

有明海沿岸域における干潟の浄化機能と環境特性に関する研究

滝川 清*・山田文彦**・原田浩幸***
北園芳人***・中島和弘****

1. はじめに

代表的な閉鎖性水域である有明海域は、本来陸水によって輸送される種々の物質が、物理的、化学的、生物的作用を受け、さらに潮汐などの影響の下で生態系を含む物質循環の微妙なバランスによって形作られた世界的にも希有な自然環境である。この有明海には、筑後川・菊池川・白川・緑川等の大小の河川が流入し、阿蘇の火山灰土等に起因する微細な土砂が全域に堆積し、独特の干潟性の海岸が形成され、周辺海域からの栄養塩類の供給により豊かな生態環境を有している。ここでは、広い浅海域に強い潮流が発生することによって底泥が移動し堆積が少なく、水質の汚濁物質を凝集・沈着させる浮遊粘土の効果もあって閉鎖性水域にもかかわらず現在のところ赤潮発生等の重大な環境問題は生じていない。しかしながら、一方において、地域の経済発展や生活環境の向上を目指し、様々な社会基盤の整備が実施・計画されつつあり将来的に人為的インパクトの増加による環境悪化が懸念される。本研究は、複数の地方自治体に囲まれたこの海域が、その環境特性を生かし、環境容量に十分配慮された開発利用がなされるよう技術的立場から提言することを目的とし、陸水流入に伴う流況特性と底泥・水質などの移流・拡散特性、さらに生態系を含めた干潟の浄化機能特性など、環境特性の総合的な評価・検討の基礎資料を提供しようとするもので、本報告は、特に熊本県沿岸域を対象に、流況特性、干潟の底質土特性及び浄化特性の調査・検討結果を報告する。

2. 有明海域の流況と環境特性

2.1 有明海域の流況解析

有明海域の流況特性について、潮流解析及び拡散解析を行い検討する。潮流と拡散の解析に際しての基礎式は、水深方向に積分した 2 次元の浅水長波方式及び拡散方程式を対象とした(滝川, 1998)。潮流の数値計算には差分法の一つである ADI 法を適用し、移流拡散の計算にはク

ランク・ニコルソン法を適用し計算した。

a) 干潟のモデル化

有明海は大きな干満差のため、特に湾奥部及び白川・緑川河口付近において広大な干潟が出現する。水位が極めて小さくなると数値計算が不安定となるため、ここでは 0.1 m の堰を設置し、水位が 0.1 m 以下となった計算格子は干潟と見做し、また干潟になった格子の回りで水位が回復し 0.1 m の堰を超えた時、その堰を取り払うことで干潟の水没と汀線の移動を表現する。

b) 解析領域と計算条件

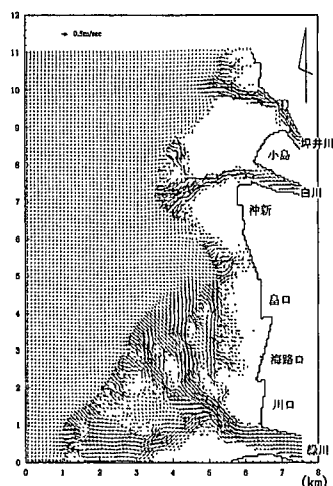
潮流計算における解析領域は、有明海全体域に対して東西方向 51 km, 南北方向 81 km, 計算格子間隔は両方向とも 500 m とし、また計算時間間隔は 10.0 秒とした。白川・緑川河口域に対して解析領域は東西方向 8.0 km, 南北方向 11 km, 計算格子間隔は 50 m とし、計算時間間隔は 5.0 秒とした。外海との境界条件は、有明海全体域の計算では早崎瀬戸の線上で、白川・緑川河口域の計算では海上の境界線上で潮位の強制水位を与えた。

2.2 有明海域における流況と拡散特性

白川・緑川河口域を対象に、各河川から年平均の流入流量(緑川 14.49, 白川 13.20, 坪井川 5.22 m³/s)を与えて潮流計算を 3 潮汐間行った。図-1 は干潮時における流速ベクトルの計算値を図示したものである。実測値(熊本開発研究センター, 1975)と計算値を比較すると干潟上では計算値の方が若干大きく、干潟中では実測値の方が大きくなったが、最大約 10 cm の誤差内に収まり、全体的に流れの向きもほぼ一致しており定性的な流れは再現できていると思われる。干潮時の河口からの流れは滞筋を通して強い流れと、干潟上で複雑な流れを形成している。この緑川河口干潟の滞筋部で、SS 濃度を実測すると(滝川, 1998)、干潮前後の下げ潮時と上げ潮時で SS 濃度は、上げ潮時の方が大きく、その鉛直分布は一様化する傾向にあって、大潮時には底面近傍で 20 cm/s の流速で約 300 mg/l の濃度にまで達することから浮泥層の存在が示唆される。

