

令和 4 年 4 月 11 日現在

機関番号：33901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04001

研究課題名(和文) 黒曜石溶岩における流動と定置過程の精密なモデル化

研究課題名(英文) Modeling of moving and emplacement for Obsidian lava flows

研究代表者

古川 邦之 (Furukawa, Kuniyuki)

愛知大学・経営学部・教授

研究者番号：20440620

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では4つの黒曜石溶岩(高野尾羽根溶岩、砂糠山溶岩、城山溶岩、皮子平溶岩)について調査、分析を行い、それらの噴出、流動、定置過程を明らかにした。特に城山溶岩では、火道上昇時にすでに黒曜石が形成されており、それが急速に発泡しながら噴出、流動し、最終的には気泡が崩壊して高密度の溶岩が形成されることを明らかにした。このように黒曜石溶岩の流動過程を包括的に説明した研究例は少なく非常に重要な成果だと言える。

研究成果の学術的意義や社会的意義

黒曜石溶岩の噴出は、発生頻度が極めて低い火山現象である。そのため、いざ噴出した時にはどのように流動し、いかなる災害に発展するのかわかっていない。本研究は、地層に記録された過去の黒曜石溶岩を調査し、その噴出、流動、定置に至る過程を明らかにしたものである。城山溶岩では、火道の黒曜石が発泡することで膨張しながら噴出し、流動中にはその気泡が崩壊しながら扇状に広がることを明らかにした。これにより黒曜石溶岩流動中のガスの移動経路が明らかになった。これは、災害につながる溶岩表面の爆発現象を理解する上で重要な知見である。

研究成果の概要(英文)：We examined four obsidian lavas (Takanoobane, Sanukayama, Shiroyama, and Kawagodaira) and revealed their extrusion, moving, and emplacement histories. Especially in Shiroyama lava, we proposed the following history. Obsidian lithofacies had already been formed within the conduit. The obsidian started to effuse with rapid inflation. The moving porous lava was finally emplaced as dense lava formed by continuous bubble collapsing. In this study, we explained the flow dynamics of obsidian lava comprehensively.

研究分野：地質学

キーワード：黒曜石 溶岩 神津島 姫島 阿蘇 皮子平 古地磁気

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 本研究の学術的背景

流紋岩マグマが溶岩として噴出し、その大部分がガラス質になったものが黒曜石溶岩である。黒曜石溶岩は地層中には普遍的に存在するが、粘性が極めて高いため噴出することは稀である。噴出頻度が低いとはいえ、それは無視して良いことにはならない。日本では神津島において、約1,200年前に噴出したことが確認されているし、日本のようなプレート沈み込み帯では、流紋岩マグマが生産されやすいので、今後も必ず噴出する。実際、沈み込み帯のチリでは、チャイテン火山において2008年に黒曜石溶岩が噴出し災害を引き起こした。以上より、事前に黒曜石溶岩噴出時のリスクを正確に評価する必要がある。ところが、黒曜石溶岩の科学的な観測事例は、2008年のチャイテン火山と2011年のコルドンカウジェ火山の2例のみである (Lara, 2009; Tuffen *et al.*, 2013)。つまり、黒曜石溶岩の科学的知見は不十分であるため、その噴出に伴いどのような現象と災害が引き起こされるかは明らかではない。

黒曜石溶岩を作る流紋岩マグマは極めて粘性が高い。そのため、雲仙普賢岳1991年噴火のデイサイト溶岩と同じように、溶岩ドームを形成すると考えられがちだが、そのようなことは多くない。多くの黒曜石溶岩では広く扇状に流れるので (Fink and Manley, 1987; Furukawa and Uno, 2015 など)、むしろ低粘性の玄武岩溶岩の地形に類似する。例えばコルドンカウジェ火山2011年噴火の黒曜石溶岩では、先端の冷え固まった溶岩を、内部の溶融した溶岩が突き破る再流出現象(ブレイクアウト)が観察されたが、これは低粘性の玄武岩溶岩に特徴的な現象である (Magnall *et al.*, 2017)。

このように黒曜石溶岩が低粘性マグマの挙動と類似する原因は、粘性が極めて高いためにメルト中の原子・分子の拡散が遅いからである。それにより結晶化が進行せず、液体(ガラス)状態が持続する。つまり、黒曜石溶岩の粘性は極めて高いが、長期にわたり流動できるので、結果として、低粘性溶岩と類似した地形となる。一方、デイサイト溶岩では結晶化が早く進行するので、直ちに固化して溶岩ドームになりやすい。

