

## 講演要旨\*

### 深海底鉱物資源の研究の現状

奈須 紀幸(東京大学海洋研究所)

### マンガン団塊の成因について

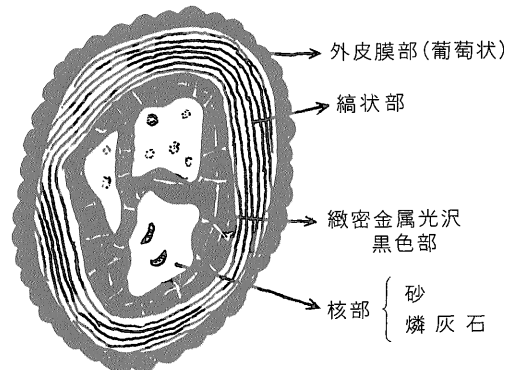
杉山隆二・松本勝時

昭和48年3月15日-4月3日の間、東海大学丸2世号によって、小笠原父島の東方約300kmにある平頂海山(25°45'-26°10'N, 144°55'-145°50'E)の海底地質調査とその海山平頂部に賦存するマンガン団塊鉱床調査とを行った。その平頂部は東西約100km, 南北20-30kmで、海深はおおむね1,300mである。小笠原母島付近よりエア・ガン探査を行ったが、父島・母島を作る、始新世-漸新世の著しい火山噴出物を伴う地層とそれを覆う中新世の地層とが、褶曲をしつつ伊豆・小笠原海溝とマリアナ海溝との間の張り出し部(小笠原海台)に延々と続き、その背斜部に時に貫入岩を認めたほか、両海溝間の部分にわずかにやや多い断層を認めた。当海山もまた、この地質より構成されている。西隣の海山の平頂部では、マンガン団塊は認められなかったが、それに反して、当海山では26点の採泥を行って、ほとんどすべての地点で多量の大小の団塊を採取し得た。東部のD21地点などにおいて、化石を含む岩盤を採集した。鮫の歯・巻貝など中新世化石が有孔虫石灰岩中にあり、これらがマンガン・コーティングされている。また、石灰岩や凝灰質泥岩の岩盤に穿孔具の穴を多数認めた。このことは、この海山の平坦化(海食)が少なくとも中新世以後に行われ、汀線近い時代があったことを示している。また、海食した碎屑物が海谷を埋めて堆積している厚さから、大胆に推定して、この平坦化、すなわち海深1,300m位のところに海水準面が当時停滞し、海食した時期を鮮新世末頃かと考えている。海水中の酸化マンガン微粒子の存在が深くなるほど多くなり、形が大きくなるが、海深400m以深では急になくなる。このことから、平坦面が形成され、その後海面が上昇するが、まだ海深400mまでの時に、マンガン団塊の形成が行われたと考える。

この地域のマンガン団塊は品位が低い(平均Mn: 14.20%, Fe: 12.89%; 最高値Mn: 22.58%, Fe: 18.08%, Ni: 0.74%, Co: 0.73%, Cu: 0.21%)が、その核がほとんど磷灰石(hydroapatite)からなることが

特徴的であり、興味深い。むろん砂・泥が核をなしているものもある。核部にはとくに化石(有孔虫・珊瑚など)が多く、おおむね磷灰石化している。ラマポ堆(27°19.5'N, 145°45.0'E, -1,400m)で採取した資料より、Cu, S分布がマンガン団塊の縞状の層を切って瘤状であることを、松本が見出した。Si分布なども同様であるらしい。これらのことは、Cu, Sなどが団塊の形成した海底において、その生成以前にコロイド状に瘤状に分布していたことを示すものである。

マンガン団塊の多くの切断面を観察して、それを総合模式化すると、図のようになる。一般に4つの部分からなるが、そのうちある部分が欠除したのもあれば、半分だけ残って半分が欠除しているものもあり、種々様々である。(1)核部は磷灰石からなり、化石を磷灰石化しているが、時に方解石が磷灰石中の晶洞を埋めて簇生している。この磷灰石核中には、8-20ppm位のUの濃集がある。(2)その外側には、緻密・金属光沢をもつ黒色部がある。この部分は磷灰石とMn・Feの酸化物との密存しているところであり、Mn量がFe量よりも多い。それらの結晶度もやや高いようである。この部分にも核部と同様のUの濃集が認められる。そして、その両部には、Sr, Mo, Pb, Yその他多くの微量元素が検出された。(3)その外側には、Feに富む部分とMnに富む部分とが交互の層を作っており、縞状を呈している。この部分ではUの含量は5ppm位に減ずる。そして、(2)の部分とともにCo, Niを伴っている。(4)最外側には、表面が葡萄状をなし、緻密な部分が外皮膜を作っており、ほとんどの団塊に認められる。ここではUの含量は1ppm以下になってしまう。この部分ではFe量がMn量よりも多い。磷灰石の起源については、未だ種々検討中であるが、今の



\* 昭和51年8月9日日本所において開催の第127回研究発表会で講演

		核部	緻密・金属光沢 黒色部	縞状部	外皮膜部
Cu, S	?				
P ( 燐灰石 )					
U		8 ~ 20 ppm		5 ppm	< 1 ppm
Mo, Pb, Sr, Y, etc		Sr	Mo, Pb		
Fe, Mn ( 団塊 )			金属光沢	縞状	葡萄状
			Mn > Fe	Mn-rich, Fe-rich	Mn < Fe
Co, Ni					---

ところ、上記の産状などから考えて、Mn・Feに先立って無機的に供給されたものと考えている。そして、平坦化の後、まだ浅海だった頃に、低温熱水ないし温泉から、まずCu, Sなど硫化物が供給され、次いで、燐酸塩が供給されて燐灰石を沈殿し、その後Mn, Feの酸化物の沈殿へと変遷していったものと考えている。それらの品位分布図を見ると、平頂部の上の2箇所(噴出口)から噴出供給されたと考えられる。こうした成因を考える上のモデルとして、上記の共生関係を表示した。

(東海大学・金属鉱業事業団)

地質調査所による深海底鉱物資源、とくにマンガ  
ン団塊の研究プロジェクトと成果の概要

盛谷智之・水野篤行

深海底マンガン団塊は将来の資源として各国の関心を集め、海洋法会議における重要課題の一つとなっている。わが国においても資源政策上重要視され、探査・開発の技術力のレベルアップが急務とされている。地質調査所の「深海底鉱物資源探査に関する基礎的研究」は鉱物資源の探査技術の確立とともに、その賦存状況、鉱物・化学組成、成因などの解明を図り、開発利用に有効な基礎資料を提供することを目的としている。また調査航海には公害資源研究所のメンバーも探査機器の開発研究を行うため参加している。

予察的な研究はすでに昭和44年から科学技術庁の特調費により開始し、47年度からは工業技術院の特別研究として年次計画にもとづく調査研究を展開している。とくに、49年度からは地質調査船白嶺丸が完成し、太平洋中央部(マーシャル群島、ライン諸島にはさまれる海盆)における本格的な調査研究に着手し、これまで2回の調査航海を実施した。すなわちGH 745(49年度、調査団

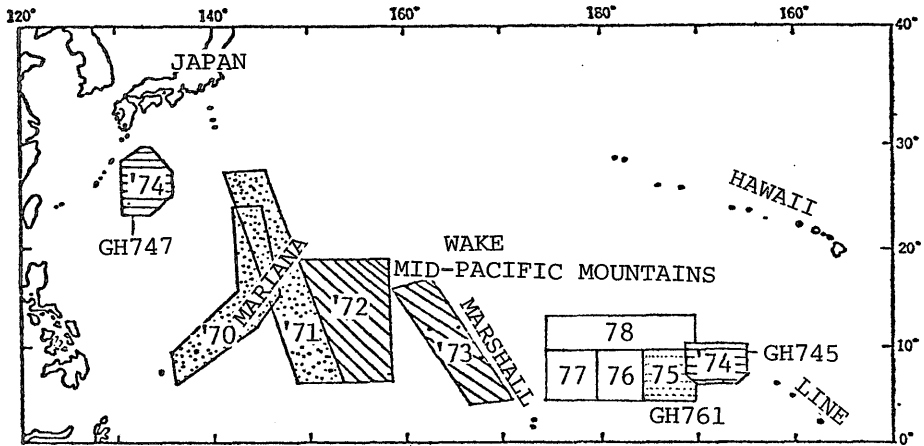
メンバー、水野篤行主席研究員・中条純輔次席研究員ら20名)およびGH 761(50年度、調査団メンバー、水野篤行主席研究員・盛谷智之次席研究員ら19名)である。

