

ボーリング孔を利用した地下水学習

Groundwater Learning Using a Borehole

森江 孝志・五王 勝義・植木 岳雪

Takashi MORIE, Katsuyoshi GOOU and Takeyuki UEKI

徳島県の中学校の校庭でオールコアボーリング掘削を行い、そのボーリング孔を利用して地下水位の観測と地下水検層を行った。これらの結果をもとに、授業において中学生が、地下水の温度、色、臭い、水位を測定し、地下水位と雨量の関係、地下水の流動を考察した。ワークシートの感想から、生徒は学校のグラウンドの地下には地下水があることを実感し、新鮮な驚きや感動を示したことがわかった。

I. はじめに

地球上の陸水の中で、地下水の量は $8,200 \times 10^3 \text{ km}^3$ 、河川水の量は $1.7 \times 10^3 \text{ km}^3$ であり¹⁾、地下水は河川水の約4,800倍もあるとされている。地下水は飲料水や生活用水に利用されているので、環境問題として重要な学習素材である。また、地すべりの多くは地層が地下水の影響で発生するので、地下水は防災教育の観点からも重要な学習素材である。そのため、地下水の学習には十分な時間をとることが望まれる。

文部科学省の中学校学習指導要領解説理科編においては、雨、雪などの降水現象に関連させて水の循環を扱うように記載されており、地下水はそれに含まれている²⁾。中学校理科の教科書³⁾の「地球の天気と天気の変化」の第1章空気中の水の変化の単位では、地下水は水循環の中で取り扱われている。この単位では、陸上に降った雨や雪は、川となって海に流れたり、池や湖にたまったり、土壌や岩盤にしみこんで地下水となって循環しているこ

とを学習する。これまでに、地下水をテーマにした授業は、環境教育や水循環モデルの視点から行われてきたが⁴⁻⁶⁾、地下水は地下に存在するため、児童・生徒にとって実態がつかみにくく、興味関心を持ちにくいという問題がある。その一方で、地下水は川や湖の水のように陸上で直接観察することができないが、地下水は湧水や井戸水として捉えることで直接的に観察することが出来る。

理科の学習において、直接体験は児童・生徒の学習意欲を高めることに有効である⁷⁾。本論文では、かつて筆者が勤務していた中学校において、科学技術振興機構(JST)による平成24年度サイエンス・パートナーシップ・プログラム事業(以下、SPPと記す)「中学校周辺の地形と地下地質の探求活動」の一環として、ボーリング孔を利用した地下水学習を実践した結果についてまとめ、地下水の学習に直接体験を取り入れることによって生徒の学習意欲の変化について検証した。

II. ボーリング掘削

1. ボーリング掘削地点および周辺の地形地質概要

徳島県那賀郡那賀町の相生中学校は、四国山地内にあり、那賀川の左岸に位置している(図1)。ボーリングの掘削は、2012(平成24)年10月3日～6日に、相生中学校グラウンドのテニスコート横(北緯 $33^\circ 49' 15''$, 東経 $134^\circ 28' 80''$, 標高89.48 m)において行った。この地域の地質は、四万十累帯北帯の白亜系に属し、主に厚層砂岩または砂岩勝ち互層と頁岩からなる⁸⁾。

連絡先: 森江孝志 morie@me.pikara.ne.jp

千葉科学大学大学院危機管理学研究科(現徳島県海陽町立海陽中学校)

Graduate Course, Risk and Crisis Management, Chiba Institute of Science (currently Kaiyo Junior High School)

(2020年9月30日受付, 2021年1月7日受理)

地形は、著しく蛇行を繰り返して流れる那賀川により形成され、数段の河岸段丘が発達している^{9, 10)}。掘削地点は、那賀川の現河床との比高約20 mの段丘面上にある。



図1. ボーリング掘削地点の位置

ボーリング掘削地点は、現在的那賀川河床から約20 m上の段丘面上にある。地形図は、国土地理院の地理院地図 (<https://maps.gsi.go.jp>) を一部改編。

