特集・琵琶湖およびその集水域における水問題

琵琶湖水質の生物学的特徴

中 西 正 己*・関 野 樹*

1. はじめに

湖沼に関わる環境問題として、人口の増加、生活様式・農業形態の変化、工業の発達に伴う「富栄養化」や「有害化学物質による汚染」などの水質の変化、スポーツフィッシングの普及、交通網・流通機構の変化に伴う「外来種の移入」や「魚介類の乱獲」などの生物学的攪乱、治水・利水・リゾート化による湖岸の物理的形狀変更、さらには地球環境規模での気候変動による「水循環機構の変化」などが考えられる。これらの環境問題は、近畿1400万人の水がめとして知られている琵琶湖においても例外ではない。

30万～50万年と世界有数の古い歴史に加えて、多様な環境構造を持つ琵琶湖は、50余りの固有種を有する「生物の宝庫」として位置づけできる。漁獲漁業・淡水真珠養殖も琵琶湖が「生物の宝庫」であっ

たが故に成り立ってきたといっても過言ではない。琵琶湖の第一義は、飲料水源をはじめとして、農業用水・工業用水・発電用水などの水資源であると社会的には位置づけられている。琵琶湖の第一義的価値を「水資源」に置くことによって、世界に一つしかない琵琶湖固有の「生物の宝庫」、その上に成り立ってきた漁業文化、そして「情操の場」としての自然景観といった本来の琵琶湖の価値がおろそかにされてきたように思われる。

1971年に交付された「琵琶湖総合開発特別措置法」の目的の第一条に「琵琶湖の自然環境の保全と汚濁した水質の回復を図りつつ、その水資源の利用と関係住民の福祉とをあわせて増進するため、琵琶湖総合開発計画を策定し、その実施を推進する等特別の措置を講ずることにより、近畿圏の健全な発展に寄与する」と記されている。この文章は本来の琵琶湖固有の価値を第一義に置き、水資源を利用すると理

* 京大生態学センター Masami NAKANISHI, Tatsuki SEKINO

解することもできる。しかし、実際に行われた「自然環境の保全」は湖岸の形状変更を伴う「都市公園化」・「自然公園施設」・「自然保護地域公有化」であり、本来の自然環境保全とはほど遠い対策であった。水質の回復策も「下水道設備」・「し尿処理施設整備」だけであり、過去の内湖干拓によって失われた、あるいは総合開発事業により失われる、琵琶湖本来の物理・化学・生物過程を通しての浄化能力の回復や生態系機能を全く考慮に入れない回復策であった。25年という長期にわたって行われた琵琶湖総合開発は水資源の確保やリゾート化を成し得たものの、自然環境の保全（生態系の保全）・水質の回復という点では植物プランクトンの異常発生等をはじめ、大きな問題を残したといえる（図—1）。

2. 歴 史 的 変 遷

琵琶湖において、富栄養化などの人為的攪乱の生物への影響は、1960年代には2枚貝などの生息環境でもある湖岸域の湖底に及んでいたと考えることができる。沖合水域でも1960年代から水質の変化が見られていたことが表層のpHの季節変動からうかがえる。1950年代の北湖沖合いの表層のpHの季節変動は小さく、6.3～7.3の範囲にあった。1960年代に入ると、夏期のpHは8.7と高くなり、大きな季節変動を示すようになった。沖合い水域の栄養塩濃度の増加などによりプランクトン藻類の光合成活性が夏期に異常に高くなり、pHの値の上昇をもたらしたと考えられる。即ち、「栄養塩の負荷による水質の変化」が「プランクトン藻類の生理活性の変化」を引き起こし、その生物活性の変化が「水質を変えpHの上昇」をもたらしたといえる。既に1960年代に人為的攪乱の生物への影響は始まっており、1970年代に入るとその影響はプランクトン藻群集の構成種まで変えるほど深刻な事態を招き、以下に取り上げるような社会問題を引き起こすに至ったと考えられる。

3. カ ビ 臭

1969年琵琶湖南湖水を水源とする京都市の上水道水にカビ臭が発生したことが新聞に報じられた。発生源は琵琶湖南湖であり、カビ臭はそこで増殖した浮遊珪藻 *Synedra rumpens* の代謝産物ジオスミンによることがほぼ判明した。それ以来、琵琶湖南湖水を水源とする京都・大津・大阪の水道水のカビ臭は続いている。ここで注目すべきことは、カビ臭物質

を出すプランクトン藻の種類が年々変化していることである。*Synedra rumpens* に始まり、らん細菌の *Phormidium tenue*, *Anabaena macrospora*, *Oscillatoria tenuis* そして現在、*Anabaena spiroides* が増えている。「琵琶湖の水質は概ね良好で横ばい状態にある」という水質判定は、カビ臭物質を産出するプランクトン藻の遷移系列から予測される水質判定と矛盾するように思われる。

