

生態系に関する中学校理科授業の開発と評価

Development and Evaluation of "Ecosystem" Unit in Junior High School Science

丹沢哲郎*・大石真司**・鈴木康浩**

Tetsuro TANZAWA, Shinji OISHI, Yasuhiro SUZUKI

1. はじめに

静岡大学教育学部附属島田中学校理科では、平成12年度より現在までおよそ8年間、Lawson¹⁾の唱える概念変容教授モデルであるLearning Cycle教授モデルを用いて理科授業の改善を図ってきた。この教授モデルの特徴は、後に述べるように、仮説演繹的な授業展開を中心に4段階からなる単元を構想し、生徒に科学的概念の学習定着を図る点にある。

これまでの島田中学校における研究では、たとえば平成13年度の「物質の三態変化」に関する研究において、本モデルの全体的な効果について実証的に成果を示すことができた²⁾。そこで本研究は、その効果を別の単元を用いて評価することによりモデルの妥当性の高さを検証し、教授効果の高い生態系単元を開発することを目的として実施された。

2. 本研究が用いた概念変容教授モデル

本研究が採用したモデルの特徴は、以下に示すように、4段階を踏まえて授業の構造化を図っている点にある。そして、これらの段階のうち、ExplorationとConcept Applicationの段階において、生徒たちは科学的探究活動として仮説演繹的な問題解決を行う³⁾⁴⁾。

1) 新しい学習テーマとそれに関わる自然事象との遭遇による授業への引き込み
(Engagement Phase)

2) 授業で提起された疑問や課題に対する生徒自らによる探索 (Exploration Phase)

3) 得られた学習成果に対する科学用語の導入 (Term Introduction Phase)

4) これまでの学習に関連した新しい事象への獲得概念の応用 (Concept Application Phase)

ここで、従来の理科の教授法略と異なるという意味で、注目すべき点を2点指摘したい。第一点は、単元や授業の中で学ぶ新しい科学用語や概念、ならびに公式等は、あくまで生徒自らがたどり着いた結論に対して導入されるべきとされている点にある。たとえば新しい科学用語を最初に説明して、その用語の意味を実験等を通して理解させるのではなく、まず生徒たちがその考え方を探究を通して自ら創り出したり生み出したりした後、「それを理科（あるいは科学）では...と呼んでいる」という具合に、言葉を後から導入するのである。まず考え方がありきで、それに用語がついてくるといふ、自然科学の研究プロセスを反映した教授スタイルとなっている。

第二点は、新しい考え方や概念を獲得したとされた後に、それを新奇な事象に応用する段階

が設けられていることである。つまり、第三段階までで学習が成立したとは見なさず、学習成果を使えて、あるいは応用できて初めて学習が成立したと捉えるのである。この点で、本教授モデルは学習に対してきわめて慎重な立場を取っていると言える。以上2点に加え、新しい学習への動機づけを行うEngagement段階の重視や、理論（仮説）先行型の科学的探究活動をExplorationとConcept Applicationの段階で実施するなどの特徴もある。

3. 研究のデザイン

本研究は、2年間に渡り、二つの研究目的を達成するために行われた。

1) 「物質の三態変化」以外の単元におけるモデル全体の効果の検証

モデルを適用する単元として新たに「生態系」を設定し、モデルが教授内容に依存せず、一定の効果を持ち得ることを検証する。

2) 効果的な生態系単元の開発

ここでは特に、Engagement, Exploration, Concept Applicationの三つの段階における教材を工夫することによって、より教授効果の高い生態系単元を開発する。

ここで生態系の学習を選択したのは、これまでの構成主義学習論研究や概念変容教授論研究において、内外を問わず生態系がほとんど取り上げられてこなかったという経緯がある。たとえば構成主義研究の名著であるDriverらの著作⁵⁾では、光、電流、熱と温度、力と運動、さらには気体の粒子的見方など、物理現象と化学現象が主に取り上げられており、生命現象についてはまったく言及されていない。同様の事情はWhite⁶⁾、West and Pines⁷⁾の著作などにも見られ、枚挙にいとまがない。その理由は、生態系概念が複雑であり、子どもの見方や考え方を探り、その変容を追跡するのが困難であるからと推察される。

