

折戸湾・清水港が駿河湾への環境負荷軽減に果たす役割

福江正治*1・佐藤義夫*1・藤川俊秀*2・井上智裕*3・鐘ヶ江 隆*4・Catherine N. Mulligan*3

Role of Orido Bay and Shimizu Port in reducing the load of contaminants into Suruga Bay

Masaharu FUKUE, Yoshio SATO, Hidetoshi FUJIKAWA, Takasshi KANEGAE,
Tomohiro INOUE and Catherine N. Mulligan

Abstract

This case study shows that Orido Bay (wood pool) and Shimizu Port play an important role as buffer areas in preventing diffusion of pollutants to Suruga Bay (the Pacific Ocean). Orido Bay is located within the inner part of Shimizu Port and has a very narrow mouth with breakwaters. The suspended solids from the rivers that retain various pollutants, such as heavy metals, are settled on the bottom of the bay. Anaerobic conditions developed there promote production of hydrogen sulfide and subsequent sulfides with metals. The results show that the metal concentrations are relatively high in the sediments from Orido Bay and that they decrease with distance from the bay toward the outside of Shimizu Port. Near the entrance of the port, the concentrations of metals in sediments are in accordance with their background values.

Keywords: enclosed sea area, heavy metals, organic matter, ignition loss, sulfide

1. 序 論

閉鎖海域では一般に富栄養化が進み、有機物が沈殿堆積し、嫌気化が進んでいる。したがって、そこはいわゆる環境の悪化した水域として捉えられる。しかしながら、このような閉鎖海域は海水汚染を防ぐための大きな嫌気性ラグーンや水溜などの天然の浄化槽と考えることもできる。ここでの懸濁物質の沈殿堆積作用は廃水処理における一次処理、すなわち懸濁有機物の重力による除去過程である。同じ原理で、堆積による懸濁物質除去が種々の有害物質の除去技術として使われている (Song *et al.* 2000)。

汚染物質は、溶質、懸濁態または溶存態として閉鎖海域へ負荷される。それらは主として河川水や地下水によって運搬される。水質の指標である化学的酸素要求量 (COD) についても、一般に懸濁態と溶存態に分けて扱われること

が多い。これまでの研究では溶存 COD の量が比較的多いとされ、その除去は難しいとされてきた。しかしながら、懸濁態と溶存態 COD の定義は、フィルターで濾すことができるかどうかにかかっており、溶存 COD すべてが厳密な意味で溶存しているわけではない。実際、湖水をろ過して、浮遊懸濁物質質量 (SS) に対する COD の変化を調べると、SS が高い範囲では SS の変化に対する COD の変化は小さいが、SS 量が 5 % 以下になると COD の変化が大きくなる傾向が見られる (Fig. 1)。すなわち、SS と COD の関係は一般には非線形で、溶存 COD を SS=0 ときの COD と定義すれば、その値は非常に小さくなることが認められる (Fig. 1)。このことは、SS がほとんどの COD を保持していることを示す。Fig. 1 には、上限値を破線で、COD=SS 線を直線で、また下限値を実線の曲線で表してある。

河川を通して閉鎖海域へ流入する懸濁物質の多くは土壌

2007年1月24日受理

*1 東海大学海洋学部 (Marine Science and Technology, Tokai University)

*2 北海道大学大学院 (Graduate student, Hokkaido University)

*3 Concordia University

*4 東海大学大学院 (Graduate student, Tokai University)

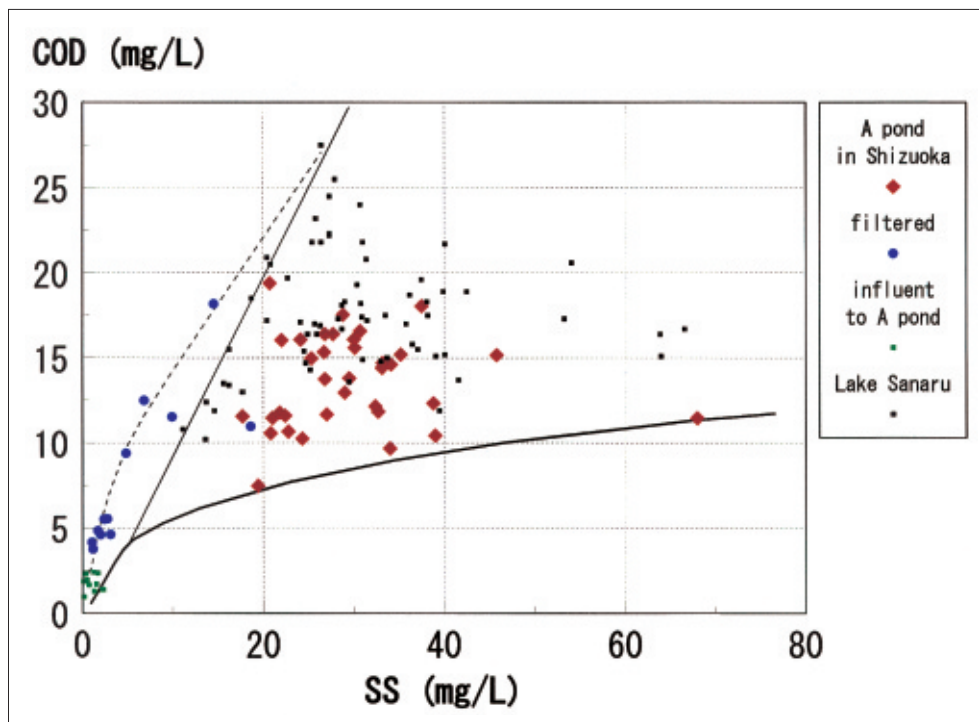


Fig. 1 Correlation between COD and SS.

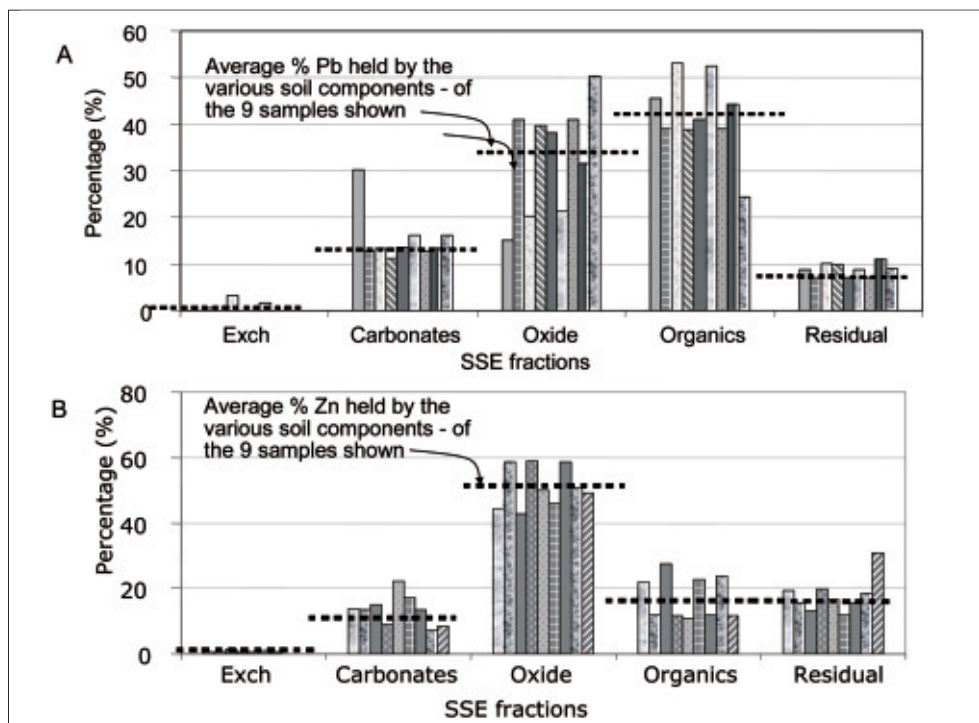


Fig. 2 Examples of results of SSE.

