

中学校理科における生態系の学習に関する基礎的研究

A basic study on learning of ecosystem in lower secondary school science

森 光 一 成

甲 斐 初 美

Kazunari MORIMITSU

Hatsumi KAI

飯塚市立小中一貫
飯塚鎮西校中学部

福岡教育大学
理科教育ユニット

(令和5年9月29日受付, 令和5年12月22日受理)

抄録

生態ピラミッドについての学習は、生態系の中で様々な生物が相互に関係しながら生活していること、および生物間のつり合いが保たれていることを見いださせることができるという点で、「自然界のつり合い」の単元内でも中心的な内容であり、重要な役割を担っている。しかし、生態ピラミッドの学習に関する現行の教科書を比較すると、情報量の不足や情報そのものの曖昧さなど、生徒の理解を妨げる可能性があると思われる学習上の課題が見られた。そこで、教科書に記載されている生態系の学習における生態ピラミッドの変化の過程を表すモデルについて理論的に整理したところ、生態ピラミッドの変化の過程は、そもそも一通りで表すことができず、実際には、数量の意味や想定する生物の種類によって、複数、考えることができ、非常に複雑になることが明らかとなった。さらに、生態ピラミッドの変化の過程について、大学生に対する認識調査を行った結果においても、複数通りの回答が得られ、生態ピラミッドの変化の過程を考える際に、想定する生物も様々であることが明らかとなった。これらの結果を踏まえ、生態ピラミッドについて学習する際の問題点を指摘し、さらに最適であると考えられる具体的な授業デザインを提案した。

1. 研究の背景

学習は、学習内容を自身が保持している知識に関連させて意味づけようとする「有意味学習」と、関連づけなしに暗記しようとする「機械的暗記」に分けることができる¹⁾。われわれが学校や社会で学ぶ自然事象の多くは、ほとんどのものが有意味に学習可能なものである。しかしながら、学習者が、学習内容を有意味に知識と結びつけられるだけの情報が不足していると、機械的暗記に頼らざるを得ない。したがって、知識と情報との間を繋ぐための情報が多ければ、有意味学習は成立しやすい。また、有意味学習は、一度、成立するとその学習内容の記憶も保持されやすい。一方で、情報の一部が不足している状態で、学習者が情報を有意味に関連づけようとした結果、教授者側が期待していた理解とは異なる、誤った理解を

助長してしまうこともある。

ところで、平成29年告示の学習指導要領²⁾では、「自然界のつり合い」について学習する際に、「自然界では生態系の中で様々な生物が相互に関係しながら生活し、生物間のつり合いが保たれていることを見いださせること」としている。さらに、その後に学習する「自然環境の調査と環境保全」については、「身近な自然環境を調べる活動を行い、その観察結果や資料をもとに、人間の活動などの様々な要因が自然界のつり合いに影響を与えていることについて理解させ、自然環境を保全することの重要性を認識させること」としている。これらの「自然界のつり合い」と「自然環境の調査と環境保全」で学習する内容をまとめたものが、図1である。

