放射線・防災教育の視点を取り入れた「流水のはたらき」の学習展開

~福島県伊達市の小学校における小大連携の授業実践~

京都教育大学教育学部 中野英之 福島県伊達市立大石小学校 柴田清・江口はるみ

1. はじめに

著者の中野(2014)は福島県伊達市の出身であることもあり、原発事故後、県内の農家と環境放射能や除染に関する調査・研究を行ってきた¹⁾。最近は、専門の理科教育を生かした復興支援を行いたいと考え、現場の教員とともに教材開発を行っている。

福島県では、自治体ごとに独自の放射線教育が進められている。福島県の小学校では、放射線についての基礎的な内容や、放射線防御等についても学習する。今回報告する実践を行った小学校においても、放射線から身を守る方法についての指導や、研究者を招いての放射線に関する講義や実験等が行われており、自治体のガイドラインに沿った放射線に関する教育は徹底されている。

小学校段階で学習する放射線に関する学習事項には、中学校以上で扱うようなかなり高度な内容も含まれている。小学校段階でこれらを扱うことにはかなりの困難を伴うことは想像に難くない。児童の放射線に対する理解を深めるためには、学習内容を発達段階に応じた、より丁寧な説明を行うとともに、放射線の学習事項と理科で扱う内容を有機的に関連づけて学習させることが重要である^{2、3)}。しかしながら、毎日の授業と同時進行で放射線に関する教育を行う現場の教員の多忙さを考えると、更なる授業内容の質的向上を現場の教員に求めることは厳しい。

今回報告する実践は、小学校5年「流水のはたらき」の単元において、福島県の教育現場が抱える諸課題に対応するために行った小大連携の授業実践の報告である。理科教育の研究機関が提供できるシーズを教育現場に示し、教育現場のニーズと照らし合わせ、活用できる部分を抽出し、学習計画を立てるに至った。

2. 教育実践の内容

(1) 実践校における授業計画の概要

小学校5年の「流水のはたらき」の単元では、児童の実感を伴った理解を促すために、河川の調査等の野外活動を軸とした河川の直接観察のほか、適宜、人工の流れをつくったモデル実験を取り入れて、流れる水の働きについての理解の充実を図ることが考えられている4。しかし、原発事故により広範囲に放射性物質が沈着した東日本では、現在も種々の社会的な事情から河川の調査等の野外活動を行うことが困難な地域が存在する。このような地域における教育活動では、野外活動を行った場合と同等の、児童が実感を伴った理解を深めることができる特段の工夫が必要である。

授業計画を立てるにあたり留意した点は3点ある。 1 点目は、放射線の理解や除染の意味について、「流 水のはたらき」の延長線上として自然な流れで児童が 学習できるようにした点である。屋根の放射性物質が 雨樋の下に移動するように、放射性物質は水の働きに より動的な挙動を示すことがある。泥に吸着しやすい 放射性セシウムの動的挙動は、「流水のはたらき」の 単元と関係が深く、除染の疑似体験と併せて学習する ことが理解を深めるためには効果的であると考えた。 2点目は、地元で生活する上で注意しなければならな い災害の1つである土石流について関心を深め、原子 力災害以外の災害にも目を向けさせるようにした点 である。3点目は、地元の河川で撮影した動画、採取 した石、既存の教材をもとに改良したり、新たに開発 した教材、土砂の中からガーネットを探す活動等、五 感を使った多くの実験・実習を通して、児童の実感を 伴った理解が得られるように配慮したことである。

表 1 授業の流れ

Г		学習の内容	準備物	
自宅		教科書の予習 疑問点をふ箋紙に書かせる	· ふ箋紙	
1日目	1	祓川の流れを地図でたどって海に出る 広瀬川の上流・中流・下流の様子を調べる 動画、標本を用いて様子の違いを確認する(観察1)	・ワークシート・動画 ・岩石標本	
	1	マサの土砂を篩いで篩って粒径ごとに分ける(実験1) 花こう岩の風化(物理・化学的風化)について説明する 土砂の運搬・堆積実験(実験2)	・ワークシート・花こう岩 ・マサ ・篩・土砂の堆積実験装置	
2日目	1	川の流れを調べる(実験3) 河川の蛇行部の内側と外側の流れの違い、蛇行部の外側の側方侵食を調べる 流速の違いによる土砂の運搬の違いを調べる(実験4)	・ワークシート ・河川シミュレーター① ・絵具で青色に着色した アルキン酸汁リウム水溶液 ・薫炭 ・河川ジミュレーター②・真砂	
	1	土石流再現実験(実験5) 礎を水の働きで流す方法を考えさせる ふ箋紙に書かれた児童の疑問に答える 地元のマサの露頭の地層のはぎ取り標本の観察(観察2)	・ワークシート ・河川シミュレーター(2) ・真砂・礫・土石流の動画 ・マサのはぎ取り標本	
3日目	1	土砂の中からガーネット探す(実習1) 除染シミュレーターを用いた除染体験(実験6) まとめ	・ワークシート ・ガーネットを含む土砂 ・顕微鏡 ・除染シミュレーター	

