

生態系における物質循環を理解する上で基礎となる
小中学校理科の学習内容と問題点

佐藤 綾・益田 裕 充

**Contents and problems upon learning of material cycling in
ecosystems in elementary and junior high school science**

Aya SATO and Hiromitsu MASUDA

生態系における物質循環を理解する上で基礎となる 小中学校理科の学習内容と問題点

佐藤 綾・益田 裕 充
群馬大学教育学部理科教育講座
(2017年9月27日受理)

Contents and problems upon learning of material cycling in ecosystems in elementary and junior high school science

Aya SATO and Hiromitsu MASUDA
Department of Science Education, Faculty of Education, Gunma University
Maebashi, Gunma 371-8510, Japan
(Accepted on September 27th, 2017)

1. はじめに

新学習指導要領¹⁾への改訂では、小学校理科の第6学年の内容に「人と環境」が追加された。ここでは、これまで学習した理科の内容を踏まえて「自分が環境とよりよく関わっていくためにはどのようにすればよいか、日常生活に当てはめて考察するなど、持続可能な社会の構築という観点」で内容を扱うこととなっている。これは、今回の改訂で整理された理科で育成を目指す資質・能力²⁾のうち、「学びに向かう力・人間性等」における、「自然に親しみ、生命を尊重する態度」、「根拠に基づき判断する態度」、「多面的、総合的な視点から自分の考えを改善する態度」の育成の実現を目指すものと捉えることができる。同様に、人と自然環境の関わり合いについては中学校第3学年の「自然と人間」でも学習する。これらのことから、理科での学習を通じて、自然環境の保全に関する問題に対して、人間が自然と調和しながら持続可能な社会をつくっていくため「科学的な根拠に基づいて賢明な意思決定ができるような態度を身につける」³⁾ことが重視されている

と言える。

生物分野において持続可能な社会を考える上では、生物と非生物的環境での物質の循環の概念が重要である⁴⁾。そのため、小学校の「人と環境」は、「生物と環境」の上位内容に含まれており、生物と水や空気などの周囲の環境との関わり合い、および、生物同士の食べる食べられるの相互作用を学習した後の内容となっている。中学校の「自然と人間」は「生物と環境」の下位内容を含み、そこでは「食物網や自然界の炭素循環などの学習を通して、生物の間につき合いが保たれていること」を学習する³⁾。しかしながら、ここで重要となる物質循環について、子どもの概念形成上の問題が指摘されている。

1) 物質循環の学習における分解者の問題点

小学校および中学校では、物質の循環に関わることとして、表1にまとめた内容を学習する。小学校では呼吸や光合成という生命活動により、生物は空気を通して非生物的環境と関わっていることを学習する。中学校では化学分野で学習した化学変化や有機物、無機物という概念をもとに、生物が行う呼吸、

表1 新学習指導要領解説に記載されている小学校と中学校で学習する物質の循環に関わる内容

小学校第6学年「生物と環境」で学習する物質の循環に関すること

- ・動物は、水および空気がないと生きていくことができない。植物は水が不足すると枯れてしまう
- ・生物は酸素を吸って二酸化炭素をはき出しているが、植物は光があたると二酸化炭素を取り入れて酸素を出すなど、生物は空気を通して周囲の環境と関わって生きている
- ・植物を食べている動物がいる。その動物も他の動物に食べられることがある。生物には食う食われるという関係がある

中学校第3学年「生物と環境」の「自然界のつり合い」で学習すること

- ・植物や光合成をする水中の小さな生物は、生産者として無機物から有機物を合成するが、無機物から有機物を合成する能力のない生物は消費者として他の生物や生物の死がいや排出物などの有機物を摂取することが必要である
- ・生物の死がいや排出物中の有機物を摂取する生物は、生態系の中で消費者であると同時に分解者としての役割も担っている
- ・菌類や細菌類などの微生物が有機物を最終的に分解して無機物にし、それを生産者が再び利用している。炭素が自然界を循環している