まず、図1の左上に示す「自然界のつり合い」

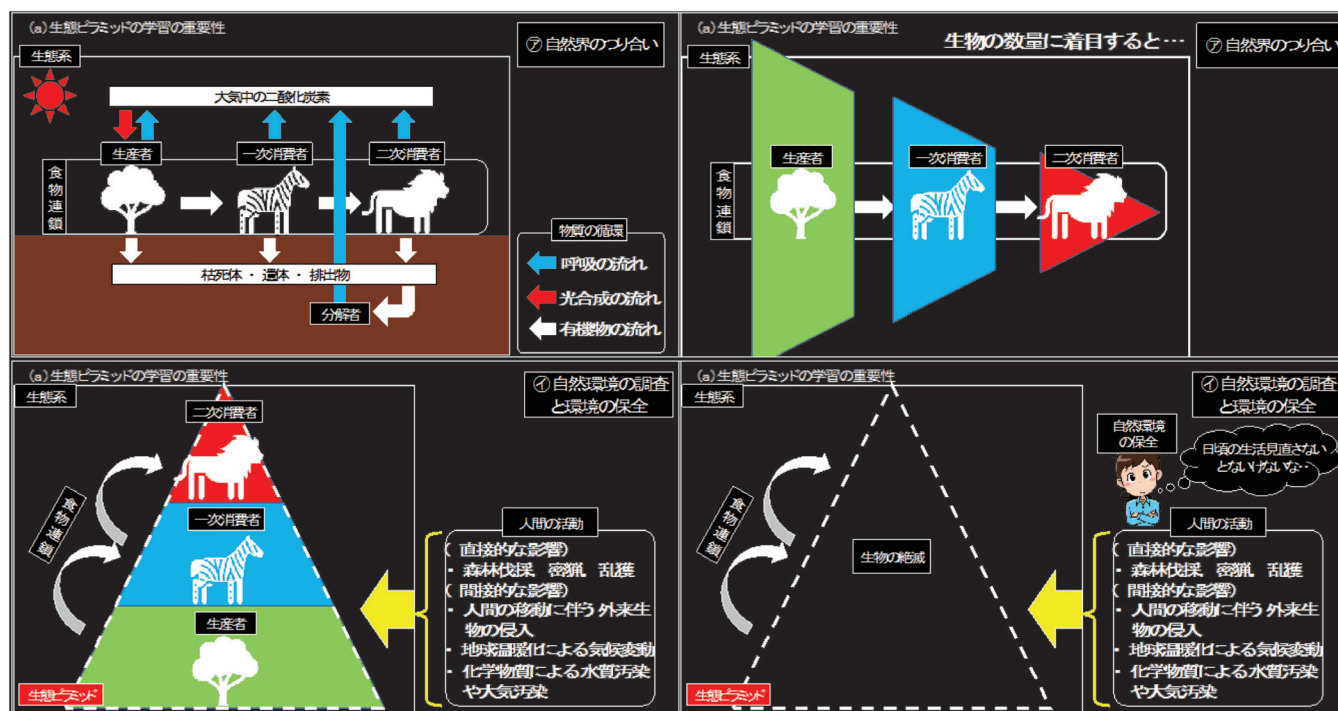


図1：生態ピラミッドの学習の重要性

では、生物を生態系内における役割から、それぞれ生産者、消費者、分解者のいずれかに分類できること、そして、それぞれがどのようなはたらきを行っているのかについて学習を行うこととなっている。さらに、図1の右上に示すように、その生産者が光合成を行うことを契機として、それによって作り出された有機物を消費者が食べ、一次消費者、二次消費者へと有機物が取り込まれていく仕組みである食物連鎖について学習を行う。次に、それらの生物の数量に着目すると、図1の左下に示すように、生態系内で下位に位置する生物ほど、数量が多く、自然界では、生態ピラミッドが成立していることを学習する。そして、その生態ピラミッドの学習において、生態ピラミッドのいずれかの生物の層が一時的な増減をしたとしても、他の生物と互に関わり合いながら、元のつり合いの保たれた状態に戻る過程を学習することで、生物どうしが互に関わり合いながら、自然界のつり合いが保たれていることに気づくことができる。一方で、図1の右下に示すように、ある生物の層に多少の増減があったとしても他の生物と関わり合いながら元のつり合いの保たれた形に戻るはずの生態ピラミッドが元には戻らず、それによって絶滅した生物や絶滅の恐れがある生物が実際にいることを学習することで、その主な原因が人間の活動であることに気づかせ、人間の活動

が自然界のつり合いに影響を与えていることを実感させることができる。このような学習が、自然環境を保全することの重要性を認識させることができ、「自然環境の調査と環境保全」の学習へとつながっていく。

このように、生態ピラミッドは、生態系の学習の中でも、生態系内で様々な生物どうしが互に関係しながら生活し、生物間のつり合いが保たれていることに気づくための中心的な学習であると考えられる。しかし、教科書における生態ピラミッドの学習においては、情報量の不足や情報そのものの曖昧さなどの理由から、生徒の理解を妨げる可能性があると思われる学習上の課題が見られる。

そこで、本研究では、まず生態ピラミッドを学習する上で、生徒に提示する必要がある情報とその理由について整理する。次に、現行の教科書5社³⁾の生態ピラミッドに関する記載内容を整理する。さらに、生物の数量が変化した生態ピラミッドが元のつり合いの保たれた状態に戻る過程について、考えられる複数の過程を整理した上で、大学生への認識調査を行う。そして、生態ピラミッドの変化の過程について、どの条件で生態ピラミッドの変化の過程を考えさせるのが適しているのか等について考察する。最後に、それらを踏まえて、学習内容の扱いについて検討し、実際に生態ピラミッドを学習する際の具体的な授業デ

ザインを提案し、中学校理科における生態系の学習の最適化を図りたい。

2. 学習の際に必要と考えられる情報

2-1. 生態ピラミッドで表現される生物の数量の意味

生態ピラミッドには、個体数ピラミッド、生物量ピラミッド、生産力ピラミッドの3種類がある。まず、個体数ピラミッドは、ある一定の面積内に存在する生物の数を表すピラミッドである。一般的には、被食者の方が、捕食者よりも個体数が多いことから、ピラミッド型になる。しかし、例えば、1本のサクラの木に、ガの幼虫が複数、群がって生活していて、さらにその1匹のガの幼虫に複数のハチが寄生しているような場合も自然界では見られる。このように、個体数ピラミッドでは、上位の生物の方が、個体数が多くなってしまふような、逆転したピラミッド型が見られることがある。

次に、生物量ピラミッドは、ある一定の面積内に存在する生物の総量を表すピラミッドであり、「生物量＝ある生物の1個体の重量×その個体数」で求めることができる。一般には、栄養段階が上がるごとに、呼吸で消費されたり、消化されずに排出される量があったりするため、生物量は少なくなり、ピラミッド型になる。しかし、例えば、植物プランクトンは世代が短く、短期的に成長・被食・死滅を繰り返すことから、植物プランクトンが大量発生した場合、それに伴い動物プランクトンが一斉に増加し、植物プランクトンを急激に捕食してしまい、一時的に、動物プランクトンの生物量より植物プランクトンの生物量が少なくなるような逆転したピラミッドが見られることがある。

