

# 大学生向けの雨水浸透のモデル実験教材開発と教育実践<sup>†</sup>

川村 教一\*・松井香菜子\*\*

兵庫県立大学大学院（秋田大学教育文化学部）\*・秋田大学教育文化学部学校教育課程\*\*

山下 清次\*\*\*・田口 瑞穂\*\*\*

秋田大学教育文化学部\*\*\*

平成29年改訂の小学校学習指導要領で第4学年理科に加わった学習単元「雨水の行方と地面の様子」の学習内容の理解を大学生に深めさせるため、筆者らは礫や砂への水の浸透モデル実験教材を開発し、教育実践を行った。学生により実施された簡易透水試験としての「実験」の結果を考察したところ、グループ間で測定結果に差異が見られた原因は、試験容器内への注水にかかる時間の差異、受水槽内に流出した水による水面の変動に伴う流出水量の読み取り誤差が考えられた。改善策として、容器内への注水時間をそろえるために注水器具を追加すること、受水槽内の水面の変動に伴う読み取り誤差については、ろ過の手法を想起させることが挙げられた。これらのことを踏まえ、児童実験用のモデル実験装置を開発し性能評価を行ったところ、測定結果の差異を低減できることを確認できた。

**キーワード**：小学校，理科，浸透，雨水，大学生，モデル実験，透水試験

## 1. はじめに

平成29年改訂の小学校学習指導要領で第4学年理科に、「雨水の行方と地面の様子」の学習項目が新たに追加され、土の透水性に関するモデル実験を導入することが示されている（文部科学省，2018）。この学習単元の授業づくりに関する目標論についての研究（山根ほか，2018）はあるが、教科内容については森ほか（2018）による教材と指導案の提案がある程度で、研究は進んでいない状態であった。

この学習項目では、雨水の流れ方やしみ込み方に

着目して、それらと地面の傾きや土の粒の大きさとを関係付けて調べる活動を行う。これらについて、現在の学部学生は高校卒業までに学習する機会がなかったため、教員養成課程において科学的知識を獲得させる必要があると筆者らは考える。このことに関して筆者らは、学習内容に関する大学生の認識調査（松井ほか，2019a）、大学生向け実験装置の製作とその実践（川村ほか，2019a）、同実践における問題点の抽出（松井ほか，2019b）、児童向け実験装置の提案（川村ほか，2019b）といった一連の研究に取り組んできた。これらのうち、川村ほか（2019a）では、雨水のしみ込み方についての学習内容の理解を大学生に対して深めさせるために、土の透水性に関する試験装置を開発し、モデル実験を主体とした教育実践を行ったところ、おおむね授業の目的を達成することができた。ただし、学生による測定結果にばらつきが見られたことから、実験結果の再現性の向上が課題であった（松井ほか，2019b）。

本研究では、まず松井ほか（2019a）による大学生の地表での水の流れや水の浸透などに関する認識調査結果を詳細に検討する。また、川村ほか（2019a）、

2020年1月7日受理

<sup>†</sup> Norihito KAWAMURA\*, Kanako MATSUI\*\*, Seiji YAMASHITA\*\*\* and Mizuho TAGUCHI\*\*\*, Teaching Material Development and the Educational Practice of Model Experiment for Undergraduate Students Related to the Permeation of Rainwater

\* Graduate School of Regional Management Research, University of Hyogo / Faculty of Education and Human Studies, Akita University

\*\* Undergraduate student of Course for Compulsory School Teachers, Akita University

\*\*\* Faculty of Education and Human Studies, Akita University

川村ほか(2019b)の報告に大学生による測定結果と授業中のプロトコル分析を加えて考察した上で、指導上の改善点を明らかにして効果的な指導を展開することを旨とするものである。教材開発の記述については、川村ほか(2019b)を踏襲している。これらを踏まえて、児童向けの実験装置・手順の提案を行う。

## 2. 雨水の行方に関する認識調査結果と考察

### (1) 調査の趣旨

大学の教員養成課程の「初等科学」における小学校理科の学習内容や指導法科目の指導改善の基礎資料とするために、小学校理科教育法科目を受講した大学生を対象に、地表の水の流れ方や土の構成粒子の直径と水の浸透についての認識の実態を明らかにする調査を行い、指導上の留意点を見出す。

### (2) 調査方法

#### 1) 概要

国立A大学の教員養成課程大学生のうち平成30年度後期の小学校理科指導法科目2クラスを対象に、透水モデル実験授業の前に調査を行った。

#### 2) 調査のねらい

地表を流れる水の向きと標高差の関係や、透水性と粒度の関係に関する大学生の認識状況が「雨水の行方」の学習内容の理解と関係するのではないかと推論し、このことを明らかにするために調査を行った。