無機物から有機物を生産する生産者の働き、生物の遺体や排出物を無機物にする分解者の働きにより、物質、例えば炭素が自然界を循環していることを学習する。中学校では、新たに学習した知識を踏まえ、事象をより深く扱うとともに、分解者という新しい概念を扱うこととなる。

分解者は、生物の遺体や排出物などの有機物を利用して生活し、有機物中の無機養分を放出する役割を果たす⁵⁾。この働きにより、生物中の無機養分は生産者に再び利用され、物質循環が成立する⁵⁾。そのため、物質循環を理解する上で、分解者によって生物の死がいなどの有機物が無機物へ変換されるという事象の理解は重要である。しかし、生物による死がいなどの分解という事象は具体的事象を提示しにくく、抽象的に思考することが要求される⁶⁾。そして、子どもにとって分解者の行う「分解」は物理

的意味合いが強いようであり⁷⁾、分解の過程を経た後、生物の死がいなどは見えなくなる、バラバラになるという知覚的な理解にとどまっている⁶⁾という指摘がある。つまり、子どものなかで、分解者による分解という事象は分子レベルでの物質の変化としては捉えられておらず、分解者の働きにより、生物の死がいや排出物の有機物は細かい有機物になるという理解がされていると言える。

2) 本論文の構成と目的

生物と環境の関係について学習することで、子どもは、生物が周囲の環境と関わり合って生きていること、生物のさまざまな働きのつり合いが保たれていることを理解する。そして、それら学んだ知識をもとに、持続可能な社会を目指す上で、自然環境を保全することの重要性や人間活動によって自然界のつり合いに影響を与えることの問題点などに対し、科学的な根拠を持って考え、判断する態度を養っていく。科学的な根拠に基づいて問題を考えるためには、事象についての科学的に正しい理解が基本として必要である。

本論文ではまず、新学習指導要領^{1) 3)}で定められた小学校と中学校理科で学習する内容のうち、生物と環境の関係や物質循環の理解と深く関わる部分についてまとめ、生物と環境の関係や物質循環を理解する上で必要となる総合的な知識を整理する。それを踏まえ、学習者が理科で学習する物質循環に関わる様々な内容を矛盾なく理解しているのか、大学生を対象に調査した。本論文の後半で、その調査方法と結果についてまとめる。

2. 小中学校の理科における物質循環の理解に関わる内容

1) 小学校

小学校で学習する内容のうち、物質循環の理解に深く関わりと考えられるものを表2にまとめた。物質の循環を理解するための基礎的知識として、生物は呼吸により酸素を取り入れ二酸化炭素を放出していること、植物は養分を自身で作り出すこと、動物は食べ物を消化・吸収することで養分を吸収してい

表2 生態系における物質循環の理解に深く関わる小学校理科の学習内容

学年	単元	学習する主な内容	物質循環との関わり
3	身の回りの生物	・植物の育ち方には、種子から発芽し子葉が出て、葉がしげり、花が咲き、果実がなって種子ができた後に個体は枯死するという、一定の順序がある	・植物が枯死した後はどうなるのかの疑問につながる
4	雨水の行方と地面の様子	・土の粒の大きさを観察する	・土とは何かについて考える
5	植物の発芽、成長、結実	・植物は、種子の中の養分を基にして発芽する ・種子の発芽には、水、空気、及び温度が関係している ・植物の成長には、日光や肥料などが関係している	・植物は水や空気とどのように関わっているのか理解する
6	燃焼の仕組み	・植物体が燃えるときには、空気中の酸素が使われて二酸化炭素ができる	・植物が燃える過程が化学的な変化であることを理解する ・植物体が有機物であることの理解につながる
	人の体のつくりと働き	・体内に酸素が取り入れられ、体外に二酸化炭素などが出されている ・食べ物は口、胃、腸などを通る間に消化、吸収され、吸収されなかったものは排出される	・呼吸による物質の動きを理解する ・動物は食べ物として外部から養分を摂取することを理解する ・排出物はどうなるのかの疑問につながる
	植物の養分と水の通り道	・植物の葉に日光が当たるとでんぷんができる ・根、茎及び葉には、水の通り道があり、根から吸い上げられた水は主に葉から蒸散により排出される	・植物は養分を自身でつくることを理解する ・植物と水の関わり合いについて理解を深める

