

球状，扁平だ円状厚型，そして塊状の分布比率が高く，小石状は低い。一方，透明層が認められないタイプ c，タイプ d₁ 及びタイプ d₂ では小石状，塊状，そして板状の分布比率が高く，扁平だ円状厚型は低い。また扁平だ円状通常型は出現しない。これらの関係は上位透明層の厚さとの関係を見るとよりいっそう明瞭となる。つまり，上位透明層の厚さが 0～10 m の場合は塊状，小石状などの分布比率が高く，特に板状は，上位透明層が存在しないときのみ出現する。上位透明層の厚さが 20～40 m の場合は球状の分布比率が高くなる。上位透明層の厚さが 50～60 m の場合は扁平だ円状厚型の分布比率が高く，小石状や厚型は出現しない。上位透明層の厚さが 70 m 以上の場合は，その他の分布比率が高くなる。

(6) 底質物と形状

底質物と形状の関係を図 3-5-10 に示す。褐色粘土，珪質粘土及び灰珪質粘土の場合は塊状，小石状の分布比率が高く，それ以外にも球状，扁平だ円状通常型など各形状が出現している。一方，有孔虫軟泥の場合は球状と小石状がほぼ半数ずつを占め，それ以外には扁平だ円状厚型が少量出現するのみである。

(7) マンガン団塊の分布密度

別添第 7 図にマンガン団塊分布密度図を示す。当調査海域においてマンガン団塊の分布密度が 10.0 kg/m² 以上を示すのは次の 5 海域である。

- ① 169° 30' W を中心に 4° 00' S 及び 5° 00' S で囲まれた海域(約 40 マイル×60 マイル)
- ② 1° 30' S ・ 170° 30' W を中心とする海域(1 測点のみ)
- ③ 2° 30' S ・ 169° 00' W を中心とする海域(1 測点のみ)
- ④ 5° 00' S ・ 168° 00' W を中心とする海域(1 測点のみ)
- ⑤ 5° 00' S ・ 170° 00' W を中心とする海域(1 測点のみ)

このうち，連続性が認められるのは①の 169° 30' W を中心に 4° 00' S 及び 5° 00' S で囲まれた海域だけであり，他は散点状に分布している。当調査海域はマンガン団塊の高分布密度帯の連続性が悪い海域となっている。ちなみに，全測点 57 点の平均分布密度は 4.45 kg/m² である。

3) 化学組成

船上において粒度区分ごとに主要 5 成分 (Ni, Cu, Co, Mn, Fe) の蛍光 X 線分析を行った他，それらのうちから代表的サンプルを選別し，陸上において副成分の分析を行った。また幾つかのマンガン団塊については断面構造を考慮して幾つかに分割し，それぞれの部分の分析(蛍光 X 線による)を行った。これらの結果に基づいて，マンガン団塊の化学性を述べる。試料数が少ないものについては統計結果について注意する必要がある。

(1) 主要 5 成分とその分布

当調査海域におけるマンガン団塊の主要 5 成分の頻度分布を図 3-5-11 に，各成分間の散布図を図 3-5-12 に，さらに平均品位等の統計を表 3-5-2 に示す。この結果，

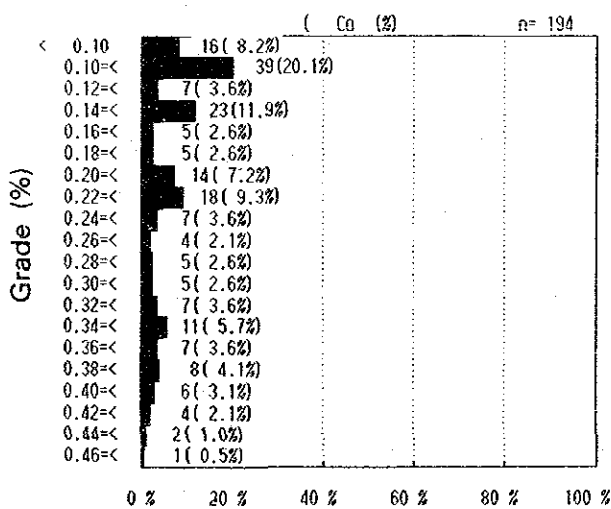
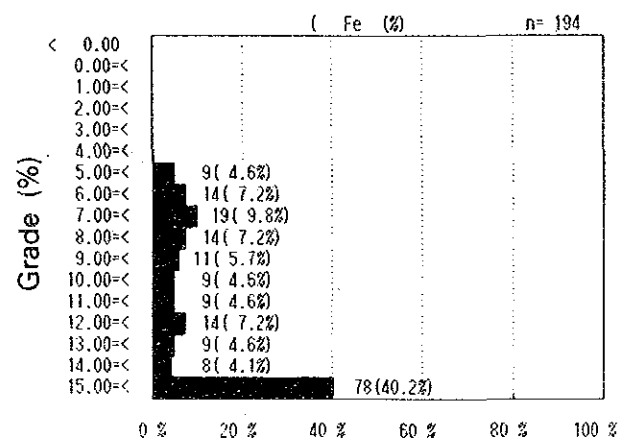
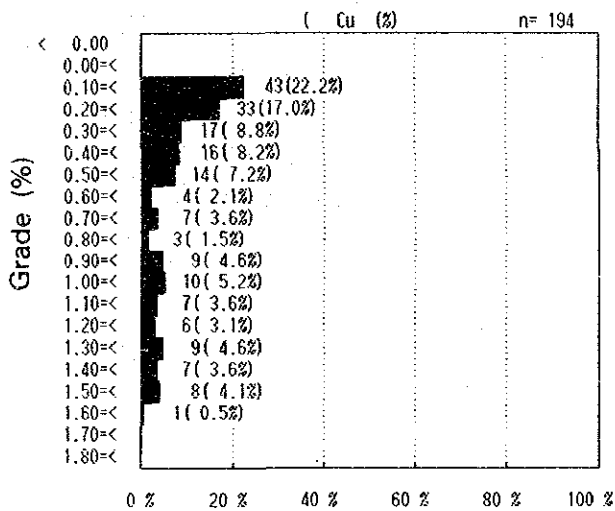
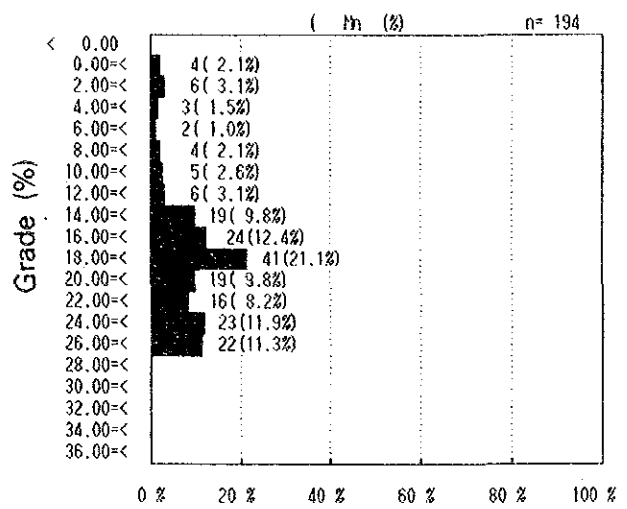
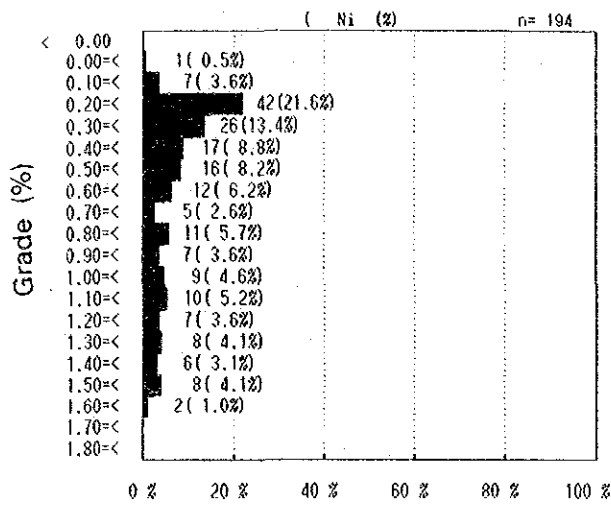
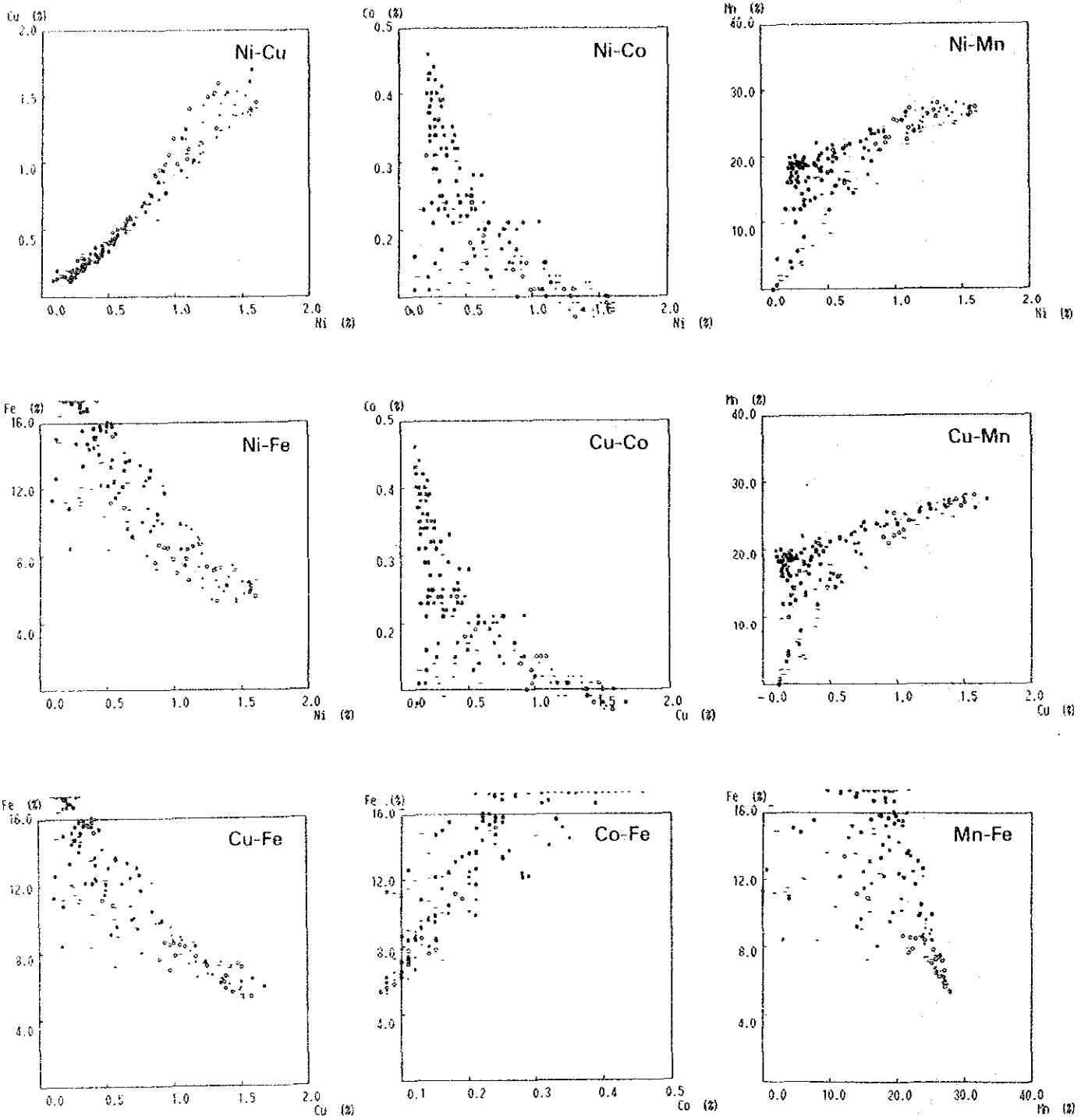


図 3-5-11 主要 5 成分の頻度分布図



凡例 ・球状 ◆扁平だ円状通常型 ○扁平だ円状厚型 ◐扁平碟状
 ●小石状 ■塊状 一板状 -その他 (n=194)

図3-5-12 各成分間の散布図

表 3-5-2 マンガン団塊の化学性

	統 計 量 例				相 関 係 数				
	平均値	標 準 差	最大値	最小値	Fe	Mn	Co	Cu	Ni
Ni	0.66	0.43	1.61	0.09	-0.87	0.76	-0.71	0.98	1.00
Cu	0.60	0.46	1.68	0.11	-0.88	0.74	-0.74	1.00	
Co	0.22	0.11	0.46	0.07	0.89	-0.15	1.00		
Mn	18.74	6.24	27.98	0.00	-0.43	1.00			
Fe	13.13	4.96	21.21	5.21	1.00				

(n=194)

Ni, Cu, Coの平均値は、各々0.66%, 0.60%, 0.22%であり、Coを除いていずれも低い値であることが判明した。MnとFeは各々18.76%, 13.13%である。これらの平均品位は既述したように採取量率が高い塊状、小石状などのマンガン団塊の品位を反映したものである。別添第8図～第10図にNi, Cu, Co等品位図を示すが、これによるとNiとCuは、調査海域の中部から北部、特に北部の平地が分布する海域で各々の平均品位より高い値を示している。一方、Co品位は、南部の4°00'S及び5°00'Sで囲まれた海域で高く、これは当調査海域における高分布密度帯と一致している。さらに北部でも海山や海丘のように水深が浅くなっている海域では高い品位を示している。以下、各成分ごとの分布を示す。品位分布（別添第8図～第12図参照）

当調査海域におけるNi, Cu, Co, Mn, Feの品位概況は次のとおりである。

なお、当調査海域におけるマンガン団塊の金属品位は特徴としてNi, Cu品位が低く、Co品位がやや高い傾向にある。

① Ni

Ni品位は最大値1.61%, 最小値0.09%, 平均0.66%である。別添第8図にNiの等品位図を示す。

Ni品位の分布状況は、当調査海域の北部で高く、3°00'S以北ではNi品位0.5%を示す海域が調査海域の大部分を占めている。一方、3°00'S以南では、Ni品位が0.5%以上を示す海域が狭く、調査海域内に散点状に分布するにすぎない。

一般にNi品位が高い海域では、マンガン団塊の分布密度が低い傾向にある。

② Cu

Cu品位は最大値1.68%, 最小値0.11%, 平均0.60%である。別添第9図にCuの等品位図を示す。

Cu品位分布もNi品位分布と同様の傾向を示し、3°00'S以北では品位が高く、3°00'S以南では低い。表3-5-2に示すようにNiとCuの相関係数は0.98と非常に高い。

表 3-5-3 マンガン団塊の形状と化学性

形 状	データ数	Ni (%)				Cu (%)				Co (%)			
		平均値	標準偏差	最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値
球 状	28	1.18	0.36	1.56	0.26	1.13	0.38	1.52	0.19	0.14	0.08	0.39	0.07
扁平状 通常型	4	0.94	0.23	1.15	0.63	0.96	0.35	1.30	0.48	0.15	0.05	0.21	0.10
扁平状 厚型	19	1.08	0.32	1.60	0.53	1.11	0.35	1.58	0.42	0.13	0.04	0.24	0.07
扁平礫状	7	0.76	0.11	0.88	0.59	0.68	0.15	0.91	0.48	0.19	0.04	0.24	0.14
小石状	42	0.44	0.25	1.14	0.09	0.37	0.25	1.24	0.12	0.23	0.07	0.39	0.08
塊 状	65	0.46	0.32	1.57	0.21	0.37	0.35	1.68	0.11	0.30	0.10	0.46	0.08
板 状	3	0.31	0.29	0.65	0.14	0.27	0.20	0.50	0.14	0.13	0.04	0.17	0.10
その他	26	0.64	0.44	1.61	0.16	0.56	0.42	1.42	0.14	0.16	0.08	0.40	0.09

形 状	データ数	Mn (%)				Fe (%)				※	※
		平均値	標準偏差	最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値	Cu/Ni 比	Mn/Fe 比
球 状	28	24.89	2.95	27.98	16.42	8.71	4.46	21.14	5.21	0.94	3.42
扁平状 通常型	4	23.75	2.18	26.58	21.72	10.07	4.39	16.49	7.01	1.00	2.67
扁平状 厚型	19	23.62	3.83	27.86	14.13	8.01	2.32	15.18	5.30	1.02	3.23
扁平礫状	7	20.12	2.58	23.28	16.27	10.97	2.00	14.14	7.97	0.89	1.88
小石状	42	15.30	6.21	26.44	0.00	15.19	3.39	20.60	7.38	0.83	1.09
塊 状	65	18.84	3.40	27.13	3.09	16.17	4.31	21.21	5.90	0.73	1.33
板 状	3	6.91	9.19	17.51	1.21	14.50	2.05	16.37	12.31	0.95	0.54
その他	26	14.11	7.40	26.40	1.86	11.59	4.00	19.97	6.53	0.85	1.46

※ 単純平均値に基づく。

③ Co

Co品位は最大値0.46%、最小値0.07%、平均0.11%である。別添第10図にCoの等品位図を示す。

Co品位の分布状況は4°00'S及び5°00'Sで囲まれた海域に、Co品位0.25%以上の高品位帯がまとまって分布するほかは、当調査海域内に分散して分布している。

Co品位が高い海域は、マンガン団塊分布密度が高い海域とほぼ一致し、Ni、Cuの場合とは対照的な分布を示している。

④ Mn, Fe

Mn品位は最大値27.98%、最小値1.21%、平均18.74%であり、Fe品位は最大値21.21%、最小値5.21%、平均13.13%である。MnはNi、Cuと相関性が強く、当調査海域の

表 3-5-4 マンガン団塊の粒度と化学性

粒度区分	データ数	Ni (%)				Cu (%)				Co (%)			
		平均値	標準偏差	最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値
0-2	52	0.91	0.52	1.61	0.09	0.82	0.50	1.59	0.12	0.15	0.07	0.36	0.07
2-4	60	0.64	0.42	1.57	0.12	0.60	0.48	1.68	0.11	0.21	0.10	0.43	0.07
4-6	47	0.50	0.28	1.29	0.14	0.43	0.34	1.51	0.12	0.25	0.11	0.44	0.10
6-8	29	0.54	0.32	1.24	0.21	0.49	0.40	1.48	0.11	0.28	0.12	0.46	0.10
8-16	6	0.61	0.32	0.93	0.15	0.55	0.32	0.98	0.16	0.19	0.11	0.40	0.10

粒度区分	データ数	Mn (%)				Fe (%)				※ Cu/Ni 比	※ Mn/Fe 比
		平均値	標準偏差	最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値		
0-2	52	19.36	7.85	27.98	0.00	10.40	4.43	19.96	5.21	0.90	2.43
2-4	60	18.77	6.34	27.87	0.64	13.43	5.09	21.14	5.30	0.85	1.81
4-6	47	17.70	5.13	26.75	2.00	14.89	4.42	21.21	7.01	0.78	1.34
6-8	29	19.74	3.62	27.03	9.65	14.62	4.70	20.85	6.56	0.79	1.59
8-16	6	16.41	7.72	21.91	1.21	12.83	4.46	19.97	8.48	0.89	1.48

※ 単純平均値に基づく。

北部で品位が高い。一方 Fe は Co と相関性が強く、169°30'W を中心に 4°00'S 及び 5°00'S で囲まれた海域で品位が高くなっている（別添第 11, 12 図参照）。

(2) 品位特性

① 各成分間の相関性

5 成分の相関係数を表 3-5-2 に示す。同図より Ni-Cu-Mn 系と Co-Fe 系の各系内における正相関と両系間における負相関が明瞭である。

次に主要 5 成分と水深の関係を図 3-5-13 に示す。水深と各成分間の明瞭な相関関係は認められない。しかし Ni, Cu 品位は水深とともに漸増するが、Cu は 5,200 m 以深では低下する。Co, Fe 品位は水深とともに低下する傾向にあるが、水深 5,100 m 以深では品位の低下が生じなくなる。

② 形状別の品位特性

各形状ごとの品位特性を表 3-5-3 に示す。その内容は次の 4 点に要約される。

(a) 球状, 扁平だ円状通常型及び扁平だ円状厚型は類似した品位傾向を示し、相対的に Ni, Cu, Mn 品位が高く、Co, Fe 品位が低い。また Cu/Ni 比及び Mn/Fe 比は高く

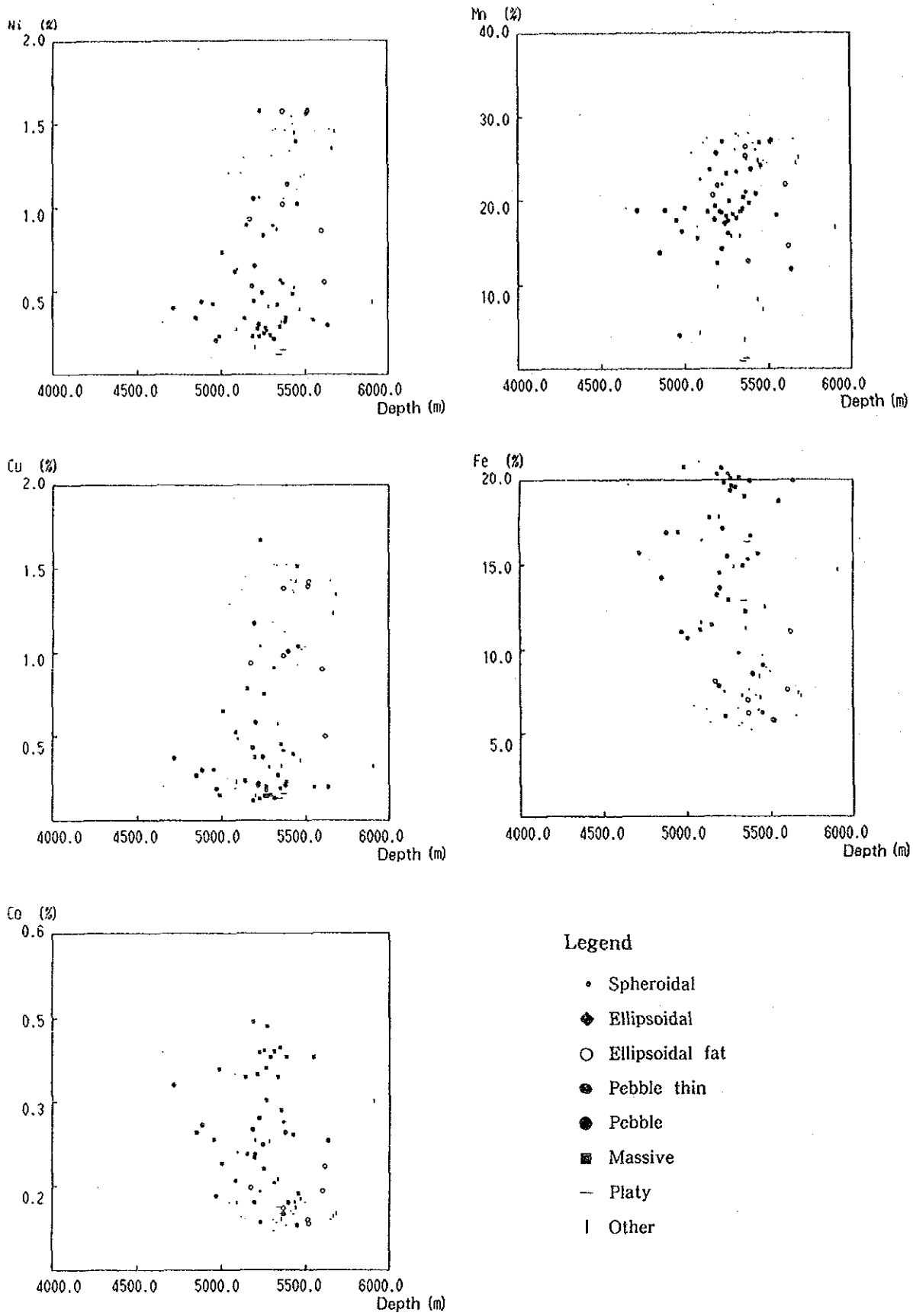


図 3-5-13 主要 5 成分の水深相関図

表 3-5-5 海底地形とマンガン団塊の化学性

微視的地形区分	データ数	Ni (%)				Cu (%)				Co (%)			
		平均値	標準偏差	最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値
平地	45	0.39	0.31	1.57	0.12	0.30	0.32	1.66	0.13	0.31	0.10	0.43	0.07
溝状地	3	0.78	0.34	1.46	0.43	0.70	0.37	1.43	0.32	0.14	0.04	0.30	0.09
台状地	8	0.47	0.20	1.21	0.28	0.38	0.23	1.37	0.20	0.24	0.06	0.30	0.10
海丘	11	0.75	0.24	1.30	0.40	0.71	0.29	1.45	0.31	0.18	0.04	0.23	0.09
海山	5	0.26	0.04	0.40	0.21	0.20	0.02	0.37	0.19	0.29	0.10	0.39	0.13

微視的地形区分	データ数	Mn (%)				Fe (%)			
		平均値	標準偏差	最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値
平地	45	17.87	4.92	27.98	0.83	17.12	3.97	20.75	5.21
溝状地	3	17.27	4.96	27.18	15.07	9.40	1.94	14.65	6.03
台状地	8	17.20	2.08	26.71	15.40	15.69	3.74	19.31	6.40
海丘	11	20.94	4.42	27.32	12.37	12.07	2.57	16.49	5.66
海山	5	13.69	6.07	18.90	3.90	17.69	4.36	21.11	11.05

なっている。

- (b) 小石状と厚型は類似した品位傾向を示し、Ni, Cu, Mn品位が低く、Co, Fe品位が高い。またCu/Ni比及びMn/Feは低くなっている。すなわち、(a)と逆の傾向を示す。
- (c) 扁平礫状は両グループの中間的な挙動を示し、Ni, Cu, Co, Mn, Fe品位がそれぞれ高く、Cu/Ni比及びMn/Fe比が低くなっている。
- (d) 板状は各成分とも低品位であるが、これは核として含まれる岩片の影響と考えられる。

③ 粒度別の品位特性 (表 3-5-4)

粒度の小さいほうがNi, Cu品位及びCu/Ni比, Mn/Fe比が高く、Co品位が低くなるという顕著な傾向が認められる。また、Fe品位は中型(4~6cm)のもので高い傾向を示す。

④ 地形別の品位特性

各地形別の品位特性を表3-5-5に示す。その内容は次の3点に要約される。

- (a) 平地と海山は類似した品位傾向を示し、Ni, Cu, Mn品位が低く、Co, Fe品位が

表 3-5-6 底質物とマンガン団塊の化学性

底質物	データ数	Ni (%)				Cu (%)				Co (%)			
		平均値	標 準 差	最大値	最小値	平均値	標 準 差	最大値	最小値	平均値	標 準 差	最大値	最小値
褐色粘土	23	0.34	0.26	1.57	0.12	0.24	0.23	1.51	0.13	0.32	0.11	0.43	0.08
珪質粘土	20	0.72	0.36	1.57	0.29	0.66	0.41	1.52	0.20	0.23	0.10	0.38	0.07
灰珪質粘土	19	0.48	0.28	1.57	0.21	0.40	0.31	1.66	0.15	0.25	0.09	0.38	0.08
石軟灰質泥	4	0.28	0.03	0.53	0.26	0.20	0.01	0.43	0.19	0.36	0.02	0.39	0.25

底質物	データ数	Mn (%)				Fe (%)			
		平均値	標 準 差	最大値	最小値	平均値	標 準 差	最大値	最小値
褐色粘土	23	16.30	5.91	26.93	0.83	17.81	3.44	20.32	5.81
珪質粘土	20	21.72	3.00	27.98	11.70	12.44	3.74	19.91	5.21
灰珪質粘土	19	17.04	5.28	27.32	3.90	15.08	3.82	20.75	5.66
石軟灰質泥	4	17.53	1.00	18.90	16.83	20.60	0.80	21.11	13.22

高い。

(b) 溝状地と海丘は類似した品位傾向を示し、Ni, Cu, Mn品位が高く、Co, Fe品位が低い。すなわち、(a)の逆の傾向を示す。

(c) 台状地は上記した二者の中間的な挙動を示し、Co品位が高く、Ni, Cu, Fe品位が低くなっている。

⑤ 底質物別の品位特性

各底質物別の品位特性を表3-5-6に示す。珪質粘土上に分布するマンガン団塊はNi, Cu, Mn品位が高く、Co, Fe品位が低くなっている。一方、これとは逆に有孔虫軟泥上ではNi, Cu品位が低く、Co, Fe品位が高くなっている。褐色粘土、灰珪質粘土上では、両者の中間的な性格を有するが、褐色粘土上のマンガン団塊は有孔虫軟泥上のものに、灰珪質粘土上のマンガン団塊は珪質粘土上のものにそれぞれ近い挙動を示している。

(2) 副成分

マンガン団塊における副成分の性格を調べるため、主要5成分の船上分析に用いたサンプルより代表的な4個のサンプルを選定し、完全分析及び微量分析を実施した。その分析値を主要5成分の船上分析値と共に表3-5-7に示す。Mekelvey et al (1979)によるClarion-Clipperton Prime areaにおける平均品位^{*1}と比較すると当調査海域のマンガン団塊のほりが高い成分は、TiO₂, CaO, Pb, Srで、逆に低い成分はAl₂O₃, MgO, BaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅, Mo, V, Znである。

形状別の完全分析値及び微量分析値は、ほぼ同一で、極端な差異は認められない。

(3) マンガン団塊断面の化学性

マンガン団塊断面における化学性(金属元素分布)を調べることは、前述のごとき各種要因(形状、粒度、地形及び底質など)別にみた品位特性を理解したり、さらには団塊の成長史、とりわけ堆積作用との関連を解明するのに有効である(西村昭1986)。

本調査では、球状1個、塊状2個の計3個の代表サンプルを選定し、蛍光×線分析を行った。分析試料は、肉眼的に識別可能な幾つかの層に別け、小型のノミを用いてハンドピッキングにより採取した。図3-5-14に採取位置を、表3-5-8、図3-5-15に分析結果を示す。

要約すると次のようになる。

- (a) 上面側、下面側ともほぼ同じ品位変化を示し、図3-5-15では核を中心として対称的なグラフとなっている。
- (b) Ni及びCuは一定でない。
- (c) Co品位は、あまり目だった変化ではないが、内殻(核を除く)ほど品位が高い傾向がある。