このような困難さを認識しつつも、中学校における生態系学習の重要性に鑑み、本研究では以下の方法を用いて、授業の効果、すなわち生徒の概念変容のプロセスを追跡した。

1) 授業実施時期：平成15年・16年10月から11月

2) 研究対象学年：附属島田中学校3年生（それぞれ授業実施時）

3) データの収集方法：

対象学年のクラスを対照クラス（群）と実験クラス（群）に分け、従来の教授法とLearning Cycle教授モデルを適用し、学習成果の差からモデルの効果を検証する。収集したデータの種類は、研究実施年度によって異なるが、プリ・ポストテスト、生徒が授業中に記述した「追究用紙」、生態系を構成する要素間のつながりとその理由を記述した「エコマップ」の3種類である。

4) 変容を追跡した生態系概念の要素（分析視点）：

本研究では、生態系概念の下位概念として、エネルギーと物質の循環に焦点を当て、具体的には以下の視点からその変容を追跡した。中学校における学習ではエネルギーの流れは従来扱わないが、現在深刻化しつつある環境問題（地球温暖化、オゾンホール拡大等々）の理解には、生態系のエネルギー論的理解が必須であると考え、授業に取り入れることとした。

①生態系内の生物のつながりと物質の循環

②分解者の役割

③生態系内に流入するエネルギー

④生態系から外に流出するエネルギー

⑤植物への無機物以外の養分の提供

以下においては、本研究デザインに従って行われた年度ごとの研究成果を、その特徴的な点に絞って報告する。

4. 研究結果（1）：平成15年度実施の研究の結果

1) 単元の構成

15年度の研究では、実験クラスについては表1に示す単元構成のもとに授業を実施した。Learning Cycle教授モデルとの対応については、第1・2時がEngagementの段階に、第3時から第8時までがExploration、第9時がTerm Introduction、そして第10時から12時までがConcept Applicationの段階にそれぞれ対応している。また対照クラスの授業は、1・2時間目に教科書資料を用いて導入を行ったことを除き、学習内容と配列について実験クラスとまったく同一とした。ただし、学習内容は教師が先に説明して、それを確かめるために生徒が実験を行うという形態を取った。つまり、理論が先行する探究型（仮説演繹型）の授業でなく、説明-確認型の授業形態である。

2) 分析データと分析方法

15年度の研究においては、表中にある「エコマップ」の記述をもとに分析を行った。これは、生態系を構成する生物的要素と非生物的要素を書き入れ、それらのうち互いに関係のあるものを線で結び、その関係性を説明する文章を図の外に書くものである。これはNovak⁸⁾の提案したコンセプトマップの日本語適用版とも言えるものであり、紙数の関係でここに実物を示すことはできないが、作成や使用に関する方法は、堀⁹⁾の著作を参照されたい。

分析には、「3. 研究のデザイン」で述べた五つの分析視点のうち、⑤の「植物への無機物以外の養分の提供」を除く四つを用い、生徒一人ひとりの記述したエコマップからこれらの視点が書き込まれているかどうかを検討した。

3) 結果

実験クラスについては3回すべてのエコマップ（以下「実験1」「実験2」「実験3」と略す）を分析に使用し、対照クラスについては1回目を除いた2回のエコマップ（以下「対照2」「対照3」と略す）を使用した。ここで1回目のエコマップを除いたのは、二つのクラスが異なる対象についてエコマップを作成しているからである。

①生態系内の生物のつながりと物質の循環について

グラフ1に分析の結果を示す。実験クラスと対照クラスのエコマップ2回目（実験クラスがExplorationの段階を終えた後）を見ると、明らかに実験クラスのデータの方が高いという結果になった。 χ^2 乗検定の結果では、両者には5%の有意水準で違いが認められ、実験クラスの効果を確認することができた。ただし、すべての授業終了時（エコマップ3回目）の結果では、むしろ対照クラスの方が結果はよかった。この点については後に考察する。

②分解者の役割について

結果を示すグラフ2を見ると、この視点についても実験クラスの効果がエコマップ2の時点で見られた。しかし、エコマップ3の時点で対照クラスの方が効果があったように見えるが、分解者の役割理解について統計上両者に有意差は認められなかった。

