

伊豆・小笠原弧横断潜航

—海洋地殻断面, 蛇紋岩海山, マンガン舗装—

藤岡換太郎*1 和田 秀樹*2 沖野 郷子*3 スーザン・デバリ*4
 徳山 英一*5 長沼 毅*6 小川勇二郎*7
 パトリシア・フライヤー*8 青池 寛*9
 加藤 久佳*10 西村はるみ*7

伊豆・小笠原海溝の横断潜航を達成し以下のことが明らかになった。海溝海側斜面は現場で著しく変形した泥岩と海底の裂け目が見られた。マリアナ海溝海側斜面からは白亜紀の枕状溶岩とチャートの組み合わせが得られ海洋地殻の断面が潜水調査船で初めて得られた。前弧の基盤は硬いドレライトと Boninitic な火山岩でできている。鳥島鯨骨生物群集はその全貌が明らかになり今回は耳骨が得られた。鳥島リフトでは鳥島の火山岩の断面が1.7kmにわたって観察され深海掘削との比較が可能になった。紀南海底崖では急崖をマンガンが舗装する琉球海溝と同じタイプのマンガンが見つかり、縄状溶岩や枕状溶岩が発見された。マリアナの前弧蛇紋岩海山はコニカル海山とバックマン海山及びコニバック三角地帯からいずれも蛇紋岩が得られた。蛇紋岩フローには上部マントルを構成するカンラン岩が含まれている。アルビンが発見したテムニーを観察し、巨大なインギンチャクがまだ生息しているのを確認した。これらの潜航結果から伊豆・小笠原とマリアナの海洋性の鳥島—海溝系が大陸性の東北日本鳥島—海溝系とは著しく異なることが明らかになった。相違点は海側の斜面の形態と層序、Wedge Mantle の構造と組成、リフトの形成と地殻構造、背弧の地殻構造や成り立ちなどである。

キーワード：プレート層序, 鳥島鯨骨生物群集, 紀南海底崖, 蛇紋岩フローと炭酸塩テムニー, 鳥島の基盤

-
- * 1 海洋科学技術センター深海研究部
 - * 2 静岡大学理学部
 - * 3 海上保安庁水路部
 - * 4 サンノゼ大学
 - * 5 東京大学海洋研究所
 - * 6 海洋科学技術センター深海環境プログラム
 - * 7 筑波大学地球科学系
 - * 8 ハワイ大学
 - * 9 横浜国立大学教育学部
 - * 10 東北大学理学部
 - * 11 Deep Sea Research Department, Japan Marine Science and Technology Center
 - * 12 Institute of Geosciences, Shizuoka University
 - * 13 Hydrographic Department, Maritime Safety Agency
 - * 14 Geology Department, San Jose State University
 - * 15 Ocean Research Institute, University of Tokyo
 - * 16 The DEEP STAR group, Deep-sea Environment Exploration Program, Japan Marine Science and Technology Center
 - * 17 Institute of Geoscience, University of Tsukuba
 - * 18 SOEST/Planetary, Geosciences, University of Hawaii
 - * 19 Geological Institute, Faculty of Education, Yokohama National University
 - * 20 Institute of Geology and Paleontology, Faculty of Science, Tohoku University

Izu-Bonin Transect Dive Program

—Cross Section of Oceanic Crust, Serpentinite Seamount, Manganese Pavement—

Kantaro FUJIOKA*¹¹ Hideki WADA*¹² Kyoko OKINO*¹³
Susan DEBARI*¹⁴ Hidekazu TOKUYAMA*¹⁵
Takeshi NAGANUMA*¹⁶ Yujiro OGAWA*¹⁷
Patricia FRYER*¹⁸ Kan AOIKE*¹⁹
Hisayoshi KATO*²⁰ Harumi NISHIMURA*¹⁷

Izu-Bonin arc-trench transect dives were successfully performed and the following new evidences arose. Highly in situ deformed mudstone in the new fissures were found at the seaward slope. On the Mariana seaward slope, Cretaceous pillow lavas and chert, oceanic crust assemblage, were observed and collected by submersible for the first time. Forearc basement was dolerite and boninitic volcanics. Precise overview of the TOWBAC was made clear and sediments under the community, ear bone were obtained. Along the steep cliff of the Torishima Rift, 1.7km continuous cross section of the arc volcanics were observed and it was comparable with deep sea drilling. Manganese pavements similar to those found at the seaward slope of the Ryukyu trench was found together with ropy and pillow lavas at the Kinan Escarpment, eastern Shikoku basin. Serpentinites were collected at Conical, Pacman seamounts as well as Coni-Pac triangle in the Mariana forearc. Peridotite which constitutes the upper mantle were contained in serpentine flows. Giant sea anemone which was found during Alvin dive, 1987 still is alive on top of the carbonate chimneys. These results offer new evidences that the oceanic type Izu-Bonin and Mariana arc-trench system has quite different nature with the continental type Northeast Japan arc-trench system, specially morphology and stratigraphy at seaward slope, structure and chemistry of the wedge mantle, formation of rift and crustal structure and backarc crust and history.

Key words : Plate stratigraphy, TOWBAC, Kinan Escarpment, Serpentine flow and Calcite chimney, Arc basement

1. はじめに

これまで、伊豆・小笠原弧及びマリアナ弧は国際深海掘削計画 (ODP) 第125節及び第126節の掘削やその事前調査によって、地史や火山活動の歴史、背弧海盆の拡大などについての地質学的大枠がわかってきている。(Hotta, 1970; Yuasa, 1986; Taylor, Fujioka et al., 1992; Fryer, Pearce, Stokking et al., 1992)。島弧を横断する音波探査は海上保安庁水路部や地質調査所の一連の調査によって、15マイル間隔の測線や (Honza et al., 1981), 場所によってはそれより細かい測線が得られている。また ODP の Pre-site survey で掘削点近くのマ

ルチチャンネル音波探査の測線が15本得られている (Taylor, Fujioka et al., 1992)。最近、島弧の精密地下構造を得るため長大なマルチチャンネル音波探査の測線に添った地震探査が行われ、地下構造が明らかにされている (平ほか, 1993)。

潜水調査船に関しては米国のアルビンが1987年にマリアナから伊豆・小笠原原にかけて一連の潜航を日米共同で行っている (Fryer et al., 1987; Taylor et al., 1990)。その際マリアナの熱水噴出孔や蛇紋岩海山の潜航 (Fryer et al., 1987), 伊豆・小笠原弧の海山, リフトなどで潜航が行われた (Taylor et al., 1990)。

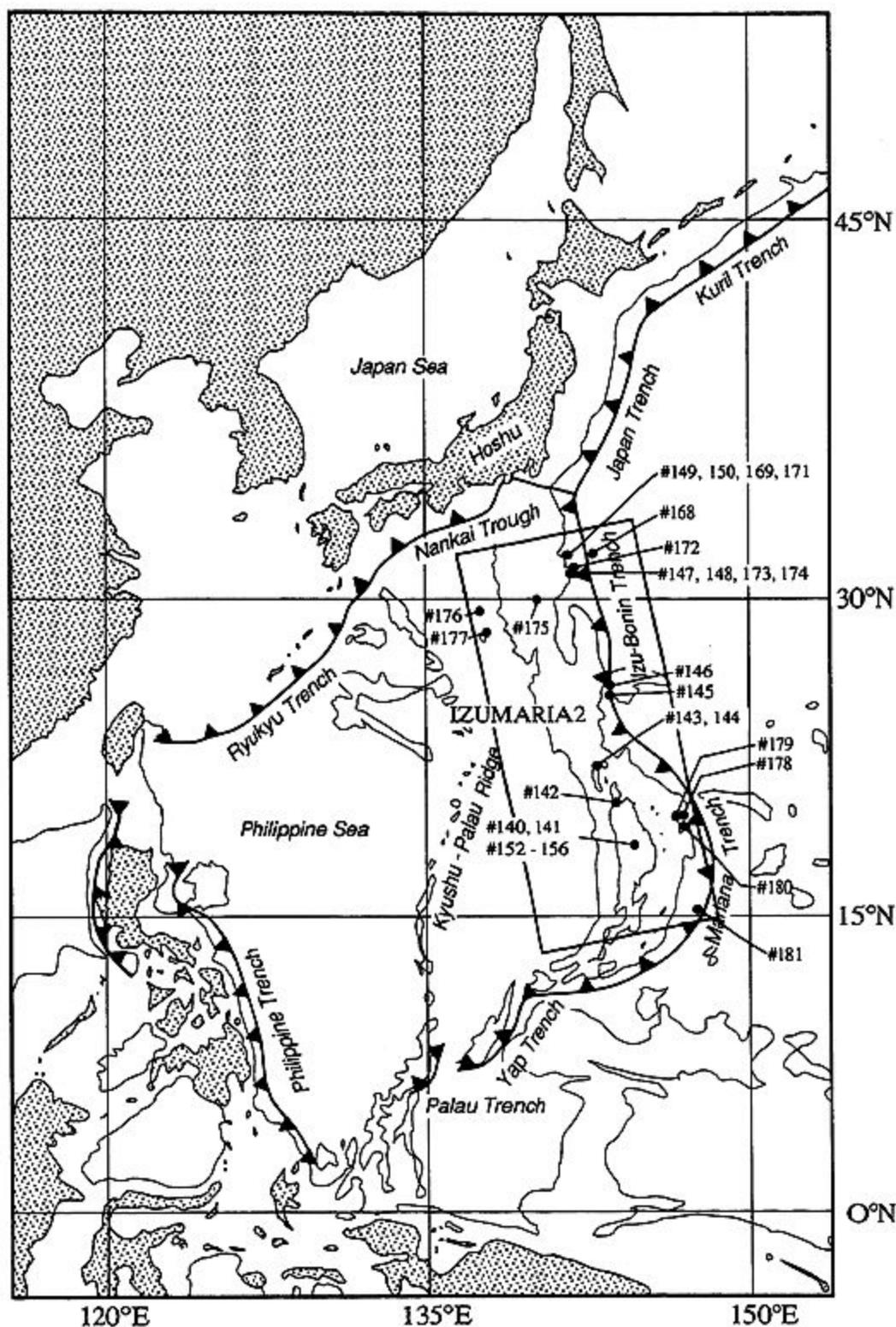


図 1 伊豆・小笠原弧の概略と潜航地点

Fig. 1 Index map of Izu-Bonin and northern Mariana Arc-trench system with dive sites.

これらの研究成果をもとにして1992年から伊豆・小笠原弧の横断潜航が提案され「よこすか」と「しんかい6500」が現地に赴いたが台風に悩まされ、1年目は前弧

の蛇紋岩海山3回と前弧の基盤に1回のわずかに4回しか潜航できなかった。それでも鳥島鯨骨生物群集の発見という大きな成果が上がった(藤岡ほか, 1992, 1993)。

