

** 正会員 工(博) 熊本大学教授 沿岸環境教育・研究センター

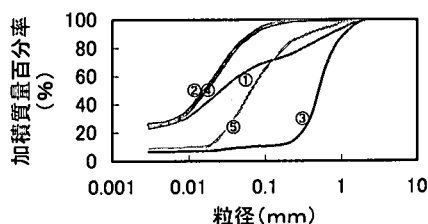


図-2 粒経加粒曲線

するために硝酸濃度の減少を測定し、その変化量を脱窒速度とした。方法は採取したコアサンプルに海水と所定濃度を変えた硝酸カリウム溶液を加え放置する。それぞれ硝酸態窒素濃度の時間経過を測定しその直線的な部分を脱窒速度として算出した。

水質分析は、下水試験方法や上水試験方法では海水中の硫酸イオンの影響があったので海水対応のセントラル化学社製の DR-2000 分析装置によった。

b) 干潟コアサンプルの浸透海水の水質とかく乱による変化

通水のためのコアサンプルは直径 8 cm、高さ 10 cm の塩化ビニル管を 2 本連結して用い、底部にはガラスビーズを詰めた円錐状とし、このガラスビーズの上にコアサンプルを接続した。なおコアサンプルは図-1 の④と⑤から採取した。

そして通気によって酸化還元電位 Eh をほぼ 120 mV まで高めた海水を上端から供給した。酸化還元電位電極は表層から 3 cm の位置に挿入した。海水の供給は 2 潮汐を模して 6 時間サイクルで海水供給ポンプを ON-OFF 制御した。海水の供給速度は 0.7 l/d とした。海水は図-1 の⑤付近で満潮時に採取した。図-3 は実験装置を示す。

Eh がほぼ一定になったときにカラムを解体し、最上部から 5 cm までの表層部を V 型混合機 (筒井理化学器械ミクロ混合機) を用いて 120 rpm で 10 分かき乱す。その後、かく乱した底泥はカラムを連結して元に戻し、再度の海水の供給を再開した。

3. 結果と考察

3.1 干潟底泥脱窒速度の推定

図-4 は硝酸態窒素処理濃度と泥質、砂質干潟底泥の脱窒速度の関係を示す。図-1 中の①の脱窒速度は砂質干潟底泥と同じ程度で低いが、②と④泥質干潟底泥の脱窒速度は③、⑤砂質干潟底泥に比べて大きいことがわかる。

N. Raymond ら (1992) は地中海の沿岸を 70 km にわたって数カ所の脱窒速度の測定をおこなった。干潟の脱窒速度の測定には、まずアセチレンブロック法で測定す

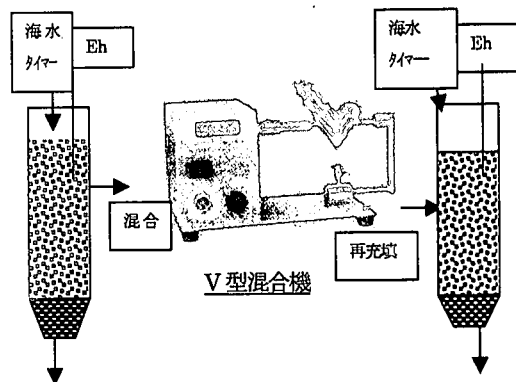


図-3 実験装置

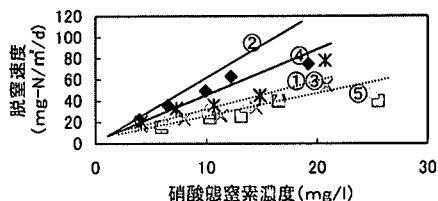


図-4 処理硝酸濃度と脱窒速度との関係

るのに際して添加する硝酸濃度を変えて Michaelis-Menten の式 (式 1) で相関式をつくる。そしてフィールドの間隙水の値を代入して推定する方法をとっている。

具体的には脱窒速度 V の逆数 $1/V$ を縦軸、平衡濃度 C の逆数 $1/C$ を横軸にとった Lineweaver-Burk プロット (式 2) から、その切片と傾きにより K_m : 飽和定数と V_{max} : 比最大脱窒速度を算出する。

$$V = V_{max} \cdot C / (K_m + C) \quad \text{..... (1)}$$

$$1/V = K_m / V_{max} \cdot 1/C + 1/V_{max} \quad \text{..... (2)}$$

図-4 の結果を式 2 に適用した結果を図-5、図-6 に示す。図中には直線回帰したときの相関係数を示し、表-1 に算出した K_m 、 V_{max} をまとめる。