成分である。その代表的な成分は、ケイ酸塩（一次鉱物）、粘土鉱物、炭酸塩、酸化物、水酸化物、有機物などである。これらの固体粒子は、それぞれ異なる物理化学的性質を有しており、種々の物質を吸着、またはそれらと結合している。どの成分にどのような物質が結合しているかは、連続抽出によって明らかにされる (Yong *et al.* 2006)。例えば、Fig. 2 において、A では9種類の土壌試料について有機物に保持されている鉛が多いことを示し、B では約半分の亜鉛が酸化物に保持されていることを示している。それ以外の成分にも鉛や亜鉛が保持されていることが分かる。

一方、ウイルスやバクテリアの生息場所は界面である。水中では懸濁物質表面が水-固界面を形成する。したがって、これらの生命体の多くは懸濁物質に付着しており、懸濁物質の除去は水中のウイルスやバクテリアの除去につながる。

これまで、閉鎖海域では「海水交換」が環境評価の大きな鍵となっている。本研究の対象サイトの折戸湾の海水交換は極めて悪い (Sato *et al.* 2006)。すなわち、海水交換が悪い海域は汚染が進み、水質・底質が悪いといえる。しかし、海水交換が悪いと言うことが、汚染の拡散を防ぐと言う観点から海洋環境にとって良いと考えることもできる。

そこで、本研究では環境悪化が進んでいるとされる折戸湾・清水港閉鎖海域の環境評価を行い、同時に浄化域として果たしている役割についてのケーススタディとする。

2. 調査地点

調査地点を Fig. 3 に示す。折戸湾の採泥地点は1～12で示し、清水港ではA～Gまで表記してある。本研究では折戸湾はその入り口を防波堤でほぼ閉鎖された海域内とし、清水港はその防波堤の外側でG点沖に位置する沖防波堤までとする。なお、清水港の採泥点のB, C, D, Eは航路内にあり、定期的に浚渫が行われる場所である。したがって、海底表層部といえども厳密にはいつの堆積物か判断し難いが、浚渫後の堆積物と考えることにする。Fig. 3 に示すように、折戸湾には小河川の大橋川と浜田川が注ぎ、清水港にはやや大きな巴川が注いでいる。

3. 試料採取方法および試料

採泥にはいくつかの種類のサンプラーを用いたが、結果としてグラフ型（スミス・マッキンタイヤー型サンプラー）によってのみ試料が採取できた (Fig. 4)。この採泥器によって海底表面から深さ最大約18cmの試料を採取でき、一度に多くのサンプルを採取できる。しかし採取時に試料が乱れるため、強度などの測定には適さないという欠点がある。

折戸湾試料の採取日は2004年9月15日～2004年10月31日、また清水港試料採取日は2005年9月15日であった。採泥方法としては清水港および折戸湾とも、採泥点10, 11, 12を除いた全地点でスミス・マッキンタイヤー型サンプラ

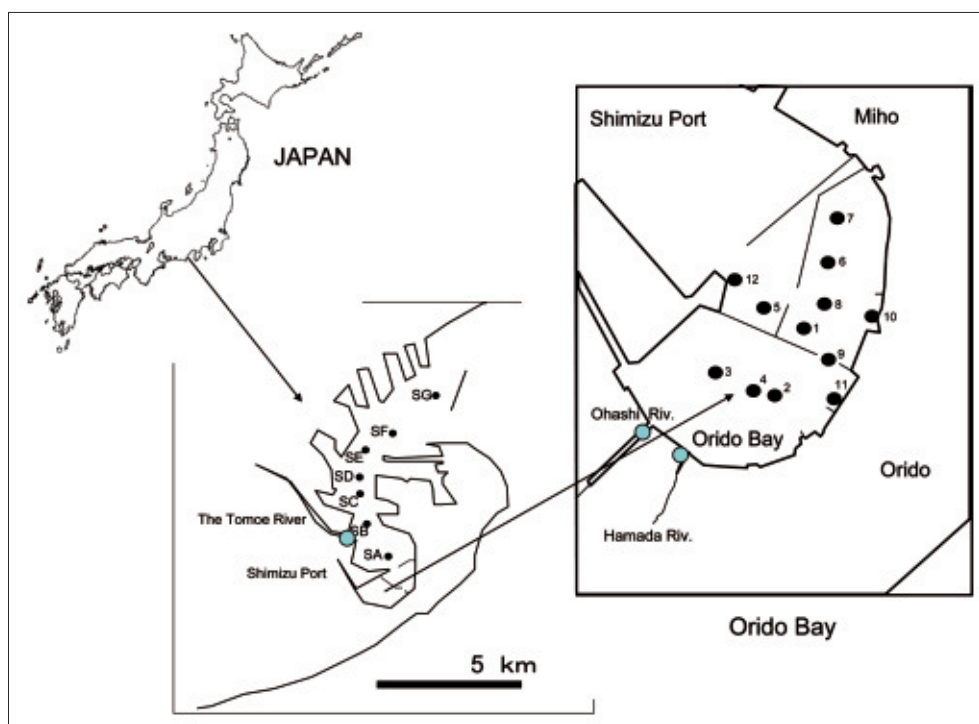


Fig. 3 Sampling site locations for sediments.

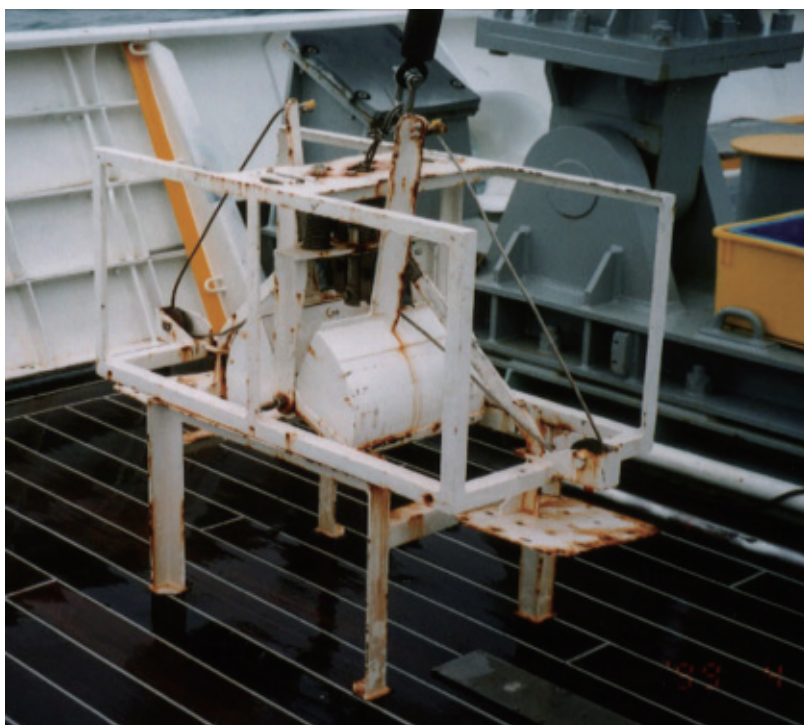


Fig. 4 Grab sampler used in this study.



Fig. 5 Typical sediments from Orido Bay (wood pool).

ーを用い、表層から深度約18cmを採取した。また、採泥地点10, 11, 12についてはダイバーにより試料を直接採取したもので、各地点とも海底面から6cmの試料を得た。

折戸湾の海底から採取した堆積物の例をFig. 5に示す。採取した試料は多くの木片や廃ロープなどを含むことが多く、それぞれの試験や分析には、いわゆる泥状部を用いた。肉眼観察から試料は黒灰色を呈し、嫌気化が進んでいることがわかる。

4. 土質試験および分析方法

粒度試験はレーザー解析・散乱式粒度分析方法にて行った(古河ら2001)。その他の土質試験は『土質試験の方法と解説(地盤工学会編)』(2000)に従った。

堆積土中の金属類含有量測定には誘導結合プラズマ発光分光分析法(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry Method)(以下:ICP-AES)を用いた。また測定に際し、試料の前処理を行う必要がある。

一般にICP-AESは液状試料中の濃度を測定する方法がある。そこで測定を行う試料は、まず前処理を行い液状にする必要がある。土壌の前処理方法としてはいくつかの方法があるが、本研究では有機物を多く含む海底堆積土が対象となるため、「HF-HNO₃-HClO₄分解」による全溶解法を用いた(乗木ら1980)。

分解試料は遠心分離器を用いて20分間、3000回転にて脱塩後、乾燥炉にて110±5°Cで乾燥させた後、メノー鉢で擦り潰したものである。また試料に金属類が混入すること