4. 淡 水 赤 潮

1977年5月、琵琶湖南湖・北湖の両湖盆において、黄金色鞭毛藻の *Uroglena americana*（ウログレナ）の異常増殖による大規模な赤潮の発生がみられた。それ以来、毎年4～6月に規模の違いこそあれ赤潮現象がみられる。琵琶湖におけるウログレナの記載は1910年代からあるようであるが（門田, 1987 参照）、赤潮現象が起こったという記録はない。何故、琵琶湖に突然異常増殖がみられるようになったのか、この問いに対する答えはでていない。プランクトン藻の増殖に必要な窒素・リンの濃度や存在比には、ウログレナの異常増殖した1977年前後で大きな変化が見られない。窒素・リン濃度にのみ着目すると、南湖盆の東岸部水域には充分増殖可能な環境にあるにもかかわらずウログレナは殆ど出現せず、代わって珪藻の *Aulacoseira* spp. が多く分布する。一方、西岸部水域にはウログレナが多く分布し、*Aulacoseira* は少ない。西岸部水域のウログレナと *Aulacoseira* の群体数の間には負の相関 (0.85^{**}) がみられた。窒素・リンのようなマクロな栄養塩に大きな変化はみられなかったが、利用可能な形態の微量元素(K, Ca, Mg, Fe など)の濃度・存在比やB群ビタミンなどに変化が起こった可能性もある。ウログレナの増殖には K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} など陽イオンのバランスによって大きく左右されることが知られている（門田, 1987）。従って、琵琶湖におけるウログレナの異常増殖の引き金は湖内のこれらの陽イオンの存在比等の変化にあった可能性もある。ウログレナは光合成従属栄養藻（Photosynthetic Phagotrophy）であることも注目される。ウログレナは光合成を行うと同時に、バクテリアを摂取する。Ishida and Kimura (1986)は、ウログレナの増殖には、バクテリアは「必須因子」であることを明らかにし、その因子の内容はバクテリアの細胞成分であるホスファチジルエタノールアミンとその他のグリセロリン脂質であるこ

図-2
アオコを形成する *Anabaena* spp. と *Microcystis* spp. の出現
群体数の経年変化
(滋賀県衛生環境センター資料)

図-3
琵琶湖を代表するプランクトン
藻、*Pediastrum biwae* と
Melosira solidus の出現群体数
及び細胞数の経年変化
(滋賀県衛生環境センター資料)

とを発見した。リン制限型の琵琶湖にあって、バクテリアを摂取することにより不足がちなリンを補給する生活戦略をもつウログレナは当を得た藻類といえる。

5. ア オ コ

1985年頃から琵琶湖南湖盆の一部の水域や北湖盆の漁港に厄介者の藻類として知られているらん細菌の *Anabaena* spp. や *Microcystis* spp. が異常増殖し、いわゆる「アオコ現象」が毎年8～9月初旬にみられるようになった。リン濃度が増大し、N/P比が小さくなる時期に素素固定能を有する *Anabaena* が優先的に増殖し、それが分解される過程で *Microcystis* が増殖を始めるといったパターンが一般的であるように思われるが、出現パターンは年により、場所により異なる。アオコを形成するらん細菌の増殖には、しばしば炭酸塩濃度が制限的に作用している場合もある。易分解性の溶存有機物質が湖水中で増大したことにより、バクテリアの分解活性が高まり、水柱の炭酸塩濃度が増大した。その結果、

Anabaena や *Microcystis* の増殖が促進され、アオコ形成を導いたという過程も考えられる。藻類の増殖→アオコ形成という過程に関する実験的情報は多いが、多様な要因（生物間、生物・環境の相互作用）の錯綜する自然界での情報は非常に少ない。*Anabaena* や *Microcystis* が増大し始めた1985年頃から、琵琶湖を象徴するプランクトン藻として有名な珪藻 *Melosira solidus* と緑藻 *Pediastrum biwae* の数が急激に減少している（図-2, 3）。

6. ピコ藻類の異常発生

1989年、琵琶湖北湖盆北部水域において、非常に微小なピコ藻類（ $< 2 \mu\text{m}$ ）の異常発生の報告があるが、この発生機構に関しては全く情報がない。琵琶湖の生物を支えているプランクトン藻の過去27年の変化と水質との関係は殆ど未知の世界であるが、短時間に見られたプランクトン藻群集の劇的変化は人為的攪乱においては起こり得ない。

7. 生物体内への有害物質の蓄積

有害化学物質による汚染の実態は生物濃縮という形で報告されている。1954～1974年に国内生産されたPCBに関してである。渡辺ら(1979)は1966～1976年に採取された北湖盆に生息する底生魚のイサザを用いて、PCB残留値を調べた。PCB残留値は1967～1968年にピークを示し、滋賀県下でのPCBの購入量の年変動と良く似たパターンで変動することを報告している。また、藤原(1977)は1963年産のセタシジミのPCB残留値が高いことを報告している。

