

(2) 港湾域の底泥中化学物質濃度と 底生生物叢の関係

内藤了二^{1, 2*}・中村由行¹・浦瀬太郎²・金子尚弘²

¹ (独) 港湾空港技術研究所 海洋・水工部 沿岸環境領域 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

² 東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1)

* E-mail: naitou-r852a@pari.go.jp

底泥中化学物質の生物影響を評価する基礎資料を得ることを目的とし、全国の港湾域の底泥中ダイオキシン類濃度及び重金属類濃度の分布と、底生生物種に関する実態調査を行った。ダイオキシン類については、底泥のTOC及びシルト・粘土分と正の相関関係があり、粒子が細かいほど底泥中のダイオキシン類濃度が高くなった。また、ダイオキシン類濃度に対する底生生物の影響指標としては、底生生物種類数の方が湿重量よりも敏感であった。さらに底生生物の豊かさに対する重金属濃度の影響を調べるため、底生生物種類数を指標として、既存のERM及びERLによる底質ガイドライン値と測定結果を比較した。現状の重金属濃度においても生物の棲息に悪影響が現れている港湾があることが示唆された。

Key Words : sediment quality guideline, benthos, port and harbor sediment, heavy metals, dioxins

1. はじめに

底泥に含まれる化学物質は、そこに棲息する生物の豊かさに何らかの影響を与えていると考えられる。

これまで、我が国の環境基準の水生生物に対する影響については、水中濃度での評価が主体となっており、泥中の化学物質濃度による環境影響は考慮されていない。しかし、底生生物のように泥と密接な関係があるものに対しての生物影響を考えると、底質濃度や水中懸濁成分濃度を評価する必要がある。浚渫土砂を干潟造成や覆砂材並びに浚渫窪地修復材等への有効利用を行う際にも重要な視点となる¹⁾。これまで、底泥中の化学物質濃度の底生生物への影響については、日本の沿岸海域での情報としてはほとんどない。

環境基準は、現在水中濃度の溶存態、粒子態を合わせた総量で規定されているが、底生生物と、底泥中の化学物質濃度との関係を明らかにすることにより、環境基準濃度をより合理的に設定できる可能性がある。

金属類の濃度分布パターンのうち、とりわけ亜鉛および鉛の濃度分布は都市流出の影響を大きく受けることがこれまでの研究²⁾で明らかになっている。これらの都市流出のかんりの割合が粒子吸着状態と推定され、雨天時に公共用水域に流出する。これらの粒子態の汚染負荷は、自然沈降や海水との混合による凝集により、都市沿岸の

港湾域の底泥に蓄積される。

港湾域は、港湾としての物流機能を高度に維持するために水深が深く静穏な海域が人為的に形成されている。そのために、航路・泊地では多くの場合底泥は移動性に乏しいが、水深を維持するために浚渫により移動することがある。港湾内の浚渫土砂は、粒径の小さな粒子が多く、それらには有害な化学物質が吸着しやすい。

浚渫土砂を有効利用(覆砂、干潟造成)する場合や、海洋投入を行う場合があるが、その際、浚渫土砂自体の化学的安全性を評価し、既存の底泥中の生態系に悪影響を及ぼさないように施工することが重要である。

平成14年に、ダイオキシン類の底泥中の環境基準が、含有量150 pg-TEQ/gに設定されたのをうけ、国土交通省港湾局は、ダイオキシン類に汚染された港湾の対策を推進しているところである³⁾。また、平成19年4月から施行された、ロンドン・ダンプグ条約96年議定書批准を受けて改正された「海洋汚染等および海上災害の防止に関する法律」を担保するために、国土交通省港湾局が策定した「浚渫土砂の海洋投入および有効利用に係る技術指針」⁴⁾の中で特に配慮すべき化学物質についてダイオキシン類、トリブチル化合物、多環芳香族炭化水素類があげられている。これらの化学物質は、底生生物への暴露を通して魚介類に蓄積され、それを人が摂取することに

よる毒性影響が高いことが知られている。

そこで本研究では、底質の含有量による環境基準が設定されたダイオキシン類と、海洋汚染防止法令に定められている重金属類濃度を解析対象化学物質とし、港湾域の底泥中化学物質濃度分布実態と底生生物種の実態調査⁴⁾を行った。さらに、底泥中化学物質の潜在的な生物影響を評価する基礎資料を得ることを目的とし、底泥中の化学物質濃度や、粒径及び有機物量と底生生物との関係について、わが国の港湾域の現地観測結果を解析し、米国で提案されているERL (effects range-low) とERM (effects range-median) ⁵⁾を利用して評価を試みた。

2. 調査方法

(1) 調査対象港湾と地点

現地採泥は、平成14年8月から9月にかけて実施した。調査対象港湾は全国の53港湾、4開発保全航路、3湾域の合計60港湾等であり、図-1に示す。各港湾における調査地点数は、ダイオキシン類と物理試験(表-1)は、167地点、重金属類、有機塩素化合物等の溶出・含有量試験(表-2)及び底生生物分析は各70地点において調査を行った。調査地点の選定は、基本的に浚渫予定区域、海洋投入場所、覆砂、干潟、浅場造成の施工場所等とした⁴⁾。

(2) 試料採取

採泥は船上からのスミス・マッキンタイヤ型採泥器による海底表層泥の採取とし、試料が軟弱で採取できない場合等はエクマン・バージ型採泥器を適宜使用するものとした。

表層泥の採取は、底質調査法(環境庁水質保全局長通達昭和50年10月環水管120号)に基づき各地点から3回採取し、採取泥を均一に混合してダイオキシン類分析用、重金属類等の溶出・含有量試験用及び物理試験用の試料容器に分取して分析試料に供した。

