

- 1 *Pyrgo murrhina*. (91S0108SC01-20cm. ×56)
- 2 *Favocassidulina favus*. (91S0108SC01-20cm. ×80)
- 3 *Pullenia quadriloba*. (91S0108SC01-10cm. ×160)
- 4 *Pullenia bulloides*. (91S0310SC01-20cm. ×160)
- 5 *Pullenia quinqueloba*. (91S0310SC01-10cm. ×160)
- 6 *Melonis sphaeroides*. (91S0310SC01-20cm. ×160)
- 7 *Pseudoparrella exigua*. (91S0108SC01-30cm. ×120)
- 8 *Nuttallides umbonifer*. (91S0108SC01-30cm. ×80)
- 9 *Oridorsalis umbonatus*. (91S0108SC01-20cm. ×80)
- 10 *Cibicides wuellerstorfi*. (91S0108SC01-20cm. ×80)

图 3 - 3 - 2 代表的な有孔虫化石種(2) (底生有孔虫)

準については、N. 22帯を示す *Pulleniatina finalis* が産出することから、鮮新世末期の Matsuyama 逆磁極期、Olduvai 亜期以降の堆積物であることは確実である。しかし、両試料とも、更新世前期あるいはそれ以前を示す種がまったく認められないこと、その直上の試料との間に顕著な群集の差異が認められないことなどから、これらもN. 23帯に相当すると考えられる。底生有孔虫についても、3コアの全層準を通じて顕著な群集の差異は認められない。いずれの試料においても、*Nuttalides umbonifer*, *Favocassidulina favus*, *Melonis sphaeroides*, *Oridorsalis umbonatus* などの卓越する群集よりなる。これらは現在の太平洋低緯度地域における、典型的な下部漸深海帯群集である。

(3) 地質年代

以上に述べた浮遊性有孔虫および放散虫の資料をもとに、各コアにおける微化石層序を検討した。その結果得られた各コアの年代を以下に示す。

- 91S0C12PC04 中新世後期～鮮新世前期(6.3-4.0Ma, 放散虫)
- 91S0B12SC01 表層：第四紀後期～現在(0.5Ma-現在, 放散虫)
30cm：鮮新世後期～現在(2.6Ma-現在, 放散虫)
- 91S0115SC01 表層～30cm：第四紀(1.55Ma-現在, 放散虫)
40cm：鮮新世後期～現在(2.6Ma-現在, 放散虫)
- 91S0414SC01 表層～20cm：第四紀後期(0.5Ma-現在, 放散虫)
- 91S0515PC01 350 cm：中新世前期後期～中新世中期前期(放散虫)
- 91S0111SC01 第四紀後期(有孔虫・放散虫)
- 91S0108SC01 第四紀後期(有孔虫・放散虫)
- 91S0310SC01 第四紀後期(有孔虫・放散虫)

(4) 堆積速度

各コア試料中より産する浮遊性有孔虫および放散虫化石から堆積速度を以下のように推定した。しかし、これらの値は小さすぎるためこれらの堆積物は何度も剝された可能性が大きい。

- 91S0C12PC04 不明。表層から-350 cmまで同一化石帯に相当するため、堆積速度の算定ができない。
- 91S0B12SC01 表層～-30cm間の平均堆積速度は、約1.15mm/10,000年となる。
- 91S0115SC01 表層～-30cm間の平均堆積速度は、約1.94mm/10,000年で、-30～-40cm間のそれは約0.95mm/10,000年である。
- 91S0414SC01 表層～-20cm間の平均堆積速度は、約4.00mm/10,000年である。
- 91S0515PC01 不明。-350 cmより上位では時間面を決定すべきデータが得られていない。
- 91S0111SC01 表層～-30cm間の平均堆積速度は、約3.75mm/10,000年である。

91S0108SC01 表層～-30cm間の平均堆積速度は、約3.75mm/10,000年となる。

91S0310SC01 表層～-40cm間では、約5.00mm/10,000年の平均堆積速度となる。

(5) 堆積環境

有孔虫を産出した3地点については、底生有孔虫により試料の層準の範囲内で常に下部漸深海帯にあったことが明らかである。しかし、いずれの試料も石灰質殻の溶解が認められ、また、現在の水深が比較的深い地点ほど溶解の程度が著しいことから、各地点とも常に pycnoclineか、それ以深にあったと考えられる。これに対し、他の5地点には有孔虫がまったく含まれていない。現在の水深を考慮すると、これらの地点は常にCCD以深であったと推定できる。

なお、91S0310SC01のコアには、始新世のものとみられる放散虫の再堆積個体が多数含まれる。

7) CCD (炭酸カルシウム補償深度)

スミアスライドを顕微鏡で観察し、炭酸カルシウム鉱物が認められなくなる最大水深をもって炭酸カルシウム補償深度とすると、当海域のCCDは約5.150mと推定される。

3-4 MFESによるマンガング塊の賦存状況

1) サンプルング結果との対比

図3-4-1に各測点でのMFESの推定分布密度とサンプルングによる揚収分布密度との散布図を示す。同図には、次項に述べるようなMFESに対する妨害要因を見いだすために、各測点におけるSBPタイプも表示した。各測点ごとのマンガング塊推定分布密度は次の関係式から計算した。

MFESによる推定分布密度 = MFESの測定値 × (測点における重量係数 / 22)。

ここに、22はMFESをテストした海域できめた値であり、重量係数は次式で定義されている。

重量係数 (kg/m²) = 揚収重量 / (FGグラフ開口面積 × マングング塊占有面積率)。

当海域は分布密度がゼロに近い測点が多いので厳密な議論はできないが、図3-4-1から、当調査海域のMFESによる推定分布密度とサンプルングによるマンガング塊の相関は良好と云える。

2) MFESによるマンガング塊分布密度の推定

当海域で、MFESの測定値は重量係数を22kg/m²と仮定している。それゆえ、MFESによる推定分布密度を求めるには前述した関係式から分かるように当海域の重量係数を求めなければならない。しかし、当調査海域ではマンガング塊の分布密度がゼロの箇所が多くそのサンプルング間隔も60マイルと広い。そのため測線上における重量係数の推定が困難であり、重量係数の補正を実施していない。ただし、サンプルング結果から得られた各測点の重量係数はバラツキはあるものの、平均的には約20kg/m²を示し、仮定した重量係数22kg/m²とほぼ同じ値である。それゆえ当海域におけるMFESの測定値は重量係数を補正しなくても、概ねFGによる分布密度に等しい。

当海域の特徴として、図3-4-1からも明らかなように、サンプルングによるマンガング塊の高分布密度帯は全てタイプaの所に分布し、MFESも高分布帯を示し相関もよい。

一方、タイプc、タイプecではサンプルングによるマンガング塊分布密度に比較してMFESによる推定分布密度が高めの値になり、いわゆる疑似異常となっている。このような疑似異常帯と推定される範囲を記入したMFESによる分布密度解析図を図3-4-2に示す。

図3-4-2から、当調査海域のMFESによる高分布密度帯は狭い範囲に認められる。そのうち顕著なものをあげると表3-4-1に示した5箇所(図3-4-2にA~Eの記号で表示)である。

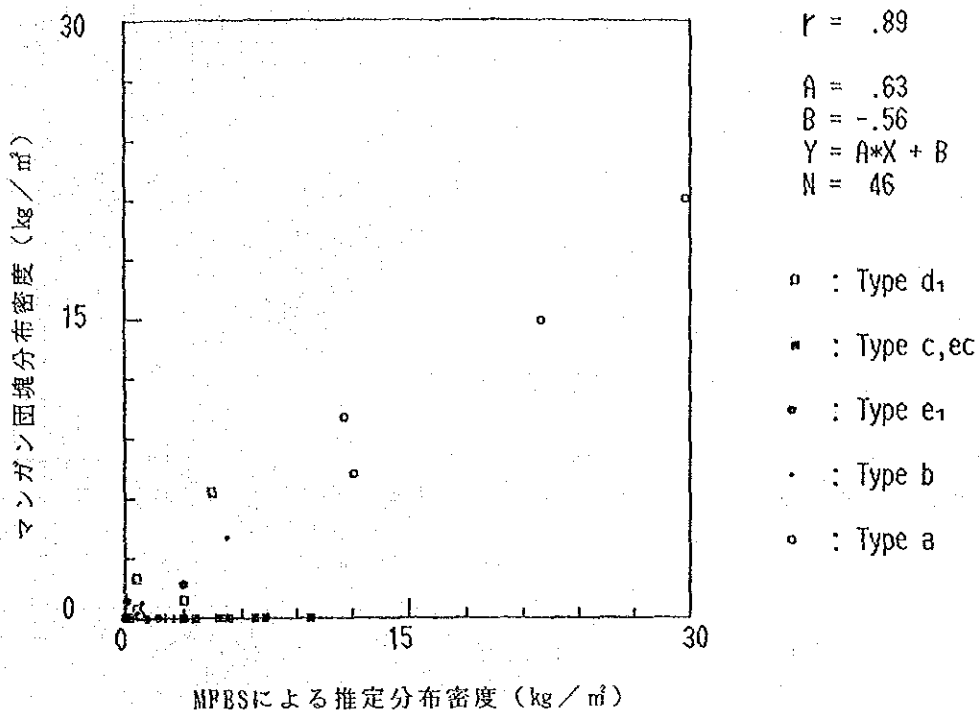


図 3 - 4 - 1 MFES と サンプルング 結果 と の 比 較

表 3 - 4 - 1 MFES による 高 分 布 密 度 帯

MFES 高分布帯	中 心 位 置	MFES (kg/m ²)	サンプルング結果 (kg/m ²)
A	4° 20' N · 177° 20' E	10 吨	未採試
B	3° 00' N · 177° 30' E	15 吨	10.06
C	1° 00' N · 177° 30' E	15 吨	21.08
D	3° 00' S · 178° 30' E	10 吨	7.22
E	4° 00' S · 177° 30' E	15 吨	14.91

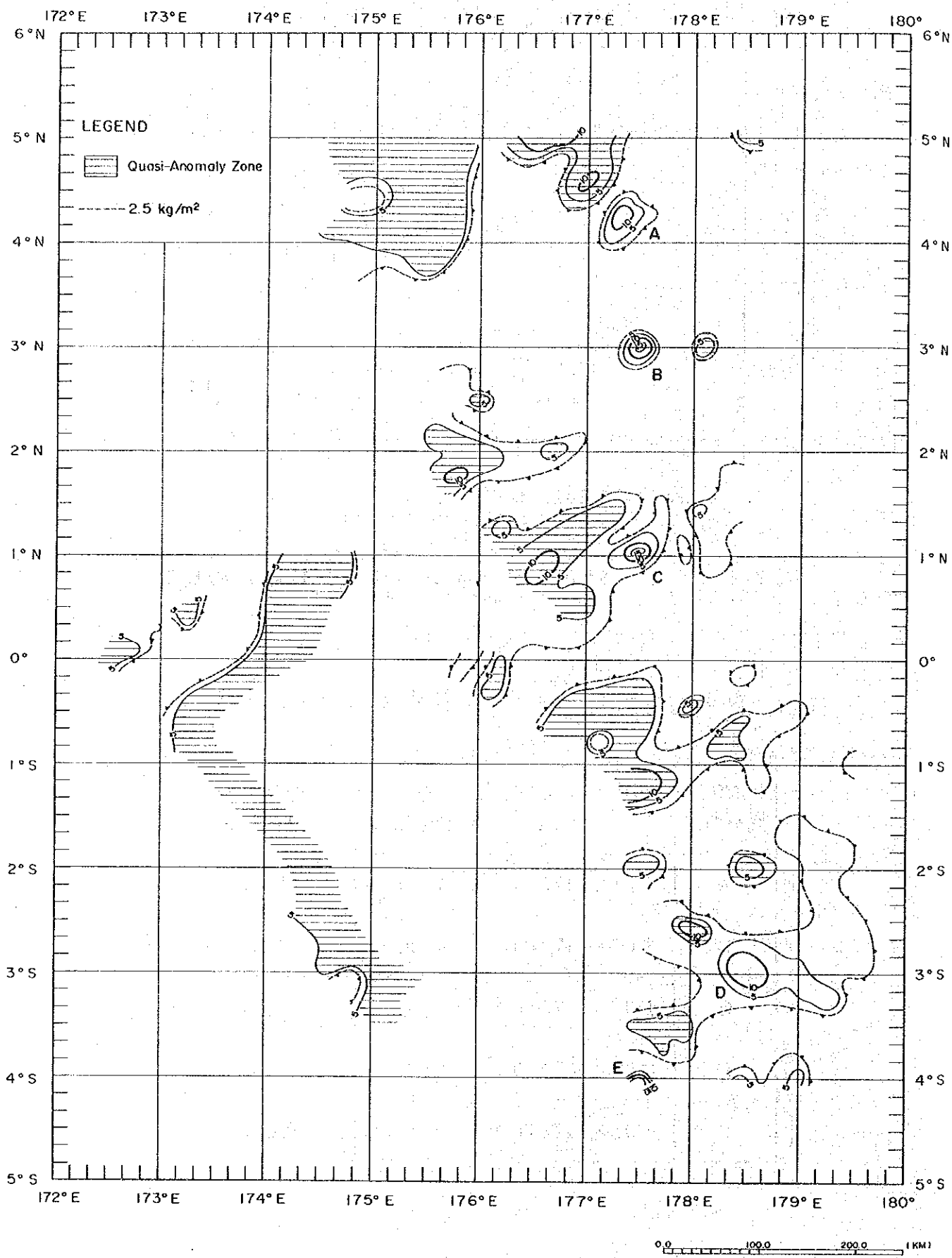


図 3 - 4 - 2 MFESによるマンガン団塊分布密度解析図

3-5 マンガン団塊の賦存状況

採取したマンガン団塊の観察結果、海底写真及び解析結果に基づき、その賦存状況をまとめた。

1) 形状、粒径、産状

(1) 形状

分類は表3-5-1に従った。

表3-5-1 マンガン団塊の形状による分類

マンガン団塊を平面上に置き、団塊の平面的形状と長軸に垂直な切断面の形状から分類する。

(1) 平面的形状が円～だ円形を示すもの。

球 状：真球に近い形状を示し、断面上で短径/長径 = 3/4 以上のもの。大きさは問わない。

扁平だ円状：断面上で短径/長径 = 3/4 未満の形状を示すもの。この内、短径/長径比が 1/2 以上のものを扁平だ円状厚型といい、1/2 以下のものを扁平だ円状通常型という。

扁平碟状：断面上で短径/長径 $\leq 1/4$ を示し、かつ団塊の長軸が 4 cm 未満で滑らかな表面のもの。

(2) 平面的形状が円～だ円形を示さないもの。

塊 状：団塊が不規則な塊状を示すもの。大きさは問わない。

板 状：団塊が板状を示すもの。大きさは問わない。

小石 状：団塊の長軸が 4 cm 未満で亜角～亜円碟状を示し、滑らかな表面のもの。

図3-5-1に各形状毎の採取量率を、別添第4図に形状分布を示す。

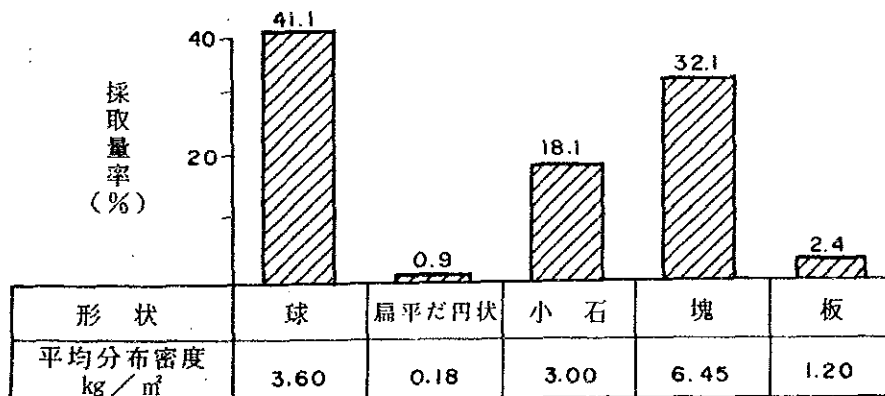


図3-5-1 マンガン団塊の形状と採取量率

形状について以下の特徴が認められる。

- ① 球状（41.1%）、塊状（32.1%）が多く、小石状（18.1%）がこれに次ぎ、扁平だ円状、板状は非常に少ない（1.8%以下）。
- ② 球状、塊状は全域に出現し、本海域の特徴を示す。小石状は地形区分の平坦地から準平坦地に、球状は「平坦地」に多く分布する傾向があり、地形との関係が認められる。

(2) 粒 径

採取したマンガン団塊を、長径0～2 cm、2～4 cm、4～6 cm、6～8 cm、8～16 cmの粒度区分毎にサイズ分けし、各区分毎の重量及び重量比率を求めた。この結果、当海域では、4～6 cmサイズが最も多く、その採取量率は全体の約33.3%に達した他、次の特徴が認められた（図3-5-2、別添第5図）。

- ① 2～4 cm、4～6 cmは計62.1%となり、当海域は中型マンガン団塊に富む。
- ② 粒径の大きいもの（8 cm以上）は、マンガン団塊の形状が球状、塊状を示す地区と良く対応している。
- ③ 0～2 cmサイズは採取量は少ないが、当海域全域に広く出現する（付帯資料1参照）。

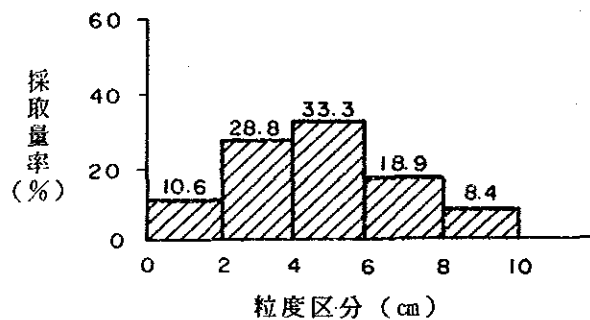


図3-5-2 マンガン団塊の粒径と採取量率

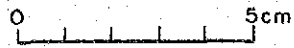
(3) 産 状

図3-5-3、図3-5-4に代表的なマンガン団塊の形状と産状の写真を示した。その特徴は次の通りである。

- ① 粒径は不均一であり、大きさの異なるマンガン団塊が混在して出現する傾向がある。特に塊状および板状マンガン団塊を含む場合には8 cm以上のサイズにおよぶことが多い。
- ② 塊状、板状マンガン団塊は後述するように、団塊の核にシルトないしシルト岩を含む場合が多く、クラスト状を呈することもあり、特異な産状を示す。
- ③ 球状、小石状も核にシルト岩を含む場合がある。
- ④ 表面構造は全般に滑らかである。



(上面)

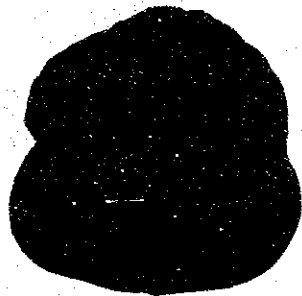


(断面)

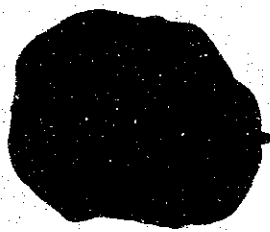


球 状

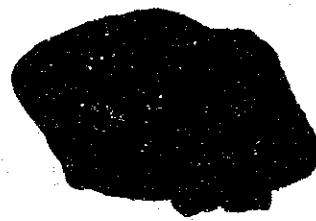
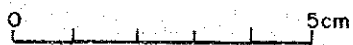
91S0013FG01



(下面)



(上面)

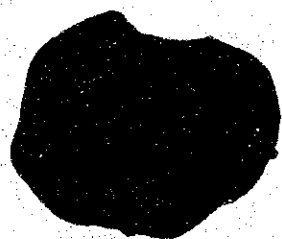


(断面)



小石状

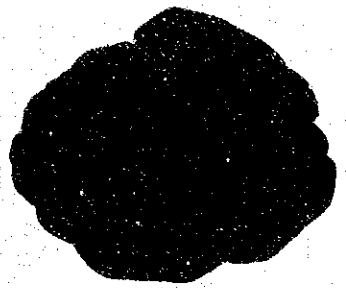
91S0414SC01



(下面)



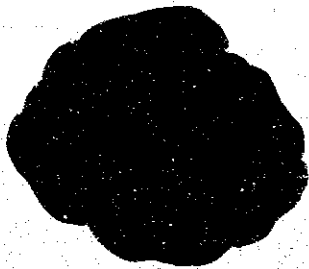
図 3 - 5 - 3 マンガン団塊の形状 (1)



(上面)



(断面)



(下面)

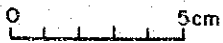


扁平だ円状

91S0415PG02



(上面)



(断面)



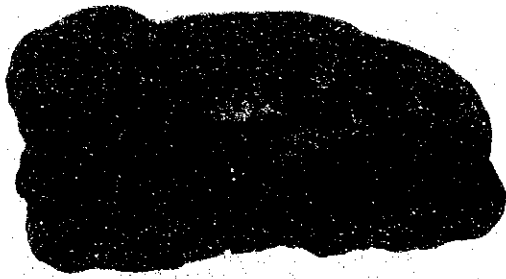
(下面)



板 状

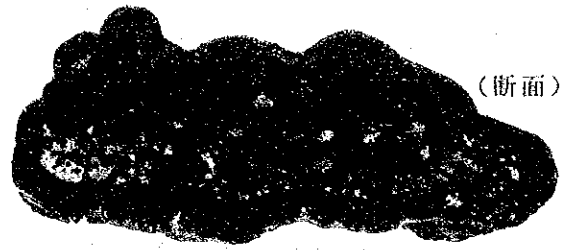
91S0B13PG01

図 3 - 5 - 3 マンガン団塊の形状 (2)



(上面)

0 5cm



(断面)

0 5cm



(下面)

0 5cm

塊 状

91S0013FG03

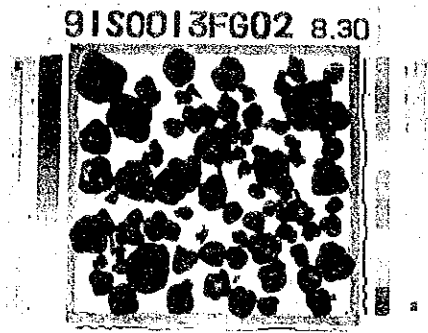
図 3 - 5 - 3 マンガン団塊の形状 (3)



91S0013FG02(海底)

水深 5,456m

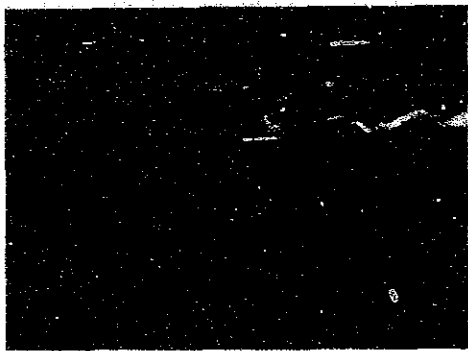
褐色粘土



同左 (揚収)

球状

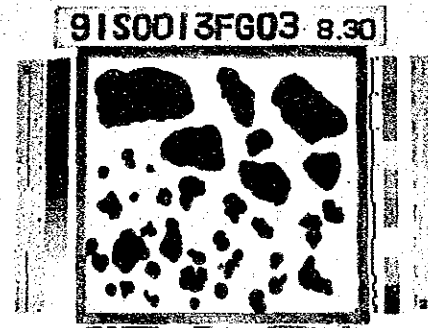
分布密度 28.58kg / m²



91S0013FG03(海底)

水深 5,500m

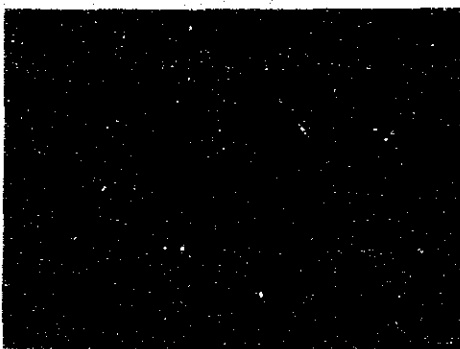
褐色粘土



同左 (揚収)

塊状, 球状

分布密度 15.05kg / m²



91S0215FG02(海底)

水深 5,415m

褐色粘土

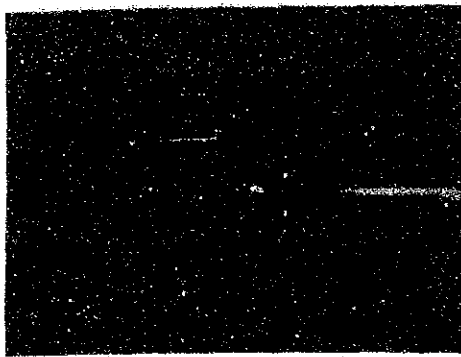


同左 (揚収)

小石状

分布密度 0.23kg / m²

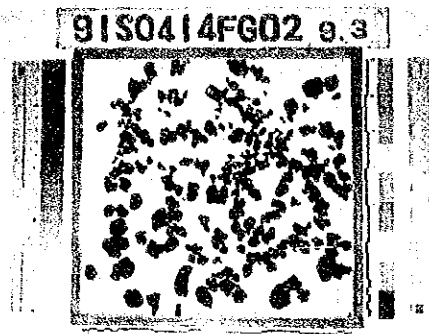
図 3 - 5 - 4 海底写真と揚収写真 (1)



91S0414FG02(海底)

水深 5.232m

褐色粘土



同左(揚収)

小石状

分布密度 5.55kg/m²



91S0514FG01(海底)

水深 5.358m

褐色粘土



同左(揚収)

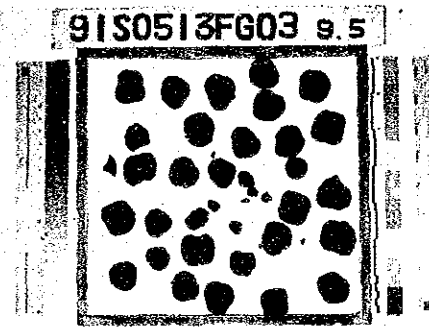
塊状, 小石状

分布密度 11.46kg/m²



91S0513FG03(海底)

