

砂浜における好気性細菌による水質浄化に関する 現地観測および室内実験

細井由彦*・村上仁士**・三宅健一***・奥野 茂***

1. 緒 言

ウォーターフロント開発に関心が強まるとともに沿岸部の水質保全の重要性はますます大きくなり、近年では多面的な対策が検討されるようになってきている。海岸構造物等に工夫を施すこと等により、自然の浄化力を利用して水質保全を行おうとする試みも見られるようになってきた。そのためには自然自身が有している浄化能力がどの程度のものであるかをまず知っておくことが重要である。

本研究では、海岸の自浄作用を考える事を目的とし、対象として砂浜を取りあげ、その浄化能力について検討を行ってみた。砂浜の砂層間隙中は潮汐による海水の侵入や、通気による酸素の供給などがあり、好気性細菌が生息するのに都合のよい環境にあると考えられる。したがって潮汐作用により砂層中に浸透し排出される水は、砂による濾過作用や砂中に存在する好気性微生物群によって生物学的酸化作用を受けることも考えられる。海岸の自浄能力について林(1979)は津市の海岸における調査より、砂浜中における COD やリンの濃度の低下、アンモニアの硝化等を認めている。また砂浜 1m あたり 1 日に有機懸濁物 7.057 kg が浄化され、その作用の 81% は生物消費によるという報告もある(堀江, 1988)。

本研究においてもこのような浄化作用に関する知見の蓄積と機構の解明を進めることを目指し、現地観測と室内実験により検討を行った。

2. 現地観測及び実験方法

(1) 好気性細菌の存在に関する現地観測

砂浜の持つ浄化力を評価するには、実際に現地に生息する好気性細菌の分布特性を把握しておく必要がある。そこで徳島県の沿岸の13地点の海岸を選び、砂を採取してそこに存在する好気性従属栄養細菌数を測定した。同時にその部分の温度(砂浜温度と呼ぶことにする)も測定した。細菌数の測定はアンダーソン培地を用いた MPN

法を用いた。採取した砂を滅菌水の入った試験管中にとり、300 回振とうの後その水を培地に植種した。調査は2年間にわたり延べ17回行った。

(2) 砂浜内の水質変化に関する現地観測

上記の観測を行った海岸の中から1つの海岸を取りあげ、砂浜内間隙水の水質調査を行った。図-1に示すように砂浜に岸沖方向に汀線から砂浜側に一定の間隔で5つの測点を設けた。測点にはそれぞれ浸透水観測用のス

