

琵琶湖の底層DOに係る環境基準点の設定と測定開始

琵琶湖における底層溶存酸素濃度（底層 DO）は、北湖深水層において 2019 年度から 5 年連続で、貧酸素状態とされる 2mg/L を下回る事態が発生しています。中でも 2020 年度は前年、前々年の全層循環未完了を受け、無酸素になる事態が発生し、その期間や水域が拡大しました。1979 年以來の観測データによれば、北湖の今津沖中央（全水深 89m の湖底直上 1m）において、1980 年代に 2 回貧酸素状態を観測し、2000 年頃から再び貧酸素状態が観測されるようになりました。

国は 2016 年 3 月に湖沼と海域における底層 DO の環境基準を告示し、2021 年 12 月に琵琶湖における類型が指定されました（図 1）。この指定は水生生物の保全・再生を目的として、各湖沼や海域に生息する生物種の中から、底層を利用しそれぞれの水域を代表する生物を保全対象種として選定し、それらが生息する水域とその種の貧酸素耐性値に基づき行われるものです。琵琶湖では、生物 3 類型のイサザが生息する水域（目標値 2mg/L）、生物 2 類型のビワマスが生息する水域（目標値 3mg/L）などが設定されました。これを受け、県においては 2023 年 3 月に底層 DO の環境基準点を設定し（図 1 の 16 地点）、監視を開始しました。

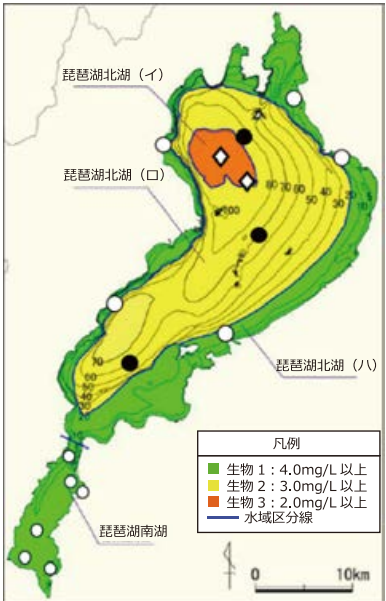


図 1 琵琶湖における底層 DO の類型と環境基準点（○●◇）（環境省告示資料に加筆）

2022 年度の測定結果では、生物 2 類型で 1 地点、生物 3 類型では、2 地点とも環境基準値を下回りました。これまでの観測データも踏まえると、今後も環境基準値を下回ることが想定されます。底層 DO が低下する要因は、富栄養化によって増加

した植物プランクトンが沈降して湖底で分解・酸素消費することが考えられます。しかし、北湖の水質について、全りんは環境基準を達成済で、全窒素も 2019 年には環境基準を達成するなど、改善傾向が続いています。それにもかかわらず底層が貧酸素化するのは、暖冬等による気温上昇に伴い、湖水の混合が弱まり底層への酸素の供給が減少しているためとみられます。さらに、春の水温上昇が早まっていることから植物プランクトンの増殖期間が長くなり、それらが沈降して底層 DO の消費量を増やしてしまうことも示唆されるなど、近年、底層 DO 低下には富栄養化でなく、気候変動が影響していることがわかりつつあります。

このような状況も考慮し、国において、底層 DO 環境基準の目標である達成率と達成期間が設定されることになります。ただし、琵琶湖のように範囲が広く、複数の環境基準点を持つ水域の評価は、国の環境審議会の答申において、『保全対象種の個体群の維持に必要な水域割合等を求めることは極めて困難』とされています。また、達成率等の設定に当たっては、対策案も考慮することになりますが、琵琶湖で環境基準値を下回る可能性が高い水域は気候変動が主な要因であり、水深が深いことから、対策はとても難しいことが想定されます。

また、底層が貧酸素状態に陥ると生物への影響が懸念されることから、当センターでは水中ロボットカメラを用いた画像解析により貧酸素状態の進行に応じて、アナンデールヨコエビやイサザの斃死個体が増加することを把握し、公表してきました。幸いこれまで、底層 DO が貧酸素状態を脱すると底生生物も徐々に戻ってきています。しかし、底層 DO が下がりやすくなっている現状においては、今後、さらに貧酸素化する頻度が増え、底生生物の状況、さらには、琵琶湖の生態系への影響についての情報も必要になることが想定されます。

このように、今年度から始まった底層 DO の環境基準点における測定から得られる結果は、気候変動の影響や琵琶湖の深水層の生態系とも関係していることが見えてきます。そこで、当センターでは底層 DO を測定するだけでなく、対策の要否も含めた検討に役立つよう底質、底層の水質や生物の調査にも取り組んでいます。