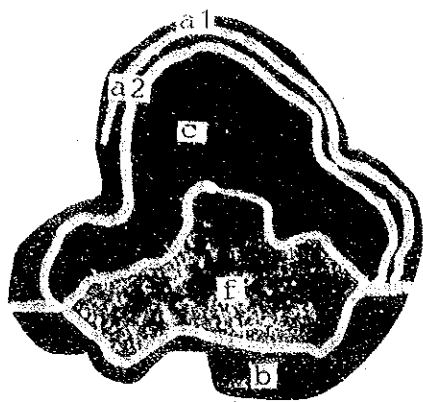
*1 Si 7.81%, Ti 0.61%, Al 2.84%, Mg 1.80%, Ca 1.47%, Ba 0.32%, Na 1.87%, K 0.82%, P 0.23%, Pb 0.048%, Sr 0.066%, Mo 0.048%, V 0.03%, B 0.016%, Zn 0.13%, Y 0.01%

表 3-5-7 マンガン団塊の完全分析値及び微量分析値

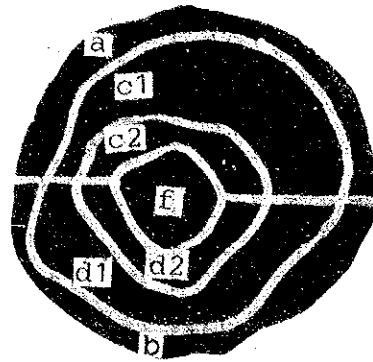
Sampling No.		87S0369FG04	87S0370FG05	87S0570FG19	87S0668FG01
Topography		(Mount) Platfor	(Mount) Seaknoll	(Quasi) Flat	(Quasi) Flat
Depth (m)		4959	5288	5229	5356
Morphology		Pebble	Massive	Spheroidal	Pebble thin
Size (cm)		2-4	4-6	4-6	2-4
Analysis (%)	Ni	0.50	0.37	0.23	0.62
	Cu	0.34	0.32	0.13	0.51
	Co	0.22	0.22	0.37	0.28
	Mn	17.42	12.90	18.14	21.10
	Fe	15.86	14.36	19.83	12.08
Major elements (%)	SiO ₂	16.58	19.81	11.56	16.61
	TiO ₂	2.08	1.83	2.39	1.44
	Al ₂ O ₃	4.06	6.13	3.18	6.58
	Fe ₂ O ₃	21.96	19.84	24.51	15.64
	FeO	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	MnO ₂	25.64	23.79	28.69	30.78
	MgO	2.40	1.94	1.75	2.86
	CaO	2.70	2.23	2.82	2.64
	BaO	0.16	0.17	0.19	0.16
	Na ₂ O	2.16	2.64	2.01	2.30
	K ₂ O	0.74	1.37	0.64	0.99
	P ₂ O ₅	0.81	0.55	0.66	0.58
Ig-loss	19.21	17.83	20.09	17.89	
Minor elements (%)	Pb	0.074	0.078	0.116	0.062
	Sr	0.122	0.098	0.136	0.088
	Mo	0.019	0.016	0.027	0.025
	V	0.019	0.020	0.025	0.022
	As	0.013	0.011	0.016	0.010
	B	0.017	0.015	0.018	0.012
	Zn	0.071	0.096	0.060	0.079
	Y	0.012	0.010	0.013	0.010
	Pt	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

表 3-5-8 マンガン団塊断面の分析結果

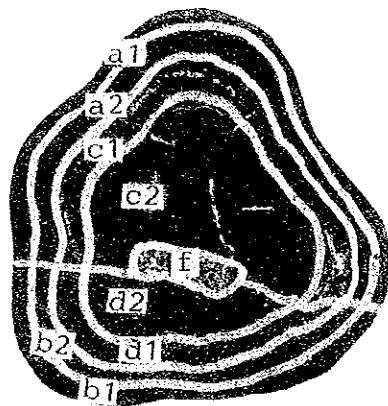
試料名	粒度 (μm)	形状	分析箇所	品位 (%)					Cu/Ni	Mn/Fe	
				Ni	Cu	Co	Mn	Fe			
87S 0271FG03	6-8	塊状	上面	外殻 1	0.79	0.55	0.19	22.61	13.80	0.70	1.64
				外殻 2	0.83	0.59	0.22	22.65	11.38	0.71	1.69
				内殻	0.35	0.32	0.32	19.81	15.38	0.91	1.29
			下面	核	0.41	0.62	0.06	2.12	7.68	1.51	0.28
				外殻	0.56	0.41	0.22	20.83	16.56	0.73	1.26
87S 0670FG08	6-8	球状	上面	外殻	0.21	0.13	0.39	18.03	22.02	0.62	0.82
				内殻 1	0.31	0.16	0.46	20.83	17.65	0.52	1.18
				内殻 2	0.35	0.15	0.50	21.37	14.05	0.43	1.52
			下面	核	0.39	0.17	0.41	19.23	12.24	0.44	1.57
				内殻 2	0.34	0.15	0.50	21.35	13.76	0.44	1.55
				内殻 1	0.29	0.16	0.44	20.13	17.94	0.55	1.12
外殻	0.23	0.15	0.40	18.06	21.33	0.65	0.85				
87S 0171FG03	4-6	塊状	上面	外殻 1	0.60	0.49	0.18	22.13	15.38	0.82	1.44
				外殻 2	0.69	0.64	0.19	21.79	14.84	0.93	1.47
				内殻 1	0.98	0.86	0.17	23.48	11.80	0.88	1.99
				内殻 2	0.75	0.68	0.22	21.18	11.89	0.91	1.78
			下面	核	0.53	0.54	0.14	9.86	7.51	1.02	1.31
				内殻 2	0.53	0.51	0.25	19.50	12.91	0.96	1.51
				内殻 1	1.08	0.94	0.19	23.69	10.75	0.87	2.20
				外殻 2	0.74	0.66	0.19	22.79	14.46	0.89	1.58
外殻 1	0.60	0.48	0.18	22.18	15.57	0.80	1.42				



0 1 2 3 4 5cm
87S0271FG03 (6-8cm)
Massive



0 1 2 3 4 5cm
87S0670FG08 (6-8cm)
Spheroidal



0 1 2 3 4 5cm
87S0171FG03 (4-6cm)
Massive

Outer Crust
a: (Upper)

Outer Crust 1
b1: (Lower)

Inner Crust 2
c2: (Upper)

Outer Crust 1
a1: (Upper)

Outer Crust 2
b2: (Lower)

Inner Crust 1
d1: (Lower)

Outer Crust 2
a2: (Upper)

Inner Crust
c: (Upper)

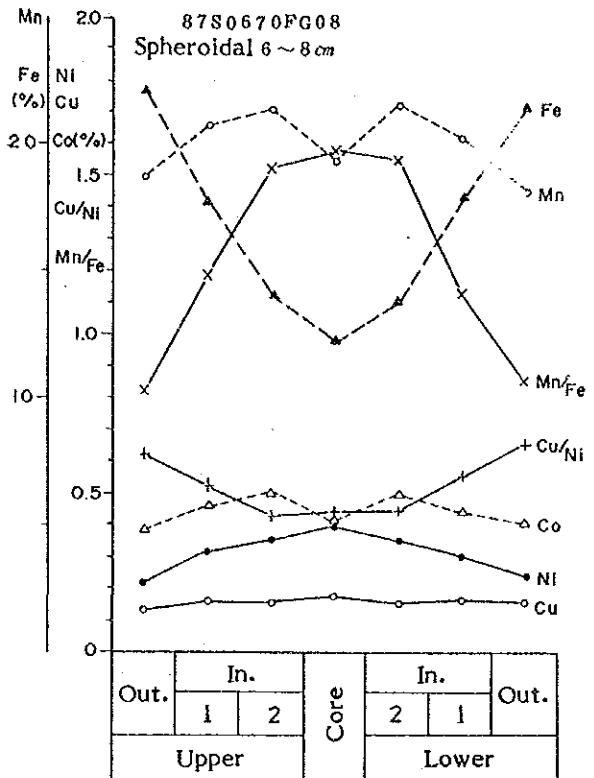
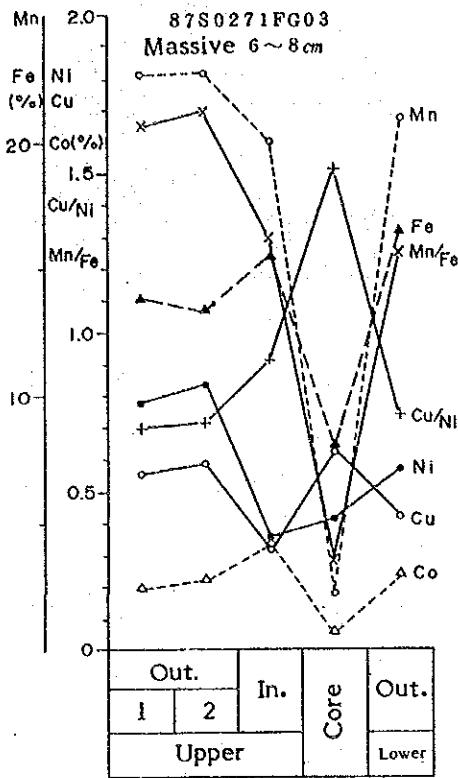
Inner Crust 2
d2: (Lower)

Outer Crust
b: (Lower)

Inner Crust 1
c1: (Upper)

f: Core

図3-5-14 断面分析に供したマンガン団塊断面写真(蛍光X線)



(Out.: Outer crust, In.: Inner Crust)

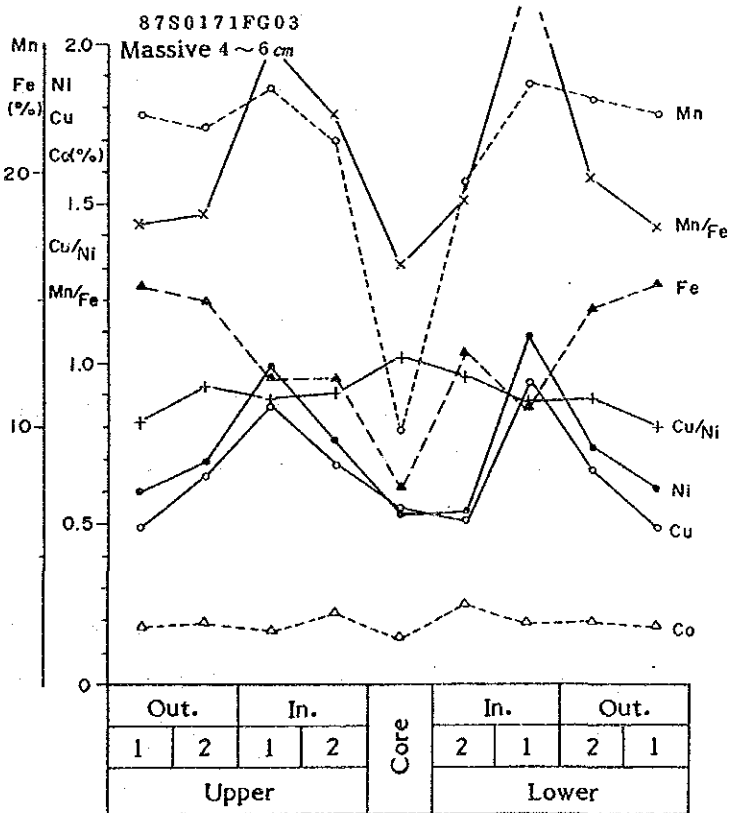


図3-5-15 マンガン団塊断面各部の品位(船上分析)

4) 鈹物組成

マンガン団塊の鈹物組成や内部構造を調べるため、代表サンプルについてX線回折と研磨片の顕微鏡観察を実施した。

(1) X線回折

マンガン団塊を外殻・内殻・核に大別し、さらにそれぞれをいくつかに分けて(図3-5-16) X線回折を行ったが、その結果を表3-5-9に、X線パターンを図3-5-17に示す。

検出された鈹物は 10\AA マンガナイト、 $\delta\text{-MnO}_2$ のマンガン鈹物及び、石英、斜長石、モンモリロナイト、灰十字沸石、重十字沸石、炭酸リン灰石などである。特徴としては、マンガン団塊を構成するマンガン鈹物が、87S0570FG19では $\delta\text{-MnO}_2$ のみからなるのに対し、87S0171FG03では 10\AA マンガナイトのみからなる点が揚げられる(ただし87S0171FG03の核部からは $\delta\text{-MnO}_2$ が検出されている。)。両者は、マンガン団塊を構成する鈹物の種類は異なるものの、いずれも外殻より内殻のほうが回折線のピークが高くなり、結晶度が良くなる傾向にある。

核部は斜長石、モンモリロナイト、灰十字沸石、重十字沸石、炭酸リン灰石などからなり、マンガン鈹物はほとんど認められない。

(2) 顕微鏡観察

球状のマンガン団塊の研磨薄片を作製し、反射及び偏光顕微鏡を用いて観察を行った。

球状(87S0570FG19, 図3-5-18)

肉眼的観察:

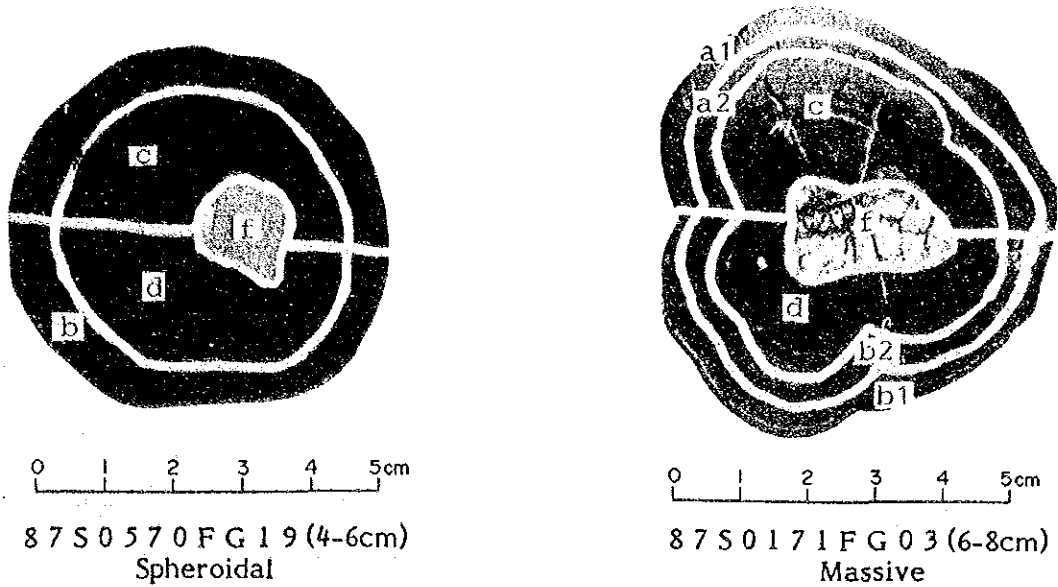
直径5.5 cmのほぼ球状をなすマンガン団塊。中心に直径約2 cmの角礫状玄武岩質岩片を核としてほぼ対称的な同心円状の成長層が発達する。

顕微鏡観察:

核部は中粒完晶質を示すドレライトからなる。斜長石、単斜輝石を主とし、これらの粒間にチタン磁鉄鈹と考えられる細粒不透明鈹物及び粘土鈹物が点在する。

マンガン酸化物は全体に調和的な成層構造が発達する。おもに $\delta\text{-MnO}_2$ の均一相からなり、稀に 10\AA マンガナイトの薄層(0.04 mm<)を介在する。

成長模様は比較的単調で規則正しい緻密質成層構造及び細かい波長の樹枝状~乳頭状組織が繰り返して互層する。核部~上面及び核部~底面の成長組織にはやや相違が見られ、前者の方がより規則的な成層構造が発達する。一方、後者には成長模様のやや乱れた樹枝状組織が明瞭に観察される。



Outer Crust a: (Upper) Outer Crust 1 a1: (Upper) Outer Crust 2 a2: (Upper) Outer Crust b: (Lower)

Outer Crust b1: (Lower) Outer Crust b2: (Lower) Inner Crust c: (Upper) Inner Crust d: (Upper)

f: Core

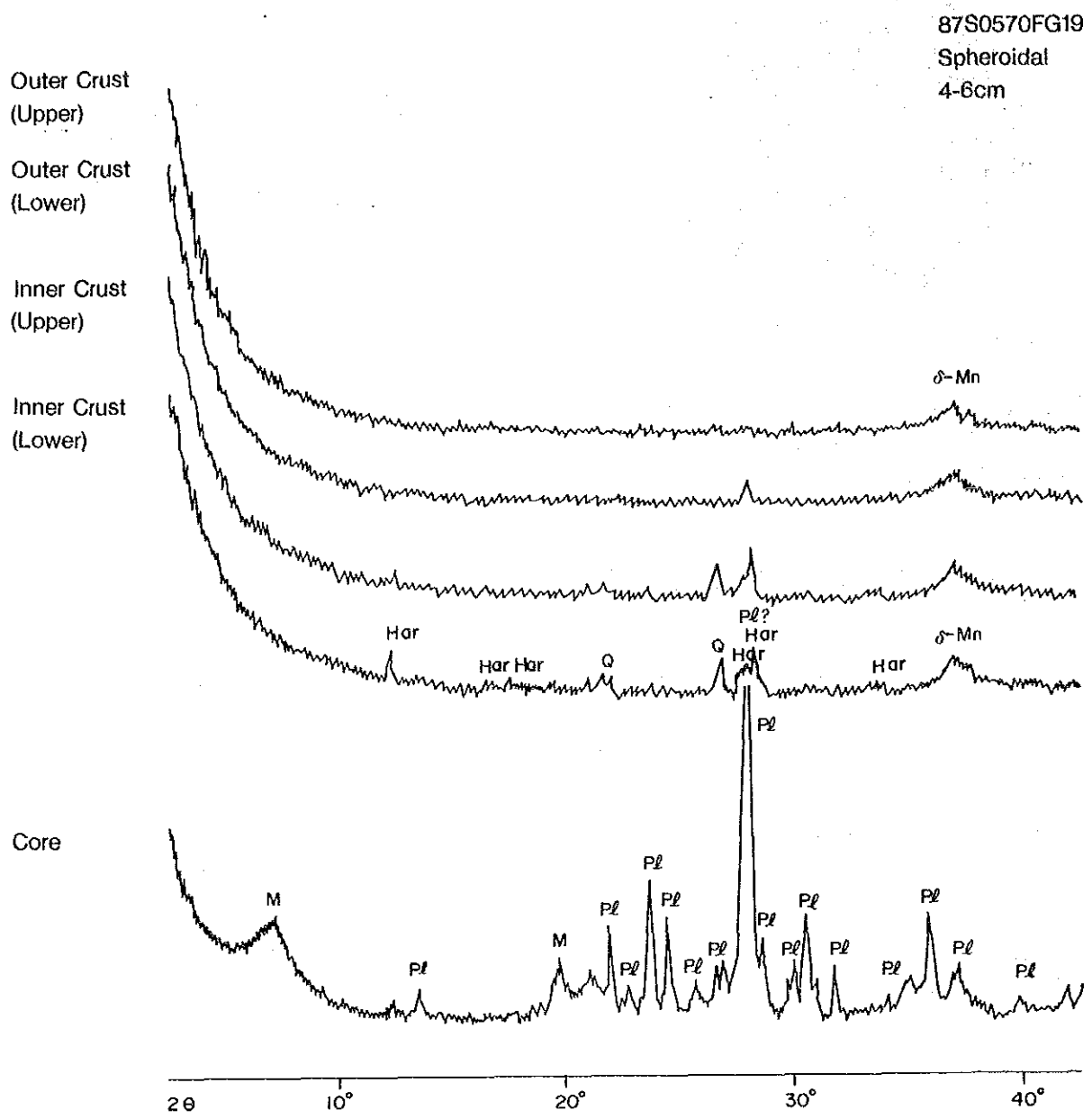
図 3-5-16 断面分析に供したマンガン団塊 (X線回折)

表 3-5-9 マンガン団塊の X線回折試験結果

Sample No.	Size (cm)	Morphology	Analysed position	10Å	δ-Mn	Q	Pl	Mo	Ph	Har	C-Ap
87S0570FG19	4-6	Spheroidal	Out.	Upper		±					
				Lower		±		±			
			In.	Upper		±	±	±			±
				Lower		±	±	±			±
			Core					+++	+		
87S0171FG03	6-8	Massive	Out.	1	Upper		±				
					Lower		±		±		
				2	Upper		±		±		
					Lower		±		±	±	
			In.	Upper		±		±	±		
				Lower		±		±			+
			Core			±			+	±	+

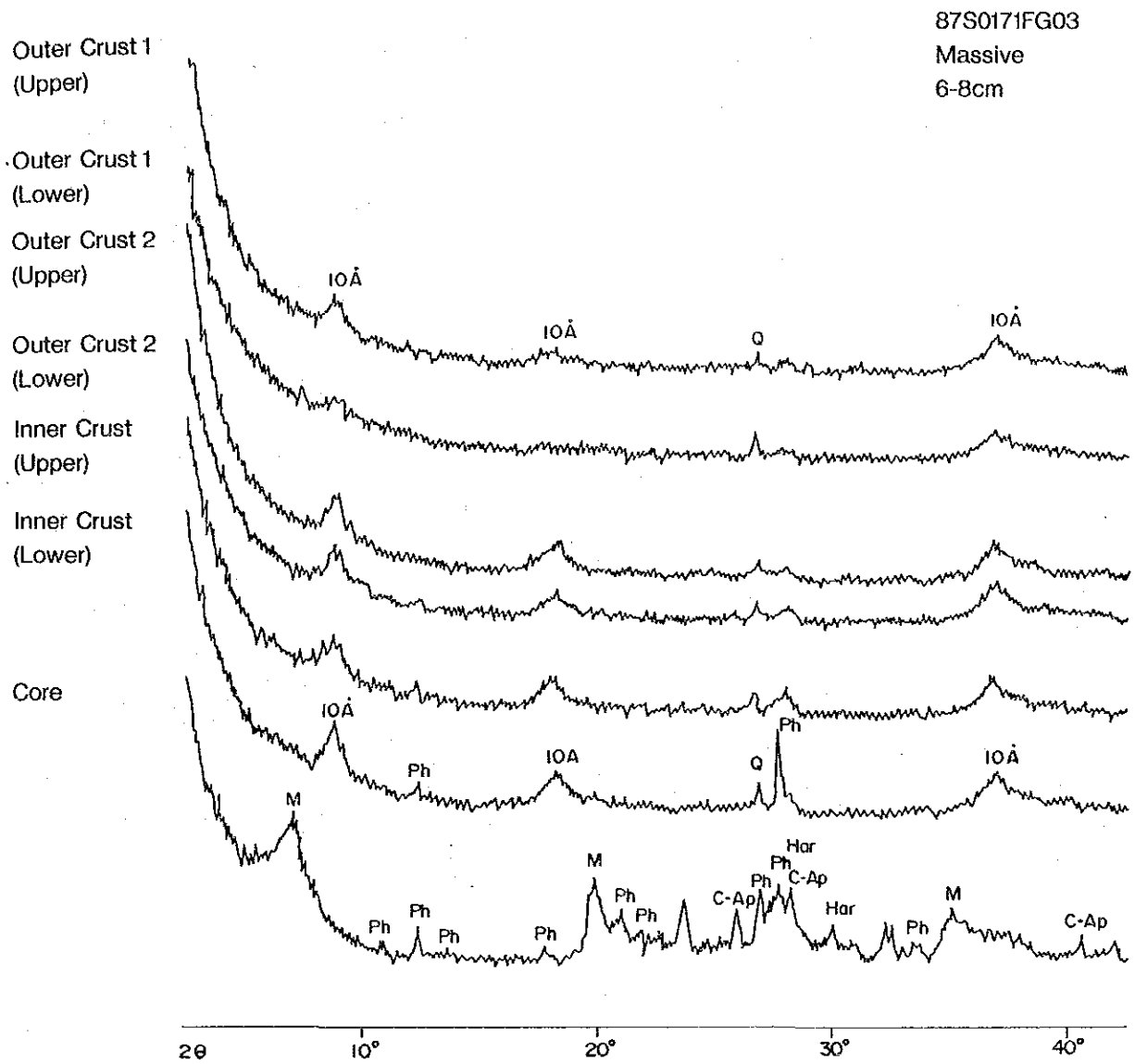
10Å: 10Å manganite δ-Mn: δ-MnO₂ Q: Quartz
 Pl: Plagioclase Mo: Montmorillonite Ph: Phillipsite Har: Harmotome
 C-Ap: Carbonate-Apatite

+++, ++, +, ± indicate intensity of diffraction peaks,
 (+++: high, ++: moderate, +: weak, ±: very weak)



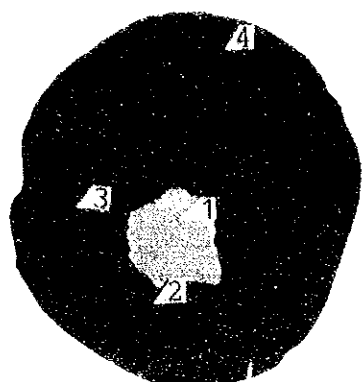
Legend δ -Mn : δ -MnO₂ Q : Quartz Pl : Plagioclase
M : Montmorillonite Har : Harmotome

図 3-5-17 マンガン団塊の X線回折パターン(1)



Legend IOA : IOA Manganite δ -Mn : δ -MnO₂ Q : Quartz PI : Plagioclase M : Montmorillonite
Ph : Phillipsite Har : Hornblende C-AP : Carbonate-apatite

図 3-5-17 マンガン団塊の X 線回折パターン(2)



87S0570FG19

spheroidal

1. Section

Number of this photo shows micro-photo's position.

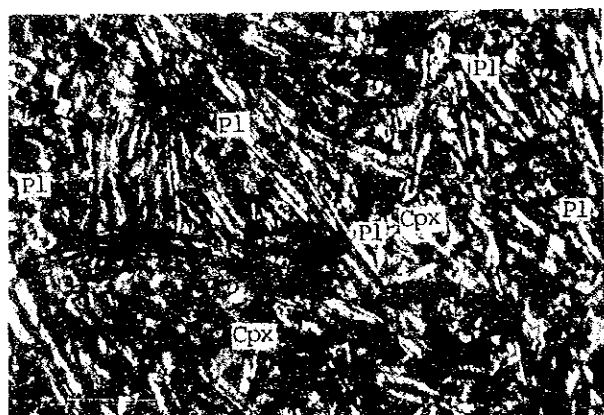
2. 1-4 Microscopic photo

Pl: plagioclase

Cpx: Clinopyroxene

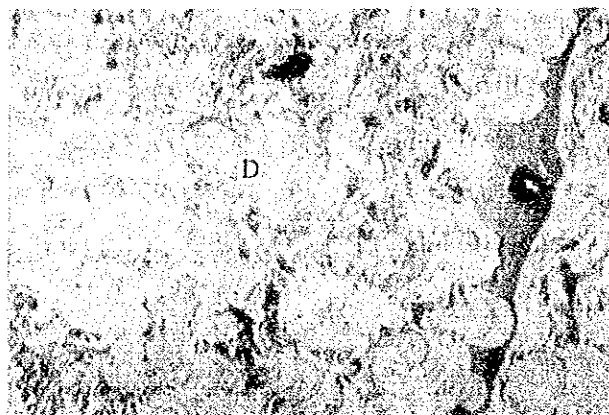
D: δ -MnO₂

T: 10Å Manganite



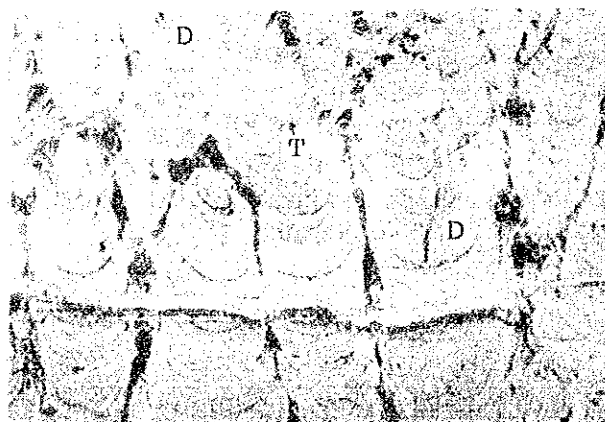
2-1 (Core)

Polarized light



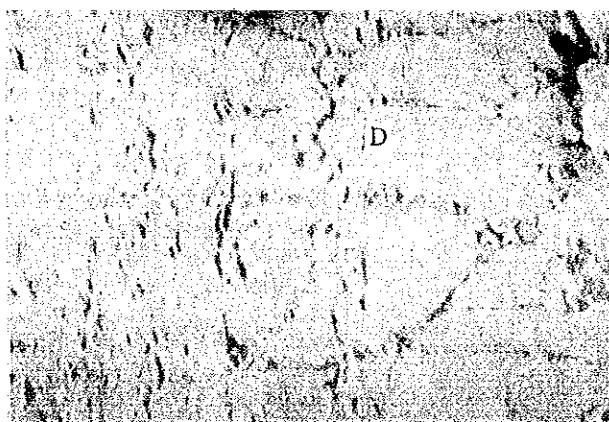
2-2 (Inner part)

reflected light



2-3 (Inner part)

reflected light



2-4 (Outer part)

reflected light

図 3-5-18 マンガン団塊研磨薄片マクロ写真と顕微鏡写真

5) 海底状況と分布密度

(1) マンガン団塊の形状と分布密度

形状別の平均分布密度と分布密度の出現頻度を図3-5-19に示す。平均分布密度は塊状型が極めて高く、 $19.8\text{kg}/\text{m}^2$ を示す。また、 $10\text{kg}/\text{m}^2$ 以上の出現率も76%と高く、次いで小石状の $5.96\text{kg}/\text{m}^2$ 、球状の $3.73\text{kg}/\text{m}^2$ と続くが(扁平碟状、板状は試料数が少ないので除外する)、頻度分布図によれば両者とも $0\sim 2.5\text{kg}/\text{m}^2$ の出現率が卓越している。

さらに低分布密度のものとしては扁平だ円状の厚型及び同通常型のそれぞれ $0.84\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $0.07\text{kg}/\text{m}^2$ がある。これら扁平だ円状類の頻度分布は $0\sim 2.5\text{kg}/\text{m}^2$ に片寄っている。特に通常型では全てが $0\sim 2.5\text{kg}/\text{m}^2$ に含まれる。