福島県伊達市立大石小学校5年生4名を対象に、平成25年9月25日、26日、27日の各日2時間、計6時間を用いて、授業実践を行った。授業の流れを表1に示す。1日目(9月25日)は、地元の河川、土砂(真砂)、流れる水のはたらきについて、実験・観察を通して学習した。2日目(9月26日)は、開発したモデル教材を用いて河川の流れや流速の違いによる土砂の運搬の違い、土石流について学習した。3日目(9月27日)は、土砂の中からガーネットを探す活動と除染シミュレーターを用いた実験を通して除染の意義についての学習を行った。中野がティーチャー1(T1)、柴田または江口がT2として授業を行った。次節に教材開発と授業実践の詳細について述べる。

(2) 教材開発と授業実践

1)教科書を予習させる

理科は、先に実験を知ってしまったら子どもの関心や意欲がそがれる等との危惧から、予習で教科書を読んでくることが推奨されることがこれまであまりなかった教科である⁵⁾。しかし、最近、予習を行うことでむしろ児童や生徒の興味・関心が深化し、授業が活発になるという事例が多数報告されるようになってきた⁶⁾。本実践では、一部で教科書を超える内容を扱うことや、新しく得た知識や、個々の知識の関連性の理解を促す上で予習は有効に作用すると考えた。また、中野が授業で児童に関わることができる時間が限られており、児童が持つ素朴な疑問や質問に授業時間を有効に使って可能な限り答えたいという思いから、予

習を通して疑問や質問を挙げさせた。

2) 地元の川の流れを知る

地域を流れる祓 (はらい) 川は阿武隈川の支流の一つであり、同じ阿武隈川の支流である広瀬川をへて阿武隈川に合流し太平洋に流れ下る(図 1)。小学校の近くを流れる川が大きな川と合流して海へ注ぐまでの経路を調べる活動を行うことは効果的である 7 ことから、本実践ではまず、地図上で祓川から太平洋に至る経路を追跡させた。

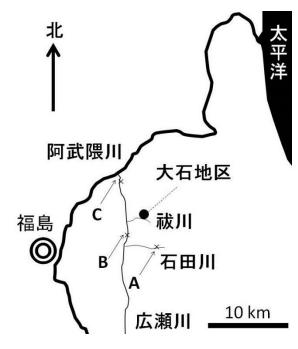


図1 阿武隈川とその支流の位置関係

次に、観察1として、中野が撮影した広瀬川との阿武隈川の合流地点付近から上流側に至る3地点(A,B,C)の動画や写真を示し、3地点の様子の違いを挙げさせるとともに、B、C地点で無作為に採取した河原の石を比較させ、違いを挙げさせた。下流側で採取した石の方が全体的に丸みを帯びている傾向が見てとれる。なお、川の流れについては、中流については明確な定義がなく、現行の教科書出版社6社(東京書籍、学校図書、啓林館、教育出版、信州教育出版、大日本図書)においても「中流」という記述が見られるのは3社のみで、1社は中流に相当する流域の記述そのものがない。本実践では中流は山の中と河口の近くを流

れる川の中間という立場に立ち、A、B、C 地点をそれ ぞれ上流、中流の上流部、中流として扱った。

3) 土砂の種類と土砂の運搬・堆積実験

伊達市立大石小学校周辺は主に、花こう岩が風化した真砂からなる地域である。花こう岩と真砂の標本を提示し、岩石中に浸み込んだ水が凍結・融解を繰り返すことによって起こる風化など、いくつかの風化の例を説明した。その後、真砂を目の異なる2種類の篩(それぞれ、開口径2mm、0.5mm)を用いて真砂を粒の大きさの異なる3種類の土砂に分けさせた(実験1)。一般に、土砂は粒の大きさの違いによって礫・砂・泥に分けることができることを説明した。また篩い分けをした土砂の中から黒雲母を探させ、花こう岩に含まれる黒雲母と比較させることにより、真砂は花こう岩が風化したものであることを確認させた。

続いて、土砂が川で流されて海で堆積をする様子を 再現する演示実験(実験2)を行った。この種の実験 は、川や海を雨樋や水を張ったバット等でモデル化を 行って実施する堆積実験として定番のものであるが、 容器内の土砂の処理等実験後の片づけに手間がかか るといった問題点が指摘されていた⁸⁾。次の授業のた めに授業で用いた教材を急いで片付ける必要がある 場合等、教育現場では、片付けが迅速に行えることが 教材として極めて重要な要素となる場合がある。そこ で、本実験では片づけを迅速に行えるようにするため の工夫を行った。角材を組み合わせて箱を作り、短い 側板の1つに深さ3cmのV字形の切れ込みを入れる。 この切れ込みが排水溝となる。底板上に側板の高さの 3 分の1程度の厚さ角材を置き、その上に雨樋をのせ る(図 2a)。次に、雨樋を外し、ビニール袋を敷き、 水を入れた後に雨樋を置き、雨樋に真砂を入れて実験 を開始する(図2b)。真砂を流した後(図2c)、堆積 後の様子を観察させる(図2d)。実験後、雨樋を外し た後に、ビニールを雨樋側から持ち上げて切れ込み側 に水を排水する。最後にビニールを取り除いて土砂を 処理する。このような工夫により、実験装置を洗浄す る手間が省け、迅速に簡単に実験後の後片付けをする ことが可能になった。