最後に、生産力ピラミッドは、ある一定の面積で、一定期間内に獲得する有機物量やエネルギー量を表すピラミッドである。生産力ピラミッドでは、ある栄養段階の生物が摂取するエネルギー量は、前の段階の生物のエネルギー量を超えることができないため、逆転したピラミッドは見られることはない。

このように、生態ピラミッドの各層の面積が表す数量というのが、生物の個体数なのか、それとも生物体の総量（生物量）なのか、または、生物が獲得する有機物量やエネルギー量などの生産力なのかによって、生態ピラミッドについての認識に大きな違いが生じる。そのため、これらのどの生態ピラミッドを表したもののなのかを明確にする必要がある。

2-2. 生態ピラミッドにおいて想定されている生物

生態ピラミッドは、生物の数量的な関係を表しているもので、つり合いの保たれた元の状態に戻る過程を表す際には、その生物の生存期間や生殖（繁殖）期間、子が生まれるまでの期間や、一度に生まれる子の数などが大きく関わってくる。例えば、一度に子を産む数が多いというような特徴を持つ生物ならば、生態ピラミッドにおける生物の数量は急激に増加する。逆に、一度に子を産む数が少ないというような特徴を持つ生物ならば、生態ピラミッドにおける生物の数量は、緩やかに増加することになる。そのため、生物によって、生態ピラミッドの各層の増減の変化の仕方も大きく異なるため、生態ピラミッドにおいて想定されている生物を明確にしなければ、生態ピラミッドのつり合いが保たれた元の状態に戻るまでの過程を考える際に、あらゆる可能性から多くのパターンを考えることができてしまい、教科書に示されているような統一的なパターンの学習は困難になると考えられる。そのため、生態ピラミッドの変化の過程を考える際には、想定する生物を明確にする必要がある。

2-3. 生態ピラミッドの変化の契機

生態ピラミッドの学習は、ただ、生物の数量の変化の過程を考えるという目的だけではなく、生物の数量の変化の過程を考える中で、実際に自然界でも生態ピラミッドで表したように、生物どうしが互いに関わり合いながら、つり合いが保たれているということを学習することが重要である。そのため、自然界では、どのような原因で生物の増減が起こっているのかを明確にすることで、生態ピラミッドの学習と自然界での現象とを結びつけることができると考えられる。また、その生物の増減の原因によっては、生態ピラミッドが元の状態には戻らず絶滅してしまうような場合があることについても学習し、人間の活動が自然界のつり合いに影響を与えていることを実感させることができる。そのため、生態ピラミッドの学習において、変化の契機の原因を明確にする必要がある。

2-4. 生態ピラミッドの変化の過程

図2は、大日本図書に記載されている生態ピラミッドのつり合いが保たれた元の状態に戻るまでの過程を示したものである。①に示す1段階目から2段階目への変化を表す際には、Bが増加した後、Aの増加とCの減少が同時に表現されてい

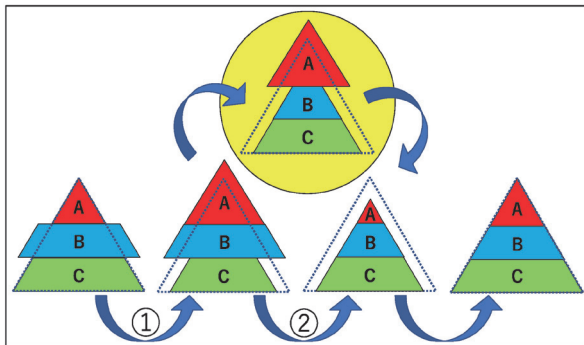


図2：大日本図書記載の生態ピラミッド

る。また、②に示す2段階目から3段階目への変化を表す際には、Cの減少が引き起こすBの減少と、そのBの減少が引き起こすAの減少という、2段階分の過程が同時に表現されている。したがって、ある段階から次の段階を示す時に起こる複数の変化については、それらの変化に多少なりとも時間差が生じているのであれば、それらの変化の間には因果関係があるといえるため、生態ピラミッドが変化した所を区切りとして表現するべきであると考えられる。

3. 生態ピラミッドの学習に関する現行の教科書比較

生態ピラミッドの学習に関して、2で挙げた「学習の際に必要と考えられる情報」をもとに教科書を比較し、整理したものを表1にまとめた。

表1：現行の教科書5社の比較

	教育出版	東京書籍	大日本図書	啓林館	学校図書
①数量の意味	特に記載なし	個体数など	有機物の量	特に記載なし	生物量
②各層の生物		A：肉食動物 B：草食動物 C：植物			A：二次消費者 B：一次消費者 C：生産者
③変化の契機	Aが減少	Cが増加		Bが増加	
④変化の過程					

3-1. 生態ピラミッドで表現される生物の数量の意味

生物の数量の意味については、現行の教科書5社のうち、3社の教科書に記載されており、個体数や生物量、有機物の量のように明確にしていることがわかった。しかし、残りの2社に関しては、数量の意味について、教科書に記載がなく、曖昧なまま説明していることがわかった。その理由として、おそらく、生態ピラミッドについて

