

琵琶湖岸における植物群落の変化とその要因

滋賀県琵琶湖研究所
濱端悦治氏

はじめに

琵琶湖研究所の濱端でございます。よろしく申し上げます。

琵琶湖における植物群落の変化とその要因ということで、私は沈水植物を主に調べてまいりまして、あまり抽水植物とかはやっていませんが、そのあたりの話は借りてきたデータを用いてお話させていただきます。

琵琶湖で最近、1994年からです、水草がふえ始めました。その話を中心に、1980年代の半ばあたりからの変化というのでお話をさせていただきたいと思います。

1. 琵琶湖内の水草相と分布

琵琶湖の水草の種

この写真は、左側が2002年10月、琵琶湖博物館の前あたりの写真です（図1）。これは下にいるのがオオカナダモ（*Egeria densa*）で、太い腸詰めウインナーのようなものがごろごろ転がっています。右側はそれより2年前、2000年10月ですけれども、浜大津港の前あたりの写真です。ご覧いただいたらわかりますように、非常に透明度が高く、魚が泳いでいるのが見えるぐらい澄んでいるという状態です。私が研究所に来た1980年代の初めぐらいでは、ほとんど濁り過ぎて、魚が棲めるという状態ではなかったので、それがこんなに変わるものかというので驚いているのが私の感想です。研究所に来ましてから最初数年、1985年あたりからですけれども、水草の分布を調べ始めました。それでそのころ、85年から88年ぐらいの間の各種の分布を図2に示します。小さい図で見づらくて申しわけないですが、小さな点は調査をしても水草がなかった地点を、大きな丸が一応その種が確認された地点を示します。これは1988年、1991年の印刷物に書いてありますので、詳しくはそちらをごらんいただければと思います。左上のほうから、琵琶湖の固有種のサンネンモ（*Potamogeton biwaensis*）という草です。それから、これも多分サンネンモになると思いますが、このころはセンニンモ（*P. maackianus*）とヤナギモ（*P. oxyphyllus*）の雑種と言われました。右上はフラスコモ属の一種です。というふうに琵琶湖の北部あたりに主に分布している種から南湖にまで分布する種までという順番に並べてあります。大体は北湖のほうが水質がきれいだったので水草は主にそちらに分布していて、コカナダモ（*Elodea nuttallii*）というのはほぼ全湖的に分布していました。オオカナダモ（*Egeria densa*）はこのときは非常に少なく、北湖の北部、東岸あたりと南湖の一部に見られた程度です。

それで、琵琶湖のもう1つの固有種であるネジレモ（*Vallisneria biwaensis*）の分布が確認されたのは多くなく、1930年代から40年代に調査された山口ヒサノさんなんかは琵琶湖の固有種のネジレモが琵琶湖の優占種だというふうに言われたんですが、このころには非常に少なくなっていて、分布域が限られているという状態でした。もう1つの、同じセキショ

ウモ属で泥地を好むコウガイモ (*Vallisneria denseserrulata*) は北湖北部東岸や南湖東岸に分布しておりました。

平面的に分布は以上のとおりですが、垂直分布は図3に示します。一番上がクロモ (*Hydrilla verticillata*)、次いでセンニンモ。そのあたりが優占種なんですけど、水深が1mから3mぐらいのところに、色の濃い部分が被度が高いという表し方をしています。もう1つの優占種はコカナダモ (*Elodea nuttallii*) ですが、これが非常に深いところに分布の中心があります。縦軸の水深の目盛りの最深部が9mと書いてありますが、6mまでは1m刻みで、それ以降は9mまでであったよという意味で9にしてあります。深いところまで分布していたのはコカナダモと、それからセンニンモでした。ただ、コカナダモも深いところまで生えているというのは北湖のより透明度の高いところだけでした。それからネジレモというのは非常に浅い水深に見られました。図4に優占種3種類、コカナダモ、クロモ、センニンモの垂直分布を示しています。この図で、黒い丸がコカナダモ、白い丸がクロモで、白い三角がセンニンモを表しています。垂直分布は0~2m、2~4m、4m以上の3段階に分けてありますが、先ほど説明させていただきましたようにコカナダモは北湖、特にその北部、もしくは西部の深いところに黒い丸がありますように偏って分布していました。浅いところにはクロモやセンニンモが見られたということです。北湖の東岸にはほとんど水草がなくて、あっても姉川付近から北の水域や、近江八幡市の宮ヶ浜付近だけなんですけど、クロモとかセンニンモが主に分布しています。対岸からの距離で類型化しますと、その距離が長い地域では波が強くなると考えられます。この波の強さと水深とで分けると、非常に波当たりの強い彦根付近には水草がなくて、少し波当たりが弱くなってくるとクロモとかセンニンモが生えてくる。さらに湾奥もしくは西岸部になりますと、深いところにはコカナダモが現れてきて、浅いところには在来水草、クロモとかセンニンモが生えているという、このような類型化が可能になります。特に湾奥部、Eというタイプにしてありますが、そこは浅いところまでコカナダモで覆われているということで一応AからEぐらいの5つのグループに分けることができました。

