

岩脈形成過程を観察する教材の教育実践と体系的解説

下 岡 順 直* 三 好 雅 也** 西 村 光 史***
石 橋 秀 巳**** 山 本 順 司*****

キーワード：岩脈形成過程観察、応力場、密度、粘性、アクティブラーニング

1. はじめに

火山国である日本で暮らしていくためには、火山との共生が求められる。それゆえ、火山現象とそのメカニズムについて学ぶ地学教育が必要とされ、小・中学校の学習単元の一つとして「大地のつくりと変化」（文部科学省2008a）や「大地の成り立ちと変化」（文部科学省2008b）の活用が期待される。しかし、初等・中等教育現場における火山に関する教育状況は十分とはいえない。そこでこの問題解決に寄与するため、筆者らは火山現象とそのメカニズムをわかりやすく説明する試みを京都大学地球熱学研究施設一般公開などアウトリーチの機会を利用して行ってきた。そのステップの一つとして、火山現象再現実験「七輪でマグマをつくる」（下岡ほか2011）の教材開発を行った。そして、この教材を用いて別府市立境川小学校で実施した授業実践では、岩石の溶融による模擬マグマ生成過程の実演・観察および生成マグマの温度測定に成功し、児童の高い関心・理解を得た。このほか、笠間ほか（2010）や西来ほか（2010）による食用廃油や小麦粉を使用した複成火山作成実験、笠間ほか（2011）による水槽と色チョークを用いた噴煙実験など火山噴火を学習するプログラムは数多く存在する。しかし、地下深部で発生したマグマがどのようにして地表にもたらされたかという、噴火までのマグマ輸送過程も含めた一連の現象について学ぶことができる学習プログラムは多くはないのが現状である。

そこで筆者らは、「七輪でマグマをつくる」実験（下岡ほか2011）に続くマグマの挙動など一連の現象を観察し説明できる教材を作成し、火山噴火現象およびメカニズムに関する教育の効果を深化させることを目指した。なお、これらの教材化は、高田（2003；2004；2006；

2008）、林（2006）などによってすでに実施されている。高田（2006）は、ゼラチンの入ったプラスチック容器の下から、マグマに見立てたラー油を注入し、その上昇の様子を観察する実験を行っている。また、容器に一定方向の力を加えた場合のラー油の動きを観察し、応力場と岩脈の方向の関係についても論じている。林（2006）を参考にして、清真学園高等学校のスーパーサイエンスハイスクール（SSH）では、ラー油の代わりに胡麻油、中濃ソース、ケチャップ、マヨネーズなど粘り気の違う材料を用い、マグマの粘性や地表の堅さを変えたときの噴火の状態をハイスピードカメラで撮影した実験を行い、実在する火山（三原山、富士山、昭和新山）におけるマグマの粘性などと比較している（http://edu.casio.jp/h_school/ex/camera06/）。

今回、筆者らは自らが居住する地域の地質および、その成り立ちを理解させることに対する有効性を確認するため、ゼラチンとラー油を用いたマグマの上昇再現実験を「2010年度青少年のための科学の祭典大分大会」で実施し（三好・三好2010）、マグマの上昇と密度、マグマのとおり道（岩脈）と応力の関係について、小・中学生を対象に実験とその解説を行ったので報告する。また、この実験には応力や密度、粘性など様々なパラメータ（因子）が絡み合っており、それぞれを理解した上で実験を行わないと教材活用の認識が深まらない。Takada（1994；1999）は岩脈形成過程についてそれぞれの因子を詳細に解説しているが、それらは研究目的であり、学校現場ですぐに活用することは難しい。山梨県環境科学研究所と山梨県教育委員会が実施した学校教員研修会—体験で学ぶ火山—において、高田らはアナログ実験として教員を対象に行っている（山梨県環境科学研究所・山梨県教育委員会2005；2006；2007）。実績報告書に記