は、高校生物で詳細に学習する内容であり、中学校の発展的な学習では、詳細に踏み込むべきではないと考えられているのではないかとと思われる。

3-2. 生態ピラミッドにおいて想定されている生物

生態ピラミッドの学習の際に、各層の想定される生物については、現行の教科書5社のうち、すべての教科書で、肉食動物あるいは二次消費者というような特定の種ではなく、生態系内での特定の役割を担っている生物を想定していることがわかった。その理由としては、実際には、生態ピラミッドの各層に1種ずつの生物を想定することが困難であり、複数の他の生物との関わり合いなどを考慮に入れざるを得ず、その場合には、生態ピラミッドの変化の過程が複雑になってしまうからであると考えられる。

3-3. 生態ピラミッドの変化の契機

生態ピラミッドの変化の契機について、現行の教科書5社のうち、3社がBの生物が増加、1社がCの生物が増加、残りの1社がAの生物が減少をしたと仮定して、生物のつり合いを表現している。また、その5社のうち、東京書籍のみが、その生物の増減が起こった原因について考えるような問いを設定している。しかし、その他の4社については、何らかの原因というような曖昧な表現のままで、その生物の増減の原因については触れていない。

実際に、それぞれの生態ピラミッドの変化の契機について考えてみると、教育出版が変化の契機としている「Aの生物の減少」については、人間による乱獲や地球温暖化などによる環境の変化などによって自然界でも起こる可能性が考えられる。また、東京書籍が変化の契機としている「Cの生物の増加」については、元々乾燥した草原などに雨が降ることやブナ科のドングリなどは周期的に豊作の年があることから自然界でも起こる可能性が考えられる。しかし、現行の教科書で最も多くの教科書会社が生態ピラミッドの変化の契機としていた「Bの生物の増加」については、「Cの生物の増加」や「Aの生物の減少」に伴うことが多く、人間が飼育管理していた生物を大量に野山に放つというようなことがない限り、自然界で起こる可能性が低く、「Bの生物の増加」の原因については考えにくい。

3-4. 生態ピラミッドの変化の過程

生態ピラミッドの変化の過程において、変化の

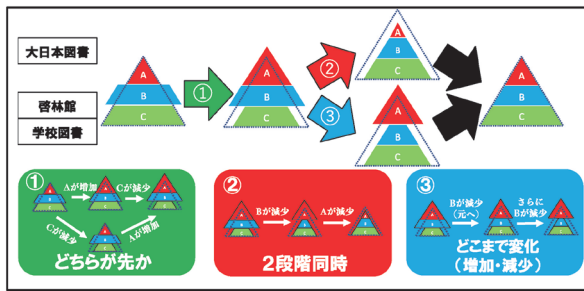


図3：変化の過程が複数ある理由

契機として、初めにBの生物が増加するとしている3社のつり合いの過程に関する説明を比較してみると、2段階目までは共通なのに対して、3段階目の表し方が2通りあることがわかる。このように、生物のつり合いが保たれる状態へ戻る過程が、1パターンだけではない理由として3つ挙げることができる。それらの理由について3社の教科書の変化の過程を例にまとめたものが図3である。

1つ目は、どちらが先に起こると想定するのかを1つに決定できないことが挙げられる。生態ピラミッドが図3の①の変化をする際に、「Aが増加し、Cが減少」の順、「Cが減少し、Aが増加」の順、さらには、「A増加とCの減少が同時」に起こる3つのパターンが考えられるからである。

2つ目は、2段階を同時に表現するのかどうかということが挙げられる。生態ピラミッドが図3の②の変化をする際に、「Cが減少したため、Bが減少する」、さらに、「Bが減少したため、Aが減少する」といった2段階の変化を同時に表しているパターンが考えられるからである。

3つ目は、各段階でどこまで増加・減少などの変化を表現するのかどうかということが挙げられる。生態ピラミッドが図3の③の変化をする際に、Bが生態ピラミッドの元の位置まで減少するのか、それともCの減少に合わせてさらに減少するのかの2つのパターンが考えられるからである。

4. 調査の実施

4-1. 調査の概要

本調査では、生態ピラミッドのつり合いが保たれた元の状態に戻る過程において考えられ得るパターンをあらかじめ理論的に整理した上で、それと比較して学習者が生態ピラミッドの変化の過程について、そのような認識を持っているのか、また、何を想定してつり合いの過程を考えているのかを明らかにすることを目的としている。調査対

象者は、教員養成系大学に所属し、中学校で生態ピラミッドについて学習している学生51名である。調査問題は、生態ピラミッドのつり合いが保たれた元の状態に戻る過程について自由に記載させるものである。調査用紙には、10段階の枠を用意した上で、必要な枠だけを使用し、生態ピラミッドの変化の過程を記載するよう指示した。また、変化の契機については、現行の教科書と過去の教科書ともに、最も多かった「Bの生物の増加」とした。そして、その変化の過程の回答の後に各層の生物として、何を想定して生態ピラミッドの変化の過程を考えたのかについても質問した。

