

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

大瀧 学*・川村寿郎**

Re-examination of the Stream Table to Understand the Flowing and Working along the River

Manabu OTAKI and Toshio KAWAMURA

要旨 : 小学校5年次理科の「流れる水のはたらき」の単元学習で使用する流水モデル実験器について、その使用条件を確認して、川の学習をより効果的に行うために改良を加えた実験器を試作した。これにより、適切な使用条件が設定されるとともに、流水の浸食・運搬・堆積の三作用のすべてと川の上流から河口～沖合海底にいたる流域を通じた認識が可能となった。これを基にした新たな学習指導方法の展開も可能となる。

キーワード : 流水モデル実験器、流水台、小学校理科、川の学習、浸食・運搬・堆積

1. はじめに

日本では、環境教育の題材として川（河川）を取り上げられることが多く、教育現場での実践例も数多い。川の環境を理解するためには、学年次や地域の実情に応じて、多面的な角度から学習し総合化してゆくことが求められる。その際、各地点での個別の調査や体験ばかりでなく、川流域を通じた全体像を把握することが重要であることを筆者らはすでに指摘した（川村・中條, 2006）。

小学校の学習単位の中で、川全体をとらえて、そのはたらきを知る内容が最もよく展開されるのは、5年次理科「流れる水のはたらき」の単元であろう。そこでは、後述するような学習内容で実際に展開されており、児童の理解を深めるために、従来、数多くの教材・教具の開発と工夫がなされてきた。その中で、川の流れと作用を示唆する流水アナログモデル実験が、川の洪水や流域のようすなどの写真・画像や映像の利用および川での実地観察とならんで実践的によく取り組まれている。

川の学習のためのモデル実験は、一般に、屋外での砂山に掘った流路、あるいは屋内での流水モデル実験器で行われる。後者は、日本のみならず、広く外国で

も教材として用いられている。例えば、アメリカでは「流水台」（stream table）と呼ばれる器具が市販されており、これを用いた授業が教育課程K-12中の4-7グレード理科プログラムで行われている。しかし、この流水モデル実験器は、使用条件によって、流水と粒子の挙動およびその結果として現れる表面形態が大きく異なるため、使用にあたっては条件設定の準備と工夫が必要である。また、流水モデル実験器で見られる表面形態が、その水理特性の制約のために、実際の地形とはかけ離れた例を示し、結果として学習指導に混乱を与えることも指摘されている（林, 2002）。

本研究では、上記の点をふまえて、特に流水モデル実験器について、1) 川の学習における実験器導入の効果と問題点、2) 適切な使用条件、3) 実験器の改良製作、4) 実験器を用いた指導の展開方法、について検討をおこなった。

2. 川の学習単位

1) 学習内容と取り扱い

小学校5年次理科「流れる水のはたらき」の単元として、現行学習指導要領（文部科学省, 1998）では、その内容と取り扱いについて、次のように定められて

*宮城教育大学大学院理科教育専修（亘理町立吉田小学校）、**宮城教育大学理科教育講座

いる。

地面を流れる水や川の様子を観察し、流れる水の速さや量によるはたらきの違い調べ、流れる水のはたらきと土地の変化の関係についての考えをもつようにする。

ア 流れる水には、土地を削ったり、石や土などを流したり積もらせたりするはたらきがあること。

イ 雨の降り方によって、流れる水の速さや量が変わり、増水により土地の様子が大きく変化する場合があること。

すなわち、川の流水の三作用（浸食・運搬・堆積）と大雨による増水などで流水のはたらきが強められ、土地の様子が大きく変化する場合があることを学習することになる。

2) 学習指導の展開方法

学習指導要領に則り、教科書とそれに準拠した参考資料などに基づいて、各学校では地域の特性による変更・修正を加え（自校化し）て、実際の指導にあたる。この学習単元の実施時期は、一般に10月中旬～11月下旬とされ、標準的な指導時数は10～14時間である。以下に教師用指導書（東京書籍、2004）に基づいた一般的な展開方法を記述する。

教科書の導入部には、川の堤防が大雨によって決壊し、付近の建物や水田が濁流にのみ込まれている写真が示され、子どもたちは、濁流と激しく浸食される川岸から流水の作用に問題意識をもつようになる。

次に、校庭に砂山をつくり、頂上部からホースやじょうろで水を流して流路をつくって川のモデルとして再現し、浸食・運搬・堆積の三作用について、実験を通して学習する。その際、流路におがくずを混ぜて、蛇行部の外側と内側の流速の違いや、側面の運搬と堆積の作用について確かめる。場合によっては、降雨時の校庭を観察したり、本研究で取り上げる市販の流水モデル実験器を使用したりすることもある。

次に、モデル実験で学習した流水の三作用が、実際の河川に適応されるかどうか、様々な川の写真で確かめる。上流の峡谷部・中流域の中州・河口域のデルタの写真や図を見ながら、土地の様子の違い、河川勾配、流速の違い、浸食の強さの違い、堆積しやすい場所などに視点を置いて、川の水がどのように土地を変化させているか話し合う。さらに具体的な視点として、川の石を対象として、上流部～下流部の写真をもとに、

各流域の石の大きさや形の違いについてまとめる。

次に教科書では、大雨で河岸が大きくえぐられた写真や、あふれた水が市街地まで流れている写真が示され、川の水のはたらきが大きくなるときの要因と土地の変化（川の流れや川岸の変化）について話し合う。さらに梅雨や台風の際の大雨により、河川の流量が増加し流速が速くなると、土地の浸食作用が大きくなることが示され、災害を防ぐ工夫として、護岸やブロック設置の意義を学ぶ。

