

流水の働きと関連の災害事象に焦点化した 流水モデル実験装置の開発と活用

The water-flow experiment model development and utilization

林 武広¹, 藤川 義範², 土井 徹³, 磯崎 哲夫⁴

HAYASHI Takehiro, FUJIKAWA Yoshinori, DOI Tohru and ISOZAKI Tetsuo

キーワード：理科 I・流水・モデル実験・小学校理科・土石流・津波

1. 前書き

小学校理科において多くの小学校教師が指導困難を感じている学習単元（以下、単元）の1つに第5学年の「流れる水の働き」（以下、流水の働き）がある。その単元では校庭や砂場で水を流す実験が多くの教科書（例えば、新興出版社啓林館「わくわく理科 5」）に示されているが、その扱いに多くの教師が苦慮している実態がある。小学校教師が指導に苦慮する理科の単元は流水の働きのみではなく、“月と太陽”など高学年理科を中心にいくつかあげられる。筆者らはこのような単元を対象として過去数年来、広島県内の小学校を訪問し担任教師と連携して進める授業（以下、連携授業）に取り組んできた。この授業は、土石流や津波に関わる実験も含めており授業を受けた児童の指導のみならず、連携教師に対する1種の防災の示範授業として現職教員研修への寄与も目的としている。

特に2014年8月には広島市で大規模土砂災害が発生したこともあり、それ以後には流水の働きの単元の連携授業への要望が多く寄せられたこと、さらに2018年7月には西日本豪雨災害が発生したこともあり、2018年秋には一層多くの要望が寄せられた。このような背景に鑑み、筆者らは通常の流水の働きを基本としつつ災害に関わる土石流・津波への理解を高めるうえで有効で、かつ扱いやすい流水モデル実験装置（以下、流水モデル装置）の開発と改良を行ってきた。本報告ではその装置の紹介を主とし、当装置を使用した連携授業の成果の一部を報告する。

2. 小学校理科における連携授業

小学校理科における本連携授業は筆者のうち林を中心に広島市教委と連携して実施校を募集し、毎年10～30校で行ってきた（例えば、Hayashi & Isozaki, 2013；林ほか, 2013；Hayashi *et al.*, 2014；藤川ほか, 2014；林ほか, 2017a など）。このような連携授業は原則として単元を構成する1時限を充てることとし、具体的な授業内容は各校の要望に添うことを基本として担当者との協議の上、内容や活動を決定している。実際の授業では担任教師との連携及び他の教師の授業参観も併せ、授業内容、授業プロセス、観察・実験の扱い等を実地に伝える現職研修の役割も有している。小学校教師対象の理科に関する現職研修としては、理科が苦手、あるいは不得意な教師の場合、理科が得意な教師や専門家による授業の参観希望が多い状況がある（林ほか, 2013b）こととも相

¹比治山大学現代文化学部

²前インドネシアスマラン国立大学

³富山大学人間発達科学部

⁴広島大学大学院教育学研究科

まって、小学校から大学や企業の研究者（林ほか，2017b）や科学専門家による特別授業や連携授業への実施希望が多い現況である。

3. 流水の働きの学習における実験の課題

上述のように教科書に示されている流水の実験は砂場あるいは校庭に土や砂を盛り，そこに水路をつくってホースやジョロ等で水を流す例が多い。しかし，この方法では水路への水のみ込みもあるために相当量の水が必要になるうえ砂礫が流れにくく，目的に沿った結果を得ることが難しいとの教師からの声が多く聞かれる。連携授業ではそのような課題に対処するために，アクリルと角材を用いた簡易な流水モデル装置を理科室教卓上に設置し，ホースで水を装置に引き込んで砂や礫などを流す実験を行ってきた（林ほか，2011）。このような水路を用いた実験装置はいくつか提案されている（例えば富永，2010；林慶一，2015など）。これらは基本的に堆積作用に注目したものであり，堆積構造の形成過程を効果的に示すことができる。当然のことながらこれらの装置は流れる水の働きに関する実験も可能ではあるが水路の形状，流速や流量の調節の点で課題がある。

