

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：13801

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2016

課題番号：25800293

研究課題名(和文)高結晶量熔岩の流動則に及ぼす浮遊結晶の影響の実験的検討

研究課題名(英文) Experimental investigation of the effects of suspended crystals on rheology of highly crystalline lavas

研究代表者

石橋 秀巳 (Ishibashi, Hidemi)

静岡大学・理学部・准教授

研究者番号：70456854

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では主に高温一軸圧縮試験による高粘性溶岩の変形実験を行い、そのレオロジー的性質およびこれに及ぼす浮遊結晶の影響について検討した。実験は、気泡・結晶をほとんど含まない黒曜石溶岩、38体積%の結晶とガラスのみからなり、気泡を含まない安山岩質溶岩、メルト・結晶・気泡3相系の安山岩質溶岩(桜島昭和溶岩)について行った。この結果、本実験手法による粘性率測定が信頼に足ること、既存のメルト粘性率モデルが妥当であること、斜長石板状結晶の配列がマグマの粘性率に著しい影響を及ぼすこと等を明らかにした。また、桜島昭和溶岩のレオロジー則の定量モデル化に成功し、粘性-脆性遷移の条件について決定した。

研究成果の概要(英文)：High-temperature uniaxial compression viscometry was done for highly viscous lavas, including crystal and bubble-free obsidian, bubble-free andesitic lava with 38 vol.% microlites, and three-phase andesitic lava from Sakurajima volcano. Present results suggest that (1) uniaxial compression viscometry is an useful tool to investigate highly viscous, multi-phase lavas, (2) the existing melt-viscosity model of Giordano et al. (2008) is valid, and (3) preferred orientation of plagioclase crystals strongly influences on lava viscosity. In addition, quantitative rheological model is established and shear rate-temperature condition at which viscous-brittle transition occurs is determined for crystal- and bubble-bearing andesitic magma which is representative at Sakurajima volcano. Present results may be helpful for simulating lava flow dynamics of Sakurajima volcano and other andesitic volcanoes.

研究分野：マグマ科学

キーワード：マグマ レオロジー 結晶 サスペンション 粘性-脆性遷移 熔岩流 桜島火山

## 1. 研究開始当初の背景

マグマの火道上昇や地表での溶岩流のダイナミクスは、マグマのレオロジー的性質に著しい影響を受ける。このため、噴火ダイナミクスを考えるうえで、マグマのレオロジー的性質を理解することの重要性は、強調してもしすぎることはないといえよう。ところで、マグマの脱ガスや冷却に駆動される結晶の増加は、マグマの粘性率の増加や非ニュートン流体的ふるまい、そして液体 - 固体遷移を引き起こすなどの著しい影響を及ぼすことが知られている (e.g., Ishibashi & Sato, 2007; Ishibashi, 2009; Ishibashi & Sato, 2010; Carricci et al., 2007; Picard et al., 2011, 2013)。特に、液体 - 固体遷移は、火道内でのマグマ破碎や、地表での溶岩流の停止などの重要な現象を支配すると考えられる。このため、この遷移がおこる近辺での結晶量条件におけるマグマのレオロジー的性質を明らかにすることは、マグマの火道上昇・溶岩流のダイナミクスを理解するうえで本質的に重要である。しかしながら、本研究開始時において高結晶量・高粘性のマグマのレオロジー的性質に関する理解はあまり進んでいなかった。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、結晶の増加によって高粘性となったマグマ (溶岩) のレオロジー的挙動と、これに及ぼす浮遊結晶の影響を定量的に明らかにし、高粘性マグマのレオロジーモデルを構築することである。

## 3. 研究の方法

本研究では、天然の溶岩を角柱状に整形したものを実験試料とし、高温一軸圧縮変形試験による粘性率測定を行った。この際、変形速度を変化させることにより、溶岩の粘性率の歪速度依存性を検討した。また、実験試料を急冷回収し、薄片試料を作製して、偏光顕微鏡および電子顕微鏡による岩石記載と、EPMAによる石基ガラスの化学分析を行った。

## 4. 研究成果

本研究ではまず、高温一軸圧縮試験装置による溶岩の粘性率測定の信頼性を確認するために、北海道白滝に産する、気泡・結晶をほとんど含まない黒曜石溶岩について粘性率測定実験を行った。その結果、黒曜石溶岩の粘性率は歪速度に依存性をほとんど示さず、その粘性率は既存モデル (Giordano et al., 2008) による予測値と一致した。このことは、本研究の手法による粘性率測定が信頼に足ること、また Giordano et al. (2008) モデルが妥当であることを示唆している。また、この実験データを用いて、黒曜石溶岩のレオロジー側を定式化し、更にケイ酸塩メルトの粘性 -

