

広島湾における海底酸素消費量の連続測定

長尾正之¹・橋本英資²・朱 小華³・吉田みゆき⁴・高杉由夫⁵

¹正会員 博士(工) 中国工業技術研究所研究員 海洋動態研究室 (〒737-0197 岡市広末広2-2-2)

²正会員 中国工業技術研究所主任研究官 海洋動態研究室 (〒737-0197 岡市広末広2-2-2)

³博士(工) 中国工業技術研究所科学技術特別研究員 海洋動態研究室 (〒737-0197 岡市広末広2-2-2)

⁴広島大学大学院生 生物圈科学研究科環境循環系制御学専攻 (〒739-8528 東広島市鏡山1-4-4)

⁵博士(農) 中国工業技術研究所室長 海洋動態研究室 (〒737-0197 岡市広末広2-2-2)

海底酸素消費量を連続して測定できる装置を開発した。この装置はベルジャーを一定時間ごとに昇降させることで、繰り返し酸素消費量を測定することができる。この装置を用いて冬季と夏季に有機汚染が顕著な広島湾奥で測定した結果、酸素消費量の平均値は1.31~1.61g/m²/dであり、汚染が進んだ他の海域の値と同程度だった。なお、冬季観測結果には、酸素消費量の一時的な増加が認められたが、これは低気圧通過に伴う海域搅乱が海底堆積物の再懸濁を引き起こしたためと推定された。

Key Words : Hiroshima Bay, oxygen demand at sea bottom, marine environment disturbance

1. はじめに

たとえば内湾に強風が吹くと、流れ、成層、水質の状況が急変する。このような現象のことを、ここでは海域搅乱と呼ぶことにする。

この海域搅乱は、海底付近の流れや水温、塩分、溶存酸素(DO)等を大きく変化させる。このため、①底泥自身が消費する酸素量、②海底に生息する生物の活性度、③海底から直上水に溶出する酸素消費物質の量が変動し、その結果として海底酸素消費量は、搅乱の前後で大きく変わるものと考えられる。

このうち①については、Belanger¹⁾やBoynton *et al.*²⁾により、水・底泥境界面の直上に流れがある場合は、水中から底泥へ移動するDOのフラックス(SOD:Sediment Oxygen Demand)が、静止した水中の値に比べて大幅に増加することが報告されている。また、Jørgensen and Revsbech³⁾、Jørgensen and Des Marais⁴⁾は、空間分解能の高い微小酸素電極を利用して、SODの流速依存性を明らかにしている。

一方、②の観点から左山⁵⁾は、大型底生動物の活動によって底質には不均一な環境が生じ、そのため水-堆積物間の物質輸送過程は、複雑な水の運動に起因する物質移動現象により生じているとしている。また畠⁶⁾によれば、懸濁および沈降状態において、大部分の粒子態有機物は分解・溶出作用を受け、底

土表面に堆積した残りの未分解有機物も、引き続き分解作用をうける。そして、バクテリアがこれら分解過程に大きな役割を果たすと指摘している。

また、③の観点から左山⁵⁾は、沿岸域では潮汐により底層水の流速は大きく変動しており、それに伴い堆積物から溶出してくる栄養塩の形態と量が変化している可能性を指摘している。また、東野・神田^{7), 8)}は③の観点に立ったモデルを提案し、室内実験結果との比較を行っている。彼らは酸素消費過程の中では底泥中から溶解性有機物質が溶出する過程が支配的であると考え、この過程を乱流熱伝達と類似の機構と、溶解性物質が底泥粒子へ吸着する機構の2つに分けてモデル化を行っている。なお、これ以外にも海底酸素消費量に関するモデルが、すでにいくつか提案されている。例えば細井ほか⁹⁾は、浮遊底泥の酸素消費特性、底泥堆積状態、直上水の流動特性により、酸素消費量をモデル化している。

以上のように、海底酸素消費量に関する研究は、今まで中心的であった生物化学的視点からの研究から、直上水の運動の影響も含んだ広範囲な研究へと移行しつつある。しかし現地においてどのような流れが底泥直上に存在し、それにより酸素消費量がどれだけ変動しうるのかという点は、重要な問題であるにも関わらず未だ不明確なまま取り残されている。また、実際に現場で酸素消費量と底泥直上の流れを

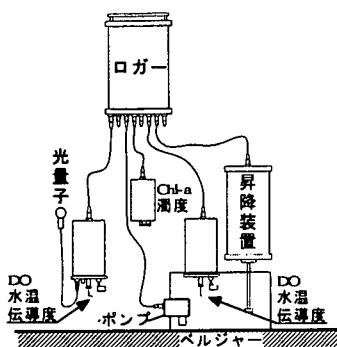


図-1 海底酸素消費量測定装置の概観

長期間連続して計測した例は、ほとんどない。

そこで、本研究では、まず海底近傍の酸素消費量を連続して計測できる装置を開発した。次に、この装置と流速、水温、塩分計等を使用し、現地観測を行った。最後に、データから求められた海底酸素消費量の時間変動と現地で生じた海域搅乱との対応関係について考察した。

2. 海底酸素消費量測定装置

(1) 装置の概要

海底酸素消費量測定装置(AD02000, アレック電子製)の概観を図-1に示す¹⁰⁾。ベルジャーは、直径30cm、高さ24cmのアクリル製の円筒であり、昇降装置によって閉鎖系・開放系の切り替えが可能である。また、その切り替え間隔も、プログラムで自由に設定できる。ベルジャーの内部にはDO計、電気伝導度計、水温計、および内部の海水を攪拌する水中ポンプが取り付けられている。一方、ベルジャーの外側には、DO計、電気伝導度計、水温計、光量子計、クロロフィル計、濁度計が取り付けられている。なお、データサンプリング間隔は、全て10分とした。

