

湖沼における生物活性の測定と評価

兵庫県 正会員 ○金澤真文 筑波大学大学院 正会員 福島武彦
広島大学大学院 正会員 尾崎則篤 国立環境研究所 正会員 松重一夫

1. 研究の背景と目的

地球温暖化や湖沼における富栄養化が水域生物へ及ぼす影響を知ることは重要な課題である。そこで本研究では、湖沼の水質を測定し、水域の生物活性の評価を行うことを目的とした。

2. 水質測定方法

水深、水温、DO 濃度、pH、クロロフィル a 濃度、電気伝導度の測定センサーを有するゾンデ（YSI6600）を、霞ヶ浦湖心において鉛直方向に移動させ、約 1 週間の連続測定を 4 回行った。ゾンデを昇降装置に取り付けることで鉛直方向の移動を可能とした。測定水深は 3.94m、3.28m、2.62m、1.96m、1.30m、0.64m（順番に水深 6、5、…、1）の 6 水深で、昇降は 4 分おきに行い各水深において 2 回ずつ測定（2 分間隔）を行った。

3. 測定結果及び生物活動による濃度変化速度の算定

風速や日射量等の気象条件により、全層で水質がほぼ均一である結果（図 1）と各水深によって水質の異なる結果（図 2 成層の形成）とが得られた。成層形成時には、水深の深い部分において日中でも DO 濃度が減少する結果（図 2）も得られた。しかし、測定期間中においてはほとんどの場合気温低下時に全層が均一に混合した。

得られた測定結果から、生物活動のみによる DO 濃度及び DIC 濃度変化速度をモデルにより算定した。従来は浅い水深（約 1.3m）までの測定しか行っていなかったため、水質が常に全層均一という仮定のもとで大気交換の影響を考慮してきた。しかし、本研究においては各水深によって水質が異なる結果も得られたため、拡散も考慮に入れた算定方法の考案が必要となった。そこで、移流拡散方程式（水平方向の濃度は一定等の仮定を考慮）を用いて、拡散の影響を算定した（式（1））。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + F_{bio} + \dots \quad (1)$$

ここで、 $(\partial C / \partial t)$ は測定濃度変化速度、 K_z は鉛直拡散係数（水深間の密度差及び風速等から算定）、 $(\partial C / \partial z)$ は測定鉛直濃度差、 F_{bio} は生物活動に

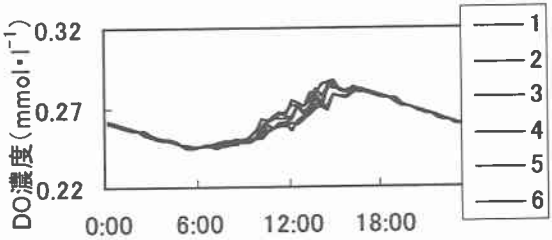


図 1 水深別 DO 濃度変化（8/30 風速大、日射弱）

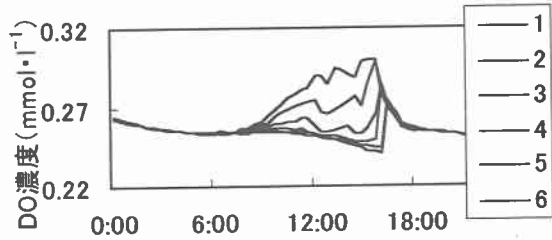


図 2 水深別 DO 濃度変化（11/4 風速小、日射強）

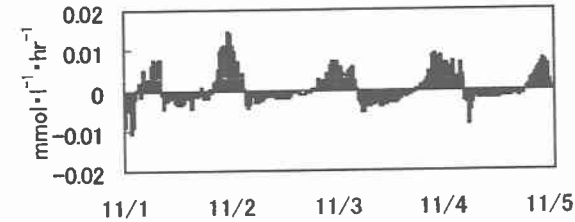


図 3 水深 1 の生物活動による DO 濃度変化速度

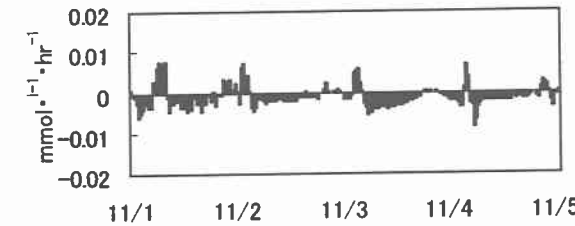


図 4 水深 6 の生物活動による DO 濃度変化速度

よる濃度変化速度である。また、水質が全層で均一と仮定した場合（大気交換のみ考慮）の生物活動による濃度変化速度を算定する式を以下に示す。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \Delta E_x + \dots \quad (2)$$

ここで、 ΔE_x は大気との交換速度である。生物活動による濃度変化速度の算定の際、式（1）を用いる方法をモデル 1、式（2）を用いる方法をモデル 2 とした。本研究では、成層形成時にはモデル 1 を、全層均一時にはモデル 2 を用いる算定方法

