

## 5章 マンガンクラスト

### 5-1 マンガンクラストの分類及び層区分

#### (1) マンガンクラストの形態による分類

採取されたマンガンクラスト及び岩石の形態に従い、マンガンクラストを以下のように分類する。図5-3-1(1)、(2)の採取されたマンガンクラストの代表的な写真を参照のこと。

##### ① クラスト (図5-3-1(1), 写真番号5~8)

上側表面がマンガン酸化物で覆われており、下側底面は基盤の岩石が露出しているもの。岩盤に直接マンガンクラストが生成する場合と二次的堆積物の表面に生成する場合がある。マンガンクラストが厚く発達する場合、表面はブドウ状 (botryoidal) 構造 (図5-3-1(1), 写真番号1) を呈することが多く、まれにストロマトライト状構造 (図5-3-1(1), 写真番号2) を呈する。

##### ② 礫状クラスト (図5-3-1(2), 写真番号9~12)

全面がマンガン酸化物で覆われており、内部に核となる岩石等が存在するもの。長径が8 cm以上。

溶岩片、礫化した岩石、崖錐性堆積物、転石など岩盤から分離された岩石の全体を覆いマンガンクラストが生成したものである。一般的に、上側表面の方が下側裏面よりもマンガンクラストは厚く、上側はブドウ状構造、下側は顆粒状 (granule) 構造を呈する。マンガンクラストが厚く発達したものは、しばしば楕円体を呈する。

##### ③ ノジュール (図5-3-1(2), 写真番号13~16)

全面がマンガン酸化物で覆われており、長径が8 cm未満のもの。

一般には、内部に核となる岩片が存在するが、核が存在しない場合 (図5-3-1(2), 写真番号16) もある。礫状クラストと同様に、岩盤から遊離した小岩片の全体を覆いマンガンクラストが生成したものである。球状、扁平状、板状などを呈する。表面形態はブドウ状を呈することが多いが、マンガンクラストの厚さ及びノジュールの形に従い様々に変化する。

#### (2) マンガンクラストの層区分

マンガンクラストがある程度の厚さをもつ場合、断面性状によりマンガンクラストは大きく2~3層に区分される。一般的には、外殻と内殻の2層に区分される (図5-3-1(2), 写真番号11) が、マンガンクラストの厚さが6 cmを越えるような場合、この2層の内側にもう1層が存在し、3層に区分される (図5-3-1(1), 写真番号6) ことが多い。各層はマンガンクラスト生成年代、生成の場、成長速度などの違いを反映する。本報告書では、マンガンクラストを下記の3層準に区分し、層別の化学分析、各種試験及び統計処理を行って

いる。各層の肉眼的な一般的特徴は以下のとおりである。

#### ① 外殻

表層部のマンガクラスト層で、表面形態はブドウ状を呈することが多い。やや緻密で破断面が光沢をもつことが多いが、やや空隙が多く褐色酸化鉄の汚染を伴うこともある。極薄層の縞状構造がしばしば認められる。マンガクラスト厚が薄い場合、内殻及び最内殻が欠如して、岩石を直接覆う。

図5-3-1(1)の写真番号6では、上側から約2cmまでの部分に相当する。下側の内殻との境界部にはやや空隙が多く、褐色を帯びている。

#### ② 内殻

外殻の内側のマンガクラスト層で、最内殻が欠如する場合、岩石を直接覆う。破断面がやや粗く、マンガクラストの成長方向に平行な空隙に富み、未固結の泥質物が取り込まれていることが多い。空隙部周辺には褐色酸化鉄の汚染が伴われる。内殻の外側輪郭が外殻表層と同じようなブドウ状の断面構造を呈することがある。一般に、外殻との境界部は褐色酸化鉄の汚染を伴い、境界は比較的明瞭である。最内殻との境界部には空隙が多く、泥質物が取り込まれ褐色酸化鉄汚染を伴うことが多い。

図5-3-1(1)の写真番号6では、上側から約2cmから7cmまでの、幅約5cmの部分に相当する。下側の最内殻との境界部周辺には空隙が非常に多く、褐色酸化鉄汚染が顕著である。また、上側から約5cmの付近には、淡褐色の泥質物が空隙に取り込まれている。

#### ③ 最内殻

内殻の内側のマンガクラスト層で、岩石を直接覆う。最内殻は欠如することが多い。非常に緻密質かつ硬質で、破断面は光沢を有する。極薄層の縞状構造を有することが多く、比較的少ない空隙は白色燐灰岩化し固化した底質物に完全に充填されている。上側の内殻との境界は不規則な断面形態を示すことが多い。しばしば、同境界部は凹凸が少なく滑らかで、表面が一度浸食を受けたような断面構造を呈することがある。

図5-3-1(1)の写真番号6では、上側から約7cmから岩石までの、幅約2~4cmの部分に相当する。同部には白色の燐灰岩の縞状細脈が多く存在する。

## 5-2 海底観察結果(FDC)

各海山におけるマンガクラストの賦存状況を把握する目的で、TVカメラ搭載の深海曳航式カメラシステム(FDC)の調査を実施した。FDC測線は、MBES音圧イメージ図において音圧の高い(マンガクラストが分布する)部分を縦断するように設定した。具体的には、海山平頂部の縁辺部を縁に沿うような(等水深線に沿う)測線または海山斜面部を最大傾度方向に下るような測線とした。曳航方向は海流や風向きにより北東~東~南東方向に限定されたため、測線の多くは海山の東側斜面に設定されている。測線数は、MS07海山を除く各8海山

で1～2測線、計12測線である。

FDC観察による代表的な海底写真を図5-2-1(1)、(2)に、FDC調査結果を付帯第1表(1)、(2)に、FDC観察結果のルートマップ(平・断面図)及びクラスト露出率図を付帯第5図(1)～(12)に示す。

各海山毎に各測線のTVカメラによる観察結果を以下に記す。マンガクラストの記載は、前項の分類に従う。クラスト露出率とは、マンガクラスト(クラスト、礫状クラスト、ノジュール)が底質物に覆われず海底に露出している面積の百分率で、1分間の観察の平均値を表す。なお、TVカメラにより観察される海底面の幅は約3mである。

#### (1) MS01海山

##### 1) 96SMS01FDC01測線

測線は海山北東部に位置し、海山北東部の平頂部縁辺部(水深1,300m前後)における北西-南東方向の2.0マイルと平頂部縁辺部から海山北東斜面を北東方向に下り斜面下部(水深3,200m)に至る3.3マイルからなる。測線は途中で直角に曲がる逆し字型を示す。

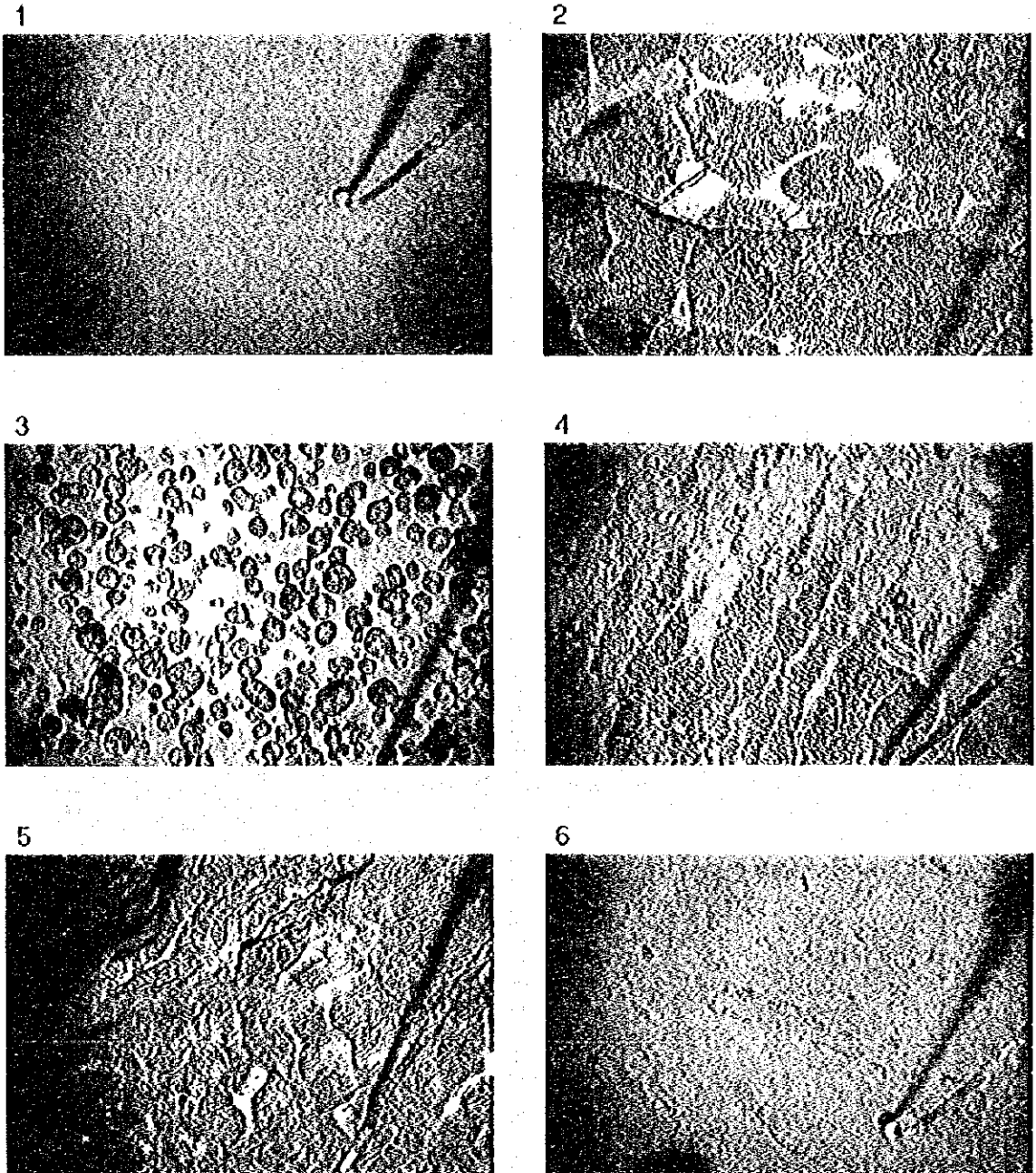
測線の平頂部縁辺部はほぼ平坦であるが、小さな起伏は存在する。測線の海山斜面には大きな起伏はなく、単調な緩斜面である。斜面の傾斜角度は斜面上部から下部に向かい小さくなり、斜面上部では約26°、斜面下部では約9°である。

北西-南東方向の測線における平頂部縁辺部では、クラスト及び礫状クラストが広範囲に分布し、一部で有孔虫砂が卓越する。クラスト及び礫状クラストが分布する場合、露出率は40～90%と高い。一方、有孔虫砂が卓越する所では、クラスト露出率は0～10%である。クラスト表面はブドウ状を呈し、小周期の凹凸がある。礫状クラストは有孔虫砂またはクラストの上に乗る、礫状クラストどうしが結合したり、礫状クラストとクラストが結合することもある。同部で実施したドレッジサンプリング(96SMS01AD11)では、幾つかの礫状クラストが結合したものが採取された。

南西-北東方向の測線における平頂部縁辺部では、有孔虫砂が卓越し、クラストや礫状クラストは有孔虫砂に覆われており、一部にノジュールが存在する。平頂部の最も縁の部分(水深1,400m付近)では、有孔虫砂が広く分布し、クラストはほとんど露出しない。

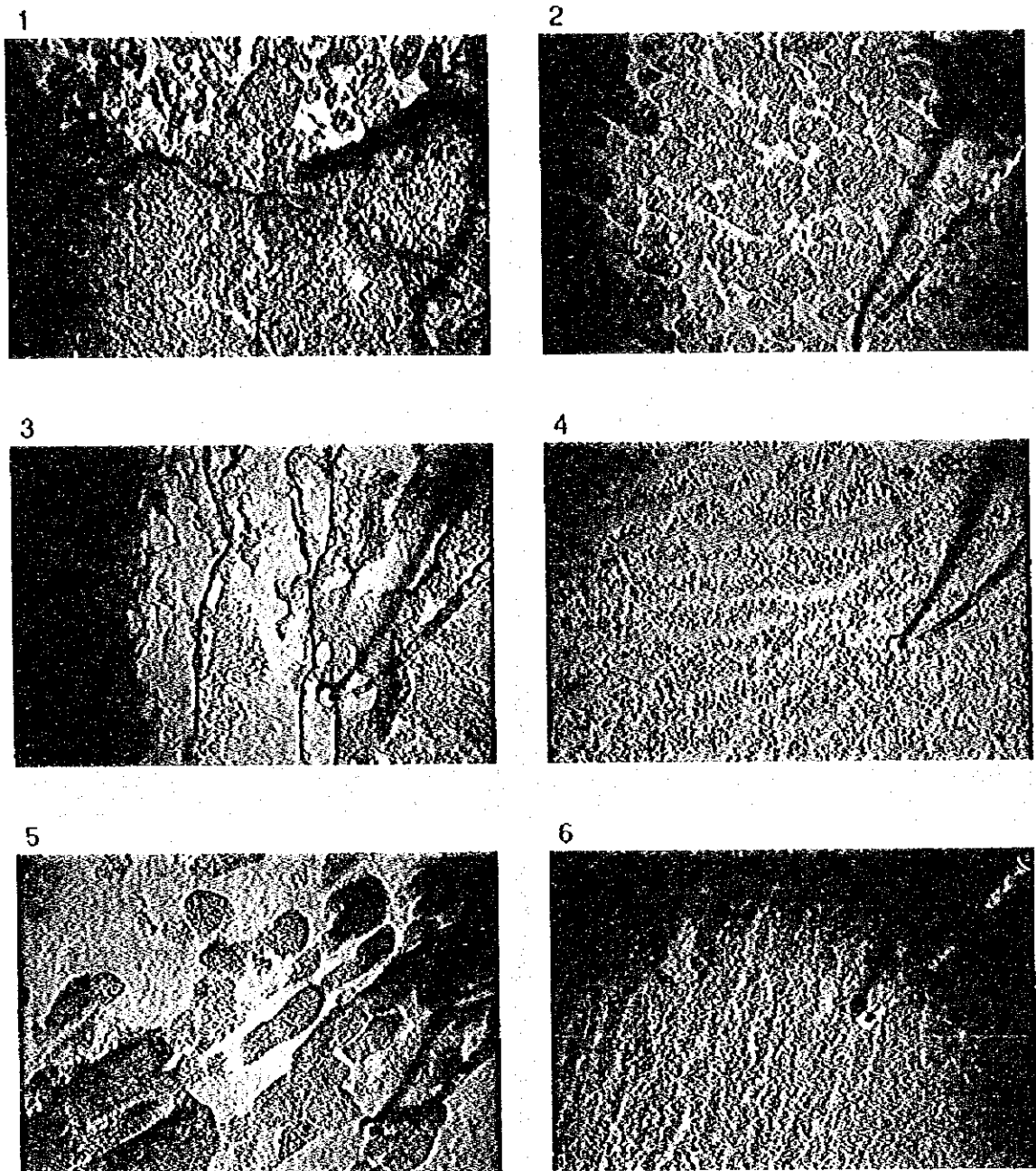
付帯第5図(1)の露出率図に示されるように、平頂部ではクラストが卓越する地区と有孔虫砂が卓越する地区が比較的明瞭に区分される。このような分布形態は平頂部の小地形に起因する。すなわち、大局的には平坦な平頂部においても、多少の傾斜があるところではクラストが分布し、より平坦なところでは有孔虫砂が堆積、分布している。

斜面上部から中部(水深1,500mから2,300m付近)では、クラストが普遍的に分布し、露出率は40～100%と高い。クラスト表面はブドウ状を呈し、表層には凹凸が多い。水深2,300m以深の斜面下部では、有孔虫砂が卓越し、クラスト露出率は0～20%と低くなる。



- 1 96SMS01FDC01 有孔虫砂とリップルマーク  
平頂部縁辺部 水深 1,250m 14° 26.38' N 161° 03.72' E
- 2 96SMS02FDC01 クラスト 露出率90%  
平頂部縁辺部 水深 1,595m 14° 02.81' N 163° 11.49' E
- 3 96SMS02FDC01 礫状クラストとノジュール 露出率40%  
平頂部縁辺部 水深 1,585m 14° 03.03' N 163° 11.87' E
- 4 96SMS03FDC01 有孔虫砂がクラストを薄く被覆 露出率40%  
平頂部縁辺部 水深 2,176m 13° 53.98' N 164° 06.16' E
- 5 96SMS04FDC01 急斜面部のクラスト 露出率90%  
斜面中部 水深 2,029m 14° 22.92' N 165° 59.55' E
- 6 96SMS04FDC02 有孔虫砂に覆われクラストがわずかに露出 露出率10%  
平頂部縁辺部 水深 1,112m 14° 27.81' N 165° 48.86' E