研究方法は1度(100km)間隔、場合によってはより密な間隔の測点における採泥などの停船観測、および各測点を結ぶ測線に沿う地球物理探査など航走観測の組合わせからなる。使用した方法は、NNS 人工衛星測量航法による位置決定、重力・磁気測定による海底地下構造の研究、12kHz PDRによる測深、地形の研究、3.5kHz PDRとエアガンによる堆積層層序・構造の研究、大型グラブサンプラー、フリーフォールグラブサンプラーによる堆積物、団塊試料の採取と団塊の分布密度の測定、コアラーによる堆積物柱状試料の採取、深海カメラ・深海テレビによる海底撮影と団塊の被覆度測定、採水・STDによる海水の化学組成、物理的構造の研究などである。また、堆積物、団塊試料については船上でタイプ分類、形態写真、軟X線写真撮影、X線回折など行っている。さらに、航海後室内において化学分析など各種の詳細な研究を実施している。

研究の成果については、各航海ごとに参加研究者による各テーマごとの報告をまとめたクルーズレポートとして公表している。GH 761については現在とりまとめ中であり、その内容は本報告会において各担当者により詳しくのべられる。ここではその概要、問題点にふれるにとどめる。

① マンガン団塊のタイプ: 団塊の大きさ、形態、表面の特徴(滑らか、粗粒・ぶどう房状)、一部内部構造の特徴に基づき9タイプに分類された。各タイプは同一測点では一般に同一か、類似・関連するものが共存し、かなり特徴的な地域的分布を示す。

② 団塊の化学組成・鉱物組成: 団塊の化学分析結果(16測点、68試料)は次のような平均値を示す。Mn



(’70)~(’71): 45, 46年度科技厅特調費, 東海大学丸Ⅱ世による予察的ルート調査  
 (’72)~以降: 工技院特別研究による調査. (’72)・(’73): 47, 48年度, 東海大学望星丸によるルート調査.  
 (’74)・(’75): 49, 50年度, 白嶺丸による面積的調査. (’76)~(’78): 予定区域.

第1図 地質調査所による調査海域 (数字は予算年度を示す)

23.54%, Fe 7.52%, Cu 0.95%, Ni 0.97%, Co 0.19%, Pb 348 ppm, Zn 1,170 ppm, H<sub>2</sub>O ± 20.74%. 金属含有量と団塊のサイズ, タイプとはかなり関連性を示す. 鉱物組成としてはトドロカイト, パーネサイトがほぼ全域の団塊に認められ, いずれが卓越するかは地域的分布にちがいがある.

③ 堆積物のタイプと団塊分布との関連: 堆積物は含有生物量および種類を基準として, 深海粘土, 珪質あるいは石灰質粘土, 珪質あるいは石灰質軟泥に分けられる. 団塊は深海粘土堆積区あるいは石灰質/珪質軟泥境界部に偏在し, 珪質粘土域には発達しない.

④ 音響層と団塊賦存量との関連: 3.5 kHz PDR, エガンによる透明層の厚さが45mをこえる部分では団塊はごく少ない. 45m未満の部分に高賦存量は限られ, しかしここでは賦存量が0~30kg/m<sup>2</sup>とバラツキがある, ということが経験的に得られた. これは有力な探査の指針となる可能性をもち, 透明層の地質学的実体の解明とともに, 関連性をさらに検討していく必要がある.

⑤ マンガン団塊の量, 性質の狭い範囲内での変化: これまで調査のサンプリングは, 1度(約100 km)間隔を基本とし, 得られたデータの解釈は大局的な傾向を示すものである. しかし, 局所的な微地形などに支配されたマンガン団塊の賦存量, タイプ, 化学組成, 鉱物組成の変化の可能性も考えられる. GH 761 地域で実施した一部の測点域における密な調査結果はこれを暗示している. 測定414では, 3,000m離れた場所でタイプ, 賦存量ともに異なり, 測点407地域内でも同様な傾向が認められ

た. 今後, 資源, 成因研究の両側面から, 地質条件と団塊分布の大局的把握とともに局所的变化の研究が不可欠である. (海洋地質部・同)

## DOMA による Mn 団塊調査の概要と成果

佐原 弘輔

### 調査の概要

調査は金属鉱業事業団の委託により, 地質調査船白嶺丸を用いて実施された. 期間は1975年9月22日から12月20日までの90日間で, 航海日数29日, 調査日数52日, 補給日数9日であった. 調査場所はハワイ諸島南西の10-15°N, 160-165°Wの海域で, 面積約30万8千km<sup>2</sup>である.

調査員は15名で, 前半期のみ, または後半期のみ参加した者が若干あった. 配置は次の通り

団長	1名	副団長	1名
1研	4-5名	3研	3名
5研	2-1名	甲板	4名

調査の対象はマンガン団塊で, 分布率・品位などを調査したが, ほかに海底地形・底質物などの調査も行った.

使用した主な機器は, N. N. S. S., P. D. R., S. B. P., オケングラブ, フリーフォールグラブ, ドレッジャー, 深海テレビなどである.

調査の段階を1次・2次と区分し, まず1次調査で全域を概査した. その結果をふまえて2次調査を行った. 両次とも昼間はマンガン団塊のサンプリングを行い, 夜

間には音波探査・地形調査を行った。

船上における主要な作業は、深度測定・S.B.P. による底質物パターン記録 (以上 1 研)、船位測定と通報 (5 研)、サンプリング・ドレッシング・マンガン団塊や底質物の観察と記録・分析・底質物の物性測定などがある。

陸上においては、化学分析・図面コンパイル・種々の解析と検討などを行った。

調査の成果

1. 海象・気象

10月、11月の風向は北東ないし東北東が卓越する。風速は平均10m/sec位である。天候は、快晴5日・半晴24日・曇15日・完全曇4日・雨3日・その他1日であった。波浪状況は、白い波が見える日14日・全部白波となる日25日・白波が高い日7日・大波となる日6日であった。

2. 海底地形

南西部には海山が多く5,000mより浅く高原状をなし凹凸が多い。中央部から北東部にかけては5,000mより深く平原状をなしている。

3. 透明層

3つのパターンが認められた。その1は透明層と不透明層のあるもので、粘土と基盤であろう。その2は成層不透明層で、石灰質軟泥と考えられる。その3は不透明層の間に透明層を認めるもので、粘土層と推定される。

透明層が厚くなると団塊は減るが、薄いからといって分布率が高いとはいいきれない。

4. 底質物

深さ4,800-5,200mを境として浅い部分は石灰質軟泥からなり、有孔虫化石が多い。深い部分は褐色粘土からなり、放散虫化石が多い。最上面はヘドロ状となっているが内部は粘土となっている。水簸した残渣には微小団塊・石英・長石・宇宙塵などがみられる。採取された岩石はすべて変質した玄武岩であった。

5. マンガン団塊

小核を有するマンガン団塊が種々採取された。形状・化学性・地形などにより種々差異がある。しかし湿比重・水分率などは著しい差はないと考えられる。形による差を見ると

a. 扁平球状ないし扁平楕円状

平坦地に多く分布し一般に Ni・Cu・Mn が高く Fe が低い。サイズは 2-4 cm が最も多い。

b. 球状 (粗粒・細粒)