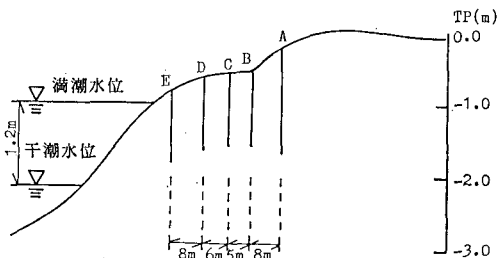


図-1 現地観測の方法

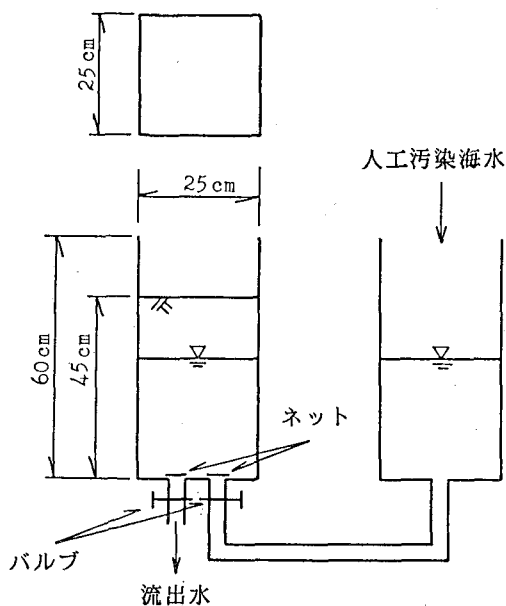


図-2 水質浄化に関する実験装置

* 正会員 工博 徳島大学工業短期大学部助教授土木工学科

** 正会員 工博 徳島大学工業短期大学部教授土木工学科

*** 学生員 徳島大学大学院建設工学専攻

トレーナーをきったパイプを埋設し、潮汐に応じて浸透水水位の観測と採水を行い、DO、COD、窒素の濃度を測定した。1回の観測は満潮からつぎの満潮までの一潮汐間行い、合計6回行った。ただし図のD点においては干潮時に採水することができなかったために、以下の考察ではデータが欠落している。

(3) 細菌の挙動に関する室内実験

好気性従属栄養細菌数を測定する現地観測は、原則として毎月1回であるが、その都度環境条件が変化するため、細菌数に及ぼす影響因子が不明確であると予想される。そこで好気性従属栄養細菌数の分布特性に及ぼすと考えられるいくつかの影響因子について、室内実験により検討した。100 cc ビーカーに、採取した砂（小松海岸にて採取）と滅菌した人工海水を入れ、着目した要因を各ビーカーごとに变化させ細菌数を測定した。

(4) 砂浜内の水質変化に関する室内実験

2つの海岸を選び、その海浜砂を採取して潮汐を模した室内実験を行った。実験装置を図-2に示す。現地の状態を実験室に持ち帰るため、一方のボックスに現地海岸（小松海岸、大神子海岸）において砂を充填し、底から海水が流入できる状態で高潮時の汀線付近に埋設して、一昼夜潮の干満に任せた後持ち帰り実験に供した。両海岸の砂粒径の簡単な構成を調べたところ、小松海岸では0.074 mm 未満が91%、0.074 mm 以上0.475 mm 未満が9%であり、大神子海岸では0.074 mm 未満が48%、0.074 mm 以上0.475 mm が52%を占めていた。

もう一方のボックスから濃度を調節した人工汚染海水を砂層のボックスへ徐々に流入させ、6時間で砂層表面まで人工汚染海水が達するようにした。その後、6時間かけて徐々に流出させながら、2時間ごとに流出水を採取し水質を測定した。

3. 砂浜の好気性細菌

砂浜に存在する単位砂重量当りの好気性従属栄養細菌

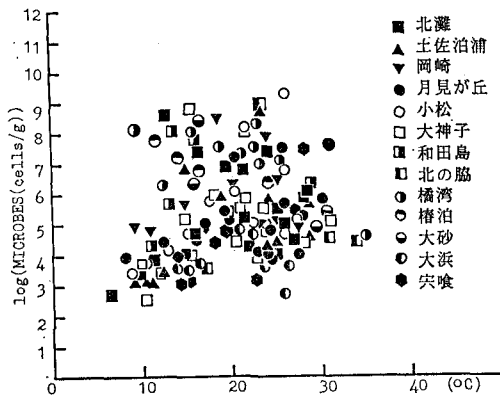


図-3 細菌数と砂浜温度の関係

数の観測結果を、砂浜温度との関係で示したものが図-3である。温度が上昇するにつれ細菌数も増加するが、25°C を越える付近から減少する傾向にある。

この傾向を確かめるための室内実験を行った結果が図-4である。(a)は2.(3)で述べたビーカーの環境温度を15°Cから10日間隔で5°Cずつ30°Cまで上昇させた場合の結果であり、(b)は逆に30°Cから10日間隔で15°Cまで低下させた場合の結果である。細菌数は、普通のアンダーソン培地とともに、海岸の低栄養状態を考慮して、10倍に希釈したアンダーソン培地も用いて計測した。いずれの場合にも20°Cか25°Cにおいて細菌数が最大となっており、現地観測結果との一致を見た。

