

環境教育における生物指標の教材化

—ウメノキゴケを使った環境教育実践—

永 川 元
神奈川県立初声高等学校

Study for Teaching Material with Biological Indicators for Environmental Education:
Practical Study on the Environmental Education using *Parmelia tinctorum* (Umenoki-goke)

Hajime EIKAWA
Kanagawa Prefecutal Hasse High School
(受理日2002年9月2日)

1 はじめに

高等学校において環境教育は、地理歴史・公民・理科・家庭・保健体育など多くの教科の中で、取り上げられている。また、新カリキュラムでは、「総合的な学習の時間」の例として、「環境教育」が取り上げられている。このように、環境教育の重要性が以前より増している。しかし、高等学校での具体的な取り組みは大きく遅れている。たとえば、大気汚染の問題は各教科書で扱われているが、地域のデータや実験器具の不足から、地域における観察や実験はほとんど行われておらず、教科書に書かれている内容を学習する（知識教育）か教科書に記載されている資料を検討・考察するに留まっている。そのため、生徒にとって、大気汚染を身近な問題として十分認識させるにはいたっていないと考えられる。

一方、大気汚染、特に二酸化イオウによる植物の被害は、煙害あるいは銹害として明治時代から問題にされてきた。有名な煙害地として、尾去沢、日立、足尾などをあげることができる。また、ウメノキゴケなどの樹皮上に生育する地衣類を使った大気汚染の調査は、ヨーロッパでは、1世紀以上も前から行われており、多くの都市で汚染地図が描かれている(Laundon, 1967)。日本においても、明治20年代、新居浜精錬所の周りの地衣類が生育していないのに地域の住民が気づき、精錬所の排

煙に含まれる高濃度の二酸化イオウによる大気汚染のためであることを指摘している(埜田, 1973a)。このような植物の分布状態、あるいは栽培植物にあらわれた被害徴候によって、大気汚染の程度を知ろうとするのが植物指標の考え方である。

そこで、このような生物指標を学校教育、特に、環境教育の授業に組み込むことができないか、検討を行った。さらに、ウメノキゴケを使って環境教育カリキュラムの開発とそのカリキュラムを用いた実践を高等学校の生物授業及び課外活動(科学同好会)で行い、その教育的効果について検討を行った。

2 着生植物による大気汚染調査

2.1 植物指標としての意義

植物の分布状態、あるいは栽培植物に現れる被害徴候によって汚染の程度を知ろうとするのが植物指標の考え方である。もともと、大気汚染が社会問題となったのは、植物、特に農林作物に被害が生じたからである。実際に植物指標の方法を用いて大気汚染を測定する理由は、次のようにまとめられている(埜田 1976a)。

- ① 毒物(環境汚染物質)の種類が不明であっても、その毒性の強さが測定できる。
- ② 多数の汚染物質の複合的な強さが測定できる。
- ③ 長期にわたる汚染の生物への影響が、短時間で調査できる。

- ④ 秘密裏のうちに調査を行うことができる。
- ⑤ やり方によっては、費用をほとんどかけないで、有効な情報を得ることができる。

このうち、①と②は生物指標だけが持つ長所である。

物理・化学的原理に基づく分析法の得意とするところは、「単一物質の濃度」の測定であるのに対し、生物的方法の特徴は複数の汚染物質（または他の環境因子）の「総合的な影響」を測定することである。

中でも、着生植物（着生コケ類）が大気汚染指標として優れているのは、以下の理由による（埴田 1976b）。

- ① 他のどんな植物よりも大気汚染に弱い
- ② 土壌条件の違いに影響されない
- ③ 病虫害がほとんどない

また、着生コケ類が大気汚染に弱い理由はいくつかあるが、要約すれば次の3点となる。

- ① 生活のための水分・養分の全てを雨水に頼っている。しかも植物全体から直接吸収するため、汚染物質の吸収量が多い。
- ② 高等生物に比べて成長速度が遅く、被害後の回復に時間がかかる。
- ③ 多年生常緑植物であり、年間を通じて汚染の被害を受ける。