山岳地帯に多く、真球に近いものやたどん状のものがある。Ni・Cu・Mn は低い。反面 Fe は山岳地のものでは高くなっている。各種サイズで分布する。

c. 楕円状

ラグビー球のようなもので、平坦地にやや多い。Ni・Cu・Mn は比較的高く、Fe 品位は低い。2-4 cm サイズが多いが、その他のサイズのものもある。

d. ぶどう状

全域に広く分布しており、Ni・Cu・Mn 品位は割合高く、Fe 品位はやや高い。2-4 cm サイズが圧倒的に多い。採取団塊のうち50%位はぶどう状で占められている。

e. その他

スラブ状・スクラップ状など。例は少ない。Ni・Cu・Mn 品位は低い。山岳地または海山の近くに生ずるものと思われる。

Ni-Cu, Ni-Mn, Cu-Mn, Co-Fe は正相関を有し、Ni-Fe, Cu-Fe は負相関を示す。

核は岩石の変質物が主で、燐灰石・長石・石英などをふくむ。

5. マンガン団塊と海底地形

まだ推定の域だが、海盆底部など凹部に多く分布し平坦地では扁平球状が多い。海山付近では分布が少なく山岳地では粗粒球状が多い。Ni・Cu・Mn は平坦地が高く安定している。

(深海底鉱物資源開発協会探査精錬部会)

GH 76-1 海域の堆積物

有田正史・木下泰正・上嶋正人

北緯 5-10°, 西経 170-174° の海域において、オケアン 70 型グラブ採泥器とピストン式柱状採泥器を使用して堆積物の調査を行った。採取された堆積物は、74 ミクロンの篩の残渣量と残渣物の組成によって第 1 表のように分類された。

調査海域の堆積物の残渣は、珪藻の破片 (?), 新鮮な放散虫 (第四紀型), 褐色に着色された放散虫, 珪化した放散虫, サメのウロコ, 有孔虫, メノウの破片および微小マンガン粒の 8 つの構成要素のうち、いくつかの組合

第 1 表 堆積物の分類基準

	動物質残渣量 (体積比)		
	0%	10%	30%
深海粘土	石灰質粘土		石灰質軟泥
	珪質粘土		珪質軟泥
	石灰質ないし珪質粘土		石灰質ないし珪質軟泥
	珪質ないし石灰質粘土		珪質ないし石灰質軟泥

せによって構成され、有孔虫およびその破片から構成される石灰質軟泥、新鮮な放散虫と有孔虫の混合した珪質ないし石灰質粘土、新鮮な放散虫と珪藻の破片(?)が卓越する珪質粘土、着色された放散虫、珪化した放散虫、メノウの破片、サメのウロコ、微小マンガン粒から構成される深海粘土に分類される。

これらの各々の堆積物は限定された分布を示し、深海粘土は、調査海域北西部から中央部に向かってクサビ状に分布し、巨大なサメの歯とマンガン団塊が北西部の分布域から採取された。調査海域の南西部では、珪質粘土が広く分布し、この珪質粘土は北東部と南西部に位置する海山域に向かって、珪質ないし石灰質粘土に移化し、さらに海山域では石灰質軟泥となる。それ故に、これらの堆積物は海山列に支配された動物区(有孔虫区と放散虫区)からの同時沈降堆積物で、同時異相の關係にあり、時代は放散虫から第四紀であると考えられ、浮遊性有孔虫が炭酸カルシウムの補償深度以深に存在することから、水深は現在よりも浅かったと推定される。

珪質粘土分布域の堆積物の断面において、珪質粘土が約20 cm内外の厚さで深海粘土を覆っているが、その境界は堆積物の色調の境界と調和的であり、深海粘土は暗黄褐色、珪質粘土は黄褐色である。深海粘土中には多くの生痕が認められ、生痕部の色は上部の珪質粘土の色と同色である。それ故に、深海粘土中に観察される第四紀型の放散虫は生痕を形成した動物によって上部から下部に移動させられたものと考えられ、本海域では、巨大なサメの歯を含む第三紀の深海粘土上に、放散虫を主体とする第四紀層が約20 cm堆積したと推定される。

西経173°線上で1°ごとに実施されたピストン柱状採泥器による試料は7°以南では上部20 cmが珪質粘土で、下部が深海粘土であるが、以北の試料ではこれを欠如している。これらの柱状試料について行われた古地磁気の測定結果(上嶋, 1975)によれば、一般的には、海底表面より下部にI正帯磁期、II逆帯磁期、III正帯磁期が認められ、各々の試料におけるIIの逆帯磁期の上部を結ぶと北緯7°と9°に、各々約、-320 cmと約-200 cmの深部をもつ2つの盆状構造の存在が明らかにされる。堆積物の組成は、古地磁気の変化と著しく調和的であり、Iの正帯磁期の上部では第四紀型の放散虫が、下部では着色された放散虫が多く、IIの逆帯磁期には着色された放散虫とサメのウロコ、IIIの正帯磁期では、残渣物は著しく少なく、サメのウロコと微小マンガン粒が卓越し、放散虫を欠いている。IIの逆帯磁期に観察されるサメのウロコは漸新世とされているものに著しく類似した形状をしているが、時代論に関しては、詳細な古生物学的検討

が必要であろう。

調査海域において、マンガン団塊が、多量に採取されたのは、深海粘土分布域と、珪質ないし石灰質粘土と珪質粘土の境界域であり、珪質粘土の主分布域ではほとんど採取されなかった。このことは今後のマンガン団塊探査の際の一指針となる。

(海洋地質部・同・同)

## 音響的層序・構造とマンガン団塊分布との関連について

玉木賢策・水野篤行・本座栄一

白嶺丸によるGH74-5, 76-1の中央太平洋海盆における2度の深海底鉱物資源探査航海において、3.5kHzサブボトムプロファイラーおよびエアガンによる音波探査を行った。その結果、音響層の分布とマンガン団塊分布との間にある一定の關係があることが明らかになった。

調査海域は中央太平洋海盆東部に位置し、北緯5-10°、西経165-174°の範囲である。エアガンによる音波探査結果によれば、深海盆部においては、海底面と音響的基盤の間に顕著な反射面(DSDPの結果に対比するとほぼ始新世のチャート層に相当)が連続して追跡され、この反射面より上位の層(ユニットI)の音響的性格の変化により、調査海域内の音響的層序は次の3つに分けられる(第1図)。

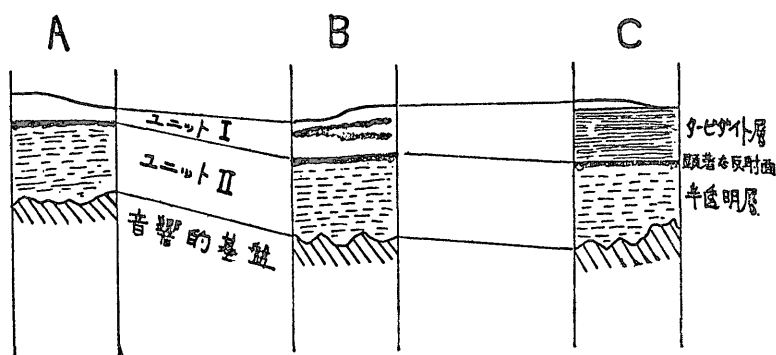
タイプA: ユニットIが完全な透明層からなるもの。層厚は北西部で10数m、南部で200-300mと変化する(第2図)。DSDP Leg 17-site 166, site 170の掘削結果から類推すると、始新世以降の放散虫軟泥(南部の層厚の厚い地域)あるいは深海粘土(北西部の層厚の薄い地域)により構成される。

