

小学生向けの理科授業実践結果： メラミン粒子モデル実験装置を使った流水の働きの学習

鈴木 創*・川村 教一*・田口 瑞穂*・山下 清次*・五十嵐美紗**・
川村 隆仁***・大津 聖斗****

Results of an Elementary School Science Lesson: Study of River Processes using the Melamine-grain Model Experiment Apparatus

SUZUKI, Sou*; KAWAMURA, Norihito*; TAGUCHI, Mizuho*; YAMASHITA, Seiji*;
IKARASHI, Misa**; KAWAMURA, Takato***; OHTSU, Masato****

Abstract

Fifth grade elementary school students in “Course of Study” learned river processes, such as erosion, transportation, and deposition, as a part of their science curriculum. The experimental apparatus using the melamine-grain that the authors improved for use in classrooms can reflect the processes of the rivers flowing in the mountain areas. By modeling a river using the experimental apparatus to simulate alluvial processes, the authors expected that the students will easily understand processes occurring when water flows through a watercourse. During the class, the students focused on the experimental apparatus to record results. This experimental apparatus can help students quickly learn that sedimentation can create a new land form. Students didn't understand to these processes of erosion and transportation as well, indicating that some improvements to the instruction regarding to observational perspective are necessary.

キーワード：小学校, 理科, 侵食, 運搬, 堆積

Keywords: elementary school, science class, erosion, transportation, sedimentation

1. はじめに

小学校理科第5学年の学習項目「流水の働き」において、教科書（例えば毛利ほか，2014）では流れる水の量と土の削られ方，運ばれる土の量を調べるモデル実験が取り上げられ，砂などから構成される地質体に流水を供給して，侵食・運搬・堆積の様子を観察させることになっている。土や砂といった身近な素材を用いて実験できる手軽さが，このようなモデル実験にはある。ところで，河川工学の研究分野では，モデル実験における河川で見られる水理現象の再現性を良くするために，砂に代わる

軽量粒子を使用することが必要であるといわれている（例えば，山本・坂野，1982）。そこで筆者らは，軽量粒子として米国の Little River Research & Design（以下L社と呼称する）により販売されているメラミン粒子を用いた卓上型流水の働きモデル実験装置を工夫し，河川の蛇行の再現をできることを確認した（川村，2016；川村ほか，2016）。この粒子を，先述の小学校での「流水の働き」におけるモデル実験にも活用できるのではないかと考え，このメラミン粒子を用いた流水による侵食と堆積作用に関する実験装置を開発し，小学生児童を対象に教育実践を行った。本報ではその実践結果を述べ，その成果を，①実験における教材の操作性，②児童の観察活動の持続性，③教材を使用することで期待される児童の変容，の点から検討し，メラミン粒子を小学校理科授業でのモデル実験に活用する方策を探る基礎資料とする。

