

資料

広島湾北部海域における底質の分布特性

後田 俊直, 山本 哲也, 寺内 正裕

Characteristics of distribution of sediment quality in the northern Hiroshima Bay

TOSHINAO USHIRODA, TETSUYA YAMAMOTO, and MASAHIRO TERAUCHI

(Received November 1, 2016)

広島湾北部海域において底質調査及び酸素消費速度 (SOD), 栄養塩溶出速度の測定を行った。北部海域は, Silty-Clayに属する微細な泥質が海域全体に分布しており, 有機物や栄養塩類濃度は瀬戸内海の平均値と比べてかなり高い濃度レベルであった。有機物は, 沿岸域で高い傾向がみられたが, 沖合と湾奥で2割程度の差であった。栄養塩類濃度は地点間の差がほとんどなく, 比較的均質な分布状況であったが, C/N比や $PO_4\text{-P}$ / TP 比の違いから, 沖合では一次生産起源, 沿岸域では陸域負荷の影響が相対的に大きいことが推測された。酸化還元電位は, 夏季には全地点でマイナス値を示し還元的な状態であった。硫化物 (AVS) は, 湾奥で高濃度となり, 冬季においても高濃度が維持されていた。SODは, 夏季が冬季の4~7倍大きく, 冬季は地点間の差はほとんどないのに対して, 夏季は沿岸域の方が沖合の2倍程度大きかった。栄養塩の溶出は, 窒素は $NH_4\text{-N}$ として溶出し, 溶出速度は冬季よりも夏季の方が数倍大きく, 嫌気条件よりも好気条件の方が大きかった。リンは嫌気条件のみ $PO_4\text{-P}$ として溶出した。 $NH_4\text{-N}$, $PO_4\text{-P}$ のどちらの溶出速度も沿岸域で高く, 特に湾奥の地点で最も高くなった。

Key Words : 広島湾, 底質, SOD, 栄養塩溶出

緒言

底質は, 魚介類等の生息の場であると同時に, 水質汚濁に係る物質等が蓄積・溶出する媒体であり, 水環境を構成する重要な要素である [1]。特に浅海域では, 物質循環や水産生物を含む生物生産に対する底質の役割は大きい。海底に沈降・堆積した陸域由来の粒状有機物や植物プランクトン等のデトリタスは, バクテリア等の分解を受け, 溶存物質として海水中に回帰し, 一次生産に再利用される。バクテリア等の分解過程で, 酸素は消費され, 底層水の貧酸素化が起こるとともに底質の還元化による硫化水素の発生や栄養塩類の溶出によって水質は悪化する。このように水と底質は相互に作用しており, 底質の状態を把握することは, 水環境の状況の把握のみならず, 環境保全対策の立案やその効果の評価等, 水環境を保全していく上で貴重なデータとなる。

これまで水質のモニタリングは, 「公共用水域水質調査」, 「瀬戸内海広域総合水質調査」, 「浅海定線調査」により比較的高頻度に行われてきた。しかし, 底質のモニタリングは, 「瀬戸内海環境情報基本調査」 [2] により, 10年に1回, 夏のみ調査が行われており, その頻度は少ない。

一方, 近年では瀬戸内海における漁獲量, 養殖生産量が総じて減少傾向にあるとともに, 栄養塩不足に起因すると考えられる海苔の色落ちなど, 生物生産性の低下が問題化している。平成27年には「瀬戸内海環境保全基本計画」が改正され, 「豊かな瀬戸内海」という考え方を踏まえ, 従来の水質保全に加え, 湾・灘ごと, 季節ごとの状況に応じたきめ細やかな水質管理が求められるようになった。

当センターにおいてもこの水質管理に資するモニタリング調査や研究を行っており, 本報では, その一環として行った底質調査について報告する。調査は, 広島湾北部海域を対象とし, 瀬戸内海環境情報基本調査で行っている底質の物理・化学的性状に係る項目に加え, 酸素消費速度, 栄養塩類の溶出速度といった動態的項目の測定を行い, これらの空間的分布や季節的变化を把握したのでその結果を報告する。

方法

1 広島湾の概要

広島湾は面積1043km², 平均水深25.8mで [2], 周囲を島に囲まれた瀬戸内海の中でも特に閉鎖性の強い海域

であり、大きく北部海域と南部海域に区分される。北部海域は、江田島、能美島、巖島に囲まれ、三大湾（大阪湾、伊勢湾、東京湾）と比べても閉鎖性が強く、海域容積当たりの発生負荷量も大きい。このため底質の有機汚濁が進んだ状態となっている [3]。今回調査対象とした海域（図1の点線以北）の面積は160km²、平均水深17.7mで容積は2.83km³である [4]。湾奥には一級河川の太田川が流入しており、その河口部には政令指定都市の広島市がある。このため窒素、リンの負荷量が多く [5]、内部生産量の大きい海域である。また、日本一を誇るカキ養殖は、北部海域を中心に行われている。

