

ISSN 1346-7328

国総研資料 第715号  
平成25年 3月

# 国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of  
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.715

March 2013

粒度分布および化学組成からみた東京湾の底質分布

岡田 知也

Spatial distribution of sediments by chemical composition and particle-size distribution  
in Tokyo Bay

Tomonari OKADA

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management  
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

## 粒度分布および化学組成からみた東京湾の底質分布

岡田知也\*

### 要 旨

港湾において、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。そこで本研究では、それらに資するため、著者らによって開発された化学組成を用いた底泥輸送の推定手法を用いて、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、それらの図から底泥の分布および輸送の特徴について考察した。

本検討には湾内449地点の底泥を利用した。各底泥に対して粒度分布および化学組成を分析した。化学組成に関しては、63  $\mu\text{m}$ 以下のシルト成分と、63  $\mu\text{m}$ 以上の砂成分に分画して分析された。粒度分布はレーザー回折・散乱式粒度分布測定装置によって分析され、エン트로ピー法によってグループ化された。化学組成は波長分散型蛍光X線装置によって分析され、k-means法を用いてグループ化された。

粒度分布によるグループ化によって、粒度分布に基づいた底泥分布図が作成された。東京湾の中央部より北側の殆どの水域では、シルト・粘土分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した。また、シルト成分および砂成分の化学組成によるグループ化によって、化学組成に基づくシルト成分および砂成分の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を環境の視点から適切に実施する上で重要な基礎情報となる。

キーワード：底質，底泥輸送，粒度分布，化学組成，土砂管理，沿岸環境，東京湾

---

\* 沿岸海洋・防災研究部海洋環境研究室長

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所

電話：046-844-5023 Fax：046-844-1145 e-mail: okada-t92y2@ysk.nilim.go.jp

# Spatial distribution of sediments by chemical composition and particle-size distribution in Tokyo Bay

Tomonari OKADA\*

## Synopsis

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. They influence water quality and the habitats of organisms. My focus in this study was to create maps of sediment spatial distributions in Tokyo Bay using a method to estimate the spatial distribution of sediment by using chemical composition which was developed by author. I aimed to produce information that contributes to management of sediments for improvement of environmental conditions in the bay.

I collected sediments from 449 stations in the bay and analyzed particle-size distribution and chemical composition. Before chemical composition analysis, the sediments were divided into the silt and clay fraction (<63  $\mu\text{m}$ ) and the sand fraction (>63  $\mu\text{m}$ ). I grouped sediments by particle-size distributions using entropy analysis and analyzed chemical composition by wavelength dispersive X-ray spectrometry. Sediments were grouped by chemical composition using k-means clustering.

Maps of spatial distribution of sediments by particle-size distributions were drawn up. Sediments with silty, very fine sands were most frequent in the bay, demonstrating that organic matter and toxic chemicals may readily accumulate in the largest part of the bay. I also drew up maps of the spatial distribution of sediments by chemical composition. These enable determination of spatial distributions of sediments from each main river that enters the bay.

**Key Words:** sediment, sediment transport, particle-size distribution, chemical composition, coastal environment, Tokyo Bay

---

\*Head of Marine Environment Division, Coastal, Marine and Disaster Prevention Department  
National Institute for Land and Infrastructure Management  
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan  
Phone: +81-46-844-5023 Fax : +81-46-844-1145 e-mail: okada-t92y2@ysk.nilim.go.jp

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 方法 .....	1
2.1 底泥採取 .....	1
2.2 分析方法 .....	1
2.3 解析方法 .....	3
3. 結果 .....	3
3.1 粒度分布 .....	3
3.2 化学組成 .....	8
4. 考察 .....	12
5. おわりに .....	15
謝辞 .....	15
参考文献 .....	15



## 1. はじめに

港湾において、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。

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（例えば、Matthai and Birch, 2001; Homens *et al.*, 2006）、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。また最近では、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）。このように、微細粒子の輸送過程の把握は益々重要度を増している。

また、多くの沿岸域において自然再生事業が行われている（国土交通省港湾局, 2003）。その代表的な技術メニューとして、覆砂や干潟造成が挙げられる。これらの共通点は、砂を主体とした生物生息基盤を造ることである。よって、その生物生息基盤の持続可能性の観点では、砂の供給がある水域の方が有利だと考えられ、また、自然再生場所として比較的に適していると考えられる。現状ではたとえ砂の供給よりも有機物の沈降量の方が勝っていたとしても、将来的に水質が改善され有機物の沈降量が少なくなった場合に、砂の供給がある場所か否か（砂の供給の潜在的な能力があるか否か）は、長期的な視点で自然再生場を選定する際に重要な情報だろう。そして、その砂はどこから運ばれてくるかの情報も、生息基盤の空間的ネットワークとして重要である。

海域の底泥の輸送に関しては、これまで多くの研究がなされている。特に、近年の数値モデル発展は、様々な検討を可能にしている。ところが、数値モデルにおいて常に問題となるのは境界条件データの不足であり、境界条件データが揃い難い水域における現象の計算は困難である。したがって、何らかの底泥指標から底泥の輸送を推定する技術は、依然として重要である。

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（神奈川県側）およびその周辺運河・航路で試み、その有用性を示した。

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

### 2.1 底泥採取

湾内 449 地点の底泥を利用した。これらは、他の目的で採取したものを研究室内の冷凍庫または冷蔵庫において保管していたものである。そのため、採取の時期は異なる。東京湾沿岸の 112 地点は 2003 年および 2004 年に、東京港およびその周辺の 151 地点は 2009 年に、京浜運河（神奈川県側）およびその周辺運河・航路の 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)～(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、エクマン・バージ型採泥器またはスミス・マッキンタイヤ型採泥器を用いて採泥した底泥から、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）であることを考慮すると、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。また、化学組成は水域の水環境ではなく、土砂の輸送に影響を受けるので、流れや波等の物理的な変化が重要となる。これらを考えると、2003 年から 2010 年まで、最大 8 年の違いがあるが、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）の再拡張（D 滑走路の整備）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る。

### 2.2 分析方法

#### (1) 粒度分析

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、粒度分布の区分は表-1 の粒度区分とした。粒度分布の測定には、冷凍保存ではなく冷蔵保存の試料を優先的に用いた。測定に際し、有機物やイオン効果等によって凝集している塊を分散させるために、超音波を照射し（約 30 秒から 1 分）、粒度分布が安定した後に測定した。

#### (2) 化学組成

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（閑歳, 2008）。本装置は、軽元素（F）から重元素（U）まで測定可能である。蛍光 X 線装置による分析は、ICP 発光分析装置と比べて

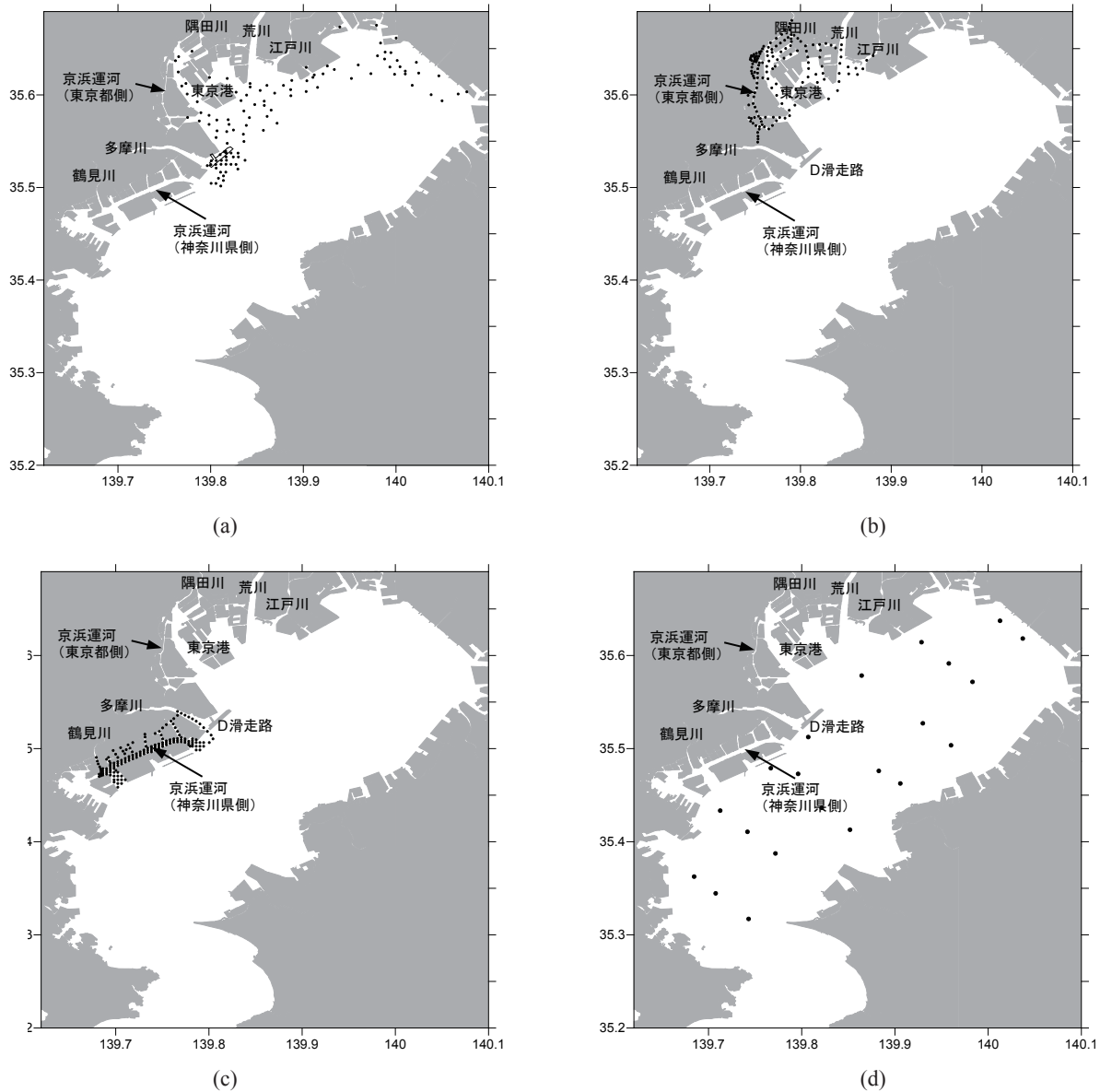


図-1 分析に用いた採泥地点。(a) 東京湾沿岸(2003年および2004年), (b) 東京港およびその周辺(2009年), (c) 京浜運河(神奈川県側)およびその周辺運河・航路(2007年), (d) 東京湾内(2010年)