採泥の際には、現場観測項目(調査日時、天候、気温、水温、水深、泥温、臭気、泥色、泥質)の観測を行った。底生生物(マクロベントス)試験に用いる試料も同様に、1地点から3回採取し、採取した試料を目合い1mmのフルイで篩い分けを行い、ホルマリンで最終濃度が10%になるように固定した。生物の同定は、種レベルまで行うことにしたが、属レベルにとどまったものもかなりあった。なお、生物試料の同定者は、地点数、採泥範囲が全国にまたがるため、複数で行った。

(3) 底質の分析方法

底質の分析項目はダイオキシン類と溶出・含有量試験項目(「海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律施行令第五条第一項に規定する埋め立て場所等に排出しようとする金属等を含む廃棄物に係る判定基準」に定められた項目)、物理試験項目(粒度組成、TOC (Total Organic

Carbon: 全有機炭素)、TON (Total Organic nitrogen: 全有機窒素)、単位体積重量)及び底生生物(種類数、種類別個体数、種類別湿重量)とした。各調査項目における分析方法を表-1~表-2に示す。

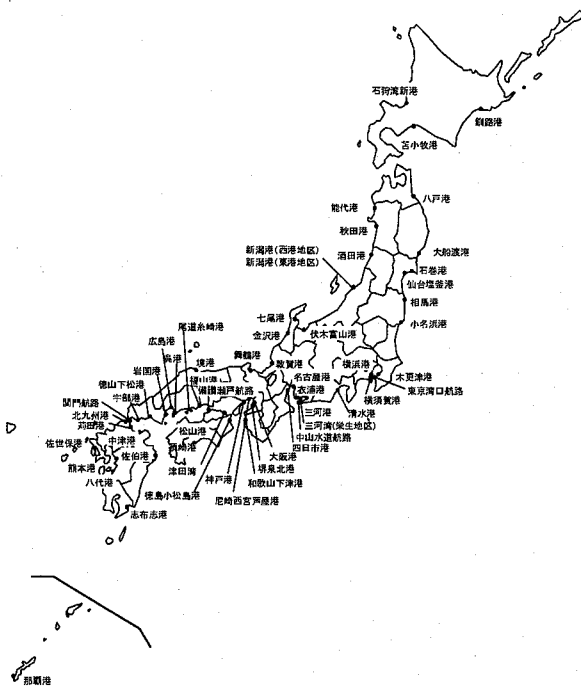


図-1 調査地点図

3. 調査結果と考察

(1) 調査結果の概要: 汚染の頻度分布

採泥時に、臭気、粒度組成を調べた結果、臭気は167地点中87地点では、無臭であり、65地点については、硫化水素臭がした。その他は、泥臭、下水臭が観察された。粒度組成は、シルトが一番多く観察された。ついで、砂混じりシルト、シルト混じり砂の順番に多かった。

全国の港湾域底泥中のダイオキシン類、重金属類およびPCB類、TOC、TON各項目の濃度について、最小値、最大値、それぞれ全検体数中の頻度分布の10%値、50%値、90%値を表-3に示す。

TOCは、底泥の有機物汚濁の程度を判断する指標として用いられる。測定値は、最小値0.6 mg/g~最大値50.8 mg/gの間で、50%値は13.2 mg/gであった。TONは、最小値0.1 mg/g~最大値3.4 mg/gの間であった。

ダイオキシン類については、測定値は0.03 pg-TEQ/g~55 pg-TEQ/gの間で、環境基準値150 pg-TEQ/gを超過した港湾は存在しなかった。これは、今回の調査が浚渫を予定している海域などを対象としており、局所的に汚染の進んだ地点を採泥点としていないためである。

表-1 物理試験の分析方法

項目	分析方法
粒度組成	JIS A1204(1990)
TOC	「沿岸環境調査マニュアル(底質・生物篇)」5.5.1
TON	「沿岸環境調査マニュアル(底質・生物篇)」5.5.1
単位体積重量	JGS0191

表-2 含有量試験の分析方法

項目	分析方法
水銀又はその化合物	底質調査方法 II.5.1
PCB	底質調査方法 II.15
アルキル水銀化合物	底質調査方法 II.5.2
カドミウム又はその化合物	底質調査方法 II.6
鉛又はその化合物	底質調査方法 II.7
有機りん化合物	前処理後、環告 64号付表 I に準ずる方法
六価クロム化合物	底質調査方法 II.12.3
ひ素又はその化合物	底質調査方法 II.13
シアン化合物	底質調査方法 II.14
銅又はその化合物	底質調査方法 II.8
亜鉛又はその化合物	底質調査方法 II.9
ふっ化物	前処理後、JIS K 0102(1998)34 に準ずる方法
トリクロロエチレン	JIS K 0125(1995)5.1.5.2 に準ずる方法
テトラクロロエチレン	JIS K 0125(1995)5.1.5.2 に準ずる方法
ベリリウム又はその化合物	前処理後、昭和 48 年 2 月 17 日環境庁告示第 13 号 別表 7 に準ずる方法
クロム又はその化合物	底質調査方法 II.12.1
ニッケル又はその化合物	JIS K 0102(1998)59 に準ずる方法
バナジウム又はその化合物	JIS K 0102(1998)70 に準ずる方法
ジクロロメタン	JIS K 0125(1995)5.1.5.2 に準ずる方法
四塩化炭素	JIS K 0125(1995)5.1.5.2 に準ずる方法
1,2-ジクロロエタン	JIS K 0125(1995)5.1.5.2 に準ずる方法
1,1-ジクロロエチレン	JIS K 0125(1995)5.1.5.2 に準ずる方法
シス-1,2-ジクロロエチレン	JIS K 0125(1995)5.1.5.2 に準ずる方法
1,1,1-トリクロロエタン	JIS K 0125(1995)5.1.5.2 に準ずる方法
1,1,2-トリクロロエタン	JIS K 0125(1995)5.1.5.2 に準ずる方法
1,3-ジクロロプロペン	環告第 59 号付表 4 に準ずる方法
チウラム	環告第 59 号付表 5 に準ずる方法
シマジシ	環告第 59 号付表 5 に準ずる方法
チオベンカルブ	JIS K 0125(1995)5.1.5.2 に準ずる方法
ベンゼン	JIS K 0102(1998)67 に準ずる方法
セレン又はその化合物	JIS K 0102(1998)67 に準ずる方法
ダイオキシン類	ダイオキシン類に係る底質調査測定マニュアル (平成 12 年 3 月環境庁)