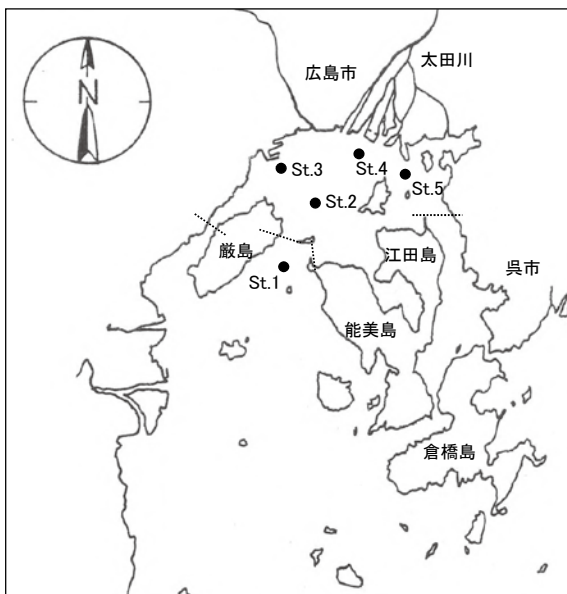


図1 広島湾の地形と調査地点

2 調査地点及び調査方法

図1に調査地点を示す。調査地点は、広島湾北部海域と南部海域の接点となる最も沖合の地点 (St.1)、北部海域の中央の地点 (St.2)、及び沿岸域3地点 (St.3~5) の計5地点であり、特に湾奥のSt.4は太田川の河口域に位置し、陸域負荷の影響を強く受ける地点である。また、St.3及びSt.4の周辺にはカキ筏が密集している。各地点における調査時の平均水深は、St.1: 32m, St.2: 20m, St.3: 13m, St.4: 14m及びSt.5: 19mであった。

調査は、2013年4月、8月及び2014年2月の3回行った。分析用試料の採泥は、エクマンバージ採泥器を用い、上部海水を静かに排水した後、表層5cmの底泥をヘラを用いて採取し、実験室に持ち帰った。泥温及び酸化還元電位 (ORP) は現地測定し、ORPは、標準水素電極を基準とした電位 (Eh) に換算したものを測定値とした。

酸素消費速度及び栄養塩溶出試験に用いる底泥試料は、2013年8月及び9月 (夏季)、2014年2月 (冬季) にHR型不攪乱柱状採泥器 (離合社製) を用いて採取し

た。コア泥はアクリルパイプ (内径11cm、高さ50cm) に底泥直上の水 (上層水) と共に採取した。また、別に試験水として採泥地点の底層水を採水した。

3 分析方法

採取した底泥は、貝殻、動植物片等の異物を取り除いた後、3000rpm、20分間遠心分離を行った。遠心分離後の底泥は、乾燥機で乾燥して分析用試料とした。なお、含水率及び硫化物の測定には、遠心分離を行っていない湿試料を用いた。

含水率、強熱減量 (IL)、全有機炭素 (TOC) 及び全窒素 (TN) は底質調査方法 [1] に従い測定した。TOC及びTNは柳本製作所製CHNコーダMT-3を用い、TOCは試料を塩酸で前処理して測定した。C/N比の算出には、CN同時測定した窒素の値を全有機窒素 (TON) とし、TOC/TON (モル比) として求めた。硫化物 (AVS: Acid Volatile Sulfides) は、検知管法 (ガステック社製、ヘドロテックS) により測定した。粒度組成は、JIS A 1204のふるい分析及び沈降分析により測定した。全リン (TP) は、灰化・塩酸抽出法 [6] により前処理を行い、オートアナライザー (BRAN-LUEBBE社、TRAACS-2000) で測定した。無機態リン (PO₄-P、酸可溶性リン) は、6NHCl抽出後、オートアナライザーで測定した [7]。なお、粒度組成の測定は8月の調査のみ行った。

酸素消費速度 (SOD: Sediment Oxygen Demand) は、底質調査方法 [1] に準じ、柱状コアによる室内実験法により測定した。すなわち、コア内の上層水を採泥地点の底層水をろ過したもの (容量1L) に置き換え、空気曝気し酸素濃度を高めた後、上層水表面が空気に接しないよう上蓋をして恒温室内に静置し、経時的にDOを測定した。DOの測定にはDOメーター (YSI/Nanotech社製550A) を用いた。コア内上層水のDOは、濃度が2~3mg/L以上では直線的に減少したため、この1次回帰式を求め、1日当たり、底泥面積当たりとしてSOD (g/m²/日) を算出した。

栄養塩溶出速度は、底泥コアをインキュベートする室内実験法により測定した。SOD試験と同様にコア内の上層水を採泥地点の底層水をろ過したもの (容量1L) に置き換え、経時的に上層水30mLを採取し、ディスクメンブレンフィルター (孔径0.45µm) でろ過し、分析に供した。この際、上層水を採取量だけ補充して試験を継続した。試験は好気条件と嫌気条件の2つの条件にて行い、冬季の場合は広島湾では貧酸素化は起こらないため、好気条件のみの試験を行った。好気条件の場合は、空気曝気で上層水を飽和させた状態で行い、嫌気条件の場合は、上層水に上蓋をして空気を遮断し、DO < 2mg/Lの条件で行った。採取した試験水は、無機態窒素 (NH₄-N、NO₃-N及びNO₂-N) 及び無機態リン (PO₄-P)

