

普及型河川模型実験を通じた環境教育・理科教育

古市剛久***・天野敦子***・小川佳子****・南雲直子*****・小口千明*****

Laboratory-based Convenient Model Experiment of Fluvial Landforms
for Environmental and Science Education

Takahisa FURUICHI, Atsuko AMANO, Yoshiko OGAWA,
Naoko NAGUMO and Chiaki OGUCHI

要旨：NPO法人GSTEM-CPPと独立行政法人国立女性教育会館が主催した「女子中高生夏の学校2019」にて、河川模型実験機材Emriver Em2を用いた実験実習プログラムを実施した。実験は河川の土砂運搬量と平面形との関係に注目する内容とした。この普及型河川模型実験機材は専門の研究者でなくとも取り扱いが容易であり、幅広い世代の好奇心を刺激する魅力を持つことから、環境や理科の教育における格好の教材であろう。

キーワード：河川，模型実験，Emriver，環境教育，女子中高生夏の学校

Abstract: We report our experience of a laboratory class using an experiment devise 'Emriver Em2' that demonstrates sequential change in fluvial landforms. The class was part of the programs of 'the Natsugaku 2019' organized by the NPO GETEM-CPP and the National Women's Education Center. The laboratory experiment demonstrated a relationship between rates of sediment supply and plane forms of a river. The Emriver Em2 can be operated by science educators who are not necessarily specialized in river science or engineering and appears to provide the attraction for experiment observers across the generations, showing a good potential as a useful devise in environmental and science education.

Keywords: River, Model experiment, Emriver, Environmental education, 'The Natsugaku'

1. はじめに

河川が環境教育や理科教育の題材として取上げられることは多い(大瀧・川村 2006, 池田 2011)。教育現場でのアプローチとしては、実際の河川において水文、地形、堆積物、動物生態、植物生態などを観察することが主流といえよう(例えば、真田ほか 2010)。その一方、河川の模型実験(あるいは、水路実験)を活用することもある。これまでの模型実験では用いる

機材を地球科学や河川工学の研究者が独自に工夫を重ねて開発する例が多かったが(大瀧・川村 2006, 池田 2008, 中林・山本 2010など)、近年では優れた機材が企業によって開発され、市販されている例がある。この進展は、関心と意志さえあれば専門の研究者でなくとも河川模型実験を環境や理科の教育教材として使うことが出来ることを意味する。本稿ではそうした可能性を持つ機材を用いて女子中高生を対象に地球科学分

* 宮城教育大学 教員キャリア研究機構 環境教育・情報システム研究領域, **Sustainability Research Centre, University of the Sunshine Coast, Australia, *** 産業技術総合研究所 地質調査総合センター, **** 会津大学 先端情報科学研究センター, ***** 土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター, ***** 埼玉大学 大学院理工学研究科

野の研究紹介を行った事例報告として、機材の概要、実験の概要と結果、生徒たちの反応を記録する。

2. 河川模型実験機材 Emriver Em2

今回の実験実習に用いた機材は米国 Little River Research & Design 社製の Emriver Em2 である (図 1)。同社の Emriver シリーズはこれまでも地球科学分野の文献等で紹介されてきたが (例えば, 七山 2015), Em2 はシリーズの中でも汎用版であり, 長さ 196 cm, 幅 83 cm, 深さ 13 cm, 重量 17.5 kg の強化アルミニウム製の薄い箱 (実験台) にプラスチック (熱硬化性樹脂) 粒子を敷き詰め, その実験台を高低 2 台の固定式立脚に乗せて勾配おおよそ 8° に傾け, 約 100 L 容量のパケツに貯めた水を流量可変式の電動小型ポンプで回して流し (従って実験には電源が必要), 河床に模した粒子層表面の形態変化や粒子の流れ方 (侵食・運搬)・溜まり方 (堆積) などを観察する機材である。水の流量と時間はコントローラーにプログラムとして設定することができ, 手動でも操作できる。また, 傾けた実験台下方の排水口は高さ可変式で, 海水準などを想定して水面高を変えることが出来る。プラスチック粒子 (1.55 g/cm^3) は 4 種の粒径から成り, 色分けされ (1.4 mm, 1.0 mm, 0.7 mm, 0.4 mm; この順に黄, 白, 茶, 赤), 特定の割合に配合されており, 粒子の大きさと侵食・運搬・堆積の関係を良く観察することが出来る。但し, 流す粒子の量を機材が調節することは出来ず, またタイプ Em2 には傾斜を簡単に調整する機能は付いておらず, 実験者がそれぞれ工夫して調整する。実験機材は組立て式で, ワゴン車などで持ち運びが可能である。



