

## 底質の巻上がりを考慮した酸素消費モデルに関する基礎的研究

広島大学 学生会員 ○ 永尾謙太郎  
 広島大学 正会員 日比野忠史  
 広島大学 正会員 駒井 克昭

## 1. 本研究の目的

富栄養化した海域の海底には高濃度栄養塩を有する堆積物が蓄積されており、堆積物の動態が海域底層の栄養塩の循環を大きく左右していると考えられている。そこで本研究では沿岸生態系全体に与える堆積物の寄与を定量的に評価できる水質管理モデルの基礎段階として、堆積物の巻上がりが溶存酸素の消費速度に与える影響を実験にて定量化し、巻上げによる溶存酸素への影響のモデル化を検討する。

## 2. 堆積物の巻き上がりによる酸素消費実験

実験は規格瓶(130ml)に実験海水と堆積物を混入し、表-1 に示す実験パターンについての溶存酸素と栄養塩の経時変化を観察した。実験に使用する堆積物は 2002 年 9 月 24 日と 11 月 18 日に呉湾にて採取された。実験海水は、直上水をろ過し、空気で曝気して酸素飽和に調整したろ過海水を用いた。底泥混入量は宮成による造波水路を用いた巻上げ実験から得られた巻き上がり量(SS)を参考にした。転倒は規格瓶を上下逆転させる(1 回につき 10 往復)ことで、堆積物の再懸濁を再現した。

表-1 実験条件

| No. | CASE             |
|-----|------------------|
| ①   | ろ過海水のみ           |
| ②   | 堆積物混入後、静置        |
| ③   | 堆積物混入後、6 時間おきに転倒 |

## 3. 堆積物が酸素消費に及ぼす影響

## 3-1. 巻き上がり量が酸素消費に及ぼす影響

図-1 は 9 月採取試料を用いた実験(No.③)における堆積物混入量の違いによる消費量の経時変化である。16mg/l 混入した試料は 48 時間後にろ過海水と比較すると約 2mg/l の酸素が消費されているが、49.5mg/l 混入した試料の消費量はろ過海水とそれほど変化はないことがわかる。図-2 は堆積泥混入量(SS)と 48 時間後の酸素消費量の関係を示したものである。季節的な違いはあるにしても消費量とSSの関係には混入による消費量がピークになるSSが存在し、混入量が増加するとろ過海水よりも酸素は消費されなくなっていることがわかる。ここで劣化試料とは 9 月試料を室温で 1 ヶ月保管し、劣化させたものである。

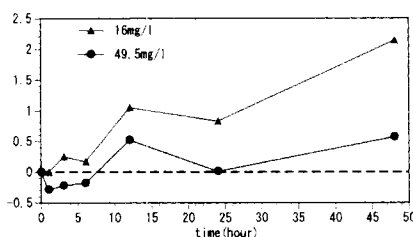


図-1 混入量の違いによる消費量の経時変化

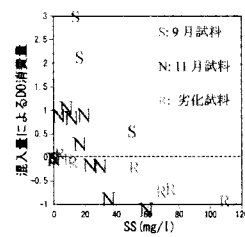


図-2 SS と DO 消費量の関係

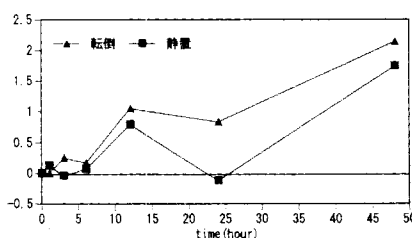


図-3 静置実験と転倒実験での消費量の経時変化

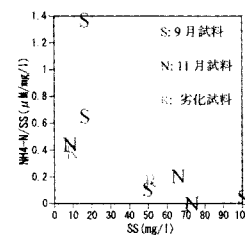


図-4 SS と NH4-N 溶出量の関係

## 3-2. 巻き上がり後の擾乱が酸素消費に及ぼす影響

図-3 は 9 月採取試料において堆積物を 16mg/l 混入した後、静置した実験と 6 時間おきに転倒した実験の酸素消費量の経時変化である。転倒実験と静置実験の消費量の差は 12 時間後以降に顕著に現れている。他の試料についても同様のことが言える。

## 4. 堆積物の巻上げに係わる酸素消費過程

海域での酸素消費は、動植物プランクトンによる呼吸、懸濁態および溶存態有機物の分解、硝化反応、還元性物質(ODU)の酸化により行われている。堆積物の巻上がりが酸素消費速度に与える影響としては、動植物プランクトンの呼吸量は非常に微小であり、堆積物内には溶存態有機物はほとんど存在していないことから、ODUを除くとアンモニア態

窒素による  $NH_4-N$  の硝化反応と堆積有機物の再懸濁により再現できると考えられる。

#### 4-1. アンモニア態窒素の吸脱着(土粒子と直上水間での交換性)

図-4 は堆積物混入量と堆積物を混入した直後の単位 SS 当たりのアンモニア態窒素濃度との関係である。混入量が 10mg/l 前後では 9 月試料がもつとも土粒子から脱離したアンモニア態窒素濃度は高く、11 月試料、劣化試料と脱離量が減少している。しかし全試料とも混入量が増加するとアンモニア態窒素の濃度は低下していることがわかる。アンモニア態窒素の堆積物粒子表面への吸着は可逆であり、吸脱着平衡に対して速やかに溶存することから、混入量が多いと土粒子による吸着力が脱離量を上回り、吸着平衡に達する時間が速く、アンモニア態窒素の溶出量が少なくなったと考えられる。この反応により混入量が多い場合、溶存酸素への影響はほとんど無くなると推測される。