を防ぐために、試料のふるい分け・移し換えには、ステンレスもしくはガラス製のものを使用した。

5. 結果および考察

5.1 粒度試験結果

土の粒度試験の目的は、海底土の粒度を求めることにある。ここでいう粒度とは、海底地盤を構成する土粒子径の分布状態を全質量に対する百分率で表したものをいう。また、粒度組成を把握することは、底質研究にとって基本的事項であり、粒子の侵食、運搬、堆積過程で重要な因子となる。粒度試験は日本大学工学部古河研究室においてレーザー解析・散乱式粒度分析方法により行った(古河ら2001)。この方法は少量の試料があれば測定可能であり、海底土の調査、特に試料の少ない場合(数g)に適している。なお、測定前の試料調整として有機物を二酸化酸素で分解する過程を経ている。したがって、有機物は粒度分析結果に反映されていない。

折戸湾および清水港海底堆積物表層の粒度試験結果をFigs. 6および7に示す。Fig. 7の凡例のStOr5A~GはそれぞれAS~SGに対応する。堆積土の表層~6cmの試料はほぼ粘土質シルトで構成され、細粒分含有率(0.075mm以下の粒子の含有率)は90%以上を占める。ただし、折戸湾のSt. 11の堆積土には砂礫分が含まれており、他の場所の粒径加積曲線とは大きく異なる。これには、細粒分は16%しか含まれていない。これはマリーナの建設に伴い人為的行われた覆砂の影響であると考えられる。

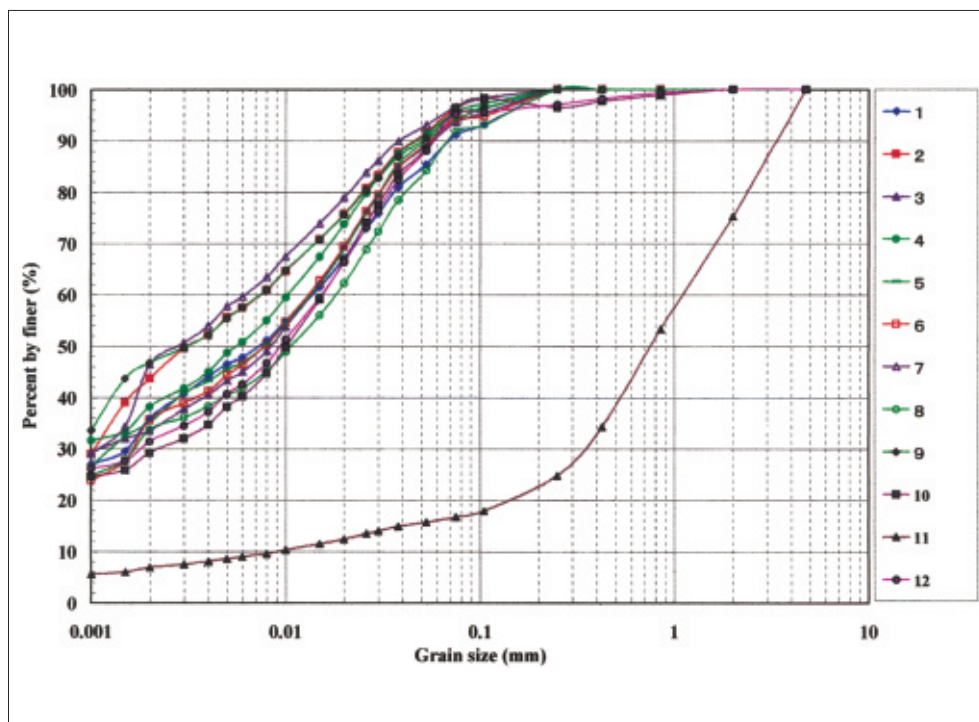


Fig. 6 Grain size distribution curves for the sediments from Orido Bay (wood pool).

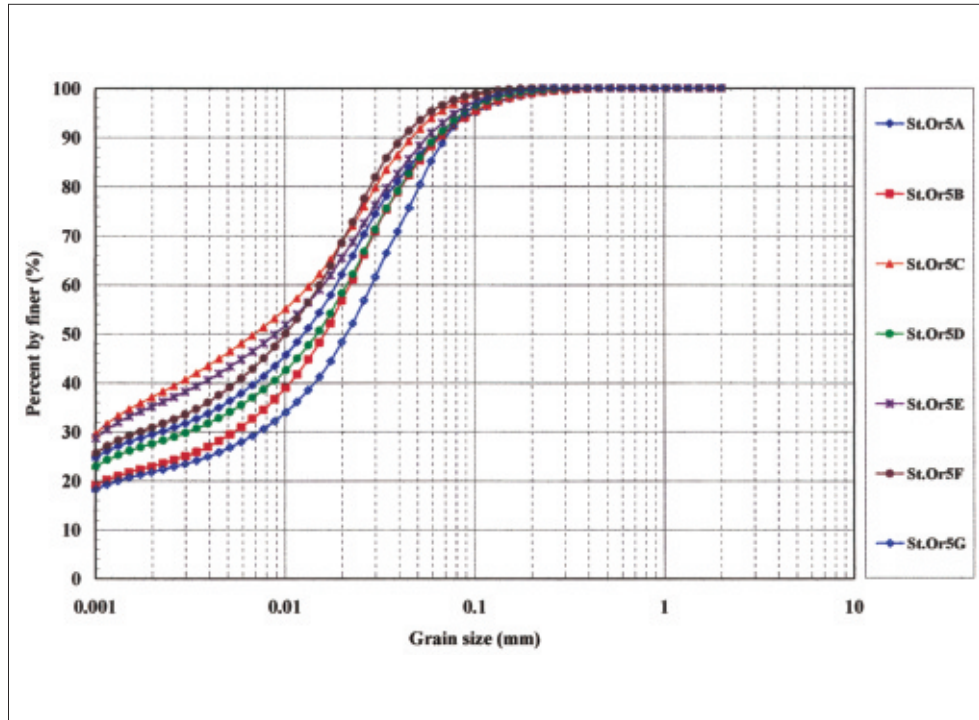


Fig. 7 Grain size distribution curves for sediments from Shimizu Port.

5.2 強熱減量

強熱減量は高温（約 750°C）で試料を焼いたとき減じる量を測定して、その減量を百分率で表したものである。なお、土壌の強熱減量試験は JIS A 1226 で規定されている（地盤工学会 2000）。有機物は強熱減量の成分であるので、有機物含有量の指標である。例えば、Fig. 8 はいろいろな土壌や堆積物の全有機炭素と強熱減量の関係を示す。それからばらつきはあるが、全有機炭素量が強熱減量と比例関係にあるといえる。

Fig. 9 は採泥地点別の強熱減量を示す。折戸湾試料の強熱減量は幅で示してあり、清水港の試料については A 地点を基点にそこから港外への距離に対してプロットしてある。折戸湾で最も低いのは採泥地点 St. 11 においてであり、それを除いて、折戸湾で相対的に高く（2 試料を除き 10 試料で 15% 以上）、清水港の試料は A で最も高く（14%）港外に向かって（St. G 方向に）減少する。St. 11 において低いのは、その場所が覆砂されたことに起因している。ただし、砂質にしてはかなり高い値である（清水港の粘土質シルトとほぼ同じ）。これは折戸湾では有機物の堆積速度が比較的速いことを示していると思われる。

一方、清水港で相対的に強熱減量が低い理由として次のように考えられる。

- 1) 折戸湾では河川から排出された懸濁物質のほとんどが堆積する（折戸湾ではほとんど海水交換の効果がない）。ただし、比重の軽い有機物のいくらかは堆積しないで、潮流または拡散によって港外に出て行く。
- 2) 浚渫時の濁りとして、または船舶のスクリューなどに

よって、比重の小さい有機物などは、潮流または拡散によって港外に排出される（堆積する有機物が限定される）。

- 3) 港外からの酸素を含む海水の流入によって、有機物が好気分解される（酸化還元電位, Eh が相対的に高い）。

5.3 強熱減量と諸量の関係

1) 土粒子の密度

強熱減量是有機物含有量の指標であることから、種々の物理および化学的性質と関係することが予想される。堆積粒子の密度は、無機物で 2.6~2.75g/cm³ 程度であり、有機物のそれはそれより低いので、有機物含有量が増えると粒子密度は小さくなる。Fig. 10 は折戸湾および清水港堆積物の粒子密度と強熱減量の関係を示す。これを見ると、清水港の堆積粒子は相対的に大きな密度を有しており、有機物が少ないことを示している。一方、折戸湾粒子は強熱減量が増えるに従い、その密度が低下している。

2) 含水比

堆積物の含水比は、その中に含まれる水の量を表すために用いられる。その定義は、つぎのようである。

$$\text{含水比}(\%) = \frac{\text{水の質量}}{\text{固体の質量}} \times 100$$

水中堆積物においては、その間隙が水で満たされているので、間隙の量は含水比と直接関係する。含水比と強熱減量の関係を調べると、Fig. 11 のように極めて相関がよい。これは、土壌成分の有機物が多いと構造特性に影響するこ