③生態系内へのエネルギー流入について

表 1. 平成15年度実施の生態系単元の構成

時間	学習内容	
1・2	学校敷地内の調査場所にいる生物やその環境を調べよう	[Eng]
3・4	生物のつながりを考え、調査場所の生物と非生物要因がどのような関係でつながっているか、 <u>エコマップ（1回目）</u> に表そう	[Exp]
5	生物の数量バランスが崩れるとどうなるか考えることによって、食物連鎖と生産者・消費者の個体数の関係について探究しよう	[Exp]
6・7	生物の死骸や排泄物が環境中に蓄積しないのはなぜか考えることによって、土中の微生物の存在について探究しよう	[Exp]
8	有機物を無機物に変える微生物の働きについて探究しよう	[Exp]
9	植物・動物・微生物のつながりを考えて、 <u>エコマップ（2回目）</u> をつくろう	[Term]
10	ヒトが自然界にどのような影響を与えているか考えよう	[Appli]
11・12	学校ビオトープにおける生物のつながりの学習から、植物・動物・微生物・ヒトのつながりを考えた <u>エコマップ（3回目）</u> をつくろう	[Appli]

生態系には、一般的には太陽光のエネルギーが植物によって捉えられる。しかし本授業においては、風力発電を活用した学校ビオトープというミニ生態系へのエネルギーの流入を考えるため、太陽光に加えて風のエネルギーの流入もある。したがって、Concept Applicationの段階が終了した3回目のエコマップ作成においては、両者が書き込まれることが期待された。結果はグラフに示すまでもなく、以下のものであり、両者の違いは明らかであった。

対照3： 3.4%（太陽光） 3.4%（風）

実験3： 25.0%（太陽光） 28.6%（風）

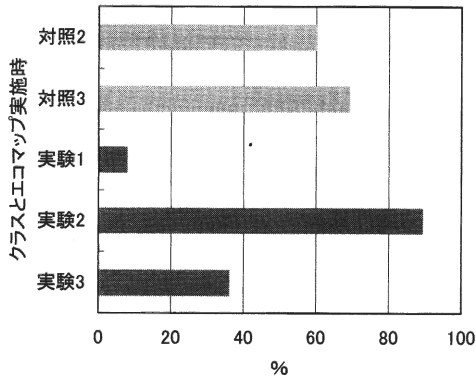
つまり、実験クラスの生徒の方が、明らかに生態系へのエネルギー流入を考えることができたという結果となった。

④生態系からのエネルギー流出について

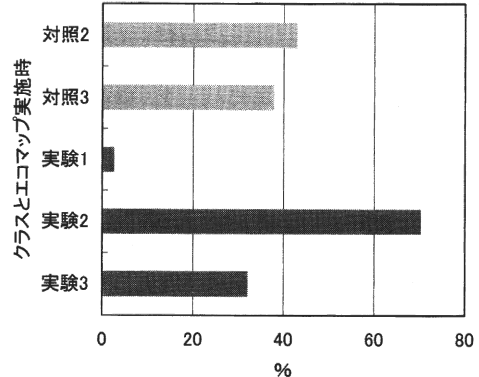
生態系からは、主に赤外線放射という形で系の外にエネルギーが出て行く。しかし流入と流出のバランスがとれているため、生態系の温度（気温）は一定に保たれている。この流出に関しては、エコマップ作成の2回目で、実験クラスの8%の生徒がマップに書き込むことができたが、対照クラスの生徒でこの点を指摘できた者はいなかった。

4) 考察

全体として、Learning Cycle教授モデルの成果は明らかであったと結論できる。特にExplorationの段階で実施した分解者の存在とその役割に関する探究活動は、生物のつながりと物質循環、ならびにそのプロセスの中での分解者の働きについて、顕著な理解向上を示した。しかしながら、生態系内の生物のつながりと物質循環に関して、エコマップ3の段階で学習成果が低下するという結果も同時に得られた。その理由を結果通りに受け取ると、このモデルのConcept Applicationの段階には効果が見られなかったということになるが、授業の実施状況を検討するとこのように一概に結論づけられない。というのも、実験クラスにおいては、このConcept Application段階に入る前に学校行事があり、授業が3週間近く中断したからである。また、この段階の授業では生徒の探究活動に多くの時間を費やしたため、エコマップ作成に十分な時間を確保できなかったという事情もある。



グラフ 1. 「生物のつながりと物質循環」の結果



グラフ 2. 「分解者の役割」の結果

さらには、生徒たちの考えや知識が、必ずしもエコマップにすべて記述されるとは限らないという問題もある。エコマップの3回目は、授業の中で二度の作成経験を経て書かれているものであり、作成のための予備的な練習も実施したが、そのことが、「エコマップ、イコール生徒の理解・考えの正しい表現」とは言えないのである。これは研究方法上の限界とも言えるものである。

