

環境儀

No. 9

JULY 2003



国立環境研究所の研究情報誌

湖沼のエコシステム

— 持続可能な利用と保全をめざして —



独立行政法人

国立環境研究所

<http://www.nies.go.jp/index-j.html>



多種多様な生物が複雑に影響し合う湖沼。
その持続可能な利用・保全には
生態学のアプローチが大きな役割を担っています。



地球上には約14億km³の水があるといわれていますが、湖沼にあるのはそのうちのたった0.007%に過ぎません。私たちはその水を飲料水などの生活用水や工・農業用水として、さらに湖沼全体を漁業や観光、レクリエーションの場として利用しています。その湖沼は生活排水などの流入によって富栄養化し、アオコが異常発生するなど各地で問題となっています。さまざまな手法で浄化対策が行われていますが、なかなかうまくいきません。

湖沼の水質がその流域の人間活動の影響を大きく受けていることはよく知られています。一方で、魚-動物プランクトン-植物プランクトンは、食う-食われるの関係(生物間の相互作用)を通して、湖沼の水質にまで影響を及ぼすことがわかってきました。

今後湖沼環境を改善し保全していくためには、汚濁物質を物理化学的に削減・除去するこれまでの対策に加え、生物間の相互作用を含めた湖沼生態系の構造と機能をよく理解し、活用していくことが必要になってきます。

本号では、湖沼の水質が魚の影響を強く受けていた事実を通して、湖沼における生物間の相互作用を明らかにするとともに、生態系を保全・管理しつつ湖沼利用を進めるための道を探りました。

C O N T E N T S

湖沼のエコシステム

持続可能な利用と保全をめざして

INTERVIEW

研究者に聞く P4-P9

SUMMARY

「魚の導入による湖沼の生物群集の変化と生態系管理」 P10-P11

湖沼の生態系管理と
生物多様性保全は今 P12-P13

「湖沼の生態系管理」研究のあゆみ P14

研究者に聞く

高村 典子 生物多様性研究プロジェクト
多様性機能研究チーム総合研究官



生態学の立場から湖沼環境保全の研究に取り組んでいる高村典子さんに、研究の狙い、成果などをお聞きしました。

●中国・長江(揚子江)流域湖沼の環境問題

——まず初めに、今回の特別研究「富栄養化湖沼群の生物群集の変化と生態系管理に関する研究」で取り上げていらっしゃる中国の長江流域湖沼の環境問題についてお聞かせ下さい。

高村 中国国内の全淡水湖総面積の約42%は長江中下流域を含む地域にあります。そこにはヨウスコウイルカやヨウスコウワニなど、この地域固有の生物が数多く生息しています。それらさまざまな生きもの、いわゆる生物資源が、近年の急速な経済発展によって減ってきています。

そこで中国国内の文献をもとにこれら湖沼の環境問題について整理した結果、①湖沼面積の縮小、②生息環境の分断、③乱獲と外来魚の導入、④水生植物帯の減少、⑤富栄養化——によって生物多様性が急速に失われつつあることがわかりました。

たとえば「生息環境の分断」についていえば、そ

れまで長江本流とつながっていた湖沼が1950年代頃から洪水対策のために次々と切り離されてしまい、本流と湖沼の間を行き来しながら生活する回遊魚が大幅に減少しました。

——今回の研究テーマである生態系管理との関連で、「外来魚の導入」の影響についてお聞かせ下さい。

高村 中国は日本と違い淡水魚が重要な食料資源となっていて、とくにハクレンを始め「四大家魚」と呼ばれる淡水魚は古く唐の時代から池での養殖が盛んに行われてきました。それが近年、種苗放流技術が発達し、自然の湖への導入も行われています。本来、このような魚種がいない高原の湖沼へも導入され、その湖沼の在来固有種が絶滅に追いやられてしまう事例もあります。

——日本でブラックバスやブルーギルなどの外来種が繁殖したことにより在来種が危機にある状況と同

ハクレン

長江流域が原産のコイ科の魚。成長すると全長1mほどの大きさになります。濾食性の魚で、えらには細かい網目の構造をしていて、その表面が粘膜で覆われている「鰓耙」(さいは)という器官があり、そこでプランクトンを濾し取って食べます。似た魚でハクレンよりも色が黒いコクレンと合わせてレンギョと呼ばれています。これにソウギョ、アオウオを加えた4種類のコイ科魚類は、中国では「四大

家魚」と呼ばれ重要な水産資源になっています。



ハクレン



ハクレンのえら

メモ



じですね。④の問題点として指摘されました「水生植物帯の減少」についてはいかがですか。

高村 長江流域にある浅い湖沼では、その沿岸域に水生植物帯が発達します。水生植物帯は湖沼の生物多様性を支える上で重要な機能を持つと考えられていますが、長江流域の湖沼では、水生植物帯が急速に減少しています。原因は、「四大家魚」の一つで水生植物を好んで食べるソウギョの放流や富栄養化による透明度の低下が考えられます。

——先ほどおっしゃられた湖沼の生物多様性にとって、水生植物帯が果たす重要な役割とは何ですか。

高村 湖沼の岸から遠い沖の生態系は、植物プランクトンを基点とする食物連鎖で構成されます。一方沿岸では藻類が水生植物の葉や茎の表面に繁殖し、そこに藻類や水生植物を食べる甲殻類や貝、昆虫、魚など多くの小動物が生息し、沖よりも複雑な生態系が形づくられます。水生植物は、たとえていえば、水の中に木や草のような立体的な構造物を提供しているわけで、小動物の生息空間を大きくするとともに、小動物が敵から身を守る隠れ家にもなっています。これが、生物間の関係をより複雑にして、生物多様性を高めています。水生植物帯の減少は、これらに依存している水生生物の減少を引き起こし、湖全体の多様性を大きく低下させてしまうのです。

●バイオマニピュレーション

——先ほどのお話で、外来種が湖沼の生態系にさまざまな影響を及ぼすことがわかりました。研究ではハクレンを意図的に導入することでアオコを除去するバイオマニピュレーションについて実験が行われていますが、そのきっかけについてお話し下さい。

