

## 中学校理科における生産者・消費者・分解者概念の構築に関する研究 —大学生に対する実態調査をもとに—

A study on the construction of the concept of producer, consumer and decomposer in lower secondary school science; Based on an investigation of university students

林 直 希

甲 斐 初 美

Naoki HAYASHI

Hatsumi KAI

横浜国立大学大学院教育学研究科

福岡教育大学理科教育ユニット

(令和元年9月30日受付, 令和元年12月12日受理)

### 抄録

理科授業を通して, 自然界における生命どうしの関わり合いについて, 生徒に深く捉えさせるためには, 生産者・消費者・分解者という枠組みから生態系を捉える視点を育成する必要がある。しかし, とりわけ分解者については, 肉眼で観察できないような微小な生物が多くを占めていることから, 生徒にとってはイメージしづらいと考えられる。また, 平成24年度以降の教科書において, 分解者に関する定義が変更されたにもかかわらず, 教師は改訂以前の定義のまま授業を行い, 生徒に誤った概念を保持させてしまっていることが懸念される。ところで, 学習者の誤った概念を修正するために, 麻柄らは, ル・バー修正戦略を提案している。本研究では, 麻柄らの提案した, 誤った概念を修正するル・バー修正戦略のうち, 生産者・消費者・分解者概念においては, どの方略が有効であるかを検討するために, 生産者・消費者・分解者概念に関する学習者の認識について実態調査を行った。調査の対象者は, 平成24年度以降の教科書によって生産者・消費者・分解者の定義を学習した大学生である。調査結果から, 学習者の一部は, 菌類・細菌類のみが分解者であると捉えていることや, 水中の分解者の存在について理解できていないこと, 分解者か否かを生物体の大きさで判断していることなどが明らかとなった。さらに, 学習者にとって, 枯草菌のような細菌類は典型事例, ナマコのような水中に生息し, 肉眼で観察できる大きさの生物は境界事例として機能することが示唆された。そこで, 実際の理科授業では, 従来の教科書にあるような, 土壌中の小動物や菌類・細菌類といった例を用いるだけでなく, 水中の分解者や体長の大きな生物体を取り上げることが, 学習者の誤った概念の修正のために有効であると考えられる。

### 1. 研究の目的

平成29年に告示された中学校学習指導要領によると, 理科の第2分野では「生命や地球に関する事物・現象に進んで関わり, 科学的に探究しようとする態度と, 生命を尊重し, 自然環境の保全に寄与する態度を養うとともに, 自然を総合的に見ることができるようにする」という目標が掲げられている<sup>1)</sup>。自然界の恩恵を後世にも受け継いでいくためには, 自然界が維持し続けてきた生態系や, そのバランスについての理解が不可欠であ

る。そこで, 中学校段階での生態系の学習においては, 生産者・消費者・分解者に関する理解の果たす役割は大きいと考える。とりわけ分解者は, 生産者が作り出し, 消費者によって大部分が利用された後のふん, 生産者や消費者の遺骸などの有機物を再び無機物へと戻す役割を果たしており, 自然界が長年続けてきた物質循環において欠かせない存在である。しかし, その一方で, 生徒の分解者概念の構築には課題があると考えられる。例えば, 分解者を代表する菌類・細菌類は, 土壌中

や空気中に無数に存在しており、人類は古くから発酵食品として利用するなど、日常生活においてありふれた存在であるものの、それらは肉眼で捉えることができず、分解者が有機物を得て生きていることを実感することは難しい。また、後述するが、中学校教科書5社における分解者概念の定義は、平成24年度から変更されている。これに伴い、生徒だけでなく、教師も分解者概念を正しく理解できていないまま授業を行っていることが懸念される。

そこで本研究では、生産者・消費者・分解者概念の実態を調査したのち、いくつかの事例を提示することで、学習者の概念の変容を試みたい。さらに、これらの結果や考察から、中学校第3学年の生態系単元における教授上の示唆を与えたい。

## 2. 学習者の誤った概念を修正する方略

### 2.1 内包と外延

学習者は、理科授業において学習する以前から、日常の経験などを通して彼らなりの概念を構築している。ただし、このような日常の経験を通して構築される概念は、必ずしも科学的に正しいものであるとは限らない。そこで、授業者が学習者に正しい概念を構築させるには、単に科学的に正しい知識を伝達することに終始せず、学習者が既に構築している概念（既有概念）について十分に把握し、既有概念から科学概念へと変容させる必要がある。そこで、学習者の保持する概念について把握するために、内包と外延という枠組みを用いることが有効である。

哲学・論理用語辞典（2012）によれば、内包とは、「ある概念にふくまれる〈意味〉つまり〈性質〉」のことを指す<sup>2)</sup>。例えば、金属概念における内包は、「金属光沢がある」、「延性・展性を持つ」、「熱や電気をよく伝える」といった金属特有の性質が当てはまる。また、外延とは、「ある概念が適用される事物のすべて」である<sup>3)</sup>。金属概念における外延は、「鉄」や「銅」、「カルシウム」といった金属である物質が当てはまる。

このような金属概念については、伏見ら（1990）によって、金属はみな磁石に引きつけられるというような誤った内包で捉えていることや、カルシウムやナトリウムは金属でないというような外延の適用範囲の縮小過剰に関する実態が報告されている<sup>4)</sup>。このように、学習者の概念を捉える際に、内包と外延という枠組みを用いることで、学習者の概念が単に正しいか、誤っているかという判断だけでなく、学習者の理解の状況を細部まで捉え

ることができる。

### 2.2 ル・バー修正ストラテジー

内包と外延を用いて明らかとなった、学習者の誤った概念を修正するための方略に関して、細谷ら（1976）や、麻柄ら（2006）の提案する「ル・バー修正ストラテジー」は有効である<sup>5) 6)</sup>。細谷（1970）は、学習者に身につけさせたい正しい概念をル（ru：ruleを省略している）と呼び、「ある一般性を持った命題で、そこに〈代入例〉をあてはめることができる」ものと定義した。内包と外延の定義を用いれば、ある一般性を持った命題は内包、代入例は外延と捉えることができる。そして、ルールの反例である誤った概念を「ル・バー」とした<sup>7)</sup>。

学習者の誤った概念に着目し、その修正を目指した研究は現在までに数多く存在するが、中でも上述したル・バー修正ストラテジーは、学習者に構築させるべき各概念の論理構造に着目し、修正方略の型分けを行っている。この精細な研究によって見出されたル・バー修正ストラテジーは、本研究においても有効な方略であると考えられる。