をオートアナライザーにより測定した。これらの濃度の増加量から1次回帰式を求め、1日当たり、底泥面積当たりとして溶出速度 (mg/m²/日) を算出した。また、閉鎖実験系であることから、コア内の物理的、生化学的環境が時間的に変化する恐れがあるため、インキュベーターの時間は、短時間 (約1日) で行った。

なお、SOD及び栄養塩溶出速度の測定は、夏季は全5地点で、冬季はSt.2, St.3及びSt.4の3地点で行い、試験温度は、採取時の泥温に近い温度として、夏季は25℃、冬季は10℃の暗条件で行った。また、いずれの試験も上層水は静置状態とし、測定または採水時に底泥が巻き上がらない程度に攪拌を行った。

結 果

1 底質の粒度組成

広島湾各調査地点における底質の粒度組成を図2に示す。いずれの地点においても底質の大部分は、シルトと粘土の微細粒子で構成されており、泥分率 (75μm以下の粒子、シルト・粘土分) はほとんどの地点で99%以上であった。粘土含有量は70%前後であり、沿岸域より沖合の方が若干高くなる傾向がみられた。瀬戸内海環境情報基本調査 [2] では、底質の性状をShepardの三角ダイアグラム [8] に当てはめているが、これによるといずれの地点もSilty-Clayに分類された。

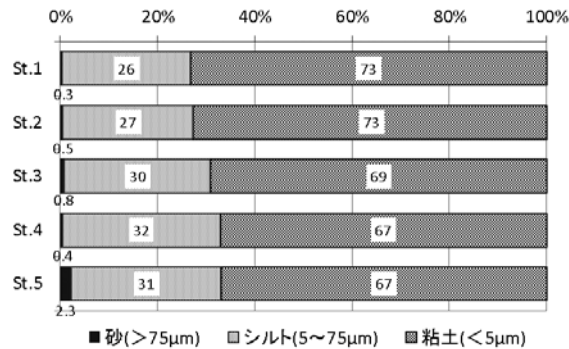


図2 広島湾底質の粒度組成 (8月)

2 底質の物理・化学的性状

各調査地点における含水率, Eh, AVS, IL, TOC, TN及びTPを図3~9に示す。

含水率は、65~79%であり、季節変動はほとんど見られなかったが、地点間では沿岸域より沖合の方が若干高くなる傾向がみられた。

Ehは、季節変動が大きく、冬季は高いが夏季には低下した。夏季は全ての地点でマイナス値を示し、還元的な状態であった。

AVS濃度は、0.17~0.67mgS/gとなっており、ほとんどの測定値が、水産用水基準 [9] の0.2mgS/gを超え

る濃度であった。特に湾奥のSt.4で高濃度となった。

有機物の指標となるILは、9.7~11.5%、TOCは、17~23mg/g、TNは、2.4~3.0mg/g、TPは、0.60~0.75mg/gであった。TOC及びILには、沖合から湾奥にかけて若干高くなるような傾向がみられたが、TN及びTPは、顕著な地点間の差や季節変動は見られなかった。

ここで、今回の調査結果と第3回瀬戸内海環境情報基本調査 (2001~2004年) [2] の結果を比較したものを表1に示す。なお、瀬戸内海環境情報基本調査は夏季に行われているため、8月に調査した値と比較した。有機物指標項目 (IL, TOC) や栄養塩 (TN, TP) は瀬戸内海の平均値よりかなり高い濃度であった。この濃度レベルは大阪湾奥部に並ぶほどの高値であった。また、Ehも瀬戸内海の平均値より低く、AVSも高濃度であった。

