

オウミア No.78

琵琶湖研究所ニュース

2003年12月

編集・発行／滋賀県琵琶湖研究所

〒520-0806 大津市打出浜1-10

TEL 077-526-4800

[プロジェクト研究紹介「酸素の消費は、湖の健康状態のバロメーター」](#)

[研究トピックス「余呉湖の水質形成への琵琶湖揚水の影響」](#)

[研究トピックス「第10回世界湖沼会議について」](#)

酸素がなくなる湖

琵琶湖はアムールとフィリピン海の二つのプレートがぶつかり合う地殻構造の上に形成された湖で、周辺には多くの活断層があります(図1)。最も深い場所は、西岸から流入する安曇川の沖2500mの地点にあり、水深は104mです。この湖底は、大阪湾の水面より約20mほど深く、水が循環しにくい所です。したがって、一度汚れたら回復が困難な場所でもあります。

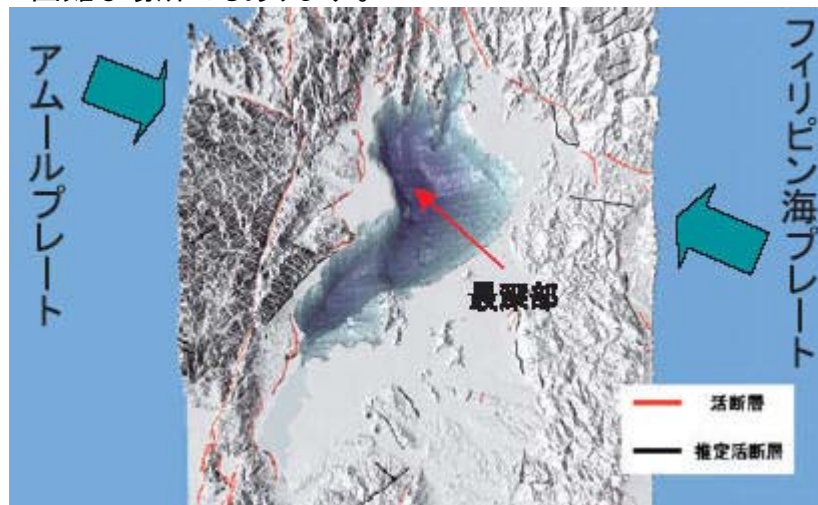


図1 琵琶湖湖底と周辺活断層の合成図

(大阪工業大学情報科学部情報科学科横川美和氏および立命館大学理工学部ロス・ウォーカー氏提供の図を熊谷が合成した。)

今、琵琶湖の深い場所で酸素がなくなりつつあります。これは、琵琶湖だけの特異的な現象ではなく、レマン湖(スイスとフランスの国境)や撫仙湖(中国雲南省)など、琵琶湖と同じようなサイズの湖で共通に見られる現象です。このように深くて大きな湖の底で、何が起きているのでしょうか。

湖底付近の酸素濃度変化をよく知るために、私たちは、琵琶湖の水深90mの場所で、湖底から1mの高さと10mの高さのところに酸素を自動的に測る機器を2台設置しました。測定したのは2002年10月から2003年3月までのほぼ5ヶ月間です。

図2に示したように、2002年10月末に湖底上1mの高さで計測した溶存酸素濃度(水色)が、1リットル中1mg以下になりました。飽和溶解度で言えば7%よりも小さな値です。

年が明けて、2003年1月19日前後に、一気に酸素濃度は回復しました。そして、これ以降、湖底からの高さ1mにおける酸素濃度が、高さ10mの酸素濃度(橙色)より高くなりました。これは湖底に近い水が、酸素の豊富な重い水と入れ替わったことを意味しています。

毎年、このように琵琶湖の湖底に酸素が吹きこまれます。そのためには、冷たくて重い水が湖底まで到達するような寒い冬が必要です。でも、最近、暖かい冬が続くようになりました。このことが、琵琶湖の酸素低下の最大の原因となっているのです。

