

石狩湾堆積物の重金属の分布

横田 節哉* 大嶋 和雄*

Distribution of Some Heavy Metals in the Sediments Collected
from Ishikari Bay, Hokkaido

Setsuya YOKOTA and Kazuo OHSHIMA

Abstract: Solid wastes introduced into the sea are dispersed and accumulated in a manner similar to that of natural sedimentary materials. Then sedimentological techniques may be effectively applied to the study of transport and deposition of solid wastes in the sea. The present paper indicates a possible utilization of some heavy metals in sediments as tracers or index-markers in sedimentological research of Ishikari Bay.

Surface sediments on Ishikari Bay can be divided into five sediment types on the basis of their texture (grain size, Passega's CM pattern and sand-silt-clay content ratios) and composition (sand fraction and organic matter contents): 1. recent deltaic sediments, 2. recent reworked sediments, 3. relict and residual sediments, 4. mixed sediments, and 5. Ishikari basin sediments (Fig. 2).

Using the atomic absorption spectrophotometry, 41 surface sediments and 5 core samples were analysed for the elements of Zn, Cu, Mn, Ni and Co. Zn and Cu were enriched in the recent sediments, whereas Mn in relict and residual sediments. The distribution pattern of all the metals with the exception of Mn, are quite similar and it is possible that the metals have been transported to the Bay through the Ishikari river.

It is said that considerable amount of some heavy metals are released by burning of fossil fuels and the amount of Cd, Pb, Zn and Cu mobilized through burning of coal are 70 to 200 times higher than through combustion of oil (BERTINE and GOLDBERG, 1971). Therefore, we think that coal is important potential source of these metals. This idea suggested by the occurrence of coal pieces and slag fragments in the coarse fraction of the sediments in Ishikari Bay.

The pattern of unusual concentration and distribution of Zn and coal pieces in Ishikari Bay sediments suggests that they can use as tracers for the study of recent sediment dispersion and accumulation.

1. はじめに

重金属元素が海底堆積物に濃集して生じる底質汚染は、水銀へドロやカドミウム汚染泥などの例もあり、現在、大きな社会問題となっている。このような、底質汚染から生じる公害の防止やその対策のためには、海底における重金属の分布状態や、その挙動、すなわち陸域からの運搬、海域での沈積機構などについての実態を明らかにする必要がある。そのためには堆積環境の地質学的背景がよくわかっている海湾での、現世堆積物試料中の重金属分析結果の検討を行うことが必要である。このような研究目的に、適当であると考えられる石狩湾の堆積物を研究試料として選んだ。

すでに、石狩湾の堆積盆としての海底地形発達につい

ては、大嶋・池田・山屋(1978)が、また底質の堆積機構とその堆積時代については、大嶋・横田(1978)が報告している。

本研究では、大嶋・横田(1978)が用いたもの同一の底質試料中の重金属元素(マンガン、亜鉛、銅、ニッケル、コバルト)の分析を行い、各元素の起源および沈積機構の解明を試みた。

本研究に用いた底質試料は、1971年4月26日-5月1日までの6日間、東京大学海洋研究所の、淡青丸(268t)を利用して採取したものである。その際に多大の御便宜を頂いた、東京大学海洋研究所の奈須紀幸教授、淡青丸の神野船長(当時)を始めとする乗組員諸氏に感謝の意を表する。

また本調査研究に、指導あるいは協力を頂いた、曾我部正敏、堀本健次、山屋政美、石田正夫、佐川昭、村瀬

* 海洋地質部

正, 池田国昭, 音羽恵子および熊谷なな子の各技官に心から謝意を表する。

2. 底質試料の採取と分析方法

海図の底質記号を参考にして, 泥底質では, スミス・マッキンタイヤー式グラブ, 砂底質では小型円筒ドレジャー (口径20 cm, 長さ50 cm), 岩盤採取には, 大型円筒ドレジャー (口径40 cm, 長さ120 cm) を用いて, 41点の表層試料を採取した (第1図)。また, st. 15, 26, 36, 40および56では, 青木市太郎技官試作の重力式柱状採泥器 (口径3 cm, 採泥管長1 m) を用いて採泥した。

採泥試料は, 船上での肉眼観察後, 粒度組成, 砂粒組成, 有機物含有量 (全炭素および全窒素含有量) および

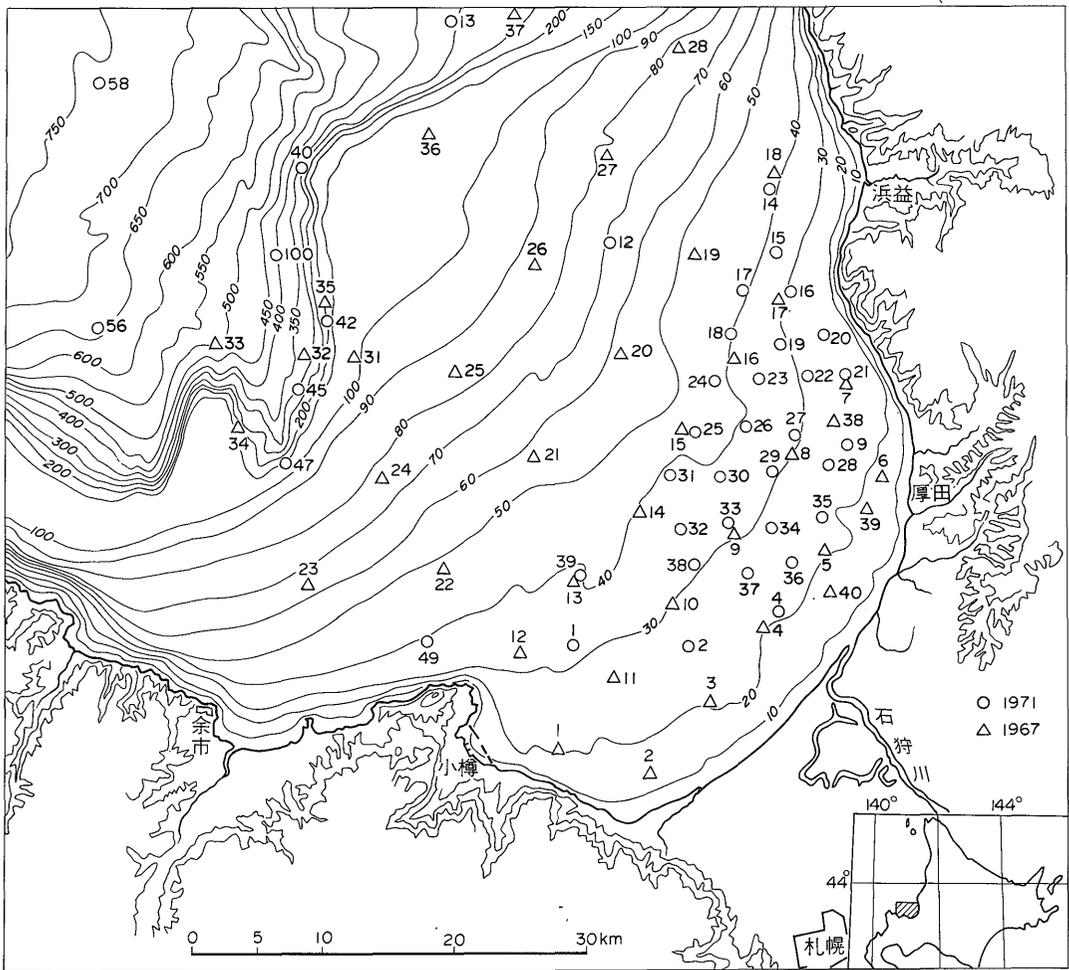
重金属元素含有量の分析のための試料を分取した。残りの採取試料は, 4 mm 径のフルイ上で水洗し, 残留した生物, 貝殻および礫の同定を行った。

重金属元素の分析は, 次の手順で行った。

60°Cの熱風乾燥器で乾燥した粉末試料の0.5-1.0 gr を精秤し, 過塩素酸と弗化水素酸で分解後, 塩酸に溶かして一定量としたものについて, それぞれ原子吸光分析法によって分析した。使用した分析機器は, 日立 207型原子吸光分光光度計である。

3. 表層試料の分析結果

表泥試料中に含まれる重金属元素の含有量は, 第1表に示す通りである。



△ 1967は佐竹による

第1図 試料採取点

石狩湾堆積物の重金属の分布 (横田節哉・大嶋和雄)

