

4) 鉱物組成

マンガン団塊の鉱物組成と内部構造を調べるため、代表サンプルを選定し、粉末X線回折と顕微鏡観察を行った。供試料は、分析値に基づき3)化学組成の項で前述したNi, CuリッチタイプとCoリッチタイプに区分されたマンガン団塊の中から各々のタイプを代表するサンプルを選定し、X線回折と顕微鏡観察の両試験を行った。

	<u>Ni, Cuリッチタイプ</u>	<u>Coリッチタイプ</u>
サンプルNo.	89S0842SC01	89S0947FC01
水深	5,170m	5,110m
形状	扁平だ円状	塊状
粒径	25×18mm	50×47mm
Ni(%)	1.18	0.56
品位 Cu(%)	0.95	0.35
品位 Co(%)	0.12	0.28
Mn/Fe	5.39	1.49

(1) X線回折

Ni, Cuリッチタイプの供試料は粒径が小さいこともあり、バルク試料として全量を粉末回折した。Coリッチタイプの試料は、肉眼的な組織や分析値の差等から外殻、中殻、内殻及び各々の上面、下面に層別に分取して粉末回折した。X線回折結果を表3-5-8に、代表的なX線チャートを図3-5-23に示した。この結果、マンガン鉱物としてはNi, Cuリッチタイプが10Åマンガンナイト、 δ -MnO₂の両鉱物からなるのに対し、Coリッチタイプは、 δ -MnO₂が卓越し、下面・外殻のみに10Åマンガンナイトが出現することが明らかにされた。これは、10ÅマンガンナイトがCu, Ni, Znに富み、 δ -MnO₂はCo, Pbに富む傾向があること(臼井, 1983)、続成作用に関与するとみられる底質物と接触する下面・外殻のみがNi品位の高い10Åマンガンナイトから構成され、海水と直接反応しているとみられる上面がCo品位に富む δ -MnO₂が卓越すること等(臼井, 1983)の従来の知見が当海域でも明瞭に把握されたものと考えられる。脈石鉱物としては、少量の灰十字沸石、石英の含有を認めた。

(2) 顕微鏡観察

① 89S0842SC01 (Ni, Cuリッチタイプ)

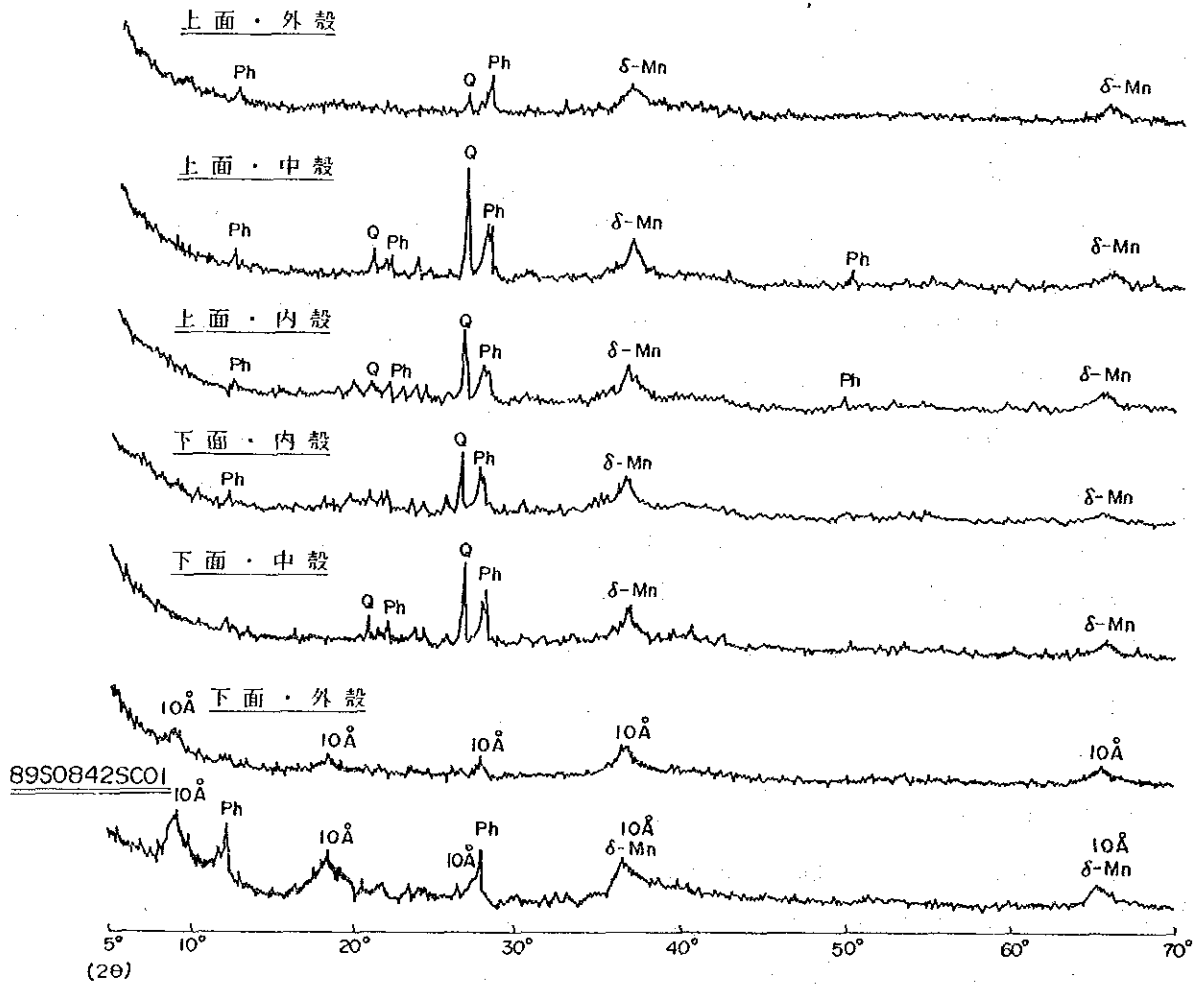
核部は、シリカ状物質(?)からなり、その外側は、赤鉄鉱、針鉄鉱、10Åマンガンナイトの成層組織が認められるが、 δ -MnO₂は認められない。更に外側に向い、 δ -MnO₂、10Åマンガンナイト及び針鉄鉱の成層状、樹枝状組織が卓越する。針鉄鉱には葡萄状、ボール状、不規則粒状を示すものがある。最外層は10Åマンガンナイト、 δ -MnO₂及び針鉄

表 3 - 5 - 8 マンガン団塊の X 線回折結果

サンプル番号	粒径 (cm)	形 状	分析部位	10 Å	δ-Mn	Ph	Q	
89S0947FG01	4 ~ 6	塊 状	上 面	外殻		≡	+	±
				中殻		≡	±	≡
				内殻		≡	±	+
			下 面	内殻		≡	±	+
				中殻		≡	±	+
				外殻	+			
89S0842SC01	2 ~ 4	扁平だ円状通常型	バルク	≡	≡	+		

凡例 10Å : 10Å マンガナイト δ-Mn : δ-MnO₂ Ph : 灰十字沸石 Q : 石英
 ≡ : 回折線強度の非常に強いもの ≡ : 回折強度の強いもの
 + : 回折強度の弱いもの ± : 回折強度が微弱または存在が不確実なもの
 測定条件 : Cu-モノクロメーター 45KV, 20mA

89S0947FG01



凡例 10Å : 10Å マンガナイト δ-Mn : δ-MnO₂ Ph : 灰十字沸石 Q : 石英

図 3 - 5 - 23 マンガン団塊の X 線回折パターン

鉱からなるコロフォルム組織に富む。 δ - MnO_2 は灰～淡灰色でやや緑色を帯びる。全体的に外層は δ - MnO_2 、10Åマンガンナイトが多く、内層には針鉄鉱、赤鉄鉱に富む傾向がある。

② 89S0947SC01 (Coリッチタイプ)

核部は石英片、変質斜長石片、方解石、モンモリロナイトからなる。内殻では、 δ - MnO_2 、10Åマンガンナイト及び針鉄鉱が微細な成層組織(幅0.05～0.1mm以下)、腎臓状(reniform)、樹枝状組織を示す。これら鉱石部の間には、方解石、泥質物が充填する。中殻も δ - MnO_2 、10Åマンガンナイト及び赤鉄鉱よりなり腎臓状～樹枝状の成層組織を明瞭に示す。外殻は δ - MnO_2 、10Åマンガンナイト及び針鉄鉱からなる微細なコロフォルム組織が卓越する(幅約0.01mm)。X線回折では出現が稀であった10Åマンガンナイトが各層で認められた。

5) CDC調査結果

マンガン団塊の分布密度を推定し、その連続性を把握するため、調査海域東部に位置する高分布密度帯においてCDC調査を1測線(約5.4マイル長)実施した。調査は $9^{\circ}00'S$ に沿って $148^{\circ}30'W$ から $148^{\circ}24'W$ に向けて行い(測点89426付近)、約50m間隔で撮影し188枚の海底写真を得た。

CDC測線位置図を図3-5-24に、CDC写真計測値の統計結果を表3-5-9に、写真から判読した面積率・分布密度の変化図を図3-5-25に、CDCによる連続写真の例を図3-5-26に、そして代表的なCDC写真を図3-5-27に示す。

(1) 分布密度

分布密度の連続性をみると安定性に乏しく、隣り合う撮影点間でも高分布密度と低分布密度の急激な変化を繰り返す場合が多い。これは当調査海域におけるマンガン団塊の賦存状況の特性を示していると考えられ、サンプリング結果とも一致している。分布密度の変化には周期性とその周期の変動が認められ、西部から測線中央部の $148^{\circ}28.5'W$ 付近(写真No.100付近)にかけては約2,500m程度の周期であったものが、やがて約1,500mとなり、東部では約1,000mへと変化している。そして全体として、分布密度は東部に向かうにつれて減少傾向にある。(調査開始地点付近で約 $15\text{kg}/\text{m}^2$ であったものが終了地点付近では約 $5\text{kg}/\text{m}^2$ となっている。)

測線中央部の $148^{\circ}28'W$ 付近(写真No.112～No.136)と東部の $148^{\circ}26'W$ 以東(写真No.165～No.188)に低分布密度区間が存在する。この区間は小丘状の地形となっており、板状のマンガン団塊やマンガンクラストが卓越し、岩盤が発達する地帯となっている。^{*1}

当測線付近の海域は粒径の小さい(粒径2cm程度)小石状のマンガン団塊が卓越して分

*1 マンガンクラストは面積率・分布密度の計算から除外している。

布するため、面積率が高い（平均37.4%）にもかかわらず、分布密度は低い値（平均8.13 kg/m²）を示している。

分布密度と水深の関係は明瞭ではないものの、上記のように小丘状地形では低分布密度となっており、水深 4,900m以浅では分布密度が低下する傾向が認められる。

(2) 形 状

CDC写真から読みとったマンガン団塊の形状は小石状が最も卓越している。次いで塊状が多く、板状、球状なども認められる。小石状のマンガン団塊は直径2cm程度と小型で、測線全体にわたって分布する。塊状は小石状と併存し測線全体に分布する。板状のマンガン団塊やマンガングラストは測線中央部や東部の小丘地形に分布する傾向が認められる。

表 3 - 5 - 9 CDC 写真計測値の統計

	面 積 率* ² (%)	分布密度* ³ (kg/m ²)
サンプル個数* ¹	162	162
最 大 値	94.0	21.99
最 小 値	0.0	0.00
平 均 値	37.4	8.13
標 準 偏 差	23.8	5.73

*¹ 写真枚数は全体で 188枚だが、露岩地帯の26枚を除いてある。

*² 面積率の測定はポイントカウンティング法を用いた。

*³ 分布密度の算出は次式を用いた

$$C = 0.245175 \times Z - 1.05799$$

C : 分布密度 Z : 面積率

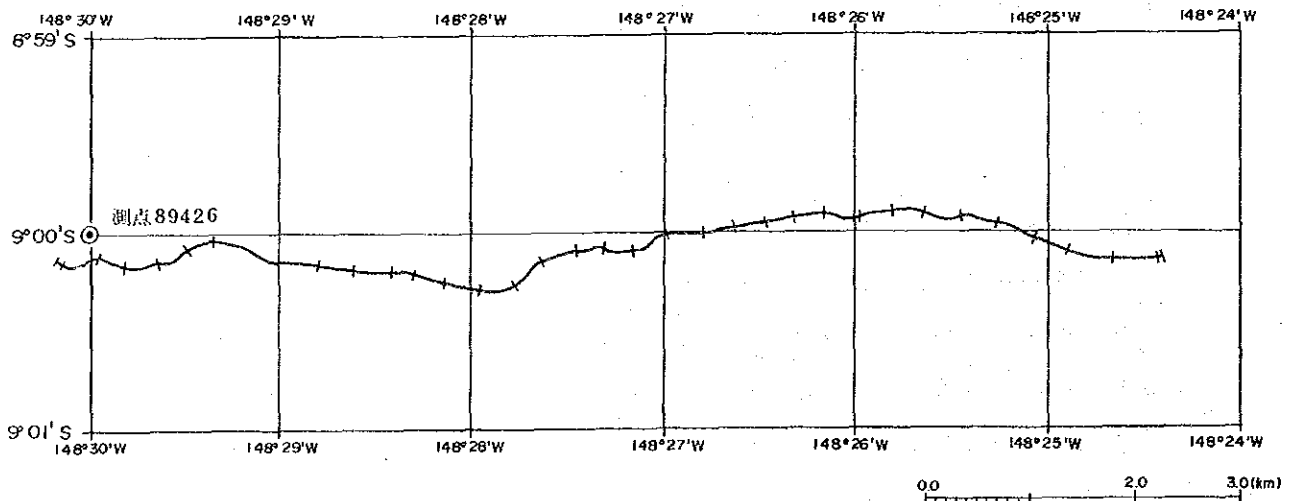


図 3 - 5 - 24 CDC 測線位置図 (測線89SCDC01)

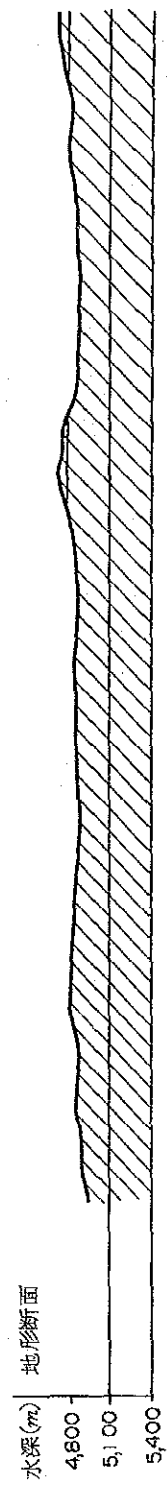
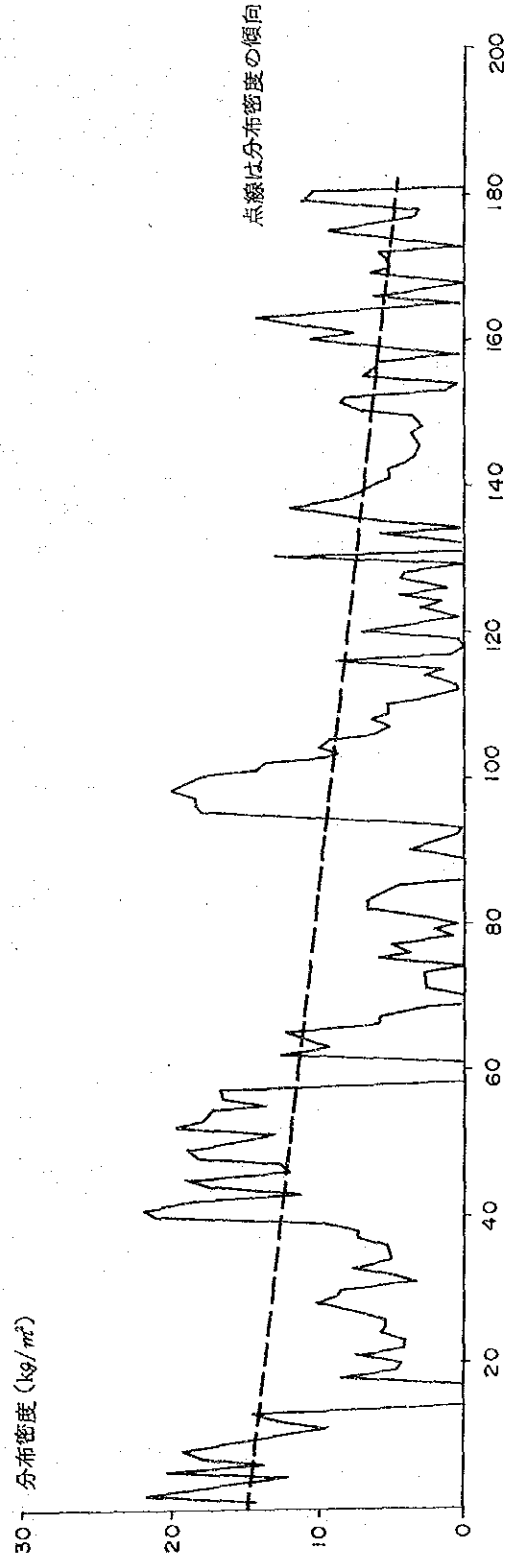
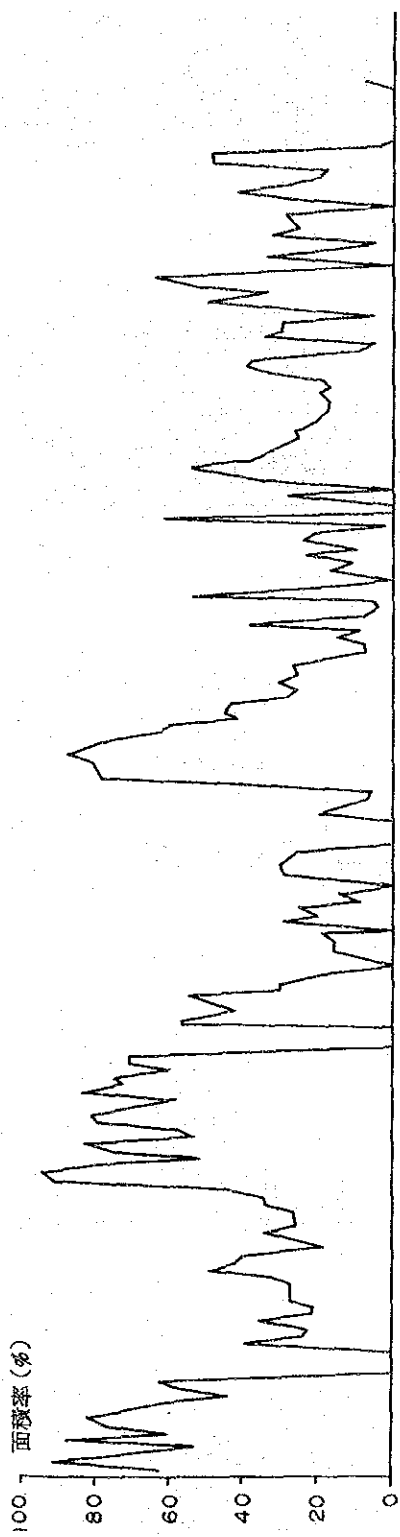
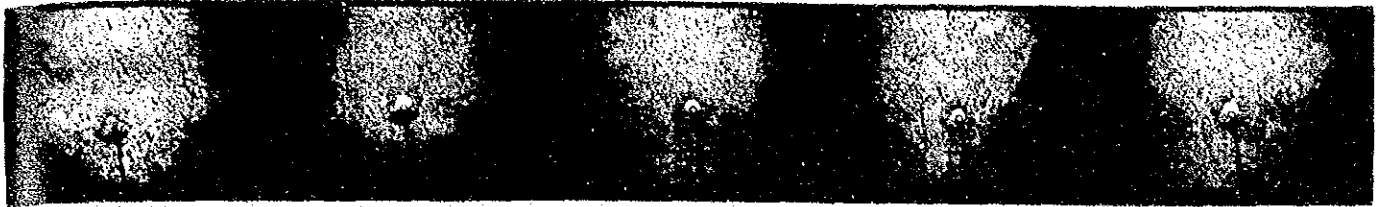


図 3 - 5 - 25 地形・分布・密度・面積率変化図 (測線 89SCDC01)

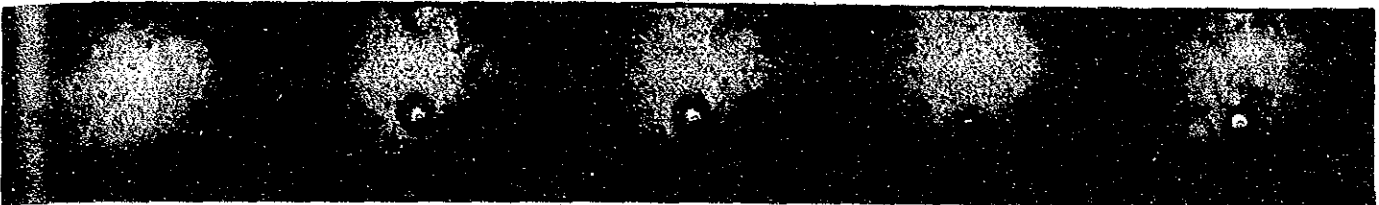
006~010



13.65(60.0) 17.87(77.2) 19.12(82.3) 15.96(69.4) 13.75(60.4)

小石状のマンガン団塊が連続的に分布する。

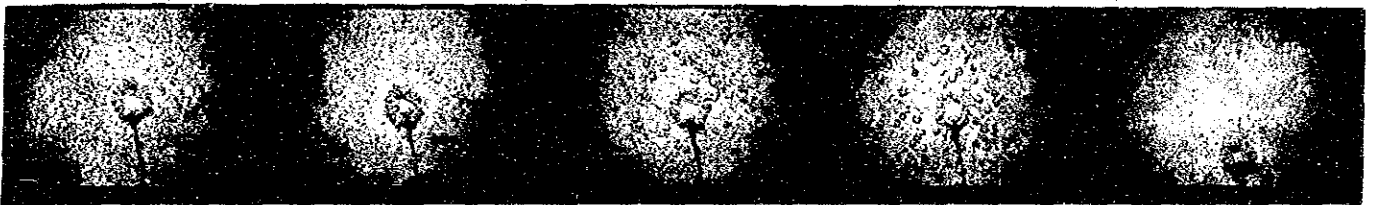
154~158



0.39(5.9) 7.50(34.9) 6.15(29.4) 6.13(29.3) 0.27(5.4)

小石状と塊状のマンガン団塊が分布。分布密度は比較的低い。

096~100



18.53(79.9) 18.58(80.1) 20.30(87.1) 19.17(82.5) 18.16(78.4)

小石状のマンガン団塊とともに球状のマンガン団塊が分布する。粒径は約5cm。

084~088



5.76(27.8) 5.00(24.7) 0.00(0.5) 7.52(35.0) 6.30(30.0)

主として板状のマンガン団塊が分布する。

125~129

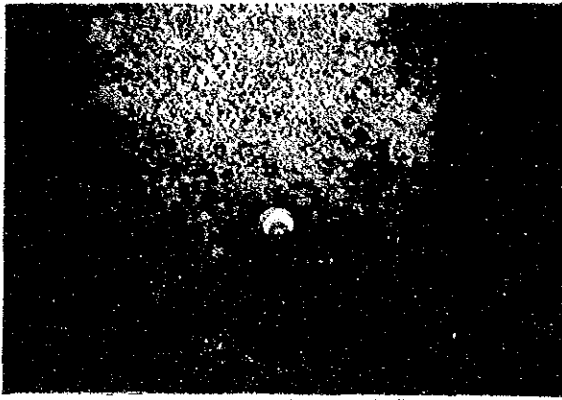


4.56(22.9) 0.00(0.0) 4.58(23.0) 4.24(21.6) 0.00(0.0)

岩盤露出地帯。表面に薄いマンガンクラストが発達。

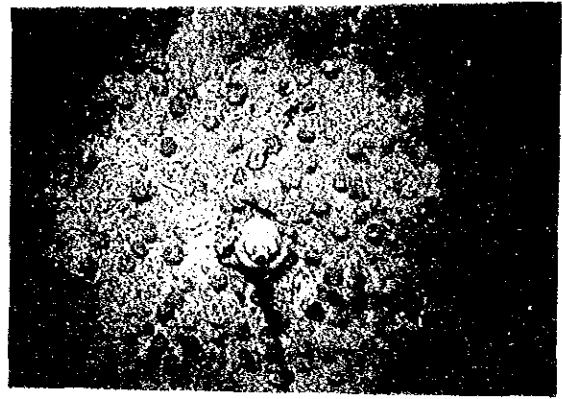
(左上の番号: 写真番号, 下左: 分布密度 (kg/m²), 下右 (): 面積率 (%))

図 3 - 5 - 26 CDCによる連続写真の例 (測線89SCDC01)



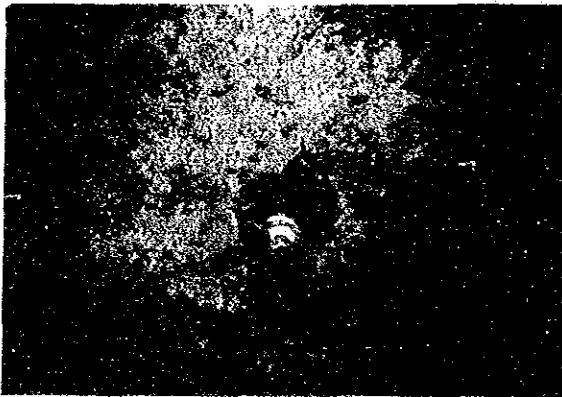
No. 008

小石状. 分布密度: 19.12kg/m²



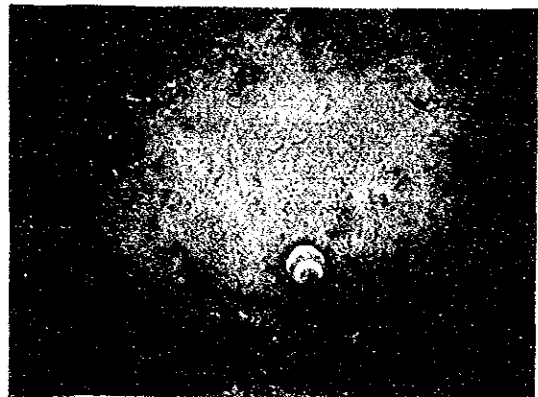
No. 099

球状及び小石状. 分布密度: 19.17kg/m²



No. 073

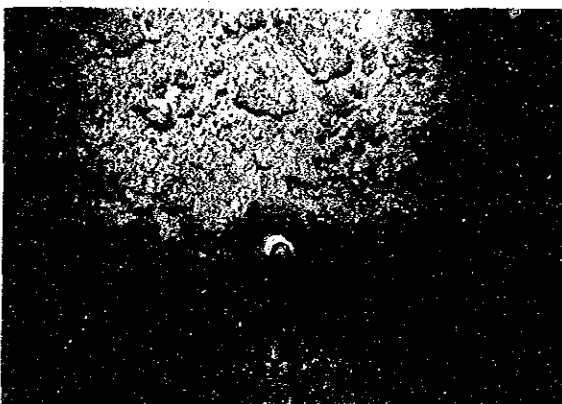
塊状. 分布密度: 2.89kg/m²



No. 080

泥. 底生生物の生痕あり。

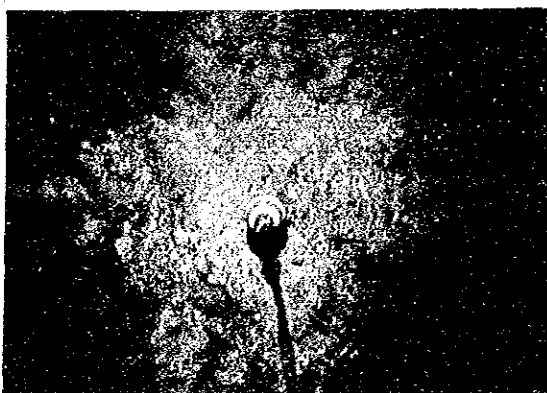
分布密度: 0.00kg/m²



No. 056

板状, 塊状及び小石状.