図-1 の各調査地点で採取したサンプルの間隙水中の硝酸態窒素濃度を代入し、式 1 により脱窒速度を計算すると干潟での脱窒速度は① 12.70、② 14.02、③ 6.43、⑤ 7.59 mg-N/m²/d と推定された。これから泥質干潟である①、②六角川のほうが砂質干潟である③、⑤に比べ約 2 倍高い事がわかる。

3.2 干潟コアサンプルの浸透海水の水質変化と物理かく乱の影響

a) 酸化還元電位 Eh の変化

図-7 に Eh の変化を示した。かく乱前、砂質・泥質カラムとも実験当初の Eh は約 300 mV で日数の経過とともに -200 mV 程度に減少しほぼ一定となる。砂質カラムではかく乱後 214 mV まで増加し、再びかく乱直前の

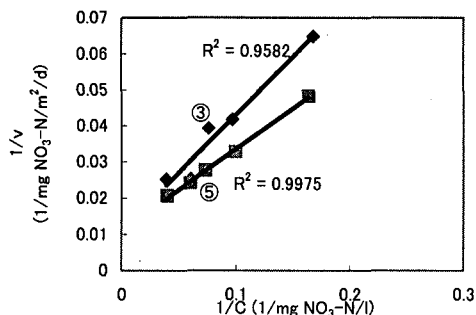


図-5 砂質干潟底泥 Lineweaver-Burk プロット

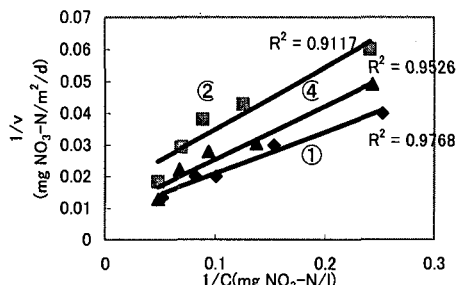


図-6 泥質干潟底泥 Lineweaver-Burk プロット

表-1 各サンプルの係数 (K_m , V_{max}) の決定

	①	②	③	④
K_m (mg/l)	16.59	12.53	29.89	20.72
V_{max} (mg-N/m²/d)	126.58	64.52	92.59	91.74

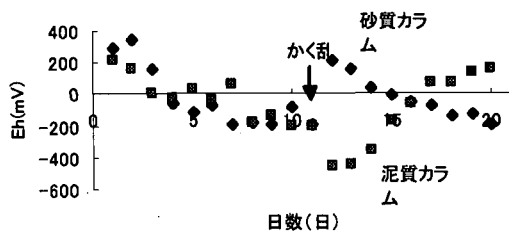
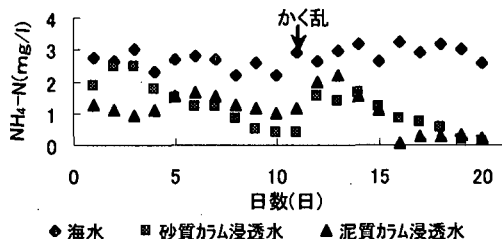
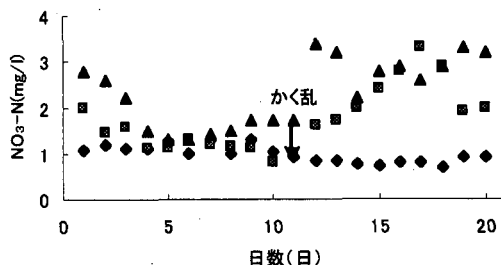


