

## 溶岩流の形態を支配する要因に対する探究学習 - 実験教材の開発と中学校での授業実践 -

Experimental study for active learning on the factors affecting lava flow morphology: Development of experimental procedure and practice in the science classes of the junior high school

岡田京<sup>1</sup>・川上紳一・長澤美穂

Kei OKADA, Shin-ichi KAWAKAMI, Miho NAGASAWA

岐阜聖徳学園大学

Gifu Shotoku Gakuen University

橋田千尋・武下晃慎

Chizu HASHIDA, and Akinori TAKESHITA

岡山県立倉敷天城中学校

Kurashiki Amagi Junior High School

〔要旨〕火口から流れ出したマグマの定置は、マグマの粘性、斜面勾配、地面との摩擦などの要因に支配される。1983年三宅島の溶岩流を事象提示として用い、3Dプリンターで火山地形をつくり、ココアパウダーとチョコレートを用いたモデル実験を通して溶岩流の形態を探究するための教材を検討した。開発した教材を用いて、中学1年生を対象に授業実践を行った。本発表では、教材開発の意図、教材開発の概要を報告すると同時に、中学生を対象として行った授業実践をもとに成果と課題を議論する。

キーワード：溶岩流、シミュレーション、探究学習、三宅島、3Dプリンター

### 1. はじめに

火山の発達は長大な年月をかけた規模の様々な噴火の繰り返しの結果であり、溶岩流の流れ方は地形、地面との摩擦、マグマの粘性、マグマの噴出量、噴出率、斜面の傾斜などの要因が関係している。一方で、現在の中学理科の授業ではマグマの粘性に重点を置いているため、一回のマグマの流出と火山の形を概念的に関係づけようとしている。中学校の理科授業で行われている実験は一般的な火山の活動でみられる噴火活動とは異なっている。

火山活動に関する実験的な学習は、各種団体のアウトリーチ活動など、多くの実践があ

る。これらはキッチン火山学と呼ばれており、溶かしたチョコレート、ココアパウダー、カルメ焼きの材料などの食材を用いて、火山現象をシミュレーションし、学習者の火山に対する興味・関心を高める試みである（林，2015）。中学校の理科授業においても、実際の火山活動に近い状況を実験的に探究する試みが行われている。多和田ほか（2008）、石原ほか（2008）では、紙粘土を用いて、伊豆大島の地形を模擬した火山模型を作り、下から歯科用印象材を液状化させて流出させ、溶岩流の流出や、火山灰の放出による火山体の発達過程を探究する授業実践を行っている。本研

<sup>1</sup> 愛知県美浜町立上野間小学校

究では、1回の火山活動で流出した溶岩流の形態に着目し、形態を支配する要因を探究するための実験教材を開発した。また、この教材を用いて、中学生を対象とした理科授業を実践したので、その概要を報告し、生徒が記述したワークシートの内容をもとに、この実践の成果と課題を考察する。

## 2. 溶岩流の画像検索と三宅島の溶岩流

火山地形や火山の噴火様式は多様であり、こうした多様性を生む要因にマグマの粘り気や揮発性成分の含有率がある。中学校の授業では、マグマの粘り気と火山の形の関係を学習することになっているが、1回の噴火活動で火山体が形成される例は、昭和新山の形成などがあるが、あまり多くはない。一般的には、長い年月をかけて徐々に火山は発達し、火山地形が形成される。山頂や山腹からの溶岩流の流出は、そうした過程の一つである。実際の火山活動では、一回の溶岩流の形態がマグマの物理的性質に大きく支配されるが、地形（斜面の傾斜）、植生の有無など、地表の状態にも影響を受ける(Hallworth et al., 1987; Gregg and Fink, 2000; 石原ほか, 1984)。実際の火山を想定し、溶岩流の形態を支配する要因を探究するという学習課題に対しては、溶岩流のモデリングに適した溶岩流地形を選び、事象提示することが重要である。そこで、本研究では、google Earthを用いて、世界の火山について、衛星画像で溶岩流の形態を調べ、溶岩流の空間的広がりが捉えやすい事例を探した。知名度が比較的高い火山で、溶岩流の形態を読み取ることが可能な火山として、国外では、ハワイのマウナロア火山、キラウエア火山、国内では、伊豆大島、三宅島を取り上げた。この中で、実際に火山体模型を作っ