分布密度: 16.47kg/m²



No. 018

マンガンクラスト. 分布密度: 0.00kg/m²

(No.は写真番号を示す)

図 3 - 5 - 27 C D C 写真例 (測線 89SCDC01)

6) 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、マンガン団塊の分布密度のみならず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）も評価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16図～第18図に示した。

$$\bullet \text{ Ni含有密度} = \text{分布密度} \times (1 - \text{含水率}) \times \text{Ni品位}$$

$$\bullet \text{ Cu含有密度} = \text{分布密度} \times (1 - \text{含水率}) \times \text{Cu品位}$$

$$\bullet \text{ Co含有密度} = \text{分布密度} \times (1 - \text{含水率}) \times \text{Co品位}$$

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。

(1) Ni（別添第16図参照）

Ni金属量20g/m²以上を示す範囲の合計面積は116,607km²、平均含有密度は33.96g/m²である。

(2) Cu（別添第17図参照）

Cu金属量20g/m²以上を示す範囲の合計面積は55,426km²、平均含有密度は28.2g/m²である。

(3) Co（別添第18図参照）

Co金属量20g/m²以上を示す範囲の合計面積は14,126km²、平均含有密度は25.06g/m²である。

当調査海域における金属量分布の特徴としては、別添図からも明らかのようにNi・Cu・Coの含有密度の高い海域はライン諸島東側海域にみられ、前述の高分布密度ゾーンの分布とほぼ一致する傾向がみられる。

3-6 考察：マンガン団塊の賦存状況

1) 分析結果からMn/Fe比を基にマンガン団塊を分類したところMn/Fe=2.5付近を境にして次の2種類のタイプが存在することが把握された。（図3-6-1参照）

Ni-Cuに富むタイプ（Mn/Fe>2.5）

① 分布密度が低い（平均2.7kg/m²）

② Ni-Cu-Co 3成分品位でNi、Cu品位の比率が高い。

	品位	比率	
Ni	: 1.08%	(54%)	
Cu	: 0.78%	(39%)	
Co	: 0.13%	(7%)	金属量3.87g/m ²

③ CCD（水深5,000m）よりやや深い海底（5,000m～5,200m）に産する。

- ④褐色粘土の分布海域である。
- ⑤平坦地から産する。
- ⑥形状としては扁平だ円状、扁平礫、球状等が多い。
- ⑦マンガン酸化物は10Åマンガンナイト、 δ - MnO_2 の両鉱物からなる。
- ⑧微量成分としてZnに富む

Coに富むタイプ (Mn/Fe \leq 2.5)

- ①分布密度が高い (平均 7.5kg/m²)
- ②Ni-Cu-Co 3成分品位でCo品位の比率が高い。

	品位	比率	
Ni	: 0.61%	(50%)	
Cu	: 0.35%	(29%)	
Co	: 0.26%	(21%)	金属量6.59g/m ²

- ③CCD (水深 5,000m) の直上~直下の海底(4,700m~ 5,000m) に産する。
 - ④石灰質堆積物の分布海域である。
 - ⑤海丘等の卓越する地域から産する。
 - ⑥形状としては小石、塊、板状等が多い。
 - ⑦マンガン酸化物は δ - MnO_2 が卓越する。
 - ⑧微量成分としてPb, ΣR_2O_3 等に富む。
- 2) 調査海域の大部分にはNi-Cuに富むタイプが分布するため、全体として分布密度が低い鉱況となったが、9°S付近では、ライン諸島の東西両側海域に狭い範囲ながらもCoに富むタイプが分布し、部分的に分布密度を高めている。
- 3) 分布密度が平均的に高い海域に於ても、海底地形が小丘状や岩盤等が発達する個所では、粒径の小さい小石状マンガン団塊が卓越し部分的に分布密度が低下する傾向がみられる。
- 4) 上述の現象は過年度調査結果でも認められる傾向にあるので、南太平洋海域に於けるマンガン団塊賦存状況に関して、これらの点を指針として新しい海域を調査することが望ましいと思われる。

Ni-Cu richタイプ ($Mn/Fe > 2.5$)

- ①分布密度低い (平均 2.7 kg/m²)
- ②Ni-Cu-Co 3成分品位でNi, Cu品位の比率が高い。

品位	比率
Ni: 1.08%	(54%)
Cu: 0.78%	(39%)
Co: 0.13%	(7%)

金属量 3.87 g/m²

- ③CCD (水深 5,000 m) よりやや深い海底 (5,000 m ~ 5,200 m) に産する。
- ④褐色粘土の分布海域である。
- ⑤平坦地から産する。
- ⑥形状としては扁平だ円状, 扁平球状等が多い。

Co-richタイプ ($Mn/Fe \leq 2.5$)

- ①分布密度高い (平均 7.5 kg/m²)
- ②Ni-Cu-Co 3成分品位でCo品位の比率が高い。

品位	比率
Ni: 0.61%	(50%)
Cu: 0.35%	(29%)
Co: 0.26%	(21%)

金属量 6.59 g/m²

- ③CCD (水深 5,000 m) の直上~直下の海底 (4,700 m ~ 5,000 m) に産する。
- ④石灰質堆積物の分布海域である。
- ⑤海丘等の卓越する地域から産する。
- ⑥形状としては小石, 塊, 板状等が多い。

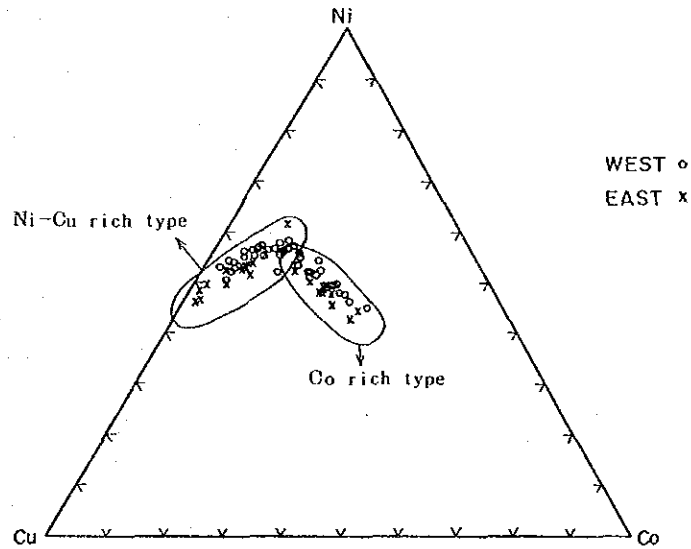


図 3 - 6 - 1 Ni-Cu-Co三角ダイヤグラム (マンガン団塊)

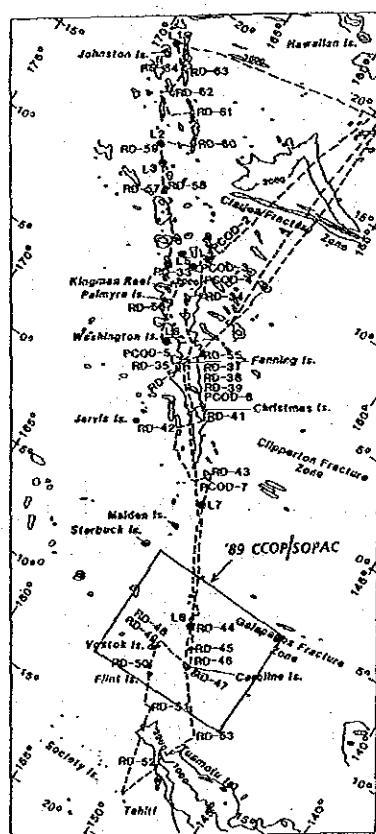
4章 調査結果・II (コバルトクラスト)

4-1 海山の地形

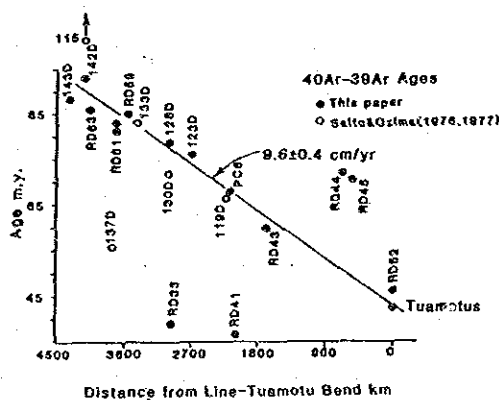
コバルトクラスト調査の対象となった6海山は、いずれもライン諸島列に属する。3-1の1)でも述べたように当海域のライン諸島列は2系列からなり、このうちSC01~04海山は東側の海山列に、またSC05~06海山は、西側の海山列に属する。

ライン諸島列の成因については、従来精度の高い年代データが得られなかったこともあり、多くの説が提案されていた。しかし最近になってSchlanger et al. (1984)は、 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ の total fusion method が有効であることを示し、ライン諸島全域における信頼性の高い年代測定結果を公表した。図4-1-1にその測定結果を示す。彼らのデータによれば、当海域のほぼ中央部で $71.9 \pm 1.4\text{Ma}$ 及び $70.5 \pm 1.1\text{Ma}$ という値を示し、ライン-ツアモツ屈曲点からの距離が遠ざかるにつれて、各海山の年代が古くなるという傾向の存在することが明らかにされた。またカロリン島でのドレッジによって、始新世~鮮新世/更新世と同定された珊瑚礁石灰岩が得られた (Schlanger et al., 1984)。

Epp (1984)は、上述の年代測定結果をもとに、ライン諸島列は、130Ma から67Maの間に Pacific/Farallon 拡大軸とホットスポットが相互に干渉した結果、形成されたとするモデルを提唱した。



Sampling point (RD:dredge)



(注) datingの方法は、 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ の total fusion method.

(注) Schlanger et al. (1984)より引用

図4-1-1 ライン諸島列の年代測定結果

1) 海山の分類及び地形区分

調査の対象となった6海山は、前述のようにいずれもライン諸島列に属しており、海山の分類上は尖頂海山に属すると考えられる。ただし、SC01海山は海嶺状を呈しており、またSC05海山は卓礁(table reef)に分類されると考えられる。当海域では典型的な平頂海山(ギョー)に該当するものが見られなかったが、SC01、SC02、SC03の山頂部には、小規模ではあるが平坦面が存在し、SC02海山からは多数のサンゴ片が採集された。従ってこれらの山頂平坦面は海面付近での造礁作用と波食によって形成され、その後の山体の急激な沈降において保存されたものと推定される。その意味では、SC01、02、03海山は小規模な平頂海山に分類することも可能である。

海山のタイプ分類を表4-1-1にまとめておく。

表4-1-1 海山のタイプ分類

海山タイプ	形状の特徴
尖頂海山	尖塔状もしくは海嶺状を呈する。
平頂海山 (ギョー)	山頂に水平な平坦面が発達する。

次に海山毎の地形区分は表4-1-2のように定義した。

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が緩やかな部分。
	肩部	山頂部中央部と斜面上部間の傾斜漸移帯。
斜面部	上部	斜面部上方の傾斜が急峻な部分。
	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。
	下部	斜面中部下方の傾斜が緩やかな部分。

上表の分類に基づいた、各海山の斜面積と平均傾斜の一覧表を表4-1-3に示す。

表4-1-3 海山別の地形区分と勾配分布

SC01海山(北)	水深範囲	斜面積	平均傾斜	最 小	最 大	0-10°	10-20°	20-30°	30° <
山頂部	0-2,000m	61.60ka	7.1°	1.0°	17.4°	77.0%	23.0%	.0%	.0%
斜面上部	2,000-3,000m	340.76	10.8°	1.4°	20.1°	38.9%	60.5%	.6%	.0%
中部	3,000-4,000m	604.90	9.2°	.4°	22.5°	54.8%	44.2%	1.0%	.0%
下部	4,000-	1052.08	5.2°	.0°	16.5°	83.2%	16.8%	.0%	.0%
SC01海山(南)	水深範囲	斜面積	平均傾斜	最 小	最 大	0-10°	10-20°	20-30°	30° <
山頂部	0-2,000m	96.58	9.2°	.5°	20.2°	61.1%	37.9%	1.1%	.0%
斜面上部	2,000-3,000m	300.51	12.7°	.7°	23.8°	30.1%	61.6%	8.2%	.0%
中部	3,000-4,000m	647.96	10.3°	.5°	22.1°	48.7%	50.9%	.3%	.0%
下部	4,000-	1020.04	5.8°	.1°	18.8°	82.2%	17.8%	.0%	.0%
SC02海山	水深範囲	斜面積	平均傾斜	最 小	最 大	0-10°	10-20°	20-30°	30° <
山頂部	0-1,500m	25.14	8.5°	.4°	27.3°	64.6%	31.3%	4.0%	.0%
斜面上部	1,500-2,500m	232.54	13.8°	.7°	28.5°	28.8%	54.7%	16.5%	.0%
中部	2,500-3,500m	755.66	12.3°	.1°	28.7°	33.4%	57.6%	9.0%	.0%
下部	3,500-	3123.99	5.6°	.0°	39.4°	84.6%	13.0%	2.2%	.3%
SC03海山	水深範囲	斜面積	平均傾斜	最 小	最 大	0-10°	10-20°	20-30°	30° <
山頂部	0-1,500m	18.37	9.8°	1.0°	23.2°	58.3%	38.9%	2.8%	.0%
斜面上部	1,500-2,500m	237.31	13.6°	.5°	26.4°	20.1%	69.5%	10.3%	.0%
中部	2,500-3,500m	690.82	11.8°	.2°	27.9°	37.6%	55.1%	7.3%	.0%
下部	3,500-	1831.02	6.2°	.0°	31.1°	78.6%	20.4%	1.0%	.0%
SC04海山	水深範囲	斜面積	平均傾斜	最 小	最 大	0-10°	10-20°	20-30°	30° <
山頂部	0-1,700m	62.26	10.1°	.4°	25.0°	51.2%	43.4%	5.3%	.0%
斜面上部	1,700-2,500m	102.31	18.3°	2.0°	34.2°	10.1%	49.0%	38.9%	2.1%
中部	2,500-3,500m	276.43	16.3°	.5°	35.7°	10.8%	65.9%	23.2%	.1%
下部	3,500-	1025.04	7.3°	.0°	32.9°	71.0%	26.0%	3.0%	.0%
SC05海山	水深範囲	斜面積	平均傾斜	最 小	最 大	0-10°	10-20°	20-30°	30° <
山頂部	0-500m	1.02	12.1°	12.1°	12.1°	.0%	.0%	.0%	.0%
斜面上部	500-2,000m	164.36	17.1°	1.4°	28.3°	16.7%	46.2%	37.2%	.0%
中部	2,000-3,500m	575.07	12.9°	1.2°	23.9°	26.0%	67.6%	6.5%	.0%
下部	3,500-	3530.69	4.4°	.0°	23.5°	89.8%	10.1%	.1%	.0%
SC06海山	水深範囲	斜面積	平均傾斜	最 小	最 大	0-10°	10-20°	20-30°	30° <
山頂部	0-1,500m	6.15	11.9°	3.1°	16.6°	16.7%	83.3%	.0%	.0%
斜面上部	1,500-2,500m	63.44	18.3°	5.0°	25.4°	6.7%	50.0%	43.3%	.0%
中部	2,500-3,500m	137.65	17.4°	4.6°	24.5°	4.6%	67.2%	28.2%	.0%
下部	3,500-	2762.53	3.8°	.0°	23.8°	91.9%	8.0%	.1%	.0%

2) 各海山の地形特徴

海山別の地形特徴の一覧表を、表4-1-4に示す。またSC01~06海山の地形平面図と代表的な地形断面図を別添第20図に示す。また全海山の鳥瞰図を図4-1-2に示す。以下各海山の地形特徴について述べる。

(SC01海山)

山頂水深 1,200~1,590mのNW~SE方向の海嶺状を呈する尖頂海山である。2海山が合体したような形状を示すため便宜上北側と南側にわけ、それぞれSC01(N)海山、SC01(S)海山とした。SC01(N)海山の山頂は平坦である。山体の傾斜は比較的緩やかで、 10° ~ 15° 前後である。

(SC02海山)

山頂水深 1,040mの小規模な尖頂海山である。N-S方向の長軸が見られ、北部に1,685mの小海山が分布する。また北東10マイル付近にも1,920mの小海山が見られる。山頂部に比高300mのピナクルが形成されている。

山体の傾斜は 15° ~ 20° で、山頂部は平坦である。

(SC03海山)

山頂水深 1,140mの小規模な尖頂海山である。本海山の南東20マイルにも1,520mの小海山が分布する。海図によれば、これらの両海山の間にMerlin Seamount(1,370m)が存在することになっている。従って海図作成時に測深データが少なかったため、両海山を一つの海山とみなしてしまったと考えられる。山頂部は平坦であるが、比高100mのダイク状ピナクルが一ヶ所で見られる。

(SC04海山)

山頂水深は805mと、今回調査した海山では最も浅い。平面的な形状は星形で不規則である。1,600m付近に平坦面が発達する。山体傾斜は 20° ~ 25° とやや急である。

(SC05海山) —— Flint島

珊瑚礁の分類上、卓礁(table reef)に属する。NW~SE方向に細長い形状を示す。本島は、ライン諸島列に属する最南端の島である。北西20マイルに位置する水深2,970mの小海山と連続し、西方20マイルにも、水深1,970mの未記載の海山が分布する。山体の傾斜は 15° ~ 20° である。

(SC06海山)

山頂水深 1,130mの小規模な尖頂海山である。山頂部は狭く、ピナクルは見られない。山体の傾斜は 20° 前後とやや急である。

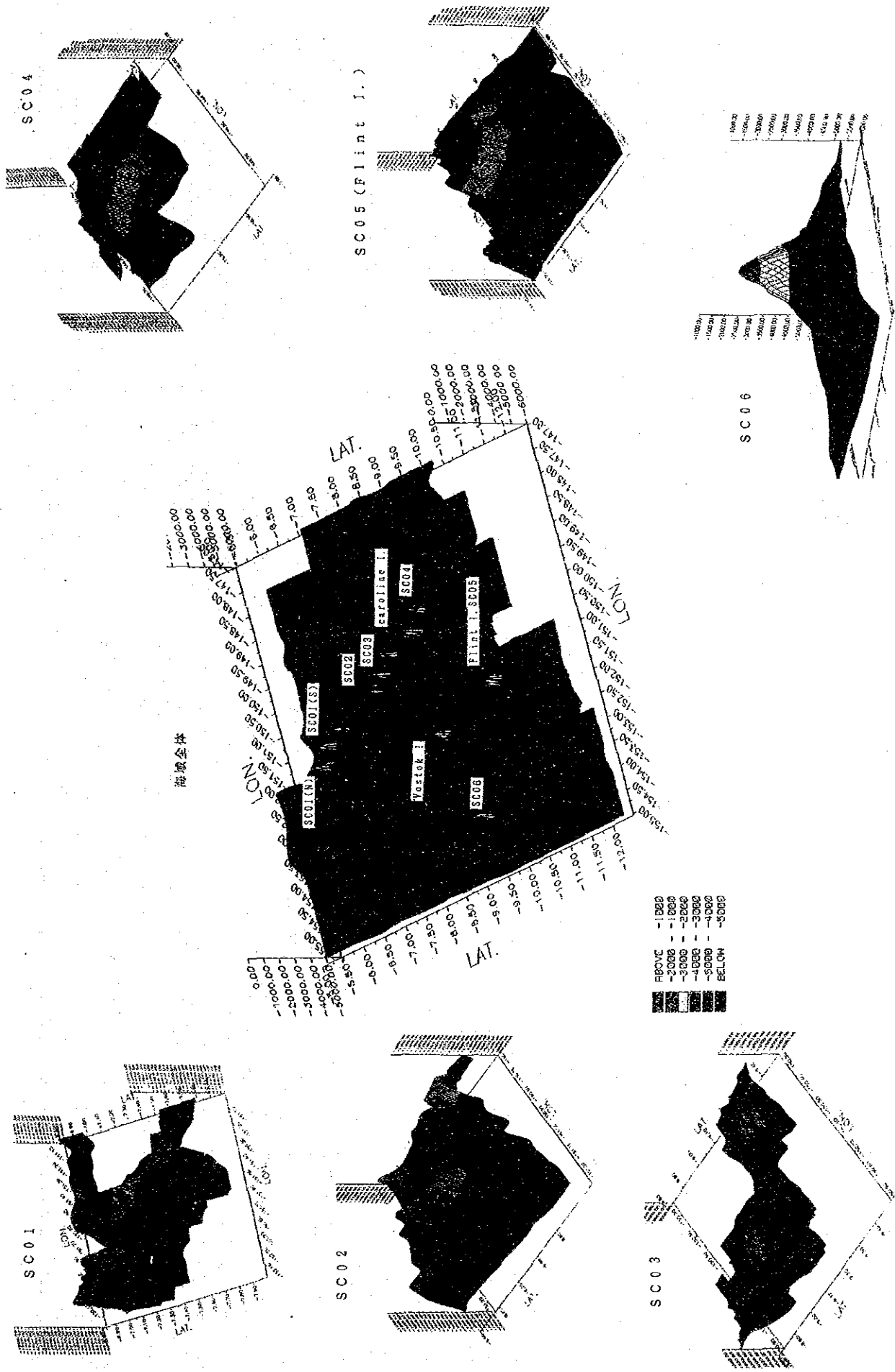


图 4-1-2 海山鳥瞰圖

表 4 - 1 - 4 各海山地形特徴(1)

海山名	巨視的地形	微地形
SC01 (N)	位置 7° 20' S, 151° 52' W タイプ 尖頂海山 規模*1 16×47km 測深範囲 1,590~5,000m 山頂部の拡がり 5×5 km 斜面上部傾斜 11° (1°~20°) 斜面中部傾斜 9° (0°~23°) 斜面下部傾斜 5° (0°~17°) その他 NW~SE方向に海嶺状に連続, 山頂部平坦。	SBP データ 山頂部に20m前後の透明層を伴うT-TYPEが局部的に分布, 0~H-TYPEが卓越。 2,400 m以浅の斜面積 141km ² 山頂部の斜面積 62km ² 斜面の斜面積 79km ² その他
SC01 (S)	位置 7° 33' S, 151° 32' W タイプ 尖頂海山 規模*1 17×42km 測深範囲 1,200~5,000m 山頂部の拡がり 5×5 km 斜面上部傾斜 13° (1°~24°) 斜面中部傾斜 10° (1°~22°) 斜面下部傾斜 6° (0°~19°) その他 NW~SE方向に海嶺状に連続, 山頂部平坦。	SBP データ 山頂部に20m前後の透明層を伴うT-TYPEが局部的に分布, 0~H-TYPEが卓越。 2,400 m以浅の斜面積 179km ² 山頂部の斜面積 97km ² 斜面の斜面積 82km ² その他 山頂に比高 400mのピナクル。
SC02	位置 8° 52' S, 150° 57.5' W タイプ 尖頂海山 規模*1 10×24km 測深範囲 1,040~4,000m 山頂部の拡がり 5×5 km 斜面上部傾斜 14° (1°~29°) 斜面中部傾斜 12° (0°~29°) 斜面下部傾斜 6° (0°~40°) その他 N~S方向に長軸, 北部に1685mの小海山。山頂平坦。	SBP データ 山頂部に10~40mの透明層を伴うT-TYPEが局部的に分布, 0~H-TYPEが卓越。 2,400 m以浅の斜面積 217km ² 山頂部の斜面積 25km ² 斜面の斜面積 192km ² その他 山頂に比高 300mのピナクル。
SC03	位置 9° 05' S, 150° 43' W タイプ 尖頂海山 規模*1 15×15km 測深範囲 1,140~4,500m 山頂部の拡がり 4×4 km 斜面上部傾斜 14° (1°~26°) 斜面中部傾斜 12° (0°~28°) 斜面下部傾斜 6° (0°~31°) その他 山頂部は平坦。	SBP データ 山頂部に70m前後の透明層を伴うT-TYPEが分布, その他では0~H-TYPE。 2,400 m以浅の斜面積 219km ² 山頂部の斜面積 18km ² 斜面の斜面積 201km ² その他 山頂に比高 100mのダイク状ピナクル。
SC04	位置 10° 11' S, 149° 49' W タイプ 尖頂海山 規模*1 18×15km 測深範囲 805~4,500m 山頂部の拡がり 1×1 km 斜面上部傾斜 18° (2°~34°) 斜面中部傾斜 16° (1°~36°) 斜面下部傾斜 7° (0°~33°) その他 形状は不規則 1,600m付近に平坦面発達。	SBP データ 山頂部の南側平坦面で20~50mの透明層を伴うT-TYPEが分布, その他では0~H-TYPEが卓越。 2,400 m以浅の斜面積 145km ² 山頂部の斜面積 62km ² 斜面の斜面積 83km ² その他

*1 頂部と基底部の半値水深の範囲。斜面の水深区分は表 4 - 1 - 3 参照。

表 4 - 1 - 4 各海山地形特徴(2)

海山名	巨視的地形	微地形
SC05 flint 島	位置 11° 25' S, 151° 50.0' W タイプ 卓 礁 規模*1 28×10km 測深範囲 0 ~ 4,500m 山頂部の拡がり 4 × 1 km 斜面上部傾斜 17° (1° ~ 28°) 斜面中部傾斜 13° (1° ~ 24°) 斜面下部傾斜 4° (0° ~ 24°) その他 NW ~ SE 方向の長軸, 北西 20マイルの小海山と連続。	SBP データ 斜面にスランピング構造 を示すサイドエコー。 2,400 m 以浅の斜面積 253km ² 山頂部の斜面積 1 km ² 斜面の斜面積 252km ² その他
SC06	位置 10° 30' S, 154° 12' W タイプ 尖頂海山 規模*1 15×12km 測深範囲 1,130 ~ 4,700m 山頂部の拡がり 2 × 2 km 斜面上部傾斜 18° (5° ~ 25°) 斜面中部傾斜 17° (5° ~ 25°) 斜面下部傾斜 4° (0° ~ 24°) その他	SBP データ 0 ~ H-TYPEのみ。 T-TYPEは見られない。 2,400 m 以浅の斜面積 58km ² 山頂部の斜面積 6 km ² 斜面の斜面積 52km ² その他

