

有明海奥部における酸素消費過程 ～有機物の分解時の酸素消費は重要なのか？～

(独) 水産総合研究センター 西海区水産研究所 正会員 徳永貴久
佐賀大学低平地沿岸海域研究センター 正会員 速水祐一

1. はじめに

貧酸素水塊形成は、沿岸域における環境悪化の典型例であり、生物生産の減少、あるいは沿岸生物の死滅を引き起こすことから、漁場環境における深刻な問題として捉えられてきた。これまでに貧酸素水塊の発生機構解明や対策構築を目的として、経時的モニタリングや酸素消費速度の定量評価が多く行われてきた。

貧酸素水塊は、環境中の急激かつ過剰な酸素消費である。図-1は、Wang(1980)により示すように全酸素消費は生物化学的酸素消費と化学的酸素消費に分類される。生物化学的酸素消費は硝化、好気的な有機物の分解に伴う酸素消費やプランクトンの呼吸等に分類される。

一般的に「有機物の分解による酸素消費」の定義は容易ではない。なぜなら有機物分解によって間接的に生成される還元物質(H_2S , Fe(II) , Mn(II))の酸化(化学的酸素消費)が関係しているからである。一方、直接的な有機物の分解による酸素消費は、好気性微生物による有機物の分解に伴う酸素消費を意味している。ただし、硝化過程を担う硝化菌(*Nitrosomonas* と *Nitrobacter*)、鉄還元を担う鉄還元細菌は独立栄養細菌であるため、有機物の供給とは直接的に関係しない。どのように酸素消費が引き起こされているか?を解明するためには直接的、間接的な酸素消費および有機物の供給とは直接的に関係しない酸素消費をそれぞれ定量化することが重要である。

本研究の目的は、現場実験において生物化学的酸素消費に占める硝化とそれ以外に分離することにより、直接的な有機物の分解に伴う酸素消費がどの程度海域の酸素消費に寄与しているのかを算出し、底層水における酸素消費プロセスを明らかにすることである。本研究は、環境省請負業務「平成26年度有明海・八代海再生評価支援業務」および平成26年度西海区水産研究所研究開発基盤強化費によって行われた。

2. 実験概要

図-2に示す有明海湾奥部に設置している佐賀大学観測塔において、2014年8月下旬から10月上旬に底層水の酸素消費に関する現地実験を4回行った。現場実験では全酸素消費量および化学的酸素消費、硝化による酸素消費に関する3種類の実験を同時に行った。北原式採水器を用いて底層水を採取し、シリコンチューブで曝気処理を行わずDO瓶(容量100mL)に移した。DO計(YSI社製DO200-BOD)でDO濃度(初期値)を計測した。生物学的酸素消費を抑制するためにホルマリンを3mL添加した。また、硝化を抑制するために飽和ATU(アルリチオ尿素)を3mL添加した(最終濃度約20mg/L)。生物化学的酸素消費量、化学的酸素消費量、硝化による酸素消費量、有機物の分解+プランクトンの呼吸による酸素消費量は以下の式により算出した。

$$\text{化学的酸素消費 (mgO}_2\text{ L}^{-1}) = \text{OC}_{\text{For}} \quad (1)$$

$$\text{生物化学的酸素消費量 OC}_{\text{bio}} \text{ (mgO}_2\text{ L}^{-1}) = \text{OC}_{\text{Total}} - \text{OC}_{\text{For}} \quad (2)$$

$$\text{有機物の分解およびプランクトンの呼吸による酸素消費量 (mgO}_2\text{ L}^{-1}) = \text{OC}_{\text{ATU}} \quad (3)$$

$$\text{硝化に伴う酸素消費量 (mgO}_2\text{ L}^{-1}) = \text{OC}_{\text{bio}} - \text{OC}_{\text{ATU}} \quad (4)$$

ここで、 OC_{Total} :全酸素消費量、 OC_{For} :ホルマリンを添加した場合の酸素消費量、 OC_{ATU} :ATUを添加した場合の酸素消費量である。それぞれの酸素消費量は平均化したものを用いた($n=3$)。

現地培養はDO瓶の海底面から1.0m高さに設置し、約6時間程度行った。実験終了後にDO計でDO濃度を計測した。初期DO濃度と実験終了後のDO濃度との差および培養時間から単位体積当たりの酸素消費速度($\text{mgO}_2\text{ L}^{-1}\text{ day}^{-1}$)を算出した。

酸素消費実験時に多項目水質計(JFEアドバンテック社製, AAQ-1183)を用いた水質の鉛直観測を行った。

3. 結果

図-3に実験時の水質の鉛直プロファイルを示す。8/25は表層塩分が20PSU程度を示しており、大潮期にもかかわらず強い塩分成層が形成されていた。底層では濁度が7ppm程度を示しており、その鉛直プロファイルは塩分とよく対応していた。9/9は塩分成層は弱く鉛直的に混合していた。9/18は表層ではクロロフィル蛍光が30程度を示しており、赤潮が発生していた。10/3は弱い密度成層が形成していた。