以上の状況を考慮するとき、次のような新しい課題が明確となる。すなわち、①授業が途中中断することの無いよう、単元の全体構成をコンパクトにすること、②Concept Applicationの段階の効果を改めて検証する必要があること、③エコマップ以外の多様な評価方法を用いて授業効果を検証すること、の3点である。これらの課題への取り組みは、次年度以降の実践で行われることとなる。

5. 研究結果（2）：平成16年度実施の研究結果

1) 単元の構成

平成15年の実践の反省を踏まえて、本年度は授業時数を2時間短縮し、10時間からなる単元構成とした。その概略は表2に示すとおりである。Learning Cycle教授モデルとの対応関係は、1・2時間目がEngagementの段階、3から6時間目までがExploration、7時間目がTerm Introduction、そして8時間目に再度ExplorationとTerm Introductionを繰り返し、9・10時間目がConcept Applicationの段階となっている。

全体の授業構成は、可能な限り前年度の構成を踏まえつつ、より効果的な授業への引き込みをねらって、Engagement段階でバツの異常発生を取り扱った。また、Concept Application段階では、前年度高い効果が見られなかった事例をやめ、閉鎖系であるミニ生態系をデザインする活動に変えた。

また対照クラスの授業は、1時間目と2時間目を入れ替え、生産者と消費者の個体数関係を理解した後、バツの異常発生原因について考える展開とした。そして全体に渡る授業展開は、理解すべき学習内容を先に教師が授業で説明した後、それを実験によって確認していく形にした。

2) 分析データと分析方法

ここでも15年度の反省を踏まえ、分析方法を多様なものとした。具体的には、エコマップに

表2. 平成16年度実施の生態系単元の構成

時間	学習内容
1	ある島でバクが異常発生した理由について考えてみよう【Eng】
2	食物連鎖と生産者・消費者の個体数関係【Eng】
3	身近な生物と非生物的要素のつながりを考え、 <u>エコマップ(1回目)</u> に表そう【Exp】
4・5・6	生物の死骸や排泄物はどうなるのだろう。分解者の役割について探究する【Exp】
7	土の中で何が起きているのだろう。 <u>エコマップ(2回目)</u> に表そう【Term】
8	自然界では何が循環しているのだろう。【Exp・Term】
9・10	ミニ生態系をデザインしてみよう【Appli】

加えて、プリ・ポストテスト結果の比較と、生徒が記述した追究用紙の内容分析を行った。分析の視点は、15年度同様、本稿の「3. 研究のデザイン」で説明した5点から、分析方法ごとに適宜採用した。

①エコマップの分析

ここでは、表2にある2回のエコマップを比較し、Exploration段階の効果を見た。そして、9・10時間目に実施したミニ生態系のデザインもエコマップの一種であるため、この分析を通じて授業終了後の成果も検討した。

②追究用紙の分析

附属島田中学校の理科では、伝統的にこの用紙を活用した授業実践を展開してきた。ここでは、教師あるいは生徒から提示された追究課題について、まず一人ひとりの生徒が自分の考えを書き、それに基づいてグループ討論をした結果を次を書く。そして実験・観察の後、結果と結論について全体討論を行い、自分の理解した事柄についてまとめる。つまり「個人」「グループ」「クラス全体」という三つのレベルで理解状況を書きとめる形を取っている。本研究では、Explorationの段階で書かれた追究用紙の記述を分析し、教授モデルの効果を検証する。

③プリ・ポストテストの結果比較

一連の単元の学習前後において、同一の質問紙に回答させ、その変容を実験クラスと対照クラスで比較し、本モデルの効果を検証した。

3) 結果

①エコマップとミニ生態系のデザインの分析

2回のエコマップの比較からは、全体として統計上ほとんど有意な差が見られるものはなかった。具体的には、「物質の流れ」と「分解者のはたらき」に関して有意な差がなかった。しかし、「エネルギーの流入」に関してだけは、対照クラスに比べて実験クラスに有意な伸びが認められた。

一方、単元の最終段階に行われたミニ生態系の学習成果についても事情は同様で、全体として両クラスにほとんど差は見られなかった。しかし、「分解者のはたらき」については、実験クラスの生徒のうち約41%の者が記述しており、対照クラスの22%に比べて有意に値が高かった。

