

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 5 月 17 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21340155

研究課題名（和文） 火山噴火様式の分岐を支配する火道浅部脱ガス機構の研究

研究課題名（英文） A study on the mechanism of shallow-level degassing of conduit magmas as a controlling factor of eruption styles

研究代表者

中村 美千彦（NAKAMURA MICHIIHIKO）

東北大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：70260528

研究成果の概要（和文）：新燃岳 2011 年噴火を例に、噴火の爆発性の違い（サブプリニー式噴火とブルカノ式噴火・溶岩ドーム噴火）により、火道浅部でのマグマ滞留時間が異なることを石基の微細な結晶が記録していることを見出した。また、安山岩質軽石を出発物質として、火道浅部条件における、発泡組織の表面張力による形状緩和実験を行った。気泡の形状緩和・合体速度とその水蒸気圧依存性を明らかにするとともに、圧密が進行し、ガスポケットの形成を促す可能性があることがわかった。

研究成果の概要（英文）：We examined the crystal size distribution (CSD) of ground crystals in the erupted materials of the 2011 Shinmoe-dake volcano. We found that magma residence time in the shallow conduit in the explosive subplinian phase is shorter than in the less-explosive vulcanian and lava dome phases. We also conducted textural relaxation experiments of andesitic pumices in shallow conduit conditions and clarified the vapor pressure dependence of the relaxation and bubble coagulation. We conclude that the textural relaxation enhances formation of “gas pockets” via compaction of shallow melt foam.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	9,500,000	2,850,000	12,350,000
2010 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	13,400,000	4,020,000	17,420,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：火山・岩石・鉱物・地質学・火成岩・マグマ

1. 研究開始当初の背景

変化に富む火山の噴火現象は、地球の現在の活動を象徴する研究対象の一つである。噴火の爆発性は、最も基本的には、マグマの上昇速度によって決定されると理解されてきた。ところが実際は、上昇速度が非爆発的な噴火の時と同様にゆっくりでも、爆発的な噴

火を起こす例が数多くあること知られており、その原因は未解決であった。これは、マグマの噴火が、単にマグマ溜りに蓄積された過剰圧の解消に終わるか、逆に、減圧によって発泡が誘起され、マグマの密度低下と上昇駆動力の増大を引き起こすか、という分岐現象に関係している可能性がある。

2. 研究の目的

本研究は、火山噴火が爆発的になるか非爆発的になるかの分岐を支配している要因を、天然の火山噴出物の解析と、火道条件を模擬した実験岩石学的手法により理解することを目的とする。日本のような島弧に多い、安山岩質マグマを主体とする火山に多く見られるブルカノ式噴火は、マグマ溜りからのマグマの上昇速度や、火道浅部にマグマがいったん定置するという点では溶岩噴火に近く、一方爆発してマグマが破碎し軽石や火山灰を発生させる点ではサブプリニー式噴火に近い。そのため、火山噴火の爆発性の支配要因を調べるのに重要な活動様式である。そこで現在、活動が活発化している桜島火山と霧島火山新燃岳の噴出物を記載岩石学的手法で詳細に調べる。また、マグマの粘性増加を起こす結晶化過程や、ガス浸透率の低下を起こす発泡組織の変化様式を調べ、噴火ダイナミクスへ応用する。

3. 研究の方法

(1) 天然試料の解析：新燃岳 2011 年噴火噴出物を採取し、軽石・本質石質岩片試料について、マグマ溜りから火道浅部までの上昇過程を記録しているマイクロライトと、火道浅部での定置深度や滞留時間を記録しているナノライトについて、鉱物相の種類・結晶度・固溶体組成・数密度・結晶形状などを記載する。

(2) 高温実験：桜島の試料を対象に、火道浅部～深部条件（高温低水蒸気圧～高水蒸気圧）での加熱実験を行い、気泡の形状緩和実験を行う。実験は、シリカガラスチューブ法、それを応用したボルトナットセル型のオリジナルの水熱リアクターを開発して行う。

気泡組織の変化速度を決定することによって、ブルカノ式爆発に必要な不可欠な、火道浅部でのいわゆる「ガスだまり」の形成メカニズムや、ブルカノ式爆発の時間間隔を支配している要因を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 新燃岳 2011 年のサブプリニー式・ブルカノ式噴火で噴出した軽石・本質石質岩片試料の石基結晶について結晶サイズ分布 (CSD) を測定した。その結果、サブプリニー式噴火軽石の斜長石については、他の噴火様式では見られた幅 1.5 ミクロン程度での CSD の傾きの変化が見られず、つまりナノライトが晶出していないことを発見した。つまり、火道浅部での滞留時間の相違をナノライトが記録していることが明らかになった。