水深 4.928m



同左(揚収)

球状

分布密度 14.52kg/m²

图 3 - 5 - 4 海底写真と揚収写真 (2)

2) 分布密度

別添第6図にマンガン団塊分布密度図を示す。また、図3-5-5には採試点毎の分布密度の頻度分布を、図3-5-6には水深と分布密度との関係を示す。さらに、図3-5-7(1)、(2)に底質物と分布密度の関係を、図3-5-8にはマンガン団塊の形状と分布密度の関係を示す。

これらの図から分布密度に関する特徴は次のようにまとめられる。

- ① 全採試点の平均分布密度は $1.55\text{kg}/\text{m}^2$ （標準偏差 $4.62\text{kg}/\text{m}^2$ ）、最大値 $28.58\text{kg}/\text{m}^2$ である。
- ② 分布密度 $10\text{kg}/\text{m}^2$ 以上のゾーンは調査海域全域で島状に出現する。
- ③ 分布密度と地形との間に関係が認められ、地形区分で「準平坦地」としたところは、一般に高分布密度である。一方、「平坦地」の分布密度は低い、部分的に狭い範囲で $10\text{kg}/\text{m}^2$ を越える地域が認められた。
- ④ 水深との関係では、 $4,900\text{m}$ 及び $5,500\text{m}$ 前後で分布密度が高いものが見られる（図3-5-6）。
- ⑤ 底質物の種類と分布密度については、褐色粘土帯の中に高分布密度の所があるが一部、海域南東部の灰珪質粘土帯内にも分布密度の高い地域が認められる（図3-5-7(1)、(2)）。
- ⑥ 採試点毎の分布密度の頻度分布では、分布密度 $2.5\text{kg}/\text{m}^2$ 以下が全体の86.2%を占め、分布密度 $2.5\text{kg}/\text{m}^2 \sim 27.5\text{kg}/\text{m}^2$ の各ランクの頻度は1~3%ではほぼ一様である。
- ⑦ マンガン団塊の形状と分布密度の関係では、塊状、球状の分布密度が高く、扁平だ円状、板状の分布密度は低い（図3-5-8）。

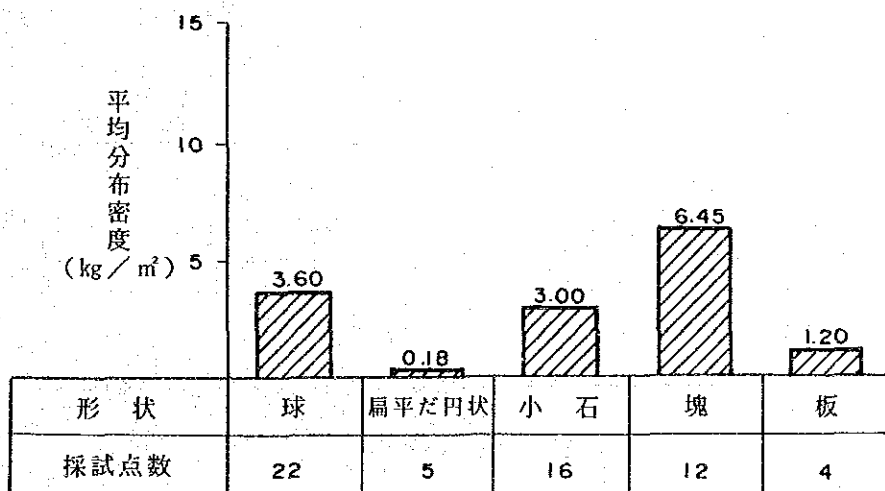


図3-5-8 形状と平均分布密度

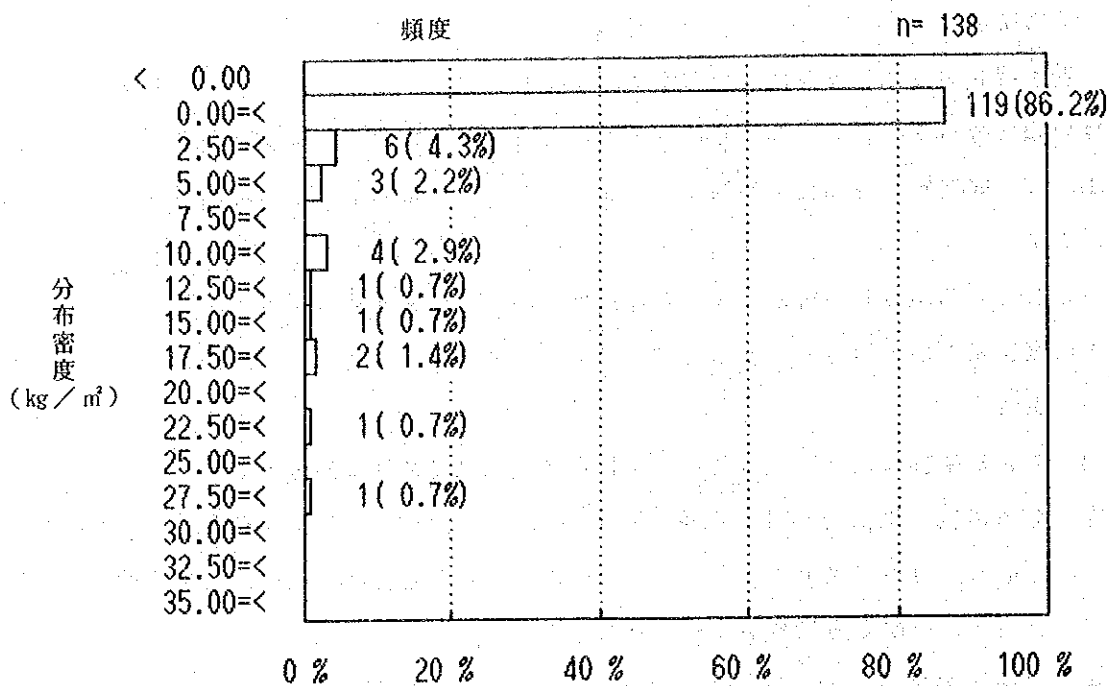


図 3 - 5 - 5 分布密度の頻度分布 (探試点別)

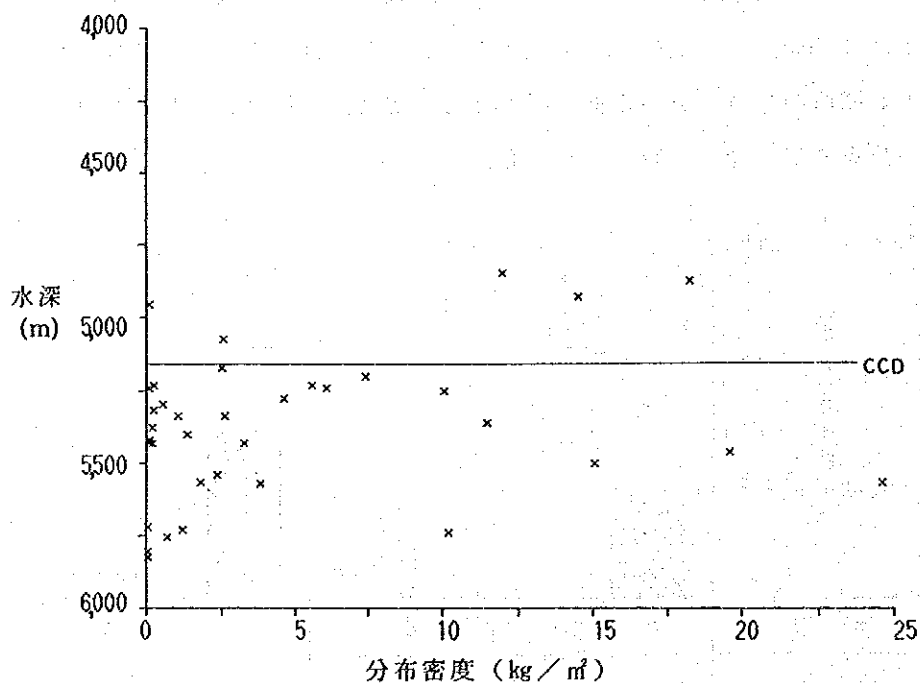
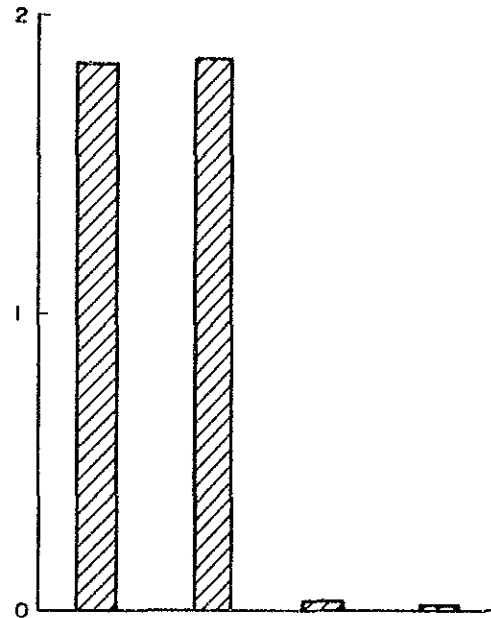


図 3 - 5 - 6 水深と分布密度の関係

平均分布密度 (kg/m²)



底質物	褐色粘土	灰珪質粘土	珪質粘土	有孔虫軟泥
平均分布密度 (kg/m ²)	1.85	1.89	0.03	0.01
分布密度10kg/m ² 以上の出現率 (%)	8	9	0	0
標準偏差	5.00	5.22	0.01	0.03
採試点数	90	11	27	2

図 3 - 5 - 7 底質物と分布密度の関係 (1)

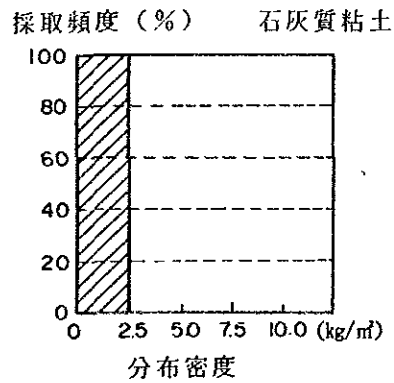
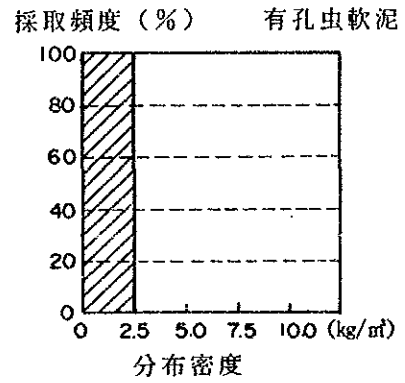
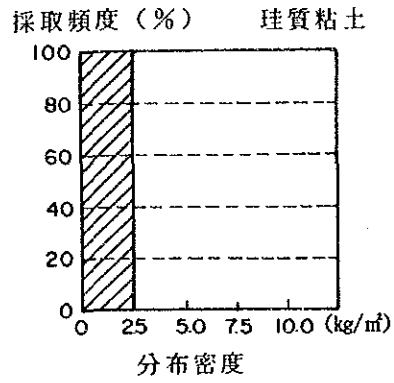
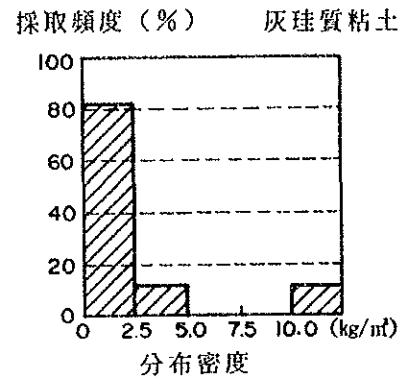
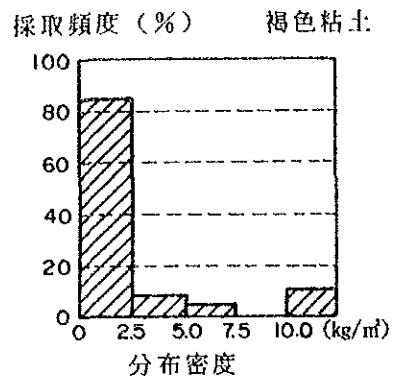


図 3 - 5 - 7 底質物と分布密度の関係 (2)

3) 化学組成

船上において前記の粒度区分毎に、得られたマンガン団塊の主要5成分 (Ni, Cu, Co, Mn, Fe) の蛍光X線分析を行った。

また、これらの資料から代表的なものを選別し、陸上において完全分析 (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MnO_2 , MgO , CaO , BaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , Ig. loss), 微量成分分析 (Pb, Zn, Sr, V, Mo, B, As, Y, Zr, Pt, Rh, $\Sigma\text{R}_2\text{O}_3$) を行った。それらの結果に基づいてマンガン団塊の化学組成について述べる。

(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3-5-9に、各成分間の散布図を図3-5-10に、さらに平均品位の統計を表3-5-2に示す。Ni, Cu, Coの平均品位はそれぞれ0.96%, 0.96%, 0.23%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19.31%, 10.86%である。これらの平均品位は前述したように採取量率が高い球状及び塊状のマンガン団塊の品位を反映したものであると考えられる。

別添第7図～第11図にNi, Co, Cu, Mn, Fe等品位図を示す。これによるとNi品位とCu品位は調査海域東側の中央部から北部にかけて高い部分が認められる。一方、Co品位は海域南東部の一部で高い。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。

以下に各成分ごとの特徴を示す。

① Ni

Ni品位は最大値1.85%, 最小値0.21%, 平均0.96%である。別添第7図にNi等品位図を示す。Ni品位の分布状況は当海域の東側中央部で局所的に高い所が認められる。

② Cu

Cu品位は最大値1.87%, 最小値0.19%, 平均0.96%である。別添第9図にCu等品位図を示す。Cu品位の分布状況はNi品位と同様の傾向を示す。表3-5-2に示すようにNiとCuの相関性は0.99と非常に高い。

③ Co

Co品位は最大値0.45%, 最小値0.18%, 平均0.23%である。別添第8図にCo等品位図を示す。本図によると南東部の一部を除き、海域全般で低い値を示している。Co品位が0.3%を越えている南東部のCoの高品位帯は、マンガン団塊分布密度が 6 kg/m^2 以上で、調査海域全体の中でも高分布密度帯に相当する箇所でもある。

また、図3-5-11, 3-5-12の分布密度-品位散布図によると分布密度と各品位の相関はあまり強くないが、Co品位と分布密度は正の相関を、Ni品位と分布密度は負の相関を示す。即ち、高分布密度域のマンガン団塊はCo品位が高く、Ni品位が低くなる傾向がある。

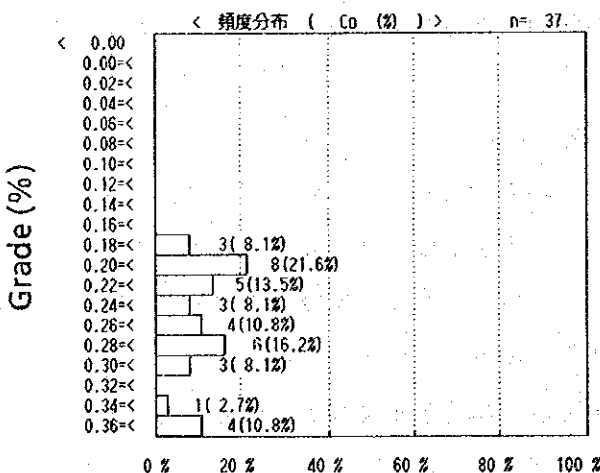
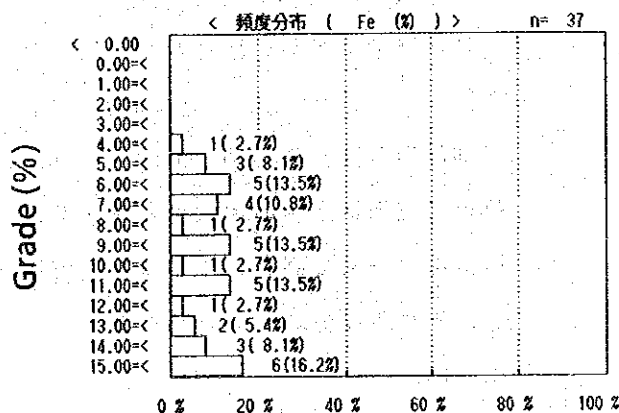
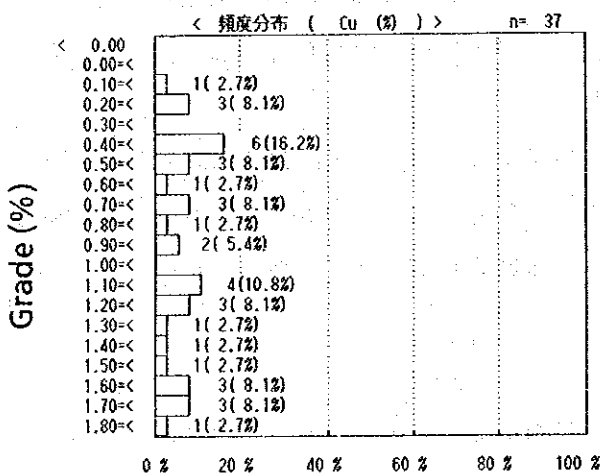
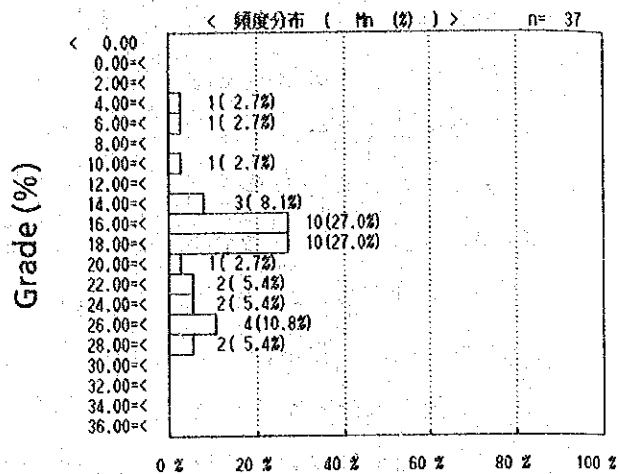
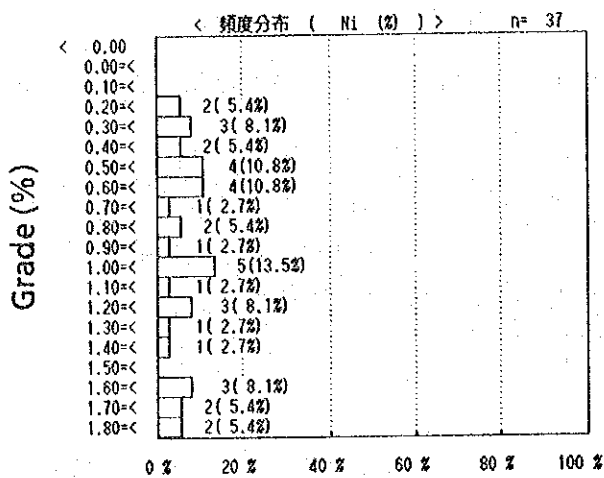
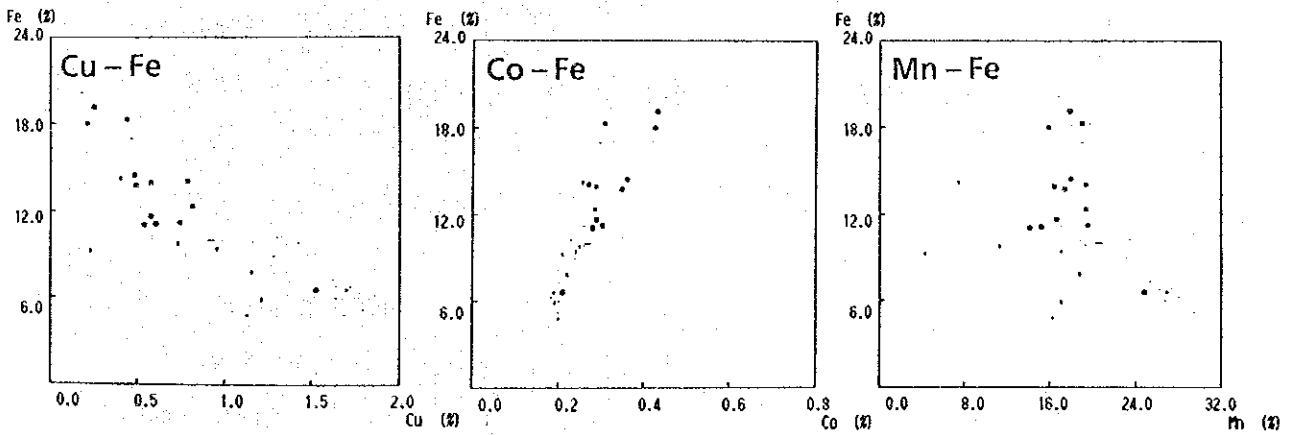
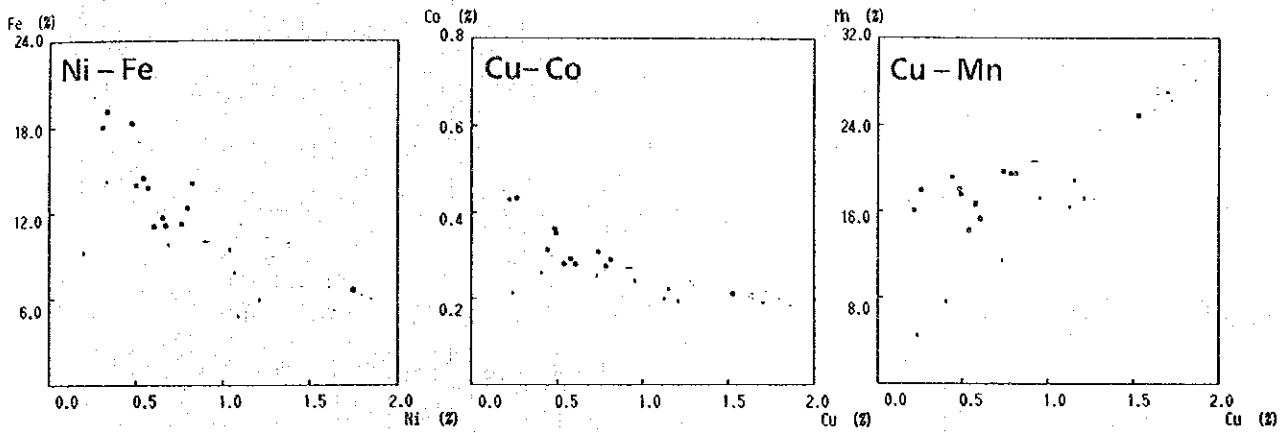
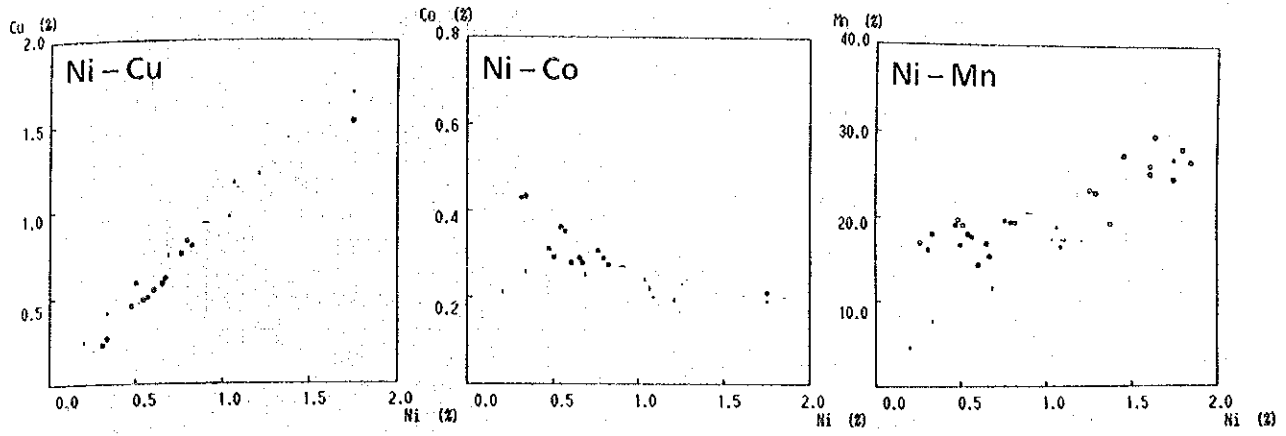


図 3 - 5 - 9 主要 5 成分の頻度分布図



凡例

- 球状
- ◆ 扁平だ円状通常型
- 扁平だ円状厚型
- ◐ 扁平礫状
- 小石状
- 塊状
- 板状
- その他

図 3 - 5 - 10 各成分間の散布図

表 3 - 5 - 2 マンガン団塊の化学特性

(n = 37)

	統計量 (%)				相 関 係 数				
	平均値	標準偏差	最大値	最小値	Fe	Mn	Co	Cu	Ni
Ni	0.96	0.49	1.85	0.21	-0.81	0.80	-0.74	0.99	1.00
Cu	0.96	0.51	1.87	0.19	-0.83	0.78	-0.77	1.00	
Co	0.23	0.07	0.45	0.18	0.89	-0.33	1.00		
Mn	19.31	5.38	29.59	4.43	-0.40	1.00			
Fe	10.86	4.30	20.08	4.78	1.00				