地球規模での気温の上昇は、世界の多くの場所で起こっており、さまざまな影響を湖に与えています。タンガニーカ湖(アフリカ)では風速が小さくなり漁獲量が激減していますし、青海湖(中国)では蒸発によって面積がだんだん小さくなっています。

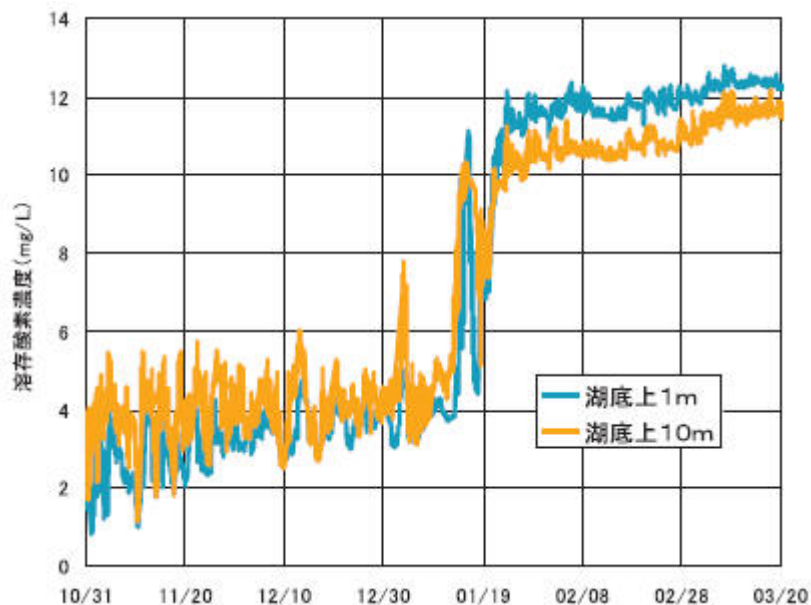


図2 北湖の湖底上1・と10・における溶存酸素濃度の変化

【プロジェクト研究紹介】

酸素の消費は、湖の健康状態のバロメーター

1. 富栄養化と酸素消費

湖水中の酸素は、空気中の酸素が水に溶けて供給されるものと、水中の植物が光合成によって作り出すものとの、2種類あります。これらは、湖の浅い場所で起こっている現象なので、酸素濃度は湖の表面で高く、深くなるほど低くなる傾向があります。太陽の光が届かない深い場所では、もはや光合成ができないので酸素が生成されることはありません。

リンや窒素といった生物生産に必要な栄養塩が、湖や河川で増加する現象を**富栄養化**と呼んでいます。富栄養化が進行すると、植物プランクトンが異常に増殖し、赤潮やアオコ状態となる場合があります。このように湖面で増えた植物プランクトンなどは、衰退したり死滅すると深い場所へ沈んでいきますが、湖底に到達する途中でバクテリアによって分解され、無機物に変わります。この時に、酸素を消費します。したがって、湖内の生物量が多くなればなるほど、分解される有機物量も増え、たくさんの酸素が必要になります。

2. 琵琶湖の健康状態

私たちが健康診断をするときに、性別や年齢で分けるように、湖の健康状態を調べるためには、同じようなサイズの湖を比較しなければ正しい判定をすることができません。これまでは、そのような指標となるものさしをもたないで、湖の保全が議論されてきましたが、これは科学的ではありません。そこで、琵琶湖の健康状態を判断するために、琵琶湖と同じようなサイズの湖を比較してみましょう(表1)。

表1 琵琶湖と同じサイズの湖沼の諸元比較

	表面積 (km ²)	最大水深 (m)	透明度 (m)	滞留時間 (年)
琵琶湖 (日本)	670	104	1-6	5.5
ボーデン湖 (ドイツ)	476	252	3-15	4.5
レマン湖 (スイス・フランス)	580	310	7-1	11.4
撫仙湖 (中国)	211	155	5-11	125-135
タウポ湖 (ニュージーランド)	616	164	11-20	10.6
タホ湖 (アメリカ)	499	505	20-28	700