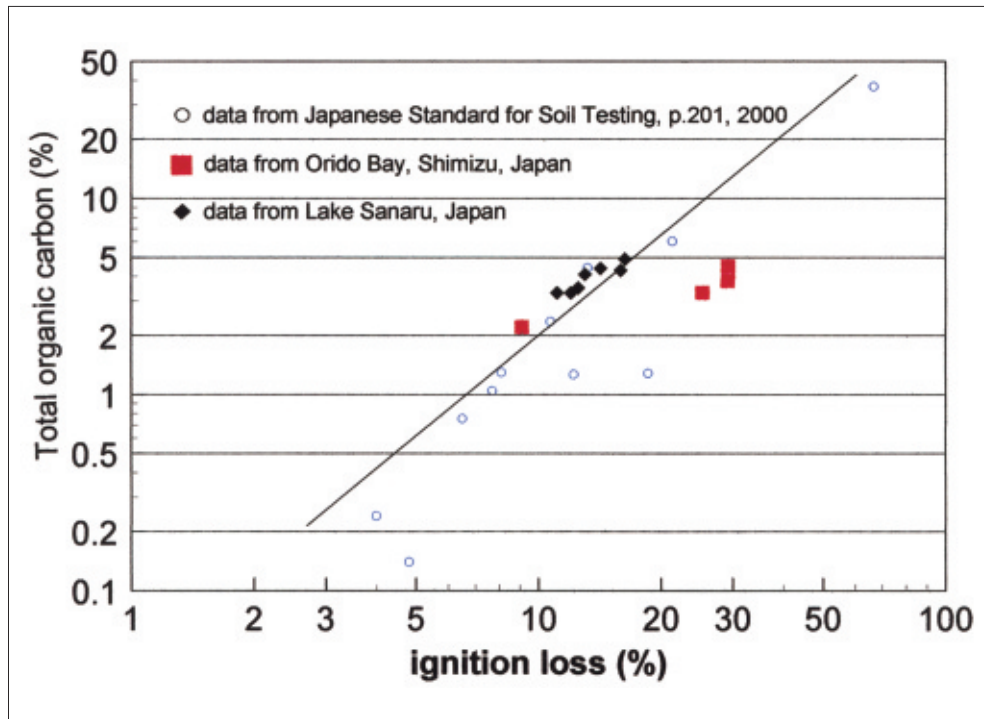


Fig. 8 Correlation between total organic carbon and ignition loss for various soils and sediments.

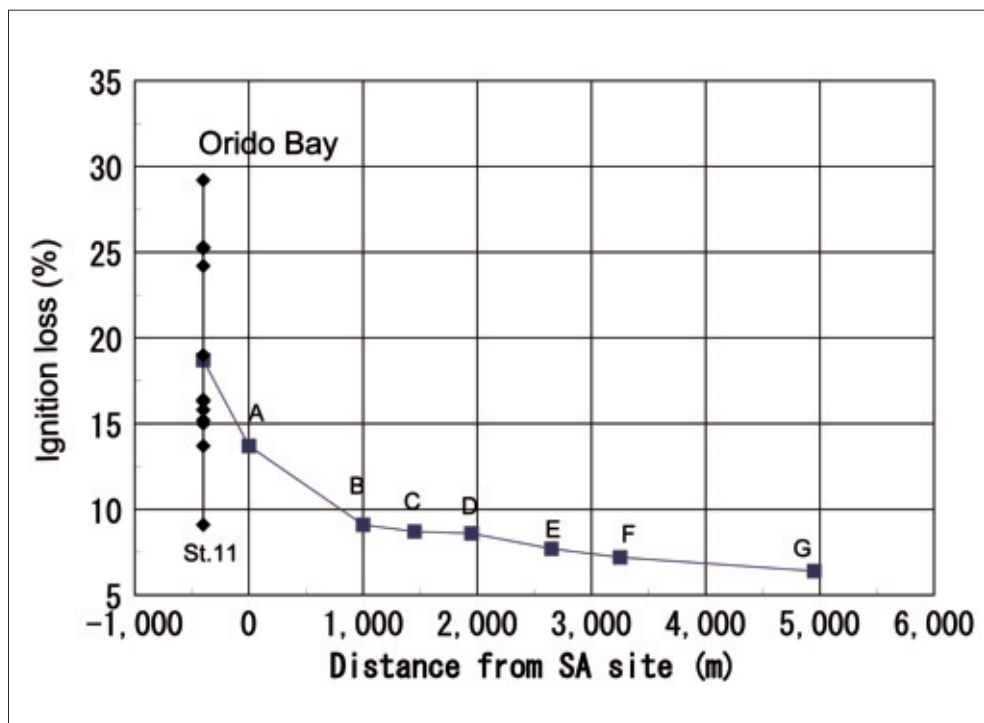


Fig. 9 Ignition loss for various sites.

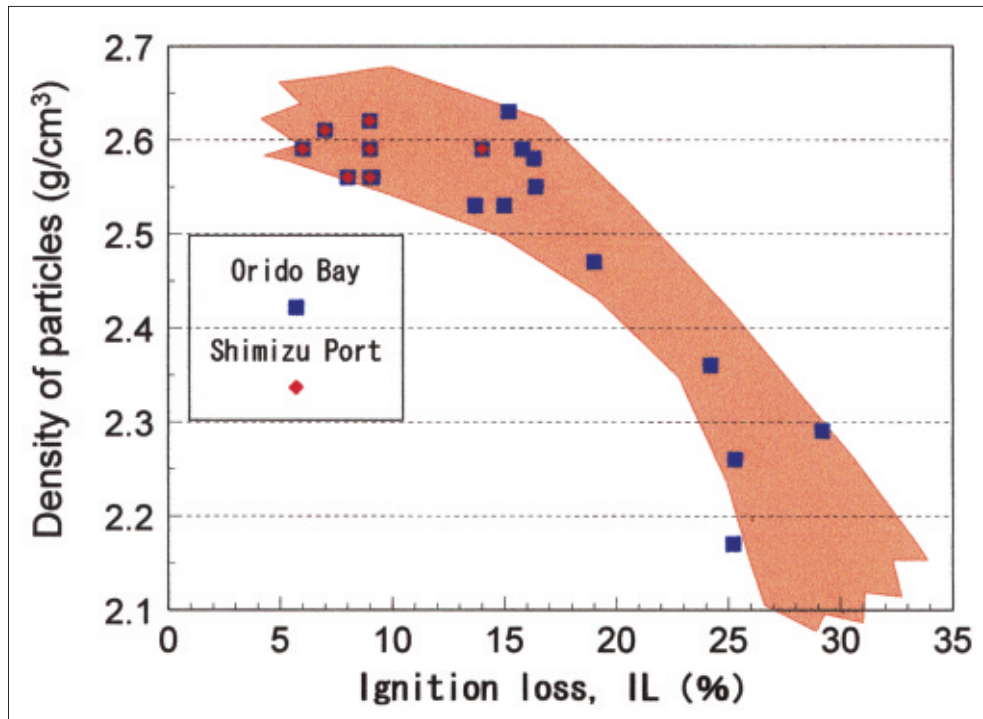


Fig. 10 Relation between density and ignition loss for sediment particles.