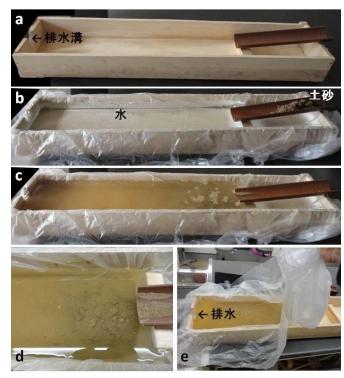


図2 実験2で使用した教材の使用方法

まとめとして、花こう岩は風化作用を受けて真砂になること、土砂は、粒の大きさによって、礫・砂・泥に分けられること、流れる水のはたらきには侵食・運搬・堆積の3つの作用があることを、ワークシートでまとめ、科学用語の確実な定着を図った。

4) 河川シミュレーター①の開発と授業での活用

河川の流れを学習する上でモデル実験は有効であり⁹⁾、モデル実験には砂山の上部から水を流して川の流れを再現する砂山実験や流水実験器を用いた実験がこれまで行われてきた。

砂山実験は多くの教科書で紹介され、実験方法のポイントの詳細も紹介されている ¹⁰⁾が、教科書に記載されている川の屈曲部の内外での流速の違いや、外側での浸食、内側での堆積といった現象を再現することが困難な事例も報告されている ¹¹⁾。これは、実際の河川と砂山実験との間に流体力学的なモデルの正当性を示すレイノルズ数に数千~数万倍の差があり、両者は全く異なる流れであるからである ¹²⁾。

流水実験器はあまり使いこなされていない等の理由から砂山実験に比べると現場ではあまり普及していないが、条件を整えた上で子どもに観察のポイントを絞った的確な指導を行うのに適している¹³⁾。最近では、水量や流速を変えて比較実験を行えるように工夫された教材^{13、14、15、16)}も考案されている。流水実験器を用いたモデル実験も、砂山実験同様の理由により川の屈曲部の内外での流速の違いや、外側での浸食、内側での堆積を再現することが困難な場合もあるが、侵食・運搬・堆積の3作用を理解する教材としては利用価値が高い。

以上のように、これまでのモデル実験では実際の川の流れを再現することは難しい。しかし、小学校理科の教科書出版社6社全てにおいて、屈曲部の外側は流速が速く侵食も盛んであることが触れられていることから、モデル実験でこれらの事象を児童の前でどうにか再現したいという実践者の思いは根強い。

屈曲部の内側と外側で流速の違いが生じるのは以 下のように理解されている:「洪水が起きた場合、湾 曲が始まる地点では内岸近くで流速が速いが、湾曲が 終わる地点では慣性力により流れが外岸側によって 外岸側の方の流速が速くなる。遠心力により川の水は 外岸側に押しつけられるため外岸側に水が堰上がり 内岸側より水位が高くなる。外岸側への遠心力と水位 差に伴う水圧により、川を横断的に見ると河床付近で は内側に、水表面付近では外岸側へという2次流が発 生し、河床の土砂は外岸から内岸に運ばれる17)。教 師用指導書の中にも屈曲部における 2 次流について 解説してあるものもある 18)。教科書では、屈曲部で 生じる流速の違いはどの水位の場合に生じるのかが 示されていないが、京都府の桂川を対象とした低水位 時の屈曲部における電磁流速計を用いた調査による と、屈曲部の外側で流速が速くなっている調査個所は 半数であった 11)。低水位時に必ずしも屈曲部の外側 で速い流速が観測されるわけではないことに留意し たい。

上述のように、レイノルズ数の違い等の理由から小

型のモデル実験で実際の川の流れを再現することはできない。しかし、モデルで再現できる現象のメカニズムは実際の川のそれとは大きく異なることを承知の上で、本研究では洪水時における屈曲部の内側と外側の流速の違いや屈曲部における侵食と堆積を再現できること目指し、"見た目重視"の教材の開発を行った。以下の開発した教材の作製方法を示す。

5)河川シミュレーター①の開発

182 cm×91 cm で厚さがそれぞれ 5 cm と 1.5 cm の 2 枚の発泡スチロールボードを用いて教材を作成す る。まず、1.5 cm 厚のボードに川幅 5 cm の蛇行部を 描いて切り取り、5 cm 厚のボードに発泡スチロール 用の接着材で固定する。次に、川底の表面となる5cm 厚のボードの表面部分に実際の河川の河床の形状に 似せて、図3のように、直線部では中央部が、蛇行部 では蛇行部の外側で深くなるようにプラスのドライ バーなどで引っ掻き河床を形成する。図3には、屈曲 部(Ⅰ、Ⅲ)と直線部(Ⅱ)における河床の断面図も 合わせて示した。流体を流す上流側の端部に流体が漏 れ出すのを防ぐための発泡スチロール製のストッパ ーを接着させて完成となる(図3)。将来的に教材を 貸し出すことを考えた場合、宅配便業者によっては一 端が 180 cm を超えると発送をすることができなくな るので下流部側を10 cm 切り落とした。