#### 3) 調査内容

質問紙法により調査を行った。質問紙(参考資料参照)は設問1～3、うち設問3は枝問3項目で構成した。内容は以下の通りである。

設問1(地形図の谷地形判読): 複数の谷を含む山地を地形図(国土地理院「地理院地図」に等高線の数値を加筆したもの)に示した。谷地形を見出し、雨が降った後に地表を水が流れる向きを選択肢から選ぶ問題。

設問2(粒度と透水性の関係): 粒の直径が異なる3種類の物質(礫、砂、粘土)のいずれかをそれぞれ同じ量だけ入れたモデル実験装置に、上から100mLの水を注いで流下させようとしたとき、容器の下に置いたビーカーに一定量の水(50mL)が早くたまる順番を選択肢から選ぶ問題。

設問3(水たまりの有無の推論): 雨が降り続いた後、砂場には水たまりができなかったが、土のグラウンドには水たまりができた場合を想定し、その要因を推

論する問題。

### 4) 調査の実施

対象となった2クラスの調査の実施日は、それぞれ2019年1月28日および1月31日である。質問紙は配布後に教室で記入させた後、直ちに回収した。記入時間は授業時間の制限から7分に設定した。質問紙は受講対象学生全員から提出され、回収率は100%である。

### (3) 調査結果とその分析

#### 1) 被験者の学年内訳

被験者数と学年の内訳は、2クラス合計で95名(3年生1名、2年生8名、1年生86名)であった。

#### 2) 設問別集計結果と分析

##### ① 地形図の谷地形の判読(設問1)

完全正答は選択肢から3項目選ぶ設問である。完全正答者は35名(全体の36.8%)、準正答として、一部不完全な解答(正解3項目のうち2項目のみ解答)、および完全正答の選択肢に誤った選択肢が1つ加わった解答はそれぞれ、8名(8.4%)、35名(36.8%)であった。完全正答と準正答を合わせ、78名(82.1%)の学生は谷地形の判読がおおむねできると思われる。これらの学生は地形図で示される中地形レベルでは、流水の方向を適切に認識していると思われる。

##### ② 粒度と透水性の関係(設問2)

設問2について、正答記号(「エ」)解答者数は66名(69.5%)である。そのうち、理由について粒の隙間に着目したものを完全正答、粒の大きさに着目したもの(例:「粒子一粒一粒が大きい方が水がペットボトルの中を通り抜けやすいと思うから。」)をやや不十分な解答である準正答とした。完全正答者数は32名(「エ」解答者の48.5%)、準正答者数は7名(10.6%)、理由の誤答は24名(36.4%)、理由無解答は3名(4.5%)であった。誤答の大半(18名)は、実験装置の内部の構造を誤って認識し、問題の意図をくみとっていなかった。以上のことから、透水性と粒度の関係をおおむね適切に理解していた学生は、完全正答・準正答を合わせた39名(全体の41.1%)であると考えられる。

##### ③ 水たまりの有無の推論(設問3)

枝問(a): 土地を構成する物質の粒度と透水性の関係の理解を問う問題

砂場では水たまりはできず、土のグラウンドのみにできた理由について、砂と土の粒子の隙間の違いに

着目したものを完全正答、粒子の大きさに着目したものを準正答とした。完全正答者数は28名(29.5%)、準正答者数は14名(14.7%)、両者を合わせた42名(44.2%)は地表付近の構成粒子の粒度が関係しているとおおむね適切に認識できている。

設問2の正答者(完全正答者・準正答者)と非正答者、設問3(a)の正答者(完全正答者・準正答者)と非正答者についてクロス集計を行った表1についてカイ二乗検定を行ったところ、偏りは見られなかった(両側検定,  $\alpha = .05$ ,  $\chi^2(1) = 0.545$ , ns)。このことから、モデル実験で水の透水性と構成粒子の粒度の関係を適切に解答した学生と、土地の構成物質の粒度と透水性の関係を適切に解答した学生との間には関連があるとはいえない。

表1 設問2および設問3(a)の  
正答者/非正答者クロス集計結果  
( )内は期待度数

		設問2		
		正答者	非正答者	計
設問3(a)	正答者	19 (17.2)	23 (24.8)	42
	非正答者	20 (21.8)	33 (31.2)	53
	計	39	56	95

枝問(b)：グラウンドの微地形と水たまりの関係の理解を問う問題

土に含まれる粒はグラウンドのどこでも同じであるとき、水たまりの有無が生じる理由について、地面の微地形に着目したものを完全正答、日陰の存在で説明したものを準正答とした。なお、設問の図では日陰は示していないことから、完全正答扱いとはしない。完全正答者数は40名(42.1%)、準正答者数は7名(7.4%)で、前者は設問で示した条件に対し、地表付近のわずかな標高差が水たまりの形成に関係していると認識できている可能性がある。