最後に、実際の川や周りの土地のようすを観察して、学習のまとめとする。観察に適した河川が近辺にない場合、理科学習用のVTRや県内の有名な河川の写真や映像を用いることが多い。

3) 学習内容の改善すべき点

学習内容は、導入からまとめまで全般的に、流水の三作用の中でとりわけ浸食と運搬が強調されている。即ち、導入の写真、モデル実験での観察、まとめの治水の意義に至るまで、河川の浸食・運搬作用に主眼が置かれている。堆積作用に関しては、顕著で印象的な現象ではないため、ほとんど取り扱われない。

しかし、長い時間でみると、河川による土砂の運搬・堆積作用は、地形や地質をつくる本質的な自然現象である。例えば、日本の人口の大半は、河川が長い時間をかけて堆積させてきた沖積平野に集中しており、その土地の多くはかつて川から運搬され堆積した土砂からなる。しかも、河川で運搬される土砂が、過去の治水工事や人工的採取などによって、河口域での堆積量が減少し、それが原因で沖積平野前面の海浜が浸食されていること（「海岸浸食」）が昨今環境問題ともなっている。河川の堆積作用を考えると、土地の形成が川によることを強く認識する必要があるだろう。

上記のことは、「流れる水のはたらき」の単元の学習としては発展的内容を多く含む。しかし、これは6年次の「大地のつくり」の単元にも内容的に重なるものであり、むしろスムーズに繋げるためには、5年次に堆積作用を認識させておくことが必要である。

4) 授業実践の例

著者の一人（大瀧）は、宮城県亘理町立吉田小学校5年次理科の「流れる水のはたらき」の単元において、地域素材である阿武隈川を取り入れたカリキュラムを

作成し、後述する市販の流水モデル実験器を用いた指導を行っている。これまでの授業実践を通じて、流水モデル実験器に関する学習効果や改善すべき問題点が強く認識された。

流水モデル実験器の最大の利点は、児童の意識が散漫になりやすい野外での実験に比して、条件を整えた上で子どもに観察のポイントをしばらせ、流水の作用について学ばせるのにきわめて効果的なことである。実際の授業でも児童は常に高い興味・感心を示し、学習に集中して取り組んでいる。また、天候に左右されずに授業を進められる。

これまでの授業では、流水モデル実験器の使用にあたって、十分な予備実験をすることなく、教科書やカリキュラム指導書に合わせる形で実験を進めてきた。実際、実験では周囲の適当な土砂を用い、実験器に敷きつめた土砂に予め曲がった流路を掘って水を流した。傾斜も急で、流量も多くしていたため、流路沿いでは浸食作用が強く表れ、地形の変化として児童には認識された。しかし、その実験では、はっきりとした川の蛇行は見られず、阿武隈川下流での実際とは異なる結果であった。

一方、授業実践の中で、児童からは「流れていった砂はどうなるのか」という発問がされた。そこで実験器の滞水部にたまった懸濁水をとって水分を蒸発させ、残った泥をみせた。そして川から運ばれた土砂が海の泥としてたまってゆくことを知るようになった。このようなことを通じ、児童には、流水の三作用をすべて欠けることなく知ること、川の上流から下流そして河口から海の沖合までを通じた三作用を知ることができるように改善する必要であることを強く認識した。



図1. 流水モデル実験器を用いた授業のようす

3. 流水モデル実験器の使用条件

小学校における流水実験は、市販されている流水実験器を用いたり、校庭でホースやじょうろで砂山から水を流したりする方法が教科書には示されているが、流水実験器についてはあまり普及していない、もしくは使いこなされていないのが実情である。

しかしながら、野外の実験観察では、何かと注意力・集中力が散漫になりやすく、なかなかポイントを絞った的確な活動ができにくい実態を考えると、流水実験器を使用した実験と観察の意義は大きい。

1) 流水モデル実験器について

国内では、教科書の学習内容に準拠して、複数の会社から流水モデル実験器（以下、実験器と呼ぶ）が市販されている。いずれも、側方に取水口と排水口をもつ平らで長い盆状の水槽であり、傾斜をつけた水槽の中に土砂を入れ、取水口からの水の流れに沿って、土砂が浸食・運搬・沈積してゆくようすを観察するものである。ここでは形状に特徴があり、内容量が最も大きくかつ流量や傾斜角の調整が可能な「流水のはたらき実験器」（中村理科工業社製RW-B型）を取り上げる。図2にその概略的な見取り図を示す。

この実験器（内寸400×1500×150mm）は水槽の底が変曲して排水口側に水が溜まるようになっており、それが海を模している。滞水部分には2枚の回転が付けられ、また高低差のある2つの排水口を備えていることから、それぞれ海での波浪や海水準の上昇・下降による浸食・堆積のようすがわかるとされている（図3）。取水は内径7mm（長1.5m）のビニールパイプ3本を用いて、流量を3段階に調節可能である。実験器は取水側にある2本の支柱の高さを変えて傾斜

