

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

宮 崎 一* 山 崎 富 夫

Approaches from Viewpoint of Changes of Sea Water Quality to Solve Oxygen Deficiency in the Sea 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

SUMMARY

Oxygen deficiency in the sea at the artificial tidal flat was approached from viewpoint of changes of sea water quality. Although dissolved oxygen(DO) increased with increasing chlorophyll-a(Chl-a), oxygen deficiency was occurred after they had increased to the maximum. It indicated that the growth and mineralization of phytoplankton is very important relation with the fluctuation of DO. DO also fluctuated with depending pH level which relate to the reductive state of the sea water. Contrary, nutrients didn't always have the relationship with DO, because the sea water was so eutrophic that increases of nutrients do not recognize as significant increase. Therefore, it is suggested that the monitoring of Chl-a or pH is effective to predict oxygen deficiency in the sea at the artificial tidal flat.

I はじめに

近年、沿岸域の水環境について、従来の、水質による評価に加えて、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や、修復の必要性が認識されてきた。わが国においても、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ているところである¹⁾。

このような背景から、沿岸域に兵庫県尼崎市の南部工業地帯を有し、長期にわたり栄養塩負荷の蓄積があり、

閉鎖性による海水交換の悪さ、垂直護岸の建設により環境悪化が著しい尼崎港内に、環境修復のための実証試験を行うための人工干潟が造成された²⁾。

我々は、生物多様性の回復による物質循環を通じて、栄養塩類の停滞、蓄積を防止することによる環境修復を目標とした第1段階として、この人工干潟においてアサリを養成し、そのろ過食性を利用した水質浄化実験を行っている³⁾。しかしながら、尼崎港内において毎年、夏季に発生する貧酸素化は生物に対して時として致命的な影響を与えるため、貧酸素化現象の出現を予測することは重要な課題となっている。

人工干潟が海水を貧酸素化させる事象としては、これまでの報告⁴⁾から、港内に形成された貧酸素水塊の到来や、干潟および干潟周辺の海水中の富栄養化により過剰に増殖した植物プランクトンに由来する有機物による酸素消費が考えられる。港内における貧酸素化生成の原因としては、沿岸域に位置する工業地帯、都市域からの栄

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所センター
水質環境部 宮 崎 一

養塩負荷に由来する大量の有機物を含む底質による酸素消費が確認されている²⁾。このため、成層構造の発達による海水の鉛直混合の抑制引き起こす表層からの酸素供給の遮断が起これと、底質による酸素消費による影響が酸素供給を上回り、貧酸素化が発生する。このような貧酸素化現象に対する予測手法としては海水の成層構造の観測、調査が考えられる。

なお、人工干潟には2002年3月に新規に清浄な砂(2003年3月の調査開始以降含泥率3%未満で推移)を搬入した。全リン、全窒素等の栄養塩、および全有機炭素(TOC)、強熱減量(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⁵⁾、人工干潟内部の底質による大量の酸素消費は考えられない。

一方、海水中有機物等の無機化による酸素消費については、有機物起源の大部分を植物プランクトンが占めるため⁶⁾⁷⁾、底質の場合と比較して天候等による変動が

大きく、人工干潟における水質変化から見た貧酸素化生成機構は明らかにされていない。

そこで、本報では2002年7月から10月まで人工干潟において、水質成分の変動を把握し、貧酸素化と水質との関係について検討した結果について報告する。

II 調査方法

1. 尼崎港内人工干潟および採取地点

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(大阪湾最低干潮位)+0.3m)を設置し、OP+1.0mの高さまで1/50勾配にて砂を撒き造成したものである²⁾³⁾。