4-2. 調査の結果（生態ピラミッドの変化の過程）

図4は、2つの生物層に同時に変化が起こる場合と生物量の変化が最大から最小、あるいは最小から最大など、一気に増減するなどの極端な変化を除いて、生態ピラミッドが変化した所を区切りとして、想定され得るすべての変化の過程を表したものである。1-(a)は、スタートの生態ピラミッドの形であり、元のつり合いの保たれた状態から変化の契機である「Bの生物が増加」した状態の生態ピラミッドを表している。10-(a)は、様々な変化の過程が起こった後にたどる元のつり合いの保たれた最終的な生態ピラミッドを表している。この1-(a)から10-(a)に変化する過程つまり、生態ピラミッドが変化の契機として「Bの生物が増加」した後に、元のつり合いの保たれた状態に戻るまでの過程は、他の生物との関わり合いやその生物の特徴など様々な要因によって、複数の通りが考えられる。

この調査問題と同じように、「Bの生物が増加」を変化の契機としていた3社の教科書を例にすると、大日本図書は、「1-(a)→3-(a)→7-(b)→10-(a)」と表すことができる、学校図書と啓林館は、「1-(a)→3-(a)→5-(a)→10-(a)」と表すことができる。この図4をもとに、調査結果について、科

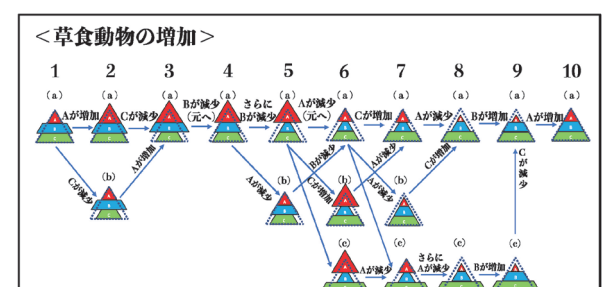


図4：生態ピラミッドの変化の過程の理論的整理

学的な回答群，準科学的な回答群，非科学的な回答群の3つのグループに分けた。

4-2-1. 科学的な回答群

生態ピラミッドの変化の過程として正しい，つまり自然界で起こる可能性のある変化の過程を回答した者は，41名であった。これらの回答を，図4の生態ピラミッドの変化の過程の理論的整理に照らし合わせて記述したものが表2である。回答からは，全部で33通りの変化の過程のパターンが見られた。

表2：調査の結果（生態ピラミッドの変化の過程）

ピラミッドの過程													
番号	1段階	2段階	3段階	4段階	5段階	6段階	7段階	8段階	9段階	10段階	番号	1段階	2段階
1	3-(a)	4-(a)	元								21	4-(a)	6-(a)
2											22	3-(a)	7-(a)
3	3-(a)	5-(a)	元								23	5-(a)	8-(a)
4	4-(a)	6-(a)	元								24	6-(a)	9-(a)
5	5-(a)	7-(a)	元								25	7-(a)	8-(a)
6	7-(a)	9-(a)	元								26	4-(a)	8-(a)
7	3-(a)	5-(a)	7-(a)	元							27	4-(a)	6-(a)
8			9-(a)	元							28	3-(a)	5-(a)
9											29	2-(b)	6-(a)
10	4-(a)	7-(a)	9-(a)	元							30	5-(a)	6-(a)
11											31	6-(a)	7-(a)
12											32	4-(a)	6-(a)
13	2-(a)	3-(a)	6-(a)	7-(b)	元						33	3-(a)	5-(a)
14	3-(a)	5-(a)	6-(a)	元							34	5-(a)	7-(a)
15											35	5-(b)	6-(a)
16											36	2-(a)	5-(b)
17	4-(a)	6-(a)	7-(a)	元							37	3-(a)	4-(a)
18			8-(a)	9-(a)	元						38	2-(b)	4-(a)
19			7-(a)	9-(a)	元						39	4-(a)	6-(a)
20			8-(a)	9-(a)	元						40	3-(a)	4-(a)
											41	2-(b)	3-(a)

4-2-2. 準科学的な回答群

生態ピラミッドの変化の過程としては妥当ではあるものの，図4の理論的整理に示されているパターン以外の回答をした者は，2名であった。このような回答の例として，変化の過程の途中を描いている場合である。例えば，図4の1-(a)から2-(a)の間の過程において，Aの生物の増加を徐々に区切りながら表現しているものなどが挙げられる。

4-2-3. 非科学的な回答群

生態ピラミッドの変化の過程として正しくない，つまり自然界で起こる可能性のない変化の過程を示した者や，生態ピラミッドの元の形までの変化の過程を適切に表現できていない者は，8名であった。

前者は，ロトカ・ボルテラの捕食式に反しているような回答である。例えば，Aの生物（捕食者）とBの生物（被食者）の数量の関係を考える場合，捕食式に基づけば，Bの生物（被食者）が増えた後に，Aの生物（捕食者）も増加することになるが，Aの生物（捕食者）が減少する過程を表現するなどの回答が見られた。他にも，Bの生物（被食者）が変化していないのに，Aの生物（捕食者）が増加する過程を表現した回答なども見られた。後者は，生態ピラミッドのつり