* 立正大学地球環境科学部
** 福井大学教育学部
*** 東洋大学経済学部
**** 静岡大学理学部
***** 北海道大学総合博物館

されている教員のアンケート結果では、大半が非常に面白く興味深いとしながらも、実際にこれを授業で行うにあたって「今後どう生かすべきかまでは達していない」や「準備が大変そうである」（山梨県環境科学研究所・山梨県教育委員会2006）といった感想も記されている。これに対して「手軽さに課題が残る」とコメントしているが、それ以上の助言などについての記述がほとんどない。

そこで本稿では、この実験に関連するいくつかの因子も系統的に解説するほか、実際に実施するにあたって教師側がイメージしやすいように、アクティブラーニング型授業を可能にする授業計画案を提案する。

2. 教育実践報告と授業への活用

2-1. 岩脈形成過程観察実験

(1) 目的

大分県には由布岳や鶴見岳などの活火山が存在するが、専門家による火山教育機会が多いとはいえない。よって専門研究者が、大分県の初等～中等教育課程の子ども達を対象に火山教育実験を実施することは、彼らに「自らが居住する地域の地質や成り立ち」を伝える上で極めて重要な機会となる。筆者らは、過去に開発されたマグマの上昇アナログ実験を「青少年のための科学の祭典2010年大分大会」で実施し、火山教育を享受する機会の希少な地域における実験の教育効果を確認した。

(2) 実施内容および手順

高田（2006）の方法を基に、ゼラチンを地殻に、ラー油をマグマに見立てた実験を行った。本実験で用いた道具を表1-1に示す。本実験では、プラスチック製のコップ容器（275 cc）にゼラチン粉末と水（1：10）を入れ、数時間冷蔵庫で冷やして固形ゼラチンを作成した。

また、なるべく多くの児童の手に渡るように、実験前日までにゼラチン入り容器を約200個準備した。実験手順は下記のとおりである。

1. 実験開始直前に、ゼラチン入り容器の底部にキリで穴を開けた。
2. 注射器に2.5 ccのラー油を取り、1の穴から注入した。
3. 円盤状のラー油溜りが形成された（図1a）。
4. 約5分後にゼラチン表面からラー油が噴出した（図1b）。

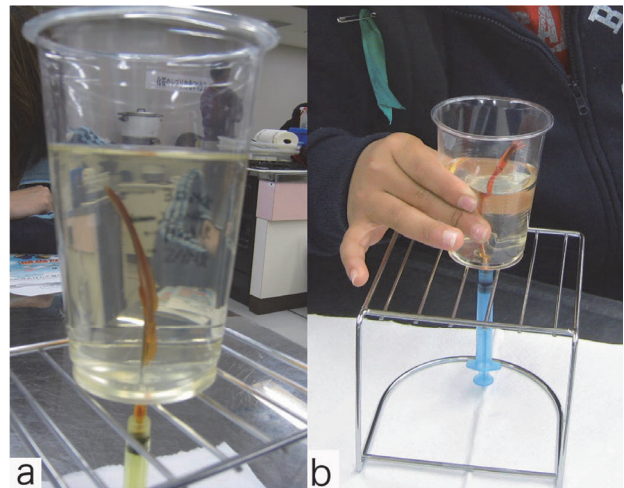


図1 実験風景
a：円盤状のラー油溜りが形成
b：ゼラチン表面からラー油が噴出する

上記実験中に、プラスチック容器に一定方向の力を加えることにより、ラー油の上昇速度および走向を変化させることができる（高田2006）。本実験では、児童らに容器側面を押させ、上昇速度が速くなる力の向きを考えさせた。応力については、2-2を参照されたい。

(3) 結果と考察

「青少年のための科学の祭典2010年大分大会」では、

表1-1 岩脈形成過程観察実験の材料一覧

材料・用具	コメントなど
ゼラチン	ゼラチン粉末と水（1：10）を入れ、数時間冷蔵庫で冷やして固形ゼラチンを作成する
水	
プラスチック製コップ容器	275 cc
注射器（シリンジ）	2.5 cc、化粧水移し替え用注射器。針の長さを15 mmに切って調整する
錐	ゼラチン入りプラスチック容器の底部にキリで穴を開ける
ラー油	
固定台	容器の底からラー油入りの注射器を打てるだけの高さが必要

