

「しんかい2000」第189潜航調査

— 大和堆の岩石と礫の膠着物 —

佐藤岱生^{*1}・横田節哉^{*1}

「しんかい2000」により採集された大和堆の岩石は花崗閃緑岩・変輝緑岩・熱変成を受けた溶結凝灰岩・変ドレライトである。白亜紀-古第三紀の流紋岩質溶結凝灰岩の活動があり、その後花崗閃緑岩が進入して熱変成を与えたと考えられる。花崗閃緑岩は岩相変化がはげしく、変輝緑岩は花崗閃緑岩の暗色包有物であるかもしれない。

海底の砂泥と海水の境界部において、礫に膠着する鉄マンガン酸化物は、中部太平洋産のマンガン団塊と比較すると形態、Cu, Ni, Co等の微量成分量が異なるほかに、構成鉱物が7Åマンガンイト δ -MnO₂よりなることが判った。

SHINKAI 2000 Dive 189

— Rocks and Ferromanganese Oxide Concretions on the Yamato Bank —

Taisei Sato^{*2} and Setuya Yokota^{*2}

Rocks from the Yamato Bank (39°12.8'N 135°16.32'E) of central Japan Sea consist of granodiorite, metadiabase, thermally metamorphosed ignimbrite, and metadolerite. The ignimbrite was formed presumably by Cretaceous to Paleogene rhyolitic igneous activity, after which the granodiorite intruded to the ignimbrite. The granodiorites have rock facies ranging from quartzdiorite to granodiorite and vary in grain size from fine to medium grained. The metadiabase is inferred to be dark inclusions in the granodiorite.

Ferromanganese oxide concretions are found at the bottom of the Yamato Bank. These surround gravels as a narrow band at the boundary between sediment and sea water. The concretions have low Cu, Ni, Co, Zn contents and have rough surface in sediment and smooth surface in water at the sea bottom. The concretions consist of 7Å-manganite and δ -MnO₂, which contrast with the manganese nodules consisting of 10Å-manganite and δ -MnO₂.

*1 工業技術院地質調査所

*2 Geological Survey of Japan

1. はじめに

「しんかい2000」第189潜航調査は、1985年8月13日、大和堆の北緯39°12.8'東経135°16.32'付近において行われた。調査は東西約700m南北約200m、深度790-680mの範囲で海底の観察、写真およびビデオ撮影を行い、7地点から計13個の岩石試料を採集し、2地点で採泥を行った。

この地域は、海底地形図によると大和堆中部の南東縁に張り出した、東西方向の分枝尾根上の高まりにあたる。位置図(図1)では、第188潜航(玉木)および第190潜航(田中)の位置も示した。

この地点は、玉木ほか(1981)の日本海中部海域広域海底地質図では、花崗岩質岩石の貫入が示されている。また、白嶺丸によるGH-78-2航海では、この付近においてドレッジにより巨礫-中礫の花崗岩質岩・安山岩・流紋岩・砂岩・ホルンフェルスを採集した(Honza, 1979)。花崗岩質岩の一部はYuasa et al.(1979)により単斜輝石を含む石英閃緑岩と同定された。この岩石の帯磁率は 416×10^{-6} emu/gと高く、磁鉄鉱系列の花崗岩類である(Joshima & Kanaya, 1979)。