本実践では、流体としては1Lの水に1gのアルギン酸ナトリウムを溶かし青色の絵具で着色した粘性の高いアルギン酸ナトリウム水溶液3Lを、運搬される物質としては土砂の代わりに薫炭を用いた。粘性の高い流体を用いた理由は水路を流れる流速を小さくするためである。これまでのモデル実験で行われた人工の川で再現されている5cm程度の川幅の川を流れる水の流速は20cm/s程度であり、これを一般的な実際の川の川幅を20mとして置きかえると、流速は80m/sにも相当する。粘性の高い流体を用いることで流速を1~2cm/s以下にすることにより、上空から俯瞰した実際の川の流速に近付ける。薫炭はホームセンターで市販されている園芸用のもので水に一晩つけた

もの(水中比重: 0.06 g/cm³)を用いた。本実験で再現するような1~2 cm/s以下の流速では一般的な土砂(水中比重: 1.65 g/cm³)を水路で移動運搬させることは困難であるが、水中比重が小さい物質を用いると小さい掃流力やせん断力で移動させることができる「9)。傾斜角を1°程度にして、薫炭を少量混ぜたアルギン酸ナトリウム水溶液を水路に注ぎ洪水流を再現すると、屈曲部の外側と内側における水の流れを再現することができた(図 4)。

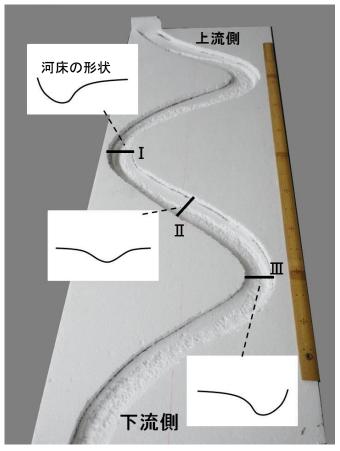


図3 開発した河川シミュレーター

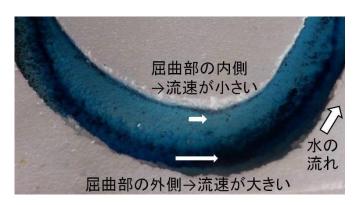


図4 洪水流を再現した時の屈曲部の流れの様子

また、水路を切り取る際に残った発泡スチロールの 端材を幅2 cm 程度に細く加工したものを水路にはめ 込み、岸との隙間に薫炭を敷き詰め、はめ込んだ発泡 スチロールを外して(図 5a) アルギン酸ナトリウム 水溶液を流すと、屈曲部の外側での侵食と内側での堆 積を再現できた(図 5b)。本装置で屈曲部の内側で低 い流速になった原因は、屈曲部の内側では、水深が1 ~数 mm と浅く発泡スチロール表面からの抵抗力を大 きく受けることによるものである。実際の河川でみら れるような洪水時の蛇行部の内側と外側の水面差や 2次流、逆流などは観察されず、メカニズムそのもの は実際の河川と全く異なることに注意しなければな らないが、洪水時における蛇行部の内側と外側の流速 の違いや蛇行部における侵食と堆積を再現すること ができた。屈曲部における流速の違いを再現するため には、河床の形状を変えることが重要であり、河床を 加工していないままの平らな状態で実験を行うと蛇 行部の内側と外側で顕著な流速の違いを再現するこ とはできなかった。使用したアルギン酸ナトリウム水 溶液はバケツで回収して再利用でき、使用した薫炭も 水で容易に洗い流すことができる。装置も軽く、保管 場所も取らないなど使い勝手のよいものとなった。本 実践では開発した装置を用いて、洪水時における蛇行 部の内側と外側の流速の違いや蛇行部における侵食 と堆積を確認する実験を行った(実験3)。

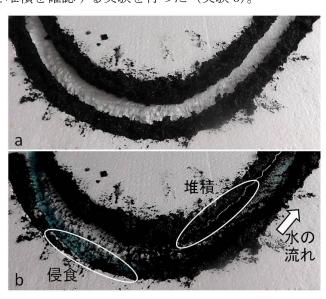


図5 屈曲部の侵食・堆積実験の様子

その際に、桂川での流速測定結果 ¹¹⁾を紹介し、水が少ない状態では蛇行部の外側で必ずしも流速が速くなるとは限らないことなどを紹介した。また、教科書で一般的に紹介されている上流・中流・下流の水の流れについて、電磁流速計を用いた京都府・桂川の上流・中流・下流での流速の測定結果 ¹¹⁾を示し、中流部の方が上流よりもはるかに流速が速い場合があることがあることを紹介し、中流部は流れが速いことがあるので川で遊ぶことがある時は特に注意するように伝えた。

6) 河川シミュレーター②の開発と授業での活用

流速や流量の違いにより運搬される土砂の違いを調べることのできるモデル実験にはさまざまなものが考案されているが⁹⁾、ペットボトルの注ぎ口の角度を変えて流量を調節する方法は、安定した実験結果が得られないと指摘されている¹³⁾。条件制御の実験を行う観点から考えると安定した流量を得られる教材であることが望ましい。水道のホースから直接水を注ぎ、蛇口で流量を調節できるようにすればかなり安定した実験結果を得ることもできる¹³⁾が、水道設備のある教室でないとできないという問題もあり、装置そのものも大がかりなものになる傾向がみられる。そこで、本研究では、水道設備のない教室でも安定した流量を得ることのできる教材を開発した。