低濃度の分析には向かないが、前処理に化学的処理を必要としない利点がある。

分析は  $63 \mu\text{m}$  以下のシルト分と  $63 \mu\text{m}$  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 *et al.*, 2006)。例えば、重金属は、粗粒分より細粒分に強く吸着するため、周囲水中の重金属濃度が同じであっても、シルト分が多い底泥の方が濃度は大きく、粗粒分が多い底泥の方が濃度は小さくなってしまう。2つ目の理由は、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。

$63 \mu\text{m}$  での分画には、ふるい振とう機 (AS200, Retsch 製) 等を用いて湿式の篩分けを行った。容器 (3 l) に溜められた  $63 \mu\text{m}$  以下の成分は、1日程度静置し、沈降させ、上澄み水を捨て、 $110^\circ\text{C}$  で24時間乾燥させた。篩に残った  $63 \mu\text{m}$  以上の成分も同じく、 $110^\circ\text{C}$  で24時間乾燥させた。

乾燥された試料は、粉砕機 (MM400, Retsch 製)、粉砕ジャー (MM301, ジルコニア, 35 ml, Retsch 製) および粉砕ボール (ジルコニア, 20 mm, Retsch 製) を

表-1 レーザ回折・散乱式粒度分布測定装置による粒径区分

No	Grain size (μm)	log (Grain size)	No	Grain size (μm)	log (Grain size)	No	Grain size (μm)	log (Grain size)
1	1.0	0.00	21	15.2	1.18	41	229.1	2.36
2	1.2	0.06	22	17.4	1.24	42	262.4	2.42
3	1.3	0.12	23	19.9	1.30	43	300.5	2.48
4	1.5	0.18	24	22.8	1.36	44	344.2	2.54
5	1.7	0.24	25	26.1	1.42	45	394.2	2.60
6	2.0	0.30	26	29.9	1.48	46	451.6	2.65
7	2.3	0.36	27	34.3	1.53	47	517.2	2.71
8	2.6	0.41	28	39.2	1.59	48	592.4	2.77
9	3.0	0.47	29	44.9	1.65	49	678.5	2.83
10	3.4	0.53	30	51.5	1.71	50	777.1	2.89
11	3.9	0.59	31	59.0	1.77	51	890.1	2.95
12	4.5	0.65	32	67.5	1.83	52	1019.5	3.01
13	5.1	0.71	33	77.3	1.89	53	1167.7	3.07
14	5.9	0.77	34	88.6	1.95	54	1337.5	3.13
15	6.7	0.83	35	101.5	2.01	55	1531.9	3.19
16	7.7	0.89	36	116.2	2.07	56	1754.6	3.24
17	8.8	0.95	37	133.1	2.12	57	2009.7	3.30
18	10.1	1.00	38	152.5	2.18	58	2301.8	3.36
19	11.6	1.06	39	174.6	2.24	59	2636.5	3.42
20	13.2	1.12	40	200.0	2.30	60	3000.0	3.48

用いて 63 μm 以下に粉砕された。63 μm 以上の砂成分に対しては、振とう数 25 1/s、粉砕時間 5 分とした。63 μm 以下の試料に対しては、乾燥によって固まったものを粉砕する目的であるので、振とう数 25 1/s、粉砕時間 2 分とした。

63 μm 以下のパウダー状に粉砕された試料は、PVC リングとハイプレッシャージャッキ (J-15, アズワン製) を用いて 12 t で加圧成型し、蛍光 X 線分析装置用の試料とした。

その他の分析用試料の前処理および分析手法等は、後藤・巽 (1991) に従った。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。

### 2.3 解析方法

粒度分布のグループ化には、エントロピー法を用いた。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。このエントロピー法の詳細は、Forrest and Johnston (1981), Forrest and Clark (1989), Woolfe and Michibayashi (1995), Woolfe (1995), Woolfe *et al.* (1998), Woolfe *et al.* (2000), Orpin and Kostylev (2006), Mikkelsen *et al.* (2007), Okada *et al.* (2009), 岡田ら (2009a), 岡田ら (2009b) および岡田ら (2012) に示しているもので、ここでは省略

する。

蛍光 X 線分析装置によって、底泥からは、20 種類程度の化学物質が検出される。その中で、多くの地点の底泥から共通して検出されるのは、岩石の平均的な組成である SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, K<sub>2</sub>O, MgO, MnO, Na<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub>, 人為的附加と考えられる CuO, ZnO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, その他 Br, Cl, SO<sub>3</sub>, 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO, SiO<sub>2</sub> のみを指標とした。

各化学物質の異なる変動幅の影響を取り除くため、それぞれの変数をそれぞれの標準偏差で割ることによって、変数の標準化を図った (上田, 2003)。その後、各採泥地点に対して、各化学物質の割合を保ったまま化学物質の総和が 100 になるように再配分した。

化学組成のグループ化には、k-means 法を用いた。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

### 3.1 粒度分布

全ての地点の粒度分布は、エントロピー法によって、8 つにグループ化 (g<sub>1</sub> から g<sub>8</sub>) された (図-2)。各図はグループ内の平均値であり、縦線は中央粒径、n はグルー



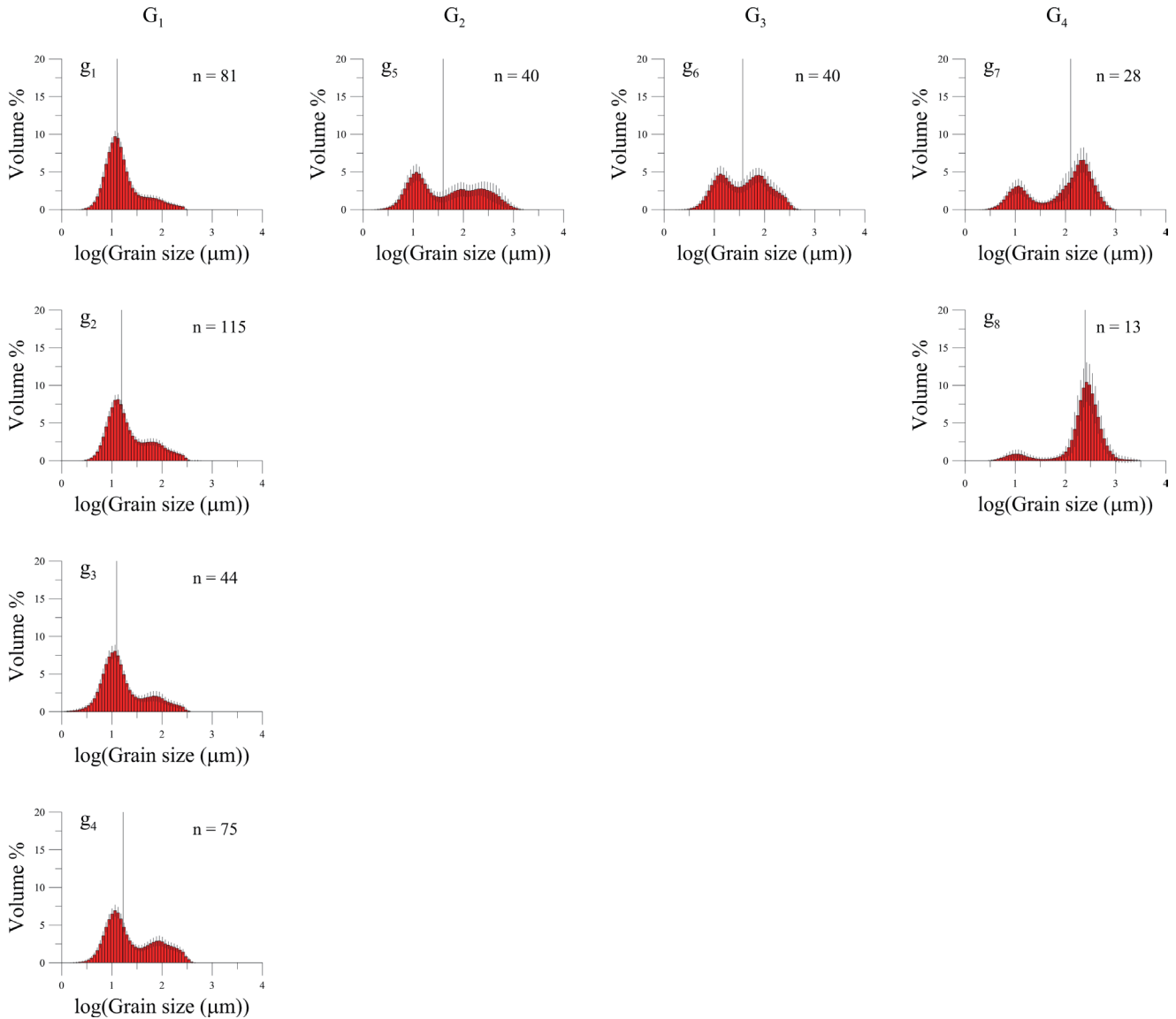


図-2 グループ化された粒度分布.  $g$  はエントロピー法でグループ化されたグループの区分であり,  $G$  はそらをまとめたグループの区分を示す. 縦線は中央粒径,  $n$  はグループ内のデータ数, 各バーの縦線は土標準偏差を示す.

プ内のデータ数, 各バーの縦線は土標準偏差を示す.