合いが保たれた元の形に戻るまでの過程を表現せず，変化の最終形態がBの生物が増加した形である1-(a)になってしまっているような回答であった。

4-3. 調査の結果（想定されている生物）

表3は，各層の生物として，何を想定して生態ピラミッドの変化の過程を考えたのかについての調査の回答をまとめたものである。まず，それらの回答を，「正しい」と「正しくない」の2つのグループに分けた。

2つのグループに分けた基準として，1つ目は，生態系内で上位に位置する生物が生態ピラミッドの上位の層になっているかどうかである。これを生物の有機物量の関係である生産力ピラミッドで考えてみると，生態系内では，生産者である植物がつくり出して蓄えているすべての有機物のうちの一部分が，消費者である草食動物に食べられて移動をする。そして，草食動物に蓄えられている有機物の一部分が肉食動物に食べられることで移動していく。このように，草食動物から肉食動物へ食物連鎖が続くと，各層の生物に取り込まれる有機物の量は少なくなる。そのため，生態ピラミッドでは，生態系内で上位に位置する生物が生態ピラミッドの上位の層となる。

2つ目は，被食者と捕食者の関係が適切に表現されているかどうかということである。生態ピラミッドとは，食物連鎖の中にある生物の数量的な関係を表しているものであるため，A，B，Cの生物が食物連鎖の関係，つまり，Aの生物とBの生物，Bの生物とCの生物がそれぞれ捕食者と被食者の関係でなければならない。

このような2つの条件をみたしている回答を「正しい」，それ以外を「正しくない」とした。表3の結果をみると，51名中，44名が「正しい」回答のグループに属していた。一方，51名中，7名が，上位の層に植物を想定した回答をしていたり，草食動物が小動物を捕食するような回答を

表3：調査の結果（想定される生物について）

		人数
正しい	下位の層が生産者 	抽象的な生物
		13人
	下位の層が消費者 	具体的な生物 (A:ライオン B:シマウマ C:草)
		17人
正しくない	下位の層が生産者 	抽象的な生物
		1人
	下位の層が消費者 	具体的な生物 (A:ワシ B:ヘビ C:カエル)
		13人
正しくない	上位の生物が下位の層にいる (A:植物 B:草食動物 C:肉食動物)	5人
	捕食者・被食者の関係でない (A:ライオン B:シマウマ C:カエル)	2人

していたりというように、「正しくない」回答グループに属していた。

次に、「正しい」グループを、下位の層の生物が生産者か消費者かというような基準で2つに分けた。生態系内では、生産者である植物が有機物をつくり出すというはたらきが重要で、そのはたらきを契機として、草食動物や肉食動物が有機物を取り込む食物連鎖が行われる。表3をみると、「正しい」回答グループ44名中、30名が下位の層に生産者を想定していることがわかる。一方で、「正しい」回答グループ44名中、14名は、生態ピラミッド内に生産者を位置づけていないことがわかり、単に消費者同士の捕食関係のみで生態ピラミッドを構成していることがわかる。

最後に、下位の層の生物に生産者を想定しているか、消費者を想定しているかというような基準で2つに分けた後、それぞれ生態ピラミッドの各層で想定している生物が、教科書に記載されているようなA肉食動物、B草食動物、C植物というような抽象的な表現になっているのか、それとも、Aライオン、Bシマウマ、C草というような具体的な生物名で答えているのかという基準で、それぞれさらに2つに分けた。表3の結果をみると、教科書における生態ピラミッドと同様の想定で回答した者、つまり、下位の層の生物に生産者を位置づけ、かつ、具体的な生物名を記載しなかった者は、「正しい」回答グループ44名中、13名であった。

5. 考察

5-1. 現行の教科書比較より

生態ピラミッドの学習に関しては、3. 生態ピラミッドの学習に関する現行の教科書比較の指摘に基づき、次の4点に注意して行ふべきであると考える。

1つ目は、生態ピラミッドの各層の面積が表す数量の意味を生物量とし、生物量ピラミッドで変化の過程を考察させることである。もしも、個体数ピラミッドで考えるとすると、先述したように、実際には1個体の重量に大きな差のある1本のサクラの木と1匹の小さなガの幼虫が、同等なものとして捉えられてしまう。そこで、1個体の重量を考慮する必要がある、個体数に1個体の重量を掛け合わせた生物量ピラミッドで考えるべきであると考え。さらに踏み込んで、有機物量までも踏まえた生産力ピラミッドで考えるとなると、生物に含まれる有機物の割合をも踏まえる必要があるが、そもそも動物も植物の体を構成する

物質の多くが水である無機物で作られており、生物によって、多少は異なるものの、生物の重量に対する有機物の割合に大きな違いは見られないとも考えられる。そのため、生態ピラミッドの変化の過程については、生物量ピラミッドで考えることで十分であると判断した。