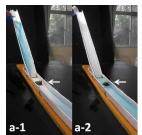
7) 河川シミュレーター②の開発

図 6 はプラスチック段ボールをコの字型に加工した水路 2 本をボルトで接続し、上方の水路の角度を自由に変えることができるようにして製作した教材(河川シミュレーター②)である。上方の水路の高さを変えることにより水平の水路の流速を調節することができる。傾斜させた水路上から一定量の水を一気に流すことにより、再現性のある流速と水量を得ることができる。実験では、図 6 のように水平の水路上に礫・砂・泥を含む土砂を置き、流速が大きいほど粒径の大きい土砂が流されることを確認する実験を行った(実験4)。実験後に、流速と流される土砂の大きさの関係について簡単なまとめを行った。



図6 開発した河川シミュレーター②

次に、開発をした装置の水路に、4 cm 大の礫を置 き、礫を 100 mL の水を使って動かすにはどうしたら よいかという課題を児童に与え、20 分程度各自で試 行錯誤させた (実験 5)。この実験は、水の流れのみ で運搬される土砂の大きさには限度があり、大きな石 を運搬させるには別のメカニズムが関係しているこ とに気付かせ、土石流の理解につなげていくことを目 的としている。実践では水路の傾きを大きくして速い 流速を与えても礫は動かない(図 7a-1、2)ことを確 認させた後に、少量の小礫を水とともに流すと一気に 礫が土砂とともに流されていくこと(図 7b-1、2、3) を確認させた。その上で、礫・砂・泥などが水ととも に流動するような流れを土石流といい、水だけでは流 せないような大きな礫も運搬できるような大きな破 壊力を持っていることを国土交通省が公開している 動画も見せながら説明を行った。地域を流れる祓川は 土石流危険渓流であり、実験や動画で見たような災害 が起こり得ることを考えさせ、放射能以外にも留意し なければならない自然災害があることを理解させた。 土石流災害時の玉突き現象 20)も河川シミュレーター ②を用いて再現することができる。



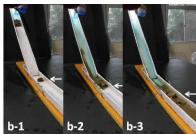


図7 土石流の再現実験(矢印は水路に置いた礫の位置)

土石流の実験後、実践の始めに児童から挙げられた 疑問について、これまでに行った実践をもとに、児童 の疑問に答える時間を設けた。その中で後述するよう に、花こう岩の玉ねぎ状風化について触れる必要があ ったため、筆者が伊達市霊山町内の花こう岩の露頭で 作成した玉ねぎ状風化の地層のはぎ取り標本を児童 に観察をさせた。

8) 土砂の中からガーネット探しとこれまでのまとめ

伊達市立大石小学校のある伊達市霊山町は阿武隈 山地北部に位置している。阿武隈山地を構成する花こ う岩類は、約1億年前の白亜紀に、当時アジア大陸の 東縁に位置していた現在の日本列島の部分に地下か ら貫入したものであり210、貫入時に接触変成鉱床が 形成された。霊山町にはかつて、タングステン鉱石の 灰重石を産出する永井鉱山が操業していた。灰重石は ガーネットやベブス石に伴って産出するが、永井鉱山 で産出するガーネットは赤褐色で結晶形が美しいこ とで知られる22)。同鉱山周辺の山塊を侵食している 石田川の河原でパンニング皿を使ったガーネット等 の鉱物採集の実習ができれば、児童の郷土の自然の興 味・関心を醸成でき、地元で取れる鉱物と工業とを結 びつけるきっかけにもなる。しかしながら前述の通り、 野外活動がままならないため、ガーネットを含んだ砂 を実験室に持ち込み児童にパンを用いた椀掛けをさ せ、ガーネットを採取する体験をさせることにした。 使用した砂は中野が参加した平成25年度日本地学教 育学会全国大会の野外見学会で自然環境研究オフィ スの柴山元彦氏の指導のもとで奈良県宇陀市の宇陀 川で採取したものである。地元で操業していた永井鉱 山と産出される鉱物の説明をした後に、砂を自由に採 取できるようにして椀がけの手順を説明してガーネ ットを採取させた (実習1)。本実習を実践の中で取 り入れたのは、郷土の大地に対する興味・関心を醸成 することをねらいとしている。

9) 除染シミュレーターを用いた除染作業体験

図8は、原発事故以降に伊達市内でよく見られた除染の様子を図示したものである。図8①は果樹の表皮

を高圧洗浄機を用いて除染をしている様子を、②はフレコンバックに入れられた汚染土を保管している様子を、③は通学路を除草して除染をしている様子を、④は庭の表土を入れ替えるなどをして除染している様子をそれぞれ示している。

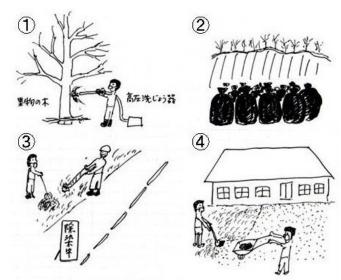


図8 伊達市内で見られた除染作業の様子

児童には①~④の図を見せ、何を行っている様子かを質問した後に、身の回りで放射能が集まりやすい場所について考えさせた。次に著者らが開発した除染シミュレーター³⁾を用いて、放射線が集まりやすい場所を調べたり、除染作業を体験させる活動を行わせた。除染シミュレーターはコンパネ合板の上に、紙粘土やプラスチック段ボールを用いて、山や川、道路や家などを形づくったものである(図 9)。

