

平成25年度共同利用実施報告書(研究実績報告書)
(一般共同研究)

1. 課題番号または共同利用コード 2013-G- 11

2. 研究課題名 (データベース化のため英訳を加えてください。)

和文：溶岩流試料の室内実験による粘性係数測定と、野外観測値との比較に基づく、溶岩流動機構の解明

英文：Comparative study of natural lava viscosities obtained from laboratory experiments and field observations for the understanding of emplacement mechanisms of lava flow

3. 研究代表者所属・氏名 後藤章夫
(地震研究所担当教員名) 平賀岳彦

4. 参加者の詳細 (研究代表者を含む。必要に応じ行を追加すること)

氏名	所属・職名	参加内容
後藤章夫	東北大学・助教	実験, データ解析
平賀岳彦	東京大学・准教授	実験
石橋秀巳	静岡大学・講師	試料薄片観察

5. 研究計画の概要 (申請書に記載した「研究計画」を800字以内でご記入ください。変更がある場合、変更内容が分かるように記載してください。)

溶岩流の粘性係数は、地形とともにその流動を支配し、シミュレーションにも欠かせない。溶岩の粘性係数は、流動性を持つ熔融部の粘性係数と、含まれる結晶の量や形で決まると考えられるが、それらから推定される値と、溶岩流の厚さや流速から求められる値とは一致しないことが多い。雲仙普賢岳の平成溶岩の場合、観測から $10^{10} \sim 10^{10.5}$ Pa s と求められているが、石基ガラス組成のメルトの粘性係数は 800°C のとき $10^{12.5}$ Pa s と観測値より高く、水による低下を考慮しても、結晶の効果によりさらに高い値が予想される (Goto, 1999)。これは、溶岩流の運動にはニュートン流動以外のメカニズムが関与していることを示唆する。同様のことは伊豆大島三原山の1951年溶岩流でも報告されている (Minakami, 1951)。

雲仙普賢岳に関しては、平成溶岩と約200年前の新焼溶岩は岩石学的にほぼ同一とされているにも関わらず、前者は崩落型火砕流を発生させたのに対し、後者はそれなしに斜面を溶岩流として流れ下ったという問題もある。これは後者が高温で粘性が低かったためと説明されているが、流動特性を実測で比較したわけではなく、推測の域を出ない。本研究では、これら溶岩の粘性係数を実際に測定し、その流動特性を明らかにすることで、溶岩流の流動機構を考察する。

6. 研究成果の概要 (図を含めて1頁で記入してください。)

キーワード (3~5程度) : 雲仙普賢岳 平成溶岩 粘性係数 結晶

0.057 MPa–10 MPa の間で段階的に応力を変えながら、平成溶岩の粘性係数測定を行った。試料は1991年9月15日に発生した火砕流の堆積物から同一地点(筒野)で採取された二つの岩塊で、筒野①、②と呼ぶことにする。密度は②のほうが若干低いものの、両者の全岩組成はほぼ同じで、肉眼及び鏡下の観察でも岩石組織に有意な違いは見られない。これらの岩塊から直径15mmまたは20mmのコアを抜き、長さが直径のおよそ2倍の円柱状に成形した後、一軸圧縮で変形させた。粘性係数はGent(1960)の式を用いて応力、圧縮速度、試料寸法から求めた。新焼溶岩の測定も行ったが、試料数がまだ十分でないため、ここでは議論に加えない。

840°Cでの測定例を図1に示す。これらの実験はいずれも0.057–0.18–0.57–1.8–5.7–10 MPaの順に応力を上げたが、各応力での保持時間は筒野①–1、①–2、②の順にそれぞれ、4、10、1.5時間と異なる。いずれの試料も時間に対して粘性係数の増加が見られるが、時間が異なる筒野①–1と①–2の比較から、この変化が脱水や結晶晶出といった熱的影響で起こる現象ではなく、応力に対する粘弾性的な応答であることがわかる。また、組織や組成に違いが見られない筒野②が①より低い値を取り、その差が応力の増大とともに広がるのがわかる。これらの傾向は複数のコア試料で共通で、コアの寸法や向きには関係しない。筒野①と②で差が生じた原因は現時点では判明していない。

