

マンガン団塊の岩石学

臼井 朗 (海洋地質部)
Akira USUI

はじめに

海洋底のマンガン団塊が初めて記載されたのは100年以上前であるが、近年ニッケル・銅・コバルト等の金属資源として注目されるようになり、商業的・科学的両側面からの調査研究が活発になってきた。1970年代には商業ベースの探鉱を目的に米国・西独を中心にいくつかの国際企業連合が設立され、探査・探鉱実験・汚染調査等が行われている。その主な舞台は中部～東部太平洋の北低緯度地帯 (manganese nodule beltとも呼ばれる) である。わが国では昭和47年ごろから地質調査所によって中～西部における予察的資源調査が始まり、現在はライン諸島西部中央太平洋海盆においてマンガン団塊の成因に関する総合的地質調査を行っている。

これらの調査航海等の結果、海洋底のマンガン団塊の賦存量・分布・品位に関するデータは増大し、広域的分布の概要は把握されている。しかし、局地的変化に関するデータは少なく、団塊の分布・諸性質の変化性について単純な法則性は見い出されていない。ただ最近の研究によるとマンガン団塊の生成・発達と局地的な堆積環境の間に密接な関係があるらしいことが示唆されている(水野・盛谷 1981)。団塊形成史の上で過去又は現在の地質学的諸条件が如何なる役割を果しているかを解明するためには団塊内部に含まれる地質学的情報と具体的な地質学的現象とを対応づけることが重要である。堆積物の層序・構造を研究するのと同様の立場で、団塊の内部微細構造を中心に、いわば「マンガン団塊の層序学」的研究が必要と思われる。

現在、最も有効なものの一つが反射顕微鏡による微細構造の観察・構成鉱物相の決定等の岩石学的方法である。この方法は試料作製上の困難さのため大量処理が難しいが、団塊記載の一つとして不可欠であり、団塊の形成過程を解明する上で大きく貢献するものと思われる。本稿ではマンガン団塊の諸性質を概観した上で、最近の岩石学的研究の概要とその重要性を例を示しながら紹介する。

マンガン団塊の一般的性質

一般にマンガン団塊 (manganese nodules, ferro-

manganese nodules, manganese concretions, polymetallic nodules) と呼ばれ、普通は現在の堆積物表面近くに分布する直径数 cm の鉄・マンガンを主体とする酸化物の集合体をさす。商業的探鉱の対象としての団塊濃集地域は、従来の楽観的見積りに反しかなり限られることがわかってきた。しかし、広義に海成マンガン酸化物としてみるとその分布は広く産状も様々である。いわゆる団塊の他に、地形的高まりや活動的中央海嶺付近の露岩などの被覆物として産するマンガンクラスト (manganese crust) 海底堆積物中に分散する 1 mm 以下のマイクロジュール (manganese micronodules) などがあり、海底堆積物としてはむしろ一般的なものである。逆にこれらが認められない環境としては、陸源物質の供給の多い島孤ともなう海溝底・大陸斜面・タービダイトの発達する地域、石灰質生物の生産性の高い赤道帯の海山域などに限られると言つてよいだろう。

通常のマンガン団塊は表層堆積物 10cm 以内に濃集しており、その産出頻度は直下堆積物中に埋没するものに比べて明らかに高い。しかし、深海掘削 (DSDP) コアからの報告も多く、白亜紀又はジュラ紀堆積物に伴うものまで知られている。異論も皆無ではないが、過去の地質時代の堆積物に比べて現世の海底には圧倒的に多くのマンガン団塊が分布しているらしい。統計的にはデータ数が少ないが、現場での観察からは表層への濃集は明白な事実である。

団塊の粒径はマイクロジュールから数 10cm に及ぶものまで様々だが、2~6cm が最も多い。色は光沢のない黒色で、時に赤褐色味を帯びる。表面は平滑なものから微小突起の発達する粗いものがあり、これは後述のように鉱物種と対応している。外形は複雑だが基本は球と回転楕円体で、それらが崩壊したり連結したりする。切断面で内部構造を観察すると年輪状層構造が認められるが、必ずしも顕著ではなく比較的均質なものもある。一般に核が存在し、団塊全体の形状を支配する。その大きさ・岩石種は様々であるが、深海産団塊では玄武岩・玄武岩質ガラス及びその変質物、サメの歯、古い団塊のかけら等が多く、大きさは肉眼では認められない

ものから 10cm 以上のものがある。その他 花崗岩質
岩石 生物源石灰岩 燐酸塩岩などの報告がある。

以上の団塊の諸性質 主に外観的特徴に基づいたタイプ分類が行われており 現場での記載に用いられている。Meyer (1973) や Meylan (1974) による分類法は現在でも用いられ 地質調査所では盛谷 (1977) による簡略化された分類法を用いている (第1表)。最近これらの分類は団塊の諸性質と一定の関係があることがわかり生成条件や生成時期とも関係があるらしいといわれている。重要なことは これらのタイプ分類は個々の試料について行われるが 各測点においては各試料を通じてほとんど同タイプに分類されることである。鉱物組成・化学組成についても同じ傾向が認められる。このことは団塊内部には大きな不均質性があるにもかかわらず全岩としては共通の特徴を持つことを示し 各測点に産する団塊試料間の形成史の類似性を示している。

そのほかに マンガン団塊の物理的性質で重要なものを挙げておく。湿比重は1.9~2.0 乾比重 (脱塩後105℃での恒量値) は2.5~3.5 含水量は無処理状態で20~30重量% 孔隙率は50~60% 比表面積は100~300m²/g程度である。モース硬度は1~4 普通3程度である。