表-3 港湾底泥の調査結果

物質名称	単位	最小値	10%値	50%値	90%値	最大値	検体数
ダイオキシン類	ng-TEQ/g-dry	0.032	0.91	5.3	20	55	165
TOC	mg/g	0.6	2.64	13.2	27.2	50.8	103
TON	mg/g	0.1	0.357	1.4	2.4	3.4	142
物質名称	単位	最小値	10%値	50%値	90%値	最大値	検体数
水銀又はその化合物	mg/kg	0.01	0.02	0.09	0.4	5	70
PCB	mg/kg	0.003	0.005	0.01	0.019	0.39	70
カドミウム又はその化合物	mg/kg	0.1	0.08	0.2	0.6	8.9	70
鉛又はその化合物	mg/kg	2.7	6	17.4	38	183	70
六価クロム化合物	mg/kg	0.2	0.2	0.5	2	2	70
ひ素又はその化合物	mg/kg	1.4	3	7.1	21	34	70
シアン化合物	mg/kg	0.01	0.01	0.5	0.5	0.7	70
銅又はその化合物	mg/kg	2	8.4	27	57	137	70
亜鉛又はその化合物	mg/kg	25.1	45	117	230	943	70
ベリリウム又はその化合物	mg/kg	0.5	0.7	1.2	6	5	70
クロム又はその化合物	mg/kg	8	21	42	150	410	70
ニッケル又はその化合物	mg/kg	4.4	8	19.3	39.6	84	70
バナジウム又はその化合物	mg/kg	0.5	3.6	46	93	190	70
セレン又はその化合物	mg/kg	0.1	0.1	0.2	1	1	70

重金属類では、六価クロムの濃度が低いこれは底質中でこの元素の主要な存在形態ではないためで「クロム又はその化合物」では高い港湾があった。その他の物質では、50 %値が10 %値の2~3倍、90 %値が50%値のやはり2~3倍となる元素が多かった。一方PCBは、最大値0.39 mg/g、50 %値が0.01 mg/gであった。最大濃度が90 %値よりも一桁以上大きかったのは水銀及びPCBであり、特定の港湾に汚染が集中していた。

(2) 底生生物の調査結果：有機物量との関係

底泥中のTOCと底生生物湿重量及び種類数の関係を、図-2、図-3に示す。底生生物湿重量の調査結果をみると、TOCが0~20 mg/gの間は、TOCが増加するとその環境で棲息し得る底生生物量が増加する傾向にあるが、TOCが20 mg/g程度以上では、逆に減少傾向であった。

一方、底生生物種類数で評価すると、TOCが高くなるにつれてその環境で棲息し得る種類数の上限は減少する傾向にあった。このように、有機物含有量が小さいほど、底生生物叢の多様性が期待されるが、生物量は多少の有機物を含んだ方が多くなると解釈することができ、底生生物の湿重量と種類数とでは、TOC濃度依存性が明確に異なっていた。

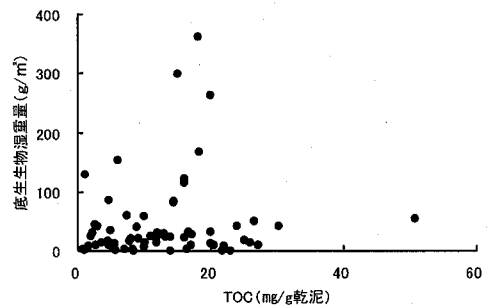


図-2 TOCと底生生物湿重量との関係

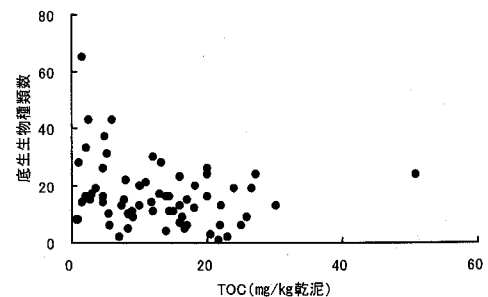


図-3 TOCと底生生物種類数関係

(3) ダイオキシン類

a) ダイオキシン類濃度とTOC及び粒径の関係

ダイオキシン類濃度とTOCの関係を、図-4に示し、ダイオキシン類濃度と粒径の関係を図-5に示す。調査結果

から、TOCが0 mg/gから40 mg/gの間は、TOCの濃度が増加するほどダイオキシン類濃度が高くなる傾向にあった。また、底泥中において、粘土・シルト分が高い試料は、粒子の表面積が大きくなるため、有害化学物質が吸着しやすい特徴があることが知られているが、図-5より、粘土・シルト分が、80%を超過した底泥は、ダイオキシン類濃度が、20 pg-TEQ/gを超えることが多く、粒子が細かいほど、底泥中のダイオキシン類濃度が高くなる傾向があった。

b) ダイオキシン類濃度と底生生物の関係

ダイオキシン類濃度と底生生物湿重量の関係を、図-6に示し、ダイオキシン類濃度と底生生物種類数の関係を図-7に示す。なお、ダイオキシン類濃度と底生生物を同時に測定したのは70地点である。底生生物湿重量、底生生物種類数ともに、ダイオキシン類濃度が高い場合には、生物棲息環境が貧弱になる傾向があった。特に、ダイオキシン類濃度が20 pg-TEQ/gを超過した場合、存在した底生生物は、二枚貝綱、多毛類綱、花虫綱などであり、種類数が少なかった。また、底生生物種類数の方が、底生生物湿重量よりもダイオキシン類濃度に対して、敏感な指標となった。

