

火山現象の理解に向けて-モデル実験の効用

Educational tool for understanding volcanic phenomena -Utility of analog model simulation

林 信太郎 (秋田大学教育文化学部), 吉本充宏 (東京大学地震研究所)

要約: 火山現象の理解のためにはモデル実験が有効である。モデル実験には、1) 火山現象の疑似体験ができ、火山現象を直感的に理解できる、2) 観察・考察の対象とすることができる、3) 強い印象を残すことができる、という効用がある。特に 2) について検討するために、二つの実験について、その概要を紹介する。ポリエチレングリコールを用いた溶岩流の地形の観察は、供給率というパラメータを変化させることによって、どのようにポリエチレングリコールの形状が変化するかを読み取ることができる。これらの形状を天然の溶岩流と比較することによって溶岩流の表面地形や形状と噴出率との関係を導くことが可能である。チョコレートとココアを使ったカルデラ実験は、火山体の形状やマグマだまりの形状を変えることで、カルデラの形態がどのように変化するかを観察することが可能である。両実験とも、生徒の自由な発想に基づくパラメータの変更が可能であり、火山現象の理解と、生徒の思考力や柔軟性を高めること、の2点で教育効果が高いと考えられる。

1. はじめに

火山現象はダイナミックで驚異に満ちている。また、火山現象は災害や火山のもたらす恩恵を通じて、自然環境の一部として人々の生活とつながっている。現象そのもののおもしろさや生活への密着度が高いことから、火山分野は、生徒の関心をひきやすく、地学の中でも比較的教えやすい分野と考えられる。

しかし、火山分野には覚えるべき言葉が多く、授業に工夫をこなさなければ、暗記に終わってしまい、生徒につまらないという印象だけを残す恐れもある。では、どのようにすれば生き生きとした授業を行うことができるのだろうか？ 私たちは、主に二つの方策を考えている。第一の方策としてはできるだけ噴火映像を見せることである。第二の方策としてはモデル実験を使い、体験的に理解を深めることである。

第一の点はほぼ自明と考えられる。噴火映像

を見ることにより、生徒は火山噴火のダイナミックでリアルなイメージを形成することができる。もちろん、実体験ほどのリアリティはないが言葉では伝えられない迫力を示すことが出来ることも事実である。溶岩・火砕流・泥流などの基本的な災害要因については映像による学習が必要と考える。

本講演の主要な論点である第二の点についてこれ以降述べていきたい。

2. モデル実験の効用

筆者らは火山現象を再現するためのモデル実験をいくつか開発中で、その一部は教育現場での実践的な検証段階にある。これらの開発経験や実践経験を総括してみるとモデル実験の効用としては次の点をあげることができる。具体的な実験例については、3? 4章で述べる。

- 1) 火山現象の疑似体験ができ、火山現象を直感的に理解できる。
- 2) 観察・考察の対象とすることができる。
- 3) 強い印象を残すことができる。

著者の一人(SH)はチョコレートマグマとココアミニチュア火山による火山性地殻変動のシミュレーションシステムを考案し、中学校(秋田市内、近隣に活火山はない)において使用した。今回はその際の生徒の反応や感想を元に上記の3点について述べていきたい。

<モデル実験での火山現象の直感的理解と疑似体験>

今回の実践の中で、ビデオ映像で溶岩の流れを見せるよりもモデル実験の方が直感的な理解を得やすいらしいことに気がついた。著者の一人(SH)は、実験を始める前に溶岩流の映像を見せ、それで十分な理解が得られたと思っていた。次の時間にチョコレート実験を行ったが、調整したチョコレートの粘性が低すぎて、ココアの山から溶岩が流れ出し、結果的に溶岩の流動を見せることになった。当初のねらいとは異なった実験になったが、意外にも「チョコがマ

グマになり、ながれていて、このようになる、(略)こともよくわかりました。」「チョコレートを使った実験では、マグマの流れが、よくわかりました。」との感想があり、溶岩の流れについて理解が深まったことがわかる。このようなごく単純なモデル実験でもビデオ映像を補完し、子供達に「わかった」と思わせる役割を持ちうるらしい。