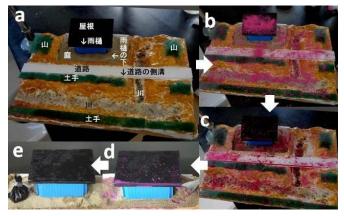


図9 開発した除染シミュレーター

家は粒径の細かい真砂の上に置き、道路や屋根には

プラスチック段ボールのライナーに切れ込みを入れ ることにより側溝や雨樋を再現する。川の部分の上に は真砂を播き河原を再現し、山や川を形づくった紙粘 土がほぼ乾燥した段階で紙粘土の部分全体を透明ラ ッカーを吹き付け、水が紙粘土中に浸み込まないよう にした。最後に植物が生い茂る山や土手を緑色のスポ ンジを切って両面テープで張り付けることにより再 現して完成となる(図 9a)。原発事故により放射性物 質が沈着した様子を再現するために、放射性物質に見 立てた乳鉢ですりつぶした赤色のチョークの粉を除 染シミュレーターにふりかけ(図9b)、降水に見立て て除染シミュレーターに霧吹きで水を吹き付けた(図 9c)。水を吹き付けた後、チョークの粉が少なくなっ た場所や集まった場所、ほとんど変化のない場所を確 認させた。次に、児童に除染作業を追体験させた。綿 棒を用いて側溝や雨樋にたまったチョークの粉を取 り除いたり、スポンジを剥がさせ、庭の表土やチョー クの粉が特に多く集まっている雨樋の下の表土をス プーンで取り除き、フレコンバッグに見立てた黒色の ビニール袋に移し替え(図9d、e)、新しい砂を播く ことにより除染作業が完了する。市民向けに住宅地の モデルに放射性物質に見立てたビーズを播いて放射 性物質が環境中に沈着した様子を再現したモデル 23) はこれまでにも見られたが、本教材は、川に例えると、 上流部に相当する屋根から雨どいを通って下流に相 当する雨どいの排水溝に放射性物質が移動するとい った、雨水による放射性物質の動的挙動を理解できる だけでなく、除染活動の体験も通して、除染の意義に ついて理解できるものとなっている。除染シミュレー ターを用いた実験(実験6)後に、放射性物質が集ま りやすい場所の確認や、増水により流水の影響を受け た中流の河原では、周辺よりも放射線量が低くなる場 合があることを実験を通して考えさせた。

実践後に、著者の柴田と江口が本授業についてのま とめを行うとともに、レポートの作成の指導を行った。

3. 教育実践の考察および学習効果

児童が挙げた川や水に関する疑問を表 2 に示す。また、実践後に児童がまとめたレポートに記載されていた内容を要約したものを表 3 に示す。レポートは児童 1 人あたり 6~8 枚程度の 400 字詰め原稿用紙に実験の様子を示した絵やスケッチも交えて報告がなされたものである。

実践前に行った教科書を読む予習については、川の石、流速、川の水の用途、水のはたらき、川の源、川の誕生についての疑問が挙げられた。実践のはじめに、児童から挙げられた疑問を著者が紹介をし、授業の中で、ひとつずつ解決していった。

表2 児童から挙げられた質問内容

質問項目	質問内容
川の石について	・川の中の石はなぜあるのだろう
	なんで石は大きさが違うのか
川の流速について	・なぜ雨が降ると川の水の量が増えるのか
	・傾きを帰るとなぜ水の速さが変わるのか
	水はカーブの所でもスピードは変わらないのか
	・平らな場所で、川の流れる速さは高い所や低い所と比べるとどれ
	くらい差があるのだろうか
水の用途	・川の水はどんな時に使うのか
水のはたらき	流れる水は地面をどう変えるのか
川の源	・川の水はなくならないのだろうか
	・何で水がなくなるのか
	川はどこからきているのか
	・川はなぜできたのか
川の誕生	・ 今も川が新しくできているのか

児童は積極的に実験・観察に取り組み、楽しい雰囲気の中で授業を進めることができた。土砂には礫・砂・泥があること、侵食・運搬・堆積といった流水の3作用について理解ができた。また、流速と運搬される土砂の粒径との関係や、河川の蛇行部における流速の違いや侵食・堆積についても理解していることがレポートから窺い知ることができた。開発した教材を用いた実験・実習は、児童の流水のはたらきの理解を深める上で有効に活用できた。紙幅の都合から今回行った全ての実験・実習について詳細な報告を行うことはできないが、土石流と除染シミュレーターを用いた実験・実習を中心に述べる。

土石流の実験(実験 5)では、それぞれ話し合い活動をしながら流す水の量を増やしたり、流路の傾きを大きくするなどをして大きめの礫を動かそうとしていたが、礫を動かすことはできなかった。