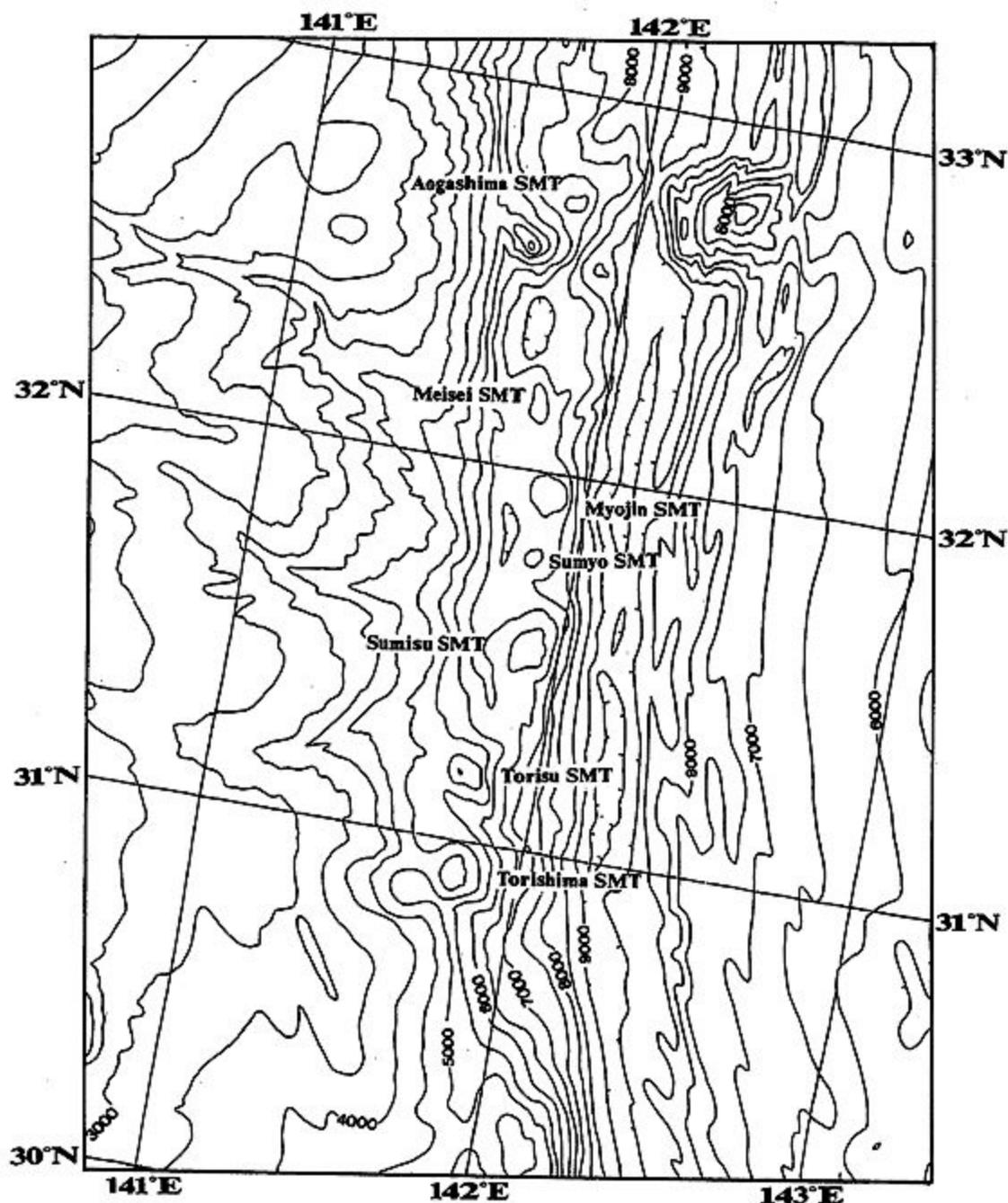


図 2 伊豆・小笠原前弧の地形 (マルチナロービームによる)

Fig. 2 Topographic map of the Izu-Bonin forearc by multi-narrow beam survey.

1993年には研究者の陣容も新たに再び横断潜航を試みた (表1)。この年は天候にも恵まれて伊豆・小笠原とマリアナで計15回の潜航に成功し横断潜航を達成した (表2)。小論の目的は研究航海の船上報告をもとにしてこの横断潜航の航海の概要を広く紹介し今後の研究の糧とすることにある。潜航結果の詳しい解析は今後の研究に委ねることが多いがこれをもとに新たな研究が進むことを期待する。

2. 調査目的

島弧横断のように広大な地域をピンポイントの潜航で効率の良い研究を行うためには、1回1回の潜航の地点を厳密に選ぶことが重要である。従って今までによく調べられてデータのそろっている未解決の場所が潜航のターゲットになりやすい。潜航のためには今までの多くのデータや論文をよく整理して問題点を明らかにしておくことが重要である。また1つ1つの潜航がそれほど意

味がなくても、島弧-海溝系横断全体として地球科学的に意味のある結果を導きだせるように、航海の計画を作ることが重要であることは言うを待たない。以下はそれぞれの潜航点の意義づけである。

2. 1 伊豆・小笠原海溝側斜面

伊豆・小笠原海溝の海側斜面に関する研究としては、地磁気、音波探査等の地球物理学的な研究が主としてなされてきた (Honza and Tamaki, 1985)。地質学的な研究はあまりなされておらず、地質調査所のドレッジで地溝の壁からマンガン団塊と玄武岩の破片が得られている (Yuasa et al., 1983)。シービームによる地形の調査は海上保安庁水路部によって海溝軸に平行な長大な測線が3本得られており、顕著な地壘・地溝地形の発達認められている (瀬田ほか, 1991)。東京大学海洋研究所の白鳳丸による調査で北緯30°50'から北緯31°の幅で前弧の蛇紋岩海山から海溝の地壘・地溝の外までの地形調査がなされた (Kobayashi, 1991)。「よこすか」Y92-3の航海の事前・事後調査でマルチナロービームによる地形調査が鳥島から青ヶ島にいたる範囲の海域で行われた (藤岡ほか, 1993)。「しんかい6500」による潜航調査は1992年に前弧の蛇紋岩海山や前弧の斜面で行われている (藤岡ほか, 1993)。地溝・地壘構造が海溝軸に平行に水深6,000mから9,500mにかけて認められ、地溝の深さは500m、大きいものではそれ以上である。茂木海山と小笠原海台という2つの沈み込む海山が海溝軸にさしかかっており、後者では潜航調査によって石灰岩が著しく変形し礫状になっていることが知られている (沖野ほか, 本書)。一般に、海溝の海側斜面には顕著な地壘・地溝地形が発達している。日本海溝の海側斜面からは極めて新しい裂け目が発見されている (堀田ほか, 1992; 藤岡ほか, 1993)。伊豆・小笠原海溝の海側の斜面にはやはり顕著な地壘・地溝群が発達しており、その分布はおおむね伊豆・小笠原海溝の海溝軸に平行である (藤岡ほか, 1993)。地溝の縁を形成する急崖は大きいところで500m以上の落差があり、この急崖でジュラ紀に形成された太平洋プレートの完全な層序を観察できる可能性がある。琉球海溝海側斜面では急崖で玄武岩が得られているが、伊豆・小笠原の場合にはプレートの層序が見られるかどうか大きな課題である。この潜航では、地溝の底から急崖を地壘の上まで登り、1) 海洋地殻を構成する玄武岩の観察と採集、2) その上に来るチャートの採集と年代決定、3) 遠洋性及び半遠洋性堆積物の採集、4) 玄武岩の年代とマグネの年代との整合性、5) 急斜面の変形と新しい裂け目の有無の観察、6) 島弧起源の火山性

物質の採集と化学組成の検討等を行う。

2. 2 陸側島弧基盤

伊豆・小笠原弧は付加体のない前弧として特徴付けられており、そのため島弧の基盤岩が露出している可能性のあることが SeaMARC II によって確かめられている (Taylor et al., 1990)。実際#150潜航では島弧の基盤岩が観察され幾つかの試料が得られている (藤岡ほか, 1993)。この潜航の目的は前弧の基盤岩を鉛直方向にサンプリングしてその化学組成の変化を調べることにあつた。ODP 第125節の点786地点は「しんかい6500」のこの潜航地点のおよそ3km浅所にある。この掘削点では700mにわたる MORB 的な玄武岩が得られている。#150潜航で得られた岩石は MORB 的な岩石であった。MORB と boninitic な岩石の遷移帯はどこにあるのか？それとも MORB 的な岩石は広大な広がりを示すのか？あるいは前弧のほとんどが boninitic な岩石で MORB 的な岩石の分布はほんのわずかなのか？ MORB 的な岩石は太平洋プレートの付加したものか、offscrape したものなのか？このような問題を解決するために一連の鉛直方向の観察とサンプリングを行う。

2. 3 蛇紋岩海山

伊豆・小笠原及びマリアナ海溝の陸側斜面には顕著な蛇紋岩海山が発達している。その分布は南北性で、海溝軸にほぼ平行で水深6,500m付近から約2kmの比高を持つ。この蛇紋岩の海山はマリアナで発見され研究されてきたが、マリアナから伊豆・小笠原の前弧域にまで連続することがわかってきた。前弧の蛇紋岩海山については ODP 第125で掘削孔783/784の2つのサイトで掘削が行われた (Fryer, Pearce, Stokking et al., Fryer, Stokking et al., 1990)。マリアナについては ODP 第125で掘削孔778-780の3つのサイトで掘削が行われて、米国の潜水調査船「アルビン」によって潜航調査が行われている (Fryer et al., 1987)。

「しんかい6500」による1992年の潜航調査では鳥島海山と須明海山のダイブが行われた。これらの調査の結果から海山はほとんど蛇紋岩からなること、頂上には活動的な炭酸塩チムニーを持つことが明らかにされた (藤岡ほか, 1992)。また活動的な蛇紋岩海山は泥の噴火を繰り返す、その中にはヒスイ輝石と石英の組み合わせを持つ変成岩があり、地下20-30kmの深さの温度や圧力条件が決定されている (Maekawa et al., 1992)。

今回は鳥島海山と須明海山の間に位置する須美寿海山に潜航し以下の項目について調査を行う。1) 蛇紋岩海山の基盤を探す、2) 蛇紋岩海山の層序の解明、3) 蛇

紋岩フローのマトリックス及び異質岩片の採集、4) 蛇紋岩の変形と堆積性の蛇紋岩の変形とその堆積構造の観察、5) 深部急斜面の変形と噴火、テクトニクスとの関係、を明らかにする。

2. 4 鳥島海山と鯨骨生物群集

1987年に、カリフォルニア沖のサンタカタリナ海盆の1,240mの海底でアメリカ潜水船アルビン号が鯨骨の20mに及ぶ鯨骨を発見した (Smith et al., 1989)。ニュージーランド沖では漁船のトロールによって回収された鯨の骨と生物の報告がある。関連すると考えられる化石としてはアメリカワシントン州のオリンピック半島に知られ、また日本にも岩手県、三重県など鯨の骨化石が見つかる。

鯨の骨に発生した生物群集の発見は、現在の地球上の最大の生物の死後の世界を直接現場を目撃したことになる。TOWBACと名付けられたこの生物群集は、世界でも2例目でありきわめてまれな事象である (藤岡ほか, 1993)。しかし、単にまれなだけでなく、重要なことは、深海という今までに人類の認識力が及ばなかった世界の、生物の種類、バクテリアを含む生物間のそれぞれの役割、そして、それを支える化学的な反応過程と物質循環とすべてにわたって、想像上のものでしかなかった現象に、だれもが認める確かな事実を知ることができるということにある。そして、化石に残された過去の地球生命の生態系を理解するうえにも、不可欠な基礎知識となる。この研究の目的は、生物の正確な記載と、生態系の化学的側面を明らかにし、極限に近い条件での生物種としての遺伝的特徴、他の熱水に由来する生物群集などとの類似性、その特殊性などを明らかにする。

2. 5 リフト

鳥島は大陸の縁辺に位置し厚いいわゆる大陸地殻を持つものと、海洋底に発達する比較的薄い地殻を持つものの2種類に分類される。後者は海洋性鳥島と呼ばれ、その地殻は大半が火成岩起源の岩石から構成され、海洋底内で新たに形成された鳥島・海溝系と考えられている。伊豆・小笠原鳥島はこの条件をそなえた典型的な海洋性鳥島である。

伊豆・小笠原鳥島中央部にはリフト帯が発達している (玉木ほか, 1981; 藤岡ほか, 1983, 1988)。リフト帯は複数のブロックに分割され、ほぼ連続的にエシェロン状に配列しながら南北に分布している。伊豆・小笠原鳥島では音波を用いた高解像構造探査と、ODPによる掘削結果、潜水船及びドレッジによる採泥結果を統合して、鳥島を横断する地殻断面図が提案されている (平ほか,

1993)。しかし、鳥島中央部の上部地殻がどのような岩石によって構成されているかはまだ不明である。今回の潜航調査は伊豆小笠原鳥島中央に発達する比高1,200mに達する急傾斜の断層崖に露出すると考えられる上部地殻の層序を明らかにし、併せて岩石を採取することである。潜航地点はエシェロン状に配列したブロックの1つである鳥島リフトの東縁である。潜航地点周辺部ではほぼN-S走向の正断層がライトステップで配列している。断層崖は大局的に2段から構成され全体の比高は1,200mに達する。上段と下段の境界にあたる水深2,000—2,100mには比較的平坦面が分布している。

2. 6 紀南海底崖

伊豆・小笠原鳥島背弧と四国海盆に関する研究は主として、海底地形、音波探査、地磁気、重力等の地球物理探査のほか底質のサンプリングが地質調査所、東京大学海洋研究所、海上保安庁水路部によってなされた (Murauchi et al., 1968; Kobayashi and Nakada, 1979)。四国海盆については IPOD Leg 58の航海で Site 442, 443, 444の3点の掘削が行われている (Klein and Kobayashi, 1980)。また古い鳥島である九州一パラオ海嶺では296, 448の掘削が行われ、厚いマンガンの下に火山岩のバイルが見つかる (Karig et al., 1975; Klein and Kobayashi, 1980)。四国海盆の発達史については Karig (1971) や Seno and Maruyama (1984) によってモデルが建てられている。

