

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：82708

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K18729

研究課題名(和文)有機物分解以外の貧酸素水塊発生要因の解明：還元物質測定のための実用的新技術の開発

研究課題名(英文)Elucidation of causes of generation of poor oxygen water bodies other than decomposition of organic matter: Development of practical new technology for reducing substance measurement

研究代表者

徳永 貴久(Tokunaga, Takahisa)

国立研究開発法人水産研究・教育機構・西海区水産研究所・研究員

研究者番号：50404009

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、還元物質が貧酸素水塊の形成に及ぼす影響を直接的に測定する簡便な手法を確立し、「有明海における貧酸素水塊の形成原因」を酸素消費の観点から検討・解明することです。貧酸素水塊の形成に重要な役割を果たす酸素消費の内、硫化水素による酸素消費を定量的に評価するために、塩化水銀(II)の効果を実験によって検証した。また、現場実験を行った結果、化学的酸素消費、特に硫化水素の酸素消費の重要性が示唆された。さらに、実験開始時の溶存酸素濃度によって硫化水素の酸素消費の割合が大きく変動することが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to establish a simple method to directly measure the effect of reducing substances on the formation of deficient-oxygen water mass and to examine the cause of formation of deficient-oxygen water mass in the Ariake Sea from the viewpoint of oxygen consumption. In order to quantitatively evaluate the oxygen consumption by hydrogen sulfide among the oxygen consumption which plays an important role in the formation of the deficient-oxygen water mass, the effect of mercuric chloride (II) was verified by laboratory experiments. In addition, as a result of field experiments, the importance of chemical oxygen consumption, in particular oxygen consumption of hydrogen sulfide was suggested. Furthermore, it was suggested that the proportion of oxygen consumption of hydrogen sulfide greatly varies depending on the dissolved oxygen concentration at the start of the experiment.

研究分野：沿岸環境学

キーワード：酸素消費 有明海

## 1. 研究開始当初の背景

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、並びに生態系モデルを用いた研究が数多く行われてきた。貧酸素水塊の発生原因は、環境中の急激かつ過剰な酸素消費であるが、一般には「有機物の分解に伴う酸素消費」がその割合のほとんどを占めると認識されている。すなわち、海底堆積物表層に酸化層が形成されている場合は、化学的酸素消費の影響はほとんどゼロに近いと考えられてきた(図1)。



図1 全酸素消費の内訳

## 2. 研究の目的

硫化水素等の還元物質が貧酸素水塊形成のトリガー(酸素消費源)となっていることはほとんど知られておらず、その正確な評価手法も確立されていないのが現状である。本研究では、還元物質が貧酸素水塊の形成に及ぼす影響を直接的に測定する簡便な手法を確立し、「有明海における貧酸素水塊の形成原因」を酸素消費の観点から検討・解明することを目指す。

## 3. 研究の方法

本研究は、①還元物質による酸素消費の寄与を抽出するための化学的手法の開発、および②貧酸素水塊への還元物質の酸素消費の影響評価と還元物質の酸素消費のホットスポットの探索、から構成される。

①還元物質による酸素消費の寄与を抽出するための化学的手法の開発

コアサンプルの酸素消費ポテンシャルの算定時を想定して、つまり、酸性の堆積物に飽和塩化水銀を添加した場合の酸素消費実験を行った。酸性(pH=6.78)の硫化水素海水を作成した。これをマイクロペットで0.5mL採取し、飽和塩化水銀(II)水溶液を3mL添加した溶存酸素(DO)飽和海水(pH=6.65)に入れて、DO計測を行った。実験は4回繰り返し行い、平均値および標準偏差を算出した。なお、実験に用いた硫化物濃度は、15.8mgS/Lである。実験時の水温および塩分は、それぞれ23.1°C、33.73である。飽和塩化水銀(II)水溶液を添加していないものをリファレンスとした。