特に、ウメノキゴケの生育環境に関しては、大気汚染物質、特に、二酸化イオウ濃度との相関が報告されている（埴田 1973b, Taoda 1976, 杉山 1973）。二酸化イオウは大気汚染の原因物質の一つで、植物や動物に多大な害を及ぼし、人体に対しては、気管支炎や喘息などを引き起こすことがわかっている。実際に、二酸化イオウ濃度が0.04ppmを越えると、ウメノキゴケの生育に影響が出ることが報告されている（杉山 1973）。地域のウメノキゴケの生育分布を調べ、その分布境界を結んだものが、「ウメノキゴケを使った大気汚染地図」である。また、埴田は、「東京やその都市では、コモチトゴケの分布限界は、強度の汚染地域である着生砂漠の境界と一致し、ウメノキゴケは軽度の汚染に大して優れた指標となる」（埴田 1976a）と報告している。

2.2 調査方法

① 調査対象地域

横須賀市を中心として、三浦市、三浦郡葉山町付近を含めて調査を行った。地域によっては、住宅地・工場などで調査樹林が見られないこともあった。主に、神社・寺院・公園などの樹木及び墓石を調査した。

② 調査樹木の選定

若い樹木には、蘚苔類や地衣類は着生しにくい。したがって、胸高直径15cm以上の樹木、イチヨウ、ソメイヨシノ、ウメ、クスノキなどを選んだ。

③ 樹木の生育環境と着生植物の記録

1本の調査樹木ごとに、調査地名、樹種名、胸高直径、生育環境及び胸高付近で20cm方形区（コドラード）を決め、その上に生育する着生植物の種類と被度を調査カードに記入した。着生植物の生育面積と評価基準は表1の通りである。

表1 着生植物の生育面積と評価基準

評価基準	着生植物の生育面積
+	わずかな被度で、個体数もわずか。
1	個体数は多いが、被度は調査面積の1/10以下。もしくは、被度が1/20以上であるが、個体数は少なく、散生している。
2	個体数に関係なく、1/20～1/4（5%～25%）の被度を示す。
3	個体数に関係なく、1/4～1/2（25%～50%）の被度を示す。
4	個体数に関係なく、1/2～3/4（50%～75%）の被度を示す。
5	個体数に関係なく、3/4以上（75%以上）の被度を示す。

3 授業（生物）の中での実践

まず、「2. 着生植物による大気汚染調査」で述べた調査方法を、環境教育として授業の中に取り入れることを考え、環境学習カリキュラムの作成、授業計画及び実習方法の検討を行った。着生植物として地衣類の一種のウメノキゴケに絞り、2年生の生物I Bの授業を使って、教材化とカリキュラムの開発を行った。

3.1 学習の目的

大気環境指標としてウメノキゴケを教材として用い、そのカリキュラムを生徒が実践することで、問題解決の能力や態度を育成することを目標とする。

3.2 実践対象

神奈川県立Y高校2年生の生物IB選択者2クラス 80名

3.3 学習計画

生物指標による環境調査のやり方とその有効性について生徒に理解させる。その中で、環境指標として用いたウメノキゴケの生物的構造、仕組みや生活環について学習する。また、以前、筆者が行った横須賀地域の着生植物による環境調査の結果と比較させる。化学的データとの比較から、生物的及び化学的な調査方法の利点と欠点を理解させる。実際の観察方法と調査用紙の書き方を指導し、生徒個々に調査させる。これにより、机上の環境教育にとどまらず、実践的な環境教育をめざす。さらに、以前の調査結果と比較検討することで、自分たちの住んでいる自然環境の変化を考えさせる。その上で、環境の改善もしくは悪化について考えさせ、生徒に討議させる。

3.4 学習カリキュラム

実際に次のような6時間の抜いで生物IBの授業で実践を行った。

表2 「ウメノキゴケを使った大気汚染調査」のカリキュラム

時間	項目	内容	指導方法
1	生物を使った環境調査法	・生物による環境調査の方法とその有用性 ・ウメノキゴケの生物的仕組み ・「生物を使った環境指標」とはどのようなものか ・筆者が以前行った着生植物による調査結果	本文①を参照
2	調査方法と調査用紙の書き方	・本校近くの寺へ生徒を引率し、実際にウメノキゴケを見ながら、調査方法と調査用紙の書き方を指導	本文②を参照
3	調査場所の設定	・生徒と面接しながら、住んでいる近くの寺もしくは神社を調査場所に設定	本文③を参照

