

平成23年5月16日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20560483
 研究課題名（和文） 粒度分布データを最大限に活用した構成由来毎の底泥輸送範囲の推定手法に関する研究
 研究課題名（英文） Study on estimation method of the spatial distribution of each component of sediment by using particle-size distributions
 研究代表者
 岡田 知也（OKADA TOMONARI）
 国土技術政策総合研究所・沿岸海洋研究部・海洋環境研究室主任研究官
 研究者番号：80304749

研究成果の概要（和文）：

富栄養化した海域の底泥の輸送範囲を推定する新たな指標として、有機物を除去した底泥の粒度分布のモードサイズおよび化学組成の使用を試みた。富栄養化した海域では、有機物を除去することが、粒度分布の情報を有効活用にとって重要であることが示された。またその有機物が除去された底泥の粒度分布のモードサイズは、底泥輸送と粒度分布を結びつける上で有用な情報になり得ることが、化学組成のデータと合わせることによって示された。

研究成果の概要（英文）：

We present a method to estimate the spatial distribution of sediment by using particle-size distribution and chemical composition. For particle-size analysis, organic matter was removed from sediment using H₂O₂. The spatial distribution of chemical composition and sediment removed organic matter showed clearly the distribution of impacts of sediments from the Tama River and Tokyo bay in Keihin Unga, Tokyo Bay, Japan. The result demonstrates the feasibility of the method to reduce uncertainty in interpreting the spatial distribution of impacts of sediment from some sources.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
20年度	1,100,000	0	1,100,000
21年度	1,200,000	0	1,200,000
22年度	1,000,000	0	1,000,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	0	3,300,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：底泥，底泥輸送，粒度分布，有機物

1. 研究開始当初の背景

沿岸域や港湾域において、土砂堆積や底泥輸送は、航路等の基本的港湾機能の維持の視点だけでなく、水質汚濁の要因や生物生息の基盤として環境の視点からも適切な管理が

必要である。環境の視点では、微細粒子には、有機物や有害化学物質等が吸着し、それらが堆積することによって、底質の悪化をもたらしており、微細粒子の輸送の把握は、底質改善等に対して重要である。一方、細砂および

砂は、良好な生物生息基盤として機能する。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、細砂および砂の移動経路は把握しておくべきである。

研究代表者らはこれまでに、音響底質識別装置およびその解析手法を開発して、東京湾沿岸域の詳細（空間解像度：数 10 m）な含水比分布図を作成した（岡田ら，2005A；岡田ら，2005B）。その結果、沿岸域の底泥は、①必ずしも一様にヘドロではないこと、②砂質の底泥もしくは砂混じりの底泥が所々に存在することを示した。そして、この分布は、流入河川、工場・下水排水、および埋立地護岸の形状等に影響されているものと推測された。しかし、含水比の底泥分布図だけでは、その底泥分布が如何にして構成されたかを説明するためには情報量不足だった。

底泥データを用いた底泥輸送の推定に関する研究は古くから行われているが、それらは、シルト・粘土、細砂、粗砂、礫等の区分、シルト・粘土含有率（例えば、Eagle *et al.*, 1979）、もしくは中央粒径、ソート度（例えば、Rees *et al.*, 1992）を用いたものであり、これらの手法は粒度分布が持つ情報量を十分に利用していなかった。上記手法よりも粒度分布の多くの情報量を使った解析手法として、粒度分布トレンド解析（McLaren, 1981; McLaren and Bowles, 1985; Gao and Collins, 1992）があるが、この手法には、粒度分布がガウス分布に従うという暗黙の仮定があり、2 モードや 3 モードを持つ自然界の底泥に対してソート度や歪度を使用することには限界があった（Woolfe *et al.*, 2000; Orpin and Kostylev, 2006）。

2. 研究の目的

そこで本研究では、富栄養化した海域において、粒度分布データが有する情報量を最大限に活用し、新たな底泥の分析手法の提案、底泥の輸送および分布範囲を推定する手法を検討することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) データ

本研究では、東京湾と東京湾西側に位置する京浜運河（横浜・川崎地区）を研究対象水域とした。東京湾においては、粒度分布のフルデータの活用の重要性およびその解析手法となるエントロピー法について検討し、京浜運河においては、底泥からの有機物の除去の効果、エントロピー法の応用、化学組成の導入等について検討した。東京湾に対しては 71 地点の底泥を用い（図-2 参照）、京浜運河に対しては、164 地点の底泥を用いた（図-4