図5-2-1(i) FDC観察の海底写真



- 1 96SMS05FDC01 クラストと塊状クラスト 露出率80%  
 斜面上部 水深 1,177m 11° 18.91' N 171° 04.50' E
- 2 96SMS06FDC01 敷石状のクラスト 露出率70%  
 平頂部縁辺部 水深 1,818m 13° 08.50' N 169° 31.05' E
- 3 96SMS06FDC02 階段状のクラスト 露出率50%  
 平頂部縁辺部 水深 1,744m 13° 09.05' N 169° 27.59' E
- 4 96SMS08FDC01 綫状に分布するノジュール 露出率40%  
 斜面上部 水深 2,219m 14° 01.74' N 167° 33.55' E
- 5 96SMS08FDC02 綫状構造を有するクラスト 露出率40%  
 平頂部縁辺部 水深 1,539m 14° 07.30' N 167° 23.03' E
- 6 96SMS09FDC01 平坦なクラスト 露出率90%  
 斜面中部 水深 2,060m 16° 31.62' N 167° 16.70' E

図5-2-1(2) FDC観察の海底写真

水深3,000m以深でもクラストの分布が認められたが、表面状態がブドウ状を呈していないため、クラストの厚さはかなり薄いと考えられる。

平頂部では有孔虫砂の表層にリップルマークが普遍的に存在し、斜面部でも多く存在する。したがって、有孔虫砂は底層流により移動、再堆積していると考えられる。

斜面部のクラスト露出率は斜面上部から下部に向かい小さくなる傾向がある。これは斜面の傾斜角度に対応しており、斜面中上部の傾斜が大ききなどころでは有孔虫砂が堆積しにくく（クラスト露出率が高く）、斜面下部の傾斜が緩いところでは有孔虫砂が厚く堆積することを示唆する。クラスト露出率は、地形や底層流に起因する有孔虫砂の堆積しやすさに左右され変化すると考えられる。

## (2) MS02海山

### 1) 96SMS02FDC01測線

測線は北東-南西方向に伸びる海山平頂部の北東部（水深1,600m前後）に位置し、平頂部縁の方向にやや斜交して平頂部の中央部から縁辺部にいたる。測線長は3.4マイルで、地形は大局的には平坦である。

測線は、西部と東端で北北西-南南東方向に伸びる小さな尾根を横断する。西側の尾根は比高約40mで、幅が狭く斜面はやや急である。東側の尾根は比高約50mで、幅が広く斜面は緩やかである。一般に、尾根部とそれに続く傾斜部ではクラスト及び礫状クラストが卓越し、これ以外の凹地及び平坦地ではクラストはほとんど露出しない。有孔虫砂の表層には、普遍的にリップルマークが存在する。

平頂部縁辺部に相当する東側の尾根部では、クラストが卓越して分布し、クラスト表面はブドウ状を呈する。クラスト露出率は80~100%と非常に高い。この尾根部西側の緩斜面部では、クラスト、礫状クラスト及びノジュールが分布する。ノジュールが分布する所では、有孔虫砂が卓越し、クラスト露出率は10~30%である。これに対して、ノジュールが分布しない所では、クラスト及び礫状クラストが卓越し、露出率は40~80%である。ノジュールはクラストを覆う有孔虫砂の上に存在する。

西側の尾根部では、礫状クラスト及びクラストが分布し、露出率は30~90%である。この尾根部の東側緩斜面部では有孔虫砂が卓越し、局所的に礫状クラストが分布する。平頂部中央部に相当する測線西端では、クラストは露出せず有孔虫砂が広範囲に分布する。

測線東部のノジュール分布域で実施したドレッジサンプリング（96SMS02AD11）では、マンガンクラストとしてはノジュールのみが採取された。

### (3) MS 03海山

#### 1) 96SMS03FDC01測線

測線は海山東部に位置し、海山平頂部の東側縁辺部（水深2,000~2,300m）を横断し、東側斜面を東南東方向に下り斜面中部（水深約4,000m）に至る。測線長は5.3マイルで、平頂部では2.4マイル、斜面部では2.9マイルである。地形断面では、平頂部縁辺部は起伏もなく平坦で、斜面部でも大きな起伏はなく平均斜度9°の単調な緩斜面である。

平頂部縁辺部では、有孔虫砂が広範囲に分布し、クラスト及び礫状クラストは連続性が悪く局所的に分布し、クラスト露出率は0~40%である。有孔虫砂の表層には普遍的にリップルマークが存在する。

平頂部外縁部（水深2,200m）から斜面上部（水深約2,600m）にかけては、クラストが卓越して分布し、露出率は50~95%と高い。有孔虫砂はクラストの窪みや溝部に堆積するだけである。クラスト表面はブドウ状を呈する。水深2,600~3,000mの斜面中部は斜面上部に比べてやや傾斜が緩くなっており、有孔虫砂が広範囲に分布し、クラスト露出率は10%以下と非常に低い。水深3,000~4,000mの斜面下部では、クラスト及び礫状クラストが連続して分布し、局所的にノジュールが分布する。クラスト露出率は、水深3,000~3,500mで30~50%、水深3,500~4,000mで50~100%と深部ほど高くなる。しかし、クラスト表面はブドウ状を呈さないため、クラストの厚さはかなり薄いコーティング状と考えられる。

### (4) MS 04海山

#### 1) 96SMS04FDC01測線

測線は海山東斜面に位置し、海山平頂部の東側縁辺部（水深1,100m）から東側斜面を東方向へ下り斜面下部（水深約3,100m）に至る。測線長は4.9マイルである。斜面の平均斜度は約13°である。

本海山斜面には、側方噴火で形成されたと考えられる比高数100mの小丘が数多く存在する。測線は、斜面上部で小丘の脇を通り、斜面中部と下部で2つの小丘を縦断している。これら3つの小丘の比高は200m前後で、小丘斜面には急崖が形成されている。

水深1,100m以浅の平頂部縁辺部では、クラストは分布せず露出率は0%で、リップルマークを有する有孔虫砂が広く分布する。

斜面上部（水深1,100~1,600m）では、クラスト及び礫状クラストが連続して分布し、露出率は70~100%と非常に高い。クラスト表面はブドウ状を呈する。水深1,600m以深の斜面中部から下部では、基本的には有孔虫砂が卓越するが、2つの小丘部ではクラスト及び礫状クラストが連続して分布する。クラスト露出率は、小丘部では40~90%と高く、これ以外の所では0~20%で、局所的に30~60%である。斜面下部ではノジュールがまと

まって分布する。斜面部でも有孔虫砂の表面にはリップルマークが普遍的に存在する。

## 2) 96SMS04FDC02測線

測線は海山平頂部の北端部に位置し、平頂部縁辺部（水深1,100m前後）を東西方向に横断する。測線両端は海山斜面上部（水深約1,300m）に位置し、平頂部の外縁にあたる斜面最上部（水深1,200m前後）は崖を形成する。平頂部は大局的には平坦であるが、比高20m以下の小さな起伏が多く存在する。

平頂部では有孔虫砂が卓越し、クラスト及び礫状クラストは断続的に分布する。クラスト表面はブドウ状を呈する。クラスト露出率は変化が著しいが、測線中央から平頂部縁に向かいクラスト露出率が高くなる傾向がある。測線中央部ではクラスト露出率は10%以下が多く、局所的に30~70%である。海山斜面部を除く測線両側では、測線中央部に比べてクラスト露出率はやや高くなり、30~80%が卓越する。有孔虫砂の表層には普遍的にリップルマークが存在する。

測線東西両端の斜面上部では、クラスト及び礫状クラストが連続的に分布し、露出率は50~100%と非常に高い。クラスト表面はブドウ状を呈する。有孔虫砂はクラスト表層の窪みに堆積するのみである。

## (5) MS05海山

### 1) 96SMS05FDC01測線

本海山は尖塔海山であり、測線は南南西-北北東方向に山頂を縦断し、測線長は4.3マイルである。測線は、海山南側斜面上部（水深1,500m）を始点とし、北北東方向に斜面を登り山頂部（水深900m）を経て、同方向に斜面を下り北側斜面上部（水深1,600m）に至る。尖塔海山ということもあり、地形断面は起伏に富んでいる。山頂付近の斜面は傾斜角度が約8°と緩い。

測線が尖塔海山の山頂部周辺に位置するため、全般的にクラスト露出率は高く、有孔虫砂は少ない。クラスト表面はブドウ状を呈する。局所的に有孔虫砂が卓越するところでは、表層にリップルマークが存在する。

測線南部は山頂から南南西に伸びる尾根に沿っており、急崖が多い。クラスト及び礫状クラストが連続して分布し、ノジュールも一部に存在する。クラスト露出率は60~100%で、平均が80%前後と非常に高い。

測線中央の山頂部では有孔虫砂が卓越し、クラスト露出率は5~30%と低い。

測線北部は、南側では海山東斜面に斜交しており、北側では山頂から北北東方向に伸びる尾根に沿っている。山頂の東斜面では、山頂直下の水深1,000~1,100mで、クラスト及び礫状クラストが連続的に分布し、露出率は50~90%である。一方、これより深部の水深



1. 1,100~1,250mでは、有孔虫砂が卓越し、クラスト露出率は0~30%である。測線北端の尾根部（水深1,200~1,600m）では、クラスト及び礫状クラストが連続して分布し、露出率は50~100%である。同部にはノジュールが多く存在する。

一般に、山頂部を除く尾根部では、尾根頂部と斜面部でクラスト、尾根の基部で礫状クラストが卓越し、谷などの平坦部ではノジュールが卓越する。

## 2) 96SMS05FDC02測線

測線は尖塔海山の南東斜面に位置し、斜面上部（水深1,300m）から南東方向に下り斜面下部（水深3,200m）に至る。測線長は3.8マイルである。地形断面では、大きな起伏はなく、平均斜度が20°の単調な斜面である。

斜面上部（水深1,300~1,700m）では、高さ10m程度の急崖が多く存在し、クラストが卓越するが、クラスト露出率は20~100%と変化が激しい。クラスト表面はブドウ状を呈する。小丘の裾に相当する水深1,800~1,900mでは、礫状クラスト及びノジュールが卓越しており、露出率は20~90%である。有孔虫砂の表層にはリップルマークが存在する。

水深1,900m以深の斜面中部~下部では、有孔虫砂が卓越し、クラスト及び礫状クラストは散点的に分布する。斜面下部（水深2,900~3,100m）では階段状の崖が多く存在しており、同部や局所的な急傾斜部などでは、クラスト露出率は20~60%である。しかし、これ以外の所では露出率は20%以下で、0%のところが多い。水深2,700~2,900mでは、有孔虫砂の上にノジュールが数多く分布する。

## (6) MS06海山

### 1) 96SMS06FDC01測線

測線は海山北東部に位置し、海山平頂部の北端から平頂部縁に沿い東南東方向に平頂部縁辺部（水深1,800~1,900m）を縦断し、海山東斜面を同方向に下り斜面中部（水深3,400m）に至る。測線長は6.9マイルで、平頂部で4.6マイル、斜面部で2.3マイルである。

平頂部縁辺部は平坦で起伏も少ないが、平頂部の外縁にあたる斜面最上部（水深1,800~2,000m）には高さ50~150m程度の崖が発達する。海山東斜面では、水深2,400m前後がテラス状地となっており、この下側斜面には崖が発達する。斜面の平均斜度は、斜面上部で25°、斜面中部で19°である。

測線西部は平頂部縁辺部の張り出しを横断しており、海山斜面最上部に相当する部分が多く、崖が発達する。斜面部と崖部ではクラスト及び礫状クラストが卓越し、クラスト露出率は40~90%である。一方、平頂部と谷部では有孔虫砂が卓越し、クラスト露出率は0~30%である。クラスト表面はブドウ状を呈する。

測線中央部の平頂部縁辺部では、有孔虫砂が卓越する。広範囲に有孔虫砂が分布しクラ

スト露出率が0%の部分を含んで両側に、クラスト及び礫状クラストが断続的に分布し露出率が40~80%の部分が散在する。平頂部東部(水深1,800~1,900m)では、ノジュールが多く分布する。有孔虫砂の表層には普遍的にリップルマークが存在する。

測線東部の海山東斜面上部(水深1,900~2,300m)では、クラスト及び礫状クラストが連続的に分布し、クラスト露出率は30~100%である。クラスト表面はブドウ状を呈する。水深2,400~2,500mのテラス状地では、有孔虫砂が卓越するが、礫状クラスト及びノジュールが分布し、露出率は10~30%である。水深2,500m以深の斜面中部では、有孔虫砂が卓越し、クラスト及び礫状クラストは断続的に分布し、露出率は0~70%である。

## 2) 96SMS06FDC02測線

測線は海山平頂部の北西側縁辺部(水深1,700~1,900m)に位置し、測線長は5.0マイルである。平頂部縁辺部は大局的には平坦であるが、一部に高さ10m前後の崖が存在する。

測線西端(水深1,900m前後)は海山斜面最上部に相当し、クラストが連続して分布し、クラスト露出率は40~80%である。クラスト表面はブドウ状を呈する。

測線西部の平頂部では、クラストは全く露出せず、有孔虫砂が広範囲に分布する。測線東部の平頂部では、2箇所の崖部周辺でクラスト、礫状クラスト及びノジュールが分布し、露出率は30~90%であるが、これ以外の所ではクラストは分布しない。クラスト表面はブドウ状を呈する。有孔虫砂の表層には普遍的にリップルマークが存在する。

クラストが全く露出しない区間が長いことから、有孔虫砂層はかなり厚いと考えられる。実際に、測線中央付近で実施したLCサンプリング(96SMS06LC05)では、コア長75cmの有孔虫砂が採取された。

本測線はSSS調査の結果に基づいて設定されたもので、これらの調査結果の対比についてはSSS調査の項で述べられている。

## (7) MS08海山

### 1) 96SMS08FDC01測線

測線は海山北東部に位置し、海山斜面最上部(水深1,500m)から斜面を北東方向に下り斜面下部(水深3,400m)に至る。測線長は8.6マイルである。本海山の斜面には谷地形が発達しており、測線は南西-北東方向に伸びる海底谷にほぼ沿っている。地形断面では起伏は少なく、平均斜度が約8°の単調な緩斜面である。

海山平頂部外縁にあたる測線西端(水深1,500m前後)では、クラストは全く露出せず、有孔虫砂だけが分布する。

水深1,600~2,400mの斜面上部~中部では、クラストが卓越する部分と有孔虫砂が卓越する部分に区分される。クラストが卓越する所は、水深1,600~1,700mの斜面最上部、水

深1,900~2,200m及び水深2,300~2,400mの小尾根部である。礫状クラスト、クラスト及びノジュールが連続して分布し、クラスト露出率は30~100%である。クラスト表面はブドウ状を呈する。有孔虫砂が卓越する所（水深1,700~1,900m及び水深2,200~2,300m）は、クラストが卓越する所に比べてより傾斜の緩い所である。クラスト露出率はほとんどの所で0%で、局所的に礫状クラスト及びノジュールが分布し20~50%になる。有孔虫砂の表層にはリップルマークが存在する。

水深2,400以深の測線北部は、海山斜面に刻まれた海底谷の底部に位置する。水深2,600~2,700mの斜面中部では、クラスト、礫状クラスト及びノジュールが連続的に分布し、露出率は30~70%である。これ以外の所では、有孔虫砂が卓越し、クラストは断続的に分布する。クラスト露出率は0%が多く、局所的に10~90%になる。斜面下部では、ノジュールが多く分布する。有孔虫砂の表層にはリップルマークが存在する。

測線は海山斜面に位置するにもかかわらず、ノジュールが比較的多く分布する。これは、測線が海底谷に沿っていること、谷部には碎屑物が供給されやすくノジュールの核となる物質が多いことが原因と考えられる。