4	環境調査	・夏休み中に、生徒個人が2カ所の指定した調査場所にて調査	本文④を参照
5	大気汚染地図の作成	・調査用紙を、生徒の代表にまとめさせ、調査結果を横須賀地域の白地図に記入し、ウメノキゴケによる横須賀地域の汚染地図を作成	本文⑤を参照
6	大気汚染地図を使った生徒の討議会	・生徒たちに大気汚染地図と化学的データ及び筆者の行った以前のデータとを比較させ、横須賀の環境状態について検討させた。	本文⑥を参照

3.5 指導方法

① 生物を使った環境調査法について

生物IB授業の1時間を使い、教科書や図説そして、以前筆者が行った環境調査結果などの資料を使い、生物による環境調査の方法とその有用性、その欠点などについて説明した。

② 環境調査法の指導

生物IBの授業の1時間を使い、学校近くの寺に生徒を引率して実地の指導を行った。この寺は、事前に調査して、ウメノキゴケが生育していることとその場所を確認しておいた。また、寺の住職へ調査日に生徒を引率して調査に伺うことを連絡しておいた。実際にウメノキゴケを見ながら、ウメノキゴケの同定方法、観察方法、調査用紙の書きなどを指導した。

③ 調査場所の設定

面接方式で、横須賀市の白地図を見ながら、生徒が住んでいる近辺の寺もしくは神社を探し、その調査場所を決めた。1人2カ所ずつを設定した。

④ 生徒によるウメノキゴケの環境調査

生徒による調査は、夏休み中の都合のよい日に各自調査させた。調査用紙の記入とともに、着生していた地衣類の種類がわからない場合、採取したり、写真を撮ってくるように指導した。また、調査において、調査場所付近の様子、ウメノキゴケが樹幹もしくは墓石のどちらに着生しているか。着生している樹木名、

着生している方向などを調査用紙に記入させた。生徒の調査記録用紙の一例を図1に示す。

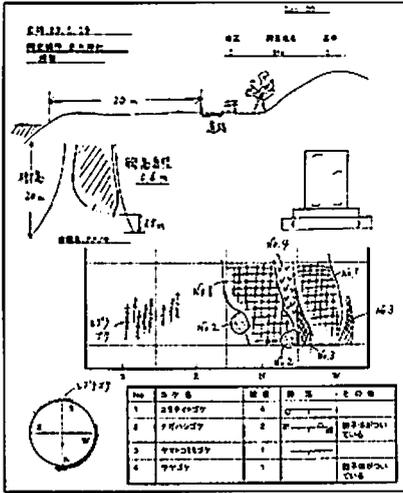


図1 調査記録カードの一例

⑤ ウメノキゴケの分布地図の作成

夏休み明けに、生徒の調査用紙を回収し、グループ(実験の班)代表に結果をまとめさせ、横須賀地域の白地図に記入した。

⑥ 生徒による調査結果の評価と考察

生徒が作成した「ウメノキゴケの分布地図」と横須賀市の環境保全部から頂いた「化学的データ」(横須賀市環境保全部, 1983)そして筆者が以前行った環境調査結果(永川, 1984)(図2)を用いて、生徒たちに化学的データとの比較及び経年変化について検討させた。



図2 着生植物の分布による大気汚染度別地帯区分(1983年)

- 樹幹性ウメノキゴケ群落
 - 腐石性ウメノキゴケ群落
 - △ ヤマトコミミゴケ・コモチイトゴケ群落
 - × 着生砂漠
- Zone I : 着生砂漠地帯
 Zone II : 中度汚染地帯
 Zone III : 正常地帯

3.6 ウメノキゴケの分布地図(図3)

調査用紙の結果をまとめて、生徒に横須賀地域の白地図にプロットさせたのが、図3である。ウメノキゴケの生育しているところを○、生育していないところを、×とし、その境界を線で結んだ。



図3 ウメノキゴケの分布地図(1996年)

- ウメノキゴケが生育しているところ
- × ウメノキゴケが生育していないところ
- // ウメノキゴケが生育していない地域

3.7 生徒の検討結果及び感想

これらのデータをもとに、生徒たちに自分たちの住んでいる地域について討議させた。授業の最後に、まとめのプリントを配り、以下のことについて考察させた。

- ① 「ウメノキゴケの分布地図から、どの様なことがわかるか」
- ② 「化学データ」と比較して、どのようなことがわかるか」
- ③ 「自分の住んでいる地域はどんな様子か？」作成した分布地図をもとに考えよ。