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た。

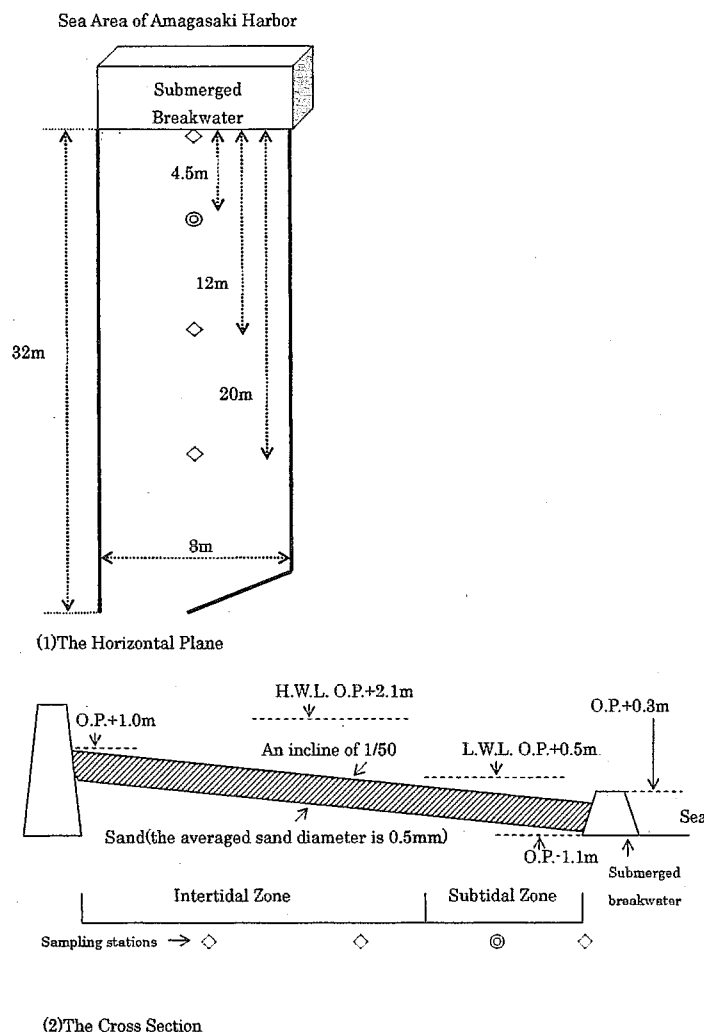


Fig. 1 Schematic view of artificial tidal flat in Amagasaki experimental site. Marks of ◇ show sampling stations of DO, water temperature and salinity. Marks of ◎ shows sampling station of DO, water temperature, salinity, nutrients, TOC, DOC, POC and Chl-a. O.P., H.W.L., and L.W.L. mean the lowest water level in Osaka bay, high water level and low water level respectively.

2. 試料採取方法および分析方法

調査は貧酸素化の発生が予想される、7月から10月初旬まで1週間に1～2回の頻度で干潮時に行った。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ので、海水を採取する水深は表層とした。

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して、実験室へ持ち帰った。溶存酸素（DO）測定用試料はDO測定用フラン瓶に採取後、常法に従い直ちに現地で固定し実験室へ持ち帰った。

試料水の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）によってろ過し、ろ紙上に分離、残留した固形分については、クロロフィル-a（Chl-a）の分析に、ろ過水については、溶存態の栄養塩類、溶解性有機炭素（DOC）の分析に供した。生海水については、pH、TOCの分析に供した。

なお、水温と塩分は、アレック電子（株）製クロロテック（model ACL208-DK）により現地測定を行った。

Chl-aについては海洋観測指針⁸⁾、pH、DOおよび栄養塩類については工場排水試験方法JISK0102⁹⁾、TOCおよびDOCについては海洋汚染調査指針作成調査¹⁰⁾に従い分析を行った。また、懸濁性有機炭素（POC）についてはTOCとDOCの差から算出した。

なお、今回の調査目的においては、地点間によるデータの有意な差が見られなかったため、潜提から4.5m地点のデータを代表値として、以下の解析に供した。

III 結果と考察

1. DOの経時変化および水温、塩分との関係

Fig. 2にDO、水温、塩分の経時変化および関係を示した。調査期間中にDOは光合成による酸素生産者としての植物プランクトンの増殖により増加し、枯死により減少すると考えられる変動を繰り返しながら減少した。今回のDO測定値においては、柳¹¹⁾が海底の正常なベントス分布が危うくするとして示した貧酸素水のDO濃度である2.5mg/L（3.58mg/L）を下回る値が2回（8月19日：2.50mg/L、9月20日：2.41mg/L）検出された。これらの値は尼崎港内において設定された水質改善目標値である、3.0mg/L²⁾を下回っており、生物の生存に厳しい環境であることが示された。

水温は22.79℃～31.23℃、塩分は21.14psu～30.33psu（psu；実効塩分濃度）で推移したが、溶存酸素の減少との相関は認められなかった。このため、調査期間中は淀川等の近接する河川からの淡水流入による溶存酸素に対する影響は認められないと推察された。