物理的性質に関するデータに対して 化学分析値に関する研究報告等は極めて多い。企業等の研究による未公表データを含めると莫大な量になろう。しかし 分析結果の多くは全岩試料であること 分析のベースが統一されていないこと などの理由で 各分析結果を同一のレベルで比較するのは難しい。従って 全岩分析の結果は 海域・地形・形態との関連や元素含有量の相関等についての議論が中心となっている。

全海域を通じての平均値で0.1%を越えている元素は

第2表 マンガン団塊の化学組成海域・地形によるちがい

		Mn	Fe	Ni	Cu	Co (wt.%)
大洋別平均 (深海産)	太平洋	19.3	11.8	0.85	0.71	0.29
	インド洋	15.3	13.4	0.53	0.30	0.25
	大西洋	15.5	23.0	0.31	0.14	0.23
地形別平均	遠洋の海山	14.6	15.8	0.35	0.06	1.15
	縁辺海の海山	15.7	19.3	0.30	0.08	0.42
	大陸縁辺地域	38.7	1.3	0.12	0.08	0.01
	海台	17.2	11.8	0.64	0.09	0.35
	活動的の海嶺	15.5	19.2	0.31	0.08	0.40
	非活動的の海嶺	19.7	20.1	0.34	0.05	0.57
	深海盆	16.8	17.3	0.54	0.37	0.26

Cronan (1977) より

第1表 マンガン団塊の形態分類 (a. 東太平洋, b. 中部太平洋)

- a) Field classification schema by Meylan (1974)
Example: s-m[D]s
- Primary morphology
[S] = spheroidal
[E] = ellipsoidal
[D] = discoidal (or tubular-discoidal)
[P] = "poly" (coalespheroidal or botryoidal)
[B] = biological (tooth, verterbra or bone)
[T] = tabular
[F] = faceted (polygonal due to angular nucleus or fracturing)
 - Nodule size
(prefix)
s = 3cm
m = 3-6cm
l = 6cm
(maximum diameter)
 - Surface texture
(suffix)
s = smooth (smooth or microgranular)
r = rough (granular or microbotryoidal)
b = botryoidal
- b) Field classification schema by Moritani et al. (1977)
- Sr = s-m[S, E]r
SPr = s-m[S, E, P]r
SEr = m-l[S, E]r
Db = m-l[D, D-E]b
Ss/SPs = s-m[P, S, E]s
DFs = s-m[D, P, E]s
ISs = l[S, F]s
V = s-l[B, F]r, s

多い順に Mn, Fe, Si, Al, Ca, Na, Mg, Ti, K, Ni, Co, Cu, P, Ba である。このうち Si, Al, Ti, Ba, P のほとんど及びアルカリ・アルカリ土類金属の一部は鉄・マンガン酸化物に対し外来物質と考えてよいと思われる。一般に各測点から得られる試料について核を除いた場合 化学組成の変動は小さく 地域的変動はそれを大きく上まわっている (第2表)。大洋別には 大平洋産団塊がインド洋や大西洋産のものに比べて Mn, Cu, Ni が多く Fe が少ない。また地形的には 深海盆産団塊では 大陸縁辺海や海山産のものに比べて Mn, Ni, Cu 特に Cu の含有量が大きく 逆に Fe, Co, Pb 含有量が小さい特徴がある。しかし最近の研究によると数 km 程度の近距離で団塊の性質が大きく変化し 広域の変動と同等又はそれを上まわる例がいくつか報告されている。このような局地的変動は現在のところ地形や地質と単純には対応が

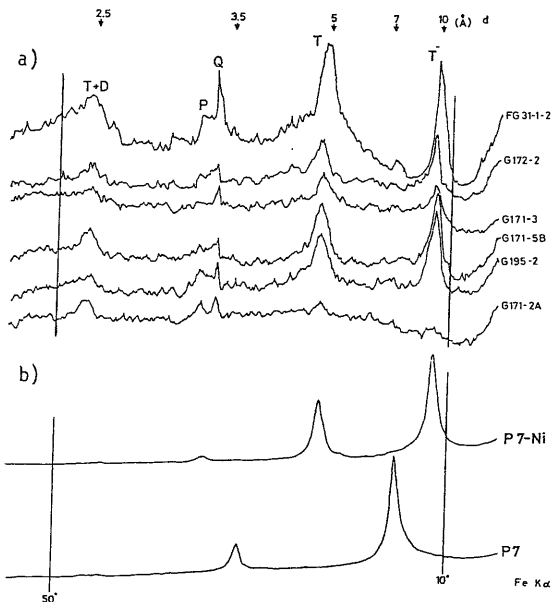
つけられておらず 今後の重要課題となっている。

マンガン団塊の構成鉱物

マンガン団塊の主要構成鉱物は 骨組みの鉄・マンガン酸化鉱物とそれらの成長過程でとり込まれる珪酸塩鉱物である。 後者としては 石英 斜長石 粘土鉱物 (主にモンモリロナイト族) 沸石 (灰~重十字沸石・斜プロ沸石) が一般的で 通常海底堆積物の構成鉱物と一致する。 まれに カリ長石 リン灰石 重晶石などを伴う。 これらの珪酸塩類などの一部は透過顕微鏡下で自形結晶として識別可能である。

鉄・マンガン鉱物の観察には透過顕微鏡よりも反射顕微鏡が有効である。 ただし 単結晶粒子が認められることはまれである。 メスバウア効果や比表面積の測定からは 鉄・マンガン鉱物粒子の平均粒径は 数10~数100Å 程度と見積られている。 従って単結晶を得ることの困難さと結晶度の低さのために 結晶解析に関する研究は少ない。 従来からマンガン団塊の鉱物同定は粉末X線回折と反射顕微鏡観察によっている。 また 室内での合成産物との比較も有効な方法の一つである。