2. ボーリング掘削の方法

掘削の方法はオールコアボーリングで行い、得られたボーリングコアより地質柱状図を作成した。掘削は小型軽量掘削機（スピンドルタイプD-1型、東邦地下工機株式会社、福岡県福岡市）を用いて行った。この掘削機は、小型ながら油圧機能が充実し作業効率及び安全性に優れているので、トラックの荷台に設置して掘削を行った。掘削作業については、中学1年生に見学する機会を1時間設けた（図2）。



図2. ボーリング掘削作業を見学する生徒の様子

掘削されたボーリングコアの長さは11 m、径は86 mmで、コアパックにより1 mずつ採取された。

3. ボーリング孔の仕上げ

ボーリング孔には、内径40 mm、外径48 mmのVP40塩ビパイプを挿入した。塩ビパイプは、長さ4 mのものを2本と3 mのものを1本用意し、継ぎ手ソケット（Tsソケット）を接着剤でつないだ。塩ビパイプには、25 cmごとに4方向から径5 mmの孔をドリルで開け、砂礫の流入を防ぐために化学繊維（不織布）フィルターを巻いた。塩ビパイプと孔壁の間には珪砂を入れて間詰めした。

4. ボーリングコアの柱状図

ボーリングコアの柱状図を図3に示す。コアの深度0～0.33 mは盛土、深度0.33～0.50 mは耕作土、深度0.50～0.73 mは腐植土からなり、これらは段丘が離水した後の堆積物である。深度0.73～0.85 mはフラッドローム（氾濫原堆積物）、深度0.85～1.15 mは砂、深度1.15～8.25 mは礫からなり、これらは那賀川による段丘堆積物である。深度8.25～11.0 mは基盤の砂岩である。なお、ボーリングコアの詳細は、森江（2016）¹¹⁾を参照されたい。

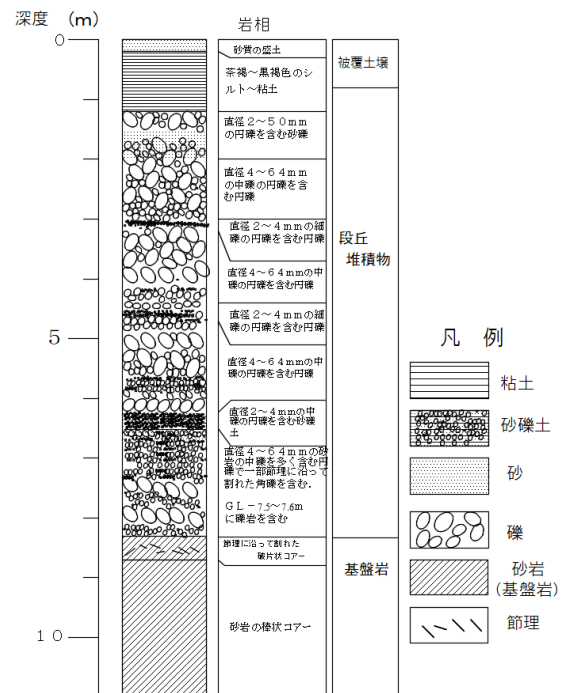


図3. ボーリングコアの地質柱状図

Ⅲ. 地下水位と雨量の関係

1. データ収集の方法

一般に段丘上における地下水位は、段丘堆積物中を層状水が流れ、基盤岩の節理中を裂か水が流れているとされる¹²⁾。今回は、段丘堆積物中の層状水を起源とする地下

水を対象とした。

地下水の観測は2012（平成24）年10月8日～12月28日の朝7時45分を実施した。地下水位の測定は次のように行った。目盛りをつけた電線コードに地下水検層ゾンデとデジタル地下水検層測定器を接続し、ボーリング孔内に下ろした。ゾンデの2つの電極が地下水面に達すると電流が流れ、測定器に比抵抗値が表示される。それによって、地下水位が測定できる。

雨量のデータは、国土交通省那賀川事務所が、中学校内で観測している日雨量を用いた。

2. 結果と考察

観測期間中地下水位は大きく変動し、10月30日に最高水位深度4.65 m、12月21日と12月28日に最低水位深度5.93 mを記録した。10月8日～11月7日の観測結果を、日雨量のデータと合わせて図4に示す（折線グラ