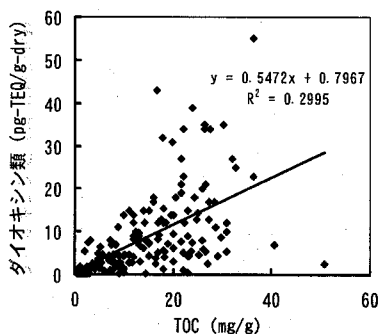


図4 TOCとダイオキシン類濃度の関係

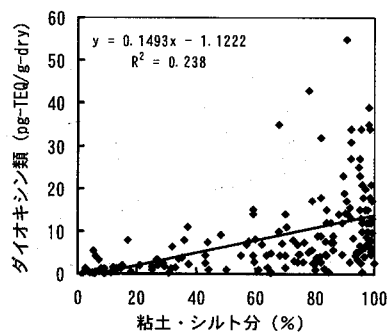


図5 粘土・シルト分とダイオキシン類濃度の関係

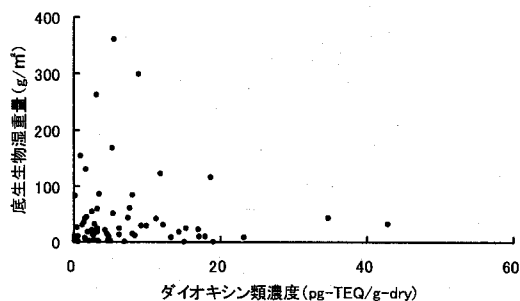


図6 ダイオキシン類濃度の関係と底生生物湿重量

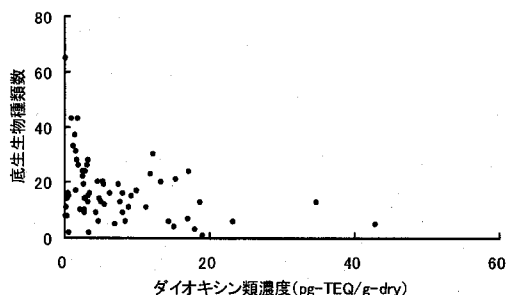


図7 ダイオキシン類濃度の関係と底生生物種類数

(4) 重金属類およびPCB

a) 重金属類およびPCB濃度とTOC及び粒径の関係

重金属類およびPCB濃度とTOC濃度の間の相関係数を計算したところ鉛が R^2 値で0.19、亜鉛が0.25、ニッケルが0.27、PCBが0.28、銅が0.37であり、これらの物質濃度とTOC濃度の間で正の弱い相関があることがわかった。その他の物質は、TOCとの間に関係が認められなかった。一方、粒径に対しては、銅が R^2 値で、0.23であり、粘土・シルト分の間で、正の弱い相関があることがわかった。その他の物質は、粘土・シルト分と間に明確な関係が認められなかった。

b) 重金属類濃度と底生生物の関係

重金属類濃度と、底生生物湿重量と底生生物種類数の間の関係を図-8に示す。底生生物湿重量、底生生物種類数ともに、重金属濃度が高い場合には、底生生物湿重量、底生生物種類数ともに、底生生物は豊かでなかった。

底生生物の門別に分類した影響では、軟体動物門と環形動物門と節足動物門を比較すると、節足動物門の生物の方が重金属類濃度に対して敏感であった。水銀、カドミウムは、2 mg/g以上、鉛は50 mg/g以上、亜鉛は、200 mg/g以上になると存在できる節足動物は殆どいなかった。