このようなル・バー修正ストラテジーでは、学習者の誤った概念を修正するために提示される事例（提示事例）が重要な役割を担っている。先述した伏見らの調査では、金属概念のル・バーを修正するために、提示事例として、学習者にとって馴染みの深い金属の事例である銅（典型事例）を用いた場合と、馴染みの薄い金属の事例であるカルシウム（境界事例）を用いた場合の概念構築への影響を明らかにしている。その結果、典型事例である銅は、金属としての性質を想起しやすく、内包の修正に有効ではあるものの、銅が金属であることへの驚きはないために、外延を拡大させるには有効でないことが明らかとなった。一方、カルシウムは、金属としての性質を想起しづらく、内包の修正に有効ではないものの、カルシウムが金属であることには驚きがあり、外延が拡大され、修正されることが明らかになった<sup>8)</sup>。

実際に学習者の誤った概念を修正させようとする際、学習者の内包と外延はどちらも修正されるべきである。そこで、ル・バー修正研究では、典型事例と境界事例の両者を組み合わせて提示する方略が提案されている。そして、さらにその提示順序や提示方法に関して、例えば、麻柄（1999）の二重推想法<sup>9)</sup>や進藤ら（2006）の融合法<sup>10)</sup>など、構築すべき概念ごとにル・バー修正方略の検討がなされている。

### 3. 生産者・消費者・分解者概念

#### 3.1 生産者・消費者・分解者の定義

##### 3.1.1 教科書における生産者・消費者・分解者の定義

平成24年度用中学校理科教科書から、分解者の位置づけに変更があった。平成23年度までの教科書各社における定義では、生産者と消費者、分解者をそれぞれ別の区分としていた。ここでの分解者の定義は、有機物を無機物に分解する生物であり、主に菌類や細菌類であるとされていた。しかし、分解者も食物に含まれる有機物を取り入れている従属栄養生物という観点では、消費者と変わらない。そこで文部科学省の検定意見により、平成24年度以降の教科書では、有機物を作り出す独立栄養生物か、有機物を取り入れる従属栄養生物かという観点で、生物を生産者と消費者に大別し、その消費者のうち、生物の遺骸やふんなどから栄養を得る生物を分解者として位置づけている<sup>11)</sup>。これにより、分解者にあてはまる生物は以前より増加することとなった。例えば、ミミズやダンゴムシは、平成23年度までの定義では、消費者とされていたが、枯れ葉等、生物の遺骸を食べるため、平成24年以降は消費者であり分解者でもあるとして取り扱われている<sup>12)</sup>。

一方で、生産者と消費者の定義は、それぞれ独立栄養生物と従属栄養生物のどちらにあてはまるのか、という視点から二者に明確に分割され、ごく一部の例外を除けば、現在まで、あまり議論の余地は生じてきていないようである。ただし、消費者である従属栄養生物は、有機物の摂取方法が生物によって様々であり、生きている生物の摂取に加えて生物の遺骸やふんも摂取する場合があるため、消費者と分解者との明確な境界を見出し難いところはある。

生態学において、この境界が明確に画定されていないのは、おそらく生産者・消費者・分解者という分類そのものが、近年の生態学研究において活発に用いられなくなってきたからであると考えられる。これはつまり、生物どうしの関わり合い方について、より個別に詳細な検討がなされるようになったからであるとも考えられる。しかし、中学校第3学年という段階においては、生産者・消費者・分解者という概念について学習することは意義深いと考える。なぜならば、生徒は、小学校第6学年理科において、生物には食う・食われるという関係があることや、中学校第2学年理科で、独立栄養生物である植物の光合成や従属栄養生物である動物の摂食および消化・吸収について

学習したのち、中学校第3学年理科では、生態系全体での物質循環という、大きな視点で生態系を捉えるようになるため、生産者・消費者・分解者概念、とりわけ分解者が生物の遺骸やふんを無機物に分解することで生産者が利用できる状態にしていることに着目することは有用であると考えられるからである。

ところで、生産者・消費者・分解者に関する学習者の誤った概念の修正を目指すとき、先述した通り、典型事例だけでなく、境界事例の提示も重要となる。しかし、ここまでに指摘した通り、分解者に関しては、生態学上の定義が曖昧であるために、教科書において提示される事例も、境界事例は提示できず、ダンゴムシやミミズ、納豆菌など、典型的な事例の提示にとどまっている<sup>13)</sup>。

このように、ル・バー修正ストラテジーについて検討する上で、分解者概念に関する科学的に正しい内包と外延が定まっていなければ、授業者が科学的に正しい事例を用いて、学習者にとって有効な方略を見出すことはできない。そこで、以下、複数の資料から分解者の定義を画定したのち、分解者と消費者を明確に分類し難い事例を通して、本研究において適用する分解者の事例について検討する。

##### 3.1.2 本研究における分解者の定義

岩波生物学辞典によれば、分解者とは、「生態系における栄養動態の観点からみて、腐食食物連鎖に属し、死んだ生物体や排出物あるいはその分解物を分解して、その際に生じるエネルギーによって生活し、有機化合物を生産者が利用できる簡単な無機化合物にもどす無機化の役割を果たしている生物あるいは生物群」であるとされる<sup>14)</sup>。

その他3つの生物学・生態学に関わる辞典、もしくは用語集においても、表現の違いはあるものの、①従属栄養生物であること、②生物の遺骸や排出物から有機物を得ていること、の2点に関する記述があった<sup>15)</sup>。さらに、中学校理科の教科書においても、5社すべてでこの2点に関する記述がある<sup>16)</sup>。このことから、本研究では分解者を「従属栄養生物であり、その中でも、とりわけ有機物を生物の遺骸や排出物などから得ている生物」と定義する。

### 3.2 分解者を分類する上での困難な事例

#### 3.2.1 消費者はみな分解者か

生態系における分解者の役割を端的に指摘するならば、「有機物を無機物に分解する役割を担う生物」であると捉えることができる。ところが、消費者はみな従属栄養生物であるため、有機物を



食べ、各細胞でそれらを消費し、二酸化炭素やアンモニアなどの無機物を排泄によって体外に排出している。つまり、消費者はみな有機物を無機物に分解する過程に関与しているため、これでは、消費者はすべて分解者であると捉えることもできてしまう。

そこで、文部科学省の教科書に対する検定意見によって、平成24年度版以降の中学校理科の教科書では、従属栄養生物の有機物を得る対象について、「生物の死骸や排出物に含まれる有機物を取り入れている」生物を分解者とする事となった<sup>17)</sup>。本研究においても、有機物を得る対象が生物の遺骸や排出物であると定義することで、定義そのものは単純でありながらも、これまで曖昧であった多くの生物が分類できるようになった。

### 3.2.2 どの時点で死んだ生物を遺骸とするか

消費者の典型例としても取り上げられるライオンは、シマウマを捕まえ、殺した後に食べる。草食動物であるシマウマは、葉をむしり取って食べることで、胃で消化する頃には、死んだ生物を食べていることになる。このように、見方を変えれば、消費者はみな生物の遺骸を得ていると捉えることもできる。つまり、生物がどの時点で遺骸となっているのかについて考慮すべきである。