4. 流水モデル装置の開発と流水の働きへの対応

筆者らは，小学校理科，流水の働きの学習での活用を基本として，上記の諸課題への対応をふまえた流水モデル装置を開発した（図1）。

上述の林ほか（2011）の流水モデル装置では実験を行う上で難点があったため，新たなモデルの開発を2014年から試み，同年に一応の流水モデル装置を作成した（林ほか，2015）。それ以後の連携授業を通じた実践的検討，連携した教師からの意見も参考にしつつ装置のサイズをはじめとする改良と試作を続けている（林ほか（2018）で一部を報告）。本稿では2019年春の時点で改良した流水モデル装置の詳細について述べる。この装置は基本として流水による砂や礫の動き（流され方）の観察に焦点化し，以下の①～③の点を要件として開発した。

- ① 小型，軽量で扱いやすく理科室の教卓上に据えて実験ができること。
- ② 適量の水で安定した流れが得られること。
- ③ モデルの水路上での砂や礫等の動きが観察しやすいこと。

以下に①～③それぞれへの対応を記す。

①：5mm厚の透明アクリル製で水路部の長さは1m，幅7cmのサイズとしており，教卓等に安定して据えるために装置の前方と後方に2つの台座を備えている（図1左）。

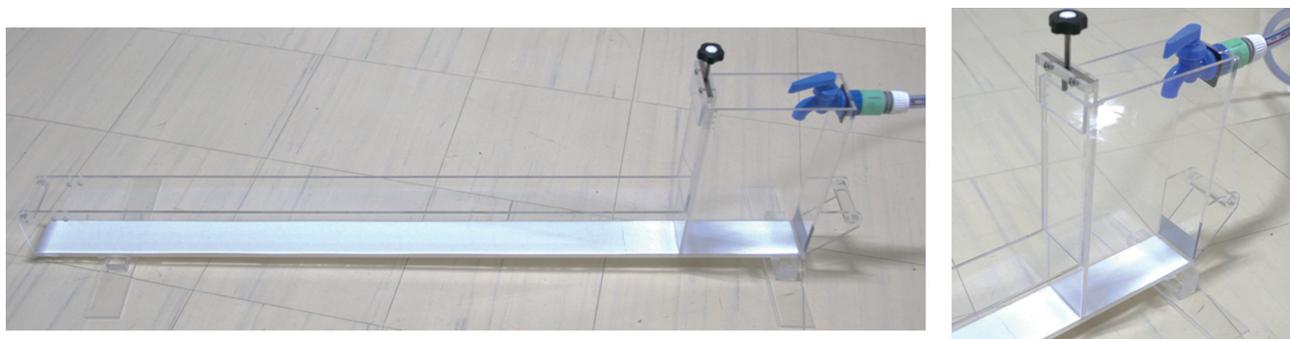


図1 左：流水モデル装置全景 右：水路後方のタンクとスリット用のネジ付き水門プレート



図2 左：水門プレートによるスリット 右：実際に水を流している状態

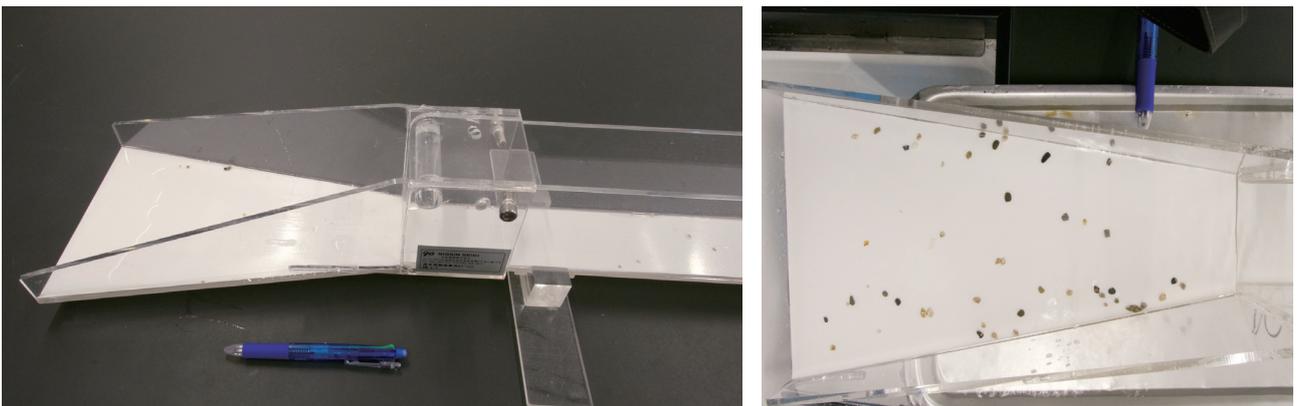


図3 左：流速を遅くするための着脱式補助水路 右：補助水路に堆積した砂礫

