

～ 付録 5 ～
現地調査の補足

1. はじめに

ここでは、本文5章中に記述していない内容について補足する。

2. 試料採取記録

試料採取は地点DからAの順に行った。以下に調査記録を記す。

[採水船]

- 7:07 鬼崎漁港出航
- 7:42 地点D到着 (h=9.8 m)
- 8:04 地点Dにてニスキン採水器設置
- 8:36 同, ニスキン採水器引き上げ
- 9:00 同, 中層・表層採水
- 9:41 地点C到着 (h=12.9 m, 表層透明度2.3 m)
- 9:50 地点Cにてニスキン採水器設置
- 10:25 同, ニスキン採水器引き上げ
- 10:47 同, 中層・表層採水
- 11:23 地点B到着 (h=10.9 m, 表層透明度2.1 m)
- 11:32 地点Bにてニスキン採水器設置
- 12:36 同, ニスキン採水器引き上げ
- 12:56 同, 中層・表層採水
- 13:34 地点A到着 (h=11.3 m, 表層透明度1.7 m)
- 13:47 地点Aにてニスキン採水器設置
- 14:52 同, ニスキン採水器引き上げ
- 14:57 同, 表層採水
- 14:58 堆積物上0.5 mの採水器のフタが閉まってなく, 再度堆積物上0.5 mのみニスキン採水器設置
- 15:16 同, 中層採水
- 15:58 同, 堆積物上0.5 mのニスキン採水器引き上げ
- 16:14 ニスキン採水器架台引き上げ
- 16:58 地点Dにて採泥

[採泥船]

- 7:10 鬼崎漁港出航
- 7:50 地点Cにてニスキン採水器架台設置 (潜水土の感覚で $v=10$ cm/s, h=12.2 m)
- 9:25 地点Dにて採泥および架台回収 (潜水土の感覚で浮泥層約5 mm, h=10.0 m)
- 10:35 地点Bにてニスキン採水器架台設置 (h=11.1 m)
- 11:25 地点Cにて採泥および架台回収 (潜水土の感覚で $v=0$ cm/s, 透明度 50 cm, h=13.2 m)

- 12:10 地点Aにてニスキン採水器架台設置
- 13:15 地点Bにて採泥および架台回収（潜水士の感覚で $v < 10$ cm/s, 透明度 50 ~ 70 cm, $h = 11.5$ m）
- 14:00 地点Aにて待機
- 16:00 地点Aにて採泥および架台回収（ $h = 11.1$ m）

試料採取の作業状況を写真-1に示す。



9:35 地点Dにて採泥



15:22 地点Aにて採泥



16:01 地点Aにて採水船



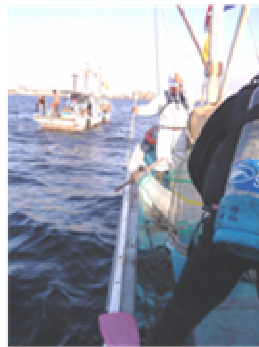
16:10 地点Aにて採泥
採水船(奥)と採泥船(手前)



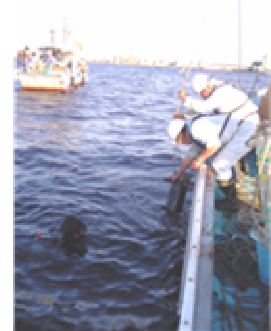
11:32 地点Cにて採泥



15:22 地点Aにて



16:02 地点Aにて
採水船(奥)と採泥船(手前)



16:24 地点Aにて採泥
採水船(奥)と採泥船(手前)