また、授業の感想を最後に書いてもらった。これら生徒の考察を分析すると以下のようなことがわかった。

- ① 「ウメノキゴケの分布地図から、どの様なことがわかるか」(表3)
 生徒は、ウメノキゴケの分布地図と横須賀地域の市街地図と照らし合わせることによって、ウメノキゴケの分布が、それぞれの場所の環境に大きく依存していることを理解した。
- ② 「化学データと比較して、どのようなことが

わかるか」(表4)

ウメノキゴケの分布地図と化学的データを比較することで、生物指標が有効であることを理解させることができた。また、新たな疑問も生徒から生じた。

③「自分の住んでいる地域はどんな様子か？」(表5)

多くの生徒たちは、自分たちの住んでいる地域の環境状態を、ウメノキゴケの分布地図を通して認識することができ、たいへん効果があった。生徒たちは、ウメノキゴケが生育できない理由及び減少する理由を、単に大気汚染によるものだけでなく、宅地開発などによる地域の乾燥化にも原因があるのではないかと考えている。

④「授業の感想」から(表6)

今回の授業では、今すぐに、環境保全ために、積極的に行動しようとする生徒は出てこなかった。これは、生徒にとって、大気汚染や宅地開発などが環境に多きな影響を与えていることは理解できたが、それらの原因となる

大気汚染や宅地開発をくいとめるために、自分たちの生活の中で、どう対処していけばよいのかといった具体的な方策を生徒自身が、捉えにくかったためと考えられる。水質汚濁の場合、家庭から出す排水をコントロールすることで、かなりの成果を目に見える形で示すことができる。それに対して、大気汚染を減少させるためには、せいぜい「自動車を使わずに、バスや電車を利用する。」という答になってしまい、具体的な行動に至らない。

しかし、生徒たちは現状に甘んじているのではなく、将来の環境悪化を真剣に心配している。生徒の中には「自分一人では何にもできないが、みんなで協力すればきっと何かができるはず。」という認識を持つ生徒もいる。実際に、新しく「グリーンの会」という新しい同好会を立ち上げ、自分たちの身近な環境を守るために校内の空き缶リサイクル運動を行う生徒も出てきている。

このような活動が、将来、大人になって一市民として環境保全活動を行うときには、必要

表3 「①ウメノキゴケの分布地図から、どの様なことがわかるか」に対する生徒の考察

生徒の考察例	人数
・工業地域や道路の近くでは、確実にウメノキゴケが減ってきている。	25人
・横浜方向に向かって環境が悪くなる。	20人
・だんだん住みづらくなってきている。	9人
・「都会」と言われている地域が「着生砂漠」である。	5人
・昔のデータと比較してもかなり内陸部に環境破壊が進んでいる。	5人
・高速道路によって交通量が増えたところは、ウメノキゴケが減少している。	3人

表4 「②「化学データ」と比較して、どのようなことが判るか」に対して生徒の考察

生徒の考察例	人数
・ウメノキゴケの分布とナイトプレーション法による二酸化窒素濃度の分布が似ている。	12人
・二酸化硫黄濃度や二酸化窒素濃度が高いところは、ウメノキゴケは生育しにくい。	8人
・工場や高速道路など、排ガス量が大きく影響していると思う。	3人
・三浦市に近い地域は、比較的空気がきれいだ	2人

表5 「③自分の住んでいる地域はどんな様子か？」に対する生徒の考察

生徒の考察例	人数
・わりと緑が多く、環境はよい方だと思う。	9人
・新しい住宅地ができていたので、13年前にはあったコケがなくなってしまい、環境が悪くなっている。	6人
・環境は悪くなってきている。	3人
・海岸沿いで緑が多く、ウメノキゴケが生育している。	2人