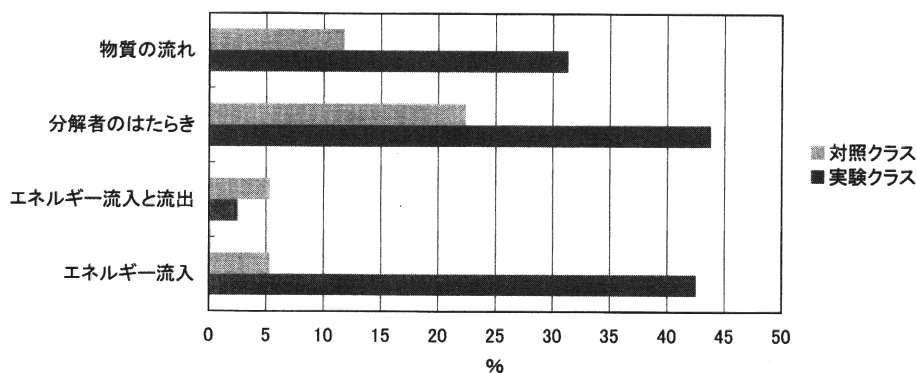
以上のように、これら2種類の記述から、二つの分析視点についてモデルの効果が確認できたが、全体として顕著な効果は認められなかった。

②追究用紙の分析

エコマップの結果と比較して、追究用紙の分析結果では、両クラスの間には大きな差が見られた。「分解者のはたらき」に関して、実験クラスでは自主的な探究活動が行われ、対照クラスでは説明の後、各種の確認実験が行われた。この段階で書かれた追究用紙がここでの分析対象である。

結果はグラフ3に示す。これを見て分かったとおり、「物質の流れ」「分解者のはたらき」「エネルギーの流入」に関して、いずれにおいても統計的に有意差が見られた。「エネルギーの流入と流出」の両方を書いていた生徒については、統計的に有意な差は見られなかった。

以上のように、追究用紙の分析結果はエコマップのそれと異なり、本教授モデルの有効性を顕著に示すものとなった。特に、平成15年度の実践でも指摘した分解者のはたらきと役割に関する探究場面は、生態系を多面的に見る視点を生徒に提供し、深い理解を生徒に与えることができたと考えられる。ただし、生態系のエネルギー的側面はここでは扱わないためその効果は見られなかったが、この点を意図的に取り扱った探究場面を設定することによって、課題は克服できよう。



グラフ3. 追究用紙の記述に見られる生態系理解の比較結果

③プリ-ポストテストの分析

本研究では、平成15年度にも授業前後の質問紙調査を行っていた。しかしながら、生徒の理解状況を十分に把握した上での問題となっていなかったり、生徒の理解状況を適切に捉える問題となっていなかったりしたため、明確な成果を示すことができなかった。そこで、16年度はその経験を踏まえ、問題の修正や新たな問題の作成を行い、5問からなる調査問題を作成した。以下においては、それぞれの問題ごとの調査結果を示す。

(問題1) 植物が、太陽の光を浴びて光合成を行っています。植物が光合成を行ったことで、光エネルギーはどのようになったでしょうか？次の選択肢の中から、あなたの考えにもっとも近いものを1つ選んで、○をつけてください。

1. 光合成を行うために使われて、エネルギーがなくなった。
2. 光合成を行った後、同じ量の光エネルギーが空気中に放出された。
3. 光合成によってできるデンプンのもつ化学エネルギーに変わった。

4. その他 ()

(問題2) 地球には、太陽からの光エネルギーが降り注いでいるにもかかわらず、気温が上昇し続けることはありません。その理由を述べてください。

本問は、問題1においてエネルギーの保存と変換の概念について問い、問題2において生態系内外のエネルギーの流れについて聞いた。

これらの問題についての結果は、両クラス共に授業後に高い正答率を示し、問題1で80から90%、問題2で70%前後であった。両クラス間には正答率の差はまったく見られなかった。しかし、問題2の正答率が比較的低かった実験クラスにおいては、授業の前後で有意な伸びが見られた。本校の生徒は、エネルギーの変換と保存、ならびに系へのエネルギーの出入りに関しては、授業前にすでに高い理解度を有していたため、授業による効果を確かめることができなかった。

(問題3) 自然界の土の中には枯れ葉や動物の死がい、フン等の有機物を最終的に無機物に変える生き物がいます。下に示す生き物の中から、これらにあてはまるものをいくつか選んでください。