参照）。

(2) 分析・解析

① 粒度分布

粒度分布の測定には、レーザ回折・散乱式粒度分布測定装置（LA-950、堀場製作所製）を用いた。レーザ回折粒度分布測定装置の利点は、分析用の試料が少量（小さじ 1 杯程度）で十分であること、分析時間が 1 検体当たり 10 分程度で済むことである。これらのことは、採泥労力および分析労力を大幅に軽減し、多地点の採泥および分析を可能とする。

有機物の除去には、30%過酸化水素水（ H_2O_2 ）を用いた（Poppe ら，2003；Mikutta ら，2005）。5 g の底泥に対して 30 ml の H_2O_2 を加え、90°C の湯浴を 1 時間行った後に、遠心分離して上澄水を捨てた。この工程を 3 回繰り返して、分析用の試料とした。

② 化学組成

化学組成の分析には、波長分散型蛍光 X 線装置（Rigaku, Supermini）を用いた。本装置の特徴は、元素周期表でフッ素からウランまで、一度の分析で測定可能であること、試料は小さじ 1 杯程度で十分であること、そして化学的な前処理が一切不要であることである。微量の化学物質まで測定できる ICP 発光分析装置と比べて低濃度の分析には向かないが、扱いが容易であること、化学的処理が不要であることなど、工学的な使用における利点は大きい。

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。底泥をシルト分と砂分に分けた理由は 2 つある。1 つは粗粒子による吸着物質の希釈効果を排除するためである（Homens ら，2006）。2 つ目の理由は、シルトと砂の輸送形態が異なることから、輸送範囲が異なることが想定されたためである。

③ エントロピー法

本研究では、多地点の粒度分布のフルサイズデータの解析に、エントロピー法を用いた（Woolfe, 1995; Lacombe *et al.*, 2001; 岡田ら，2009）。この手法は、粒度分布の分布形状を、エントロピー量を用いて解析し、多数の粒度分布を最適なグループに分割する手法である。グループ化において粒度分布の全体形状を直接使うため、統計値を使った解析と較べて粒度分布が持つ情報量の損失が小さい利点がある。手法の詳細はここでは省略する。

4. 研究成果

(1) 粒度分布のフルデータ活用の重要性

東京湾の底泥分布図を、粒度分布データの中央粒径等の粒度分布を 1 つの値に集約した統計値ではなく、粒度分布のフルデータお

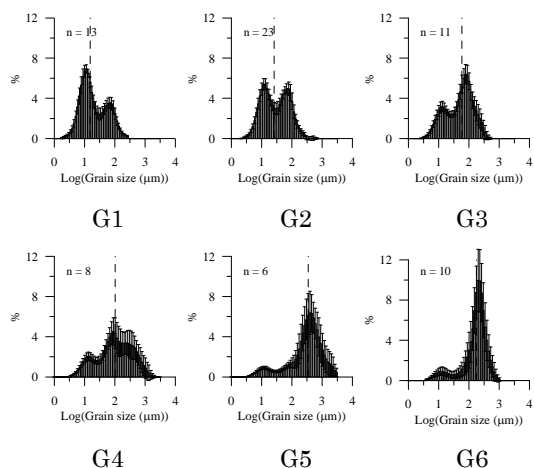


図-1 各グループの平均化された粒度分布. n は各グループ内のデータ数, 縦線は±標準偏差を示す. 図中の破線は各グループの粒度分布に対する中央粒径を示す.

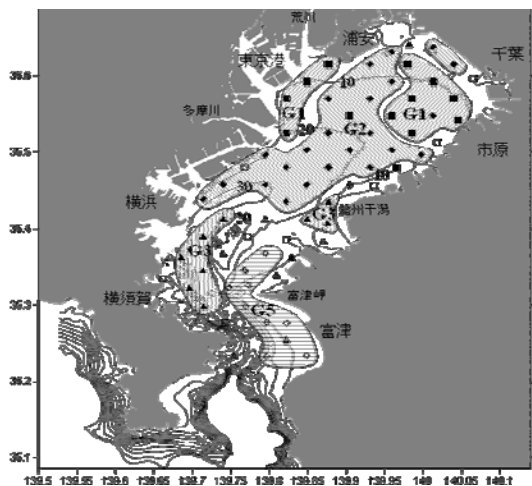


図-2 各採泥地点のグループ. G1: ■, G2: ◆, G3: ▲, G4: □, G5: ◇, G6: △. 背景の薄い実線は水深コンターを示す. 各グループの領域は水深コンターを参考にしてフリーハンドで作成した.