図-2 は、潮汐に伴う河川からの流入物質の拡散状況の計算結果である。(a) 図中の白川・緑川河口 A, B 点に 100 ml/sec の浮遊物質の負荷を、下げ潮時から与え続

* 正会員 工博 熊本大学教授 環境システム工学科
** 正会員 工修 熊本大学助手 環境システム工学科
*** 正会員 工博 熊本大学助教授 環境システム工学科
**** 正会員 工修 日本建設コンサルタント(株)



図一 干潮時の流速ベクトル

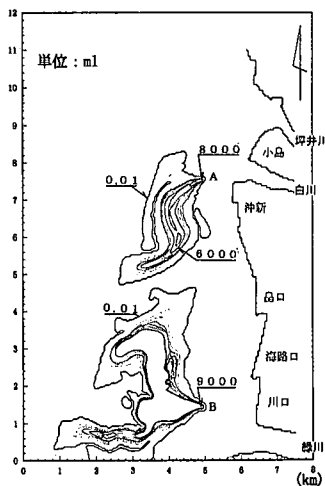


図-2(a) 物質拡散 (干潮時)

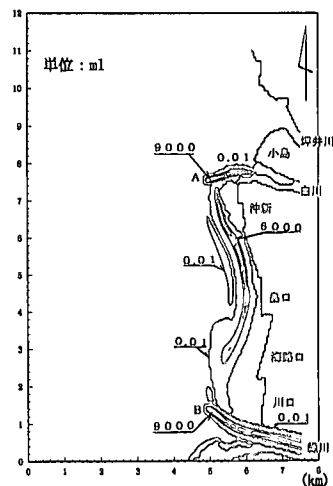


図-2(b) 物質拡散 (満潮時)

け、3時間後(干潮時)・9時間後(満潮時)の物質の濃度分布をそれぞれ、図の(a)、(b)に示す。(a)図に示す干潮時になると、白川からの浮遊物質は南西の方向に広がり、緑川からの物質は北上、沖方向や南にも拡散する。(b)図の満潮になる頃には畠口沖で混合した浮遊物質は、白川から緑川岸に沿う帯状に広がる。白川・緑川の河口への流れの遡上に伴って浮遊物質も河口側へ遡上していく。ここに示した浮遊物質の拡散計算は、物質の沈降を考慮していないが、白川・緑川からの流入物質が、主に沖新、畠口さらに緑川河口付近の方面まで広範囲にわたって影響を及ぼすことが推定される。

図一3は、各河川から平成6年6月平均の河川流入量(六角川4.07、嘉瀬川17.57、筑後川103.54、矢部川15.78、菊池川20.84、白川22.35、緑川24.55 m^3/s)を与え、有明海全体の潮流計算結果による潮汐残差流図である。計算結果によると、潮汐残差流は全体的に湾軸に沿って反時計回りの湾奥方向に進む流れと、これに伴う両岸方向に渦を巻くような流れが発生している。また、熊本沿岸域の干潟が広がる白川・緑川河口域付近の流れは小さく、水深が急変する干潟周縁の沖で強い流れが起きていることがわかる。湾奥部では南北に広がる広大な干潟上での小さい流れと、干潟間に溝状に伸びる海底水道に沿って南方向の流れが形成されている。

図一4は有明海に流入する7つの一級河川から1 g/sec の物質を20秒間全河川に負荷して、3潮汐後の拡散状況の計算結果である。熊本の白川・緑川沿岸域からの物質は北上し、湾奥部では全体としては南に拡散の傾向がある。しかし、湾奥部の筑後川、六角川、嘉瀬川河口付近では、3潮汐後も係わらず高い値を示す。これは、有明海の残差流が全体的に湾奥部方向に流れ、さらに湾奥部では、この湾奥方向の流れと干潟部の小さい流れと

