

伊豆・小笠原弧, 西七島海嶺天保海山の マンガン団塊・クラストと石灰岩の産状

臼井 朗^{*1} 西村 昭^{*2}

1992年の2回の潜航調査により本海山の斜面部におけるマンガン団塊・クラストの産状・分布の概要が明らかになったが、今回は従来の成果を補足する意味で、音波探査記録上で未固結堆積物を欠く山体北側の急崖及び山頂平坦面を同様の目的で調査した。急崖は主にマンガンクラストに被覆された火山岩からなり、局地的に分布する石灰質堆積物上には団塊が分布する。また急崖の一部、及び山頂部のほぼ全域にはマンガン酸化物の被覆の無い中新世石灰岩の露頭が広がる。これらの産状は南斜面を含め海山全体に一般的である。

団塊・クラストはすべて海水起源 (hydrogenetic) でありややCoに富み、試料間での組成変動は小さい。形成開始時期は推定の域を出ないが古くとも鮮新世-第四紀である。それ以前に形成された火山岩類、燐灰石化石灰岩、熱水性マンガン酸化物を核とし、構造運動、斜面崩壊、海山の沈降、底層流等の影響を受けたため深海の団塊に比べ外形・核は変化に富む。団塊の核および海底の露頭から得られた中新世石灰岩は伊豆・小笠原弧の発達史を考察するうえで重要な試料となると考えられる。

Manganese Nodules, Manganese Crusts and Limestones from the Tenpo Seamount, Nishi-Shichito Ridge, Izu-Ogasawara Arc

Akira USUI^{*2} Akira NISHIMURA^{*2}

A submersible observation of Mn nodules, crusts and limestone (Dive 625) was carried out by "Shinkai 2000" on the northern slope of a Tertiary seamount "Tenpo" in July 1992, followed by earlier Dives 556 and 557 on the southern slopes in 1991. The Mn nodule pavements and crusts generally cover calcareous sediments or volcanic rocks over the track. Unconsolidated calcareous sediments are rare both on the slope and crests, while outcrops of limestone which are not covered with Mn crust are commonly observed on the flat top and less frequently on the slope. The dominated outcrops of the Miocene limestones suggest that the area has been subjected to erosion or no sedimentation because of strong bottom currents, which provided optimal

* 1 地質調査所海洋地質部

* 2 Marine Geology Dept., Geological Survey of Japan

conditions for deposition of hydrogenetic nodules and crusts.

Varieties in shapes, nuclei rocks, distribution patterns of nodules and crusts have been affected by subsidence of seamount, volcanic and hydrothermal activity, mass movement, and tectonic movement. Thickness of Mn layers is small enough, suggesting the age of Mn nodules and crusts are probably Pliocene time or much younger.

A similarity of limestones from the seamount in assemblage of fossils and in age to those of the Japanese Islands suggests a common sedimentary environment.

1 はじめに

海山域の団塊・クラストの産状と海底微地形・海山の地史との関係を明らかにすることを目的として、1991年、天保海山において2回の潜航調査(第556/557潜航)を実施し、その成果概要は既に本報告書前号において報告した(臼井ほか, 1992)。今回の当初の潜航計画では、本海山との比較のため安永海山(天保海山の北方250Kmに位置する西七島海嶺の海山)を予定していたが、悪天候のため急きょ予定を変更し天保海山の補足調査を行うこととした。第556/557潜航調査においては堆積物が比較的厚い南側斜面(湯浅・西村, 1986)を調査したので、今回は3.5kHz SBP探査記録上でほとんど堆積物が認められない北側斜面を調査海域として選定した。本稿では1992年度の報告に対する追加データを中心に述べる。図1, 図2に調査海域と3潜航の調査測線を示した。

2 調査概要

本調査では山頂に近い北側斜面の水深1,400m付近の斜面から南北直線に沿って、水平距離2km、深度差300mの間を山頂部(約1,110m)に向かって南向きに調査した(図3, 図4, 図5)。観察の途中で数回停船し観察及び試料採取を行った(表1, 表2)。最初の着底点St. 1は平均勾配(約25°)よりもやや緩やかな平坦な海底であり、角礫・円礫を数mm~15mmの厚さで被覆した大型のマンガン団塊が有孔虫軟泥の直上に多量に分布する。この地点から海山の肩に至る山腹には40~50°の急崖がしばしば認められ、マンガンクラストに覆われた火山角礫岩(写真2E, 2F)、および第556潜航で得られた中期中新世の固結石灰岩

とみられる白色の露頭がst. 2, st. 3に観察された(写真2A, 2B)。堆積物は一般に少なく、小規模の凹地や溝状地形を埋めて一部に分布するのみである(St. 2とSt. 3の間)。山頂部の平坦面では石灰質堆積物はさらに稀で局地的に小さな凹地を埋積する(St. 5~6~7; 写真2I, 2J)。

マンガン団塊は斜面部の石灰質堆積物に伴って、多くの場合堆積物表面に分布するが、時にはクラストの直上に密集した産状を示す。火山岩と思われる急崖の露頭は全面黒色のマンガンクラストで覆われている(St. 4)。約1,180m以浅の山頂平坦面には堆積物を欠く石灰岩の露頭が卓越し、侵食地形と考えられる不規則な凹凸、溝状地形、亀裂が観察される(写真2I, 2J)。その表面は若干黒っぽい場合もあるが一般にはマンガンクラストは発達しない(St. 6)。南側斜面の肩近くには比較的厚い石灰質堆積物に伴うマンガン団塊の密集域が存在し(写真2D, 2H)、これは第557潜航における南側斜面の水深1,200~1,300mの団塊分布域に連続するものと考えられる。

図6に模式的断面図と団塊・クラストの分布の様子を示した。

3 採取試料の特徴

3.1 マンガン団塊・クラスト

1) 核: 天保海山の団塊は深海底の団塊に比べて一般に核が大きい(写真1)。最も頻度が高い岩石は風化の進んだ火山角礫岩、礫岩であり、その他に山頂部の1測点(St. 6)から3個の熱水性マンガン酸化物が採取された(表3)。熱水性マンガン酸化物は第556/557潜航調査においても南側斜面でも多量に発見されており、同様のもの

