

鳥取県内の汽水湖（東郷池・湖山池）の海水遡上と水質変化に関する 実態調査

【水環境室】

森 明寛、奥田 知佳、盛山 哲郎、政井 咲更美*¹

【要旨】

鳥取県内の汽水湖である東郷池および湖山池を対象に、2022年から2024年の各年6月から10月にかけて、湖口における海水遡上量の連続観測および湖内水質調査を実施し、海水遡上と底層水質および内部負荷との関係について検討した。湖口で流動および塩分移動量を把握するとともに、底泥間隙水および湖底直上水中の栄養塩濃度の変化を調査した。その結果、両湖とも夏季に顕著な海水遡上が生じ、強固な塩分躍層の形成と底層の貧酸素化が長期化する状況が確認された。また、貧酸素化の進行に伴い底泥間隙水および湖底直上水中の栄養塩濃度が上昇し、内部負荷の増大が示された。これらの結果から、海水遡上の増大が汽水湖における成層構造の強化と底層水質悪化を通じて内部負荷を促進する主要因であることが示唆された。

1 はじめに

汽水湖は陸域と海域の移行帯に位置し、その環境は陸域及び海域の双方から影響を受けやすい¹⁾。一般に海に開く湖口が狭く水交換量が小さいことから閉鎖性が強く²⁾、有機物や栄養塩類等の様々な物質が集積する一方で、潮汐の影響を受けて外海との物質交換が行われる³⁾。こうした特徴から独自の水環境が形成され、汽水湖特有の生態系が発達する²⁾。さらに、その立地から外洋と内陸とを繋ぐ舟運の港としても利用される等、その周辺には古来より大きな集落が発達し、様々な人間活動によって水質汚濁が発生しやすい水域でもある²⁾。

日本の汽水湖の多くは20世紀に水門や堤防建設等の人間活動によって大きく改変されてきた⁴⁾。例えば、霞ヶ浦や八郎潟のように河口堰き止めによって淡水化された事例⁵⁾⁶⁾がある一方で、諫早湾のように湾口部を堰き止めて一旦淡水化された後に再び開放して汽水環境に戻された事例⁷⁾がある。また、近年では気候変動の影響に伴う降雨パターンの変化や海面水位の上昇が指摘されており⁸⁾、汽水湖の塩分環境に影響をもたらすことが懸念されている。山陰地方の汽水湖である中海や宍道湖を対象とした数値シミュレーションにおいても21世紀末には湖内の塩分濃度が上昇することが予測されている⁹⁾。こうした海水遡上に関する変化は汽水湖の塩分環境を大きく変化させるとともに、水

質のみならず生物の生息環境にも大きな影響を与えることが指摘されている¹⁰⁾¹¹⁾。

鳥取県内の汽水湖である東郷池及び湖山池では水質管理計画¹²⁾¹³⁾が策定され、水質改善が進められているが、今もなお環境基準の達成は困難な状況が続いている。両湖とも日本海の海面水位が高くなる夏季を中心に流出河川を経由して海水遡上が生じやすく、これらは流出河川に設置された水門によって人為的に制御されている¹⁴⁾¹⁵⁾。このような汽水湖では、大量の海水遡上によって湖内で強固な塩分躍層を形成させやすく、この成層は鉛直混合を抑制し、湖底付近の貧酸素化を助長することで、底泥から大量の栄養塩の溶出を促進する可能性がある¹⁶⁾。一方で、汽水湖における海水遡上量を実測により定量化し、その影響を湖底直上水や底泥由来の栄養塩動態と関連付けて検討した事例は限られている。そのため、本研究では鳥取県内の汽水湖である東郷池及び湖山池を対象に、夏季から秋季における海水遡上量を実測するとともに、それに伴う底泥間隙水及び湖底直上水の栄養塩動態との関係を明らかにすることを目的として、湖口周辺の流動調査及び湖内の水質調査を行った。