②：自然の河川と同様，ほぼ“水平な流路上で安定した流れ”を得るため水路の後方には水路と一体的に繋げた水を貯めるタンク（高さ 29.5cm，長さ 20cm）を設けている（図 1 右）。このタンクに貯めた水の圧力によって水門とタンク底のスリットから水路に水を押し出す様式としている（図 2 左）。このスリットはタンクと水路との境にスライド式の“水門プレート”を挿入できるようにしている。水門プレート上部のネジを回すことで任意のスリット幅がセット可能である。併せてタンク上部の水道コックで注入水量も調節して，タンクに入れる水高を保ちつつ水路幅全体にほぼ均等に流れる適切な水量・流速の水流が得られる（図 2 右）。

③：水路を流れる砂や礫の動きが観察しやすいよう水路の側面板の高さを 10cm とし，水路底には白色で滑らかな表面を持つテープを貼っている。さらにオプション的な部品として，扇形の補助水路（長さ 30cm，先端の幅 20cm）を主水路の先端に取り付けることができる（図 3 左）。主水路を流れてきた水が補助水路に入ると流速が遅くなるよう次第に広い幅とし，水路底の塗料は主水路に比べやや粗めの塗料を塗布して（水路床のいわゆる粗度係数を高めるため）いる。なお，この補助水路は必要に応じて簡単に着脱できるようにしているために補助水路と主水路の結合部で若干の水漏れが生じる問題がある。その対応は現在，検討中である。

実際には主水路を流れてきた砂や礫が，この補助水路に入ると流速が遅くなるためにサイズが大きいものは次々に動きが止まるので，結果的に“堆積”した現象を示せることになる（図 3 右）。

5. 流水モデル装置による災害事象への対応

流水に関わる災害事象としての土石流，津波・洪水の再現実験も可能である。特に広島県では土石流が頻発し，多数の人命が失われるケースも少なくない。また広島県は山間部が多く，中小河川

