

世界の湖の環境問題

滋賀県琵琶湖研究所 (LBRI)

国際湖沼環境委員会 (ILEC)

吉 良 竜 夫

まえおき

大学にいたころは、おもに森林生態系の研究にかかわっており、陸水学ないし湖沼学についてはまったくの素人だった。ただ、若いころから、当時の陸水学が陸上生態学よりも理論的に組み立てられていることに魅力を感じていた。20年前、偶然のいきさつから、文部省科学研究費（特定研究）による琵琶湖環境動態班の代表者を引き受けざるをえなくなり、湖とのかかわりができた。そして、父の出身地である大津や琵琶湖に幼いころからなじんでいたという因縁もあって、1981年に当時の滋賀県知事武村正義氏からの要請で、琵琶湖研究所の創設に携わることになった。

この研究所は、琵琶湖とその集水域（ほぼ滋賀県の行政区と一致する）を1つのシステムと考へ、その立場から琵琶湖の環境保全を目的とする学際的研究をめざした。そのなかで私は、集水域の陸域部分の環境管理と、湖沼・集水域系の比較研究とを担当してきた。その基礎資料となる世界の湖沼の詳細な環境データを集成した **Data Book of World Lake Environments** (ILEC, 1993, 1994, 1995) の編集・出版をも担当した。この報告^{*}は、いわばその副産物で、高度な専門的業績ではないことをおことわりしておきたい。

世界の湖

「湖」には広さや深さを目安にした厳密な定義がないから、世界にいくつ湖があるか数えることはできない。便宜的に水面面積1 km²以上のものを湖として扱うことが多いが、その定義によれば、日本には約100、中国には約2,300の湖がある。湖の分布が集中しているのは、かつて洪積世の氷河に覆われていた北極周辺の地域で、北米の五大湖を筆頭に大小無数の湖沼が散在している。スウェーデンには8万5千、シベリアとカナダにはそれぞれ100万以上の湖があるという。

日本で湖というと、心の安らぎをもとめにく山あいの小さな湖水といったイメージがあるかもしれないが、世界にはべらぼうに大きな湖がたくさん存在する。世界最大の湖カスピ海の面積は琵琶湖の550倍、面積が第8位で世界でもっとも深いバイカル湖（最大水深1,700m）の水量は琵琶湖の820個分もある。面積500km²以上の湖をlarge lakeと呼ぶことがあるが、この定義による「大湖沼」は世界に250ほどあり、約1/4が塩湖、3/4が淡水湖である。琵琶湖（674km²）は、面積順位で180番目くらいになる。このように大小の差がはなはだしく、しかも自然・人文・社会環境がそれぞれ異なり、おなじ湖が2つとないことは、湖の管理や環境保全が一筋縄ではゆかない複雑な問題であることを示している。

* 帝塚山学園人間環境科学研究所講演会での講演（1998年2月28日）原稿をもとに補筆した。

伝統的な湖の利用

かつての湖のおもな役割は、水上交通・輸送路としての利用と、水産物（タンパク）の供給とであった。大多数の湖とそれにつながる河川とは、海にくらべて静穏で利用しやすい安全な航路だった。琵琶湖には、古代からいくつもの港をつなぐ航路があり、大陸からの渡来人が平城京へ往来し、また湖岸に住みついた。近江の木材は、湖と瀬田川を経て運ばれ、奈良の都の造成に役立った。中世以降は、日本海沿岸の米や北洋の海産物、近江の産物が、湖上を経て当時世界有数の大都市であった京都を養い、後年には大阪の繁栄をも支えた。江戸時代には、小浜や敦賀の港から陸路を琵琶湖北岸に運ばれた物資を、数百艘の舟（丸子船）が天津まで輸送していた。また、天津や坂本から矢橋（いまの草津市内）への横断航路は、東海道の近道バイパスとなり客船がたえず往復していた。有名な広重の近江八景「矢橋の帰帆」図は、このシャトル・サービスの客船をえがいたものだろう。

急流の小河川しかない日本では、いまは内陸水路はまったくすたれたが、一部の国々では、湖上・河川経由の水運がなお重要な役割を果たしている。たとえば中国の長江（揚子江）中・下流ぞいの水郷地帯では、太湖や洞庭湖の湖上を輸送船がたえず往来して、沿岸住民の生活と産業を支えている。7世紀に作られた大運河——杭州から太湖などの湖沼をつらねて北京に至る——は、今日でも地域の幹線輸送路である（図1）。北米の五大湖からセントローレンス川を経て大西洋に達する世界最長の内陸水路は、なお重要な経済的意義をもっている。

湖の水産物は、採集しやすいタンパク源として、先史時代から湖岸に人口の集中と政治勢力の発生をうながした。琵琶湖畔に残る縄文時代の貝塚の膨大な量のシジミの殻や魚の骨は、その証拠の1つである。弥生時代の湖東平野には、すでに吉野ヶ里や唐古の遺跡に匹敵する大規模なクニがあった。中国の雲南省でも、東にディエンチ（滇池）、西にエルハイ（洱海）という2つのかなり大きな湖があり、どちらも湖畔にタニシの貝塚がある(Kira, in press)。この2つの湖のある昆明盆地と大理盆地は、春秋時代（B.C.800–500年）からそれぞれ特色ある青銅器文化をもつ雲南の中心であった。前者には漢の武帝の時代（B.C.300年）に滇王国があり、後者には唐から元の時代にかけて強大な南詔王国・大理王国が成立していた。その背景として、周辺の盆地が農業生産に適していたことと、湖の豊富な水産資源とが大きな役割を果たしたであろう。海産物の冷蔵輸送がままならないこれらの内陸地域では、地域にとっての湖の水産物の重要性は今日も失われてはいない。

