

枕状溶岩の生成過程を表すモデル実験の開発

岡本宇隼¹⁾，寺下 勲²⁾，中野源大³⁾，広瀬紳之介⁴⁾，田中里志⁵⁾

1) 京都教育大学大学院 din25046@kyokyo-u.ac.jp

2) 京都教育大学大学院 din25036@kyokyo-u.ac.jp

3) 京都教育大学大学院 din25051@kyokyo-u.ac.jp

4) 京都教育大学大学院 din25054@kyokyo-u.ac.jp

5) 京都教育大学理学科 stanaka@kyokyo-u.ac.jp

キーワード：枕状溶岩，海底火山，モデル実験，地学教育

(受付：2013 年 2 月 1 日)

I. はじめに

1. 研究の目的

本研究は、京都教育大学大学院（以下、本学）の授業「地学特論 I」において、高等学校「地学」または、小学校および中学校「理科」の地学分野に使用可能な教材の開発を目的として行った。教材作製の題材を検討した際、学校現場向けの実験教材カタログ（ナリカ株式会社，2011・2012a，ケニス株式会社，2011・2012b）を参考にしたが、地学の実験教材は高価である上に種類が少ない。種類が少ない実験教材の中でも、プレートの動きや断層の成り方などを学ぶための教材は必ずあり、さらに再現（自作）可能なものであった。そこで、本授業ではプレートやマグマのはたらきを学習するための教材を作製することとなった。

プレートやマグマに関して、映像資料等を用いた学習（小荒井・田邊，2005）はこれまでも多く実践されてきた。しかし、実際に目の前で何かを操作するという教材は少ない。今回、本学が所在する京都にゆかりのある「枕状溶岩」に焦点を当て、枕状溶岩の生成過程を再現できる教材を作製した。この教材を用いることによって、海底火山で生成される枕状溶岩が、なぜ図 1 の鞍馬山（京都市左京区）で見られるのかを考えさせる授業を展開し、海底堆積物や、メラングジュとプレートテクトニクスの関係など、地学や地理学（自然地理学）においても重要な知識や概念を獲得させたい。



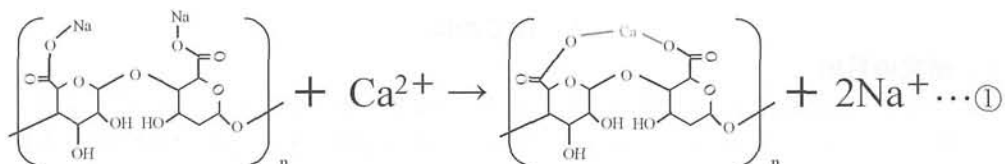
図 1 京都市鞍馬山の枕状溶岩

2. 学習指導要領における「枕状溶岩」の取り扱い

小・中・高等学校すべての学習指導要領において「枕状溶岩」という語句は扱われていない。「溶岩」のみ、それぞれの学習指導要領解説（文部科学省，2008，2009）で扱われているが、海底火山やプレートの動きに関係した文脈では用いられていない。しかし、教科書や資料集（浜島書店編集部，2003）などには写真等が取り上げられていることもあり、枕状溶岩を通して海底や地球内部で起きていることを学ぶことができると考える。

3. 題材の設定と意義

枕状溶岩の形成過程を詳細に（実際の形成過程に近い形で）再現するために、アルギン酸ナトリウム水溶液と塩化カルシウム水溶液の反応を利用した。アルギン酸ナトリウム水溶液と、塩化カルシウム水溶液に含まれるカルシウムイオン (Ca^{2+}) を接触させると、アルギン酸ナトリウム水溶液中のカルボキシル基の Na^+ が Ca^{2+} とイオン交換される。これによって、 Ca^{2+} が 2 つのカルボキシル基にまたがった不溶性のアルギン酸カルシウムが形成される（反応式①）。



このような反応が、反応界面で進行することで、アルギン酸ナトリウム水溶液の表面に、不溶性のアルギン酸カルシウムの膜が形成される。この反応を連続的に起こすことで、枕状溶岩の形成過程を再現できると考えた。

II. 教材作製

枕状溶岩の形成過程をモデル化した。海底火山を表す海山のモデル及び、枕状溶岩の形成過程を表す溶岩モデルの作製過程について以下に示す。

1. 準備物

(1) 海底火山モデルの作製

紙粘土、油粘土、アクリル板 (40cm×20cm)、シリコンチューブ (内径 35mm)、セメ
ダイン 8000 シリコンシーラント (クリア)、ハサミ、カッターナイフ、アクリルラッカ
ースプレー (ブラック、グレー、ブルー)、ヘラ、アクリルカッター

