

# 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

七山 太<sup>1)</sup>

## 1. ことばはじめ

我々の居住するつくば市内を見渡しても、国土交通省国土技術政策総合研究所および独立行政法人土木研究所には河川地形を模した大規模な平面実験施設がある。民間でも、クレアリア筑波研究所に河川アナログ実験の大規模な施設があることが知られている。また2012年頃まで、筑波大学水理実験センター（アイソトープ環境動態研究センター環境動態予測部門）には、日本最大級の長さ160 m、幅4 m、重量250 tの大型水路施設や長さ10 mほどの大型水路が複数存在していたことは有名な話である（第1図；池田，1973；池田ほか，1986；伊勢屋・池田，1986）。

伝統的に日本においては、研究者も理科教員もアナログ

水理実験で使う水槽や装置を自作する人が多い（たとえば、鈴木，1992；大瀧・川村，2006；目代ほか，2006；澤田ほか，2009；川辺，2011；岡崎・郭，2013）。国内の株式会社丸東製作所でも、水理実験装置の製作販売を行っている。ただし、持ち運びが可能で、しかも河川地形を3Dで簡便に復元できる水理実験装置は、元筑波大学水理実験センターの池田 宏先生が自宅でのアウトリーチのため自作されているもの（池田，2011）以外に、私は過去に見た経験が無かった（第2図）。

一方、この種の水理実験に使う粒子は、実際とは比重や粒径が大きく異なるため、その粒径や素材の選択が難しいとされる。これにはスケーリング（相似）則の問題も含まれる。



第1図 2004年に筑波大学水理実験センターで開催された大型水路を使った蛇行河川の水理実験会の風景。左手中央でマイクを片手に熱弁をふるわれているのが池田 宏先生。この実験では、礫と砂と水を混合させて水路に流し、現世の蛇行河川の土砂移動を再現している。背後にそびえる建物が、今はなき日本最大級の大型水路施設の建物。



第2図 池田先生が手作りされた3D実験水路および再現された網状河川地形。材料はホームセンターで購入できるものばかりである。給水にはお風呂の排水用の小型水中ポンプを使用し、変圧器を使って流速をコントロールしている。網状河川地形を水路実験で復元することは大変難しく、この実験に用いた土砂は園芸用の鹿沼軽石と記憶している。

1) 産総研 地質情報研究部門

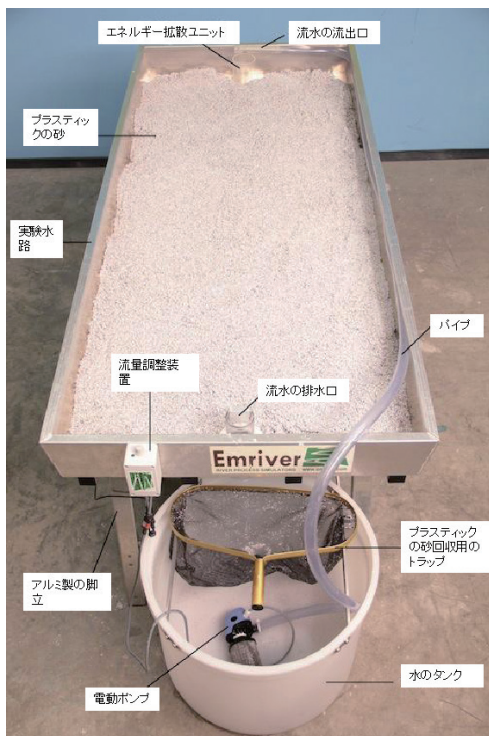
キーワード：アメリカ、リトルリバーリサーチ&デザイン社、地学教育教材 Emriverジオモデル、紹介、水理学的考察