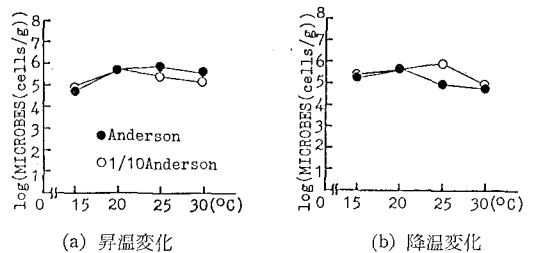


図-4 温度の変化にともなう細菌数の変動

図-5は、海のような栄養の少ないところに生息する細菌数を計測するのに、普通アンダーソン培地が適切であるかどうかを調べるために行った実験の結果である。グルコースを使用してCODを変化させたビーカーをつくり、20°Cと30°Cのもとで10日間置き、砂中に生息する細菌数を普通アンダーソン培地と、1/10に希釈したアンダーソン培地で測定した。いずれの場合にも普通のアンダーソン培地ではCODが高い場合ほど細菌数が多くなるのに対し、1/10アンダーソン培地による細菌数はCODが2.5 mg/lの場合に最大の値を示した。またCODが6 mg/l付近までは1/10希釈培地による結果の方が細菌数は大きな値を示した。林(1983)は三河湾の海水中に存在する細菌の生菌数測定には、アンダーソン培地を8~12倍に希釈した培地の方が生菌数は多

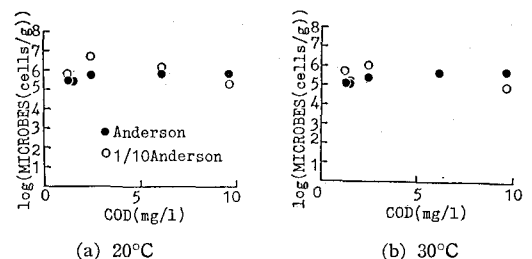


図-5 CODの変化にともなう細菌数の変動

数であったと報告している。このように栄養状態の低い海域においては、従来の濃度の培地では生育が困難な細菌が多く存在するために、正確な測定のためには、適宜希釈した培地を使用する方が適切であると考えられる。

4. 砂浜内の水質変化

(1) 現地観測による考察

現地観測より得られた砂浜内の水の COD, アンモニウムイオン (NH_4^+), 硝酸イオン (NO_3^-) の満潮時と干潮時の濃度の比較を図-6, 7, 8に示す。 NH_4^+ にはそれほど明確な傾向はみられなかったが, COD や NO_3^- は干潮時に高濃度になる傾向にあった。

以上の結果からは、水質の変化が砂浜における浄化作用によるのか、海水と地下水との混合による希釈効果であるのか判別しにくい。そこで汀線で測定した海水の水質と、砂浜から十分離れた潮汐の影響を受けていない井戸より採取した水の水質より、希釈効果による水質を計

算し実測値と比較した。

現地観測を行った点における海水、及び地下水の量をそれぞれ V_1 , V_2 , 海水および地下水中の塩分濃度をそ

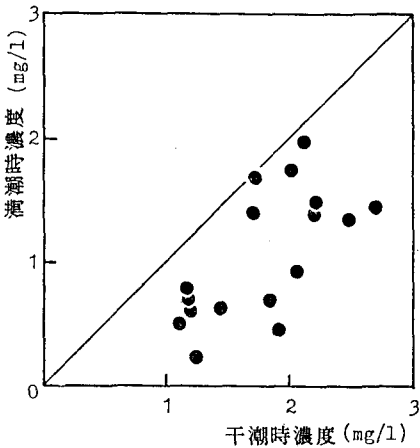


図-6 満潮時と干潮時の濃度比較(COD)

