

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

今井 登* 寺島 滋* 片山 肇** 中嶋 健** 池原 研** 谷口政碩***

Noboru IMAI, Shigeru TERASHIMA, Hajime KATAYAMA, Takeshi NAKAJIMA, Ken IKEHARA and Masahiro TANIGUCHI (1997) Geochemical behavior of heavy metals in coastal marine sediments from the eastern margin of the Japan Sea. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 48 (9), p. 511-529, 14 figs., 4 tables.

Abstract: The distribution of eleven element concentrations were obtained for coastal marine sediments from the near shore of the Noto Peninsula to Off Akita. The distribution is explained by the transportation of detrital material from rivers and elemental migration within river water, sea water and marine sediments. The Fe is generally enriched in sandy sediments, in which smectite and glauconite commonly occur. The Mn is concentrated in the deep sea sediments. The enrichment is mainly due to the upward and lateral migration of dissolved Mn from deeper sedimentary layers. The Cu, Pb and Zn showed high concentrations in Toyama Bay and the northern part of Off Akita. The high concentrations of Ni and Cr which decrease from south to north are attributed to the ultramafic rocks in the hinterland of the Hime River. The coarse sediments originated from the mafic rocks in the northwest of the Noto Peninsula which contain high concentrations of Fe, Co, Ni and Be. The Mn and Pb in the coastal marine sediments from the eastern margin of the Japan Sea reflect much higher concentrations than those in the Pacific Ocean. This is probably because the local currents in the Japan Sea are less effective in transporting Mn distally compared to the Pacific Ocean. The reason for the higher concentration of Pb in the Japan Sea sediments is thought to be attributed to higher geological background values in land area.

要 旨

能登半島周辺海域から秋田沖までの広域的な底質地球化学図の作成を目的として、能登半島周辺海域から秋田沖までの重金属等11元素の地球化学的挙動を検討した。試料は日本海沿岸海域から表層堆積物665試料を採取した。元素はFe, Mn, V, Cu, Pb, Zn, Co, Ni, Cr, Be, Liである。各元素のうち鉄は多くの場合に堆積速度が遅い海域の砂質堆積物で高濃度を示した。一方、マンガンの濃度は採泥点の水深と良好な正相関を示し、マンガンの濃集は主として続成作用に起因すると考えられる。銅、鉛、亜鉛は富山湾の湾奥部や秋田県北部の沿岸で高い場合が多かった。能登半島北方の石灰質堆積物は銅を始めほとんどの重金属が低濃度であった。本調査海域におけるニッケル、クロムの主要供給源は姫川上流域の超苦鉄質岩であり、堆積物中の両元素は姫川河口で最大値を示し、北へ向かって漸減する。能登半島北西部の大陸斜面には基盤岩由来と考えられる比較的粗粒な堆積物が分布しており、鉄、コバルト、ニッケル、ベリリウム等

に富む特徴がある。また、日本海沿岸の堆積物中の重金属濃度と太平洋沿岸のそれを比較すると、鉄、銅、亜鉛、ニッケル、コバルトには有意差はないがマンガンの鉛は日本海側で高かった。

1. はじめに

沿岸海域における元素の移動を規制しているのは後背地の地質を反映した流入河川からの碎屑物の供給と、汽水域におけるイオン強度や酸化還元電位などの環境の変化による沈殿および海洋における沈殿と再溶出による循環などである。このような観点にたつてわれわれは沿岸海域における底質地球化学図の作成に関する基礎研究と並行して、これまでに新潟沖(寺島・片山, 1991, 1993)および秋田-山形沖(寺島ほか, 1992, 1995)の海底表層堆積物中の重金属等の地球化学的挙動を明らかにしてきた。このほか本調査海域に関しては、これまでに富山湾については有田ほか(1979)により表層堆積物中の重金属8元素の分布が求められており、また渡部ほか(1995)が富山湾内の底質試料中の23元素の化学組成から起源碎屑物の特徴を解析しその起源を明らかにした。また、秋

*地殻化学部 (Geochemistry Department, GSJ)

**海洋地質部 (Marine Geology Department, GSJ)

***地殻熱部 (Geothermal Research Department, GSJ)

Keywords: coastal marine sediment, elemental distribution, geochemical map, Off Ishikawa-Akita, Japan Sea

田沖では横田(1989)により底質試料中の重金属元素の分布が求められている。本研究では能登半島周辺海域から秋田沖までの広域的な底質地球化学図の作成を目的として、能登半島周辺海域の海底表層堆積物の重金属元素等を新たに分析し、能登半島周辺海域から秋田沖までの重金属等11元素の地球化学的挙動を検討した。

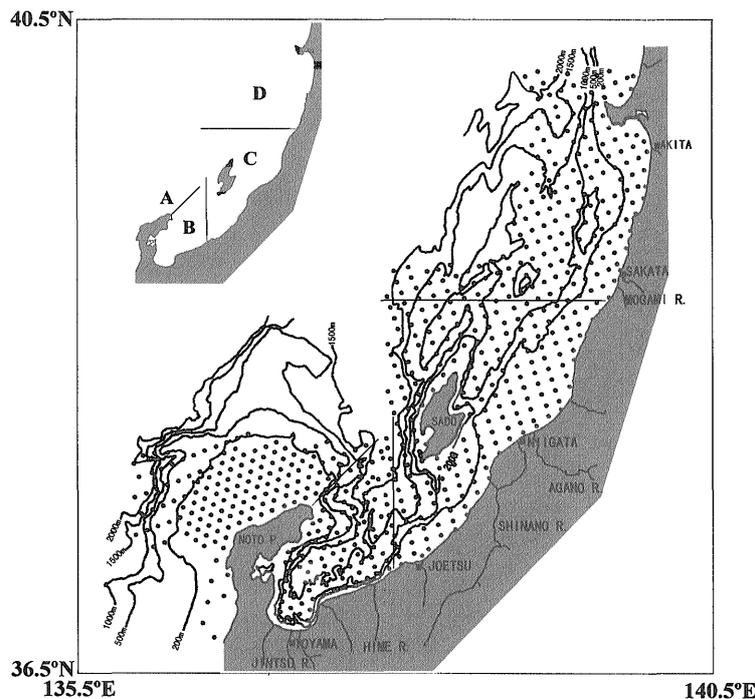
本研究で使用した試料は、当所における工業技術院特別研究「西南日本周辺大陸棚の海底地質に関する研究」および「日本海中部東縁大陸棚周辺海域の海洋地質学的研究」の一環として地質調査船白嶺丸による研究航海で採取されたもので、能登半島周辺海域では1988年6-7月に、新潟沖では1990年4-5月に、秋田-山形沖では1991年6-7月に採取された。本研究を行うに当たり、試料の採取および船上データの取得等に関しては上記研究グループの方々をはじめとする関係各位に大変お世話になった。厚く御礼申し上げる。本研究の一部は地球環境研究総合推進費による「有害金属・化学物質の海洋底質への蓄積と挙動の予察的研究」により実施された。

2. 調査海域の概要

今回対象とした試料は能登半島西側から秋田県北部にかけての日本海沿岸海域(第1図)で採取されたもので

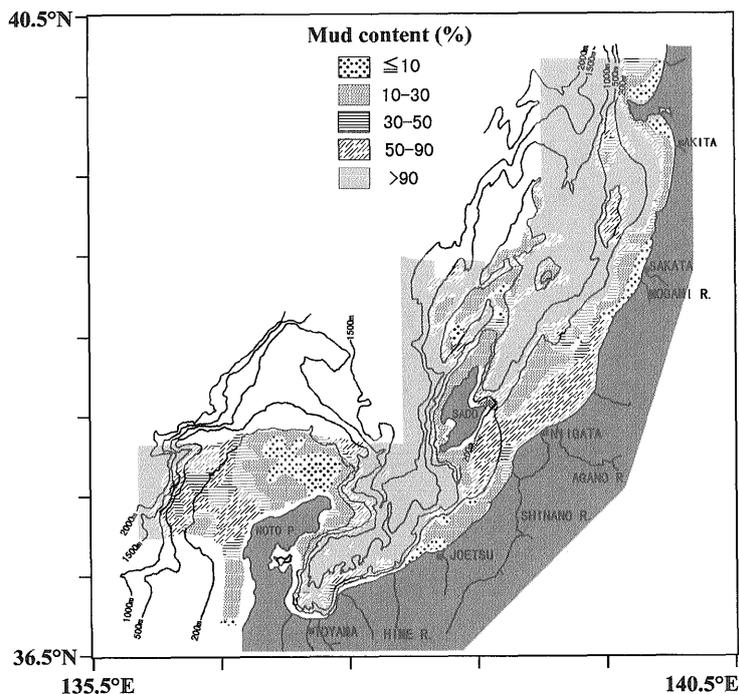
ある。海底の地形については、能登半島周辺海域では北側に大陸棚が広がり縁辺台地を経て北方の大和海盆に続き、東側では水深1000m以上の富山トラフが大和海盆から富山湾奥に向かってほぼ南北方向に入り込み、この間は急傾斜の大陸斜面となっている。富山湾は海岸線から中央部まで非常に傾斜の急な深い湾で、湾内から北方に富山深海長谷がのびて大和海盆を横切って日本海盆に達している。新潟市から佐渡島以北の海域は全体に水深が浅く1000mを超えないが、佐渡島北東側の最上トラフおよび同島南方の佐渡海盆は周辺よりも水深がやや大きく500mを越えている。男鹿半島の北西では、最上トラフの北端が日本海盆の東端に達しており、調査海域の最大水深はこの付近の沖合にあり約2500mである。酒田市の北西部約40kmには飛島があり、飛島西方から佐渡島北方海域にはいくつかの礁、堆が存在し、水深は1000m以下である。

富山湾に流入する河川としては神通川や黒部川等の河川があり、河川周辺には新第三紀の火山岩類を主体とするグリーンタフ層が露出し、上流には飛騨変成岩や岩船花崗岩などの基盤岩類が露出する。神通川上流には金属鉱床があり、流出河川にはその影響が見られる。また、糸魚川に注ぐ姫川上流には周辺他地域には認められない超苦鉄質岩類が分布し、元素の分布に大きな影響を与え



第1図 能登半島周辺-秋田沖海域における堆積物の採取位置。

A: 能登半島北西部海域, B: 富山湾, C: 新潟沖, D: 山形・秋田沖
 Fig.1 Sampling locations of the sediments from the near shore of the Noto Peninsula to Off Akita. A: Off Northwest of Noto Peninsula, B: Toyama Bay, C: Off Niigata, D: Off Yamagata and Akita



第2図 能登半島周辺-秋田沖海域における堆積物中の含泥率
 Fig. 2 Mud contents of the coastal marine sediments from the near shore of the Noto Peninsula to Off Akita

ている。新潟市沿岸には信濃川や阿賀野川が流入する。これらの河川の流域には主として新第三紀の火山岩類が分布し、一部にそれ以前の深成岩類、堆積岩類が認められる。また、佐渡島には古くから採掘が行われた多数の金・銀鉱山があり、酒田市沖には最上川が、秋田沖には雄物川および米代川が流入する。

