

第Ⅱ部門

植物プランクトンによる酸素消費に関する室内実験と数値解析

大阪大学工学部 学生員 ○大江 里奈
大阪大学大学院工学研究科 正会員 入江 政安

大阪大学大学院工学研究科 学生員 永野 隆紀
国立環境研究所琵琶湖分室 非会員 霜鳥 孝一

1. はじめに

大阪湾では水質改善にむけた様々な取り組みが行われてきたが、現在も湾奥底層の貧酸素化は毎年報告されている。貧酸素水塊の発生は複雑に要因が絡むため、その予測は不完全で、詳細な酸素循環を解析する必要がある。特に、底層への酸素の供給源となりうる表層の酸素の変動において、夏季の昼間に溶存酸素 (DO) 濃度が上昇し、夜間に急激に低下する様子は水質モデルによって再現されにくい。表層の DO が低下する要因として、植物プランクトンによる呼吸、有機物の分解、DO が過飽和状態である時の大気への放出などが挙げられる。そこで、本研究では、室内実験により植物プランクトンの減少速度と、それと同時に起きる酸素消費量および有機物の分解速度を推定する。その後、得られた実験値を用いた場合、数値計算による昼間における過飽和状態とその後の急激な減少の再現性が向上するかを検証する。

2. 室内実験の方法と結果

採水は2021年9月9日、10月21日、28日の計3回、表層で行った。採水時の状況を表-1に示す。採水したサンプルは大気との酸素の交換が生じないように、密閉した容器に入れ、光条件は暗条件とした。採水後、約5-9時間経過時点で実験を開始し、1回目の実験は27℃と20℃、2回目と3回目は20℃の恒温室内で行った。実験開始時のクロロフィル濃度は1回目から順に129.0(27℃)、6.9(20℃)、10.2(20℃) [μg/L]であった。実験開始後4-12日間のサンプル中のDO濃度、クロロフィル濃度および栄養塩濃度を測定し、植物プランクトンの減少速度とその間の酸素消費(減少)量を推定した。DOの測定には容器外から測定可能な非接触型DO計(PreSens社Fibox4)を用いた。また、ろ過により懸濁物を取り除いたサンプルも用意し、溶存態有機物の分解速度を測定した。3回の実験のクロロフィル濃度の減少速度はそれぞれ

れ、0.479, 0.239, 0.490[1/day]であった。また、1回目と3回目の実験で、実験開始後に栄養塩が減少している(図-1)が、現時点では原因は不明である。その後、増加するアンモニア態窒素(NH₄-N)とその間に消費される酸素は、いずれもが植物プランクトンの呼吸による変化であると仮定すると、植物プランクトンの呼吸によるそれらの比 $R_{O_2/N}$ は、3.13, 14.55, 5.30[mol O₂/mol N]であった。

ろ過したサンプルの溶存態有機窒素を測定した結果、分解速度は1回目と3回目の20℃の実験で0.212, 0.011[1/day]であった。1回目の実験ではクロロフィル濃度が高かったことから、植物プランクトン起源の有機物が多い場合は、有機物の生分解性が高いことが可能性として考えられるが、今回の検討では、バクテリアの活動による影響について十分に考慮できておらず、より詳細な検討が必要である。

表-1 採水時の状況

	9月9日	10月21日	10月28日
採水場所	鳴尾浜	鳴尾浜	西宮浜
天気	晴れ(採水の6時間前までは雨)	曇り	晴れ

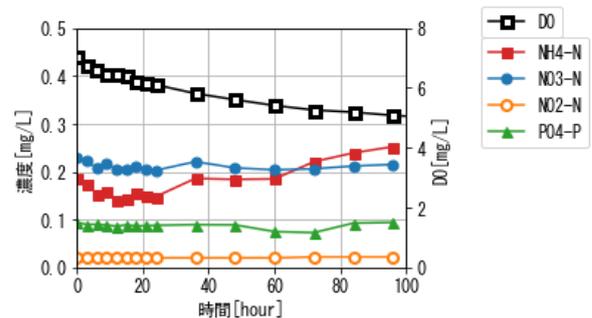


図-1 栄養塩濃度とDO濃度の経時変化(10/28)

3. 数値モデルによる解析と計算結果

本研究では、流動モデルとしてRegional Ocean Modeling System (ROMS)を用いる。また、水質モデルには図-2に示すFennelらによるモデルに改良を

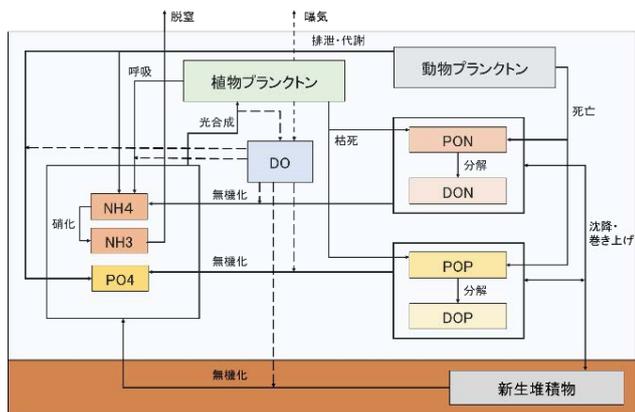


図-2 水質モデルの概念図

加えたものを用いた。計算領域は大阪湾を含む東西 58.5 km×南北 62 km の範囲であり、水平方向には 500 m 間隔、水深方向には 20 層に分割した。