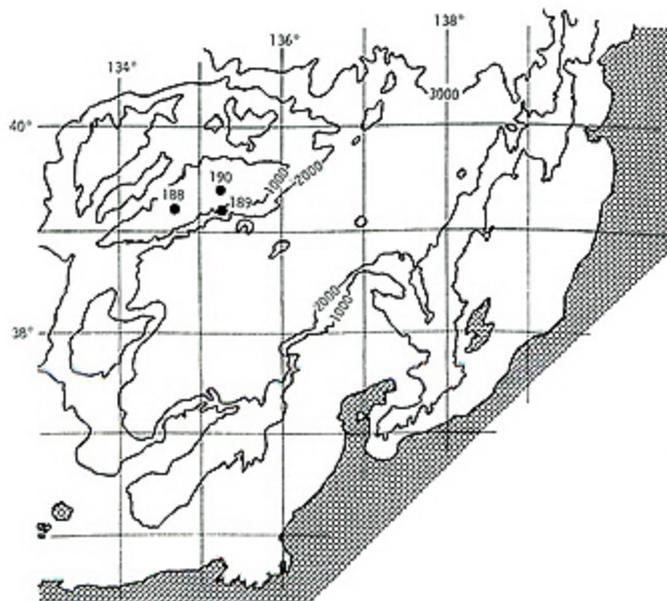


図1 位置図

「しんかい2000」第188-190潜航の位置を示す。

4桁の数字は水深。

Locations of the dive 188, 189, and 190 on the Yamato Bank.

また、岩淵(1968)のまとめでも大和堆に、花崗岩類・溶結凝灰岩類の産出が示されている。

2. 潜航の経過と採集岩石

潜航調査に先立って調査海域の測深を行った。また、海底カメラの曳航により危険物のないことを確認し、合わせて底質の観察を行い、潜航コースを定めた。図2に航跡と試料採集地点を示す。着底地点の底質は10cm-数10cmの亜円礫の間を砂泥がうめている状態であった(写真1)。ここで採泥を行ったが砂泥のすぐ下は岩石があるらしく、採泥管は砂泥の中に十分に入らずに採泥は少量に終わった。潜水艇は、斜面の西から頂上部を目指したが、底質の状態は礫の量が増減するほかは基本

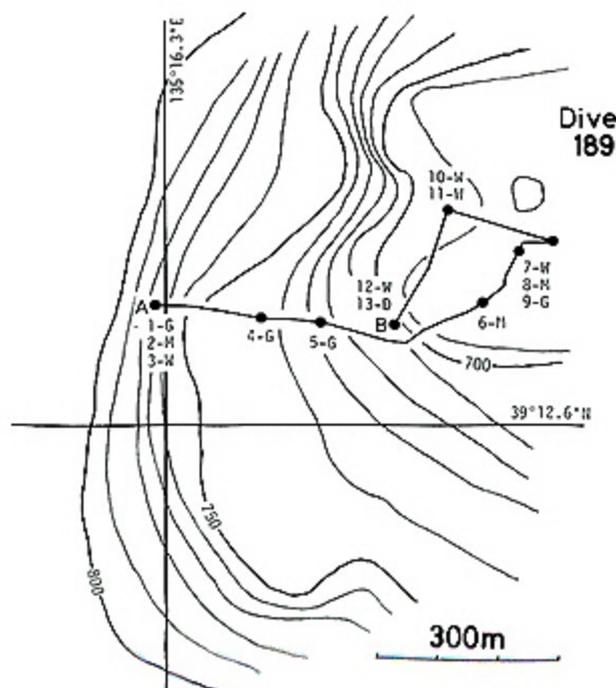


図2 「しんかい2000」の航跡図

試料採集地点と岩石試料の番号および岩石種

A: 着底点 B: 離底点 G: 花崗閃緑岩
M: 変輝緑岩 W: 溶結凝灰岩 D: 変ドレ
ライト

Bottom topography of the dive 189 area and track of SHINKAI 2000 with sampling stations and rock types.

A: starting point B: end point G: Granodiorite M: Metadiabase W: Igneimbrite D: Metadolerite

的に変化がなかった(写真2)。時に数メートルの大礫があるが、露頭は観察されなかった。水深680mの頂上部は礫がなく砂泥のみとなり、採泥も十分にできた。潜水艇から礫の岩石種を見分けることは困難で、わずかに形や表面の粗さなどが見分けられたので、できるだけ多種になるように採集を行った。

岩石カッターで切断した面の肉眼観察、および薄片の顕微鏡観察の結果、採集された岩石は

- 花崗閃緑岩……………4個
- 変輝緑岩……………3個
- 熱変成を受けた溶結凝灰岩…………5個
- 変ドレライト……………1個

の計13個である。ドレッジによるサンプリングの結果と整合的と考えられるが、安山岩、砂岩、ホルンフェルスおよび花崗岩質岩石の中でもYuasa et al. (1979)によって報告された単斜輝石を含む石英閃緑岩は採集されなかった。また、ドレッジでは採集されなかった変ドレライトが採集された。