13:31 地点Eにて採泥



15:24 地点Aにて採水船



16:06 地点Aにて採泥



16:48 地点Aにて

写真-1 試料採取の状況

堆積物試料の分析前の状態を写真-2に示す。

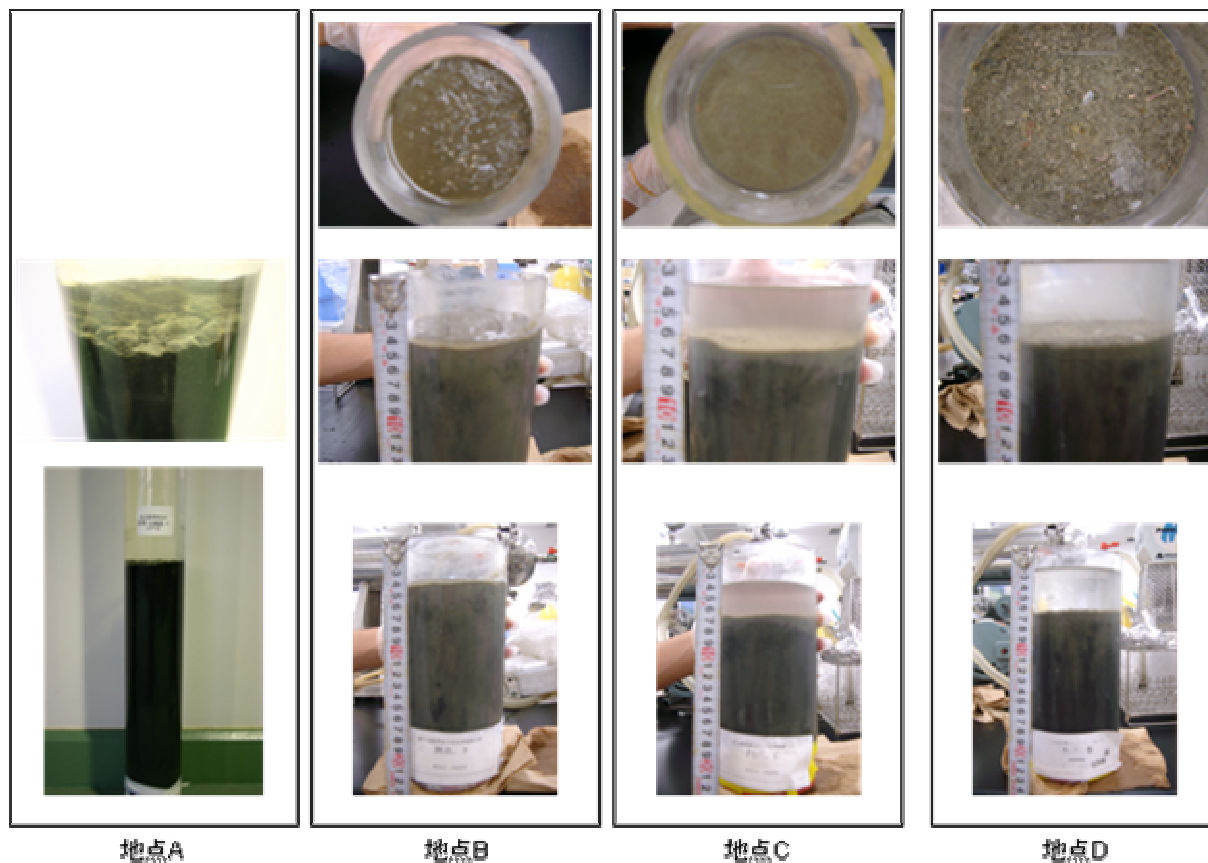


写真-2 分析前の堆積物試料

3. 粒度組成

ニスキン採水器により捕集された懸濁粒子および堆積物表層の粒度分布を図-1に示す。粒度分布はコールターカウンターにて測定した。測定は国土環境株式会社が行った。

懸濁粒子について、主構成の粒径は各地点とも水面下の方が堆積物上より大きい。堆積物上1.0 m以内の主構成（上位4クラスとした）の粒径を地点別に比較すると、地点Aでは8～25 μm の範囲であり、地点Bでは4～16 μm 、地点Cでは5～12 μm 、地点Dでは8～20 μm であった。水面下を比較すると全地点において10～32 μm の範囲であり大きな差はない。

堆積物については、地点Aはほぼ粘土およびシルトで構成されている。港口の地点ほど砂分が多くなる傾向にある。シルト・粘土（ $d=0.075\text{ mm}$ 以下）の含有率は、地点Aで98%、地点Bで92%、地点Cで79%、地点Dで57%であった。