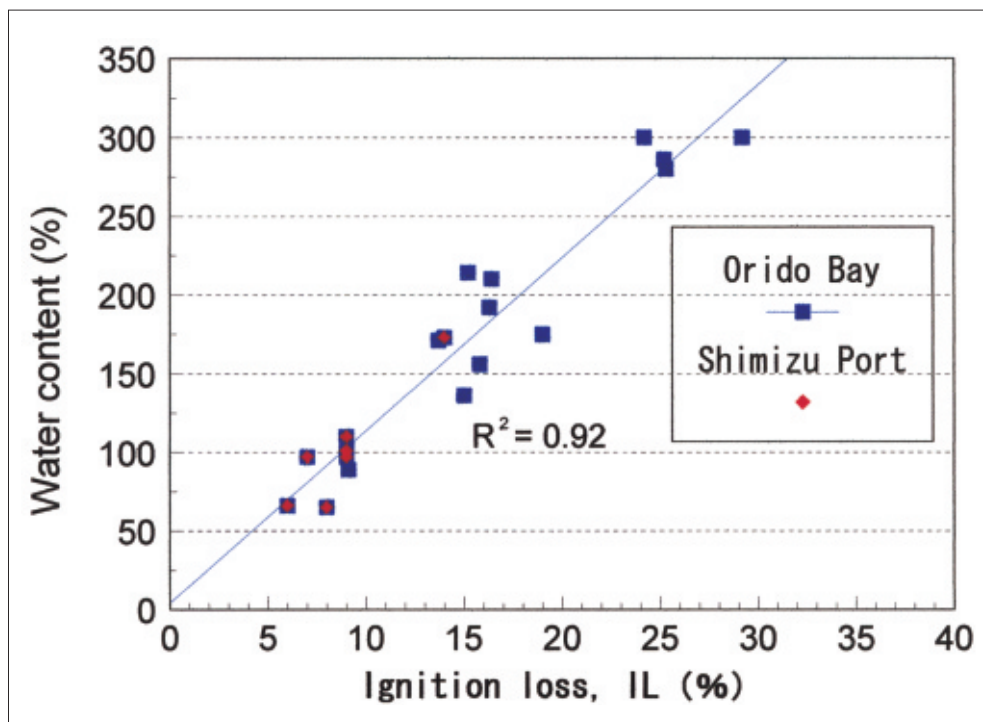


Fig. 11 Relationship between water content and ignition loss for the sediments from Orido Bay (wood pool) and Shimizu Port.

とと、上式で固体の質量（含水比の定義の分母）が小さくなるため、含水比を見かけ上高くする効果があるためと考えられる。計算で求めた間隙比（構造特性）と強熱減量との関係を調べると相関がよいことから、間隙比が高いのは有機物の比重による影響より有機物が堆積構造に強く影響しているためといえる。

5.4 金属類含有量

折戸湾および清水港堆積物の亜鉛、銅および鉛濃度を地点別に示すと Fig. 12 のようになる。折戸湾の堆積物については平均値で示してあるが、相対的には高い。なお、折戸湾堆積物のそれぞれの調査地点の汚染に関しては既に発表してある (Fukue *et al.* 2006)。

亜鉛については St. 11 を含めて、すべての折戸湾試料が 300mg/kg dry より高い値を示した。一方、清水港では A 以外はすべて 300mg/kg dry より低い。B, C, D 点でやや高い値となっているのは巴川の影響と思われる。

カナダの底質環境ガイドライン (CSQG 2003) によると、亜鉛に対する暫定環境ガイドライン (ISQG) が 124 mg/kg dry, また水棲生物に影響を与えるであろうとされる PEL 値が 271mg/kg dry である。これから考えると、折戸湾の堆積物に含まれる亜鉛濃度はかなり高いといえる。このように、底質の亜鉛濃度の自然バックグランド値は、カナダの暫定環境ガイドラインの 124mg/kg dry, または Fukue ら (2006) が細粒堆積物に対して提唱している 130mg/kg dry 程度と考えられる。すなわち、St. G で

は、人為的影響がほとんどないといえる。一方、瀧と福島 (1993) は底質の評価のために底質の基準値を設け、その 10 倍, 100 倍を超えるサンプル数で河川、湖沼および海域ごとに分けて評価を行っている。このとき用いた亜鉛の基準値は 95mg/kg である。いずれにしても、折戸湾・清水港の堆積物の亜鉛含有量はかなり高いといえる。

銅および鉛についても亜鉛と同様の傾向を示す。すなわち、平均値で示した折戸湾で高く、A, B と下がり、C, D で少し高くなる。B, C および D 点は巴川からの排出の影響であろう。なお、銅と鉛のバックグランドはいずれも 20mg/kg dry 程度である (Fukue *et al.* 2006)。この値と比べて、折戸湾では銅と鉛濃度についてもかなり高く、清水港の濃度はやや高いと言えるものの G 点ではほぼバックグランド近くまで下がっている。

5.5 金属含有量と有機物

序論で述べたように、金属イオンはいろいろな土成分によって吸着量が変わる。例えば、金属イオンは粘土鉱物（無機物）や有機物に吸着されることがよく分かっている (Yong *et al.* 1992)。一般に粘土鉱物表面は負に帯電しており、陽イオンを吸着する。またそれらはイオン交換によって置き換わることができる。しかし、この粒子表面の吸着作用は一般に pH に依存しており、pH が低い場合には脱着を起こしイオンとして存在し、また pH が高い場合には水酸化物として沈殿する。

一方、土壌有機物は各種官能基と結合する。重金属など

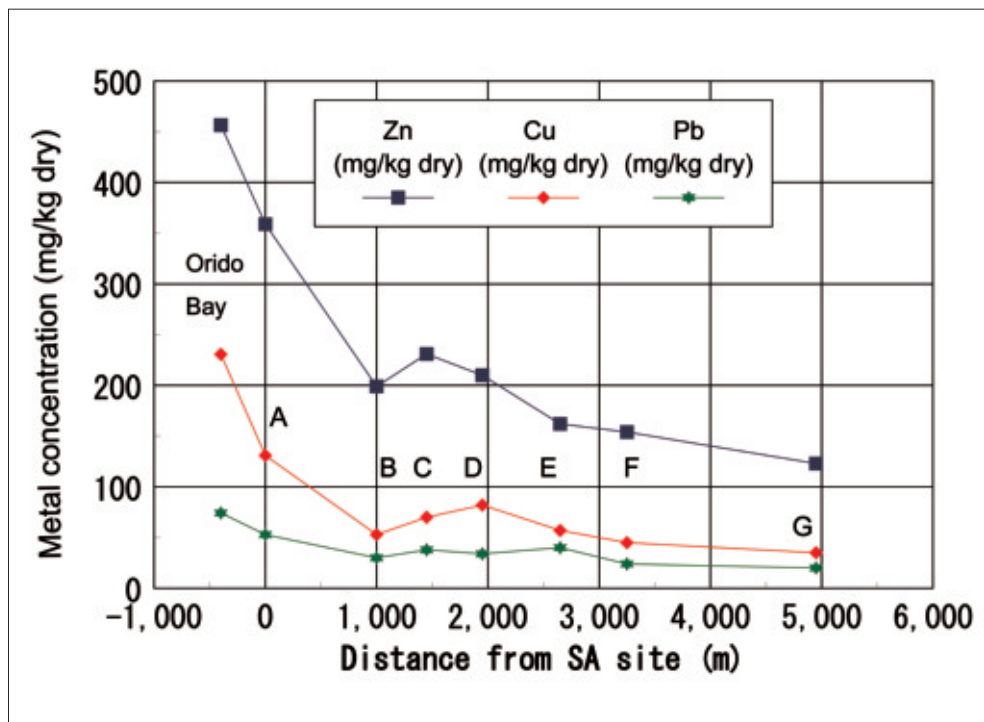


Fig. 12 The concentrations of heavy metals in the surface sediments from Orido Bay (wood pool) and Shimizu Port.

多価陽イオンはこれらの官能基と結合する。したがって、Fig. 13 に示すように強熱減量は有機物含有量の指標であることから、有機物の金属含有量が高いことが分かる。Fig. 13 から、強熱減量が約 6 % 以下になると、重金属含有量がバックグラウンドまで下がることを示している。この強熱減量によって増える重金属分はもともと有機物（強熱減量分）懸濁物質に吸着されていたものと考えられ、堆積後は嫌気化状態における有機物の分解に伴い部分的に溶脱また硫化物として蓄積されていると考えられるが、重金属含有量と酸化還元電位との相関はまったくない（亜鉛について $R^2=0.08$ ）悪い（Table 1, Fig. 14）。また、亜鉛含有量と硫化物の相関は $R^2=0.047$ である。したがって、有機物分解過程による重金属含有量の変化はそれほど大き

くはないと推察される。

5.6 硫化物

海底で起こる微生物の有機物分解によって酸素が消費され、嫌気性条件となる。その場合、硫化物が生成することがよく知られている。

硫化物生成の主な原因微生物は硫酸還元細菌である。生産された硫化物は生物にとって有毒であり、直接的に底泥中や底層中のベントス・魚介類に対して悪い影響を与える。また、有機物に取り込まれている栄養塩が新たに溶出することによって、赤潮や青潮の発生要因となる。したがって、日本水産資源保護協会の水産用水基準では、硫化物を底質基準の重要な項目の一つとしてあげている。それに

