

地学教育

第62巻 第6号(通巻 第323号)

2009年11月

目 次

原著論文

実験「混濁流を再現しよう」

—入浴剤を用いた簡単な水槽実験—……………柴田健一郎…(177~184)

スライムの粘性率の測定と溶岩の粘性と火山の形に関するモデル実験

……………岡田浩一・澁江靖弘…(185~193)

教育実践論文

扇状地形成実験を取り入れた地形図作成実習……………中野英之・村松容一…(195~201)

本の紹介 (202~203)

学会記事 (204)

お知らせ (205~206)

日本地学教育学会

263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33 千葉大学教育学部理科教育教室内

実験「混濁流を再現しよう」

—入浴剤を用いた簡単な水槽実験—

Development of a Teaching Tool for the Turbidity Current:
An Easy Flume Experiment Using Bath Agents

柴田 健一郎*

Kenichiro SHIBATA

Abstract: An experimental teaching tool for the turbidity current was developed. This teaching tool involves a simple experiment wherein a milky-white liquid is poured into a transparent green liquid in a plastic tank. Two types of powdered bath agent were used to dye the liquid. Some of the anatomical features of turbidity currents were observed in the experiment, such as a head and vortices. Furthermore, the experiment also demonstrates some fluid mechanical features, such as current reflection. This teaching tool was used for children at an education activity at the Yokosuka City Museum. All children were interested in the experiment, and were able to generate the turbidity current. This teaching tool can be used in Earth Science classes for elementary, secondary, and high school students.

Key words: flume experiment, teaching tool, turbidity current, museum, sediment transportation

1. はじめに

地学の学習では、空間的・時間的スケールの大きな事物・現象を対象とすることが多いため、室内での実験的な学習は制限されることが多い。したがって、野外における観察・観測などの探究活動が特に重要とされている(例えば、文部省, 1999, 2000a, b)。しかし、指導する教師の専門知識の不足、都市化が進んだ地域での学習フィールドの不足、児童・生徒の安全面での問題などの理由から、近年は必ずしも十分な野外学習が実施されているとはいえない(宮下, 1999)。このような現状の中で、室内でも手軽に実施でき、児童・生徒の知的好奇心を高め、探究心を向上させる実験的な地学教材の開発は極めて重要であると考えられる。

ここでは、室内で手軽に実施できる教材として、混濁流の水槽実験を開発した。混濁流は深海での碎屑物

の運搬・堆積を担い、地球上に存在する堆積岩のうちかなりの部分を占めると考えられているタービダイトを堆積させる地学現象である。混濁流は通常深海で発生するという性質上、直接目で観察することが極めて困難である。本論で公表する実験は、特に地震などに起因して大陸斜面上部で発生した混濁流が海底谷を流れ下り、海底扇状地上に広がっていく様子を室内で再現し、その流れの形態的特徴や挙動の様子を観察することができる。これまでに、坂本ほか(1996)は水槽の中で漣痕をつくる実験教材を発表し、西田ほか(2008)は実験水槽を用いた三角州の発達過程に関する教材を提案している。しかし、これまで混濁流を扱った教材の例はない。この実験は、市販の入浴剤と飼育ケースを用いて簡単に実施することができ、費用や準備の手間があまりかからない。ここではその実験方法を示し、実験で観察される混濁流の特徴について説明す

る。また、この実験を横須賀市自然・人文博物館の博物館行事において、小学生を対象に実践した。この実践結果についても述べる。

2. 混濁流について

混濁流とは、砕屑物が重力によって斜面を下る堆積物重力流のうち、乱流状態のものを指す (Lowe, 1982; Kneller and Buckee, 2000 など)。自然界での混濁流は、海底や湖底などの水底で、地震などによる斜面の崩壊や、洪水による河川からの堆積物の流入に起因して発生し、堆積物をより深い水域へ運搬する。1929年に発生した北米のグランドバンクス地震では、斜面が崩壊して海底地すべり (スランプ) が発生し、土砂は高密度の水の中土石流となって流下した。さらに土石流は勾配が緩くなる地点で混濁流へ変化したと考えられている (Piper et al., 1999)。海底の斜面では混濁流による堆積物の侵食と運搬の結果、海底谷が形成され、海底谷の末端部では堆積作用によってチャンネル (流路) とレビー (自然堤防) からなる海底扇状地システムが形成される (図 1A)。混濁流から堆積した堆積物がタービダイトである。混濁流が引き起こす事故として、海底電線の切断がしばしば挙げられる。例えば 1972 年 7 月、相模湾西部に流れ込む酒匂川の洪水に起因して混濁流が発生し、太平洋横断海底電線が切断された (大塚ほか, 1973)。

混濁流の実験的研究については 1930 年代から行われており、これまでに混濁流の流体メカニズムについての詳細が明らかになってきている。混濁流の形態は、頭部とその後方に尾を引く体部で特徴づけられる。頭部の高さは体部のそれよりも高い。頭部には突き出た “nose” が認められ、頭部の上部後方には渦を伴う (図 1B)。頭部と体部はそれぞれ異なる速度で斜面を流れ下り、頭部の速度 U_{head} は以下の式で表される。

$$U_{\text{head}} = 0.75 \sqrt{\frac{\rho_2 + \rho_1}{\rho_2} gh}$$

ここで ρ_1 と ρ_2 は流体と周囲の水の密度、 g は重力加速度、 h は流体の高さである (Middleton, 1966)。この式は、頭部の速度が流体と周囲の水の密度差に依存することを示している。

混濁流の進行方向に地形の起伏などの障害物がある場合、その挙動は障害物によって影響を受ける。混濁流の障害物に対する挙動は、流体の速度や密度、障害

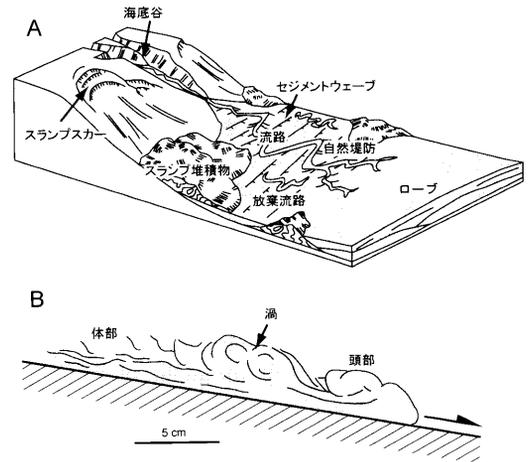


図 1. A: 海底扇状地システムの模式図 Normark et al. (1993) を改変。
B: 実験で発生させた混濁流のトレース

物の高さ、流体の進行方向と障害物の角度などによって変化する。例えば、障害物の高さが低い場合や、混濁流の速度が十分に速い場合などには、混濁流は障害物を乗り越えて進行する。しかしながら、混濁流の進行が完全に妨げられる場合は、流れは障害物と逆方向に反射する (Kneller et al., 1991; Kneller and Buckee, 2000 など)。このような混濁流の諸性質については、英国オープン大学編 (1998)、Kneller and Buckee (2000)、成瀬ほか (2001) など詳しく解説されている。

3. 実験に使用する器具

以下にこの実験で用いる実験器具を示す (図 2)。

- 1) 飼育ケース: 水槽はプラスチック製の飼育ケースを用いた。ガラス製の水槽に比べて安価であり、破損の危険も少なく、軽いため、児童・生徒でも扱いやすい。さまざまな大きさの飼育ケースが市販されているが、この実験では横幅 40 cm、奥行き 25 cm、高さ 20 cm 程度のもので適当である。大きい飼育ケースを使用したほうが混濁流を長時間観察できるが、多量の水が必要となり、水槽の重量が増加するため、水槽の移動や後述する水の入れ替えが困難となる。
- 2) 入浴剤: 混濁流を発生させるためには、水槽に入っている水よりも密度の高い液体を水槽に流してやればよい。水槽の水を染色し、混濁流用の液体の密度を調整するために、市販されている粉末

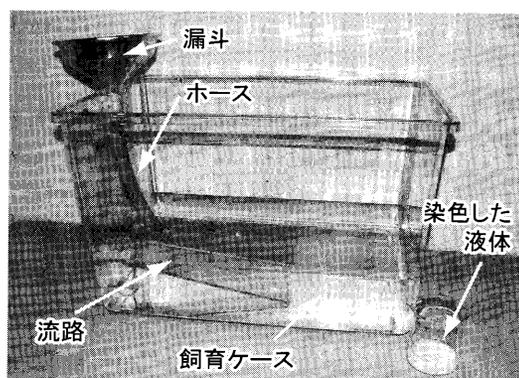


図2. 実験に使用する器具

状の入浴剤を用いた。ここでは緑色透明と乳白色に染色できる入浴剤を使用した。これは無色透明な水よりも、染色された二つの液体を用いたほうが、混濁流の挙動を観察しやすいためである。水彩絵具等でも代用できるが、粉末状の入浴剤を用いると、液体の密度を調整するための計量がより容易である。

- 3) 流路：厚さ 3 mm の塩ビの板を用いて混濁流が流れ下る流路を作製した。流路の長さは 22 cm, 幅 6 cm, 高さ 3 cm 程度とする。混濁流が流路から側方にあふれ出さないように横断面がコの字型の流路を作製した。
- 4) 漏斗とビニルホース：水槽に混濁流用の液体を流すために用いる。ビニルホースの長さは 20 cm 程度で、後述するように実験器具を組み立てた際、ホースの末端が水槽の水に水没する長さがあればよい。ホースの太さは 2 cm とした。
- 5) 消しゴム：水槽内に置き、混濁流の障害物とした。大小二つの消しゴム（大：長辺 6 cm, 短辺 1 cm, 高さ 2 cm 程度, 小：長辺 1.5 cm, 短辺 0.5 cm, 高さ 2 cm 程度）を用意した。消しゴムの密度は約 1.4 g/cm^3 である。

これらの実験器具のほかに、天秤、ビーカー、ガラス棒、ストップウォッチ、粘着テープを使用した。

4. 実験方法

- 1) 水槽に 7 cm の深さまで水を入れ、緑色透明な入浴剤 1 g で染色する。ここで水槽に入っている液体の密度はほぼ 1 g/cm^3 である。
- 2) 水槽の縁から中心に向かって流路を取り付ける。流路の傾斜は 10° とする。この傾斜は実際の大陸

斜面の傾斜角度 ($3 \sim 6^\circ$) よりもやや急勾配である。流路を傾斜 10° で固定するために、塩ビの板で作製した台を用いた。

- 3) ビニルホースに漏斗を取り付け、ホースの末端が流路の上流付近で水没するようにホースを粘着テープで固定する。ホースの末端が水没していない場合、ホースからの液体の一部が水槽の液体表面を漂ってしまい、混濁流が観察しづらくなってしまふ。ホースの末端を水没させるのはこれを防ぐためである。
- 4) 混濁流用の密度の高い液体を作る。ここでは乳白色の入浴剤と水をビーカーに入れてガラス棒を用いてかくはんし、密度 1.064 g/cm^3 と 1.032 g/cm^3 の液体を作製した。ここで作製した液体の密度は自然界で発生する混濁流の平均密度 1.2 g/cm^3 (英国オープン大学編, 1998) よりも低密度であるが、実験水槽内において混濁流を適当な速度で観察するためには適当な密度である。
- 5) 4) で作製した液体のうち、一方の液体 15 ml を漏斗から水槽に流し入れる。
- 6) 発生した混濁流を水槽の上面、ならびに側面から観察する。混濁流の発生から、水槽の端まで到達する時間をストップウォッチで測定する。
- 7) 1 回の観察が終了したら、水槽の水を捨て、水槽と流路を洗浄する。異なる密度の乳白色の液体を用いて、同様の実験を繰り返す。また、流路の末端付近に障害物として消しゴムを置き、実験を行う。

5. 実験結果

乳白色の液体 (密度 1.064 g/cm^3 ならびに 1.032 g/cm^3) を水槽に流し入れたところ、混濁流が発生した。混濁流には頭部と体部が認められ、頭部の後方には渦も観察された (図 3)。混濁流は流路の末端に達すると、流路の末端から水槽の底面へ放射状に広がった (図 4)。混濁流が水槽の端の壁まで達すると、混濁流の高さが一時的に増加し、流れの反射が生じた。これらの様子は、実際の大陸斜面において地震などに起因して発生した混濁流が海底谷を流れ下り、海底扇状地末端で流路 (チャンネル) から流れ出す様子を再現したものである。また、実験で観察された混濁流の反射は、地質記録にも保存されている (Kneller et al., 1991; 酒井, 2000)。この実験では堆積物が形成されないが、観察される混濁流の様子から、海底扇状地システムの