(2) 海底地形と分布密度

各探試点における巨視的の海底地形と、マンガン団塊分布密度との関係を図3-5-20に示す。

当海域は巨視的には同図に示すように、3つの海域に区分される。同図より、 3°S 以北の平坦地および山岳地では平均分布密度が、それぞれ $2.77\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $2.17\text{kg}/\text{m}^2$ と低く、 $10\text{kg}/\text{m}^2$ 以上の出現率も、それぞれ11.9%、6.7%と低い。一方、 3°S 以南の準平坦地では、平均分布密度が $5.40\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $10\text{kg}/\text{m}^2$ 以上の出現率は22.4%を示し、前2地域よりも、比較的高くなっている。但し、頻度分布図によれば、前2地域同様 $0\sim 2.5\text{kg}/\text{m}^2$ の出現率が卓越している。

重量係数を比較すると、小さい順に平坦地($18.6\text{kg}/\text{m}^2$)、山岳地($23.9\text{kg}/\text{m}^2$)、準平坦地($28.8\text{kg}/\text{m}^2$)となり、南へ向うにつれて、マンガン団塊の粒径が大きくなることを表わしている。

さらに、当海域の特徴として、平坦地、山岳地の北部2地域は、埋没型マンガン団塊が多く、平均すると埋没率^{*1}は、それぞれ80.9%、61.1%を示す。一方、南部の準平坦地では、埋没率がゼロに近く、ほとんど露出型となっている。これらのことは、SBPによる上位透明層が北部ほど厚くなっていることと関連があるものと思われる。

次に、図3-5-21に海底地形を微視的にみた場合の統計結果を示す。

探試点数では、平地が卓越し、その他に属するものは、データ数が少なく、微視的区分と分布密度との関係を一概に同一精度では論じられないが、傾向的には2つのグループに分けられる。即ち、平地、盆状地、溝状地の水深の深いグループと、台状地、海丘、海山の水深の浅いグループとに分けられる。

前者のグループでは、平均分布密度および $10\text{kg}/\text{m}^2$ 以上の出現率が共に低く、頻度分布図によれば $0\sim 2.5\text{kg}/\text{m}^2$ が卓越している。

*1 埋没率(%) = (1 - 海底写真面積率 / 揚収写真面積率) × 100

一方、後者のグループでは頻度分布図上に0~2.5kg/m²にピークを持っているが、前者と比較すると平均分布密度および10kg/m²以上の出現率が高くなっている。

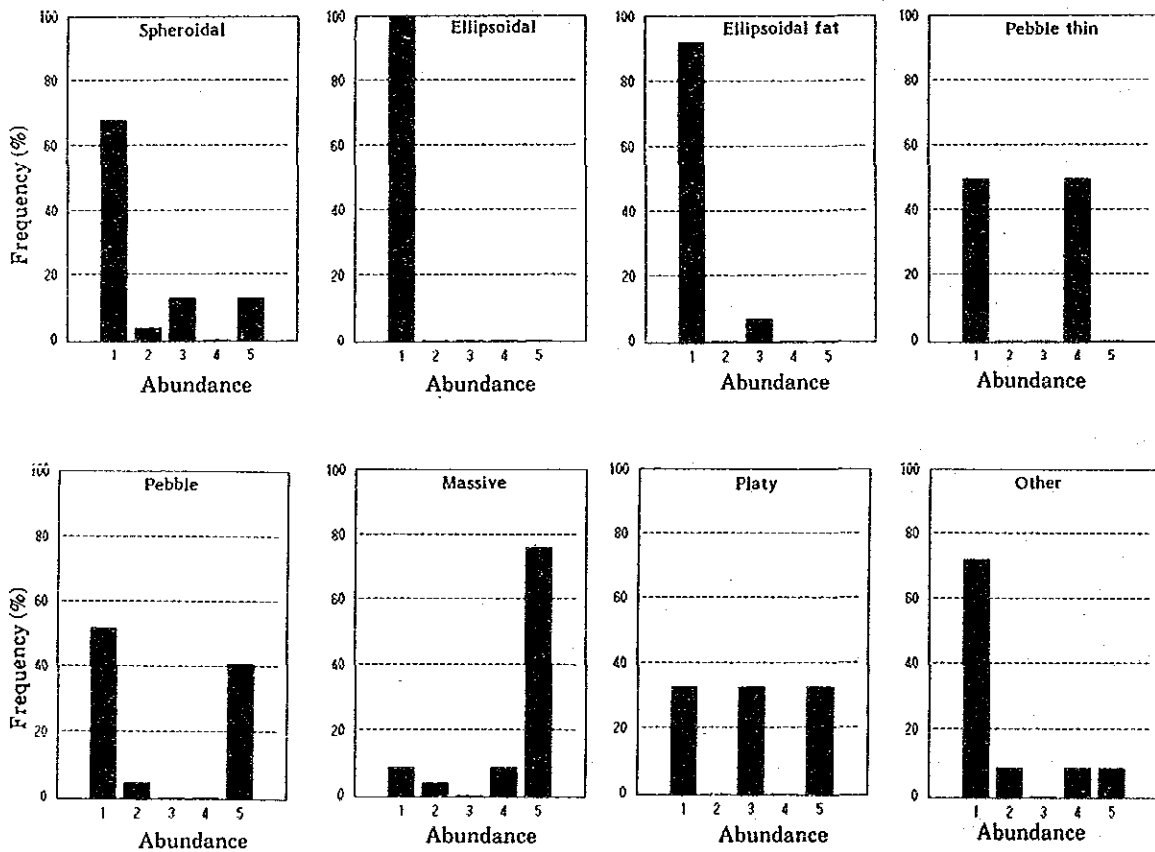
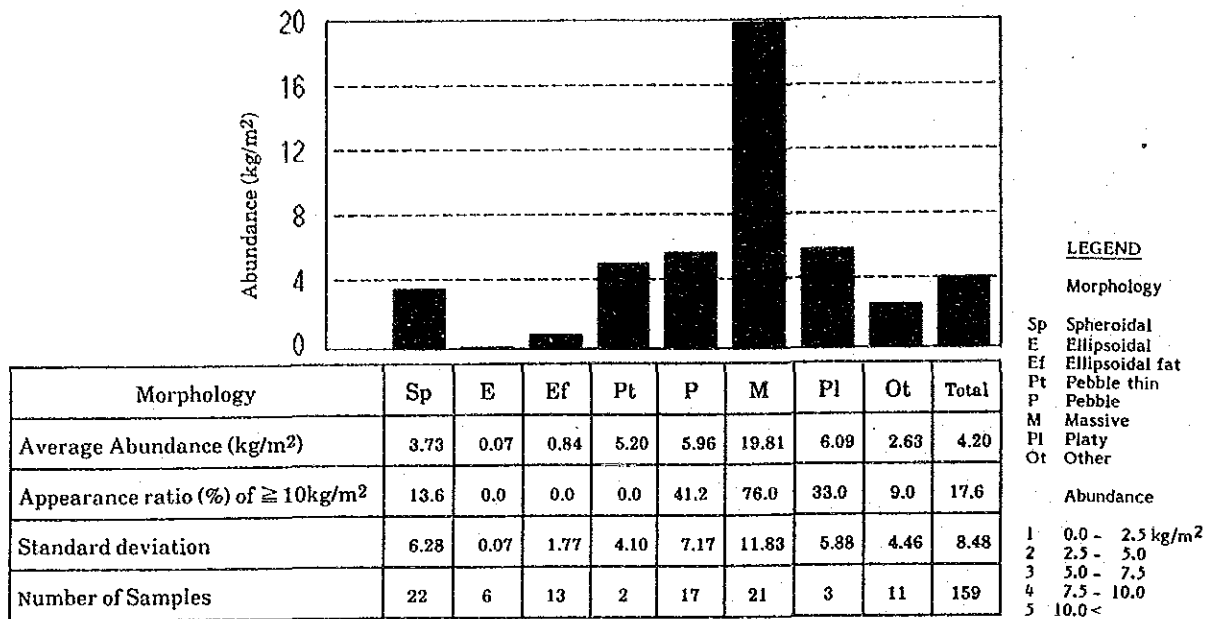
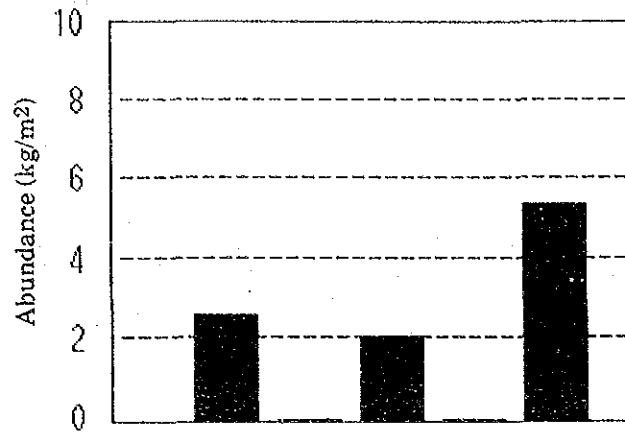


図3-5-19 形状とマンガン団塊分布密度との関係



Topography	Plain	Mountainous	Quasi Plain
Average Abundance (kg/m ²)	2.77	2.17	5.40
Appearance ratio of $\geq 10\text{kg/m}^2$	11.9	6.7	22.4
Weight Coefficient (kg/m ²)	18.6	23.9	28.8
Embedded ratio (%)	80.9	61.1	0.0
Number of Samples	42	30	98

LEGEND

Abundance

- 1. 0.0 - 2.5 kg/m²
- 2. 2.5 - 5.0
- 3. 5.0 - 7.5
- 4. 7.5 - 10.0
- 5. 10.0 <

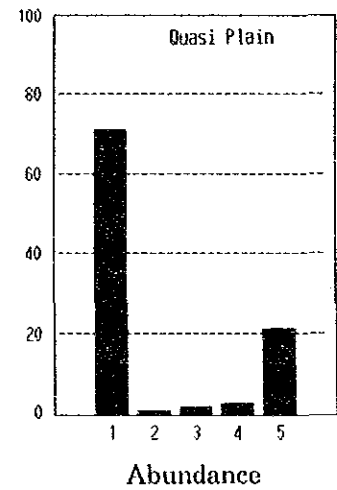
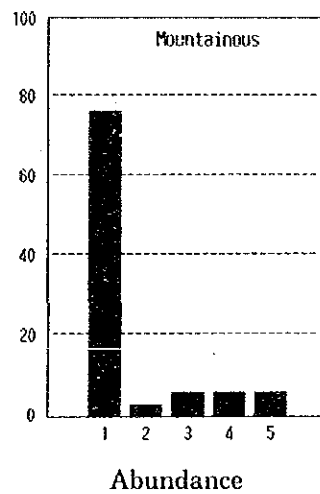
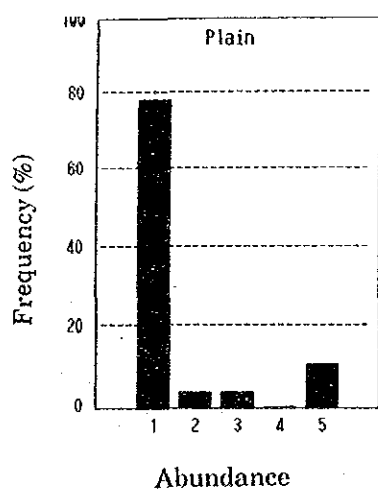


図 3-5-20 巨視的地形とマンガン団塊分布密度

重量係数では、海山、海丘でそれぞれ $2.22\text{kg}/\text{m}^2$ 、 $2.44\text{kg}/\text{m}^2$ と小さいが溝状地では、それが $3.20\text{kg}/\text{m}^2$ と大きくなっている。

(3) SBPタイプと分布密度との関係

SBPタイプと分布密度との関係を図3-5-22に示す。

① 上位に透明層が存在するタイプ(タイプ a・b, bc, e₁)

タイプ a, タイプ b, タイプ bc においては $0\sim 2\text{kg}/\text{m}^2$ の低分布密度を示す。頻度分布図でも $0\sim 2.5\text{kg}/\text{m}^2$ に片寄りをみせ、 $10\text{kg}/\text{m}^2$ 以上の出現率はゼロである。特に上位透明層が発達したタイプ b, タイプ bc では分布密度が極めて低く、不毛帯に近いものと推定される。

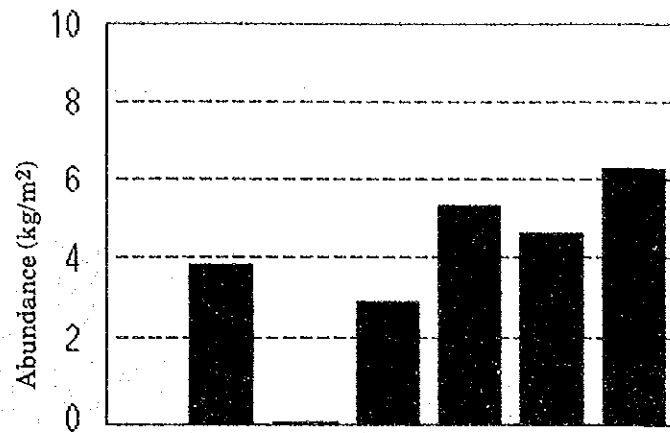
タイプ e₁ では $10\text{kg}/\text{m}^2$ 以上の出現率が比較的高く、これと、 $0\sim 2.5\text{kg}/\text{m}^2$ との2つのピークを持っている。これに伴ないバラツキは大きいが平均分布密度は $5.39\text{kg}/\text{m}^2$ とやや高くなっている。

② 上位が不透明層を示すタイプ(タイプ d₁, d₂, d_s)

平均分布密度は $4.76\sim 6.26\text{kg}/\text{m}^2$ と比較的高いが、頻度分布では $0\sim 2.5\text{kg}/\text{m}^2$ と $10\text{kg}/\text{m}^2$ 以上の両側にピークを持ち、分散も大きくなっている。これは不透明層を示す個所は、一般に地形が複雑で、それに併ないマンガン団塊の分布も一様でなく、その変化が大きいことが要因と思われる。

また、前記タイプ e₁ も同様な傾向を示すが、これは、タイプ e₁ がタイプ d₁, d_s 等と近接して認められ、タイプ a, b 等への漸移帯を構成し、地形的に不透明層グループに近いためと考えられる。

*1 SBP記録紙上では数m以下の透明層は識別不可能のため、不透明層と判定された個所でも、僅かな透明層が存在する可能性はある。



Topography	fl	ho	ch	ph	kn	mt
Average Abundance (kg/m ²)	3.95	0.01	3.01	5.45	4.78	6.33
Appearance ratio of $\geq 10\text{kg/m}^2$	13.9	0.0	8.3	26.7	26.1	33.3
Weight Coefficient (kg/m ²)	25.1	—	32.0	25.8	24.4	22.2
Embedded ratio (%)	11.9	—	0.0	1.9	66.6	23.5
Number of Samples	108	3	12	15	23	9

LEGEND

Topography

- fl flat
- ho hollow
- ch channel
- ph plat form
- kn sea knoll
- mt sea mount

Abundance

- 1 0.0 - 2.5 kg/m²
- 2 2.5 - 5.0
- 3 5.0 - 7.5
- 4 7.5 - 10.0
- 5 10.0 <

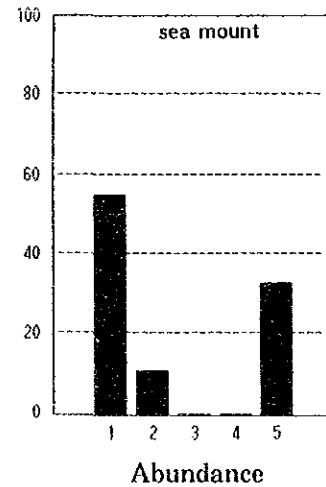
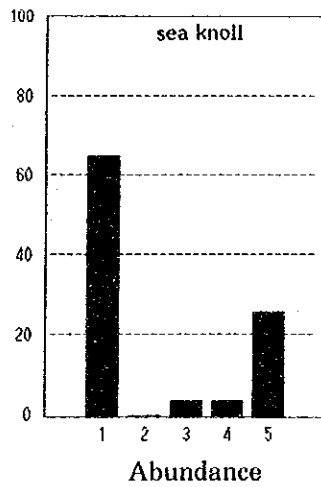
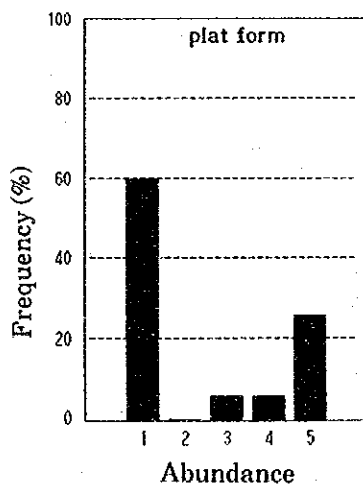
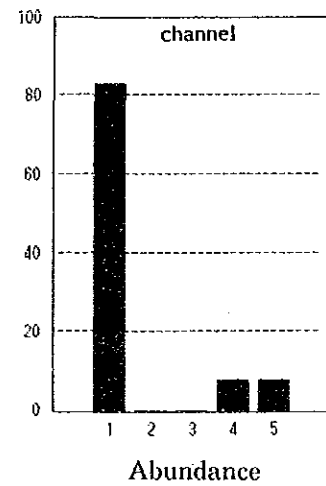
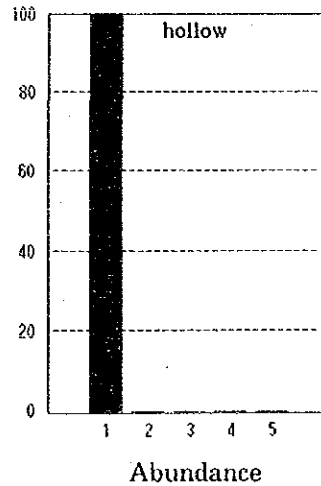
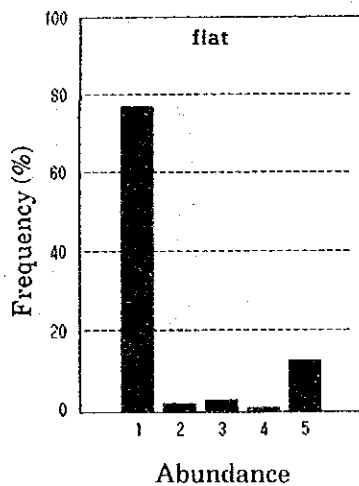


図 3-5-21 微視的地形とマンガン団塊分布密度



SBP Type	a	b	bc	e1	d1	d2	ds
Average Abundance (kg/m ²)	2.20	0.92	0.00	5.39	4.76	6.26	5.83
Standard deviation	2.56	3.24	0.00	12.87	8.36	10.25	7.81
Number of Samples	9	40	8	16	30	35	29

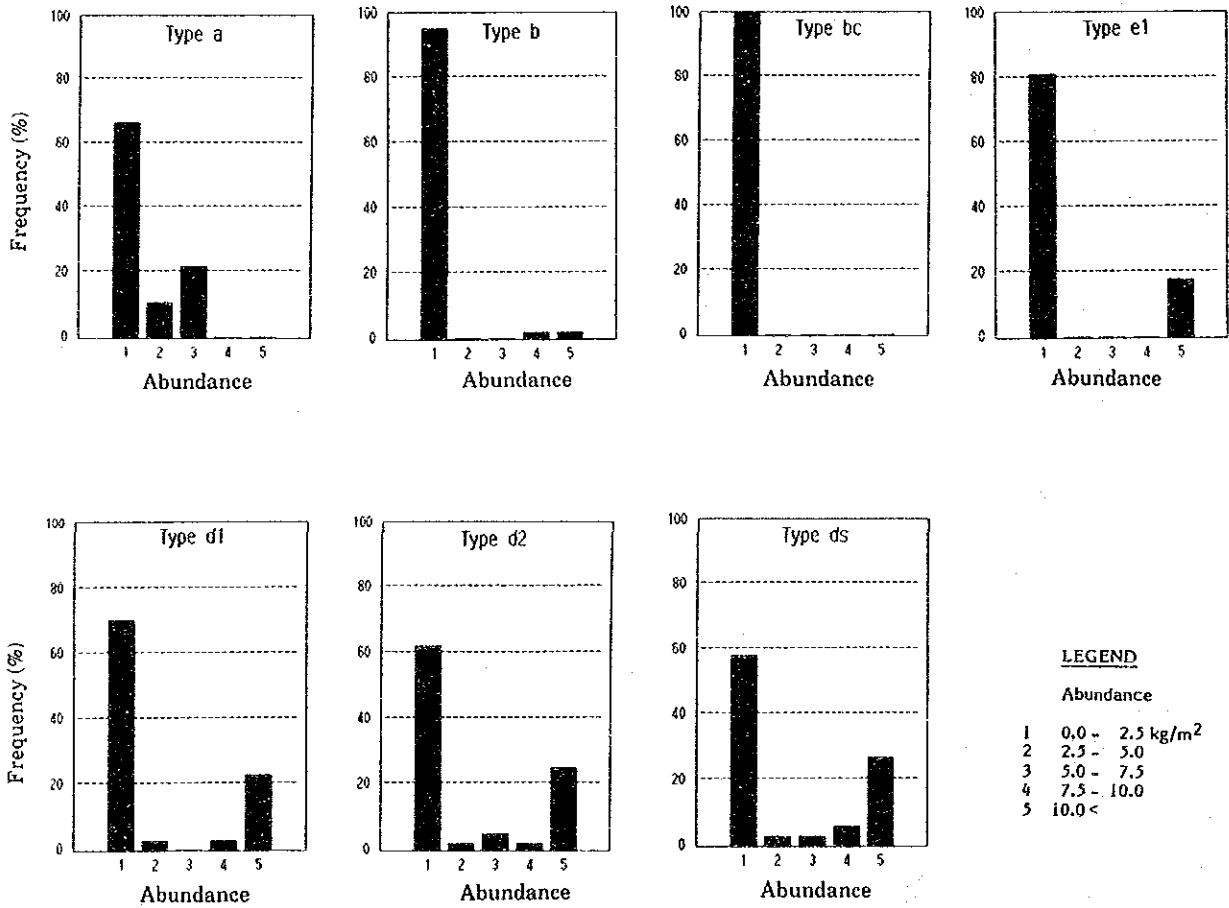
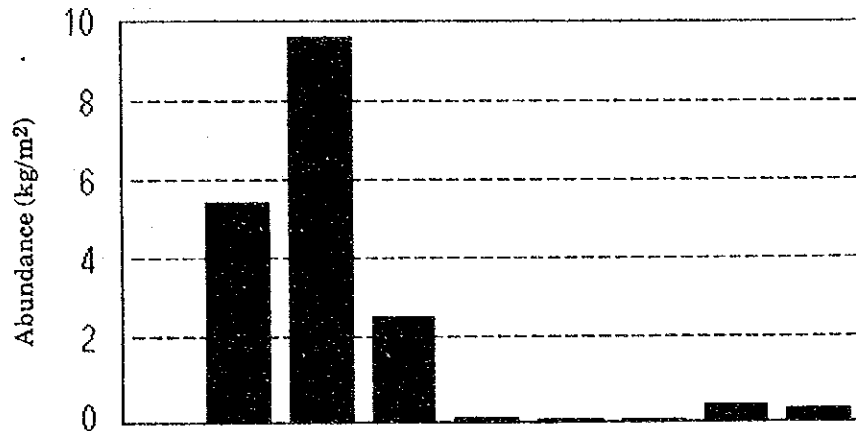


図 3-5-22 SBP タイプとマンガン団塊分布密度との関係

(4) 上位透明層と分布密度との関係

SBPの上位透明層とマンガン団塊の分布密度との関係を図3-5-23に示す。同図より層厚10mにおいて最高値を示し、平均分布密度はほぼ、 10 kg/m^2 である。次いで層厚0mの 5.22 kg/m^2 、層厚20mの 2.5 kg/m^2 と続くが、層厚30m以上になると分布密度は極端に低く、 1 kg/m^2 以下になり、 10 kg/m^2 以上の出現率はゼロである。即ち層厚0mを除けば層厚が増すにつれて低分布密度となる傾向が表われている。



Transparent Layer (m)	0	10	20	30	40	50	60	70 <
Average Abundance (kg/m ²)	5.59	9.76	2.50	0.16	0.12	0.04	0.41	0.35
Standard deviation	8.86	14.65	2.60	0.39	0.20	0.09	0.83	1.07
Number of Samples	95	15	8	12	4	5	7	24

図3-5-23 上位透明層層厚とマンガン団塊分布密度との関係

(5) 底質物と分布密度との関係

底質物と分布密度との関係を図3-5-24図に示す。同図によれば灰珪質粘土の採取個所で分布密度が最も高く、平均で 10.28 kg/m^2 を示す。頻度分布図では $0 \sim 2.5 \text{ kg/m}^2$ と $12.5 \sim 15.0 \text{ kg/m}^2$ の2つにピークを持ち多少の変動はあるが 10 kg/m^2 以上の出現率では50%以上にもなる。褐色粘土及び珪質粘土帯では、両者とも平均分布密度は低く、 5 kg/m^2 以下である。頻度分布も $0 \sim 2.5 \text{ kg/m}^2$ に片寄りをみせている。石灰質軟泥は採試点数が少なく、あきらかではないが褐色粘土等と同様な傾向がみられる。

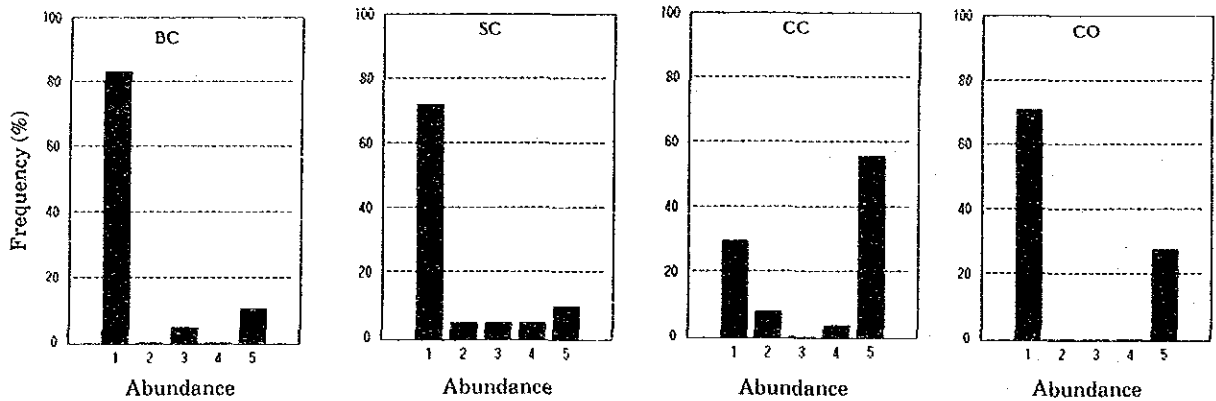
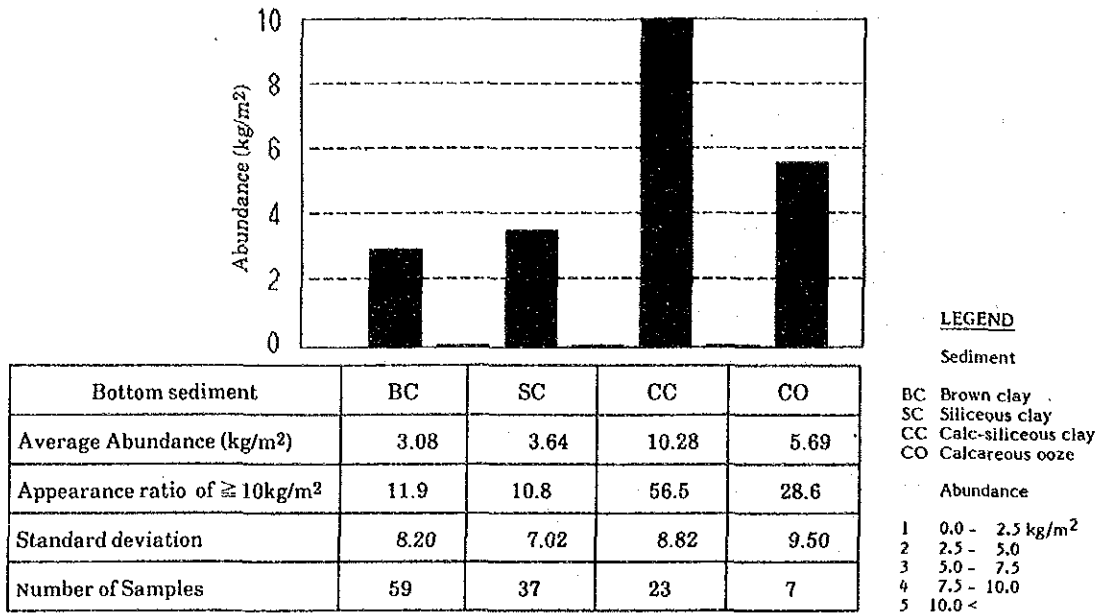


図 3 - 5 - 24 底質物とマンガン団塊との関係

6) CDCによる観察結果

CDC調査は、第一次サンプリング調査終了後の10月7日から10月9日にかけて約50時間にわたって実施した。この間に2測線、総延長59.5マイル、観察撮影測点32点の写真撮影を行い、161枚の海底写真を得た。

(1) 観察結果

海底写真から求めた測点ごとのマンガン団塊分布面積率(%)及び分布密度(kg/m²)を表3-5-10に示す。

また各測線に沿ってこの分布密度値や形状、粒度、さらには分布の推定連続性などを概念的に示したのが図3-5-25である。さらにいくつかの代表的な測点におけるやや詳細な産状例を図3-5-26及び図3-5-27に示す。