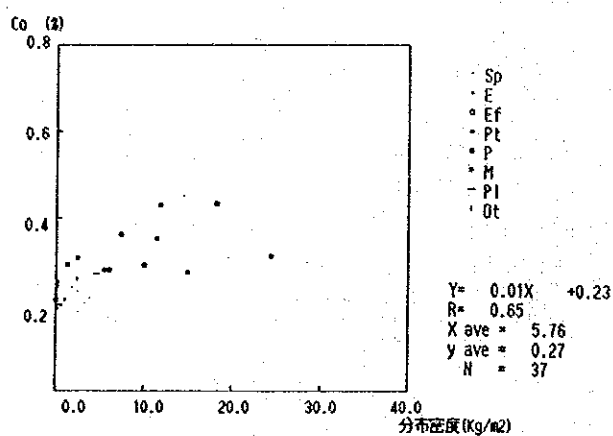


図 3 - 5 - 11 分布密度 - Co 散布図

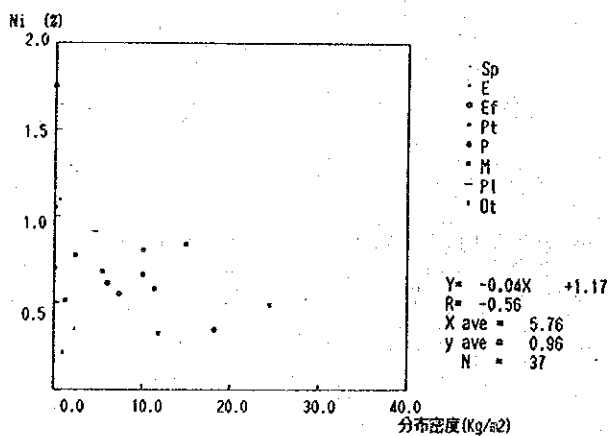


図 3 - 5 - 12 分布密度 - Ni 散布図

④ Mn, Fe

Mn品位は最大値 29.59%, 最小値4.43%, 平均 19.31%であり, Fe品位は最大値 20.08%, 最小値4.78%, 平均10.86%である。Mn品位はNi, Cuと類似した分布傾向を FeはCoと類似した分布傾向を示す。

(2) 品位特性

① 各成分間の相関性

5成分の相関係数を前述した表3-5-2に示す。同表より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。すなわち, MnはNi, Cuと強い正相関にあり, FeはCoと正相関にあるが, MnとFeは負相関である。これらの関係は図3-5-10の各成分の散布図でも認められる。

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。その結果, 次の点が明らかになった。

- (a) 球状, 扁平だ円状のマンガン団塊は互いに類似した品位傾向を示し, Ni, Cu品位は海域全平均に比べて高品位, Co品位は本海域における他の形状と比較して低い値を示す。
- (b) 小石状では, Ni, Cu, Mn品位ともに海域全平均よりも低いが, Fe, Co品位は海域全平均よりも高い値を示している。
- (c) 板状では各成分とも低品位となっている。これは核として含まれる岩片の体積比が大きく, バルク分析の際に核部分で稀釈される影響と考えられる。

③ 粒度別の品位特性

粒度別の品位特性を表3-5-4に示す。同表より, 粒度の小さいマンガン団塊の方がNi, Cu品位が高い傾向が明瞭である。また, 4~6 cmサイズ以上では他の粒径に比べてNi, Cuの品位が低く, Co品位が高くなる傾向が認められる。さらに, Mn/Fe比も小さくなる。

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。その特徴は次の通りである。

- (a) 「海丘」ではNi, Cu品位が高く, Co, Fe品位は低い。
- (b) 「台状地」ではNi, Cu品位が低く, Fe品位が高い。
- (c) 「平地」ではほぼこれらの中間の品位傾向を示す。

⑤ 底質物別による品位特性

各底質別の品位特性を表3-5-6に示す。褐色粘土, 灰珪質粘土共ほぼ海域全平均と類似した品位を示すが, 褐色粘土では僅かにNi, Cu品位が高く, Co, Mn, Fe品位が低い傾向が窺え, 灰珪質粘土ではその逆の傾向が認められる。

また, 1採試点ではあったが, 有孔虫軟泥を伴うものでは, Ni, Cu, Mn品位共高く,

表3-5-3 マンガン団塊の形状と化学特性

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	13	1.25	0.52	1.85	0.27	1.28	0.56	1.87	0.19	0.25	0.07	0.45	0.18
扁平円状	3	1.30	0.39	1.75	1.07	1.33	0.32	1.70	1.13	0.20	0.02	0.22	0.19
小石状	6	0.76	0.50	1.75	0.34	0.67	0.44	1.53	0.28	0.31	0.08	0.43	0.21
塊状	7	0.61	0.19	0.83	0.32	0.59	0.22	0.82	0.23	0.32	0.05	0.43	0.27
板状	1	0.91				0.93				0.27			

形状	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		
球状	13	23.27	4.38	29.59	16.87	10.28	5.01	20.08	5.15	1.02	2.26
扁平円状	3	20.70	5.55	26.94	16.33	6.37	1.50	7.76	4.78	1.02	3.25
小石状	6	17.80	3.76	24.83	14.14	12.32	4.16	19.07	6.60	0.88	1.44
塊状	7	18.19	1.54	19.59	15.92	14.47	2.68	18.21	11.16	0.97	1.26
板状	1	20.59				9.99				1.02	2.06

表3-5-4 マンガン団塊の粒度と化学特性

粒度区分 (ca)	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	30	1.14	0.51	1.85	0.21	1.13	0.52	1.81	0.23	0.25	0.06	0.43	0.19
2~4	24	0.85	0.44	1.78	0.29	0.87	0.54	1.91	0.22	0.28	0.08	0.45	0.17
4~6	19	0.64	0.25	1.12	0.27	0.63	0.32	1.39	0.19	0.31	0.07	0.45	0.19
6~8	11	0.57	0.15	0.86	0.29	0.54	0.18	0.87	0.21	0.32	0.05	0.46	0.28
8~16	4	0.69	0.25	0.97	0.46	0.66	0.28	0.98	0.42	0.31	0.06	0.40	0.27

粒度区分 (ca)	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	30	20.00	6.45	29.86	4.43	9.36	3.44	19.78	5.00	0.99	2.13
2~4	24	19.28	5.50	28.77	8.12	11.80	4.77	19.95	2.67	1.02	1.63
4~6	19	17.98	3.39	24.82	8.60	13.87	4.15	20.09	3.93	0.98	1.30
6~8	11	18.22	1.65	19.94	15.73	14.79	3.10	19.31	10.62	0.95	1.23
8~16	4	19.73	1.78	22.39	18.69	14.36	3.48	18.31	9.97	0.96	1.37

表3-5-5 海底地形とマンガン団塊の化学特性

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	28	0.95	0.42	1.85	0.21	0.96	0.45	1.80	0.24	0.25	0.04	0.35	0.19
海丘	5	1.30	0.59	1.80	0.55	1.29	0.62	1.87	0.49	0.25	0.08	0.36	0.18
台状地	4	0.67	0.72	1.75	0.27	0.55	0.65	1.53	0.19	0.38	0.11	0.45	0.21

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	28	18.60	5.46	29.59	4.43	10.44	3.72	18.24	4.78
海丘	5	23.61	4.54	28.11	17.99	9.14	3.57	14.45	6.22
台状地	4	18.89	4.05	24.83	15.92	15.93	6.28	20.08	6.60

表3-5-6 底質物とマンガン団塊の化学特性

底質物	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
褐色粘土	32	0.99	0.46	1.85	0.21	1.00	0.49	1.87	0.24	0.25	0.05	0.36	0.18
灰珪質粘土	2	0.80	0.65	1.26	0.34	0.78	0.74	1.30	0.26	0.33	0.14	0.43	0.23
有孔虫軟泥	1	1.75	—	—	—	1.53	—	—	—	0.21	—	—	—

底質物	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
褐色粘土	32	19.23	5.61	29.59	4.43	10.24	3.74	18.24	4.78
灰珪質粘土	2	20.74	3.98	23.55	17.93	14.65	6.24	19.07	10.24
有孔虫軟泥	1	24.83	—	—	—	6.60	—	—	—

Co, Fe品位が低いものがみられた。

⑥ CCDと品位特性

CCD(炭酸塩補償深度)と主要3成分(Ni, Cu, Co)の関係を調べるため, CCD区分による主要3成分の三角ダイアグラムを図3-5-13に示す。底質物のスメアスライドによる微化石鑑定から, 当調査海域のCCDは5.150m付近と考えられる。図よりマンガン団塊の品位特性はCCDを境として明瞭には分離できないが, 水深5.150m以浅にCo品位の高いタイプが見られる。

次に主要3成分の合計品位(Ni+Cu+Co)と水深の関係を図3-5-14に示す。この図によれば, マンガン団塊の品位と水深との関係は明瞭でない。

⑦ マンガン団塊のMn/Fe比

マンガン団塊のMn/Fe比はマンガン団塊の形成機構により大きく異なることが知られている(Bonatti et al., 1972)。

Mn/Fe比と(Ni+Cu+Co)品位の関係を図3-5-15に示す。同図から明らかなようにMn/Fe比が大きい程, (Ni+Cu+Co)品位は大きくなり, 両者に明瞭な正の相関関係が見られる。そこでMn/Fe比を2以上とそれ以下に区分してNi-Cu-Co三角ダイアグラムにプロットしたものを図3-5-16に, Mn/Fe比と分布密度との関係を図3-5-17に示す。同様に分布密度, 品位, 水深とMn/Fe比との関係をまとめた結果を表3-5-7に示す。その結果, Mn/Fe比が2以上のマンガン団塊はNi品位が高くなる傾向がありMn/Fe比が2以下のマンガン団塊はCo品位が高くなる傾向がある。

図3-5-17から, 分布密度5 kg/m³以上の点ではMn/Fe比は2以下に限られる。

図3-5-18にMn/Fe比の分布図を示した。Mn/Fe比が高いものは調査海域の全域に散在する。

(3) 副成分

マンガン団塊の化学組成及び含有される微量元素を明らかにするため, 船上分析に用いた試料より代表的な7個の試料を選定し, 完全分析, 微量分析を実施した。分析値をマンガン団塊の特徴, 主要5成分の船上分析値とともに表3-5-8に示した。本表から次の特徴が明らかにされた。

- ① Ni, Cu, Co分析値に注目すると, Ni-CuとCoは相反する挙動を示す。91S0513FG01はCo品位が高く, 910B13FG02はNi, Cu品位が高い。
- ② SiO₂含有量は10.88%~31.40%で, 7試料平均は17.40%を示した。
- ③ Fe₂O₃ > FeOで3価のFeに富む。Ni, Cu品位が高い91S0B13FG02はFe₂O₃含有量が低い。

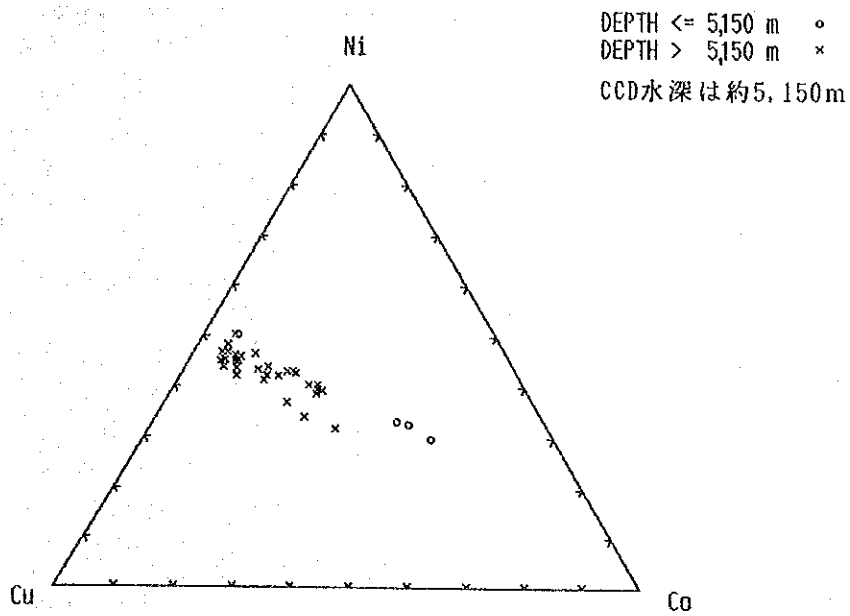


図 3 - 5 - 13 CCD区分によるNi-Cu-Co三角ダイヤグラム

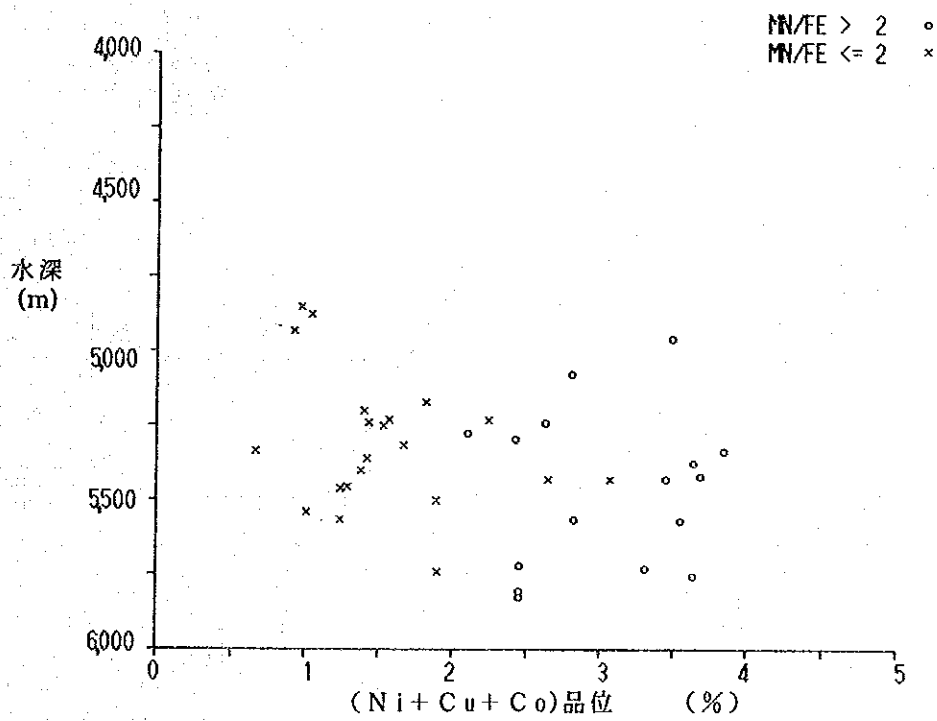


図 3 - 5 - 14 水深 - (Ni + Cu + Co) 品位関係図

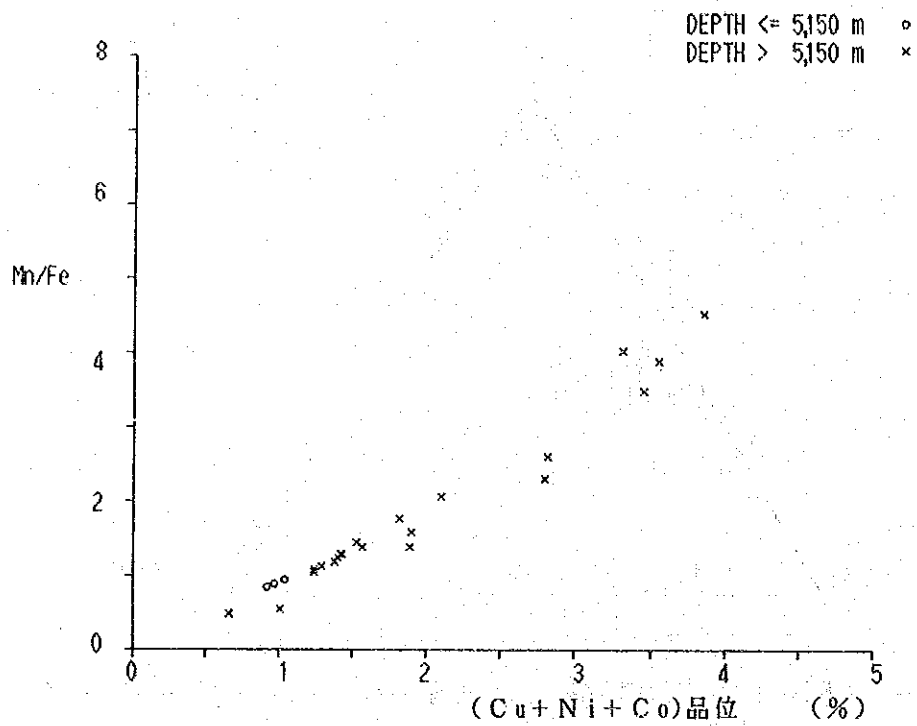


図 3 - 5 - 15 Mn/Fe - (Ni + Cu + Co) 品位関係図

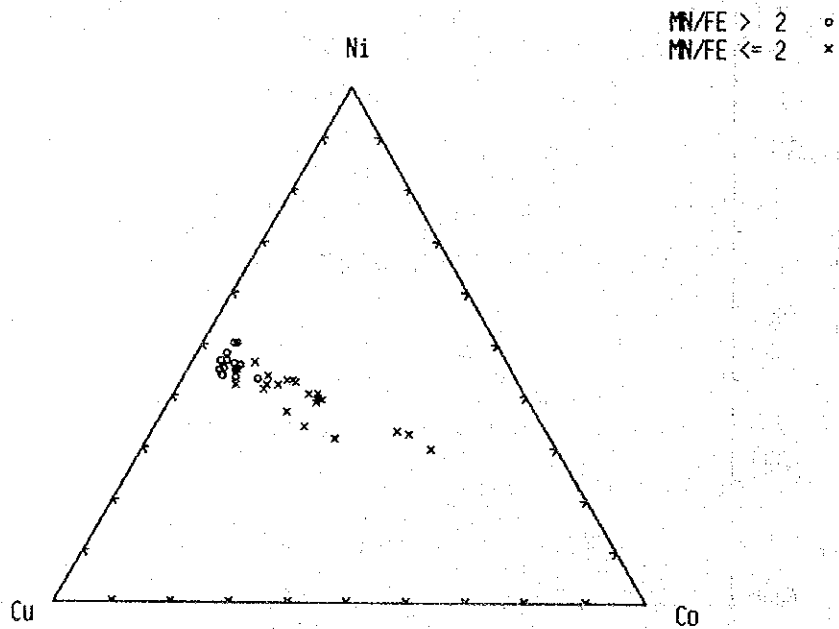


図 3 - 5 - 16 Mn/FeによるNi - Cu - Co三角ダイヤグラム

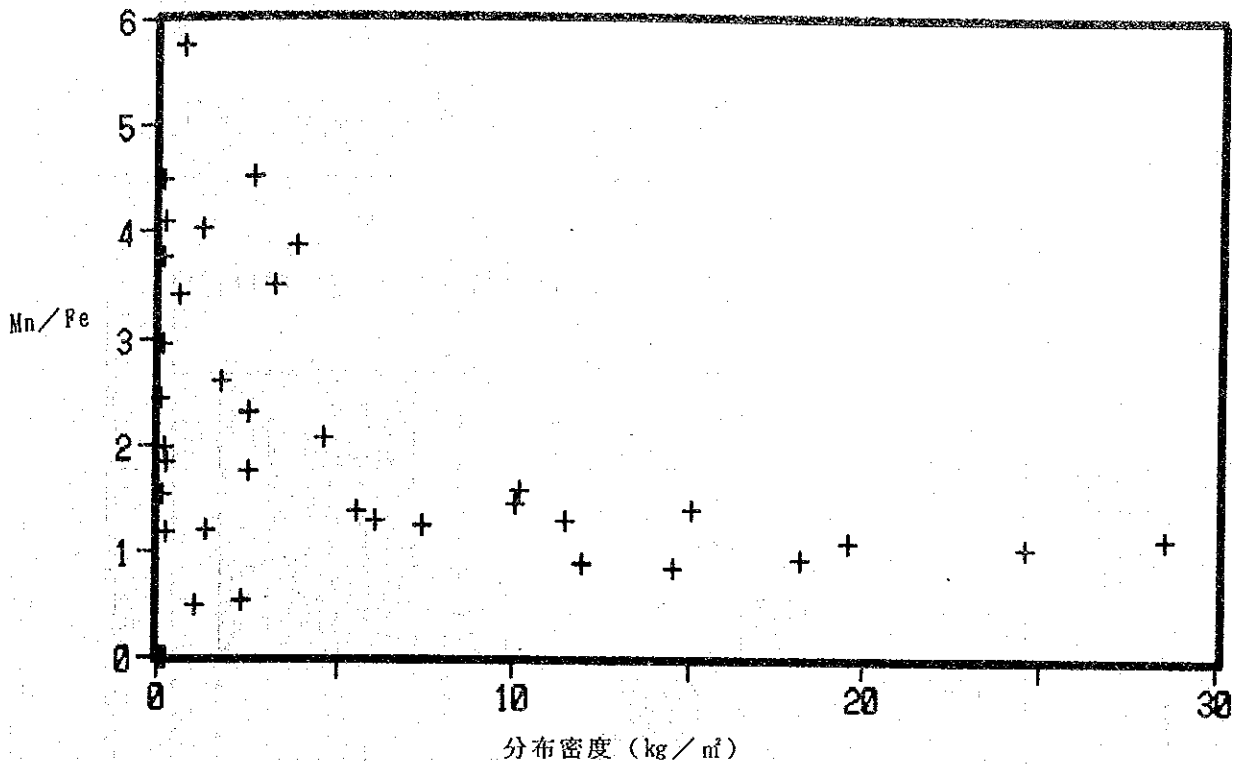


図 3 - 5 - 17 Mn/Fe - 分布密度関係図

表 3 - 5 - 7 Mn / Fe で区分した特徴

	Mn / Fe > 2 (n = 16)	Mn / Fe < 2 (n = 21)
分布密度	Low 平均1.36kg/m ² (SD 1.49)	High 平均9.11kg/m ² (SD 8.31)
品 位	NiHigh 平均 1.40% (SD 0.31)	NiLow 平均 0.52% (SD 0.17)
	CuHigh 平均 1.45% (SD 0.33)	CuLow 平均 0.47% (SD 0.18)
	CoLow 平均 0.22% (SD 0.03)	CoHigh 平均 0.33% (SD 0.06)
	MnHigh 平均 24.40% (SD 3.06)	MnLow 平均 17.93% (SD 2.13)
	FeLow 平均 7.94% (SD 1.70)	FeHigh 平均 16.14% (SD 2.89)
水 深	4.956m ~ 5.823m (平均 5.460m)	4.849m ~ 5.742m (平均 5.310m)

SD : 標準偏差

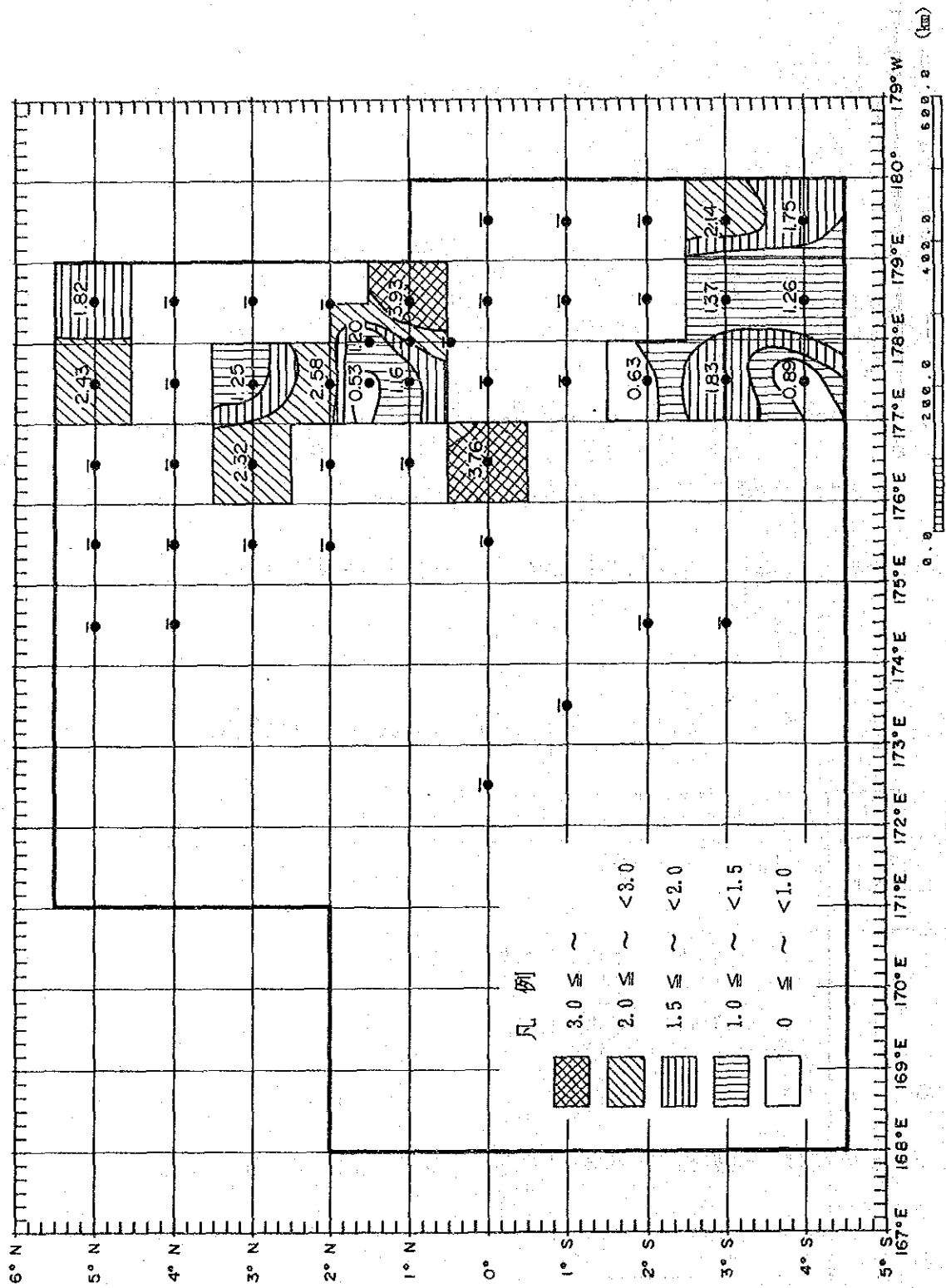


図 3-5-18 マンガン団塊のMn/Fe分布図

表 3 - 5 - 8 マンガン団塊の完全分析値及び微量分析値

サンプルNo.		91S0013 FG01	91S0414 SC01	91S0415 FG02	91S0513 FG01	91S0D14 FG01	91S0B13 FG02	91S0A13 FG05
地 形		(山岳地) 平 地	(山岳地) 平 地	(平坦地) 平 地	(準平坦地) 台 地 状	(平坦地) 平 地	(平坦地) 平 地	(平坦地) 平 地
水 深 (m)		5.460	5.250	5.276	4.849	5.742	5.570	5.538
形 状		球 状	小 石 状	扁平だ円状	球 状	塊 状	球 状	そ の 他
粒 径 (cm)		6-8	4-6	4-6	4-6	6-8	2-4	2-4
分析部位		バルク	バルク	バルク	バルク	バルク	バルク	バルク
主 成 分 (%)	Ni	0.49	0.61	0.86	0.32	0.64	1.54	0.37
	Cu	0.44	0.55	0.86	0.23	0.63	1.72	0.44
	Co	0.31	0.30	0.28	0.43	0.30	0.21	0.27
	Mn	19.89	16.79	20.58	15.60	19.28	25.71	8.12
	Fe	18.40	12.17	10.74	17.52	14.14	6.73	14.12
完 全 分 析 (%)	SiO ₂	15.38	18.94	16.58	10.88	14.10	14.58	31.40
	TiO ₂	1.06	1.03	0.90	1.70	0.87	0.44	0.70
	Al ₂ O ₃	2.57	6.10	5.77	2.84	4.40	5.35	6.67
	Fe ₂ O ₃	25.26	18.02	15.98	25.97	18.40	10.59	18.02
	FeO	0.19	0.13	0.16	0.16	0.13	0.13	0.13
	MnO ₂	26.48	23.36	25.46	25.38	26.62	36.51	11.92
	MgO	1.63	1.96	2.34	1.48	1.78	3.21	2.69
	CaO	0.18	0.12	0.14	0.16	0.12	0.14	0.07
	BaO	2.33	2.61	2.64	2.62	2.00	2.27	2.62
	Na ₂ O	1.82	2.10	2.09	1.68	1.91	1.59	1.73
	K ₂ O	0.56	1.34	1.05	0.58	0.79	0.85	1.08
	P ₂ O ₅	0.49	0.59	0.62	0.52	0.45	0.50	0.65
Ig. loss	28.64	24.71	25.88	28.39	29.22	23.13	20.45	
微 量 分 析 (ppm)	Pb	684	562	534	878	539	281	404
	Zn	641	578	627	499	603	987	442
	Sr	1,055	807	745	1,145	736	478	506
	V	500	351	344	439	360	274	226
	Mo	252	186	231	227	187	281	44
	B	269	196	206	279	204	157	217
	As	118	87	73	122	85	42	52
	Y	116	152	126	107	95	87	120
	Zr	166	178	76	307	228	210	59
	Pt	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	Rh	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
	ΣR ₂ O ₃	1.521	1.190	1.112	1.923	1.230	511	765