湖の新しい役割

以上のような伝統的な利用に加えて、近年には湖に大きな新しい利用価値が生まれてきた。淡水の供給源としての役割である。大都市や工業地帯、大規模な灌漑農業の発達が大量の水を必要とし、湖に貯えられている水の価値が見直されるようになったのである。

淡水は、たえず雨として補給されるけれども、1時点ではきわめて限られた量しか存在しない資源である。地球は水の惑星だというが、存在する水の97%強は海水で、淡水はわずか3%弱にすぎない。しかも、淡水の全存在量の77%強が極地や高山の氷雪、22%強が地下水だから、すぐに使える身近な地表水は0.3%しかない。そして、地表水の99%までが湖（淡水湖）にある

たとえば、淡水資源としての湖の重要さがうなずかれる。

河川水の存在量は地表水のわずか1%にすぎないが、川水はたえず流れているから、1年間に利用できる水量にすれば、利用可能な湖沼水量の1/3くらいになる。しかし、川水は流量の変動が大きく水源としては不安定なので、継続的に利用しようとするれば、池やダム湖を作って溜めておくことが必要になる。人間は昔から無数の溜め池を作って川水を利用してきたが、現代では大規模なダム湖がそれに代わっている。ダム湖の数は非常に勢いで増えており、日本のように雨にめぐまれた国でも、面積1 km²以上のダム湖の数はおなじサイズの自然湖の3倍近くある。いまでは、極地周辺のツンドラから熱帯雨林や砂漠に至る世界の各地に無数のダム湖が造成され、貯水量や水面面積が琵琶湖の数倍から十数倍におよぶ巨大なものも少なくない(図2)。以下では、自然湖とダム湖をあわせて「湖(湖沼)」と呼ぶことにしたい。

淡水の用途には、灌漑(農業)用、家庭・都市用、工業用のような消費的用途と、発電用、冷却用のような非消費的用途とがあるが、厳密な区分ではない。いずれにせよ水を使えば、程度の差こそあれ使用過程で水量は減り、水は汚れる。使用量は、工業化した国々では工業用60~80%、農業用20~30%、都市(家庭)用10~15%くらいだが、開発途上国では農業用が圧倒的に多く(80~90%)、家庭用水は5%程度になる。日本では工60:農30:家10くらいの比率である。

家庭用水の消費量は、生活水準が上がるにつれて急増する。水くみ場へ毎日通うような生活では1日1人あたり10ℓ以下しか使えないが、上水道が完備した都市家庭では30~100ℓ/人・日、日本の平均は150~200ℓである。米国的生活では1,000ℓも使っているが、その一方で開発途上国では、まだ10億人以上の人々が水源の不足、水質悪化、伝染病の危険などのために、安全で十分な量の水にめぐまれない生活を送っている。

都市・工業・農業用水の需要は、どれもますます増大しつつあり、相互間の競争も激化し、供給が追いつけるかどうか心配されている。人口増加による食糧不足よりは水不足のほうが先行して、近い将来に深刻な問題となるだろうと、専門家たちは以前から予測していたが、それがようやく広く認識されるようになり、国連の持続的発展委員会(CSD)でも、1998年の優先議題として淡水資源問題を取りあげている。しかも、その乏しい淡水の主要供給源である湖や川、地下水の水量・水質が、過度の取水、周辺の乱開発、汚水の流入などによって低下し、水資源の不足を加速しているのが現状である。その状況のあらましを紹介しよう。

世界の湖沼に共通する重要な環境問題

国際湖沼環境委員会(ILEC)では、1986年の創立いらい、世界の多数の湖沼の詳細な環境データを収集して、前記のデータブックに収録してきた。その結果から、いま各地の湖沼でおこっている共通の環境問題として、図3に示すような6つの現象が明らかになってきた(琵琶湖研究所, 1993)。

まず水位の低下。増大する水需要をまかなうために、湖もしくは湖に流入する川から過度に取水すると、当然の結果として湖の水位は低下する。これは、海への流出河川のない乾燥地帯の湖沼で、とくに顕著におこる。湿潤気候下の湖でも、流出する河川での発電を強化するため

に流出口を掘り下げたりすると、やはり人為的な水位低下がおこる。結果として、水資源量が減少したり湖上の舟運に支障をきたしたりすることは、いうまでもない。また乾燥気候地の湖沼では、湖水が濃縮されて塩分濃度が高まり、湿潤気候地では富栄養化が進行するなど、水質の悪化をも引き起こす。