により、一旦、河川から流下し南下した物質が北上する流れにより再び河口付近に流れて高い値を示すに至ると考えられる。鎌田(1967)によると、有明海における堆積物の粒径は、一般に湾奥部の六角川・嘉瀬川河口域から諫早湾にかけてと、白川・緑川河口域から菊池川にかけて微細粒が分布しており、計算結果は微細土粒子の分布特性をよく説明できる。このような微細粒子の流動は、干潟の形成、海の“にごり”等と密接に関連し、干潟・浮泥の浄化機能や生物環境を決定する有明海環境の重要な支配要因の1つであり、今後さらに、底泥の移動を考慮した詳細な検討が必要である。

3. 白川・緑川域での干潟の底質土特性

干潟の環境を評価するための客観的指標が望まれているが、ここでは底質土の物理・化学特性に着目し、その環境特性を把握する。今回の調査は有明海の熊本市河内町地先海域から宇土市網田地先海域の干潟を対象に平成7年と8年に行ったものである。この調査区域は、平成2年8月に行われた浅海干潟漁場環境調査委託底質調査(熊本県, 1990)を参考に選定した。底質土はスミス・マッキンタイヤ型採泥器及び塩ビパイプを用いて採取し、底質調査項目は粒度組成、COD、強熱減量等を測定調査した。

3.1 粒度組成

図一5は平成2年の調査(熊本県, 1990)による白川・緑川河口付近における底質土表層10 cmの粘土含有量の分布状況を示す。粘土含有量は緑川以北で高く、30%以上の区域(図中IV)がみられるが、緑川以南(図中I, II)ではほぼ20%以下である。特に白川・坪井川河口沖合いの広範囲に渡る区域や緑川河口付近から北へのびた区域(図中III, IV)では粘土含有量が20%以上の泥質の

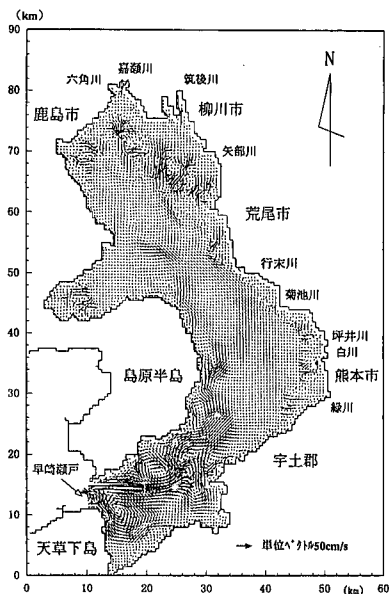


図-3 潮沙残差流

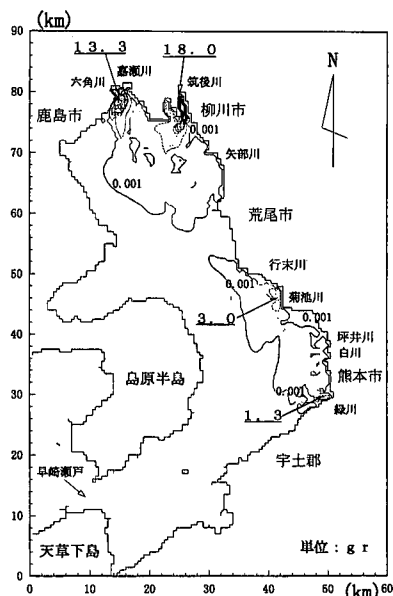


図-4 3潮後の拡散状況

底質土となっている。これは平成2年7月の豪雨災害によって多量の土砂が両河川から有明海に運搬されたことと、2.2の潮流・拡散計算でも示したように、河川より供給された土砂のうち粘土分が沖へ流された後、恒流によって北へ流され堆積したものと考えられる。この底質調査におけるCODや強熱減量と粘土含有量の関係を示すと図-6、図-7となり、粘土含有量とCODは直線回帰すると相関係数 $r=0.83$ と高い相関性が見られ、粘土含有量と強熱減量においても直線回帰で相関係数 $r=0.80$ の高い相関性が見られた。このことは、水産用水基準では有機物による汚濁基準は底質のCODで示されるが、粒度組成の粘土分でも汚濁度を推測出来ることを意味する。

表-1は平成7年11月と平成8年9月の現地調査結果である。調査箇所が少ないが、図-5に比較して粘土含有量は緑川河口付近で10%を超えているものの全体的に大きく減少している。このことは平成5年に降水量が多かったものの平成6年は異常渇水で降水量が少なく河川からの土砂供給は最近10年間で平成2年が最大であったことから、河川からの粘土分の供給は集中豪雨などによる土砂流出が大きく影響するものと考えられる。