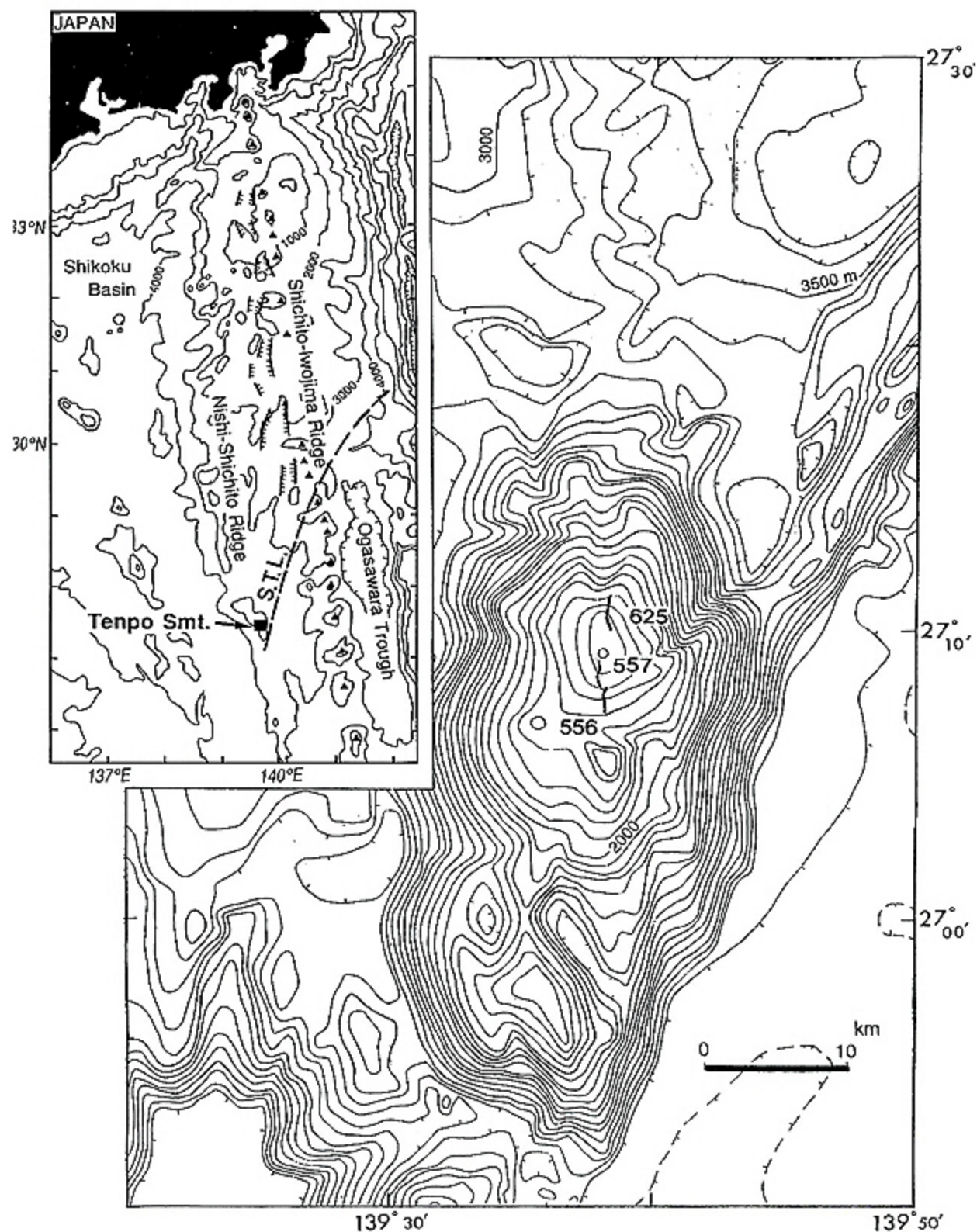


図1 潜航調査海域と天保海山の地形図

Fig. 1 Sites of submersible observations and topography of Tenpo Seamount.

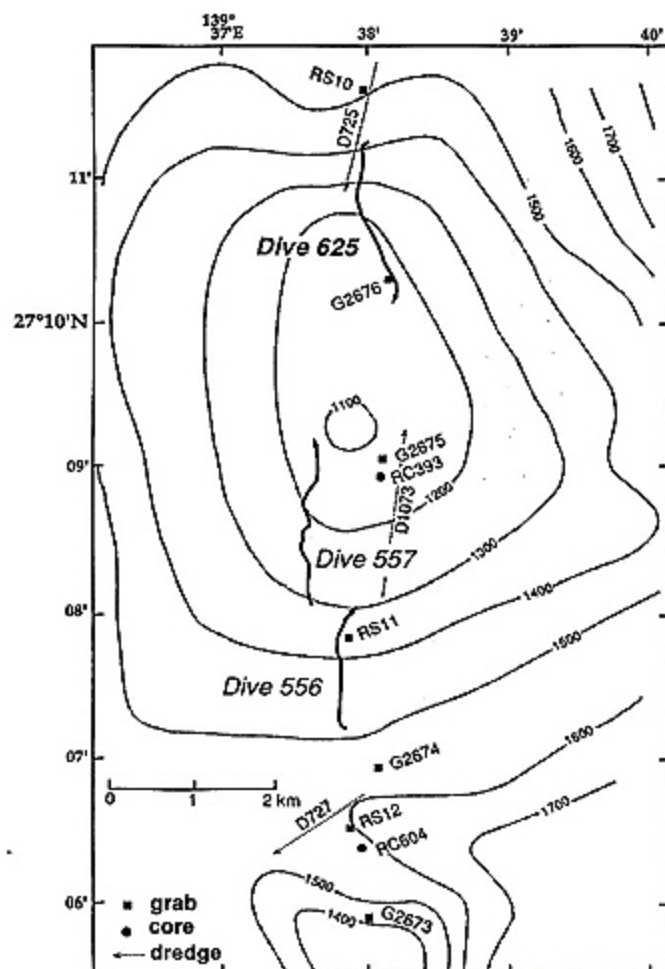


図2 天保海山の山頂付近地形図, 白嶺丸の採泥点, 及び潜航調査の航跡

Fig.2 Topography, previous sampling locations by R/V Hakurei-maru cruises, and tracks of submersible observations around the crest of Tenpo Seamount (contour interval 100 m).