設問1の正答者(完全正答・準正答者)と非正答者、設問3(b)の完全正答者と非完全正答者についてクロス集計を行った表2についてカイ二乗検定を行った結果、偏りは見られなかった(両側検定,  $\alpha = .05$ ,  $\chi^2(1) = 0.785$ , ns)。このことから、地形図で谷地形を適切に判読できる学生と、グラウンド表面の標高差のために水たまりができることを解答した学生との間には関連があるとはいえない。

表2 設問1および設問3(b)の  
完全正答者/非完全正答者クロス集計結果  
( )内は期待度数

		設問1		
		正答者	非正答者	計
設問3(b)	完全正答者	40 (42.1)	7 (7.4)	47
	非完全正答者	39 (41.1)	9 (9.4)	48
	計	79	16	95

枝問(c)：水たまりの消失の原因の理解を問う問題

土のグラウンドにできた水たまりが時間の経過に伴い消失した理由について、地下への浸透および蒸発の視点で解答されたものを完全正答、一方のみの解答は準正答とした。完全正答者数は39名(41.1%)、準正答者数は蒸発について25名(26.3%)、浸透について4名(4.2%)であった。完全正答・準正答合わせて68名(71.6%)は水たまりの消失についておおむね適切な認識を持っていると考えられる。

(4)考察

#### 1) 土の構成物質の粒径と透水性の関係の認識

設問2の結果から、半数強の学生は土の構成物質の粒度と透水性の関係について適切な認識を持っていないと思われる。また、設問3(a)の結果から、土の地面で水たまりができる理由を適切に理解している学生の割合は4割強であった。さらに、水たまり形成にかかわる土の粒径と透水性の認識には関連が見られない。これらのことは、大学生が透水性と碎屑物の粒度の関係を野外の現象に適用できないことを示唆している。

#### 2) 地面の標高差と水たまりの形成場所の認識

設問1の結果から8割強の学生は標高差と水の流れる向きを地図上では理解している可能性があった。一方、設問3(a)の結果から地表面の標高差が水たまりの形成に関係していると約4割の学生が考え、両設問の解答状況には関連があるとは言えないことから、地図の学習で流水の向きについて理解できていても、緩傾斜の地面にそれを適用できない学生がいる可能性が指摘できる。

### 3. 簡易透水実験のねらい

#### (1)簡易透水実験教材のあり方

本学習項目の教材化について、森ほか(2018)は、実験材料としては花壇などの土、砂、石を使い、水

がしみ込む速さを材料の中を通過して落ちてくる水の速さと捉えることを提案した。ところがこの方法だと、粒度が不揃いな土では変数を粒度のみにすることができず、粒度と水のしみ込み方の関係を見出すことが困難である。実験の条件制御がなされた教材の開発が必要で、砂と礫（森ほか、2018における「石」）を用いた実験をすべきである。

## (2)水のしみ込み方に関する水理学特性

土のような多孔質材料は水理学特性（透水性、貯留性）を有しており、雨水のしみ込み方とはすなわち土の流体通過能力といえる。地盤工学の分野で行う透水試験は、多孔質材料の流体通過能力を直接試験的に評価するためのものである（加藤ほか、2013）。材料（土）の水理定数には透水係数と比貯留率があるが、このうち透水係数は浸透流の見かけの流速と動水勾配とを関係付ける比例定数である（ダルシーの法則）。このため、動水勾配が一定の時の透水係数の違いは、見かけの流速の差異として知ることができる。

## (3)透水係数の測定方法

土の透水係数を直接求める室内透水試験については、日本工業規格（以下、JISとする）A 1218:2009（一般社団法人日本規格協会、2019）により、飽和した土の層流状態において求める方法として規定されている。

室内透水係数の測定方法には定水位透水試験と変水位透水試験があり、一般に前者は砂・礫に、後者は微細砂・シルトに適用する（JIS A 1218:2009）。変水位透水試験を砂・礫に適用しない理由は、水位の変化が速すぎて測定しづらいからである（内村、2013）。

川村ほか（2019b）では、変水位法を簡易化して教材化した。JIS A 1218:2009で規定された変水位透水試験は、一定の断面及び長さをもつ供試体の中を、ある水位差を初期状態として浸透するときの水位の降下量、及びその経過時間を測定する試験である。この試験は上記のように透水係数の比較的小さい材料向けであるが、定水位法は水位を保つ器具・手順が煩雑であり、児童や大学生には透水の現象が観察しづらいと考えた。手順の簡略化の視点などから、礫や砂にも変水位法を採ることとした。