ることが挙げられる（第6学年）。一方、植物が枯れること（第3学年）、動物が消化・吸収されなかったものを排出すること（第6学年）の理解は、それらの枯死体や排出物が「その後どうなるのか」という物質循環に関わる疑問につながるものと考えられる。その他、土とは何かについて理解していること（第4学年）、あるいは植物体が燃える際の化学的な変化について理解していること（第6学年）は、特に生物の死がいなどの有機物が無機物に分解されることを考える上で重要な概念となる。

2) 中学校

中学校で学習する内容のうち、物質循環の理解と深く関わりと考えられるものを表3にまとめた。中学校では、小学校で学習した内容をより深化させ、分子や細胞という目に見えないレベルで事象を理解

する。中学校理科での学習のうち、生態系における物質の循環を理解する上で重要なことは、化学分野で学習する物質の成り立ちや化学反応の概念である。まず、物質を分子・原子レベルで捉えること（第2学年）は、生態系における物質循環を分子・原子レベルで理解する基礎となる。また、呼吸や光合成、消化といった生命現象を物質の化学変化と捉えること（第2学年）で、生命現象によって「物質」が変化し、生物から生物へ、生物から非生物的環境へ移動していることを理解することができるようになる。

また、第1学年の化学分野で有機物と無機物の定義を学習する。ここでの学習は、生徒が生命現象を有機物と無機物という概念を用いて理解する上で重要となる。これにより、生物が生命活動のエネルギー

表3 生態系における物質循環の理解に深く関わる中学校理科の学習内容

学年	単元	学習する主な内容	物質循環との関わり
1	物質のすがた	<ul style="list-style-type: none"> ・有機物は無機物と異なり、加熱すると焦げて黒くなったり燃えると二酸化炭素が発生したりする 	<ul style="list-style-type: none"> ・有機物と無機物とは何か理解する
2	物質の成り立ち	<ul style="list-style-type: none"> ・物質を分解すると、1種類の物質から2種類以上の元の物質とは異なる物質が生成する ・物質を構成している単位として原子や分子がある ・原子には多くの種類が存在する 	<ul style="list-style-type: none"> ・分解とは物質の化学的な変化を指すことを理解する ・分子、原子というレベルで物質を理解する ・生命活動と関わる原子に興味を持つ
	生物と細胞	<ul style="list-style-type: none"> ・生物の体は細胞からできている ・植物と動物の細胞で異なるつくりがある ・細胞が物質を出し入れして呼吸をしている ・生物には一つの細胞からなるものがある 	<ul style="list-style-type: none"> ・呼吸、光合成について理解を深める ・単細胞の生物が存在することを理解する ・細胞レベルで呼吸が生じることを理解する
	植物の体のつくりと働き	<ul style="list-style-type: none"> ・光合成は光のエネルギーを利用して、二酸化炭素と水からでんぷんなどの有機物と酸素を生じる反応である ・呼吸により酸素が吸収され二酸化炭素が放出されている ・水が根で吸収される 	<ul style="list-style-type: none"> ・呼吸と光合成を化学反応として理解する ・植物は根から水を吸収していることを理解する
	動物の体のつくりと働き	<ul style="list-style-type: none"> ・消化や呼吸について、動物の体が必要な物質を取り入れ運搬している仕組みを理解する 	<ul style="list-style-type: none"> ・消化、呼吸について理解を深める

を生成するためには有機物が必要であり、有機物を基質としてエネルギーを取り出す反応により、無機物を放出していること、呼吸の基質となる有機物を植物は無機物から合成し、動物は他の生物から摂取していると理解することができる。そして、植物が無機物から生成し、生物間を移動した有機物は、死がいや排出物となり、分解者の働きを学習することで、それら有機物が再び無機物に戻ることを理解する。