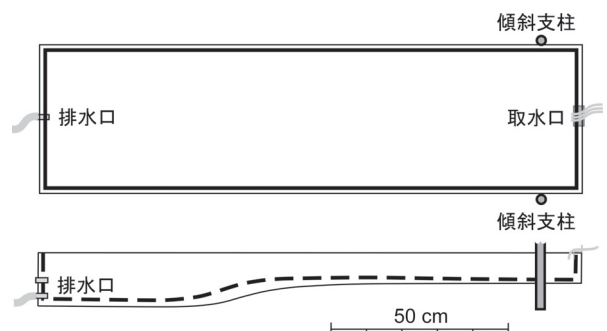


図2. 市販流水モデル実験器の概略図
上：平面図，下：断面図

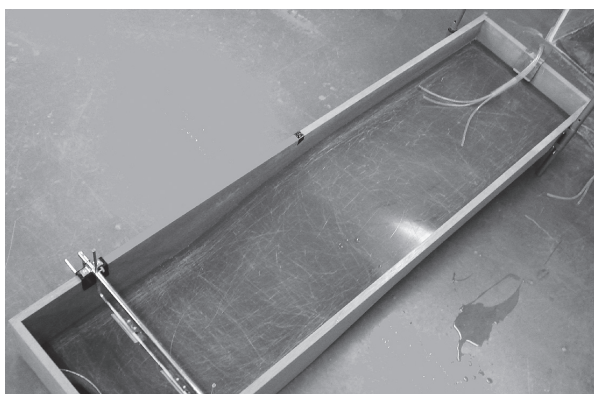


図 3. 流水モデル実験器

(勾配) を 5° 、 10° 、 15° の 3 段階に変えることができ、傾斜角度を示す目盛がついている。

2) 使用する土砂の粒度について

この流水実験器では、実験に適した使用条件に関する説明がない。ここでは、適切な使用条件を把握するために、土砂の粒度構成・傾斜角度・流量について条件を変えながら、流路や表面形態などの特徴を観察した。

流水下の表面形態は一般に粒径と流速によって変化し、さらにこの実験器の場合には、流速は傾斜と流量によって変わるとみられる。そこで、異なった粒度構成をもつものとして、代表的な下記の 3 種の土砂を用いた。

粗 - 中粒砂：阿武隈川砂（市販品）。粗粒～中粒砂が主で、極粗粒砂・細礫を含む。入手が容易であり、宮城県南では校庭の整地にふつうに使用される。

中 - 細粒砂：亶理町大浜海浜砂。ほとんどが中粒～細粒砂で占められ、淘汰がよい。

細粒砂 - シルト：鮮新世大年寺層（未固結海成層）。シルト（約 30%）と細粒～極細粒を主とする淘汰の悪い砂質泥。

3) 観察結果

上記の 3 種の土砂を実験器の取水口側に一様に敷き詰め（厚さ 2～3 cm）、傾斜角度を 5° と 10° 、流量を毎分 650ml と 1300ml と各々条件を変えて、流路と表面形態を観察した。結果は以下のとおりである。なお、ここでは便宜的に、取水口側の平底部を上流部・中流部、傾斜が変わる部分を下流部、排水口側の平底部を滞水部とよぶ。

【粗 - 中粒砂】

①流量：650ml/分 傾斜角： 5°

上流部で流れが大きく拡がり、伏流が始まる。中流部でいくつかの分流・変更を伴った流路が形成され、段丘も形成される。下流部では、流水は一旦伏流し、さらに下流で扇状に崩れ始める。崩れた扇状の土砂の上には、流路が形成されて、小さな扇状堆積部が形成される。滞水部には扇状に崩れた先端部から、水がわずかずつ流れ込む。

②流量：650ml/分 傾斜角： 10°

上流部で流れが大きく拡がる。伏流が始まる。中流部で一本の流路が形成されるが、移行はしない。下流部で伏流して勢いよく扇状に崩れはじめ、それが中流部にまで及ぶ。崩れが一段落し、その崩れた部分にあらためて流路が形成され、移行や分流が形成される。上・中流部には段丘も形成される。流路の先端に小さな扇状堆積が形成される。滞水部には扇状に崩れた先端部全体から、伏流水が少しずつ流れ込む。

③流量：1300ml/分 傾斜角： 5°

①の時よりも、さらに上流部で流れが大きく拡がり、伏流を始める。中流部ではいくつかの移行をともなった浸食の激しい流路が形成される。下流部でも流水は伏流するが、瞬く間に扇状に崩れ始め、中流域まで崩落が及ぶ。崩れた扇状の土砂の上にいくつかの流路が形成され、その先端に小さな扇状堆積部が形成される。滞水部には扇状に崩れた先端部全体から伏流水が少しずつ流れ込む。

④流量：1300ml/分 傾斜角： 10°

上流部で流れがある程度まで拡がり、伏流が始まる。上流部で一本の流路が形成され、移行せずに中流部に達して伏流し、一気に下流部から中流部まで崩れる。崩れが一段落すると、中～下流部に移行・分流が形成される。上流では浸食が進み、段丘地形が形成される。流路の先端では小さな扇状堆積が形成されるが、先端部全体から伏流水がしみ出す。

