

海環境修復技術としての海水浄化船

Floating Vessel of Seawater Treatment for Rehabilitation of Marine Environment

湊 太郎*・山崎 正一**・福江正治***・佐藤義夫***

Taro MINATO, Shoichi YAMASAKI, Masaharu FUKUE and Yoshio SATO

要旨: 閉鎖性海域の汚染とそれに伴う生態系の変化は、国際的にも重要な環境問題として取り上げられている。また、赤潮や青潮の発生によって漁業被害が起こるなど、市民生活に密接な問題でもある。このような閉鎖性海域を正常な状態に回復させるためには、水質および底質浄化を行う必要がある。

本研究では、海水の水質浄化技術として、開発した浄化船が適用できるかどうか、実海域で実験を行いその浄化能力について検討した。その結果、浄化船に導入された海水は、SS が 80%以上、COD が 18%程度除去されて海に戻されるということが明らかとなった。また、浄化した海水の溶存酸素量は、浄化前の海水に比べて 1.0 ppm 以上高い値が維持される。これらの能力から、海水浄化船を対象とする海域で稼働させることにより、その貧酸素状態を改善し透明度を向上させることが可能であるということがわかった。さらに、海水浄化船のシステムが、赤潮プランクトンの除去などに十分対応できるものであるということがわかった。

キーワード: 海水浄化, 浄化船, DO, 赤潮, 透明度

1. まえがき

閉鎖性海域の汚染とそれに伴う生態系の変化は、国際的にも重要な環境問題として取り上げられている。また、赤潮や青潮の発生によって漁業被害が起こっており、市民生活に密接な問題でもある。

閉鎖性海域では、生活排水や産業排水の流入によって、現在でも水質・底質の悪化が進んでいる。化学的酸素要求量 (COD) についてみると、東京湾や伊勢湾、瀬戸内海では、発生負荷量は着実に削減されているものの、その海水中の濃度や環境基準の達成率は近年ほぼ横這いの傾向を示している¹⁾。また、海面埋立や護岸工事の進展に伴い、

自然海浜や干潟が減少あるいは消滅し、自然の浄化機能の多くが失われた。これが、さらなる閉鎖性海域の環境悪化を引き起こしている。

このような閉鎖性海域を正常な状態に回復させるためには、水質および底質浄化を行い、生物機能を正常な状態に戻さなければならない。干潟や浅場に繁茂する海草類は、海水浄化能力を有することが知られている。しかし、周辺海水の水質汚濁がある程度進むと、海草は光合成を行うことができず死滅する。したがって、海草類の浄化能力を正常に働かせるためには、光合成を行うのに必要な光量を確保し、その生育を阻害する有害物質

* 非会員 青木マリーン株式会社, ** 正会員 青木マリーン株式会社, *** 非会員 東海大学海洋学部

を取り除いてやる必要がある。つまり、現在の海環境を修復するためには、底質の浄化だけでなく、水質を浄化する技術が必要であり重要となる。

本研究では、海水の水質浄化技術として、開発した浄化船が適用できるかどうか、実海域で実験を行いその浄化能力を調べた。また、その浄化能力によって、どのような海環境の修復が可能なのか検討した。浄化能力は、浮遊懸濁物質（SS）、化学的酸素要求量（COD）、溶存酸素（DO）など5項目を測定し評価した。

2. 浄化船の設備

2.1 浄化の原理

海水浄化船では、炭素繊維と砂および水砕スラグを用いて海水を浄化する。炭素繊維は、生物親和性のため、繊維の表面に微生物が付着する。これら微生物が、浮遊している有機物を捕らえて生物分解する²⁾。これにより、海水中の有機物が海水から除去される。

砂では、それらの間隙に微細な懸濁物質が沈降し砂の表面に吸着される。このとき、砂粒子の表面に生息する微生物³⁾が、懸濁物質のうち有機物を分解する。

水砕スラグは、シリカ（SiO）や石灰（CaO）などを主成分とするガラス質で砂粒状の固体である。水砕スラグは、海水へのケイ酸塩の供給機能を有することが明らかにされている⁴⁾。ケイ酸塩は、稚魚などの餌となる珪藻の繁殖に必要とされる。さらに、水砕スラグは、海水中のリンを吸着する能力がある。

2.2 浄化船の設備

海水浄化船では、海水はポンプで揚水され、船体後部に設けた炭素繊維槽を通過する（図1）。炭素繊維槽には、長さ1.4 mの炭素繊維を約300本

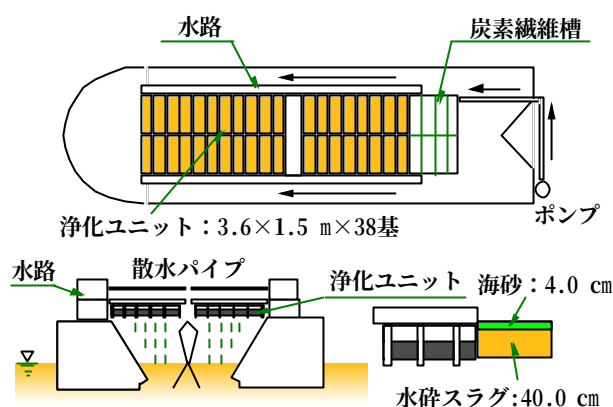


図1 海水浄化船の浄化設備

取り付けた。炭素繊維槽の容量は75 m³であり、この槽における滞留時間は約18分である。

炭素繊維槽を通過した海水は、左右の水路を通過して散水パイプに至り、そこから下の浄化ユニットに散水される。海水は自由落下で供給されるため、散水パイプと浄化ユニットの間で空気を取り込むことができる。浄化ユニットに散水された海水は、図1に示すろ過層を通過してろ過される。