簡単な模式図で示しますと(図5)、一番上がAタイプで、波当たりの強いところというのは、ほとんど砂地になっているわけです。そういうところには、ほとんど水草は見られず、生えているとするとササダモですとかイバラモですとか、そういった水草がわずかに生育している程度です。Bタイプの深いところにいるのは在来種のクロモやセンニンモで、浅い水域にはササダモが生えています。Cタイプになりますと、深いところから浅いところまで在来水草で覆われています。さらにDタイプになりますと、深い水域にコカナダモが、浅い水域には在来水草が分布しています。Eタイプになりますと、大部分が深いところから浅いところまでコカナダモで覆われてしまっています。このような類型化ができるかと思っています。

コカナダモ群落の変化

これはなぜかといいますと、コカナダモというのはご存じのように日本には雄株しか入っていないなくて、特別な越冬器官をつくらず、親株からの腋芽で繁殖します。そのため波当たりが強いとうまく定着できません。泥地が好みで、そこでどンドン大きく密な群落をつくります。北湖の非常に透明度の高い、静穏な深いところ、泥地が豊富なところでコカナ

ダモが発達してきたのではないかと考えています。

コカナダモというのは、種子や殖芽といった越冬器官を持たず、夏の初め、南湖ですと6月末、北湖ですと7月の末には、茎の下の部分が切れて流れ出します。新たなところに行って、また泥のよく堆積した非常に環境条件のいいところに定着して、その年の10月ぐらいには茎からの芽生えを開始します。コカナダモはこのように移動を主体とするような水草です。センニンモとかクロモは泥地が好きではありますが、殖芽ですとか、茎ですとか、種子をつくったり、それからセンニンモは非常に細かな地下塊茎をつくりますので非常に安定的な群落になります。私は、水草群落にも遷移があると考えていまして、その初期に位置するのがコカナダモ、次いでクロモ、そしてセンニンモは極相種かと考えています。

これ（図6）が琵琶湖のコカナダモ群落の分布です。ここが塩津湾ですが、湾奥のほうに、この辺に月出という集落がありまして、そこで3年ほど刈り取り調査をやっていたけれど、波の当たるところは礫湖岸になっていて、少し深くなって砂地になって、それで泥地になるというところなんです。その深いところにはコカナダモの均質な群落があり、そこで現存量調査をしていました。そこを潜水して見ていると、どうも毎年深いところにはセンニンモがいる。浅いところにもセンニンモがいました（図7）。コカナダモは1960年代初めに琵琶湖に入ってきたと言われてはいますが、もしかするとその入ってくる以前はセンニンモがいたところで、そうしたところがコカナダモによって置き換えられてしまったのではないかと考えています。

これ（図8）がコカナダモの群落の写真です。コカナダモは密度の高い群落をつくりますので、ほとんどこの中にはほかの種が入れません。このスケールは大体1mですけど、5月ぐらいで1mぐらいの群落になって、琵琶湖では最大で2mぐらいの群落になります。

図7の下の写真は冬場、2月ぐらいの写真ですが、貝が這った跡が見えますように、手をつくると泥をワッと巻き上げるような、そういった非常に泥深いところに生育している水草です。

1990年に琵琶湖ではコカナダモが大繁殖しまして、その6月のときに魚探をかけて回りました。すなわち、群落がよく生育している段階での群落分布図を作ったわけです。（図6）。この時のコカナダモ群落の全分布面積が約900haでした。それで、単位面積1m²当たりの現存量が乾燥重量で700gぐらい、最大で1kgを超えていたんですが、平均値を全分布面積に掛けますと、大体6,500tの年間の収量があったとしました。図6を見ていただいたらわかりますように、北湖北東部と西岸と、南湖でも南湖の北の部分だけにコカナダモがあったということです。北湖北東部に西野水道という水路がありまして、河川水がここから直接琵琶湖に流入します。その結果、この北東部の三角形のところだけが非常に泥深い状態が維持されていて、なおかつ普段は透明度が高いというので、ここでは毎年コカナダモの群落が発達するというわけです。場所によってはほかのところでもコカナダモの発生はあるのですが、数年たつと一気にいなくなるという傾向が見られました。

水草の分布と水位の関係

少し話題を変えますが、1950年代あたりから2001年まで、いろんな方がお書きになったペーパーをもとにしまして、琵琶湖で水草がどれぐらいの面積があったのかをお示ししま

す(図9)。小豆色のものは南部で、それから青色は北湖の値です。そうしますと、北湖のデータはばらついていて傾向がよくわかりませんが、南湖のほうは傾向がよく見てとれます。1950年代から急に減少してきて、1980年代にはほぼ皆無になっていたのではないかとことです。それが1994年以降どんどんふえていって、2001年、これは大塚泰介(琵琶湖博物館)さんたちが出された値ですが、これだと南湖の6割弱が水草で覆われていたといわれています。このように、北湖のほうの傾向はよくわかりませんが、少なくとも南湖は戦後、戦前よりも多かったと思うんですが、低下してきて、たぶんこれは富栄養化によると思われますが、それが94年を契機にふえているという、このような変化の傾向は間違いないかと思われま

す。1994年、2000年の値は、私が航空写真で測ったデータです。図10は1938年、43年の山口久直さんがやったものですが、南湖の当時の京大臨湖実験所と東岸の北山田との東西断面です。その断面の水草の様子を示した模式図ですけれど、深いところにはエビモがなくて、浅いところにはマツモとかクロモとかが生えている。ただ、このとき記載では一応南湖一面を水草が覆っているというふうに書かれてはいるんですが、季節的に夏場は比較的浅いところに多くて、それから冬場は深いところにエビモがあるという、そういった分布が図では描かれています。私どもも季節的な変化はあるとは考えていますが、最近では夏期でも南湖の深いところもかなり水草で覆われているという状態になっています。