【中 - 細粒砂】

①流量：650ml/分 傾斜角： 5°

上流部では流れがやや拡がるものの、中流部にかけ、緩やかな移行を伴ったやや直線的な流路をすぐに形成する。運搬の様子が、非常に明瞭に観察される。

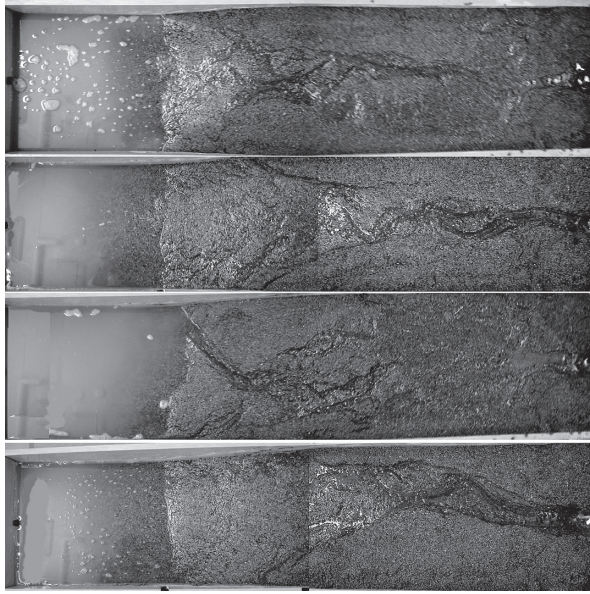


図4. 粗～中粒砂を用いた時のようす。上から本文の①～④に対応。いずれも流水して約30分後に撮影

流路は段丘を形成しながら下方浸食が進み、かなり直線的に変化する。下流部の流路口には扇状堆積が明瞭に形成される。

②流量：650ml/分 傾斜角：10°

上流部ではやや広がった分流をするが、下流部に向かってすぐに流路が1本に収束する。中流部で緩やかな蛇行を見せるが、段丘を形成しつつ、やや直線的な流路に変化する。流路口部は扇状堆積が明瞭に形成される。

③流量：1300ml/分 傾斜角：5°

上流部に流れをやや広げるが、下流部に向けてすぐに複数の直線的な流路を形成する。本流を形成すると、他の流路は流量を減らして放棄される。本流ではやや緩やかな移行をするが、激しい下方浸食に伴って段丘を形成しながら、次第に流路は直線的となる。流路口部は扇状堆積が明瞭に形成される。

④流量：1300ml/分 傾斜角：10度

通水後、速やかにほぼ直線的な流路を形成し、流路側方や下方を激しく浸食するが、移行や段丘の形成は見られない。運搬と浸食が明瞭である。流路口には扇状堆積が明瞭に形成される。

【細粒砂－シルト】

①流量：650ml/分 傾斜角：5°

②流量：650ml/分 傾斜角：10°

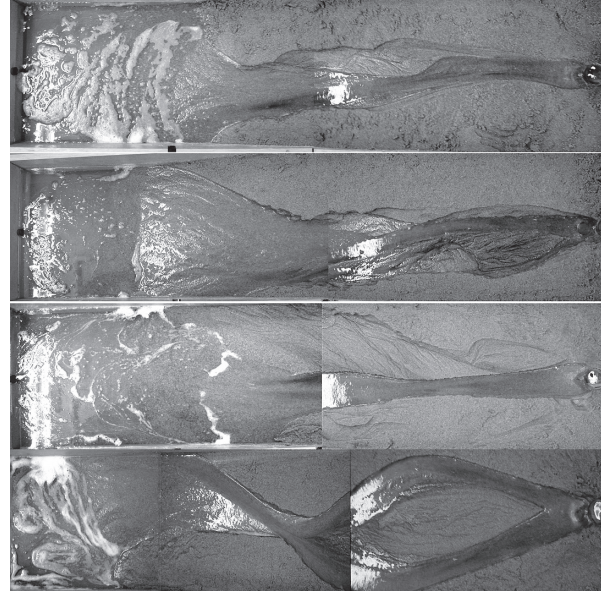


図5. 中～細粒砂を用いた時のようす。上から本文の①～④に対応。いずれも流水して約30分後に撮影

③流量：1300ml/分 傾斜角：5°

④流量：1300ml/分 傾斜角：10°

いずれの場合も、水はあまり土砂に浸透しないため、表面一帯に水が広がり、浅くて広範な流路を形成する。流れが速くて狭い流路は形成されにくく、目立った浸食や運搬が観察されない。滞水部にはシルトの堆積が薄く見られるが、懸濁のため上からは観察しにくい。

4) 適切な使用条件

上記の結果をまとめると、以下の点が指摘できる。

- ・粗粒～極粗粒砂や細礫の存在が流路の変更に大きな役割を果たす。
- ・粗粒～中粒砂では、伏流水による粒子間の摩擦支持が低くなり、加えて極細粒砂・シルトが少ないために粘着力も低くなり、崩れやすい。その場合、滞水部にできたデルタが崩落した土砂で埋まったり、崩れたりする。
- ・海浜砂のような淘汰のよい中粒～細粒砂は、最も移動し易い粒度のため、激しい浸食と運搬がおこり、流路が直線的になりやすい。ただし、滞水部のデルタは明瞭となる。
- ・シルト（～粘土）の多い土砂は粘着力が大きいいため、単独では実験に適さない。

以上のことから、流水実験器に適した粒度構成とするためには、流路変更に大きな役割を果たす極粗粒砂・

礫を含む川砂、流水による移動が大きい細粒－中粒砂の海浜砂、および全体を粘着・固定させたためのシルトがバランスよく混合される必要があると言える。また、流速に関わる傾斜角度は、前記の条件を考慮すると、流量 650ml/分、傾斜角 5° あるいはそれ以下の緩い角度が適当とみられる。

そこで、3種の土砂の混合比を変えて、流水実験器の使用で最も適当な粒度構成の確認テストをおこなった。含水湿潤状態で、計量容器によって、粗粒－中粒砂（川砂）を約 7 割～9 割、中粒－細粒砂（海浜砂）を 0～約 2 割、細粒砂－シルト（砂質泥）を 0～1 割の範囲で、以下のように体積比を変えた。