新学習指導要領には分解者の学習において、「菌類や細菌類などの微生物については、これまで学習していないことに留意して指導する」と書かれている³⁾。2学年の「生物と細胞」では、細胞という生命の単位を学習する。これにより、単細胞の生物が存在することや、呼吸や光合成が細胞レベルで生じていることを理解する。これは、単細胞の生物すなわち細菌などの微生物も呼吸を行っていることを理

解する上で重要である。

3) 示唆される問題点

表2に示した内容のうち、キーワードとなる用語として、枯死、土、養分、水、空気、肥料、酸素、二酸化炭素、呼吸、消化、排出、でんぷんが挙げられる。この中で、養分と肥料という用語の関係は教科書中の記載から読み取ることが困難である。

小学校理科の教科書⁸⁾内で、養分という用語は、「種子には、発芽させるために必要なでんぷんとよばれる養分がふくまれている」

「植物の葉に日光があたると、葉にでんぷん（養分）ができる」

「葉にできた養分は、植物の成長に使われる」

「人などの動物は、生きていくために食べ物から養分や水分を体の中にとり入れる必要がある」

といった文脈で使われている。つまり、ここで「養分」という用語は、「生物の成長に使われる成分」⁹⁾

という意味で用いられている。そして、中学校第3学年の「生物と環境」において、「光合成をする生物は、太陽の光エネルギーを利用して無機物（二酸化炭素と水など）から有機物を生産している」、「植物などの光合成によりできるでんぷんなどの養分は有機物である」¹⁰⁾とまとめられる。

一方で、肥料については、それが何かの定義付けがなされないまま用語が使用されている。小学校第5学年の教科書¹¹⁾では、「インゲンマメは、種子の中ででんぷんを養分として使って発芽しますが、やがて種子の養分をたくわえた部分（子葉）は、しぼんで取れてしまいます。子葉の取れたインゲンマメが成長し続けていくには、水のほかに何の関係しているのでしょうか」という問いに対し、「種子の中の養分が無くなったので、肥料が関係していると思う」という意見が子どものイラストの吹き出しに書かれる形で出現する。そして、植物の成長に肥料が関係しているか確かめる実験を行い、「植物の成長には、日光や肥料が関係しています」という結論がまとめられる。中学校では、肥料という用語は第1学年の「葉・茎・根のつくりと働き」で出てくる。教科書¹²⁾には「茎は、水分や肥料分、葉でつくられた養分を体全体の細胞に運ぶだけでなく、陸上植物のからだを支えている」、「根の働きは、植物の体を支えることと、その表面から水や肥料分を吸収することである」という記載が見られる。一方で、肥料は何の物質のことを指すのかについては触れられていない。

ここで、肥料とは何かの定義付けがなされないため、

「養分は植物の発芽や成長に関わる」

「肥料は植物の成長に関わる物質である」

「養分とはでんぷんなど、すなわち有機物である」

という学習してきた内容をつなぎ合わせることで、植物は根から成長のための養分、すなわちでんぷんなどの有機物を吸収するという誤った理解が成立してしまう可能性が指摘できる。そして、植物が根から有機物を吸収するのであれば、分解者の働きによって有機物が細かい有機物に破碎されていると考えていても、物質の循環を矛盾なく捉えることがで

きると考えられる。そこで、以下の調査を行い、大学生が植物が根から有機物を吸収していると考えているのか、それにより物質の循環を矛盾なく理解できているのか検討することとした。

3. 大学生を対象とした物質循環に対する理解の調査

1) 調査方法

調査は質問紙を用い、2017年7月に群馬大学教育学部に在籍する1~4年生182名を対象に行った。質問紙は図1に示す問いから構成した。それぞれの質問に対する回答は自由記述で、回答時間は15分とした。

2) 質問紙の構成と質問の意図

質問紙の問1は、分解者から生産者へ引かれた矢印を何が移動しているのかを問う質問である。質問に使用した図は教科書¹³⁾に記載されていた図2を改変したものである。分解者の働きが生物の死がいや動物の排出物などの有機物を無機物に分解することであることを理解していれば、「無機物」と回答する、あるいはリンや窒素などの無機物質を回答すると考えた。