その増加は1994年以降という話ですが、図11は琵琶湖の水位変動で年最低と平均と最高の推移を示しています。最低水位になったのは1994年で、マイナス123cmという史上最低の水位を記録しました。確かに最近1984年とか1985年に90cm以下の水位になったことはありますが、これは冬期でした。夏場に低水位になった記録という、1939年の夏から秋にかけてずっと下がったという記録があり、1994年の記録は50年ぶりの夏場の低水位であったと認識しています。それに続いて2000年、それから2002年にもほぼ1mに近い水位低下があったということです。

図12は1988年から2000年の日水位の値を示しています。縦軸の0が基準水位で、こちらが年度で、88年から2002年の年末までを示しています。1994年の夏場の水位低下があって、95年は冬場の水位低下になっています。2000年には、夏から下がってきてマイナス1m近くになった。さらに2002年にも同様の低下があったことがわかります。

なぜこんなことになっているかといいますと、以前は雪解け時と梅雨時にプラス水位になっていたわけです。ところが、最近はその後者のピークがなくなってきている。これは1992年に瀬田川の洗堰の操作規則というのができたことと関係しています。92年から運用され始めて、それで夏場マイナス30に下げ、秋の台風時期に備えるというふうな操作が行われてきています。6月1日ぐらいから水位を下げるということが始まるわけです。その年たまたま空梅雨だったらそのまま水位が下がってしまうということになって、1994年ですとか、2000年、2002年の水位低下が起こったというふうに考えられるわけです。

夏場の水位低下というのは水草にとっては非常にプラスに働きます。これは1994年と2000年の近江大橋付近の写真です(図13)。1994年のときはかなり新聞なんかでも水草が生えて大変という話が載りました。琵琶湖漕艇場やその他の浚渫されていない場所には水草がなく、比較的浚渫し残した部分に水草が生えているのがよくわかります。それが2000年になりますと、中央西よりの部分だけ水が流れるところが少し水草が少ないぐらいで、

周りは全部水草で覆われてしまっているという状態となっています。

これは 2000 年の 10 月に、琵琶湖大橋より少し南側の南湖の東西方向でソナーをかけたときのチャート（図 14）です。湖底面と水草群落がわかります。この図を見ていただいたらわかりますように、水深 5m ぐらいまでが水草が生えていることがわかります。この 5m というのは、実は水位がマイナス 50cm のときにソナーをかけていますし、またソナーの発信機の部分が 50cm 水面より下げているので、実は基準水位からすると 1m ほど深い水位になるわけです。すなわち水深 6m ぐらいまで水草が生えていたということになり、南湖でも特に北のほうの非常に深い部分がありますが、非常にと言っても 7～8m ぐらいですが、その深いところまで水草が生えていたということです。

それで、2000 年と 1994 年との分布面積を比べますと（図 15）、水草群落、これは 100% 被度に換算した値ですが、94 年では全湖で 1,441ha、2000 年では 2,825ha という結果に、この数年間で一気に倍増したということがわかります。その倍増している中身は何かというと、この括弧の中が南湖でして、増加分の大部分にあたる 1,000ha 以上が南湖に依っているということです。

これは 1994 年と 2000 年の南湖の分布図を比較したのですが（図 16）、1994 年では沿岸部の浅い部分だけに水草が生えていたものが、2000 年になるとそれが一気に広がっていったのがよくわかります。2000 年でまだ生えていないところというのは、中央部ではご存じのように淡水砂を取るために堀削が行われていて、それでおこる濁水のために水草が生えていないところがあるというふうに考えています。東岸南部の四角い部分は矢橋の人工島をつくったときの浚渫窪地で水深が 13m あり、ここはさすがに水草が生えられないということで生えていません。そうしたところ以外を除きますと、大部分は水草が生えているといえます。2003 年に調査をされた琵琶湖博物館の芳賀裕樹さんたちの話では、80% を超えたのではないかとわれています。

水草というとかわいいものに思われがちですが（図 17）、左がクロモで、優に長さは 3m ぐらいの長さになります。右側のホザキノフサモもやはり 3m を超えるような水草になります。私が調べた間の年には水資源開発公団が 1997 年に調査をされていますが、それでもやっぱり南湖の 43% が水草で覆われていたということで、少なくともこの間に増加しているというのは間違いないと思っています。

それより以前のデータがないかというので探してみましたが、1989 年に、県が委託で魚探をかけた記録が残っていました（図 18）。そこには、北湖に近い部分にコカナダモの群落があるが、それより南にはほとんど水草らしい水草がないことが示されていました。左のチャートは西岸を、右のチャートは東岸のものを示しており、また上から下へは、北から南の順に並べています。浜大津港付近に若干コカナダモとオオカナダモがありますが、南湖の北部には少し水草があるが、その他はほとんど見られないということはどうも間違いないようです。

これは、南湖の東岸の南側の北山田港のたまたま同じ場所で 1988 年の 11 月と 2002 年の 10 月にかけてのチャートがあったものを示しています（図 19）。チャートの幅は無視してもらっていいんですが、水深 2m ぐらいから見ていると、88 年のころに全然水草がないのが、2002 年になりますと水深 3m のあたりから大量に水草が生えています。これはクロモの群落ですが、延々と生えているというのがわかるかと思います。