第1表 石狩湾堆積物分析結果一覧

測点番号	緯度 N	経度 E	水深 m	粒径中央値 Mdφ	泥分含量 %	堆積物型	全炭素 %	全窒素 %	亜鉛 ppm	マンガン ppm	銅 ppm	ニッケル ppm	コバルト ppm
1	43°15.8'	141°06.7'	30	3.2	10	2	0.46	0.033	210	450	10	130	36
2	43°15.7'	141°13.5'	23	3.3	27.5	2	0.29	0.025	250	480	10	116	40
4	43°17.3'	141°18.5'	21	4.1	67.0	1	0.88	0.05	590	430	12	104	40
9	43°24.1'	141°22.3'	23	5.9	100	1	6.38	0.24	260	330	28	96	28
12	43°32.4'	141°09.1'	65	2.0	1	3	0.27	0.03	220	600	8	96	30
13	43°41.5'	141°00.3'	362	4.2	60.5	4	0.84	0.10	550	490	8	64	36
14	43°34.6'	141°18.1'	40	4.3	68	1	3.36	0.32	840	430	12	104	46
15	43°32.1'	141°18.6'	35	4.2	60	1	2.79	0.27	510	380	14	116	36
16	43°30.4'	141°19.2'	31	5.7	83	1	1.79	0.89	280	370	14	102	32
17	43°30.6'	141°16.5'	38	4.6	71	1	5.42	0.53	550	350	28	104	36
18	43°28.7'	141°16.1'	39	2.5	30.5	2	0.91	0.37	530	500	8	100	36
19	43°28.5'	141°18.8'	31	4.5	76	1	2.85	0.28	790	380	12	100	36
20	43°28.7'	141°21.3'	27	5.9	95	1	7.06	0.27	580	340	22	102	36
21	43°26.8'	141°22.5'	24	4.0	45	1	0.45	0.07	510	410	8	108	36
22	43°26.8'	141°20.1'	29	4.7	76	1	1.68	0.17	510	380	12	100	34
23	43°26.8'	141°17.6'	36	—	—	2	1.05	0.64	180	360	12	96	30
24	43°26.8'	141°14.8'	40	1.7	0	3	0.18	0.02	130	620	8	88	30
25	43°24.6'	141°13.9'	40	1.8	0	3	0.14	0.01	130	670	8	80	36
26	43°24.9'	141°16.7'	36	5.7	66.5	1	2.25	0.10	380	360	12	104	24
27	43°24.7'	141°19.4'	30	4.1	63	1	2.76	0.35	780	370	22	116	34
28	43°23.3'	141°21.1'	24	4.1	59.5	1	0.78	0.08	540	380	8	108	34
29	43°22.9'	141°18.3'	30	3.9	32	1	0.79	0.05	780	460	8	108	30
30	43°22.8'	141°15.3'	36	4.0	32	1	0.74	0.12	600	410	8	108	40
31	43°23.0'	141°12.6'	39	1.2	0	3	0.13	0.02	110	520	8	66	22
32	43°20.7'	141°13.1'	34	3.1	26	2	0.41	0.02	170	520	8	100	32
33	43°20.9'	141°15.6'	31	3.5	33	2	0.59	0.04	130	420	8	116	30
34	43°20.7'	141°18.2'	26	4.0	40	2	0.67	0.05	190	440	10	116	30
35	43°21.1'	141°20.5'	23	4.7	78	1	1.12	0.06	180	360	10	96	30
36	43°19.2'	141°19.1'	22	6.7	91.5	1	3.27	0.19	400	400	28	116	42
37	43°18.7'	141°16.6'	25	3.8	20.5	2	0.64	0.06	210	440	8	120	40
38	43°19.1'	141°13.6'	30	3.7	20.5	2	0.55	0.04	150	440	8	120	40
39	43°18.6'	141°07.0'	38	0.7	0	3	0.10	0.01	110	480	6	70	30
40	43°35.5'	140°51.7'	323	4.8	71	4	1.54	0.18	190	430	14	104	46
42	43°29.3'	140°53.8'	153	2.5	4	4	0.27	0.02	160	710	6	100	36
45	43°26.4'	140°51.9'	271	3.4	32.5	4	1.01	0.10	370	530	8	66	36
47	43°24.2'	140°51.1'	137	2.7	6.0	4	0.31	0.04	460	760	8	66	46
49	43°15.8'	140°58.9'	37	—	0	3	0.16	0.013	140	450	6	116	30
56	43°28.4'	140°00.4'	667	—	—	5	1.56	0.24	205	300	10	80	25
58	43°38.7'	140°01.5'	779	6.7	89	5	2.21	0.27	700	310	10	60	30
68	43°48.9'	140°58.7'	400	6.1	90	5	1.95	0.23	340	310	10	74	26
100	43°31.9'	140°50.2'	393	5.0	76	5	2.10	0.25	340	350	10	46	28

堆積物型; 1: 現世河川供給堆積物, 2: 現世再移動堆積物, 3: 残存・残留堆積物, 4: 残留混合堆積物, 5: 海盆堆積物

第2表 表層堆積物中の重金属 (ppm)

海域名	分析 個数	亜鉛			銅			マンガン			ニッケル			コバルト		
		最低	最高	平均	最低	最高	平均	最低	最高	平均	最低	最高	平均	最低	最高	平均
大阪湾	39	144	1066	431	4	70	31	710	1820	1079	28	70	56	—	—	—
大隅海峡・志布志湾	114	35	244	74	1.5	14.3	6	300	2180	746	—	—	—	—	—	—
石狩湾	41	110	840	372	6	28	11	310	760	440	46	130	97	22	46	34
クラーク数	—	—	—	70	—	—	55	—	—	950	—	—	75	—	—	25

マンガンは、310-760 ppm、亜鉛は、110-840 ppm、銅は6-28 ppm、ニッケルは46-130 ppmおよびコバルトは22-46 ppmである。

これらの分析値を、地殻における元素の存在度を示すクラーク数と比較してみると(第2表)、亜鉛、ニッケルおよびコバルトは多く、マンガンおよび銅は少ない。

これらの分析結果を筆者らが、これまで調査研究してきた、比較的重金属汚染の進んだ大阪湾およびほとんど汚染されていない自然状態にある大隅海峡-志布志湾の底質中の重金属と比較してみる。比較には底質の粒度組成による影響も考慮に入れなければならないが、ここでは単に各海域の分析平均値をもって検討してみる(第2表)。

亜鉛は、石狩湾と大阪湾の試料中には同じ位含まれる。これらの値は、大隅海峡の平均5-6倍に相当し、試料によっては、20倍も含まれているものがある。

銅は、大阪湾の試料に比べてかなり少なく、大隅海峡の値にほぼ近い。

マンガンは、他の重金属と異なり、石狩湾で最も少なく、大隅海峡の試料中でも、石狩湾のそれより多く含まれている。しかし、クラーク数に比べると両海域ではともに小さい。

ニッケルは、石狩湾の底質中には、大阪湾底質のほぼ2倍含まれていることが注目され、クラーク数に比べても、コバルトとともに3割程度多い。

GOLDBERG *et al.* (1977) によると、人為的な汚染による重金属の量は、自然状態のものよりも、1桁多いとさ

れている。その見解にしたがえば、石狩湾では亜鉛のみが人為的な重金属汚染に達したものであり、他の重金属、銅、マンガン、ニッケル、コバルトについては、その最高値をとっても重金属汚染にまで達していないことになる。