2 方法

2.1 調査地の概要

調査は鳥取県の中中部地域に位置する東郷池及び東部

* 1 現 鳥取県生活環境部くらしの安心推進課

地域に位置する湖山池で行った（図 1）。湖面積はそれぞれ 4.08 km²、6.81 km²、最大水深はそれぞれ 3.6 m、6.5 m の汽水湖である。現在、両湖とも湖内の塩分濃度に関する目標値が定められており、東郷池では夏季から秋季の最大値を 5～7 psu（実用塩分単位）、湖山池では塩化物イオン濃度として 2,000～5,000 mg/L の範囲に設定されている。

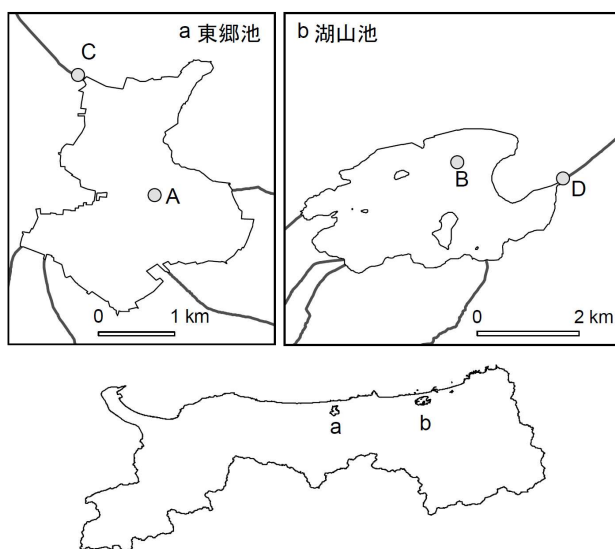


図 1 調査地点の位置図（a：東郷池、b：湖山池）

2.2 湖口周辺の流動及び塩分移動量

各湖沼の湖口周辺の流動を把握するため、東郷池（図 1、地点 C）及び湖山池（図 1、地点 D）の流出部に超音波ドップラー流速計（ザイレムジャパン、SonTek-IQ plus）を設置した。流速は水深 5 cm 毎に 10 分間隔で観測し、観測時の水位から通水部の断面積を求めた。併せて、深度別の塩分濃度を観測するため、これらの近傍に水質計を設置した。東郷池では自動昇降式の多項目水質計（HYDROLAB, DS5X）を用いて、20 分間隔で塩分濃度の鉛直分布を観測した（地点 C）。また、湖山池では伝導率ロガー（HOBO, U24）を河床から 10 cm 及び 50 cm の位置に設置し、10 分間隔で塩分濃度を観測した（地点 D）。調査は 2024 年 6 月から同年 10 月にかけて実施した。これらの観測データから各観測地点における流動量及び塩分移動量を算出した。なお、塩分移動量は (1) の近似式¹⁷⁾を用いて塩化物イオンとして取り扱った。併せて、2022 年及び 2023 年の結果¹⁸⁾¹⁹⁾から 1 日あたりの塩分流入量を月ごとに集計して、各年度の塩分移動量を比較した。

$$S = 1.815069 \times Cl \cdots (1)$$

S：塩分 (g/kg), Cl：塩化物イオン濃度 (%)

2.3 底泥間隙水及び湖底直上水の水質変化

湖内水質の変化を把握するため、東郷池では中央部（図 1、地点 A）、湖山池では三津地先（図 1、地点 B）において、底泥及び湖底直上水を採取した。直上水は孔径 0.45 μm のメンブレンフィルターでろ過したろ液を試水とした。また、底泥は遠心分離（3,000 rpm, 20 min）後の上清を同様にろ過して間隙水試料とした。各試水について、NH₄-N 及び PO₄-P をそれぞれ JIS K0102 42.6 及び 46.1.4 により分析した。また、調査時の水質の鉛直分布を把握するため、多項目水質計（HYDROLAB, DS5）を用いて、塩分及び溶存酸素量を観測した。併せて、2022 年及び 2023 年の結果¹⁸⁾¹⁹⁾と比較した。