$g_1, g_2, g_3, g_4$  は  $10 \mu\text{m}$  付近のシルト成分が卓越し, 中央粒径は  $10\text{-}20 \mu\text{m}$  だった.  $g_5$  は細砂混じりシルトで, モードが約  $10 \mu\text{m}$  と約  $200 \mu\text{m}$  にあり, 中央粒径は  $30\text{-}40 \mu\text{m}$  だった.  $g_6$  は極細砂混じりシルトで, モードが  $10 \mu\text{m}$  と  $80 \mu\text{m}$  にあり, 中央粒径は  $30\text{-}40 \mu\text{m}$  だった.  $g_7$  と  $g_8$  はシルト混じり中砂であり,  $200 \mu\text{m}$  付近の中砂が卓越し, 中央粒径は  $100\text{-}200 \mu\text{m}$  だった.

これから, シルトが卓越する  $G_1$  ( $g_1 - g_4$ ), 細砂混じりシルト  $G_2$  ( $g_5$ ), 極細砂混じりシルト  $G_3$  ( $g_6$ ) および中砂が卓越する砂混じりシルト  $G_4$  ( $g_7, g_8$ ) に分けた.

これら4つのグループの分布を図-3に示す. 白黒印刷版では, 各グループの分布範囲が明瞭ではないので, 各グループ毎の図を別途作成した(図-4(a)-(d)).

$G_1$  は港や運河から湾中央部まで広範囲に分布していた. 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.

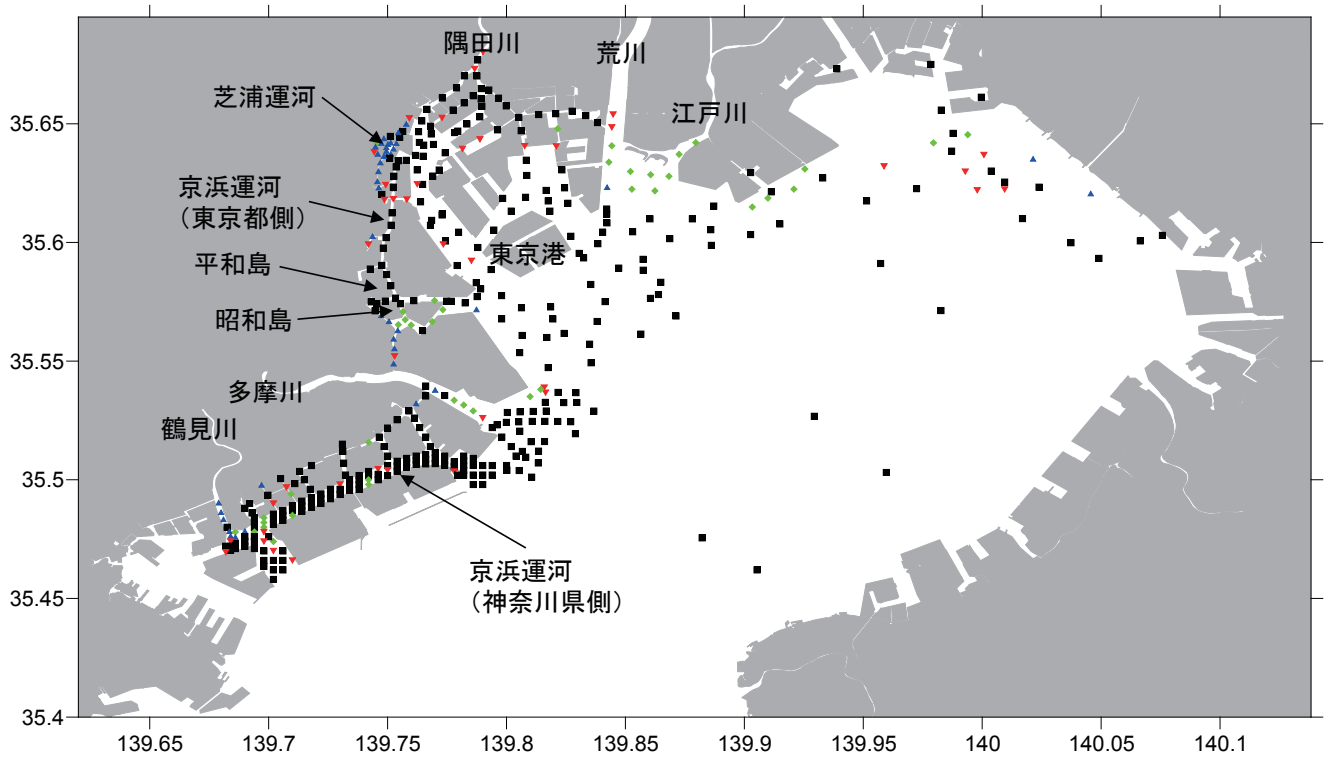


図-3 4つにグループ化された底泥の平面分布. ■ : G<sub>1</sub>, ▼ : G<sub>2</sub>, ▲ : G<sub>3</sub>, ◆ : G<sub>4</sub>

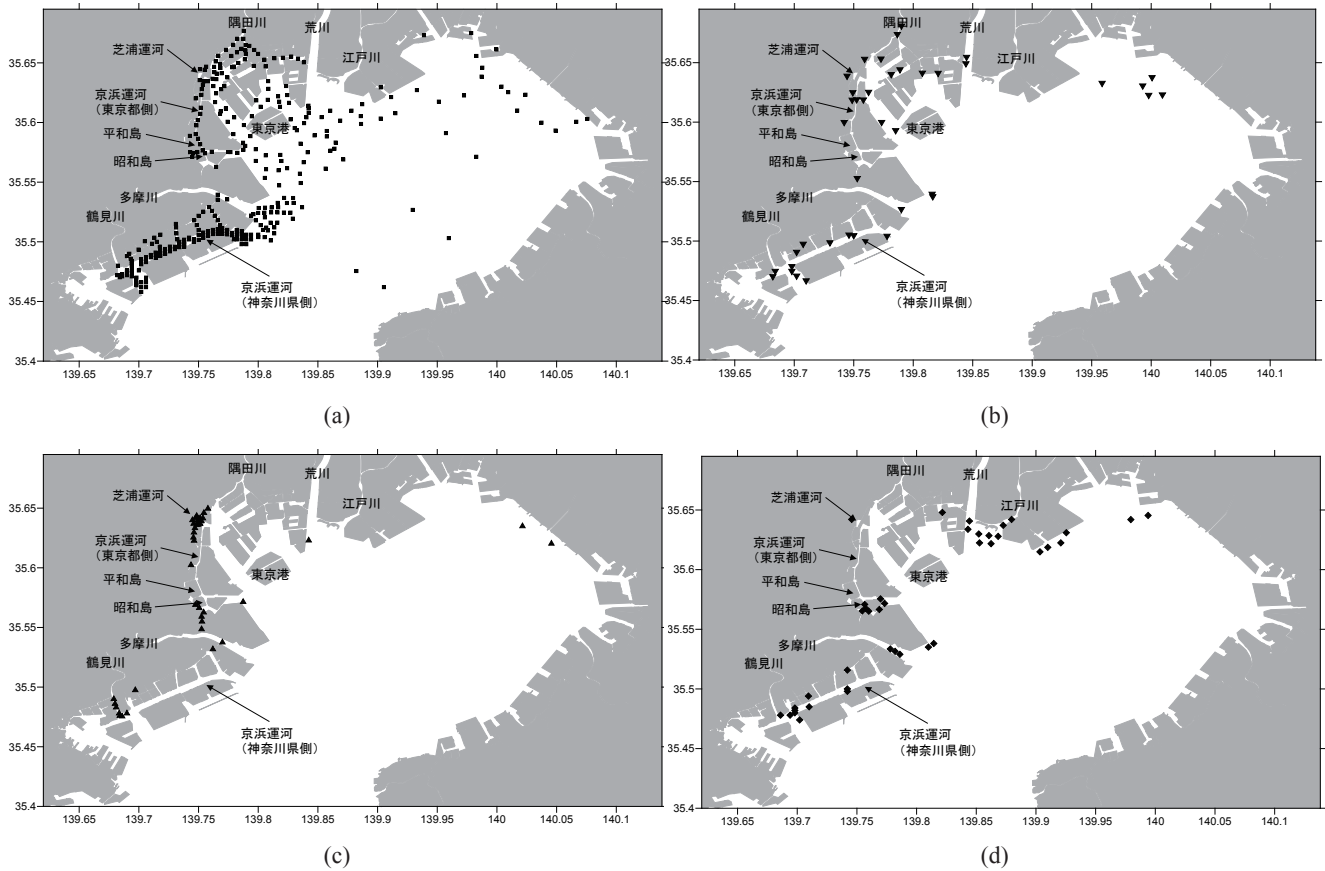
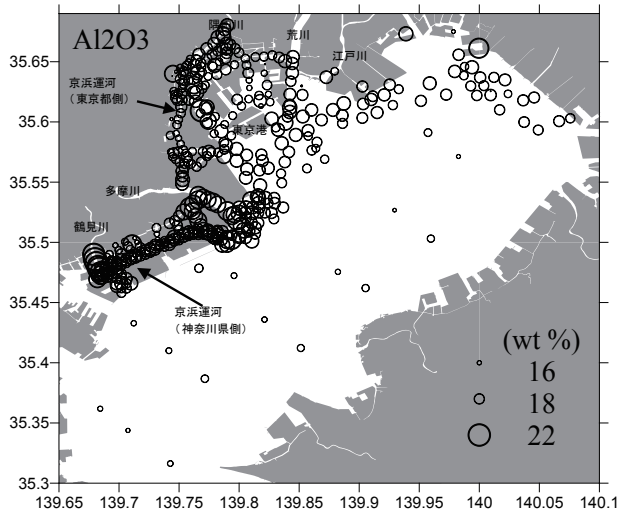
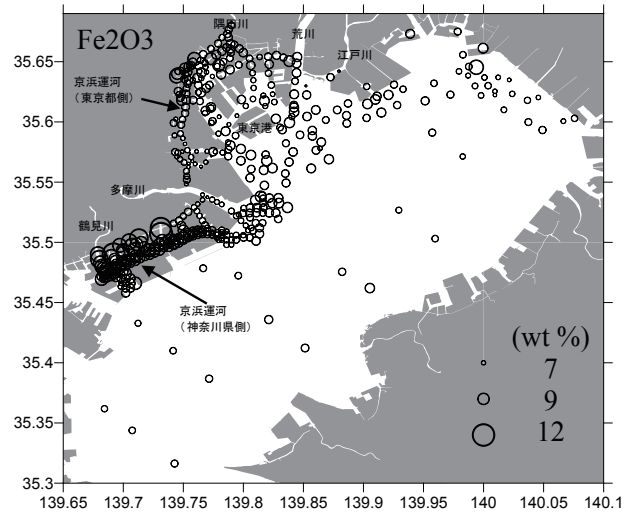


