

東京湾における底泥輸送に関する研究

Study on Sediment of transport in Tokyo bay

学籍番号 46822
氏 名 加藤 佑介 (KATO Yusuke)
指導教員 磯部 雅彦 教授

1. はじめに

陸域からの負荷が大きく閉鎖性の強い内湾域においては、シルト・粘土等の泥質物の輸送・堆積現象が海域環境の変動に深く関与する。このような、粒径の細かな泥分粒子の輸送現象の把握は、沿岸域環境の維持・管理においてもきわめて重要な課題となる。たとえば、海水中の微細粒子は有機物や化学物質を吸着して沈降・堆積するため、底質中の泥分の含有率が高いほど底質の汚濁化が進行しやすい(図1)。また、底生生物の生息条件について底質粒径は重要な因子とされており、泥の堆積に伴う底質の粒径組成の変化は定性生物の生息環境に大きな影響を及ぼす。さらに、一度堆積した泥でも流れなどの外力により容易に巻き上がりやすく、浮遊した泥粒子による濁りの発生は水中での太陽光の透明度を減少させ、植物プランクトンや階層などの生育環境に大きな影響を及ぼす。このように底泥の輸送現象は、生態系を含めた沿岸域環境の形成に密接に関わっている。

これまでに、沿岸域における海底面付近での懸濁粒子の挙動に関する研究や、底泥の巻き上げに関する現地観測もいくつかなされている。しかしながら、細粒懸濁物の挙動は海域毎に異なる外力条件や懸濁物の供給過程などに強く依存することから、懸濁物輸送に関連する沿岸環境の改善策等を検討する際には、対象とする海域毎に外力と懸濁物の輸送特性について把握する必要がある。また、測定方法の困難さより、実態については不明な点が多く、平面的な拡がりを示す研究はあまり行われていない。

そこで本研究では、東京湾全体における底泥輸送現象を平面的に解明することを目的として、まずダイオキシンをトレーサとして底泥の移動傾向を調べる。そして、底泥に付着したダイオキシンの挙動を検証データとして数値解析を用いり底泥の移動を再現することを試みた。この底泥輸送が解明することは、有機物の富む底泥に於いての環境の流入負荷が解明することと等しい(図2)。さらに、底泥の環境履歴を解明できるとともに、将来予測も可能と考えている。

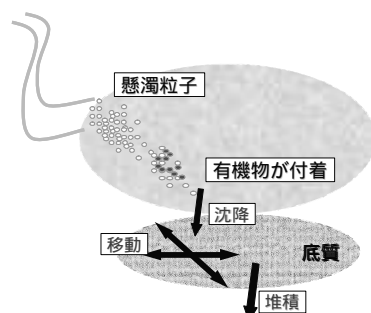


図1 沿岸域における懸濁物の挙動

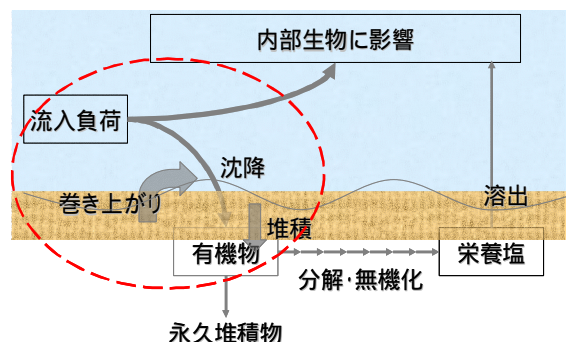


図2 環境中における一定の過程

2. ダイオキシン・トレーサ

底泥輸送における実態は、測定方法の困難さにより不明な点が多い。そこで、まず底泥に付着したダイオキシンを使用して東京湾における底泥の輸送傾向を調べることにする。

2.1 ダイオキシン・トレーサの概要

ダイオキシンの物性について説明する。ダイオキシンは、2つのベンゼン環に塩素元素の数と位置の違いによって、多くの同族体・異性体(コンジェナー)を有する。また水には溶けにくく、環境中で安定している物質である。そして、水域においては溶存態ではなく底泥に付着して移動する傾向がある。また、ダイオキシンのコンジェナー組成は、生成プロセスによる特徴をもっている。

特に有機合成における副生の場合は、原料と目的化合物に依存した顕著な特長を持つ。よって、汚染推定においても容易にわかりやすい。これらの性質を利用して各汚染の寄与を見ることができる。

使用したデータは、東京湾における47箇所において、2001年・2002年度にかけて採取した表層泥に含まれているダイオキシン量、コンジェナー38種類を測った。複数年度の測定値がある場合は平均値で考えた。