タイプB: ユニットIの中に3.5kHzサブボトムプロファイラー記録に明瞭にとらえられる複数の不透明層を介在するもので、この不透明層の構成物は不明である。

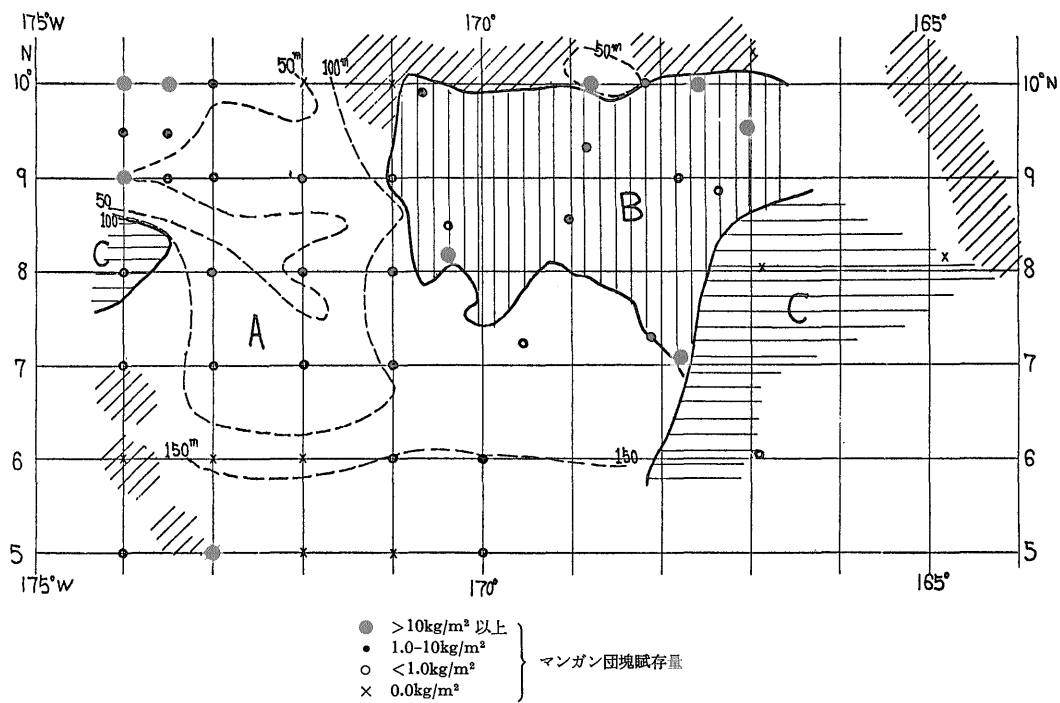
タイプC: ユニットIの中に、細かな反射面の集合からなる層を介在するもので、この層はDSDP Leg 17-site 165の掘削結果に対比すると、後期始新世-後期漸新世のタービダイト層である。

これら各タイプの分布とマンガン団塊賦存量の関連を第2図に示したのが要約すると次の3点にまとめられる。

(1) タイプAの地域では透明層ユニットIの厚さが120 mをこえる地域ではマンガン団塊の賦存量は1 kg/m<sup>2</sup>以下である。またユニットIの厚さが120 m以下の場合、ユニットIが薄くなるほど賦存量は増加する傾向にあるが、同じ層厚であっても賦存量にはかなりばら



第1図 調査海域における音響的層序タイプ



点線はタイプAの地域におけるユニットIの等層厚線, 斜線は海山地域  
第2図 各音響的層序タイプの分布とマンガン団塊賦存量

つきがある。

(2) タービダイトの分布するタイプCの地域では、透明層の厚さにかかわらずマンガン団塊の賦存量は $0.1 \text{ kg/m}^2$ 以下である。

(3) タイプBの地域では、3.5 kHz サブボトムプロファイラーでとらえられる最上部の透明層の厚さとマンガン団塊賦存量の間に密接な関連があり、賦存量 $10 \text{ kg/m}^2$ 以上の地域ではすべてこの透明層の厚さがすべて $10 \text{ m}$ 以下である。しかし透明層の厚さが $10 \text{ m}$ 以下の地域で必ず賦存量 $10 \text{ kg/m}^2$ 以上というわけではない。

このような音響層とマンガン団塊賦存量の関連はまだ概察的なもので多くの問題を含むが、この関係をさらに明確化することは、マンガン団塊探査にとってきわめて有益であろう。事実、このような関連に関して、最近、フランス、ドイツ等からも報告がなされ、音波探査のマンガン団塊探査における有効性が認識されつつある。

ここでは、マンガン団塊の賦存量のみに注目したが、今後はマンガン団塊の大きさ、形状、金属含有量、核種等あるいはマンガン微瘤との関連および音響的透明層の地質学的意義を検討することにより、マンガン団塊の生

因に関する手がかりをも得られるのではないかと考えている。  
(海洋地質部・同・同)

### 深海底堆積物の物理的性質

鶴崎克也・伊藤福夫

公害資源研究所では、マンガン団塊の開発について、調査技術、採掘技術、処理技術など、各方面から、研究が実施されている。筆者らは、マンガン団塊の採掘技術の開発という観点から、採掘機器とマンガン団塊賦存域の深海底堆積物とのかかわりあいについて、大きな関心を払っている。そのため、数年来、深海底堆積物の物理的性質を測定してきている。また、この物理的性質は堆積学の面からも、非常に関心を集めている。

筆者らが測定している物理的性質には、真比重、単位体積重量、含水比、粒度分布などの基礎的な性質およびアッターベルグ限界、強度特性、圧密特性などの工学的性質が含まれる。

物理的性質の測定法には、サンプルの状態によって、現位置で測定する方法、不攪乱試料を採取して測定する方法、攪乱試料を調整して測定する方法の3種類に大別されるが、測定項目によって、その方法が選ばれる。たとえば、真比重、粒度分布などは、ある程度の攪乱試料でも測定できるが、強度特性、単位体積重量などは、現位置あるいは不攪乱試料で測定することが要求される。

ここでは、1976年1月-3月に実施された白嶺丸 GH 76-1 マンガン団塊調査航海において、オケアングラブおよびピストンコアラーによって、ほとんど攪乱されずに採取された深海底堆積物試料について、船上において測定した含水比、ベーンせん断強度、コーン貫入抵抗について述べる。

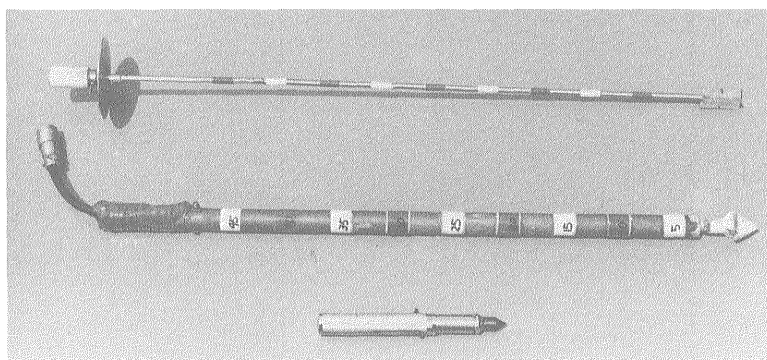
船上測定に使用したベーンテスター、コーンテスター

を第1図に示す。ベーンテスターは直径2cm、長さ4cmの4枚羽根と容量2kg・cmのトルクメータで構成されており、グラブ試料については、表面から深さ5cm毎に、コア試料については50cm毎にベーンせん断強度を測定した。また、グラブ用コーンテスターは支持面積5cm<sup>2</sup>、先端角60°のコーンと容量2kgの小型ロードセルで、コア用コーンテスターは支持面積1、5cm<sup>2</sup>、先端角60°の2種のコーンと容量600gのスプリングで構成されており、グラブ試料については、表面から連続的に、コア試料については、50cm毎にコーン貫入抵抗を測定した。含水比は、グラブ試料については3~5cm毎に、コア試料については50cm毎に秤量用試料を採り、湿潤重量および105°C、24時間乾燥後の乾燥重量から計算した。