重金属類に対する影響としては、底生生物湿重量と底生生物種類数とで指標としての優劣はなかった。

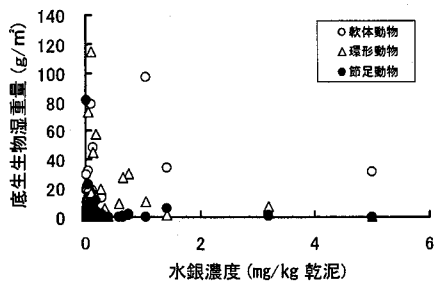


図-8(a) 水銀濃度と底生生物湿重量の関係

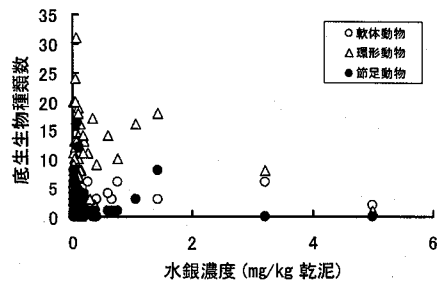


図-8(e) 水銀濃度と底生生物種類数の関係

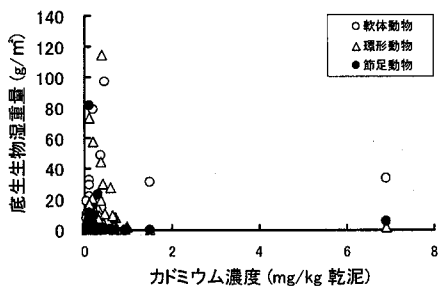


図-8(b) カドミウム濃度と底生生物湿重量の関係

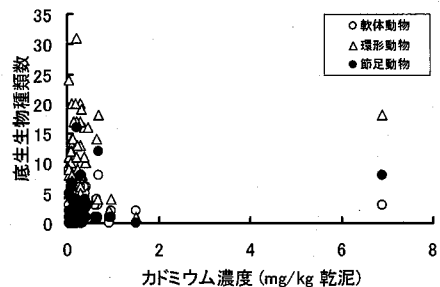


図-8(f) カドミウム濃度と底生生物種類数の関係

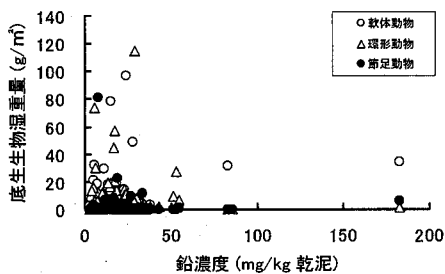


図-8(c) 鉛濃度と底生生物湿重量の関係

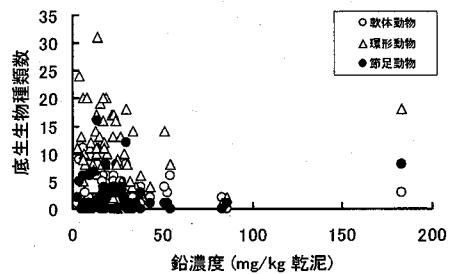


図-8(g) 鉛濃度と底生生物種類数の関係

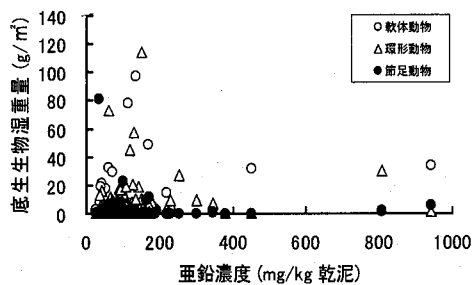


図-8(d) 亜鉛濃度と底生生物湿重量の関係

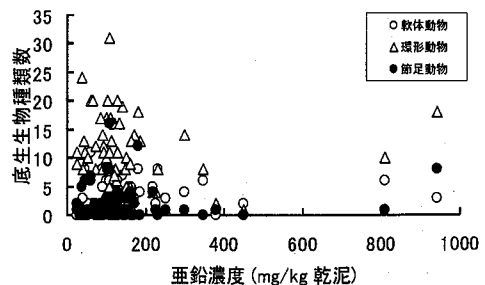


図-8(h) 亜鉛濃度と底生生物種類数関係

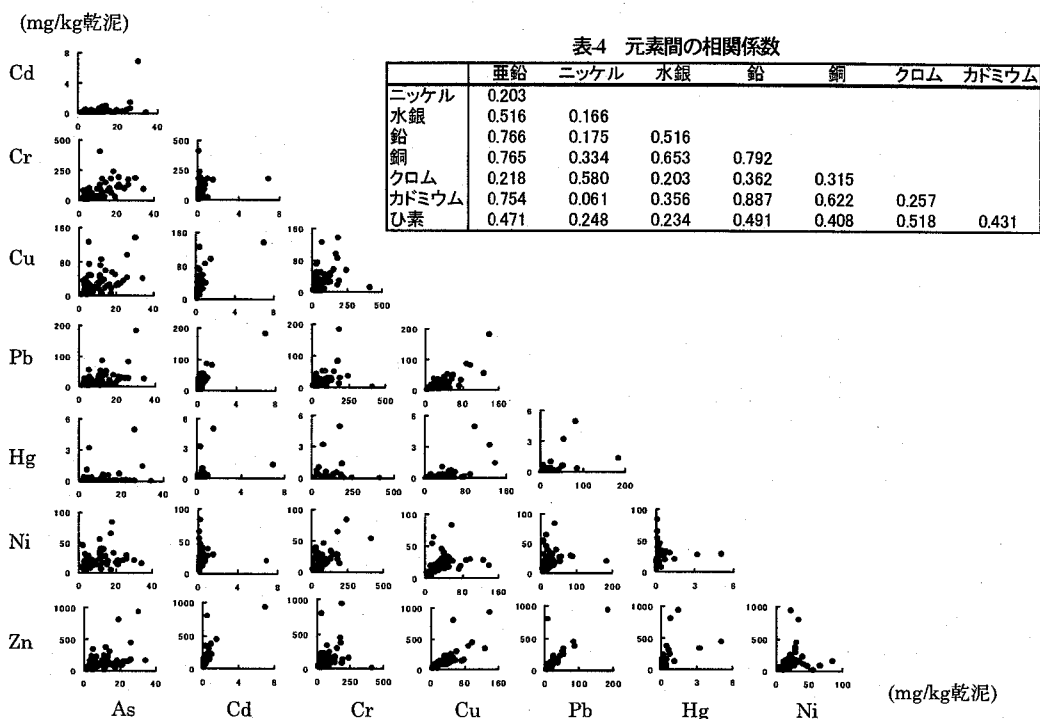


図9 元素間の相関

(5) 元素間の相関

元素間の相関を示す図を図9、相関係数を表4に示す。亜鉛と鉛、亜鉛とカドミウム、亜鉛と銅、鉛と銅、鉛とカドミウムの間には相関係数が0.7以上の高い相関があった。

駒井ら⁹⁾は、重金属相互の相関関係を調べたところ、Cd、Pb、Cu及びZnは分布の傾向が類似しておりよい相関関係があったことを報告している。これらの物質は大阪湾・播磨灘・広島湾・燧灘・周防灘・および別府湾で高濃度であり、重化学工業などの人為起源であると推定している。逆にMnは他の重金属と相関が低いことを示した。

浦瀬ら²⁾は、都市近郊の底泥において、鉛や亜鉛の濃度が高濃度になりやすいことを示しているが、本調査結果も同様な傾向が見られた。特に亜鉛、鉛、銅は都市流出等による起源を有しているため、底泥に排出された後、底泥への堆積挙動が似ているものと考えられた。

