関西自然保護機構会誌 22（1）：55－61, 2000

水質改善を目的とした湖沼環境教育への生物多様性概念の導入：野生動物の生態観察と景観生態学の応用

滋賀大学教育学部　服部　昭尚

INTRODUCTION OF A BIO-DIVERSITY CONCEPT INTO THE LAKE ENVIRONMENTAL EDUCATION FOR IMPROVING WATER QUALITY: APPLICATION OF LANDSCAPE ECOLOGY AND OUTDOOR OBSERVATION

Akihisa HATTORI *Faculty of Liberal Arts and Education, Shiga University*

あらゆる陸上生物には淡水が不可欠であるが，地表近くの淡水の量は，地球の全水量のおよそ0.001％にすぎない（宗宮 1990）。人間の飲料水に適した水はさらにその一部であるため，淡水の絶対量の確保はもちろんのこと，その水質の維持と管理が緊急な課題となっている。

水質悪化の原因は様々であるが，特に湖沼などの止水域では，栄養塩類の負荷による人為的富栄養化が問題となることが多い。リンや窒素などの栄養塩類の負荷により植物プランクトンが増えすぎると，その死骸の分解によって溶存酸素が減少したり，それに伴って魚貝類が死滅するなど生態系に深刻な悪影響をもたらす。さらに，浄水場の濾過障害，水道水のカビ臭発生や発ガン性のトリハロメタンの生成など，上水道システムや飲料水にも様々な悪影響をもたらしてしまう。生態系の中で最も重要な生産者（光合成による有機物の生産者）の増加により深刻な問題が生じる点が，湖沼生態系の特異性と言えよう。

水質を良好に保つためには，集水域住民一人一人の良識ある行動が不可欠であるため，環境教育の立場からも水質悪化の防止策が探られている。このような水質改善を目的とした湖沼環境教育では，家庭雑排水からの栄養塩類の負荷を減らすために，いくつかの教育カリキュラムが試行されている（例えば，滋賀環境教育研究会 1993, 日本児童教育振興財団 1995）。しかし，栄養塩類の負荷削減をテーマにしたカリキュラムの中に，湖沼生態系の特徴や沿岸・集水域の生物多様性の重要性を組み込んだものは極めて少ない。鈴木（1990, 1996）が指摘するように，湖沼への栄養塩類の負荷ばかりに注目すると，湖岸の埋め立てやコンクリート護岸，コンクリート三面張りの小川など，沿岸・集水域の生態系の破壊に対しては，むしろ無頓着になる危険性をもつ。

さらに，水質改善のための工学的な研究テーマとして，水生植物による浄化機能が注目を集めているが，その効率の良さからホテイアオイやオランダガラシなどの外来種を利用することが多い（宗宮 1990, 松原 1997）。外来種の導入は，生態系保全の観点から，絶対に避けなければならない行為であり（鷲谷・森本 1993, 角野・遊磨 1995, 鷲谷・矢原 1996），水質改善をめざす研究者や技術者にも生態系の成り立ちや生物多様性の意味などの生態学的知識を広める必要がある。

本稿では，水質改善を目的とした湖沼環境教育において，沿岸・集水域の生物多様性が重要であることを明らかにし，その理解を促進するために

関西自然保護機構業績　第261号，

は，特に学校教育において景観生態学を応用した野生動物の生態観察が有効であることを示す。

本研究をまとめるにあたって，川嶋宗継教授と故鈴木紀雄名誉教授には，有意義な議論と有益な助言をいただきました。ここに感謝いたします。なお，本研究は文部省科学研究費奨励研究 A（08780149）の援助を受けて行ったものである。

沿岸・集水域の自然環境と湖沼環境教育

一般に生態学や陸水学の分野では，湖沼環境とは沿岸域や集水域を含む広い範囲として定義され，沿岸・集水域からの栄養塩類の流入が湖沼の富栄養化の原因とされている。沿岸・集水域には，住宅地や工業用地，農業用地などの人工的な環境のほか，森林や河畔林，水生植物群落などの自然環境も含まれている。人工的な環境からの栄養塩類の流入は，たしかに人為的富栄養化をもたらす深刻な問題であるが，栄養塩類を吸収する機能を持つ自然環境の喪失も，同様に人為的富栄養化を引き起こす深刻な問題である（樋口 1996, 松原 1997）。しかし，水質改善を目的とした現在の湖沼環境教育の中では，人工的な環境からの栄養塩類の流入だけを問題とする傾向があるために（滋賀環境教育研究会 1993, 日本児童教育振興財団 1995），水質保全と生態系の保全とを関連づけることが難しいのが現状である。