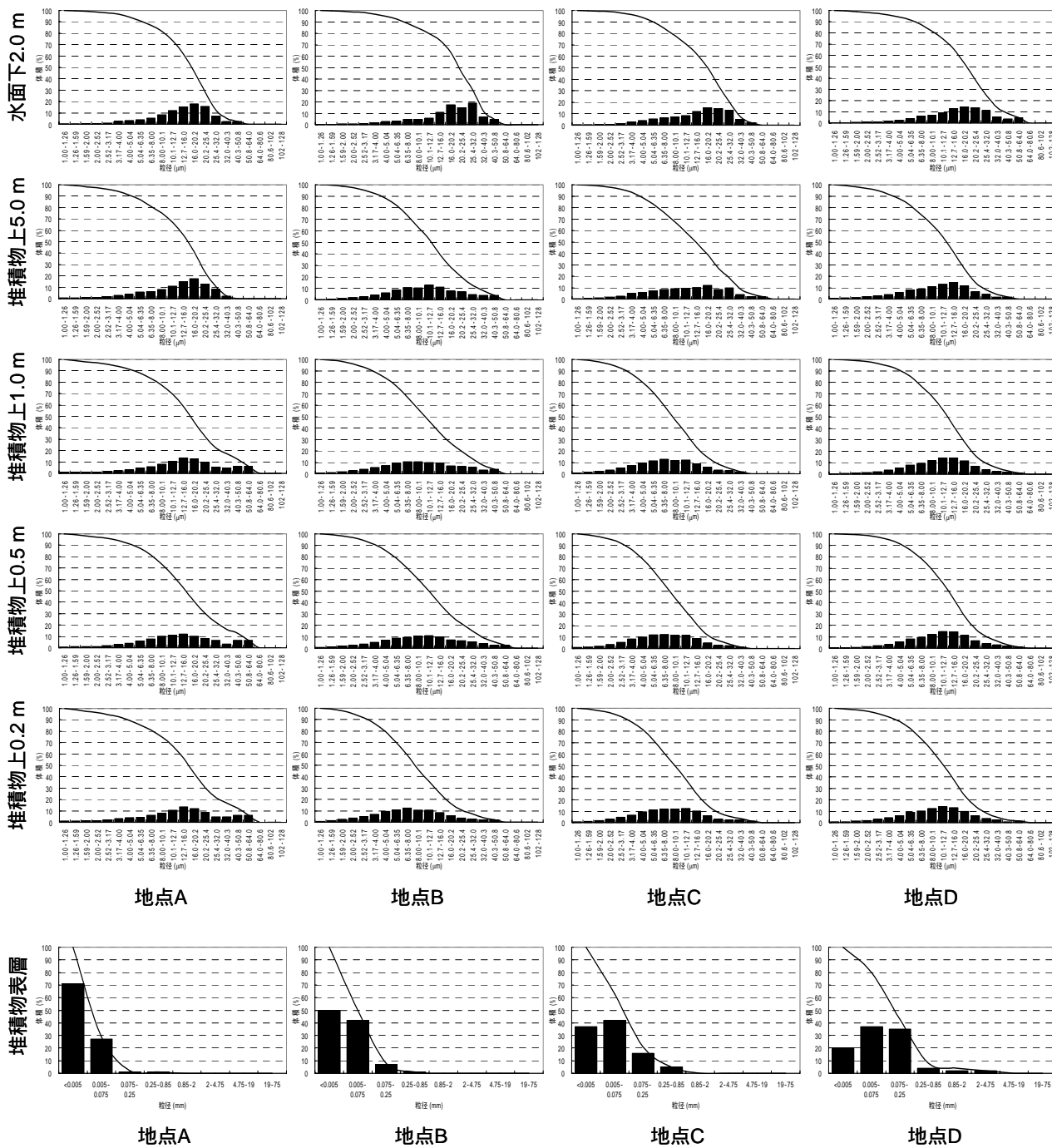


図-1 懸濁粒子および堆積物粒子の粒度組成

4. その他の物性

海水試料のSS、TOC、TON、T-P、T-N、窒素酸化物、クロロフィル、フェオティチンの測定結果を表-1に示す。また堆積物試料の含水比、強熱減量、密度、TOC、TON、T-P、AVSを表-2に示す。測定は国土環境株式会社が行った。