をモデル3として提案し生物活動による濃度変化速度を算定した。モデルを用いて算定した生物活動による濃度変化速度を図3、4に示す(11月の水深1と水深6)。日中におけるDO濃度変化速度は水深6と比較し、水深1の方が大きく水深の浅い方が光合成活動が活発である。

4. 考察

4-1.呼吸速度及び光合成速度

生物活動によるDO濃度変化速度より呼吸速度及び光合成速度を求めた。水温と呼吸速度には強い相関があることが示された(図5)。また、8月においては日射量と光合成速度に強い相関がみられたが、その他の時期では日射量に関わらず光合成速度はほぼ一定となった(図6)。

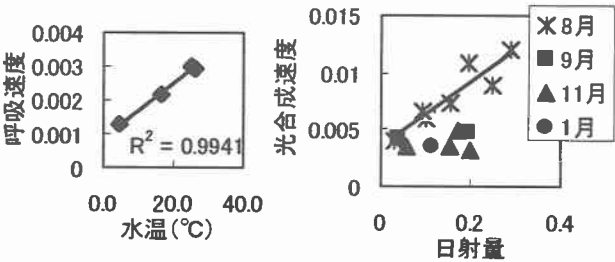


図5 水温と呼吸速度 (mmol・l⁻¹・hr⁻¹)
図6 日射量 (MJ・m⁻²・hr⁻¹) と 光合成速度 (mmol・l⁻¹・hr⁻¹)

4-2.MQ

生物活動による濃度変化速度よりMQ(DO濃度変化とDIC濃度変化の比)を求めた。多少の差はあるものの全ての測定においてMQは昼夜共に約1であり、霞ヶ浦における光合成の窒素源が主にNH₄-Nであったこと、夜間の呼吸・分解時には好気性の割合が高かったことが分かった。さらに、本研究における水質測定の精度及び、生物活動による濃度変化速度の算定方法の信頼性の高さが示されたと考えている。

4-3.霞ヶ浦の現状及び予想される危険性

求めた呼吸速度及び光合成速度より、水域のDO濃度変化の予測を行える。n日後のDO濃度は以下の式で計算できる。
$$DO(n) = DO(0) + (P \times S - R \times 24) \times n \times 32 \dots (3)$$

ここに、DO(n)はn日後のDO濃度(mg・l⁻¹)、Pは光合成速度、Rは呼吸速度(共にmmol・l⁻¹・hr⁻¹)、Sは日照時間(hr)である。

水域におけるDO濃度は4mg・l⁻¹程度まで減少すると水域生物に生理的な異常が表れると言われている。呼吸速度、光合成速度の結果及び日照時間から求めた各測定における1日のDO濃度の平均増減を表1に示す。表1より、DO濃度の平均増減は時期によって大きく異なることが分かる。このことや鉛直測定の結果より、霞ヶ浦は現在の生物活性状態を維持できればDO濃度の減少による水域生物への影響はないと考えられる。しかし、これは夜間に必ず全層で水質が均一になるためであり、もし、成層状態が夜間も続けば貧酸素水塊の発生が予想される。

表1 各測定時における1日のDO濃度の平均増減

	8月	9月	11月	1月
平均光合成速度(mmol・l ⁻¹ ・hr ⁻¹)	0.0079	0.0045	0.0038	0.0035
平均呼吸速度(mmol・l ⁻¹ ・hr ⁻¹)	0.0039	0.0030	0.0022	0.0013
平均日照時間(hr)	13	13	11	11
DO濃度の平均増減(mmol・l ⁻¹ ・day ⁻¹)	0.0324	-0.0134	-0.0105	0.0073
DO濃度の平均増減(mg・l ⁻¹ ・day ⁻¹)	1.04	-0.43	-0.34	0.23

そこで、混合のない日が数日間続いた場合、霞ヶ浦下層のDO濃度がどのように変化するかシミュレートした。式(3)に、夏の飽和DO濃度である8(mg・l⁻¹)と8月の呼吸速度と8月の平均日照時間13(hr)を代入した結果のDO濃度変化を図7に示す。2日後には4(mg・l⁻¹)を下回り、さらに貧酸素水塊が発生すると予想される。

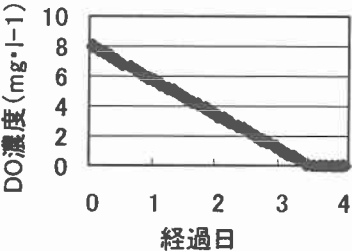


図7 混合のない日が続いた場合の霞ヶ浦下層におけるDO濃度変化

5. 結論

- ①霞ヶ浦の多水深における連続的な水質変化を知ることができた。
- ②モデルを用いて生物活動による濃度変化速度の算定がほぼ行えた。
- ③水温と呼吸速度の間に強い相関が示された。
- ④霞ヶ浦において混合のないが続くと、数日後にも下層で貧酸素水塊が発生する危険性があることを示した。