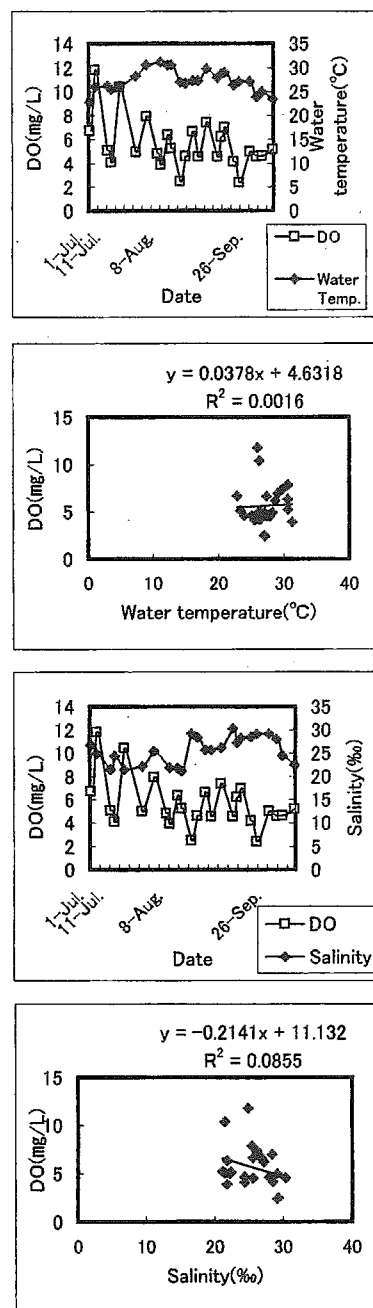


Fig. 2 Relationship and correlation between DO and water temperature or salinity in artificial tidal flat

2. DOと有機物指標との関係

DOを生産する植物プランクトン現存量の指標であるChl-a量およびDOを消費すると考えられる有機物量の指標としてDOCおよびPOCとDOとの関係をFig. 3に示す。

前述したとおり、DOは植物プランクトンの増殖、枯死により増減することを示した。このため、植物プランクトン量の指標であるChl-aの増加に伴いDOの増加が見られ、Chl-aの減少に伴いDOの減少が認められた。POCは植物プランクトン現存量の指標であるChl-aと

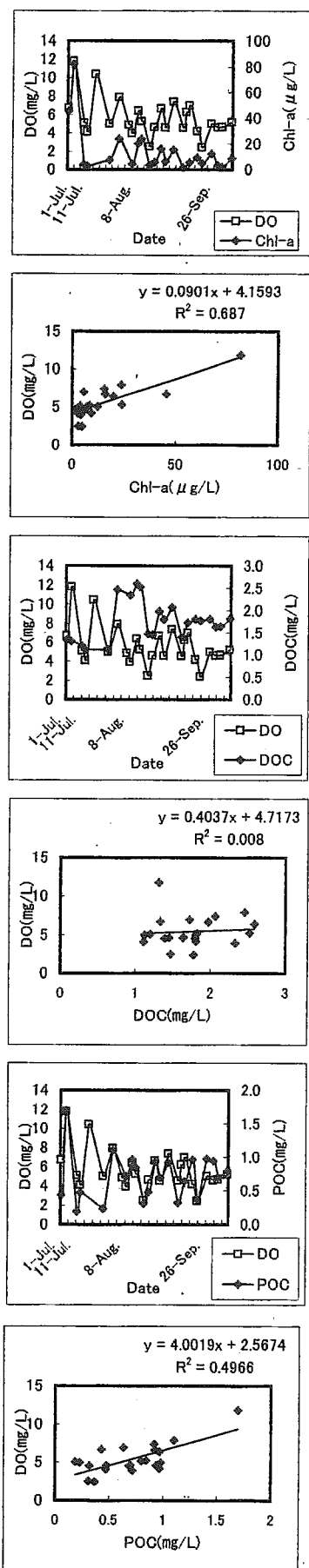


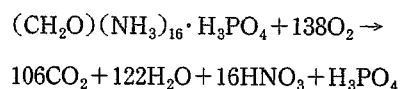
Fig. 3 Relationship and correlation between DO and Chl-a, DOC or POC in artificial tidal flat