本海域の堆積物については有田ほか (1979), 片山 (1989), 片山ほか (1991; 1994), 中嶋・片山 (1992), 池原ほか (1994a, 1994b), 中嶋ほか (1995) によって詳しく報告されている。第2図に能登半島周辺海域から秋田沖までの海底の堆積物中の含泥率分布を示した。能登半島北西側の海域には基盤岩 (火山岩類, 堆積岩類) が露出し, その東方には石灰藻および貝殻片からなる粗粒-細粒砂が分布する。大陸棚西部に向かって細粒砂-シルトが広く分布し, 富山トラフ底部には中央粒径値が8φ以上の細粒堆積物が発達する。新潟沖では水深の浅い水域には砂質またはシルト質堆積物が分布し, 水深が500mを越える水域には粒径8φよりも細粒の粘土質堆積物が分布する。秋田沖では水深が200mを越える海域のほとんどは泥質堆積物で覆われているが, 大陸棚や飛鳥周辺および佐渡海嶺上の浅い海域には砂質堆積物が分布するか, 露岩及び古期堆積物が露出している。これらの露岩や古期堆積物が分布する堆の周辺斜面には多くの場合海緑石に富む堆積物が分布する。また, 富山トラフの水深1000m以深と最上トラフの650m以深で堆積物表層に

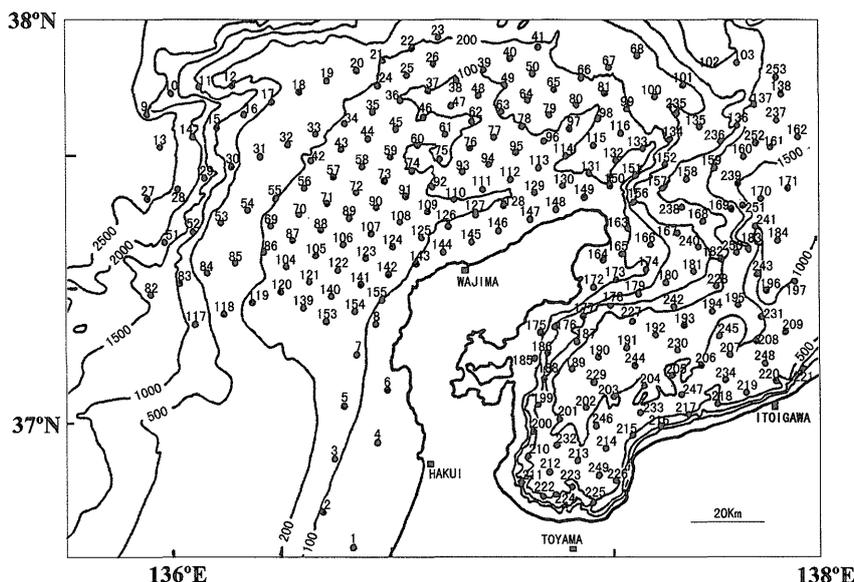
マンガに富む茶褐色層が広く分布しているのが認められる。

3. 試料及び分析方法

3.1 試料

表層堆積物試料は, 能登半島北西海域から秋田沖にかけての日本海沿岸海域から, 木下式グラブ採泥器を用いて665地点から採取した (第1図)。これら試料のうち, 新潟沖 (寺島・片山, 1993), 山形・秋田沖 (寺島ほか, 1995) の試料についての結果は, 分析値を含めて既に報告した。また, 庄川, 常願寺川, 黒部川等の河川堆積物を別途採取し同様に分析を行った。

能登半島北西部-富山湾海域における試料採取位置を第3図に示した。これら試料の多くは泥質堆積物であるが, 能登半島北方の大陸棚上を中心に石灰藻や貝殻片を主体とする石灰質堆積物が分布する。参考までに付表に各試料中のCaO含有量を示した。一般の泥質堆積物におけるCaO含有量は数%以下であるため, これ以上のCaOが含有される試料には石灰藻や貝殻片等が含まれることを意味する。また, 試料No. 14, 150は基盤を構成する泥質角れき岩片であるが, 基盤岩の元素含有量を知る目的もあって分析試料に含めた。今回分析した試料のうち, 富山湾内の堆積物は主として周辺河川から供給されたものである (渡部, 1995)。能登半島北西部には上述



第3図 能登半島北西部-富山湾海域の堆積物の採取位置
 Fig.3 Sampling locations of the sediments from Off Northwest Noto Peninsula to Toyama Bay

第1表 能登半島周辺, 富山湾, 新潟沖, 秋田沖の四地域及び太平洋の各地域ごとの平均元素濃度
 Table 1 Average concentrations of eleven elements in Off Northwest Noto Peninsula, Toyama Bay, Off-Niigata, Off-Akita and several areas in the Pacific Ocean.

Sea area	(n)	Fe (%)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cr (ppm)	V (ppm)	Be (ppm)	Li (ppm)
(Japan Sea)												
Off Northwest Noto Peninsula	146	3.13	767	16.7	24.4	63	11.4	26.4	60.7	59.5	1.4	31.3
Toyama Bay	94	3.48	1045	25.1	37.2	93.3	9.4	51.2	104.3	86	1.7	38.6
Off Niigata	213	4.17	1600	19.1	33.7	91.2	9.3	31.2	65.5	93.2	1.2	36.9
Off Yamagata-Akita	182	3.95	2046	25.9	36.8	104.6	10.8	27.3	47.1	95.8	1.4	38.1
(Pacific Ocean)												
Suruga Bay	14	3.70	581	31	19	93	14	28	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
South of Kii Strait	14	2.91	401	26	14	98	11	30	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Sendai Bay	145	3.30	655	16	n.d.	92	9	8	20	n.d.	n.d.	n.d.
Off Northeast Japan	21	3.15	390	36	12	84	8	27	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
The Japan Trench	26	3.25	672	76	13	81	10	24	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Central Pacific	139	4.12	7438	369	38	133	104	200	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Data for the Pacific Ocean are from Terashima et al. (1995) and Ohshima et al. (1987). n.d. = not determined.

の石灰質堆積物が分布するほか, 基盤岩砕屑物を含むと考えられる試料が大陸斜面部を中心に分布しており, 本海域の基盤岩類としては安山岩や玄武岩等の火山岩類及び泥質岩の分布が確認されている(片山, 1989; 池原, 1989).

3.2 試料処理と分析法

表層試料は, グラブ採泥試料の表層部 2-3 cm をプラスチックケースに入れて実験室に持ち帰り, 約30g を分取して約80°Cで乾燥し, めのう粉碎器で149μm(100メッシュ)以下に粉碎して分析試料とした. 各元素のうち Fe, Mn, V は ICP 発光分析法で分析し(今井, 1987), Cu, Pb, Zn, Co, Ni, Cr, Be, Li は ICP 質量分析法で分析を行った(Imai, 1990). すなわち試料0.2g を HNO₃,

HClO₄, HF で分解し, 蒸発乾固した後希硝酸で溶解して100mlの試料溶液とし ICP 発光分析法及び ICP 質量分析法で分析を行った.

4. 結果と考察

各元素の分析結果を付表に示した. 各地域の特徴を明らかにするために本調査海域を能登半島北西部, 富山湾, 新潟沖, 秋田沖の4つの海域に分けて平均値を求めた(第1表). また, 重金属等10元素については広域的な濃度分布図を作成し, 第4-8図に示した.

4.1 表層試料における元素分布の特徴

海底堆積物中の各元素の水平分布を解明することは,

第2表 河川堆積物中重金属含有量の平均値
Table 2 Regional average of heavy metals in river sediments

River System	(n)	Fe (%)		Mn (ppm)		Cu (ppm)		Pb (ppm)		Zn (ppm)		Ni (ppm)		Cr (ppm)	
		F	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F	C	F	C
[Toyama Bay]															
Shou	3	3.59	1.34	1199	416	40	13	21	19	198	56	15	4	103	9
Jintsu	17	4.28	2.41	1400	651	69	23	188	51	649	150	26	19	59	35
Joganji	3	5.54	2.83	1334	817	23	13	8	14	121	59	9	4	21	6
Hayatsuki	1	4.05	1.77	1128	552	34	12	37	15	113	45	84	8	146	17
Kurobe	3	4.02	1.91	1367	598	59	17	17	15	171	49	89	34	133	50
Hime	9	4.74	4.03	930	953	27	25	6	11	93	68	177	283	256	370
[Off Niigata]															
Shinano	6	4.27	n.d.	862	n.d.	34	n.d.	20	n.d.	145	n.d.	27	n.d.	58	n.d.
Agano	8	3.41	1.95	1046	514	38	14	34	12	202	92	12	5	26	16
Miomote*	8	2.99	1.68	915	362	40	10	38	14	167	59	18	6	42	23
[Off Yamagata-Akita]															
Mogami	3	4.45	2.44	1257	590	56	19	39	10	243	108	23	8	35	16
Omono	6	4.43	3.07	842	555	38	27	31	11	201	120	21	10	32	19
Yoneshiro	9	4.22	3.18	1129	779	178	76	107	22	491	164	17	8	30	17

*Containing the sediments from the Ara River, Tainai River and Kaji River.

F: Finer than 150 mesh; C: 10 - 40 mesh; n.d.: not determined.

各元素の主要供給源や堆積粒子の移動過程を研究する上で重要である。各元素の分布は主として陸域の河川を経由した後背地からの碎屑物としての供給と、海水中での移動・循環過程によると考えられる。本調査海域に流入する主要河川の堆積物中重金属濃度については既に報告した(寺島ほか, 1995)が、その後富山湾に流入する庄川、常願寺川、黒部川等の堆積物も分析したのでこれらの結果をあわせて第2表に示した。以下各元素の濃度分布図を中心に考察を加える。

4.1.1 鉄, マンガン

鉄については能登半島西側の大陸斜面, 上越市の沿岸からその北方海域, 男鹿半島から飛島へかけての海域で5%以上の高濃度が得られている(第4図)。鉄に富む堆積物の特性を検討するため, 能登半島北西海域から5試料(No. 11, 14, 31, 42, 85), 上越市沿岸から4試料(No. 8, 20, 25, 35)を選びX線回折による鉱物分析を実施した。その結果, スメクタイト, 緑泥石, 海緑石等の存在が明らかになり, 特にスメクタイトの存在量が卓越していることが分かった。したがって高濃度の鉄は主としてスメクタイトに由来する可能性があると考えられた。男鹿半島から飛島周辺海域に分布する鉄に富む砂質堆積物には多量の海緑石が含有されている(池原ほか, 1994a)。全調査海域を通じて鉄に富む堆積物は比較的堆積速度の遅い海域に分布する特徴があり, 鉄の濃集機構については今後の検討が必要である。一方, 鉄に乏しい堆積物は能登半島北方の大陸棚上に分布する(第4図)。鉄に乏しい堆積物には例外なく多量のCaOが含有されており, いずれも石灰質堆積物であることが分かった。