## 2) 96SMS08FDC02測線

測線は海山平頂部の北部中央部に位置し、北北西-南南東に伸張する平頂部を東西方向に横断する。測線長は4.2マイルである。

測線西部と中央部（水深1,540~1,600m）は平頂部中央部に相当し、地形は平坦である。有孔虫砂が卓越し、クラスト露出率はほとんどの所で0%であり、部分的かつ断続的に礫状クラスト及びクラストが分布する所で露出率は10~70%になる。有孔虫砂の表層には普遍的にリップルマークが存在する。

測線東部（水深1,600~1,750m）は平均斜度2°の緩斜面である。礫状クラスト、ノジュール及びクラストがやや連続して分布し、クラスト露出率は10~70%である。

本測線はSSS調査の結果に基づいて設定されたもので、これらの調査結果の対比についてはSSS調査の項で述べられている。

## (8) MS09海山

### 1) 96SMS09FDC01測線

測線は、海山平頂部の南東部中央から北東方向に平頂部縁辺部を横断し、海山東斜面を下り斜面中部（水深2,700m）に至る。測線長は5.5マイルで、平頂部では2.5マイル、斜面部では3.0マイルである。地形的には、平頂部は平坦で、斜面部では尾根や小丘が発達するため大きな起伏がある。斜面の傾斜角度は、斜面上部で約21°、斜面中部で約17°である。

本海山斜面には、側方噴火で形成されたと考えられる比高数100mの小丘が数多く存在する。斜面部の測線は、斜面上部で小さな尾根を縦断し、斜面中部で比高200m程度の小丘を縦断している。

平頂部（水深1,280m以浅）では、有孔虫砂が卓越し、クラスト露出率は0～50%である。測線西端の平頂部中央部ではクラストは露出せず、平頂部縁辺部では断続的にクラストが分布する。有孔虫砂の表層には普遍的にリップルマークが存在する。

斜面上部（水深1,280～2,100m）では、斜面最上部の急傾斜部及び尾根斜面部でクラスト及び礫状クラストが連続的に分布し、クラスト露出率は40～100%と高い。また、尾根脇の谷部では有孔虫砂が卓越し、クラスト露出率は0～20%と低い。クラスト表面はブドウ状を呈する。一部でノジュールが分布する。

斜面中部（水深2,100m以深）では、小丘部とそれに続く斜面部でクラスト、礫状クラスト及びノジュールが連続的に分布し、露出率は20～50%である。一方、水深2,200m前後の緩傾斜地及び2,400m以深では、有孔虫砂が卓越し、クラスト露出率は0～20%である。クラスト表面はブドウ状を呈する。

### 5-3 サンプルング結果

マンガンクラストの採取を目的として、アーム型ドレッジ（AD）及び重力式大口径コアラ（LC）を各海山で実施した。サンプルング位置は海山平頂部及び斜面上下部の全体を網羅するように配置した。各サンプルング地点は、MBS音圧イメージ図において音圧の高い（マンガンクラストが海底に露出している）部分をターゲットとして選定した。また、FDCによる海底観察結果に基づいて一部のサンプルング地点を決めた。サンプルング数は、ADが78点、LCが41点、計119点である。

AD及びLCにより採取されたマンガンクラストの観察記載を以下に記す。サンプルング位置図を図4-2-1(1)~(9)に、AD及びLCサンプルングによる採取物一覧表を表4-2-1(1)、(2)に、マンガンクラストのサンプルングの総括結果を表5-3-1に示す。

#### (1) アーム型ドレッジ（AD）

全9海山の計78地点においてADサンプルングを実施した。このうち2地点では、船上化学分析が可能な量のマンガンクラストが採取されなかった。サンプルング地点は、各海山において海山平頂部及び斜面上下部の各所を網羅するように配慮した。

ADで採取されたマンガンクラストの代表的写真を図5-3-1(1)、(2)に、ADサンプルング結果を付帯第2表(1)~(3)に示す。

#### 1) マンガンクラスト分類別の性状

##### ① クラスト（図5-3-1(1)、写真5~8）

表面はブドウ状（図5-3-1(1)、写真1）、顆粒状（同図、写真3）、ストロマトライト状（同図、写真2）、多孔質不規則状を呈する。マンガンクラストの厚さは、1mm以下のコーティング状から最大105mmである。マンガンクラストは1~3層に区分され、厚いものほど多層に区分される傾向がある。基盤岩は玄武岩質火砕岩及び玄武岩角礫岩を主体とし、火山円礫岩、石灰岩、玄武岩などである。

##### ② 礫状クラスト（図5-3-1(2)、写真9~12）

表面はブドウ状、顆粒状、平滑（図5-3-1(1)、写真4）、多孔質不規則状を呈する。マンガンクラストの厚さは、1mm以下のコーティング状から最大100mmである。マンガンクラストは1~3層に区分され、厚いものほど多層に区分される傾向がある。基盤岩は玄武岩、玄武岩質火砕岩、玄武岩角礫岩、砂岩、石灰岩などである。

##### ③ ノジュール（図5-3-1(2)、写真13~16）

表面はブドウ状、顆粒状~平滑を呈する。マンガンクラストの厚さは、1mm以下のコーティング状から最大30mmである。マンガンクラストは1または2層に区分されることがほとんどであるが、まれに3層に区分される。核となる岩石は多様で、玄武岩、玄

武岩質火砕岩、砂岩、泥岩、石灰岩、燐灰岩、マンガクラスト片、有孔虫砂などである。また、しばしば核が存在しないことがある。

## 2) 海山別の産状

各海山において採取されたマンガクラストの概要を以下に記す。

### ① MS01海山

マンガクラストの平均厚は30mm、最大厚は90mmである。この平均厚は全海山中でも大きな値である。これは、各採試点の平均厚が10mm以下という地点はなく、全体的にやや厚いマンガクラストが採取されたためである。最大厚の試料は、海山平頂部の北東縁辺部(96SMS01AD11)で採取された。コーティング状マンガクラストは海山斜面全体で認められる。マンガクラスト厚さと採取深度及び採取位置との間に明瞭な相関関係はない。ノジュールは平頂部及び緩傾斜の斜面下部で少量採取された。

96SMS01AD10では、円柱状(高さ3cm、直径2cm)に成長したストロマトライト状の表層構造をもつクラストが採取された。96SMS01AD12では、マンガクラスト厚さがコーティング状~50mm、基盤岩が玄武岩角礫状溶岩、長径約90cmと大きな礫状クラストが採取された。このように大きな礫状クラストはFDC調査でも観察されており、めずらしいものではない。本海山で最も深い採試点である96SMS01AD09(水深3,229m)では、厚さ1mm前後のコーティング状マンガクラストで覆われる弱く固結した褐色の泥塊が採取された。

### ② MS02海山

マンガクラストの平均厚は25mm、最大厚は105mmである。この最大厚は全海山中でも大きな値である。最大厚の試料は、海山北部の斜面上部(96SMS02AD07)で採取された。マンガクラスト厚さと採取深度及び採取位置との間に明瞭な相関関係はない。ノジュールは平頂部で少量採取されることが多い。

96SMS02AD13では、玄武岩礫と数個のノジュールが結合して核となった礫状クラストが採取された。このように、ノジュールや礫状クラストまたは岩石片が結合して新たな核となり、より大きな礫状クラストが形成されたものはしばしば認められる。96SMS02AD18では、マンガクラスト最大厚が30mmのノジュールと65mmの礫状クラストが採取され、両者のマンガクラストは同じ断面性状を有し3層に区分される。これは、両者間でマンガクラストの成長速度が異なることを示唆する。

### ③ MS03海山

マンガクラストの平均厚は27mm、最大厚は75mmである。最大厚の試料は、海山平頂部の北部縁辺部(96SMS03AD09)で採取された。斜面最上部の急傾斜部でマンガクラストの厚さが薄い傾向がみられるが、これはドレッジサンプリングの性能による偏りの

表5-3-1 マンガンクラストサンプリング結果総括表

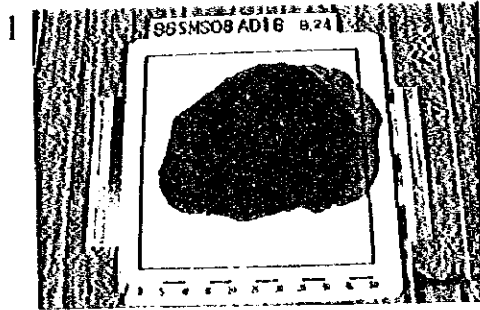
海山名	マンガンクラスト採取地点			マンガンクラスト		船上化学分析5成分の平均品位(%)と標準偏差										
	探試点数	水深(m)		厚さ(mm)		分析数	Co		Ni		Cu		Mn		Fe	
		最大	最小	平均	最大		平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
MS01	11	3,227	1,225	1,787	90	30	0.67	0.17	0.62	0.20	0.12	0.06	22.59	2.66	13.96	3.48
MS02	16	3,091	1,525	1,927	105	25	0.70	0.28	0.54	0.12	0.10	0.04	22.08	3.73	13.61	3.03
MS03	7	2,789	2,028	2,387	75	27	0.62	0.22	0.55	0.17	0.14	0.06	22.00	3.60	14.14	2.15
MS04	13	3,023	1,039	1,773	100	20	0.76	0.27	0.52	0.13	0.09	0.05	22.96	2.65	14.43	3.05
MS05	9	2,616	1,004	1,817	70	12	0.91	0.28	0.69	0.13	0.12	0.07	25.26	3.38	12.87	2.18
MS06	10	3,017	1,532	2,230	80	23	0.76	0.20	0.56	0.11	0.10	0.04	23.64	2.98	14.56	2.04
MS07	3	2,315	2,169	2,254	56	25	0.83	0.18	0.61	0.08	0.13	0.04	24.78	2.58	14.40	0.82
MS08	18	3,619	1,430	2,006	100	18	0.70	0.18	0.55	0.09	0.10	0.04	22.67	2.55	13.96	2.39
MS09	12	4,264	1,170	1,764	80	22	0.71	0.15	0.66	0.22	0.12	0.14	23.11	2.06	13.30	3.15
全体	99	4,264	1,004	1,949	105	22	0.73	0.23	0.58	0.15	0.11	0.07	23.08	3.05	13.89	2.74

注記： 採取地点のデータは、化学分析に供することが可能なマンガンクラストが採取された地点のみを使用。

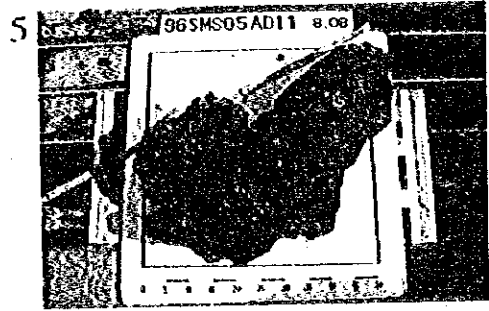
マンガンクラスト厚さの平均値は、各探試点における平均厚さを単純平均して算出。

[マンガングラスト表面構造]

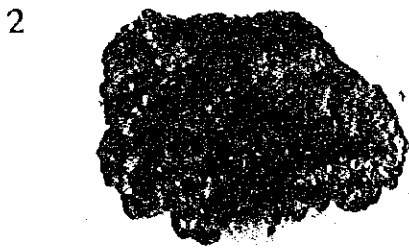
[クラスト]



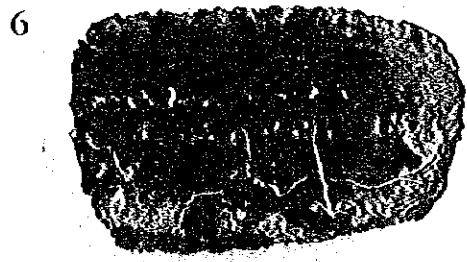
ブドウ状



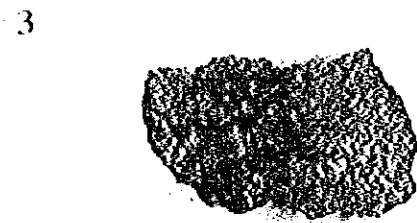
表面



ストロマトライト状



断面, 3層構造



顆粒状



断面, 2層構造



平滑 (コーティング)



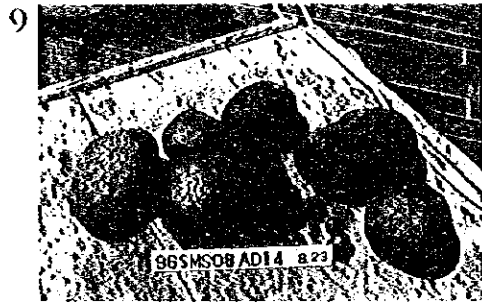
断面, 1層構造

図5-3-1 (I) マングングラストの写真 (ADサンプリング)



〔様状クラスト〕

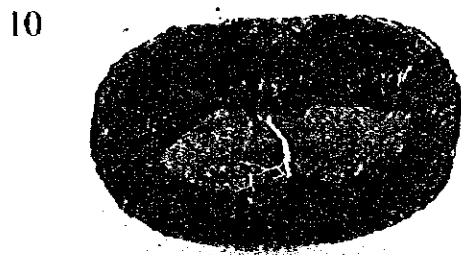
〔ノジュール〕



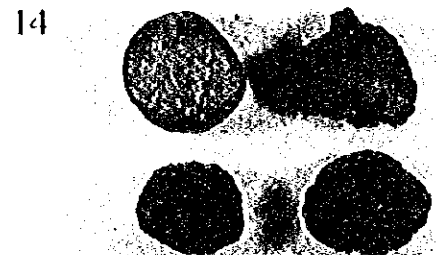
揚収状況



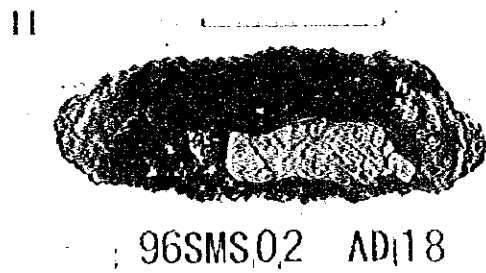
揚収状況



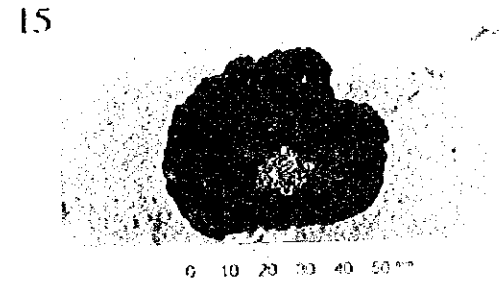
断面, 3層構造



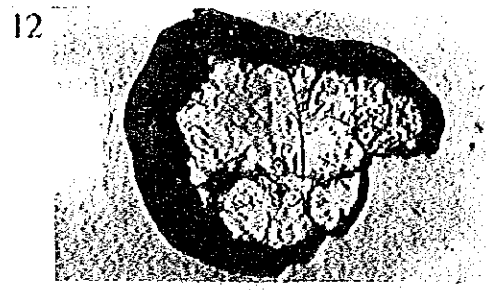
表面



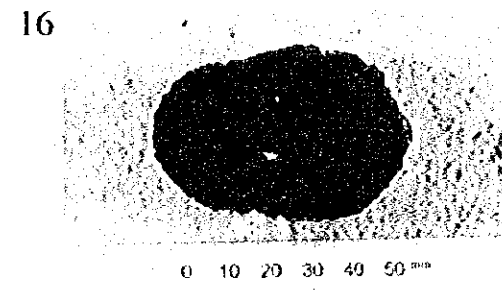
断面, 2層構造



断面, 2層構造



断面, 1層構造



断面, 核なし

図5-3-1(2) マンガンクラストの写真 (ADサンプリング)

可能性が強い。ノジュールは平頂部の96SMS03AD09でのみ少量採取された。

④ MS04海山

マンガンクラストの平均厚は20mm、最大厚は100mmである。最大厚の試料は、海山西部の斜面中部(96SMS04AD04)で採取された。コーティング状マンガンクラストは海山全般に認められる。マンガンクラスト厚さと採取深度との間に明瞭な相関関係はない。ノジュールは海山各所で採取され、特に斜面の尾根部で多く採取された。

96SMS04AD09では、玄武岩溶岩、玄武岩質火砕岩、砂岩、石灰岩を基盤岩とする礫状クラストが採取されたが、岩種の違いによるマンガンクラストの性状や厚さの差異は認められない。