どの湖も、表面積が100～1000km²、水深が100～1000mの間にあります。周辺の土地利用の形態や人口密度はさまざまですが、いずれも観光地や保養地として有名です。そのために、湖の水質や環境保全には格別の注意を払っています。

さて、これらの湖の深い場所における**みかけの酸素消費速度**を比較してみましょう。みかけの酸素消費速度とは、単位時間内に単位体積中の酸素が消費される量で、この値が高ければ高いほど、分解される有機物が多いということを意味しています。つまり、みかけの酸素消費速度は、湖の健康状態のバロメーターになるわけです。図3からわかるように、琵琶湖におけるみかけの酸素消費速度は、世界の同じようなサイズの湖沼よりはるかに高いのです。

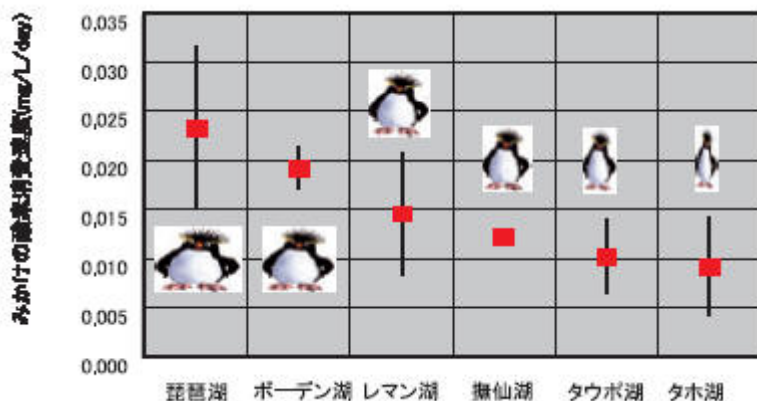


図3 世界の湖沼の健康診断

なぜこんなことが起こるのでしょうか。それは、琵琶湖の周辺に人口が多いということと、琵琶湖が他の湖沼ほど深くないことによります。人口が多ければ、琵琶湖への栄養塩の流入も多くなります。それによって、湖の生物生産量が高くなります。死滅した生物は湖底に向かって沈んでいきますが、湖が十分に深ければ、湖底に届くまでに有機物は完全に分解されてしまいます。でも琵琶湖の深さは、沈降する有機物をすべて分解するには浅すぎるのです。ですから、未分解の有機物が湖底にたまったり、湖底近くで浮遊したりしており、これが酸素消費を高めているのです。つまり、琵琶湖の生物生産量は有機物の分解能力を超えており、人間で言えば肥満状態にあるということを意味しています。

3. 酸素濃度が少なくなるわけ

しかしながら、琵琶湖におけるみかけの酸素消費速度は過去からほとんど変化していません。つまり、琵琶湖における有機物生産量はあまり変わっていないのです。ではなぜ、2002年10月には酸素濃度が低くなったのでしょうか。

琵琶湖研究所では1994年から、琵琶湖の定期観測を行っています。その結果を詳細に見ると、2001～2002年にかけての冬期に湖底の水温があまり低下していないことがわかりました(図4)。このことは、上下の循環が不十分で、酸素が湖底に多く供給されなかったことを物語っています。酸素消費速度が変化しなくても、供給が減れば低酸素状態が起こります。こんなところにも気候変動の影響が現れています。ですから、今後温暖化が進行すれば、琵琶湖で慢性的な酸素不足が起こる可能性は非常に高いのです。これを防ぐためには、酸素供給を増やし消費を抑える努力をしなければなりません。