## 2. Emriver ジオモデルの概要

リトルリバーリサーチ&デザイン社 (Little River Research & Design) は、アメリカ最大の河川であるミシシッピ川にほど近い、イリノイ州南西部のカーボンデイルという南イリノイ大学 (SIU) のあるカレッジタウンで1991年に生まれたとてもユニークな会社である。この街の南縁にはミシシッピ川の支流であるビッグ・マッディ川が蛇行しながら流れており、この会社はこの地の利を生かし、河川地形や河川保全を目的とした研修を請け負ったり、河川を対象とした水理実験と地学教育を目的とした Emriver ジオモデル (以下、ジオモデル) を製造販売している、このジオモデルはシリーズ化され、現在、Em2, Em3, Em4 の3タイプがあり、私が2013年12月のAGU Fall Meetingの展示会場において、デモンストレーションを拝見したのは、Em2であったと記憶している。

最も安価な Em2 は 2.1 m x 0.9 m であり、持ち運びに便利な携帯型である。この装置は池田先生が自作されている実験水路の構造にとってもよく似ていた (第3図)。特に水路の台として、折りたたみ式の脚立を使用していた両者の発想は全く同じで、個人的には興味深く思った。

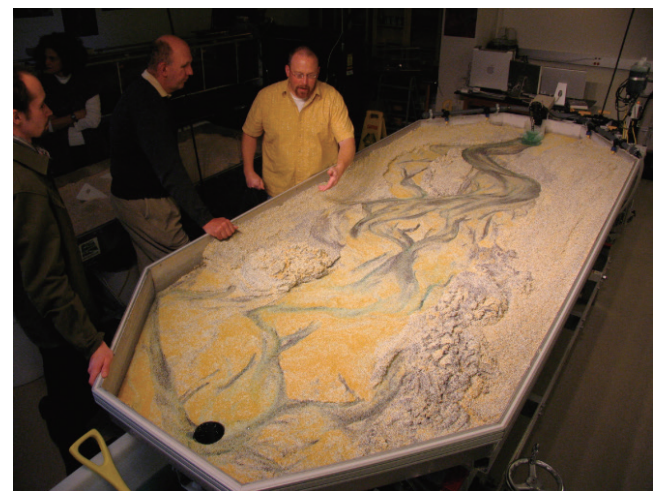
Em3 の作業領域は 3.0 m x 1.2 m であり、携帯型であり



第3図 Emriver Em2 ジオモデルの構造。写真の上が河川の上流、下が下流を示す。基本的な構造は、池田先生の手作りされた実験水路 (第2図) と同じと言える。© 2012 Little River Research & Design .



第4図 Emriver Em3 ジオモデル。博物館や研究施設で使用されている。© 2012 Little River Research & Design.



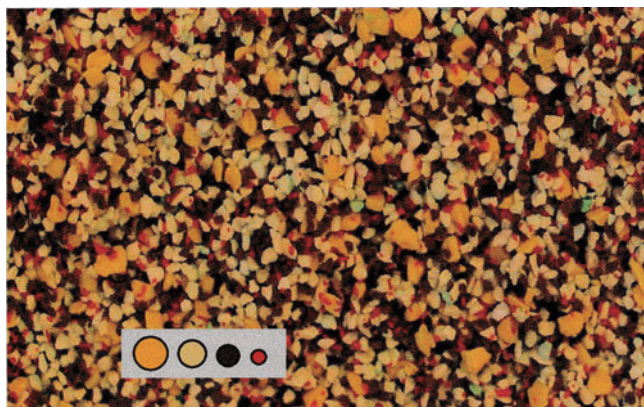
第5図 Emriver Em4 ジオモデル。Em4は作業領域面積が広くより洗練されたプロフェッショナル使用と言えるだろう。© 2012 Little River Research & Design .

