

理 科

環境教育のための土の教材化とパフォーマンス課題の開発

—酸性雨と土のpH緩衝能に着目して—

風 呂 和 志

Development of Environmental Education Teaching Materials and Performance Tasks Using Soil

—Focusing on Acid Rain and Buffering Capacity of pH in Soil—

Kazushi Furo

The purpose of this research was to develop teaching material of soil used in environmental education and performance tasks used the teaching material and examine how students' awareness and engagement in environmental conservation is growing. A teaching plan and an experimental method associated with acid rain and buffering capacity of pH in soil were developed to give students an opportunity to learn about the function of soil in the environment. The performance task was designed to make students explain the difference of pH between acid rain and water in the river. The questionnaire was also designed, which made students compare what they did in their daily lives with what they were going to do in the future, to reveal students' eagerness to engage in environmental conservation. As a result of it, the lesson showed to raise students' awareness of the function of soil and find the relation between rain and soil. Evaluation of the performance tasks revealed the accuracy of the students' learning. However, the students' responses to the questionnaire did not reveal interest in engaging in environmental conservation. (p.187-194)

1 問題の所在と研究の目的

平成23年6月に改正された「環境教育等による環境保全の取組の促進に関する法律」には環境保全活動・環境教育の一層の推進を図ることが明記された¹⁾。現在、地球規模での環境問題が顕在化し、人間の様々な活動に影響を与えるようになってきている。学校における環境教育は体験学習から持続可能な社会づくりに貢献する人材の育成へと取り組みを発展させる段階となった。従来の環境教育は環境から学ぶことが中心であった。今後、学校の中で行う環境教育は、環境について学ぶ授業や環境のための学ぶ授業が求められているといえる²⁾。

環境は水や大気、光、土等の複数の環境要因が密接に関係しながら生物の生活に影響を与えている。中学校理科で取り上げられている環境要因は水と大気で、それらは環境調査の例としても取り上げられている。しかし、環境要因としての土の取り扱いが学校教育の中では消極的で、学習内容としては付随的である。また、土の成り立ちやその種類、環境要因としての機能などはほとんど説明されていない。教員自身も土について学ぶ機会がほとんどない。したがって、理科教育や環境教育のための土の教材化に関する研究は全国的に少ないのが現状である。

土は身近な環境であると同時に、急激な環境の変化をやわらげるはたらきを持つ。「環境につい

て学ぶ」ことは環境と人間の関わりについて理解を深めることである³⁾。土は環境保全の対象であると同時に、人間は土によっては環境の急激な変化から守られている存在であることを知識として持つことは、環境に対する見方や考え方を豊かなものにするために必要であると考えられる。

以上のような背景のもとで、本研究では環境教育のための土の教材化と、学習効果を評価するためのパフォーマンス課題の開発、および学習指導計画の作成を行った。土の教材化の視点として、環境要因としての土の機能と理科の学習内容の関連を重視した。その結果、酸性雨と土のpH緩衝能(pH:水素イオン濃度)を取り上げることとした。パフォーマンス課題は既習事項の活用で解答できるものとし、学習指導における課題を見出せるようにした。また、開発した教材を用いることによって環境保全に主体的に関わろうとする意欲が高まると考え、質問紙の作成と調査の実施、結果の考察を行った。

本研究では「土」と「土壌」と同じものであるという捉えをし、表記している。「土」は岩石からできたものや植物が根を下ろすところを指している。「土壌」は生物の活動の影響を受けた物質層であり、その主な成分は岩石の風化によって形成される碎屑物や粘土鉱物、および動植物の分解物の混合物を指している⁴⁾。専門的には「土壌」と表記すべきところであるが、本研究は学校教育の中の実践であることを考慮し、「土」という表記で統一している。

2 研究の方法

(1) 土のpH緩衝能の教材化

酸性雨と土のpH緩衝能を教材化するために、酸性雨の代用とする水溶液の作成、実験容器の考案、生徒実験に用いる土の検討等を行った。

なお、予備実験及び生徒実験において、水溶液のpHの測定にはライン精機製のデジタルpH計(型式EH-2000)を、カルシウムイオン濃度の測定には、共立理化学研究所製のパックテストをそれ