表3 児童のレポートに記載されていた内容の要約

○知識・理解に関する記述 ◎感想 ☆スケッチでの記述

旧卉。			旧辛。	旧辛口		◎慇惣 ☆人ケッナでの記述
<u> </u>			児童A	児童B	児童C	児童D
学習事項に関する記述	地元の川の流れを知る			〇場所により少しずつ違うこと が分かった		
	土石	少の運搬・堆積実験	○河口から礫砂泥の順に堆積 ◎実験で結果が分かるので 楽しい	○河口から礫砂泥の順に堆積 ◎堆積した泥がぬるぬるして楽し	〇軽い泥は浮くと思っていた	○河口から礫砂泥の順に堆積 ○重いものは速く沈む
	河川シミュレーター①を用いた実験		☆スケッチで表現 ○流れは場所により異なる ○外側が流れが速く削れる ○内側で土砂が堆積 ○なと異なっていた ☆スケッチで表現	☆スケッチで表現 ○外側が流れが速く削れる ○内側で土砂が堆積 ○薫炭や昆布のぬめりを使った ことが面白くて楽しめた ☆スケッチで表現	☆スケッチで表現 ○外側が流れが速く削れる ○内側で土砂が堆積 ☆スケッチで表現	☆スケッチで表現 ○外側が流れが速く削れる ○内側で土砂が堆積 ☆スケッチで表現
	河口	シミュレーター②を用いた実験	ススプラアで扱玩	以入りりりに扱玩	ススプラアで表現	スペナナナに私坑
			○流れが速いと大きな礫でも 流される○流れが遅いと泥は流れるが 礫や砂は流されない		○流れが速いと大きな土砂でもすぐに流される○流れが遅いと土砂が流されにくい	○流れが速いと大きな礫でも 流される ○流れが遅いと泥は流れるが 礫や砂は流されない
			☆スケッチで表現		☆スケッチで表現	↓ ☆スケッチで表現
		土石流の実験		◎いろいろ考えたが大きな石を流す方法が分からなかった◎実験結果に驚いた⑨動画がすごかった◎数価を感じた◎土砂の力はすごい ☆スケッチで表現		
	除染シミュレーターを用いた 除染作業体験		○雨樋の下や道路の側溝に 放射性物質がたまる○川にもたまるが水で流される◎予想と異なっていた◎除染作業の大変さが分かった☆スケッチで表現	○雨樋、側溝、草むらに放射性 物質がたまる ⑥模型が上手にできていてびっ くりした ⑤屋根の放射性物質は落ちに くいのか? ☆スケッチで表現	○雨樋の下や道路の側溝に 放射性物質がたまる ○放射性物質がたまりやすい 場所を除染する ○除染をすれば放射性物質 はなくなる ☆スケッチで表現	○放射性物質の水のはたらき による動き ○雨樋の下や道路の側溝に 放射性物質がたまる ◎一番印象に残った実験 ☆スケッチで表現
全体を通した感想		全体を通した感想	・土砂が礫砂泥の順に堆積したことに驚いた・川の蛇行部で流速が異なることに驚いた・川が変化して三日月湖になることに驚き・それがまた普通の川に戻ることに驚き・除いく実験ができて良かった・用語を知ることができうれしい	・授業は楽しかった・用語を知ることができうれしい		 たくさんあった疑問のほとんどが解決できた 除染の勉強は非常に勉強になった ・用語を知ることができうれしいとても楽しく一層頭が良くなった

中野が土砂と水を一緒に流すことを提案して演示 実験を行うと簡単に大きめの礫を動かすことができ た。児童からは土砂と一緒に水を流せばよいのではと いう意見は出されなかったが、演示実験を見て、児童 からは「そうか」とおどろきの声が上がった。児童の レポートにも、土石流の実験で試行錯誤をしたことが 印象に残っていることや、土石流の威力の大きさに恐 怖を感じたという感想が見られた。

除染シミュレーターを用いた実験(実験 6)では、 除染作業が進められている伊達市の状況を鑑み、図 8 を児童に見せ、①~④は何が行われているのかを問う たところ、全員が正確に解答することができた。除染 シミュレーターを用いた実験では、雨樋の下や道路の 側溝にチョークが集まりやすいことを確認できたこ とから、こうした場所を優先的に除染することの意味 を理解することができた。チョークが付着した除染シ ミュレーターの側溝や表土を取り除く除染体験は、児 童はとても熱心に行っていた。児童のレポートをみて も、除染シミュレーターを用いた実験に関する記述は 多く、屋根→雨樋→雨樋の下といった雨水のはたらき による放射性物質の移動経路を理解していること、除 染の意義、除染をすることの大変さに関する記述が見 られた。除染についての理解を深めることができた点 で一定の成果が見られた。実際の生活空間においては、 放射性物質を取り除いても、地形的な影響から空間放 射線量の低減効果が小さい場合もある。この点を児童 にどのように分かりやすく説明していくのかという 点が今後の課題である。

4. おわりに

本研究では、原子力災害により野外で河川の調査を 行うことが困難な地域の実情に合わせ、室内で河川に ついて体験的に学習できるモデル実験教材の改良や 開発を行った。そして、開発した教材を用いて、放射 線や土石流に関する学習を取り入れた小学校第 5 学年の単元「流水のはたらき」の単元の学習プログラムを作成し、授業実践を行った。授業実践を行ったところ、開発した教材や学習プログラムは、放射線の理解や除染の意味について、「流水のはたらき」の延長線上として自然な流れで児童が学習をさせることができ、自然災害の1つである土石流災害にも目を向けさせることができるものとなった。