## 4. 開発した実験器具と測定手順

### (1)器具の簡易化

筆者らは変水位法を参考に、簡便な器具・方法で

試料の透水性の違いを見出させる方法を発案した。これは水位の変化を測定するのではなく、器具内の試料に水を上方から一気に投入し、試料から水が下方へ流出するに伴って試料中の「水位」（地下水面の高さに相当）を高い状態から低い状態に変化させ、一定量の水が流出する時間を測定する。

筆者らが大学初等教育学用の実験教材として簡易化した変水位法は、なるべく入手が容易で安価な材料・器具を試験装置（図1, 2）の組み立てに使用した。JIS等による試験器具の一部を省略し、透水円筒（加工した500mLペットボトル）、網（カーゼ）、受水槽（メスシリンダー）からなるものに簡素化し

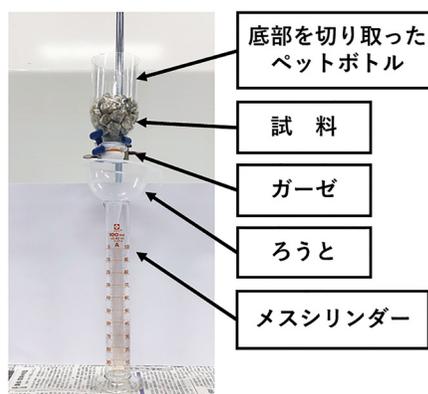


図1 試験器具の構成（川村ほか、2019a）

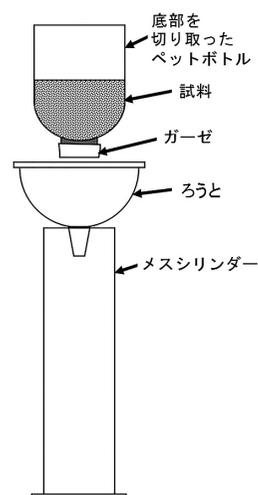


図2 試験器具の見取り図

た(川村ほか, 2019a). その他, 測定前の処理も簡素化・省略をした(川村ほか, 2019b). これらについて簡潔に述べる.

## (2)装置の簡易化

JISを参考に, 透水円筒として底部を切り取った500mLペットボトルを使用した. これを倒立させて使用することで排水孔のある円筒状の容器になる. 加工したペットボトルの円筒形部分の内径は約6.5cm, 長さは約15cmまで任意に設定可能である. JISに準じると, ペットボトルの内径からみて適切な粒子の最大径は約12mmとなる. この場合, 同規格に照らして円筒部分の長さ6.5cm以上必要となるが, 500mLペットボトルの長さで十分である. なお, 水を透水円筒の上方から注ぎ込むこととするため, 容器の上蓋はなく開放した状態にした. JISによる排水孔を覆う金網の目の開きは, 通常 425 $\mu$ mのものとされているが, 川村ほか(2019b)ではガーゼを使用した.

## (3)手順の簡素化

JISによる透水試験測定では, 試料を供試体とするための前処理(粒子間隙の最小化), 水の飽和度を高める処理(水浸脱気), 水温測定などがあるが, 本実験の目的には大きく影響しないと考え, これらの手順は省略した.

## (4)試料

試料には, ホームセンターや文具店, 通信販売で入手可能な, 礫(角礫, 粒径14~21mm, 東海砂利社製「白川砂利5分」), 砂(中央粒径約0.35mm, 北日本産業社製「東北硅砂4号」), 粘土(新日本造形社製, 「せともの白土(高級陶土)」)を用いた(図3).

## (5)測定手順

以下, 川村ほか(2019a), 川村ほか(2019b)記載の手順を示す.

まず, 底部を切り離し, 飲み口にガーゼをあてがった500mLペットボトル(透水円筒)の中に, 礫, 砂, 粘土のいずれかの試料を約200gずつ入れ, 供試体とする. 次に透水円筒の上から100mLの水を一気に注ぎ, 透水円筒の下のメスシリンダーに一定量の水(50mL)が流れ出る時間を, 次の手順で大学生に計らせた.

①ストップウォッチで時間を計測する係, 記録係, 100mLの水を量り取る係, 水を注ぐ係を決めておく.



図3 使用した試料  
(左: 礫, 右: 砂, 方眼は1cm)

②礫を入れたペットボトル上から100mLの水を注ぎ始めるのと同時にストップウォッチを押し, 計測を開始する.

③下のメスシリンダー内に溜まった流出水の水面が50mLの目盛りに到達した時点でストップウォッチを止め, 計測を終了する.

砂, 粘土の順番で②, ③の段階を礫と同様に行う.

## 5. 授業実践

### (1)授業の概要

2章で述べた認識調査に引き続き, 先述の器具・試料を用いて次の授業を実施した.

①ねらい: 碎屑粒子の粒径が透水性と関係があることを実験とその後の議論を通じて気づかせる.