児童がランダムに来場したため、3～4人ずつを定員として複数回の実験を実施した。座席に余裕がある場合には、同伴保護者にも参加してもらった。

現場ではまず実験開始前に児童に対し、「マグマが火山内部から上がってくる通り道はどんな形？、板状？それともパイプ状？」という質問を投げかけた（図2）。その結果、半数以上の児童が「パイプ状」と回答した。その理由を尋ねたところ、「火山はいつも煙を出しているので、煙突のような穴があるはず」、「溶岩トンネル」を知っており、マグマが上がってくる通り道も同様の形と思うから」などの回答が得られた。一方、「板状」と回答した少数派児童からは、その理由については明瞭な回答が得られなかった。

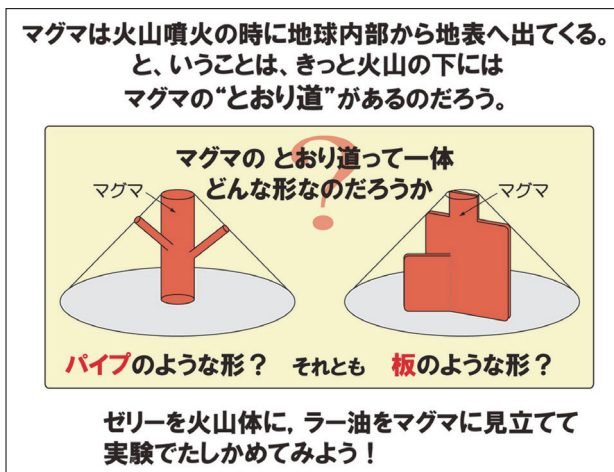


図2 マグマの“とおり道”について子ども達に考えさせるための概念図

上記質問への解答として、どちらが正解かどうかを確認するという流れで実験を行った。まず、「火山直下数kmの場所にはマグマ溜りが存在し、そこからマグマが地表へ上がってくる」ということを図で説明した。そして、ラー油入り注射器をマグマ溜りに見立て、ゼラチン火山体の下からマグマを供給（注入）させ、注入されたラー油の形状を観察させた。円板状になったラー油溜りを観察した児童に改めて「マグマの通り道はどんな形？」と質問したところ、全員が「板状」と回答した。しかし上記実験のみでは、「実際にそのような事が火山内部で起こるのか？」という疑問が残る可能性がある。そこで筆者らは、実験終了後に複数枚の岩脈露頭写真を聴衆に見せ、実際にマグマの通り道が板状になっていることを説明した。聴衆児童の大部分が大分県在住であったため、九州で観察できる阿蘇カルデラ東縁「らくだ山」の岩脈露頭写真（図3）が最も説得力があったよ



図3 阿蘇カルデラ東縁「らくだ山」の岩脈露頭写真

うである。また、ハワイの割れ目噴火写真を見せた場合でも、高い理解が得られた。

本実験では、火山体内部におけるマグマの通り道の形状に関する理解を得る上で極めて有用であることが確認された。さらに、実際の露頭写真や噴火映像を組み合わせることにより、アンケートなどで数値化はしていないが、児童たちとの会話のやり取りから、より高い理解や認識が得られたことが確認できた。

2-2. 岩脈の再現実験—応力の可視化

(1) 目的

日本海溝や南海トラフにはそれぞれ太平洋プレート、フィリピン海プレートが沈み込んでいる。日本列島にみられる岩脈（マグマが板状に貫入して冷え固まったもの）は、これらのプレートが沈み込む方向と同じ方向に伸びていることがよく知られている（例えば、中村1989）。これは岩脈が広域応力場で最も強く押される方向（最大圧縮応力軸方向）を含む面内で広がるためであり、沈み込んだプレートが日本列島を押していることを実感するためのよい教材になると考えられる。ところが、応力と岩脈方向の関係は大学生であっても直感的にわかりづらいことが多い。そのため、大学の地学実験で寒天やゼラチンを使った岩脈形成のアナログ実験がよく行われている。ここでは、別府大学食物栄養科学部食物バイオ学科が開講する教職課程の地学基礎実験で行った、応力と岩脈方向の関係を理解するための実験方法の一例を紹介する。本実験で用いた道具の一覧を表1-2に示す。

