

学 位 論 文

植物の生活環に関する教材開発とその実践的研究

佐 藤 崇 之

目 次

第1章 研究目的	1
第1節 研究の背景	2
第2節 研究目的	2
第3節 研究方法	3
第4節 材料と教材形態の選択	5
第2章 「植物の生活」の学習内容に関する教材史的研究	9
第1節 戦前（植物学教科書）におけるコケ植物を中心とした隠花植物教材について	10
第2節 戦後中学校理科教科書におけるコケ植物の取り扱い	17
第3節 戦後高等学校生物教科書におけるコケ植物の取り扱い	24
第4節 結果の分析から発展させたコケ植物の教材としての展望	25
第5節 生活環の学習に関する教材史的研究	26
第3章 生活環を題材とした web 教材の開発	38
第1節 コンピュータでの使用を目的とした教材の開発	39
第2節 携帯電話での使用を目的とした教材の開発	49
第3節 開発した教材の提示形態に関する特徴の比較	53
第4章 開発した教材を授業において使用した実践的研究	71
第1節 実践的研究の概要	72
第2節 実践的研究の結果と考察	73
第5章 総合的考察	93
第1節 教材史的視点から表出するコケ植物の教材としての取り扱い	94
第2節 生殖を題材とした教材の開発	95
第3節 開発した教材の有効性の検討	96
第4節 提案した授業方略の検討	97
第5節 今後の展望	98

附 録 CD（電子データ）：コンピュータ用 web 教材『コケ植物の生活』

携帯電話用 web 教材『コケ植物の生活 モバイル版』

第 1 章

研 究 目 的

第1節 研究の背景

昨今の生物科学では、個体よりも、DNA やゲノムに焦点をあてた研究が主流となって、学問的発展が遂げられる傾向にある。これらの研究は、経済学的領域や医学的領域との結びつきが深く、社会における応用と深く関係している研究領域である。また、このことは、中等教育段階の生物教育にも影響している。たとえば、生物教育に関する学術雑誌では、中山・前川（1998）、楠元ら（1999）、Hamilton *et al.*（2006）による DNA に関する実験教材の開発研究や、Kirkpatrick *et al.*（2002）、Palladino（2002）、Harrell *et al.*（2005）によるバイオテクノロジーや遺伝子についての授業に関する研究が報告されている。また、生徒の主体的な活動である探究活動では、高大連携のテーマとしてバイオテクノロジー（組織培養、遺伝子組み換えなど）が見られ、Clendening（2004）や田村（2006）による報告が行われている。このように、現在は、細胞や DNA、遺伝子など目視することが困難な現象を対象とした学習内容が増加し、それに関する教材開発や授業開発などの研究が活発に行われているととらえることができる。

しかし、以上に挙げたような研究や教育の対象である生命現象は微視的であるために、中等教育段階において学習するにあたって、観察・実験を通して視覚的にとらえることや、生徒に具体的なイメージを抱かせることは困難であり、多くの学校にとっては授業の実施が未だ困難な現状にある。このことは、生物教材が有する「階層性」（梅埜（1992））についての課題ととらえることができ、具体的に換言すれば、通常目にするのできる「個体」レベルの学習内容である巨視的階層と、学校での観察が困難である「分子」レベルの学習内容である微視的階層が円滑に結びついていないと考えられる。

このような、生物学や生物教育の現状と、伝統的な生物教育の根源の部分とを有機的に連結させることは、学習者の理解につながると考えることができる。それにあたって、対象とするものの大きさが異なる、巨視的階層から微視的階層へ移行する視点を育成すること、あるいは、巨視的階層と微視的階層を連結させる視点を育成することが、これからの中等教育段階の生物教育における目標の1つとして、重要になる。また、このためには、両者の有する特徴を融合させ、それを活用した学習内容を明確にすることが必要である。

しかし、従来の学習内容は単元や生物現象ごとに「大きさのレベル」が異なっている。たとえば、高等学校生物を見てみると、細胞の単元においては、光学顕微鏡で観察するレベルから電子顕微鏡像を用いた細胞オルガネラのレベルが中心であり、生物の集団（生態）の単元において、個体レベルから地理学的な要素の大きい世界規模の環境を扱うレベルまでが中心となっている。

これに関して、両者を関連させるという視点の授業方略はほとんど見られないのが現状である。

第2節 研究目的

本章第1節に示した背景から表出する課題を解決するためには、まず、巨視的階層にあたる学習内容

を取り扱う単元に、教材史的研究の手法を活用して抽出した博物学的な要素を盛り込んで、具現化することが必要になる。これは、現状の理科学習で取り扱われている学習内容や教材について、時代の変遷の中での取り扱い方の違いについて分析を行うためである。次に、その成果を活用して、現在の理科学習に則した教材として妥当かどうかを判断し、必要な場合には新たな教材やその提示方法の開発を検討することが必要になる。これについて、本論の課題の解決に絞って記述すると、学習者の視点について、巨視的階層と微視的階層を融合させ、あるいは移行させていくということが解決のポイントになり、換言すると、「全体」の中から「部分」に着目させる手法が必要になると考えられる。

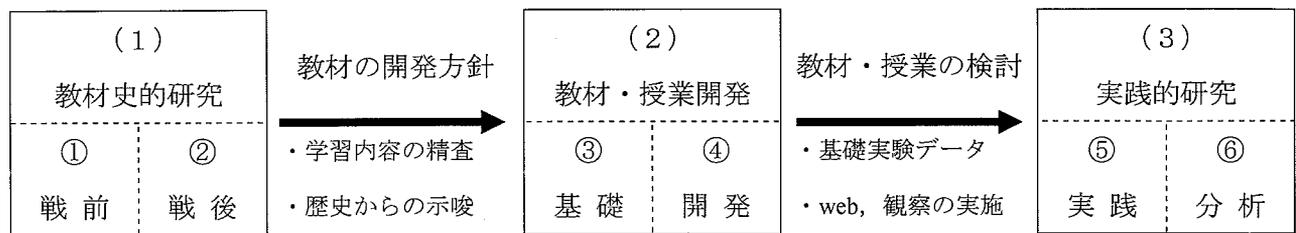
そこで、以下に示す6点について研究を展開することとなる。研究方法の詳細は本章第3節で記述するが、本論に適した題材として「植物の生活」に焦点をあて、①で巨視的階層にあたりとらえられる博物学的な学習内容について、それが学習の中心であった時代の学習内容をもとに表出させる。続いて②では、近年の「植物の生活」の学習内容を分析し、巨視的階層（「全体」としての生活環）と微視的階層（「部分」としての生活環上の項目、特に生殖に関係する細胞レベルを主とした項目）の扱いを分析しながら、①の結果を参考に現状の生物学習に適した教材の方向性を検討する。③で観察・実験の記録を得て具体的に教材開発を行い、④でそれを用いた授業方略について提案する（web形式の教材と自主学習的な授業形態が妥当と考えている）。これについて、⑤で授業実践を行い、⑥で①～⑤の結果をまとめて、本論で提案する教材や授業方略が、巨視的階層（全体）と微視的階層（部分）の融合や移行に適しているのか、その価値や意義を実証する。

- ①博物学的内容を多く扱う時代の教科書を分析し、「植物の生活」単元の学習内容の幅を広げる。
- ②近年の「植物の生活」に関係する単元を分析し、その単元に適した教材を検討する。
- ③教材で中心的に扱う材料について観察・実験を実施して結果を記録し、それをまとめる。
- ④生活環の「全体」から中心的「部分」である生殖に着目させる教材や授業方略を提案する。
- ⑤提案した授業方略にもとづく授業実践を行い、教材使用者からの示唆を得る。
- ⑥授業実践の分析から、教材と授業方略の価値や意義を実証する。

このように、研究の対象とする学習内容については、歴史上の変遷に沿って分析を行うことを可能にするため、従前から学習されてきた博物学的な学習内容であり、現在重視されている観察・実験のテーマとしても使いやすい「植物の生活」の単元に焦点をあて、その授業方略の提案を試みることを本論の目的とした。

第3節 研究方法

本章第2節に掲げた目的を達成するための、具体的な研究の展開として掲げた6点（①～⑥）について、以下の要領で研究を行う。その手順の概略は、図1-1にまとめる。



図中の①～⑥は、本章第2節および第3節の①～⑥に対応している

図1-1 本論の手順の概略

①では、博物学的な内容を多く取り扱っていた明治初年～第二次世界対戦開始以前に焦点をあて、その当時に使用されていた植物学教科書の分析を行う。その際、理学の進展によって新しい知見が追加される可能性の高い園芸植物や食用植物などは、学習内容として急激に変化している可能性があるために除外して、基本的な生活環を有し、生殖細胞の観察・実験の材料として用いやすいコケ植物に特に着目する。これに関して、「植物の生活」の単元に関する事項や現象など、教科書中での取り扱いについて分析を行う。

②では、戦後の教科書における「植物の生活」に関する単元を中心に、コケ植物に関する事項や観察・実験などの活動内容を抽出して、分析を行う。これについては、教科書が学習指導要領に準拠して著作されていることから、学習指導要領の改訂を基点に時代を区分し、その区分ごとに分析結果をまとめる。このことから、コケ植物の教材としての取り扱いを、時代の変遷に対応させて明らかにする。

③では、教材化のための基礎的研究として、コケ植物の中から代表的な種を材料に選定し、その生活全般について観察を行い、写真画像を主として記録するとともに、生活環の中でも主要な段階である生殖を中心に観察・実験を行う。生殖については、生殖細胞である卵細胞および精子の細胞学的観察と、それらの有する受精に関する性質の観察を行う。また、材料を得るための培養法についても実験を通して検討を行う。

④では、③の観察で得られた結果や写真画像を主とする記録を活用し、生活環を基盤に据えつつ、その各生活段階へと学習を展開できる教材を開発する。この学習の展開は、生活環、観察・実験の方法、分類を中心とした内容で構築する。なお、教材の開発に際しては、コンピュータ用 web 教材の形式を採用することが、本論の教材開発の目的である巨視的・微視的な階層の融合や移行に則して、③の結果をまとめるのに適していると考ええる。また、分類（採集）を中心とした携帯電話用 web 教材を作成するとともに、2つの教材の特徴を比較して教材としての長所（ハード面）を明らかにする。さらには、その教材を導入した授業展開に、観察・実験を含めた授業方略を提案する。

⑤では、④で提案した授業方略を高等学校生物の授業に導入する。そのクラスを実験区として、通常の授業の手法によって行われた他のクラス（対照区）のコケ植物の生活環の学習と比較する。その際に、教材使用者である生徒を対象に、教材と授業全体に関するアンケート調査を実施する。このアンケートは、教材の印象や長所（ソフト面）ならびに授業全体の印象について設問することとして、教材の内容に対する考え方や感想を得るとともに、学習のために使用する上で有利あるいは不利と考えられる点を

中心に、当事者の視点から明らかにするものである。

⑥では、授業実践を行った後で、実験区と対照区の生徒を対象として生活環に関するテストを実施する。これによって、生徒の生活環に関する知識の定着度を測定し、実験区と対照区の解答の傾向も含めて教材の高価を測定する。その結果と、④で得られた教材のハード面の評価および⑤で得られた教材のソフト面の評価を合わせて分析することで、本論で開発した教材と提案した授業方略について、その価値や意義を実証する。

第4節 材料と教材形態の選択

1. コケ植物とその生殖の特性

提案する授業方略の過程には、生徒による観察・実験の場面を設ける。この観察・実験には、入手が容易で、典型的な教材生物を材料として用いることが望ましいと考えられる。そこで、自然環境の中から入手しやすい材料として、動物よりも植物を使用することを考えた。さらには、採集に際して場所があまり限定されず、特別な装備も必要としないことを考慮して、水生植物よりも陸上植物を材料として選択した。

本論では、「植物の生活」の単元の中心的な事象である生殖について、観察・実験を含めた授業方略全体のテーマとして据えている。このため、その活動が有意義に行われる植物を選択する必要がある。陸上植物の中でもシダ植物とコケ植物は、雌性生殖細胞である卵細胞の周囲（造卵器）が薄い細胞層で構成されており、雄性生殖細胞である精子は運動能力（遊泳能力）を有している。このため、雌雄にかかわらず、生殖細胞の観察を容易に行うことが可能である。

このうちシダ植物は、前葉体に造卵器と造精器が形成され、そこで生殖が行われる。このため、自然環境の中から小さな前葉体を短い形成期間のうちに採集するか、採集した胞子を培養することによって前葉体を獲得しなければならない。一方、コケ植物の中でもゼニゴケは、生殖細胞を形成している時期が長く、雌株・雄株として雌雄が別の群落を形成して分布する傾向にあり、長期間にわたって雌雄の生殖細胞を別々に入手することが可能である。特にゼニゴケ (*Marchantia polymorpha* L.) は、新鮮かつ受精に適した生殖細胞を有する個体を、外部形態によって選別しやすい。

以上のことから、本論の材料としてはゼニゴケが多くの利点を有すると考えた。

2. コケ植物の生殖の教材としての特性

現行の中学校理科の生物領域では、「種子をつくらぬ植物」の生殖については、簡単に触れられる程度である。このため、高等学校で「植物の生活」の単元に臨むまでに、学習者はコケ植物の生殖について既習の知識をほとんど有していないと見なすことができる。

「種子をつくらぬ植物」のうち、コケ植物の生殖細胞を観察材料として得る場合、上述1に記した

ように、藻類と比較すると陸上植物であるために採集が容易であり、シダ植物の前葉体よりも自然状態で形成される期間が長いために、観察が可能な期間も長くなる。また、採集の対象の大きさの面から、シダ植物の胞子体（本体）の周辺の土上にこぼれ落ちた胞子から生育する小さな前葉体を探すよりも、雄器床や雌器床が形成されたコケ植物の配偶体（本体）を探す方が容易である。

コケ植物の生殖方法は、水を介した自主遊泳機能を有する精子の移動によるところが多く、動物の生殖方法に類似しているとも言える。このため、観察することによって生殖のダイナミックさを体験でき、さらには動物の生殖方法の理解にもつながると考えることができる。また、精子の形態を裸子植物と比較すると、裸子植物の精子は多数の小さな鞭毛を有しているが、「種子をつくらない植物」の精子の鞭毛は概して1本ないし数本で、精子の本体と比較して長いものである。このため、自力で移動していることを理解するのが容易である。

以上に記したような採集や観察手法に関する容易さは、生殖をテーマとした細胞レベルの観察方法に直接的に関係するものである。この点で、他の植物群と比較して、コケ植物には生殖の観察に有利な点が多い。

3. web形式の教材の特性

本論で開発・作成する教材は、webサイトの形式で電子ファイルとしてまとめる。その最たる理由として、本章第3節で示したような本論の流れに適していることが挙げられる。

また、コケ植物の生活環をとらえるための教材としても有益な点が多い。本論では、コケ植物を材料に、その生活環全体を概観しながら生活環上の各生活段階に学習を移行させる必要がある。この1つの「全体」と複数の「部分」をつなぐためには、webサイトの形式で教材をまとめることが適していると考えられる。

それに付け加えて、教材の管理の面でも有益な点が多い。たとえば、さまざまな場所を結ぶ通信性は学習の機会を広げるものであり、双方向性によって意見の集約を簡単に行うことができる。教材の内容については、サーバ・コンピュータ上のファイルを更新することで、追加や削除を容易に行うことができる。これによって、新しい科学的事実の発見や教材使用者からの意見を収集して改良することが可能である。

本論では、それらの有益な点の中で、特に表現性能について着目している。具体的に示すと、以下のようになる。

【 カラー画像の表示 】

開発する教材では、コケ植物の生活環を取り扱うため、目視レベルから光学顕微鏡レベルまで、さまざまな大きさの対象物を教材使用者に提示する必要がある。このため、多数の写真画像を教材の中で使用することは重要である。このように、実物に近いカラー写真画像を使用し、学習者に観察対象への具体的なイメージを抱かせることは、理解を深めるのに有益であると考えられる。

【 接続的な学習の可能性 】

web 形式の基本は、多くのページを作成して、それらをページリンクによって接続することにある。この形式を利用して、開発する教材においても多数の項目をページ化し、それらを有機的にリンクさせる。このことによって、教材使用者にとっては、学習したい内容や流れを決めて、教材の内容を取捨選択して学習できる。このため、さまざまな学習内容を連結させつつも、学習が効率化できる可能性が高まる。

【 別個のテーマの容易な統一 】

上記のように、生活環は対象となるものの大きさが異なり、また、「一連の生活環」、「実物の理解」、「生態的特徴との関連」など、さまざまなアプローチを駆使して学習させる必要がある。このため、教材を開発するにあたり、各々のテーマをまとめて取り扱うことができるものが望ましいと考えている。この点で、web サイトの形式を採用することにより、テーマごとに学習内容をまとめつつも、各テーマをリンクによって連結することが可能となる。このことから、教材使用者は多角的な視点から生活環をとらえることが可能になると考える。

また、昨今では各学校において、インターネットに接続可能なコンピュータが多数導入されるようになった。それを活用して、学校では情報に関する教育が行われており、また、通常の授業の中でもコンピュータを活用する例が見られるようになった。その他、各家庭でもコンピュータが普及している。このような現状を鑑みると、本論における教材使用者である高等学校の生徒は、コンピュータを介したweb の利用に慣れつつあると考えることができる。

文献

- Clendening, Beverly (2004) Student-Scientist Partnership in Molecular Biology: Finding a Workable Model at an Undergraduate Institution, *The American Biology Teacher*, 66 (3), pp.183-189
- Hamilton K., Barfoot J., Crawford K. E., Simpson C. G., Beaumont P. C. & Bownes M. (2006) Amplification of chloroplast DNA using the polymerase chain reaction (PCR): a practical activity for secondary school students, *Journal of Biological Education*, 40 (4), pp.172-177
- Harrell P. E., Richards D., Collins J., Taylor S. (2005) Using Concrete & Representational Experiences to Understand the Structure of DNA: A Four-Step Instructional Framework, *The American Biology Teacher*, 67 (2), pp.77-85
- Kirkpatrick G., Orvis K. & Pittendrigh B. (2002) A teaching model for biotechnology and genomics education, *Journal of Biological Education*, 37 (1), pp.31-35
- 楠元守, 安斎寛, 楠元範明 (1999) 植物組織からの簡易・迅速DNA抽出法, *生物教育*, 40 (1), pp.13-20

- 中山生欧, 前川洋 (1998) ハードコンタクトレンズ用洗浄保存液によるDNA抽出法, 生物教育, 38(2), pp.58-62
- Palladino, Michael A. (2002) Learning about the Human Genome Project via the Web: Internet Resources for Biology Students, *The American Biology Teacher*, 64 (2), pp.110-116
- 田村直明 (2006) 遺伝子工学に関する実験体験をとおした新しい遺伝子教育の試み—科学館におけるS P P事業の実践—, 生物教育, 46 (3), pp.138-144
- 梅埜國夫 (1992) 生物の階層性, 日本理科教育学会編『理科教育学講座7 理科教材論 (下)』, 東洋館出版社, pp.183-185

第 2 章

「植物の生活」の学習内容に関する

教材史的研究

第1節 戦前（植物学教科書）におけるコケ植物を中心とした隠花植物教材について

1. 目的

平成10年度における学習指導要領の改訂により、教科内容の精選が行われた。具体的には、中学校において、「種子をつくらぬ植物」が「存在を指摘する程度にとどめ」られ、その学習指導要領に準拠して作成された教科書では、出版社各社とも分類群の名称（シダ植物、コケ植物、藻類）が扱われなくなった。一方、高等学校においては科目の選択が多様化したことから、物理・化学・生物・地学を関する科目を選択し、それに加えて理科基礎や理科総合A、理科総合Bを履修することで各領域を網羅するように学習できたとしても、学習内容が表面的な事柄に終始してしまうことが考えられる。このことにより、中等教育段階の理科における生物領域では、多種多様な植物を学習できる機会が減少していることが考えられる。

近年のコケ植物の教材としての取扱いを概観すると、5つの植物群（被子植物・裸子植物・シダ植物・コケ植物・藻類）の分類を学習するにあたって、典型例とその生活環を紹介する程度であった。教科書では、一般的な人間生活にとって身近な存在である被子植物や裸子植物といった、旧来の分類方法でいえば顕花植物のグループにあたる植物群が詳細に取り扱われており、シダ植物・コケ植物・藻類といった、旧来の分類方法でいえば隠花植物のグループにあたる植物群は例示されるのみになっている。また、コケ植物（門）はさらに綱のレベルで蘚類、苔類、ツノゴケ類に分類されるが、教科書中に掲載されているコケ植物の典型例は、蘚類のスギゴケ、苔類のゼニゴケであり、ツノゴケ類は紹介されていなかった。

以上のように、コケ植物は分類学的内容の学習の場面でよく取り扱われる傾向にある。しかし、その教材としての取扱いに関して、詳細に歴史を追って見た研究はほとんどなく、コケ植物を教材としてどのように取り扱うべきか、どのように取り扱うことができるのかが、明確に示されていないまま、学習内容として削減されているのが現状である。

一方、生物教育の歴史を概観すると、明治初年から第二次世界大戦以前の中等教育（旧制中学校）で使用されていた植物学教科書では、形態・生理や生態などが取り扱われていたほかに、分類の学習内容を各論として、多くのページを割いて取り扱っていることが特徴として挙げられる。このため、当時の学校での学習においては、博物学的内容を多く取り扱っていたと捉えることができる。たとえば、植物学教科書では、被子植物、裸子植物、シダ植物、コケ植物、藻類に加えて、植物ではない菌類、細菌類、バクテリアまで幅広く取り扱われており、それぞれについて説明が行われていた。

そこで、上述の植物学教科書を分析し、それらが使用されていた当時に行われていた隠花植物の取扱いを明らかにするとともに、特にコケ植物の学習内容について着目し、どのように掲載されてきたかを中心に、教材としての取扱いの分析を行った。

2. 方法と着眼点

教科書および植物学に関する理学雑誌などの文献を中心に分析を行った。

教科書は、明治中期から昭和初期にかけて、中等教育（旧制中学校）の博物の中で扱われた「植物学教科書」を用いた。多数の植物学教科書を客観的に取り扱うために、まず教科書の構成と内容を分析し、どのように教材の系統性を保持しているかについて検討した。次に、当時の日本で行われていた植物学について明らかにするために、当時の中心的な学術雑誌である『植物学雑誌』にある記載を分析し、掲載された論文や記事などからコケ植物の研究の動向を調査して、上記の教科書分析のデータと比較・検討した。さらに、教科書中にどのようなコケ植物が掲載されているのかを分析した。

3. 教科書の構成

植物学教科書は、基本的に植物の形態・生理と、分類群のそれぞれを解説する「各論」で大部分が構成されている。それに、生態や分布、生活への利用法について学習する章が付けられていた。

コケ植物の教科書中での位置を知るために、「各論」を顕花植物と隠花植物とに区分し、形態・生理を含む、3つの単元の位置関係を調査した。なお、顕花植物には被子植物、裸子植物が分類されており、隠花植物にはシダ植物、コケ植物、藻類、地衣類だけでなく、菌類やバクテリアなども分類されていることが多かった。

その結果、3つの単元の位置関係は、大きく分けて表2-1の通りとなった。①では、分類として顕花植物から隠花植物の順に学習した後に、形態・生理を学習する構成になっていた。②では、顕花植物の分類を学習した後に、それを題材として形態・生理を学習し、次に隠花植物の分類について学習する構成になっていた。③では、形態・生理を何らかの植物の例示をしながら学習し、その後で顕花植物から隠花植物の順で分類を学習する構成になっていた。

どの構成をした教科書が多かったのかを冊数で算出したところ、今回調査した120冊の教科書（参考文献に記す）の中で、その70%程度となる83冊が①の構成を取っており、大多数を占めていた。これは、学習者の状況に即した構成であることが考慮された結果であると考えられる。

①～③の内容をふまえて考察すると、①では、最初に「普通植物」の呼び名で、顕花植物の中でも一般的な人間生活にとって身近な植物である、サクラやアブラナなどを扱って、各論を展開していた。このことから、学習者が興味を抱きやすいこと、生活の場面で得た知識の延長として学習に取り組むのが容易であることが特徴として挙げられる、理解しやすい構成であると考えられる。

②では、隠花植物を別枠にした構成をしており、その長所と短所が考えられる。長所には、単元の構成に系統性があるために学習しやすい構成になっていることが挙げられる。形態や生理の内容のほとんどが、その直前に学んだ顕花植物を題材として用いたものであり、具体的に例示すると、「葉・茎・根のはたらき」などに学習内容の分量を多く割いていた。短所には、顕花植物と隠花植物の単元が距離を置いて配置されているために、両者の間にある植物としてのつながりを理解しにくいことが挙げられる。

③は、当時の植物学に関する専門的な書籍と構成が類似していたことから、理学的な研究や研究者の

影響が大きいと考えられる。たとえば、当時の植物学において重要な位置にあり、重版もされている『植物学講義』（三好学，富山房）では、最初の方でそれぞれの植物群を通説的に扱ってはいるが、分類学的に系統立てて取り扱うのは形態・生理よりも後になっている。

表 2 - 1 明治中期～昭和初期の植物学教科書の構成

教科書の構成	教科書数
① 顕花植物 → 隠花植物 → 形態・生理	83
② 顕花植物 → 形態・生理 → 隠花植物	18
③ 形態・生理 → 顕花植物 → 隠花植物	19

教科書を著者別に見ていくと、①の構成をしている教科書の著作者として藤井健次郎が、②では神戸伊三郎が、③では三好学が挙げられる。

隠花植物の単元での各分類群の配置を分析すると、ほとんどの教科書でシダ植物→コケ植物→藻類→菌類→バクテリアの順に取り扱われており、いくつかの教科書でその逆順の取り扱いが見られた。

4. 植物学専門書との比較

教科書と比較するための植物学に関する学術雑誌として、『植物学雑誌』を選定した。『植物学雑誌』は、現在の日本植物学会の前身である東京植物学会が明治 20 年（1887）に創刊され、本節で取り扱った植物学教科書と同時代に刊行されていた雑誌である。刊行元である学会およびその会員の活動状況から、当時の植物学に関する中心的存在として編集・出版が行われたと考えられる。なお、現在でも『Journal of Plant Research』と表題を改めて、日本植物学会より、継続して刊行が行われている。

『植物学雑誌』の論文や記事の中で、明治 20 年の創刊から明治後期までの間で、ゼニゴケに関わる記載があるものを調査した。なお、それ以前から、教科書や植物学に関する文献では、「ぜにごけ類」という言葉が普通に用いられていたことは判明している。

明治 20 年の柘植千嘉衛の論説『*Marchantia polymorpha*, L.』には、冒頭部分で「・・・古来我國ニ於テ深く研究シタルモノ無ク随テ和名等ハ未タ確定セス」とあり、現在のゼニゴケの学名である *Marchantia polymorpha* に対して和名としてのゼニゴケが、まだ確定されていないことが記載されていた。これ以降の内容は、外部形態や有性生殖および孢子生殖の方法について詳細に記載されており、図版では有性生殖に関わる器官や細胞について詳細な描画が行われていた。これらの内容や図版から、この文献中の *Marchantia polymorpha* はゼニゴケであると推定できる。しかし、それらの解説が詳細に行われていることから、これまでゼニゴケが詳細に扱われていなかったことが伺える。

明治 22 年の三好学による雑録『植物和名義例』では、草本には「○○そう」、木本には「○○き」とるように、和名を付ける際の大まかな原則が記載されていた。その中に、「ぜにごけ（地銭）苔科」との記述があるが、ここでは具体的にどの種のことなのかは記されておらず、*Marchantia polymorpha* が

ゼニゴケであるかどうかは不明であった。

明治 27 年の井上虎馬の論説『土佐國産地錢科植物』では、土佐地方で採集した苔類の分類（種の一覧）を公表していた。これは、採集を行った井上は、同定を F. Stephani（独）に依頼し、種が確定された後に和名の付記を井上が行ったものである。「12. *Grimaldia japonica* Steph. n. sp. (kleine) こぼのぜにごけ」の次に「11. *Marchantia alto-capitulata* Steph. n. sp. (grosse)」と記載されており、この 2 つが同種であることを Stephani が同定したことを、井上は本文中で記していた。その次には「13. *Fegatella conica* (L.) Radd. ゼニゴケ」とあるが、片仮名で表しているものは種名ではなく「〇〇の仲間」程度の同定であると考えられる。これらの記述について、学名も和名も現在では使用されていないことから、この時点でも種の同定に混乱があったこと、あるいは「・・・悉ク殖器ヲ欠ク・・・不完全ノ標品ナル・・・」とあるように標本自体に問題があり同定が困難であったことが考えられる。

翌年の明治 28 年に、井上虎馬が続報として記述した論説『土佐國産地錢科植物第二報』では、上記した前報の件について「・・・多少ノ疑点ナキ能ハズ・・・」とあり、標本の不備によって同定が困難であったことを指摘している。井上は状態の良い標本を採集し、再度 Stephani に送って同定を依頼しており、この論説ではその結果が記されている。前号では採集・送付されていなかったと考えられる「3. *Marchantia polymorpha* Linn.」の項では、「・・・前報 *Marchantia alto-capitulata* Steph. ハ形状本種ニ酷似セリ」とあり、和名に改めるとゼニゴケとコバノゼニゴケが非常に似ている種であることが記されていた。

明治 36 年には、新著を紹介するコラムにおいて、初めて *Marchantia polymorpha* の和名がゼニゴケであると確定して用いられた。これは、池野成一郎の論文『苔類ニ於ケル精虫ノ形成』（仏文；タイトル『La Formation des antherozoïdes chez les Hépatiques』）を、柴田桂太が紹介しているものであった。ここでは、「・・・ぜにごけ *Marchantia polymorpha*・・・」というように、和名と学名が並んで記述されていた。この表記の方法は、仏文で表している池野誠一郎のオリジナル論文には掲載されていないため、日本向けに新著紹介を行った柴田桂太によるものと推定できる。

このように、植物学教科書が著作されている時期に、ゼニゴケの名称がようやく確定に至っている。このことから、教科書中のゼニゴケという表記は、ゼニゴケの仲間全体を表す総称として、旧来の慣習を引き継いで用いられていたと考えられる。コケ植物全体として捉えると、苔類の中のもう一つの大きな分類群であるウロコゴケや蘚類のスギゴケなども、その仲間を指した総称であると考えられる。

5. 取り扱われるコケ植物

本論で分析した 120 冊の植物学教科書のうち、115 冊にコケ植物の名称が記載されていた。名称の記載は、コケ植物を題材とした各論だけでなく、人間生活への植物の応用を学習する單元にも見られた。

それらを総合して、現在のコケ植物の分類群である蘚類・苔類・ツノゴケ類に分けて、取り扱われている数をまとめると表 2-2 のようになった。取り扱われている個数は蘚類で最も多く、1 冊あたりの平均が 2.84 個であった。苔類では 1.60 個であったが、ツノゴケ類は 0.07 個とほとんど記載が無かった。なお、分析した植物学教科書の中で 1 冊あたりの名称の記載が最も多かったのは、蘚類の 9 個であった。