ろ過層は、透水係数の異なる砂と水砕スラグからなり、2層式のろ過層となっている。なお、生物膜が存在しない砂の透水係数は10⁻² cm/s、水砕スラグは10⁻¹ cm/sのオーダーである。また、ユニットの下部はメッシュ状になっている。そのため、ろ材の内部では、ほぼ好気的な条件が維持される。ろ過された海水は、浄化ユニットの下部より直接海に戻される。

本研究で用いた海水浄化船は、長さ65 m、幅15 mで、浄化ユニットを38基搭載した。浄化ユニットのろ過面積は、1基当たり5.4 m²であるから、本研究で用いた浄化船は、約200 m²のろ過面積を有する。

3. 実験海域および実験方法

3.1 実験海域

本研究では、図1に示す海水浄化船を岡山県の笠岡湾に曳航して設置し、8月から3ヶ月間連続

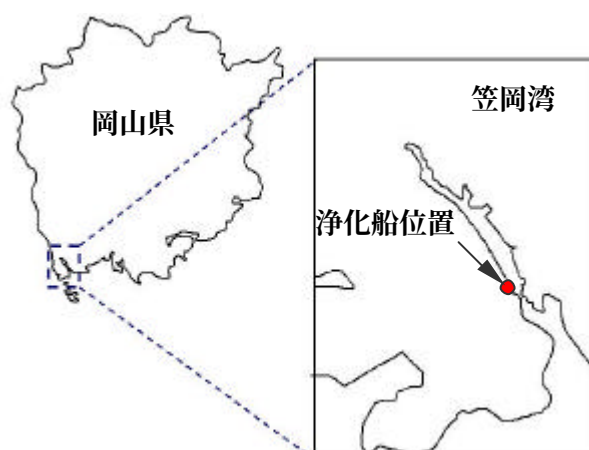


図2 海水浄化船を設置した海域

で稼働させた。設置した海域を図2に示す。なお、海水浄化船の設置位置を矢印で示しておく。図に示すように、海水浄化船を設置した笠岡湾は、湾口から湾奥までの延長が約8 kmであるが、幅が約500 mと狭く、非常に細長い運河のような海域である。

3.2 実験方法

本研究では、海水浄化船を24時間連続で稼働させた。稼働させた期間は、2002年の8月1日から10月22日までの約3ヶ月間である。この間、ポンプで揚水した直後の海水と、浄化ユニットを通過した海水について集水器を設けて、多項目水質モニター（YSI ナノテック，model6600）を用いて連続的に水質測定を行った。項目は、濁度（NTU）、溶存酸素量（DO）、塩分（‰）、水温（℃）、pHである。なお、本研究では、水質計で測定した濁度と次式から、懸濁物質量を求めた。

$$SS = 2.66T_u^{0.82} \quad (1)$$

ここに、SSは懸濁物質量（ppm）、 T_u は濁度（NTU）である。(1)式は、図3に示す笠岡湾に関する懸濁物質量と濁度の関係から求めた。図中の懸濁物質量は、笠岡湾の海水について重量法により求めた結果である。

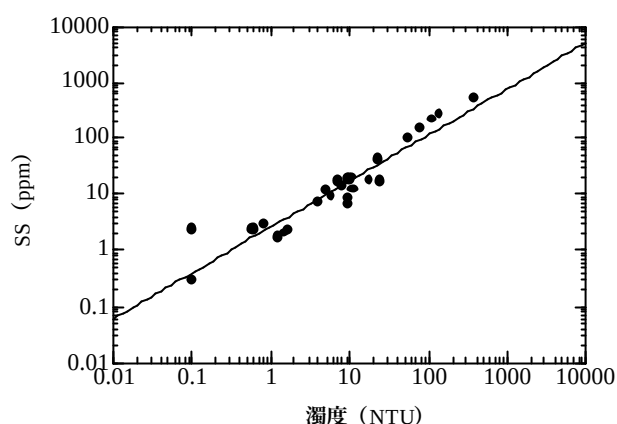


図3 笠岡湾におけるSSと濁度の関係

このほか、ポンプで揚水した直後の海水と、浄化ユニットを通過した海水をDOが変化しないように採取して、化学的酸素要求量（COD）および栄養塩を測定した。CODは、過マンガン酸法により求めた。また、水砕スラグによるケイ酸塩の供給を確認するため、海洋観測指針⁵⁾に基づき栄養塩としてケイ酸塩の測定を行った。

4. 浄化船の海水浄化能力

4.1 浮遊懸濁物質（SS）

図4にSSの時間に伴う変化の例を示す。なお、図中には、比較のために浄化前後のSSの値を示してある。また、測定日の潮位も示してある。

この図から、浄化前の海水では、SSの値が潮汐に応じて変化しており、干潮時で高く満潮時で低いということがわかる。この日の干潮時のSSは、満潮時の約2.5倍である。一方、浄化ユニットを通過した海水では、浄化前の海水のSSによらず、そのSSがほぼ一定な値を示すということがわかる。図4に示す8月14日では、浄化ユニットを通過した海水の中でSSが0となっている。

図5に、SSの日数に伴う変化を示す。この図には、浄化前後の値を示してある。図5より明らかに、浄化ユニットを通過した海水中では、一部を除きほぼ2.0 ppm以下までSSが減少する。

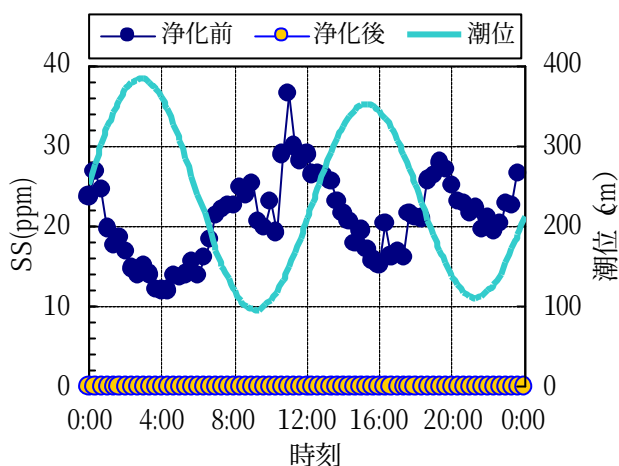


図4 SSの時間に伴う変化(8月14日)