MLGs では 13 のゴールはそれぞれ影響しあう関係にあります。ゴール 7 「びわ湖のためにも温室効果ガスを減らそう」とゴール 1 から 3 の琵琶湖や生物の指標の関係をつかむことで、関係者が連携してそれぞれがゴールを達成できるよう、調査や解析を進めていきたいと考えています。

環境監視部門 公共用水域係

びわ湖みらい

L B E R I N E W S

センターニュース

No.39 2024/3

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター

Lake Biwa Environmental Research Institute

トピックス

第19回世界湖沼会議（ハンガリー・バラトン湖）にて、センターの研究発表



第 19 回世界湖沼会議は、2023 年 11 月 7 ～ 9 日にハンガリーで開催されました。この国際会議は 1984 年の滋賀県開催がはじまりで、研究者、政策決定者、NPO、学生、環境愛好者が集まり、地球上の湖沼に関する様々な課題について議論する場です。今回のテーマは、「Beyond Lakes ～湖沼を越えて 持続可能な利用に向けて科学・文化・ガバナンスを繋ぐ～」で、当センターは「気候変動が琵琶湖の深湖底の生物に及ぼす影響」についての研究成果を発表しました。

今回の開催地のバラトン湖（面積 592km²）は、琵琶湖よりわずかに小さい中央ヨーロッパ最大の湖で、ラムサール条約の登録地です。湖の北東岸に位置するバラトンフュレド市は、首都ブダペストから電車で約 2 時間の小さな保養地の町です。湖は浅く 1970 年代に観光客の増加と流域農産物の発達に伴い富栄養化しましたが、流入汚濁物質の沈殿効果のある人工内湖の建設により水質が回復しました。しかし、最近では気候変動の影響により水位が低下し、水草の大量繁茂や漁業の衰退等の問題が生じたため、その対策として湖出口で水位を調節しています。すると湖水の滞留時間が長くなり、大規模なアオコが発生するようになりました。それは、琵琶湖南湖の問題と似ています。クルーズ船で湖の中央部まで行くと、カメラ付きの自動観測装置が常時水質監視していました。

私が研究発表を行った分科会では、生態系モニタリングへの新しい観測技術の応用について議論されました。琵琶湖での水中ロボット（ROV）を用いた 10 年間のモニタリング結果は、UNEP（国連環境計画）関係者からも高い関心が得られ、

更なる技術の高度化が未知なる生態系のメカニズム解明に寄与するだろうとコメントをいただきました。他にも中国の湖沼でのアオコの自動モニタリング装置や、GPS ロガーを使用したバラトン湖周辺の水鳥行動調査の発表もあり、世界中で湖沼生態系観測の自動化が進んでいることが示されました。

また、現地での交流では、バラトン湖で最も歴史ある環境 NPO の代表と話す機会がありました（写真 1）。この団体は、周辺都市の市長婦人たちが、汚染された湖をきれいにしたいと立ち上げたもので、琵琶湖の周辺の主婦たちが始めた「せっけん運動」を思い起させます。現在の活動は、主に、環境教育施設の紹介、次世代を担う子どもたちが遊びながら環境教育を受けることに焦点を当てています。町おこしのためのリゾート化やオーバーツーリズムで環境破壊が進むことを強く懸念しておられました。

近年、世界中の湖沼は気候変動や異常気象等の影響を受けやすくなっています。最新の科学研究の成果を、持続可能な湖沼管理に繋げるには、多くのステイクホルダーとの協力がが必要です。今回の会議は、特にユース世代が積極的に発表し、湖沼を超えて時代を超える対話の機会となりました。

総合解析部門 石川 可奈子



写真 1 環境 NPO による子ども向けの遊びと環境教育施設の紹介

■編集後記

冬の寒さは、日常を過ごす上では嬉しくないものです。しかし、この寒さも琵琶湖が全層循環するために必要なことだと思つと、寒い日も悪くないか、と少し前向きに感じられます。

■編集・発行

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター
Lake Biwa Environmental Research Institute

〒520-0022 滋賀県大津市柳が崎 5-34

TEL:077-526-4800 FAX:077-526-4803

<https://www.lberi.jp/>

この印刷物は古紙・パルプを配合しています。

貧酸素化が琵琶湖の生態系に与える影響： 底生動物が、このまま減ってしまったら？

1 貧酸素化と、その影響を受ける底生動物

近年、国内外の多くの湖沼では、深層の水に溶ける酸素の濃度（溶存酸素濃度）が2mg/L以下になる貧酸素化が頻発しています。国内では、池田湖（鹿児島県）、野尻湖（長野県）、琵琶湖（滋賀県）等が、この問題に直面しています。この深層の貧酸素化は、暖冬等の影響で、表層と深層の水の混合（全層循環）が起きないと、深層の水へ酸素が十分に供給されず、生じやすくなります。また、水温上昇や表層からの有機物供給の増加等により、深層での有機物分解で消費される酸素の量が増すと貧酸素化が生じやすくなります。