水質保全との関連で生物が扱われる場合にも，水質評価のための指標生物や，水質悪化による水生生物種の減少が取り上げられているにすぎない（日本児童教育振興財団 1995）。どうも湖沼環境という一般的なイメージには，沿岸・集水域の多様な生物から成り立つ生態系が含まれていないのではないだろうか。例えば，滋賀大学教育学部の学生（2・3 回生対象の専門科目，湖沼環境論の受講生）35 名に対し，講義開始前に湖の絵を描かせてみたところ，80％の学生が沿岸部の生物を省略し，ビーカーに魚を泳がせたような絵を書くことがわかった（服部 未発表）。この調査結果は，湖沼環境と沿岸・集水域の多様な生物とが，一般的に切り離されてとらえられていることを暗示している。全国各地で行われている湖岸の埋め立てや流入河川の改修などが沿岸・集水域の生物多様性を著しく低下させており（角野・遊磨 1995, 樋口 1996, 松原 1997），湖沼環境教育の中でこそ，この問題を扱うべきであろう。

生物多様性概念と生態ピラミッドの安定性

生物多様性とは，1992 年の地球サミットにおける生物多様性条約の採択で有名になった概念である。単に野生生物の種の多様度を意味するのではなく，遺伝子の多様性や生態系の多様性も含み，各種が適応の結果としてそれぞれ固有の生息地を持つことや，多数の種が相互に依存しあう系の重要性など，進化生態学的な考え方と言える（リード・ミラー 1994, 堂本 1995）。あらゆる環境問題が生物多様性の減少につながっているにもかかわらず，生物多様性の減少は，まだ学校教育で扱われていないのが現状である。したがって，生物多様性概念をまず学校教育の中に取り入れて，その上で湖沼環境教育を展開する必要があるだろう。

小学校から高等学校までの教科書や指導案を比較検討した結果，現在の教科体系においては，とりあえず中学校理科 2 分野の「生物どうしのつながり」に生物多様性概念を導入することが適していると考えられた。食物連鎖の説明に利用される「生態ピラミッド」の概念図に，「ピラミッドの崩壊と安定性」の視点を加えれば，この概念は無理なく説明できるだろう。実際の食物連鎖は複雑な網目構造になっているため，具体的なピラミッドを描くことは不可能に近いが，生物多様性の意味

を説明するための単純化された概念図としては，中・高等学校における優れた教材となりうる。すでに日本生態系協会（1994）が，陸上の森林生態系における生物多様性の意味を解説するために，これを有効に利用している。

湖沼環境における集水域とは，河川や水田，森林など多様な生態系を含んでいるが，一般的な森林生態系の生態ピラミッドが集水域の代表的なピラミッドとしても代用できるだろう。一般にピラミッドには，幅の広い底辺が上部を支え，長い年月を経ても崩れない安定観のあるイメージが備わっている。したがって，集水域でも，底辺の植物が動物をささえる健全で安定観のある生態系のイメージを与えることができる。土壌が汚染されたり，森林が伐採されることは，生態ピラミッドの底辺が崩されることであり，隣接する湖沼に悪影響をおよぼすことは，イメージとしては理解できるだろう。しかしながら，集水域の生物多様性の意味を本当に理解するためには，もう少し説明が必要である。

重要な点は，ボトムアップ制御の視点とともに，トップダウン制御の視点（Begon *et al.*, 1996）を強調することである。ボトムアップとは，生態ピラミッドの下位の生物が上位の生物を制御しているという視点である。例えば，先に述べたように，土壌汚染などによる底辺の喪失がピラミッドの崩壊をもたらすことを意味している。これに対して，トップダウンとは，生態ピラミッドの上位の生物が下位の生物の存在を制御しているという視点である。例えば，ある種の肉食動物が激減すると，その餌生物である草食動物が大発生して植物を食い荒らし，結果的には土壌流出までも引き起こしてしまうことである。さらに，捕食者を伴わない外来種の導入が，その大発生をもたらし，結果的に生態系を破壊してしまう例も重要である（鷲谷・森本 1993）。食物連鎖以外でも，動物はしばしば植物の受粉や種子の分散を行っているので，生態ピラミッドの上位に位置する動物が幅広く下位の植物を制御していることになる（井上・湯本 1992, 井上・加藤 1993, 鷲谷・大串 1993）。トップダウン制御の視点にたてば，リンや窒素の豊富な土壌を湖沼へ流出させないために，動物の存在が不可欠であることもうまく説明できるだろう。