種類のほうはどうかといいますと、これは2002年に南湖で東側、中央、西側、そして北から南へ8ラインで種の分布を調べたものです(図20)。図20右は上段が8月、中段が10月、下段が8、10月の出現順位で並べたものです。8月にはクロモ、センニンモ、マツモ、オオカナダモ、ホザキノフサモという順番で、10月になりますと、マツモ、クロモ、センニンモ、オオカナダモ、ホザキノフサモという順番で多く見られました。多少季節的な入れかわりがありますが、どうもクロモとかセンニンモとかオオカナダモ、それからマツモの出現頻度の高いことがわかります。これは夏場の水位低下で、そのころにちょうど生物活性が上がる種類がふえているということです。コカナダモというのはどちらかというと冬場に多くて、琵琶湖では10月ぐらいから芽出しを始めて、冬の間ずっと数十cmから1mぐらいの群落で冬越しして、翌年4月ぐらいから伸び始めて、6月の末から7月に流れ藻になる。夏の間は仮眠するというタイプの種類です。そうしますと、このコカナダモというのはほとんど南湖では増えられていないです。あったとしてもコカナダモは南湖の北部のあたりに若干出てくるぐらいで、もうほとんどほかは切れ藻状態でまれに見られるというぐらいになっていました。

図21は1986年から87年に出現頻度を調べた出現順位ですけれど、クロモ、センニンモ、コカナダモ、ホザキノフサモ、イバラモ、ネジレモ、オオササエビモという順番で存在し、13番目にマツモがやっと出てくるというものでした。クロモとかセンニンモ、それにホザキノフサモというのは南湖の今の順位と違わないことがわかります。これは琵琶湖全体の傾向ですが、それが南湖でも同様の傾向になりつつあるようです。少なくとも南湖についてはコカナダモが極端に減っている。それから、オオカナダモは三浦泰蔵先生(旧京大臨湖実験所)達の報告では1969年に琵琶湖で最初に見つかったというふうに言われており、それが70年代にふえていました。それがまた南湖では増える傾向にあるのかもしれないというのが現状のようです。

もう1つは、コカナダモが全湖的に減っているのかどうかというのが、いまひとつよくわかりません。南湖のほうではコカナダモが減っているという状況があるようです。これは水資源開発公団が1997年、98年、2002年に大規模な調査をされた結果です(図22)。この調査は琵琶湖の周り105測点を設け、岸側から沖合に向かって潜水し、それで10mおきに被度を記載するというような大変な調査です。沖合で水草がなくなるまでですから、こういった遠浅のところだと延々何キロにも渡っての調査となります。そのときのデータが公開されています。それで今回のために、少し整理してみました。

以前からコカナダモが多かった21番、38番という測点、それから岸側には在来種、沖合いに若干コカナダモが出てきたところの40番という測点、それから南湖の88番と95番をお見せします。横軸は岸側から沖合に向かう距離で、縦軸に種類の被度を示しています。緑色系が、浅いところが好きな在来種、黄色系が中間型で、クロモとかセンニンモといった富栄養化好みの在来種、それから赤系がコカナダモやオオカナダモといった外来種を示しています。また上段が1997年、下段が2000年のグラフです。

そうしますと、21番ではコカナダモが減っているのかどうか余りよくわかりません。図23に示されている38番はもう1つのコカナダモが多かったところですが、これは確かに97年、2002年、この数年間を比べてだけでも減ってきているのがわかります。40番はそのそばのちょっと南のところの部分で、延勝寺付近ですが、ここでもコカナダモが2002年には

ほとんど出てきていない。両年とも8月の末から9月あたり、夏の後半から秋にかけて調査をされたので、季節的な影響がないとは言えませんが、コカナダモが減りぎみという傾向を示しています。

これは南湖のほうの例です(図 24)。傾向は明瞭とは言えませんが、オオカナダモ、センニンモ、クロモの増加がわかると思います。

今のは横軸に距離をとりましたが、それを水深別に1 mから 13mまでをとり、各種が優占種であったコドラードの割合を示します(図 25)と、先ほどのコカナダモが多かった38番は、出現頻度で見るとそれほど変化がないかもしれないし、まだコカナダモについては減ったかふえたか、北湖のところでは断言はできないのかも知れません。大きな湖で外部からの負荷が多いところではカナダモがかなり長い間生息できる、あるいは減少しないという報告がありますので、北湖のほうではなかなか減るといふうなことは起こらないかも知れません。これは南湖の例ですが(図 26)、南湖のほうではオオカナダモが少なかった地点で、97年から2000年にかけては増加しているということが出てきています。全湖的には、このような傾向はまだ判断がつかねるところです。

南湖については94年以降水草が増えてきているのは事実です。それと同じ時期の透明度の変化で南湖だけを示しています(図 27)。南湖の緯度方向で3点の平均(水草の成育時期の7~10月、4ヶ月の値のみ利用)、一部2点ですが、その3点の平均をとり、各年のその位置での値にしてあります。縦軸に南北方向を、横軸に年をとり、1990年から2001年までの経年変化を示しています。