フは地下水位、棒グラフは日雨量を示す）。

10月8日～11月7日の日雨量のデータから、10月10日に5 mm、10月11日に8 mm、10月17日に156 mm、10月18日に24 mm、10月22日に11 mm、10月23日に5 mm、10月27日に45 mm、10月28日に114 mm、11月5日に20 mm、11月6日に4 mmの降水が認められた。

10月17日～18日の合計180 mmの雨量を観測した後、地下水位は10月21日までに約80 cm上昇し、その後、下降した。また、10月27日～28日に合計159 mmを観測した後、10月31日までに地下水位が約75 cm上昇した。一方、降水のない日には、地下水位は下降し日雨量が20 mm以下の日には水位がゆるやかに下降する傾向にあった。このボーリング孔では、地下水位は降水直後に上昇するのではなく、多くの雨量のあった日から3日後に最高水位となった。これらの結果から、地下水位と雨量には3日のタイムラグがあることが分かった。

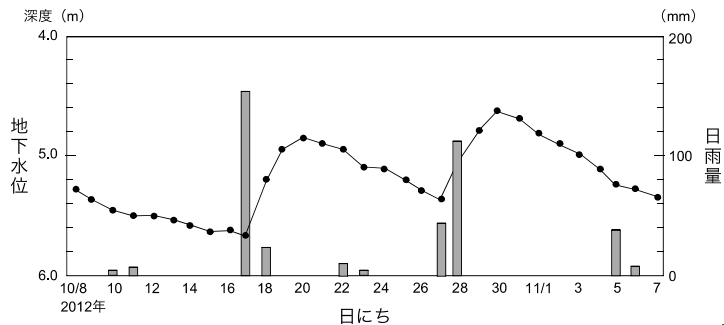


図4. 地下水位と日雨量の関係

折線グラフは地下水位、棒グラフは日雨量を示す。日雨量は国土交通省那賀川河川事務所による暫定値。地下水位と雨量には3日のタイムラグがあることが分かる。

IV. 地下水の流動調査

1. 地下水検層の方法

地下水の流動調査には、食塩による地下水検層法を用いた^{13, 14)}。その手順は以下のとおりである。ボーリング孔内の地下水に食塩を溶解させ、地下水の比抵抗値を自然状態の1/10～1/20程度に下げしておく。地下水流動層準から地下水が流入すると、孔内の地下水中の食塩が希釈され、比抵抗値が徐々に上昇する。そのため孔内の地下水の比抵抗値を深度毎に時間を経過させて測定することで、比抵抗が最も増加する層準を地下水流動層準とみなすことができる¹³⁾。今回は、食塩を入れた靴下をロープに取り付け、ボーリング孔の底まで下ろし、ロープを地表まで引き上げて食塩を溶解させた。そして、0、3、7、10、5、20、30、50、90分後に、デジタル地下水検層測定器を下ろし、深度25 cm毎に比抵抗値を測定した。調査は、10月17日～18日の合計180 mmの雨量の後で、地下水位が上昇した10月19日に行った。

2. 結果と考察

地下水の流動調査の結果を図5に示す。30分後から比抵抗の増加が現れはじめ50分後に5.75 mで0.89 $k\Omega \cdot cm$ 、6.00 mで0.91 $k\Omega \cdot cm$ 、90分後に5.50 mで1.46 $k\Omega \cdot cm$ 、