ぞれ用いた。

①擬似酸性雨の作成

はじめに、酸性雨の代用とする水溶液(以下、擬似酸性雨と表記)の開発を行った。土のpH緩衝能を調べる実験では、土に浸透させる水溶液としてうすい塩酸が用いられることが多い⁵⁾。うすい塩酸は実際の酸性雨とは成分も、pHの値も大きく異なり、現実的ではない。また、実際の降水を多量に採取し、授業日までの間保管しておくことは無理である。

酸性雨の主な酸性物質は硝酸塩と硫酸塩である。実験で使用する擬似酸性雨の体積を考え、水道水を用いることとした。水道水1Lに、5mLのケミカルスポイトを用いて濃硫酸を1滴、濃硝酸を3滴加え⁶⁾、それをさらに水道水で8倍に希釈したものを擬似酸性雨とした。作成した擬似酸性雨のpHは3.93、カルシウムイオンはパックテストで5mg/Lであった。これらをポリエチレン製の容器に入れて、授業日まで冷暗所で保管した。

②実験容器の考案

50分の授業時間内で準備から実験、片付けが終了するように、実験容器を小さくて簡便なものにした。直径3cmの透明な軟質塩化ビニル製のホースを5cmの長さに切ったものを容器として用いた。容器の底には観賞魚用のろ過材を2cm程度詰め、上から試料とする土を入れた。この容器を30～50mLの蒸発皿の中に立てて、透過した水溶液がこぼれないようにした。この実験容器を用いることで、複数の試料を短時間で実験することが可能となった。

③実験に用いる擬似酸性雨の体積の決定

予備実験を行い、生徒実験に用いる擬似酸性雨の量は実験容器1本に対して、10mLとした。容器内の土を透過する時間が短いことと、パックテストでカルシウムイオン濃度を調べることを考慮して、決定した。

④生徒実験に用いる土の検討

生徒実験に用いる土として、身近な自然にあるものと簡単に入手できるものを候補とし、土の種類とpH緩衝能の働きの違いが分かりやすくなる

ものを予備実験で絞り込んだ。

身近な自然にある土として、花崗岩が風化してできた真砂土と、校内で景雲台と呼ばれている雑木林の表土（景雲台の土）を選択した。ホームセンターなどで簡単に入手できるものとして、砂や腐葉土、日向土、バーミキュライトを選択した。これらを実験容器に詰め、はじめに精製水（コンタクトレンズ洗浄用、pH6.41、カルシウムイオン濃度0mg/L）を20mL透過させた後、擬似酸性雨（pH3.93、カルシウムイオン濃度5mg/L）を10mLずつ4回透過させ、それぞれpHの値を調べた。カルシウムイオン濃度は4回透過させた後に1回だけ測定した。擬似酸性雨が透過する時間はいずれも20秒程度であった。

表1は身近な自然にある土の実験結果である。表2は購入した土の実験結果である。景雲台の土の方が真砂土よりもpH緩衝能が高いことがわかった。また、砂や腐葉土はpH緩衝能が高いこともわかった。さらに腐葉土は透過させた水溶液中のカルシウムイオン濃度の変化が景雲台の土と同じであることもわかった。

教材化の目的は土のpH緩衝能やそれが腐植質と関係していることを理解させ、環境保全のためにできることを考えさせることである。このことを踏まえ、生徒実験に用いる土は、真砂土と景雲台の土、砂、腐葉土に決定した。

表1 身近な土の実験結果 (pH, Ca²⁺:mg/L)

| 透過回数 | 真砂土 | 景雲台の土 |
|------------------|------|-------|
| 1回目 | 5.04 | 7.16 |
| 2回目 | 4.65 | 7.06 |
| 3回目 | 4.56 | 7.16 |
| 4回目 | 4.50 | 7.13 |
| Ca ²⁺ | 10 | 20 |