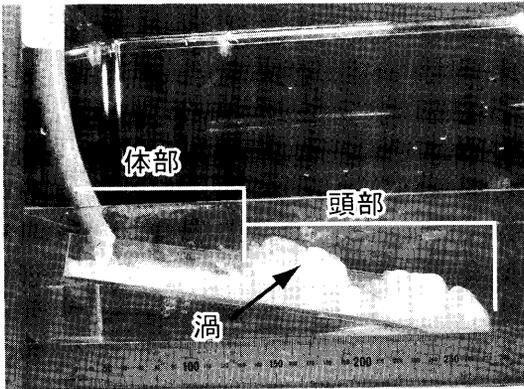


図3. 水槽側面から観察される混濁流

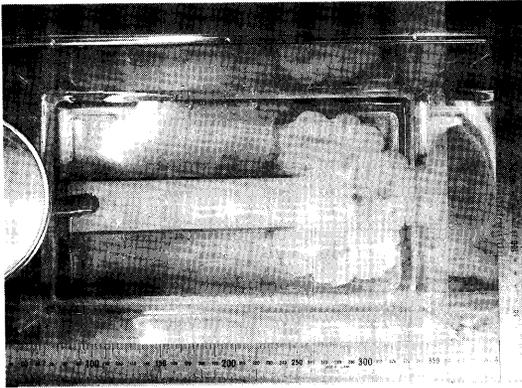


図4. 水槽上面から観察される混濁流

形成が混濁流と密接に関係していることを理解することができる。密度 1.064 g/cm^3 の液体を流した際、ホースの末端より混濁流が発生してから混濁流の頭部が流路下流側の水槽の端まで達する時間は6.7秒、密度 1.032 g/cm^3 の液体の場合は10.0秒であった。このときの混濁流の平均速度は、密度 1.064 g/cm^3 の液体を流した場合で 0.19 km/h 、密度 1.032 g/cm^3 の液体の場合で 0.13 km/h である。この実験によって、周囲の液体との密度差が大きい流体のほうが、流れ下る速度が速いことを理解することができる。なお、1929年のグランドバンクス地震で発生した混濁流の頭部の高さは数百メートルに達し、頭部の速度は 68 km/h と見積もられている (Piper et al., 1999)。今回の実験で生じた混濁流の頭部の高さは約3cmであるため(図3)、実験のスケールはグランドバンクス地震の例のおよそ数万～数千分の1である。頭部の速度は頭部の高さの平方根に比例するため、実験では実際の

混濁流よりも2桁程度遅い速度で混濁流を観察していることになる。流路末端付近に障害物として大きな消しゴム(長辺6cm、短辺1cm、高さ2cm)を長辺が混濁流の進行方向と直交する向きに置き、密度 1.064 g/cm^3 の液体を流し入れると、混濁流の一部は消しゴムを乗り越えることができず、流路の上流側に反射したが、大部分は消しゴムを乗り越え、流路末端から放射状に進行した。一方、小さな消しゴム(長辺1.5cm、短辺0.5cm、高さ2cm)を長辺が流路と直交する向きに置き、密度 1.064 g/cm^3 の液体を流したところ、混濁流の掃流力によって消しゴムが倒される様子が観察された。混濁流に小さな消しゴムを押し倒す力があることを実験で示すことにより、自然界で発生する大規模な混濁流が大きな侵食力を持ち、ときとして海底ケーブル切断などの事故を引き起こすことがあることを学習することができる。

6. 実 践

本論で紹介した教材を、横須賀市自然・人文博物館の夏休み企画「子ども地震教室」の中で実践した。この博物館行事は小学生を対象とし、地震の基礎知識を学習させ、防災意識を高めさせることを目的としたものである。このなかで、地震によって海底では混濁流が発生することがあり、海底ケーブルの切断などの事故を引き起こすことがあることを説明した。それに加えて混濁流を実験で観察し、形や挙動などの諸性質を子どもに理解させることを目的として実践した。実践の概要と手順を以下に示す。

実践場所: 横須賀市自然・人文博物館 科学教室

博物館行事: 夏休み企画「子ども地震教室」

実践日: 2008年8月2日

実践時間: 40分

対象: 小学校1年～4年の児童4名(保護者の協力あり)

実践手順:

- 1) 混濁流と同じく堆積物重力流の一つである土石流の映像を子どもに見せ、地震によって堆積物が崩壊し、水と土砂が混じって流れ下ることがあることを説明する。
- 2) 学芸員が本論文の実験方法に従って実験の手本を見せる。
- 3) 水槽、流路、ビニルホース、漏斗、緑色透明に染色できる入浴剤1g、あらかじめ密度を調整した乳白色の液体(密度 1.064 g/cm^3 および

**こん りゅう さいげん
混濁流を再現しよう**

こん りゅう とは？
 混濁流とは？
 海^{うみ}底^{てい}や 湖^{うみ}の 斜^{しや}面^{めん}を 流^{なが}れ 下^{くだ}る “に^にご^ごり^り水^{すい}” の こと^{こと}で、 陸^{りく}上^{じやう}の 土^ど石^{せき}流^{りゅう}に 似^にた 現^{げん}象^{じやう}
 。 地^ち震^{しん}や 川^{がわ}か^らの 土^ど砂^さの 流^{なが}入^いに よ^よっ^てて 発^{はつ}生^{せい}す^る。

**じっけん ほうほう
～実験の方法～**

1. 水^{みづ}そ^うに 7 cm の 深^{ふか}さ^{まで}で 水^{みづ}を 入^いれ、 緑^{みどり}色^{いろ}の 入^い浴^{じやく}剤^{ざい}を 入^いれて 混^まぜ^る。
2. 図^ずの よう^にに 水^{みづ}そ^うに 流^{りゅう}路^ろ、ホ^おー^おス、ロ^ろー^ろト^とを 取^とり 付^つけ^る。
3. 入^い浴^{じやく}剤^{ざい}で 染^ぞめ^た白^{しろ}い 色^{いろ}水^{すい}を ロ^ろー^ろト^とか^ら流^{なが}し^いれ^る。

- 1 回^{かい}の 実^{じっ}験^{けん}が 終^おわ^つつ^たら 水^{みづ}そ^うの 水^{みづ}を か^かえ^かま^まし^よう。
- こ^こい^い色^{いろ}水^{すい}や う^うす^すい^い色^{いろ}水^{すい}を 流^{なが}し^て、水^{みづ}そ^うの 壁^{かべ}に 混^まじ^りた^く 流^{りゅう}が 着^つく^まで^の時^じ間^{かん}を は^はか^かっ^てみ^みよ^う。

横^{よこ}須^す賀^が市^し自^じ然^{ぜん}・人^{じん}文^{ぶん}博^{はく}物^{ぶつ}館^{かん}

図 5. 実践で配布した実験の手順を示したシート

1.032 g/cm³), 粘着テープ, 実験の手順を示したプリント (図 5) ならびにワークシート (図 6) を配り, 1 人 1 台の実験器具を組み立てさせる。

- 4) 子どもに実験させ, ワークシートに記入させる。
- 5) 学芸員がまとめの解説を行い, アンケートを記入させる。

学芸員が手本を見せると子どもは興味を持ち, 自ら進んで実験した (図 7)。子どもがワークシートに描いた混濁流のスケッチに基づくと, 4 人中 2 人の子どもは混濁流には渦が伴い, 乱流状態であることをとらえ, 3 人は混濁流が流路末端から放射状に広がることをとらえた (図 8)。密度の大きい混濁流ほど頭部の速度が速いことを実験から導いた子どもは 4 人の中で 1

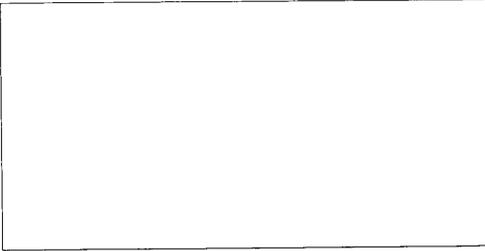
人だけだった。この理由は, 一度実験が終了した後の水槽や流路の洗浄, 水の入替えに手間取り, 密度が異なる混濁流の挙動を観察する時間がなかった子どもが 2 人いたためである。混濁流が水槽の壁で反射することを記述できた子どもは 1 人もいなかった。

実践後に実施したアンケートの結果 (表 1) では, 4 人中 3 人の子どもが, 実験は「とても楽しかった」, 1 人が「まあまあ楽しかった」と回答した。自由記述の感想でも, 「実験が楽しかった」, 「楽しくてためになった」, 「おもしろかった」という回答が得られた。器具の組み立てに対して「やや難しかった」と回答した子どもが 2 人いたものの (表 1), 参加した子ども全員が, 保護者の補助を得ながら混濁流を発生させることができた。また, 4 人中 3 人がこの実験の内容が「まあまあわかった」, 1 人が「よくわかった」と回答し

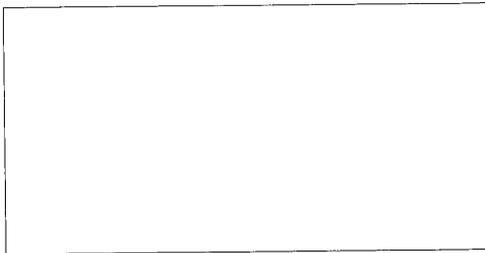
混濁く流を再現しよう ワークシート

名前

1. 水そうを横から見たときの混濁く流をスケッチしましょう。



2. 水そうを真上から見たときの混濁く流をスケッチしましょう。



3. 混濁く流が水そうのかべにぶつかるとうなりましたか。

4. こい色水とうすい色水を流したとき、混濁く流が水そうのかべに着くまでの時間をはかりましょう。

こい色水 秒 うすい色水 秒

5. こい色水とうすい色水では、どちらが早く流れますか。

6. 混濁く流のかたちや動きについて、ほかに気づいたことがあれば書いてください。

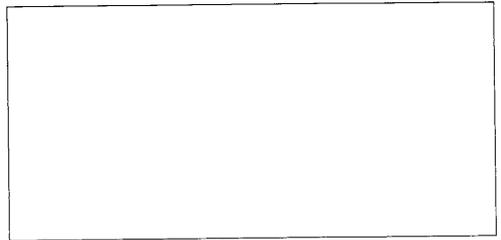


図6. 実践で配布したワークシート

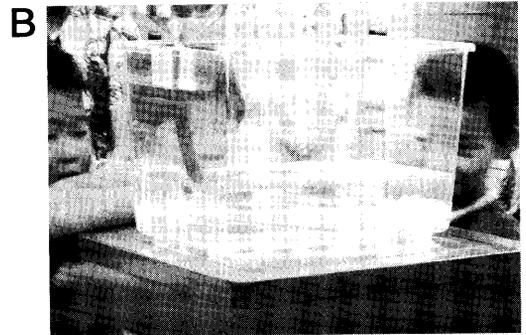


図7. 横須賀市自然・人文博物館での実践の様子
A: 実験の準備をする子ども。B: 発生した混濁流を観察する子ども。

た。

これらの結果から、混濁流の実験は子どもにとって魅力的な教材であると判断できる。この実験によって子どもに混濁流の形態的特徴や挙動の特徴を理解させることができると考えられるが、反射のように一部の特徴については詳しい解説が必要と考えられる。ま

た、小学校低学年の子どもでも補助があれば実験できることが明らかとなった。しかし、異なる密度の液体を用いて繰り返し実験するためには時間に余裕を持って実践することが必要であると考えられる。

2. 水槽を真上から見たときの混濁流をスケッチしましょう。

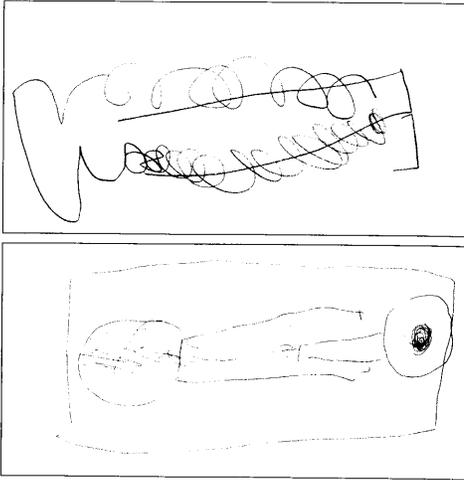


図8. 子どもが描いた混濁流のスケッチ

表1. 実践で行ったアンケートの結果

この実験は楽しかったですか。

選択肢 \ 子ども	A	B	C	D
とても楽しかった	○	○		○
まあまあ楽しかった			○	
あまり楽しくなかった				
ぜんぜん楽しくなかった				

この実験の方法はむずかしかったですか。

選択肢 \ 子ども	A	B	C	D
とてもかんたんだった	○	○		
まあまあかんたんだった				
まあまあむずかしかった			○	○
とてもむずかしかった				

この実験の内容はわかりましたか。

選択肢 \ 子ども	A	B	C	D
よくわかった		○		
まあまあわかった	○		○	○
あまりわからなかった				
ぜんぜんわからなかった				

7. まとめ

本論の実験では水を入浴剤で染色し、密度の異なる2色の液体を作成した。その結果、混濁流の形態や挙

動を明瞭に観察できた。また、簡易な水槽実験でも混濁流の基本的な形態の特徴や流体力学的特徴を観察できた。この実験は、通常は目で見ることのできない深海での堆積物の運搬様式を理解させるのに有効な実験であると考えられる。この実験の応用として、混濁流から堆積したタービダイトのはぎ取り標本を見せるなどして、混濁流が深海での地層形成に重要な役割を果たしていることを理解させることもできると考えられる。この実験を横須賀市自然・人文博物館の博物館行事で小学校1~4年の児童4人を対象に実践したところ、すべての子どもが実験に興味を持ち、混濁流を発生させることができた。繰り返し実験を行う際、水槽の洗浄に時間がかかるという問題点が明らかとなったものの、この実験で使用した器具は安価であり、実験方法も容易である。小学校理科における「流れる水のはたらき」や「土地のつくりと変化」、中学校・高等学校における「地層」の単元で、発展的な内容として混濁流を取り上げ、本論の教材を利用できるものと考えられる。