て、溶岩流実験を行うのに適した火山として、三宅島を選び出した。

三宅島は、日本有数の活火山の活動でできた火山島の1つであり、アア溶岩と呼ばれる粘性の小さい溶岩が流下するため、たびたび山麓の集落が溶岩流の被害にあっている(津久井・鈴木, 1998)。1983年の噴火開始地点は七島展望台と二男山との間の西斜面であった。この噴火の溶岩流は数本の枝に分かれて流下した。この溶岩流について、2016年9月に現地調査を行って教材化した(図1)。



図1. 三宅島粟辺地区の溶岩流. 1983年の噴火で流出した。

## 3. 実験教材

国土地理院が公開している3Dプリンター用データをホームページからダウンロードし、地形モデルを製作した。3Dプリンターは、MutohのMF-1100を使用した。溶岩流のモデル実験では、実際の地形が溶岩流の流れ方に影響されるように、三宅島の南西部を一辺18cmとしてプリントした。このモデルの地形勾配は、プリンターのパラメータで変更できる。ここでは、斜面が緩やかなモデル(×1.5)、標準モデル(×1)、斜面が急なモデル(×1/2)の3種類の模型を作り、斜面の傾斜が溶岩流の流れ方にどのように影響されるのかを調べることができるようにした。



図2. 3Dプリンターで製作した三宅島南西部の火山モデル。

実験で使用する溶岩流の模擬物質としては、ハチミツ、シロップなども検討したが、最終的には溶かしたチョコレートを使用した。模型の表面が溶かしたチョコレートの流れ方に影響することを踏まえ、実験を行うたびに、火山模型にココアパウダーを振りかけたあと、溶かしたチョコレートをマグマに見立てて流し、その形態を調べた。このモデル実験によって、流出したマグマの総量によって、どこまで流れるかが決まることや、溶岩流の幅はマグマの流出率が大きいほど、幅が広くなることを確認した。実際の授業では、高さの異なる模型を使い、溶かしたチョコレートの粘り気、流す量(5mlと10ml)などを変化させて、繰り返し実験を行う。チョコレートの粘り気は、溶かしたチョコレートにお湯を4:1あるいは2:1の割合で混ぜることで変化させた。一回実験を行ったあと、溶かしたチョコレートを流した部分をティッシュペーパーで拭き取り、ふたたびココアパウダーを振り掛けて、溶かしたチョコレートを流すことで、容易に実験を繰り返すことができる。

予備実験を行ったあと、岐阜聖徳学園大学教育学部理科専修1年生を対象に、実験を行って、予察的検証を行った。学習者は高校で

地学を履修していないことから、火山噴火についての予備知識はもっていないが、実験結果を基に、多くの学習者が、溶岩流の形態を支配する要因として、斜面の勾配や地形、マグマの量、流出率、マグマの粘り気を記入していることがわかった。また、斜面の勾配やマグマの粘り気が、マグマが流れるスピードに関係しているという記述もみられた。さらに、授業後の感想には、溶岩流のモデル実験は面白かったという記述が多くみられた。この結果から、本実験は中学生にとっても有効であり、溶岩流の形態を探究的に学習することが可能であると考えた。

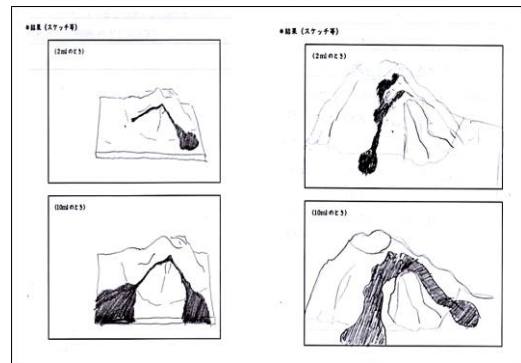


図3. 実験結果を記入したワークシートの例。

このときの授業では、実験結果を図に表す際に、白紙のスペースに記入させたが、学習者によって、火山模型と流れた溶岩流の形態の記入に個人差がみられた(図3)。そこで、溶岩流の形態や空間的な広がりを入力するワークシートは、3Dプリンターで使用した国土地理院の地図と同じエリアを印刷して使用することにした。

#### 4. 中学校での授業実践

中学校での授業実践は、2017年1月23日、24日に、岡山県立倉敷天城中学校1年生3クラスを対象に、出前授業として行った。授業

時間は2時間続けて約90分とした。

生徒は3学期になって、地学分野の授業を始めたところであった。そこで、どの程度の知識があるについて、授業でいくつかの質問をして、生徒の実態を調査しながら進めた。

(1) 知っている火山の名前について

まず、生徒が知っている火山の名前について、ワークシートに記入させた。富士山(98人)、桜島(94人)、御嶽山(68人)、阿蘇山(64人)など、最近活動した火山の名前や有名な火山の名前を記入する生徒が多かった。