表 1－2 岩脈の再現と応力の可視化実験の材料一覧

材料・用具	コメントなど
アクリル板	3枚用意する。もしくはプラスチック板。1枚の中心にドリル（錐）で穴を開けておく
寒天	寒天粉末と水（1：10）を入れ、数時間冷蔵庫で冷やして固形ゼラチンを作成する
水	
容器	15 cm以上四方のもの
注射器（シリンジ）	
食紅	

（2）実験内容および手順

1. 無色透明のアクリル板（またはプラスチック板）を3枚用意し、そのうち1枚の中心にドリル等を用いて穴を開けた。
2. 穴を開けたアクリル板を底板とし、穴の上に寒天をおいた。
3. 寒天を2枚のアクリル板で左右から挟み込み、手で圧力を加えることで応力場を発生させた（図4）。
4. 注射器（シリンジ）に食紅を溶かした水を入れ、2の穴から寒天内に注入した（図5 a）。
5. 応力場を反映し、板状の水溶液脈が形成された（図

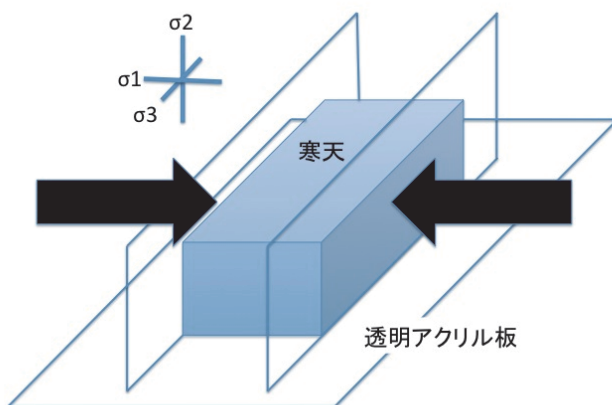


図4 アクリル板で寒天に発生させる応力
5 b、c)。

（3）結果と考察

実験現場では、最初に日本列島の岩脈方向とプレートの沈み込み方向が一致することを図解（図6）し、プレートが日本列島を押しているイメージを持たせた。次に、「本当に押している方向に脈が伸びるか？」という流れで実験を行った。マグマを模擬した赤い色の水が板状に広がって上昇するため、岩脈をイメージしやすい。また実験者自身が手で圧力を加えるため、受講した学生も応力と岩脈の方向の関係を実体験として理解できた。