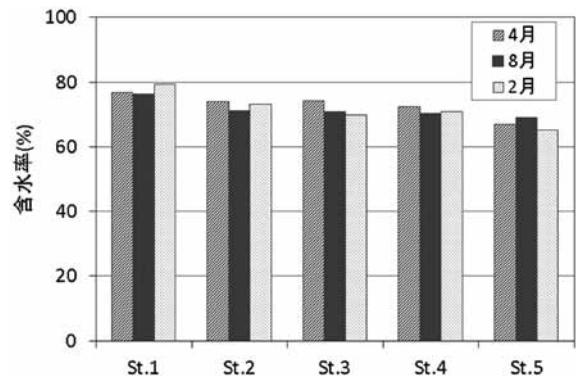


図3 広島湾底質の粒度組成の含水率

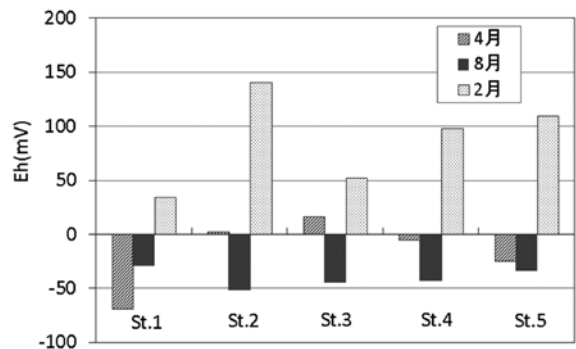


図4 広島湾底質のEh

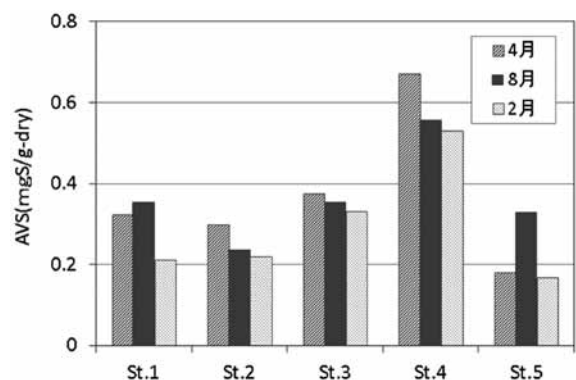


図5 広島湾底質のAVS濃度

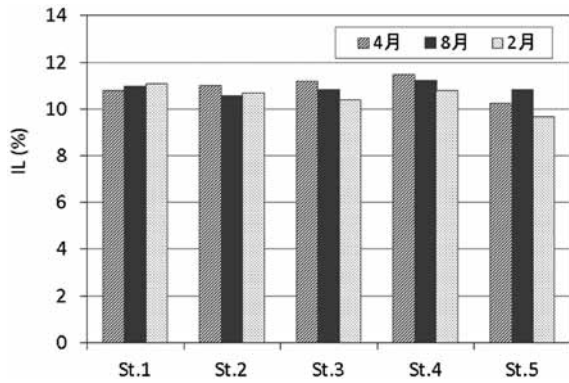


図6 広島湾底質のIL

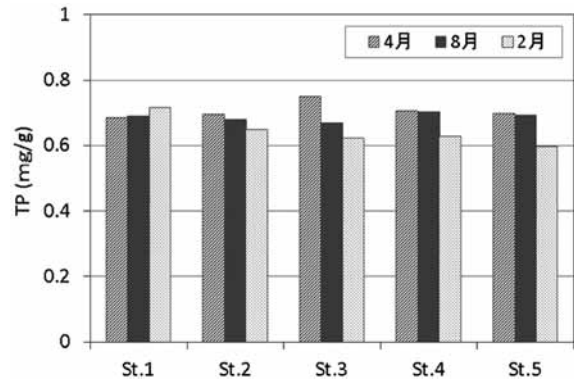


図9 広島湾底質のTP濃度

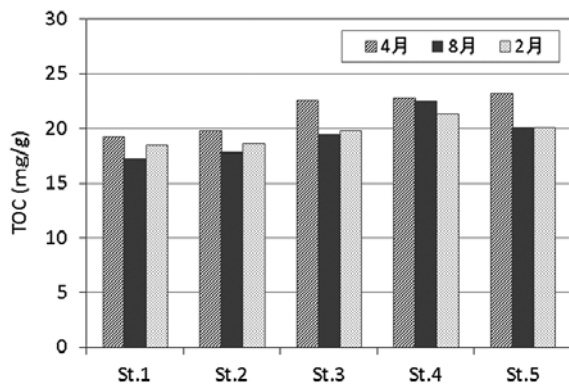


図7 広島湾底質のTOC濃度

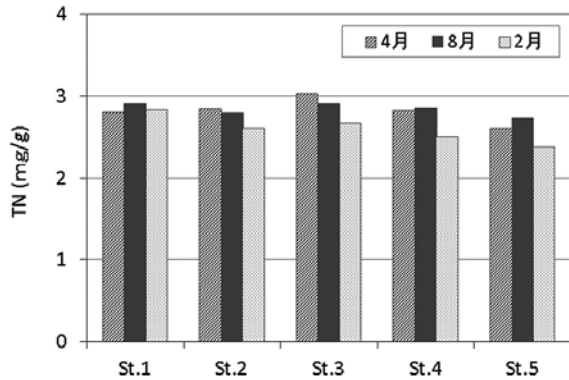


図8 広島湾底質のTN濃度

3 酸素消費速度 (SOD)

SODの測定結果を図10に示す。広島湾北部海域のSODは、夏季：0.43~0.97g/m²/日、冬季：0.13~0.15g/m²/日となっており、夏季が冬季の4~7倍大きかった。また、冬季は地点間の差がほとんどないのに対し、夏季はその差が大きく、沿岸域 (St.3, St.4) は沖合 (St.1), 中央部 (St.2) と比べて2倍程度大きくなった。

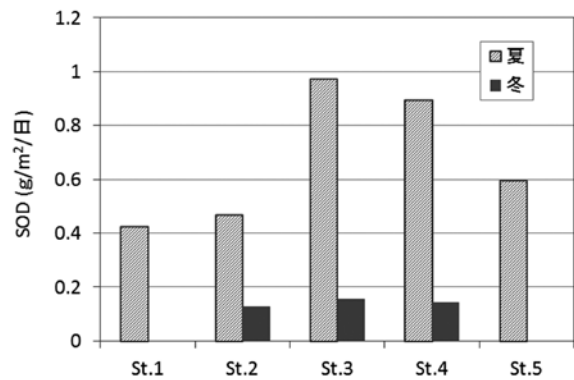


図10 広島湾底質のSOD

表1 測定値の比較

	広島湾北部海域 (8月)					瀬戸内海	
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	平均値	(最小値~最大値)
泥分率 (%)	99.7	99.5	99.2	99.6	97.7	53.9	(0.1~99.8)
Eh (mV)	-29	-52	-44	-42	-33	24	(-271~404)
IL (%)	11.0	10.6	10.8	11.2	10.8	6.4	(0.7~18)
TOC (mg/l)	17	18	20	22	20	11	(0.3~31)
TN (mg/l)	2.9	2.8	2.9	2.9	2.7	1.3	(<0.1~3.5)
TP (mg/l)	0.69	0.68	0.67	0.70	0.69	0.40	(0.02~1.6)
AVS (mg/l)	0.35	0.24	0.35	0.56	0.33	0.16	(<0.01~1.7)