4. 粒度組成・泥分含量・全炭素量と重金属含量

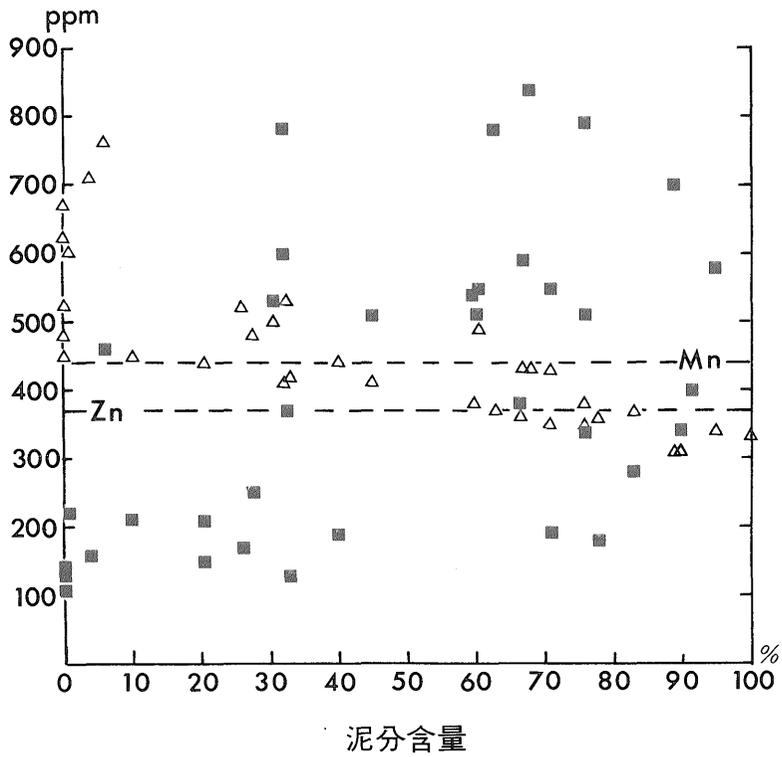
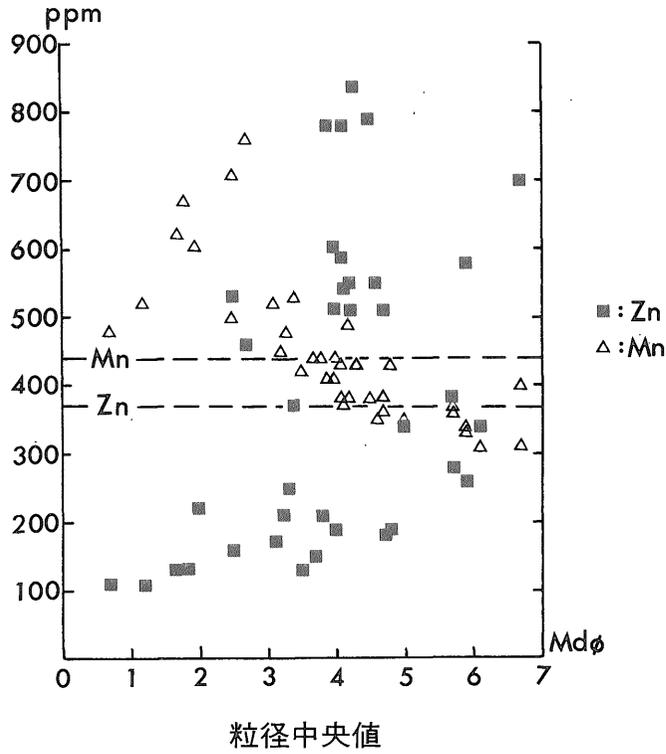
重金属が、陸域から河川水で運ばれ、海盆で堆積する場合には、粘土鉱物にとり込まれて沈積するということが、HIRST (1962) を始め、多くの研究者によって述べられている。したがって堆積物の粒度組成、とりわけ、その泥分含量と重金属含有量との間には、密接な関係があると考えられている。また、全炭素量の値に直接関係する植物片や石炭粉などは、陸源供給物質である。したがって、全炭素量と重金属含有量との関係を検討することによって、重金属の供給地を推定することも可能である。

4.1 亜鉛

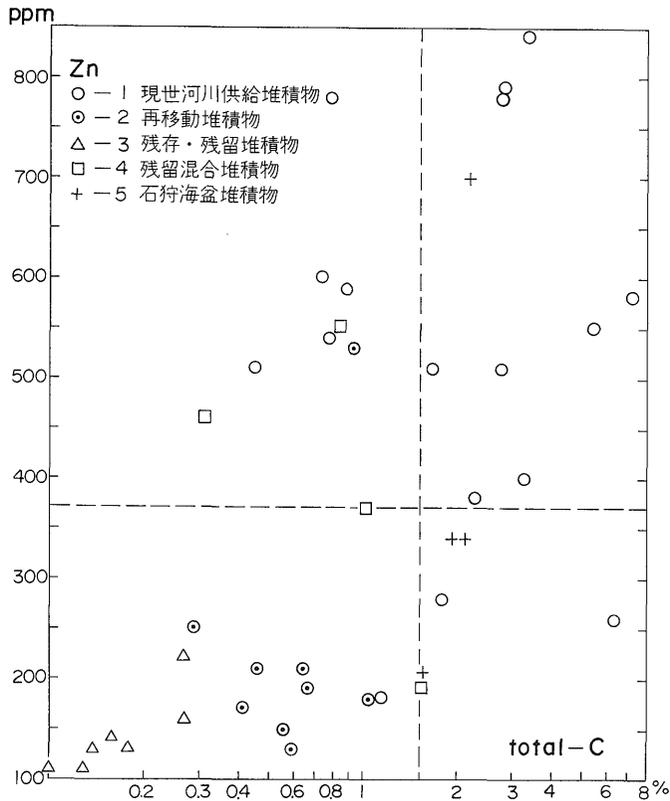
粒径中央値が3φより小さい砂質堆積物中には、亜鉛の含有量は常に少ない。しかし、5φよりも大きな、泥質堆積物でも、亜鉛含有量の多いものと、少ないものがある(第2図)。このような傾向は、泥分含量との関係においても同じように認められる。すなわち、泥分が30%以下の底質には、亜鉛の含有量は少ない。60%以上の泥分を含有する底質にも、多いものと少ないものがある。全炭素量との関係(第3図)は、やや相関しているとも認められるが、これは次節で述べる堆積物の型との

第3表 各堆積物型中の重金属 (ppm)

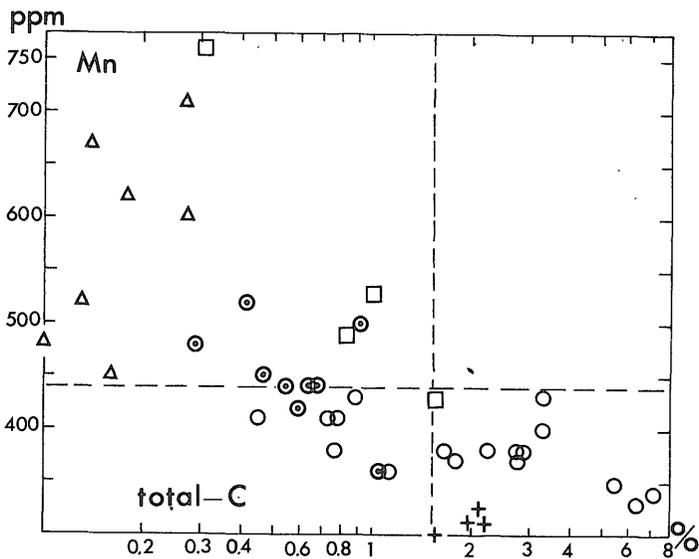
海域名	分析 個数	亜鉛			銅			マンガン			ニッケル			コバルト		
		最低	最高	平均	最低	最高	平均	最低	最高	平均	最低	最高	平均	最低	最高	平均
現世河川供給堆積物	17	180	840	530	8	28	15	330	460	385	96	116	105	24	46	35
現世再移動堆積物	9	130	530	220	8	12	9	360	520	450	96	130	113	30	40	35
残存・残留堆積物	6	110	220	140	6	8	7	450	670	560	66	116	86	22	36	30
残留・混合堆積物	5	160	550	350	6	14	9	430	760	580	64	104	80	36	46	40
海盆堆積物	4	205	700	400	10	10	10	300	350	320	46	80	65	25	30	27



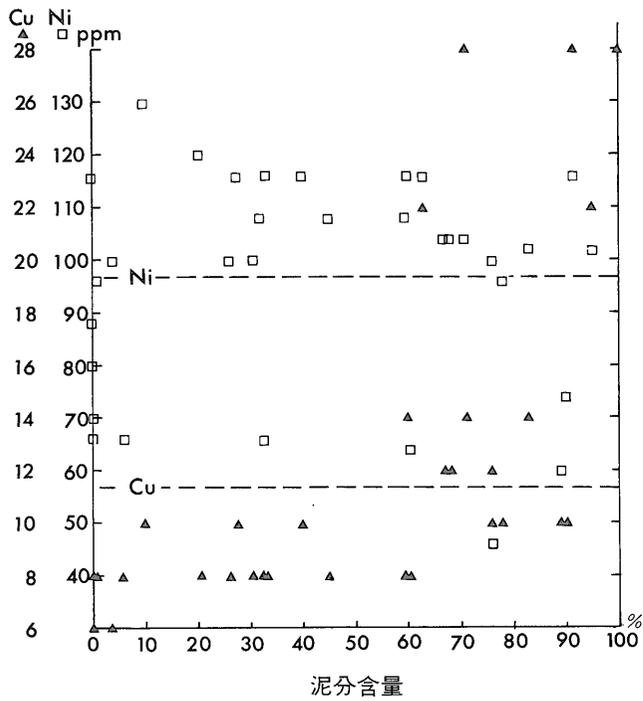
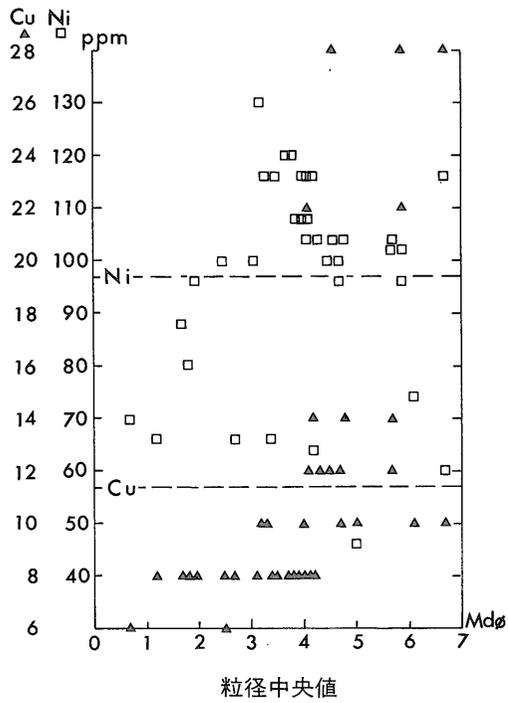
第2図 粒度組成と亜鉛, マンガンの含量