* 秋田大学教育文化学部
Faculty of Education and Human Studies, Akita University

** 仙台市立台原中学校
Dainohara Junior High School, Sendai City

*** 秋田市立雄和中学校
Yuwa Junior High School, Akita City

**** 青森地方裁判所
The Aomori District Court

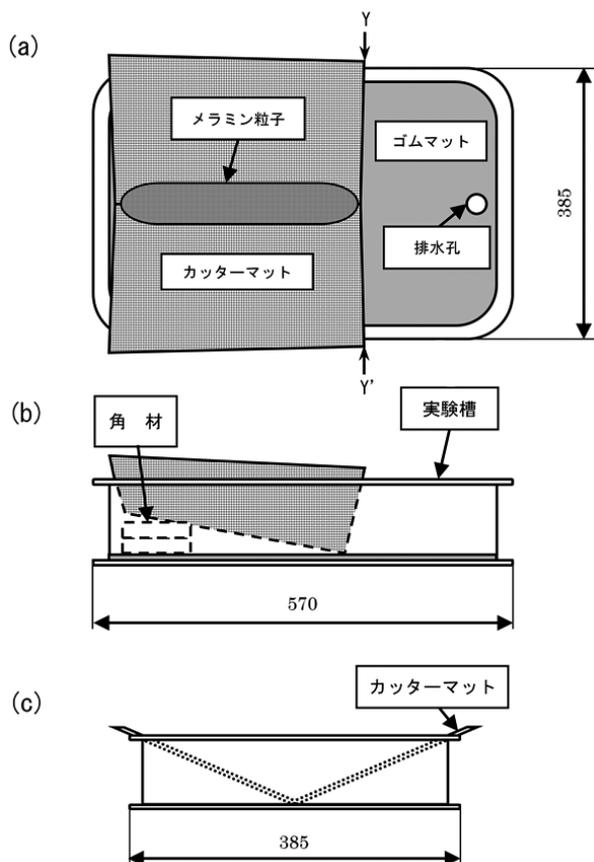


図1 モデル実験装置の見取図(単位はmm)
(a) 装置上面, (b) 装置側面, (c) 装置 Y - Y' 断面を下流側から上流側に向かって見た様子

2. 開発したモデル実験装置

(1) 使用した粒子

本研究で用いた装置は、碎屑物モデルとしてメラミン粒子を使用している。L社のWebページの記載内容をもとに、メラミン粒子の特徴を要約すると以下のとおりである (http://www.emriver.com/?page_id=2351)。L社が販売しているメラミン粒子には、粒径によって色分けしたもの (Color-Coded Modeling Media) と、色分けしていないもの (Non-Color-Coded Modeling Media) がある。前者の粒子は、リサイクルした破砕メラミン粒子で、比重は1.6(石英の約60%)である。この粒子を用いると、比較的短時間で沖積作用を再現することができる。Color-Coded Modeling Mediaは粒径別に色分けされており(黄色:平均粒径約1.4mm, 白色:1.0mm, 茶色:0.7mm, 赤色:0.4mm), 粒径ごとの作用の違いを、色をもとに容易に観察できる利点がある。筆者らはL社の色分けされたメラミン粒子を購入し、実験装置で使用した。

(2) 実験槽と谷地形の基盤岩モデル

使用した実験槽はプラスチック製で、内側は縦約535mm×横約340mm×深さ約94mmのサイズである(図

1 (a), (b))。実験槽の内側には、山地の基盤岩モデルに相当するゴム板(市販品のカッターマットを使用)を置く。2枚のゴム板は、谷の右岸・左岸側斜面のモデルで、谷の横断面が浅いV字状になるよう、2枚のゴム板のはさみ角を約125度に設定し実験槽内に設置する(図1 (c))。その際、実験槽底面と谷筋のなす角度が約6度となるように、厚さ約30mmの角材を設置した。この実験槽の長辺方向を流路方向とし、上流側から下流側にむけて約4度の勾配となるよう、実験槽長辺の上流側に厚さ約30mmの角材を設置した(図1には示していない)。これらにより谷筋の河床勾配は約10度となる。ゴム板上に分布する未固結層を構成するメラミン粒子は、約5mm(上流側)~2mm(下流側)の厚さで、下流側に向かって薄くなるように谷にそって左岸・右岸それぞれ約80mmの幅に散布した。また、実験槽底面には平野部モデルとしてゴムマットを敷いた。堆積した粒子を観察しやすくするために黒色のマットを使用した(図1 (a))。

(3) 性能試験のための給水方法

L社の流水循環装置の代わりに給水装置を自作した。給水装置として、1.5Lペットボトルの下部を切り取って倒立させ、キャップに直径約2mmの穴をあけた。この給水装置からおおむね一定量の水を実験槽内に供給でき、流量は約2.5mL/sである。給水装置は実験槽内の谷の最上流部に水が流下できるように理科実験用スタンドを用いて設置し、実験槽の最下流側には排水孔(直径約16mm)を設けた。