水中ポンプによる攪拌は、計測直前の1分間と計測中の10秒間行った。また、ポンプ流量と吐出口断面積から求めた平均流速は2cm/sとした。また、この設定でベルジャー内の底質が巻き上がるような流速は生じないこと、および、ベルジャーを閉じるときに顕著な底泥の巻き上がり起こっていないことを、室内実験と潜水夫の目視で確認した。

ガルバニ式およびボーラロ式DO計の欠点は、センサー自身がDOを若干消費してしまう点にある。つまり、このようなセンサーをベルジャー内DO計として使用すると、酸素消費量に誤差が含まれる恐れがある。

また、生物付着等による隔膜および内部液の劣化を防ぐため、定期的にこれらを交換するか、あるいはセンサー自体を取り替える必要がある。そこで本装置では、センサー自身の酸素消費量が全くなく、隔膜と内部液が不要で、調整もほとんど不要な蛍光式DO計^{11), 12)}を採用した。このDOセンサーの精度は±1%以内(空気飽和値)である。また、DOセンサーの校正は、曝気により酸素飽和度を100%とした水と、窒素曝気により酸素飽和度を0%にした水によって行っている。

本装置による酸素消費量の測定方法は、次のとおりである。まずベルジャーを下降させて底泥に密着させ、閉鎖系を保つ。この状態を2時間維持し、その間に減少した酸素濃度から消費量を計算する。次にベルジャーを上昇させ開放系とする。この状態を1時間保ち、内部に入っている海水の交換を行う。以上の操作を1セットとして、3時間毎に消費速度を求めることができる。

潮流や日周変動が酸素消費速度に与えると考えられる影響を捉えるためには、できる限り測定時間間隔を短くし、一日の間に多数の計測を行いたい。しかし、酸素消費速度を計算するためには、濃度減少直線を得る必要があるが、このためには閉鎖状態を適当な時間だけ保つ必要がある。これら相反する二つの要素を勘案して、ベルジャーの開閉時間を決めなければならない。

まず、閉鎖時間は、工業技術院資源環境技術総合研究所の左山幹雄氏から頂いた情報を参考にして定めた。左山氏(私信)は、現地観測の経験等から、広島湾においてベルジャーによる実験を1時間行えば、酸素濃度変化が一定勾配に達し、後述する方法で酸素消費速度を計算できるとしている。ただし本研究は現地計測なので、1時間では十分な減少直線が得られない可能性もある。そこで、念のためベルジャーの閉鎖時間は、倍の2時間に設定した。また、開放時間は、AD02000で設定できる最小値が1時間であるので、この値とした。

(2) 海底酸素消費速度の計算方法

図-2に1998年冬季観測で得られたベルジャー内外のDO時間変化の一部を示す¹⁰⁾。内側のDO値が下降と上昇を繰り返しているが、これは、ベルジャーを昇降させることで開放系と閉鎖系が交互に生じているためである。また図-2より、内側のDO値は、閉鎖系が始まると同時にほぼ直線的に減少し、その後開放系に転ずると、速やかに外側のDO値に等しくなることがわかる。すなわち、2.(1)で設定した条件により、ベルジャー内の海水を完全に外部

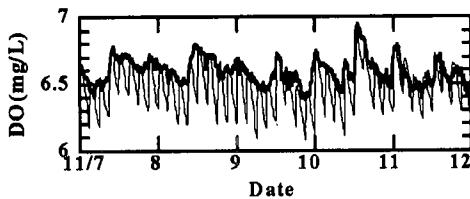


図-2 ベルジャー内外の DO 時間変化. 太線: ベルジャー外の DO, 細線: ベルジャー内の DO.

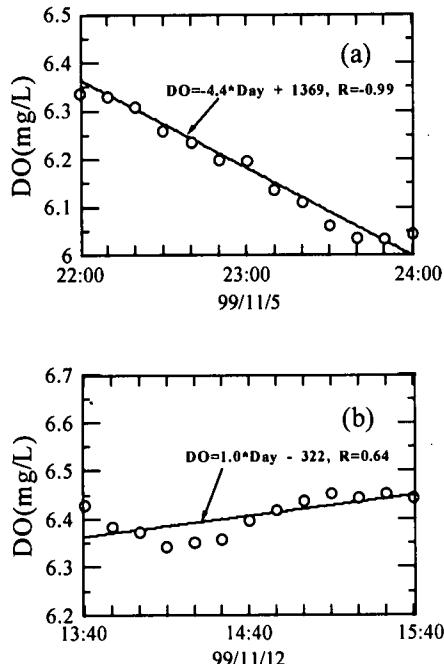


図-3 酸素消費量計算方法. (a) DO が直線的に減少する場合. (b) DO が増加してしまう場合.