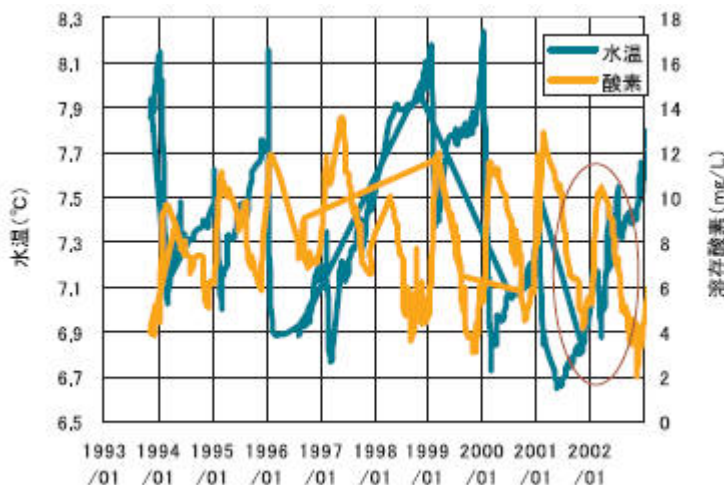


図4 琵琶湖湖底上10・層内における水温と酸素の変化

(総括研究員 熊谷 道夫)