密接な関係があることから、POCとDOの間には、Chl-aとDOの場合と同様の関係が認められた。このことから、人工干潟内においてPOCはそのものが酸素消費物として挙動するのではなく、植物プランクトンに由来する酸素を産生するために必要な有機物量を反映していることが考えられた。一方、植物プランクトンに含まないDOCは有機物指標であるTOC、DOC、POCの3項目のうちではDOとの相関が最も低く、TOCについては、DOCより高くPOCより低い相関を示した。これらのことから、Chl-a量の変化、ひいては、植物プランクトンの現存量がDOの変化に強く影響していることが示された。

3. DOと栄養塩濃度およびpHの関係

城¹²⁾は大阪湾では底層水の貧酸素化に伴い、底層水中の溶存態窒素および溶存態リン濃度の上昇が認められ、栄養塩類の分解再生と溶存酸素の消費には密接な関係があることを指摘している。

尼崎港内人工干潟においても、DOはChl-aで示される植物プランクトンの増加に伴い急激に増加し、植物プランクトンが枯死後、沈降、堆積しつつ分解無機化される過程で酸素を消費していくことが考えられる。しかし、Fig. 4から明らかなようにリン酸態リン($\text{PO}_4\text{-P}$)においては、DOの減少に伴う増加傾向が認められたが、溶存態無機窒素(DIN)においては、必ずしも明らかな増加傾向が認められなかった。植物プランクトンが完全に無機分解される場合、以下に示すRichardsらの植物プランクトン由来の有機物の無機化式に従うと考えられている¹³⁾。



人工干潟における $\text{PO}_4\text{-P}$ とDINのDO減少に伴う濃度変化は、DINの増加傾向が認められなかったことから、この式に従うものではなく、溶存態栄養塩とDOの関係は貧酸素化に伴う挙動を反映しているとは言えないため、現在のところ、貧酸素化の予測に利用することは困難であると考えられる。

このことは、尼崎港内の水質はIV類型の環境基準値(全窒素1mg/L全リン0.09mg/L)を超過し、過度に富栄養化(2002年度平均値:全窒素1.40mg/L,全リン0.132mg/L¹⁴⁾)しているため、DINのバックグラウンド値が高く、貧酸素化に伴う栄養塩類、特にDINの分解無機化による増加顕在化しなかったことが理由として

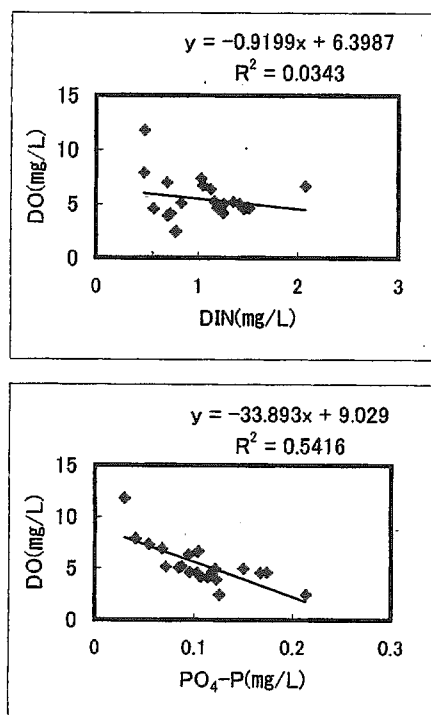


Fig. 4 Correlation between DO and DIN or $\text{PO}_4\text{-P}$

考えられる。

また、DO の減少に伴い、pH の低下が見られた。

pH は DO の減少による還元状態の進行とともに低下することを示した。このことは、6, 7, 8 月の底層の pH が低くなるとされる東京湾における青潮発生年の特徴と一致する¹⁵⁾。さらに、pH は Chl-a の増加に伴い上昇することも認められた。(Fig. 6)。富栄養化に起因する植物プランクトンの増殖による溶存二酸化炭素吸収、DO 増加、pH 上昇は一般的に認められている。この現象が抑制され、DO が低下するため、Fig. 5 のように pH 低下と DO 低下が相関する。これらのことから pH は貧酸素化の予測に有用な測定項目となり得ることが示された。

IV まとめ

尼崎港内において造成された人工干潟において、水質と貧酸素化の関係を検討した結果、以下の結論を導き得ることが考えられた。

1. DO の挙動は Chl-a 量を最も反映する POC および Chl-a の挙動と密接に関係していた。
2. 溶存態栄養塩を示す $\text{PO}_4\text{-P}$ および DIN と DO の間に関連性がないことは、貧酸素化に伴う挙動を反映しているとは言えないため、栄養塩量から貧酸素化を予測することは困難であることが考えられた。