ミミズ ダンゴムシ キノコ カビ アリ ダニ 細菌類(コウボ菌、大腸菌など)
ムカデ

この問題では、分解者の概念を探るために、該当する生物を選択してもらった。結果では、正答である「カビ」「キノコ」「細菌類」の選択者数割合が、プレテストとポストテストの間で大幅に伸びた。しかし、「ミミズ」や「ダンゴムシ」を選択するものの割合は、授業後でもかなり高かった(ミミズ:約50%, ダンゴムシ:約15%)。有機物を無機物に変えるという「分解」の意味に加え、食べ物を細かな形に変えることにも分解の意味を付与している生徒の姿が、この結果から読み取ることができる。分解者のほたらきについて探究してきた生徒たちは、分解者のほたらきと役割について理解しているにもかかわらず、具体的な生物との対応関係を求められると適切な選択肢以外の生物も選んでしまう。したがって、両クラスの間には選択割合に有意な差は見られなかった。

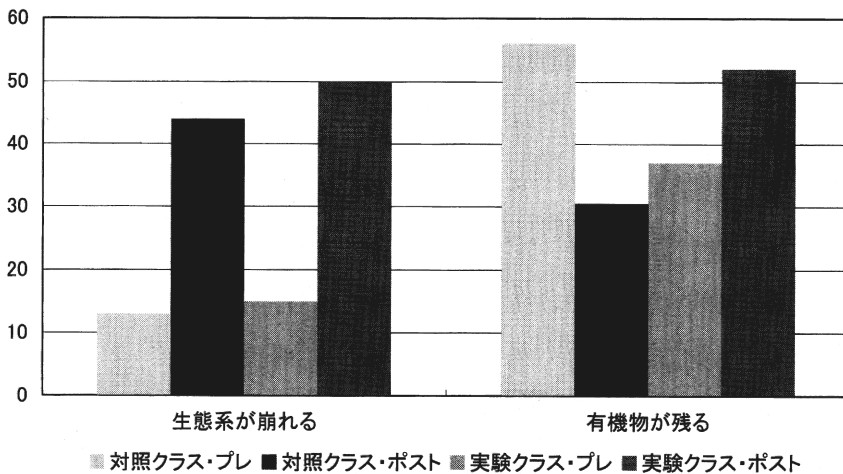
(問題4) 問題3で選んだ生き物が地球上からいなくなったとすると、どのようなことが起こると思いますか。

起こると思うこと ()
その理由 ()

分解者の役割と生き物のつながり、そして生態系のバランスについて問う本問では、自由記述の形で生徒に回答を求めた。その結果、起こると予想されることとして「無機物がなくなり植物が育たなくなる」「土がなくなる」「二酸化炭素が増える」など、正答・誤答を含めて10種類程度の回答が得られた。これらの選択肢のうち、正答にあたる「生態系が崩れ、生き物が生きていけなくなる」と「有機物がそのまま残る」と答えた生徒の割合を示したものがグラフ4である。

ここで、「生態系が崩れる」と答えた生徒は、両クラスともプレテストからポストテストにかけて大きく増加している。一方「有機物が残る」と答えた生徒の数は、対照クラスでは減少しているものの、実験クラスでは逆に増加している。実験クラスに見られたこの成果は、分解者のはたらきについて探究した、LearningCycle教授モデルの効果であると考えられる。しかしながら、他の回答については、両クラスの間にはすべて有意差が見られなかった。

次に、両クラスの間で差が見られた「有機物が残る」と答えた生徒の理由について分析してみる。正答と考えられる「分解者がいなくなるから」「有機物を無機物に分解できないから」「菌がいなくなるから」などの理由を述べた生徒の割合を、ポストテストについて両クラスの間で χ^2 乗検定すると、実験クラスにおいてこれら正答と考えられる理由を挙げている生徒の割合が有意に高かった。すなわち、理由に関する分析結果からも、やはり本教授モデルの有効性が認められた。