3. 岩石記載

花崗閃緑岩は、肉眼では完晶質中粒の岩石でサンプルごとに粒度や有色鉱物量に変化がある。粗粒なものほど風化により褐色に染色されている傾向がある。

鏡下では、黒雲母はX=淡黄色、Y=Z=濃褐色の多色性を示す。変質して緑色針状となっている場合がある。角閃石は、緑褐色-淡緑褐色の多色性を示す。一部の試料では無色で屈折率のやや高いカミングトン閃石の周りを緑褐色の普通角閃石が取巻いているのが見られる。また、普通角閃石の一部が青緑色となっていることがある。

斜長石は、自形-半自形で一般に量が多く、アルバイト双晶および累帯構造をしている。長径1-2mmのものが多いが、時に3mmを越えるものもある。変質してセリサイトや方解石を生じている事が多い。石英は、粒状ないし半自形で時に充填状を示すことがある。一般に波動消光は示さない。カリ長石は、量が非常に少なく粒間充填状に存在する。パーサイト構造を示すことがある。

不透明鉱物は非常に多く、形から磁鉄鉱とチタン鉄鉱と思われる。ジルコン、燐灰石が副成分鉱

物としてみられる。変質鉱物として緑泥石・方解石・セリサイトなどがある。

変輝緑岩は、一般に花崗岩中の暗色包有物として含まれている岩石に非常に似ており、前述した花崗閃緑岩中の包有物である可能性が高い。一般に細粒ないし中粒で不均質である。鏡下では、有色鉱物は変質が著しいが、角閃石がほとんどで黒雲母は少ない。角閃石は淡緑色-淡黄色の多色性を示す。無色のカミングトン閃石がみられる。

無色鉱物は斜長石が圧倒的に多く石英は少ない。斜長石は、長柱状でラス構造をなしている。斑状の斜長石は少ない。石英は小粒状をなす。粒状の磁鉄鉱と思われる不透明鉱物が多い。燐灰石も多く、針状である。

溶結凝灰岩は、中部地方-中国地方に分布する濃飛流紋岩等の火砕流堆積物に似た岩石で、おそらく白亜紀-古第三紀の陸上噴出の火砕岩であろう。岩石はやや優白色で緻密で硬い。一般に泥質の外來岩片や本質レンズを含んでいるが、溶結構造は強くはない。

鏡下では、一般に著しい熱変成作用を受けて白雲母等を生じる再結晶をしている。結晶片は、石英と斜長石で、石英の方がやや多い。長径はほとんどが2mm以下であるが、0.1-0.5mmのものが多い。放射状の白雲母の集合に再結晶した結晶片と思われるものがある。

変ドレライトは、もともとは角閃石と斜長石からなる完晶質の中性-塩基性の半深成岩である。破砕されており、変質・再結晶作用も受けているかもしれない。火成岩組織を示す所では斜長石は0.3mm程度で、時に斑晶状の長径2mmをこすものもある。角閃石は、斜長石の間をうめて繊維状に消光し、褐色であるが一部に緑色を呈するものがある。

4. 膠着物の形態

採集された礫には、ほぼ例外なく、鉄マンガン酸化物の膠着物が付着していた。これは、海底の砂泥と水の境界部分(または砂泥中)に礫を取り巻いてはち巻き状に付着したものである(写真3)。幅6-15mm、高さ0-5mm程度である。はち巻きが切れている場合などもある。

礫のオーバーハングした面により多く成長して

表1 大和堆の鉄マンガン酸化物の化学組成と中部太平洋産マンガン団塊の平均組成番号は潜航番号と試料番号。中部太平洋マンガン団塊は、R:Rタイプ S:Sタイプ

Chemical compositions of the ferromanganese oxide concretions from the Yamato Bank with mean value of manganese nodules from the Pacific Ocean (R: rough type and S: smooth type).