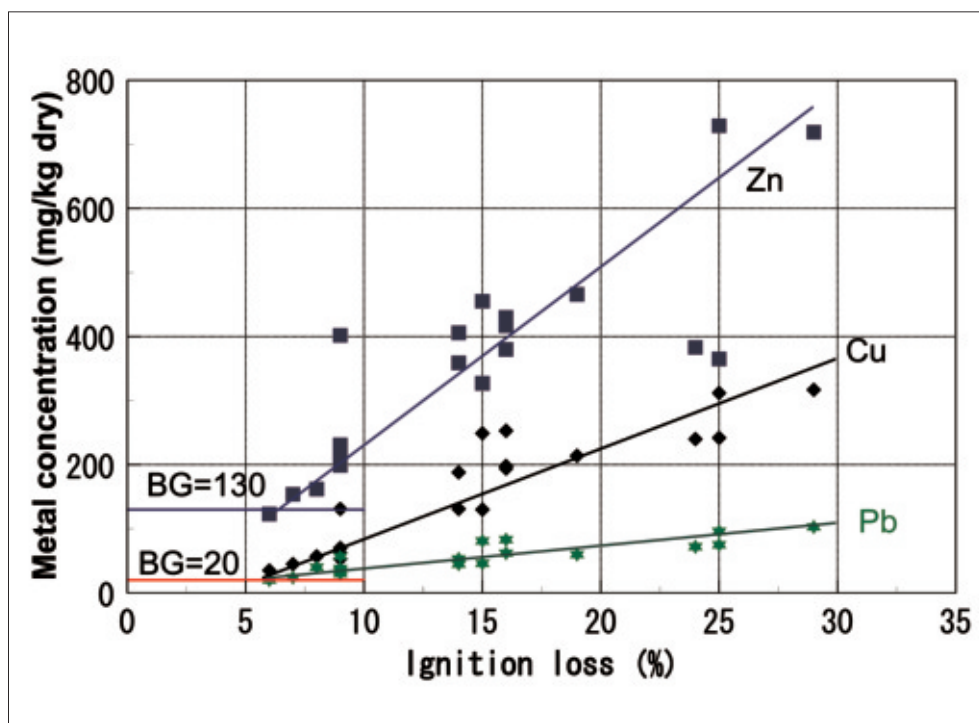


Fig. 13 Relationships between metal concentrations and ignition loss.

Table 1 R^2 correlation factors between elements and/or parameters.

	Zn	Cu	Pb	Mn	Fe	IL	Sulfide	pH	Eh
Zn		0.85	0.791	0.6	0.07	0.695	0.093	0.018	0.08
Cu			0.909	0.759	0.187	0.828	0.225	0.023	0.251
Pb				0.653	0.155	0.736	0.093	0.018	0.179
Mn					0.458	0.499	0.098	0.171	0.222
Fe						0.086	0.082	0.402	0.245
IL							0.275	0.275	0.263
sulfide								0.023	0.023
pH									0.163
Eh									

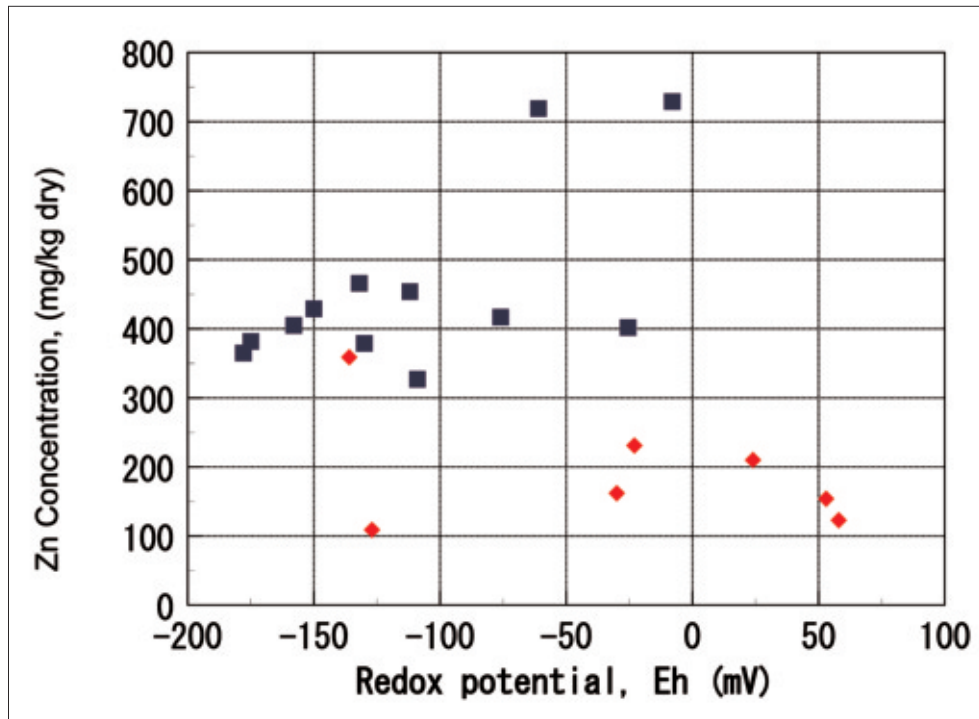


Fig. 14 Correlation between Zn concentration and redox potential, showing a very low correlation factor of 0.07.

よると乾いた底質に対して0.2mg/g以下としている。これによると、Fig. 15に示すように、Gを除くすべての採取地点でこの基準をクリアしていない。すなわち、折戸湾と清水港内で硫化物が生成している。B点でのやや高い値は巴川からの有機物負荷によると考えられる。この傾向は重金属含有量の高い位置(C, D)とは一致しない。

一般的に有機物が多いほど、硫化物も多いと思われるが、強熱減量との相関はそれほど高くはない(Fig. 16)。むしろ、Fig. 17に示すように、酸化還元電位、 Eh (mV)との相関が高い。つまり、より嫌気性の条件下で硫化物が多く生成されたといえる。Correls and Christ (1965)によれば、硫化物の生成はpHと Eh に依存する。しかし、海底ではpH範囲が狭い(6.7~7.45)のために、硫化物の発生が酸化還元電位に強く影響されると考えられる。硫化物として、 MnS 、 FeS 、 FeS_2 、 CuS 、 ZnS 、 PbS 、 CdS などが考えられるが、先に述べたように金属と硫化物または酸化還元電位との相関は見られない(Table 1)。

一方、清水港外からは溶存酸素の豊富な海水が流入し、海底表層を酸化条件にし、ある深さで還元と酸化が競合するような反応が起こっていると考えられる。そこではイオウ細菌が硫化物を酸化し、硫酸塩を生成する。これらのメカニズムはFig. 18のように表せる。

堆積物中の重金属含有量がバックグラウンドをはるかに越えることは既に述べたが、これらの重金属はほとんど陸域から負荷されている。折戸湾には大橋川と浜田川が注ぎ、また清水港には巴川が注ぐ。これらの河川から流入する

SSおよび河川中の堆積物の重金属含有量をTable 2に示す。これによると、大橋川から排出されるSSの重金属含有量は、巴川からのSSに比べて比較的高いことが分かる。Satoら(2006)によって、大橋川と浜田川から排出されるSSは600kg/day、また巴川からの排出量は8600kg/dayと推定された。これを排出濃度に換算した場合、折戸湾へは0.3mg/L/day、清水港へは0.08mg/L/dayであると述べている。

Table 2から、SSに含まれる重金属含有量は折戸湾堆積物とほぼ同じか、またはそれよりやや高い。折戸湾からは潮流による流出がほとんどないことから(Sato *et al.* 2006)、陸域からの重金属類はSSに保持されたまま海底に堆積している。その多くは強熱減量との関係で表されるように、有機物に保持されていると考えられる。有機物は嫌氣的分解作用を受けていると考えられるが、それでもまだかなり残存している。時期的には吸着されたまま、また幾分かは還元作用によって硫化物として蓄積されていると思われる。

6. 結論および今後の課題

折戸湾および清水港堆積物の調査の結果、折戸湾の堆積物は重金属等で汚染され、その原因は高い有機物含有量にあることが分かった。また、海底は嫌気化が進み硫化物の生成が進んでいる。一方、清水港では沖側にいくほど汚染は軽減され、St. Gでは人為的影響がほぼ無視できるほど