問2は、小、中学校の教科書に記載されている肥料をどのように理解しているのか明らかにするため設定した。ここで有機肥料分を回答した場合、植物が根から有機物を吸収していると考えていることがわかる。また、ここに有機物を書いた場合、分解者による分解が有機物を細かくばらばらにすることと理解していても、誤った物質の循環を矛盾なく理解できていると言える。

問1の回答として、矢印Xを流れている物質を「栄養」あるいは「養分」と答える学生がいることが予想された。そのため問3で栄養や養分を何の物質と捉えているのか質問した。問1を栄養や養分と答え、問3で有機物を書いた場合、分解者から生産者に流れている物質を有機物と捉えていると言える。

問4は、回答者が有機物と無機物の定義を理解しているのか確かめるため設定した。以上の問1~4

問1 右図中の矢印xを流れているものは何だと思いますか？

問2 根のはたらきは、植物のからだを支えることと、その表面から水やa)肥料分を吸収することです。下線aの肥料分とは具体的に何の物質を指すと思いますか？

問3 栄養（養分）、あるいは栄養素とはどんな物質を指すと思いますか。物質の名称、化学式、元素記号などで考えられるだけ挙げてください。

問4 無機物と有機物の定義を説明してください。

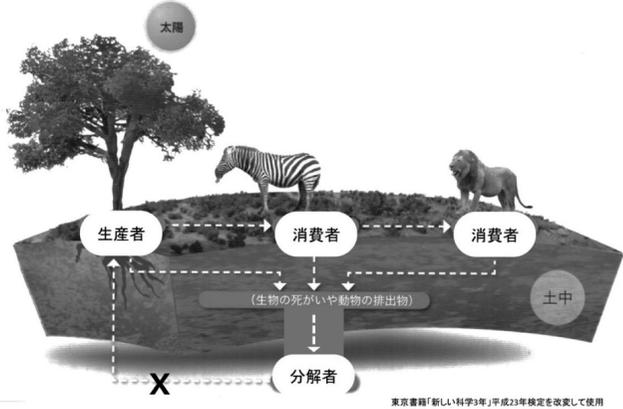


図1 調査に用いた質問紙の構成

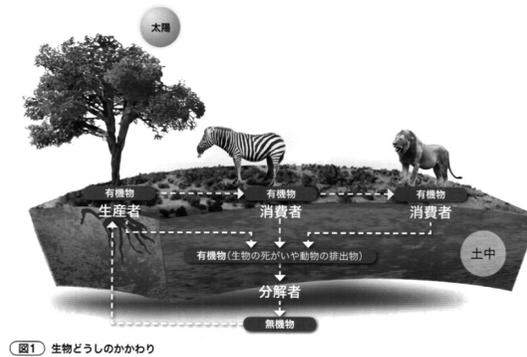


図2 教科書に記載されている生物同士のかかわりの図
(東京書籍 新しい科学3年 p.234より引用)

の一連の回答を分析することにより、大学生が物質循環と分解者の役割をどのように理解しているか明らかにできる。

3) 結果

調査紙を配布した際、回答をもって調査協力の同意とすることを説明したため、アンケートを配布した182名のうち、白紙で提出した46名は分析から除外した。そのため、分析には136名の回答を用いた。物質の循環については中学校での学習後、高等学校の生物基礎で学習する。回答者136名のうち、生物基礎の非履修者は13名のみであり、履修の有無によって回答に違いが見られなかったため、以下

の分析はすべての回答を合わせて行った。

問1の質問に対する回答は表4に示す15種類が見られた。複数の回答を書いていた学生、未回答の学生が見られたため、回答者数と回答数は一致しない。「無機物」もしくは何らかの無機物質の回答は全体の58%であった。「有機物」という回答は全体の18%であった。栄養もしくは養分と回答した21名のうち10名が問3で栄養として有機物を回答していた。肥料と回答した1名は問2で肥料として有機物を挙げていた。以上を整理すると、最終的に矢印Xを移動するものを無機物と捉えていた学生は74名(全体の54%)、有機物と捉えていた学生は