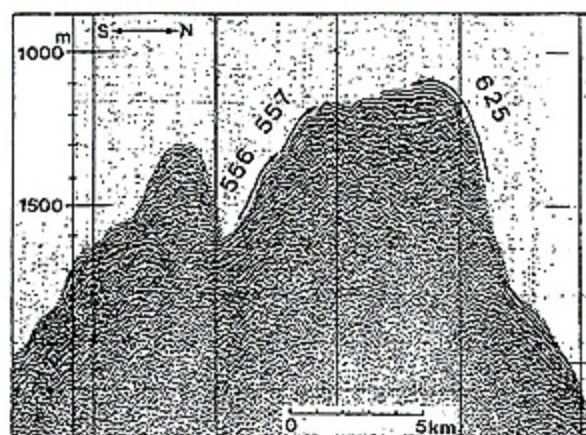


図3 エアガンプロファイルと潜航調査測線 (地質調査所村上文敏博士のデータ)

Fig.3 Seismic profile by air gun (Dr. F. Murakami, G.S.J.) and tracks of dives.

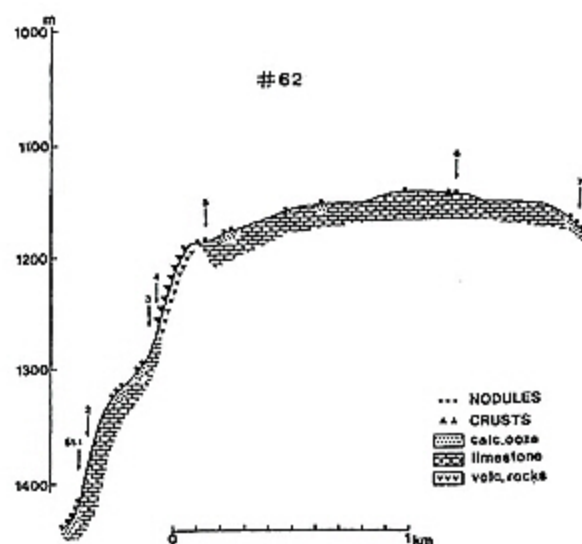


図4 南北断面に沿った底質分布図

Fig. 4 Distribution of bottom material along N-S section of the seamount.

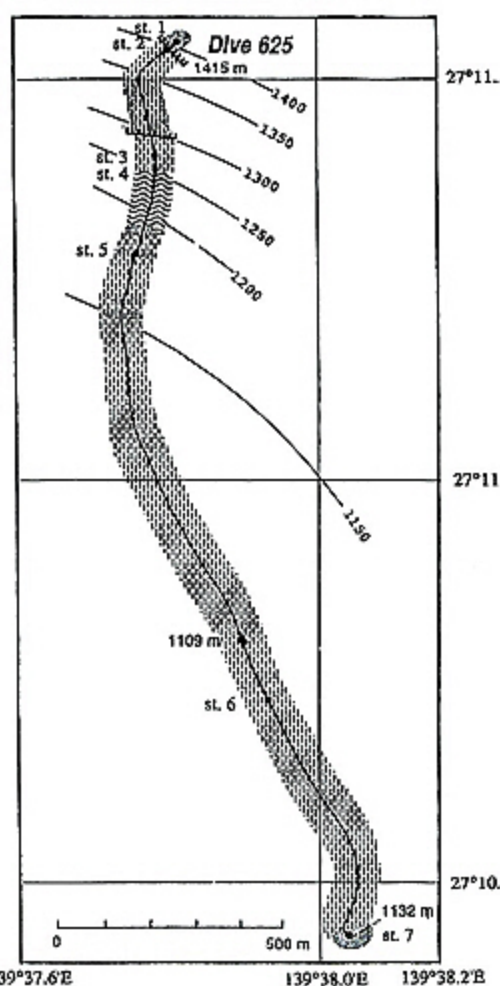


表1 潜航調査の概略

Table 1 Outline of operation of Dive 625.

潜航番号	625
潜航日	1992年7月9日
地域	天保海山北斜面
潜底時刻	10:53
位置	27° 11.55'N, 139° 37.82'E
水深	1415 m
離底時刻	15:03
位置	27° 10.44'N, 139° 38.03'E
水深	1132 m
観察者	臼井朗
船長	桜井利明
船長補佐	吉梅剛
航走距離	2200 m
水温	2.6 - 3.1°C
最大流速	0.5 kt

図5 測線に沿ったルートマップ

Fig. 5 Route map along the dive track.

小笠原弧，西七島海嶺天保海山のマンガン団塊及びマンガンクラストの潜航調査. しんかいシンポジウム報告書, 8, 257-270.

湯浅真人・西村 昭 (1986) : 伊豆・小笠原南部海域 (GH85-1及びGH85-3) の鉄・マンガン酸化物について. 「海底熱水活動に伴う重金

属資源の評価手法に関する研究」昭和60年度特別研究報告書, 地質調査所, 90-109.

(原稿受理 : 1993年 7 月26日)

(注) 写真は次ページ以降に掲載

表2 観測点の位置・水深・底質

Table 2 Station data of observation and sampling during the dive.

観測点	緯度 (N)	経度 (E)	水深 (m)	底質
St. 1	27°11.55'	139°37.82'	1415	マンガン団塊、石灰質砂
St. 2	27°11.54'	139°37.80'	1388	石灰岩
St. 3	27°11.41'	139°37.79'	1285	マンガン団塊、石灰岩
St. 4	27°11.39'	139°37.79'	1267	石灰岩
St. 5	27°11.29'	139°37.75'	1174	石灰岩
St. 6	27°10.73'	139°37.93'	1115	マンガン団塊、石灰岩
St. 7	27°10.44'	139°38.03'	1132	マンガン団塊、石灰質砂

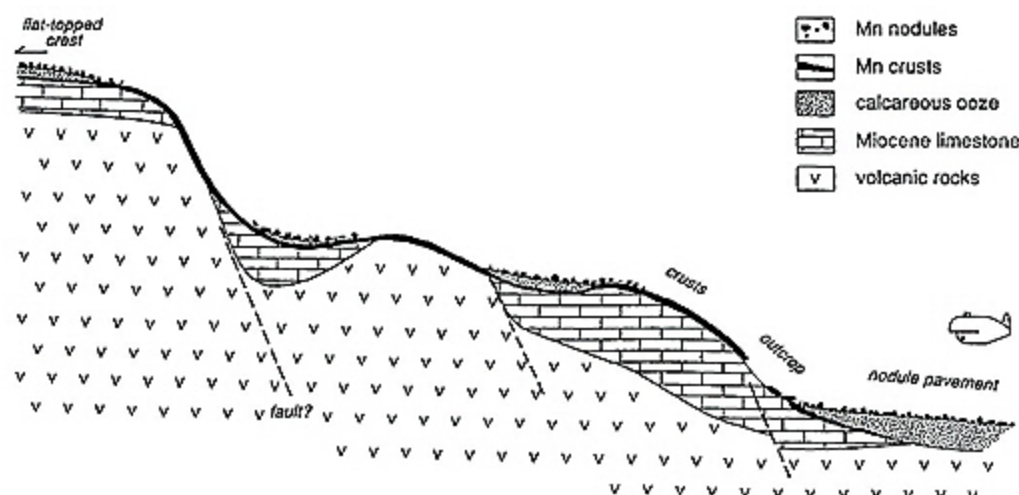


図6 模式的な地形断面と団塊・クラストの分布。地質断面は想像図

Fig. 6 Schematic section and distribution of Mn nodules and crusts. Geologic sections are speculated, not to scale.

