

池田湖底層における硫化水素濃度と貧酸素化に伴う水質変化について

鹿児島県環境保健センター ○柴田英介 今岡慶明 有西聡美
實成隆志 笠作欣一 吉田隆典

1 はじめに

池田湖は、最大水深 233m の九州最大の湖であり、厳冬には湖水が全層循環するが、暖冬には上層のみの部分循環にとどまり、酸素が底層まで供給されず、湖底の嫌気状態が継続し、水質悪化が懸念される。

2018 年 2 月の全層循環以降、2024 年 2 月まで部分循環のみ起こっており、池田湖底層は貧酸素化の進行が継続し、水質の変化が確認されている。

2023 年 8 月の水質調査時に 200m 層の湖水から硫化水素臭が確認され、その後の調査でも臭気を認めた。

湖水中の硫化水素の分析について、水質分析では公定法がなく、また、別法であっても硫化水素は揮散しやすいため、採水後は直ちに分析を行う必要があり、国内での湖沼の分析例はほとんどない。

そこで、排水中の悪臭分析法を応用し、本県では初となる池田湖の湖水中の硫化水素濃度を把握するとともに、底層の貧酸素化と、それに伴う水質の変動について把握を行ったので報告する。

2 調査方法

(1) 調査地点

池田湖基準点 2 (図 1)



図 1 採水地点

(2) 調査期間

2017 年 2 月～2025 年 2 月 (偶数月)

マンガン及び鉄は 2022 年 8 月～2025 年 2 月、硫化水素は 2024 年 8 月～2025 年 2 月 (偶数月)

(3) 調査項目

化学的酸素消費量 (COD)、全有機体炭素 (TOC)、溶存酸素 (DO)、栄養塩類 (アンモニア性窒素、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素、りん酸性りん)、マンガン、鉄、硫化水素 (H_2S)

(4) 採水方法

表層はアルミニウムバケツを使用し、15m 以深はバンドーン採水器を使って行い、採水後直ちに保冷して持ち帰った。

硫化水素は採水当日に分析を行い、その他項目については冷蔵保存し、翌日以降に分析を行った。

3 結果及び考察

結果を図 2～5 及び表 1 に示す。各測定項目について、 H_2S を除き、底層 (200m 層) のデータについて考察した。

DO は、2017 年 12 月の <0.5 mg/L から全層循環により酸素が底層まで供給され、2018 年 2 月には 6.0 mg/L まで増加した。以降は部分循環にとどまり、2021 年 2 月からは 1.0 mg/L を下回り、枯渇状態が継続している。

硝酸性窒素は 2021 年 4 月以降、減少傾向が見られ、2023 年 2 月から枯渇状態が続いており、アンモニア性窒素は 2021 年 12 月以降、増加傾向が見られた。底層の嫌気状態の進行に伴い、硝酸性窒素から酸素が脱離し、アンモニア性窒素が生成したと考えられた。

りん酸性りんは 2023 年 4 月から著しい上昇傾向が見られ、湖底からの溶出が考えられた。

全マンガン、全鉄は、いずれも夏季に増加し、冬季に減少する傾向が見られたが、経年的に増加傾向が見られ、特に鉄で顕著であった。増加の原因として、湖底からの溶出が考えられた。

有機物汚濁に係る指標 (COD, TOC) について、2021 年 4 月以降、COD は上昇傾向が見られた。一方、同時期の TOC には大きな変動がなく、2 つの指標の間に乖離が見られた。この理由として、COD の分析において過マンガン酸カリウムが有機物以外の物質で還元されていることが示唆され、その原因としてアンモニア性窒素、マンガン、鉄、硫化物による還元が考えられた。

水中の H_2S 分析は、 H_2S を選択的に定量することを目的として、悪臭分析法の炎光光度検出器付ガスクロマトグラフ/ヘッドスペース法 (GC/HS 法) により、2024 年 8 月から行った。

表 1 のとおり、水中の H_2S 濃度は、150m 以深で検出され、4 回の調査を行った 200m 層では、0.25～0.45

mg/L の範囲であった。

200m 層の濃度は 2024 年 10 月が 0.45 mg/L と最も高く、ヘッドスペースガス中の濃度は 71 ppm であった。

200m 層の月別の濃度挙動について、他県での調査によると、硫化物 (H_2S+HS^-) 濃度の分布は不均一であったとの報告例もあり、池田湖においても濃度の分布は不均一であることが窺えた。水深別では、210m 層, 200m 層, 150m 層と浅くなるにつれ H_2S 濃度は低下しており、供給源として湖底からの溶出が考えられた。

表 1 湖水中の H_2S 分析結果 単位: mg/L

採水層\採水年月	2024.8	2024.10	2024.12	2025.2
基準点2 0.5m	ND	—	—	—
〃 15m	ND	—	—	—
〃 30m	ND	—	—	—
〃 100m	ND	ND	ND	ND
〃 150m	—	—	0.08(14)	0.07(14)
〃 200m	0.27(43)	0.45(71)	0.25(46)	0.28(52)
〃 210m	—	—	0.27(50)	0.33(61)