表4 質問紙の問1(矢印Xを流れるもの)に対する回答

回答の分類	回答の数
無機物	79 (58%)
炭素	22
窒素	22
二酸化炭素	16
無機物	14
酸素	2
水	2
リン	1
有機物	25 (18%)
栄養, 養分	21 (15%)
エネルギー	7 (5%)
肥料	1 (1%)
その他	4 (3%)
菌類が生み出したもの	1
分解したもの	1
菌	1
地下水	1

36名(全体の26%)であった。

植物が根から吸収する肥料分は何の物質かという問2の質問に対する回答は表5に示す通りであった。複数回答であったため、回答者数と回答数は一致しない。植物が根から吸収する物質を有機物と捉えていた回答は全体の27%であり、そのように回答した人数は41名(30%)であった。また、得られた有機物の回答のうち、「でんぷん」が52%を占めていた。問1で矢印Xを移動するものを有機物と捉えていた学生36名のうち、16名(44%)が植物は肥料分として有機物を根から吸収すると考えていた。

表5 質問紙の問2(肥料とは何か)に対する回答

回答の分類	回答の数
無機物	113 (65%)
窒素, 窒素化合物	50
リン, リン化合物	33
カリウム	16
ナトリウム	3
炭素	3
カルシウム	2
酸素	2
二酸化炭素	2
無機物	2
有機物	48 (27%)
でんぷん	25
有機物	12
糖, グルコース	3
タンパク質	2
アミノ酸	2
ビタミン	2
生物の死がい, 虫の糞	2
養分, 栄養	7 (4%)
その他	7 (4%)
元素, 成長の補助薬など	

問4は中学校理科の教科書¹²⁾の記述に従い、有機物は「炭素を含む物質」、もしくは「燃やすと二酸化炭素と水ができる物質」、無機物は「有機物以外の物質」という意味を回答してある場合に正答とした。136名中、正答した学生は65名(48%)であった。問1の質問に「無機物」と回答、もしくは無機物質を回答した74名の学生のうち、問4で無機物と有機物の定義を正答した学生は36名(49%)であった。同様に、問1の矢印Xを移動するものを有機物と考えていた学生36名のうち、問4で有機物と無機物の定義を正答した学生は18名(50%)であった。

4) 考察

分解者の働きにより植物に移動している物質を無機物と理解していた学生は約半数であった。一方、分解者の働きにより植物に移動する物質を有機物と理解していた学生が1/4ほど存在していた。一方で、どちらの回答をしていても、有機物と無機物の定義を正答していた学生の割合は変わらなかった。最終的に、有機物と無機物の定義を理解した上で、分解者の働きによって植物に移動する物質を無機物であると考えられていた学生は136名中36名(26%)であった。

本調査の結果、特に注目すべき点として約3割の学生が植物が根から吸収する肥料分を有機物と考えていた。そのうちの約6割が植物が根からでんぷんを吸収していると考えていた。チンゲンサイやニンジンなどの作物では土壌に蓄積しているアミノ酸やタンパク質様窒素などの有機態窒素を直接吸収利用できる例が報告されており¹⁴⁾、一概に植物が根から有機物を吸収しないとは言えない。しかしながら、でんぷんは高分子であり、水に溶けないことから、植物が根からでんぷんを吸収することはない。そして、植物が根からでんぷんを吸収するという考えは、植物が光合成で無機物から有機物を合成する生産者であるという概念と矛盾するものである。しかし一方で、この誤った概念により、分解者が生物の死がいなどを植物が根から吸収できるくらいのお小さな有機物に破碎すると考えていても、矛盾なく物質の循環を捉えられると考えられる。そのため、分解者の働きや物質の循環を誤りなく理解するためには、植物が根から吸収する肥料分について物質的な理解をすることが一つとして重要なのではないかと考える。