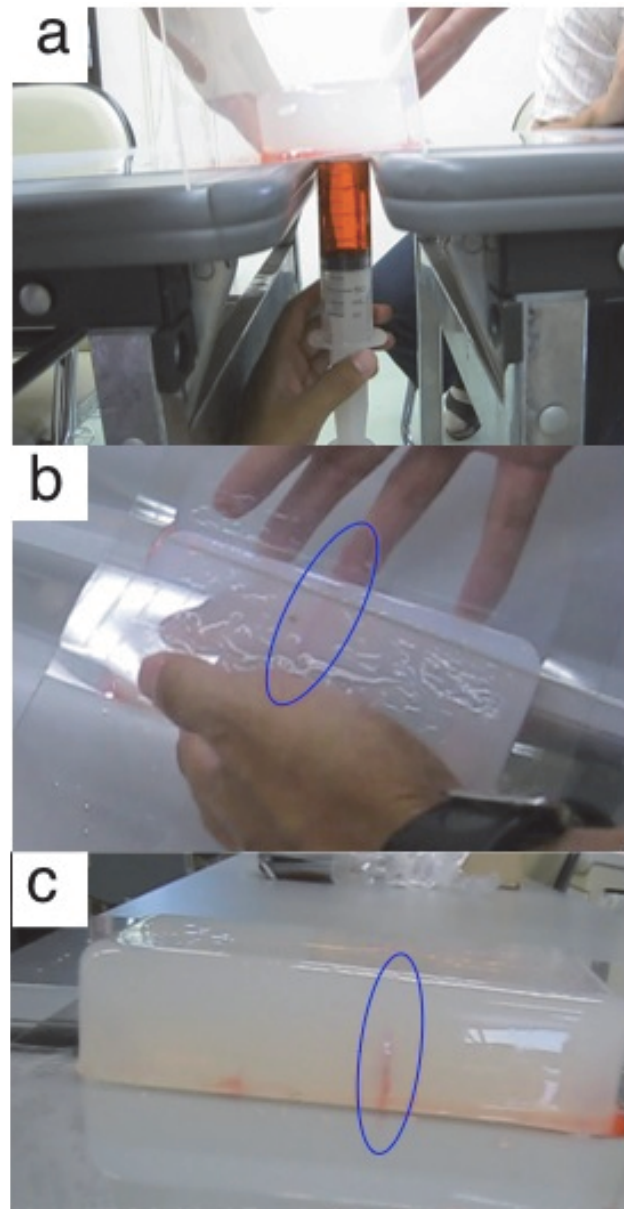


図5 実験風景

- a：底板の穴から注射器で食紅水を注入
b：押している方向に食紅水の板状脈が伸びる
c：寒天を横から見ると板状脈が垂直に立っている



図6 日本列島の岩脈方向とプレートの沈み込み方向
(中村1989を一部改変して作成)

2-3. 授業への活用

以上、2件の実践を行い、「自らが居住する地域の地質や成り立ち」を伝える上で極めて重要な機会を供することができた。しかし、これらはあくまでも講習会や大学での実験であり、実際に小中学校の教室で行ったわけではない。そこで、これら二つの実践教育例を基に、実際に教室でアクティブラーニングが行えるように、それぞれの授業計画案を表2に示す。実験手順や内容の提示だけではすぐに授業には導入しにくく、これが普及の障害の一因となっていた。そこで、筆者らは授業計画案を例示することで具体的に授業に取り入れるきっかけを作ることができる考えた。例示した計画案ではどちらも30～35分程度の授業となることから、教科書で概念や事例を学習した後もしくは、学習する以前にこれら実験を行うことができるだろう。ただし、前述した山梨県の学校教員研修会でのアンケート結果のように、実施する実験が難しいというよりも、どのように説明するか、子ども

表2-1 岩脈形成過程実験の授業計画案

	時間	学習内容	注意点など
導入	10分	「火山直下数kmの場所にはマグマ溜りが存在し、そこからマグマが地表へ上がってくる」ということを説明する 「マグマが火山内部から上がってくる通り道はどんな形？板状？それともパイプ状？」(図2)という質問を投げかけて生徒に考えさせる、もしくは話し合いをさせる	
実験	15分	- 導入部の質問の正解を実験で確かめさせる - ラー油入り注射器をマグマ溜りに見立て、ゼラチン火山体の下からマグマを供給(注入)させ、注入されたラー油の形状を観察させる(図1)	- 注射器の先は尖ってはいないが、扱いは特に注意させること - 注入したラー油が穴から漏れることがあるので要注意
結果とまとめ	10分	- 実験結果を観察させて、改めて「マグマの通り道はどんな形？」と質問する - 九州内で観察できる阿蘇カルデラ東縁「らくだ山」の岩脈露頭写真を見せて実際の状況を認識させる	

表2-2 岩脈の再現と応力の可視化実験の授業計画案

	時間	学習内容	注意点など
導入	5分	日本列島と岩脈方向とプレート沈み込み方向を図(図6)で示して説明する	
実験	15分	- 導入をふまえて、「本当にプレートが押している方向に脈が伸びるか？」という流れで実験を実施する - 寒天に食紅水を注入し、板状の水溶液脈を観察させる(図5)	- 準備に時間を要するので、生徒の注意が散漫にならないように手伝わせるなどの工夫を行う - 注入した食紅水が穴から漏れることがあるので要注意
結果とまとめ	10分	実験結果を検証しながら、改めて岩脈方向とプレートの沈み込み方向について確認させる	応力と岩脈の方向の関係について認識させる