No.	189-2	189-3	189-7	188-4	190-2	Mean	R	S
Mn	19.2	23.6	19.0	25.2	17.0	20.8	23.0	18.1
Fe	6.55	6.00	11.25	6.85	13.00	8.73	6.63	11.89
Cu	67	40	40	25	23	39	10100	4200
Ni	445	492	420	275	202	367	10610	5635
Co	585	727	645	1020	455	686	1658	2937
Pb	110	155	170	138	100	135	350	719
Zn	342	332	323	293	333	325	1186	635

いる。また同一の礫でも幅広く成長している側と狭い側とがあり、底層流の方向と関係しているのかもしれない。

膠着物の表面は、砂泥に埋まった部分がなめらかで海水に接していたと思われる面は粗い。これは太平洋中部のマンガン団塊とは逆である。またマンガン団塊のような同心円状の成長構造は見られず、内部は均質である。

大和堆の深度 300 - 400 m から得られた第 188 および第 190 潜航調査の礫からも同様の膠着物が観察されたが、第 189 潜航のものより付着量が少ない。

このような形態をとる鉄マンガン酸化物は、Sozanski and Cronan (1976, 1978) によってカナダの淡水湖 Shebandowan 湖から報告されている。

5. 鉄マンガン酸化物の化学組成とX線回折

これらのマンガン酸化物の化学分析を行った。表1に分析した組成、その平均値および白嶺丸によって採集された中部太平洋マンガン団塊の平均値をRタイプとSタイプに分けて示す。大和堆から採集された鉄マンガン酸化物は、中部太平洋のマンガン団塊と比較して、Cu, Ni, Co はいちぢるしく少量しか含まれていないことが判明した。

(Cu + Ni + Zn) × 10 - Fe - Mn 三角図を図3に示す。大和堆の鉄マンガン酸化物は、Cu, Ni, Znが少なく、Mnにやや富む領域にプロットされ

る。

X線粉末回折パターンを図4に示す。大和堆の鉄マンガン酸化物は7Åマンガンナイトと δ -MnO₂からなっており、「中部太平洋産団塊の基本構成鉱物は10Åマンガンナイトと δ -MnO₂の2種に限られると考え(臼井, 1982)」られているのは大きく異なる。

6. 考察

6.1 岩石

「しんかい2000」第189潜航調査では溶結凝灰岩、変輝緑岩、花崗閃緑岩、変ドレライトの4種類の岩石が採集されたが、採集地点は岩石ごとに一定しておらず、同一地点から多種の岩石が採集された。これはこれらの岩石が露頭のそばにあるものではなく、ある距離を移動したことを意味する。

岩石がすべて円礫-亜円礫であることは、氷山によって運ばれて来たものではない。氷堆石は一般に「大小の角礫・亜角礫と細粒物質が雑然とまじる岩相」であるとすると、氷山によって運ばれた岩石も角礫-亜角礫であろう。礫の形や、写真2に見られるような大きさの揃い方は、水による移動の可能性が高い。