*1 頂部と基底部の半値水深の範囲。斜面の水深区分は表 4 - 1 - 3 参照。

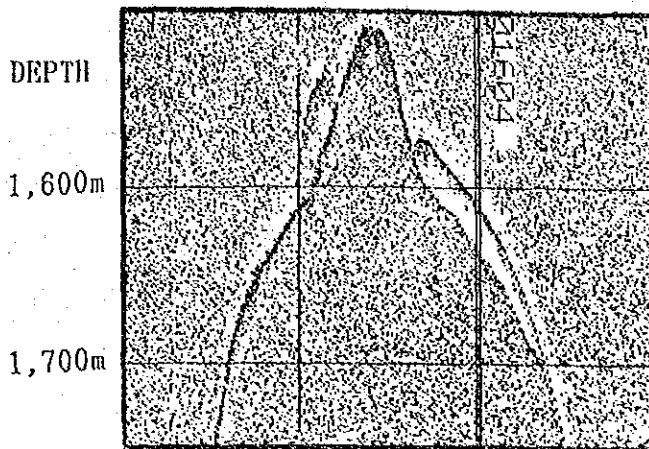
3) SBPのタイプ分類

コバルトクラスト調査の対象とした海山において認められたSBPタイプは次の3種類である。代表例を図 4 - 1 - 3 に示す。

- ・最上部に透明層が認められるタイプ……………Tタイプ
- ・不透明層からなるタイプ……………Oタイプ
- ・回折による双曲線カーブからなるタイプ……………Hタイプ

これらの各タイプのうちTタイプは、SC01~SC04海山の山頂部で局部的に認められたにすぎなかった。透明層の厚さも10~70mと比較的薄いのが特徴である。

一方、OとHタイプは全ての海山の山頂部~斜面部にかけて卓越する。一般に典型的な平頂海山(ギョー)では、山頂部に50~100mの厚さの透明層を示すTタイプが広く発達する場合が多い。しかし当海域では山頂部が比較的平坦な海山(SC01, 02, 03海山)においても、Tタイプの分布は局部的であり、尖頂海山としての特徴が出ていると判断される。なお、これらのSBPタイプのうちTタイプの分布域は未固結堆積物に対応し、Oタイプはコバルトクラスト、石灰岩、玄武岩などに対応すると考えられる。また、Hタイプは地形の影響を反映し、透明か不透明かによってTタイプとOタイプにおける底質との対応に準じる場合が多い。



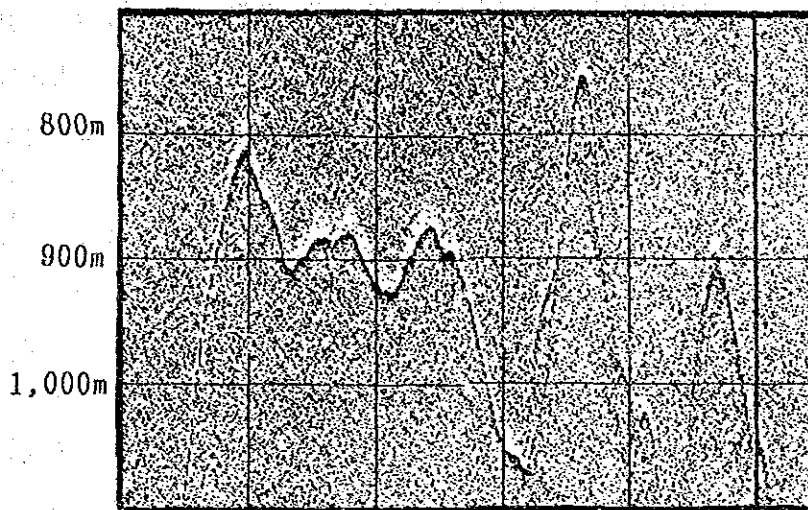
Type T

Line 89S0927N

07° 34' S

151° 31' W

SC-01



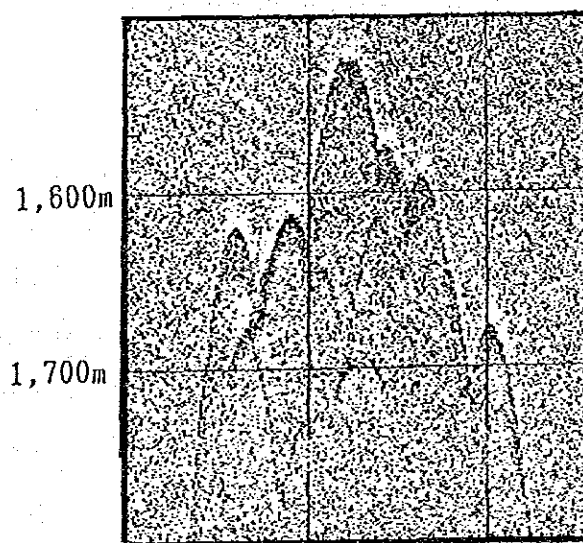
Type O

Line 89S1006N

09° 53' S

150° 15' W

Caroline I.



Type H

Line 89S1002N

09° 03' S

150° 38' W

SC-03

図 4 - 1 - 3 海山SBPプロファイル

4-2 海山の地質

1) 地質概要

今年度の調査対象となった6海山は、その形状より尖頂海山(SC01~SC04海山、SC06海山)と海面上に姿を現わした卓礁(SC05海山: Flint島)に区分される。

ドレッジによるサンプリング及びFDC調査結果などから判断すると、各海山は玄武岩、ハイアロクラスタイト、火山碎屑岩類、古期堆積物、石灰岩を主要構成岩石とし、これらを被覆して有孔虫砂、有孔虫軟泥からなる未固結堆積物が広く分布している。

各海山の地質概要を表4-2-1に、そして各海山の地質及びコバルトクラストの分布図を別添第21図(1)~(6)に示す。

玄武岩、ハイアロクラスタイト、火山碎屑岩類は各海山の基盤を形成していると考えられ、尖頂海山では山頂部から斜面中部に至る広い範囲で採取されている。また、卓礁のFlint島でも斜面上部の水深1,200m以深からかなりの量の玄武岩、ハイアロクラスタイト、火山碎屑岩類を採取している。玄武岩類は一般に発泡し、気孔に富むことから、海山は現在よりも浅海(一部は陸上?)で生成したことが推定される。

古期堆積物はシルト岩や石灰質砂岩からなり、SC04海山の北西斜面と南東斜面から採取された。

石灰岩は玄武岩、ハイアロクラスタイト、火山碎屑岩類とともに、海山を構成する主要構成岩石であり、海山の山頂や斜面上部に卓越して分布している。特に卓礁のFlint島では、斜面上部の水深1,200m以浅では石灰岩だけが採取されている。石灰岩には造礁性サンゴからなるものと有孔虫や石灰藻などの微化石からなるものの二種類がある。前者は卓礁のFlint島からのみ採取され、表面に成長するクラスタタイプはコーティング状に限られている。一方、後者はすべての海山から採取され、リン酸塩化し、クラスタ状やスラブ状のクラスタの母岩、あるいは核として存在する場合が多い。

リン酸塩岩はすべての海山から採取され、ハイアロクラスタイトや火山碎屑岩類の基質部や石灰岩を交代している。

未固結堆積物は有孔虫軟泥からなり、山頂の平坦部や斜面のテラスなどの地形的に起伏の乏しい場所に卓越して分布する。FDC観察によれば、山頂部や斜面上部に分布する未固結堆積物上にはリップルマークが発達し、このリップルマークから推定される底層流の方向はSC02海山ではSW→NE、SC03海山でWNW→ESE~NW→SEそしてSC04海山ではN→S~NNW→SSEである。しかし水深が増すにつれて未固結堆積物はスランピング堆積物に移化し、リップルマークは認められなくなる。

2) 岩石記載

(1) 肉眼的特徴と顕微鏡観察

採取した岩石の中から13サンプルを選定して薄片を作成し、偏光顕微鏡下で観察した。

表 4 - 2 - 1 海山別地質状況(1)

海山名	サンプリングデータ
S C O 1	岩石・玄武岩・ハイアロクラスタイト ・火山碎屑岩類 ・石灰岩 ・未固結堆積物
	特徴・玄武岩、ハイアロクラスタイトが卓越する。玄武岩は角閃石？の斑晶を含む。火山碎屑岩類は玄武岩質で、基質はリン酸塩岩により交代されている。 ・玄武岩の円磨礫を採取。同礫は汀線付近で円礫されたと推定される。 ・石灰岩は礁性堆積物からなり、有孔虫、二枚貝などの化石を含む。石灰岩は程度の違いはあるものの、リン酸塩化作用を受けている。 ・山頂部からの採取量はクラスト・岩石とも少なく、未固結堆積物が卓越していると推定される。 ・クラストタイプは礫状が多く、スラブ状・クラスト状を伴う。
S C O 2	岩石・玄武岩・ハイアロクラスタイト ・火山碎屑岩類 ・石灰岩 ・未固結堆積物
	特徴・玄武岩、ハイアロクラスタイトが卓越する。玄武岩は発泡して杏仁状を呈するものが多い。火山碎屑岩類は玄武岩質で、基質はリン酸塩岩により交代されている。 ・石灰岩は礁性堆積物からなり、有孔虫などの化石を含む。石灰岩は純粋なものもあるが、リン酸塩化作用を受けているものが多い。 ・水深 1,500m 以浅では岩石は石灰岩のみを採取。 ・玄武岩は海山の西部に卓越して分布する。 ・クラストタイプはクラスト状が多く、スラブ状、礫状、ノジュール状を伴う。
S C O 3	岩石・玄武岩・ハイアロクラスタイト ・火山碎屑岩類 ・石灰岩 ・未固結堆積物
	特徴・石灰岩が卓越する。石灰岩は礁性堆積物からなり、有孔虫、二枚貝などの化石を含む。石灰岩は程度に違いはあるもののリン酸塩化作用を受けている。底生生物の穿孔穴の発達するものが多い。 ・玄武岩は無斑晶のもの、輝石の斑晶を含むものなど数種類のものが存在する。南斜面の水深 2,000m 付近からは、発泡して杏仁状を呈する玄武岩の円礫を多量に採取した。 ・海山の北西部、南東部で層理を有する細粒の凝灰岩を採取。 ・クラストタイプはクラスト状が多く、ノジュール状、礫状を伴う。

表 4 - 2 - 1 海山別地質状況(2)

海山名	サンプリングデータ
S C O 4	岩石・玄武岩・ハイアロクラスタイト ・火山砕屑岩類 ・古期堆積物 ・石灰岩 ・未固結堆積物
	特徴・石灰岩が卓越する。石灰岩は礁性堆積物からなり、有孔虫、二枚貝、巻貝などの化石を含む。玄武岩の角礫を含む場合もある。石灰岩は程度に違いはあるものの、リン酸塩化作用を受けていることが多い。 ・玄武岩は発泡して杏仁状を呈するが多い。 ・山頂部（水深 1,700m 以浅）では岩石は石灰岩だけを採取。 ・海山の西部、東部で層理を有する細粒の凝灰岩を採取。 ・海山の南西部、北部で褐色を呈する細粒の砂岩（一部は石灰質）を採取。 ・クラストタイプはクラスト状が多く、礫状、スラブ状、ノジュール状を伴う。
S C O 5	岩石・玄武岩・ハイアロクラスタイト ・火山砕屑岩類 ・石灰岩 ・未固結堆積物
	特徴・石灰岩が卓越する。石灰岩は礁性堆積物からなり、造礁性サンゴ、有孔虫、二枚貝などの化石を含む。石灰岩は程度に違いはあるものの、リン酸塩化作用を受けている。底生生物による穿孔穴の発達するものが多い。 ・玄武岩は発泡して杏仁状を呈するが多い。 ・水深 1,200m 以浅では岩石は石灰岩だけを採取。 ・クラストの発達が悪く、厚さ 1mm 以下のコーティング状のクラストが多い。水深が深くなるにつれてコーティング状のクラストとともにクラスト状のクラストが分布する。
S C O 6	岩石・玄武岩・ハイアロクラスタイト ・火山砕屑岩類 ・石灰岩 ・未固結堆積物
	特徴・玄武岩、ハイアロクラスタイトが卓越する。玄武岩は発泡して杏仁状を呈するが多い。 ・海山の西部で採取した玄武岩、火山砕屑岩類の輝石の大きい斑晶（最大径は約 1cm）を含む。 ・石灰岩は礁性堆積物からなり、有孔虫などの化石を含む。石灰岩は程度に違いはあるものの、リン酸塩化作用を受けていることが多い。他の海山に比べて石灰岩の割合が少ない。 ・クラストタイプはクラスト状が多く、スラブ状を伴う。

顕微鏡観察したサンプルはX線回折も実施し、含有鉱物の同定を行った。代表的な岩石の写真を図4-2-1に、顕微鏡観察による岩石名とX線回折結果を表4-2-2に、そして顕微鏡写真を図4-2-2に示す。

① 玄武岩

〔肉眼的特徴〕： 構造及び斑晶の組み合わせから複数の種類の玄武岩が存在すると考えられる。玄武岩は肉眼的に強弱の差はあるものの、粘土化変質やリン酸塩化などを受けているものが多い。しかし、サンプルによっては新鮮なガラス質のものもあり、新しい時期の活動が推察される。玄武岩は全般に杏仁状構造が発達し、気孔に富み、気孔内は沸石や方解石で充てんされている場合が多い。

海山によっては枕状溶岩と推定される楕円体の形態を有するものも採取され、その分布はFDC観察でも確認されている。

〔顕微鏡観察〕： 斑晶鉱物としては斜長石、普通輝石、チタン普通輝石などが認められるが、有色鉱物の変質（X線回折によりモンモリロナイトが検出）が著しく、岩石名を明確にすることはできなかった。

石基は斜長石、普通輝石、ガラス、不透明鉱物などからなる。不透明鉱物はガラスと共存し、多くは針鉄鉱化している。石基は嶺間状組織を呈するが、これは水中急冷の組織としては通常観察されないもので、陸上生成の可能性も考える必要がある。

気孔内は方解石により充てんされていることが多いが、沸石（灰十字沸石？）が充てんする場合もある。

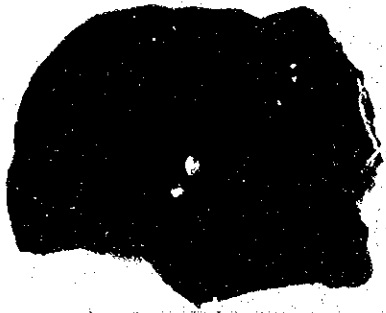
② ハイアロクラスタイト

〔肉眼的特徴〕： ハイアロクラスタイトは玄武岩、火山砕屑岩類に伴って海山の山頂部から斜面中部に至る広い範囲から採取されている。

火山砕屑岩類との区別は基質部が礫と同質か、異質なものを含むかで判断したが、基質部が粘土化したり、リン酸塩化して識別に困難なものが多い。

〔顕微鏡観察〕： ハイアロクラスタイトはガラス質組織が顕著である。礫部は玄武岩溶岩の破片からなり、斜長石、普通輝石の斑晶を含む。基質部は非晶質シリカゲル～細粒カルセドニーからなるがモンモリロナイトなどの粘土鉱物に変質したり、リン酸塩化していることが多い。不透明鉱物の多くは針鉄鉱化している。

X線回折では斜長石、モンモリロナイト、カオリナイト、灰十字沸石、方解石、そして針鉄鉱が検出されている。



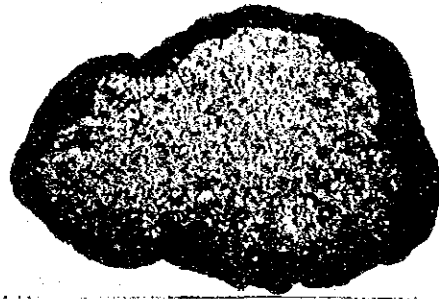
(a)玄武岩 (測点89SC04AD06)



(b)玄武岩 (測点89SC02AD04)



(c)凝灰角礫岩
(測点 89SC04AD07)



(d)ハイアロクラスタイト
(測点89SC01AD03)



(e)凝灰岩
(測点89SC03AD01)

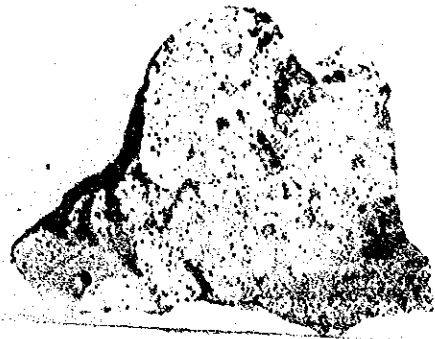


(f)凝灰岩
(測点89SC04AD06)

図 4 - 2 - 1 採取岩石(I)



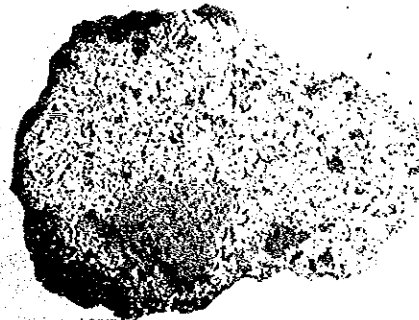
(g) 砂 岩
(測点89SC04AD05)



(h) 石灰岩
(測点89SC03AD01)



(i) 石灰岩
(測点89SC01AD03)



(j) 石灰質砂岩 (ビーチロック?)
(測点89SC04AD09)



(k) リン酸塩岩
(測点89SC04AD03)

図 4 - 2 - 1 採取岩石(2)

表4-2-2 岩石のX線回折結果

No.	試料名	岩石名*	P ℓ	Mo	Ka	Ph	Ap	Ca ℓ	Goe
1	89SC02AD04	発泡質玄武岩	卄	+				+	
2	89SC04AD06 (C)	発泡質玄武岩	卄	±					
3	89SC04AD09 (A)	玄武岩	卄						
4	89SC05AD05	発泡質チタン輝石玄武岩	卄						
5	89SC02AD06	方解石網状ハイロクタイト						卄	+
6	89SC03AD01	エンゼライト化ハイロクタイト		卄					
7	89SC04AD07 (A)	ハイロクタイト～シカガ相	卄	+		+			
8	89SC06AD08	変質ハイロクタイト～シカガ相		+		卄			
9	89SC02AD02	変質ハイロクタイト～シカガ相		±	±	+	+		
10	89SC02AD02 (A)	含微化石・炭酸塩岩					+	+	
11	89SC02AD08	褐鉄鉱汚染微化石岩					卄		
12	89SC04AD03 (A)	含微化石多孔質シリカ土		±		+			

*1 顕微鏡鑑定による。

凡例 P ℓ : 斜長石 Mo: エンゼライト Ka: カリウム Ph: 灰十字沸石 Ap: リン灰石 Ca ℓ : 方解石
Goe: 針鉄鉱

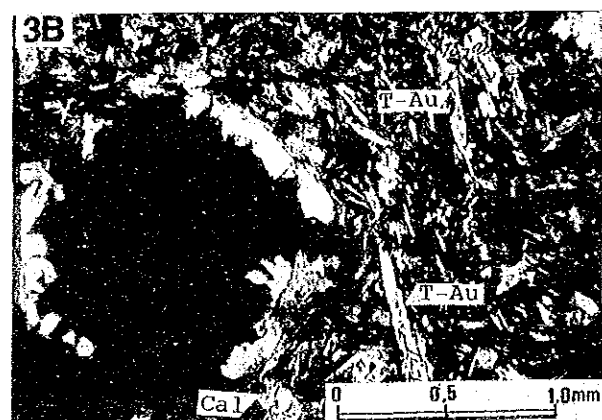
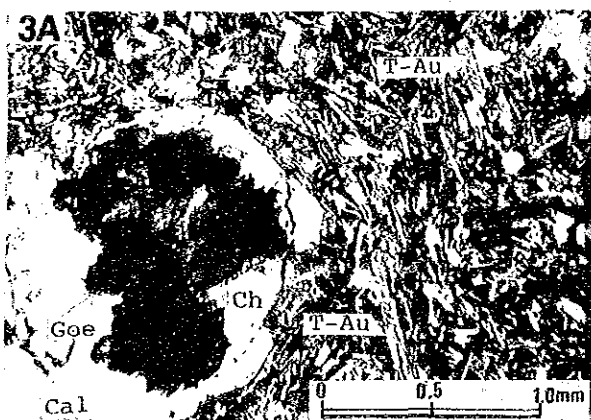
卄: 回折線強度の非常に強いもの

+: 回折線強度の弱いもの

卄: 回折線強度の強いもの

±: 回折線強度が微弱または存在が不確実なもの

条件: Cu-モノクロメーター 35kV, 20mA。

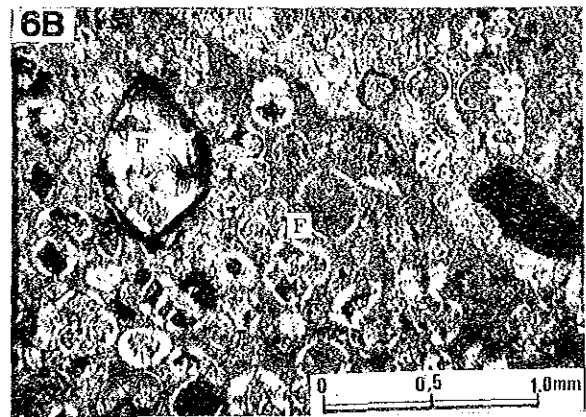
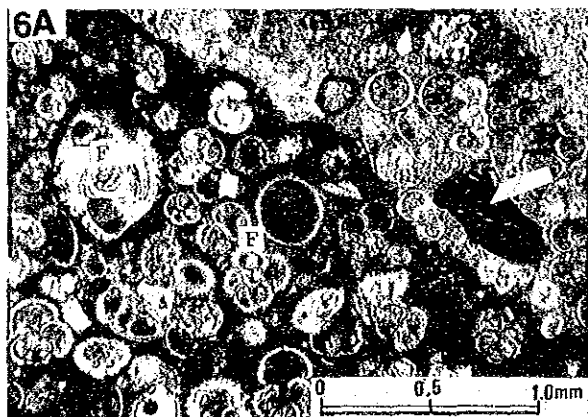
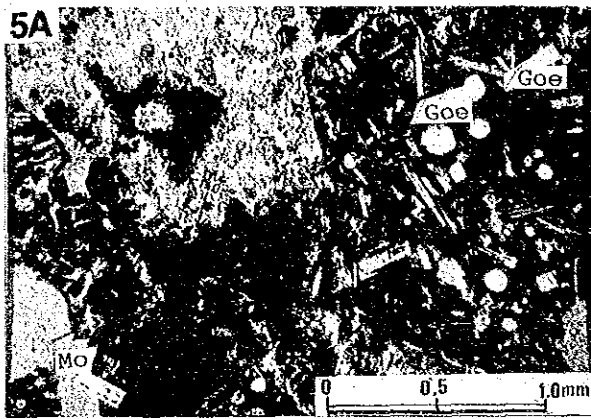
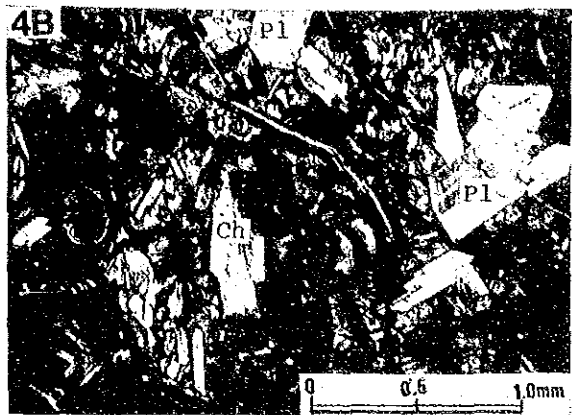
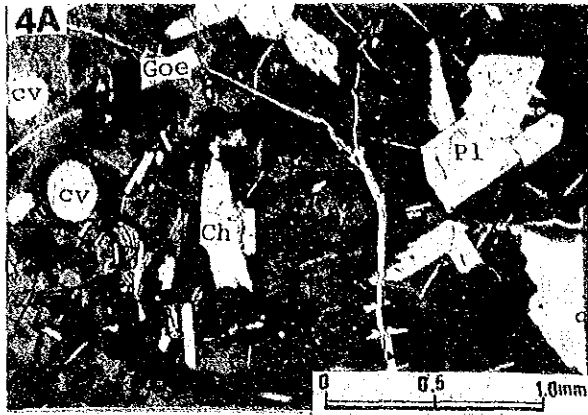


オープンニコル

クロスニコル

- 凡例 Pl : 斜長石 Au : 普通輝石 T-Au : チタン普通輝石 Ch : 緑泥石
 Cal : 方解石 Hm : 赤鉄鉱 Goe : 針鉄鉱 Gl : ガラス Cv : 気孔
 1 A, B : 89SC04AD06(C) 発泡質玄武岩
 2 A, B : 89SC04AD09(A) 玄武岩
 3 A, B : 89SC05AD05 発泡質チタン輝石玄武岩

図4-2-2 岩石の顕微鏡写真(I)



オープンニコル

クロスニコル

- 凡 例 Pl : 斜長石 Ch : 緑泥石 Mo : モンモリロナイト Goe : 針鉄鉱
 F : 化石 Cv : 気孔
- 4 A, B : 89SC04AD07(A) ハイアロクラスタイト～シリカゲル相
 5 A, B : 89SC02AD02 変質ハイアロクラスタイト～シリカゲル相
 6 A, B : 89SC02AD02(A) 含微化石・炭酸塩岩

図 4 - 2 - 2 岩石の顕微鏡写真(2)

③ 火山碎屑岩類

〔肉眼的特徴〕： 火山碎屑岩類は凝灰角礫岩，凝灰岩などからなり，玄武岩，ハイアロクラスタイトに伴って海山の山頂部から斜面中部に至る広い範囲から採取している。

凝灰角礫岩は玄武岩の角礫～亜角礫を有し，基質部は粘土化したり，リン酸塩化している場合が多い。

SC03海山や，SC04海山では黄緑色を呈し，層理を有する細粒の凝灰岩が採取されている。特に，SC04海山で採取した凝灰岩は石灰岩中に礫として含まれており，石灰岩に先立つ活動で生成されたものもあることを示している。