も達にどのように理解させるかということが、おそらく教師側にとって悩ましいと考えられる。子ども達の中には、例えば上述した岩脈形成過程観察実験において、「なぜマグマの通り道は板状になるか？」という疑問を抱くものがあるかもしれない。実際、その疑問に解答するには高度な物理の知識が要求される。しかし、初等～中等教育現場において児童がその説明を理解することは極めて困難であろう。それよりも、筆者らは初等～中等教育現場では、実際の火山噴火などでこのようなことが起こっているという現象をモデル化して可視化することで、火山噴火に関してより関心をもたせ、「なぜ」と疑問をなげかけることが重要と考えた。もっとも、教師側には実施する授業分だけゼラチンもしくは寒天を作製する時間的な余裕も求められるだろう。これについては、後述する。さらに、筆者らが作成した「七輪でマグマをつくる」教材（下岡ほか2011）を本実験の前に併せて実験を行うことができれば、地下深部からマグマが上昇し、火山噴火するまでの一連の現象を子ども達に見せることができ、相乗的な効果が期待できるだろう。

この実験をより科学的に定義するためには、関連するいくつかの物理の要素が必要な因子についての説明も必要になる。よって、次章ではそれらについて若干解説を行う。

3. 実験にかかわる因子の解説

3-1. マグマが上昇する仕組み—密度との関連性—

地学現象の理解のためには、「密度」を理解することが重要である。例えば、地球のコア、マントル、地殻、海、大気の間は、密度の差異により成り立っている。さらに、マントルで生成されたマグマが地殻を貫き、地表へ到達する機構も密度の差異により支配されている部分が多い。マントル内でマグマが発生すると、特殊な状況を除きマグマは岩石より密度が低いためにその浮力によって上昇を始める。その移動過程としては、鉱物境界を浸透流として流れ、チャネル（通路）を形成しつつ上昇する（例えば、McKenzie1984など）。

マントルを構成する橄欖岩が部分熔融すると玄武岩質マグマが生まれる（例えば、Kushiro2001）。このマグマがマントル内を上昇し、地殻との境界（モホロビチッチ不連続面）に到達すると、その上昇速度は減少する。なぜなら、下部地殻を構成する斑れい岩や角閃岩の密度はマントルの橄欖岩より低いため、マグマの浮力が減少するからである。ただし、玄武岩質マグマは斑れい岩や角

閃岩より密度が小さいため、マグマは下部地殻を通り抜けて上昇を続けることになる。ところが、上部地殻が珢長質（花崗岩質）の岩石で構成されているとその密度は玄武岩質マグマより小さいため、マグマは上部地殻を通り抜けるための駆動力である浮力を得られず上部地殻下部辺りでマグマ溜まりを形成する。このマグマと周囲の岩石の密度が等しい位置をLNB（Level of Neutral Buoyancy）と呼び、マグマ溜まりが存在する場所を考える際の基本的な要素とみなされている。LNBに停滞したマグマは周辺物質を取り込んだり、結晶分化をしたり、発泡したりすることによって密度を低下させる。そうすると、またマグマは浮力を得て上昇を始め、そのまま噴火する場合もあり、また、上部地殻のどこかでLNBに達すると、再びマグマ溜まりを形成する場合もありうる。このようにマグマと周囲の岩石の密度差から生まれる浮力は、マグマが上昇するための駆動力となっている。

室内実験でこの浮力の効果を調べるには、マグマの代替物質として用いる液体の密度を変えてみればよい。本稿に記載した実験では、食紅を溶かした水とラー油をマグマの代替物質として用いた。食紅を溶かした水を注射器でゼラチンに注入すると、水溶液は注射器によってできたゼラチン内の裂け目を毛細管現象によって満たす。そのまま水溶液の注入を続けられれば、水溶液の過剰圧力によって裂け目を拡充しつつ水溶液はゼラチン内を拡がっていく。しかし、その移動方向は上方とは限らない。なぜなら水溶液とゼラチンの密度差が非常に小さいため、水溶液は浮力を得られないからである。一方、ゼラチン内にラー油を注入した実験では、注射器からの注入を止めてもラー油は自走を続け、ゼラチンの上表面から噴出する。これは、ラー油の密度がゼラチンより小さいため、浮力を得られたからである。