④ 微量成分含有量は、Ni、Cu品位の高い 91S0B13FG02が他の試料と若干異なった傾向を示す。高い値を示す成分はZn、Mo、低い値を示す成分は、Pb、Sr、V、B、Y、As、 ΣR_2O_3 ^{*1}である。

⑤ Pt、Rhはすべて検出限界（1 ppm）以下であった。

⑥ Mckelvey et al. (1979)が報告したクラリオン〜クリッパートン海域のマンガン団塊の平均品位^{*2}と本分析結果と比較すると、次のような差異が認められた。

当海域の方が含有量の多い成分 : BaO

クラリオン〜クリッパートン海域の方が含有量の多い成分 : CaO, Na₂O, P₂O₅, Zn, Mo

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、粉末X線回折分析を8件、顕微鏡観察を1件実施した。

(1) X線回折

X線回折分析結果を表3-5-9に、代表的なX線回折チャートを図3-5-19に示す。

全ての試料から δ -MnO₂が検出され、灰十字沸石も91S0B13FG02以外の全ての試料で認められた。これら鉱物の次に出現頻度の高いものは、10Å系マンガン鉱物と石英である。モンモリロナイト、モルデン沸石、斜長石は一部の試料に認められただけであった。

表3-5-9 マンガン団塊のX線回折結果

試料番号	粒径 (cm)	形状	分析部位	Mn	Ph	Md	Q	Mon	To	Pl
91S0013FG01	6~8	球状	バルク	+	±		±	±	+	+
91S0013FG03	8~16	塊状	内殻	+	+	±				
91S0414SC01	4~6	小石状	バルク	+	+	±			+	
91S0415FG02	4~6	扁平だ円状	バルク	+	±		±		+	
91S0513FG01	4~6	球状	バルク	+	+		±			
91S0D14FG01	6~8	塊状	バルク	+	+		±		+	
91S0B13FG02	2~4	球状	バルク	+			±		++	
91S0A13FG02	2~4	その他	バルク	+	+			+		

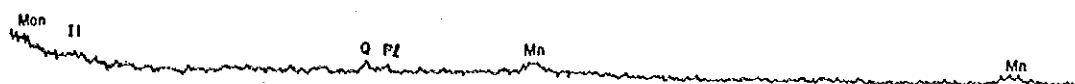
凡例 Mn: δ -MnO₂, Ph: 灰十字沸石, Q: 石英, Mon: モンモリロナイト,
Md: モルデン沸石, Pl: 斜長石, To: 10Å系マンガン鉱物
++: 回折強度の強いもの +: 回折強度の弱いもの
±: 回折強度の微弱なもの

*1 ΣR_2O_3 は希土類元素の合計含有量を示す。

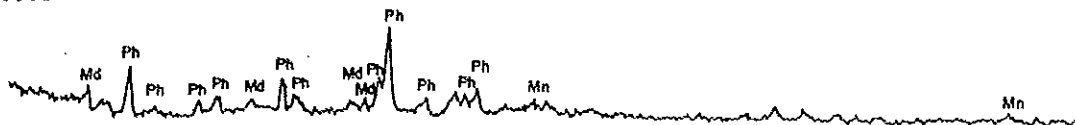
*2

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 0.32%	Pb 0.048%	Sr 0.066%	Mo 0.048%
V 0.03%	Zn 0.13%	Y 0.01%	B 0.016%		

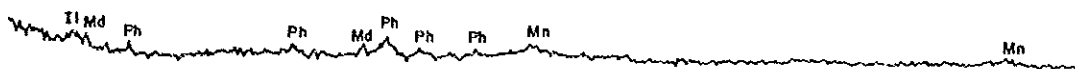
91S0013FG01(球状, バルク)



91S0013FG03(塊状, 内殻)



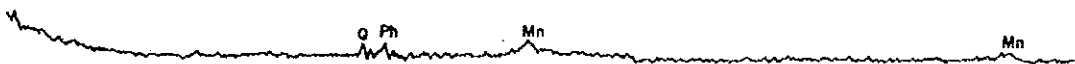
91S0414SC01(小石状, バルク)



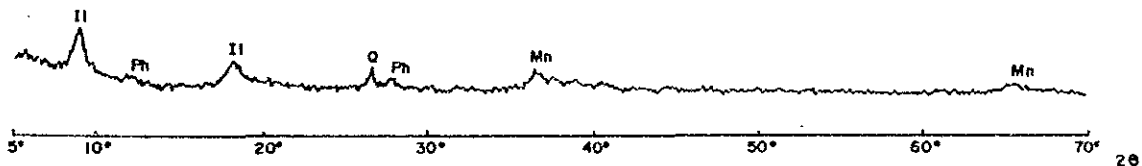
91S0415FG02(扁平だ円状, バルク)



91S0513FG01(球状, バルク)



91S0B13FG02(球状, バルク)



凡例 Mn: δ -MnO₂ Ph: 灰十字沸石 Md: モルデン沸石
Q: 石英 Mon: モンモリロナイト II: イライト

図 3 - 5 - 19 マンガン団塊の X 線回折パターン

(2) 顕微鏡観察

91S0013FG01 で採取した球状マンガン団塊について研磨薄片観察を行った。

主要構成鉱物としては δ - MnO_2 が認められる。母岩に近い初期の成層部では、 δ - MnO_2 に加え、褐鉄鉱が多量に存在する(max. 20-30 vol.%)。組織は初期から後期にかけて多様性を示す。初期は δ - MnO_2 と褐鉄鉱の薄層が成層状構造(互層状)をなし、同心構造の外側に向かって次第に小突起成層状へ変化している。また、部分的に碎屑物(岩片)を少量含んでいる。中期は均質な小突起状構造を示し、後期は均質な成層状構造を示す。

また、反射能が δ - MnO_2 よりも高い微量の不透明鉱物(微量のため鉱物種の判定が不可能)が認められる。これは、薄層状で、相対的に後期の部分より初期の部分に多く認められる。

5) CDC調査結果

マンガン団塊の分布密度を実施し、その連続性を把握するため、調査海域北東部でCDC調査を1測線(約5マイル長)実施した。調査は $1^{\circ} 01' \text{ N}$ に沿って、 $177^{\circ} 27.46' \text{ E}$ から $177^{\circ} 32.58' \text{ E}$ にかけて行い(測点 91406付近)、約55m間隔で撮影し、166枚の海底写真を得た。

海底写真のマンガン団塊の被覆率は画像解析装置により求めた。分布密度は当調査海域のFG調査から得られた海底写真のマンガン団塊被覆率及び揚収分布密度の関係式(表3-5-10)を用いて算出した。

CDC測線の位置図を図3-5-20に、CDC写真計測値の統計結果を表3-5-10に示す。また、写真から判読した分布密度の変化図を図3-5-21に示す。さらに、CDCによる連続写真の例を図3-5-22に、そして代表的なCDC写真を図3-5-23に示す。

(1) 分布密度

CDC測線は富鉄帯内に位置するため、マンガン団塊の平均分布密度は 17.5 kg/m^2 と比較的高く、標準偏差も $\pm 4.1 \text{ kg/m}^2$ と比較的安定している。

分布密度は隣合った撮影点間で、約20%程度の幅で変化しているが、大局的には $177^{\circ} 28' \text{ E}$ から $177^{\circ} 31' \text{ E}$ にかけて減少し、再び $177^{\circ} 32' \text{ E}$ にかけて増加する傾向が認められる。この傾向は水深変化に対応しており、CDC測線上では深部ほど分布密度が低い。

海底写真を比較すると、測線全体を通してマンガン団塊の形状及び粒径はほとんど変化していない。分布密度が変化しているのは、マンガン団塊の個数が変化しているためである。

また、深部の写真では底質物がマンガン団塊を覆っていると考えられる写真が多く、マンガン団塊が埋没して面積率が下がったことも分布密度低下の一因と考えられる。

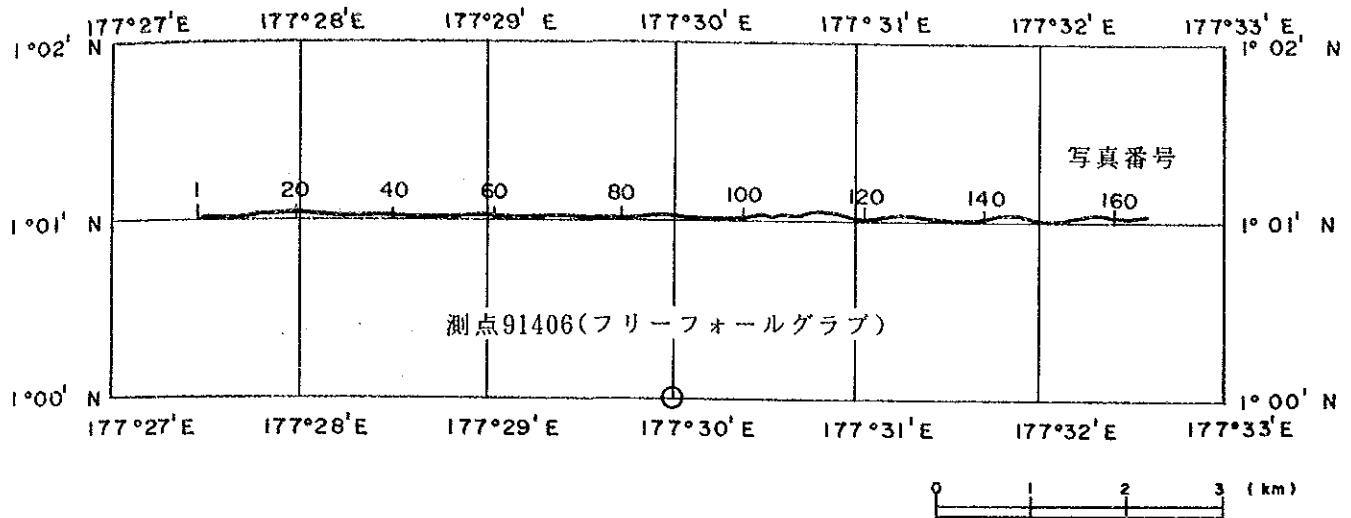


図 3 - 5 - 20 CDC 測線位置図 (測線91SCDC01)

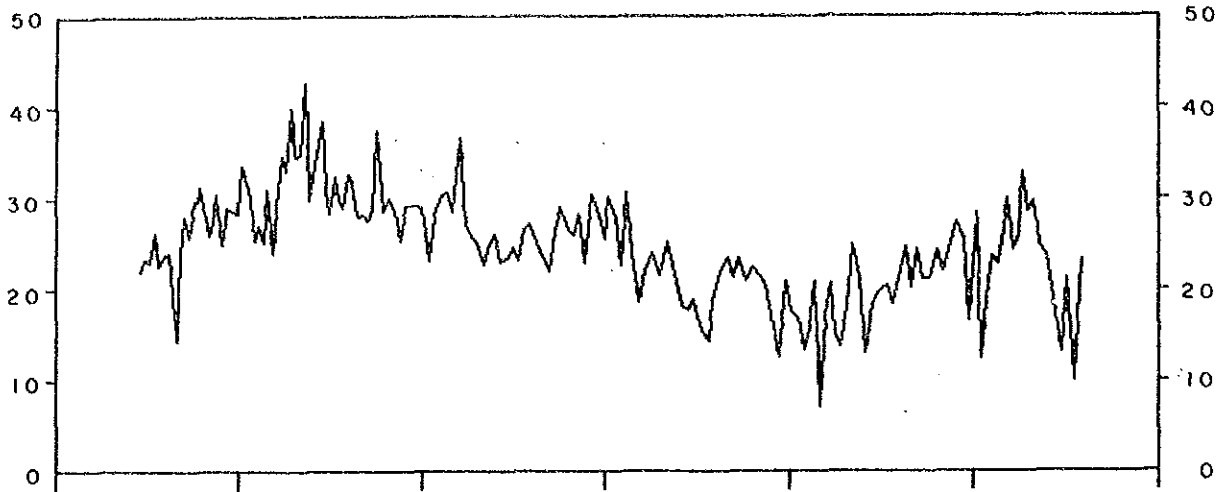
表 3 - 5 - 10 CDC 写真計測値の統計

	面積率 (%)	分布密度*(k g / m ²)
サンプル個数	1 6 6	1 6 6
最大値	4 2 . 6	2 9 . 8
最小値	7 . 3	5 . 1
平均値	2 4 . 9	1 7 . 5
標準偏差	5 . 9	4 . 1

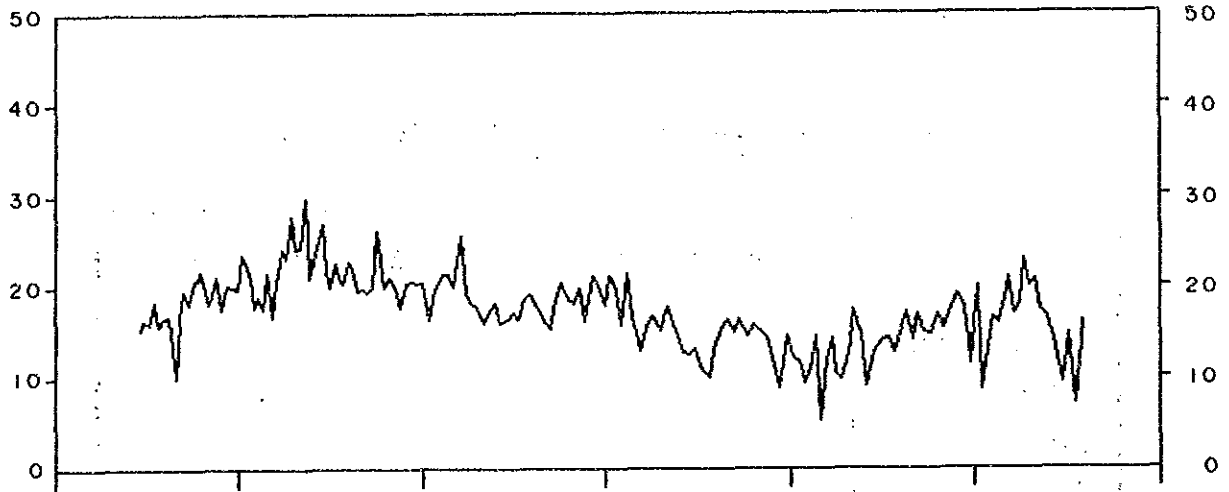
*分布密度の算出は次式をもちいた

$$\text{分布密度(k g / m}^2\text{)} = 0.7 \times \text{面積率 (\%)}$$

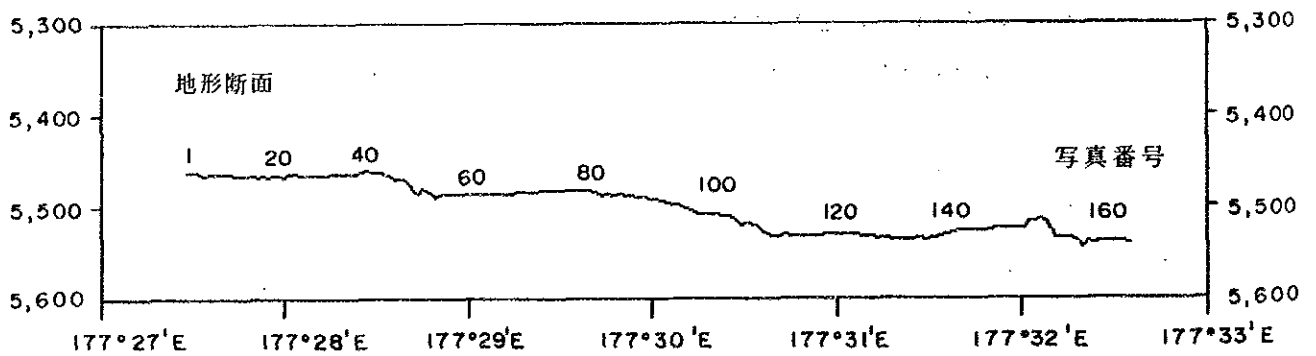
面積率 (%)



分布密度 * (kg / m²)



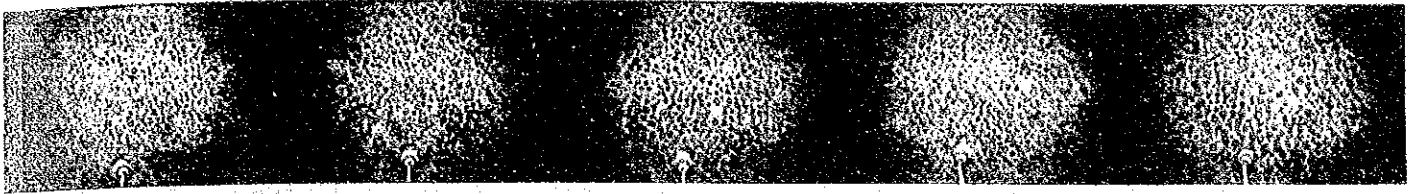
水深 (m)



* 分布密度 (kg / m²) = 0.7 × 面積率 (%)

図 3 - 5 - 21 地形, 分布密度及び面積率 (測線91SCDC01)

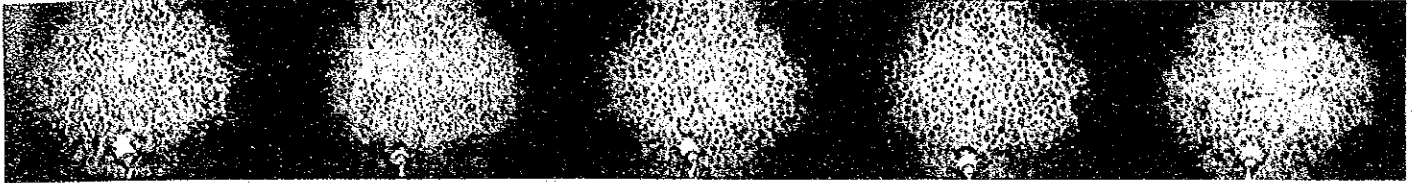
32~36



23.2(33.1) 27.9(39.8) 24.3(34.7) 24.4(34.9) 29.8(42.6)

扁平だ円状のマンガン団塊が連続的に分布する。粒径は約2~3cm。

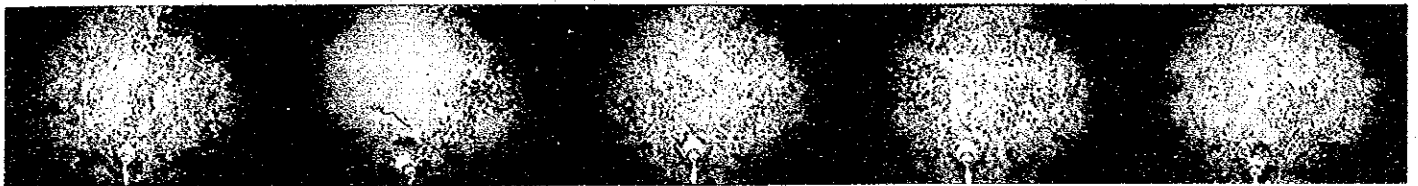
68~72



17.7(25.3) 16.0(22.9) 17.5(25.0) 18.3(26.1) 16.1(23.0)

扁平だ円状と小石状のマンガン団塊が連続的に分布する。粒径は約2~3cm。

122~126



14.6(20.8) 5.1(7.3) 12.0(17.2) 14.4(20.6) 10.5(15.0)

扁平だ円状と小石状のマンガン団塊が連続的に分布する。粒径は約2~3cm。
底質物が一部マンガン団塊を被覆する。

146~150

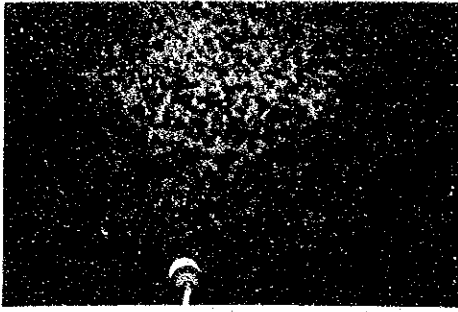


17.9(25.5) 11.7(16.7) 19.9(28.5) 8.7(12.4) 14.6(20.9)

扁平だ円状と小石状のマンガン団塊が、塊状または板状のマンガン団塊に変化する。

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

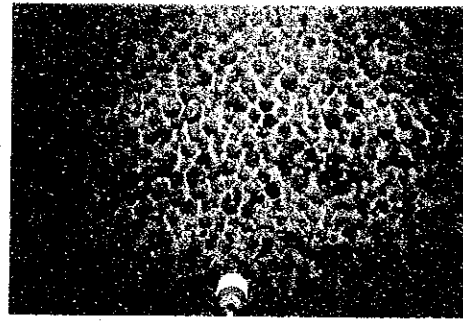
図3-5-22 CDCによる連続写真 (測線91SCDC01)



No. 14

扁平だ円状

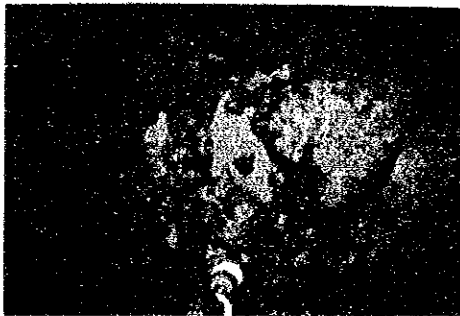
分布密度：21.8kg/m²



No. 39

扁平だ円状

分布密度：27.0kg/m²



No. 53

板状

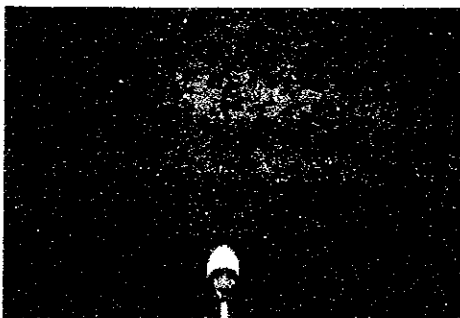
分布密度：21.1kg/m²



No. 123

小石状および底生生物の生痕

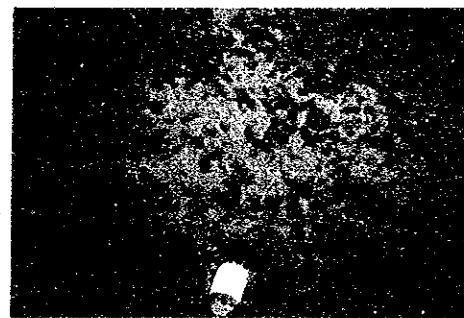
分布密度：5.1kg/m²



No. 126

小石状および底生生物の生痕

分布密度：10.5kg/m²



No. 141

塊状および扁平だ円状

分布密度：14.8kg/m²

(No.は写真番号を示す)

図 3 - 5 - 23 C D C 写真例 (測線91SCDC01)

(2) 形状及び粒径

CDC写真から読み取ったマンガン団塊の形状は扁平だ円状～小石状が卓越し、粒径は3～5 cmである。形状、粒径は、急傾斜地を除き、測線全体を通じてかなり安定している。