④ 古期堆積物

〔肉眼的特徴〕： 古期堆積物は暗褐色～黄白色を呈する石灰質砂岩からなり，凝灰岩を少量混じえる。SC04海山の北西斜面と南東斜面から採取された。

⑤ 石灰岩

〔肉眼的特徴〕： 石灰岩には造礁性サンゴ起源と，有孔虫や石灰藻などを起源とするものとの二種類が存在する。造礁性サンゴ起源の石灰岩は比較的緻密質でリン酸塩化の程度は弱い。一方，後者は軟質で底生生物の穿孔した穴が発達し，リン酸塩化作用を強く被ることが多い。

船上で，石灰岩とリン酸塩岩との区分は塩酸で発泡するか否かで判断した。

〔顕微鏡観察〕： 有孔虫を起源とする石灰岩は多量の有孔虫化石（多くは径0.5～0.1mm）と少量の珪藻化石を含む。また，程度に差異はあるもののリン酸塩化作用を受けており，その度合により弱いものを石灰岩，強いものをリン酸塩岩と区分する。

少量の火山碎屑岩片を含み，岩片は針鉄鉱化が著しい。

⑥ リン酸塩岩

〔肉眼的特徴〕： 石灰岩に比べてやや淡褐色を帯び，緻密質である。ハイアロクラスタイトや火山碎屑岩類の基質部及び石灰岩などを交代して生成したと考えられ，特に岩石とクラストとの境界部付近が強くリン酸塩化する傾向にある。リン酸塩岩にはマンガン酸化物の浸み込みがみられる場合が多く，まれに古期クラスト片がリン酸塩岩中にとり込まれて存在する場合がある。

〔顕微鏡観察〕： 前述のようにリン酸塩化作用の強いものを石灰岩と区別した。石灰岩起源のものは有孔虫などの微化石を多量に含む。微化石は原組織を残しているものの，リン酸塩岩により完全に置換されていることが多い。

X線回折ではリン灰石，方解石が検出されている。

(2) X線回折

クラストに付着する物質や母岩の変質部分、付着物から5サンプルを選定し、X線回折を実施した。X線回折結果を表4-2-3に、そして回折チャートを図4-2-3に示す。

サンプルNo.1, No.2及びNo.5はクラスト母岩の空隙や割れ目を充てんする淡褐色の粘土で、粘性のあるなめらかな感触を有している。X線回折の結果ではリン灰石、方解石そしてアラレ石のピークが検出されている。

サンプルNo.3は岩石とクラストの間に挟在する白色の物質であり、サンプルNo.4は母岩を脈状に切る白色の物質である。これらからはいずれもリン灰石と方解石のピークが検出されており、フォスフォライトを主とするものと推定される。

(3) 化学分析

クラストや母岩に関連する物質のうち5サンプルを選定し、化学分析を実施した。分析結果を表4-2-4に示す。分析に供したサンプルはいずれも前述のX線回折を行ったサンプルに対応する。

サンプルNo.1, No.2及びNo.5は淡褐色を呈する粘土で多量のCaO (40.0 ~ 54.3%) とともに、SiO₂, Al₂O₃, Na₂O そしてP₂O₅などを含んでいるが、この中でP₂O₅が比較的富むことが特徴的と言える(0.2 ~ 8.8%)。

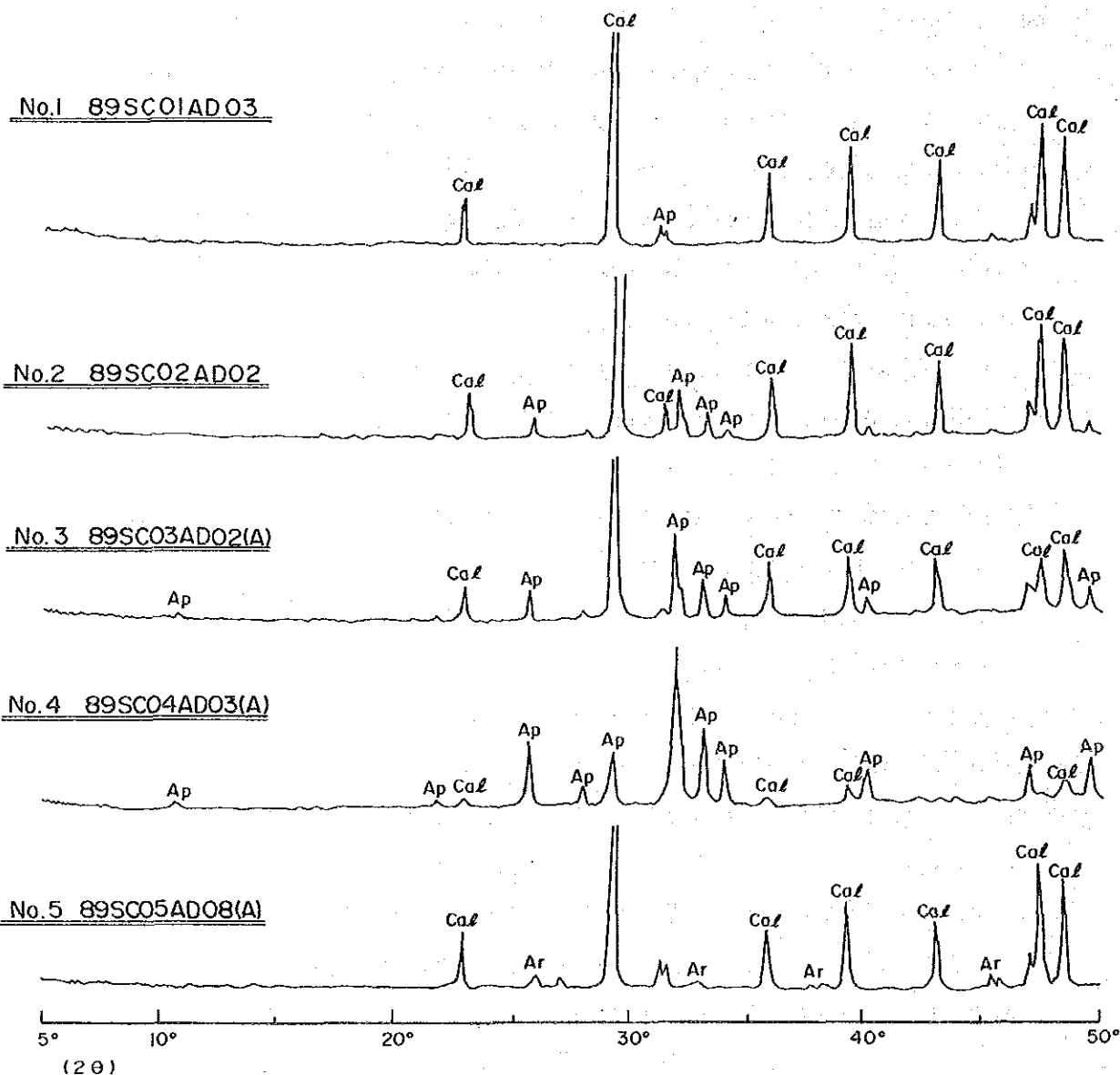
サンプルNo.3及びNo.4は白色の物質でNo.3はクラストと母岩の間に、また、No.4は母岩を脈状に切って存在する。多量のCaO (53.7 ~ 53.9%), P₂O₅ (8.8 ~ 31.3%) とともに若干のSiO₂, MgO, Na₂Oなどを含んでいる。

前述したように化学分析を行ったサンプルはX線回折を実施したサンプルに対応し、サンプルNo.1, No.2及びNo.3からはリン灰石、方解石、アラレ石が検出されている。したがってP₂O₅の分析値は粘土中に含まれるリン灰石に起因すると考えられる。分析に供したこれらの粘土は外観及び産状から判断して岩石の空隙や割れ目を充てんした有孔虫軟泥が起源と考えられる。有孔虫軟泥がどのような過程を経てP₂O₅を含む粘土に変化するかは不明である。しかし、X線回折及び化学分析の結果から推定すると軟泥化した有孔虫化石と風化し、土壌化した玄武岩が混合し、淡褐色の粘土を形成する。このとき、有孔虫軟泥からはCaCO₃が、そして玄武岩からはSiO₂, Al₂O₃, Na₂Oなどの成分がもたらされ、同時に海水中よりPイオンなどが吸着したものと推定される。リン灰石(Ca₅(PO₄)₃(OH, F, Cl))の生成については、吸着したPイオンが続成作用の過程で晶出したと考えられる。やがて同粘土は岩石の空隙や割れ目の中で固化し、フォスフォライトを形成すると推定される。

表 4 - 2 - 3 粘土・付着物の X 線回折結果

No.	サンプル名	Ap	Caℓ	Ar	備 考
1	89SC01AD03	±	卅		淡褐色粘土 (有孔虫軟泥)
2	89SC02AD02	±	卅		淡褐色粘土 (有孔虫軟泥)
3	89SC03AD02 (A)	+	卅		岩石とクラストの間に存在するリン酸塩岩
4	89SC04AD03 (A)	卅	±		リン酸塩岩
5	89SC05AD08 (A)		卅	±	淡褐色粘土 (有孔虫軟泥)

凡例 Ap: リン灰石 Caℓ: 方解石 Ar: アラレ石
 卅: 回折線強度の非常に強いもの ±: 回折線強度の強いもの
 +: 回折線強度の弱いもの ±: 回折線強度が微弱または存在が不確実なもの
 条件: Cu-モノクロメーター 45kV, 20mA



凡例 Ap: リン灰石 Caℓ: 方解石 Ar: アラレ石

図 4 - 2 - 3 粘土・付着物の X 線回折パターン

表 4 - 2 - 4 粘土・付着物の化学分析

(単位 %)

No.	サンプル名	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO
1	89SC01AD03	8.89	0.44	3.52	3.99	0.25	1.48	0.71	38.97
2	89SC02AD02	0.40	0.05	0.17	0.17	0.25	0.10	0.39	54.36
3	89SC03AD02 (A)	0.56	0.04	0.13	0.27	0.13	0.07	0.41	53.94
4	89SC04AD03 (A)	0.28	0.02	0.05	0.13	0.25	0.16	0.63	53.72
5	89SC05AD08 (A)	0.86	0.03	0.11	0.13	0.13	0.05	0.45	51.94

No.	BaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Ig-loss	備 考
1	0.09	1.82	0.41	1.35	37.66	淡褐色粘土 (有孔虫軟泥)
2	0.06	0.91	0.02	6.30	36.93	淡褐色粘土 (有孔虫軟泥)
3	0.42	0.55	0.01	8.75	34.22	岩石とクラストの間に存在するリン酸塩岩
4	0.02	1.49	0.02	31.30	11.56	リン酸塩岩
5	0.16	1.25	0.02	0.18	44.44	淡褐色粘土 (有孔虫軟泥)

3) 年代測定

海山の生成年代を推定するため、採取した玄武岩類のうちから極力新鮮なものを1サンプル選んで、K-Ar法(全岩)による年代測定を実施した。測定に使用したサンプルはSC04海山の斜面下部、水深3,115mから採取した玄武岩である。同サンプルは顕微鏡観察の結果、斜長石を斑晶に含む細粒玄武岩で、石基のガラスはスメクタイト化し、輝石などの有色鉱物は変質(スメクタイト化、赤鉄鉱化)していることが判明したが変質の程度から年代測定にはさしつかえないものと判断された。

年代測定結果は下記のとおりである。

サンプル番号	89SC04AD06
放射起源 ⁴⁰ Ar量	0.193±0.008 (×10 ⁻⁵ cc/g)
K-Ar年代	36.2±1.9 (Ma)

この年代測定結果はSC04海山の玄武岩の生成年代が古第三紀漸新世であったことを示唆している。

4-3 コバルトクラストの賦存状況

1) タイプ

コバルトクラストの肉眼的な形状・産状等の特徴や相違点等による分類基準（表4-3-1参照）を基に、当海域での採取試料及びFDCで観察したコバルトクラストを次の7種類にタイプ分けした。（図4-3-1, 4-3-2参照）

- ① クラスト状
- ② スラブ状
- ③ ペープメント状
- ④ 塊状
- ⑤ 礫状
- ⑥ ノジュール状
- ⑦ コーティング状

クラスト状は岩盤等の岩石表面に発達したものであり、当海域では玄武岩、ハイアロクラスタイト、堆積岩、石灰岩等の全ての母岩に認められる。また、海山頂部から斜面中部に至る調査した水深の全域に出現する傾向があり、7種類の中では最も出現頻度が高いタイプである。（表4-3-2参照）

スラブ状は平板状をなし試料の上、下面にクラストが発達する。海底に散在することが多い。

ペープメント状はクラスト状、スラブ状、礫状等が海底にほぼ一面に発達し、あたかも敷石をつめた舗道のような外観を示す。ドレッジにより採取したサンプルでは、クラスト状、スラブ状又は礫状等に分類されることが多い。

礫状、ノジュール状は各種岩石等を核とし、マンガン団塊のように海底に賦存するが、山頂部や斜面の凹地等の堆積物が分布する海底に多く出現する傾向がある。

コーティング状はクラストが岩石表面数mm以下の厚さにはしか発達していないものであり、分析不可能なケースが多い。

塊状はその形状が不規則である。当海域ではその出現は稀である。

表 4 - 3 - 1 コバルトクラストのタイプ分類

	名 称	特 徴	分 布
クラストタイプ	クラスト状	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。
	スラブ状	角ばった平板状を呈し、上面、下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。	01, 02, 04, 06海山で出現。クラストが厚い点も特徴とする。
	ペーパメント状	クラスト状の一種であるが、もともとクラスト状、スラブ状、礫状であ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。	SC04海山で出現。
団塊タイプ	塊 状	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。	出現は非常に稀である。
	礫 状	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10cm±以上のもの。	05海山を除く全ての海山に出現。
	ノジュール状	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10cm±以下)サイズのものを含める。	01, 02, 03, 04海山に出現。
その他	フィルム状あるいはコーティング状	厚さが1mm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。	

表 4 - 3 - 2 タイプ別出現率

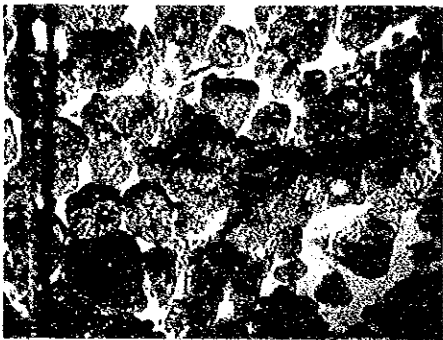
	分析件数	頻度 (%)
クラスト状	79	67
スラブ状	16	13
ペーパメント状	1	1
礫 状	11	9
ノジュール状	12	10
計	119	100



クラスト状, SC04海山



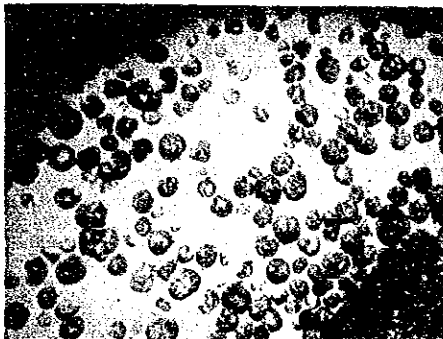
クラスト状, SC03海山



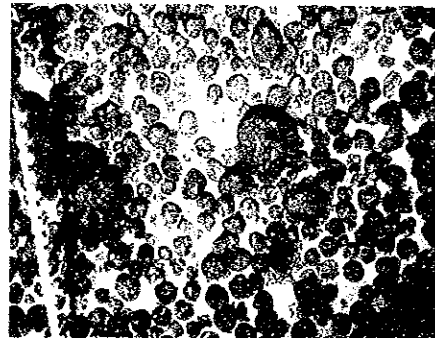
礫状, SC03海山



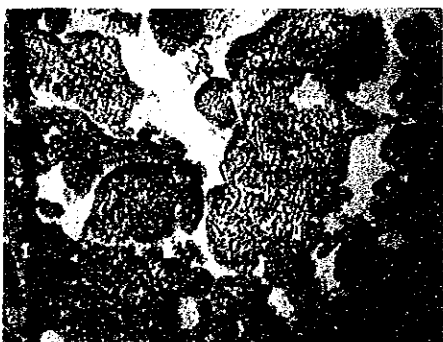
礫状, SC04海山



ノジュール状, SC02海山



ノジュール状, SC04海山

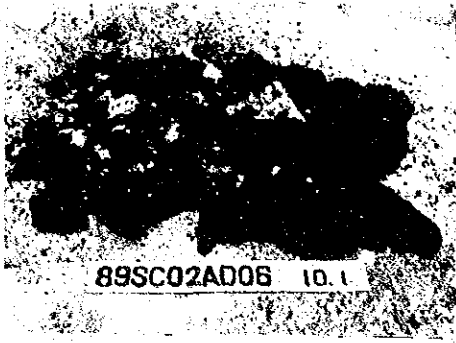


スラブ状, SC04海山



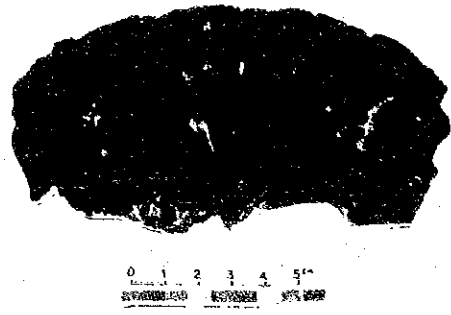
ペーパメント状, SC04海山

図 4 - 3 - 1 コバルトクラストの産状 (F D C 写真)

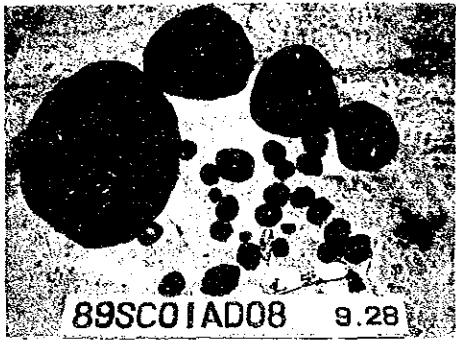


クラスト状

89SC02AD06

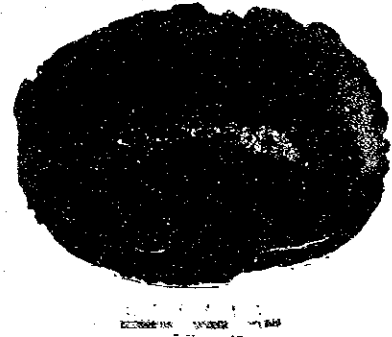


同 左, 断 面

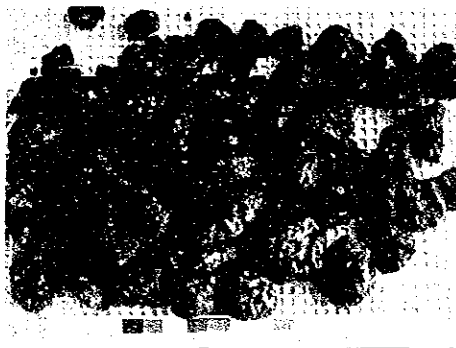


碟 状

89SC01AD08

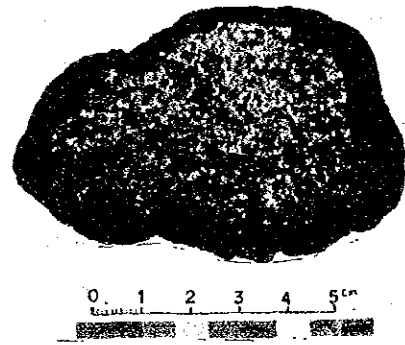


同 左, 断 面

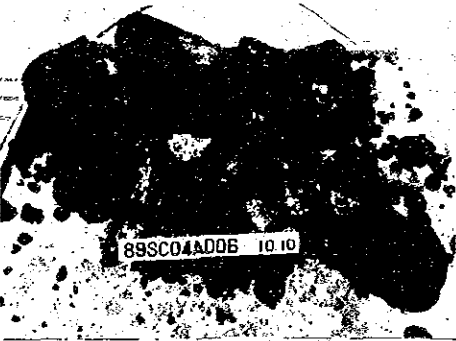


ノジュール状

89SC01AD03



同 左, 断 面



スラブ状

89SC04AD06



同 左, 断 面

図 4 - 3 - 2 コバルトクラストのタイプ (揚収写真)

2) 性 状

FDCによる海底のテレビ観察、写真撮影で判明した性状（マクロ的性状）と採取サンプルの肉眼観察、顕微鏡観察で明らかになった性状（ミクロ的性状）について述べる。

(1) マクロ的性状

クラストのマクロ的性状は大別して次の2種類に分けられる。

- ①玄武岩、ハイロクラスタイト、石灰岩等の岩石表面にマンガン酸化物が付着し成長したものと考えられるような性状
- ②堆積物の微粒子や生物遺骸等を核とした微細なマンガン酸化物が堆積物の表面に沈着したものと考えられるような性状

各々の性状に関係すると思われる海底写真を図4-3-3、図4-3-4に示した。

①の状況が観察できるのは、山頂縁辺部、傾斜の急な崖及びピナクル等の岩盤、転石等が露出し、堆積物が沈着し難い場所である。図4-3-3によると堆積物が溜り易い凹地、緩傾斜地及びスランピング堆積物が出現する斜面ではクラストの賦存状況が悪いことが判る。即ち海底地形がクラストの賦存状況を左右する要因となっているといえる。

②の状況は、マンガン団塊と同様に堆積物の表層でクラストが発達するようなものと考えられるので、クラストが成長している段階では、堆積物の供給が無いか又は、堆積速度が極めて遅いか更には海底付近の海流により表層堆積物が絶えず洗い流されていること等の条件下にあることがクラストの生成環境としてふさわしいものと考えられる。即ち堆積環境、海流等の海山を取りまく外因的要素により賦存状況が左右されるものとみられる。図4-3-4によりクラストの成長段階を示すがごとくクラスト被覆率に差があることが判る。

(2) ミクロ的性状

採取したサンプルの表面構造と断面構造に以下に述べるような特徴が認められた。

(表面構造)

- ①大部分の採取サンプルの表面には凹凸が認められる。凹凸をなすぶどう状構造の大きさの違いにより仏頭状、乳頭状等に区分した。但し、凹凸が明瞭でないものや凹凸が無く、表面が平滑なクラストも稀に出現する。(図4-3-5参照)

(断面構造)

- ②断面にて厚さの全長に亘りほぼ均一な構造、組織をなすものとクラストの緻密さ、孔隙率等に於て差があり、2層～3層に分けられるものがある。(図4-3-6参照)
2層構造の場合、外殻が孔隙率が高く、粘土鉱物等の不純物を含有し、表面がザラザラな状態であることが多い。この結果見掛け比重が小さい。一方、内殻は緻密で固く、見掛け比重が大きく、2.0を上回ることがある。また内外殻とも緻密であるが、内殻がガラス状をなすため、2層構造となることもある。



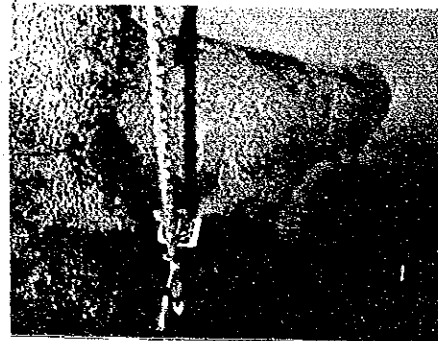
1 山頂 平坦地
リップルマークを示す堆積物



2 山頂 肩
階段状の微地形



3 斜面上部
岩盤露出部



4 斜面上部
枕状溶岩（玄武岩）



5 斜面中部
岩盤，礫，堆積物混在



6 斜面下部
スランピング堆積物

各写真（1～6）の位置は断面図参照

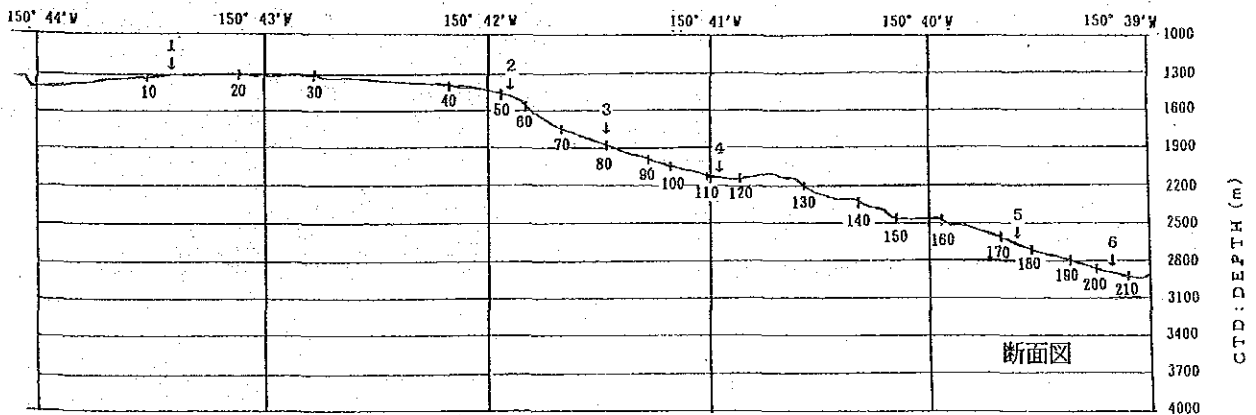


図 4 - 3 - 3 海山の地形と海底状況 (SC03 海山, FDC 写真)



1 被覆率 2%
SC03海山



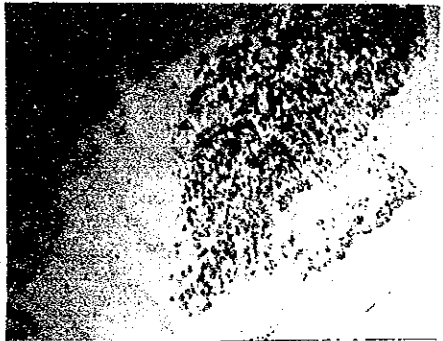
2 被覆率 12%
SC03海山



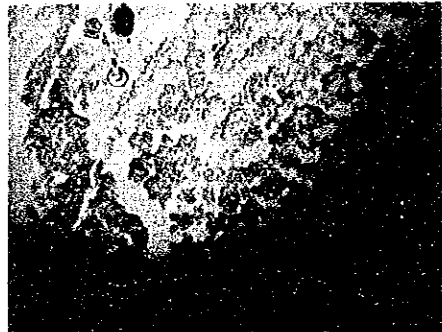
3 被覆率 19%
SC03海山



4 被覆率 26%
SC03海山



5 被覆率 32%
SC02海山



6 被覆率 56%
SC03海山



7 被覆率 85%
SC02海山

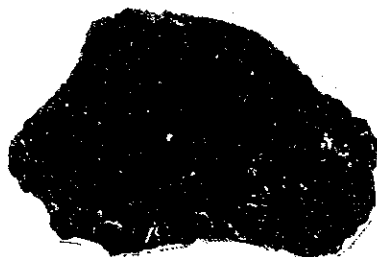


8 被覆率 95%
SC02海山

図 4 - 3 - 4 コバルトクラスタの被覆率 (FDC写真)