高村 長江中流の武漢市郊外に東湖という湖があります。この湖については中国科学院水生生物研究所が長期にわたり水質や生物群集のモニタリングを続けていて、このデータを元に水質や生物群集の長期変動を解析しました。

東湖は1960年代に長江から切り離され、さらに堤防や道路によって小さい水域に分割されました(表紙の写真参照)。1970年代には、ソウギョが過剰に放流され、さらに富栄養化の影響なども重なり、大型の水生植物が激減して、アオコが大発生するようになりました。ところが1980年代後半になると突如としてアオコが消えたのです。

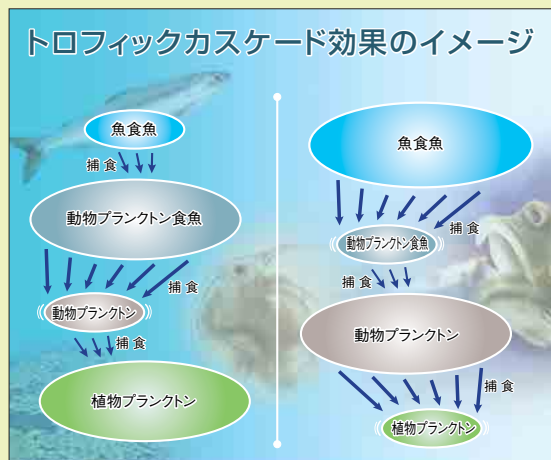
この時のアオコの消滅にはどうもハクレンやコクレンなどプランクトンを主食とする魚の増加が関係しているのではないかと考えられました。これらの魚は1970年代初めに種苗放流技術が確立され、以来東湖にも放流されて漁獲量が年々増えていました。

コラム「バイオマニピュレーション」

食物連鎖の上位に位置する魚の捕食の影響が、食物連鎖の構造に沿って段階的に下位の植物プランクトンや水質にまで順に影響することをトロフィックカスケード効果といいます。たとえば大型の動物プランクトンを食べる魚の捕食圧が高いと小型の動物プランクトンが優占するようになり、その結果植物プランクトンに対する捕食圧が減って、植物プランクトンの量が増え、湖の透明度が下がります。逆に魚の捕食圧が低いと大型の動物プランクトンが増え、植物プランクトンが食べられて減少し、湖の透明度が上がります。

この効果を利用して、人為的な操作によって湖沼の水質浄化や生態系の管理を行うことをバイオマニピュレーション、直訳して生物操作といいます。北米などでは、湖沼にブラックバスなどの魚食魚を放流することで動物プランクトン食魚を減らし、その結果大型の動物プランクトンを増やして植物プランクトンを減少させる試みが実際に行われています。ただし、ブラックバス(外来魚)などが在来の生物に壊滅的な打撃を与えていることが日本で問題となって

いるように、外来魚が湖沼の生態系に予期しない変化をもたらした例は世界各地で報告されています。外来魚に限らず人為的な魚の導入には慎重な対応が求められています。



研究者に聞く

さて実験ですが、東湖でのアオコの消滅とハクレンの増加について、両者の因果関係を検証するとともに、ハクレンを用いたバイオマニピュレーションが水質浄化に有効かどうかを調べました。

—その結果、どのようなことがわかったのですか。

高村 霞ヶ浦に、5m四方の隔離水界(写真参照)を6基設置して、ハクレンの量を操作しながらプランクトンや水質の変化を調べました。

アオコだけに着目すると、ハクレンの導入によってその量は確実に減ることがわかりました。しかし、ハクレンはアオコのような大型植物プランクトンだけでなく動物プランクトンも食べます。そのため動物プランクトンのエサとなっていた小型の植物プランクトンが逆に増えてしまいます。ですから、もともとアオコが多く動物プランクトンが少ない環境にハクレンを導入すると水質浄化の効果が現われますが、それ以外の条件ではあまり効果は期待できません。

つまりバイオマニピュレーションの効果は、対象



隔離水界：シートで周囲を囲み、水の出入りを遮断している

植物プランクトンとアオコ

植物プランクトンは水中の窒素やリンなどの栄養塩を吸収し、光合成によって水中の炭素を固定して増殖します。湖の食物連鎖の底辺に位置する基礎生産者で、栄養塩や光などの資源に加え、水温、水の垂直混合度、動物プランクトンによる摂食などによってその量や質が左右されます。湖に生息している細菌や動物プランクトン、魚、昆虫などの多くは、植物プランクトンが作り出した有機物を直接または間接的にエサとしています。

ひとことで植物プランクトンといってもその種類は多く、湖沼でよく見られるものだけでも藍色植物(シアノバクテリア)、珪藻、渦鞭毛藻、クリプト藻、緑藻、黄緑藻、ミドリムシ類に分類できます。また大きさも1万倍近い幅があり、マクロプランクトン(200 μm 以上)、ミクロプランクトン(20~200 μm)、ナノプランクトン(2~20 μm)、ピコプランクトン(2 μm 以下)に分けることも

とする湖沼生態系の構造により異なることがわかりました。

—アオコがいなくなれば、他の植物プランクトンが増えてもよいのではないですか。

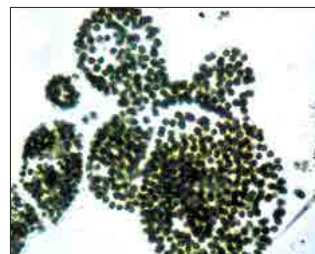
高村 植物プランクトンは分類学的に見てきわめて多様な生物群です。細菌と同じくらいの大きさのピコプランクトンと呼ばれるものから数ミリの大型動物プランクトンを上回るものまで、サイズの幅が大きいのが特徴です。現在の科学的知識では、残念ながらまだ個々の水域で優占する植物プランクトンの種類を正確に予測することができません。ハクレンによるバイオマニピュレーションを行うと、アオコがいなくなり小型のプランクトンに代わるわかりましたが、どのような植物プランクトン種に代わるかは予測が困難です。珪藻のように動物プランクトンのエサとして栄養価が高いグループに代わってくればよいのですが、場合によっては、また別の環境問題を引き起こすことも想定しなければなりません。また、ハクレンを導入すると必ずピコプランクトンが増えることが私たちの実験からわかりましたが、これを取り除くのは大型のアオコを除去するより難しくコストもかかります。