急傾斜地(177° 28.8' E付近, 177° 31.5' E付近, 177° 32.0' E付近)には、塊状または板状マンガン団塊が分布する。その範囲は極めて小さい。一部クラスト状を呈する部分もある。

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、マンガン団塊の分布密度(単にマンガン団塊の単位面積当たりの量)だけでなく、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、単位面積当たりの金属量を次の方法により測点ごとに求め、別添第12図～第14図に示した。

$$\cdot \text{Ni金属量} = \text{分布密度} \times (1 - \text{含水率}) \times \text{Ni品位}$$

$$\cdot \text{Cu金属量} = \text{分布密度} \times (1 - \text{含水率}) \times \text{Cu品位}$$

$$\cdot \text{Co金属量} = \text{分布密度} \times (1 - \text{含水率}) \times \text{Co品位}$$

尚、ここでは分布密度及び各品位に対してカットオフ値は設けていない。計算対象面積は199,900km²である。

(1) Ni(別添第12図)

Ni金属量20 g/m²以上を示す範囲の合計面積は95,860km²(計算対象面積の48%), 平均金属量は18.34 g/m²である。

(2) Cu(別添第13図)

Cu金属量20 g/m²以上を示す範囲の合計面積は86,950km²(計算対象面積の43%), 平均金属量は17.11 g/m²である。

(3) Co(別添第14図)

Co金属量20 g/m²以上を示す範囲の合計面積は30,962km²(計算対象面積の15%), 平均金属量は9.58 g/m²である。

当調査海域におけるNi, Cu, Coの金属量の高い海域は(3° 20' N, 177° 40' E)(0° 50' N, 177° 30' E), (4° S, 177° 30' E)付近にみられ、前述の高分布密度ゾーンの分布とほぼ一致する。すなわち、当調査海域の金属量分布は各品位よりも、分布密度により、規制される特徴がある。

3-6 考察：マンガン団塊の賦存状況

主要5成分の分析結果から作成した相関係数表より、Ni-Cu-Mn系内とCo-Fe系内での高い正相関と、両系間での高い負の相関が存在することが判明した(表3-5-2)。そこでこれら両群の元素品位が高いものを各々「Ni-Cu-Mnタイプ」と「Co-Feタイプ」と呼称し、それらを中心に各要素との関係について考察を行う。

形状：球状、塊状が多く(両者合計73.2%)、小石状がそれに次ぎ、扁平だ円状、板状は少ない。球状、扁平だ円状は明らかにNi-Cu-Mnに富むが他の形状と品位との特別な関係は明瞭ではない(表3-5-3)。

底質物：褐色粘土はNi-Cu-Mn、Co-Fe両タイプと共に広く分布する。灰珪質粘土は比較的浅所(5,280m以浅)に出現し海域南東部でCo-Feリッチタイプと対応している(表3-5-6他)。

粒度：粒径の小さい物はNi、Cu、Mnに富み、大きい物はCo、Fe富む傾向が認められた(表3-5-4)。この傾向は過年度のSOPAC調査海域(クック)のデータにおいても認められている。

地形：北東部平坦地の中央部で一部に高Mn/Fe比部が認められるが、それ以外は広く低Mn/Fe比部が分布する(図3-5-18)。しかし、Mn/Fe比と地形の一義的な関係は認められない。

水深：Ni-Cu-Mnタイプは比較的深所に認められた。一方、Co-Feタイプは各水深に認められた(図3-5-14)。従って微化石の鑑定から推定された本海域のCCD(約5,150m)よりも浅所におけるNi-Cu-Mnタイプの出現は比較的少ない。

分布密度：Ni-Cu-Mnタイプは低分布密度を示し、Co-Feタイプは高分布密度を示す(表3-5-7)。また、高い分布密度を示すマンガン団塊の分布は調査海域の一部に限られることが明らかになった。

鉱物学的特徴：マンガン団塊を構成する主たるマンガン鉱物として δ -MnO₂と10Å系マンガン鉱物が認められた。また石英、フィリップサイトは普遍的に、モンモリロナイト、モルデン沸石、斜長石は一部試料で認められる。底質物は石英、斜長石を主としマイカ、マイカ・モンモリロナイト混合層鉱物を伴っている。また部分的に方解石、ドロマイト、ヒシングライトが認められる。

化学的特徴：

- ① 南太平洋に分布するマンガン団塊はハワイ南方のそれと比較してCo、Feに富むとされているが、今回のマンガン団塊もやはりFeに富み(多数を占めるCo-Feタイプのみを抽出すればCoにも富む)、Ni、Cu、Mnが乏しいことが判明した。

- ② 1988年度に実施した当海域の南に隣接するエリス諸島（ツバル）海域と比較すると今年度海域の方がNi, Cu, Co品位ともに高い値を示すことが明らかとなった。Mn, Fe品位では今年度海域の方がMn品位に富みFe品位に乏しい。また、過年度のクック（1990）、キリバス（ライン諸島, 1889）と比較してもNi, Cu, Co品位とも高い値を示す。Mn, Fe品位はクック海域と比較してMn品位に富みFe品位に乏しいが、キリバス（1989）と比較するとMn品位にやや乏しくFe品位に富む。
- ③ 過年度に調査を実施した各海域のマンガン団塊の両タイプと比較すると、本海域は以下のようにNi-Cu-Mn, Co-Fe両タイプともCu品位に富んでいる。ほかにNi-Cu-MnタイプでNi品位が最も高い値を示す。

	Ni-Cu-Mnタイプ		Co-Feタイプ	
今年度：	（ギルバート諸島, Mn/Fe > 2）		（ギルバート諸島, Mn/Fe ≤ 2）	
(1991)	Ni品位	1.40%		0.52%
	Cu品位	1.45%		0.47%
	Co品位	0.22%		0.33%
過年度：				
(1989)	（ライン諸島, Mn/Fe > 2.5）		（ライン諸島, Mn/Fe ≤ 2.5）	
	Ni品位	1.08%		0.61%
	Cu品位	0.78%		0.35%
	Co品位	0.13%		0.26%
(1990)	（クック諸島, Mn/Fe > 1）		（クック諸島, Mn/Fe ≤ 1）	
	Ni品位	0.59%		0.31%
	Cu品位	0.31%		0.19%
	Co品位	0.37%		0.45%

- ④ ロジウムの分析を実施したがいずれも1 ppm以下であった。

全体的特徴：化学的にはNi, Cu, Mnに富むタイプとCo, Feに富むタイプに分類可能であるが、地形図上で両者の分布を区分する事は困難であった。従って両者が混在する様な形で、狭い範囲（10マイル四方前後）に富鉱部を形成して分布する。この様な富鉱部は調査海域内に3ヶ所見出されたが、未発見の富鉱部が存在する可能性がある。MFE S調査結果からそれらの内の1ヶ所の存在が暗示されている。

4章 調査結果・II (コバルトクラスト)

4-1 海山別地形とSBP

1) 海山の分類及び地形区分

調査の対象となった5海山はSE01~05と名付けた(図4-1-1参照)。

SE01海山はギルバート諸島北端 Makinの北, 約80マイルに位置する。

SE02とSE04海山はギルバート諸島中央部 Tarawaの東, それぞれ約120マイル及び240マイルに位置する。

SE03海山はギルバート諸島南端 Tamanaの南, 約80マイルに位置する。

SE05海山はギルバート諸島中央部 Tabiteueaの南50マイルに位置する。

上に述べた位置関係からSE01, SE03, SE05海山はギルバート諸島の海山群に, SE04海山は $5^{\circ}N$, $175^{\circ}30'E$ から南に延びる海山列に属すると考えられる。

SE02海山はエプロン斜面に孤立する海山である。

表4-1-1に示した分類基準にしたがって, これらの海山を次のように分類した。

平頂海山 SE01海山

尖頂海山 SE02, SE03, SE04, SE05海山

表4-1-1 海山のタイプ分類基準

海山タイプ	形状の特徴
平頂海山	比較的なだらかで平坦な山頂中央部を有する。
尖頂海山	山頂に広い平坦な地形のない尖塔状を呈する。

各海山の地形は, 山頂部と斜面に大別し, かつ記載の便宜上, それぞれについて表4-1-2のように細分した。ただし山頂部は平頂海山の場合は平頂部に, また尖頂海山の場合は最浅部とその近傍の勾配の緩やかな部分に対応する。斜面部は上部, 中部, 下部に分類した。

なお, 斜面区分は海山ごとに水深分布が異なるため, 海山別に行った。その結果を表4-1-3に示す。

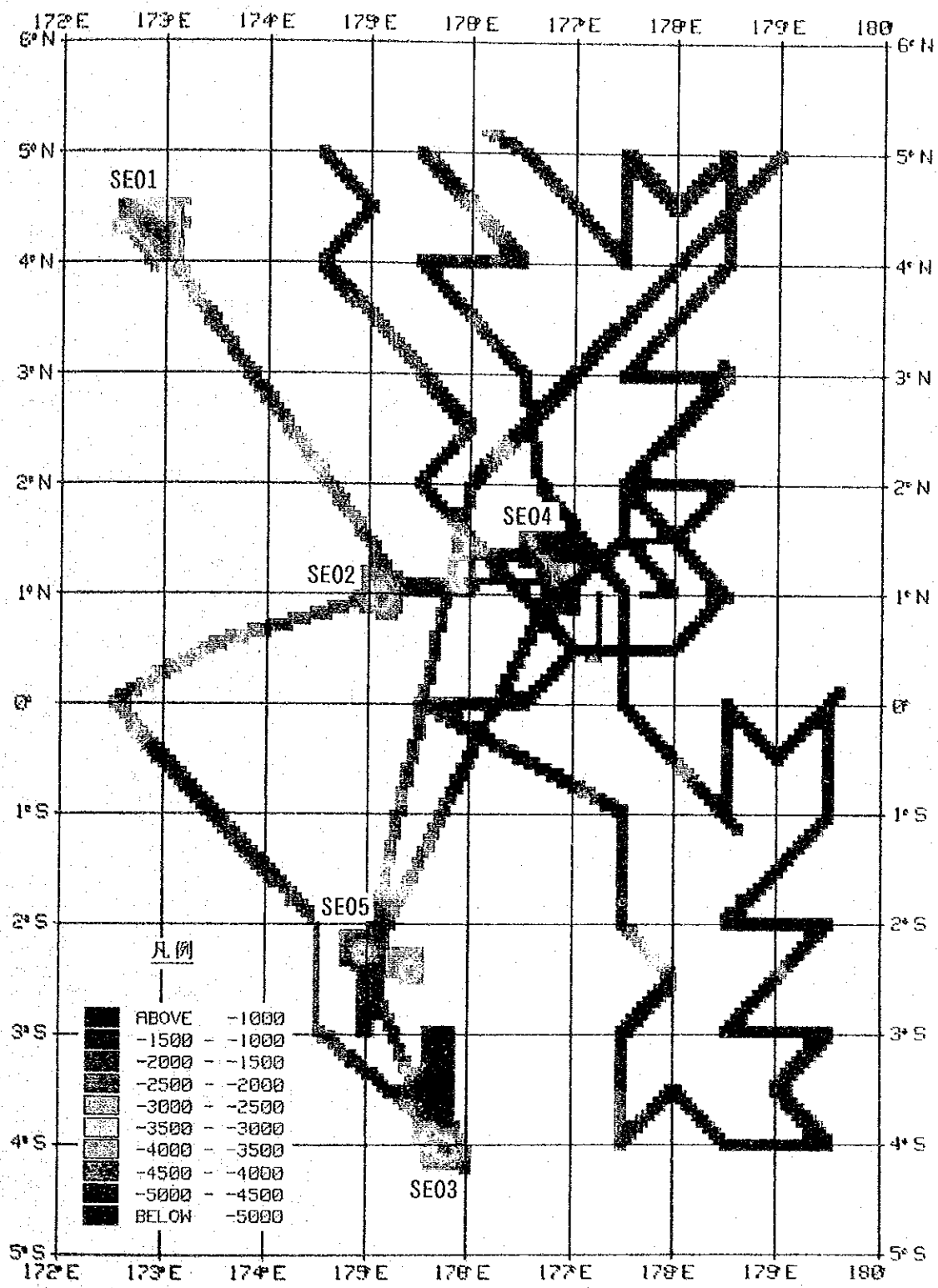


図 4 - 1 - 1 測線沿い水深分布図

表 4 - 1 - 2 海山の地形区分基準

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。
海山裾野		斜面下部から大洋底に移行する部分。

表 4 - 1 - 3 海山別地形区分と斜面勾配

	水深範囲 (m)	斜面積 (km ²)	平均 傾斜角	最小 傾斜角	最大 傾斜角	0°~10°	10°~20°	20°~30°	30°<
SE01 海山	山頂中央部 ~1,500	691.7	2.0°	0.0°	20.0°	96.7%	3.3%	0.0%	0.0%
	斜面上部 1,500~2,500	597.8	14.8°	0.2°	39.3°	31.5%	40.3%	25.5%	2.7%
	中部 2,500~3,500	975.4	11.0°	0.2°	41.5°	47.1%	46.8%	6.0%	0.1%
	下部 3,500~5,000	1050.1	4.9°	0.0°	27.0°	89.4%	10.2%	0.4%	0.0%
SE02 海山	山頂中央部 ~400	1.0	13.5°	9.2°	17.5°	25.0%	75.0%	0.0%	0.0%
	斜面上部 400~1,500	28.0	23.1°	7.7°	37.6°	2.9%	30.4%	47.1%	19.6%
	中部 1,500~2,500	100.2	19.0°	2.7°	29.8°	4.2%	53.1%	42.7%	0.0%
	下部 2,500~4,000	544.9	13.1°	0.3°	34.2°	32.3%	55.0%	12.6%	0.1%
SE03 海山	山頂中央部 ~1,700	3.4	11.6°	3.6°	22.4°	38.5%	53.8%	7.7%	0.0%
	斜面上部 1,700~2,500	32.6	23.7°	8.7°	33.2°	0.8%	22.9%	66.1%	10.2%
	中部 2,500~3,200	115.1	14.2°	0.1°	32.0°	35.8%	37.1%	26.0%	1.1%
	下部 3,200~4,000	146.7	12.7°	0.1°	27.8°	35.6%	48.3%	16.1%	0.0%
SE04 海山	山頂中央部 ~2,250	9.5	16.1°	4.2°	29.5°	28.6%	31.4%	40.0%	0.0%
	斜面上部 2,250~3,200	68.2	23.0°	6.7°	37.5°	0.8%	22.8%	71.4%	5.0%
	中部 3,200~4,000	115.2	19.3°	4.6°	32.7°	6.5%	46.3%	46.3%	1.0%
	下部 4,000~5,000	250.8	14.0°	0.2°	30.8°	27.4%	53.8%	18.7%	0.1%
SE05 海山	山頂中央部 ~2,000	10.4	15.1°	1.1°	35.3°	32.7%	38.4%	25.2%	3.8%
	斜面上部 2,000~2,800	59.9	19.8°	3.1°	40.9°	5.7%	46.1%	44.6%	3.6%
	中部 2,800~3,600	113.8	19.7°	1.5°	48.1°	4.5%	48.1%	42.7%	4.7%
	下部 3,600~4,500	268.9	14.5°	0.3°	37.9°	27.3%	50.8%	21.2%	0.7%

2) SBPのタイプ分類

調査対象とした5海山のSBP記録の反射パターンをタイプOとタイプTの2種類に分類した。

① タイプO (代表例 図4-1-2(1)~(5))

SBP反射パターンが不透明層のみからなる。

② タイプT (代表例 図4-1-2(1))

当調査海山では透明層-半透明層-不透明層の3層構造からなる。

タイプOはSE01海山では山頂縁辺部~斜面中部で認められ、尖頂海山では海山全体に認められる。このタイプは薄い未固結堆積物で被覆されている場合もあるが、一般に固結した底質物(コバルトクラストに覆われた露岩帯など)に対応する。

タイプTはSE01平頂海山山頂部のみで認められた。上位透明層と半透明層の層厚は10~150mと変化に富む。タイプTは未固結堆積物に対応すると考えられる。

3) 海山別の地形とSBPの特徴

各海山の特徴一覧を表4-1-4に示す。またSE01~05海山の地形平面図と代表的な地形断面図を添付第5図に示す。さらに各海山の地形及び勾配の鳥瞰図を図4-1-3(1)~(5)に示す。

以下、各海山の地形とSBPの特徴について述べる。

(SE01海山)

ギルバート諸島の北端(海山中心位置 $4^{\circ}15'N$, $172^{\circ}54'E$ 付近)に位置する。ギルバート海嶺に属する。

頂部の最浅所が1,275m、長軸方向は $N35^{\circ}W$ 、比高差約2,900mの平頂海山である。山頂部の拡がり 45×15 km、山体の規模は 56×21 kmである。

斜面の平均傾斜は上部で 15° 、中部で 11° 、下部で 5° とやや緩やかである。

なお、北西端に水深1,170mの北に延びる頂部が認められる。

山頂部は厚さ10~150mの透明層(タイプT)が分布する。斜面は不透明層(タイプO)である。

(SE02海山)

ギルバート諸島の中央部(海山の中心位置 $0^{\circ}58'N$, $175^{\circ}07'E$ 付近)の西120マイルに位置する。

頂部の最浅所が370m、比高差約4,100mの尖頂海山である。山頂部は、直径1kmの円形を呈し顕著な方向性は認められない。山体の規模は直径12kmである。

斜面上部の平均傾斜は 23° と急峻である。斜面中部の平均傾斜は 19° 、斜面下部の平均傾斜は 13° である。

水深4,000m周辺に直径1~2マイル・比高100~300mの小海丘が分布する。

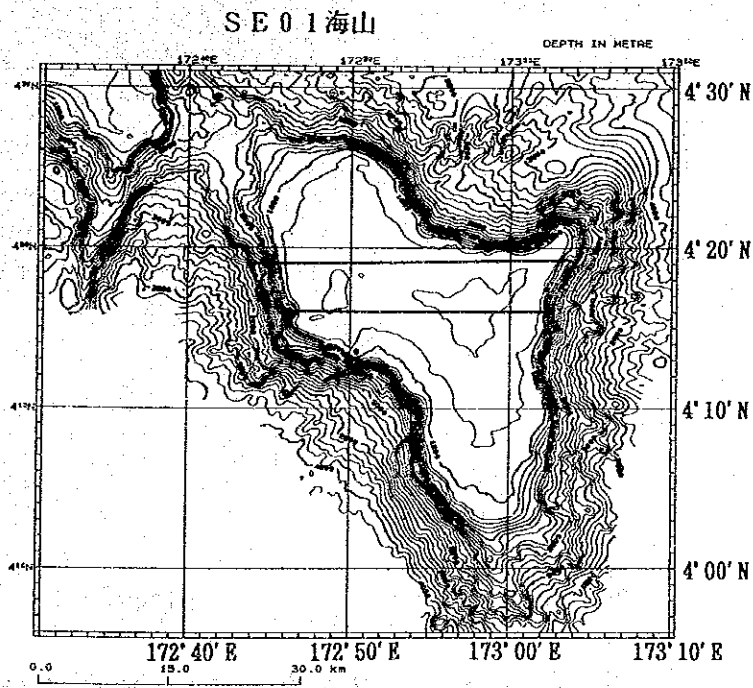
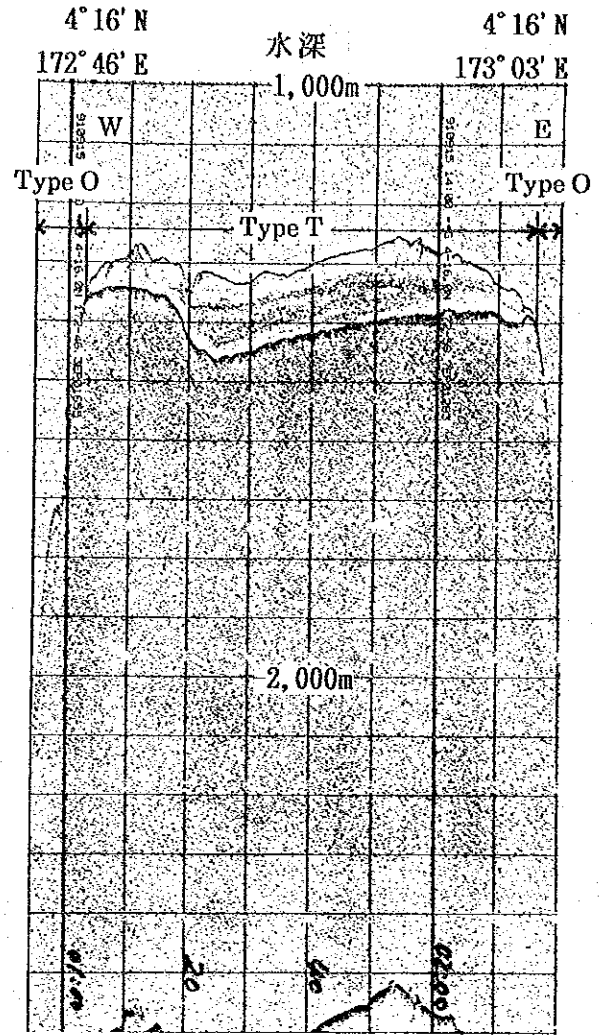
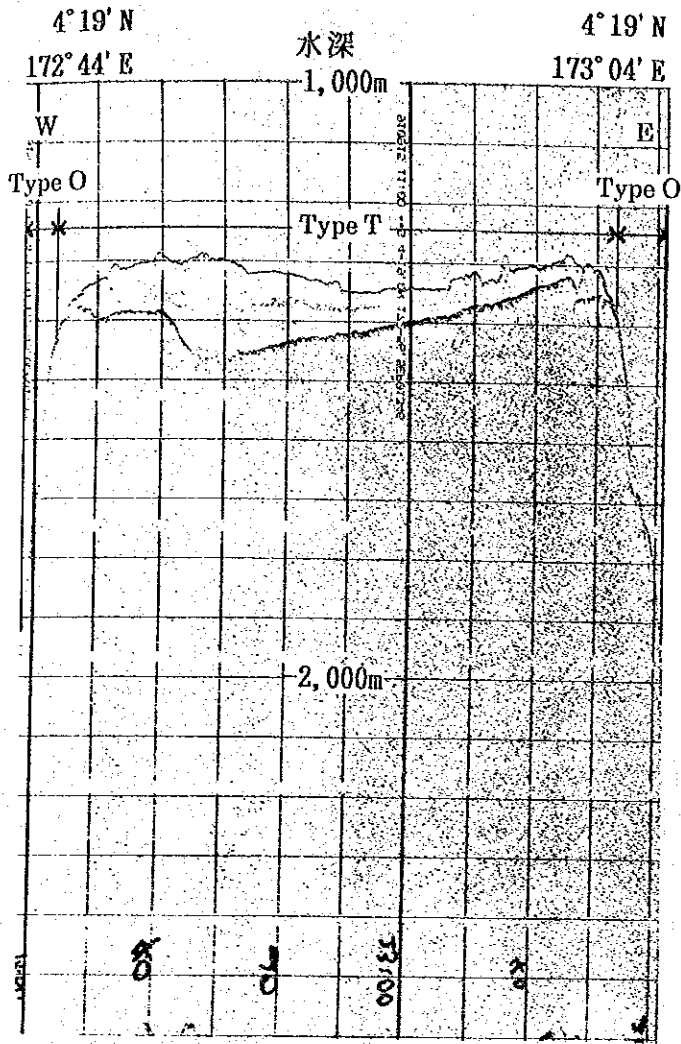


図 4 - 1 - 2 海山別 SBP プロファイル (1)

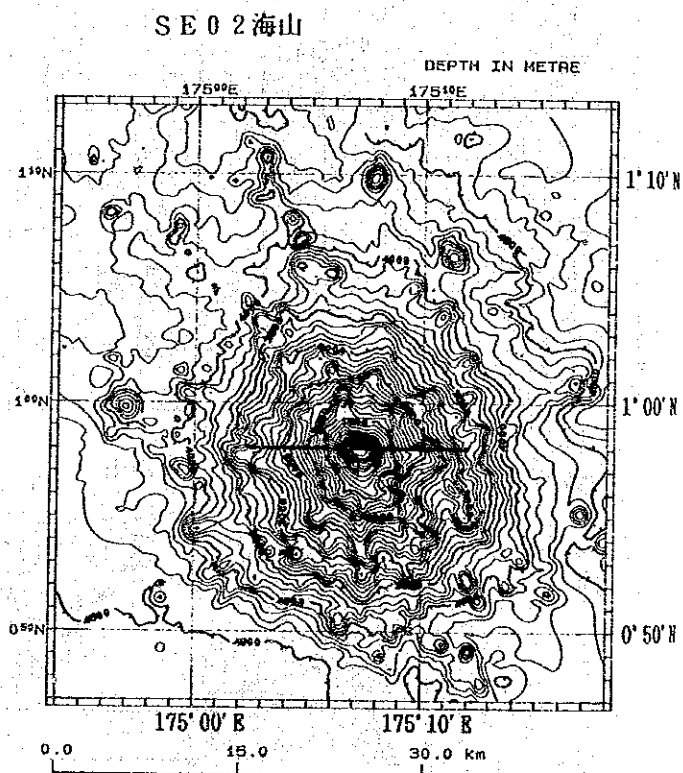
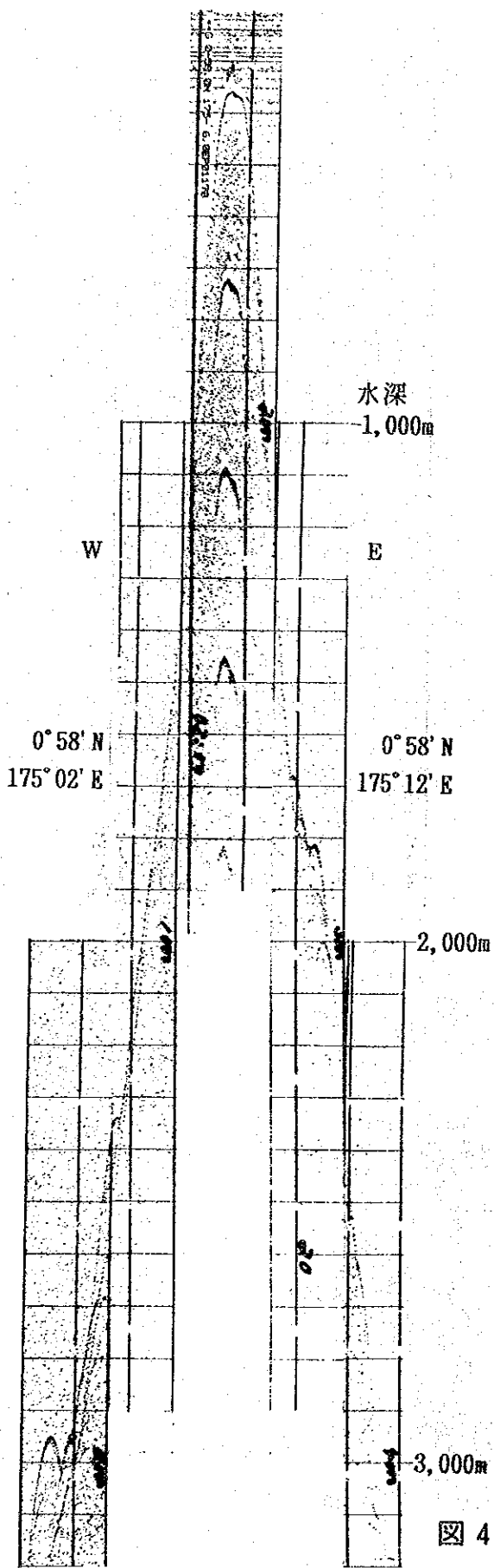