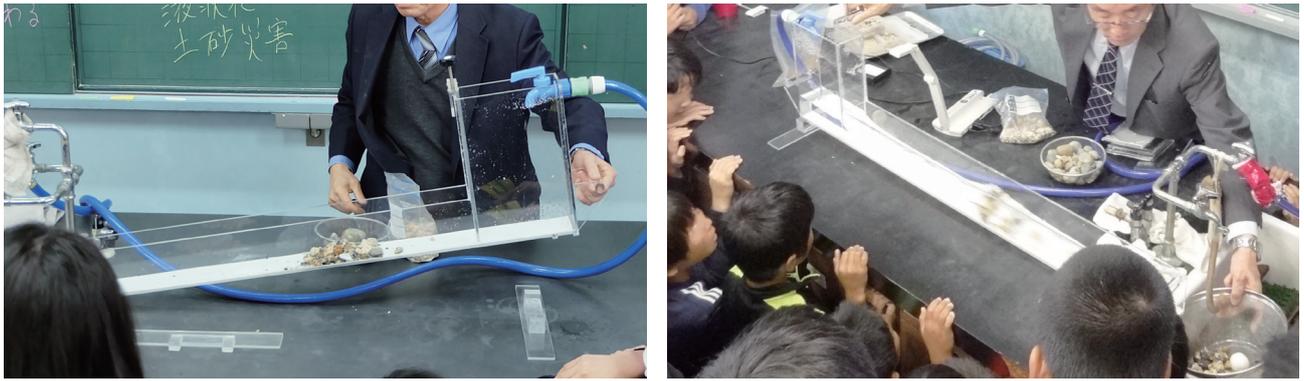


図4 流水モデル装置を用いた災害関連事象の実験 左：土石流 右：津波・洪水

の氾濫も少なくない。さらに近い将来に発生が予測されている南海トラフ地震による津波到来も想定されている。

この流水モデル装置は基本的に流水の働きへの対応を基本とするが、これらの現象がある程度、再現できるようにしている。なお下記の実験は、補助水路は取り外した形で行う。

流路に傾斜がある溪流等で発生する土石流の再現では、水路上に大小の砂礫を混ぜて置き、水路を15～20度程度傾斜させてみる。そのままでは砂礫が落下しないが、ある程度の量の水を流すと、砂礫全てが一気に流れ下る現象が観察できる（図4左）。

平面上、あるいは緩い傾斜の流路（地面）に大量の水が押し寄せる津波や洪水の再現では、上記と同じく水路上に大小の砂礫を混ぜて置き、主水路後方にあるタンクの隙間を閉じた状態で水を大量に貯めておく。その状態で水門版を瞬間的に引き上げてタンクの水を一気に流すと、砂礫全てが流される現象が観察できる（図4右）。

6. 流水モデル装置を活用した連携授業の内容

流水モデル装置を活用した連携授業の典型例な流れと児童の反応を図5に示す。なお実験は教卓上に装置を置き、ビデオカメラ+大型TVによって全員が実験を観察できるようにしている。

連携授業は学校からの希望で単元学習のまとめとしての位置づけが大半である。そのため流水の働きについて一通りの学習は終えている。したがって復習も兼ねて本装置によって一定の流れで様々なサイズの礫や砂をそれぞれ流す実験、あるサイズの礫で流れを変えてみる実験を行っている。結果をまとめた後、様々なサイズの砂や礫を混ぜて流すとどうなるかを考えさせ実験で確かめる。その後、土石流と津波・洪水の実験を行い、始めに行った通常の流水の働きとの相違を考察させる。さらに実際に撮影された土石流や津波の動画を視聴し、災害発生時にとるべき最適な行動を考えさせる。