謝辞 この研究を進めるにあたり、松川正樹教授(東京学芸大学環境科学分野)には草稿を読んでいただき、有益なコメントを賜りました。伊藤 慎教授と西田尚央氏(千葉大学理学研究科)には混濁流のメカニズムと実験方法についてご教示いただきました。匿名の査読者2名には有益なコメントをいただき、論文が改善されました。三浦半島活断層調査会の諸氏には横須賀市自然・人文博物館での実践にご協力いただき、David Doran氏には英文要旨を読んでいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 英国オープン大学編、野村律夫訳(1998): 海洋堆積学の基礎。愛智出版、東京、192p.
- Kneller, B., Edwards, D., McCaffrey, W. and Moore, R. (1991): Oblique reflection of turbidity currents. *Geology*, **14**, 250-252.
- Kneller, B. and Buckee, C. (2000): The structure and fluid mechanics of turbidity currents: A review of some recent studies and their geological implications. *Sedimentology*, **47**, 62-94.
- Lowe, D. R. (1982): Sediment gravity flows: II. Depositional models with special reference to the deposits of high density turbidity currents. *Journal of Sedimentary Petrology*, **52**, 279-297.
- Middleton, G. V. (1966): Experiments on density and

- turbidity currents. I. Uniform flow of density currents. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **3**, 523-546.
- 宮下 治(1999): 地学野外学習の実施上の課題とその改善に向けて—東京都公立学校の実態調査から—。地学教育, **52**, 63-71.
- 文部省(1999): 中学校学習指導要領(平成10年12月)解説—理科編—。大日本図書, 東京, 162p.
- 文部省(2000a): 高等学校学習指導要領解説理科編理数編。大日本図書, 東京, 310p.
- 文部省(2000b): 小学校学習指導要領解説理科編。東洋館出版社, 東京, 122p.
- 成瀬 元・田村 亨・久保雄介・増田富士雄(2001): 堆積構造入門シリーズ(2)重力流堆積物とその構造。堆積学研究会, 147p.
- 西田尚央・伊藤 慎・島野恭史・長谷川裕樹(2008): 簡易実験水槽を用いた三角州の形成実験。地学教育, **61**, 157-166.
- Normark, W. R., Posamentier, H. and Mutti, E. (1993): Turbidite systems: State of the art and future directions. *Reviews of Geophysics*, **B31**, 91-116.
- 大塚謙一・加賀美英雄・本座栄一・奈須紀幸・小林見吉(1973): 相模湾の海底地すべりと乱泥流。海洋科学, **5**, 446-452.
- Piper, D. J. W., Cochonot, P. and Morrison, M. L. (1999): The sequence of events around the epicentre of the 1929 Grand Banks earthquake: Initiation of debris flows and turbidity current inferred from sidescan sonar. *Sedimentology*, **46**, 79-97.
- 酒井哲弥(2000): 鮮新・更新統掛川層群に認められた reflected turbidite. 地質学雑誌, **106**, 87-90.
- 坂本隆彦・目 康夫・藤村輝美(1996): 実験“漣痕をつくろう”。地学教育, **50**, 1-7.

柴田健一郎: 実験「混濁流を再現しよう」—入浴剤を用いた簡単な水槽実験— 地学教育 **62** 卷 **6** 号, 177-184, 2009

〔キーワード〕 水槽実験, 教材, 混濁流, 博物館, 堆積物の運搬

〔要旨〕 混濁流を手軽に再現することができる実験教材を開発した。この教材は緑色透明の液体を入れた飼育ケースに、乳白色の液体を流し入れる簡便なものである。流体の染色には粉末状の入浴剤を用いた。この実験では、頭部や渦などの混濁流の形態的特徴や、障害物に対する流れの反射など、混濁流の流体力学的特徴を観察することができた。この教材を横須賀市自然・人文博物館の博物館行事で小学生を対象に実践したところ、すべての子どもが実験に興味を持ち、低学年の子どもでも混濁流を発生させることができた。この教材は小学校や中学校、高等学校の地学の授業でも利用できるものと考えられる。

Kenichiro SHIBATA: Development of a Teaching Tool for the Turbidity Current: An Easy Flume Experiment Using Bath Agents. *Educat. Earth Sci.*, **62**(6), 177-184, 2009

原著論文

スライムの粘性率の測定と溶岩の粘性と火山の形に関する モデル実験

Measurements of Viscosities of Slimes and a Model Experiment on the
Relation between the Viscosity of Lava and the Shape of Volcano

岡田 浩一*・澁江 靖弘**

Kouichi OKADA and Yasuhiro SHIBUE

Abstract: This paper presents a method of preparing slime as a modeling material of lava, and also a method of measuring the viscosity of the slime. The prepared slimes show viscosities ranging from 4.4×10^4 poise to 0.6 poise. The viscosities of the prepared slimes fall in the range of basaltic lavas and are lower than those of dacitic lavas, which often form lava domes. Using the slimes, this study shows a model experiment on the relation between the viscosity of a lava and the shape of the resultant volcano. After flowing out of the modeled crater, the slime of 4.4×10^4 poise viscosity shows a form similar to the lava dome. In contrast, the slime of 1.4×10^3 poise viscosity shows a form similar to the shield volcano. The "lava dome" of the slime flattens in a few hours, owing to its lower viscosity than the dome-forming natural lava. This paper emphasizes that the instruction method for the study on the stickiness should be developed in the context of the Earth Science education.

Key words: slime, viscosity, shape of volcano, model experiment

1. はじめに

火山の形と溶岩の粘性との関係に関するスライムを用いたモデル実験が中学校で行われている(例えば, 池本, 1998; 竹内ほか, 2006a, b). いずれも, ドーム状の火山は粘性の大きい溶岩が冷却・固結したものであり, 盾状火山は粘性の小さい溶岩が冷却・固結したものであることを示すためのモデル実験である.

火山の形は, 溶岩の粘性以外の要因によっても変化する. 例えば, 火山が噴火した場(陸上, 海底, 氷底の違い)や噴火の形式(静穏的噴火と爆発的噴火の違い)にも依存する(勝井, 1976). また, 噴出物の通り道(火道)が複数存在する場合には, その間隔や配置が火山の形に影響する. 教科書では粘性のみが取り上

げられているので, ここでは粘性以外の要因については検討しない.

スライムを用いた火山の形に関するモデル実験を池本(1998)は次のように行ったと報告している. 飽和四ホウ酸ナトリウム水溶液にポリビニルアルコール(以下, PVAと略する)を含むPVA洗濯糊をさまざまな割合で混ぜてスライムを作製し, 作製したスライムを斜面に流すことで生徒に溶岩の流れをイメージさせた. この生徒実験では, 班ごとにスライム中のPVA含有量が違っていたためにさまざまな粘性のスライムを作製することができたと報告している. ただし, スライムのPVA含有量や粘性の大きさについては報告していない.

教師用指導書(竹内ほか, 2006b)で示されている

モデル実験では、PVA 洗濯糊 20 cm³ に水 5 cm³ を加えた水溶液に 0.3% あるいは 1.0% のホウ砂水溶液 10 cm³ を加えてスライムを作製している。ホウ砂含有量の高いスライムのほうが大きな粘性を示すことを利用して、粘性の異なるスライムを作製している。教科書(竹内ほか, 2006a)には、粘性の小さい溶岩からできた火山として三原山, 粘性の大きい溶岩からできた火山として雲仙普賢岳が挙げられている。スライムの実験を見た後でこれらの事項を学習した生徒の中には、粘性の小さいスライムが三原山の溶岩, 粘性の大きいスライムが雲仙普賢岳の溶岩に対比できると思う者がいるかもしれない。溶岩の粘性は粘性率として数的に表現されているが(例えば, 谷口, 2001), 教科書あるいは教師用指導書(竹内ほか, 2006a, 2006b)にはスライムの粘性率が示されていない。また, スライムの粘性率に関する報告を筆者らは見いだせなかった。粘性率は中学校での学習内容に入っていないが, スライムに関する基本的なデータを求めておく必要がある。

さて, 火山の形と溶岩の粘性率との関係を扱うモデル実験の場合, スライムの粘性率が大きく違っているほど実験結果に対する生徒の印象も強くなる。竹内ほか(2006a, 2006b)はホウ砂濃度を変えることでスライムの粘性率を変えたが, ホウ砂水溶液に対するPVA 洗濯糊の割合は変えていない。PVA 洗濯糊の割合を変えればスライムの粘性率も変わると予想して, スライムの粘性率を本報告中で検討する。

本論文では, スライムの作製方法と粘性率の測定方法を示し, PVA 洗濯糊の割合を変えて作製したスライムの粘性率を報告する。次に, 粘性率が大きく異なるスライムを用いて溶岩の粘性と火山の形に関するモデル実験を行う。最後に, 実験結果に関する考察と「粘り気」の理科学習についての考察を若干行う。

2. 実験方法

(1) スライムの作製

ビーカーにホウ砂 (Na₂B₄O₇・10H₂O) 1 g を入れて, 50 cc の水で溶かしてホウ砂水溶液を作る。この水溶液を水溶液 A と呼ぶ。

別のビーカーで 20 g から 90 g の PVA 洗濯糊 (永久糊社製造の永久ノール) と 0 g から 50 g の水を混ぜ合わせて得られた水溶液を水溶液 B と呼ぶ。PVA 洗濯糊中の PVA 含有量は約 9% (卸売会社イーズカ公表値) である。PVA 洗濯糊と水の秤量には電子天秤

を用いた。

液体の量の測定にはメスシリンダーを使用することが多いが, PVA 洗濯糊がメスシリンダー内に残って正確な測定ができなくなる。そこで, 今回の実験ではメスシリンダーを使用していない。

以上のようにして作製した水溶液 B に水溶液 A を加えて割り箸でよくかき混ぜてスライムを作製した。水溶液 B 中の水分が少ないと「だま」ができやすいので, この時は「だま」を切るようにして混ぜた (図 1A)。竹内ほか(2006b)はガラス棒を用いているが, 粘性が大きいとガラス棒が折れてしまう可能性がある。安全面を考慮して, ここでは割り箸を使用している。粘性がさらに大きくなると割り箸でも「だま」をかき混ぜにくくなる。この場合には, 料理用に使用する器具を用いて「だま」を切りながらかき混ぜた (図 1B)。ただし, 「だま」が大きくなりすぎると均質なスライムを簡単に作製することが困難であった。

作製したスライムの取り出しは次のようにして行った。ビーカーを振りながら底面や側面に付着したスライムを合体させていくとスライムは球状になっていく (図 1C)。ビーカー内のスライムのほぼ全量を一つの球にした後で, ビーカーからスライムを取り出した。このようにして作製したスライムは気泡が含まれているために白色を呈していた。

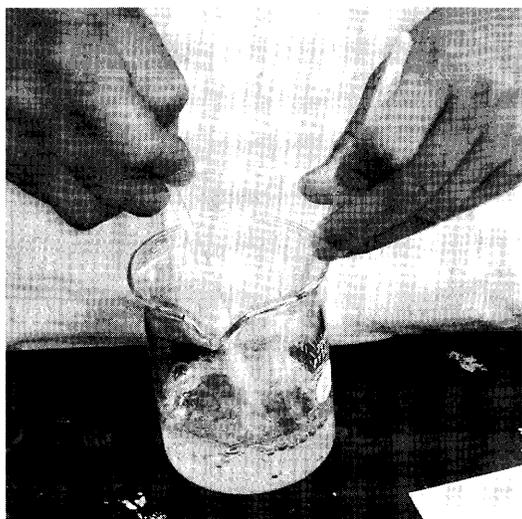
(2) 粘性率の計算方法と測定方法

1) 粘性率の計算式

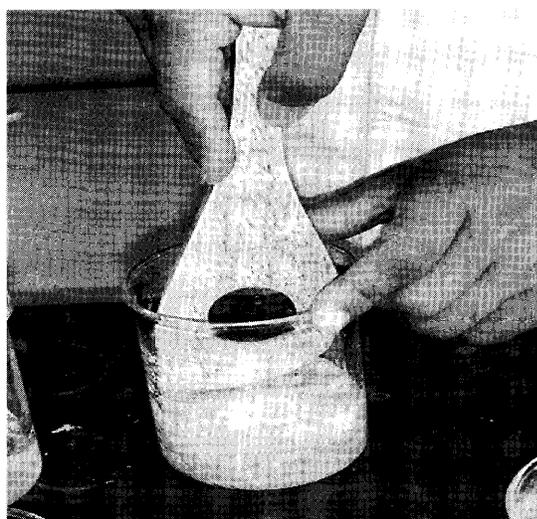
ここでは, 溶岩の粘性率を計算する方法でスライムの粘性率を求める。溶岩が斜面を流れるときを考えて, 溶岩の粘性率を図 2 のようにモデル化して求められていることが多い(例えば, 谷口, 2001)。図 2 中で溶岩の厚さ(層厚)を h (cm), 溶岩の密度を ρ (g/cm³), 重力加速度を g (980 cm/s²), 溶岩が流れる斜面の傾斜を α , 溶岩の流速を V_0 (cm/s) とおく。そして, 溶岩の流れが層流であると見なして, 粘性率 (η , 単位は poise) を次式で求める。

$$\eta = h^2 \rho g \sin \alpha / 3V_0 \quad (1)$$

実際の溶岩は部分的に固結し, 流動によって破砕された物質が溶岩の表面や底部を覆っている場合が多い。また, 融体の部分でも結晶や気泡を含む。これらの現象に伴って, 地表に噴出した溶岩はある値以上の力(応力)が加わらないと流れ出さない場合があり, 溶岩ドームを形成するマグマは大きな応力が加わらないと流れ出さない(谷口, 2001)。したがって, 溶岩ドームを形成するマグマは斜面上に噴出しても流れ出さない



(A) 割り箸を用いて「だま」を切る様子.