そこで、消費者と分解者をさらに正確に区別する視点として、Begonら(2013)の「生態学－個体から生態系へ[原著第四版]」では、利用する資源の個体数に影響を与えるか否かを考え、影響を与えない生物群を、腐生生物(saprotroph: 死んだ生物組織を利用する生物)とした<sup>18)</sup>。つまり、腐生生物でない消費者は、生物を食べることで、その生物を死に至らしめ、食べられた生物種の個体数に変化を与えるが、腐生生物は、死んだ生物やその排出物から資源を得ているため、食べる対象の生物の個体数に直接の影響を与えていないこととなる。

この定義からすると、例えば、土壌中の昆虫類に寄生する菌類である冬虫夏草は、腐生生物であるが、寄主が幼虫の頃に、菌糸を成長させることで寄主を殺し、その後も寄主の死体から資源を抽出し続ける生物である。このような生物を死物栄養寄生者(necrotrophic parasite)と呼ぶが、これらは、利用する対象となる生物を死に迫り、個体数に影響を与えている。そのため、死物栄養寄生者は、本研究で定義する分解者にはあてはまらないものとする。

### 3.2.3 生きた生物と死んだ生物両方を食べる生物

海の生態系においては、主にデトリタス食者

(detritivore)が分解者として位置づけられる。デトリタスとは、生物の遺骸やふんといったものからなる、水中に浮遊する微粒子を指す。これを取り込むことで生きているデトリタス食者は、二枚貝やナマコなどがそのよい例である。これらは、水中の生物の遺骸やふんを濾過摂取などして取り込んでいるが、それと同時に生きたプランクトンも取り込んでいる。

同様に、陸上生物においても、遺骸やふんのみを食べる生物と生きた生物のみを食べる生物に完全に二分することは困難である。したがって、この点については今後も検討していく必要がある。なお、本研究では、主に何を中心に食べているかで消費者と分解者を分類することとする。

### 3.2.4 分解者でない菌類・細菌類

平成23年度までの中学校理科の教科書がそうであったように、菌類・細菌類は、総括して分解者として定義されることが多い。ただし、実際には分解者のはたらきをしていない菌類・細菌類が一部にいる。それは、例えば独立栄養細菌である。独立栄養細菌には、光合成を行うことのできる光独立栄養細菌と、空気中の二酸化炭素を全炭素源として、還元型無機物質を酸化する際に生じるエネルギーを利用する化学独立栄養細菌が存在する<sup>19)</sup>。このような例からも、本研究では、菌類・細菌類をそのまますべて分解者として定義しておらず、有機物を得る対象に着目している。

### 3.2.5 独立栄養生物であり従属栄養生物でもある生物、あるいはどちらでもない生物

生産者と消費者は、明確に分類できると指摘したが、ごく一部の例外も存在する。生物には、わずかではあるが、外界から有機物を取り入れ、光合成も行うものと、どちらも行わないものがある。例えば、光合成を行い、さらに有機物を作り出すために、1種類以上の有機物も必要とする生物は、光合成従属栄養生物と呼ばれる。一方、化学独立栄養細菌のように、有機物を取り込まず、その代わり、二酸化炭素から炭素を得ることで、光合成も行わない生物がいる。このような事例についても、今後検討が必要であるが、本研究では、死骸や排出物から有機物を得る生物であれば、分解者として取り扱う。

## 3.3 学習者のル・バー

### 3.3.1 教科書における事例の提示順序

ここでは、中学校理科の教科書において、分解者に関してどのような事例がどのような順序で提示されているか、またそれによって生徒にどのような影響があるかについて分析したい。



中学校理科の教科書5社すべてにおいて、乳酸菌や大腸菌のような菌類・細菌類と、検定意見によって新たに分解者として追加された、ダンゴムシやミミズのような分解者である小動物が登場している<sup>20)</sup>。ただし、その提示順序には違いがある。例えば、東京書籍では、まず初めに、分解者に関する定義を提示し、次に、分解者である小動物を分解者にあてはまるとして提示する。最後に、菌類・細菌類も分解者にあてはまるとして提示する流れである。これに対して、大日本図書は、まず、菌類・細菌類を提示し、この事例を用いながら分解者の定義を提示する。そして分解者である小動物も分解者であるとして提示する。

このような教科書における事例の提示順序の違いは、概念の構築に影響をもたらすと考えられる。もし分解者概念は、4つの特徴がある金属概念よりも、内包の理解が比較的容易に進むとすれば、理科授業においては、外延の拡大が目指されるべきである。その場合、事例の提示順序は、ル・バーと抵触する事例を先に提示し、外延を拡大させ、次にル・バーと抵触しない事例を提示することで、内包を再確認させることが有効になるはずである。

### 3.3.2 「くさる」や「分解」に関する既存概念

菌類や細菌類については、中学校第3学年まで理科授業において触れられることがない。しかし、吉田(2016)は、分解者について学習する以前の小学生においても、高学年になるほど、菌や微生物などの目に見えない生物が腐敗の原因に関与していることを理解している子どもが多いことを指摘している<sup>21)</sup>。このことから、生徒は、授業で分解者について学習する以前から、菌類や細菌類、さらには分解者についての既存概念を保持していると予想される。

しかし、菌類・細菌類の存在は知っていても、正しい概念が構築されているとは限らない。菌類と細菌類は、それぞれ真核生物と原核生物であるという明確な分類上の違いを持つが、生徒はどちらも同じ「菌」として認識していると考えられる。

さらに、菌類に関しては、まず子実体を形成する菌類、いわゆるキノコに対して、地上に発生する子実体を実際に見ることできるため、植物であると捉える生徒がいると考えられる。また、肉眼で観察できるようなコロニーを形成する菌類、いわゆるカビに対しては、暗く湿った場所に発生しやすい特徴や大きさが似通っていることから、コケ植物との混同も考えられる。さらに、非生物で

ある金属のサビも、見られる場所が似通っており、小学生程度の年齢であれば混同していることが危惧される。

また、生徒は、中学校第2学年で「熱分解」や「電気分解」について学習している。このことから、生徒は「分解」に対して「目に見えないところで起こる」というイメージを保持していることと考えられる。このことから、目で見ることが難しい細菌類は分解者、目で見ることができると判断することが予想される。

## 4. 大学生に対する実態調査

### 4.1 調査の目的と概要

本研究では、分解者概念に関する理解の実態を明らかにすることと、提示事例によって、内包および外延の修正にどのような違いが生じるのかについて調査することを目的としている。