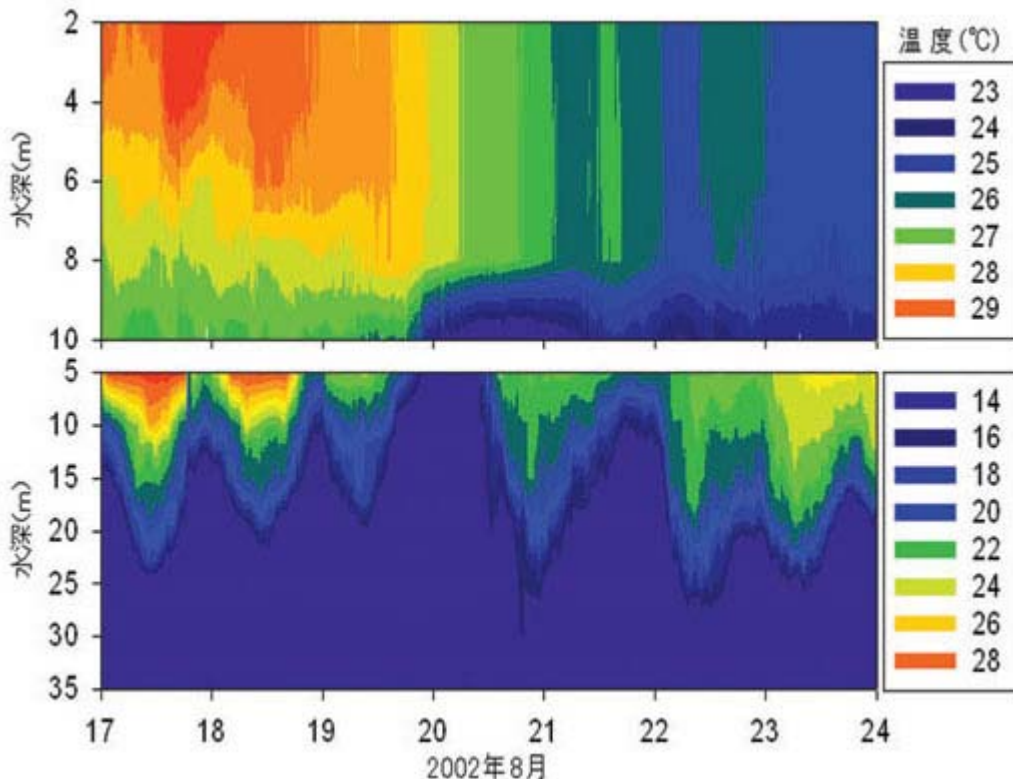
余呉湖の水質形成への琵琶湖揚水の影響

余呉湖の富栄養化は、琵琶湖に比べると、早くから進行し、1950年代にはアナベナによるアオコが報告されています。それ以後も富栄養化は進行し、特に1980年以降になってアオコがより頻繁に長期に出現するようになりました。余呉湖の水質改善へ向けては様々な対策が講じられ、1988年には集水域からの負荷削減を目的として周辺地区に農村集落排水処理施設が設置されました。また、内部負荷と呼ばれる底泥からの栄養塩の溶出を抑えるため、1993年と1996年にはばっ気循環のための間欠式空気揚水管が、2002年には底層ばっ気施設が設置されました。これらの努力がどのように余呉湖の水質に反映されてきたかを明らかにするためには、継続的な調査が必要となりますが、余呉湖の水質形成を考える場合、以下に述べる琵琶湖からの揚水の影響も考えていく必要があります。

余呉湖の湖水は、湖北一帯約4,900ヘクタールの農地への灌漑水として利用されています。灌漑期間に余呉湖から放流する湖水を補うため、琵琶湖塩津湾から琵琶湖水をポンプアップし、余呉湖へと注いでいます。この揚水量は毎年の気象によって大きく変わります。1994年や2000年のような琵琶湖の渇水が話題となった降雨の少ない年の揚水量は余呉湖の水量を上回りました。つまり5カ月足らずの間に、理論的には湖水全てを入れ替えられる量の水が琵琶湖から運ばれたわけです。揚水は琵琶湖北湖の表層水を利用していますので、その水温は余呉湖表層の水温とあまり変わりません。そのため、多くの場合、余呉湖の表層水中に流れ込んでいきます。

余呉湖と琵琶湖北湖の水質を比較してみると、全窒素が $480\mu\text{g/l}$ と $270\mu\text{g/l}$ 、全リンが $33\mu\text{g/l}$ と $9\mu\text{g/l}$ (2001年度平均値)ですので、琵琶湖の“きれいな水”を大量に入れることによって、余呉湖の水質は良くなるように思えますが、なかなかそう簡単にはいかないようです。琵琶湖揚水が開始されたのは1976年ですが、余呉湖でのアオコ発生は1980年代になって顕著になってきました。余呉湖の集水域からの栄養供給やばっ気循環など水質に及ぼす様々な要因の中で、琵琶湖揚水がどのように植物プランクトン種遷移やアオコ発生と関わっているかについては十分明らかにされていません。

琵琶湖揚水がもっと劇的に余呉湖の水環境に影響を与えたケースがあります。昨年8月20日頃、余呉湖深層水の水温が急激に低下し、それまでの低酸素状態が回復する現象がみられました(上図)。プロジェクト研究「琵琶湖塩津湾の水質形成過程」において観測している塩津湾中央部の水温データを見てみますと(下図)、北寄りの強風が吹いていた19日から20日にかけて、塩津湾では水温躍層より深い冷たい水が表層にまで昇っていたことがわかります。この水が琵琶湖揚水として余呉湖へと運ばれ、冷たく重たい水であったため、そのまま余呉湖の深層へと流れて生じた現象だったのです。



2002年8月の余呉湖(上図)と北湖塩津湾(下図)の水温鉛直分布

夏が終わり表層水の水温が下がってくれば全循環が起こります。この時、深層水中に溶出していたリンは表層に運ばれ、その一部を植物プランクトンが利用して増殖します。しかし、余呉湖の場合、その大部分は、表層水中と混じることによって起きる鉄の酸化に伴い湖底に沈降することで、水中から取り除かれていると考えられます。今回のように、全循環が起きる前に琵琶湖揚水によって余呉湖深層水に酸素が供給された場合、全循環が起きた時には既に鉄の酸化がかなり進んでいて、植物プランクトンが利用できるリンも減っ

ていたことが想定できそうです。もしそうであれば、その後の植物プランクトンの増殖や種組成にも大きな影響がありそうです。

余呉湖ではここ数年アファニゾメノンというラン藻が冬にアオコを形成する現象がみられていたのですが、この年の冬には発生せず、それどころか1月には透明度5という近年観測されなかった高い値が記録されました。このような変化にも琵琶湖揚水が影響していたのかもしれませんが。ばっ気装置などの水質対策を評価する上でも、しっかりと検討していく必要があります。

