

ゼニゴケの教材としての特性を活かした web教材の開発

佐藤 崇之
(2004年9月30日受理)

The development of web teaching material focusing on the characteristics of *Marchantia polymorpha*

Takayuki Sato

The characteristics of bryophytes were discussed, and a web teaching material which can be used for a classroom activity in junior and senior high schools was developed.

One of such bryophytes, *Marchantia polymorpha* has the following characteristics as a teaching material: 1) Ease of collection, 2) Simple body structure, 3) Ease of observing sexual reproductive organs and cells, 4) Possibility of observing asexual reproduction, 5) Importance for studying evolution.

This teaching material entitled "THE LIFE OF BRYOPHYTES" has been developed as a web page and released on the Internet. The front page is connected to 3 main pages: "Life of *M. polymorpha*", "Observation using *M. polymorpha*" and "Classification of Marchantiales".

The page of "Life of *M. polymorpha*" explains the life cycle as clickable-map. The items are designed such that they lead to the next related page. Hence, students can study them along the life cycle with ease. The page of "Observation using *M. polymorpha*" contains observations of egg cell, sperm cell and sperm. These observations are connected with the related pages in "Life of *M. polymorpha*", so that students can directly observe them in hands-on activity. At the page of "Classification of Marchantiales", 6 Japanese common liverworts are explained referring their thallus with naked eye observation.

This web teaching material is effective because students can study by themselves on the computer, then observe real living thing in the classroom.

Key words : Biology education, *Marchantia polymorpha*, Characteristics as teaching material, Development of web teaching material, Support for observation of real living thing

キーワード : 生物教育, ゼニゴケ, 教材特性, web教材開発, 実物観察支援

I. はじめに

平成10年度の学習指導要領の改訂において、中等教育の生物内容として、「種子をつくらない植物」は内容精選の対象となった(文部省 1998, 1999)。具体的には、中学校では「種子をつくらない植物とし

本論文は、課程博士候補論文を構成する論文の一部として、以下の審査委員により審査を受けた。

審査委員 : 角屋重樹 (主任指導教員), 鈴木盛久,
古川義宏, 池田秀雄 (国際協力研究科)

て存在を指摘する程度にとどめ」られるようになり、この学習指導要領に沿って作成された中学校教科書(平成15年度より使用)では、「シダ植物」、「コケ植物」、「藻類」などの分類群の名称すら掲載されなくなった。高等学校では、生物Iで生殖の領域において「生活環」が扱われなくなり、これに伴って「シダ植物」や「コケ植物」の生活環を世代交代として考察しなくなった。生物IIでは、分類の領域において「分類群の系統関係を探究的に考察する過程を重視して扱う」とされ、代表的な分類群の植物について学習することになった。しかしながら、全ての生徒が生物IIを

選択するのではないため、これを学習する機会のある生徒は限られている。今回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方も導入されたが、その発展的内容として中等教育において「種子をつくらぬ植物」をどこまで教材として扱うかを早急に検討する必要が生じている。

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、山口ら(1990)の進化史の見地から教材として捉えた研究や、畦(2001)の生態学的・形態学的特徴に着目した実践的研究、畦(2003)の生理学的特徴に着目した実践的研究が見られる程度で、比較的少ない。このため、さらに様々な見地からコケ植物を取り扱った研究を進めることが必要であると思われる。また、コケ植物のうちで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、蘚類と苔類の種数の差、それぞれを取り扱う研究者数の差など、種々の要因が考えられる。以上のように、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教材の開発がほとんど行われていないため、教材としての特性の検討とその特性を活かした教育方法の開発が必要である。

最近、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。最近の論文では、コンピュータを活用した様々な研究がある。情報処理機能を利用した植物検索用データベースの作成とその実践では多くの成果が上げられ(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)などの実践報告がある。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ページの開発・実践(三石ら 1999)や、植物の生殖を題材としたwebページの開発(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ページの開発と評価(大鹿ら 2001)がある。インターネットで配信できる教材を作製、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、中・高等学校の教員によってweb

ページが教材として配信されている。それらの内容は、開発者の行った授業の事例を紹介したものが多く、授業の進度や地域性などの様々な理由によって、教材活用の自由度が少ないものが見られる。

コケ植物を中心に扱ったwebページも多くのものが作製されている。しかし、図鑑的にコケ植物を紹介したものではありません。教材として授業の中に直接取り入れることは困難であり、また、教材として作製されているものに掲載された図版には抽象的な描画が多く、実物のイメージを捉えにくい。