調査は、2018年11月上旬に教員養成系大学に所属する110名を対象とした。対象者には、主として中学校と高等学校の理科の教員免許状を取得しようとするものが38名、主として小学校の教員免許状を取得しようとするものが72名いた。大学生に調査を行った理由としては、以下の2つがある。1つ目は、特定の中学校に対して調査を行うと、その中学校の授業において提示した事例の正答率が上昇してしまうことである。さらに2つ目として、分解者概念は金属概念と異なり、日常生活において使われることが少なく、中学校理科において学習する以前の生徒は既存概念が十分に構築されていない可能性を考慮し、分解者について学習した後の実態調査をする必要があると考えられたためである。調査の概要は、図1のとおりである。

調査1-1では、分解者概念の外延を調査するために、生産者であるイネとゼニゴケ、消費者であり分解者でないメダカとキリギリス、消費者であり分解者であるダンゴムシやナマコ、シイタケ、

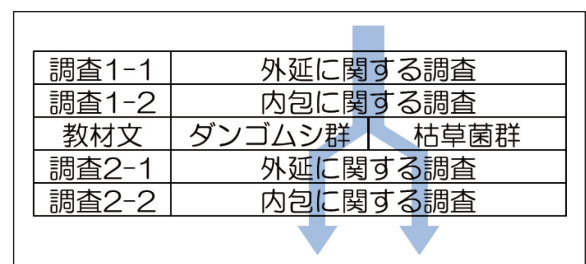


図1 調査の流れ

アオカビ、大腸菌、枯草菌の計 10 種の生物の写真とその特徴を提示した。例えば、枯草菌は、「大きさ 0.002 mm 程度。土の中や植物の体において、枯れた草などから有機物を得る。」のように、10 種の生物すべての大きさ、生息する場所、有機物を得る方法を提示した。そして、分解者であると思う生物には○、分解者でないと思う生物には×をつけさせた。さらに、分類するうえでの判断基準と判断に迷った理由を記述させた。

調査 1-2 では、分解者概念の内包を調査するために、調査 1-1 とは異なる生物を提示した。生産者であるハリガネゴケとイシクラゲ、消費者であり分解者でないオオイトサシヨウウオとキョウチクトウアブラムシ、消費者であり分解者であるササラダニやクモヒトデ、エリンギ、クモノスカビ、ボツリヌス、シュードモナスの計 10 種の生物の写真とその特徴、すなわち、大きさ、生息する場所、生産者・消費者・分解者のどれにあてはまるかを提示し、その生物は、図 2 のように、周囲の生きている生物もしくは遺骸や排出物から有機物を得ているのか、あるいは周囲からは有機物を得ないのか、光合成をするか否かについて答えさせた。

調査はこの後、図 3 に示した 2 種類の教材文のどちらかをランダムに調査対象者に読ませた。2 種類の教材文とは、ダンゴムシ、もしくは枯草菌を事例として用いたものである。

最後に、調査 2-1、調査 2-2 の順に、それぞれ調査 1-1、調査 1-2 と全く同じ問題を再び解かせた。これは、教材文を与えたことが、概念構築にどのような変容をもたらしたのかを調査しようとするものである。

## 4.2 結果と考察

### 4.2.1 外延の調査結果及び考察

#### (1) 正答率の分析

調査 1-1 の結果と調査 2-1 の結果を合わせて図 4 に示す。まず、教材文を与える前である調査 1-1 の誤答のパターンとしては、分解者を非分解者とするパターンが多く、分解者概念の外延は適用範囲縮小過剰のル・バーを保持していることが明らかとなった。分解者である事例 6 種のうち、最も正答率が高かったのは枯草菌であった。また、正答率が最も低かったのはナマコであった。このことから、中学校理科において生態系に関する学習を終えた大学生にとっては、枯草菌が典型事例、ナマコが境界事例にあてはまることが示唆された。誤った判断基準の例としては、「菌類・細菌類は分解者だったような気がしたのでそれを

【1】ササラダニは、体長が1.0～2.5mmで、森の地面に生息し、生態系において分解者のはたらきをする。さて、このササラダニはどのようにして有機物を得ているだろうか。

- a. 生きた草や木の葉から有機物を得る。  
b. 落ち葉や倒れた木から有機物を得る。  
c. 周囲から有機物は何もない。

- ア. 光合成する。  
イ. 光合成しない。

図 2 調査 1-2：与えた生物の特徴と問いの例

### ダンゴムシ教材文

自然界には さまざまな生物が存在しているが、すべての生物は、エネルギー源として、あるいは体をつくる原料として有機物を必要とする。そしてそれらの生物は「生産者」と「消費者」に大別される。生産者は光合成をして有機物を自らつくりだすが、消費者は生産者と異なり、光合成をすることができない。そこで、生物あるいは生物由来のものを摂取することで有機物を得ている。このように、有機物を生物あるいは生物由来のものから得るということは、消費者の特徴である。

例えば、ダンゴムシは、大きさ1cm程度で、畑や庭の石下などでよく見られる生物である。このダンゴムシも消費者に含まれるため、有機物を生物あるいは生物由来のものから得るという特徴をもつ。

さらに、消費者の一部である分解者は、遺骸やふんなどから有機物を得るという特徴がある。ダンゴムシの場合は、枯れた落ち葉などから有機物を得ている。もし、ダンゴムシを飼う際、新鮮な葉をエサとして与え続けると、ダンゴムシはこの葉を食べることができず、落ち葉を分解することができない。このように、遺骸やふんなどから有機物を得るということは、分解者の特徴である。

### 枯草菌教材文

自然界には さまざまな生物が存在しているが、すべての生物は、エネルギー源として、あるいは体をつくる原料として有機物を必要とする。そしてそれらの生物は「生産者」と「消費者」に大別される。生産者は光合成をして有機物を自らつくりだすが、消費者は生産者と異なり、光合成をすることができない。そこで、生物あるいは生物由来のものを摂取することで有機物を得ている。このように、有機物を生物あるいは生物由来のものから得るということは、消費者の特徴である。

例えば、枯草菌は、大きさ0.002mm程度で、空気や土の中、ヒトを含めた動物の体内にも存在している。納豆菌も、枯草菌の一種である。この枯草菌も消費者に含まれるため、有機物を生物あるいは生物由来のものから得るという特徴をもつ。

さらに、消費者の一部である分解者は、遺骸やふんなどから有機物を得るという特徴がある。枯草菌の仲間である納豆菌の場合は、枯れた大豆の実から有機物を得る。したがって、青々と実っている大豆に納豆菌を撒いても納豆はできず、大豆を分解することができない。このように、遺骸やふんなどから有機物を得るということは、分解者の特徴である。