粉末X線回折法によるとマンガン鉱物に由来する数本の幅広いピークが得られる (第1図)。 鉄鉱物は針鉄鉱が極めて稀に認められる以外にはなく X線的には非晶質である。 粉末X線パターンによるマンガン団塊中のマンガン鉱物の決定は Buser & Grütter (1956) により



第1図 典型的X線回折パターン
a)マンガン団塊 b)合成産物(T: 10Å manganite, D: 2本型δ-MnO₂, Q:石英, P:斜長石又は沸石)

初めて行われ 3鉱物 (10Å manganite, 7Å manganite 及び δ-MnO₂) を報告した。 前2者は彼らの造語であり manganite (スイマンガン鉱 γ-MnOOH) とは結晶学的には無関係である。 後者は合成産物名である。 現在これらのいずれも IMA 鉱物名委員会には登録されていない。

第3表 マンガン団塊の構成鉱物名の対照表

マンガン団塊 についての記載	10Å manganite	7Å manganite	δ-MnO ₂ δ-MnO ₂ δ-MnO ₂ (random-stacked or turbostratic) δ-MnO ₂ (Z-disordered) vernadite 2 line form δ-MnO ₂	Buser & Grütter(1956) Brooke & Prosser(1964), Fewks(1976), Burns & Burns (1977), Rankin & Glasby(1979) Giovanolli et al. (1970), Giovanolli et al. (1975), Giovanolli & Burki(1975) Arrhenius et al. (1979)
	todorokite	birnessite		
	buserite	birnessite		
	10Å manganate	7Å manganate		
	todorokite	birnessite		
	10Å manganite	7Å manganite		Chukhrov et al. (1979)
				Usui(1979)
陸上産鉱物	todorokite	—	—	Yoshimura(1934)
	—	birnessite	birnessite	Jones & Milne(1956)
合成産物	—	—	δ-MnO ₂	McMurdie(1944)
	—	manganous manganite	—	Feitknecht & Marti(1945), Buser et al. (1956), Cole et al. (1961)

第4表 マンガン団塊の鉱物相

諸 性 質		10Å manganite 相	δ -MnO ₂ 相
光学的性質 (反射光下)	色	灰白色	暗灰色
	反射率 (560nm)	~13%	~8%
	光学的異方性	顕著	なし
	ビッカース硬度	52~112 (平均82)	10~24 (平均17)
微細構造		樹枝状 (小突起状), 均質薄層, 塊状, 亀裂充填, 碎屑物の膠結物など	成層構造 時に柱状
化学組成 (wt. %)	Mn	30~50	10~30
	Fe	0~2	11~18
	Ni	0.7~3.1	0.1~0.8
	Cu	0.9~2.3	0.1~0.8
	Co	0.1~0.4	0.3~0.6
	Si	0~1	1~8
鉱物組成		10Å manganite	δ -MnO ₂ (回折線 2 本型), 非晶質鉄酸化物及び 碎屑性粒子の隠微晶質集合

陸上産鉱物や合成産物との比較により その後多くの研究者が様々な鉱物名を使うようになり 命名上かなり深刻な混乱が生じている。 その一つの原因は各鉱物の結晶化学的性質のデータが不足していることである。 ここでは命名上の問題については詳しくはふれず 簡便のために対照表(第3表)のみ示す。 これらの問題は MIT のBurns夫妻によるレビュー (in Glasby, 1977) に詳しい。 また陸上産鉱物とは完全な同定が行われていないこともつけ加えておく。

従来筆者は中央太平洋海盆 フィリピン海盆 九州南方の海嶺海山群 北西太平洋海盆 マリアナ海盆などから採集された数百個のマンガン団塊・マンガンクラストの無処理粉末試料についてX線回折を行ったが 確認されたマンガン鉱物は10Å manganiteと δ -MnO₂ (回折線2本型)のみである。 7Å manganiteに対比される回折パターンはほとんど認められない。 さらに団塊にしばしば伴う灰十字沸石 (phillipsite) の最強ピークの1つは7.0~7.2Åにあり 7Å manganiteと誤認されやすいこと及び10Å (及び5Å) のピークは 試料の加熱 (100°C以下) 真空乾燥により短時間で7Å (及び3.5Å) ヘシフトする場合が多いことを考慮すると7Å manganite (又は4本型 δ -MnO₂, birnessite) の分布は極めて限られるか又は誤認の可能性が高い。 同様の見解は 東太平洋のマンガン団塊濃集帯 (クラリオン・クリパトン断裂帯の間) のマンガン団塊についても報告されている。

X線粉末回折の結果から マンガン団塊は上述した鉱物によって構成されていることがわかった。 これらの鉱物は顕微鏡下でも識別できるのであろうか。 薄片や研磨片によって観察する試みは以前からある。 薄片の透温顕微鏡観察では 核や碎屑物粒子の鑑定には有効だがマンガン鉱物は一般に不透明なので識別できない。 研磨面の反射顕微鏡観察はワシントン州立大学のSoremらにより始められたが 良質の研磨面作製が難しいためX線回折の結果とは充分な対比ができなかった。 通常の研磨法では 試料自身からの碎屑物の剝奪等により光学的異方性などが不明瞭になる場合が多い。 従ってSoremらは微細組織の特徴に基づき 団塊の構成相を5つに分類した。 しかしこの分類は必ずしも一般性があるわけではなかった。 筆者らは良質研磨片の反射顕微鏡観察の結果とX線粉末回折の結果とを対比して 10Å manganite相と δ -MnO₂相を識別した。 団塊中の鉄・マンガン層はこのいずれかに同定することが可能となった。 前者は高い反射能と顕著な光学的異方性 後者は低い反射能と等方性によって特徴づけられる (第4表)。