①川砂 9：砂質泥 1

上流部で遊水する。中流部から移行を伴う流路が形成される。下流部では、滞水部に到達する前に土砂が堆積し、最初は伏流するが、次第に河口まで流水が到達する。複数の流路を形成し、移行を伴う。

②川砂 9.5：砂質泥 0.5

上流部で遊水する。中流部から下流部にかけて、ほぼ直線的な流路を形成する。下流部で曲流しながら、網状の流路をなし、扇状に堆積する。

③川砂 7：海浜砂 2：砂質泥 1

②とほぼ同様。ただし、上流部に直線的に流路を拡大する。中～下流部では流路の下方浸食が激しくなる。下流部では移行を繰り返しながら、扇状地を拡大する。

④川砂 8：海浜砂 1：砂質泥 1

上流部でわずかに遊水し、中流域でやや広がった直線的な流路を形成する。下流で曲流をなしながら扇状堆積を拡大する。やがて曲流は中流域にも及ぶ。

⑤川砂 8：砂質泥 2

上～中流部で大きく遊水する。下流部で流路を形成し、滞水部の流路口に向かって扇状に堆積する。を形成する。流路が中流部までほぼ直線的に伸びる。以上の確認より、流路を変更させるためには、土砂は極粗粒砂・細礫混じりの粗粒－中粒砂を最低 7～8 割含む必要がある。また伏流を防ぎかつ砂粒を粘着・固定させるために、砂質泥を 1 割程度含むことも必要であるが、多すぎると流路が浅く広がるため、注意が必要である。さらに運搬作用を見やすくするためには、海浜砂のような細粒～中粒砂を 1～2 割含むとよい。

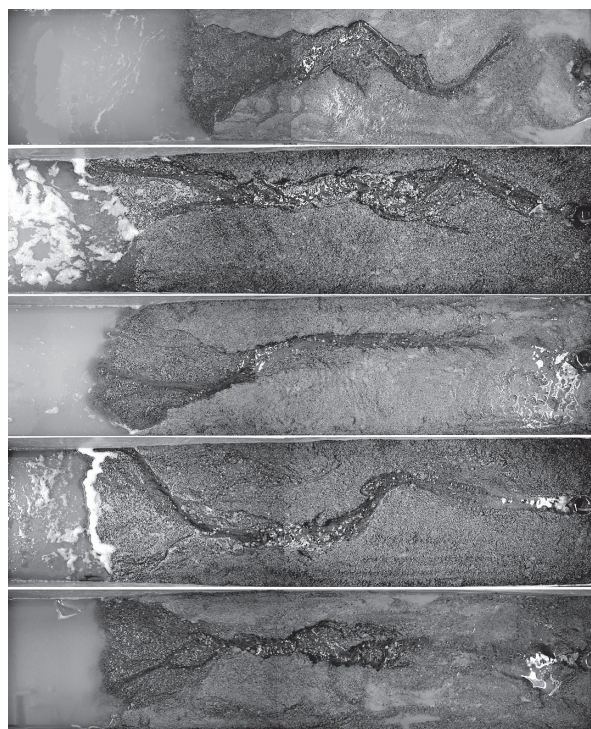


図 6. 土砂の混合比をかえた時のようす。上から本文の①～⑤に対応。いずれも流水して約 30 分後に撮影

これによって、滞水部の流水口の扇状体積＝デルタもより明確に形成され、そこでは運搬と堆積がよく観察される。

5) 市販流水モデル実験器の問題点

今回用いた流水モデル実験器では、上記のように、使用条件を整えることによって、流水の三作用について観察することができる。滞水部があるために、川の上流から河口、さらには沖合海底までを模すことができ、入れる土砂の粒度構成を吟味することで、扇状地、河岸段丘、デルタなどの地形に類した表面形態をつくることもできる。

しかし、実験器の流水の作用は、本質的には、流水下での粒子の挙動が現れているにすぎず、それが自然の河川の作用が再現されているわけではない（林, 2002）。とりわけ、河川に一般的な自由蛇行は、相当幅のある実験器で、かつある程度の土砂の量と流量がなければ観察できるものではない。

また、市販の流水モデル実験器の多くは、土砂や水に対してある程度頑強な作りであるため、透過性のある素材は使われていない。そのため、流水と作用が進んでゆくようすやたまった土砂のようすについて、側

面あるいは断面として観察することはできない。

実験器の使用に関する説明が少ないことも問題としてあげられる。実験に適した使用条件に関する指示・説明がないため、導入した学校現場ではその条件設定に手間取ることになる。実験器に入れる土砂の粒度構成については、前項で確認された程度の条件が予め示されているとよいであろう。また、傾斜角は 5° 、 10° 、 15° の3段階で設定可能であるが、流量を増やしながら傾斜角を 10° 以上とすると、浸食作用のみが強調され、しかも、泥を含まない土砂を入れた場合には、中流部以下の土砂がすぐに崩落してしまうので、 5° またはそれ以下の傾斜角が望ましいであろう。

4. 流水モデル実験器の製作

1) 製作にあたって

「流れる水のはたらき」の単元に関わる教材では、市販教材のほか、これまでも自作や改良工夫の例が研究報告等で示されているが、条件設定を含めた流水モデル実験器の改良例は数少ない。ここでは、前記の問題点の改善に加えてさらに、学校現場での製作を念頭に、①材料をホームセンターなどで入手しやすい、②加工が比較的容易である、③安価である、ことを考慮して製作にあたった。