以上の課題を解決するために、本論では授業で直接に使用できることを念頭に置いた、コケ植物を中心的な材料として形態学的レベルから細胞学的レベルにおいて扱ったweb教材の開発を試みた。具体的には、まず、コケ植物の教材としての特性を議論することでその有効性について確認した。その結果、コケ植物が生物教育における重要な柱である「生命の連続性」を理解するのに有効であることが明らかになり、これを中心に据えたweb教材を開発した。教材開発に際し、前出の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、生物教育に特有な顕微鏡を使用した実験観察にも用いることのできる教材とした。また、開発した教材を実際の授業に用いることを想定し、教材の特性を活かした効果的な利用の方法を提案した。

II. 材料とその教材特性

材料には、中等教育段階の教科書などにコケ植物の代表種として掲載され、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.)及びその近縁種を中心として用いた(図1)。ゼニゴケの教材としての特性として、以下の5点が挙げられる。

(1) 分布が広く採集が容易である

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った場所で簡単に見つけることができる。一般に晩春から初秋にかけて雌器床と雄器床を形成するため、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、生徒に行わせる実験観察の材料としても十分な量を入手することができる。また、畑や建物の付近などの人為的な攪乱が生じてい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ため、この点でも身近な植物と言える。

(2) からだのつくりが簡単である

葉状体と呼ばれる配偶体の本体（地表を這っている部分）は、その上面の細胞層にはガス交換を行う気室孔を有する。また、葉状体の下面には、主にからだを土壌に固定するはたらきのある仮根が伸びている。葉状体の縦断切片を作成すると、細胞が横に連なっていること、被子・裸子・シダ植物のような維管束が発達せずに中心部が空洞であることが分かる。このため、例えば維管束植物の組織と比較を行うことで、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・進化的特性が観察によって直接的に確認できる。

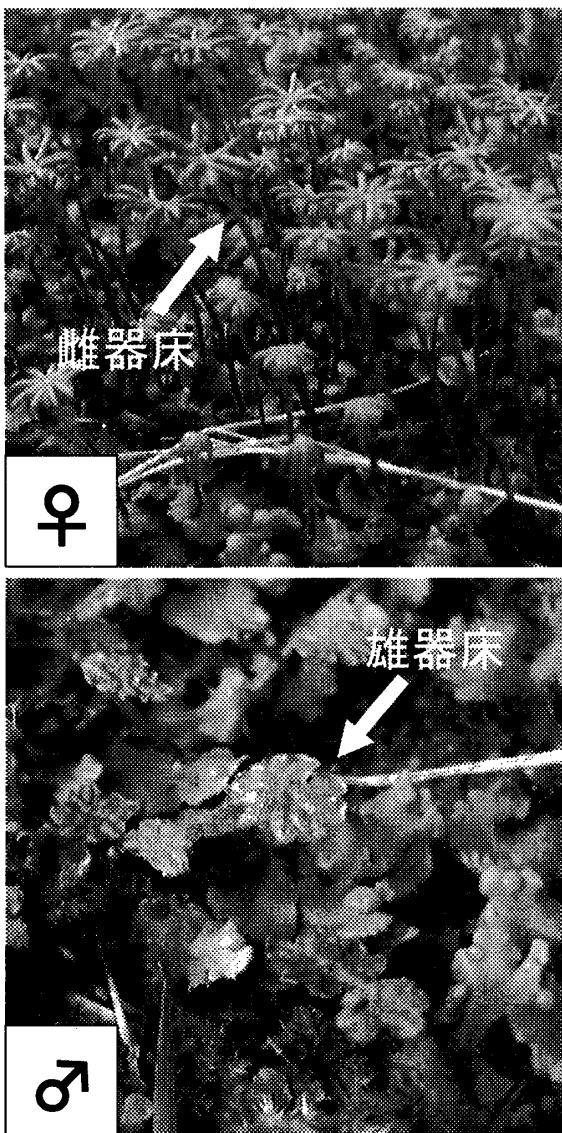


図1. ゼニゴケの雌雄

(3) 有性生殖器官や生殖細胞の観察が容易である

雌株には雌器床が、雄株には雄器床が晩春から初夏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成して観察すると、有性生殖器官（造卵器・造精器）を観察することが可能である。造卵器の外を包む細胞は一層で透明なため、その腹部の中に存在する雌性生殖細胞（卵細胞）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。一方、雄器床の上面に水を直接滴下すると、多数の精細胞が水の中に放出され、雄性生殖細胞（精子）が水中に泳ぎ出す。このように、精子を観察するのは簡単であり、精子の遊泳は光学顕微鏡下で生徒実験が可能である。しかしながら、中・高等学校の教科書で生徒実験として扱っているものはほとんど見あたらない。