(B) 粘性率が高いスライムを作製する過程において料理用器具を用いて「だま」を切る様子.



(C) ビーカーを振りながらスライムを取り出そうとしている様子.

図 1 スライムの作製過程

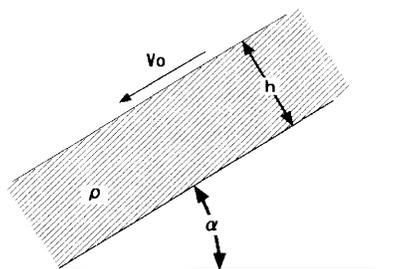
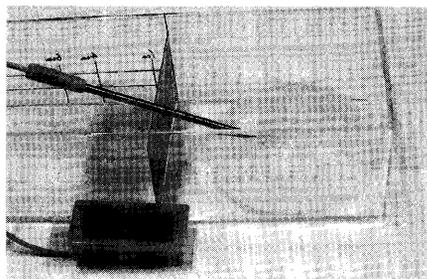


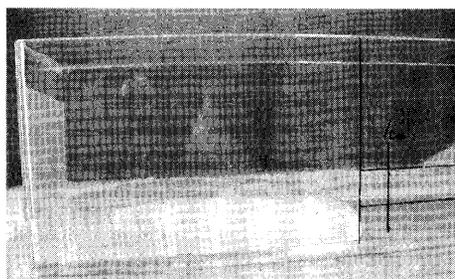
図 2 溶岩の粘性率を計算するためのモデル (谷口, 2001).

ことさえある。以上のように、溶岩そのものが不均質であるうえに斜面上での流れ方も単純ではない。谷口 (2001) は、「実在の溶岩流の粘性率を厳密に定義するのは難しい」としながらも、本論文中の図 2 で示したモデルに基づいて式 (1) を用いて計算することが一般的に行われていることを示している。

なお、谷口 (2001) は式 (1) で求められる値を「見かけの粘性率」と表記しているが、石原ほか (1984) は三宅島を流れた溶岩の粘性率として報告している。ここでは式 (1) から求められる値を粘性率と表記して、スライムの粘性率を求める。



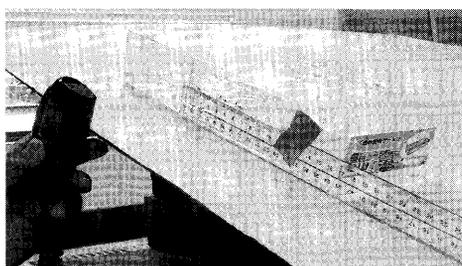
(A) 層厚を揃えているときにスライムの温度を測定する様子。



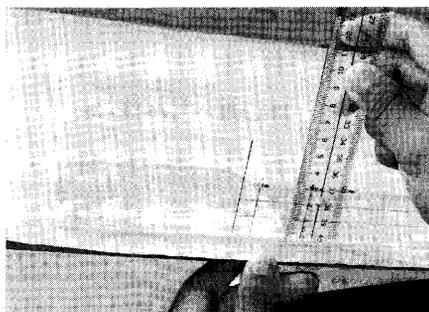
(B) スライムの層厚が均一になっている様子。



(C) 傾斜台とプラスチック容器の置き方。



(D) ストップウォッチと定規でスライムの流速を計測する様子。



(E) スライムの層厚を測定する様子。

図 3 粘性率の測定

2) スライムの粘性率の測定方法

仕切板を取り付けた透明プラスチック容器を水平な実験台上に置いて、スライムを容器内の片側に入れる。スライムの層厚が肉眼的に均一になるまで待つ間にスライムの温度測定を行う(図3A)。スライムの層厚が均一になったら(図3B)、傾斜台(図3C)にプラスチック容器を載せて仕切板を外し、スライムを容器内で流す。今回の実験では、層厚は1.1 cm程度であり傾斜角(α)は $\sin \alpha$ の値にして0.3954である。池本(1998)も同じような実験を行っているが、粘性率

の測定が目的ではなかったので単純にスライムを斜面に流した。このようなやり方だと流れが横に広がって層厚が不均一になりやすい。そこで、本研究ではプラスチック容器内で流している。

仕切板を外した後で、プラスチック容器内を流れるスライムの移動距離と移動時間を測定し(図3D)、その後でスライムの層厚を斜面に垂直に立てた定規で測定する(図3E)。スライムの移動速度は中央部分で少し速く縁では少し遅くなる。ここでは、一番速い部分で移動時間を測定している。時間が経つと先端部の層

厚だけが小さくなってしまったことが目で確認できたときには、再測定を短時間で済ませた。なお、スライムに含まれている気泡は斜面にはほぼ平行に移動していた。このことから、スライムの流れは実際の溶岩と同様に層流であると考えられる。

速度の測定後にスライムの密度を次のようにして求めた。まず、スライムをプラスチック容器から取り出して質量を測定する。次に、水を入れたメスシリンダー内に浸けて、水位の変化量からスライムの体積を求める。スライムが水に浮くときは、細いガラス棒を用いてスライムを水中に浸けて体積を測定する。このようにして求められた質量と体積からスライムの密度を計算した。

以上のようにして得られたスライムの層厚と密度と流速の測定結果および重力加速度と斜面の傾斜を表す値 ($\sin \alpha$) を式 (1) に代入して粘性率を計算した。粘性率の誤差 ($\delta\eta$) は、層厚の測定誤差 (δh) と密度の測定誤差 ($\delta\rho$) と流速の測定誤差 (δV_0) に関係する。誤差伝播則 (例えば、廣瀬, 2003) より粘性率の誤差は測定誤差と次式で関係づけられる

$$\delta\eta/\eta = \{4(\delta h/h)^2 + (\delta\rho/\rho)^2 + (\delta V_0/V_0)^2\}^{1/2} \quad (2)$$

$\delta h/h = \pm 0.05$, $\delta\rho/\rho = \pm 0.01$, $\delta V_0/V_0 = \pm 0.01$ と見積もると、粘性率の誤差は計算値の 10% 程度である。ただし、式 (2) で求められる誤差はスライムの作製と粘性率の測定がうまくいったときの値である。スライム作製の過程で行う攪拌・混合の操作が不十分であったときや斜面を流れるスライムの層厚が不均一であったときには実験の再現性がかなり悪くなった。これらの場合には、実験結果のばらつきが式 (2) から求められる値より大きくなった。また、ホウ砂水溶液と PVA 洗濯糊を混合する過程で気泡がスライムに入り込むので、気泡の割合によってスライムの粘性率も変化する。気泡の割合を求める簡易な手立てがなかったので今回は測定していない。したがって、気泡の割合が一定になるような特別な操作も行っていない。

3. スライムの粘性率の測定結果とモデル実験

(1) スライムの組成と粘性率

スライムの組成と粘性率と粘性率の計算に使用した測定値を表 1 にまとめて示す。スライムの組成を計算するに当たって、水の密度を 1 g/cm^3 、PVA 洗濯糊中の PVA 含有量を 9.0% と近似している。スライムの層厚を有効数字 2 桁まで求めたものが多いので、ここでは粘性率の値も有効数字 2 桁で示している。

表 1 より今回作製したスライムの粘性率は $4.4 \times 10^4 \text{ poise}$ から 0.6 poise である。表 1 の備考欄に示しているように、 $4.4 \times 10^4 \text{ poise}$ の粘性率を示すスライムは作製過程で「だま」ができていた。これよりも粘性率の大きいスライムを作るためには、スライムの作製時間や粘性率の測定時間が数時間に及ぶ。ここでは中学校での理科授業を念頭においているので、高価な機器の使用は考えていない。そこで、手軽に作製できるスライムの粘性率の上限は 10^5 poise 程度であると言える。なお、表 1 に示したスライムよりも粘性率の小さいものを作製することは可能であるが、今回は作製していない。

表 1 は PVA 含有量が高いものほど粘性率がおおむね大きくなる傾向を示している。PVA 洗濯糊を 90 g 使用したものの (①) より PVA 洗濯糊を 80 g 使用したものの (②) のほうが大きな粘性率を示しているが、①と②の違いは誤差の範囲内である。

さて、教師用指導書 (竹内ほか, 2006b) 中では、PVA 洗濯糊 20 cm^3 に水 5 cm^3 を加えた水溶液に 0.3% あるいは 1.0% のホウ砂水溶液 10 cm^3 を加えてスライムが作製されている。PVA 洗濯糊中の PVA 含有量が 9%, 0.3% と 1.0% のホウ砂水溶液の密度をいずれも 1.0 g/cm^3 であると近似する。このとき、PVA 含有量はいずれのスライムでも 5.1% になり、四ホウ酸ナトリウム含有量が 0.14% と 0.04% になる。PVA 含有量と四ホウ酸ナトリウム含有量は本研究で作製したスライムの①から③より低い。PVA 含有量が低いと粘性率が一般に小さくなる (表 1)。また、四ホウ酸ナトリウム含有量が低いと粘性率が小さくなる (竹内ほか, 2006b)。したがって、教師用指導書で示されている方法で作製したスライムの粘性率は本研究で作製した②のスライムより小さくなる。

(2) 火山の形に関するモデル実験

今回作製したスライムを用いて溶岩の粘性と火山の形に関するモデル実験を行った。ここでは、粘性率が $4.4 \times 10^4 \text{ poise}$ のスライム (表 1 中の②) と $1.4 \times 10^3 \text{ poise}$ のスライム (表 1 中の⑤) を用いた実験結果を示す。

塩化ビニールのシートで「火山体」を作り、その真ん中に円筒状の穴 (「火口」に見立てた穴) を作る。この穴の底にはジュースの空き缶を詰めている。スライムを真ん中の円筒状の穴に入れて、この装置全体を上から下に押しすとスライムが「火口」から流れ出てくる。流れ出ている様子を図 4 と図 5 に示す。粘性率

表 1 スライムの組成と粘性率

試料 番号	ホウ砂水溶液 (A)		PVA 水溶液 (B)		四ホウ酸ナ トリウム含 有量(%)**	PVA 含有量 (%)***	(A):(B)
	ホウ砂	水*	PVA 洗濯糊	水			
①	1g	50g	90g	0g	0.37	5.74	51:90
②	1g	50g	80g	0g	0.40	5.50	51:80
③	1g	50g	70g	0g	0.44	5.21	51:70
④	1g	50g	60g	10g	0.44	4.46	51:70
⑤	1g	50g	40g	30g	0.44	2.98	51:70
⑥	1g	50g	30g	30g	0.48	2.43	51:60
⑦	1g	50g	30g	40g	0.44	2.23	51:70
⑧	1g	50g	20g	50g	0.44	1.49	51:70

試料 番号	粘性率 (poise)	厚さ (cm)	密度 (g/cm ³)	速度 (cm/s)	温度 (°C)	備考****
①	4.1×10^4	1.0	0.959	3.00×10^{-3}	27.4	(1)
②	4.4×10^4	1.1	0.971	3.44×10^{-3}	24.7	(1)
③	3.9×10^4	1.0	0.972	3.22×10^{-3}	24.0	(1)
④	2.2×10^4	1.0	0.981	5.78×10^{-3}	25.0	(1)
⑤	1.4×10^3	1.0	0.960	9.09×10^{-2}	24.0	(2)
⑥	9.2×10	0.9	1.000	1.14	25.4	(3)
⑦	2.5×10	1.0	1.000	5.08	25.4	(4)
⑧	6.0×10^{-1}	0.2	1.000	8.57	24.3	(4)

* 水の密度を 1 g/cm^3 として計算.

** ホウ砂の化学式を四ホウ酸ナトリウム ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) に 10 分子の結晶水が結合した
ものとして求めたスライム中の含有量.

*** PVA 洗濯糊中の PVA 含有量を 9.0% として計算したスライム中の含有量.

**** (1) スライム作製過程で「だま」ができた. (2) スライムは手で持てる感じであ
った. (3) 手で持とうとするとスライムは流れてしまいそうな感じであった.
(4) 手で持とうとするとスライムは速く流れ出した.

が大きいスライムは円柱状になって出てきた (図 4).
つまり, 粘性率が大きい溶岩がドーム状の火山を作る
ことをモデル化している. 粘性率の小さいスライムは
「火口」から出るとすぐに斜面に沿って流れ出した (図
5). つまり, 粘性率が小さい溶岩が盾状火山のような
緩傾斜の火山を作ることをモデル化している. 以上の
ように, モデル実験は成功していると言えよう.