(2) 火山災害について

火山噴火については、世界の多くの火山における噴火や溶岩流流出の資料を視聴させたあと、火山が噴火するとどのような災害があるかを質問した。

- ・火山灰による被害(66人)
- ・溶岩流の発生(37人)
- ・火山弾による被害(32人)
- ・火砕流の発生(12人)
- ・地震(24人)

(3) 溶岩流実験に対する予想

世界の火山噴火や火山災害の資料を視聴したあと、溶岩流の流れ方や形態(空間的な広がり)を支配する要因にどのようなものがあるかを予想させ、ワークシートに記入させた。

- 溶岩流の形態を支配する要因として、
- ・地形(96人)：急な斜面ほど遠くまで
  - ・マグマの粘り気(60人)：
    - 粘り気が強いと遠くまで
  - ・噴き出る溶岩の量(39人)：
    - 多いと遠くまで

といった要因を記入した生徒が多かった。

(4) 溶岩流実験

火山模型と溶かしたチョコレートを用いた実験の仕方を説明したあと、各班で実験を開

始した。生徒にとって初めての実験なので、まずは火山模型にココアパウダーをふりかけ、チョコレートをお湯で溶かしたあと、お湯で薄めて粘り気を調整し、注射器に入れて上から火山模型に流した。流す場所は、1983年に実際に溶岩流が流出した三宅島の南西部の尾根に統一させた。

各班で1回実験を行ったあと、流れたチョコレートを拭き取る作業を行い、このあと、溶岩流の形態を支配する要因として予想した項目を考慮して、パラメータを変えて実験を行うよう促した。ワークシートには、4回の実験結果を記入できるように、同じ地図を4枚添付したものを配布している。図4に生徒の記入した実験結果の例を示す。

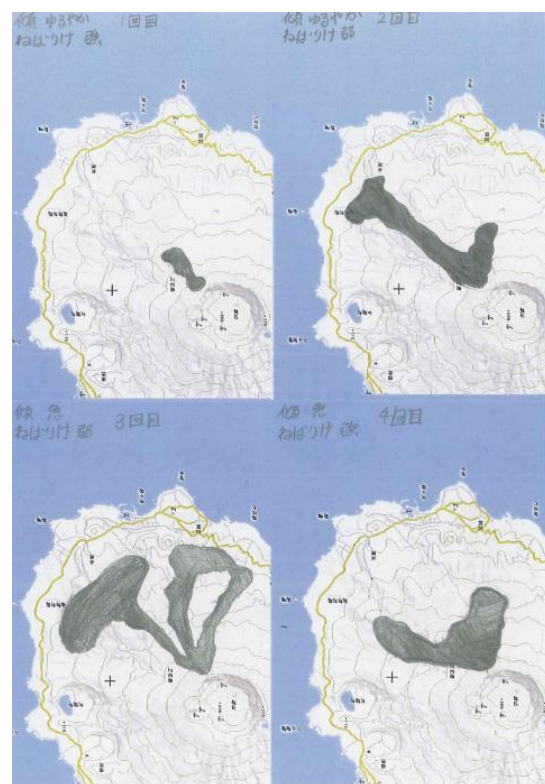


図4. ワークシートに示された実験結果の例.



#### (4) 実験結果の交流

実験のあと結果を班ごとにまとめさせ、その後口頭で発表することで、クラス全体で交流した。



図5. 実験結果を発表し合い、交流する生徒。

ワークシートに示された生徒の記述に基づいて、実験からわかったことを箇条書きにする：

- ・斜面が急なほど、速くたくさん流れた(49人)
- ・斜面がきついと速く、遠くまで直線的に流れた(14人)
- ・傾斜が小さいと、広範囲に流れ、火口付近にとどまった (14人)
- ・溶岩の粘り気が小さいと、速くたくさん流れた。粘り気が強いと、ゆっくり流れ、火口付近にとどまった (67人)
- ・溶岩の粘り気が強いと流れず、広がらない。
- ・マグマの量が多いと遠くまで流れる (21人)
- ・溶岩の流れ方は、地形によって決められる (7人)

これらの結果から、マグマの流れ方が、斜面の傾斜と、マグマの粘り気によることを理解した生徒が多いことが読み取れた。マグマの量について記述した生徒は 21 人で比較的少なかったのは、注射器を用いてマグマの量を変化させるのが難しいなど、実験方法に問題があった可能性がある。