さらに、海水試料および堆積物試料のTOC、C/N比、同位体比を表-3(a)(b)に示す。分析は港空研にてCNアナライザー（FlashEA）を用いて行った。

ここに、海水試料のSS、堆積物試料の含水比（表-4参照）およびTOCは、港空研におい

ても有機スズ化合物を分析した試料において測定したため，港空研での分析値を本文に採用している．

表-1 海水試料（国土環境㈱にて分析）

地点	SS (mg/L)	TOC (mg/L)	TON (mg/L)	T-P (mg/L)	T-N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	クロフィル (μg/L)	フェオフィチン (μg/L)	
A	水面下2.0 m	3	1.7	0.30	0.143	0.864	0.042	0.128	0.394	13.0	7.5
	堆積物上5.0 m	2	1.3	0.23	0.118	0.548	0.027	0.078	0.210	1.7	1.5
	堆積物上1.0 m	2	1.3	0.21	0.121	0.514	0.029	0.086	0.187	0.2	1.2
	堆積物上0.5 m	2	1.3	0.17	0.119	0.461	0.028	0.094	0.161	0.3	1.5
	堆積物上0.2 m	3	1.2	0.32	0.143	0.672	0.027	0.067	0.253	0.1	0.7
B	水面下2.0 m	3	1.6	0.33	0.126	0.875	0.051	0.148	0.338	12.7	6.6
	堆積物上5.0 m	3	1.4	0.22	0.093	0.530	0.037	0.116	0.151	1.8	2.2
	堆積物上1.0 m	18	1.5	0.16	0.071	0.305	0.038	0.041	0.065	0.6	4.4
	堆積物上0.5 m	11	1.5	0.16	0.065	0.291	0.039	0.040	0.046	0.6	2.9
	堆積物上0.2 m	6	1.2	0.12	0.060	0.277	0.036	0.044	0.075	0.5	2.0
C	水面下2.0 m	4	1.6	0.31	0.124	0.895	0.048	0.176	0.352	7.3	4.0
	堆積物上5.0 m	4	1.5	0.29	0.090	0.629	0.035	0.109	0.187	5.4	3.2
	堆積物上1.0 m	4	1.2	0.16	0.061	0.293	0.035	0.055	0.039	0.5	1.6
	堆積物上0.5 m	5	1.1	0.14	0.061	0.272	0.035	0.057	0.039	0.5	1.4
	堆積物上0.2 m	5	1.1	0.16	0.062	0.303	0.034	0.055	0.049	0.4	1.3
D	水面下2.0 m	4	1.4	0.23	0.082	0.501	0.037	0.113	0.121	7.0	4.4
	堆積物上5.0 m	3	1.0	0.09	0.052	0.225	0.031	0.066	0.029	0.6	1.0
	堆積物上1.0 m	12	1.3	0.18	0.073	0.334	0.051	0.088	0.009	0.8	2.7
	堆積物上0.5 m	12	1.2	0.16	0.070	0.311	0.047	0.084	0.019	0.7	2.1
	堆積物上0.2 m	9	1.2	0.16	0.069	0.332	0.055	0.077	0.039	0.8	2.0

表-2 堆積物試料（国土環境㈱にて分析）

地点	含水比(%)	強熱減量 (%)	密度 (g/cm ³)	TOC (mg/g)	TON (mg/g)	T-P (mg/g)	AVS (mg/g)
A	571.5	12.8	2.42	42.7	2.21	0.76	3.26
B	253.8	13.4	2.57	41.5	2.27	0.66	0.96
C	149.7	5.8	2.54	17.1	1.26	0.53	0.73
D	86.8	4.4	2.63	5.7	0.65	0.40	0.13

表-3(a) 海水試料（港空研にて分析）

地点	深度	Total N (TN) (重量%)	Total C (TOC) (重量%)	C / N	15N (%)	13C (%)
E	水面下2.0 m	16.671	83.804	5.031	7.761	-20.977
	セディメントトリアップ底上3.0m	0.283	2.542	8.983	4.599	-22.855
	セディメントトリアップ底上0.5m	0.298	2.210	7.413	5.289	-22.370