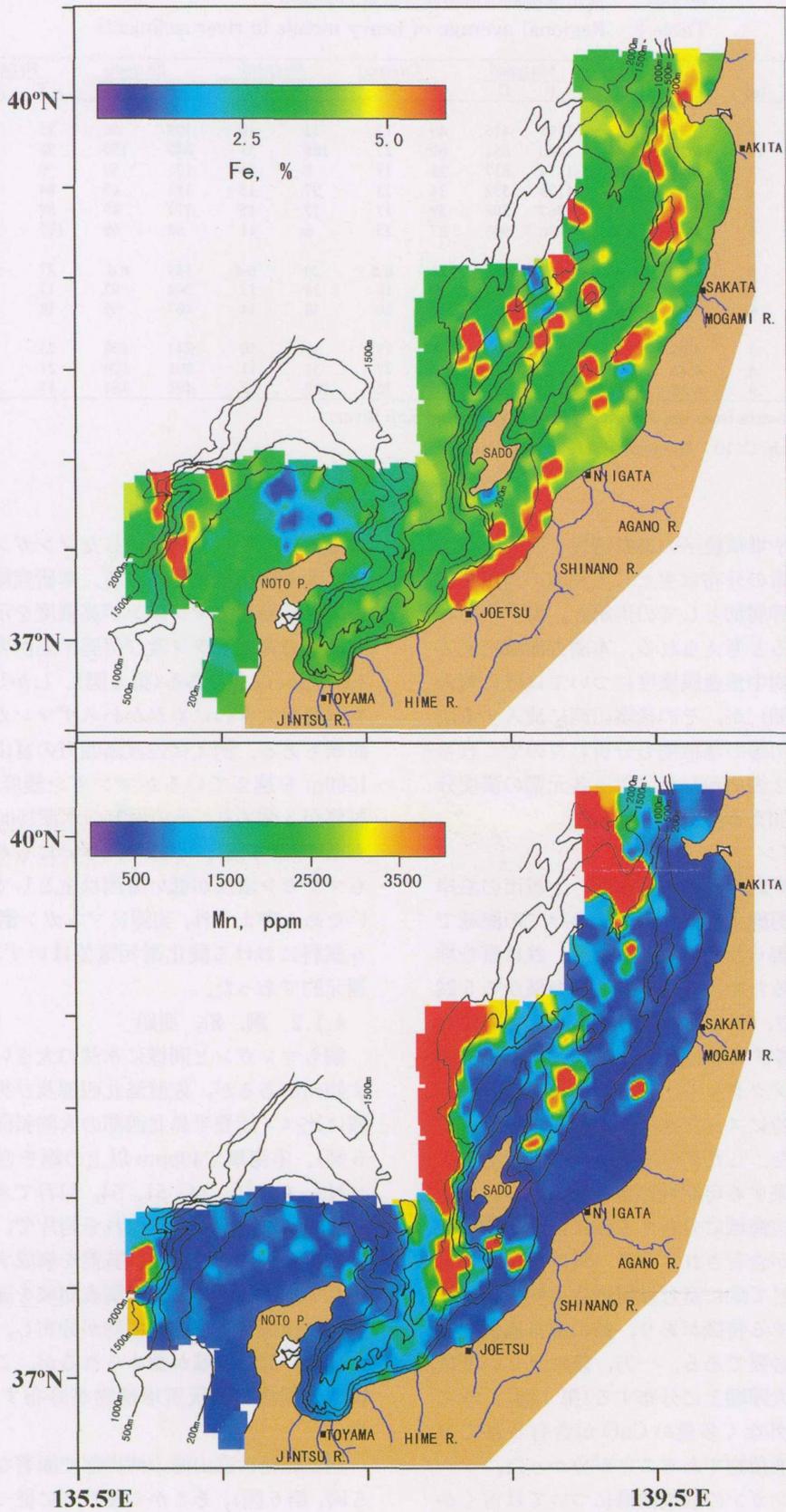
海底堆積物中のマンガンの濃集機構については古くから多くの研究があり(Lynn and Bonatti, 1965; Bonatti et al., 1971; Yin et al., 1989), これらによれば還元的环境下にある下層堆積物間隙から溶出したマンガンを, 酸化環境下にある堆積物表層や海水中で酸化されて再

沈殿する。そして再沈殿したマンガンは, 周辺よりも水深が大きい海域に集積する。本研究結果においても水深の大きい海域でマンガンが高濃度を示しており, 佐渡島北西部の富山トラフ及び男鹿半島西方の最上トラフでは3000ppm以上である(第4図)。しかしながら, 周辺よりも水深が大きいにもかかわらずマンガン濃度が低い海域もある。例えば佐渡島西方の富山トラフでは水深が1500mを越えているがマンガン濃度が2000ppm以下の試料が5個あり, その南方の水深1500m以下の海域よりも低い(第4図)。水深が大きいにもかかわらず周辺よりもマンガン濃度が低い原因は主として酸化還元電位が低いためと考えられ, 実際にマンガン濃度2000ppm以下の5試料における酸化還元電位はいずれも-57mVよりも還元的であった。

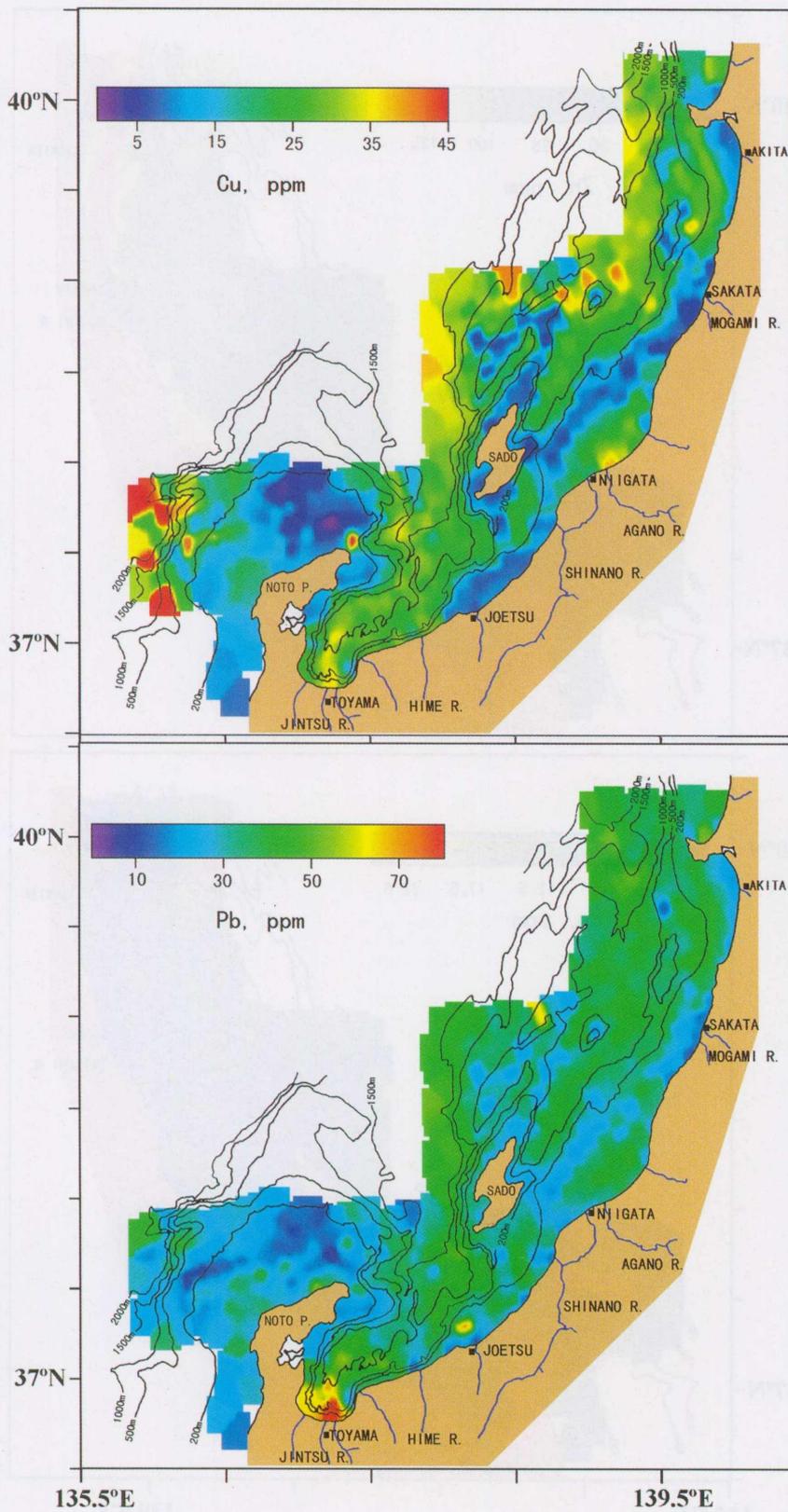
4.1.2 銅, 鉛, 亜鉛

銅もマンガンのように水深の大きい海域で高濃度を示す傾向があるが, 佐渡島北西部及び男鹿半島西方の深海域に比べて能登半島北西部の大陸斜面では特に高い(第5図)。本海域で40ppm以上の銅を含有する試料は6個(No. 9, 10, 14, 51, 54, 117)であり, このうち14は前に述べたように泥質角れき岩片で, 51にも泥質角れき岩片が含有されており, 基盤を構成する岩石が銅に富むことを示唆している。全調査海域を通じて水深が小さい海域には銅に乏しい堆積物が分布し, 特に能登半島北方には広い低濃度域が認められるが, これらはほかの重金属類と同様に石灰質堆積物が分布することによってい

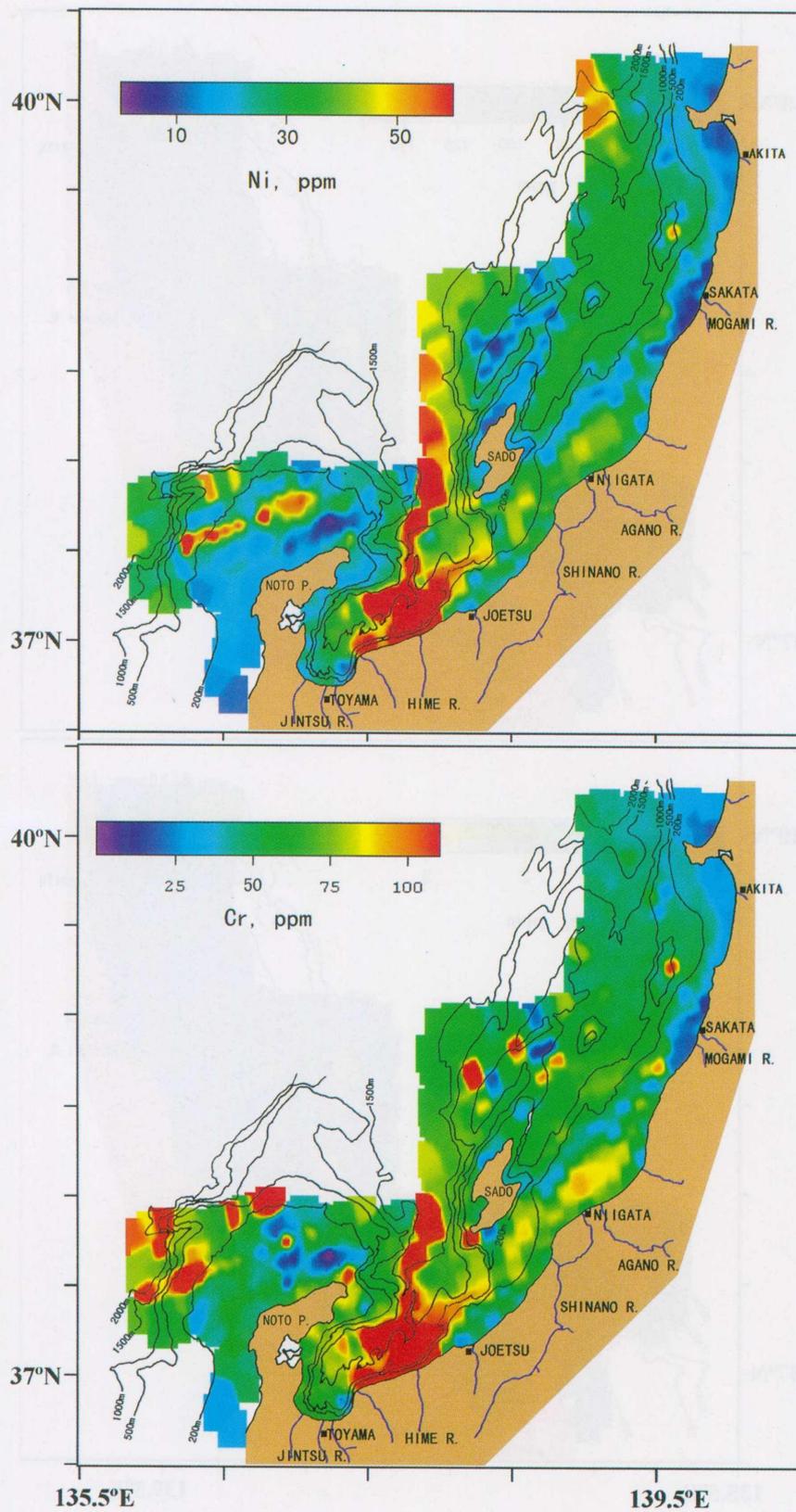
銅と亜鉛は富山湾の湾奥部で顕著な高濃度を示し(第5図, 第6図), そこから離れるに従って濃度を減じており, 河川からの供給を示唆している。第2表によれば, 富山湾に流入する河川のうち堆積物中の鉛, 亜鉛濃度が最も高いのは神通川であり, 他河川に比べて3倍以上である。第5, 6図からわかるように, 鉛については70ppm