4. 考 察

表 1 で示したとおり, 本実験では 10^5 poise より大
きい粘性率を示すスライムを作製できなかった. スラ
イムでモデル化しようとしている溶岩の粘性率を文献
値から検討する. 三原山のような玄武岩質溶岩の粘性
率は 10^2 poise から 10^5 poise (勝井, 1976) であり,

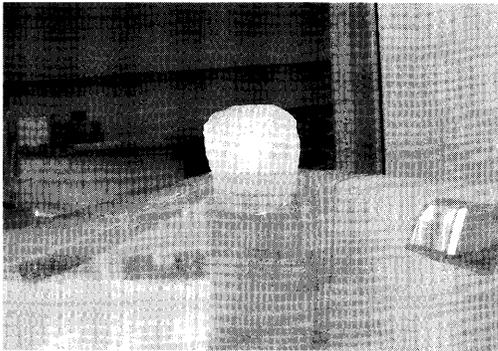


図4 粘性率の大きいスライムが流れ出す様子
スライムの粘性率は 4.4×10^4 poise である。

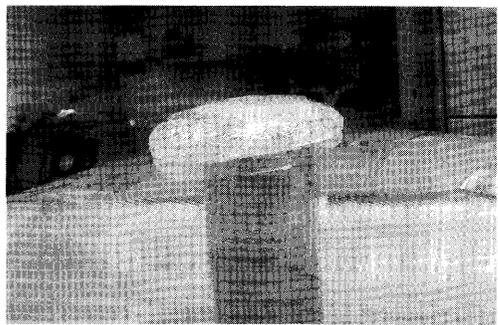


図5 粘性率の小さいスライムが流れ出す様子
スライムの粘性率は 1.4×10^3 poise である。

理科年表中で記されている三原山の溶岩の粘性率は 10^3 poise から 10^7 poise である (国立天文台, 2006)。図5で示した盾状火山のような山を作ったスライムの粘性率は玄武岩質溶岩の値と調和的である。

ドーム状火山のような山を作ったスライムの粘性率は 4.4×10^4 poise であるので、玄武岩質溶岩の粘性率の範囲内に入っている。雲仙普賢岳で溶岩ドームを形成する岩石の多くはデイサイトであって (尾関ほか, 2005)、この種の溶岩の粘性率は一般に 10^5 poise を超える (Yokoyama, 2005)。谷口 (2001) がまとめた結果によれば、雲仙普賢岳における溶岩の粘性率は 9×10^{10} poise と 3.8×10^{11} poise である。表1で示したスライムの粘性率よりもはるかに大きい。したがって、教科書中の実験のように火山の形とスライムが噴出したときの形は対比できる。しかしながら、このことから溶岩ドームに似た形を作るスライムの粘性率が溶岩の粘性率と等しいとは言えない。

図4のような円柱状の山は数時間経つと崩れて、図

5と類似する山になってしまう。つまり、溶岩ドームを形成する溶岩に比べてはるかに小さい粘性率のスライムがドーム状の山になっているのは短時間にすぎない。ただし、中学校の授業で考えれば、スライムのドームができていれば「モデル実験は成功」したことになるはずである。

ここで、教科書中で用いられている「粘り気」(竹内, 2006, p. 56) という言葉が日常用語であることに注目する。この言葉は自然科学特有の言い回しではない。「粘り気」やその類義語を学習指導要領とその解説文 (文部科学省, 2008) の中から探すと、「火山活動と火成岩」のところで「粘性」として出てくるだけである。したがって、「粘り気」に関する理科学習は地学の単元で取り扱うことが最も自然であると言えるし、「粘り気」の理科学習に関する指導法は地学教育の中で検討し発展させる必要がある。

さて、『中学校学習指導要領 (平成10年12月) 解説—理科編—』 (文部科学省, 2004) 中の第2分野の目標を記した箇所において「第2分野で取り扱う事象は、数量化が困難であったり、仮説の検証が十分に行えないものが少なくない」と記されていたが、平成20年発行の『中学校学習指導要領解説 理科編』 (文部科学省, 2008) には該当箇所でのこのような文言が現れない。そこで、数量表現を授業で取り入れるような指導法の開発を避ける必要はなからう。

中学1年生を対象にした授業を行っていないので、指導法開発に直接結びつく実践事例をここで報告することはできない。そこで、数量的な表現をどのようにスライムを用いたモデル実験で使用できるのかについて例を挙げたい。

教科書や教師用指導書 (竹内ほか, 2006a, 2006b) には溶岩の粘性率や流速に関する記述はない。そこで、層厚1mのデイサイト質溶岩の流速を計算することを考える。斜面の傾きが今回の実験と同じで、デイサイト質溶岩の粘性率が 9×10^{10} poise (谷口, 2001) で密度が 2.3 g/cm^3 (井田, 2003) の場合には、式(1)に $\eta = 9 \times 10^{10}$ poise, $h = 100 \text{ cm}$, $\rho = 2.3 \text{ g/cm}^3$, $g = 980 \text{ cm/s}^2$, $\sin \alpha = 0.3954$ を代入して $V_0 = 3.3 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ と求められる。表1で示したスライムの流速に比べて極めて遅いことがわかる。このように溶岩の流れが極めて遅いことを数量表現を用いて授業で示すことを考える。式(1)には三角関数が使用されているので、この式を生徒に示すことはできない。しかしながら、次の(A)と(B)の関係を生徒にあらか

じめ教えておくことはできよう。(A)流速は粘性率に反比例し、密度に比例する。(B)流速は層厚の2乗にも比例する。これらの関係を説明した後で、スライムの流速と溶岩の流速の比を計算する演習を生徒に行わせる。表1中の②のスライムとデイサイト質溶岩の流速の比を求めるためには次の比例式を立てればよい。

(スライムの流速):(溶岩の流速)

$$= \{1.1^2 \times 0.971 \div (4.4 \times 10^4)\} : \{100^2 \times 2.3 \div (9 \times 10^{10})\} = 100 : 1$$

スライムの流速と溶岩の流速の比は、ほぼ100:1と求められる。

比の計算に電卓が必要であるが、計算方法を適切に指導すれば中学生でも流速の比を求めることができよう。表1中の②のスライムの流速が 3.44×10^{-3} cm/sであるので、1 cm 移動するために4.845分要する。溶岩の流速はスライムの流速の100分の1であるので、1 cm 移動するためには約8.1時間の時間を要する。デイサイト質溶岩の流れが極めて遅いことを数量化して理解することができるし、自然の事象が長大な時間を要したことへの理解を深めることができよう。

なお、溶岩の流れの様子はスライムとは違っていることがレイノルズ数(内田, 1990)を求めると明らかになる。ここでは速度の比にのみ注目しているので、流れの様子に違いがあることを考察の対象にしていない。

さて、PVA洗濯糊の割合を大きくすればスライムの粘性率が大きくなると予想できるかもしれない。本実験はこの予想(仮説)を検証したことに当たる。地学的自然事象そのものを取り扱っているわけではないが、第2分野での学習活動の中でも「仮説の検証」を取り入れることが可能である。粘性の学習において数量表現を導入し、仮説の検証を行うために実験を導入する指導法の開発は潜在的に可能であろう。

5. おわりに

本論文ではスライムの作製方法と粘性率の測定方法を示し、「溶岩の粘性」と火山の形に関するモデル実験を行った。実験結果をまとめると次のとおりである。スライムの粘性率は 4.4×10^4 poise から0.6 poiseであった。作製したスライムの粘性率は玄武岩質溶岩が示す粘性率の範囲内に入り、溶岩ドームをしばしば形成するデイサイト質溶岩の粘性率よりも小さい。 4.4×10^4 poise のスライムと 1.4×10^3 poise のスライムを用いて溶岩の粘性率と火山の形に関するモデル

実験を行うと、 4.4×10^4 poise の粘性率を示すスライムは溶岩ドームに類似する形を示すのに対して 1.4×10^3 poise の粘性率を示すスライムは盾状火山と類似する形を示した。

学習指導要領とその解説文(文部科学省, 2008)を読むと「粘り気」に関する理科学習は地学の単元で扱うことが最も自然であることがわかる。粘性に関する指導法の開発を地学教育の中で進めていく必要がある。

最後に本論文での表記について付言する。教科書(竹内ほか, 2006)中で「マグマの粘り気」やこれと類似する文言が出てくるが、本論文では「溶岩の粘性」と表記する。『新版地学事典』(新版地学事典編集委員会, 1996)の1348ページで溶岩が次のように説明されている。「1) 岩石を構成する物質が溶融状態にあるもの。マグマとほぼ同じだが、マグマは地下にあるものを、溶岩は地表に噴出したものをふつう指す。(中略)2) 溶融状態にあったものが固結して生じた岩石で、大部分が非晶質か細粒物質であるもの。」したがって、地表に噴出して火山を形成したマグマは、溶岩と一般に呼ばれている。2番目の定義として固結したものが挙げられているので、「溶岩流の粘性」としたほうが厳密かもしれない(例えば、谷口, 2001)。ここでは、粘性を問題にしている限り溶岩が溶融状態であることが自明であると考えた。

謝辞 本研究は岡田が兵庫県教育委員会によって兵庫教育大学大学院に派遣されたときに行ったものである。関係各位に謝意を表す。また、投稿原稿に対して有益なコメントを査読者から受けた。原稿修正の際にたいへん参考になったことを記す。

引用文献

- 廣瀬千秋(2003): 測定データの統計処理。日本化学会(編), 第5版実験化学講座—基礎編I 実験・情報の基礎—, 丸善, 東京, 398-409。
- 井田喜明(2003): マグマの上昇と火山噴火の物理。鍵山恒臣(編), マグマダイナミクスと火山噴火, 朝倉書店, 東京, 67-78。
- 池本博司(1998): 固体のようで液体のような物体—地球内部物質の性質を考える—。日本地学教育学会教育実践集編集委員会(編), 地学教育実践集, トータルメディア出版, 東京, 57-59。
- 石原和弘・井口正人・加茂幸介(1984): 玄武岩質溶岩流のシミュレーション—1983年三宅島溶岩流への適用—。火山, 三宅島噴火特集号, S242-S252。

- 勝井義男 (1976): 火山. 横山 泉 (編), 地震と火山, 東海大学出版会, 東京, 71-159.
- 国立天文台 (2006): 理科年表. 丸善, 東京, 1022 p.
- 文部科学省 (2004): 中学校学習指導要領 (平成 10 年 12 月) 解説—理科編—. 大日本図書, 東京, 164 p.
- 文部科学省 (2008): 中学校学習指導要領解説 理科編. 大日本図書, 東京, 149 p.
- 尾関信幸・奥野 充・小林哲夫 (2005): 雲仙火山, 眉山の形成過程. 火山, **50**, 441-454.
- 新版地学事典編集委員会 (1996): 新版地学事典. 平凡社, 東京, 1443 p.
- 竹内敬人・山極 隆・森 一夫ほか (2006a): 未来へひろがるサイエンス 第 2 分野 (上). 新興出版社啓林館, 大阪, 149 p.
- 竹内敬人ほか (2006b): 未来へひろがるサイエンス 2 分野 (上) 指導書第 2 部詳説. 新興出版社啓林館, 大阪, 80 p.
- 谷口宏充 (2001): マグマ科学への招待. 裳華房, 東京, 179 p.
- 内田茂男 (1990): 流体力学序説. 森北出版, 東京, 222 p.
- Yokoyama, I. (2005): Growth rates of lava domes with respect to viscosity of magmas. *Annals of Geophysics*, **48**, 957-971.

岡田浩一・澁江靖弘: スライムの粘性率の測定と溶岩の粘性と火山の形に関するモデル実験 地学教育
62 巻 6 号, 185-193, 2009

〔キーワード〕 スライム, 粘性率, 火山の形, モデル実験

〔要旨〕 溶岩をモデル化する物質としてのスライムの作製方法とスライムの粘性率の測定方法を示した. 本研究で作製したスライムの粘性率は 4.4×10^4 poise から 0.6 poise であった. 作製したスライムの粘性率は玄武岩質溶岩が示す粘性率の範囲内に入り, 溶岩ドームをしばしば形成するデイサイト質溶岩の粘性率よりも小さい. スライムを用いて溶岩の粘性率と火山の形に関するモデル実験を行うと, 4.4×10^4 poise の粘性率を示すスライムは溶岩ドームに類似する形を示したのに対して 1.4×10^3 poise の粘性率を示すスライムは盾状火山と類似する形を示した. 粘性率が天然の溶岩に比べて小さいため, スライムの「溶岩ドーム」は数時間で崩れる. 地学教育の中で粘性の学習に関する指導法の開発が必要であると論じた.

Kouichi OKADA and Yasuhiro SHIBUE: Measurements of Viscosities of Slimes and a Model Experiment on the Relation between the Viscosity of Lava and the Shape of Volcano. *Educational Earth Sci.*, **62**(6), 185-193, 2009

扇状地形成実験を取り入れた地形図作成実習

Investigation of Topographic Maps, Including Experimental Simulation of Alluvial Fan Formation

中野英之*・村松容一**

Hideyuki NAKANO and Yoichi MURAMATSU

Abstract: Teaching materials for the study of topographic maps using experimental devices that simulate alluvial fan formation were developed. The devices consist of plain and canyon models, which were made of print coating board and polystyrene foam, as well as a height-measuring instrument. The procedures for using the devices are as follows: 1) formation of the alluvial fan using sand and water current; 2) measurement of the height of the alluvial fan; and 3) drawing the contours of the alluvial fan. It was found that the teaching materials were effective in helping students understand the formation of alluvial fan and how they are represented on topographic maps.