(4) 性能試験方法

給水装置に約75mLの水を注ぎ入れ、実験槽下流側へ水を約30秒間流下させる。メラミン粒子の未固結層に侵食が初めて観察できるまでの時間(侵食開始時間)を測定した。また、侵食開始位置が上流側、下流側のいずれかであるかを記録した。

(5) 性能試験結果

侵食開始時間は、平均19秒(範囲13~27秒)であった。20回の実験のうち18回で谷の下流側から侵食が始まり、上流側に向かって侵食域が伸長する谷頭侵食が見られた。また、下流側の平野部に相当するゴムマット上には、扇状地状の堆積地形(堆積体)が形成された。このように数分もあれば流水による侵食・運搬・堆積作用を観察できた(図2)。

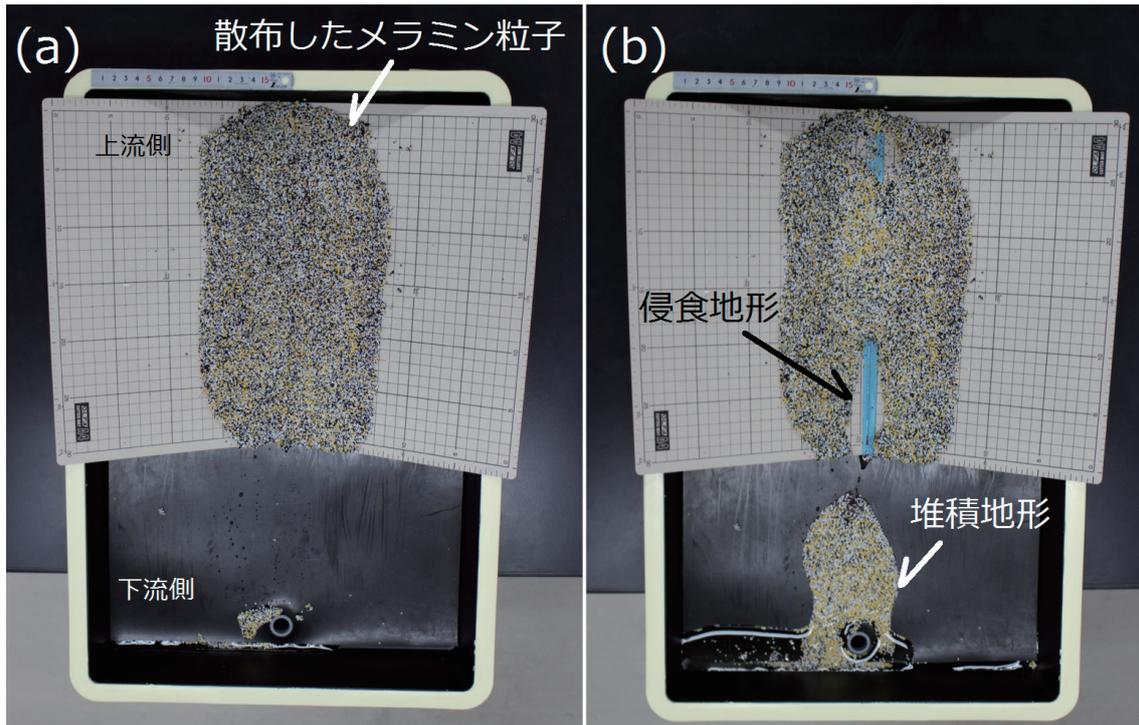


図2 モデル実験装置による流水の働き実験例
(a) 実験前, (b) 実験後

3. 実践研究の方法

(1) 実践対象児童

本モデル実験装置を用いた実践は、国立 X 大学附属小学校 5 年生 3 クラス (A 組～C 組の全クラス) を対象とした。各クラス在籍者数は、それぞれ 30 名で合計 90 名である。