### 5. 巻き上がりが物質循環に及ぼす影響の定式化

堆積内の間隙水中のアンモニア態窒素濃度  $C$  と土粒子に吸着されている濃度  $q$  は式(1)のように表せられる。ここで  $K_d$  は分配係数である。モデルでは堆積物内の分配係数を混入前の(平衡状態の)土粒子に吸着されている量を式(2)から算出し、間隙水の濃度から逆算して求めた。ここで  $S.T-N$  は堆積物の全窒素、 $SDIN$  は間隙水中の  $DIN$ 、 $SPON$  は堆積物内の懸濁態有機窒素、 $SDON$  は堆積物内の溶存態有機窒素である。

巻き上がりにより栄養塩の脱離が生じた瞬間に、土粒子は平衡状態を保つために栄養塩を吸着しようとする。そこで、吸着現象が平衡に達していない場合には吸着速度を考慮した式(3)が必要となる。ここで  $K_r$  は吸着速度である。また巻き上がりが生じた瞬間、巻き上がった土粒子の分配係数は堆積物内の分配係数から変化しないと仮定し、脱離量  $S_{ad}$  を式(4)のように表わした。ここで  $\lambda$  は間隙率、 $\gamma_t$  は湿潤体積重量である。表-2 にモデルにおける仮定・条件およびパラメーターを示す。

$$q = K_d \cdot C \quad \cdots(1)$$

$$q_{NS} = (S.T - N) - (SDIN + SPON + SDON) \quad \cdots(2)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = K_r \cdot (K_d \cdot C - q) \quad \cdots(3)$$

$$S_{ad} = \frac{\partial \{ (1 - \lambda) \cdot \gamma_t \cdot q \}}{\partial t} \quad \cdots(4)$$

表-2 モデルにおける仮定・条件およびパラメーター

| モデルにおける仮定・条件                        |                                    |                      |       |  |
|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------|-------|--|
| ・ODU は考慮せず、実験値の 1 時間後の値を計算初期値とした。   |                                    |                      |       |  |
| ・分配係数は一定とし、実験において吸着平衡に達した濃度から推定した。  |                                    |                      |       |  |
| ・吸着されている $NH_4-N$ は生物学的に変化せず、一定である。 |                                    |                      |       |  |
| 記号                                  | 名 称                                | 値                    | 単位    |  |
| $K_r$                               | $NH_4-N$ 吸着速度定数(20℃)               | $1.2 \cdot 10^{-3}$  | (1/s) |  |
| $K_d$                               | $NH_4-N$ に関する分配係数                  | $2.0 \cdot 10^2$     | -     |  |
| $\alpha_{11}$                       | 最大硝化係数(0℃) $NH_4 \rightarrow NO_2$ | $2.32 \cdot 10^{-4}$ | (1/s) |  |
| $\alpha_{12}$                       | 最大硝化係数(0℃) $NO_2 \rightarrow NO_3$ | $40.0 \cdot 10^{-4}$ | (1/s) |  |

### 6. 巻き上がりに伴う酸素消費と栄養塩溶出の再現計算

図-5,6 は 9 月試料において 16.0mg/l 混入した実験値と計算値のアンモニア態窒素と DO についての比較である。アンモニア態窒素の減少過程は表現できているが、溶出現象を考慮していない( $K_d$  = 一定)ため、24 時間後のアンモニア態窒素の増加を再現できておらず、溶存酸素に関しても 24 時間以降の計算値が実験値よりも高く見積もられている。

### 7. 今後のモデルに対する課題

- 1) ODU の発生条件と ODU が溶存酸素に与える影響の把握
- 2) 吸着速度や分配係数が pH, 有機炭素量, 水温, 塩分, SS, DO などの変数によってどのように変化するかを定量的に把握する。
- 3) 擾乱強度の違いによる栄養塩の吸着遅れ現象を把握する。

### 8. 結論

- 1) 巻き上がりによる酸素消費をモデル化する場合、ODU を除くと  $NH_4-N$  の脱離・吸着・溶出、堆積有機物の再懸濁を考慮すればよい。
- 2) 好気的な条件での巻き上がりを含めた DO の再現計算は、分配係数を一定としてほぼ再現できる。

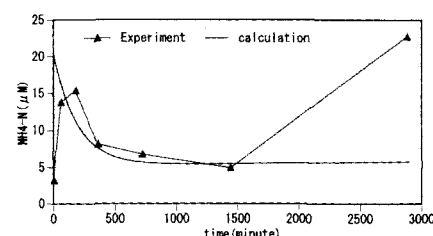


図-5  $NH_4-N$  の計算値と実験値の経時変化

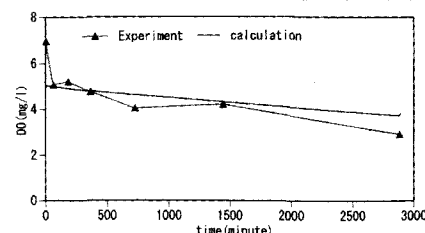


図-6 DO の計算値と実験値の経時変化