表6 授業の感想

生徒の感想	人数
・道路や鉄道が伸びて、住み易くなってきた反面、緑が減り続け、環境が悪化してきている。	
・高校生の間にこのようなことを学べたことで、今後の環境の為にも何か役立つことがあると思います。	
・こんなにはっきり空気の汚れとウメノキゴケの生え方が一致しているとは思わなかったので驚いた。今後、自動車を余り使わずにバスや電車を利用するなど、少しでも環境の悪化を防ぐようなことをしていきたい。	
・夏休みに調べるのはちょっと面倒だったけど、こういうデータに使われて、きれいな地図になっているのを見ると、役立ってよかったなと思った。	
・自動車の量は、これからも増え続けると思われ、二酸化窒素も今よりも増えてしまうだろう。	
・国道16号付近は、かなり環境が悪いと思う。	
・環境の悪化は、やはり都市化が第一に浮かぶ。都市化することによって起こる問題は計り知れない。本当にこのままでいいのだろうか。	
・家の近くにコケがけっこう生育しているので、環境はよい方だと思う。	
・三浦でも、小網代の森などにゴルフ場の建設とか言う声もあって、私はよくその森に行っていたので、無くなって欲しくないから、環境のことをもっといろいろ考えたい。	
・みんなで協力して少しずつでもいいから環境を良くしたいと思う。	3人
・車の排出ガスの汚染物質を取り除く技術を見つけて欲しい。	3人
・年々、ウメノキゴケの生育状況は悪くなっていることがわかった。僕一人じゃなんにもできない。でも、横須賀市の45万の人々が協力すれば、きっと何かができるはず。各市町村にもこの状態を理解してもらい、今後の活動を行っていきたい。	
・この調査結果から、この学校の周りは、環境が良くて良いと思っていたが、実際大違いであった。こんなに汚染されていたのか……	
・空気が汚れてきているとは聞いていましたが、普段、気にして町を歩いたりしていないので、この様なデータをみて、改めて空気が汚れているなと思いました。思えば、ここ数年で、いろいろな新しい建物が建ち、私が小さいころ遊んでいた原っぱも、駐車場になってしまったりしています。すごく悲しいことだけど、今の私ではどうしたらいいのかよくわかりません。この様な状況で、私が大人になったとき、どうなるか心配です。本当に深刻な問題になってきていることを改めて実感しました。	
・ウメノキゴケという一つの植物を調べるだけで、こんなにも環境のことを知ることは思わなかった。	

なものとなってこよう。

3.8 本調査での課題

このように生物授業を用いて環境教育としての問題意識・関心を深めることができたが、ウメノキゴケの分布地図で、二酸化イオウ濃度が減少しているにもかかわらず、依然としてウメノキゴケの分布が減少する原因が、現在のところよくわからない。先行研究では、二酸化イオウ濃度とウメノキゴケの分布に相関関係があることが報告されている(杉山, 1973: 生出, 1990)。ウメノキゴケが減少する他の原因として、生徒は宅地開発による乾燥化を考えた。ウメノキゴケにおいては、水分及び養分を仮根ではなく、葉状態全体から吸収していることを考えると、乾燥が生育に対して大きな影響を与えていることが考えられる。また、化学物質として二酸化イオウ濃度と二酸化窒素濃度について比較を

行ったが、はっきりとした相関関係を見いだすことができなかった。その他の化学物質や粉じんなどの複合的な影響も考えられる。ウメノキゴケの分布の減少に関しては、今後も継続して調査を行って行きたいと考えている。また、その原因についても化学物質の調査項目を増やして、調べていきたいと考えている。

また、生物授業で用いた化学的データは、生物の授業という制約のため、実際に調査せずに、市役所の環境保全課のデータを用いた。

生徒たちに、単に、市役所からもらった二酸化窒素濃度や二酸化イオウ濃度などの化学的データの数字を提示したため、これらの数字の意味や、濃度とウメノキゴケとの関係がどのように結びついているのか、生徒にとって理解が不十分であった。また、データの数字の裏側にある分析方法やもっと広い意味での大気汚染物

質の理解が不十分であった。

4 課外活動（科学同好会）での実践

そこで、次に、この実践内容の不十分さを補い、さらに化学的分析法の習得と知識を得るために、ウメノキゴケという生物指標と簡易的分析化学とを組み合わせた総合的な環境教育のカリキュラムを開発し、その実践を試みた。

この研究実践は化学と生物の科目間にまたがった研究であるため、授業の形態でなく課外活動（科学同好会）で研究実践を行った。

ウメノキゴケによる環境調査と同時に、二酸化窒素の簡易分析法（ザルツマン法）による化学的な調査を行い、両方のデータを比較検討させることで、生徒に多面的に物事を捉える方法を教えることだできた。また、この結果を「日本環境教育学会第10回大会」ミニワークショップで生徒に発表させ、その結果、生徒の発表能力や検討能力などを高めることができた。