そうしますと、赤いほうが透明度が悪くて1 mから 1.5m、青いほうが3 mから 3.5mということですが、北湖に近いほうは以前はきれいでしたが、それが次第に94年以降、95年以降と言ったほうがいいのかも知れませんが、透明度が南湖の南部でも上がってきているということがわかります。クロロフィル a でも 1994年、1995年あたりから全体的に下がってきています(図 28)。クロロフィルが下がってきたので当然かも知れませんが、全リン(TP)とか全窒素(TN)も低下してきています。リンのほうは先に下がってくるというのは意外でしたが(図 29)、滋賀県立大の國松孝男先生は、富栄養化防止条例なんかの影響とか、それから下水道の完備とか、北湖全体の水質がよくなっているからだと言われてもいますけれども、そういったこともあってか、特に1994年、1995年あたりから急速によくなってきているのがおわかりかと思えます。TNのほうは2000年あたりからよくなってきています。

琵琶湖内の水草分布変化のメカニズム

このような現象をどう考えるべきかと思っていると、2001年の『Nature』に生態系の急激な変化についての論文(Scheffer et al, 2001)が出ていました。その論文では「栄養塩濃度が高くなるほど濁りが増加する」、「一定の濁りを超えてしまうと水草が生えない」、「水草があると濁りを下げる」という3つの仮説のもとに、グラフを書いています(図 30)。こんなところのグラフがあって、分解を起こすというものだそうです。それを琵琶湖の南湖の話にあてはめると、富栄養化防止条例などで栄養塩濃度を下げるといふ努力をしてきて、ある程度の栄養塩濃度の範囲に入っていたのではないかと思います(①)。そのときに一気に水位が下がって、光条件が変わる。南湖の平均水深は3.5mですので、それで1 m

下がりますとかなり影響するという事です。それで、なおかつ日照時間が非常に長くて、晴天の日がずっと続きましたから日照条件がよくて、そして水草が生えて、以前は上側のラインに乗っていたものが、同じ栄養塩レベルなんだけれども、下側のラインに乗り換えたのではないかと(②)ということ。栄養塩レベルが変わらないにしても透明度が極端に上がってしまったというふうに考えるのが、今のところ減少を最も説明しやすいと思っています。

Schefferら(2001)が出されているモデルはこのようなものですが、浅い湖の場合、濁った湖から透明度の高い湖に、逆に透明度の高い湖がごろっと変わって濁ったりすることがあるというわけです(図31)。それは浅水湖沼が動物プランクトンと水草が優占する湖と、動物性プランクトン食の魚と植物プランクトンが優占した湖の入れ替わりが起こることです。Schriverら(1995)によると、水体の体積当たりの水草の密度みたいな話ですが、それが15%か20%を超えると魚が動物プランクトンを発見する確率が低下し、それで動物プランクトンが生き残れる、それで水草が繁茂することによって動物プランクトンが生き残れて、その捕食によって植物プランクトンが減少し、透明度が上がるのではないかと。もちろん付着藻類の増加というのもあるとは思われますが、そうしたことによって、今、南湖全体の水質改良が進んでいるのではないかと考えています。

以上の話を要約しますと(図32)、1994年を境に沈水植物の減少が一気に増加に転じたということ。南湖では外来種であるコカナダモが優占種だったのが、今は在来種のクロモとかセンニンモとかマツモ、それから在来種ではないんですが、夏繁殖型のオオカナダモが広がっている。南湖で水草の水面群落面積は5割を超えました。それに伴って水質状況が好転していています。その水質の改善は、植物プランクトンと魚の優占する湖から水草と動物プランクトンが優占する湖にシフトした結果による可能性が高いということです。今、全国的に湖沼での植生回復を図ろうという動きがあります。琵琶湖の場合、まだ救われたのは、南湖沿岸部のみならず北湖からの水草の散布体の供給があったのではないかと。だから、琵琶湖は富栄養化したとは言われてはいましたが、北湖があったり、それから南湖のほうは水草がまだ若干あったというので、自立的に回復できた、ある程度揺り戻しがきく範囲の中に留まっていた、そういうときにたまたま水位低下があって、それで一気に水草が回復できたというふうに思っております。

3. 内湖の植物群落の変化

以上が今日の話の中心ですが、それ以外の群落の変化というので挙げさせてもらいますと、これはうちの研究所の東善広さんが「オルソ空中写真画像から見た琵琶湖湖岸域の変化」というのを琵琶湖研究所所報にお書きになっています(図34)。その報告では、米軍が1947年から48年に撮影した航空写真210数枚を張りつけて、内湖の面積や内湖の湖岸線などを測っています。その際に、これは安曇川の北側の部分ですが(図35)、こんなふうに非常にぼやけたところがありますが、これがヨシ帯だろうというふうに判断して、水生植物帯の面積を求めています。

それによりますと、1948年と2000年の抽水植物帯の分布図を示したものが図36です。1948年当時には大中の湖というのがありました。これがなくなりました。1948年と2000年を比べると(図37)、内水面の面積とすると20km²ぐらいあったのが5.9km²、水生植物

帯が 5.2km^2 から 1.3km^2 に減りました（2000年の値は、いずれも西の湖を含まない）。

2000年の値では、用いた航空写真に西の湖が含まれていなかったために、不十分な値とはなっていますが、1948年の値は用いた写真からも明らかですので、利用するには便利な数字かと思います。