礫の種類が少ないこと、地質学的に接近して産することが容易に説明できる岩石種であること、および礫が大きいことからそれほど長距離の移動は考えられない。

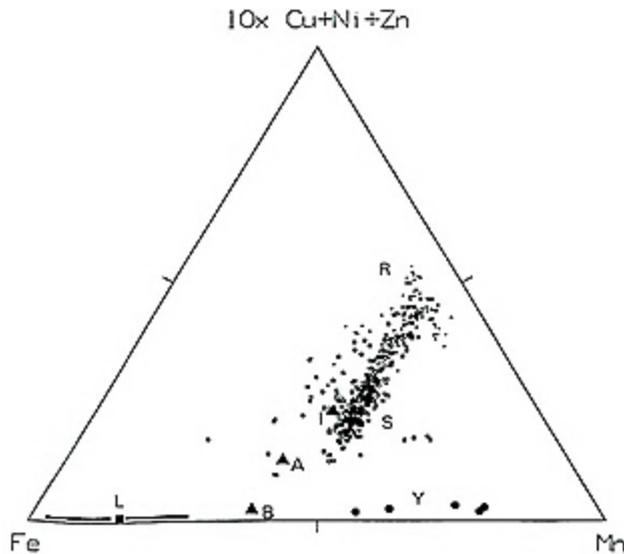


図3 (Cu+Ni+Zn) × 10 - Fe - Mn 三角図
 Y: 大和堆の鉄マンガン酸化物 (黒丸) R: 中部太平洋マンガン団塊 R タイプ S: 中部太平洋マンガン団塊 S タイプ L: Shebandowan湖の鉄マンガン酸化物の分布範囲と平均組成 (Sozanski and Cronan, 1979) A: 大西洋のマンガン団塊の平均組成 B: バルト海のマンガン団塊の平均組成 I: インド洋のマンガン団塊の平均組成
 (Cu + Ni + Zn) × 10 - Fe - Mn diagram of ferromanganese oxide concretions from the Yamato Bank (Y) and Shebandowan Lakes, Ontario (L) with manganese nodules from the Pacific Ocean (R: rough type and S: smooth type) and mean values of manganese nodules from the Atlantic Ocean (A), the Baltic Sea (B), and the Indian Ocean (I).

GH78-2のドレッジのデータと合わせて考えると、この付近の地史は次のようになる。すなわち、泥岩を主体とする岩石を基盤として、おそらく古第三紀の初期に流紋岩質の火砕流を噴出する火成活動が陸上で起こった。この火砕流堆積物は強くは溶結しなかった。

その後、中性-酸性の深成岩が進入してこれらの堆積物に熱変成をあたえ、ホルンフェルスや熱変成を受けた溶結凝灰岩を形成した。この深成岩には、石英閃緑岩から花崗閃緑岩にいたる岩相変

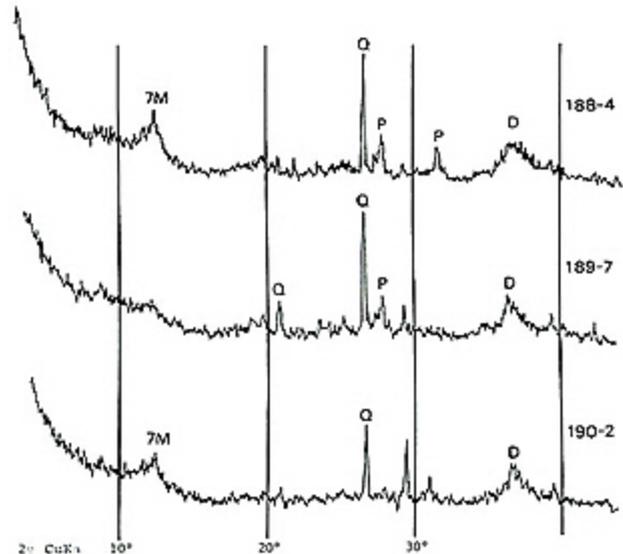


図4 X線粉末回折パターン例
 40kV, 180mAで撮影した。右の数字は潜航番号と試料番号。7M: 7 Å マンガナイト D: δ-MnO₂ Q: 石英 P: 灰十字沸石
 X-ray powder diffraction patterns of ferromanganese oxide concretions from the Yamato Bank. 7M; 7 Å-manganite D: δ-MnO₂ Q: quartz P: philipsite

化がある。さらに、新第三紀の安山岩を主体とする、いわゆるグリーンタフ活動に類似の火成活動がその北側の地域で起こった。

6.2 膠着物

大和堆から採集された礫の膠着物である鉄マンガン酸化物と中部太平洋産を中心とするマンガン団塊の性質の違いを表2に示す。大和堆の鉄マンガン酸化物の礫を取巻く形態は、これまで知られていたマンガン団塊や、マンガンクラストと異なるものである。

その組成はCu, Ni, Co, Zn等が少なく、Mn/Fe比は比較的高い。X線回折によると7 Å マンガナイトとδ-MnO₂が認められ、10 Å マンガナイト(トドロカイト)は認められなかった。また、表面の構造と海底の堆積物中にあるか、海水に接しているかの関係もマンガン団塊と異なる。このような性質は、マンガン団塊の成因を検討するう

表2 大和堆鉄マンガン酸化物とマンガン団塊の性質の比較

Comparison of the ferromanganese oxide concretions from the Yamato Bank and manganese nodules.