今回の潜航地点である四国海盆の東縁には、四国海盆を区分する断層がほぼ南北に走っており紀南海底崖と呼ばれた。この紀南海底崖については過去の研究は全くない。水路部の音波探査の結果からは、急崖とその上に来る厚い堆積物が変形しているのが見える。また急崖の裾(すそ)にも厚い堆積物がたまっていることからこの急崖は古い地形であろうと思われる。この断層に沿って四国海盆の基盤を作る岩石が露出している可能性があって、同時に断層の変位や運動のメカニズムを知る手掛かりが得られるであろう。本潜航では四国海盆の基盤の地下構造を直接見ることを目的とし、以下の項目について潜航調査を行う。

- (1) 断層の観察、運動の方向、変位など
- (2) 四国海盆の完全層序の確立
- (3) 基盤岩や堆積物の観察とその採集

2. 7 マリアナ前弧の蛇紋岩海山 バックマン海山

この潜航では卵型をした SeaMARC II のイメージの強い地域を調べることにある。このような地域はバック

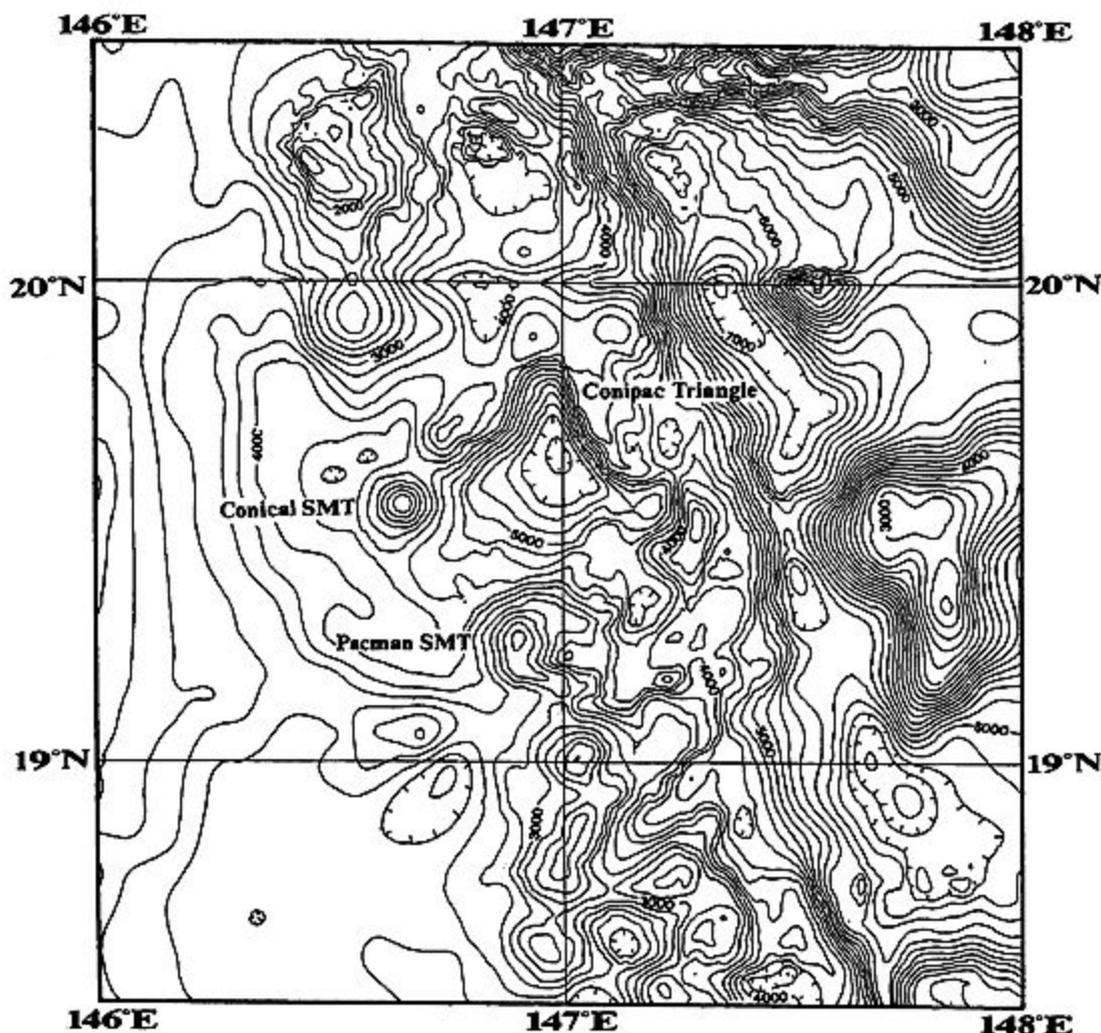


図3 マリアナ前弧の地形 (フライアーほかによる)
 Fig. 3 Topography of the Mariana forearc (after Fryer et al.).

マン海山の南翼で活動的な場所で、地下からの冷湧水の染み出しが起きている地域であると考えられる。またこのような場所は噴出物全体を通して断層が切っている可能性がある。ここでは海底の観察のほかに堆積物の間隙水を抽出してその化学組成を検討する。ODP 125節では蛇紋岩の部分で間隙水の組成が異なっている (Mottl, 1992)。

コニカル海山

伊豆・小笠原及びマリアナ海溝の陸側斜面には顕著な蛇紋岩海山が発達している。その分布は海溝軸にほぼ平行で水深6,500m付近から約2 kmの比高を持つ (Fryer et al., 1985)。この蛇紋岩の海山はマリアナで発見され研究されてきたが、マリアナから伊豆・小笠原の前弧域にまで連続することがわかってきた。1992年の鳥島海山の潜航では頂上付近にまで蛇紋岩の露出することがわ

かった (藤岡ほか, 1992)。また北にある須明海山はほとんど泥に覆われて蛇紋岩の活動はすでに終わってしまっていることがわかった。蛇紋岩海山を含めた伊豆・小笠原海溝の陸側斜面に関する研究は主として、ODP 第125及び126節の事前調査として海底地形、音波探査、地磁気、重力等の地球物理探査のほか、底質のサンプリングが地質調査所、東京大学海洋研究所、海上保安庁水路部によってなされた。前弧の蛇紋岩海山についてはODP 第125で掘削孔783/784の2つのサイトで掘削が行われた。マリアナ前弧のコニカル海山やバックマン海山ではSeaMARC IIによる海底の調査及び音波探査が行われた。またコニカル海山についてはODP 第125で掘削孔778-780の3つのサイトで掘削が行われ、蛇紋岩のフローユニットが7つ見つまっている (Fryer, Pearce, Stokking et al., Fryer, Stokking et al., 1990)。温度の

計測、蛇紋岩の泥の構造や、捕獲岩として高圧、低温型の変成岩が得られている。また米国の潜水調査船アルビンによって調査が行われている。頂上から炭酸塩チムニーや蛇紋岩のフローが見つまっている。これらの研究から、蛇紋岩海山には泥火山と同じような条件で噴出した蛇紋岩と、マンツルの蛇紋岩が直接海底に上昇したものとがあることがわかっている。変成岩の研究から捕獲された岩石は地下30km付近からやってきたことがわかった。

本潜航では以下の項目について調査を行う。

- (1) 蛇紋岩海山の頂部に活動的な炭酸塩チムニーを探す
- (2) 冷水湧出の温度測定とチムニーの中の採水
- (3) 蛇紋岩フロー形態観察、マトリックス及び異質岩片の採集
- (4) チムニーの分布様式の観察
- (5) 急斜面の変形と噴火、テクトニクスとの関係

を明らかにする。

コニバック三角形

Johnson et al., (1992) は SeaMARC II のイメージで断層に壊されたコニカル海山の東の急崖のグラベンドレッジによって様々な岩石を報告している。それらはガブロや蛇紋岩のほかボニナイトや MORB、島弧的な火山岩、火山島などに出現するアルカリ岩、MORB と火山等の遷移帯の岩石、断層によって出来た polymict fault breccia 及びチャートである。得られた岩石の K-Ar 年代は変成によるもので最も若い年代である。それらは MORB については 87Ma、火山島は 70Ma、boninite は 39Ma でチャートは 131-138 と 97-112 Ma であった (Johnson et al., 1992)。このように複雑多様な岩石の起源は断層による。この潜航ではかつてドレッジで得られた岩石の層序を決定すると同時にその起源について新しい知見を得ることにある。

2. 8 マリアナ海側

海溝海側斜面は急傾斜をなして陸側斜面の下へ沈み込んでいる。この海側斜面の基部には多くの正断層が発達している (Hussong and Uyeda, 1982)。その断層崖と考えられる斜面には多くの階段状の地形があるが、その目視観察を通じて沈み込むプレートの変形を研究するのが第一の目的である。正断層は水平引っ張りの応力場で形成されるから、そこには引っ張り割れ目も発達するかもしれない (堀田ほか, 1992)。次に、太平洋プレート上に堆積している堆積物の性質を堆積学的及び古生物学的及び化学的に研究する (西村ほか, 1993)。これはコ

アサンプルを電子顕微鏡により詳しく観察することによってその変形及び変質を調べ、また主としてマンガンノジュールの化学分析を通じて地球化学的研究を行う。

過去においては潜水船を用いて、海側斜面の表層の地形を調べた例は少ない。また、直接目視サンプリングした試料による研究はわれわれのものを除いて少ない。

3. 地 形

3. 1 海側斜面

伊豆・小笠原海溝海側斜面は水深 6,000m から海溝底の 9,500m を「よこすか」の航海の事前地形調査として行った。東大海洋研究所の白鳳丸によって、鳥島を東西に横切る地形断面やサイドスキャンソナーによる海底表層の地形的な特徴が明らかにされた (Kobayashi, 1991)。それらの結果は藤岡ほか (1993) に述べてある。海上保安庁水路部によって海溝軸に平行な地形調査が 3 本行われた。地質調査所の白嶺丸によって 15 マイル間隔で音波探査の断面が得られているが、海側の地壘・地溝は明瞭でありその落差は三陸沖の日本海溝海側斜面よりも大きい (Honza and Tamaki, 1985)。音波探査の記録によれば、太平洋プレートが沈み込むにつれてプレートの上面が引っ張られて出来た地形であるといえる。第一鹿島海山のように正断面によって切られ崩壊している海山もある (茂木海山)。

1993 年の事前調査では「よこすか」のマルチナロービームによる地形の測線が多数得られ、海溝海側の海底では南北に走る正断層の地形が明らかで、地壘の高さは海溝軸に近い西側でわずかに水深が大きいことがわかった。北緯 31°48' の東西断面は地壘・地溝の 1 つを完全にカバーしている。そこでは水深 6,700m の平坦面と南北に伸びる急崖が地壘・地溝の東西両側に認められる。海溝に近い方の地壘の高さがわずかに低い形態によく似ている。地溝の底から地壘の頂上までの比高は 300m である。

この地溝の東側の微地形断面が潜航によって調べられた。着地点は地溝の東の急崖の麓に近い水深 6,500m の地点である。地形は 1-3m 程度の急崖と平坦面からなる。急崖を登り切ったところに南北に走る幅 5-15m 程度で深さ 80cm-5m 程度のガレが見られた。平均の傾斜は約 18° であるが急崖は垂直に近く平坦面はわずかに海溝軸の方向に傾斜していた。地壘の頂上に近いところでは表面が削られて凸凹していた。

3. 2 前弧の基盤

前弧の基盤は水深 8,000m から立ち上がっている。

「しんかい6500」の調査範囲は水深6,390mから6,145mである。潜航の水深最大部6,390—6,310mは普通の傾斜で、それより浅い部分(6,310—6,190m)は傾斜が急で露頭が海底に出ている。それより浅い部分(6,190—6,150m)は傾斜が緩い。ここではNNW—SSEからNNE—SSW方向の海底谷に切られた急な崖が露出する。

3. 3 蛇紋岩海山

伊豆・小笠原弧は日本海溝と同様にテクトニックエロージョンが卓越している海溝である。付加体の発達は一部を除いてはほとんどなく、代わりに蛇紋岩の海山が前弧域に並んでいる。それらは前弧海山群と呼ばれ、南から北へ、鳥島海山、鳥須海山、須美寿海山、須明海山、明神海山、明青海山、青ヶ島海山と名付けられた(藤岡ほか, 1993)。海山の底はほとんど6,500mの水深に位置し大きいものでは比高2kmを超える。また鳥島海山では陸側堆積物をせき止めている(藤岡ほか, 1993)。