図-7 E_h のかく乱前後における変化

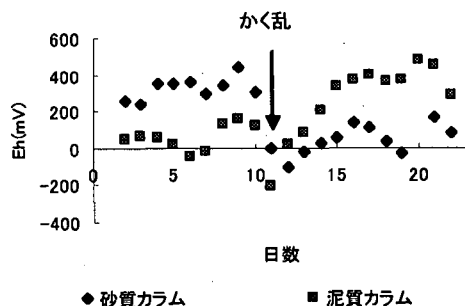


◆ 海水 □ 砂質カラム浸透水 ▲ 泥質カラム浸透水



◆ 海水 □ 砂質カラム浸透水 ▲ 泥質カラム浸透水

図-8 窒素のかく乱前後における変化



◆ 砂質カラム ■ 泥質カラム

図-9 連続供給における E_h のかく乱前後における変化

値までに減少する。また、泥質カラムにおいてはかく乱後-454 mV まで減少しその後 156 mV まで増加した。かく乱前の E_h 減少は同じように水の入れ替えをして潮汐を模したニホンオサガニによる有機物浄化を検討したカラム実験 (矢持ら, 1997) でも見られている。かく乱によって砂質底泥の E_h はすぐに増加したが、一方泥質底泥の E_h 増加はかく乱から 4 日後であった。この違いはかく乱した表層と下層で E_h の差が大きく、かく乱によって均一化されてもすぐには増加とならないためと考えられる (原田ら, 1999)。

図-8 は浸透水中のアンモニア態窒素および硝酸態窒素のかく乱前後における変化を示している。

アンモニア態窒素について、砂質カラム浸透水は実験当初海水とほぼ同じ値を示していたが、かく乱前には 0.5 mg/l まで減少した。かく乱によって 1.0 mg/l ほど溶出したものの日数の経過に従い 0.1 mg/l まで減少した。泥質カラムにおいては、かく乱前は海水の 50% 程度となっているが、かく乱後一時的に溶出し、その後減少して 0.1 mg/l 以下と低い値で推移した。

硝酸態窒素について、砂質カラム浸透水は当初海水と同じ程度の値を示すが、かく乱によって流入海水の 2, 3 倍の値となる。泥質カラム浸透水は実験当初、流入海水の 3 倍程度の値となるが、次第に減少して約 1.5 mg/l で一定となる。かく乱後は平均で 3.0 mg/l 前後となる。

かく乱前に NH_4-N が海水より低い値を示し、対応して NO_3-N が増加しないことはすみやかに硝化と脱窒が

進行していることが考えられる。このときに海水を供給しないときの表層からの空気の流入の寄与が大きいと思われるので、比較として連続的に海水を供給した実験をおこなった。このときに水位は底泥表層からほぼ3 cmの位置でとなって常に冠水の状態となっている。図一9、10には E_h とアンモニア態窒素の変化を示す。

図一7と異なり、連続供給下でのかく乱前 E_h は砂質カラムで200~400 mV、砂質カラムで0~100 mVを示し、低下はみられなかった。物理的かく乱で、砂質カラムは200 mVまでしか増加しなかったが、泥質カラムでは400 mVまで増加した。アンモニア態窒素は海水より高い値を示したが、かく乱によってその値は1.0 mg/l以下と海水より低い値となった。 E_h が高いにもかかわらず、 NH_4-N がかく乱前に濃度が海水よりも高くなったこと、それが濃度が減少したことは、海水のアンモニアの硝化の促進には表層からの空気の流入や物理的かく乱の影響が大きいことを示唆している。

図一11はリン酸態リンの変化を示す。砂質カラムではかく乱にかかわらず0.2 mg/l以下の値で推移した。また、泥質カラムでは実験当初の濃度が3.0 mg/l以上と高くなったが、時間の経過とともに減少して0.5 mg/l以下と海水の濃度より低くなった。図一12は連続供給における結果を示す。泥質カラム浸透水は断続供給に比べて海

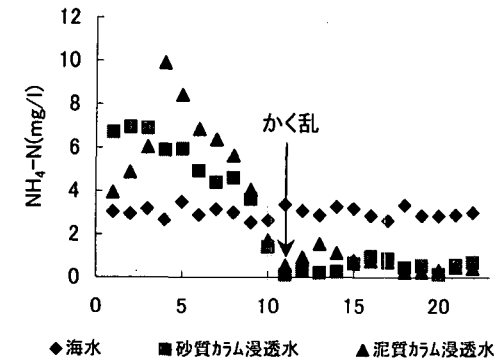
水よりも高くなることはなく、かく乱によって0.5 mg/l前後に減少した。このことからリン酸態リン減少に対する断続供給の効果は少ないことがわかる。そして、 E_h が一となっても溶出がおこっていないことから溶出がおこる酸化還元電位状態までに低下せず、初期に間隙水中に生成した高濃度のリン酸態リンが洗いだされたもの(野村ら, 2002)と考えている。かく乱後、濃度が減少しているのは E_h が増加し吸着が促進されたためである。砂質カラムでは浸透水のリン濃度が特に低く、それは成分による化学的結合によるものと思われる。