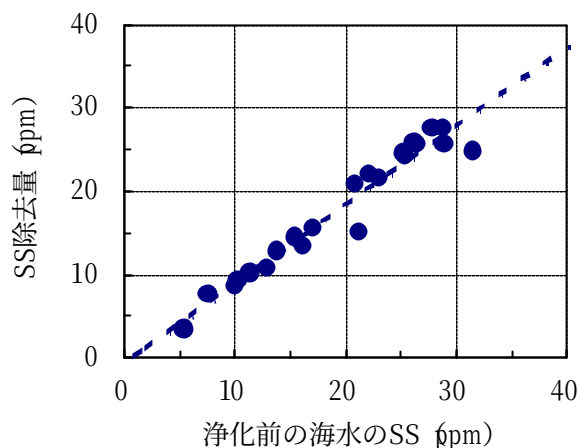


図6 SS除去量と浄化前の海水のSSの関係

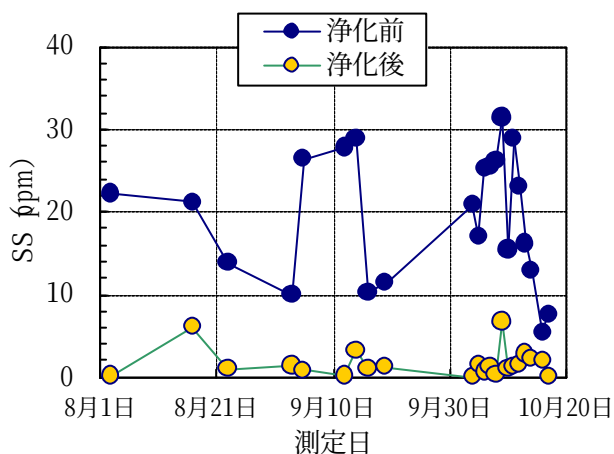


図5 SSの日数に伴う変化

図5において、浄化前の海水のSSが約10 ppm以下のときに、SS除去量が減少する場合が認められる。そこで、図6に、SS除去量と浄化前の海水のSSの関係を示す。なお、SS除去量は、次式のように定義した。

$$DS = S_0 - S_1 \quad (2)$$

ここに、 ΔS はSS除去量(ppm)、 S_0 は浄化前のSS(ppm)、 S_1 は浄化後のSS(ppm)である。

図6から明らかなように、浄化前の海水中のSSが減少するのに伴って、SS除去量が減少する。つまり、図5で見られたようなSS除去率の減少は、浄化前の海水のSSが低いために生じたということが考えられる。

これには、ろ材と懸濁物質の間に起こる次のような現象が関係しているものと考えられる。海水中の懸濁物質がろ材表面に接触したとき、相互界面の電気的な条件がその合一を可能にすれば、懸濁物質は付着凝集し海水中から除去される。このようにして付着した懸濁物質がろ材表面を覆うと、後続の懸濁物質が先行付着している物質の上にさらに付着する。このように、ろ材表面に吸着した物質による膜の形成が進むと、最終的に間隙が塞がれる。海水中の懸濁物質の濃度が大きいほど、吸着物質の膜の形成が速やかに行われる。吸着物質の膜が形成されるのに伴い、ろ材の間隙径が減少し捕捉される懸濁物質が増加する。一方、懸濁物質の濃度が小さい吸着物質の膜の形成は緩やかに行われる。そのため、海水中の懸濁物質は、そのほとんどが除去されず、ろ材中を通過する。

いずれにしても、海水浄化船のSS除去能力は非常に高く、80%以上の除去率を3ヶ月間維持することが可能であるということがわかった。

4.2 化学的酸素要求量(COD)

図7に、浄化前後における海水中的CODの変化を示す。なお、図中には、炭素繊維槽を通過した海水についても示してある。この図から、8月

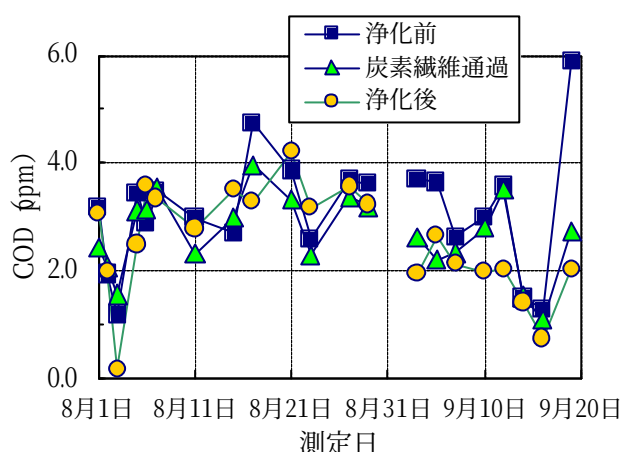


図7 海水中のCODの変化



写真2 珪藻の生育状況（笠岡湾）

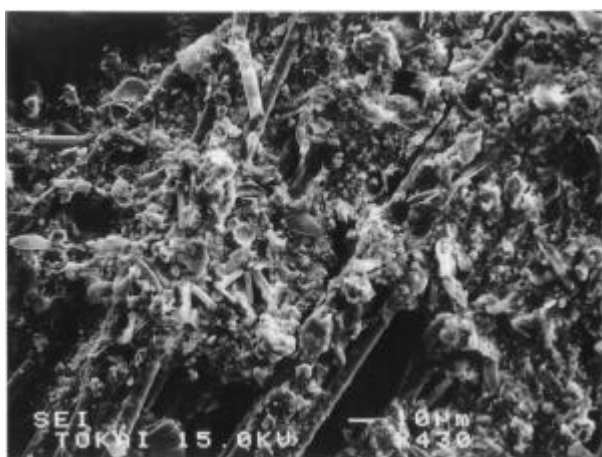


写真1 炭素繊維の付着物（笠岡湾）

初旬を除き、炭素繊維槽を通過した海水でCODが減少するということがわかる。

炭素繊維は、生物との親和性が高く、微生物に対して有利に働く機能を有する²⁾。炭素繊維を水中に設置すると、1日後には好炭素菌が付着して粘着性のある生物膜を形成する²⁾。この膜の周囲にはプランクトンなどが集合し、二次的な生物集団が形成される(写真1)。このような過程を経て、海水中の有機物が捕らえられ除去されることが考えられる。