3 結果及び考察

3.1 湖口周辺の流動及び塩分移動量

2024 年の湖口周辺の日流動量の変化を図 2 に示す。東郷池では 1 日あたりの順流量は平均 61 万 m³（最大 208 万 m³）、また、1 日あたりの逆流量は平均 37 万 m³（最大 124 万 m³）であった。湖山池では 1 日あたりの順流量は平均 31 万 m³（最大 113 万 m³）、逆流量は平均 24 万 m³（最大 87 万 m³）であった。次に 2024 年の塩分移動量の日変化を図 3 に示す。観測できた期間に限定すると、湖内への 1 日あたりの塩分流入量は、塩化物イオンとして東郷池では平均 271 万 kg（最大 1,211 万 kg）、湖山池では平均 198 万 kg（最大 1,180 万 kg）であった。特に湖山池では 7 月下旬から 8 月上旬にかけて、大量の塩分が流入する様子が見られ、湖内の強固な塩分躍層の形成に繋がった可能性が考えられる。

図 4 に 2022 年から 2024 年までの各湖沼の 1 日あたりの塩分流入量を月別に示す。東郷池では 2022 年 8 月から 9 月、及び 2023 年 6 月から 7 月にかけて塩分流入が顕著に多い日が数回見られた。2024 年は 7、8 月に流入量が多い傾向であったが、同様の状況は確認されなかった。湖山池では 2023 年 7 月から 8 月、及び 2024 年 7 月に塩分流入の多い日が見られた。

3.2 底泥間隙水及び湖底直上水の水質変化

各湖沼の底泥間隙水及び湖底直上水の水質変化を図5に示す。2024年において、東郷池では間隙水中のNH₄-N及びPO₄-Pの濃度はいずれも6月下旬に上昇し始めた。また、直上水ではNH₄-Nが6月下旬に、PO₄-Pが7月下旬に上昇し始め、最大値はそれぞれ0.28 mg/L (9月19日)、0.13 mg/L (9月19日)であった。一方、湖山池の間隙水ではいずれも7月下旬に上昇し始めた。直上水も同様に上昇し始め、最大値はそれぞれNH₄-Nが1.6 mg/L (9月19日)、PO₄-Pが0.82 mg/L (9月19日)であった。直上水の栄養塩濃度は両湖とも9月に最大となったものの、9月は湖山池の方がその濃度が大きく、底質からの栄養塩溶出量が多かったことが一因として考えられる。

次に2024年の水質の鉛直プロファイルを図6に示す。東郷池では7月下旬から8月上旬の塩分躍層の発達が大きくなり、底層の貧酸素化が顕著であった。湖

山池では7月下旬から9月下旬にかけて塩分躍層が発達し、特に底層から約1m上部までの貧酸素化が顕著であった。

また、これまでの調査結果から、直上水のNH₄-N及びPO₄-P濃度は、東郷池では2022年及び2023年に高く、湖山池では2023年及び2024年に高いことがわかっている¹⁸⁾¹⁹⁾。当時の水質の鉛直分布によると、東郷池では2022年6月下旬から同年10月上旬及び2023年7月上旬から同年10月下旬にかけて、湖山池では2023年7月上旬から同年10月下旬にかけて強固な塩分躍層を形成され、湖底付近ではほぼ無酸素状態が長期間継続していることが確認されている¹⁸⁾¹⁹⁾。このように、両湖とも夏季にNH₄-N及びPO₄-P濃度が高くなるケースが確認されており、夏季の塩分躍層により底層部が滞留し、貧酸素化が長期化する場合において、底泥からの栄養塩溶出が大きくなる傾向があるものと示唆された。