構成鉱物の化学組成

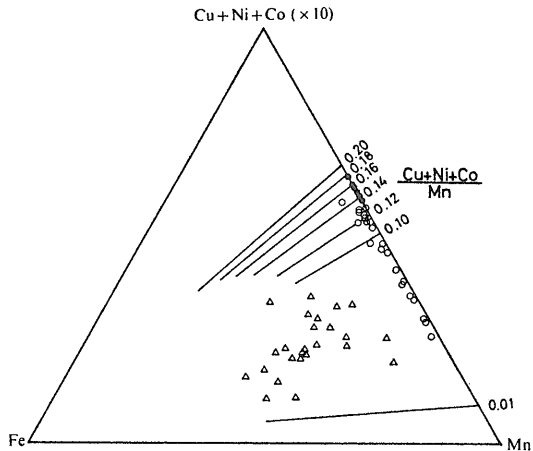
マンガン団塊の微小部分の化学分析は主にX線マイクロプローブ分析によって行われているが定量分析結果の報告はあまり多くない。 団塊が多元素から成ることのほか 微細孔隙 含水量 Mnの価数 (核磁気共鳴・光電分光の結果によると4価のほかに2価がかなり含まれる) の問

題があり分析値の信頼性を高めるのは困難だが 全岩分析に比べるとはるかに細かな情報が得られる。また顕微鏡観察の結果と対比できる点で重要な分析法である。

第2図には2つの鉱物相の金属含有量のヒストグラムを示す。第3図には5元素についての含有量比を図化して示す。10Å manganite相(ここでは鏡下で認められる均質部を相という)はMnを主成分にCu, Ni, Ca, Mgを副成分とし Fe, Siが極めて少ないことが特徴である。一方δ-MnO₂相はMnとFeを同程度含むがその比率はかなり変化する。Cu, Niの含有量は前者に比べ1桁近く低い。またSiの含有量が高い。これらの化学組成上の特徴は産地の異なる団塊を通じて共通した傾向である。

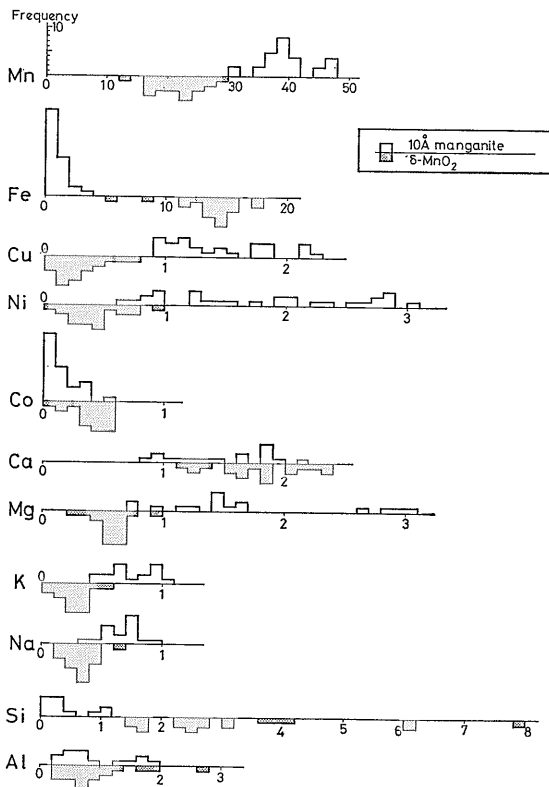
各相の金属含有量の間の相関は有意なものが少ない。第5表の5元素の間ではδ-MnO₂相のCuとNiの正相関以外は相関が弱い。従って全岩分析値について認められるMn-Cu-Niの正相関 Mn-Fe負相関は上述2相の量比の変動によるものであると考えられ 団塊のタイプ 産地による化学組成の変動も基本的には2相の含有量によって決定されていることがわかる。例えば第3図中で(Ni+Cu+Co)/Mnには明らかに最大値が認められ この値は10Å manganite相における最大値にほぼ一致する。さらに合成10Å manganiteの化学組成ともよく一致することから 2価遷移金属は結晶中に必須成分としてとり込まれているという考えに基づいて説明されている。

この2相の形成機構としては 化学組成上の特徴・団塊内部や表面での発達状況・広域的産状その他の観察事実にもとづき 10Å manganite相は未固結堆積物の続



第3図 X線マイクロアナライザによる構成鉱物中の金属含有量比。

- : マンガン団塊中の 10Å manganite
- △: マンガン団塊中の δ-MnO₂
- : 合成 10Å manganite Usui(1979)より引用



第2図 X線マイクロアナライザによる元素分析の結果 (単位は重量パーセント)

成作用の過程で堆積物間隙水から供給された溶存イオンが沈殿して生成するいわば2次鉱物であり 一方δ-MnO₂相は海水中に懸濁する鉄・マンガン酸化物コロイド及び碎屑物を取り込みつつ生成する初生鉱物であるとの考えが提唱されている。

構成鉱物の微細構造

上述の2相は化学組成上のみならず 微細構造や団塊の表面・内部での発達状況にも特徴がある。団塊の表面に注目すると 10Å manganite相の発達するのは未固結堆積物と接する面に限られ 逆にδ-MnO₂相は露岩上のクラストや団塊の上部海水との境界に発達する傾向がある。この対応関係はマンガン団塊が過去の一時期に生成したのではなく 現在でも海底近くの環境の影響を受けて成長している一つの証拠である。最近では堆積物の層序・地球化学的性質とマンガン団塊の成長との関連を重視する研究者が増えている。

