化学組成および粒度分布に基づいた東京湾の底質分布

Sediment Distribution according to Chemical Composition and Particle size distribution in Tokyo Bay

岡田知也¹・大渕敦司²・古川恵太³

Tomonari OKADA, Atsushi OHBUCHI and Keita FURUKAWA

The deposition and transport of sediments should be managed properly in ports not only for the maintenance of port channels, but also from an environment perspective. Our focus in this study was to create maps of sediment spatial distributions in Tokyo Bay by using chemical composition. We collected sediments from 449 stations in the bay and analyzed particle-size distribution and chemical composition. Sediments were grouped by chemical compositions using k-means clustering and maps of the spatial distribution of sediments were drawn up. These maps enable determination of spatial distributions of sediments from each main river that enters the bay.

1. はじめに

港湾において,底泥の輸送は,航路等の基本的港湾機能の維持の視点だけでなく,水質汚濁の要因の把握や生物生息の基盤の確保など,環境の視点からも適切な管理が必要である.

シルトや粘土のような微細粒子の単位重量当たりの表面積は砂よりも大きいため、微細粒子には有機物や重金属およびダイオキシン類等の有害化学物質等が、砂よりも単位重量当たりに多く吸着する。有機物を多く含んだ底泥は、ヘドロになり易く、生物の生息基盤としては適さない状態になり易い。また、そのような底泥は、栄養塩を溶出して富栄養化の要因となったり、多量の酸素を消費して貧酸素水塊の要因になる等、水塊に対しても悪影響を与える。

一方で、重金属やダイオキシン類を吸着した底泥は、 人への健康影響のみならず、生物や生態系への影響が懸 念される。また、放射性物質も微細粒子に吸着して陸域 から海域に流入・堆積することが指摘されている(齊藤 ら、2012)。平成23年3月11日に発生した東北地方太平 洋沖地震に伴う福島第一原子力発電所の事故によって、 流域圏に放射性物質が降下した水域においては喫緊の課 題である。

このように、どの流域から発生した微細粒子がどの水域に溜まり易いかを把握することは、底泥の適切な管理において重要な情報である.

1 正会員 博(工) 国土交通省国土技術政策総合研究所沿岸 海洋·防災研究部海洋環境研究室長

2 博(工) (株)リガク応用技術センター東京分析

センター

3 正会員 博(工) 海洋政策研究財団海洋グループ主任研究員

微細粒子とは逆に、環境の面では、砂は良い影響をもたらすことが多い。最近では、港湾域や運河域の隅に溜まった砂溜まりが、良好な生物生息場として機能していることが指摘されている(周田ら、2011)。種々の事業実施によって、思わぬ形で砂の移動経路を遮断し、既存の生物生息場に影響を与えないよう、砂の移動経路を把握しておくことは重要である。

底泥の輸送に関しては、数値モデルを用いた解析や底泥指標を用いた推定がある。数値モデルを用いた解析は、ポンプ所、下水処理施設、工場、発電所等が多く存在する都市周辺の運河域では、水の流れの正確な境界条件を得ることは難しく、あまり向かない。底泥指標を用いた推定手法は、分析技術の発展も手伝い、C/N比(例えば、岡村ら、2005)、安定同位体(例えば、岡村ら、2005)、化学組成(岡田ら、2009b)、粒度分布(Okadaら、2009)、ルミネッセンス(小川ら、2009)等を用いた手法が提案されている。岡田ら(2009b)は、底泥輸送の推定に寄与する新しい指標として、これまであまり利用されていなかった底泥の粒度分布および化学組成の利用を東京湾内の京浜運河(川崎)で試みた。その結果、京浜運河のような小領域であっても、底泥の化学組成を用いた由来毎の分布を把握できる可能性を示した。

そこで本研究では、その岡田ら(2009b)の手法を用いて、東京湾の広域の底泥の分布図を作成することを目的とする。そして、作成された図から東京湾内の底泥の分布の特徴について考察した。