(2) 溶岩モデルの作製

ビーカー (1L), ガラス棒, ガスパナー, 金網, 三脚, 葉包紙, 葉さじ, 塩化カルシウム 200g, アルギン酸ナトリウム 2g, 砂糖 100g, 水槽, プラスチック製シリンジ (100mL), 食紅 (赤, 青)

2. 作製方法

(1) 海底火山のモデルの作製

- ① 紙粘土と油粘土を用いて、アクリル板の上に海底火山のモデルとなる海山を作製した。この時、海底火山の麓からシリコンチューブを内部に通し、山頂から斜面に向けて先端を出した。
- ② シリコンチューブを出した向きの斜面を少し平に整えた。
- ③ アクリルラッカー Sprey を、ブルー、グレー、ブラックの順に吹き付け、海底火山に色を付けた。
- ④ セメダイン 8000 シリコンシーラント（クリア）を用いて、海底火山の表面をコーティングした。
- ⑤ アクリル板を海山の形に合わせて、アクリルカッターで切断した（図2）。

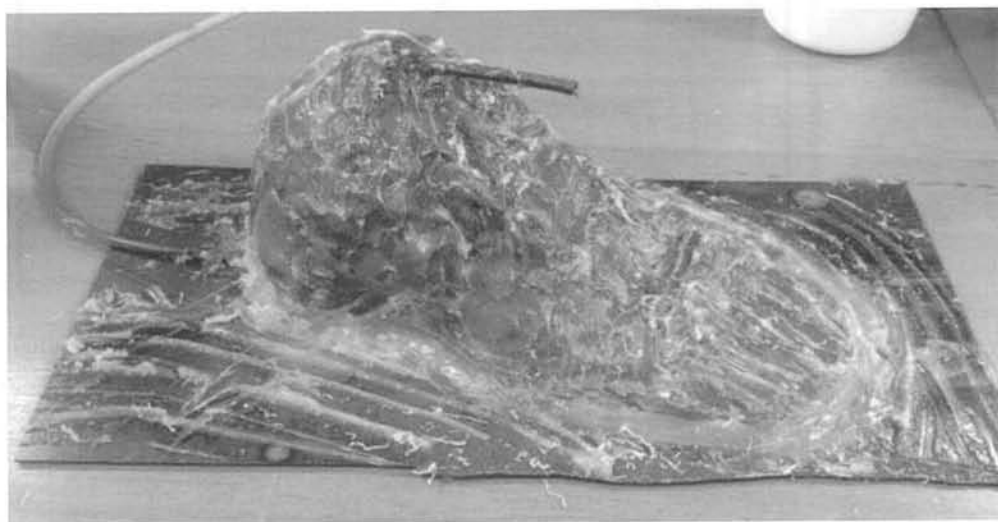


図2 海底火山のモデルの全体像

- ⑥ 山頂から出したシリコンチューブの先端をハサミで約 2cm の長さに切り、さらに先端に切込みを入れ、下方は切り取った（図3）。



図3 シリコンチューブの先端

(2) 溶岩のモデルの作製

- ① 水槽に塩化カルシウム 200g と水 20L を加え、約 0.1mol/L の塩化カルシウム水溶液を調製し、食紅（青）を少量加えた（薄く色付く程度）。
- ② 1L ビーカーにアルギン酸ナトリウム 2g、水 500mL を加え、ガラス棒で攪拌しながらガスバーナーで加熱し、0.4%アルギン酸ナトリウム水溶液を調製した。さらに砂糖 100g を加え、溶解した。

- ③ ②で調製したアルギン酸ナトリウム水溶液を1日置いて放冷した後、食紅（赤）を多めに加え着色した。
- ④ ③を 100mL プラスチック製シリンジ内に吸引し、シリンジの先端を海底火山モデルの麓から出したシリコンチューブに接続した。
- ⑤ 海底火山モデルを塩化カルシウム水溶液の入った水槽内に沈め、シリンジのピストンを少しずつ押し、アルギン酸ナトリウム水溶液を注入した（図4）。