●十和田湖の環境問題

—中国の例は先ほど紹介していただきましたが、十和田湖でも似たような事例が報告されていますね。今度はその研究についてお話し下さい。

あります。

アオコは植物プランクトンの中の藍色植物に属しており、これらが大量に発生し湖沼の水面に青い粉を撒いたような状態となったもの、またはその原因となった藍色植物のことを指します。アオコを形成する藍色植物は数十種類あるとされていますが、ミクロキスティスやアナベナ、アフォソメノン、プランクトスリックスという属が代表的です。富栄養化の影響で異常増殖すると、有毒物質やかび臭物質を産出します。



アオコの顕微鏡写真

メ モ



十和田湖

高村 十和田湖は十和田八幡平国立公園の中にあり、田沢湖、支笏湖に次いで日本で3番目に深い湖として知られています。十和田湖の水質にはCOD(化学的酸素要求量：Chemical Oxygen Demand)濃度が1ppm以下というもっとも厳しい環境基準値が定められています。ところが1980年代の中頃からCOD濃度が1ppmを超えるようになり、透明度も下がってきました。

十和田湖は青森県の主要な観光地の一つで、水質の悪化は観光資源としての価値を下げることとなります。県では1980年から下水道整備を行っていましたが、水質が改善しないため国立環境研究所にその原因を究明するための共同研究を実施したいとの申し出がありました。そこで1995年から毎月、水質とプランクトンのモニタリングを開始しました。

さらに十和田湖に関する過去のデータを集めました。水質については、青森・秋田両県の環境部門により1972年からCODのデータが、1982年から窒素・リンのデータが蓄積されていました。また、十和田湖ではヒメマスが重要な水産資源で、青森・秋田両県の水産部門によりヒメマスとそのエサである動物プランクトンの調査報告がありました。後からわかったのですが、水質の悪化が問題になり始めたちょうど同じ頃から、ヒメマスの漁獲量の減少が大きな問題になっていました。

——それらのデータからどのようなことがわかりましたか。

高村 1980年代中頃から動物プランクトンが小型化していることがわかりました。これは動物プランクトンを食べる魚の捕食圧が上がったことを示しています。ちょうどその時期が、それまで湖にいなかったワカサギが大量に漁獲されたのと一致していました。

動物プランクトンが小型化すると植物プランクトンを濾し取って食べる能力が落ちます。その結果、植物プランクトンが逆に増えてしまい透明度が下

がったと考えることができました。

——ヒメマスの漁獲量はどのような理由で減少したのですか。

高村 ワカサギは1980年代初めに予期せずに十和田湖に導入されたようで、1985年には漁獲量が急激に増えています。ちょうどその時期に、逆にヒメマスの漁獲量は急減しています。ヒメマスとワカサギはともに大型の動物プランクトンを主なエサにしていますので、エサをめぐる競争がヒメマスの漁獲量の減少を引き起こしたと考えるのが妥当です。

——単純にいうと、エサをめぐる競争でヒメマスはワカサギに負けたということですか。

高村 十和田湖での場合は、完全にワカサギがヒメマスを駆逐するのではなく、両者がエサをめぐる競争をしながら、周期的にその数が増減するという関係になることが予測できました。実際、1995年から6年間の研究期間では、1996年秋から1997年にはヒメマスの漁獲量が回復し、ワカサギは逆に少なくなりました。ちょうどこの頃、大型の動物プランクトンが増えています。ヒメマスとワカサギの関係は、エサである動物プランクトンも絡んで周期的に増減を繰り返しているようです。

——ある魚の導入が水質などに影響を及ぼすというのは、十和田湖だけの現象ですか。

高村 いいえ、十和田湖だけの現象ではないと思います。霞ヶ浦での実験からもおわかりいただけるように、このような現象が自然界で起こっていることは実験で確認ができます。しかし、実際の自然湖沼で確認できたことは稀なことだと思います。

十和田湖はきれいなカルデラ湖で沿岸域もさほど発達していません。湖の生態系の構造が単純で、互いの関係がわかりやすかったのかもしれませんが。十和田湖の研究を通して、湖の生態系管理が重要であることを他分野の湖沼環境の研究者や行政担当者にも強くアピールできました。また、これは自然の湖

研究者に聞く

沼生態系を理解するために、長年のモニタリングによるデータの蓄積が大きく役立つ例でもあります。

●湖沼の生態系管理

——湖沼ではさまざまな生物が密接に絡み、新たな負荷や変化に脆いことがわかりました。こうした湖沼環境を保全し、持続的に利用していくためにはどのような取組みが必要でしょうか。

高村 湖沼を管理する法律としては河川法があります。日本では1964年から、「治水と利水」という視点で湖沼環境を管理してきましたが、1997年に改定され「環境」が新しいキーワードに加わりました。一方、日本は1993年に生物多様性条約の第18番目の締約国になり、1995年には生物多様性国家戦略、2002年にはそれが大幅に見直され、新・生物多様性国家戦略が決定されました。

この5年の間に、生物多様性や生態系の保全は世の中に急速に受け入れられるようになってきていると感じています。湖沼保全も従来の水質保全という尺度に加え、生態系に配慮したものでなければいけません。湖沼では水質と生態系は密接にリンクしています。生態系への配慮を欠くと水質も守れないことを、私たちの研究から示すことができました。