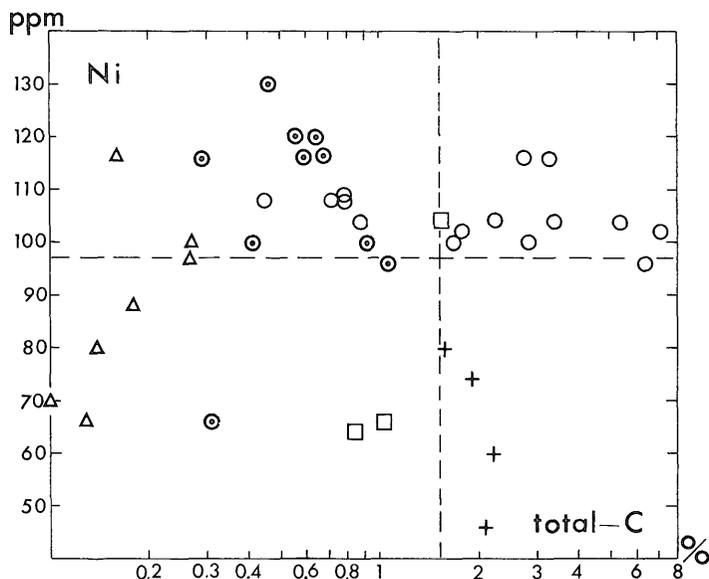
第 3 図 全炭素量と亜鉛含量



第 4 図 全炭素量とマンガン含量



第5図 粒度組成と、銅，ニッケルの含量



第6図 全炭素量とニッケル含量

関連がむしろ深い。

すなわち亜鉛含量と泥分含量や粒径中央値で代表される粒度組成との間に、石狩湾では単純な対応関係は認められない。

4.2 マンガン

マンガンの含量は、亜鉛とは対照的に、粒度、泥分含量、全炭素量とは逆相関している(第2図, 第4図)。すなわち、粒径中央値が4φよりも大きな細粒堆積物には、その含有量が少なく、粗粒な堆積物に多い。ただし、より粗粒な堆積物ではばらつきが大きい。

泥分含有量、全炭素量との関係も同様であり、泥分が5%以下、全炭素量が0.5%以下の砂底質にマンガン含有量が多い。後節で述べるように、マンガンの底質中での存在形態としては、砂粒組成分析で認められたように、砂粒子表面を覆う、酸化鉄の被膜中に存在するものと考えられる。

4.3 銅、ニッケルおよびコバルト

銅およびニッケルの含有量と粒度組成、全炭素量との間には(第5図, 第6図)、あまり明瞭な相関関係は認められない。その含有量に特徴的なのは、平均含有量を境にして、大きく2つのグループに分けられることである。

銅の平均含有量は11 ppm であるが、20 ppm 以上のものと、14 ppm 以下とに2分される。

ニッケルの平均含有量は、97 ppm であるが、100 ppm 以上のものと、それ以下のものとに明らかに2分され

る。

コバルトについても平均含有量34 ppm を境に2分される。

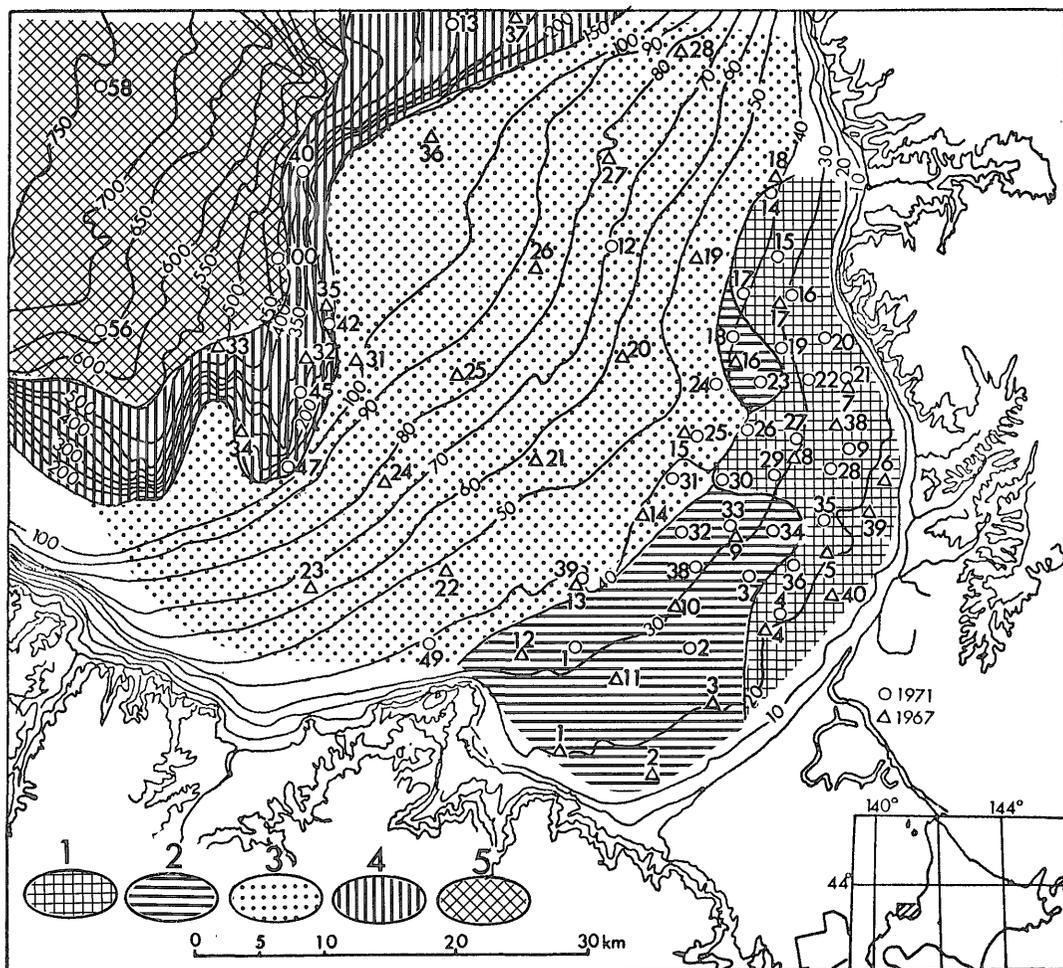
このように、粒度組成、泥分含量、全炭素量と金属量との間には相関関係が乏しく、むしろ次節に述べる堆積物の型と密接に関連しており、石狩湾の堆積地史との関係から検討する必要がある。

5. 堆積物の分布

大嶋・横田(1978)は、石狩湾の堆積物を、その粒度組成、砂粒組成および有機物含有量などの特徴から、1) 現世河川供給堆積物、2) 現世再移動堆積物、3) 残存・残留堆積物、4) 混合堆積物、5) 石狩海盆堆積物の5つに分類し、それぞれが、海底地形と密接な関係をもって分布していることを明らかにした(第7図)。それを要約する。

5.1 現世河川供給堆積物

これは泥質堆積物で、石狩川の河口から、沿岸流の流向に一致して分布する。その起源は、石狩川の懸濁運搬物質と一部掃流運搬物質に求められる。淘汰の悪い砂質泥で、砂粒組成には、泥炭、軽石、石炭粉などが多い。有機物含有量も多く、化学成分上の特徴として、全炭素量は2%以上に達するが、全窒素量は $0.15 \pm 0.05\%$ で、その炭素率は10以上である。この有機物を構成する物質の大部分は、陸源の泥炭片、植物片および炭粉である。この堆積物の周辺部に位置する st 16や26には、底生動



