

日本の沿岸海域堆積物における生物・海水起源物質の地球化学的研究

寺島 滋¹・今井 登¹・池原 研¹・片山 肇¹・野田 篤¹・
太田充恒¹・岡井貴司¹・御子柴(氏家)真澄¹

Shigeru Terashima, Noboru Imai, Ken Ikehara, Hajime Katayama, Atsushi Noda, Atsuyuki Ohta, Takashi Okai and Masumi (Ujiie) Mikoshiba (2004) Geochemistry of biogenic silica, carbonate materials and sea salts in the coastal marine sediments around the Japanese islands. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 55(5/6), p.153 - 169, 10 figs., 4 tables.

Abstract: In order to characterize the geochemical behavior of elements in the biological and sea salts origin materials, the whole major elements together with the biogenic silica (Bio.SiO₂), carbon dioxide (CO₂), and water soluble chlorine (Cl) were analyzed for about 200 coastal marine sediments collected around the Japanese islands. The average abundance of Bio.SiO₂ is the most higher in sediments from off SE Hokkaido which have been affected by the Oyashio current. The sediments from off Tokai situated in the region of the Kuroshio current are clearly depleted in Bio.SiO₂. The Bio.SiO₂ and Cl are generally enriched in the fine sediment fraction than the coarse one, and positively correlated with water depth of the sampling stations. The CO₂ is dominant in the coarse sediment distributed in relatively shallower water depth. Although most representative carbonate mineral is CaCO₃, dolomite is occurred in some samples containing a large amount of CO₂. It is considered that all the heavy metals containing toxic trace elements are not enriched in the sediments of Bio.SiO₂, carbonate minerals and sea salts. In general, most heavy metals are contained more in fine fractions than coarse fractions of sediments, and those are sometimes enriched during the early diagenesis. The evaluation of biological and sea salts origin materials in the coastal marine sediments will be indispensable for estimation of geologic background in the catchment area.

Keywords: Coastal marine sediment, biogenic silica, carbonate material, sea salt, element distribution, geochemical behavior, around the Japanese islands

要 旨

日本の沿岸海域堆積物における生物・海水起源物質に伴う元素の地球化学的挙動を解明するため、堆積環境の異なる海域で採取された約200試料について通常の主成分のほか生物源シリカ(Bio.SiO₂)、二酸化炭素(CO₂)、水溶性塩素(Cl)等を分析した。Bio.SiO₂は、微細な堆積粒子と行動をともし、水深の大きい海域の細粒堆積物で高濃度を示す。海域別では、北海道南東部沿岸の親潮海域が最も高く、ついでオホーツク海がやや高い。能登半島-新潟沖は中間的で、黒潮の影響下にある東海沖では低い。石灰質堆積物に由来するCO₂は、Bio.SiO₂とは逆に浅海の粗粒堆積物中で高濃度を示す。海塩に由来するClは、いずれの海域においても砂、シルト、粘土の順に高濃度になる。Bio.SiO₂に伴って濃縮される主な成分はSiで、石灰質堆積物にはCa, Mg, Sr, CO₂が、海塩にはCl, Na, SO₄²⁻, Mg, Ca, K等が濃縮される。しかし、Fe, Mnをはじめとする重金属類は生物・海水起源物質によっては濃縮されないと考えられた。重金属類は、一般に粗粒堆積物よりも細粒堆積物中で高濃度を示し、元素によっては続成作用に伴って濃縮される。沿岸海域の堆積物の化学組成の特徴から後背地

の地質特性を推定するためには生物・海水起源物質の影響を補正し、珪酸塩起源物質の化学組成を求める必要がある。

1. はじめに

沿岸海域の海底堆積物中の元素濃度分布を図化したものが沿岸海域地球化学図であり、環境科学、地球化学、地質学等の分野における重要な基礎資料である。筆者らは、地質調査船「白嶺丸」によって採取された堆積物試料を分析対象として十数年前から沿岸海域地球化学図に関する基礎的研究を継続しており、得られた成果の一部は既に公表されている(例えば、Terashima *et al.*, 1991, 1993, 1999, 2002; 寺島・片山, 1993; 寺島ほか, 1993, 1995, 1998, 2001, 2002, 2003, 2004a; 今井ほか, 1997)。

一方、日本の全陸域を対象とする地球化学図作成計画「地球化学図による全国的な有害元素のバックグラウンドと環境汚染評価手法の高度化に関する研究」が環境省の試験研究調査委託費により、平成11~15年度に実施された。この研究では、日本の全域から系統的に蒐集された河川堆積物約3000試料中の有害微量元素を含む約50元素が分析され、地質的要因、鉱床や温泉との関係、粒度組成、人為

¹地質情報研究部門(Institute of Geology and Geoinformation, GSJ)

的な影響等について総合的な解析が行われた(今井ほか, 2004; Ohta *et al.*, 2004a,b; 太田ほか, 2004).

全陸域を対象とした地球化学図が完成したこと、「白嶺丸」による沿岸海域の調査と試料採取が進展し、一部を除いて北海道から九州沿岸海域までがほぼ終了しつつあること等を契機とし、日本の全沿岸海域を対象とした地球化学図の作成計画「日本沿岸海域地球化学図による有害元素等のバックグラウンドと環境汚染評価手法の高度化に関する研究(今井 登グループ長)」が陸域の場合と同様に環境省の委託費により平成16年度を初年度とする4箇年計画で開始された。この研究では、有害元素を含む約50元素の全国沿岸海域地球化学図を作成し、堆積物中の元素濃度を支配する要因としての後背地の地質、粒度組成、海洋環境中で挙動、生物濃縮、続成作用、人為的影響との関係等を総合的に解明する予定である。

本研究は、全国沿岸海域地球化学図の作成にあたり、これまでの基礎的研究で十分な検討がなされていない、沿岸海域における生物起源物質としての珪質堆積物と石灰質堆積物、及び海水起源物質としての海塩に伴う元素の分布と挙動の解明を主目的とし、堆積環境の異なる5海域で採取された約200試料を分析・解析した結果をとりまとめたものである。

2. 調査海域の概要

本研究では、能登半島沖、新潟沖、北海道北東部沖、北海道南東部沖、東海沖(第1図A-D参照)を調査対象海域とした。これら海域における海底地形・地質・堆積物等については、有田ほか(1979)、片山(1989)、片山ほか(1991, 1994)、片山・池原(2001)、中嶋ほか(1995)、Ikehara *et al.* (1999)、池原ほか(2001)、野田ほか(2002, 2003, 2004)によって詳しく報告されており、その概要は以下のようにまとめられる。

2.1 能登半島沖

能登半島周辺の大陸棚、縁辺台地、大陸斜面及び富山湾の水深56~2,634 mで採取された試料(粗粒砂-粘土質堆積物、一部泥質角礫岩を含む。第1図、第A-1表参照)を分析対象とした。本海域の陸棚上の地形的に高まった場所には貝殻片や石灰藻を主体とする粗粒な石灰質堆積物が分布し、縁辺台地、大陸斜面の一部には基盤岩(堆積岩類、火山岩類)が露出する。本海域は、富山湾内を除いて平常時南西方向から北東方向に向かう対馬暖流の影響を受けている。富山湾には、庄川、神通川、黒部川、姫川等多くの河川が流入しており、湾内の表層海水の塩分濃度は対馬暖流よりもやや低いので、Ca濃度も低いことが予想される。

2.2 新潟沖

能登半島沖と新潟沖の区分は厳密なものではないが、

主として石灰質堆積物の分布状況を比較するため区分した。第1図Aからわかるように、両者の境界は糸魚川市のほぼ北方延長線上にある。この海域は富山深海長谷の最深部に近く、採泥点の最大水深は1,916 mである。この海域を含め、日本海の水深の大きい海底の表層には地殻存在量(約0.1%)の10倍以上のMnを含む堆積物が広く分布し、このMnの濃集は続成作用に起因する(Yin *et al.*, 1989; 寺島・片山, 1993)。佐渡島周辺海域の採泥点の水深は46~146 mであり、能登半島周辺の石灰質堆積物が卓越する海域の水深と同程度である。しかし、後述するように、石灰質堆積物の分布は能登半島周辺よりも少ない。

2.3 北海道北東部沖

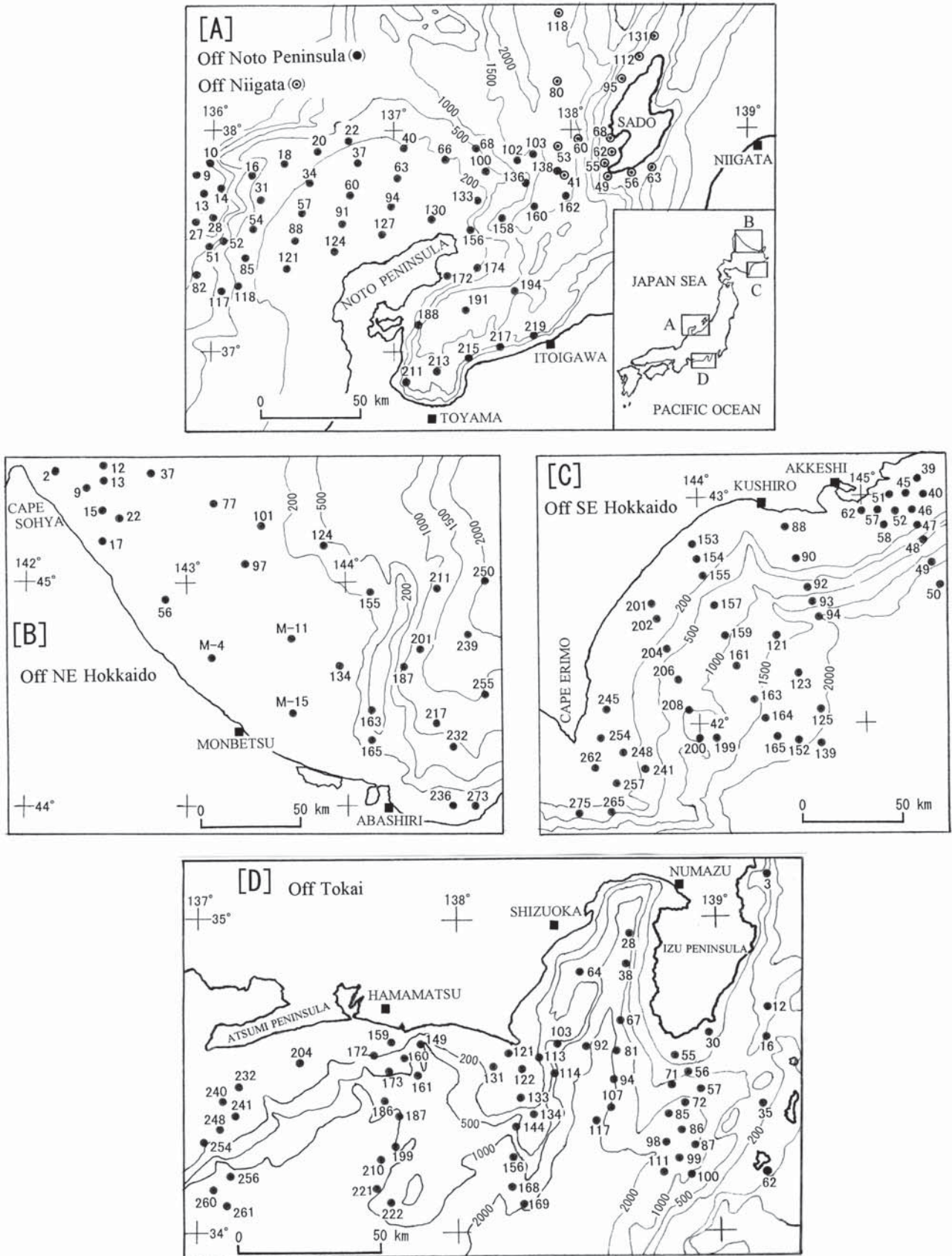
宗谷岬の東方から知床半島に至るオホーツク海沿岸海域である(第1図B)。調査海域の西半分には水深200 m以下の広い陸棚があり、北東部に向かって深度が増加し、最深部では約2,000 mに達する。北西部の宗谷海峡周辺及び南東部の網走付近等の一部には露岩や礫の分布が認められるが、全体として水深の浅い海域には粗粒砂が、深い海域には粘土質堆積物が分布する。生物起源の石灰質粒子は、宗谷海峡東方の粗粒堆積物中で多く、東方に向かって減少する。田辺・坂本(2002)によれば、本調査海域は対馬暖流の分流である宗谷暖流とアムール川からの淡水で希釈された低塩分水であるオホーツク海表層低塩分水、海水ブライン水起源の低温・高塩分の中冷水等の影響を受ける。そして各水塊の影響度は季節によって異なるが、概括的には沿岸から約50 kmまでの砂質堆積物は主として宗谷暖流の影響下で堆積したと解釈されている。

2.4 北海道南東部沖

襟裳岬の南方から厚岸の南東海域に至る太平洋沿岸海域である(第1図C)。調査海域内の陸棚は、海岸から約25 kmの幅を持ち、その幅はほぼ一定である。最大水深は、南東海域にあり約2,200 mに達する。陸棚上には主として粗粒砂-極細粒砂が広く分布し、水深の増加に従ってシルト質-粘土質の細粒堆積物が卓越する。本海域は、一年を通じて北から南へ向かう親潮(千島海流)の影響を受けている。また、夏から秋にかけては北海道沿岸オホーツク海を流れた宗谷暖流の一部が千島列島の南部から太平洋へ抜けて道東沿岸流として調査海域の沿岸部を南下し、冬から春にかけては千島列島を抜けた東サハリン海流が沿岸親潮として調査海域の沿岸付近を南下する(田中, 2002)。本海域では、石灰質堆積物の分布は厚岸付近の一部を除き極めて少ない特徴がある。

2.5 東海沖

渥美半島の南方から伊豆半島東方の太平洋沿岸海域である(第1図D)。海底地形は変化に富んでおり、陸棚は渥美半島と御前崎の南方でやや広いが、その他では海岸か



第1図 試料採取地点.