沿岸域と沖合域，深底域から構成される，狭い意味での湖沼生態系では，陸上生態系と異なった特異性が存在するために，生物多様性を説明するピラミッドの概念図はあまり適切ではないかもしれない。人為的富栄養化が問題になるのは，植物プランクトンが大発生して生態系を破壊するからであり，豊富な植物がピラミッドをささえるという森林生態系のイメージは，湖沼の生態系にはあてはまらないからである（ハーストン 1996）。先の滋賀大学の例でもわかるように，特に学校教育の中では，集水域と沿岸域を含む1つの大きな系として湖沼環境を印象づける努力が必要ではないだろうか。例えば，ヨシ群落に代表される沿岸域の植物は，集水域の森林生態系と同様に，リンや窒素の豊富な土壌の流出をくい止めたり，トップダウン制御に重要な様々な動物に繁殖場所や生活場所を提供したり，栄養塩類を吸収するなど様々な機能を持っている。さらに，沖合域の生態ピラミッドの上位に位置する多くの動物（魚類や鳥類など）の繁殖場所や保育場所は，集水域か沿岸域の生態系の中に存在しているのであり（鈴木 1990, 1994），湖沼生態系でトップダウンの効果を説明する際に，沿岸・集水域は省略できない。湖沼の富栄養化問題を解説する際は，沖合・深底域だけを取り上げるのではなく，沿岸・集水域の生物の存在を是非とも強調すべきなのである。

生物多様性概念と野外観察プログラム

沿岸・集水域での生物多様性概念を理解するためには，実際には上記のような概念図による学習とともに，野外観察を通した学習が必要不可欠である（北野・木俣 1992)。しかし，湖沼環境教育に限らないが，日本自然保護協会（1994）が指摘するように，学校教育のカリキュラムの中で野外観察が取り入れられることは非常に少ないのが現状である。さらに，地域の野外観察会でも，単に生物の種名を教えることや特定の種の生態を教えることに重点がおかれてしまい，生物間のかかわりあいを扱うことはほとんどないようである。この理由はさまざまであるが（自然保護協会 1994)，学校教育カリキュラムの中で取り上げやすいような，簡潔で有効な野外観察プログラムが不足していることもその一つである。

野外観察で生物多様性を扱うためには，特に生物間のつながりに焦点を絞る必要がある。生物間のつながりと言えば，まず思い浮かぶのは「食う-食われる」の関係であろう。しかし，野外観察において，食物連鎖上のつながりだけに学習の重点をおくことには問題点が多い。例えば，飼育環境下と自然環境下では，動物の行動には非常に顕著な違いが見られるが，食物だけに注目するとその違いは見えにくい（新井 1995)。このため，食物連鎖だけに的を絞ると，「野生動物を増やすためには野外で給餌するのが良い」とか，「稀少動物を保護するためには捕食者のいない動物園が良い」といった，生物多様性概念からかけ離れた短絡的な自然保護思想を生じさせてしまう恐れがある。また，一般的に，野外で「食う-食われる」の関係を目撃するには，辛抱強い長時間の観察を必要とする。食物連鎖上のつながりをテーマに，簡潔で有効な野外観察プログラムを作り上げることは，実際上は困難だろう。

むしろ，様々な動物を住み込ませている「入れ物」としての環境，すなわち動物の生息地の構造（竹門ら 1995, 西平 1996）を観察する方が，生物間のつながりの全体像を把握する上では有効であると考えている。動物はそれぞれの種に特徴的な生息地を持ち，その生息地を構成するのは，多くの場合，植物などの他の生物である。したがって，特にトップダウン制御に重要な生態ピラミッドの上位の動物と，その生息地としての植物群落の構造に的を絞れば，地域の生態系の構造と関連させて生物間のつながりを学習できるだろう。例えば，湖沼環境において水鳥を観察する場合，単にどのような餌を食べているのかではなく，水鳥やその餌としての魚類の生活に必要な生息地，すなわち休息・隠れ場所としてのヨシ群落の構造を観察することにより，生物間のつながりの全体像が学習できると期待される。

生息地の構造を観察するための景観生態学の応用

動物の生息地の観察には，景観生態学的な手法が有効であろう。景観生態学とは，景観の構造と機能を研究する自然地理学から生じた分野であり，現在では人文地理学や，生態学，造園学なども取り込んだ学際的な研究領域として発展し，その成果は土地利用計画や農村整備計画，都市計画から自然保護にまで各方面に応用されている（井出・亀山 1993, 横山 1995, 沼田 1996)。しかしながら，環境教育において景観生態学を応用した例はまだ見られないようである。