表2-2 植物教科書1冊あたりのコケ植物の記載

分類群	平均	最大
蘚類	2.84	9
苔類	1.60	4
ツノゴケ類	0.07	1

表2-3 植物教科書に記載されたコケ植物の名称

蘚類	苔類
<ul style="list-style-type: none"> ・すぎごけ, すぎごけ (土馬駿), スギゴケ, スギゴケ (土馬駿), 土馬駿, すぎごけ類, すぎごけの一種, すぎごけ [蘚苔植物として] ・みづごけ, ミヅゴケ, ミヅゴケ (水蘚), みずごけ, ミズゴケ ・かうやのまんねんぐさ, カウヤノマンネングサ, かうやのまんねんすぎ, カウヤノマンネンズギ, かうやのまんねんごけ, カウヤノマンネンゴケ, こうやのまんねんすぎ, かうやのまんねんすぎ [蘚苔植物として], かうやのまんえんすぎ [誤植?] ・ひかりごけ, ヒカリゴケ ・にはすぎごけ, ニハスギゴケ ・くさごけ ・シノブゴケ ・テウチンゴケ, チャウチンゴケ ・ハウワウゴケ ・シミヅゴケ ・くろごけ, クロゴケ ・しめりごけ ・へうたんごけ, へウタンゴケ ・さはごけ ・たまごけ ・カサゴケ, カラカサゴケ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ぜにごけ, ぜにごけ (地銭), ゼニゴケ, ゼニゴケ (地銭), ずにごけ [誤植?] ・うきごけ ・いてふも ・じゃごけ, ジャゴケ, じゃごけ, ジャゴケ ・うろごごけ, ウロコゴケ, ウルコゴケ [誤植?] ・みづぜにごけ ・おほぜにごけ [蘚苔植物として] ・マキノゴケ ・つのごけ, ツノゴケ ← 【ツノゴケ類】 ・むかでごけ ← 【地衣類】

※仮名や漢字など表現の違いも示した。[○○]: 註, 【○○】: 本来の分類群

コケ植物がどのように記載されているかを示したのが、表2-3である。現在の教科書における、蘚類：スギゴケ、苔類：ゼニゴケの各1つ程度の記載と比較すると、植物学教科書においては、蘚類ではスギゴケ〔すぎごけなど〕の他に、記載した植物学教科書数の多かったミズゴケ（科）〔みづごけなど〕やコウヤノマンネングサ〔かうやのまんねんぐさなど〕など、16種類の記載があった。このうち、ミズゴケ（科）については、日本で普通に見られるオオミズゴケを指しているものと推察できる。このミズゴケ（科）の記載の意図は、分布の広さに加えて、園芸用材として人間生活とのつながりがあるためと考えられる。また、コウヤノマンネングサの記載の意図は、観賞用として利用されていたためと考えられる。その他、植物体が光って見える珍種のヒカリゴケ〔ひかりごけなど〕や、一般的に目にすることができる蘚類が記載されていた。

一方、苔類ではゼニゴケ〔ぜにごけなど〕のみを記載した教科書が多かった。しかし、一枚の葉のような形態の葉状苔類であるゼニゴケの他に、茎と葉のように見える形態の茎葉苔類であるウロコゴケ〔うろこごけなど〕を取り扱っている教科書も見られた。苔類は、この両者に大きく分類できるため、このような教科書は分類を考慮に入れて著作されたと考えられる。その他、ジャゴケ〔じやごけなど〕は山地などで普通に見られるだけでなく、分類や形態的にゼニゴケに近縁であるため、観察材料としての入手の容易さもあって記載されていると思われる。池や水田の水面に生育することのあるウキゴケ〔うきごけ〕やイチョウウキゴケ〔いてふも〕を取り扱っている教科書も見られたが、身近な存在であることに加えて、特徴的な生育状況は興味を引くものであるために記載されたとと思われる。なお、表中では破線部以下に示したが、現在ではコケ植物のもう1つの分類群であるツノゴケ類や、コケ植物ではなく地衣類に属しているものが、苔類として記載されていることもあった。

当時の植物学教科書におけるコケ植物の名称を抽出し、多数の教科書に掲載されていたものを中心に考察を加えてまとめると、以下のようになった。

< 蘚 類 >

●スギゴケ

ほとんどの教科書において記述されていた。しかし、種としてのスギゴケ (*Polytrichum juniperinum*) は、山地からハイマツ帯といった、人里からはやや離れた環境に分布している（日本の野生植物コケ）。このため、身近な植物であったとは言えず、蘚類の典型的な例として掲載されているとは考えにくい。これ以前には、蘚類のことを「土馬駿類（すぎごけ・るい）」と呼ぶことがあったため、分類群の名称が転じて種名を表すような用法で使用されたと考えられる。実際には、人家周辺で見られるコスギゴケ (*Pogonatum inflexum*) などのニワスギゴケ属であったと推定される。

●ミズゴケ

ほとんどの教科書において記述されていた。しかし、「ミズゴケ」は属名であり、表記されたものは日本で普通に見られる種であるオオミズゴケ (*Sphagnum palustre*) を指していると推定される。掲載さ

れた理由として、分布の広さだけでなく、保水効果が高いという性質を利用して園芸用材として古くから用いられているためと考えられる。このため、人間生活に身近なものとして紹介されていた。

●コウヤノマンネングサ (*Climacium japonicum*)

半数程度の教科書において記述されていた。高さが5～10 cmに達する大型で美しい蘚類であり、観賞用に用いられていた。このことから、身近なコケ植物として教科書に掲載されていた。

●ニワスギゴケ

30冊を超す教科書において記述されていた。ニワスギゴケは種ではなく、上記のスギゴケの項で記したようにコスギゴケなどを含むニワスギゴケ属という分類群の名称であり、それが転じて種名のように使用されたと推定される。

●ヒカリゴケ (*Schistostega pennata*)

20冊の教科書において記述されていた。光を原糸体の細胞内で反射する性質が、発光しているように見える。この珍しい性質のために、掲載されていた。さらに、当時の教科書では「天然記念物」の章を有するものもあり、そこでも記載があった。

< 苔類 >

●ゼニゴケ (*Marchantia polymorpha*)

ほとんどの教科書において記載されていた。人家周辺で普通に見ることができる身近な苔類であり、これ以前には苔類のことを「地銭類(ぜにごけ・るい)」と呼ぶことがあったため、苔類の代表種として掲載されていたと考えられる。

●ジャゴケ (*Conocephalum conicum*)

40冊ほどの教科書において記載されていた。ゼニゴケと同様に葉状体を本体とする苔類であるため、地表を這うように成長する苔類のイメージに適している。やや山地に分布しているが、身近な苔類と言える。大型で採集も容易であり、外部形態の観察材料としても適しているため、掲載されたと考えられる。

●ウロコゴケ (*Heteroscyphus argutus*)

40冊ほどの教科書において記載されていた。ゼニゴケとは異なり、茎と葉に分かれたような茎葉体を本体としている。実際には、苔類のほとんどがこの茎葉体をもつ仲間であり、分類学的な観点から掲載する必要があったと考えられる。

< ツノゴケ類 >

●ツノゴケ

10冊以上の教科書において記載されていた。「ツノゴケ」は属名であり、日本で普通に見られるニワツノゴケ (*Phaeoceros carolinianus*) のことを指していると思われる。当時の植物学教科書にはツノゴケ類という分類上の項目は存在せず、苔類の一種として取り扱われていた。

以上のことから、当時の植物教科書においても、スギゴケ（の仲間的一种）およびゼニゴケをコケ植物の典型的な例として扱っていたことが分かった。さらに、その他の種も掲載される機会が多くあり、その理由として、スギゴケの仲間やジャゴケなど身近で観察しやすいもの、ミズゴケの仲間のように生活に利用されているもの、ウロコゴケの仲間やツノゴケの仲間のように分類学上欠くことのできないものなどを取り扱っていたことが分かった。このように、当時の教科書の博物学的な性格から、現在の教科書よりも多くの種が掲載されたと考えられる。

6. 考察

以上の各項目を考察してまとめると、次のようになる。

○ 教科書の単元構成の調査

学習者の状況に即した教科書が使用されていたことが分かった。

○ 当時の『植物学雑誌』の分析

教科書中に掲載されていた種名は、分類群を表す言葉ではないかと推測することができた。

○ 教科書中のコケ植物の取り扱いの抽出

典型的な例だけでなく、分類学上必要なものや生活に応用されているものが、取り扱われていることが分かった。

本論で分析を行った教科書と現在の教科書では、時代背景や科学的な定義、教育カリキュラムや教科の内容など、さまざまな違いがあつて単純に比較することは困難である。しかし、これからコケ植物を教材としてどのように取り扱うべきかを考えるにあたり、当時の教科書で行われていたような多面的なアプローチは、博物学的内容が中心となる生活環の学習を題材としている本論において、参考にできると考えられる。

一方、最近の教科書における生活環の学習は、博物学的に植物の系統性を保ちながら、生殖を中心として生活環を取り扱うことが最終的な到達点として考えられていることが伺える。その場合、典型例として挙げられているスギゴケやゼニゴケ以外にも、多様なコケ植物を取り扱うことによって、それらの特徴の比較検討から、植物のからだや生活のしくみについて深く学習できると考えられる。

第2節 戦後中学校理科教科書におけるコケ植物の取り扱い

1. 目的

本章第1節の目的の項にも記述したように、近年は「種子をつくらぬ植物」のなかまであるコケ植物の教材としての取り扱いが減少している。

このような教材の内容について、学習内容を領域（単元）としてとらえて、あるいは植物・動物などの大きな分類群としてとらえて、その増減の傾向について議論することはよく行われている。これによ

り、学習指導要領によって区分された時代ごとの変遷の概況をつかむことができる。また、執筆者の意図が表出する教科書よりも、学習指導要領を中心に分析が行われることになるため、それぞれの時代区分の学習内容について偏りなく比較できると考えられる。

しかし、より小さな対象を設定して、たとえば、材料や種がどのように教材として用いられているのかを観点として議論されることは少ない。このような観点で学習内容について議論することにより、上記のような概況をつかむことには不向きではあるが、個々の材料や種の教材としての特性が、学習の場面において実際に活用されているかどうかをつかむことができると考える。これは、実際の授業の中で用いられる教科書を中心に調査することによって、具体例として解明できるものである。

本節では、戦後の中学校理科教科書から生物に関係する学習内容において、コケ植物がどのように説明されてきたか、どのように扱われてきたかについて探ることを目的とした。

2. 方法と着眼点

戦後に発刊された教科書のうち、中等教育段階の中でも中学校で用いられてきた教科書を題材として選択した。その理由として、義務教育において用いられる教科書であるために全ての生徒の学習の基盤となること、高等学校用の教科書と異なって科目選択の影響を受けにくいこと、基礎的な内容ではあるが削減や追加を読み取りやすいことなどが挙げられる。

具体的な方法として、試案として始まる昭和 22 年から平成 10 年までの学習指導要領に準拠して作成された教科書を、学習指導要領による時代区分ごとに分析を行った。それに際し、時代区分ごとの傾向をとらえるのではなく、教材としてどのように扱われてきたかを中心に考察するために、教科書の中で特徴的にコケ植物を取り扱っている部分を明らかにすることを分析の中心とした。

分析の視点は前節における戦前の教科書の分析とは異なり、形態や生殖を中心とした植物群の学習内容の説明、取り扱われている典型的な例としてのスギゴケやゼニゴケとそれ以外の種、実験や観察などの活動のテーマおよび内容とした。その理由は、ここで用いる戦後の教科書が、戦前の植物学教科書とは構成や内容が明らかに異なるからである。このため、戦前の教科書の分析の視点である 3 点のうち教科書の「構成」よりも「内容」に、「専門的内容」よりも「実際の観察・実験」に焦点化し、分析を行うこととした。

3. 形態・分類や生殖を中心としたコケ植物の説明

コケ植物の説明について 55 冊の教科書を分析した結果、表 2-4 のようになった。

昭和 22 年度の学習指導要領試案の時代には、コケ植物は「花のさかない植物」のなかまとして教科書中で扱われていた。「花のさかない植物」としてはシダ植物、コケ植物、菌類、カビ、藻類が、この順番で掲載され、説明されていた。しかし、その分量には違いが見られ、シダ植物と菌類が比較的多く、コケ植物、カビ、藻類は比較的少なかった。これは、食材や用材として生活に応用されているものを重視して取り扱った結果であると考えられる。また、藻類については食材として古くから生活に応用され

てはいたが、一般的なコンブ、ワカメやアオサなど海産のものが多く、観察・実験教材として取り扱いくいために分量が少なかったと考えられる。

昭和 26 年度に改訂された試案の時代でも、コケ植物は「花のさかない植物」のなかまとして教科書中で扱われていた。その単位ではシダ植物について詳細に取り扱っており、コケ植物に関しては、「シダ植物と同様である」というように表記される程度で、具体的な説明はほとんど見られなかった。このため、昭和 22 年度版に準拠した教科書のコケ植物の説明よりも、シダ植物とコケ植物が取り扱われる分量の差が拡大していた。コケ植物の説明の内容についても、光や温度といった生活環境を、シダ植物を基準として比較したものであり、形態については詳しく扱われていなかった。

昭和 33 年度の改訂の時代では、コケ植物は「孢子でふえる植物」あるいは「種子をつくらない植物」のなかまとして扱われていた。この時代はシダ植物とコケ植物がほぼ同じ分量で取り扱われていたが、ある教科書ではコケ植物の蘚類について、「茎や葉の区別がある」というような誤表現が見られた。

昭和 44 年度の改訂の時代では、コケ植物は「いろいろな植物」のなかまとして扱われていた。この時代は形態による分類を説明の基本としながらも、生活環境と形態の関係性にまで言及する表記があった。特に、土壌の湿度との関係が取り扱われており、それに関係する観察や実験が盛り込まれていた。

表 2-4 「コケ植物の説明」の観点から分析した戦後中学校理科教科書の特徴

時代区分	教科書内容の特徴	考 察
S 22 (試案)	シダと菌類（キノコ）に重点	生活への応用，扱いやすさ 戦前の「応用・効用」の流れ
S 26 (試案)	シダ植物 > コケ植物 分布環境（光，湿度）との関係	代表的な植物への重点化 生活環境に焦点化した分類
S 33	シダ植物 ≒ コケ植物 誤表記「茎・葉の区別あり」	コケ植物の内容の増加 厳密さの希薄化
S 44	生活環境（湿度）との関係 観察の導入	生活環境と系統の関連性
S 52	孢子生殖 → 受精の方法 葉緑素に言及	細胞レベルの内容の増加
H 1	分類：体制，保水性，孢子生殖 進化・系統	分類の中で細胞レベルの内容の扱い 分類のまとめとしての進化・系統
H10	改正前～なし 改正後～分類（体制，孢子生殖）	「種子をつくらない植物」の扱いの減少 一部改正による取り扱い増加（概要程度）

昭和 52 年度の改訂の時代では、生殖の方法について詳細に記述されることがあり、雄株から出た精子が雨の中を泳いで雌株に到達するという、受精の方法を中心とした内容になっていた。それまでの生

殖に関する記述が、孢子による無性生殖を中心としたものであったことと比較すると、非常に大きな変化であると言える。

平成元年度の改訂の時代では、分類、進化、系統の単元でコケ植物が登場した。この中で具体的に取り扱われたのは分類の単元であり、体制や保水性、孢子による無性生殖についての記載があった。内容としては昭和 52 年度のものと同差がなかったが、分類の一環として細胞レベルの内容を扱い、そのまとめとして進化や系統で分類群名が記載されていたところに違いが見られた。

平成 10 年度の改訂の時代では、当初は「種子をつくらない植物」の扱いの減少が影響し、取り扱いは見られなかった。しかし、その途中で一部改正が行われた影響により、発展的な学習内容として取り扱えるようになり、コラム中の概要程度ではあるが取り扱いが見られるようになった。その扱いは、分類の単元における、体制や孢子による無性生殖の記載であった。

4. 取り扱われるコケ植物

教科書で取り扱われるコケ植物についてまとめると、表 2-5 のようになった。

コケ植物の典型的な例として取り扱われてきたスギゴケおよびゼニゴケは、戦後を通して全ての時代において取り扱われていた。そこで、それ以外にはどのような種が扱われてきたか、どのように扱われてきたかを分析した。

表 2-5 「取り扱われるコケ植物」の観点から分析した戦後中学校理科教科書の特徴

時代区分	教科書内容の特徴	考 察
S 22 (試案)	ミズゴケ：栽培資材	多種掲載された戦前の流れ 例：ウロコゴケ，コウヤノマンネングサ
S 26 (試案)	ミズゴケ（表記のみ）	 徐々に集約
S 33	ミズゴケ（表中の表記のみ）	
S 44	なし	
S 52	ミズゴケ，チョウチンゴケ （表中の表記，挿絵の掲載）	スギゴケ，ゼニゴケのみ 左の 2 種は，本文に関わりなし
H 1	ミズゴケ，チョウチンゴケ （口絵，コラム）	スギゴケ，ゼニゴケのみ 左の 2 種は，本文に関わりなし
H 10	取り扱いなし	改正前：扱い無し 改正後：スギゴケ，ゼニゴケのみ

昭和 22 年度の学習指導要領試案の時代には、ミズゴケが掲載されていた。これは、直接に学習に関わる本文中に表記されたものではなかったが、ある教科書ではコラムとして、分布や生活への応用の利点について、詳細に記載されていた。

昭和 26 年度に改訂された試案の時代でも、ミズゴケを掲載していた教科書が見られた。これは本文中に登場していたが、名称のみが記載されており、取り扱いとしては少なくなっていると考えられる。

昭和 33 年度の改訂の時代では、ミズゴケが系統分類で植物を紹介する表の中に掲載される程度であった。

昭和 44 年度の改訂の時代では、取り扱われる種はスギゴケとゼニゴケのみになっていた。

昭和 52 年度の改訂の時代では、ミズゴケとチョウチンゴケを、分類表の中で挿絵と共に掲載した教科書があった。

平成元年度の改訂の時代では、昭和 52 年の時代と同様であったが、スギゴケ・ゼニゴケ以外は口絵やコラムでの取り扱いとなっていた。

平成 10 年度の改訂の時代では、一部改正の前は取り扱いがなく、一部改正後にスギゴケとゼニゴケのみの記載が見られた。

5. コケ植物を用いた観察・実験

教科書中の実験・観察において、コケ植物が材料としてどのように扱われていたかをまとめると、表 2-6 のようになった。

昭和 22 年度の学習指導要領試案の時代には、観察・実験についてコケ植物に関係するものは扱われていなかった。見られたのは附録にあたる部分で掲載された、採集と保存の方法のみであった。これは、コケ植物については伝統的な方法で、他の植物群のものに行うような押し葉や押し花にする必要がなく、乾燥させて折った紙にはさみ、ラベルを記しておくというものであった。

昭和 26 年度に改訂された試案の時代でも、コケ植物を材料とした観察・実験は見られなかった。この時代は、胞子を観察させることがあったが、材料としてはシダ植物や菌類を用いていた。

昭和 33 年度の改訂の時代では、コケ植物を材料として扱った観察・実験が見られた。具体的には、外部形態を観察させて雌株と雄株を区別させるものや、胞子のうと胞子を観察させるものがあった。

昭和 44 年度の改訂の時代では、観察・実験として特徴的な活動が多く見られた。たとえば、土壤の水分を比較させるものでは、被子植物であるアカザの分布している土壤やゼニゴケの分布している土壤、校庭のグラウンドなど植物が育っていない場所の土壤の、湿重量と乾燥重量が表に示されており、その表を用いて、土壤の水分と植物との関係を考察させるものであった。シダ植物、コケ植物、藻類を比較させる活動では、水分を中心とした生育地の環境や植物体の構造について特徴を明らかにし、その類似点や相違点から分類を考察させるものであった。また、その発展的な活動として、ゼニゴケの葉状体の切片を作製し、内部の観察を行わせるという方法も紹介されていた。ゼニゴケの形態観察では、葉状体の裏側に形成される仮根を観察させ、被子植物、裸子植物、シダ植物の有する根との違いを比較させるも

のであった。以上の活動は生活環境を他の植物群と比較させるものであったが、生殖をテーマにした観察も見られた。それは、ゼニゴケの葉状体の表側に形成される杯状体を材料として無性芽による無性生殖について考えさせるもので、いろいろな生殖方法について実体験を伴いつつ理解させる意図があったと考えられる。

昭和 52 年度の改訂の時代では、他の植物群との比較・分類を目的とした観察・実験が多くあった。シダ植物との比較観察では、外部形態、切断面、胞子のうや胞子に注目させていた。シダ植物、コケ植物、藻類の類似点や相違点を挙げさせるものもあった。また、単元のまとめとして、被子植物、裸子植物、シダ植物、コケ植物、藻類および菌類を、特徴によってなにかま分けさせるものもあった。

平成元年度の改訂の時代では、校庭やその付近での分布調査が行われ、日陰に分布する植物としてゼニゴケが扱われていた。その他は、昭和 52 年の場合と同様で、形態観察やなにかま分けが行われていた。

平成 10 年度の改訂の時代では、一部改正後からは形態観察やなにかま分けが行われるようになった。

表 2-6 「コケ植物を用いた観察・実験」の観点から分析した戦後中学校理科教科書の特徴

時代区分	教科書内容の特徴	考 察
S 22 (試案)	採集と標本の作製 (付録にあたる部分に掲載)	戦前の「応用・効用」の流れ
S 26 (試案)	胞子の観察 (シダ植物, 菌類 (キノコ))	コケ植物は取り扱われない
S 33	雄株・雌株の外部形態 胞子のう・胞子の顕微鏡観察	外部形態による分類
S 44	比較観察: 生育地, 構造など 杯状体の観察	比較による特徴の把握 生殖 (無性生殖) に言及
S 52	比較観察: 外部, 内部形態 なにかま分け	形態の詳細な観察と 他の植物群との比較・分類 (活動から)
H 1	分布調査, からだのつくりの観察 なにかま分け	環境と生息域の関係 形態による他の植物群との比較・分類
H 10	からだのつくりの観察 なにかま分け	形態による他の植物群との比較・分類

6. 考察

上記の 3 つの観点からの分析結果から、考察をまとめると以下のようなになる。

まず、「コケ植物の説明」に関しては、戦後すぐには教科書では全体的に「生活への応用」を意識して記述される傾向にあった。これは、戦前に扱われていた博物学的内容や生活への応用・効用の流れを

引き継ぐものであったと考えられる。昭和 26 年度では、コケ植物は大きく扱われていなかったものの、形態を羅列して図鑑のように説明するのではなく、植物とその生活する環境との関わり合いが見られるようになった。このことから、生活と関わっている植物を重点的に取り扱いながらも、生活環境の視点から、それ以外の植物も取り扱うようになったと考えられる。昭和 33 年度には、形態についての記述は量的に増加していたが、その厳密さが薄れている教科書も出てきた。昭和 44 年度では、生活環境と植物の進化系統の関連性をテーマにした観察が取り入れられ、観察を通して学習させる内容になっていた。昭和 52 年度では、孢子による無性生殖に代わって有性生殖の主要な段階である受精を詳細に扱っていたこと、また細胞の観察では葉緑素について言及していたことから、細胞レベルの内容が増加していることが分かった。

これらのことから、戦後当初は戦前の博物学的な内容を引き継いで、主として外部形態を取り扱っていたが、生活環境といった生態学的な側面を含めて分類を行うようになり、その後、植物組織学的側面・細胞学的側面からのアプローチが導入されるようになったように、内容が変化してきたと言えよう。

次に、「取り扱われるコケ植物の種類」に関しては、戦後当初はスギゴケとゼニゴケ以外に、生物学の研究を反映して、ミズゴケの記載も多く見られた。また、このことは、戦前の教科書の流れを継承するもので、戦後になっても植物の生活への応用や効用が引き継がれていた影響であるとも考えられる。しかし、徐々にその内容は減少し、スギゴケとゼニゴケに集約されるようになっていったことが分かった。苔類のほとんどの種が属しながら、蘚類に似たからだをもつウロコゴケのなかまは見られず、直立する蘚類（典型例としてスギゴケ）と地をはうように成長する苔類（典型例としてゼニゴケ）のイメージが、固定化されるようになったと考えられる。また、昭和 52 年度にはミズゴケとチョウチンゴケが掲載されていたが、表中に挿絵として扱われていただけであり、本文との直接的な関わりはないため、実質的にスギゴケとゼニゴケのみが扱われていたと言える。

このように、戦前の教科書では多様な種が取り扱われていたが、戦後に急激に減少し、生活に利用されているミズゴケも徐々に扱われなくなり、スギゴケとゼニゴケに集約されていったことが分かった。

「コケ植物を用いた観察・実験」については、昭和 22 年度の附録にあたる部分に掲載された採集や標本作製の方法は戦前の教科書でも記載されることがあり、その流れからくるものと考えられる。昭和 26 年度では、コケ植物を扱わずに観察の材料としてシダ植物や菌類を用いていたのは、生活に利用されるものを優先的に扱ったためであり、これも戦前からの影響であると考えられる。昭和 33 年度では、コケ植物が観察の材料として用いられるようになったが、外部形態の観察を通じて他の植物群と比較して分類させるものであった。このため、コケ植物を単独で取り扱ったものではなかったと言える。昭和 44 年度には、外部形態と生活環境との関連性に着眼点が置かれ、特徴を把握させるようになっていた。昭和 33 年度のものと同じく、コケ植物を単独で取り扱ったものではなかったが、その内容は具体的なものが多くなっていた。昭和 52 年度には、外部形態のみでなく、植物体内部の構造にも着目して観察が行われ、それらの結果ももとにして、生徒自身に分類をまとめさせていた。コケ植物の内部構造は特別な通道組織をもたず、水と密接に関わっていなければ生活できないことがわかりやすいため、コケ植

物の教材としての特性を生かした観察であると言える。

このように、形態観察をもとにして分類や系統を学習する領域で、コケ植物が材料として扱われる機会が増加していったことが分かった。

これ以降、コケ植物がその教材としての特性を生かされつつ学習に活用されている傾向は見られない。特に現行の教科書では、中学校でコケ植物を含む、「種子をつくらぬ植物」がほとんど扱われなくなり、「コケ植物」という名称や種の名前も、扱われなくなった。しかし、生物教育の大きな柱である「生命の連続性」を学習するにあたって、さまざまな生物を取り扱いながら学習を進める必要があると考える。特に観察や実験は、これまでにさまざまな活用がされていることを考えても、植物の多様性とその生活を探るという観点から、コケ植物は教材として十分に活用できると考えられる。

第3節 戦後高等学校生物教科書におけるコケ植物の取り扱い

1. 目的・方法・着眼点

本章第2節と同様に、戦後の高等学校生物教科書28冊についてコケ植物の取り扱いを分析した。生物領域の記載は、総合的な教科書（たとえば、理科Ⅰ，理科基礎，理科総合B）にも見られるが、これらは除外して、主として生物を取り扱っているもの（たとえば、いくつかの時代における生物Ⅰ，生物Ⅱなど「生物」に関するもの）のみを分析した。その際、コケ植物が取り扱われている単元、取り扱われている種、観察・実験に着目した。

2. 結果および考察

着目した3点について結果をまとめると、表2-7のようになった。なお、高等学校については中学校と比較して学習内容の変遷が少なかったため、着目した3点を総合した結果から考察した。

コケ植物を題材として扱った単元は、戦後当初には標本の作製方法や、栽培用材としての人間生活での利用についての記載があった。しかし、その後はどの時代でも新設や削減などの変遷が少なく、具体的に上げられていた内容は、分類の枠組みの中の生活環の単元であった。その他には、生態系に関する群落や遷移でも登場していたが、これは分類群名を例示する程度であった。

取り扱われるコケ植物は、附録や口絵での記載を含めると10種類以上あった時代を経て、昭和53年度の改訂を境目として減少し、ゼニゴケすらもほとんど扱われず、スギゴケを中心に1～2種類が扱われる程度になっていった。

観察・実験については、チョウチンゴケを用いた葉緑体の観察が行われていたが、最近ではコケ植物を用いた観察・実験はあまり見られなくなったことが分かった。

表 2-7 戦後高等学校教科書におけるコケ植物の取り扱い

時代区分	単元	取り扱われるコケ植物	観察・実験
S 23 (試案)	標本作製, 用材, 細胞, 系統, 分類 (孢子, 生殖細胞)	ミズゴケ, ゼニゴケ, スギゴケ (附録分類表に 10 種以上)	なし
S 26 (試案)	細胞・細胞内構造物, 生活環, 分類 (孢子生殖), 系統, 生態	数種	ゼニゴケ・スギゴケの 形態観察
S 31	生活環, 分類, 系統, 遷移	10 種以上 (含: 口絵)	チョウチンゴケの 同化の観察
S 35	生活環, 分類, 系統, 遷移	10 種以上 (含: 口絵)	チョウチンゴケの 同化の観察
S 45	生物 I : 組織, 生殖 生物 II : 系統, 遷移, 生態	ゼニゴケ, スギゴケ他数種	生活史, 茎の構造, 森林の調査
S 53	組織, 生活環, 生態, 遷移, 系統	蘚類 (スギゴケ) 中心	なし
H 1	I B : 無性生殖, 生活環, 群 落, II : 進化, 系統分類	蘚類 (スギゴケ) 中心	なし
H 10	I : 生活環, 生物 II : 系統分 類, 生活環, 群系, 遷移	蘚類 (スギゴケ) 中心	茎に該当する部分の 植物群による比較

第 4 節 結果の分析から発展させたコケ植物の教材としての展望

本章第 1 節で示したように、戦前の教科書について教材史的な観点から分析を行った場合、現在とは状況が大きく異なっているために、単純な比較はできない。しかし、これからコケ植物を教材として、どのように取り扱うべきかを考えるにあたり、当時の教科書で行われていたような多面的なアプローチが参考となった。

また、本章第 2 節の結果および考察から、コケ植物の教材としての取り扱いは、戦後からの変遷の中で生活環の学習内容に集約されていったととらえることができる。現在は、本章第 2 節で示したように中学校でのコケ植物の取り扱いが削減されているために、中学校の学習内容から読み解くことは困難である。しかし、本章第 3 節で示したように、現在の高等学校の教科書を分析したところ、コケ植物が最も詳細に扱われているのは生活環の学習内容である。このことから、コケ植物を中心とした教材研究を行うにあたっては生活環の単元の充実化を図り、新たな教材の導入などの工夫を検討するのが望ましいと考えられる。

これらのことから、本論での教材開発研究を行うにあたっては、本章第 1 節の結果および考察から、

博物学的な視点を多く取り入れることによって、学習内容を深めることができる。たとえば、植物学教科書では多種のコケ植物が取り扱われていたことに着目して、他の類似したコケ植物と見分けつつ現在では典型例として紹介されるゼニゴケを採集することによって、ゼニゴケが有する生活環の教材としての有効性（生殖期間の長さや生殖細胞の観察の容易さなど）を生かすことができると考えられる。この教材開発研究の成果について、本章第2節および第3節の結果を鑑みて、高等学校生物における生活環の単元に教材を導入することによって、本論で開発する教材について実践的に検証することが妥当と考えられる。