瀬戸内海は、第3回瀬戸内海環境情報基本調査のデータ (2001~2004年, n=425)

4 栄養塩溶出速度

底泥からの栄養塩溶出速度の測定法は、標準的な方法は確立されておらず、過去、さまざまな方法が報告されているが [10] [11] [12], 今回は底泥コアを用いた室内実験法により測定した。測定値は、これらの測定法の違いだけでなく、温度、酸素濃度、攪拌の有無、インキュベート時間等の条件に大きく左右されるが、今回の測定は、上記分析方法に示した同一条件において地点間の比較を行った。その結果を図11及び図12に示す。まず窒素については、コア内上層水のNO₂-N及びNO₃-Nの濃度変化はほとんどなく、増加が認められたのは、NH₄-Nだけであった。このため窒素の溶出速度は、NH₄-N溶出速度として表した。NH₄-N溶出速度は、夏季-好気：19~178mgN/m²/日、夏季-嫌気：6~70mgN/m²/日、冬季-好気：7~24mgN/m²/日であり、冬季より夏季の方が数倍大きく、嫌気条件よりも好気条件の方が大きかった。地点間では沖合よりも沿岸域で大きく、特に湾奥 (St.4) が大きかった。次にリンについては、好気条件においては、本試験のインキュベート時間内にコア内上層水のPO₄-P濃度に有意な増減が認められなかった。このため夏季の嫌気条件のみ測定結果を示した。PO₄-P溶出速度は、4~12mgP/m²/日であり、NH₄-Nの場合と同様に沖合よりも沿岸域で大きく、湾奥(St.4)が最も大きかった。

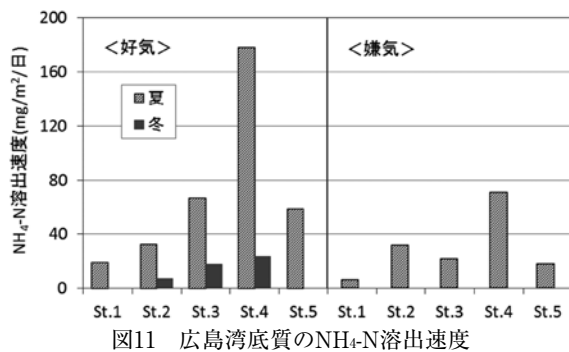


図11 広島湾底質のNH₄-N溶出速度

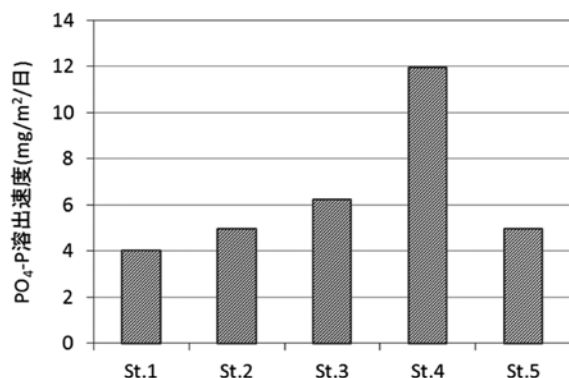


図12 広島湾底質のPO₄-P溶出速度 (夏季・嫌気条件)

考 察

広島湾北部海域は、一級河川の太田川の流入や広島市都市域からの陸域負荷が大きく、湾奥と沖合では有機物や栄養塩類の負荷が大きく異なることが予想される。しかし底質の性状はそれほど差はなく比較的均質な状態であった。一方でSOD、栄養塩溶出速度等は湾奥と沖合との差は大きく、季節変動も顕著であった。これらの要因について今回の結果と水質調査データ、また、これまでの報告から考察した。なお、水質調査データは、今回の底質調査と同じ地点で2009~2013年に行ったものである。

底質の有機物 (IL, TOC) は、沖合より湾奥の方が若干高い傾向がみられたが、その要因としては、湾奥では陸域負荷の影響が強いことやそれを利用して増殖する植物プランクトン量が多いため堆積物が多くなることが挙げられる。しかし、その差は沖合 (St.1) と湾奥 (St.4) でも2割程度であり、粒度組成、栄養塩類も地点間での差はほとんどなかった。これまでの報告から広島湾北部海域では、夏季における懸濁態有機物のほとんどが一次生産起源といわれており [13], その生産速度は沖合に比べて沿岸域の方がかなり大きいことが分かっている [14]. 各地点の表層水のクロロフィル濃度の年間平均値と経月変化を図13及び図14に示す。これをみても沖合に比べて沿岸域ほど一次生産が大きいことが分かる。また、クロロフィル濃度の経月変化をみると、一次生産は5~