ところでマンガン団塊の断面には複雑な成長構造が認められる場合が少なくない。2相が互層したり交差したり その間に珪酸塩の薄層をはさんだり亀裂が発達す

第5表 構成鉱物相の金属含有量の間の相関係数
(各々約20組の EPMA データに基づいて算出: a. δ -MnO₂, b. 10Å manganite)

a)	Mn	Fe	Cu	Ni	Co	Ca	Mg	K	Na	Si	Al
Mn	1.00	—	*	+	+	+0.74	*	*	—	—	—
Fe		1.00	*	*	*	—	*	+	*	*	*
Cu			1.00	+0.72	*	*	+	*	*	*	*
Ni				1.00	+	*	+	*	*	—	*
Co					1.00	+	*	—	—	-0.82	-0.77
Ca						1.00	*	*	—	-0.75	-0.76
Mg							1.00	*	*	*	*
K								1.00	*	+	+
Na									1.00	+	+
Si										1.00	+0.93
Al											1.00

b)	Mn	Fe	Cu	Ni	Co	Ca	Mg	K	Na	Si	Al
Mn	1.00	+	—	*	—	*	*	+	*	*	—
Fe		1.00	—	+0.76	*	—	+	+	-0.76	*	*
Cu			1.00	*	*	*	*	-0.78	*	*	*
Ni				1.00	+	-0.88	+	*	-0.78	*	+
Co					1.00	—	*	—	—	*	*
Ca						1.00	-0.71	*	+0.66	—	-0.68
Mg							1.00	*	—	*	*
K								1.00	*	*	*
Na									1.00	*	—
Si										1.00	+
Al											1.00

注) 数値は1%危険率で有意 ±は10%危険率で有意 *はその他

るなど 団塊の各成長時期の表面構造をとどめている。一般に δ -MnO₂ 相は単調な層状構造を示すが 10Å manganite 相の微細構造は変化に富む。第5図には各層の特徴的構造及び両相の関連を示す顕微鏡写真を示す。団塊内部に何らかの構造が生じる原因としては 図にあるようにマンガン鉱物のちがひ 間隙の碎屑物 微細構造 割れ目などがあり これら微細構造は切断面で肉眼的に見られる構造とよく対応している。

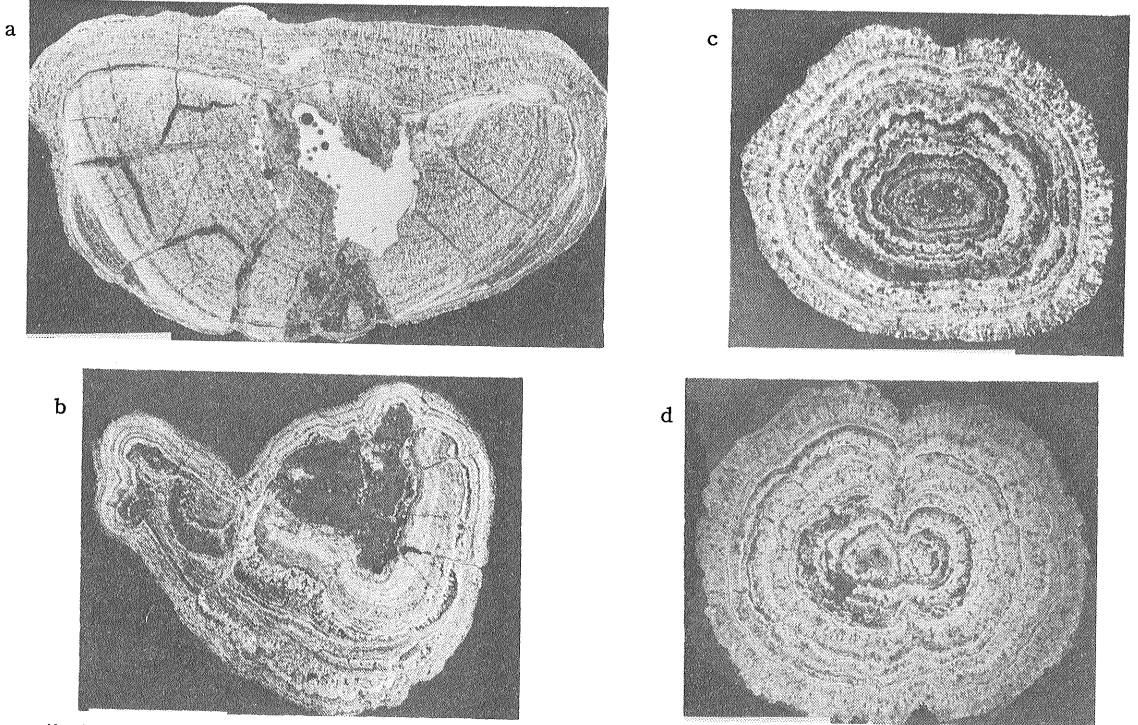
次節では中部太平洋に産するいくつかのタイプのマンガン団塊の内部構造と成長史について若干考察してみる。

マンガン団塊の内部構造と成長過程

従来の地質調査所の調査航海の結果 中部太平洋のマンガン団塊は外観の特徴から2つの型 (s, r) に大別されそれぞれの分布域は排他的傾向にあることが知られている。また南太平洋ペンリン海盆には s 型の変形が広く分布している。各タイプの諸性質を第6表に 切断面スケッチを第6図に示した。中央太平洋海盆の s 型と

