

# 琵琶湖の全層循環

琵琶湖環境科学センター-焦春萌、石川可奈子、井上栄壮、早川和秀

## 1 琵琶湖の深呼吸が止まる？

琵琶湖は年に一度、「深呼吸」をします。人が深呼吸をして体に酸素を取り入れるように、琵琶湖も「全層循環」という自然現象によって、酸素を豊富に含む表層の水と湖底の水をかき混ぜ、湖底の生態系を支えています。

しかし、地球温暖化による暖冬の影響で、2019年と2020年(図1)は全層循環が発生しませんでした。特に2020年は、その影響が夏から秋にかけて続き、湖底は約3か月間にわたり無酸素状態(図2)となり、底生生物に深刻な被害が及びました(図3)。今後、温暖化がさらに進めば、全層循環が起こらない年が増え、重金属(マンガン(Mn)など)が湖底から溶け出すリスクが高まると考えられます(図4)。

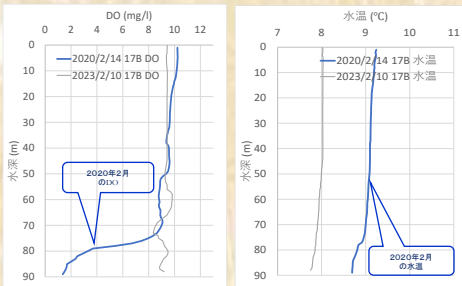


図1 琵琶湖北湖第一湖盆(17B, 今津沖中央, 水深90m)における、全層循環が発生しなかった2020年と発生した2023年の溶存酸素濃度(DO)(左)および水温(右)の鉛直分布の比較。



図2 2020年度琵琶湖北湖17Bにおける深湖底のDOの経月変動。赤い点線は、貧酸素状態になる分界線(DOが2mg/lである線)です。

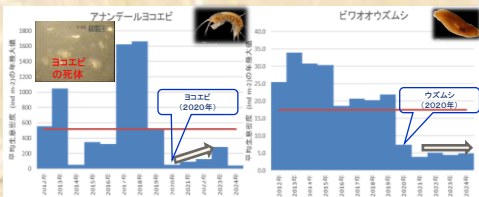


図3 ROVによる底生生物の個体群密度変化(アンデルヨコエビ、ビオオウズムシ)。



図4 琵琶湖北湖17Bにおける深湖底(水深90m)のDOとMnの経月変動。

## 2 全層循環現象の立体像

琵琶湖では、夏に水が成層し(図5上)、秋になると季節風の影響も加わり、対流によって水温躍層が次第に深まります(図5中)。冬には湖岸域の水がさらに冷却され、密度が増した水が湖底の斜面に沿って沈み込んでいきます(図6)。さらに、北湖の第一環流は反時計回りから時計回りに変わり(図7)、この三次元的な水循環の規模が次第に大きくなります。そして、水温とDOが琵琶湖全体で表水層から深水層まで完全に同一になると、全層循環が成立します(図5下)。なお、琵琶湖北湖には三つの環流が存在することが広く知られています。その中でも、第一環流は最も規模が大きく、反時計の方向に回転しながら春から秋の成層期を通じて持続し、琵琶湖において最も重要な湖流系とされています。

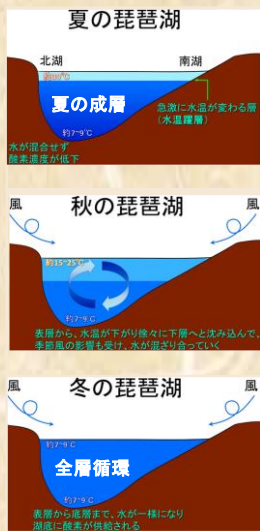


図5 琵琶湖全層循環の概念図

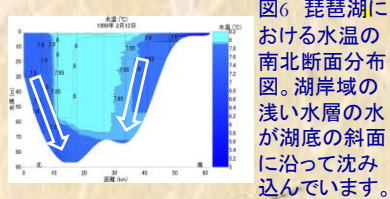


図6 琵琶湖における水温の南北断面分布図。湖岸域の浅い水層の水が湖底の斜面に沿って沈み込んでいます。

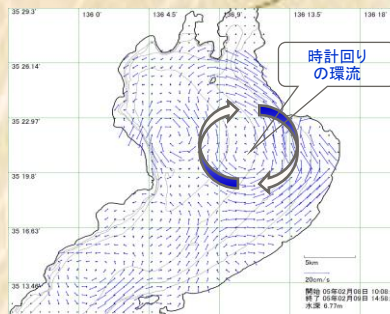


図7 琵琶湖の冬季における流れの水平分布。

## 3 琵琶湖全層循環の不全

地球温暖化による冬の気温は、年々単調に上昇するわけではなく、年によって暖冬(平年より気温が高い冬)や厳冬があります(図8)。琵琶湖の全層循環の不全は、暖冬の年に発生しています。冬に気温が高いこともさることながら、前年が厳冬であると低温の履歴をもつ深層水との温度差が大きくなるため、全層循環の遅延や不全が起こりやすくなります。2019年には、観測史上初めて全層循環が確認されませんでした。また、2020年にも全層循環が確認されず、2年連続の暖冬で全層循環の不全となりました。

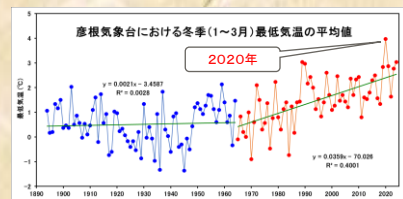


図8 彦根気象台における冬季(1~3月)最低気温の平均値。全層循環の不全になった2020年の冬季にこの平均値が例年最高になっています。

## 4 琵琶湖の全層循環と将来

琵琶湖と同じ深い湖で年1回循環湖であった鹿児島県の池田湖やドイツのコンスタンツ湖は、全循環型から部分循環型へ移行しました。琵琶湖が同じ運命をたどるかは現時点では不明です。今後の気温上昇の進行、降雨の激甚化、水温躍層の形成強度や継続期間など、全層循環の遅延や不全につながる要因(図9)には多くの不明点が残されており、今後も注意深く観測して、解析を続ける必要があります。

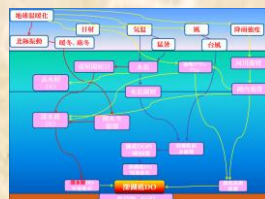


図9 全層循環の遅延や不全につながると思われる要因の概念図。