3.2 強熱減量及びCOD

強熱減量は全有機物を表す指標で、CODは易分解性有機物量を表す指標（清水，1974）であり、水産用水基準では有機物による汚濁基準は底質COD $20 \text{ mg/g} \cdot \text{dry}$ （熊本県，1990）となっている。平成2年の調査では強熱減量で坪井川・白川・緑川の各河口付近及びその沖合で4.0%以上の高い値を示す区域が見られる。また、CODに

ついても $8.0 \text{ mg/g} \cdot \text{dry}$ 以上の高い値を示す区域は強熱減量とほぼ同じ区域である。しかしながら、CODの最大値は $14.1 \text{ mg/g} \cdot \text{dry}$ で汚濁基準値 $20 \text{ mg/g} \cdot \text{dry}$ を下回っており、汚濁度は低いといえる。表-1の平成7年、8年の現地調査のCODは平成2年の調査に比較して粘土含有量の減少傾向と同様に減少しており、3.1で述べた粘土含有量とCODの密接な関係は、調査時期が異なっても同様な傾向にあることがわかる。また平成2年に比べさらに底質の汚濁度は改善されているようである。

4. 干潟の水質浄化機能

4.1 干潟の水質浄化機能

a) 現地調査の概要

白川河口沿岸より約20m沖合の地点で同一日の満・干潮時に海水を採取して水質を測定した。深さによる水質浄化能力の違いを調べるために、直径5cm、長さ50cmの解体可能なコアサンプラーを用いて、10mと500mの地点での深さと脱窒活性の関係を検討した。熊本県北部から中部域における有明海沿岸干潟域の底質の水質浄化作用を把握するために、図-3中にも示す緑川、白川、坪井川、行末川のそれぞれの河口沿岸から10mの地点で、直径5cmの30ccのコアサンプル採取し、表層の脱窒活性を評価した。コアサンプルは底生巣孔が確認されない地点から採取した。水質の測定には海水対応のセントラル化学社製DR-2000簡易水質分析装置を用いた。脱窒活性は直径5.5cmのピーカーにコアサンプルをできるだけ壊さないように移し、初期 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度 2 g/m^3

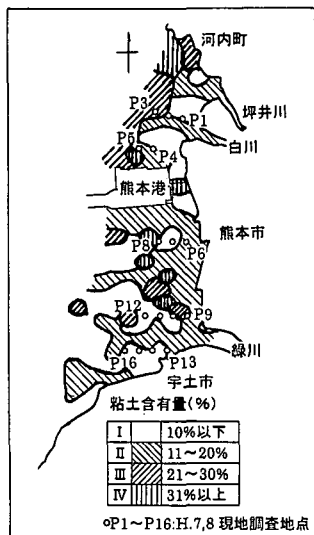


図-5 粘土含有量の分布

の KNO_3 溶液を 50 ml 加え、1 日間 30°C の恒温室に静置した後、直上水の $\text{NO}_3\text{-N}$ をはかり、その減少速度を脱窒活性とした。

b) 調査結果

測定の結果、白川河口の満潮と干潮時の $\text{NO}_{2+3}\text{-N}$ 濃度は、それぞれ 0.61 g/m^3 、 0.20 g/m^3 、また海水の無機性窒素の約 80% が $\text{NO}_3\text{-N}$ であった。 $\text{NO}_{2+3}\text{-N}$ 濃度の減少量が満潮時から干潮時にかけて除去されたことを示している。

図-8 は深さと脱窒活性の関係を示す。10 cm は表層に比べて増加の傾向にあるが、それより深くなるとあまり変わらない。このことから、0~10 cm の間に酸化と還元領域の境があり、30 cm の深さまでは脱窒が occurring ことがわかる。

表-2 は有明海沿岸干潟域の表層の脱窒活性を示す。白川河口の底質の活性が他の河口底質の脱窒活性に比べ約 1/2 の値になっている。なお、他の干潟の例では多摩川河口域の底質での $63 \text{ mg/m}^2/\text{日}$ が報告されている（細見ら、1996）。