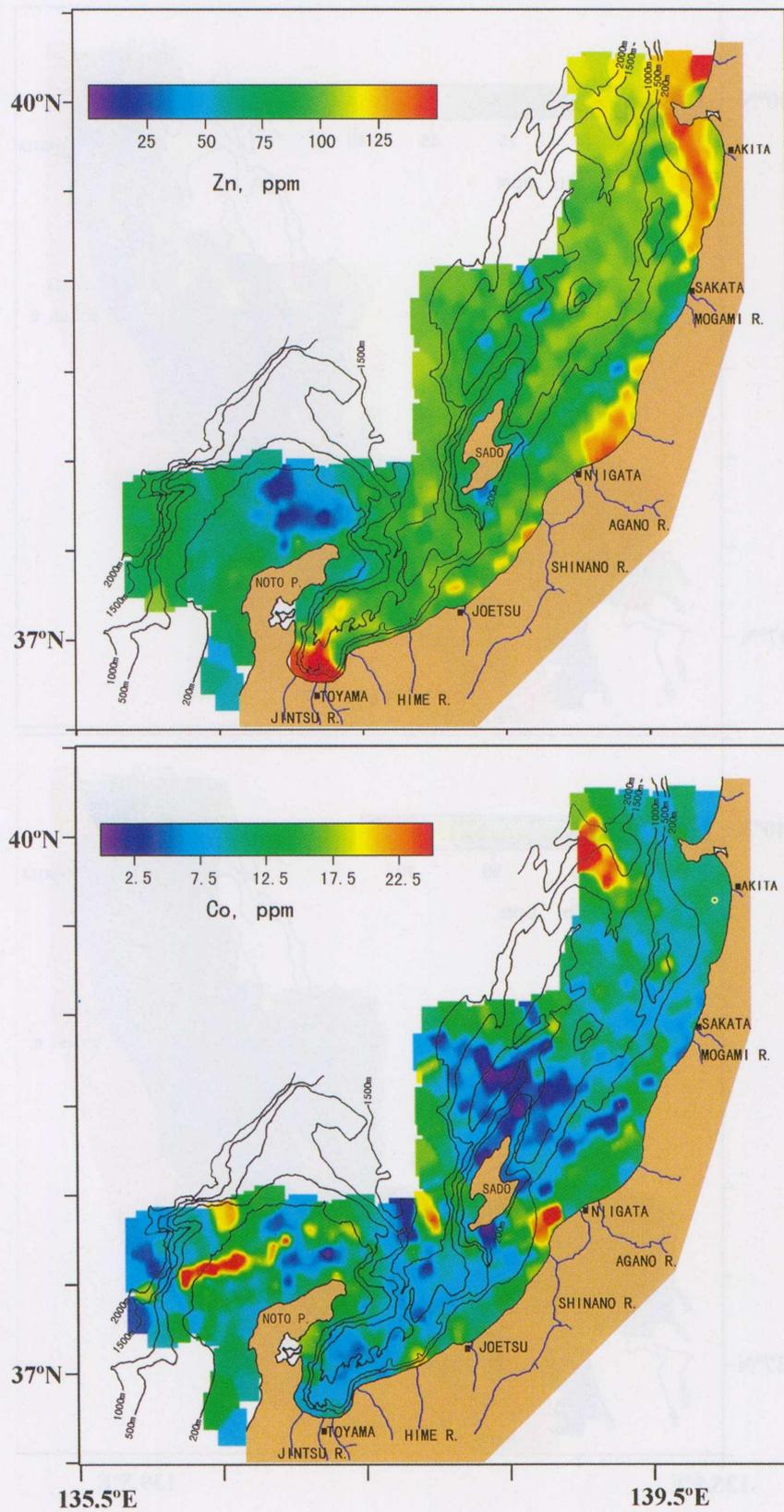
第4図 表層堆積物中の鉄、マンガン濃度の広域分布
Fig. 4 Distribution of Fe and Mn concentrations in surface sediments from the near shore of the Noto Peninsula to Off Akita



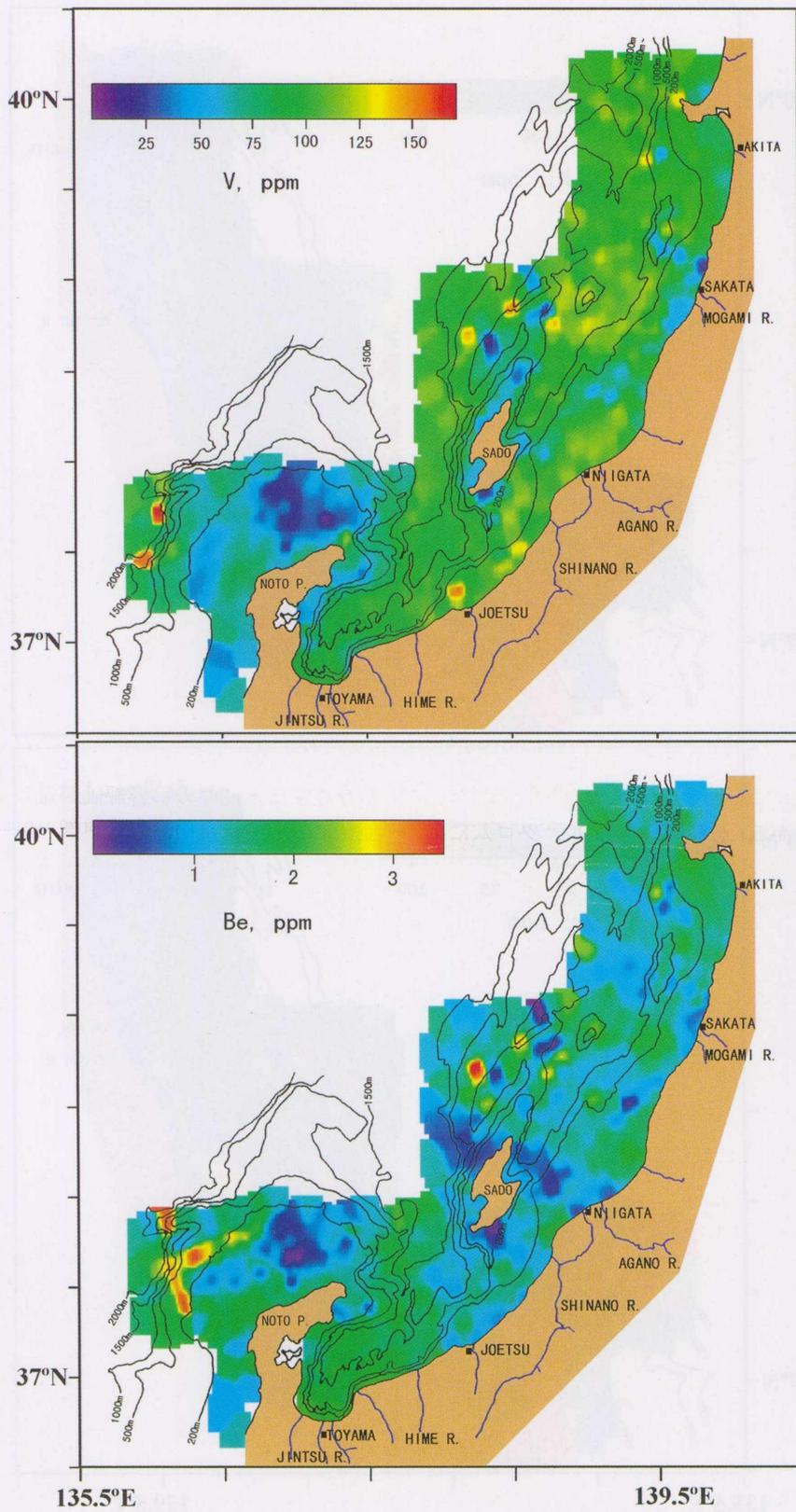
第5図 表層堆積物中の銅、鉛濃度の広域分布
 Fig. 5 Distributions of Cu and Pb concentrations in surface sediments from the near shore of the Noto Peninsula to Off Akita



第7図 表層堆積物中のニッケル，クロム濃度の広域分布
 Fig. 7 Distributions of Ni and Cr concentrations in surface sediments from the near shore of the Noto Peninsula to Off Akita



第6図 表層堆積物中の亜鉛, コバルト濃度の広域分布
Fig.6 Distributions of Zn and Co concentrations in surface sediments from the near shore of the Noto Peninsula to Off Akita



第8図 表層堆積物中のバナジウム，ベリリウム濃度の広域分布
Fig. 8 Distributions of V and Be concentrations in surface sediments from the near shore of the Noto Peninsula to Off Akita

以上の高濃度域は富山湾の湾奥部に限定されるのに対し、亜鉛の場合は秋田県北部沿岸にも高濃度域がある。秋田県沿岸海域に分布する細粒堆積物の供給源としては、男鹿半島以北では主として米代川、男鹿半島以南では主として雄物川で、一部は最上川と考えられる (Ikehara *et al.*, 1996) ので、高濃度の亜鉛もこれら河川からの供給と考えられる。上記三河川の堆積物中の亜鉛濃度を比較すると米代川が最も高く (第2表)、この河川の上流域には日本を代表する黒鉱床が分布している。

4.1.3 ニッケル、クロム、コバルト

ニッケル、クロムは、いずれも糸魚川市の沿岸に流入する姫川の河口で最高濃度を示し、そこから北方の水深の増加する方向にのびる顕著な高濃度域がある (第7図)。この図を詳しく見ると、ニッケル、クロムの高濃度域は北方の富山深海長谷方向のほか、富山湾中央部方向及び佐渡島南部方向へも広がっている。富山深海長谷方向及び富山湾中央部への広がり、渡部ほか (1995) が指摘しているように重力流を主体とした移動と考えられるが、佐渡島南部方向への拡散は主として海流の作用によると考えられる。本海域へのニッケル、クロムの主要供給源は姫川流域に分布する蛇紋岩を主体とする超塩基性岩類であり (寺島ほか, 1995)、このことは河川堆積物中のニッケル、クロムの分析値 (第2表) にも良くあらわれている。