(6) 底質ガイドラインとその比較

a) ERM・ERLの考え方と適用事例

Long^{3,7)}らは、平衡分配モデルによる推算値や生物試験による実験値、及び海洋や河口現地底質での底生生物と化学物質濃度の関係に関するデータベース

(biological effects database for sediments, BEDS) を作成し、さまざまな化学物質に対して影響度の異なる2つのガイドライン値 (effects range-low (ERL) と effects range-median (ERM)) を導出した。ガイドライン値はそれぞれの濃度の悪影響と関連の発生頻度により定義づけられ、何らかの悪影響があるとした報告例のうち低濃度側から10パーセンタイル値の濃度をERL、50パーセンタイル値の濃度をERMとし、ERL以下の濃度は最小影響範囲minimal-effects range (発生頻度：まれ)、ERL以上ERM未満の濃度は潜在影響範囲 possible-effects range (発生頻度：時々)、ERM以上の濃度は確実な影響範囲probable-effects range (発生頻度：頻繁) とした。また、影響の発生率を、(影響が観察された数÷全観測結果の数) として、それぞれの3つの濃度範囲内で求めた。この手法は底質評価に信頼性のあるガイドライン値を提供するものであり、カナダの国家底質ガイドライン、及びフロリダ州の底質ガイドライン開発の基礎として利用されているほか、ロサンゼルス・ロングビーチ港で適用されている。

MacDonald⁸⁾らは、ERL・ERMとは異なる手法を提案している。ERL・ERMの設定には生物に無影響であったという濃度データは使っていないが、ここではそれを活