※ 消費者説明文 分解者説明文

図 3 与えた 2 種類の教材文

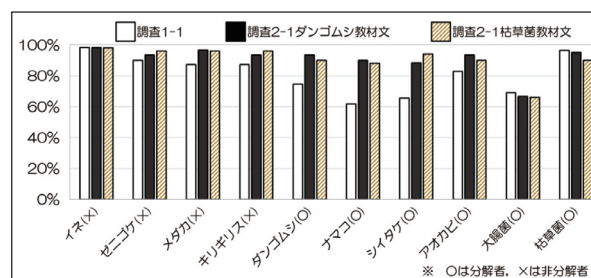


図 4 分解者概念の外延の調査における正答率



基準に選んだ。」といった、菌類・細菌類のみを分解者と捉えている誤答や、「生産者、消費者以外」というような、消費者の一部が分解者であることを理解できていない誤答が見られた。

教材文を与えた後の調査 2-1 では、ナマコやダンゴムシ、シイタケなどは、どちらの教材文を読んだ後であっても、正答率が大きく上昇している。ただし、この正答率の上昇がすべて教材文による学習により生じたものであるかどうかは断言できない。なぜなら、調査 1-1 において、例えばシイタケを分解者でないと判断した者が、調査 1-2 の問題文でエリンギは分解者であると説明されている部分を読んだことで、教材文を読む前にル・バーが修正されている可能性もあるからである。

一方、大腸菌はどちらの教材文を読んだ後であっても正答率が上昇していない。これは、補足情報として与えた大腸菌の特徴に「消化されなかった食物繊維などから有機物を得る。」と示したことにより、「食物繊維の生死が判断できなかった」と混乱した者が多数現れたことによるものである。さらには、食物繊維が有機物であるかどうか判断できなかった者がいたことも考えられる。これは、人体にとって食物繊維は消化・吸収することができないことから、食物繊維は無機物でできている、というような学習者の誤った理解が生まれていることも考えられる。また、調査 1-1 では、根拠を持たずに大腸菌は分解者であると回答し、正答した者が、教材文を読むことで、有機物を得る対象について新たに着目するようになり、判断できなくなった場合も見られた。

他にも、教材文の事例に枯草菌を用いた群では、調査 1-1 において、枯草菌を分解者と判断したものの、教材文を読むことで、枯草菌は消費者であって分解者ではないと誤って理解した者が生まれた。これは、分解者が消費者の一部であるという関係性、つまり包含関係になっていることを理解できず、どれか 1 つに必ず分類できると考えていたために、教材文の枯草菌が消費者であると記述されている部分を読んだ際に、枯草菌が消費者であることは強烈に印象に残ったものの、教材文の後半の消費者かつ分解者であるという記述は取り入れられなかったために生じたものと考えられる。これにより、調査 1-1 よりも調査 2-1 のほうが正答率は下がっている。

## (2) 記述欄の内容分析

調査 1-1, 2-1 では、分解者か否かを判断するうえでの基準と判断に迷った理由を記述させた。こ

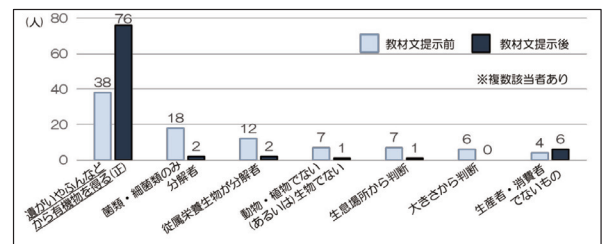


図5 調査 1-1, 2-1 における分解者の判断基準

れには、事例を判断する上で活用される内包が表れていると考えられる。ここでは、調査 1-1 の記述欄から得られた内包と外延の適用範囲について検討していく。

まず、対象者全 110 名における分解者の判断基準を、多かったものから図 5 に示す。「遺骸やふんなどから有機物を得ている生物が分解者」というような正しい内包を保持している者が 38 名いた。

これは、判断基準の中で最も多かった。調査問題では、補足として有機物を得る対象が何であることを示していたため、このことから正しい判断基準に気づいた者もいたと考えられる。教材文提示後、正しい判断基準を保持する学習者は 76 名となり、全体の 7 割以上となった。誤った判断基準を保持する者の数は、ほぼすべての判断基準で減少した。

ただし、「生産者・消費者でないもの」を分解者と判断した者の数は、教材文提示後のほうが増加している。これは、おそらく生産者・消費者・分解者それぞれが独立していると考えていた学習者が、教材文で枯草菌、あるいはダンゴムシが消費者であると説明されたことで、自身のル・バーを認識したものの、正しい判断基準を理解できなかったか、合意できなかったことで、自身のル・バーを明確に表現するようになったと考えられる。枯草菌やダンゴムシといった事例は、教材文提示前から正答率が高かった事例であるが、これらの事例であっても十分に内包は修正できたと捉えられる。

## 4.2.2 内包の調査結果及び考察

内包に関する調査を行った調査 1-2 と調査 2-2 では、生物ごとに有機物を得る対象についてと、光合成の有無についてそれぞれ答えさせている。まず、ここでは、各学習者がそれぞれの問いに、どのような組み合わせで回答しているのかを分析することで、学習者の内包をより詳細に明らかにしたい。図 6 と図 7 は、教材文を与える前の内包に関する調査であり、生物名ごとの棒グラフは

パーセンテージで示し、吹き出し内の棒グラフに付した数値は人数を示している。

まず、細菌類である、ボツリヌスやシュードモナスは、周囲から有機物を得ず、光合成もしないと回答した学習者が多かった。そもそも生物には有機物が欠かせないが、細菌類の体が有機物できていることを理解できていない学習者も存在していると考えられる。次に、エリンギのような子実体を形成する菌類、いわゆるキノコに対しては、光合成をしながら、生きた樹木から有機物を吸い取って生きているというイメージを保持していると考えられる。そして、ササラダニに対して誤答したすべての学習者は、光合成せずに、生きた生物から有機物を得ると回答している。このことから、ササラダニについて誤答した学習者は、他の生物を捕食するというよりも、マダニのような、吸血によって生きていると捉えていると推察される。

さらに、調査1-2において正答率が非常に低いイシクラゲは、細菌類でありながら光合成をする光合成細菌であり、生産者である。「細菌類の生物である」と「生態系において生産者のはたらきをする」という2つの情報が揃ったとき、「細菌類の生物は光合成しない」という学習者のル・バーが、「生産者は光合成する」という問題文中に提示されているルール情報より優先して判断に活用されたと考えられる。このことから、「細菌類の生物は光合成しない」というル・バーは強固であることが明らかとなった。イシクラゲに対して、生物の遺骸や排出物から有機物を得ると回答した学習者は、調査問題文の「細菌類」部分により、細菌類はすべて分解者として分類されると捉えていると考えられ、生きた生物から有機物を得ると回答した学習者は、生物名の「クラゲ」からクラゲが捕食する場面を想起したことも考えられる。何にせよ、イシクラゲに対して分解者としてのイメージを強く持っていることは、図7で、イシクラゲは「光合成しない」かつ「生物の遺骸や排出物から有機物を得る」と解答した者が最も多かったことからもうかがえる。