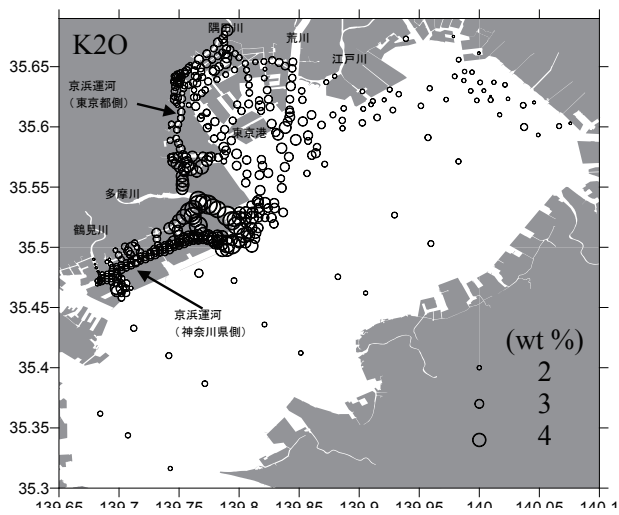
図-4 各グループの平面分布. (a) G<sub>1</sub>, (b) G<sub>2</sub>, (c) G<sub>3</sub>, (d) G<sub>4</sub>



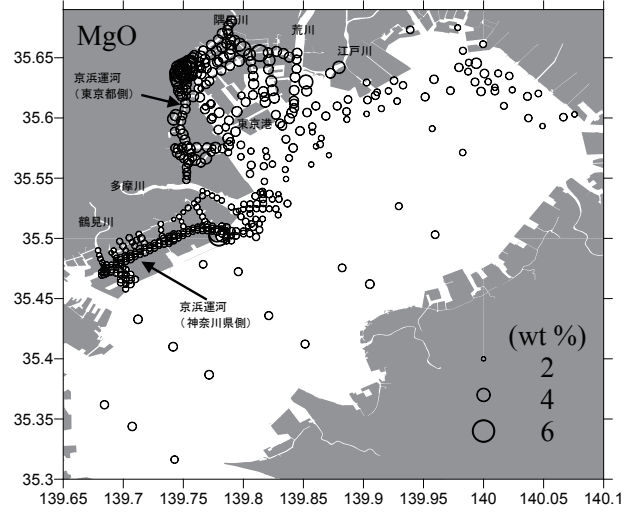
(a)



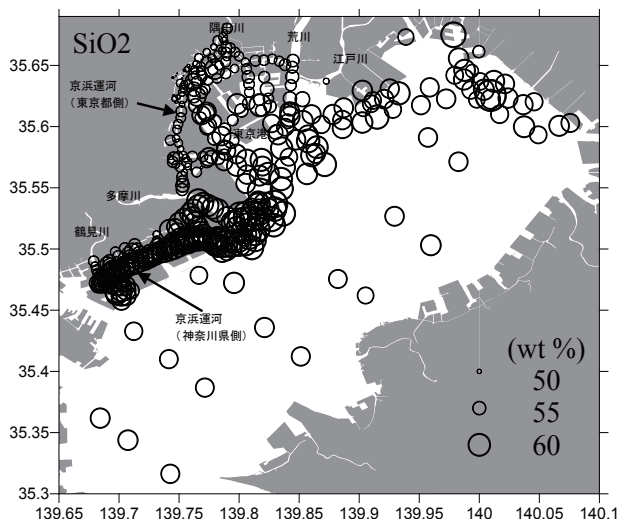
(b)



(c)



(d)



(e)

図-5 シルト成分の各化学物質の平面分布. (a)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , (b)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , (c)  $\text{K}_2\text{O}$ , (d)  $\text{MgO}$ , (e)  $\text{SiO}_2$

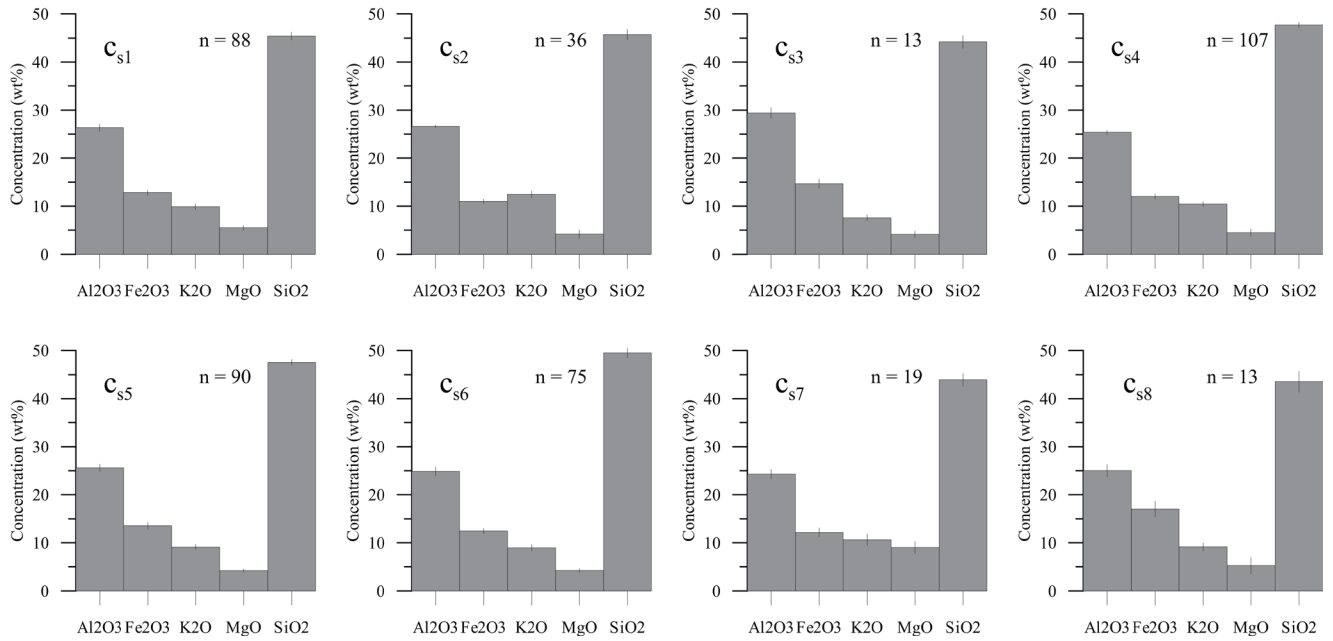


図-6 8つのグループにグループ化されたシルト成分の化学組成. nはグループ内のデータ数, 各バーの縦線は土標準偏差を示す.

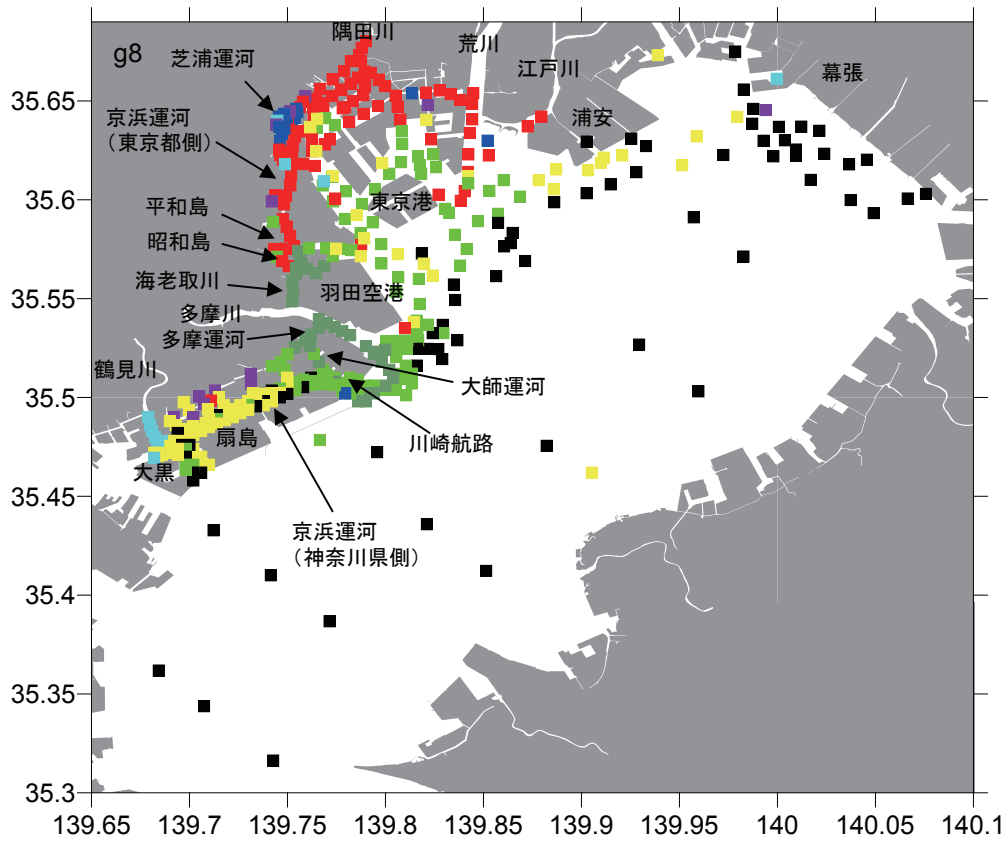


図-7 化学組成によってグループ化されたグループの平面分布 (シルト成分). ■:Cs<sub>1</sub>, ■:Cs<sub>2</sub>, ■:Cs<sub>3</sub>, ■:Cs<sub>4</sub>, ■:Cs<sub>5</sub>, ■:Cs<sub>6</sub>, ■:Cs<sub>7</sub>, ■:Cs<sub>8</sub>.