Fig. 1 Sampling sites for coastal marine sediments.

ら10 km程度以下で狭い、駿河湾の中央部からその南方では水深が2,000 mを越える。貝殻破片等に富む石灰質堆積物は、御前崎や伊豆半島の南方海域に広く分布する。他の海域と同様に、陸棚域では砂質堆積物が、沖合の海盆やトラフでは粘土-シルト質堆積物が卓越する。陸域の地質特性を反映して、渥美半島付近の砂は花崗岩由来の、伊豆半島南方のそれは火山岩由来の碎屑物を含む。本海域は、日常的に黒潮(日本海流)の強い影響下にあり、日本海側の能登半島沖に比べて堆積粒子は相対的に粗粒で、堆積環境は酸化的である。

3. 試料及び分析方法

3.1 試料

これまでに得られている重金属の分析データや調査地点の水深、石灰質堆積物の分布状況等を考慮して、能登半島沖から53、新潟沖から14、北海道北東海域から30、北海道南東海域から47、東海沖から60の合計204試料を選定した。これらの試料の大部分は、Grab採泥で得られた試料の表層部1~2 cmをプラスチック容器に入れて実験室に持ち帰り、その約20 gを分取して約70 °Cで乾燥し、めのう粉砕機で約100メッシュ以下に粉砕したものである。

3.2 分析方法

主成分元素: 試料0.1 gをテフロンビーカ(50 ml)に採り、フッ化水素酸4 ml、過塩素酸2 ml、硝酸2 mlで加熱分解し、蒸発乾固した後に硝酸(1+1)2.5 mlと精製水約5 mlを加えて加温・溶解した。メスフラスコ(50 ml)に移し入れ、精製水で標線まで希釈した。本溶液中のTi, Al, Mg, Ca, Na, Kをセイコー電子工業製のSPS7700型ICP発光分光分析装置で定量した。Fe, Mnは既存のデータを使用した。Siの定量では、試料50 mgを白金ルツボ(25 ml)に採り、 Na_2CO_3 0.3 gと H_3BO_3 0.03 gを加え、混合した。最初小さな炎のガスバーナーで加熱した後、約1,000 °Cで2~3分間加熱して完全に融解した。放冷し、HCl(1+1)3.5 mlを加え、 CO_2 の発泡がほぼ終了した時点で精製水約3 mlを加え、約300 °Cの熱板上で溶液が透明になるまで2~3分間加熱した。放冷した後、メスフラスコ(100 ml)に移し入れ、精製水で定容とした。上記のICP発光分光分析装置(高塩濃度用ネブライザーを装着)を使用し、Siを定量した。強熱減量(LOD)は、試料0.2 gを1,000 °Cで約2時間加熱して求めた。

生物源シリカ(Bio.SiO₂): 試料25 mgをポリエチレン製の遠沈管(30 ml)に採り、 Na_2CO_3 溶液(5%)25 mlを加え、テフロン製の時計皿でおおい、沸騰水浴中で約2時間加温して可溶性シリカを溶解した。冷却した後精製水で希釈して100 mlとし、混合した。この溶液の約10 mlを分取して遠心分離し、上澄み液中のSiとAlを亜酸化窒素-アセチレンフレイムを用いる原子吸光法で定量した(ICP発光分光分析法では塩濃度が高く分析困難)。この溶解操作では、生物

源シリカのほか粘土鉱物等の一部が溶解するため、Alを定量して粘土鉱物等に由来するSi濃度を補正する必要がある。次式によってBio.SiO₂濃度を算出した。

$$\text{Bio.SiO}_2(\%) = \text{全SiO}_2\text{溶出量}(\%) - 2.5 \times \text{Al}_2\text{O}_3\text{溶出量}(\%)$$

二酸化炭素(CO₂): 炭酸塩鉱物は1M酢酸溶液による処理で溶解する(岡井, 1998)ので、この処理で溶出するCa, Mgは炭酸塩鉱物と海塩に由来すると仮定して以下の方法で定量した。まず、試料50 mgをビーカ(50 ml)に採り、1M酢酸5 mlを加えて混合した後、約15時間(一夜間)放置する。メスフラスコ(50 ml)に移し入れ、Sr塩化物溶液(Sr40 mg/ml)2.5 mlを加え、水で定容として混合し、上澄み液中のCa, Mgを原子吸光法で定量する。このCa, Mg濃度から、海塩に由来するCa, Mg濃度を差し引いた後、炭酸塩鉱物由来のCO₂濃度を算出する。なお、海塩に由来するCa, Mg濃度は、試料中の水溶性塩素濃度から、Cl:Ca:Mgの濃度比は海水における濃度比と等しいと仮定して計算によって算出した。

水溶性塩素(Cl): 試料0.1~0.2 gをビーカ(300 ml)に採り、水約200 mlを加えて混合した。クロム酸カリウム溶液(5%)1, 2滴を指示薬として加え、M/20硝酸銀標準溶液で滴定し、Cl濃度を算出した。

4. 結果と考察

分析対象とした全試料の海域別の採取地点番号と試料の概要、主成分及びBio.SiO₂, CO₂, Cl等の分析結果を第A-1表に示した。採取地点の緯度、経度等の詳細は既に報告されており(片山, 1989; 片山ほか, 1991; Ikehara *et al.*, 1999; 池原ほか, 2001; 野田ほか, 2002, 2003, 2004), Cu, Pb, Zn, Co, Ni等重金属の分析値も公表した(寺島・片山, 1993; 今井ほか, 1997; Terashima *et al.*, 1999; 寺島ほか, 2001, 2002, 2003, 2004)のでここでは割愛する。また、分析試料のうち基盤岩由来と考えられる泥質角礫岩等を除外した各海域の堆積物を砂, シルト, 粘土に区分して平均値を算出した結果を第1表に、各測定項目間の相関係数を第2表に示した。

4.1 Bio.SiO₂濃度の広域的变化

Bio.SiO₂の広域的濃度分布を第2図に示した。最も濃度が高いのは北海道南東海域の水深1,000 m以深の泥質堆積物であり、9試料が20~30%を示した。ついで北海道沿岸オホーツク海の水深の大きい海域の試料が高濃度である。能登半島沖-新潟沖は中間的で、7試料で12~14%が得られた。東海沖の試料はBio.SiO₂に乏しい特徴があり、最高値が6.3%である。第4図には、試料採取地点の水深と堆積物中のBio.SiO₂濃度の関係を示してある。東海沖海域を除外すると水深の増加に伴ってBio.SiO₂濃度が高くなるが、これはBio.SiO₂を含む粒子が岩石由来の碎屑物に比べて軽く、水深の大きい海域に堆積しやすいためであろう。このこ

第1表 海域別の成分濃度平均値.

Table 1 Regional averaged constituent concentrations.

		WD	T. SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	LOI	Bio. SiO ₂	CO ₂	Cl	
	(n)	(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
Off Noto Peninsula	Sand	16	174	36.75	0.28	7.33	3.61	0.12	2.19	22.20	2.77	1.69	31.57	1.86	17.38	1.21
	Silt	25	680	56.96	0.49	11.83	5.33	0.09	2.17	2.82	4.96	2.33	9.75	5.31	1.07	3.16
	Clay	9	1853	52.37	0.44	10.98	4.57	0.32	2.53	1.29	6.52	2.16	18.91	11.33	0.18	5.35
	(Average)	(50)	729	49.67	0.41	10.24	4.64	0.14	2.24	8.75	4.54	2.09	20.27	5.36	6.13	2.93
Off Niigata	Sand	9	98	51.39	0.33	10.54	4.90	0.06	2.54	11.92	2.95	2.09	26.50	1.64	8.47	1.05
	Clay	5	1810	52.67	0.40	12.82	5.77	0.80	3.47	1.46	5.17	2.20	13.57	8.22	0.01	4.32
	(Average)	(14)	709	51.85	0.36	11.35	5.21	0.33	2.87	8.18	3.75	2.13	18.74	3.99	5.45	2.22
	Off NE Hokkaido	Sand	14	116	57.91	0.32	9.17	3.81	0.06	1.89	10.95	2.62	1.46	6.49	2.23	7.59
Silt		5	378	62.03	0.40	11.48	4.33	0.04	2.42	1.29	3.94	2.06	11.07	9.97	0.01	2.74
Clay		9	1175	59.58	0.36	10.50	4.57	0.05	2.61	1.03	4.26	1.95	14.39	17.08	0.01	3.65
(Average)		(28)	503	59.18	0.35	10.01	4.15	0.05	2.22	6.04	3.38	1.72	9.71	8.39	3.80	1.93
Off SE Hokkaido	Sand	20	153	60.01	0.49	14.86	5.05	0.10	2.17	5.87	3.76	1.46	5.47	3.39	0.63	0.94
	Silt	21	1158	59.85	0.42	11.37	4.08	0.06	1.71	3.74	4.85	1.42	13.51	15.70	0.19	3.14
	Clay	4	1589	58.06	0.33	8.62	3.29	0.05	1.42	3.09	5.85	1.46	19.98	26.17	0.01	5.16
	(Average)	(45)	749	59.76	0.44	12.67	4.44	0.08	1.89	4.63	4.45	1.44	9.92	11.16	0.37	2.34
Off Tokai	Sand	41	627	56.55	0.35	10.50	5.05	0.11	2.00	9.76	3.08	1.96	8.53	1.93	6.26	1.01
	Silt	10	1292	58.26	0.50	13.32	5.71	0.10	2.55	2.78	4.09	2.57	10.04	3.45	1.33	2.39
	Clay	8	1483	55.42	0.46	13.04	5.05	0.09	2.44	4.20	4.42	2.54	12.16	4.86	2.49	2.98
	(Average)	(59)	855	56.69	0.39	11.32	5.16	0.10	2.16	7.83	3.43	2.14	9.29	2.62	4.91	1.51
All the samples	(196)	738	55.61	0.40	11.17	4.72	0.12	2.18	7.10	3.96	1.91	12.12	6.26	4.06	2.17	

第2表 分析成分間の相関係数.

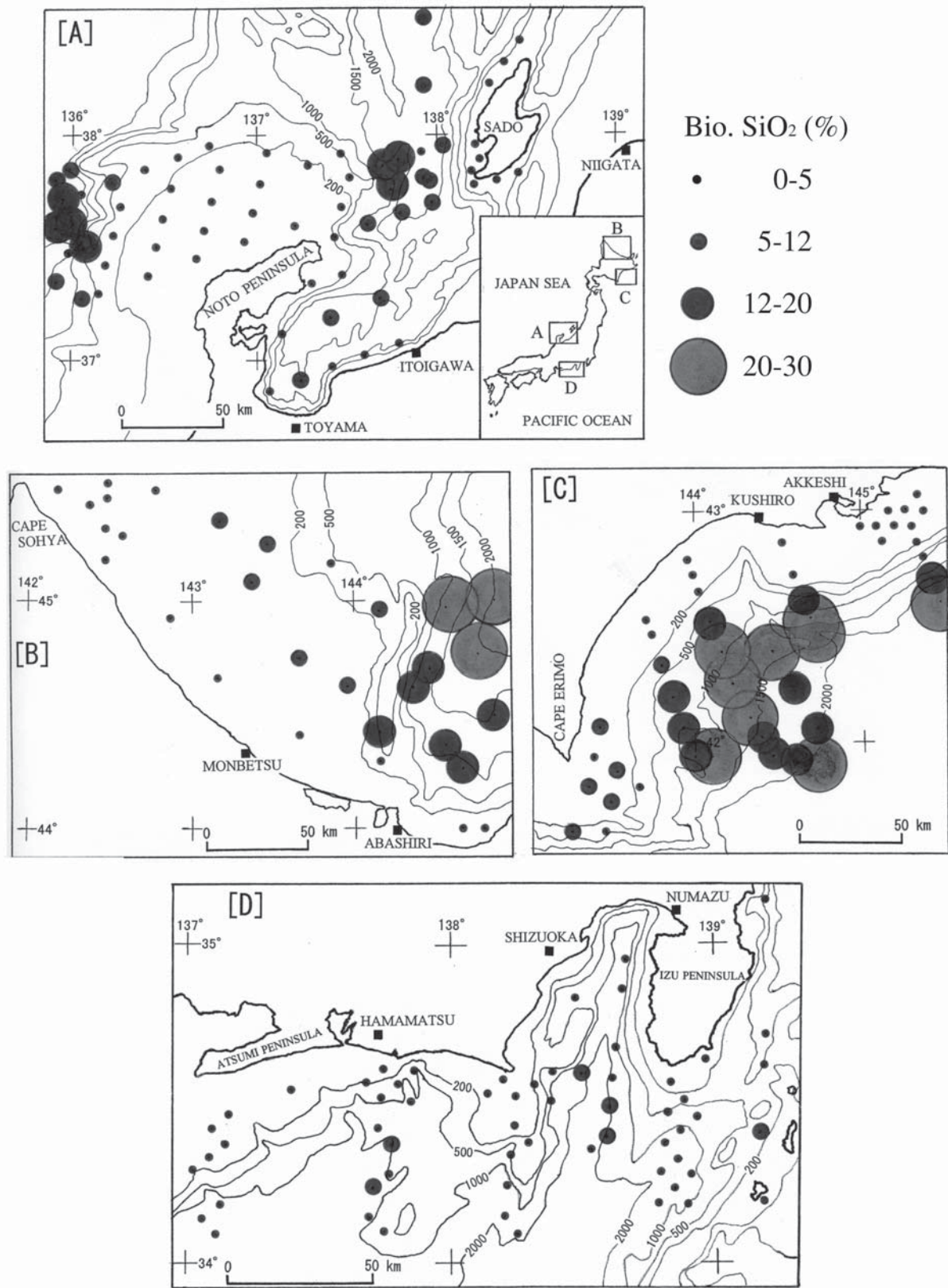
Table 2 Correlation coefficient matrix for studied sediments.