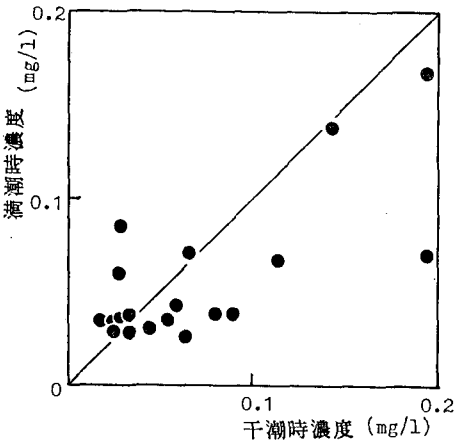


図-7 満潮時と干潮時の濃度比較 (NH_4^+)

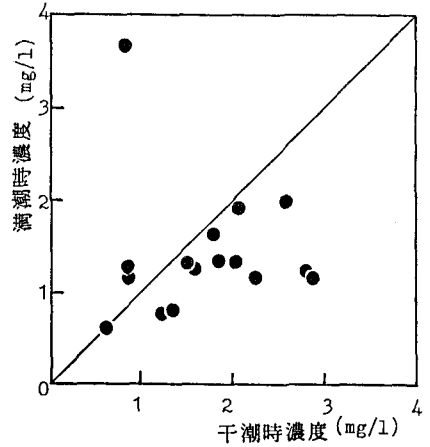


図-8 満潮時と干潮時の濃度比較 (NO_3^-)

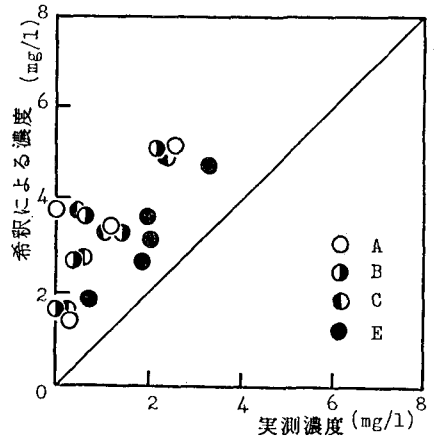


図-9 希釈による濃度と実測濃度の比較(COD)

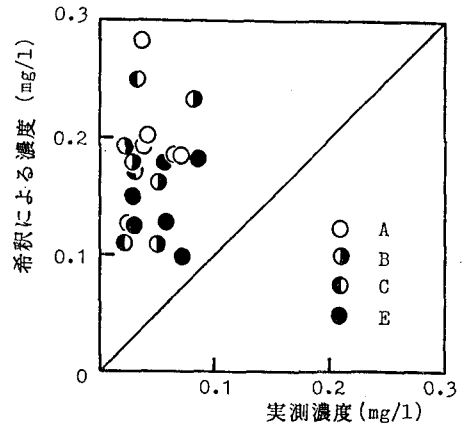


図-10 希釈による濃度と実測濃度の比較 (NH_4^+)

れぞれ S_1 , S_2 とする。対象とする水質の海水及び地下水中の濃度をそれぞれ C_1 , C_2 とする。観測点における塩分及び対象水質濃度をそれぞれ S , C とする。塩分及び水質について次のような式が成り立つ。

$$S = (S_1 V_1 + S_2 V_2) / (V_1 + V_2) \dots\dots\dots (1)$$

$$C = (C_1 V_1 + C_2 V_2) / (V_1 + V_2) \dots\dots\dots (2)$$

式 (1), (2) より次式を得る。

$$C = \frac{C_1(S_2 - S) + C_2(S - S_1)}{S_2 - S_1} \dots\dots\dots (3)$$

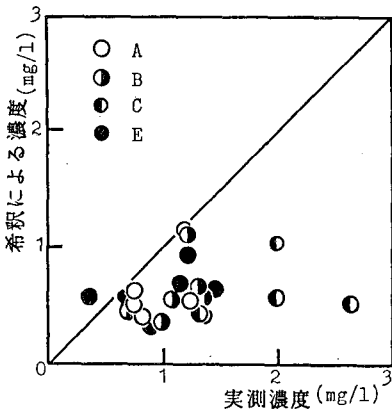
式 (3) により、海水及び地下水の塩分と水質の濃度と観測点の塩分濃度より、その点における混合希釈効果による水質濃度が推定できる。