姫川河口とその北方海域についてニッケル、クロムに富む堆積物は能登半島北西部の大陸棚から大陸斜面にかけて分布している (第7図)。これら試料の粒度組成はシルト-中粒砂であり、またその分布域からみて現在の河川から供給された部分は少なく、主として基盤岩由来の碎屑物と考えられる。

コバルトは、その物理化学的な性質からニッケルと同様な広域分布を示すと予想された。しかし、姫川河口-富山トラフの堆積物が22ppm以下のコバルト濃度であるのに対し、能登半島北西部には22-40ppmを示す試料が10個存在する (附表, 第6図)。このことは、能登半島北西部には、姫川上流域の超塩基性岩類よりもコバルトに富む基盤岩類が分布することを強く示唆する。

4.1.4 バナジウム、ベリリウム、リチウム

バナジウムは、能登半島北西部の水深の大きい海域等全体として鉄に富む堆積物で高濃度を示す傾向があり、また他元素と同様に石灰質堆積物では低濃度である (第8図)。各種岩石中のバナジウム含有量は、珪長質岩よりも苦鉄質岩中で高濃度を示す傾向があり、能登半島北西部における高濃度は苦鉄質基盤岩類に由来すると考えられる。ベリリウムについても能登半島北西部の大陸斜面の堆積物で2 ppm以上の高濃度が得られた (第8図)。苦鉄質火山岩類中のベリリウム濃度は一般に1 ppm以下であるため、ベリリウムの濃集については他の要因を考える必要がある。山形・秋田沖で採取された海緑石を

含む粗粒堆積物には高濃度のベリリウムが含有されており、主として続成作用に伴う濃集と考えられた (寺島ほか, 1995)。リチウムに関しては、全体としては砂質堆積物で少なく、粘土質堆積物中で多い傾向があった。海域別では、能登半島北西部のベリリウムに富む試料を中心として60ppm以上の高濃度が得られ、石灰質堆積物が卓越する能登半島北部の大陸棚上では20ppm以下の低濃度であり、富山湾内では30-50ppmの平均的濃度であった。

4.2 沿岸海域における微量金属の移動形態

沿岸域における微量重金属の移動形態を解明することは、各種元素の物質収支や海域での挙動を把握する上で極めて重要である。赤木・原口 (1984) は、多摩川河口-東京湾において河川水-海水中の重金属を分析し、ほとんどの重金属濃度が塩分量の増加に従って急速に減少することを報告した。このことは、溶存態として供給される重金属は、河口域で沈殿することを示している。一方、鉄をはじめとする重金属は砂岩よりも頁岩に多く含有されることは古くから知られている。したがって、沿岸海域における重金属は、主として微細な粘土質堆積物に伴って移動していることが予想される。

微量重金属の移動形態を研究する場合、多くの供給源が存在すると個々の影響評価が難しくなるため、銅、鉛、亜鉛については富山湾の湾奥部の31試料、ニッケル、クロム、コバルトについては姫川河口とその北方海域の44試料を選び、堆積物中のシルト及び粘土含有率との関係を検討した。その結果、銅、鉛、亜鉛、ニッケル、クロム、コバルトのいずれについても粘土含有率よりもシルト含有率との間の正相関が高いことが分かった (第3, 4表; 第9, 10図)。特にニッケル、クロム、コバルトについては、シルトとの間には0.58以上の正相関があるのに対して粘土との間には明らかな負相関があり、相対的に粗粒な堆積物と挙動を共にしていることが分かった。粗粒堆積物がニッケル、クロムに富む傾向は、姫川の河川堆積物においても認められる (第2表)。

以上のことから、本沿岸海域における微量重金属の移動形態としては堆積物を構成する各種岩石の碎屑物中に含有される元素量が重要であり、特に超塩基性岩類に伴うニッケル、クロム、コバルトに関しては岩石の風化に伴う溶出や河口域における沈殿の影響はさほど大きくないと判断される。

4.3 海底堆積物中重金属の広域分布特性

能登半島から秋田県沿岸海域における元素分布の特徴を把握するため、試料採取地点の緯度と堆積物中の鉛、亜鉛、ニッケル、クロム含有量の関係をプロットして第11図に示した。いずれの元素についても南部海域でいくつかの高値が認められるが、これらは4.1で述べたよう

第3表 富山湾の湾奥部堆積物における測定値の相関 (n=31)

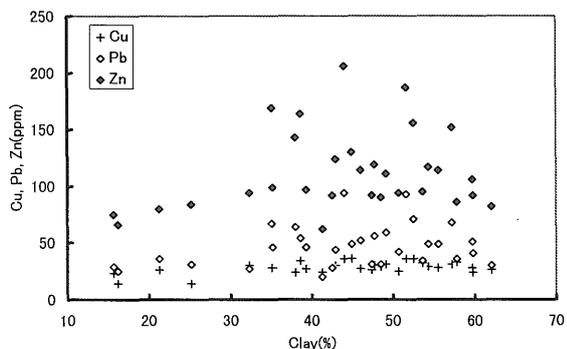
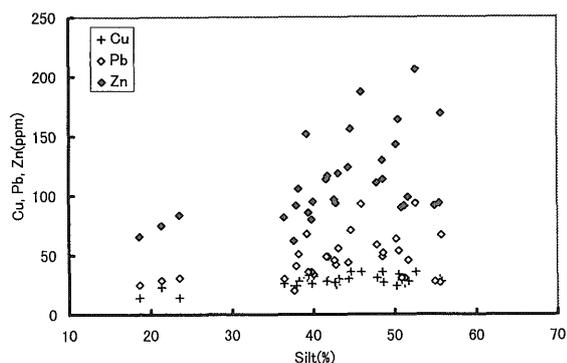
Table 3 The correlation between Fe, Cu, Pb, Zn concentrations and silt, clay contents in sediments collected from the inner most shore of Toyama Bay

	Silt	Clay	Fe	Cu	Pb	Zn
Clay	0.29					
Fe	0.62	0.10				
Cu	0.64	0.51	0.35			
Pb	0.38	0.28	0.27	0.59		
Zn	0.50	0.23	0.40	0.65	0.93	

第4表 姫川河口とその北方海域堆積物における測定値の相関 (n=44)

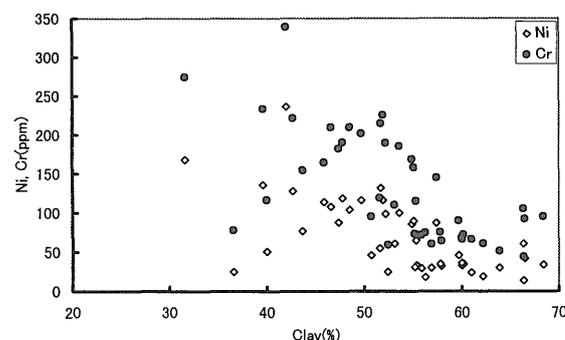
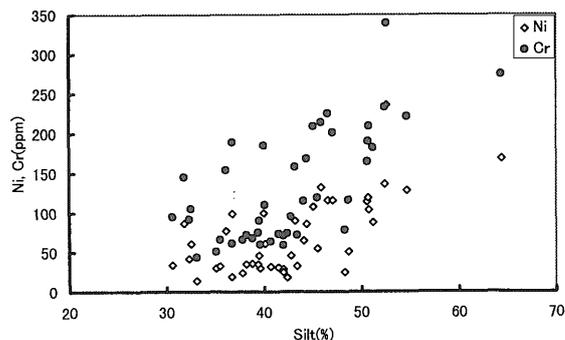
Table 4 The correlation between Fe, Ni, Cr, Co concentrations and silt, clay contents in marine sediments collected from north and near the mouth of the Hime River

	Silt	Clay	Fe	Ni	Cr	Co
Clay	0.86					
Fe	0.58	-0.53				
Ni	0.66	-0.63	0.81			
Cr	0.67	-0.66	0.85	0.98		
Co	0.58	-0.57	0.50	0.82	0.75	



第9図 堆積物中の銅, 鉛, 亜鉛濃度とシルト及び粘土含有率の関係

Fig. 9 The relation between Cu, Pb, Zn concentrations and silt, clay contents in surface sediments from the near shore of the Noto Peninsula to Off Akita

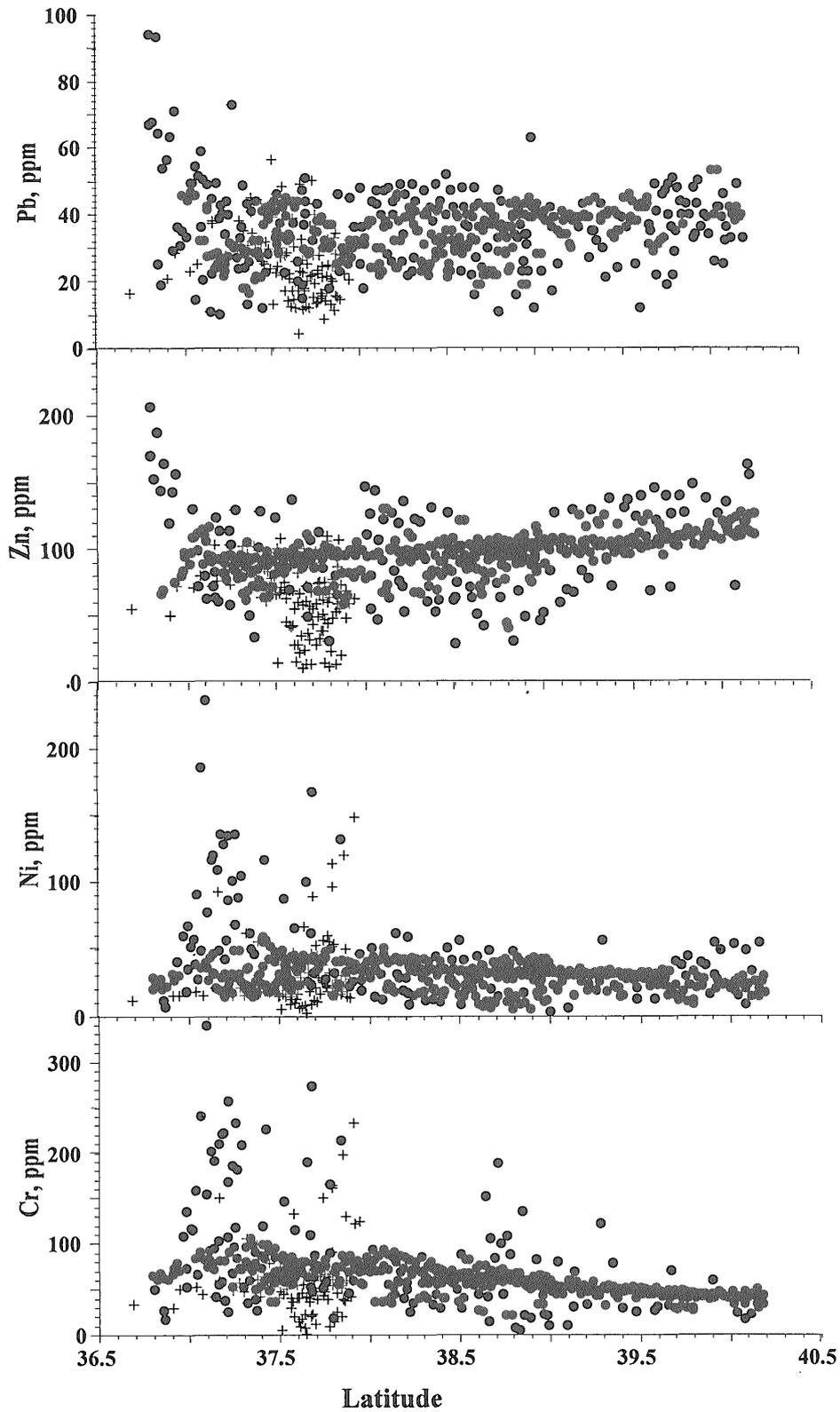


第10図 堆積物中のニッケル, クロム濃度とシルト及び粘土含有率の関係

Fig. 10 The relation between Ni, Cr concentrations and silt, clay contents in surface sediments from the near shore of the Noto Peninsula to Off Akita