	W. D.	T. SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	T. Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	LOI	Bio.SiO ₂	CO ₂	Cl	Cu	Pb	Zn	Cr
T. SiO ₂	0.07																	
TiO ₂	0.17	0.32																
Al ₂ O ₃	0.15	0.63	0.76															
T. Fe ₂ O ₃	0.10	0.14	0.63	0.44														
MnO	0.28	-0.10	0.05	0.06	0.24													
MgO	0.18	-0.33	0.44	0.16	0.48	0.24												
CaO	-0.33	-0.89	-0.52	-0.73	-0.30	-0.08	0.10											
Na ₂ O	0.60	0.28	0.37	0.40	0.06	0.26	0.04	-0.61										
K ₂ O	0.16	0.51	0.18	0.40	0.17	0.07	-0.14	-0.58	0.26									
LOI	0.08	-0.92	-0.52	-0.81	-0.42	0.10	0.15	0.82	-0.15	-0.43								
Bio.SiO ₂	0.55	0.12	0.03	-0.05	-0.12	0.05	-0.06	-0.34	0.62	-0.16	0.20							
CO ₂	-0.28	-0.93	-0.65	-0.87	-0.43	-0.02	0.13	0.99	-0.72	-0.66	0.97	-0.29						
Cl	0.65	0.00	0.15	0.04	-0.03	0.30	0.12	-0.38	0.88	0.14	0.26	0.74	-0.30					
Cu	0.60	0.06	0.51	0.36	0.37	0.16	0.37	-0.35	0.52	0.21	-0.09	0.32	-0.37	0.53				
Pb	0.28	-0.23	0.16	0.03	0.33	0.39	0.36	-0.03	0.28	0.30	0.20	0.00	0.04	0.36	0.36			
Zn	0.41	0.22	0.75	0.58	0.68	0.27	0.49	-0.53	0.48	0.37	-0.36	0.18	-0.60	0.42	0.68	0.55		
Cr	0.22	0.08	0.36	0.24	0.40	0.13	0.51	-0.28	0.22	0.39	-0.14	-0.04	-0.29	0.21	0.36	0.30	0.43	
Ni	0.23	-0.12	0.25	0.14	0.36	0.29	0.62	-0.07	0.11	0.27	0.03	-0.14	-0.09	0.14	0.34	0.39	0.41	0.80

とは堆積物の粒度との関係にも表れており、いずれの海域においても砂、シルト、粘土の順にBio.SiO₂は高濃度になる(第1表)。

全海洋の堆積物中のBio.SiO₂濃度の概要はLisitzin (1966)が報告しており、南アフリカ-オーストラリアの南方に位置する南極海が最も高濃度で、70%以上を示す海域がある。太平洋では、赤道付近の生物生産が活発な海域と北緯30°以北が周辺よりも高濃度である。日本列島周辺では、北海道-東北沿岸の太平洋とオホーツク海で10~30%、能登半島-新潟沖と東海沖はともに5%以下の海域に区分されており、全体的な傾向は本研究結果に類似する。杉村(1972)によれば、Bio.SiO₂の起源物質としては珪藻、放散虫、海綿、珪質鞭毛虫が重要であり、堆積物中のBio.SiO₂濃度は

表層水中の生物生産量、陸源・火山・石灰質堆積物による希釈度、Bio.SiO₂の溶解速度等によって支配されている。また、平均河川水中のSi濃度(4,000 μg/kg)は海水中のそれ(1,000 μg/kg)より高い(杉村, 1972)。東海沖を北上する黒潮は、赤道付近の活発な生物生産の影響で表層水のSi濃度が相対的に低下しており、またSiに富む河川水の影響も小さいために珪藻等の生産量が少なく、これが東海沖の堆積物中Bio.SiO₂が低濃度を示す原因の一つと考えられる。一方、北海道東方を南下する親潮は、珪質堆積物から再溶出したSi等栄養塩に富む太平洋深層水の影響を受けており、オホーツク海にはアムール川をはじめとする河川を通じたSiの供給が考えられ、これらが北海道周辺海域の堆積物がBio.SiO₂に富む要因であろう。



第2図 堆積物中Bio.SiO₂の濃度変化.

Fig. 2 Regional variation of Bio.SiO₂ content in the sediments.

4.2 CO₂濃度の広域的变化

浅海の炭酸塩堆積物のほとんどは海の動植物を通して生成されたもので、軟体動物の貝殻とその破片が主体であり、藻類、さんご虫、有孔虫類、海綿等に由来する場合もある。堆積物中のCO₂濃度は、動植物による生産量、陸起源碎屑物等による希釈度、炭酸塩物質の溶解速度等によって支配される(北野, 1972)。本研究結果において、CO₂に富む堆積物は水深が浅い海域に分布するが(第3, 4図)、海底地形の高まりやその周辺でCO₂が高濃度を示すのは一般的な傾向で、生物生産量が高いこと、陸起源の碎屑物やBio. SiO₂等による希釈度が低く、堆積速度が遅いためであろう。能登半島沖の水深200 m以下の堆積物中CO₂濃度の平均は15.82%(n=18)で、新潟沖のそれ(8.47%, n=9)の約2倍である。この原因としては、能登半島沖が新潟沖よりも海流の上流域にあること、新潟沖の海水は富山湾経由の河川水の影響を受けており、また地形的な高まりの中心に佐渡島があるため海流の流速が速くなる等動植物の生育と遺骸の蓄積条件が悪いことが考えられる。北海道の北東海域及び南東海域では、水深200 m以浅の海域が沿岸部に広がっているが、CO₂に富む堆積物は海流の上流域にのみ分布する傾向がある(第3図B, C)。

海底堆積物中のCO₂濃度は、Bio. SiO₂の場合とは逆に粗粒堆積物で高く、細粒堆積物で低い(第1表)。そして微細粒子が堆積しやすい500 m以深の海域では多くの場合0.1%以下となる。しかし、東海沖海域では0.1%以下の試料は全く存在せず、水深が500 mを越える海域にも高濃度のCO₂を含有する試料があり(第4図)、他の海域よりも炭酸塩殻を有する生物の生産活動が活発なこと、炭酸塩殻の溶解速度が遅いこと等を暗示している。

4.3 Cl濃度の広域分布

本研究で分析した堆積物中のCl濃度の平均値は2.17%(0.14~8.44%, n=196, 第1表)であり、これに対してClの大陸地殻存在量は0.0472%(Wedepohl, 1995)と見積もられているため堆積物中Clの大部分は海塩に由来すると考えて良い。堆積物中のCl濃度は、砂、シルト、粘土の順に高濃度になる傾向があり(第1表)、いずれの海域でも微細な粒子が堆積しやすい水深の大きい海域で高濃度を示す(第4図)。試料中の海塩は、主として試料採取時に取り込まれた海水起源であり、試料の含水率に対応した濃度変化を示す。海域別Cl濃度の平均値を比較すると、能登半島沖(2.93%)が高く、新潟沖(2.22%)、北海道北東部沖(1.93%)、北海道南東部沖(2.34%)が中間的で、東海沖(1.51%)がやや低い。

第5図は、堆積物中のClとNa₂O濃度の関係を示したもので、図中の白丸は炭酸塩に富む堆積物(CO₂濃度25%以上)を、黒丸はその他の堆積物である。炭酸塩に富む堆積物は、他の試料よりもNa₂Oに乏しい傾向があるが、これは炭酸塩鉱物がNa₂Oに富まない特徴を有すること、珪酸塩由

来のNa₂Oが多量に含まれないことによるであろう。全体としてClとNa₂O濃度の間には良好な正の相関(r=0.88, 第2表)があり、海底堆積物中Na濃度の増減は主として海塩に由来することを示している。第5図において、CO₂濃度25%以下の試料の大部分は、Na:Clのモル比が1:1の直線よりもNa₂O濃度が1.5~3.5%程度高い位置にプロットされる傾向があるがこのNa₂Oのほとんどは珪酸塩鉱物に由来する。

4.4 生物・海水起源物質による元素の濃縮

各種の動植物による元素の生物濃縮が知られており(例えばBowen, 1979, 西村, 1998)、筆者らが日本の樹木や草本について研究した結果(寺島ほか, 2004b)、以下の傾向が認められた。

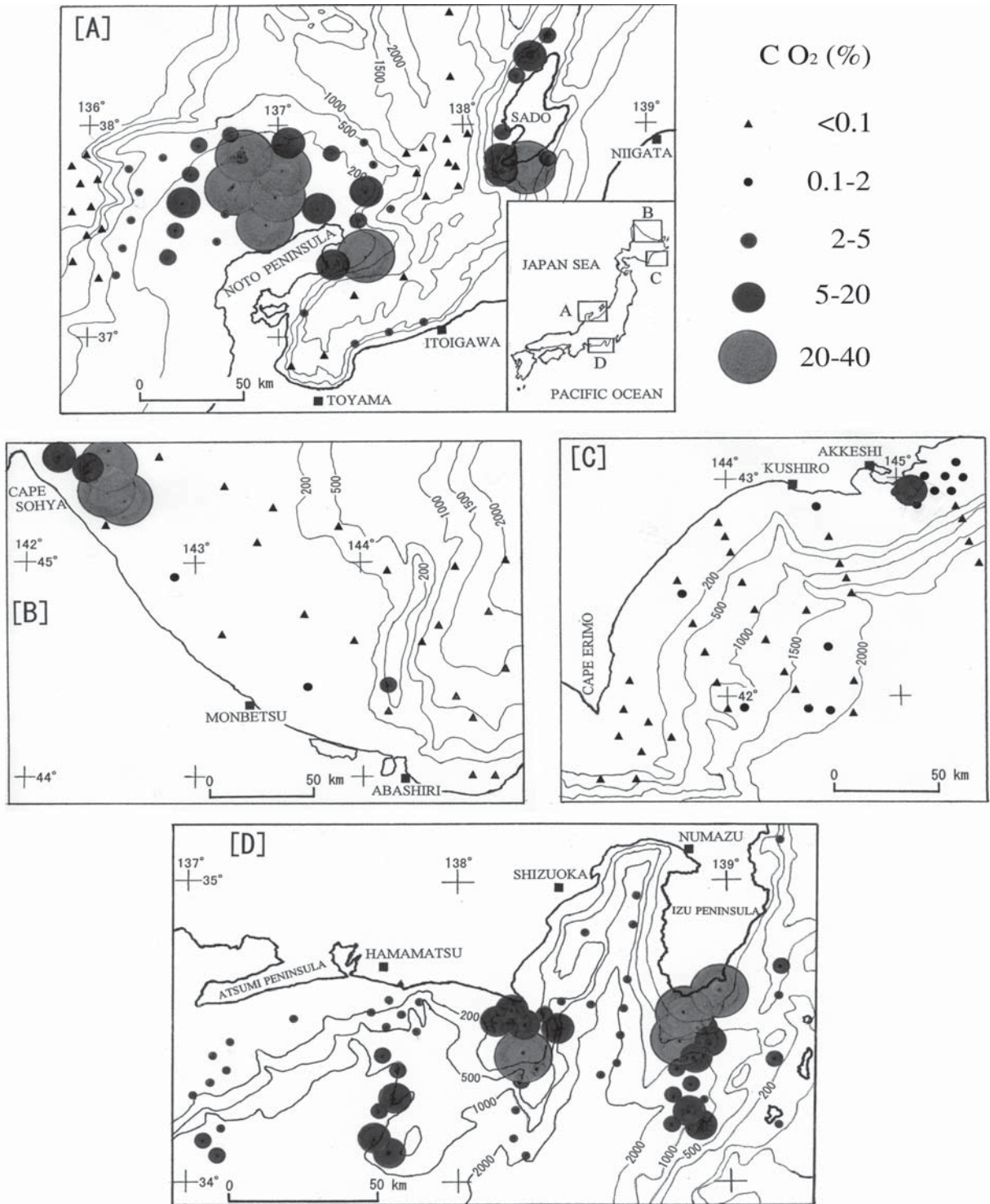
a)濃縮効果が大きい元素:P, Sb, Zn, Cd, Cu, Ca

b)濃縮効果が認められる元素:Pb, Bi, Mn, Sr, K, Mo, As, Sn

c)植物種により濃縮効果がある元素:Mg, Ba, Rb

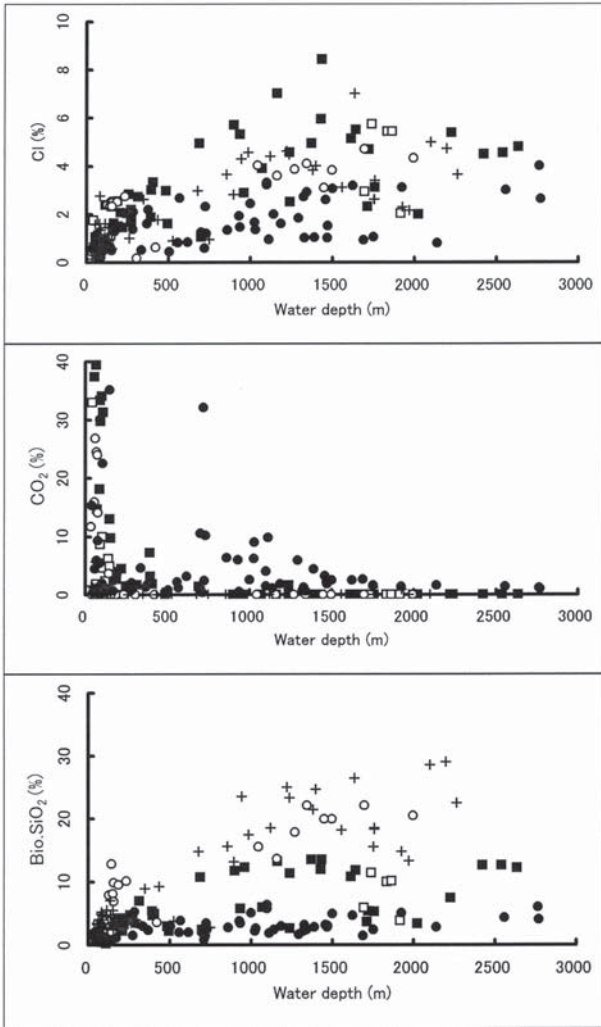
d)濃縮効果がない元素:Si, Ti, Al, Fe, Na, Li, Cs, Be, Sc, Cr, Co, Ni, V, Ga, Nb, La, Ce, Y, Zr, Tl, Th, U