1. 現世河川供給堆積物, 2. 現世再移動堆積物, 3. 残存・残留堆積物,
4. 残留・混合堆積物, 5. 石狩海盆堆積物

第7図 堆積物分布

物の糞粒が多く、底生動物の生息密度が比較的高い。したがって、石狩川からの河川供給物が、本海域の栄養源として重要な役割をになっていることがうかがわれる。

5.2 現世再移動堆積物

淘汰のよい細粒砂で、沿岸流の反流域に分布する。その分布水深は、表層移動限界水深に浅くあり、これは、現世堆積物が、季節的海況変化にともなって移動し、泥分を分離したものである。その砂粒組成には、石炭や軽石が多い。量的には少ないが雲母片も含まれる。石炭粒が含まれているものの有機物含量は前述泥質堆積物に比べて著しく少なく、全炭素量は0.5%程度である。

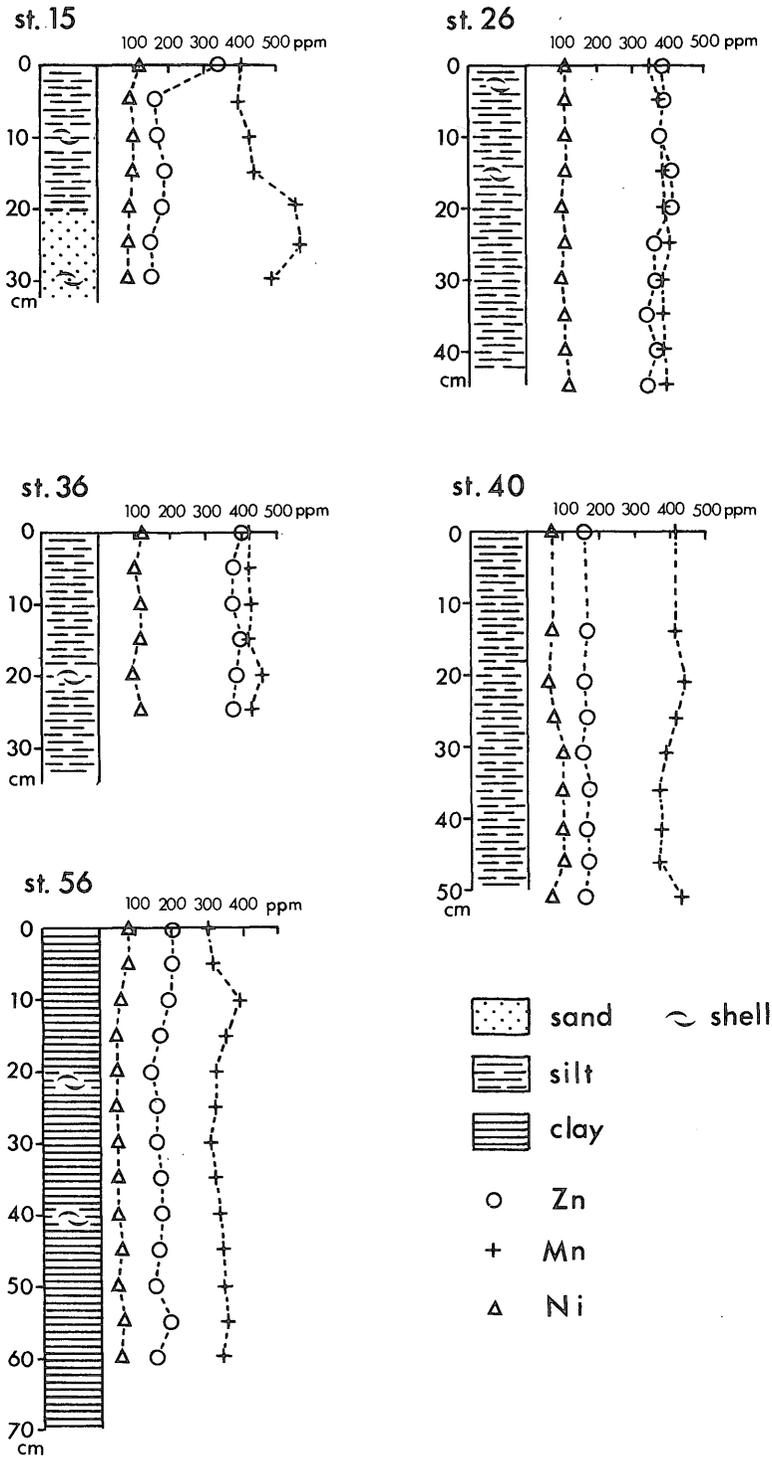
5.3 残存および残留堆積物

残存堆積物は、淘汰のよい、中-細粒砂からなり、泥分をほとんど含まない。砂粒組成には、鉄酸化物の被膜で

覆われた石英や長石の粒子が多い。これは、水深40m以深の大陸棚に分布する砂底質であり、低位海水準時に堆積した掃流運搬堆積物と推定される。0.3%以下と、現世堆積物にみられない低い全炭素量を示すが、その全炭素量の起源は、貝殻片・有孔虫殻を構成する炭酸カルシウムに求められる。

残留堆積物は、主として礫質堆積物からなる。残存堆積物の分布域内の水深40, 60, 75-90, 100-120m付近の等深線に沿うように、パッチ状に露出している。これら礫質堆積物は、氷河時代の各低位海水準時の波食作用によって、既に堆積していた堆積物中の細粒子が洗い流された後に残留した粗粒物であると推定される。

佐竹(1968)のst 25付近から採取された泥炭層の層厚は、1m以上で、その堆積年代は、 ^{14}C 年代測定値から



第8図 柱状試料と重金属含量

第4表 柱状試料中の重金属 (ppm)

	st-15			st-26			st-36			st-40			st-56		
	亜鉛	マンガン	ニッケル												
1	340	404	116	380	360	114	408	424	126	156	418	70	208	308	86
2	162	394	92	384	376	112	376	420	106	168	410	72	194	320	86
3	168	424	100	370	370	110	372	428	118	160	438	60	178	394	64
4	190	438	100	408	384	114	397	420	118	168	414	76	166	358	50
5	182	556	92	406	388	100	386	460	100	156	386	100	146	328	50
6	152	570	92	360	402	112	372	432	120	172	368	100	164	320	52
7	154	496	88	362	382	104	—	—	—	168	372	100	162	312	50
8	—	—	—	334	384	112	—	—	—	178	366	106	178	322	50
9	—	—	—	362	382	114	—	—	—	160	424	68	170	332	50
10	—	—	—	340	390	124	—	—	—	—	—	—	164	346	60
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	150	346	46
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	192	350	60
13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	150	332	50

4万年よりも古いものである。

5.4 混合堆積物

水深200 m以深の上部大陸斜面では、第三紀の堆積岩が基盤をなし、これを泥質堆積物が覆っている。泥質堆積物は厚さ1 m以下の薄層をなすものと推定される。その理由は、ドレッジにてこの海域から貝化石を含む堆積岩片が採取された。この堆積岩中に含まれる有孔虫化石群集の解析結果から、その時代は新第三紀と考えられる(大嶋・佐竹, 1968)。

分析した表層試料の泥分含量は、5%前後(st 42, 47)、約30%(st 45)、60%以上(st 13, 40)とばらつき、これに対して全炭素量も変化している。すなわち、一部は洪積統、一部は海盆粘土に近い性質を示している。

5.5 海盆堆積物

石狩海盆に分布する泥質堆積物は、現世浮遊懸濁渾濁堆積物からなり、粘土質で沿岸の河川供給堆積物よりも、さらに粒径が小さい。その砂粒組成中には陸源物質である石炭粒子や軽石粒子が認められ、陸源物質が現環境下で、この付近まで到達していることが確認される。水深500 m以深の石狩海盆は、氷河時代の低海水準にも、浸食域となったことはなく、連続的な堆積の場である。その全炭素量は変化に乏しく、2%前後で、現世河川供給堆積物にはほぼ近い値であり現世海盆泥とよぶことができよう。