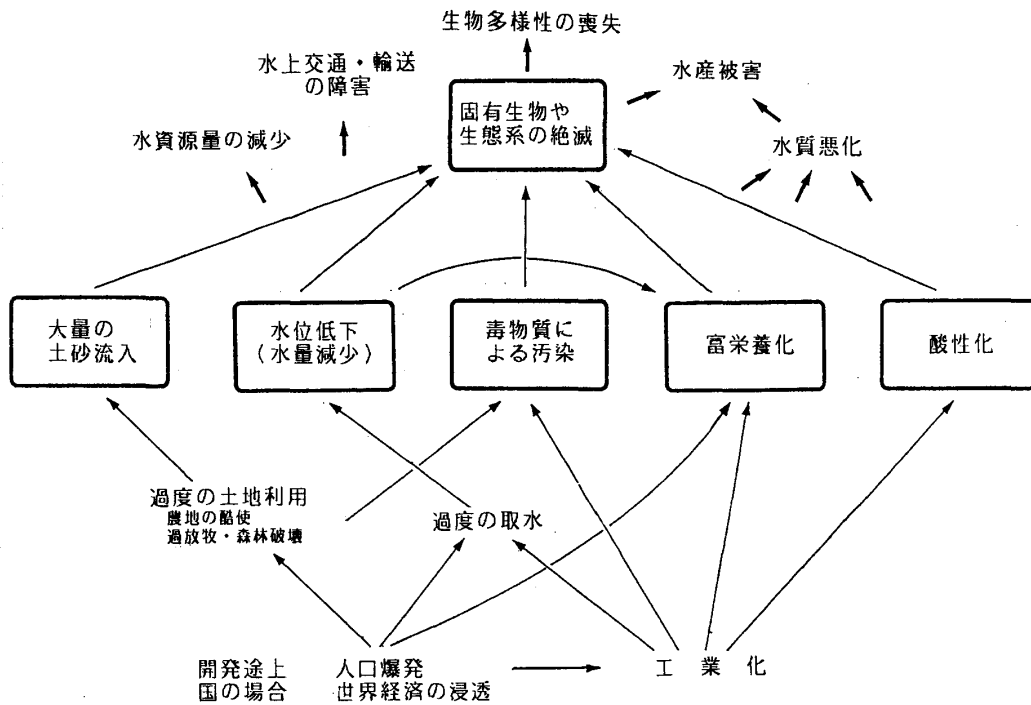


図3 世界の湖沼の6大環境問題

土砂の流入は、窪地である湖にとっては避けがたい自然の過程で、地殻運動など他の営力が作用しなかったら、大多数の湖は数千年から数万年で埋めつくされて消滅する運命にある。しかし、環境問題となっているのは、そのような自然現象ではなくて、集水域での森林乱伐、農牧地の酷使、土地開発などの不適切な土地利用の結果、きわめて短い年月のうちに湖が浅くなり、消滅しつつある事態である。これは、ひろく世界の各地で重大な問題となっており、地域の生活に水位の低下と同様な悪影響を及ぼしている。

湖水の酸性化は、 SO_x 、 NO_x のような酸性大気汚染物質が、酸性の雨や雪、または乾性降水物として地上に落ち、湖に流入して水を酸性化させる現象をさす。人間活動の影響を受けていない雨水も、大気中の炭酸を溶かしてpH6程度の弱い酸性を示すので、それ以下のpH値をもつ雨を「酸性雨」とよび、火山の噴火などの一時的影響がないかぎりは大気汚染の影響とみなされる。酸性雨はひろく世界各地に降っているが、多くの湖沼の集水域の土ないし湖水はかなりの緩衝能力をもっており、すぐには酸性化しない。しかし、あとで述べるように、一部の地域ではすでに多数の湖が酸性化して湖内の生態系を崩壊させつつある。湖水のpHが6以下になるとプランクトンの種類構成が大きく変化し、魚類の正常な発生が阻害されはじめ、5以下ではほとんど魚が棲めなくなる。湖底には未分解の有機物が堆積し、湖岸の植生には酸性に強い

コケ類しか見られなくなる。

人工毒物による汚染 水俣病やイタイイタイ病を経験してきた日本では、環境の毒物汚染の危険は一般にもよく理解されているが、それはもう過ぎ去った問題だと考えている人も少なくないようだ。たしかに、すぐ健康被害をおこすような毒物——たとえば重金属や高濃度の有機塩素化合物など——に関するかぎり、先進諸国では環境汚染のモニタリング（常時観測による監視）が普及していて、ふたたび水俣病のような大事件がおこる可能性は低い。しかし、それは決して解決ずみの問題ではない。

第1に、一度深刻な汚染を受けた水域、とくに水の入替わりのおそい湖では、汚染源を絶っても、汚染が自然消滅するまでには長い年月がかかり、危険は去らない。第2に、モニタリングに必要な分析機器・技術が不足している開発途上地域では、汚染の存在さえ明らかでない場合が多く、また政治的理由からデータが公表されないこともある。そして第3に、前記のような急性毒物ではないが、きわめて低い濃度でも危険な作用をもつ汚染物質の存在がしだいに明らかになりつつある。発ガン物質を含む遺伝変異原物質、生物の内分泌系の機能を攪乱するいわゆる「環境ホルモン」（コルボーンほか、1997）などについては、汚染の実状も安全基準も対策もほとんど未解明の状態、今後きわめて大きな問題となるだろう。

水環境悪化のなかでもっとも広く発生しており、水資源への影響が深刻なのは、富栄養化である。これは、植物にとっての栄養分——とくにリン（P）と窒素（N）の化合物——が水域に流入し、しだいに蓄積してゆく現象である。PとNはともに肥料の三要素に数えられる重要な栄養物質で、自然界ではおおむね不足しているので、それが湖水に加わると、ただちに水生植物（おもに植物プランクトン）により吸収・利用される。植物が死ぬと、遺体は微生物によって分解され、栄養分は水中にもどるが、それはまたすぐに植物に取りこまれるので、水とともに湖外に流出する量は少なく、大半が植物のバイオマスや遺体となって湖内に蓄積していく。この過程が富栄養化である。

長年のうちに湖沼に土砂が流入して浅くなるにつれて、富栄養化もしだいに進行する。しかし環境問題となっているのは、そのような緩慢な自然現象としての富栄養化ではなく、人間の生活・産業活動から発生する栄養物質に富んだ排水・廃棄物の流入が引きおこす急激な人為的富栄養化である。都市下水や産業排水が無処理のまま大量に流れこむと、水はプランクトンの増殖と有機物の増加によって濁り、水質が悪化してしばしば悪臭を放ち、水源としての価値を失なう。多くの場合、毒性物質汚染もそれに伴う。貧栄養のきれいな水に棲んでいた生物は滅びて汚水性生物に変わり、さらに富栄養化が進むと、過剰な植物遺体が湖底で分解するとき水中の酸素を使いつくし、底水からしだいに無酸素化して、ついには嫌気性微生物や表層水中の藍藻プランクトン以外のすべての動植物が絶滅する。