ここでは、生物起源物質として珪質堆積物と石灰質堆積物、海水起源物質として海塩に伴う元素の濃縮挙動を検討する。まず、Bio. SiO₂と他の測定項目との間の相関係数r(第2表)を概観すると、水深、Na、Clとの間に明らかな正の相関(r>0.5)がある。しかし、これはBio. SiO₂が微細な堆積粒子と行動をともにし、水深の大きな海域に堆積しやすく、海塩由来のNa、Clも細粒堆積物に多く含有される結果であり、生物濃縮とは異なる現象である。Bio. SiO₂とCuとの間にはr=0.32の相関があり(第2表)、三田・中尾(1990)は、放散虫によるCuの濃縮の可能性を指摘している。Bio. SiO₂とCuとの関係図を作成してみた(第6図)。東海沖では、Bio. SiO₂濃度が低く、Cuに富む試料があるが、これは富士山由来のCuに富む火山岩や火山噴出物の影響を受けた堆積物である(Terashima *et al.*, 1999)。その他の海域ではBio. SiO₂の増加に伴ってCuも増加傾向を示す。しかし、CuはBio. SiO₂と同様に細粒堆積物中で高濃度を示す特徴があり(寺島ほか, 2002, 2003)、この結果のみでは生物濃縮の影響は評価できない。第7図は、佐渡島の北方約100 kmの日本海で採取された柱状試料についてBio. SiO₂とCuを定量した結果(寺島ほか, 1998)である。Bio. SiO₂濃度は、深度200 cm以下の2~3%から、表層付近の12~18%まで約5倍に増加するが、Cu濃度の増加は40~45 ppmから42~50 ppm程度まで約10%のみである。したがって、本研究結果に見られるBio. SiO₂とCu濃度の正相関は主として粒度組成に起因すると考えられる。Cuが細粒堆積物中で高濃度を示す原因としては、Cuに富む苦鉄質鉱物が相対的に風化に弱く、微細化しやすいこと、風化に伴って溶出したCuが粘土鉱物等に吸着されて堆積すること、陸上植物によって濃縮されたCuが有機物とともに堆積する等が考えられる。重金属の多くは砂質堆積物よりもシルト-粘土質堆



第3図 堆積物中CO₂の濃度変化.

Fig. 3 Regional variation of CO₂ content in the sediments.

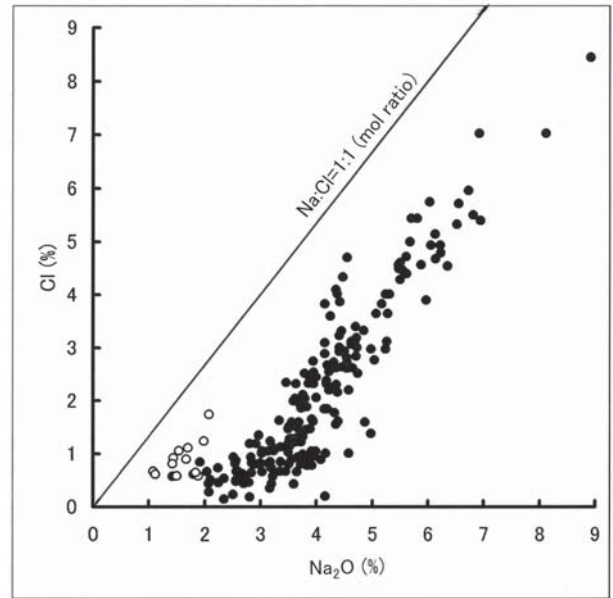


第4図 堆積物中のBio.SiO₂, CO₂, Cl濃度と試料採取地点の水深の関係(■:能登半島沖; □:新潟沖; ○:北海道北東部沖; +:北海道南東部沖; ●:東海沖).

Fig. 4 Plot of Bio.SiO₂, CO₂ and Cl content in the sediments vs water depth of the sampling site (■: Off Noto peninsula; □: Off Niigata; ○: Off NE Hokkaido; +: Off SE Hokkaido; ●: Off Tokai).

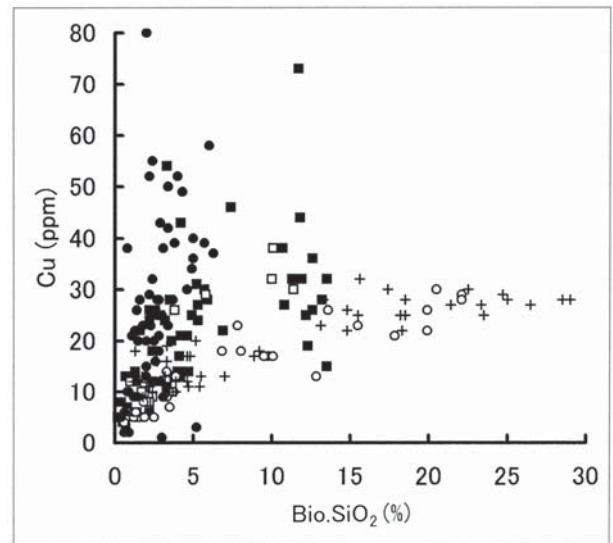
積物中で高濃度を示す傾向があり, Cuと類似の堆積挙動が推定される。

第8図は, 研究対象とした堆積物中のCaOとCO₂濃度の関係をプロットしたものである。もし, 両者がCaCO₃として存在すれば図の直線上にプロットされるはずであるが, CO₂濃度が15%以下ではCaOに対してCO₂が不足し, 20%程度以上では過剰となる場合がある。CaOに対してCO₂が不足する試料には珪酸塩物質に由来するCaOが含まれ, CO₂が過剰の試料ではMgの一部がドロマイト(CaMg(CO₃)₂)として含有されるためである。Turekian and Wedepohl(1961)がまとめた頁岩, 砂岩, 炭酸塩岩の平均化学組成やImai *et al.*(1996)による湖底堆積物, 粘板岩, 石灰岩, ドロマイト等標準試料の化学組成によれば, 炭酸塩物質に濃縮される成分としてはCa, Mg, Sr, CO₂が重要であり, 他の成分特に重金属類は濃縮されないであろう。



第5図 堆積物中のClとNa₂O濃度の関係。白丸はCO₂濃度25%以上の試料。

Fig. 5 Plot of Cl vs Na₂O content of the sediments. Open circles mean samples containing more than 25 % CO₂.



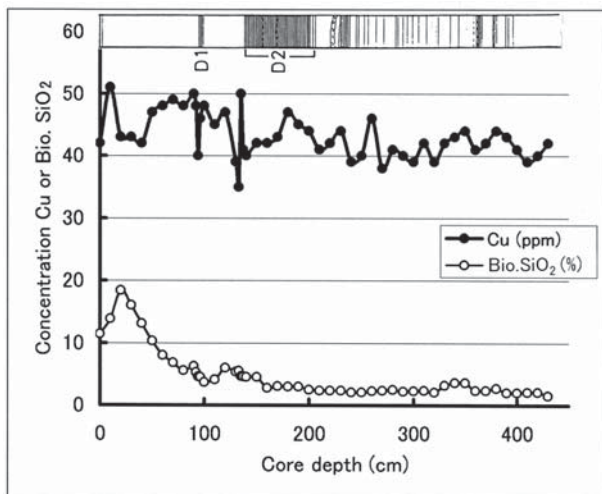
第6図 堆積物中のCuとBio.SiO₂濃度の関係(記号は第4図と同一)。

Fig. 6 Plot of Cu vs Bio.SiO₂ content of the sediments. Symbols are the same as in Fig. 4.

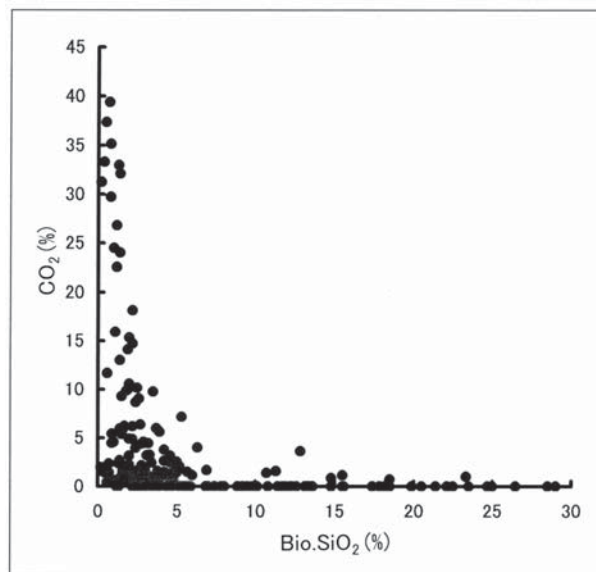
海水中には, Cl, NaについてSO₄²⁻(7.68%), Mg(3.69%), Ca(1.16%), K(1.10%)等が多く含有されるため, これらについては海塩に伴う濃縮を考慮する必要がある。しかし, 海水中のFe, Mn等の重金属濃度は地殻起源物質に比べて極めて微量であり, 濃縮効果は無視できると考えられる。

4.5 海底堆積物におけるBio.SiO₂とCO₂濃度の関係

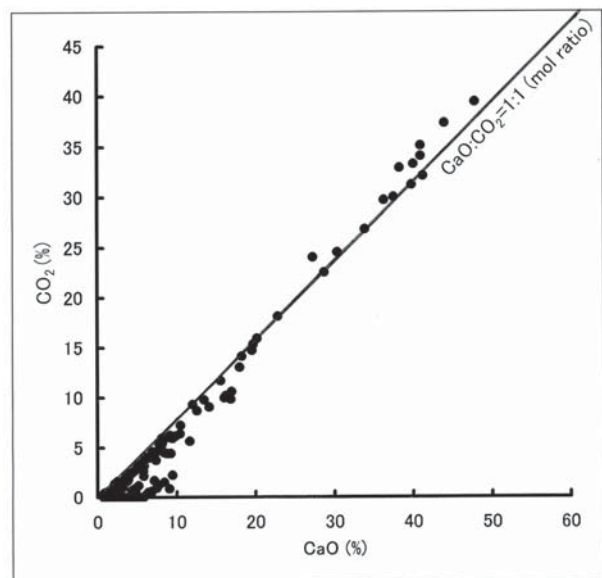
本研究で分析した試料におけるBio.SiO₂とCO₂濃度の関係を検討した結果, この両者を多量に含む(7%以上)試



第7図 柱状試料におけるCuとBio.SiO₂濃度の鉛直変化。
Fig. 7 Vertical variation of Cu and Bio.SiO₂ concentrations in core sample. Data are from Terashima *et al.* (1998).



第9図 堆積物中のCO₂とBio.SiO₂濃度の関係。
Fig. 9 Plot of CO₂ vs Bio.SiO₂ content of the sediments.



第8図 堆積物中のCO₂とCaO濃度の関係。
Fig. 8 Plot of CO₂ vs CaO content of the sediments.

料は存在しないことが判明した(第9図).この原因は,両者を供給する海洋生物の最適生育環境が異なること, Bio.SiO₂が微細な堆積粒子と行動をともにして水深の大きい海域に堆積し, CO₂は貝殻の破片等粗粒な堆積物中に多く水深の浅い海域で高濃度を示すためである.また,微細な炭酸塩粒子は溶解しやすく,堆積物中に保存されにくいことも一因であろう.