肥料とは「植物の生育や品質を向上させるために植物に施用される、窒素、リン、カリウムなどの植物生育に必須な元素(養分)を含む資材」,「化学合成した無機質肥料となたねかすなどの有機質肥料(中略)などの種類がある」⁵⁾とされている。中学校第2学年で「原子・分子」を学習する際、教科書¹⁵⁾に記載されている周期表には、N(窒素)やK(カリウム)が社会のなかで使われている例として「肥

料」と書かれている。また、中学校第3学年では化学分野において「水溶液とイオン」について学習する。この単元で学習したことを踏まえ、「生物と環境」で植物が根から吸収する物質について考えることは、物質の循環を誤りなく理解する上で有用であると考えられる。今後、植物が根から吸収し、成長に関わる「肥料」が何の物質であり、吸収された肥料が植物体内でどのように働くのか考えることで、子どもが物質の循環を誤りなく理解できるのか検討する必要がある。

まとめ

本研究では、生態系における「物質の循環」を理解する上で必要となる小・中学校理科で学習する内容を新学習指導要領に沿ってまとめた。生物分野における植物や動物のつくりや働きについての学習だけでなく、小学校地学分野の「土」についての学習、中学校化学分野の「物質」や「化学反応」における学習内容が物質循環を理解する上で重要な基礎となる。しかしながら、大学生を対象とした調査の結果から、これまでの指摘と同様、学習者が物質の循環という事象を科学的な事象に即して十分に理解できていないことが示された。本調査の結果は、学習者が植物が根から有機物を吸収していると考えたことで物質循環の誤った構造を矛盾なく捉えられている可能性を示した。今後、肥料という用語が物質として何を指すのか定義付けすることで、学習者が物質の循環を誤りなく理解できるようになるのか検討したい。

謝辞

本研究でのアンケート調査にあたっては、群馬大学教育学部 学校教育講座 三澤紘一郎准教授にご協力いただきました。また、アンケートの集計にあたり、群馬大学教育学部 天野倫太郎氏、淡路将史氏、下田崇人氏にご協力いただきました。以上の方々へ心よりお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 文部科学省 (2017) 小学校学習指導要領解説, 理科編.
- 2) 中央教育審議会 (2016) 幼稚園, 小学校, 中学校, 高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について (答申) 別添資料 4-1.
- 3) 文部科学省 (2017) 中学校学習指導要領解説, 理科編.
- 4) 文部科学省 (2010) 新学習指導要領における「環境教育」に関わる主な内容, http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shisetu/013/003/shiryo/attach/1299713.htm.
- 5) 石川 統ほか 7 名編 (2010) 生物学辞典, 東京化学同人.
- 6) 益田裕充 (2005) 中学生の「分解者による分解」概念形成の実態と, 土の理解がその形成に与える影響, 科学教育研究, **29**(4), 283-293.
- 7) 木谷要治 (1991) 中学生の生物現象理解についての研究, 日本理科教育学会研究紀要, **31**(3), 59-68.
- 8) 有馬朗人ほか 42 名 (2015) 新版 たのしい理科 5 年, 6 年, 大日本図書.
- 9) 松村 明 編 (2006) 大辞林 第 3 版, 三省堂.
- 10) 霜田光一ほか 25 名 (2014) 中学校 科学 3, 学校図書, 155-159.
- 11) 日高敏隆ほか 55 名 (2014) みんなと学ぶ小学校理科 5 年, 学校図書, 28-31.
- 12) 岡村定矩・藤嶋 昭ほか 48 名 (2013) 新しい科学 1 年, 東京書籍, 39-45, 76-79.
- 13) 岡村定矩・藤嶋 昭ほか 48 名 (2013) 新しい科学 3 年, 東京書籍, 39-45.
- 14) 阿江教治・松本真悟・山縣真人 (2001) 新しい世紀への植物栄養の展望 4. 土壌に蓄積する有機態窒素の作物による直接吸収, 日本土壌肥科学雑誌, **72**(1), 114-120.
- 15) 岡村定矩・藤嶋 昭ほか 48 名 (2013) 新しい科学 2 年, 東京書籍, 1.