(2) 桜島大正噴火軽石を出発物質として、火道浅部～深部条件（高温、低水蒸気圧～高水蒸気圧）での加熱実験を行い、表面張力を

駆動力とする気泡の形状緩和・合体実験、および石基ガラスの結晶化実験を行った。気泡の形状緩和・合体速度とその水蒸気圧依存性を明らかにするとともに、外界に接した気泡（即ち湾入部分）の形状緩和によって、効果的に見かけ密度の減少が起こることが明らかとなった。水蒸気圧が高いほど、石基結晶の晶出と、メルトの粘性増加が抑制されるので、形状緩和と合体が高速に進行する。試料サイズを大きくすると実効的な表面積が小さくなり、表面張力による等方的な収縮が起こることにより、試料内部に亀裂が形成されることが見いだされた。これにより巨視的な浸透率が増加し、より大きな火道スケール（m～数十m）でのマグマの脱ガスと圧密が進行することが予想される。

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 16 件）

- (1) Yasui, M., et al., Comparative study of proximal eruptive events in the large-scale eruptions of Sakurajima Volcano: the An-ei vs. Taisho eruption, Bull. Volcanol. Soc. Japan, 査読有, VOL. 58, 2013, 59-76.
- (2) Takahashi, M., Otsuka, T., Sako, H., Kawamata, H., Yasui, M., et al., Submitted to the special issue of Sakurajima Volcano, Bull. Volcanol. Soc. Japan, 査読有, VOL. 58, 2013, 17-42.
- (3) 高橋正樹・安井真也、浅間前掛火山プロキシマル火山地質学及び巡検案内書—浅間前掛火山黒豆河原周辺の歴史時代噴出物—、火山、査読有、58巻、2013、311-328.
- (4) Okumura S., Nakamura M., et al., Experimental constraints on permeable gas transport in crystalline silicic magmas, Contributions to Mineralogy and Petrology Springer, 査読有, VOL. 164, 2012, 493-504, DOI:10.1007/s00410-012-0750-8
- (5) 奥村聡・中村美千彦・上杉健太郎、放射光 X 線を用いた流動するマグマのその場観察：火山噴火の多様性の原因解明へ向けて、放射光、査読有、25巻、2012、222-228.
- (6) Matsumoto K. and Nakamura M., Syn-eruptive desulfidation of pyrrhotite in the pumice of the Sakurajima 1914-15 eruption: Implication for potential magma ascent rate meter, Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 査読有, VOL. 107, 2012, 206-211, doi:10.2465/jmps120621b