各測定点における、式 (3) で求められた希釈された濃度の推定結果と観測結果の比較を、図—9, 10, 11 に示す。COD, NH_4^+ はともに推定結果よりも実測結果の方が濃度が低くなっており、逆に NO_3^- は希釈濃度よりも高くなっている。したがって希釈以外の浄化作用により COD の除去と、アンモニアの硝酸塩への硝化が行われていると考えられる。汀線に最も近い E 点ではその他の点に比べて実測濃度は希釈による濃度に近くなっている。このことは、汀線付近の水は砂浜中の滞留時間が短く、浄化作用を受ける時間も短いためであると推測される。

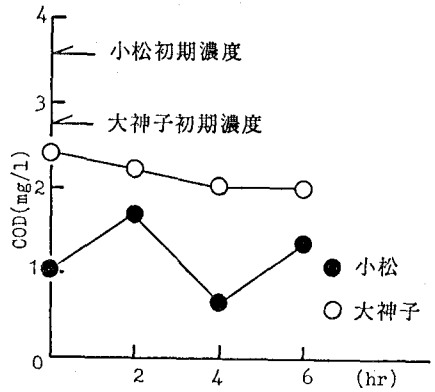
(2) 室内実験による水質変化

室内実験では上げ潮を模して 6 時間かけて砂中に人工汚染海水を注入し、下げ潮を模して 6 時間かけて流出させた。流出が始まってからの経過時間と流出水の水質を図—12, 13, 14 に示す。

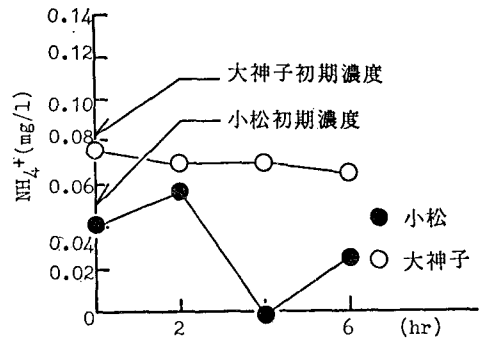
流入時の濃度と流出時の濃度を比較すると、COD, NH_4^+ 濃度は低下し NO_3^- 濃度は上昇しており、砂層内で有機物の除去とアンモニアの硝化が進んでいることがわかる。 NH_4^+ の減少と NO_3^- の増加は時間の経過にしたがって除々に進んでいるのに対し、COD は流出の初期からかなり低下している。このことより COD の



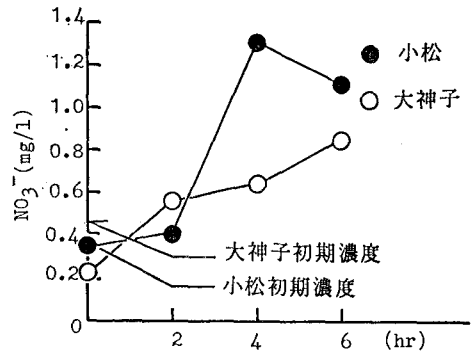
図—11 希釈による濃度と実測濃度の比較(NO_3^-)



図—12 室内実験流出水の COD



図—13 室内実験流出水の NH_4^+



図—14 室内実験流出水の NO_3^-

除去には、まず砂による濾過の効果が働いていると考えられる。

上記のそれぞれの濃度変化は小松海岸の砂を用いた場合の方が著しい傾向にあった。砂の粒径が小さい方が比表面積が大きく、濾過やバクテリアが付着生育するのにより有利な環境にあったためではないかと考えられる。