4.2 底生動物の水質浄化機能への効果

a) 実験の概要と方法

上述の 4.1 の調査は底生動物の影響がないような現地の底質の脱窒機能を評価した。本節では底生動物、特にゴカイの影響をカラム試験により評価する。カラム試験に供した底質、底生生物は白川河口から採取した。底質は 1 mm のふるいに通し、大型の底生動物を除去した。カラムに供給した海水は、沿岸から約 20 m の地点から満潮時に採取した。実験期間中の $\text{NO}_3\text{-N}$ の濃度は $0.40\sim0.60 \text{ mg/l}$ の範囲にあった。ゴカイは干潟から採

表-1 底質の現地調査結果

平成 7, 8 年現地調査		
調査地点	粘土分 (%)	CCD ($\text{mg/g}\cdot\text{dry}$)
P1	3.2	2.3
P2	1.1	1.7
P3	8.8	5.2
P4	5.4	2.5
P5	2.5	2.7
P6	8.6	5.7
P7	5.9	2.9
P8	5.0	1.9
P9	6.4	0.8
P10	9.3	6.0
P11	2.4	1.9
P12	5.0	3.0
P13	12.0	4.0
P14	10.9	4.7
P15	8.3	2.5
P16	4.7	1.1

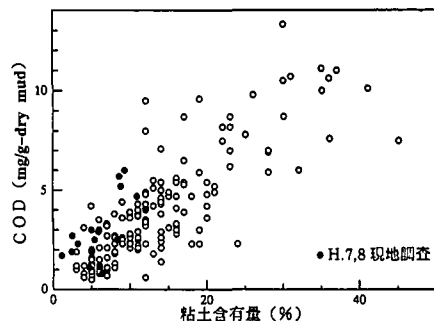


図-6 粘土含有量と COD

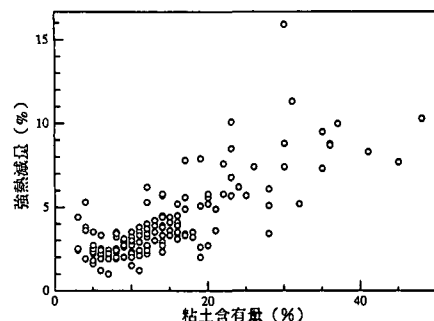


図-7 粘土含有量と熱伝達率

取したうち $0.8\text{g}\sim1.5\text{g}$ のものを 1 カラムに 6 個体投入した。カラム調製法は、Frnck らの方法 (1995) に準じて、直径 5.0 cm、高さ 30 cm の 2 cm 毎に解体可能にしてある塩ビ製カラムに、底質を 20 cm まで充填した。このカラムに 0.8 ml/min で海水を排除孔の反対側の上端より供給した。排除孔は直径 1 mm で、23 cm の高さにある。直上水はゆるやかに通気し、カラムジャケットの水温は 20°C に保った。カラムは数本調製し、経過日数と脱窒活性の関係を検討した。脱窒活性は、先述の水質の実験方法に準じて調べた。現地の底質の脱窒活性として不攪乱コアの活性を調べた。82 日後、底生動物を投入した系（実験系）と含まない系（対照系）を作成し、30 日間海水を供給し、同様にして比較検討をおこなった。酸化還元電位の測定は土壤用 Eh メータ ((株) 藤原製作所) を用いた。

b) 結果と考察

図-9 は攪乱と攪乱カラムの深さ方向における脱窒活性の変化を示す。攪乱カラムの脱窒活性は不攪乱と比較すると 40 日では全体的に減少し、52 日のときには 0~2 cm 層でほぼ同じ程度に、それより深い層では約 90% まで増加している。82 日の結果は、52 日と変化が少ないので、脱窒活性が十分に現地の底質に近い状態になったと判断し、底生生物を投入した実験系と投入しない対照系をつくり実験を継続した。脱窒活性の低下と回復は、酵