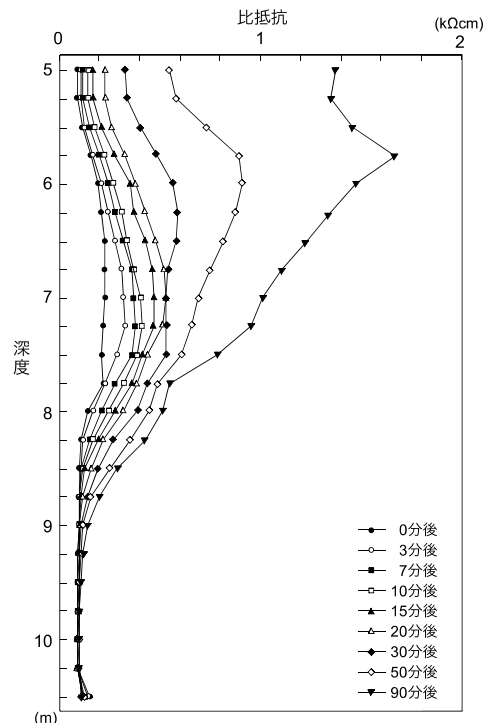


図5. 地下水検層開始から90分後までの深度毎の比抵抗値の変化

深度5.50 m～6.00 mでは比抵抗値の増加が最大であるため、その層準を地下水流動層準とみなした。

5.75 m で 1.67 $k\Omega \cdot cm$, 6.00 m で 1.47 $k\Omega \cdot cm$ となり, 比抵抗値の増加が最大の層準である深度 5.50 m ~ 6.00 m を地下水流動層準とみなした。

V. 地下水を教材にした授業実践

1. 地下水学習のねらい

地下水をテーマにした体験授業は, 中学 2 年生の 19 名 (男子 4 名, 女子 15 名) を対象として実践した。

授業の目標は, 地下には地下水があることを知ること, さまざまな実験から地下水の特徴を調べることの 2 点である。最初に地球をめぐる水について 1 時間の座学を行い, 次に地下水について 2 時間の体験授業 (以下, 本時

とする)を行った。体験授業ではワークシートを配布し, 地下水観測の結果と感想を書かせた。そして, 生徒の様子と感想から, 体験授業の効果を定性的に評価した。

2. 学習展開

2012 (平成 24) 年 11 月 27 日 4 校時 (11 時 40 分 ~ 12 時 30 分) には, 以下の学習展開を行った。

①ボーリングコアの観察 (15 分) : 中学校の地下地質を知ってもらうために, 生徒にボーリングコアを観察させた。図 6 のワークシートに, 基盤岩と段丘堆積物の礫層, 氾濫原堆積物の 3 層からなる地質柱状図を描かせた。

理科実験レポート	4 時間目	天気	氏名
1. 実験名 地下水調査			
2. 目的 ボーリング孔内の地下水を調査する。			
3. 学習の順番			
① 地下の地質のようすについて知る。			
② 現在の地下水の位置を調べる。			
③ 地下水をくみ上げ、温度や水の透明度・においなどを調べる。			
④ たくさんの地下水をくみ上げた後の地下水の位置がどうなるか調べる。			
⑤ たくさんの地下水を入れた後の地下水の位置がどうなるか調べる。			
⑥ 地下水と雨量の関係について測定結果から考える。			
⑦ 地下水検層の結果から地下水について考える。			
結果			
① 地下の地質のようす			
柱状図に描く。			
② 現在の地下水の位置を調べる。 m			
③ 温度 透明度 におい			
④ たくさんの地下水をくみ上げた後の地下水の位置			
予想			
結果			
⑤ たくさんの地下水を入れた後の地下水の位置			
予想			
結果			
⑥ 地下水と雨量の関係について測定結果から考える。			
⑦ 地下水検層の結果から地下水について考える。			
まとめ感想・その他			

図 6. 授業で使ったワークシート

②地下水の観察（15分）：野外に移動し、棒温度計で気温を測定させた。その後、ボーリング孔から採水器で地下水をくみ上げさせ、色（透明度）と臭いを記録させた。

③地下水位の変化の測定（20分）：ボーリング孔内の地下水を500 mL くみ上げ、くみ上げる前とくみ上げた直後の地下水位を測定させた。また、ボーリング孔内に水道水を1,000 mL 入れ、水道水を入れる前と入れた直後の地下水位を測定させた。

次の日の11月28日4校時には、以下の④～⑦の学習展開を行った。

④前日の授業の復習（10分）

⑤地下水位と日雨量の関係（10分）：図4の地下水位と日雨量のグラフを示し、地下水位と日雨量の関係を考察させた。

⑥地下水流動層の推定（15分）：地下水検層の方法について説明し、バケツの中で食塩水に真水を入れて、比抵抗値が上昇する様子を確認させた。その後、図5の地下水検層のグラフを示し、地下水流動層の深度を推定させた。

