上流から下流までの河川システムとそれに関連する地形を理解するための簡易水路教材

Simple teaching material for understanding river systems and the related landforms from mountains to coasts

髙清水康博[1)*]・金谷亮子[2)]・郷戸俊彦[1)]・髙野友美[2)]・羽鳥祐香[1)]

Yasuhiro Takashimizu, Akiko Kaneya, Toshihiko Godo, Yumi Takano, Yuka Hatori

要旨：簡易に河川システムと地形の形成を理解するための教材開発を試みた。その結果，山地から海まで河川全体を統一的に把握するための簡易水路の作成に成功した。地下水によって供給された水が，湧水となって地表に現れ，川が始まる。山地においては谷を形成し，山地と平野の境界付近で明瞭な扇状地を形成した。その後，平野内部の開析谷を流下して海へ接続した。河川が海域と出会う部分には，三角州が形成された。実験を続けた結果，扇状地は前進して直接海へ流入し，巨大な扇状地性三角州を形成した。従来の流水実験器や砂場で行っていた実験に比べ，“より自然に近い”河川システムとそれに関連する地形の作成に成功した。この教材を用いることによって児童・生徒の“流れる水のはたらき”や“大昔を語る大地～地層～”の理解が進むものと期待される。

キーワード：理科教材，実験水路，河川，平野，扇状地，三角州
Key words: Teaching material, Experimental flume, River, Plain field, Fan, Delta

はじめに

私たちが毎日を暮らす上で拠って立つ大地の成り立ちを考え，その特徴を知ることは，重要である。とりわけ多くの人々が集中する平野が地球の気候変動や大地のテクトニクスに支配されて形成されること，平野の地形は主に河川の作用によって形成されること等は平野で生じる多様な自然現象を考える際の知識基盤となる。科学的な認識があって初めて正しい大地の理解（例えば，河川の洪水，山地から平野に流れこむ土石流，地震動による液状化等のような自然災害や，地下水を利用した農業や融雪システム，表流水や地下水の上水としての利用，平野の地形を有効に活用する農地や都市計画等の利活用）をすることができる。すなわち，正しい平野の自然観を持つことは私たちが生きていくうえでも重要なことであるといえる。

ところで，児童・生徒が平野の成り立ちや特徴についての自然観を義務教育の中で学習する機会には，小学校 5 年次の理科の“流れる水のはたらき”（三浦ほか，2004）や中学校 1 年次の“大昔を語る大地～地層～”という単元（東ほか，2011）などがある。これらの単元では，1) 川の流れる様子（攻撃斜面における侵食作用と寄せ洲における堆積作

2015.6.29. 受理
1）新潟大学教育学部　Faculty of Education, Niigata University, Niigata 950-2181, Japan
2）新潟大学大学院教育学研究科　Graduate School of Education, Niigata University, Niigata 950-2181, Japan
* Corresponding author: takashimi@ed.niigata-u.ac.jp

用），2) 降水量の増減に伴って流量が変化すること，3) 流量が極端に増大すると堤防が決壊または越流し，平野の広い地域が浸水する災害が起こることを学ぶ。それに加えて，4) 河川は“上流の川”，“中流の川”，および“下流の川”の 3 つに分類されること，5) 上流の川は山の中の谷を流下し角張った岩石からなること，6) 中流の川は山地から平野に出たところで，ある程度円磨された礫からなること，7) 下流の川は平野を流れる川で砂や泥の粒子からなることの理解を目指す。そして発展的な学びとして8) 治水工事をして破堤や越流といった洪水災害を防ぐ工夫をしていること，や9) 3面コンクリート張りの河川流路よりも自然の岩石や植生を上手く組み込んで持続可能な生態系になるように設計することで，自然環境にやさしい河川づくりを目指していることなどを学ぶ。