以上のように、石狩湾底表層には、現世堆積物(1, 2および5)氷期あるいは第三紀の堆積物(3)および混合堆積物(4)が分布している。

6. 重金属含有量の垂直分布

本海域底質中の重金属の沈積量の歴史的变化を求めるために、柱状試料5本の分析結果を検討した(第8図, 第4表)。

柱状試料5本のうち、st 15, 26, 36は現世河川供給堆積物、st 40は残存・残留堆積物、st 56は石狩海盆堆積物の分布域内に位置する。

st 26および36では、表層から深さ35-45 cmまで、粒度組成にも、その重金属含有量にも変化は認められない。大阪湾における堆積速度のデータ0.12-0.61 cm/y(松本・横田, 1978)を石狩湾に適用すると、この期間は過去100年間に相当する。

st 40および56、すなわち、大陸斜面、海盆では50-60 cmの深さまでその重金属含有量にほとんど変化は認められない。ただし亜鉛はst 56(石狩海盆)では、表層で増大する傾向が認められる。

st 15の底質は、表層から20 cmまではシルトであるのに対して、それ以深は淘汰のよい砂である。すなわち、上半の20 cmの泥は現在の河川供給堆積物であるが、下半の砂は旧汀線堆積物に相当することが、粒度組成からも明らかである。それに対応するように、亜鉛は上半に多く、下半に少ない。一方、マンガンは上半に少なく下半に多いという特徴的な傾向を示す。とくに上部5 cmの亜鉛の含有量は、300 ppm以上に達し、それ以下の堆積物と際違った変化を示している。

これら、柱状試料の分析値から推定される現世泥質堆積物の重金属の基準値(自然状態での重金属含量)は、

亜鉛が 180 ± 20 ppm, ニッケル 100 ± 10 ppm, 銅 10 ± 2 ppm, マンガンは 450 ± 50 ppm である. この基準値および水平分布における平均値からみても, 石狩湾における亜鉛の現世堆積物における含有量の増大は顕著である. 他の重金属については, それ程, 大きな変化は認められない.

7. 底質中の重金属の水平分布

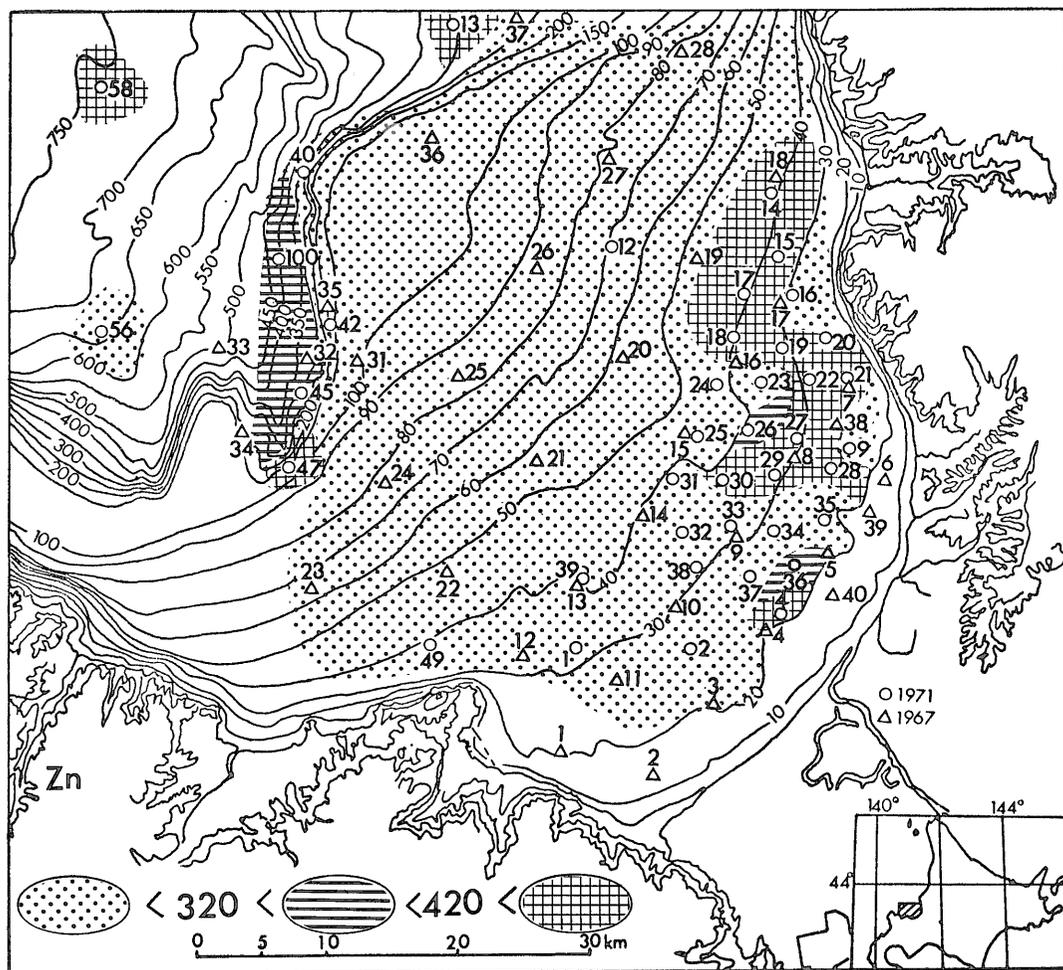
石狩湾底泥では, 亜鉛のみが著しく濃集し他の重金属は自然状態に近いこと, さらに柱状試料にみられる基準値に比べると分布が偏っていることを指摘してきた. ここでは各重金属の分布特性について述べる.

7.1 亜鉛

石狩湾底質中の亜鉛の平均含有量は, 370 ppm である. その分布 (第9図) は, 大陸棚の大部分を占める残

存堆積物と現世再移動堆積物には平均値以下の量しか含有しない. それに対して現世河川供給堆積物の分布域と石狩海盆堆積物に, 含有量が多い. とくに海盆では, st 56での基準値に比べると, st 58の700 ppmは異常に濃集している. 湾岸に近いst 4 (590 ppm) st 27・29(780ppm), st 19 (790 ppm) st 14 (840 ppm) などの高い値が散在し, 西方に急速に低い値となっていることは, 石狩川の河水の影響と考えられる.

一方では, 湾岸の st 16, 9, 35など, とくに全炭素量の多い st 9において亜鉛量の少ないのが注目される. その理由として, この海域は堆積速度が速いために, 他の陸源碎屑粒子によって重金属含量が薄められているとも考えられるが, むしろこの海域は破波帯に相当するため, 亜鉛を含む極細粒子が, さらに沖合に運搬されるためとも考えられる. 後者の考えは大陸斜面を削る谷の壁



第9図 亜鉛の分布 (平均 370 ppm)

に位置する st 47, 45などに、亜鉛の多いことの説明にもなる。

亜鉛は、現在陸域から浮遊運搬懸濁物として供給される粒子と同じような挙動をしている。すなわち、近年になって亜鉛の供給が大きくなってきたことは、柱状試料からも、また水平的な分布からも推定され、その影響は石狩海盆にまで及んでいる。