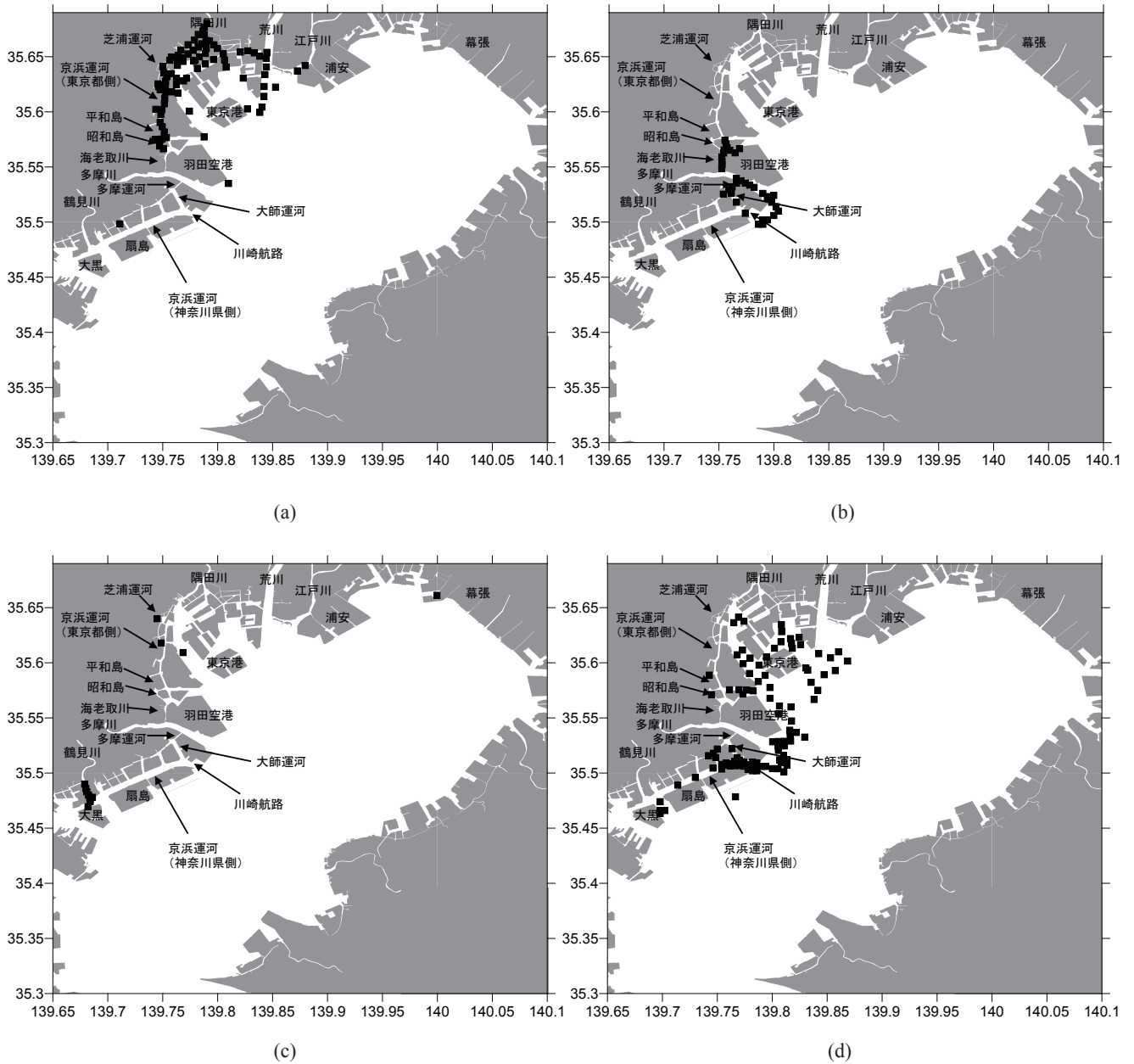


図-8 化学組成によってグループ化された各グループの平面分布 (シルト成分). (a)  $c_{s1}$ , (b)  $c_{s2}$ , (c)  $c_{s3}$ , (d)  $c_{s4}$ .

### 3.2 化学組成

#### (1) シルト成分

$Al_2O_3$ ,  $K_2O$ ,  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$  の平面分布を図-5に示す。 $Al_2O_3$  は運河内・港湾内に比べて湾中央部の値は小さかった。 $Fe_2O_3$  は京浜運河 (神奈川県側) およびその周辺運河の値が大きかった。 $K_2O$  は比較的に多摩川周辺で大きかった。 $MgO$  は芝浦運河周辺や鶴見川河口で大きかった。 $SiO_2$  は隅田川河口, 京浜運河 (東京都側) 付近の値が小さかった。

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-6, 7)。白黒印刷版では各グループの分布は明瞭ではないので, グループ毎の分布図を別途図化した (図-8 (a) から (h))。

$c_{s1}$  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 (東京都側) の平和島付近まで分布していた。

$K_2O$  が他のグループと比べて多い  $c_{s2}$  は多摩川河口, 大師運河, 川崎航路, 海老取川および昭和島周辺に分布していた。

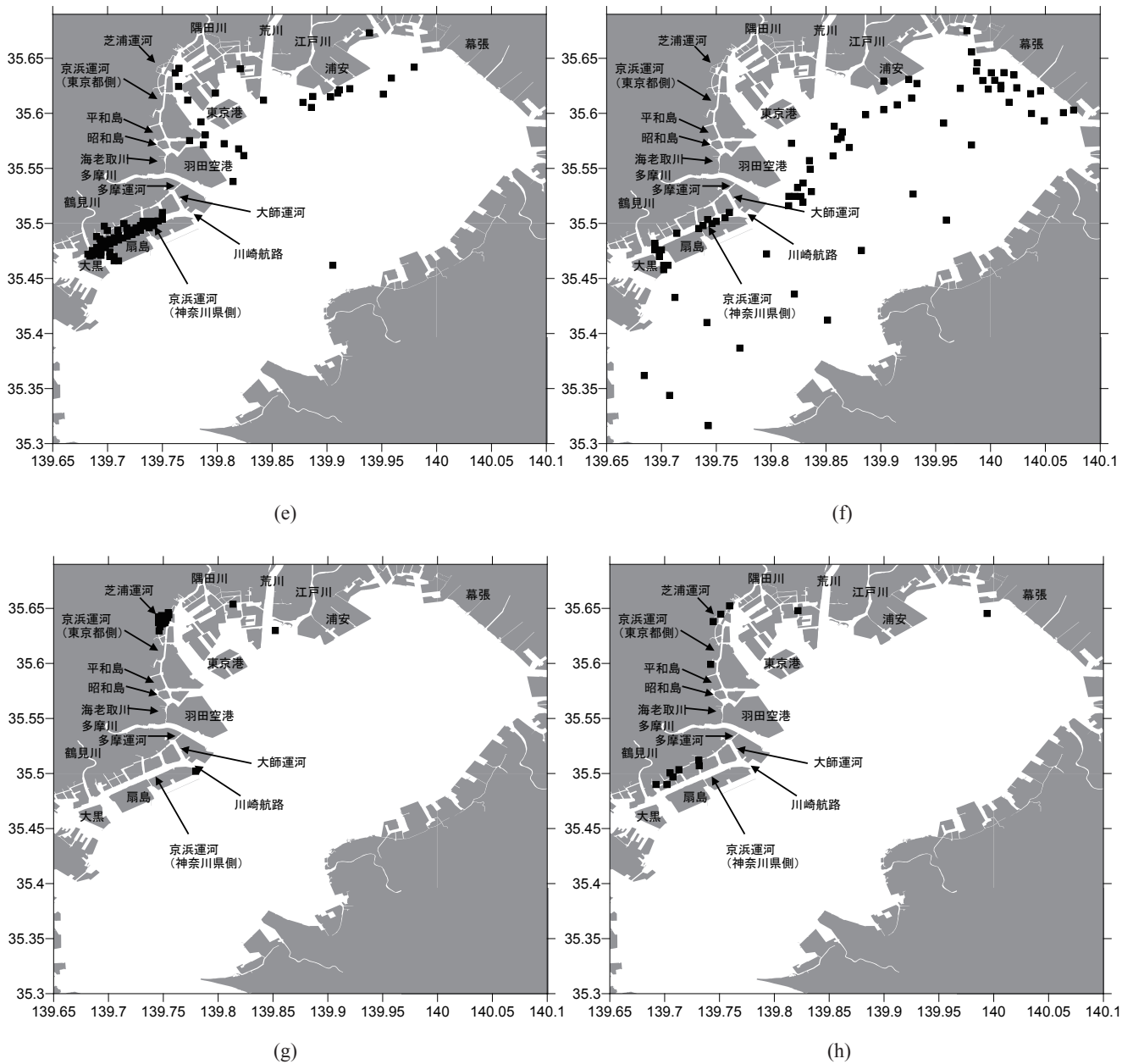


図-8 化学組成によってグループ化された各グループの平面分布（シルト成分）（つづき）. (e)  $c_{55}$ , (f)  $c_{56}$ , (g)  $c_{57}$ , (h)  $c_{58}$ .