図 4 - 1 - 2 海山別 SBP プロファイル (2)

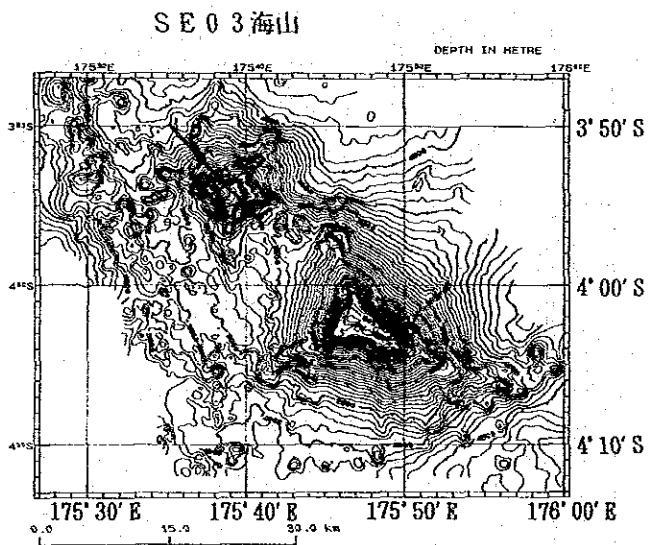
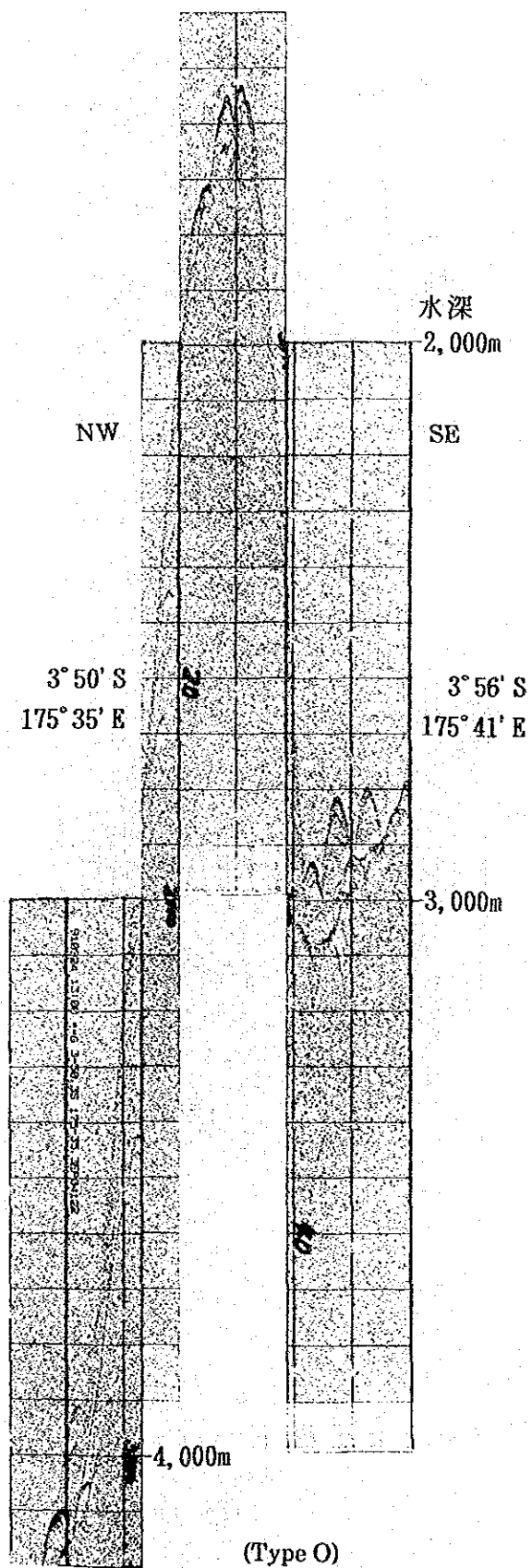
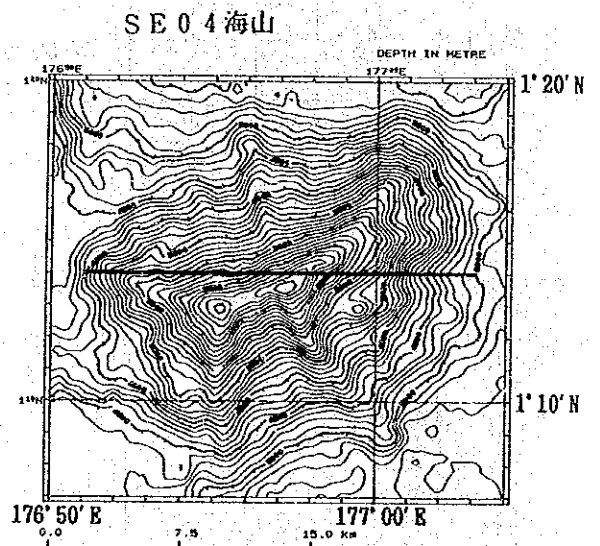
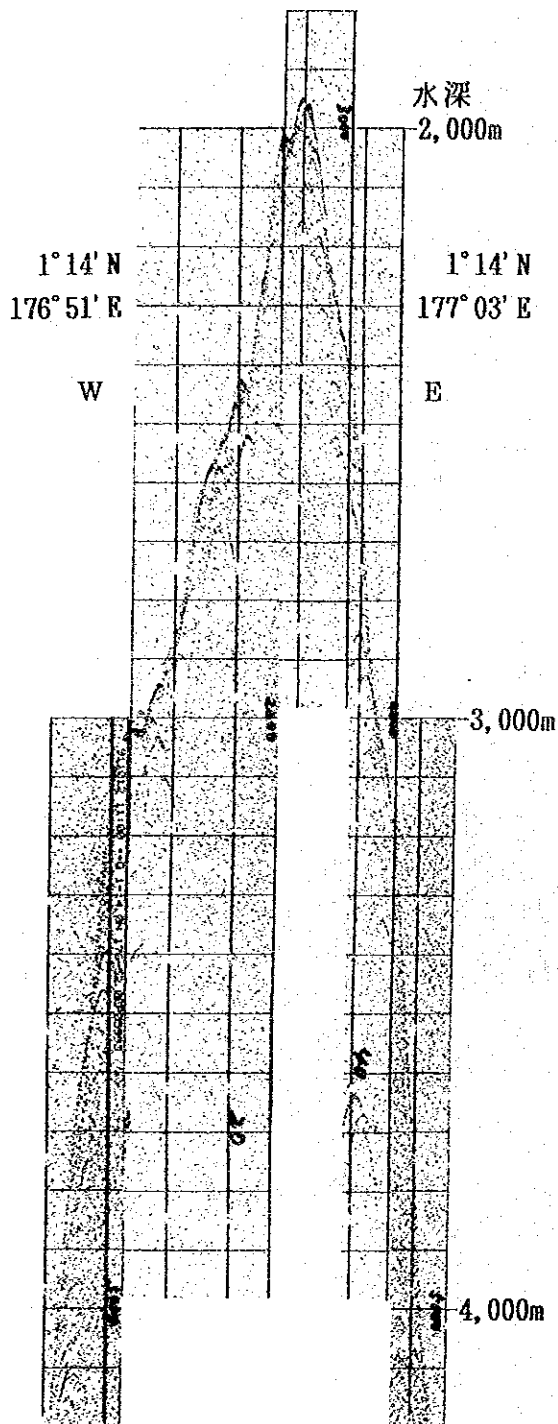
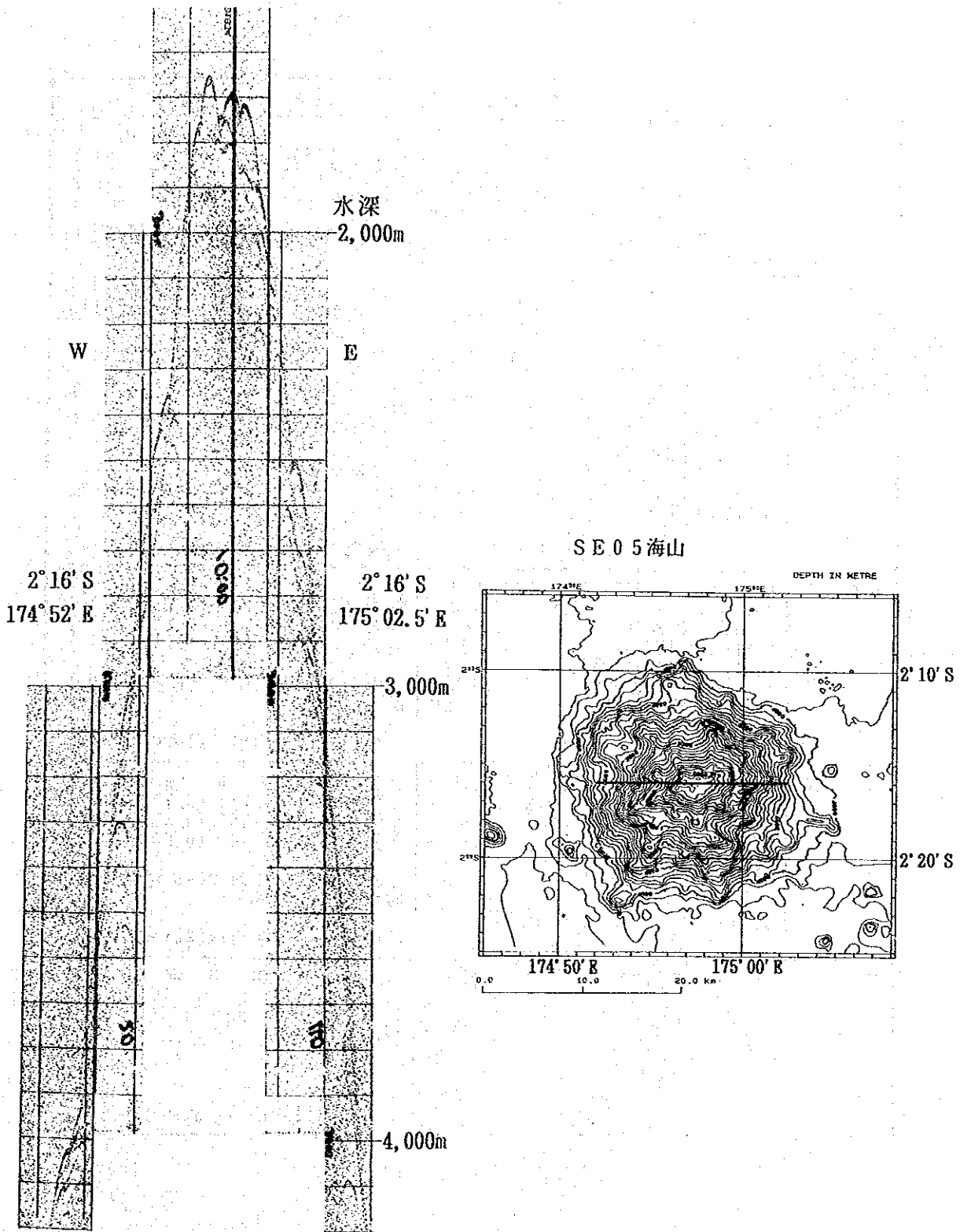


図 4 - 1 - 2 海山別 SBP プロファイル (3)



(Type O)

図 4 - 1 - 2 海山別 SBP プロファイル (4)



(Type O)

図 4 - 1 - 2 海山別 SBP プロファイル (5)

表 4 - 1 - 4 各海山の特徴一覧

海山名	位置・規模	特徴
SE01	位置 4°15.0' N, 172°54.0' E 測深範囲 1,275~4,500 m 山頂部の拡がり 45 × 15 km 2,500mの拡がり 56 × 21 km 2,500m以浅の斜面積 1,290 km ² 山頂部の斜面積 692 km ² 斜面の斜面積 598 km ² 長軸方向 N35W	タイプ 平頂海山 斜面上部傾斜 15° (0.2° ~39°) 斜面中部傾斜 11° (0.2° ~42°) 斜面下部傾斜 5° (0.0° ~27°) 北西端に水深1,175mの頂部が認められる。 その他 山頂部には層厚50m以上の透明層が発達する。斜面は不透明層からなる。
SE02	位置 0°58.0' N, 175°07.0' E 測深範囲 370~5,000 m 山頂部の拡がり 直径 1 km 2,500mの拡がり 直径 12 km 2,500m以浅の斜面積 129 km ² 山頂部の斜面積 1 km ² 斜面の斜面積 128 km ² 山頂部は円形	タイプ 尖頂海山 斜面上部傾斜 23° (7.7° ~38°) 斜面中部傾斜 19° (2.7° ~30°) 斜面下部傾斜 13° (0.3° ~34°) 水深4,000m周辺に直径1~2マイル・比高100~300mの小海丘が分布する。 その他 透明層は認められない。
SE03	位置 3°54.0' S, 175°39.0' E 測深範囲 1,577~4,700 m 山頂部の拡がり 1.8 × 1.8 km 2,500mの拡がり 5.0 × 5.0 km 2,500m以浅の斜面積 36 km ² 山頂部の斜面積 3 km ² 斜面の斜面積 33 km ² 山頂部は四角形	タイプ 尖頂海山 斜面上部傾斜 24° (8.7° ~33°) 斜面中部傾斜 14° (0.1° ~32°) 斜面下部傾斜 13° (0.1° ~28°) 南東部に尖頂海山(最浅所199m)が分布する。 その他 透明層は認められない。
SE04	位置 1°13.5' N, 178°56.5' E 測深範囲 2,012~5,500 m 山頂部の拡がり 6.0 × 1.5 km 2,500mの拡がり 8.0 × 2.5 km 2,500m以浅の斜面積 22 km ² 山頂部の斜面積 10 km ² 斜面の斜面積 12 km ² 長軸方向 N70E 山頂部は長方形	タイプ 尖頂海山 斜面上部傾斜 23° (6.7° ~38°) 斜面中部傾斜 19° (4.6° ~33°) 斜面下部傾斜 14° (0.2° ~31°) 海山の西部に南北性の尾状地が分布する。 その他 透明層は認められない。
SE05	位置 2°16.0' S, 174°57.0' E 測深範囲 1,685~4,700 m 山頂部の拡がり 4.0 × 2.5 km 2,500mの拡がり 7.0 × 5.0 km 2,500m以浅の斜面積 40 km ² 山頂部の斜面積 10 km ² 斜面の斜面積 30 km ² 長軸方向 E-W 山頂部はだ円形	タイプ 尖頂海山 斜面上部傾斜 20° (3.1° ~41°) 斜面中部傾斜 20° (1.5° ~48°) 斜面下部傾斜 15° (0.3° ~38°) その他 透明層は認められない。

SE01海山

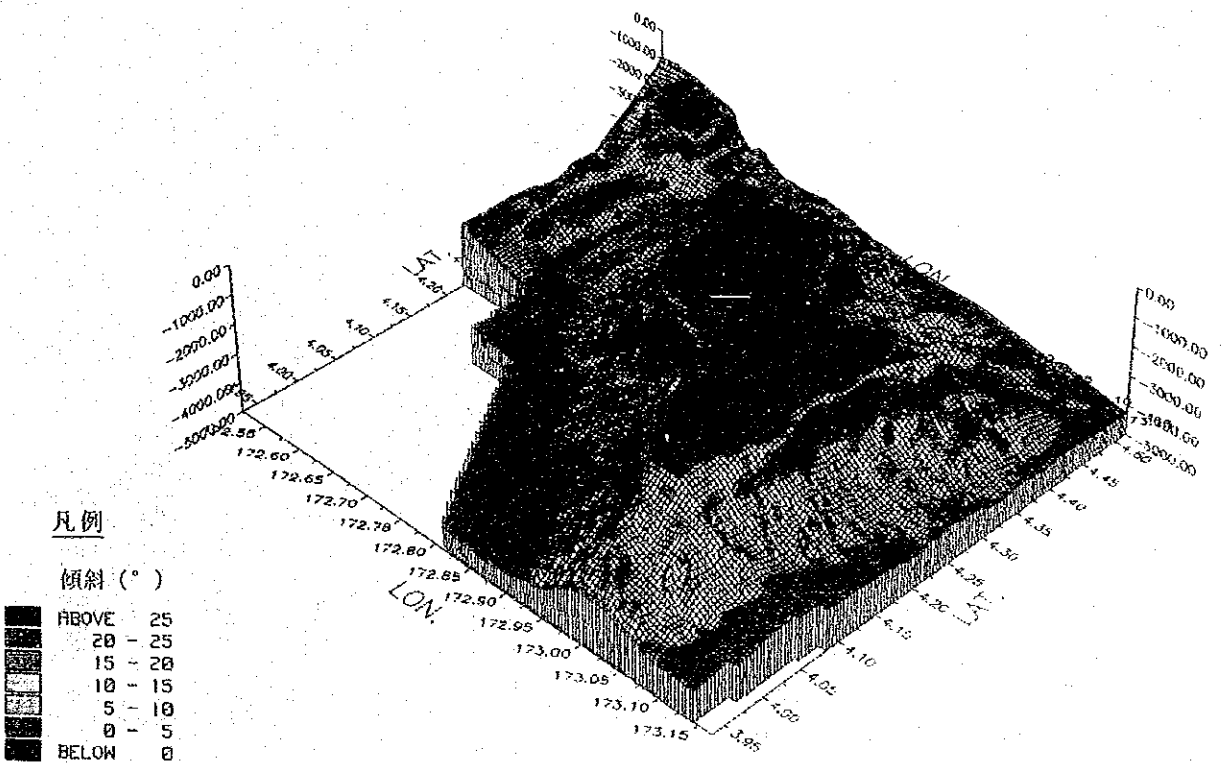
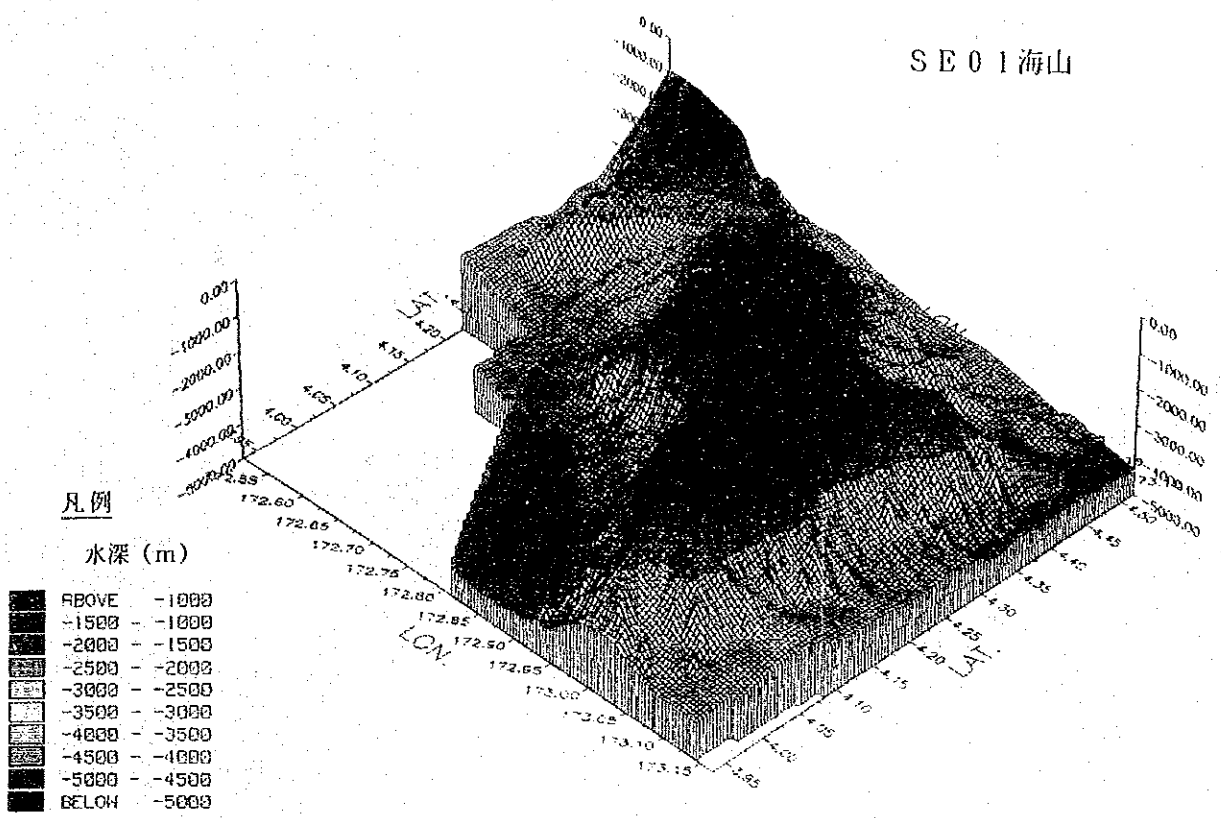


図4-1-3 海山鳥瞰図(1)

SE02海山

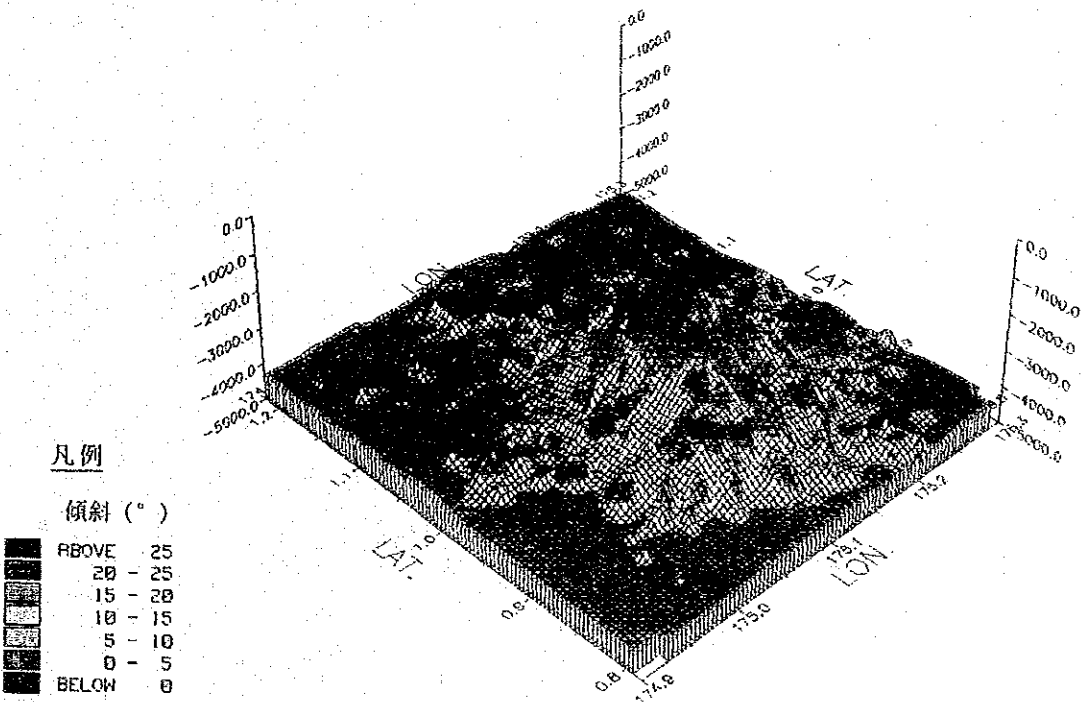
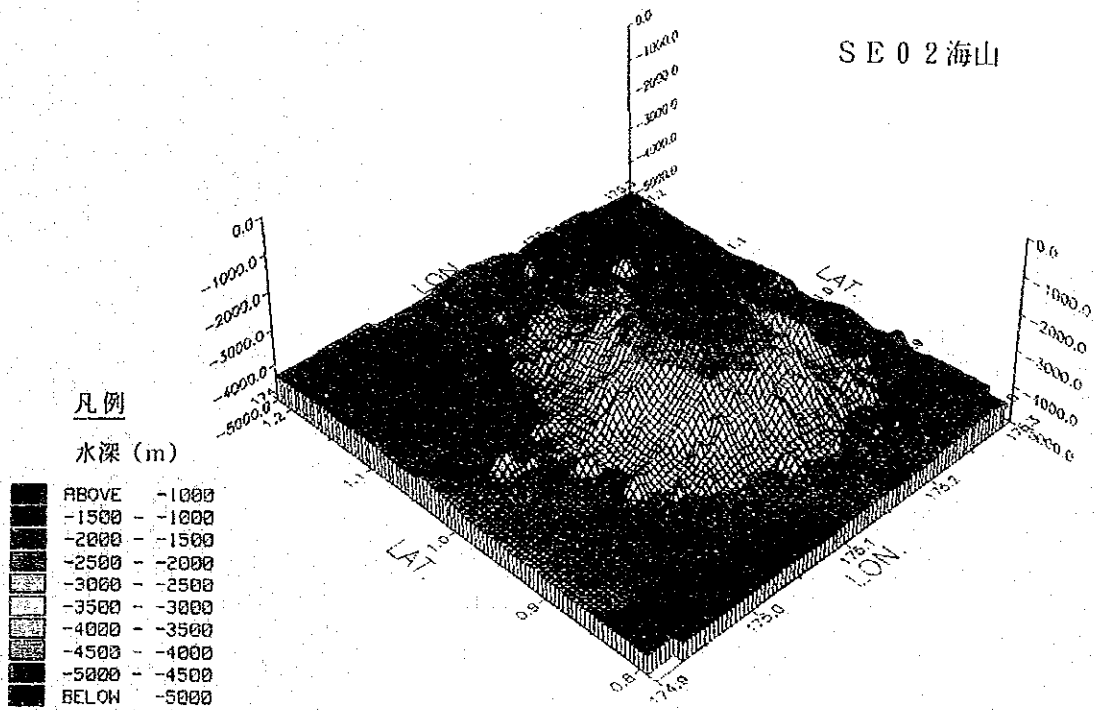