(2) 各クラス児童の理科の学力に関する同等性の検討

1) 調査内容

調査対象クラスの理科に関する学力の同等性について検討するため、事前調査を実施した。調査は質問紙法で行い、小学校第 3 学年～第 5 学年の理科の学習内容から抽出して、既習事項については知識を問う問題 (磁性の有無、水蒸気など 3 問) もしくは思考を要する問題 (種子の発芽条件・植物の生育条件各 1 問)、未習事項 (流水の働き、3 問) については知識を問う問題、計 8 問 (10 満点) を作成した。解答形式は 6 問 (配点各 1 点) を択一式、2 問 (配点各 2 点) を複数回答式とした。

2) 調査の実施

2016 年 12 月 19 日に実施した。質問紙は配布後に 8 分で記入させた後、直ちに回収した。在籍児童 90 名中欠席生徒を除く 84 名全員が回答した。

3) 同等性の検討結果

① 理科の学力

各クラスの平均点の範囲は 8.6～9.2 であった。各クラス間の平均点の差異を検討するために、 F 検定による分散の同等性をチェックした上で t 検定 (両側検定、有

意水準 5%) を行った。その結果、平均点にはクラス間で有意な差が見られなかった。このことから本調査問題において各クラスの理科に関する学力は同等とみなす。

② 流水の働きの知識保有率

本実践で取り上げる内容 (未習事項) に関する先行知識を保有している児童の割合を知るため、侵食についての問い「川を流れる水が地面をけずるはたらきを (

) という。」、運搬についての問い「川を流れる水が土や石を運ぶはたらきを (

) という。』の正答者数をそれぞれ数えた。その結果、A～C 組の順で、侵食についての問いは 29 名中 26 名、30 名中 27 名、28 名中 26 名、運搬についての問いは、27 名、28 名、28 名、堆積についての問いは 25 名、24 名、25 名であった。フィッシャーの正確確率検定 (両側検定、有意水準 5%) によりクラス間の正答者数の偏りを検討したが、3 問ともクラスによって有意差があるとは言えなかった。このことから、「侵食」、「運搬」、「堆積」の知識の保有率はクラス間で違いがあるとは言えない。学習前にもかかわらず全体的に知識保有率が高いといえる。

「侵食」、「運搬」、「堆積」の知識の保有率はクラス間で違いがあるとは言えない。学習前にもかかわらず全体的に知識保有率が高いといえる。

(3) 教育実践の調査方法

1) データの収集

本実験教材を用いて児童が実験したとき、教材の操作性が良好であるか、実験において児童の観察を持続させ得るものか、児童に考えの変容をもたらさしめるものかに

ついて明らかにするために、実験中の発言、ワークシートにおけるスケッチによる実験結果の記述状況を調べた。そのために筆者らによる児童の実験中の行動観察およびICレコーダーによる音声録音、児童による記入済みワークシートのコピー収集を行った。また、児童による実験後の実験槽内の様子を写真で記録した。

2) データの分析

ICレコーダーによる音声記録からは、「侵食」、「運搬」、「堆積」といった概念の発話頻度を計数し、実験における児童の各現象の認識状況を推し量る目安とする。

4. 教育実践

(1) 単元とその内容

単元「流水の働き」は全8時間とし、第1次「川と川原の石」(2時間)、第2次「流れる水のはたらき」(3時間)、第3次「わたしたちのくらしと災害」(2時間)、第4次「川の観察(ビデオ映像による)」(1時間)で構成した。本実践は第2次のうちの2時間目である。