- (7) Yoshimura, S. and Nakamura, M., Flux of volcanic CO₂ emission estimated from melt inclusions and fluid transport modeling, *Earth and Planetary Science Letters*, 査読有, VOL. 361, 2012, 497-503, <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2012.11.020>
- (8) 安井真也、安山岩質降下軽石と溶岩流の結晶破砕度 — 浅間火山と桜島火山の噴出物の場合 —、火山、査読有、57巻、2012、145-158.
- (9) 中村美千彦、火砕堆積物の解析から探る火山噴火のダイナミクス、地質学雑誌、査読有、117巻、2011、329-343, JOI:JST. JSTAGE/geosoc/117.329
- (10) Yoshimura, S., M. Nakamura, Fracture healing in a magma: An experimental approach and implications for volcanic seismicity and degassing, *Jour. Geophys. Res.*, 査読有, VOL. 115, 2010, B09209 1-14, DOI: 10.1029/2009JB000834
- (11) Okumura, S., M. Nakamura, T. Nakano, K. Uesugi, A. Tsuchiyama, Shear deformation experiments on vesicular rhyolite: Implications for brittle fracturing, degassing, and compaction of magmas in volcanic conduits, *Jour. Geophys. Res.*, 査読有, VOL. 115, 2010, B06201 1-10, DOI:10.1029/2009JB006904
- (12) Yoshimura, S., M. Nakamura, Chemically driven growth and resorption of bubbles in a multivolatile magmatic system, *Chemical Geology*, 査読有, VOL. 276, 2010, 18-28, doi:10.1016/j.chemgeo.2010.05.010
- (13) 中村美千彦・田村翔・伊藤嘉紀・奥村聡・井口正人・味喜大介、桜島火山大正噴火の準備過程—磁鉄鉱化学組成からの制約—、京都大学防災研究所年報、査読無、53B巻、2010、261-267.
- (14) Okumura, S., Nakamura, M., Takeuchi, S., Tsuchiyama, A., Nakano, T., Uesugi, K, Magma deformation may induce non-explosive volcanism via degassing through bubble networks, *Earth and Planetary Science Letters*, 査読有, VOL. 281, 2009, 267-274, doi:10.1016/j.epsl.2009.02.036
- (15) 安井真也・萩原秀美・高橋正樹、結晶破砕度からみた溶岩ドーム噴出プロセス—榛名火山・ニッ岳と霧島火山・硫黄山および箱根火山・二子山の比較—、地球・プロキシマル火山地質学の新展開、査読無、31巻、2009、29-34.
- (16) Kuritani, T., The relative roles of boundary layer fractionation and homogeneous fractionation in cooling basaltic magma chambers, *Lithos*, 査読有, VOL. 110, 2009, 247-261, doi:10.1016/j.lithos.2008.12.012
- [学会発表] (計48件)
- (1) 松本恵子・中村美千彦・味喜大介・井口正人、噴火に伴う硫化物の高速酸化反応：桜島火山の例、地殻流体研究会 2013、2013年3月3日、静岡県伊豆市ラフォーレ修善寺
- (2) 柳田泰宏・中村美千彦・吉田武義、一ノ目湯マールにおける下部地殻捕獲岩の輸送プロセス、地殻流体研究会 2013、2013年3月3日、静岡県伊豆市ラフォーレ修善寺
- (3) 大槻静香・中村美千彦、表面張力によるメルトフォーム組織緩和：粘性・比表面積・斑晶量の効果、日本火山学会、2012年10月16日、長野県御代田町
- (4) 松本恵子・中村美千彦、桜島大正噴火軽石に含まれる磁鉄鉱の脱硫化反応：マグマの酸化速度計の開発にむけて、日本火山学会、2012年10月15日、長野県御代田町
- (5) 無盡真弓・中村美千彦・奥村聡、新燃岳2011年噴火噴出物中にみられるナノライトの晶出過程、日本火山学会、2012年10月14日、長野県御代田町
- (6) 安井真也、謎の多い浅間前掛火山の天明噴火、日本火山学会秋季大会、2012年10月14日、長野県御代田町のエコールみよ
- (7) Otsuki, S., Nakamura, M., Textural relaxation of melt foam due to surface tension: Implications for the mechanism of vulcanian Eruptions, GCOE symposium 2012 "Achievements of GCOE Program for Earth and Planetary Dynamics and the Future Perspective", 2012年9月26日, Sendai, Japan
- (8) Matsumoto, K., Nakamura, M., Syn-eruptive desulfidation of pyrrhotite in pumice of the Sakurajima Taisho eruption: Implication for potential magma oxidation rate meter, GCOE symposium 2012 "Achievements of GCOE Program for Earth and Planetary Dynamics and the Future Perspective", 2012年9月25日, Sendai, Japan
- (9) Mujin, M., Nakamura, M., Okumura, S., Nanolites crystallization in the 2011 eruption of the Shinmoedake, Kirishima Volcanic group, GCOE symposium 2012 "Achievements of GCOE Program for Earth and Planetary Dynamics and the Future Perspective", 2012年9月25日, Sendai
- (10) 吉村俊平・中村美千彦・坂本尚義、花崗岩質メルトとCO₂流体の間の炭素同位体