湖沼生態系を保全するという視点では、その湖沼が本来持っている景観的な要素(たとえば沿岸の地形構造の上に成り立っている植生帯や砂浜など)を破壊することは避けなければなりません。さらに私たちの研究で示したように、湖沼生態系は外来魚によって大きく変わってしまいます。魚に限らずその湖にもともといなかった生物種を極力持ち込まないようにすることは、湖の保全のキーポイントになります。また、湖沼の水質は流域の土地利用や人間活動から大きな影響を受けます。たとえば、流域で森林を伐採して農地や市街地にすると、湖へ流れ込む窒素やリンなどの栄養塩は大きく増加します。このことは、当然ながら湖沼の富栄養化をもたらし、湖沼環境は悪化し、湖に生息する生物は大きな影響を受けてしまいます。ですから湖沼の保全は、湖を含めた流域全体で管理する必要があります。

このように見ていきますと、湖沼の管理には流域河川や湖沼の水質、生物群集についてのモニタリングが欠かせません。そのデータを科学的に解析し管理にフィードバックしていく、そうしたプロセスが

不可欠になるでしょう。

●自然再生

——これからの湖沼環境保全には生態系管理の視点が必要ですね。そうすると生態学の役割はますます重要になりますね。

高村 そうですね。ところで生態系管理は、一度壊れてしまった生態系を復元することも含みます。

霞ヶ浦では富栄養化や護岸工事のため、過去30年間に水生植物帯が大幅に減少しました。とくに、一生を水の中で生活する沈水植物群落はほとんどなくなってしまいました。

国土交通省は平成13年度の補正予算で霞ヶ浦に植物帯を復元する工事を行いました。湖岸堤の中の数力所に本来の沿岸域の地形を再現し、霞ヶ浦の水生植物の種を含む泥(土壌シードバンク)を撒き、そこから水生植物を再生させたり、周辺の学校で育てた霞ヶ浦の水生植物の苗をNPOや市民、小学生の手で植えるという実践活動が行われています。

水生植物の中でもヨシやアサザなど葉が水上にある種類はこのような方法で再生が可能かもしれませんが、光が湖底に十分届かないところでは沈水植物は育ちません。現在の霞ヶ浦は透明度が低く、水深が20~30cmの岸付近でしか沈水植物は育ちません。ところが岸付近は底の泥が動きやすく沈水植物が根付きにくいといわれています。またヨシやアサザが順調に根付いてくると、沈水植物はこれらの種類に負けていきます。そこで、バイオマニピュレーションを応用することを考えました。

沈水植物の種を仕込んだ土壌シードバンクを沿岸一帯に撒き、その上に隔離水界を設置しました。そして、隔離水界の中で動物プランクトンを食べる魚を除去しました。

この実験は昨年、土木研究所と東京大学の研究者と共同で行いました。その結果、魚を除去した隔離水界の中では甲殻類動物プランクトンが増え、植物プランクトンの量が減って透明度が上がりました。そして、ササバモとクロモという在来の水生植物が生えてきました。ただし、コカナダモやオオカナダモという外来種(これは、1970年代頃から霞ヶ浦に侵入したといわれている)も増えてしまい、こうした外来種への対策を考えています。

「自然再生推進法」が今年施行されましたから、今



後こうした事業に生態学や生態学者が貢献できる機会が高まると思います。

——成功すれば他の湖沼への応用も期待できますね。

高村 そうですね。その地域の自然の再生には、よその地域から生物材料を持ち込まないというのが原則ですから、土壌シードバンクの活用は有効な方法です。しかし、土壌シードバンク自体も時間の経過とともに種子の発芽能力が劣化します。ですから、今は透明度が低く、沈水植物の再生が困難な霞ヶ浦や手賀沼、印旛沼などでも、湖の沿岸域の一区画に透明度の良好な場所を人為的に作り、その湖に本来生息していた沈水植物の種を土壌シードバンクから再生産させ、維持していくのがよいと思います。

●苦勞したこと

——さて、話は戻ります。これまでの研究で印象に残ったことや苦勞したことなどがあると思います。ぜひお聞かせ下さい。

高村 中国での研究の時は1995年から毎年のように武漢を訪問しましたが、風景や施設、交通事情、研究体制がめまぐるしく変わるので面食らいました。

最初の調査では研究所の車が故障し、その代わり

に手配された車がなんと警察のものだったということがありました。この車に乗って8時間以上かけて湖に行ったのですが、着いたらそこは大洪水でした。この共同研究では、中国側の研究者にたいへんお世話になりました。

霞ヶ浦でのバイオマニピュレーションの実験では、隔離水界から実験対象外の魚種を排除するのに苦勞しました。ある程度の大きさの魚は物理的に取り除くことができましたが、孵化したばかりのブルーギルの稚魚が大量に隔離水界に侵入し、動物プランクトンがすべて食べ尽くされてしまいました。バイオマニピュレーションの難しさを痛感し、あらためて小魚の食欲に驚いたできごとでした。

——湖沼を持続的に利用していくためには、これまでのような水質一辺倒の考え方だけでなく、生態系を念頭に置いた保全が必要なことを痛感しました。自然再生推進法の施行と相まって、これから水域保全対策に生態学者の出番が一気に高まっていくのでしょうか。一つひとつの湖沼にそれぞれ独自の生態系があり、それを見つめ保全していく、なんだかミニ地球環境保全をしているみたいでわくわくしますね。今日はありがとうございました。

コラム「自然再生」

政府が2002年3月に策定した「新・生物多様性国家戦略」では、生物多様性が危機的状況にあることを踏まえ、今後力を入れるべき施策として「保全の強化」「持続可能な利用」とともに「自然再生」を1つの柱に掲げています。政府はこの方針に沿って、開発により破壊された河川や湖沼、湿原、干潟、里山などの自然を積極的に再生・修復する「自然再生事業」を進めることにしています。

自然再生のモデル事業として、環境省と国土交通省が中心となって乾燥化が進む釧路湿原の再生をめざす事業を2002年度から進めています。ここでは専門家や関係機関による検討委員会が「ラムサール条約登録当時(1980年)の環境への回復」を長期目標、「2000年現在の湿原の状況を維持すること」を当面の目標に、湿原に流入する土砂の制御や地下水の上昇を目的とした河川の蛇行復元などが行われています。またこの事業では調査計画段階から地元自治体や専門家、地域住民、NPOが参画しており、さらに湿原の再生状況や動植物の生息・生育状況などのモニタリングデータを反映しながら、その評価を事業にフィードバックしていく手法がとられています。