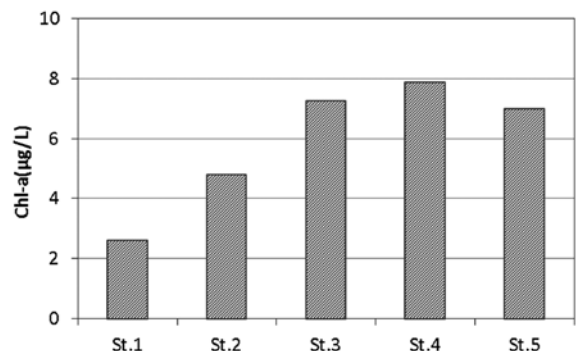


図13 広島湾表層のクロロフィル濃度 (2009-2013年の年間平均値)

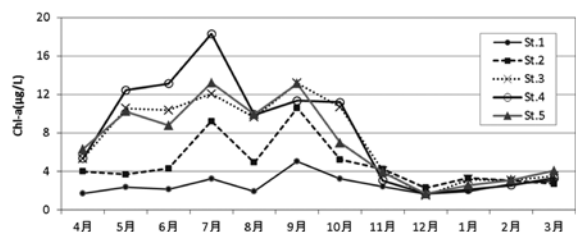


図14 広島湾表層のクロロフィルの経月変化(2009-2013年の平均値)

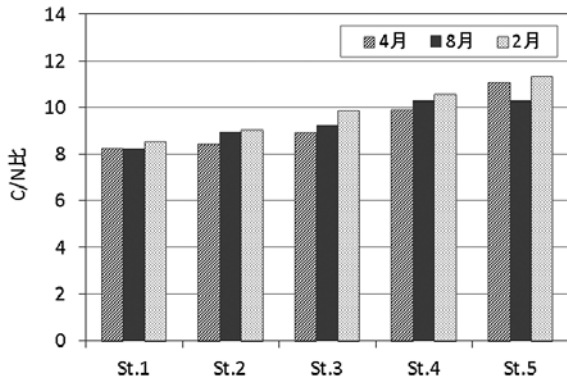


図15 広島湾底質のC/N比

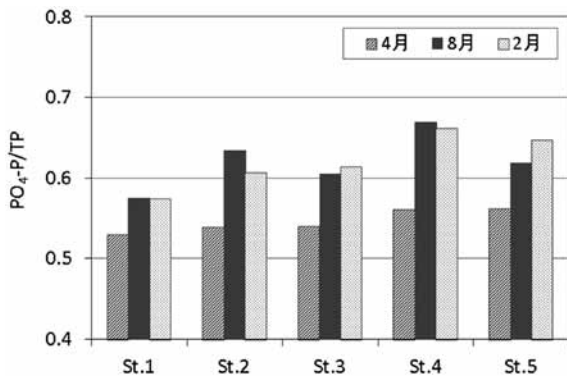


図16 全リン中に占める無機態リンの割合

10月にかけて活発であり、沖合と沿岸域で顕著な差が生ずるのはこの期間だけであった。一次生産により生成した懸濁物は海底へと沈降するが、懸濁物の水中沈降は、自重よりも海水の鉛直流動に支配されており、その沈降は鉛直循環が始まる9~10月に増大すると報告されている [14]。このように一次生産の盛んな時期と沈降する時期がずれていることにより、懸濁態有機物は、海中に長期間滞留することになる。この間、分解を受けながら閉鎖的な内湾で分散され堆積することで底質が均質化されるものと推察された。

ここでC/N比を図15に示す。C/N比は有機物の起源の指標としてよく使用されており、海域植物プランクトンではモル比で6.6前後、陸上由来有機物では12以上を示すことが知られている [15]。C/N比は沖合(約8)と比較して沿岸域では10以上となっており、沖合では沈降した植物プランクトン起源の有機物が多く、沿岸域ほど陸域起源の有機物の影響を受けているものと推測された。次に全リン中に占める無機態リンの割合(PO₄-P/TP)を図16に示す。無機態リンの割合は、沿岸域で高くなっていった。河川から流入する懸濁物質に含まれるリンは、無機態リンが比較的大きい割合で存在することが知られており [11]、太田川の河口域に位置するSt.4では河川起源の割合が高くなり、沖合では一次生産起源の有機態リン(Org-P=TP-PO₄-P)の割合が増すものと

推察される。このように底泥中に堆積した有機物や栄養塩類は量的には地点間における差は小さいが、質的には沿岸域と沖合では違いがみられた。

底質の有機物や栄養塩類濃度が大阪湾並みに高い要因の一つにカキ養殖の影響も指摘されている [17]。北部海域のカキ筏は、夏季に別の避難漁場に移動し、冬季に身入漁場である北部海域に戻ってくるため、台数の季節変動がある。また、前述のように一次生産や沈降の季節変動もあり、懸濁物の堆積にもこれらに伴う季節変動があることが予想される。しかし、広島湾北部海域での海底への堆積速度は1980年前後の富栄養化が著しい頃でも最大1.6cm/年と報告されており [14]、今回の採泥層は5cmであることから季節変動について捉えることはできなかった。

次に、Eh、AVS、SOD及び栄養塩溶出速度については、温度、微生物活性、底層水の循環・滞留などの諸因子が関係している。特に温度は微生物活性を大きく左右する因子であり、これらの値は、夏季と冬季では大きく異なった。