そして、調査1-2と2-2の有機物を得る方法に関する調査の結果を図8に、調査1-2と2-2の光合成の有無に関する調査の結果を図9に示す。それぞれの生物につき3本ずつグラフがあり、左から、調査1-2、ダンゴムシを事例にした教材文を読んだ者の調査2-2、枯草菌を事例にした教材文を読んだ者の調査2-2のグラフである。調査1-2と2-2は、問題文中に生産者・消費者・分解者の

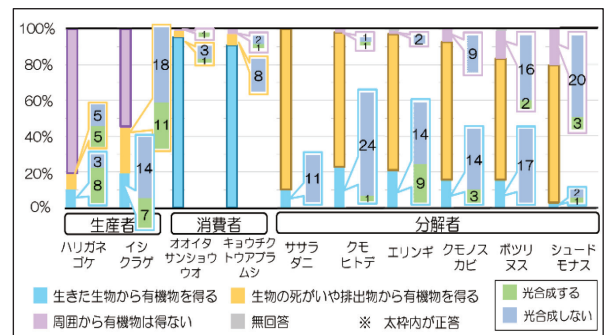


図6 調査1-2 有機物を得る対象に対する問いの誤答における光合成の有無の認識

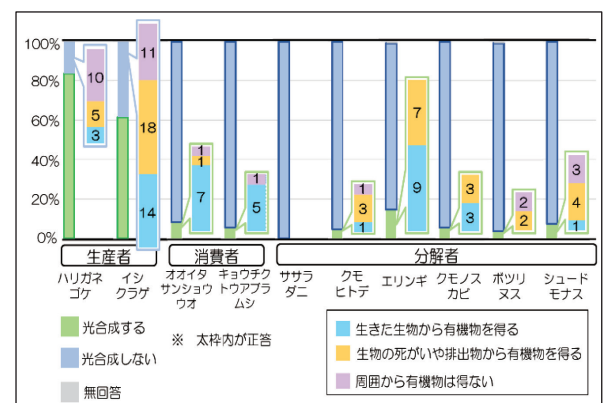


図7 調査1-2 光合成の有無に対する問いの誤答における有機物を得る対象の関係

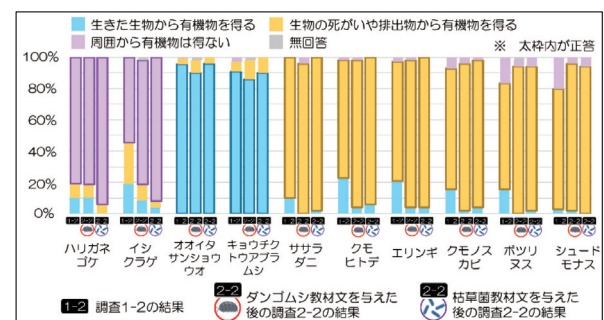


図8 調査2-2 有機物を得る対象の調査

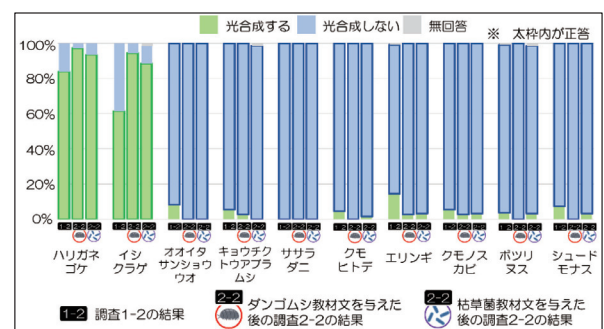


図9 調査2-2 光合成の有無の調査



いずれかが記述されており、このことを参考に回答することができる問題である。これは分解者概念における学習者の内包を明らかにしようとするものである。

教材文を読んだ後の調査 2-2 では、有機物を得る方法、光合成の有無、どちらも調査 1-2 と比べ、全体的に正答率の上昇が見られた。教材文にダンゴムシを用いた場合と枯草菌を用いた場合に明確な効果の違いは見られなかったものがほとんどであるが、生産者であるハリガネゴケとイシクラゲは正答率に差が生まれている。どちらもわずかながら、枯草菌を教材文とした学習をした者のほうが、正答率を上昇させている。

#### 4.2.3 ル・バー保持者ごとの事例分類傾向の分析

ここでは、誤った分解者の判断基準を持つ学習者ごとに、実際に事例をどのように分類したのかについて明らかにしたい。

##### (1) 判断基準①：遺骸や排出物などから有機物を得るものが分解者

教科書における分解者の定義と一致する、「遺骸やふんなどから有機物を得るもの」を分解者とした 38 名の正答率を図 10 に示す。図 10 にあるように、大腸菌を除くすべての正答率が全体の正答率よりも高くなった。ただし、もともと全体の正答率が低かったシイタケなどは、正しい判断基準を保持していても、事例分類の際には正しく分類できなかった例が多くみられる。これは、学習者が正しい判断基準を保持していても、日常経験によって生成されたル・バーのほうが有効であると判断したことによるものと考えられる。大腸菌は、全体の正答率よりも低くなっている。これは、先に指摘したように、有機物を得る対象に着目したことで教材文によって発生した現象であると考えられる。

##### (2) 判断基準②：菌類や細菌類のみが分解者

菌類や細菌類のみを分解者とする 18 名の正答率を図 11 に示す。大腸菌の正答率が、正しい判断基準である①の正答率よりも高くなっている。このことから、大腸菌は、有機物を得る対象について着目しないほうが正答率は高くなることが分かる。また、菌類・細菌類ではないダンゴムシやナマコは、当然ながら正答率が低い。一方で、別の視点から見れば、菌類・細菌類が分解者であると考えながらも、ダンゴムシは分解者であると回答した者が 40% 以上いる。このことから、学習者は自身の分解者のルールに一部例外が生じていることや、自身のルールの不完全性には気づいていると考えられる。また、ゼニゴケの正答率が