4.6 珪酸塩起源物質の化学組成

杉崎(1981)の方法を参考に,海底堆積物中の珪酸塩起源物質の化学組成の計算方法を以下のように定めた.なお,添え字のtotalは全量を, silicateは珪酸塩起源物質を, biologicalは生物起源物質を, carb.は炭酸塩起源物質を,

saltは海水起源物質を意味する.

$$\begin{aligned} (\text{SiO}_2)_{\text{silicate}} &= (\text{SiO}_2)_{\text{total}} - (\text{SiO}_2)_{\text{biological}} \\ (\text{CaO})_{\text{silicate}} &= (\text{CaO})_{\text{total}} - \{ (\text{CaO})_{\text{carb.}} + (\text{CaO})_{\text{salt}} \} \\ (\text{MgO})_{\text{silicate}} &= (\text{MgO})_{\text{total}} - \{ (\text{MgO})_{\text{carb.}} + (\text{MgO})_{\text{salt}} \} \\ (\text{Na}_2\text{O})_{\text{silicate}} &= (\text{Na}_2\text{O})_{\text{total}} - (\text{Na}_2\text{O})_{\text{salt}} \\ (\text{K}_2\text{O})_{\text{silicate}} &= (\text{K}_2\text{O})_{\text{total}} - (\text{K}_2\text{O})_{\text{salt}} \end{aligned}$$

なお,上記において, (MgO)_{carb.}はCaO濃度に比べて過剰のCO₂が存在する場合のみ補正対象とする.そしてTiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnOはすべて珪酸塩起源物質であるとし,これに上記の補正計算を行った5成分を加えて全9成分の合計濃度(%)を算出する.つぎにその合計濃度を100%として各成分の濃度(%)を再計算し,これを珪酸塩起源物質の化学組成とする.

第3表は,上記の方法に従って各海域の堆積物における珪酸塩起源物質の平均化学組成を計算し,地殻存在量と比較したものである. MnOやCaO等では海域別の平均値にかなりの差が認められるが,堆積物全体の平均値と地殻存在量を比較するとAl₂O₃, Fe₂O₃, Na₂O, K₂Oの値はほぼ一致している. MnOは堆積物のほうが高いが,これは主として新潟沖海域の高濃度が原因で続成作用に伴う濃集の影響である.逆にMgO, CaOは堆積物で低い,これは地殻存在量には炭酸塩由来のMgO, CaOが含まれるためであろう.第10図は,第A-1表に示した未補正のデータを用いた場合(A)と,上記の方法で再計算して算出した珪酸塩起源物質の化学組成(B)を比較してプロットしたものである.一般の火成岩類や堆積岩類ではSiO₂濃度とTiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO濃度の間には負の相関がある(Turekian and Wedepohl, 1961)が,未補正データではCaOを除外するとその関係は不明瞭である.しかし,珪酸塩起源物質の化学組成ではすべての成分で明らかな負の相

第3表 再計算により求めた珪酸塩物質の平均化学組成.

Table 3 Recalculated averaged chemical composition of silicate material. Data are obtained after reducing biogenic silica, carbonate materials and sea salts.

	(n)	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)
Off Noto Peninsula	50	66.24	0.61	15.31	6.94	0.21	2.86	1.27	3.50	3.02
Off Niigata	14	65.52	0.49	15.54	7.13	0.45	3.59	1.60	2.85	2.85
Off NE Hokkaido	28	70.45	0.49	13.88	5.76	0.07	2.79	1.58	2.68	2.32
Off SE Hokkaido	45	63.91	0.58	16.66	5.84	0.11	2.14	5.38	3.54	1.81
Off Tokai	59	68.45	0.49	14.33	6.53	0.13	2.52	1.92	2.91	2.66
All the samples	196	66.92	0.54	15.15	6.40	0.16	2.63	2.52	3.16	2.52
Crustal abundance										
Wedepohl (1995)		61.50	0.68	15.10	6.28	0.10	3.70	5.50	3.20	2.40

関があり、未補正データよりも狭い範囲にプロットされている。珪酸塩起源物質について各成分濃度を概観すると、SiO₂は46~88%であるが、このうち80%程度以上の高濃度試料は花崗岩類等SiO₂に富む岩石が風化し、石英部分が若干濃集したものであろう。TiO₂(0.1~1.0%)、Al₂O₃(6~19%)、CaO(0.3~12%)、MgO(0.1~5.8%)の濃度範囲は一般の珪酸塩岩石中の濃度範囲と同程度であり、後背地の地質特性を反映すると考えられる。Fe₂O₃は、2試料(能登半島沖のNo.60と東海沖のNo.134)が18%を越えている。一般岩石ではこのような高濃度にならず、またこれら試料中のMnO濃度は周辺他試料より高いので、続成作用に伴う濃集と考えられる。MnO(0.03%~2.7%)は、主成分の中では続成作用に伴う濃集の影響を最も強く受ける成分であり、一般岩石中の濃度が0.3%を超えるのはまれである。したがって、地殻存在量の3倍(約0.3%)を超えるMnOは続成作用に伴う濃集の影響を受けた結果と考えて良いであろう。なお、Cu、Pb、Zn、Ni等の重金属も続成作用に伴って濃集する可能性がある(寺島ほか, 1998)。

5. まとめ

日本の沿岸海域海底堆積物における生物・海水起源物質の研究のため、堆積環境の異なる海域から採取された砂質-粘土質堆積物について通常の主成分のほか、Bio.SiO₂、CO₂、Cl等を分析し、以下の結論を得た。

1) Bio.SiO₂は、微細な堆積粒子と行動をともにし、水深の大きい海域の細粒(粘土質)堆積物中で高濃度を示す。海域別では、北海道南東部沿岸の親潮海域が最も高く、ついでオホーツク海がやや高い。能登半島-新潟沖は中間的で、黒潮の影響下にある東海沖が低い。

2) 石灰質物質に由来するCO₂濃度は、Bio.SiO₂とは逆に浅海の砂質堆積物中で高く、水深が大きい海域の粘土質堆積物では低い。石灰殻を有する生物の生産量は、海流、海底環境、海底地形、堆積速度等多くの要因で増減し、そ

の変化が堆積物中のCO₂濃度に反映されると考えられた。

3) 海水起源物質は、堆積物中の水溶性Clを分析して評価した。Cl濃度は試料採取時に取り込まれる海水の量と密接な関係があり、いずれの海域においても砂、シルト、粘土の順に明らかに高くなる。海域別の平均値は、能登半島沖(2.93%)が高く、新潟沖、北海道周辺海域(1.93~2.34%)が中間的で、東海沖(1.51%)で低かったが、これは主として堆積物の粒度組成の相違に起因するであろう。

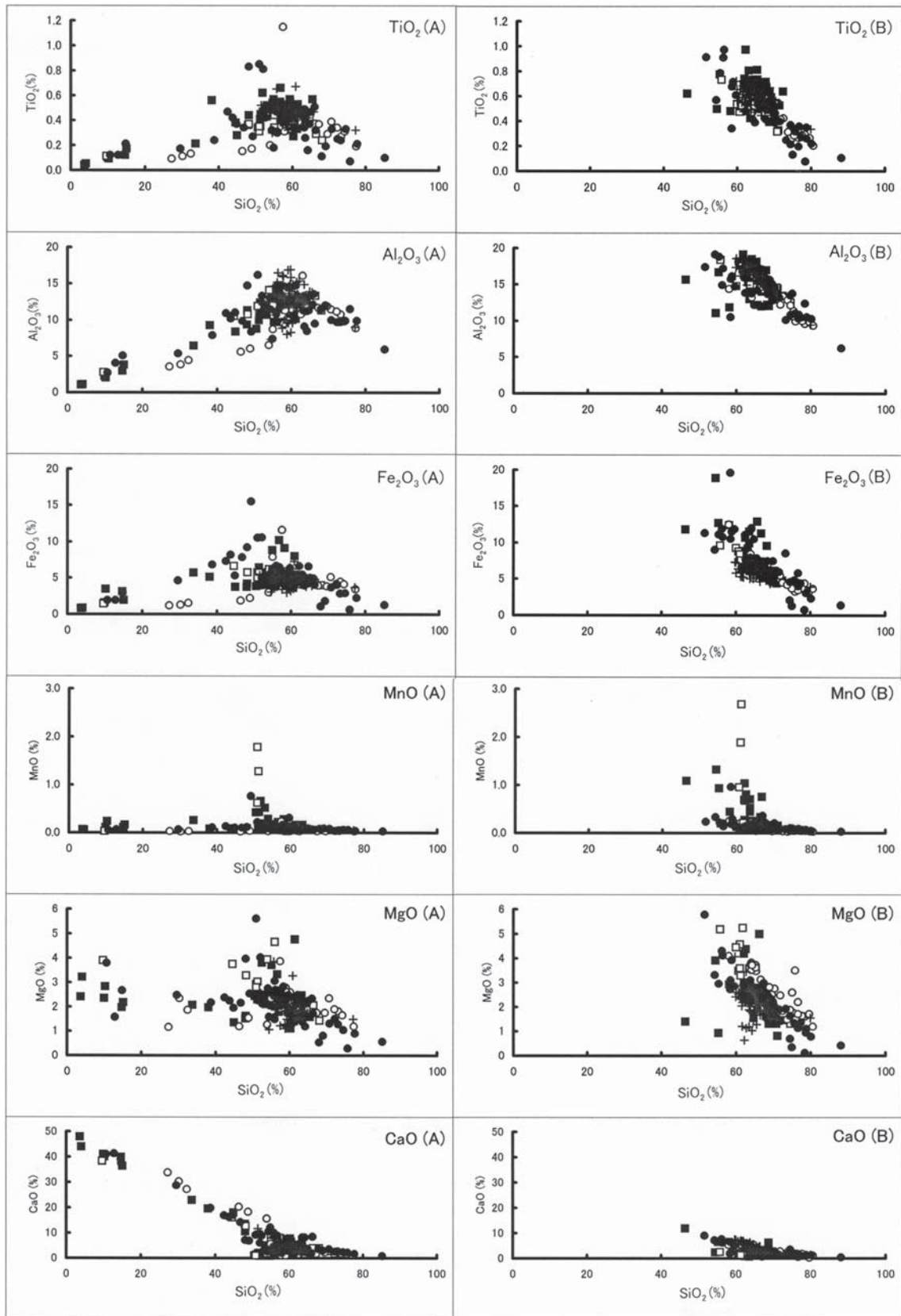
4) 珪質堆積物に濃縮される主な成分はSiで、石灰質堆積物にはCa、Mg、Sr、CO₂が、海塩にはCl、Na、SO₄²⁻、Mg、Ca、K等が濃縮される。しかし、Fe、Mnをはじめとする重金属類は、珪質堆積物や石灰質堆積物、海塩には濃縮されない。重金属の多くは微細な粘土質堆積物中で高濃度を示し、続成作用に伴って濃集される場合がある。

5) 堆積物中のBio.SiO₂とCO₂濃度の関係を検討した結果、この両者を多量に含む(7%以上)試料は存在しなかった。この原因は、両者を供給する海洋生物の最適生育環境が異なること、海水中での移動・堆積・溶解等における挙動が異なるためと考えられた。

6) 沿岸海域の堆積物について、生物・海水起源物質の影響を補正し、珪酸塩起源物質の化学組成を求める方法を提示した。珪酸塩起源物質中のTiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、MnO、MgO、CaO濃度は、SiO₂濃度と負の相関を有しており、その化学組成は碎屑物の供給源の地質特性や続成作用の影響を反映している。

文 献

- 有田正史・野原昌人・木下泰正・小野寺公児(1979) 富山湾の海底堆積物。環境庁環境保全研究成果集, 60-53~60-85.
- Bowen, H. J. M.(1979) Environmental chemistry of the elements. Academic Press, London, 333p. 94, 419-431.



第10図 堆積物中の SiO_2 と他成分濃度の関係. (A): 生データ; (B)再計算データ(珪酸塩起源物質).

Fig. 10 Plot of SiO_2 vs other components content of the sediments. (A): Raw data; (B): Recalculated data (silicate origin material).