表-4 堆積物試料（港空研にて分析）

地点	深度(cm)	含水比 (%)	
コアA	0 ~ 2	1	751.7
	2 ~ 5	3.5	570.0
	5 ~ 10	7.5	459.6
	10 ~ 15	12.5	383.6
	15 ~ 20	17.5	467.8
	20 ~ 25	22.5	324.5
	25 ~ 30	27.5	243.9
	30 ~ 35	32.5	305.4
	35 ~ 40	37.5	283.1
	40 ~ 45	42.5	180.7
コアB	0 ~ 2	1	211.8
	2 ~ 10	6	192.3
	10 ~ 14	12	164.4
コアC	0 ~ 2	1	128.6
	2 ~ 10	6	97.6
	10 ~ 14	12	73.8
コアD	0 ~ 2	1	101.5
	2 ~ 10	6	78.3
	10 ~ 16	13	54.0

表-3(b) 堆積物試料（港空研にて分析）

地点	深度 (cm)	Total N (TN) (重量%)	Total C (TOC) (重量%)	C / N	15N (%)	13C (%)	
A	0 ~ 2	0.662	5.187	7.834	5.945	-22.344	
	2 ~ 5	0.490	4.383	8.939	4.769	-23.424	
	5 ~ 10	0.365	3.728	10.226	3.985	-23.867	
	10 ~ 15	0.333	3.432	10.318	4.175	-24.065	
	15 ~ 20	0.383	3.925	10.255	3.709	-23.890	
	20 ~ 25	0.298	3.358	11.279	2.592	-23.630	
	25 ~ 30	0.291	3.144	10.788	2.537	-24.010	
	30 ~ 35	0.282	2.970	10.535	1.729	-24.040	
	35 ~ 40	0.236	2.654	11.237	1.507	-24.797	
	40 ~ 45	0.151	1.856	12.294	1.672	-24.549	
	B	0 ~ 2					
		2 ~ 10	0.253	4.522	17.869	5.043	-24.457
10 ~ 14		0.238	4.438	18.658	4.547	-24.599	
C	0 ~ 2	0.195	2.264	11.638	5.779	-23.398	
	2 ~ 10						
	10 ~ 14	0.098	1.612	16.425	3.205	-25.779	
D	0 ~ 2	0.087	0.700	8.079	4.574	-21.640	
	2 ~ 10						
	10 ~ 16	0.063	0.591	9.413	3.539	-21.455	
E	0 ~ 0.5	0.169	1.693	10.002	4.032	-24.313	
	0.5 ~ 2	0.151	1.501	9.968	3.856	-23.800	

5. 巻き上げを考慮した回帰フラックス

名古屋港における堆積物から海水中へのTBT回帰ポテンシャル量を、汚染度別に3つのエリアに分け（5章中図-1参照）、以下の式(1)(2)にて算定を行う。

$$\text{【溶出Flux】 } F_D = \frac{D}{d}(C_p - C_w) \times 1000 \quad (1)$$

$$\text{【巻き上げFlux】 } F_R = q \times \Phi_s \quad (2)$$

ここに、 F_D ：溶出フラックス（ng-Sn/m²/day）、 F_R ：巻き上げフラックス（ng-Sn/m²/day）、 D ：拡散係数（m²/day）、 d ：境膜の厚さ（m）、 C_p ：堆積物間隙水中の溶存態濃度（ng-Sn/m³）、 C_w ：海底面直上水中の溶存態濃度（ng-Sn/m³）、 q ：堆積物中の粒子態濃度（ng-Sn/g-dry）、 s ：単位面積当り巻き上げられる粒子重量（g-dry/m²/day）とする。

q および C_p は堆積物表層15cmの堆積物濃度および間隙水濃度の地点間平均値とした。 C_w は海底面上5.0mにおける海水ろ過試料の平均濃度を用いた。巻き上げ粒子重量 s は地点Eで捕集された粒子重量¹⁾とし全てのエリアにおいて同値とした。物質移動定数 D/d は渡辺ら²⁾の最小値および最大値を引用した。以上より、回帰フラックス算定結果を表-5に示す。溶出フラックスは C_p の効果でエリア および が大きい。また巻き上げフラックスは q の効果でエリア が最も大きい。本試算では、名古屋港において1日あたり約5～16g-SnのTBTが堆積物から海水中に回帰する結果となった。