(4) 無性生殖が観察できる

「種子をつくらない植物」の最も重要な特徴の一つとして、胞子をつくるという特性がある。この観点から、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0.5mm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、再び葉状体に成長する。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。

(5) 植物の進化を理解する上で重要である

植物の進化を理解する上で重要な観点の一つとして、「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、藻類（水中の植物として）とシダ植物（原始的な陸上植物として）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立場にあると言える。特に、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、進化の上で分岐点に位置する植物であることを理解しやすいと考えられる。

III. web教材の開発と構成

ゼニゴケには前章で論じたような種々の特性がある。そこで、これらの特性を学校現場で十分に活かすことのできる教材を開発する必要がある。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

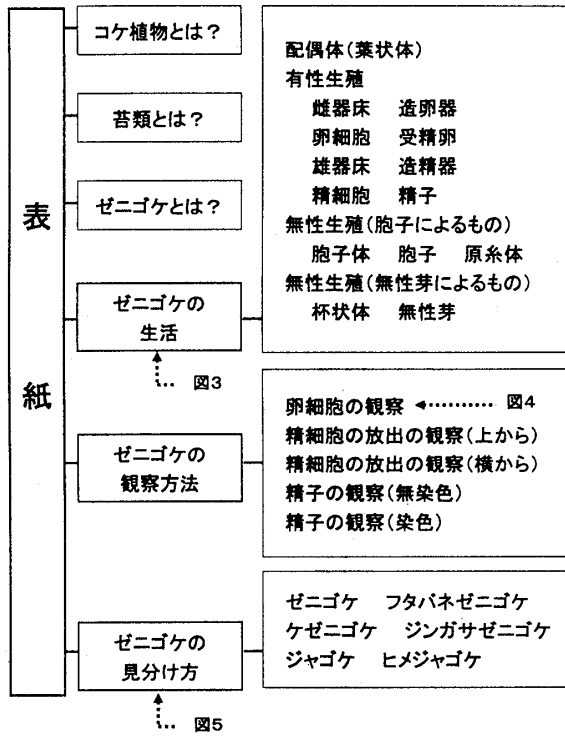


図2. 教材『コケ植物の生活』の構成

が可能であること、実験観察の補助として用い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、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、筆者の所属する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ページとして配信した(教材URL: <http://scied123.ed.hiroshima-u.ac.jp/koke/index.html>)。

教材の構成及び内容を概観すると、次のようになる(図2)。表紙となるフロントページからは、「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概説し、蘚類、苔類、ツノゴケ類の分類も説明した。「苔類とは?」では一般的に注目しがちな蘚類と比較した場合の苔類の特徴を抽出し、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学的特徴を示し、その生活環について概説した。また、フロントページからは、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接続した。その3項目に、図2の右側に囲んで示した項目を下位ページとして接続した。

「ゼニゴケの生活」のメインページ(図3)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て、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カブルマップとなっており、図3中に示したゴシック体で示した「配偶体」、「雌器床」、「精子」、「無性芽」などの主要項目は、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、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設計した。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を備え付けた。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にした。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。