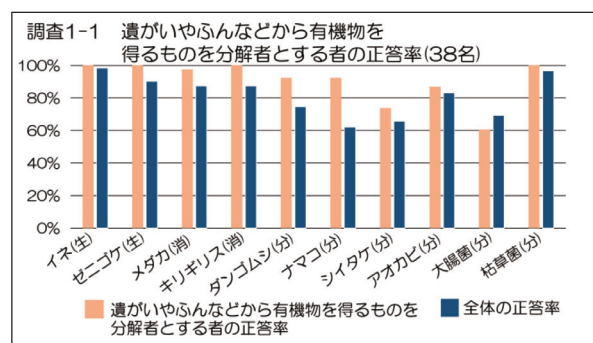


図 10 判断基準①の学習者の正答率

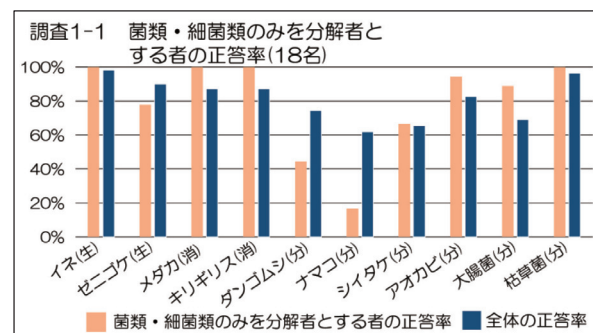


図 11 判断基準②の学習者の正答率

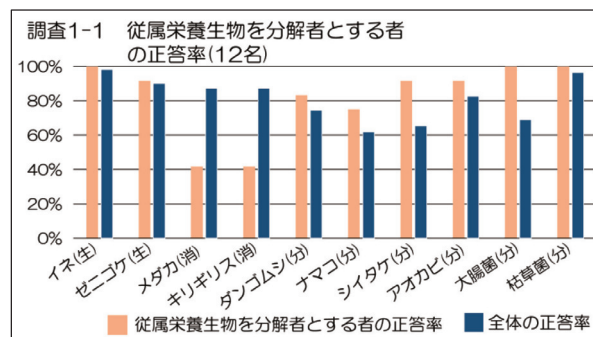


図 12 判断基準③の学習者の正答率

若干低い。このことから、一部の学習者がコケ植物と菌類・細菌類を混同している可能性がある。

##### (3) 判断基準③：従属栄養生物が分解者

「光合成をしない」、「養分を他の生物から奪っているもの」のような、従属栄養生物にあたる生物を分解者であると指摘する 12 名の正答率について、図 12 に示す。消費者であり、分解者でないメダカやハリギリの正答率が著しく低い。メダカやハリギリを分解者であると捉えているぶん、分解者概念のル・バーとしては数少ない、拡大過剰のル・バーである。

#### (4) 判断基準④：動物・植物でないものや、生物でないものが分解者

図13は、「動物でも植物でもない生き物」や、「生きていないもの」、「生物でないもの」のような、学習者にとってカテゴライズし難いものを分解者と捉えた7名の正答率を示したものである。ダンゴムシやナマコのような移動することのできる生物を分解者でないと判断する傾向や、シイタケを植物と判断していること、コケ植物を植物でない、あるいは生物でないと判断していることが予想される。

#### (5) 判断基準⑤：生息場所

生息場所を判断基準として回答した7名の正答率を図14に示す。ナマコを分解者と判断した学習者は1人もいなかった。このことから、海や川には分解者がいないというル・バーを保持していると考えられる。これは、土壌の中の分解者のみを取り扱われていることが背景にあると考えられる。また、大腸菌はヒトの腸に存在していることを補足として与えたために、ヒトの腸に分解者はいないと考えた学習者がいたと考えられる。

#### (6) 判断基準⑥：生物の大きさ

生物の大きさを判断基準として回答した6名の正答率を図15に示す。ナマコの正答率が極端に低い。これは、補足として「大きさは最大30cm程度」と記したことから判断したと考えられる。小さな生物を分解者と捉えているのか、それとも大きな生物を分解者と捉えているのか、どれくらいの大きさまで分解者として捉えているのか記述している者はほとんどいなかったものの、4名中3名がナマコについて分解者でないと判断していることから、この3名は大きい生物ほど分解者ではないという内包の誤りがあると考えられる。

#### (7) 判断基準⑦：生産者・消費者でないものが分解者

4名という少ない人数ではあるが、生産者と消費者を先に分類し、どちらにもあてはまらない存在を分解者と判断する学習者もいた。図16に示した通り、ダンゴムシとナマコの正答率が低い。彼らは、ダンゴムシとナマコを消費者として分類したと考えられる。

