砕流が発生し、更に水との折衝が更に減少する場合は溶岩流出が主体となることが明らかになった。以下に地域ごとの珪長質マグマ水蒸気噴火をまとめる。

「新島向山火山」

伊豆諸島新島の西暦 886 年噴火は流紋岩質マグマの活動で、羽伏浦火砕密度流堆積物の噴出に始まり、その後、大峯火砕丘の形成、向山溶岩の流出と連続した。羽伏浦火砕流は黒雲母流紋岩質マグマの活動で、基盤が現在の陸上に露出せず、堆積物が海面下でも確認されるため、浅海で活動が開始したと推定される。羽伏浦火砕流堆積物は新島の東海岸の海食崖沿いに約 5 km 連続露出し、地質調査と粒度分析の結果、羽伏浦火砕流堆積物は最大で層厚 1~2 m の約 40

枚のフローユニットで構成されることが確認された。フローユニットは構成物や堆積構造から3タイプの岩相、細粒物が枯渇し塊状の Fines Depleted (FD) タイプ、細粒物を含み成層構造や級化構造を示す Fines Rich (FR) タイプ、巨大な本質岩片から構成される Large Pumice Rich (LPR) タイプに分類される。また、それぞれの岩相に含まれる本質岩片と石質岩片の定置温度を推定するため、段階熱消磁実験および着磁実験を施した。本質岩片はFDタイプとLPRタイプで200-300℃、FRタイプで150℃以下、石質岩片はFDタイプとFRタイプ共に200-350℃の高温で定置したという結果が得られた(図1)。これらの地質調査と古地磁気測定、そして火山灰の形状など併せ考察を行った結果、羽伏浦火砕流は、マグマに接触する海水の割合によって岩相と本質岩片の定置温度が異なる火砕流が数十回繰り返し発生していたことが明らかとなった(図2)。

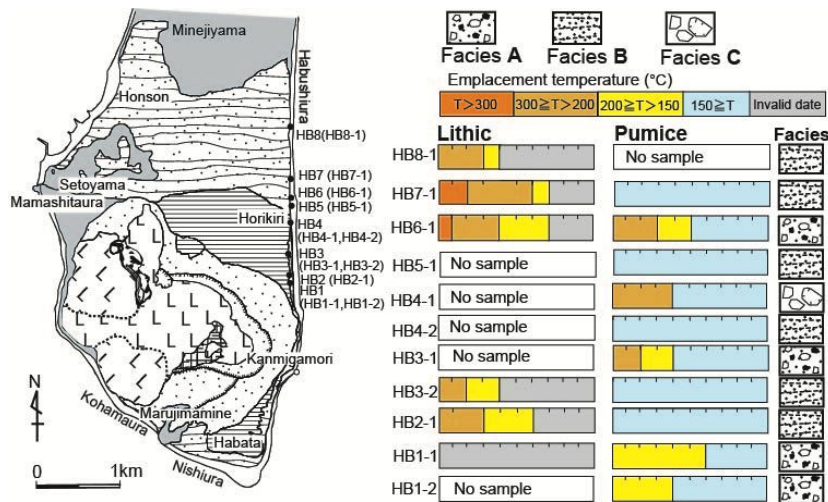


図1. 羽伏浦火砕流堆積物の岩相と堆積温度

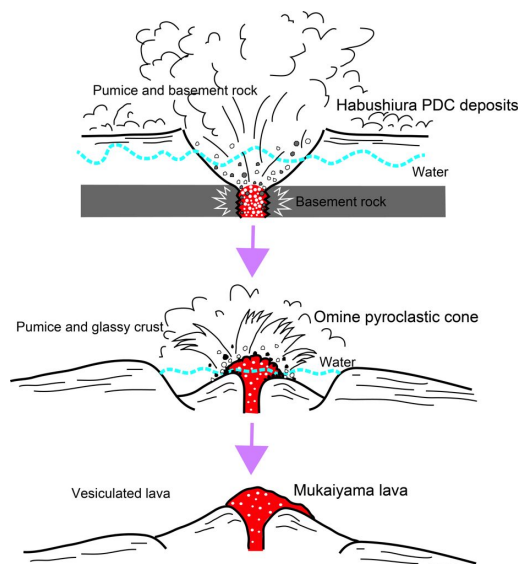


図2. 向山火山の成長過程：噴火は浅海で開始し、水との接触が続く間は、マグマ水蒸気噴火により羽伏浦火砕流が発生し、水との接触が減少するにつれてタフコーン、溶岩流出へと噴火様式が変化した。