2) 製作方法

実験器は市販の収納ケース（天馬（株）フィットケーススリムボックス 74：44×74×7 cm、ポリプロピレン製、白色透明）2枚を用いる。2枚とも片側を切断してポリプロピレン専用接着剤で接着後、加熱接着剤で隙間をシーリングし防水テープで補強して防水の水槽（内寸 40×126×7 cm）とする。土砂の重量に耐えられるようにするため、水槽よりやや大きめの木質パネルを置く。

給水は、ペットボトル（1.5 l）に水道水を貯めて整流化し、そこからビニールパイプ3本で流量を変えられるようにして、取水部のビーカーに導く。排水側の壁面にアクリルパイプを埋め込んでシーリングし、市販のホースを接続する。ホースの排水口を上下させることで、滞水部の水位を変える。

水槽の中央部（中～下流部に相当）には、油粘土を敷きつめ、さらに蛇行する形で予め流路を成型し、土

砂の流れを誘導するようにする。流路の下流側は、デルタの堆積を側面から観察できるように、水槽壁面に近いようにする。また、上流側では、盛り上げた土砂が覆って流路を埋めるのを防ぐために、粘土を少し盛り上げる（図7、8）。

3) 使用方法

実験器に入れる土砂の粒度構成は、川砂（粗粒－中粒砂）／海浜砂（細粒－中粒砂）／砂質泥の割合（体積比）が、ほぼ6／2／1になるようにし、それらをよく混合する。土砂は予め上流部に山型に盛り上げておく。また、土砂には、流路が形成されやすいよう

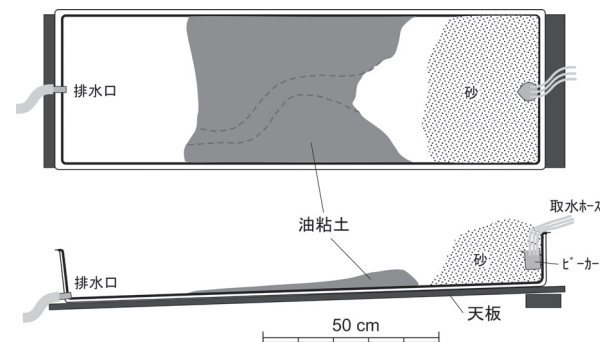


図7. 製作した流水モデル実験器の概略。
上：平面図、下：断面図。
油粘土は上流側を盛り上げ、流路（波線）を成型する

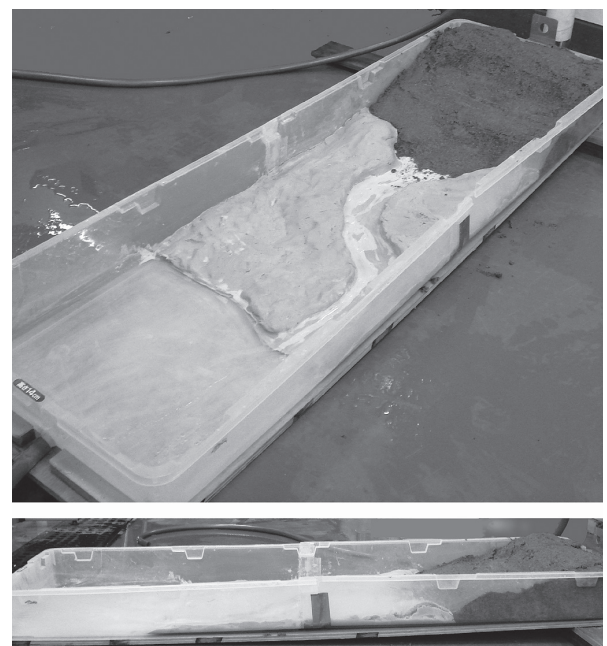


図8. 製作した流水モデル実験器。上：平面、下：断面

に霧吹きで表面を湿らせておく。実験は少ない流水量（400ml/分）で開始する。給水してすぐに土砂の山の下流側には扇状堆積が始まり、分流しながらそれが成長する。その後、より下流部に土砂が運搬されるようにするため、給水パイプの数を増やして給水量を2倍・3倍に増やしていく。給水側の木質パネルの下に板などを適宜挟んで傾斜を変えるが、傾斜角は1－2°程度とする。

製作した実験器を実際に使用したところ、①上流部の扇状地、中流部の蛇行河川、河口部のデルタについてそれぞれ分かれて明瞭に観察される、②デルタの発達が平面ばかりでなく断面でも観察できる、などの改善効果が得られた。

給水後約10分で、上流部から中流部での浸食・運搬のようすは観察できる。しかし、河口部まで土砂が運搬されてデルタが発達するまでには約1時間必要であることから、授業開始前に予め給水しておく必要がある。

給水量400ml/分で実験を開始すると、すぐに山間に流路ができて、扇状地を形成する。その扇状地上で流路を変更したり、蛇行を形成したりしながら、扇状地が拡大する（図9）。