2.2 ダイオキシンと主成分分析

ダイオキシンは環境中での残留性が高いためその汚染源における組成は環境中で移動する間も一定程度は保存される。したがって、複数の汚染原因が存在し、汚染原因ごとに違った組成のダイオキシンが環境放出された場合、各原因の寄与の違いによって環境試料中のダイオキシンの組成が決まると見なすことが出来る。他方、主成分分析とは変量群の中から郡全体の特徴を表す典型的な指標（主成分）を見出す統計手法であるから、多数の環境試料中のダイオキシン組成の分析結果を主成分分析に掛けることで、主成分として主要な汚染原因とその組成に関する情報を取得できると考えた。

そこで、本研究は測定できた全てのコンジェナーの東京湾全域における表層データを、主成分分析の入力とした。

2.3 主成分分析

様々な起源に由来し汚染されている地域においては、ダイオキシンの同族異性体をみるだけでは動態がわからない。またダイオキシンの発生源や環境中に関する情報が少ないために主成分分析を行う。

主成分分析の特徴として、

- 対象地域における主要なダイオキシンの起源推定
- 各主成分とは他とは独立である。
- 入力データの主成分スコアを得ることができ、さらにこの主成分スコアに対する各主成分の寄与（因子負荷量）を得ることができる。
- 汚染ソースの知見がなくても分けられる。

2.4 主成分分析の結果

主成分分析の結果を表-1に示す。固有値が1以上のものを主成分として評価した。6つの主要な主成分（第1から第6主成分）が抽出され、それらの累積寄与率は93%となった。すなわち、これらの6主成分により試料全体の変動がほぼ説明できることがわかった。因子負荷量とは、この場合、各コンジェナーと各主成分との間の相関係数のことであり、-1から+1の値をとる。表-1には各

主成分について因子負荷量が0.7以上を持つコンジェナーとして抜き出している。これらの特徴をもとに既往の研究から各汚染原因を解釈した。PCP, CNP は日本で過去に大量に使用された水田除草剤である。以上の結果より、東京湾のダイオキシン汚染が4つの主要な要因によって説明できることが出来た。

主成分スコアをコンター図で描いたものを図-5に示す。主成分スコアとは、因子負荷量と実際の値を掛け合わせて算出した値である。ある主成分について、各試料が平均よりどの程度小さいか、あるいは大きいを示す指標になると同時に、各成分の寄与をも示している。主成分がダイオキシン由来と対応づけて解釈される場合、各試料へのその由来の影響の度合いを示している。主成分3のように、ある1地点において拡散しているものもあるが、他の主成分は汚染範囲が東京湾全体に広がっている様子がわかる。複数のソースとして、西側と東側にあるものは底泥輸送に関して評価は難しいようである。

2.5 主成分分析の考察

主成分スコアを見て、拡がりかたの傾向を考察する。五井海岸から西に向かっている様子と、湾口に海岸線に沿って南下している様子がわかる（第1主成分）。また、コンターの勾配が緩やかであるということは拡散が進行していることを示しており、また、急なところは拡散がまだ行われていない、もしくはその場で堆積しているという解釈ができる（第3主成分）。その事を考慮すると、全体的に東から西へ移動している様子が見える。また、第3主成分に関して、芝浦周辺で高濃度が堆積している。また、千葉港へ輸送されている傾向がある。

次に水深と合わせた図を描く。これらを見ると、水深20m付近に境界があることがわかる。これは限界水深というもので、波の巻上げ力による影響なく、拡散がなくということだと解釈できる（図-3）また、芝浦に堆積しているものは、汚染ソースがそこに溜まっている様子に見えるが、風による波の影響が少ないので堆積傾向であると解釈できる。なぜなら、風波の力は吹送距離に比例するからである。ゆえに、芝浦周辺は地形的に、吹送距離が短いために波の影響力がない（図-4）。この主成分スコアの分布より底泥に付着したダイオキシンを広がり方の傾向がわかった。全体の主成分の移動傾向に矛盾している様子はみえない。だから、ダイオキシンがトレーサとしては利用できるデータとなっている。