よびエントロピー法を用いて作成した. エントロピー法により東京湾の 71 地点の底泥はそれぞれ特徴ある粒度分布を持つ 6 つのグループに分割され (図-1), 新しい東京湾の底泥分布図が作成された (図-2).

東京湾において最も広範囲に分布するグループは G2 だった. その G2 の特徴は, シルトと極細砂のモードが同程度に卓越することだった (図-1). ところが, その G2 の中央粒径は, 両モードの谷に相当し, 粒度分布の卓越する粒度を全く表現していなかった. 粒度分布および中央粒径の特性に慣れていない者は, その中央粒径付近にピークを持つような粒度分布を想像し, その付近の粒度の底泥が最も多いと考えてしまうかもしれない. また, 中央粒径の平面分布図 (図-3) から, 湾奥から湾中央西側 (横浜沖) にかけての

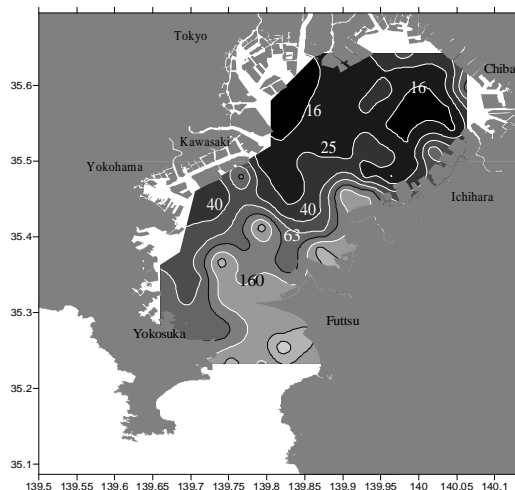


図-3 中央粒径の平面分布 (単位: μm)

広域において, $40 \mu\text{m}$ 以下のシルトが卓越し, ヘドロばかりであるというイメージを受けるかもしれない.

これらのことは, これまでシルトと分類されていた東京湾湾奥から湾中央にかけての広域の底泥は, 粒度分布のモード情報に着目すると, シルトのモードと同程度の大きさの極細砂のモードを含む底泥だったことを示す. このことは, これまでの統計値による評価では, 見落とされがちな点であり, これらの情報を失うことなく容易に取り込める点が, 本手法の最大の利点である.

このようなモード情報を取り込んだ底泥分布図は, 底泥条件に大きな影響を受ける底生生物生育条件や魚類の巣穴条件を探る際等において, 有用な参考情報となる. 例えば, 産卵場所が近年減少し危機的な状況になりつつあるハゼの巣穴に適した条件は, シルトに若干の砂が混じった底泥と言われている. どのモードサイズのシルトと砂が, どの程度の比率で混合しているのが適しているのかは, 今後の検討課題であるが, 中央粒径等の粒度分布の統計量ではなく, この様な解析をして初めて検討可能になるものと考えている. 今後は, 多くの海域において, 粒度分布を用いた底質分布の作成による粒度分布のフルデータの活用が重要であると提言する.

(2) 有機物を除去した粒度分布および化学組成を用いた底泥の輸送範囲の推定

底泥の輸送範囲を推定する新たな指標として, 有機物を除去した底泥の粒度分布および化学組成の使用を, 京浜運河周辺海域で試みた.

その結果, 京浜運河周辺のシルト分は, 大きく 5 つに分けられた (図-4). 領域①: 多摩川河口, 大師運河, 領域②: 川崎航路, 第 4 区, 鶴見航路, 領域③: 鶴見川河口沖から第