### 5. 全体の考察及び今後の展望

今回の大学生を対象とした調査を通して、主に以下のことが明らかとなった。

- ・ 分解者概念は、適用範囲縮小過剰のル・バーを保持していることが明らかとなった。
- ・ 枯草菌のような菌類・細菌類が典型事例、ナマ

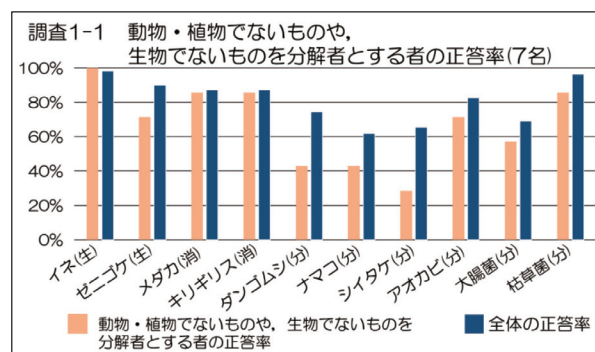


図13 判断基準④の学習者の正答率

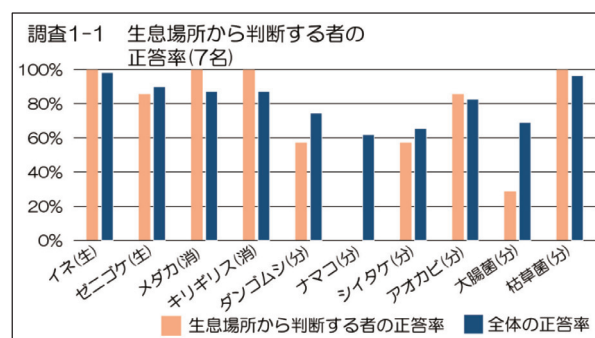


図14 判断基準⑤の学習者の正答率

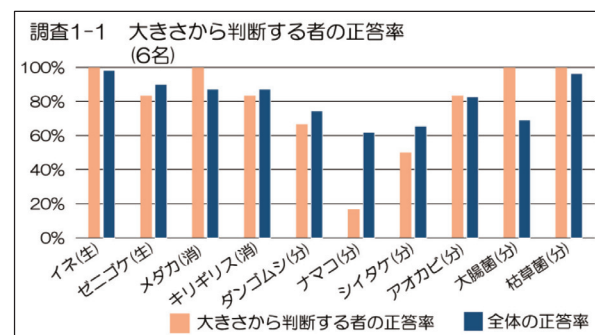


図15 判断基準⑥の学習者の正答率

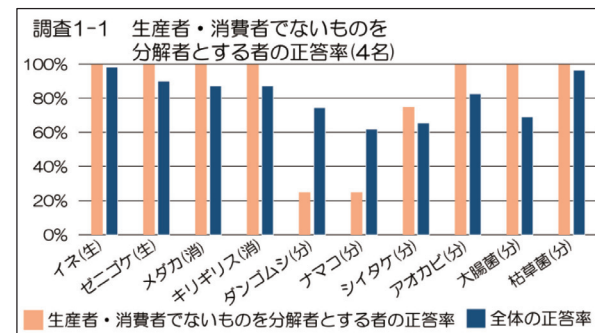


図16 判断基準⑦の学習者の正答率



コのような、水中に生息し、体長が大きい生物が境界事例として活用できる見通しが得られた。

- ・分解者の定義は正しく理解しても、事例判断には誤りが生じるというように、内包の修正が外延の修正と直結しない場合が確認された。

今後、実際の理科授業における教授方略を検討する上で、特に、内包が修正されながらも、外延が修正されていないことがある点には、十分留意する必要があると考える。例えば、大腸菌が分解者であるかどうかを判断するとき、「遺骸や排出物から有機物を得ている生物が分解者である」という正しい分解者のルールだけを保持していても、大腸菌が食物繊維を摂取しているという知識や、食物繊維が有機物であるという知識、ヒトの大腸内の食物繊維はヒトが吸収できず、いずれふんとして排出されるという知識のような、個別の事例に関する知識がなければ、大腸菌が分解者であるかを判断することはできない。

このように、外延の適用範囲を画定する際に用いる知識の難易度のことを個別事例知識の難易度と呼ぶこととする。この個別事例知識の難易度は各概念によって異なると考えられ、分解者概念において、分解者のルールは金属概念のルールと比べ難易度が低い、個別事例知識の難易度は金属概念よりも分解者概念のほうが高いものが多く、事例の中でも、個別事例知識の難易度の高い知識を必要とするものが、正しく判断できていなかったと考えられる。

一方、個別事例知識の難易度が高くても、外延の適用範囲を正しく画定することができる場合もある。それは、ルールさえ正しく保持していれば、個別事例知識が不十分でもそれらを活用する必要がない場合である。つまり、外延の適用範囲を画定する際に、個別事例に関する知識をどれほど活用する必要があるかについても、概念によって異なると考えられる。このように、外延の適用範囲を画定する際に用いる知識の必要量のことを個別事例知識への依存度と呼ぶこととする。例えば金属概念においては、金属光沢があるというような金属のルールを保持しており、ある物質に光沢があるかどうかの知識さえ保持していれば、すぐに判断できるものが多いと考えられる。しかし、分解者概念においては、その生物がどのように、何から有機物を得ているかといった知識や、そもそも有機物とはどのようなものか、といった知識など、多くの事例に関連する知識をもとに判断しなければならないと考えられる。これは、判

断する際に、ルールだけでなく事例に関する知識に大きく依存しているとみることでもある。つまり、個別事例知識への依存度が高いほど、内包修正の効果が表れづらくなると考えられる。本研究で取り上げた分解者概念は、事例を判断する際に、個別事例知識を求められることが多かったために、ルールを正しく保持している学習者であっても、事例判断が正しく行えていなかったと考えられる。

今回の結果を通して、生産者・消費者・分解者概念に関わる、学習者のル・バーが明らかとなった。ただし、本調査は大学生を対象としたものであり、生産者・消費者・分解者について中学校で既に学習した者を調査している。そのため、生産者・消費者・分解者について学習する前の中学生に対して調査した場合、結果は異なると考えられる。今後は、中学生の既存概念の調査も行いたい。そして最終的には、具体的な中学校理科での授業実践に向けて検討を行っていきたい。

## 6. 引用・参考文献

- 1) 文部科学省 (2018) : 『中学校学習指導要領』, 東山書房, p.88.
- 2) 思想の科学研究会編 (2012) : 『新版 哲学・論理用語辞典』, 三一書房, p.305.
- 3) 前掲書 2).
- 4) 伏見ほか (1990) : 「提示事例の違いが概念の特徴再生と事例分類に及ぼす効果」, 日本教育心理学会編『教育心理学研究』, vol.38, No.4, pp.57-64.
- 5) 細谷純 (1976) : 「課題解決のストラテジー」, 藤永保編『思考心理学』, 大日本図書, p.136-156.
- 6) 麻柄啓一ほか (2006) : 『学習者の誤った知識をどう修正するかル・バー修正ストラテジーの研究』, 東北大学出版会, pp.1-17.
- 7) 細谷純 (1970) : 「問題解決」, 東洋編『講座心理学 8 思考と言語』, 東京大学出版会, pp.207-236.
- 8) 前掲書 4).
- 9) 麻柄啓一 (1999) : 「学習者の誤った知識をどのように修正するか」, 日本科学教育学会編『科学教育研究』, vol.23, No.1, pp.33-41.
- 10) 進藤聡彦ほか (2006) : 「誤概念の修正に有効な反証事例の使用方略—「融合法」の効果—」, 日本教育心理学会編『教育心理学研究』, vol.54, No.2, pp.162-173.
- 11) 教育出版「Q17 (3年)」: 「生産者」, 「消費

- 者」,「分解者」の説明について」<https://www.kyoiku-shuppan.co.jp/textbook/chuu/rika/document/ducu3/qa/qa-017.html> (2019年9月9日).
- 12) 有馬朗人ほか (2016):『新版 理科の世界 3』,大日本図書, pp.115-142.  
細矢治夫ほか (2016)『自然の探求 中学校理科 3』,教育出版, pp.206-219.  
岡村定矩ほか (2016):『新編 新しい科学 3』,東京書籍, pp.230-243.  
塚田捷ほか (2016):『未来へひろがるサイエンス 3』,啓林館, pp.201-216.  
霜田光一ほか (2016):『中学校 科学 3』,学校図書, pp.158-180.
- 13) 前掲書 12).
- 14) 巖佐庸ほか (2013):『岩波 生物学辞典 第5版』,岩波書店, p.1242.
- 15) 石川統ほか (2010):『生物学辞典』,東京化学同人, p.1154.  
日本動物学会・日本植物学会 (1998):『生物教育用語集』,東京大学出版会, p.159.  
沼田真 (1988):『生態学辞典 増補改訂版』,築地書館, p.345.
- 16) 前掲書 12).
- 17) 前掲書 11).
- 18) M. Begon ほか (2013):『生態学—個体から生態系へ [原著第四版]』,京都大学学術出版会, pp.425-427.
- 19) Jane B. Reece ほか (2013):『キャンベル生物学 原書9版』,丸善出版, p.676.
- 20) 前掲書 12).
- 21) 吉田翔一 (2016):『分解者に関する子どもの科学概念についての基礎的研究』,福岡教育大学理科教育教室卒業論文.