仏頭状, 89SC06AD08



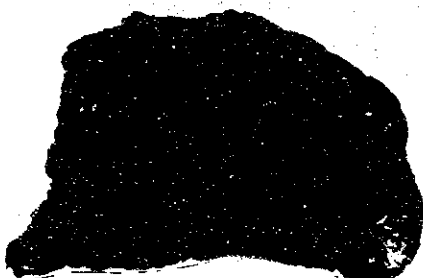
仏頭状, 89SC06AD04



仏頭状, 89SC06AD03



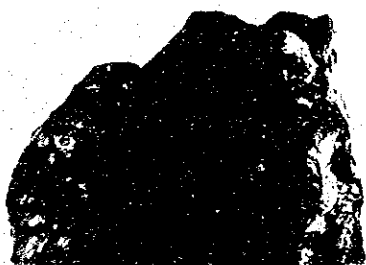
仏頭状, 89SC06AD03



凹凸状, 89SC02AD05



凹凸状, 89SC05AD03



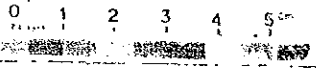
平滑状, 89SC04AD03



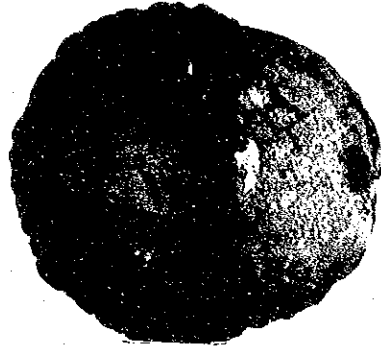
平滑状, 89SC06AD05

0 1 2 3 4 5 cm

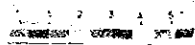
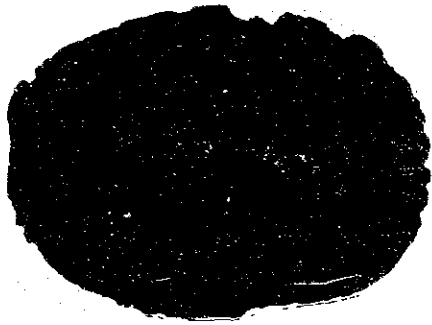
図 4 - 3 - 5 クラストの性状 (表面構造)



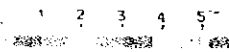
2層構造, 89SC06AD09



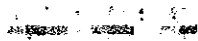
2層構造, 89SC01AD08



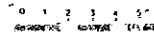
2層構造, 89SC01AD08



3層構造, 89SC06AD09



石灰岩を交代, 89SC02AD05



石灰岩の構造を残すクラスト
89SC04AD09

図 4 - 3 - 6 クラストの性状 (断面構造)

(断面構造)

③石灰岩を母岩とするクラストの場合、石灰岩の内部にマンガン酸化物が浸み込み、(石灰岩を交代し)この結果石灰岩に元来あった孔隙等の原構造がクラスト中に残されている場合がある。(図4-3-6参照)

3) 分布状況

クラストの分布状況を示すものとして被覆率とクラストの厚さとが考えられるが、被覆率については、5)FDC調査結果の項で詳述するのでクラストの厚さについて述べる。

(1) 採取サンプルを船上にて切断してクラストの厚さを測定したがその結果をクラストのタイプ、母岩、地形、水深等の要因別に整理し、表及びグラフにまとめた。(表4-3-3~表4-3-6、図4-3-7参照)この結果クラストの厚さについて次のような傾向が認められた。

①水深 1,500m以深で良好である。

②スラブ状タイプが厚い

③母岩が堆積岩、火山碎屑岩、リン酸塩岩及びハイアロクラスタイトの場合には良好だが、玄武岩、石灰岩では薄い。

④山頂部、斜面上部で良好。

(2) 調査した6海山のクラスト分布状況を表4-3-7に概括したが、この表から海山別の特徴が次のようにまとめられる。

①クラストの厚さが良好な海山はSC01、SC02であるが、山頂部が海面上にあるSC05海山のクラストは薄い。

②参考迄にコバルト品位の良好な海山はSC02、SC06海山であった。

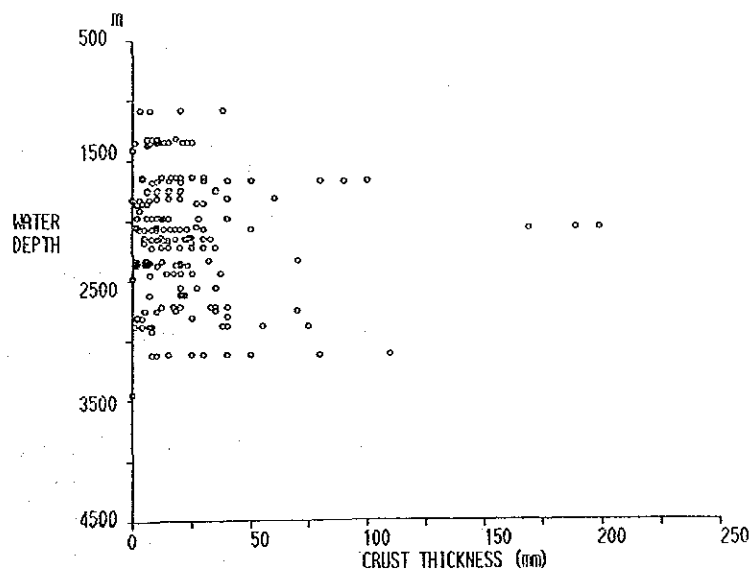


図4-3-7 水深とクラストの厚さ

表 4 - 3 - 3 クラストの厚さ (タイプ別)

タイプ	n	最小～最大 (mm)	平均 (mm)
クラスト	79	2 ~ 70	19
礫状	11	1 ~ 100	28
ノジュール状	12	1 ~ 50	18
スラブ状	16	4 ~ 200	71
ペーメント状	1	-	100

表 4 - 3 - 4 クラストの厚さ (母岩別)

母岩	n	最小～最大 (mm)	平均 (mm)
玄武岩	12	1 ~ 70	15
火山砕屑岩	20	5 ~ 100	27
ハイアロクラスタイト	19	2 ~ 40	19
石灰岩	20	2 ~ 37	13
堆積岩	8	4 ~ 200	105
リン酸塩岩	2	13 ~ 38	26

表 4 - 3 - 5 クラストの厚さ (地形別)

地形	n	最小～最大 (mm)	平均 (mm)
山頂平坦地	7	5 ~ 100	43
山頂縁辺部	16	6 ~ 60	21
斜面上部	44	1 ~ 200	32
斜面中部	38	2 ~ 70	20
斜面下部	15	1 ~ 110	28

表 4 - 3 - 6 クラストの厚さ (水深別)

水深 (m)	n	最小～最大 (mm)	平均 (mm)
1,000 - 1,500	12	6 ~ 38	18
1,500 - 2,000	28	2 ~ 100	23
2,000 - 2,500	53	1 ~ 200	31
2,500 - 3,000	21	1 ~ 75	26
3,000 - 3,500	6	8 ~ 110	37

表 4 - 3 - 7 海山別クラストの産状

海山名	産 状
SC01 山頂部 水深 1,590m 1,200m	分布水深：1,280 ~ 2,880m クラストタイプ：礫状が卓越。スラブ状，クラスト状も分布する。 母 岩：玄武岩，ハイアロクラスタイトが卓越。石灰岩，フォスフォライトなど。 構 造：礫状，スラブ状は2層構造。 厚 さ：1 ~ 200mm。7点平均で35.4mm。 品 位：Co：0.56%，Ni：0.65%，Cu：0.11%
SC02 山頂部 水深 1,040m	分布水深：1,300 ~ 2,720m クラストタイプ：クラスト状が卓越。スラブ状，礫状，ノジュール状も分布する。 母 岩：玄武岩，ハイアロクラスタイトが卓越。石灰岩，フォスフォライトなど。 水深 1,500m以浅では石灰岩だけを採取。 構 造：1 ~ 2層構造。3層構造もある。 厚 さ：3~85mm。7点平均で21.7mm。 品 位：Co：0.78%，Ni：0.64%，Cu：0.11%
SC03 山頂部 水深 1,140m	分布水深：1,340 ~ 2,920m クラストタイプ：クラスト状が卓越。ノジュール状，礫状も分布する。 母 岩：石灰岩が卓越。玄武岩，ハイアロクラスタイト，フォスフォライトなど。 構 造：1 ~ 2層構造。3層構造もある。石灰岩中にクラストの礫あり。 厚 さ：1~80mm。9点平均で15.6mm。 品 位：Co：0.54%，Ni：0.56%，Cu：0.13%
SC04 山頂部 水深 805m	分布水深：890 ~ 3,230m クラストタイプ：クラスト状が卓越。礫状，スラブ状，ノジュール状も分布する。 母 岩：石灰岩が卓越。玄武岩，ハイアロクラスタイト，砂岩，フォスフォライトなど。水深 1,700m以浅では石灰岩だけを採取。 構 造：主として1層構造。 厚 さ：0~130mm。8点平均で19mm。 品 位：Co：0.42%，Ni：0.59%，Cu：0.13%
SC05 卓 礁	分布水深：1,090 ~ 2,930m クラストタイプ：クラストの発達が悪く、コーティング状が多い。水深が深くなるにつれてクラスト状が分布する。礫状，ノジュール状，スラブ状も分布する。 母 岩：石灰岩が卓越。ハイアロクラスタイト，フォスフォライトなど。 水深 1,200m以浅では石灰岩だけを採取。 構 造：1層構造。 厚 さ：1~20mm。8点平均で 6.5mm。 品 位：Co：0.66%，Ni：0.53%，Cu：0.10%
SC06 山頂部 水深 1,130m	分布水深：1,140 ~ 2,880m クラストタイプ：クラスト状，スラブ状が分布。 母 岩：玄武岩，ハイアロクラスタイト卓越。石灰岩，フォスフォライトなど。 構 造：クラスト状，スラブ状とも2層構造が発達する。 厚 さ：1~85mm。9点平均で18.9mm。 品 位：Co：0.76%，Ni：0.60%，Cu：0.11%

4) 化学組成

(1) 主要5成分

6海山、52回のドレッジサンプリングのうち、分析サンプルを採取できなかった6点を除く46採試点のサンプルについて、主要5成分（Co, Ni, Cu, Mn, Fe）の蛍光X線分析を実施した。

分析結果一覧表を付帯資料2.コバルトクラストサンプリング結果一覧表に、海山別の地質及びコバルトクラスト分布図を別添第21図に示すが、これらの結果から以下に述べるようなコバルトクラストの品位的特徴が把握できた。

① 主要5成分の挙動の概要

全バルクサンプル（各サンプルの全殻を用いた。総計120サンプル）の平均値を表4-3-8に、そして各成分間の相関係数を表4-3-9に示す。その結果、次のようなことが判明した。

- (a) 各成分の平均品位はCo：0.68%、Ni：0.61%、Cu：0.11%、Mn：23.21%及びFe：15.76%である。（バルクサンプルだけの平均品位）
- (b) Co-Ni-Mn系とその他にわかれるが、Co-Ni-Mn系内の正相関が明瞭である。即ち、Coはマンガン団塊の場合と異なりMnと強い正相関を示す事が認められる。

表4-3-8 クラストの部位別品位比較表

	(n)	平均厚さ (mm)	Co (%)	Ni (%)	Cu (%)	Mn (%)	Fe (%)	Mn/Fe
バルク	120	27.11	0.68	0.61	0.11	23.21	15.76	1.47
表・外殻	24	16.67	0.81	0.70	0.10	25.66	14.51	1.77
表・中殻	18	28.00	0.64	0.71	0.13	22.57	13.54	1.67
表・内殻	1	8.00	0.55	0.64	0.14	24.92	15.85	1.57
裏・外殻	4	4.25	0.54	0.78	0.12	20.35	14.12	1.44

表4-3-9 各成分間の相関表

	Mn	Fe	Ni	Co	Cu
Mn	—	0.099	0.527	0.792	-0.249
Fe	—	—	-0.612	-0.133	0.213
Ni	—	—	—	0.565	-0.029
Co	—	—	—	—	-0.438
Cu	—	—	—	—	—

② クラストタイプと品位

クラストの各タイプと各平均品位との関係を表4-3-10に示す。その結果、次のようなことが判明した。

- (a) Co品位はクラスト状、スラブ状が高くノジュール状は低い。
- (b) Ni品位はスラブ状、ノジュール状が高い。
- (c) Cu品位は各タイプとも類似する。
- (d) Mn品位はクラスト状、スラブ状が高い。
- (e) Fe品位は、クラスト状、スラブ状がやや高い。
- (f) Mn/Fe比はノジュール状、スラブ状が他よりもやや高い傾向がみられる。

尚ペーパメント状は、分析個数が1個であること及びMn品位が低いことから参考値とした。

表4-3-10 クラストのタイプ別品位比較表

	(n)	平均厚さ (mm)	Co (%)	Ni (%)	Cu (%)	Mn (%)	Fe (%)	Mn/Fe
クラスト状	79	18.68	0.71	0.59	0.11	23.55	16.41	1.44
スラブ状	16	71.31	0.73	0.65	0.13	24.07	15.32	1.57
礫状	11	27.82	0.59	0.61	0.10	21.35	14.69	1.45
ノジュール状	12	18.17	0.52	0.66	0.13	21.85	13.40	1.63
ペーパメント状	1	110.00	0.26	0.38	0.20	17.19	18.48	0.93

③ 母岩と品位

母岩及び核のタイプとクラスト品位との関係を表4-3-11に示す。尚、リン酸塩岩でも石灰岩が卓越したりリン酸塩岩と漸移関係にあるものは石灰岩に分類したほか、他の母岩でも2種類以上からなっているものは、卓越岩相で分類した。その結果、次の点が明らかになった。

表4-3-11 クラストの母岩別品位比較表

	(n)	平均厚さ (mm)	Co (%)	Ni (%)	Cu (%)	Mn (%)	Fe (%)	Mn/Fe
玄武岩	12	15.25	0.67	0.60	0.12	22.62	15.80	1.43
凝灰角礫岩	20	26.80	0.59	0.60	0.12	21.58	15.22	1.42
堆積岩	8	104.88	0.61	0.59	0.14	23.54	15.89	1.48
石灰岩	20	12.85	0.59	0.55	0.11	22.09	16.61	1.33
リン酸塩岩	2	25.50	0.44	0.65	0.08	22.64	11.05	2.05
ハイロクラスタイ	19	18.79	0.81	0.61	0.11	24.69	17.07	1.45

- (a) Co品位はハイアロクラスタイトの場合が最も高く、玄武岩がこれに次ぐ。リン酸塩岩が最も低い。
- (b) Ni品位はリン酸塩岩が高く、石灰岩が低い。
- (c) Cu品位は母岩別差は小さいが堆積岩が高く、リン酸塩岩が低い傾向がみられる。
- (d) Mn品位はハイアロクラスタイトが最も高く、堆積岩が次ぎ、凝灰角礫岩が低い。
- (e) Fe品位はハイアロクラスタイト、石灰岩が高いがリン酸塩岩が低い。
- (f) Mn/Fe比はリン酸塩岩が高いが、他の岩相ではほとんど差異は認められない。

④ 地形・水深と品位

地形と品位の関係を表4-3-12に示す。ただし、各地形区分と水深の関係は前述したように海山ごとに異なっているので注意する必要がある。

表よりCo, Ni, Mn及びMn/Fe比は頂部で最も高く、斜面上部, 斜面中部, 斜面下部と水深が増すにつれて低下する傾向が認められる。一方, Cu, Feは逆に斜面下部で最も高く、水深が浅くなるにつれて品位の低下する傾向がある。そこで水深と品位の関係を表4-3-13及び図4-3-8~図4-3-11に示す。

これらの図表より前述した地形・水深と品位との関係が概ね同じ傾向で読みとれる。すなわち, Co, Ni, Mn及びMn/Fe比は水深の増加とともに減少し, Cu, Feは水深が増す

表4-3-12 海山の地形的部位別品位比較表

	(n)	平均厚さ (mm)	Co (%)	Ni (%)	Cu (%)	Mn (%)	Fe (%)	Mn/Fe
頂部	23	27.87	0.88	0.81	0.09	24.84	10.87	2.29
斜面上部	44	32.23	0.76	0.66	0.11	24.32	15.15	1.61
斜面中部	38	20.29	0.56	0.51	0.12	22.11	17.90	1.34
斜面下部	15	28.20	0.43	0.41	0.14	20.27	19.67	1.03

表4-3-13 水深別品位比較表

	(n)	平均厚さ (mm)	Co (%)	Ni (%)	Cu (%)	Mn (%)	Fe (%)	Mn/Fe
1,000m ~1,500m	12	18.00	1.11	0.86	0.07	27.41	11.14	2.46
1,500m ~2,000m	28	23.32	0.79	0.70	0.10	24.01	13.62	1.76
2,000m ~2,500m	53	30.68	0.64	0.61	0.12	23.14	15.92	1.45
2,500m ~3,000m	21	25.48	0.49	0.44	0.12	21.01	19.61	1.07
3,000m ~3,500m	6	37.17	0.31	0.38	0.17	19.46	20.25	0.96

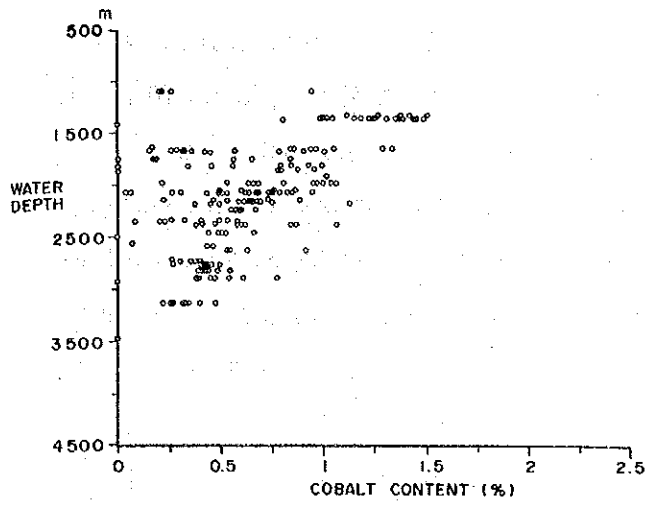


図 4 - 3 - 8 Co-水深関係図

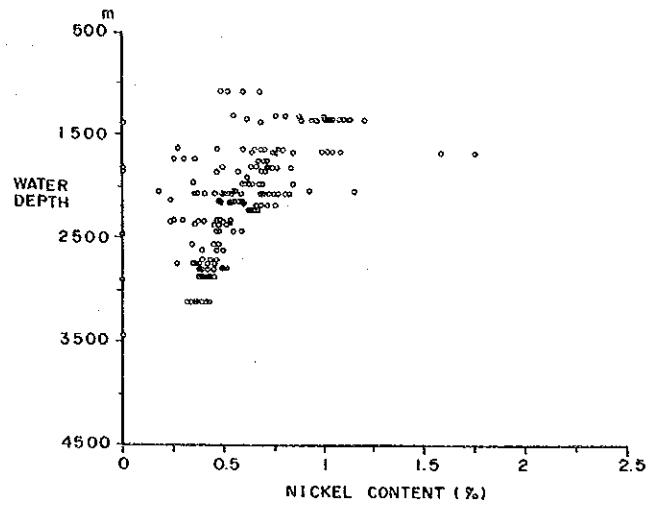


図 4 - 3 - 9 Ni-水深関係図

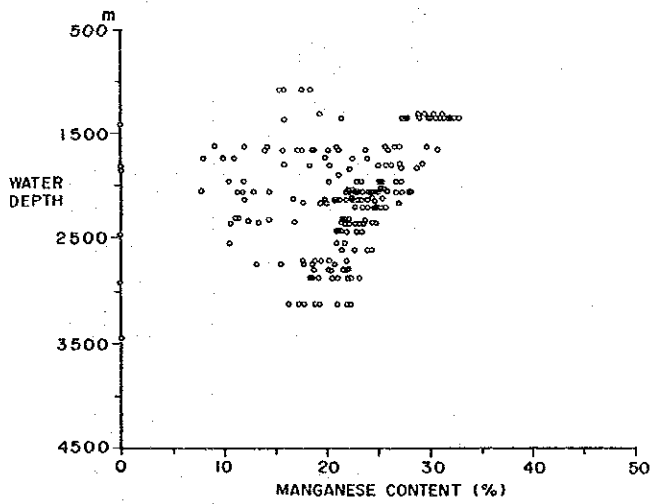


図 4 - 3 - 10 Mn-水深関係図

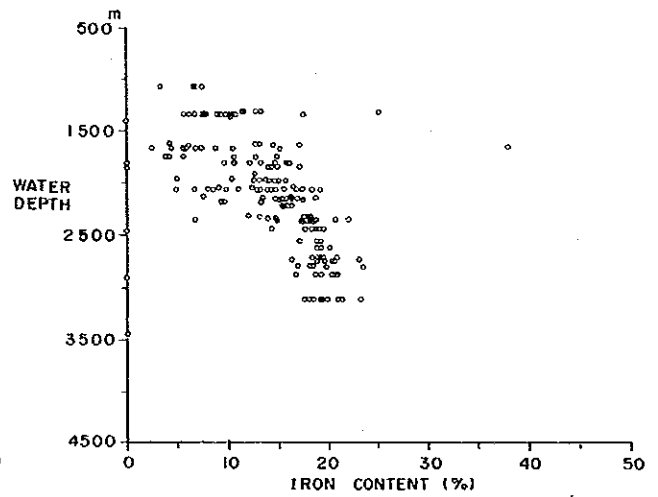


図 4 - 3 - 11 Fe-水深関係図

とともに増加する。

水深変化と主要3成分 (Co, Ni, Cu) の関係を調べるため、水深 1,600m 以浅、1,600 m ~ 2,200m 及び 2,200m 以深に分けた Co, Ni, Cu 三角ダイヤグラムを図 4-3-12、図 4-3-13 に示す。

同図によると水深 2,200m 以浅のクラストは Co, Ni 品位の比率が高く、Cu 品位の比率が低い一般的なコバルトクラストの特徴を示す。しかし、水深 2,200m 以深では比較的 Cu 品位の比率が高くマンガン団塊の項で前述したマンガン団塊の Co リッチタイプに近い傾向を示すことが明らかになった。

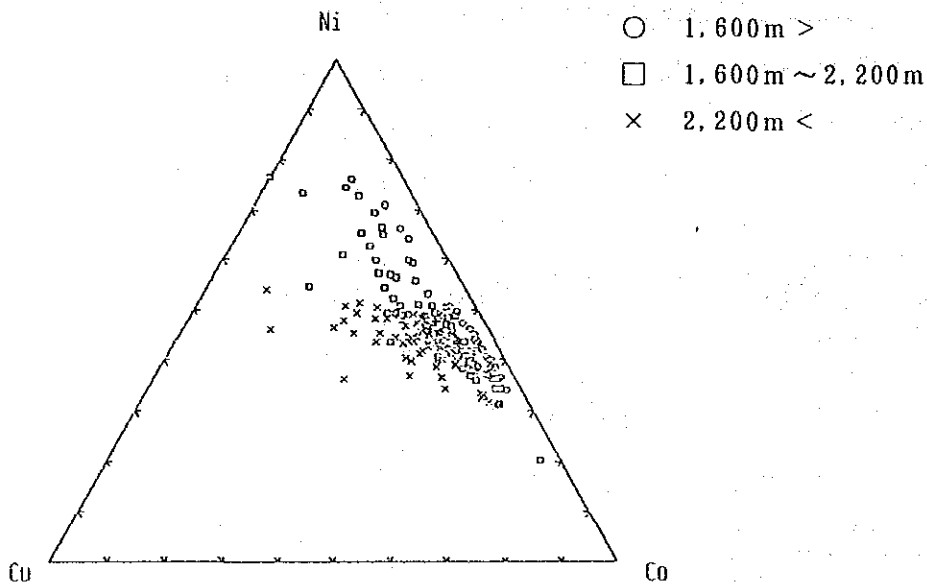


図 4-3-12 Co, Ni, Cu 三角ダイヤグラム

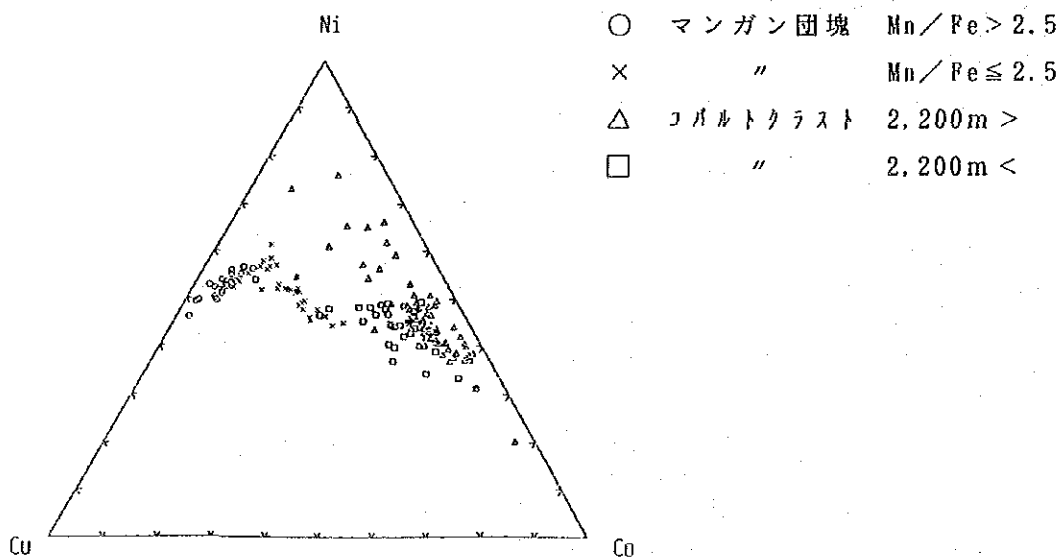


図 4-3-13 Co, Ni, Cu 三角ダイヤグラム

⑤ 地域性と品位

サンプリング点の平均値による海山別平均品位を表4-3-14に示す。同表から次のことが明らかとなった。

- (a) 6海山全体のCo平均品位は0.62%で、この内SC02海山が最も高く0.78%である。
 - (b) Niの平均品位は0.60%で、SC01海山が最も高く0.65%である。
 - (c) Cuの平均品位は各海山ともほぼ同一で、0.10%から0.13%の範囲にあり、平均品位は0.12%である。
 - (d) Mnの平均品位は20.59%で、SC02海山が最も高く24.51%である。
 - (e) Feの平均品位は13.99%で、SC06海山が最も高く16.40%である。
- なお、SC01海山は9.10%と極端に低い。
- (f) Mn/Fe比の平均は1.47であり、SC01海山が最も高く1.97である。