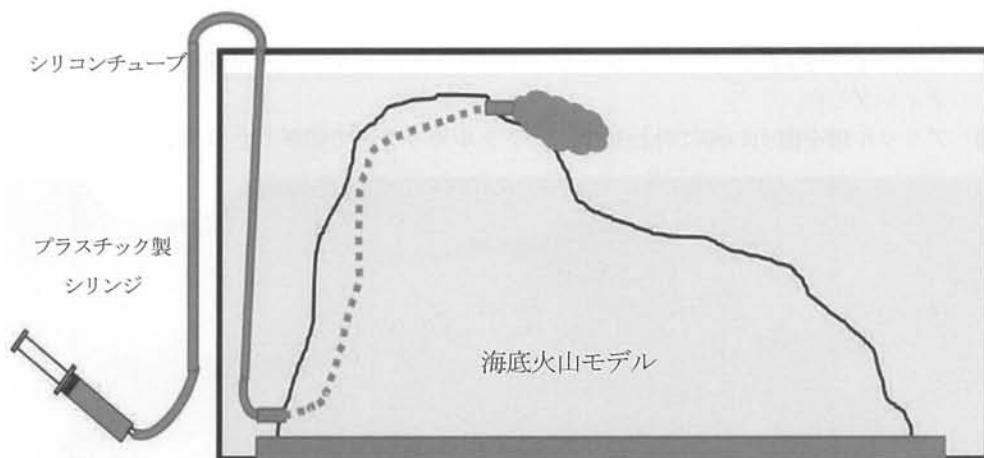


図4 枕状溶岩の生成モデル実験の模式図

3. 試薬の濃度検討

(1) 試薬の濃度検討の意義

枕状溶岩の形成過程を再現するためには、アルギン酸ナトリウム水溶液と塩化カルシウム水溶液の反応で得られた膜が破れることで、その内部に含まれるアルギン酸ナトリウム水溶液が放出され、再び新しい膜を形成するという連続的な反応が起こらなければならない。そこで、本研究では、膜の厚さがアルギン酸ナトリウム水溶液の濃度に大きく依存すると考え、連続的な反応が起こるために最適なアルギン酸ナトリウム水溶液の濃度の検討を行った。

(2) アルギン酸ナトリウム水溶液の濃度検討

約 0.1mol/L の塩化カルシウム水溶液に対して、アルギン酸ナトリウム水溶液の濃度を 0.2%, 0.4%, 0.8% と変え、最適な濃度を検討した。なお、100mL シリンジでアルギン酸ナトリウム水溶液を押し出す速度は約 0.3ml/s とし、実験を行った。その結果をまとめて表1に示した。アルギン酸ナトリウム水溶液の濃度が 0.2% では、溶岩モデルの一部が枕状となり、山の斜面を流れ、残りは枕状にならず、山の斜面に沿って流れた。これは、生成した溶岩モデルの膜（アルギン酸カルシウムの膜）が薄すぎたため、枕状になる前に膜が破れてしまったことに起因すると考えられる。一方、アルギン酸ナトリウム水溶液の濃度が 0.4% では、多くの溶岩モデルが枕状に成長した後に、膜が破れ、新たな枕状の溶岩モデルが生成した。アルギン酸ナトリウム水溶液の濃度が 0.8% では、溶岩モデルが蛇のように

細長く成長するが、膜が破れないまま山の斜面を流れた。これは、生成した溶岩モデルの膜が厚すぎたためであると考えられる。以上の結果から、0.4%のアルギン酸ナトリウム水溶液が、溶岩の流れや枕状溶岩の形成過程を表すことのできる最適な濃度であることがわかった。