ながら研究にも使用できる手頃な大きさである (第4図)。オプションで単軸または2軸 (縦方向と横方向) の傾斜を最大6度まで調整することができるほか、流量や土砂供給量を制御することも可能だそうである。この装置では、作ったモデル地形をレーザー測量もできる。

最高クラスの Em4 の作業領域面積は、4.0 m x 1.5 m と大型であり、研究施設にテーブルを設置して、その上に水槽を置いて使用するかなり大がかりなものである (第5図)。

## 3. Emriver ジオモデルで使用する粒子の秘密とは？

このジオモデルで使用する粒子 (彼らはこれをメディアと称している) は、リサイクル素材の熱硬化性プラスチックでできており、その密度は  $1.4 \sim 1.6 \text{ g/cm}^3$ 、水の密度の約1.5倍である。ちなみに、石英の粒子密度は  $2.65 \text{ g/cm}^3$



第6図 モデル粒子の接写写真。粒子径は0.7～2 mm, 粗粒～極粗粒砂のサイズである。大きさ毎に色が異なる点がアイデアと言える。また、実験に使用する粒子はプラスチック製であり、自然界の砂粒子より軽量で角張っているのが特徴と言える。© 2012 Little River Research & Design.

cm<sup>3</sup>で、水の密度の約2.6倍であり、自然界よりも軽めの粒子となっている。粒子径は粗粒～極粗粒砂のサイズである。サイズ毎にカラフルに色分けされており、視覚的に明瞭に区分できるのが優れている点の一つである(第6図)。これにより、サイズ毎の堆積物の流れを容易に観察できるようになっている。

またこのジオモデルでは、短時間で蛇行水路を再現することができるのがセールスポイントの一つとされる。その秘密は上述したプラスチック粒子にあると言える。モデル粒子の密度が実際の砂よりも低いため、この小さなスケールでの低流量と低流速の状況においても、敏感に反応し、しかも敏速に挙動する。それによって、短時間で川の流砂過程を再現することができるのであろう。しかも、プラスチック粒子は有意に角ばっている。その為、一度定置すると球形の粒子よりも接地面積が大きくなるため再動し難くなり、河川で観察できるような侵食による河岸やポイントバーによく似たモデル地形を再現することができる。

#### 4. 若干の水理学的考察

筆者は幼少の頃から砂場遊びが大好きで、50歳を越える現在に至っても吉川秀樹氏と一緒にジオトイと名付けた地学実験教材の製作を行っている(吉川ほか, 2012, 2013)こともあり、このジオモデルをGSJ地質ニュースの読者の皆様に、ご紹介させていただいた。

実のところ、私はAGUの会場で、このジオモデルの現物を数時間程度しか見てはいない。しかし率直な感想として、これは河川水理実験の商品として完成しており、プラスチック粒子のカラフルな色使いからも、オモチャ的な

感覚で大人も子供も楽しめると考えている。実験に使用する砂も粗粒～極粗粒砂のプラスチック粒子なので衛生面での問題もクリアされるであろうし、幼児が誤飲する可能性も少なくなるとも思う。また、ここまで完成された水理実験装置となると、マニュアルを作って確認してやれば、誰でも何処でも同じようなモデル地形が再現できることになる。これは自然史系の博物館のエキシビジョンや中高の地学教育に最適と思う。例えば、小学校5年の理科実験「流れる水のはたらき」(中林・山本, 2010)で、この様な分かり易い水理実験を行うならば、生徒の理解度も格段に上がることだろう。

しかし研究者の視点からすると、水理実験装置はやはり、それぞれの研究目的にあったものを自ら設計し、試行錯誤しながら手作りすることが望ましいと考える。例えば、日本堆積学会や日本地形学連合の会員の中で水理実験に携わる研究者の多くは、自作もしくは自分で設計した実験装置を保持している。実験装置を自ら工夫することは、池田先生から教えて頂いたことの一つである。既製品から生み出される研究成果は限りがあると思う。もちろんこのジオモデルでも料金を支払えば如何様にもカスタマイズ可能であると明記されているが、但しこの場合も、研究者が製作者と設計段階から問題意識を共有すること、即ち“何を目的とした水理実験なのか?”を両者間で明確にすることができれば、解決するのもかも知れない。