Key words: alluvial fan, river, contour line, topographic map, sedimentation, earth science

1. はじめに

地形図認識能力は、地質図の読解、登山などのレジャー、さらに水害や土砂崩れといった災害回避のために必要な能力である。しかし、近年、高校生のみならず(例えば、松森, 1995)、理工系学部の大学生においても地形図認識能力の低下の問題が指摘されるようになってきた(鈴木, 2001)。この背景に、生徒の地形図に触れる機会そのものの減少が関係していることは、おそらく誰もが疑う余地のないところであろう。そうであるならば、生徒の地形図認識能力の向上をめざし、ことあるごとに地形図の学習を地理や地学の学習の中で取り入れていくことが重要であると考えられる。正木(1988, 1990)は地形図学習を地学教育の中に取り入れていくことの重要性を主張しているが、筆者らも正木の主張に強く同調するものである。

中野(2007)は、地質図と地形図の学習を組み合わせ

せ、粘土で作製した地質模型から地形図・地質図を作成できる教材を開発した。この教材は、同斜構造を示す地質模型と、模型の高さを測定する高さ測定器からなり、高さ測定器を用いて模型の等高線や地層境界線の作図を通して地質図を完成させ、地層の走向・傾斜を生徒に求めさせるものである。この教材は、地質図と地形図を同時に作成できる実習教材であり、高校生が教材を通して楽しく地形図や地質図の学習ができるといった一定の成果が得られた。しかし、いくつかの課題も見つかった。一つは、この教材では粘土の地質模型を教員が作製したが、生徒自身が模型を作製したほうがより生徒の意欲的な学習を促すことが期待できること。二つ目には、高さ測定器は1点ごとに高さを測定していたため、測定にかなりの時間を要したことである。そこで、筆者らは、生徒自らが扇状地地形をつくり、改良を加えた高さ測定器を用いて扇状地地形から地形図を作製できる教材を開発した。本教育実践

論文は、その詳細について発表するものである。

2. 教材の概要

(1) 扇状地形成実験教材

1) 教材開発の視点

本教材開発では、生徒が自らの手でつくることができる地形のモデルとして扇状地を採用した。扇状地を採用した理由は次のとおりである。①扇状地は日本においては東日本に多く、関東平野など急峻な山地と平野が接している地域に多く見られ、関東地方に住む高校生にとって比較的なじみのある地形であること。②中学校地理で既習の学習内容であること。③砂山にシャワーをかけ続けて山地を徐々に解体し、斜面を刻む谷の深さや土石流による扇状地の形成過程を調べる実験（例えば、池田，2001）が教育現場で行われ、比較的再現するのが易しい地形であると考えられること。

砂山を用いた実験は、扇状地の発達段階を観察できるモデルとして最適である。しかし、実験の実施にあたっては、天候に左右されることが多く、大量の砂を必要とするため、その準備や片付けにかなりの手間がかかるといった問題点もある。また、砂山実験で作成した扇状地の地形図を作成するのは実験スケールが大きいことから容易ではない。このため、筆者らは、①実験室内で実験を行うことができること②可能な限りコンパクトな実験装置にすること③砂の使用量が必要最小限で済むこと④片付けが容易であること⑤河川の流路を変えながら扇状地が形成される様子を観察できることを目標に、扇状地の形成実験装置を考案した。

2) 実験装置の作製方法

教材開発のポイントは山体の大部分を発泡スチロー

ルで作製したことである。これにより、使用する砂の量を必要最小限のものにすることができ、装置全体の軽量化を図ることができる。

15 cm×30 cm×5 cm の発泡スチロールブロック 2 枚の 15 cm×30 cm の面どうしを発泡スチロール用接着剤で接着させる。接着させた発泡スチロールブロックに図 1a のようにノコギリで切れ目を入れる。この切れ目が、山体から平野に流れる川の河床に相当する。次に図 1b のように切れ目から横方向にカッターナイフで山体を削っていき、谷をつくる。最後に谷以外の山体の形を整えて完成とする。

次に、30 cm×45 cm×1.5 cm の白色の棚材（平野に相当する）の上に作製した山体模型を両面テープで軽くとめる（図 1c）。白色棚材の両サイドに、後に述べる高さ測定器を動かす際のスケールとなる 1 cm ほどの目盛りをつける。実験を行う際には模型の下にプラスチックダンボールを敷き、水が流しに流れ込むようにして実験を行う。

3) 実験方法

扇状地形成実験は次のように行う。1 mm 程度のふるいを用いてふるった川砂 500 cc を 500 cc ビーカーに用意する。葉さじ 2～3 杯の砂を発泡スチロールで作製した山の谷部に盛り、谷の上流からコマゴメピペットで水を約 5 cc ずつ流していく。砂を谷に盛って水を流す際、使用する砂と水の量は班ごとに自由に決めてよいことにした。川砂が侵食作用により崩され、水的作用によって運搬され、堆積する過程を観察させる（図 2）。使用する川砂が 100 cc に達するごとに、形成された扇状地地形と川の筋をスケッチする。また、気がついたことを随時記録させる。使用する砂の量は、ビーカーに入れた川砂の減り具合から求め

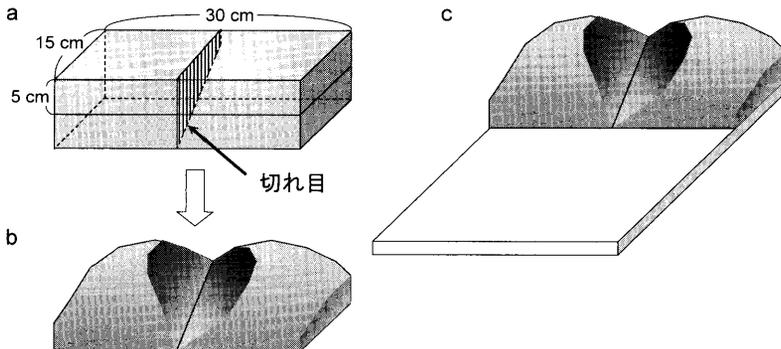


図 1 発泡スチロールを用いた山体模型のつくりかた
山体のつくりかた (a, b) と、白色棚板に山体を貼り付け完成させた山体模型 (c)。

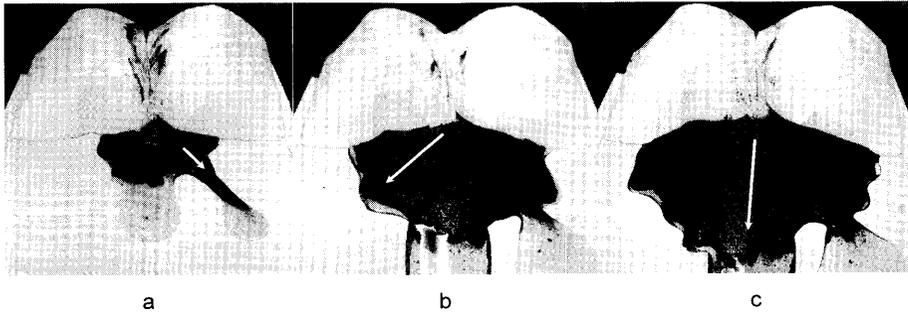


図2 本実験装置で再現した扇状地の発達過程 (a~c)
矢印は発達過程 a~c で最後に流れた水の筋を示す。

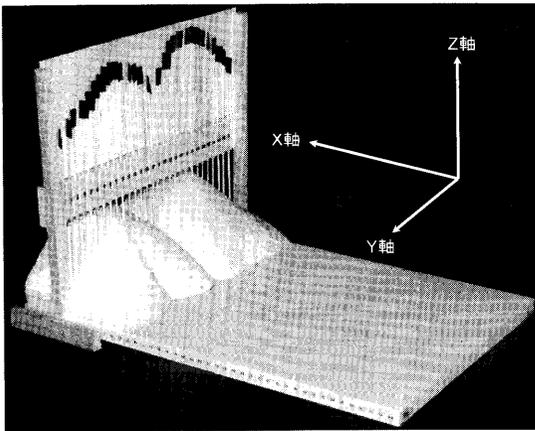


図3 作製した高さ測定器

る。

実験後、扇状地の形成過程についてのまとめと議論を行う。この中では、山形市付近の扇端湧泉帯と過去300年の川の流路の変遷が描かれている資料(貝塚ほか, 1985)を示しながら、扇端湧泉帯に街が発達すること、実際に流路が変わることを本実験と比較を行いながら議論をする。また、扇状地で桑や果樹が栽培される理由を水はけの良し悪しの観点から議論する。

(2) 地形図作成教材

1) 高さ測定器の作製方法

作製した扇状地の地形図を作成するための基礎データである、扇状地地形各部の高さのデータは、基準面(白色棚材上面)からの各部までの高さを読み取ることにより得られる。扇状地地形各部の高さのデータは高さ測定器により測定する。

図3に作製した高さ測定器を示す。木製の角材を組み合わせて模型が入る大きさの木製枠をつくる。木製

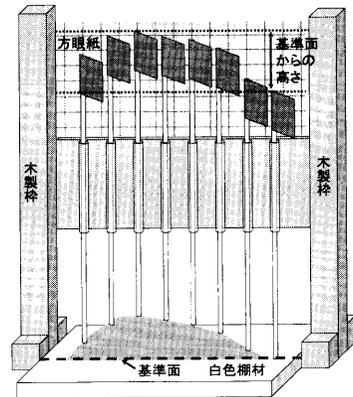


図4 高さ測定器を用いて模型の高さを読み取る方法

枠は模型のX軸上にスライドできるようになっている。木製枠には1 cm 間隔で長さ4 cm のストローが29本取り付けられている。このストローには竹串29本が差し込まれており、上下方向(Z軸方向)にスライドできるようになっている。竹串の上部には抜き落ち防止のためにビニールテープが巻かれている。また、ストローの上部には方眼用紙が貼り付けられており、地形の起伏に応じてビニールテープの位置が計測できるようになっている。この値を読み取って高さのデータとする(図4)。

2) 地形図の作成方法

扇状地形成実験終了後、高さ測定器をX軸方向に1 cm ずつスライドさせ模型の高さを測定していく。高さの測定は、砂が湿っている状態でも乾燥させた状態でも行うことができる。方眼紙に各地点の高さのデータを直接書き込んだ後(図5a)、5 mm 間隔ごとの等高線を描き、地形図を完成させる(図5b)。

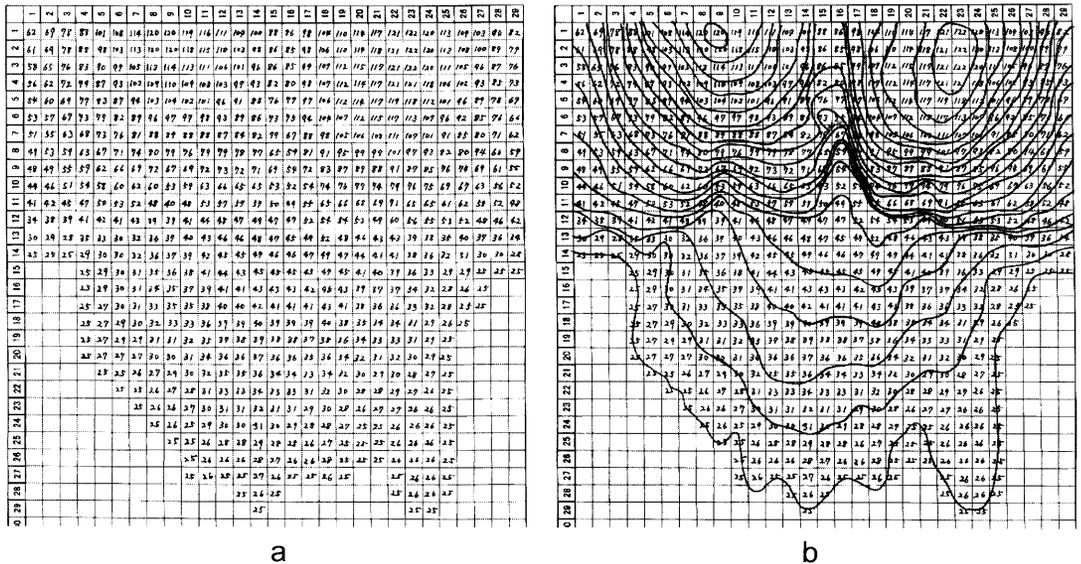


図5 地形図の作成例

a: 方眼紙に各地点の高さデータを書き込んだもの, b: 5 mm 間隔の等高線を描いたもの. 数値は基準面を高さ 25 mm としたときの模型の高さ [mm] を示す.