底層DO飽和度は大潮、小潮においても実験時は60~70%を示しており、貧酸素状態(DO飽和度<30%)ではなかった。

図-4に酸素消費実験結果を示す。8/25の OC_{Total} はかなり大きく $0.493\text{mgO}_2\text{ L}^{-1}\text{ hour}^{-1}$ を示した。 OC_{For} は $0.473\text{mgO}_2\text{ L}^{-1}\text{ hour}^{-1}$ であり、 OC_{bio} は $0.021\text{mgO}_2\text{ L}^{-1}\text{ hour}^{-1}$ を示した。 OC_{ATU} は $0.027\text{mgO}_2\text{ L}^{-1}\text{ hour}^{-1}$ であった。9/9の OC_{Total} は $0.058\text{mgO}_2\text{ L}^{-1}\text{ hour}^{-1}$ を示した。 OC_{For} は $0.043\text{mgO}_2\text{ L}^{-1}\text{ hour}^{-1}$ であり、 OC_{bio} は $0.015\text{mgO}_2\text{ L}^{-1}\text{ hour}^{-1}$ を示した。 OC_{ATU} は $0.010\text{mgO}_2\text{ L}^{-1}\text{ hour}^{-1}$ であった。9/18の OC_{Total} は $0.18\text{mgO}_2\text{ L}^{-1}\text{ hour}^{-1}$ を示した。 OC_{For} は $0.147\text{mgO}_2\text{ L}^{-1}\text{ hour}^{-1}$ であり、 OC_{bio} は $0.033\text{mgO}_2\text{ L}^{-1}\text{ hour}^{-1}$ を示した。 OC_{ATU} は $0.033\text{mgO}_2\text{ L}^{-1}\text{ hour}^{-1}$ であった。10/3の OC_{Total} は $0.029\text{mgO}_2\text{ L}^{-1}\text{ hour}^{-1}$ を示した。 OC_{For} は $0.016\text{mgO}_2\text{ L}^{-1}\text{ hour}^{-1}$ であり、 OC_{bio} は $0.013\text{mgO}_2\text{ L}^{-1}\text{ hour}^{-1}$ を示した。 OC_{ATU} は $0.010\text{mgO}_2\text{ L}^{-1}\text{ hour}^{-1}$ であった。

4. 考察

一般的に、夏季に生産された有機物が好気分解によって無機化されると考えられている。したがって、有機物の分解に伴う酸素消費が大きいことが示唆されてきた。一方、今回の実験結果では、 OC_{Total} に占める OC_{ATU} の割合は、それぞれ、5.6%、17.4%、18.1%、35.0%であったため(平均19.0%)、有機物の分解による酸素消費の割合はかなり小さいものと考えられる。