現在、高等学校生物教科書における生活環の単元での学習内容は、各植物群の生活環・生活段階の紹介や、生殖を中心的なテーマとした植物群の比較（核相や生活段階）が行われている程度であり、教員が教科書や副読本の図を用いて解説しながら学習が行われている程度であると感じられる。この現状を基点として、コケ植物の生活環の概要をとらえつつ、その中で生殖のしくみに着目させる教材を開発することは、学習内容を深めるために重要であり、その教材を中心とした授業方略の提案が必要である。また、生活環の学習の中心である博物学的内容について学習を深めることに関して、教員の主導による学習内容のまとめではなく、生徒が自主的に学習活動に臨むための教材を研究することは、これまでにない新しい教材の形態を示すことができる。

これを具体化するためには、まず、コケ植物が生活環の単元で教科書・副読本の図を中心に学習されていることに着目する必要がある。この学習方略では、生活環の単元で学習される項目が限定され、各生活段階が羅列的に提示されるだけでなく、写真画像もあまり用いられないために、実物に即したイメージを抱きにくいという課題があると考えられる。この解決にあたっては、本論の材料であるコケ植物について観察・実験を実際に行うことにより、コケ植物の生活環について詳しく調べるとともに、その各生活段階がスムーズにつながるように写真画像などで記録することが、教材開発研究の第一段階として重要視できると考えられる。

以上のことをふまえて、教材開発研究の次の段階として教材の形態について考えると、既存の紙媒体や板書による学習ではなく、学習者自身が操作可能なコンピュータあるいはwebの特性を活用した教材を開発することによって、学習者は生活環の概要を掴みつつ、その中でも重要な事象である生殖に興味を抱いて焦点化することができると期待できる。その上で、開発した教材の形態に特徴的である模擬体験にとどまらず、観察・実験を通じた実物による学習に視点を移すことは、生徒の興味・関心を高める効果があると期待できる。

第5節 生活環の学習に関する教材史的研究

本章第4節では、教材史的研究の観点から表出したコケ植物の教材としての取り扱いをまとめた。その結果、コケ植物を教材として用いるのに最適であるのは、高等学校生物の生活環の単元であると判断

できたため、本論の材料であるコケ植物を生活環の単元で利用する教材の開発方針を立てた。

このように、ここまではコケ植物に主眼を置いた教材史的研究を展開してきた。しかし、これから開発する教材を用いる「場」である、生活環の単元についても主眼を置いた教材史的研究を行うことが必要と考えられる。そこで本節では、これまでと同様の手法によって、生活環の単元の学習内容の変遷を歴史を追ってとらえ、コケ植物の生活環の学習内容について詳細に分析する。この学習内容は、高等学校だけでなく中学校の理科学習においても取り扱われることが多いため、まず、中学校理科教科書の中での取り扱いを明らかにした上で、高等学校生物教科書での取り扱いを明らかにし、双方について考察を加えながら、教材化への示唆を得ることとした。

1. 戦後中学校理科教科書におけるコケ植物の生活環の学習

昭和 22 年度から平成 10 年度までの学習指導要領の区分ごとに分析を行ったところ（表 2-8）、すべての区分を通して、植物群を分類する単元の中で生殖について取り扱われていることが分かった。

表 2-8 「コケ植物の生活環」の観点から分析した戦後中学校理科教科書の特徴

時代区分	教科書内容の特徴
S 22 (試案)	分類：図中「ほうし植物」「孢子」 生殖方法の紹介 → 内容は「孢子がつくられる」という程度
S 26 (試案)	分類：表中で「ほうし植物」「孢子」 具体的事項に触れる教科書も存在・・・無性芽，配偶体の有性
S 33	分類：本文・図中「め株」「お株」「孢子のう」「孢子」 生殖：孢子生殖
S 44	分類：「雄株」「雌株」と孢子生殖 生活環の全体を記載した教科書も存在
S 52	分類：「雌株」「雄株」「孢子のう」「孢子」 生殖の扱いが具体的な教科書の存在・・・精子の遊泳，孢子の飛散
H 1	分類：「孢子」，植物群の類縁関係：基準として孢子生殖 形態や構造よりも孢子生殖に重点が置かれていた
H10	コラムとしての「種子をつくらない植物」の扱い 孢子生殖が扱われた

昭和 22 年度では、分類の単元に記載された挿絵で、「ほうし植物」の例としてコケ植物が取り扱われており、形態や分布している場所の説明の後で、生殖の方法が紹介されていた。しかし、内容は「孢子がつくられる」という程度にとどめられており、孢子そのものについての説明は無かった。

昭和 26 年度でもその傾向に変化は見られなかった。しかし、生殖方法である孢子生殖を被子植物の

有性生殖と区別したり、「小さな芽」として無性芽を紹介したりという、具体的な事項に触れる教科書が見られた。また、「おすの株」「めすの株」という表現があり、コケ植物の本体である配偶体に雌雄の区別があることについて取り扱う教科書もあった。

昭和 33 年度では、本文や図中で「め株」「お株」「胞子のう」「胞子」の表記が見られ、昭和 26 年度のものよりも詳しい紹介があった。また、生殖を学習する単元で胞子生殖が扱われ、受精を中心とした有性生殖と無性生殖（胞子生殖）を交互に行っていることに触れた教科書もあった。

昭和 44 年度でも分類の単元で「雄株」「雌株」と胞子生殖に関する事項が扱われていた。また、スギゴケとゼニゴケを材料として生活環の全体を通した記載も見られた。

昭和 52 年度では、「雌株」「雄株」「胞子のう」「胞子」を基本としつつ、生殖についてさまざまな取り扱いを行っている教科書が見られた。一例を挙げると、精子が水中を遊泳して卵細胞までたどり着くことや、胞子が飛散して分布することに触れていた。

平成元年度では、分類のみでなく植物群の類縁関係を扱った単元でも、その基準として胞子生殖が記載されていた。ここでは、コケ植物の形態や構造よりも胞子生殖に重点が置かれていた。

平成 10 年度では、コラムとして胞子生殖が扱われ、本文中には記載がなかった。

2. 戦後高等学校生物教科書におけるコケ植物の生活環の学習

昭和 22 年度から平成 10 年度までの学習指導要領の区分ごとに分析を行った（表 2-9）。この間、理科では科目の創設や廃止が行われ、理科を総合的に扱う科目にも生物領域の学習内容がある。しかし、ここでは、対象とした分析期間を通して科目として存在しており、生物の学習について中心のかつ専門的と見なすことのできる、「生物」を冠した科目で使用された教科書について分析した。特に、高等学校における生物の科目の学習内容で、教材を用いる「場」である生活環の単元が、どのように配置されているかに着目した。

昭和 22 年度では、植物の形態を学習する際にその一部として生活環が記載されていた。また、生殖について取り扱っている単元では、胞子による増殖や精子の存在が扱われていた。

昭和 26 年度では、生活環全体を取り扱うよりも、世代交代に焦点化した図版による学習が行われていた。生活環は分類の単元で例示される程度であった。

昭和 31 年度でも、昭和 26 年度の時と同じく、世代交代に焦点化されており、図版による学習が行われていた。生活環は分類の単元の一例であったが、この頃を境目にして、取り扱われる材料がゼニゴケとスギゴケに収束されていた。

昭和 35 年度では、ゼニゴケやスギゴケの生活史が中心に取り扱われ、世代交代のみを扱う教科書は散見される程度となり、これまでの学習内容と逆になっていた。

昭和 45 年度では、生物 I でゼニゴケやスギゴケの生活史が取り扱われ、生物 II における系統分類の単元で、植物の受精に焦点化して取り扱われていた。

昭和 53 年度では、生活環が中心的な内容であったが、世代交代と強く関連づけられていた。また、

世代交代は各植物群について比較するものであった。

平成元年度では、生物ⅠAおよび生物Ⅱにおいて生活環に関連する取り扱いは見られなかった。生物ⅠBにおいては、孢子生殖を無性生殖として取り扱い、生活環と世代交代だけでなく、核相交代にも言及しており、詳細な取り扱いが見られた。

平成10年度では、生物Ⅰまたは生物Ⅱのどちらかで生活環が取り扱われていた。生物Ⅰの場合、生活環と世代交代に加えて受精を取り扱う概要的なものであったが、生物Ⅱの場合は、系統分類の単元で受精を、分類の単元で生活環を詳細に取り扱うことができ、配偶体の観察を行わせる教科書も見られた。

表2-9 「コケ植物の生活環」の観点から分析した戦後高等学校生物教科書の特徴

時代区分	教科書内容の特徴
S23 (試案)	植物の形態の単元の一部 孢子による増殖，精子の存在に言及
S26 (試案)	世代交代に焦点化した図版 分類の単元の一例として生活史の学習
S31	世代交代に焦点化した図版 分類の単元の一例としてゼニゴケ・スギゴケの生活史の学習
S35	ゼニゴケ・スギゴケの生活史を中心とした取り扱い 世代交代のみを扱う教科書が散見
S45	生物Ⅰ：ゼニゴケ・スギゴケの生活史 生物Ⅱ：系統分類の単元で受精の取り扱い
S53	生活環 各植物群の世代交代の比較
H1	生物ⅠB：孢子生殖（無性生殖），生活環，世代交代，核相交代 生物ⅠA：なし 生物Ⅱ：なし
H10	生物Ⅰ：生活環，世代交代，受精 生物Ⅱ：系統分類の単元で受精，分類の単元で生活環，配偶体の観察

3. 戦後中等教育段階の生活環の学習についての考察とコケ植物の教材化への示唆

中学校では、すべての区分を通して、植物群を分類する単元の中で、生活環は生殖方法を中心に取り扱われていた。その大概は、受精，孢子生殖，無性芽による無性生殖という生殖方法のうち、孢子を飛散させることによって分布を広げる孢子生殖について取り扱われていた。これは、受精を中心的な生殖方法とする被子植物や裸子植物の場合と比較して、コケ植物に特徴的な生殖方法を明示するためと考えられる。

このように、中学校で学習される際には、コケ植物の生活環の中でも生殖方法の一部が中心として取り扱われているため、生活環の全体を通して学習されることは、ほとんどなかったと考えることができる。中学校についてまとめると、被子植物と裸子植物が中心的な材料であるために、コケ植物を含むその他の植物群は、それと比較して記載される形で取り扱われる傾向にあると考えられる。

一方、高等学校での生活環の学習を見てみると、「生物」を冠する科目の中で、生活環が取り扱われていた。その内容は、戦後直後は生活環の概要をまとめたものが取り扱われていたが、その後徐々に学習される内容は増加し、生活環の中で世代交代が行われるという視点を取り入れられるようになった。また、その後で、生活環の中で核交代が行われるという視点も取り入れられるようになった。生活環の全体について取り扱われていたのは、各植物群について学習していく分類に関する単元が主となっていた。この単元の内容は、各植物群について基準に従って分類し、それぞれの特徴を学習するものであったが、それに加えて、生活環も各植物群の特徴として挙げられていた。その他の単元についても分析したところ、系統分類に関係する単元で、受精や孢子生殖など生殖に関する事項が取り扱われていた。

以上のことを鑑みて、本章第4節で記述したように、生活環の概要をとらえるために、webの特性を活用した教材を使用した観察・実験を通じた実物による学習を行うにあたっては、高等学校生物で生活環を取り扱っている単元が適していると考えられる。この単元に、生活環の学習を深め、かつ、発展的に学習できることを期待して、本論で開発する教材を導入することが妥当であると考えられる。

教材開発の具体的な手法は、材料であるコケ植物を中心に本章第4節に記述した。それは、現状の生活環の学習の際に行われるような各生活段階の図示ではなく、実物に即したイメージを抱きやすい写真画像を用いるために、まずは、コケ植物について実際に観察・実験を行って、その結果を記録するというものであった。その観察・実験の記録について、生活環をテーマとしてまとめることによって、生活環の単元の学習内容を深めるための教材として提案できると考えている。

なお、このような教材開発を行うにあたっては、学習内容から直接的に導き出される「知識」について取り扱うことが基本になると考えているが、本論ではそれだけでなく、間接的であるかもしれないが、学習内容や学習の手法に効果的であると考えられる観察・実験の「技能」についても取り扱うことを考えている。そのため、実際の観察・実験に際しては、生物学の専門的・先端的な手法だけでなく、古典的な手法も採用し、その手法自体も記録することで、教材の中に組み込むことを考えている。

文献

井上虎馬 (1894) 「土佐國産地錢科植物」, 植物學雜誌 8 (89), pp.291-293

井上虎馬 (1895) 「土佐國産地錢科植物第二報」 植物學雜誌 9 (98), pp.134-135

三好學 (1889) 「植物和名義例」, 植物學雜誌 3 (30), pp.298-301

三好學 (1931) 「最新植物學 上・中・下」, 富山房

文部省（1998）「中学校学習指導要領」，大蔵省印刷局

柴田桂太（1903）「池野氏『苔類ニ於ケル精蟲ノ形成』」植物學雜誌 17（195），p.95

柘植千嘉衛（1887）「^{マルカンテア ポリモルフア}Marchantia polymorpha, L.」，植物

分析教科書一覧 出版期日は元号で記す

<分析に用いた植物教科書> 著者アルファベット順

安東伊三次郎，中學植物教科書，東京・光風館，明治 45 年 1 月 15 日，訂正 4 版

安東伊三次郎，中學植物教科書，東京・光風館，大正 8 年 1 月 5 日，修正 7 版

安東伊三次郎，中學植物教科書 修訂 8 版，東京・光風館，大正 11 年 10 月，修正 8 版

安東伊三次郎，中學植物教科書 修訂改版，東京・光風館，大正 12 年 1 月 8 日，修正 9 版

安東伊三次郎，中學植物教科書，東京・光風館，大正 14 年 11 月，修訂 10 版

安東伊三次郎，中學植物教科書 修正 11 版，東京・光風館，大正 15 年 1 月 8 日，修訂 11 版

中等博物研究會，最新中等植物教科書 乙表準據，東京・西ヶ原刊行會，昭和 13 年 11 月 18 日，初版

大日本圖書株式會社，中等教科植物學 改訂版 全，東京・大日本圖書株式會社，昭和 5 年 10 月 28 日，

訂正 4 版

大日本圖書株式會社，中等教科新制植物學 乙表準據，東京・大日本圖書株式會社，

昭和 6 年 10 月 23 日，訂正再版

大日本圖書株式會社，新制中學植物學 甲表準據，東京・大日本圖書株式會社，昭和 7 年 10 月 3 日，

訂正再版

藤井健次郎，普通教育植物學教科書，東京 大阪・開成館，明治 35 年 1 月 5 日，初版

藤井健次郎，普通教育植物學教科書，東京 大阪・開成館，明治 36 年 1 月 18 日，修正 4 版

藤井健次郎，普通教育植物學教科書，東京 大阪・開成館，明治 37 年 2 月 24 日，訂正 6 版

藤井健次郎，新撰植物學教科書，東京・大阪 開成館，明治 37 年 5 月 25 日，訂正再改題 6 版

藤井健次郎，普通教育植物學教科書，東京・開成館，明治 39 年 3 月 5 日，訂正 8 版

藤井健次郎，普通教育植物學小教科書，東京・開成館，明治 40 年 1 月 27 日，訂正再版

藤井健次郎，中等教育植物教科書，東京・開成館，明治 45 年 1 月 20 日，訂正 4 版

藤井健次郎，中等教育植物教科書，東京・開成館，大正 12 年 2 月 23 日，訂正 7 版

藤井健次郎，中等教育植物教科書，東京・開成館，大正 14 年 10 月 29 日，修正 8 版

藤井健次郎，中等教育植物教科書，東京・開成館，大正 14 年 12 月 12 日，訂正 9 版

藤井健次郎，中等教育植物教科書，東京・開成館，昭和 2 年 10 月 18 日，修正 10 版

藤井健次郎，中等教育植物教科書，東京・開成館，昭和 3 年 1 月 4 日，訂正 11 版

藤井健次郎，中等教育植物教科書 新制 乙要目用，東京・開成館，昭和 11 年 11 月，修正 3 版

博物教授研究會，中學植物教科書，東京・吉川弘文館，明治37年9月23日，訂正再版

博物教授研究會，中學校用新制植物教科書 乙種，東京・六盟館，昭和7年9月24日，初版

濱幸次郎・河野齡藏，普通植物教科書，東京・光風館，明治40年2月23日，訂正4版

濱幸次郎・河野齡藏，普通植物教科書，東京・光風館，明治40年6月23日，訂正5版

濱健夫，最新中等植物學 乙表準據，東京 大阪・湯川弘文社，昭和14年2月12日，訂正再版

濱健夫，最新中等植物學 乙表準據，東京 大阪・湯川弘文社，昭和16年10月30日，訂正3版

廣島高等師範學校附屬中學校博物研究會，中等教育最新植物學，東京・修文館，昭和2年3月19日，
訂正再版

廣島高等師範學校附屬中學校博物研究會，新制中等植物學 乙要目準據，東京・修文館，
昭和7年9月22日，訂正再版

本田正次，本田中等植物教科書 乙表準據，東京・富山房，昭和14年8月5日，初版

本田正次，本田中等植物教科書 乙表準據，東京・富山房，昭和14年11月25日，訂正再版

堀川芳雄，新々中學植物，東京 大阪・日本出版社，昭和12年11月10日，訂正再版

稻葉彦六，植物學教科書，東京・光風館，大正13年12月4日，初版

稻葉彦六，植物學教科書，東京・光風館，大正14年2月10日，訂正再版

乾環・神田正悌，植物新教科書，東京・六盟館，大正10年12月1日

乾環・神田正悌，植物新教科書，東京・六盟館，大正11年2月7日，訂正再版

乾環・神田正悌，植物新教科書，東京・六盟館，大正13年4月12日，訂正4版

乾環・神田正悌・白神壽吉，博物統合教授植物新教科書，東京・六盟館，明治45年2月18日，3版

乾環・神田正悌・白神壽吉，博物統合教授植物新教科書，東京・六盟館，大正4年12月14日，
改訂再版

乾環・佐々木信次，新定植物教科書，東京・修文館，大正12年1月29日，訂正再版

開成館編輯所，撰定植物學教本，東京・開成館，明治42年2月7日，初版

開成館編輯所，撰定植物學教本，東京・開成館，明治42年3月15日，訂正再版

開成館編輯所，新定教科植物學教本，東京・開成館，明治45年3月30日，訂正4版

神谷辰三郎・岡村周諦，新編植物學教科書，東京・成美堂，大正2年10月18日，初版

神戸伊三郎，中學新植物學教科書 乙號用，東京 大阪・東洋圖書，昭和8年4月20日，訂正再版

神戸伊三郎，中學新植物學教科書 乙號用，東京 大阪・東洋圖書，昭和9年1月10日，3版

神田正悌，実験觀察中等植物，東京・弘道館，昭和5年10月18日，初版

川村清一，最近植物教科書，東京・帝国書院，大正14年2月14日，訂正發行

川村清一，最近植物教科書 改版，東京・帝国書院，昭和4年9月28日，初版

川村清一，最近植物教科書 改版，東京・帝国書院，昭和4年11月9日，訂正

川村清一，中等博物（植物編），東京・帝国書院，昭和6年11月30日，初版

小泉源一，新制植物教科書 改訂版 乙表準據，大阪・精華房，昭和11年9月20日，訂正3版

額瀨理一郎，中等教育最新植物學教科書，東京・富山房，昭和3年11月10日，訂正再版
額瀨理一郎，最新植物教科書 乙表準據，東京・富山房，昭和8年12月，訂正再版
額瀨理一郎，最新植物教科書 改訂版 乙表準據，東京・富山房，昭和11年9月12日，訂正3版
郡場寛，新植物教科書，東京・富山房，昭和5年11月12日，訂正再版
草野俊助，中等教科普通植物，東京・金港堂，昭和2年11月2日，初版
桑田義備，中等教育最新植物，東京・至文堂，大正14年12月26日，訂正3版
桑田義備，中等教育最新植物 改訂版，東京・至文堂，昭和4年10月14日，訂正4版
桑田義備，新制中等植物學，東京・至文堂，昭和6年12月26日，訂正再版
桑田義備，新制中等植物學 乙表準據 三訂版，東京・至文堂，昭和12年11月，訂正6版
教育理科研究會，中等教育植物 要目乙準據，東京・開成館，昭和14年10月4日，初版
松村任三・伊藤圭介，植物小學 上下，東京・錦森閣，明治14年9月17日，版權免許
松村任三・宮部金吾・大渡忠太郎，近世植物學教科書 修正改版，大阪・三木佐助，
明治33年1月20日，第8版
松村任三・宮部金吾・大渡忠太郎，近世植物學教科書，東京 大阪・開成館，明治36年1月15日，
第50版
松村任三・大渡忠太郎，近世植物學教科書，東京・丸善，明治32年3月25日，訂正第2版
三輪知雄，中等植物 乙表準據，東京・天地書房，昭和9年10月30日，訂正再版
三宅驥一，最新植物學教科書，東京・明治書院，大正12年1月23日，訂正
三宅驥一，最新植物學教科書，東京・明治書院，大正14年12月28日，改訂
三宅驥一，最新植物學教科書 改訂二版，東京・明治書院，大正15年2月8日，改訂2版
三宅驥一・野原茂六，中等植物學教科書，東京・明治圖書，明治42年1月24日，訂正
三宅驥一・野原茂六，新編植物學教科書，東京・明治書院，大正3年12月12日，訂正發行
三好學，普通植物學教科書，東京・敬業社，明治24年3月11日，初版
三好學，植物學中教科書，東京・敬業社，明治33年4月15日，6版
三好學，植物學中教科書，東京・敬業社，明治35年4月25日，14版
三好學，改訂中等植物教科書，東京・富山房，大正10年12月27日，訂正4版
三好學，中等植物新教科書，東京・富山房，昭和2年10月24日，訂正再版
文部省編輯局，植物通解，文部省編輯局，明治19年10月4版
中井猛之進・小松春三，中等植物學教科書，東京・修文館，大正5年12月28日，訂正再版
大賀一郎・篠遠喜人，新制中學植物教科書 甲表準據，東京・寶文館，昭和8年9月1日，訂正再版
大久保三郎・齋田功太郎・染谷德五郎，中學植物教科書，東京・文學社，明治36年1月29日，初版
大久保三郎・齋田功太郎・染谷德五郎，中學植物教科書，東京・文學社，明治40年1月14日，
訂正3版
太田順治，最新中等植物教科書，大阪・立川書店，昭和3年2月15日，訂正

太田順治，最新中等植物教科書 乙表準拠，大阪・立川書店，昭和12年10月，訂正再版
大渡忠太郎，修訂近世植物學教科書，東京・開成館，明治42年1月25日，訂正70版
大渡忠太郎，修訂近世植物學教科書，東京・開成館，明治45年2月23日，訂正72版
大渡忠太郎，現代植物學教科書，東京・開成館，大正12年2月27日，訂正再版
齋田功太郎，中等教科植物學，東京・文學社，明治25年8月31日，初版
齋田功太郎，小植物學，東京・文學社，明治31年4月30日，3版
齋田功太郎，普通植物教科書，東京・集成堂，明治45年3月15日，訂正版
齋田功太郎・稻葉彦六，新撰植物教科書，東京・大日本圖書株式會社，明治41年10月15日，4版
齋田功太郎・佐藤禮介，改訂近世植物學教科書，東京・寶文館，大正5年10月30日，訂正6版
齋田功太郎・山内繁雄，中等植物新教科書，東京・大日本圖書株式會社，大正5年1月14日，再版
山海堂編輯所，新制植物教科書（乙表準拠），東京・山海堂，昭和9年9月19日，初版
三省堂編輯所，中等植物教本 三訂版 乙表準拠，東京・三省堂，昭和14年7月30日，修正6版
三省堂編輯所編，中等植物教本 改訂版，東京・大阪三省堂，昭和9年11月16日，修正4版
佐藤寛次・室岡孝治，中等教育植物學新教科書，東京 大阪・駿々堂，昭和5年3月5日，初版
柴田佳太，新制植物教科書 乙要目用，開成館，昭和7年3月，訂正再版
田口於菟吉・多田綱輔，植物教科書，東京・帝國書院，大正11年1月24日，修正
田原正人，最近中等植物學，東京・三省堂，大正15年11月24日，修正再版
田原正人，新中等植物學 乙表準拠，東京・至文堂，昭和13年10月3日，訂正再版
武田久吉，中等植物教科書，東京 大阪・積善館，大正10年2月14日，訂正再版
武田久吉，中等植物新教科書，東京 大阪・積善館，大正15年10月20日，訂正再版
武田久吉，中等植物新教科書 修正版，東京 大阪・積善館，昭和9年10月30日，修正4版
丹波敬三・高橋秀松・柴田承桂，普通植物學，出版社不明，明治14年9月，訳者識
東京高等師範學校附屬中學校內理科研究會，新制中等植物，東京・目黒書店，昭和6年10月30日，
初版
東京高等師範學校附屬中學校內理科研究會，新制中等植物 第二・三・四學年用，東京・目黒書店，
昭和7年3月7日，訂正再版
辻野周治，新式植物學教科書，東京・成美堂，大正5年12月24日，訂正再版
辻野周治，新式植物學教科書，東京・成美堂，大正12年1月28日，修正4版
矢島喜源次，植物學教科書，東京・内田老鶴圃，明治33年4月29日，再版
山羽儀兵，中等新植物教授資料，東京・開成館，昭和10年6月15日，初版
山羽儀兵，中等新植物 要目乙準拠，東京・開成館，昭和12年9月10日，訂正4版
山内繁雄，輓近植物學教科書，東京・開成館，大正3年10月19日，訂正再版
山内繁雄，輓近植物學教科書，東京・開成館，大正12年2月18日，訂正4版
山内繁雄，輓近植物學教科書，東京・開成館，大正15年10月14日，修正5版

山内繁雄，輓近植物學教科書，東京・開成館，大正 15 年 11 月 5 日，訂正 6 版
安田篤，改訂普通植物学教科書，六盟館，明治 44 年 11 月，再版
矢澤米三郎，修訂新植物教科書，東京・六盟館，明治 34 年 11 月 12 日，初版