- Ikehara, K., Katayama, H., Saito, Y., Komiya, M., Ishizuka, O., Yuasa, M. and Nakasone, T. (1999) Surface sediment characteristics and sedimentology off Tokai region. *Geol. Surv. Japan Cruise Rept.*, **24**, 101-125.
- 池原 研・野田 篤・片山 肇・前川竜男(2001) 宗谷海峡～北見大和堆海域の表層堆積物. 地質調査所速報, no.MG/01/1, 「千島弧～東北日本弧会合部の海洋地質学的研究及び海域活断層の評価手法の研究」, 平成12年度研究概要報告書－オホーツク海西方海域及び東海沖海域－, 78-90.
- Imai, N., Terashima, S., Itoh, S. and Ando, A. (1996) 1996 compilation of analytical data on nine GSJ geochemical reference samples, "Sedimentary rock series". *Geostandards Newsletter*, **20**, 165-216.
- 今井 登・寺島 滋・片山 肇・中嶋 健・池原 研・谷口政碩(1997) 日本海東部沿岸域海底表層堆積物中の重金属等の地球化学的挙動. 地調月報, **48**, 511-529.
- 今井 登・寺島 滋・太田充恒・御子柴(氏家)真澄・岡井貴司・立花好子・富樫茂子・松久幸敬・金井 豊・上岡 晃・谷口政碩(2004) 日本の地球化学図. 独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センター報告, (印刷中).
- 片山 肇(1989) 能登半島周辺海域の表層堆積物. 有田正史・岡村行信編「西南日本周辺大陸棚の海底地質に関する研究」, 昭和63年度研究概要報告書－能登半島周辺海域－, 地質調査所, 66-98.
- 片山 肇・池原 研(2001) 20万分の1海洋地質図「能登半島西方表層堆積図」, 地質調査総合センター.
- 片山 肇・中嶋 健・池原 研(1991) 新潟沖の表層堆積物. 岡村行信編「日本海中部東縁部大陸棚周辺海域の海洋地質学的研究」, 平成2年度研究概要報告書－新潟県沖海域－, 地質調査所, 47-73.
- 片山 肇・中嶋 健・池原 研(1994) 20万分の1海洋地質図「佐渡島南方表層堆積図」, 地質調査所.
- 北野 康(1972) 浅海堆積物. 三宅泰雄編「堆積物の化学」, 東海大学出版会, 243-335.
- Lisitzin, A. P. (1966) Basic law of distribution of Recent siliceous sediments and their relation to climatic zonality. In *Geochemistry of Silica*, Nauka, Moscow, 90-191. (in Russian).
- 三田直樹・中尾征三(1990) 中部太平洋海底堆積物中の金属元素の分布. 堆積学研究会報, no.32, 71-83.
- 中嶋 健・片山 肇・池原 研(1995) 20万分の1海洋地質図「佐渡島北方表層堆積図」, 地質調査所.
- 西村雅吉(1998) 環境化学(改訂版), 裳華房, 163p.
- 野田 篤・片山 肇・池原 研(2002) 紋別沖～北見大和堆海域の表層堆積物. 地質調査総合センター速報, no.25, 「千島弧～東北日本弧会合部の海洋地質学的研究」, 平成13年度研究概要報告書－オホーツク海南西海域－, 63-72.
- 野田 篤・片山 肇・池原 研(2003) 十勝沖海域の表層堆積物. 地質調査総合センター速報, no.26, 「千島弧～東北日本弧会合部の海洋地質学的研究」, 平成14年度研究概要報告書－十勝沖海域－, 54-63.
- 野田 篤・片山 肇・池原 研(2004) 釧路沖と襟裳岬沖の表層堆積物の特徴. 地質調査総合センター速報, no.30, 「千島弧～東北日本弧会合部の海洋地質学的研究」, 平成15年度研究概要報告書－釧路沖・日高沖海域－, 58-72.
- Ohta, A., Imai, N., Terashima, S., Tachibana, Y., Ikehara, K. and Nakajima, T. (2004a) Geochemical mapping in Hokuriku, Japan: Influence of surface geology, mineral occurrences and mass movement from terrestrial to marine environments. *Appl. Geochem.*, **19**, 1453-1469.
- Ohta, A., Imai, N., Terashima, S., Tachibana, Y. (2004b) Influence of surface geology and mineral deposits on spatial distribution of elemental concentrations in stream sediments of Hokkaido, Japan. *Journal of Geochemical Exploration*. (submitted)
- 太田充恒・今井 登・寺島 滋・立花好子(2004) 河川堆積物を用いた中国地方の地球化学図による元素濃度のバックグラウンド評価. 地球化学. (投稿中).
- 岡井貴司(1998) 分別溶解/誘導結合プラズマ発光分析法による炭酸塩岩石標準試料中の炭酸塩態成分の定量. 分析化学, **47**, 455-458.
- 杉村行勇(1972) 海底に存在する物質の化学. 三宅泰雄編「堆積物の化学」, 東海大学出版会, 31-166.
- 杉崎隆一(1981) 泥質堆積物の全組成の分析法ならびに表示法の改良－特に海底堆積物の場合－. 地質雑, **87**, 77-85.
- 田辺竜男・坂本竜彦(2002) GH00・GH01航海で得られたオホーツク海南西部海底表層堆積物中の陸源性碎屑物の粒度・鉱物組成とその起源. 地質調査総合センター速報, no.25, 「千島弧～東北日本弧会合部の海洋地質学的研究」, 平成13年度研究概要報告書－オホーツク海南西海域－, 73-98.
- 田中伊織(2002) 北海道周辺の海(3) 太平洋. 育てる海, **352**, 3-7.
- 寺島 滋・片山 肇(1993) 新潟沖海底表層堆積物中の重金属等12元素の地球化学的挙動. 地調月報, **44**, 55-74.
- Terashima, S., Katayama, H. and Itoh, S. (1991) Geochemical behavior of gold in coastal marine

- sediments from the southeastern margin of the Japan Sea. *Marine Mining*, **10**, 247-257.
- Terashima, S., Katayama, H. and Itoh, S. (1993) Geochemical behavior of Pt and Pd in coastal marine sediments, southeastern margin of the Japan Sea. *Appl. Geochem.*, **8**, 265-271.
- 寺島 滋・今井 登・片山 肇・中嶋 健・池原 研 (1993) 富山湾～新潟沖海底堆積物におけるヒ素の地球化学的挙動. 地調月報, **44**, 669-683.
- 寺島 滋・片山 肇・中嶋 健・池原 研 (1995) 新潟沿岸日本海堆積物における水銀の地球化学的挙動. 地球化学, **29**, 25-36.
- 寺島 滋・池原 研・中嶋 健・片山 肇・井内美郎・横田節哉・今井 登 (1998) 日本海東部の海底堆積物中の元素濃度の鉛直変化と堆積環境. 地調月報, **49**, 201-235.
- Terashima, S., Ikehara, K., Katayama, H. and Saito, Y. (1999) Geochemistry of elements in coastal marine sediments from the off Shizuoka, central Japan. *Geol. Surv. Japan Cruise Rept.*, **24**, 147-163.
- 寺島 滋・太田充恒・今井 登・池原 研・野田 篤・片山 肇 (2001) 北海道北方海域の表層堆積物中重金属の濃度分布. 地質調査所速報, no.MG/01/1, 「千島弧～東北日本弧会合部の海洋地質学的研究及び海域活断層の評価手法の研究」, 平成12年度研究概要報告書～オホーツク海西方海域及び東海沖海域～, 91-106.
- 寺島 滋・太田充恒・今井 登・野田 篤・池原 研・片山 肇 (2002) 北海道沿岸オホーツク海の表層堆積物中重金属等の濃度分布. 地質調査総合センター速報, no.25, 「千島弧～東北日本弧会合部の海洋地質学的研究」, 平成13年度研究概要報告書～オホーツク海南西海域～, 99-114.
- Terashima, S., Mita, N., Nakao, S. and Ishihara, S. (2002) Platinum and palladium abundance in marine sediments and their geochemical behavior in marine environments. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **53**, 725-747.
- 寺島 滋・太田充恒・今井 登・野田 篤・片山 肇・池原 研 (2003) 北海道十勝沿岸海域の海底表層堆積物の化学組成. 地質調査総合センター速報, no.26, 「千島弧～東北日本弧会合部の海洋地質学的研究」, 平成14年度研究概要報告書～十勝沖海域～, 78-91.
- 寺島 滋・太田充恒・今井 登・野田 篤・片山 肇・池原 研 (2004a) 北海道南東部沿岸海域の海底表層堆積物の化学組成. 地質調査総合センター速報, no.30, 「千島弧～東北日本弧会合部の海洋地質学的研究」, 平成15年度研究概要報告書～釧路沖・日高沖海域～, 130-144.
- 寺島 滋・今井 登・太田充恒・岡井貴司・御子柴真澄 (2004b) 関東平野南部における土壌の地球化学的研究～土壌地球化学図の基礎研究(第5報)総括～. 地調研報, **55**, 1-18.
- Turekian, K. K. and Wedepohl, K. H. (1961) Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geol. Soc. America Bull.*, **72**, 175-192.
- Wedepohl, K. H. (1995) The composition of the continental crust. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **59**, 1217-1232.
- Yin, J.-H., Kajiwar, Y. and Fujii, T. (1989) Distribution of transition elements in surface sediments of the southwestern margin of Japan Sea. *Geochem. J.*, **23**, 161-180.

(受付:2004年8月3日;受理:2004年9月30日)

日本の沿岸海域堆積物における生物・海水起源物質の地球化学的研究(寺島ほか)

第A-1表 分析結果.
Table A-1 Analytical results.

Sample No.	Local No.		WD (m)	T. SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	LOI (%)	Bio. SiO ₂ (%)	CO ₂ (%)	Cl (%)
Off Noto Peninsula																
1	9	Silt	2228	51.38	0.44	10.83	6.40	0.18	2.28	1.13	6.94	2.37	n.d.	7.4	<0.1	5.39
2	10	Clay	1644	53.09	0.46	11.50	4.19	0.16	2.37	1.06	6.81	2.40	17.75	11.8	<0.1	5.50
3	13	Clay	2634	51.93	0.42	11.30	4.45	0.66	2.35	0.88	6.23	2.24	n.d.	12.2	<0.1	4.79
4	14	Claystone breccia	2024	54.98	0.57	14.11	8.80	0.07	2.45	0.81	3.59	2.37	13.05	3.3	<0.1	1.99
5	16	Silt	689	52.00	0.47	11.91	3.98	0.05	2.26	2.13	6.22	2.20	n.d.	10.7	1.36	4.93
6	18	Silt	271	62.65	0.44	11.14	5.12	0.06	1.61	2.74	4.58	2.63	9.45	4.1	1.07	2.20
7	20	Sandy silt	219	51.88	0.62	11.76	5.72	0.07	2.39	9.29	3.81	1.61	n.d.	3.2	4.41	1.45
8	22	Medium sand	183	58.46	0.42	11.35	5.72	0.08	2.13	7.39	3.89	1.95	n.d.	4.2	3.74	1.47
9	27	Clay	2539	53.06	0.43	10.80	4.51	0.52	2.45	0.93	6.35	2.41	17.60	12.6	<0.1	4.54
10	28	Clay	2423	53.92	0.45	11.62	4.37	0.29	2.24	0.90	5.48	2.35	n.d.	12.6	<0.1	4.50
11	31	Sandy silt	272	60.96	0.38	10.17	7.95	0.07	1.78	2.47	3.73	2.88	9.90	4.0	1.11	1.86
12	34	Silt	190	57.11	0.49	11.69	4.27	0.06	1.78	4.65	4.23	2.43	n.d.	4.2	2.63	2.55
13	37	Coarse sand	100	9.97	0.10	2.18	1.55	0.11	2.35	40.95	1.70	0.46	40.90	<0.2	34.06	1.11
14	40	Medium sand	146	44.97	0.28	8.35	3.72	0.07	1.36	18.00	2.92	1.86	n.d.	1.4	13.03	1.19
15	51	Sandy silt	1713	56.78	0.66	14.77	5.03	0.06	2.25	1.32	3.95	2.29	n.d.	3.6	<0.1	2.32
16	52	Mudstone breccia	960	58.93	0.53	12.62	4.96	0.13	2.24	1.18	4.15	2.50	n.d.	12.3	<0.1	2.89
17	54	Sandy silt	248	58.23	0.40	9.71	9.10	0.07	1.92	2.81	3.62	2.97	11.05	4.2	1.47	2.04
18	57	Very fine sand	153	48.03	0.36	9.36	3.70	0.08	1.52	13.50	3.64	1.86	n.d.	3.5	9.76	2.32
19	60	Coarse sand	88	10.28	0.09	2.00	3.42	0.24	2.83	40.05	1.44	0.63	39.75	0.4	33.28	0.92
20	63	Coarse sand	108	14.70	0.12	2.95	3.08	0.11	1.97	39.85	1.67	0.84	n.d.	0.2	31.24	0.90
21	66	Fine sand	191	60.57	0.44	11.81	3.57	0.08	1.35	6.50	3.66	2.80	9.80	2.4	3.93	1.49
22	68	Sandy silt	312	60.82	0.46	11.20	4.66	0.07	1.78	3.27	4.55	2.46	n.d.	6.9	1.64	2.73
23	82	Clay	1430	51.52	0.43	11.55	4.31	0.43	2.36	1.02	6.73	2.63	18.30	11.9	<0.1	5.96
24	85	Silt	258	56.81	0.40	9.66	10.19	0.08	2.12	2.57	4.71	1.61	n.d.	4.7	1.3	2.84
25	88	Sandy silt	158	61.83	0.47	11.68	5.19	0.05	1.67	4.27	3.77	2.54	n.d.	1.3	2.38	1.42
26	91	Sandy silt	110	65.53	0.57	12.01	4.25	0.06	1.58	3.06	3.63	2.35	6.55	0.7	1.42	1.22
27	94	Coarse sand	56	4.08	0.05	1.08	0.82	0.06	3.22	45.02	1.42	0.24	43.26	0.5	37.36	1.06
28	100	Sandy silt	273	63.57	0.44	11.20	4.14	0.05	1.53	3.53	4.14	2.43	n.d.	3.8	1.55	1.84
29	102	Silt	1372	55.31	0.44	9.73	3.74	0.07	2.24	1.20	6.05	0.93	n.d.	13.5	<0.1	4.93
30	103	Clay	1435	50.59	0.34	8.73	3.83	0.42	2.43	1.04	8.92	0.46	22.00	13.5	<0.1	8.44
31	117	Silt	900	51.66	0.45	12.35	4.06	0.06	2.32	1.97	6.55	2.15	n.d.	11.7	<0.1	5.71
32	118	Sandy silt	406	56.10	0.46	13.18	4.96	0.10	2.00	3.70	4.85	2.37	n.d.	4.9	1.8	3.33
33	121	Very fine sand	165	61.26	0.33	10.12	5.05	0.06	1.40	5.30	3.34	2.30	n.d.	3.3	3.22	1.63
34	124	Sandy silt	115	59.46	0.55	14.43	4.70	0.07	1.86	2.57	4.18	2.70	9.50	1.6	1.41	2.38
35	127	Coarse sand	65	3.70	0.04	1.01	0.76	0.07	2.41	47.88	1.08	0.17	43.85	0.7	39.42	0.67
36	130	Medium sand	93	60.29	0.27	11.92	3.67	0.13	1.10	7.78	3.65	2.66	n.d.	1.5	5.38	0.66
37	133	Coarse sand	87	33.72	0.21	6.43	5.69	0.26	2.07	22.85	2.52	1.66	n.d.	2.2	18.14	0.94
38	136	Silt	1163	51.26	0.41	9.91	3.93	0.11	2.34	1.14	8.12	2.10	n.d.	13.2	<0.1	7.02
39	138	Silt	1759	55.10	0.53	13.76	5.67	0.12	3.71	1.86	5.26	2.28	12.15	5.2	<0.1	3.12
40	156	Silt	394	53.59	0.51	12.01	4.18	0.07	2.09	5.12	4.73	2.37	n.d.	4.6	3.14	3.01
41	158	Clay	1239	53.34	0.47	10.64	4.01	0.07	2.22	2.54	5.88	2.38	n.d.	11.3	1.57	4.57
42	160	Clay	1721	52.48	0.50	11.99	5.66	0.19	3.82	1.84	6.14	2.23	n.d.	5.3	<0.1	4.68
43	162	Clay	1614	51.38	0.45	10.70	5.80	0.18	2.55	1.41	6.13	2.30	n.d.	10.8	<0.1	5.14
44	172	Coarse sand	70	38.11	0.56	9.24	5.07	0.08	1.97	19.55	3.22	1.60	n.d.	2.2	14.71	1.12
45	174	Coarse sand	91	15.08	0.17	3.76	1.91	0.16	2.17	36.32	1.99	0.66	37.30	0.8	29.71	1.24
46	188	Mudstone breccia	391	48.20	0.44	11.30	4.17	0.06	1.61	10.53	3.83	2.11	n.d.	5.3	7.19	1.88
47	191	Silt	1071	54.69	0.54	13.07	5.20	0.11	2.37	1.91	5.97	2.42	n.d.	5.9	<0.1	3.90
48	194	Silt	1240	56.68	0.55	13.69	5.49	0.22	3.33	2.14	4.74	2.32	9.65	2.6	<0.1	2.52
49	211	Silt	209	59.30	0.57	12.41	5.26	0.09	1.96	2.00	4.00	2.65	n.d.	2.2	<0.1	2.06
50	213	Silt	936	53.10	0.52	11.23	4.87	0.12	2.49	1.82	6.52	2.46	n.d.	5.7	<0.1	5.32
51	215	Fine sand	494	63.28	0.45	13.11	4.61	0.16	2.46	2.33	4.87	3.06	6.15	2.2	0.36	1.60
52	217	Silt	485	58.23	0.46	12.22	5.16	0.28	2.66	1.91	5.24	2.77	n.d.	2.9	<0.1	2.98
53	219	Coarse sand	700	61.47	0.53	12.63	5.45	0.16	4.76	2.89	3.13	2.19	n.d.	2.4	0.66	1.05
Off Niigata																
54	41	Silty clay	1695	54.02	0.47	14.09	6.15	0.15	3.94	1.79	4.50	2.27	12.55	5.8	<0.1	2.94
55	49	Medium sand	102	44.54	0.38	10.50	6.58	0.09	3.76	16.06	2.56	1.78	n.d.	1.9	9.95	0.87
56	53	Clay	1916	56.02	0.54	14.37	6.29	0.18	4.66	2.06	3.80	2.21	10.10	3.8	<0.1	2.04
57	55	Fine sand	88	48.22	0.37	10.76	5.72	0.09	3.29	12.58	3.03	2.14	n.d.	2.4	8.68	1.06
58	56	Medium sand	43	9.68	0.11	2.76	1.44	0.03	3.90	38.30	2.06	0.43	41.50	1.3	32.92	1.74
59	60	Clay	1740	51.00	0.31	11.86	5.72	0.62	2.92	1.29	6.03	2.15	n.d.	11.4	<0.1	5.74
60	62	Fine sand	65	66.46	0.29	13.32	4.30	0.06	2.06	3.91	3.20	2.40	n.d.	1.6	1.81	0.73
61	63	Fine sand	83	57.74	0.38	11.73	5.86	0.06	1.94	7.79	3.00	2.60	n.d.	2.2	4.82	0.83
62	68	Fine sand	96	55.15	0.44	11.92	6.00	0.07	2.33	7.44	3.02	2.39	11.50	1.0	4.58	1.01
63	80	Clay	1834	51.33	0.35	11.88	5.66	1.28	3.03	1.10	5.81	2.20	n.d.	10.0	<0.1	5.43
64	95	Fine sand	121	68.10	0.24	11.32	3.98	0.06	1.42	3.98	3.18	2.51	n.d.	0.7	2.34	0.85
65	112	Fine sand	140	55.15	0.34	11.08	5.32	0.06	2.05	9.17	3.18	2.35	n.d.	1.7	6.2	1.24
66	118	Clay	1863	51.00	0.35	11.88	5.01	1.79	2.79	1.04	5.70	2.18	18.05	10.1	<0.1	5.43
67	131	Fine sand	146	57.47	0.42	11.49	4.89	0.06	2.08	8.03	3.36	2.22	n.d.	2.0	4.9	1.13
Off NE Hokkaido																
68	2	Gravel	34	53.97	0.20	6.52	2.96	0.03	1.27	15.58	2.25	1.12	15.60	0.6	11.68	0.45
69	9	Medium sand	56	46.44	0.15	5.59	1.86	0.02	1.20	20.20	2.07	1.11	n.d.	1.1	15.91	0.44
70	12	Coarse sand	77	48.97	0.17	6.03	2.21	0.04	1.55	18.31	2.08	1.11	n.d.	1.9	14.09	0.28
71	13	Very coarse sand	69	30.23	0.11	3.83	1.25	0.02	2.34	30.40	1.89	0.84	n.d.	1.0	24.51	0.58
72	15	Very coarse sand	61	27.31	0.09	3.54	1.16	0.03	1.17	33.90	1.84	0.85	31.30	1.2	26.83	0.64
73	17	Very fine sand	43	77.40	0.19	8.84	3.43	0.03	1.19	1.05	2.35	1.76	2.90	1.2	<0.1	0.53