⑤ MS05海山

マンガンクラストの平均厚は12mm、最大厚は70mmである。最大厚の試料は、海山南東部の斜面中部(96SMS05AD11)で採取された。コーティング状マンガンクラストは海山全般に認められる。本海山では、コーティング状マンガンクラストを含み5mm以下の薄いマンガンクラストが多く採取されたため、マンガンクラスト平均厚は全海山中でも最も低い値となっている。マンガンクラスト厚さと採取深度及び採取位置との間に明瞭な相関関係はない。ノジュールは海山各所で採取され、特に斜面中下部の水深の深いところで多く採取された。

MS05海山は尖頂海山であり、山頂部に近い96SMS05AD06、96SMS05AD07、96SMS05AD08の3地点では、マンガンクラストを伴わない玄武岩の中礫が多く採取された。これらは、マンガンクラストが生成する前に底質物で覆われてしまうことにより、マンガンクラストが未形成となった堆積物と考えられる。

⑥ MS06海山

マンガンクラストの平均厚は23mm、最大厚は80mmである。最大厚の試料は、海山西部の斜面上部(96SMS06AD02)で採取された。コーティング状マンガンクラストは平頂部に多く認められる。マンガンクラスト厚さと採取深度及び採取位置との間に明瞭な相関関係はない。ノジュールは平頂部でのみ多量に採取された。

平頂部縁辺部に位置する96SMS06AD07では、ノジュールのみが多量に採取された。ただし、FDC観察ではノジュールだけが広範囲に分布することはないので、実際にはクラストが分布する中でドレッジされやすいノジュールだけが採取されたと考えられる。

⑦ MS07海山

マンガンクラストの平均厚は25mm、最大厚は56mmである。最大厚の試料は、海山西部の斜面上部(96SMS07AD02)で採取された。本海山では採試点数が3点と非常に少ないが、尖頂海山にもかかわらずノジュールの採取量が多いのが特徴となっている。

96SMS07AD01では、ノジュールのみが多量に採取された。ノジュールの形状は扁平楕

円体～扁平厚型楕円体、表面形態はブドウ状、平均径は約5cmで、マンガンクラストは2層に区分され、平均厚は15mmである。

#### ⑧ MS08海山

マンガンクラストの平均厚は18mm、最大厚は100mmである。最大厚の試料は、海山北部の平頂部縁辺部(96SMS08AD12)で採取された。比較的厚いマンガンクラストが採取されたのは、北側海山の平頂部縁辺部である。マンガンクラスト厚さと採取深度との間に明瞭な相関関係はない。ノジュールは北側海山の平頂部で多量に採取された。

本海山で最も深い採試点である96SMS08AD17(水深3,619m)では、コーティング状マンガンクラストでわずかに覆われる玄武岩巨礫が採取された。一方、最も浅い採試点である平頂部縁辺部の96SMS08AD01(水深1,557m)では、厚さ1mm前後のコーティング状マンガンクラストで部分的に覆われる玄武岩大礫が採取された。このように、コーティング状マンガンクラストは水深や地形に関係なく各所で採取される。

#### ⑨ MS09海山

マンガンクラストの平均厚は22mm、最大厚は80mmである。最大厚の試料は、海山南東部の平頂部縁辺部(96SMS09AD11)で採取された。マンガンクラスト厚さと採取深度及び採取位置との間に明瞭な相関関係はない。ノジュールは海山各所で多く採取された。本海山では、石灰岩を基盤岩とするマンガンクラストはコーティング状が多く、厚さが薄い傾向がある。

96SMS09AD11では、核となる岩石をもたない最長径21cm、高さ7cmの礫状クラストが採取された。

### (2) 重力式大口径コアラ(LC)

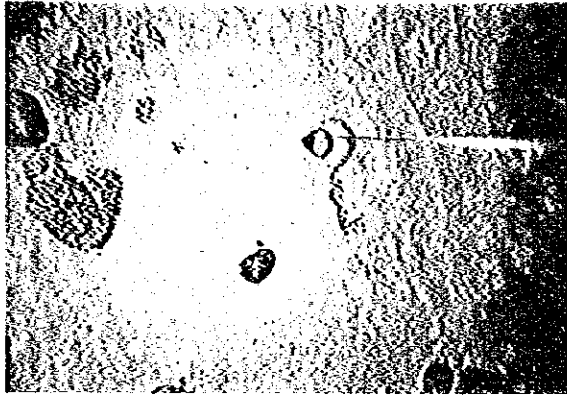
MS07海山を除く8海山の平頂部縁辺部または山頂周辺を中心に、合計41地点でLCサンプリング実施した。このうち、23地点において船上化学分析が可能な量のマンガンクラストが採取された。なお、41地点のうち9地点では前述のように底質物が採取され、また11地点では採取物がなかった。LCによる採取物及び海底写真内容を表4-2-2に、マンガンクラストと海底写真の代表的な写真を図5-3-2に、LCサンプリング結果を付帯第3表(1)、(2)に示す。

#### 1) マンガンクラストの性状と賦存状況

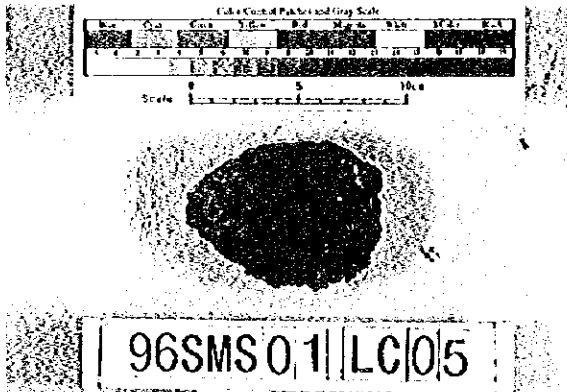
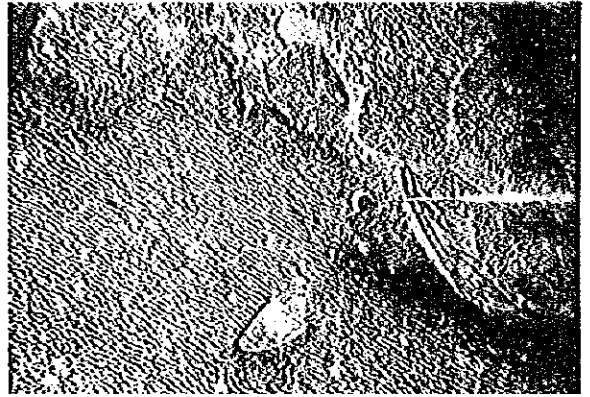
マンガンクラスト表面はブドウ状を呈する(図5-3-2)。ある程度の厚さのマンガンクラストが採取された場合、断面形態からマンガンクラストは外殻と内殻に区分される。外殻は緻密質、内殻は多孔質粗砂状または薄層状で軟質のことが多い。

海底写真において海底面全体が底質物に覆われている、96SMS09LC01及び96SMS09LC05でマンガンクラストが採取された(図5-3-2, 写真番号5~8)。これは、現在海底面

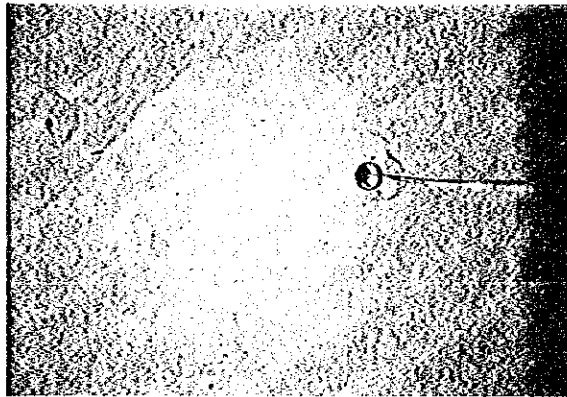
96SMS01LC05



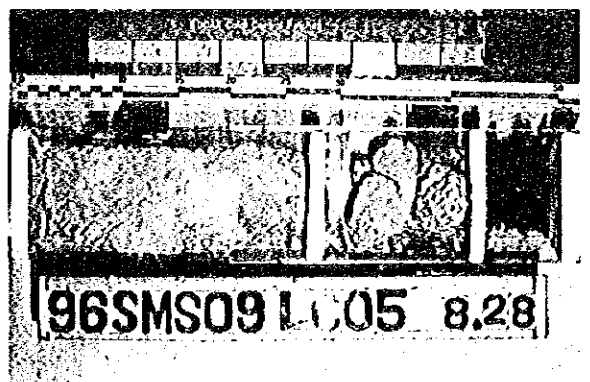
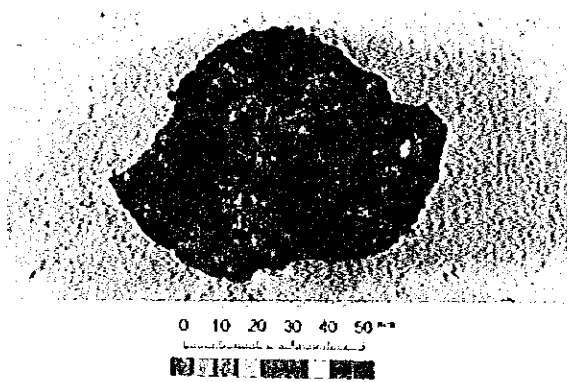
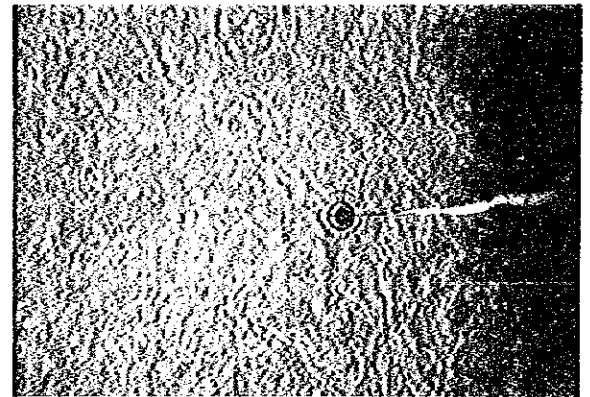
96SMS02LC04



96SMS09LC04



96SMS09LC05



注：各採試点で、上側は海底写真、下側は採取物

図5-3-2 マンガンクラストの写真 (LCサンプリング)



に底質物が分布する箇所でもこの下位にマンガクラストが賦存することを示す。底質物に覆われたマンガクラストの存在はFDCによる海底観察でも推測されるが、この2点のLCサンプリングで確認された。しかし、同様の海底写真が得られた96SMS06LC05では、底質物の下位に岩石が採取されたが、岩石表面にマンガクラストは存在しない(図4-2-3, 写真番号7, 8)。したがって、マンガクラストが形成される以前に底質物が堆積した場所とマンガクラスト形成後に底質物が堆積した場所がある。FDC観察により底質物表面にリップルマークが認められることが多いことから、海流の影響により海山平頂部においても底質物は二次的に移動・堆積し、マンガクラストを覆い隠すことがあると考えられる。

採取物が得られなかった11地点のうち96SMS03LC06を除く10地点では、LCのビット先端が破損したことから、マンガクラストの存在が示唆される。この10地点のうち6地点では海底写真においてマンガクラストの分布が認められ(表4-2-2)、残り4地点のうち96SMS03LC04を除く3地点ではビットに微量のマンガクラストが付着していた。したがって、96SMS03LC06と96SMS03LC04以外の9地点ではマンガクラストは採取されなかったが、海底面にマンガクラストが露出しているか、薄い底質物に覆われてマンガクラストが存在するといえる。

## 2) 海山別の産状

各海山において採取されたマンガクラストの概要を以下に記す。LCによるマンガクラストのサンプリングでは、採取面積及び深度が小さいために、採取されたマンガクラストを5-1項の分類に従いタイプ区分することは非常に困難である。したがって本項では、礫状クラストと明瞭に識別できたもの(96SMS02LC02)以外については、分類に問わずマンガクラストと総称する。

### ① MS01海山

平頂部縁辺部の4地点でマンガクラストが採取された。いずれにおいてもマンガクラストの基盤岩が採取されていないため、マンガクラストの厚さは不明確であり、最大厚さは75mm以上といえる。外殻表面部はブドウ状を呈し、外殻厚さは10~25mmである。外殻は緻密質で、内殻は軟質多孔質または緻密質である。空隙に淡褐色~黄白色の泥質物を取り込まれることがある。

96SMS01LC05ではマンガクラストとともにノジュールが採取された。ノジュールの最大径は50mmで、核は燐灰岩である。

### ② MS02海山

平頂部縁辺部の5地点でマンガクラストが採取された。いずれにおいてもマンガクラストの基盤岩が採取されていないため、マンガクラストの厚さは不明確であり、

最大厚さは60mm以上である。外殻表面はブドウ状を呈し、外殻厚さは5～30mmである。外殻は緻密質で、内殻は軟質多孔質で指圧により粗砂状に砕ける。空隙に淡褐色～黄白色の泥質物を取り込まれることが多い。

96SMS02LC02ではマンガクラストと礫状クラストが採取された。礫状クラストの厚さは20mm以上で、核はマンガクラスト片からなる角礫岩で、径は約1cmと小さい。

### ③ MS03海山

平頂部縁辺部の2地点でマンガクラストが採取された。いずれにおいてもマンガクラストの基盤岩が採取されていないため、マンガクラストの厚さは不明確であり、最大厚さは75mm以上である。外殻表面はブドウ状を呈し、外殻厚さは20mmである。外殻は緻密質、内殻は薄層状構造がみられるが軟質粗砂状である。

### ④ MS04海山

平頂部縁辺部と東側斜面中部（水深2,529m）のそれぞれ1地点でマンガクラストが採取された。後者の96SMS04LC02では、マンガクラストの基盤岩（粘土化した玄武岩質火砕岩）が採取され、マンガクラストの最大厚さは70mm、外殻の平均厚さは6mm、内殻の平均厚さは50mmである。外殻表面はブドウ状を呈し、外殻は緻密質、内殻は多孔質～薄層状構造を有する緻密質である。

### ⑤ MS05海山

尖頂海山の頂部～斜面上部と裾野の4地点でサンプリングを実施したが、マンガクラストは採取されなかった。海山裾野の96SMS05LC01（水深4,651m）では、海底写真から礫状クラスト及びノジュールの分布が認められる。また、海底写真及びLCビットの状態からみて、海山頂部の2地点（96SMS05LC03, 96SMS05LC04）でもマンガクラストが賦存すると考えられる。

### ⑥ MS06海山

平頂部北側縁辺部の1地点で微量のマンガクラストが採取された。マンガクラストの組織、厚さは不明である。このほか平頂部縁辺部の2地点でも、海底写真及びLCビットの状態から、マンガクラストが賦存すると考えられる。

### ⑦ MS08海山

平頂部縁辺部の3地点と中央部1地点の計4地点でマンガクラストが採取された。いずれにおいてもマンガクラストの基盤岩が採取されていないため、マンガクラストの厚さは不明確であり、最大厚さは55mm以上である。外殻表面部はブドウ状を呈し、外殻厚さは10～20mmである。外殻は緻密質で、内殻は軟質多孔質である。空隙に灰色～黄白色の泥質物を取り込まれることがある。

96SMS08LC03では、マンガクラストの上位に弱固結し淡褐色を呈する有孔虫砂がマンガクラストとともに採取された。

### ⑧ MS09海山

平頂部縁辺部の4地点と海山裾野1地点の計5地点でマンガンクラストが採取された。マンガンクラストの最大厚さは65mm以上で、外殻厚さは1~30mmである。外殻表面はブドウ状を呈し、外殻は緻密質~多孔質、内殻は緻密質である。

平頂部縁辺部の96SMS09LC04及び96SMS09LC05では、海底写真において海底面全体が底質物であるにもかかわらずマンガンクラストが採取された。特に後者では、マンガンクラストの上に厚さ50cmの有孔虫砂が採取された。海山南側裾野の96SMS09LC01(水深4,265m)では、厚さ15cmの底質物の下位にマンガンクラストを作う基盤岩(粘土化した玄武岩質火山礫凝灰岩)が採取され、マンガンクラストの最大厚さは10mm、平均厚さは1mmである。

## 5-4 化学組成

サンプリングで採取されたマンガンクラストに対して、船上において主要5成分(Co, Ni, Cu, Mn, Fe)、陸上の分析所において微量成分26成分の化学分析を実施した。主要5成分の船上化学分析の試料数は310試料で、このうち119試料に対して微量成分分析を実施した。化学分析結果を付帯第4表(1)~(7)に示す。