その一方で，長い時間と広い空間スケールの中で形成された平野やそこを流れる河川の特徴を教室の中で児童・生徒に理解させることは容易ではない。特に地域によって多様な特徴を持つ河川について正しく理解させることは，実はかなり難易度の高い単元であるともいえる。実際には地域を流れる河川を科学教材（題材）として使いつつ，かつ，その中で先に述べた“流れる水のはたらき”の本質の理解に迫らなければならない。児童・生徒の周りには大都会の“コンクリートジャングル”を流れる川しかない場合もあるだろうし，急峻な山岳地帯の深い谷底の川であることもありうる。そのような場合は，地形図，古地図，衛星写真，や各種映像資料等を併用して様々な河川の特徴を考えることが多いだろう。

これらのことと同時に，学校の砂場や校庭の土砂を利用した“ミニ河川”を作って川の流れる様子を観察したり，簡易水路や地層の剥ぎ取り標本等の補助教材を活用したりする場合もある。地学教育分野においては，このような教材開発や実験システムの報告は最近10数年の間に急速に蓄積されている（例えば，鈴木，1992；樋浦ほか，1993；日下，1996；坂本ほか，1997；山崎ほか，2002；戸倉，2003；廣木ほか，2006；牧野，2006；萩原ほか，2008；西田ほか，2008；松川ほか，2010；富永，2010；川辺，2011；岡崎・郭，2013；伊藤，2014）。また，これらに関連した教育実践・学習理解度に関する報告（宮下・坪内，1993；相場ほか，1999；香西・松木，2000；五島・後藤，2008；加藤，2009；中林・山本，2010；池田，2011；利根川・鎌田，2011；植木・竹下，2011；廣木・牧野，2014；山崎・齋藤，2015）やそれら両方を組み合わせた研究（藤岡ほか，1990；柊原・相場，2005；森，2004；芦沢・松川，2006；植木ほか，2008；柊原・斎藤，2009；中野・村松，2009；柴田，2009；北沢ほか，2011；利根川ほか，2011；江口，2012；戸倉ほか，2012；山崎・中村，2013；山崎ほか，2013）も多い。しかしながら，川の始まりから海へ流入するまでの河川の様子を包括的に再現して，それらの特徴や関連する平野の地形についての理解を目指した教材はまだない。

そこで本研究では川の始まりから海へ流入するまでの連続した河川系を1つの実験水路で再現し，河川システムの特徴の変化とこれらに付随する多様な地形について理解するための簡易水路教材の作成を目指した。このことによって，従来からある流水実験器や砂場を利用した川の再現実験より，“より自然に近い”河川系の理解に繋がる。すなわち，地下水として供給される水が湧水となって川を形成し，それが山地と平野を流下して海に出会うまでの統一された自然観の育成を目指す。

試料と方法

誰でも簡易に河川と地形を観察することができるようにホームセンターで購入できる程度の廉価なもので作成することを目指した。実験材料には汎用されている既製品を利用する。水路の本体は積水テクノ成型株式会社製ボックスタイプコンテナ（有効内寸L = 53.8 cm，W = 33.8 cm，H = 8.6 cm）で，水の排出のために上流側と下流側にそれぞれ電動ドリルを用いて穴をあけた（Figs. 1-1 and 1-2）。水位の調節はこれらの穴を養生テープで塞ぐことによって行った（Fig. 1-3）。上流から水を滲出させるために穴をあけたベニヤ板を設置した。コンテナと板の固定のためにシリコーン製コーキング剤を用いた（Fig. 1-4）。本実験において作成する“大地”は一般に販売されている珪砂（北日本産業株式会社製）を使用した。上流側の山地部分は有色（黒色）の“いわき珪砂７号”と白色の“東北珪砂８号”をそれぞれ１：19の割合で混合したものを使い，平野部分は東北珪砂８号を敷き詰めた（Fig. 2）。有色（黒色）のいわき珪砂を混ぜることで山地から供給された堆積物が移動する様子を目視で理解しやすいように工夫してある。山地に粗粒な堆積物を混ぜたのは，上流の山地地域の方が下流地域に比べて粗粒であることを考慮したためである。実験は上流側のプールに水道水を徐々に注ぎ，穴あきベニヤ板の穴から下