4.1 学習目的

- ① 身近な環境調査を通して科学的なものの見方や考え方を育てる。
- ② 自分の力で考え、自分の考えをまとめ、それをみんなの前で発表する力を育てる。

4.2 実践対象

神奈川県立K高等学校 科学同好会部員
1・2年生 8名

4.3 学習計画

ウメノキゴケの調査は、前章で述べた「生物授業の中での環境教育実践」のカリキュラム、実習方法を踏襲した。クラブ活動内で行う学習ということで、生徒の興味・関心を重視した。生物授業の実践と違い、化学的な内容、特に、分析化学のより専門的な実験指導・発色反応の機構の説明を行なった。さらに、データ処理、原稿作成、発表用OHPの作成などに、コンピュータの活用を指導した。

4.4 学習目標

- ① 自分たちの身近な環境の状態を知る。
- ② 生物指標による調査方法と化学的調査方法の技術を習得する。また、それぞれの調査方

法の長所・短所を知る。

- ③ プレゼンテーション（自分の意見を発表する）の力をつける。
- ④ 発表することで生徒に大きな自信を持たせる。
- ⑤ 実験・観察を通して科学的な思考を育成する。

4.5 ウメノキゴケによる調査とその結果

最初に生物指標（ウメノキゴケ）を使った調査を行い、ある程度データが蓄積した段階で、化学分析による調査を行った。

「ウメノキゴケの調査方法」は、生物I Bの授業の場合と同様に生徒の指導を行った。

時期：1998年12月～1999年5月

場所：横須賀市の神社・寺を中心に60カ所を調べた。



写真1 ウメノキゴケ調査の様子とウメノキゴケ

生物の授業と同じように大気汚染地図を作成させた。ウメノキゴケが生育しているところを○、生育していないところを×とし、その境界を線で結び、図4のような分布地図を得た。

こうした調査とまとめから以下のようなことがわかった。

- ① 1983年度、1996年度、1999年度の調査結果を比較すると、年を追うごとに、着生砂漠（ウメノキゴケが生育していない地域）が広がっていることがわかった（図2、図3、図4）。
- ② 新たに着生砂漠化した地域は、横浜横須賀

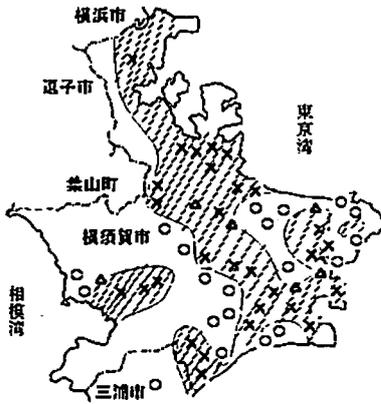


図4 ウメノキゴケの分布地図 (1999年)
 ○ ウメノキゴケが生きているところ
 × ウメノキゴケが生きていないところ
 // ウメノキゴケが生きていない地域

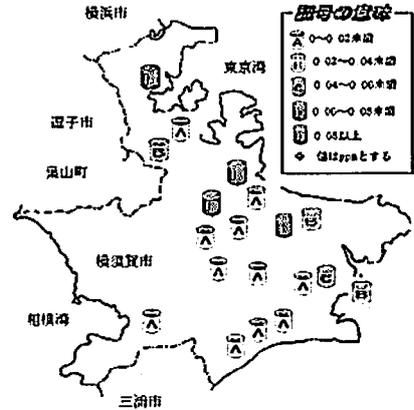


図5 ザルツマン法による各地の二酸化窒素分布 (1999年)

道路の延長された付近、野比の研究学園都市開発、大規模宅地開発が行われた地域であった。特に、野比の地域は化学的な汚染状態はそれほど悪くないのに、着生砂漠化が進んでいた。これは、大規模宅地開発や学園都市開発などによる森林(雑木林)の伐採による樹木の減少と大気乾燥化によるものと思われた。1983年当時は、森林面積も多くよく山に霧がかかることが多かったが、近年、そのような現象が見られなくなった。ウメノキゴケなどの地衣類は、大気中から水分や栄養分を取り入れているため、樹木の減少が大きく影響していると考えられた。

- ③年々、山林の宅地化が進んでおり、それとともに、ウメノキゴケの生育状態が悪化している状況がわかった。そして、近い将来、横須賀地域のウメノキゴケは消えてしまうのではなかろうかとの不安を抱いた。