⑦考察とまとめ（15分）：地下水の観察や測定からわかったことを、生徒に発言させた。その後、ワークシートに感想を記入させた。

3. ワークシートのまとめ

11月27日の地下水の観察では、気温は11℃、地下水温は17℃であった。また、地下水の色は茶色で、臭いが少しあった。生徒は気温よりも地下水温の方が高いことに驚いており、地下水が汚れて臭いがあることに残念がっていた。

地下水位の変化の測定では、孔内の地下水をくみ上げる前の地下水面の深度は-5.51 m、くみ上げた直後の深度は-5.52 m、孔内へ水道水を入れる前の地下水面の深

度は-5.52 m、入れた直後の深度は-5.50 mであった。生徒はボーリング孔内の地下水をくみ上げたり、孔内へ水道水を入れても、地下水位が変化しないことに驚いていた。

地下水位と日雨量の関係生徒は、なぜ雨が降ってすぐに地下水位が上がらないのか不思議に思っていた。

4. 感想のまとめ

授業に対する生徒の感想を表1に示す。それらを、図7のように7つの内容に分類した。1人の生徒が複数の内容について記載した場合は、それぞれの内容に含めた。それぞれの内容は、水位が変化しないことが9名（47.4%）、地下水と日雨量の関係が7名（36.8%）、グラウンドの下に地下水があることが6名（26.3%）、地下水の濁りが3名（21.1%）、地下水温が3名（15.8%）、その他が2名（10.5%）、一般的な興味が4名（21.1%）であった。

グラウンドの下に地下水があることを6名が挙げたことは、「地下には地下水があることを知る」という授業の目標が達成できたことを示している。また、水位が変化しないことを9名、地下水の濁りを3名、地下水温を3名が挙げたことから、「地下水の特徴を調べる」という授業の目標も達成できたことを示している。また、これらは直接体験が重要であることを示唆している。

水位が変化しないことについて9名が挙げたが、地下水が多量に流れていることに結びつけた生徒は少数であった。そのため、地下水イメージ実験装置⁹⁾などを使って、生徒に地下地質と地下水の存在をリアルに示す必要があると思われる。

さらに、この授業でいろいろなことを学習できたことに、新鮮な驚きと感動が挙げられている。このことから、中学生に対して地下水は理科地学領域の興味・関心を高めることができる学習素材であると考えられる。