こうしたなか、同事業の基本理念や具体的手順を定めた「自然再生推進法」が2003年1月に施行されました。法律では自然再生事業を自然環境の保全、再生を目的とする地域主導の新たな形の事業と位置づけており、具体的な手順として①政府が自然再生基本方針を策定し、②地方公共団体やNPOなどの実施者が中心となって自然再生協議会を組織する、③この協議会で自然再生全体構想を作成し、実施計画について協議する——ことなどが盛り込まれています。



釧路湿原の自然再生事業。農地跡地の表土をはぎとり、地下水位に近づけることで湿地に戻す。(写真提供：環境省)

魚の導入による湖沼の生物群集の変化と生態系管理

湖沼など閉鎖性の強い水域では生態系が微妙なバランスの上に成り立っており、外部から生物種を導入すると湖沼の生態系が大きく変わります。たとえば食物連鎖の頂点に位置する魚が入ってくると、下位にいる小動物や動植物プランクトンの種類や量が変化し、水質も変わります。

1 ハクレンを用いたバイオマニピュレーションの有効性

ハクレンの導入によってアオコや他の動植物プランクトンの種類や量、水質にどのような影響が出るかを調べるため、霞ヶ浦臨湖実験施設の港内に6基の隔離水界をつくり実験を行いました。

(1) ハクレンの導入によるアオコの制御と湖の透明度

実験の結果、ハクレンを導入することでアオコの量は確実に減りました。しかし、アオコとともにハクレンのエサとなる動物プランクトンの量も減少したため、動物プランクトンのエサとなっていた小型の植物プランクトンは増加しました。したがって、ハクレンの導入により植物プランクトン全体量の減少や湖水の透明度の増加は必ずしも期待できないことが示されました。

ハクレンによって水質浄化が期待できるのは、アオコだけが大量に発生している水域か、あるいはもともと動物プランクトン食の魚の量が多く、とくに

ミジンコなど大型の動物プランクトンが少ない水域にハクレンを導入した場合に限られます(図1)。

(2) 湖沼管理への応用と問題点

ハクレンが重要な水産資源となっている中国では、ハクレンにアオコを食べさせ漁獲することで、アオコやその要因である窒素・リンの除去を、コストをそれほどかけることなくできます。しかしハクレンを導入する湖沼にミジンコなどの大型動物プランクトンが比較的豊富にいと、植物プランクトンの総量を抑制したり透明度を上げる効果は期待できません。またハクレンの導入によってプランクトン群集が小型化し、超小型のピコプランクトンも増えてしまいます。これを取り除くことはかなり難しく、湖沼の水を飲料水などに利用することが困難になります。

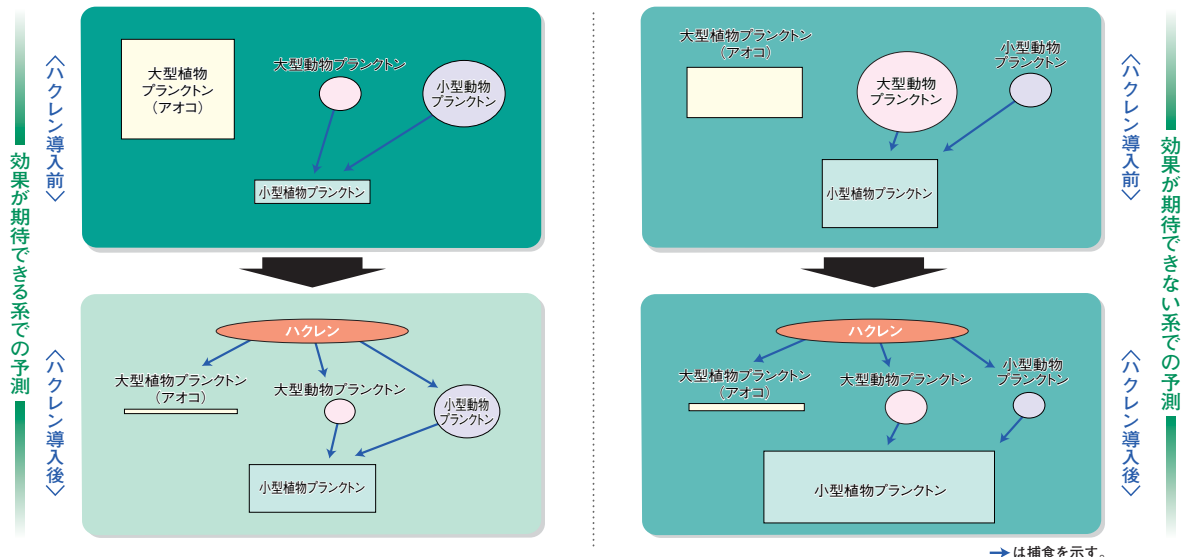
2 魚種の変化が十和田湖の生態系に与えた影響

十和田湖では、重要な水産資源であるヒメマスの

図1 バイオマニピュレーションの効果

バイオマニピュレーションの効果は湖沼生態系の構造に大きく依存します。図示した「効果が期待できる系」は、アオコが大発生しており、大型動物プランクトンが少ない環境です。ここにハクレンを導入すると、アオコを含む大型の植物プランクトンがハクレンに直接食べられることにより植物プランクトンの総量が減り透明度が上がります。大型動物プランクトンも食べられますが、もともと少ないので大きな影響はありません。

一方、「効果が期待できない系」は、アオコはそれほど多くなく、大型動物プランクトンが多い環境です。ここにハクレンを導入すると大型動物プランクトンがハクレンに食べられ減るため、トロフィック・カスケード効果により小型植物プランクトンが増え、結果的に植物プランクトンの総量はハクレンを導入する前と変わらなくなるか、もしくは、増える場合もあります。そのため透明度は回復しません。