2. 方法

(1) 底泥採取

湾内449地点の底泥を利用した.これらは、様々の目的で採取したものであり、採取の時期は異なる.東京湾

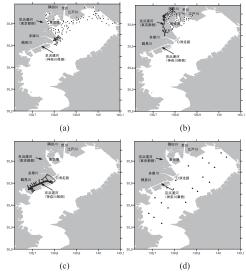


図-1 分析に用いた採泥地点. (a) 東京湾沿岸(2003年および 2004年), (b) 東京港(2009年), (c) 京浜運河(川崎側) (2007年), (d) 東京湾内(2010年)

沿岸の112地点は2003年および2004年に、東京港の151地点は2009年に、川崎の164地点は2007年に、そして湾内の21地点は2010年(関東地方整備局による)に採泥されたものである。図-1 $(a) \sim (d)$ にそれぞれの採泥地点を示す。

今回の分析に用いた底泥試料は、表層5 cm層を採取し たものである。東京湾の底泥の堆積速度は約1 cm/y (日 本海洋学会編, 1986) であるこを考慮すると, その5 cm の底泥は、およそ5年程度の環境の積算と考えられる. 化学組成は、周辺水質よりも、鉱物の種類に関連する. 土砂の輸送の経路が変わり、異なるソースから異なる鉱 物が堆積するようになると、その場の化学組成は変化す る. 逆に、このような変化がなければ、たとえ水質が変 化しても化学組成は大きくは変わらないと考えられる. このことを考えると、2003年から2010年まで、最大8年 の違いがあるが、全体的な流れに影響を与えるような大 きな地形の変化はなかったので、これらの底泥を用いた 結果は、2000年代の平均的な底泥輸送の傾向としてみな すことができると考える. ただ, 2007年から始まった東 京国際空港(羽田空港)のD滑走路によって、その周辺 の底泥の輸送は変わっている可能性があり、その周辺の 底泥分布は前後で不一致の可能性は十分に考えられ, 注 意が必要である.

2. 分析方法

粒度分布の測定にはレーザ回折・散乱式粒子径分布測定装置 (LA-950, 堀場製作所製) を用いた (岡田ら, 2009a, 岡田ら, 2012).

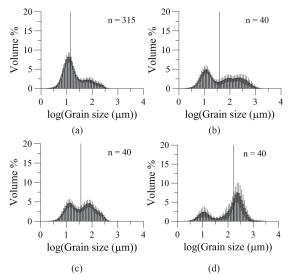


図-2 グループ化された粒度分布. (a) G_1 , (b) G_2 , (c) G_3 , (d) G_4 . 縦線は中央粒径, nはグループ内のデータ数, 各バーの縦線は±標準偏差を示す.

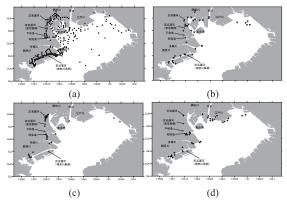


図-3 各グループの平面分布. (a) G_1 , (b) G_2 , (c) G_3 , (d) G_4 .

化学組成分析には、波長分散型蛍光 X 線装置 (Supermini, Rigaku製)を用いた(後藤ら, 1991, 閑蔵, 2008, 岡田ら, 2009b, 岡田, 2013). 分析は63 μm以下のシルト分と63 μm以上の砂分に対して行った. 粗粒子による吸着物質の希釈効果を排除するため、およびシルトと砂の巻き上がりの限界流速や沈降速度等の輸送に関する物理的特性が異なることから輸送範囲が異なることが想定されたためである. なお, ここで示す値は, 検量線を用いた定量値ではなく半定量値であるので,ここでの議論は地点間の相対的大小を論じるに留める.

また、化学組成によるグループ化の比較データとして、数地点のシルト成分に対して、結晶構造をX線回折装置 (MiniFlex II, リガク製) を用いて分析した.