さらにセディメントロジストの些細な観点から敢えてコメントするならば、軽くて粗粒で角張ったプラスチック粒子を使って水理実験を行う工夫は称賛されるが、これによって再現されたモデル地形が、野外で私たちが観察している現生河川の微地形の成因や堆積プロセスと全く同じとは思えない点である。極端な言い方をすれば、これは単なる形態の近似であって、自然界の現象を忠実に再現できているかどうかは、実際のところ判断は難しいと言わざるを得ない。もちろん、これはこのジオモデルに限った話ではなく、この種のアナログ実験全般に当てはまる話でもある。

#### 4. 結びとして

Emriver ジオモデルは、現在、世界各地に250以上のユーザーがいるらしい。アメリカ国内では、ユーザーの50%は大学の河川工学や地質学、水文学の研究室で使われており、残りの25%は研究機関、残りの25%はNGOやNPOでのアウトリーチ活動や学校教育のために使われているとお聞きした。

最もエコノミーな Em2 モデルの価格は \$6,950 (概ね 70 万円) + 郵送料 (20 万円), Em3 モデルの価格は \$14,852 (概ね 150 万円) + 郵送料 (30 万円) とやや高めの料金設定であるが, この完成度であれば妥当と言えよう。もし本稿をお読みになられて関心を持たれた方は, 下記のリトルリバーリサーチ&デザイン社のホームページ<www.emriver.com 2015/01/10 確認>にアクセスされて, 詳細について問い合わせられるとよいと思う。日本語でのサポートも可能だそうである。

本稿の末尾として, 使用した写真の一部はリトルリバーリサーチ&デザイン社に著作権があり, 担当の松本明代氏に承諾を得て転写させていただいた。また, 元筑波大学の池田 宏先生には, 自作の水理実験装置に関して教えて頂いた。ここに記して厚く御礼申し上げる。

## 文 献

- 池田 宏 (1973) 実験水路における砂礫堆とその形成条件. 地理学評論, 46, 435-451.
- 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, 209-219.
- 池田 宏・伊勢屋ふじこ・飯島英夫 (1986) 実験水路に形成される河川の縦断形. 筑波大学水理実験センター報告, no. 10, 115-123.
- 伊勢屋ふじこ・池田 宏 (1986) 混合砂礫を用いた大型水路実験—混合効果による勾配の急変と堆積構造の違い—. 筑波大学水理実験センター報告, no. 10, 125-134.
- 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—. 山形大学教職・教育実践研究, 6, 7-17.
- 目代邦康・野田 篤・田村 亨・中澤 努・角井朝昭・中島 礼・井上卓彦・利光誠一 (2006) 水と砂を使った地層・地形の実験. 地質ニュース, no. 627, 35-39.
- 中林俊明・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.
- 岡崎浩子・郭 栄珠 (2013) 小型平面水路での河道観察—教材化にむけての一例. 堆積学研究, 72, 39-48.
- 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.
- 澤田結基・宮地良典・森尻理恵・吉川秀樹・玉生志郎・青木正博・兼子紗知・古谷美智明 (2009) 地質標本館の小学校見学対応と水路実験. 地質ニュース, no. 657, 45-48.
- 鈴木一久 (1992) 手製水路の作り方と実験例. 堆積学研究会報, no. 37, 85-92.
- 吉川秀樹・七山 太・目代邦康・新井翔太・矢口紗由莉・生見野々花・成田明子・重野聖之 (2012) 2011 年度産総研一般公開報告チャレンジコーナー“ジオトイと砂遊びから学ぶ大規模自然災害”実施報告と今後の課題. GSJ 地質ニュース, 1, 213-216.
- 吉川秀樹・目代邦康・重野聖之・芝原暁彦・七山 太 (2013) 2013 年産総研一般公開・チャレンジコーナー「大規模自然災害を実験で再現してみよう！」実施報告と今後の課題. GSJ 地質ニュース, 2, 339-342.

---

NANAYAMA Futoshi (2015) Introduction on Geoscience education materials, Emriver geomodels associated with some hydraulic considerations.

---

(受付: 2015 年 1 月 9 日)