<分析に用いた戦後中学校理科教科書（コケ植物の記載があるものを主として掲載）> 年代区分順

合田得輔・湯浅明，生活と科学 生物のすがた，日本書籍，昭和 26 年 2 月 28 日

科学教育研究会，中学生の科学 I - 3，学芸出版社，昭和 26 年 2 月 4 日

文部省，私たちの科学 5 植物はどのようにして生きているか，大日本圖書，昭和 22 年 12 月 12 日

理科研究委員会（第二部），私たちの科学研究 6. 生物はどのように生きているか，大日本圖書，

昭和 25 年 3 月 20 日

藤原武夫・印東弘玄・遠藤美寿・窪田実・山口英二，中学理科 1 年，清水書院，昭和 32 年 6 月 10 日，
再版

広島大学教育学部附属中学校理科教育研究会，理科 第 1 学年用全，青雲社，昭和 29 年 2 月 15 日

科学教育研究会，新版中学生の科学 1・A，学芸出版社，昭和 28 年 6 月 15 日

科学教育研究会，三訂中学生の科学 1 A，学芸出版社，昭和 32 年 1 月 20 日

科学教育研究会，中学生の科学 III - 2，学芸出版社，昭和 27 年 2 月 15 日

科学教育研究会，新版中学生の科学 3・A，学芸出版社，昭和 28 年 6 月 15 日

中谷宇吉郎ほか，自然 三年下巻，光村図書，昭和 29 年 11 月 29 日，再版

理科研究委員会（第二部），中学新理科 第 1 学年用 上，大日本図書，昭和 31 年 2 月 5 日，再版

理科研究委員会（第二部），私たちの科学研究（新版） 第 1 学年用 上，大日本図書，

昭和 31 年 2 月 5 日

理科研究九州地区委員会・理科研究中国地方委員会・四国理科教育協議会，科学の世界 第 1 学年用 上，

大日本図書，昭和 27 年 2 月 5 日

三省堂編修所，中学生の理科 科学の恩恵（上）〔三訂版〕，三省堂出版，昭和 29 年 12 月 25 日

坪井忠二ほか，中学校理科 第 1 学年用，大日本図書，昭和 34 年 2 月 5 日，再版

坪井忠二ほか，中学校理科 第 3 学年用，大日本図書，昭和 34 年 2 月 5 日，再版

藤原武夫・大槻虎男ほか，標準中学理科 1，教育出版，昭和 38 年 1 月 20 日

藤原武夫・大槻虎男ほか，標準中学理科 3，教育出版，昭和 38 年 1 月 20 日

大島文義ほか，中学理科 1，学研書籍，昭和 37 年 1 月 20 日

大島文義ほか，中学理科 1，学研書籍，昭和 38 年 1 月 15 日

大島文義ほか，中学理科 1，学研書籍，昭和 40 年 1 月 25 日

大島文義ほか，中学理科 3，学研書籍，昭和 40 年 1 月 25 日

岡田要・坪井忠二ほか，中学校理科 第 1 学年用，大日本図書，昭和 37 年 2 月 5 日

岡田要・坪井忠二ほか，中学校理科 第 3 学年用，大日本図書，昭和 37 年 2 月 5 日

岡田要・坪井忠二・藤田穆ほか，新訂版中学校理科1年，大日本図書，昭和46年2月5日，3版

岡田要・坪井忠二・藤田穆ほか，新訂版中学校理科3年，大日本図書，昭和46年2月5日，3版

蓮沼宏・藤井隆ほか，新訂新しい科学第2分野上巻，東京書籍，昭和52年2月10日

坪井忠二・岩橋八洲民ほか，新版中学校新理科2分野上，大日本図書，昭和55年2月5日，三版

和達清夫・北澤彌吉郎・近藤正夫・西澤一俊ほか，新版中学理科第2分野上，教育出版，

昭和55年1月20日

伏見康治・前川文夫ほか，中学校理科2分野・上，学校図書，昭和55年3月31日，検定

伊勢村寿三ほか，新訂理科2-上，新興出版社啓林館，昭和54年12月10日

大木道則ほか，理科2分野上，新興出版社啓林館，昭和56年12月10日

大木道則ほか，新改訂理科2分野上，新興出版社啓林館，平成1年3月31日，改訂検定

坪井忠二・岩橋八洲民ほか，中学校理科2分野上，大日本図書，昭和55年3月31日，検定

栗田一良・細矢治夫・宮脇昭ほか，新版中学理科2分野上，教育出版，平成4年1月31日，検定

栗田一良・細矢治夫・宮脇昭ほか，新版中学理科2分野下，教育出版，平成4年1月31日，検定

大木道則ほか，理科2分野上，新興出版社啓林館，平成4年1月31日，検定

大木道則ほか，理科2分野下，新興出版社啓林館，平成4年1月31日，検定

霜田光一・沼田真ほか，中学校理科2分野・上，学校図書，平成8年2月1日

霜田光一・沼田真ほか，中学校理科2分野・下，学校図書，平成8年2月1日

戸田盛和ほか，中学校理科2分野上，大日本図書，平成4年1月31日，検定

戸田盛和ほか，中学校理科2分野下，大日本図書，平成4年1月31日，検定

上田誠也・三浦登・水野丈夫・綿抜邦彦ほか，新しい科学2分野上，東京書籍，平成8年2月10日

上田誠也・三浦登・水野丈夫・綿抜邦彦ほか，新しい科学2分野下，東京書籍，平成8年2月10日

日高敏隆ほか，中学校科学2分野上 生命と地球編，学校図書，平成19年2月10日

日高敏隆ほか，中学校科学2分野下 生命と地球編，学校図書，平成19年2月10日

細矢治夫・養老孟司・下野洋・福岡敏行ほか，理科2分野上～観察から自然のしくみを見つける～，
教育出版，平成19年1月20日

細矢治夫・養老孟司・下野洋・福岡敏行ほか，理科2分野下～観察から自然のしくみを見つける～，
教育出版，平成19年1月20日

三浦登・岡村定矩ほか，新編新しい科学2分野上，東京書籍，平成19年2月10日

三浦登・岡村定矩ほか，新編新しい科学2分野下，東京書籍，平成19年2月10日

竹内敬人・山極隆・森一夫ほか，未来へひろがるサイエンス第2分野（上），新興出版社啓林館，
平成19年2月10日

竹内敬人・山極隆・森一夫ほか，未来へひろがるサイエンス第2分野（上），新興出版社啓林館，
平成19年2月10日

戸田盛和ほか，新版中学校理科2分野上，大日本図書，平成19年2月5日，再版

戸田盛和ほか，新版中学校理科2分野下，大日本図書，平成19年2月5日，再版

<分析に用いた戦後高等学校生物教科書> 年代区分，科目順

文部省，生物の科学Ⅰ－A，大日本図書，昭和24年10月17日

文部省，生物の科学Ⅱ，大日本図書，昭和24年2月2日，修正

文部省，生物の科学Ⅲ，国民図書刊行会，昭和25年1月20日，修正

文部省，生物の科学Ⅳ，大日本図書，昭和24年10月28日

井上清恒・湯浅明，改訂版生物の教室（上），実教出版，昭和29年1月25日，修正

井上清恒・湯浅明，改訂版生物の教室（下），実教出版，昭和29年1月25日，修正

久米又三・下泉重吉，生物 上，好学社，昭和27年12月5日

久米又三・下泉重吉，生物 中，好学社，昭和27年12月5日

久米又三・下泉重吉，生物 下，好学社，昭和27年12月5日

三輪知雄・丘英通，生物（四訂版），三省堂，昭和35年3月15日，再版

岡田要ほか，生物（五単位用），開隆堂出版，昭和32年12月2日

井上清恒ほか，生物，実教出版，昭和38年1月25日

桑原万寿太郎・加藤陸奥雄・藤茂宏ほか，新生物 改訂版，実教出版，昭和47年1月25日

藤井隆・林孝三ほか，生物Ⅰ，東京書籍，昭和49年2月10日

三輪知雄・丘英通・渡辺格・市村俊英ほか，三省堂生物Ⅱ 三訂版，三省堂，昭和56年3月30日，
再版

篠遠喜人ほか，生物Ⅱ 生命の探究2，教育出版，昭和51年1月20日

江原有信・鈴木恕・千原光雄ほか，生物 改訂版，大原出版，昭和61年1月20日

中山伊佐男・村杉幸子・広井敏男ほか，生物 改訂版，実教出版，昭和61年1月25日，改訂版

水野丈夫・小林弘・北原隆・木原弘二ほか，生物の世界 [ⅠA]，東京書籍，平成9年2月10日

渡辺格ほか，生物ⅠA，三省堂，平成9年3月30日，4版

水野丈夫・原襄・石川統ほか，生物ⅠB，東京書籍，平成13年2月10日

渡辺格ほか，生物ⅠB，三省堂，平成6年3月30日

水野丈夫・石川統・岩槻邦男・重井陸夫ほか，生物Ⅱ，東京書籍，平成14年2月10日

太田次郎・丸山工作ほか，高等学校生物Ⅱ 改訂版，新興出版社啓林館，平成10年12月10日

石川統・浅島誠ほか，生物Ⅰ，東京書籍，平成19年2月10日

田中隆荘ほか，高等学校改訂生物Ⅰ，第一学習社，平成19年2月10日

川島誠一郎ほか，高等学校生物Ⅱ，数研出版，平成19年1月10日

田中隆荘ほか，高等学校生物Ⅱ，第一学習社，平成19年2月10日

第 3 章

生活環を題材とした web 教材の開発

第1節 コンピュータでの使用を目的とした教材の開発

1. 研究の背景

本章では、教材開発研究の特質から、まず「背景」として現状の学習内容について具体的に示す。すると、平成10年度の学習指導要領の改訂において、中等教育段階の生物学習の内容として、「種子をつくらぬ植物」が内容精選の対象となり（文部省 1998, 1999）、具体的には、中学校では「種子をつくらぬ植物として存在を指摘する程度にとどめ」られるようになったことが挙げられる。一方、高等学校の「生物」を冠する科目を見ると、生物Ⅰで「生活環」の取り扱いが少なくなったために、シダ植物やコケ植物の生活環を世代交代として考察しにくくなっており、生物Ⅱでは分類の単元において、代表的な分類群に属する植物を学習することになった。この学習指導要領の改訂からは、学習指導要領はミニマム・エッセンシャルズであると解釈される考えも導入され、その発展的内容として中等教育においてどこまで「種子をつくらぬ植物」を教材として扱うかを早急に検討する必要が生じており、その結果、学習指導要領の一部改正を経て、概要程度ではあるが記載が行われるようになった。

これら「種子をつくらぬ植物」のうち、コケ植物を教材として扱った研究報告は3報（山口ら 1990, 畦 2001, 畦 2003）ある程度で、比較的少ない。また、コケ植物に属する蘚類と苔類を比較すると、苔類の方が材料として扱われる機会が少ない。これについては、身近にあるコケ植物の種類、蘚類または苔類に属する種数の差、それぞれを扱う研究者数の差など、さまざまな要因が考えられる。このように、コケ植物を材料とした教材研究や教材開発はあまり進んでいない。特に、中等教育段階の教科書では、これまでスギゴケ（蘚類）とゼニゴケ（苔類）が並列して扱われてきたが、これらのうちで苔類はその傾向が強く、教材としての特性の検討とその特性を活用した授業方法の開発が必要である。

最近では、ICT（Information and Communications Technology）が著しく発展している。学校現場での「コンピュータの活用」は以前にも増して唱えられるようになり、インターネット上で使用できる教材は、需要もコンテンツも増加してきた。生物教育においても最近の論文では、コンピュータを活用したさまざまな研究が見られ、情報処理機能を利用した植物検索用データベースの作製とその実践では多くの成果が上げられており（大川 1997, 1999, 2000, 2001～2002, 大川・岡崎 2001）、シミュレーションソフトとして開発された中学校向けの遺伝教育ソフト（兼井・川上 1998）などの実践報告もある。中でもインターネットを利用した研究としては、科学者とその業績を題材とした web サイトの開発と実践（三石ら 1999）や、植物の生殖を題材とした web サイトの開発（大鹿・池田 1997）、植物を材料に用いた実験観察を題材とした web サイトの開発と評価（大鹿ら 2001）がある。インターネットで配信できる教材サイトを作製して利用する利点として、内容の容易な更新、同時性、双方向性などが明らかとなっている（大鹿ら 2001）。

以上の他に、最近では中学校や高等学校の教員によって構築された web サイトが教材として配信されている。しかし、それらの内容は、開発者が行った授業を実践事例として紹介したものが多く、授業の進度や地域性の違いなどのさまざまな理由によって、教材としての活用の自由度が少ないものも見られ

ることがある。

2. 目的

本節では、まずコケ植物をどのように教材として活用する可能性があるのかを検討するため、コケ植物の中でも典型例であるゼニゴケについて、教材としての特性を明らかにする。それをもとにして、中等教育段階の生徒にコケ植物の生活環を理解させるのに有効な web 教材の開発を行う。この教材の開発に際しては、第2章で検討した結果もふまえて、学習指導要領でも掲げられている「コンピュータの活用」を考慮し、インターネット上で使用可能でありながら、観察・実験に利用できる教材とした。

3. 材料の選択とその教材としての特性

材料には、中等教育段階の教科書などにコケ植物の典型例として掲載され、一般にもなじみがあり、比較的簡単に採集できるゼニゴケ (*Marchantia polymorpha* L.) およびその近縁種などを用いた (表3-1)。

表3-1 開発した教材で用いたコケ植物とその用途

名 称	学 名	分 類	用 途
ゼニゴケ	<i>Marchantia polymorpha</i> L.	苔 類	中心的材料
フタバネゼニゴケ	<i>M. paleacea</i> Bertol. var. <i>diptera</i> (Mont.)	〃	分類・採集
ケゼニゴケ	<i>Dumortiera hirsuta</i> (Sw.) Nees.	〃	〃
ジンガサゼニゴケ	<i>Reboulia hemisphaerica</i> (L.) Raddi	〃	〃
ジャゴケ	<i>Conocephalum conicum</i> (L.) Lindb.	〃	〃
ヒメジャゴケ	<i>C. supradecompositum</i> (Lindb.) Steph.	〃	〃
ウロコゴケ	<i>Heteroscyphus argutus</i> (Reinw., Blume & Nees) Schiffn.	〃	概論的説明
スギゴケ	<i>Polytrichum juniperinum</i> Willd. ex Hedw.	蘚 類	〃
ツノゴケ	<i>Phaeoceros</i> Prosk.の一種	ツノゴケ類	〃

このうち、ゼニゴケの教材としての特性としては、以下のように5点を挙げる事が可能である。このため、教材開発を行う際の中心的な材料としてゼニゴケを選択した。

【 ①広い分布と容易な雌株・雄株の外部形態による区別 】

日本では北海道から九州にかけて広く分布し、住宅地の建物の陰など湿度の高い場所で簡単に見つけることができる。雌株 (図3-1A) と雄株 (図3-1B) が混じらずに分布していることが多く、一般に晩春から初秋にかけてそれぞれに雌器床と雄器床が形成されるため、年間を通して雌株と雄株を区

別して採集することが可能である。このため、生徒に行わせる観察・実験の材料として十分な量を入手することが可能である。また、畑や建物の付近など人為的な攪乱が生じる不安定な場所の方が、遷移が進んでいる安定な場所よりも多く見かけられる。この点でも身近な植物であり、採集しやすい。

【 ②簡単な生体構造 】

葉状体（図3-2A）と呼ばれる配偶体の本体（地表を這っている部分）は、その上面に気室孔（図3-2B）を有する。気室孔は、被子植物などの高等植物が有している気孔とは異なって開閉はしないが、内外のガス交換が行われている。また、葉状体の下面には、主にからだを土壤に固定するはたらきのある仮根（図3-2C）が伸びている。高等植物の根には水分や栄養分を土壤から吸収する機能があるが、仮根ではこの機能は明確になっていない。葉状体の縦断切片（図3-2D）を作製すると、横に連なった細胞が層状になっているのが観察できる。高等植物の維管束のように発達した内部構造ではないことが分かる。このため、学習の場面において維管束植物（被子植物、裸子植物、シダ植物）の組織と比較観察を行うことで、からだのつくりが簡単で維管束をもたないというコケ植物の系統的かつ進化的な特性を、観察によって直接的に確認することができる。

【 ③有性生殖器官や生殖細胞の観察 】

①に記したように、雌株には雌器床が、雄株には雄器床が晩春から初秋にかけて多数形成され、容易に採集可能である。これらの雌器床・雄器床の縦断切片を作製して観察すると、それぞれ造卵器や造精子器という有性生殖器官を観察することが可能である。

雌株を材料として用いると、造卵器の自体は細胞が一層で透明であり、その腹部の中に存在する卵細胞（雌性生殖細胞）が外部から明瞭に観察できる。若い造卵器や成熟した造卵器を観察することによって、卵細胞の成熟の度合いを比較して観察することができる。これについて、具体的な観察結果として図3-3に示す。

若い時期の雌器床（図3-3A）は、葉状体からの高さが5～6mm、傘の部分の直径が3mm前後で、指状の突起が完全には枝分かれしていない。その時期の雌器床の縦断切片を作製して観察すると、とっくり形で緑がかった黄色をした造卵器（図3-3C）が、雌器床の指状の突起の付け根部分に並んでいる。また、卵細胞も造卵器の細胞と同じような色をしている。この造卵器の長さは100～200 μm で、先端の頸口と呼ばれる部分が閉じており、腹部のほとんどを卵細胞が占めている。頸口が閉じているために、精子は造卵器の中に進入できず、卵細胞は成熟していても未受精の状態である。成熟が進んだ雌器床（図3-3B）は、雌器托（柄の部分）が伸長し、指状の突起がはっきりと枝分かれして広がっている。なお、このような雌器床は教科書などによく掲載されており、典型的な雌株のイメージとしてとらえられているものである。この時期の雌器床が有する造卵器（図3-3D）を観察すると、造卵器腹部の細胞は濃い黄色になり、頸部の細胞は細胞内含有物が抜けて透明化している。ほとんどの造卵器で頸口が開いており、ここに掲載した造精子器が有する卵細胞では受精が行われていなかったため、卵細胞は収縮し、赤黒く変色している。以上のことから、受精に適した時期の卵細胞を観察するためには、図3-3Aのような若い時期の雌器床を用いた方が効率的であると言える。

一方、雄株では、雄器床の縦断切片を作製するだけで、造精器を観察することができる。雄器床の形成の程度と精子の成熟の度合いに関連があることは、観察によって確認できる。これについて、具体的な観察結果として図3-4に示す。

若い時期の雄器床(図3-4 A)は、円盤状になった先端の中央部分が盛り上がっているように見え、光沢のある薄緑色をしている。この時期の雄器床の縦断切片(図3-4 C)を作製すると、ラグビーボール形をした造精器の内部には多数の精細胞が形成され、乳白色をしている。中央部分に位置する造精器は黄色がかっているが、これは乳白色の精細胞をすでに放出したためである。そのすぐ左側の造精器は濃い乳白色をしており、成熟した精細胞を放出する直前の造精器であることが分かる。さらにその左側の造精器は薄い乳白色をしており、まだ精細胞が成熟していない段階の造精器である。このように、若い時期の雄器床の内部を観察すると、中央の造精器から放射状に、段階的に精細胞が形成されていくことが確認できる。成熟が進んだ雄器床(図3-4 B)は、雄器托(柄の部分)が伸長し、円盤状になった先端部は光沢が無くなっており、その形状は平らで、縁の部分が反り上がっている。なお、このような雄器床は教科書などによく掲載されており、典型的な雄株のイメージとしてとらえられているものである。この時期の雄器床の縦断切片(図3-4 D ; 片側のみを撮影)では、既に精細胞が放出され、空洞化した造精器の周囲の細胞が赤紫色に変色している。以上のことから、若い雄器床と成熟した雄器床を比較すると、精細胞および精子の観察に適している雄器床は、図3-4 Aのような若い時期のものであると言える。

精子(雄性生殖細胞)は、若い時期の雄器床の上面に水を直接滴下するだけで観察できる。この操作によって、多数の精細胞が水の中に放出され、精子が精細胞の膜を破って水中に泳ぎ出す。これは、自然界においては雄器床に降雨による雨粒が当たることによって生じる現象を模して、人工的に精細胞の放出を促す方法である。このように、精子を観察する方法は簡単であり、精子が遊泳しているところは光学顕微鏡でも観察することが可能である。これについて、具体的な観察結果として図3-5に示す。

図3-5 Aは、水を滴下した雄器床を上から観察したものである。矢印で示したような乳白色の部分は放出された精細胞が塊となっているもので、精細胞塊と呼ばれ、肉眼でも観察できる。この写真の雄器床が有する造精器のうち、円状に並んだ十数個の造精器から精細胞塊が放出されていることが分かる。これは、前述のように、中央の造精器から放射状に、段階的に精細胞が形成されていくためである。その円の内側には赤い斑点が見られるが、これは精細胞を放出した後の造精器の周辺細胞の赤変を示している。図3-5 Bは、図3-5 Aと同じ若い時期の雄器床の厚めの縦断切片を水で封入し、プレパラートを作製して顕微鏡観察したもので、精細胞の放出を横から観察した像になっている。雄器床の中にある2つの造精器の精細胞放出孔から、精細胞塊を放出している様子が観察できる。図3-5 Cは、放出された精細胞塊をしばらく放置し、精細胞の膜を破って泳ぎだした精子を酢酸オルセインで染色して観察したものである。この観察方法は、後述の教材『コケ植物の生活』の中で、「精子の観察(染色する方法)」として掲載している。湾曲した精子本体および2本の鞭毛が鮮明に染色され、精子の形状を詳細に観察することができる。以上のことから、若い雄器床は造精器中に精細胞を多く有しており、活発

に運動する精子を効率よく観察できると言える。

【 ④無性生殖の観察 】

「種子をつくらぬ植物」の最も重要な特徴の1つとして、胞子をつくって増えるという特性がある。この観点からも、コケ植物の中でもゼニゴケは胞子形成の観察に最も適した植物である。秋から冬にかけて、成熟した雌器床の裏面では、肉眼で観察可能な直径 0.5 mm 程度の胞子のうが形成され、成熟すると中から黄色い粉状の多数の胞子が、らせん状の弾糸によって散布されるのが観察できる。

さらに、ゼニゴケの場合は無性芽による無性生殖も行っている。無性芽は、葉状体の内部で形成され、杯状体を通して土の上に播かれ、成長して葉状体になる。無性芽は年間を通して採取でき、土や簡単な培地で培養するだけで無性生殖が観察できる。成長を確認しやすいのは表 3-2 に示した方法で、寒天培地を用いた無菌培養である。

表 3-2 ゼニゴケの無性芽を材料にした培養の手順

1. 採取	傷つけないようにピンセットで杯状体から採取する
2. 滅菌	70%エチルアルコール (20 秒) → 0.3%アンチホルミン (20 秒)
3. 洗浄	滅菌水 (2分×3回)
4. 植え付け	直径 9 cm のペトリ皿に、無性芽を 4~5 個植え付ける
5. 培養	25°C, 約 2,500 lx, 24 時間連続光

その他にも培地として、表 3-3 に示したものが挙げられる。

表 3-3 ゼニゴケの無性芽を材料にした培地の例

<input checked="" type="checkbox"/> Knop II 培養液 + 2%スクロース + 1%寒天	
<input checked="" type="checkbox"/> 1/10MS 培養液 + 2%スクロース + 1%寒天	
<input type="checkbox"/> 川砂	
<input type="checkbox"/> 脱脂綿	
<input type="checkbox"/> 乾燥させたミズゴケやハイゴケ	
<input type="checkbox"/> 植木鉢 (素焼き)	<input type="checkbox"/> 印は簡易的な培養法で、水を含ませて使用した

これ以外にもさまざまな培地を検討した結果、最も早く無性芽から葉状体が成長したものは、Knop II 培養液に 2%スクロースを加え、1%寒天で固めたものであった。その結果を図 3-6 に示す。図 3-6 A は実験に用いた無性芽である。両側にくぼんだ部分があり、その付け根が成長点になっている。培養を開始して 1 週間後 (図 3-6 B) には薄い葉状体が伸長し、寒天培地の中に仮根が伸長していた。2 週間後 (図 3-6 C) には、肉厚になった葉状体が観察できた。3 週間後 (図 3-6 D) には、成長した葉状体が両側に観察でき、さらにそれぞれ 2 方向 (写真では上下) に分岐して伸長していくことが

確認できた（二分岐）。それぞれの先端部のくぼみからは、さらに2方向に分岐・伸長することが予想できた。4週間後（図3-6E）には葉状体がより堅固になり、親と同じような形態になった。このころは若い杯状体（図3-6F）が形成され、杯状体を解剖すると、体内で新しい無性芽が形成されていた。

このように、無性芽による無性生殖は、簡単かつ明確に、植物が成長する様子が確認できるものである。また、身近にある材料を培地として用いた簡易的な培養も行うことができるが、栄養分が不足するために、十分な成長は見られなかった。

【 ⑤植物の進化を理解する上での重要性 】

植物の進化を理解する上で重要な観点の1つとして、「水中生活から陸上生活への移行」が挙げられる。これに関して、水中の植物としての藻類と原始的な陸上植物としてのシダ植物の双方と直接的に関係しているコケ植物は、植物の進化を学習する上で重要な位置にある。表3-4は、ゼニゴケの特徴を抽出し、藻類およびシダ植物が同じ特徴を有しているかどうかを調べたものである。特徴を有している分類群には黒い丸（●）を付した。その結果、形態は藻類と同じような特徴を有しているが、水分環境や生殖に関しては同じ陸上植物であるシダ植物と特徴を共有していることが分かった。このことから、コケ植物は藻類とシダ植物の中間に位置することが確認できる。また、前述のように観察が容易なゼニゴケは、生活環境、からだのつくり、生殖の様式などの点で水と深い関わりをもつ植物であることを理解しやすく、進化の上で水中から陸上への分岐点に位置する植物であることをとらえやすいと考えられる。

表3-4 コケ植物の特徴と、シダ植物および藻類との比較

コケ植物の特徴		藻類	コケ植物	シダ植物
[形態]	葉・茎・根の区別がない	●	●	
[形態]	維管束が発達していない	●	●	
[形態]	胞子体が配偶体に依存		●	
[生態]	地表近くに生育		●	
[生態]	多湿なところに分布		●	●
[生殖]	造卵器・造精器が多細胞		●	●
[生殖]	受精に水が必要	●	●	●

4. 教材開発の方法と教材の構成

ゼニゴケには上記第3項で論じたようなさまざまな特徴がある。そこで、これらの特徴を生かすことができる教材を開発する必要があると考えた。開発するにあたり、ハード面では、生徒自身のコンピュータ操作が可能であること、観察・実験の補助として用いることによって、生活環の学習の中でも生殖

について生徒が理解を深められることなどを考慮した。ソフト面では、生活環の中でも重要な位置にある有性生殖を中心に据えて、さらにゼニゴケの外部形態や無性生殖など、多様な観点から学習できるように考慮した。題名は『コケ植物の生活』として、HTML ファイルの形態で作製し、所属研究室のサーバーコンピュータからインターネット上に、web サイトとして配信した（2000年7月23日公開，教材 URL：<http://scied123.ed.hiroshima-u.ac.jp/koke/index.html>）。

教材の構成および内容を概観すると、図3-7のようになる。表紙となるトップページからつながって、「コケ植物とは?」「苔類とは?」「ゼニゴケとは?」という概説的なページを設けた。「コケ植物とは?」ではコケ植物の形態学的特徴を学習できるようにして、蘚類、苔類、ツノゴケ類の分類も説明した。「苔類とは?」では苔類の特徴を、一般的に注目されやすい蘚類と比較して抽出し、説明した。「ゼニゴケとは?」では近縁種と比較したゼニゴケの形態的特徴を示し、その生活環について概説的に説明を加えた。また、トップページからは、教材の主要部となる「ゼニゴケの生活」「ゼニゴケの観察方法」「ゼニゴケの見分け方」の3つのメインページにも接続した。図3-7の下部に示した3つの枠で囲んだ語句は、それぞれを説明項目としてページとして設けた。これらは、前述の3つのメインページの下位階層のページとなっている。以下、教材の主要部について詳述する。

【 「ゼニゴケの生活」 について 】

図3-8に示したメインページでは、中央にゼニゴケの生活環を配置した。これは、教科書や副読本に掲載されている生活環を原型としつつ、生活環をスムーズにつなぐために、より詳細に語句を用いて図で表した。また、教科書ではあまり掲載例のない、無性芽による無性生殖の生活環も並べて掲載した。

生活環の図はクリックブルマップとなっており、図3-8の生活環に示したゴシック体で示した「配偶体」「雌器床」「精子」「無性芽」などの項目は、リンクした他のページへ移動するボタンとしての機能を持たせた。その各名称をクリックすることで、それぞれの項目についての画像と解説を掲載したページへ進むことができるようにした。それぞれのページの下部には、関連した項目へ進むことができるボタンも備えた。このため、特定の項目だけを学習するのみでなく、生活環の流れに沿って項目を系統立てて学習することも可能である。また、本教材から得られる知識と、実物の観察が連携できるように、生殖に関わる「卵細胞」、「精細胞」、「精子」の各ページからは、後述する「ゼニゴケの観察方法」の内容にも進むことができるようにした。

さらに、生活環の中に赤枠で囲んで示した「有性生殖」と赤枠で囲んで示した「無性生殖」の項目からも、それぞれを解説したページへと進むことができるようにした。なお、図3-8には「無性生殖」が2カ所あるが、そのリンク先として「胞子による無性生殖」と「無性芽による無性生殖」とを区別して作製した。

【 「ゼニゴケの観察方法」 について 】

視聴覚教材の難点として、提示される画像や文章による知識の取得のみに学習が偏りがちになり、実際の現象とは異なるイメージを学習者に抱かせる可能性が挙げられる。このことはコンピュータ上で使

用する形態である本教材にも当てはまるため、生徒の正確な理解を促すためには、観察・実験などを通して実物に触れる機会を生徒に与える必要がある。

このため、本教材ではゼニゴケを材料とした観察の方法を取り扱うこととした。メインページには5種類の観察方法の題名を並べ、そこからそれぞれのページへと進むことができるようにした。図3-9では、観察方法の項目の1つである「卵細胞の観察」について例示しているが、観察方法の各ページはすべて、材料の選択のめやす、顕微鏡を用いた観察方法、観察結果などについて写真と解説で表した。その際、観察手順をできるだけ細かく分けて、1つの写真が1つの手順を表すように工夫した。このページを参考にして、生徒は観察手順を確実に再現できると考えられる。

掲載した観察の5項目は、いずれも、生命の連続性や生活環の学習に重要である生殖に着眼し、生殖に関わる細胞（卵細胞、精細胞、精子）を観察対象として選定した。「卵細胞の観察」では新鮮な卵細胞を生きた状態のまま観察させることを目的として、最適な時期の雌器床の選択方法や切片作製の方法などに重点を置いて解説した。「精細胞の放出の観察（上から）」では雄器床の表面から精細胞塊が放出される様子を、自然状態に近い方法で観察させることを目的として、最適な時期の雄器床を選択する方法に重点を置いて解説した。「精細胞の放出の観察（横から）」では、その様子を詳細に観察させることを目的として、切片作製の方法などに重点を置いて解説した。「精子の観察（染色なし）」では、運動する精子の様子を観察させることを目的として、精子を効率よく採取する方法に重点を置いて解説した。「精子の観察（染色あり）」では精子の形態を詳細に観察させることを目的として、酢酸オルセインを用いた染色の方法に重点を置いて解説した。

上記「「ゼニゴケの生活」について」に示したように、各観察方法のページは、「ゼニゴケの生活」に含まれる関連した各段階のページからも進むことができるようにした。具体例を挙げると、「精子」のページの下部には、「精子の観察（染色なし）」、「精子の観察（染色あり）」のボタンがあり、それぞれの観察方法を説明したページに直接進むことができるようにした。このため、観察対象に関する知識と実際の観察が連携しやすいようになったと考えられる。

【 「ゼニゴケの見分け方」 について 】

植物の分類学的な同定は、分類のキーとされる特徴的な形質（器官など）を比較して行われる。苔類に関しては、雌器床や雄器床の形態の違いによって種が同定されてきた。しかし、雌器床や雄器床が形成される時期や形成期間の長さは種によって異なるため、採集の際にどの種も雌器床や雄器床が形成されているとは限らず、それぞれの相違点を比較しながら採集することは困難である。そこで、配偶体の本体であり、年間を通して常に観察できる葉状体の外部形態をめやすにして、ゼニゴケとその近縁種を比較・分類して採集することを目的として、「ゼニゴケの見分け方」を掲載した。

この「ゼニゴケの見分け方」では、日本に広く分布している種であるゼニゴケ、フタバネゼニゴケ、ケゼニゴケ、ジンガサゼニゴケ、ジャゴケ、ヒメジャゴケの6種類を取り扱うこととした。これらを説明するにあたって、ゼニゴケでは中肋（葉状体の中央部）に黒い線があること、フタバネゼニゴケでは葉状体が扁平で成熟すると縁の部分が紫色になること、ケゼニゴケでは葉状体の表面に毛のようなものが密生しているこ

と、ジンガサゼニゴケでは葉状体が小さく気室孔が密集して見えること、ジャゴケでは大きな気室孔が気室の壁で多角形状に区画されていること、ヒメジャゴケでは葉状体が小さく気室孔がはっきりしないが多角形状の区画が明瞭であることなどについて、葉状体の外部形態のみで上記の6種を同定可能な特徴として説明した。

図3-10に示したのは、「ゼニゴケの見分け方」のメインページである。ここでは、それぞれの写真と種名および大まかな解説を一読できるように構成した。写真はリンクしたページへのボタンとなっており、写真をクリックすることで、それぞれの種のページへ進むことができるようにした。種のページには、各種の写真の拡大版、種名および詳細な解説を掲載した。この解説の大部分は葉状体の外部形態について記述し、フィールドで直接活用することを想定して、肉眼で観察できる程度にとどめた。また、解説文のほとんどは実際に行った観察結果にもとづいて作成し、一部には、図鑑などに記載されている一般的な解説（井上 1969, 服部ら 1972）を、引用部分が明確となるように付け加えた。

教材開発に際して、この「ゼニゴケの見分け方」は、本教材で取り扱う観察・実験の材料がゼニゴケであるため、それを他種と区別して採集させる目的で作成している。しかし、その他の種も観察・実験の材料として使用できるため、観察・実験の機会が増加する可能性がある。そこで、各種についてどのような観察・実験が可能であるかを列挙すると、まず、フタバネゼニゴケはゼニゴケよりも堅固な無性芽を形成するために培養の材料として用いやすく、無性生殖の観察に適している。ケゼニゴケは精子が大きいため観察を通して精子の動きを追跡しやすく、また、比較的大きな胞子のうを形成するために胞子の観察にも適している。ジンガサゼニゴケは胞子の観察に適している。ジャゴケは、ケゼニゴケと同じく精子が大きいため観察を通して精子の動きを追跡しやすく、また、比較的大きな胞子のうを形成するために胞子の観察にも適している。ヒメジャゴケは葉状体の頂端部に無性芽を形成するため、無性芽によって無性生殖が行われることを理解させるのに適している。総じて、ゼニゴケと似通った外部形態をしているが、細部は異なり、生殖の方法も異なる部分があるため、複数の種を比較観察することで相違点を見つけ出させて、生物の多様性について学習するのに適していると考えられる。

5. 開発した教材の特徴

前述第3項のゼニゴケの特性や前述第4項の教材の構成をふまえて、本教材の授業実践の場面における長所を考えると、以下の4点にまとめることができる。これらによって従来の生活環の学習における問題点（図示のみ、羅列的、実物がないなど）を解決することができると考えられる。

【 生活環と観察の関連づけ 】

生活環を学習するにあたって、これまでは教師による図示や説明といった板書中心の授業がほとんどであった。教科書では、シダ植物やコケ植物の胞子のうや胞子を観察させるものが見られるが、生活環の中で最も重要な事象であるはずの、受精に関係する卵細胞や精子が観察対象として取り上げられることは少なかった。このように、生活環の学習は観察と分離されて行われることが多かったと考えられる。

これに対し、本教材は「生活環」「観察方法」「見分け方」によって構成されている。特に、受精に関連するものを観察対象として設定していること、生活環のページと観察方法のページをリンクにより直接つなげていること、ゼニゴケを見分けることで採集を容易にしていることなどから、本教材の使用によって、生活環の学習と観察とを密接に連結させることが可能であると考えられる。特に、精子の観察は植物の中でもゼニゴケが最適な材料と見なすことができ、観察が容易で生徒実験として有効である。