表 3-5-10 CDC測点ごとのマンガン団塊分布面積率及び分布密度

測 線 01			測 線 02		
測 点	面積率	分布密度	測 点	面積率	分布密度
01-01	76.1	26.05	02-01	0	0
02	0.7	0.27	02	0	0
03	30.2	7.34	03	5.5	1.06
04	65.9	19.75	04	0	0
05	2.6	1.22	05	0	0
06	61.9	18.57	06	5.7	1.26
07	7.4	1.15	07	25.2	4.30
08	34.5	8.38	08	23.3	4.99
09	36.6	10.14	09	13.0	2.82
10	14.5	3.16	10	26.7	4.98
11	0.7	0.16	11	10.3	1.30
12	0	0	12	0.6	0.20
13	0	0	13	0	0
14	0	0	14	0	0
15	0	0			
16	13.5	2.33			
17	13.1	2.94			
18	28.8	3.85			
平均	21.5 %	5.85 kg/m ²	平均	7.9 %	1.14 kg/m ²

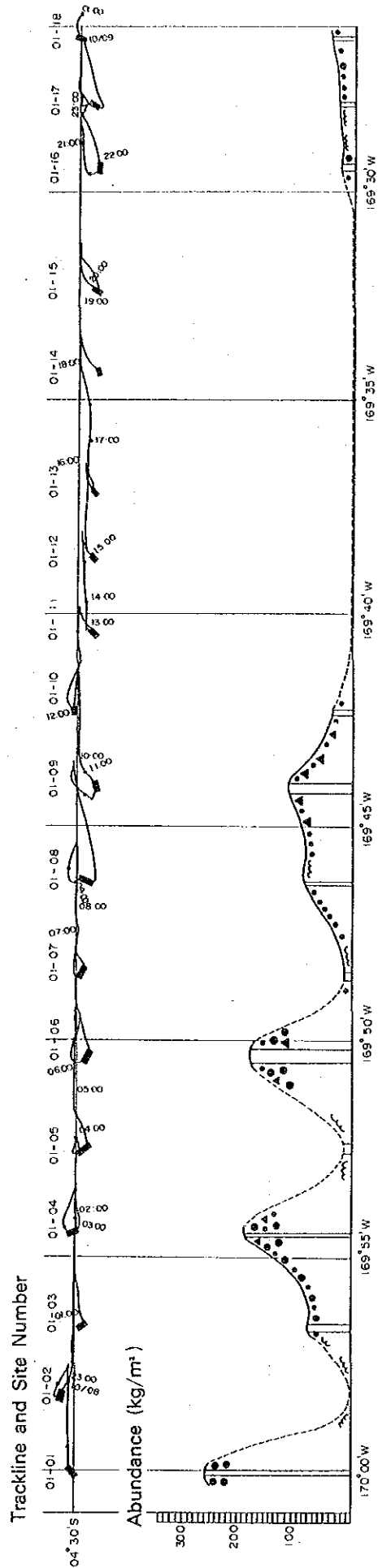
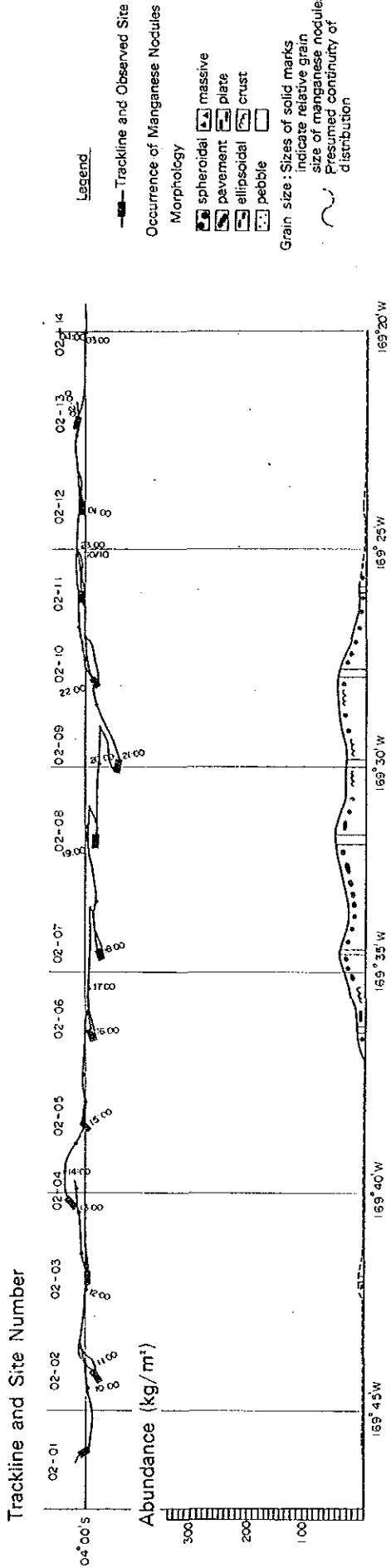
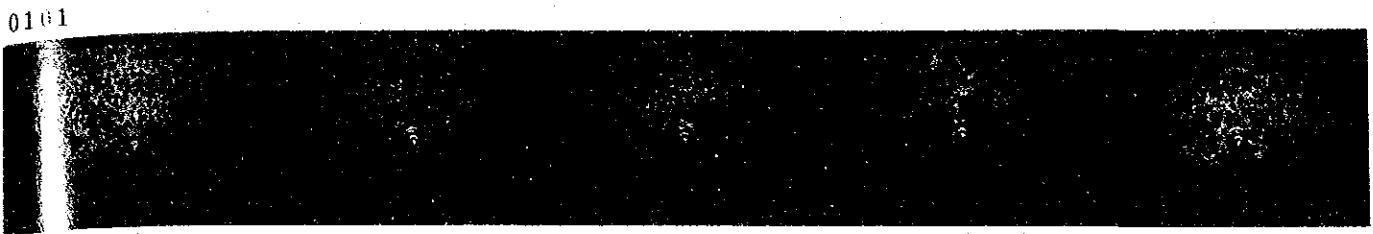
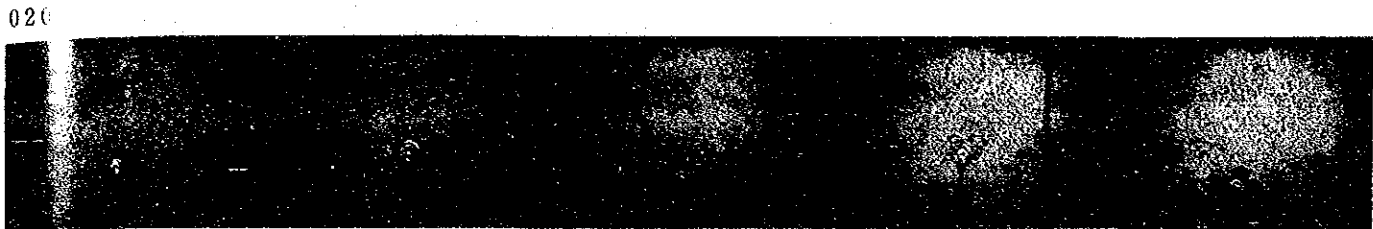


图 3-5-25 CDC 调查结果概念图



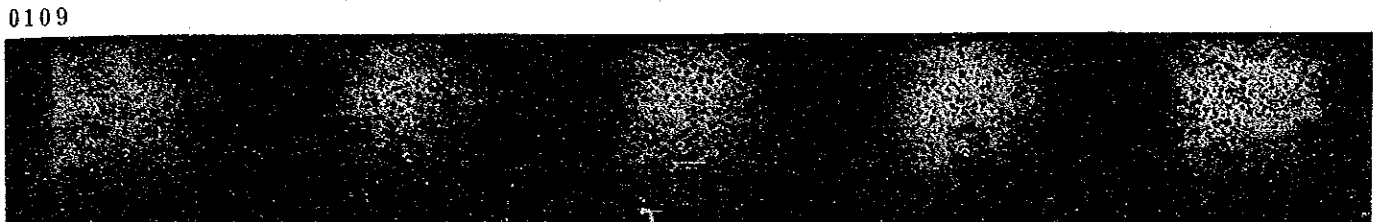
0.4(62.5) 25.9(79.1) 25.5(77.6) 30.0(83.0) 28.4(78.2)

球状のマンガン団塊が連続的に分布する。粒径は5 cmぐらいで変化が少ない。



4.8(28.6) 8.2(41.9) 4.6(27.2) 1.9(12.8) 2.2(15.7)

主として小石状のマンガン団塊が分布する。底棲生物による泥のマウンドあり。



6.8(28.2) 11.0(39.8) 11.9(39.1) 10.8(38.1) 10.2(38.0)

塊状のマンガン団塊中に小石状のマンガン団塊が少量混じる。粒径は約4 cm。



-(-) -(-) -(-) -(-) -(-)

海丘上の岩盤露出地帯。表面に薄いマンガンクラフトが発達。

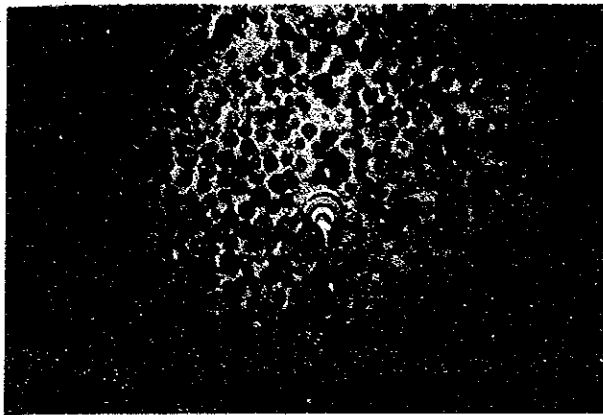


0.0(0.0) 0.0(0.0) 0.0(0.0) 0.0(0.0) 0.0(0.0)

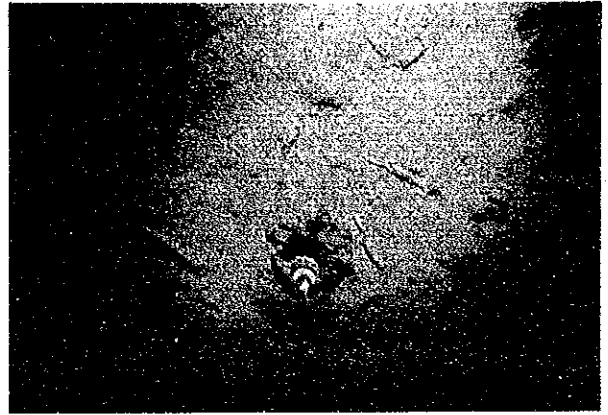
マンガン団塊は全く存在しない。底棲生物の生痕が発達。

[左上の番号：測点番号，左下：分布密度，下右()：面積率]

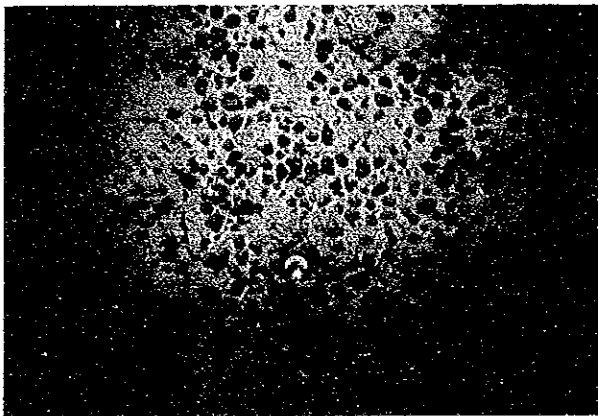
図3-5-26 CDCによる連続写真の例



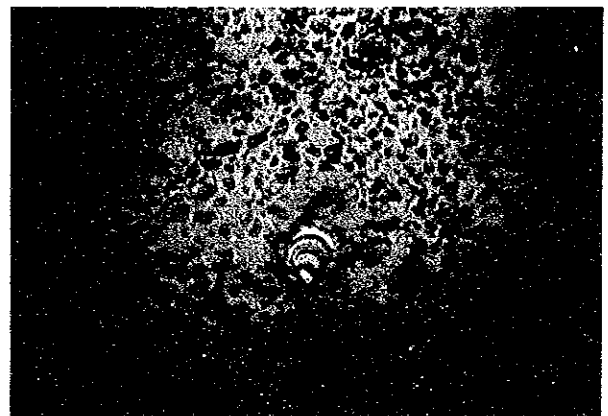
87SCDC0101
Spheroidal. Abundance: 30.0 Kg/m²



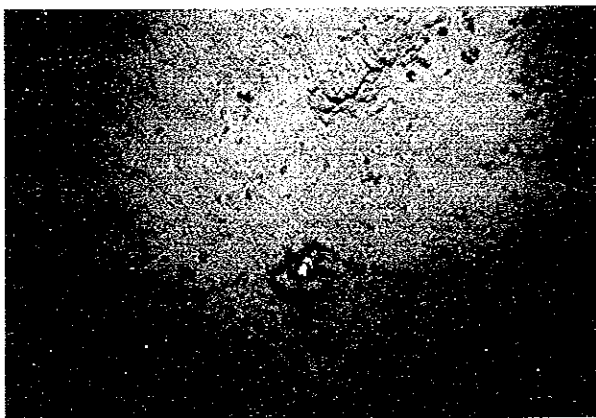
87SCDC0204
Mud.
Mud-mound formed by benthos



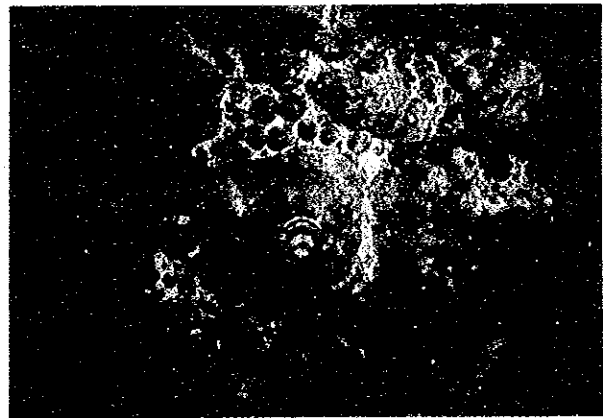
87SCDC0109
Pebble and Spheroidal
Abundance: 6.8 Kg/m²



87SCDC0207
Pebble. Abundance: 8.2 Kg/m²



87SCDC0111
Pebble. Abundance: 2.2 Kg/m²



87SCDC0214
Crust. Mud at hollows

图 3-5-27 CDC 写真例

① 第1測線

169°24'Wを境にして、その西側の高分布密度帯と東側の低分布密度帯とに分かれる。西側では、マンガン団塊は球状及び塊状を主体とし、それに小石状などが続いており、粒径は3～5 cm程度のものが多い。この西側には各所にクラスト付岩盤の発達が認められた(測点01-02, 水深5,547 m)が、同じ測点内で球状及び小石状のマンガン団塊に移化している(測点01-03, 水深5,750 m)。全体に連続性には欠けるが、部分的には、面積率が35～76%と高い所もあり、しかも水深が5,300 m～6,100 mと比較的深い所でも高分布が認められた。

一方、東側では、泥の卓越帯が広く、マンガン団塊の分布は、ほとんどみられない。水深は4,700～5,600 m程度であり、浅くなるに従いクラスト付岩盤の発達が認められた。また泥の卓越帯では、底棲生物の活動を示す痕跡が多くみられた。

この第1測線においては、FGサンプリング結果とCDC写真による分布密度が大きく異なり、分布密度の不連続性が極めて高いことを反映した現象と解される。

② 第2測線

169°32'Wを境にして西側の泥卓越帯と東側のマンガン団塊分布帯とに分かれる。西側では、泥の卓越帯が広く底棲生物の活動を示す痕跡が各所にみられる。マンガン団塊は、小粒径の小石状のものが若干認められる程度でほとんどない。一方、東側においては、粒径が1～2 cm程度の小石状のものがほとんどで、面積率も10～25%と低く、従って分布密度も全般に低くなっている。

また、東端の測点02-13及び02-14においては、海丘裾野から海丘斜面にかけて、泥域から岩盤に移っておりマンガン団塊はみられなくなる。従って第2測線全般としてマンガン団塊の連続性は低く、一部にみられても、低分布密度帯となっている。

(2) FGサンプリング結果との比較

本調査で得られた分布密度とFGサンプリングから得られたそれとを比較してみた。ここでFGサンプリング3地点の範囲(長辺2.1マイル, 短辺1.4マイルの2等辺三角形)に対応するCDC調査範囲として測点3つをとりあげる。その結果を表3-5-11に示す。

これより第1測線においては、前述のごとく、分布密度値が逆転しており、当初予想とはくいちがっていた。

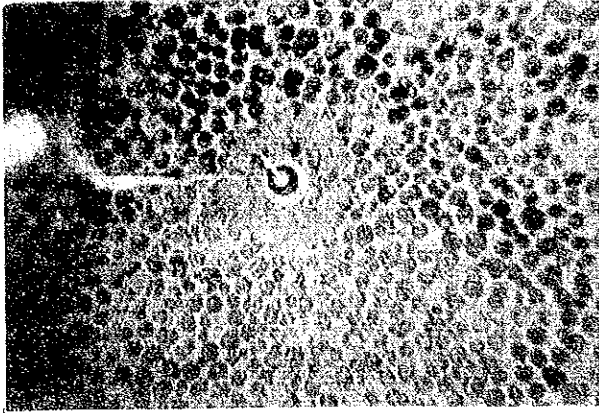
また第2測線においては、両者にかかなりの差はあるものの、CDC調査による結果とMFESによる予想値が概ね一致している。

なお、FGサンプリングによる海底写真と揚収写真の代表例を図3-5-28に示す。

表 3-5-11 FGサンプリング及びCDC調査
による分布密度値の比較

(単位: kg/m^2)

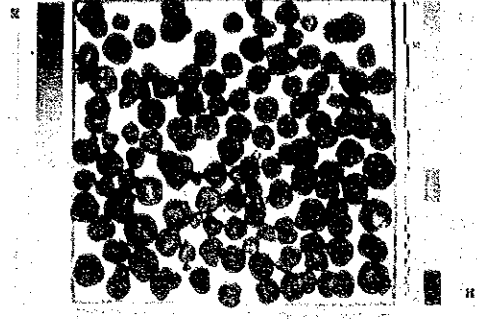
FG サンプリング			CDC 調 査		
測 点	各採試点値	平均値	平均値	各測点値	測 点
87440	0.00	3.92	26.05	20.25	01-01
	11.76			25.88	
	0.00			25.54	
				30.03	
				28.44	
87424	13.86	17.83	2.33	2.23	01-16
	25.90			4.82	
	13.74			3.88	
				0.70	
				0	
87425	29.81	11.43	2.82	3.23	02-09
	4.49			0	
	0			5.11	
				0.73	
				2.21	



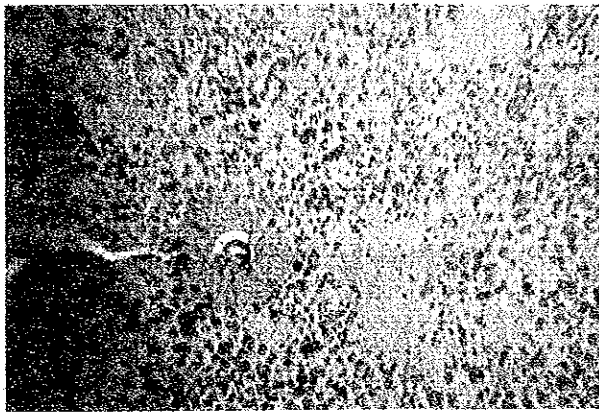
87S0570FG05 (Sea Bottom)

(Spheroidal. Coverage: 58.6%, Abundance: 25.90 kg/m²)

87S0570FG05 9.13



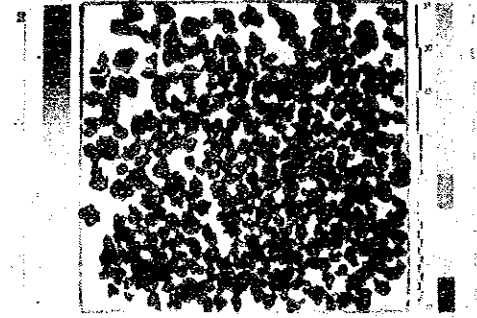
(Collected)



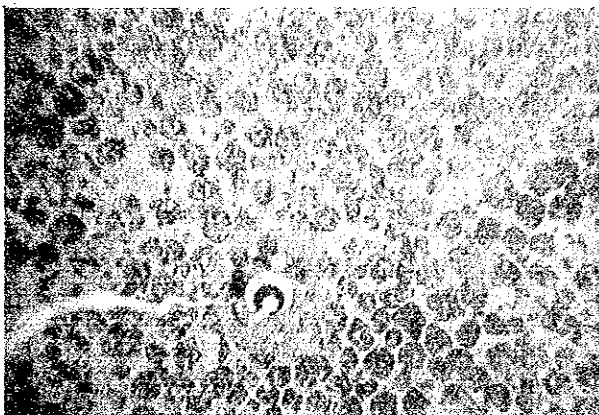
87S0570FG08 (Sea Bottom)

(Pebble. Coverage: 31.0%, Abundance: 13.80 kg/m²)

87S0570FG08 10.4



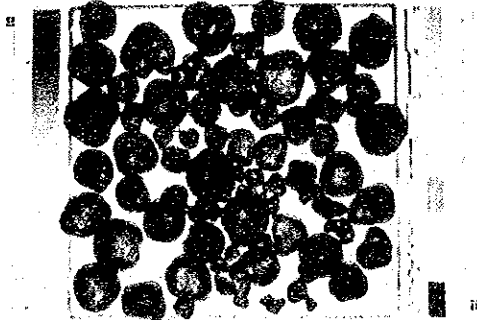
(Collected)



87S0570FG19 (Sea Bottom)

(Massive. Coverage: 71.3%, Abundance: 39.95 kg/m²)

87S0570FG19 10.6



(Collected)

図 3 - 5 - 28 海底写真と揚収写真の例

7) 金属量分布

マンガン団塊を有用鉱物資源として考える場合、単にマンガン団塊の単位面積当りの量、すなわちマンガン団塊分布密度が高いたけでは不十分であり、マンガン団塊に含まれる金属量（特に有用金属であるNi・Cu・Co）も考慮しなければならない。そこでNi・Cu・Coについて、含有密度値（単位面積当りの金属量）を次の方法により測点ごとに求め、別添第13図～第15図に示した。

○ Ni 含有密度 = 分布密度 × (1 - 含水率) × Ni 品位

○ Cu 含有密度 = 分布密度 × (1 - 含水率) × Cu 品位

○ Co 含有密度 = 分布密度 × (1 - 含水率) × Co 品位

なお、ここでは分布密度及び各品位に対してはカットオフ値は設けていない。

当調査海域における金属量分布の特徴としては、以下に述べるように有用金属であるNi、Cu、Coの含有密度の高い海域とマンガン団塊分布密度の高い海域がほぼ一致している点が挙げられる。

(1) Ni（別添第13図参照）

Ni 金属量 20 g/m^2 以上の範囲を示す海域は次の5海域である。

① $1^{\circ}00' \text{ S}$ 及び $3^{\circ}00' \text{ S}$ 、 $169^{\circ}00' \text{ W}$ 及び $171^{\circ}00' \text{ W}$ で囲まれた海域

② $169^{\circ}30' \text{ W}$ を中心に $4^{\circ}00' \text{ S}$ 及び $5^{\circ}00' \text{ S}$ で囲まれた海域

③ $0^{\circ}00' \text{ S}$: $171^{\circ}00' \text{ W}$ を中心とする海域

④ $1^{\circ}00' \text{ S}$: $172^{\circ}00' \text{ W}$ を中心とする海域

⑤ $5^{\circ}00' \text{ S}$: $168^{\circ}00' \text{ W}$ を中心とする海域

当海域内でNi 20 kg/m^2 以上を示す範囲の合計面積は約 $40,500 \text{ km}^2$ 、平均含有密度は 32.1 g/m^2 である。

(2) Cu（別添第14図参照）

Cu 金属量 20 g/m^2 以上の範囲を示す海域は、上記したNiの分布範囲にほぼ一致する。

当海域内でCu 20 g/m^2 以上を示す範囲の合計面積は約 $34,500 \text{ km}^2$ 、平均含有密度は 30.9 g/m^2 である。

(3) Co（別添第15図参照）

Co 金属量 20 g/m^2 以上の範囲を示す海域は次の3海域である。

① $169^{\circ}30' \text{ W}$ を中心に $4^{\circ}00' \text{ S}$ 及び $5^{\circ}00' \text{ S}$ で囲まれた海域

② $3^{\circ}00' \text{ S}$: $169^{\circ}00' \text{ W}$ を中心とする海域

③ $5^{\circ}00' \text{ S}$: $168^{\circ}00' \text{ W}$ を中心とする海域

当海域内でCo 20 g/m^2 以上を示す範囲の合計面積は約 $11,700 \text{ km}^2$ 、平均含有量は 40.8 g/m^2 である。

3-6 考察：マンガン団塊の賦存状況について

当海域に賦存するマンガン団塊の特性として次の3点が挙げられる。

- (1) 分布の連続性が極めて悪い。
- (2) 分布密度と水深の間には明瞭な対応関係があり、およそ5,200 m以浅5,000 m位までの間で高密度であるのに対して5,400 m以深ではそれが急減する。
- (3) 海域の北部と南部とで産状及びマンガン団塊のタイプが異なる。北部にはいわゆる“Rough”型が多いのに対して、南部では“Smooth”型が多くなる。

これらの特性は、当海域における海底地形条件及び堆積条件を反映した現象として解釈できる。(1)については、トラフやリッジ、海山あるいは島、さらには多くの海丘や丘陵性地形などが併存し、全域的に起伏に富んだ海底地形条件が第一義的要因としてあげられる。海域の北端辺にやや連続的にみられる透明層分布帯を除くと、海丘や丘陵性地帯以外の深海底地帯でさえ、地形に起伏があり、このことが、相隣接する3つの探試点間でさえもマンガン団塊の分布密度が大きく変動することの原因となっていると考えられる。この海底地形の不安定さは透明層の分布やSBPタイプの分布にも表われている。一般にマンガン団塊の発達に好ましい薄めの透明層分布帯は、当海域ではごく小範囲に限られるのに対して、地形の起伏度の高いSBPタイプで d_1 、 d_2 及び d_s などの範囲が広い範囲を占めている。

(2)については、当海域におけるCCD(炭酸塩補償深度)が5,200 m前後であることに起因していると考えられる。一般にマンガン団塊の高分布密度帯は水深的にはリソクラインレベルからCCD直下あたりになるとされ(D. S. Cronan, 1984, 他)ているが、当海域における現象もその推察に合致しているものとみなされる。地形条件が悪いにもかかわらず、海域内に点在する海丘や丘陵性地帯に高分布密度がみられるのは、いずれも水深的にちょうどCCD付近であることによるものである。逆に、当海域におけるマンガン団塊が劣勢であることの主因は、5,400 m以深の範囲が広いことと地形条件の不安定さに求められる。

(3)の原因としては、生物生産性の南北間差異(Cronan 1984)が考えられる。Cronanの推定図によれば、当海域の北半部は、 $50 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{y}$ の高生物生産性範囲に入っているが、それが南方に向かって漸減傾向にある。

他方、南方からの南極底層流は、当海域の南半部を北上し、NOVA CANTON TROUGH南縁の高まりにぶつかり北東方向へ転向するものと推定されている(Lonsdale & Smith, 1980)。

この底層流は海底面における堆積物の供給を減少させる方向に働くであろう。こうしたことから、NOVA CANTON TROUGHをバリアーとする北半部と南半部では、堆積速度にかなり大きな差異を生ずることが推察され、透明層の分布とその層厚の差及び底質の種類などにそれが表われているし、またそこで生成されるマンガン団塊も、堆積速度が相対的に大きな北半部では埋没度の高い“R”型が、逆に小さな南半部では露出型の“S”型が生成されるものと考えられる。実際には、以上の南北間の位置的な違いに加えて地形的な要因によっても、海丘や丘

陵性地帯などのより浅く突出した場所における“S”型の生成と、逆に凹地における“R”型の生成といった傾向の方に影響をうけるであろう。上記のごとき地形要因による“R”型と“S”型分布の規制例は臼井・他(1987)などにより報告されている。

当海域のマンガン団塊にみられる産状の特性は、上述した主に3つの要因が複合的に作用した結果としてとらえられる。

4章 調査結果・Ⅱ（コバルトクラスト）

4-1 海山の地形

1) 海山の分類及び地形区分

海山は、その形状より表4-1-1の様に分類される。

表4-1-1 海山のタイプ分類

分類		形状特徴
単 独 海 山	平頂海山	山頂が平坦且つ水平な海山
	円頂海山	山頂が丸みを帯びている海山
	斜頂海山	山頂は平坦であるが傾斜している海山
	尖頂海山	山頂が尖頂状を呈している海山
複合海山		上記の特徴を2つ以上有する海山 (成因的に複合した海山もこれに含む)
環礁		山頂が海面まで達し、環礁を形成している海山

今回調査した海山は、環礁が2、尖頂海山が4（内1海山は地形的に独立しているが記載上はSA03海山の一部として取り扱うこととする）である。

各海山の地形は、山頂部と斜面部に大別し、且つ記載の便宜上、それぞれについて表4-1-2の様に細分した。

表4-1-2 海山の地形区分

分類		地形特徴
山頂部	中央部	山頂部中央の平坦または傾斜の緩やかな部分。
	肩部	山頂中央部と斜面上部間の傾斜転移帯。
斜面部	上部	斜面部上方の傾斜が急峻な部分。 便宜上、水深2,000m以浅の部分。
	中部	斜面上部と斜面下部の間に位置し、傾斜が中程度の部分。 便宜上、水深2,000m~3,000m以深の部分。
	下部	斜面部下方の傾斜が緩やかな部分。 便宜上、水深3,000m以深の部分。

クラストを対象とした海山調査では、水深が3,000m程度以浅の部分が調査の主対象となる。従って、音響探査(地形測量)は山頂部及び斜面上部~中部を密に、斜面下部は粗になる様に航走した。また、環礁では航行の安全を計り、水深約1,000m以浅は調査を行わなかった。

山頂部(環礁を除く)では一般に、その中央部は平坦又は緩傾斜を示し、SBP記録によれば、極く一部ではあるが細粒堆積物の分布がみられる。一方その肩部は、起伏の激しい複雑な地形を呈している。凸部では岩盤が直接露出、凹部では巨礫~小礫の分布が推察される。

斜面部における傾斜の変化は、海底地形図及び地形特徴(表)に示す様に、斜面上部では平均傾斜19~23°と最も急峻であり、また斜面中部においても平均傾斜15~22°と依然かなり急であるが、斜面下部に至ると平均傾斜7~16°となりかなり緩傾斜になる。

