

## 人工干潟における植物プランクトンの内部生産と 貧酸素化に伴う底質有機物量の変化

宮崎 一\* 山崎 富夫

Effects of the Internal Production of Phytoplankton and Oxygen Deficiency on Changes  
of Organic Substances in the Sediment at the Artificial Tidal Flat

Hajime MIYAZAKI\* and Tomio YAMASAKI

*Water Environment Division, Hyogo Prefectural Institute of Public Health and  
Environmental Sciences, 3-1-27 Yukihiro-cho, Suma-ku, Kobe, 654-0037, Japan*

Chlorophyll-a(Chl-a), dissolved oxygen(DO), and ignition loss(IL) were monitored in the Amagasaki artificial tidal flat. DO was changed by various factors, especially, the growth of phytoplankton influenced on the increase of DO. The change of IL showed the organic substances originated in phytoplankton were decomposed rapidly under the high water temperature in summer.

These results suggested that it is important to carry out reductions of pollution loads of nutrition salts to restore the environment in the artificial tidal flat created in the eutricated sea which has the high potential of the internal production.

### はじめに

近年、沿岸域の水環境について、従来から行われている化学的評価に加えて、生物多様性の回復・保全、および健全な物質循環の回復を旨とした環境の回復・修復の必要性が認識されてきた。国においても、2003年1月1日に自然再生推進法が施行され、2003年4月1日に自然再生基本方針の決定により、本法律の本格的運用が開始された。

このような背景から、兵庫県尼崎市の南部工業地帯にあって、閉鎖性による海水交換の悪さ、垂直護岸の建設等により長期にわたり栄養塩が蓄積したために環境悪化

が著しい尼崎港内に、財団法人国際エメックスセンターが環境省の補助を受け、環境修復のための実証試験を行うための人工干潟を造成し、当センターを含む産学官の複数の機関の連携の下、調査研究がなされた<sup>1)2)</sup>。

我々は、生物多様性の回復による環境修復を目的とした第1段階として、この人工干潟を利用してアサリを育て、その過食性を利用した水質浄化実験を行ってきた<sup>2)</sup>。この実験に際しては、生物に対して致命的な影響を与える貧酸素化の出現を予測することが重要な課題であるが、当センターでは植物プランクトンの現存量を示す海水中のクロロフィル-a(Chl-a)およびpHのモニタリングによって貧酸素化の発生予測が可能であることを報告している<sup>3)</sup>。

一方、底質中に生息するアサリ等のベントスは一般に有機汚濁の進行により、貧酸素化に寄与する泥分の増加によって生残率が低下する等、底質の性状によって大きな影響を受ける<sup>4)</sup>。特に、尼崎港のような富栄養化海域

水質環境部

\* 別刷請求先：〒654-0037 神戸市須磨区行平町 3-1-27  
兵庫県立健康環境科学研究センター  
水質環境部 宮崎 一

では過剰増殖した植物プランクトンが枯死後、海底上に大量に堆積し、この結果、底質の泥分の増加による粒度の変化、底層の酸素消費量の増大等がベントスの生存に悪影響を及ぼすことが懸念されるが、植物プランクトンを介した水質・底質間の有機物の移行と酸素消費についての継続的な知見は少ない。

本報では、ベントスの生息場としての底質の重要性を鑑み、底質の性状に影響を与える要因として、植物プランクトンの内部生産を捉え、枯死沈降後の底質の有機物量、溶存酸素(DO)の量的変化から水質・底質間の相互作用を把握し、水質・底質浄化に貢献するベントスの良好な環境条件を見出すための検討を行ったので報告する。

## 調査方法

### 1. 尼崎港内人工干潟

Fig.1 に調査地点および人工干潟概要図を示す。人工干潟の形状規模は長さ約 32m、幅約 8m であり、干潟前面に砂留潜堤(OP+0.3m)を設置し、OP+1.0m の高さまで 1/50