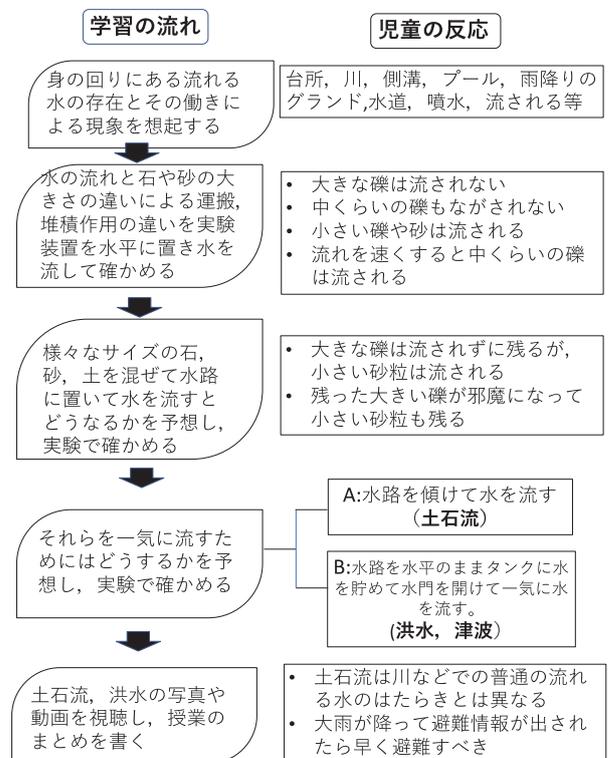


図5 連携授業の流れと期待される児童の反応

本連携授業の効果については、現在進行中の2019年度の活動の成果も併せ解析中であるので、

それらの結果は稿を改めて報告する予定である。したがってここでは、児童の反応例と連携した教師の意見の一部を紹介する。

7. 児童と教師の反応からみた流水モデル装置活用の意義

2018年度に実施した連携授業の後に寄せられた広島市のA校5年児童のコメント記述例を以下に記す（原文のまま、謝辞部分は省略）（林ほか（2019）で一部を報告）。

- ・ どうやったら、大きな石や、小さな石が水の力だけで動くことができるのか？ などが、実験もふくめてよく分かって、自分の考えや、友達のを通してなっとくできました。
- ・ 実験装置を使つての授業だったので、より分かりやすかったです。（石の大きさや、水の量によって流れ方が変わること。）
- ・ 大きい石は、なかなか水に流れないけど流れる水+かたむきで、ものすごいスピードや、パワーになるということが、実験でよく分かった。
- ・ 大きい石は重たくて流されなかったけど、本当に災害レベルの水の勢いだったら、人の何倍も大きい石でもかるがる流されていたのでびっくりしました。
- ・ 毎日災害に気をつけて生活をしていきたいなと思いました。（中略）かたむいたところから流れる水でやると小・中・大の石はすべていきおいよくさいごまで流れていたのてこんなに水の流れはかわるんだなと思いました。
- ・ いつどこでどんな災害がおこって危険なじょうたいになるかわからないので、どんな時でもちゃんと自分の命を自分で守れるようになればいいと思いました。

次に2018年度に連携した担任教師から寄せられた本連携授業に対するコメントの幾つかを以下に記す（原文のまま、謝辞部分は省略、林ほか（2019）で一部を報告）。

- ・ 一気に水を流すという実験はなかなかできないのでとてもよく分かりました。児童はよく分かったと喜んでいました。
- ・ 子どもたちがすごく興味をもって見ていました。土石流のしくみがよく分かりました。大画面でも映し出されておりよく見えました。
- ・ 本当の水のはたらきがよく分かる実験でした。
- ・ 実験装置で一気に土石流が起きる様子がそのままビデオにもつながり、どの児童にもよく理解することができました。
- ・ 流れる水のはたらきと災害のつながり（学びと経験のつながり）ができたと思います。
- ・ 実験と映像がリンクしていて学びが深まった。
- ・ 砂場では気づけないこと、出来なかったことが見れて学習の理解が深まったと思います。災害を見るとこんな感じという動画が用意されてとても良かったです。
- ・ 水の量が調節できてとても良いと思いました。
- ・ 土石流の実験はなかなかできないのでとても分かりやすかったです。

児童の反応は連携授業を受けた全てのものではないが、児童は流水と砂や礫のサイズとの関係や土石流や津波・洪水の実態を実感をもって理解したとみなされる。また教師についても、多くの反応から本流水モデル装置は流水の働き及び津波・洪水のメカニズムへの実感を伴った理解を促進すること、さらにそれらへ対する防災意識の喚起においても有意義ととらえており、この装置の目的は一定程度、達成できたと考えている。なお、連携した教師への質問“教師として参考になったこと”に対し、“実験装置”への回答が卓越し、次いで“写真や動画教材”の回答が多く、“講師の説明”

もあるなど現職研修としても一定の成果があったと考えられる (Hayashi,T., *et al.*(2018), 林ほか (2018) で一部を報告)。

なお、土砂災害が多いインドネシア、Banjarnegara 県において Dr.Tuswadi 氏 (Politeknik Banjarnegara 学長) との連携によって 小、中学校教員の研修をはじめとして本装置を活用した教育活動を行っている。それらの成果については別途、報告する予定である。