(2) パフォーマンス課題の開発

広島県で観測される降水のpH値の平均は4.6～4.8である⁷⁾。それに対して河川の水のpHの値は

ほぼ7.0で、中性になっている⁸⁾。川の水のものは地表の降水であることと、水が地表を循環していることは既習事項である。さらに土のpH緩衝能については、実験で調べる。以上のことから、川の水のpHが高くなっている理由を説明させることで、学習の定着度や指導上の課題が明らかになると考えた。また、課題をより現実に近づけるために、小学校6年生に説明するという状況を設定した(図1)。学習の定着度とともに、科学的表現力の評価も計画した。

表2 購入した土の実験結果 (pH, Ca²⁺:mg/L)

| 透過回数 | 砂 | バーミキュライト | 腐葉土 | 日向土 |
|------------------|------|----------|------|------|
| 1回目 | 6.25 | 5.03 | 6.42 | 4.56 |
| 2回目 | 6.23 | 4.81 | 6.91 | 4.37 |
| 3回目 | 6.09 | 4.45 | 6.91 | 4.32 |
| 4回目 | 5.89 | 4.28 | 6.94 | 4.20 |
| Ca ²⁺ | 10 | 10 | 20 | 10 |

課題

小学校6年生のよしゆきさんの疑問に教えてください。

降った雨は酸性なのに、川の水は中性になっているのはどうしてなの。

図1 開発したパフォーマンス課題

(3) 学習指導計画の作成

環境教育のための土の教材化という目的を踏まえ、学習指導要領の第2分野(7)自然と人間のア(イ)自然環境の調査と環境保全に位置付けた⁹⁾。なお、教材化の内容にpH及びカルシウムイオンを含むため、第1分野(6)化学変化とイオンの学習後の実施とした¹⁰⁾。作成した学習指導計画の概要を表5に示す。

表3 パフォーマンス課題の評価観点と配点

| 観点 | 配点 |
|---|--------------|
| 雨の大部分は土にしみこむことと、雨水と川の水が同じでないことを説明している。 | 2点、どちらか1つは1点 |
| 土の成り立ちや主な成分について説明している。 | 2点 |
| 土の緩衝作用について簡単に触れている。 | 4点 |
| 小6を意識した説明になっている。(文章が平易、分かりやすい。図を使っている等) | 2点 |
| ※解答中間違った記述がある場合、その箇所の数に応じて1点ずつ減点する。 | |

| 行動 | 4 | 3 | 2 | 1 |
|---------------------------|---|---|---|---|
| 人のいない部屋の電気は消す | | | | |
| 歯磨きや洗顔時は水を流したままにしない | | | | |
| 誰も見ていないテレビは消す | | | | |
| 自分が出すごみの量を減らす | | | | |
| 決められたごみの分別を守っている | | | | |
| ごみを道端にポイ捨てしない | | | | |
| 環境問題について自分で調べる | | | | |
| 冷暖房は適度に調節しなるべく使用しない | | | | |
| 文房具は最後まで使い切る | | | | |
| 使用していない電化製品のプラグをコンセントから抜く | | | | |
| メモ用紙や書き取り練習は広告の裏紙などを使う | | | | |
| 環境問題について家族と話し合う | | | | |
| 物は大切に使い、壊れたら修理して使う | | | | |
| 自分で行ける場所は徒歩や自転車を使って行く | | | | |
| 買い物時には袋を持参し不要な包装は断る | | | | |
| 使い捨て商品は買わないようにする | | | | |
| エコマーク等の環境にやさしい商品を買う | | | | |
| 身の回りで植物を育てる | | | | |
| 環境保全に取り組んでいる企業の商品を買う | | | | |
| 清掃・植林などのボランティア活動へ参加する | | | | |

図2 作成した質問紙

表4 パフォーマンス課題の評価基準

| 記号 | 定着度 | 点数範囲 |
|----|-----------|-------|
| A | 十分満足できる | 8～10点 |
| B | おおむね満足できる | 5～7点 |
| C | 指導を要する | 0～4点 |