【 画像による生活環の学習 】

生活環の学習は、板書での図示あるいは教科書や副読本の図版を用いた説明が多く、写真が用いられることがほとんどない。このため、生徒は実物をイメージするのが困難であると考えた。

本教材中の「ゼニゴケの生活」では、本論で観察・記録した結果を写真画像として用いている。また、典型的な写真のみでなく、生殖などの観察に適切な時期のものを写真で紹介している。このため、描画が主体のこれまでの図よりも、実物に対する具体的なイメージを与えることが可能であると考えられる。

【 観察の場面での補助的な使用 】

web 教材は普通教室やパソコン教室での使用に限られることが多く、水や染色液などの液体を用いることが多い生物の授業では使用が困難であった。このため、生物に関係する web 教材では、授業実践事例集や写真図鑑のような形態を取るものが多かった。

本教材中の「ゼニゴケの観察方法」では、一連の観察手順と結果を写真と解説で詳細に示している。この各々のページを印刷することによって、観察の場面での補助的な使用ではあるが、観察マニュアルとして用いることが可能である。

【 年間を通した苔類の分類・採集 】

コケ植物の観察が行われない一因として、分類できないために採集が困難になっていることが挙げられる。特に、苔類のゼニゴケのなかまは形態的によく似ている上に小さいため、教師や生徒は分類が困難であると感じていると考えた。

本教材中の「ゼニゴケの見分け方」では、ゼニゴケのなかまの本体である葉状体を基準にして簡単な分類を行っている。葉状体はほとんど通年して新鮮な状態で採集可能であり、これによって材料の確保が容易になると考えられる。ゼニゴケを確保することができれば、上記の「ゼニゴケの観察方法」をマニュアルとして用いた観察を行うことが容易となる。

6. 考察

本論で開発した教材は、web 教材の形式でまとめているもので、学校現場におけるコンピュータ端末や通信環境の整備に伴って、活用される機会が増加する可能性が高い。また、題材として選択したコケ植物の生活環は、生物教育の重要な柱である「生命の連続性」を、観察によって実物に接しながら理解できるものである。特に、ゼニゴケの教材としての特性および教材の特徴を活用することによって、植物の生殖に対する深い理解が得られるものとする。

第2節 携帯電話での使用を目的とした教材の開発

1. 研究の背景

本章第1節で示したように、昨今では多くの教師がインターネットを介したコンピュータの使用による効果的な教材に注目している。そこで、本論でもコンピュータ上で使用可能な教材の開発を行った。

しかし、コンピュータの欠点として、購入や管理に関わる費用が意識されなければならないことや、デスクトップ型コンピュータでは移動性が少ないことなどが挙げられる。具体的には、平成11年度までにすべての公立小中高等学校のコンピュータ教室に数十台のコンピュータを設置し、それを使用した授業が行われており、最近では普通教室における数台のコンピュータの設置や校内でのLAN(Local Area Network)の整備が考えられているが(文部省 2000)、室内での情報の獲得やデータ処理のみに使用が限定される可能性が高い。また、コンピュータを生物の授業に用いる際に、観察・実験を行いながらの利用や、同時性を生かした利用が試みられていないことが報告されている(大鹿ら 2001)。これについては、関連する技術が発展したことによって、さまざまな試みが行われつつある。

特に、理科教育においては、教室内において行われる授業の中でコンピュータを使用することにより、最新かつ先端的なさまざまな情報を収集できること、実験結果などのデータ処理が容易にできること、微細な現象や危険な現象をシミュレーションによって視覚的にとらえることが可能であることなど、学習に多くの利益がもたらされることが期待される。しかし、理科の中でも生物の観察・実験の場面においては、水や染色液などの液体やガスバーナーなどの火気の都合上、観察・実験と並行してコンピュータを使用する環境を整備するには困難なことが多い。

一方、最近の情報通信の社会的動向として、ラップトップ型のコンピュータやPDA(Personal Digital Assistant)など、携行が可能なコンピュータが広まっている。中でも、携帯電話通信サービスを展開する株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ(以下、NTT DoCoMoと略す)は、1999年に携帯電話からインターネットに接続するサービスを開始した。今日では、携帯電話からのインターネット接続サービスは、他の会社も行うようになり、一般的なものとなっている。このような携帯電話は中等教育段階の生徒の間にも急速に広まってきた。携帯電話を所持する生徒は、主に通話やメール送受信の機能を使用しているが、インターネットに接続してwebサイトを閲覧できる携帯電話を所有しているのが現状である。

このような携帯電話をインターネット接続端末であるモバイルメディアとしてとらえた場合、それに対応した理科教材の開発は、化学反応過程のシミュレーション、自然図鑑、月齢表などいくつかのものがある。しかし、携帯電話の小さいモニター画面で使用する適性を満たさないもの、カラー画面を活用できていないもの、携帯電話所有者の手元にあるという移動性・即時性の利点を生かしていないものがほとんどで、学校の授業の場面で活用できる教材は少ない。

このため、携帯電話の特長生かした教材を作成し、学習の場面での可能性を高めることが急務であると考えられる。

2. 目的

上記第1項で明示した、コンピュータ上で使用できるweb教材が有する課題、既製のモバイルメディア用のweb教材が有する課題、中等教育段階の生徒が所有する携帯電話の状況に加え、本章第1節において開発したweb教材『コケ植物の生活』と内容を連動させることを考慮して、独自のモバイルメディア用のweb教材の開発を試みた。具体的には、本論の中心的な材料であるゼニゴケおよびその近縁種について、カラー画像を用いた外部形態による比較・分類が可能であること、生徒自身が調査・採集する現場で使用可能であることを考えて、携帯電話に搭載されているインターネット接続機能を活用した、ゼニゴケの採集を支援するweb形式のモバイルメディア用の教材を開発した。

3. 材料の選択

採集・分類が目的であるモバイルメディア教材では、コンピュータ用のweb教材『コケ植物の生活』にある「コケ植物の見分け方」の部分と同様に、ゼニゴケ、フタバネゼニゴケ、ケゼニゴケ、ジンガサゼニゴケ、ジャゴケ、ヒメジャゴケの6種を材料として選定した。苔類の本体である葉状体から、その一片を用意し、その拡大写真を撮影して画像ファイルとして記録した。

4. 開発の方法

本教材の作成の時点で、日本にはNTT DoCoMo, J-PHONE 株式会社（現ソフトバンクモバイル株式会社；以下、J-PHONE と略す）、KDDI 株式会社（以下、この会社の携帯電話事業を指す au と称す）の3つの主要携帯電話通信サービス会社があった。3社はインターネット接続サービスを展開しており、それぞれ i-mode, J-sky（現 Yahoo! ケータイ）、ez-web と称されていた。これらのインターネット接続サービスは、web ページの記述言語やディスプレイ上の画像ファイル表示形式が異なり、さらには、1ページあたりの情報容量の上限も異なっていた。このため、開発する前段階として、上記の携帯電話通信サービス会社3社が各々に採用しているweb ページの記述言語などを調査した（表3-5）。

表3-5 日本の主要携帯電話通信サービス会社におけるインターネット接続関連事業の比較

会 社 名	NTT DoCoMo	J-PHONE	au
インターネット接続サービス	i-mode	J-sky	ez-web
用いられる記述言語	C-HTML	HTML, MML	HDML
画像ファイル表示形式	BMP	PNG	PNG
1ページあたりの容量上限	10KB	6KB	---*
教材の閲覧に関わる最小費用	¥180	¥150	¥60

*記述言語の特性によって単純に計算できなかった

NTT DoCoMo では、記述言語として C-HTML (Compact Hyper Text Markup Language) を採用していた。これは、通常のコンピュータ用の web ページの記述言語である HTML (Hyper Text Markup Language) を簡素化したものであるため、両者の互換性は高いものとなっている。J-PHONE は、HTML と MML (Mobile Markup Language) を採用していた。MML は HTML をモバイル用に改変したものであり、両者はほぼ同様のものとなっていた。このため、NTT DoCoMo と J-PHONE の携帯電話で利用できる教材を開発するにあたっては、通常のコンピュータ用 web ページの作成によく用いられるコンピュータソフトである「Notepad」を使用することが可能であった。しかし、両社の 1 ページあたりの情報容量の上限が異なるため、画像ファイルなどの情報量を調整しつつ、異なる教材ファイルを作成した。一方、au では HDML (Handheld Device Markup Language) を採用していた。HDML は HTML との互換性が無いため、au から無料で提供されている、HDML 方式の web ページを作成するためのソフト「EZ@EZ (ver.1.0-c)」を教材の作成に使用した。

以上のことから、それぞれのインターネット接続サービスは異なる部分が多いことが分かった。このように、それぞれに適合する web ページを作成する必要があり、同じ内容で 3 つの異なる電子ファイルとして教材を作成した。3 つの教材ファイルの名称は、『コケ植物の生活 i-mode 版』、『コケ植物の生活 J-sky 版』、『コケ植物の生活 ez-web 版』とした。

これらの教材は、実際の観察の際に記録した画像ファイル (写真およびスケッチ)、解説文、リンク用のボタンにより構成した。携帯電話のディスプレイのサイズや、1 ページあたりの情報容量の上限を考慮しながら、画像ファイルを調整して、ページはできるだけ簡素なデザインにした。

5. 教材の特徴：構成と使用方法

教材の構成を図 3-11 に示す。表紙となるトップページ、コケ植物を解説したページ、画像ページおよび検索表などによって構成した。本章第 1 節で開発したコンピュータ用の教材とは異なる点として、内容をコケ植物の分類・採集に特化したこと、ページの構成を簡素化したことが挙げられる。

教材の主な使用法は以下の通りである。教材使用者がインターネットを介して教材にアクセスすると、まず、トップページを閲覧する。そこからは、コケ植物を解説したページに進み、次に苔類を解説したページに進むことで、これらに関する情報を入手できるようにした。さらに、教材の中心部分であるページ「ゼニゴケのなかまを探そう」(図 3-11 の「探し方」)に進むと、「1 = 写真で探す」(図 3-11 の「写真で検索」)と「2 = 形から検索する」(図 3-11 の「特徴で検索」)の 2 つの選択肢があり、教材使用者がどちらかを選択して確定ボタンを押すと、それぞれのタイトルに準じた探し方ができるようにした。また、選択肢の先頭に付した数字に相当する携帯電話の番号ボタンを押すと、選択と確定の操作が一度にできるようにした。

「写真で探す」(図 3-12)では、6 種類の種名を一覧にして掲載し、そこから前述の操作で各種のページへと進むことができるようにした。各種のページには種名、葉状体を拡大したカラー画像、葉状体の外部形態の説明を掲載した。「形から検索する」(図 3-13)では、使用方法の説明を参照して、ペ

ージ中にある検索キーに対して前述の操作により2択で回答することで、各種のページへと進むことができるようにした。なお、各種のページはどちらの探し方でも到達できるように、内容および教材中の位置づけを同じものにした。

また、コンピュータ用のwebサイトでよく用いられる「もどる（1つ前のページや表紙のページに戻る）」のボタンを、本教材中には作っていない。これは、携帯電話のディスプレイはコンピュータのディスプレイと比較して極端に小さく、画面スクロールを行うとページのどこを閲覧しているのか判断しにくくなること、携帯電話の一般的な操作方法としてメニューキー（十字キーなど）を使用して1ページずつ戻る方法が一般的であることなどを考慮した結果である。

6. 考察

本教材の利点を考察すると、以下の3つのことが考えられる。

【 通年した使用の可能性 】

本来、ゼニゴケ目の形態学的分類は、雌器床や雄器床の特徴を基準にして行われることが多い。しかし、それらは形成される時期や期間が種によって異なるため、複数の種の実物を比較しながら分類することは困難である。また、葉状体の裏側に存在する腹鱗片の形態の相違も分類の基準となるが、これは顕微鏡で観察してようやく違いを判別できる程度の大きさであるため、採集場所における分類基準として用いることは困難である。

一方、本教材ではゼニゴケ目の本体である葉状体の外部形態を分類基準として用いた。葉状体は新鮮な状態でほぼ1年中生育しているため、採集の際に本教材を利用することが年間を通して可能である。具体的には、実物と本教材に掲載された画像との比較、本教材を補助的に用いながらの複数の種の比較など、比較観察を可能にした。

【 あらゆる場所での使用の可能性 】

本教材は、携帯電話のインターネット接続サービスを含む通信機能を利用している。そのため、教材使用者が所有する携帯電話の通信接続圏内ならば、あらゆる場所での使用が可能である。通信接続圏は、現在では都市部や里山をほぼ網羅しており、深い山中以外ではほとんどの場所で使用可能である。しかし、本教材で扱った6種は市街地やその近郊に分布していること、授業における観察・実験の材料に用いるコケ植物の採集を行う上で、山中深くにまで採集場所を広げる必要性が少ないことなどの理由で、通信接続圏の制限による教材の有効性への影響はほとんど無いと考えられる。

また、各種の解説文や検索キーは、実際の観察結果をもとにして、肉眼で観察できる程度にとどめて記載した。これによって、デジタル写真図鑑の閲覧のためにラップトップ型コンピュータを持参しなくても、携帯電話のインターネット通信機能を利用して、採集場所においてゼニゴケのなかまを見分けることが可能となった。

【 携帯電話の普及と使用方法の習熟 】

広島大学附属中・高等学校のPTAが、2001年に同校の全生徒を対象に行った携帯電話についてのアンケート調査では、高等学校において半数以上（男子58%、女子74%）の生徒が携帯電話あるいはPHS（Personal Handy-Phone System）を個人で所有していることが明らかとなった。これについてさらに詳しく調査するために、同年6月に同校2年生のあるクラスの生徒38名を対象に携帯電話についてのアンケート調査を行ったところ、半数以上である20名（53%）の生徒が、インターネット接続機能を搭載した携帯電話を個人で所有していることが分かった。その所有している携帯電話の機種を調べたところ、J-PHONEあるいはauの通信サービスを利用できる機種を所有している生徒が多かった。これは、両者の基本使用料が安価であること、学生用通話料割引プランがあることが関係していると考えられる。

このように、携帯電話は生徒に普及しており、その後さらに普及率が高まり続けると予想できる。また、生徒は携帯電話に搭載されているさまざまな機能を十分に使いこなすことができると経験的に推測できるため、本教材を使用するにあたり、技能的な面で混乱することは無いと思われる。

また、表3-5に示したようにweb教材の全ページのメモリを算出し、教材の使用に関わる費用（通信費）を概算したところ、1社あたり200円以下で使用できることが明らかとなった。教材の使用をグループ単位で行えば、さらに費用をかけずに使用できる。

第3節 開発した教材の提示形態に関する特徴の比較

1. 特徴の抽出および比較

本章第1節および第2節において、それぞれコンピュータ用のweb教材と携帯電話用のweb教材の開発を行った。この2つの教材の特徴に関しては、各節で記述した通りである。本節では、両者の根本的な相違点である提示形態についての特徴を抽出して比較することによって（表3-6）、両者の長所や短所を明確化するとともに、特に携帯電話用web教材の発展性について、理科教育の観点から考察する。

【 使用空間の制限について 】

コンピュータ用web教材をデスクトップ型コンピュータで使用する場合、学校内でコンピュータ設備のある普通教室、特別教室（実験室や演習室など）、コンピュータ室などの室内に使用空間が制限される。その上、理科の場合は実験室を使用することが多く、水気や火気が多いため、実験と並行しながらコンピュータを操作するのは困難である。これは、ラップトップ型コンピュータについても同様であり、こちらは野外にも持ち出しが可能であるが、多くの生徒にとっては、すぐに持参できるものではないと考えられる。

一方、携帯電話は都市部を中心に通信接続圏が拡大され続け、ほとんどの生活空間で使用が可能である。今後、生物教育においては採集や測定など野外で探究的に活動する場面が増加すると予想されるが、

携帯電話のように学習者の手元で操作できるツールを使用した教材は効果的であると考える。

表 3-6 開発した 2 つの教材の提示形態に関する特徴

特 徴	コンピュータ用 web 教材	携帯電話用 web 教材
使用空間の制限	室内に制限されることがあり、水気や湿気の多いところで使用が困難	圏内ならば野外でも使用が可能
通 信 性	送受信のシステム構築と、その使用方法の習熟が必要	通話機能やメール機能によって、データの送受信が可能
容 量 の 制 限	制限はほぼ無いが、容量が少ない方が操作性が高い	web 1 ページあたりの容量に制限がある（6 ないし 10KB）
ファイルシステム	サーバーコンピュータ上にファイルを置くことで使用が可能	サーバーコンピュータ上に、各通信サービス用のファイルが必要

【 通信性について 】

上記のようにコンピュータ用の web 教材は学校内においては使用場所が制限されるため、教材使用者が個別に使用するのが困難である。また、複数のコンピュータの間で通信を行う場合、ハード面およびソフト面で準備が必要であり、操作も煩雑なものになる。このため、学校における授業の場面において、インターネットを介した既存の情報の取得には効果的であるが、教師－教師間、教師－学習者間あるいは学習者－学習者間の情報の送受信には、特別にシステムを導入した事例以外ではほとんど効力がないと考えられる。

一方、携帯電話は元来の目的である通話に加えてメールによる情報の送受信も可能である。現在では、デジタルカメラやデジタルビデオカメラおよびテレビモニターとしての機能も付加されている携帯電話も存在し、急速に市場が拡大されている。このため、携帯電話の使用者間に距離的な隔りがある場合でも通信性に支障はなく、今後の発展も期待できる。

【 容量の制限について 】

教材を web ページとして作成する際に、コンピュータで使用するのみを考慮するならば、教材の情報量（容量）にはほとんど制限がなく、どのような構成のページを作成することも可能で、自由度が高い。情報量が少ないほど、インターネットを介してページを表示するのに費やす時間が短縮され、操作性が向上するが、現在のコンピュータではほとんど制約を受けることはない。また、web の特性を考慮すると、教材を使用しながら長所や短所を確認し、改良を加えることが可能であるため、漸次的に操作性を向上させることが可能である。

一方、携帯電話は搭載するメモリの特性から、作成したページの情報量に制限がある。『コケ植物の生活 モバイル版』を開発した当時は、1 ページあたりの情報量が電話機種によって 6 KB ないし 10KB に制限されていた。このため、情報量の多い画像は画質を落とすなどの工夫を行う必要があり、本教材

の作成の際には、画像情報量の縮小や表示色の数の削減などの操作を行った。現在では、画像ファイル、動画ファイルの送受信も可能になり、技術が向上してメモリも改善されつつあるが、web ページの作成において自由度が少ないことには変わりはない。これは、コンピュータ用 web サイトと携帯電話用 web サイトを併用して作成している企業や学校が存在することからも明らかである。また、ほとんどの電話機種で横スクロールが不可能であるため、ページの形態は縦長のものに限定される。試験的に携帯電話（NEC 社製 N503is ; NTT DoCoMo 社 i-mode に接続可能）からコンピュータ用 web 教材『コケ植物の生活』にアクセスし、ページの表示を試みたところ、文字情報は表示されたが、画像（1つあたり 100KB 程度）は全く表示できなかった。それに加えて、ページの横幅が圧縮されて、ページの構成が強制的に変化したため、表で示した部分の形態が変わり、長文の閲覧は困難であった。

【 ファイルシステムについて 】

コンピュータ用の web 教材を作成する際には、内容を HTML 形式で作成したものをファイルとしてサーバーコンピュータ上に保存する。このため、上記のように内容の更新・改善が可能であり、新しい情報を盛り込むこと、不備を修正することが簡単にできる。

一方、携帯電話用の web 教材を作成する際にも、ファイルの保存方法は同じである。しかし、携帯電話通信サービス会社のインターネット接続関連事業は、それぞれ web サイトを作成する使用言語が異なるため、同じ内容の電子ファイルを複数製作する必要がある。これについては、使用言語の統一が図られてきたが、さまざまな携帯電話の機種から教材を使用することを考慮すると、個別の教材ファイルをサーバーコンピュータ上に準備しなければならない現状は、改善しにくい。

2. 考察

以上のことから、コンピュータ用 web 教材と携帯電話用 web 教材を比較して、両者の長所と短所が明らかとなった。特に、携帯電話はメディアとしてまだ発達途上にあるものであり、携帯電話用 web 教材を作成するにあたっては、さまざまな制約があることが確認できた。具体的には、教材を作成する過程でモバイルの特性を十分に発揮できる内容を選択し、画像など情報量の大きいものを扱う場合にはメモリに注意して、加工（縮小、減色）を施す必要性があることが分かった。

しかし、携帯電話用 web 教材はインターネット上の web サイトの形式であり、その構造はこれまでも多く作成されてきたコンピュータ用 web 教材とほぼ同じものである。このため、ハード面における携帯電話の性能の向上やソフト面における操作性および更新に関わる即時性など、コンピュータ用 web 教材の発展性をそのまま有している部分が多い。携帯電話用 web 教材が制約を受けている事項に関しても、その発展の流れに沿って教材を改良していくことで、教材をより使用しやすいものにすることが可能である。また、各携帯電話通信サービス会社に個別の教材ファイルを作成することに関しても、各社の方針や発展の進度に合わせて、改良を行うことが可能である。

携帯電話用 web 教材は、学校における授業の場面だけでなく、その枠にとらわれずに使用できるものであり、これは、新たな教材開発の指針の一つとなるものである。

しかし、本論で教材や授業方略の検討を実証的に行うにあたっては、コンピュータ用 web 教材の方が内容構成の制限が少なく、ファイル作成の面でも有効であると考えられる。

文献

- 服部新佐・岩月善之助・水谷正美（1972）「原色日本蘚苔類図鑑」，保育社
- 井上浩（1969）「こけーその特徴と見分け方」，北隆館
- 兼井正人・川上昭吾（1998）「中学校遺伝教育におけるコンピュータソフトの開発研究」，生物教育 38（1），pp.19-25
- 三石祥子・加藤和人・中村佳子（1999）「生物分野におけるサイエンティストライブラリーの開発と評価」，生物教育 40（1），pp.21-29
- 文部省（1998）「中学校学習指導要領」，大蔵省印刷局
- 文部省（1999）「高等学校学習指導要領」，大蔵省印刷局
- 文部省（2000）「ミレニアム・プロジェクト」により転機を迎えた「学校教育の情報化」，
文部省（現・文部科学省）ホームページ
- 大川ち津る（1997）「植物検索用データベースの作成と植物検索教材作成への活用」，生物教育 37（3・4），pp.106-117
- 大川ち津る（1999）「植物検索プログラムの開発とそれを用いた植物検索実習」，生物教育 40（1），pp.30-41
- 大川ち津る（2000）「種子植物 2,172 種の検索用データベースを活用する植物検索プログラムの作成」，
生物教育 40（3・4），pp.145-157
- 大川ち津る（2001～2002）「種子植物の検索教材の開発とその教育現場における活用に関する研究」，
生物教育 42（3）pp.108-125
- 大川ち津る・岡崎恵視（2001）「小・中学校教員養成課程の理科教育への植物検索実習の導入」，生物教育 41（3・4），pp.100-114
- 大鹿聖公・池田秀雄（1997）「生物教育におけるインターネット活用の試み」，生物教育 37（1・2），
pp. 9-16
- 大鹿聖公・山下恵子・池田秀雄（2001）「生物教育におけるインターネット活用の試み 2」，生物教育 42（1），pp.21-29
- 畦浩二（2001）「ハリガネゴケ（コケ植物）の植物季節学的研究」，生物教育 41（2），pp.42-49
- 畦浩二（2003）「光合成色素の定性分析から植物進化を考察する実践的研究」，生物教育 44（1），pp.10-18
- 山口富美夫・古木達郎・宮脇博巳・岩月善之助（1990）「コケ植物は最初の陸上植物か？」，生物教育 30（4），pp.182-190

本章中の **web** 教材の **URL** (教材作成当時)

『コケ植物の生活』 <http://scied123.ed.hiroshima-u.ac.jp/koke/index.html>

『コケ植物の生活 i-mode 版』 <http://scied123.ed.hiroshima-u.ac.jp/koke/i/index.html>

『コケ植物の生活 J-sky 版』 <http://scied123.ed.hiroshima-u.ac.jp/koke/j/index.html>

『コケ植物の生活 ez-web 版』 <http://scied123.ed.hiroshima-u.ac.jp/koke/e/index.html>

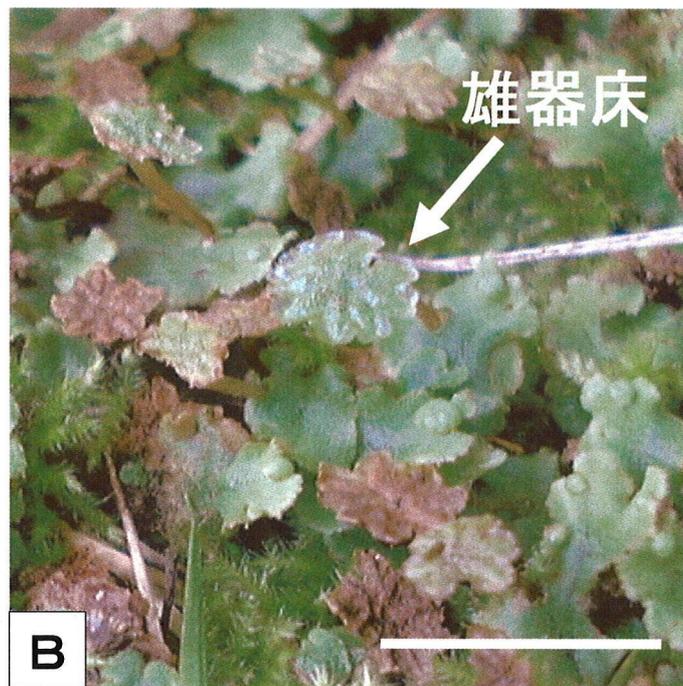
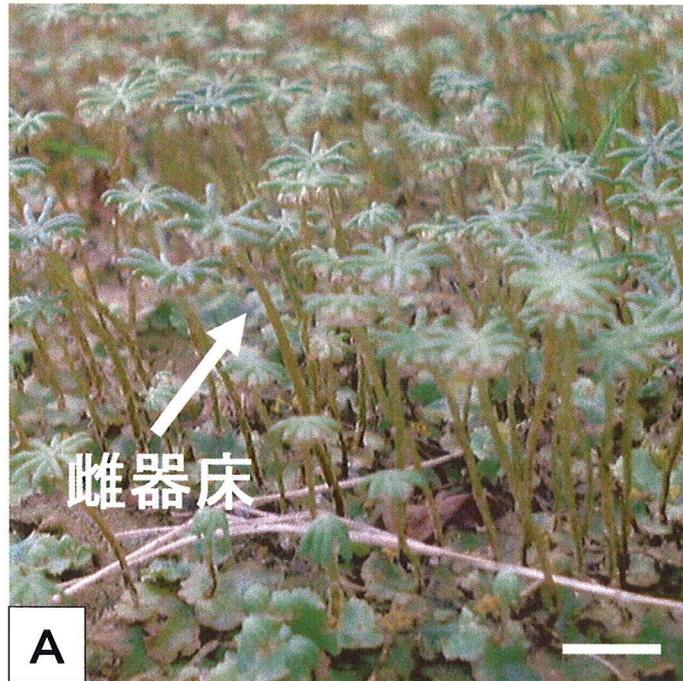