- 分別、日本鉱物科学会、2012年9月19日、京都大学
- (11) Nakamura M., OTSUKI S., Textural Relaxation of Melt Foam: Implications for Vulcanian Explosions, AOGS – AGU (WPGM), 2012年8月17日, Sentosa Island, Singapore
- (12) 無盡真弓・中村美千彦・奥村聡・新燃岳 2011年噴火噴出物の低水蒸気圧下での融解実験、日本地球惑星科学連合大会、2012年5月24日、幕張メッセ
- (13) 松本恵子・中村美千彦・桜島大正噴火噴出物中に産する磁硫鉄鉱の酸化組織とその成因、日本地球惑星科学連合大会、2012年5月24日、幕張メッセ
- (14) 佐藤智紀・中村美千彦・奥村聡・味喜大介・井口正人、鉱物化学組成と揮発性成分から見た桜島火山大正噴火の浅部マグマ供給系、日本地球惑星科学連合大会、2012年5月24日、幕張メッセ
- (15) 松本恵子・中村美千彦、爆発的噴火に伴う磁硫鉄鉱の脱硫化反応：マグマの上昇速度計への応用に向けて、日本鉱物科学会、2012年5月20日、京都大学
- (16) 大槻静香・中村美千彦、表面張力によるメルトフォーム組織緩和実験、日本地球惑星科学連合大会、2012年5月20日、幕張メッセ
- (17) OKUMURA S., Nakamura M., Uesugi K., Nakano T., Coupled effect of magma degassing and rheology on silicic volcanism, EGU (招待講演), 2012年4月23日, Vienna, Austria
- (18) 吉村俊平・中村美千彦、黒曜石薄層の形成メカニズム、日本火山学会秋季大会、2011年10月2日、旭川
- (19) 西尾光・高橋正樹・安井真也、桜島火山大正溶岩にみられる集合斑晶の成因、日本火山学会秋季大会、2011年10月2日、旭川
- (20) M. Nakamura, S. Otsuki, D. Miki, M. Iguchi, Nanolites in volcanic ash: a clue to understand gas pocket processes in the on-going Sakurajima eruption (Invited), Japan Geoscience Union Meeting 2011, 2011年5月25日、千葉
- (21) 奥村聡・中村美千彦・上杉健太郎・中野司・土山明、発泡したマグマの流動・変形その場観察、日本地球惑星科学連合大会2011、2011年5月24日、千葉
- (22) 大槻静香・中村美千彦、地表付近でのメルトフォームの崩壊メカニズム：ブルカノ式噴火機構への意義、日本地球惑星科学連合大会2011、2011年5月24日、千葉
- (23) Okumura, S., M. Nakamura, T. Fujioka, A. Tsuchiyama, S. Takeuchi, T. Nakano, K. Uesugi, Evolution of microstructure of bubbles and gas permeability in sheared rhyolite (INVITED), American Gophysical Union Fall Meeting, December 17, 2010, San Francisco, USA
- (24) Nakamura, M., T., Kichise, M. Yasui, Y. Nagahashi, T., Y. Voluminous juvenile lithic fragments in the pumice-fall deposit of the 1108 eruption of Asama volcano: Evidence of repeated compaction and fragmentation in the shallow conduit, American Gophysical Union Fall Meeting, December 13, 2010, San Francisco, USA
- (25) 吉村俊平・中村美千彦、マグマ破断面のヒーリング実験による周期性火山性地震の発生機構の解明、日本火山学会秋季大会、2010年10月11日、京都
- (26) 安井真也・高橋正樹・島田純、味喜大介・石原和弘、桜島火山歴史時代の大規模噴火の火口近傍プロセス—安永噴火と大正噴火の比較—、日本火山学会秋季大会、2010年10月11日、京都
- (27) 市川美弥・高橋正樹・安井真也、浅間前掛火山天明・天仁噴出物の斑晶斜方輝石の組成累帯構造とマグマ溜りプロセス、日本火山学会秋季大会、2010年10月11日、京都
- (28) 中村美千彦・大槻静香・味喜大介・井口正人、桜島から噴出している火山礫のマイクロ/ナノ構造：“ガス溜まり”の実体とそのブルカノ式噴火機構への意義、日本火山学会秋季大会、2010年10月10日、京都
- (29) 南雲旭・高橋正樹・安井真也、那須茶臼岳火山にみられる火砕成溶岩、日本火山学会秋季大会、2010年10月10日、京都
- (30) 中村美千彦、噴火メカニズム系統樹作成の試み：噴火様式の分岐点の整理と理解に向けた叩き台として、日本火山学会秋季大会、2010年10月9日、京都
- (31) 高橋正樹・安井真也・黒澤貴之、浅間前掛火山十二世紀大規模噴火の噴火推移の再検討、日本火山学会秋季大会、2010年10月9日、京都
- (32) Okumura, S., Nakamura, M., Nakano, T., Experimental constraints on the permeable gas transport in ascending magmas (INVITED), Tohoku University G-COE symposium 2010: Dynamic Earth and Heterogeneous Structure, July 15, 2010, Sendai
- (33) Yoshimura, S., Nakamura, M., Bubble growth and resorption driven by chemical interaction in the H₂O-CO₂-rhyolite system, Tohoku University G-COE symposium 2010: Dynamic Earth and Heterogeneous Structure, July 14, 2010, Sendai
- (34) Nakamura, M., Bifurcations of eruption processes: An overview with a case study of the Asama volcano (INVITED),