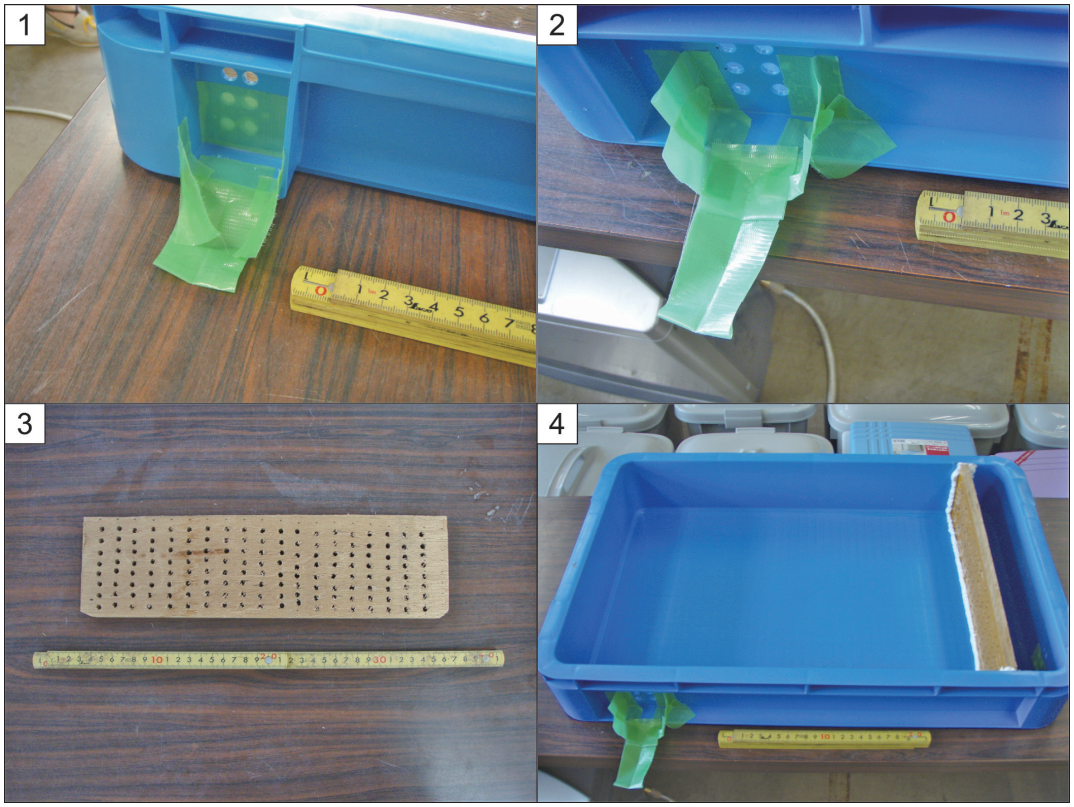


Fig. 1　簡易水路教材の写真

1) 上流側のプールの越流孔。山地側の地下水位はこの越流孔の高さによって決める。2) 下流側の越流孔。下流の海域の海水準はこの越流孔の高さによって決める。3)ドリルで穴をあけたベニヤ板。この穴を通して上流側のプールから山地へ水が地下水として供給される。4) 全体の様子。穴あきベニヤ板はシリコーン製コーキング材（写真では白色）を用いてボックスタイプコンテナに取り付けた。コーキング材のみで強度は十分であった。

流に滲み出させることによって河川の形成を試みた。また，山地の砂が，斜面崩壊によって，急激に平野へ流出するのを防ぐために，穴あきベニヤ板の穴が，露出しないように供砂した。実験により作成した河川とそれに関連して出現する様々な地形は，実験水路の90cm上方からパナソニック社製デジタルカメラLumix G1とロワジャパン社製タイマー付リモコン TC-200Xを使用し，30秒に1回のインターバル撮影を行った。最後に撮影したデジタル写真をMicrosoft社製ソフトウェアのWindows Movie Maker (Version 2012) を用いて編集し，動画を作成した。