Ehは、夏季には微生物活動の活性化や成層形成による酸素供給の制限により小さくなる(還元化)。AVS濃度は、Ehと関係しており、瀬戸内海ではIL>約5%、Eh<約+200mVでAVSが蓄積するといわれている [16]。今回の調査では、全ての地点でこの条件となっており、AVSは高濃度となっていた。一般的にAVSは硫酸還元菌の活性が活発となる夏季に高くなることがよくみられるが [17]、今回の調査では、季節変動がほとんどない地点が多くみられた。この要因として、カキ養殖の影響が考えられる。上述したように、北部海域ではカキ筏の台数が冬季に多くなり、糞・擬糞などの沈降量も増加することが予想される。このことが冬季でもAVS濃度が相対的に高く維持される原因であると指摘されている [17]。

底泥のSODや栄養塩の溶出は、底泥中での有機物の代謝分解や酸化還元反応が関係した現象である。そのためいずれも温度が最も顕著な影響を及ぼす因子といわれており [18] [19]、夏季に高い値を示した。SODは、生物学的酸素消費(B-SOD)と底泥中の還元性物質による化学的な消費(C-SOD)に大別することができ、過去の広島湾の調査によると、夏季の酸素消費はB-SODが主体(55~75%)であり、冬季はC-SODが主たる消費源(70~100%)であることが分かっている [18]。夏季には温度の上昇による微生物活性の増大によりB-SODが増加し、トータルのSODが増加するものと推察される。有機物量もSODや栄養塩溶出に影響を及ぼす因子と考えられるが、底質のTOCが沖合(St.1)と湾奥(St.4)で2割程度の差に対して、夏季のSODは2倍以上、栄養塩溶出速度は数倍高くなった。底質の有機物は、沖合と

比べて沿岸域は水深が浅いため未分解の易分解性有機物が多いと推測される。このためこれを利用する微生物の活性が沿岸域では高くなるものと推察され、SODや栄養塩溶出速度が顕著に高くなった要因と考えられた。また、SODは今回の測定ではトータルのものしか測定していないが、St.4では還元性物質である硫化物 (AVS) が高くなっており、C-SODが高くなることでトータルのSODが高くなった可能性も考えられた。

栄養塩の溶出は、温度の他、DOにも依存するといわれている [19]。窒素、リンとも好気条件と嫌気条件では溶出速度は異なっていた。栄養塩の溶出は、有機物の分解・無機化の他、間隙水中からの物理的拡散、底泥からの吸着・遊離などが関係しているが [23]、窒素の場合は、有機物の分解、無機化に伴うNH₄-Nの生成が溶出速度を最も左右するといわれている [20]。このため夏季の好気条件下で微生物の活性が高くなり溶出速度は大きくなったものと推察された。また、好気条件下では、硝酸態窒素の溶出が認められた例が報告されているが [21]、今回の測定では上層水のNO₂-NやNO₃-Nの増減は、ほとんどないかNH₄-Nに比べると微小であり、硝化や脱窒の影響は少ないものと思われた。好気条件と嫌気条件の測定値を比較すると、好気条件の方が大きくなっていったが、これまで嫌気条件の方が大きくなった例が多く報告されている [19] [22]。今回の調査では夏季においても調査時の底層DOは、St.1 : 4.9mg/L, St.2 : 4.2mg/L, St.3 : 2.0mg/L, St.4 : 4.6mg/L, St.5 : 3.3mg/Lであり、St.3を除いては比較的高い状態であった。このため、嫌気条件での測定値は、嫌気状態になった場合のポテンシャルといえる。今回、好気条件での測定値の方が大きくなった要因として、コアを採取した際の現場の底層は好気状態であったことから、コア内の好気性微生物の活性が高かったことが推察される。また、脱窒が起こっていないことも、この要因として考えられる。

リンの場合は、溶出のプロセスが窒素とは異なっている。上層水のDOの影響が特に大きく [19]、好気条件下では海水中のリン酸塩は水酸化鉄に吸着してリン酸鉄となって底泥に蓄積し、嫌気条件下ではリン酸塩となって海水中に遊離することが知られている [23]。このため、好気条件では、分解によって遊離したリン酸塩はすぐさま底泥に吸着されることで上層水のリン酸塩濃度はほとんど増加しなかったものと考えられた。嫌気条件においては、溶出速度は湾奥ほど大きくなっていった。この傾向は底質中の無機態リンの割合 (図14) と同様の傾向を示しており、底質中の無機態リン濃度の高い湾奥ほど溶出速度が大きくなったものと推察された。