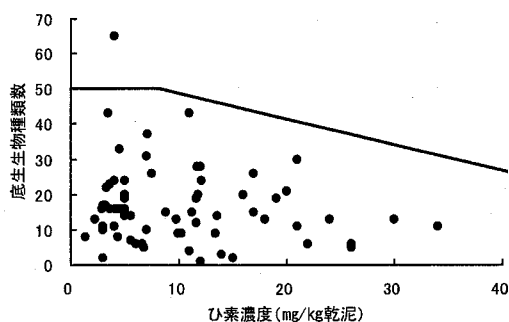


図-10(a) 底生生物種類数のERL, ERMと砒素濃度

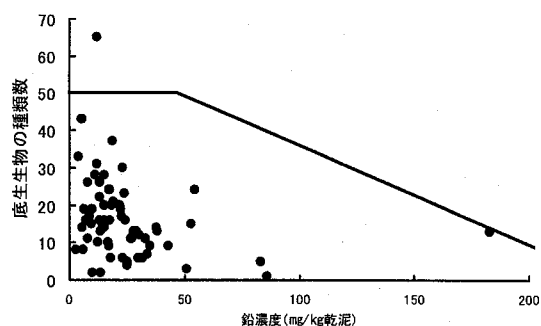


図-10(e) 底生生物種類数のERL, ERMと鉛濃度

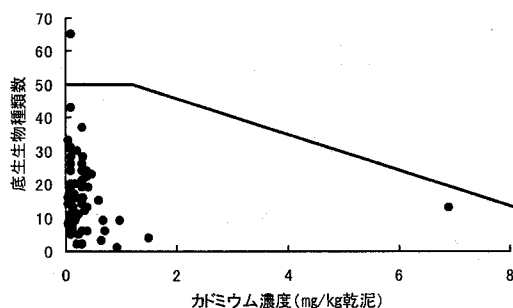


図-10(b) 底生生物種類数のERL, ERMとカドミウム濃度

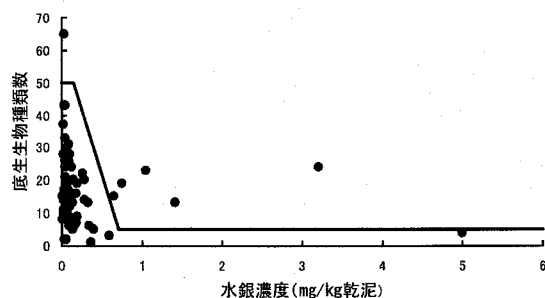


図-10(f) 底生生物種類数のERL, ERMと水銀濃度

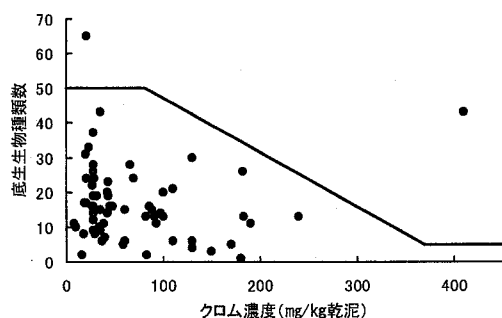


図-10(c) 底生生物種類数のERL, ERMとクロム濃度

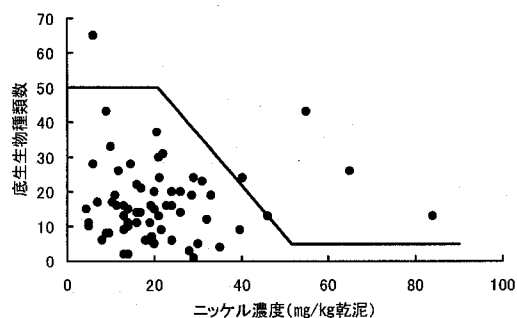


図-10(g) 底生生物種類数のERL, ERMとニッケル濃度

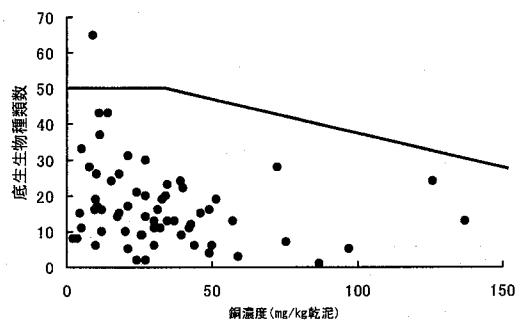


図-10(d) 底生生物種類数のERL, ERMと銅濃度

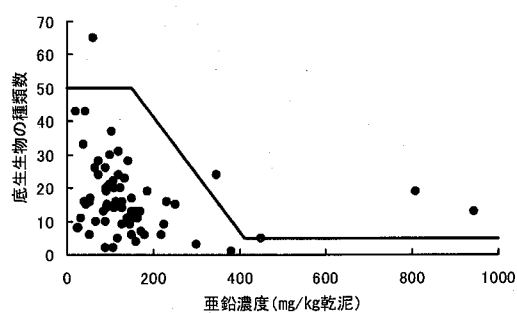


図-10(h) 底生生物種類数のERL, ERMと亜鉛濃度

用し、a threshold effects level (TEL)と a probable effects level (PEL) の値を設定し、これらの濃度との大小関係によって、生物への影響度がまねな濃度範囲、ときどき生じる範囲、しばしば生じる範囲、の3段階に区分している。提案したこの基準を別の基準と比較検討している。

さらに、Hyland⁹⁾らは、米国東海岸及びメキシコ湾岸の1,389地点の底質及び底生生物データを基に、底生生物群集への影響を評価する経験的な枠組みを構築する目的で、これらの調査データと既存のガイドライン値(ERMやPEL値を含む)を比較検討している。

b)ERMとERLによる生物の豊かさの判定

生物の豊かさに対する化学物質濃度の影響を調べるため、生物の豊かさの尺度を底生生物種類数とし、その種類数をいくつかの重金属類のERL、ERM値と比較した。

本研究では、生物棲息域評価手法であるHEPのSI^{10),11),12),13),14),15)}と同様の手法により、底生生物の種類数と重金属濃度の関係を解析した。ERL値以下で種類数が50種類、ERM以上で5種類となる直線を考え、両者の間を直線的に結ぶように折線を描いたところ、図-10(a)~(h)に示すように、SIの折れ線は、いずれの重金属についても大多数のデータを包絡することが示された。

ERM以上の濃度が測定された重金属は、水銀(検体数5/70)、亜鉛(検体数3/70)、ニッケル(検体数3/70)、クロム(検体数1/70)であった。これらの高濃度の重金属を含む場所の生物種類数は、5種類よりも多い場合もあり、折線の引き方には議論が必要であるが、底生生物の種類数と重金属濃度のプロットは、ほとんどが折れ線の下側に位置している。従って、底生生物叢の豊かさに関する大まかな評価が、この様な簡易な手法によっても可能であることが示されたと考えられる。さらに、ERL以上の濃度範囲の検体が多く観測された多くの重金属類は、底生生物叢に実際に悪影響を与えていることが示唆された。

なお、ERL、ERMによる評価は北米海域での底生生物及び底質に関するデータベース(BEDS)が基になってつくられ、欧州^{16),17)}においても有効性を示す報告例がある。しかしながら、日本の沿岸海域においては独自の底生生物叢を有するため、今後は我が国においても基礎となるバイオアッセイの確立、それにもとづいた知見などを蓄積した上で信頼性のあるデータベースを構築し、さらに同様な手法の汎用性を検証する必要があると考えられる^{18),19)}。

4. 結論

底泥中化学物質の潜在的な生物影響を評価するための基礎資料を得ることを目的とし、港湾域の全国一斉底泥中ダイオキシン類及び重金属類実態調査を行い、これら

の濃度と底生生物の関係を解析して、以下の結論を得た。

(1) 底生生物の湿重量と種類数それぞれについて、底泥のTOCとの関係を調べた。TOCが増加するにつれてその環境で棲息しうる種類数の上限は減少する傾向にあった。一方、湿重量についてはTOC濃度によって傾向が異なり、TOCが20mg/g以下では棲息しうる底生生物量はTOCの増加とともに増加する傾向にあったが、TOCが20mg/g以上ではTOCの増加とともに減少する傾向にあった。

(2) ダイオキシン類については、底泥のTOC及びシルト・粘土分と正の相関関係があり、粒子が細かいほど底泥中のダイオキシン類濃度が高くなった。また、ダイオキシン類濃度に対する底生生物の影響指標としては、底生生物種類数の方が湿重量よりも敏感であった。

(3) 重金属類について、底泥のTOCとの相関を調べたところ、鉛・亜鉛・ニッケル及び銅について、TOC濃度と弱い相関関係が見られたが、他の元素については関係が認められなかった。

(4) 重金属類について、元素間の相関を調べたところ、亜鉛と鉛、亜鉛とカドミウム、亜鉛と銅、銅と鉛、銅とカドミウム間には相関係数が0.7以上の高い相関があった。特に亜鉛、鉛、銅は都市流出等による起源を有しており、堆積挙動が類似しているためと考えられた。

(5) 底生生物の豊かさに対する化学物質濃度の影響を調べるため、底生生物種類数を指標として、重金属に対して、既存のERM及びERLによる底質ガイドライン値と測定結果を比較した。頻繁に悪影響の発生頻度がみられるとされる、ERM値を超過する底泥の検体が、水銀、亜鉛、ニッケル、あるいはクロムについて見出された。

(6) 生物棲息域評価手法であるHEPのSIと同様の手法により、底生生物の種類数と重金属濃度の関係を解析した。ERL値以下で種類数が最大値、ERM以上で最小値をとり、さらに両者の間を直線的に結ぶようにSIを決めたところ、SIの折れ線は、いずれの重金属についても大多数のデータを包絡することが示された。

(7) 以上のことから、現状の重金属濃度においても生物の棲息に悪影響が現れている港湾域があることが示唆された。

(8) 日本の沿岸海域における底生生物を対象としたバイオアッセイなどを蓄積した上で信頼性のあるデータベースを構築し、さらに同様な手法の汎用性を検証する必要がある。