② 貧酸素水塊への還元物質の酸素消費の影響

評価と還元物質の酸素消費のホットスポットの探索

本研究では、海底から密度躍層の下端までを底層と定義した。また、底層水と堆積物の酸素消費が独立、かつそれぞれの酸素消費が水平方向に一様であると仮定すると、底層水の酸素消費寄与率( $R_{bw}$ )と堆積物の酸素消費寄与率( $R_{sed}$ )は、それぞれ以下の式で定義される。

$$R_{bw}(\%) = \frac{OC_{bw}}{OC_{bw} + \frac{OC_{sed}}{h}} \times 100 \quad (1)$$

$$R_{sed}(\%) = 100 - R_{bw} \quad (2)$$

ここで  $OC_{bw}$  は底層水の酸素消費速度( $g/m^3/day$ )、 $OC_{sed}$  は堆積物の酸素消費速度( $g/m^2/day$ )、 $h$  (m) は底層水の水柱の高さである。

式(1)を整理すると、

$$R_{bw}(\%) = \frac{h}{h + \frac{OC_{sed}}{OC_{bw}}} \times 100 \quad (3)$$

となる。つまり、 $R_{bw}$  は底層水の水柱の高さおよび堆積物と底層水の酸素消費速度の比で表される。

$R_{bw}$  が50%であるときの底層水の水柱の高さ  $H_{50}$  (m) は式(3)から

$$H_{50} = \frac{OC_{sed}}{OC_{bw}} \quad (4)$$

と算出される。

本研究では、有明海奥部西部海域の水深が大きく異なる竹崎沖と干潟縁域の酸素消費に関する既存データを用いて底層水と堆積物の酸素消費寄与率を解析した。全酸素消費および化学的酸素消費の2種類の実験を同時に行い、Wang (1980)の方法と同様に、曝気を行わない未濾過の底層水(B+0.2m)に中和ホルマリン(最終濃度約3%)を添加して生物学的酸素消費を抑制し、化学的酸素消費量を評価した。ホルマリン添加を行わない試水のDO濃度低下から全酸素消費量を評価した。実験開始時および終了時のDO濃度の計測にはDOセンサーを用いた。生物学的酸素消費量は、全酸素消費量から化学的酸素消費量を差し引くことにより算出された。また、全酸素消費量および化学的酸素消費量はそれぞれ平均量を用いた( $n=3$ )。それぞれの酸素消費量と培養時間から単位体積当たりの酸素消費速度( $mg/L/day$ )を算出した。2017年に行った実験では、化学的酸素消費の内、硫化水素の酸素消費速度とその割合について算出した。実験では、曝気を行わない未濾過の底層水(B+0.2m)に飽和塩化水銀(II)水溶液を3mL添加して硫化水素の酸素消費を抑制し、マンガンおよび鉄の酸素消費速度を算出した。また、化学的酸素消費速度からマンガンおよび鉄の酸素消費速度を差し引くこと

により硫化水素の酸素消費速度を算出した。さらに、硫化水素の酸素消費速度を化学的酸素消費速度で除することにより、硫化水素の酸素消費が化学的酸素消費に占める割合を算出した。

#### 4. 研究成果

貧酸素水塊の形成に重要な役割を果たす酸素消費の内、硫化水素による酸素消費を定量的に評価するために、塩化水銀 (II) の効果を室内実験によって検証した(図 2)。以上の検討により、海底堆積物表層や底層水における酸素消費の様態が詳細に解明され、貧酸素水塊対策研究の方向性を決定する上で不可欠な知見が得られるものと期待された。

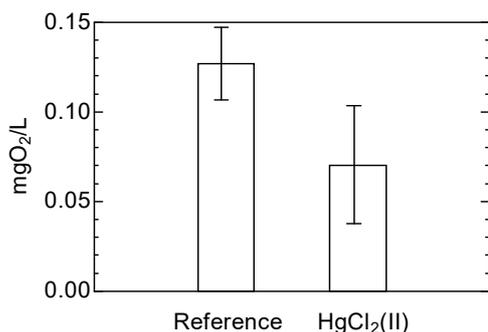


図2 塩化水銀添加によるDO濃度の低下 (H<sub>2</sub>S=15.8mg/L)

現場実験にどのように適用するかを検討するために、既存の酸素消費実験結果を用いて底層水と堆積物の酸素消費寄与率を理論的に考察した。底層水による酸素消費寄与率は底層水の水柱の高さが大きくなるにつれて増加すること、堆積物と底層水の酸素消費速度の比によって酸素消費寄与率が大きく変化することを明らかにした(図 3)。また、底層水による酸素消費寄与率が50%になる底層水の水柱の高さ(H50)を算出し、底層水の高さと比較した。hが2m程度の有明海干潟縁辺域や周防灘においては、R<sub>bw</sub>は50%~70%程度であった。一方、hが10m程度であれば、有明海竹崎沖でもChesapeake bayのいずれの海域においてもR<sub>bw</sub>は90%以上を示していた。有明海奥部竹崎沖では、底層水の水柱の高さがH50よりも常に大きいことから酸素消費の主要な場所が底層水であることが示唆された。一方、干潟縁辺域では、底層水の水柱の高さとH50との大小関係が一定ではないため、酸素消費過程では、堆積物と底層水の両者を考慮する必要があることが示唆された(図 3)。