除染から復興へ軸足を移しつつある福島県におい ては、放射線や放射線と関連の深い理科教育の在り方 も日々見直していく必要があるだろう。福島県では他 の都道府県以上に質の高い教育を行うことが今後も 求められることに変わりはない。福島県内では被災や 復興の状況は大きな地域差があり、他の地域や大規模 校でも同様の実践を行うことが困難な場合も当然考 えられる。除染シミュレーターの開発や授業での使用 についても賛否両論様々な意見があるだろうと思う。 しかし、教育の世界は待ったなしの世界であり、来年 うまくやるという理屈は通らない。今回報告を行った 実践は、多くの課題を残しつつも、小大連携の中で見 出した現段階で最大の学習効果を得られる一つの解 をもとに構想を練ったものであることをご理解いた だければと思う。今後も多くの批判や助言をいただき ながら、復興教育の名にふさわしい教育の在り方を現 場の教員や地元住民と模索していきたい。

謝辞

伊達市立大石小学校の内山博行校長には伊達市立大石小学校で授業実践を行う機会を与えていただくとともに、様々な支援をしていただきました。また、福島県伊達市役所の半澤隆宏放射能対策政策監からは、伊達市内の除染に関する情報の提供や本教材について多くの助言をいただきました。本研究の一部は科学研究費補助金(課題番号:25350199)の助成を受けて実施したものです。これらの支援に謝意を表します。

引用文献

- 1) 中野英之・石崎巧馬・高野金助・棚原朗(2014): 身近な 線量計や材料を用いた福島県伊達地方の環境放射能測定, 5, pp. 7-17.
- 2) 林孝亮・中野英之 (2013):福島の復興のために必要な理 科教育のあり方とは、日本災害復興学会 2013 大阪大会講演論 文集、pp. 32-33.
- 3) 林考亮・中野英之 (2014): すごろく教材で考える放射線 と原発事故後の福島での暮らし~「放射線人生ゲーム」の開 発~, 科学技術コミュニケーション, 15, pp. 137-146.
- 4) 文部科学省(2008): 小学校学習指導要領解説 理科編. 東洋館出版社,東京, p105.
- 5) 市川伸一 (2008):「教えて考えさせる授業を」創る,図書 文化,東京,188pp.
- 6) 鏑木良夫 (2007): 教えて考えさせる先行学習で理科を大好きにする, 学事出版, 東京, 62pp.
- 7) 大日本図書 (2011): たのしい理科 5 年-2 教師用指導書 朱書編,大日本図書,東京,p. 19.
- 8) 境智洋 (2006): 200 円でできる堆積実験器「たまるん」と その実践, 北海道立理科教育センター研究紀要, 18, pp. 75-82.
- 9) 池田宏 (2011): 地形を見る目を小型実験で磨こう, 第四 紀研究, 50(5), pp. 209-219.
- 10) 川辺孝幸(2011): 砂場を利用した「流れる水のはたらき」 実験のノウハウ: 理科支援員等配置事業による小学校での 実践等を踏まえて, 6, pp. 7-17.
- 11) 小林彩美・中野英之・村上忠幸(2013): 電磁流速計を用いた桂川の流速測定,京都教育大学環境教育年報,21,pp. 75-82.
- 12) 林慶一 (2004), 地学教材の特性と開発の視点, http://www. jpgu. org/education/2004education_abs/2004edu_abs5, (2014-03-25).
- 13) 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,pp.67-76.
- 14) 加藤 一郎・川上 紳一 (2009): 小学 5 年「流れる水のはがらき」における流水実験器の開発と授業での活用―地学現象を空間の広がりと時間の経過で捉えさせる指導のあり方をめざして、教師教育研究、5, pp. 95-106.

- 15) 髙橋 光徳・山谷 潤・酒井 寛史・三田村要・前田亮・大 溝宏・柏原浩之(2013):「流れる水のはたらき」の授業実践: 観察の視点を明確にした実験装置や提示の工夫および資料映 像の活用,北海道立教育研究所附属理科教育センター研究紀 要,25,pp.140-143.
- 16) 鈴木康史 (2009): 水量や流速等を変えて比較対照実験を する, 角屋重樹 編著, 新小学校理科 充填指導事項の実践研 究, 明治図書出版, 東京, p. 76.
- 17) 末永忠司 (2005): 図解雑学 河川の科学, ナツメ社, 東京, 240pp.
- 18) 東京書籍 (2011):新しい理科 5 教師用指導書 資料編, 東京書籍,東京,p. 104.
- 19) 泉典洋 (2013), 土砂水理学, http://i-ric.org/ja/colum, (2014-08-15).
- 20) 林慶一 (2013):河川の堆積物と周辺地形の学習への斜面崩壊と土石流の作用の導入,日本科学教育学会年会論文集, 37,pp. 426-427.
- 21) 真鍋健一(2004):福島の大地の生い立ち, 歴史春秋出版, 福島, pp. 44-45.
- 22) 松原聰 (2003): 日本の鉱物, 学習研究社, 東京, p. 260.
- 23) 半澤隆宏 (2013): 適正な除染は,放射線防護の考え方と バランス感覚,復興,6,pp.51-56.