は他の西七島海嶺の海山からも報告がある (Usui et al., 1986)。七島硫黄島海嶺、マリアナ海嶺上の現世の海底活火山 (海形海山、福德海山、南硫黄島など) にもしばしば認められることから (Hein et al. 1987; Usui et al., 1989; 村上・山崎, 1990; 飯笹, 1992), マンガン酸化物を伴う低温熱水活動は、過去・現在を問わず、海洋性島弧の海底火山に一般的な現象といえることができる。

一般に団塊の核は山体を構成する岩体から供給されることから、上述の火山岩類及び中新世石灰岩などが核の主な構成岩石となっていることが予想されるが、過去の3潜航においては火山岩類が大半を占め、石灰岩の核は2, 3の礫灰石化したものを除いて見つかっていない。このことは石灰岩が海底に露出した時期が団塊の成長開始時期よりもはるかに新しい可能性、または団塊の核又はクラストの基盤となる岩石に選択性がある可能性

が示唆される。

2) 酸化物層の厚さ: 本海山における過去の2回の潜航調査 (臼井ほか, 1991, 1992), 白嶺山による調査 (飯笹ほか, 1990) によって得られた団塊・クラストの酸化物層の厚さの変動範囲は5mmから15mmである。本潜航調査で得られた団塊もこの変動範囲にあり、南北の斜面による地域的な差異は認められない。中・東部太平洋マンガン団塊濃集地域の団塊、中部太平洋海山群のクラストの酸化物層に比べると明らかに薄いのが特徴である。

酸化物の厚さは一般に成長速度及び成長開始時期によって決定される。本試料についての年代データはほとんどないが、極めて薄いクラストの基盤石灰岩の有孔虫年代が中期～後期中新世 (嵯・田村, 1991) であることから酸化物の形成時期はこれ以降と考えられる。また天保海山と類似した多達史を持つと考えられる同海嶺の天和海山 (31°

表3 採取したマンガン団塊の簡略記載

Table 3 Brief description of collected samples.

St. No.	Sample No.	Dimension (cm)	Color of rock	Roundness	Component	Thickness of Mn oxide (mm)
625 St.1	#1	13x13x10	yellowish brown	R	altered volcanic rock	9
	#2	13x14x34	gray	A	altered volcanic rock	1
625 St.3	#1	20x11x11	white	-	limestone	0
	#2	8x7x6	pale brown	A	altered volcanic rock	2
625 St.4	#1	24x18x7	yellowish brown	sA	volcanic conglomerate	10
	#2	13x12x6	yellowish brown	sR	volcanic conglomerate	8
625 St.5	#1	20x15x14	white	sR	limestone	<1
	#2	6x5x4	yellowish brown	sR	volcanic conglomerate	3
	#3	2x2x1.5	gray	A	altered volcanic rock	4
	#4	2x1x1	gray	A	altered volcanic rock	4
625 St.6	#1	11x11x5	gray	sR	hydrothermal Mn oxide	5
	#2	8x4x2	gray	sR	hydrothermal Mn oxide	5
	#3	6x4x3	gray	sR	hydrothermal Mn oxide	12
	#4	4x3x2	light gray	sA	altered volcanic rock	3
	#5	12x10x7	white	sA	limestone	<1
625 St.7	#1	8x7x2	white	sR	carbonate rock (sandstone)	12
	#2	4x2x2	reddish brown	sR	altered volcanic rock	14
	#3	8x6x2	white	sR	altered volcanic rock	13
	#4	10x6x3	white	sR	altered volcanic rock	13

Roundness: A = angular, R = rounded, s = sub-

22°N-138°48'E, 平頂部水深700m) の6mm厚クラストの下部には第四紀有孔虫化石が認められる (Usui et al., 1986) ことからその平均成長速度は3mm/m.y.より大きい。この成長速度を天保海山の団塊に適用すれば成長開始時期は2Ma~5Maより新しいと推定される。

3) 鉱物組成・化学組成: 粉末X線回折分析(XRD)の結果によると団塊・クラストの酸化物質層は海水起源(hydrogenetic)を示すvernaditeから構成され、若干の石英・斜長石を碎屑物として含有する。核の灰黒色のマンガン酸化物は110°C加熱により安定な熱水起源を示すtodorokiteである。化学分析は現在実施中である。第556/557潜航等の分析値の平均は中部太平洋の海水起源の海山産クラストに類似するが、Co, Cuに乏しい傾向がある(表4)。

3.2 石灰岩

柱状試料やドレッジで採取されていた石灰岩(碇・西村, 1991)と同様の石灰岩を「しんかい2000」から調査して広い露頭から採取した(写真2A, 2B, 2G, 2I, 2J)。625潜航調査に加え、1991年の556/557潜航調査で採取した試料のうち、石灰岩と類縁のある岩石についてもあわせ検討した。以下に岩相を記載する(写真3, 4参照)。

試料625-3-1 白色の石灰岩で石灰藻・サンゴ・浮遊性有孔虫・コケ虫・ウニの骨針を含む Folk

(1962) の分類によるバイオミクライトである。

試料625-5-1 白色の石灰岩で大型有孔虫の*Amphistegina* sp., *Cycloclypeus* sp. を多量に含み石灰藻・コケ虫・ウニの骨針、浮遊性有孔虫・小型底棲有孔虫を伴うバイオミクライトである。周辺部のやや風化して壊れやすい部分から浮遊性有孔虫の遊離個体を得られ、*Globoquadrina dehiscentis* (Chapman, Parr and Collins), *Globoquadrina praemenardii* Cushman and Stanforth が含まれており、年代は中新世中期の前半(N9-12)と考えられる。

試料625-6-5 白色石灰岩で石灰藻と大型有孔虫の*Amphistegina* sp.・小型底棲有孔虫・ウニの骨針を含むバイオミクライトである。表面の一部は黒色であるが、マンガン酸化物の被覆層は1mm以下である。

試料625-7-1 淡褐色の燐灰石化石灰岩で浮遊性有孔虫・小型底棲有孔虫が認められる。有孔虫殻に方解石が残っているが、マトリックスは完全に燐灰石化している。マンガン酸化物の被覆層は12mmである。

試料556-5-1 淡褐色の燐灰石化石灰岩で浮遊性有孔虫の殻に一部方解石が残っているものが認められるが、全体がほとんど燐灰石化している。組織がほとんど残っていないが、もとは石灰藻の破片と考えられるものが認められる。マンガン酸

表4 南斜面で得られた団塊・クラスト金属含有量平均値の他海域との比較
Table 4 Comparison of chemical composition of nodules and crusts of Dive 625 with similar deposits from other areas.