2) 海山別地形特徴

SA01~SA05海山の地形特徴を表4-1-3に示す。

また海山別地形平面図・断面図を別添第17図(1)・(2)・(3)・(4)に、鳥瞰図を図4-1-1に示す。

以下、各海山の地形特徴について述べる。

(SA01 海山)

頂部水深は、1,640mとやや深い。山頂部の拡がりは、3×14km、比高3,600mの尖頂海山である。

方向は、NNE~SSWに細長く、長軸はN10°Eである(別添第17図(1)参照)。

山頂部及び肩部では、尖塔状地形は認められず斜面上部、中部に小規模な凸地が発達する、斜面の平均傾斜は、13°前後で、西側斜面で15~18°とやや急傾斜を示している。

SBPによる音響的透明層は、山頂部尾根の平坦地で最大層厚70mが認められた。

(SA02 海山・シドニー島あるいはマンラ環礁)

環礁の規模は2×2km。水深5,000mでは半径20kmの円形地形を呈している。

水深1,000m以深の斜面では、400~500m毎に凸地が認められる。斜面の平均傾斜は15°であるが、水深3,500m以深の斜面下部では11°と緩やかになる。

SBPによる音響的透明層は殆ど認められず堆積物は少ないと判断される(別添第17図(2)参照)。

(SA03 海山・フェニックス島)

環礁と海山とが相近接結合した複合海山である。

北東に位置する環礁(フェニックス島)の規模は2.5×2.5km、頂部の拡がりは4×3kmで長軸方向はN50°Wを示す。斜面の傾斜は、15°とやや急傾斜を示している。南西に位置する海山は、山頂部水深1,300mを示し、比高4,170mの尖頂海山である。長軸方向はN60°Eを示す。斜面上部の傾斜は、20°で急傾斜を示す(別添第17図(3)参照)。

これらいずれの海山もSBPによる音響的透明層は認められず堆積物は少ないと判断される。

(SA04 海山)

今調査で新しく確認された海山である。山頂部水深は1,040mと浅く、山頂部の拡がり
は3×3km、比高4,360mの尖頂海山である。長軸の方向はN70°Wで、東から西にずれを示
す様な地形を呈している。斜面の傾斜は、斜面上部及び中部で21~24°と急傾斜で、斜面
下部では10~15°と緩やかである。また、東側斜面に凸地及び棚状地が卓越している
(別添第17図(4)参照)。

SBPによる音響的透明層は認められず堆積物は少ないと判断される。

(SA05 海山)

今調査で新しく確認された海山である。山頂部水深は、1,170mで山頂部の拡がり
は2×2km、比高4,230mの尖頂海山である。斜面の傾斜は、斜面上部及び中部で21~24°と急
傾斜で、斜面下部では10~15°と緩傾斜を示す(別添第17図(4)参照)。

表 4-1-3 海山別地形特徴(1)

海山名	巨視的地形	微地形
SA01	位置 $5^{\circ}37'S, 170^{\circ}14'W$ タイプ 尖頂海山 規模 *1 $37 \times 15 km$ 水深分布 $1,600 \sim 5,000 m$ 山頂部の拡り $3 \times 14 km$ *5 斜面上部傾斜 *2 $14^{\circ} \pm 6^{\circ}$ 斜面中部傾斜 *3 $13^{\circ} \pm 5^{\circ}$ 斜面下部傾斜 *4 $11^{\circ} \pm 5^{\circ}$ その他 長軸方向 $N10^{\circ}E$	SBPデータ サイドエコー多し、山頂部 尾根の一部で音響的透明層認める。最 大層厚 $70 m$ 。 3,000 m以浅の面積 $376 km^2$ 2,000 m以浅 $23 km^2$ 2,000 ~ 2,500 m $155 km^2$ 2,500 ~ 3,000 m $198 km^2$ その他 西側斜面が急で、東側斜面は緩やか。
SA02	位置 $4^{\circ}27'S, 171^{\circ}15'W$ タイプ 環礁 規模 *1 $21 \times 19 km$ 水深分布 $0 \sim 5,000 m$ 山頂部の拡り $8 \times 8 km$ *6 斜面上部傾斜 *2 $19^{\circ} \pm 6^{\circ}$ 斜面中部傾斜 *3 $15^{\circ} \pm 4^{\circ}$ 斜面下部傾斜 *4 $11^{\circ} \pm 5^{\circ}$ その他 ほぼコーン状を示す。	SBPデータ 音響的透明層認められず。 3,000 m以浅の面積 $311 km^2$ 2,000 m以浅 $105 km^2$ 2,000 ~ 2,500 m $86 km^2$ 2,500 ~ 3,000 m $120 km^2$ その他 山頂部から水深約 $1,000 m$ までは調査出来ず、詳細不明、環礁は確認、内湖あり。
SA03 の 東側島	位置 $3^{\circ}43'S, 170^{\circ}43'W$ タイプ 環礁 規模 *1 $24 \times 19 km$ 水深分布 $0 \sim 5,000 m$ 山頂部の拡り $4 \times 3 km$ *6 斜面上部傾斜 *2 $19^{\circ} \pm 3^{\circ}$ 斜面中部傾斜 *3 $14^{\circ} \pm 3^{\circ}$ 斜面下部傾斜 *4 $13^{\circ} \pm 3^{\circ}$ その他 長軸方向 $N50^{\circ}W$	SBPデータ サイドエコー多し、音響的 透明層認められず。 3,000 m以浅の面積 $349 km^2$ 2,000 m以浅 $102 km^2$ 2,000 ~ 2,500 m $92 km^2$ 2,500 ~ 3,000 m $155 km^2$ その他 山頂部から水深約 $1,000 m$ までは調査出来ず、詳細不明、環礁は確認、内湖なし。

*1 水深 $3,000 m$ 等深線 *2 水深 $1,000 \sim 2,000 m$
 *3 水深 $2,000 \sim 3,000 m$ *4 水深 $3,000 \sim 4,500 m$
 *5 水深 $2,000 m$ 以浅 *6 水深 $1,000 m$ 以浅

表 4-1-3 海山別地形特徴(2)

海山名	巨視的地形	微地形
SA03 西海山	位置 $3^{\circ}53'S, 170^{\circ}56'W$ タイプ 尖頂海山 規模 *1 $1.4 \times 9 \text{ km}$ 水深分布 $1,000 \sim 5,000 \text{ m}$ 山頂部の拡り $3 \times 2 \text{ km}$ *5 斜面上部傾斜 *2 $2^{\circ} \pm 3^{\circ}$ 斜面中部傾斜 *3 $1^{\circ} \pm 3^{\circ}$ 斜面下部傾斜 *4 $7^{\circ} \pm 2^{\circ}$ その他 長軸方向 $N 60^{\circ} E$	SBPデータ 音響的透明層認められず。 3,000 m以浅の面積 112 km^2 2,000 m以浅 23 km^2 2,000 ~ 2,500 m 39 km^2 2,500 ~ 3,000 m 50 km^2 その他 山頂は尖頂状地形を示す。
SA04	位置 $0^{\circ}38'S, 171^{\circ}00'W$ タイプ 尖頂海山 規模 *1 $1.8 \times 1.3 \text{ km}$ 水深分布 $1,000 \sim 5,000 \text{ m}$ 山頂部の拡り $3 \times 3 \text{ km}$ *5 斜面上部傾斜 *2 $2^{\circ} \pm 7^{\circ}$ 斜面中部傾斜 *3 $2^{\circ} \pm 7^{\circ}$ 斜面下部傾斜 *4 $16^{\circ} \pm 7^{\circ}$ その他 長軸方向 $N 70^{\circ} W$	SBPデータ 音響的透明層認められず。 3,000 m以浅の面積 150 km^2 2,000 m以浅 36 km^2 2,000 ~ 2,500 m 51 km^2 2,500 ~ 3,000 m 63 km^2 その他 山頂は尖頂状地形を示す。
SA05	位置 $0^{\circ}36'S, 170^{\circ}35'W$ タイプ 尖頂海山 規模 *1 $1.3 \times 1.3 \text{ km}$ 水深分布 $1,100 \sim 5,000 \text{ m}$ 山頂部の拡り $2 \times 2 \text{ km}$ *5 斜面上部傾斜 *2 $2^{\circ} \pm 6^{\circ}$ 斜面中部傾斜 *3 $2^{\circ} \pm 4^{\circ}$ 斜面下部傾斜 *4 $16^{\circ} \pm 4^{\circ}$ その他 星形を呈し5方向に尾根を有する。	SBPデータ 音響的透明層認められず。 3,000 m以浅の面積 99 km^2 2,000 m以浅 20 km^2 2,000 ~ 2,500 m 27 km^2 2,500 ~ 3,000 m 52 km^2 その他 山頂は尖頂状地形を示す。

- *1 水深3,000 m等深線 *2 水深1,000 ~ 2,000 m
 *3 水深2,000 ~ 3,000 m *4 水深3,000 ~ 4,500 m
 *5 水深1,500 m以浅

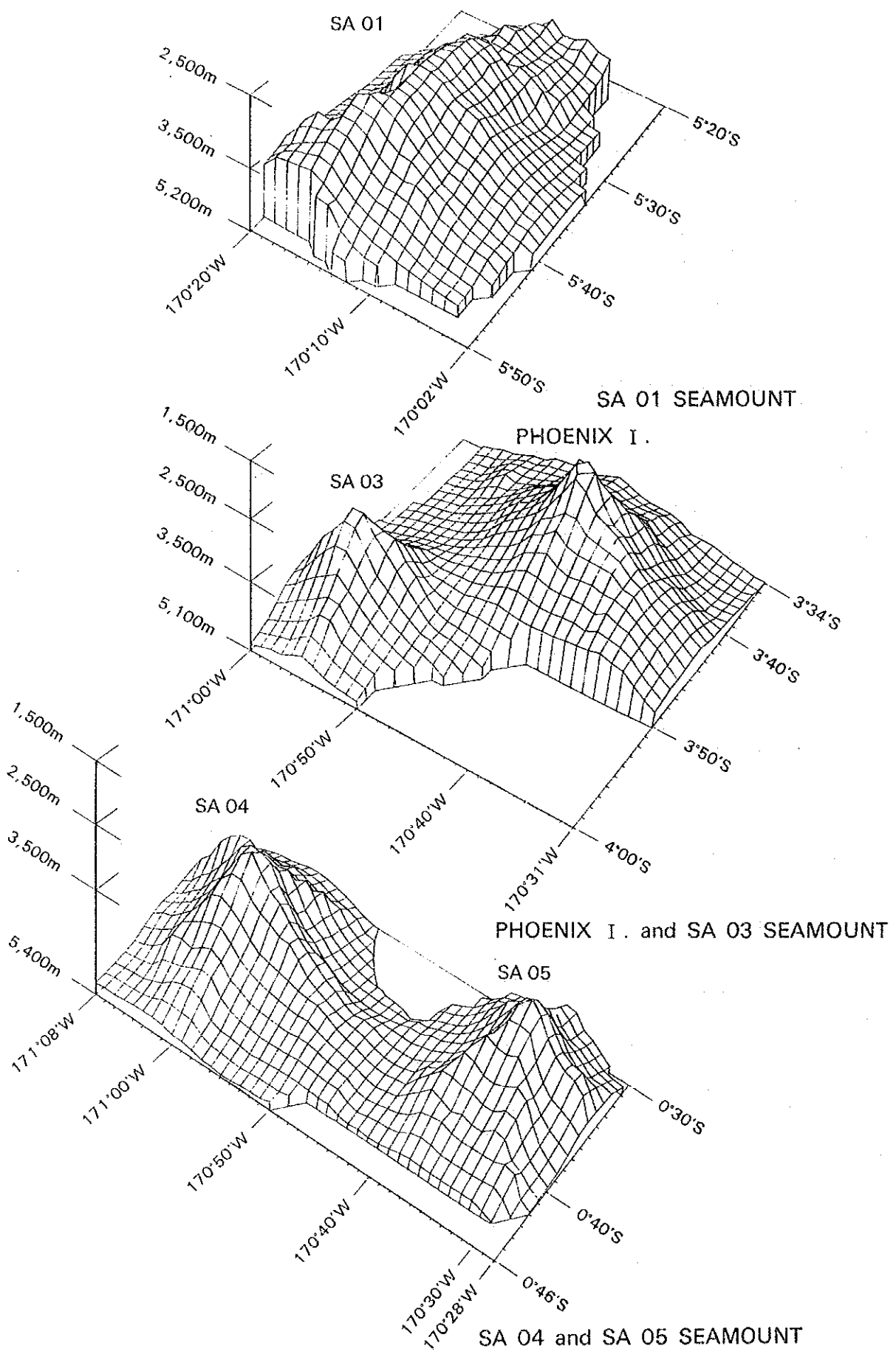


圖 4—1—1 海山鳥瞰圖

4-2 海山の地質

1) 地質概要

調査した5つの海山(SA03海山は東側の島と西側の海山とに分かれるので実際は6海山となる)の地質は、玄武岩及び同火山砕屑岩を基盤とすることで共通するが、海面上に頂部をもつ島であるか、潜頭海山であるかによって石灰岩の発達に差がみられる。

2つの島(SA02=Sydney Island及びSA03の東側島=Phoenix Island)では、その頂部から斜面上・中部にかけて普遍的に造礁性石灰岩が発達する。SA02ではドレッジサンプリング点8点中7点で石灰岩が採取され、しかも石灰岩以外の岩石の混入は極めて少なく、斜面全体が石灰岩に覆われている模様である。たゞし、わずかでありながらクラストが付着した玄武岩だけが採取された場所もあることなどから、地形的に突出した様を場所で玄武岩基盤の露出もあるものと推察される。SA03の東側島では水深2,000m位までは石灰岩がほぼ全斜面を覆っている様であるが、斜面中部では採取サンプルに玄武岩やリン酸塩岩が多くなることから、石灰岩の被覆度は少なくなるものの様である。以上のごとく、同じ島であっても、石灰岩の被覆度には差がみられるが、これは島の大きさの違いによる造礁性石灰岩の、生成量の差などに基因するものであろう。採取された造礁性石灰岩が、原地性の岩盤として発達しているのか、斜面上方からの崩壊物かの判定は難しいが、サンプルの形状や大きさなどからみると大半は、崩壊性のものの様であることから、原地性石灰岩の発達する範囲は、上記で示した水深帯よりはかなり浅くなるであろう。

他方、海面下に潜在する海山(SA01, SA03の西側海山, SA04及びSA05)では、採取率から判断すると石灰岩の発達はあるもののごく一部の様である。しかも、SA01及びSA05海山の頂部付近で採取されたリン酸塩化された石灰岩を除けば、他の2海山のものは全て斜面中・下部で採取されたもので、いずれも崩壊性のものであることから、これら2海山の頂部付近に原地性の石灰岩が発達するかどうかの確証はない。それでも、かなり解析の進んだこれらの海山に、局地的ではありながら造礁性石灰岩が残存していることは注目に値する。

石灰岩の発達とともに興味を引くのはリン酸塩岩の発達である。リン酸塩岩は、SA02を除く全ての海山で認められた。リン酸塩岩だけが単体として採取された例は少なく、殆んどの場合玄武岩火山砕屑岩のマトリックスを形成するか石灰岩の表層部をリン酸塩化した状態で産する。各海山における分布範囲は山頂部から斜面中・下部にわたっているものが多い。石灰岩の発達が少なく山頂部付近に玄武岩や同砕屑岩が卓越する海山(SA01, SA03の西, SA04及びSA05)では、かなりまとまったリン酸塩岩がみられ、採取ひん度も高い。山頂部から斜面上部が石灰岩で覆われるSA02でも斜面中部で本岩が採取されたことから、その上方の被覆石灰岩の下部に玄武岩とともにリン酸塩岩が発達するものと思われる。同様に、ほぼ全島が石灰岩で覆われるSA02においてさえも、その石灰岩下部に同様の産状が推定される。全体の産状からみて、本岩は、概して山頂部から斜面上部方面に多く産するものの様

である。リン酸塩岩の産状でコバルトクラスト生成と関係ありそうな事柄については、次項で述べることとする。

全ての海山の基盤をなしている玄武岩及び同火山砕屑岩は、産状的には、塊状ないし枕状の溶岩、ピロープレッチャ、ハイアロクラスタイト及び崖錐堆積物などである。また、極く一部ではあるがハイアロクラスタイトの周縁相とみられる細粒成層岩もある。以上各々の産状が、各海山においてどの様な場所に特徴的に発達するかといった傾向は不明である。各々の海山で採取比率が異なるものの、上記の各種産状は、全ての海山に相共通して産するものとみうけられる。その他の特徴として次の様なものが挙げられる。

- (1) ハイアロクラスタイトなどの比較的細粒の砕屑岩が、地形的に急峻な山頂部にさえ普遍的に産する。
- (2) 溶岩及び火山砕屑岩ともに発泡度が概して高い。急冷相を別とすれば、その他のものでは発泡度はふつう10%~50%で、なかには70%に達するものがある。
- (3) 崖錐堆積物は各所に認められるが、採取されたサンプルから判断すると、丸みを帯びたものや亜角礫状のものが多い様である。

以上述べてきたいわゆる岩盤類及びその崩壊物を覆って、いたるところで有孔虫砂が発達する。本岩は、その堆積物の性質上、地形的に平坦な海山の尾根部や斜面の凹部及び斜面下部の緩傾斜地などで厚いが、急傾斜地でさえも、薄く発達する。SA01海山の尾根ではSBP調査により本岩を含めた音響的透明層の厚さが最大70m程度あるのが確認されている。こゝでは尾根に沿って南北3マイル間、東西0.5マイル~1.0マイル間連続的に分布している。また、そこに発達するリップルマークから、底層流の方向が西向きであることが読みとれる。各海山ごとの地質概要を表4-2-1に示す。

2) 岩石記載

各種岩石種の記載に関しては、各種表にまとめて示す。肉眼的特徴及び顕微鏡観察の結果を表4-2-2に、代表的岩石写真を図4-2-1に、その顕微鏡写真を図4-2-2に、鉱物組成を表4-2-3に、そして主要化学組成を表4-2-4に各々示す。

表 4-2-1 海山別の地質状況(1)

海山名	サンプリングデータ	音響データ・他
SA01	<p>〔岩石種と分布〕 玄武岩：全域。 火山砕屑岩類：全域。 石灰岩：東側斜面に多い？ （上部～下部） リン酸塩岩：山頂部と斜面上部に多い。斜面下部でも砕屑岩のマトリックスとして産する。 他に石灰質砂岩など。 有孔虫砂：ほぼ全域、尾根部に多い。</p>	<p>〔SBPデータ〕 山頂部尾根の一部で音響的透明層の発達がある。最大層厚70m。 〔その他データ〕 FDC観察による。 山頂部尾根に有孔虫砂卓越帯発達。 リップルマークから判断すると底層流の方向は西向。傾斜地でもうすい有孔虫砂が各所に被覆発達。</p>
	<p>〔特性〕 玄武岩は、塊状ないしピロプレッチャ状で全体に発泡が著しい（孔隙率最高50%）。火山砕屑岩は、ハイアロクラスタイト多く、南部では一部層理を有する凝灰岩に移化している。造礁性さんごの分布下限は水深2,200mくらい？</p>	
SA02	<p>〔岩石種と分布〕 玄武岩：頂部を除くほぼ全域。ほぼ全域的に石灰岩崩壊物で覆われている。サンプリングでは東斜面中部及び下部でわずか採取されたのみ。 火山砕屑岩：各所？斜面中部でわずか採取されたのみ。 石灰岩：ほぼ全域で基盤を覆う。 有孔虫砂：各所。</p>	<p>〔SBPデータ〕 音響的透明層の発達なし。 〔その他データ〕 レーダー観測による。 環礁の外形は菱形で1辺が約2マイル。ラグーンと外海との交流なく表層水は真水か？</p>
	<p>〔特性〕 石灰岩は、各種造礁性さんごのブロック状ないし破片状崩壊物で、海山の裾野の方でやや少なくなる？。同じ裾野の方でややちみつ質で、古期のものと思われるさんご石灰岩あり。</p>	
SA03 の 東側島	<p>〔岩石種と分布〕 玄武岩：頂部を除く全域。サンプリングでは斜面中部2ヶ所で採取されたのみ。 火山砕屑岩：西斜面中部1ヶ所で採取。 石灰岩：斜面上部ではほぼ全域、中部でも各所。 リン酸塩岩：斜面中部で玄武岩の表面およびマトリックスに産。 有孔虫砂：各所。</p>	<p>〔SBPデータ〕 音響的透明層の発達なし。 〔その他データ〕 レーダー観測による。 島の外形は楕円形で長径0.8km。 頂部は平坦で内湖なし。</p>
	<p>〔特性〕 斜面の上部に造礁性石灰岩の崩壊物多いが、中・下部では玄武岩基盤露出。玄武岩は塊状ないしピロで、発泡度20～80%で、ただし斜面下方に向かって減少する。</p>	

表 4-2-1 海山別の地質状況(2)

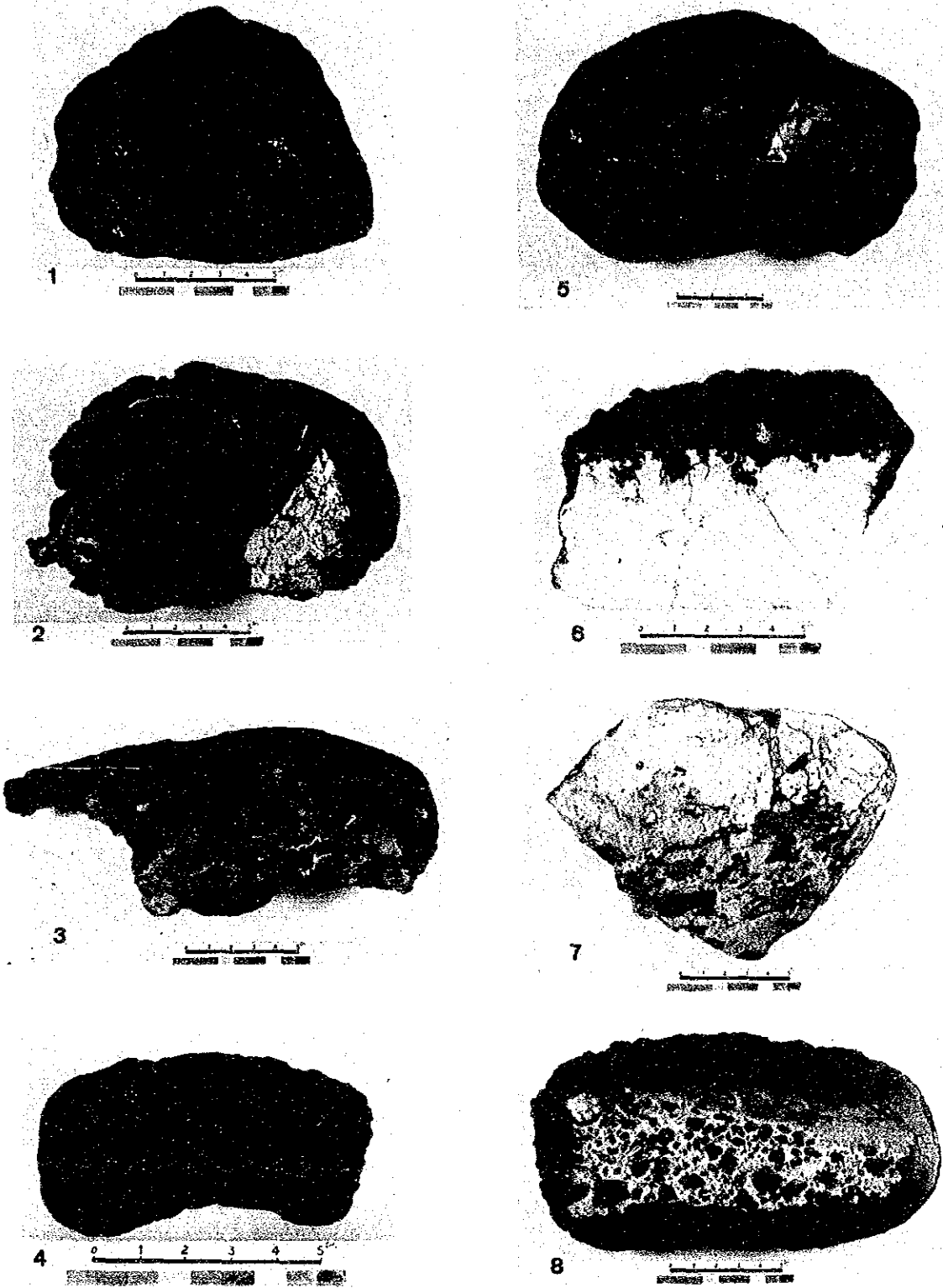
海山名	サンプリングデータ	音響データ・他
SA03 の 西側海山	<p>〔岩石種と分布〕 玄武岩：全域。 石灰岩：東側面の水深2,900m地点1ヶ所で採取。 リン酸塩岩：山頂部から斜面上・中部一帯に普遍的に産する。 有孔虫砂：各所。</p>	<p>〔SBPデータ〕 音響的透明層の発達なし。 〔その他データ〕 FDO観察による。山頂部から斜面上部にかけての急傾斜地でも有孔虫砂がうすく発達。</p>
	<p>〔特性〕 玄武岩は全て溶岩で、火山碎屑岩は採取されなかった。 リン酸塩岩が卓越する。石灰岩は少ない。</p>	
SA04	<p>〔岩石種と分布〕 玄武岩：全域。 火山碎屑岩：各所。 石灰岩：斜面中部でわずか採取。 リン酸塩岩：火山碎屑岩のマトリックス、礫状クラストの核、およびクラスト中の網状脈などとして各所に産する。 有孔虫砂：各所。</p>	<p>〔SBPデータ〕 音響的透明層の発達なし。 〔その他データ〕 なし。</p>
	<p>〔特性〕 玄武岩は溶岩、ピロー及びハイアロクラスタイトなど。発泡度高く浅所(水深1,700m)で70%、深所(3,000m)で30%など。発泡孔の孔径は1~5mm。リン酸塩の発達は、最下部サンプリング点(水深3,200m)でもみられる。</p>	
SA05	<p>〔岩石種と分布〕 玄武岩：全域。 火山碎屑岩：各所?採取少し。 石灰岩：リン酸塩化、斜面上部で採取。 リン酸塩岩：上記、他に火山碎岩のマトリックスや玄武岩の気孔中に発達する。 有孔虫砂：各所。</p>	<p>〔SBPデータ〕 音響的透明層の発達なし。 〔その他データ〕 なし。</p>
	<p>〔特性〕 玄武岩は溶岩、ピローブレッチャ及びハイアロクラスタイトなど。</p>	

表 4-2-2 コバルトクラスト母岩の性質(1)

岩石種	肉眼観察	顕微鏡観察
玄武岩	<p>塊状溶岩, 枕状溶岩, 角礫岩, ピロープレッチャ, ハイアロクラスタイト及び層灰岩様の細粒成層岩などが認められるが, 角礫岩以降のものは, 火山碎屑岩として区別して取り扱う。溶岩は, ちみつ質のものもあるが全体に発泡度の高いものが多い。ふつう径が1mm~5mmほどの気孔が10%~50%発達し, なかには70%程度に達するものもある。大半が海底風化を被り色調が褐色味を帯びる。すいか状の破片(SA05AD03)やバブル状ピローの芽(bulbous pillow bud)(SA04AD10)などもみられ, これらを含む枕状溶岩塊には普遍的に急冷周縁相が認められる。斑晶としては風化斜長石が, モードで多いもので20%程度のものである。気孔は, 方解石やリン酸塩鉱物で充填されているものが多い。水深による発泡度の変化が認められるところもある(SA04)。</p>	<p>斑晶としてかんらん石及び単斜輝石の両方あるいはどちらか1種を産する。 石基は, 斜長石, 単斜輝石, かんらん石, ガラス, イルメナイトなどからなる。Intersertal組織を示す。 斑晶, 石基ともに斜方輝石はみられない。変質は緑泥石, 沸石, 方解石及び鉄酸化物などがみられる。発泡度は0~30%くらいであるが, まれに50%~70%に達するスコリア質のものもある。気孔は上記変質鉱物などで充填されている。大部分が変質(海底風化)を受けているが まれに非常に新鮮な岩片もみられる(SA04 AD04など)。</p>
火山碎屑岩	<p>上記の溶岩類とは漸移関係にある。ハイアロクラスタイトが最も多く, ふつう, 数mmから数cmの玄武岩質の角礫状ないしは不規則形状破片の集合体である。破片の発泡度は高い(30~50%)ものが多い。マトリックスは同質細粒物や石灰質ないしはリン酸塩質岩石で充填されている。細粒の破片だけから成る層灰岩様のものも認められる(SA01CB10, SA04CB09)。</p>	<p>岩質は上記玄武岩と同じ。ただし, 全般に発泡度が30~70%と高いものが多い。その気孔は方解石や沸石で充填されている。また鉄酸化物の生成も著しい。岩片のマトリックスは大部分がリン酸塩化(コロフェン化)された有孔虫石灰岩である。とくにクラスト直下の岩石にそれが著しい。</p>

表 4-2-2 コバルトクラスト母岩の性質(2)