表4-3-14 海山別及び全体の平均品位

	(n)	平均厚さ (mm)	Co (%)	Ni (%)	Cu (%)	Mn (%)	Fe (%)	Mn/Fe
SC01	6	35.4	0.56	0.65	0.11	17.91	9.10	1.97
SC02	7	21.7	0.78	0.64	0.11	24.51	15.28	1.60
SC03	8	15.6	0.54	0.56	0.13	20.85	16.08	1.30
SC04	8	19.0	0.42	0.59	0.13	18.51	14.33	1.29
SC05	8	6.5	0.66	0.53	0.10	17.71	12.76	1.39
SC06	9	18.9	0.76	0.60	0.11	24.02	16.40	1.46
平均		19.5	0.62	0.60	0.12	20.59	13.99	1.47

⑥ 分割部位と品位

採取したコバルトクラストのうち、酸化物殻が比較的厚いものについて外殻-内殻、または外殻-中殻-内殻に区分して分取し各層別の分析を行った。

分割部位別による品位を表4-3-8に示した。その結果、次のようなことが判明した。

- (a) Co品位は表・外殻で最も高く、0.81%であり、表・中殻では0.64%、表・内殻では0.55%と内部に向かうにつれて順次低下している。
- (b) Ni品位は裏・外殻が最も高く、表・中殻、表・外殻、表・内殻の順に低下している。
- (c) Cu品位は表・内殻が最も高く、表・外殻で最も低い値を示し、Co、Niとは逆の傾向を示す。
- (d) Mn品位は表・外殻で最も高く、表・内殻、表・中殻、裏・外殻の順に低い。
- (e) Fe品位は表・内殻で最も高く、表・外殻、裏・外殻、表・内殻の順に低い。

(f) Mn/Fe比は表・外殻で最も高く、表・中殻、表・内殻、裏・外殻の順に低い。

ただし、表・内殻は1サンプルにすぎず、表・内殻の実体が反映されているか否かは判断しがたい。

(2) 副成分

コバルトクラスト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14サンプルを選定し、主要成分と微量成分の分析を実施した。その分析値を主要5成分の船上分析値と共に表4-3-15に、また各成分間の相関係数を表4-3-16に示す。

分析結果の特徴として主要成分では、CaO、P₂O₅に富み、この中でP₂O₅が最大20.89%、平均5.48%と多量であること、二価の鉄が少なく三価の鉄に富むこと、部位別分析結果では外殻でCo、Ni、Mn、Fe、Tiが他の部位よりも富むこと等が注目される。微量成分では、Pb、ΣR₂O₃が他の成分より含有量が多く、7試料の平均はPb:1,093ppm、ΣR₂O₃:942ppmである。Ptが平均0.8ppm、最大1.2ppm含有すること及び部位別の変化としてPbは外殻でΣR₂O₃は内殻で富むことも注目される。

表4-3-16の各成分間の相関係数から分析成分をCo-Ni-Mn系、Cu系及びこれらのいずれにも属さない系に3区分される。

- ① Co、Ni、Mnと正の相関を示すもの……TiO₂、FeO、Na₂O、K₂O、LOI、Pb、Zn、Sr、V、Mo、(MgO)
- ② Cuと正の相関を示すもの……SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、B、(Zr)、Pt
- ③ ①、②いずれにも属さないもの……CaO、BaO、P₂O₅、As、Y、ΣR₂O₃

このうち、CaOとP₂O₅は0.99の相関を示すほか、Fe₂O₃とB(相関係数0.97)、Fe₂O₃とZr(相関係数0.90)、CoとMnO₂(相関係数0.92)、CoとTiO₂(相関係数0.79)そしてNiとMo(相関係数0.92)の間には強い正の相関関係が認められる。

表4-3-16 各成分間の相関係数

<Correlation coefficient >

	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	MnO2	MgO	CaO	BaO	Na2O	K2O	P2O5	LOI	Co	Ni	Cu	Pb	Zn	Sr	V	Mo	B	As	Y	Zr	Pt	I.R.E.
SiO2	1.00	0.08	0.92	0.82	0.15	-0.26	0.17	0.46	0.47	0.21	-0.89	-0.42	0.15	-0.21	-0.52	0.69	-0.64	-0.24	-0.04	-0.05	-0.58	0.86	-0.10	0.09	0.70	0.62	-0.03
TiO2	1.00	-0.89	0.21	0.52	0.77	0.73	-0.77	0.53	0.55	0.55	-0.77	0.83	0.79	0.57	-0.35	0.49	0.58	0.74	0.47	0.39	0.29	0.43	-0.77	0.40	0.17	-0.92
Al2O3	1.00	0.68	-0.08	-0.43	0.01	-0.24	0.26	0.07	-0.20	-0.19	-0.03	-0.40	-0.54	0.78	0.72	-0.31	-0.19	-0.24	-0.67	0.72	-0.22	0.35	0.53	0.48	0.14
Fe2O3	1.00	0.21	-0.10	0.44	-0.64	0.68	0.43	-0.18	-0.59	0.27	-0.06	-0.37	0.73	-0.43	-0.11	0.10	0.26	-0.42	0.37	0.23	-0.11	0.90	0.64	-0.16
FeO	1.00	0.62	0.44	-0.66	0.72	0.62	0.55	-0.67	0.61	0.65	0.40	-0.09	0.26	0.52	0.32	0.49	0.39	0.32	-0.10	-0.55	0.40	0.31	-0.59
MnO2	1.00	0.51	-0.69	0.42	0.72	0.85	-0.73	0.88	0.92	0.58	-0.22	0.82	0.93	0.64	0.70	0.36	-0.04	0.35	-0.83	0.11	0.68	-0.86
MgO	1.00	-0.59	0.59	0.51	0.22	-0.67	0.39	0.58	0.30	0.69	0.27	0.35	0.41	0.34	0.15	0.44	0.54	-0.66	0.68	0.87	-0.67
CaO	1.00	-0.80	-0.86	-0.57	0.99	-0.89	-0.68	-0.41	-0.38	-0.27	-0.56	-0.58	-0.67	-0.32	-0.68	-0.39	0.69	-0.74	-0.52	0.81
BaO	1.00	0.71	0.34	-0.79	0.62	0.46	0.23	0.33	-0.07	0.35	0.20	0.53	0.14	0.68	0.18	-0.53	0.80	0.33	-0.62
Na2O	1.00	0.69	-0.88	0.87	0.66	0.62	0.33	0.44	0.69	0.55	0.81	0.57	0.43	0.28	-0.58	0.53	0.35	-0.71
K2O	1.00	-0.62	0.79	0.78	0.89	-0.15	0.70	0.79	0.52	0.53	0.79	-0.11	0.02	-0.63	0.01	0.10	-0.75
P2O5	1.00	-0.92	-0.70	-0.46	-0.35	-0.31	-0.59	-0.61	-0.72	-0.89	-0.63	-0.49	0.72	-0.68	-0.58	0.81
LOI	1.00	0.61	0.72	0.15	0.56	0.74	0.73	0.73	0.61	0.83	-0.40	-0.76	0.41	0.26	-0.89
Co	1.00	0.63	-0.21	0.77	0.73	0.60	0.53	0.71	0.60	0.32	-0.82	0.23	-0.08	-0.89
Ni	1.00	-0.23	0.85	0.85	0.52	0.61	0.92	-0.35	0.25	-0.58	-0.17	-0.22	-0.72
Cu	1.00	-0.49	0.10	-0.18	0.21	-0.37	0.65	0.23	0.31	0.49	0.67	0.83
Pb	1.00	0.65	0.60	0.49	0.88	-0.45	0.31	-0.64	-0.27	-0.24	-0.59
Zn	1.00	0.34	0.68	0.79	-0.13	0.28	-0.45	-0.02	0.22	-0.72
Sr	1.00	0.59	0.49	0.17	0.35	-0.71	0.20	0.03	-0.69
V	1.00	0.69	0.23	0.43	-0.51	0.23	-0.38	-0.53
Mo	1.00	-0.41	0.21	-0.58	-0.27	-0.13	-0.55
B	1.00	0.14	-0.16	0.96	0.64	-0.22
As	1.00	-0.48	0.28	0.03	-0.39
Y	1.00	-0.39	0.05	0.82
Zr	1.00	-0.41
Pt
I.R.E.

(n=14)

表4-3-15 コバルトクラストの部位別完全分析と微量分析値(1)

Sample No.		89SC01 AD03(A)	89SC02 AD05(B)	89SC03AD02(A)			89SC03 AD06(A)	89SC04 AD03(B)
Location		Upper slope	Upper slope	Upper Slope			Upper slope	Crest
Water Depth (m)		2.070	2.220	1.750			1.820	1.090
Morphology		Slab	Crust	Crust			Nodule	Crust
Analyzed Portion		Inner	Bulk	Outer	Middle	Inner	Bulk	Bulk
Thickness (cm)		3.0	2.5	1.5	3.5	1.5	0.3	3.8
Major Metal Contents (%)	Co	0.30	0.60	0.56	0	0.18	0.79	0.20
	Ni	0.41	0.66	0.68	0.26	0.31	0.77	0.60
	Cu	0.12	0.11	0.10	0.08	0.08	0.15	0.05
	Mn	12.98	24.07	19.66	7.84	9.78	25.09	18.37
	Fe	8.11	15.56	10.65	4.17	3.88	13.43	6.95
Major Element Contents (%)	SiO ₂	4.38	6.38	3.90	2.72	3.32	3.68	0.44
	TiO ₂	0.46	1.53	1.60	0.78	0.53	1.37	0.84
	Al ₂ O ₃	0.89	1.56	0.81	0.92	0.77	1.03	0.22
	Fe ₂ O ₃	15.03	21.45	17.01	11.70	11.74	15.30	13.44
	FeO	0.19	0.19	0.19	0.06	0.19	0.32	0.19
	MnO ₂	24.29	33.94	37.70	13.09	25.23	35.83	28.66
	MgO	0.41	1.69	1.08	0.96	1.19	1.32	1.26
	CaO	18.94	4.52	7.40	30.06	22.43	9.40	20.98
	BaO	0.27	0.38	0.28	0.22	0.21	0.27	0.26
	Na ₂ O	1.80	2.02	1.94	1.25	1.51	2.02	1.78
	K ₂ O	0.45	0.50	0.51	0.26	0.40	0.47	0.32
	P ₂ O ₅	10.68	0.97	3.06	20.89	14.45	4.39	12.13
	Ig-loss	21.28	27.38	25.74	15.67	18.09	26.05	20.99
Minor Element Contents (ppm)	Pb	913	877	1,382	493	913	1,250	1,286
	Zn	536	638	791	408	587	880	510
	Sr	480	560	665	384	268	504	557
	V	418	405	509	253	347	450	475
	Mo	374	352	483	129	357	421	448
	B	178	268	214	150	150	200	162
	As	141	195	178	97	112	156	197
	Y	247	142	184	340	259	267	201
	Zr	5	555	12	12	4	4	4
	Pt	0.7	0.4	1.3	0.2	0.8	1.0	0.2
	ΣR ₂ O ₃	1,373	692	762	1,384	1,506	929	1,422

表 4-3-15 コバルトクラストの部位別完全分析と微量分析値(2)

Sample No.		89SC04AD06(C)		89SC05 AD06(D)	89SC06 AD01(B)	89SC06 AD05(A)	89SC06AD09(A)	
Location		Middle slope		Upper slope	Upper slope	Middle slope	Crest	
Water Depth (m)		3.115		1.320	2.370	2.620	1.350	
Morphology		Slab		Crust	Crust	Crust	Slab	
Analyzed Portion		Outer	Inner	Bulk	Bulk	Bulk	Outer	Inner
Thickness (cm)		1.5	8.0	1.8	2.3	2.2	1.5	1.0
Major Metal Contents (%)	Co	0.47	0.22	1.37	0.86	0.91	1.30	1.01
	Ni	0.37	0.38	0.88	0.49	0.47	1.00	1.08
	Cu	0.12	0.22	0.08	0.11	0.10	0.07	0.08
	Mn	22.52	16.19	30.43	22.94	24.28	32.42	27.42
	Fe	19.92	18.21	11.67	17.69	19.34	9.94	6.77
Major Element Contents (%)	SiO ₂	7.50	6.56	2.38	5.36	4.60	1.90	1.10
	TiO ₂	1.08	0.96	1.59	1.67	1.66	1.61	1.27
	Al ₂ O ₃	1.59	1.46	0.40	0.84	0.72	0.40	0.23
	Fe ₂ O ₃	30.10	35.89	17.01	24.16	25.38	14.65	10.08
	FeO	0.44	0.19	0.25	0.38	0.38	0.38	0.38
	MnO ₂	28.04	24.61	43.30	33.94	36.44	45.16	42.66
	MgO	1.28	1.68	1.82	2.08	1.66	1.74	1.27
	CaO	3.45	2.95	3.37	4.52	3.13	3.20	11.00
	BaO	0.45	0.42	0.33	0.41	0.42	0.37	0.42
	Na ₂ O	2.18	2.23	2.21	1.97	1.82	2.30	2.14
	K ₂ O	0.45	0.34	0.51	0.44	0.39	0.60	0.56
	P ₂ O ₅	1.23	1.11	0.75	0.75	0.82	0.76	4.74
	Ig-loss	24.00	23.53	26.97	25.51	24.72	27.78	25.62
Minor Element Contents (ppm)	Pb	517	505	1,887	1,046	877	1,959	1,394
	Zn	561	714	753	676	638	918	995
	Sr	506	415	622	636	499	640	448
	V	442	507	497	471	433	454	538
	Mo	288	272	560	331	336	583	667
	B	353	344	219	263	293	174	126
	As	237	268	217	218	234	190	140
	Y	226	260	107	122	105	71	181
	Zr	748	855	461	597	631	373	3
	Pt	1.2	1.3	0.6	0.8	1.0	0.5	0.5
	R ₂ O ₃	1,045	1,073	595	678	703	343	688

5) 鉱物組成

コバルトクラストの鉱物組成、内部構造を調べるため代表サンプルについて粉末X線回折と研磨薄片の顕微鏡観察を行った。粉末X線回折は、各海山のクラスト試料を複数個選定し、計24試料について鉱物組成を確認した。03, 04, 06海山のクラスト試料については断面サンプルから層別に分取し供試料とした。この内03, 06海山の試料は顕微鏡観察も併せて行った。

(1) X線回折

X線回折結果を表4-3-17に、代表的なチャートを図4-3-14に示したが、マンガン酸化物は $\delta\text{-MnO}_2$ ^{*1}を主とし10Åマンガナイトを含有するものは1試料のみであることが明らかになった。この他に、2.52-2.56Åのブロードな回折線と2.71Åの回折線を持つ未詳鉱物が7試料で認められたが、 $\delta\text{-MnO}_2$ 系のマンガン酸化物（バーネス鉱等）である可能性もある。少量ながら針鉄鉱が1試料で確認された。脈石鉱物としては、リン灰石、方解石、石英を含有するが、マンガン団塊と比較するとリン灰石に富むことが特徴的である。

(2) 顕微鏡観察

① 89SC03AD02A (クラスト状)

粒間を細粒の方解石が充てんする玄武岩を母岩としてその上位に内殻、中殻、外殻からなる厚さ5cm~8cmのクラストである。内殻は緻密で $\delta\text{-MnO}_2$ 、赤鉄鉱、針鉄鉱からなる成層組織が発達する(幅0.01~0.1mm)。成層構造は内殻で最も明瞭に認められる。中殻は0.5~1.0mm以下の粒状、腎臓状~葡萄状の $\delta\text{-MnO}_2$ 、10Åマンガナイトからなるが、これらのマンガン酸化物の粒間を粗粒の方解石が充てんする。外殻では中殻と同様にマンガン酸化物は粒状であるが、やや楕円状を呈する。 $\delta\text{-MnO}_2$ は針鉄鉱とともに成層をなすが緻密である。

② 89SC06AD09A (スラブ状)

岩片、斜長石破片、粘土鉱物、方解石片、赤鉄鉱片からなる部分を核としてその外側に内殻と外殻の2層のマンガン酸化物からなる。内殻は $\delta\text{-MnO}_2$ を主とし、針鉄鉱を伴うが、全体的には幅0.05mm以下の縞状をなす。外殻は主に $\delta\text{-MnO}_2$ からなり不規則塊状をなし幅0.01mm以下のクラックに富む。

*1 2.4Åと1.4Åにブロードな回折線をもつ2-line型 $\delta\text{-MnO}_2$ である。

表4-3-17 コバルトクラストのX線回折結果

試料名	形状	分析箇所	クラストの厚さ (mm)	10Å	δ-Mn	Goe	Q	Caℓ	Ap	X
89SC01AD03 A2	スラブ状	外 殻	30				±		卄	
89SC01AD03 B	スラブ状	バルク	200		卄					
89SC01AD03 C-1	スラブ状	外 殻	20		+				±	
89SC01AD03 D	スラブ状	バルク	190		+				±	
89SC01AD08 C	ビュール状	バルク	50		+		±		卄	
89SC02AD02 A-2	スラブ状	外 殻	20		+		±	±	卄	
89SC02AD04 C-2	礫 状	内 殻	10~12		±				+	
89SC02AD04 D	礫 状	バルク	3~20		+			±		
89SC03AD05 B	クラスト状	バルク	15~34		±			±		
89SC03AD05 C	クラスト状	バルク	10~17		±					+
89SC03AD06 A	ビュール状	バルク	1~25		±					+
89SC03AD09 A	クラスト状	バルク	5~15		±				±	
89SC03AD09 D	ビュール状	バルク	1~4		+				±	
89SC04AD03 B	クラスト状	バルク	32~46		±				卄	
89SC04AD03 D	クラスト状	バルク	5~10		±			±	卄	
89SC04AD08 B	クラスト状	バルク	5~10		±			卄		
89SC05AD06 E	クラスト状	バルク	8~12		±			±		+
89SC06AD01 A	クラスト状	バルク	17~27							+
89SC06AD01 B	クラスト状	バルク	20~25		±			±		+
89SC06AD05 A	クラスト状	バルク	20~24		±					+
89SC06AD06 B	クラスト状	バルク	14~20		±			±		+
89SC03AD02 A	クラスト状	外 殻	11~18	±	卄					
		中 殻	30~40		卄			±	卄	
		内 殻	12~18		±			+	卄	
89SC04AD06 C	スラブ状	外 殻	10~25		±	+				
		内 殻	60~100		±	+	±			
89SC06AD09 A	スラブ状	外 殻	15		卄					
		内 殻	8~12		卄				卄	

凡例 10Å : 10Åマッカイ δ-Mn : δ-MnO₂ Goe : 針鉄鉱 Q : 石英 Caℓ : 方解石 Ap : リン灰石

X : 未詳鉱物

卄 : 回折線強度の非常に強いもの

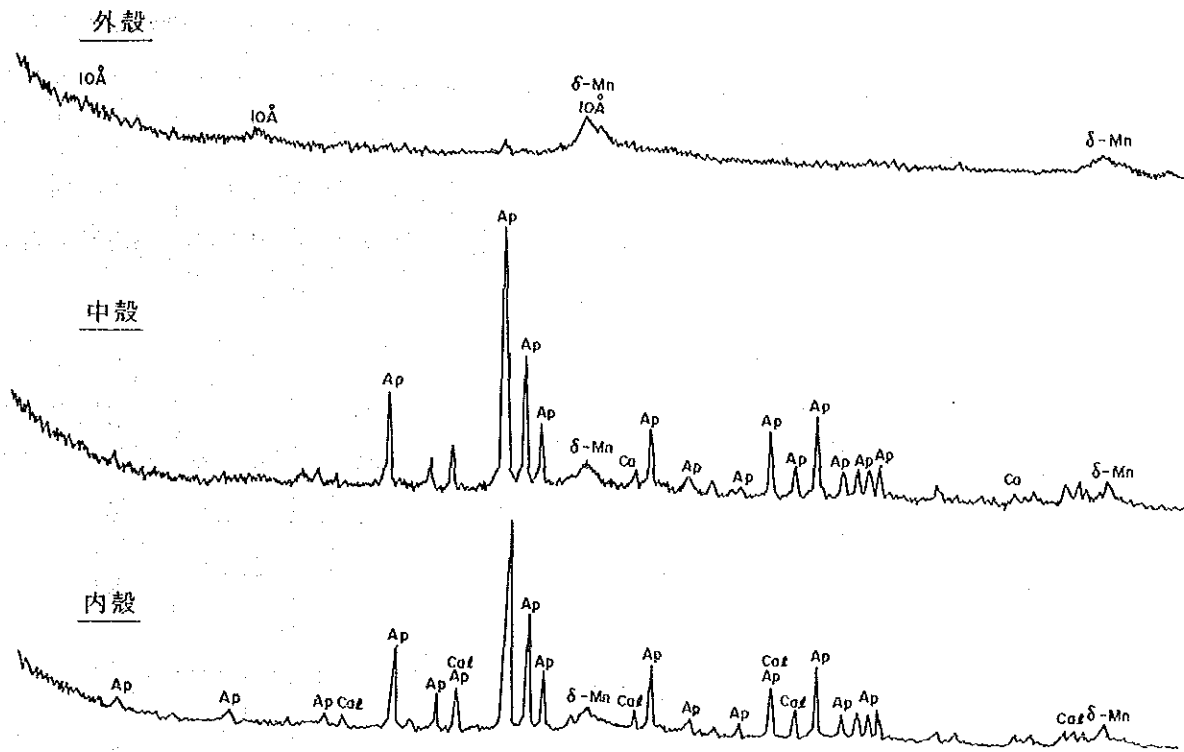
卄 : 回折線強度の強いもの

± : 回折線強度の弱いもの

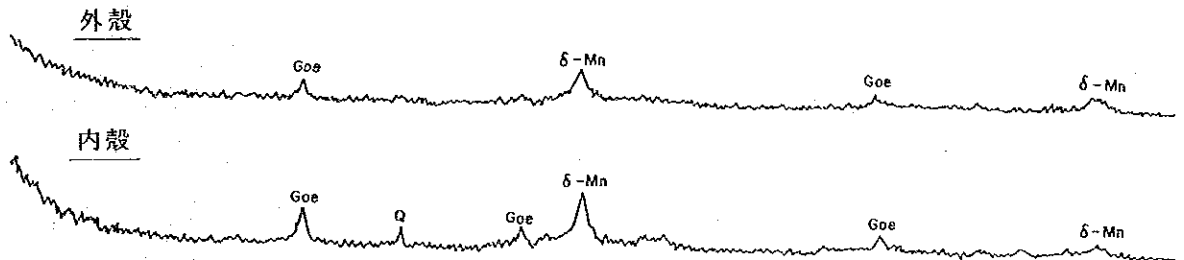
± : 回折線強度が微弱または存在が不確実なもの

条件 : Cu-モノクロメーター 45kV, 20mA.

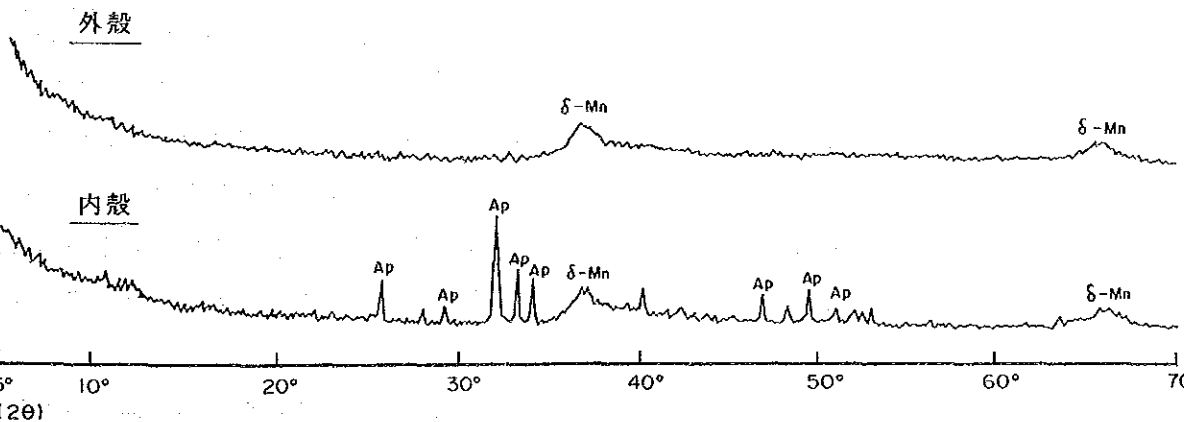
89SC03AD02 (A)



89SC04AD06 (C)



89SC06AD09 (A)



5° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70°
(2θ)

凡例 10Å : 10Å マンガナイト δ-Mn : δ-MnO₂ Pℓ : 斜長石 Goe : 針鉄鉱
Q : 石英 Ap : リン灰石 Caℓ : 方解石

図 4 - 3 - 14 コバルトクラストの代表的な X 線回折パターン

6) FDC調査結果

本年度調査ではSC02, SC03, SC04及びSC05(Flint島)海山の4海山について4測線計20.2マイルのFDC調査による海底観察を行い、ビデオテープに収録するとともに合計675枚の海底写真を得た。

FDCルートマップ(航跡図にクラストの産状、被覆率などを記入)を図4-3-15に、FDCによる連続写真の例を図4-3-16に、産状別によるコバルトクラストの海底写真を図4-3-1, 3に、そして各海山ごとの観察結果を表4-3-18に示す。

(1) 分布概要

FDC調査の結果、コバルトクラストは調査した4海山すべてに分布し、かつ、海山の山頂から斜面中部に至る水深990~3,270mの間に種々の形態で賦存するのが確認された^{*1}。

前述したように今年度に調査した海山の地形区分は山頂及び斜面(上部・中部・下部)に大別されるので地形区分ごとにコバルトクラストの分布概要をまとめた。

① 山 頂

山頂部はSC03及びSC04海山の2海山で観察した。山頂部はいずれも海山斜面に比べて傾斜がゆるくなっている。

SC03海山の山頂部は平坦で、未固結堆積物が卓越する地帯となっている。未固結堆積物上には周期が20~30cm程度のリップルマークが発達し、少量の礫状のコバルトクラストが分布している。

SC04海山の山頂は中央部に頂部を頂いている。頂部付近は急峻な地形が続き、広い範囲にわたって岩盤が発達する。一方、頂部を離れるに従って傾斜が緩くなり、未固結堆積物が卓越するようになる。コバルトクラストのタイプは頂部付近ではクラスト状が卓越し、少量の礫状、スラブ状そしてノジュール状が分布する。頂部を離れると未固結堆積物の間や表面にクラスト状や礫状、ノジュール状などが分布する。しかし、その被覆率は低い。