生態系の崩壊の原因は、富栄養化ばかりではない。すでに述べた4種類の環境破壊の過程のどれもが、過度に進行すると水生生物を選択的に、あるいは全面的に絶滅させ、生物多様性の喪失、生態系の崩壊をひきおこす。数十万年以上前に形成された古い湖——いわゆる「古代湖」——には、長く他の水域から隔離されて独自の進化をとげた動植物の固有種が多い。3千万年存続してきたというバイカル湖に棲む生物は2,500種以上あるが、その8割が固有種であり、

琵琶湖は誕生から4百万年、今の位置で深い湖になってから40万年で、60種前後の固有種をもつ。この貴重な固有種が環境破壊の進行によってどんどん減びつつあるのは、生物多様性の保存という立場からはきわめて残念といわねばならない。

湖の生態系を攪乱するもう1つの大きな原因は、外来生物の侵入である。もともと湖の生物界は、長い年月の間にたまたまそこに到達することのできた種、ないしその子孫から成り立っているのだから、海の生物界に比べると構成要素が不足しており、生態系の構造も簡単で安定性に乏しい傾向がある。その点では、水・陸関係が湖とポジとネガの関係にある島の生態系と似ている。どちらも、外来の種が侵入すると、それが大繁殖して土着の種を減ぼしたり、生態系の構造を一変させたりすることが多い。かつては有用魚種を意図的に移植放流するが多かったが、大陸間の人の往来や物流がさかんになった現在では、動植物の外来種の意図しない侵入がひんぱんに起こるようになっている。

水位の低下

中央アジアの大湖アラル海の現状は、水位低下による湖沼の環境変化の極端な例である。この湖は、カザフスタンとウズベキスタンにまたがる砂漠地帯のまんなかであり、パミール高原から流れだす2つの川に養われ、流入水量と湖面からの蒸発水量とがバランスして、琵琶湖のほぼ100倍の面積を保持していた。ソビエト連邦は1960年代末からこの両河川の流域で大規模な灌漑農地の開発をはじめ、綿花の一大生産地となった。灌漑用に横取りされた川水は湖にとどかなくなり、現在までに湖の水面面積は1/2以下に、水量は1/3以下に縮小し、湖岸線は数十kmから100km以上も後退して、湖は南北2つに別れた(図4)。かつての湖水の塩分濃度は海水の1/4程度で、水産業がさかんであったが、いまは海水程度まで塩分が濃縮され、在来の動植物はすべて絶滅した。

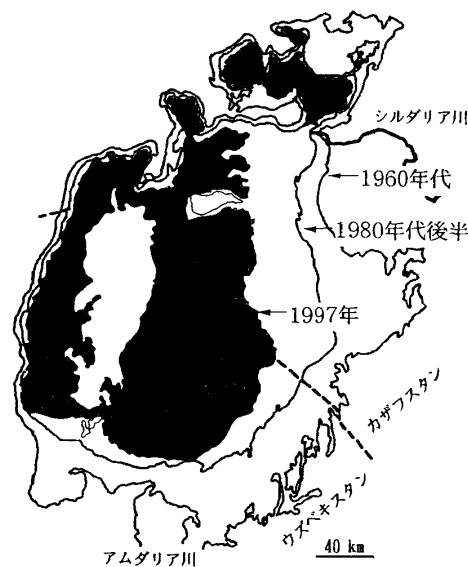


図4 アラル海の縮小経過. 辻村(1998)から引用.

湖岸にあった港はすべて砂に埋もれ、水産業は壊滅し、飲料水の塩分濃度が高まり、ワタ畑で使う大量の農薬による環境汚染とあいまって、深刻な住民の健康被害をおこした。この状況はソ連国内でも公表されず、ゴルバチョフ政権が成立した1985年ころになって初めて人々の知るところとなった。その後、たびたび国際的な検討会議が開かれ多くの提案がされたが、まだほとんど実質的な改善はなく、湖は縮小をつづけている。

これほど極端ではないが同様な水位低下は、イランから中国にいたる中央アジア乾燥地域のあちこちの湖でおこっている。北米でも、カリフォルニア州のモノ湖は、流入河川からロスアンゼルス市への水道水の取水によって、1940年以後16mも水位が低下し、環境保護団体とロス市との間で係争がつづいている。

灌漑や発電のための取水による水位低下は、乾燥地域の湖沼にかぎらず、湿潤気候下の湖でもおこっている。北アルプスの東麓にある青木湖は、冬には発電用水の取水によって水位が20mも低下するので、自然状態のころの生態系は崩壊した。アルメニアのセヴァン湖や中国雲南省のエルハイ湖では、流出河川の発電能力を高めるために流出口を掘り下げた結果、水位がそれぞれ18mおよび1~2m下がり、急激な富栄養化がかなりの期間つづいた。干上がった湖底泥中の有機物の分解が原因であろう。

土砂の流入による埋積

世界の湖沼データを整理してみると、集水域の森林面積率が小さいほど、また農耕地面積率が高いほど、湖水の濁りの程度が大きいことがわかる。開発途上地域では、人口過剰のため、また現金収入を増やして生活を改善しようとする強い欲望のため、土地が過度に利用され農牧地が酷使されて、土壌侵食が激化し（図5）、川に流入した土砂が下流の湖を埋める。これは、開発途上地域の湖沼に多い深刻な環境問題である。

1998年の長江（揚子江）流域の大水害では、このような流域の状態が異常降雨による災害を増幅したので、中国政府は長江流域での森林の伐採を禁止した。湖南省にある洞庭湖は、長江中流とつながっており、洪水害を軽減する遊水池として役立ってきた。梅雨季や洪水時の増水は湖に流れこみ、土砂を湖に落としたのちまた長江にもどっていくが、長江の水は流域の乱開発とともに年々濁りがひどくなっているため、土砂の堆積がふえ、湖は年に5cmくらいずつ浅くなっている。19世紀の前半には琵琶湖の10倍ちかい面積をもつ中国最大の淡水湖だったが、堆積がそれを利用した干拓を促進し、干拓による水面の減少がまた堆積速度を高めるという悪循環の結果、いまでは半分以下の大きさに縮小した。それだけ洪水調節機能も低下しているのである。