3. 解析方法

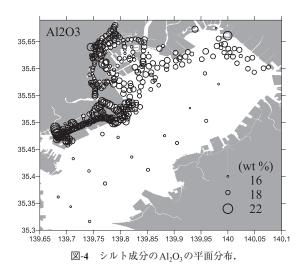
蛍光 X線分析装置によって、多くの地点の底泥から共通して検出されたのは、岩石の平均的な組成である SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、CaO、 K_2O 、MgO, MnO, Na_2O , P_2O_5 、 TiO_2 、人為的附加と考えられる CuO、ZnO, Cr_2O_3 , その他 Br, Cl, SO_3 , SrO等だった。この中で、水に溶ける可能性があるもの、底泥の嫌気状態等の底質の影響を受けるもの、工場等の周辺の環境を強く受けるもの、貝殻の影響を受けるものを除いた Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , MgO, SiO_3 , O3 みを指標とした。

化学組成のグループ化には、k-means 法を用いた(上田、2003). これは、クラスター解析において、非階層的手法の一般的な手法である. 計算には、統計ソフトRを使用した.

3. 結果

(1) 粒度分布

全ての地点の粒度分布を, エントロピー法 (例えば,



岡田ら、2009a)によって、シルトが卓越する G_1 、細砂混じりシルト G_2 、極細砂混じりシルト G_3 および中砂が卓越する砂混じりシルト G_4 に分けた(図-2).

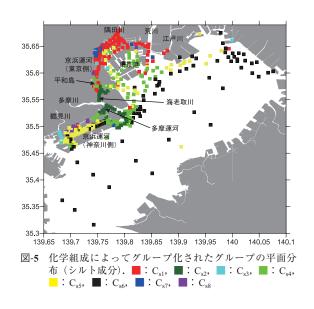
 G_1 は港内,運河内から湾中央部まで広範囲に分布していた(図-3)。この G_1 のグループが東京湾において最も卓越した粒度分布のグループだった。

 G_2 および G_3 は、運河および河口に点在していた。特に G_3 は芝浦運河周辺および鶴見川河口付近に集中していた。 G_4 も運河および河口等に点在していた。 荒川河口, 江戸川河口, 昭和島周辺に集中していた。

(2) 化学組成

a)シルト成分

 Al_2O_3 の平面分布を一例として図-4に示す。 Al_2O_3 は運河内・港湾内に比べて湾央部の値は小さかった。図は示していないが, FeO_3 は京浜運河(川崎側)の値が大きく, K_2O は比較的に多摩川周辺で大きく, SiO_2 は隅田川河口,京浜運河(東京)付近の値が小さかった。



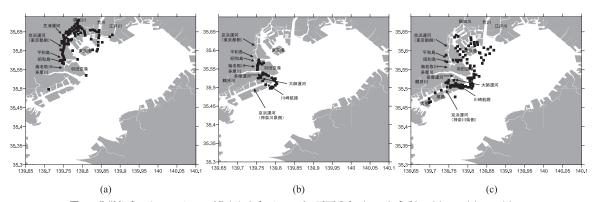
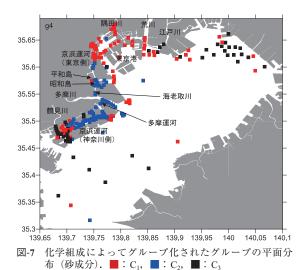


図-6 化学組成によってグループ化された各グループの平面分布(シルト成分). (a) c_{s1} , (b) c_{s2} , (c) c_{s4} .