$Al_2O_3$  が他のグループと比べて多い  $c_{53}$  は鶴見川河口周辺のみ分布していた。

$c_{54}$  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。

$c_{55}$  は東京港内，浦安沖，京浜運河（神奈川県側）の扇島から大黒にかけて分布していた。

$c_{56}$  は東京湾の湾内に千葉沖から湾中央部にかけて広範囲に分布していた。

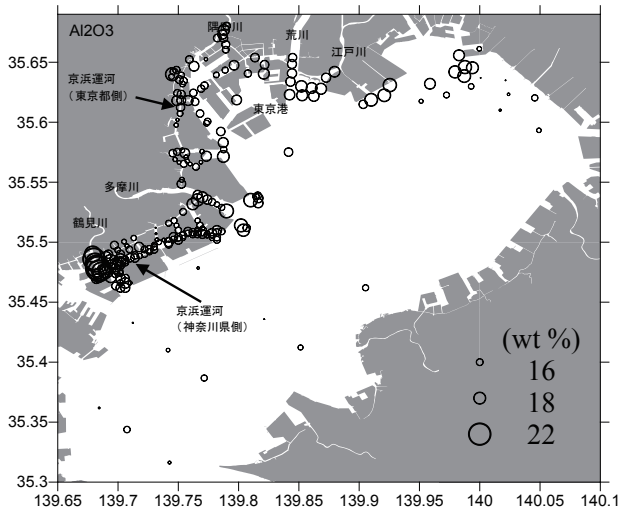
$c_{57}$  は芝浦運河周辺に集中して分布していた。

$c_{58}$  は芝浦運河周辺および京浜運河（神奈川県側）の周辺運河の奥に分布していた。

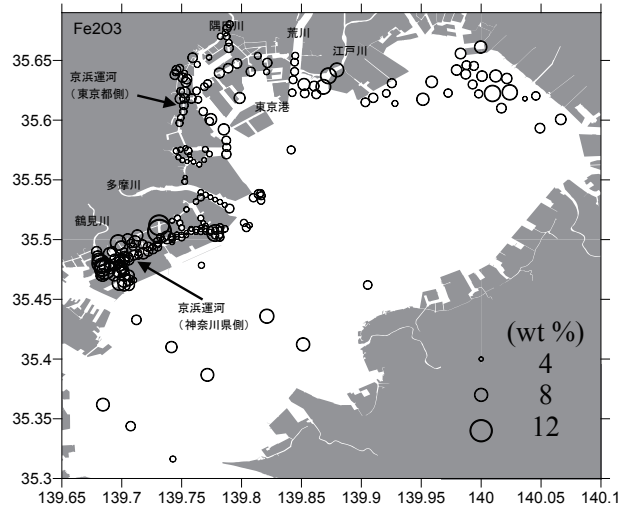
(2) 砂成分

$Al_2O_3$ ,  $K_2O$ ,  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$  の平面分布を図-9に示す。シルト成分と比べて湾中央部および東京港内等の点が少ないのは、底泥中の砂成分が少ないため、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。

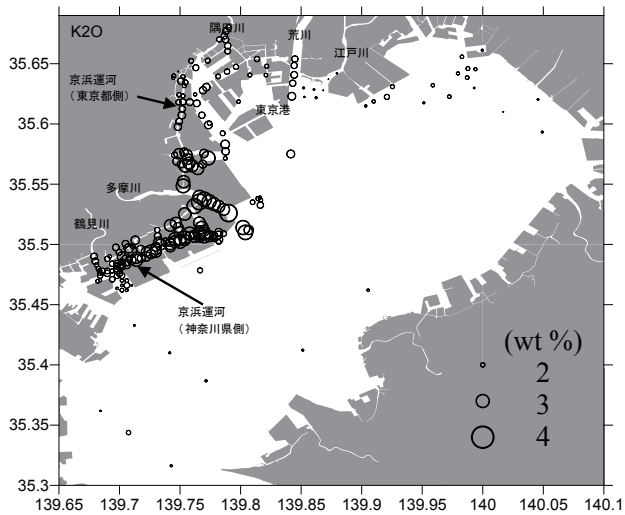
k-means 法によって4つのグループに分けた（図-10）。 $c_{62}$  と  $c_{63}$  は  $K_2O$  が相対的に大きい特徴が一致して



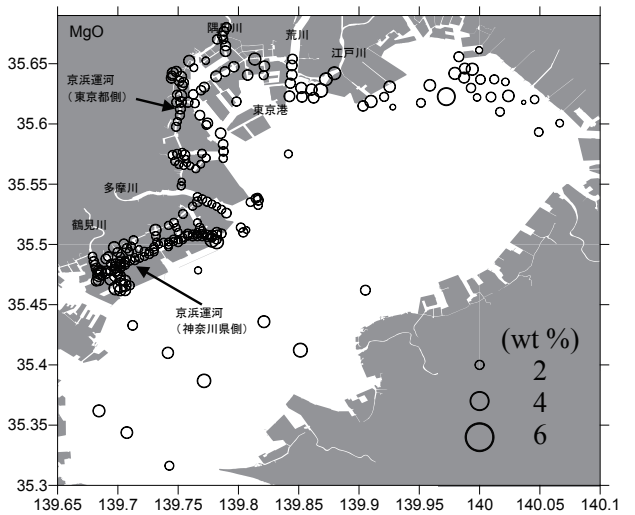
(a)



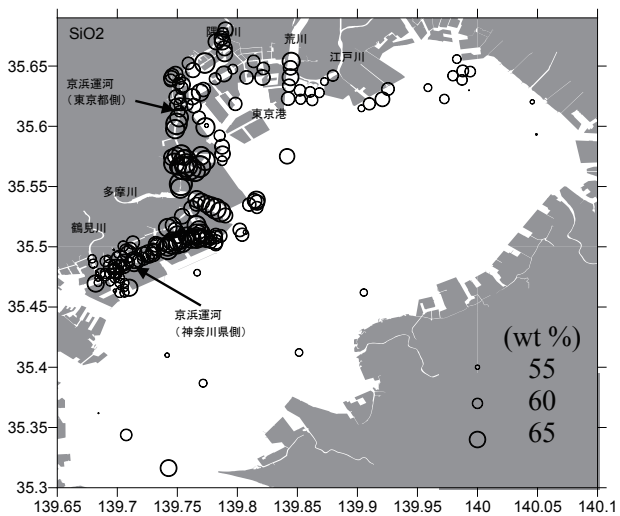
(b)



(c)



(d)



(e)

図-9 砂成分の各化学物質の平面分布. (a)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , (b)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , (c)  $\text{K}_2\text{O}$ , (d)  $\text{MgO}$ , (e)  $\text{SiO}_2$

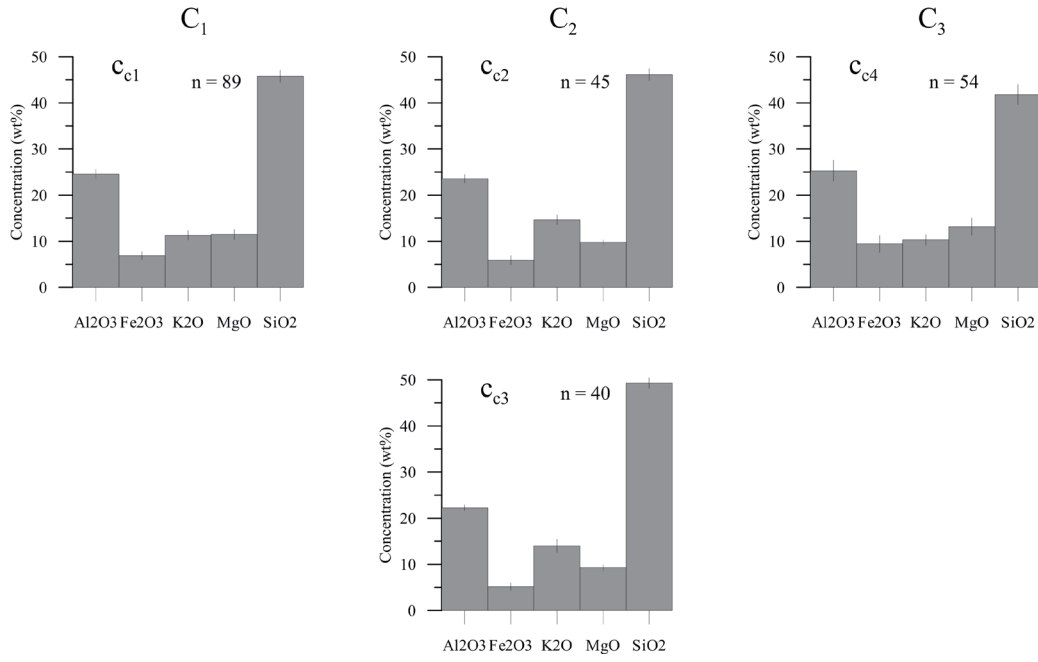


図-10 グループ化された砂成分の化学組成. c は k-means 法でグループ化されたグループの区分であり, C はそらをまとめたグループの区分を示す. n はグループ内のデータ数, 各バーの縦線は±標準偏差を示す.