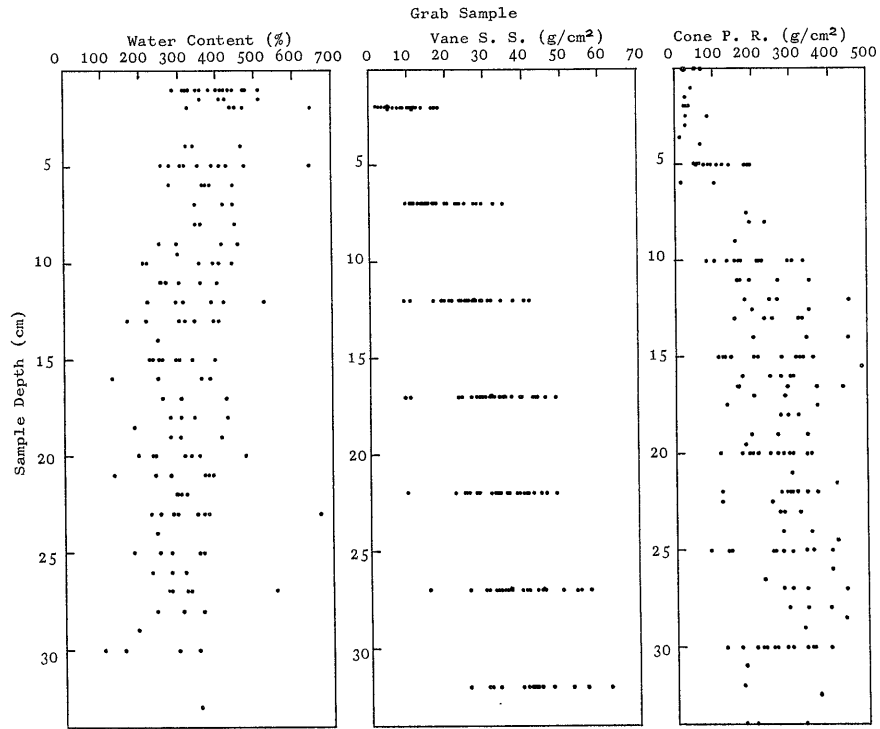
ベーンせん断強度、含水比は23グラブ試料、8コア試料について、コーン貫入抵抗は16グラブ試料、8コア試料について測定を行った。グラブ試料およびコア試料での測定結果の1例を、第4図に示す。

St. 405では、表面から10cmまでは珪質粘土であり、それ以下は粘土であるが、含水比は上部10cmでは約450%であり、その境界付近で急激に変化し、その下部では200%以下である。また、コーン貫入抵抗は上部10cmでは50g/cm<sup>2</sup>から200g/cm<sup>2</sup>まで増加しているが、下部では200g/cm<sup>2</sup>前後でほぼ一定の値を保持しており、堆積物の変化を明瞭に反映している。St. 412のコア試料では、含水比とコーン貫入抵抗、ベーンせん断強度とが明瞭な負の相関を持っていることがわかる。

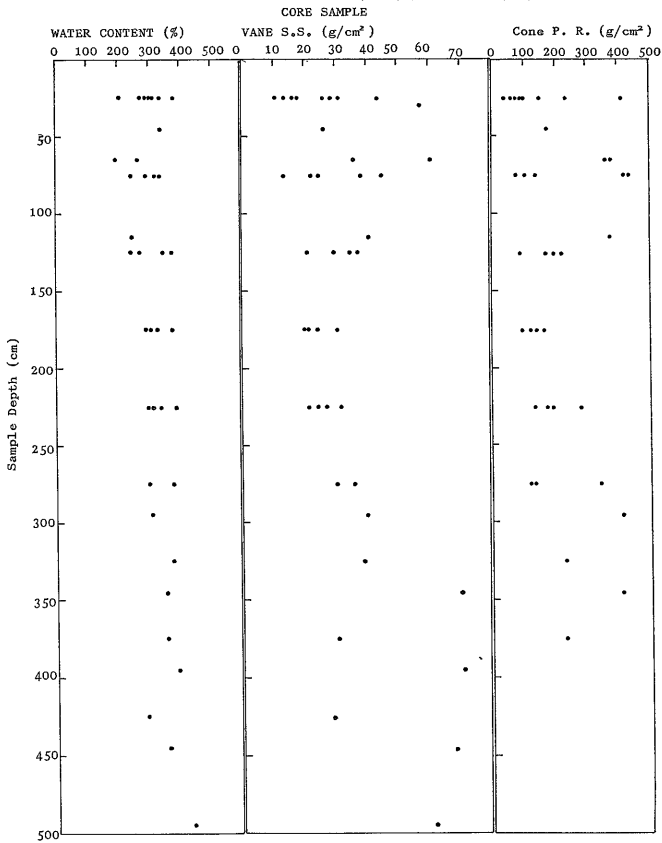
第2図、第3図に、すべての測定結果をプロットしたものを示す。それらの図によれば、含水比は堆積物の表面で300-500%であり、深さとともに値は小さくなり、深さ30cmで150-300%となるが、それ以深では数mの深さに至るまで、あまり大きな変化は見られない。ベーンセ