Summary:

We have newly developed the water-flow experiment model, composed by water storage tank and waterway, aiming mainly the observation of sand and/or small pebble grains movement with water flow. For easily handling and conveying, the model is assembled with transparent acrylic boards, the total size 1.2m length and 7cm width. The water flow can be controlled by the movable floodgate set between the tank and the waterway. The inflow into the tank is controlled by water faucet set in the upper side of the tank (*see figs.*). Additionally this model is available for the experiment of both the debris flow during heavy rain and the tsunami by earthquake. Through the science classes with using this model in elementary schools, pupils could realize not only the working of flowing water but also mechanism of both debris flow and tsunami. And almost all of teachers cooperated and/or joined in those classes have appreciated this model as effective teaching apparatus.

謝辞

本研究は科研費 基盤研究 (C) 課題番号 17K04902 の助成を受けて行った。記して感謝申し上げる。また本装置の製作に助力戴いた (株) 日新精器の広野和也氏と小早川隆史氏に感謝申し上げる。

参考文献

- 富永良三 (2010) : 堆積実験装置の自作と堆積構造の再現, 地学教育, 63, pp45-56.
- Hayashi.T and Isozaki.T (2013): Improvement of Elementary Teachers' Science Lessons through Joining Demonstration Lessons by Scientists as a part of In-service Teacher Training ,EASE, R.C.437.
- Takehiro HAYASHI, Shinsuke NAKATA,Yoshinori FUJIKAWA, Tohru DOI, Toshihide HIRANO, Takako ISOZAKI, Tetsuo ISOZAKI(2014): Elementary school teachers' values for teaching and learning in science, A case study in Hiroshima prefecture, Japan, ISEC 2014, NIE, Singapore.
- Hayashi, T., Doi,T., Isozaki, T., Fujikawa, Y. and Tuswadi (2018): A study on in-service teacher training on disaster prevention education –an example of practice in Hiroshima prefecture in Japan and central Java in Indonesia–, EASE 2018 (東アジア科学教育 2018 年国際大会) , National Dong Hwa University, Taiwan, #1132.
- 林慶一 (2015) : 土石流・斜面崩壊の多様性とメカニズムを理解させるための教材開発, 日本地学教育学会第 69 回全国大会 (福岡大会) 講演予稿集, pp78-79.
- 林武広・土井徹・吉富健一・山崎博史 (2010) : 小学校 5 年「流れる水の働き」における流水モデル実験の活用, 日本地学教育学会第 64 回全国大会 (鹿児島大会) 予稿集, pp108-109.

- 林武広・鹿江宏明・鈴木盛久・藤川義範・土井徹（2013）：小学校現職教員および志望学生の科学リテラシー，日本教科教育学会第39回全国大会論文集，pp270-271.
- 林武広・藤川義範・土井徹・魚谷滋己（2015）：「流水の働き」の学習のためのモデル実験装置の開発と活用成果，日本地理教育学会第69回全国大会（福岡大会）講演予稿集，pp108-109.
- 林武広・西村成美・熊野弘子（2017b）：企業講師による小学校理科連携授業の意義 — 現職研修の視点からの考察 —，日本理科教育学会全国大会論文集第15号，p407.
- 林武広・土井 徹・藤川 義範（2017a）：小学校教員現職研修としての防災に関する連携授業 — 土砂災害を中心に —，日本災害情報学会19回学会大会予稿集，pp274-275.
- 林武広・土井 徹・藤川 義範，磯崎哲夫（2018）：防災教育に関する小学校教員の現況と土砂災害に関する連携授業の効果，日本災害情報学会第20回学会大会予稿集，pp150-151.
- 林武広・藤川 義範・山内真（2019）：小学校における防災に関する連携授業 — 2018年豪雨災害後の取り組みとその成果 —，日本災害情報学会第21回学会大会予稿集，pp18-19.