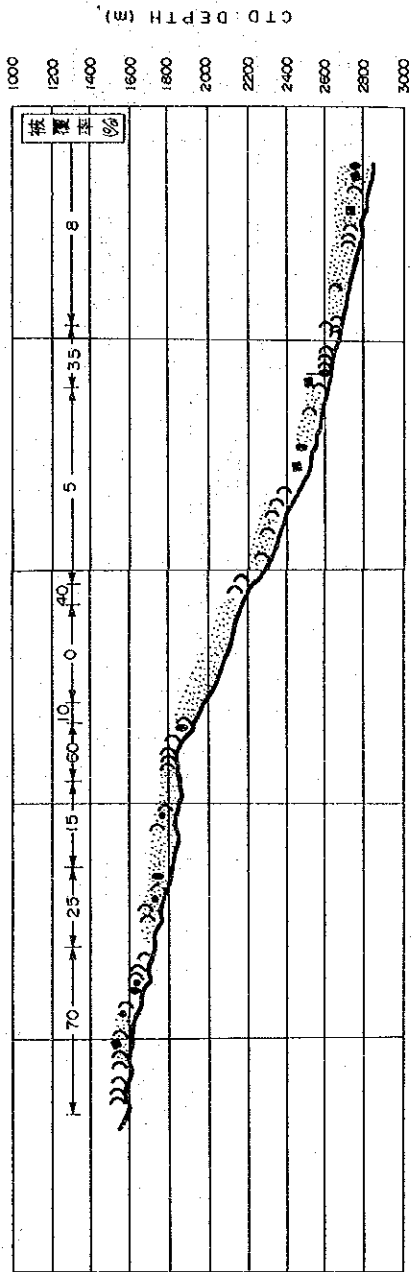
② 斜面上部(各海山の水深範囲は表4-3-19を参照)

斜面上部は斜面とテラスから構成されている。一般に斜面の傾斜は急で、斜面には楕円形を呈し、枕状溶岩と推定される岩盤や凹凸に乏しい平板状の岩盤が露出している。一方テラスは未固結堆積物により被覆され、場所によっては未固結堆積物の下から岩盤が露出する場合もある。浅所に分布する未固結堆積物上にはリップルマークが発達するものの、水深が増すにつれてリップルマークはみられなくなる。

斜面に分布するコバルトクラストのタイプはクラスト状が卓越するが、凹地や岩盤相互の境界付近には少量の礫状やスラブ状のものが分布する。一方、テラスでは未固結堆

*1 ドレッジサンプリングでは調査した6海山の山頂から斜面中部に至る水深890m~3120mの間にコバルトクラストの分布が確認されている。

断面図



平面図

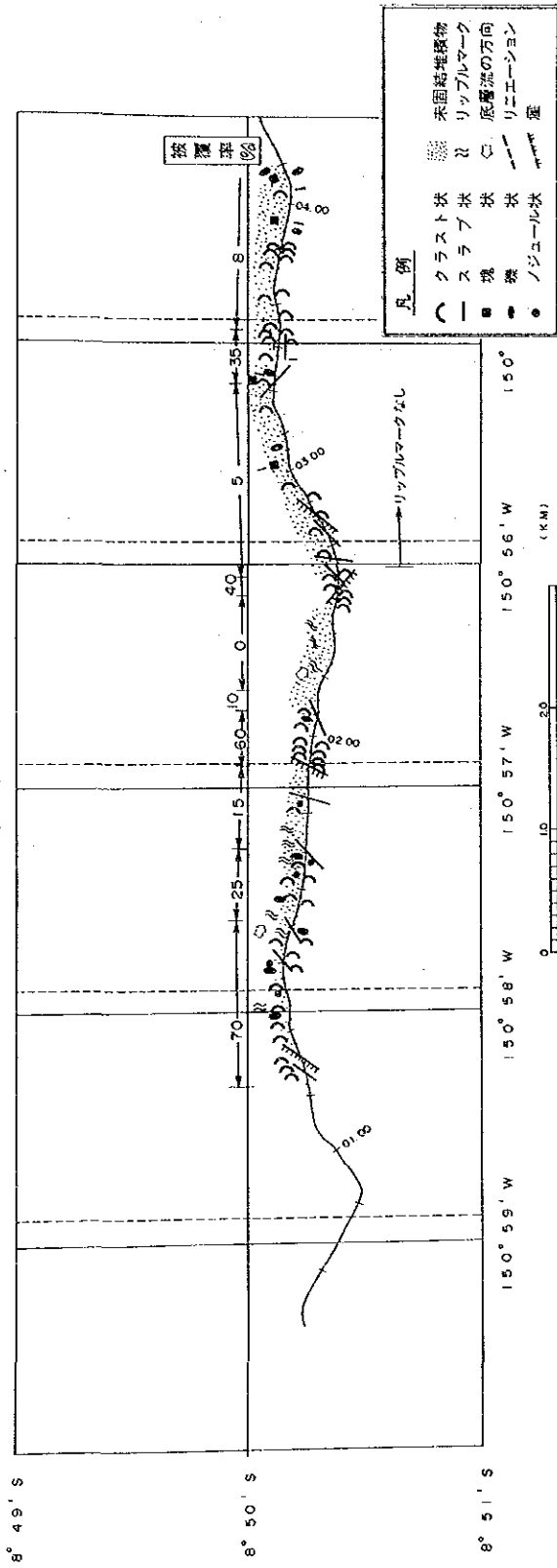
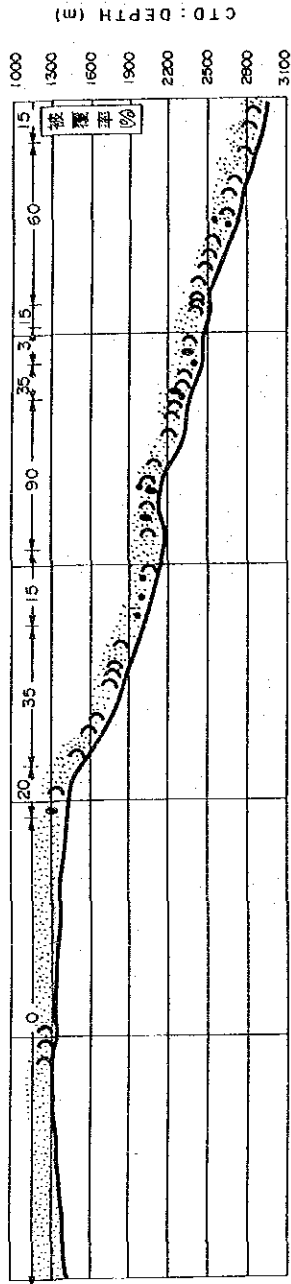


図 4-3-15 FDCルートマップ(1) (測線 89SC02FDC01)

断面図



平面図

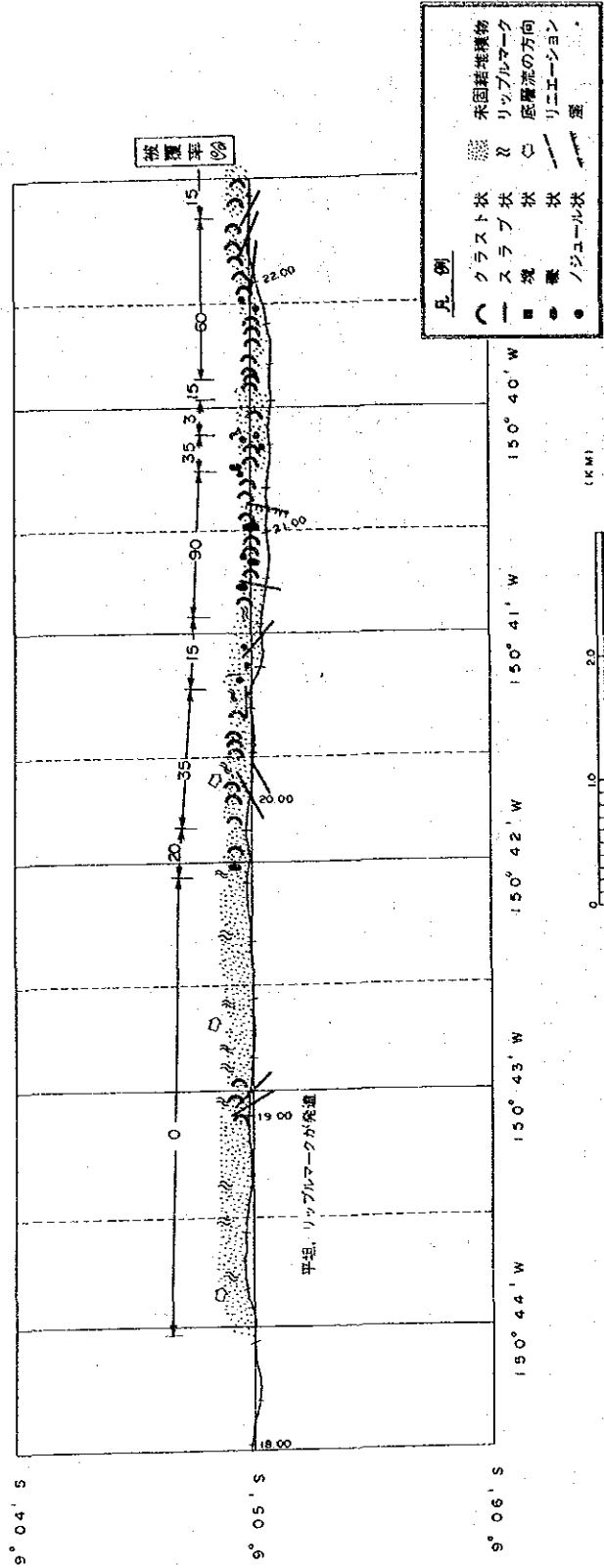
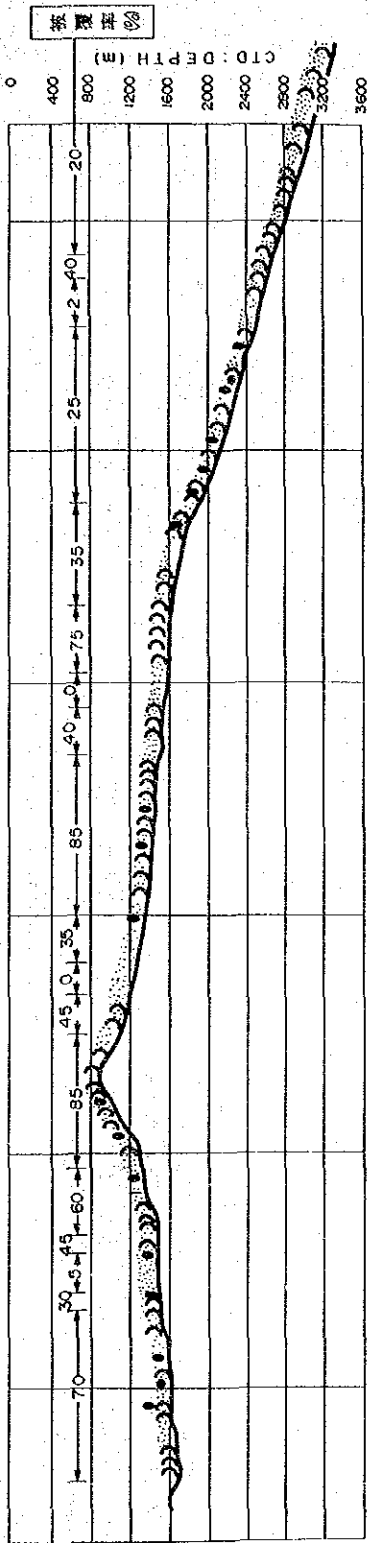


図 4-3-15 FDCルートマップ(2) (測線 89SC03FDC02)

断面図



平面図

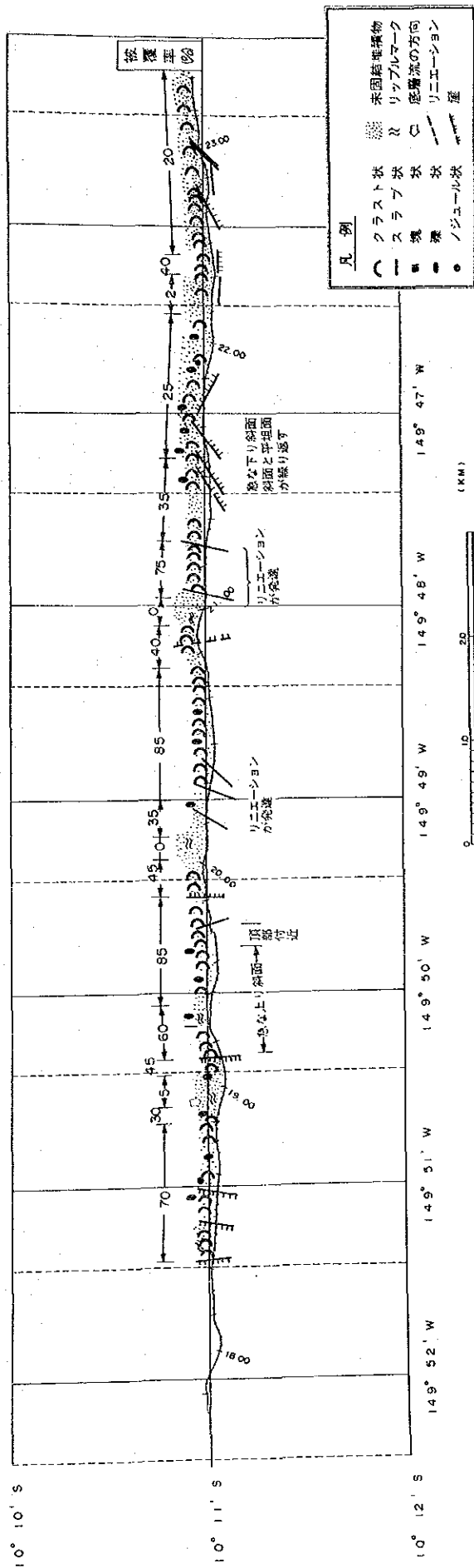
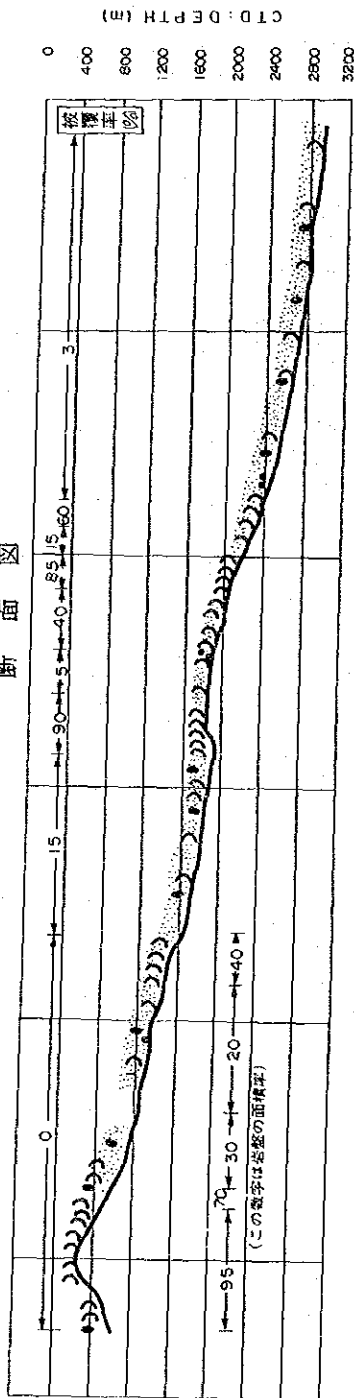


図 4-3-15 FDCルートマップ(3) (測線 89SC04FDC03)

断面図



平面図

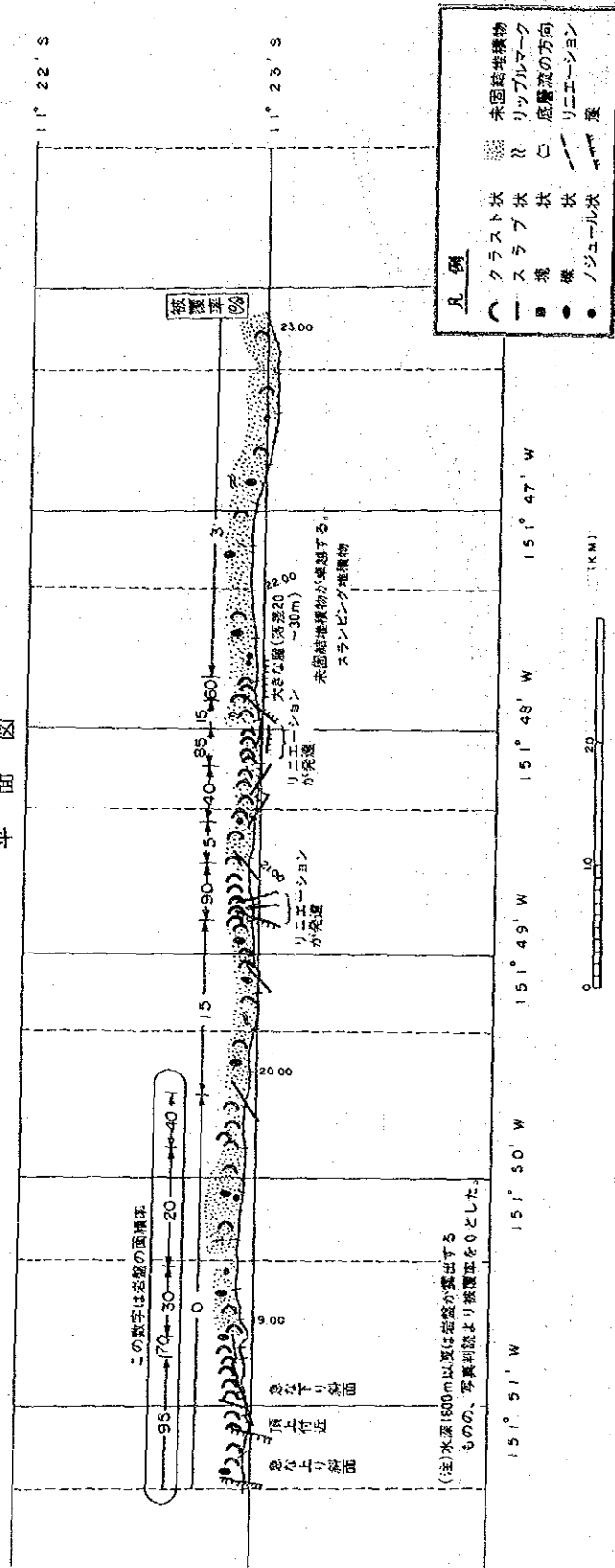
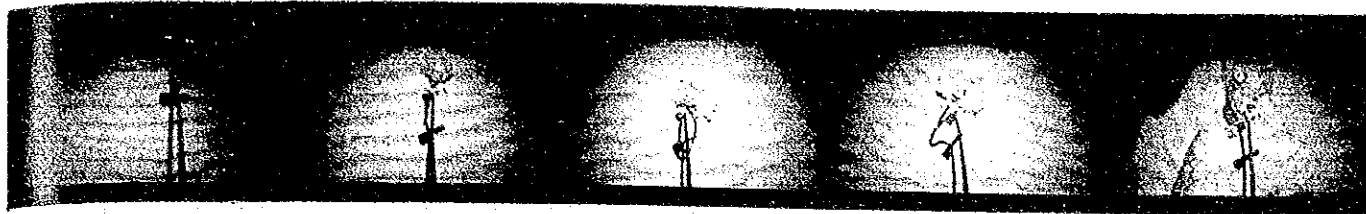
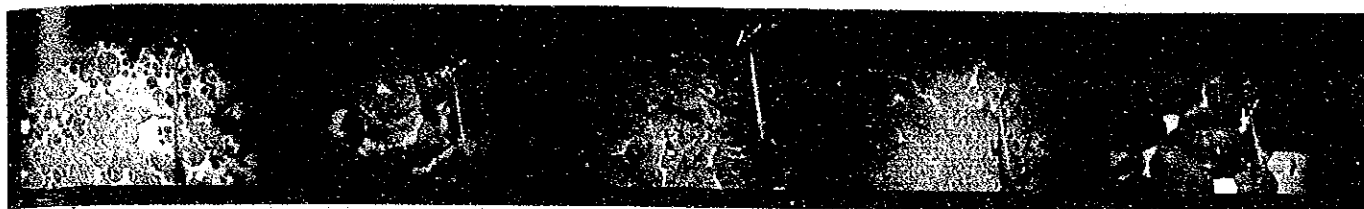


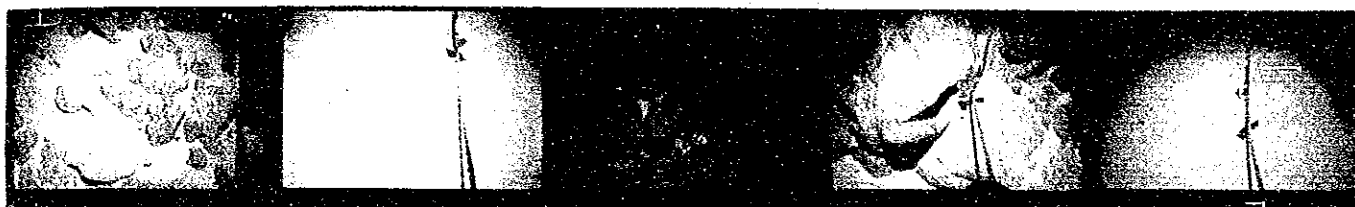
図4-3-15 FDCルートマップ(4) (測線89SC05FDC04)



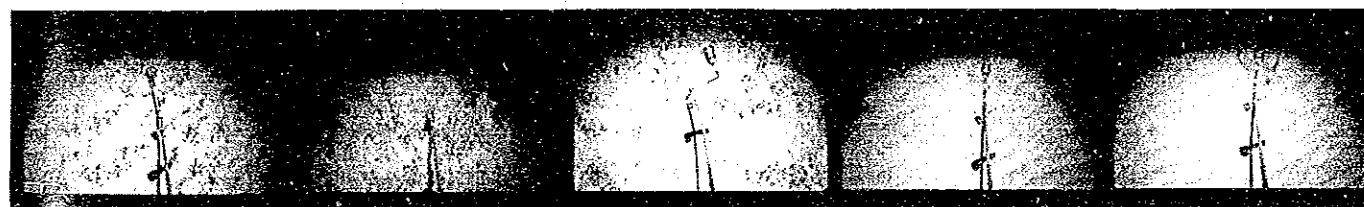
A : 測線89SC02FDC02. SC03海山 山頂平坦地 (水深 1,401m~1,438m)



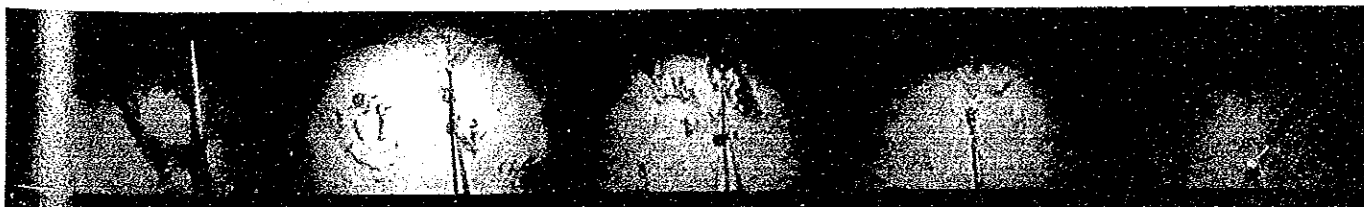
B : 測線89SC04FDC03. SC04海山 山頂 (水深 1,400m~1,413m)



C : 測線89SC04FDC03. SC04海山 山頂 (水深 1,627m~1,670m)



D : 測線89SC03FDC02. SC03海山 斜面上部 (水深 2,448m~2,456m)



E : 測線89SC04FDC03. SC04海山 斜面中部 (水深 3,084m~3,151m)

図 4 - 3 - 16 F・D・Cによる連続写真の例

表 4 - 3 - 18 F D C 観 察 結 果

測 線 No.	観 察 状 況
SC02 FDC01	<p>斜面上部から斜面中部を観察。斜面上部は所々に急斜面が存在し、水深が浅いほどクラストの被覆率がよくなっている。クラストタイプはクラスト状が卓越するものの、未固結堆積物上には礫状やノジュール状のクラストも比較的多数分布する。斜面中部はやや傾斜が緩くなり、クラストの被覆率は斜面上部に比べると悪くなる。クラストタイプはクラスト状と少量の礫状、塊状、スラブ状が分布する。斜面上部の未固結堆積物上はリップルマークが発達し、推定される底層流の方向はNW→SE。</p>
SC03 FDC02	<p>山頂部から斜面中部を観察。山頂部は平坦で、未固結堆積物が卓越する不毛帯となっている。クラストタイプは少量のクラスト状、スラブ状及びノジュール状が分布する。斜面上部は斜面とテラスから構成されている。斜面はクラスト状のクラストにより被覆されている。テラスは未固結堆積物が卓越し、少量のクラスト状、礫状、及びノジュール状のクラストが分布する。斜面中部は斜面上部と同様、斜面とテラスから構成されているものの、斜面の傾斜は緩くなり、未固結堆積物の被覆が多くなる。リップルマークから推定される底層流の方向はWNW→ESE～NW→SE。</p>
SC04 FDC03	<p>山頂部から斜面中部を観察。山頂中央部はクラスト状のクラストが発達する露岩帯で、凹地には未固結堆積物上に、礫状やノジュール状のクラストが分布する。斜面上部から斜面中部にかけては、斜面とテラスから構成されている。斜面には平板状の岩盤が露出し、クラスト状のクラストが被覆する。テラスは未固結堆積物が卓越し、少量のクラスト状、礫状及びノジュール状のクラストが分布する。NE→SW～N→S方向のリネーションが発達する。リップルマークから推定される底層流の方向はN→S～NNW→SSE。</p>
SC05 FDC04	<p>Plint 島の斜面上部から斜面中部を観察。斜面上部と斜面中部はともに斜面とテラスから構成されている。水深 1,600m以浅は斜面が続き、岩盤の露出する割合が高いものの、写真判読及びサンプリング結果から判断すると、クラストの被覆はほとんどないと考えられる。水深 1,600m以深ではクラストの分布もみられるようになり、斜面はクラスト状のクラストが被覆する。テラスは未固結堆積物が卓越し、少量のクラスト状、礫状、ノジュール状及びスラブ状のクラストが分布する。水深 2,400m以深は斜面の傾斜が緩くなり、未固結堆積物が卓越し、クラストの被覆率は低下する。</p>

表 4 - 3 - 19 FDC観察による クラスト平均被覆率

測線番号	地形区分	平均被覆率 (%)
SC02 FDC01	斜面上部 (1,500~ 2,500m)	30
	斜面中部 (2,500~ 3,500m)	10
SC03 FDC02	山頂 (0~ 1,500m)	2
	斜面上部 (1,500~ 2,500m)	50
	斜面中部 (2,500~ 3,500m)	45
SC04 FDC03	山頂 (0~ 1,700m)	60
	斜面上部 (1,700~ 2,500m)	25
	斜面中部 (2,500~ 3,500m)	20
SC05 FDC04	斜面上部*1 (500~ 2,000m)	30
	斜面中部 (2,000~ 3,500m)	15