表5 学習指導計画の概要

| 時 | 学習内容 | 目標 |
|---|----------------------------------|------------------------------|
| 1 | 人間の活動と大気汚染、特に酸性雨との関係を知ろう。 | 環境問題の原因を進んで考えようとする。 |
| 2 | 酸性雨と川の水のpHの値の違いを問題解決の過程に沿って考えよう。 | 雨の水が川に流れ込む過程に問題を発見し、原因を予想する。 |
| 3 | 酸性雨が土にしみ込むとpHの値が変化するか実験で確かめよう。 | 安全に実験を行い、結果をワークシートにまとめる。 |
| 4 | 実験結果のまとめと考察の交流をしよう。 | 実験結果から土の緩衝能を見出すとともに、問題を解決する。 |
| 5 | 酸性雨の量が土の限界を超えるとどうなるだろうか | 環境保全の重要性を理解する。 |

(4) 質問紙の作成

環境保全のための行動を示し、行動ごとに実践の状況と今後の意欲について調査するものとした。日常生活における環境保全の実践の状況は生徒一人ひとり異なる。環境保全に対する意欲の変容を

とらえるために、統計的な処理を行い、実践の状況のバランスと今後の意欲のバランスを比較・検討することとした。

環境保全のための行動は三重県松阪市が中学生対象に実施した質問紙調査¹⁾を参考に作成した。

実践の状況については、4「いつもしている」、3「時々している」、2「あまりしていないがこれからはやりたい」、1「今はしていないし、これからもするつもりはない」の4つの尺度を設定し、もっともよく当てはまるものを1つ選択する形式とした。また、今後の意欲については、4「環境のために必要なので進んでやりたい」、他の人にも呼びかけたい」、3「環境のために必要なのでやりたい」、2「環境のために必要だけど、あまりやりたくない」、1「環境のために必要だけど、やりたくない」の4つの尺度を設定し、もっともよく当てはまるものを1つ選択する形式とした。

3 授業実践の概要

授業実践は平成28年10月17日から平成28年10月19日の間に行った。授業数は指導計画通り、5時間であった。対象は広島大学附属三原中学校第3学年の生徒75名であった。生徒実験は3時間