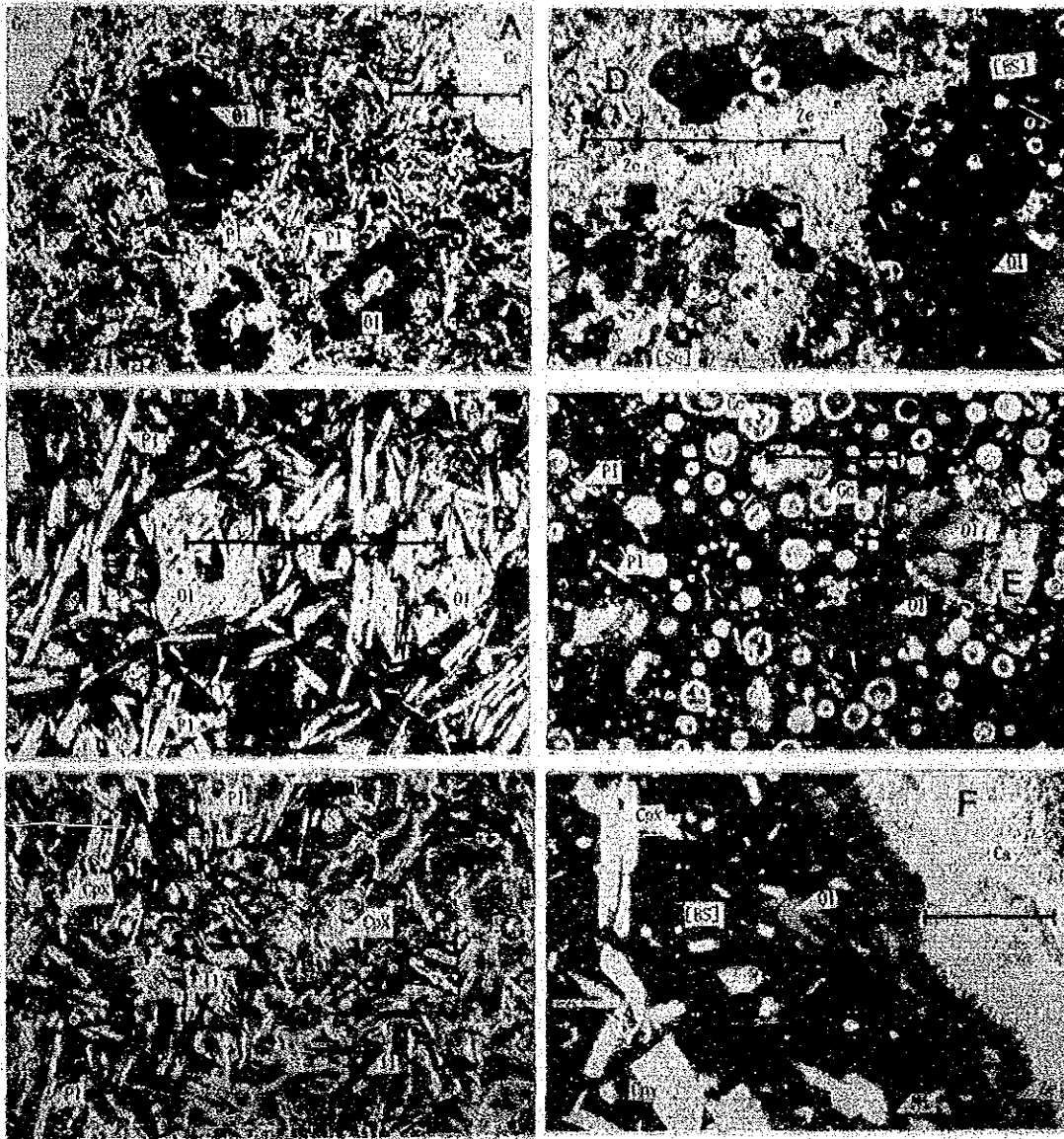
岩石種	肉眼観察	顕微鏡観察
石灰岩	<p>さんご化石そのものの集合体から成るものと、よりちみつ質で細粒化石の集合から成るものとに分けられる。前者は各種形状のさんご化石の単体あるいは集合で、化石そのものの構造が明瞭で、全体に空隙が多い。後者は化石の構造が不明瞭で空隙が少ない。同一サンプル群の中でも後者の方に酸化物の付着(コーティング)が著しいのが認められた(SA02AD04)。以上から後者の方がその生成時代が古く感じられる。石灰岩質はリン酸塩岩にくらべて白色度が強く、全て塩酸で著しく発泡する。</p>	<p>石灰岩のほとんどは、顆しい量の0.05~0.5mmくらいの有孔虫を含む。また多少の差はあっても、いずれもリン酸塩化(コロフェン化)を被っている。その度合が強度のものをリン酸塩岩として区別する。コロフェン化を被ると肉眼的岩相が白色からクリーム味をおびたものになる。有孔虫はコロフェンにより完全に置換されたり、有孔虫のみコロフェン化を免れたり、コロフェン化の様式は多様である。</p>
リン酸塩岩	<p>石灰岩にくらべてややクリーム色がかっており、しかも全てちみつ質、無構造であるという違いがある。単体で産するものもあるが、殆んどの場合、石灰岩の表層部をリン酸塩化した形(SA04AD04)や火山砕屑岩のマトリックス(SA01-AD11, SA03CB06, SA03AD08, SA04AD02)、玄武岩及びクラスト中の網状脈状(SA05AD01及びSA04-AD07)あるいは礫状クラストの核母岩(SA01AD01, SA01AD11)などとして産し、またクラストの生成とほぼ同時生成を示唆する様な、クラストと入り組んだ構造を示すもの(SA03AD09)や古期クラスト片がリン酸塩岩中にとり込まれたもの(SA01AD11, SA05AD04)などがある。</p>	<p>上記のごとく、リン酸塩化の強度なものを石灰岩と区別した。本岩でもまだ有孔虫などの原岩組織は残っているが、コロフェン化した部分と石灰質の部分との境界が不明瞭となる。玄武岩質火山砕屑岩(ハイアロクラスタイト)で、その上位にコバルトクラストの発達があるものでは大部分、そのマトリックスがリン酸塩岩となっている。</p>



- 1) SA01AD08(B) 玄武岩
- 2) SA04AD10(A) 玄武岩及びリン酸塩岩
- 3) SA04AD02(A) ハイアロクラスタイト
- 4) SA01AD06(C) ハイアロクラスタイト

- 5) SA04AD10 枕状溶岩
- 6) SA01CB05(A) 石灰岩
- 7) SA05AD04(A) リン酸塩岩
- 8) SA01AD11(D) リン酸塩岩

図 4-2-1 代表的岩石写真

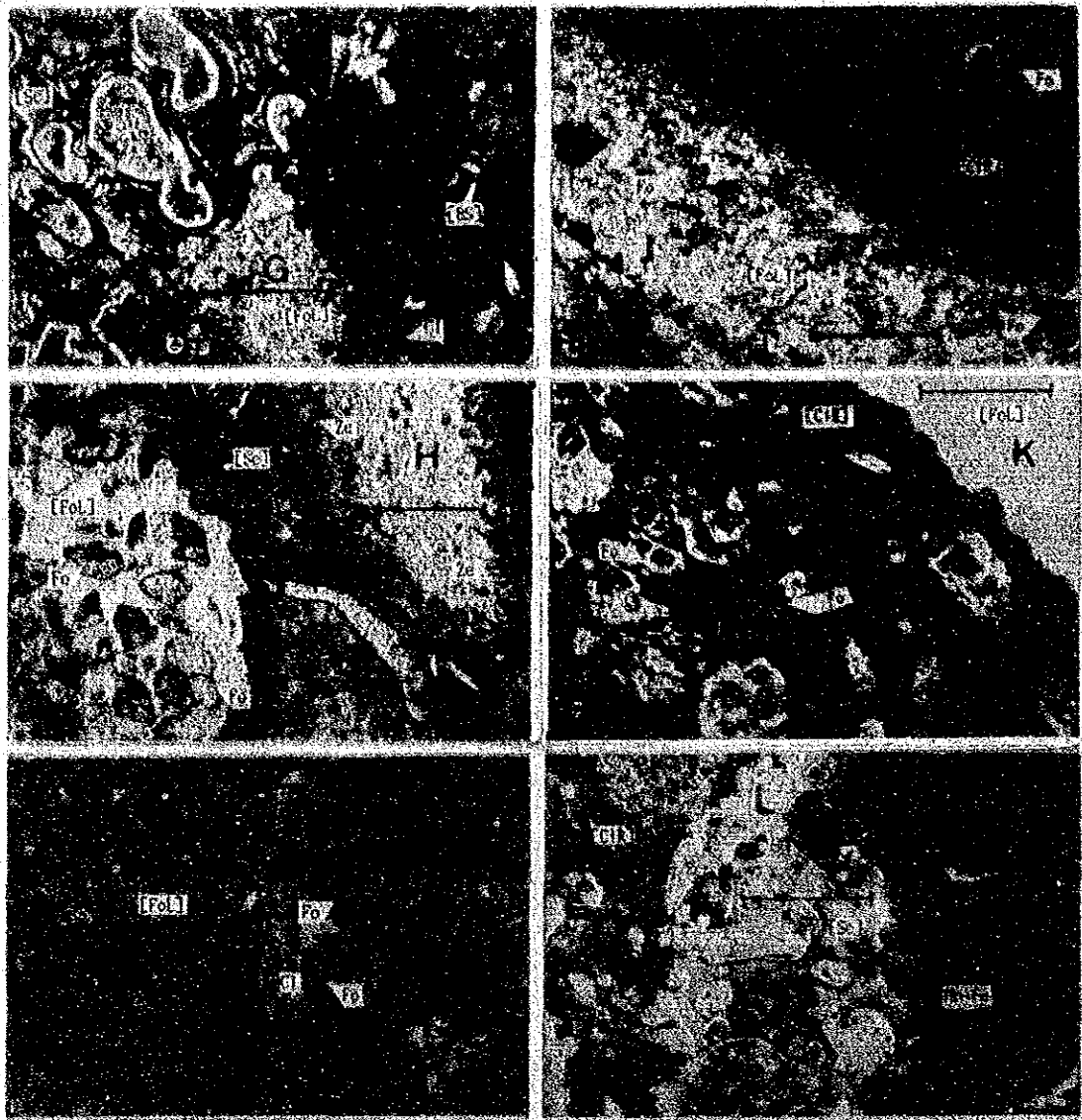


Ca	: Calcite	方解石	Mt	: Magnetite	磁鉄鉱
Chl	: Chlorite	緑泥石	Pl	: Plagioclase	斜長石
Cl	: Collophane	コロフェン	Px	: Pyroxene	輝石
Fo	: Foraminifera	有孔虫	Cpx	: Clinopyroxene	単斜輝石
Ge	: Gas cavity	気孔	Ze	: Zeolite	沸石
Il	: Ilmenite	イルメナイト	[Bs]	: Basalt	玄武岩
Ol	: Olivine	かんらん石	[CIR]	: Collophanitized rock	リン酸塩岩
Mf	: Mafic mineral	有色鉄物	[FoL]	: Foraminiferous limestone	有孔虫石灰岩
Mn	: Oxidic manganese mineral	酸化マンガン鉄物	[Sc]	: Scoria	スコリア
Mn-Fe	: Oxidic Mn-Fe minerals	酸化Mn-Fe鉄物			

図中のスケール線は、0.5 mm。

- A : 87SA01CB03, オープンニコル, かんらん石単斜輝石玄武岩 気孔に沸石や緑泥石生成。
 B : 87SA01AD06, オープンニコル, かんらん石玄武岩 気孔に緑泥石や方解石生成。
 C : 87SA05AD04, オープンニコル, 単斜輝石玄武岩 新鮮。ガラスは脱ハリ, 緑泥石化。
 D : 87SA04AD04, クロスニコル, かんらん石単斜輝石玄武岩 急冷相岩片, 空隙を2次方解や沸石が充填。
 E : 87SA04AD09, クロスニコル, 玄武岩火山砕屑岩 他は新鮮。
 F : 87SA04AD09, クロスニコル, Eと同一サンプル 気孔の多いかんらん石玄武岩片。
 玄武岩片の間を沸石が充填。

図4-2-2 コバルトクラスト母岩の顕微鏡写真(1)



Ca	: Calcite	方解石	Mt	: Magnetite	磁鉄鉱
Chl	: Chlorite	緑泥石	Pl	: Plagioclase	斜長石
Cl	: Collophane	コロフェン	Px	: Pyroxene	輝石
Fo	: Foraminifera	有孔虫	Cpx	: Clinopyroxene	単斜輝石
Gc	: Gas cavity	気孔	Ze	: Zeolite	沸石
Il	: Ilmenite	イルメナイト	[Bs]	: Basalt	玄武岩
Ol	: Olivine	かんらん石	[CIR]	: Collophanitized rock	リン酸塩岩
Mf	: Mafic mineral	有色鉱物	[FoL]	: Foraminiferous limestone	有孔虫石灰岩
Mn	: Oxidic manganese mineral	酸化マンガン鉱物	[Sc]	: Scoria	スコリア
Mn-Fe	: Oxidic Mn-Fe minerals	酸化Mn-Fe 鉱物			

図中のスケール線は、0.5 mm。

- G : 87SA01AD06, クロスニコル, 火山砂層岩
 H : 87SA01AD08, クロスニコル, 火山砕屑岩
 I : 87SA01AD09, オープンニコル, 有孔虫石灰岩
 J : 87SA03AD08, クロスニコル, 有孔虫石灰岩
 K : 87SA04AD01, オープンニコル, 有孔虫石灰岩
 L : 87SA04AD06, オープルニコル, リン酸塩岩

マトリックスはコロフェン化石灰岩。
 コロフェン化。玄武岩質スコリア片多く。スコリアの空隙には沸石生成。
 弱いコロフェン化。
 コロフェン化された有孔虫石灰岩。玄武岩片を伴なう。
 コロフェン化された有孔虫石灰岩。
 マンガンクラストと玄武岩質スコリアを伴なうリン酸塩岩。

図 4-2-2 コバルトクラスト母岩の顕微鏡写真(2)

表 4-2-3 各種岩石の鉱物組成一覽表

Sample No.	Rock Name	Texture	Pheno-cryst		Groundmass						Altered Minerals			
			Olivine	Pyroxene	Plagioclase	Pyroxene	Olivine	Glass	Ilumenite	Magnetite	Chlorite	Zeolite	Calcite	Fe-Mn-Oxide
87SA01CB03	Olivine yrox. basalt	intersertal amygdaloidal	○	○	◎	○	△	●		○	○		△	
87SA01AD06	Olivine basalt	intersertal amygdaloidal			◎			○	●	◎		○	●	
87SA05AD04	Pyroxene basalt	intersertal amygdaloidal	△	△	◎	○		○	△	◎				

Sample No.	Rock Name	Texture of Mn. crust	Rock Fragam				Matrix				Altered Minerals					
			Basalt	Scoria	Plagioclase	Trachite	Foraminif.	Colophane (Apatite)			Fe-Mn.Oxide	Fe-Mn.Min.	Calcite	Zeolite	Chlorite	Opan
87SA01AD08	Limestone with hyaloclastic fragm.	Mn crust colloform	◎				◎	◎			●	●				
87SA01AD09	Limestone						◎	△				●				
87SA04AD06	Phosphorite	dendritic, colloform		◎				◎				△				
87SA03AD08	Hyaloclastite mixed limestone	colloform, banded, concentric	◎	◎	●		△	◎	○			△				
87SA04AD01	Limestone with hyaloclastic fragm		◎	◎			△	◎			●	●				
87SA04AD04	Olivine yrox. asalt		◎	◎									◎	○	●	●
87SA04AD09	Hyaloclastite		◎	◎									○	●		
87SA01AD06	Hyaloclastite	colloform, banded	△	◎		○	●	◎				△				

◎ Abundant, ○ Common, △ Little, ● Minor

表 4-2-4 各種岩石の化学分析値

Sample No.	87SA05 AD04	87SA04 AD01	87SA01 AD08	87SA01 AD06	87SA04 AD07(C)	87SA04 CB09	87SA05 AD04(A)	87SA05 AD04(B)	
Rock Type	Limestone	Limestone	Basalt	Hyaloclastite	Phosphorite	Limestone	Phosphorite	Basalt	
Chemical Composition (%)	SiO ₂	5.76	0.33	41.92	42.06	2.35	1.61	1.19	41.36
	TiO ₂	0.01	<0.01	3.45	3.11	0.20	0.03	0.04	3.65
	Al ₂ O ₃	0.21	0.13	17.20	16.76	1.01	0.50	0.48	13.19
	Fe ₂ O ₃	1.64	0.07	7.43	8.44	1.13	0.09	0.39	4.95
	FeO	0.39	<0.01	1.56	1.36	0.19	0.19	0.06	3.89
	MnO ₂	0.04	0.04	0.13	0.16	0.47	0.02	0.01	0.10
	MgO	1.09	0.57	1.18	3.67	0.38	0.27	0.22	3.99
	CaO	48.20	56.79	10.25	10.19	49.96	55.68	52.74	14.92
	BaO	0.17	<0.01	0.04	0.04	1.03	0.40	<0.01	0.01
	Na ₂ O	1.27	0.08	3.14	3.28	1.12	0.41	0.71	2.64
	K ₂ O	0.15	0.04	2.48	1.43	0.24	0.18	0.18	1.40
	P ₂ O ₅	5.10	0.45	4.22	1.73	32.42	6.64	21.48	4.74
	Ig-loss	35.82	41.83	5.81	6.48	8.75	34.32	21.51	3.90
	Total	99.85	100.36	98.81	98.71	99.25	100.34	99.02	98.74

4-3 コバルトクラストの賦存状況

1) タイプ分類と性状

コバルトクラストは、基本的に海山表面に露出する固結岩石を覆って発達するが、その岩石が岩盤であるか、破碎され浮石状になっているかでクラストの産状が異なる。本稿では、記載の便宜上表4-3-1のごとき分類を用いる。ドレッジにより採取されたサンプルの形状あるいはFDC観察などから、7種の小分類が得られる。クラスト状、スラブ状、ペーブルメント状、塊状、礫状、ノジュール状及びフィルム状(コーティング状)である(図4-3-1)。分類が難しいものもあるが、上記のどれか近いものに入れることとした。以上の7種は、岩盤を覆って発達するクラストタイプと浮石状の岩石を母岩として発達する団塊タイプとの2グループに分けられる。スラブ状には、平板状の岩石片を母岩とするものと、クラストの一部が破壊分離した後さらにその表面にクラストが発達しつつある様なものが含まれており、前者は団塊タイプに属するものであるが、後者はクラストタイプであることから、量比的に多い後者を優先して全てをクラストタイプに入れることとした。

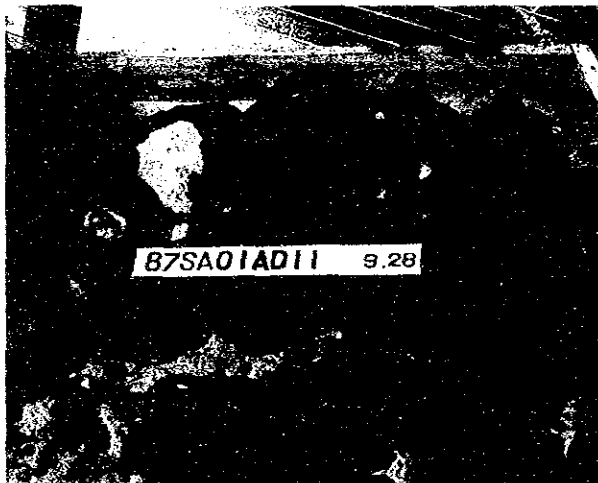
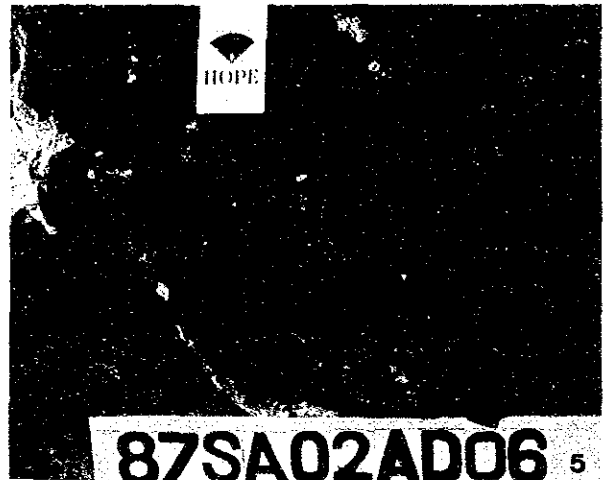
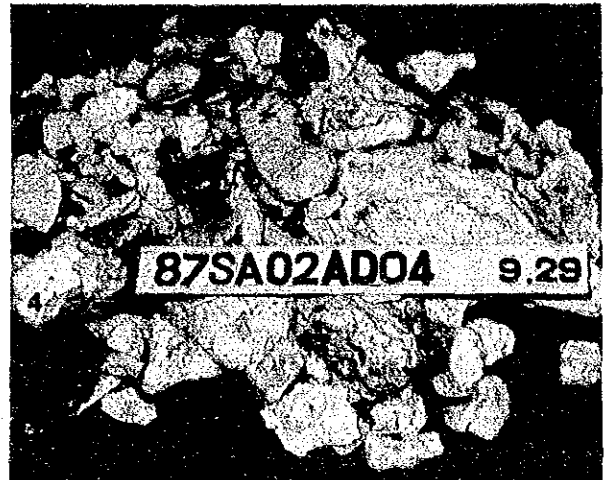
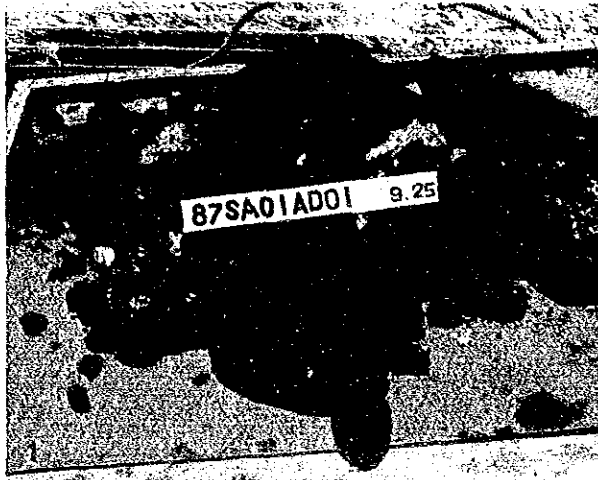
表 4-3-1 コバルトクラストのタイプ分類

	名 称	記号	特 徴	分 布
ク ラ ス ト タ イ プ	ク ラ ス ト 状	C	玄武岩、火山砕屑岩、堆積岩などの岩盤を皮殻状に直接覆うもの。分布が連続的で大規模な産状を呈する。	全海山に卓越。海山頂部から斜面下部に至るまで普遍的。最大厚さ 8 cm。
	ス ラ ブ 状	S	角ばった平板状を呈し、ほぼ全面にクラストが発達したもの。クラスト状の一部が剝離した様なものも含める。	SA01及びSA03海山などでクラスト状帯から礫状帯への漸移帯に分布。最大厚さ 5 cm位。
	ペー プ メ ン ト 状	P	クラスト状の一種であるが、もともとノジュール状あるいは礫状だったものが相連結してあたかも敷石のごとき観を呈するもの。	SA01海山にこのタイプに近いものがみられるが、典型的産状はまれである。
団 塊 タ イ プ	塊 状	M	各種岩石片を核としてクラストが発達し、その外形全体が角ばっているもの及び不規則形状のもの。サイズは問わない。	SA01, SA03など。山頂部及び斜面などで傾斜部の裾野。多くは礫状と混在。
	礫 状	B	各種岩石片を核としてクラストが発達し、その外形全体が丸みを帯びたもの。径が 10 cm 以上のもの。	SA01, SA03及びSA04など。山頂部肩や斜面の緩傾斜部などに産する。
	ノ ジ ュ ー ル 状	N	マンガン団塊と同様の形状を呈するもの。小石からにぎりこぶし大(径 10 cm 以下)サイズのものをこれに含める。	SA01海山の山頂部平担地各所にみられる。他の尖頂海山では少ない。
そ の 他	フ ィ ル ム 状 あ る い は コ ー テ ィ ン グ 状	F	厚さが 1 mm 程度以下のうすい被膜状にクラストが付着しているもの。	SA02及びSA03の東側島。母岩は造礁性石灰岩の崩壊物の場合が多い。

形状的には、以上のごとき分類がなされるものの、同一場所に産するクラスト群は、その表面構造、内部構造及び厚さなどに関しては概して似ているものの様である。但し、同一場所であっても、とくに団塊タイプの場合には、その母岩に関しては各種のものが混在しているものが多く、クラストの厚さや化学的性質に差異を生じているかもしれないといった問題がある。ドレッツで採取したサンプル群は、同一タイプのものだけからなるものもあるが、多くの場合各種タイプが混在しており(図 4-3-2)、そのサンプル群の化学組成や厚みの統計的処理は必ずしも容易ではない。

2) 分布と産状

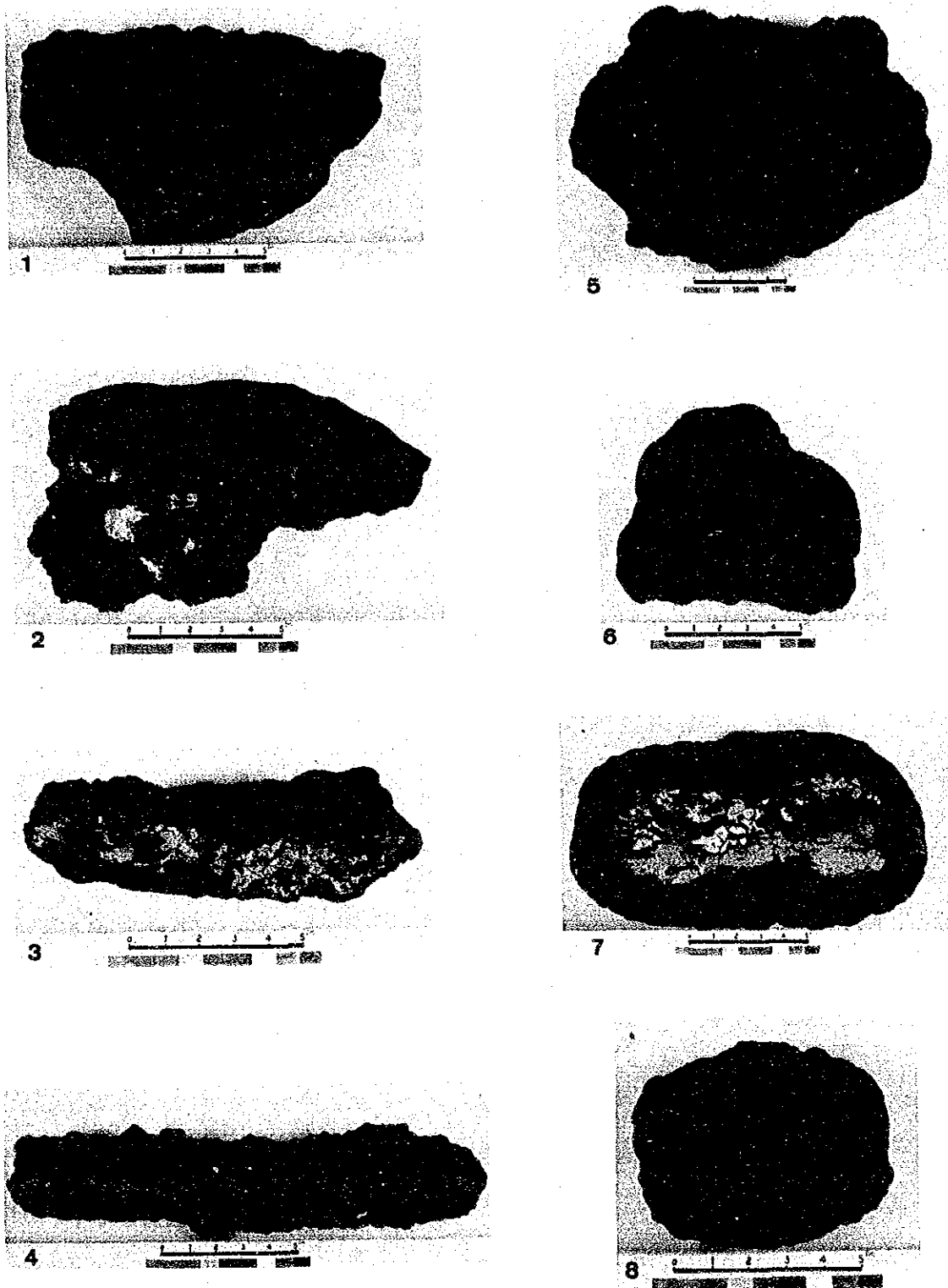
調査対象とした 5 海山(厳密には 6 海山)は、前述のごとく、地形的に 2 つの環礁と 4 つの尖頂海山に分けられるが、このうち 1 つの環礁(SA02)を除く全てにコバルトクラスト



- 1) 礫状、クラスト状、スラブ状及びノジュール状など総重量112kg.
- 2) クラスト状、スラブ状及び塊状など107kg.
- 3) 礫状、スラブ状、クラスト状及びノジュール状など116kg.
- 1) ~ 5)のナンバープレートはの長さは50cm.

- 4) 礫性石灰岩 28kg。クラストのコーティングがわずかみられる。
- 5) 礫性石灰岩表面上のクラストコーティング厚さ1mm以下。
- 6) 平滑な表面構造をもつクラスト。SA05AD01。スケールは20cm.