図7をみると、浄化ユニットを通過した海水では、8月と9月で異なる傾向を示すということがわかる。8月では、浄化ユニットを通過した海水でCODの増加が認められる。また、CODが

減少する場合でも、その除去率は低く7%程度である。しかしながら、9月では、浄化ユニットを通過した海水でCODの増加は認められず除去率も高くなる。9月のCOD除去率を求めると、平均で約36%である。

植物プランクトンは、無機栄養塩類を吸収してタンパク質などの有機物を生産している。これらの有機物は、植物の代謝成長過程で体内に蓄積されるが、かなりの部分は速やかに溶存有機物として体外へ分泌される。藻類が光合成産物の70%を溶存有機物として分泌することもある⁸⁾。藻類が分泌した溶存有機物の30~90%は、バクテリアに取り込まれ利用される⁸⁾。植物プランクトンが分泌した溶存有機炭素が、バクテリアの全エネルギー要求の50%をまかなうということが判明している⁸⁾。したがって、ろ材に供給される有機物には、浄化前の海水に含まれる有機物のほか、ろ材表面などに繁茂した珪藻類から分泌される溶存有機物が含まれているのではないと思われる。

海水中の懸濁態の有機物は、ろ材の隙間に捕捉され物理的に除去される。また、ろ材に接触した溶存有機物は、ろ材表面に付着しているバクテリアなどによって取り込まれる。しかしながら、溶存有機物が過剰に供給されると、ろ材表面の生物分解では除去することが困難になると思われる。

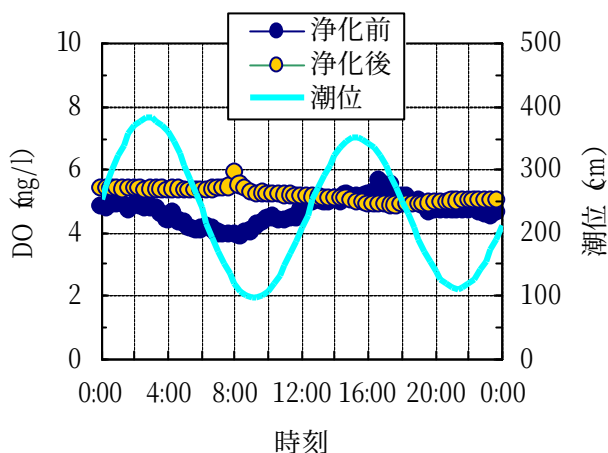


図8 DOの時間に伴う変化(8月14日)

8月には、浄化船内の至る所で珪藻が繁茂するなど海藻類の活発な生育が認められた(写真2)。一方、9月では、珪藻の量が減少するなど、浄化船内における海草類の生育は8月に比べて停滞していた。また、図5に示したように、8月から9月まで、海水中の懸濁物質は確実に除去されている。これらのことから、図7に見られる8月のCOD増加は、浄化船内の生物活動に伴う溶存有機物の増大が関係しているものと思われる。

以上のことから、海水浄化船に搭載した浄化装置によって、海水中のCODを減少させることができるということがわかった。また、COD除去率は、8月と9月で大きく異なるが、実験期間中を平均すると約18%であった。

4.3 溶存酸素量(DO)

図8にDOの時間に伴う変化の例を示す。なお、図中には、比較のために浄化前後のDOの値を示してある。また、測定日の潮位も示してある。

この図から、浄化前の海水では、DOの値が潮汐に応じて変化しており、満潮時で高く干潮時で低いということがわかる。一方、浄化ユニットを通過した後の海水では、浄化前の海水のDOによらず、そのDOがほぼ一定な値を示すということがわかる。

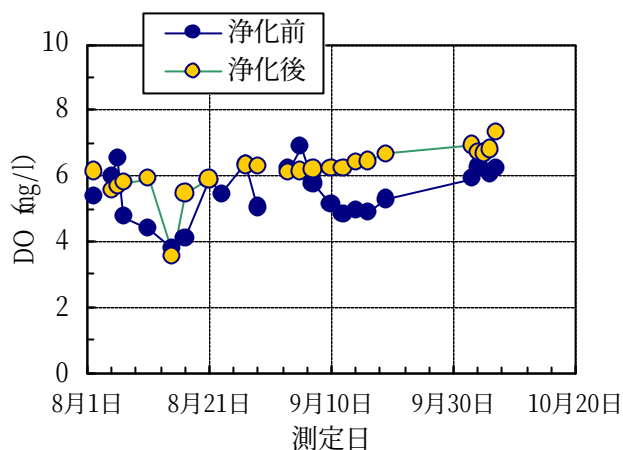


図9 浄化前後におけるDOの変化

図9に、実験期間中における浄化前後のDOの変化を示す。これらDOの値は、浄化前の海水のDOが最低値を示す日中の干潮時に測定した値である。この図から、浄化前の海水では、日によってDOが4.0~7.0 mg/lまで大きく変化することがわかる。しかしながら、浄化ユニットを通過した後の海水では、浄化前に比べてDOが増加し、ほぼ一定な値で推移する。このDOの増加は、曝気効果によるものと考えられる。浄化ユニットを通過した後のDOの範囲は、6.0~7.0 mg/lである。

これらのことから、浄化船内を通過することによって、海水のDOを増大させることが可能であるということがわかった。さらに、浄化ユニットを通過した海水のDOは、浄化前の海水のDOによらず、ほぼ6.0~7.0 mg/lの範囲であるということが明らかとなった。

