

琵琶湖の全循環とは、真冬に湖水が鉛直方向に深湖底までよく混合することにより、水温と溶存酸素が琵琶湖全体で表水層から深水層まで一様になる物理現象です。琵琶湖の全循環は、平年では1～2月に生じるもので、溶存酸素を豊富に含んだ表層の水を深湖底まで供給し、湖底に生息する生物や湖底付近の水質にとって大変重要な意味を持っており、「琵琶湖の深呼吸」とも呼ばれています。

## 1. 全循環現象の立体像および琵琶湖の「全層循環」

琵琶湖では冬になると、表面付近の水は冷却によって低温・高密度となり、沈降しはじめ、湖水の沈降に伴う対流によって水温躍層(p143「6-4」参照)は次第に深くなります。また、湖岸域の浅い水層の水も冷やされて重くなり、湖底の斜面に沿って沈み込んでいき(図6-5-1)、さらに、北湖の第一環流(p142「6-4」参照)も反時計回りから時計回りに変わり、この三次元的な水循環の規模が次第に大きくなり、水温と溶存酸素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、全循環となります。実際には、琵琶湖全体を同時に調べることは不可能であるため、琵琶湖環境科学研究センターは、これまでの調査研究の結果から循環が最後に完了することがわかっている北湖の第一湖盆(p120「5-3」図5-3-1参照)の水深90mの複数の定点において水温と溶存酸素の鉛直分布を測り評価しています。この複数の定点で、深水層において水温と溶存酸素の低い水塊が消滅し、表水層から深水層まで水温と溶存酸素が一緒になった状況が観測されると、琵琶湖の全水域で「全層循環が完了」または「全循環した」と言います。

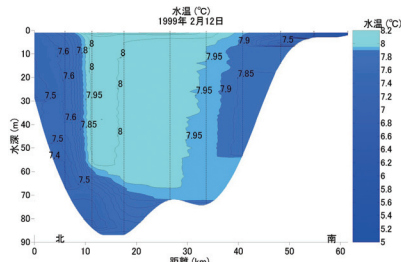


図6-5-1琵琶湖における水温の南北断面分布図(1999年2月12日)  
湖岸域の浅い水層の水が湖底の斜面に沿って沈み込んでいます。

## 2. 琵琶湖全層循環の遅れおよび全層循環不全

地球温暖化により琵琶湖の水温が上昇していることは周知のこと(p204「8-5」参照)ですが、琵琶湖の全層循環の遅延や不全は、必ず暖冬の年に発生します。琵琶湖では、2000年代後半から暖冬により全層循環が遅れる現象がみられるようになりました。例えば2006年、2015年の暖冬には、全層循環が例年より大幅に遅くなり、3



月中旬・下旬になって起こりました。そして、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。さらに、2020年においても全層循環が確認されず、2年連続で全層循環の不全となりました。

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。特に、暖冬の前年が厳冬である場合、暖冬ゆえに冷却が十分でない表層水と前年の厳冬により低温の履歴をもつ深層水との温度差が大きくなるため、鉛直混合が進みにくく、全層循環の遅延や不全が起こりやすくなります。また、強い寒波による低温や強風は深湖底まで鉛直混合を促す効果があります。暖冬の年には寒波の襲来が少なく、結果として全層循環の遅延や不全が起こる可能性が高くなると考えられます。

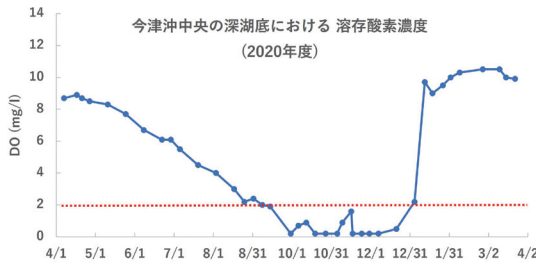


図6-5-2 2020年度琵琶湖第一湖盆の深湖底(今津沖中央、水深89m)における溶存酸素濃度の経月変動。  
赤い点線は、貧酸素状態になる分界線(溶存酸素濃度が2mg/lである線)です。

### 3. 琵琶湖の「低酸素化」と将来

琵琶湖の貧酸素化問題は、その水質や生態系にとって深刻な問題の一つです。

全層循環の遅延や不全になった場合、続く春には深層水中の溶存酸素濃度が平年より低い値のままです。その濃度から生物などによる酸素消費が始まり、溶存酸素濃度が一年で最も低くなる秋には、深湖底に貧酸素水塊或いは無酸素水塊が形成されます。2020年8月の第一湖盆には、例年より早く湖底に貧酸素水塊(溶存酸素濃度が2mg/l未満の水塊)が形成され、10月には無酸素水塊となり、無酸素状態がほぼ3か月間続きました(図6-5-2)。また、2020年9月には、過去に貧酸素水塊の報告がなかった第二湖盆の一部で、初めて貧酸素水塊が形成されたことが確認されました(p204「8-5」参照)。また、底生動物への貧酸素・無酸素化の影響が次第に明らかになっています(p120「5-3」参照)。

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。