もう1つ興味深いのは、内湖の面積が当時48年あたりは 20km^2 ($2,000\text{ha}$) もあったわけです。何が面白いのかと言いますと、昔、ハンガリーのバラトン（Balaton）湖で本湖面積が 600km^2 ぐらいのものに対して、以前は農地だったのを湿地に変えて、キス（小）・バラトンというのをつくって、そこでSS（懸濁物質）などを落とすというようにことをさせた。SSなどにはかなり効果があったというのです。この湿地帯の大きさが、本湖面積の1割強の 69km^2 ですが、それぐらいの面積の湿地を創生したら効果があったというわけで、内湖だけで1割というわけにはいきませんが、当時の湖岸沿いの水田も含めると、それぐらいの割合に十分なのではないかと思うのです。

また、94年、2000年の湖岸植生図をつくり、そこに出現する群落の面積を調べてみますと（図38）、沈水水生植物帯の面積に被度を掛けた値が1994年は $1,441\text{ha}$ あったのが、2000年では $2,825\text{ha}$ ぐらいになるんですけど、被度を掛けずに、ただ水草に覆われている面積だけだと、94年では約 $4,000\text{ha}$ だったのが、約 $7,000\text{ha}$ になっているということです。南湖で50%を超えたという値は、私は後者のほうの数字を使っています。被度を掛けるとするのはなかなか人によっては判断基準があやふやになってしまう。水草に覆われていたというあやふやなことですが、こちらを使っても5割を超えたよというふうに分析しています。この $7,000\text{ha}$ という面積は、琵琶湖の1割を越えており、琵琶湖に対して意味を持ち始めたのかと思っているわけです。

この中で特徴的なのが浮葉植物群落で、これが2000年では非常に少なくなっています。図39は渇水ときの写真なのですが、陸生植物群落と間違えるような状態になっていました。渇水時の状況を見てみますと、これは能登川の付近のやはり水位が下がった2002年の写真ですが（図40）、このような状態になってしまっていました。夏場に水位が下がって、秋ぐらいに回復します。同じ場所ですが、93年の9月に行ったときには、こんなふうにあさざの群落があって、ところどころミズオオバコが咲いていたということだったので、2002年の写真ではこのような干上がった状態になっていました。これは琵琶湖側ですが（図41）、同じところの湖岸堤の反対側、水際を撮った写真なのですが、あさざの群落が93年にはこれぐらいありましたが、2002年のころにはもう湖側がキシウスズメノヒエなどにほとんど覆われてしまい、あさざはなくなってしまっていました。

渇水の影響だけをまとめて見ますと（図42）、沈水植物群落には確かに渇水はプラスに作用したが、抽水植物群落とか浮葉植物群落にはマイナスに作用したと考えられます。ただ、抽水植物群落については生育が落ちたという報告は直接は聞いておりません。琵琶湖と水位の完全な連動がない内湖は、例えば水田なんかは完全に干上がってしまったとしても、内湖は比較的孤立した水帯になってしまうので、ある程度レフュージアとして機能すると思われます。夏の渇水がたびたび生じるようなら、逆に今琵琶湖沿岸で水田用に用いられている逆水灌漑を環境維持用水としても使うことを考えても良いかも知れません。

図43は、オニナルコスゲとか、ドクゼリ、サデクサといった貴重種の西の湖での分布を示しています。これらの種類はどちらかというと、西北部の流出口付近に分布しています。

同じ貴重種でもノウルシなどは中央の北部付近にもあります。このあたりのヨシ帯は良く手入れされています。流出口付近は、次の写真（図 44）を見ていただいたらわかりますように、近年堤防工事が進められています。これは 98 年に撮った写真ですが、まだ完全にでき上がってはいません。こういった出口付近の狭窄部は、多分水位が上がったり下がったりというふうなときには、攪乱される可能性が高いと考えられます。ノウルシのような種類は、ヨシ刈りなどの人為的な管理でとめるようなところで生育が可能かもしれませんが、この流出口付近に出てくる種類は、もう少し大規模な氾濫原的な環境がないと存続が難しいのかもしれない。

このあたりをまとめてみますと（図 45）、渇水期に干上がったたり増水が起こりますと、例えば発芽とか定着条件、それが必要だというふうな条件があるかと思います。特にヨシなどは、一度水位が下がって砂地が出たところで種子が定着するとか、ヤナギ類も多分そうではないかと思いますが、そういった条件が整わないと発芽できないかもしれません。それから沈水植物のほうは逆に嫌気条件のほうがいいかもしれないということです。

あと、こういったことによって地形が改変されて発芽とか定着が促進される場合もあります。さらに、攪乱によって遷移が阻害されてというふうなこともあります。これについてはもしかするとヨシ帯の遷移阻害みたいなもので、人為的にヨシ刈りをするとかで遷移をとめてやることによってノウルシなどは保全できるかも知れません。流出口付近に出る種類の保全は、氾濫原環境をつくり出さない限りはちょっと無理なのではないかと思います。