図 4-3-1 代表的コバルトクラストタイプ写真(揚収)



- | | |
|----------------------|-----------------------|
| 1) SA01AD01(B) クラスト状 | 5) SA04AD10(A) 塊状 |
| 2) SA01CB10(A) クラスト状 | 6) SA01CB05(B) 塊状 |
| 3) SA03CB06(A) スラブ状 | 7) SA01AD01(A) 碟状 |
| 4) SA01AD01(C) スラブ状 | 8) SA01AD01(D) ノジュール状 |

図 4-3-2 代表的コバルトクラストタイプ写真(断面)

表 4-3-2 海山別コバルトクラストの産状(1)

海山名	産状
S A 0 1	<p>地形特性：山頂部は南北性の尾根状で狭い平坦地あり、水深1,600 m。</p> <p>地質特性：火山砕屑岩類が多い。</p> <p>分布水深：1,600 m～3,250 m。</p> <p>タイプ：クラスト状>スラブ状>礫状>塊状>ノジュール状。</p> <p>とくに尾根部では団塊タイプが各所にみられる。</p> <p>母岩：玄武岩、火山砕屑岩、石灰岩、リン酸塩岩。</p> <p>構造：表面はぶどう状、鮫肌、コークス状、平滑状など。全てのタイプで単層構造多し。</p> <p>山頂部で1部2～3層のものあり。</p> <p>厚さ：0.1～7.0 cm、平均1.7 cm。スラブ状やクラスト状でやや厚い(平均2 cm±、最大7 cm)、石灰岩母岩のものでも厚いものがある。</p> <p>被覆率：山頂部の平坦地では不毛帯あり。斜面で10～100%。</p> <p>サンプル採取測点数：12, 品位分析個数：43。</p>
S A 0 2	<p>地形特性：環礁、頂部の1辺の長さ約2マイル。</p> <p>地質特性：造礁性石灰岩及びその崩壊物が全斜面を覆う。</p> <p>分布水深：2,450 m～2,470 m (他の点ではうすいコーティングのみ)。</p> <p>タイプ：クラスト状、他は厚さ1 mm以下のうすいフィルム状。</p> <p>母岩：石灰岩・玄武岩。</p> <p>構造：表面ザラザラ状。</p> <p>厚さ：0.1～0.5 cm。平均0.2 cm。</p> <p>被覆率：殆んどゼロに近い。</p> <p>サンプル採取測点数：1, 品位分析個数：1</p>
S A 0 3 の 東側島	<p>地形特性：環礁、頂部の長径0.8 km、短径0.5 km。</p> <p>地質特性：斜面上部から中部にかけて造礁性石灰岩卓越。</p> <p>分布水深：1,500 m±～2,830 m+ (1,500 m以浅ではコーティングのみ)。</p> <p>タイプ：クラスト状が卓越、他にスラブ状、礫状など。</p> <p>母岩：石灰岩、リン酸塩岩、火山砕屑岩、玄武岩。</p> <p>構造：2層以上のものが多い。</p> <p>厚さ：0.1～5.0 cm。平均1.0 cm±。西側海山に比べ薄い。</p> <p>被覆率：斜面上部では10%以下?、同じく下部では10～70%位?</p> <p>サンプル採取測点数：6, 品位分析個数：17</p>

表 4-3-2 海山別コバルトクラストの産状(2)

海山名	産状
<p>SA03 の 西海山</p>	<p>地形特性：尖頂海山、頂部水深1,030m。 地質特性：リン酸塩岩が普遍的に発達する。火山砕屑岩不在？ 分布水深：1,030m～3,000m+。 タイプ：クラスト状が卓越、他にスラブ状、礫状など。 母岩：リン酸塩岩、玄武岩、石灰岩。 構造：2層構造が多い。ちみつ質のものが多い。 リン酸塩岩とクラストの境界は入り組み、不規則なものが多い。 厚さ：0.1～7.0cm、平均2.0cm、厚いものが多い。 被覆率：10～90%、山頂部付近で平均40～50%（FDOデータ）。 サンプル採取測点数：5，分析個数：20</p>
<p>SA04</p>	<p>地形特性：尖頂海山、頂部水深1,040m。 地質特性：玄武岩、火山砕屑岩が卓越。リン酸塩岩もある。 分布水深：1,040m～3,400m+。 タイプ：クラスト状が卓越、他に礫状わずか。 母岩：玄武岩、火山砕屑岩、リン酸塩岩、石灰岩。 構造：1層～4層土、下位層にリン酸塩混在、板状剝離性あり。 厚さ：0.1～8.0cm。平均1.8cm。水深3,000mでも8cmあり。 被覆率：状況から判断してSA03の西海山と同程度か？ サンプル採取測点数：8，分析個数：32</p>
<p>SA05</p>	<p>地形特性：尖頂海山、頂部水深1,170m。 地質特性：玄武岩、リン酸塩岩、石灰岩（リン酸塩化）など。 分布水深：1,170m～3,000m+。 タイプ：クラスト状のみ採取。 母岩：玄武岩、リン酸塩岩、石灰岩。 構造：3層構造あり、板状剝離性あり。 厚さ：0.1～6.0cm。平均1.9cm。厚さ不均等。 被覆率：地形急峻で崖錐多く、被覆率低い。 サンプル採取測点数：4，分析個数：10</p>

が発達する。ここで、SA02環礁でも、極く一部には薄いクラストの発達があり、皆無というわけではない。4つの尖頂海山では、各々の山頂部から調査下限の斜面下部あるいは中部に至るまで、ほぼ普遍的にクラストの発達がある。山頂部の水深は、約1,000mから1,600mであり、調査下限の水深は3,000mから3,400mである。全ての尖頂海山で、クラストは上記の下限水深よりさらに深い側まで発達している模様である。但し、海山各部及び水深変化とクラストの分布状況を比較してみると、水深が増す斜面下部方面でクラストが劣勢となる傾向はみられる。一方、環礁については、上述の不毛環礁(SA02)の他の一つであるSA03の東側島(Phoenix Island)では、水深1,500mから2,830mにかけてクラストの発達がみられる。その下限はさらに深くなるであろう。1,500m以浅では石灰岩表面に薄いコーティングがみられるだけである。以上のごとく、環礁と海山ではクラストの賦存性に大きな差異が認められる。また、同じ海山でも、山頂部に平坦地が発達するSA01海山と平坦地が全くみられないSA03の西海山、SA04及びSA05などの海山とでは、そこに発達するクラストタイプなどに差が認められる。概括的に言えば、山頂部平坦地や斜面の窪地などにノジュール状、礫状、塊状及びスラブ状が多く、斜面傾斜地や崖地ではクラスト状が多い。

各海山ごとの産状概要を表4-3-2に示す。

クラストの母岩には玄武岩溶岩、同火山砕屑岩、石灰岩及びリン酸塩岩などがあり、SA02環礁を除く全ての海山で、これら全ての岩石種が認められる。量比的にはやはり玄武岩溶岩と同火山砕屑岩が多く、両者を合わせると全体の70%に達する(表4-3-3)。火山砕屑岩は、ハイアロクラスタイトが多く、ピロープレッチャもみられる。比較的粗粒なハイアロクラスタイトでは、そのマトリックスがリン酸塩岩であるものが多い。玄武岩溶岩及び同火山砕屑岩ともに著しく風化している。石灰岩で比較的厚いクラストが発達するものは、SA02やSA03の東などの環礁にみられる不毛でしかもさんごの構造が明瞭な石灰岩にくらべて、構造不明瞭でやゝちみつ質であるものが多いという印象を受ける。クラストの発達のある石灰岩は、一部でその表層がリン酸塩化されているものがある。リン酸塩岩は、その内部にクラスト片やクラスト付きの岩石を含むものや(図4-2-1(7)及び図4-2-1(8))クラストとリン酸塩岩との境界が不規則に入り組んでいるもの(図4-2-1(6))が多い。リン酸塩岩は、殆んど全てのクラストタイプに認められるが、礫状タイプのものに多いようである。核となる母岩のないクラストも採取されたが、形状からみてクラストの一部が剥離したものである。

クラストの表面構造は、ぶどう状(botryoidal)を呈するものが最も多く、他に不規則な凹凸状、ザラザラ状及び平滑状などがある。ぶどう状のものは直径5~15mm程度の半球状集合体がクラスト表面を覆っている。このタイプは、SA02を除く全ての海山で卓越し、分析サンプルではその60%を占めている。他には、平滑状が約20%、その他が約20%である。

内部構造については、一般に、厚さが1cm以下のクラストは均質で内部構造の変化が少な

表 4-3-3 クラストタイプと母岩及び核を構成する岩石

(分析サンプルによる)

岩相 クラスト タイプ	母岩及び核を構成する岩相 (数字は多)					
	玄武岩	火山砕屑岩*	石灰岩	リン酸塩岩	母岩なし	合計
クラスト状	32	5	12	5	7	61
スラブ状	3	7	0	0	5	15
塊状	7	0	0	0	0	7
礫状	6	6	1	1	0	14
ノジュール状	1	1	0	1	0	3
合計	49	19	13	7	12	100

(*ハイアロクラスタイトを含む)

表 4-3-4 海山別コバルトクラストの平均厚さ

海山名	測点数	クラスト 厚さ	
		平均	標準偏差
SA01	10	17.4	10.4
02	-	-	-
03	10	15.3	11.1
04	8	17.8	15.5
05	4	19.0	21.0
全体	32	17.0	12.9

(単位はmm)

く、わずかに母岩との境界部にやゝ多孔質な層が認められる程度である。一方、比較的厚い(2cm以上)クラストでは外殻と内殻の2層に、さらに厚いクラスト(3cm以上)では外殻、中殻、内殻の3層あるいはそれ以上に区分可能なものが多い(cf・SA04AD03の(A)では4層)。一般に、外殻は黒褐色亜金属光沢をもち多孔質であるのに対して、内殻は黒色金属光沢をもち多孔質であるのに対して、内殻は黒色金属光沢をもちちみつ質である。中殻はまちまちである。層別が可能なものでは葉理状の縞状構造を示すものもある。母岩との境界は、一般に明瞭であるが、前述のごとくリン酸塩岩を核とする場合や一部の火山砕屑岩では不規則で渾然としたものもある。母岩表面の凹凸は、1層構造のものではそのままクラスト表面

表4-3-5 コバルトクラスト厚さの計測例 *Basalt*

サンプル名	海山名	海山の部位	水深 (m)	クラストのタイプ	母岩と構造	酸化物殻の厚み(mm)
SA01AD01	SA01	頂部	2,060	礫状	Ph 1層	15~20(17)
CB03	"	斜面中部	2,700	クラスト状	Bs 1層	20~35(25)
"	"	"	"	塊状	Bs 1層	5~10(7)
CB04	"	斜面下部	3,380	クラスト状	Br 1層	3~4(3)
CB05	"	"	3,380	スラブ状	Bs 1層	5~25(17)
"	"	"	"	塊状	Bs 1層	7~35(20)
CB06	"	頂部	1,980	スラブ状	なし 1層	20~30(25)
AD07	"	斜面下部	3,150	クラスト状	Bs 1層	10
AD08	"	斜面中部	2,870	スラブ状	Br 1層	1~8(5)
AD09	"	頂部	2,210	スラブ状	なし 1層	10~15(12)
CB10	"	斜面中部	3,100	クラスト状	Br 1層	20~30(25)
AD11	"	頂部	1,910	礫状	Bs, Ph 2層	20~30(25)
"	"	"	"	ノジュール状	Bs, Ph 1層	10~20(15)
AD12	"	"	1,970	スラブ状	Br 2層	25~35(30)
SA02AD03	SA02	斜面上部	1,140		Ls	コーティング (1mm以下)
AD08	"	斜面中部	2,450	クラスト状	Bs	1~5(3)
SA03AD01	SA03	斜面上部	1,790	クラスト状	Bs 2層	20~25(15)
AD02	"	頂部	1,310	クラスト状	Ls, Ph 2層	20~30(25)
AD04	"	斜面中部	2,450	礫状	Bs 1層	1~3(2)
CB05	"	"	3,000	クラスト状	Bs 1層	1~5(3)
CB06	"	"	2,620	スラブ状	Ls 1層	10(10)
AD08	"	"	2,500	クラスト状	Bs, Ph 1層	3~10(5)
JD10	"	"	2,020	クラスト状	Ls 1層	10~30(20)
CB12	"	"	2,600	礫状	Bs 3層	35~60(40)
"	"	"	"	クラスト状	Ph 1層	25~30(27)
SA04AD02	SA04	斜面上部	1,760	クラスト状	Bs 2層	10
AD03	"	斜面中部	2,950	クラスト状	Bs 4層	45~80(50)
AD06	"	頂部	1,290	クラスト状	Bs 2層	20~30(25)
AD07	"	斜面中部	2,160	礫状	Bs 2層	20~40(30)
AD10	"	斜面下部	3,190	塊状	Bs 1層	15~20(17)
SA05AD01	SA05	頂部	1,195	クラスト状	Bs 1層	5~10(7)
AD02	"	斜面上部	2,110	クラスト状	Bs 3層	45~55(50)

(水深は、ドレッジ着底点の値。Bs 玄武岩, Br 火山砕屑岩, Ls 石灰岩, Ph リン酸塩岩)

に反映されるが、2層あるいはそれ以上のものでは緩和される傾向がある。

クラストの厚さについては、各海山の平均値を表4-3-4に、個別サンプルの計測例を表4-3-5に、また、個別サンプルごとの頻度分布を図4-3-3に示す。測点ごとの厚さの最大値は、SA04AD03及びSA05AD02における5.0cmである。また個別サンプルの厚さではSA04AD03(A)のクラスト状のもので8.0cmである。5つの海山(厳密には6海山)を比較すると、SA02環礁はもちろんのこと、SA03の東側の環礁では平均1.0cm内外と薄いものに対して、尖頂海山では1.7cm(SA01海山)から2.0cm±(SA03の西側海山)と全て厚い値が得られた。尖頂海山相互間では有意の差がみられない。厚さと水深の関係についてはSA01海山やSA03の西側海山において、山頂部(各々1,700m前後及び1,000m前後)にくらべて斜面中下部から下部(2,500m~3,000m以下)で厚さが減少するのが認められる。但し、2,500mより浅い部分においては、必ずしも一様の変化をしているとは限らず、データ数も

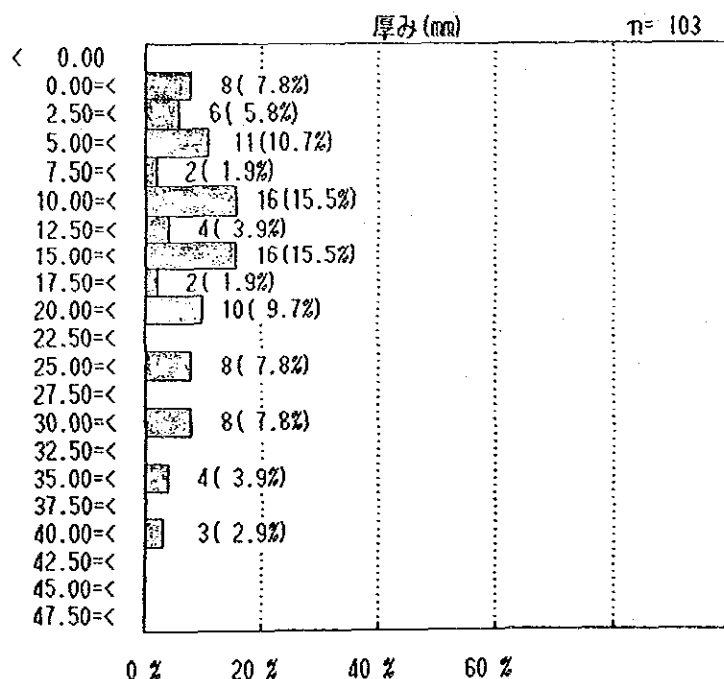


図4-3-3 コバルトクラスト厚さの頻度分布

少ないことから不明瞭である。SA03の東側環礁では、造礁性石灰岩の卓越する斜面上部よりも、その他岩石種の分布する斜面中部において厚いクラストが得られている。またSA04海山では水深3,000m地点で平均5.0cm、最大8.0cmのクラスト状サンプルが採取されている。SA05海山では傾向としては2,500m以深で薄い様であるがサンプリング点が少なく詳細不明である。次に、クラストのタイプと厚さの関係については、各種タイプが多く採取されたSA01海山などでも、クラストタイプのもを団塊タイプのもで有意差がみられなかった。同じく、母岩別にみた場合には、2つの環礁で石灰岩で平均厚さが小さいことは確かである

が、その他の尖頂海山では必ずしも有意差が認められない。玄武岩溶岩も同火山砕屑岩もリン酸塩岩も、ほぼ同じ数値範囲のクラストの発達が見られる。尚、本調査における厚さの表現は、各サンプル群の厚さを、個別サンプルの計測に基づいて推測し、単純平均化したものであり、また、かなり大きな標準偏差を伴っているものであることを付言しておきたい。また、団塊タイプ及びスラブ状のものの厚さに関しては、上・下両面の厚さを合算したのではなく、全面の厚さを平均化したものを用いている。

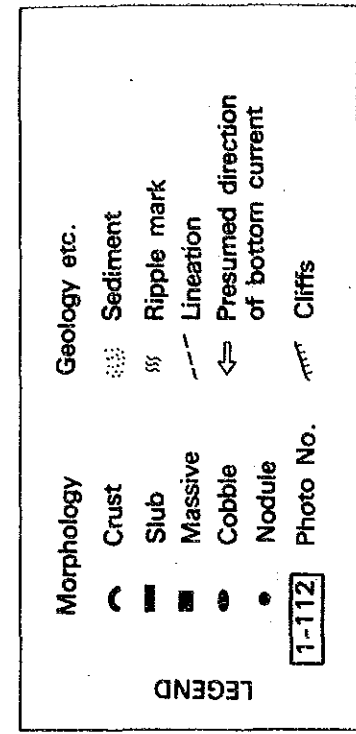
最後に、被覆率については限られたサンプリングデータだけから求めるのは難しいが、FDC観察からかなり正確な数値を得ることができる。その概要を次項で述べることにする。

3) FDC 調査結果

FOCによる海底観察調査を実施したのはSA01及びSA03の西の2つの海山である。両者ともに海山の山頂部で実施した。調査距離は、前者で9.5マイル、後で3.5マイルである。別添第18図に調査ルートと結果の概要を、図4-3-4(1)及び(2)にそのやゝ詳細な内容を、そしてまた図4-3-5に幾つかの海底写真を、各々を示す。尚、本調査で撮影した海底写真は、SA01で147枚、SA03で65枚、計212枚である。これらの写真に基づきクラスト・被覆率の算定を行い、その結果を図4-3-4(1)及び(2)に示す。この場合、写真撮影の不連続を補う目的でビデオテレビ画像の観察結果も考慮している。同図から、SA01海山頂部では平坦地における不毛帯の発達と同じく傾斜地におけるクラスト状クラストの発達のコントラスト、さらにはこれら両地形の漸移帯におけるとくに団塊のタイプのクラストの発達などが明瞭である。一方、尖頂状の頂部をもつSA03海山では、ほぼ全面的に各種クラストが発達しているのがわかる。被覆率については、SA03ではやゝ数値がバラつくが、SA01では地形及びクラストの産状などとの対応性が非常に良くでている。それを概念的にまとめると次のようになる。

〔地 形〕	〔クラストの産状〕	〔被覆率〕
急峻。傾斜は20°前後。	クラスト状クラストのみ	90~100%
傾斜地。10°前後。	クラスト状、ベイブメント状 スラブ状。一部に塊状。	50~ 80%
傾斜地の裾野。	スラブ状、塊状、礫状及びノ ジュール状。	20~ 50%
平 坦 地	有孔虫砂のみで不毛 リップルマークの発達。	0

以上のなかで、被覆率が50%程度の場合、その多くはクラストの上位を薄い有孔虫砂が覆っているだけで、従って、その有孔虫砂の下位にはほぼ連続的にクラストの発達があるであろう。SA01海山の平坦地で有孔虫砂の層厚は、最大70mであった。この有孔虫砂帯にはリップルマークの発達が顕著で、底層流の方向が全体に東から西向であることが読みとれる。



<87SFDC 01>

[Topographic Section]

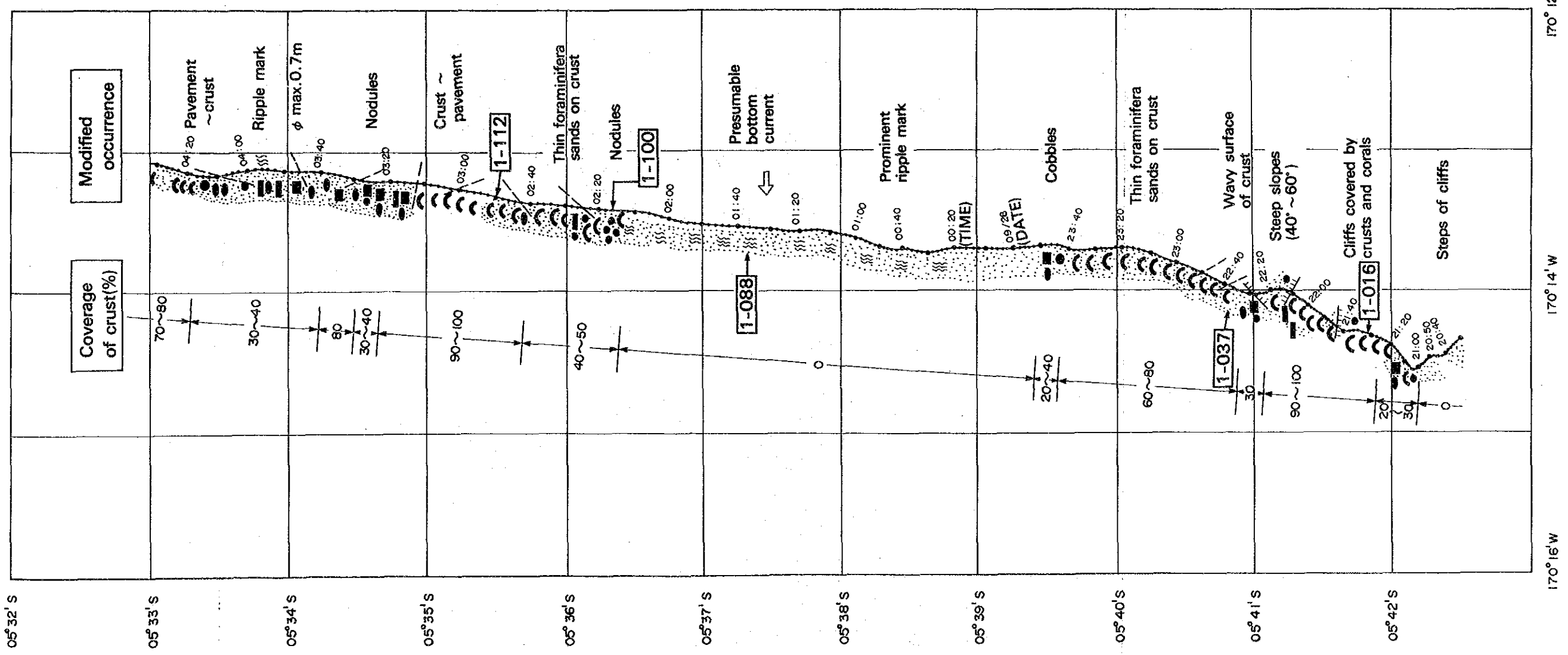
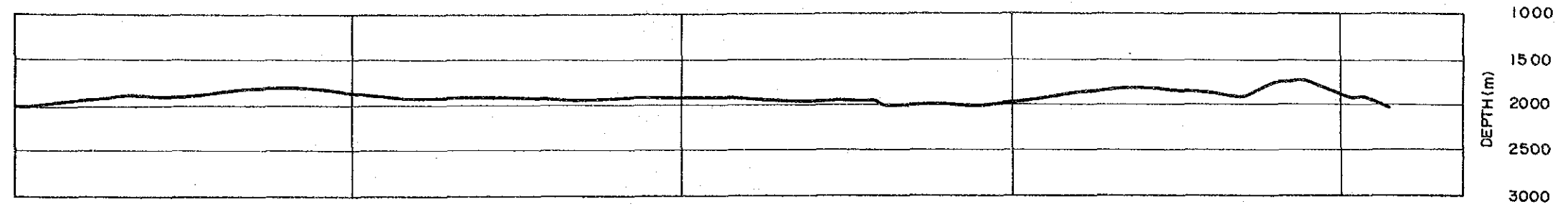


図 4-3-4 FDC 調査結果ルートマップ(1)

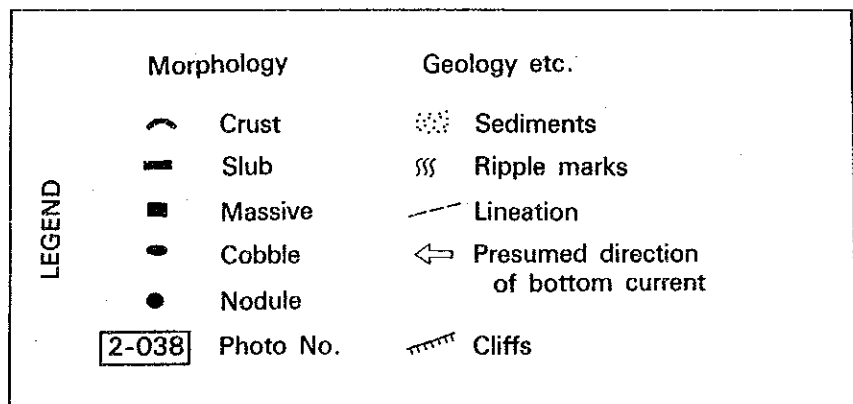
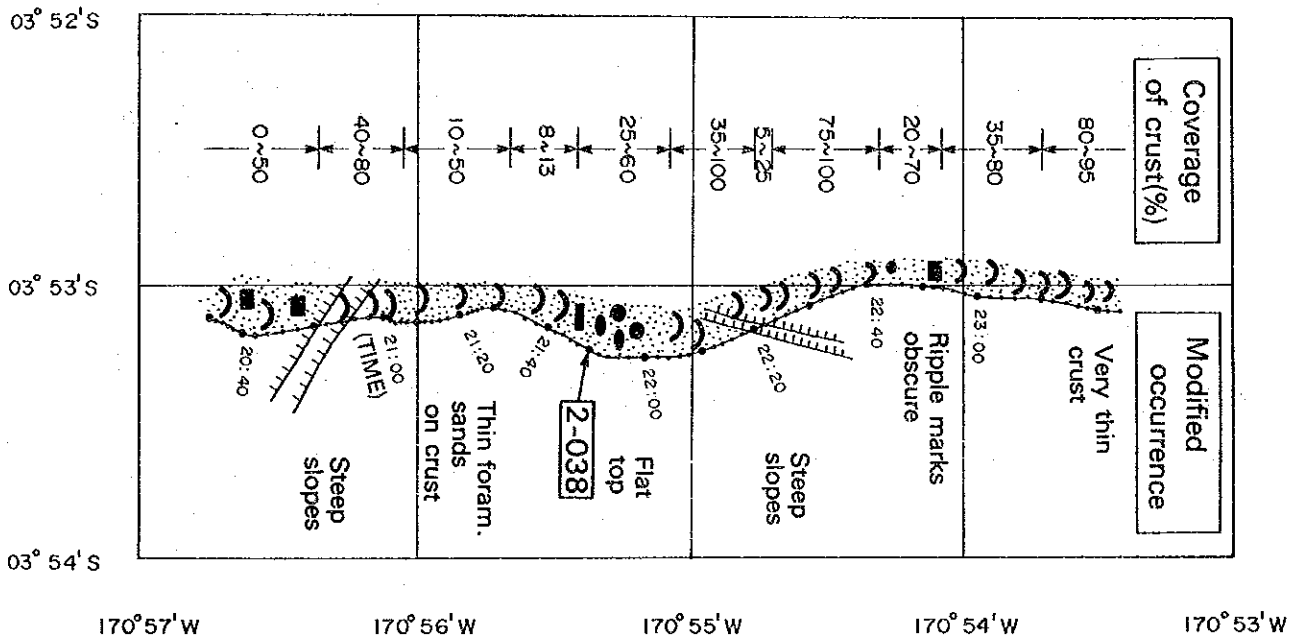
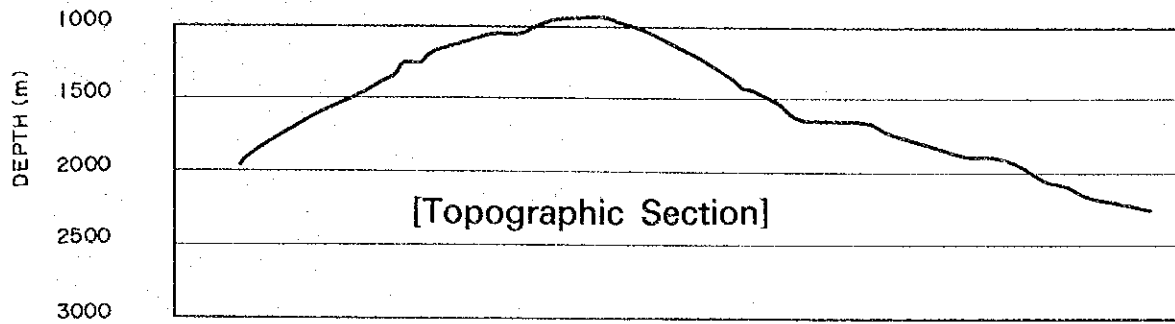
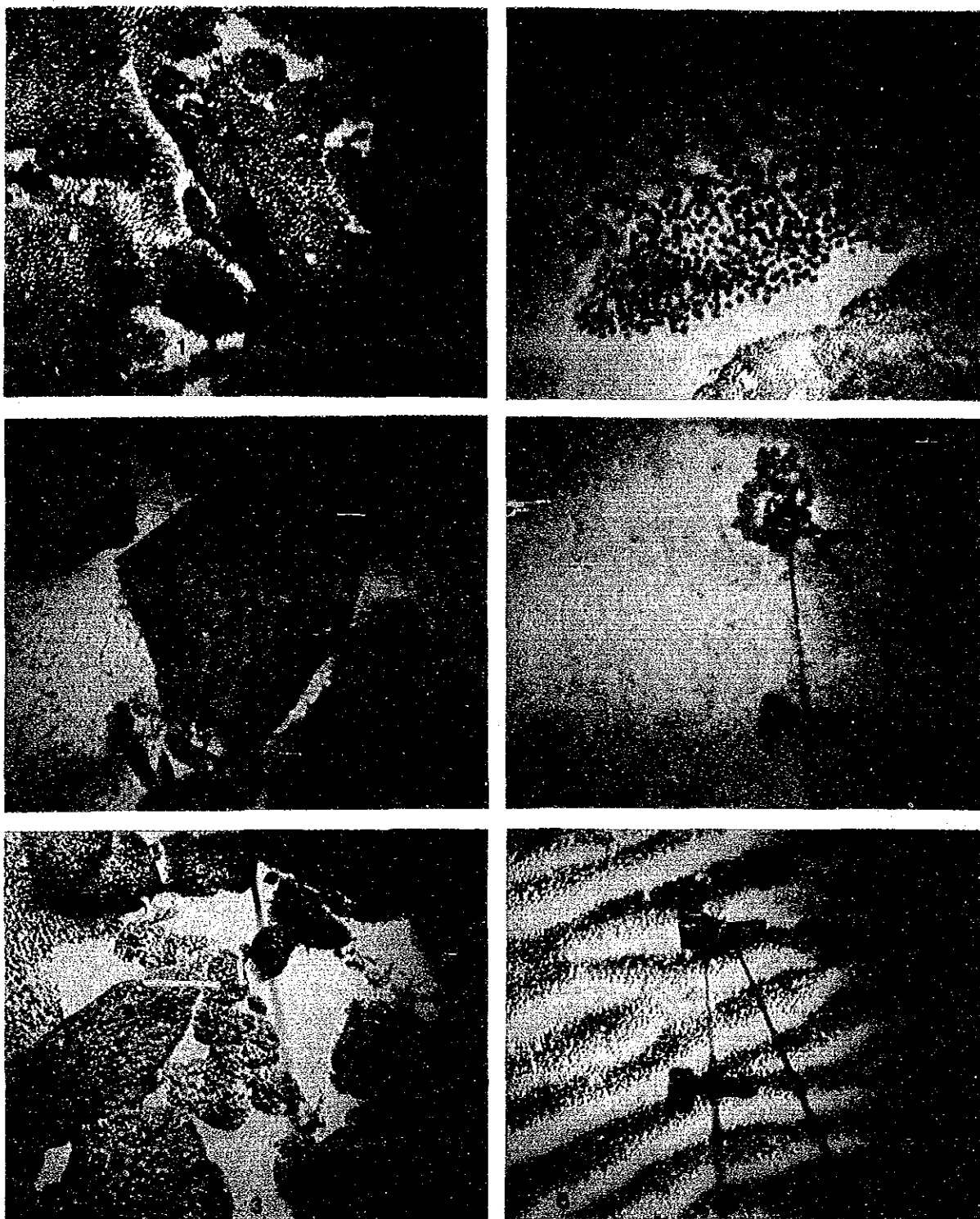