表1 アルギン酸ナトリウムの濃度と生成物の特徴

アルギン酸 ナトリウムの濃度 [%]	0.2	0.4	0.8
枕状溶岩の形成過程を 表しているか	△	○	×
生成物の形状	枕状	枕状	蛇状
生成物			

Ⅲ. 実験結果および考察

1. 実験結果

枕状溶岩の形成過程を図5に示す(a~e)。図6に水中から取り出した枕状溶岩のモデルを示す。

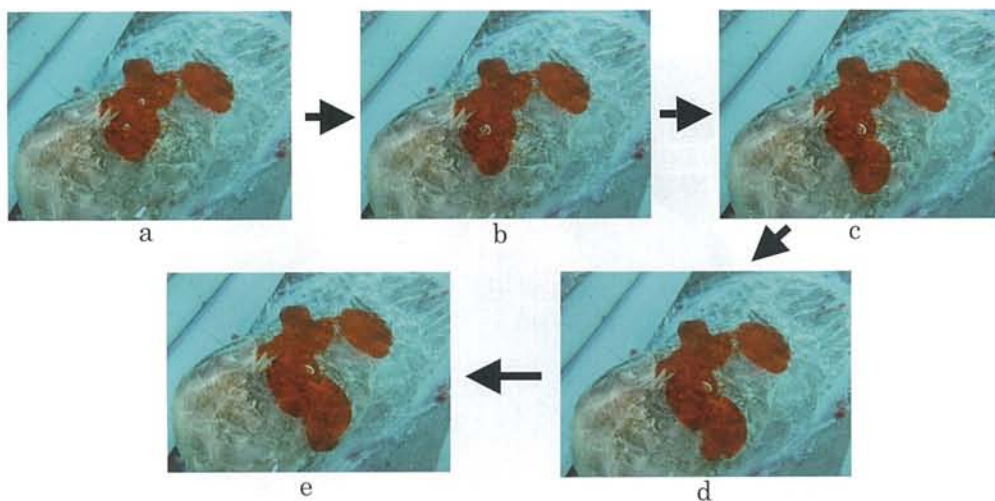


図5 枕状溶岩の形成過程(a~e)



図6 水中から取り出した枕状溶岩のモデル

一度生成した溶岩モデルの膜が破れ、中からアルギン酸ナトリウム水溶液が流出し、再び膜を形成するという反応が連続的に起こった。これによって、コブが連なった状態になり、枕状溶岩の形成過程を示すことができた。また、生成した枕状溶岩モデルを水中から取り出し、積み重ねることで、図1の様な枕状溶岩が堆積した様子を示すこともできた。

2. 考察

作製方法ではアルギン酸ナトリウム水溶液に砂糖を加えると記述した。理由はアルギン酸ナトリウム水溶液の比重が塩化ナトリウム水溶液よりも小さいため、反応後に溶岩モデルが水面に浮かぶためである。そこで、アルギン酸ナトリウム水溶液の比重を上げるために砂糖を混ぜて実験を行った。また、砂糖の他に砂 ($\phi=0.35\text{mm}$) を加えた実験も合わせて行ったが、砂がシリンジやシリコンチューブに詰まることや、図7で示したように、一部分に溜まるなどの問題が生じた。



図7 細粒砂を加えた枕状溶岩のモデル

したがって、アルギン酸ナトリウム水溶液に加える物質として砂糖を選択した。

枕状溶岩モデルを再現するには、「ある程度液が溜まった後、膜が破れ新たな液だまりをつくる」この繰り返しが重要であることが分かった。シリコンチューブを加工せずにアルギン酸ナトリウム水溶液を反応させた場合、蛇状に形成され液だまりができない。そこで出口に切れ目を入れて実験を行ったが、再現性が低かった。そこで、図3のシリコンチューブの上部から画鋸を刺し、先端の流出口の形状を変えることで、膜の形成にむらをつくった(図8)。すると、液だまりを形成しやすくなり、自重で膜が破れる枕状溶岩モデルが確認できた。また、ある程度の傾斜と斜面との摩擦も膜を破る要因となっていると考えられる。

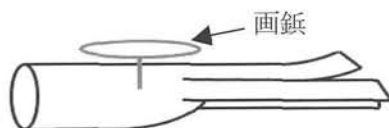


図8 画鋸を刺したシリコンチューブ

本教材を用いることで、枕状溶岩の特徴でもある丸みを帯びた形状(図1)や、生成する様子について観察することができた。また、枕状溶岩の生成を塩化カルシウム溶液の中で再現することで、枕状溶岩が海中で生成することや、かつてその場所が海中であったことも考察できる。

IV. まとめ

枕状溶岩モデルを教材化することによって、地学教育や地理教育(自然地理学)の学習がより親しみやすいものになることを期待し教材開発を行った。例えば、実際に鞍馬山に登って枕状溶岩を観察し、写真を見るなどして、海底でできる枕状溶岩がなぜ山の上にあるのか、という問いを子どもたちに投げかけることができよう。その過程で、プレートの動きや海底火山の学習をする際に、映像資料だけでなく、本教材のような視覚的かつ体験的な教材があれば、より一層楽しい地学教育を行うことができると考える。

子どもたちが地球の内部で起こっている大きな力のはたらきを、身近に、楽しく理解し学習していくことは、地震や火山の噴火などの自然災害が多い我が国における防災・減災教育の一役を担うことにも繋がると言えるだろう。

文献

- 浜島書店編集部 2003. 新訂ニューステージ地学図表, 浜島書店, 161p.
ケニス株式会社 2011・2012b. ケニス理科学機器, 825-829.
小荒井千人・田邊則彦 2005. 理科授業におけるデジタルコンテンツの活用. 第55回日本理科教育学会全国大会要項, 251.
文部科学省 2008. 中学校学習指導要領解説 理科編, 67-72.
文部科学省 2009. 高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編, 99-100, 108-111.
ナリカ株式会社 2011・2012a. ナリカ総合カタログ, 874-878.