また、実際に体験することが難しい火山現象でも、モデル実験の設計次第でリアルな疑似体験が可能である。

「本当の火山をみてるような・・・」「チョコレートを入れたとたんにココアがくずれ、チョコレートがドロドロと出てきました。まるで本物のようでした。」とリアルさを強調する感想が見られた。「チョコレートで噴火実験は実際と同じような噴火を見ることができたし」「火山の噴火するしゅん間がゆっくりとわかりました。」との感想は、モデル実験であることを忘れて、実際の噴火と混同するほどリアルな疑似体験であったことを示している。このようにモデル実験にはリアルなイメージを喚起する効果がある。

< 思考力や観察力を養うためのモデル実験 >

「チョコレートは実験で上の方からでてくると思っていたのに、横から出てきたのでおどろいた。」「4 時間目のじっけんでは下からいれるチョコがどのようにでてくるのか思わずドキドキしてしまいました。」以上の感想から生徒達はあらかじめ推論を行い、結果と比較して驚きを感じていることがわかる。モデル実験は、割れ目の発生の過程を調べるなど詳細な観察が可能



第 1 図 海底に堆積した枕状溶岩。なめらか表面をもっている。

(<http://atlas.geo.cornell.edu/education/instructor/volcanoes/pillow.html> から引用)

で、さらにまた、自分たちでパラメータを変化

させることができるので探求的な実験も行える。このようにモデル実験は地学的な思考力や観察力を養うために有効である。

< 印象に残るモデル実験 >

モデル実験の効用として最後にあげたいのは、モデル実験が印象に残ることである。「とても勉強になったし、楽しかったです。」「とても楽しくできてよかったです」と実験の楽しさを強調する意見が多かった。楽しい記憶を鍵として火山現象に対する理解が長期的に保たれる効果があるかも知れない。また、手に触れることができるため火山を身近に感じることができる効果も見逃せない。

以上のように、モデル実験には様々な効用がある。特に、思考力や観察力を養う効果について次章以後、2 例の実験をあげて検討していく。

3. モデル実験の例 (その 1) ポリエチレングリコールを用いた溶岩流の地形の観察 (吉本充宏)

火山の噴出物は多様な形態を示す。これらはマグマの化学組成、粘性、噴出率、噴火様式など様々な要素が重なり合って作られている。噴火現象として最も連想しやすい溶岩流を見てみると、同じような化学組成をしても異なる表面形態を示すものがある。たとえば水底へ比較的静かに噴出した場合、第 1 図に示されるような枕状溶岩が形成される。しかし同じ玄武岩質の溶岩でも水底に比べ冷却率が低く噴出率が高い場合には第 2 図に示したように縄状や溶岩堤防といった地形を作り出している。このよう



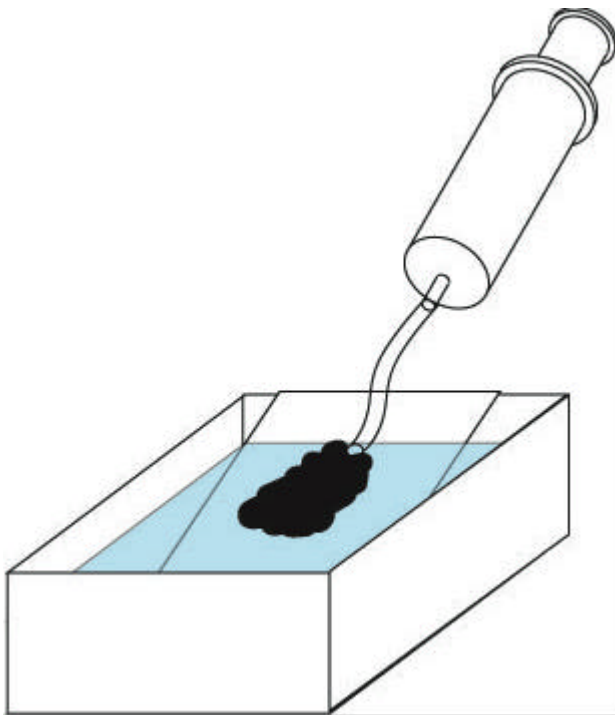
第 2 図 ハワイの溶岩。表面が縄目のようによじれた地形や流れの両端には小さな溶岩堤防がみられる (USGS, HVO の HP より引用)。