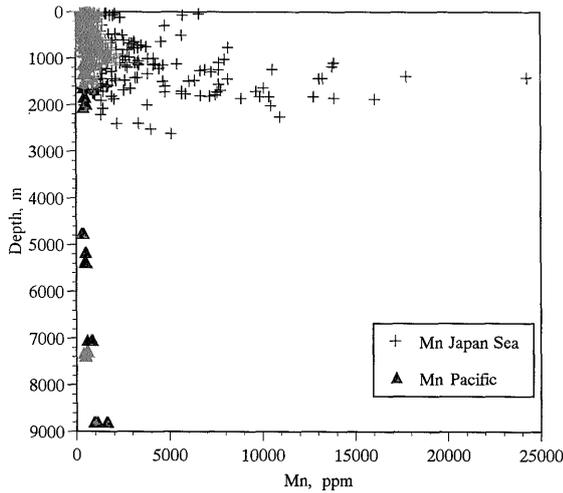
に, 神通川由来の鉛, 亜鉛及び姫川から供給されたニッケル, クロムの影響である。これらの高値を除外すると, 鉛については顕著な南北変化はなく, 亜鉛は北に向かってやや増加し, ニッケル, クロムは南から北に向かって減少している。ニッケル, クロム濃度が北に向かって漸減するのは, これら海域に流入する河川の流域にはニッケル, クロムに富む岩石の分布が少ないことを意味しており, 堆積物中のニッケル, クロム濃度を支配する要因として姫川上流域の超苦鉄質岩体の影響が極めて大きいことを示している。

第1表には, 日本海沿岸海域における堆積物中の元素濃度を太平洋側のそれと比較して示してある。太平洋側試料の採取海域は, 仙台湾(水深約10-130m, 大嶋ほか, 1987), 駿河湾(水深約17-2000m), 紀伊水道南方(水深約1355-2070m), 東北沖(水深約750-4770m), 日本海溝周辺(水深約5180-8805m; 以上 Terashima *et al.*, 1995) 等であり, 分析試料数は日本海側のそれより少ないが(第1表), 元素濃度の広域的な比較は可能と思われる。第1表によれば, 鉄, 銅, 亜鉛, コバルト, ニッケルに関しては日本海側と太平洋側で大きな差は存在しないが, マンガン及び鉛については明らかに日本海の堆積物が高濃度である。海底堆積物中の元素濃度は試料採取地点の水深によって変化する場合が多いため, マンガン, 銅, 鉛

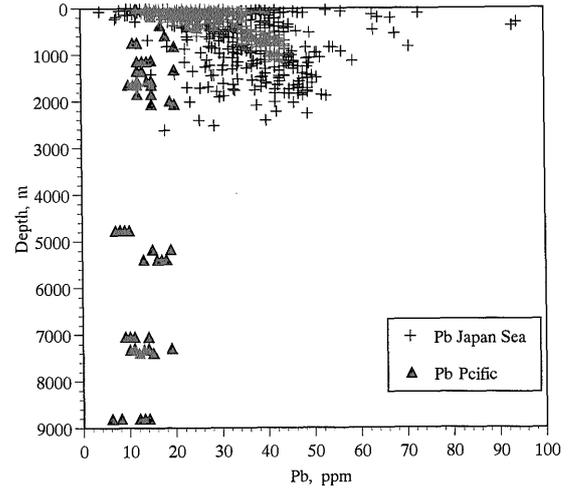


第11図 堆積物中の鉛, 亜鉛, ニッケル, クロム濃度の南北変化 ●: 富山湾から秋田沖 +: 能登半島北西部海域

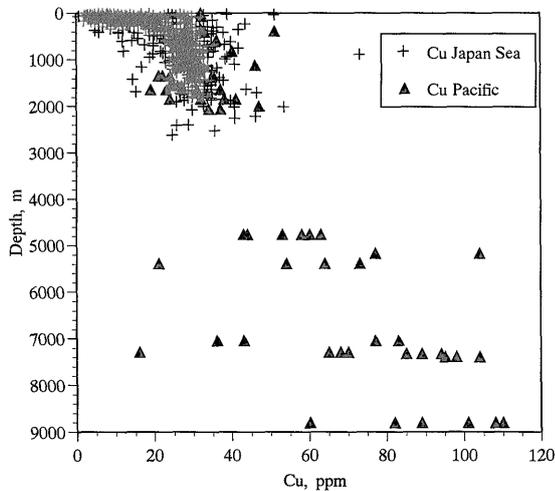
Fig. 11 The changes in concentration of Pb, Zn, Ni and Cr in surface sediments with latitude from the near shore of the Noto Peninsula to Off Akita ●: Toyama Bay-Off Akita +: Off Northwest Noto Peninsula



第12図 堆積物中のマンガン濃度と試料採取位置の水深の関係
Fig. 12 The relation between Mn concentration in surface sediments and water depth for both Japan Sea and Pacific Ocean



第14図 堆積物中の鉛濃度と試料採取位置の水深の関係
Fig. 14 The relation between Pb concentration in surface sediments and water depth for both Japan Sea and Pacific Ocean



第13図 堆積物中の銅濃度と試料採取位置の水深の関係
Fig. 13 The relation between Cu concentration in surface sediments and water depth for both Japan Sea and Pacific Ocean

を例としてこの関係を検討した。その結果、銅については日本海側と太平洋側で明瞭な差はなかったが、マンガン、鉛は明らかに異なる位置にプロットされた(第12, 13, 14図)。4.1で述べたように、海底堆積物中のマンガンの濃集は主として続成作用に伴うものであり、生成したマンガン酸化物等は細粒堆積物と挙動を共にしていると考えられる。沿岸海域の堆積物中のマンガン濃度が太平洋側と日本海側で異なる主な原因は、太平洋沿岸に比べて海流の影響が小さい日本海ではマンガンを富む微細堆積物が陸域に近い海底で沈積するのに対して太平洋で

は沿岸域で沈積しにくく、遠洋域まで運ばれることが考えられる。実際に太平洋の中央部の堆積物には多量のマンガンが濃集されている(第1表)。第5図からわかるように、鉛は供給源の河口域で高濃度を示す特徴がある。しかし、富山湾の湾奥部を除外すると特別高濃度を示す場所はなく、また第11図の南北変化からみても特定の供給源は存在しないと考えられる。したがって日本海沿岸域の堆積物中の鉛濃度が高い理由は沿岸陸域の地質特性に由来するバックグラウンド値が高いことによると解釈される。

5. まとめ

広域的な底質地球化学図の作成を主目的とし、能登半島から秋田沖までの日本海沿岸で採取された堆積物中の重金属等11元素の地球化学的挙動を研究し、以下の結果を得た。

- 1) 鉄は多くの場合に堆積速度が遅い海域の砂質堆積物で高濃度を示し、スメクタイトや海緑石等の生成に伴う濃集の可能性が考えられた。マンガン濃度は、採泥点の水深と良好な正相関を示し、マンガンの濃集は主として続成作用に起因する。
- 2) 銅、鉛、亜鉛は、富山湾の湾奥部や秋田県北部の沿岸で高い場合が多かった。銅が比較的沖合まで移動するのに対して鉛、亜鉛は河川域で堆積しやすい。能登半島北方の石灰質堆積物は銅を始めほとんどの重金属が低濃度であった。
- 3) 本調査海域におけるニッケル、クロムの主要供給源は姫川上流域の超苦鉄質岩であり、堆積物中の両元素は姫川河口で最大値を示し、北へ向かって漸減する。

- 4) 能登半島北西部の大陸斜面には基盤岩由来と考えられる比較的粗粒な堆積物が分布しており, 鉄, コバルト, ニッケル, ベリリウム等に富む特徴がある。
- 5) 海底堆積物中の微量重金属は, 一般に細粒堆積物に伴って移動すると考えられてきた。しかし, 本研究結果によれば粘土よりも粗粒なシルト質砕屑物中の元素含有量が重要であり, 特に超苦鉄質岩に由来するニッケル, クロム, コバルトの大部分は砕屑物中に含有された状態で移動すると考えられた。
- 6) 本調査域の堆積物中の重金属濃度を, 太平洋沿岸のそれを比較すると, 鉄, 銅, 亜鉛, ニッケル, コバルトには有意差はないが, マンガン, 鉛は本調査域で高かった。続成作用で濃集したマンガンが本調査域では沿岸近くで堆積するのに対して太平洋では遠洋域まで移動すると考えられた。本調査域の堆積物における鉛の高濃度は陸域の地質特性に由来すると解釈された。

文 献

- 赤木 右・原口悉紘 (1984) 多摩川河口-東京湾域における微量重金属元素の分布と挙動, 地球化学, **18**, 81-88.
- 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, 60-53~61-85.
- Bonatti, E., Fisher, D.E., Joensuu, O. and Rydell, H. S. (1971) Postdepositional mobility of some transition elements, phosphorus, uranium and thorium in deep-sea sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta.* **35**, 189-201.
- 池原 研 (1989) GH88-4航海で得られた採泥試料, 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, 50-65.
- 池原 研・中嶋 健・片山 肇 (1994a) 海洋地質図「秋田西方表層堆積図」, 地質調査所.
- 池原 研・中嶋 健・片山 肇 (1994b) 海洋地質図「粟島周辺表層堆積図」, 地質調査所.
- Ikehara, K., Katayama, H. and Nakajima T. (1996) Mode of mud deposition on shelf to basin area off Akita, northeast Japan Sea, *La mer*, **34**, 137-151.
- 片山 肇 (1989) 能登半島周辺海域の表層堆積物. 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・中嶋 健・池原 研 (1991) 新潟沖の表層堆積物. 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) 海洋地質図「佐渡島南方表層堆積図」, 地質調査所.
- 今井 登 (1987) 誘導結合プラズマ発光分析法による河川たい積物の分析. *分析化学*, **36**, T41-T45.
- Imai, N. (1990) Multielement analysis of rocks with the use of geological certified reference material by inductively coupled plasma mass spectrometry, *Analytical Sciences*, **6**, 389-395.
- Lynn D.C. and Bonatti, E.F. (1965) Mobility of manganese in diagenesis of deep-sea sediments. *Marine Geol.*, **3**, 457-474.
- 中嶋 健・片山 肇 (1992) 酒田・秋田沖の表層堆積物. 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3年度研究概要報告書—山形-秋田沖海域—, 地質調査所, 105-130.
- 中嶋 健・片山 肇・池原 研 (1992) 海洋地質図「佐渡島北方表層堆積図」, 地質調査所.
- 大嶋和雄・横田節哉・斉藤文紀・鈴木泰輔・松本英二・池田国昭・羽坂俊一・村瀬 正 (1987) 開口性沿岸海域開発に伴う底質汚染予測技術に関する研究, 昭和62年度国立機関公害防止等研究報告, 54-1-54-34 (通産省).
- 寺島 滋・片山 肇 (1991) 新潟県沖表層堆積物の重金属を中心とした地球化学的特徴. 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, 158-172.
- 寺島 滋・片山 肇 (1993) 新潟沖海底表層堆積物中の重金属12元素の地球化学的挙動. *地調月報*, **44**, 55-74.
- 寺島 滋・中嶋 健・片山 肇 (1992) 山形-秋田沖表層堆積物中の重金属分布. 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3年度研究概要報告書—山形-秋田沖海域—, 地質調査所, 185-196.
- Terashima, S., Nakao, S., Mita, N., Inouchi, Y. and Nishimura, A. (1995) Geochemical behavior of Au in terrigenous and pelagic marine sediments, *Applied Geochemistry*, **10**, 35-44.
- 寺島 滋・中嶋 健・片山 肇・池原 研・今井 登・谷口政碩 (1995) 秋田-山形沖海底堆積物における重金属等の地球化学的研究. *地調月報*, **46**, 153-176.
- Yin, J.H., Kajiwara, Y. and Fujii, T. (1989) Distribution of transition elements in surface sediments of the southwestern margin of Japan Sea. *Geochem. J.*, **23**, 161-180.