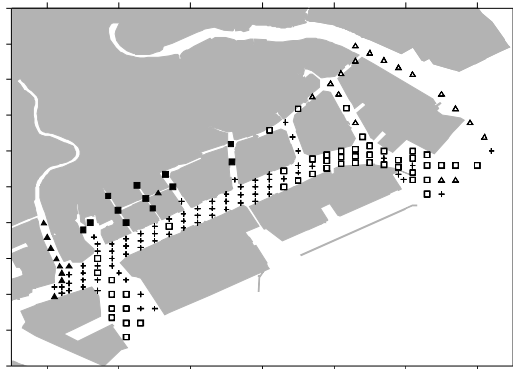


図-4 シルト分の化学組成に対するクラスター分析によるグループの平面分布図。△：領域①，□：領域②，+：領域③，■：領域④，▲：領域⑤。

1-3 区，塩浜運河，領域④：池上運河，田辺運河，境運河，旭運河，そして領域⑤：鶴見川河口である。

領域①は，同じ化学組成を持つグループが多摩川から多摩運河を通じて大師運河に拡がっていることから，多摩川の影響範囲と考えられる。そして，その影響範囲は大師運河までだった。領域②は， Al_2O_3 および $Na_2O + K_2O$ 等が東京湾側の方が高いことや ZnO が低い値であることから，東京湾の影響と考えられる。ここで，東京湾の影響とは，多摩川や鶴見川以外の河川から東京湾に流入した鉱物が東京湾の流れを經由して京浜運河内に達することを意味する。領域⑤は鶴見川の影響範囲であろう。予想に反して，鶴見川の影響範囲は鶴見川河口のみに限定されていた。

砂分の化学組成に基づく領域区分（図-5）とモードサイズに基づく領域区分（図-6）は良く一致し，砂分は大きく3つに分けられた。領域①：多摩川河口，大師運河，第3区，4区，領域②：川崎航路，領域③：鶴見航路，第1区，第2区である。

この砂の領域区分は，シルト分の領域区分とは異なっており，同じ場所でもシルト分と砂分は異なる由来の影響を受けていることを示した。多摩川の影響範囲は，大師運河を通じて第3区，第4区に及んでいた。川崎航路を通じた東京湾の影響は，川崎航路までだった。第4区では，シルト分は東京湾の影響だったが，砂分は多摩川の影響だった。一方，砂分の鶴見航路を通じた東京湾の影響は，鶴見航路から第1区，第2区まで及んでいた。

次に，量に関して考察する。東京湾の影響と考えられる川崎航路の砂分の量は，粒度分布においてシルトが卓越していることから（図-6，B1），シルト分と比較して相対的に非常に少ないと考えられる。また，第2区は鶴見航路および第1区と同様に東京湾からのシルト分と砂分の影響を受けている領域で

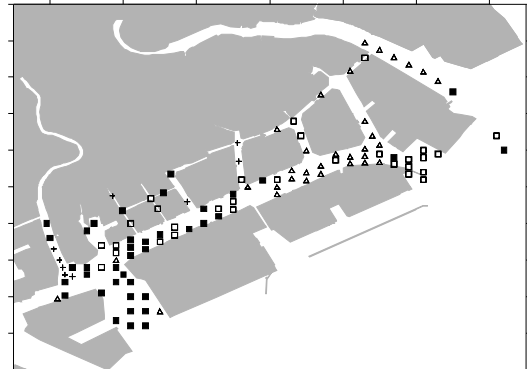


図-5 砂分の化学組成に対するクラスター分析によるグループの平面分布図。△：領域①，□：領域②，■：領域③，+：領域④。

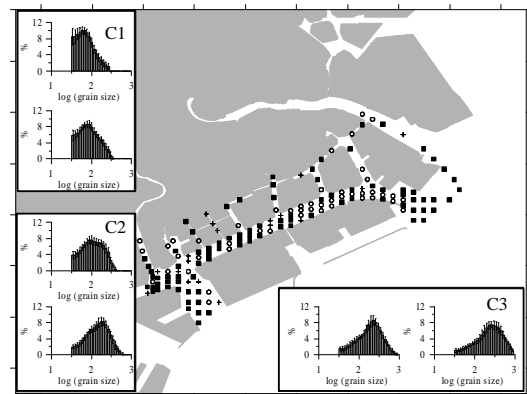


図-6 有機物処理底泥の 35 mm 以上の成分に対するグループ化。■：C1，○：C2，+：C3。

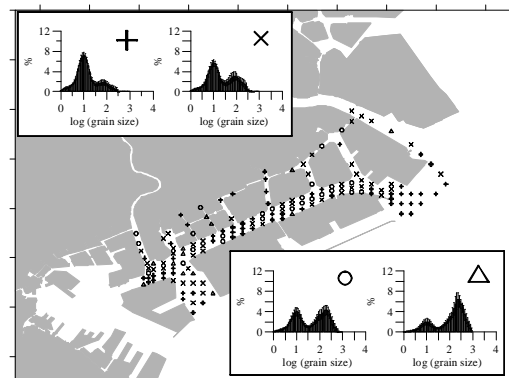


図-6 有機物処理底泥のグループ化。+：B1，×：B2，○：B3，△：B4。

あるが，その構成比率は鶴見航路および第1区とは異なりシルト分が大きかった。第2区に到達する砂分の量は少ないか，もしくは堆積するシルト分の量が多いと考えられる。

このように，有機物を除去した底泥の粒度分布と化学組成分析結果は，異なる由来の底泥の影響範囲を推定するのに十分明瞭な空間分布を表現すること，また，有機物を除去した底泥の粒度分布は，富栄養化した海域において底泥輸送と粒度分布を結びつける上