7.2 銅

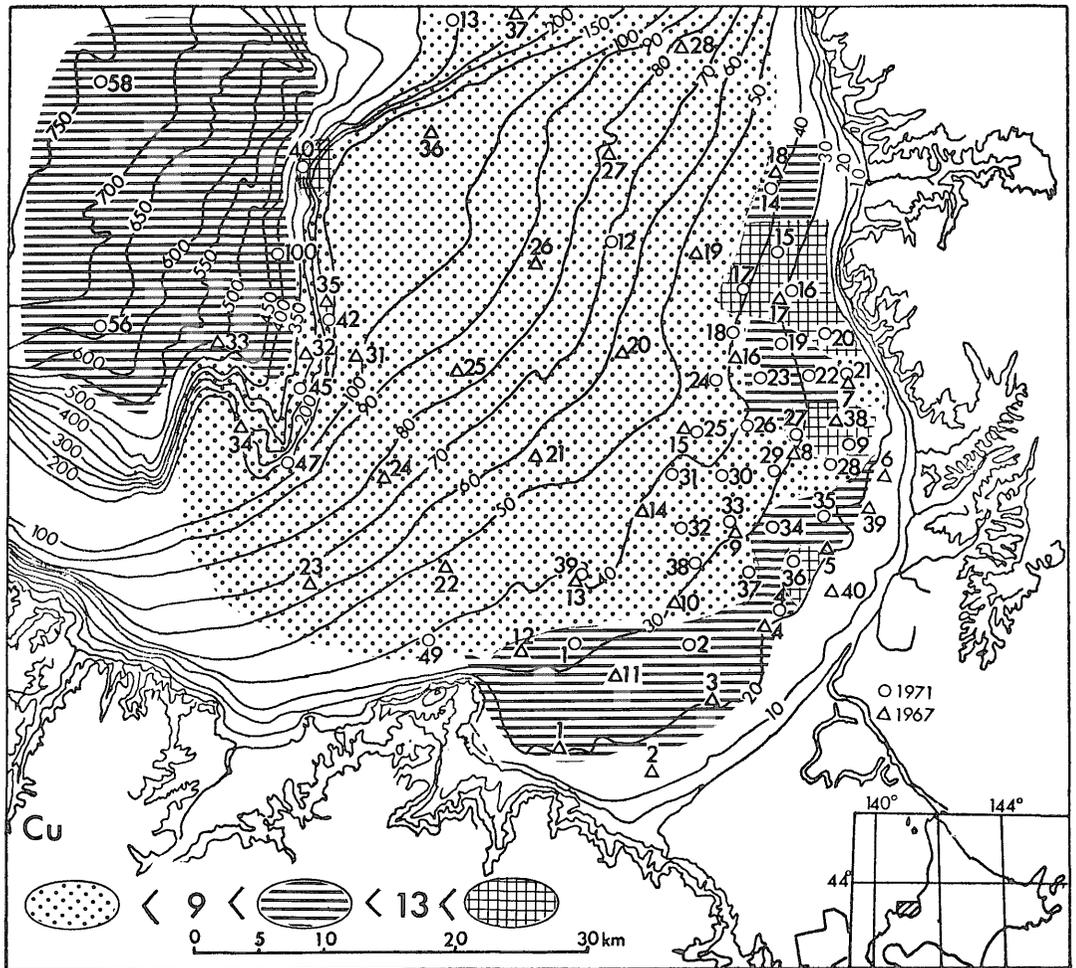
銅の平均含有量は11 ppm で、河川供給堆積物に最も多く、石狩海盆堆積物がこれに次ぎ (10 ppm) 大陸棚堆積物に少ない。その分布 (第10図) は亜鉛とよく似ている。とくに28 ppm の地点が st 36, 9, 17と亜鉛の場合と同様に散在している。しかし、13 ppm 以上含む底質は、河口泥質堆積物にかぎられ、亜鉛とは異なり遠くまで運搬され難いことが示されている。

7.3 ニッケル・コバルト

ニッケルの平均含有量は97 ppm で、これは柱状試料にみられる平均値に近い。ニッケルが比較的多く分布 (第11図) するのは、亜鉛や銅とやや異なり、現世再移動堆積物中で、st 1, 37, 38では120-130 ppmとなっている。これに次ぐのは、現世河川供給堆積物中で、st 15, 27 (116 ppm) と濃集点が亜鉛などと同様散在している。石狩海盆の泥質堆積物には少なく、st 58でも60 ppmである。大陸棚の残存堆積物にやや多いことから泥質よりも砂質とともに運ばれているとも考えられる。

コバルトもニッケルに似て st 2, 38, 37 (40 ppm) など、現世再移動堆積物中に多く、これに次いで現世河川供給堆積物中に存在する。コバルトは st 14あるいは大陸斜面の st 40, 47 (ともに46 ppm) に濃集している。

ニッケル、コバルトは亜鉛および銅と同じく、現在環



第10図 銅の分布 (平均 11 ppm)

境において、陸域から供給されているものの、亜鉛が最も拡散しており、銅がこれに近く、ニッケル、コバルトは拡散し難いことが読みとられる。

7.4 マンガン

マンガンの含有量は、柱状試料によると海盆で約300 ppm、他では約400 ppmの基準値がえられている。現在の海盆堆積物では、ほぼこの値を示すが、現世河川供給堆積物では基準値より少ない330-380 ppmを示している。マンガンの分布(第12図)は、銅、亜鉛、ニッケルの分布とは対照的に大陸棚平坦面から斜面にかけて多く、st 47では670 ppmを示すといった際だった特徴を示している。残存堆積物中にマンガンが多いことは、現在環境において、マンガンの陸域からの供給はあまり大きなものではないことが示されている。

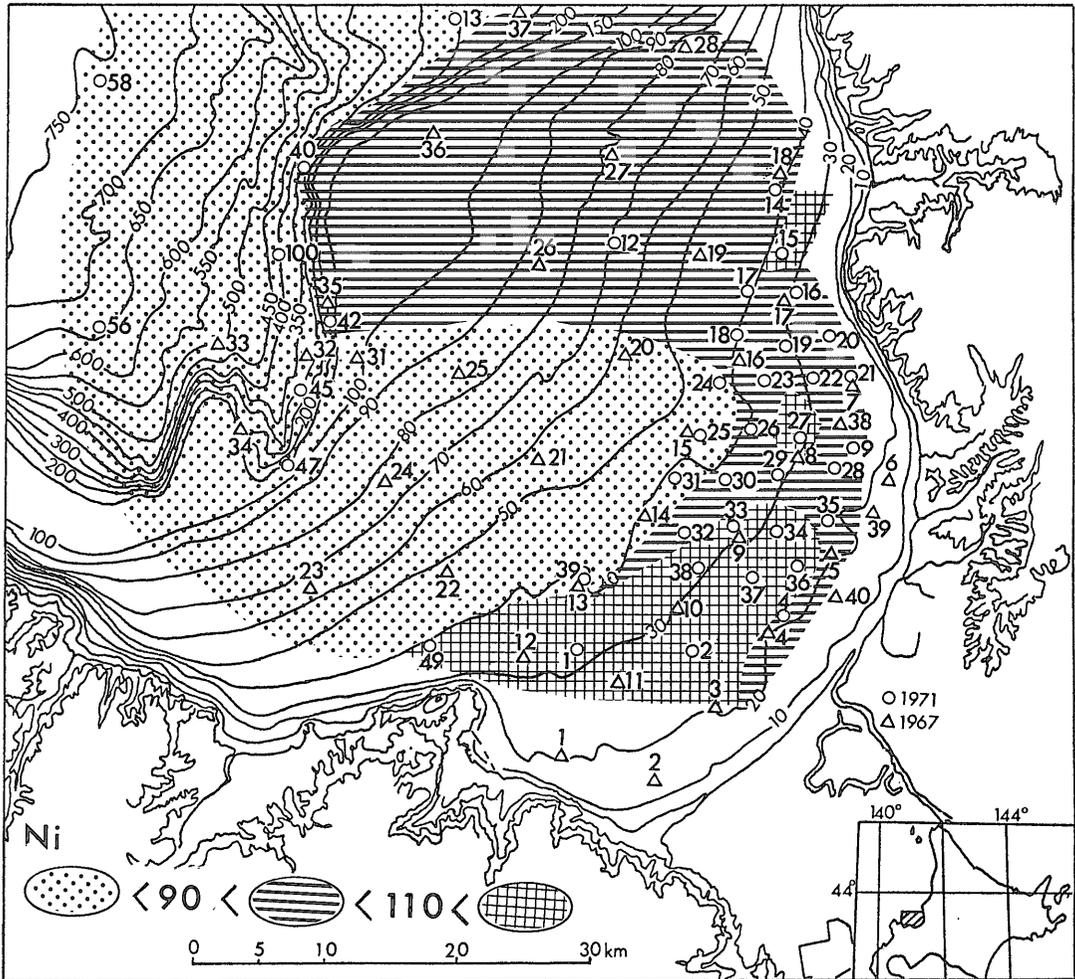
8. 考 察

石狩湾表層堆積物中の重金属含有量の最大値と最小値との比は、亜鉛が8倍、銅が5倍、ニッケルが3倍、マンガン2.5とコバルトが2倍である(第2表)。この重金属含有量と堆積物型(粒度組成・砂粒組成および有機物含有量にもとづく)との間には、一定の関係が認められる(第3表)。

すなわち、亜鉛は、現世泥質堆積物に多く、かつ石狩海盆にまで拡散沈降し、海盆の一部では著しく多量(st 58)となっている。これは浮遊懸濁粒子と同様に、亜鉛は遠くまで運搬されるものであることを示している。

銅も現世堆積物に多いが、海盆にまで運ばれる量は僅かである。

ニッケルおよびコバルトは、亜鉛、銅と異なり、沿岸



第11図 ニッケルの分布 (平均 97 ppm)