	大和堆膠着物	マンガン団塊
形態	はちまき状	球状
表面構造		
堆積物中	滑	粗
海水中	粗	滑
成長構造	無	有
Cu・Ni・Co等	少ない	多い
Mn/(Mn+Fe)	0.6 - 0.8	0.3 - 0.9
鉱物	7 Å マンガナイト δ-MnO ₂	10 Å マンガナイト δ-MnO ₂

えでも重要な試料を提供することになるだろう。

謝 辞

このような調査研究の機会を与えてくださった海洋科学技術センター、「なつしま」「しんかい2000」の関係者の方々に深謝いたします。

本報告で使用した鉄マンガン酸化物の第188潜航の試料については、東大海洋研の玉木賢策氏、第190潜航の試料については海洋科学技術センターの田中武男氏の許可をいただいた。元地質調査所化学課の望月常一氏には、中部太平洋マンガン団塊の組成のデータファイルを使用させていただいた。X線回折にあたっては、地質調査所鉱床部の金沢康夫氏の助言を受けた。同須藤定久氏には、薄片を見て助言をいただいた。同海洋地質部の湯浅真人氏には、GH78-2航海でドレッジされた岩石と薄片を見せていただいた。同西村昭氏には文献を教えていただいた。以上の方々に深く感謝する。

なお、化学組成データ処理には吉井・佐藤(1983)による地球化学データ解析システムGEOCAPSを使用した。

引用文献

- 岩淵義郎(1968)日本海東南部の海底地質。東北大理地質古生物研究邦文報告, No. 66, p.1 - 76.
- Honza, Eiichi (1979) Outline of Research Cruise. Geological Investigation of the Japan Sea (Cruise Report No. 13) Geol. Surv. Japan, p. 1 - 13.
- Joshima, Masato and Kanaya, Hiroshi (1979) Magnetic Properties of the Igneous Rocks Dredged from the Japan Sea by Hakurei-Marui. Geological Investigation of the Japan Sea (Cruise Report No. 13) Geol. Surv. Japan, p. 64 - 66.
- Sozanski, A. G., and Cronan, D. S. (1976) Environmental differentiation of morphology of ferromanganese oxide concretions in Shebandowan Lakes, Ontario Limnology and Oceanography, vol. 21, p. 894 - 898.
- Sozanski, A. G., and Cronan, D. S. (1978) Ferromanganese concretions in Shebandowan Lakes, Ontario. Can. J. Earth Sci., vol. 16, p. 126 - 140.
- 玉木賢策・本座栄一・湯浅真人・西村清和・村上文敏(1981)日本海中部海域広域海底地質図。(1:1,000,000)地質調査所。
- 臼井 朗(1983)中部太平洋マンガン団塊の鉱物・化学組成と内部構造。海洋科学, vol. 15, p. 391 - 395.
- 吉井守正・佐藤岱生(1983)BASICによる地球化学データ解析システムGEOCAPSのあらまし。情報地質, no. 8, p. 21 - 40.
- Yuasa, Makoto, Kanaya, Hiroshi, and Tera-shima, Shigeru (1979) Rocks and Sediments. Geological Investigation of the Japan Sea (Cruise Report No. 13) Geol. Surv. Japan, p. 54 - 60.