なお，本報告で作成した動画は，新潟大学学術リポジトリ（URI = http://hdl.handle.net/10191/32311）において公開している。

結　果

実験水路に作成した地形の変化する様子からステージ１からステージ４に分類した。以下に，各ステージの地形変化の様子を述べる。

ステージ１：地下水位上昇による地滑り期

初期状態の地形（Fig. 3-1）の上流側に水を徐々に供給し地下水を上昇させた。通水開始後から約7分後から約19分までの間に上流側に設置した山地部が大きく下流方向へ流動した。流動部の上側には正断層の滑落崖が形成された（Fig. 3-2）。

ステージ２：小規模扇状地および開析谷の形成期

ステージ1の終焉から山地の末端部においてごく

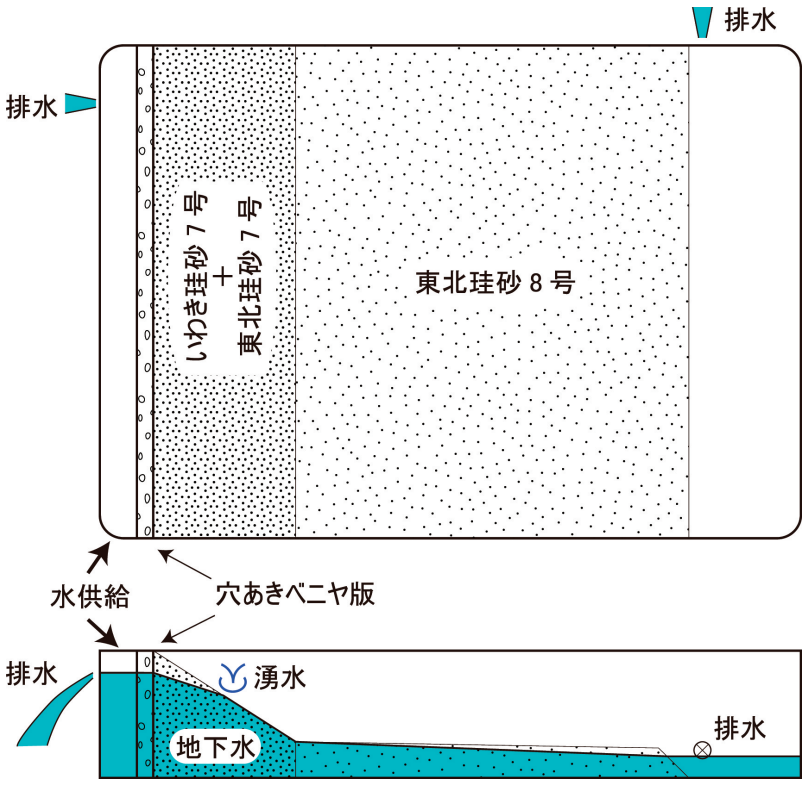


Fig. 2　簡易水路教材の模式図

小規模な複合扇状地の形成が始まった。山地の斜面では湧水が発生し，そこから供給される水が斜面を流下して河川となる。この河川は，時間とともに山地を下刻して谷地形を形成した。この谷地形の中を運搬される粗粒な堆積物は，山地と平野の地形変換点付近に堆積し，舌状または円弧状の堆積体（扇状地）を形成した（Fig. 3-3）。この流路は何度も側方へのシフトを繰り返しながら流路を変えつつ，全体としては下流方向へ分岐する流路の複合体として観察された。

一方，扇状地の発達と同時に，海と陸の境界線（海岸線）から上流へ向かって平野を下刻する河川が発達することも確認できた。この河川は，海岸線から始まり，上流へ徐々に谷幅と深さを増大させて樹枝状に分岐しながら成長していった。同時に沖積谷を流下する河川は，平野を侵食した堆積物を海域へ運搬した。これらの堆積物は河川が海と出会う場所において沈積して，舌状または円弧状の堆積体（三角州）を形成した（Fig. 3-3）。