須美寿海山

須美寿海山は南北に伸びた比高500mの海山(海丘)である。頂上の水深は約5,500mで底部は6,000m東の斜面には基盤が露出していると思われる。山体は東経141°55'近くの南北に伸びる断層によって2分されている。断層の東にはケルンバットが見られ5,700mの高まりを形成している。東側斜面は6,250mから急になり西側の斜面より傾斜がきつい。断層に沿う東の斜面には巨大崩壊の地形が見られる。海丘の頂上は北西、南、南東方向に伸びた尾根を持つ。陸側から来る堆積物は鳥島海山同様海丘の西側にトラップされている。

鳥島海山

鳥島海山のマルチナロービームによる地形について、1993年も潜航前に事前調査を行い1992年の記録図と比較した。その結果1992年見られた山頂の近くの4,000mより浅い3つのピークが見られず、小さな2つのピークとして現れた。また、1992年の地形図では、潜航ルートに沿って2つの大きな谷地形があるはずであったが、潜航の時は、TOWBACの地点から次の蛇紋岩の露出地点までに谷地形を見たがほかは平坦な地形であった。航跡の地形は今回の地形図に似ているようである。

着定点は、水深4,051mの平坦な泥の層。グリッド開始予定点まで緩やかな登り。400mで4,038mまで浅くなった。グリッドX=315, Y=975の地点にて鯨骨を視認した。鯨の横たわる面はわずかに南東側に傾斜した平坦面。鯨骨から20—30m南側に大きな谷地形が見られた。それを越えて鯨から50mくらいで蛇紋岩の露頭に到

着した。この蛇紋岩は1992年の#148潜航でも確認をしており、谷地形の一部に露出しているものと考えられる。この地形は、1992年のマルチナロービーム地形図に現れている谷地形に符合しているようである。蛇紋岩から西に進路を取ると、1992年の航跡を突っ切り斜度30度くらいの斜面にぶつかった。斜面を途中の水深4,020mまで到達し離底した。鳥島海山の1つの頂上はこの先にあると思われるが、今回の潜航では確認できなかった。

3. 4 リフト

伊豆小笠原島弧中央部にはリフト帯が発達している。リフト帯は複数のブロックに分割され、ほぼ連続的にエシェロン状に配列しながら南北に分布している。潜航地点はエシェロン状に配列したブロックの1つである鳥島リフトの東縁で実施された。潜航地点周辺部ではほぼN—S走向の正断層がライトステップで配列している。断層崖は大局的に2段から構成され全体の比高は1,200mに達する。上段と下段の境界にあたる水深2,000—2,100mには比較的平坦面が分布している。

3. 5 紀南海底崖

四国海盆の東部に存在する西落ちの断層崖、紀南海底崖は、海上保安庁水路部の地形図によれば南北に少なくとも360km連続する比高500m以上の急崖である。「よこすか」によるマルチナロービーム地形調査を行った結果、紀南海底崖は1本の直線ではなく、直線的なミの字の雁行崖の集合であることが明らかになった。この雁行構造は落差は少なく、多分左ずれの断層運動を反映しているものと考えられる。これは四国海盆に対して伊豆・小笠原弧が前進すること、すなわち貝塚(1984)による伊豆バーがこの紀南海底崖にあるとすれば、このミ型雁行の形成が説明がつく。個々のセグメントはNNW—SSE方向で、長さは20—30km、最大比高はおおよそ800mである。崖の頂部には海丘もしくは崖の走向と平行に伸びた高まり(比高20—40m)があり、それを越えると平坦面になる。雁行するセグメント間はやや深みがあるが、それほど明瞭ではない。横ずれの方向を推定するにはさらに詳しい検討が必要である。海底崖の潜航地点での走向はN—S、比高おおよそ660m、平均傾斜は30°である。崖の傾斜は一様ではなく約50°と推定される切り立った部分と、泥勝ちな緩い傾斜地、及びその遷移部分(30°くらいか?)が繰り返して現れる。崖の走向も微視的にはN—Sを中心にE—WからNE—SWの間を変化している。

着底点は紀南海底崖の西の麓に近い水深4,739mの地点である。東西に走るガレの1つの据で平坦な地形をな

す。水深の大きいところでは徐々に傾斜を増す地形であるが、浅いところでは平坦面と急崖の繰り返しになる。急崖は場所によっては垂直であった。水深4,200m以浅では堆積物に覆われた平坦な地形である。急崖の方向はほぼ南北を示す。この急崖に沿って幅数十mから1m程度の、深さ30mから1mほどのガレが東西に何本も走っていた。ガレの両側は切り立って急なところでは垂直の崖を形成していた。

角礫からなる崖の一部が崩壊した跡が見られたが、枕状のマンガンコーティングが見られる急傾斜の崖面がはっきりと崩壊しているところは観察できなかった。崖面は一面にマンガンを覆われていることから、この崖は古く、海盆中央部の拡大以前にできたものであろう。

3. 6 マリアナ前弧

バックマン海山

バックマン海山の SeaMARC II 記録によれば、高い反射率を持つ卵形の地形が南翼を作る断層の上に認められる。1987年のアルビンによる潜航で塊状のカンラン岩からなる内部と蛇紋岩のフローからなる地域が認められた (Fryer et al., 1987)。巨大な未固結の蛇紋岩の土石流堆積物はクラストを含み東の斜面を占める。反射の強い部分は新しい蛇紋岩のフローがある場所かもしくは斜面に断層によって冷湧水が出てきているところである。バックマン海山の南翼は断層によって136m盛り上がっている。急な斜面の底は沢山の裂け目があり炭酸塩チムニーが密集している。

コニカル海山

潜航に先だって「よこすか」によるマルチナロービームとプロトン磁力計による事前調査を行った。コニカル海山の地形は頂上付近の南西部には尾根が中腹まで伸びているほかは、水深4,400mから3,000mまでほぼ完全な円錐形を呈している。頂上は平坦で北西—南東方向に伸びた頂部を持つ。4,000mで囲まれた円錐の直径は約15 kmで、比高が1.3kmであるので完全な円錐形であるとすればその体積は36.8km³になる。

着底点は幅の狭い(6 m程度)平坦面で浅い方にも深いほうにも急崖が発達している。この状況は山の中の道路のようで右に急崖、左に急崖という感じである。地形図では唯一尾根が伸びているところで南西に伸びる尾根が見られる。この尾根が8—10m程度の急崖と平坦面というステップになっているように思える。このステップは344°方向を向いている。ここの部分は小さな海底谷を形成している。これらの地形から、頂上付近には北東—南西方向に正断層が走っているように思われた。ここから

頂上に至るルートは、斜面は緩やかで堆積物に覆われた表面に高さ50cmほどのチムニーの台座を作るクラストが残丘のようになっている。また北西—南東方向にチムニー群が並んでいる。

コニバック三角地帯

水深6,000—4,000m、幅30kmのリッジは断層によって上昇した。斜面の平均の傾斜は30°である。潜航では45°以上の急斜面を3本横断した。最も急な斜面は土石流によって表面が削られた3—4mの深さの溝状の地形を呈し、全体として ridges and troughs 地形を作る。急な斜面と斜面の間は平坦なテラスになっている。

3. 7 マリアナ海側

この海域はマリアナ諸島のテニアン島の東約300kmに位置し、マリアナ海溝を挟んでその海側斜面の基部にあたる。海溝底は約7,500mの深度を示し南北に走る。海溝海側斜面はN30°E及びN—S方向の明瞭な西傾斜の切り立った断層崖が走る。東傾斜の断層崖もあり、地壘・地溝構造を示すこともあるがその数は少ない。海側には数多くの海山が存在し、そのあるものは今にも海溝に落ち込むか、衝突しかかっている。

調査地域は南方に小規模な海山があり、前述の2方向の断層によってかなりの程度変位されている。今回潜航地点として選んだのは、この西傾斜の急斜面である。斜面の傾斜は平均でも400/1000という極めて急なもので、おそらく何らかの岩石や地層が露出していると期待されていた。

実際潜航してみると、斜面は階段状となっていて、急斜面と緩斜面の組み合わせであった。斜面全体は6,750 mから5,750mまで続くので、その中ほどの1/3ほどを観察したことになる。急斜面はほとんど垂直の壁になっていて、その下位と上位に比較的緩い斜面が存在していた。前者は崖堆積物であるラブルベッドが累々と堆積しており、あたかも糞(さい)の河原という感じであった。後者の緩い斜面には地層が露出していたが、それは例外なく堆積岩であり、また垂直な崖は玄武岩であった。一方、緩斜面は60/600程度の傾斜を示し、堆積岩の上にごく薄い(1m程度)遠洋性の粘土があたかもほこりのようにかぶっていた。表面にはいわゆるバイオジェニックマウンドが形成されており、所々には生物のトレイルや糞があるが、その数は少なかった。波長が数mの緩やかなウェーブ状の表面地形が普通に見られたが、その成因はわからない。

4. 潜航結果

伊豆・小笠原弧とマリアナ弧で合計15回の潜航を行っている。以下に潜航の簡単な結果を示した。

#168潜航の結果：

伊豆・小笠原海溝海側斜面の地塁・地溝構造の1つである東側急崖に潜航した。着底した急崖の麓は礫混じりの泥で、層序は下位より土石流堆積物ないしは *in situ* に著しく変形を受けた泥岩、よく成層した泥岩、小断層によって切られた火山灰層を挟む泥岩、最上位のマンガクラストであった（写真1）。この層序は潜航した範囲では皆同じであった。この部分の微地形は1—2m程度の急崖と堆積物に覆われた平坦面の組み合わせからなる。南北に走る幅1—15mの小さなガレが幾つもあった。土石流堆積物は過去の地じりや地震の結果運ばれてここに堆積したと思われる。ここで見られた土石流堆積物には2つのタイプがある。1つは *Tectonic conglomerate* で、もう1つは普通の土石流堆積物である。前者の土石流堆積物は角礫で礫種が少なく、これが土石流で運ばれたとしても極めて近いところからであろう。角礫と礫の種類が *Monolithologic* な点とこれが著しく破壊と変形を受けていることから、これが *in situ* で形成された泥岩の *Tectonic conglomerate* である可能性がある。1984年から1985年にかけて行われた日仏海溝計画の潜航で観察された房総海底崖の麓に近い泥岩の岩相と極めてよく似ている。房総海底崖では下位に *Tectonic breccia*、小断層で切られた泥岩をへて上位にはほとんど変形を受けない泥岩が1,700mもの断面の中で観察されている。2つ目の土石流堆積物は軟らかく、形成された年代はあまり古いものではないであろう。これら2つの土石流堆積物は過去の海底地じりや地震活動の結果発生し海底の斜面を下って運ばれ、ここに堆積した。上位の泥岩中の白い凝灰岩が小断層によってズグズグに切られており、泥岩には垂直な節理が数多く発達しているところもあった。凝灰岩は少なくとも5枚はあり小断層によって切られてはいるが観察された露頭の範囲では連続性は良さそうである。堆積物の表面には土石流によって削られた堆積物がはぎ取られた跡が見られた。白い凝灰岩が小断層によって切られており泥岩には節理が発達しているところもあった。平坦な堆積物の表面にはおびただしい数のプンブクのはい跡や円錐形の生物の巣が見られた。堆積物の表面には土石流によって削られた堆積物がはぎ取られた跡が見られた。ガレの分布、ガレが土石流堆積物で埋められていることなどの観察結果から、伊豆・小笠原海溝海側斜面には日本海溝の海側斜面に見ら

れたような過去に形成された裂け目が存在し現在はそれが堆積物によって埋められてしまったこと、地塁・地溝を形成する泥岩は *in situ* の変形が著しかったことが結論される。泥に埋まったパイプ状のものが人工物か生物かはわからない。またはい跡や巣穴等の生物の生痕の数から見て日本海溝の海側斜面と同様生物が極めて多く、生物を養うに十分な栄養が海側には存在することが結論される。

#169潜航の結果：

着底点（6,390m）は#150潜航の際の難底点で、地形は平坦で底質は生物攪拌を受けた泥であった。急崖を登っていくと巨大な露頭があったが崖錐も、ゆるくなった岩石もなくサンプリングが困難であった。これは塊状の溶岩流またはシル（岩床）で、層理や構造、あるいは枕状構造や柱状節理も見られなかった。しかし、平坦な泥と急崖との繰り返しから考えるとこれが塊状の岩石の断面面であろう（写真2）。急崖の露頭は5—40mの高さであった。水深6,192mから得た岩石は細粒の火山岩で、#150潜航で得たものとは異なる。すなわち#150潜航で得られた MORB 的なものはわずかで、6,300m以深の下部斜面の大部分はポニナイト的なものであろう。以上の観察から、