さらに、流量を2倍にしていくと、扇状地上の流路が直線的に変化し、中流部の蛇行流路への土砂の運搬が促される（図10）。

堆積場にはすでにシルトが流れ込み、沖合に拡がりながら沈降・堆積を開始している。実験開始後40分も経つと、流路の土砂は河口に達し、すでに堆積した

シルトの上に砂粒の堆積が始まり、デルタの萌芽が形成されるようになる（図11）。

上流部では、流路の下方浸食が進行し、段丘地形も形成される（図12）。

中流域の流路では、中粒砂・細粒砂が運搬される様子が明瞭に観察される。流れの外側の土砂が浸食され、流れの緩い内側に砂粒が堆積する様子もしっかりと観察される。

河口域のデルタは、いよいよ放射状に成長し、流水台の側面からも砂粒が堆積する様子が見える（図13、14）。

流水を一晩続けると、デルタはより一層大きく成長し、河川の堆積作用が、より一層明確になる（図15、16）。

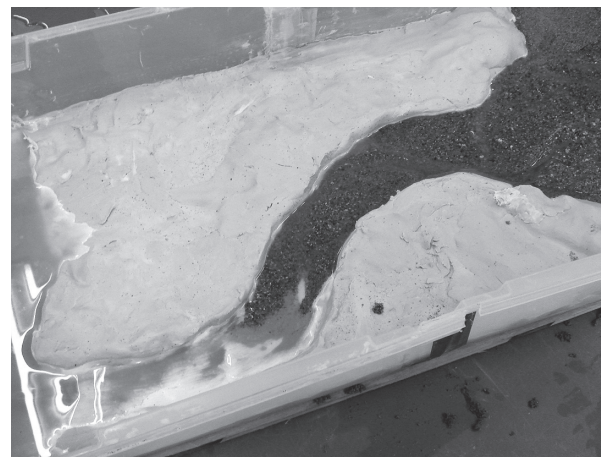


図10. 中流域にまで運搬されてきた土砂のようす



図9. 扇状地の形成のようす

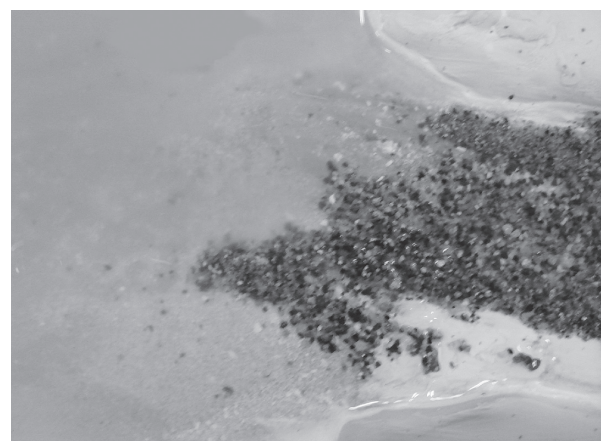


図11. 河口域に達した土砂のようす

5. 指導方法の新たな展開

製作した流水モデル実験器を使用することによって、これまで流水による浸食・運搬が観察の主眼であったのに加えて、河口周辺での堆積もよく観察できるようになる。このことは、5年次の「流れる水のはたらき」の単元からさらに発展させて、6年次「大地のつくり」の単元へとつながる学習指導を可能とする。

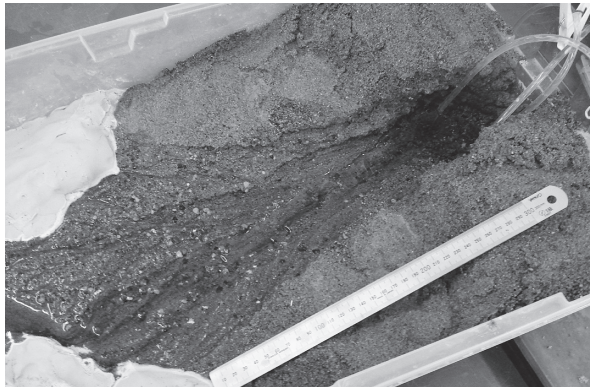


図 12. 段丘地形のできるようす

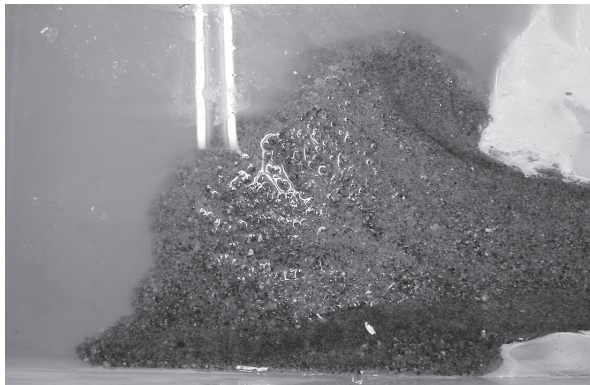


図 13. 成長するデルタのようす

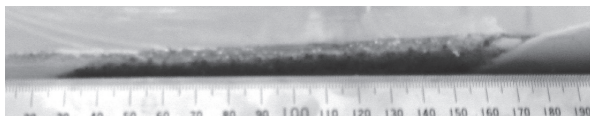


図 14. デルタ側面のようす

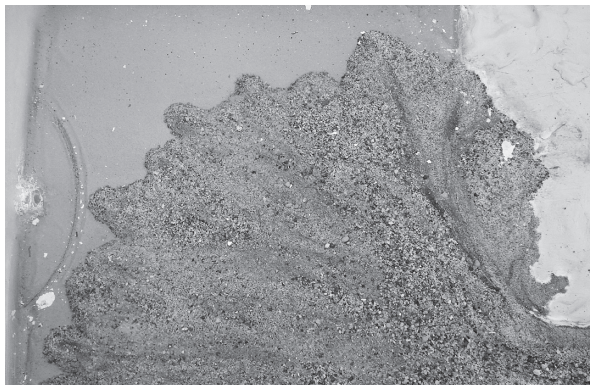


図 15. 24 時間流水後にできたデルタ地形

「流れる水のはたらき」の単元の基本的なねらいである流水の三作用の中で、一般的に堆積作用は、浸食・運搬作用に比べると時間がかかって進行するものであり、実際の観察でも把握されにくい。しかし、実験器に見られる河口のデルタの形成の観察を起点として、いくつかの学習展開ができるだろう。