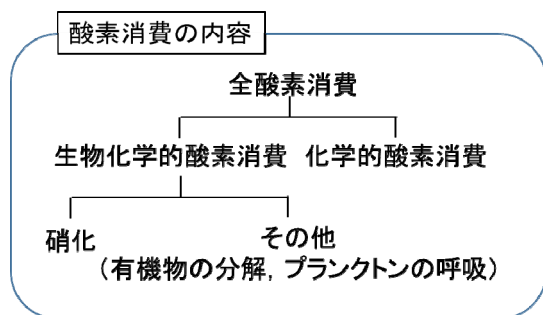


図-1 酸素消費の内容

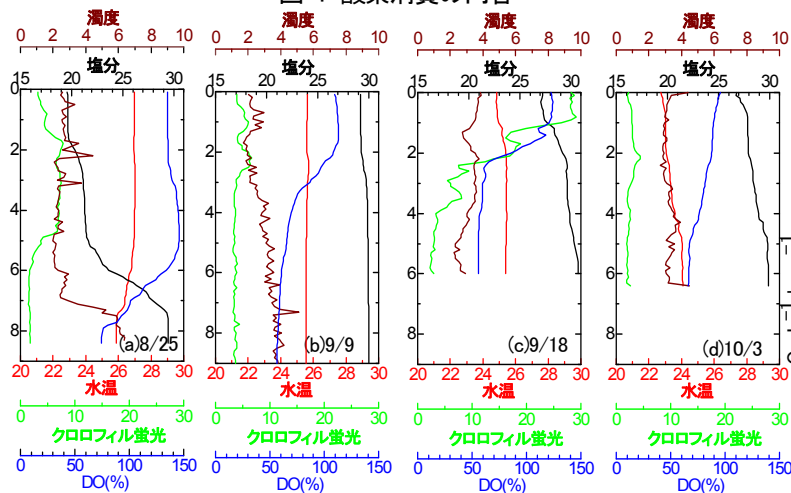


図-3 酸素消費実験時の水質の鉛直プロファイル

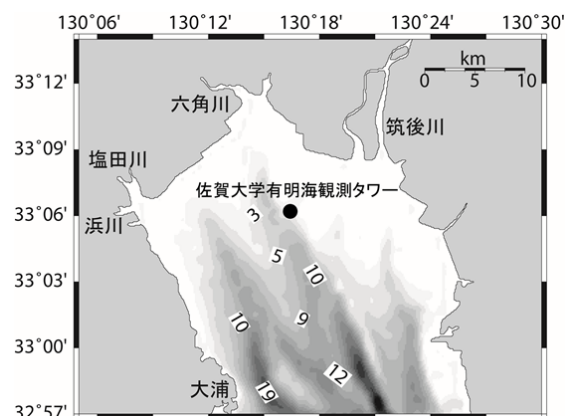


図-2 酸素消費実験の場所

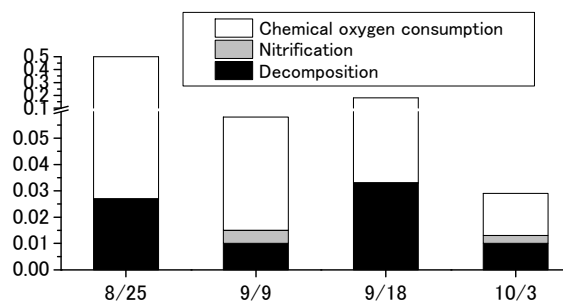


図-4 酸素消費実験結果

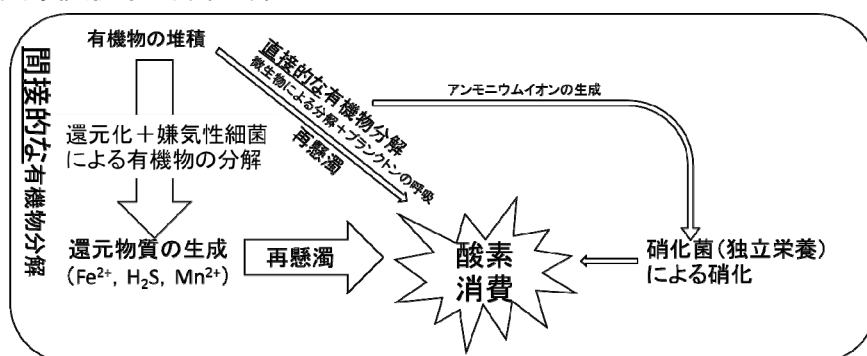


図-5 本研究のまとめ

また、 OC_{Total} に占める OC_{For} の割合は、95.8%, 73.9%, 81.8%, 55%であったため（平均76.6%）、海域の酸素消費に占める化学的酸素消費の重要性が示唆される。ただし、化学的酸素消費を引き起こす還元物質の生成には、従属栄養細菌等（鉄還元細菌、硫酸還元細菌）が深く関与しているため、間接的な有機物分解も重要であると考えられる。

高い化学的酸素消費を引き起こす原因としては、海底堆積物の再懸濁が考えられる。徳永ら（2009）は、再懸濁を想定した室内実験により、化学的酸素消費は長くても90分程度で終了し、その後は生物化学的酸素消費が卓越することを明らかにしている。8/25は満潮時に実験を開始したため、実験海域よりも沖から還元物質を含んだ海水が移流したのと考えられる（図-3(a)）。

以上の実験結果から推定した底層酸素消費メカニズムを図-5に示す。海域で生産された有機物は海底付近で沈降・堆積を繰り返しながら微生物の分解を受け、海底堆積物内で還元物質を生成させる。その後、還元物質は堆積物とともに再懸濁し、酸素消費を引き起こすことが示唆される。

5. おわりに

一般的に有機物の分解に伴う酸素消費が海域の貧酸素化に寄与していると考えられているが、今回の実験では生物学的酸素消費の寄与は小さく、還元物質の酸化に伴う化学的酸素消費が全酸素消費のほとんどを占めた。陸域からの負荷を3割削減しても貧酸素化が起こることも報告されており、今後は、酸化還元電位および還元物質の生成速度と堆積物の再懸濁・沈降堆積との関係を明らかにすることが課題である。

参考文献

- (1) 徳永貴久, 松永信博, 阿部淳, 児玉真史, 安田秀一: 有明海西部海域における高濁度層の観測と懸濁物質による酸素消費の実験, 土木学会論文集, No.783/II-70, pp. 117-129, 2005.
- (2) 徳永貴久, 磯野正典, 松永信博: 有明海泥質堆積物の再懸濁時における酸素消費—室内実験による検討—, 土木学会論文集 B, Vol. 65, No. 4, pp. 269-276, 2009.
- (3) Wang W.: Fractionation of sediment oxygen demand, *Water Research*, Vol. 14, pp. 603-612, 1980.