1) 海溝陸側斜面下部の壁は、断層ブロックと断層面との繰り返しによる、急崖と泥に覆われた平坦な面との繰り返しである、2) 急崖域では露頭はほとんど泥を被っていない、3) 急崖の底には崖錐堆積物もラブル堆積物もほとんどない、4) サンプリング地点では深成岩は得られなかった、ことが結論される。

#171潜航の結果：

ほとんどの露頭は侵食を受けていない黒—褐色の強く固結した岩石（玄武岩かポニナイト）で巨大な枕状溶岩（1—4m幅）、岩脈、柱状節理を呈する岩脈、溶岩流などの繰り返しであった。岩石の試料は得られなかったが、典型的な露頭は *Outer arc high*（例えば父島）のそれに似ており、これらの基盤岩は *Outer arc high* におけるポニナイト的構成要素の一部であると考えられる。この場合、#150潜航で得られた MORB 様のサンプルは陸側斜面のより深い部分だけの類型となり、6,400—6,300m近傍のどこかに MORB 的な岩石とポニナイト的なものとの境界があろう。以上の観察から、1) 海溝陸側斜面の縦断では露出の極めて良好な崖があった、2) その崖では大きな枕状溶岩と露出のよい岩脈の繰り返しが見られた、3) 崖基部にも崖錐斜面やラブルはなかった、4) 海底谷が NNW—SSE から NNE—

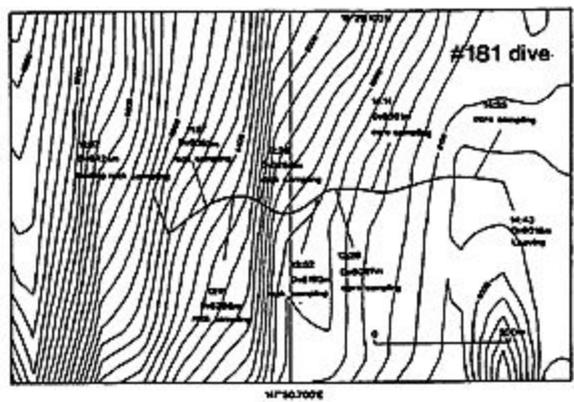
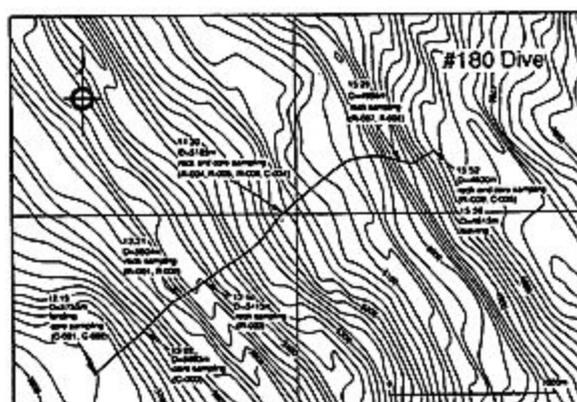
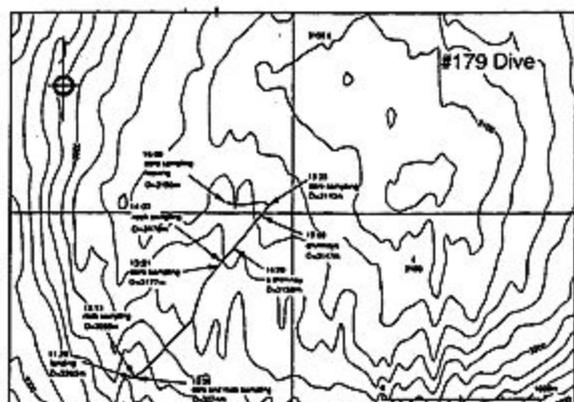
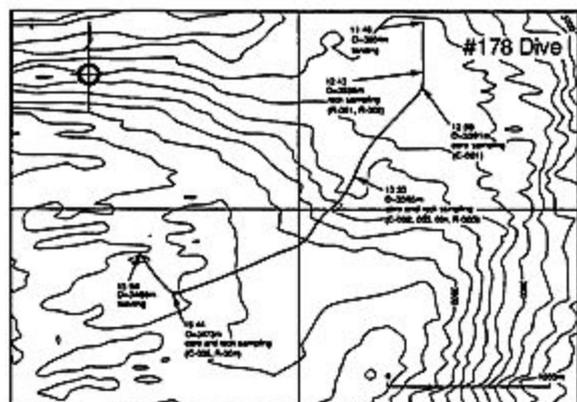


図 4 (続き)
Fig. 4 (Continued)

SSW 走向の崖で切られているのは陸側斜面の沈下が海溝に平行な正断層により起きたことを示唆する、5) サンプル地点には深成岩はなかった、ことが結論される。

#172 潜航の結果:

須美寿海山東斜面に潜航。着底点6,499mは泥で、斜面の平均傾斜は20°くらいであった。蛇紋岩の巨礫を含む rubble flow とその露頭が見られた (6,466m)。白い炭酸塩らしいものがあり、地層は斜面の下方向に傾いていて、斜面形成後に堆積したと考えられる。蛇紋岩はシアーを受けて礫状になっており、土石流堆積物として堆積しているものもある。これが小さなガレを形成しており土石を水深の大きい方へと運んでいる。6,407mのガレでは軽石やスコリアを含む土石流堆積物が蛇紋岩を覆って斜面に露出している。ガレの谷頭の露頭では、層序が下位より蛇紋岩のフロー、土石流堆積物 (蛇紋岩)、泥岩、現在の土石流、になっている。蛇紋岩のデブリには白い脈や泥の注入現象が見られた (写真3)。それより上位には蛇紋岩の露頭はなく、泥岩やロジン岩、蛇紋

岩などの転石が見られることから上には露頭があると思われる。須美寿海山の内部の層序はおおむね蛇紋岩からなるが、フローや泥岩、蛇紋岩以外の土石流堆積物を挟むことから、蛇紋岩ダイアピルの活動は休止期を挟んでいたことが結論される。潜航中に観察された露頭は以下のようなものである。1) 蛇紋岩の露頭は塊状でクラックが走っている。中には板状の構造を示すところもあった。節理が形成されているところもある、2) 蛇紋岩の変形は礫状のブーディンを形成している。部分的にはブレッチャのようになっているため Tectonic や sedimentary かの区別が難しい、3) 土石流堆積物でこれは変形した蛇紋岩から派生した土石流によって運ばれた蛇紋岩を主とする隙を含む。しかし、もともとダイアピルとして上昇する過程で変形した蛇紋岩が周辺に存在した岩石を取り込んできた可能性もある。実際蛇紋岩の中には cataclastic texture を示すものもあって地下深部で変形を受けていることは明らかである、4) 蛇紋岩のフローは海底の表面を流れたもので真黒で薄い層理になっている、5) 注入と脈は不規則に蛇紋岩土石流堆積物に貫入

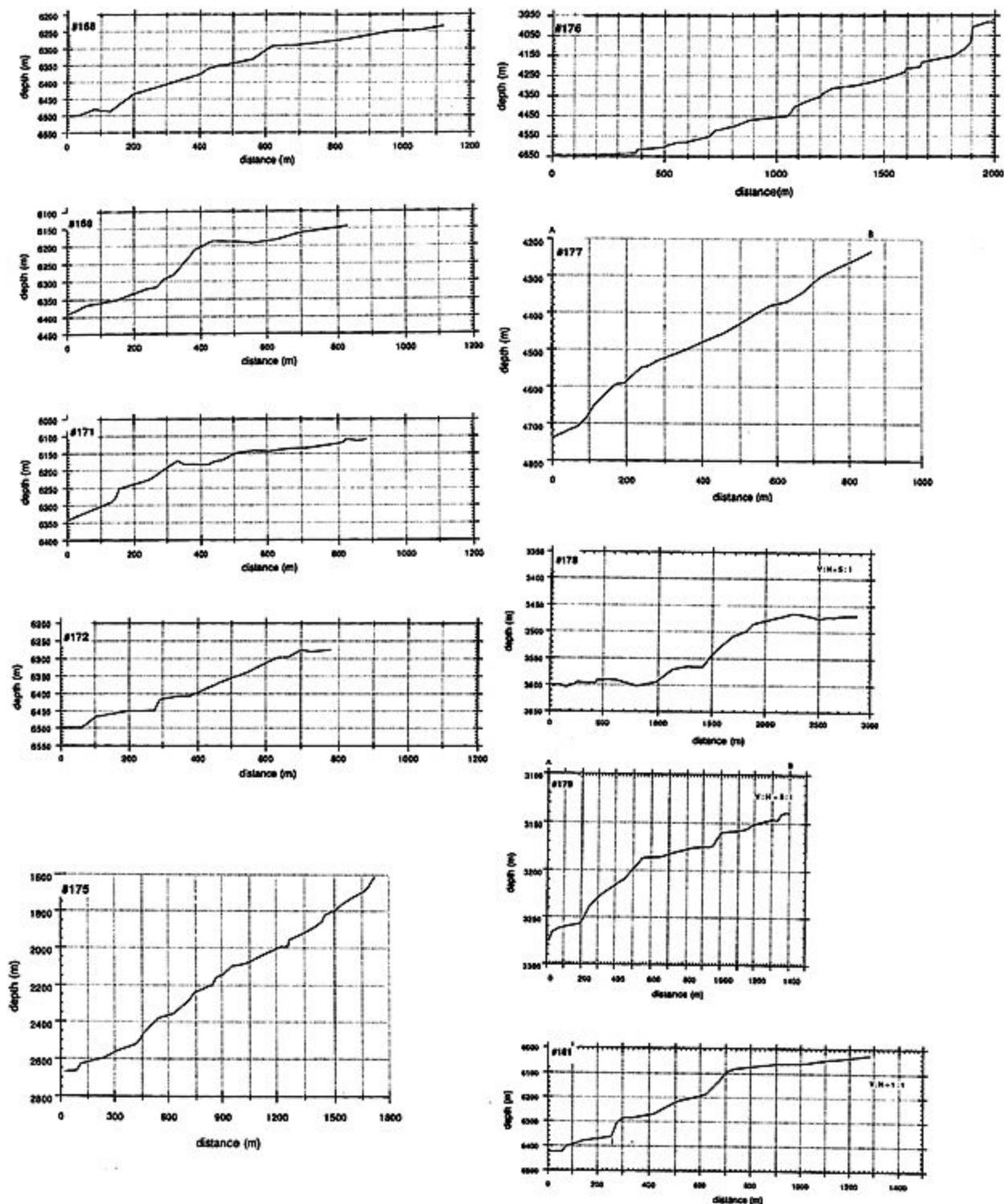


図 5 潜航の地形断面
Fig. 5 Topographic cross section of each dive.