(2) 本時の内容

山間部における流水による土地の変化の実験を通じて、流水の三作用について理解させる学習を、2017年1月25日に実施した。

1) 授業のねらい

「流れる水には、土地を侵食したり、石や土などを運搬したり堆積させたりする働きがあることを、モデル実験を通じて理解する」である。

2) 学習過程

主な学習過程を表1に記す。授業者は3クラスとも筆者のうち田口である。なお、授業の導入とまとめは一斉指導、実験は1グループ2～4名で取り組ませた。

(3) 授業の実際

1) 導入

導入においては、前時までの既習事項である、流れる場所の違いによる川と川原の石の様子の違いについて、つまり土地の傾きが大きい山の中から平地になるにつれて、水の流れの速さや川幅、石の形や大きさがどのように変化するか復習した。次に、なぜそのような様子の違いが見られるのか、流れる水にはどのようなはたらきがあるのだろうか、という学習の主題を提示し、それに対する児童の予想をノートに書かせ、発言させた。その内容をまとめたものが表2である。

2) 実験装置の提示と実験方法の説明

装置全体が傾斜していることと、メラミン粒子が載ったカッターマットの部分がさらに傾斜が大きく、傾きが大きい山の中を想定してあることを児童に伝えた。

3) 児童による実験

実験装置は演示用1台、児童実験用8台を用意し、2～4名からなる実験班に1台ずつ設置した。実験における川の水の給水方法は、洗浄瓶(500mL)から水を実験槽内に注ぎ込むようにした。

4) 実験結果の共有

児童による予想のうち、実験により確かめられたものは、地面(川底)をけずるはたらき、石を運ぶはたらき、石を積もらせるはたらきであり、石が削られていく様子は分からないことを、児童の話し合いからまとめて板書した。

5) まとめ

流水の三作用の用語「しん食」、「運ばん」、「たい積」の意味をまとめた。また、その作用のはたらきと土地の傾きの関係を整理して示した。

表1 本時の主な学習過程

学 習 過 程	
導入	1 前時までの復習を行う。 ・流れる場所の違いによる、川と川原の石の様子
展開	2 課題を把握する。 ・流れる水にはどのようなはたらきがあるのだろうか。
	3 予想を立てる。 ・水には土地をけずるはたらきがある ・水には土や石を運ぶはたらきがある
	4 実験で予想を確かめる。 ・流水実験装置を用いて、予想を確かめる。 ・土地の傾きと関連付けて観察する。 ・気づいたことをワークシートに記入する。
	5 実験結果を共有する。 ・土地の傾きが大きい(流れが速い)と地面が削られたり、粒が運ばれたりするはたらきが大きい。 ・土地の傾きが小さい(流れが遅い)と粒がたまる。
まとめ	6 流れる水の働きに関わる用語、しん食、運ばん、たい積を知り、そのはたらきを理解する。
	7 まとめ ・流れる水のはたらきについて教科書のまとめに準じてまとめる。

表2 「流れる水にはどのようなはたらきがあるのだろうか」に対する児童の発言

Aクラス	Bクラス	Cクラス
<ul style="list-style-type: none"> 石をけずるはたらき 川底をけずるはたらき 石を運ぶはたらき けずられたものを運んで川原をつくる 魚を川から海へ行かせるはたらき 川をけずってだこうさせる(曲げる)はたらき 	<ul style="list-style-type: none"> 水をためないために流れる. 大きい石をけずる. 川の中の石を運ぶ. 石を積もらせる. 	<ul style="list-style-type: none"> 石をけずるはたらき 石を運ぶはたらき 石を積もらせるはたらき 地面をけずるはたらき

5. 考察

(1) 分析

1) 発話記録にみる「侵食」, 「運搬」, 「堆積」などの出現状況の分析

全学習グループ(各クラス8グループ)の実験中のICレコーダーによる音声記録から、「侵食」, 「運搬」, 「堆積」に関する用語の発話における出現回数を計数した。「(砂が) たまった」といった発話は堆積作用を意味していると思われるので、「堆積」の発話として収集した。表3には、あるグループの発話とその分類を示した。また、実験中には、「土砂災害」, 「土石流」, 「土砂崩れ」といった「土砂災害」に関連する用語の発話が見られたので、同様に出現回数を計数した。