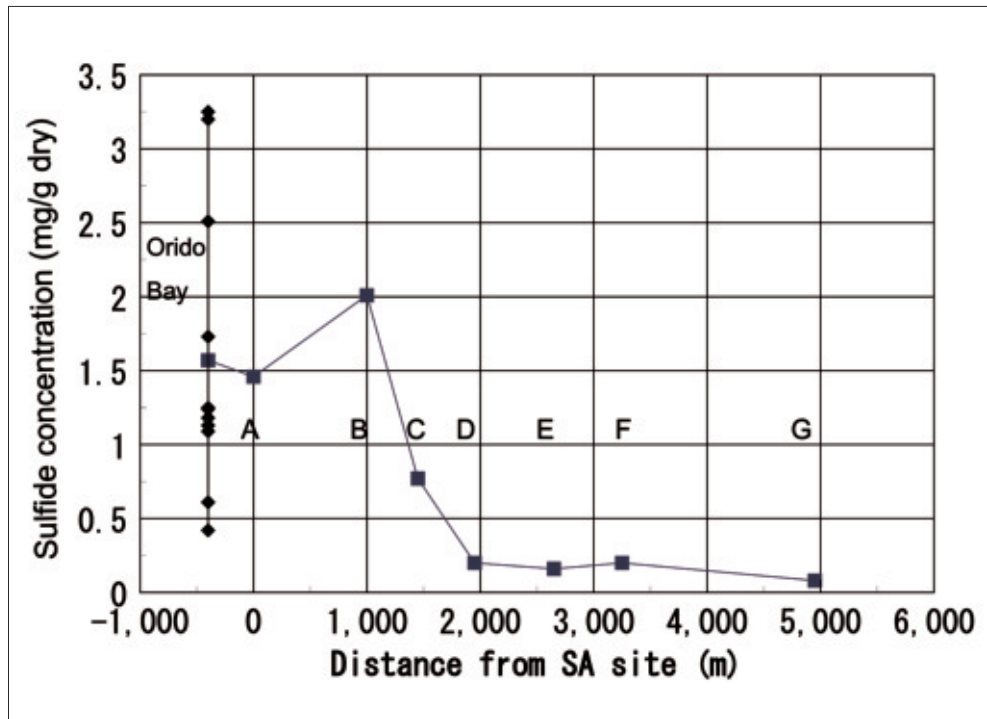


Fig. 15 Change in sulfide content with distance from SA.

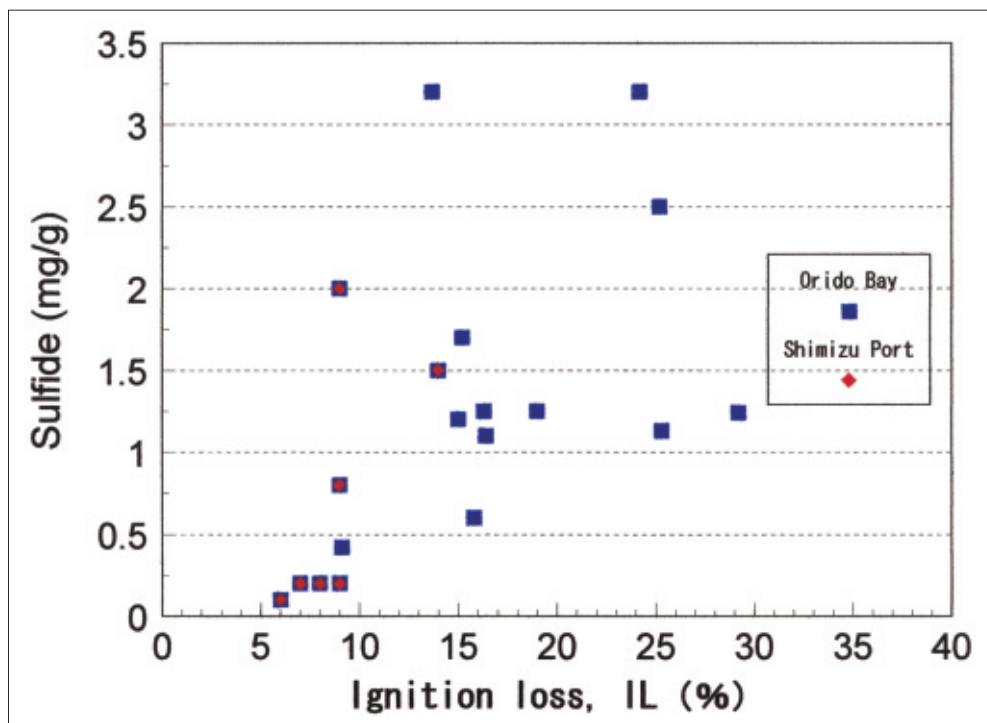


Fig. 16 Correlation between sulfide content and ignition loss.

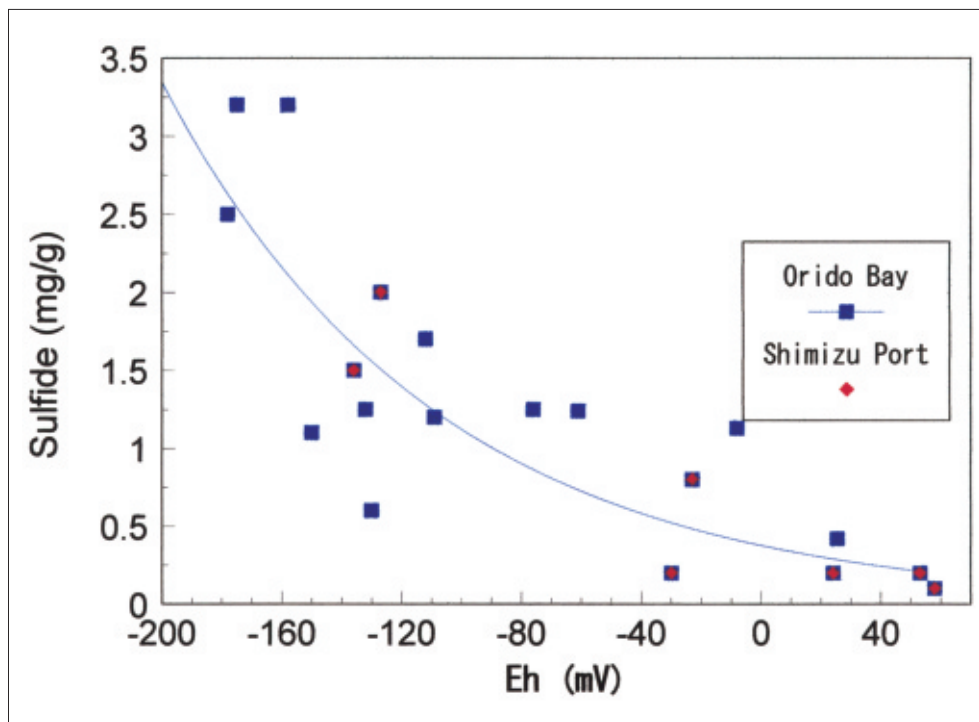


Fig. 17 Relationship between sulfide content and *Eh*.