図3-1 ゼニゴケの雄株と雌株
A: 雌株 B: 雄株

スケールは 10mm

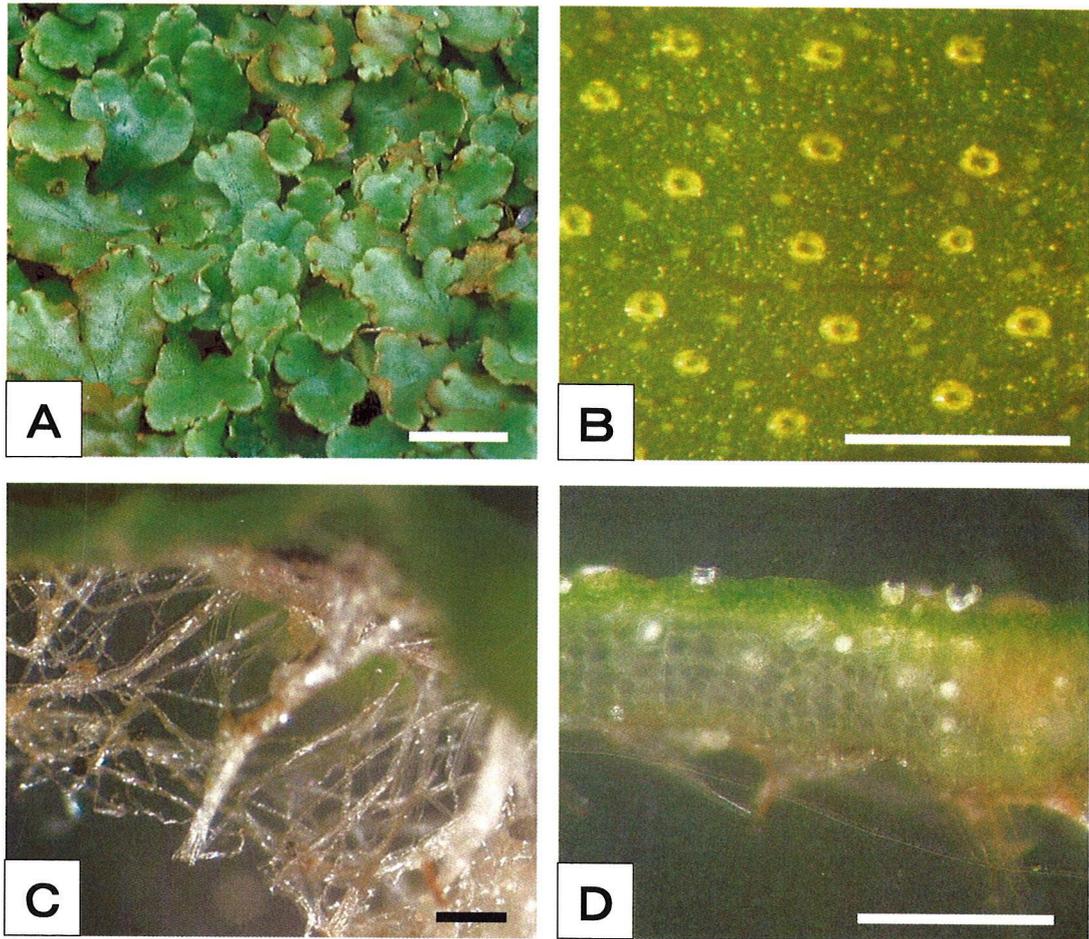


図 3-2 ゼニゴケのからだのつくり

A : 葉状体 B : 気室孔

C : 仮根 D : 葉状体の縦断切片

スケールは A : 10mm, B : 0.1mm, C・D : 1mm

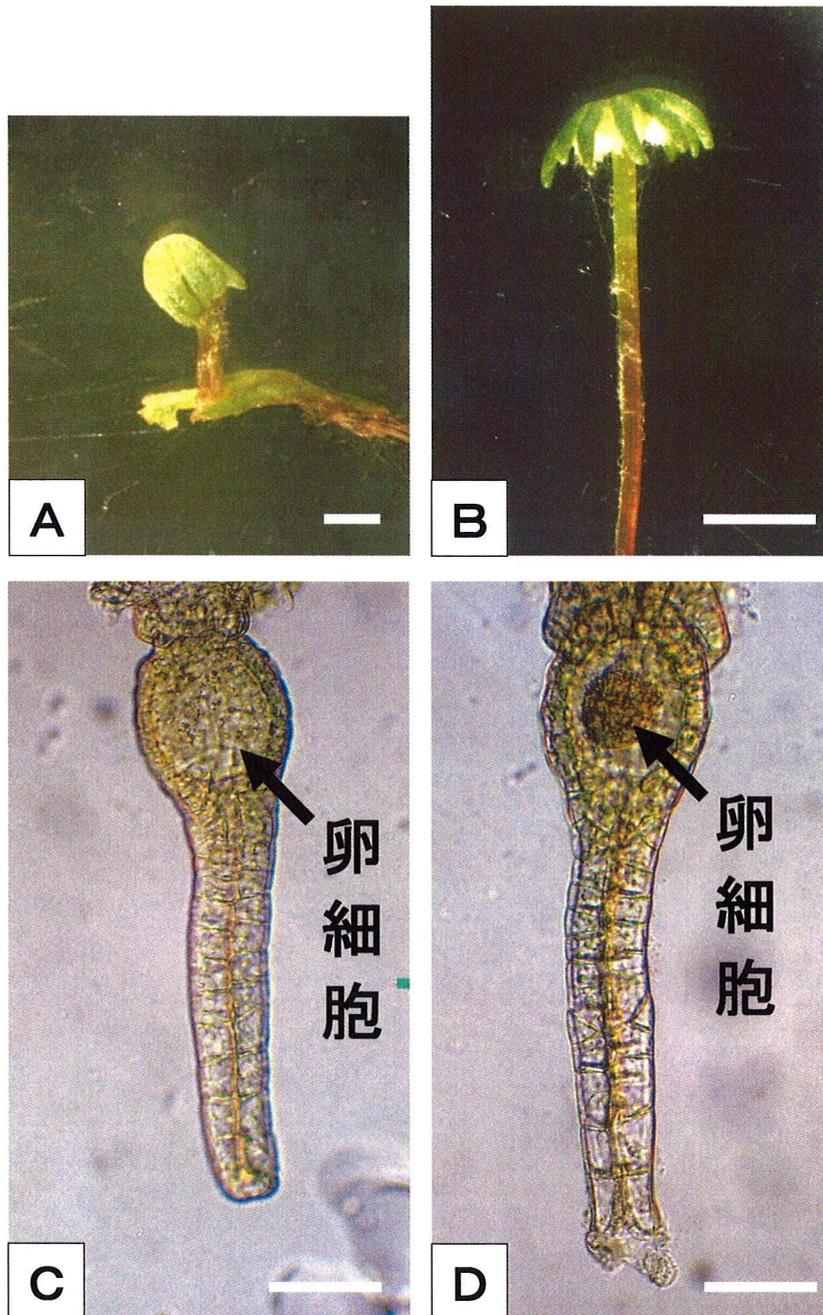


図 3-3 ゼニゴケの雌器床・造卵器・卵細胞の成熟
 A：若い雌器床 B：成熟が進んだ雌器床
 C：若い雌器床が有する造卵器
 D：成熟した雌器床が有する造卵器

スケールはA・B：10mm， C・D：0.1mm

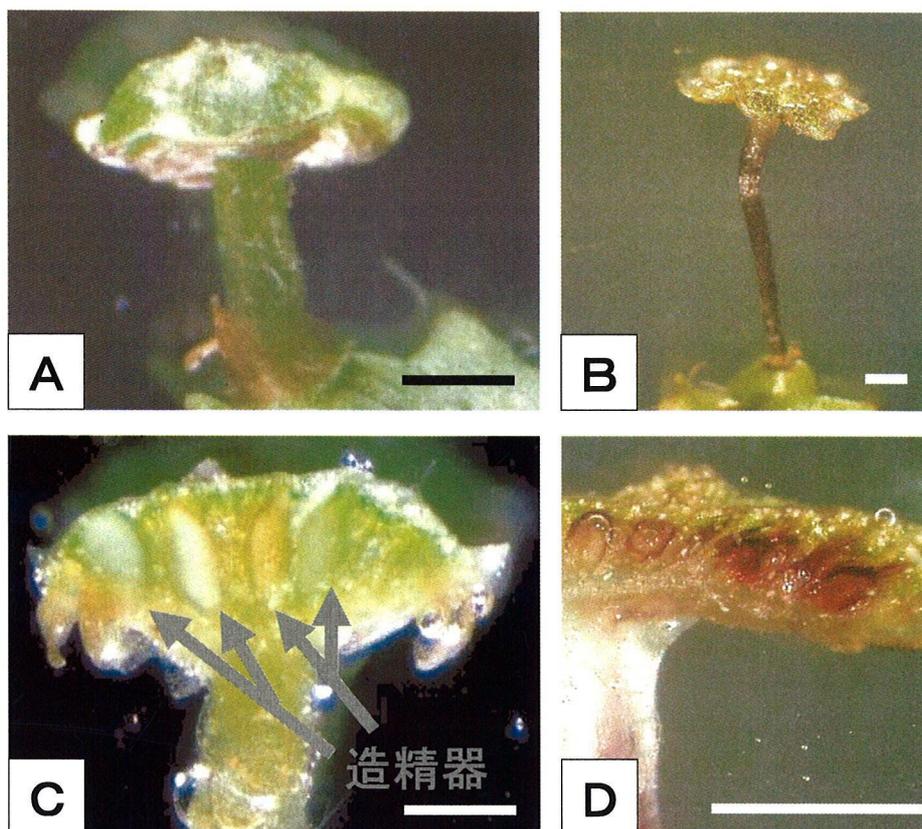


図3-4 ゼニゴケの雄雌器床・造精器・精細胞の成熟
 A：若い雄器床 B：成熟が進んだ雄器床
 C：若い雄器床の縦断切片
 D：成熟した雄器床の縦断切片（片側のみ）

スケールはA・B：10mm, C・D：5mm

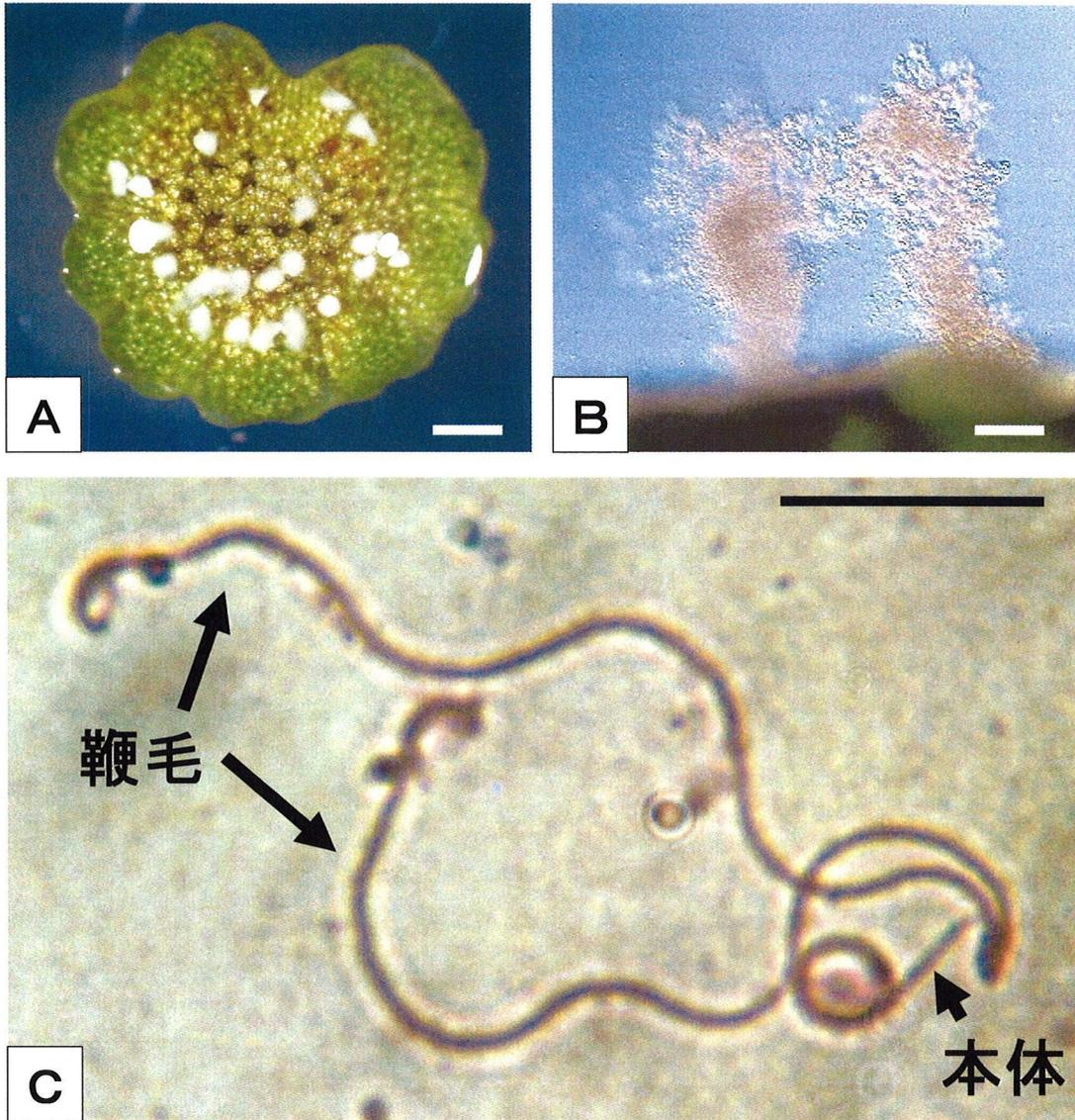


図3-5 ゼニゴケの精細胞塊の放出と精子

A : 精細胞塊の放出 (上から観察) [白点が精細胞塊]

B : 精細胞塊の放出 (横から観察)

C : 精子 (酢酸オルセイン染色)

スケールはA : 1 mm, B : 0.1mm, C : 0.01mm

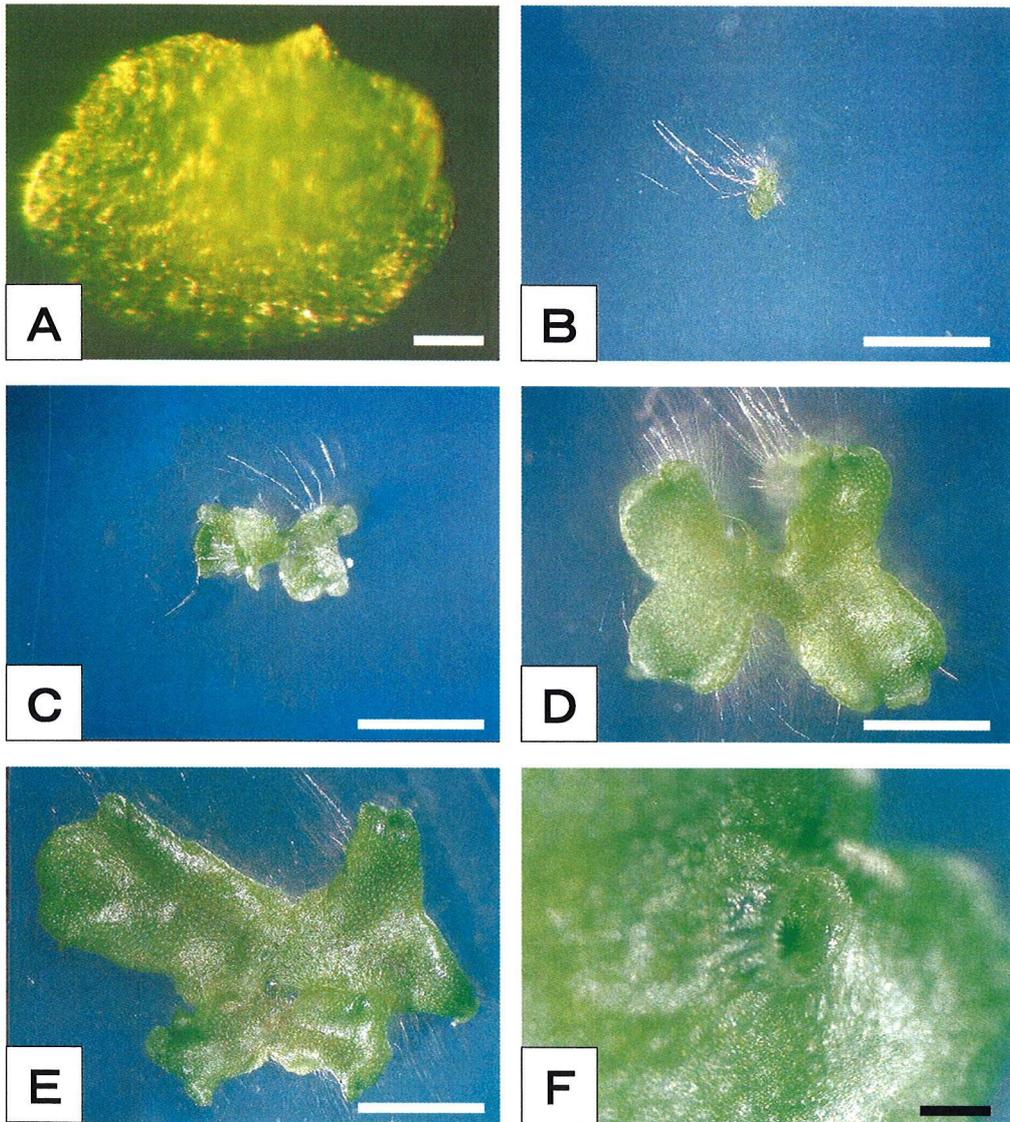


図3-6 無性芽による培養

A : 無性芽 B : 1週間後

C : 2週間後 D : 3週間後

E : 4週間後 F : 4週間後のものに形成された杯状体

スケールはA : 0.1 mm, B~E : 10mm, F : 1 mm

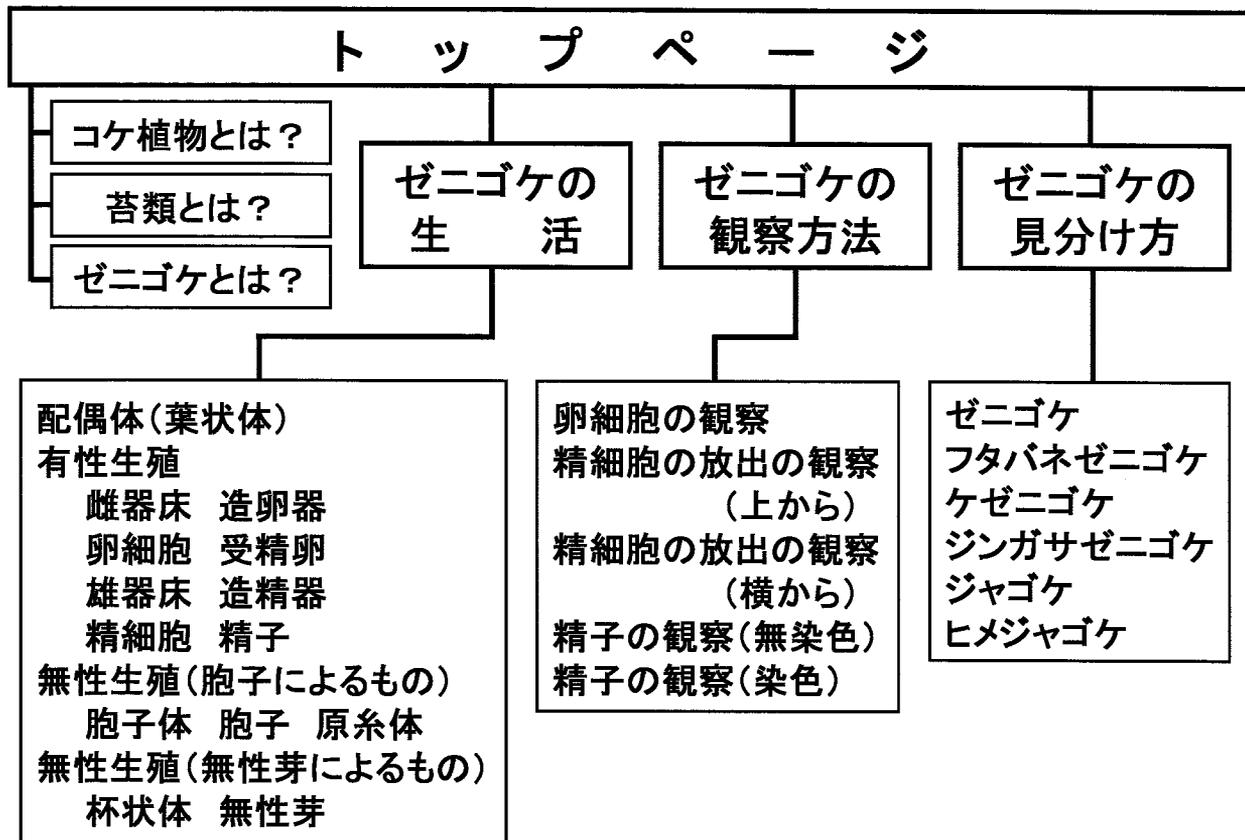


図3-7 教材『コケ植物の生活』の構成

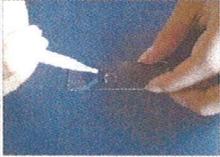
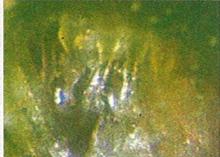
100年100組 - Microsoft Internet Explorer

ファイル(F) 編集(E) 表示(V) お気に入り(A) ツール(T) ヘルプ(H)

戻る 進む 検索 お気に入り メディア

アドレス http://scied123edhiroshima-u.ac.jp/koke/o-egg.html 移動 リンク

【卵細胞の観察】

	若い雌器床を選ぶ。(柄が伸びず、直径が3mm程度で指状突起の開いていないもの。)
	雌器床の薄い縦断切片を作る。
	切片をスライドガラスにのせて水を2、3滴垂らす。
	カバーガラスをかける。
	実体顕微鏡で指状の突起の付け根を観察する。
	薄い緑色でとっくりのような造卵器と腹部の卵細胞が観察できる。
	光学顕微鏡を用いて200倍で観察する。
	造卵器の細胞が透け、卵細胞とその中央の核が観察できる。

もどる

ページが表示されました インターネット

図 3 - 9 「卵細胞の観察」のページ

種の名簿 - Microsoft Internet Explorer

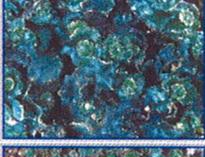
ファイル(F) 編集(E) 表示(V) お気に入り(A) ツール(T) ヘルプ(H)

戻る 進む 検索 お気に入り メディア

アドレス http://scied123.ed.hiroshima-u.ac.jp/koke/classification.html

ゼニゴケの見分け方

配偶体（葉状体）の特徴・・・写真を押すと、拡大した写真と詳しい解説をみるすることができます。

	<p><ゼニゴケ> 薄緑色で長さ4cm, 幅10mm。配偶体(葉状体)の中央部に黒い線がある。縁は縮れ、波打つように伸長成長する。</p>
	<p><フタバナゼニゴケ> 灰色がかった緑色で長さ3cm, 幅8mm。平らな配偶体(葉状体)に気室孔が目立つ。秋になると縁の部分が赤紫色に変色する。杯状体が多く形成される。</p>
	<p><ケゼニゴケ> 光沢のある暗緑色で長さ10cm, 幅20mm。配偶体(葉状体)の表面に気室孔はなく、細い毛で覆われている。</p>
	<p><ジンガサゼニゴケ> 深緑色で長さ2cm, 幅5mm。配偶体(葉状体)の表面に斑点状の気室孔が目立つ。雌器床は成長すると円すい状になり、それが「罎笠」のように見える。</p>
	<p><ジャゴケ> 濃い黄緑色で長さ10cm, 幅15mm。大きな気室孔が多角形の区画の中にある。配偶体(葉状体)が長く伸長することから、区画はへびのうろこのように見える。</p>
	<p><ヒメジャゴケ> 薄い黄緑色で長さ2cm, 幅4mm。配偶体(葉状体)では、気室孔は見づらいが多角形の区画は明瞭。秋になると褐色に変色する。</p>

★解説文の一部は、『原色日本藓苔類図鑑』(保育社 1972) を参考にした。

[ホームにもどる](#)

インターネット

図3-10 「ゼニゴケの見分け方」のメインページ

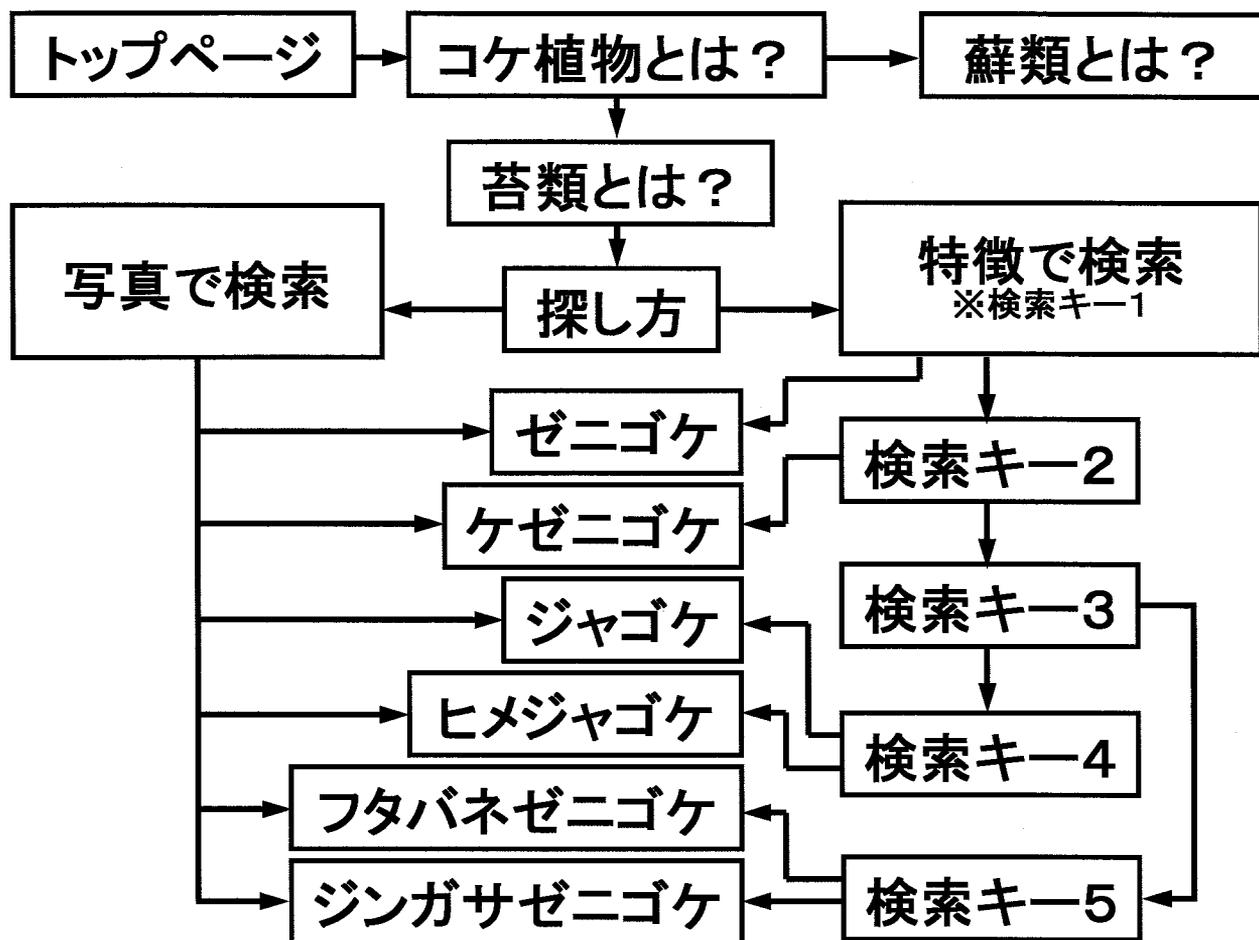


図 3-11 携帯電話用教材の構成

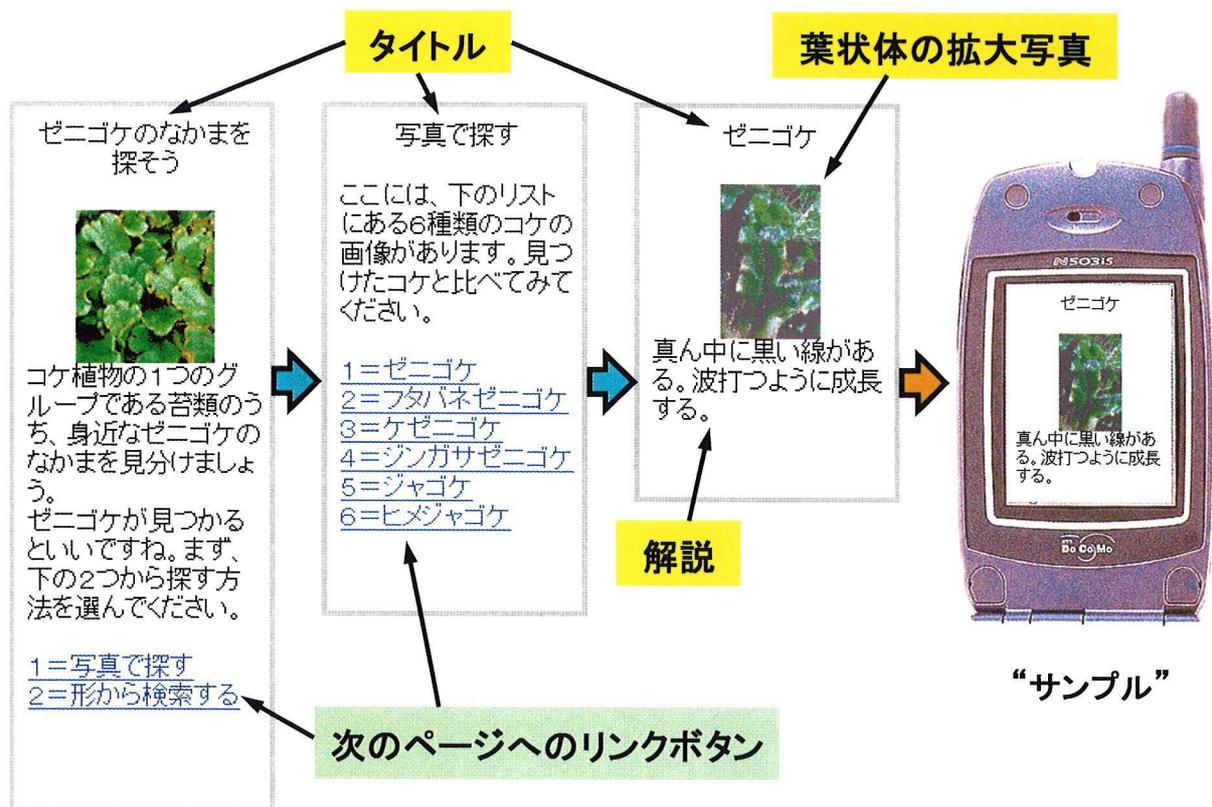


図 3 - 12 携帯電話用教材で名称からゼニゴケを探す方法

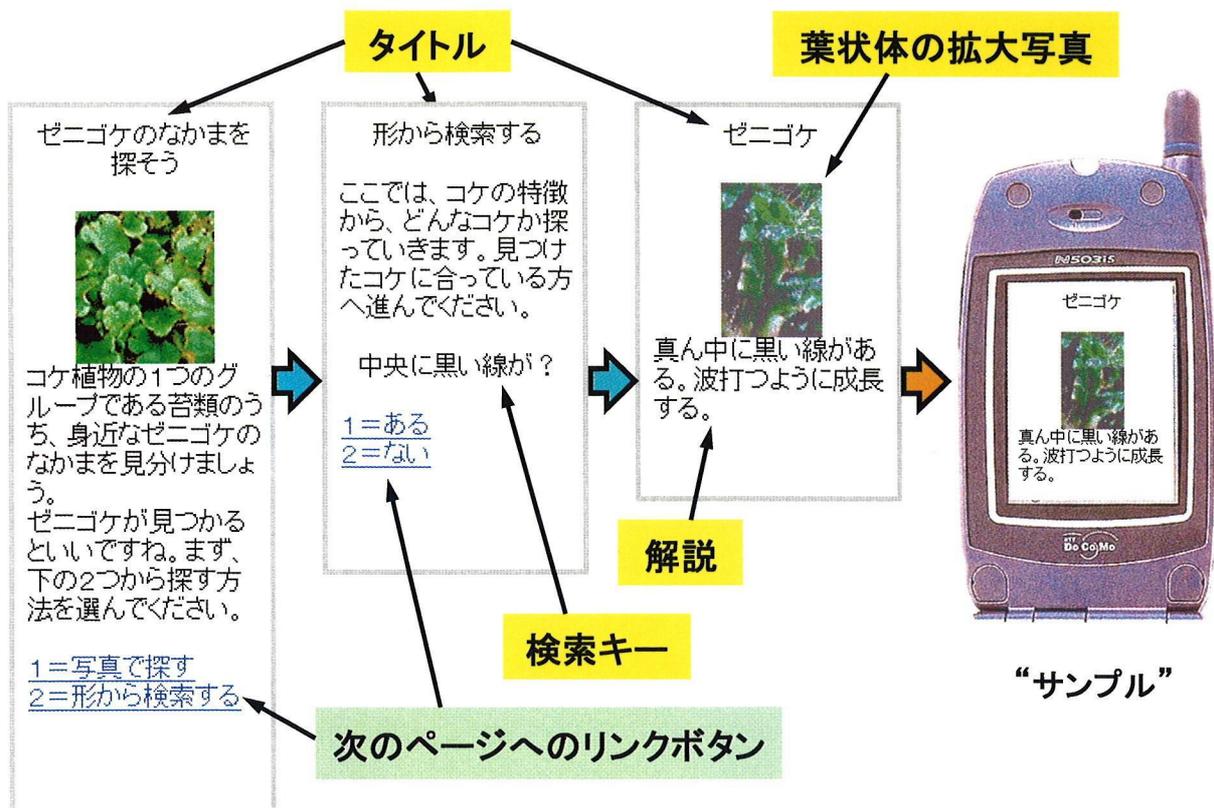


図 3-13 携帯電話用教材で検索によってゼニゴケを探す方法

第 4 章

開発した教材を授業において使用した

実践的研究

第1節 実践的研究の概要

1. 目的

本論ではこれまで、コケ植物の生活環を題材とした web 教材を作成し、それをを用いた授業方略を提案した。本章では、それについての授業実践を行い、教材と授業方略の価値や意義を実証する。