2つ目は、想定される生物については、特に具体的な生物に限定することなく、「生産者」、「一次消費者」、「二次消費者」としておき、生徒が生態ピラミッドの変化の過程を考える際に、自由に具体的な生物を想定して考察させることである。まず、「植物」、「草食動物」、「肉食動物」とするのではなく、「生産者」、「一次消費者」、「二次消費者」と表現することで、生態ピラミッドは、食物連鎖の関係にある生物の個体数の変動であることを認識することができ、その前に学習する「生産者」や「消費者」の学習と結びつけることができると考える。また、各層の生物を指定せずに、生徒に自由に想定させることで、想定した生物の種類によって、生態ピラミッドの変化の過程が異なることに気づくことができるため、生態系内の生物どうしの関係について様々なバリエーションで考察することができると考える。

3つ目は、変化の契機については、「Cの生物の減少」とすることである。「Cの生物」、つまり、生産者である植物は、自然界でも実際に、降水量や日光の量などの自然条件によって、生産量が増えたり減ったりしている。そのため、実際に自然界でも起こっている「Cの生物」を変化の契機とすることが自然であると考えた。さらに、変化の契機を「Cの生物の減少」とすることで、その後、人間の活動によって生物が減少した結果、多くの生物が元に戻ることなく、絶滅してしまっているということと比較でき、我々人間の活動が生態系に大きな影響を及ぼしていることを実感させることができると考える。

4つ目は、変化の過程については、生態ピラミッドが変化した所を区切りとし、考察を行わせることである。自然界では、生態の数量の関係は、常に移り変わっており、増減の速さや特徴などは常に一定とは限らない。そのため、生態ピラミッドの変化の過程は、多様に考察することができるが、生態ピラミッドの変化には、どこかの生物層に変化が起きることによって他の生物層に変化が起きるため、その変化したタイミングを区切りとして表現させることで、生態ピラミッドの変化の過程について、他者に説明しやすくなり、生態ピラミッドの変化の過程の多様性についても議論しや

すくなると考えられる。

5-2. 調査より

調査より、生態ピラミッドについて、多くの者が、食べる・食べられるの関係にある生物の数量的な関係であることや上位の層の生物ほど数量が少なくなるということを理解できていることがわかった。生態ピラミッドの変化の過程では、生産者、一次消費者、二次消費者の3種の生物の変動について考えなければならず、Aの生物（捕食者）とBの生物（被食者）、Bの生物（捕食者）とCの生物（被食者）の関係の数量の変化を同時に捉える必要がある。そのため、生態ピラミッドの学習に入る前の段階で、まずは、2種の生物の変動について理解しておくことで、生態ピラミッドの変化の過程が考察しやすくなると考える。例えば、生態ピラミッドの学習の前に、カンジキウサギとカナダオオヤマネコの個体数の変動についての学習などが挙げられる。このような生物の数量的な変化の学習は、そもそも自然界での実際のデータが少なく、想定したモデルでの学習が多くなってしまったため、カンジキウサギとオオヤマネコの個体数の変動例を学習することは、自然界で実際に、生物どうしが関わりあって、変動が起こっているというようなデータを示すという点でも効果的であると考えられる。

さらに、生態ピラミッドの変化の過程を考察させ、表現させる問いでは、51名中41名がロトカ・ボルテラの捕食式に基づいた数量の変化を表現することができていたため、生態ピラミッドの変化の過程を自由に考察させ表現させる問いは、おおむね適切であると考えられる。

しかし、今回のように変化の過程を「Bの生物の増加」とすることで、あまりにも多くの変化の過程が考えられ、変化の過程が非常に複雑になるということも明らかとなった。その理由として、変化の契機をBの生物にすることで、変化の過程の初めから、Bの生物（被食者）の変化に対してAの生物（捕食者）に起こる影響とBの生物（捕食者）に対してCの生物（被食者）に起こる影響を考慮しなければならず、多くの変化の過程が想定されてしまうからである。

最後に、生態ピラミッドを考える際に、各層で想定されている生物については、生態ピラミッドの下位の層を生産者ではなく、消費者と回答した者が、14名もいたことから、生態系内では、生産者である植物が有機物をつくり出すというはたらきが重要であることを認識できるような授業の

工夫が必要であると考えられる。

5-3. 具体的な授業デザイン

これらの考察をもとに、生態ピラミッドを学習する際の具体的な授業デザインを考案し、その授業の流れを示したものが図5である。上述した教科書比較や調査結果に基づき、生態ピラミッドの学習においては、生物量ピラミッドで変化の過程を考察させること、想定される生物については、特に具体的な生物に限定することなく、「生産者」、「一次消費者」、「二次消費者」としておくこと、変化の契機については、「Cの生物の減少」とすること、変化の過程については、生態ピラミッドが変化した所を区切りとすること、生態ピラミッドの学習に入る前の段階で、2種の生物の変動について取り扱っておくこと、生態系内では、生産者である植物が有機物をつくり出すというはたらきが重要であることを認識させることの6つの点