漁獲量が1985年に急に落ち込み、それに代わって80年代前半に予期せずに導入されたワカサギの漁獲量が増えました(図2)。また同じ頃から湖の透明度が低下し(図3)、COD濃度が高くなっていることが明らかになりました。そこでワカサギの増加がヒメマスの減少や水質の悪化にどのような影響を及ぼしているかを調査しました。

(1)動物プランクトン群集の変化

まずヒメマスのエサになる動物プランクトン群集の変化を調べました(図4)。ハリナガミジンコなどの大型の動物プランクトンの量が多い時期とヒメマスの漁獲量が多い時期はほぼ一致しています。しかし、ワカサギの導入後こうした大型の動物プランクトンが減り、それまでは見られなかった小型のゾウミジンコが増えました。

(2)ヒメマスが獲れなくなった理由

秋田県水産振興センターがヒメマスとワカサギの胃の内容物を調べたところ、ヒメマスは漁獲量が多い時期はハリナガミジンコなどをよく食べていましたが、漁獲量が少ない時期はユスリカの幼虫やさなぎ、ヨコエビ、昆虫を食べており、ゾウミジンコなどは食べていませんでした。一方、ワカサギはその

リカの幼虫やさなぎに加え、ゾウミジンコなども食べていました。

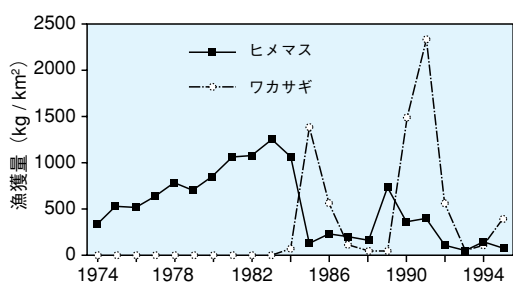
ヒメマスとワカサギはともに大型の動物プランクトンを主食としていますが、ヒメマスが小型の動物プランクトンを食べることができないのに比べ、ワカサギはこれを食べることができます。ヒメマスの漁獲量がワカサギのそれに比べ極端に減少したのは、小型の動物プランクトンを食べることができるかできないかという食性のわずかな差が影響していると考えられます。

(3)ワカサギの導入と透明度

ハリナガミジンコは、大型から小型まで広範囲の大きさの植物プランクトンをエサとして大量に食べることができます。そのため1984年までの十和田湖の生態系は植物プランクトンのほとんどがハリナガミジンコに食べられ、それがヒメマスへと効率よく転換されていたと考えられます。

しかしワカサギが導入されると、大型のハリナガミジンコは急速に減少し、ヒメマスが食べられない小型のゾウミジンコが優占してしまいました。小型の動物プランクトンは、食べることでできるエサの大きさが限られ、量も少ないため、湖水中に残る植物プランクトンが増加し、これが透明度の低下をもたらしたと考えられます。

図2 十和田湖におけるヒメマスとワカサギの漁獲量の変化



漁獲量と無関係に常に、大型のプランクトンやユス

図3 十和田湖における透明度の推移 (年平均値±標準偏差)

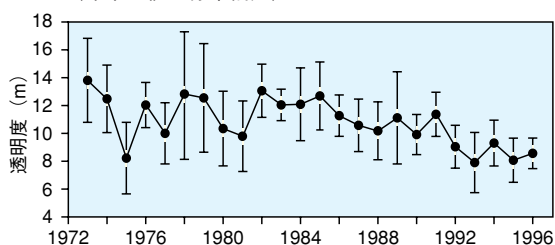
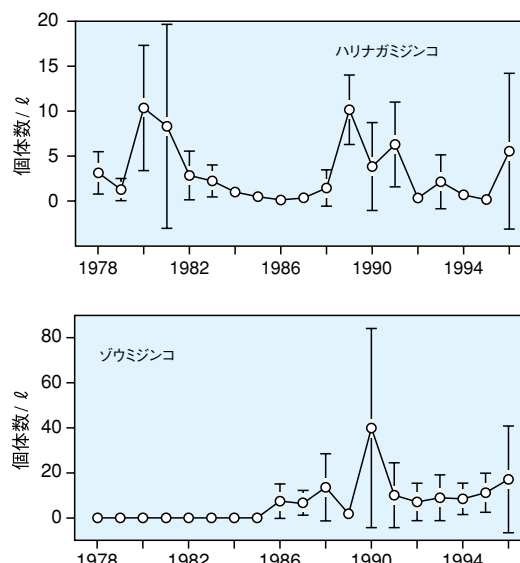


図4 十和田湖表層におけるハリナガミジンコとゾウミジンコの密度の変化 (年平均値±標準偏差)



湖沼の生態系管理と生物多様性保全は今



植生が豊かな沿岸域

世界では

中国では、私たちの共同研究の成果を利用してアオコの発生抑制や漁獲による窒素・リンの除去のために、多くの湖沼(雲南省・滇池, 江蘇省・太湖, 安徽省・巢湖, 貴州省・紅楓湖)でハクレンやコクレンを用いたバイオマニピュレーション試験が始まっています。一方で、長江流域から雲南の高原の湖へハクレンやコクレンを導入することで、それらと食性が似ている在来固有のヒゲナシゴイ(*Cyprinus pellegyini*)が絶滅に追いやられているという問題も指摘されており、バイオマニピュレーションの利用について事前のアセスメントの重要性が指摘されています。

富栄養化は、中国でも依然として深刻な湖沼環境問題です。最近では、都市部で下水道などが整備され始め、湖へ窒素・リンの負荷を軽減する努力がなされるようになってきました。また、湖内では水生植物を利用した浄化なども試みられています。