脆性遷移条件 (Webb et al., 1991) と組み合わせることで、黒曜石溶岩が流動中に脆性破壊する温度 - 歪速度条件を見積もった。そして、この結果に基づき、北海道白滝赤石山上部溶岩の定置プロセスについて議論した。この結果は石橋・佐野 (2016) に公表した。

次に、約 38vol.% のマイクロライト (主に斜長石) とメルトからなり、気泡をほとんど含まない安山岩質溶岩 (香川県五色台のサヌカイト) について高温粘性率測定実験を行った。この溶岩中では、板状の斜長石結晶の平衡配列が見られる。実験の結果、歪速度の増加に伴って粘性率が減少する shear thinning 的ふるまいがみられ、その粘性率 - 歪速度関係はべき乗則流体モデルによってうまく説明できた。ほぼ同一の結晶量と異なる温度の条件で粘性率測定を行ったが、メルト粘性率に対するバルク粘性率の比で与えられる相対粘度の値は温度によらず一定であった。メルトの粘性率は、化学組成と温度によって決まるため (Giordano et al., 2008)、この結果は、高粘性溶岩においても、浮遊結晶の影響を評価する指標として相対粘度が有用であることを示す。相対粘度と結晶量の関係は、より少量の斜長石マイクロライトを含むマグマの粘性率測定の先行研究 (e.g., Ishibashi, 2009; Ishibashi & Sato, 2010) で報告された関係式と整合的であり、斜長石が平衡配列するマグマ一般についてこの関係式を適用可能であることが示唆された。また、本実験で得られた相対粘度の値は、斜長石の方位がランダムな場合のマグマ (結晶量は同一) について測定された値 (Picard et al., 2011) よりも数ケタ低い値を示した。このことは、結晶の配列が相対粘度に著しい影響を及ぼすことを意味し、特に流動による斜長石結晶の平衡配列化が更に溶岩流を流動しやすくするという正のフィードバックが働くことを示している。また、斜長石の配列は、溶岩の液体 - 固体遷移がおこる臨界結晶量を大幅に増加させ、溶岩を固化しにくくすることも示唆する。これらの結果は、国際学会 (AGU Fall Meeting 2013, AOGS 2014) および国内学会において公表した。

続いて、気泡と結晶の両方を含む安山岩質溶岩 (桜島昭和溶岩) について高温粘性率測定実験を行った。この溶岩も、サヌカイトと同様にべき乗則的・shear thinning 的なふるまいを示し、その粘性率は温度と歪速度の関数として記述できる。そこで実験結果を基に、桜島昭和溶岩のレオロジー則を定式化した。この式は、実験で見られた粘性率と温度・歪速度の関係を高精度で記述できるだけでなく、桜島火山の 1945 年昭和噴火の際に観測された溶岩流の流動速度 (萩原他, 1946) についてもうまく説明できる。したがって、本研究で提案するレオロジー則は、桜島火山の安山岩質溶岩 (および他火山の類似組成の溶

岩)の流動シミュレーションに利用できる」と期待できる。一方で、850 での実験の際、与える歪速度の増加に伴って、粘性流動から脆性破壊へのレオロジー遷移が確認できた。そこで、この遷移のおこるデボラ数を見積もったところ、先行研究(Cordonnier et al., 2012)によって提案された粘性 - 脆性遷移のおこる臨界デボラ数と一致した。このことから、桜島昭和溶岩の粘性 - 脆性遷移条件を制約できたので、上に構築したレオロジー則と組み合わせて桜島昭和溶岩の脆性破壊する歪速度を決定した。その結果、重力に駆動された単純な層流では桜島昭和溶岩は脆性破壊せず、溶岩表面に見られるブロック状構造を作るには何らかの別の機構が必要であることがわかった。この内容については、国内学会で公表した。