馴染みが薄いと思いますが、貧酸素化の問題に直面している深層にも、様々な生物が生息しています。その多くは、底生動物と呼ばれるもので、エビ等の甲殻類、ミズムシ等の貧毛類、ピワオオウズムシ等のウズムシ類等がそれに含まれます。例えば、琵琶湖の80m以深の深湖底には、アナンデールヨコエビ、スジエビ、ミズムシ、ピワオオウズムシ、イトミミズといった底生動物が生息しています(写真1)。これらのうち、アナンデールヨコエビと、ピワオオウズムシは、琵琶湖にしか生息していない固有種です。琵琶湖の深湖底には、このような貴重な底生動物が生息しているのです。

底生動物も陸上動物と同様に、生存のためには酸素が必要です。生息域である深湖底が貧酸素になり、溶存酸素濃度が生存の閾値以下になると、これらの生物は死亡します。一般的に、溶存酸素濃度が2mg/L以下になると、魚類は死亡し、甲殻類（エビ等）は成長に悪影響が生じる、あるいは死亡するケースもあります。溶存酸素濃度が2mg/L以下になった

琵琶湖の深湖底では、多くのアナンデールヨコエビや、ピワオオウズムシ等の死亡が確認されました(写真2)。2018年度と2019年度に、琵琶湖では、気候変動等の影響により、全層循環が観測されませんでした。冬季の全層循環は、琵琶湖にとって深層の水に酸素を供給する重要なイベントであり、このイベントがないと深層の貧酸素化が生じやすくなります。実際、冬季の全層循環が観測されなかった翌年の2020年度の琵琶湖では、広範囲に渡って貧酸素化が確認されました。その貧酸素化の影響により、琵琶湖の深湖底では、底生動物の現存量が経年的に減少しつつあることが当センターのモニタリングから分かりました。琵琶湖の深湖底にあって触れることが少ない底生動物にも、気候変動による危機が迫っています。

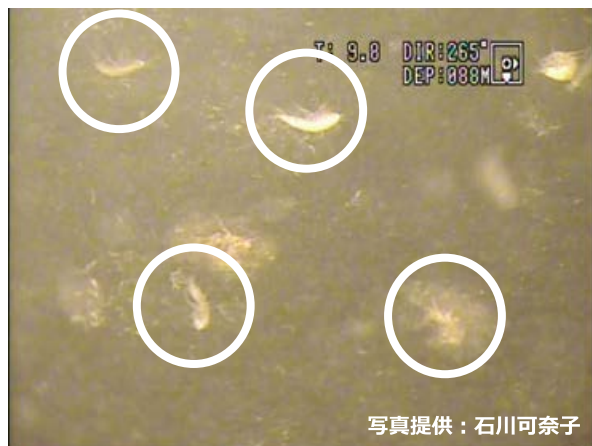


写真2 貧酸素化した深湖底で確認されたヨコエビの死骸



写真1 琵琶湖の深湖底に生息する底生動物。※スジエビは、春～夏の産卵期には、沿岸帯に生息。

2 底生動物が減ると、生態系はどうなる？ 底生動物の機能を解明し、生態系へのリスクを推定する

近年、琵琶湖の深湖底に生息するアナンデールヨコエビ等の底生動物は、減少傾向にあります。では、これらの生物がこのまま減っても、琵琶湖の生態系には問題は生じないのでしょうか。実は、底生動物が減ると、琵琶湖生態系にどんなリスクが生じるのかは分かっていません。その理由は、底生動物の機能（消費や排泄等によって周辺環境や他生物に関与する働き）が十分に分かっていないからです。特に、水産資源ではないアナンデールヨコエビ等の機能は不明です。そこで、我々は、国立環境研究所と連携し、琵琶湖の深湖底に生息する底生動物の機能を明らかにするとともに、底生動物が減少した時、どんなリスクが生態系に生じるのかを評価する研究プロジェクトを立ち上げました（研究期間：2023－2025年）。研究プロジェクトは、環境省・（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費により実施しています。

プロジェクトを始めるにあたり、底生動物の機能と、底生動物の減少でその機能が低下した時、生じるリスクの仮説を立てました(図1)。仮説②は、底生動物の栄養塩循環への貢献について、「底生動物が減ると、彼らによる堆積物攪乱や有機物の消費・排泄で生じる栄養塩のリサイクル量が減り、