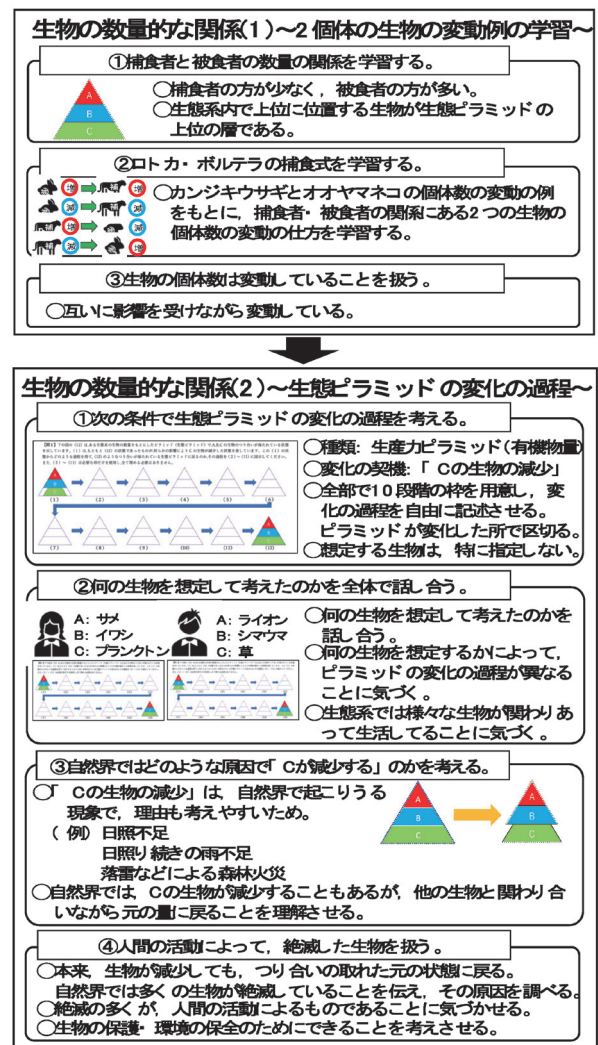


図5：具体的な授業デザイン

を踏まえた授業デザインとしている。図5に示す「生物の数量的な関係の学習」は、2時間構成で行うこととする。

まず、生態ピラミッドの変化の過程について考えさせる前に、2種の生物の変動例についての理解が必要となる。そこで、前半の1時間では、カンジウサギギとオオヤマネコの個体数の変動例を扱い、捕食者と被食者の数量の関係について学習させた後に、それぞれの個体数の変動の仕方から生物の変動例の基本的な考え方となるロトカ・ボルテラの捕食式について学習させたい。その際に、食べる・食べられるの関係にある2種の生物の個体数は、互いに影響を受け合いながら、増減するが、長期間で見れば、生物の数量は一定に保たれていることにも気づかせる。

続く、後半の1時間では、生態ピラミッドの変化の過程についての学習を行わせる。まず、生物量ピラミッドに基づき、生態ピラミッドの変化の過程について考察させる。その際、変化の契機は、自然界でも起こりうる現象である「C（生産者）の生物の減少」とする。このように生産者の減少に着目することで、生態系における植物の役割の重要性に気づかせることができると考えられる。そして、このような条件下で、全部で10段階の枠を用意し、想定する生物は特に指定することなく、生態ピラミッドの変化の過程について考えさせる。次に、それぞれの生徒が自分の表現した変化の過程とともに、何の生物を想定して変化の過程を考えたのか等について、議論する場を設ける。そして、「Cの生物の減少」が自然界でどのような原因で起こっているのかについても考察させ、自然界でも考察した変化の過程のように様々な生物が互いに影響し合いながら、つり合い

のとれた元の形に戻っていることに気づかせる。最後に、本来、生物が減少したとしても、生物は互いに影響し合いながら、つり合いのとれた元の状態に戻るはずであるにもかかわらず、自然界では多くの生物が絶滅していることを伝え、その原因のほとんどが、我々人間の活動によるものであることを気づかせ、環境の保全について考察させる契機としたい。

6. 今後の展望

今後は、本研究で構想した具体的な授業デザインにもとづく授業実践を行い、その成果と課題についてまとめたい。また、生態ピラミッドの学習以外の生態系の学習内容の取り扱いに関する検討も行い、中学校理科における生態系の学習の最適化を図りたい。

7. 参考文献・引用文献・註

- 1) 西林克彦,『間違いだらけの学習論』,新曜社, pp.2-32, 1994
- 2) 文部科学省,『中学校学習指導要領(平成29年告示)解説 理科編』,学校図書株式会社, pp.110-111, 2018
- 3) 有馬朗人ら,『理科の世界 3』,大日本図書株式会社, pp.149-161, 2021
細矢治夫ら,『自然の探究 中学理科 3』,教育出版株式会社, pp.264-227, 2021
岡村定矩ら,『新しい科学 3』,東京書籍株式会社, pp.256-267, 2021
塚田捷ら,『未来へ広がる サイエンス 3』,新興出版社啓林館, pp.252-265, 2021
霜田光一ら,『中学校 科学 3』,学校図書株式会社, pp.114-129, 2021