黒曜石溶岩とデイサイト溶岩は高粘性という点では類似するが、流動特性は全く異なるので、起きうる火山現象や災害の側面では明確に分けて考える必要がある。Fink and Manley (1987) や Castro *et al.* (2002) などはその点に着目し、黒曜石溶岩の表面地形の地質研究を行った。それらにより上図のように、溶岩の表面直下に、内部から放出されたガスが蓄積され、過剰圧になると爆発して噴石が飛散することが示された。これは、表面がガラス質の黒曜石溶岩特有の火山現象である。溶岩流出の場合は爆発的噴火と異なり、近づいての観測や減災の作業を行うので、人的な災害を引き起こす可能性が十分にある。

またコルドンカウジェ火山2011年噴火の観測から、右図のように末端部が停止し、その10ヶ月も後に内部の溶岩が表面を突き破り再流出するブレイクアウトが起きることがわかった (Magnall *et al.*, 2017)。溶岩停止後には復旧作業が開始されるが、その時に突然、溶岩の再流出が起きれば確実に大きな災害に発展する。

## 2 . 研究の目的

先行研究から、黒曜石溶岩の表面では災害に直結する、爆発や再流出現象が起きることがわかってきた。これらの現象のメカニズムが正確に理解されれば、予測に繋がり減災計画に反映される。これらの現象を理解する上で、解明されるべき課題は以下の二点である。

溶岩表面の爆発の原因は、内部の脱ガスによる過剰圧である。つまり黒曜石溶岩内部の脱ガス機構の解明が重要であるが、その研究例は少ない。私たちはその問題に取り組んできたが (Furukawa *et al.*, 2010; Furukawa and Uno, 2015)、ポーリングコアを用いた研究であるため、溶岩全体にわたる空間的な議論には発展できていない。

溶岩の再流出の理解には、溶岩の流動特性を明らかにする必要がある。流動特性は、溶岩の初期的な粘性のみならず、溶岩内部の結晶化に伴う潜熱が深く関わる可能性がある (Tuffen *et al.*, 2012)。例えば、溶岩がガラス転移温度付近まで冷えてから結晶化が始まり、それに伴う潜熱放出により粘性が下がるので、停止した後、再流動する可能性がある。これを明らかにするには、溶岩内部における結晶の産状変化を解析する必要がある。

黒曜石溶岩の噴出は稀であるため、現在の火山学においてその理解は不十分である。そのため、噴出時に発生しうる現象や災害予測などの正確なリスク評価は困難である。そこで本研究計画では、黒曜石溶岩の流動、定置過程の精密なモデル化を目的として、複数の黒曜石溶岩の地質学および磁気学的研究を行う。

## 3 . 研究の方法

神津島の砂糠山溶岩、姫島の城山溶岩、阿蘇火山の高野尾羽根溶岩、伊豆半島の皮子平溶岩の4つの黒曜石溶岩を対象とし、それらの流動、定置過程を精密にモデル化する。研究は、地質学と磁気学的手法により進める。

### (1) 地質学的研究

最初に、野外調査により溶岩の詳細な岩相変化を明らかにする。含まれる結晶のサイズや量は脱ガス過程を記録しているため、顕微鏡や電子顕微鏡を用いて、それらを記載岩石学的手法により解明する。それらから定置モデルを構築する。

### (2) 磁気学的研究

溶岩表面や内部の応力は流動過程に大きく影響を受ける。そこで詳細な応力解析のため、帯磁率異方性と古地磁気の分析を行う。また脱ガス経路を特定するため、帯磁率分析を行う。これらの結果により、地質学的研究により導かれた定置モデルの精密化を図ることができる。

## 4 . 研究成果

神津島、砂糠山溶岩の研究は2019年に行った。砂糠山溶岩の内部構造については Furukawa *et al.* (2019) で詳細を報告したが、本研究では流動中のブレイクアウト現象について検討するため古地磁気分析を行った。その結果、400台、500台のキュリー点以下において、溶岩全体が系統的に転動していることがわかった。この転動を私たちは、溶岩内部からのブレイクアウトに伴い、溶岩全体が傾いたと結論づけた。古地磁気分析により溶岩のブレイクアウト現象を推定した研究はこれが初めてであり、学術論文は *Geophysical Journal international* 誌 (Uno *et al.*, 2019) に掲載された。