	天保海山団塊・クラスト	中央太平洋海盆団塊	中継太平洋クラスト	
	本研究	s 型 (GH82-4 航海) Usui & Mita (1992)	ハワイ海嶺 Hein et al. (1987)	ジョンストン島周辺 Hein et al. (1987)
分析数	20	67	15	40
Mn (%)	21.4	21.7	21.0	22.0
Fe (%)	21.3	13.3	18.0	17.0
Mn/Fe	1.01	1.70	1.13	1.23
Cu (%)	0.04	0.60	0.10	0.11
Ni (%)	0.38	0.79	0.37	0.43
Co (%)	0.44	0.20	0.60	0.70
Pb (%)	0.240	0.046	0.180	0.170

化物の被覆層は14mmである。

試料557-3-1 火山岩片・軽石片・斜長石などの碎屑片を多く含む淡褐色の燐灰石化砂岩である。浮遊性有孔虫がまれに認められるが方解石は残っていない。マンガン酸化物の被覆層は10mmである。

4 形成環境

天保海山は非活動的な残留島弧とされる西七島海嶺に属し、おそらく前期中新世以前に形成された海山である(碇・西村, 1991; 臼井ほか, 1992)。それ以降、礁を形成した時期を経て沈水した後、マンガン団塊・マンガンクラストが生成を始めたと考えられる(同上)。天保海山の山頂付近(概ね水深1,500m以浅)では新しい堆積物が薄く、火山岩や中新世の石灰岩がしばしば露出している。特に本潜航調査地域の北側斜面には未固結の石灰質堆積物はほとんど認められないことが本潜航調査から明らかとなった。潜航調査ではほとんどの海底が一面マンガン酸化物によって被覆されているため、クラストの分布域では下部の岩石の識別は困難だが、形態・試料採取などからある程度推察できる。水深1,400mから1,200mの急崖部は火山岩体の崩壊地形、石灰岩の露頭が特徴的である。水深1,200m以浅から山頂平坦部にかけては石灰岩と思われる複雑な微地形を示す露頭が広がり、堆積物は稀である。本潜航の観察結果と従来の調査結果から、現在、天保海山の山頂および周辺の斜面は現在無堆積または侵食の場であり、マンガン団塊・マンガンクラストの成長に適した環境で

あって現在も成長が続いていると考えられる。その成長開始時期は遅くとも鮮新世以降であろう。

一般に深海底のマンガン団塊は成長過程を通じて堆積物の表面に保持されるため、水平方向の移動は考えにくい。しかし当海山の団塊は時に堆積物を伴わず、傾斜したクラストの直上に乗っている産状を示すことがある。しかも団塊の個体同士が接し合って密集する場合もある。これは海山の団塊が必ずしも現地性ではなく、構造運動・侵食による岩体の崩壊などに伴って、重力により斜面を転動又は落下した可能性を示唆している。

露頭から得られた石灰岩は大型有孔虫、小型有孔虫、石灰藻、サンゴ、コケ虫等を含むバイオミクライト・バイオスパライトである。大型有孔虫は今回検討した石灰岩に多く含まれている *Cycl-oclypeus* sp., *Amphistegina* sp.と以前に報告された *Nephrolepidina* sp. (碇・西村, 1991)であり、日本列島の下〜中部中新統のいわゆるレビドシクリナ石灰岩の群集と同じである(Matsumaru, 1973)。また、石灰岩の年代は含まれる浮遊性有孔虫から中新世中期の前半にあたる。これらの石灰岩は浅海のいわゆる珊瑚礁を形成していたと考えられるが、珊瑚礁としての形態は、山体自体のものと形が北東-南西方向の端端岩構造線の形成やその後の変形によって失われている。しかし山頂部の南北5 km程度の広がりを持つ平坦部についてはもとの珊瑚礁に関係した平坦地形である可能性もある。

5 今後の課題

海山の形成史・海洋環境の変遷との関連をさらに詳しく議論するためには団塊・クラスト試料の形成年代または成長速度を明らかにすること、微量元素・同位体を用いた元素の起源の研究も必要である。今後の調査として「しんかい6500」による、山体の東側または北側斜面の深部(水深1,500-3,500m)の潜航調査が望まれる。調査技術の面からは、海底に露出する固結岩を少なくとも10cm程度採取可能な機器の開発が強く望まれる。

西七島海嶺から採取された石灰岩は、天保海山以外に知られていないが、伊豆-小笠原弧の北への延長部に当たる伊豆半島や丹沢山地に知られているレピドシクリナ石灰岩に同じような時代のものであり、今後比較検討する必要がある。

マンガン酸化物の項でも述べたように、燐灰石化の認められる石灰岩についてはマンガン酸化物が発達しているが、燐灰石化を受けていない石灰岩については、ほとんど発達していない。この海山での燐灰石化作用の時期とマンガン酸化物の形成開始時期の解明が問題として残る。

6 結論

1) 斜面部には露岩を覆ったクラストが発達し山頂部には酸化物被覆の薄い(欠く)古期石灰岩(中中新世?)の露頭が広がり、堆積物は全体に稀である。従って当海山頂部付近は団塊・クラストの形成に適した侵食または無堆積の場であり、現在も成長が続いている。その成長開始時期は遅くとも鮮新世以降であろう。

2) 団塊・クラストは海水起源(hydrogenetic)鉄マンガン酸化物から成る。堆積物の続成作用の影響は認められない。

3) 一般に微地形・地質と対応した分布を示すが、一部には成長の過程で団塊の転動、クラストの破砕などが起きており、特に団塊は現地性ではないものがある。

4) 団塊の核は一般に大きく、山体を形成する火山岩、石灰質岩、熱水性マンガン酸化物の円礫・角礫からなり、核の形状が全体の形状を規制する。核の熱水性マンガン酸化物は西七島海嶺が活動的であった時期に当海山において広い範囲で低温熱水活動があったことを示している。