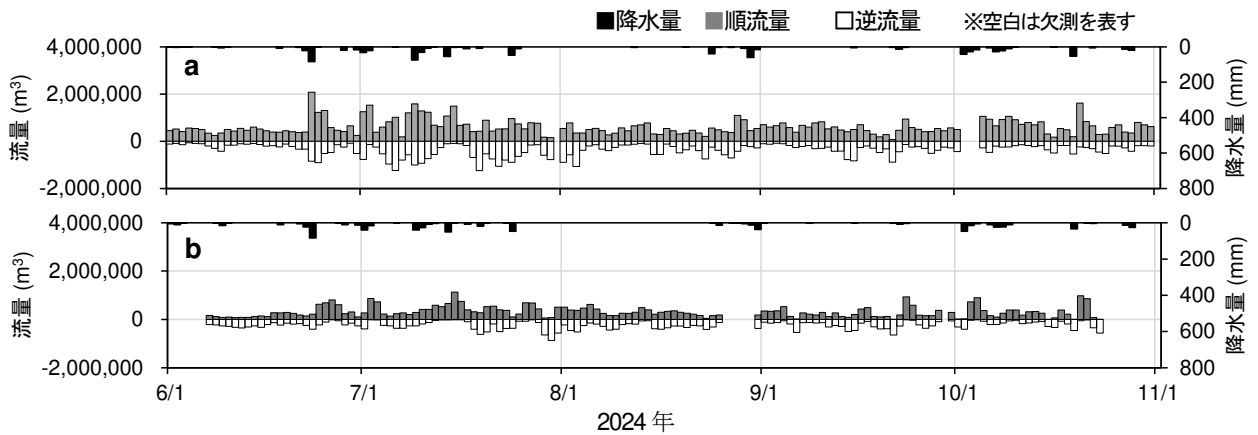


図2 湖口周辺の日流動量の変化 (2024年) (a: 東郷池、b: 湖山池)

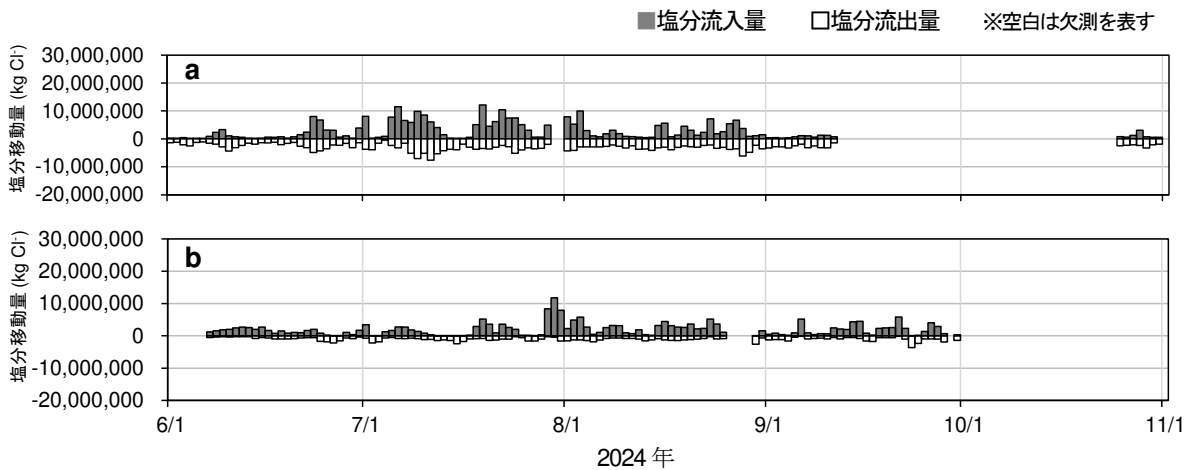


図3 湖口周辺の塩分移動量の変化 (2024年) (a: 東郷池、b: 湖山池)

4 まとめ

本研究では東郷池及び湖山池において海水遡上と湖内水質の実態調査を行った。その結果、両湖とも夏季を中心に顕著な海水遡上が生じ、多量の塩分が湖内へ流入することで強固な塩分躍層が形成され、底層の貧酸素化が長期化する状況が確認された。また、貧酸素化の進行に伴い底泥間隙水及び湖底直上水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 及び $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が上昇し、内部負荷の増大が生じていることが示された。これらの結果は、現在の東郷池及び湖山池では、海水遡上量の増大が成層構造

の強化、底層部の滞留、貧酸素化等の現象を通じて、栄養塩溶出を促進する主要因となることを、実測データに基づき明らかにしたものである。本成果は、今後の水質管理において、夏季の水門操作による海水遡上量の適切な制御が、底層貧酸素化の緩和及び内部負荷低減に寄与する可能性を示すものであり、東郷池及び湖山池の持続的な湖沼水質管理施策の検討に資する基礎資料となる。併せて、気候変動に伴う海面水位上昇への適応も視野に入れ、今後も塩分管理に関連したモニタリング体制の更なる充実が重要度を増すだろう。