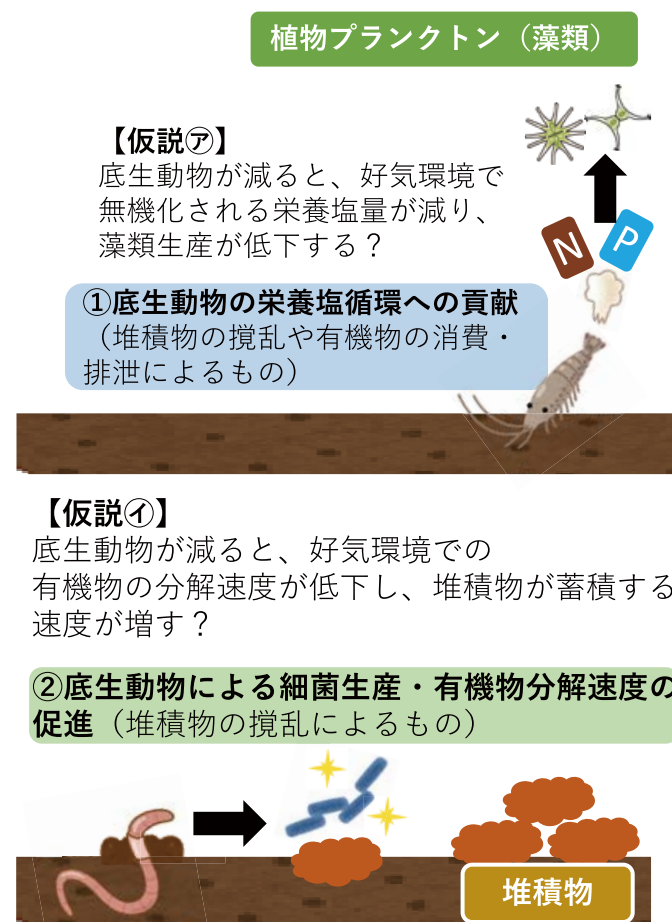
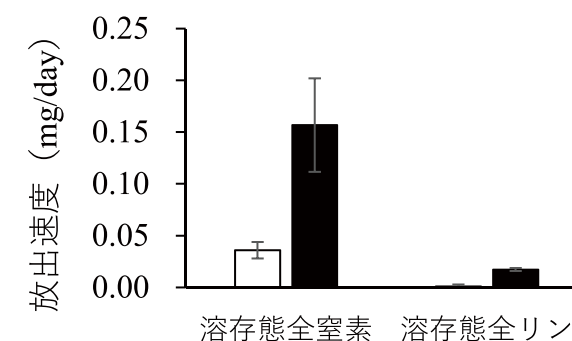


図1 研究プロジェクトの2つの仮説

その結果として、栄養塩で増える藻類の生産量が低下する」というものです。次に仮説④は、底生動物による細菌生産・有機物分解速度の促進について、「底生動物が減ると、彼らによる湖底堆積物の攪乱が減り、その結果として細菌の有機物分解速度の低下や、湖底への堆積物の蓄積が進む」というものです。仮説②の検証研究は、当センターが、仮説④の検証研究は、国立環境研究所がそれぞれ実施しています。最終的には、両研究機関で得た知見を基にモデル解析を行い、底生動物の減少が琵琶湖生態系にもたらすリスクを推定します。

今年度、当センターは、消費・排泄による底生動物の栄養塩循環への貢献を調べました。具体的には、湖底浮泥中（堆積物表面の泥）に含まれる250μm以上の有機物（浮泥エサとする、プランクトン等の死骸）のみを入れた処理系と、同じ有機物と底生動物を入れた処理系を用意して、底生動物が浮泥エサを食べ、尿等を排泄した時に、放出される栄養塩と比較して栄養塩の再生速度がどの程度増すのかを評価しました。アナンデールヨコエビ5個体を用いた実験の結果、h浮泥エサのみの処理系に比べて、浮泥エサ+ヨコエビの処理系の方が、溶存態全窒素は4倍以上、溶存態全リンは5倍以上放出される量が増えました(図2)。この結果から、アナンデールヨコエビは、栄養塩循環に貢献しており、深湖底の貧酸素化でこの生物が減少すると、栄養塩循環が失速する可能性が示されました。今後も、他の底生動物の働きを解明し、底生動物が減った場合に琵琶湖生態系に生じるリスクを明示します。また、その知見を基に、底生動物の保全の重要性を広く普及していきます。



□浮泥エサのみ ■浮泥エサ+ヨコエビ

図2 湖底浮泥中有機物（浮泥エサ）からの溶存態栄養塩（0.2μm未満）の放出に対するアナンデールヨコエビ5個体の影響。各処理系数3あるいは4の平均値±SD。浮泥エサ+ヨコエビの処理系は、ヨコエビのみの放出量を差し引いた値。

総合解析部門 永田 貴丸