(研究員 辻村 茂男)

【研究トピックス】

第10回世界湖沼会議について



1. 会議の概況

第10回世界湖沼会議は、「大湖沼への地球規模の脅威：不安定で予測不可能な環境下での管理」をテーマに、国際大湖沼研究協会 (IAGLR) と国際湖沼環境委員会 (ILEC) の共催で6月22～26日の間、アメリカ合衆国シカゴ市のデ・ポール大学で開催されました。

ミシガン湖に面したシカゴは、摩天楼発祥の地としても有名な大都会です。湖岸に立ち並ぶ高層ビルが描くスカイライン(写真とイラスト参照)はとても綺麗です。



さて会議では、4日半の期間中に計60件を超える発表があり、8部屋の会場で約50の分科会が同時進行されました。多くの参加者の関心を集めていたのは、過去からの継続したデータ蓄積が存在しない、あるいは、役に立たないような話題、例えば貝や魚などの外来種が船のバラスト水で運ばれて五大湖内で異常増殖し、新たな食物連鎖が形成されつつある問題や、様々な事例を五大湖の姿に投影して世界各国の湖沼問題を対比するパネルディスカッションなどでした。

琵琶湖研究所からは2件の発表があり、例えば筆者は、DDT、ヘキサクロロヘキサン(HCH)、水銀の3項目について、①出荷量、②河川水や湖水中の濃度、③魚体中濃度、④底泥中濃度などの情報を元に、琵琶湖の化学汚染についてポスター発表しました。

また23日午後に開催された「世界湖沼ビジョン：行動への呼びかけ」のセッションでは当研究所の中村所長が座長を務め、第3回世界水フォーラムの滋賀デーで発表した「世界湖沼ビジョン」の周知理解を図りました。

いずれにしても、物理・生物・化学・地学といった伝統的学問分類に収まりきれない境界領域の研究に取り組む五大湖関係者の姿を見たことは、今後の琵琶湖研究の方向性を考える上で大いに参考になりました。

2. 注目された話題

五大湖の1つエリー湖では、ゼブラガイ (*Dreissena polymorpha*) やクアツガガイ (*Dreissena bugensis*) とい

う二枚貝、およびハゼの一種ラウンド・ゴビー (*Neo-gobius melanostomus*) という魚などの外来種が増えてきました。これらの侵入で食物連鎖は大きく様変わりし、より深刻な生態濃縮の連鎖が定着しつつあります。

外来種の二枚貝がない時代、魚類の主な餌はディポレイア(ヨコエビ類)でした。ディポレイアとゼブラガイやクアツガイは、餌の植物プランクトンをめぐって競争関係にあります。また貝類は、より効率的に化学物質を濃縮します。ラウンド・ゴビーの侵入以前、貝類を主な餌とする魚類はいませんでしたが、ラウンド・ゴビーは外来種の貝を食べて成長した後、コクチバスに捕食されます。さらに五大湖には、コクチバスなどを捕食する他の大型魚類があり、それらの魚類の一部は、食料として消費されます。コクチバスの化学汚染が食用魚類にまで及ぶことで、有害化学物質の脅威が人の健康被害へと一気に肉薄してしまったのです。

3. 今後の展望など

世界の湖沼の多くは常に変化する人為活動の影響を受け続けており、その複雑な事情についての共通理解を深める上で、この会議は大きな役割を果たしてきました。この会議は開催国の湖沼に関する報告が多数を占める傾向がある一方、世界各国の主要な湖沼の話題にもひとつと触れることができる利点があります。

この会議は約2年毎に開催されており、次回はケニアで開催予定です。

今後の調査研究やNGO活動の成果などが、琵琶湖からも数多く発表されることを期待します。

(主任研究員 横田 喜一郎)