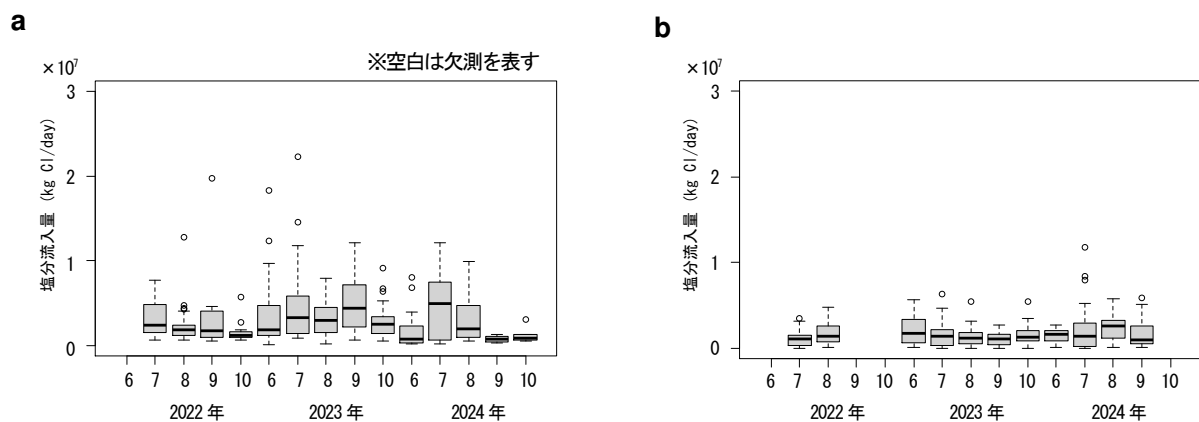


図4 湖内への1日あたりの塩分流入量 (2022~2024年) (a: 東郷池、b: 湖山池)

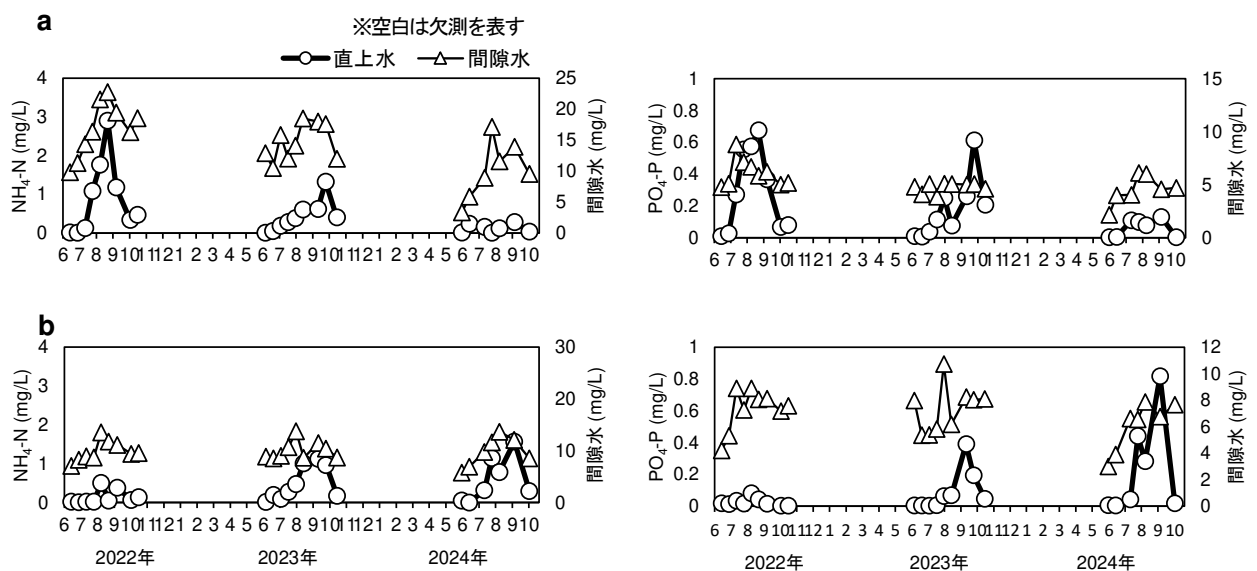


図5 湖山池・東郷池における底泥間隙水及び湖底直上水の水質変化 (2022~2024年)