8. 固有種の減少

琵琶湖の固有種であり、かつ漁業の重要な対象魚介類、ニゴロブナ、イサザ、セタシジミ及び淡水真珠養殖の母貝イケチョウガイの漁獲量が減少していることも注目される(図-4, 5)。ふなずしの原料としてして欠かせないニゴロブナを含むフナ類、琵琶湖特産の佃煮の原料のイサザの漁獲量は1986年頃から急激に減少している。フナ類などコイ科魚類は、沿岸域に発達するヨシ帯・沈水植物帯を産卵場・仔稚魚期の生活の場としている。琵琶湖周辺に存在し

ていた水草群落の発達した内湖の干拓・埋め立て、琵琶湖総合開発事業による湖内沿岸域の物理的の形状変更は、コイ科魚類の再生産の場の減少を意味する。1990年に調査されたヨシ群落の面積(120ha)は1953年(260ha)の半分以下、沈水植物帯は1/10以下にまで減少している。水草帯の著しい減少はフナ類の個体数の減少を招いた第一要因であると考えて差し支えない。乱獲や外来魚(オオクチバス・ブルーギル)の定着もフナ類の個体数の減少と関係すると考えられるが、その実体は明らかではない。イサザは水深30m以深に生息する底生魚であるが、4～6月には産卵のため礫帯沿岸部に移動し、礫の下部に産卵する。近年、この礫帯に糸状藻の*Spirogyra*や*Cladophora*が繁茂し始めており、これがイサザの産卵に悪影響を与えていると思われる。また、水温成層形成期には、湖底近くの溶存酸素濃度の著しい低下が見られ、イサザの生息環境の悪化が進行している。1950年代にもイサザの漁獲量の著しい低下が見られたが、その後回復したことと、今回も1996年頃よりわずかながらイサザが採れ始めていることから、イサザの年間漁獲量の顕著な減少は産卵場と生息環境の悪化のほかに、生物学的要因も考えられる。しかし、礫帯沿岸域の変化や湖底環境の悪化は年々進行していることは事実である。イサザだけに留まらず、他の貴重な底生動物群集が近い将来消滅していく運命にあることは否定できない。湖底近くの溶存酸素濃度の低下は、湖内で生産される有機物量の増大に加えて、洪水対策としての流入河川の改修、宅地造成等を目的とした集水域の乱開発により陸上起源の有機物の流入量が増えたことによって益々深刻化している。庶民に親しまれてきたセタシジミの漁獲量も1964年以来減少の一途をたどってきた。また、淡水真珠の母貝であるイケチョウガイもセタシジミ同様1961年頃より急激に減少し、現在殆ど漁獲のない状態にある。これら2枚貝の生活史は複雑であり、生活史の中のステージによって、水質との関係のあり方が異なることが予想される。

また、スポーツフィッシングの普及、交通網・流通機構の変化に伴い、コカナダモ、オオカナダモなどの水草、オオクチバス、ブルーギルなどの魚類をはじめとする外来種は琵琶湖に移入定着し、琵琶湖固有の生態系に大きな影響を与えていることが指摘されている。(図-6)

図-4 フナ類およびイサザの年間漁獲量の経年変化

図-5 セタシジミ及びイケチョウガイの年間漁獲量の経年変化

図-6 琵琶湖における外来（国外）生物の移入・定着の状況
(谷水・三浦, 1976; 中, 1991; 中井, 1995 より)

9. おわりに

琵琶湖の生物にとって水質とは何かを論ずるにはあまりにも未知の部分が多い。これまでの開発事業は「因果関係がはっきりしない」ことを逆手に取り、「諸工事の水質・生物に与える影響は微々たるもの」という環境アセスメントのおきまりの結論を是として進められてきた。環境アセスメントの発想の転換が望まれる。最後に、琵琶湖総合開発事業による琵琶湖沿岸帯の物理的形状変更が生物群集にどのような影響を与えたかを考えるために、概略図を示す(図-7)。

引用文献

- 藤原邦達 (1977): PCB 汚染の軌跡. 医歯薬出版.
 Ishida, Y. and Kimura, B. (1986): Photosynthetic phagotrophy of Chrysophyceae: evolutionary aspects, Microbiol. Sci, 3: 132-135.
 門田 元 (編) (1987): 淡水赤潮. 恒星社厚生閣.
 中 賢治 (1991): 琵琶湖の生物-現状と変遷-. 滋賀県琵琶湖

図-7 沿岸帯の物理的形状変更の水質、生物に与える影響を示す概略図

(Nakanishi and Sekino, 1996)

研究所。

- 中井 克樹 (1995): 日本に侵入したカワヒバリガイ, 発見の経緯とその素性. 関西自然保護機構会報 17: 49-56.
 Nakanishi, M. and Sekino, T. (1996): Recent drastic changes in Lake Biwa bio-communities, with special attention to exploitation of the littoral zone. GeoJournal 40: 63-67.
 谷水 久利雄・三浦 泰蔵 (1976): びわ湖における沈水植物群落に関する研究 I. 南湖における侵入種オオカナダモの分布と生産能. 生理生態 17: 283-290.
 渡辺 信英・石丸 優・石田 紀郎・片山 幸士・喜多山 繁 (1978): イサザによる PCB 汚染の追跡. 陸水雑 40: 66-75.