これらの空間的な特徴を、k-means法でクラスター解析し、8つのグループに分けた(図-5)、主要なグループの分布図を別途図化した(図-6)、 c_{s1} は隅田川河口、荒川河口、江戸川河口、東京港内および京浜運河(東京側)の平和島付近まで分布していた。 K_2 Oが他のグループと較べて大きかった c_{s2} は多摩川河口、京浜運河(川崎側)の川崎航路および海老取川、昭和島周辺に分布していた。 c_{s4} は荒川沖、江戸川沖、東京港内から多摩川沖および川崎航路、京浜運河(神奈川県側)の北側に分布していた。

b) 砂成分

k-means 法によって3つのグループに分けた (図-7). シルト成分と較べて湾中央部および東京港内等の点が少ないのは、底泥中の砂成分少ないため、分析に十分なサンプルを得ることができなかったためである。また、主要グループの分布図を図-8に示す。

 C_1 は隅田川河口,荒川河口,江戸川河口,京浜運河 (東京側),東京港内,鶴見川河口沖にまとまって分布していた。また浦安沖や多摩川河口付近にも点在していた。 C_2 は京浜運河(東京港側)の昭和島周辺,多摩川河口,京浜運河(川崎側)にまとまって分布していた。

4. 考察

東京湾の底泥は、東京港内、京浜運河内、湾中央部の 殆どの水域において、シルト・粘土を主体としていた (図-3). 有害化学物質および放射性物質等は、シルト・ 粘土に吸着し易いことを考慮すると、東京湾の広域にお いて、有害物質が蓄積し易い環境にあること考えられる.

では、それらのシルト・粘土はどこから流入し、どの 経路で輸送されているのだろうか?

シルト成分の化学組成の解析結果によると,隅田川河口,荒川河口,江戸川河口,東京港および京浜運河(東

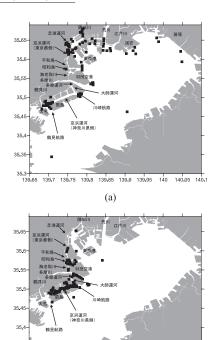


図-8 化学組成によってグループ化された各グループの 平面分布(砂成分). (a) C₁, (b) C₂.

35,35-

京側)の平和島までは、同じグループ c_{s1} だった(図-6(a)). 隅田川、荒川および江戸川の流域は、ほぼ同じ地域であるので、化学組成が同じグループであることは妥当であろう。これから、東京港および京浜運河(東京側)の平和島までの範囲のシルト・粘土は、隅田川、荒川および江戸川由来のシルト・粘土の影響を強く受けていると推測される。

多摩川に関しては、北側は海老取川から昭和島周辺にかけて、南側は多摩運河から大師運河、および多摩川河口の南側が同じグループ c_{s2} だった(図-6(b))。これから、多摩川からのシルト・粘土の一部は、海老取川を通じて昭和島の方へ北上していると考えられる。南側に関しては、多摩運河が主要な経路になっていること、京浜運河内の広域にかけて強い影響を与えていないこと、また、一度多摩川河口から東京湾へ流出したシルト・粘土は、川崎航路を通じて京浜運河内にあまり流入していないことが推察される。八木ら(2009)の数値計算によると、多摩川から流出した水塊は川崎運河を通じて京浜運河の内部にはそれほど流入していないことを示しており、この結果を支持するものである。

 c_{s4} は、東京港の外側、荒川河口の沖に分布していることから(図-6(c))、隅田川、荒川および江戸川由来のシルト・粘土の影響があるが、その他の由来のシルト・粘

土と混合し c_{s1} ほどは直接的に強い影響はないものと推測している。 c_{s1} をそれら3河川の1次影響範囲とするならば、この c_{s4} は2次影響範囲と呼べる。既往の東京湾の流れの数値計算(例えば、田中、2001)によって、西側に沿って南下する流れは示されている。これから、隅田川、荒川および江戸川由来のシルト・粘土が、東京湾の西側に沿って南下し、 c_{s4} ように分布することは考えられる。X線回折装置による結晶相から、 c_{s4} は2次影響範囲であることを示そうと試みたが、十分な確証は得られなかった。さらなる検討が必要である。