5) 本海山で得られた石灰岩の岩相・年代は日本列島の中新統石灰岩に類似するものがあり、伊豆・小笠原弧の発達史との関連において比較検討する必要がある。

参考文献

- Folk, R. L. (1962): Spectral subdivision of limestone types. in Ham, W. E. Classification of carbonate rocks, AAPG Memoir, 1, 62-84.
- Hein, J. R., C. L. Fleishman, L. A. Morgenstein, S. H. Bloomer and R. J. Stern (1987): Submarine ferromanganese deposits from the Mariana and Volcano volcanic arcs, West Pacific. U.S.G.S. Open File Rept., No. 87-281, 1-9.
- 飯笹幸吉・臼井 朗・碓 京子 (1990): 天保海山のマンガン酸化物。「海底熱水活動に伴う重金属資源の評価手法に関する研究」平成元年度特別研究報告書, 地質調査所, 47-53.
- 飯笹幸吉 (1992): 北ベヨネース海底カルデラの熱水活動. 第9回しんかいシンポジウム予稿集, 44-45.
- 碓 京子・西村 昭 (1991): 伊豆・小笠原弧, 西七島海嶺天保海山の地史. 地質調査所月報, 42, 19-41.
- Matsumaru, K. (1973): Miocene larger foraminiferal zonation in Japan. Geol. Soc. Japan, Memoir, 8, 85-93.
- 村上文敏・山崎俊嗣 (1990): スミスリフト・リフト内火山群における枕状溶岩の観察. 「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 6, 246-260.
- Usui, A., M. Yuasa, S. Yokota, A. Nishimura and F. Murakami (1986): Submarine hydrothermal manganese deposits from the Ogasawara (Bonin) arc, off the Japanese Islands. Marine Geology, 73, 311-322.
- 臼井 朗・西村 昭・三田直樹 (1991): 伊豆・小笠原弧, 西七島海嶺天保海山のマンガン団塊及びマンガンクラストの産状. 第8回しんかいシンポジウム予稿集, 64-66.
- 臼井 朗・西村 昭・三田直樹 (1992): 伊豆・

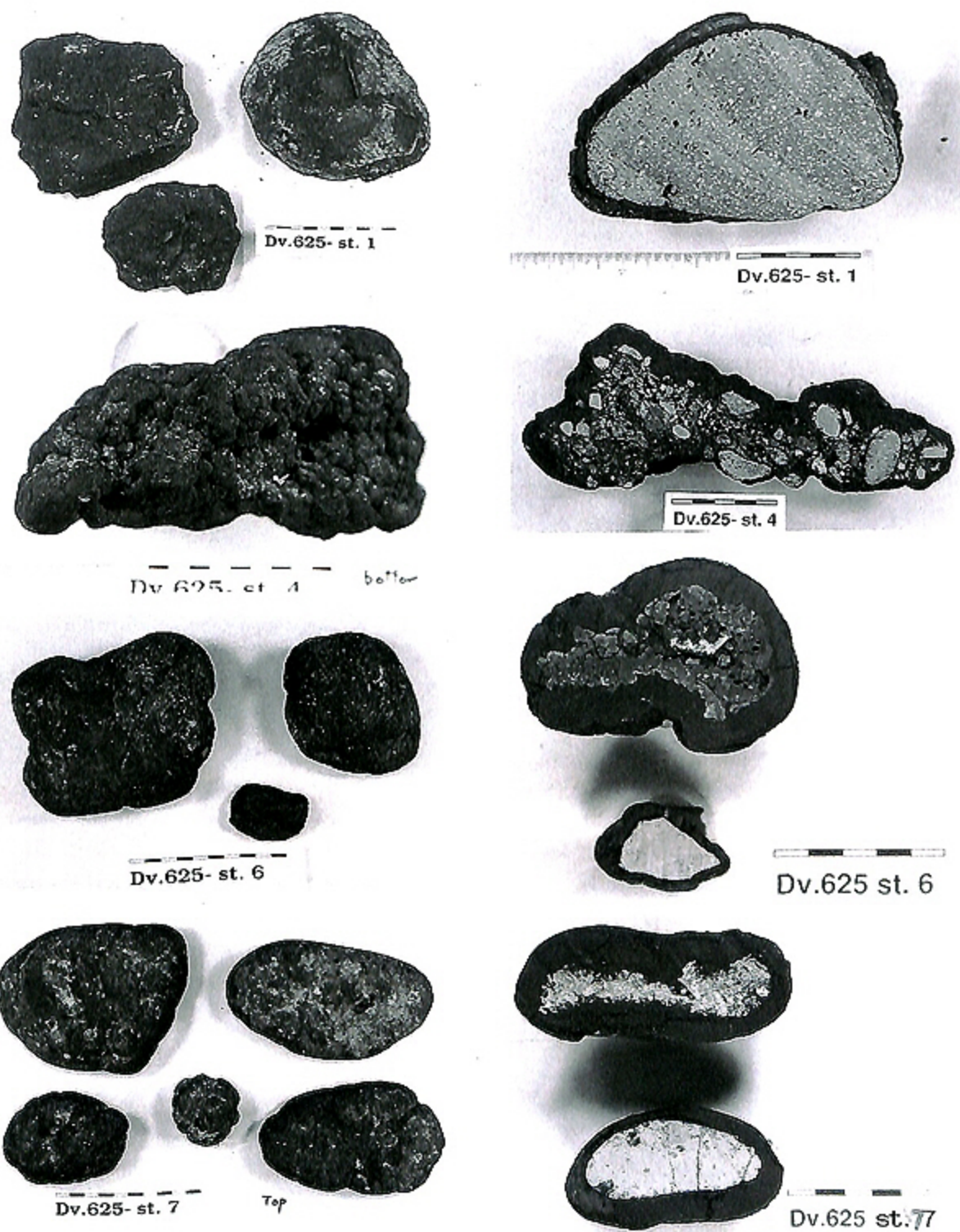
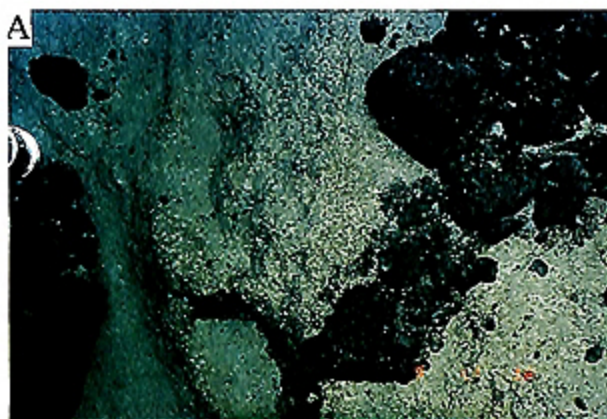


写真1 マンガン団塊の外形及び断面写真

Photo 1 Right four photos are cross sections of nodules. Hydrothermal Mn oxide (upper nodule of st. 6), phosphatized limestone (upper nodule of st. 7), and volcanic rocks (other stations) serve as nuclei.