で有用な手法であることを示した。

(3)まとめ

本手法は、有機物を除去した底泥に対してレーザ回折粒度分布測定装置で得られた詳細な粒度分布データを、エントロピーを用いてグループ化した結果と、蛍光 X 線装置を用いて得られた化学組成を用いてグループ化した結果から、底泥の分布範囲を由来毎に示す方法である。この手法で用いる試料は数 10g で十分であり、採泥労力は少なく、従来よりも空間的に高密度かつ多地点の採泥・解析が可能な手法である。

その結果、これまでの統計値による評価では、見落とされていた粒度分布のモード情報が明示され、これらの情報を失うことなく底泥分布を評価することが可能になった。今後は、多くの海域において、粒度分布を用いた底質分布の作成による粒度分布のフルデータをを用いて底泥を評価することを提案する。

また、化学組成に基づく底泥分布のグループ化の結果および有機物を除去した粒度分布データの結果を合わせて考察することによって、京浜運河内における砂成分およびシルト成分それぞれの分布範囲の特徴を定性的（由来に関する情報）かつ定量的に示すことが可能になった。

運河内では富栄養化した海域特有の貧酸素水塊が形成され、その貧酸素水塊は水深 2m まで達している。また、この様な水域では、生物生息場として、水深が浅く貧酸素水塊の影響が小さい砂溜まりの活用が重要であり、その砂溜まりは、運河内には多く存在するが、その空間スケールは数 10-100m スケールの大きさで点在している。

本手法は、このような比較的小さな空間スケールに対応できる手法である。砂溜まりのような小スケールの地形を考慮した広域的な採泥地点を配置し、その底泥の輸送・分布特性を把握することで、沿岸域の生態系ネットワークを把握しながら、沿岸域の生物生息場の維持管理および自然再生計画を考慮することを提案する。

今後の展開として、本研究の手法を活用し、港湾域や複雑な運河網内における底泥のみならず、底生系生物のネットワークについて検討したいと考えている。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 6 件）

- ① 岡田知也，生物生息場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，（社）底質浄化協会，HEDORO，110 号，2011 年 2 月

- ② 岡田知也，底泥の化学組成を用いた底泥輸送の推定技術の開発について，（社）全日本建設技術協会，月刊建設，2011 年 2 月
- ③ Ishida, T., Nakayama, K., Okada, T., Maruya, Y., Onishi, K. and Omori, M., Suspended sediment transport in a river basin estimated by chemical composition analysis, Hydrological Research Letters, 4, 55-59 (2010), Published online in J-STAGE(www.jstage.jst.go.jp/browse/HRL)
- ④ 岡田知也，グエン・ティン・モンチン，古川恵太，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，56，976-980，2009.
- ⑤ 石田哲也，中山恵介，大西健史，夏井皓盛，大森未音，アイヌルアブリズ，丸谷靖幸，岡田知也，融雪期における高濁度水発生機構と細粒土砂輸送，水工学論文集，第 54 巻，pp. 433-438，2010.
- ⑥ 岡田知也，グエン・ティン・モンチン，古川恵太，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. 401-406，2009.

〔学会発表〕（計 4 件）

- ① 岡田知也，沿岸域における土砂動態，流域圏シンポジウム，2010 年 12 月 15 日，東京理科大学.
- ② 岡田知也，運河域の底質環境について，底質浄化技術セミナー，2010 年 11 月 15 日，
- ③ 岡田知也，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 -，第 57 回海岸工学講演会，2009 年 11 月 18 日，茨城県立県民文化センター.
- ④ 岡田知也，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 -，第 34 回海洋開発シンポジウム，2009 年 6 月 30 日，横浜市横浜開港記念会館.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡田知也 (OKADA TOMONARI)
国土技術政策総合研究所・沿岸海洋研究部・海洋環境研究室主任研究官
研究者番号：80304749

(2) 研究分担者

無

(3) 連携研究者

石川忠晴 (ISHIKAWA TADAHARU)
東京工業大学・総合理工学研究科・教授
研究者番号：50159696
古川恵太 (FURUKAWA KEITA)
国土技術政策総合研究所・沿岸海洋研究
部・室長
研究者番号：00356031