横田節哉(1989) 秋田沖表層堆積物の重金属元素.
秋田沖の海底地形と堆積物,「開口性沿岸海域開発
に伴う底質汚染予測技術に関する研究」成果報告
書,地質調査所,71-85.
渡部芳夫・片山 肇・今井 登(1995) 化学組成か

ら見た海成泥質堆積物の起源判別:富山湾表層泥
質堆積物の例.地質学雑誌,101,633-647.

(受付:1997年6月4日;受理:1997年8月22日)

日本海東部沿岸域海底表層堆積物における重金属の地球化学的挙動 (今井 ほか)

付 表 海底表層堆積物の分析結果

Appendix Analytical data for the studied sediments

location	Fe,%	Mn,ppm	Cu,ppm	Pb,ppm	Zn,ppm	Co,ppm	Ni,ppm	Cr,ppm	V,ppm	Be,ppm	Li,ppm	CaO,%	Depth,m
1	3.74	721	8	16	55	8	12	34	66	1.3	25	1.67	45
2	2.97	521	11	25	62	13	15	30	45	1.0	18	6.40	93
3	2.47	427	10	21	50	14	16	29	38	1.0	21	6.40	111
4	3.33	583	12	28	72	10	15	50	59	1.1	31	3.29	70
5	3.69	532	13	23	71	11	18	52	73	1.7	35	3.97	129
6	3.22	583	14	25	80	11	15	45	64	1.8	38	3.69	61
7	3.82	551	15	37	76	12	19	59	66	1.1	24	4.10	126
8	2.82	600	17	28	73	9	16	49	62	1.2	27	2.76	78
9	4.47	1377	46	42	80	6	34	104	106	1.4	40	1.13	2228
10	2.93	1235	44	43	88	7	36	85	85	1.1	31	1.06	1644
11	8.23	1186	20	23	79	6	22	150	120	3.3	35	1.60	885
12	2.98	573	33	31	82	9	32	80	69	1.6	45	2.71	616
13	3.11	5130	25	18	69	4	25	78	75	1.8	58	0.88	2634
14	6.15	507	54	24	88	10	27	125	172	1.9	73	0.81	2024
15	2.88	471	39	42	85	9	36	77	73	1.0	33	1.66	997
16	2.78	397	38	40	86	10	36	77	69	1.1	38	2.13	689
17	3.04	531	29	29	72	11	30	76	63	1.4	38	3.39	441
18	3.58	472	17	24	58	8	54	67	61	1.2	22	2.74	271
19	7.37	975	21	27	79	20	30	59	81	1.7	35	4.36	233
20	4.00	572	24	28	73	22	49	130	72	1.5	27	9.29	219
21	3.33	894	21	28	63	14	28	65	70	1.5	30	6.02	183
22	4.00	616	13	22	59	15	25	122	58	1.8	23	7.39	183
23	3.53	490	12	20	62	15	28	124	65	1.3	27	6.18	185
24	2.96	439	16	25	66	11	19	60	62	1.6	50	3.64	183
25	3.79	592	9	20	59	12	18	57	49	2.1	29	18.02	134
27	3.15	4035	36	29	87	7	44	78	89	1.7	72	0.93	2539
28	3.06	2237	26	26	79	3	29	75	87	2.4	85	0.90	2423
29	2.86	989	34	33	81	6	29	67	73	2.9	81	1.15	1767
30	2.92	376	29	29	84	9	28	66	71	2.7	75	3.26	566
31	5.56	533	14	20	70	9	15	96	74	3.4	50	2.47	272
32	3.82	352	17	22	64	11	19	88	64	2.9	60	3.92	234
33	3.78	548	14	21	67	9	16	67	64	2.1	43	3.69	208
34	2.99	445	21	28	74	13	27	68	64	2.8	97	4.65	190
35	3.27	386	14	23	61	13	22	54	62	2.9	77	3.88	170
36	2.90	507	13	25	59	14	23	61	48	2.3	62	20.73	113
37	1.08	859	4	21	23	5	15	25	18	0.6	16	42.67	100
38	0.50	779	2	13	13	4	17	21	14	0.4	8	48.45	65
39	1.04	1202	5	16	20	8	29	38	23	0.5	11	45.12	107
40	2.60	507	6	15	47	7	13	42	32	1.3	18	18.00	146
42	4.83	496	10	19	65	9	15	64	62	2.1	26	3.35	196
43	3.09	441	16	26	72	13	22	50	66	1.4	32	5.12	176
44	2.93	475	14	25	67	14	21	47	66	1.4	30	5.43	160
45	3.32	607	10	22	59	10	16	51	67	1.1	19	3.95	123
46	2.65	596	10	19	65	9	42	47	40	0.8	17	25.72	102
47	0.53	864	3	17	14	4	55	10	17	0.1	3	50.43	63
48	0.42	254	3	9	11	4	53	15	9	0.1	2	48.74	66
50	4.26	405	5	11	54	14	23	39	54	0.8	9	21.33	143
51	3.52	485	47	23	82	18	31	122	157	1.3	47	1.32	1713
52	3.47	1024	19	26	82	8	30	85	94	1.6	43	1.18	960
53	8.26	891	12	20	86	7	16	106	112	3.1	31	2.34	374
54	6.36	550	44	8	75	30	86	340	82	1.6	12	2.81	248
55	4.63	433	29	8	61	25	53	185	61	1.3	11	3.28	202
56	2.41	1223	35	10	63	39	84	94	47	0.9	14	12.26	163
57	2.59	621	28	10	63	27	64	86	52	0.9	15	13.50	153
58	3.72	450	24	12	66	34	66	79	60	1.1	18	17.73	134
60	2.39	1856	8	17	31	11	89	23	26	0.4	6	41.70	88
61	2.59	428	15	12	55	24	44	65	40	0.9	13	18.40	104
62	3.00	443	13	15	49	30	55	150	44	1.0	14	17.45	98
63	2.16	889	5	14	39	7	59	39	20	0.5	8	39.85	108
64	2.32	445	10	15	44	23	51	90	35	0.8	13	24.92	127
65	2.34	1181	9	17	48	15	20	46	36	1.1	22	14.90	157
66	2.50	652	12	21	52	14	18	54	45	1.1	20	6.50	191
67	2.54	495	20	34	60	14	23	60	56	0.6	12	5.32	227
68	3.26	560	22	28	68	11	24	81	68	1.2	23	3.27	312
69	3.04	427	17	28	57	12	22	61	52	0.9	17	5.65	186
70	2.57	711	14	24	59	8	27	40	37	0.6	11	19.34	155
71	3.24	900	14	23	64	15	28	45	48	1.2	27	17.82	147
72	3.34	789	17	28	68	23	23	56	62	1.0	20	10.90	138
73	3.35	716	16	21	68	21	22	54	66	1.5	36	9.59	126
74	3.28	646	12	17	60	19	22	46	56	1.6	40	14.00	103
75	2.67	548	12	17	57	22	26	41	45	1.1	25	19.10	100
76	0.82	677	4	12	13	6	46	22	20	0.1	3	47.76	66
77	0.66	1670	3	12	13	6	52	12	17	0.1	3	47.98	52
78	1.68	1170	7	22	28	11	38	63	34	0.5	9	28.25	87
79	2.11	359	8	13	38	12	26	56	30	1.2	23	18.12	121
80	3.29	626	8	15	47	18	32	67	46	1.4	22	22.31	123
81	3.92	627	9	14	63	21	30	66	64	2.0	31	18.49	141
82	3.02	3340	32	20	72	4	28	72	85	1.6	49	1.02	1430
83	2.69	1389	25	23	74	8	24	57	69	2.0	62	2.24	689
84	3.49	833	24	26	78	9	26	63	75	1.8	47	3.21	388
85	7.13	622	14	18	77	8	16	74	71	3.4	37	2.57	258

付表 つづき (Continued)