いま建設中の長江の三峡ダムは、洞庭湖のすぐ上流にあたるので、完成すればこの湖への土砂の流入は減るが、代わりにダム湖に堆積してその寿命をちぢめるだろう。これは、この種の問題の大規模かつ典型的な一例である。インド北部の山麓地帯の小さな湖などでは、堆積による消滅も速く、周辺の地域社会への影響が大きい。

酸性化

酸性の降水によって湖水が酸性化するには、2つの条件がある。1つは、酸性大気汚染物質

を大量に放出する工業地帯との位置関係と気流の関係で、強度の酸性雨（雪）が集中して降ること。第2は、集水域の土壤が石英質で、カルシウムのような塩基性成分に乏しいことである。現状でこの条件を満たしているのは、北ヨーロッパ地域（北欧と中欧の北部）と、USA北東部からカナダ東部のオンタリオ、ケベック両州の南部にわたる地域とである。ともに、西欧やUSAの工業集中地域の排煙が集中し、基岩の性質から土壤の緩衝能力も小さい。スウェーデンでは、約85,000ある湖のうち4,000ほどは完全に酸性化しており、さらに18,000が雪解けの季節に酸性湖となるという。ノルウェーやカナダでも、それぞれ数千の湖沼が酸性化している（Jorgensen, 1993）。

日本でも、ほとんど全土にわたって欧米の問題地域と同程度の強い酸性雨が降っているが、まだ顕著な湖水の酸性化は起こっていない。しかし、土壤の緩衝能力には限度があるから、もしもと変わらない酸性雨が続けば、早晩河川や湖沼の酸性化が始まるであろう。その時期は数十年後であろうというのが、多くの土壤学者の意見である。安心することはできない。華中の東部、東南アジア、南米のベネズエラ・コロンビア、ブラジルの南東沿岸部などの地域も、危険地域として指摘されている（Jorgensen, 1993）。

酸性化への対症療法としては、石灰の散布が行われているが、酸性雨がやまないかぎり、効果は持続しないだろう。

人工毒物による汚染

さきに述べたように、開発途上地域では、水銀などの重金属や有機塩素農薬による健康被害の危険な状態は続いている。いわゆる公害病をおこしたこれらの人工毒物は、先進地域では使用しないし排出が禁止されているが、まだ野放しの状態で使われている国々も多いからである。しかし、たとえ使用を規制しても、難分解性の物質が多いので長く環境中に残留し、また食物連鎖を経由して生物濃縮されるので、いったん環境が汚染されるとなかなか危険は去らない。北米の五大湖では、いまなお重金属、農薬、工業用の有機塩素化合物PCBなどによる汚染のため、釣った魚の食用がきびしく制限されているし、同様の水域はUSA、カナダなどに少なくない。

有機塩素化合物は気化しやすいから、大気経由で運ばれ、五大湖の水面に落ちる大気からのPCBの量は想像以上に大きい。また、周辺の地中に埋設処理された産業廃棄物からの漏出も深刻な問題である。エリー湖とオンタリオ湖をつなぐナイアガラ川のUSA側には多くの廃棄物埋設地があり、地下水を介してPCBその他の汚染物質が川水に漏れ出している。ナイアガラの滝の水煙から気化するPCBの量はきわめて大きく、世界最大のPCBの点汚染源だとさえいわれる。

工業活動や廃棄物処理から発生する危険な汚染物質には、つぎつぎと新顔がみつかっていく。廃プラスチックの焼却などから発生する猛毒のダイオキシン類は、よく知られた1例にすぎない。発ガン性をもつ物質は、きわめて多種類がわれわれの身近で使われているが、その危険度はまだ十分には評価されていない。さらに最近、きわめて低い濃度でも動物の生殖機能に深刻な影響を与える「環境ホルモン」が問題となってきた。その実態が明らかになったら、わ

れわれは環境汚染による生態系の変化や人体影響についての従来の考えを、根本的に変えざるをえなくなるかもしれない。

このような事態に対応するためには、どうしても世界各国が歩調をそろえた法的規制が必要である。しかし、国連による難分解性有機化合物への対応組織作りの検討は、始まったばかりである。

富栄養化

富栄養化は、工業化地域、開発途上地域を問わず、いま湖沼の水質を劣化させ淡水資源を減少させている最大の原因である。富栄養化をおこすPやN、およびそれを多量に含む有機物は、工業だけでなく、肥料が流出する農地、畜舎や放牧地、一般家庭からも排出されるから、排水処理施設の不足している都市域や人口密度の高い地域、集約農業地域では、湖面がアオコ（大発生した藍藻類が水面に浮かんでいる状態をいう）で濃緑色に染まっている湖や川がいたるところで見られる。そういう水域では、溶存酸素の不足やヘドロの集積のために、水生生物はきわめて貧弱になり、特殊なものだけに限られている。

琵琶湖の例（図6）をみると、第2次大戦直後までは、広くて深い北湖（琵琶の胴の部分）は澄んだ水をたたえた貧栄養湖、浅い南湖（琵琶の柄の部分）は中栄養湖で、湖のどこでも湖水が飲めた。しかし、経済の高度成長、集水域の工業化の進行とともに急速に水質が悪化し、1970年代までに、富栄養化の程度を示すプランクトンの量は1950年当時の10倍以上にふえた。プランクトンの種類も変化し、藍藻がふえた。それに伴って、50年代末には琵琶湖から取水している京都市の水道浄水場で濾過池の砂が目づまりをおこし、60年代末には滋賀・京阪神の水道水に藍藻プランクトン起源の不快なカビ臭が出はじめた。湖底にヘドロがたまって、深湖底では溶存酸素の減少が、沿岸部では名産のシジミの激減など底生生物の異変が目立ちはじめた。