### (1) 主要5成分船上化学分析

全9海山でAD78点及びLC41点のサンプリングを実施した。このうち、ADの2点及びLCの17点では、マンガンクラストが採取されなかったか、船上化学分析に供するのに十分な量が採取されなかったため、化学分析を行っていない。

採取されたマンガンクラストがある程度厚くて層区分される場合、各層(部位)から分析用試料を採取した。AD1採試点で異なる種類や形態のマンガンクラストが採取された場合、また異なる岩石種が母岩となっている場合、各種類から分析用試料を採取した。このように、各採試点で複数の試料を化学分析に供しており、採試点数100に対して分析試料総数は310である。

分析方法は蛍光X線分析で、分析成分はCo, Ni, Cu, Mn, Feの5成分である。マンガンクラストのバルクまたは部位別で分析用試料を採取し、原則として30g程度を前処理に供したが、採取量が少ない場合はこの限りではない。分析前処理として、試料を乾燥機で乾燥後(105℃, 24時間)、粉碎して成型した。また、含水率を測定した。

### 1) 化学組成

マンガンクラストは、マンガンや鉄を主体とする多金属元素が海水から直接沈積して生成されたと考えられており、マンガンや鉄の水酸化物及び酸化物を主成分としている。化



学組成は、海山の位置（地域性、緯度経度）、賦存する水深、マンガクラストの層準（生成時代や成長速度に関連）、構成するマンガ酸化物の種類などにより異なる。

調査海域でも、海山あるいは採試点により各成分の分析値にバラツキがある。各成分において、最大値/最小値の比は、MnとFeで約3、Co、Ni、Cuで5~10である。このようなバラツキは、主にマンガクラストの層区分に基づく採取部位及び採試点の水深が異なることに起因する。また、採取部位や水深の違いに対する各成分の挙動は相互に関連していることが多い（詳細後述）。

本調査による310試料の化学分析の結果、Co、Ni、Cu、Mn、Feの平均値（wt%）はそれぞれ、0.73、0.58、0.11、23.08、13.89である。これらの値は、マーシャル諸島海域で過去に実施された調査結果（J. R. Hein, et al. 1988）と比較して、大きな違いはない。コバルトが0.5wt%を越えるものは、コバルトリッチ・マンガクラストと呼ばれることがあるが、調査海域のマンガクラストはこの範疇に入る。

図5-4-1の $(Co+Ni) \times 10 - Fe - Mn$ 三角ダイヤグラムにおいて、中央太平洋の海水起源のマンガクラストは中央部ややMnよりの領域にプロットされる（J. R. Hein, et al. 1992）。調査海域のマンガクラストはこの領域内のほぼ中央にプロットされ、プロット位置は集中しておりバラツキは比較的少ない。ちなみに同三角ダイヤグラムでは、深海底に分布するマンガノジュールはマンガクラストとほぼ同じ領域にプロットされ、海底熱水性のマンガ鉄石はFeとMnを結ぶ底辺付近にプロットされる。図5-4-1では、左側の列は全試料をプロットしたもので、右側の列はマンガクラスト部位別にプロットした（バツ印は外殻、黒丸は内殻）ものである。

## 2) 基本統計量

各5成分分析値について、海山別、マンガクラスト部位別、採試点水深区分別に基本統計量を算出した。この結果を付帯第5表(1)~(5)に、まとめを表5-3-1に示す。

海山別の基本統計量には次の傾向が認められる。

- ・MS05海山では、全9海山のうちで、Co、Ni、Mnの平均値が最も高く、Feの平均値が最も低い。また、Mn/Feの平均値が最も高い。この傾向は、MS05海山が尖塔海山であることに起因する可能性がある。もうひとつの尖塔海山であるMS07海山でも、顕著ではないが似たような傾向が認められる。
- ・MS03海山では、他の海山に比べて、Cuの平均値が最も高く、Co、Mnの平均値が最も低い。また、Mn/Feの平均値が最も低い。これは、MS03海山が平頂海山の中で最も深い平頂部をもち、かつ平頂部での採取試料が非常に多いことに起因すると考えられる。各海山で平頂部と平頂部に続く斜面上部との分析値を比較すると、両者は必ずしも類似していないことから、平頂部と斜面部のマンガクラストはやや異なる環境下で生成され

全データ (n=310)

部位別 (n=127)

× : 外殻 (n=67) , • : 内殻 (n=60)

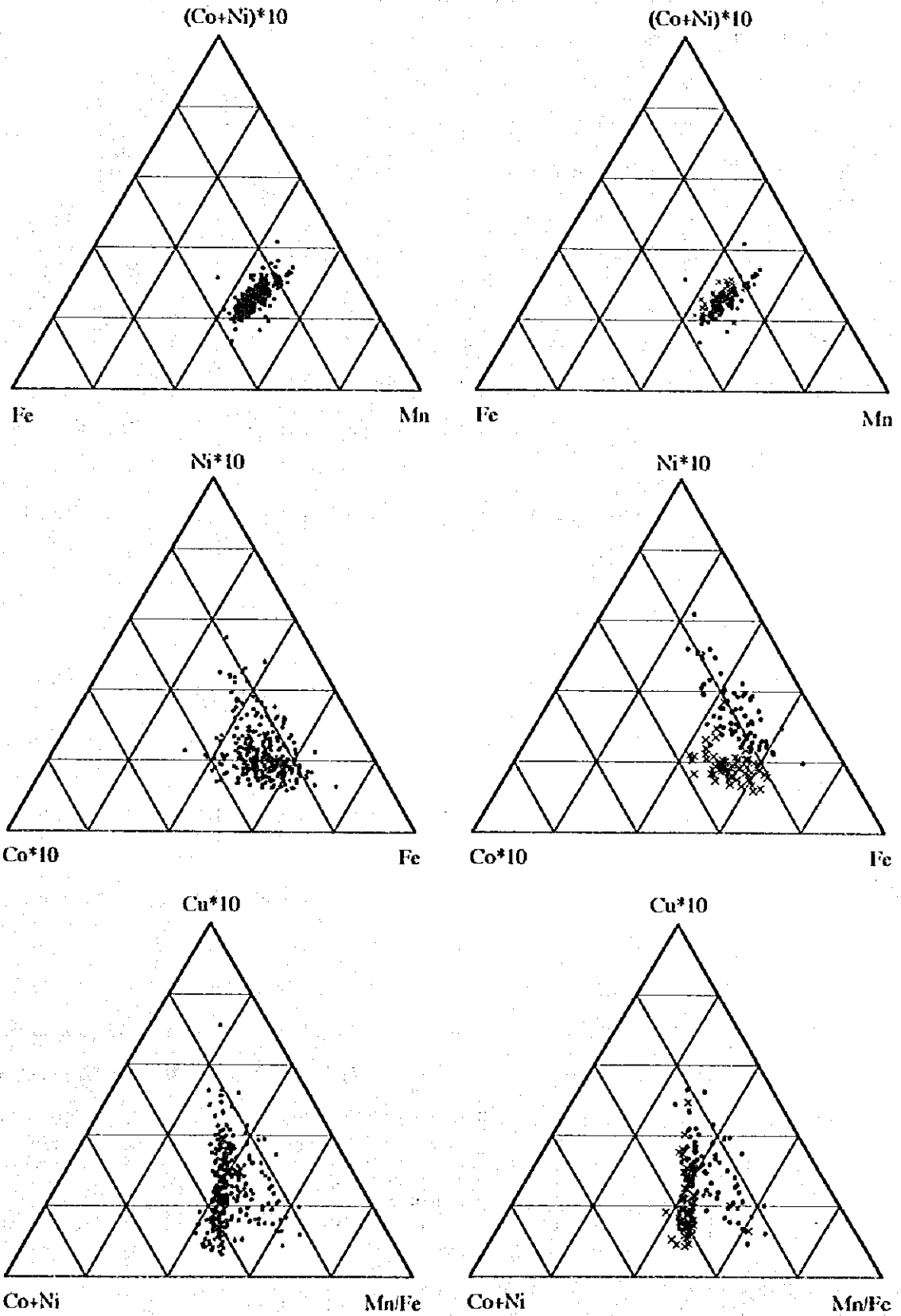


図5-4-1 主要5成分の三角ダイアグラム

たと考えられる。

マンガンクラスト部位別の基本統計量には次の傾向が認められる。

- Co, Fe, Mn, Mn/Feでは、外殻の平均値が内殻よりも顕著に高い。
- Cu, Niでは、外殻の平均値が内殻よりも低い。

外殻と内殻で濃集する成分が異なることは、部位により生成時の環境や生成鉱物が異なることを示唆する。この反対の挙動を示す2グループ (Co-Fe-MnとCu-Ni) は、後述の相関係数によるグループ分けと調和する。

採試点水深区別の基本統計量には次の傾向が認められる。なお、水深区分は海山斜面に対してのみ便宜的に500m毎とし、平頂部は一括して区分した。

- 採試点水深の偏りが小さい平頂海山であるMS01海山とMS04海山では、水深が深くなるに従い、CuとFeの平均値は高くなり、Niの平均値は低くなる。
- 尖塔海山であるMS05海山では、水深が深くなるに従い、CuとFeの平均値は高くなり、Coの平均値は低くなる。
- Coの平均値は、水深が深くなるに従い、高くなる場合 (MS01海山) と低くなる場合 (MS04海山, MS05海山) がある。
- 全海山データでは、水深が深くなるに従い、CuとFeの平均値は高くなり、Niの平均値は低くなる。

水深区別によるCu, Fe, Niの平均値の変動は、後述の相関係数と調和する。

### 3) 相関係数

全5成分分析値と採試点水深値について、海山別に相関係数を算出した。相関係数表を表5-4-1(1), (2)に示す。

各海山における相関係数を比較した場合、全海山で正の相関を有する成分 (例えば, Co-Mn) もあれば、海山により正負両方の相関を有する成分 (例えば, Co-Ni) もある。後者のような海山による元素挙動の相違は、各海山の地形特性が異なること、海山により採試点の水深範囲が異なること、採取水深やマンガンクラストの採取部位に偏りがあることなどが原因である。このようなデータの偏りの影響を少なくし、より普遍的な相関の傾向を明らかにするため、以下の要領で各成分間の相関係数を検討して、有意な相関関係にある成分を抽出した。

- 9海山のうち6海山以上において、主要5成分の間で5%有意水準を越える相関係数値をもつ組合せ。

正相関 : Co-Mn-Fe, Ni-Cu

負相関 : Co-Cu, Ni-Fe

表5-4-1(1) 主要5成分及び水深の相関係数

海山：MS01

	Co	Ni	Cu	Mn	Fe	Mn/Fe	水深
Co		-.45	-.23	.65	.54	-.34	.33
Ni			.33	.00	-.71	.70	-.38
Cu				-.05	.15	-.22	.52
Mn					.29	.07	.17
Fe						-.90	.45
Mn/Fe							-.38

試料数 : 40

5%有意水準 : 0.30

海山：MS02

	Co	Ni	Cu	Mn	Fe	Mn/Fe	水深
Co		.29	-.29	.75	.52	-.03	-.05
Ni			.43	.48	.12	.31	-.45
Cu				-.08	-.08	.05	.11
Mn					.76	-.12	-.16
Fe						-.71	-.07
Mn/Fe							-.09

試料数 : 46

5%有意水準 : 0.28

海山：MS03

	Co	Ni	Cu	Mn	Fe	Mn/Fe	水深
Co		.04	-.51	.69	.46	.29	.32
Ni			.68	.60	-.13	.81	-.63
Cu				.05	-.32	.40	-.43
Mn					.55	.53	-.18
Fe						-.41	.27
Mn/Fe							-.48

試料数 : 18

5%有意水準 : 0.43

海山：MS04

	Co	Ni	Cu	Mn	Fe	Mn/Fe	水深
Co		-.11	-.75	.76	.35	-.10	-.41
Ni			-.15	.06	-.72	.86	-.55
Cu				-.33	.14	-.26	.72
Mn					.50	-.12	-.18
Fe						-.89	.51
Mn/Fe							-.60

試料数 : 43

5%有意水準 : 0.29

海山：MS05

	Co	Ni	Cu	Mn	Fe	Mn/Fe	水深
Co		.33	-.47	.88	.20	.31	-.47
Ni			-.12	.51	-.38	.75	-.48
Cu				-.31	.40	-.52	.60
Mn					.31	.35	-.33
Fe						-.73	.64
Mn/Fe							-.74

試料数 : 30

5%有意水準 : 0.34

海山：MS06

	Co	Ni	Cu	Mn	Fe	Mn/Fe	水深
Co		.41	-.51	.81	.32	.32	-.09
Ni			.09	.54	-.37	.83	-.60
Cu				-.20	-.06	-.06	.24
Mn					.44	.38	-.14
Fe						-.63	.42
Mn/Fe							-.44

試料数 : 31

5%有意水準 : 0.34

表5-4-1(2) 主要5成分及び水深の相関係数

海山：MS07

	Co	Ni	Cu	Mn	Fe	Mn/Fe	水深
Co		.64	-.11	.85	.28	.74	-.28
Ni			.47	.90	.10	.87	-.05
Cu				.19	-.45	.44	-.06
Mn					.30	.87	-.30
Fe						-.21	-.23
Mn/Fe							-.18

試料数 : 17

5%有意水準 : 0.44

海山：MS08

	Co	Ni	Cu	Mn	Fe	Mn/Fe	水深
Co		-.22	-.59	.78	.72	-.42	.21
Ni			.38	.20	-.31	.55	-.34
Cu				-.27	-.29	.17	.21
Mn					.76	-.33	.11
Fe						-.86	.30
Mn/Fe							-.33

試料数 : 52

5%有意水準 : 0.26

海山：MS09

	Co	Ni	Cu	Mn	Fe	Mn/Fe	水深
Co		-.66	-.63	.65	.68	-.56	-.40
Ni			.51	-.28	-.93	.89	.05
Cu				-.51	-.36	.17	.81
Mn					.37	-.18	-.50
Fe						-.96	.06
Mn/Fe							-.24

試料数 : 33

5%有意水準 : 0.33

全海山

	Co	Ni	Cu	Mn	Fe	Mn/Fe	水深
Co		.01	-.39	.77	.40	.00	-.09
Ni			.33	.28	-.50	.75	-.35
Cu				-.16	-.08	-.03	.45
Mn					.45	.12	-.09
Fe						-.79	.33
Mn/Fe							-.41

試料数 : 310

5%有意水準 : 0.11

・探試点水深の偏りが少ないMS01海山、MS04海山及びMS06海山に共通して、水深と5成分の間で5%有意水準を越える相関係数値をもつ組合せ。

正相関：水深-Cu, 水深-Fe

負相関：水深-Ni

相関係数から主要5成分は、Co-Mn-FeとNi-Cuの2つのグループに大きく分けられる。ただし、探試点水深との関係では、CuはNiと逆で、Feと同じ挙動を示す。

#### 4) 相関図

図5-4-2(1), (2)に主要5成分及びMn/Feの代表的な相関図を示す。同図では、左側の列は全試料をプロットしたもの、右側の列はマンガンクラスト部位別にプロットした(バツ印は外殻、黒丸は内殻)ものである。厚く層区分が可能なマンガンクラストでは、部位により分析値が大きく異なる(前述、付帯第5表(1)~(5)参照)ため、外殻と内殻のデータを分けて作図した。図5-4-2(1)には、全試料と部位別試料を比較した場合に、特徴的な事象が現れる相関図を示した。Mn-Coは正の相関が最も高い組合せで、全試料、外殻、内殻データともに高い正の相関を示す。Mn-Niは海山によっては正の相関を示し、全体としては弱い正の相関がある組合せである。全試料データでは弱い正の相関を示すが、外殻データでは正の相関がより強くなるのが読みとれる。Mn-FeはMn-Coに次ぐ高い正の相関をもつ組合せである。全試料データでは弱い正の相関を示すが、外殻データだけでは逆に負の相関を示す。

図5-4-3(1), (2)に探試点水深と主要5成分及びMn/Feとの相関図を示す。同図でも左側列は全試料を、右側列は部位別にプロットした(バツ印は外殻、黒丸は内殻)ものである。相関係数では、水深-Cuと水深-Feの正の相関及び水深-Niの負の相関が抽出されたが、相関図では相関関係はそれほど明瞭ではない。水深-Cuは正の相関が最も高い組合せで、全試料データに比べて部位別の方が相関がより強くなるのが読みとれる。Ni, Mn, Fe, Mn/Feでは浅部で値のバラツキが大きく、Cuでは逆に深部で大きい傾向がある。