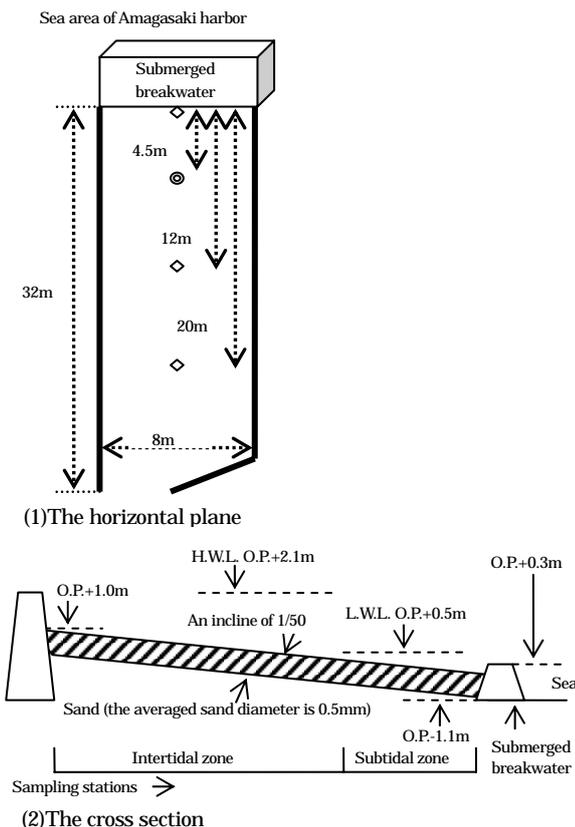


Fig.1 Schematic view of artificial tidal flat in Amagasaki experimental site

Marks of  $\circ$  show sampling stations of DO(dissolved oxygen), water temperature and salinity and IL(ignition loss). Marks of  $\diamond$  show sampling station of DO, water temperature, salinity, Chl-a(chlorophyll-a) and IL. O.P. means the lowest water level in Osaka bay.

勾配にて砂を撒き造成したものである<sup>12)</sup>。

砂は 2002 年 3 月に新規に搬入した清浄な砂(調査開始以降含泥率(粒径 63  $\mu$ m 未満の粒子の重量百分率)3%未満で推移)である。全リン、全窒素等の栄養塩、および全有機炭素(TOC)、強熱減量(Ignition Loss; IL)の有機物指標値は、貧酸素化が見られない播磨灘等の海域の底質と同程度に低く<sup>5)</sup>、調査開始時には底質(人工干潟造成のために搬入した砂)による大量の酸素消費は考えられない状態であった。

今回は、人工干潟において潜堤からの距離が 0m; 4.5m; 12m; 20m の、横方向から見た中間地点を調査地点として、水質に関しては、水温、塩分、溶存酸素量(DO)、クロロフィル-a(Chl-a)、底質に関しては有機物指標値として IL を測定した。

### 2. 試料採取方法および分析方法

調査は 2002 年 3 月 15 日から 2004 年 11 月 10 日まで、1 ヶ月に 1 回以上モニタリング調査を行った。なお、貧酸素化の発生が予想された、7 月から 10 月初旬まで 1 週間に 1~2 回の頻度で行った。全調査期間を通じて人工干潟内で水深が 2m を超えることはなかったため、水質調査の水深は表層とした。

表層水は塩化ビニル製バケツにより採水し、ポリエチレン製ビンに入れクーラーボックス中で冷蔵保存の上、試料水として実験室へ持ち帰った。試料水 500ml をあらかじめ 450 で 4 時間加熱処理したガラス繊維濾紙(GF-C; Whatman 社製)によりろ過し、ろ紙上に分離、残留された固形分について、Chl-a の分析に供した。DO 測定用試料は DO 測定用フラン瓶に採水後、常法<sup>6)</sup>に従い直ちに固定し持ち帰った。

水温と塩分は、クロロテック(model ACL208-DK; アレック電子(株)製)により現地測定を行った。Chl-a については海洋観測指針<sup>7)</sup>に従い分析を行った。

底質は、スコップを用いて底質表層 5cm の底質を採取し、ポリプロピレン製カップに入れクーラーボックス中で冷蔵保存の上、実験室へ持ち帰った。

なお、今回の調査においては、水質に関しては、地点間によるデータの有意な差が見られなかったため、潜堤から 4.5m 地点のデータを、また、底質に関しては底質試料特有の地点間のばらつき誤差を防ぐため、4 地点の平均値を代表値として、以下の解析に供した。