加えて、図中に囲んで示した「有性生殖」と「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。

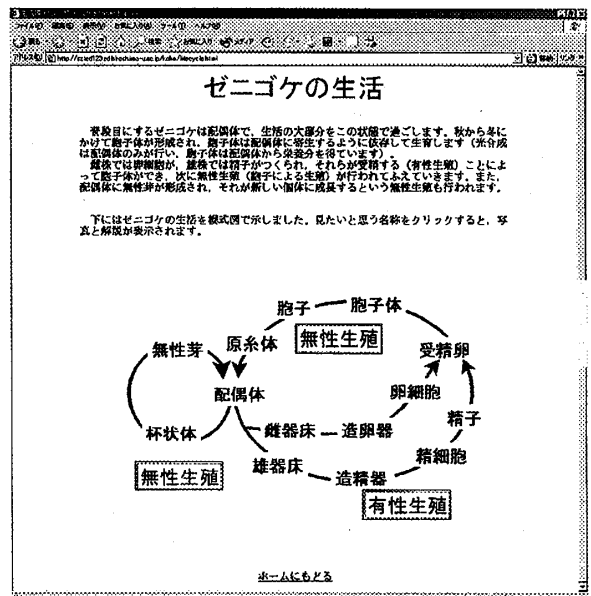


図3. 「ゼニゴケの生活」のページ

視聴覚教材の難点として、学習が提示される画像や文章による知識の取得のみに偏りがちになり、実際の現象とは異なるイメージを生徒に抱かせる可能性が考

えられる。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、実験観察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が並び、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。各観察方法のページでは、材料の選択のめやす、顕微鏡観察の方法、観察結果などについて写真と解説で表した(図4)。その際、手順を細かく分けて、1つの写真が1つの手順を表すように工夫したことで、教材使用者は操作が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際して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成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が塊となって放出される様子を、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、切片作成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。

前述のように、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。

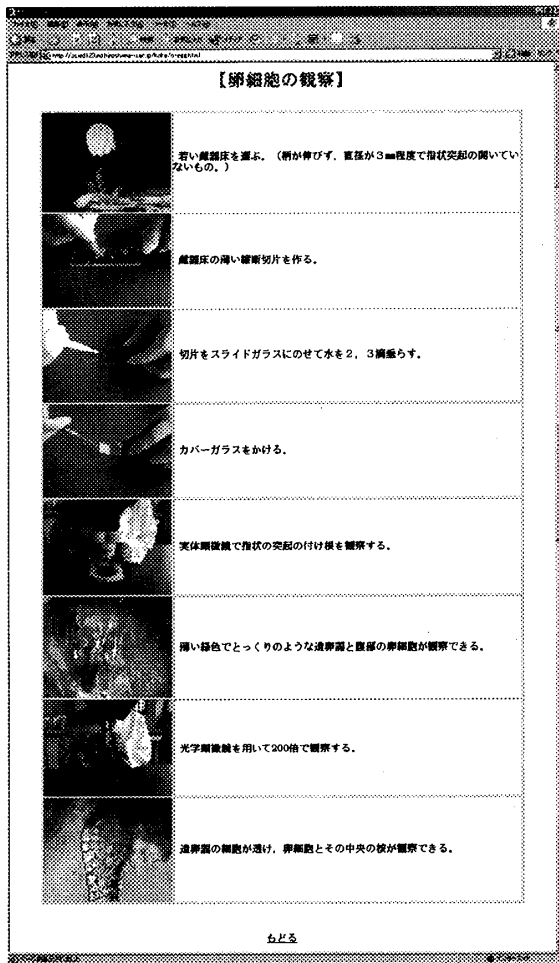


図4. 「卵細胞の観察」のページ

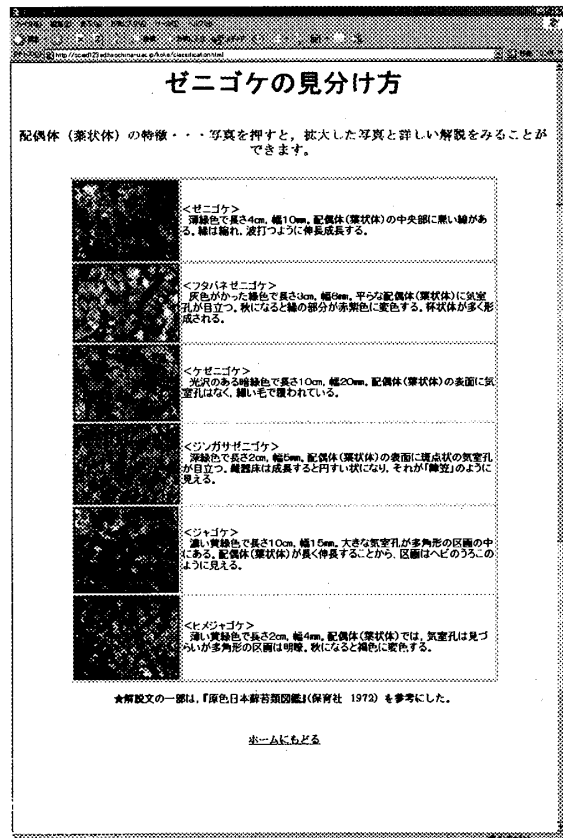


図5. 「ゼニゴケの見分け方」のページ

植物を分類学的に同定する際には、分類のキーとされる特徴的な形質(器官など)を比較して行う。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同様に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、ゼニゴケの仲間を比較、分類、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。ここでは、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 (*M. paleacea* Bertol. Var. *diptera* (Mont.)), ケゼニゴケ (*Dumortiera hirsuta* (Sw.) Nees.), ジンガサゼニゴケ (*Reboulia hemisphaerica* (L.) Raddi), ジャゴケ (*Conocephalum conicum* (L.) Lindb.), ヒメジャゴケ (*C. supradecompositum* (Lindb.) Steph.) 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。