4.6 化学分析方法による大気汚染調査とその結果

大気中の NO_x 濃度を測定するため、簡易のザルツマン法を用いた(天谷, 1996)。

また、比色計には筆者が開発した簡易比色計を用いて、分析をさせた(永川, 1993)。

この化学的分析を行うにあたって、表7に示すような学習カリキュラムを開発し、実践を

行った(表7)。

調査試料をザルツマン法によって比色定量し、その結果を二酸化窒素環境汚染地図を作成した(図5)。その結果、以下のようなことがわかった。

- ①化学的分析としてザルツマン法による二酸化窒素の分析を行い、「ウメノキゴケの分布地図」と比較したが、余り良い相関関係が得られなかった。その原因として、調査地点の少なさや調査の精度そして実験の未熟さなどに改良の余地あると考えられた。
- ②ザルツマン法は大気中の二酸化窒素の吸着にトリエタノールアミンを使用しているが、フィルムケースの中のろ紙にしみ込ませるトリエタノールアミンが少なかつたため、うまく二酸化窒素が吸着されなかった。
- ③ウメノキゴケの生育は、大気中の二酸化窒素より二酸化イオウ濃度に大きく影響されるとの報告(埴田, 1973; 杉山, 1973)があり、二酸化窒素との相関が小さかつたと思われた。
- ④化学的分析は測定時の気象状況にも大きく影響されるため、今回の24時間の測定中に降雨もあり、雨に二酸化窒素が溶け込み、その結果として二酸化窒素が少なく測定された。
- ⑤二酸化窒素の分布をより正確なものとするために、もう少し細かく調査個所を設けてデー

表7「ザルツマン法による二酸化窒素調査」のカリキュラム

時間	項目	内容	指導方法
1	化学分析法（ザルツマン法の調査方法）の説明	発色反応の機構の説明この分析法の利点と欠点について	酸化還元反応やカップリング反応などの高等学校で学習する内容を使ってわかりやすく説明する。
2	サンプル瓶の作成 フィルムケースにろ紙を取り付け、トリエタノールアミンに浸す		
3	試薬の調製	ザルツマン試薬 NO ₂ 標準溶液 トリエタノールアミン溶液	調製 試薬の調製には立ち会い、器具の使い方やポイントを指導する。
4	実地調査	選定した寺・神社・自宅などで24時間、サンプリング	
5	試料の分析	自作簡易比色計を使った定量分析 NO ₂ の定量	試料の分析ごとに検量線を作成する。比色計の光源には緑色の発光ダイオードを用いる。
6	大気汚染地図の作成	結果の集計と地図へのプロット	

タを集める必要があった。

- ⑥横須賀市の化学的データ（横須賀市環境保全部、1998）を見る限り、横須賀市の大気汚染状況は横這いもしくは改善の方向であるが、ウメノキゴケの生育環境からは改善されているとは言えなかった。

4.7 検討会から学会発表まで

これらの生物指標の結果と化学分析の結果及び考察をもとに、それらの成果をまとめて学会発表まで取り組んだ（表8）。

これらの発表を通して、生徒は、次のような力を身に付けることができた。

①データの処理の仕方

生徒がウメノキゴケの分布地図を二酸化窒素分析のデータと比較することで、より化学的データの数字の意味を理解できるようになった。自分たちの作成した地図とデータを比較

し、それをもとに、自分の住んでいる地域の環境を考えることで、数字の本当の意味することを理解することができた。

- ②自分の意見をまとめ、みんなの前で発表し、討論する力を育成することができた。生物班と化学班にわけて調査分析を行ったため、互いの情報を交換する必要性が生じた。したがって、自分たちの調査結果を互いにかかるような形で発表し、検討を行った。
- ③学会発表用に、原稿及びOHPを作成する力をつけることができた。

5 おわりに

ウメノキゴケを利用した本実践は、生徒たちが実際に野外調査を行うことで、机上の環境教育にとどまらない実践的な教育内容となった。単に地衣類（ウメノキゴケ）を調べるといった調査方法を