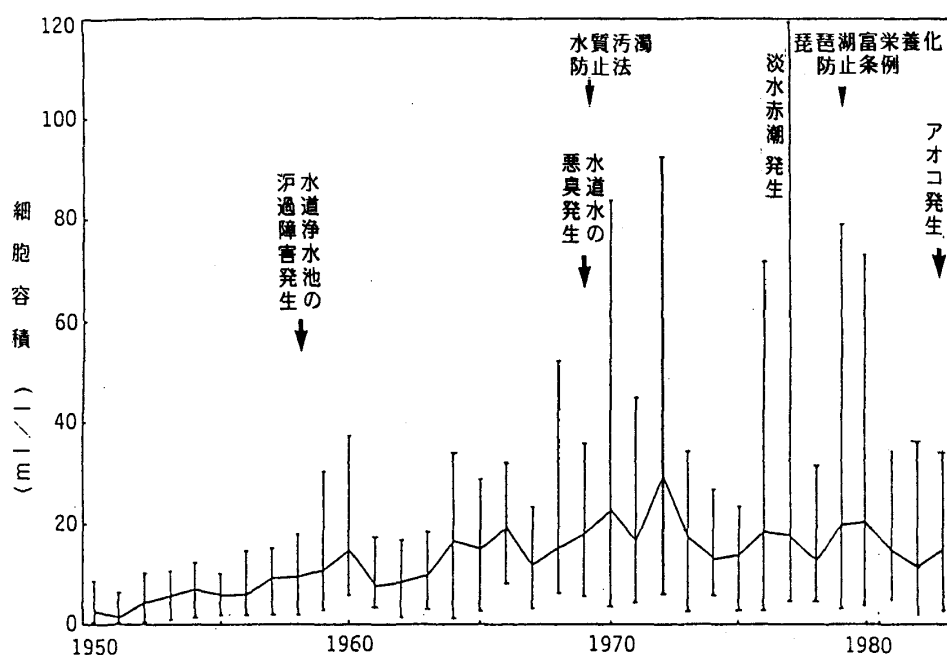


図6 富栄養化の進行を示す琵琶湖のプランクトン量の増加。縦線は年ごとの最大値から最小値までの幅を、折れ線は年平均値を示す 滋賀県立水産試験場による北湖の中心部での毎月1回の観測データよりえがく。

70年代始めの水質汚濁防止法の施行によって、プランクトン量の平均値の増加はややにぶつたが、大発生はやまず、1977年からは淡水赤潮が発生した。これは、湖が中栄養段階に達したことを示す現象だが、それにショックを受けた県は、住民の支援のもとに琵琶湖富栄養化防止条例を施行し、富栄養化の元凶であるリンを含む合成洗剤の使用を禁止し、工場排水や農業排水の規制も強化した。その結果、水質の分析値はやや改善され、以後は横ばい状態になったけれども、依然として富栄養化は徐々に進行し、1983年からは、一層の水質悪化を示すアオコが、まず南湖に、数年前からは北湖にも出現している。この間に、流域下水道と下水の高度処理施設の建設が進み、すでに下水道普及率は県人口の50%に達しているが、それでも富栄養化は止まらない。

この例は、富栄養化の抑制がいかに困難かをよく示している。琵琶湖のような大湖では進行が緩やかだが、もっと小さな池や湖沼では、アツという間に極限の状態（過栄養段階）に達してしまう。欧米では、下水の流入を止めたり、下水の高度処理、ヘドロの浚渫などによって、富栄養化した小さい湖を回復した例があるが、それには多額の経費を必要とし、多くの開発途上国では実行が難しい。湿地を利用して流入水を浄化するなど、いわゆる生態技術も、人口密度の高い地域では必ずしも実行可能ではない。おそらく、大量消費・大量廃棄型の生活様式の切り替えが最後の切り札となるだろう。

生態系の崩壊・外来生物のインパクト

固有の生態系の崩壊が、湖沼の水産物をほろぼし、長く湖と共存してきた湖畔住民の伝統的生活の基盤をうばうことは、いうまでもない。それに加えてここで強調したいのは、自然界でもっとも特異な存在の1つである湖沼の生物群の多様性が、急速に失われつつあることである。

地球の魚類 2万数千種のうち、1/3以上が淡水に棲むという。海水域と淡水域との空間の広さの大差からみて、これはいちじるしく不釣合な比率である。海とちがって、湖や川などの陸水域は個々の湖や川に細分され、相互に隔離されており、環境も非常に多様なので、それが水域ごとに固有の進化をうながしたのであろう。淡水魚の種類は熱帯に多く、起源の古い東アフリカ大地溝帯のビクトリア湖・タンガニカ湖・マラウイ湖などの大湖沼群には、おどろくべき数の固有魚種がいるが、その他の地域でも、とくに「古代湖」には多くの固有種がすむ。先にもふれたように、これは魚以外の生物についても同様である。

人間活動による湖の環境悪化は、この貴重な固有生物をどんどん絶滅させている。田沢湖では、発電のため強酸性の温泉水を導入した結果、固有種のクニマスが減じた。琵琶湖でも、魚類数種を含むかなりの数の固有種の個体数が激減し、絶滅が危惧されている（滋賀県琵琶湖研究所, 1991）。あまり大きくない古代湖ではその危険が大きく、たとえば中国雲南省のディエンチでは、過栄養化によってすでに魚や貝類の固有種の大半が失われている。上記のアフリカの湖やバイカル湖（シベリア）・チチカカ湖（南米アンデス）のような巨大な古代湖でも、石油開発、工業排水の流入などの危険におびやかされていることに変わりはない。