「神津島天上山火山」

神津島は、伊豆マリアナ弧の銭洲海嶺上に位置し、16個の流紋岩質単成火山からなる。最新の噴火活動である西暦838年噴火は、火砕物の活動に始まり、溶岩ドームの形成で終わった。火砕物の活動は主に火砕流噴火で、島内の地形的低所に火砕流台地を形成し、地形的高所では原地形を覆うように分布し、分布域毎に岩相が異なる。堆積物の岩相変化と定置温度の推定に基づき噴火の経緯を調べた。

火砕流堆積物は、推定給源である天上山との間に地形的障害を挟む場所では、ラミナの発達した火砕サージ堆積物の岩相を示す。一方、推定給源との間に地形的障害がない場所では塊状

の岩相を示す。島の南部，松山鼻付近では標高の高まりに伴って火砕流堆積物から火砕サージ堆積物へ移行する様子が見られた。このことから発生した火砕流は地形的な障壁を乗り越える際に構成物を落とし希薄な火砕サージへと変化したと考えられる。

天上山火砕流堆積物中の7地点8層準から合計79試料を採取し段階熱消磁実験を行った。試料は常温で定置したものから650℃で定置したものまで幅広い値を示した。火砕流堆積物の定置温度は，南部・南西部では常温堆積と200-350℃での堆積を示し，西部・北西部では，火砕流は450℃以上で，サージは500℃以上で堆積したという結果が得られた。地点KZ7(多幸湾)と地点KZ5(前浜)では安定磁化成分2成分を持ち200-350℃の範囲に定置温度を示す試料がみられた。このことから島南部へ流れた火砕流は溶岩ドームが200-350℃まで冷却された後に崩壊して発生したと考えられる。地点KZ1(前浜)では，11試料中7試料が常温定置を示し，そのうち3試料は安定成分を持たず，堆積物中に炭化木片が含まれる。地点KZ4(前浜)は常温定置を示す全11試料中，9試料が安定成分を示さない。これらの地点に到達した火砕流は流動中に冷却されたことが示唆される。

一方，島の西部KZ3(沢尻湾)と北西部KZ2(長浜)では常温堆積を示す試料と，500-650℃を示す試料がみられ，比較的高温を示す物質が多い。常温を示す試料については，KZ3は安定成分を持つ試料のみが存在し，KZ2は安定成分を持たないものもみられる。このため，KZ3，KZ2へ到達した火砕流は，内部が500-650℃の溶岩ドームの崩壊によって発生し，KZ2へ堆積したものの一部は流下しながら冷却されたと考えられる。

これらのことから，以下のような噴火推移を復元した。838年噴火では，火砕流噴火の発生時に今の天上山の位置に溶岩ドームが成長していたことが推定される。火砕流は，主に溶岩ドーム崩壊によって発生した。南部から南西部に到達した火砕流は流動中に冷却が進行し，常温で堆積した。北部に堆積した火砕流は，南部よりも高温状態で崩壊が発生した。地形的な障壁を乗り越えたものは火砕サージへ変化した。

「姫島」

姫島火山群は九州北東部に位置する独立単成火山群で， $0.2 \pm 0.1\text{Ma}$ のデイサイト～流紋岩の珪長質マグマの噴出物で構成される(伊藤ほか，1997)。その活動は溶岩ドームの噴出で特徴づけられるが，一部の火山(城山，稲積，達磨山火山)では溶岩の上に爆発火口とそれを取り巻く火砕丘が形成されている。これらの火山の地質調査の結果，溶岩底部で生じるタイプと，湿った母岩の火道内流入によって発生するタイプの2種類のマグマ水蒸気爆発の証拠が認められた。

溶岩底部で生じるマグマ水蒸気爆発

このタイプのマグマ水蒸気爆発は分厚い溶岩(層厚50-100m)の底部にトラップされた水が爆発的に気化して生じると推定される。その痕跡は火砕岩脈として溶岩底部に保存されている。

火砕岩脈は各火山の溶岩底部を貫いており，幅数十cmから数mでほぼ垂直方向に発達する。その内部は様々なサイズの溶岩片のみで構成され，細粒物を欠いている。内部の岩片同士は互いに硬く固着しており高温酸化している。火砕岩脈は根なしの破碎構造であるため，火道ではなく溶岩底部にトラップされた水の爆発的な気化によるスパイラクルであると考えられる。