②学習課題: 水のしみ込み方と土の粒の大きさに関係があるのはなぜか実験を通して考える.

③学習形態: 3名あるいは4名でのグループ活動

④実践時間: 45分

学習活動の流れは表3の通りである. 学習活動6のあとに演示実験を行い, 実験1の結果と併せて考察させた. 演示実験では最初の実験で用いた砂と礫を混合した, 粒径分布がバイモーダルなモデル土壌

表3 授業における学習過程(川村ほか, 2019a)

学習活動	時間[分]
1.実験手順の確認	8
2.学生実験(実験1)の実施	10
3.実験結果の発表	5
4.個人で取り組む実験1の考察	3
5.考察についてのグループでの議論	5
6.議論の内容をクラスで発表	5
7.演示実験(実験2)の実施	6
8.個人で取り組む再度の考察	6
9.本時のまとめと振り返り	3

の供試体に注水して、流出時間を代表の学生に測定させた。

⑤学習記録：ワークシートを授業後に回収した。

## (2)記録方法

授業における大学生の学習記録を入手するためにワークシートの写しを入手した。また、実験や議論中の発言の様子を知るためにICレコーダを用いて授業中の音声を記録した。

## (3)学生による測定結果

学生グループによる透水試験結果は図4の通りで、水の流出時間について、礫は1.8～8.4秒（平均3.5秒、標準偏差1.55）、砂は17.3秒～43.5秒（平均27.8秒、標準偏差6.80）であり、全グループで礫と砂の流出時間は大きく異なった。グループ間の結果を比較すると礫では約4.7倍、砂では約2.5倍の開きがある。

なお、実験中の会話に関するプロトコルをみると、2グループでは礫試料の測定結果の改ざんがあったと思われる。測定誤差が大きいと考えた学生が、より妥当だと考える値への改ざんを提案していた。ただし25グループ中の2グループだけなので、先の統計値には大きくは影響しないと考える。

## (4)学生による議論の結論

あるクラスでの学生6グループによる議論内容の発表例（表3中の学習活動5）の要旨は以下の通りである。

- ・すき間が広いと通りやすい（他にも1グループ）、粒の大きさは隙間と関係する。
- ・粒が大きいと粒同士の間隔が広く水が流れやすい。（同様の内容が他に1グループ）
- ・単位量当たり（筆者注：単位体積当たりのことと思われる）の粒子の数が多いと水の通り道が小さく

なるから流れにくい。

- ・物質が大きいと空間が大きく流れやすい。

表現の差異はあるが、全グループの発表で粒径の視点に基づいて粒子間隙の大きさと流出速度の関係性について結論づけられていた。なお、結論に至る「議論」中のプロトコルを見ると、ほとんどの場合で各自の意見表明にとどまっており議論は成立していない。

## (5)その他授業の成果

多孔質材料の貯留性の理解は本モデル実験ではねらいとしていなかったが、あるグループの学生は砂を用いた実験中にこのことに気づいてグループ内で考察内容を発表している例があった（下記参照、行頭の記号・番号は学生の識別番号）。

- S5 すごい。50ミリリットル、ここに（筆者注：砂試料のこと）入ってるっていうこと？ ヤバくない？
- S6 吸収されてる。
- S5 すご。みんなびっくりする。
- S6 粘土、出てこなかったらどうする？

## 6. 学生による測定結果の差異の要因

### (1)差異についての推論

グループ間で測定結果に差異が見られた原因は、学生の実験中の行動観察やプロトコルの内容から、以下の点が想定された（川村ほか，2019a；川村ほか，2019b）。

- ①容器内への試料の充填状況の差異
  - ②容器内への注水時間の差異
  - ③受水槽内の水面の変動による読み取り誤差
- これらについて、詳細に検討する。

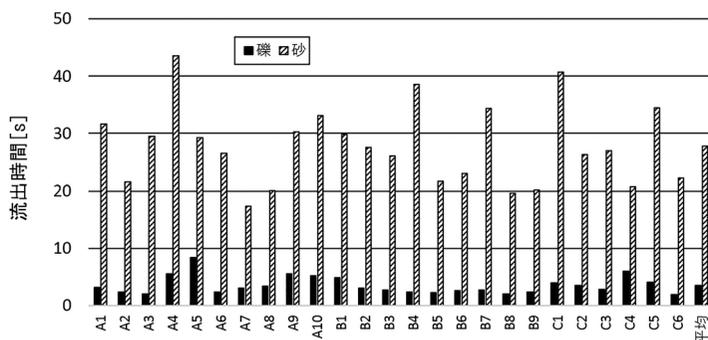


図4 学生グループによる水の流出時間の測定結果

## (2)容器内への試料の充填状況の差異

礫の測定では、指導者があらかじめ量り取っていた試料を学生に透水円筒へ充填させたが、試料が角礫であったため供試体の間隙率に差異が生じた可能性がある。透水性は多孔質材料の間隙の体積や形状および連結性の変化に敏感で、それに起因して大きく変化する（加藤ほか，2013）。グループ間で礫試料の間隙率に差異があったとしたら流出速度の違いに影響した可能性がある。