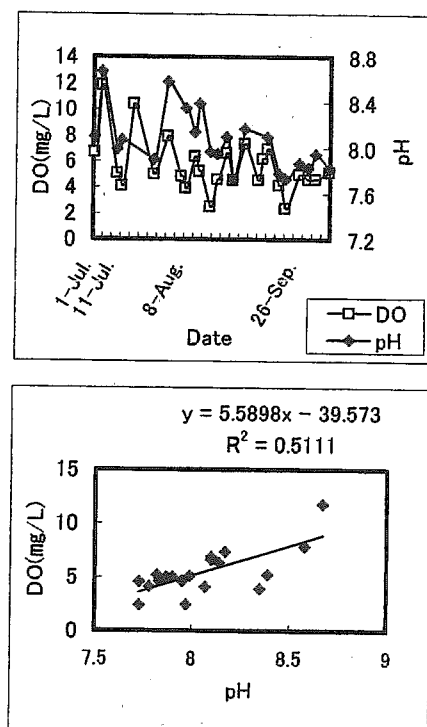


Fig. 5 Relationship and correlation between DO and pH

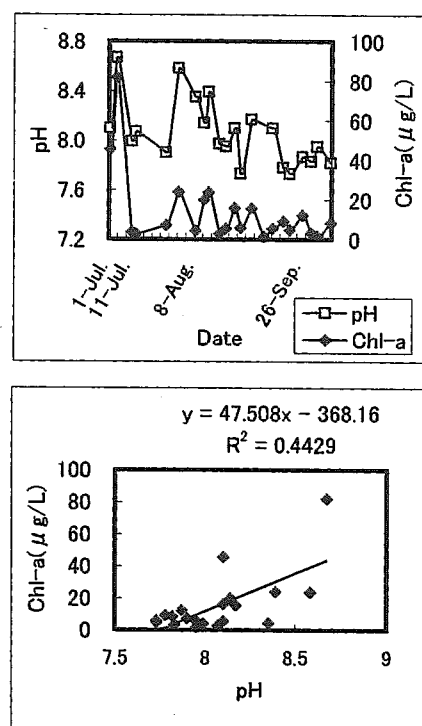


Fig. 6 Relationship and correlation between pH and Chl-a

3. DO および pH の増殖にいずれも Chl-a が関連することから、尼崎港内人工干潟において貧酸素化が発生する場合には、栄養塩類よりも植物プランクトンの増殖の指標である Chl-a および pH をモニタリングすることが、発生予測に有用であることが示唆された。

V 謝 辞

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研究の一部です。また、現地調査においては、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) 環境省ホームページ,
<http://www.env.go.jp/nature/saisei/law-saisei/>
- 2) 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)
- 3) 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)
- 4) 1996年度環境庁委託業務報告書, 瀬戸内海における底層貧酸素化対策調査・総合解析編, 3-170, 社団

法人瀬戸内海環境保全協会 (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) Parsons, T.R.: Suspended Organic Matter in Sea Water, In Sears, M. (ed.), Progress in Oceanography, 1. Pergamon Press. pp.,205-239, (1963)
- 7) 服部明彦編, 海洋学講座7 海洋生化学, 141-143, 東京大学出版会 (1973)
- 8) 気象庁編: 海洋観測指針, 114-122, 日本気象協会 (1999)
- 9) 工場排水試験方法 JIS K 0102, 日本規格協会, 東京, 23-27, 143-162, 166-184 (1998)
- 10) 1993年度環境庁委託業務結果報告書, 海洋汚染調査指針作成調査, 166 (1994)
- 11) 柳 哲雄: シンポジウム「貧酸素水塊」のまとめ, 沿岸海洋研究ノート, 26, 141-145 (1989)
- 12) 城 久: 大阪湾の貧酸素水塊, 沿岸海洋研究ノート, 26, 87-98 (1989)
- 13) Richards, F.A. et al.: Some consequences of the decomposition of organic matter in Lake Nitinat, an anoxic fjord, Limnol. Oceanogr., 10, R185-R201 (1965)
- 14) 2002年度環境監視調査 兵庫県域 報告書, 38-43, 大阪湾広域臨海環境整備センター (2003)
- 15) 1994年度環境庁委託業務結果報告書 青潮発生予測手法の確立調査 報告書 (総括編), 79-81, 環境庁水質保全局 (1995)

(受理 2003年11月25日)