の海水と交換でき、AD02000 を用いて酸素消費量を連続して計測できることが確認できた。

図-3(a), (b) は、閉鎖系下における内側の DO 値の変化例と酸素消費量の計算例を示したものである。図-3(a) は測定がうまく行われた場合であり、閉鎖系が始まった後の DO 値は、一定の割合で減少していることがわかる。そこで、本研究では、この DO 値の変化に対して最小二乗法で直線を当てはめ、その勾配がベルジャー内の酸素消費量であるとした。

しかしながら、事例数は少ないが、閉鎖系が始まてもベルジャー内の DO 値が減少せず、酸素消費量がうまく計算できない事例があった。図-3(b) はそのような観測の例である。これによると、酸素

濃度は閉鎖系が始まった後しばらくは減少するが、その後上昇に転じている。このうち、酸素濃度が減少していた部分は、容器内で酸素消費が行われたためと考えられる。一方、後半の濃度上昇は、ベルジャー下端と底泥との間に隙間が生じ、ここから外側の海水が少しづつ侵入したためと思われる。

このようなデータを除くため、本研究では、当てはめた直線の相関係数が -0.8 以上の場合は、酸素消費量が計算できないと断定し、欠測扱いとした。

なお、酸素消費量の単位は、他の研究との比較をするため、単位体積当たり ($\text{g}/\text{m}^3/\text{d}$) ではなく、ベルジャーの高さ (24cm) を乗じた単位面積当たり ($\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$) とした。ベルジャー方式で求められる海底酸素消費量は、底泥が消費する量と直上水が消費する量の和であり、本来ならばこれらを別々に検討する必要があるが、AD02000 はベルジャー内部の総酸素消費量しか測定できない。

しかし、有機汚染が著しい広島湾以外の海域の酸素消費量^{13), 14)}を調べたところ、底泥が海底酸素消費量の約9割を占めているとみなして良いことがわかった。したがって、ベルジャー内の酸素消費が全て底泥によると仮定しても、それほど大きな誤差は生じないと考えられる。

3. 観測方法

海底酸素消費量の連続観測は、1998年の冬季と1999年の初夏に行った。以下に、それぞれの観測内容を簡単に述べる。

(1) 1998年冬季観測^{15), 16)}

図-4 に広島湾奥部海域と観測地点を示す。広島湾は、宮島瀬戸、奈佐美瀬戸を結ぶ線を境に、北部の湾奥部と南部の湾央部に大別される。このうち、湾奥部とそれに東側でつながっている呉湾は、水深が 20m 未満であり非常に浅い。また、周囲を巣島、西能美島、江田島、倉橋島に囲まれているため、極めて閉鎖性が強い海域と言える。なお、湾奥部には太田川が流入し、適度な栄養塩を有する淡水を湾奥に供給してカキ養殖等の水産業を支えている。

1998 年冬季観測は、季節風による海域搅乱現象の把握と、搅乱による底泥の巻き上がり等による物質輸送過程を捉えることを目的として行われた。AD02000 による海底酸素消費量の調査も、この一環として実施された。観測位置は、太田川河口から 5km 下流側に位置する Stn. A (平均水深 17m) である。また、観測期間は 1998 年 11 月 5 日から 12 月

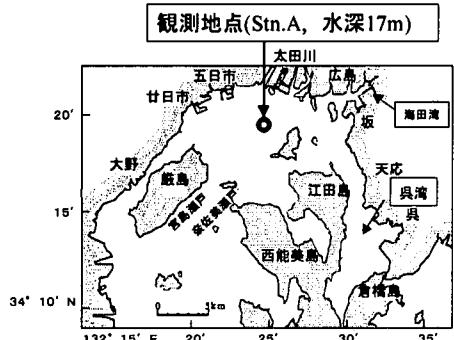


図-4 1998年冬季観測の観測点配置

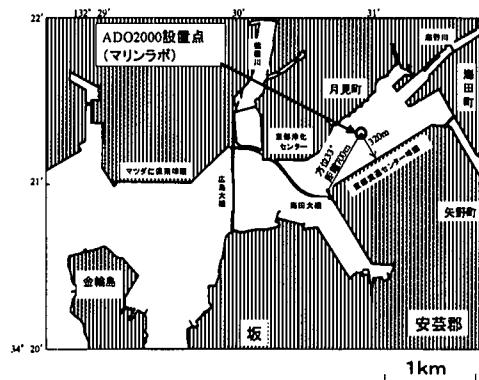


図-6 1999年夏季の観測地点

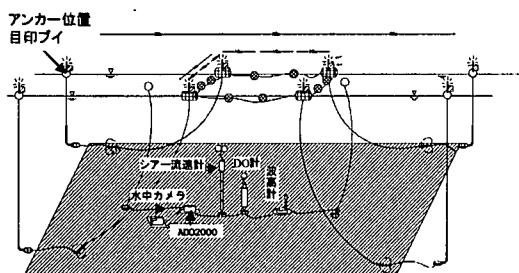


図-5 Stn.A の計測機配置

3日までの28日間とした。

Stn.A は広島湾奥部の海況変動を捉えるための重要な観測点であるため、ここにはAD02000を始めとして、図-5に示したように流動、水質を観測するための計測器が多数配置された。このほか、Stn.Aに隣接するカキ筏用燈浮標の上方4mに、気象観測装置を設置した。詳しい観測内容等については、別報^{15), 16)}を参照して頂きたいが、ここでは海底のDO濃度変化に特に関係あると考えられる二つの項目について触れておく。一つは、海底近傍の流速観測である。この観測では、海底にシアーフローメーター¹⁷⁾を設置し、海底から50cm間隔で上方の4層の流速を測定した。もう一つは、長期間モニター用水中ビデオカメラによる海底撮影である。これは、海底近傍の定性的な変化を視覚的に捉るために行った。ビデオ観測は1時間間隔とし、一回の観測に3分間の記録を行った。なお、洗浄および電池とビデオテープの交換のため、1週間ごとにカメラを引き上げ、設置し直した。