A) st. 2の石灰岩露頭
A) Outcrop of limestone at st. 2.



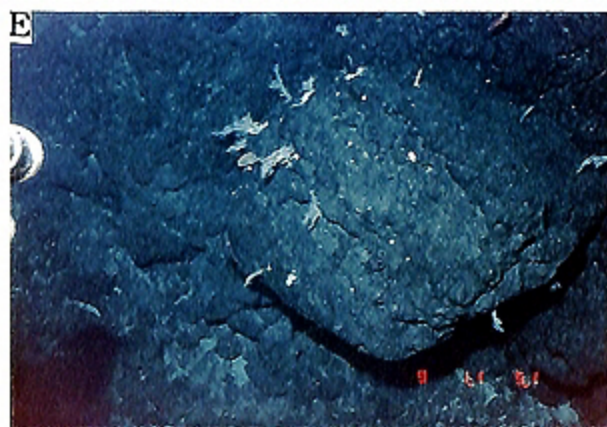
B) st. 3の石灰岩露頭
B) Outcrop of limestone at st. 3.



C) st. 4近傍の大礫を被覆した団塊
C) Cobble size Mn nodules at st. 4.



D) st. 7周辺の石灰質堆積物上に密集する団塊
D) Densely packed nodules on calcareous sediments at st. 7.



E), F) st. 2からst. 4の間の火山岩(?)を覆うクラスト
E), F) Mn crusts covering outcrop of volcanic rocks from st. 2 through st. 4.

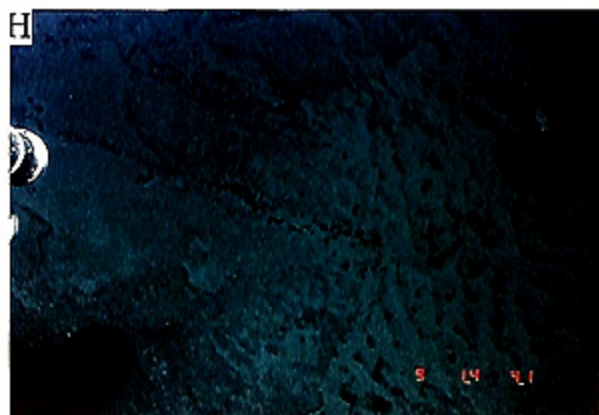


写真2 海底写真

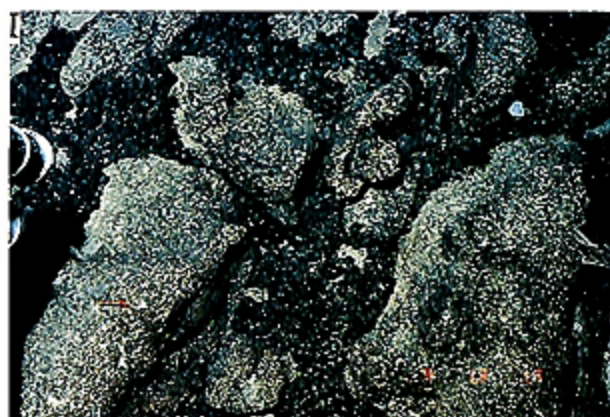
Photo 2 Photographs of manganese nodules, crusts and outcropped limestone taken during Dive 625.



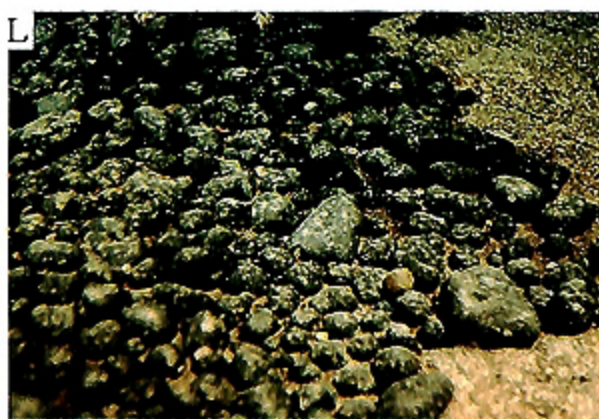
G) st. 3近くの石灰岩露頭
G) Outcrop of limestone at st. 3.



H) st. 6とst. 7の間の団塊・クラストの境界
H) Boundary between nodules and crusts around sts. 6 and 7.

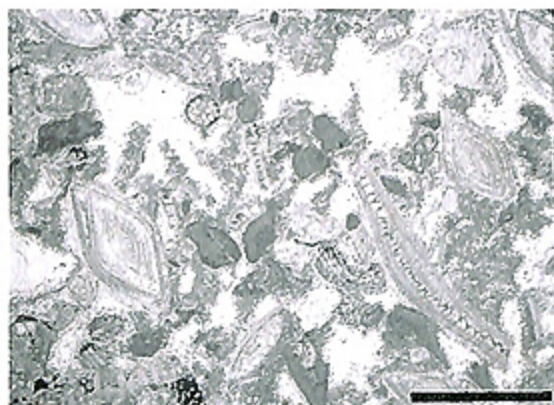


I), J) 山頂付近 (st. 5) の石灰岩露頭
I), J) Outcrop of limestone around the flat top near st. 5.

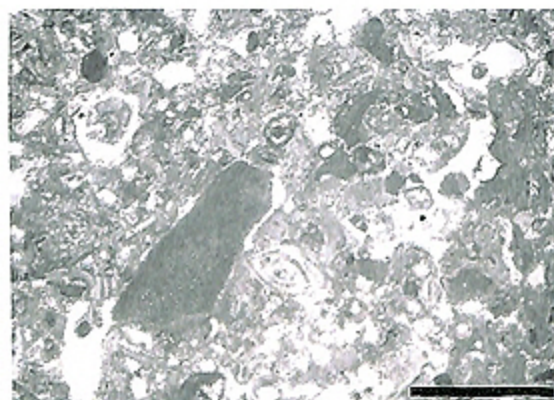


K), L) 山頂付近 (st. 5) の溝状地形を埋める団塊
K), L) Nodules infilling trenches or channel-like depressions over limestone around the flat top near st. 5.