表1 授業計画

時数	指導内容	備考
1	1. 扇状地の形成実験 10分 班分け(1班あたり2~3人), 実験方法の説明	使用する砂や水の量は班ごとに任せる. 机間巡視
	20分 実験 扇状地の形成実験 河川の流れの変化, 水はけなどを観察させる	
	20分 まとめ 扇状地の形成過程, 扇状地の土地利用, 山形市付近の扇状地についての解説	
2	2. 地形図の作成実習 10分 高さ測定器の使い方, 等高線の描き方についての説明	机間巡視で等高線の描き方について補足説明をする 作成した等高線と扇状地地形を比較して等高線の間隔が狭いところは地形が急であることなどを確認する
	50分 実習Ⅰ 高さ測定器を用いて扇状地の各地点の高さを測定する	
	25分 実習Ⅱ 方眼用紙に記入した高さのデータから等高線を描く	
	15分 まとめ, 後片付け, アンケート記入	

3. 教育実践と評価

(1) 教育実践

獨協埼玉中学高等学校に在籍する高校2年生のうち, 地学Ⅰの履修者13名を対象に, 「地質図の読み方と書き方」の単元で, 開発した装置を用いて扇状地形成実験と地形図を作成させる授業実践を行った(表1). 地質図の学習では, 等高線の読解能力が要求される. 地質図の学習にあたり, 生徒が地形や等高線に慣れることをねらいとして本教育実践を行った. 実践に

は, 扇状地の形成実験に1時間, 地形図の作成実習に2時間の計3時間を充てた. 地学Ⅰを履修している生徒のうち12名が文科系の大学の志望者であり, 1名が環境科学系大学の志望者である. 生徒2~3名を1グループとして6班に分け, 作業を行わせた. 本教材も班の数に合わせて6台作製した.

(2) 生徒の反応と評価

扇状地は既習の学習内容であるので, 扇状地の名称と扇状地がどのようなものであるかについては, 知っている生徒がほとんどであったが, 実験によって扇状地

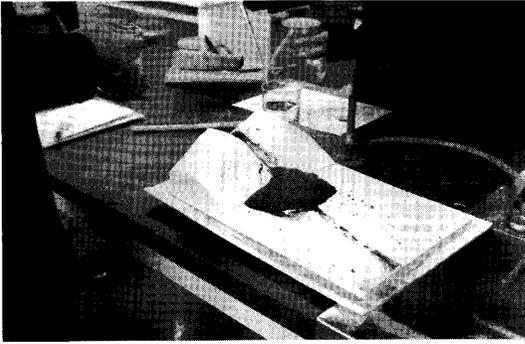


図6 生徒の実験中の様子

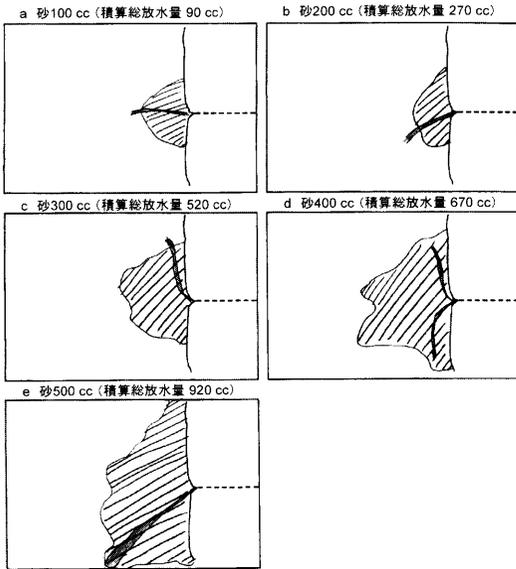


図7 扇状地の形成過程を生徒がスケッチした例

地形をつくったことがある生徒は皆無であった。谷に盛る砂や水の量を変える実験をするなど、試行錯誤しながら楽しく実験をしている様子が見られた(図6)。教科書で習うのと自分の手で地形をつくってみるのとはやはり違うと感想で述べる生徒が多く、実際に自分の手で地形をつくってみることの大切さを改めて痛感した。

実験中、どの班も扇状地が形成されるときに、川が左右、中央と流路を変えながら扇状地が形成されることを観察することができた(図7)。自由記述のスケッチには、生徒13名のうちスケッチを提出した12名全員が、扇頂と扇中央部は水はけがよく、扇端部は水はけが悪いことをメモしていた(図8)。

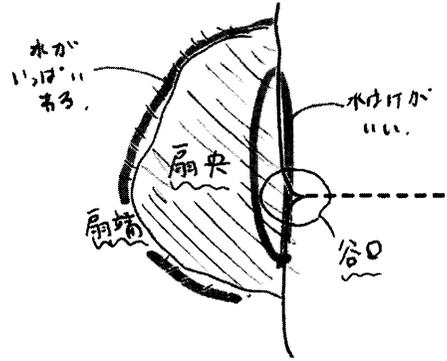


図8 形成した扇状地の水はけについて記した生徒のメモ

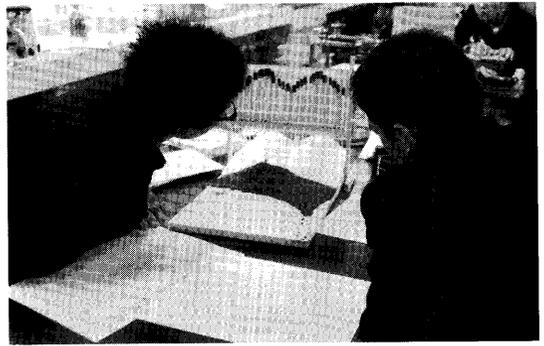


図9 高さ測定器を使用している様子

形成した扇状地の地形図を作成する作業では測定地点が多い上に、山麓付近では特に起伏が激しいことから、高さの測定に苦労している班も見られたが、どの班も作業に慣れてくると、集中して高さを測定できるようになった。特に班の中で高さを読み取る係や記録する係を分担する姿も見られ、協力して作業を行うことができた(図9)。高さ測定器で上下に移動させる串棒の先端部分(ビニールテープでつけたマーク)はちょうど地形模型のY軸方向の断面図を示しているので、これを興味深く観察する生徒も見られた。方眼用紙にデータを記録した後、地形図を作成する作業はおおむねきちんと描かれていた(図10)。

本教育実践の終わりに、本実験教材が学習に役に立ったのかどうかについて、4段階評価で問うアンケートを行った(図11)。この実験は扇状地の形成過程を理解するうえで役に立ったかという問いに対しては全員が3以上の評価をつけた。この実験が地形図の学習に役に立ったのかについては75%が3以上の評価をつけた。また、実験後に生徒が書いた実験の感想

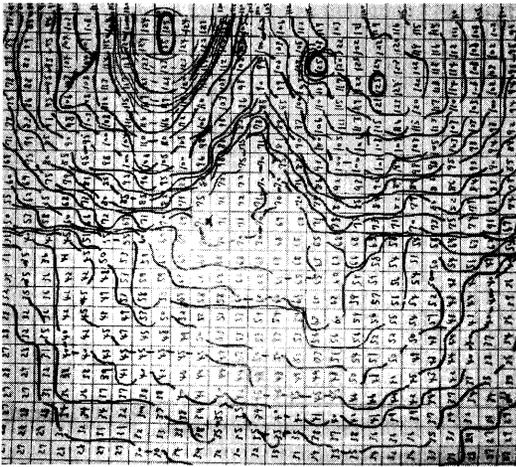
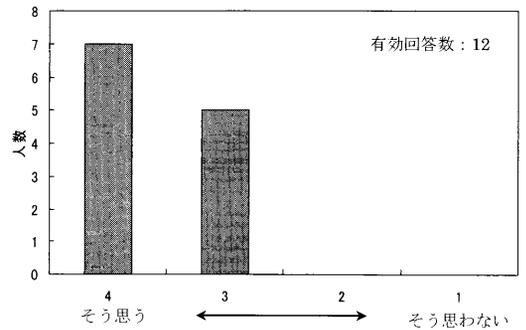


図 10 生徒が作成した扇状地の地形図

Q1. この実験は扇状地の形成過程を理解する上で役に立ちましたか



Q2. この実験は地形図の学習に役に立ちましたか

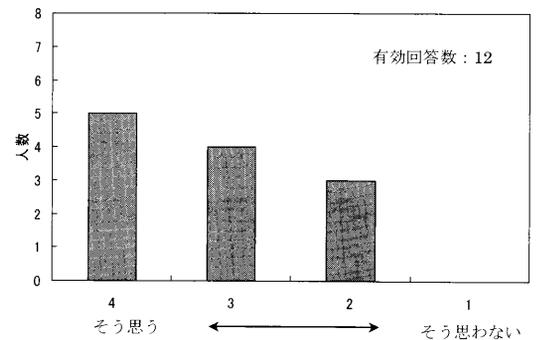


図 11 授業アンケートの結果

表 2 生徒の感想

- 腰が疲れた。目も手も頭も疲れた。地道すぎて少タイライラした。でも達成感がすごい。頑張ったなあと思う。扇状地の形成されるしくみだけでなく、それによって生じる高さの違い、土砂の広がりも目で見えてわかってとても印象に残る実験だった。
- 時間はかかったがとても面白い実習だった。数値が細かく変化しているところが多く、線が引きづらかった。地図をつくらうとした人の努力がしのばれた。
- 扇状地の形成過程が目の前で見るのができ、地形が変化していく瞬間を見ることができたのでとてもよかった。
- もう少し手軽にできた方がいいかなあ…と思った。
- すごくきつかったけど、その分印象に残りました。
- 地形図の根本が分かったような気がした。

を表 2 に示した。「きつかったけど地形図が完成した後の達成感があった」との感想が多く、楽しく扇状地地形や地形図について学習できたという点において一定の成果があったと考えられる。

4. おわりに

高等学校地学 I の教科書では扇状地について「河川が山地から平地に流れ出るところには粗い砂礫が堆積して扇状地ができる(例えば、松田ほか、2006)」とし

か触れられていない。しかし、実際の扇状地は次のように形成される：1) 狭い溪谷から平地に出て運搬力が減じ、礫を堆積させる。2) 河床の高くなった不安定な川が洪水のたびに流路を変える。3) 長い間には谷口を頂点とした放射状の流路を次々にとるようになり扇状地が形成される(貝塚ほか、1985)。教科書だけでは、上記のような扇状地の発達過程を思考するまでには至らないであろう。河川は長い年月の間には流路を変え、それが河川の本質であることを理解させるこ

とができた点でも本教育実践は意義があったと考えられる。

実験後の感想で、「自分で模型をつくることができよかった」との感想が多かったから、生徒に地形模型を作成させたのはよかったと感じた。しかし、実物にはなくてモデルだけが持つ要素が生徒にさまざまな誤解を生み出す危険性(林, 2004)には十分に注意をしなければならない。実際の扇状地は、堆積作用だけで形成されるのではない。扇状地の最下流部は土砂が堆積した堆積扇状地であるが、扇状地の上半部は山麓が側方侵食(側削)されて発達した侵食扇状地である(池田, 2001)。本実験装置は装置全体の軽量化を図ることを目指したために、山体の大部分を発泡スチロールで作成した。山体は変化しないことを前提としているため、山麓部分が側方侵食されて形成される侵食扇状地については再現できていない。教科書では堆積作用の中で扇状地について扱われているため、侵食扇状地については言及を避けたが、このようなモデル実験の限界については念頭に置いておく必要があるだろう。

実験に使用した砂は約1 mmのふるいにかけてのものを使用した。これよりも粒径の大きい砂を利用するときれいな扇状地が形成されず、また川の流れも不明瞭になる。実験に使用する砂は粗粒砂～極細粒砂が最適である。

改良を加えた高さ測定器は29カ所を一気に測定で

きる。以前のものに比べ、はるかに効率よく測定ができるようになった。ストローを高さ測定器に固定する方法は多少不安定な部分もあるので、プラスチックダンボールの中芯をうまく利用したりするとより強固な高さ測定器を作製することが可能になるだろう。

引用文献

- 林 慶一(2004): 地学教材の特性と開発の視点. 地球惑星科学関連学会2004年合同大会要旨集, http://www.jpogu.org/education/2004education_abs/2004edu_abs5.pdf
- 池田 宏(2001): 地形を見る目. 古今書院, 東京, 119-124.
- 貝塚爽平・成瀬 洋・太田陽子(1985): 日本の自然4 日本の平野と海岸. 岩波書店, 東京, 24-35.
- 正木智幸(1988): 高校地学における空間認識能力育成の方法. 東京学芸大学附属高等学校大泉校舎紀要, **12**, 95-116.
- 正木智幸(1990): 環境教育における理科教育と地理教育の接点. 地理, **35**, 40-46.
- 松田時彦・山崎貞治・江里口良治・磯崎行雄・友田好文・有山智雄・岡田昌訓・岡本 清・柴山元彦・寺戸真・永田 洋・増田哲雄・株式会社振興出版社啓林館編集部(2006): 高等学校地学I. 啓林館, 大阪, 81.
- 松森靖夫(1995): 高校生からみた科目「地学」の存在意義について. 地学教育, **48**, 11-23.
- 中野英之(2007): 粘土の地質模型を使った地形図・地質図の学習指導. 地学教育, **60**, 179-185.
- 鈴木隆介(2001): 地形図読図の学習法. 地理, **46**, 7-13.