3-2. 岩脈成長のダイナミクスについて

（1）岩脈の形状

ここでは、一定形状の岩脈が一定速度で鉛直方向に成長していく場合について解説する。一般に岩脈の成長は、マグマ供給源の過剰圧や周囲の岩石との密度差などを駆動力として動かされたマグマが岩脈の先端で周囲の岩石を割りながら上昇することで進行する。岩脈が上昇するには、岩脈先端に集中するマグマの応力が、岩石の破壊する臨界値を上回る状態を維持することである。この臨界値を下回ると岩脈先端の亀裂を開くことができなくなり、岩脈はその上昇を止める。また、マグマと周囲の岩

石の密度中立点をこえると、密度差はマグマの上昇に対する抵抗力として働くため、幾分かオーバーシュートはするものの、岩脈の上昇は停止する。マグマの上昇と密度との関係については、前述したとおりである。

定常上昇過程にある岩脈の厚さは、先端からの距離の増加に伴って、一旦増加した後に減少に転じ、ある距離以上では一定厚さとなることが知られている。この一定厚さは、マグマの粘性率、周囲の岩石とマグマの密度差とマグマの体積供給率に依存する。密度差を駆動力とするマグマの体積供給率が一定の条件下では、岩脈の厚さは粘性率の3分の1乗に比例し、密度差の3分の1乗に反比例する。実際に、玄武岩質マグマから珪長質マグマにかけて粘性率が増加するのに伴い、岩脈の厚さがおよそ1 mのオーダーから100 mのオーダーまで厚くなるという報告がある（例えば、Wada1994など）。

（2）岩脈の上昇速度

岩脈先端の亀裂を開いても、新たな亀裂をマグマで満たさなければ、さらに岩脈を成長させることはできない。地殻深部の岩脈中のマグマは、後続のマグマの上昇速度と亀裂を満たす速度によって決まる。岩脈中のマグマの流れは非圧縮性流体一般に層流とみなせるので、この流れは2枚の並行板の間を流れるポアズイユ流とみなすことができる。この場合、マグマの上昇速度は、岩脈の厚さの2乗に比例し、粘性率に反比例する。先に述べたように、岩脈の厚さはマグマの粘性率の3分の1乗に比例するので、マグマ供給率が一定の条件では、岩脈の上昇速度はマグマの粘性率の3分の1乗に反比例することになる。岩脈成長については、小屋口（2008）に詳しいので、そちらも参照されたい。

4. まとめ

2010年度青少年のための科学の祭典大分大会において、ゼラチンとラー油を用いたマグマ上昇実験を実施した結果、マグマの上昇と密度、岩脈の走向と応力の密接な関係について、定性的ながら児童らから高い理解が得られ、火山教育現場における本実験の有用性を証明した。また、岩脈の再現実験として応力の可視化を大学の地学実験に取り入れ、その有効性はしかるべきものであった。

さらに本稿では、これまで多くの試みがなされてきた岩脈形成過程教材について概観し、その因子を分解して解説し、学校教育への導入のハードルを下げる試みを行った。これは、学校教育や災害への理解を深める学習

プログラムに対して本稿がポータルサイトの役割として包括的に情報を集約し、発信するというねらいがある。

なお、本稿での材料作りはすべて教師側が作成することを前提にした。それは、限られた授業数の中で有効な学習効果を上げるためであった。より手軽に実施するためには、総合的な学習や課外活動などを活用する場合であれば、ゼラチンや寒天作りから子ども達に行わせることは大変興味深いだろうし、実施の手軽さを促す一助になることが期待される。

謝辞

教材を作成し授業実践するにあたって、2010年度青少年のための科学の祭典大分大会関係者、別府大学食物栄養科学部食物バイオ学科にはご協力ご支援をいただいた。また、熊本大学の長谷中利昭教授や京都大学の竹村恵二教授からご助言やご教示をいただいた。本稿は、匿名査読者のコメントにより改善された。末尾ながら、記して感謝申し上げます。