著者は，これまでに，琵琶湖沿岸域沈水植物帯で植生の季節変化や魚類の行動の観察を（服部 1997)，また内湖のヨシ帯辺縁部で植生の季節変化や水鳥の行動観察を行ってきた（服部・前,準備中)。この経験から，動物の生息地としての植物群落に注目すると，生物多様性の意味を直感的

に理解できる野外観察プログラムの作成が可能であることが明らかになった。特に以下に示すような，景観生態学的な手法（沼田 1996）を用い，さらに動物の行動観察（マーティン・ベイトソン 1990）を組み合わせることにより，生物多様性の意味を理解するために有効な野外観察プログラムを作ることができると考えている。

湖沼環境教育において，沿岸・集水域の生物多様性の重要性に目を向けるためには，実際に沿岸・集水域を野外で観察しなければならないが，「何をどのように観察すればよいか」が最初に直面する問題であろう。そこで景観構造の観察，すなわち景観を構成する様々な要素の観察（沼田 1996）からはじめると，比較的簡単であり，沿岸・集水域の生態系を巨視的に把握する上でも有効である。景観構造の観察には，写生のように直接スケッチして行う方法（日本自然保護協会 1994）と，植生などの景観構成要素を地形図上にマッピングする方法が挙げられる（沼田 1996）。スケッチや地形図の活用は，野外観察の手法として以前からも行われており（北野・木俣 1992, 日本自然保護協会 1994），小・中学校の児童・生徒にも容易におこなうことができるだろう。景観構造の観察過程では，おそらく普段見過ごしているような，コンクリート護岸や埋め立てによる人工公園などの人工構造物の多さに気が付くはずである（日本自然保護協会 1994）。さらに，自然な湖岸や自然な要素の多い人工湖岸，完全な人工湖岸などが存在すれば，それらの比較により，人工構造物における植生の貧弱さを，直感的に把握できる（鷲谷・森本 1993, 角野・遊磨 1995）。また，スケッチやマッピングには，最低でも 20 分～30 分程度の時間を要するため，その時間がそのまま野外観察の時間となる点は極めて重要である。普通は 20 分～30 分もの長い間，小・中学校の児童・生徒を，特定のテーマで野外観察に集中させることは，一般的に言って困難であろう。その点，野外観察に集中させる手法としても，スケッチやマッピングは優れている。

このように景観構造の観察により，植生の単調な場所や複雑な場所など，多様な景観構成要素から成り立つ生態系の構造を把握することができるだろう（沼田 1996）。さらに生物多様性概念の理解を深めるためには，このスケッチやフィールドマップを利用して，水鳥や昆虫など目に付きやすい動物の生息地や行動の観察を行うのである。すなわち，動物の群れ行動や採食・休息行動など，簡単な行動パターンを観察し，「どのような動物が，どのような場所で，どのような行動をしているか」をフィールドマップやスケッチに記録するのである。この時，動物の種名にこだわるのではなく，各種を記号化して行動の種類とともにマッピングするのが良いと思う。この作業により，複雑な景観を持つ場所に多様な動物が集まり，単調な景観を持つ場所には特定の動物しか見られないことが発見できると期待される。単調な景観とは，一般的に人為的な地形の改変が行われた場所であることが多く，一般にそのような場所は多様な動物の生息地とはならないからである（樋口 1996）。

景観構造の観察は，生態系の全体像を巨視的に把握するのに有効であり，細分化された生物学的手法や化学的手法よりも環境教育には優れていると考えている。しかしながら，景観構造の観察だけでは，生物多様性概念で重要な生物間のつながりが把握しにくいため，先に述べた動物の行動や生息地の観察と重ね合わせることにより，有効なプログラムに発展できると期待している。今後，より具体的なプログラムを開発し，実際の小・中学校の教育現場で活用したい。