筒野①について、測定した全てのコア試料の、各温度・応力での粘性係数を、先行研究の結果とともに図2に示す。値は各応力下での測定時間内の最終値で、時間に対する増加を考慮すると下限値といえる。いずれの測定も石基ガラスより高い値を示し、結晶のサスペンション効果で粘性が上がっていることがわかる。グレーに塗られた部分は鉄–チタン酸化物から求められた温度(Nakada and Motomura, 1999)と観測から求められた粘性係数の範囲(福井ほか, 1991; 須藤ほか, 1993)で、今回得られた測定値はそれより明らかに高い。Cordonnier et al. (2009)は同じく平成溶岩の粘性測定を行い、Hess and Dingwell (1997)のモデルで水の効果を考慮すると、測定値は観測値と調和的だと述べている。しかし彼らの測定は940–1010°Cで行われており、それを想定される低温まで外挿すると、今回の結果よりさらに高い値となる。これらのことから、ローブ溶岩の運動はやはり粘性流動では説明できない。一方、観測値をもとにローブ溶岩底面付近のひずみ速度を計算すると $1.6 \times 10^{-5} \sim 3.3 \times 10^{-5}$ で、これは石基ガラスの粘性係数が $3.0 \times 10^{12} \sim 6.3 \times 10^{12}$ Pa s以上であれば流動による破壊(Webb and Dingwell, 1990)が起こりうることを意味する。石基ガラスがこの粘性係数を持つのはおよそ790–810°Cで、この値はNakada and Motomura (1999)の温度範囲に含まれることから、ローブ底部では破壊が起こっていたと考えられ、破壊とその面の滑りが主な移動メカニズムと考えられる。

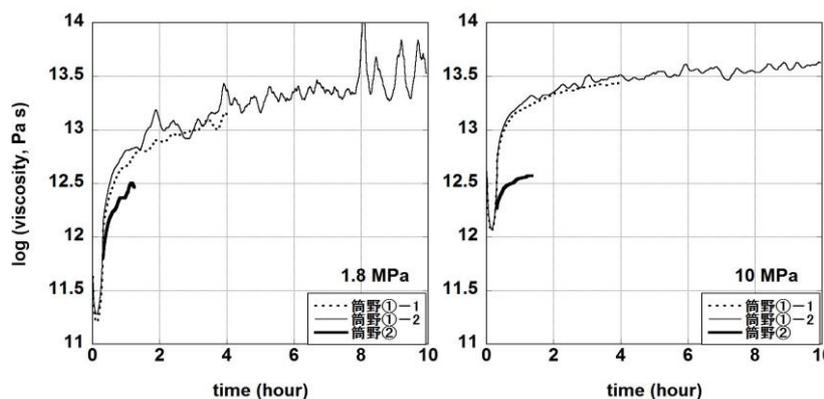


図1 840°Cでの粘性係数と時間の関係(例). 縦軸は粘性係数(Pa s)の対数で、図2も同じ。

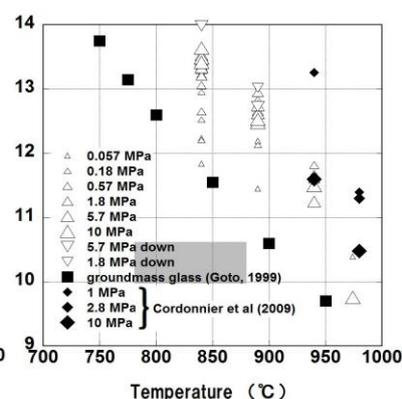


図2 筒野①の測定結果と、先行研究の比較。

7. 研究実績（論文タイトル、雑誌・学会・セミナー等の名称、謝辞への記載の有無）

Goto, A., Hiraga, T. and Ishibashi, H., Viscosity measurements of crystal-bearing natural lava samples from Unzen volcano, Japan. IAVCEI 2013 Scientific Assembly（謝辞記載あり）

後藤章夫，平賀岳彦，石橋秀巳，雲仙普賢岳平成溶岩の粘性係数測定．日本火山学会 2013 年秋季大会（謝辞記載あり）

雲仙普賢岳平成溶岩の粘性係数測定

○後藤章夫 (東北大・東北アジア研セ)・平賀岳彦 (東大・地震研)・石橋秀巳 (静岡大・理)

Viscosity measurements of Unzen Fugen-dake Heisei lava

○A. Goto (CNEAS, Tohoku Univ.), T. Hiraga (ERI, Univ. Tokyo) and H. Ishibashi (Grad. Sch. Sci., Shizuoka Univ.)

雲仙普賢岳平成噴火では、ローブ溶岩の粘性係数が観測から $0.9 - 4.2 \times 10^{10}$ Pa s と推定されている (Fukui et al., 1991; Suto et al., 1993). 一方, Goto (1999) は合成した石基ガラスの粘性係数を測定し, 800°C で 4×10^{12} Pa s, 900°C で 4×10^{10} Pa s の値を得ている. 斑晶と石基鉱物を合わせた結晶度 (約50%) を考えると, 石基ガラス中の水 (0.2–0.6%; Sato, 1996) による粘性低下を考慮しても, 観測から求められた粘性係数は低すぎ, ローブ溶岩の運動はニュートン流動と異なっていたことが示唆される. 本研究では, 0.057 MPa–10 MPa の間で段階的に応力を変えながら, 平成溶岩の粘性係数測定を行った.