※ 表中, ()内は, バイアル瓶のヘッドスペースガス中の濃度 (単位: ppm)
斜線は, 採水なし。—は, 現地で臭気を確認できなかったため, 分析対象から除外。

4 まとめ

栄養塩類, 金属元素等の分析と, 本県では初となる湖水中の H_2S の分析を GC/HS 法により行った結果, 池田湖底層の H_2S 濃度の把握と挙動が初めて明らかになり, 次の結果が得られた。

- 池田湖底層では, 冬季の全層循環が約 7 年起こらないことによる DO の枯渇状態が継続し, 硝酸性窒素の還元によるアンモニア性窒素の増加, 湖底からのりん酸性りん, マンガン, 鉄の溶出, H_2S の発生が見られ, 嫌気状態が促進され, 水質が悪化していることが窺えた。
- 200m 層の DO 枯渇の継続により, 2021 年 4 月以降, COD と TOC の乖離が見られ, COD の分析における過マンガン酸カリウムが有機物以外の物質で還元されていることが示唆され, その原因としてアンモニア性窒素, マンガン, 鉄, 硫化物による還元が考えられた。
- H_2S は, 150m 以深で検出され, 200m 層では 0.25 ~ 0.45 mg/L の濃度範囲であり, 高濃度の H_2S 濃度の存在が明らかになった。また, 200m 層では月別に増減があったことから, H_2S 濃度は不均一であることが窺えた。また, 水深別では, 210m 層, 200m 層, 150m 層と浅くなるにつれ H_2S 濃度は減少したことから, 供給源として湖底からの溶出が考えられた。

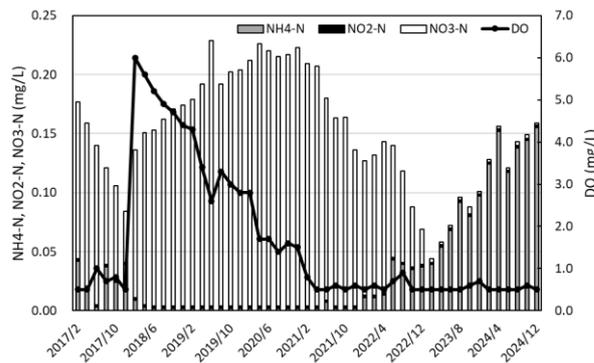


図 2 無機性窒素類と溶存酸素の推移 (200m 層)

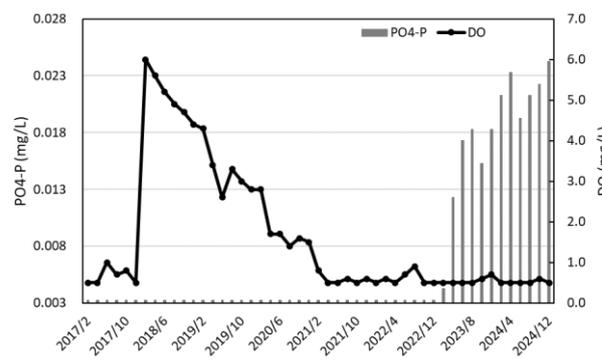


図 3 りん酸性りんと溶存酸素の推移 (200m 層)

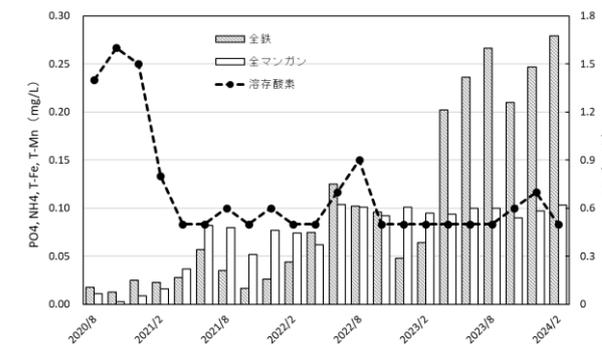


図 4 金属元素と溶存酸素の推移 (200m 層)

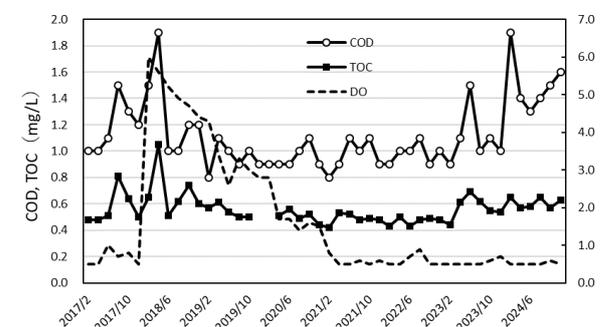


図 5 有機物汚濁に係る指標と溶存酸素の推移 (200m 層)