グラフ4. 問題4の「分解者がいなくなったときに予想されること」の回答割合

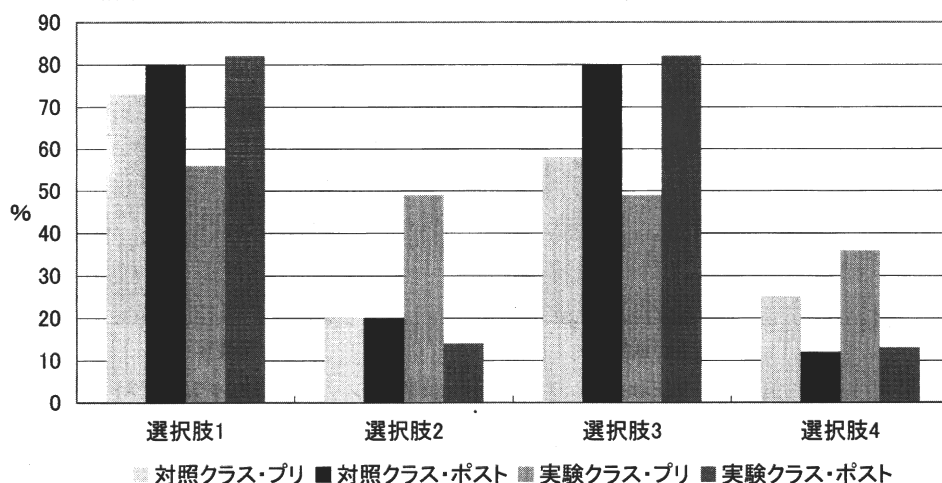
(問題5) 水槽に、水草、メダカ、土、植物プランクトンを入れ、水の循環装置（フィルターには菌類・細菌類をつけ、水の浄化に使用している）を取り付け、その中だけですべての生物がずっと生き続けられる環境を整えました。水槽は日当たりのよいところに置いてあります。また、水槽にはガラス板でふたをしてあるので、それ以外のものが外から入りません。

この水槽について述べた次の説明文を読んで、誤りと思われるものを2つ選び、その理由を説明してください。

1. 日光が当たり続けているので、水槽中のエネルギーの総量は次第に増えていく。
2. それぞれの生物の個体数の変化は、常に一定の範囲におさまリ、大きくは変わらない。
3. もし植物プランクトンがいなくなったとしたら、それをエサとするメダカには大きな影響があるが、環境全体に大きな影響はない。
4. フィルターから菌類・細菌類を取り除くと、水槽中の環境は大きく変わり、すべての生物が生きることとはできなくなる。

本問は、授業の最後のConcept Applicationの段階で扱っている閉鎖系のミニ生態系を題材として、生態系のエネルギー的側面と、生物や非生物的要因のつながりについて問うものである。結果を示したグラフ5を見ると、全体的な選択傾向は実験クラスと対照クラスでほぼ同様であった。正しい選択肢は1と3であり、ポストテストにおけるそれぞれの選択割合は、実験クラスでも対照クラスでもほぼ80%に達し、両クラスに統計上有意味な差は認められなかった。しかし、プリテストとポストテストの間の伸びを見ると、実験クラスには統計上有意味な差が見られた。このことは、実験クラスにおけるプリテスト時点での誤った考え方が、この教授モデルを用いた授業によって改善された結果であると言える。

続いて、正しい選択肢（1と3）を選んだ理由、すなわち選択肢の文章の何が誤っているかを答えた内容について検討する。選択肢1を選んだ理由には、分析の結果11種類もの記述が見られた。そのうち、「光エネルギーは熱エネルギーに変わり外へ出て行ってしまうから」と答えた生徒の割合が、実験クラスのプリテストとポストテストの間で有意に増加していた。ポストテストの結果を実験クラスと対照クラスの間で検定しても、両者の間に差は見られなかった。



グラフ5. 問題5の各選択肢を選んだ生徒の割合

一方、選択肢3を選んだ理由として、我々が期待した「生態系のバランスが崩れるから」と答えた生徒の割合も、選択肢1同様、実験クラスのプリテストとポストテストの間で有意に増加していた。同様に、ポストテストの結果を実験クラスと対照クラスの間で検定しても、両者の間に差は見られなかった。

以上のことより、実験クラスにおいては、エネルギーの変換と生物間のつながりの理解の改善を、本教授モデルが促進したことが結論された。

6. 研究全体の結論と考察

本研究では、生態系に関する生徒の概念変容に対して、Learning Cycle教授モデルが有効であるかどうかを、様々な評価方法を用いて検証してきた。エコマップの分析結果からは、生態系内の生物間のつながりと物質の循環、分解者のはたらきと役割、そして系内へのエネルギーの流入に関して理解の向上が確認できた。しかし、両クラスの学習結果の間には有意な差は見られなかった。ところが、追究用紙の分析結果からは、物質の流れ、分解者のはたらき、

エネルギーの流入に関して、両クラスの間統計上の有意差が認められた。そして最後に、授業前後に実施した質問紙調査の結果からは、両クラスの間有意差を確認することはできなかったものの、授業前後の学習成果の伸びでは、分解者の役割と生物のつながり、生態系のバランス、生態系のエネルギー的側面に関して、実験クラスにのみ有意に理解の伸びが確認できた。