城山火山の観音崎火口(直径80m)の噴出物は火口内を埋積するのみで，火口を取り巻く火砕丘を形成していない。その火口付近には多数のスパイラクルがみられ，火口内にはスパイラクルの破片と思われるブロックがみられる。従って，観音崎火口は大規模なスパイラクルと推定される。

湿った母岩の火道内流入によるマグマ水蒸気爆発

このタイプは火砕丘を形成したマグマ水蒸気爆発である。その地質学的根拠は，(1)噴出物の発泡度が低いこと，(2)ブロック状で平滑な破断面を持つ火山ガラス，(3)噴出物体積に対して大きな火口直径を持つこと，(4)急冷割れ目を持つ黒曜石の破片を含むこと，(5)ペペライトの破片を含むこと，などがあげられる。

ペペライトの破片には幅数cm以下の不規則な割れ目が発達し，結晶片からなる泥岩がその内部を埋めている。このような産状は，高い圧力を持った母岩(泥岩)が火道内に流入してマグ

マと粗混合したことを示唆する。

母岩の火道内流入を引き起こすプロセスには流動化した母岩による水圧破碎が有力である。マグマが湿った母岩に貫入すると母岩に含まれる水の一部が気化し間隙水圧が高まる。その高圧状態は母岩の浸透率に応じて解消されるが、火道に向かって負の圧力勾配が出来ると(例えば、噴出率低下による火道内圧力の低下や、冷却や剪断応力による割れ目の発達など)、母岩が火道内へ流入しうる。結果としてマグマと母岩が粗混合しマグマから母岩へ効果的に熱伝達となされ爆発に至ったと予想される。

以上のように姫島火山群の場合、地表において先に噴出した溶岩が水をトラップしたり、流動化した湿った堆積物が火道に貫入したりすることによって珪長質マグマと水が混合しマグマ水蒸気爆発に至ったと考えられる。

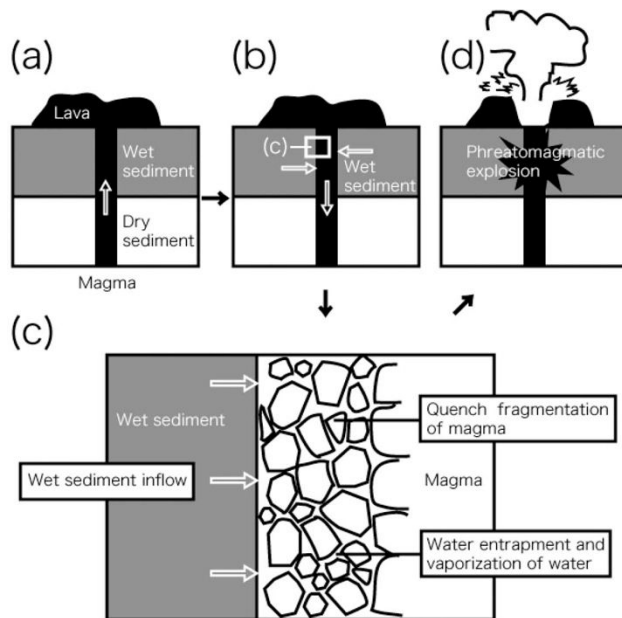


図3. 姫島火山におけるマグマ水蒸気爆発の模式図

- (a) 湿潤堆積物へのマグマ貫入と溶岩の噴出。湿潤堆積物の間隙水圧の上昇。
- (b) マグマの供給率低下あるいは逆流による火道内減圧とそれに伴う湿潤堆積物の火道内への流入。
- (c) 急冷破碎により角礫化したマグマと水の接触および混合。高圧水蒸気の発生
- (d) マグマ水蒸気爆発の発生。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

Tatsumi, Y., K. Suzuki, T. Matsuno, H. Ichihara, N. Seama, K. Kiyosugi, R. Nakaoka, K. Nakahigashi, H. Takizawa, K. Hayashi, T. Chiba, S. Shimizu, M. Sano, H. Iwamaru, H. Morozumi, H. Sugioka and Y. Yamamoto, Giant rhyolite lava dome formation after 7.3 ka supereruption at Kikai caldera, SW Japan, Scientific Reports (Nature Publishing Group), 査読有, 2018.