している。白い幅の広い泥の注入が見られた、6) 火山岩の土石流は深海掘削126節で背ヶ島海底谷で掘られた Site 787の下部には火山性の土石流堆積物が見つかる

いる。これとよく似たものが見つかった。軽石、スコリア、変質した火山岩などを含む、7) 層理面は成層した部分には層理面がはっきりと見られその傾斜はおおむね

斜面の下方向であった。斜面のクリープがあるとしても地層は斜面が形成されながら堆積したものと考えられる。これらのことから須美寿海山は青ヶ島海底谷が活動している時に既に存在しており、何回かのダイアピルの上昇と噴出、チムニーの形成と崩壊を繰り返し休止期を挟んで成長し現在は活動を止めていると結論される。

#173潜航の結果:

1992年この鳥島沖で発見された鯨骨生物群集(TOWBAC)を見つけようと試み、鯨骨存在予想地点及びその付近を約4時間かけて探索したが、鯨骨は見つからなかった。のみならず、鯨骨生物群集のよい指標生物であるシンカイコシオリエビも見つからなかった。しかし、航走中、1992年の鯨骨観察で多数確認された巻貝と同じ、あるいは似たものが数個体まとまって見られる場所もあった。ただし、これはビデオには記録されていない(ビデオカメラと組み合わせられている照明を遠くの方に向けたため、#2ビデオにはほとんど何も映っていない)。離底直前に柱状採泥を行った。

#174潜航の結果:

TOWBACを探し、水深4,037mにおいて確認した。大方においては、1992年の状態とほとんど変化していないようだった(写真4)。今回は、生物の試料採集と周辺底質層の柱状採泥器による採取を行った。また、生物群集構成種の確認のため、できるだけ多方面からのビデオ撮影と写真撮影を心がけた。また、次回潜航のための目印として、光をよく反射するフィルムを巻き付けたブイを設置した。生物試料は、網を使ってシンカイコシオリエビの捕獲を行った。脊椎骨試料はバクテリアの研究のため1つを採取した。また骨に付着していたウニ、周辺の巻き貝、骨の乗っていた底質の周りに多数生息している多毛類あるいは、チューブワームかもしれない底生生物をグラブでつかみ試料とした。1992年の発見の時にはほとんど観察を行わなかった頭部の観察を行い、耳骨を採取した(写真5, 6)。

#175潜航の結果:

鳥島リフトは雁行配列したブロックの1つであり、リフト構造が極めて顕著に認められ、その東縁には比高が1,200mにも達する断層崖が発達している。この断層崖は地形から上段の急斜面と下段の急斜面、そして両者の間の比較的平坦面に大別される。急斜面はほぼ垂直な崖と比較的緩斜面の繰り返しで構成されている。垂直な崖は露岩が露出しており、正断層面を表現するものと考えられ、その走向はほぼN-Sである。また、比較的平坦面は崖錐堆積物、デブリ、あるいは未固結堆積物に

よって覆われている。緩斜面は斜面に平行な地層をもつ堆積層によって覆われている。

今回の潜航調査により断層崖には火山体の内部構造が露出していることが判明した。観察された露岩からは3種類の岩相が識別される。それらは、brecciated pillow及びlava flowの海底噴出岩、sillまたはdykeの貫入岩体、堆積岩である。恐らく、断層崖はそれらの岩相の繰り返しで構成されるものと判断される。brecciated pillowはautobrecciated pillowと考えられ、気泡に富む特徴を示す。また、ブレッチャーとブレッチャーの間のマトリックスの部分はあまり発達していない。貫入岩体はその厚さが20mを越すものも見られ、massiveで完晶質な岩体である。柱状節理が発達する岩体も観察される。堆積岩はgradingを伴うsandstone、及びmudstoneが断層崖上段に出現する。その構成物は大部分が火山岩起源のものと推定される(写真7)。

今回の潜航調査により観察された断層崖の層序は、水中で形成された火山体の内部構造を示すものと推測される。恐らく、伊豆小笠原島弧中央部の上部地殻はこのような火山体の集合体から構成されていると判断される。この火山体の比高は少なくとも1,200m以上と考えられる。火山活動の年代は採取された岩石の同位体測定の結果をまたなければならぬが恐らくlate Oligoceneより古いものと推測される。

#176潜航の結果:

四国海盆南東部に南北に伸びる断層崖の下、深さ4,644mの平坦な泥地に着底した後、進路を崖の最大傾斜の方向90°にとり比高660mの崖を岩石、堆積物の採取、目視観察を行いつつ登った。崖は傾斜が非常に急(およそ50°)な部分とやや緩傾斜の部分の繰り返しであった。急傾斜の部分は崖一面に(おそらくかなりの厚さで)マンガンコーティングがなされて曲面状の1枚の壁のようになり、特に4,500m付近では南西諸島海溝海側で見られるような枕状のマンガンクラストが見られた(写真8)。一方やや緩傾斜の部分では、大小の礫が分布するが、これらの礫も多くはマンガンコーティングされた泥岩と推定され、上部の急崖から崩れてきたものが多いようである。極く緩い斜面ではまた異なる形のマンガンクラストが見られ、マンガン酸化物の産状は傾斜と密接な関係があるようである。崩壊もしくは土石流の跡と見られる地形が一部で見られた。

観察対象であった崖がすべてマンガンでコーティングされていたので、当初の目的であった露頭の観察は不可

能だった。崖を構成している岩石種についても一面マンガで覆われていることから目視観察によって判断することは極めて困難である。従ってここではマンガの産状と採取試料の概要を述べる。

1) 枕状: 崖面を厚くマンガが覆い枕状溶岩のような形態を示す。きわめて急傾斜の部分、それも崖の下部(4,500m付近)に顕著である。

2) 角礫状: 急崖の麓の崖錐部や30°程度の傾斜地に見られる。1つ1つがマンガでコーティングされた角礫からなる。R001-1, 2, 3, R002-2, R003 試料がこのタイプにあたり、泥岩、礫岩、軽石であった。

3) 角礫集合型: ごつごつした礫の形が認識できるが、それらがお互にくっついて崖面を形成している。30°位の傾斜に多い。R002-1 はこのタイプの崖からはぎ取った。試料はR001-2と同様の礫岩で、マトリックスは黄褐色の泥で、1mm以下のマンガクラストを持つ火山岩礫から構成され、外側のマンガの厚さは2cmである。2)が進化(?)するのか。

4) 粒状~シート: ごく緩い斜面に見られる。丸みを帯びた小さな礫もしくは粒子とそれらが集合して薄いシートになっている。C-002柱状採泥はこのタイプの薄いシートを突き抜いて採取した。シートの下は黄褐色の泥。

以上の典型的なタイプのほか分類しにくいものもある。

5) 板状: 崖の上部の急斜面地を一枚岩のように覆うマンガ。枕の形は示さない。3)の発展したものなのか、1)の未熟なものなのか?

6) ウロコ: 海底を覆うマンガの板の一部がはがれてウロコのようにになっている?

マンガクラストの形態は明らかに崖の傾斜度に対応している。水深と崖の走向、崖を構成する岩石種も形態と関係がある可能性がある(沖野・藤岡, 本書)。

#177潜航の結果:

紀南海底崖は60°以上ある急崖と堆積物に埋積された平坦面があり東西性のガレが何本も走っている。急崖を構成するものはマンガで露頭が直接海底に顔を出しているところはほとんどない。着底点は紀南海底崖の斜面の下部で小さなガレの真中にあたる。着底点4,739mから水深4,689mの間は厚い堆積物に埋積されたガレで、所々に緩く下へ傾いたマンガの層が見られる。マンガの下は泥岩である。急崖に差しかかると、ブレッチャ特にラブルサイズの礫が急崖を形成している。見られる地層は水深の深い方に緩く傾斜した白い泥岩で有孔虫や

ナノプランクトンを含む。ガレの中心はこれらの土石流堆積物に覆われ壁はラブルに覆われたり泥岩とマンガの地層からなる。白い堆積物に厚く覆われ表面には生痕、礫が散らばる。採集した岩石には玄武岩の枕状溶岩が含まれていた。水深4,554mの地点ではガレに沿ってマンガの被覆が外れ中の岩石が顔を出している。これはサイコロ状でBlockyな溶岩である。水深4,359mあたりから4,300mにかけて急崖と平坦面の組み合わせが頻繁に見られた。急崖は琉球海溝海側斜面で観察されたコンクリートの吹き付けのようなマンガで厚さは優に20cm以上ある。傾斜は大きいところで垂直であった。一見枕状溶岩のように見える。このマンガの急崖に黒い幅5cm程度の蛇行した跡が見られた。これは陸上のカタツムリのような巻き貝のはい跡であることがわかった。4,300mより浅いところは堆積物が厚く溜まって平坦面を形成していた。それより上位は同じ堆積物なので反転して4,300mの深さまで戻る。4,300m前後はマンガ枕とラブルの繰り返しであった。水深4,298mのラブルを登った平坦面で縄状溶岩を発見した(写真9)。表面の縄は溶岩が水深の深いほうへと流れたことを示す。しかしその分布はせいぜい3m四方程度であった。これがin situの溶岩であるか崩壊ブロックであるかは議論の余地がある。急崖も平坦面の露頭も最大20cmのマンガに覆われていた。マンガ酸化物には、1) Pillow type, 2) Conglomeratic type, 3) Isolated nodule type, 4) Breccia typeの4種類が見られた。急崖は1)が埋め、4)は崩壊したラブルが産出した。平坦面にはその他のタイプが見られた。これらの詳しい記載は沖野・藤岡(本書)に述べられている。本潜航の結果、1)紀南海底崖が古い左ずれの断層であること、2)急崖には泥岩、枕状溶岩が露出すること、3)新しいタイプのマンガに覆われていることがわかった。やわらかい堆積物の上を流れた縄状溶岩、やわらかい堆積物の中に流れ込んだ溶岩が見つかったがこれらは四国海盆拡大の末期の粘性の低いシートフローであろう。溶岩についての絶対年代、挟まれる化石の年代から四国海盆の形成史とどういう関係にあるかが注目される。

#178潜航の結果:

バックマン海山の南翼に潜航し蛇紋岩のフローや小さな炭酸塩チムニーを沢山発見した。今までバックマン海山からは炭酸塩チムニーは見つかっていなかった。潜航で得られた観察は、1)水深3,596mで見られた巨礫は、小〜巨礫を含んだ周囲よりも酸化された黄灰色のサーベントンマッドに覆われていた。水深3,591m付近で見

られた蛇紋岩泥は緑灰色で4本の小規模なリッジ及び溝をなして露出しており、多様なサイズのクラストを含んでいた、3) 水深3,565mでNW-SE走向のリッジを見いだした。これは極く最近できたと思われるナイフエッジ開口裂部によっていくつにも断裂しており、この裂け目から小型の炭酸塩チムニー(ベビーチムニー)が成長していた。炭酸塩チムニーの形態には城壁状のものから孤立するものまであり、大小様々な突起を備えていた。炭酸塩チムニーとその基盤になっている物質は開口裂部からの流体流出に関連したもので、あるいはODPLeg 125によるコニカル海山の掘削で報告されているものに類似した流体の出口に関係したものであろう、4) 潜航を通じて海底面にはナマコをはじめとした、おびただしい底生生物のはい跡があった、ことである。

#179潜航の結果:

着底点は幅の狭い平坦面でリブルマークの著しい砂質泥で、平坦面の上も下も階段状で急崖には蛇紋岩フローが見られる。この階段状地形は正断層でできたステップのようにも見える。着底点から急崖を下った平坦面には蛇紋岩のフローがロープ状の分布をする。このロープは高さ50cm程度の高まりを形成しており、古いものは堅く岩石になっている。ロープ状の堆積物はオリブ色の5cmくらいの大きさの球になっており、軟らかく生物の糞のようであるが同様にロープ状に分布する。斜面に沿って蛇紋岩のフローが傾斜し地形的な高まりを形成している。蛇紋岩のフローは内部におびただしい捕獲岩を含む(写真11)。蛇紋岩のフローには新鮮なものと表面がマンガンで黒くコーティングされたものとあり前者はブヨブヨでしかし30cmほどの高さのリッジを形成していた。着底点付近の急斜面をはい下って流れた模様である。古いフローは内部にたくさんの捕獲岩片を含んでいた。頂上までの道のりは緩い斜面で途中で蛇紋岩フローでできたステップが幾つか見られたほかは泥で覆われていた。ステップは蛇紋岩のフローで、その内部には捕獲された岩石が多量に含まれており、その大きさは観察された範囲では砂〜小礫サイズのものから最大で2mにも達するものまでである。フローの表面は黒いマンガンの堆積物で覆われていて厚いところでは数cmものクラストを作っている。これを覆う堆積物の表面にはおびただしいリップルマークが見られ強い流れのあることが示唆される。炭酸塩あるいはシリカチムニーが4つの地点で見つかった。チムニーは単独で垂直に立っているものと、複数で林立するものとある。水晶の結晶のように透明感を示すものもあった。第1番目のチムニーは垂直でなく

その下の台座も傾いていた。台座の下には古いリッジのような蛇紋岩質の岩石が見られた。チムニーの表面に黄緑色のバクテリアマットのようなものが付着していることからこのチムニーはまだ死んでいないと判断する。しかし得られたサンプルの断面には熱水のような通り道はなく完全にアラレ石で埋まっていた。第2番目のチムニーは50cmくらいと20cmくらいの親子で、周辺の黒い円形の凹地が見られた。第3番目は林立するチムニーでアルピンの潜航で見つかったグレーブヤードであろう。巨大なイソギンチャクが付着していたがアルピンの潜航時(6年前)より巨大化しているように見えた(写真12)。チムニーはおおむね270°から280°方向に線状に分布しているように見え、全体に表面に黒いマンガンの酸化物が付着していた。第4番目のものはやや透明感を感じさせるもので、高さ2mほどあった。チムニーの並びは場所ごとに変動するが地図の上にプロットしてみると、頂上に近い西側斜面でその配列はほぼ北西-南東方向に並んでいる。チムニーは必ず台座をもちマンガンで黒くなったクラスト状になっている。コニカル海山は蛇紋岩フローからなる海山で炭酸塩あるいはシリカチムニーが頂上の西側に分布する特異な海山である。