## (3)容器内への注水時間の差異

砂試料の測定において比較的長い時間（34.5秒，40.7秒）になった2つのグループの測定中の学生の様子を観察すると，100mLの水を複数回に分けて注ぐなどして，注水する時間が相対的に長かった。これらグループの実験者は，水を透水円筒内に投入する際に容器からの溢流を防ごうとするなどして，礫試料の場合と比べてゆっくり注水した可能性がある。

## (4)受水槽内の水面の変動による読み取り誤差

測定では漏斗の脚を受水槽（メスシリンダー）の内壁に沿わせる指示をしなかった。このため，流出速度の比較的速い礫を用いた実験では，受水槽内水面が流出する水により安定しなかった。数秒程度で測定を完了せざるを得ないためにメスシリンダーの目盛りの読み取りを瞬時に行う必要があり，読み取り誤差の要因となったと思われる。

## 7. 器具・授業に関する改善策

実験器具とその使用法について次のような改善策が導かれる。

前章(1)の①について，本実験では粒子間隙を最小化する前処理を省いたが，礫など粗粒な試料は，円筒に入れた後，振動を与えるなどして間隙を比較的狭くしておくことで，間隙率の差異が小さくなることが期待できる。

②について，試料の円筒内への注水時間をなるべくそろえるために，注水器具を追加することが望ましく，これについては後述する。

③について，流出水による水面の変動による読み取り誤差は，ろ過の手法を想起させ，漏斗の脚をメスシリンダー内壁につけるよう指示することで改善が期待できる。

## 8. 児童実験用装置の提案

### (1)児童向け実験装置への変更点

本研究で取り上げた実験装置は，小学校教員免許状取得を希望する大学生向けの内容で，実験器具にメスシリンダーやストップウォッチを使用している。本学習項目を学ぶ児童は4年生であるため，本実験装置や操作方法の修正が必要である。この修正の方向性は，川村ほか（2019b）で検討した。その後，修正・改良を施した器具の性能試験を実施した結果を以下に報告する。

### (2)試料の淘汰度の調整

モデル実験では，測定を通じて試料の粒径によって透水性が異なることを明確に見出させるために，試料の粒径が揃っていることが望ましい。例えば，比較的粗粒の試料は砂場の砂，細粒の試料は花壇の土などである。淘汰が悪い場合は，ふるい分けなどして粒径をそろえておく必要がある。

### (3)粒子間隙中の水分の調整

乾燥した砂と湿った砂とでは透水時間が異なり，飽和度が小さくなると透水係数が急激に低下する（参考：Nishiyama et al., 2012）。これは，乾燥した砂試料では，注入した水の一部が試料中に貯留されることが一因として考えられる。5章(5)で示したように，ある学生はこの現象に気づいた。なお，実験で使用した砂試料では，透水試験を筆者らが20回繰り返しても飽和しなかった。

学校などの花壇の土などはすでに水分を保持しているため，乾燥した砂場の砂とは実験条件が異なってしまう。これを防ぐために，実験前に試料を十分に湿らせておくなどの工夫をして条件を統一しておく必要がある。

### (4)実験方法

#### 1) 計時によらない流出時間の比較

本実験の礫試料のように，測定時間が数秒程度では砂の場合と結果の違いが明確である一方，児童による測定が困難な可能性がある。また，小学校4年生ではメスシリンダーやストップウォッチの使用に習熟していない。本実験では注水量の半分が流出した時間を測定させたが，流出した水全量の時間を測らせようとしても，流出終了のタイミングを見極めることが困難である。このことを改善するためには，比較的粗粒な試料と細粒試料と同時に注水することで，計時せずに流出時間の長短を見出させることが考えられる（川村ほか，2019b）。

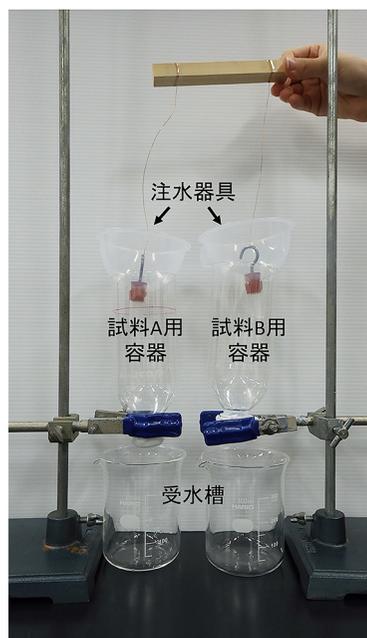


図5 児童実験向けに改良した実験装置  
(2種の試料A, Bに同時に注水する場合)