第1図 上からベーンテスター、グラブ用コーンテスター、コア用コーンテスター

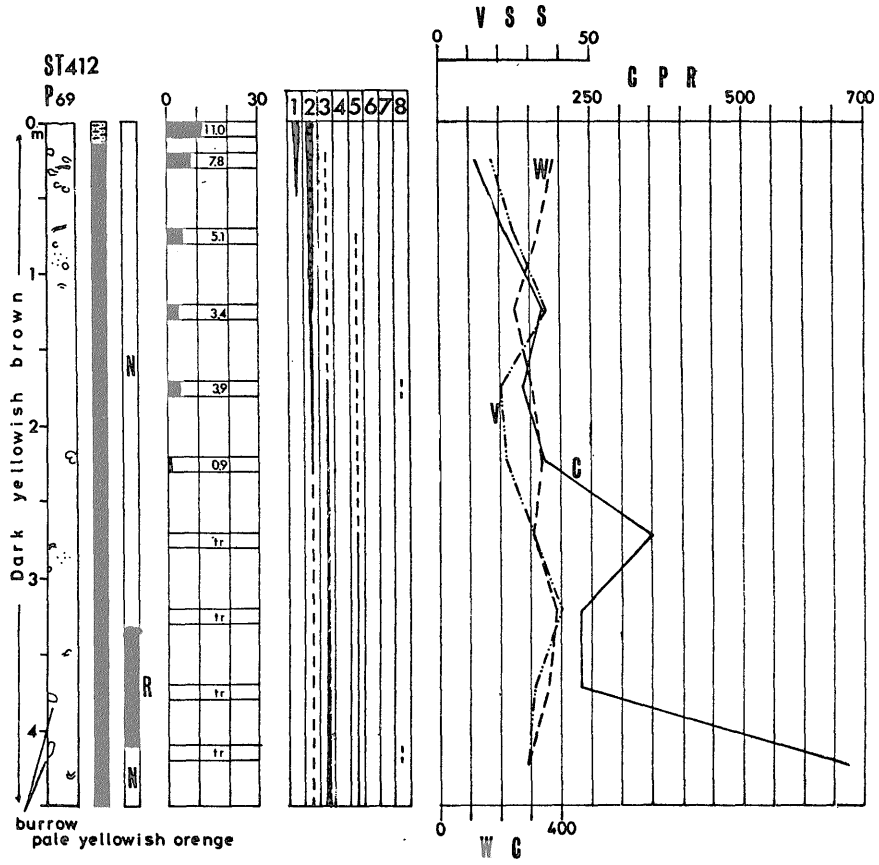


第 2 図 グラブ試料における測定結果

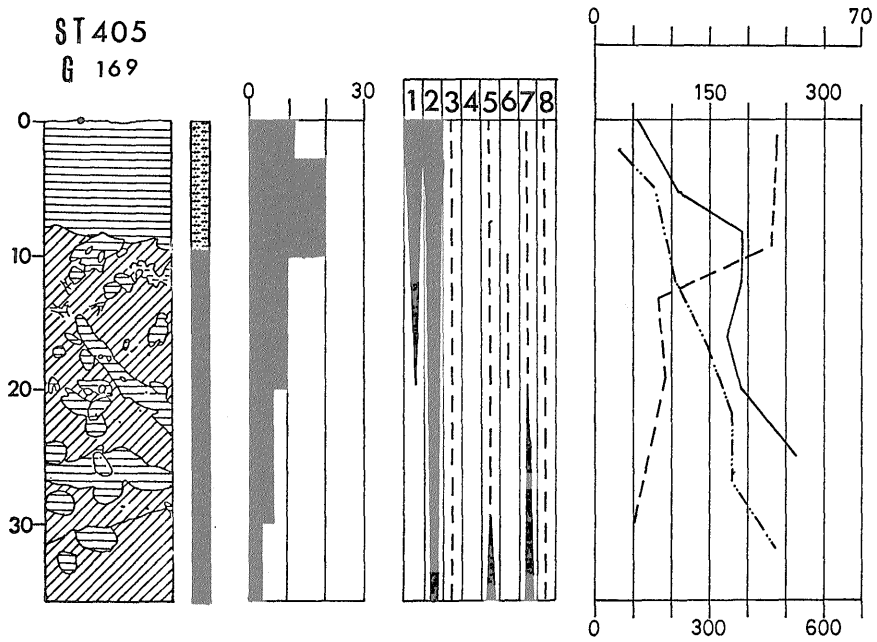


第 3 図 コア試料における測定結果

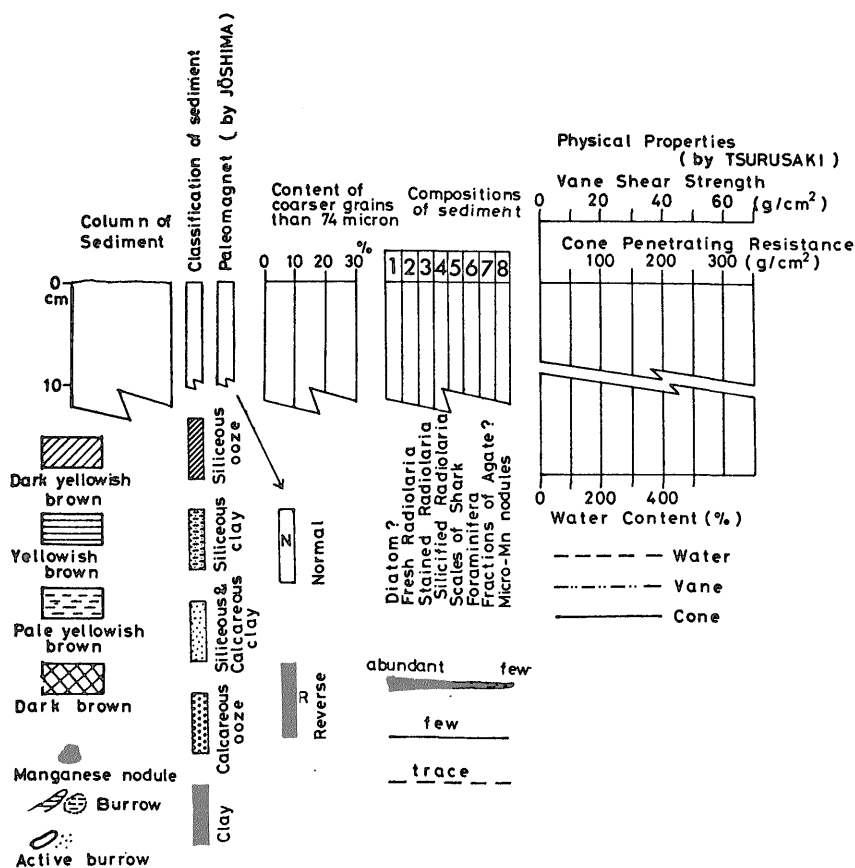




第4図(A) グラブ試料における測定例 (堆積物の分析結果は有田正史による)



第4図(B) コア試料における測定例 (堆積物の分析結果は有田正史による)



第4図(C) 凡 例

ん断強度は、表面では0-20 g/cm<sup>2</sup>であるが、深さ25 cmで30-60 g/cm<sup>2</sup>と漸増する。これも、それ以深では大きな変化は見られない。コーン貫入抵抗は、表面で0-100 g/cm<sup>2</sup>であり、深さ20 cmで200-350 g/cm<sup>2</sup>と漸増している。

現在、実験室において、真比重、粒度分布、アッターベルグ限界などを測定しており、これら物性間の関係について研究を進めている。(公害資源研究所・同)

### マンガン団塊の構成鉱物とその生成環境

白井 朗

KH 734, KH 744, GDP 8, GH 747, GH 761の試料の検討および合成実験の結果、マンガン団塊の構成鉱物の化学組成およびその生成環境に関して以下のような知見を得た。分析法、実験法は透過および反射顕微鏡観察、湿式および機器化学分析、EPMA分析、X線回折法、室温・大気圧下での合成実験である。以下3項目に

分けて記す。

1. 上記の試料からはX線回折法によって、10Å manganite, δ-MnO<sub>2</sub> (回折線2本型)のマンガン鉱物が検出された。鉄鉱物は検出されなかった。顕微鏡下では10Å manganite, δ-MnO<sub>2</sub>(以下2本型を示す)、褐色相の3相が観察された。各相のEPMA分析、団塊の鉱物組成の検討によると、元素の相関関係、団塊の化学組成の傾向の多くが鉱物組成によって解釈できる。例えば、MnとNiの相関よりも10ÅのX線強度とNiの相関のほうがよいこと、Mn-Ni相関図でのMn/Niの勾配が、EPMAによる10Å manganiteのMn/Ni比と一致することなどがあげられる(第1図参照)。とくに10Å manganiteの光学的性質および化学組成は産地あるいは団塊中の箇所にかかわらず、比較的一定しており、10Å manganiteの量の多寡が団塊の諸性質を大きく規制している。

2. 鏡下で観察される各相の化学的、組織的特徴から各相の生成機構を以下に考察した。

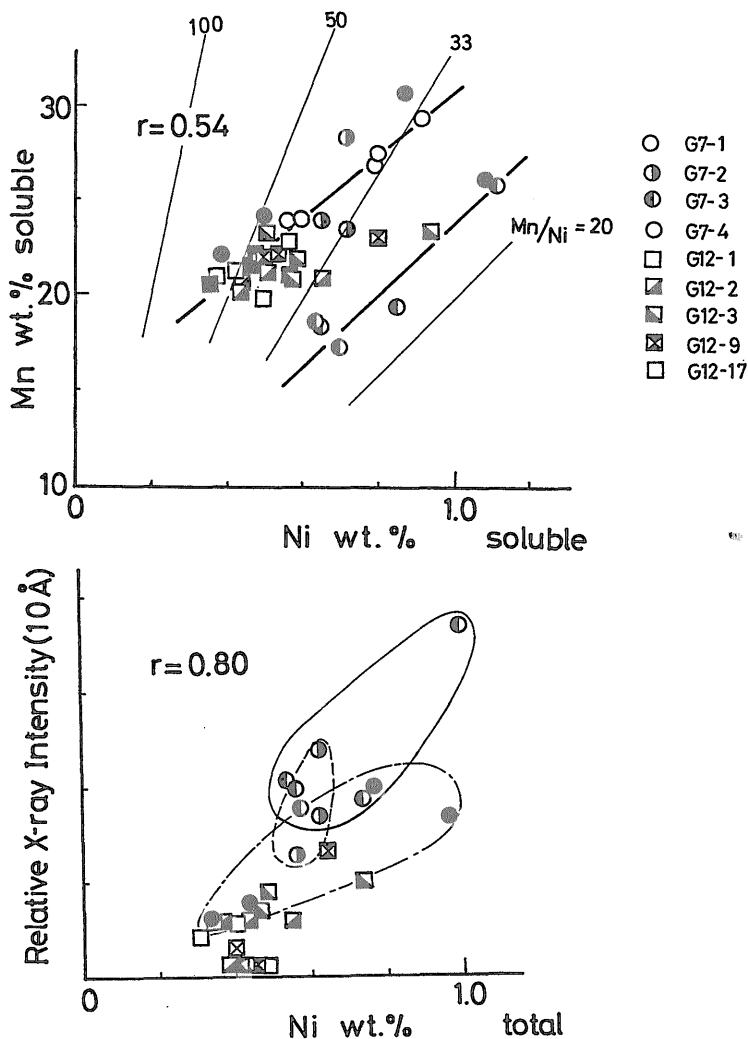
褐色相（透過光で）鉄・マンガン鉱物の組織の間の不定形間隙を埋めている産状が一般的である。Si, Feを主成分とした含水量の多い、鉱物の密雑物で、化学組成、光学的性質はきわめて不均質である。おそらく団塊の成長過程でとり込まれた非晶質鉄酸化物、珪酸あるいは粘土鉱物であろうと考えている。