#180潜航の結果:

着底点はコニバック三角地帯、コニカル海山のすぐ東の三角地帯を区切る大断層性崖の基部(5,755m)で、薄い堆積物が硬い層を覆っており、巨礫が散在していた。5,650mの断層斜面の基部は多様な中〜大礫からなっていた。これらは土石流堆積物のリッジ部に含まれていたものである。これらの土石流堆積物は、淡青緑色〜白色の蛇紋岩泥と互層し、一連の土石流シークエンスをなしていた(写真13)。蛇紋岩泥はクラストを豊富に含むこともあれば、点在する場合もあった。また土石流堆積物の層は一般にレンズ状ないしブロック状で不規則であった。水深4,850-4,830mの急斜面では膨大な土石が断層斜面に直交して崩落しており、これらの中からマンガンに被覆されたシルト岩及び火成岩が得られた。

#181潜航の結果:

マリアナ海溝の北緯15°29'付近の海溝海側斜面の深度約6,500-6,000mの斜面の地質と地形を観察し、いくつかのサンプルを採集した。調査した急崖は1,000mに及ぶ正断層崖と考えられるが、その中腹部は何段かの階段状の地形からなっている。急な部分には、海洋層序が露出していた。すなわち、下位から玄武岩(50m程度)、チャート、珪質頁岩(合わせて50m程度)が重なる(写真14, 15)。この層序が少なくとも3回あった。また、

火山性の砂岩も見られた。斜面は約400mの高さに及び、下部は極めて急な断崖からなり、上部は緩斜面からなる。下部はそれぞれ100mの高さの3つの階段状の断崖からなり、それぞれの下部は玄武岩（その多くは枕状溶岩）上部はチャート及び珪質頁岩からなる。所々に火山起源の砂岩（クロスラミナ）が挟まれる。玄武岩から珪質頁岩までの厚さは100mほどもあり、海洋層序が正断層により繰り返している可能性がある。この玄武岩は南方の海底火山の延長のものである可能性もあるが、太平洋プレートそのものである可能性もある。これは玄武岩の化学分析及びチャート及び珪質頁岩の年代を決めることによって明らかにされよう。上部斜面の薄い泥のカバーには断崖の走行（ほぼ南北）に平行な無数の亀裂が発達している。これは、断崖の近くにもまたそこからかなり離れたところにもあるので、地震によって惹起（じゃっき）された亀裂である可能性がある。この緩斜面の最後には四たび玄武岩の断崖が存在する。この玄武岩は正断層によって現われたものだろう。

チャートの年代もそれが、もしジュラ紀のものであれば、この付近はいわゆる Old Pacific に属するとされているので、海洋プレートそのものであるだろうが、もし白亜紀のものであれば、プレート層序の上に噴出した海底火山をさらに覆う深海底の堆積物であることになる。これも、チャートなどの岩石からの放射虫の鑑定に待ちたい。この層序が3回繰り返すが、それは3回の正断層によって繰り返しているのか、実際に3回堆積があったのかのどちらかであろう。化学分析や化石の同定によってわかるかもしれない。緩斜面はごく薄い（1m程度）遠洋性粘土（火山灰を含む）がたまっている。生物による擾乱作用はあるが、微弱のようであった。この粘土はこげ茶色を示し、いわゆる赤色粘土層であろう。下位の珪質頁岩との間には著しい不整合が存在する。これはいわ

ゆる深海ハイアタスと呼ばれるものである。

急斜面から緩斜面になったところから、その粘土層の表面には幅数cm、深さ数十m、長さ数十mの亀裂が多く発達していた。崖のごく近くにはあたかも地滑り起源のリストリックな割れ目が2本見られたが、その上位は縦横に走る亀裂となり、さらに上位の崖から10mほど離れると、亀裂の方向はほぼ崖の走行に平行であった。亀裂は崖の近くに多いが、それからかなり離れたところにもごく普通に発達していた。つまり、全体的にこれらは斜面上の堆積物の重力不安定に由来するのであろうが、地震の振動、特に表面波によって、引き起こされたものである可能性もある。

5. 考 察

以下に本航海で得られた幾つかの新知見についての考察を行う。ここでは、沈み込むプレートの海側斜面の潜航結果の比較、マリアナ前弧の蛇紋岩海山の「よこすか」で初めての潜航結果、紀南海底崖の枕状溶岩に似たマンガンの形態、鳥島鯨骨生物群集及び鳥島リフトの断面から島弧の地殻について行った。

(1) 海側斜面の海洋地殻の断面

沈み込むプレートが海溝軸にさしかかったときに曲げによって海溝の海側斜面地塁・地溝構造のできることはよく知られている (Ludwig et al., 1966)。西太平洋には太平洋プレートが沈み込む日本海溝、伊豆・小笠原海溝、マリアナ海溝があり、カロリンプレートの沈み込むヤップ海溝があり、ここで潜航が行われている。日本海溝に関しては1991年の#65, #66, #67, 1992年の#130, #131, #132, #133, #134, の合計8潜航 (堀田ほか, 1992; 藤岡ほか, 1993) がある。一方、プレートの年代の古い伊豆・小笠原海溝、マリアナ海溝そしてヤップ海溝の潜航では#168, #181, #194がある。

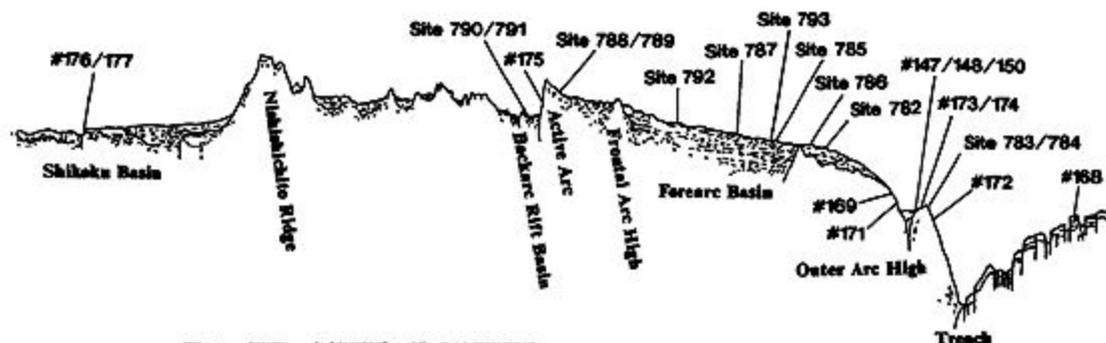


図6 伊豆・小笠原弧の模式地形断面
Fig. 6 Schematic cross section of the Izu-Bonin arc-trench-backarc system.

マリアナ海溝海側斜面で行われた#181潜航では玄武岩、チャート、泥岩の組み合わせが3回観察された。潜航地点は日程の関係から海山の影響を全く受けない海洋底ではなく海山に近い部分で行われた。これらの層序は全部下位より玄武岩、チャート、泥岩の連続した組み合わせであり境界が必ずしも押さえられたわけではないが、潜水調査船で海洋地殻の断面が観察されサンプリングできたのは世界でも初めてのことである。この地域には従来 DSDP, IPOD と ODP による掘削が行われており、ODP 第129節のサイト801Bでカロビアンからパソニアンのチャートまで掘っており、世界で一番古い海洋底であるとされている (Lancelot, Larson et al., 1990)。ここでは放散虫による年代決定がされている。今回得られたチャートの年代はしかし白亜紀の最初からジュラ紀の最後の年代を示しており、深海掘削で得られた海洋底の年代よりは若い (松岡私信)。またここで得られている層序は四国の四万十帯の層序によく似ている。同じ組み合わせが繰り返すのは断層によるものと考えられるが実体はまだ明らかではない。この問題は小川ほか (本書) によって議論されている。

一方、#168潜航で得られた伊豆・小笠原海溝の海側斜面では玄武岩もチャートも得られず、代わって著しく変形を受けた泥岩層が見られた。このような海側斜面に異なった岩層が見られるのは何故であろうか。1つは地塁・地溝の急崖の落差に起因する。例えば日本海溝海側では海底に新鮮な裂け目が見られたがやはり玄武岩もチャートも得られなかった (堀田ほか, 1992; 藤岡ほか, 1993)。それは音波探査断面で見ると落差は最大500m程度でありマリアナでは Hussong, Uyeda, et al. (1982) の事前調査では1,000m近い落差があり両者には違いがあるように見える。もう一方では断層の形態による。堀田ほか (1993) によると日本海溝の地塁・地溝は断層が実は同じ層準の繰り返しであり、同様のものはマリアナの#181潜航でありここでも同じ層序が3回繰り返している。この問題を解決するためには地塁・地溝を形成している断層の解析を行う必要がある。

(2) 蛇紋岩海山

蛇紋岩海山はマリアナのコンカル海山が最もよく研究されている。ここでの海山の表面形態は SeaMARC II と潜水調査船アルビンによる潜航調査の結果がある (Fryer et al., 1987)。海山の表面には強い反射を示す蛇紋岩のフローが海底の表面を流れている。また山頂に近い部分にはおびただしい炭酸塩チムニーやシリカチムニーが知られている (Fryer et al., 1987)。

「しんかい6500」の潜航はアルビンの潜航を考慮した南西側の斜面から頂上のグレイブヤードを目指した。その際、南西側には大きな断層によってできたと思われるリッジ構造が見られたが、そこでは何枚もの蛇紋岩フローの断面が観察された。蛇紋岩フローに関する記載は藤岡・青池 (本書) や藤岡 (印刷中) にあるので、ここでは炭酸塩チムニーに存在する生物について考える。アルビンの潜航で発見された炭酸塩のチムニー群は高さ3mほどに達しその表面には黄緑色のバクテリアが付着している。そのうち1本に巨大なイソギンチャクがすんでいた。今回の潜航ではそのイソギンチャクがやはりチムニーの頂上に付着していたがこの生物は移動することができないので、アルビンの潜航結果を見るかぎり同一のものであろう。そうすればこのイソギンチャクはアルビンの潜航した1987年から#179潜航で発見された1993年まで少なくとも6年間は生息していたことになる。水深3,139mの海底は一般にはマリンスノーによって得られる餌の量は乏しい。従って、6年間このイソギンチャクがどのようにして栄養を補給したのかが興味深い問題である。炭酸塩チムニーから直接水を得た例はない。しかし、チムニーの表面に黄緑色のバクテリアらしきものが付着していることから、チムニーを通して例えばメタンのような栄養源が染みだしている可能性はある。丁度深海の生物群集と同様のことがここで起こっている可能性がある。そしてもしそうだとすれば炭酸塩やシリカの源は一体どこからきたのかという新しい問題が生じる。Mottl (1992) は蛇紋岩海山の堆積物中の間隙水を分析しており、それが海水や通常の堆積物と異なることを報告している。

(3) マンガン

紀南海底崖の急崖を覆うマンガンは大きく3つのタイプに分類することが可能である (沖野・藤岡, 本書)。最初この中の舗装タイプのマンガンは琉球海溝海側斜面の急崖から発見され、その産状が特異なために注目された。これは一見玄武岩の枕状溶岩のような産状を呈する。紀南海底崖は急崖と緩斜面との繰り返しでこのタイプのマンガンは必ず急崖に産出する (沖野・藤岡, 本書)。急崖を舗装するマンガンは急斜面を覆う枕状溶岩と同じようにたれ下がっている。枕に相当する部分は重力の影響を受けているように見える。このことはマンガンが *in situ* に形成され、重力場で流動できたことを示唆する。マンガンの表面には生物のはい跡が無数に見られた。残念ながら生物そのものは見られなかった。この生物はマンガンの表面に薄くたまったマリンスノーを栄

養にしているのか、それともマンガンと共生するバクテリアを餌にしているのか興味ある問題である。

(4) 鯨骨

TOWBACの潜航によりその全貌が明らかになった(藤岡ほか, 1992, 1993)。従来は肋骨が見られないことが謎であったが、今回の潜航によりどうも溶解してしまったかもしれないことが明らかになった。顎の骨に関しては耳の骨が見つかり専門家の判定によりニトリクジラであることがわかった。このタイプの鯨は最初から肋骨の発達が悪く水深の大きい鳥島海山では溶けてしまった可能性が高い。事実背骨に関しては丸くなっており生物に食われた以外に CCD に近いため溶けたことも手伝っていると考えられる。