本章の授業実践における授業全体の目標は次の通りである。コケ植物を具体的に扱うことのできる生活環の単元で、本論で作成した教材のうち、生活環について詳細に取り扱っているコンピュータ用の web 教材を使用する。これによって生徒に具体的なイメージを抱かせて、コケ植物の学習への生徒の関心や意欲を向上させるとともに、知識を獲得させることができると考えられる。授業の中の観察・実験の場面では、生殖細胞の中でも大きく、比較的観察しやすい雌性生殖細胞である卵細胞を観察対象として、web 教材の「観察のページ」を観察マニュアルとして用いた観察を実施し、教材から得た知識と実物とをつなぐ。これによって、生徒の観察・実験の技能を向上させることができると考えられる。この一連の授業実践について、本章では生徒の知識の定着に焦点をあてて分析・考察を行う。また、生徒への教材や授業方略の影響を測るために、コケ植物への関心についても分析・考察を行う。

このような授業実践と分析・考察の結果から、本論で作成した web 教材に関して、特に生徒の知識の定着度や、教材の使用から観察・実験へのつながりの面について評価を行う。

2. 実践の方法

本論で作成した教材の有効性と問題点を明らかにし、学習に際しての理解度を測定するために、実際の授業において教材を活用した実践的研究を行った。その授業実践では、教材自体の評価を行うために2つのアンケートを実施した。また、生徒の知識の定着を測るためにテストを実施した。ここでは、それらの評価方法について概説する。

【 ①方法の概要 】

平成13年11月、広島県内のある高等学校において生物IBを選択している1年生24名（男子8名、女子16名）を対照区とし、同校の他のクラスで生物IBを選択している2年生38名（男子14名、女子24名）を実験区として設定した。

この高等学校の理科の授業は、学年単位で物理・化学・生物・地学から1科目の選択制で行われていた。実験区に設定した2年生の生徒は、1年生の時には生物以外の科目を選択しており、2年生に進級して初めて生物の授業を受けている。このため、生物の知識については中学生の時から進展はなく、実験区と対照区の生徒が事前に有している生物に関する知識は、差は見られないととらえることができる。実験区に設定したクラスは自らが教員として年間を通して授業を担当しており、一方の対照区に設定したクラスは別の教員が年間を通して授業を担当した。

web 教材を用いた授業実践は、本教材を一連の授業の中に取り入れることで行った。授業実践に関連

する部分の学習の流れを図4-1に示す。生活環を学習する際に、対照区では通常の授業形態と考えられる、藻類→コケ植物→シダ植物→裸子植物→被子植物の順で、教師による生活環の項目の図示と説明を板書にて行った。実験区では取り扱う植物の順序は対照区と同じとし、コケ植物を扱う時に1時間を本教材の使用にあて、日を変えて次時の2時間続きの授業を観察にあてた。本教材を使用した1時間目は、生徒1人につき1台のコンピュータ端末を与え、教材の使用方法を説明した後、自由に閲覧させた。2・3時間目の観察は、まず復習の意味を含めて観察対象について説明し、次に、観察手順を示すプリントとして「ゼニゴケの観察方法」の中から「卵細胞の観察」のページを印刷して配布した。ゼニゴケの雌株を材料として与え、「卵細胞の観察」のプリント配布物を詳細な観察マニュアルとして用いた、雌器床の切片の作製と卵細胞の観察およびスケッチを行わせた。実験区では教材閲覧後および観察終了後に、本節第1項の目的に照らし合わせて、内容の異なるアンケート1とアンケート2をそれぞれ実施した。また、実験区と対照区の両方の生徒を対象に、生活環の学習を含めた生殖の学習がすべて終了して約1週間が経過した時点で、予告無しにテストを実施した。

【 ②評価に用いたアンケートおよびテスト 】

アンケート1（図4-2-1，4-2-2，4-2-3）は教材を使用する前後のコケ植物に対する関心，ゼニゴケをこれまでに見た経験や教材に対する評価・印象を質問し，アンケート2（図4-3）は教材の使用と観察という今回の一連の授業の印象について質問した。テスト（図4-4）はコケ植物の生活環を描かせることで，従来の板書型の授業と，本論で作成したweb教材の使用と観察・実験の実施とでは，知識の定着にどのような差が生じるのかを測った。本章では以後に結果を示すが，調査した項目が複数あるため，各々について結果を示しつつ考察を行うこととする。また，母数が24ないし38であるが，分析の都合からパーセンテージで示す部分がある。

第2節 実践的研究の結果と考察

1. 教材閲覧後に行ったアンケート1の結果および考察

実験区の生徒を対象に実施したアンケート1では，31名分の回答が得られた。

【 生徒のゼニゴケに接した経験 】

生徒が事前に備えていたコケ植物に関する知識を調査するために，ゼニゴケに接した経験を質問した。図4-5に示すように，日常生活においてゼニゴケを見た経験のある生徒は10名であったが，授業で観察した経験のある生徒は15名と，半分弱程度であることが分かった。このことから，ゼニゴケは日常ではあまり意識されない植物であり，学校などで教材として取り扱われることによって初めて意識されると考えられる。この実践を行った高等学校は，併設中学校からの連絡入学が約6割で，他の中学校からの編入が約4割である。その，約6割の生徒が在籍していた併設中学校では，授業でコケ植物の観

察を行っているようである。しかし、授業で観察したと回答する生徒が半数程度であったことは、生徒の記憶にあまり残っていないのではないかと考えられる。

観察した経験について、その内容を自由記述で回答させたところ、ほとんどが外部形態を観察したという回答であった。しかし、併設中学校の理科授業でコケ植物を学習させた教師に確認し、その採集場所を訪れたところ、ミカヅキゼニゴケ (*Lunularia cruciata* (L.) Dumort. ex Lindb.) が分布しており、ゼニゴケの分布は確認できなかった。このため、併設中学校ではおそらくゼニゴケではなくミカヅキゼニゴケを観察したものと考えられる。また、併設中学校以外から進学した生徒については、ほとんどコケ植物に関する観察・実験の機会が与えられなかったものと考えられる。

【 生徒による web 教材の評価 】

本教材を使用した後に、生徒へのアンケートで教材の評価を試みた。教材全体、画像、説明、構成、操作性の各項目について、「非常に肯定的 (よい, わかりやすい, 使いやすい)」「肯定的」「否定的」「非常に否定的 (わるい, わかりにくい, 使いにくい)」の4段階で回答させたところ、図4-6に示す結果が得られた。

教材全体について回答させたところ、「非常に肯定的」「肯定的」と回答した生徒が21名で、他と比較して評価が高いほうであった。画像については「非常に肯定的」という回答が7名と比較的多く、「肯定的」と合算すると23名になり、最も高い評価が得られた。アンケートの末尾に付した自由記述欄を参考にすると、肯定的な理由として、通常的生活環境の学習には教材として模式図が多用され、本教材のように画像を提供したものが少ないこと、写真画像の解像度が生徒にとって満足できるものであったことなどが考えられる。また、説明や構成についても比較的高い評価が得られた。

一方、操作性については「否定的」あるいは「非常に否定的」とした回答が21名あり、あまり良い評価は得られなかった。その理由として、画像を多用したことによって1ページあたりの情報量が多く、ページの表示に時間を要したことや、1つのサーバーコンピュータに30台余りのコンピュータ端末からのアクセスが集中したことによって、リンク先への移動に時間を費やしたことなどが考えられる。これらの解決に関しては今後の課題となるが、各画像の情報量の圧縮や複数のコンピュータを使用するためのシステムの構築など、改善を行うことが必要であることが分かった。

【 生徒の印象に残った項目 】

本教材にはコケ植物の中でもゼニゴケに関するさまざまな情報が含まれている。これに対し、今回行った授業実践では教材使用者である生徒の自由度が高いため、系統立った学習が行われなかった可能性がある。そこで、本教材中で生徒の印象に残った項目を回答させ、生徒が教材のどの部分に注目したかを明らかにした。回答項目は教材中のさまざまな場面から10項目を抽出し、その中から生徒にとって印象に残った3つの項目を選択させた。

その結果、図4-7に示したように、「有性生殖と無性生殖」「画像による閲覧」「生活のつながり (生活環境)」が上位を占めた。このことから、授業実践において教材を使用した場面が、「生活環境の例示」と「観察」の間の時期であったために学習内容が絞られ、「生活のつながり (生活環境)」から「有性生殖と

無性生殖」に注目でき、その学習内容とは直接的に関係していないが、「画像による閲覧」で具体的に学習内容をとらえることができたと考えられる。

逆に、印象に残っていない項目を見てみると、記述が多く視覚に訴えることの少ないものや、具体的な内容について示したものであることが分かった。

【 その他 】

上記の他にもアンケート1では自由記述でさまざまな質問を行った。その中で特筆すべきことをまとめると以下のことが挙げられる。

ゼニゴケについて抱くイメージについて、教材の使用前には「暗い」、「陰湿」という回答をする例が多かった。ゼニゴケは、生徒の通常の生活では被子植物や裸子植物と比較すると接触する機会が少ないものであり、湿気が多い場所に分布しているという一般的な考え方に影響され、また、花が咲かずに全体的に緑一色であるためというイメージから回答されたものと考えられる。しかし、教材使用後には「意外と生活が複雑」、「見てみたい」という回答が増加していた。このため、アンケートを実施した段階では授業直後ということもあり、生活環について知識が定着していないとしても、生徒は生活環の複雑さや特徴について気づくことができ、それが実物を観察することへの欲求につながったと考えられる。

また、教材の中で新しく気づいた点として、生殖に言及する回答が見られた。このことから、授業の中で生徒は生活環を概説的に学習していたが、その中で特に生殖に注目できたと考えられる。

このように、今回の一連の実践の中では教材を使用した後で卵細胞の観察を行わせたが、観察の事前には生徒が生殖に興味を抱くようになったことで、ゼニゴケを材料とした観察への取り組みが積極的になり、教材の使用と観察・実験を結びつけやすくなった。

2. 観察終了後に行ったアンケート2の結果および考察

アンケート1と同様に実験区の生徒を対象に実施したアンケート2では、32名分の回答が得られた。

【 生徒による授業の評価 】

今回の実践における一連の授業について、その評価をアンケート1と同様に4段階で評価させたところ、授業の「わかりやすさ」と「面白さ」の両方で、肯定的な回答と否定的な回答が半数程度であった(図4-8)。分析した両方の項目について、web教材を使用した自主学習的な形態の授業の是非、観察の場面で生徒にとってあまりなじみのない対象を扱うことの是非が、回答に影響したと考えられる。

その理由を自由記述で回答させると、「わかりやすさ」については、本教材で知識を獲得しているために観察しやすかったこと(肯定的)、コンピュータの操作についていけなかったこと(否定的)などが挙げられていた。「面白さ」については、観察に興味があるかどうか、あるいは良い観察結果が簡単に得られたかどうかで、肯定的か否定的かの評価が分かれていた。このことから、知識を身につけた上での簡単な観察・実験結果の獲得は、生徒の興味や関心につながるということが分かった。

5. テストの結果から見た学習内容の定着に関する考察

生活環の学習を含めた生殖の学習がすべて終了して約1週間が経過した時点で、知識の定着を測るためにテストを実施した（実験区37名，対照区24名）。テストでは、シダ植物とコケ植物の生活環を、学習した項目（語句）を用いて描かせた。

【 生徒が示した生活環の形状 】

生徒が生活環を環状に描けているかどうかについて分析した。なお、生徒の描画技術を考慮して、環状に描く意志が見受けられたものについても「環状に描いた」とこととした。

その結果、両区とも70%以上の割合で、生徒はシダ植物とコケ植物の生活環を環状に描いていた（図4-9：実験区27名 [73.0%]，対照区20名 [83.3%]）。このことから、多くの生徒が「生活環は環状に描くことが普通である」と認識していることが分かった。しかし、対照区の方が環状に描いた生徒が10ポイント程度多く、これについては、 χ^2 検定を行った結果7.63 ($p < 0.01$ ，小数点以下第3位を四捨五入)となり、有意な差が認められた。このため、本授業実践の1時間目のように、web教材によって各自で学習させるだけでは、生活環の通常形状（環状）を特徴として印象づけられないことが分かった。

コケ植物の生活環で、無性芽による無性生殖についても描いているかどうかについて分析すると、実験区22名 [59.5%]，対照区2名 [8.3%]と大きな差が見られた。これについては、 χ^2 検定を行った結果344.42 ($p < 0.01$ ，小数点以下第3位を四捨五入)となり、有意な差が認められた。これについて、対照区でも無性芽による無性生殖の生活環は、実験区と同じ内容で板書形式で取り扱っている。このため、実験区で生徒各自がweb教材を利用しながら学習した効果が見られたと考えられる。

このことから、web教材で学習内容を提示するにあたっては、学習内容の一部を強調することが困難であるが、逆に、全体的な概要を掴むのに効果的であることが分かった。

【 生徒が生活環上に書いた項目 】

授業中に取り扱い、生徒が生活環中に書くことを期待した項目は14項目である。この14項目は、実験区および対照区の授業で図4-11の上から13項目は共通して扱い、これに実験区では「精細胞」を、対照区では「胞子のう」を加えたものである。実験区で取り扱った生活環を例として図4-10に示す。なお、解答における漢字の誤答は知識の定着がないと判断し、不正解として処理して正解の平均個数を割り出した。

結果は、実験区：3.8個 [27.4%]，対照区：3.9個 [28.0%]となり、ほぼ同等の結果となった。これについては、 χ^2 検定を行った結果0.02 ($p > 0.05$ ，小数点以下第3位を四捨五入)となり、有意な差が認められなかった。このことから、コケ植物の生活環について、教師が板書して行った授業（対照区）と、web教材をもとに生徒が学習し、観察を行った授業（実験区）で、正答については差がないことが分かった。生活環の単元では、生活環上の語句を覚えてその意味を理解することから学習が始まるため、このテストの結果から、知識の定着にはあまり差が見られないと判断した。

この結果を上述の「生徒が示した生活環の形状」と総合して考察すると、web教材を利用して各自で学習させるにあたっては、画面上で表面的に表される学習内容（ページの構成や文字・文章など）が学習者にとらえられて理解されるものの、学習内容の中でも特に重要な部分を強調し、印象づけるのが困難であることが分かった。これは、これまでも考察してきたようにweb教材を使用して学習した影響と考えられる。

しかし、本節第1項のように生徒の意識の上では生活環から生殖へと注目していることが明らかであるために、知識の定着の面からは生活環全体から生殖につながるのは困難であるものの、生徒の興味・関心の面からは、このことは困難ではないと考えられる。

【 正答した項目それぞれの割合 】

生活環の各項目について、正答として書かれた割合を算出し、実験区と対照区を比較した(図4-11)。ここで、対照区における「雌株」「雄株」は、外部形態で雌雄が判別できるものとして学習されており、実験区における「雌器床」「雄器床」と同様のものとして学習されている。このため、それぞれを同じものとして扱い分析した。また、それぞれの正答の割合について χ^2 検定を行った結果を図4-12に示す。ただし、実験区では「胞子のう」を、対照区では「精細胞」を学習する項目として扱っていないため、この両者については検定を行わず、参考として図4-11の下部に掲載するにとどめた。

その結果、実験区と対照区の両方で、コケ植物の本体である「配偶体」と同じく、生殖に直接関係する「卵細胞」「精子」「受精卵」「孢子体」「孢子」についての正答の割合が高かった。このことから、生徒にとっては、通常目にするコケ植物の本体が何であるかということより、生活環の学習の中心となる生殖に関係する項目について、知識が定着していることが分かった。

実験区と対照区の正答割合について χ^2 検定を行って比較したところ、無性芽による無性生殖に関する解答に違いが見られた。このうち、「杯状体」を書いたのは実験区が2名[5.4%]で、対照区に書いた生徒はいなかった[0%]ため、 χ^2 検定を行っての集計は不可能であった。「無性芽」を書いたのは実験区が11名[29.7%]、対照区が1名[4.2%]で、 χ^2 検定を行った結果161.61($p < 0.01$, 小数点以下第3位を四捨五入)となり、有意な差が認められた。実践授業における観察の場面で、杯状体や無性芽に着目した生徒は見られなかったため、実験区において生徒各自が教材を使用することで、通常扱われる生活環だけでなく、無性芽による無性生殖の生活環に関する知識も定着していることが分かった。本論で作成したweb教材では、無性芽による無性生殖についても写真画像を用いてその概要を紹介している。それは、「杯状体」や「無性芽」について写真画像を交えて個別に紹介しているだけでなく、無性芽による無性生殖の方法についても詳述しているため、知識の定着につながったのではないかと考えられる。その他、「杯状体」と「無性芽」を比較したところ、実験区で「無性芽」の解答が多かったのは、生殖に直接的に関わっている「無性芽」を生殖の主要部分としてとらえることができたためと考えられる。このことから、本教材の使用により、多様な項目に生徒が注目できることが分かった。

また、実験区では雌に関する項目である「雌株・雌器床」「造卵器」「卵細胞」の解答が、雄のそれらに対応する項目よりも多く解答されていた。これは、実験区では実際に卵細胞の観察を行った効果であ

ると考えられる。しかし、逆に「孢子体」については、対照区ほどの解答は得られなかった。「孢子体」は、生活環の学習の際にキーポイントとなる項目であるために、そこを強調できなかったのは、今回の実践授業における授業形態としての、web形式の教材をしようとした自主的な学習の欠点であり、限界であると考えられる。

(学習内容)

[実験区]

[対照区]

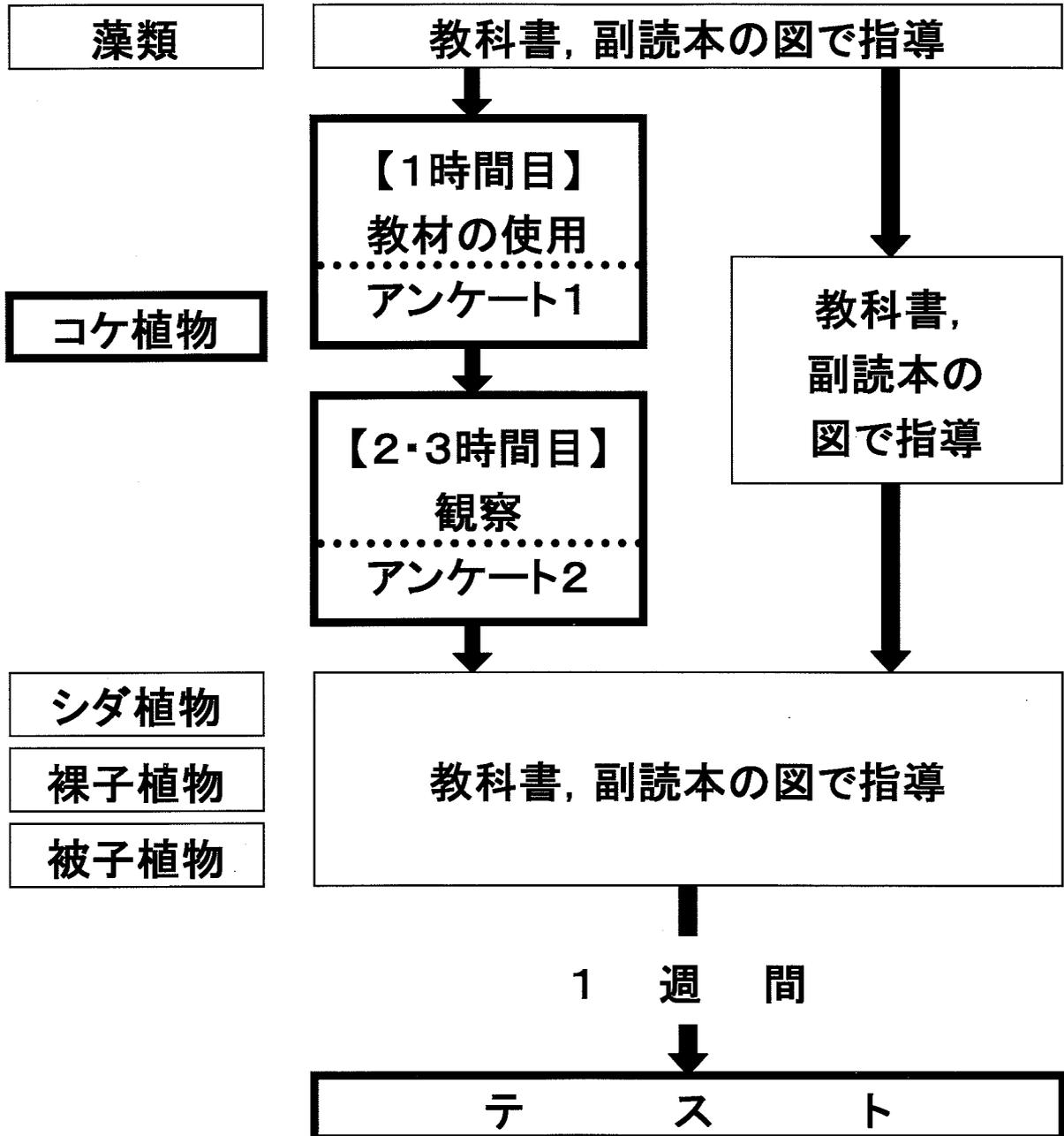


図 4 - 1 授業実践の流れ

『コケ植物の生活』アンケート（1）

ホームページ『コケ植物の生活』を閲覧した後で、できるだけ詳しく記入してください。
みなさんの意見を今後のコケ植物の研究やホームページの発展・改良の参考にさせていただきます。よろしくお願いします。

なお、記入した事項について、プライバシーに関わることを公表することはありません。

<1>性別 （ 男 ・ 女 ）

<2>年齢 （ ）

<3>職業 小学生 ・ 中学生 ・ 高校生 ・ 大学生 ・ 大学院生 ・
小学校教諭 ・ 中学校教諭 ・ 高等学校教諭 ・ 大学教官など ・
各種研究機関 ・ その他（ ）

<4>ホームページの利用 授業における提示 ・ 観察実験の補助 ・
資料集 ・ 宿題や課題 ・ クラブ活動
その他（ ）

ホームページに関するアンケート

<1>ホームページ全体についての印象
（ 非常によい ・ よい ・ わるい ・ 非常にわるい ）

<2>画像について
（ 非常によい ・ よい ・ わるい ・ 非常にわるい ）

<3>説明について
（ 非常にわかりやすい ・ わかりやすい ・ わかりにくい ・ 非常にわかりにくい ）

<4>構成について
（ 非常にわかりやすい ・ わかりやすい ・ わかりにくい ・ 非常にわかりにくい ）

<5>操作性について
（ 非常に使いやすい ・ 使いやすい ・ 使いにくい ・ 非常に使いにくい ）

図4-2-1 アンケート1（1ページ目：A4サイズ）

コケ植物に関するアンケート

<1> 今まで、日常生活の中でゼニゴケを見たことはありますか。

(ある ・ ない)

「ある」と答えた人はその状況を書いてください。

<2> 学校の活動(授業など)でゼニゴケを観察したことはありますか。

(ある ・ ない)

「ある」と答えた人はその状況を書いてください。

<3> 今までのゼニゴケのイメージはどんな感じですか。

<4> 『コケ植物の生活』を閲覧した後の、ゼニゴケのイメージはどんな感じですか。

<5> 『コケ植物の生活』の中で、最も印象に残ったものはどれですか。

(ゼニゴケの生活 ・ ゼニゴケの観察方法 ・ ゼニゴケの採集方法)

<6> <5>で印象に残った理由を書いてください。

<7> 『コケ植物の生活』の中で、最も印象に残らなかったものはどれですか？

(ゼニゴケの生活 ・ ゼニゴケの観察方法 ・ ゼニゴケの採集方法)

<8> <7>で印象に残らなかった理由を書いてください。

図4-2-2 アンケート1 (2ページ目: A4サイズ)

『コケ植物の生活』アンケート（2）

コケ植物を用いた観察を行った後で、できるだけ詳しく記入してください。みなさんの意見を今後のコケ植物の研究やホームページの発展・改良の参考にさせていただきます。よろしくお願ひします。

なお、記入した事項について、プライバシーに関わることを公表することはありません。

<1>観察を行ったことで、新しく気づいた点を書いて下さい。

<2>今回の実験の他に、コケ植物のどんな観察・実験をしてみたいですか。
(ホームページ以外の事柄でも可)

<3>ホームページを閲覧した後に実験を行った、今回の一連の授業は分かりやすかったですか。

(非常にわかりやすかった ・ わかりやすかった ・ わかりにくかった ・ 非常にわかりにくかった)

<4><3>で答えた理由を書いて下さい。

<5>ホームページを閲覧した後に実験を行った、今回の一連の授業は面白かったですか。

(非常に面白かった ・ 面白かった ・ 面白くなかった ・ 非常に面白くなかった)

<6><5>で答えた理由を書いて下さい。

<7>授業の後(観察・実験を行った後)のゼニゴケのイメージはどんな感じですか。

<8>その他に気づいた点があったら書いて下さい

図4-3 アンケート2 (A4サイズ)

テスト (植物の生活環)
学年 () 組 () 名前 ()

～問題～
コケ植物とシダ植物の生活環を描き、自分の挙げた各生活段階について説明せよ。

【コケ植物の生活環】

【シダ植物の生活環】

◎ 説 明 ◎

◎ 説 明 ◎

図 4-4 テスト (B4サイズ)



図4-5 生徒のゼニゴケに接した経験

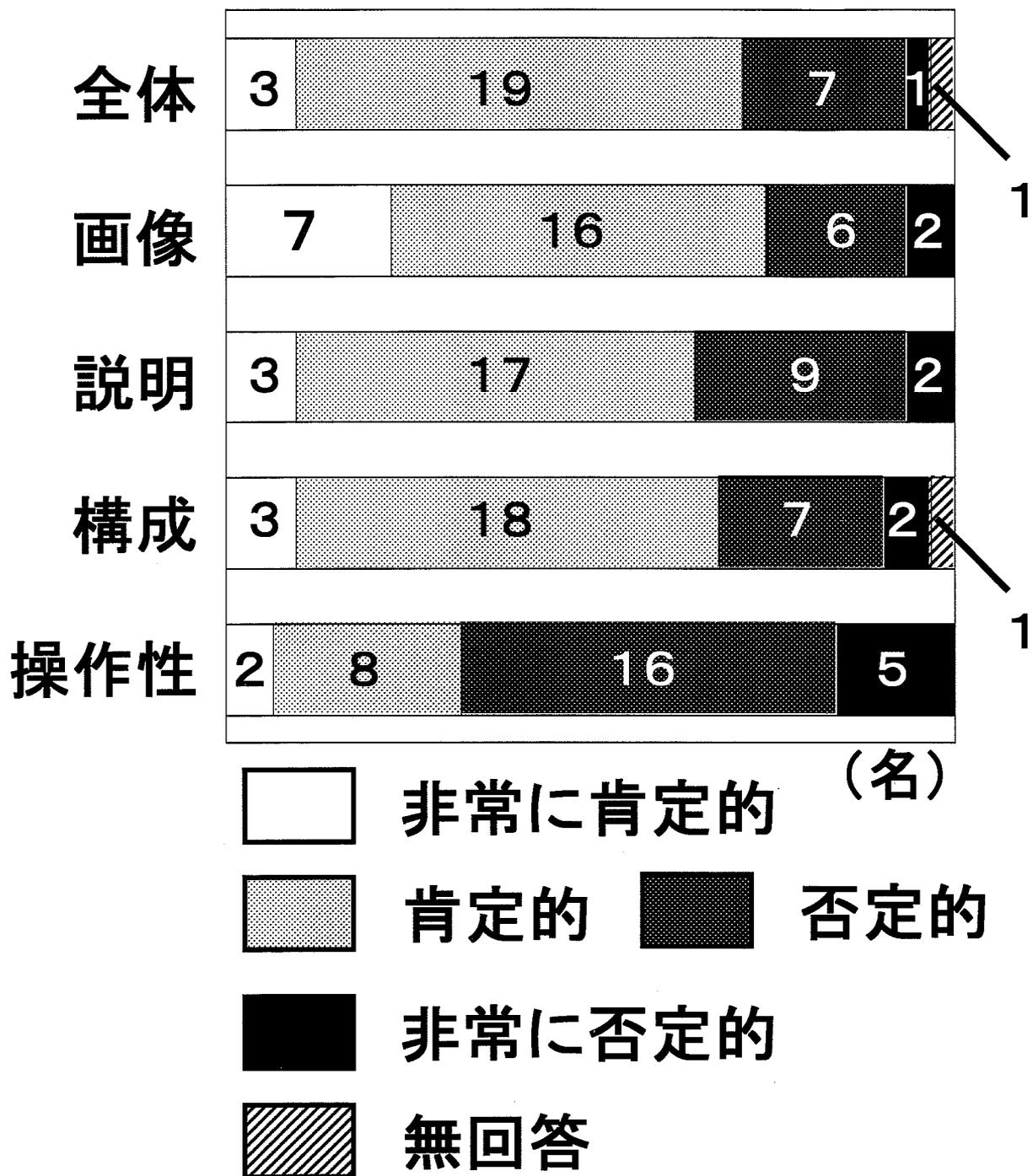
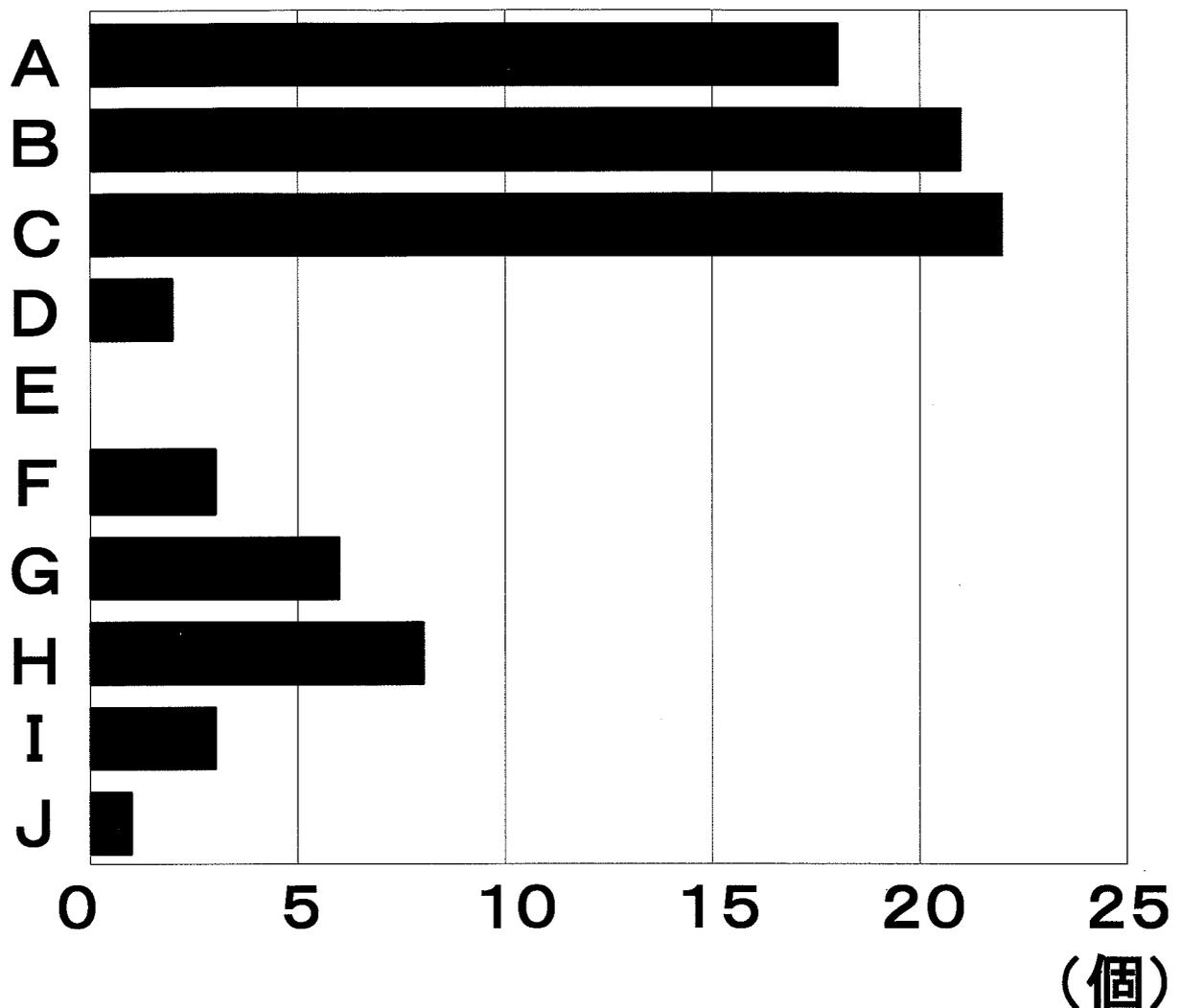