#### (2) 微量成分化学分析

主要5成分船上海学分析を行った310試料のうち119試料に対して、微量成分26成分の化学分析を実施した。分析結果を付帯第4表(1)~(7)に示す。

##### 1) 分析方法

分析方法と分析成分は以下のとおりである。分析前処理として、恒量を確認するまで乾燥した後、試料調整を行った。

・ICP発光分析法：Si, Al, Ti, Ca, P, As, Ba, Pb, Zn, Mo, V, Pt

・機器中性子放射化分析法：La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu

全データ (n=310)

部位別 (n=127)

× : 外殻 (n=67) , • : 内殻 (n=60)

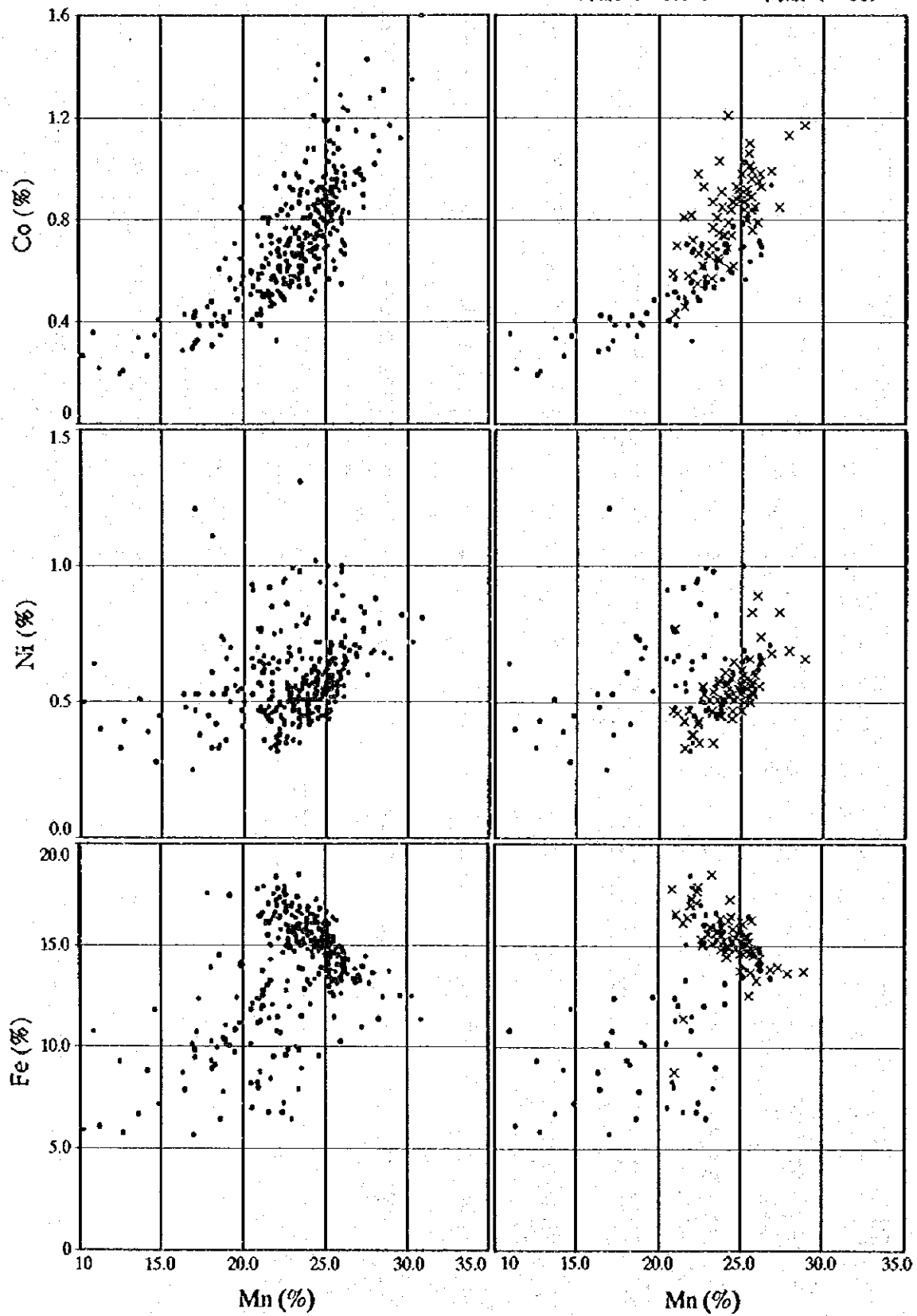


図5-4-2(1) 主要5成分間の相関図

全データ (n=310)

部位別 × : 外殻 (n=67), • : 内殻 (n=60)

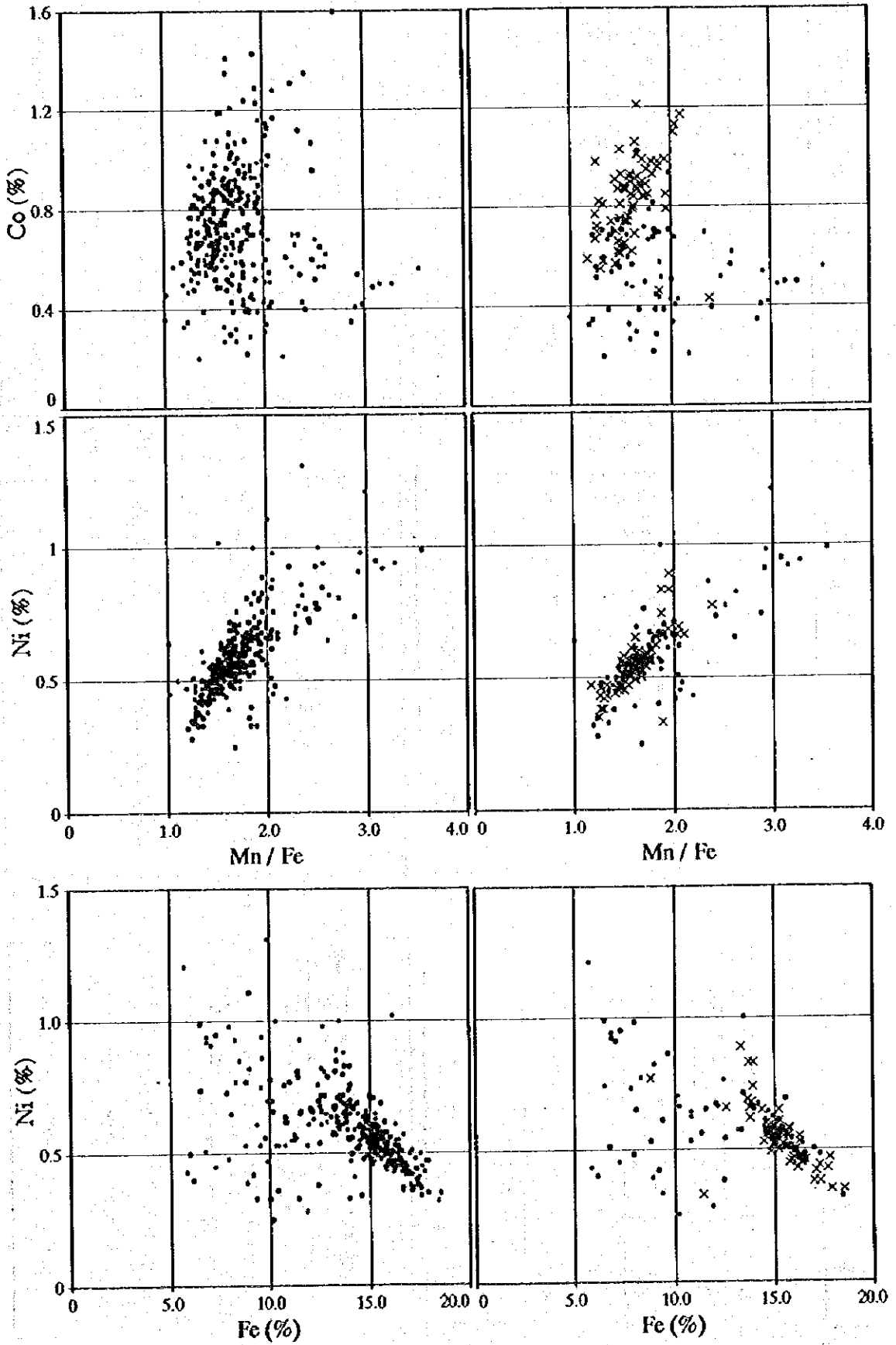


図5-4-2(2) 主要5成分間の相関図



全データ (n=310)

部位別 × : 外殻 (n=67) , ・ : 内殻 (n=60)

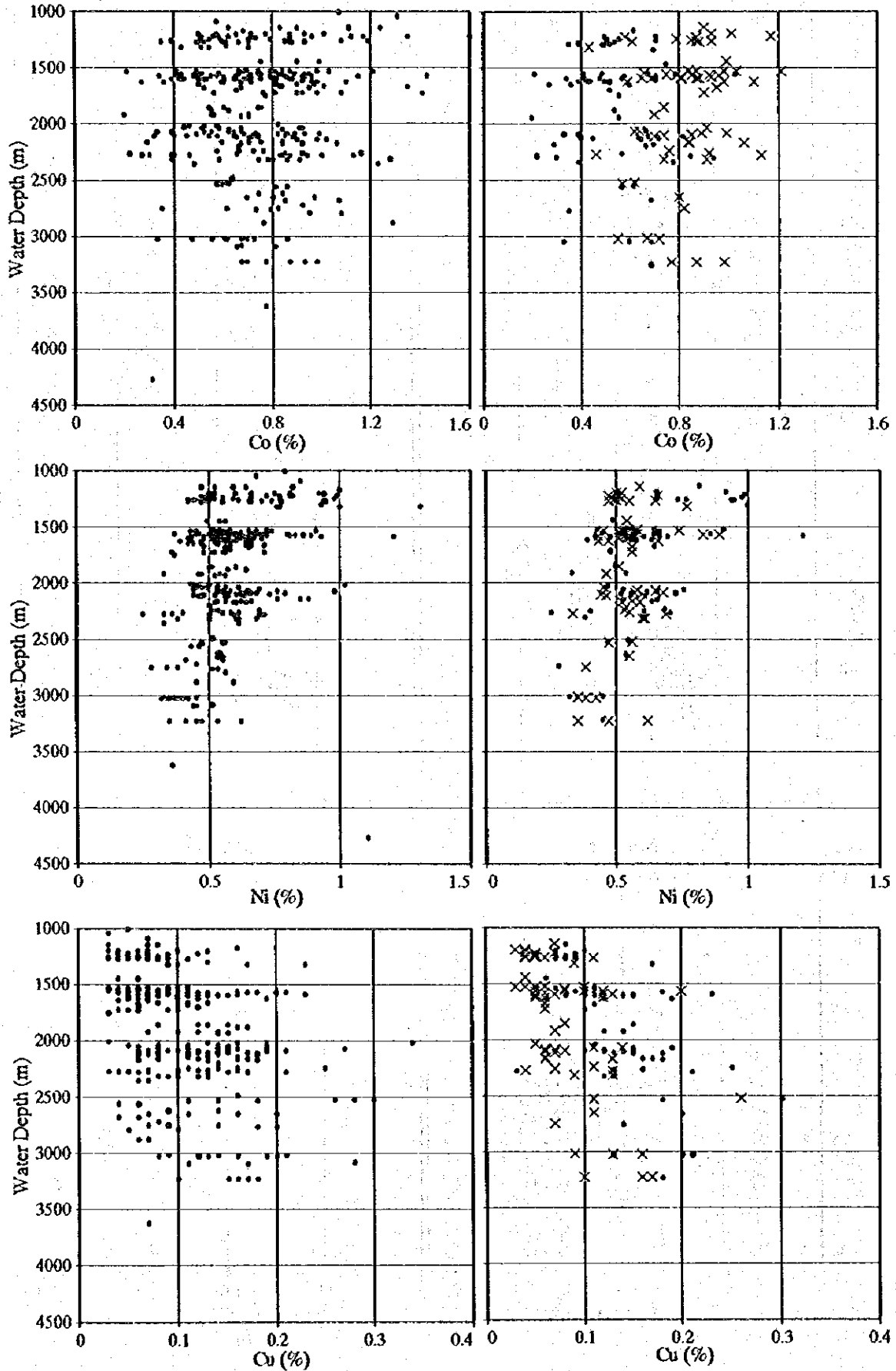


図5-4-3(1) 主要5成分と水深の相関図

全データ (n=310)

部位別 × : 外殻 (n=67) , ● : 内殻 (n=60)

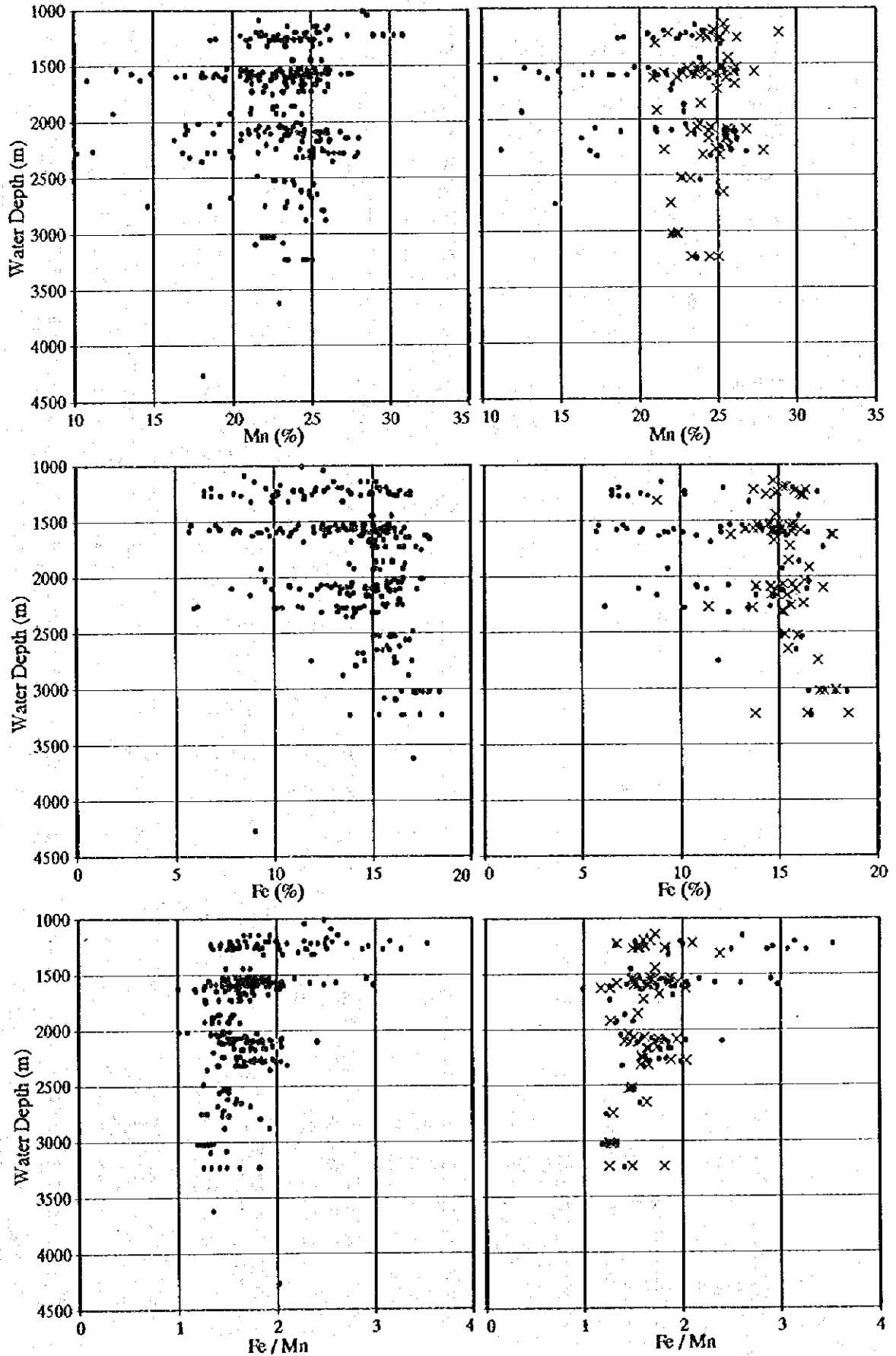


図5-4-3(2) 主要5成分と水深の相関図

## 2) 分析結果

基本統計量を表5-4-2に示す。分析結果の特徴を以下に列記する。

- Caの最大値が約17%、平均値が約4.3%と高い。これは、マンガングラストの間隙を石灰質生物遺骸が充填しているためである。Caの値は殻内殻で高い傾向がある。
- Pの最大値は約3%で、殻内殻で高い傾向がある。これは、生物遺骸を起源とする磷灰石が殻内殻の間隙を充填したり、細脈として存在するためである。
- CaとPが高い試料では、Si、Al、Tiが低い傾向がある。
- Ptの値は、外殻よりも内殻の方が高い傾向がある。