4.4 珪酸塩(Si)

海水中の植物の生育に必要な栄養塩は、窒素(N)、リン(P)、ケイ素(Si)である。海洋の食物連鎖は、主に珪藻類による基礎生産から始まる。つまり、ケイ藻類が豊富であれば、漁獲高も増大する。しかし、ケイ藻類が必要とするSiの海域への供給量が、最近では減少傾向を示している⁹⁾。

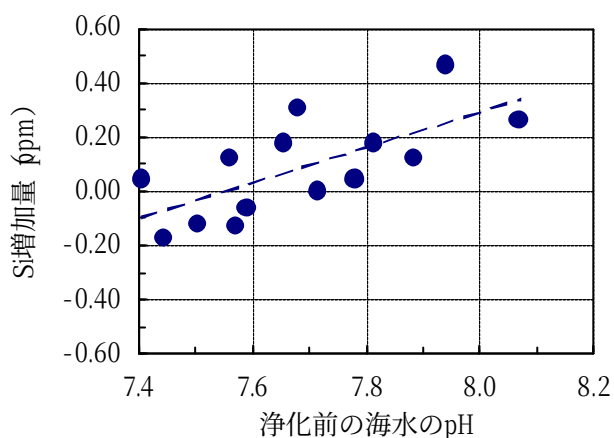


図10 Si 増加量と pH の関係

これは、治水事業などの進展に伴い、河川の上流に堰やダムが多く造られたためである。ダム湖では、淡水性ケイ藻が繁殖し、その上流などから供給された Si を消費している。主要河川の Si 濃度を調べると、特に関東圏や近畿圏の河川において、Si 濃度が減少していることが判明した⁹⁾。

これらのことから、対象とする海域の生物機能を正常な状態に回復されるためには、海域で不足している Si を供給する必要がある。

既往の研究⁴⁾から、水砕スラグが、海底土よりも高い Si の供給機能を有する材料であるということが明らかにされた。そこで本研究では、ろ材として用いた水砕スラグから、Si が供給できるかどうか調べた。

水砕スラグがアルカリ性の水に接すると、スラグの鎖状結合が切断され、スラグに含まれる Si が溶出する。したがって、水砕スラグからの Si の溶出量は、海水の pH に依存する。そこで図10に、Si 濃度の増加量と pH の関係を示す。なお、Si 濃度の増加量は、次式のように定義した。

$$DC_{Si} = C_{Si0} - C_{Si1} \quad (3)$$

ここに、 ΔC_{Si} は Si 濃度の増加量 (ppm)、 C_{Si0} は浄化前の海水の Si 濃度 (ppm)、 C_{Si1} は浄化後の海水の Si 濃度 (ppm) である。

図10より、浄化前の海水の pH が増加するの

に伴って、Si 濃度の増加量が増大する。また、浄化前の海水の pH が 7.6 以下になると、Si が溶出せず、逆に取り込まれる結果となる。

主な閉鎖性海域における海水の pH¹⁰⁾ は、東京湾の湾奥で pH=7.6~8.6、伊勢湾の湾奥で pH=7.8~8.4、大阪湾の湾奥で pH=7.9~8.5 (淀川河口: 7.4~8.4)、広島湾の呉市地先で pH=7.4~8.3 の範囲である。これらのことから、主な閉鎖性海域では、河口付近以外の水域で浄化船を稼働させれば、浄化後の海水中で Si 濃度を増大させることが可能であると考えられる。

5. 浄化船による海環境の修復方法

岡山県の笠岡湾で実施した実験により、海水浄化船は、80%以上の浮遊懸濁物質を海水中から除去することができるということがわかった。また、炭素繊維を設置したことにより、海水の COD を約 18%減少させることができる。さらに、浄化前の海水の DO によらず、浄化後の海水の DO を 6.0~7.0 mg/l の範囲で安定させることができるということが判明した。このほか、主な閉鎖性海域で浄化船を稼働させた場合、その海域で不足していると思われる Si を供給することが可能であるということが明らかとなった。

そこで本章では、判明した浄化船の能力によって、どのような海環境の修復方法が可能であるのか検討することにする。

5.1 貧酸素状態の改善

5.1.1 閉鎖性海域の現状

東京湾や伊勢湾、大阪湾といった閉鎖性海域では、海底に堆積した有機物の分解に伴い、底層の酸素が大量に消費される。また、このような海域の底層では光量が不足しているため、植物の光合成が行われず酸素の供給がない。そのため、貧酸素水塊あるいは無酸素水塊が生じている。

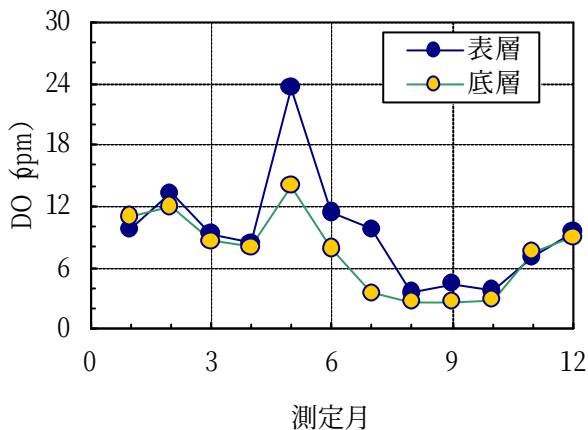


図 11 東京湾における DO の変化 (東京都水産試験場：研究／調査データより作成，2002 年)

図 11 に示すように，東京湾の湾奥では，夏季の底層において DO が 2.0 mg/l 以下になる貧酸素水塊が生じている¹¹⁾。また，2002 年の伊勢湾の貧酸素情報¹²⁾によれば，9 月に DO が 1.0 mg/l 以下の貧酸素水塊が発生した。このほか，英虞湾や大阪湾などでも，その湾奥では底層の DO が毎年のように 3.0 mg/l 以下となっている。