表8 「学会発表」までのカリキュラム

時間	項目	内容
1	生物班・化学班に分けて、結果の整理と分析	それぞれの班で、発表者を決め、検討会の資料を作成
2	検討会汚染地図を見ながら、問題点や疑問点を上げ、検討を加える。最後に、それらを結果としてまとめる。	生物指標と化学分析による環境汚染地図を比較する。また、過去2回の生物指標による大気汚染地図とも比較する。結果と考察の事柄をまとめる。
3	学会発表準備	学会発表用のOHPシートの作成 発表用原稿の作成
4	模擬発表会	
5	学会発表	「日本環境教育学会」のワークショップで発表
6	反省会	今後の検討課題について検討

習得するだけでなく、自分たちの調べた調査結果を地図にすることで、自分たちの身近な大気汚染状態を目に見える形で理解することができた。このことは、環境教育の目的でもある“Think Globally, Act Locally”、つまり、環境問題を身近なところから具体的に認識するきっかけとなった。また、以前の調査結果と比較することで、大気汚染の状況を経年変化で捉えることができた。

このように生物の授業及び課外活動（科学同好会）におけるウメノキゴケを用いた環境調査を通して、環境教育教材としての有効性を確認することができた。

ただ、生物の授業では、科目としての制約のため化学的な内容を十分取り入れることができなかった。このことは化学的なデータと生物指標との比較において、生徒の考察及び検討が不十分であったことから明らかである。

それに対して、課外活動では、生物という科目の枠を越えた教育実践により、具体的には、大気中の二酸化窒素を簡易分析により実際に測定し、その測定値と生物指標とを比較検討することで、環境問題を生物的観点からだけでなく、化学的観点を含めたより多面的な角度から捉えさせることができた。また、実際に化学分析を行ったことにより、化学的なデータが示す数字の意味を理解させることができた。さらに、課外活動では、生徒に学会発表という機会を与えたことにより、生徒にとって非常な励みとなり、自分の意見をみんなの前で発表し、討議する力がついた。

生物指標と化学分析の内容を取り入れたカリキュラムを実践することにより、科目の枠を越えた多くの内容を学習できた。本研究のカリキュラム開発及びその教育実践から、このカリキュラムが2003年度から始まる高等学校の「総合的な学習の時間」における「環境教育」として十分使い、大きな教育的効果を上げることができるものと考えられる。

謝 辞

蘚苔類の同定、調査法、データのまとめ方と初

歩から指導して下さった元神奈川県立博物館学芸員、生出智哉先生、化学的データを提供して下さい下さった横須賀市環境部に対し、深甚の謝意を表します。

引用文献

- 天谷和夫, 1996, みんなでためす大気の汚れ 第3版, 合同出版, 東京.
- 土永浩史, 1992, 着生植物を利用した環境指標: 樹幹着生蘚苔類を中心に, 和歌山県高等学校理科研究会会誌, 65-77.
- 永川元, 1993, 自作簡易比色計による環境分析, 化学と教育, 41, 762-765.
- 永川元, 1994, 新しいタイプの反応速度実験 I: 自作簡易比色計を使って, 化学と教育, 42, 202-205.
- 永川元, 1984, コケによる大気汚染調査, 神奈川県高等学校教科研究会理科部会会報, 28, 7-11.
- Laundon, J.R. 1967, A study of the lichen flora of London, Lichenologist, 3, 277-327.
- 生出智哉, 1990, ウメノキゴケ類を用いた環境の評価, 遺伝, 44, 12, 53-56.
- 益田裕充, 1994, 指標生物をととした環境教育, 環境教育実践読本, 教育開発研究所, 137-147.
- 斉藤善則, 1990, 大気汚染物質の検討とその教材化, 研究報告書131, 群馬県教育センター, 225-234.
- 杉山忠一, 1973, 静岡県清水市の市街地におけるウメノキゴケの分布, 蘚苔地衣雑報, 6, 93-96.
- 埜田宏, 1973a, 大気汚染が植物に与える影響とその調査方法, 日本生態学会誌, 23, 81-89.
- 埜田宏, 1973b, 大気汚染物質が蘚苔類に与える影響 I: 亜硫酸ガスに対する耐性, ヒコビア, 3, 238-250.
- 埜田宏, 1976a, 大気汚染の指標植物: とくにコケについて, 遺伝, 7, 26-30.
- 埜田宏, 1976b, 着生植物による大気汚染調査, 環境情報科学, 5, 19-22.
- 横須賀市環境保全部, 1983, 横須賀の環境, 昭和57年度版, 19-31.
- 横須賀市環境保全部, 1996, 横須賀の環境, 平成8年度版, 22-34.