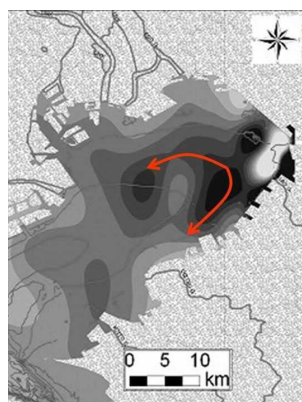


図-3 流れの影響

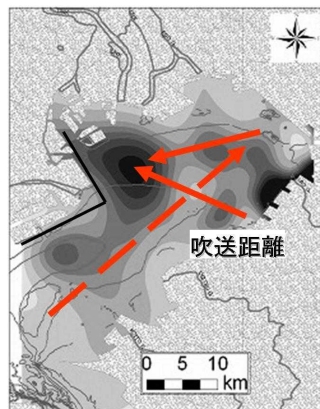


図-4 波の影響

3. 数値計算

内湾域での底泥輸送過程においては、まず、河川を通じて流入する陸域起源の土砂や、植物プランクトンの死骸等の海生起源の有機物などが海域に供給される。これらは、一度堆積した後も、流れや波浪などの外力の程度に応じて、再び巻き上げられ移動・沈降・堆積を繰り返すものとする。そこで、鯉淵ら（2001）により開発された3次元流動モデルを使用し、流れにより輸送される物質の移流・拡散モデルにより構想される底泥輸送モデルの構築を試みた。

底面せん断力の計算は、以下の2式を足し合わせとした。流動に伴うせん断力(1)と、波浪によるせん断力(2)とした。

$$\tau_{current} = \frac{\rho g (u^2 + v^2)}{C_h^2} \quad (1)$$

$$\tau_{wave} = \frac{1}{2} \rho f_w \left| \frac{\partial U}{\partial t} \right|^2 \quad (2)$$

ここで、 ρ ：海水密度、 f_w 波による底面摩擦係数。

この2式を足し合わせた τ が表2によって分類され、底泥の挙動が沈降・平行・侵食となる。

表2 の閾値

の範囲		$< \tau_c$		$< \tau_e$	
浮泥の領域	沈降		平衡		侵食

市原周辺に SS 濃度をおいた状態で、SS 濃度の移動を計算した。図 5 が約3ヵ月後の結果である。市原付近から出た SS 濃度は移流拡散して西側にたどりついている様子がわかる。また、ダイオキシンで見たように、湾口へは限界水深があるため移動しきれていない。

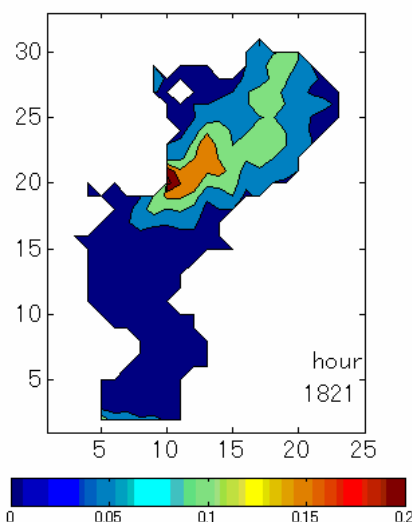


図 5 t=1821 後の ss 濃度 (g/l)

4. 結論と課題

東京湾のダイオキシン類濃度から、主成分分析を行い6種類の汚染原因に分けることが出来た。これにより、東京湾において底泥が溜まりやすい場所の知見を得た。

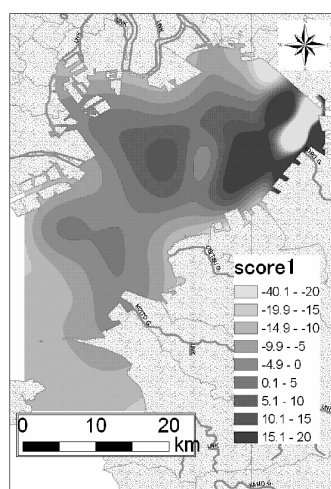
次に底泥輸送モデルを構築して、数値計算で再現しようとしたが、せん断応力の算定で結果としてはうまく示すことができなかった。ただ、浮遊物質濃度の SS 濃度を底層における移流拡散で解くことによりダイオキシンで得た知見と同じ部分に辿りついた。そして、沈降速度を考慮しているが、約3ヶ月で東から、西へ移動していることがわかった。