阿蘇火山、高野尾羽根溶岩の研究は主に 2020 年に行った。これは溶岩全体を掘削したボーリングコアの帯磁率異方性を測定したものである。帯磁率異方性は大局的には結晶の配列を反映すると考えられるため、流動中の応力を明らかにすることが目的であった。分析の結果、全体的に oblate な磁気異方性を示すことが明らかにされた。これは、溶岩流動中は単純剪断に比べ純粋剪断の成分が卓越していたことを示している。この結果は、Merle (1998) や Furukawa and Uno (2015) の結果とも調和的であり、黒曜石溶岩の流動に関する重要な知見だと言える。この成果は、地質学雑誌 (Uno and Furukawa, 2021) に掲載された。

姫島、城山溶岩の研究は 2019-2020 年に行った。城山溶岩は、溶岩縁辺の一部にのみ黒曜石が産出し、内部の多くは軽石質、縁辺部のほとんどはやや結晶質な高密度の溶岩で構成されている。黒曜石の内部においても岩相は大きく変化し、縁辺部ほど、破碎や鉛直方向の剪断が発達していた。このような産状をもとに、この黒曜石は流出した溶岩ではなく、火道部であると結論づけた。この溶岩において赤外線分光 (FTIR) による分析を行い、含水量を推定した。その結果、黒曜石部で含水量が高く、軽石質部や結晶質部では含水量が低いことがわかった。このことから、火道の黒曜石が急速に発泡することで膨張し、噴出に至ったと考えられる。その軽石質な溶岩は、脱ガスに伴い気泡を崩壊させながら流動し、最終的には高密度な溶岩になって定置したのである。また帯磁率異方性の分析から、溶岩は同心円状に拡がり、最終的に扇形になったと結論された。このように、黒曜石溶岩の、火道での上昇、噴出、流動、定置までを包括的に説明した研究例は少ないため、本研究成果は重要である。この成果は、Volcanica (Furukawa *et al.*, 2021) に掲載された。

また 2020 年からは、伊豆半島、皮子平溶岩の研究にも着手した。地形的によく保存されている ogive (溶岩じわ) の古地磁気研究からその形成、流動過程を検討した。ogive の両翼において残留磁化を分析したところ、キュリー温度以下で複数回転していることが明らかにされた。これは Andrews *et al.* (2021) の引張割れ目が pressure ridge に見えている、という形成過程では説明できない結果である。そのため皮子平溶岩の ogive は pressure ridge だと考えられるが、データが不十分なので、今後も検討を続ける予定である。さらに皮子平溶岩について含水量の検討を行った。皮子平溶岩は黒曜石部と、発泡した軽石質部から構成されるが、それらの岩相において FTIR により含水量分析を行った。その結果、黒曜石部が 0.2-0.3wt.%、軽石質部が 0.1-0.2wt.% であった。これは、黒曜石が水を放出して軽石になったのか、軽石が水を吸収して黒曜石になったのかは判断ができないため、これについても引き続き検討する。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Furukawa Kuniyuki, Uno Koji, Horiuchi Yu, Murohashi Shintaro, Tsuboi Motohiro	4. 巻 4
2. 論文標題 Conduit system, degassing, and flow dynamics of a rhyolite lava: A case study of the Shiroyama lava on Himeshima Island, Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Volcanica	6. 最初と最後の頁 107 ~ 134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.30909/vol.04.02.107134	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Uno Koji, Furukawa Kuniyuki	4. 巻 127
2. 論文標題 Magnetic fabric stratigraphy of a thick rhyolite lava flow	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of the Geological Society of Japan	6. 最初と最後の頁 305 ~ 311
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5575/geosoc.2020.0062	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Uno Koji, Furukawa Kuniyuki, Nakai Kotaro, Kamio Takuma, Kanamaru Tatsuo	4. 巻 220
2. 論文標題 Deformation of rhyolite lava crust associated with intermittent inner flow of lava: palaeomagnetic evidence	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	6. 最初と最後の頁 190 ~ 200
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/gji/ggz432	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Kuniyuki Furukawa, Koji Uno, Tatsuo Kanamaru
2. 発表標題 Fracturing and Remobilization of Obsidian Lava Flow
3. 学会等名 Geological Society of America (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡 祥司, 壺井基裕, 古川邦之
2. 発表標題 Petrological characteristics of the Kawago-daira rhyolite lava, Izu Peninsula, Japan
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>誰も見たことがない巨大な黒曜石溶岩の流動メカニズムを解明 (p14-15)  <a href="https://edu.career-tasu.jp/p/digital_pamph/frame.aspx?id=7529900-3-23&amp;FL=0">https://edu.career-tasu.jp/p/digital_pamph/frame.aspx?id=7529900-3-23&amp;FL=0</a></p>
---

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	宇野 康司  (Uno Koji)  (10510745)	岡山大学・教育学研究科・教授    (15301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------