図 4-3-4 FDC 調査結果ルートマップ(2)



- 1) クラスト状。ぶどう状表面構造。(1-016)
- 2) 塊状。(2-038)
- 3) スラブ状及び碟状。(1-112)
- 4) ノジュール状。右下にクラスト状。(1-100)
- 5) リップルマーク。底層流の方向は画面の左側から右側。(1-088)。
- 6) クラスト表面の波状構造。(1-037)。

※画面上の機器はマグネットメーター。白色部は全て有孔虫砂。

()内は測線及び写真ナンバー。各々の位置については図4-3-4参照。

図4-3-5 FDC調査による海底写真

4) 化学性

5 海山に対するドレッジサンプリング48回のうち、サンプルが採れなかったものや採れても岩石だけだったもの、あるいはクラストが薄過ぎて分析試料がとれなかったものなどを除く33回分のサンプルについて船上にて主要5成分分析を行った。分析に供したサンプル個体数は98個で、分析件数は125件である。分析方法は蛍光X線装置を用いた標準試料比較定量法である。

得られたデータを巻末の一覧表として掲げる。海山別及び全体の平均値を表4-3-6に示す。また、海山の地形的部位別品位比較を表4-3-7に、クラストの表面状態別品位比較を表4-3-8に、クラストの母岩別品位比較を表4-3-9に、クラストの部位別品位比較を表4-3-10に、及びクラストの部位別完全分析と微量分析結果を表4-3-11に各々示す。さらに主要5成分(Co, Ni, Cu, Mn, Fe)ごとの頻度分布を図4-3-6に示す。最後に、各成分相互間及び成分と水深あるいはクラストの厚みなどとの相関性については図4-3-7, 及び表4-3-12に示す。尚、部位別分析を行ったサンプルの写真を図4-3-8に示した。

表 4-3-6 海山別コバルトクラスト平均品位

	SA01	SA02	SA03	SA04	SA05	全体
測点数	(n=10)	^{*1} (n=1)	(n=10)	(n= 8)	(n=4)	(n=33)
個体数	(n=34)	(n=1)	(n=30)	(n=24)	(n=9)	(n=98)
Co	0.79±0.12 1.01	0.36±0	0.78±0.33 1.38	0.71±0.13 0.86	1.05±0.39 1.38	0.78±0.26 1.38
Ni	0.67±0.17 0.92	0.47±0	0.70±0.24 1.07	0.68±0.24 1.01	0.57±0.19 0.71	0.66±0.21 1.07
Cu	0.13±0.03 0.20	0.12±0	0.10±0.03 0.15	0.09±0.03 0.13	0.07±0.03 0.10	0.11±0.04 0.20
Mn	27.42±2.31 30.71	10.51±0	23.57±6.34 28.76	26.09±2.87 29.05	27.12±5.63 30.98	25.38±5.23 30.98
Fe	15.67±2.51 19.00	12.58±0	12.66±3.29 17.18	14.96±2.95 18.92	15.58±2.15 18.60	14.48±2.91 19.00
Mn/Fe	1.75	0.84	1.86	1.74	1.74	1.75
平均 厚さ	1.7±1.0 cm	0.2±0	1.5±1.1	1.8±1.6	1.9±2.1	1.7±1.3
平均 水深	2,490 m	2,460	2,170	2,100	1,930	2,250

下段の数字は最大値。

* 本サンプルは若干母岩が混入していて低品位となっているものである。

表 4-3-7 海山の地形的部位別品位比較

	(n)	平均厚さ (cm)	Co (%)	Ni (%)	Cu (%)	Mn (%)	Fe (%)	Mn/Fe
頂 部	4	1.68	1.12	0.73	0.05	30.39	13.01	2.34
頂 部 肩	13	2.06	0.87	0.82	0.12	27.93	13.54	2.06
上部斜面	6	1.75	1.08	0.66	0.06	26.56	13.74	1.93
中部斜面	29	1.78	0.71	0.59	0.11	24.68	15.87	1.55
下部斜面	7	1.27	0.68	0.49	0.14	24.21	17.90	1.35

表 4-3-8 コバルトクラストの表面構造別品位比較

	(n)	平均厚さ (cm)	Co (%)	Ni (%)	Cu (%)	Mn (%)	Fe (%)	Mn/Fe
ぶどう状	27	2.44	0.85	0.69	0.10	27.55	15.06	1.83
ガラガラ	14	1.09	0.72	0.57	0.11	23.20	16.10	1.44
平 滑	16	1.31	0.86	0.64	0.10	26.39	15.12	1.75

表 4-3-9 コバルトクラストの母岩別品位比較

	(n)	平均厚さ (cm)	Co (%)	Ni (%)	Cu (%)	Mn (%)	Fe (%)	Mn/Fe
玄武岩	36	1.72	0.79	0.61	0.10	25.51	15.35	1.66
火山砕屑岩	6	1.30	1.00	1.00	0.12	32.46	12.93	2.51
リン酸塩岩	8	1.75	0.91	0.68	0.11	26.58	15.32	1.73
石灰岩	3	0.93	0.78	0.77	0.10	21.19	10.75	1.97

表4-3-10 コバルトクラストの部位別品位比較

			Co (%)	Ni (%)	Cu (%)	Mn (%)	Fe (%)	Mn/Fe
全体平均								
	(上面・外)	n=16	1.00	0.74	0.07	30.31	14.82	2.05
	(" ・中)	n=5	0.92	0.74	0.10	29.67	14.27	2.08
	(" ・内)	n=14	0.79	0.80	0.10	26.67	11.26	2.37
	(下面)	n=4	0.87	0.76	0.09	27.44	13.27	2.07
サ ン プ ル 個 体 別 の 例	SA01 AD12 (A)	外殻	1.01	0.67	0.07	28.73	16.54	1.74
		中殻	0.95	0.83	0.10	30.03	13.59	2.21
		内殻	0.93	0.78	0.10	29.58	14.13	2.09
	SA03 AD01 (A)	外殻	1.07	0.81	0.06	31.39	14.28	2.20
		内殻	0.92	0.89	0.08	30.68	12.19	2.52
	SA03 AD02 (C)	外殻	1.54	0.75	0.05	32.19	13.45	2.39
		内殻	1.11	0.86	0.06	29.97	10.59	2.83
	SA03 CB12 (A)	外殻	0.83	0.67	0.09	29.06	16.04	1.06
		内殻	0.77	0.73	0.11	27.52	14.20	1.94
	SA04 AD02 (A)	外殻	1.37	0.84	0.05	33.16	13.39	2.48
		内殻	0.51	0.90	0.07	23.40	8.05	2.91
	SA04 AD06 (A)	外殻	0.96	0.69	0.04	30.00	14.01	2.14
		内殻	0.85	0.85	0.04	27.77	9.36	2.97
	SA05 AD06 (B)	外殻	1.00	0.82	0.06	32.72	13.84	2.36
内殻		0.92	0.77	0.06	27.32	11.24	2.43	

表 4-3-11 コバルトクラストの部位別完全分析と微量分析値

Sample No.		87SA01 CB03(D)	87SA01AD12(A)			S7SA03AD01(B)		S87SA04AD06(A)	
Location		Mid. Slope	Crest	Crest	Crest	Upper Slope	Upper Slope	Crest	Crest
Water Depth (m)		3,000	1,960	1,960	1,960	1,700	1,700	1,200	1,200
Morphology		Cobble	Crust	Crust	Crust	Crust	Crust	Crust	Crust
Analyzed Portion		Bulk	Outer	Middle	Inner	Outer	Inner	Outer	Inner
Thickness		3 cm	2 cm	2 cm	2 cm	1.5 cm	3.5 cm	1 cm	1.5 cm
Major Metal Contents (%)	Co	0.72	1.01	0.95	0.93	0.92	0.41	0.96	0.85
	Ni	0.57	0.67	0.83	0.78	0.89	0.85	0.69	0.85
	Cu	0.13	0.07	0.10	0.10	0.08	0.09	0.04	0.04
	Mn	24.10	28.73	30.03	29.58	30.68	21.96	30.00	27.77
	Fe	16.19	16.54	13.59	14.13	12.19	7.58	14.01	9.36
Major Chemical Composition (%)	SiO ₂	6.99	5.18	4.52	3.20	3.61	1.46	2.74	1.47
	TiO ₂	1.74	3.16	1.71	1.85	1.61	1.02	1.31	1.21
	Al ₂ O ₃	1.35	0.90	0.92	0.70	0.54	0.31	0.46	0.25
	Fe ₂ O ₃	22.06	21.42	18.13	15.28	17.86	9.42	18.66	11.69
	FeO	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	MnO ₂	30.15	28.33	32.94	29.66	34.49	30.95	33.84	36.28
	MgO	1.81	1.82	1.96	1.77	1.91	1.77	1.87	2.02
	CaO	3.25	3.25	3.27	9.61	3.35	15.49	3.50	7.12
	BaO	0.19	0.16	0.22	0.25	0.21	0.26	0.21	0.27
	Na ₂ O	2.17	2.11	2.30	2.02	2.21	1.99	2.04	2.08
	K ₂ O	0.54	0.48	0.58	0.51	0.54	0.54	0.50	0.62
	P ₂ O ₅	0.81	0.98	0.65	4.79	0.69	8.75	0.97	3.25
	LOI	21.08	24.25	23.83	20.99	23.56	19.61	24.15	22.36
	Total	92.15	92.05	91.04	90.64	90.59	91.58	90.26	88.63
Minor Elements (%)	Pb	0.109	0.139	0.137	0.127	0.148	0.124	0.203	0.183
	Zn	0.069	0.067	0.078	0.082	0.080	0.105	0.070	0.110
	Sr	0.157	0.167	0.164	0.181	0.170	0.169	0.187	0.178
	V	0.024	0.018	0.017	0.014	0.017	0.009	0.032	0.010
	Mo	0.044	0.049	0.054	0.054	0.066	0.061	0.078	0.093
	B	0.014	0.014	0.012	0.010	0.012	0.006	0.012	0.008
	As	0.020	0.024	0.020	0.019	0.021	0.011	0.026	0.017
	Y	0.017	0.017	0.012	0.021	0.011	0.022	0.012	0.031
	Zr	0.063	0.053	0.013	0.015	0.022	0.010	0.033	0.018
	Pt	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Σ ReO	0.189	0.154	0.141	0.218	0.141	0.229	0.153	0.274

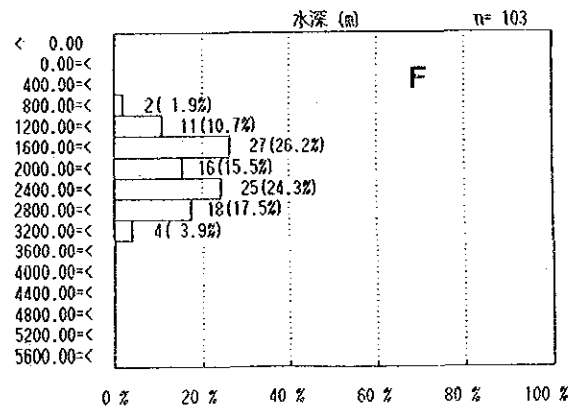
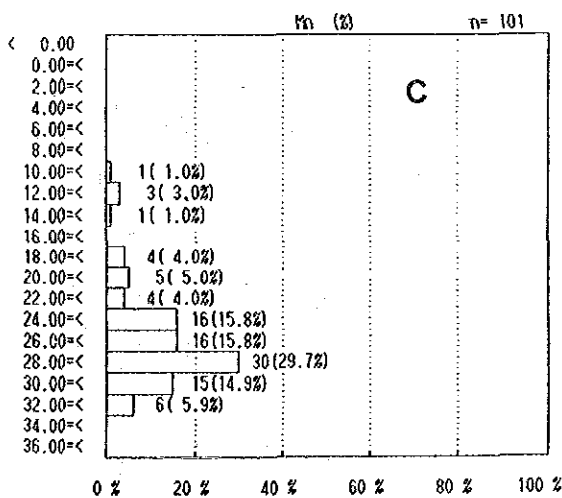
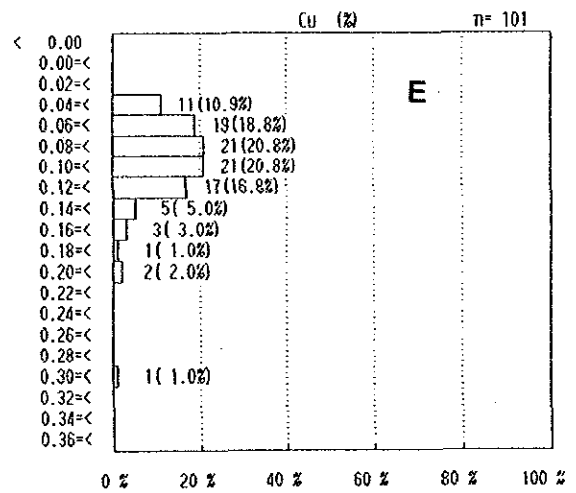
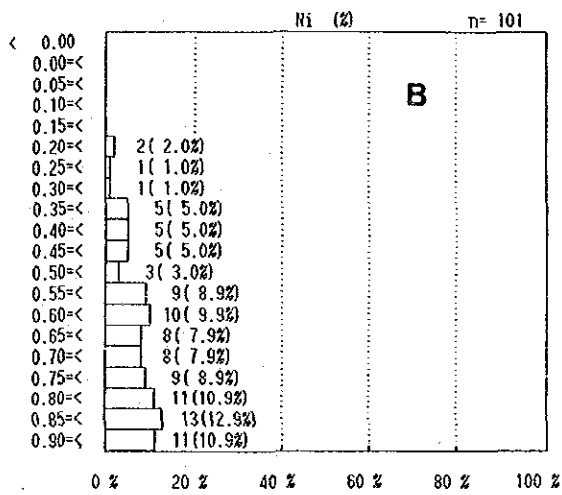
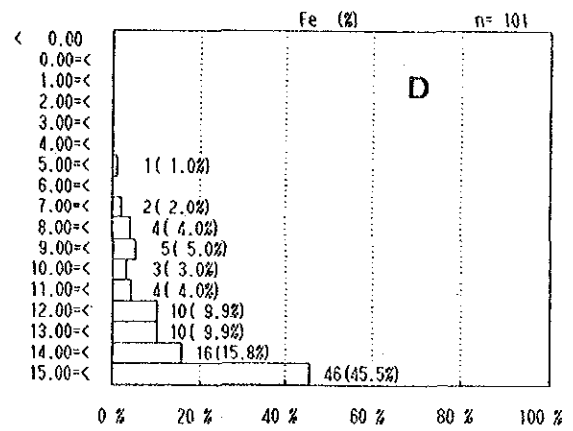
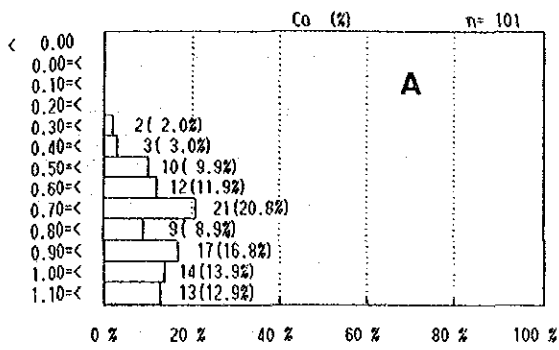


図4-3-6 主要5成分ごとの品位頻度分布図

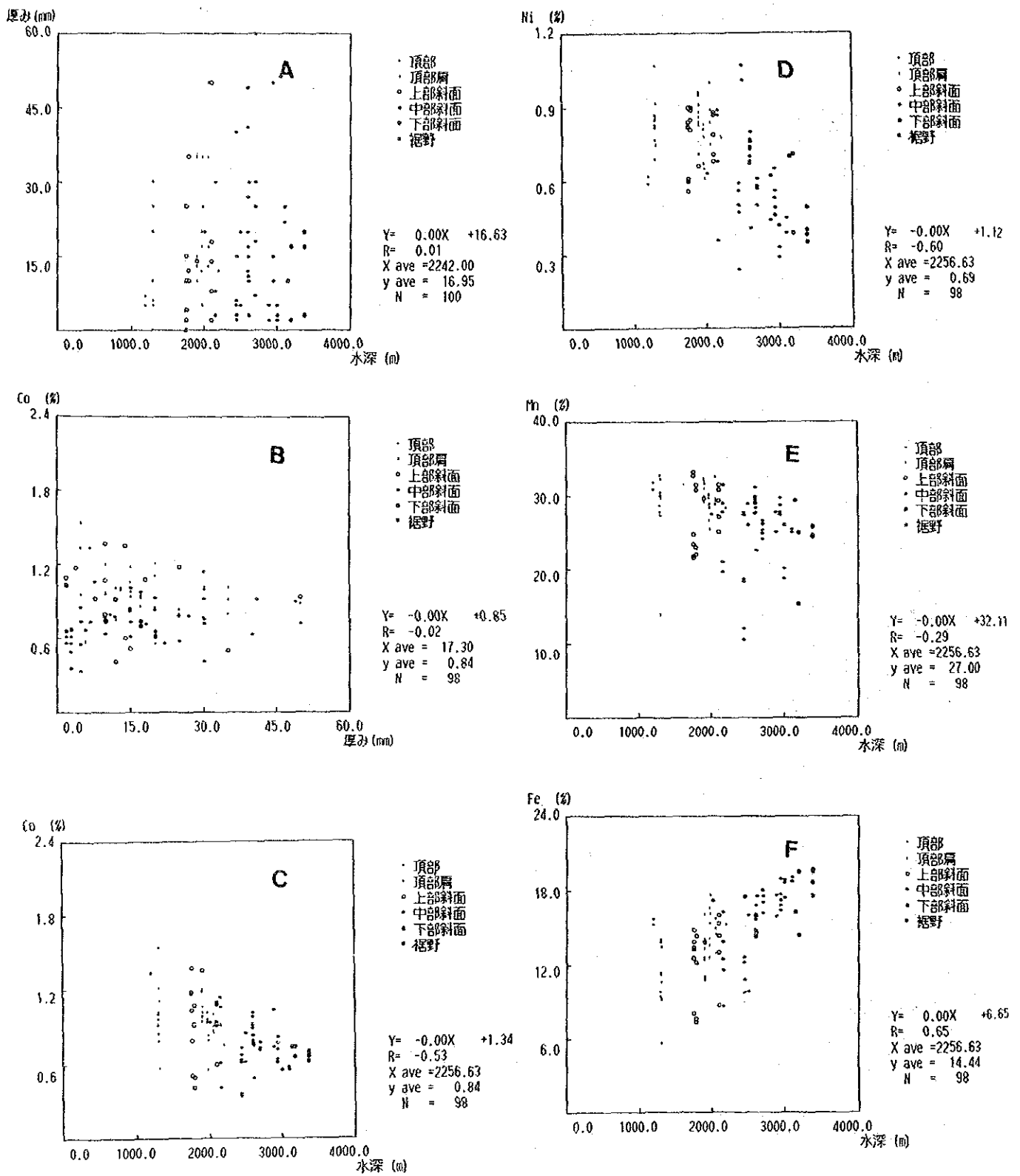


図 4-3-7 コバルトクラスタの品位相関図(1)

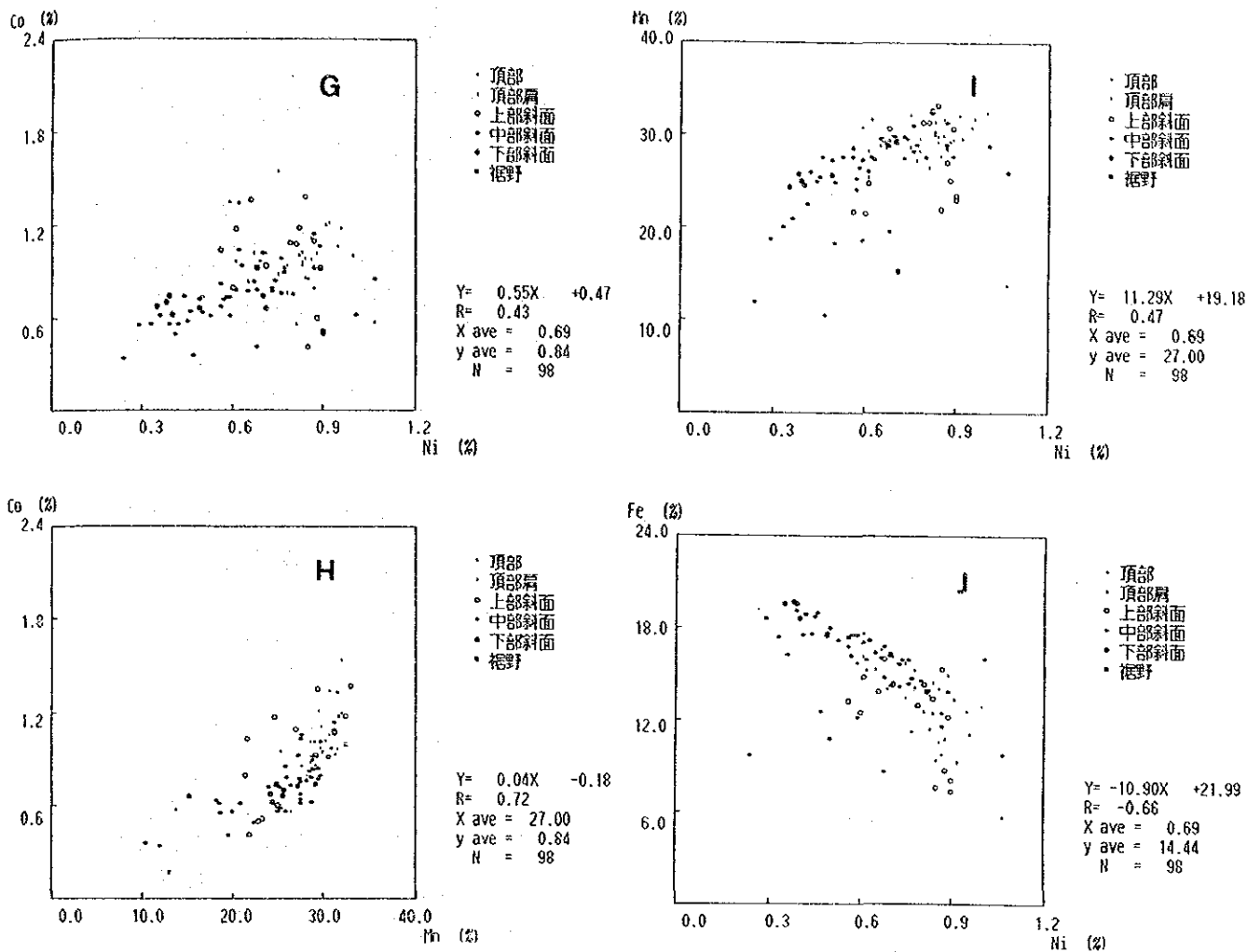


図 4-3-7 コバルトクラストの品位相関図(2)

以上から、当海域に分布するコバルトクラストの品位特性をまとめると次のようになる。

- 全測点33点から母岩混入の多い1点を除く平均品位は、Co 0.78%, Ni 0.66%, Cu 0.11%, Mn 25.38%, Fe 14.48%で、Mn/Fe比は1.75である。
- 参考までに、全分析個体98個の平均値は、Co 0.84%, Ni 0.69%, Cu 0.10%, Mn 27.00%, Fe 14.44%で、Mn/Fe比は1.87となる。
- こゝで測点33点の平均水深は約2,250mである。
- 海山別の比較では各成分ごとに次のようになる。

Co: SA05 > 01 > 03 > 04 > 02

Ni: 03 > 04 > 01 > 05 > 02

Cu: 01 > 03 > 04 > 05 > 02

Mn: 01 > 05 > 03 > 04 > 02

Fe: 01 > 05 > 04 > 03 > 02

以上を通観して、平均水深が1,930mと浅いSA05でCo品位が高いことや、同じく2,490

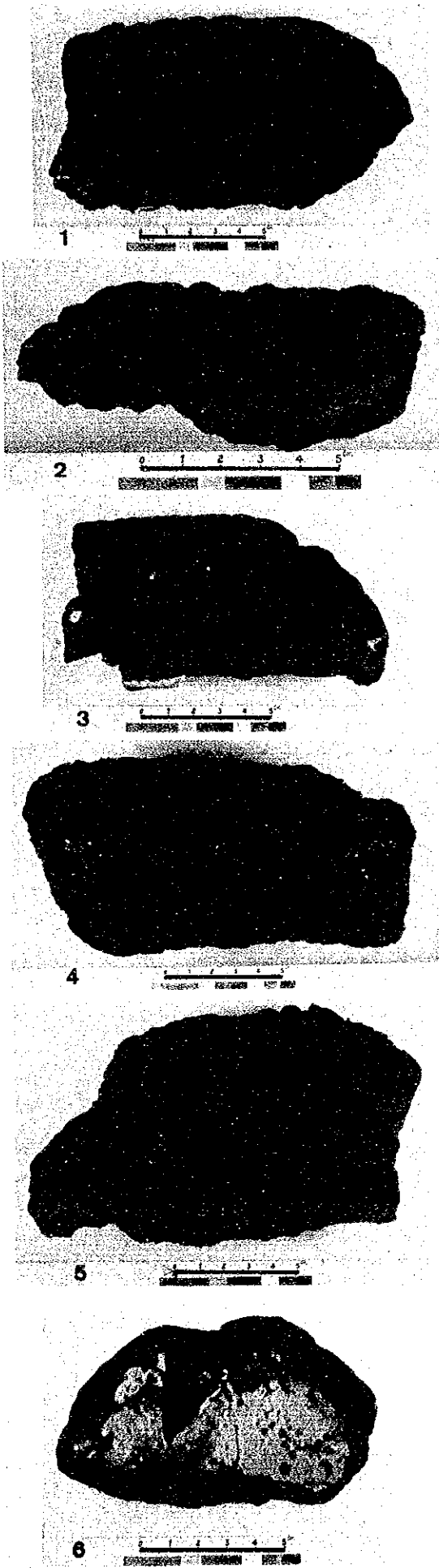
表 4-3-12 コバルトクラストの品位相関

	水深	クラストの厚み	Co	Ni	Cu	Mn	Fe
水深	—	× 0.01	◎ -0.53	◎ -0.60	◎ 0.51	○ -0.29	◎ 0.65
クラストの厚み			× -0.02	× 0.15	× 0.11	○ 0.22	× -0.07
Co				◎ 0.43	○ -0.36	◎ 0.72	× -0.07
Ni					× 0.03	◎ 0.47	◎ -0.66
Cu						○ 0.26	× 0.10
Mn							× 0.12
Fe							—

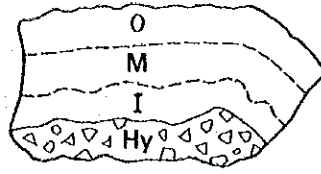
〔注〕 数字は相関係数。 相関性：◎強， ◎あり， ○弱， ×なし，
(-は負相関)

mと深いSA01でCu及びFe品位が高いことなどが後述の相関性と対応しているが、他にはそれほど顕著な傾向がみられない。

- e) 地形的部位別比較では、頂部、頂部肩及び上部斜面といった水深の浅い部位におけるCo、Ni及びMn高とCu及びFe低の傾向が明瞭である。とくにMn及びFeに関してはきれいな一方向的数値の変化がみられ、その比をとるとさらにそれが強調される。
- f) 表面状態別比較ではとくに目立つ傾向はみられない。
- g) 母岩別比較ではハイアロクラスタイトにおけるCo、Ni、Mn高とMn/Fe比高が目につく。
- h) クラストの部位別比較では、上面外殻におけるCo、Mn、Fe高とCu、Ni低が著しい特徴である。3層構造の場合は、上記の傾向が必ずしも一方向的にまもられていない場合もあるが、2層構造では殆んどの場合、同様の傾向にある。
- i) 相関性については、水深と各成分間には強い相関がみられるが、クラストの厚みは無相関である。成分間ではCo対Ni及びMn、Ni対Mn及びFeに著しい相関がみられる。
- j) 当海域のクラスト平均品位を他海域あるいは他調査による統計データと比べたのが表4-3-13である。既括的には、当海域のものは、太平洋海山の平均値にほぼ等しいが、



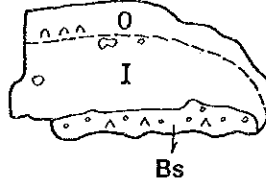
1) SA01AD12(A)



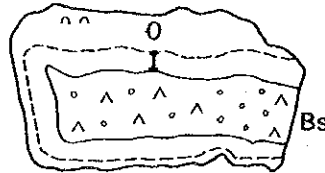
2) SA01AD12(B)



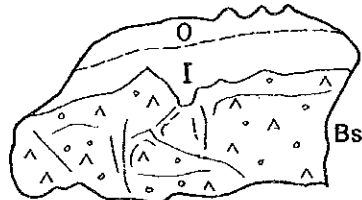
3) SA03AD01(B)



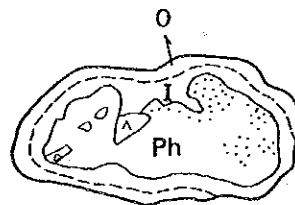
4) SA03CB12(C)



5) SA04AD06(A)



6) SA04AD07(C)



O : Upper	Bs : Basalt
M : Middle	Hy : Hyaloclastite
I : Lower	Ph : Phosphorite

図 4-3-8 化学組成及び鉱物組成の解析に用いたコバルトクラスト写真