試料は1991年9月15日に発生した火砕流の堆積物から同一地点 (筒野) で採取された二つの岩塊で, 筒野① ②と呼ぶことにする. 密度は②のほうが若干低いものの, 両者の全岩組成はほぼ同じで, 肉眼及び鏡下の観察でも有意な違いは見られない. これらの岩塊から直径15mmまたは20mmのコアを抜き, 長さが直径のおよそ2倍の円柱状に成形した後, 一軸圧縮で変形させた. 粘性係数はGent (1960) の式を用いて応力, 圧縮速度, 試料寸法から求めた.

840°C での測定例を図1に示す. これらの実験はいずれも0.057–0.18–0.57–1.8–5.7–10 MPaの順に応力を上げたが, 各応力での保持時間は筒野①–1, ①–2, ②の順にそれぞれ, 4, 10, 1.5時間と異なる. いずれの試料も時間に対して粘性係数の増加が見られるが, 時間が異なる筒野①–1と①–2の比較から, この変化

が脱水や結晶晶出といった熱的影響で起こる現象ではなく, 応力に対する粘弾性的な応答であることがわかる. また, 組織や組成に違いが見られない筒野②が①より低い値を取り, その差が応力の増大とともに広がることがわかる. これらの傾向は複数のコア試料で共通で, コアの寸法や向きには関係しない.

筒野①について, 測定した全てのコア試料の, 各温度・応力での粘性係数を, 先行研究の結果とともに図2に示す. 値は各応力下での測定時間内の最終値で, 時間に対する増加を考慮すると下限値といえる. いずれの測定も石基ガラスより高い値を示し, 結晶のサスペンション効果で粘性が上がっていることがわかる. グレーに塗られた部分は鉄一チタン酸化物から求められた温度 (Nakada and Motomura, 1999) と観測から求められた粘性係数の範囲で, 今回得られた測定値はそれより明らかに高い. Cordonnier et al. (2009) は同じく平成溶岩の粘性測定を行い, Hess and Dingwell (1997) のモデルで水の効果を考慮すると, 測定値は観測値と調和的だと述べている. しかし彼らの測定は $940 - 1010^\circ\text{C}$ で行われており, それを想定される低温まで外挿すると, 今回の結果よりさらに高い値となる.

これらの結果はいずれも, ローブ溶岩の運動が粘性流動では説明できないことを意味する. おそらく溶岩内部の微小なクラックや底面と地面の間の滑りが, 運動の主要な要因と考えられる.

謝辞: 全岩化学組成分析は宮本毅博士にご協力頂いた. 本研究には東大地震研究所共同研究費を用いた.

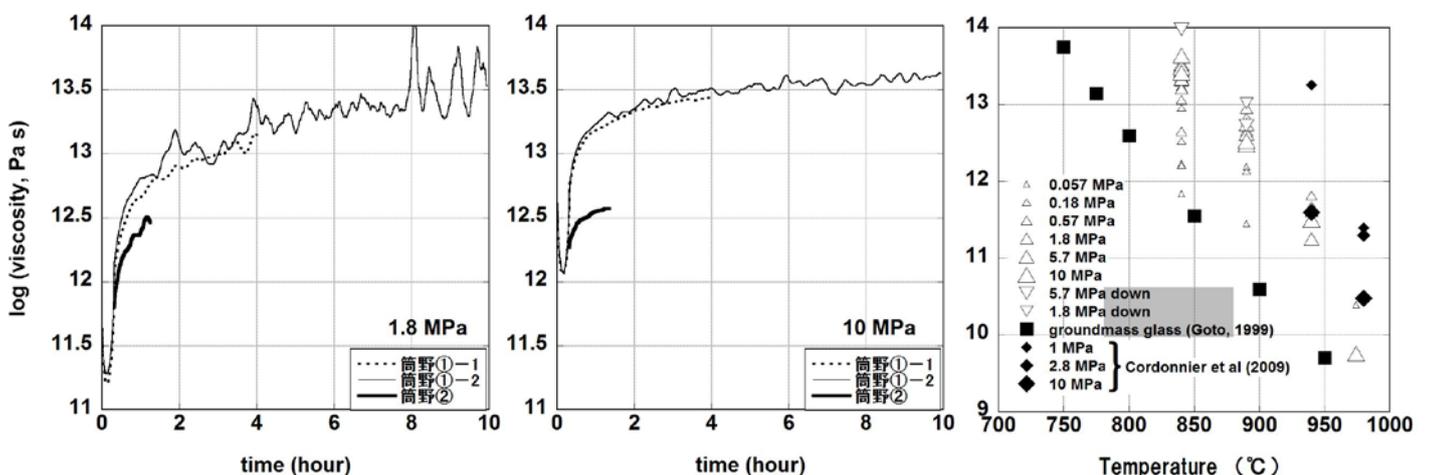


図1 840°Cでの粘性係数と時間の関係 (例). 縦軸は粘性係数 (Pa s) の対数で, 図2も同じ.

図2 筒野①の測定結果と, 先行研究の比較.