ま と め

広島湾北部海域において底質調査及びSOD、栄養塩溶出速度の測定を行い、これらの空間的分布や季節的変化について以下の知見を得た。

- 1) 粒度組成は、Shepardの分類によるとSilty-Clayに属する微細な泥質が北部海域全体に分布していた。
- 2) 底質は、有機物指標の項目 (IL, TOC) や栄養塩類 (TN, TP) 濃度が瀬戸内海の平均値と比べてかなり高い濃度レベルであった。
- 3) 有機物は、沿岸域で高い傾向がみられたが、その差は沖合と湾奥で2割程度であった。栄養塩類濃度は地点間の差がほとんどなく、比較的均質な分布状況であったが、C/N比やPO₄-P/TP比の違いから、沖合では沈降した植物プランクトン起源の有機物の割合が沿岸域よりも高く、沿岸域では陸域負荷の影響が相対的に大きいことが推測された。
- 4) Ehは地点間での傾向はなかったが、夏季には全地点でマイナス値を示し還元的な状態であった。AVSは、湾奥で高濃度となり、冬季においても高濃度が維持されていた。
- 5) SODは、夏季が冬季の4～7倍大きく、地点間の差では冬季はほとんどないのに対し、夏季は沿岸域の方が沖合の2倍程度大きかった。
- 6) 栄養塩の溶出は、窒素はNH₄-Nとして溶出し、溶出速度は冬季より夏季の方が数倍大きく、嫌気条件よりも好気条件の方が大きかった。リンはPO₄-Pとして溶出し、本報告での試験条件においては嫌気条件のみ溶出した。NH₄-N, PO₄-Pのどちらの溶出速度も沿岸域で高く、特に湾奥の地点で著しく高くなった。

参考文献

- [1] 環境省水・大気環境局. 底質調査方法. 平成24年8月.
- [2] (社) 瀬戸内海環境保全協会. 平成17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 (総合解析編). 平成18年3月.
- [3] 広島湾再生推進会議. 広島湾再生行動計画. 平成19年3月.
- [4] 広島水産研究会. 広島市の水産振興に関する調査分析報告書 (昭和53年3月). 1978 : 21-22.
- [5] 山本民次, 北村智頭, 松田治. 瀬戸内海に対する河川流入による淡水, 全窒素および全リンの負荷. 広島大学生物生産学部紀要. 1996;35:81-104.
- [6] 日本海洋学会編. 沿岸環境調査マニュアル [底質・

- 生物編]. 恒星社厚生閣. 1986.p.59.
- [7] 寒川喜三郎, 日色和夫編. 最新の底質分析と化学動態. 技報堂出版. 1996.p.57.
- [8] Francis Parker Shepard.Nomenclature based on Sand-Silt-Clay Ratios.J.Sed.Petrol.24:1954:151-158.
- [9] 日本水産資源保護協会. 水産用水基準2012年版. p.92-95.
- [10] 山本民次, 松田治, 橋本俊也, 妹背秀和, 北村智顕. 瀬戸内海底泥からの溶存無機態窒素およびリン溶出量の見積もり. 海の研究. 1998;7(3):151-158.
- [11] 神山孝史, 辻野陸, 玉井恭一. 夏季成層期の播磨灘海底における栄養塩類溶出量. 南西水研研報. 1998;31:33-43.
- [12] Tohru Seiki,Hirofumi Izawa,Etsuji Date.Benthic nutrient remineralization and oxygen consumption in the coastal area of Hiroshima Bay.Water. Res.1989;23(2):219-228
- [13] Jutarat.Kittiwanch,Tamiji.Yamamoto,Osamu. Kawaguchi,Toshiya.Hashimoto. Analyses of phosphorus and nitrogen cycling in the estuarine ecosystem of Hiroshima Bay by a pelagic and benthic coupled model.Estuar.Coast.Shel. Sci.2007;75:189-204
- [14] 清木徹, 伊達悦二, 井澤博文. 広島湾におけるセディメント・トラップ捕集物から推定した水中懸濁物の沈降フラックス. 水質汚濁研究. 1985;8(5):304-313.
- [15] Woo-Seok SHIN, 藤林恵, 野村宗弘, 中野和典, 西村修. 七北田川河口の3つの干潟における堆積有機物の起源とその特徴. 環境工学研究論文集. 2008;45:547-552.
- [16] 山本民次, 松田治, 橋本俊也, 妹背秀和. 瀬戸内海表層底泥に見られる強熱減量, 酸化還元電位および酸揮発性硫化物濃度の関係. 沿岸海洋研究. 1999;36(2):171-176.
- [17] 山本民次, 橋本俊也, 松田治, 郷秋雄, 中口和光, 原口浩一. 広島湾と周防灘の底質の比較-とくに季節変動と各項目間の関係について. 日本水産学会誌. 2008;74(6):1037-1042.
- [18] Tohru Seiki, Hirofumi Izawa, Etsuji Date, Hiroshi Sunahara. Sediment oxygen demand in Hiroshima Bay.Water Res.1994;28(2):385-393.
- [19] 細川恭史, 三好英一, 堀江毅. 栄養塩溶出速度の温度・DO依存性について. 港湾技研資料. 1981. p.405.
- [20] 河合章. 水域底泥からのアンモニア態窒素などの溶出. 沿岸海洋研究ノート. 1981;18(2):106-111.
- [21] 白柳康夫, 大矢正代. 横浜港底質からのリン, 窒素の溶出. 横浜市公害研究所報. 1991;15:57-66.
- [22] 神山孝史, 玉井恭一, 辻野陸. 海底堆積物からの栄養塩再生産過程に及ぼす底質・溶存酸素条件. 南西水研研報. 1997;30:209-218.
- [23] 柳哲雄編. 瀬戸内海の実地環境. 恒星社厚生閣. 2008.p.62.