#### (5) 生徒の感想

本授業実践のと、学習者に感想を記入させた。面白かった、楽しかったという記述が多かったが、記述が具体的なものは次のようである：

- ・溶岩の粘り気や地形によって、溶岩が流れる様子が変わることがよくわかった (38人)
- ・チョコを使った実験は、とても分かりやすく、面白かった (22人)
- ・身近にない火山について、チョコという身近にあるものを使って実験できてわかりやすかった (16人)

・火山を身近に感じたことはなかったが、この授業を通じて、火山に関する興味がわいた (25人)

岡山県には火山がないことから、火山を身近に感じていない生徒が多かったが、溶岩流のモデル実験で火山現象を身近に感じる事ができたことが読み取れる。

## 5. 議論

### (1) 中学生を対象とした探究学習における溶岩流のモデル実験の意義

キッチン火山実験では、火山現象を身近な食材でモデル化することで、現象を楽しく理解することを目指している(林, 2015)。各地の博物館や、日本火山学会のアウトリーチ活動のほか、日本各地のジオパークにおけるイベントでも実施されている。学習効果としては、「楽しい」、「わかりやすい」が学習過程における重要な評価となっている(林, 2010)。本実践においても多くの生徒が面白かった、分かりやすかったという感想を述べており、キッチン火山実験は中学校の理科授業においても有効であると考えられる。

中学校の理科授業において火山現象に関す

るモデル実験をさらに深めるには、実施する実験によって、どのような概念形成を目指すのかを設定することが重要である。火山学における溶岩流のシミュレーションでは、溶岩流の長さ、幅、厚みなどの観測量に対する、マグマの流出率、斜面勾配、マグマのレオロジーの関係を明らかにし、溶岩流の形態からマグマの性質を推定する試みがなされている (Gregg and Fink, 2000; 石原ほか, 1984)。本研究では、中学生を対象とした探究学習における実験教材の開発が目的であり、実際の火山の溶岩流をモデリングすることを意図していない。したがって、溶岩流の長さや流路、位置などについて、実験結果をもとに生徒が自ら考えを構築することや、概念形成を促すことを重視した。実験を行う前の生徒の予想として、マグマの粘り気、斜面勾配、マグマの量といった要因が挙げられたが、実験結果からこれらの考えを裏づける結果が生徒の発言からなされた。このことから、本研究で狙った探究学習を目指した教材開発として、一定の成果が得られたものと考えている。

### (2) 3D プリンターを用いた火山モデルの活用

中学校の理科授業においては、火山の形とマグマの粘り気を調べる実験が行われている。この実験を行うときに生徒から出る予想として、マグマの粘り気だけでなく、火山の形や斜面の傾斜が影響しているという意見がだされることがあった。しかし、火山の形や斜面の傾斜を変えて実験を行うことは困難であった。3D プリンターで、鉛直方向のスケールを変化させて、火山モデルを作ることで、火山の形や斜面の勾配の影響を調べることができる。マグマの粘り気と火山の形の授業の終末において、3D プリンターを使った火山モ

デルを用いて、演示実験として行うことも可能であろう。

謝辞。(株)森商会長尾好裕氏、(株)ケニスの竹森浩氏から、3D プリンターで火山モデルを製作する際にアドバイスを受けた。ここに記して深謝する。

### 引用文献

- Gregg, T.K.P, and J.H. Fink: A laboratory investigation into the effects of slope on lava flow morphology. *J. Volcanology and Geothermal Research*, 96, 145-159, 2000.
- Hallworth, M. A. et al.: A laboratory simulation of basic lava flows. *Modern Geology*, 11, 93-107, 1987.
- 林信太郎：ジオパークにおけるキッチン火山実験活用の可能性, 日本火山学会 2010 年度秋季大会 3.講演予稿集, 3, 2010.
- 林信太郎：キッチン火山実験と火山学の普及, 日本火山学会 2015 年度秋季大会講演予稿集, 93, 2015.
- 石原和弘・井口正人・加茂幸介：玄武岩質溶岩流のシミュレーション, 火山, 第2集, 29 (三宅島特集号), S242-S252, 2004.
- 石原里佳・多和田有紗・川上紳一：歯科用印象材を用いた火山噴火と地層の形成に関するモデル実験. 岐阜大学教育学部研究報告 (自然科学), 33, 25-30, 2009.
- 多和田有紗・武藤正典・東條文治・川上紳一：火山噴火現象と地層のでき方を関連付ける実験教材の開発と中学校での授業実践による予察的評価, 岐阜大学教育学部研究報告 (自然科学), 33, 17-24, 2009.
- 津久井雅志・鈴木裕一：三宅島火山最近 7000 年間の噴火史, 火山第2集, 43, 149-166, 1998.