メインページ(図5)はそれぞれの写真と種名及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、それぞれの種のページへ進むことができるようにした。そこには、各種の写真の拡大版、種名及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留めた。また、解説文のほとんどは著者の観察結果に基づいて作成し、一部には、図鑑などに掲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。

IV. 開発した教材の特徴

前述したゼニゴケの特性や教材の構成をふまえると、本教材の授業実践の場面における長所としては以下の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を解決することがで

きると考えられる。

(1) 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直接にリンクさせていること、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、本教材を使用することによって、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ゼニゴケが最も適した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。

(2) 画像による生活環の学習

生活環の学習は板書での図示や教科書・副読本の図版を用いた説明が多く、写真を用いたものがほとんどない。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られる。

本教材中の「ゼニゴケの生活」では、筆者が観察・記録した写真画像を用いている。また、典型的な写真のみでなく、生殖に適した時期のものなど、観察に適切な時期のものを写真によって紹介している。このため、スケッチを主体としたこれまでの図版よりも、実物に近いイメージを与えることが可能と考えられる。

(3) 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の多い生物の授業においては使用が困難であった。このため、生物関係の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表した。この各々のページを印刷することによって、観察マニュアルとして用いることができる。本教材はweb教材としての形態をしているが、工夫することによって生物教育にとって重要な観察の場面でも補助的に使用することができる。

(4) 年間を通した苔類の分類・採集

観察が行われない一因として、採集が困難であることが挙げられる。特に、ゼニゴケを含む苔類の仲間は形態的によく似ており、分類をするのが生徒にとって困難である。

本教材中の「ゼニゴケの見分け方」では、ゼニゴケの仲間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。

V. 本教材の効果的な利用方法

本教材は授業で用いることを想定し、教科書に基づく単元内容に発展的な内容を加えて構成した。このことから、本教材を高等学校生物の一連の授業の中に取り入れるにあたって、図6のような使用方法において教材としての効果が最も発揮できると考える。

生物Ⅰの生殖と発生や、生物Ⅱの生物の分類と系統に関係する単元においてコケ植物を扱う時に、まず本教材を閲覧させる。ここでは、生活環を定義することによって学習する内容の概要を捉えさせ、本教材の使用方法を説明する。生徒各自あるいは数人のグループにコンピュータ端末を与え、自由に閲覧させる。次の時間を実験観察に充て、まず観察材料であるゼニゴケの実物を与える。その後、観察手順を示すプリントとして「ゼニゴケの観察方法」の中から適したページを印刷して配布し、観察及びスケッチを行わせる。

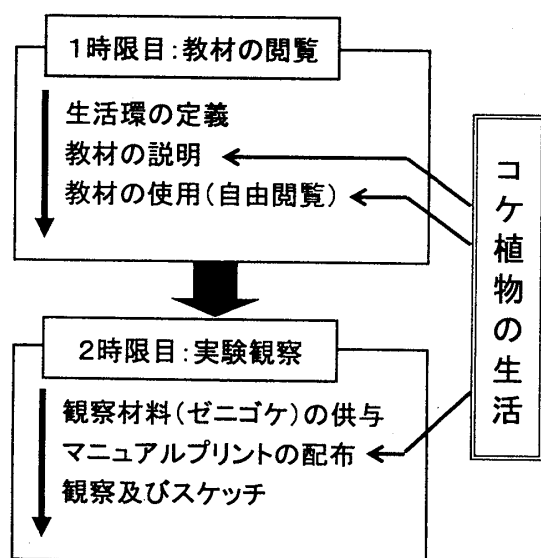


図6. 本教材を用いた効果的な利用方法の流れ

VI. まとめ

本研究で開発した教材は、インターネットを經由して配信できるもので、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。それは、特に本論中に示した利用方法によって、教材の特徴を活かすことができ、より深い理解につながるものと考えられる。

謝 辞

本教材を開発するにあたって、広島大学大学院教育学研究科の大鹿聖公講師には、企画・立案に関して多くのご指導をいただいた。深く感謝する次第である。

【文 献】

- 服部新佐・岩月善之助・水谷正美 (1972) 「原色日本 蘇苔類図鑑」, 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
- 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

(主任指導教員 角屋重樹)