図4-6 生徒によるweb教材の評価



- A. 生活のつながり B. 画像による閲覧
 C. 有性生殖と無性生殖 D. 造卵器・造精器
 E. 精子・卵細胞 F. 精子の運動能力
 G. 生殖細胞観察の容易さ H. ゼニゴケ類の違い
 I. コケの定義 J. その他

図4-7 生徒の印象に残った項目

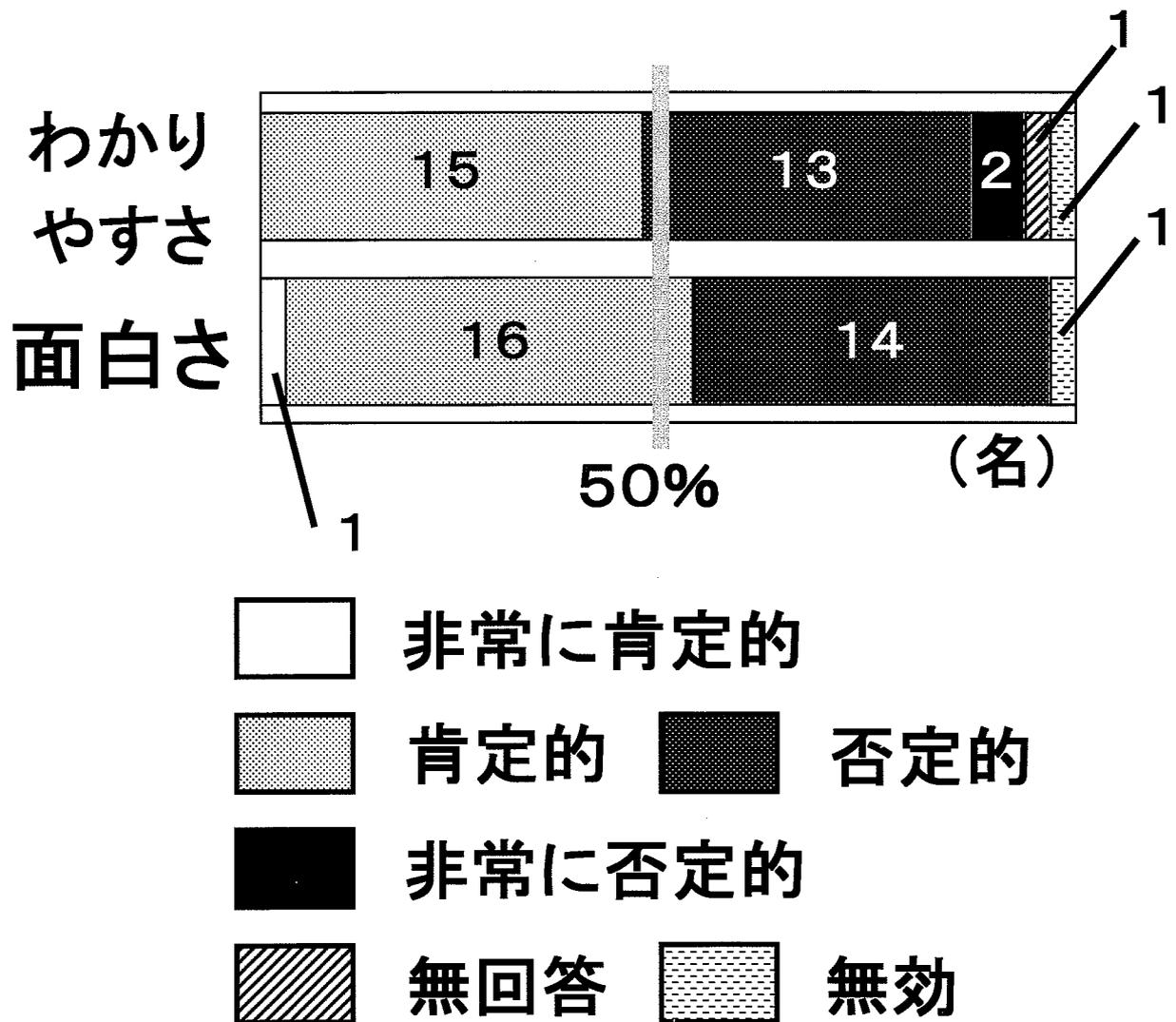


図4-8 生徒による授業の評価

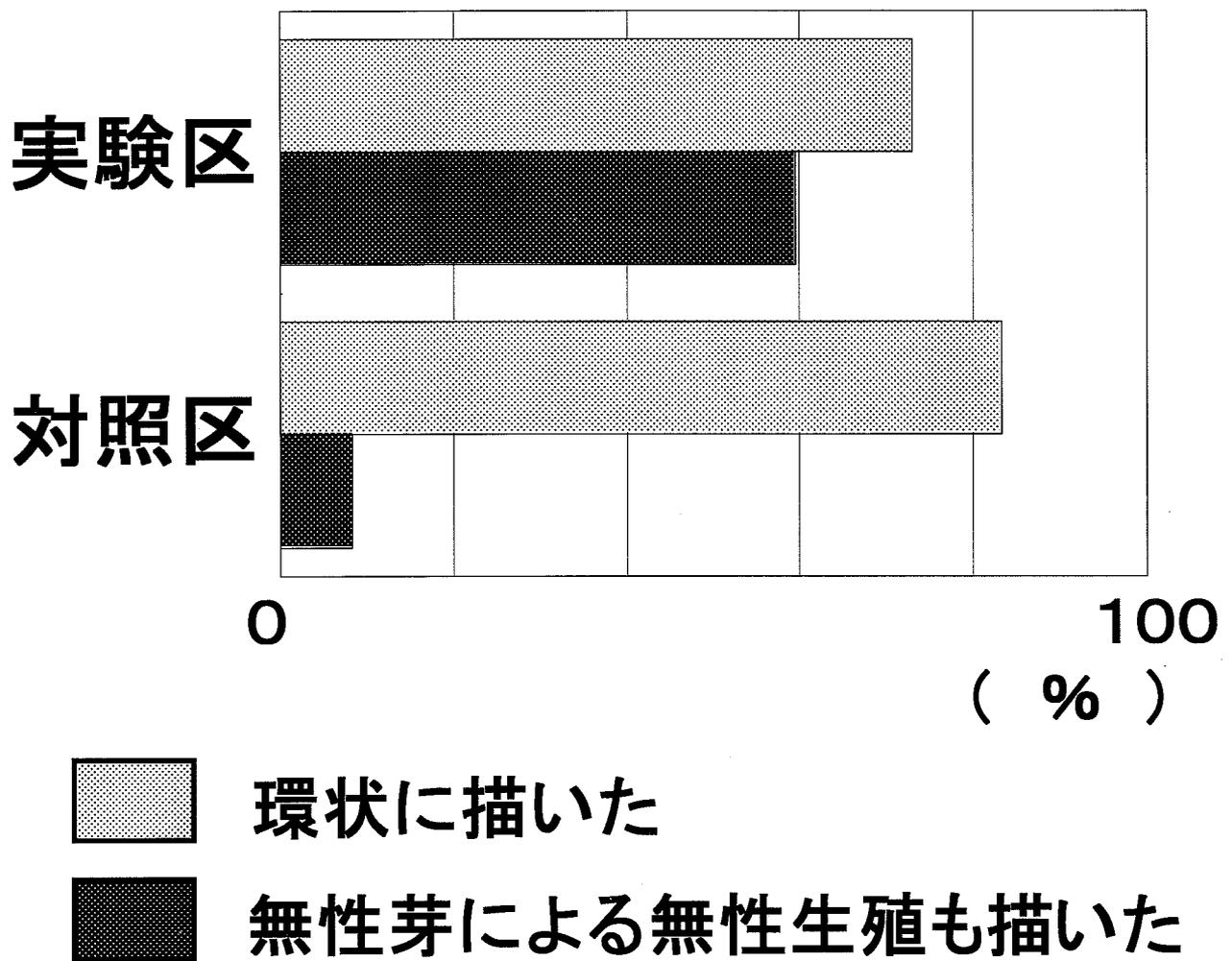


図4-9 生徒が回答した生活環の形状

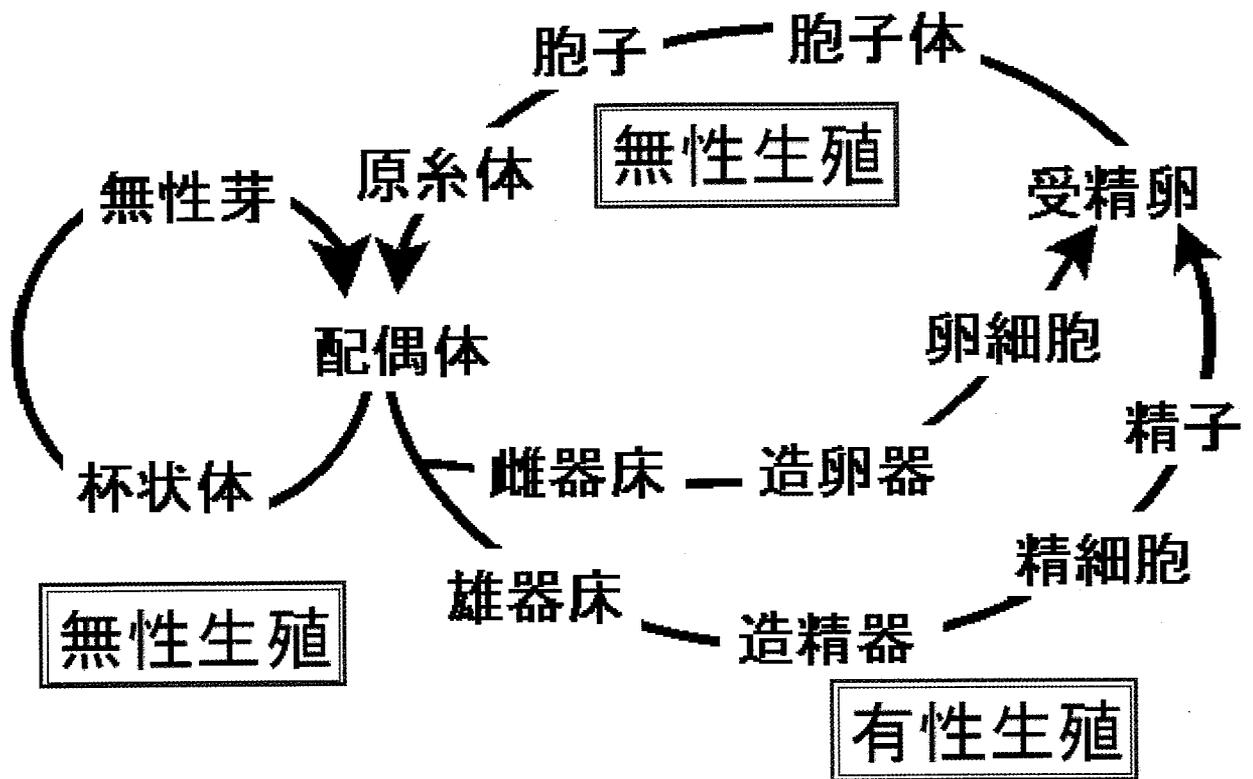


図4-10 実験区で用いた生活環

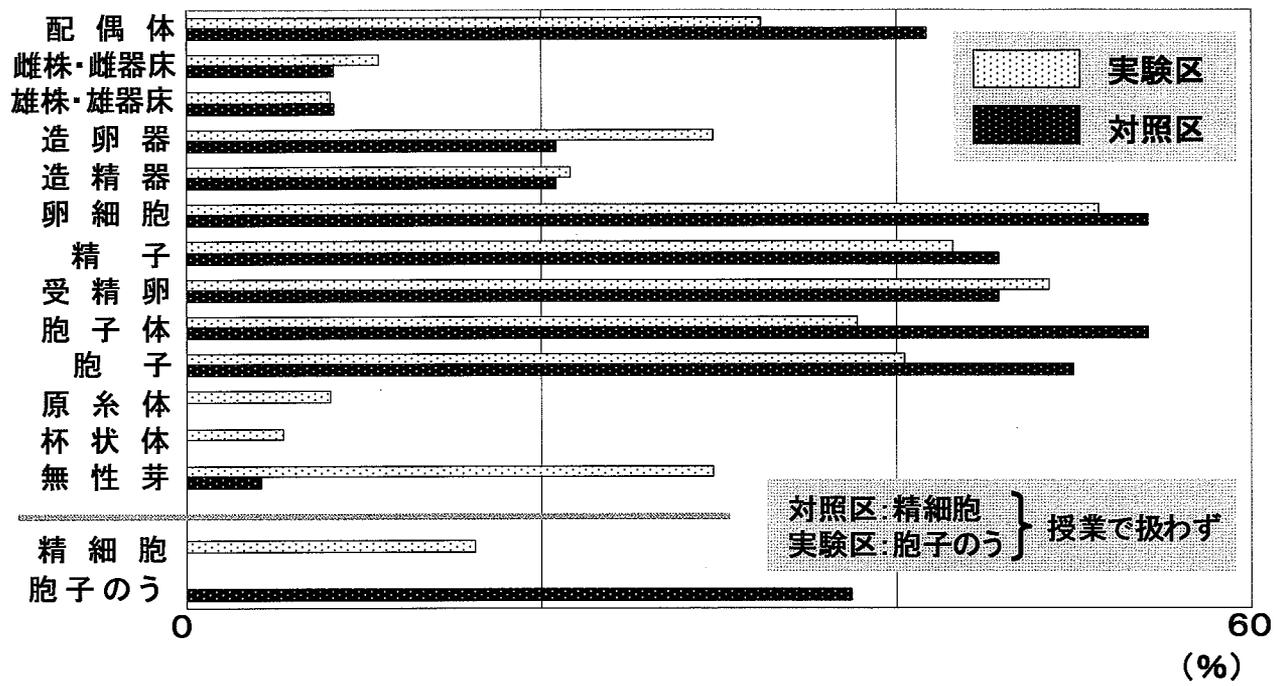


図4-11 正答項目別割合

項 目	検定結果
配 偶 体	3.56
雌株・雌器床	0.82
雄株・雄器床	0.01
造 卵 器	4.81*
造 精 器	0.04
卵 細 胞	0.32
精 子	0.27
受 精 卵	0.32
胞 子 体	10.83*
胞 子	3.61
原 糸 体	—
杯 状 体	—
無 性 芽	161.61**

**は $p < 0.01$, *は $p < 0.05$

小数点以下第3位を四捨五入

— は対照区で正解0のため集計不能

図4-12 正答項目別割合の χ^2 検定

第 5 章

總 合 的 考 察

第1節 教材史的視点から表出するコケ植物の教材としての取り扱い（第2章の内容について）

明治初年から第二次世界大戦以前までの植物学教科書分析から、教科書の単元構成に関して、学習者の状況に即した教科書が用いられていたことが分かった。当時の植物学の学術雑誌である『植物学雑誌』の分析から、植物学教科書に記載されていたコケ植物の名称は種名ではなく、分類群を表す言葉であると推測できた。また、教科書中のコケ植物の取り扱いの抽出から、典型的な例だけでなく、分類学上必要なものや生活に応用されているものが、取り扱われていることが分かった。

戦後から現在までの中学校理科教科書を分析すると、コケ植物の説明に関する部分では、戦後当初は外部形態を中心に扱っていたが、生態学的な側面を含めて分類を行うようになり、その後、植物組織学的・細胞学的な側面からのアプローチが導入されるようになった。教科書中に記載のあるコケ植物に関しては、戦前と比較すると急激に減少し、スギゴケとゼニゴケに集約されていったことが分かった。コケ植物を用いた観察・実験については、形態の観察を通して分類や系統を学習する領域で、コケ植物が材料として扱われる機会が増加していったことが分かった。

戦後から現在までの高等学校生物教科書を分析すると、コケ植物を題材として扱った単元は、新設や削減などの変遷が少なく、具体的に扱われていたのは分類の枠組みの中の生活環に関する単元であることが分かった。その他、生態系に関する群落や遷移についての説明で、植物群の名称が例示されていた。教科書中に記載のあるコケ植物は、昭和53年の改訂を境にして減少し、ゼニゴケすらもほとんど扱われなくなり、スギゴケを中心に1～2種類が扱われる程度になっていった。また、観察・実験についても最近ではあまり見られなくなっていった。

これらのことを総合すると、それぞれの教科書を比較した限りでは、時代が進むにつれて植物組織学的・細胞学的な内容が増加し、その内容を含めて分類や系統に関する観察の材料として、コケ植物が扱われるようになっていったことが分かる。このため、コケ植物の取り扱いも増加したように思われる。しかし、特に最近では、平成10年度の学習指導要領の改訂に伴って内容の精選が行われ、中学校ではコケ植物を含む「種子をつくらぬ植物」についての取り扱いが削減された。その後、一部改正によって「発展的な学習内容」として弾力化しつつあるが、それらの状況を考慮して、中等教育段階でコケ植物を学習する内容について再考する必要がある。その具体的方針として以下の4点が考えられる。

- I. 中学校において、現行の内容の学習について考察する
- II. 中学校において、新しい学習内容・学習方法を提案する
- III. 高等学校において、その学習内容と中学校で学習する内容・レベルとを整合する
- IV. 高等学校において、新しい学習内容・学習方法を提案する

このうち、中等教育段階の学習内容として、博物学的視点からコケ植物を取り扱うにあたっては、既存の学習内容を発展させる形式を採用することができるため、「IV」の中でも新しい学習方法について

の提案として研究を進めることが、最も抵抗が少ないと考えられる。具体的には、第2章第5節で示したように、コケ植物について最も詳細に取り扱われる学習内容は高等学校生物の「生活環」であり、その概要と、生活環の段階の中でも重要な事象である「生殖」についての教材開発を主軸として、研究を展開することに価値を見出すことができる。これに際して、昨今の教育事情として挙げられる「少ない学習時間数」、「教員の少ない準備時間」、「コンピュータなど ICT の使用の重視」を踏まえると、効率よく学習できる教材を開発・作成することが必要である。

さらに、以上のような教材が具現化されることにより、生物教育における大きな柱の一つである「生命のつながり」を学習するにあたって、巨視的階層から微視的階層への視点の移行、あるいは、その2つの階層に対する視点の融合が果たされる。総体としての生活環をベースに据えて、生殖などに関連する個々の項目を結びつけることにより、「生命のつながり」についての理解を深める教材として確立できると考えられる。

第2節 生殖を題材とした教材の開発（第3章の内容について）

材料の選択にあたり、ゼニゴケが有する5つの教材としての特性について、実際の観察・実験の結果にもとづいて考察すると次のようになった。

「広い分布と容易な雌株・雄株の外部形態による区別」のため、生徒に行わせる観察・実験の材料として十分な量を入手することができる。「簡単な生体構造」のため、他の植物との比較観察を行うことによって、コケ植物の系統的・進化的特性の確認が直接的にできる。「有性生殖器官や生殖細胞の観察」が容易であり、特に生殖細胞は他の植物群と比較して観察方法が簡単であるため、観察の材料として適している。また、生殖細胞の成熟の度合いを外部形態から判別しやすいことから、野外での採集にあたって観察材料としての適性を判断しやすい。「無性生殖の観察」が容易で、簡単な培地を使用した4週間の培養で次世代が得られたことから、無性生殖の観察・実験の材料として適している。「植物の進化を理解する上での重要性」を有し、「形態」「生態」および「生殖」に関する特徴を、藻類やシダ植物と比較することによって、水中の植物と陸上植物をつなぐ重要な位置にあることが理解しやすく、系統進化の学習に重要である。

これらの教材としての特性を活用して作成したコンピュータ用の教材『コケ植物の生活』は、we 形式の形態で利用できるように電子ファイルとして保存した教材であり、以下の4つの特性が明らかとなった。「生活環と観察の関連付け」ができるため、板書中心の授業が一般的であった生活環の学習に、新たなアプローチを追加することができた。「画像による生活環の学習」ができるため、スケッチを主体とした図版を用いた授業よりも、実物に近いイメージを学習者に与えることが可能になった。「観察の場面での補助的な使用」ができ、観察方法について画像を掲載して詳細に記載しているため、観察マニュアルとして実際の観察の場面でも用いることができるようになった。「年間を通した苔類の分類・

採集」は観察材料を確保するためのめやすとして用いることができ、観察の準備が容易になるために、観察の機会を増加させる可能性が高まった。

また、携帯電話で用いられる『コケ植物の生活モバイル版』の作成にあたり、携帯電話の特徴を含む以下の3つの特性を教材の中に見出すことができた。「通年した使用の可能性」としては、簡易的な分類基準として葉状体を用いたことで、年間を通しての比較・採集が可能となった。「あらゆる場所での使用の可能性」のある携帯電話は、採集の補助ツールとして適していた。「携帯電話の普及と使用方法の習熟」については自ずと行われており、本教材が使用できる機会の増加が予想される。

本論で作成したコンピュータ用 web 教材と携帯電話用 web 教材を比較すると、教材の作成の段階において、それぞれについてさまざまな制約があることが確認できた。しかし、どちらの web 教材についても、メディアの機能の発展に沿って改良を行っていくことで、より使用しやすいものにすることができると考える。携帯電話用 web 教材は、学校における授業の場面だけでなく、その枠にとらわれずに使用できるものであり、これは、新たな教材開発の指針の一つとなるものである。

以上のことから、ゼニゴケの教材としての特性、開発したコンピュータ用 web 教材および携帯電話用 web 教材の特性が明らかとなった。これらの特性から、ゼニゴケを生殖の教材として用いるための、観察・実験材料の確保のための補助ツール、知識的な部分を補うためのツールとして、作成した web 教材を使用することが、学習の場面において効果的であると考えられる。

ただし、本論では学習内容を具体的に取り扱って知識の定着を測るために、コンピュータ用 web 教材を用いることとなった。また、教材を使用する単元は、高等学校生物の「生活環」に関する単元が最も効果的であると判断された。

第3節 開発した教材の有効性の検討（第4章の内容について）

第3章で作成した教材について、第4章では学校の通常授業の一環として用いる実践を行い、教材の有効性を検討した。その結果、アンケートおよびテストの結果から、以下のことが明らかとなった。

【実践の対象（生徒）の背景について】

- ・日常の中でコケ植物を意識していないが、学校の授業などで目にしている（外部観察する程度）

【教材について】

- ・総合的な評価は高く、それは画像の品質の良さに起因している
- ・操作性に関する評価が低く、教材の改良や使用方法の改善を行う必要がある
- ・教材を使用した単元の影響から、生徒にとっては有性生殖や生活環の印象が強い
- ・教材の内容とともに、画像の印象が強い
- ・実物を観察することについて、生徒の興味が喚起された

【 授業について 】

- ・ 具体的な知識を観察の場面で活用できた
- ・ コンピュータの操作が、やや困難であった
- ・ 知識を獲得した上で、簡単な操作で良い結果を得ることが、生徒の興味や関心につながっていた

また、生徒は作成した教材を使用して、ある部分を重点的に学習しているのではなく、全体の概要をとらえて学習していることが分かった。このため、学校での授業で本教材を使用するにあたっては、具体的な内容を学習させる目的よりも、概略を把握する目的で使用することが効果的であると考えられる。具体的には、内容の全体像を把握することを主目的とする授業の「導入」や、いろいろな項目を復習する必要のある授業の「まとめ」の段階で本教材を使用することによって、より効果が増すと考えられる。

第4節 提案した授業方略の検討（第4章の内容について）

本章第3節に示したアンケートおよびテストの結果から、本論で提案した授業方略に関して、生徒の知識の定着度の面から、以下のことが明らかとなった。

- ・ 教材を使用したことでの知識の定着度は、通常の授業と同程度であった
- ・ 教材の使用によって無性芽の生活環について生徒が言及（描画）できるようになり、生活環の概要をとらえることができるようになった
- ・ 生殖に関わる項目について、生徒の正答が多かった

本論では、授業の中に教材を導入し、その使用の後で、教材の中に掲載している観察を生徒に行わせた。これについて、観察の場面に移行する前に、観察対象についての知識やイメージを既に獲得していることが利点となり、観察しやすいと感じる生徒が多く見られた。このことから、本論で提案した授業方略は、学習内容の概要を把握すること、その概要をベースとして特徴的な部分（本論の場合は生殖）への着目を直結すること、知識と観察の連携という部分において、特に有効であると判断できた。

また、この授業方略の観察の場面では、通常の授業ではあまり取り扱われない、植物の生殖細胞の観察を行わせた。このことにより、実際の生殖細胞についての印象が高められたと考えられる。

以上のことから、本章第1節に記述したような巨視的階層と微視的階層をつなぐことについて、効果的な授業方略を構築できたと考えられる。

本論の授業実践は、平成1年度改訂の学習指導要領に準拠した、高等学校生物ⅠBの生活環に関する単元で行った。現在は、平成10年度改訂の学習指導要領に準拠した教科書に則って授業が行われているが、高等学校生物Ⅰの「生殖と発生」や、高等学校生物Ⅱの「生物の分類と系統」に係る単元で、

本教材を使用することができると考えている。

第5節 今後の展望

本論の流れは、まず、教材史的研究の手法によって教材について分析し、その結果にもとづいて、現代の理科教育における教材の取り扱いをベースとして、新しい教材の開発を行い、その意義や価値について実践的研究の手法によって明確にするものである。これは、教材研究の手法として新しいものであり、研究の全体を総括して、新規性があるものと考えている。

現在の理科教育に関する教材開発を鑑みると、すでに多くの教材の開発が行われており、それらの教材は学校の教師によって開発されたものが多い。このため、開発された教材は、学習者の理解度や授業の進度に則していると考えられるが、逆に、開発者自らが担当している授業で使用しやすい教材が多く、限られた状況の中で使用可能なものとして認識され、教材の開発が事例研究にとどまってしまっている感がある。また、理学研究者や理科内容学研究者による教材開発は学術的なレベルとして高度なものであるが、研究者の学術的背景から展開した研究がほとんどであり、開発した教材を取り扱う場面として、「発展的内容」や「課題研究」、「理科の中の環境教育的側面」が意識されている場合が多く、教育における主たる教材である教科書の単元の内容に関わっていない研究が見られることがある。

これらの教材開発研究に対して、本論の教材開発を含む授業方略の提案は、教科教育学的側面と教科内容学的側面の両方を意識した、新しい研究手法として提案できるものと考えている。この研究手法による教材開発は、上記の2つの教材開発研究がそれぞれ有している課題である、「低い汎用性」と「理科学習の根幹部分への低い影響力」についてクリアしていると考えている。

さらには、教材開発の内容の点では、昨今および今後の理科教育において重要視されている、「観察・実験の重視」と「コンピュータの利用」について、その両方の特性を活用して効率的に融合させた教材開発を行った研究手法であることから、教育の現状を考慮し、それに適応した研究手法が得られたと考えられる。

本論では、材料にコケ植物を選択し、単元の全体ではなくその一部の内容である生活環について研究を展開した。また、教材の形体をweb形式としたため、通常の理科の授業形態とは異なった場面設定になっている。このため、現時点では、理科の学習の全体に影響を及ぼす教材開発や授業方略の確立ができたとは言えない。このため、コンピュータを利用した本論の教材や授業以外に、通常の授業形態をより強く意識した、生活環を題材とする教材についても検討する必要があると考えられる。

しかし、本論の手法を参考にして、他の教材についても同様の研究を展開することにより、その教材や授業方略の価値や意義を明確に示すことができると考えられる。このことにより、ひいては、理科カリキュラム研究を行う際の学習内容の精選、削減、追加に関しても、新たな視点にもとづいた検討ができると考えている。

以上のことから、本論の手法を参考に、多様にある他の理科教材を対象にして同様の研究を行うことを、今後の研究の発展として考えている。また、それに際して研究手法に不備が現れれば、研究手法自体を改良することも課題であると認識している。

謝 辞

本論の研究を進め、まとめるにあたって、広島大学大学院教育学研究科の先生方からご指導をいただきました。まず、主指導教員の鳥越兼治教授には生物学の観点からのご指導に加えて、論文をまとめるにあたってご指導を賜りましたこと、心より深く御礼申し上げます。角屋重樹教授には論文構成について、また、現代の理科教育学の観点からご指導いただきましたこと、深く感謝いたします。林武広教授には研究内容の中でも理科内容学的な側面、また、web教材とその効果検証の面からご指導いただきましたこと、深く感謝いたします。磯崎哲夫教授には理科教育学的な観点から、特に、教材史研究の面でご指導いただきましたこと、深く感謝いたします。また、古川義宏教授、現・比治山大学の鈴木盛久教授には私の在学時に論文指導をしていただいただけでなく、論文をまとめるまでさまざまな観点から声をお掛けくださったこと、厚く謝意を表します。

広島大学大学院理学研究科の出口博則教授には研究の当初からコケ植物についてのアドバイスをいただきましたこと、深謝いたします。

広島大学大学院国際協力研究科の池田秀雄教授には研究の全般に関わるご指導を賜り、論文の基礎を私と一緒に固めていただきました。また、研究者として歩むための基礎を築いてくださいました。ここに、深く感謝いたします。

広島大学の落合洋名誉教授には学問に携わる研究者としての姿勢について、研究の過程で多くのご助言をいただきましたこと、深謝いたします。北海道教育大学の大鹿聖公准教授には研究のキーポイントでアドバイスや励ましの言葉をいただきましたこと、深謝いたします。

私の広島大学大学院教育学研究科博士課程後期在学時において、Treyes, Rodolfo氏をはじめとする緒先輩方には研究方法について多くのアドバイスをいただき、向平和氏にはさまざまな相談に乗っていただきました。また、梶本恵子氏には公私にわたって適切なお助言をいただきました。ここに改めて感謝いたします。

広島大学附属中・高等学校の理科の先生方には授業実践の場を与えてくださいましたこと、感謝いたします。

弘前大学教育学部理科教育講座の先生方には論文をまとめるにあたって、格別なご配慮をいただきましたこと、感謝いたします。

最後になりましたが、ご協力いただいた広島大学大学院教育学研究科自然システム教育学講座の諸先生方、学生の皆様に、心より感謝申し上げます。

2008年12月23日 佐藤 崇之