## 3) 相関係数

微量成分28成分、主要5成分及び採試点水深の計34成分、119試料に対して相関係数を算出した。相関マトリックスを表5-4-3に示す。5%有意水準値は0.178である。

微量成分からみた相関関係の特徴は次のとおりである。

- SiとAlは非常に高い正の相関を示す。両者は、Ti、Feと正の相関を、Zn、Mo、Niと負の相関を示す。
- CaとPは非常に高い正の相関を示す。両者は、Si、Al、Ti、As、V、Co、Mo、Feと負の相関を示す。
- Ptは、Ca、P、Ba、Zn、Niと正の相関を、Si、V、Feと負の相関を示す。
- REEは相互に高い正の相関を示す。REEは、Zn、Mo、Niと負の相関を示す。また、軽REEはSi、Tiと正の相関を、重REEはCa、Pと正の相関を示す。

前述のように、主要5成分はCo-Mn-FeとNi-Cuの2つのグループに分けられたが、各グループと微量成分の相関関係は次のとおりである。

- Co-Mn-Feは、Ti、As、Pb、Vと正の相関を示し、Ca、Pと負の相関を示す。
- Ni-Cuは、Zn、Ptと正の相関を示す。

なお、水深は、Si、Al、Ti、REEと正の相関を、Moと負の相関を示す。

## 4) 因子分析

相関係数を算出した34成分、119試料に対して、多変量統計解析の中の因子分析を行った。共通性の推定には重相関係数法を用い、規準バリマックス回転を行った後、因子負荷量と因子得点の計算を行った。固有値と累積寄与率から因子数は5とした。因子負荷量を表5-4-4に示す。

各因子の特徴は以下のとおりである。

表 5-4-2 微量成分の基本統計量

成分名	Si	Al	Ti	Ca	P	As	Ba	Pb	Zn	Mo	V	Pt
単位	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb
最大	8.60	1.34	1.45	17.15	2.93	666	4095	2521	814	872	816	1466
最小	0.50	0.06	0.40	1.91	0.10	106	908	125	387	218	326	110
平均	2.74	0.32	0.88	4.31	0.49	201	1661	937	542	515	534	415
標準偏差	1.286	0.017	0.114	0.910	0.156	53.0	29.0	311.8	10.6	79.3	27.6	84.9
試料数	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119

成分名	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
単位	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
最大	393.6	1533.9	56.6	257.2	56.1	13.6	59.2	9.1	56.7	13.9	44.7	6.0	40.9	7.1
最小	147.2	495.3	19.0	84.5	18.9	4.9	24.4	3.6	24.1	5.3	17.1	2.5	16.3	2.8
平均	228.2	769.6	32.9	146.5	32.1	8.1	36.8	5.7	35.8	7.7	24.1	3.4	23.2	3.8
標準偏差	15.06	14.99	4.43	18.03	4.03	0.93	0.64	0.49	2.05	0.14	0.14	0.01	0.49	0.23
試料数	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119

表5-4-3 主要5成分と微量成分の相関係数

	Si	Al	Ti	Ca	P	As	Ba	Pb	Zn	Mo	V	Pt	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Ce	Ni	Cu	Mn	Fe	WD						
Si	1																																					
Al	.91	1																																				
Ti	.46	.33	1																																			
Ca	-.55	-.37	-.69	1																																		
P	-.52	-.35	-.71	.99	1																																	
As	.15	.03	.13	.44	-.41	1																																
Ba	-.17	-.05	.13	.19	.17	-.25	1																															
Pb	.05	-.01	.06	-.25	-.22	.33	-.15	1																														
Zn	-.47	-.26	-.21	.25	.23	-.30	.41	-.19	1																													
Mo	-.50	-.51	-.25	-.14	-.15	.27	.07	.32	.36	1																												
V	-.01	-.09	.13	-.47	-.47	.47	.18	.28	-.03	.64	1																											
Pt	-.40	-.22	.01	.34	.32	-.28	.30	.06	.46	-.12	-.32	1																										
La	.00	-.06	.09	.25	.26	-.05	.25	-.03	-.19	-.24	-.03	.07	1																									
Ce	-.23	-.23	.27	.14	.13	-.06	.56	.08	.15	.09	.20	.37	.51	1																								
Pr	.24	.10	.37	-.12	-.10	.04	.09	-.03	-.33	-.24	.08	-.15	.86	.42	1																							
Nd	.26	.12	.32	-.10	-.08	.04	.04	-.04	-.33	-.26	.05	-.14	.85	.37	.99	1																						
Sm	.31	.14	.40	-.20	-.18	.09	-.05	.00	-.39	-.26	.07	-.22	.80	.32	.98	.97	1																					
Eu	.29	.13	.37	-.16	-.14	.08	-.04	.00	-.39	-.27	.04	-.20	.82	.32	.98	.97	.99	1																				
Gd	.16	.05	.24	.04	.06	.01	.09	.01	-.27	-.25	-.02	-.02	.92	.50	.95	.95	.93	.94	1																			
Tb	.23	.07	.28	-.07	-.05	.07	-.06	.01	-.38	-.27	-.01	-.16	.87	.31	.97	.96	.98	.99	.96	1																		
Dy	.17	.04	.17	.03	.05	.06	-.07	.02	-.34	-.26	-.06	-.09	.90	.30	.92	.93	.92	.95	.96	.98	1																	
Ho	.05	-.03	-.03	.23	.25	-.01	-.06	.00	-.26	-.27	-.16	.04	.92	.28	.81	.84	.79	.82	.90	.90	.96	1																
Er	-.02	-.07	-.12	.31	.32	-.01	-.06	.01	-.21	-.23	-.18	.09	.89	.26	.73	.76	.70	.74	.85	.83	.91	.99	1															
Tm	.00	-.07	-.09	.27	.28	.02	-.10	.02	-.24	-.23	-.16	.08	.87	.24	.72	.76	.69	.74	.83	.82	.90	.98	.99	1														
Yb	.03	-.03	-.07	.26	.28	.01	-.10	.01	-.24	-.27	-.19	.09	.86	.24	.72	.76	.69	.73	.83	.82	.90	.98	.99	.99	1													
Lu	-.03	-.05	-.16	.36	.38	-.02	-.07	.02	-.17	-.26	-.23	.18	.82	.23	.60	.64	.57	.62	.76	.72	.83	.94	.97	.97	.98	1												
Ce	.11	-.06	.35	-.63	-.63	.47	-.40	.45	-.33	.31	.30	-.24	-.23	-.09	-.02	-.03	.06	.05	-.07	.02	.02	-.01	-.12	-.15	-.11	-.13	-.20	1										
Ni	-.51	-.36	-.30	.15	.13	-.17	.09	-.03	.77	.49	-.09	.37	-.37	-.11	-.48	-.45	-.50	-.49	-.41	-.46	-.40	-.29	-.23	-.24	-.24	-.18	-.02	1										
Cu	.18	.31	.32	.00	-.02	-.35	.41	-.32	.31	-.35	-.21	.24	.06	.07	.14	.12	.11	.11	.08	.06	.02	-.02	-.05	-.06	-.02	-.02	-.45	.08	1									
Mn	.00	-.12	.42	-.75	-.76	.37	-.14	.33	.07	.53	.48	-.15	-.31	-.08	-.05	-.07	.01	-.02	-.15	-.07	-.13	-.26	-.30	-.26	-.28	-.35	.79	.28	-.16	1								
Fe	.66	.50	.55	-.77	-.75	.38	-.20	.16	-.37	-.10	.39	-.42	-.01	-.14	.30	.28	.38	.35	.16	.27	.18	.00	-.08	-.06	-.05	-.14	.38	-.45	.04	.46	1							
WD	.42	.32	.61	-.25	-.26	-.15	.20	-.24	-.21	-.45	-.10	-.23	.42	.24	.64	.59	.65	.64	.52	.58	.48	.31	.22	.22	.24	.14	-.10	-.44	.55	-.04	.40	1						

注 試料数: 119

WD: 水深

表5-4-4 因子分析結果

成分名	因子負荷量 (バリマックス回転後)				
	第1因子	第2因子	第3因子	第4因子	第5因子
Si	0.070	-0.558	0.316	-0.598	-0.249
Al	-0.039	-0.440	0.468	-0.461	-0.231
Ti	0.123	-0.825	0.146	-0.080	0.231
Ca	0.107	0.910	0.298	0.174	0.071
P	0.123	0.914	0.286	0.140	0.049
As	0.030	-0.233	-0.542	-0.228	-0.093
Ba	-0.043	0.048	0.262	0.199	0.758
Pb	0.026	-0.120	-0.479	-0.034	-0.090
Zn	-0.268	0.103	0.154	0.741	0.265
Mo	-0.234	0.039	-0.758	0.338	0.244
V	-0.096	-0.259	-0.652	-0.174	0.446
Pt	0.025	0.167	0.286	0.641	0.097
La	0.919	0.143	0.080	-0.069	0.279
Ce	0.350	0.036	-0.040	0.164	0.734
Pr	0.888	-0.239	0.053	-0.207	0.272
Nd	0.904	-0.213	0.055	-0.192	0.191
Sm	0.871	-0.310	0.024	-0.247	0.164
Eu	0.899	-0.274	0.031	-0.235	0.136
Gd	0.951	-0.082	0.056	-0.109	0.206
Tb	0.950	-0.171	0.014	-0.188	0.079
Dy	0.985	-0.066	0.008	-0.117	0.004
Ho	0.980	0.142	0.039	-0.011	-0.078
Er	0.951	0.233	0.022	0.044	-0.119
Tm	0.949	0.203	-0.003	0.036	-0.151
Yb	0.945	0.185	0.043	0.037	-0.162
Lu	0.885	0.287	0.072	0.088	-0.185
Co	-0.033	-0.505	-0.645	-0.007	-0.276
Ni	-0.314	0.089	-0.086	0.824	-0.098
Cu	0.012	-0.290	0.701	0.201	0.255
Mn	-0.141	-0.692	-0.582	0.288	-0.047
Fe	0.084	-0.725	-0.127	-0.431	-0.059
水深	0.406	-0.486	0.459	-0.247	0.304

#### ① 第1因子

Ceを除くREEの13成分が0.87以上の因子負荷量を有し、これ以外に高い因子負荷量をもつ成分はない。第1因子にREEのみが高く寄与する原因は、REEは全34成分中14成分を占め、相互に非常に高い正の相関係数をもつことである。REE以外には、水深が低い正の寄与を示す。したがって、第1因子はREEの挙動を表す因子であり、これには水深が多少関与している。相関係数では、重REEよりも軽REEの方が水深との正の相関が高い。

因子得点が平均値(M) + 2 × 標準偏差(σ)以上の試料は、MS01とMS03海山に2試料ずつ存在するが、これらの試料に共通する地質特性は認められない。MS05とMS08海山では、M + σ以上の試料は存在せず、M - σ以下の試料が多い。

#### ② 第2因子

CaとPが0.9以上、Ti、Mn、Feが-0.69以下の因子負荷量を有し、これらは第2因子に最も高く寄与する。Si、Al、Coは-0.44以下の因子負荷量を有するが、他の因子での寄与の方が大きい。第2因子は、マンガクラストに含まれる生物遺骸起源物質の量を表す因子である。マンガクラストの空隙には生物遺骸やこれを起源とする磷灰石が充填しており、この量が増えることはマンガクラストの主要成分であるマンガンや鉄が減少することを表す。

因子得点がM + 2σ以上の試料のほとんどは最内殻である。これは、最内殻では空隙が完全に磷灰石で充填されたり、細脈が存在することが多いことに起因する。

#### ③ 第3因子

Cuが0.7、Alが0.46、Mo、V、As、Pb、Coが-0.47~-0.75の因子負荷量を有し、これらは第3因子に最も高く寄与する。水深は正、Mnは負の寄与を示すが、他の因子での寄与の方が大きい。第3因子は、Cuの富化とこれに逆相関するMo、V、Pb、Coなどの重金属の富化を表す。また、これには水深が関与している。

因子得点がM + σ以上の試料は、内殻または最内殻のものが多い。因子得点がM - 2σ以下の試料は、いずれも水深が1,200~1,300mと浅い。

#### ④ 第4因子

Zn、Pt、Niが0.64~0.82、Siが-0.60の因子負荷量を有し、これらは第4因子に最も高く寄与する。AlとFeが負の寄与を示すが、他の因子での寄与の方が大きい。第4因子はZn、Pt、Niの富化を表す。

因子得点がM + 2σ以上の試料は、MS01とMS09海山に2試料ずつ存在するが、これらの試料に共通する地質特性は認められない。MS04海山では、M - σ以下の試料が多い。

## ⑤ 第5因子

BaとCeが0.73以上の因子負荷量を有し、これらは第5因子に最も高く寄与する。第5因子はBaとCeの富化を表す。

因子得点がM+σ以上の試料では、共通する地質特性は認められない。

主要5成分の相関係数ではCuとNiは同じグループに属し、Co-Mn-Feグループと逆相関するが、因子分析の結果では両者は別な因子に区分される。Cuは第3因子に寄与し、CoとMnと逆相関の関係を保つ。一方、Niは第4因子に寄与し、他の主要4成分との相関関係はなくなる。

## 5-5 鉱物組成

マンガンクラストの主成分はマンガン及び鉄の酸化物である。海洋に産するマンガン酸化物の種類は、形態（クラスト、団塊、チムニーなど）や生成環境（海山、深海底、火山など）などにより異なる。マンガンクラストの沈積は海水起源（hydrogenetic）で説明され、マンガンクラストを構成するマンガン鉱物はVernadite ( $\delta$ - $MnO_2$ )である（Usui, 1996）。

### (1) 研磨片顕微鏡観察

ADサンプリングで採取されたマンガンクラストについて、研磨片を作成し、反射顕微鏡による観察を行った。試料数は、各海山で1~3個、計21個である。全21試料で後述のX線回折試験を行っている。観察結果を表5-5-1に、代表的な顕微鏡写真を図5-5-1に示す。

鑑定された鉱物は、Vernadite, Todorokite, 水酸化鉄及びコロフェンである。全21試料において、主要構成鉱物はVernaditeであり、量的には80~90%以上を占める。水酸化鉄及びコロフェンは多くの試料で微量に存在する。Todorokiteは96SMS01AD08-P1と96SMS05AD06-P1の2試料で観察される。Vernaditeの鉱物粒間を反射率の低い鉱物が充填しており、X線回折試験の結果から、これは燐灰石と考えられる。

Vernaditeは様々な形態、組織を有するが、縞状~層状、長柱状、コロフォーム状~粒状に大きく分けられる。マンガンクラストの内殻や最内殻のように緻密な部分では、縞状組織が発達し、外殻では長柱状やコロフォーム状組織が発達する傾向がある。成長縞の幅は0.01~0.05 $\mu$ mである。

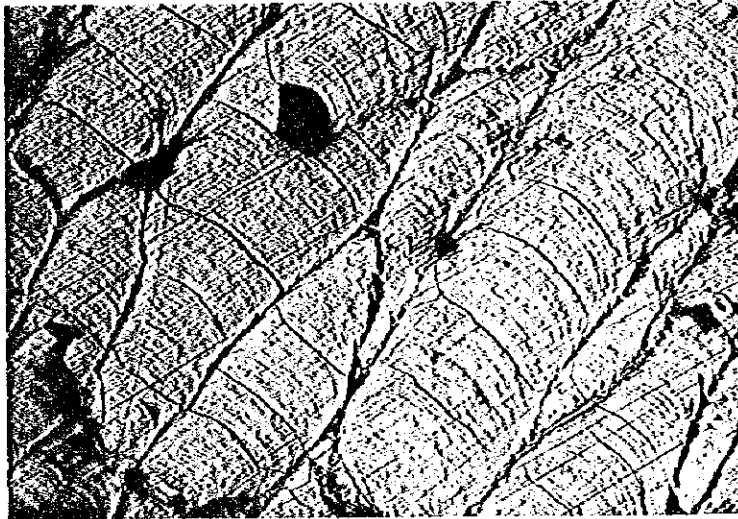
マンガンクラストはほとんど1種類のマンガン鉱物（Vernadite）からなり、マンガンクラストの種類（クラスト、礫状クラスト、ノジュール）や部位（外殻、内殻、最内殻）による鉱物種の相違は存在しない。ただし、マンガン鉱物の組織は変化に富んでおり、組織と部位の間に関連性が認められる。