(2) 1999年夏季観測^{18), 19), 20), 21)}

温度成層が発達した内湾では、海底の貧酸素化が著しい。1999年夏季観測は、このような海底における酸素消費量の時間変動を知るために行われた。

図-6に観測地点を示す。この観測では、AD02000を広島湾の枝湾である海田湾に設置した。この湾には環境修復技術の検証研究のため、海上浮体実験室(マリンラボ)が中国工業技術研究所により1999年2月に設置された¹⁸⁾。なお、マリンラボで行われている長期モニタリングの内容については、別報^{18), 19), 20), 21)}を参照して頂きたい。

AD02000は、マリンラボに隣接した平均水深8mの位置に設置された。観測期間は6月30日から7月29日である。ただし、7月13日から7月16日と、7月28日から30日のデータの一部は、電池切れおよび電池交換のため収集されていない。

4. 観測結果

(1) 1998年冬季観測

a) 海底酸素消費量

図-7は、前述した方法による1998年観測の海底酸素消費量である。全データの平均値は1.31 g/m²/d、範囲は0.24～3.84 g/m²/dである。測定期間中の酸素消費量の値は一定値では推移せず、期間によっては大きな値を示すことがわかる。たとえば、11月15日～19日の消費量は、その前後の期間の値に比べて急に高くなっている。

b) 観測期間中の気象と河川流量の変化^{15), 16)}

図-8は、Stn.Aの気象計で測定された気象要素と河川流量の時系列を表している。ここで、(a)気温、(b)最大風速、(c)平均風速ベクトル、(d)日雨量(広島地方気象台)、(e)太田川日平均流量(建設省)である。データ全体を見ると、気温は平年並みで、風は5m/s程度の北風が卓越し、降雨は比較的小なかった。さらにデータを詳しく見ると、11月

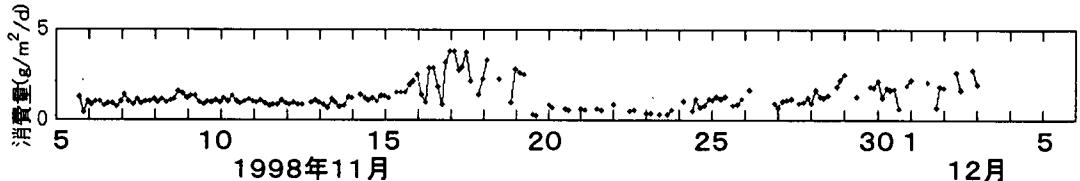


図-7 海底酸素消費量(1998年冬季)

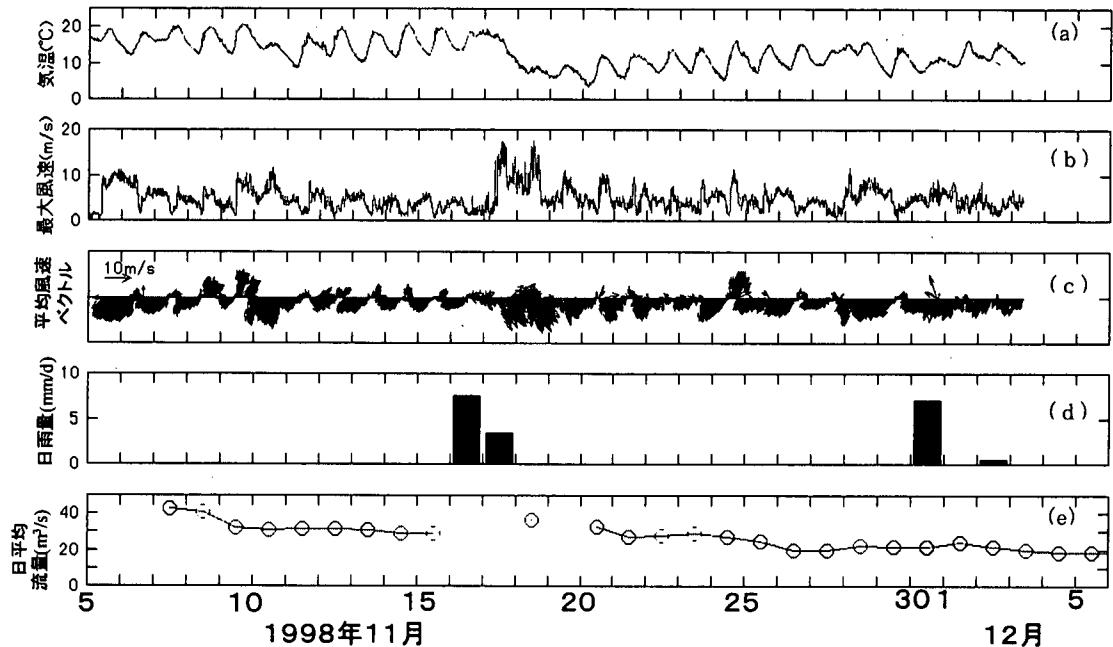


図-8 1998年冬季観測の気象と河川流量の変化. (a) 気温, (b) 最大風速, (c) 平均風速ベクトル, (d) 日雨量, (e) 太田川日平均流量 (毎時データが欠落している日は欠測扱いとした) .

