

地域温暖化が池田湖深層の21年間の無酸素化に及ぼす影響 Impact of regional warming on continuous hypolimnetic anoxia over 21 years in Lake Ikeda

○伊藤 祐二* 梶井 和朗**
○Yuji ITO* and Kazuro MOMII**

1. はじめに

湖水は長期的な気候変化を映し出す記録体として有用であるため、気候変化が湖の水質に及ぼす影響は世界の湖で調査・研究されてきた¹⁾。鹿児島県南部地域に位置する池田湖は、最大水深233 mを有する深い湖であり、近年、深層の水温上昇と無酸素化が顕著である。池田湖では、毎年2月に湖全体が約10°Cの様な水温分布となり、この時期に生じる全循環によって表層から深層へと溶存酸素(DO)が供給される。一方、こうした機械的混合は、成層強度の増大、すなわち湖の安定性の増大によって抑制される²⁾。したがって、池田湖深層の無酸素化の一因として全循環の喪失が考えられ、この機構には湖の安定性が関係していると考えられる。本研究では、気候変化が池田湖深層の無酸素化に及ぼす影響を解明するために、1978～2011年の水温と湖の安定性を解析し、その影響評価を試みた。

2. 方法

1978～2011年における池田湖のDO動態を明らかにするために、鹿児島県により湖中央で観測されたDO濃度の経時変化を調べた。また、水温と透明度の観測値および周辺気象資料を利用して鉛直1次元熱輸送モデルを構築し、同モデルにより鉛直水温分布と容積加重平均水温の年変動を解析した。水温の計算値から密度 ρ を算出し、次のSchmidt安定性指数 S^3 によって池田湖の安定性を評価した。

$$S = \frac{g}{A_0} \int_0^{z_{\max}} (z - z_m)(\rho - \rho_m) A dz \quad (1) \quad \rho_m = \frac{\int_0^{z_{\max}} \rho A dz}{\int_0^{z_{\max}} A dz} \quad (2)$$

ここで、 g は重力加速度、 z は水深、 A は水深 z における湖の断面積、 A_0 は湖の表面積、 z_{\max} は最大水深、 ρ_m は容積加重平均密度、 z_m は ρ_m の発生深度である。

3. 結果と考察

DOの濃度変化は測定深度に応じて異なる特徴を示した(**Fig.1**)。水深0.5と30 mのDO濃度は、冬に増大し夏に低下する季節変化を示した。しかし、深層100と200 mではそうした季節変化は認められなかった。深層では1990年以降にDO濃度がほぼ無酸素(0.5 mg l⁻¹)となる状況が頻発したが、水深0.5と30 mは無酸素状態になることはなかった。深層のDO濃度は、1980年代までは比較的高い値で推移したが、1986年に減少し始め、水深100 mでは1994年に0.8 mg l⁻¹まで低下した後、0.5～7.1 mg l⁻¹の範囲で変動し、水深200 mでは1990年に0.5 mg l⁻¹の無酸素レベルにまで低下し、それから2010年まで無酸素状態が継続した。

水温は1978～2011年において湖全体で上昇傾向を示した。水深0.5, 30, 100, 200 mの上昇率は0.020, 0.040, 0.032, 0.024°C y⁻¹であり、水深100と200 mの上昇率は新井の推定値(0.04と0.03°C y⁻¹)⁴⁾と近い値を示した。容積加重平均水温も上昇傾向を示し(**Fig.2**)、回帰直線の傾き(池田湖の温暖化率)は0.033°C y⁻¹であった。なお、水温の計算値は観測

*佐賀大学低平地沿岸海域研究センター (Institute of Lowland and Marine Research, Saga University)

**鹿児島大学農学部 (Faculty of Agriculture, Kagoshima University)

キーワード: 溶存酸素濃度, 湖の安定性, 全循環, レジームシフト, 気候変化

値と一致したことを予め確認した。

2月のSの平均値は、1981, 1982, 1984, 1986, 2011年で負となった (Fig.3) . Sが小さい場合、湖の成層強度は低下し、機械的混合に対する抵抗が低下するため、湖水は鉛直混合しやすくなる²⁾. 1984, 1986, 2011年では水深200 mでDO濃度の上昇も認められたことから (Fig.1) , 少なくともこの3年間では、水深200 mまで湖水が循環したと考えられる. また、1985, 1996, 1997, 2006年のSは、 $0.2 \sim 1.5 \text{ kJ m}^{-2}$ の範囲にあり、対象期間の中では比較的小さかった (Fig.3) . これら4年間では、水深100 mのDO濃度が冬期に急上昇し、その後 4.0 mg l^{-1} を超えたことから (Fig.1) , 少なくともこの深度までは循環が及んだと考えられる.