location	Fe,%	Mn,ppm	Cu,ppm	Pb,ppm	Zn,ppm	Co,ppm	Ni,ppm	Cr,ppm	V,ppm	Be,ppm	Li,ppm	CaO,%	Depth,m
86	2.95	995	22	29	77	12	24	48	54	1.4	35	5.79	193
87	3.65	445	15	32	68	16	23	46	45	1.3	26	14.51	151
88	3.63	412	14	27	67	11	19	52	60	1.3	29	4.27	158
89	3.28	487	13	39	66	7	15	47	67	0.6	14	3.05	142
90	3.58	514	16	33	71	11	19	61	72	1.2	32	2.84	130
91	2.98	447	13	48	62	9	15	40	56	0.4	10	3.06	110
93	0.82	603	3	39	15	4	28	10	23	0.1	1	47.29	61
94	0.57	436	4	26	21	3	23	8	7	0.0	1	48.37	56
95	1.41	675	7	23	23	8	31	40	26	0.2	6	30.51	71
98	2.17	1283	7	43	32	9	37	44	35	0.2	4	39.52	112
99	2.73	419	10	22	51	19	21	64	40	1.3	21	11.28	190
100	2.89	391	13	21	96	10	17	54	51	1.3	29	3.53	273
101	2.77	400	23	33	77	9	26	57	62	1.3	33	2.88	394
102	2.61	517	32	24	86	7	30	51	78	2.2	67	1.20	1372
103	2.68	3231	15	15	60	3	14	44	66	1.8	59	1.04	1435
104	3.49	743	11	16	64	14	21	33	40	2.3	42	13.63	163
105	2.68	314	14	21	57	13	18	42	47	1.5	31	5.45	156
106	3.18	409	15	26	68	10	18	50	62	1.6	32	3.05	150
107	3.56	468	16	32	72	10	20	53	68	1.4	30	2.64	134
108	3.59	433	11	24	78	8	14	40	64	1.7	39	2.40	111
109	3.26	473	11	23	67	10	16	44	69	1.5	38	2.91	104
110	3.15	399	17	27	75	14	23	57	64	1.7	45	4.62	103
111	2.08	361	8	22	42	8	13	37	35	1.0	26	19.35	80
112	1.96	541	16	14	42	5	12	41	33	0.7	18	28.20	91
113	1.59	311	3	15	28	6	7	17	30	0.5	11	19.76	90
114	0.26	521	1	4	10	0	2	1	6	0.0	2	48.11	91
115	2.21	356	4	23	36	5	9	20	25	0.7	14	20.11	112
116	2.73	311	6	20	43	10	11	40	35	1.3	23	13.04	140
117	2.84	486	73	35	104	9	38	56	81	1.9	56	1.97	900
118	3.47	754	25	26	74	14	28	64	76	1.9	48	3.70	406
120	3.17	888	11	19	64	8	14	31	38	1.2	22	23.77	148
121	3.53	484	11	23	55	12	18	45	45	1.8	29	5.30	165
122	3.35	470	19	41	80	13	23	61	75	1.8	49	3.35	164
123	3.75	473	23	30	88	13	24	63	87	1.9	52	3.18	138
124	3.29	572	22	32	85	13	21	57	79	2.0	51	2.57	115
125	3.41	475	17	25	82	10	21	63	80	1.6	43	2.52	105
126	3.74	512	17	29	66	18	24	58	62	1.9	44	5.62	87
127	0.53	572	3	13	14	2	5	5	11	0.1	4	47.88	65
128	2.93	534	10	24	108	13	15	50	56	1.4	38	5.59	89
129	2.50	521	6	22	45	7	9	29	38	1.4	22	3.81	90
130	2.57	994	5	28	41	10	10	20	42	1.2	19	7.78	93
131	1.54	323	4	12	28	5	6	15	27	1.2	23	2.95	98
132	1.80	442	5	20	35	10	8	23	32	1.4	25	7.11	108
133	3.98	2025	6	32	61	8	18	36	49	1.4	18	22.85	87
134	3.81	434	8	18	57	14	12	59	51	1.8	22	14.04	235
135	2.71	545	28	37	89	8	29	71	80	1.8	50	1.89	650
136	2.75	839	28	40	75	4	24	66	77	1.5	45	1.14	1163
137	3.45	2590	16	28	75	2	18	74	88	1.3	46	1.20	1703
138	3.97	936	31	38	106	12	114	164	110	1.5	40	1.86	1759
139	3.69	620	11	26	64	13	14	45	48	2.1	31	11.29	148
140	3.45	587	15	27	78	8	18	55	74	1.7	43	3.13	168
141	3.42	699	21	35	97	10	21	59	84	1.9	50	3.23	145
142	3.21	651	19	31	91	8	18	46	83	1.7	46	2.51	112
143	3.04	700	18	34	84	9	18	42	76	1.8	49	2.69	98
144	3.02	551	11	28	63	10	18	49	59	1.5	31	3.63	80
145	2.92	712	12	26	60	9	17	54	61	1.6	35	3.25	72
146	5.46	778	12	28	78	10	20	82	76	1.7	33	2.86	78
147	3.78	719	10	56	71	11	17	74	78	1.4	25	5.25	80
148	4.73	706	9	35	66	13	24	61	63	1.8	24	6.30	72
149	5.14	716	11	30	69	20	27	84	71	1.4	20	9.28	70
150	3.36	2114	51	17	92	11	46	133	133	1.4	23	2.11	51
151	2.13	448	12	22	55	14	16	41	45	1.1	25	9.64	275
152	2.61	484	23	30	81	10	24	55	68	1.2	34	4.36	615
153	3.14	620	16	26	76	9	19	42	67	1.6	39	3.39	165
154	3.35	682	21	30	88	11	21	57	79	2.0	57	3.42	143
155	3.04	618	19	28	86	9	16	47	74	1.9	45	2.65	102
156	2.93	532	21	28	82	12	22	61	73	1.4	38	5.12	394
157	2.65	571	25	33	86	12	26	55	71	1.4	40	5.03	956
158	2.80	516	32	34	88	10	33	66	78	1.9	59	2.54	1239
159	2.70	520	35	37	93	8	35	72	91	1.8	55	1.25	1546
160	3.96	1499	27	26	85	9	99	189	99	1.6	36	1.84	1721
161	3.86	856	33	47	111	7	61	110	99	1.6	43	1.77	1575
162	4.05	1375	27	40	91	5	33	72	97	1.6	37	1.41	1614
163	3.55	671	13	39	71	16	23	85	80	1.3	21	8.41	83
164	3.67	534	13	21	71	13	24	87	69	1.4	26	6.25	67
165	3.50	661	13	21	72	15	23	84	74	1.6	26	7.12	89
166	3.41	483	10	21	63	11	18	49	58	1.6	25	5.03	147
167	2.93	575	14	23	65	12	19	57	62	1.7	33	5.56	293
168	2.77	967	24	43	81	6	25	59	72	1.5	43	2.65	703
169	2.74	628	30	33	86	7	30	61	89	1.6	48	1.64	1315
170	2.95	1021	27	37	93	6	36	68	99	1.2	36	1.30	1134

日本海東部沿岸域海底表層堆積物における重金属の地球化学的挙動 (今井 ほか)

付表 つづき (Continued)

location	Fe,%	Mn,ppm	Cu,ppm	Pb,ppm	Zn,ppm	Co,ppm	Ni,ppm	Cr,ppm	V,ppm	Be,ppm	Li,ppm	CaO,%	Depth,m
171	3.27	2715	17	23	69	2	19	61	84	1.0	29	1.13	1171
172	3.55	582	8	18	61	13	16	59	49	0.7	13	19.55	70
173	2.48	601	9	18	50	14	15	71	47	1.2	17	10.03	90
174	1.33	1273	7	16	33	6	17	26	25	0.3	10	36.32	91
175	4.26	796	12	22	76	19	25	90	63	1.9	30	9.18	91
176	2.80	422	12	23	58	13	17	68	49	1.9	26	7.04	170
177	2.86	618	25	31	84	9	28	83	78	1.9	46	2.90	508
178	2.91	503	20	30	78	9	25	71	74	1.8	39	3.62	474
179	3.19	527	14	24	66	13	20	79	65	2.0	36	4.58	224
180	3.40	606	15	24	69	12	21	76	70	1.8	34	4.50	253
181	3.13	733	20	26	72	9	25	78	74	1.9	44	2.93	354
182	2.80	543	31	32	84	8	31	73	82	1.9	53	2.14	885
183	3.90	1401	31	29	89	10	116	225	102	1.9	43	1.68	1455
184	3.37	974	30	41	93	7	42	92	94	1.7	50	1.45	1044
185	3.10	658	9	22	64	17	20	55	40	1.3	25	17.56	78
186	3.52	596	10	24	61	12	19	81	61	1.7	24	6.13	219
187	2.96	563	29	39	93	7	31	82	85	1.8	49	1.84	747
188	2.92	459	24	20	62	17	26	82	69	1.5	38	10.53	391
189	3.23	578	29	49	117	7	32	79	91	2.0	51	1.74	1080
190	3.69	986	30	44	124	7	49	103	93	1.9	42	1.98	1187
191	3.64	822	28	49	114	7	29	58	97	2.0	45	1.91	1071
192	4.44	1389	30	27	94	11	134	257	105	1.7	46	2.02	1269
193	3.97	1119	32	34	95	11	100	185	101	1.6	46	1.97	1168
194	3.84	1666	26	31	92	7	88	182	94	1.9	40	2.14	1240
195	4.08	1450	29	31	90	7	104	209	105	1.5	40	1.69	1335
196	3.88	1781	23	33	79	3	34	95	92	1.6	44	1.30	1075
197	3.57	705	28	49	105	6	61	105	108	1.8	43	1.56	843
199	3.29	519	26	49	109	8	27	67	87	1.7	41	2.63	530
200	4.21	591	14	31	84	16	18	53	53	1.6	23	17.79	171
202	3.82	927	36	49	130	10	38	83	96	2.2	47	2.26	1190
203	4.05	1564	28	46	99	6	36	85	88	1.7	36	1.82	1006
204	3.46	888	27	52	114	7	39	82	94	1.9	39	1.85	1058
205	3.47	950	28	51	106	5	43	92	98	1.9	41	1.58	963
206	3.26	787	25	42	94	6	46	95	90	1.9	40	1.61	1017
207	3.92	1740	23	28	83	9	108	209	99	1.6	36	1.98	829
208	4.08	1640	27	28	91	11	128	221	106	1.6	37	1.95	854
209	3.99	1104	26	40	94	8	86	168	106	1.7	39	1.73	819
210	3.35	579	27	63	142	8	26	73	94	1.8	43	1.92	472
211	3.68	704	24	64	143	9	20	62	92	2.2	43	2.00	209
212	3.84	1224	34	54	164	9	22	61	96	2.0	40	1.80	838
213	3.40	898	30	56	119	8	31	66	100	1.7	38	1.82	936
214	3.00	1136	23	29	75	8	41	79	67	2.0	31	2.16	873
215	3.22	1228	26	36	80	9	60	108	68	2.1	32	2.33	494
216	3.51	1197	28	35	94	9	67	135	74	2.1	38	2.26	198
217	3.61	2166	25	33	89	6	52	116	78	2.1	40	1.91	485
218	3.86	926	31	47	109	10	90	158	96	1.8	41	1.82	497
219	3.81	1250	18	15	72	15	185	240	84	1.5	25	2.89	700
220	4.43	2598	30	32	89	22	236	339	102	1.7	39	1.89	628
221	4.29	806	30	32	95	14	116	201	119	1.8	49	1.84	251
222	3.58	864	31	68	152	8	25	61	98	2.0	47	1.58	557
223	3.90	1015	36	93	187	9	27	67	99	2.1	49	1.97	394
224	3.82	983	36	94	206	10	29	65	101	2.0	47	1.90	321
225	4.11	1184	28	67	169	10	20	49	98	2.1	41	2.90	221
226	2.49	689	14	25	66	6	12	27	53	1.9	28	1.67	611
227	3.00	623	32	44	95	9	48	95	95	1.9	47	1.71	1134
228	2.85	613	33	36	86	8	35	75	86	1.9	52	1.76	867
229	3.69	1438	31	59	111	5	36	74	90	1.8	39	1.81	1142
230	4.09	1335	28	28	92	14	136	220	106	1.4	34	2.33	1240
231	4.05	1298	31	27	86	13	136	233	105	1.6	36	1.84	1119
232	4.11	1314	36	71	156	8	30	70	96	1.9	45	1.73	837
233	3.59	1255	30	44	97	7	57	114	85	2.0	39	1.87	862
234	3.44	1282	23	36	80	8	77	154	85	1.8	38	1.79	561
235	2.86	544	29	35	85	7	27	58	78	1.7	47	2.31	526
236	2.68	591	34	37	94	8	32	64	83	1.7	51	1.35	953
238	2.84	594	27	35	83	10	26	58	76	1.6	45	3.48	891
239	3.77	1208	33	39	96	7	65	115	100	1.7	47	1.47	1475
240	3.16	711	19	27	72	10	22	63	73	1.6	37	3.43	335
241	3.12	1021	33	38	91	8	47	94	98	1.7	49	1.50	1206
242	3.26	2564	26	30	82	5	31	71	83	1.5	44	1.35	976
243	3.48	1162	29	43	92	6	46	90	98	1.5	41	1.30	983
244	3.75	1743	24	41	92	4	31	72	97	1.5	39	1.52	1036
245	3.53	1543	28	43	89	5	56	107	97	1.6	41	1.35	992
246	3.70	1321	27	46	97	5	34	73	87	1.6	36	1.84	925
247	3.45	987	27	55	111	7	48	91	96	1.7	39	1.74	848
248	4.13	1073	31	27	91	17	119	190	103	1.5	34	5.79	614
249	3.82	1493	12	19	69	9	7	18	92	1.5	22	3.36	835
250	3.54	2150	25	28	76	5	55	119	87	1.4	37	1.61	1462
251	3.67	1674	26	31	83	8	87	145	96	1.4	33	1.83	1624
252	4.56	1048	30	29	97	17	168	274	117	1.7	38	2.66	1795
253	4.16	2090	28	31	98	14	132	214	113	1.6	33	1.93	1886