水鳥のコハクチョウの話ですが（図 46）、水鳥が種子を運ぶのではないかなということに最近少し入れ込んでいるところです。これはヒシの写真です。湖岸に行きますと、これは 94 年の 11 月ですが、汀線付近にゴロゴロ転がっているのがヒシの種です。水で運ばれるのが原則ですが、鳥で運ばれることもあり得ます（図 47）。何年前かに公開された『WATARIDORI』という映画で、初めと終わりに水鳥が水草らしいものを足に巻きつけて飛んでいるというシーンがありました。それを見て非常に喜ぶんですが、そういうふうには水鳥が水草を運んでいる可能性があります。これ（図 48 右下）はヒシですが、ヒシの刺の部分には逆刺がついていて、一度刺さると外れなくなっているわけです。いくつかの種類にも、波浪耐性かもしれないのですが刺状のものがあり、もしかすると鳥に運ばれることを前提にしてつくられている可能性もあります。シャジクモなんかはアヒルなどに食べられたほうが発芽率が上がるというところもあります。水鳥による水草の移動を対象とした調査を試みようと考えているところです（図 49）。（図 50、51）水系で 1 つの湖沼があつて、隣の小さい湖なんか水系で結ばれるということが当然必要なんですけど、大きな湖沼があつて、その間を渡る渡り鳥のルートみたいなものもそろそろ考えたほうがいいのかというふうに思っています。水系以外の渡り鳥の連続性みたいなものを考える必要があるかなということです。琵琶湖みたいな大きな湖沼は、今回みたいに琵琶湖の水草は減っていたんだけど、まだ種が残っていたということで一気に増えることができました。そういった湖が中心になって、その湖のそばの溜め池とか内湖とかに種が供給されるというふうな、そんな存在としてもとらえられます。

4. 今後の課題

今後の課題という点にまとめてみますと（図 52）、生態系の維持・回復が目標だとは思

うわけです。ただ、これは琵琶湖では水質改善というようなことから健全な生態系が維持されることが必要だというふうなことを痛感したわけですが、今、県の行政の中なんかでは、例えば漁船が走るのにスクリーに巻きつくとかで、根こそぎ取ってしまえという議論が出始めています。根こそぎ刈り取りというのが結構言われていまして、それを実験的にやっているところもあります。そういうふうなことに對して、もし放置しておいたらどうなるのかみたいな、先ほどから沈水植物群落に遷移があるのじゃないか、極相があるのじゃないかというふうな言い方をしましたが、そういった遷移効果の見きわめというのが必要なと思うわけです。というのは、コカナダモとかオオカナダモにしてもクロモにしても非常に群落高が高くて、2 mから3 mにもなる。ホザキノフサモは3 mから4 mになる場合がありますので、それが水面に達してスクリーに巻きつくとか大変なんですけど、数年経てばむしろ背の低いセンニンモですとか、さらにネジレモとか、群落高が1 m以下になるような群落になることも考えられるわけなんです。そういった遷移方法がもし保証できるなら、今あえて水草を取ってしまえという議論にならないだろうと考えます。その辺の見きわめというのが大切かなと思います。

これが大前提にありまして、そういうふうなものを維持しようとする、連続性の確保、それから湿地の拡充とか水位操作みたいなものがさらにやるべきこととしてあるかなと思っています。

連続性の確保という意味では、生息地の確保とか、それをつなぐ経路の問題とかがありますが、生息地に関しては、陸域と水域の連続性。現在は湖岸堤で区切られていますが、本当は湖岸堤がなければ水位が上昇すれば琵琶湖が広がって、水位が下がれば琵琶湖が狭くなっていうふうなことがあったわけで、水位が上昇したときに陸上側に拡大して行って、そこでたまたま深いところがあれば、そこに水草が生育できたりというふうなことができたのではないかなという気がします。今は深いほうへ深いほうへと追い込まれる一方なので、どうしても生息地を外へ広げる必要があるということです。

経路の問題からしますと、水体との水路による連続性の確保の問題があります。特に魚なんかでしたら段差の問題ですとか、そういったものを改革する必要があると思います。それから、湿地の拡充ということでは、これは生息場所になるわけですが、内湖の復元は県のほうでもやろうとはしていますが、なかなか予算的なこともあって前へ進まないところです。内湖の復元とともに水田の利用という、単に稲作だけではない、ほかの利用があってもいいのじゃないかなというふうな気がします。先ほど農業で低農薬でやれば幾らか補助するみたいな話がありましたが、ある程度大雨のときに水田がひたるといって、そういった前提で営農してもらおう。それに対して幾らかの補助をするみたいな話があってもいいかなという気がしています。

あともう1つは水位操作という話があります。琵琶湖の南湖で水草がふえた原因の1つは水位操作の問題がありますので、いろんな視点からもう少し水位操作を考える必要があると思います。多分今のところ琵琶湖河川事務所などで検討されているのは、産卵した後、稚魚が急流に流されないように水位を徐々に下げるといった視点からのようですが、水草側の話からすると、琵琶湖の特に南湖の水草というのは6月ぐらいから芽出しを始めますので、ちょうど6月ぐらいから水位を下げ始められると非常にまた繁茂するということになるわけなんです。繁茂させる目的ならそれでいいんですが、繁茂しては困るといって、む

しろそれを一月ぐらい遅らせるということもそろそろしてもいいかなというふうに思っているわけです。

大体私の話は以上です。

質疑応答

中島久男（立命館大学） 質問なんですけれども、南湖の水草がふえて水の透明度が上がったというのは、これは何かある原因で並行してその2つの現象が起きたのか、あるいは水草がふえたということで透明度が上がったのか、そこら辺の因果関係というのはどうでしょうか。