「侵食」, 「運搬」, 「堆積」に関連する用語の3クラス合計の出現回数は、それぞれ104回, 131回, 64回である。 χ^2 検定によるとこれらの出現頻度は同等ではない($\chi^2(2) = 22.805, p < .01$)。このことから児童は実験中にこれら3作用を同程度に見いだせたとはいえず、ライアンの名義水準を用いた多重比較(有意水準 0.05)によると「運搬」の発話頻度が最も高い。

また、「土砂災害」, 「土石流」, 「土砂崩れ」の言葉の3クラス合計の出現回数は、それぞれ1回, 3回, 15回であった。

2) 観察記録およびスケッチの分析

ワークシート(回収枚数79名分)への「侵食」, 「運搬」, 「堆積」に関する用語やスケッチの記入状況から、児童による各現象の観察状況を推し量る目安とする。図3には、ある児童が記入したワークシートの例を示す。観察記録およびスケッチ、また実験結果の要点の記入状況については、「しん食」, 「運ばん」, 「たい積」と書かれた用語(すべてかな文字表記も含む)の記入率を求めた。

ワークシートの観察記録欄(水のはたらきを図や言葉で記入しよう)に堆積地形をスケッチした児童数は、79名中57名(72.2%)であった。また、同欄に「しん食」,

表3 児童4名グループ(Bクラス)での発話例

波線: 侵食, 下線: 運搬, 二重下線: 堆積

発話番号	発話者	発話内容
1	A	下のだけ運ばれたな、これは。
2	B	削られて、運ばれてるんじゃない。
3	A	今度はそこらへんに積もるんでしょ、そこにいったら。
4	A	おお、すごい削ったね。わあ、だんだんそっちに積もっていつてる。
5	B	あ、削れてる。
6	A	すごい削れてる。
7	B	もうちょっとだね。今せき止められてるかも。
8	A	おおお。
9	B	わあ、侵食だあ。
10	A	ああ、めっちゃ積もってるじゃん。
11	B	どうやって記録すればいいんだろう。
12	A	傾きが大きいとか小さいとか書けばいいんじゃない。
13	B	傾きが小さいところでは堆積のはたらきが大きくて、傾きが大きいところでは、侵食と運搬のはたらきが大きい。

「運ばん」, 「たい積」の言葉を書いた児童数は、3クラス合計でそれぞれ13名(16.5%)、25名(31.6%)、30名(38.0%)であった。ワークシートの成果欄(気づいたことや分かったこと)に「しん食」, 「運ばん」, 「たい積」の言葉を書いた児童数は、3クラス合計でそれぞれ30名(38.0%)、50名(63.3%)、31名(39.2%)であった。