第A-1表 つづき。
Table A-1 Continued.

Sample No.	Local No.		WD (m)	T. SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	LOI (%)	Bio. SiO ₂ (%)	CO ₂ (%)	Cl (%)
74	22	Medium-fine sand	74	32.44	0.13	4.39	1.52	0.03	1.87	27.30	2.04	0.89	n.d.	1.4	24.01	0.66
75	37	Very fine sand	114	67.30	0.37	11.66	3.91	0.03	1.75	1.68	3.56	2.27	7.50	3.9	<0.1	1.29
76	56	Very fine sand	96	73.30	0.27	10.74	4.46	0.04	1.81	1.94	2.79	2.07	3.15	1.8	0.38	0.46
77	77	Silty clay	126	61.90	0.40	11.95	4.50	0.04	2.40	1.10	3.90	2.13	11.55	7.8	<0.1	2.39
78	97	Silty clay	150	62.30	0.45	11.62	4.79	0.04	2.48	1.14	3.95	2.16	11.20	8.0	<0.1	2.54
79	101	Clayey silt	156	62.50	0.43	11.40	4.71	0.04	2.43	1.14	3.86	2.16	11.15	9.8	<0.1	2.48
80	124	Very fine sand	421	74.30	0.31	9.77	4.12	0.06	1.65	1.68	2.68	1.92	3.85	3.5	<0.1	0.62
81	134	Silt	186	62.53	0.41	10.77	4.13	0.04	2.36	1.22	3.79	1.96	n.d.	9.5	<0.1	2.52
82	155	Silt	233	62.40	0.40	11.72	4.06	0.04	2.44	1.29	3.94	2.08	12.00	10.1	<0.1	2.75
83	163	Fine sand	142	55.00	0.31	8.69	7.89	0.10	2.35	5.66	3.46	1.77	15.15	12.8	3.61	2.34
84	165	Fine sand	305	70.70	0.39	11.46	5.11	0.08	2.34	2.66	2.81	1.65	3.15	3.3	<0.1	0.18
85	187	Silty clay	1270	58.60	0.37	9.92	4.66	0.04	2.75	1.00	4.42	1.96	16.60	17.8	<0.1	3.87
86	201	Silty clay	1499	59.83	0.33	10.20	4.43	0.03	2.55	1.00	4.15	1.90	n.d.	19.9	<0.1	3.83
87	211	Silty clay	1344	59.29	0.33	9.87	4.42	0.04	2.50	1.11	4.35	1.85	15.00	22.1	<0.1	4.10
88	217	Clayey silt	1161	60.20	0.38	11.50	4.43	0.04	2.59	1.41	4.25	2.00	n.d.	13.6	<0.1	3.60
89	232	Silty clay	1045	58.29	0.35	11.31	4.40	0.03	2.83	1.05	4.37	2.06	n.d.	15.5	<0.1	4.02
90	236	Fine sand	63	63.10	0.49	16.11	4.75	0.11	2.08	5.16	3.60	1.04	2.61	2.5	<0.1	0.43
91	239	Silty clay	1996	59.02	0.35	10.22	4.71	0.04	2.78	0.95	4.47	1.91	n.d.	20.5	<0.1	4.34
92	250	Silty clay	1697	57.90	0.31	9.43	4.70	0.13	2.62	0.93	4.55	1.75	16.55	22.1	<0.1	4.70
93	255	Silty clay	1450	59.11	0.36	9.95	4.55	0.03	2.61	1.00	4.15	1.84	15.45	19.9	<0.1	3.10
94	273	Fine sand	57	57.50	1.15	13.41	11.60	0.24	3.87	5.00	3.17	0.88	1.90	3.3	<0.1	0.35
95	M-4	Very fine sand	90	69.60	0.29	11.89	3.83	0.03	1.75	2.29	3.03	2.07	4.50	1.3	<0.1	0.66
96	M-11	Clayey silt	155	62.50	0.38	12.02	4.33	0.03	2.26	1.38	3.86	2.10	10.05	6.8	<0.1	2.33
97	M-15	Very fine sand	98	72.20	0.34	11.15	4.18	0.04	1.90	1.70	2.70	1.91	4.05	3.7	0.44	0.44
Off SE Hokkaido																
98	39	Fine sand	38	55.71	0.65	14.62	6.56	0.16	3.86	8.48	3.45	1.02	4.30	1.8	1.51	0.67
99	40	Fine sand	64	57.63	0.43	16.16	4.72	0.10	2.55	6.86	3.84	1.14	n.d.	2.2	0.58	0.78
100	45	Very fine sand	54	59.90	0.45	15.85	4.59	0.10	2.37	6.44	3.84	1.18	4.70	1.2	0.51	0.85
101	46	Very fine sand	92	59.81	0.45	16.91	4.86	0.10	2.35	6.77	3.92	1.19	3.80	1.8	0.32	0.78
102	47	Coarse sand	154	60.88	0.67	13.89	7.23	0.16	3.27	5.67	3.22	1.07	2.90	2.4	<0.1	0.57
103	48	Very fine sand	749	60.33	0.53	14.89	6.23	0.11	2.27	5.43	3.67	1.23	4.85	2.7	<0.1	0.94
104	49	Sandy silt	1759	60.56	0.40	10.83	4.06	0.07	1.72	4.18	4.70	1.12	12.40	18.3	<0.1	3.40
105	50	Clayey silt	2197	59.90	0.33	8.28	3.19	0.06	1.61	3.32	5.61	1.04	16.50	29.0	<0.1	4.72
106	51	Very fine sand	46	56.16	0.52	15.15	5.20	0.11	2.67	7.79	3.72	1.23	n.d.	2.0	1.26	0.80
107	52	Very fine sand	83	56.39	0.50	16.46	5.10	0.10	2.55	7.53	3.88	1.19	n.d.	3.3	0.94	0.85
108	57	Very fine sand	63	51.50	0.52	12.58	5.33	0.10	2.44	11.67	3.36	1.06	10.60	3.9	5.62	0.85
109	58	Fine sand	110	57.83	0.52	15.93	5.58	0.10	2.40	6.28	3.99	1.22	n.d.	4.6	0.36	1.05
110	62	Fine sand	56	59.09	0.50	16.87	4.82	0.10	2.34	6.91	4.08	1.33	n.d.	3.2	0.61	0.89
111	88	Very fine sand	79	59.25	0.48	14.61	4.42	0.07	1.48	4.81	4.39	1.76	8.35	4.8	0.63	1.61
112	90	Fine sand	137	59.70	0.55	14.95	6.41	0.11	1.19	5.86	3.56	2.50	4.65	4.4	<0.1	0.90
113	92	Sandy silt	896	59.20	0.45	12.19	4.59	0.07	1.18	4.30	4.54	1.76	11.50	13.1	<0.1	2.82
114	93	Silty clay	1636	54.50	0.30	7.31	3.05	0.05	1.07	2.90	6.92	1.79	21.45	26.5	<0.1	7.02
115	94	Silty clay	2100	58.82	0.32	8.01	2.93	0.05	1.11	2.88	5.68	1.59	18.50	28.5	<0.1	5.00
116	121	Silty clay	1399	60.25	0.34	9.53	3.60	0.06	1.71	3.42	5.31	1.20	n.d.	24.7	<0.1	4.01
117	123	Clayey silt	1757	61.50	0.36	11.75	3.92	0.07	1.66	4.27	4.65	1.22	9.40	18.5	0.69	2.62
118	125	Clayey silt	1970	60.90	0.42	12.41	4.18	0.08	1.82	4.41	4.38	1.35	n.d.	13.3	<0.1	2.16
119	139	Clayey silt	2263	60.39	0.35	9.78	3.70	0.06	1.72	3.31	5.07	1.26	n.d.	22.5	<0.1	3.65
120	152	Clayey silt	1926	61.02	0.46	12.32	4.79	0.08	1.93	4.72	4.36	1.29	n.d.	14.8	0.86	2.30
121	153	Gravel	35	77.22	0.32	8.98	3.67	0.05	1.48	1.36	2.35	0.98	2.65	1.3	<0.1	0.14
122	154	Very fine sand	77	61.39	0.42	15.23	4.42	0.09	1.43	4.97	3.91	1.96	n.d.	3.9	<0.1	1.05
123	155	Fine sand	134	62.11	0.51	15.36	5.26	0.09	1.72	5.18	3.51	1.51	n.d.	4.7	<0.1	0.80
124	157	Clayey silt	678	59.57	0.46	13.32	4.43	0.07	1.81	4.23	4.98	1.38	n.d.	14.8	<0.1	2.98
125	159	Clayey silt	943	58.68	0.39	9.98	3.76	0.06	1.81	3.18	5.50	1.26	14.80	23.5	<0.1	4.29
126	161	Silty clay	1220	58.67	0.36	9.62	3.57	0.05	1.78	3.15	5.50	1.24	n.d.	25.0	<0.1	4.61
127	163	Clayey silt	1381	59.80	0.40	10.51	4.14	0.07	1.86	3.98	5.17	1.22	n.d.	21.4	<0.1	3.83
128	164	Clayey silt	1558	59.45	0.45	11.94	4.97	0.08	2.01	5.07	4.69	1.22	n.d.	18.2	<0.1	3.12
129	165	Clayey silt	1754	59.93	0.45	12.11	4.90	0.08	1.95	5.20	4.35	1.22	n.d.	15.5	1.16	2.62
130	199	Clayey silt	1237	57.50	0.37	8.86	3.39	0.05	1.22	3.20	5.54	1.67	17.35	23.3	1.01	4.47
131	200	Clayey silt	1121	58.71	0.37	9.60	3.55	0.05	1.28	3.06	5.62	1.67	n.d.	18.5	<0.1	4.40
132	201	Silt	52	59.28	0.45	13.66	4.22	0.06	1.69	3.83	4.35	1.68	n.d.	3.3		1.56
133	202	Fine sand	90	63.47	0.40	14.85	4.11	0.07	1.65	4.49	3.96	1.57	n.d.	3.9	0.16	0.95
134	204	Silt	434	61.58	0.47	13.55	4.45	0.08	1.70	4.23	4.33	1.34	n.d.	9.2	<0.1	1.77
135	206	Clayey silt	855	59.75	0.42	10.35	3.78	0.06	1.82	3.05	5.28	1.36	n.d.	15.6	<0.1	3.65
136	208	Clayey silt	986	59.15	0.39	9.54	3.59	0.05	1.84	3.12	5.47	1.32	n.d.	17.4	<0.1	4.57
137	241	Very fine sand	261	65.55	0.40	13.77	3.87	0.06	1.83	3.29	3.76	1.62	4.70	3.4	<0.1	0.99
138	245	Sandy silt	81	56.91	0.50	13.34	4.49	0.05	1.89	2.74	5.04	1.77	13.40	5.2	<0.1	2.77
139	248	Gravel	135	65.83	0.47	12.24	4.42	0.07	1.66	2.85	3.53	1.74	n.d.	7.0	<0.1	1.15
140	254	Fine sand	88	64.56	0.45	12.45	4.32	0.07	1.63	2.83	3.68	1.84	6.95	4.6	<0.1	1.33
141	257	Fine sand	152	64.04	0.42	12.70	3.77	0.06	1.70	2.85	3.73	1.74	n.d.	5.4	<0.1	1.22
142	262	Sandy silt	114	62.52	0.45	12.64	4.05	0.06	1.72	2.69	3.94	1.84	n.d.	5.5	<0.1	1.61
143	265	Fine sand	525	64.86	0.47	13.91	4.26	0.07	1.75	3.37	3.77	1.89	4.40	3.7	<0.1	0.89
144	275	Clayey silt	348	60.52	0.50	11.71	3.46	0.05	1.59	2.36	4.23	1.82	12.75	8.9	<0.1	2.62