中野英之・村松容一: 扇状地形成実験を取り入れた地形図作成実習 地学教育 62 巻 6 号, 195-201, 2009

〔キーワード〕 扇状地, 河川, 等高線, 地形図, 堆積作用, 地学

〔要旨〕 本研究では、高校生を対象に生徒自ら扇状地地形を作成させ、作成した地形を使って地形図を作成できる教材を開発した。本教材は、発泡スチロール製の山体の谷部に川砂を盛り、水で流すことにより扇状地を形成する扇状地形成実験装置と、形成した扇状地の各部分の高さを測定する高さ測定器からなる。地形図は、高さ測定器を用いて得られたデータをもとに作成する。実践の結果、生徒は楽しみながら扇状地の形成過程や地形図の作成方法についての理解を深めることができた。

Hideyuki NAKANO and Yoichi MURAMATSU: Investigation of Topographic Maps, Including Experimental Simulation of Alluvial Fan Formation. *Educat. Earth Sci.*, **62**(6), 195-201, 2009

 本の紹介

青木正博・目代邦康・澤田結基：地形がわかるフィールド図鑑 2009年，誠文堂新光社，175ページ，定価2,200円（税別），ISBN978-4-416-20927-1

地学教育の読者なら，地学分野における野外学習の重要性は，いうまでもなく理解されていることと思う。しかし，実際の授業では，さまざまな事情から，野外学習の実施が困難な場合が多い。筆者が，主として東京都立高校の先生方に対して行った野外学習のアンケート結果でも，適切な実習地が近くにない，人的体制がとれないなどの理由から，野外学習を実施しなかった（できなかった）学校は42%に達している（田村，2007）。また近年，高等学校では，地学の教員の減少が著しく，地学関連科目の設置率や受講者数も，非常に少なくなってきている（田村，2008）。その結果，ますます地学の野外学習を経験する機会が狭まっている。さらに，日常生活においても，日の出や日の入りを見たことがない子供が40%を超えているなど，子供たちの自然体験が極めて減少していることが報告されている（国立オリンピック記念青少年総合センター，2006）。理科，自然科学の教育関係者は，できる限り，児童・生徒の自然体験を増やすことを心がけるべきである。

ここに紹介する「地形がわかるフィールド図鑑」は，同じく自然体験を重視する著者らが，地形観察による体験を通して，より多くの人たちに，地球の成り立ちや営みを理解して欲しいという意図でまとめられたガイドブックである。3人の著者，（独）産業総合技術研究所の地質標本館名誉館長の青木正博さん，（財）自然保護助成基金研究員の目代邦康さん，（独）産業総合研究所地質標本館のサイエンスコミュニケーターの澤田結基さんは，それぞれ鉱物学や地質学，地形学等の分野で，フィールドの面白さを知り尽くしている専門家である。本書は著者らが，今までの経験を活かし，訪れる価値のある候補地からアプローチ等の条件も考慮して，北海道から沖縄まで日本列島33カ所の観察地を選び，地球科学に関連する解説を記述したものである。

はじめに，本書の使い方と地形の楽しみ方，道具・資料と見学時の注意点が述べられ，地学関係者以外の人でも利用できるような配慮がなされている。

選定された観察地は，北海道地方が礼文島，霧多布湿原等5カ所，東北地方が恐山等2カ所，関東地方が筑波山，武蔵野台地等11カ所，中部地方が大谷崩・赤崩，上高地等4カ所，近畿地方が伊吹山等3カ所，

中国地方が久井の岩海等3カ所，四国地方が吉野川等2カ所，九州・沖縄地方が阿蘇山等3カ所の合計33カ所である。それぞれの観察地について，4から8ページが当てられ，観察地全体の概要，関連する3～5項目の解説文および全体の地形を示す写真や地層，岩石，鉱物，化石，植物などのカラー写真で構成されている。解説文の記述は，例えば，北海道地方では，大地形から海岸段丘，カルデラや溶岩ドーム，永久凍土，周氷河地形，津波堆積物，鉱物結晶まで，多岐に及んでいる。3人寄せれば文殊の知恵といわれるように，異なる専門分野を持つ3人の共著であることが，本書の内容を非常に幅の広い豊かなものにしてている。また，14カ所の観察地について鳥瞰図が作成され，地形が視覚的に強調されており，本書の特徴の一つとなっている。そして，各地のページの最後には，観察地への交通手段などの“ACCESS”が，2万5千分の地形図とともに示されている。自分が実際に見ている風景（地形）を地形図と照らし合わせるという作業は，地形を理解するうえで重要で，本書で観察地の地形図が掲載されていることは非常に好ましいことである。欲をいえば，紙面の限界もあるだろうが，もう少し地形図のスペースが大きければと思われる。

このように，本書では，美しく変化に富んだ日本列島の地形が紹介されており，見ているだけでも，十分，楽しめる図鑑である。しかし，可能な限り，本書を持って，実際に現地へ赴いて欲しいと思う。地形のスケール，地層や岩石の色，感触，臭いなど，自分が実体験したことを知識と結び付け，地球の営みや歴史を理解するために活用して欲しい。そして，これを次世代の子供たちに伝えて欲しい。地学教育を受ける機会の減少に伴って，将来，人々の地球科学に対する基礎知識，常識がますます低下していくことが懸念されている。本書は，地学教員だけでなく理科教育に携る関係諸氏，学生，そして一般の人々にも，広くお薦めしたい一冊である。

なお，本書の姉妹編として，「地層の見方がわかるフィールド図鑑」（青木正博・目代邦康，誠文堂新光社2008年）が刊行されている。地域別にまとめられている本書と異なり，こちらは花崗岩，結晶片岩，カルデラ，等，現象別に項目を立てて解説されている。本書の記述には，例えば，長瀨渓谷で，結晶片岩に関する基本的な解説は書かれておらず，基礎知識が省略されていることがある。しかし，「地層の見方…」の結晶片岩の項目を見ると詳しく解説されよく理解できる。本書をより有効に活用するために，「地層の見方…」も

併用されることをお薦めしたい。

文 献

国立オリンピック記念青少年総合センター(2006): ことも調査結果自然体験比較表. 平成 17 年度「青少年の体験活動に関する実態調査」報告速報版, 48p.

田村糸子(2007): 高等学校における地学野外学習の現状と問題点. 地質ニュース, **640**, 20-24.

田村糸子(2008): 高等学校における地学教育の現状と問題点. 地質学雑誌, **114**, 157-162.

(東京都立若葉総合高等学校/
首都大学東京都市環境学部 田村糸子)

 学 会 記 事

第3回 常務委員会議事録

日 時：平成21年10月2日（金）18時10分～
20時00分

場 所：日本教育研究連合会 小会議室

出席者：牧野泰彦・馬場勝良・松川正樹・濱田浩
美・内記昭彦・高橋 修

議 題：

1. 平成21年度三重大会の終了について
荻原 彰三重大会実行委員長（代読：高橋）から三重大会が無事終了した事の報告があった。大会報告を次号「地学教育」誌へ掲載する予定。
2. 平成22年度以降の大会について
鹿児島大会が平成22年8月20日（金）～22日（日）に開催される予定である（テーマ未定）。早い時期に鹿児島大会の大会テーマを確定させる予定。平成23年度および24年度の大会の開催地については現在検討・問い合わせ中である。
3. 役員選挙日程について
「地学教育」誌9月号に公示掲載。本年度は、会長1名、評議員8名、監査1名の改選が予定されている。
4. 入会者・退会者について
今回は入会者4名が承認された。退会者はなし。
入会者：清水直貴（和歌山）・岩本直哉（栃木）・高木知里（東京）・秋里 昂（東京）
5. その他
 - 1) 日本教育研究連合会教育研究賞
長年、本会で活躍されている山田幹夫会員（香川）を推薦することが承認された。この賞に関しては、これまで慣例として前年度に開催した全国大会の責任者（実行委員長）を推薦していたが、本年度は前年度に東京学芸大学で全国大会を開催した実行委員長の松川正樹会員の賞のもつ本来的な趣旨に鑑みるべきとする意思を尊重し、決定のようになった。

2) 将来構想委員会について

将来構想委員会（林 武広委員長）の目的と同委員会の構成について議論された。主な目的は、学会活動の活性化や対外的な活動についての意見提出である。

3) 広報活動について

「常務委員会だより」等、ホームページによる広報活動について議論された。

報 告：

1. 各種常置委員会から
 - 1) 編集委員会
松川委員長から62-4号の進捗状況について報告があった。遅れていたが近日中に刊行される予定である。
 - 2) 教科「理科」関連学会協議会について
内記委員（教科「理科」関連学会協議会議長）から9/4に行われた同協議会の議事内容および12月12日（土）に開催されるCSERS第14回シンポジウム（テーマ：新高等学校学習指導要領理科を实践するうえでの課題）について報告があった。本学会からは宮嶋 敏会員が講演を行う。
2. 寄贈交換図書
 - ・日本理科教育学会：理科の教育，58-8
 - ・日本理科教育学会：理科の教育，58-9
 - ・日本理科教育学会：理科教育学研究，50-1
 - ・産業技術総合研究所地質調査総合センター：地質ニュース，661
 - ・産業技術総合研究所：産総研 TODAY，9-9
 - ・産業技術総合研究所：Synthesiology，2-3
 - ・東京地学協会：地学雑誌，118-4
 - ・香川県高等学校教育研究会：香川県高等学校教育研究会誌，45
 - ・（財）下中記念財団：2009年報
 - ・東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科：学校教育学論集，20

お 知 ら せ

「地学教育功労賞」

(目的)

地学教育，本会に関係した活動に多大の貢献のあった会員を表彰します。

(受賞の対象)

本会会員

(受賞者の推薦)

本会会員は，受賞者を推薦（他薦に限る）することができます。推薦者は，推薦書を提出していただきます。

(受賞者の決定)

受賞者の選考は常務委員会で行い，評議員会に候補者を推薦し，評議員会で決定します。

(授賞式)

研究大会にて行い，受賞者に賞状を授与します。

推薦書様式の配布

- ・推薦書の様式は，現在のページからダウンロード願います。

必要書類

- ・推薦書（1通）

申請〆切り

- ・2010年6月1日必着

提出先および問合せ先

〒263-8522 千葉市弥生町 1-33

千葉大学教育学部理科教育教室

濱田浩美

電話 043-290-3682

E-mail: hamada@faculty.chiba-u.jp

「渡部景隆奨励賞」

(目的)

地学教育の発展や本学会に貢献および尽力している小学校・中学校・高等学校等に勤務する会員を対象とし，児童・生徒の指導実践およびそれに関する研究（論文・ポスターセッション・口頭発表等）の奨励に寄与することを目的とします。

(受賞の対象)

小学校・中学校・高等学校等に勤務する本会会員

(受賞者の推薦および申請)

本奨励賞への申請には，2名以上の推薦者からの推薦書が必要となります。その推薦書とあわせ，申請書および研究・指導の成果3点以内をお送りください。

(受賞者の決定)

受賞者の選考は，常務委員会で行い，評議員会に報告します。

(授賞式)

研究大会にて行い，受賞者に賞状と副賞（賞金10万円）を授与します。

(その他)

本奨励賞の基金は，渡部景隆名誉会員からの200万円のご寄付によるものです。毎年4名以内への授与を考え

ています。

申請書・推薦書様式の配布

申請書および推薦書の様式は、現在のページからダウンロード願います。

必要書類等

- 申請書
- 推薦書（2通以上）
- 研究・指導の成果（研究論文別刷・コピー、各種報告書、講演要旨など）3点以内
申請〆切り
- 2010年6月1日必着

提出先および問合せ先

〒263-8522 千葉県弥生町 1-33

千葉大学教育学部理科教育教室

濱田浩美

電話 043-290-3682

E-mail: hamada@faculty.chiba-u.jp

編集委員会より

2009年の本誌への投稿総数は17編でした。内訳は原著論文7編，教育実践論文9編，資料が1編です。

前年の投稿総数が26編でしたので，9編の減少になります。今年投稿された論文のうち，現在までに5編が受理，8編が査読中です。

皆様の投稿をお待ちしています。

地 学 教 育 第62巻 第6号

平成21年11月25日印刷

平成21年11月30日発行

編 集 兼 日 本 地 学 教 育 学 会
発 行 者 代 表 牧 野 泰 彦

〒263-8522

千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33

千葉大学教育学部理科教育教室内

電話 & FAX 043-290-3682 (濱田)

振替口座 00100-2-74684

印 刷 所 株式会社 国際文献印刷社

169-0075 東京都新宿区高田馬場3-8-8

電話 03-3362-9741~4

EDUCATION OF EARTH SCIENCE

VOL. 62, NO. 6

NOVEMBER, 2009

CONTENTS

Original Articles

Development of a Teaching Tool for the Turbidity Current:

An Easy Flume Experiment Using Bath AgentsKenichiro SHIBATA... 177~184

Measurements of Viscosities of Slimes and a Model Experiment on the Relation
between the Viscosity of Lava and the Shape of Volcano

.....Kouichi OKADA and Yasuhiro SHIBUE... 185~193

Practical Article

Investigation of Topographic Maps, Including Experimental Simulation of Alluvial

Fan Formation.....Hideyuki NAKANO and Yoichi MURAMATSU... 195~201

Book Review (202~203)

Proceeding of the Society (204)

Information (205~206)

All communications relating this Journal should be addressed to the
JAPAN SOCIETY OF EARTH SCIENCE EDUCATION

c/o Faculty of Education, Chiba University; Chiba-shi 263-8522, Japan