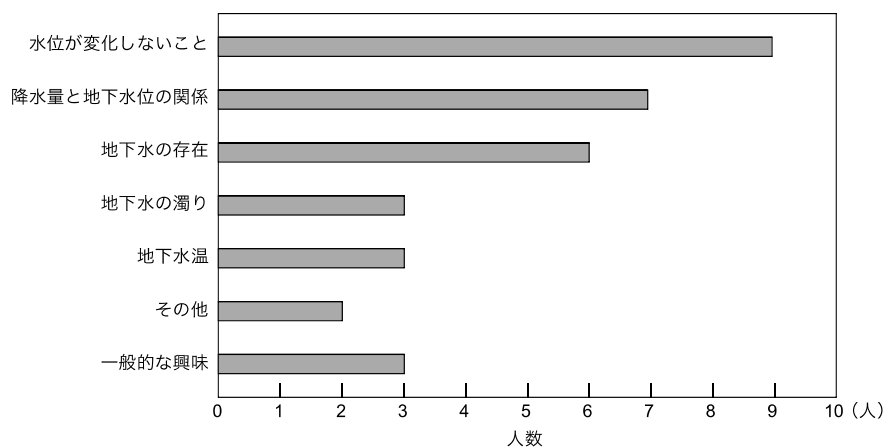


図7. 授業後に生徒が書いた感想の内容と人数

生徒数は19人。

表 1. 授業に対する生徒の感想

ボーリング孔内の地下水をくみ上げても、ボーリング孔内へ水道水を注入しても地下水位が変化しないことに関する感想

- ・どれだけ水をとっても、1cm、2cmくらいしか変化がないことにびっくりした。また、入れてもあまり変化しなかったから、それにもびっくりした。
- ・水をぬいたら、すぐく下がると思っていたけど、あまり下がっていませんでした。2cmくらいということは、あまり変わらないものと思いました。
- ・地下水をくみ上げた後の結果と現在の地下水の位置はあまり変わらないことが分かりました。地下水を入れた後は、くみ上げた後よりあまり変わりませんでした。
- ・水を抜いても、入れてもあまり変わらなかったの、地下水はたくさん流れいるんだなと思いました。
- ・水をくみ上げたり、入れたとしても地下水の位置にそんなに変化がないことにびっくりしました。
- ・私は、地下水をぬいても、地下水の量がかわらないことを初めて知りました。相生中学校の地下水の高さも、今まで知らなかったのでもためになりました。
- ・水をくみ上げても、入れても、地下水の位置がかわらないことに驚いた。
- ・たくさん水を入れてもあまり位置が変わらなかったの驚きました。
- ・予想とちがっていて、地下水の高さが、最初と結果では、あまり変わっていないことに少し驚きました。

降水量と地下水位に関する感想

- ・地下水は、雨が降った2日後か3日後に量が増えることが分かりました。
- ・地下水と日雨量の関係についても知ることができました。とてもいい経験になりました。
- ・地下水と雨量の関係についても初めて知りました。
- ・雨が降ったら、地下水の水も増えていることが確かめられたのでよかった。
- ・降水量と地下水の関係など いろいろ調べてみたいです。
- ・地下水は、雨がたくさん降ったその日にふえるものだと思っていた。2、3日後にふえるのはびっくりした。
- ・雨が降ったら地下水の位置が上がり、水をぬくと地下水の位置が下がるということを確認することができた。

地下水の存在に関する感想

- ・地下にこのような水があることを初めて知りました。びっくりしました。
- ・ボーリングのおかげで相中の地下に地下水が流れていること、地下水の位置など様々なことを知ることが出来ました。
- ・今回のボーリング実験を通して、相生中学校のすぐ下に地下水が流れているのを初めて知りました
- ・地下水のこと調べたことがなかったけれど、調べることができてよかったし、地下水についてたくさん調べることができました
- ・現在の地下水の位置も知ることができた。
- ・学校のグラウンド下に地下水があることは知りませんでした。

地下水の濁りに関する感想

- ・地下水を初めて見て予想どおりにごっていた。なぜにごっているのかが、不思議に思った。
- ・僕が地下水を見たときは汚れていたのきれいな地下水を見て飲んでみたいです。
- ・地下水は少し汚かったので残念でした。

地下水温に関する感想

- ・普通の水道水よりも、温度が高いことも不思議に思った。
- ・地下水の方が温度が高いことにもびっくりしたし、少し不思議に思いました。
- ・私は「地下水の水は温度が低い」と思っていました、以外とあたたかくて良かったです。

その他の感想

- ・コンクリートのような物が実は、れき岩をボーリングで突き抜けた物だと知って驚きました。そして、水が通らないことも知りました。
- ・水は塩を入れると電流の数値が変化したが、塩の他に変わるものがないか気になる。

一般的な興味に関する感想

- ・初めて地下水を調べて、初めて知ったこと、また、予想どおりだったこと、さまざまなことを知ることができて良かったです。
- ・おもしろいと思ったのでまた、機会があれば 地下水のことを調べてみたいです。
- ・ふだんは、そんなに地下水のことについて、考えなかったけれど、今回いろいろと調べてみたら、もっと水について知りたいと思いました。
- ・自分が知らないことがこんなにになっているのがすばらしい。まだまだ調べることは、あると思うので詳しく知りたいです。

VI. まとめ

徳島県の中学校においてボーリング孔を利用して、直接体験を含む地下水をテーマにした授業を実践した。

ボーリング試料については被覆土壌、段丘構成層、基盤岩とほぼ想定した通りの結果が得られた。地下水についての事前調査は、地下水位と地下水検層を行い、地下水位については日雨量との関係で興味深い結果が得られ、地下水検層については地下水流動層をとらえることができた。