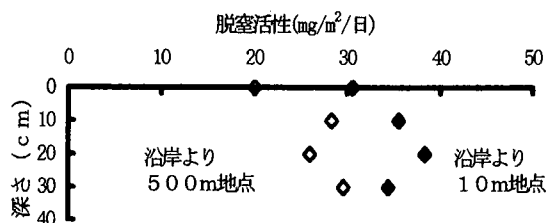


図-8 深さと脱窒活性

表-2 熊本県沿岸干潟底質の脱窒活性

	白川河口	緑川河口	坪井川河口	行末川河口
脱窒活性 (mg/m ² /日)	30.60	51.82	69.1	63.34

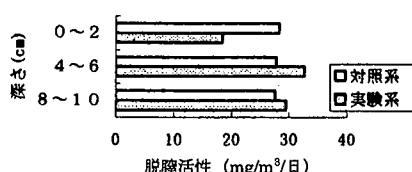


図-10 底生生物が脱窒活性に及ぼす効果

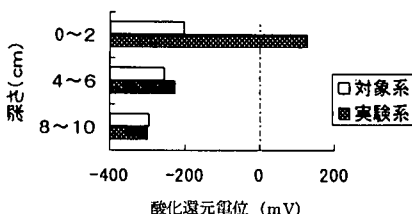


図-11 底生生物が酸化還元電位に及ぼす影響

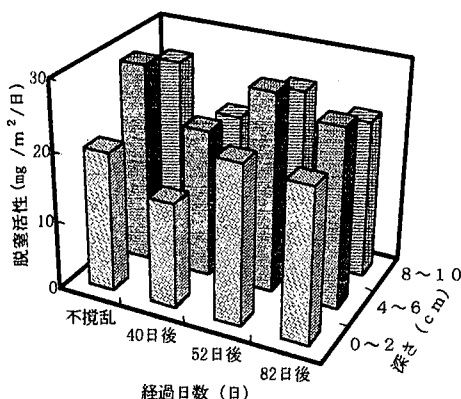


図-9 脱窒活性の経日変化

5. おわりに

有明海の自然環境に関して、まず潮流・拡散解析を行って流況特性を調べ、干潟の環境機能を底質の粒土組成の立場から粘土含有量で評価し、また、干潟の浄化機能を底生動物の有無による脱窒機能で評価し検討を加えた。今後ともに広範な視点から系統的・緻密に研究を進展して行く計画である。最後に、本研究は、平成8、9年度文部省科学研究費補助金(基盤研究(B)(2)) (研究代表者: 滝川 清)の補助による研究の一部であることを付記し、謝意を表する。

参 考 文 献

- 鎌田泰彦 (1967): 有明海の海底堆積物, 長崎大学教育学部自然科学研究報告, No. 29, pp. 71-82.
- 熊本県 (1990): 浅海干潟漁場環境調査委託報告書, 底質・底生生物調査編, 第1巻, 178 p.
- (財)熊本開発研究センター (1975): 熊本港周辺海域水産業振興基本調査, 127 p.
- 清水 徹 (1974): 多変量解析による汚濁評価, 広島県衛研・公害研・研究報告, No. 21, 37 p.
- 滝川 清 (1998): 有明海河口域の自然環境に及ぼす陸水流入の影響, 平成8、9年度文部省科学研究費補助金(基盤研究(B)(2)), 研究成果報告書, 115 p.
- 細見正明・白旗清伸・吉田浩義・村上昭彦 (1996): 干潟底生動物が水質浄化機能に与える効果, 第30回日本水環境学会年会講演集, p. 300.
- 矢持 進・岡本庄一・小田一紀 (1997): 砂浜や泥浜に優先する底生生物の底質浄化能力, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 1176-1180.
- Frnck G., Patricia B. and Geroges S. (1995): Effect of bioturbation denitrification in a marine sediment from the West Mediterranean littoral, Hydrobiologia, No. 304, pp. 49-58.

素活性の低下によるもので、表層の回復はわずかとされる (Frunk ら, 1995) が、実験の結果からは、比較的早期に活性が回復したと考えられる。これは、底質の粘土粒子の粒径が小さいので、酸化還元電位の安定が早く (矢持ら, 1997), 微生物へのダメージも少ないためと考えられている。また不攪乱では4~6 cm層が0~2 cm層に比べて脱窒活性が高いので、4~6 cm付近が酸化と還元状態の変わる領域であると思われる。

図-10は底生動物投入から30日後の脱窒活性、図-11は酸化還元電位を示す。実験系と対照系の表層の酸化還元電位は、実験系で+128 mVと酸化状態に、対照系では-203 mVと還元状態にあるので実験系の脱窒素活性は10 mg/m²/日低い値を示した。また4 cmより深い層における酸化還元電位は、あまり変わらないのに対して、実験系の脱窒活性は対照系に比べ合計で約25%程度大きくなる。これは硝酸イオンが表層の生物攪乱により下層に拡散され脱窒活性が高まったものと思われる。