引用文献

- 林信太郎（2006）世界一おいしい火山の本，小峰書店，京都，127pp.
- 笠間友博・平田大二・新田井秀一・山下浩之・石浜佐栄子（2010）食用廃油を使用した複成火山作製実験の開発．地学教育，63，163-179.
- 笠間友博・平田大二・新田井秀一・山下浩之・石浜佐栄子（2011）水槽実験を活用した小学生向け火山学習プログラム．地学教育，64，1-12.
- 小屋口剛博（2008）火山現象のモデリング，東京大学出版会，東京，664pp.
- Kushiro, I. (2001) Partial melting experiments on peridotite and origin of mid-ocean ridge basalt. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 29, 71-107.
- McKenzie, D. (1984) The generation and compaction of partially molten rock. *Journal of petrology*, 25, 713-765.
- 三好雅也・三好まどか（2010）キッチン火山実験．青少年のための科学の祭典2010大分大会，p.20.
- 文部科学省（2008a）小学校学習指導要領，東京書籍，東京，p.69.
- 文部科学省（2008b）中学校学習指導要領，東山書房，京都，66-70.
- 中村一明（1989）火山とプレートテクトニクス，東京大学出版会，東京，323pp.
- 西来邦章・下司信夫・宝田晋治（2010）地質情報展2009おかも「キッチン火山実験」—小麦粉溶岩で火山を作ろう！—，地質ニュース，672，31-34.
- 下岡順直・三好雅也・馬渡秀夫・吉川 慎・山本順司・渡辺

- 克裕・齋藤武士・杉本 健・山田 誠・三好まどか・竹村 恵二（2011）七輪でマグマをつくる—身近なものを用いてマグマ形成過程を観察する—. 地学教育, 64, 53-69.
- Takada, A. (1994) Development of a subvolcanics structure by the interaction of liquid-filled cracks. Journal of volcanology and geothermal research, 62, 207-224.
- Takada, A. (1999) Variations in magma supply and magma partitioning: the role of tectonic setting. Journal of volcanology and geothermal research, 93, 93-110.
- 高田 亮（2003）アナログ実験と火山で遊ぼう. 地質ニュース, 591, 24-27.
- 高田 亮（2004）身近な材料で体験するマグマの上昇. 理科教育ニュース, 609, p.1.
- 高田 亮（2006）「マグマの上昇と噴火」のアナログ実験：地球がゼラチンにマグマが油に. 地質ニュース, 627, 7-12.
- 高田 亮・竹内晋吾・並木敦子（2008）つくば市の学校教員との火山実験. 地質ニュース, 643, 12-14.
- Wada, Y. (1994) On the relationship between dike width and magma viscosity. Journal of geophysical research 99, 17743-17755.
- 山梨県環境科学研究所・山梨県教育委員会（2005）小中学校理科教員研修会—体験で学ぶ火山—2004年度実施報告書, 1-95.
- 山梨県環境科学研究所・山梨県教育委員会（2006）学校教員研修会—体験で学ぶ火山—2006年度実施報告書, 1-94.
- 山梨県環境科学研究所・山梨県教育委員会（2007）学校教員研修会—体験で学ぶ火山—2007年度実施報告書, 1-99.

引用Webサイト

火山モデルを身近な材料で再現. http://educasio.jp/h_school/ex/camera06/（2017年11月10日閲覧）

Educational program exhibiting formation of dyke : An approach to magma study

SHITAOKA Yorinao*, MIYOSHI Masaya**, NISHIMURA Koshi***
ISHIBASHI Hidemi****, YAMAMOTO Junji*****

* Rissho University
** University of Fukui
*** Toyo University
**** Shizuoka University
***** The Hokkaido University Museum

Abstract:

Educational materials simulating volcanic phenomena will foster a better understanding of geological constitution, especially for students living in volcanic regions such as Oita prefecture. We have instructed some classes about dyke formation by showing the ascent of cooking oil within gelatin. Although many similar attempts have been undertaken, they might fail to demonstrate the process of magmatic ascent systematically. Magma migration is controlled by several factors such as magma viscosity, relative density of magma, and stress fields in surrounding rock. We thought to illustrate aspects of dyke formation using a detailed explanation of the factors. The results, presented as a lesson plan for education at schools, are expected to serve as a portal site for an educational program to educate students about magma study and disaster prevention.

Key words: observation of dyke formation, stress field, relative density, viscosity, active learning