貧酸素水塊の存在は，海域の生態系に変化を引き起こす。その結果として，魚介類の生息状況が変わり，水産業への悪影響が生じる。DO が 3.0 ml/l (約 4.3 mg/l) 以下では，底生生物群衆の種類数、密度あるいは種の多様性が著しく低い水準となる。さらに，2.0 ml/l (約 2.9 mg/l) 以下になると，ほとんどの種で悪影響が認められるようになる。したがって，最低限確保すべき溶存酸素量として，夏季においても底層で 2.0 mg/l 以上という値が目標とされている¹³⁾。

底層の貧酸素水塊は，底質から溶出した硫化水素を含む。貧酸素で還元的な環境下では，有機物の分解に際して，酸素の代わりに硫酸イオン (SO_4^{2-}) が消費される。その結果として，硫化物イオン (S^{2-}) が生じ，これが水素イオンと結びついて硫化水素 (H_2S) となる。この硫化水素

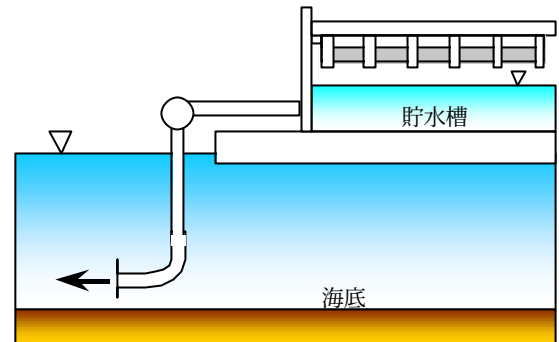


図 12 底層への海水の供給方法

は，生物に対して著しい毒性を示すが，酸素によって無害な硫酸塩に直ちに酸化される。したがって，底層の酸素量が高い場合には，底層の海水中に硫化水素は存在しない。

これらのことから，底層の貧酸素状態を改善することによって，底質からの硫化水素の発生を抑制し，海域の生態系の再生や保全が可能になると考えられる。

5.1.2 海水浄化船による直接的な改善方法

図 8 に示したように，海水浄化船により，対象とする海域に DO が 6.0～7.0 mg/l の海水を安定して供給できる。つまり，浄化船で処理した海水を底層に供給することによって，夏季の貧酸素状態を緩和することが可能であると考えられる。また，浄化船で処理した海水は，SS が 80%以上，COD が 18%除去された海水であるため，これを底層に供給することにより，貧酸素状態の緩和とともに海域全体の水質の向上が図れると思われる。

底層への浄化水の供給方法としては，図 12 に示すような方法が挙げられる。これは，浄化した海水を貯水槽に溜めた後，パイプを通して底層に浄化水を供給する方法である。この方法で問題となるのは，パイプから排水する際に，水流によって底泥を巻き上げないかどうかである。底泥の巻き上げは，海域の透明度の低下を招き，さらには溶存

酸素量を減少させる恐れがある¹⁴⁾。

大阪湾内における現地計測¹⁵⁾などによれば、粘土質の底質の巻き上がり限界流速は、海底近傍で 20.0 cm/s、海底から 1.0 m 上で 40.0 cm/s である。ここで、海水浄化船の処理量を 6000 m³ /日、パイプの内径を 0.6 m とすれば、パイプから排水される浄化水の流速は 24.0 cm/s となる。したがって、この条件で浄化水を供給する場合、海底から 1.0 m 以上の高さにパイプの排出口を設ければ良いことになる。

5.1.3 海水浄化船による間接的な改善方法

自然界における海水中の DO の供給源としては、海藻・海草類が挙げられる。これら植物は、光合成を行い酸素を生み出す。海草の例としてアマモを考えると、その生育条件は、① 年平均の透明度の最低値が 2.3 m 以上、② COD が年平均 2.3 ppm 以下、③ 水温は 2 月で -2~16℃、8 月で 16~28℃ ④ 適性塩分濃度は 17~34‰ である¹⁶⁾。

海水浄化船の能力として、懸濁物質量および COD の除去が挙げられる。特に、懸濁物質量の除去率は 80% 以上である。そのため、対象とする海域で浄化船を稼働させた場合、海水の透明度を向上させることが可能である。その結果として、対象海域の浅場には、アマモなどによる藻場の形成が促されると考えられる。

藻場内の水質について、宮城県の万石浦では、アマモが繁茂する 5~6 月に藻場内の DO の飽和度が 120% と高い値を示すということがわかっている¹⁷⁾。また、ガラモ場であるヨレモクモドキの群落（密生）では、群落外の DO が 9 mg/l 程度のとき、群落内の DO は 10 mg/l 以上になる¹⁷⁾。つまり、海水浄化船によって透明度を向上させて、藻場の造成を促進させることは、対象とする海域の DO を高めることに繋がる。

図 13 に、6000 m³ /日の処理能力で海水浄化船

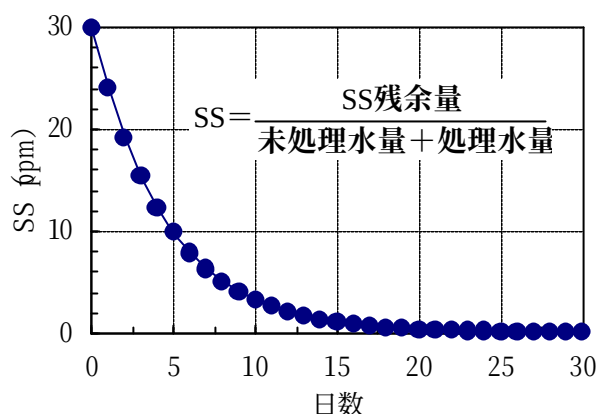


図 13 海水浄化船による SS 除去

を稼働させ、SS が 30 ppm で 3 万 m³ の海水を浄化する場合について、日数の経過に伴う SS の変化を示す。なお、処理水量を 3 万 m³ としたのは、次のような理由による。処理された水の影響は、浄化船を中心に約 50 m 離れた海域にまで達していた¹⁸⁾。浄化船の寸法から、影響範囲の面積は 6325 m² となる。また、本船のポンプは可動式であり、水深 5.0 m まで対応できる。これらのことから、浄化船を稼働させる海域として、3 万 m³ の海域を想定した。さらに、図 13 に示した変化は、簡単のために海水中への SS の負荷、あるいは内部生産による SS の増大はないものとし、処理した海水の SS は 0 であると仮定している。