の現世堆積物に多く、その砂質中に多い。またコバルトは大陸斜面にも多量にみられる例がある。両者とも石狩海盆にまで運搬される量は少ない。

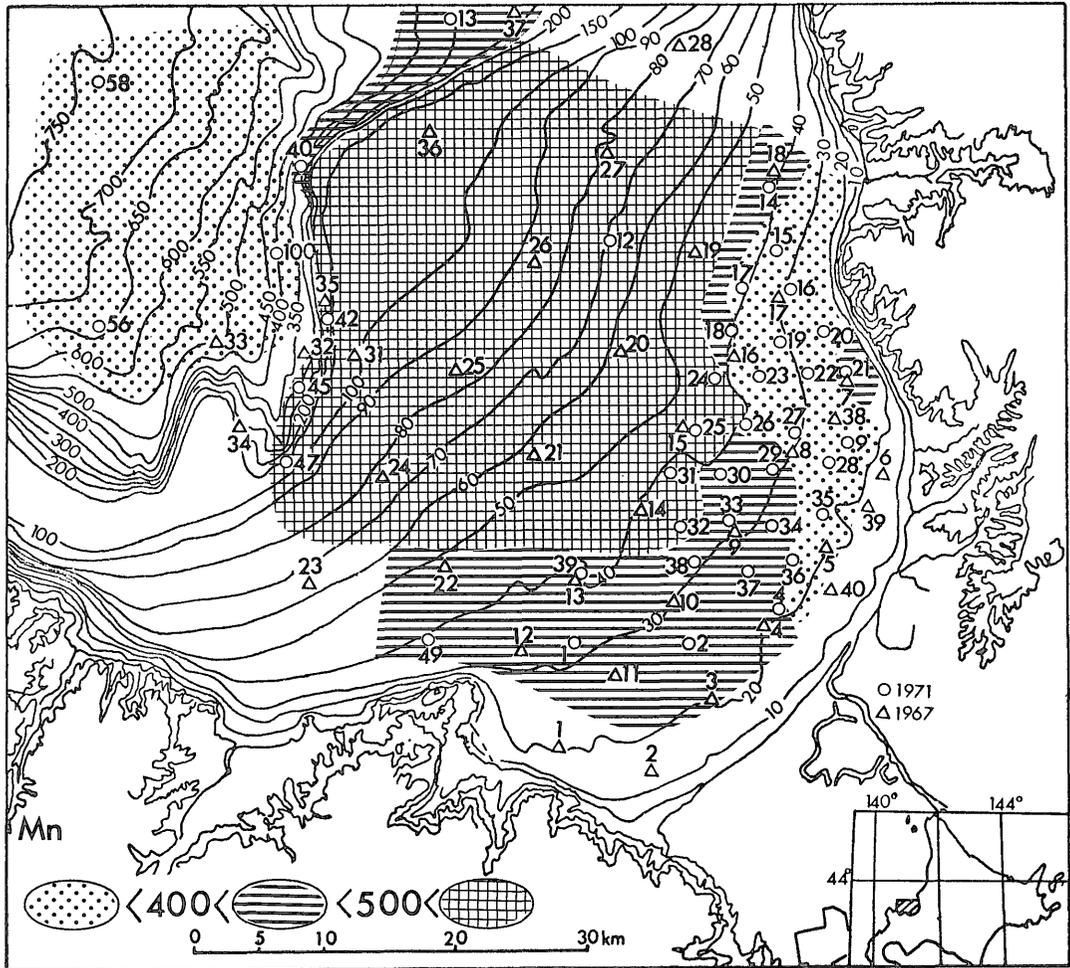
マンガンは、粗粒物質との相関が深く、とくに河川供給堆積物には少ない。一方、残存・残留堆積物には多い。このマンガンの分布は、現在、マンガンが陸域から浮遊物として供給されているというよりも、むしろ海水からの沈殿がその源であり、したがって長期間無堆積状態にあった、残存堆積物の部分に多く存在することを示している。

この海域に浮遊物として陸域から供給される重金属としては、現世河川供給堆積物と密接に挙動する亜鉛、銅、ニッケル、コバルトが挙げられる。ニッケルおよび銅の含有量は、柱状試料の分析値から求めた自然状態の濃度(基準値)とあまり変わらないが、亜鉛は石狩海盆にお

いても5倍もの濃度変化が認められる。

これと似たような関係が、バルト海の堆積物についてもみられる (ERLENKEUSER *et al.*, 1974)。バルト海の堆積物柱状試料では、上層部(現世堆積物)に、鉛、カドミウム、亜鉛、銅の濃度が高くなっているが、ニッケル、コバルト、マンガン、鉄は上下を通じて変化しない。その理由として、近年の石炭や石油の燃焼にともなう、重金属の放出増大を挙げている。BERTINE and GOLDBERG (1971)によると、石炭の燃焼によって放出されるカドミウム、鉛、亜鉛などの重金属の量は、石油の燃焼によって放出される量の70-200倍に達しており堆積物中の重金属濃度増大の原因は、石炭燃焼に求められるという。バルト海の堆積物中に、石炭片や石炭の燃えがらが存在することも、その傍証の1つに考えられている。

石狩湾には、明治以来の石炭の重要な積出し港である



第12図 マンガンの分布 (平均 440 ppm)

小樽港があり、石狩炭田を貫流する石狩川が注いでいる。そのため、現世堆積物の砂粒組成には、石炭粒子が20%以上も含まれるものがある(大嶋・横田, 1978)。石炭粒子の含有量の多いst 4, 27, 28の堆積物では、亜鉛の濃度が高い。したがって、石狩湾堆積物中の濃度の高い亜鉛の起源は、バルト海同様に、石狩炭田の開発に求められる。

9. ま と め

汚染物質が海中に搬入されると、普通の堆積物と同じような挙動をして、拡散および沈積する。この観点から、堆積学的な手法を、海中の汚染物質の運搬と堆積の研究に応用することができる。本論文では、堆積物中のいくつかの重金属が、石狩湾の堆積物の挙動に関する研究のためのトレーサーとして利用できたことを示した。

石狩湾の表層堆積物は、その粒度組成、砂粒組成および有機物含有量にもとづいて、次の堆積物型にわけられる。1. 現世河川供給堆積物、2. 現世再移動堆積物、3. 残存および残留堆積物、4. 混合堆積物および5. 石狩海盆堆積物である(第7図)。

41個の表層堆積物と5本の柱状試料について原子吸光度法によって、元素分析(亜鉛、銅、マンガン、ニッケル、コバルト)を行った。亜鉛と銅は、現世堆積物の方に多いが、マンガンは、残存・残留堆積物の方に多い。

マンガンを除いて、他の金属の分布はよく似ていて、金属の供給源としては、石狩川水系が推定される。

重金属のかなりの量が、化石燃料の燃焼によって放出されていると考えられている。石炭の燃焼によって放出されるカドミウム、鉛、亜鉛および銅の量は、石油の燃焼によって放出されるものより、70ないし200倍も多い(BERTINE and GOLDBERG, 1971)。そのため、我々の推定も、これらの重金属増大のもっとも主要な原因としては、石狩炭田開発と流域住民の燃料としての利用が考えられる。この推定は、石狩湾堆積物の砂粒組成中(大嶋・横田, 1978)に、炭粉やその燃えかすが含まれていることから支持される。

石狩湾堆積物中の亜鉛や炭粉の特異な濃集状態は、現世堆積物の拡散と集積の研究のためのトレーサーとして有用である。

文 献

- BERTINE, K. K. and GOLDBERG, F. D. (1971) Fossil fuel combustion and the major sedimentary cycle. *Science*, vol. 173, p. 233-235.
- ERLENKEUSER, H., SUSS, E. and WILLKOMM, H. (1974) Industrialization affects heavy metal and carbon isotope concentrations in recent Baltic Sea sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 38, p. 823-842.
- GOLDBERG, E. D., GAMBLE, E., GRIFFIN, J. J. and KOIDE, M. (1977) Pollution History of Narragansett Bay as Recorded in its Sediments. *Estuarine and Coastal Marine Sci.*, vol. 5, p. 549-561.
- HIRST, D. M. (1962) The geochemistry of modern sediments from the Gulf of Paria-II. *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 26, p. 1147-1187.
- 松本英二・横田節哉(1978) 大阪湾底泥の堆積速度と重金属汚染. 海洋学会誌, vol. 34, p. 108-115.
- 大嶋和雄・佐竹俊孝(1968) 石狩湾から採集した軟体動物について. 地調北海道支所講演要旨録, no. 19, p. 7-14.
- ・池田国昭・山屋政美(1978) 石狩湾の海底地形からみた低地帯の地形発達史. 地調月報, vol. 29, p. 461-476.
- ・横田節哉(1978) 北海道石狩湾の堆積物. 地調月報, vol. 29, p. 501-529.
- 佐竹俊孝(1968) 陸棚表層堆積物の研究. 北海道大学理学部地鉱教室修士論文 (手記).

(受付: 1979年2月5日; 受理1979年5月25日)