a: 東郷池、b: 湖山池、左: $\text{NH}_4\text{-N}$ 、右: $\text{PO}_4\text{-P}$

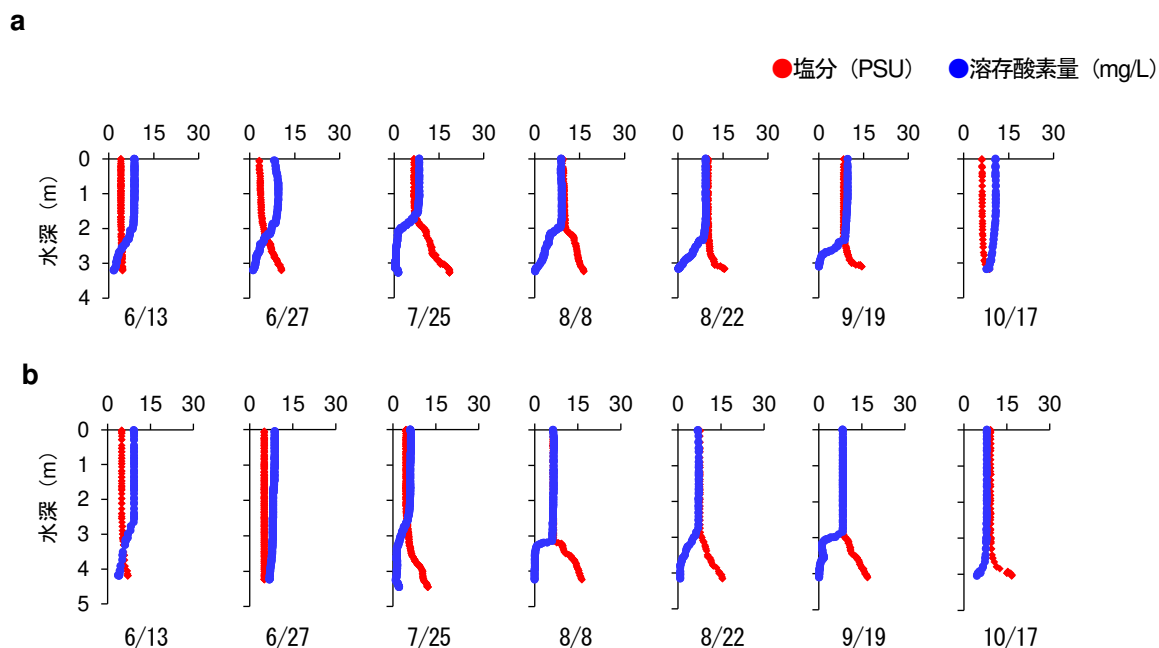


図6 水質鉛直プロファイルの推移 (2024年)