瀬戸内海の各海域の透明度と SS の関係¹⁹⁾ から、アマモの生育に必要な透明度を確保する場合、SS を 5.0 ppm 以下にする必要がある。図 13 より、3 万 m³ の海水の SS を 30 ppm から 5.0 ppm にするには、海水浄化船を約 1 週間連続で稼働させればよいことがわかる。しかしながら、実際の海域を考えた場合、100 万 m³ 以上の海水を処理することになる。また、内部生産や流入負荷量を考慮しなければならない。したがって、実際の海域において稼働させる場合、浄化船の処理能力と内部生産および流入負荷量の関係を明確にしておかなければならない。また、海域を汚濁防止膜などで区切

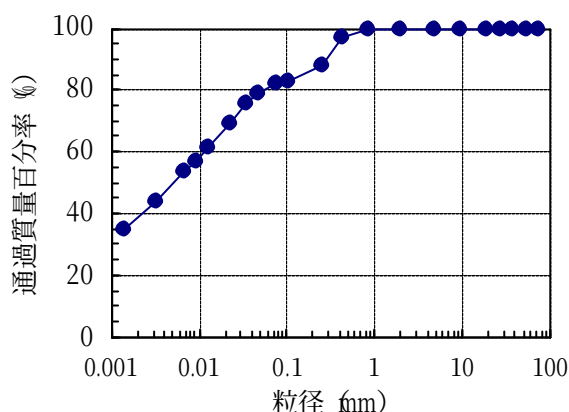


図 14 ろ材表面の堆積物の粒径加積曲

って作業を行うなどの工夫が必要であると考えられる。

何れにしても、海水浄化船を稼働させることは、海域の水質の向上および貧酸素状態の改善の一助になり得ると思われる。

5.2 赤潮の抑制

昭和 45 年から平成 10 年までの、瀬戸内海における赤潮構成種別の漁業被害件数を見ると、その 90%以上が鞭毛藻類によるものである²⁰⁾。そこで本節では、海水浄化船を用いて鞭毛藻類による赤潮を抑制できるか検討する。

5.2.1 直接的な抑制方法

これまで述べてきたように、海水浄化船は、80%以上の SS を海水中から除去することができる。また、ろ材表面の堆積物について、堆積層の表層を鍬取り、土の粒度試験方法²¹⁾に基づいて粒度を求めたところ、図 14 に示すような結果を得た。この図から、ろ材の表面の堆積物中には、5 μ m 以下の物質が 50%以上含まれていた。赤潮の原因生物の大きさは、概ね 5 μ m 以上である。したがって、海水浄化船によって赤潮の原因生物を除去することが可能であると考えられる。

鞭毛藻類の一種である *Gymnodinium mikimotoi*

は、その細胞密度の鉛直分布の中心が、7 月から 8 月にかけて水面下 2~5 m 層にあったことが確認された²²⁾。また、曇天時には表層に分布し、晴天時に中層に分布するという鉛直分布の変化も観察された²²⁾。したがって、*Gymnodinium mikimotoi* については、この細胞密度の中心を優先的にポンプで揚水することによって、それによる赤潮の抑制が可能になると思われる。

5.2.2 間接的な抑制方法

鞭毛藻類の増殖は、競合種であるケイ藻類が増殖した海域で阻害される。ケイ藻類は、ケイ酸塩による殻を持つため、それらの増殖には栄養塩として Si が必要である。一方、鞭毛藻類はタンパク質の外皮しか持たない。そのため、海水中の Si 濃度が減少すると、ケイ藻類のブルームは終了し鞭毛藻類が卓越する。

図 10 に示したように、海水浄化船によって、対象とする海域の pH が 7.6 以上であれば、海水中に Si を供給することが可能である。したがって、鞭毛藻類が頻繁に発生する海域において、海水浄化船を稼働させることにより、競合種のケイ藻類の増殖を長期にわたって維持できるようになると考えられる。

ケイ藻類と鞭毛藻類は、その休眠期細胞の発芽条件が大きく異なる²⁰⁾。鞭毛藻類の休眠期細胞は、非常に低い光強度あるいは暗黒条件下でも発芽できる。しかし、ケイ藻類の休眠期細胞は、1~10 μ mol/m²/s の光強度を必要とする。そのため、水質汚濁が進行し透明度が低下した海域では、ケイ藻類の休眠期細胞が発芽できず、鞭毛藻類が優占種となる。

これまでの調査などから、沿岸域の海底土中には、鞭毛藻類の休眠期細胞を遙かに上回る密度で、ケイ藻類の休眠期細胞が存在しているということが明らかとなった²⁰⁾。したがって、対象とする海域の透明度を向上させ、必要な光量が確保され

るようになれば、ケイ藻類が卓越して鞭毛藻類による赤潮の発生を抑制することが可能になると考えられる。

6. 結論

本研究では、海域の水質浄化技術としての海水浄化船の適用性について実験を行い検討した。その結果、次のようなことが明らかとなった。

- ① 導入した海水中の SS を 80%以上除去することが可能。
- ② 導入した海水の COD を約 18%減少させる。
- ③ 浄化前の海水の DO によらず、浄化ユニットを通過した海水の DO は 6.0~7.0 mg/l の範囲で安定している。
- ④ pH が 7.6 以上であれば、閉鎖性海域で不足しているといわれる Si を供給することが可能である。