な形態はどのような要素によって支配されてい

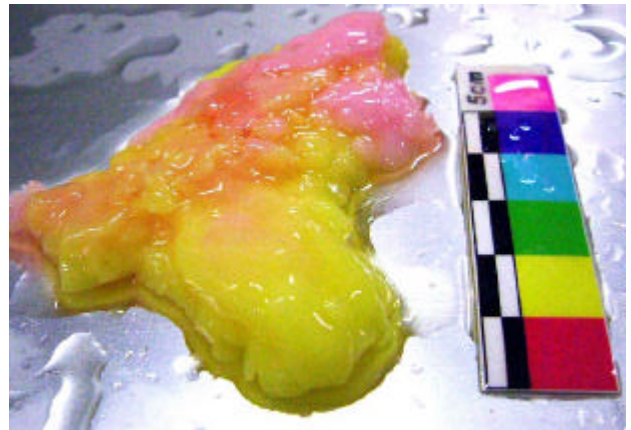
るのだろうか。一般にこれらの溶岩流の形態は、粘性、冷却率、噴出率、結晶度などの違いによるものであることが明らかにされている。しかし、これらの要素をすべて考慮して溶岩流の形態を理解することは容易なことではない。

ここでは、溶岩流と同じような物理的性質を持つものを使ったモデル実験から溶岩流の多様性を生み出している要素の一つである噴出率がどのように関与しているのか理解するため、ポリエチレングリコールを用いて様々な溶岩流の地形を再現する実験を紹介する。ポリエチレングリコールは、これまで溶岩流の表面地形や流動メカニズムを理解するためによく用いられてきた実験である(たとえば Gregg and Fink, 1995 や Fink and Griffiths, 1992 など)。今回紹介する実験は、東京大学地震研究所の一般公開で大学院生らの企画によって一般市民を相手に行われたものである。当初、実験は小学生、中学生、高校生を対象に予定していたが、実際には中学や高校の理科の先生で教材にと熱心に記録、観察されていた方も大勢いた。

実験材料としてポリエチレングリコール 600ml、注射器、シリコンチューブ、発泡スチロールの水槽、板、氷水、食紅、温度計を準備する。実験手法は、水槽中に傾斜角 6 度前後のスロープを作成し、水温を 5 度程度に保つ。注射器にシリコンチューブを付け、注射器から食紅で着



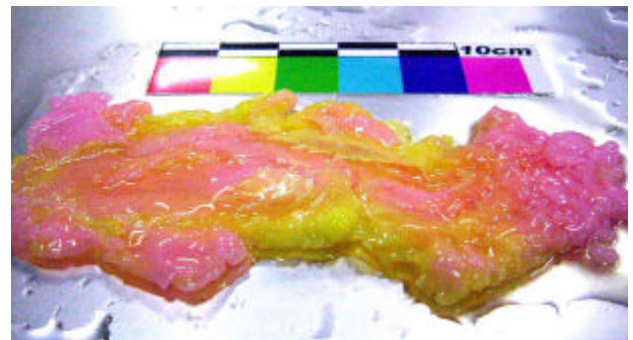
第 3 図 実験の模式図。水中につけたシリコンチューブ内でポリエチレングリコールが固化しないように工夫する。



第 4 図 低い供給率(毎秒 0.25ml)を維持した場合、表面がなめらかでずんぐりとした形状に成長した。

色したポリエチレングリコールをスロープ上に流す(第 3 図)。注射器を押す力によって供給率を調整する。供給率の違いによるポリエチレングリコールの形状を観察する。

実験の結果、供給率を毎秒 0.25ml に設定した場合、表面がなめらかでずんぐりとした形状に成長した(第 4 図)。一方、供給率を毎秒 2.0ml にした場合には、しわが発達したり、流れの両側に土手が形成されるのが観察できる(第 5 図)。また途中、食紅の色を変化させると、トンネルが形成され、ポリエチレングリコールが先端部まで冷却されないため、より遠くに流れる様子が観察される。