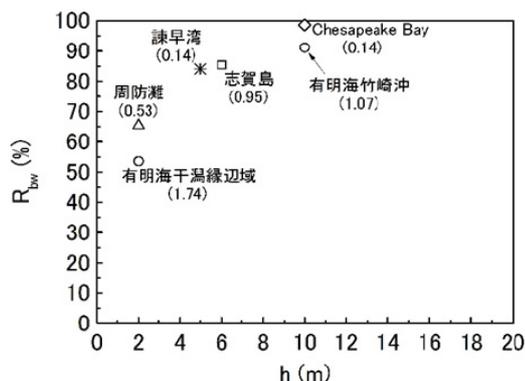


図3 様々な海域の底層の水柱の高さと底層水の酸素消費寄与率との関係。括弧内の数値はH50である。なお、諫早湾のH50=42.0のデータは削除した。また、志賀島のhは水深値を用いた。

貧酸素水塊の形成が著しい干潟縁辺域において2016年8月の小潮時に底層水を採水し、昨年度までに確立された生物学的酸素消費速度、化学的酸素消費速度それぞれ測定した。その結果、全酸素消費速度は、1.63mg/L/dayであり、生物学的酸素消費速度および化学的酸素消費速度は、それぞれ、1.05、0.58mg/L/dayと算出された(表1)。さらに、硫化水素の酸素消費速度は、0.55mg/L/dayであり、全酸素消費速度の34%、また化学的酸素消費速度の95%を占めていた。これらの結果より、化学的酸素消費、特に硫化水素の酸素消費の重要性が示唆された。

表1 2016年に行った実験結果

	2016/8/23
全酸素消費速度(mg/L/day)	1.63
生物学的酸素消費速度(mg/L/day)	1.05
化学的酸素消費速度(mg/L/day)	0.58
生物学的酸素消費の割合(%)	64.4
化学的酸素消費の割合(%)	35.6

2017年9月の小潮時に底層水(海底直上0.2m)を採水し、生物学的酸素消費速度、化学的酸素消費速度、硫化水素による酸素消費速度を測定した。その結果、全酸素消費速度は2.40 mg/L/dayであり、かなり大きな値となっていた(表2)。その要因は、生物学的酸素消費(植物プランクトンの呼吸と微生物による有機物分解)が約77%であり、化学的酸素消費(還元物質の酸化)は約23%だった。前年度の結果(硫化水素の酸素消費は化学的酸素消費速度の95%、実験開始時の溶存酸素濃度は2.5mg/L程度)と比較すると、硫化水素による酸素消費の割合は小さかった。実験を行った定点は、小潮期に毎回貧酸素水塊が形成することが報告されており、また2017年度実験開始時の溶存酸素濃度は7mg/L程度であったことから、実験開始時の溶存酸素濃度によって硫化水素の酸素消費の割合が大

大きく変動することが示唆された。

表 1 2017 年に行った実験結果

	2017/6/19	2017/9/14
全酸素消費速度(mg/L/day)	0.40	2.40
生物学的酸素消費速度(mg/L/day)	0.39	1.85
化学的酸素消費速度(mg/L/day)	0.01	0.55
生物学的酸素消費の割合(%)	98.0	77.1
化学的酸素消費の割合(%)	2.0	22.9

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

徳永貴久、木元克則、底層水と堆積物による  
酸素消費寄与率 — 実験結果を用いた理論的  
考察 —、土木学会論文集 B2(海岸工学)、査読  
有、72 巻 1 号、2016、22-26

DOI: <https://doi.org/10.2208/kaigan.72.22>

〔学会発表〕(計 0 件)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

徳永 貴久 (Tokunaga Takahisa)

国立研究開発法人 水産研究・教育機構

西海区水産研究所・主任研究員

研究者番号：50404009