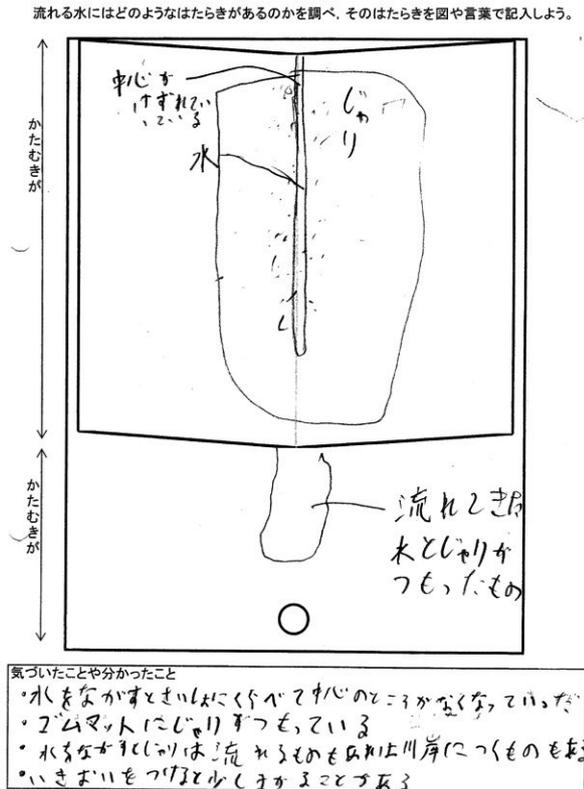


図3 ある児童による観察記録例

児童がワークシートの成果欄に記入した際、自らの観察記録をもとにした場合や、グループの他の児童の発言をもとにした場合があると考えられる。このため、実験における流水の3作用の認識状況を推し量るには観察記録欄の方がより適切であると思われる。この欄に「しん食」、「運ばん」、「たい積」の言葉を記入した児童数の出現頻度は同等であるとは言えず ($\chi^2(2) = 6.736, p < .05$), 「しん食」、「運ばん」よりも「たい積」の記入率が高い。

(2) 議論

発話記録の分析を見ると「侵食」と「運搬」の用語を適切に使用することができる児童は、各クラスの大半である。これは、3. (2), (3), ①理科の学力で述べたように、先行知識としてすでに用語を知っている児童がほとんどであったため、既存知識を観察事項と結びつけることができた児童が多かったのではないと思われる。一方、スケッチにおける堆積地形の記入率72.2% (79名中57名) と比べ、「たい積」の用語記入率は38.0% (30名) で、後者の方が低率である。堆積地形はスケッチしても「たい積」の発話が少なく、記述も少ない。これは蛇行河川の屈曲部における堆積斜面に碎屑粒子がたまることのみを堆積とみなし、本実験における下流側に形成された扇状地状の地形を堆積地形と見なしていない可能性がある。多くの児童が、河川蛇行部の横断面において、片側の岸で侵食作用が、もう一方の岸で堆積作用が見ら

れることについて先行知識を獲得しているならば、その知識が実験で見られる上流側で侵食地形、下流側で堆積地形が見られることの認識を妨げている可能性がある。つまり、河川の上流～下流の縦断方向に見られる流水の働きの違いと、蛇行河川の横断方向に見られる流水の働きの違い両方を小学校理科では取り上げるが、それらを混同しやすいカリキュラムになっている。どのようなカリキュラムが児童にこれらの自然現象(侵食、堆積)の認識を促すのか、検討が必要である。

6. 課題

(1) 実験中の観察記録の指導

発話記録を見ると「運搬」作用の発言が多いが、観察記録を見ると「運搬」についての言及が一番多いわけではない。ワークシートでは「たい積」の記録が最も多く出現することから、実験中ではなく実験後の観察記録が多くなされたことが分かる。実験中の記録についても覚えておいて記録させる工夫が必要である。

(2) 侵食地形の識別の指導

堆積地形は、実験槽内のゴムマット上に扇状地状の堆積体ができることで識別しやすい。同様に侵食地形はカッターマット上のメラミン粒子が除去された場所として識別しやすいと期待したが、観察記録では「たい積」よりも出現率が低い。このことは、実験開始前の状況を想起できる児童が少なかったことを示唆しているかも知れない。実験の前後の写真を児童用タブレットやカメラで撮影し、比較する活動を取り入れることが必要である。

(3) 実験における水の供給

実験槽中に水を供給するために水の入った洗浄瓶を押させたが、児童の手の力が弱く流量が不安定になることが多かった。この点を改善するために給水装置を利用することが必要である。

7. まとめ

メラミン粒子を用いて小学校5年生児童に流水のはたらきのモデル実験を指導したところ、主な成果と課題は以下の通りであった。

- ①教材の操作性については、水の供給を児童にさせると流量が不安定な場合があったが、その他について問題は見いだせなかった。
- ②発話記録から見て「たい積」のほか「しん食」、「運ばん」の言葉を用いながら実験を続けたことから、本教材での実験中、観察を持続させることができた。
- ③この実験装置を用いた授業は児童に変容をもたせらるかにについては、堆積作用は堆積体の形成を観察しやすいことから認識を深めることにつながる可能性があるのに対し、侵食・運搬作用については指導上の工夫が