日本では

十和田湖では、私たちの研究成果に基づき2001年度に青森・秋田両県が「十和田湖水質・生態系改善行動指針」をまとめました。現在指針に従ってモ

ニタリングや保全が行われています。

長野県の白樺湖では信州大学により、魚食性のサケ科魚類を増やすことでワカサギを減らし、大型ミジンコを増やすことでアオコの発生を抑制するという実験が行われています。

琵琶湖では近年、地球温暖化のせいか冬期の気温が上昇し、積雪量の減少などによって冷たくて酸素が豊富な河川水の流入が減ってきています。また、富栄養化による有機物生産が依然として抑制されていません。そのため、深層では溶存酸素量が減少傾向にあり、湖底に棲む底生動物群集に変化が起きていると指摘されています。琵琶湖深層に低酸素域ができると、全体に悪影響が出ることが懸念されるため、琵琶湖研究所では琵琶湖深層の酸素濃度や生物群集の監視を強化しています。また、内湖の再生に関して、栄養塩負荷を抑制するだけでなく、固有種を中心とした在来の生物が繁殖しやすい環境をつくるための保全生態学研究が始められています。

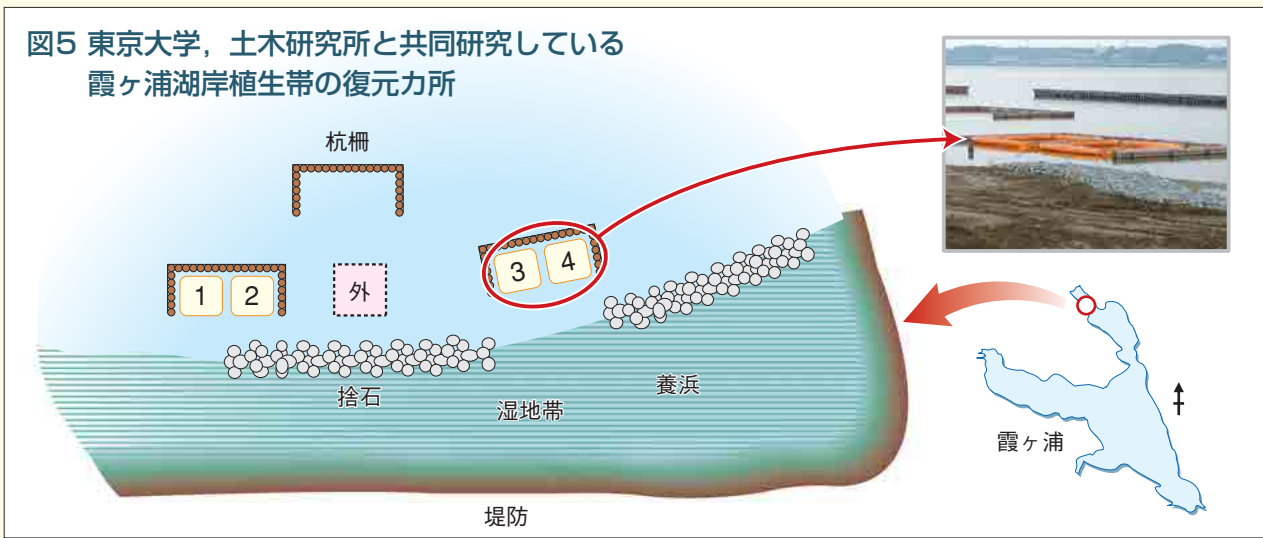
× モ

内湖(ないこ)

琵琶湖の回りにおいて、湖と水路を通じた小さな水域。ヨシ原と並んで魚類の産卵場、稚魚の成育の場となっています。しかし干拓などのため、現在では数カ所しか残っていません。



図5 東京大学，土木研究所と共同研究している霞ヶ浦湖岸植生帯の復元力所



国立環境研究所では

国立環境研究所では2001～2005年度の重点特別プロジェクト「生物多様性の減少機構の解明と保全プロジェクト」の一環として、兵庫県南西部のため池をとりあげ、研究を進めています。2002年に決定された新・生物多様性国家戦略では、生物多様性への影響を「3つの危機」として整理しています。第1の危機は開発や乱獲など人間活動に伴う負のインパクトによる影響，第2の危機は里山の荒廃等人間活動や生活スタイルの変化に伴う影響，第3の危機は侵入種等の影響です。ため池の保全は、この第2の危機に対する課題です。

日本では、西日本を中心に多くのため池が作られてきました。たとえば兵庫県には現在、約4万カ所のため池がありますが、1970年から30年間に約1万カ所が埋め立てられました。さらに都市化に伴う富栄養化、ブラックバスやブルーギルを始めとする外来種の侵入、希少動植物の乱獲などが拍車をかけて、池に生息する生きものの多様性を著しく減少させています。実は、淡水の無脊椎動物の約2/3は池を生息場所としています。池は淡水域に生息する生きものの宝庫なのです。国立環境研究所では、ため池をよく利用するトンボを指標生物として、ため池周辺の土地利用や水辺の多様な植物群落が水域の生態系や生物多様性の保全に果たす役割について評価し、保全のための研究を行っています。

2003年1月から自然再生推進法が施行され、国

土交通省は霞ヶ浦数カ所で湖岸植生帯の復元事業を行っています。日本では過去30年間に富栄養化や護岸工事などさまざまな人為的影響により、浅い湖沼では水生植物群落とそこに生息する生物の数が著しく減少し、生態系の劣化が深刻な状況になっています。とくに沈水植物群落は、湖沼生態系の回復の鍵となる重要な生態系要素です。このため東京大学、土木研究所と共同で、この事業の実施力所の一つである霞ヶ浦高浜入り石川地区に実験隔離水界を設置し、魚を除去するバイオマニピュレーションを実施して、土壌シードバンクから沈水植物群落を再生させる技術について検討を始めています(図5)。また、こうした実験隔離水界を用いて沈水植物群落の役割や機能を評価していく研究を進めます。

国立環境研究所の調査で、釧路湿原にあるシラルト口湖、塘路湖、達古武沼で、近年急速に水生植物種の消失が起きていることがわかりました。今後は原因を究明するとともに、環境省が行っている自然再生事業とリンクさせ湖沼生態系の再生のための研究を推進します。