17日～18日に気温、風速が急変している。これは低気圧が通過したためである。ただし、この低気圧通過に伴う降雨量は少なく、太田川からの淡水流入量は、降雨の前後で $7\text{m}^3/\text{s}$ しか増加しなかった。

c) 観測期間中の海底環境の変化^{[15], [16]}

図-9は、Stn. Aにおける海底環境要素の時系列であり、(a)は水深変化と月の朔望、(b)は海底から50cm上方の流速、(c), (d)はベルジャヤ外の水温、塩分、(e)は光量子、(f)はクロロフィルa、(g)は濁度、(h)はベルジャヤ内DO値をそれぞれ示している。ただし、クロロフィルaの値は、ウラニン濃度換算値である。

低気圧が通過した18日に、水温と塩分は大きく低下していた。また、この低下は北西風が吹き始めた17日から約1日遅れて起こっていた。遅れが生じた理由は、Stn. Aの水深が17mと比較的深いため、強風の影響が海底に達するためにある程度時間を要

したからと考えられる。

一方、海底近傍の流速は、17日16時から増加し始め、18:20に 21cm/s の最大値を取り、20時まで高い値を維持し続けていた。この流速の急上昇は、17日の午前中から吹き始めた強い北西風が原因であると考えられる。

d) 海域搅乱時とその前後の海底の様子

写真-1は1998年観測で撮影されたStn. Aの海底の様子の一部である。ここで写真-1(a)は11月12日11時の様子であり、ビデオカメラが海底に設置された直後の様子を示している。なお、日付と時刻の上に写っている白い物体は、カメラ全体を支える台座の一部である。一方、写真-1(b)は、13日10時の画像である。ここで(a)と(b)を見比べると、わずか1日の間に台座の上にかなりの堆積物が積もることがわかる。この堆積物は、海水中の様々な懸濁粒子が凝集して生じたと考えられる。谷本・

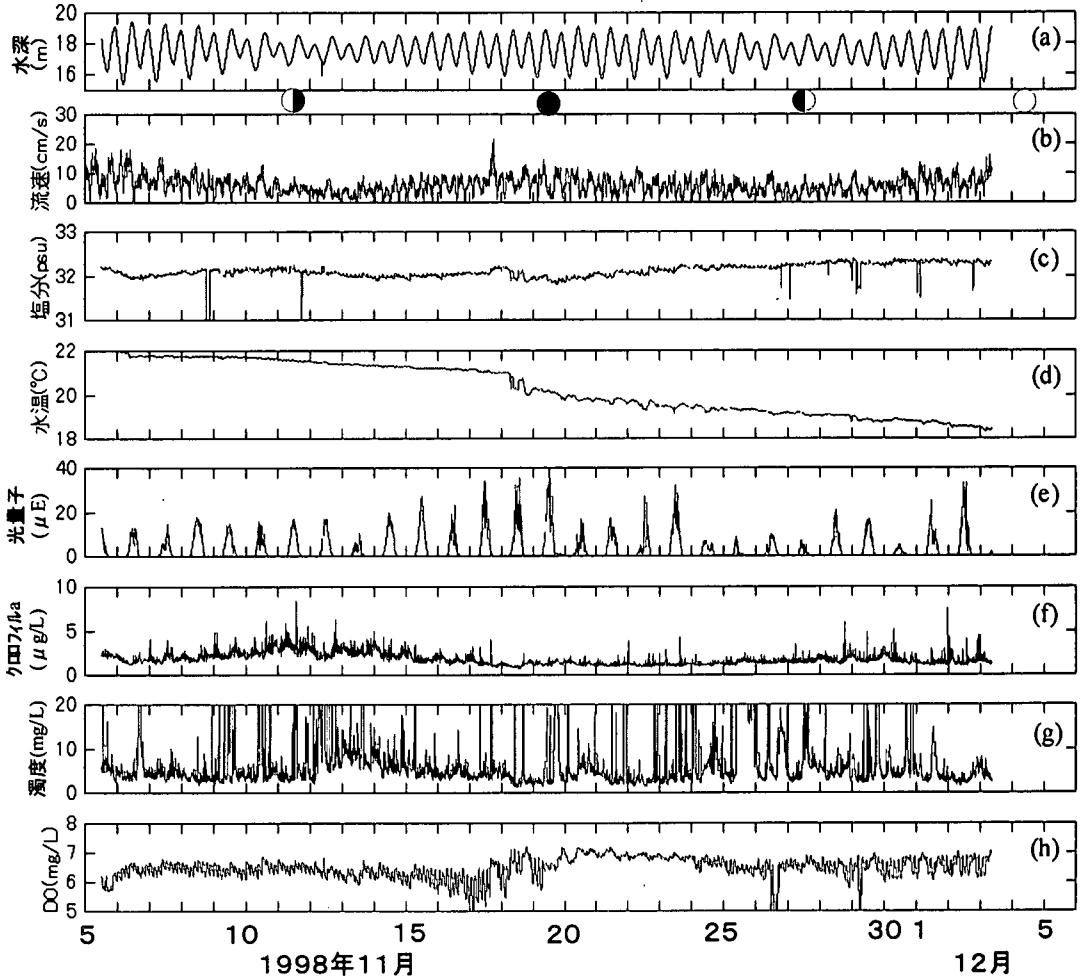


図-9 海底近傍の環境要素の時間変化. (a) 水深変化と月の朔望, (b) 海底から 50cm 上方の流速, (c), (d) ベルジャー外の水温と塩分, (e) 光量子, (f) クロロフィル a, (g) 濁度, (h) ベルジャー内 DO.