## 結果

### 1. Chl-a の経時変化

Fig.2 に Chl-a の経時変化を示した。2002, 2003 および

2004年度のいずれにおいても、22 を超える水温と十分な日射量が得られた夏季の7月上・中旬にピーク(2002年度82  $\mu\text{g/L}$ (P.02 : Fig.2 および Fig.3 におけるピーク(Peak)を示す .P.03 および P.04 についても同様.) , 2003年度33  $\mu\text{g/L}$ (P.03) 2004年度40  $\mu\text{g/L}$ (P.04) )を示した .その後漸減し 秋季から冬季は20  $\mu\text{g/L}$ 以下で推移した .富栄養化海域であることから海水中の栄養塩濃度が高いことを反映して、尼崎港の Chl-a は 2002 年度平均値が19.6  $\mu\text{g/L}$  であり、半自然干潟である赤穂市唐船海岸の同年度平均値が 2.11  $\mu\text{g/L}$ <sup>8)</sup>であることから、人工干潟の Chl-a は年間を通じて半自然干潟の Chl-a を大きく上回った .

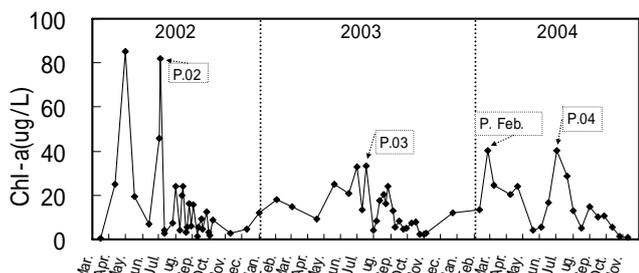


Fig.2 Change of chlorophyll-a(Chl-a)

## 2. DO の経時変化

Fig.3 に DO の経時変化を示した .6月から11月の長期間にわたり人工干潟の DO は、人工干潟の周辺海域である尼崎港内における成層構造の発達による海水の垂直混合の阻害および有機物の分解により発生した貧酸素水の流入の影響が認められ、研究プロジェクトが尼崎港内において設定した水質改善目標値である、3.0  $\text{mg/L}$ <sup>2)</sup>を下回った .一方、2004 年度2月(P.Feb. ( Fig.3 におけるピーク(Peak)を示す .) ) , 2002 年度7月(P.02)には植物プランクトンの増殖に由来すると考えられる DO のピークが認められた .また、水深が浅いことから12月または1月のような冬季には、風または波浪による海水の攪拌による DO の上昇が認められた .このように DO は尼崎港内の貧酸素化、内部生産された植物プランクトンによる酸素生産、風または波浪による海水の攪拌等の要因で変動した .

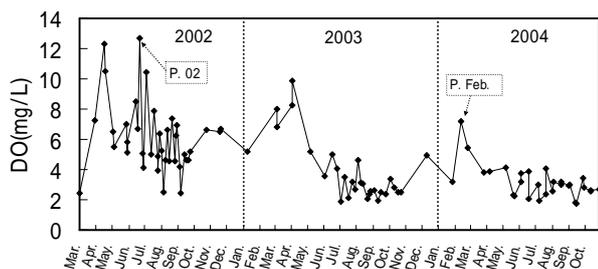


Fig.3 Change of dissolved oxygen(DO)

## 3. IL の経時変化

Fig.4 に IL の経時変化を示した .IL は周年変化を示し、2002 年度には6月から8月(2.13~2.29%(Max.02 : Fig.4 における 2002 年度の最大値を示す点 .) ) , 2003 年度には6月から7月(2.31~2.42%(Max.03 : Fig.4 における 2003 年度の最大値を示す点 .) ) , 2004 年度には6月(2.47%(Max.04: Fig.4 における 2004 年度の最大値を示す点 .) )となり、各年度の最大値を検出した .毎年高い IL が検出された後、いずれも7月から8月中には人工干潟への搬入直後と同等な IL 値(1.5%未満)に減少し各年度の最小値となった(2002 年度8月: 1.43%(Min.02 : Fig.4 における 2002 年度の最小値を示す点 .) ) , 2003 年度8月: 1.28%(Min.03 : Fig.4 における 2003 年度の最小値を示す点 .) ) , 2004 年度8月: 1.44%(Min.04 : Fig.4 における 2004 年度の最小値を示す点 .) ) .この減少以降、IL 値は次年度の夏季までゆるやかに増加する傾向を示した .