* 1 測線89SC05FDC04 の斜面上部の平均被覆率は水深 1,600m以深の値を示す。
 () 内の数字は各地形区分の水深範囲を示す。

積物が卓越し、場所によってはクラスト状、礫状、そしてスラブ状のコバルトクラストが少量分布している。

卓礁のSC05海山(Flint島)は尾根付近を中心に急峻な地形が続く、岩盤が広い範囲にわたって露出している。しかし、海底写真から判断すると水深1,600m付近まではコバルトクラストの発達是非常に悪いと考えられる。

③ 斜面中部(各海山の水深範囲は表4-3-19を参照)

最大水深3,290mまでFDCによる観察を行った。(測線89SC04FDC03, SC04海山) 斜面中部は斜面上部と同様、斜面とテラスから構成されている。斜面の傾斜は急で起伏に富み、斜面上部との境界付近では、高さ数m程度の崖が発達する。テラスは未固結堆積物からなるスランピング堆積物により被覆されるが、堆積物の下から岩盤が露出することも多い。斜面の傾斜は水深が増すにつれて緩くなり、やがて、斜面全体が未固結堆積物により被覆されるようになる。例外はあるものの、水深2,500m付近を境としてそれ以深では岩盤の露出は非常に少なくなっている。

コバルトクラストのタイプは斜面にはクラスト状のものが卓越し、礫状やスラブ状を少量伴う。一方、テラスにはクラスト状及び少量のスラブ状、礫状、ノジュール状、塊状のものが分布している。

(2) 被覆率

FDC調査で得られた記録をもとにクラストの分布と産状を検討するとともに被覆率の計算を試みた。クラストの被覆率の試算方法は次のとおりである。

①海底写真からクラストの産状及びその量比、表面構造、被覆率を判読し、航跡図(縮尺1/30,000)上にプロットした。

②写真撮影時間の間隔が長い場合は、前後の写真の被覆率、及びFDC観察野帳の記載内容を参考にし、クラストの被覆率を試算した。

③各測線の地形区分ごとの被覆率については距離加重法により計算した。

FDCのルートマップを図4-3-15に、そしてFDC観察によるクラスト平均被覆率を表4-3-19に示す。

クラストの分布及び被覆状況について次のようなことが判明した。

①クラストの被覆率は地形に大きく影響される。すなわち、地形が急峻で急斜面が発達する場所では岩盤が露出し、その表面をクラスト状のコバルトクラストが被覆し、被覆率は90%以上に達する場合もある。しかし、山頂の平坦部や斜面のテラスなど、地形が起伏に乏しい場合は、有孔虫砂・軟泥からなる未固結堆積物が卓越し、クラストの被覆率は0~3%と極端に低くなる。

②同一海山で比較した場合、斜面上部は斜面中部より被覆率が高い。

③斜面中部では水深の増加に伴って斜面の傾斜が緩くなり、未固結堆積物が卓越するよう

になる。また、同時に、写真から判断するとクラストの厚さも薄くなる傾向にある。

④卓礁のSC05海山(Flint島)の場合、水深1,600m付近までは斜面の傾斜が急で、岩盤が広い範囲に露出している。しかし、写真から判断するかぎり、クラストはほとんど被覆していないものと考えられる。

4-4 考察：コバルトクラストの賦存状況

- 1) 形状としてはクラスト状が卓越し、スラブ状、ノジュール状、礫状の順で分布量に差が認められたが、これらは海山頂部縁辺部、斜面の凹凸が明瞭な岩盤露出部にて連続的に分布する。逆に、海山山頂平坦地、斜面テラス及び斜面中部～下部のスランピング堆積物が分布する箇所ではクラストの鉱況が良くないことが把握できた。(図4-4-1参照)
- 2) Co品位は、スラブ状、クラスト状のコバルトクラストやハイアロクラスタイトを母岩とするもので高品位な傾向を示すが、水深的には、1,000m～1,500mの海山頂部から斜面上部に胚胎するものが最も高品位であり、水深の増加とともにCo品位が低下する現象が認められた。又、Co品位はNi、Mn品位とは正の相関であるがFeとは負の相関関係を示すことも把握できた。クラストの断面的特性としては海水に直接している表・外殻が最も高品位であり、中殻、内殻に従って低品位となる傾向がみられた。
- 3) クラストの厚さはスラブ状で良好である。母岩が堆積岩、火山碎屑岩では平均の厚さが27mm以上あるが、玄武岩、石灰岩の場合は平均15mm以下を示した。水深的には1,500m以深が良好である。
- 4) 各海山の賦存状況としては、Co平均品位はSC02.06海山がCo0.76%以上を示し、クラストの厚さでは、SC01.02海山で平均20mm以上であり、当海域ではライン諸島の北部と西部の海山にてクラストの賦存状況が良好であることが把握できた。即ち海山の生成年代が古い程鉱況が良好となる傾向が見受けられた。(表4-4-1参照)
- 5) Ni-Cu-Co品位と母岩の違いからコバルトクラストを次の3種類にタイプ分けした。(図4-4-2参照)

(品位)	(母岩)
① Ni rich	Tuff, Tuff breccia
② Ni/Co	Sedimentary rock (Sandstone, Phosphorite)
③ Co rich	Basalt, Hyaloclastite, Limestone

上記タイプは水深が浅い海域ほど母岩の相違による品位の差が明瞭となるが、水深が深くなると品位はNi-Coの中間で両品位が徐々に低下しCu品位が高くなりCoリッチタイプのマンガング塊と類似した品位的特徴を示す。これらの点からコバルトクラストとマンガング塊の品位変化が水深、母岩の相違をfactorとして連続的であることが把握できた。

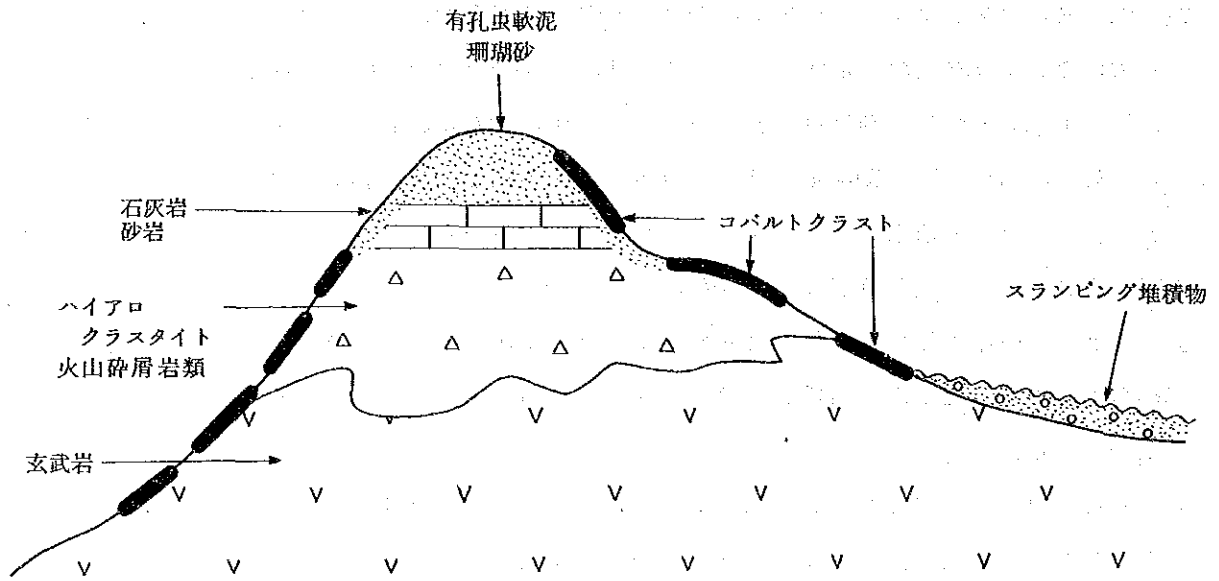


図 4 - 4 - 1 コバルトクラスト賦存状況概念図

表4-4-1 コバルトクラストの調査結果総括表

*1: 海山山頂のほぼ中央部の位置
 *2: 表4-1-3の斜面区分による。
 *3: 有効ドレージの回数
 *4: 個別サンプルのクラスト厚さ。
 *5: 海山毎の平均品位は各ドレージの算術平均
 全体平均は各海山平均の算術平均
 *6: 船上データによる推定値及びFDCデータからの推定値

海山名	SC-01	SC-02	SC-03	SC-04	SC-05	SC-06
位置*	(N)7°20'S, 151°52'W, (S)7°33'S, 151°32'W	8°52'S, 150°57.5'W	9°05'S, 150°43'W	10°11'S, 149°49'W	11°25'S, 151°50.0'W	10°30'S, 154°12'W
調査期間	9/27, 28 (2日)	9/29, 30, 10/1, 2 (4日)	10/3, 4, 5, 6 (4日)	10/7, 8, 9, 10 (4日)	10/12, 13, 14, 15 (4日)	10/17, 18, 19 (3日)
調査 地形調査 サンプリング ドレージ AD FDC	450 マイル 7点 471.74kg	500 マイル 9点 219.44kg 1測線 4.1 マイル 写真 137枚	410 マイル 9点 616.83kg 1測線 5.0 マイル 写真 192枚	400 マイル 9点 325.23kg 1測線 6.0 マイル 写真 180枚	421 マイル 9点 30.20kg 1測線 5.1 マイル 写真 166枚	304 マイル 9点 167.06kg
調査水深帯 サンプリング FDC	1,280m~2,180m	1,300m~2,720m 1,646m~2,882m	1,540m~2,920m 1,253m~3,110m	890m~3,115m 818m~3,446m	1,090m~2,745m 539m~3,098m	1,140m~2,880m
海山 海山タイプ 規模 (km) 水深分布 (m) 頂部の拡がり 斜面傾斜: 上/中/下部** 2400m以浅の面積 (km ²) 山頂部 (km ²) 斜面 (km ²)	尖頂海山 16km×47km 1,590m~5,000m 5km×5km 11°/9°/5° 141km ² 62km ² 79km ²	尖頂海山 17km×42km 1,200m~5,000m 5km×5km 13°/10°/6° 179km ² 97km ² 82km ²	尖頂海山 10km×24km 1,040m~4,000m 5km×5km 14°/12°/6° 217km ² 25km ² 192km ²	尖頂海山 15km×15km 1,140m~4,500m 4km×4km 14°/12°/6° 219km ² 18km ² 201km ²	尖頂海山 18km×15km 805m~4,500m 1km×1km 18°/16°/7° 145km ² 62km ² 83km ²	卓礁 28km×10km 0m~4,500m 4km×1km 17°/13°/4° 253km ² 1km ² 252km ²
地質	玄武岩は、角閃石の斑晶を含む。ハイアロクラスタイトは、玄武岩質で基質はリン酸塩岩により交代されている。石灰岩は、礫性堆積物からなり、有孔虫、二枚貝の化石を含む。山頂部は未固結堆積物が卓越。	玄武岩は発泡して杏仁状を呈するものが多い。ハイアロクラスタイトは、玄武岩質で基質はリン酸塩岩により交代されている。石灰岩は礫性堆積物からなり、有孔虫などの化石を含む。玄武岩は海山の西部に卓越。	石灰岩は礫性堆積物からなり、有孔虫、二枚貝等の化石を含む。また、リン酸塩化作用を受けている。玄武岩は、無斑晶のもの、輝石の斑晶を含むものが存在する。南斜面2000m付近からは、発泡して杏仁状を呈する玄武岩の円礫を多量に採取。	石灰岩は礫性堆積物からなり、有孔虫、二枚貝の化石を含む。リン酸塩化作用を受けている場合が多い。山頂部1700m以浅では石灰岩のみ採取。海山の西部、東部で層理を有する凝灰岩を採取。南西部、北部で細粒の砂岩を採取。	石灰岩は礫性堆積物からなり造礫性サンゴ、有孔虫、二枚貝などの化石を含む。リン酸塩化作用を受け、底生生物による穿孔穴の発達するものが多い。玄武岩は、発泡して杏仁状を呈する場合が多い。	玄武岩は発泡して杏仁状を呈する。海山西側で採取した玄武岩、ハイアロクラスタイトは輝石の大きい斑晶(最大約1cm)を含む。石灰岩は、礫性堆積物からなり有孔虫などの化石を含む。他の海山にくらべ石灰岩の割合が少ない。
特徴	礫状が卓越。スラブ状、クラスト状を伴う。	クラスト状が卓越。スラブ状、礫状、ノジュール状を伴う。	クラスト状が卓越。ノジュール状、礫状を伴う。	クラスト状が卓越。礫状、スラブ状、ノジュール状を伴う。	クラストの発達が悪く、1mm以下のコーティング状が多い。	クラスト状が卓越。スラブ状を伴う。
母岩	玄武岩、ハイアロクラスタイトが卓越。石灰岩、未固結堆積物を伴う。	玄武岩、ハイアロクラスタイトが卓越。石灰岩、未固結堆積物を伴う。	石灰岩が卓越する。ハイアロクラスタイト、玄武岩、未固結堆積物を伴う。	石灰岩が卓越。玄武岩、ハイアロクラスタイト、古期堆積物、未固結堆積物を伴う。	石灰岩が卓越。玄武岩、ハイアロクラスタイト、未固結堆積物を伴う。	玄武岩、ハイアロクラスタイトが卓越。石灰岩、未固結堆積物を伴う。
厚さ	平均 (mm) 35.4 厚さの範囲 (mm) ** 1~200 個数* 7	平均 21.7 範囲 3~85 個数* 7	平均 15.6 範囲 1~80 個数* 9	平均 19.0 範囲 0~130 個数* 8	平均 6.5 範囲 1~20 個数* 8	平均 18.9 範囲 1~85 個数* 9
品位	平均 範囲 Co (%) 0.56 0.16~1.01 Ni (%) 0.65 0.47~0.87 Cu (%) 0.11 0.07~0.14 Mn (%) 17.91 8.99~24.71 Fe (%) 9.10 4.29~12.83 個数* 6	平均 範囲 0.78 0.34~1.48 0.64 0.43~0.89 0.11 0.06~0.15 24.51 19.48~31.38 15.28 10.16~19.55 個数* 7	平均 範囲 0.54 0.28~0.68 0.56 0.37~0.80 0.13 0.10~0.18 20.85 17.47~23.88 16.08 11.13~21.46 個数* 8	平均 範囲 0.42 0.28~0.61 0.59 0.38~1.26 0.13 0.05~0.17 18.51 11.87~23.34 14.33 6.19~20.57 個数* 8	平均 範囲 0.66 0.34~1.33 0.53 0.36~0.80 0.10 0.06~0.15 17.71 10.60~27.87 12.76 6.86~16.37 個数* 8	平均 範囲 0.76 0.54~1.25 0.60 0.42~1.04 0.11 0.07~0.14 24.02 20.82~30.72 16.40 8.87~19.48 個数* 9
被覆率推定* (FDC)	FDC実施せず	山頂は不明 斜面上部 30% 斜面中部 10%	山頂は石灰質軟泥が卓越0~5% 斜面上部 50% 斜面中部 45%	山頂 60% 斜面上部 25% 斜面中部 20%	水深1600m付近まではクラストの被覆はない。 斜面上部 30% 斜面中部 15%	FDC実施せず
評価	クラストの厚さ良好	クラストのCo品位、厚さとも良好	斜面上部の被覆率良好	山頂部の被覆率良好	不良	Co品位良好、厚さは並

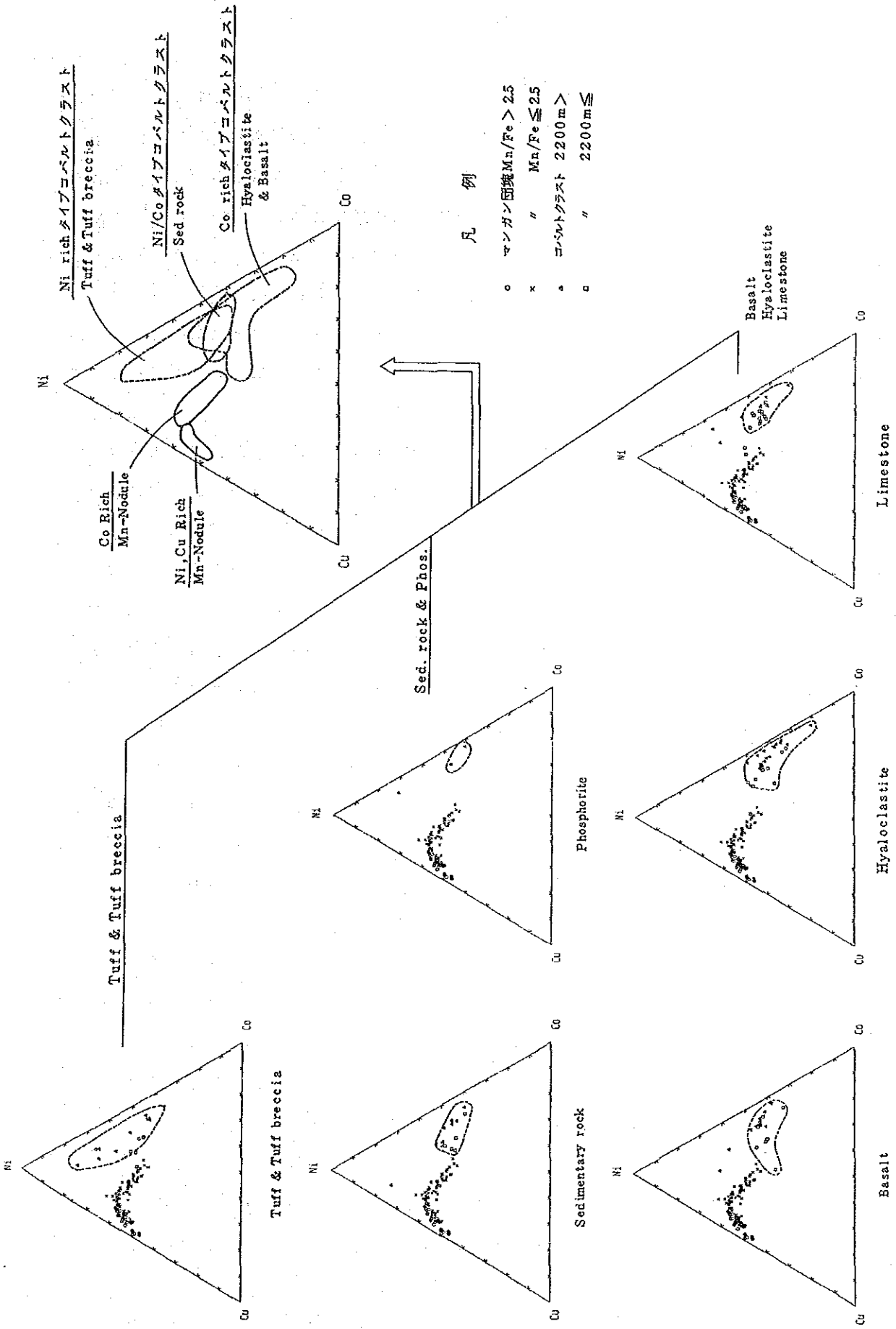


図 4-4-2 コバルトクラストのCo-Ni-Cu品位と母岩の相違によるタイプ図

5 章 ま と め

5-1 調査方法

全調査期間65日（海域内調査日数42日）の前半にマンガン団塊調査（海域内調査日数18日）を行い、後半に主としてコバルトクラスト調査（海域内調査日数24日）を行った。

マンガン団塊調査では調査海域全域に対し60マイルグリッドのサンプリング間隔で海底に分布するマンガン団塊を採取し同時に海底写真を撮影して賦存状況、品位、底質物等の性状を把握した。サンプリング測点間の移動時には各種音響探査を行い、海底地形図の作成、表層堆積物調査、及びMFESによるマンガン団塊の推定分布密度調査等を行った。調査データは調査船に搭載されたコンピューターシステムにてデータを収録、処理するとともに各種図表類を作成した。

これらの結果に基づき調査の最終段階にて、マンガン団塊の鉱況の最も優れている海域にて連続撮影式深海カメラシステムにより鉱況の連続性について調査した。

採取試料の一部については陸上にて各種分析、X線回折、顕微鏡観察、化石鑑定等を行い船上調査結果と併せた総合的な解析を行った。

コバルトクラスト調査ではライン諸島列から6海山を選定し音響機器による海山の地形調査、表層堆積物調査を行ってサンプリング地点を決め各海山にて平均約9回のドレッジを行った。サンプリング地点の選定に当たっては、水深、斜面の地形、堆積物の状況及び潮流、風向等を考慮したが、事前にFDCにより海底をテレビ観察した海山では、写真データ、画像データも参考とした。採取試料についてはコバルトクラストのタイプ、厚さ、比重、品位等を船上にて把握するとともに前述の写真データにより算出したコバルトクラストの被覆率を加味して各海山別のコバルトクラスト賦存状況を把握した。

なお、採取試料の一部については、陸上にて各種分析、X線回折、顕微鏡観察、年代測定等を行い、微量成分、鉱物組成他の特徴を含む総合的な解析を行った。

船上調査方法の主要項目は次に示した内容である。

1) マンガン団塊調査

測 点 数：33点。測点毎の採試点数：3点。全採試点99点

サンプリング機：フリーフォールクラブ 94回使用

スピードコアラー 5回使用

測 点 間 隔：60マイルグリッド

音 響 探 査：PDR, NBS（地形調査）

SBP （表層堆積物調査）

MFES （推定分布密度調査）

分 析 件 数：205件×5成分（Ni, Cu, Co, Mn, Fe）

C D C 観 察 : 1 測 線 , 5.4 マ イ ル , 写 真 198 枚。

2) コバルトクラスト

海 山 数 : 6 海 山 (内 1 つ は 卓 礁) 。

サンプリング機 : アーム・ドレッジャー

ドレッチ回数 : 52 回 (7 ~ 9 回 / 海 山)

採 取 量 : 2,356kg (含 岩 石)

分 析 件 数 : 180 件 × 5 成 分 (Ni, Cu, Co, Mn, Fe)

音 響 探 査 : P D R, N B S (地 形 調 査)

S B P (表 層 堆 積 物 調 査)

F D C 観 察 : 4 測 線 , 計 20.2 マ イ ル , 写 真 657 枚 , ビ デ オ テ ー プ (白 黒) 11 巻

5 - 2 地 形 と 地 質

海域の中央部をNW-S E 方向に横切るライン諸島を境にして西側はNorth Penrhyn Basin に、東側は Northeast Pacific Basin に属する。North Penrhyn Basin では水深 5,200 ~ 5,400 m の平坦地が、Northeast Pacific Basin においては水深 5,000 ~ 5,200m の準平坦地が発達する。

ライン諸島列はNW-S E 方向の2系列からなり、西側は丘陵地、東側は山岳地を構成する。東側系列には、0.1 ~ 0.4 海山が、西側系列には0.5 海山が含まれる。また0.6 海山は、Northeast Pacific Basin に含まれる。コバルトクラストの対象海山はすべて尖頂海山で0.5 海山は卓礁であった。海山頂部の水深は 805 ~ 1,590m で北側ほど深い傾向がみられる。

山岳地及び海山においては玄武岩、ハイアロクラスタイト、石灰岩を主とし火山碎屑岩類、古期堆積物を従とする岩盤が露出し、その間を未固結堆積物が埋めている。平坦地及び準平坦地においては、褐色粘土が広く分布しているが一部には石灰質堆積物も分布しており、それらの分布から推定される炭酸カルシウム補償深度は約 5,000m である。

S B P により推定された未固結堆積物の厚さは、南西部のNortheast Penrhyn Basin で10m 前後の分布が認められたが全般に薄く、0.1 ~ 0.6 海山頂部においても透明層は局部的にしか認められなかった。従って未固結堆積物は劣勢であると推定される。

5 - 3 マンガン団塊の賦存状況

当海域のマンガン団塊賦存状況は次の内容に要約できる。

- (1) 小石状が卓越し (約 50%) 塊状は調査海域西側、扁礫は東側で多い。扁平だ円状は少ない (3%) 。分布密度は塊状は高いが (8.56kg / m²) 小石 (4.75kg / m²) , 扁礫 (5.34kg / m²) は中程度の分布密度である。
- (2) 粒径は 2 - 4 cm サイズが約 49% を占め小型のマンガン団塊に富む。

- (3) 平均分布密度は4.37kg/m²と低い。2.5kg/m²以下の不毛部は全採試点の68%を占め、一方10kg/m²以上の富鉄部は8%しかない。
- (4) 10kg/m²以上の高分布密度は調査海域東側に、5kg/m²以上の中分布密度は西側及びその他に散在する。西側60採試点の平均分布密度は2.94kg/m²、東側39採試点の平均分布密度は6.56kg/m²と東側海域がやや高い結果となった。
- (5) 東側の10kg/m²以上の分布は水深4,700m～5,100mで海丘地帯である。西側の5kg/m²以上の分布域は水深5,300m～5,500mで平坦地である。
- (6) 石灰質堆積物の出現海域では分布密度が高い。

底質物	平均分布密度
石灰質堆積物	7.76kg/m ²
褐色粘土	3.72kg/m ²

- (7) Mn/Feをもとに分類すると、Ni-Cuに富むタイプ(Mn/Fe>2.5)とCoに富むタイプ(Mn/Fe≤2.5)のマンガン団塊があることが明らかになった。
- (8) Ni-Cuリッチタイプは分布密度が低く(平均2.7kg/m²)、CCDよりやや深い海底(水深5,000m～5,200m)に産することが多いので褐色粘土に伴われる。扁平だ円、扁平礫、球状が多い。

	品位	比率(Ni, Cu, Co/Ni+Cu+Co)
Ni	1.08%	54%
Cu	0.78%	39%
Co	0.13%	7%

マンガン酸化物は10Åマンガンナイト>δ-MnO₂の傾向がある。

- (9) Coリッチタイプは、分布密度が高く(平均7.5kg/m²)、従って高金属量を示すので資源としてのポテンシャルは高い。調査海域東南部に濃集し(7測点、面積約25,000km²) CCDの直上～直下に産する事が多く、従って石灰質堆積物を伴う。小石、塊、板状が多い。

	品位	比率(Ni, Cu, Co/Ni+Cu+Co)
Ni	0.61%	50%
Cu	0.35%	29%
Co	0.26%	21%

マンガン酸化物はδ-MnO₂>10Åマンガンナイトの傾向がある。

- (10) CDC調査で5.4マイル間の分布状況を観察し、平均分布密度(約8kg/m²)、形状等と地形変化との関係を把握した。即ち小丘状の海底地形や岩盤地帯では細粒のマンガン団塊が卓越し、部分的に分布密度が低下する傾向がある。