$\delta\text{-MnO}_2$  一般に層構造、コロフォーム構造を特徴とし、層間等に碎屑物質、(石英、長石等)を多量に含む。透過光では暗褐色ないし黄褐色に波状に変化し、黄褐色部分にFeが多い。FeとMnは負相関を示して変化し、化学組成は不均質である。 $\delta\text{-MnO}_2$ の大部分は海水中に懸濁するコロイド状Mn, Feの水酸化物のきわめて緩慢な付着により、碎屑物を多くとり込みつつ成長したと考

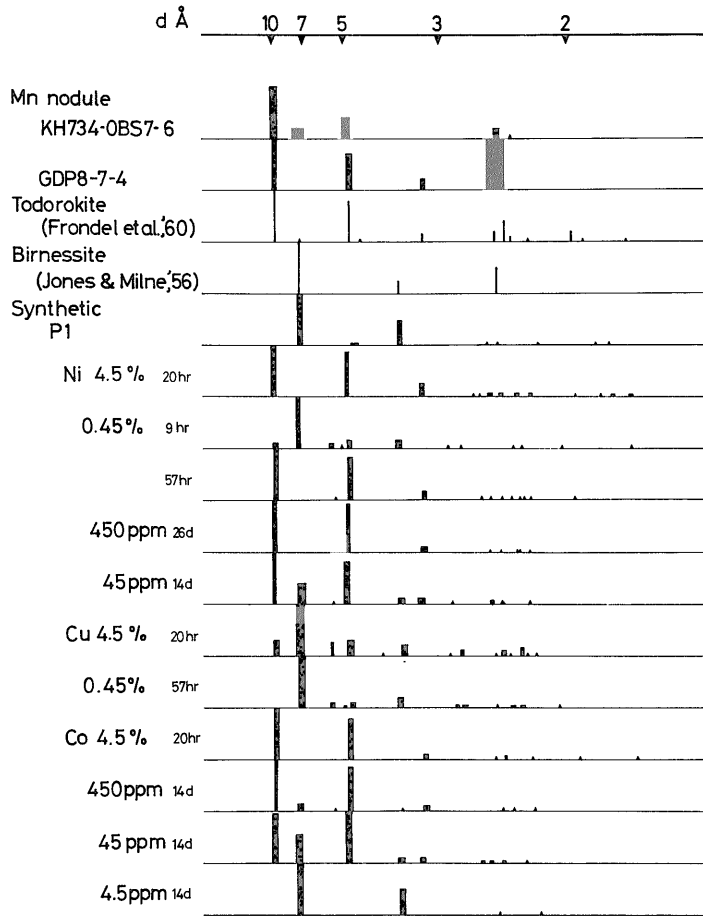
えられる。

**10 Å manganite** 一般に化学的性質が一定しており均質、緻密であり、碎屑物質のとり込みは、 $\delta\text{-MnO}_2$ に比べて非常に少ない。1  $\mu$  ないしそれ以下の針状あるいは板状の粒子からなっている。層構造、樹枝状構造の他に注目すべき組織は、団塊の割れ目を充填した細脈状組織、比較的大きい碎屑物や団塊のかけらを膠結した碎屑状構造、網状構造、小塊状構造であり、これらは10 Å manganiteに限って見られる。さらに浮遊性有孔虫等の微化石が多く含まれる。このような特徴から、10 Å manganiteは、ある環境において、比較的短期間に急速に生成されたと考えられる。

3. 上述したマンガン鉱物の生成条件の相違を実験的



第1図 NiとMn% および10Å X線強度との関係



第2図 マンガン鉱物・合成産物のX線回折像

に裏づけるため、MCKENZIE (1971) の合成実験と関連し、7 Å manganite 相当産物の大気圧・室温での合成と水溶液中での金属イオン添加による10 Å manganite 相当産物への変化の実験を行った。O<sub>2</sub> の代わりに空気を酸化剤とし、水溶液中の Ni, Cu, Co 濃度を MCKENZIE の実験の10<sup>-1</sup>-10<sup>-4</sup>倍の条件で同様な実験を行った結果、数10ppm Ni (または Co) により数時間ないし数日間で同一のX線パターンと化学組成を持つ10 Å manganite 相当産物が生成した。この変化は Ni 等の濃度が高いと反応が速いのでさらに低濃度での生成も充分考え得る。また特に Ni, Co で反応は進みやすい (第2図参照)。

ところで、深海堆積物の間隙水中の Ni, Cu, Co 等は、海水に比べ10<sup>1</sup>-10<sup>3</sup>倍濃集しており、[Ni]+[Co]+

[Cu] は0.数ppmに達し得ること、10 Å manganite は堆積物を欠く海山産クラストには産しないという産状が知られている。また本試料のうち、同一団塊について海水に接する表面と堆積物に接する表面を比較すると、一般に10 Å manganite は前者に少なく後者に多い。

合成実験の結果と以上の3点から10 Å manganite の生成には堆積物の間隙水の作用が重要な要因となっていると考える。

上述の2.と関連して団塊の成長は、δ-MnO<sub>2</sub> の海水からの緩慢な沈殿と10 Å manganite の堆積物の間隙水に関連した比較的急速な生成の両者によるものであり、必ずしも連続的ではない。

(東京大学工学部)

## 太平洋域マンガノジュールの地球化学的特徴とその支配因子

野原 昌人

太平洋の各域から採取したマンガノジュールの化学組成とそれを支配する因子について検討した。深海と浅海または陸近くのノジュールの化学組成の間には明確な相違が存在する。前者には Mn, Cu, Niが濃集し、一方後者には Fe, Pb が富む傾向にある。Znはわずかに深海のに富む傾向があるが、その含量は0.3%を越えない。Coは phosphorite を核または内層間に有するノジュールに濃集する。各海域のノジュールの特徴はこれら元素間の相関関係から明らかにすることができる。Cu, Ni-Mn または Ni-Cu 間には強い正の相関がみられる。その一定の分布パターンから、深海ノジュールは Mn, Ni の増加に伴い Cu の含有量も増加し、その勾配は指数関数的である。他方浅海、とくに陸近くのノジュールではその傾向が緩慢である。この相関関係を各海域のノジュールにあてはめてみると、これらのノジュールの化学組成の相違はノジュールの物質供給源または生成環境を反映していることが明らかになった。すなわち、陸からの物質供給の寄与が大である地域のノジュール、逆に陸からの直接的な供給が無視し得る海域のノジュールと上記の2つの環境の影響を受けている海域のノジュールに分類できる。このようにノジュールの化学組成の相違は(1)物質供給源(2)生成環境に支配される。海山または陸近くのノジュールの化学組成の変化は上記2つの支配因子の影響を強く受けているものと考えられる。浅海または陸近くのと同様に深海ノジュールの化学組成も同一地点内または同一ノジュールでも大きく変動する。深海ノジュールの生成環境は得られたデータではきわめて一様で、生成条件に何ら変化がなかったことを示す。それ故、深海ノジュールの化学組成の変化は上記以外の因子に求められる。NOHARA (1976) はノジュールの形成において、その中に含まれる Cu, Ni, Co などの重金属元素が重要な作用を及ぼしていることを明らかにした。すなわち、これらの元素は鉄-マンガノ粒子との相互作用において、自分自身は加水分解を起し、鉄-マンガノ粒子上に表面吸着され、同時にこれらのコロイド粒子の急速沈殿を促進させる。ノジュールの化学組成、とくに微量元素の著しい変動性は上記の形成時における鉄-マンガノ粒子とこれらの元素の反応における条件、臨界凝集濃度に大きく支配される。(海洋地質部)