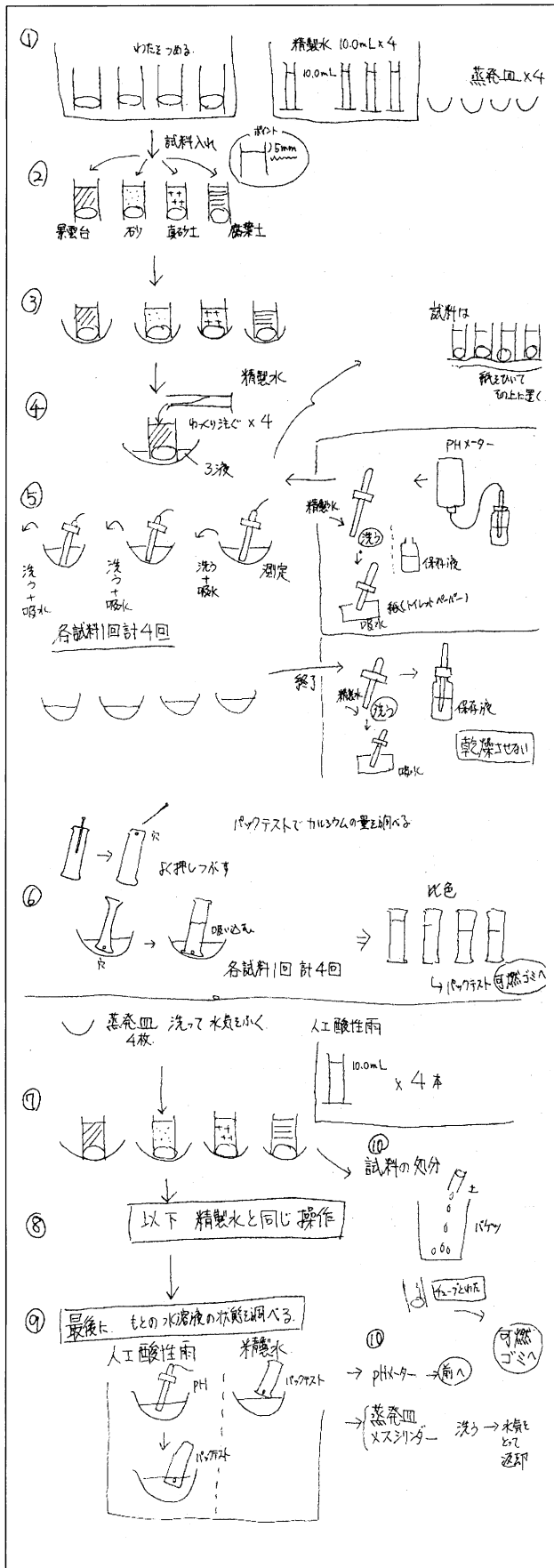


図3 実験手順を示したプリント

手順を理解しやすいように図にまとめ (図3), 生徒に配布した。生徒たちはプリントで手順を確認しながら, 安全に実験を進めていた。結果の分析と考察は4時間目に実施した。また, 土を用いた実験や学習内容に関する感想を任意に記述させた。5時間目にパフォーマンス課題に15分間取り組ませた。

質問紙調査は授業実践後の平成28年11月15日の授業中に5分間実施した。

4 結果と考察

(1) 感想文の分析と考察

対象生徒75人のうち61人が感想を記述していた。この61人の記述を分析対象とした。

土を使った実験に関する記述をした生徒は57人であった。このうち17人が難しい実験であったと記述していた。一方, 簡単で楽しく面白い実験だったが10人, 達成感を感じたが6人, 班で協力して活動できたが7人であった。指導の中で土の成り立ちについて触れず, 砂や腐葉土を試料に加えたため実験量が多くなった。それに加えてpH計やパックテストによる測定があったため, 手順が難しいと感じた生徒が多かったと考えられる。しかし, 初めて使用する器具によって興味・関心が高まったり, 実験の効率化を図るために分担と協力が行われたりしたとも考えられる。以上のことから, 開発した実験は手順が複雑で難しいものの, 中学生が実施すること自体は無理ではないと考える。

学習内容に関する記述は27人であった。このうち, 問題解決の過程に関する記述は15人であった。論理的に考えることができたとして自己評価した生徒が9人であった。また, 実験の位置づけについても理解できている生徒が6人であった。問題解決の過程を取り入れ, 1時間ごとに学級の結論をまとめながら指導を行った。土だけを学ぶのではなく, 土を学ぶことで科学の方法を学ぶという面も必要である。本研究で開発して学習指導計画は土の教材化のための指針になると考える。

目に実施した。予備実験等をもとに考案した実験

環境については33人が記述していた。このうち学習内容として土の働きに関するものが最も多く18人であった。土について学習することで自然に対する見方や考え方が広がった生徒は8人であった。「教科書に載っている実験だけでなく、このような身の回りの物を使った面白い実験は楽しいなと思いました。」という感想に代表されるように、身近なものを使った教材は生徒の興味・関心を高める。環境教育のための教材として土を取り上げることが効果的であると考え。一方、環境保全に主体的に取り組もうとする内容の記述は5人であった。学習内容は土と大気、水とのかかわりを総合的に扱うものであったが、生徒の関心は直接扱った土の働きに集まっていた。自由記述としたために、環境保全に関する記述はわずかであった。自由記述を用いた分析結果からは、環境保全に主体的に関わろうとする意欲や態度を高める効果については明らかにできなかった。

(2) パフォーマンス課題の評価結果の分析と考察

評価結果はA評価が42人(56%)、B評価が24人(32%)、C評価が9人(12%)であった。A評価とB評価を合わせて88%と高い割合となった。このことから、課題の難易度は学習内容に対して妥当であり、学習の到達度を測定できるものであると考え。

観点別では、土の緩衝作用に対する理解が平均で85%であり、実験や学習課題が適切に設定できたと考える。一方、降水の循環や土の成り立ちに関しては十分な結果が得られておらず、学習指導計画が生徒の実態を踏まえたものになっていなかったと考える。

(3) 質問紙調査の結果と考察

質問紙の集計結果を図4に示す。なお、回答数は75人であった。

節電や自転車の利用といったエネルギー消費を抑える取り組みは日頃からよく行われていることがわかった。また、ごみの減量化や分別、ポイ捨て抑制などの取り組みもよく行われていることが