a : 東郷池、b : 湖山池、横軸の目盛りは塩分(PSU)、溶存酸素濃度(mg/L)を表す

5 謝辞

鳥取県栽培漁業センターの志村健室長、田中秀一主任研究員には超音波ドップラー流速計の貸し出し及び有益な助言を頂いた。ここに記して厚くお礼を申し上げます。

6 参考文献

- 1) 國井秀伸, 高安克己, 橋谷博, 中村幹雄, 中尾繁 : 汽水湖生態系の特性と日本における研究の現状, 日本生態学会誌, 43, 195-209 (1993)
- 2) 奥田節夫: 汽水湖における水塊の移動と混合過程, 沿岸海洋研究, 35(1), 5-13 (1997)
- 3) 環境省水・大気環境局水環境課 : 日本の汽水湖～汽水湖の水環境の現状と保全～, https://www.env.go.jp/water/kosyou/brackish_lake/index.html (2025年12月2日確認)
- 4) R. Nomura: Assessing the roles of artificial vs. natural impacts on brackish lake environments: foraminiferal evidence from Lake Nakaumi, southwest Japan, The Journal of the Geological Society of Japan, 109 (4), 197-214 (2003).
- 5) 山室真澄 : 淡水化した湖としなかった湖～低塩分汽水だった霞ヶ浦と宍道湖の現状, 河北潟総合研究, 23, 49-53 (2020)
- 6) 近藤正 : 八郎湖の負荷収支からみた汚濁構造と水質・水環境改善への課題, 河北潟総合研究, 23, 13-24 (2020)
- 7) 東幹夫, 佐藤慎一 : 諫早湾潮止め後 23 年間の有明海底生動物群集の経年変化, 河北潟総合研究, 23, 29-36 (2020)
- 8) 文部科学省, 気象庁 (2022) IPCC 第 6 次評価報告書 第 1 作業部会報告書気候変動 2021 : 自然科学的根拠政策決定者向け要約 (SPM) 暫定訳 (2022 年 5 月 12 日版) , https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/IPC_C_AR6_WG1_SPM_JP_20220512.pdf (2025 年 12 月 2 日確認)
- 9) 気候変動適応情報プラットフォーム : 気候変動による宍道湖・中海の水質等への影響調査, https://adaptation-platform.nies.go.jp/moej/conso/adaptation/pdf/chugokushikoku/chugokushikoku_FinalReport_0504.pdf (2025年12月2日確認)
- 10) 宮本康 : 汽水湖の生物相 : 塩分による直接・間

- 接的な生物相の維持, LAGUNA, 11, 97-107 (2004)
- 1 1) 鳥取県, 鳥取市: 汽水化に伴う湖山池の環境等の変化に関する調査報告書 (2020)
- 1 2) 鳥取県: みんなで取り組む 東郷池水環境保全プログラム～第 2 期東郷池水質管理計画～, https://www.pref.tottori.lg.jp/secure/1069194/tougouike_keikaku_ALL_ver03.pdf, (2025 年 12 月 2 日確認)
- 1 3) 鳥取県, 鳥取市: 第 4 期湖山池水質管理計画 (湖山池将来ビジョン推進計画), https://www.pref.tottori.lg.jp/secure/1316041/KoyamaKanri_4th_02.pdf (2025 年 12 月 2 日確認)
- 1 4) 森明寛, 前田晃宏, 日置佳之: 汽水湖東郷池における淡水性水生植物セキショウモ *Vallisneria asiatica* Miki の生育環境, 応用生態工学, 22 (2), 117-124 (2020)
- 1 5) 森明寛, 成岡朋弘, 日置佳之: 湖山池湖口の塩分フラックスの特性, *Laguna*, 30, 11-22 (2023)
- 1 6) 高安克己編: 汽水域の科学: 中海・宍道湖を例として, 米子, たたら書房 (2001)
- 1 7) 河野健: 新しい海水の状態方程式と新しい塩分 (Reference Composition Salinity) の定義について, 海の研究, 19(2), 127-137 (2010)
- 1 8) 森明寛, 盛山哲郎, 成岡朋弘: 湖山池・東郷池の水質形成に関する実態調査 (2022 年度), 鳥取県衛生環境研究所報, 63, 14-16 (2024)
- 1 9) 森明寛, 盛山哲郎, 政井 咲更美, 成岡朋弘: 湖山池・東郷池の水質形成に関する実態調査 (2023 年度), 鳥取県衛生環境研究所報, 64, 31-34 (2024)

Field Investigation of Seawater Intrusion and Changes in Water Quality in Brackish Lakes Togo-ike and Koyama-ike, Tottori Prefecture, Japan

Akihiro MORI, Chika OKUDA, Tetsuro SEIYAMA, Sasami MASAI

Abstract

To examine the effects of seawater intrusion on bottom water quality and internal nutrient loading, brackish lakes Togo-ike and Koyama-ike in Tottori Prefecture were investigated. Continuous monitoring of flow and salinity at the lake inlets, together with water quality surveys within the lakes, was conducted from June to October during 2022–2024. In both lakes, pronounced seawater intrusion during summer formed strong haloclines and prolonged hypoxic conditions in bottom waters. Nutrient concentrations in sediment pore and near-bottom waters increased with hypoxia progression, indicating enhanced internal loading. These results suggest that seawater intrusion strengthens stratification and deteriorates bottom water quality, thereby promoting internal nutrient loading in brackish lakes.