星加²³⁾が広島湾の枝湾で行った観測によれば、冬季（2月中旬）における懸濁粒子の粒度は、0.1mm～1mmの範囲にほぼ分布し、分布のピークは約0.2mmであったと報告されている。

さて、写真-1(c), (d), (e), (f)は、それぞれ11月15, 16, 17, 18日10時の画像である。これらによると、15日（写真-1(c)）にかなりの量の堆積物が台座の上にあったが、18日（写真-1(f)）までにそのほとんどが消えている。低気圧通過が17, 18日に生じていることから、堆積物が台座表面から消失したのは、気象による海域搅乱によって海底に強い乱れが生じ、堆積物を洗い流してしまったためと考えられる。なお、図-9(a)に示した流速値の急上昇も、海底で強い乱れが起こっていた可能性を支持している。

このように流速および水中ビデオ画像から、搅乱

により海底の堆積物が剥がれるほど大きな乱れが生じていた可能性が示唆された。しかし一方で、搅乱中の濁度（図-9(f)）には、これに対応するような値の急変は認められなかった。このことは、単一波長（波長 $\lambda=880\text{nm}$ ）の後方散乱を使って濁度を計測しても、その値が海底から巻き上げられる全ての粒子に対して良好な応答を示す訳ではないことを示しているように見える。

(2) 1999年夏季観測

図-10に、1999年夏季観測の海底酸素消費量を示す。また、図-11は、海底から1m上方に設置されたDO計（AD08M、アレック電子製）で計測されたDOの変化である。また、酸素消費量の計算方法は、1998年観測の場合と同じである。全データの平均値は $1.61\text{g/m}^2/\text{d}$ 、範囲は $0.21 \sim 5.43\text{ g/m}^2/\text{d}$ であり、

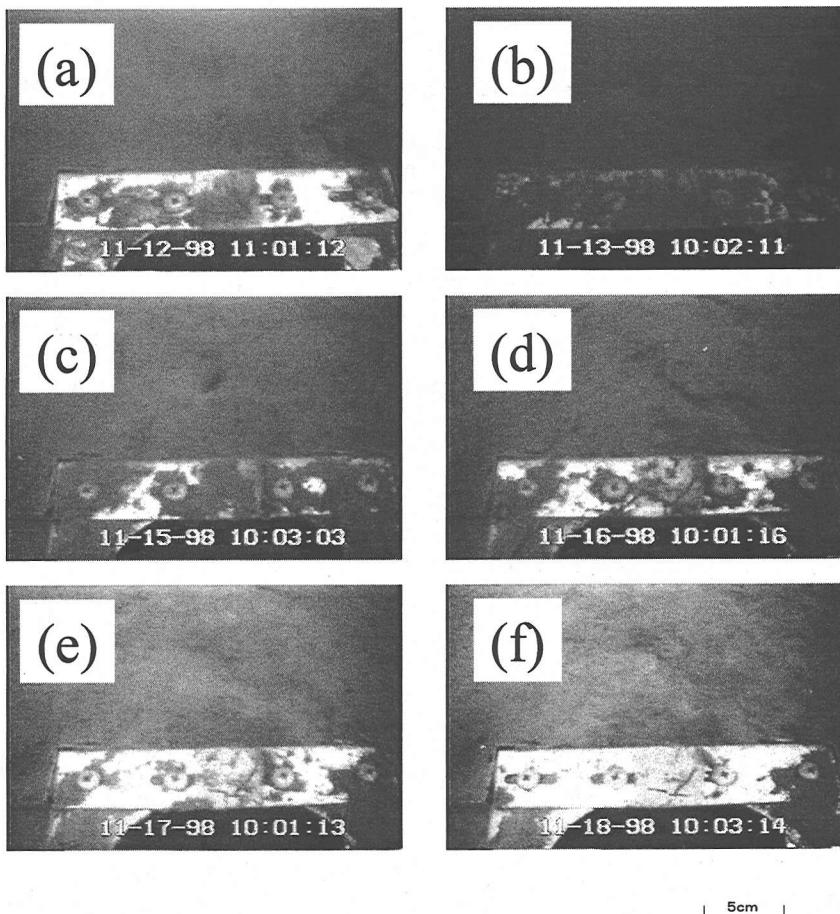


写真-1 海底のビデオ映像. (a)1998年11月12日11時, (b)13日10時, (c), (d), (e), (f)はそれぞれ15, 16, 17, 18日の10時.

冬季観測の結果と比べると若干高めであった。一方、DOの平均値は2mg/L以下であり、貧酸素化が始まっていたことがわかる。また、1998年観測で認められたような消費量の明瞭な変動は認められなかつたので、平均的な酸素消費量のみについて議論することとした。

5. 考察

(1) 酸素消費量の平均値

表-1に、ADO2000による海底酸素消費量の平均値と、有機汚染が著しい海域における底泥と直上水の酸素消費量を示した^{13), 14), 22)}。Seiki *et al.*²²⁾は広島湾の底泥酸素消費量を室内実験と現地観測から求めており、その年平均値の範囲は0.3~0.4 g/m²/dである。一方、本研究の平均値は冬季で1.31g/m²/d、夏季で1.61g/m²/dであり、Seiki *et al.*の結果に比

表-1 底泥と直上水が消費する酸素量の文献^{13), 14), 22)}とADO2000により測定結果(全体量のみ)。単位はg/m²/d。ただし、括弧内の値は全体を100とした場合の割合を示す。