(原稿受理; 1986年6月9日)

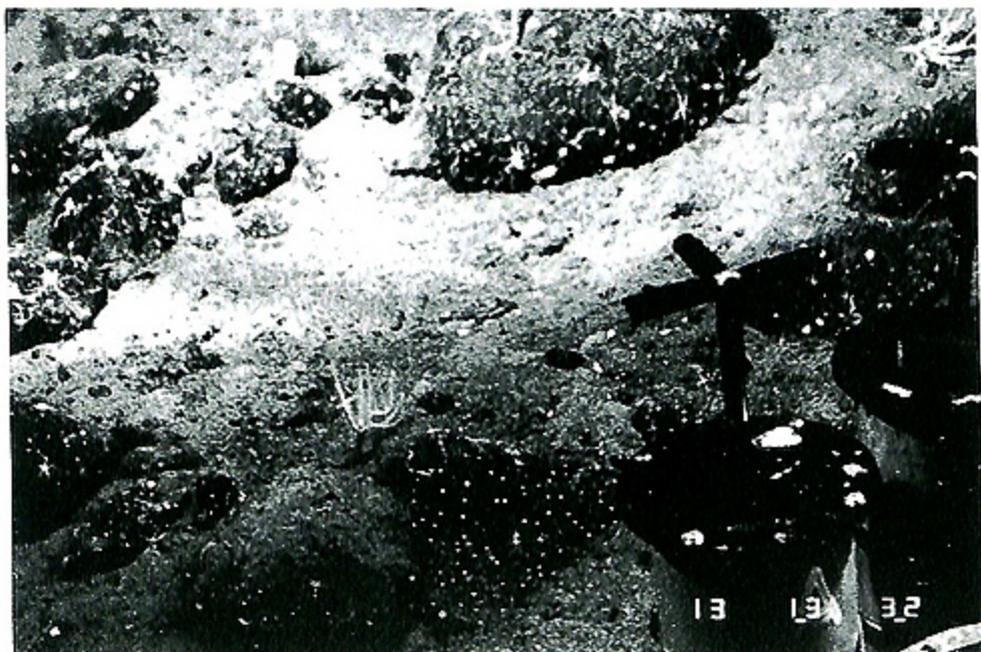


写真1 着底点の景観
直径10-数10cmの円礫の間を砂が埋めている。
A view at the starting point of the survey.

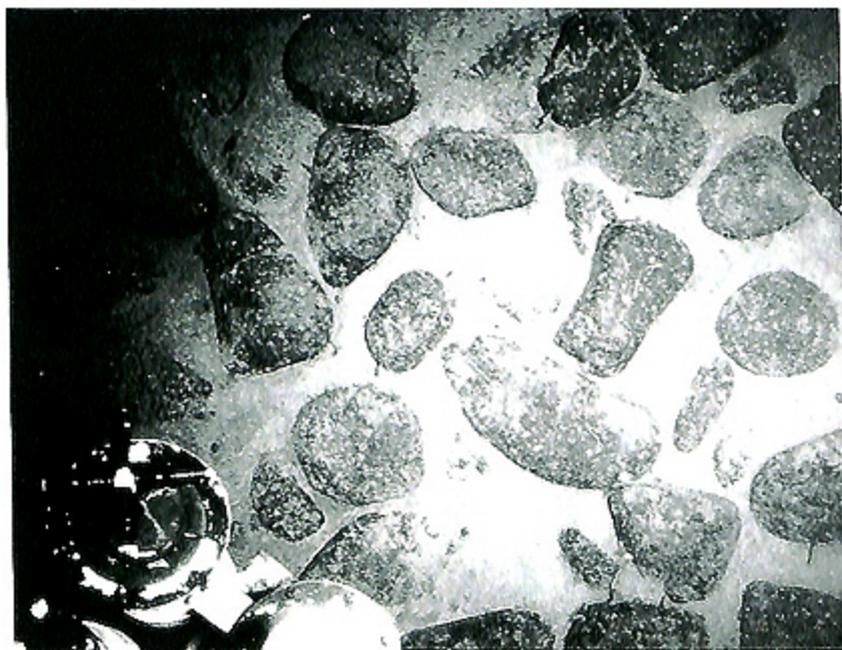


写真2 礫の多い海底
礫は円礫-亜円礫である。
Gravels on the sea bottom.