さらに本研究では、海水浄化船によって可能な海環境の修復方法について検討した。その結果、海水浄化船を稼働させることが、貧酸素状態の改善および水質向上の一助になるということがわかった。ただし、浄化船の能力と流入負荷量の関係などを明確にする必要がある。また、有害・有毒赤潮を抑制できるということがわかった。

謝辞

本研究を行うに当たり、多くの方のご協力またはご支援をいただいた。ここに謝意を表します。

引用・参考文献

- 1) 環境省：平成 14 年度版 環境白書，2002
- 2) 大谷杉郎：炭素と生物，日本学術振興会，炭素材料第 117 委員会，第 224 回会議特別講演会，pp.1-8，1997
- 3) A.C. Brown and A. McLachlan：Ecology of

sandy shores，東海大学出版会，2002

- 4) 沼田哲始ほか：鉄鋼スラグによる沿岸環境改善技術，NKK 技報，No.177，pp.47-51，2002
- 5) (財)日本気象協会：海洋観測指針，1990
- 6) 丹保憲仁・小笠原紘一：浄水の技術，pp.75-80，技報堂出版，1985
- 7) 杉本泰治：ろ過，pp.31-54，地人書館，1992
- 8) 栗原康 編著：河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー，pp.62-65，東海大学出版会，1988
- 9) 森井ふじ：水圏無機成分の分析とともに，海洋化学研究，5，pp.34-52，1991
- 10) 国立環境研究所環境情報センター：環境数値データベース，<http://www.nies.go.jp/igreen/index.html>，2002
- 11) 東京都水産試験場：研究／調査データ，<http://www.fish.metro.Tokyo.jp>，2003
- 12) 三重県科学技術振興センター：伊勢湾貧酸素情報，<http://www.mpstpc.pref.mie.jp/SUI/index.html>，2003
- 13) 岡田光正：海域の窒素，リンに関する環境基準について，沿岸海洋研究，Vol.37，No.2，pp.53-58，2000
- 14) 細川恭史ほか：再浮遊した底泥の酸素消費実験，港湾技術研究所報告，Vol.19，No.3，1989
- 15) 高山知司ほか：大阪湾の底泥の巻き上がり特性に関する現地観測と実験，平成 14 年度京都大学防災研究所研究発表講演会，http://www.dpri.Kyoto-u.ac.jp/web_i/index_topics.html，2002
- 16) (財)日本水産資源保護境界：環境が海藻類に及ぼす影響を判断するための「判断基準」と「事例」，pp.38-47，1992
- 17) 栗原康 編著：河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー，pp.161-172，東海大学出版会，1988

- 18) 海底環境研究会編：笠岡湾における海水浄化と環境調査報告書, pp.80-84, 2003
- 19) 城 久ほか：大阪湾の海域環境と生物生産, 水産研究叢書 49, pp.12-34, 日本水産資源保護協会, 2002
- 20) 板倉 茂：珪藻を用いた有害赤潮の予防, pp.9-18, 恒星社厚生閣, 2002
- 21) (財)地盤工学会：土質試験の方法と解説, pp.69-88, 2000
- 22) 山口峰生：有害赤潮渦鞭毛藻 *Gymnodinium mikimotoi* の生理・生態学的特性と赤潮発生機構及び発生予察の現状, 水産研究叢書 48, pp.101-136, 日本水産資源保護協会, 2001

著者紹介

湊 太郎（非会員）

青木マリーン株式会社 技術開発部（兵庫県神戸市東灘区魚崎西町 3-4-3）, 昭和 47 年生まれ, 平成 14 年 3 月東海大学大学院海洋学研究科海洋工学専攻博士課程修了, 平成 14 年 5 月青木マリーン株式会社入社, 工学博士（東海大学）, 土木学会, 地盤工学会, 物理探査学会, 日本内分泌攪乱化学物質学会会員
e-mail : minato@aokimarine.co.jp

山崎 正一（正会員）

青木マリーン株式会社 常務取締役（大阪府大阪市福島区福島 6-13-7）, 昭和 23 年生まれ, 昭和 46 年 3 月東海大学海洋学部海洋工学科卒業, 日本沿岸域学会ほか会員
e-mail : yamasaki@aokimarine.co.jp

福江 正治（非会員）

東海大学海洋学部海洋土木工学科（静岡県静岡市清水折戸 3-20-1）, 昭和 23 年生まれ, 昭和 46 年 3 月東海大学海洋学部海洋工学科卒業, 昭和 52 年 McGill 大学大学院 Ph. D コース修了, 現在同大学教授, Ph. D, International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 土木学会, 地盤工学会, 海底環境研究会ほか会員

佐藤 義夫（非会員）

東海大学海洋学部海洋科学科（静岡県静岡市清水折戸 3-20-1）, 昭和 22 年生まれ, 昭和 45 年東海大学海洋学部海洋科学科卒業, 現在同大学教授, 理学博士（東海大学）, 日本海洋学会, 日本海水学会, 日本地球化学会ほか会員

Floating Vessel of Seawater Treatment for Rehabilitation of Marine Environment

Taro MINATO, Shoichi YAMASAKI, Masaharu FUKUE and Yoshio SATO

ABSTRACT : The pollution and change in ecosystem of closed sea area are considered as important problems in the world. Remediation techniques of water and sediments are needed for the recovery of natural purification in closed sea area. In this study, applicability of the floating vessel of seawater treatment to remediation technique of water in closed sea area is examined. As a result, it was found that the suspended solid of 80% is removed and the decrement of COD in seawater is about 18% using treatment system on the floating vessel. In addition, the DO of treated seawater ranged constantly from 6.0 to 7.0 mg/l, independent of seawater before treatment. Therefore, using the floating vessel of seawater treatment, it is possible to improve the anoxic condition and transparency in closed sea area. Furthermore, this vessel is able to cope well with red tide.

KEYWORDS : seawater treatment, floating vessel, dissolved oxygen, red tide, transparency