図1. Little River Research & Design社製Emriver Em2 (写真は寒地土木研究所所有の機材)

この機材の際立った特徴は, 自然の砂よりも密度が小さい (自然の砂の密度は軽鉱物でも $2.6 \sim 2.7 \text{ g/cm}^3$ ほど) プラスチック粒子を開発し使用していることである。粒子は 4 種の異なる粒径からなり, 粒径ごとに見やすい色に配色されている。また, 機材は持ち運びができ, 砂遊びをする感覚で扱えるサイズに寸法を抑えていることも重要な点である。これらの工夫により, 粒子の動きの様子 (侵食→運搬→堆積など), 河川形の変化の様子 (直線→蛇行→網状流など), 地形の変化の様子 (扇状地や三角州がそれぞれ谷の出口と河口部に形成されるなど) を, 短ければ数分という短時間のうちに, 手を伸ばせば届く距離で再現できる。筆者らの経験からも, 幅広い世代の参加者がこの実験を楽しみ, 自然現象への好奇心を刺激されているという強い印象を受けた。シンプルに見えるこの機材の総合的な品質の高さは, 研究分野でも活用されて成果を上げていることから窺える (井上・水垣 2017, 小川ほか 2018)。なお, 実際の河川が運搬する土砂の比重とは異なる比重の粒子を用いていることによる影響と補正方法は小川ほか (2018) に詳しい。

Emriver Em2 を環境教育に活用する際にどのような現象を再現し提示するかは, 対象となる参加者の年齢や関心に応じて様々である。寒地土木研究所の水垣

滋（私信，非公開資料）は主として札幌市やその周辺市町村の市民が参加するイベントにおいて、札幌の市街地が豊平川扇状地に立地することを背景に、河川が蛇行・氾濫・流路変化を繰り返すことによって扇状地が形成されるプロセスを実験台で再現した。石浜（2015a, b）は親子連れを含めた幅広い世代が参加するイベントにおいて、流水による侵食・運搬・堆積作用や、その結果生じる河川の蛇行、段丘・扇状地・三角州の形成などの代表的な河川地形プロセスを再現し、人工的な工事や汚染が与える影響の解説なども交えて解説した。

3. 理工系進学を応援する「女子中高生夏の学校」

今回の実験実習は、NPO法人 女子中高生理工学系キャリアパスプロジェクト、及び独立行政法人国立女性教育会館が主催する「女子中高生夏の学校2019」でのプログラム「サイエンスアドベンチャー1：実験実習」の一つとして、日本地球惑星科学連合ダイバーシティー推進委員会が企画・実施したものである。女子中高生夏の学校（「夏学」）は、2005年に始まり、科学技術振興機構（JST）、国立女性教育会館（NWEC）、男女共同参画学協会連絡会などをはじめとする様々な団体・企業・個人の支援を受け、国内最大級の女子中高生理系進路選択支援事業として発展してきた。毎年8月に合宿イベントを実施し、理工系への進学や分野選択で悩んでいる女子中高生に、研究者や技術者が幅広い分野の科学や技術の魅力を伝え、その交流を通じて女子中高生が具体的に自らの理工系キャリアパスを描くことを支援する機会を設けてきた。2019年は8月9日（金）から8月11日（日）の3日間、全国から101名の女子中高生、34名の大学生・大学院生スタッフ、理系分野の学協会・大学・高校および企業から200名以上が実行委員やプログラムスタッフとして参加し、国立女性教育会館（埼玉県嵐山町）にて開催された。