必要である。

8. おわりに

本実践は流水の三作用についての先行知識を持つ児童が大半であったが、そうでない児童に使用しても本実験装置が教材として有効であるのか、新たな実践を踏まえて本実験装置の評価を深めることが必要である。

実験中に「土砂災害」に関連した発話数が19件あり、本実験装置を用いた実験によって土砂災害を想起できる児童が見られた。本教材は土砂災害に関する授業で使える可能性があり、今後の実践研究が期待される。

謝辞 教育実践や事前事後の各種調査にあたり、仙北市立角館小学校の高橋 猛教諭にご高配いただいた。調査の集計において兵庫県立大学大学院の石水英梨花さんにお世話になった。なお、本研究にかかる費用の一部は、公益財団法人河川財団の平成28年度河川基金によった。ご支援くださった関係各位に感謝の意を表する。

引用文献

- 川村教一 (2016) : EMriver Color-Coded Modeling Media を用いた流水の働きのモデル実験例. 日本地学教育学会第70回全国大会徳島大会講演予稿集, 113-114.
- 川村教一・鈴木 創・山下清次 (2016a) : EMriver Color-Coded Modeling Media を用いた卓上型流水の働きモデル実験装置の考案. 日本理科教育学会東北支部大会論文集, 21.
- 川村教一・鈴木 創・山下清次 (2016b) : メラミン粒子を利用した流水の働きモデル実験装置の基本性能. 日本科学教育学会研究会研究報告, 31, 81-84.
- Little River Research & Design (2015) : Emriver Lab Manual, 49p.
- 文部科学省 (2008) : 小学校学習指導要領解説理科編. 大日本図書, 東京, 105p.
- 毛利 衛ほか (2014) : 新編新しい理科5年. 東京書籍, 東京, 168p.
- 大瀧 学・川村寿郎 (2006) : 川の流れとはたらきを知るための流水モデル実験器の再検討. 宮城教育大学環境教育研究紀要, 9, 67-76.
- 山本晃一・坂野 章 (1982) : 河川移動床模型実験材料としての石炭粉の移動特性と斐伊川模型への応用. 土木研究所資料, 1802.

参考資料 1

理科についてのアンケートしらべ

【はじめに】

このしらべは、みなさんの学校の成せきとはまったく関係がありません。もし、書けなくても成せきが悪くなることはぜったいありません。あなたの考えで答えてください。

() 組 名 前 ()

次の1～8のそれぞれの文の()内の言葉のうち、正しいものを選んで、その言葉をかこんでください。

<答え方の見本> 秋田県は(日本 ・ アメリカ)にある。

次の1～6の文について、正しいものをそれぞれ1つ選んで答えてください。

1. 水を熱したときに出てくるあわは、水が目に見えないすがたに変わったもので、(じょう発 ・ 水じょう気 ・ ゆげ)といひます。
2. 磁しゃくを近づけると(アルミニウム ・ 金ぞく ・ 鉄)が引きつけられます。
3. 金ぞくは、熱せられると、(重さ ・ 体積 ・ 手ごたえ)が大きくなります。
4. 川を流れる水が土や石を運ぶはたらきを(運ばん ・ しん食 ・ たい積)という。
5. 川を流されてきた土や石を積もらせるはたらきを(運ばん ・ しん食 ・ たい積)という。
6. 川を流れる水が地面をけずるはたらきを(運ばん ・ しん食 ・ たい積)という。

次の7、8の文について、正しいものをそれぞれすべて選んで答えてください。

7. 種子が発芽するためには水のほかに必要なのは(適当な温度 ・ 空気 ・ 日光 ・ 肥料)です。
8. 植物が大きく成長するためには水のほかに必要なのは(適当な温度 ・ 空気 ・ 日光 ・ 肥料)です。