(3) 砂浜の水質浄化能

上げ潮時に砂浜に浸透する流量を $Q_{in}(t)$, ある水質の濃度を $C_{in}(t)$, 下げ潮時に流出する流量を $Q_{out}(t)$,

水質濃度を $C_{out}(t)$ とすると、一潮汐間の収支は

$$\Delta = \int C_{in}(t)Q_{in}(t)dt - \int C_{out}(t)Q_{out}(t)dt \dots\dots (4)$$

で表される。

小松海岸における砂浜内の水位の現地観測より、観測当日の当海岸における満潮時と干潮時の砂浜内に存在する水量の差は、汀線長さ 1m あたり 4.77m^3 であった。そこで $Q_{in}(t)$ 、 $Q_{out}(t)$ を次のようにおく。

$$0 \leq t < T/2 \quad Q_{in}(t) = q \sin(2\pi t/T)$$

$$Q_{out}(t) = 0$$

$$T/2 \leq t < T \quad Q_{in}(t) = 0$$

$$Q_{out}(t) = -q \sin(2\pi t/T)$$

$$\int_0^T Q_{in}(t)dt = \int_0^T Q_{out}(t)dt = 4.77$$

上式で決定される流量を用い、 $C_{in}(t)$ 、 $C_{out}(t)$ としてそれぞれ 図-12~14 の流入水質、流出水質の値を用いて式 (4) を計算すると次のような結果になった。

$$\text{COD} \quad \Delta = 11.3\text{g}$$

$$\text{NH}_4^+ \quad \Delta = 0.501\text{g}$$

$$\text{NO}_3^- \quad \Delta = -2.124\text{g}$$

減少したアンモニウムイオン中の窒素分は 0.390g であり、増加した硝酸イオン中の窒素分は 0.480g であり、ほぼ近い値になっており、この程度の硝化があるものと推測される。

COD は一潮汐間に 11.3g の減少があると推算された。東京湾内金沢八景の砂浜（人工海浜造成のため消失）では、有機懸濁物の浄化について、砂層にトラップされるものが砂浜 1m、1日当り SS として 0.624kg 、COD 換算で 0.02kg と見積られた（堀江，1988）。また三重県内の海岸においては砂浜 1m あたり、一潮汐間に $6.7\sim 9.9\text{g}$ の COD の除去があるという報告も行

われており（坂本，1988），ここでの結果もそれらと似た値となっている。

5. 結 言

本研究では、砂浜に存在する好気性細菌による水質の浄化効果を、現地観測と室内実験により考察した。その結果、徳島県沿岸の砂浜中に生息する好気性細菌は、 25°C 付近の温度と低栄養の状態よく増殖することが認められた。これらの細菌により、実際に砂浜中で水中の有機物の除去や、アンモニア性窒素の硝化が行われていることが、現地観測及び室内実験より確認された。

ここではまず実際の現象を把握するために、現地観測や現地の砂を用いた室内実験の結果による基礎的な検討を行った。今後はさらに砂浜内での浄化作用を詳しく検討するとともに、数式モデルによる検討も行っていく予定である。

本研究を行う上で、本学大学院博士課程の上月康則氏には、実験や議論を通して種々御協力を頂いた。また元本学工学部学生石河雅典氏（現パンフィックコンサルタント）にも調査や実験において御協力を頂いた。ここに謝意を表する。

参 考 文 献

- 坂本市太郎 (1988): 砂浜, 「河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー」, 東海大学出版会。
- 林 孝市郎 (1979): 砂浜による浄化, 「水域の自浄作用と浄化」, 恒星社厚生閣。
- 林 孝市郎 (1983): 海水・底泥中の微生物の挙動と有機物分解機能, 「潮感帯周辺海域における浄化機能と生物生産に関する研究報告書」, 東海区水産研究所。
- 堀江 毅 (1988): 内湾における物質循環モデルと浄化工法, 「河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー」, 東海大学出版会。