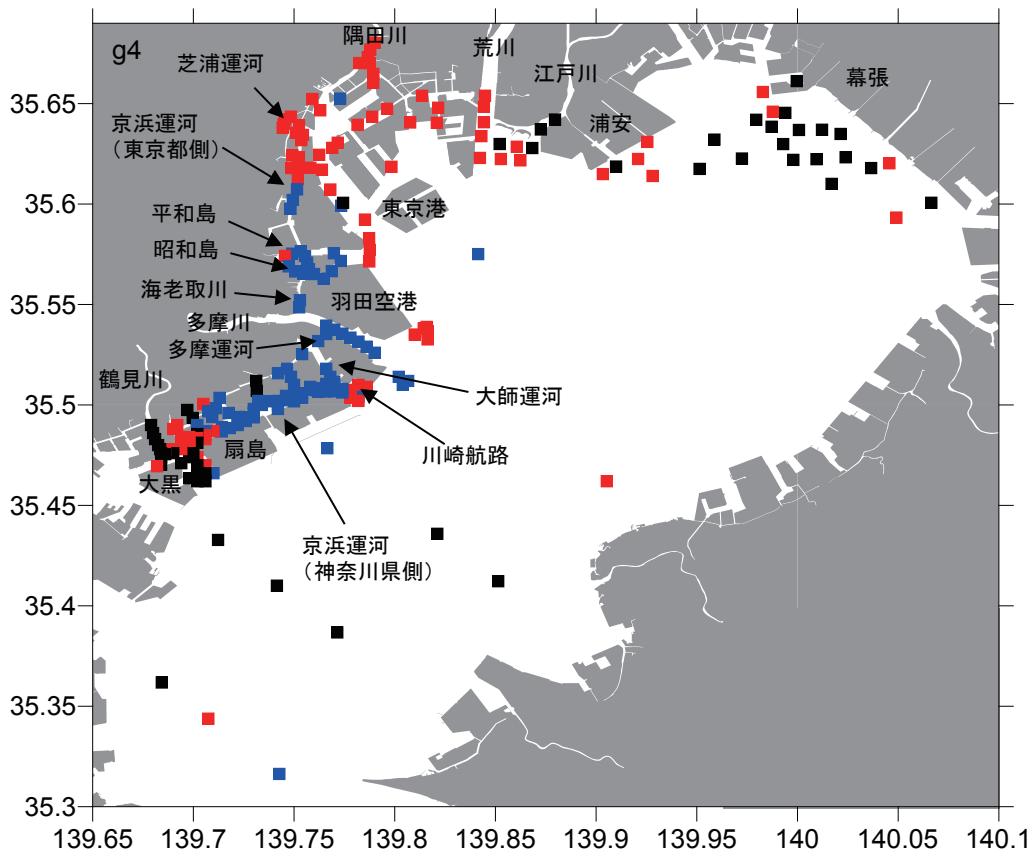


図-11 化学組成によってグループ化されたグループの平面分布 (砂成分). ■ : C<sub>1</sub>, ■ : C<sub>2</sub>, ■ : C<sub>3</sub>.



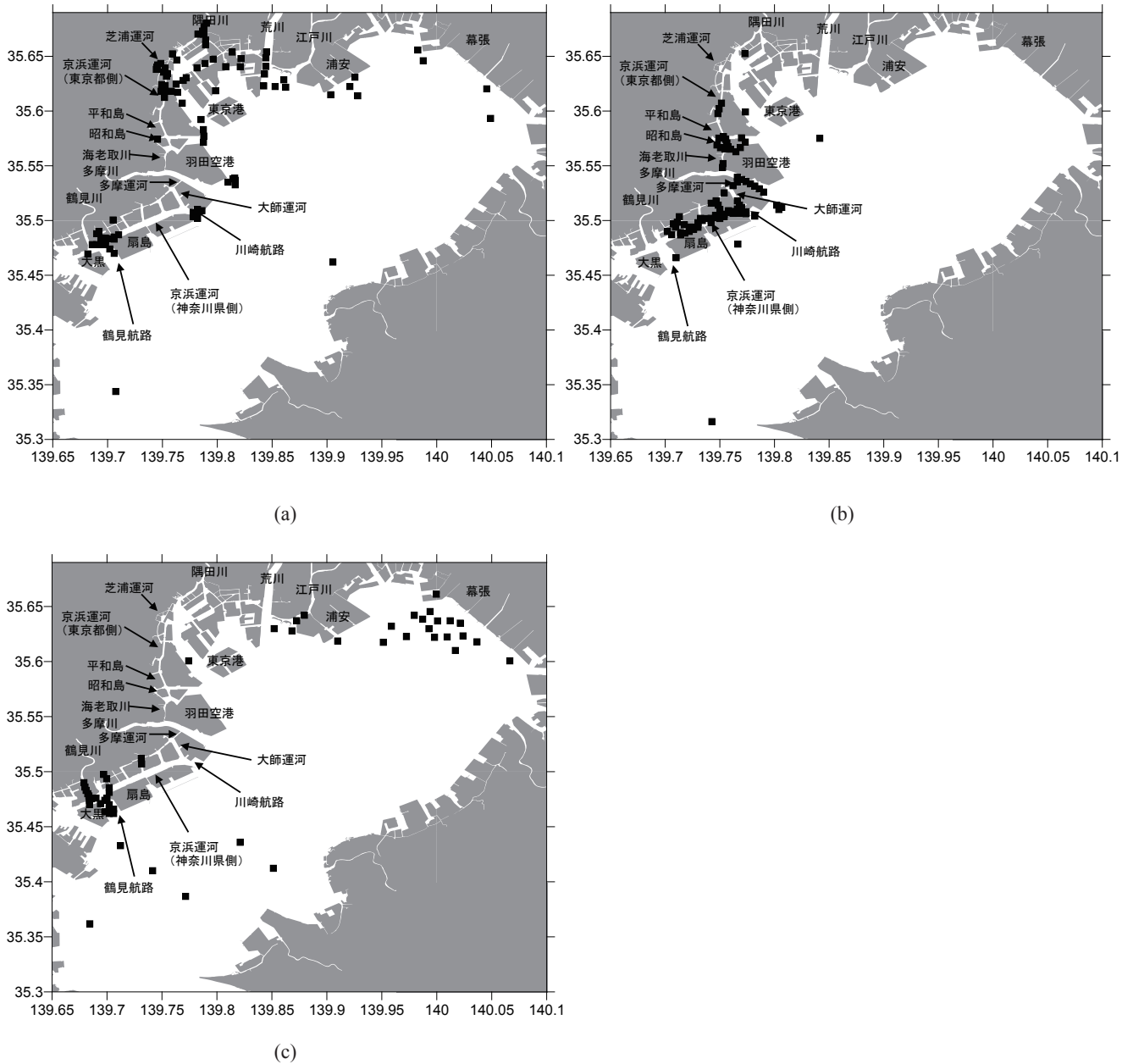


図-12 化学組成によってグループ化された各グループの平面分布 (砂成分). (a)  $C_1$ , (b)  $C_2$ , (c)  $C_3$ .

いたので、一つのグループとしてまとめた。よって、 $c_{e1}$  からなる  $C_1$ 、 $c_{e2}$  および  $c_{e3}$  からなる  $C_2$ 、そして  $c_{e4}$  からなる  $C_3$  に3つにまとめた。それらの空間分布を図-11に示す。

また、白黒印刷版でも判りやすく各グループの分布図を図-12に示す。

$C_1$  は隅田川河口、荒川河口、江戸川河口、京浜運河（東京都側）、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（東京都側）の昭和島周辺、多摩川河口、

京浜運河（神奈川県側）にまとまって分布していた。

$C_3$  は幕張沖、江戸川河口、鶴見川河口および湾中央部に分布していた。

#### 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ることが明瞭になった。有害化学物質および放射性物質等は、

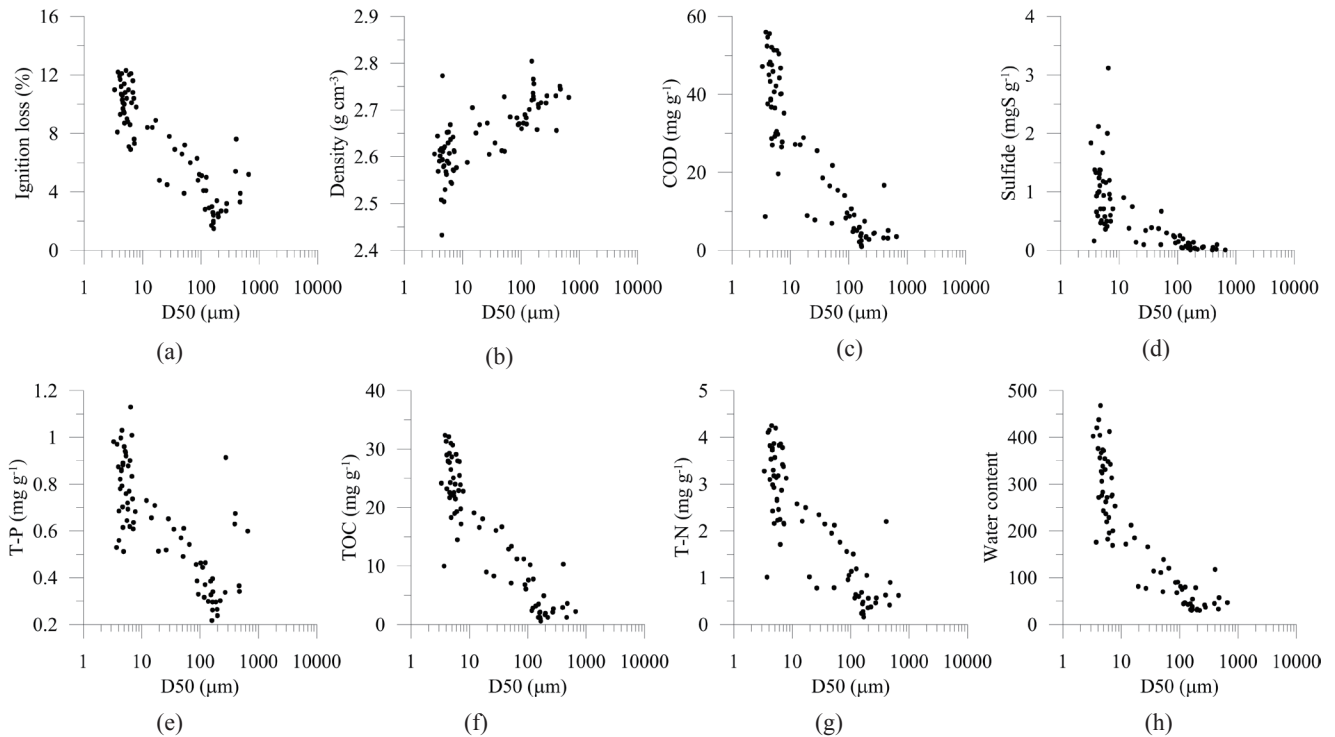


図-13 中央粒径とその他の底泥指標との関係（東京湾）。(a) 強熱減量, (b) COD, (c) TOC, (d) 密度, (e) TP, (f) TN, (g) 硫化物, (h) 含水比。