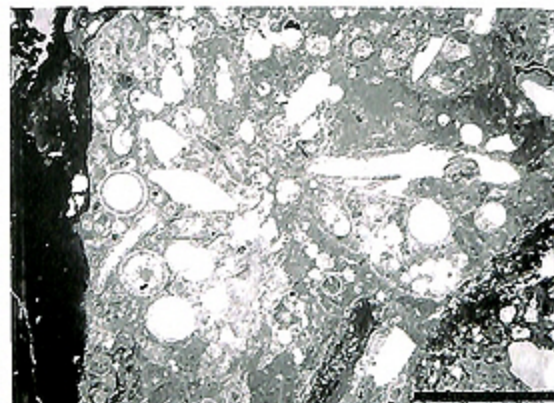
写真2 (続き)
photo 2 (continued)



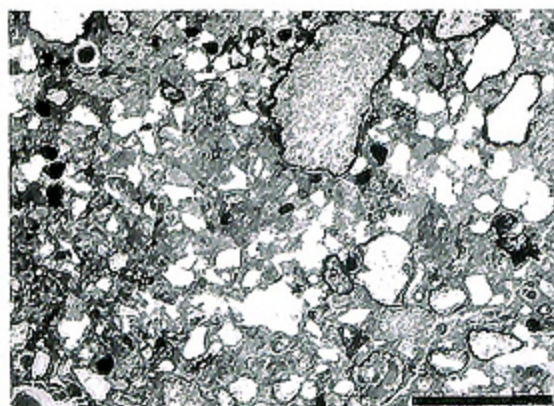
- A) 試料625-5-1 : 大型有孔虫の *Cycloclypeus* sp. と *Amphistegina* sp. を含む石灰岩
 A) Sample 625-5-1 : Larger forams and calcareous algae fragments are included.



- B) 試料625-6-1 : 石灰藻と大型有孔虫の *Amphistegina* sp. を含む石灰岩
 B) Sample 625-6-1 : Calcareous algae fragments are included.

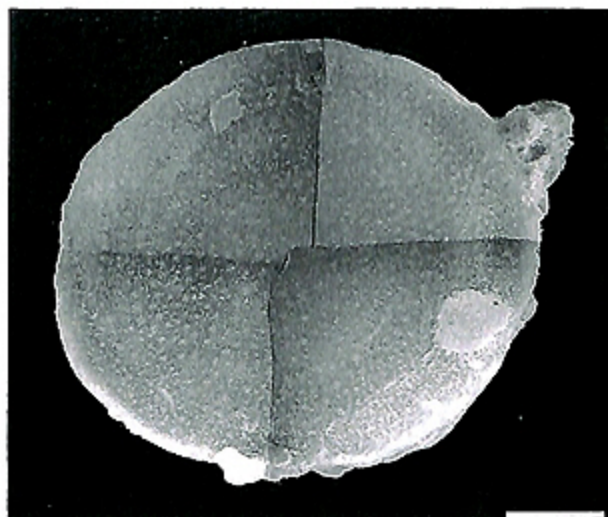


- C) 試料625-7-1 : 浮遊性有孔虫・小型底棲有孔虫を含む燐灰石化石灰岩
 C) Sample 625-7-1: Phosphatized limestone. The black part of the left side of photo is manganese oxide.

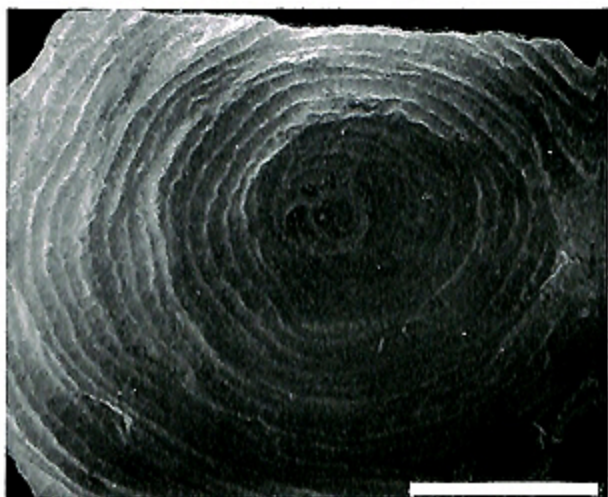


- D) 試料557-3-1 : 碎屑片を多く含む燐灰石砂岩
 D) Sample 557-3-1: Phosphatic sandstone.

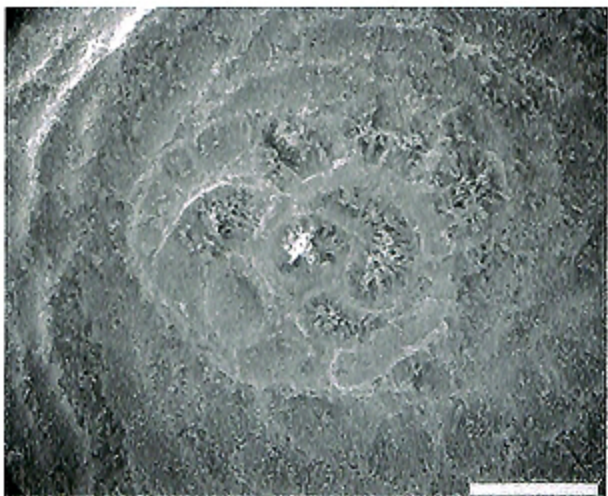
写真3 石灰岩の顕微鏡写真。スケールは1 mm
 Photo 3 Photomicrograph of thin section of limestones. Scale bar : 1 mm.



A) 試料625-5-1 : *Cycloclypeus* sp. の外観。スケールは1 mm
 A) Outer view of *Cycloclypeus* sp. of Sample 625-5-1. Scale bar: 1 mm.



B) 試料625-5-1 : *Cycloclypeus* sp. の赤道面。スケールは1 mm
 B) Sagittal section of *Cycloclypeus* sp. of Sample 625-5-1. Scale bar: 1 mm.



C) 試料625-5-1 : B)の初房付近の拡大。スケールは0.2mm
 C) Close-up view of the proloculus area of Plate 4B. Scale bar : 0.2mm.

写真4 石灰岩に含まれる大型有孔虫の走査型電子顕微鏡写真

Photo 4 Scanning electron micrographs of large forams.