日本の沿岸海域堆積物における生物・海水起源物質の地球化学的研究(寺島ほか)

第A-1表 つづき.
Table A-1 Continued.

Sample No.	Local No.		WD (m)	T. SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	LOI (%)	Bio. SiO ₂ (%)	CO ₂ (%)	Cl (%)
Off Tokai																
145	3	Coarse sand	375	48.20	0.83	14.70	9.17	0.12	3.97	7.19	4.23	0.98	10.13	n.d.	1.66	2.20
146	12	Fine sand	558	52.10	0.81	13.30	10.57	0.18	4.03	9.51	3.14	0.95	5.38	2.0	2.21	0.82
147	16	Medium sand	505	51.00	0.85	16.20	10.51	0.22	5.61	9.12	3.20	0.69	2.75	2.9	0.82	0.44
148	28	Silt	1343	56.03	0.55	14.51	6.65	0.08	3.06	1.92	4.41	2.55	n.d.	2.4	0.59	2.93
149	30	Fine sand	90	14.83	0.21	5.04	2.97	0.06	2.67	37.55	1.43	0.28	35.65	<0.2	30.02	0.81
150	35	Fine sand	282	68.00	0.11	11.50	1.07	0.08	0.54	3.56	4.98	2.85	7.38	5.2	2.03	1.38
151	38	Silt	1324	56.20	0.55	14.51	6.16	0.07	2.70	1.97	4.31	2.54	10.90	2.2	0.73	2.73
152	55	Coarse sand	146	10.69	0.12	2.71	1.93	0.05	3.80	40.95	1.12	0.33	n.d.	0.8	35.12	0.61
153	56	Fine sand	700	44.85	0.37	11.00	5.29	0.10	1.95	16.99	3.18	1.25	n.d.	2.0	10.57	1.24
154	57	Fine sand	860	54.43	0.32	11.43	4.29	0.17	1.59	10.48	3.76	1.95	12.45	2.7	6.36	1.33
155	62	Medium sand	87	75.80	0.07	11.50	0.66	0.06	0.29	2.20	4.16	2.68	2.75	3.0	1.19	0.20
156	64	Silt	936	61.20	0.53	14.70	5.26	0.06	2.37	1.12	3.50	2.85	7.88	3.4	0.52	1.47
157	67	Sandy silt	1140	59.69	0.49	13.08	6.32	0.31	2.47	2.78	3.60	2.39	8.70	2.4	1.10	2.00
158	71	Coarse sand	720	12.85	0.12	4.03	1.90	0.07	1.57	41.30	1.50	0.24	n.d.	1.4	32.10	0.58
159	72	Fine sand	1112	42.46	0.47	10.92	7.29	0.13	2.38	16.88	2.83	1.18	n.d.	1.8	9.85	0.94
160	81	Silty clay	2557	56.12	0.48	13.54	5.31	0.06	2.66	2.75	4.41	2.58	n.d.	4.3	1.41	3.01
161	85	Fine sand	1390	56.82	0.44	11.68	6.44	0.11	2.06	8.80	3.50	1.74	8.90	2.8	4.39	1.03
162	86	Fine sand	1470	62.94	0.35	13.14	4.32	0.12	1.50	5.82	4.17	1.89	n.d.	2.8	2.14	1.01
163	87	Medium sand	1330	69.13	0.19	11.97	1.83	0.09	0.81	2.90	4.58	2.72	n.d.	3.1	1.24	1.01
164	92	Silty clay	1100	56.70	0.47	13.20	4.86	0.06	2.26	2.67	4.41	2.65	12.23	5.7	1.47	3.23
165	94	Silty clay	2764	54.20	0.48	13.01	5.41	0.09	2.75	2.50	5.24	2.49	n.d.	6.0	1.16	4.01
166	98	Fine sand	1690	63.54	0.37	12.44	3.92	0.12	1.58	5.78	3.88	2.20	7.10	1.4	2.65	0.92
167	99	Fine sand	1294	55.96	0.30	10.75	3.83	0.16	1.49	9.50	4.20	2.05	n.d.	1.6	5.90	1.84
168	100	Fine sand	1025	55.87	0.31	11.05	4.12	0.13	1.57	9.91	3.92	2.07	n.d.	2.2	6.16	1.65
169	103	Fine sand	368	63.50	0.45	12.70	4.86	0.09	1.81	2.50	3.69	2.67	7.41	2.3	1.23	1.60
170	107	Sandy silt	1924	57.26	0.46	12.71	5.89	0.11	2.46	2.78	4.63	2.53	10.85	5.0	1.41	3.12
171	111	Fine sand	1460	57.53	0.39	11.94	4.75	0.14	2.03	5.88	4.55	2.25	11.05	3.1	3.17	2.61
172	113	Fine sand	57	66.33	0.32	9.48	3.99	0.06	1.72	8.43	2.60	1.93	n.d.	0.9	4.46	0.67
173	114	Pebble	67	64.20	0.16	8.45	4.72	0.05	1.20	8.10	2.51	1.58	n.d.	1.4	5.91	0.23
174	117	Silt	2770	57.31	0.50	13.39	5.93	0.09	2.67	2.40	4.46	2.49	n.d.	4.0	0.99	2.64
175	121	Coarse sand	40	38.79	0.24	7.87	6.82	0.11	2.17	19.75	1.80	1.55	21.00	2.0	15.31	0.61
176	122	Fine sand	75	54.96	0.18	7.36	6.19	0.06	2.04	12.08	2.24	1.58	n.d.	1.5	9.30	0.73
177	131	Fine sand	87	63.50	0.26	9.10	3.98	0.06	1.38	8.20	2.84	1.66	8.80	0.9	5.41	0.64
178	133	Medium sand	105	29.57	0.17	5.32	4.58	0.07	2.48	28.75	1.92	1.10	n.d.	1.2	22.53	0.84
179	134	Medium sand	335	49.23	0.27	8.34	15.52	0.76	2.53	6.92	2.10	2.58	n.d.	2.9	4.57	0.51
180	144	Fine sand	618	63.29	0.34	11.31	5.08	0.06	1.81	5.23	2.85	2.35	7.85	2.0	3.12	0.83
181	149	Silty clay	285	58.00	0.49	14.60	5.53	0.07	2.50	2.00	3.76	2.89	9.75	3.4	0.90	2.11
182	156	Fine sand	1473	63.56	0.40	12.52	4.58	0.10	2.04	3.61	3.51	2.50	n.d.	3.0	1.83	1.51
183	159	Fine sand	87	66.04	0.51	13.54	4.88	0.07	2.33	1.98	3.35	2.65	n.d.	1.3	0.27	0.67
184	160	Fine sand	273	62.23	0.45	12.08	6.58	0.07	2.48	2.63	3.68	2.65	n.d.	1.5	1.00	1.60
185	161	Fine sand	713	65.10	0.47	13.30	4.98	0.08	2.25	2.13	3.50	2.61	4.94	0.8	0.38	1.19
186	168	Fine sand	1752	63.02	0.43	12.63	5.43	0.09	2.21	3.78	3.24	2.37	n.d.	2.4	1.58	1.06
187	169	Fine sand	2140	64.73	0.37	11.32	6.56	0.09	2.13	3.73	2.92	2.16	n.d.	2.8	1.58	0.80
188	172	Fine sand	171	63.40	0.49	13.30	5.18	0.08	2.31	2.39	3.52	2.68	6.09	1.1	0.62	1.28
189	173	Sandy silt	567	58.36	0.53	12.02	5.29	0.07	2.81	2.54	4.20	2.67	10.15	3.8	1.16	2.68
190	186	Silt	725	58.94	0.44	12.23	5.43	0.11	2.33	4.31	4.18	2.53	n.d.	3.4	2.41	2.32
191	187	Sandy silt	1000	55.94	0.51	12.76	5.71	0.07	2.52	4.39	4.00	2.51	11.75	5.0	2.52	2.45
192	199	Silty clay	930	52.64	0.42	11.46	5.15	0.05	2.13	8.83	3.71	2.28	n.d.	3.7	5.98	1.93
193	204	Fine sand	75	72.30	0.25	9.70	4.02	0.04	1.50	2.50	2.57	2.50	4.60	0.6	1.25	0.67
194	210	Silty clay	1100	52.15	0.46	12.38	4.93	0.06	2.52	6.03	4.45	2.40	15.20	6.3	4.00	3.32
195	221	Fine sand	1030	46.84	0.34	9.81	7.82	0.10	2.15	14.14	2.97	1.99	n.d.	2.6	9.05	1.35
196	222	Fine sand	732	43.75	0.42	10.16	8.17	0.09	2.25	16.24	2.81	1.73	n.d.	2.5	10.16	1.19
197	232	Fine sand	48	77.70	0.21	9.90	2.23	0.04	0.91	1.62	2.73	2.49	2.30	0.6	0.42	0.57
198	240	Fine sand	51	85.20	0.10	5.92	1.29	0.03	0.57	0.84	1.43	2.16	n.d.	0.9	0.43	0.57
199	241	Fine sand	102	70.80	0.33	10.00	3.66	0.06	1.31	3.50	2.56	2.77	4.71	0.2	1.95	0.48
200	248	Fine sand	111	73.19	0.24	9.70	2.86	0.05	1.28	2.69	2.55	2.68	4.50	0.4	1.46	0.82
201	254	Fine sand	153	74.60	0.33	9.90	2.87	0.06	1.05	2.39	2.56	2.57	3.29	n.d.	0.97	0.50
202	256	Sandy silt	1187	61.63	0.47	13.33	4.46	0.07	2.10	3.54	3.56	2.63	n.d.	2.9	1.84	1.60
203	260	Silty clay	1502	55.71	0.47	13.41	4.75	0.14	2.44	4.43	4.63	2.52	n.d.	4.9	2.50	3.07
204	261	Silty clay	1625	57.86	0.43	12.71	4.46	0.16	2.28	4.41	4.72	2.49	11.45	4.6	2.47	3.19