ステージ2の最後（通水開始から38分後）には，これらの湧水地－山地を刻む谷－扇状地－沖積谷－三角州が全て繋がり（Fig. 3-4），1つの河川系として現れた。

ステージ３：大規模扇状地の形成と沖積谷の拡大期

その後，沖積谷はさらに谷幅を増大させた。谷底の拡大，流路の分岐，および谷の下刻作用の結果，谷内に明瞭な河岸段丘が見られるようになった（Fig. 3-5：１時間47分後の様子）。沖積谷の谷底部では，谷地形に規制された河川がよく蛇行を繰り返す様子が見られた。例えば，通水開始から５時間20分後には，流路の向きが約180°屈曲する様子も観察された（Fig. 3-6）。また山地が侵食されていった結果，新たに小規模な地滑りの発生もみられた（Fig. 3-6）。作成した動画の観察からは，この蛇行の形成時に攻撃斜面が侵食されて流路を外側へ拡大させながら，蛇行部を成長させていた。

その後，平野に刻まれた２つの沖積谷は下流域で合流し，１つの大きな三角州の成長が始まった。ま

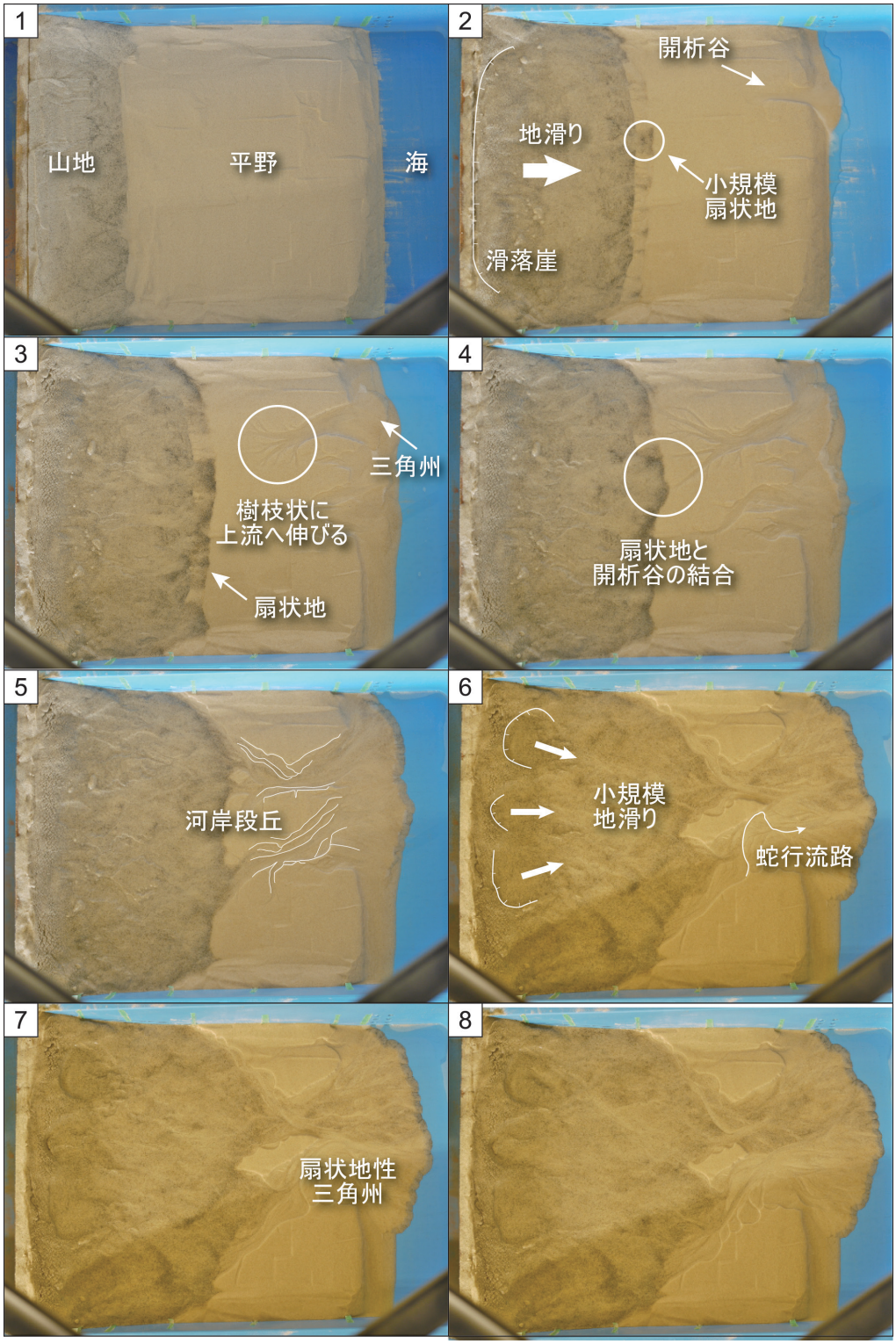


Fig. 3　実験により観察された様々な地形

たステージ３では山地から運搬される粗粒な堆積物も平野の沖積谷内を流下して三角州に供給され始める。

ステージ４：巨大扇状地性三角州の形成期

山地から供給される粗粒堆積物は平野を流下する河川によって効率よく海域へ運搬される。すなわち山地から供給された物質が形成する扇状地と川が海と出会う場所である三角州が完全に一体になり（Fig. 3-7：５時間44分後の様子），巨大な円弧状の堆積体（扇状地性三角州）を形成するようになる。その後，扇状地性三角州は沖合へと前進を続けた（Fig. 3-8：７時間46分後の様子）。

考　察

今回提案した簡易水路を用いることによってこれまで理解をすることが困難であったいくつかの自然現象を，直感的に視覚で観察できるようになった。例えば地下水位の上昇に伴う地滑りや長い時間をかけて変化する様々な地形の生成過程などである。