图 4-1-3 海山鳥瞰图 (2)

SE03海山

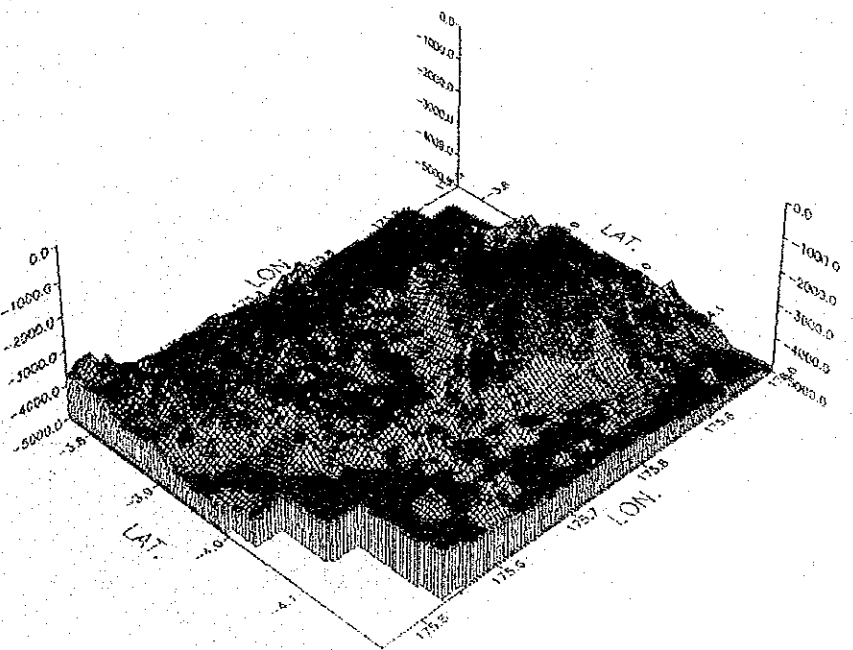
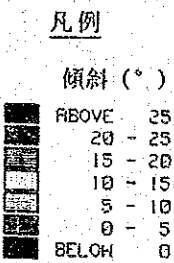
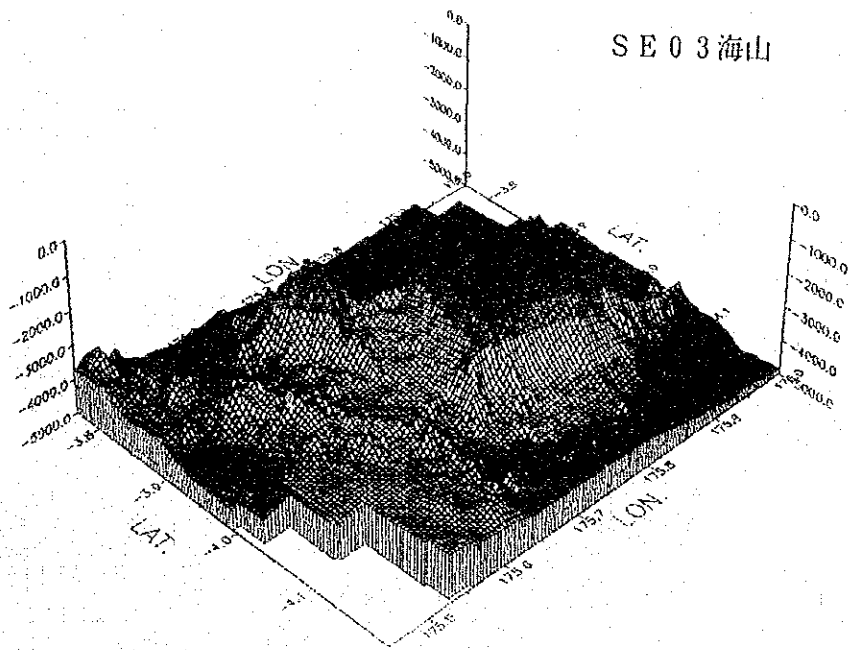
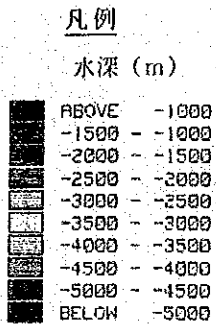
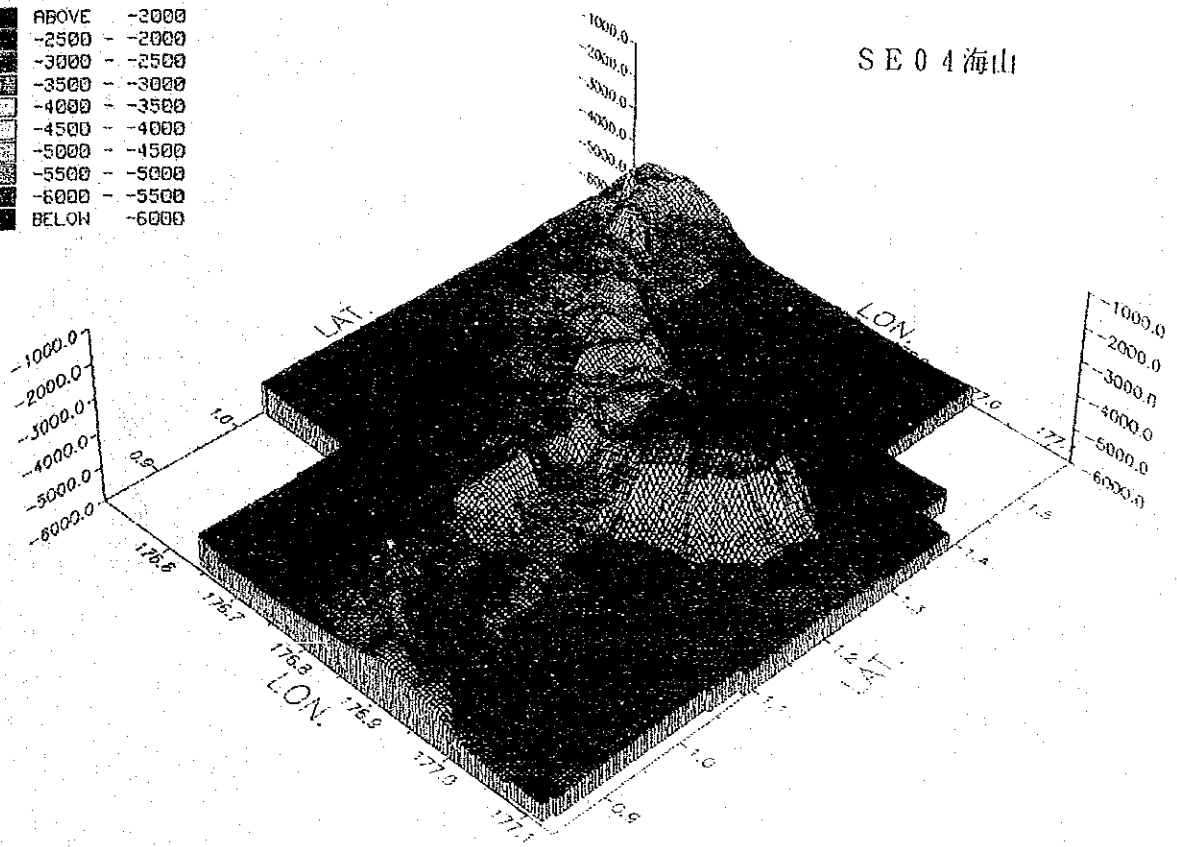
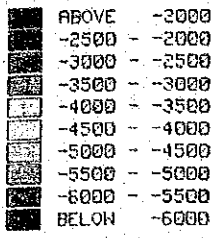


图 4-1-3 海山鳥瞰图 (3)

凡例

水深 (m)



凡例

傾斜 (°)

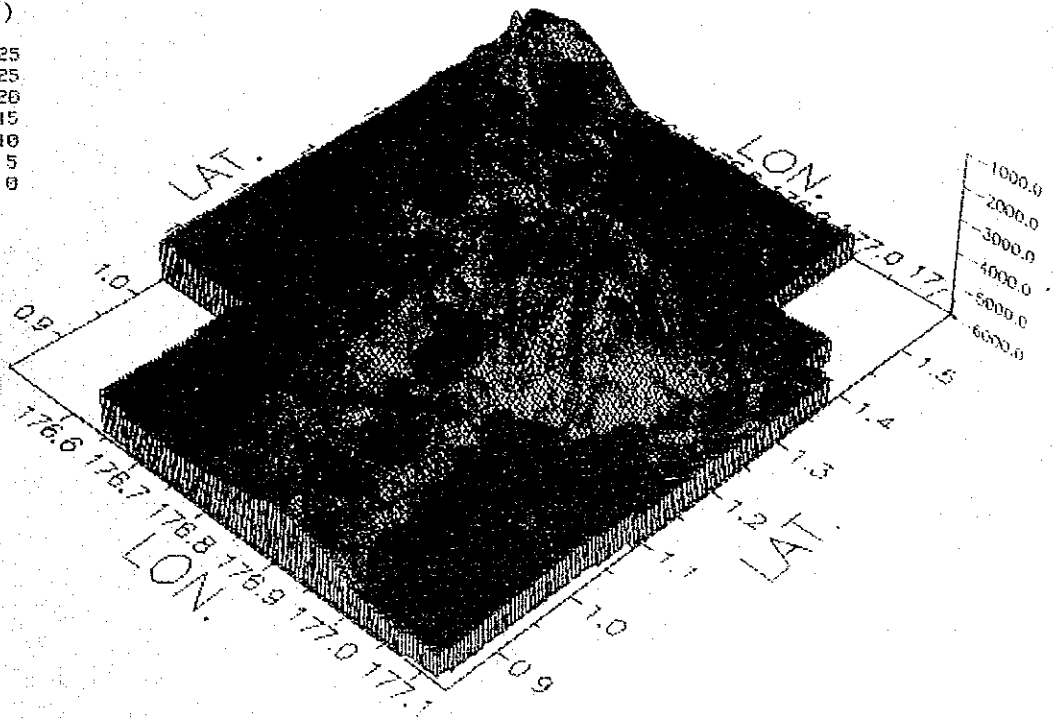
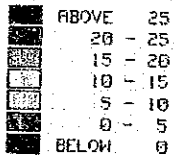


图 4-1-3 海山鳥瞰图 (4)

SE05海山

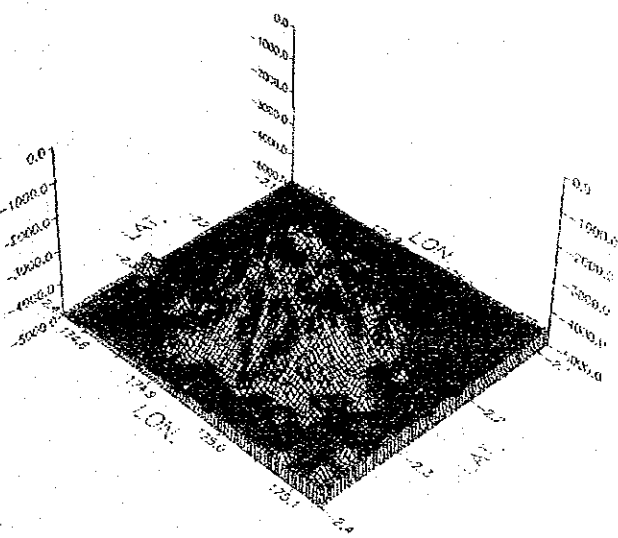
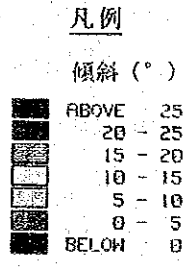
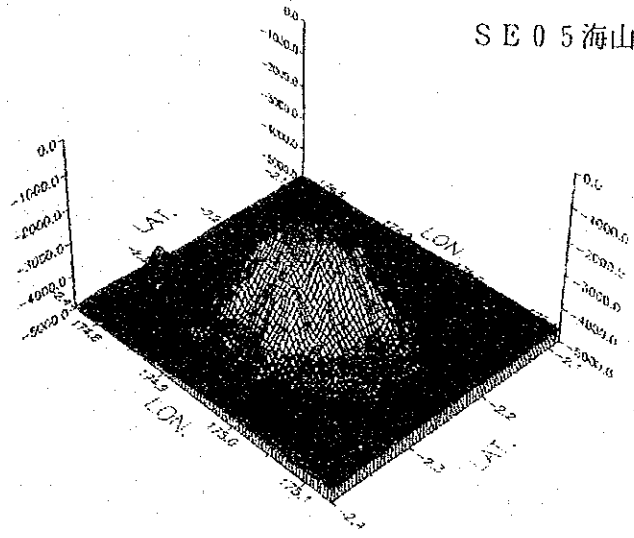
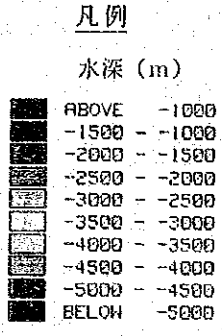


图 4-1-3 海山鳥瞰图 (5)

山頂部，斜面とも不透明層（タイプO）からなる。

（SE03海山）

ギルバート諸島の南端部（海山中心位置 $3^{\circ}54'S$ ， $175^{\circ}39'E$ 付近）に位置し，ギルバート諸島海山列に属する。

頂部水深199mと1,577mの二つの尖頂海山からなる。後者の海山についてサンプリング，FDC調査を実施した。

調査海山は頂部水深1,577m，ほぼ正方形，比高差約2,900mの尖頂海山である。山頂部の拡がりは 1.8×1.8 km，山体の規模は 5×5 kmと小規模である。

斜面上部の平均傾斜は 24° と急峻である。斜面中部と下部の平均傾斜はそれぞれ 13° 及び 14° とほぼ同じ傾斜である。

山頂部，斜面とも不透明層（タイプO）からなる。

（SE04海山）

ギルバート諸島中央部Tarawaの東約240マイル（海山中心位置 $1^{\circ}13.5'N$ ， $176^{\circ}56.5'E$ 付近）に位置し， $5^{\circ}N$ ， $175^{\circ}30'E$ から南に延びる海山列に属する。

頂部の最浅所が2,012m，長軸方向は $N70^{\circ}E$ ，比高差3,400mの尖頂海山である。当調査海山の中で頂部水深が一番深い。山頂部の拡がりは 6×1.5 km，山体の規模は 8×2.5 kmである。

斜面上部の平均傾斜は 23° と急峻である。斜面の中部の平均傾斜は 19° ，斜面下部の平均傾斜は 14° である。

西部にはほぼ南北性の尾根状地が認められる。

山頂部，斜面とも不透明層（タイプO）からなる。

（SE05海山）

ギルバート諸島中央部Tabiteueaの南50マイル（海山中心位置 $2^{\circ}16'S$ ， $174^{\circ}57'E$ 付近）に位置する。ギルバート諸島海山列に属する。

頂部の最浅所が1,685m，長軸方向は東西性，比高差3,000mの尖頂海山である。山頂部は楕円形でその拡がりは 4×2.5 km，山体の規模は 7×5 kmである。

斜面の平均傾斜は上部と中部でそれぞれ 20° ，下部で 15° である。

基底部の水深は4,700mとやや浅い。

山頂部，斜面とも不透明層（タイプO）からなる。

4-2 海山の地質

1) 地質概要

今年度の調査対象となった5海山は，その形状により平頂海山（SE01海山）と尖頂海山（SE02，03，04，05の各海山）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、石灰岩、砂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と推定される。

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17図(1)~(5)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、山頂部から斜面中部に至る広い範囲で採取されている。SE01、SE03、SE04、SE05海山で採取された玄武岩は気孔に富むものが多く、現在よりも浅海で形成されたと推定される。

石灰岩は各海山の山頂部から斜面にかけて採取された。採取量はSE02海山が最も多い。SE03、05海山で採取された石灰岩は採取量が少なく、リン酸塩化を強く受けている。

砂岩は非石灰質砂岩が、SE01海山の東斜面でわずかに採取された。

未固結堆積物は石灰質軟泥からなり、山頂部から斜面にかけて広範囲に分布し、山頂平坦部や緩傾斜部に厚く堆積する。FDC観察によれば、SE01海山~SE04海山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。このリップルマークから推定される底層流の方向はSE01海山ではE→W、SE02海山でE→W、SE03海山でSE→NからW→E、SE04海山でE→WからESE→WNWと斜面の傾斜方向である。

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サンプルの薄片を作成し、偏光顕微鏡で観察した。代表的な岩石の写真を図4-2-1に、顕微鏡観察の結果を表4-2-2に、顕微鏡写真を図4-2-2に示す。

① 玄武岩

(肉眼的特徴)：玄武岩は一般に暗褐色に変色し、新鮮なものは少ない。多孔質構造が発達し、気孔内は石灰質軟泥や方解石または沸石で充てんされている。一般に基質は細粒緻密で微細な斜長石、輝石、カンラン石の斑晶がわずかに認められるにすぎない。SE05海山ではφ1~2mmの斜長石斑晶を多く含有するものが採取された。SE04海山で採取された玄武岩は枕状溶岩の形態を示すものが多い。暗灰色を呈する比較的新鮮な玄武岩はSE01海山で採取された。この玄武岩は塊状緻密で、気孔が少ない。

(顕微鏡観察)：玄武岩は全体的にやや変質したものが多い。石基部分は弱く脱ハリし、大部分のカンラン石、斜方輝石斑晶は、酸化または、粘土化している。岩石全体が著しく変質している玄武岩も認められ、91SE03AD08(A)は粘土鉱物、シリカ鉱物に交代され、ほとんど原岩の構造が認められない。

表 4-2-2 岩石の顕微鏡鑑定結果

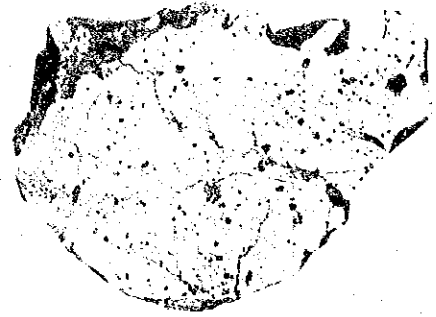
試料番号	岩石名	造岩鉱物														組織構造	備考							
		斑晶及び岩片							石英及び基質															
		Pf	Cpx	Opx	Q	Ho	Sp	Bs	Pf	Opx	Ml	Ap	Zr	Ca	Epi			Vg	C.Q	Mf	Cl	St	Zeo	Lim
1	91SE01AD08(A)	ガラス質玄武岩	△		△																			Limは変質
2	91SE02AD07(A)	球状ガラス質単斜輝石角閃石安山岩	○			◎																		Hya, Flow, Sph
3	91SE02AD07(B)	無球状球状玄武岩?	◎																					Sph, Var, Yes
4	91SE03AD01(C)	ガラス質変質凝灰岩								△														Limはparagonite
5	91SE03AD06(C)	球状ガラス質玄武岩			○					△														Vg, antr, parago, 化
6	91SE03AD08(A)	球状球状玄武岩	◎																					Clはmont. か?
7	91SE03AD08(C)	ハイアロクラスタイト	○							◎														球状Pl, Cpxは粘土化
8	91SE03AD10(A)	普通輝石玄武岩								◎														Py, Sph
9	91SE04AD01(A)	ガラス質球状玄武岩	○																					Sph, Yes
10	91SE04AD05(F)	多孔質ガラス質玄武岩			○																			Py, Sph
11	91SE04AD06(A)	シルト～細粒砂岩																						Sph
12	91SE06AD01(A)	多孔質輝石玄武岩	◎																					Yes
13	91SE05AD11(B)	石英粗面岩	○			◎																		Sed

略号及び記号
 Pf: 斜輝石 Cpx: 単斜輝石 Opx: 斜方輝石 Q: 石英 Ho: 角閃石 Sp: スフェーン Bs: 玄武岩 Ml: 鉄鉱物 Ap: 輝灰石 Zr: シルコン
 Ca: 方解石 Epi: 輝石 Cl: 粘土鉱物 St: シルト Zeo: 沸石 Lim: 輝石
 ◎: 多量 ○: 中量 △: 少量
 組織構造略号
 Por: 斑状組織, Var: ソリオリチック組織, Py: 碎屑組織, Hya: ガラス基流層組織, Int: インターサータル組織, Yes: 多孔質組織, Sph: 球状組織, Flow: 流理構造, Sed: 堆積構造



0 5 cm

(a) 礫性石灰岩
91SE02AD01 (A)



0 5 cm

(b) 礫性石灰岩
91SE04AD07 (B)



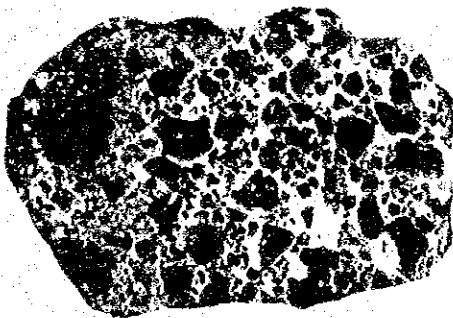
0 5 cm

(c) リン酸塩岩
91SE04AD06 (A)



0 5 cm

(d) 砂岩
91SE01AD06 (A)



0 5 cm

(e) 角礫岩
91SE04AD07 (A)



0 5 cm

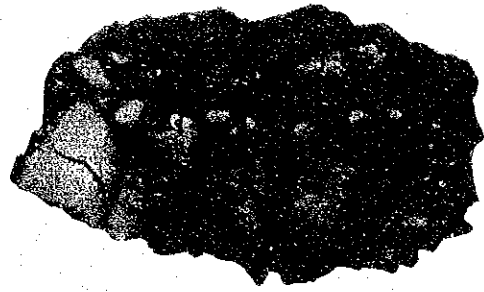
(f) 凝灰岩
91SE03AD08 (C)

図 4 - 2 - 1 採取岩石 (1)



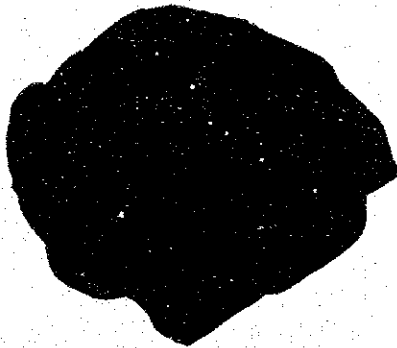
0 5cm

(g) ハイアロクラスタイト
91SE02AD07 (B)



0 5cm

(h) ハイアロクラスタイト
91SE03AD08 (D)



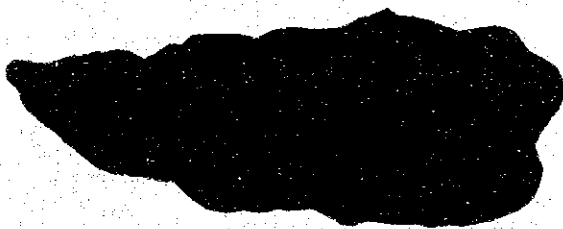
0 5cm

(i) 玄武岩
91SE01AD08 (A)



0 5cm

(j) 玄武岩 (杏仁状構造あり)
91SE03AD08 (B)



0 5cm

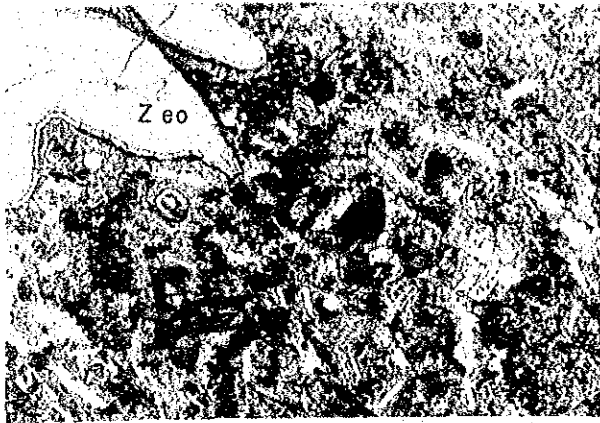
(k) 玄武岩
(角礫状組織あり)
91SE01AD08 (B)



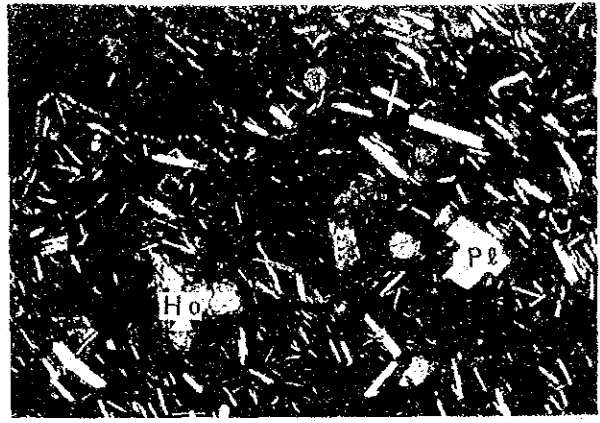
0 5cm

(l) 玄武岩
枕状溶岩
91SE04AD05 (D)