このように、全体として本教授モデルが生態系の学習に関して効果があったことが確認された。特にExplorationの段階後の理解状況に顕著な差が見られた。しかしながら、Concept Applicationの効果については、いまだ明確な結論を得られていない。この点は、今後の研究課題として位置づけられており、現在附属島田中学校において研究が継続されている。

続いて、生態系単元の構成について、本研究から得られた成果をもとに留意点を述べたい。今回特に高い成果が得られた授業段階は、Explorationの段階であった。ここは、土の中にいる菌類や細菌類の存在とはたらき、そして生態系内での役割を生徒自らが探究する場面であるが、2年間に渡る実践には共通してこの学習活動を取り入れた。生態系を分解者を中心において見ることは、実は生態系全体を見渡すことにつながり、学習上もその効果が見られたと言える。生態系単元の構想にあたっては、是非この点に留意したい。ただし、結果にも表れたとおり、生徒は「分解」なる概念について誤った理解を保持し続けている可能性がある。日常生活で用いる分解という言葉の使い方が、生態系の学習に明らかに影響しており、この点は特に注意して指導する必要がある。近年では、益田⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾が分解者に関する理解の実態解明と指導上の重要性を指摘しているが、ここでの結果はそれと一致するものとなった。

そして、学習した概念を応用する最後の段階についてであるが、この場面設定はかなり難しい。今回も2度の実践の中で異なる活動を取り入れたが、十分な成果をあげられたとは言えない。生徒の学習成果を、存分に、多面的に活用できる場面設定は、今後に残された課題である。さらに、生態系のエネルギー的側面の取り扱いにも留意する必要がある。現在の地球規模での環境問題を理解するときに必須の学習内容であるため、中学校レベルでも取り扱う必要性があると考え、これについてはかなり意識的な授業構成をしないと生徒に理解されない。今回の研究結果でも一定の成果は見られたものの、他の分析視点に比べて効果は相対的に低かった。これも今後の研究で取り組むべき課題である。

最後に、評価方法の限界について言及しておきたい。本研究の結果が示すとおり、評価方法を変えることによって得られる結論は異なってくる。これは、それぞれの方法がもつ長所と短所が影響しているものと考えられる。特にエコマップや追究用紙を用いた評価方法では、何よりも生徒がそれに熟練していることが前提とされ、仮に熟練していても、自分の理解状況が正確に図や文章に反映されているとは言い難い側面がある。また質問紙調査についても、塾や学校で「教え込まれた」方が結果がよくなる問題も、可能性として大いにある。問題解決に使用できるような深い理解と概念の定着が反映するような問題作成が要求される。

謝辞

本研究にあたっては、教育学部4年生（当時）の、杉山祐太郎君、横道茉莉香さん、松田貴光君の3名に、データの整理と分析に多大な労力を費やしていただいた。この場を借りて深くお礼を申し上げる。

引用文献

- 1) Anton E. Lawson (1995) SCIENCE TEACHING AND THE DEVELOPMENT OF THINKING. Wadsworth
- 2) 丹沢哲郎・佐藤嘉晃・加藤靖 (2001) Learning Cycle教授モデルを用いた理科授業の評価. 科学教育研究, 25 (5), pp.316-328
- 3) Al Gibbs and Anton E. Lawson (1992) The Nature of Scientific Thinking as Reflected by the Work of Biologists & by Biology Textbooks. The American Biology Teacher 54 (3), pp.137-152
- 4) 本研究が採用した科学的探究活動の流れは、直接的には以下の文献に基づいている。
丹沢哲郎 (2003) 科学的な見方や考え方を育てる授業. 中等教育資料 811, pp.14-17
- 5) Rosalind Driver (1985) CHILDREN'S IDEAS IN SCIENCE. Open University Press
- 6) Richard T. White (1988) LEARNING SCIENCE. The Falmer Press, Taylor & Francis Inc.
- 7) Leo H. T. West and Leon A. Pines (1985) COGNITIVE STRUCTURE AND CONCEPTUAL CHANGE. Academic Press
- 8) Joseph D. Novak (1977) A THEORY OF EDUCATION. Cornell University Press
- 9) 堀哲夫 (2003) 学びの意味を育てる理科の教育評価. 東洋館出版社
- 10) 益田裕允 (2004) 教師の記憶が中学生の記憶に与える影響とその記憶要素の実態. 科学教育研究, 28 (2), pp.83-93
- 11) 益田裕允 (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), pp.283-293