濱端 因果関係はまだわからないと思いますが、私は水草がふえたから透明度が上がったのではないかと思っているわけです。

中島 水草がふえるとどうして透明度が上がるんですか。

濱端 一般的に言われている話ですが、水草が生えると波浪が抑えられますよね。それで、沈降性の物質が落ちてしまうというので透明度が上がるというふうに言われているんですが、それは一応物理的にそういうふうな影響で透明度が上がるとは言われていると思いますが。

中島 ただ、さっきのスライドの図でクロロフィルが減っていますね。そこら辺の機構はまた別ですか。

濱端 ええ。だから多分それは水草がふえて動物プランクトンがふえたので、植物プランクトンが減って、それが透明度を上げた。植物プランクトンが減るので透明度が上がるのではないかと思います。

中西 今の話と関連して、水草帯が発達すると透明度がよくなると。それにはだれか最近の人の話で、魚が少なくなって、それによって動物プランクトンが恐らく食われない。ふえた動物プランクトンがそこに繁殖して植物プランクトンを食べるので、植物プランクトンが少なくなって透明度がよくなるというふうなストーリーかなと思ったんですよ。しかし僕らの昔の学生時代からの水草帯でなぜ水がきれいになるかという1つは、かつては宝月欣二先生がポットで実験された、水草とクロレラを入れて。そうすると、あれはおかしいということですね。それから、水草から植物プランクトンの成長を抑える物質が出て、それによって植物プランクトンの成長が抑えられて水がきれいになる。もう1つ宝月さんが指摘されているのは、水草帯が大きくなると水中の光環境が悪くなるので、それによって植物プランクトンの光合成が抑えられて、植物プランクトンの成長が抑えられて水がきれいになる、そういう説明を僕は聞いたことがあるんですね。だから、それはどっちか知らんけれども、物理的には確かに水が流れてきて、その沈降物が下へ沈む。しかし、水の

透明度というのはそういう物理的な粒子だけじゃなくて、やっぱり植物プランクトンの多い少ないというのが非常に大きなファクターになっている。だから、それを抑えるのではないかということと、それからもう1つ、今の動物プランクトンが多くなった。それは調べないんですか。

濱端 私は調べていないです。ただ同じときではないんですが、調べられていて増えているのもあったと聞いています。

中西 もう1つは、南湖で最近外来種のおオカナダモとコカナダモがなくなって、在来種がふえてきた。北湖ではどうなんですか。

濱端 コカナダモは減少気味のような気がするんですがまだ確証はないです。

中西 オオカナダモもコカナダモも雌雄異株なのだけど、Hutchinson は“A treatise on limnology v.3”でこういう雌雄異株の植物はあるときに有性生殖しないとその勢力を落としてしまうと書いてるんです。その例としてイギリスの小さい何とかという川でオオカナダモが一時期ものすごくふえたんだけど、それが時間とともに減っていったのは、そういう有性生殖をしないで、要するに無精的な生殖で精力を落としてしまったという説明をHutchinson は書いていました。それはオーストラリアでも同じようなことで、それも書いていますので、そういうことが琵琶湖でも60年代から70年代に出てきたとすれば、かなり時間がたっているのだから、オオカナダモもコカナダモも両方の性が入っていないわけなので、何かそういうことも絡んできているのかなと今お話を聞いてちょっと感じたんです。それは感覚です。

それともう1つ、最後の今後の課題のところでもちっと注文なんですけど、生態系のいい回復が最も重要と言いながら、その中の連続性の確保とか湿地の拡充、それから水位の操作というのは水草に限った話なんです。こういう研究の仕方をすれば、生態系と幾ら言うても全然進歩しないですよ。だから、やっぱり私は水草の専門家とか、私は動物プランクトンの専門家、私は植物プランクトンの専門家、その分野でというふうな枠をはめると全然進展しない。そこはものすごく気になるところがあって、特に若い濱端さんなんかには、生態系の回復が最も重要だと言うからには、周辺の系を構成しているものをすべて見た上での位置づけをしてほしいというのが、これは最後のディスカッションで言うべきかもしれないけど、ちょっと注文だけ。

永田俊（京都大学） ことはたしか水位は高かったですよ。余り下げないようにしたんです。ことは水草は減ったんですか。

濱端 いや。多分減っていないと思います。一度回復してしまうと条件がよくなっているのだから、あんまり関係しないんじゃないかと思います。先ほどの水位操作の話は、どちらかという漁業者の方向けの立場なんです。水位が高ければ水草が生えていても気にならないわけです。あれは下から生えていますので、水面まで届きにくい。届く量が少

ないのでスクリーンに巻きつくことが少ないわけです。ただ、密度からしますと、春先の光量が多分発芽数には影響していると思います。だから、春先の芽出しの時期に光が少なければ密度は減ると思いますね。コカナダモなんかでも、多いときは1 m²あたり 5,000 本ぐらい、少ないときでしたら 1,000 本から 2,000 本という数字になりますから、それは多分春先の光の量が効いていると思うので。

永田 水草自体は余り魚の産卵とかには重要ではないんですか。

濱端 私は重要だと言ったんですが、県でも漁業調整規則というのがありまして、魚が産卵する時期に水草を刈ってはいけないという条項が以前はあったのですが、それがコカナダモが繁茂して以降、そういう条項がいつの間にか消えてしまっています。ただ、今のところ県の水産試験場の人が言われているのは、ヨシ帯だけに非常に特化して話をされていますね。