表-5 名古屋港における堆積物からのTBT回帰フラックス

Area: A(km ²)	8.3	24.9	49.8
Flux: $F=F_D+F_R$ (gSn/km ² /day)	0.18 ~ 0.23	0.08 ~ 0.21	0.05 ~ 0.18
Release flux: F_D (gSn/km ² /day)	0.01 ~ 0.06	0.04 ~ 0.17	0.04 ~ 0.17
Transport coefficient: D/d (m/day)	0.12 ~ 0.57		
Concentration in the pore water: C_p (ngSn/L)	0.14	0.37	0.36
Concentration in the water column: C_w (ngSn/L)	0.04	0.07	0.06
Resuspension flux: F_R (gSn/km ² /day)	0.17	0.04	0.01
Concentration in the sediment: q (ngSn/g-dry)	22.58	5.33	1.44
Resuspension weight: s (g/m ² /day)	7.48		
Total flux of each area: $F \times A$ (gSn/day)	1.50 ~ 1.88	1.88 ~ 5.15	2.31 ~ 8.92
Total flux of Nagoya Port (gSn/day)	5.69 ~ 15.95		

6. 地点別の挙動フラックス

本文中では懸濁粒子濃度 q_w の数値は示していない。懸濁粒子濃度は、海水の未ろ過試料とろ過試料の濃度差が懸濁粒子濃度として算出したが、未ろ過試料の前処理時において、懸濁有機物が存在すると回収率が悪くなる現象が起こったため、参考値扱いとし、本文中には示していない。

表-6にフラックス算定における設定値を示す。

濁粒子濃度 q_w を含めた境膜厚 $d=0.2$ mmでのフラックス図を図-2に示す。

また本文中と同条件で、境膜厚 $d=1.5$ mmとしたフラックス算定結果を図-3に示す。地点Cを除いて、海水中の溶形態TBTと懸濁粒子との吸脱着関係が $d=0.2$ mmの算定結果と逆のフラックスになっている。

表-6 フラックス算定の設定値

地点	A	B	C	D	
水深 h (m)	11.3	10.9	12.9	9.8	
堆積物第一層厚 d_1 (m)	0.1	0.1	0.1	0.1	
堆積物第二層厚 d_2 (m)	0.05	0.04	0.04	0.06	
堆積物第一二層間距離 d_{12} (m)	0.075	0.07	0.07	0.08	
堆積物粒子密度 (10^3 kg/m ³)	2.42	2.57	2.54	2.63	
堆積物中の間隙率	0.92	0.83	0.71	0.68	
海水中の拡散係数 D_R (10^{-5} m ² /day)	TBT	4.86			
	DBT	5.13			
	MBT	5.47			
堆積物中の拡散係数 D_S (10^{-5} m ² /day)	TBT	4.11	3.35	2.45	2.25
	DBT	4.34	3.53	2.59	2.37
	MBT	4.63	3.77	2.76	2.53
海水中の分解速度 λ_w (day ⁻¹)	TBT	0.0346			
	DBT	0.0539			
	MBT	0.0041			
堆積物中の分解速度 λ_s (day ⁻¹)	TBT	0.0015			
	DBT	0.0023			
	MBT	0.0002			