参 考 文 献

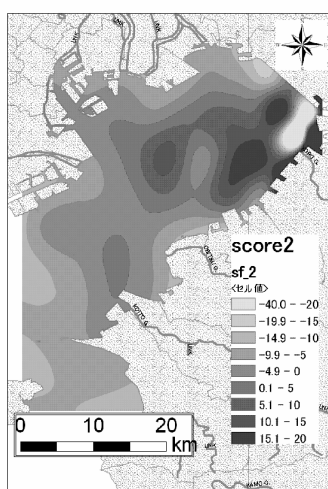
- 奥野忠一ほか (1981)：多変量解析法 pp.161-258。
- 鯉淵幸生・佐々木淳・磯部雅彦 (2001)：東京湾における窒素・リンに着目した物質循環機構，第48回海講論文集，pp.1076-1080。
- 五十嵐学・佐々木淳(2004)：東京湾奥部における浮泥堆積層厚の空間分布特性，第51回海講論文集，pp.981-985。
- 中川康之(2003)：有明海における底泥輸送現象のモデル化，港研報告，42巻，4号，pp.25-42。
- 益永茂樹(2004)：残留性化学物質による沿岸汚染，海洋と生物，No. 26(5)，pp. 399-440。

表-3 主成分分析の結果

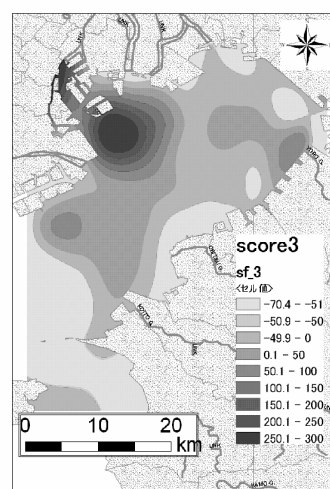
主成分	寄与率 (%)	累積寄与率 (%)	特徴的なコンジェナー(因子負荷量>0.7)				解釈
第1主成分	22	22	1,2,3,6,7,8-HxCDD	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	OCDD	1,2,3,4,7,8-HxCDF	PCP
			1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	OCDF	1,2,4,6,8,9-HxCDF	
第2主成分	20	42	1,3,6,8-TeCDD	1,3,7,9-TeCDD	1,2,3,6,8-PeCDD	1,2,3,7,9-PeCDD	CNP
			1,2,4,6,8-PeCDD	2,4,6,8-TeCDF	2,3,4,6,8-PeCDF		
第3主成分	17	59	3,4,4',5-TeCB(#81)	3,3',4,4'-TeCB(#77)	3,3',4,4',5-PeCB(#126)	2',3,4,4',5-PeCB(#123)	PCB製品
			2,3',4,4',5-PeCB(#118)	2,3,3',4,4'-PeCB(#105)	2,3,4,4',5-PeCB(#114)		
第4主成分	16	75	1,2,3,7,8-PeCDD	1,2,3,4,7,8-HxCDD	1,2,3,7,8,9-HxCDD	2,3,4,7,8-PeCDF	燃焼
			2,3,4,6,7,8-HxCDF				
第5主成分	13	88	2,3',4,4',5,5'-HxCB(#167)	2,3,3',4,4',5-HxCB(#156)	2,3,3',4,4',5-HxCB(#157)	2,3,3',4,4',5,5'-HpCB(#189)	
第6主成分	5	93	1,2,3,7,8-PeCDF				



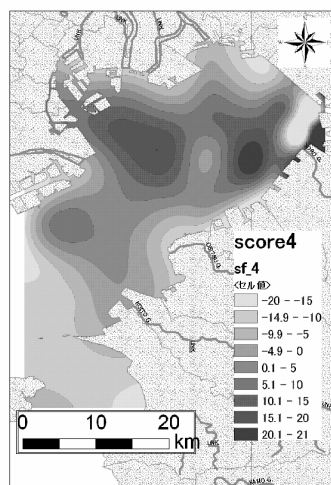
第1主成分



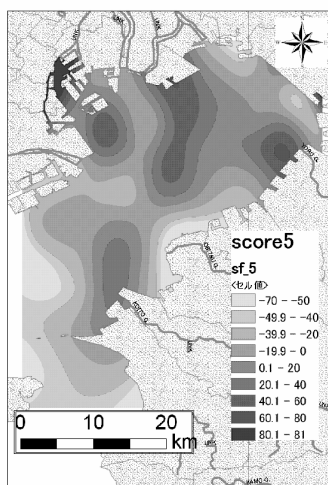
第2主成分



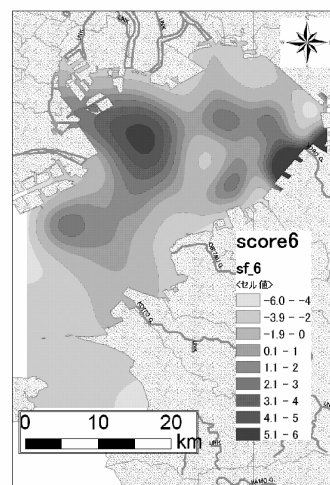
第3主成分



第4主成分



第5主成分



第6主成分

図6 各主成分得点