その他の年では、Sが大きく湖は安定しており、全循環は生じなかったようである. 部分循環が連続した1987~2010年では、初期の1987~1990年にSが急上昇しており (Fig.3) , 池田湖の混合レジームはこの期間に全循環喪失のレジームへとシフトしたと考えられる. また、1986~1990年には水温と気温の比較的大きな上昇傾向が認められた (Fig.2) . 気温の上昇が湖の水温と成層強度を増大させることは、Erie湖やZurich湖などで報告されている. したがって、1986~1990年の気温の上昇傾向が、池田湖の水温と安定性を増大させ、全循環喪失と21年間の深層無酸素化のきっかけになったと考えられる.

4. おわりに

本研究では、気候変化が池田湖深層の無酸素化に及ぼす影響を解明するために、1978~2011年の水温と湖の安定性を検討した. 1980年代後半の気温の大きな上昇傾向は、水温と安定性を増大させ、全循環喪失とその後21年間の深層無酸素化のきっかけになったと考えられた. 解析により、これらの結果はSchmidt安定性指数Sに基づいて説明できることを示した.

参考文献 1)Adrian et al. (2009): *Limnology and Oceanography*, **54**, 69–90. 2)Read et al. (2011): *Environmental Modelling & Software*, **26**, 1325–1336. 3)Idso (1973): *Limnology and Oceanography*, **18**, 681–683. 4)新井 (2009): 陸水学雑誌, **70**, 99–116.

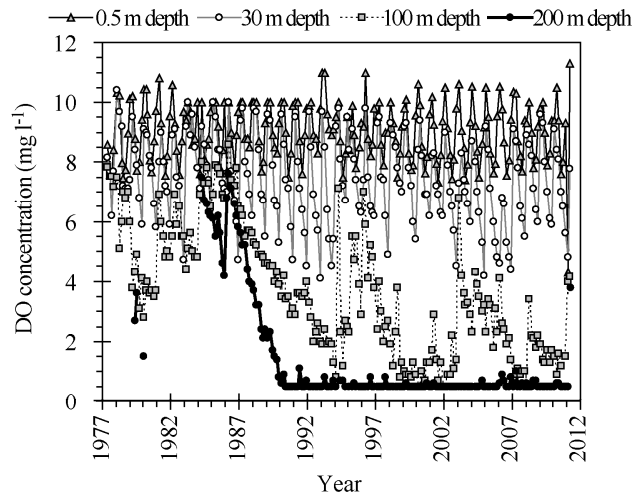


Fig.1 水深0.5, 30, 100, 200 mの溶存酸素(DO)濃度
Observed DO at depths of 0.5, 30, 100 and 200 m.

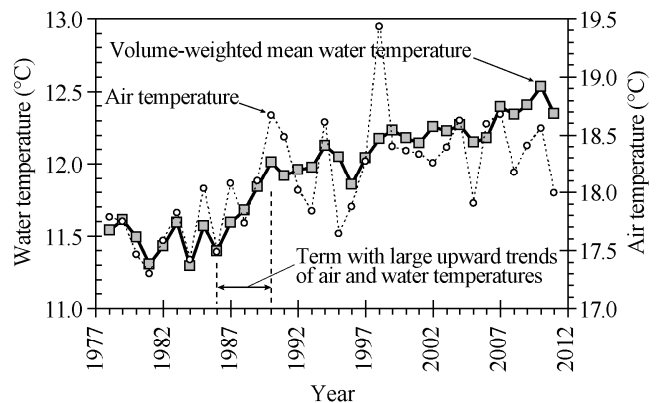


Fig.2 容積加重平均水温と気温の年変動
Annual changes in volume-weighted mean water temperature and air temperature.

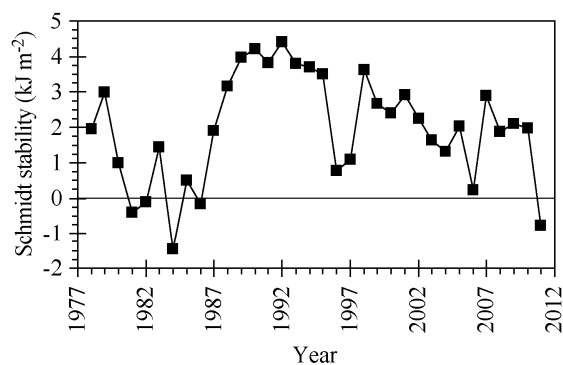


Fig.3 2月の平均Schmidt安定性指数Sの年変動
Annual change in mean Schmidt stability index S in February.