	底泥	直上水	全体
大阪湾(1988年10月) ¹³⁾	1.15(89)	0.14(11)	1.29(100)
大阪湾(1989年12月) ¹³⁾	0.79(86)	0.13(14)	0.92(100)
ギンザケ養殖場 ¹⁴⁾	0.8(87)	0.12(13)	0.92(100)
カキ養殖場 ¹⁴⁾	1.2(43)	1.6(57)	2.8(100)
夏季の広島湾 ^{22)(*1)}	-(-)	-(-)	0.49(-)
冬季の広島湾 ^{22)(*2)}	-(-)	-(-)	0.24(-)
広島湾(1998冬季)	-(-)	-(-)	1.31(-)
海田湾(1999夏季)	-(-)	-(-)	1.61(-)

*1: 文献²²⁾のTable 2より、夏季におけるSt. 1, St. 2でのベルジャー観測結果を平均した。*2: 文献²²⁾のTable 2より、冬季におけるSt. 2でのベルジャー観測結果を平均した。

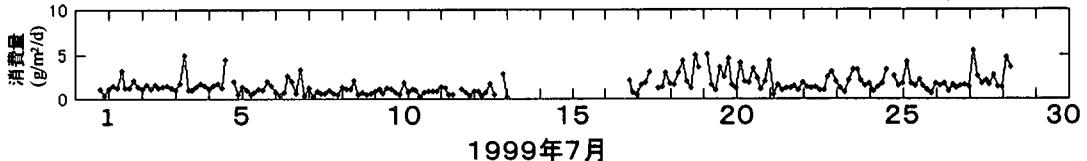


図-10 海底酸素消費量(1999年夏季)

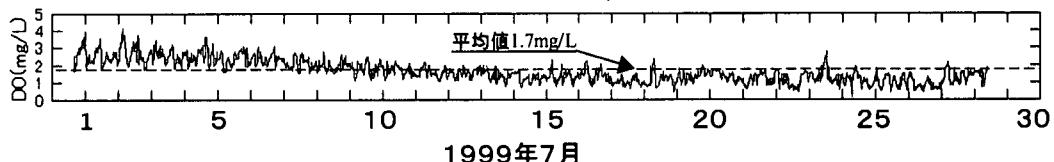


図-11 海底付近でのDOの変化(海底から1m上方で計測, 1999年夏季). 破線は平均値を示す.

べてかなり高い。しかしながら、広島湾以外の測定結果^{13), 14)}は、1998年冬季観測の平均値と同程度である。このことから、AD02000は有機汚染が進行した海底の酸素消費量として、妥当な値を捉えていると言える。

(2) 海域搅乱が海底酸素消費量に与える影響

1998年11月15日～19日の酸素消費量は、その前後の値よりも著しく高い値を示していた。一方、流速観測結果と水中ビデオ画像から、搅乱時には海底堆積物を剥ぎ取るほどの乱れが生じていたことがわかった。

朱ら²⁴⁾は、広島湾で海底近傍における濁度の長期変動を詳細に観測し、大潮期に近づくと海底流速が増加し海底堆積物が海水中に再懸濁すること、および、海底近傍の流速が15cm/sを超えると、再懸濁量が急増することを述べている。一方、本研究の場合、大潮期の潮流流速の増加と海域搅乱による強い流れが重なり合い、11月17日の夜に21cm/sの強い流れが海底付近に生じた。この事実と、朱らの結論を考え合わせると、海域搅乱時には、大潮期を遙かに超える大量の海底堆積物が、海水中に再懸濁したはずである。また、畠⁶⁾によれば、懸濁物の表面には多数のバクテリアが付着し有機物の活性な分解を促進しており、その活性は懸濁物が海面上に堆積した時よりも、水中懸濁中か沈降中に高い。

朱らおよび畠の研究結果と、本研究の観測結果を合わせると、海域搅乱時には海底堆積物が再懸濁し、水中に回帰すると考えられる。そして、再懸濁によって粒子表面に付着したバクテリアの活性が一時的に増大して海底近傍の酸素消費量が増し、結果として酸素消費量が、18日の0時頃でも依然として高い値を保っていたと推定される¹⁶⁾。

6. おわりに

本研究では、海底酸素消費量の連続計測が可能な装置を新しく開発し、広島湾で冬季と夏季に実際に計測を行った。以下に、主な結果を示す。

- 1) 有機汚染が進行している広島湾奥部における冬季、夏季の酸素消費量の平均値は、それぞれ1.31(広島湾奥部)、1.61(海田湾) g/m²/dであった。この値は、海底の有機汚染が進行している他の湾の値と同程度であった。
- 2) 1998年冬季観測中に酸素消費量が著しく増大する現象が認められた。また、気象観測結果より、同時期に、低気圧の通過に伴う気象、海況変動(搅乱)が生じていたことが確認された。さらに、海底近傍の映像から、搅乱時に海底堆積物の再懸濁が著しく生じていたことが確認され、これと酸素消費量の増大とは何らかの関係があることが示唆された。

謝辞: 本研究を行うにあたり、中国工業技術研究所海洋環境研究室星加章室長ならびに資源環境技術総合研究所左山幹雄主任研究官から、数多くの貴重なご助言を頂いた。AD02000の制作にあたっては、アレック電子株式会社矢津敏弘氏のご協力を頂いた。建設省中国地方建設局太田川工事事務所からは、太田川水位流量データ等の提供を受けた。

以上、ここに記して深甚なる謝意を表する。

参考文献

- 1) Belanger, T.V. : Benthic oxygen demand in lake Apopka, Florida, *Water Research*, Vol.15, pp.267-274, 1981.
- 2) Boynton, W.R., Kemp, W.M., Osborne, C.G., Kaumeyer,