謝辞：本解析の対象としたデータは第一著者が当時在籍していた国土交通省港湾局による調査結果によるものである。試料の採取にあたっては、各地方整備局、北海道開発局、沖縄総合事務局の方々にお世話になった。関係方々に謝意を表す。本研究の一部は、(財)鉄鋼業環境

保全技術開発基金の研究助成金の補助を受けて行われた。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局 浚渫土砂の海洋投入及び有効利用に関する技術指針,平成18年6月,
- 2) Urabe T., Nadaoka K., Yagi H., Iwasa T., Suzuki Y., Siringan F., Garcia T.P. and Thato, T.T.: Effect of urban emissions on the horizontal distribution of metal concentration in sediments in the vicinity of Asian large cities, *Journal of Water and Environment Technology*, Vol.4, pp.61-71, 2006.
- 3) 内藤・二: 港湾における底質ダイオキシン類対策の最近の取り組みについて, 日本環境測定分析協会, 環境と測定技術, Vol.31, pp.32-35, 2004.
- 4) 国土交通省港湾局環境整備計画室, (財)港湾空間高度化環境研究センター: 平成14年度港湾環境の保全に関する調査・港湾底質及び海洋環境保全に関する総合的検討報告書, 2003.
- 5) Long E.R., MacDonald D.D., Smith S.L. and Calder F.D.: Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments, *Environmental Management*, Vol.19, pp.81-97, 1995.
- 6) 駒井幸雄, 古武家善成, 清木徹, 永淵修, 村上和仁, 小山武信, 蛸灰谷喬: 瀬戸内海における底質中重金属濃度の分布と変化, 水環境学会誌, Vol.21, pp.743-750, 1998.
- 7) Long E.R., and MacDonald D.D.: Recommended uses of empirically derived, sediment quality guidelines for marine and estuarine ecosystems, *Human and Ecological Risk Assessment*, Vol.4, pp.1019-1039, 1998.
- 8) MacDonald D.D., Carr R.S., Calder F.D., Long E.R. and Ingersoll, C.G.: Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters, *Ecotoxicology*, Vol.5, pp.253-278, 1996.
- 9) Hyland J.L., Balthis W.L., Engle V.D., Long E.R., Paul J.F., Summers J.K. and Van Dolah R.F.: Incidence of stress in benthic communities along the U.S. Atlantic and Gulf of Mexico coasts within different ranges of sediment contamination from chemical mixtures, *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol.81, pp.149-161, 2003.
- 10) 島多義彦, 西村修, 野村宗弘, 中村由行, 木村賢史, 市村康, 袋昭太: 干潟・浅場におけるマクロベントスの種多様予測・評価手法の開発, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp.1166-1170, 2005.
- 11) 新保裕美, 田中昌宏, 池谷毅, 越川義功: アサリを対象とした生物棲息地適性評価モデル, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp.1111-1115, 2000.
- 12) 鈴木誠, 磯部雅彦, 佐々木淳: アサリの棲息密度の推定法に関する研究, 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp.1391-1395, 2001.
- 13) 新保裕美, 田中昌宏, 池谷毅, 林文慶: 干潟における生物棲息環境の定量的評価に関する研究 (多毛類を対象として), 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp.1321-1325, 2001.
- 14) 浜本洋, 風間聡, 澤本正樹: HSI モデルを用いた流域生物多様性の評価, 環境工学研究論文集, Vol.43, pp.559-567, 2006.
- 15) 原田新, 中田典秀, 山下尚之, 佐藤修之, 伊藤光明, 鈴木穰, 田中宏明, 古米弘明: 全国河川水質分布との相対比較による都市再生水の水質評価, 環境工学研究論文集, Vol.43, pp.501-508, 2006.
- 16) Mucha A.P., Teresa M., Vasconcelos, S.D. and Bordalo, A.A.: Macrobenthic community in the Douro estuary: relations with trace metals and natural sediment characteristics, *Environmental Pollution*, Vol.121, pp.169-180, 2003.
- 17) Solis-Weiss V., Aleffi F., Bettoso N., Rossin P., Orel G. and Fonda-Umani S.: Effects of industrial and urban pollution on the benthic macrofauna in the Bay of Muggia (industrial port of Trieste, Italy), *Science of the Total Environment*, Vol.328, pp.247-263, 2004.
- 18) 瀧和夫, 福島武彦, 細見正明, 森岡泰裕, 中島宣雅, 田井慎吾, 三浦光通, 相沢賢一: 底質データベースとその統計解析, 水環境学会誌, Vol.24, pp.785-794, 1998.
- 19) 中村由行: 底質汚染評価のためのバイオアッセイ, 水環境学会誌 pp.438-443, 2006.

(2007.5.25受付)

Relationship between sediment quality and benthic macrofauna in Japanese port and harbors

Ryoji NAITO^{1,2}, Yoshiyuki NAKAMURA¹, Taro URASE² and Naohiro KANEKO²

¹Marine Environment and Engineering Dept., Port and Airport Research Institute

²Dept. of Civil Engineering, Tokyo Institute of Technology

In order to obtain basic information on potential adverse effects of trace chemicals onto benthic fauna, a nationwide survey of sediment quality and benthic macrofauna in Japanese major port and harbors was conducted. Dioxins and heavy metals contents were compared with total wet weight or the number of species of benthic macrofauna. The number of species of macrofauna was found to be more sensitive index to estimate the adverse effects of dioxins than the total wet weight. Heavy metal levels were compared with the benchmark ERL or ERM values. The number of species of macrofauna was associated with concentration of heavy metals. Thus, it is suggested that, in some port and harbors, present level of pollution by heavy metals have adverse effects on macrofauna.