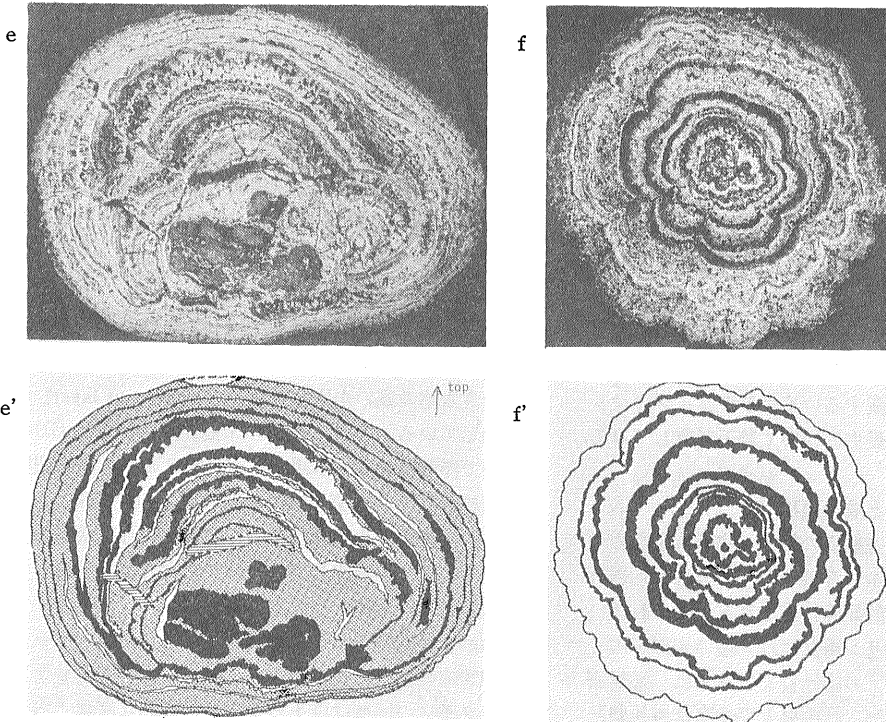
r 型の団塊は 表面が滑らか (smooth) か粗い (rough) かを基準に分類されたものだが 表面構造だけではなく 内部構造・鉱物組成・化学組成・海底面での埋没状態とも一定の関係がある (第6表)。順番に各タイプの内部構造と鉱物相の発達状況を検討してみる。

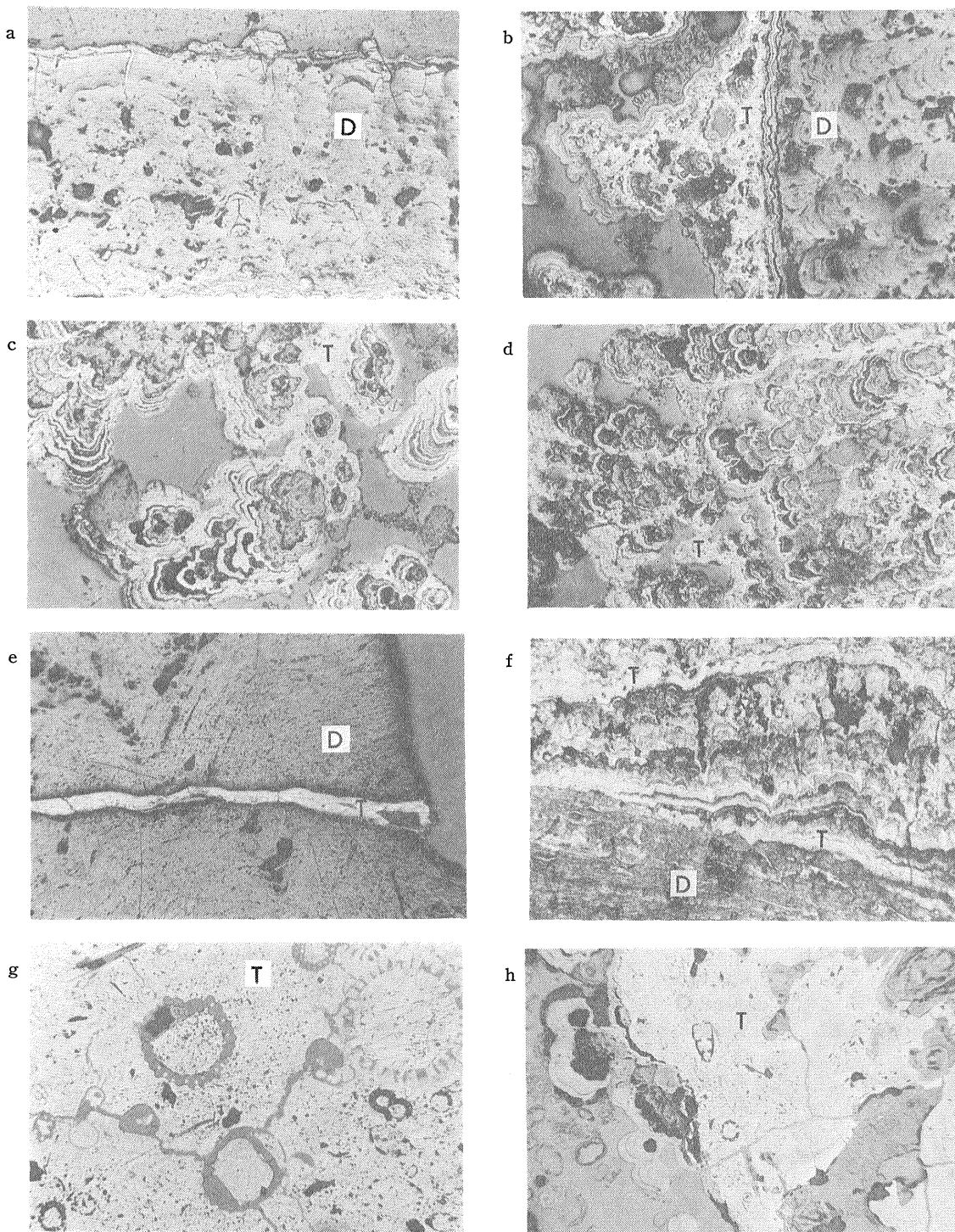
r 型団塊は一般に表面全体が小突起 (約1mm) で覆われ上下による違いは認められない。多くは表層10cmほどの含水率の高い未固結堆積物 (peneliquid layer) 中に埋没している。この表層の未固結層の存在は GH80-1 航海で深海単発カメラ用トリガー重りの貫入量を観察して確認された。第4図には切断面 (撮影法は第7図) を示す。表面の小突起状構造と同等な同心円状層構造は団塊中心部まで発達している。方向による層構造の違いは小さく 全体として対称性がよい。各薄層は10Å manganite 相から成り 層状構造は小突起のスケールやその間隙の粘土質物質の厚さ・性質の違いにより生じる。このタイプの団塊は以上のような特徴的な産状 内部構