通水開始初期に見られた地滑りは，地下水位の急激な上昇に伴うものと考えられる。このことは山地で発生する斜面崩壊や地滑りが集中豪雨をトリガーとしてよく発生することと関連している。また上流部に正断層の滑落崖が見られることも，実際の地滑り地形の典型的なもの（羽田, 1991）と同じである。義務教育の理科の中で地滑りの特徴と過程を教授することは含まれていない。しかしながら，平成26年（2014年）８月豪雨に伴う広島市土砂災害のように集中豪雨により発生した斜面崩壊による土石流により74名の死者が出ているように私たちの暮らしの中で身近な災害であるともいえる。流れる水のはたらきを学ぶ中で，このような発展的な内容にも触れることは自然災害の多い本邦において重要なことである。また，文部科学省の小学校学習指導要用解説理科編（市川ほか，2008）では，「生活との関連としては，長雨や集中豪雨がもたらす川の増水による自然災害などを取り上げることが考えられる」ともあり，授業計画の立案段階で上手く取り込めるような工夫は可能であろう。

本報告の簡易水路の特徴の一つは，事前に人間が“人工的に”流路を設定することなく，すべてを流れる水のはたらきに任せているということである。そして，水はホースやビーカーから直接的に供給するのではなく，一旦地下水として大地にしみ込んだ水が湧水として間接的に供給される。これは自然の川の発生そのものを再現しているため児童・生徒に正しい自然観を醸成する有効なシステムであると言えるだろう。さらにこのように発生させた河川が，山地地域で谷を形成し，平野になる部分で扇状地を形成し，最終的に海と出会って三角州となるまでの一連の過程を，１つの系として観察することができる。文部科学省の小学校学習指導要用解説理科編（市川ほか，2008）では，「上流から下流まで，川を全体としてとらえ，上流では侵食の働きがよくみられ，下流では堆積の働きがよくみられることなど，流れる水の働きの違いによる川の様子の違いをとらえるようにする」とあり，このことを理解するための新しい教授ツールとしても本報告による教材は有用であると考えられる。