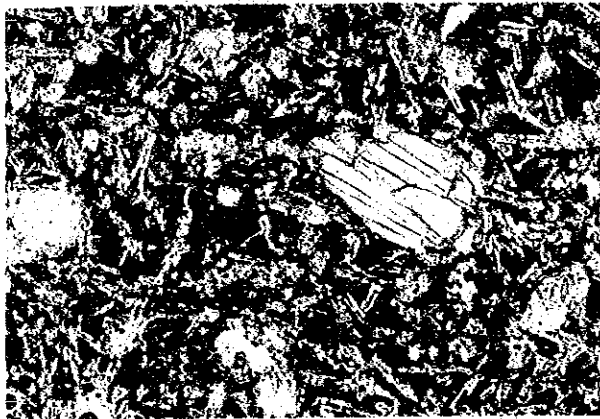
図 4 - 2 - 1 採取岩石 (2)



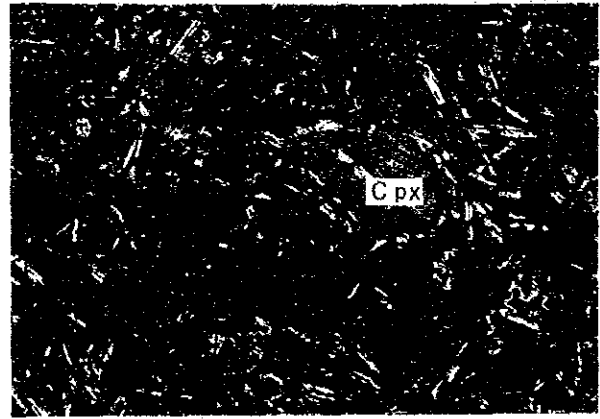
1. A オープンニコル 1 mm



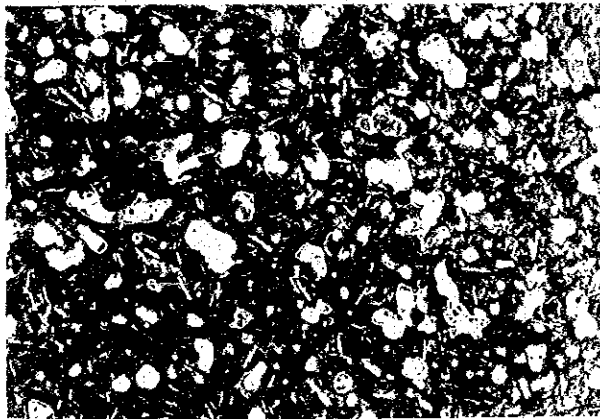
1. B クロスニコル



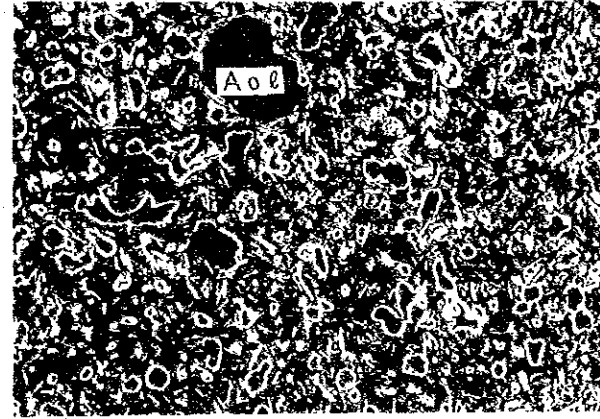
2. A オープンニコル 0.2mm



2. B クロスニコル



3. A オープンニコル 1 mm

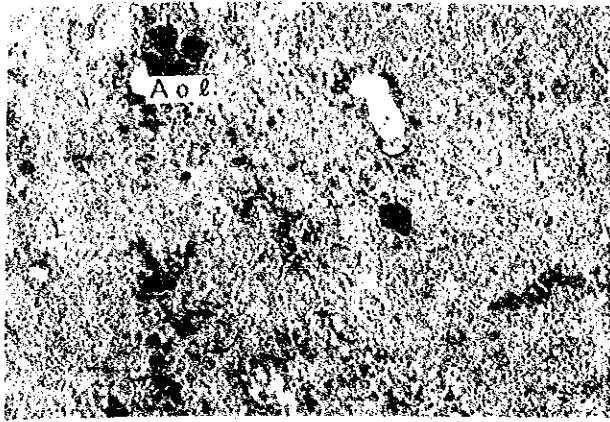


3. B クロスニコル

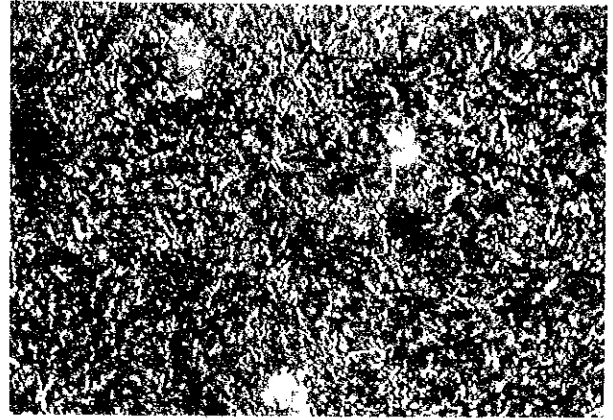
Pl : 斜長石 Cpx : 単斜輝石
 Ho : 角閃石 Zeo : 沸石 Aol : 変質したカンラン石

1. A, B : 91SE02AD07(A) 球顆状ガラス質単斜輝石角閃石安山岩
 2. A, B : 91SE03AD10(A) 普通輝石玄武岩
 3. A, B : 91SE03AD06(C) 球顆状ガラス質玄武岩

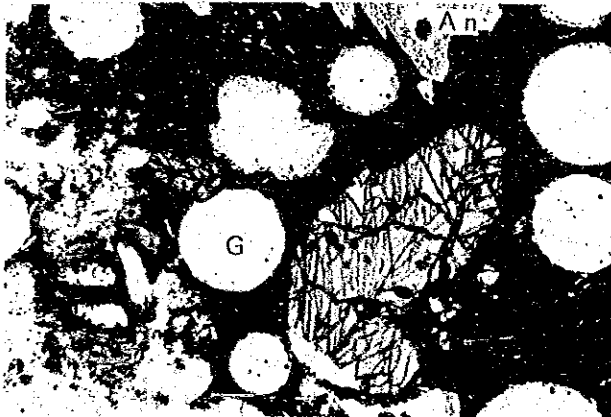
図 4 - 2 - 2 岩石の顕微鏡写真 (1)



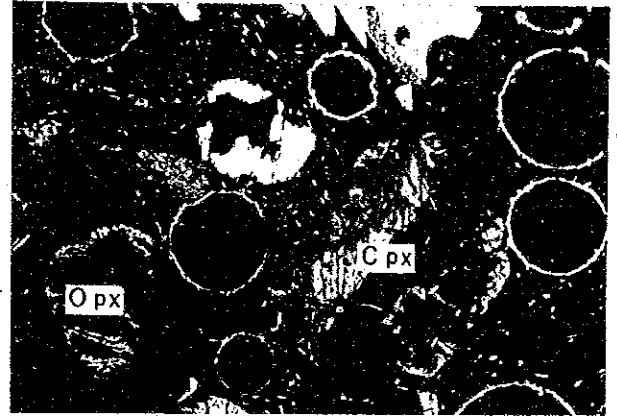
4. A オープンニコル 1 mm



4. B クロスニコル



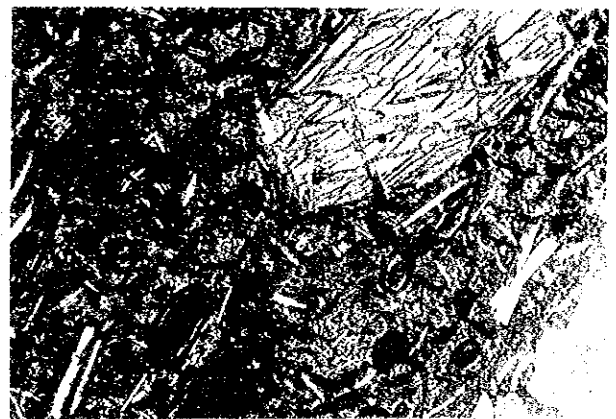
5. A オープンニコル 1 mm



5. B クロスニコル



6. A オープンニコル 0.2 mm



6. B クロスニコル

Aol : 変質したカンラン石 Cpx : 単斜輝石 Opx : 斜方輝石
 An : 灰長石 G : 気孔 P : 豆状アミグダル Ho : 角閃石

4. A, B : 91SE04AD05(F) 多孔質ガラス質玄武岩
 5. A, B : 91SE05AD01(A) 多孔質両輝石玄武岩
 6. A, B : 91SE03AD08(C) ハイアロクラスタイト

図 4 - 2 - 2 岩石の顕微鏡写真 (2)

組織は球顆状組織，玄武岩組織等を示し，石基には一部，流理構造も認められる。

斑晶鉱物は斜長石，単斜輝石，カンラン石からなる。単斜輝石は比較的新鮮である。斜方輝石，カンラン石は酸化し，残晶として認められることが多い。斜長石は一部，粘土鉱物に置換されている。

石基はガラス質で長柱状～針状の斜長石が多く存在し，一部試料で，微量のカンラン石，斜方輝石，燐灰石等が認められる。斜長石は一般に骸晶状で，急速な成長を示唆している。脱ハリ化をしばしば受け，粘土鉱物が形成されている試料（91SE03AD10(A)等）も存在する。

球顆は方解石，沸石からなる。

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灰緑色～黄褐色～暗褐色を示し，玄武岩，火山碎屑岩類に伴って，SE02，03，04，05海山から採取された。

火山碎屑岩類との区分は基質部が岩片と同質か，異質なものを含むかで判断したが，基質部が粘土化して識別の困難なものが多い。

〔顕微鏡観察〕：91SE03AD08(C) 試料を観察した。全体はハイアロクラスタイト組織を示し，球顆状構造も認められる。原岩はガラス質球顆状単斜輝石普通角閃石安山岩と思われる。結晶片は普通角閃石，単斜輝石，斜長石からなり，基質はガラス質で多量の長柱状～針状斜長石を含有する。基質中には粘土鉱物（カオリン，モンモリロナイトなど）が生成している。

ハイアロクラスタイトか凝灰岩かの区別は，基質部が粘土化している場合，識別が難しく，今回は薄片観察の試料数が少ないため，本報告書では肉眼観察によってハイアロクラスタイトか否かを決めた。

③ 安山岩

〔肉眼的特徴〕：暗灰色，斑状を示し，SE02海山北東斜面でわずかに採取された。

〔顕微鏡観察〕：91SE02AD07(A) について検鏡を実施し，「球顆状ガラス質単斜輝石角閃石安山岩」と鑑定された。

全体は玄武岩組織を示し，細粒の斜長石及び火山ガラス基質が流理構造を呈する。斑晶は普通角閃石，単斜輝石，斜長石からなり，微量のスフェーンが認められる。石基は火山ガラスと長柱状～針状の斜長石からなり，球顆に富む。2次鉱物としては，球顆を埋めてカルセドニー，ソーダ沸石が認められる。

④ 石英粗面岩

〔肉眼的特徴〕：灰緑色を示し，流理構造が顕著である。SE05海山の山頂部でわずかに採取された。

〔顕微鏡観察〕：91SE05AD11(B) について検鏡を実施した。

本岩は斑状組織を示し，流理構造が顕著である。斑晶は融食石英，破片状斜長石か

らなり、石基は長柱状～針状の斜長石、微細石英からなる。石基中の火山ガラスはわずかに変質している。

⑤ 火山碎屑岩類

〔肉眼的特徴〕：火山碎屑岩類は灰褐色火山礫凝灰岩からなり、石灰岩に伴ってSE03海山の山頂部～北西斜面で少量採取された。

〔顕微鏡観察〕：91SE03AD01(C)について検鏡を実施したところ「ガラス質変質凝灰岩」と鑑定された。本岩は大部分、ガラス質な基質からなり、火山ガラス片が散在する。基質には、褐鉄鉱、粘土鉱物からなる魚卵状～同心球状の組織が部分的に認められる。また、火山ガラス片は沸石（ソーダ沸石）または雲母鉱物（ソーダ雲母）に変質、置換されている。

⑥ 砂岩・シルト岩

〔肉眼的特徴〕：非石灰質砂岩がSE01海山東斜面とSE04海山西斜面でわずかに採取された。灰褐色を呈し、細粒塊状である。

〔顕微鏡観察〕：91SE04AD06(A)について検鏡を実施した。シルト部分と細粒砂岩部分からなり、碎屑物は変質火山ガラス岩片、玄武岩片、有孔虫遺骸、Mn酸化物片等からなる。

⑦ 石灰岩

〔肉眼的特徴〕：石灰岩は礫性石灰岩で比較的緻密質でリン酸塩化作用を被るものとリン酸塩化作用を被らずにサンゴの組織が残っているものがある。前者はSE03、05海山で多く採取され、後者はSE01、02、04海山で多く採取された。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、さらに、ミネラライトで紫外線を照射し、蛍光色で確認した。

(2) 岩石または粘土のX線回折

SE04海山から採取されたリン酸塩岩、SE05海山から採取された珪質岩、変質した凝灰岩、及び玄武岩とクラストの間に認められた灰白色粘土について粉末X線回折を行った。X線回折の結果を表4-2-3に示す。

表4-2-3 粘土及び岩石のX線回折結果

試料番号	試料名	Mon	Il	Chl	Ph	Ca	Ap
91SE04AD06 (A)	リン酸塩岩		+				++
91SE05AD06 (A)	粘土			+		++	
91SE05AD07 (B)	珪質岩	+			+		
91SE05AD12 (C)	凝灰岩	++					

凡例 Mon: モンモリロナイト, Il: イライト, Chl: 緑泥石, Ph: 灰十字沸石,
Ca: 方解石, Ap: 燧灰石
++: 回折強度の強いもの +: 回折強度の弱いもの

リン酸塩岩からは多量の燐灰石と少量のイライトが検出された。

SE05海山から採取された珪質岩からは少量のモンモリロナイトと灰十字沸石だけが検出され、本試料には、非晶質のシリカ鉱物が多いと推定される。変質した凝灰岩からは多量のモンモリロナイトが検出された。また、玄武岩とクラストの間に認められた灰白色粘土からは多量の方解石と少量の緑泥石が検出された。

(3) 化学分析

SE03海山で採取された比較的新鮮な玄武岩1試料の化学分析を実施した。分析結果を表4-2-4に示す。

SiO₂含有量は46.59%を示すのに対し、Na₂O+K₂O含有量は5.59%と多く含まれ、アルカリ玄武岩であることを示す。一般的な太洋島や海山のアルカリ玄武岩と比較すると本試料はSiO₂、Al₂O₃、MgO、CaO、Na₂O値が低く、TiO₂値が高い。

表4-2-4 岩石の化学分析結果

試料番号		91SE03AD08(B)
岩石名		多孔質普通輝石 カンラン石玄武岩
化 学 分 析 値	SiO ₂	46.59
	TiO ₂	3.96
	Al ₂ O ₃	15.70
	Fe ₂ O ₃	9.39
	FeO	0.51
	MnO	0.16
	MgO	2.95
	BaO	0.03
	CaO	4.38
	Na ₂ O	2.64
	K ₂ O	2.95
	P ₂ O ₅	0.94
	L.O.I.	9.64
	Total	99.84

3) 年代測定

海山の生成年代を推定するため、比較的新鮮な玄武岩1サンプルを選んで、K-Ar法(全岩)による年代測定を行った。測定に使用したサンプルはSE03海山の斜面から採取した。

年代測定の結果を表4-2-5に示す。

年代測定に供した試料は普通輝石カンラン石玄武岩である。

K-Ar年代は 32.2 ± 2.1 (Ma)で古第三紀漸新世を示す。

表4-2-5 年代測定結果

試料番号 採取位置	岩石名	サンプル タイプ	K含有量 (Wt%)	放射性 ⁴⁰ Ar (10 ⁻⁵ scc/g)	⁴⁰ Ar 含有量 (Wt%)	K-Ar年代 (Ma)	変質度
91SE03AD08(B) SE03海山 山頂平地	普通輝石カンラン石	全岩	2.14	0.274	34.3	32.2±2.1	2
	玄武岩		2.16	0.270	32.8		

$$\lambda_{\beta} = 4.962 \times 10^{-10} \text{y}^{-1}$$

$$\lambda_{\epsilon} = 0.581 \times 10^{-10} \text{y}^{-1}$$

$$40\text{K}/\text{K} = 1.167 \times 10^{-2} \text{atom\%}$$

$$40\text{Ar}/36\text{Ar atmosphere} = 295.5 \quad (\text{Steiger and Jager, 1977})$$

(注) 変質度の程度は、次の基準に準じた。

1. 未変質～虫食い状及び割れ目沿いの変質
2. マフィック鉱物の一部が全面変質
3. マフィック鉱物の大半が全面変質、フェルシック鉱物の一部が全面変質
4. マフィック鉱物は残存せず、フェルシック鉱物の大半が全面変質。岩系の識別不能
5. 全面変質し、原岩の判定不能

4) 化石鑑定

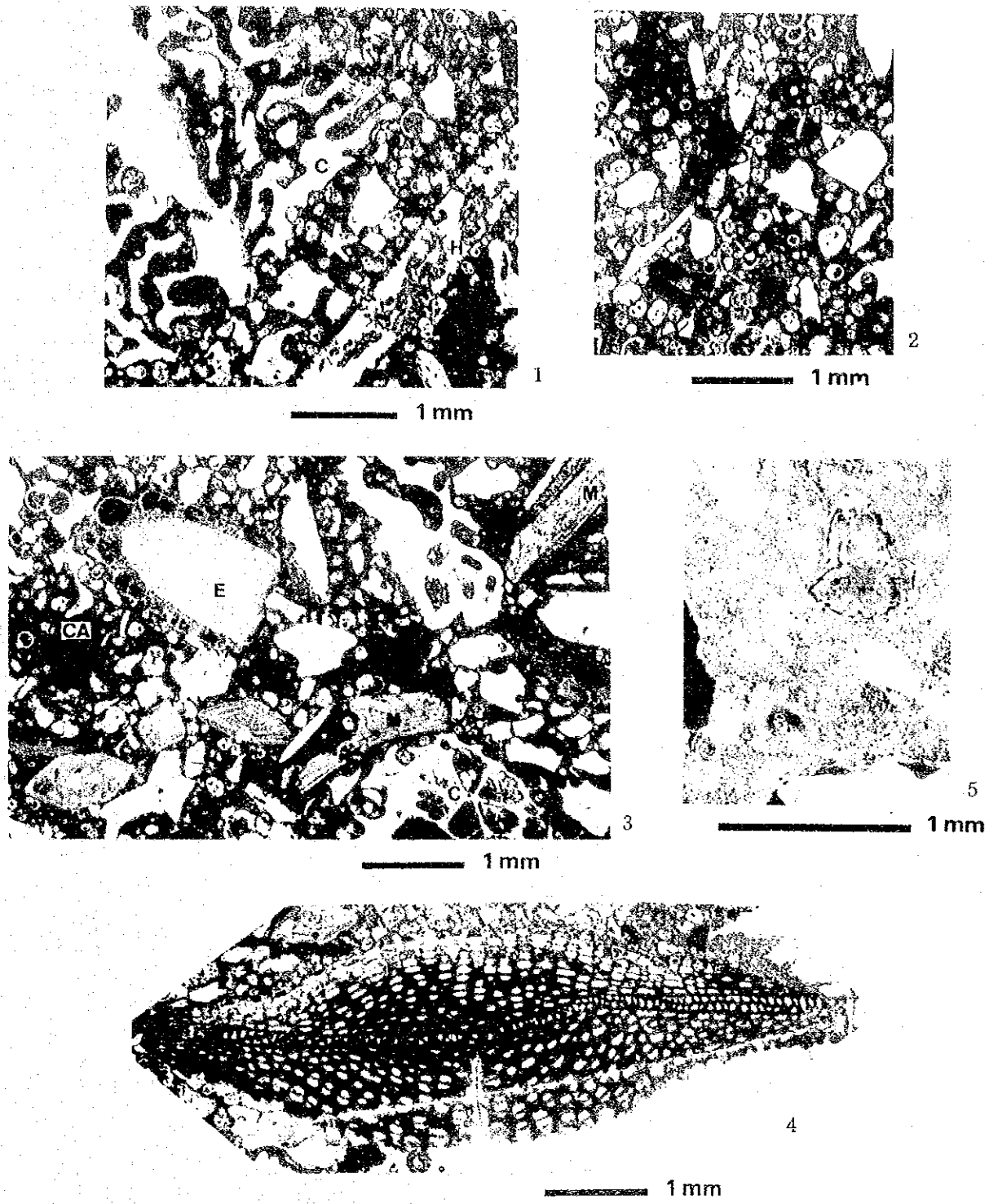
海山の生成年代と堆積環境を推定するため、SE02海山及びSE04海山から採取された石灰岩、それぞれ1試料について薄片を作成し、化石鑑定を行なった。91SE04AD07(B)については底質物のコア試料と同様の処理を行い、有孔虫の観察を行なった。石灰岩に含まれる代表的な化石の写真を図4-2-3に示す。

① 91SE02AD06(A)

石灰質化石を構成粒子とし、基質はマイクライトによって充填された石灰岩である。化石として、アストロセニア科 (*Astrocenidae*) およびハマサンゴ科 (*Poritidae*) の造礁サンゴ、サボテングサ (*Halimeda*) 無節サンゴモ、軟体動物の殻、ウニの棘、底生有孔虫及び浮遊生有孔虫の遺骸などを含む。サンゴをはじめとする造礁生物は、いずれも現地性の産状を示さず、異地性と考えられる。

堆積年代は、大型有孔虫 *Lepidocyclina* (広義) の存在と無節サンゴモの特徴から、漸新世～中新世と推定される。

また、基質が主に浮遊性有孔虫よりなり、礁性生物遺骸を多く含むことから、本試料はサンゴ礁の前面斜面の堆積物と推定される。



1～4 石灰岩試料 (91SE02AD06)
 C : アストロセニア科 (Astrocenidae) およびハマサンゴ科 (Poritidae) の造礁サンゴ
 CA : 無節サンゴモ E : ウニの棘 H : サボテングサ (Halimeda)
 M : 軟体動物の殻 4 : 大型有孔虫, *Lepidocyclina*(広義)

5 石灰岩試料 (91SE04AD07)
 浮遊性有孔虫殻を多く含む遠洋性石灰岩, 黄色部はタール

図 4 - 2 - 3 石灰岩に含まれる代表的化石

② 91SE04AD07(B)

いわゆるチョークで、マイクライトを主体とし、浮遊性有孔虫遺骸を含む遠洋性石灰岩である。組織は典型的なmatrix-supportedの状態にある。また、同定不能の粒子（ターブル？）が含まれる。試料が半固結状態にあるため、浮遊性有孔虫化石は殻の保存状態は不良である。群集は*Pulleniatina obliquiloculata*と*Globorotalia tumida*を主とし、*Globorotalia crassaformis*と*Globigerinoides conglobatus*を伴う。

堆積年代は、本試料中が、N.22帯下限で出現する*Pulleniatina finalis*をまったく随伴しないことから、N.21帯（鮮新統上部）まで遡る可能性がある。

堆積環境は底質の環境を示唆する化石の産出がなく、不明である。

4-3 コバルトクラストの賦存状況

1) タイプ

本海域で採取されたコバルトクラストのタイプは、肉眼的な形状や産状等の特徴から、表4-3-1の様に分類される。表4-3-2にタイプ別の出現率を示す。図4-3-1にコバルトクラストの産状、図4-3-2にそれぞれのタイプのサンプル写真を示す。

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等の母岩に認められ、SE03~05海山の急傾斜部によく発達している。

礫状は玄武岩、ハイアロクラスタイトを核とし、山頂部や斜面の緩傾斜部、とくにクラスト状クラストの周辺部に多く分布する傾向がある。SE03~05海山に多く認められた。

その他、マンガン酸化物がフィルムコーティング状に岩石の表面を薄く被覆している場合があるが、厚さ1mm未満の場合、分析不可能であるため分類上クラストからは除外した。母岩は石灰岩と砂岩で、玄武岩の破断面にも認められる。

2) 産 状

FDCによる海底テレビ観察、写真撮影で判断した産状（マクロ的産状）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産状（ミクロ的産状）について述べる。

(1) マクロ的産状

クラストのマクロ的産状は大別して次の2種類に分けられる。

- ① 玄武岩、ハイアロクラスタイトの岩盤表面にマンガン酸化物が付着し成長したと考えられる産状……クラスト状
- ② 玄武岩、ハイアロクラスタイト等の岩片を核として、マンガン酸化物が表面に付着し成長したと考えられる産状……礫 状

各々の産状に関係する海底地形を図4-3-3、図4-3-4に示した。

①の状況が観察できるのは、山頂縁片部、急傾斜な崖及びピナクル等の岩盤が露出し、堆積物が堆積し難い場所である。

図4-3-3によると水深2,500m位まではクラスト状クラストの発達が良好であるが、それ以深ではマンガン酸化物のコーティングが岩盤表面に認められるのみである。即ち、水深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、クラスト状クラストの周辺部に認められる。急傾斜部の岩盤から供給された岩片にクラストが付着成長したと考えられる。

(2) ミクロ的産状

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)

比較的厚いクラストサンプルの表面には凹凸が認められ、ぶどう状構造をなす。ぶどう状構造には大きさの違いがあり、凹凸が明瞭でないものもある。表面が平滑なクラスト