表5-5-1 マンガンクラストの研磨片顕微鏡観察結果

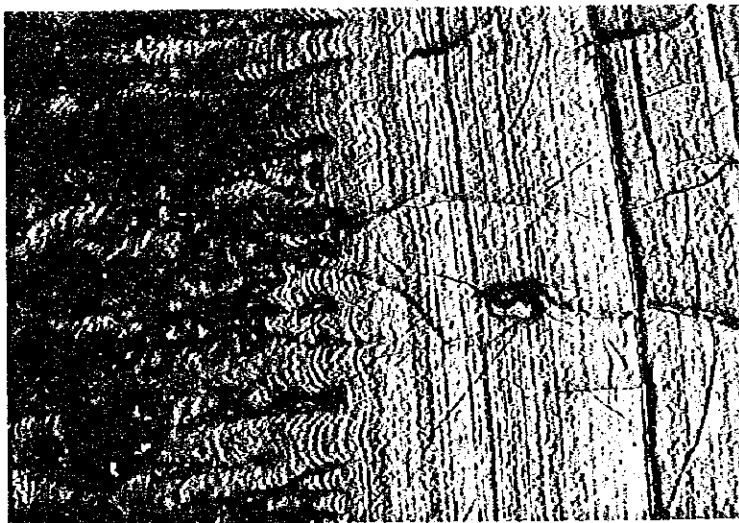
採試点番号	付番	組 織	構 成 鉱 物					備 考
			バー ナ グ イ ト	ト ド ロ キ 石	水 酸 化 鉄	コ ロ フ ェ ン	珪 酸 塩 鉱 物	
96SMS01 AD08	P1	層状~瘤状	◎	○	+			水酸化鉄細脈ネットワーク
96SMS01 AD10	P1	コロフォーム、腎臓状~乳房状	◎		+			水酸化鉄細脈ネットワーク
96SMS01 AD12	P1	球状、瘤状	◎		+	+		水酸化鉄細脈ネットワーク
96SMS02 AD07	P1	コロフォーム~球状、腎臓状~乳房状	◎		+			球状構造部に水酸化鉄細脈
96SMS02 AD07	P2	コロフォーム、球状	◎		+	+		水酸化鉄及びコロフェンの細脈
96SMS02 AD13	P1	縞状、球状	◎		+	+		コロフェン及び水酸化鉄の細脈
96SMS03 AD09	P1	塊状、長柱状~コロフォーム結核状、腎臓状~乳房状	◎		+	+	?	珪酸塩(?)細脈及び水酸化鉄細脈
96SMS03 AD09	P2	コロフォーム~球状、乳房状縞状~同心円状	◎		+	+		水酸化鉄の細脈
96SMS04 AD04	P1	コロフォーム状~長柱状、長茄子状	◎					
96SMS04 AD04	P2	長柱状、結核状	◎		+			
96SMS04 AD12	P1	長柱状コロフォーム、長柱状球状、縞状	◎		+	+		コロフェン及び水酸化鉄の細脈ネットワーク
96SMS05 AD06	P1	塊状または短柱状、卵状	◎	+				
96SMS06 AD02	P1	長柱状コロフォーム~塊状、乳房状~腎臓状	◎					低反射能の鉱物の細脈
96SMS06 AD02	P2	長柱状コロフォーム、放射状	◎		+	+		水酸化鉄の細脈
96SMS06 AD12	P1	長柱状コロフォーム、球状、粒状、乳房状~腎臓状	◎		+	+		球状構造部にコロフェン及び水酸化鉄の細脈
96SMS07 AD01	P1	卵状~バッチ状~球状、結核状、乳房状~腎臓状	◎		+	+		水酸化物及びコロフェンの細脈
96SMS08 AD12	P1	長柱状コロフォーム、粒状、短柱状、不定形	◎			+		コロフェンの細脈
96SMS08 AD12	P2	層状~長柱状コロフォーム~短柱状コロフォーム	◎			+		
96SMS09 AD08	P1	長柱状コロフォーム、粒状~球状~不定形	◎		+			水酸化鉄の細脈
96SMS09 AD11	P1	塊状、短柱状コロフォーム	◎					
96SMS09 AD11	P2	卵状~菌状~蠕虫状	◎			+		低反射能鉱物の細脈

凡例 ◎:多量 ○:中量 +:少量~微量 ? :不確定



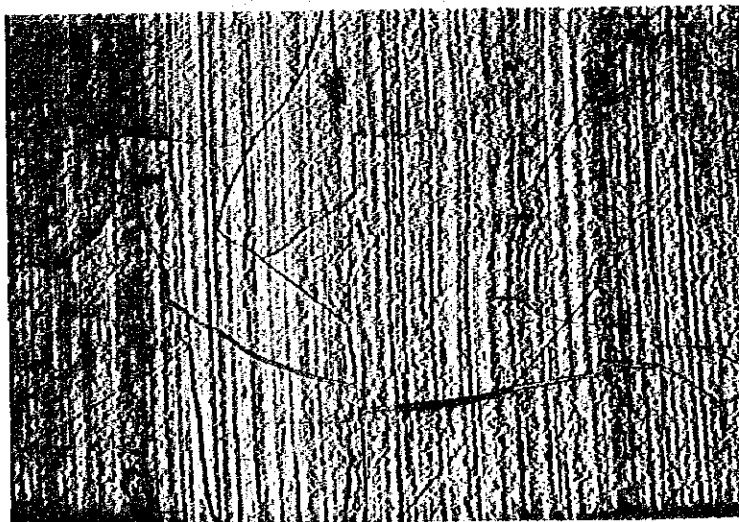
96SMS04AD04P1

外殻，柱状組織



96SMS08AD12P2

最内殻，柱状組織と  
縞状組織



96SMS08AD12P2

最内殻，縞状組織

図5-5-1 マンガンクラスト研磨片の顕微鏡写真



## (2) X線回折試験

研磨片顕微鏡観察を行ったマンガクラスト21試料について、X線回折試験を行った。測定試料は粉末の不定方位試料である。試験結果を表5-5-2に示す。

同定された鉱物は、Vernadite, Todorokite, Birnessite, 石英, 長石, 燐灰石である。

Vernaditeは全21試料で多量に、TodorokiteとBirnessiteは数試料で微量に検出された。これらのマンガク物の回折ピークは幅が非常に広いことから、結晶度は悪い。Vernaditeの回折ピークは2本のみで、2本型 $\delta$ - $MnO_2$ ともいわれる。

燐灰石は空隙を充填及び細脈として肉眼でも認められ、多くの試料で少量～中量検出された。石英及び燐灰石は珪藻や有孔虫などの生物遺骸を、長石は火山岩を起源とすると考えられる。

## 5-6 成長速度

マンガクラストの成長速度を求めるために、 $^{10}Be$ 濃度を測定した。試料数は5試料で、各試料で深度の異なる2～3点を測定した。測定結果を表5-6-1に示す。

分析前処理として、微粉碎した後、 $120^{\circ}C$ で12時間以上加熱し恒量を確認した。500ngの試料に対して、 $^9Be$ キャリアーを500マイクログラム添加し、試料処理を行った。 $^{10}Be$ の測定には、タンデム加速器装置と加速器質量分析を用いた。

マンガクラストの堆積速度を求める際に、海水中の $^{10}Be$ 濃度が一定で、堆積時の $^{10}Be$ 挙動が変化しないことを前提条件とする。 $^{10}Be$ 濃度は、マンガクラストの深部から表面に向かい高くなることから、成長速度は測定点の深度と $^{10}Be$ 濃度とのグラフで求められる。96SMS06AD02では、深度と濃度の関係が逆転しているため、成長速度は算出できなかった。

成長速度は、2.6～5.2nm/Maで、4試料の平均値は3.6nm/Maである。したがって、厚さ10cmのマンガクラストが成長するのに約2,800万年かかることになる。マンガクラストの賦存する海山が形成されたのは白亜紀後期であることから、この成長速度は妥当な値である。また、Sharma and Somavajulu (1982) は、太平洋地域において1～8 nm/Maの成長速度を報告している。

## 5-7 鉛同位体組成

マンガクラスト16試料に対して、鉛の同位体組成を測定した。分析結果を表5-7-1に、鉛同位体比の2成分ダイアグラムを図5-7-1に示す。

### (1) 分析方法

前処理として酸化鉄や生物遺骸の影響を除去するために酸処理法を適用し、乾燥した後に、Shinoda and Nohda (1995) の方法に従い鉛を抽出、分離した。

表5-5-2 マンガンクラストのX線回折試験結果

採試点番号	付番	マンガクラスト		マンガ水酸化物			その他			化学分析付番
		種類	部位	パーナダイト	トドロキ石	パーネサイト	石英	長石	燐灰石	
96SMS01 AD08	X1	クラスト	全体	◎	?				○	AA
96SMS01 AD10	X1	クラスト	全体	◎			+			AA
96SMS01 AD12	X1	礫状	表層内殻	◎		?			○	A2
96SMS02 AD07	X1	クラスト	外殻	◎			+			A1
96SMS02 AD07	X2	クラスト	最内殻	◎					○	A3
96SMS02 AD13	X1	礫状	表層外殻	◎					○	A1
96SMS03 AD09	X1	クラスト	外殻	◎			+		+	B1
96SMS03 AD09	X2	クラスト	内殻	◎					○	B2
96SMS04 AD04	X1	クラスト	外殻	◎			+			A1
96SMS04 AD04	X2	クラスト	内殻	◎			+			A2
96SMS04 AD12	X1	礫状	最内殻	◎					○	A4
96SMS05 AD06	X1	礫状	表層全体	◎					+	AA
96SMS06 AD02	X1	クラスト	外殻	◎			+			A1
96SMS06 AD02	X2	クラスト	最内殻	◎					○	A3
96SMS06 AD12	X1	クラスト	外殻	◎			+	+		A1
96SMS07 AD01	X1	ノジュール	全体	◎			+		+	BB
96SMS08 AD12	X3	礫状	外殻	◎					○	-
96SMS08 AD12	X4	礫状	最内殻	◎					+	-
96SMS09 AD08	X1	クラスト	全体	◎			+			AA
96SMS09 AD11	X1	クラスト	外殻	◎			+			A1
96SMS09 AD11	X2	礫状	最内殻	◎		?	+		○	B3

凡例 ◎：多量 ○：中量 +：少量～微量 ?：不確定

表5-6-1 マンガンクラストの<sup>10</sup>Be分析結果

採試点番号	付番	深度 (mm)	試料内容	<sup>10</sup> Be濃度 (dpm/kg)	成長速度 (nm/Ma)
96SMS01AD11	B1	0~3	礫状クラスト外殻	25.469	3.4
96SMS01AD11	B1	18~22	礫状クラスト外殻	2.092	
96SMS01AD11	B2	56~60	礫状クラスト内殻	1.78	
96SMS06AD02	B2	30~32	クラスト内殻	0.040	逆転
96SMS06AD02	B3	50~60	クラスト最内殻	0.053	
96SMS07AD02	B1	0~5	クラスト外殻	10.732	5.2
96SMS07AD02	B2	30~40	クラスト内殻	1.179	
96SMS08AD12	B1	20~25	クラスト外殻	8.269	3.4
96SMS08AD12	B1	25~30	クラスト外殻	1.178	
96SMS08AD12	B2	70~74	クラスト最内殻	0.052	
96SMS09AD11	B1	0~5	クラスト外殻	30.8	2.6
96SMS09AD11	B1	15~18	クラスト外殻	2.74	
96SMS09AD11	B2	35~40	クラスト最内殻	0.963	

表5-7-1 マンガンクラストの鉛同位体測定結果

採試点番号	付番	試料内容	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb
96SMS01AD11	IS1	礫状クラスト外殻	18.720	15.662	38.861
96SMS01AD11	IS2	礫状クラスト内殻	18.648	15.648	38.771
96SMS02AD07	IS1	クラスト外殻	18.706	15.645	38.799
96SMS02AD07	IS2	クラスト内殻	18.673	15.654	38.768
96SMS04AD04	IS1	クラスト外殻	18.737	15.714	39.039
96SMS04AD04	IS2	クラスト内殻	18.647	15.657	38.828
96SMS05AD11	IS1	クラスト外殻	18.709	15.641	38.783
96SMS05AD11	IS2	クラスト内殻	18.673	15.641	38.726
96SMS06AD02	IS1	クラスト外殻	18.705	15.649	38.809
96SMS06FD01	IS1	クラスト外殻	18.784	15.741	39.090
96SMS06FD01	IS2	クラスト最内殻	18.653	15.636	38.699
96SMS08AD12	IS1	礫状クラスト外殻外	18.738	15.682	38.911
96SMS08AD12	IS2	礫状クラスト外殻内	18.637	15.634	38.710
96SMS08AD12	IS3	クラスト最内殻	18.359	15.565	38.685
96SMS09AD11	IS1	クラスト外殻	18.714	15.660	38.856
96SMS09AD11	IS2	クラスト最内殻	18.688	15.661	38.832

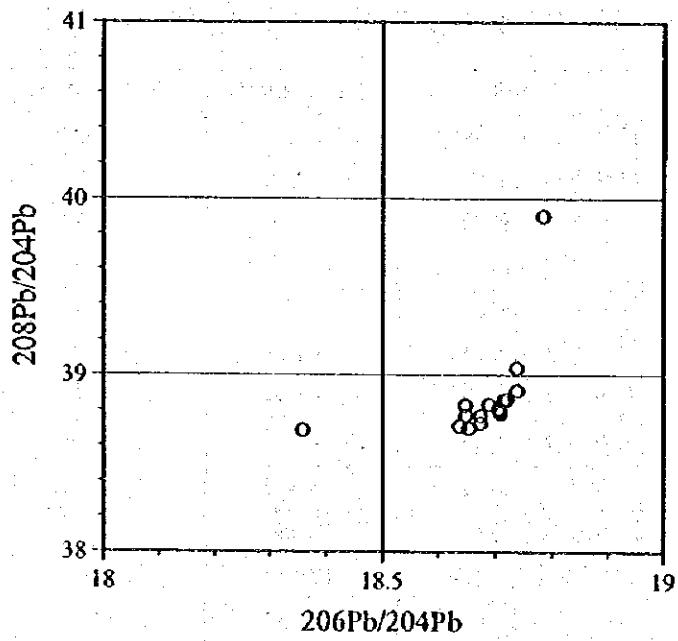
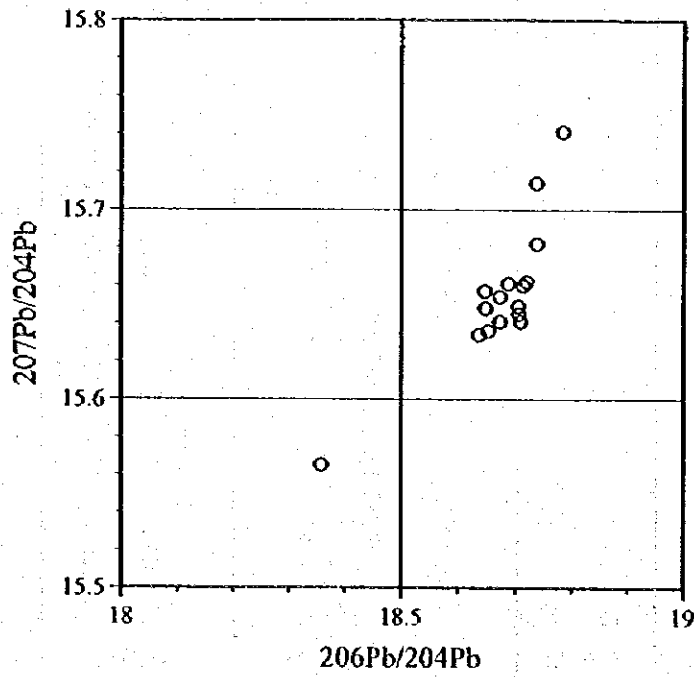


図 5 - 7 - 1  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  と  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  図