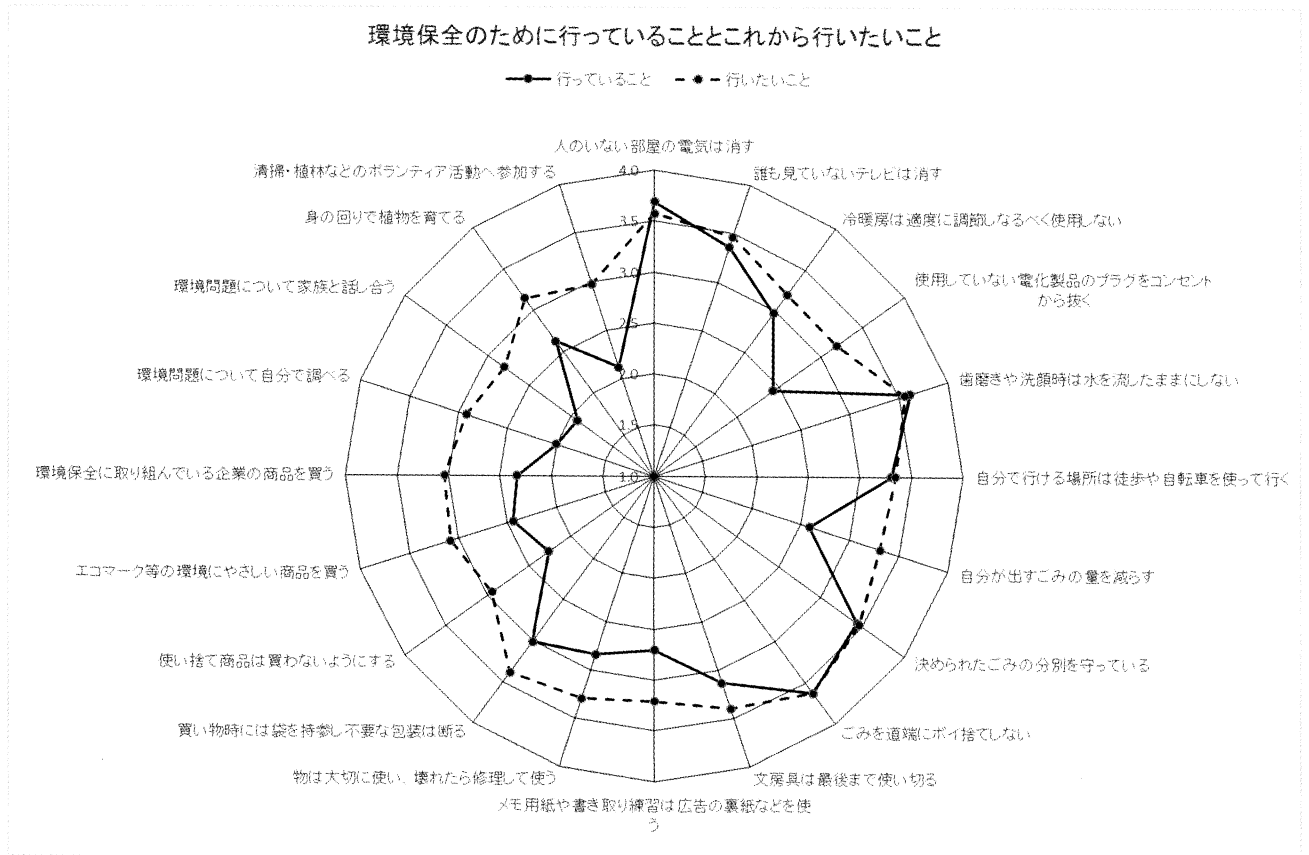


図4 回答状況のレーダーチャート(平均値)

わかった。一方、環境問題について自分で調べたり、家族と話し合ったりすることはほとんど行われていなかった。物の消費を抑える行動もほとんど行われていなかった。特定の環境保全のみが行われており、バランスが取れていないことがわかる。生徒たちは環境に対する見方や考え方が不十分で、自分の生活様式を考えた実践ができていないといえる。環境について学ぶ機会を多く持ち、学習内容を家庭へ発信する取り組みも必要であろう。