おわりに

現在の環境問題は，酸性雨やゴミ問題，そして湖の富栄養化など実に多様であるが，大まかには，目に見える問題と目に見えない問題の２つに分けることができるだろう。例えば，ゴミ問題は目に見える問題であるため，人々の関心を呼びやすく，小・中学校での環境教育カリキュラムの中で，リサイクル活動とともに最もよく取り上げられており，様々なアプローチがなされている（日本児童教育振興財団 1995)。一方，湖の富栄養化は目に見えにくい問題であるため，水中の栄養塩類や植物プランクトンを，リン酸の検出や顕微鏡による同定などを通して，目で見えるような形にしてから富栄養化問題に気づかせる教材や，そのことの意味を学習するための教材が開発されている（滋賀環境教育研究会 1993)。しかし，実際には目に見えるような形に変える作業に時間と労力がかかるため，実験室での作業そのものが目的化してしまい，本来の目的を見失う恐れがある。むしろ目に見える身近な問題をよく観察することから湖沼環境教育をはじめるべきではないだろうか。特に環境教育においては，観察能力や自己問題解決能力など，どのように問題を設定し，解決していくかの方に力点が置かれている（北野・木俣 1992)。したがって，沿岸・集水域の景観の変化や野生生物種の減少など，よく見える問題を取り上げて，そこから解決策を自発的に考えさせるような教材を増やすことが必要である。

引用文献

新井哲夫. 1995. 生物と環境：ヒトと自然を考えるために, 186pp. 学術図書出版社, 東京.

Begon, M., Harper, J. L. & Townsend, C. R. 1996. Ecology : individuals, populations and Communities. 1068pp. Blackwell Science, Oxford.

堂本暁子. 1995. 生物多様性：生命の豊かさを育むもの. 272pp. 岩波書店, 東京.

ハーストン, N. G. 1989.（堀道雄ほか訳, 1996). 野外実験生態学入門, 420pp. 青樹書房, 東京.

服部昭尚. 1997. 琵琶湖におけるブルーギルの生息地の構造と行動：沿岸域の人為的改変と外来魚による場所利用. 関西自然保護機構会報, 19：11－23.

樋口広芳. 1996. 保全生物学. 253pp. 東京大学出版会, 東京.

井出久登・亀山章. 1993. 緑地生態学. 188pp. 朝倉書店, 東京.

井上健・湯本貴和. 1992. 昆虫を誘い寄せる戦略：植物の繁殖と共生. 258pp. 平凡社, 東京.

井上民二・加藤真編. 1993. 花に引き寄せられる動物：花と送粉者の共進化. 286pp. 平凡社, 東京.

角野康郎・遊磨正秀. 1995. ウェットランドの自然. 198pp. 保育社, 東京.

北野日出男・木俣美樹男. 1992. 環境教育概論：身近な生活環境の学習から地球環境の保全へ. 177pp. 培風館, 東京.

マーティン, R. & ベイトソン, P. 1985.（粕谷英一ほか訳, 1990). 行動研究入門：動物行動の観察から解析まで. 178pp. 東海大学出版会, 東京.

松原聡. 1997. 環境生物科学：人の生活を中心とした. 220pp. 裳華房, 東京.

日本児童教育振興財団. 1995. 環境教育実践マニュアル 1(1)：429. 小学館, 東京.

日本生態系協会. 1994. ビオトープネットワーク：都市・農村・自然の新秩序. 109pp. ぎょうせい, 東京.

日本自然保護協会. 1994. 自然観察ハンドブック. 426pp. 平凡社, 東京.

西平守孝. 1996. 足場の生態学. 267pp. 平凡社, 東京.
沼田真編. 1996. 景相生態学：ランドスケープ・エコロジー入門. 178pp. 朝倉書店, 東京.
リード, W. V. & ミラー, K. R. 1989.（藤倉良訳, 1994）. 生物の保護はなぜ必要か. 221pp. ダイヤモンド社, 東京.
滋賀環境教育研究会. 1993. 新しい学力観に立つ環境教育：琵琶湖畔での水環境学習. 222pp. 東洋館出版社, 東京.
鈴木紀雄. 1990. 琵琶湖のほとりから地球を考える：人類の危機と環境の再生. 198pp. 新草出版, 東京.
————. 1994. 飲み水を考える. 143pp. 家の光協会, 東京.
————. 1996. 生態系の変化がブラックバスの増殖をもたらした！. 関西自然保護機構会報. 18：95－106.
宗宮功. 1990. 自然の浄化機構. 252pp. 技報堂出版, 東京.
竹門康弘・谷田一三・玉置昭夫・向井宏・川端善一郎. 1995. 棲み場所の生態学. 279pp. 平凡社, 東京.
鷲谷いづみ・大串隆之. 1993. 動物と植物の利用しあう関係. 286pp. 平凡社, 東京.
————・森本信生. 1993. 日本の帰化生物. 191pp. 保育社, 東京.
————・矢原徹一. 1996. 保全生態学入門：遺伝子から景観まで. 270pp. 文一総合出版, 東京.
横山秀司. 1995. 景観生態学. 207pp. 古今書院, 東京.