第4図 マンガン団塊切断面 (撮影法は第7図参照).

a, b, e は s 型団塊. c, d, f は r 型団塊. e', f' は顕微鏡観察により構成鉱物を識別したもので黒色部は核・粘土など鉄・マンガン以外の鉱物 (白色部は 10Å manganite 相, 灰色部は δ -MnO₂ 相, 横線は空隙を示す).
長径は a 4.0, b 2.8, c 1.4, d 2.6, e 2.8, f 2.5 cm



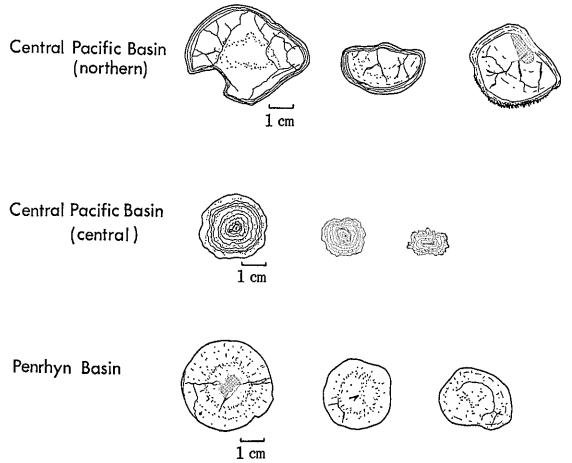


第5図 反射顕微鏡写真. a : s型団塊上部に発達する δ - MnO_2 相(D)の成層構造. b : s型団塊下部にうすく発達する10Å manganite相(T). 左が下部. cとd : r型団塊表面のTの樹枝状構造. e : Dの割れ目を埋めるT. f : 団塊の側縁付近で尖滅するTの薄層. gとh : T中の微化石. 図中での各相の見かけの明るさは撮影の条件によって異なるため図の間で反射率を比較することはできない. 各写真とも横が約1.2 mm.

造及び化学組成から考えて 生成の場は堆積物中であり 金属元素の直接の供給源は堆積物間隙水であるとするのが現在のところ最も妥当のようである。

次に s 型団塊は中央太平洋海盆の北～西部及び中央太平洋海山群域の沸石質ないし深海粘土地域に大量に (10～30kg/m²) しかも比較的連続的に分布する。表面は一般に平滑だが しばしば下部堆積物との接触面に粗い 10Å manganite 相の小突起状構造が発達する。これは海盆近くの s 型に多い。第 4 図には切断面を示す。

s 型団塊の内部構造として共通していることは内側には比較的ち密で均質な古い団塊又はそのかけらが存在し 周囲全体を 2～5 mm 程度の被覆層が発達する 2重構造が認められることである。亀裂の発達が著しく特に内側の古い団塊に多い。この亀裂は力学的に解析すると マッドクラックのような収縮によって生ずるものと考えられているが 亀裂が生じる団塊が破片化するメカニズム・時期についてはよくわかっていない。しかし古い団塊をとりまく薄層の生成と前後の関係は明らかである。つまり団塊の破片化の進行中には団塊の成長は停止しており その後被覆層の形成が始まった ということが内部構造からわかる。古い団塊は δ-MnO₂ 相のみから成っておりほとんど例外はない。一方 周縁の被覆層は δ-MnO₂ 相又は 10Å manganite 相から成る場合と両者から成る場合とがある。この顕著な 2重構造は中央太平洋海盆の s 型団塊のほとんどに共通しているだけでなく



第 6 図 GH80-1 航海で採集された 3 タイプのマンガン団塊の切断面スケッチ。

同等の構造は東太平洋マンガン団塊濃集帯 (クラリオン・クリパートン断裂帯の間) での西独による調査でも報告されており広い範囲での海底環境の変化の対比できるかもしれない。しかしこの団塊内部のハイアタスとも言えるものが具体的に堆積史や地質構造の発達史と対比されたという報告はまだほとんど出されていない。

南太平洋ペンリン海盆には上述の s 型の変形ともいべき球状・不規則状団塊が大量に分布する。これは同心円状構造や 2重構造がなく 全体として比較的均質で

第 6 表 団塊タイプ別産状・諸性質

マンガン団塊のタイプ	r	s	s
分布地域	中央太平洋海盆中・南部	中央太平洋海盆北・西部	ペンリン海盆
形状	独立球状	不規則扁平, 連結	球状, その破片
粒径	1—4 cm	2—6 cm	2—6 cm
賦存量	<10 kg/m ²	10—30 kg/m ²	10—30 kg/m ²
被覆率	0—10%	50—80%	50—80%
海底面での産状	表層数 cm に埋没	露出 時に一部埋没	露出
表面構造	小突起多く, 粗い	平滑, 亀甲状割れ目	平滑, 割れ目少ない
色	黒	黒	黒～茶褐
内部構造	同心円状縞構造 内部割れ目少ない	不規則状古い団塊を薄層が とりまく 2重構造	比較的均質で 2重構造はない
核	1mm 以下の岩石粒子, サメの歯	火山性物質, その変質物, サメの歯	同左
主な堆積物 鉱物組成	珪質粘土/軟泥 10Å マンガンイト相	深海粘土, 沸石質粘土 δ-MnO ₂ 相 (内部) δ-MnO ₂ 相+10Å マンガン イト相 (薄層)	沸石質粘土 主に δ-MnO ₂ 相