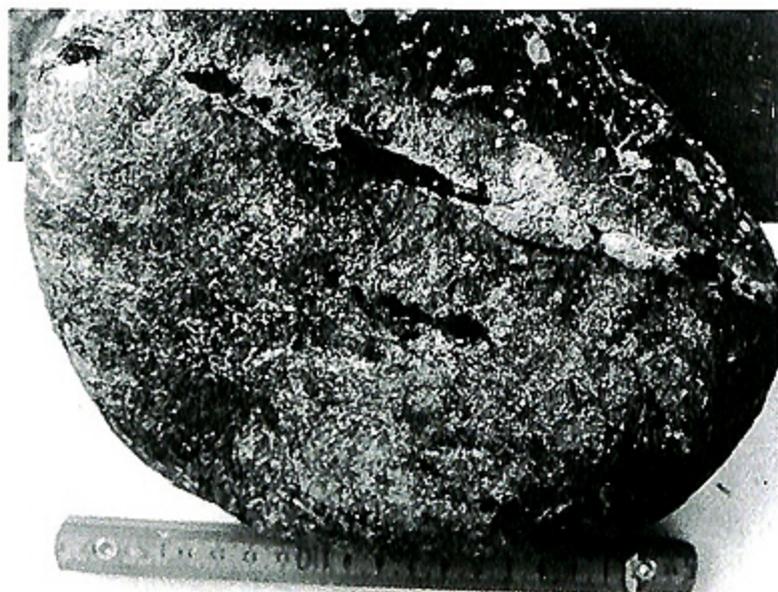


写真3 礫の鉄マンガン酸化物
 海底の堆積物と海水の境界部に発達する。
 The ferromanganese oxide concretions on
 a gravel. Bottom of the gravel was in
 sediment and top was in water at the sea
 bottom.

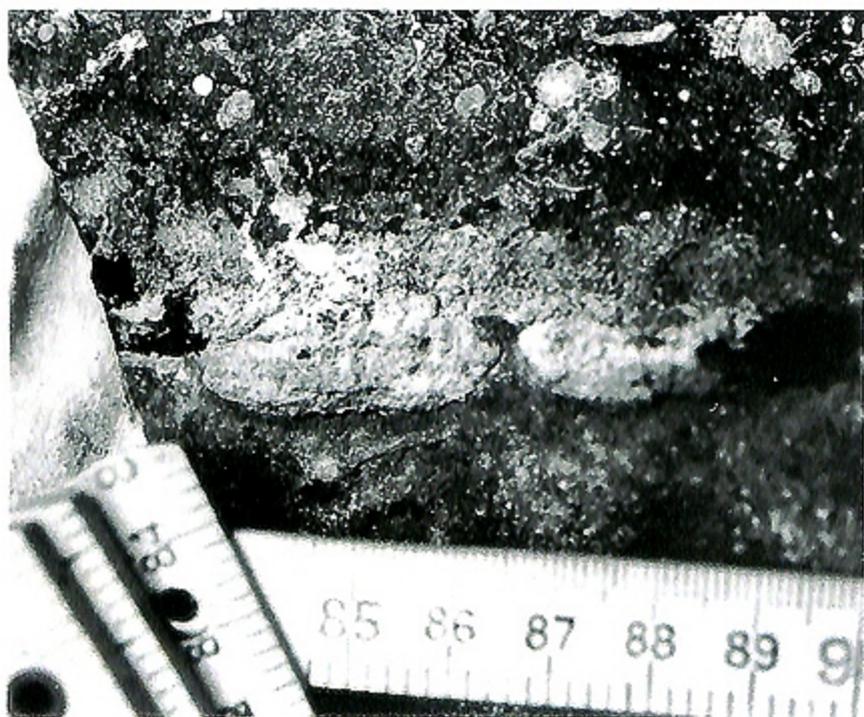


写真4 写真3の拡大
 一般には連続して礫を取巻いているが、この写真のように所
 々で切れている場合やイボ状に成長している場合がある。
 The ferromanganese oxide concretion show elliptical shape.