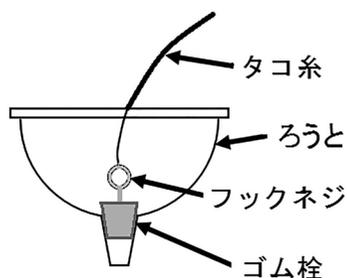


図6 注水器具の見取り図

## 2) 水投入方法の改良

大学生の一部グループでは、手順の指示通り「一気に」注水することができなかった。児童の場合にも同様のことが予想されるので、グループ間で実験条件を統一するために注水器具が必要である（川村ほか，2019b）。具体的にはペットボトルの上に、紐を取り付けたゴム栓で漏斗底部の孔に上方から蓋をして水を貯めておき、この栓を上方に引き抜くことで注水を開始することができるものである。この装置・器具を図5, 6に示す。

## 3) 改良した器具の性能試験結果

漏斗からの水100mLの流出時間（20回分）を、

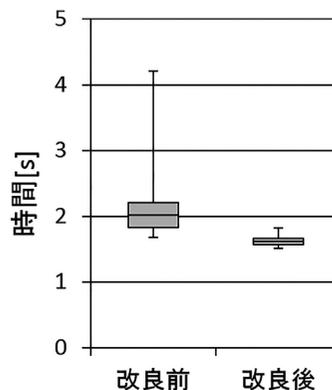


図7 注水器具からの水の流出時間の比較  
(20回分の最大・最小値, 四分位数, 中間値)

上方からビーカーで水を注ぎ込んだ場合と、漏斗内に貯めた水をゴム栓を引き抜いて流出させた場合とを比較したものが図7である。改良前（平均2.18秒，標準偏差0.57），改良後（平均1.62秒，標準偏差0.07）で，分散分析によると有意差があり（ $\alpha = .05$ ,  $F(1.39) = 18.52$ ,  $p = .000$ ,  $MSe = 3.08$ ），改良後の方が小さくなった。

## 9. おわりに

実際の土では様々な粒度の構成物質が混合しているが、本教材では実験条件の制御のために粒度をそろえている。このため、教育実践にあたってはまず土の構成物質の観察が欠かせないことは言うまでもない。2章で考察したように、大学生はモデル実験と、野外で見られる現象や地形図判読の結果を結びつけることができていないため、本教材のようなモデル実験を使用するだけではなく、実験結果と野外の現象を関連させる学習場面が必要である。そのためには、モデリングに取り組みせる学習（川村ほか，2019c）が必要であろう。これを含めた学習単元全体の教育実践とその評価が今後の課題である。

## 謝辞

本研究費用の一部は河川財団による平成31年度河川基金研究助成の財政的支援を得た。また、秋田大学教育文化学部学生の中町晶一氏には、授業実践時の補助をしていただいた。匿名の査読者からの指摘は、表現の改善につながった。質問紙調査にご協力してくださった大学生の方々をはじめ、ご協力・ご

支援くださった皆様方に感謝する。

### 引用文献

- 一般社団法人日本規格協会 (2019) 土の透水試験方法. JISハンドブック12 土木Ⅱ (土質試験・地盤調査・土工機械), 449-454, 一般社団法人日本規格協会.
- 加藤昌治・高橋 学・金子勝比古 (2013) 多孔質材料の水理定数評価のための室内透水試験法の理論. Jour. MMIJ, 129, 409-417.
- 川村教一・松井香菜子・田口瑞穂・山下清次 (2019a) 土の透水モデル実験の大学生向け実践: 小学校理科「雨水の行方と地面の様子」の学習のために. 日本地学教育学会第73回全国大会秋田大会講演予稿集, 171-172.
- 川村教一・松井香菜子・山下清次 (2019b) 小学校理科教材としての簡易透水実験における留意点. 日本科学教育学会研究会研究報告, 34巻1号, 47-50.
- 川村教一・長沼侑生・中田咲紀 (2019c) 教員養成課程学生を対象とした月のモデル実験の実践: 縮尺モデルと概念モデルを用いた実践から. 秋田大学教育文化学部研究紀要 教育科学, 74, 21-27.
- 松井香菜子・川村教一・田口瑞穂・山下清次 (2019a) 雨水の行方と地面の様子についての大学生の認識調査結果. 日本地学教育学会第73回全国大会秋田大会講演予稿集, 167-168.
- 松井香菜子・川村教一・田口瑞穂・山下清次 (2019b) 土の透水モデル実験における大学生による考察の状況: 小学校理科「雨水の行方と地面の様子」について. 日本理科教育学会第58回東北支部大会論文集, 23.
- 文部科学省 (2018) 小学校学習指導要領解説 (平成29年告示) 理科編. 大日本図書, 167p.
- 森 圭子・村野宏達・赤羽幾子 (2018) VIII-3 いま改めて問う, 土をどう教えるか-土壌教育の再設計と未来の学習指導要領-「地面をつくる土の粒と雨水の行方」の指導案およびその教材開発とWEBでの公開. 日本土壌肥料学会講演要旨集,

64巻, 208.