- Tohoku University G-COE symposium 2010: Dynamic Earth and Heterogeneous Structure, July 13, 2010, Sendai
- (35) 中村美千彦、流動に伴う発泡したマグマの密度変化：変形実験からの制約、日本地球惑星科学連合大会、2010年5月26日、幕張メッセ
- (36) 吉瀬毅・中村美千彦・安井真也、浅間前掛火山における爆発性の分岐条件：1108年噴火の降下軽石層に含まれる石質岩片からの制約、日本地球惑星科学連合大会、2010年5月24日、幕張メッセ
- (37) 佐藤智紀・中村美千彦・奥村聡・ほか、桜島火山大正噴火のマグマの揮発性成分量と噴火ダイナミクス、日本地球惑星科学連合大会、2010年5月24日、幕張メッセ
- (38) 栗谷豪・吉田武義・長橋良隆、気泡が存在するマグマ体における選択的結晶分化作用：利尻火山・杵形溶岩流、日本地球惑星科学連合大会、2010年5月23日、幕張メッセ
- (39) 高橋正樹・安井真也・間瀬口輝浩・金丸龍夫、浅間黒斑火山仙人溶岩グループにみられるアグルチネート、日本地球惑星科学連合大会、2010年5月23日、幕張メッセ
- (40) 中村美千彦・吉瀬毅・安井真也、浅間前掛火山における噴火様式の変遷条件、「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」成果報告シンポジウム、2010年3月3日、東京
- (41) 中村美千彦・伊藤嘉紀・田村翔・井口正人・味喜大介、桜島火山歴史時代噴火の開始条件に関する岩石学的制約、平成21年度京都大学防災研究所研究発表講演会、2010年2月23日、京都
- (42) Abe, M., Nakamura, M., An experimental study on aqueous fluid connectivity in amphibolitic lower crust, Americal Geophysical Union Fall Meeting, December 17, 2009, San Francisco, USA
- (43) Yoshimura, S., Nakamura, M., A chromatographic simulation of CO₂ flushing in magmatic systems (Invited), Americal Geophysical Union Fall Meeting, December 15, 2009, San Francisco, USA
- (44) Nakamura, M., Otaki, K., Takeuchi, S., Permeability and pore-connectivity variation of pumices from a single pyroclastic flow eruption: Implications for partial fragmentation, Americal Geophysical Union Fall Meeting, December 14, 2009, San Francisco, USA
- (45) Okumura, S., Nakamura, M., Nakano, T., Uesugi, K., Tsuchiyama, A., Shear deformation experiments on vesicular rhyolite: Implications for magma fracturing, degassing, and compaction of magma in volcanic conduits, Americal

- Geophysical Union Fall Meeting, December 14, 2009, San Francisco, USA
- (46) 吉村俊平・中村美千彦、反応輸送系モデルによるマグマ中CO₂ガスフラッシング機構の解明、日本火山学会秋季大会、2009年10月12日、小田原
- (47) 中村美千彦・伊藤嘉紀・田村翔・井口正人・味喜大介、鉄チタン酸化鉱物から見るマグマ溜まりの熱史と均質性：桜島火山歴史時代噴火への応用、日本火山学会秋季大会、2009年10月11日、小田原
- (48) 藤岡拓真・奥村聡・中村美千彦、発泡したマグマの脆性破壊実験：温度・歪み量の効果、日本火山学会秋季大会、2009年10月10日、小田原

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 美千彦 (NAKAMURA MICHIHIKO)
東北大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：70260528

(2) 研究分担者

栗谷 豪 (KURITANI TAKESI)
大阪市立大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：80397900

安井 真也 (YASUI MAYA)
日本大学・文理学部・准教授
研究者番号：90287566

(3) 連携研究者

奥村 聡 (OKUMURA SATOSHI)
東北大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号：40532213

吉田 武義 (YOSHIA TAKEYOSHI)
東北大学・大学院理学研究科・名誉教授
研究者番号：80004505