

閉鎖性汽水湖における水質改善の取り組みについて

小林真之¹・鈴木伴征²・大脇哲生³・武知弘奈³

キーワード：汽水湖、底層貧酸素化、水質改善、底質改善、モニタリング調査

1. 背景・目的

汽水湖は、流域から流入する淡水と海域から遡上する塩水が混合することで生物に貴重な汽水環境を形成する一方、流域の最下流域に位置し栄養塩が蓄積しやすいことによる富栄養化現象や、塩分成層・躍層の形成による底層の貧酸素化現象等の水質問題も発生しやすい。

愛媛県にある小規模の閉鎖性汽水湖である亀ヶ池では、過去の水質調査において池の底層で無酸素層が広がり、硫酸呼吸の副産物である硫化水素（生物毒）が大量に生産される無生物の世界が広がっていたと報告されている²⁾。また地元からは悪臭の情報提供があるなど水質課題があった。

本稿では、亀ヶ池における水質問題を対象として、水質悪化メカニズムに関する調査・検討及び水質改善の試行とモニタリング調査について報告する。

2. 対象地の概要

亀ヶ池は、愛媛県の佐田岬半島伊方町加周に位置し、東西約 550m、南北 290m、最大水深 7.2m、総面積 0.102km²、貯水量約 50 万 m³、流域面積 1.47km²の海跡湖である(図-1)。1600 年頃は陸地に入り込んだ海と記録されており、その後波に打ち寄せられた土砂が積み、徐々に閉鎖的になったといわれている²⁾。1954 年ごろに水門が作られ、海水流入がなくなり一時淡水化したと考えられている。1994 年頃に海岸保全施設整備事業(高潮対策)により現在の接続水路・水門が整備された(図-2)。

接続水路の水門開閉は地域住民が手動で行っており、高潮・高波浪時に閉扉するが当時閉扉ルールはなく、常時閉扉されている期間が存在していた。また接続水路は、亀ヶ池の水位をコントロールする固定堰のような機能も有しており、中潮～大潮にかけての満潮時の潮位が高くなる状況でかつ水門開扉時においてのみ海からの塩水流入がある状況であった。

3. 水質悪化メカニズムの推定

(1) 亀ヶ池の水質・底質状況

2022 年秋に多項目水質計を用いて水質調査を行った(次ページ図-5の左)。塩分は水深 0.5～3m で 13.5‰程度で一様、水深 4m 以深で成層化しており 15～23‰と塩分濃度が高い傾向が見られた。DO は水深 2m 付近から低下し、水深 4m 以深では 2mg/l 以下、水深 6m 付近は 0mg/l と無酸素状態となっていた。

また亀ヶ池の湖深部で採取した底質の含有量試験結果を表 1 に示す。亀ヶ池の底質は COD が 44.0mg/g、強熱減量が 11.3%と、参考にした県内で富栄養化や底層貧酸素化が発生している鹿野川ダム³⁾の底質と同程度の値であった。一方、硫化物は 3.70 mg/g と鹿野川ダムよりも多く、底質サンプル(図-3)も硫化鉄の

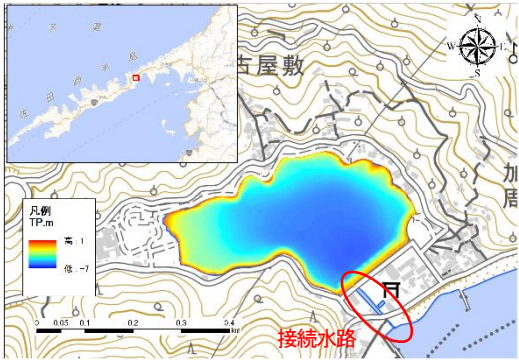


図-1 亀ヶ池の位置図及び地形図



図-2 水門の下流面(左)と接続水路(右)の様子

表-1 亀ヶ池と県内ダムの底質の比較

調査項目	亀ヶ池	鹿野川ダム ³⁾ (参考)
	2022	2014-2019
COD(mg/g)	44.0	19.8～56.3
硫化物(mg/g)	3.70	0.05～0.32
強熱減量(%)	11.3	9.4～14.5