一つは、川が運搬してきた土砂が海岸付近の土地を広げることから、沖積平野の成り立ちを考えさせることができることである。日本の多くの都市は沖積平野にあり、各平野には大きな河川が流れ注いでいる。宮城県でも、大崎・石巻・宮城野・亘理などの平野部では河川が流れており、かつてそれらの河川を通じて運ばれた土砂の地層が平野の地下にみられる。モデル実験器での観察の後に、川や流域の实地観察、あるいは洪水時の河口のようすの画像・映像等の提示を加えることによって、川からの土砂の供給によって海が埋め立てられてきたことを理解させることができる。

もう一つは、海での堆積作用である。海岸では、一様に土砂が堆積しているわけではなく、より細粒の砂や泥はより沖合に運ばれて堆積する。これは実験器で形成されるデルタの砂と周囲の滞水部の泥との違いを見ることによってある程度わかる。これは平野部で見られる貝化石を含む地層の堆積環境を理解することにつながる。

もう一つは、海での堆積作用である。海岸では、一様に土砂が堆積しているわけではなく、より細粒の砂や泥はより沖合に運ばれて堆積する。これは実験器で形成されるデルタの砂と周囲の滞水部の泥との違いを見ることによってある程度わかる。これは平野部で見られる貝化石を含む地層の堆積環境を理解することにつながる。

6. おわりに

小学校5年次理科の「流れる水のはたらき」の単元学習で使用する流水モデル実験器について、その使用条件を確認して、川の学習をより効果的に行うために改良を加えた実験器を試作した。これによって、使用にあたっての土砂の粒度構成、傾斜角・流量が適切に設定されるとともに、流水の浸食・運搬・堆積の三作用がすべてみられ、さらに川の上流から河口～沖合海底にいたる流域を通じた認識が可能となった。それを基にした学習指導方法もさらに展開することが可能となった。

川に関する学習は、小学校では理科のみならず社会科や「総合的な学習」でも取り上げられ、さらに中学

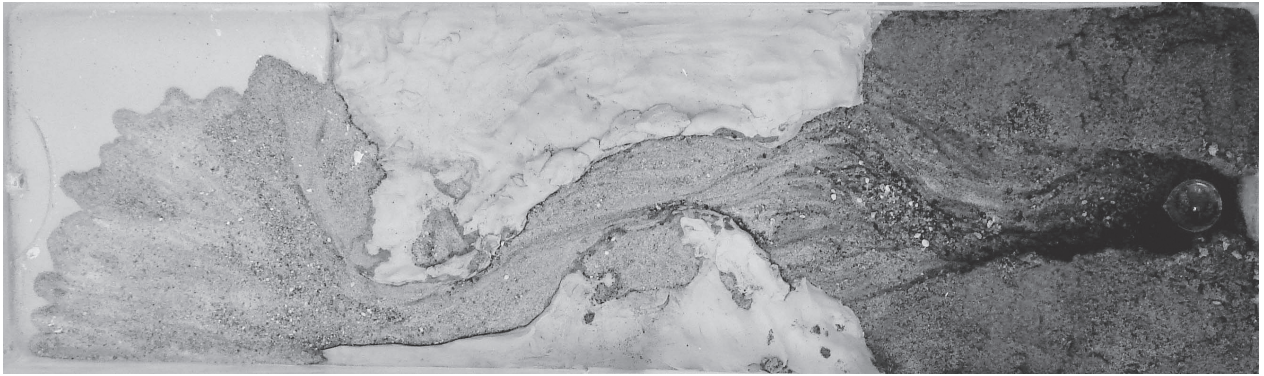


図 16. 24 時間流水後のようす

校でも理科や社会科でより深く学習する。流水モデル実験器にみられる流路沿いの扇状地、河岸段丘、デルタなどの地形モデルを実験観察した印象は、それらの他教科や学年次等で理解を深める上でも役立つに違いない。

今回製作した流水モデル実験器については、アナログモデルとして多くの制約があるとは言え、今後もさらに工夫・改善を加える余地が残っている。給水方法、中～下流部の流路の材質、傾斜などはさらに吟味しなければならない。使用にあたっては、流量の変更による浸食・運搬の変化とその表面形態（自然堤防や後背湿地などの地形）、あるいは、滞水部を深くした場合の海での堆積などのモデルも、授業のねらいに即して工夫改善を進めてゆきたい。

謝 辞

吉田小学校の教員の方々と平成 16 年度 5 年次児童

には、授業実践にあたってご協力いただいた。宮城教育大学理科教育講座の青木守弘・千葉芳明両教授には、それぞれの視点から有用なご助言をいただいた。同大学地学研究室の学生には、実験器の製作にあたってご援助いただいた。記してお礼申し上げる。

引用文献

川村寿郎・中條 裕（2005）少年自然の家の野外活動区域における自然学習教材の再開発－その 2 砥沢川～迫川での川の総合的な学習の展開－．宮城教育大学環境教育研究紀要，第 8 巻，27－33.

林 慶一（2002）小・中・高の理科教育における堆積学関連の内容とその問題点．日本堆積学会 2002 年秋の研究集会講演要旨集，7-10.

文部科学省（1998）小学校学習指導要領 理科.

東京書籍（2004）新編新しい理科 5 上，教師用指導書資料.