## マンガノジュールの微細構造と成因

原田 憲一

深海底のマンガノジュールは一般に核の回りに、同心円状に、徐々に、連続的に成長すると考えられている(KU, 1976参照)。しかし化学組成や組織・構造は各層ごとに異なっているので、各層の微細構造の研究はノジュールの成因を追求するうえで重要である。

本研究の試料は南西太平洋から得たG994 (22°56.2'S, 162°04.8'W; 4848 m; GLASBY *et al.*, 1974; GLASBY *et al.*, 1975; MEYLAN *et al.*, 1975 参照) と東部中央太平洋のGH 74-5, St. 126 (09°30.3'N, 167°03.5'W; 5010 m; MIZUNO and CHUJO, 1975 参照) を使用した。観察には走査型電子顕微鏡(以下SEM)を用い、2試料の各層の自然破面と塩酸処理後の残渣表面を観察した。

G994は直径4.5 cmの球状を示し、核の回りに3層が同心円状に発達している。表層は厚さ0.5 mmで、表面は botryoidal である。SEM下で botryoid は直径5  $\mu\text{m}$  のコロイド状沈殿物でおおわれている。この層の断面を見ると、MARGOLIS and GLASBY (1973) が観察した薄いラメラによって構成されている。一番外側ではコロイド状粒子が集合して一枚のラメラを形成しているのが観察される。このラメラ層には生物活動の痕跡は認められない。中間層・最内層はラメラ構造を欠き、massiveで、しかも空隙を多数持っている。層内部には正体不明の比較的大型の底棲微生物の化石が見られ、生物活動で作られたと思われる構造も含まれている。

3層の一部を塩酸処理すると金属酸化物・炭酸塩が取り除かれ、白色の残渣が得られる。表層の残渣は元の表面形態を保っているが内層の残渣は原状と全く異なり、多孔質で内径0.2 mm位の管状の空隙が無数に見える。

表層の残渣の表面には生物活動の痕跡は認められず、珪質微化石の破片が散在している。内層の残渣の穴は主に内径10-50  $\mu\text{m}$ の中空のチューブで枠組みされており、多くの大型微化石、自形鉱物を取り込まれている。

GH 74-5, St. 126は最大径3 cmで intergrowth を示す。半球状のコブは各々中心に核を持ち、その回りに同心円状に1-2 mmの厚さの層が発達している。各層を塩酸処理し、残渣を観察するとG994の場合と同じ形態を示す。すなわち表層の残渣は massiveで、生物活動の痕跡を欠くが、内層の残渣は多孔質で、それらの穴は無数のチューブによって枠組みされている。またこの層には多量の自形鉱物を取り込まれている。

GREENSLATE (1974) は東太平洋のノジュールの表面に

底棲有孔虫 *Saccorhiza* や他の底棲生物が中空のチューブやドームを形成していることを見出し、酸処理によってこれらの構造がノジュール内部にも保存されていることを確認した。さらに MARGOLIS and DUDLEY (1976) は *Saccorhiza ramosa* がその殻に Fe と Si を濃集していることを明らかにした。また WENDT (1974) は世界各地の現世ノジュールの内部構造を調べ、*Talypamina*, *Glomospira* およびより小型の底棲有孔虫や菌類の生痕の存在を明らかにした。一方 GRAHAM and COOPER (1959), BUCKLEY *et al.* (1974) は *Rhabdammina* の殻が撰択的にマンガン酸化物でおおわれていることを発見し、これらの底棲生物の遺骸とマンガン酸化物の沈殿に密接な関係があることを指摘している (GRAHAM and COOPER, 1959)。

以上のことから、今回観察された多孔質の残渣を持つ部分は、底棲有孔虫を主体とする底棲生物によって Fe・Si に富む物質で枠組みが急速に形成され (1 mm/yr-1 mm/25 yrs; WENDT, 1974), その後無機的 (BURNS and BROWN, 1972 参照), あるいは有機的 (EHRlich, 1975 参照) 機構により空隙がマンガン酸化物で埋められてできたと考えられる。この機構による成長は、微量元素の供給源および底棲生物の食料供給源として高い一次生産力を必要とする (MARGOLIS and DUDLEY, 1976)。この時堆積速度も早くなるが活発な底棲生物活動によってノジュールは海底面に維持される (MERO, 1962; CRONAN and TOOMS, 1967 参照) のであろう。

一方 G994 で見られたコロイド状粒子の無機的沈殿は堆積速度がずっと遅くなった時に生じ (CHESTER *et al.*, 1973), ノジュール表層の放射性同位元素の存在量によって決定された遅い成長速度 (1-100 mm/10<sup>6</sup> yrs; KU, 1976) で成長するのであろう。G994 では堆積物は得られていないが、GH 74-5, St. 126 の堆積物コラムに見える相変化 (ARITA, 1975) は上述の環境変化に対応している可能性がある。

ノジュールが基本的に2つの機構で成長すると考えると、CRONAN and TOOMS (1968) が報告したノジュール内部での segregation の発達と、それを欠く表層の薄いコーティングの存在、また WENDT (1974) が指摘した、薄いコーティングには一般に生痕が見られない事実を説明できる。

上述のようにノジュールの微細構造は広義の海洋環境と密接に結びついていると思われる。従って成因の追求にはノジュールの採集だけでなく、堆積盆の地史を明らかにするために堆積物の採集が不可欠である。そしてノジュールと堆積物の時間的対比にはノジュールの生層位学 (HARADA and NISHIDA, 1976) が重要な役割を果たす

であろう。

## 文 献

- ARITA, M. (1975) *Cruise Rept.* (Geol. Surv. Japan), 4, 62-70.
- BUCKLEY, H. A., EASTON, A. J. and JOHNSON, L. R. (1974) *Nature*, 249, 436-437.
- BURNS, R. G. and BROWN, B. A. (1972) 51-61. In: HORN, D. R. (Ed.), *Ferromanganese Deposits on the Ocean Floor* (IDOE, NSF, Washington, D.C.).
- CHESTER, R., JOHNSON, L. R., MESSIHA-HANNA, R. G. and RODGHAM, R. C. (1973) *Mar. Geol.*, 14(4), M15-M20.
- CRONAN, D. S. and TOOMS, J. S. (1967) *Deep-Sea Res.*, 14(1), 117-119.
- and ——— (1968) *ibid.*, 15(2), 215-223.
- EHRlich, H. L. (1975) *Soil Sci.*, 119(1), 36-41.
- GLASBY, G. P., BÄCKER, H. and MAYLAN, M. A. (1975) *Erzmetall* (Stuttgart), 28(7/8), 340-342.
- , ———, ———, McDougall, J. C. and SINGLETON, R. J. (1974) *Mar. Technol.* (Düsserdorf), 5(5), 145-147.
- GRAHAM, J. W. and COOPER, S. C. (1959) *Nature*, 183, 1050-1051.
- GREENSLATE, J. (1974) *ibid.*, 249, 181-183.
- HARADA, K. and NISHIDA, S. (1976) *ibid.*, 260, 770-771.
- KU, T. L. (1976) In: GLASBY, G. P. (Ed.), *Marine Manganese Deposits* (Elsevier, in press).
- MARGOLIS, S. V. and DUDLEY, W. C. (1976) *J. Sed. Pet.* (in press).
- and GLASBY, G. P. (1973) *G. S. A. Bull.*, 84(9), 3601-3609.
- MERO, J. (1962) *Econ. Geol.*, 57(5), 747-767.
- MEYLAN, M. A., BÄCKER, H. and GLASBY, G. P. (1975) *NZOI Oceanogr. Field Rept.* (Wellington), 4, 24.
- MIZUNO, A. and CHUJO, J. (Eds.) (1975) *Cruise Rept.* (Geol. Surv. Japan), 4, 103.
- WENDT, J. (1974) *Spec. Publs. int. Ass. Sediment.* (London), 1, 437-447.

(京都大学理学部)