第 5 図 高い供給率(毎秒 2.0ml)を維持した場合、流れの両端に堤防が形成し、流れの表面には多数にしわが観察される。

これらの形状は天然の溶岩と類似するものがある。供給率を低く維持した場合の形状は枕状溶岩やロープ状溶岩といった地形に類似する。また供給率を高く維持した場合の形状は縄状溶岩や溶岩堤防といった地形に類似する。このような様々な条件で作成したポリエチレングリコールの模擬溶岩流の形態と天然の溶岩流の形態を比較することによって溶岩流の形態に噴出率(供給率)が密接に関わっていることが観察・理解することができる。また実際に流れる溶岩

流の映像を見ることによってさらに理解が深まると考えられる。

この実験は手に入りやすい材料で、溶岩流の流動のメカニズムを直感的に理解することのできるものであり、また自分たちで注射器の押す力を変えることによって供給率というパラメータを簡単に変化させ、ポリエチレングリコールの形状の違いを読み取ることができるという特徴を持つ。またこれらの形状は天然の溶岩流と比較することによって溶岩流の表面地形や形状と噴出率との関係を導くことが可能である。またなぜ噴出率によって形状が変化するのかということを考えていく上で噴出率、温度、粘性といった噴火における重要なパラメータの理解が深まると考える。このような実験は一見単純に見えるが、火山を理解する上でよい教材であると考えている。

4. モデル実験の例(その2)チョコレートとココアによるカルデラ実験

林(2003)は、チョコレートとココアによるクリプトドーム実験を開発しその教材としての可能性について述べた。ここでは、この実験のシステムを利用して作成した、カルデラシミュレーション実験を紹介する。実験のシステムは、クリプトドーム実験とほぼ同じである。1) アクリル板に穴をあけ、ここにマグマだまりの容器となるアルミホイルの筒を、アクリル板に密着させて置き、ティッシュ等で穴をふさぐ。2) マグマのアナログとなる生チョコレートを調整し、アルミホイルの筒の中に入れる。この時、生チョコレートの粘性が十分低くなるように調整を行う。3) システム全体に急いでココアの粉を振りかけて火山体を作る。4) 穴をふさいでいたティッシュを取り去り、チョコレートを流出させる。カルデラ形成の様子をビデオ等で記録し、観察する。

以上の実験の結果できた模擬カルデラ(以後カルデラと略称)は、三宅島の2000年噴火で形成された火口と類似している。カルデラの形成については、三宅島2000年噴火の際に詳しい観察が行われた。しかし、陥没がある程度進行してから現象が発見されたため、陥没の初期の状況は観察されていない。模擬実験はかなりリアルに陥没の結果を再現でき、リアルな疑似体験ができるものとなっている。この実験ももちろんアナログ実験であり、火山体の強度や均質性、サイズが異なっており、この疑似体験が実現象と同じであるという保証はない。しかし、実験の結果として出来たカルデラの形状は、三日月