図-3 亀ヶ池の底質サンプル

影響と考えられる黒色をしており、汽水湖のため上・下層の水の交換性が低く嫌気性環境が進行していると考えられる。

(2) 海水流入量の推定(流量観測)

亀ヶ池の開門状態の海水流入量を推定するために、接続水路において流量観測を実施した。調査は 2023 年 5 月の大潮の満潮時に実施し、宇和島の潮位データを用いて海水流入量の H-Q 式を作成した。また降雨データ及び平常時の流量観測結果から河川流入量を、四角堰の越流公式により亀ヶ池から海域への流出量を推定し、三次元測量で得た亀ヶ池の H-V 式を用いて池の水位を動的に計算し、海水の流入量を推定した。

至近 10 ヶ年の水文・潮位データを元に海水流入量を推定したところ(図-4)、亀ヶ池の容量(越流数高の測量値約 495 千 m³)を年間約 4.7 回/年程度交換できるほどの海水流入が生じることがわかった。また潮位変動の大きい 7 月～10 月で海水流入量が多くなる傾向も確認された。なお、高潮・高波時には水門を閉扉することから、実態としてはこれよりも小さくなるものと考えられる。

1 八千代エンジニアリング株式会社 事業統括本部 国内事業部 水工部
2 八千代エンジニアリング株式会社 北日本支店 河川・水工部
3 八千代エンジニアリング株式会社 事業統括本部 国内事業部 環境計画部

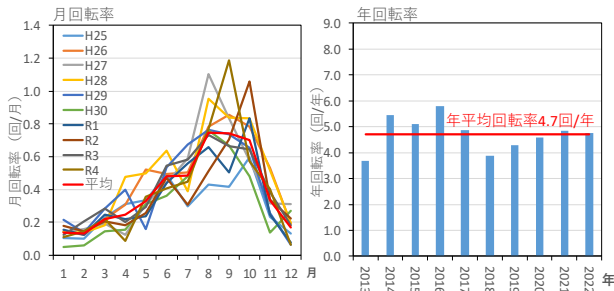


図-4 海水流入量の推定結果(2013~2022年、池の回転率換算)

(3) 亀ヶ池における水質悪化メカニズム

以上の調査結果と 2022 年夏季の亀ヶ池の水質(水温・塩分・DO)の状況を再現した三次元流動・水質モデルの解析結果から、亀ヶ池の水質悪化メカニズムを以下のように推定した。

- ① 水門閉扉によるフレッシュな海水の供給遮断に伴う池の底層水の交換性の低下、これによる貧酸素化の進行
(河川水は表層付近で上滑りして海域に流出)
- ② ①に伴う長年の流域・海域からの堆積物の嫌気化の進行
→硫化水素の発生、魚類等のへい死の発生
→栄養塩類溶出等による植物プランクトンの異常発生
(透明度の低下・景観の悪化)

4. 水質改善策の試行と効果検証

(1) 対策の検討と試行

水質悪化メカニズムを踏まえ、「①池の底層水の交換性の改善」と「②堆積土砂の嫌気化の改善」の大きく二つに対する対策案を検討した。対策案については、期待される効果、影響、イニシャル・ランニングコスト、早期実現性の観点から、①の対策として「水門の開扉(高潮・高波時を除く)」、「プロペラ式循環装置の設置⁴⁾」の2案を、②の対策として「薬剤散布(底質改善用のバイオ製剤)」を採用した。

「水門の開扉」は 2023 年 1 月より実施し、「薬剤散布」は 2023 年 5 月に池の全面に対して実施した。また「プロペラ式循環装置」は湖深部に設置し、2023 年 12 月から稼働した。

(2) 対策効果に関するモニタリング調査結果

対策実施前後の亀ヶ池における塩分・DO の鉛直分布の比較を図-5 に示す。ここでは①の対策効果について言及する。

水門開扉を行った 2023 年夏季の調査では、2022 年秋季と比較して表層～底層まで塩分濃度が上昇し、中層～底層では 28～30‰程まで上昇したことから、池の中～下層の鉛直混合が促進されたことがわかる。一方、DO についてみると、2023 年夏季では水深 3m 付近まで貧酸素傾向となっており、水門開扉だけでは夏季の貧酸素化を十分改善できない可能性が示唆された。