外来生物の侵入も、湖沼生物の多様性への脅威である。ビクトリア湖では、漁獲量をふやすために肉食性のナイルパーチ（図7）を導入したところ、目的は達せられたが、その代わりに、

すでに200種もの魚が捕食されて絶滅したという。その大半が固有種である。琵琶湖でも、北米原産の肉食魚ブラックバス（オオクチバス）やブルーギルが、おそらくは釣り人によって放流され大繁殖して、土着種の魚類の減少の原因の1つとなっているように思われる。

最近に大問題になったのは、カスピ海周辺原産の小さな二枚貝ゼブラガイの北米への侵入である。貝殻の大きさはわずか2~3cmだが、強い糸状の繊維（足糸）で固形物の表面に付着し、密集した集団を作る。この貝は、徐々に西ヨーロッパに分布を広げ問題になっていたが、1980年代の中ごろ北米の五大湖に侵入し、爆発的にふえた。取水口から上水道系に侵入してパイプをふさぎ、水の通りを妨げて大きな被害を及ぼしている（D'Itri, 1996）。USAでは、すでにその東半分の全域に分布がひろがった。シンガポール・台湾・韓国などでも、ゼブラガイによく似たカワヒバリガイが同様に水道への被害を引き起こしたが、困ったことに、この貝が1992年に琵琶湖でみつきり、ほぼ同時に長良川にも侵入した。やはりどんどんふえて淀川にも広がっており、やがて大きな問題になるのではないかと心配である。

湖沼生態系にインパクトをあたえているのは、動物にかぎらない。水草（沈水植物）にも、近年になってつぎつぎと新しい湖に侵入し、急激に分布を広げているものが多い。古く北米から西ヨーロッパに侵入・土着して大繁殖し、すでにオセアニアや南米アンデスの湖にまで進出しているカナダモ、1961年に琵琶湖の北端で発見され、数年のうちに全湖で大繁茂するようになった近縁種コカナダモ（図8）などが、その例である。コカナダモは、いまでは沿岸帯のやや深い部分に密生し、かつてその場所を占めていた土着種の沈水植物群落を完全に置き換えた（滋賀県琵琶湖研究所, 1991）。そして、各地の川に放流されている琵琶湖産のアユの稚魚とともに、全国的に分布するようになった。おなじく琵琶湖でふえている南米原産のオオカナダモは、熱帯魚の水槽から逸出したのではないか。

奇妙なことに、これらの水草は、原産地では他種をおしのけて増殖することはないのに、他地域に侵入するとこのように大繁茂する。新大陸から旧大陸に侵入した種がのさばっているとは逆に、旧大陸温帯の湖沼の普通種であるホザキノフサモやクロモは、北米やオセアニアの湖に侵入し、ふえすぎて厄介もの扱いされている。長く隔離された条件下で形成された湖沼の生態系のもつ特異性と脆弱さが、よく現われている現象といえよう。

参考文献

- D'Itri, F.W. (1996) *Zebra Mussels and Aquatic Nuisance Species*. Ann Arbor Press, Chelsea. 638pp.
- ILEC (International Lake Environment Committee) (ed.) (1993) *Data Book of World Lake Environments—A Survey of the State of World Lakes (compact-size edition)*. 1. Asia and Oceania. ILEC Foundation and UN Environment Programme (UNEP), Kusatsu. 672pp.
- ILEC (ed.) (1994) *Ibid.* 2. Africa and Europe. ILEC & UNEP, Kusatsu. 852pp.
- ILEC (ed.) (1995) *Ibid.* 3. The Americas. ILEC & UNEP, Kusatsu. 868pp.
- Jorgensen, S. E. (1993) *Management of Lake Acidification (Guidlines of Lake Management, Vol. 5)*. ILEC & UNEP, Kusatsu. 195pp.
- Kira, T. (in press) Prehistoric shell-mounds of pond snail around ancient lakes of Yunnan Province, China. *Proceedings of the International Conference on Ancient Lakes (ICAL '97)*.
- コルボーン, T.・ダマノスキ, D・マイヤーズ, J. P. (長尾 力 訳) (1997) *奪われし未来*. 翔泳社, 東京. 366+49pp.
- 滋賀県琵琶湖研究所 (編) (1993) *世界の湖*. 人文書院, 京都. 269pp.
- 滋賀県琵琶湖研究所 (編) (1991) *琵琶湖の生物——現状と変遷 (第9回琵琶湖研究シンポジウム記録)*. 滋賀県琵琶湖研究所, 大津. 96pp.
- 辻村 茂男 (1998) *カザフ・ウズベクのアラル海*. *アジアの湖沼環境：概観と展望 (第16回琵琶湖研究シンポジウム記録集)*, pp. 77–88. 滋賀県琵琶湖研究所, 大津.