最後に，本教材を用いた教授例を考えてみたい。授業の中で用いるためには，基本的には本報告の動画を利用するのが最適であろう。動画ファイルは２種類用意し，新潟大学学術リポジトリに登録してある（URI = http://hdl.handle.net/10191/32311）。すなわち，約８時間弱の流水実験を44秒にまとめたものと２分59秒にまとめたものである。授業の進行に合わせて動画を選択すればよい。また，長い時間をかけて実際に地形が変化する様子を１日かけてじっくりと児童・生徒と観察することも可能である。その場合は，休み時間などを利用してこまめに観察の時間を取る必要がある。私たちの暮らす広大な大地は，何千年，何万年という長い時間をかけてゆっくりと変化し形成される。このような長い時間と広い空間スケールを理解するためには，動画で見るよりも，“恣意的に”時間をかけてじっくり観察することも重要である。このことによって，大地の成り立ちについての新しい自然観の習得に繋がると考えられる。実際には，教材作りや予備実験等事前の準備にある程度の時間が係るのは否めないが，一度システムを作成すれば，繰り返し実験をすることが可能である。本報告が児童・生徒の大地に対する正しい自然観育成のために活用されれば幸いである。

謝　辞：この報告で紹介した簡易水路のオリジナルのアイディアは同志社大学理工学部の増田富士雄教授によるものです。増田教授には教材化に際してご快諾していただきました。ここに記して深く感謝申し上げます。

文　献

相場博明，鈴木秀樹，鈴木二正，板場　修，高橋尚子，1999，野外と教室をつなぐ遠隔授業の実践．地学教育，52，１－10．

芦沢尚子，松川正樹，2006，沈降速度を用いた地層の堆積時間の見積もりとその教材化．地学教育，59，１－14．

東　徹，石川勝也，磯﨑哲夫，伊藤英樹．稲垣成哲，岩城考次，興治文子，鎌田正喜，久保田善彦，粟田克弘，霜田光一，菅原　正，高橋さち子，高橋正征，遠西昭壽，長谷川美貴，平田幹夫，益田裕充，増田富士雄，松本兼一，松森靖夫，森藤義孝，森本信也，安田啓祐，2011，中学校 科学１．学校図書株式会社，東京，240p．

江口秀暁，2012，実際の川を意識した学習の工夫：第5学年B区分「流水の働き」．理科の教育，161，758－761．

藤岡達也，柴山元彦，稲川千春，宍戸俊夫，柴川明義，平岡由次，藤　一朗，1990，剝ぎとりによる「地層標本」の教材化．地学教育，43，115－121．

五島政一，後藤史郎，2008，地学の探求的な活動の指導力を育成する教員研修プログラムの開発―岩石・地層に関する一連のモデル実験を取り入れて―．地学教育，61，59－72．

羽田　忍，1991，土木地質学入門，築地書館株式会社，東京，175p．

萩原伸子，西田尚央，小川佑太刀，松川正樹，2008，「地層のできかた」を観察する堆積実験の検討．地学教育，61，9－23．

廣木義久，牧野泰彦，2014，理想モデルと合致しない河川における「流水の働き」学習のための野外学習プログラム：大和川を例として．地学教育，67，111－122．

廣木義久，坂本　綾，吉川　剛，2006，マーキング法による河川礫の移動調査：川の増水による礫の移動を実感させるために．地学教育，59，121－129．

樋浦貞吉，河内一男，鷹巣大城，1993，実験用水路の製作とその活用．新潟県教育センター研究報告，no. 149，45－48．

市川智史，牛島　薫，楳内典明，角屋重樹，高垣マユミ，田中薫子，塚田昭一，林　禎久，星野昌治，村山哲哉，森本信也，八嶋真理子，矢野英明，山谷陽子，渡辺径子，2008，小学校学習指導要領解説　理科編．大日本図書株式会社，東京，105p．

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．

伊藤英樹，2014，流水による侵食・運搬・堆積：中学校第1学年2分野「地層の重なりと過去の様子」．理科の教育，63，718－719．

三浦　登，毛利　衛，石井恭子，石浦　長，岡崎　彰，梶田叡一，春日井一郎，加藤直樹，神田房行，香西　武，小嶋俊子，斎藤　實，新城和治，鈴木　隆，高家博成，丹沢哲郎，塚谷裕一，土田　理，戸北凱惟，中村　守，能條　歩，秦　明徳，久田健一郎，蛭田俊男，藤田静作，堀　哲夫，結城千代子，横山　正，吉田　淳，2004，新編　新しい理科５上．東京書籍株式会社，東京，70p．