湖調査の様子

「湖沼の生態系管理」研究のあゆみ

本研究は以下の2課題に沿って平成7年度から実施されました。

課題1

富栄養湖沼群の生物群集の変化と生態系管理に関する研究 (平成7～11年度)

中国の長江中下流域を含む東部湿潤地域には同国内の約42%に相当する淡水湖があり、その水資源が地域の経済や人々の生活を支えています。一方、急速な経済発展に伴って生活排水などの汚濁負荷が増えたことが、この地域の湖沼でのアオコの発生や生物資源の劣化を招いています。そこで長江流域の代表的な湖沼の環境問題の現状を把握するとともに、三峡ダム建設によって今後生物相が大きく変化することが予想される洞庭湖の水質と生物について調査しました。さらに、都市近郊の富栄養化した湖沼の管理手法の一つとして、ハクレンを用いたバイオマニピュレーションの有効性を隔離水界実験により検証しました。

- 長江流域の浅い富栄養化湖沼が抱える様々な環境問題
- 洞庭湖の調査
- 東湖の調査と長期変動
- 浅い富栄養湖沼でのバイオマニピュレーションの可能性

課題2

生物間相互作用を考慮した適切な湖沼利用と総合的な湖沼保全を目指す基礎的研究 (平成10～12年度)

十和田湖では、近年透明度が低下しヒメマスの漁獲量が減少しています。その原因は、意図せずに導入されたワカサギが、エサである大型プランクトンをめぐりヒメマスと強い競争関係を引き起こし、そのため動物プランクトンが小型化し、その結果植物プランクトンが増加したためであることがわかりました。このことは湖の環境とそこに生息する生物が密接につながっていることを示しています。本研究では、十和田湖を対象にヒメマスとワカサギの個体群動態を解析するとともに、湖の沖ならびに沿岸域生態系の特徴を把握し、集水域の評価を行い、今後の十和田湖の健全な生態系の維持管理についての提言を青森・秋田両県に行いました。

- 水産資源の管理
- 十和田湖沖の生態系の特徴
- 集水域の評価と沿岸域の役割

この研究は以下の組織・スタッフにより実施されてきました。

<研究担当者>

●課題1

地域環境研究グループ

高村 典子, 福島 路生, 木幡 邦男, 松重 一夫, 今井 章雄

中国科学院水生生物研究所

謝 平, 黄 祥飛, 黄 根田, 諸葛 燕, 王 建, 戴 莽(故), 梁 彦齡, 沈 韞芬, 王 士達, 倪 樂意, 楊 宇峰, 叶 軍, 宋 天祥

客員研究員

原田 泰志 (三重大学), 立川 賢一 (東京大学), 中島 久男 (立命館大学), 浜田 篤信 (元茨城内水面水産試験場)

●課題2

地域環境研究グループ

高村 典子, 加藤 秀男

生物圏環境部

野原 精一, 上野 隆平

青森県環境保健センター

三上 一, 工藤 精一, 松尾 章, 工藤 幾代, 野澤 直史, 前田 寿哉, 石塚 伸一, 工藤 健, 坂崎 俊壘, 大久保英樹, 野澤 久志, 神 毅統, 今 俊夫

秋田県環境技術センター

片野 登, 加藤 潤, 泰良 幸男, 渡辺 寿, 珍田尚俊

青森県内水面水産試験場

長崎 勝康, 沢目 司, 木村 大, 高橋 宏和

秋田県水産振興センター

水谷 寿

水産庁さけます資源センター

鈴木 俊哉, 斎藤 寿彦

客員研究員

帰山 雅秀(北海道東海大学), 森 誠一(岐阜経済大学), 上田 宏(北海道大学), 牧野 渡(北海道大学), 大高 明史(弘前大学), 森野 浩(茨城大学)

環境儀既刊の紹介

- NO.1 環境中の「ホルモン様化学物質」の生殖・発生影響に関する研究
(2001年7月)
- NO.2 地球温暖化の影響と対策—AIM：アジア太平洋地域における温暖化対策統合評価モデル
(2001年10月)
- NO.3 干潟・浅海域—生物による水質浄化に関する研究
(2002年1月)
- NO.4 熱帯林—持続可能な森林管理をめざして
(2002年4月)
- NO.5 VOC—揮発性有機化合物による都市大気汚染
(2002年7月)
- NO.6 海の呼吸—北太平洋海洋表層のCO₂吸収に関する研究
(2002年10月)
- NO.7 バイオ・エコエンジニアリング—開発途上国の水環境改善をめざして
(2003年1月)
- NO.8 黄砂研究最前線—科学的観測手法で黄砂の流れを遡る
(2003年4月)

『環境儀』

地球儀が地球上の自分の位置を知るための道具であるように『環境儀』という命名には、われわれを取り巻く多様な環境問題の中で、われわれは今どこに位置するのか、どこに向かおうとしているのか、それを明確に指し示すべしとしたいという意図が込められています。『環境儀』に正確な地図・航路を書き込んでいくことが、環境研究に携わるものの任務であると考えています。

2001年7月

理事長 合志 陽一

(環境儀第1号「発刊に当たって」より抜粋)

環境儀 No.9

— 国立環境研究所の研究情報誌 —

2003年7月31日発行

編集 国立環境研究所編集委員会

(担当WG：野原 恵子，高村 典子，鈴木 規之，唐 艶鴻，
清水 英幸，滝村 朗)

発行 独立行政法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2

問合せ先 (出版物の入手)国立環境研究所情報企画室 029(850)2343

(出版物の内容) // 企画・広報室 029(850)2310

環境儀は国立環境研究所のホームページでもご覧になれます。

編集協力 (社)国際環境研究協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-1-13



このロゴマークは国立環境研究所の英語文字N.I.E.Sで構成されています。N=波(大気と水)、I=木(生命)、E・Sで構成される○で地球(世界)を表現しています。ロゴマーク全体が風を切っただけに進もうとする動きは、研究所の躍動性・進歩・向上・発展を表現しています。



本誌は再生紙を使用しております