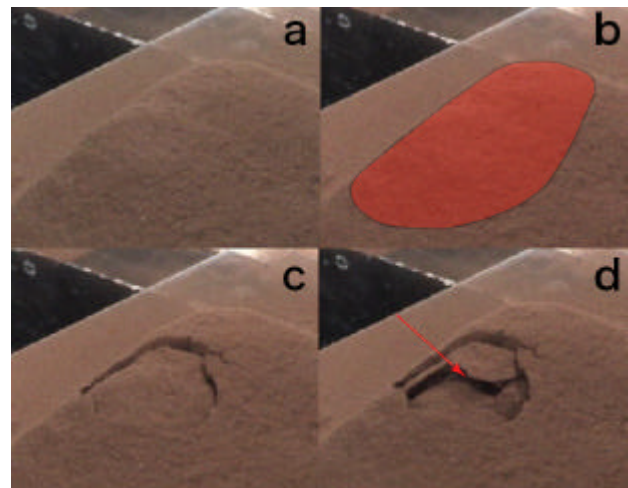
型のブロックが火口縁に取り残されるなどの点で良く類似している。

また、この実験はパラメータを変更することで様々な実験ができる。例えば、第6図に示したように、円形の断面を持つマグマだまりを火山体の斜面下に作る実験を行うと、火山体の傾斜方向に伸張した楕円形のカルデラが形成される。これは、秋田駒ヶ岳の南カルデラとよく似ている。割れ目系をよく観察すると、沈降に取り残された火山体上方のブロックと沈降を続けるマグマだまり直上のブロックの間に顕著な段差(第6図d中の矢印)が生じている。秋田駒ヶ岳では、この部分に後カルデラ中央火口丘が配列し、カルデラ形状も実験と類似している。

また、秋田大学教育文化学部で開設されている基礎地学実験ではこの実験を教材として取り入れた。学生はマグマだまりの形状を変えて行う実験を自ら考え出し、マグマだまりの形状とカルデラ形状の関係について考察を行っていた。例えば、水平断面形状がハート形のマグマだまりでシミュレーションを行うと、マグマだまりの深さが十分に深ければ、カルデラ形状は円形に近くなるという興味深い結果が得られている。

このようにこの実験は、生徒の自由な発想に基づいて様々なパラメータの変更が可能であり、生徒の思考力や柔軟性を高める可能性がある。

5. 最後に



第6図 斜面におけるカルデラ形成のモデル実験

斜面でのカルデラ形成実験。秋田駒ヶ岳南部カルデラとよく似た構造を作ることが出来る。a: 実験開始直後。まだ表面に変化は現れていない。b: 前の図の2.03秒後。赤で示した領域全体で表面が変形し沈降が始まる。c: 沈降域の一部に断層が現れ陥没が始まる。沈降はブロックに集中し他の部分は変形しない。d: 沈降するブロックがさらに分裂する。山体上部のブロックは取り残され沈降部分との間に段差が出来る。

筆者らは、この他にも多数の火山現象学習用のモデル実験を開発した。今回の講演ではこれらをできるだけ多く紹介したい。また、今回の合同学会のポスターセッションでは、毛利・林によりココア火山とチョコレートマグマを使用した、クリプトドーム実験を実演付きで紹介する。見学・参加して頂ければ幸いである。なお、本研究に当たっては茨城大学理学部の藤縄昭彦博士に秋田駒ヶ岳のカルデラの構造についてご教示いただいた。秋田大学教育文化学部 of 毛利春治技官には、一連の研究の共同研究者として本稿に関わる内容についてもご議論いただいた。また、秋田大学教育文化学部4年次の俵山祥一氏には実験の一部を卒業論文の一環として行って頂いた。さらに東京大学地震研究所の一般公開に携わった大学院生の方々には実験の手法、効果、反響など教えていただいた。以上の方々に深く感謝する。

文献

- Fink, J. H. and Griffiths, R. W., 1992, A laboratory analog study of the surface morphology of lava flows extruded from point and line sources. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 54, 19-32.
- Gregg, T. K. P. and Fink, J. H., 1995, Quantification of submarine lava-flow morphology through analog experiments. *Geology*, 23, 73-76.
- 林 信太郎(2003)チョコレートマグマで作るクリプトドーム, 地球惑星関連合同学会, **J068-005** 2003年5月27日, 幕張メッセ.
- 林 信太郎, 高橋健一, 浦野弘(2002)学校教育の中の火山防災教育—秋田大学教育文化学部附属小学校における授業実践例(演旨), 日本火山学会講演予稿集, 2002, 2, 105, (日本火山学会).

林 信太郎: hayashi@ipc.akita-u.ac.jp

吉本充宏: myoshi@eri.u-tokyo.ac.jp