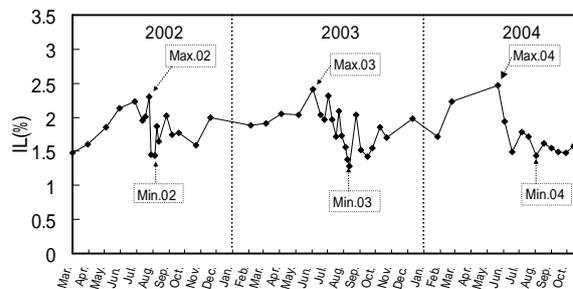


Fig.4 Change of ignition loss(IL)

## 考 察

一般に海域では、植物プランクトンの現存量を示す Chl-a が海水中の内部生産由来の有機物量を示す .近年の大阪湾奥海域では、COD の総量規制により陸域からの負荷が減少し、海域での内部生産由来の有機物が海水中の DO の消費に対して大きな影響を与えていると考えられる<sup>9)</sup> .人工干潟においては、Chl-a 量は夏季にピークを示し、また、富栄養化海域であることを反映して、年間を通じて半自然干潟を大きく上回った .このことから、DO 消費要因としての内部生産有機物の蓄積は、夏季に最高になること、富栄養化に応じて蓄積量が増大することが考えられた .なお、海域の生態系に大きな影響を有する塩分については、淀川に隣接する干潟としては通常値の範囲内である 8.56~30.26 の範囲で推移し、生態系に深刻な影響を与える数値ではなかった .

DO については、6月から11月の長期間にわたり貧酸素化が認められたが、2002年7月;2004年2月には植物プランクトンの増殖に由来すると考えられる DO のピークが

認められ、酸素生産者として植物プランクトンが海水中の DO 増加に強く関与することが示された。このように、Chl-a と DO のモニタリング結果から、DO の増減に対する植物プランクトンの強い影響が示された。

IL は Chl-a のピークが認められた 7 月前後に各年度の最高値まで増加し、その直後に各年度の最小値まで減少が認められる急激な変動を示した。このことは、夏季初頭まで底質に蓄積した植物プランクトン由来の有機物が夏季の高水温下で速やかに分解されることを示している。これに伴い DO もまた速やかに消費されることから貧酸素化を促進するものと考えられる。なお、底質の粒度については、調査期間を通じて砂分が 75%以上を維持し、泥分が 3%を超えることはなかったため、植物プランクトン等の生物の枯死体から生じた泥分の蓄積のような、貧酸素化に寄与するとともにベントスの生息環境に悪影響を及ぼすような変化は認められなかった。

人工干潟内では潮汐による海水交換により、成層構造の発達による海水の垂直混合の抑制の影響が軽微である。そのため人工干潟内では、貧酸素化が発生する要因としては、人工干潟の周辺海域からの貧酸素水の流入、人工干潟内での酸素消費がある。

人工干潟では、今回のモニタリング調査結果から貧酸素化は IL の急速な減少が認められた 7~8 月に先立つ 6 月から始まり 11 月まで継続的に認められた。このことは、

の影響が初夏から晩秋までの長期間にわたり継続していることを示している。夏季の水温上昇に伴う微生物の活性化とともに増加する底質の有機物分解由来の DO 消費が主な消費要因である。は、7 月~9 月に最も貧酸素化することから高水温時に貧酸素化を促進することが示唆された。また、以外には、低水温下で生物分解が少なくなる冬季に蓄積した植物プランクトン、ベントスの枯死体等由来の有機物に対する夏季の高水温における微生物の活性化に伴う分解促進、が考えられる。一般に冬季には生物生産量が減少するため、夏季に過剰増殖した植物プランクトン由来の有機物の影響には及ばないが、我々の調査時に人工干潟内ではムラサキガイが低水温で枯死することが認められていることから、環境条件の変化による生物の大量死には注意しておく必要がある。なお、今回の調査からは詳述することは困難であるが、酸素消費に直接に繋がる要因として、微生物による分解が容易な有機物（易分解性有機物）の蓄積が考えられる。については、IL が毎年ほぼ近い値まで減少することから、秋季から夏季初頭まで蓄積する易分解性有機物は毎年大部分が夏季に分解されると考えられる一方、次年への易分解性有機物の持ち越しはほとんどないと考えられる（IL の最小値以下は難分解性有機物を示す）。こ