- K.R. and Jenkins, M.C. : Influence of water circulation rate on *in situ* measurements of benthic community respiration, *Marine Biology*, Vol.65, pp.185-190, 1981.
- 3) Jørgensen, B.B. and Revsbech, N.P. : Diffusive boundary layers and the oxygen uptake of sediment and detritus, *Limnology and Oceanography*, Vol.30, No.1, pp.111-122, 1985.
- 4) Jørgensen, B.B. and Des Marais, D.J. : The diffusive boundary layer of sediments : Oxygen microgradients over a microbial mat, *Limnology and Oceanography*, Vol.35, No.6, pp.1343-1355, 1990.
- 5) 左山幹雄 : 堆積物表層における物質循環と栄養塩の溶出, 沿岸の環境圈 (平野敏行監修), フジ・テクノシステム, pp.104-116, 1998.
- 6) 畑 幸彦 : 浅海域における有機物の沈降－堆積一分解とバクテリア, 沿岸海洋研究ノート, Vol.18, No.2, pp.112-122, 1981.
- 7) 東野 誠, 神田 徹 : 底泥から流水への溶解性物質の流出過程, 水工学論文集, Vol.42, pp.745-750, 1998.
- 8) 東野 誠, 神田 徹 : 一方向流れ場における底泥から上層水への溶解性物質の流出過程, 土木学会論文集, No.621/II-47, pp.167-177, 1999.
- 9) 細井由彦, 村上仁士, 上月康則 : 底泥による酸素消費に関する研究, 土木学会論文集, No.456/II-21, pp.83-92, 1992.
- 10) 長尾正之, 朱 小華, 橋本英資, 高杉由夫 : 内湾における酸素消費速度の時間変動, 1999年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集, p.109, 1999.
- 11) 野口 修 : 膜, 電解液を不要にした蛍光式酸素センサ, 計装, Vol.38, No.4, pp.67-72, 1995.
- 12) 今津恒夫, 木暮一啓, 蓬本浩志 : 電極を使わない蛍光式溶存酸素計, 計装, Vol.39, No.3, pp.35-40, 1996.
- 13) 星加 章, 谷本照巳 : 大阪湾における底層環境の酸素消費速度, 中国工業技術研究所報告, No.44, pp.39-44, 1995.
- 14) 野村宗弘, 千葉信男, 徐 開欽, 須藤隆一 : 志津川湾における貧酸素水塊の形成, 沿岸海洋研究, Vol.33, No.2, pp.203-210, 1996.
- 15) 工業技術院中国工業技術研究所 : 46-I 海域搅乱が内湾生物環境に与える影響評価技術に関する研究(I)－平成9年度－, 公害防止特別研究報告書, 1999.
- 16) 橋本英資, 朱 小華, 長尾正之, 高杉由夫 : 風が広島湾の海洋構造に及ぼす影響, 海と空. (印刷中)
- 17) Yasuda, H., Takasugi, Y. and Higo, T. : Generation of high turbidity layers in the Seto Inland Sea, *Journal of Coastal Research*, Special Issue No.25, pp.31-40, 1997.
- 18) 上嶋英機, 高杉由夫, 朱 小華, 橋本英資, 星加 章, 三島康史, 谷本照巳, 長尾正之 : 海田湾における環境修復技術の研究(I)－マリンラボの概要－, 1999 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集, p.106, 1999.
- 19) 朱 小華, 橋本英資, 長尾正之, 高杉由夫 : 海田湾における環境修復技術の研究(II)－マリンラボによる長期モニタリング計測の速報－, 1999 年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集, p.107, 1999.
- 20) 橋本英資, 朱 小華, 長尾正之, 高杉由夫, 上嶋英機 : 海洋環境修復に向けての新たな取り組み－海田湾におけるマリンラボ設置と長期モニタリング－, 中国工業技術研究所報告, No.53, pp.15-20, 1999.
- 21) 長尾正之, 朱 小華, 橋本英資, 吉田みゆき, 高杉由夫 : 閉鎖性海域での海陸風とクロロフィルaの応答関係, 水工学論文集, Vol.44, pp. 1173-1178, 2000.
- 22) Seiki, T., Izawa, H., Date, E. and Suhara, H. : Sediment Oxygen demand in Hiroshima Bay, *Water Research*, Vol.28, No.2, pp.385-393, 1994.
- 23) 谷本照巳, 星加 章 : 大阪湾と江田内湾における懸濁粒子の沈降速度, 海の研究, Vol.3, No.1, pp.13-20, 1994.
- 24) 朱 小華, 高杉由夫, 橋本英資, 安田秀一 : 広島湾における底層懸濁物質の濃度変動, 沿岸海洋研究, Vol.37, No.1, pp.59-67, 1999.

(2000. 1. 20 受付)

CONTINUOUS MEASUREMENT OF BOTTOM-OXYGEN DEMAND IN HIROSHIMA BAY

Masayuki NAGAO, Eisuke HASHIMOTO, Xiao-Hua ZHU,
Miyuki YOSHIDA and Yoshio TAKASUGI

A new instrument that can measure oxygen demand at sea bottom has been developed; the continuous measurement is available by repeating open and close system. The results of the field measurement at the inner part of Hiroshima Bay, whose sediment is organically enriched or polluted, showed that the average oxygen demand was about the same as another reported values and ranging from 1.31 to 1.61g/m²/d. And the data during the low atmospheric pressure passing implied that marine environment disturbance might influence the oxygen demand strongly through curling up sediment.