パラメータ設定において、クロロフィル濃度の減少は植物プランクトンの枯死と呼吸に対応させるものと仮定し、クロロフィル濃度の減少速度から枯死速度の文献値 $0.04 [1/day]^2$ を引くことにより植物プランクトンの呼吸速度を与えた。1 回目と 3 回目は、平均値をとり、2 種類の検討ケースとした。20 °C における植物プランクトンの呼吸速度と $R_{O_2/N}$ の組み合わせを Case1 から Case6 とし、表層の過飽和状態とその後の急激な減少の再現性を検討した (表-2)。

表-2 検討ケース

		$R_{O_2/N}$		
		3.13	5.30	14.55
20 °C における植物プランクトンの呼吸速度	0.445	Case1	Case3	Case5
	0.199	Case2	Case4	Case6

全 6 Case を計算した結果、 $R_{O_2/N}$ が大きいほど表層の過飽和状態およびその後の急激な減少を再現できた (図-3)。 $R_{O_2/N}$ が大きい場合、光合成に必要な栄養塩が見かけ上少ないことを意味しており、これは例えば、植物プランクトンの日周鉛直運動をする種が中低層で栄養塩を蓄えて日中は浮上して光合成に利用することが考えられるため、 $R_{O_2/N}$ が大きい場合の再現性が向上しているとも見ることができる。

一方、Case5 と Case6 の比較から、呼吸速度の小さい Case6 の方が過飽和状態を再現できた。その要因として、水質モデル内の呼吸速度は式 (1) に示すように温度に依存しており、Case5 では、水温が 30 °C の呼吸速度が約 $0.78 [1/day]$ と、大きい値であったことが挙げられる。

$$r_{res} = r_{res,b} \cdot \theta_{res,b}^{T-20} \quad (1)$$

ここで、 r_{res} は基礎呼吸速度 $[1/day]$ 、 $r_{res,b}$ は 20 °C における基礎呼吸速度 $[1/day]$ 、 $\theta_{res,b}$ は基礎呼吸速度の温度活性係数 ($=1.058$)、 T は水温 $[°C]$ である。そこで、Case5 の呼吸速度を $0.445 [1/day]$ で一定にすると過飽和状態の再現性は向上した (図-3 Case5-2) 。呼吸速度の水温依存性についてはより詳細な検討が必要である。

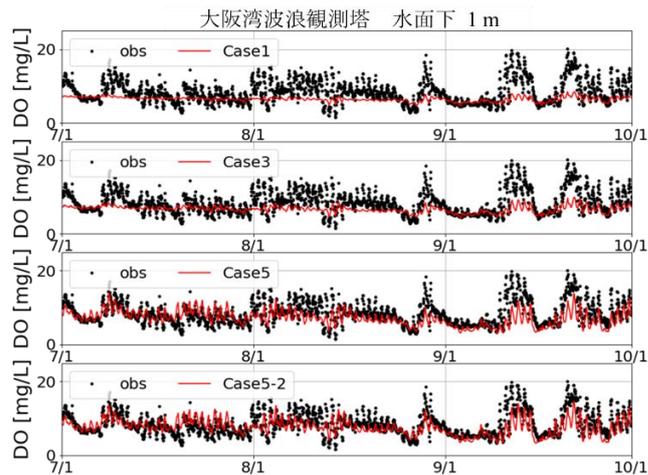


図-3 上から Case1, Case3, Case5, Case5-2 (呼吸速度一定) における表層 DO の経時変化

4. まとめ

本研究では、室内実験を通して植物プランクトンの減少速度とそれに伴う酸素消費量を推定することで、水質モデルの再現性向上を図った。実験で得られたクロロフィル濃度の減少速度は 0.239 から $0.490 [1/day]$ であった。実験によって得られたパラメータの値幅のなかでは、 $R_{O_2/N}$ が大きい程、また呼吸速度が小さい程、過飽和状態を再現できた。ただし、呼吸速度の温度依存性やバクテリアの存在による影響についてはより詳細な検討が必要である。

謝辞: 本研究は JSPS 科研費 JP 21H01435 の助成を受けたものである。記して深甚の謝意を表す。

【参考文献】

- 1) Fennel, K., et al. : Nitrogen cycling in the Middle Atlantic Bight: Results from a three-dimensional model and implications for the North Atlantic nitrogen budget, *Global Biogeochemical Cycles*, Vol.20, GB3007, 2006.
- 2) Akio Sohma・Yasuyuki Sekiguchi・Tomohiro Kuwae・Yoshiyuki Nakamura : A benthic-pelagic coupled ecosystem model to estimate the hypoxic estuary including tidal flat—Model description and validation of seasonal/daily dynamics, *Ecological modelling* 215(2008) p.10-39