最後に、大分県鶴見岳でおよそ1万年前に発生した山頂噴火の溶岩(鶴見岳山頂溶岩)の流動・定置プロセスについて明らかにするために、その噴火条件の鉱物学的検討を行った。ここでは角閃石斑晶の化学組成に注目し、近年実用化された角閃石温度計(Putirka, 2016)を適用して溶岩の噴火温度決定を試みた。その結果、角閃石の記録する温度は大きく2つのクラスターに分かれ、噴火直前のタイミングでマグマ混合がおこっていたことがわかった。また、角閃石の組織的特徴を検討したところ、マグマ混合から噴火までのタイムスケールが1ヵ月以内(ことによると数日以内)であることがわかった。この研究では噴火温度の精密な決定に至らなかったため、溶岩流の定置プロセスの解明までは到達しなかったが、鶴見岳火山のマグマ供給系と噴火プロセスについて重要な情報を得ることができた。この内容については、Nagasaki et al.(2017)にまとめて公表した。

以上の様に、本課題に関する一連の研究では、高粘度溶岩流のレオロジー的性質と定置プロセスについて重要な知見を得ることができた。

## 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4件)

[1] Shiho Nagasaki, Hidemi Ishibashi, Yukiko Suwa, Atsushi Yasuda, Natsumi Hokanishi, Takahiro Ohkura, Keiji Takemura (2017) Magma reservoir conditions beneath Tsurumi volcano, SW Japan: Evidence from amphibole thermobarometry and seismicity. *Lithos*, **278-281**, 153-165. 査読有。

[2] 石橋秀巳, 佐野恭平(2016) 高温一軸圧縮実験によるマグマの粘性率測定: 北海道, 白滝の黒曜石溶岩の例. 静岡大学地球科学研究報告, **43**, 21-31. 査読無。

[3] 山田早記, 石橋秀巳(2015) 富士火山で過去2000年間に噴出したマグマの分化メカニズム: 熱力学的相平衡シミュレーター“PELE”を用いた検討. 静岡大学地球科学研究報告, **42**, 37-49. 査読無。

[4] Francesco P Vetere, Hiroaki Sato, Hidemi Ishibashi, Rosanna De Rosa, Paola Donato (2013) Viscosity changes during crystallization of shoshonitic magmas: new insights on the lava flows emplacement. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, **108**, 144-160. 査読有。

〔学会発表〕(計7件)

[1] 石橋秀巳, 三輪学央, 三井雄太 (2016) 3相系マグマのレオロジー則と粘性-脆性遷移: 桜島昭和溶岩の例. 日本地球惑星科学連合大会2016年大会(ポスター). 幕張メッセ(千葉県千葉市).

[2] 石橋秀巳, 三輪学央, 三井雄太 (2015) 桜島昭和溶岩のレオロジー則と脆性-粘性遷移. 日本火山学会2015年秋季大会(口頭). 富山大学(富山県富山市).

[3] 長崎志保, 石橋秀巳, 竹村恵二 (2015) 鶴見岳山頂溶岩のマグマだまり条件と噴火過程: 角閃石斑晶からの制約. 日本地球惑星科学連合大会2015年大会(ポスター). 幕張メッセ(千葉県千葉市).

[4] Hidemi Ishibashi (2014) Experimental investigation on the rheological transition of plagioclase-bearing magma. AOGS 2014(ポスター). ロイトン札幌ホテル(北海道札幌市).

[5] 石橋秀巳 (2014) 斜長石を含むマグマのレオロジー遷移: サヌカイト溶岩の高温一軸変形実験. 日本地球惑星科学連合大会2014年大会(口頭). 幕張メッセ(千葉県千葉市).

[6] Hidemi Ishibashi (2013) High temperature uniaxial deformation experiment of bubble-free highly crystalline magmas; a case study for the high-Mg andesite from Goshiki-dai lava plateau, southwest Japan. American Geophysical Union fall meeting 2013(invited, 口頭). Moscone Center (San Francisco, USA).

[7] Hidemi Ishibashi\*, Takahiro Miwa, Takehiko Hiraga (2013) Experimental investigations on rheology and microstructure of the 1946 andesitic lava from Sakurajima volcano, Japan. IAVCEI 2013(ポスター). 鹿児島市民文化ホール(鹿児島県鹿児島市).

〔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

静岡大学教員データベース(石橋秀巳)

<http://tdb.shizuoka.ac.jp/ResearcherDB/public/Default2.aspx?id=11041&l=0>

## **6 . 研究組織**

### (1)研究代表者

石橋 秀巳 (Ishibashi, Hidemi)

静岡大学・理学部・准教授

研究者番号：70456854

### (2)研究分担者:該当なし

### (3)連携研究者:該当なし

### (4)研究協力者:該当なし