水門開扉とプロペラ式循環装置の両方の対策を行った 2024 年夏季の調査では、塩分濃度は表層～底層まで概ね一様に 16‰程度となり、表層の淡水も下層まで混合している様子が伺えた。また DO は水深 2～6m 付近で 2～5mg/l となり 2023 年夏季と比較して貧酸素化が改善された。ただし、最下層の水深 6～7m では 2mg/l 以下の貧酸素傾向が継続している。

5. まとめと今後の方向性

対策の試行により、2023 年以降、亀ヶ池の水質改善傾向が確認され、底質においてもヘドロ状から砂状に変化するなど改善傾向が見られた。また地域住民からも悪臭が解消されたなどの報告もあり、着実に水質改善が図られていると考える。

一方、近年の夏場の高気温の影響もあり底層での貧酸素化や、植物プランクトンの発生等による透明度の低下が継続しており、また接続水路内にフジツボが大量発生し海水の流入阻害が生じる等の新たな課題も発生している。引き続きモニタリング調査を行い、対策効果を検証していくと共に、自治体と連携して、必要な運用見直し等を行うことが必要と考えられる。

参考文献

- 1) 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～，2014.12.
- 2) 愛媛大学：2018 年亀ヶ池環境調査報告，2018.
- 3) 国土交通省：水文水質データベース
- 4) 一般社団法人 水源地環境センター：プロペラ式湖水浄化システム 設置・運用マニュアル,2023.

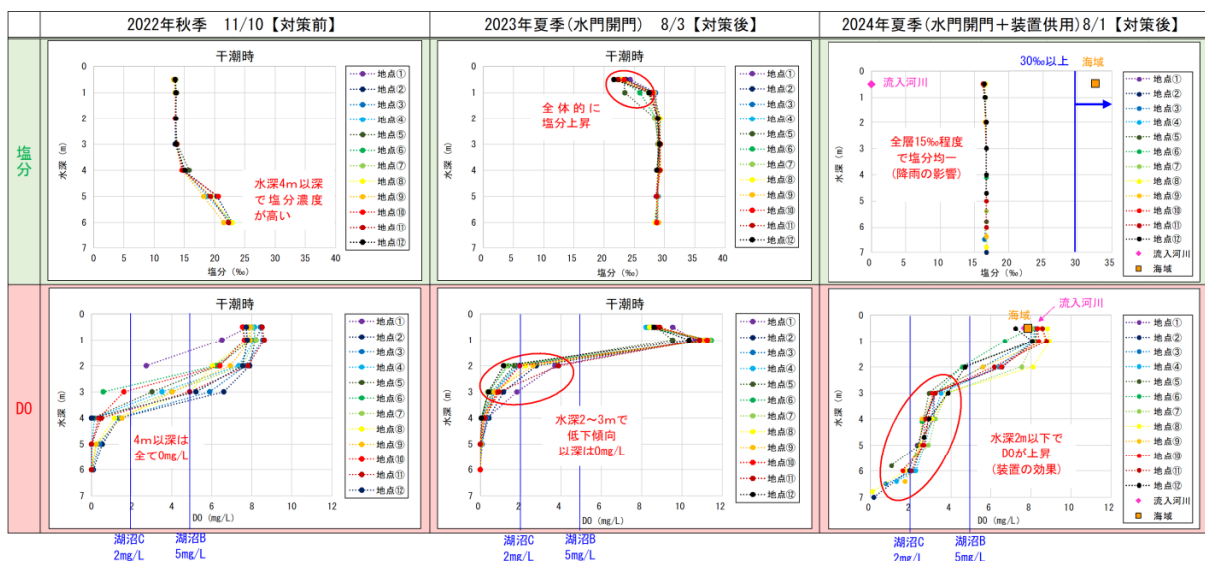


図-5 対策実施前後の亀ヶ池における塩分・DO の鉛直分布の比較