これらの事前の調査をもとに行った授業実践でも、地下水温や地下水位の変化においては生徒の興味を引く結果を得ることができた。しかし、透明度や臭いにおいては、水の色は茶色で、臭いが少しあり、生徒も地下水が汚れて臭いがあることに残念がるとともに、筆者らも地下水が思っていたより汚れていることに驚いた。

このように、ボーリング孔を利用し、地下水を直接観察する直接体験を取り入れた学習を実践し、児童・生徒の学習意欲の変化について検証した。その結果、生徒は、学校のグラウンドの地下には地下水があることを実感し、新鮮な驚きや感動を示した。このことは、ボーリング孔を利用した地下水学習は、児童・生徒の学習意欲を高めることに有効であり、地下水についての学習に教育効果があることを示している。

今後の課題として、ボーリング孔の他に、湧水や井戸水を利用した地下水学習を行い、それらの教育効果を比較することと、地下水の汚れについての検証を行いたいと考えている。

謝辞

本研究は、JSTによる平成24年度SPP（サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト）の支援によって実施した。日雨量のデータは国土交通省四国地方整備局那賀川河川事務所に提供していただいた。徳島市立高等学校の栗林知史教諭には文献の入手でお世話になった。ここに記して深謝いたします。

引用文献

- 1) 国立天文台編：水循環。理科年表，丸善出版，東京，88，973，2015。
- 2) 文部科学省：中学校学習指導要領解説－理科編－。大日本図書，138，2008。
- 3) 吉川弘之ほか59名：未来へひろがるサイエンス2。新興出版社啓林館，大阪，249，2012。
- 4) 大島 良・宮下 治：高等学校地学における地下水を用いた環境教育－生徒の認識の実態と新教材の開発－，地学教育，53(6)，283-293，2000。
- 5) 宮下 治・大島 良：高等学校地学における地下水を用いた環境教育の授業実践－問題解決学習の授業展開と評価－，地学教育，54(1)，33-45，2001。
- 6) 濱田浩美：大学生の地下水に関する認識について。日本地学教育学会第61回全国大会講演予稿集，80-81，2007。
- 7) 杵渕 壮・中村雅彦：直接体験が中学生の学習意欲に与える影響。日本教科教育学会誌，31，11-18，2008。
- 8) 公文富士夫：徳島県南部の四万十累帯白亜系，地質学雑誌，87(5)，277-295，1981。
- 9) 満塩大洗・栗林知史：徳島県那賀川流域の第四系、高知大学学術研究報告（自然科学編），46，65-78，1997。
- 10) 岡 義記・古田 昇・木村和雄・寺戸恒夫：那賀川中流域相生町付近の河岸段丘と流路移動。阿波学会紀要，47，1-17，2001。
- 11) 森江孝志：那賀町立相生中学校グラウンドで見出された鬼界アカホヤ火山灰。徳島県立博物館研究報告，26，1-7，2016。
- 12) 応用地質研究会：地学ハンドブックシリーズ19地下水調査の手引き－大地の水環境のしらべかた－，地学団体研究会，77，2011。
- 13) 渡 正亮・酒井淳行：ボーリング孔を利用した地下水垂直探査について，地すべり，2(1)，1-9，1965。
- 14) 丸山清輝：地すべり地における地下水検層結果の解析，地すべり，33(4)，33-39，1997。

Groundwater Learning Using a Borehole

Takashi MORIE, Katsuyoshi GOOU and Takeyuki UEKI

*Graduate Course, Risk and Crisis Management, Chiba Institute of Science
(currently Kaiyo Junior High School)*

We performed drilling survey in the ground of junior high school of Tokushima Prefecture, southwest Japan. Groundwater leaning was done in the classes of science, using a remained hole 11 m deep. Student participant observed directly temperature, color, smell and depth of groundwater. They could find variation in groundwater depth and daily precipitation, and horizontal groundwater flow. Fresh surprise and positive impression on groundwater was described in handouts for students. Groundwater is a useful topic in the science class of junior high school.