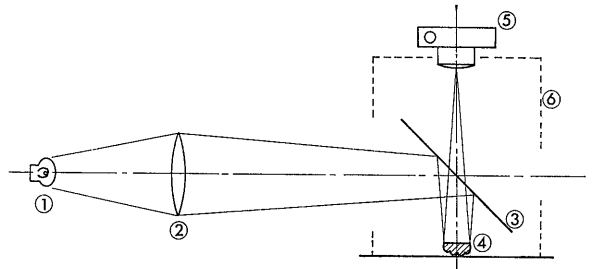
あり その内部構造・鉱物組成・化学組成は上述のs型団塊内部の古い団塊に酷似しており生成環境の共通性が示唆されるが 関連する堆積物のデータが解析されていないため詳しい議論はできない。

最後に団塊の岩石学的研究の結果の一つとして 成長過程での物理的運動があったのかという問題にふれておく。 前述したように s型団塊のなかには 堆積物に半埋没状態で存在し下部表面のみに10Å manganite相が発達しているものがある。 この関係は内部にも認められる場合がある。 例えば 内部の10Å manganite相の薄層が核のまわりで閉じておらず 途中でとぎれている(第4図e)。 薄層の末端は団塊の水平円周近くで尖滅し半球状に発達している(第5図f)。 また連続した薄層でも上下で層厚が大きく異なることも稀ではない。 10Å manganite相は堆積物から生成するという考えに基づくと これらの不連続性は団塊の成長過程での物理的移動や反転があった一つの証拠である。 この傾向は大型の団塊や扁平状団塊に多く認められる。 団塊の動きを直接観察した報告はまだないが海底写真等でその証拠は見つかっている。 原因は 深層水の動き 底棲生物の活動 巨大地震 構造運動による海底の傾斜などといわれているが いずれが重要な結論は出ていない。 しかし少なくとも団塊は成長過程においてある条件下で海底面でも動き得ることは確かであろう。

おわりに

最近になってマンガン団塊の生成と堆積物の諸性質の関連が注目されるようになってきており その意味でも団塊の内部微細構造の研究は不可欠である。 従来からマンガン団塊の成因論は多いがいずれも抽象的であり具体的なデータに基づいた議論は少ない。 その大きな理由のひとつは一地点に関する総合的な調査研究結果が得られることが少ないことである。 マンガン団塊の形成過程は地域的に大きな違いがあることがわかってきている。 従って今後の成因論的研究においては 団塊が横たわる堆積物の層序 構造 物理・化学的性質も同時に把握しておく必要がある。 地質調査所ではGH80-5航海においてマンガン団塊の局地的変化の状況を把握し 同地域周辺で堆積物柱状試料や連続音波探査記録等の諸データを得た。 このような総合調査はマンガン団塊の成因論上貴重なものになるであろう。

最後にマンガン団塊の岩石学の一方法としてマンガン



第7図 反射光による団塊切断面の撮影法 (①光源 ②コンデンサレンズ ③ハーフミラー ④試料 ⑤カメラ ⑥暗箱)

酸化物の室内合成実験について若干ふれておく。 団塊そのものの微細構造・化学組成を岩石学・鉱物学的観点で見なおすためには構成鉱物の諸特性(例えば必須金属元素や溶存金属イオンとの反応性など)のデータが重要であり室内で溶液反応によって合成されるマンガン酸化物と比較検討を始めた。 現在 団塊中10Å manganiteに相当するマンガン酸化物はかなり広い範囲の条件下で生成しこの産物は金属イオン種との反応において選択性のあることがわかっている。 まだ予察の実験であるが 団塊中の金属の存在形態・濃集機構に関して新しい知見が得られることが期待されている。

参考文献

- Bischoff, J. L. and Piper, D. Z. (Editors), 1979. Marine Geology and Oceanography of the Pacific Manganese Nodule Province. Plenum Publ. Co., New York, 842 pp.
- Glasby, G. P. (Editor), 1977. Marine Manganese Deposits. Elsevier, Amsterdam, 523 pp.
- Mizuno, A. and Moritani, T. (Editors), 1977. Deep Sea Mineral Resources Investigation in the Central-eastern Part of Central Pacific Basin, Jan.-March, 1976 (GH76-1 Cruise). Cruise Rept. No. 8, Geol. Surv. Japan, 217 pp.
- 水野篤行・盛谷智之 1981. 深海底マンガン団塊と堆積間隙 (1), (2). 海洋科学 1981年 2月号 p. 122~128 3月号 p. 180~190.
- Moritani, T. (Editor), 1979. Deep Sea Mineral Resources Investigation in the Central-western Part of Central Pacific Basin, Jan.-March, 1977 (GH77-1 Cruise). Cruise Rept. No. 12, Geol. Surv. Japan, 255 pp.
- Sorem, R. K. and Fewks, R. K., 1979. Manganese Nodules: Research Data and Methods of Investigation. Plenum Publ. Co., New York, 723 pp.
- 臼井朗・武内寿久嗣・正路徹也 (1978) 深海産マンガン団塊の鉱物学的研究およびマンガン酸化物の合成—成因および地球化学に関連して—。 鉱山地質28巻6号, p405~420.