4. 実験の概要と結果

今回の実験実習は、「私達が暮らす平地はこうして出来る！（地形形成の模型実験）」と題し、4名の生徒が参加して2時間半の実習として実施された。準備段階では南雲と小口が連絡調整に当り、実験は古市が設計し、機材は神奈川県立生命の星・地球博物館からお借りして会場へワゴン車で運び込み、当日の講師は古市・天野・小川が務めた。

実習の導入では、惑星表面の地形について地球（古市）や火星（小川）の例を基に紹介し、河川が作る地形（古市）や堆積物（天野）についても概略を紹介した（図2）。実験では、河川の平面形（直線、蛇行、網状流）が河川の土砂運搬量にも依存することに焦点を当て、実験において流す粒子量と水量を変えて河川形の変化の違いを観察した（表1、図3）。初期地形としてほぼ平坦な粒子層を作り、そこに水と粒子を流して粒子層表面の形（地形）の変化を観察した。1回の実験（1つのシナリオ）は準備を含めほぼ20分以内で実施できた。

実験の結果は（図4）、Run 1（粒子供給少、流量20 mL/s）では、一定の谷幅（図4では黒い両矢印で示した）を持つが川幅は狭く、蛇行が支配的な河川形となった。Run 2（粒子供給多、流量20 mL/s）では、水深が浅くなり堆積傾向が強くなり、川筋が不明瞭になる。網状形態がRun 1より明確であり、谷の崖の側刻が強まり谷幅はRun 1よりやや広くなる。Run 3（粒子供給多、流量40 mL/s）では、エネルギーの大きな流れが作る直線的で幅広な川筋が形成され、谷幅はRun 2より更に広くなる。Run 4（粒子供給多、流量20→80→30→20 mL/s）では、流量の増減で河道の変化傾向が変わり、流量低下時に蛇行が形成される。



図2. 実験実習の導入の様

表1. Emriver Em2 を使った今回の実験シナリオ

シナリオ	粒子供給量	流量
Run 1	少	20 mL/s
Run 2	多	20 mL/s
Run 3	多	40 mL/s
Run 4	多	20 mL/s→80 mL/s→30 mL/s→20 mL/s

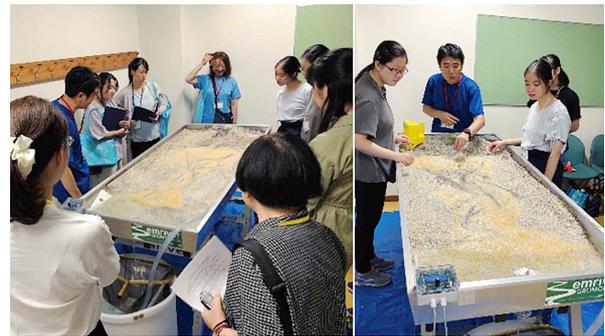


図3. 実験の様。本実習の生徒と担当者以外の関係者も足を止め観察していた。

5. 参加した生徒と評価委員の反応

参加した生徒からは「役に立った」という感想が寄せられた（「非常に役に立った」1名（高校2年）、「役に立った」3名（高校2年，高校1年））。そのうちの1人は「動画でしか見たことのない実験が出来てよかった」との感想を寄せている。

実験実習プログラムの評価委員（小学校教諭）からは、「地形の変化は小学校から繰り返し出てくる内容であるが、砂粒の大きさや水流の変化によってどう変化するのかについて専用の機材で実験・体験することで、データの収集や処理の重要性・面白さに気づくことに期待する」、「小学校でも砂場に山を作りホースで水を流して活動（学習）している。そこから、湧き水の仕組み、川の流る変化など、小学校（での活動・学習）の応用を使って中学・高校にもつながることが