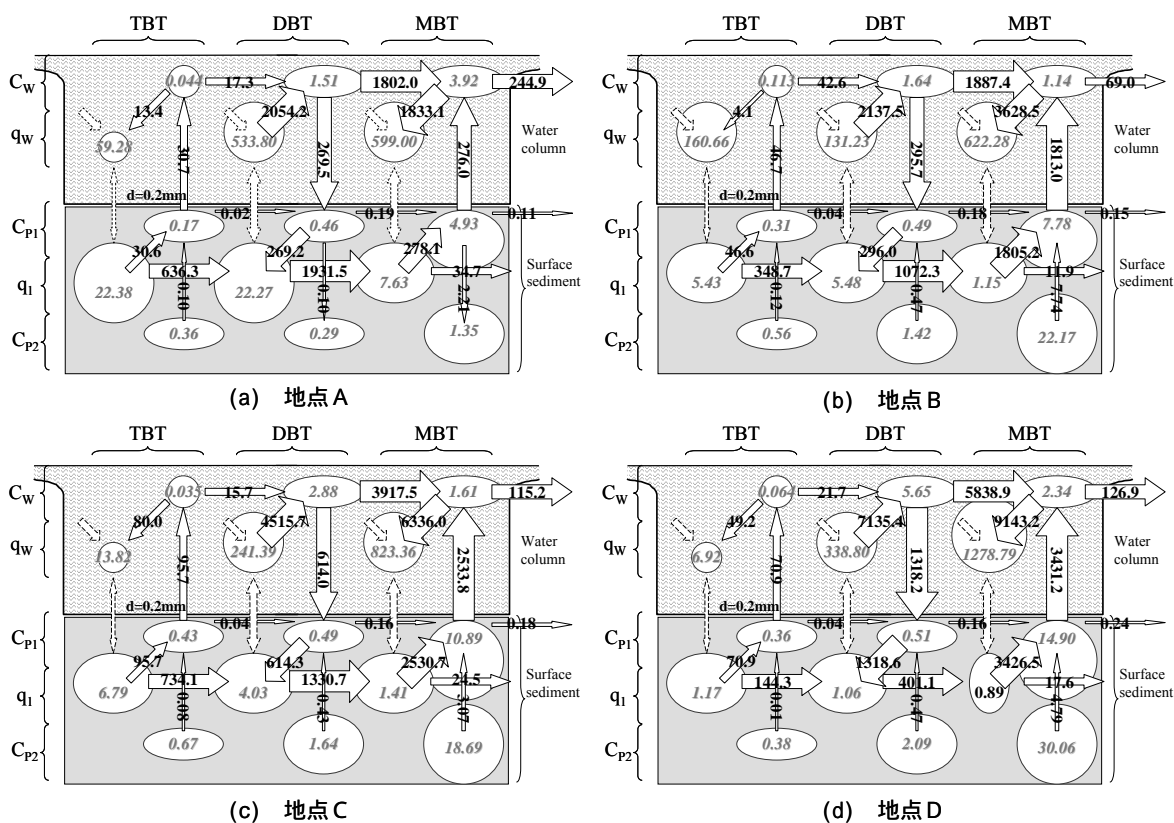


図-2 各地点のフラックス ($d=0.2$ mm)

(q_1, q_w : ng-Sn/g-dry, C_{P1}, C_{P2}, C_w : ng-Sn/L, Flux : ng-Sn/m²/day)