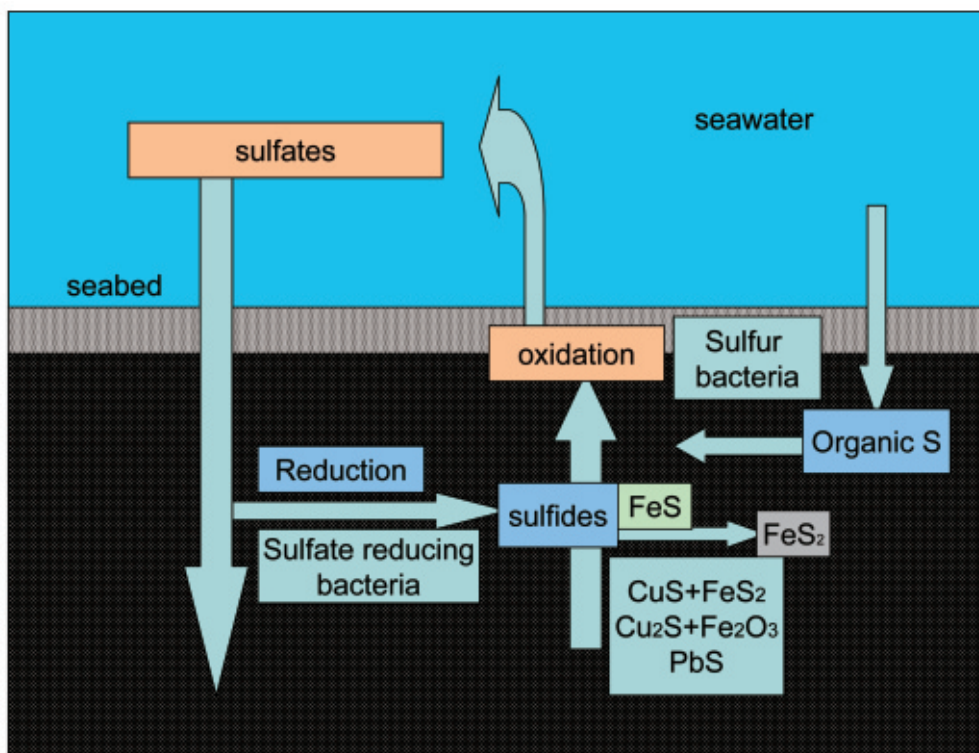
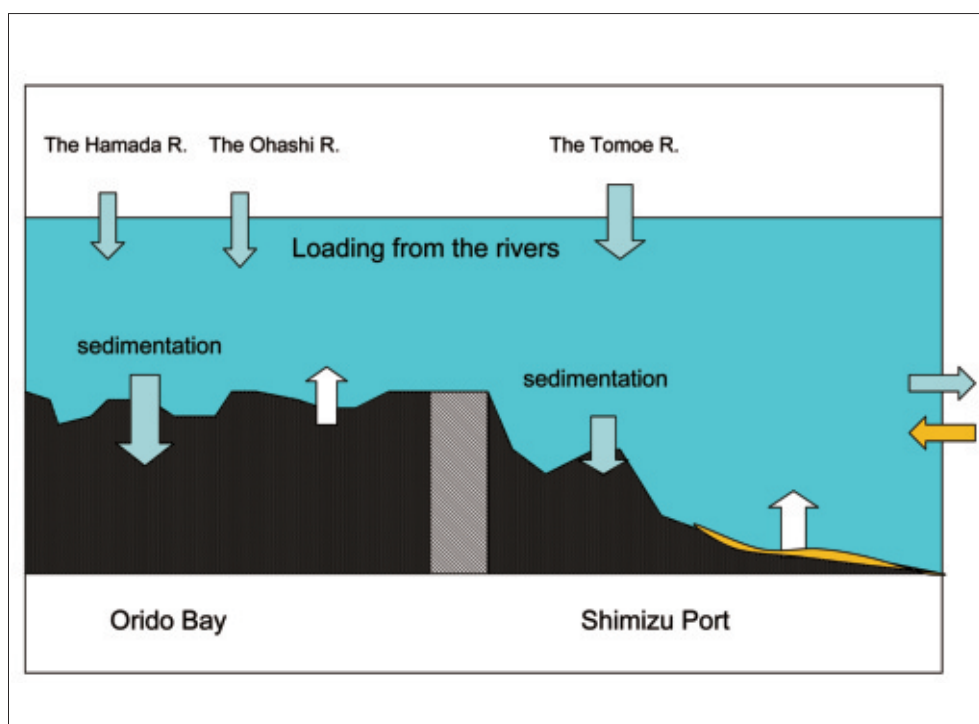


Fig. 18 Recycle of sulfur due to reduction-oxidation near the sea bottom.

Table 2 Discharges from rivers.

Sites	Water Flow (m ³ /s)	IL (%)	Metal content (mg/kg dry basis)			
			Cu	Pb	Zn	Cd
Hamada R. SS Sediments	0.02-0.24	2.5	177	102	480	0.36
		7	164	42	318	0.34
Ohashi R. SS Sediments	0.17-0.76	6.9	255	301	952	2.35
		3.1	52	27	169	0.04
Tomoe R. SS Sediments	6	2	150	27	214	0.13
		9.6	79	27	239	0.35


Fig. 19 Accumulation mechanisms of hazardous substances in Orido Bay and Shimizu Port.

である。このことは、折戸湾が清水港や駿河湾への汚染を防止する緩衝域となっていることを示している。これらのことは Fig. 19 のように示される。

すなわち、折戸湾では堆積物中に有害金属類が蓄積されており、清水港でも折戸湾に近づくほど、また巴川の影響で B, C, D ではやや高い濃度となっている。したがって、有害金属類の堆積状況から、河川を通して放出された物質が折戸湾とその周辺に蓄積され、外海の汚染に歯止めを掛けているといえる。

このような閉鎖海域での環境修復対策としてはエアレーションなどの好気化が検討される。しかしながら、好気化は蓄積されている硫化物や栄養塩を新たに水中に放出することになる。それは環境学的には好ましくない。

有害物質が高度に保持されている折戸湾の有機堆積物は

生物作用によって分解され、またベントスを介して魚介類に摂取される恐れがあり、折戸湾からの食物連鎖と生物濃縮過程に組み込まれることが懸念される。したがって、折戸湾底をこのまま放置するのは環境的に望ましいことではないと思われる。いずれにしても、折戸湾の利用には河川から放出される有害物質の規制がまず必要である。

引用・参考文献

- Canadian Sediment Quality Guidelines (CSeQGs), (2003): "Summary of Existing Canadian Environmental Quality Guidelines", SUMMARY TABLE.
<http://www.ec.gc.ca/CEQG-RCQE/English/Ceqg/Sediment/default.cfm>
 Fukue, M., Sato, Y., Uehara, K., Kato, Y., and Furukawa,

- Y. (2006): Contamination of sediments and proposed containment technique in a wood pool in Shimizu, Japan, *Journal of ASTM International*, Vol. 3, Issue 7, Page counts: 12.
- Fukue, M., Yanai, M., Sato, Y., Fujikawa, T., Furukawa, Y. and Tani, S. (2006): Background values for evaluation of heavy metal contamination in sediments, *Journal of Hazardous Materials* **136**, pp.111-119.
- 古河幸雄・藤田龍之・國廣忠之・深澤 誠 (2001): レーザー回折/散乱式粒度分析装置の粒度試験方法への適用, *土木学会論文集III巻*: 687巻 56号, pp.219-231.
- 長岡千津子・山本義和・江口さやか・宮崎信之 (2004): 大阪湾における底質重金属濃度と底質環境との関係, *日本水産学会誌*, **70**(2), pp.159-167.
- Garrels, R. M. and Christ, C. L. (1965): *Solutions, Minerals, and Equilibria*, HARPER & ROW, New York, 450pp.
- 地盤工学会: 土質試験の方法と解説 (2000).
- Sato, Y., Fukue, M., Yasuda, K., Kita, K., Sawamoto, S. and Miyata, Y. (2006): Seawater quality, suspended solids, and settling particles in the wood pool area of Shimizu Port, Japan, *Journal of ASTM International*, Vol. 3, Issue 7., page counts: 13.
- 乗木新一郎・中西圭太・府川輝明・植松光夫・内田哲夫・角皆静雄 (1980): テフロン密閉式容器分解法を用いた各種海洋科学的資料中の化学成分の定量法, *北大水産彙報*, **31**, pp.354-361.
- 瀧 和夫・福島武彦 (1993): 底質データベースと底質汚染の評価, *水環境学会誌*, **16**, 2, 85-90.
- Song, Z. Williams, C. J. and Edyvean, R. G. G. (2000): Sedimentation of tannery wastewater, *Wat. Res.* Vol. 34, No. 7, pp.2171-2176.
- Yong, R. N., Mohamed, A. M. O. and Warkentin, B. P. (1992): *Principles of Contaminant Transport in Soils*, *Developments in Geotechnical Engineering*, Vol. 75, Elsevier, 327pp.
- Yong, R. N., Mulligan, C. N. and Fukue, M. (2006): *Geoenvironmental Sustainability*, CRC Press, Taylor & Francis Group, New York, 387pp.
- Yong, R. N., Yaacob, W. Z. W., Bentley, S. P., Harris, C. and Tan, B. K. (2001): Partitioning of heavy metals on soil samples from column tests, *Engineering Geology* **60**, pp.307-322.

概 要

このケーススタディは、折戸湾（貯木場）と清水港が駿河湾（太平洋）の汚染を防止するための緩衝域として重要な役割を果たしていることを示す。折戸湾は清水港の奥部にあって防波堤で開口部が狭い閉鎖域であり、長い間貯木場として使用されてきた。調査から河川から排出された懸濁物質は重金属などの種々の汚染物質を保持し、湾底に堆積していることが判明した。湾底は嫌気性条件となり、硫化水素が発生し硫化物が生成している。調査結果からは、折戸湾堆積物の重金属含有量は高く、清水港湾口へ向かってその量は減少する。清水港口では重金属濃度は海底堆積物のバックグラウンド値に一致する。

キーワード：閉鎖海域，重金属，有機物，強熱減量，硫化物