のことは易分解性有機物の分解による酸素消費の効果が短期間で現れる形で貧酸素化に加担することを示し、易分解性有機物の蓄積を抑制することの重要性が示唆されている。今後は有機物の分解性の難易度を考慮した水質および底質のモニタリングが必要である。

今回の結果から、人工干潟内で内部生産された植物プランクトンに由来する有機物が速やかに分解され DO を消費することが明らかになった。環境修復の目的から富栄養化海域に造成される人工干潟では内部生産量は多く、内部生産された有機物による DO 消費がベントスの生存を脅かす恐れがあるため、内部生産の抑制のための富栄養化防止が求められる。今後の環境修復の順調な進展のためには、有用ベントスを含む生物生息に必要な人工干潟のような場の造成と同時に、内部生産抑制のため従来から採用されている栄養塩類（全磷、全窒素）の総量規制等の汚濁負荷の削減施策を実施することが重要である。

## ま と め

1. 尼崎港内において造成された人工干潟において、Chl-a、DO、IL の関係を検討した。貧酸素化については、植物プランクトンの内部生産の増大による有機物の供給と高水温下での微生物の活性化による酸素消費量増加の影響が認められた。
2. IL の変動から、夏季初頭まで底質に蓄積した植物プランクトン由来の有機物が夏季の高水温下で速やかに分解されることが示された。特に易分解性有機物については、短期間で分解され、貧酸素化に加担することが示された。
3. 内部生産量が多い富栄養化海域の人工干潟における環境修復の順調な進展のためには、栄養塩類の総量規制等の汚濁負荷の削減施策を実施することが重要である。

本調査研究は（財）国際エメックスセンターが環境省から受託したプロジェクト研究「閉鎖性海域における最適環境修復技術のパッケージ化」の一環として行ったものの一部である。

## 謝 辞

現地調査においては、武庫川下流浄化センター、赤穂漁業協同組合を始めとする地元関係者の方々のご理解とご協力を頂いたことに感謝します。

## 文 献

- 1) 環境省補助事業，2001 年度環境技術開発等推進事業[実用化研究開発課題]，閉鎖性海域における最適環境修復技術のパッケージ化（環境修復技術のベストミックスによる物質循環構造の修復）研究開発成果報告書，6-8～6-10，6-30～6-37，6-79～6-107，財団法人国際エメックスセンター（2002）
- 2) 環境省補助事業，2002 年度環境省委託業務結果報告書，閉鎖性海域における最適環境修復技術のパッケージ化（環境修復技術のベストミックスによる物質循環構造の修復）研究開発成果報告書，5-1～5-7，5-13～5-30，財団法人国際エメックスセンター（2003）
- 3) 宮崎 一，山崎 富夫：水質変化から見た人工干潟における海水の貧酸素化について，兵庫県立健康環境科学研究所センター年報，2，130-135，(2003)
- 4) 社団法人全国沿岸漁業振興開発協会：沿岸漁場整備開発事業増殖場造成計画指針ヒラメ・アサリ編（平成 8 年度版）139-141(1997)
- 5) 2001 年度環境省委託業務結果報告書，瀬戸内海環境情報基本調査-播磨灘・燧灘・別府湾-(資料編)，45-65，77-93，105-121，社団法人瀬戸内海環境保全協会（2002）
- 6) 工場排水試験方法 JIS K 0102，日本規格協会，東京，94-96（1998）
- 7) 気象庁編：海洋観測指針，114-122，日本気象協会(1999)
- 8) 宮崎 一，山崎 富夫，谷本 高敏，木幡 邦男，樋渡 武彦：富栄養化海域における環境悪化と二枚貝の生残率の関係，用水と廃水，47(2)，54-61(2005)
- 9) Hajime Miyazaki, Akira Yoshimura, Ikuyo Kamimura, Masakazu Furuki, Kunio Kohata, and Masataka Watanabe : The Long-Term Changes Of the Water Quality and the Management of Pollution Load in Osaka Bay, With Rivers to the Sea(Abstracts), 3rd International Conference of the Environmental Management of Enclosed Coastal Seas(EMECs), Stockholm Sweden, 188-190(1997)