砂成分に関しては、多摩川周辺に対して、明瞭な分布が得られた。 C_2 は多摩川周辺に集中していたことから(図-8(b)),多摩川由来の砂の影響が強いと推測できる。この多摩川からの砂は、北側には、シルト・粘土と同様に、海老取川と通じて、昭和島周辺に強い影響を与えていると考えられる。一方、南側には、多摩川からの砂は、京浜運河(川崎側)にシルト・粘土よりも広範囲に京浜運河第1区まで強い影響を与えていると考えられる。これは、シルト・粘土とは異なり、京浜運河(川崎側)の内部までは、隅田川、荒川および江戸川からの砂が到達できないため、相対的に多摩川の影響が強くなっているものと考えられる。

5. おわりに

東京湾の400点以上の多地点の底泥の粒度分布および 化学組成を用いて、東京湾の底泥の分布図を作成した。

粒度分布によるグループ化によって、粒度分布に基づく底泥分布図が作成された。東京湾の湾中央部(中ノ瀬)より北側の水域では、殆どの底泥がシルト・粘土が卓越した底泥だった。このことは東京湾の広域において、有機物や有害化学物質が蓄積し易い環境であることを示す。

また、化学組成によるグループ化によって、化学組成 に基づく底泥分布図が作成された.この図から東京湾の 主要河川からのシルト成分および砂成分の分布範囲およ び輸送経路が推測された. これらの図および主要河川からの底泥の分布範囲は, 今後の東京湾の底泥の管理や環境を考慮する上で重要な 基礎情報となる.

謝辞:本研究の一部は、科学研究費基盤研究(C)(課題番号:2356615,研究代表者:岡田知也)の支援によって実施された。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 上田尚一 (2003): 講座〈情報をよむ統計学〉7 クラスター 分析,株式会社朝倉書店, 206p.
- 岡田知也・グェン・ティー・モンチン・古川恵太 (2009a): 粒度分布形状に基づいた底泥分布図の提案 - 東京湾を 例として-,海洋開発論文集, Vol.25, pp. 401-406.
- 岡田知也・グェン・ティー・モンチン・古川恵太 (2009b): 底泥の化学組成および粒度分布を用いた底泥輸送の推定 -京浜運河への適用事例 -, 海岸工学論文集, 第56巻, pp. 976-980.
- 岡田知也 (2011):生物生息の視点からみた運河域の底泥環境 およびその底泥の輸送に関する新たな解析技術,ヘドロ, No. 110, pp. 45-51.
- 岡田知也 (2013): 粒度分布および化学組成からみた東京湾の 底泥分布, 国総研資料, 第715号, 16p.
- 岡村和麿,田中勝久,木元克則,清本容子(2005):有明海奥 部と諫早湾における表層堆積物中の有機物の分布と有機 炭素安定同位体比,海の研究,15(2),pp.191-200.
- 後藤 篤・巽 好幸 (1991): 蛍光 X 線分析装置による岩石試 料の定量分析(I), 理学電気ジャーナル, Vol.22, pp. 28-60.
- 齊藤勝裕 (2012):東日本大震災後の放射性物質汚染対策,株 式会社ニッケイ印刷,324p.
- 閑歳浩平 (2008): 蛍光 X線分析法による岩石の分析, リガク ジャーナル, Vol.39 (1), pp.31-39.
- 田中昌宏 (2001): 内湾の生態系シミュレーション, ながれ, 20, pp.354-354.
- 日本海洋学会編 (1986):沿岸環境調査マニュアル [底質・生物篇],恒星社厚生閣,266p.
- 八木 宏・POKAVANICH Tanuspong・灘岡和夫・有路隆一・ 古土井健・諸星一信・森重輝政・小林 聡 (2009):東京 湾多摩川河口部の流動構造について,海岸工学論文集, 第56巻,pp.981-985.
- Okada, T., P. Larcombe and C. Masonc (2009): Estimation of the spatial distribution of dredged material disposed of at sea by using particle-size distributions and metal concentrations, *Marine Pollution Bulletin*, Vol.58, pp. 1164-1177.