浅野 一平, 五井 健登, 清杉 孝司, 鈴木 桂子, 巽 好幸, 三瓶火山溶岩ドームの形成過程, 火山, 日本火山学会, 査読有, 63, 2018, 19-32,

Y. Yasuda, K. Suzuki-Kamata, The origin of a coarse lithic breccia in the 34 ka caldera-forming Soukkyo eruption, Taisetsu volcano group, central Hokkaido, Japan, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Elsevier, 査読有, 357, 2018, 287-305.

〔学会発表〕(計12件)

山本 望, 鈴木 桂子, 池田火砕流堆積物の基盤地形による岩相変化, 日本地球惑星科学連合2016年大会, 2016.

鈴木 桂子, 山根 朋己, 中岡 礼奈, 竹内 英彦, 幸屋火砕流の流動・堆積機構と給源カルデラ, 日本地質学会, 2017.

R. Nakaoka, K. Kano and K. Suzuki-Kamata, Cone-building process in the A.D. 886 eruption on the Niijima Island, Japan, IAVCEI 2017 Scientific Assembly, 2017.

K. Suzuki-Kamata and Y. Yasuda, Collapse mechanism of small calderas: a case study of the Ohachidaira caldera, Hokkaido, Japan, IAVCEI 2017 Scientific Assembly, 2017.

中岡 礼奈, 鹿野 和彦, 鈴木 桂子, 伊豆諸島新島, 大峯火砕丘の形成過程, JpGU-AGU Joint Meeting, 2017.

中岡 礼奈, 鈴木 桂子, 伊豆諸島新島西暦 886 年向山噴火の活動推移と外来水の影響, 日本火山学会 2017 年秋季大会, 2017.

中岡 礼奈, 鈴木 桂子, 鹿野 和彦, 伊豆諸島新島西暦 886 年向山火山の噴火推移と外来水

の影響,日本地球惑星科学連合 2018 年大会, 2018.

中岡 礼奈, 鈴木 桂子, 火山ガラス組成から見る幸屋火砕流堆積物の流動様式の推移, 日本火山学会 2018 年秋季大会, 2018.

K. Suzuki-Kamata, Y. Tatsusmi, K. Kiyosugi, R. Nakaoka, N. Seama, T. Matsuno, S. Shimizu, M. Sano, H. Iwamaru, The significance of the surface excavation in the Kikai caldera, southern Kyushu, Japan Geoscience Union Meeting 2018, 2018.

鈴木 桂子, 中岡 礼奈, 山根 朋己, 幸屋火砕流の流動・堆積機構, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019.

中岡 礼奈, 鈴木 桂子, 清水 賢, 巽 好幸, 金子 克哉, 清杉 孝司, 島 伸和, 松野 哲男, 西村 公宏, 林 和輝, 火山ガラス組成に基づく鬼界カルデラ海底採取火山灰と幸屋火砕流堆積物の対比, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019.

清水 賢, 島 伸和, 中岡 礼奈, 松野 哲男, 清杉 孝司, 井和丸 光, 佐野 守, 西村 公宏, 鈴木 桂子, 金子 克哉, 山口 寛登, 堀内 美咲, 廣瀬 時, 林 和輝, 巽 好幸, 鬼界カルデラ・アカホヤ噴火の水中心火砕流の分布, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019.

〔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)研究分担者

研究分担者氏名: 巽 好幸

ローマ字氏名: TATSUMI Yoshiyuki

所属研究機関名: 神戸大学

部局名: 海洋底探査センター

職名: 教授

研究者番号(8桁): 40171722

研究分担者氏名: 山崎 和仁

ローマ字氏名: YAMAZAKI Kazuhito

所属研究機関名: 神戸大学

部局名: 理学研究科

職名: 講師

研究者番号(8桁): 20335417

研究分担者氏名: 中岡 礼奈

ローマ字氏名: NAKAOKA Reina

所属研究機関名: 神戸大学

部局名: 海洋底探査センター

職名: 特命助教

研究者番号(8桁): 40756673

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 鹿野 和彦

ローマ字氏名: KANO Kazuhiko

科研費による研究は, 研究者の自覚と責任において実施するものです. そのため, 研究の実施や研究成果の公表等については, 国の要請等に基づくものではなく, その研究成果に関する見解や責任は, 研究者個人に帰属されます.