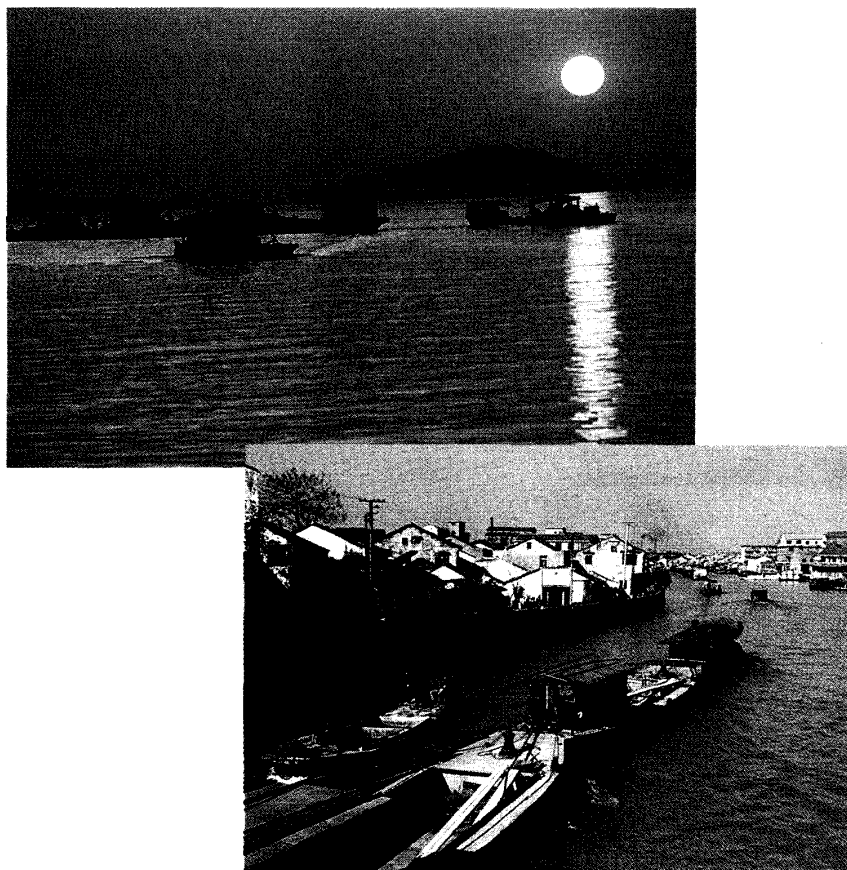


図1 華中水郷地帯の水運。(上) 江蘇省太湖の湖上をゆく輸送船。
(下) 太湖付近の大運河。江蘇省、無錫市内で。



図2 アマゾンの熱帯雨林地帯に造成された人工湖、ツクルイ・ダム。湖水面面積は琵琶湖の3倍。水没して枯れた立ち木が湖面に林立している。

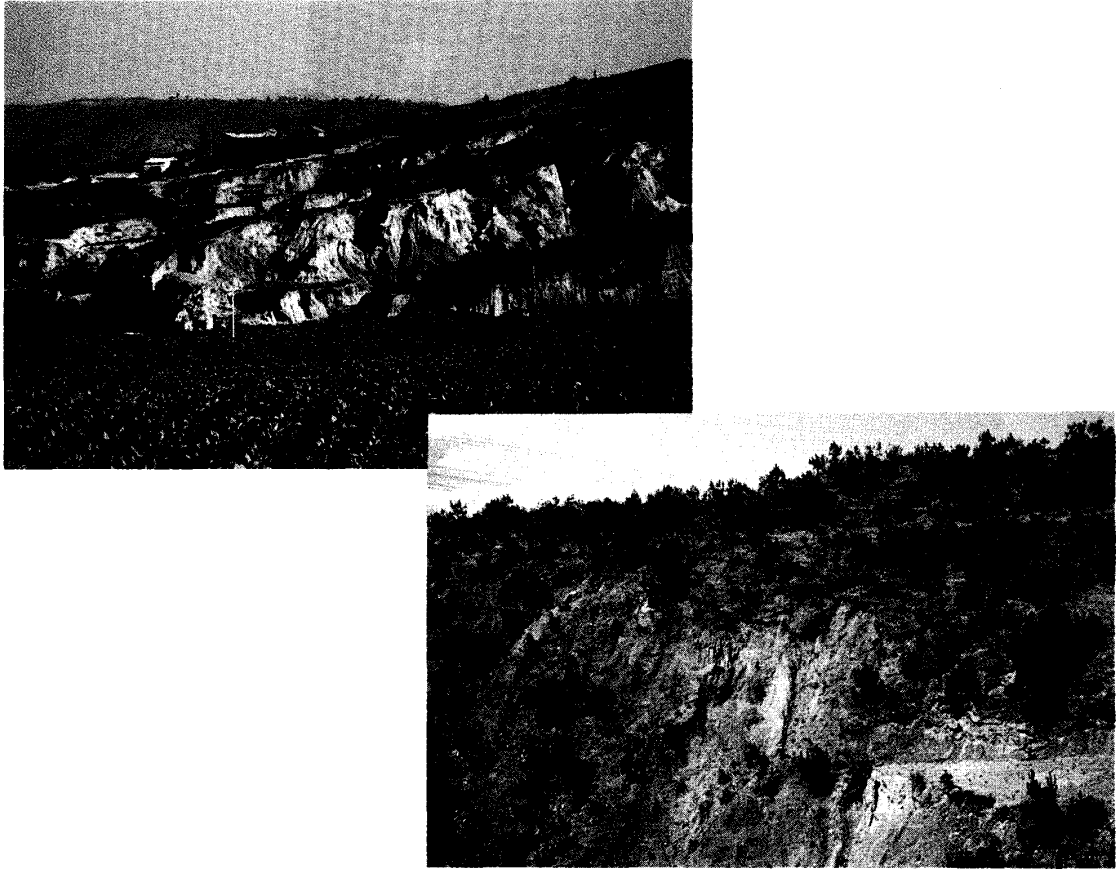


図5 長江上流, 雲南省西部の土壤侵食.

(上) 斜面に開かれたタバコ畑. タバコは地域の重要な換金作物だが, 地面を覆って保護する力が弱い.
(下) 放牧に利用されているマツ林. 土地面積あたり家畜密度が高すぎて過放牧になって, いじけたマツが疎らに生えている状態になり, 下草は食いつくされ, 急斜面では崩壊がおこる.



図7 ナイル・パーチ. ビクトリア湖のケニア領湖岸で.



図8 琵琶湖で大繁殖しているコカナダモ。夏の始めころコカナダモは2m前後に伸び、根元から切れて浮き上がり、流れ藻となる。その除去は、経費のかかる厄介な仕事である。今津町で。