表一2はかく乱後のCODを示す。砂質カラムでは7日目まで海水と同じ値であったが、かく乱後1~1.5 mg/l減少した。泥質カラムでは7日目は海水より3 mg/l高い値を示した。かく乱後、まだ海水よりも高い値ではあるが7日目より2 mg/l程度減少した。

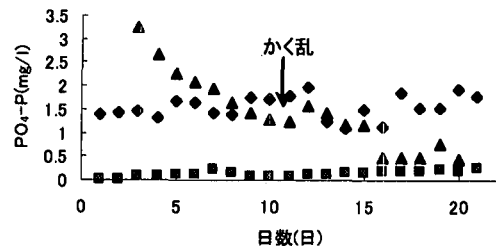
4. ま と め

コアサンプルを用いて干潟での脱窒速度を推定するために硝酸の処理濃度を変えて対応する脱窒速度を求めた。このデータからLineweaver-Burkプロットをおこなって比最大速度定数と飽和定数を算出した。間隙水中の硝酸濃度をMichaelis-Menten式に適用すると泥質干潟の脱窒速度は砂質干潟底泥に比べて約2倍であることがあきらかとなった。

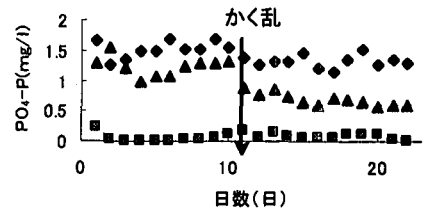
水質浄化能力の強化の評価は物理的かく乱によって、硝化・脱窒は砂質・泥質干潟素底泥カラムとも促進された。リン酸態リンは砂質カラムの浸透水は特に低い値を示した。泥質カラムの浸透水は当初、海水より高い値であったが、時間経過とともに減少して、かく乱によってさらにその約50%の値となった。CODは砂質カラム



図一10 連続供給におけるかく乱前後のアンモニア態窒素の変化



図一11 かく乱前後におけるリン酸態リンの変化



図一12 連続供給におけるかく乱前後のリン酸態リンの変化

表一2 かく乱による浸透水のCOD変化

経過日数	海水	砂質カラムの浸透水	泥質カラムの浸透水
7	16	16	19
11(かく乱後)	15.5	14.8	17.4
14	15	14	17.5
19	16.2	14	17

単位 mg/l

ではかく乱後海水より 1~2 mg/l 低下した。

謝辞：研究の遂行に熊本大学工学部卒業生 村崎修司君に協力いただいた，また文部科学省の科学研究費金基盤/発展(滝川 清)より援助を受けた，記して感謝いたします。

参 考 文 献

栗原 康 (1988)：河口沿岸域の生態系とエコテクノロジー，東海大学出版会，pp. 86-96.
清水 徹・平岡喜代典・西嶋 渉・向井徹夫・滝本和人 (1998)：広島湾における水質浄化機能に関する研究—有機物の分解特性について—，水環境学会誌，第 21 巻，pp. 421-428.
中野正時・宮崎 毅・塩沢 明・西村 拓 (1995)：土壌物理環境測定法，東京大学出版会，pp. 86-96.
野村宗弘・中村由行 (2002)：播州干潟における潮汐に伴う水質変動に関する研究，pp. 217-225.

原田浩幸・滝川 清 (2001)：有明海干潟泥質・砂質干潟底泥の水質浄化機能と生物かく乱の影響，海岸工学論文集，第 48 巻，pp. 1126-1129.
原田浩幸・古川憲治・滝川 清 (1999)：干潟底泥の COD と ORP が生物かく乱による脱窒に及ぼす影響，環境技術，pp. 907-912.
細見正明・白旗清伸・前田浩義・村上昭彦 (1996)：干潟底泥生物が水質浄化機能に及ぼす影響，第 30 回日本水環境学会年会講演集，pp. 500.
矢持 進・岡田庄一・小田一紀 (1997)：砂浜や泥浜を優先する底生物の底質浄化能力，海岸工学論文集，第 44 巻，pp. 1176-1196.
Franck, G., Pratrice, B. and Geroges, S. (0000)：Effects of bioturbation in a marine sediments from the Western Mediterranean Litterol, Hydrobiologia, No. 304, pp. 49-58.
Raymond, N., P. Boinin and J.-C. Bertrand (1992)：Comparison of methods for measuring denitrifying activity in marine sediments from Western Mediterranean Coasts, Oceanologica Acta, Vol. 15(2), pp. 137-143.