表6 観点別評価結果

| 観点 | 配点 | 平均点 | 平均到達率 |
|----------------------|----|------|-------|
| 雨は土にしみ込むことに触れている。 | 2 | 1.07 | 54% |
| 土の成り立ちや成分について触れている。 | 2 | 1.09 | 55% |
| 土の緩衝作用について触れている。 | 4 | 3.41 | 85% |
| 文章が平易で、相手を意識した表現である。 | 2 | 1.69 | 85% |

学習後の環境保全に対する意欲についての項目ごとの回答平均値はおおむね 3.0～3.5 とバランスよく上がっていた。本実践が環境問題を考える契機となって、環境保全の必要性を実感し、自分の生活と環境との関わりについて振り返ることができた結果だと考える。

しかし、学習の前後での平均値の比較や分析ではないため、学習指導の効果であるとは断定できない。本研究では環境保全に主体的に関わろうとする意欲の変容を環境保全の実践の状況との比較で検討しようとした。酸性雨は化石燃料の大量消費が原因であり、エネルギー消費と物の消費は元を同じくする問題である。しかし、本研究では物の消費と酸性雨の関係については指導しておらず、中学生がそれに気づいた上で回答しているとは判断できない。

以上のことから、本研究によって環境保全の必要性を理解し、自分の生活と環境との関わりについて考えるきっかけになったと推測されるものの、学習効果と断定することはできないといえる。

5 結論

これまでの考察から次の5つの結論を得た。

- ・環境問題と結びつけて土を教材化することで、土の働きに関心を持たせたり、環境要因間のつながりに気づかせたりすることができた。このことは環境を総合的にとらえようとする生徒の育成につながると考える。
- ・土のpH緩衝作用は発展的な課題として位置付けることができる。本研究で開発した実験は、準備から片付けまで授業時間内に実施できる。
- ・開発したパフォーマンス課題は土のpH緩衝能に関する実験後に実施することで、学習内容の定着状況を適切に評価できるものであった。
- ・土の教材化に当たっては、土の成分やでき方を学習指導計画に位置付ける必要がある。
- ・本研究では、土の教材化とそれを用いた学習指導による環境保全に主体的に関わろうとする意欲の高まりについては明らかにできなかった。
- ・環境保全に主体的に関わろうとする意欲の変容を量的にとらえることができる質問紙の開発が必要である。

6 附記

本研究は平成28年度科学研究費助成事業(奨励研究, 課題番号16H00201)により実施された。

<注および引用・参考文献>

- 1) 「環境教育等による環境保全の取組の促進に関する法律」, <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H15/H15H0130.html>
- 2) ホットライン教育ひろしま: 「環境教育の推進」, <http://www.pref.hiroshima.lg.jp/site/kyouiku/kannkyoukyouiku-h21kankyou-kannkyou20top.html>
- 3) 前掲2)
- 4) 秦明憲他, 「理科における土教材開発の視点」, 『教育臨床総合研究9 2010研究』, p. 112, 2010
- 5) 例えば, 「土壌の観察・実験テキスト」(日本

土壌肥料学会, <http://jssspn.jp/edu/archiv e/2006textbook4web.pdf>)等がある。

- 6) 富山県立大学短期大学部環境工学科川上研究室ホームページ:「酸性雨の分析と評価」, http://www.pu-toyama.ac.jp/ES/kawalab/ac_anal.htm
- 7) eco ひろしま～環境情報サイト～:「酸性雨の状況について」, <https://www.pref.hiroshima.lg.jp/site/eco/f-f2-sanseiu-joukyou.html>
- 8) eco ひろしま～環境情報サイト～:「平成27年度水質等調査の結果」, <https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/223232.pdf>
- 9) 文部科学省(2008),『中学校学習指導要領解説理科編』, pp.90 - 93, 大日本図書.
- 10) 前掲9), pp.48 - 52
- 11) 松阪市ホームページ:「環境問題に対する意識」, <https://www.city.matsusaka.mie.jp/www/contents/1000007007000/files/tyuugakusei2.pdf>