Run1: 粒子供給少
20 mL/s

Run2: 粒子供給多
20 mL/s

Run3: 粒子供給多
40 mL/s

Run4: 粒子供給多
20→80→30→
20 mL/s

図4. 実験の結果（詳細は本文参照）

分かる実験であった。改めて確認できる内容で良かった」との評価コメントがなされた。

小中高校生世代は、科学教育における軸足も背景として、数学、物理、化学といった基礎科学や、人間や社会との関わりの深い生物科学への関心が高い。しかし、女子中高生夏の学校には地球惑星科学にも関心を持つ生徒が、人数は少なくとも、毎年必ず参加してくる。今回の河川模型実験は少なくともそうした生徒が関心を持って学べる対象であることが確認できたと考えよう。「地形の変化」は小中高校で学ぶ自然(環境)の主要テーマの一つであることが評価者のコメントから窺われ、河川模型実験は「地形の変化」への効果的なアプローチの一つとしても再認識できるだろう。

6. おわりに

Emriver Em2は、環境や理科の教育実験機材として高価過ぎず、専門家でなくとも扱うことができ、持ち運びができ、河川地形の動態を手の届く距離で短時間で観察することができ、河川への関心、地形への関心、自然科学への関心、環境への関心を高めることに世代を問わず活用できる優れた機材である。

環境教育での活用に当たっては、今回の実験で試みた粒子供給量の調整に限らず様々な実験シナリオを準備し、実験観察者のニーズに合った魅力的なデモンストラクションを披露することが肝要であると思われる。

日本においても本機材を環境教育や理科教育に活用する機会をより拡げていく可能性と価値は大いにあると思われる。

謝辞

この実習実験で使用した米国 Little River Research and Design社製 Emriver Em2は、神奈川県立生命の星・地球博物館の石浜佐栄子博士(主任学芸員)に便宜を図って頂き同博物館から貸出して頂いた。機材の取り扱い及び実験の設計に当たっては寒地土木研究

所の水垣滋博士(主任研究員)から助言を頂いた。リトルリバー・リサーチ&デザイン・ジャパン代表の松本明代氏には機材全般について助言を頂いた。NPO 法人女子中高生理工系キャリアパスプロジェクト代表理事の山本文子先生(芝浦工業大学教授)からは生徒及び評価委員からの感想・コメントに関する資料を提供頂いた。実験実習の実施経費は日本地球惑星科学連合ダイバーシティ推進委員会から支援を頂いた。

文献

- 池田宏 2008. 地形を見る目を磨くのに役立つ実験. 地質ニュース 643, 17-19.
- 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), 209-219.
- 石浜佐栄子 2015a. アメリカからやってきた河川地形の実験模型. 自然科学のとびら 21 (2), 15.
- 石浜佐栄子 2015b. 模型水路で川のはたらきを観察しよう. 神奈川県立生命の星・地球博物館イベント報告.
- 井上卓也・水垣滋 2017. 流砂系シナリオの変化と蛇行の挙動. 2017年砂防学会研究発表会概要集, R1-15, 30-31.
- 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.
- 小川大和・井上卓也・水垣滋・清水康行・長谷川和義 2018. 上流端からの土砂流入量が下流流路の変動特性に与える影響について. 平成29年度土木学会北海道支部論文報告集 74, B-16.
- 真田誠至・吉富友恭・相川隆生・萱場祐一 2010. 河川環境をテーマとしたフィールド体験型教育プログラムの提案と評価ー河川の実務者を対象としてー. 土木学会論文集H(教育) 2, 108-115.
- 小林俊明・山本勝博 2010. 小学校第5学年「流水の働き」における実感を伴った理解を図るための指導法. 茨城大学教育実践研究 29, 33-47.
- 七山太 2015. 地学教育教材Emriver ジオモデルのご紹介と若干の水理学的考察. GSJ地質ニュース 4 (5), 138-141.