- Nishiyama, N., Yokoyama, T., and Takeuchi, S. (2012) Size distributions of pore water and entrapped air during drying-infiltration processes of sandstone characterized by water-expulsion porosimetry. *Water Resources Research*, 48, W09556. doi:10.1029/2011WR011782
- 内村太郎 (2013) ゼロから学ぶ土木の基本 地盤工学. オーム社. 228p.
- 山根悠平・雲財 寛・稲田結美・角屋重樹 (2018) 新単元「雨水の行方と地面の様子」の目標に関する研究: 河川工学の専門家と教育の専門家の認識に着目して. 日本体育大学大学院教育学研究科紀要, 1(1-2), 131-138.

### Summary

We have developed new teaching material for undergraduate school students as preservice elementary school teachers in a science class that is related to the permeability test to enable them to understand the study content related to rainwater on the ground. In the science education class, we instructed the students on how to use the apparatus and collected the results of the tests performed by the students and made of a note of their opinions while they were engaged in conducting the test. By analyzing the records of the class, we identified some points for improvement the manner in which the teaching material could be used. Based on these findings, we propose creating teaching material for elementary school students that is related to permeability.

**Key Words** : elementary school, science class, permeability, rainwater, undergraduate student, model experiment, permeability test

(Received January 7, 2020)

参考資料 認識調査の質問紙

2019.1.31C

アンケート調査用紙

学級番号 名前

新学習指導要領では小学校4年生「雨水の行方と地面の様子」が新たに追加され、地面の傾きと雨水の流れ方やしみこみ方について学習します。このアンケートは雨水の行方と地面の様子について尋ねるものです。大学の成績には一切関係ありませんので、あなたの考えで書いてください。

設問1

図中に示した①～⑫の地点のうちから2地点の組み合わせを選んだとき、雨が降った後に地表の水が流れる向きを正しく示している組み合わせは次のうちどれですか。あてはまるものをすべて選び○で囲んでください。

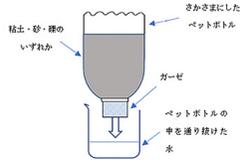
- ア ③→⑤
- イ ④→⑥
- ウ ⑤→①
- エ ⑦→⑨
- オ ⑧→⑦
- カ ⑨→⑩
- キ ⑩→①
- ク ⑪→⑫



設問2

底部を切り離し、飲み口にガーゼをあてがったペットボトルの中に、粒の直径が異なる3種類の物質のいずれかをそれぞれ同じ量だけ入れてあります。3種類の物質は、粘土（約1/256mm以下）、砂（約0.35mm）、礫（約14-21mm）です。それぞれのペットボトルに上から100mLの水を注いだとき、ペットボトルの下のビーカーに一定量の水(50mL)が早くたまる順として正しいものをア～カの中から一つだけ選び、記号を丸で囲んでください。また、そのように考えた理由を記述してください。なお、それぞれの粒子の内部には水はしみこまないものとします。

- ア 砂→粘土→礫
- イ 礫→粘土→砂
- ウ 粘土→礫→砂
- エ 礫→砂→粘土
- オ 砂→礫→粘土
- カ 粘土→砂→礫

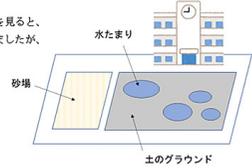


理由

2019.1.31C

設問3

2、3日雨が降り続き、学校の土のグラウンドと砂場を見ると、右の図のように土のグラウンドには水たまりができていましたが、砂場には水たまりができていませんでした。



(a) なぜ砂場では水たまりはできず、土のグラウンドには水たまりができたと考えますか。理由として考えられるものをすべて挙げてください。なお、砂粒や土を構成する粒の内部には水はしみこまないものとします。

(b) 雨をさえぎるものがないにも関わらず、上の図のように、土のグラウンドでも水たまりができていない部分がありました。グラウンドの土に含まれる粒はどこでも同じであるとすると、なぜこのような結果になったのか理由として考えられるものをすべて挙げてください。

(c) 土のグラウンドにできた水たまりは、時間が経過するにつれてだんだん小さくなっていき、後日グラウンドを見ると水たまりはなくなっていました。なぜ水たまりが消失したのか、理由として考えられるものをすべて挙げてください。