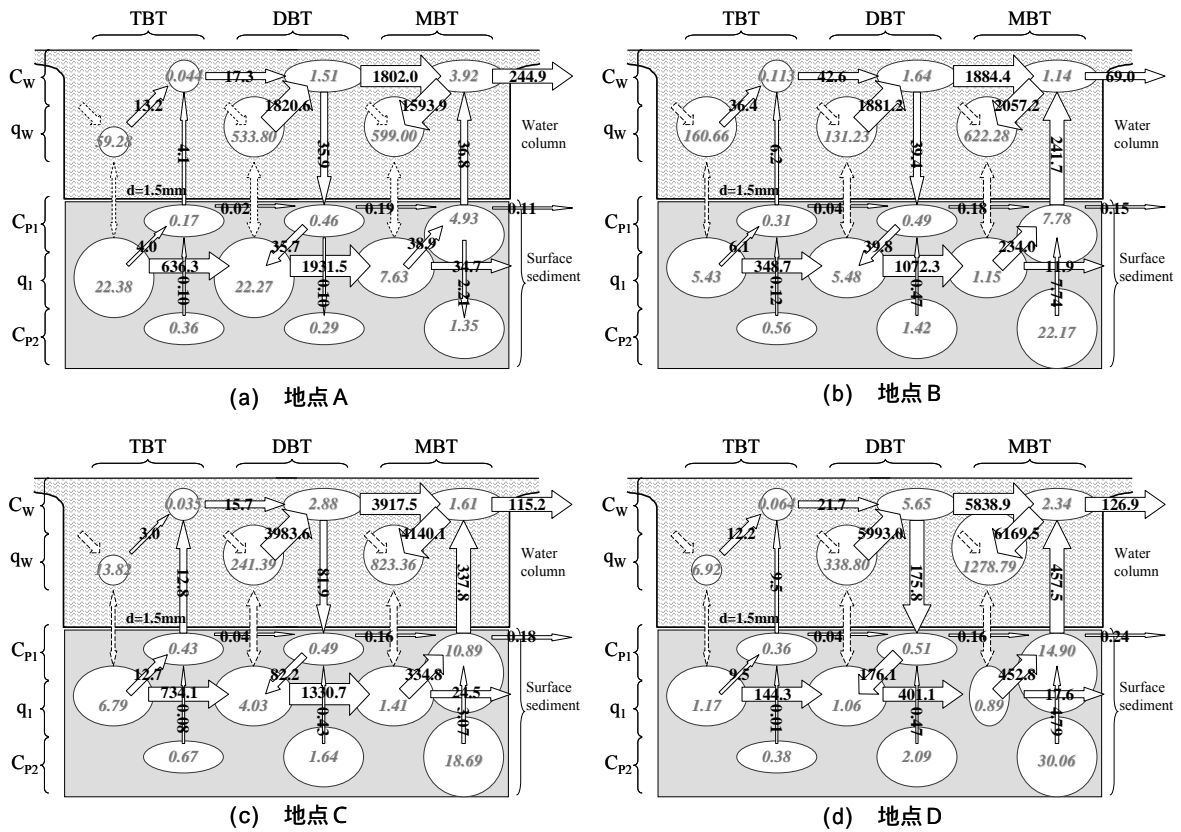


図-3 各地点のフラックス (d=1.5 mm)
 (q₁, q_w : ng-Sn/g-dry, C_{p1}, C_{p2}, C_w : ng-Sn/L, Flux : ng-Sn/m²/day)

7. 全試料の分析値範囲

本調査における全地点全試料の濃度およびK_dの最大値および最小値を図-4に示す。ここに図中のC_wは海水中の全層における溶存態濃度を、q_wは海水中の全層における懸濁粒子含有濃度を、C_pは堆積物全層における間隙水中濃度を、qは堆積物全層における粒子含有濃度を指す。

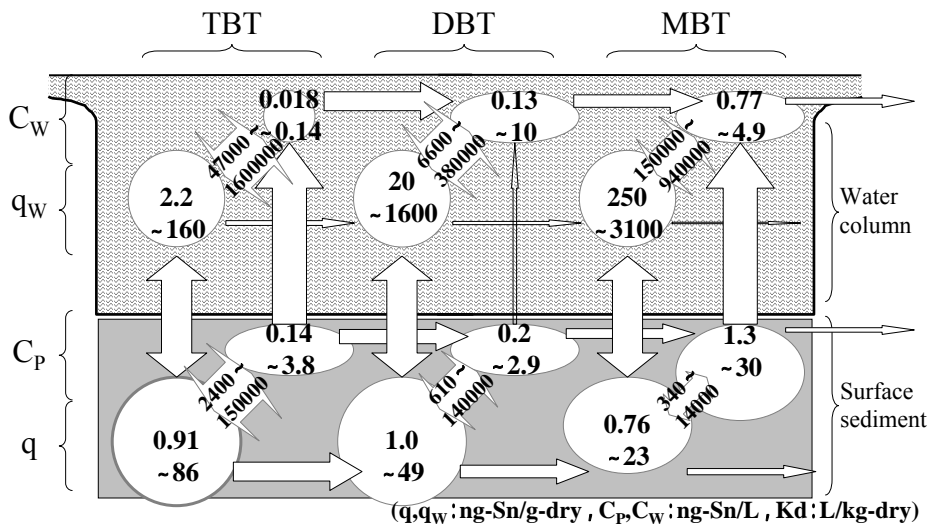


図-4 全地点全試料の濃度およびK_dの最大値および最小値

参考文献

1) 付録 7 および

山崎智弘，中村由行，加賀山亨，益永茂樹：堆積物中に含まれる有機スズ類の水中回帰に関する現地調査，海岸工学論文集，52，pp. 971-975，2005.

2) 渡辺信久，酒井伸一，高月紘：水 - 底質系におけるブチルスズの動態と環境運命，水環境学会誌，15(10)，pp. 672-682，1992.