加藤尚裕，2009，砂場遊びと泥だんご作りに見られる5歳児の科学的萌芽．地学教育，62，1－8．

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．

北沢俊幸，川野幸朗，村越直美，2011，プラスチック板で作った簡易教材による堆積作用の実験．地学教育，64，37－49．

香西　武，松木公宏，2000，「総合的な学習の時間」と関連する理科学習への取り組み―流路の短い河川を利用した４年生「流れる水のはたらき」の学習を例として―．地学教育，53，295－304．

柊原礼士，相場博明，2005，理科教育におけるマンガ教材の可能性―小学校５年「流れる水のはたらき」における実験的研究―．地学教育，58，83－93．

柊原礼士，斎藤ひとみ，2009，マンガ教材の改良とその教育的効果．地学教育，62，139－149．

日下　哉，1996，河川の教材化―北海道渡島半島の河川分類とその災害―．地学教育，49，223－231．

牧野泰彦，2006，大地を刻む河川の教材化を探る．地学教育，59，137－144．

松川正樹，江澤圭子，西田尚央，2010，礫の摩耗実験による河川礫の分布様式の検討：秋川－多摩川水系を例として．地学教育，63，125－133．

宮下　治，坪内秀樹，1993，河床に広がる地層を認識させる学習指導の工夫．地学教育，46，167

－177.
森　眞一郎，2004，簡易な実験と写真教材を活用した地形の学習．新地理，no. 1，25－35.
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.
中野英之，村松容一，2009，扇状地形成実験を取り入れた地形図作製実習．地学教育，62，195－201.
西田尚央，伊藤　慎，島野恭史，長谷川裕樹，2008，簡易実験水路を用いた三角洲の形成実験．地学教育，61，157－166.
岡崎浩子・郭　栄殊，2013，小型平面水路での稼働観察―教材化に向けての一例．堆積学研究，72，39－48.
坂本隆彦，目　康夫，藤村輝美，1997，実験“漣痕をつくろう”．地学教育，50，1－7.
柴田健一郎，2009，実験「混濁流を再現しよう」―入浴剤を用いた簡単な水槽実験―．地学教育，62，177－184.
鈴木一休，1992，手製水路の作り方と実験例．堆積学研究会報，no. 37，85－92.
戸倉則正，2003，河川堆積物を用いた教材の開発―地層に刻まれた日時を読む―．地学教育，56，213－223.
戸倉則正，藤岡達也，渋江靖弘，2003，高校地学における堆積学的内容の教材・プログラム開発と授業実践～逆級化総理の形成モデルからアプローチを例として～．地学教育，65，183－191.
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，63，45－56.
利根川浩子，鎌田正裕，2011，中学校理科における「モジュール学習」でのスモールスケール堆積モデル教材の活用．地学教育，64，151－161.
利根川浩子，渡辺理文，鎌田正裕，2011，個別実験が可能な地層の堆積モデル教材．地学教育，64，29－36.
植木武之，青木秀則，近藤玲介，鈴木毅彦，2008，地層のはぎ取り標本の作製方法および授業での活用．地学教育，61，187－195.
植木岳雪，竹下欣宏，2011，教員養成系課程の大学生に対する未固結堆積物の剥ぎ取り標本の作製実習．地学教育，64，179－187.
山崎寛己，宇都宮　恵，角縁　進，2002，アルミボトル缶を用いた礫の円磨実験．佐賀大学教育実践研究，no. 19，91－100.
山崎博史，中村直志，2013，地域素材を活用した地学の学習（5）―大地の成り立ちの教材としての広島デルタ―．広島大学大学院教育学研究科紀要，no. 62，1－7.
山崎博史, 大石勝子, 脇坂将城, 田中庸介, 金本文雄, 2013, 丸型水槽実験を取り入れた「流水の働き」の授業実践．学校教育実践学研究，19，129－135.
山崎博史，齋藤紘輝，2015，流水による堆積作用に関する大学生の認識状況．地学教育，67，181－187.