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と言える。

図-13は、岡田ら（2005）が東京湾の湾内75地点の底泥の各指標を含水比で整理した関係図を、粒度分布の統計値である中央粒径（D50）でまとめ直したものである。底泥の各指標は、粒径との相関が高いことが判る。粒径が小さい底泥ほど、有機物量および栄養塩量が多く、富栄養化している。したがって、この関係性と粒度分布に基づいた底泥分布図から、およその底質の分布も把握することが可能である。

前述したように、粒度分布から、東京湾の広域において有害物質の蓄積のポテンシャルが高いと考えられる。次に気になるのは、「それらのシルト・粘土がどこから流入し、どの経路で輸送されるのか？」である。

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（東京都側）の平和島までは、同じグループ  $c_{s1}$  だった（図-8 (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-8 (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。図-14は2011年7月の台風による降雨の5日後の昭和島周辺の表層の塩分の平面分布である。多摩川から海老取川を通じて低塩分水が昭和島まで広がっていることが判る。これから、シルト・粘土の影響範囲が昭和島へ及んでいることは十分考えられる。

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（神奈川県側）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。

鶴見川に関しては、鶴見川河口のグループ  $c_{s3}$  は河口

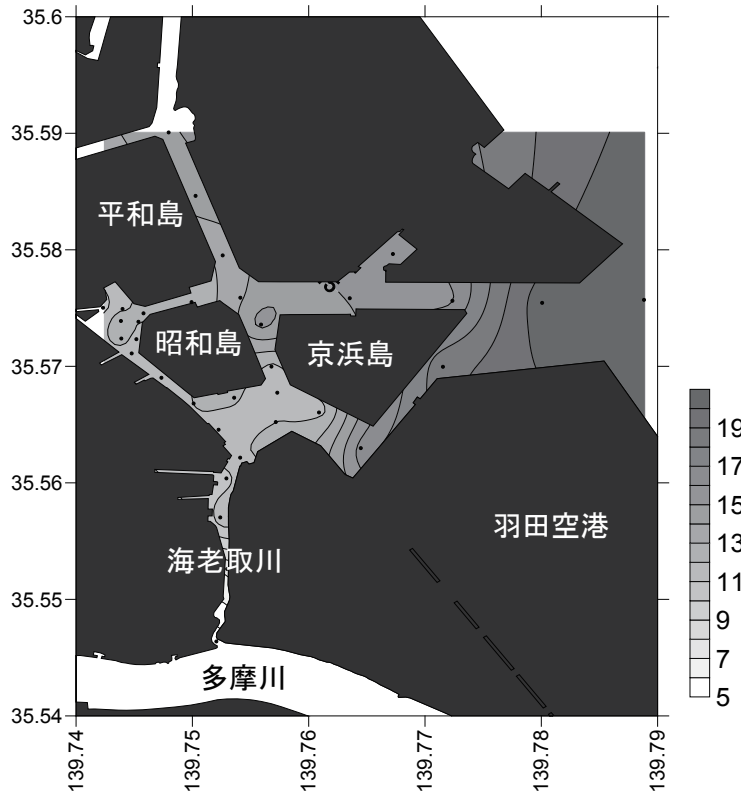


図-14 昭和島周辺の表層の塩分の平面分布 (2011年7月25日)

のみに限定されており (図-8 (c)), 鶴見川からのシルト・粘土が強い影響を及ぼす範囲は河口域のみと考えられる。

$c_{s4}$  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-8 (d)), 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河川の一次影響範囲とするならば、この  $c_{s4}$  は二次影響範囲となる。この推測の確証は高くなく、今後、結晶構造を分析するなどして更なる検討を行う予定である。ここでは、この推測の下で考察する。隅田川、荒川および江戸川由来のシルト・粘土は、湾内に流入した後に、広く湾内に拡散するのではなく、東京湾の西側に沿って南下し、一部は京浜運河 (神奈川県側) に流入していると考えられる。この東京湾の西側に沿った流れは、既往の東京湾の流れの数値計算でも示されており (例えば、田中, 2001), シルト・粘土がこのように分布するのは妥当であると考えられる。

$c_{s5}$  は、その分布 (図-8 (e)) から、二次影響範囲よりも更に弱い三次影響範囲と考えられなくもないが、これに関しては確度はさらに低い。 $c_{s6}$  に対しては、由来に

関して全く判らない。ただ、湾内の湾奥から湾中央部にかけて全ての地点において同じグループ (図-8 (f)) になったことは予想外だった。前述した  $c_{s4}$  と同様に、 $c_{s5}$  および  $c_{s6}$  については、結晶構造を分析するなどして更なる検討をする予定である。

その他の特徴として、芝浦運河の周辺と京浜運河 (神奈川県側) の周辺運河の奥部は、独立したグループ ( $c_{s7}$ ,  $c_{s8}$ ) となった (図-8 (g), (h))。芝浦運河周辺は、粒度分布も他とは異なっていたことから (図-4 (c)), 浚渫または覆砂等による影響があるのかもしれない (未確認)。京浜運河 (神奈川県側) の周辺運河の奥部は、Zn 等も比較的大きかったことから、周辺工場の影響が強く反映されているものと考えている。

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-12 (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 (神奈川県側) にシルト・粘土よりも広範囲に扇島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（神奈川県側）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。

C<sub>1</sub>は隅田川、荒川および江戸川から東京港に集中して分布していたことから（図-12 (a)）、隅田川、荒川および江戸川由来の砂の影響を強く受けていると推測できる。分布が余り明瞭でないのは、この水域の底泥は十分な砂を含んでいことによる欠測地点が多いためである。同じグループが、京浜運河（神奈川県側）の南側に分布していたが、これが隅田川、荒川および江戸川由来とは考え難い。この点について、更なる検討が必要である。

C<sub>3</sub>の一部は鶴見川河口から鶴見航路に分布していた（図-12 (c)）。これらの砂は鶴見川の影響を強く受けていると考えられるが、湾中央部および千葉沿岸に関しては、更なる検討が必要である。

## 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。これによって、有害化学物質等のソースが特定されると、およその分布範囲が推定可能となる。また、生物生息基盤の形成に重要な砂成分の供給経路が推定可能となる。

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を環境の視点から適切に実施する上で重要な基礎情報となるだろう。加えて、本手法は、他の海域に対しても容易に適用可能な技術である。

一方で、考察に当たり、まだ解析が不十分な点が課題になった。今後は、それらについて更なる検討を実施したいと考えている。

(2013年2月14日受付)

## 謝辞

分析に用いた底泥の一部は、関東地方整備局千葉港湾事務所から提供して頂いた。本研究を進めるにあたり、関東地方整備局港湾空港部沿岸管理官付には有益な助言を頂いた。また、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 クラスタ分析，株式会社朝倉書店，206p.
- 岡田知也・古川恵太（2005）：東京湾沿岸域における音響装置を用いた詳細な底質分布図の作成とベントス生息状況，海岸工学論文集，第52巻，pp.1431-1435.
- 岡田知也・グエン・ティエ・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・グエン・ティエ・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，56，pp. 976-980.
- 岡田知也・吉田潤・上村了美・古川恵太（2012）：宮古湾におけるアマモ復元の視点でみた底質状況，国総研資料，第688号，17p.
- 国土交通省港湾局（2003）：海の自然再生ハンドブック 第3巻 藻場編，株式会社ぎょうせい，110p.
- 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：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, 56, pp. 981-985.
- Forrest, J., Clark, N.R. (1989) : Characterizing grain size distribution: evaluation of a new approach using a multivariate extension of entropy analysis, *Sedimentology*, 36, 711-722.
- Forrest, J., Johnston, R.J. (1981) : On the characterization of urban sub-areas according to age structure, *Urban Geography*, 2 (1), 31-40.
- Homens, M.M., Stevens, R.L., Abrantes, F., Cato, I., 2006. Heavy metal assessment for surface sediment from three areas of the Portuguese continental shelf. *Continental Shelf Research*, 26, 1184-1205.
- Matthai, C., Birch, G., 2001. Detection of anthropogenic Cu, Pb and Zn in continental shelf sediments off Sydney, Australia – a new approach using normalization with cobalt. *Marine Pollution Bulletin*, 42 (11), 1055-1063.
- Mikkelsen, O.A., Curran, K.J., Hill, P.S., Milligan, T.G. (2007) : Entropy analysis of in situ particle size spectra, *Estuary, Coastal and Shelf Science*, 72 (4), pp. 615-625.
- Okada, T., Larcombe, P. and Mason, C. (2009): Estimation of the spatial distribution of dredged material disposed of at sea by using particle-size distributions and metal concentrations, *Marine Pollution Bulletin*, 58, 1164-1177.
- Orpin, A.R., Kostylev, V.E. (2006) : Towards a statistically valid method of textural sea floor characterization of benthic habitats, *Marine Geology*, 225, 209-222.
- Woolfe, K.J., Michibayashi, K. (1995) : Basic entropy grouping of laser-derived grain-size data: an example from the great barrier reef, *Computers and geosciences*, 21 (4), 447-462.
- Woolfe, K.J. (1995) : Textural entropy groupings from a modern lake-lagoon system and its ancient analogue, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 38, 256-262.
- Woolfe, K.J., Larcombe, P., Orpin, A.R., Purdon, R.G., Michaelsen, P., McIntyre, C.M., Amjad, N. (1998) : Controls upon inner-shelf sedimentation, Cape York Peninsula, in the region of 12S, *Australia Journal of Earth Sciences*, 45, 611-621.
- Woolfe, K.J., Larcombe, P., Stewart, L.K. (2000) : Shelf sediments adjacent to the Herbert River delta, Great Barrier Reef, Australia, *Australia Journal of Earth Sciences*, 47, 301-308.

---

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 715                      March 2013

編集・発行    ©国土技術政策総合研究所

---

本資料の転載・複写のお問い合わせは

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1  
管理調整部企画調整課      電話:046-844-5019