鯨骨の真下から一定の間隔をおいて行った採泥の結果、骨の真下と骨の近くには有機物が多いこと、硫酸還元バクテリアが多いことがわかった(Naganuma et al., in press)。このことから鯨は骨だけの状態で海底に沈んだのではなく、肉ごと海底に沈んで腐敗し周辺の酸素を消費してしまった可能性がある。

(5) リフト

鳥島リフトでは1,700mの層序が観察された。鳥島リフトは伊豆・小笠原の背弧リフトのなかでは断層による変位が最も大きいところである。スミスリフトではアルビンによる潜航が掘削に先だって行われたが、軽石を主体とする堆積物によって急崖が覆われていたために層序の観察はほとんどできなかった。今回の潜航で得られた結果は現在解析中であるが、鳥島の火山活動の歴史を知ることができる貴重な結果である。ちなみにスミスリフト(Site 790/791)や鳥島で行われた掘削(Site 788/789)では、背弧リフトの層序はわかったが鳥島の火山層序と火山活動の歴史はほとんどわかっていない(Taylor, Fujioka et al., 1992; Fujioka et al., 1992; Fujioka and Saito, 1992)。

6. まとめと今後の問題

伊豆・小笠原弧の横断潜航に成功しこの鳥島で8回の潜航を、マリアナの前弧と海側の地域で4回の潜航が行われた。以下に潜航で得られた結果を要約する。

1) 伊豆・小笠原海溝の海側斜面から現場で著しく変形を受けた泥岩が発見された。マリアナ海溝の海側斜面からはチャートと玄武岩が観察され採集された。太平洋プレートの年齢はマリアナへ向かうほど古くなるが、海側で現場での変形した地層が見られたりプレートの一部であるチャートや枕状玄武岩が潜水調査船で得られたの

は世界で初めてのことである。これらは三陸沖や伊豆・小笠原に見られた裂け目と同じであった。

2) 伊豆・小笠原、マリアナの前弧域には海山が並んでおり、これらの海山のうち鳥島海山と須美寿島海山、マリアナのコニカルとバックマン海山に潜航して地下深部からもたらされた蛇紋岩が発見された。マリアナではコニカル海山の頂上付近から、米国の潜水船アルビンが6年前に見つけた炭酸塩のチムニー群とバックマン海山で新しいベビーチムニーが発見された。これらは地下から海水以外の成分が湧きだしていることを示している。

3) 四国海盆では東経137°をほぼ南北に走る紀南海底崖から、琉球海溝海側斜面で見られたと同じ枕状溶岩のような形態をした厚さ20cmのマンガンが壁を覆っているのが見つかった。同時にこの急崖から四国海盆を作った玄武岩、特に縄状の溶岩が発見された。これは四国海盆拡大の末期に活動した玄武岩である。

4) 鳥島海山の鯨骨生物群集を再訪し鯨骨の全貌と生物の正確な種類と個体数が確かめられ、実験用に骨や大型生物、微生物の採集が行われた。

5) 鳥島リフトの東の急崖で伊豆・小笠原弧の地殻の模式層序が得られ、伊豆・小笠原弧の火山活動史の解明に大きな手掛かりが得られた。

謝 辞

「しんかい6500」の司令をはじめチームの方々には通常の仕事を超えて潜航のために援助やアドバイスをいただいた。「よこすか」の船長をはじめ乗組員の方々には潜水船の着水や揚収だけでなく夜間の調査も含めてお世話になった。川崎地質の押田淳氏には潜航の準備のため煩わせた。新潟大学松岡篤氏には放散虫の予察的観察をお願いした。これらの方々に感謝いたします。

参考文献

- Fryer, P., E.L. Ambos and D.M. Hussong (1985): Origin and emplacement of Mariana forearc seamounts. *Geology*, 13, 774-777.
- Fryer, P., J.A. Haggerty, B. Tilbrook, P. Sedwick, L.E. Johnson, K.L. Saboda, S.Y. Newsom, D.E. Karig, S. Uyeda and T. Ishii (1987): Results of studies of Mariana forearc serpentine diapirism. *EOS*, 68, 1534.
- Fryer, P., J.A. Pearce, L.B. Stokking et al. (1992): Proc. ODP, Sci. Results, 125. College Station, TX (Ocean Drilling Program).

- 藤岡換太郎 (1983): "黒鉱床はどこで形成されたか." p 55-68. In: 「黒鉱・島弧・縁海」 鉱山地質特別号 11. 堀越淑 編.
- Fujioka, K. (1988): A possible nascent rift in northern Izu-Ogasawara arc. 1988 DELP Tokyo International Symposium, "Tectonics of Eastern Asia and Western Pacific, Continental Margin", 25.
- Fujioka, K., Y. Matsuo, A. Nishimura, M. Koyama and K.S. Rodolfo (1992): "Tephros of the Izu-Bonin forearc (Sites 787, 792 and 793)." p 47-74. In: Proc. ODP, Sci. Results, 126. Edited by B. Taylor, K. Fujioka et al., College Station, TX (Ocean Drilling Program).
- Fujioka, K and S. Saito (1992): "Composition of heavy minerals from sands and sandstones of the Izu-Bonin Arc, Leg 126." p155-169. In: Proc. ODP, Sci. Results, 126. Edited by B. Taylor, K. Fujioka et al., College Station, TX (Ocean Drilling Program).
- 藤岡換太郎・竹内 章・堀内一穂・岡野 肇・村山雅史・堀井善弘 (1993): 日本海溝の陸側・海側斜面の地形とテクトニクス. しんかいシンポジウム報告書, 9, 1-26.
- 藤岡換太郎・和田秀樹・森田澄人・篠原雅尚・小泉聡子 (1993): 伊豆・小笠原海溝の前弧斜面の潜航結果一 鯨骨生物群集一. しんかいシンポジウム報告書, 9, 133-149.
- 藤岡換太郎・和田秀樹・岡野 肇 (1993): 鳥島海山の鯨骨に群がる深海生物群集—しんかい6500による新しい発見—. 地学雑誌, 102, 507-517.
- 藤岡換太郎・和田秀樹・B. Taylor・S. DeBari・森田澄人・川手新一・古賀義徳・岡野 肇・橋本 惇・藤倉克則 (1992): 伊豆・小笠原海溝の蛇紋岩海山と鯨骨生物群集の成因. 第9回しんかいシンポジウム予稿集, 34-38.
- Honza, E., E. Inoue and T. Ishihara (1981): Geological investigation of the Ogasawara (Bonin) and northern Mariana arcs. Geol. Surv. Jap.
- Honza, E. and K. Tamaki (1985): The Bonin arc. In Ocean basins and margins. Edited by A.E.M. Nairn et al., Plenum Press, New York, 7 A, 459-502.
- Hotta, H. (1970): A crustal section across the Izu-Bonin Arc and Trench. J. Phys. Earth, 18, 125-141.
- 堀田 宏・小林和男・小川勇二郎 (1992): 日本海溝北部海側斜面の地殻構造「しんかい6500」第65, 66, 67潜航報告. しんかいシンポジウム報告書, 8, 1-15.
- Hussong, D.M. and P. Fryer (1985): "Forearc tectonics in the northern Mariana arc." p273-290. In: Formation of Active Ocean Margins. Edited by N. Nasu, Terra Scientific Publishing Company, Tokyo.
- Hussong, D.M. and S. Uyeda (1982): "Tectonic processes and the history of the Mariana Arc. A synthesis of the results of Deep Sea Drilling Project Leg 60." p909-929. In: Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, 60. Edited by D.M. Hussong and S. Uyeda et al., U.S. Government Printing Office, Washington.
- Johnson, L.E., P. Fryer, B. Taylor, M. Silk, W.V. Sliter, D.L. Jones, T. Itaya and T. Ishii (1992): New evidence for crustal accretion in the outer Mariana forearc: Cretaceous Radiolarian Cherts and MORB-like lavas. Geology, 19, 811-814.
- 貝塚爽平 (1984): 南部フォッサマグナに関する地形とその成立過程. 第四紀研究, 23, 55-70.
- Karig, D.E. (1971): Origin and development of marginal basins in the Western Pacific. Jour. Geophys. Res., 76, 2542-2561.
- Karig, D.E. J.C. Ingle et al. (1975): Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, v. 31. Washington (U.S. Government Printing Office).
- Klein de Vris and K. Kobayashi et al. (1980): Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, v. 58. Washington (U.S. Government Printing Office).
- Kobayashi, K. (editor) (1991): Preliminary report of the Hakuho-Maru cruise, KH90-1, 1-174.
- Kobayashi, K. and M. Nakada (1979): "Magnetic anomalies and tectonic evolution of the Shikoku inter-arc basin." p391-402. In: Geodynamics of the Western Pacific. Edited by S. Uyeda et al., Advances in Earth and Planet. Sci., 6.
- Kroenke, L. and Scott, R. et al. (1980): Init. Repts. DSDP., 59. Washington (U.S. Govt. Printing Office).
- Lancelot, Y., R. Larson et al. (1990): Proc. ODP, Init. Repts., 129. College Station, TX (Ocean Drilling Program).

- Ludwig, W.J., J.I. Ewing, M. Ewing, S. Murauchi, N. Den, S. Asano, H. Hotta, M. Hayakawa, T. Asanuma, K. Ichikawa and I. Noguchi (1966): Sediments and structure of the Japan trench. *J. Geophys. Res.*, 71, 2121.
- Maekawa, H., M. Shouzui, T. Ishii, K.L. Saboda and Y. Ogawa (1992): "Metamorphic rocks from the serpentinite seamounts in the Mariana and Izu-Ogasawara forearcs." p415-430. In: Proc. ODP, Sci. Results, 125. Edited by P. Fryer, J.A. Pearce, L.B. Stokking et al., College Station, TX (Ocean Drilling Program).
- Mottl, J.M. (1992): "Pore waters from serpentinite seamount in the Mariana and Izu-Bonin forearc." p 373-385. In: Proc. ODP, Sci. Results, 125. Edited by P. Fryer, J.A. Pearce, L.B. Stokking et al., College Station, TX (Ocean Drilling Program).
- Murauchi, S., N. Den, S. Asano, H. Hotta, T. Yoshii, T. Asanuma, K. Hagiwara, K. Ichikawa, T. Yoshii, T. Asanuma, K. Hagiwara, K. Ichikawa, T. Sato, W. J. Ludwig, J.I. Ewing, N.T. Edgar and R.E. Houtz (1968): Crustal Structure of the Philippine Sea. - *Journal of Geophysical Research*, 73, 143-3171.
- 西村はるみ・川田多加美・小川勇二郎 (1993): 「しんかい6500」, Dive 134により採集された深海堆積物に見られる微細構造. しんかいシンポジウム報告書, 9, 49-64.
- Seno, T. and S. Maruyama (1984): Paleogeographic reconstruction and origin of the Philippine Sea. *Tectonophysics*, 102, 53-84.
- 瀬田英憲・長岡信治・加藤 茂 (1991): ナローマルチビーム測深機による伊豆・小笠原弧海溝の海底地形. 水路部研究報告, 27, 173-180.
- Smith, C.R., H. Kukert, R.A. Wheatcroft, P.A. Jumars and J.W. Deming (1989): Vent fauna on whale remains. *Nature*, 341, 27-28.
- 平 朝彦・徳山英一・末廣 潔・藤岡換太郎 (1993): 北部伊豆・小笠原島弧の地殻はどのようにして形成されたか. 日本地質学会第100年学術大会講演要旨.
- 玉木賢策・井上英二・湯浅真人・棚橋 学・本座栄一 (1991): 小笠原弧における第四紀背弧拡大活動の可能性について. 月刊地球, 3, 421-431.
- Taylor, B., G. Brown, P. Fryer, J.B. Gill, A.G. Hochstaedter, H. Honza, C.H. Langmir, M. Leinen, A. Nishimura and T. Urabe (1990): ALVIN-sea beam studies of the Sumiu Rift, Izu-Bonin arc. *Earth Planet. Sci. Lettr.*, 100, 127-147.
- Taylor, B. and K. Fujioka et al. (1992): Proc. ODP, Sci. Results, 126. College Station, TX (Ocean Drilling Program).
- Yuasa, M. (1986): "Sofugan Tectonic Line, a new tectonic boundary separating northern and southern parts of the Ogasawara (Bonin) Arc, northwest Pacific." p483-496. In: Formation of active ocean margins. Edited by N. Nasu, K. Kobayashi, S. Uyeda, I. Kushiro and H. Kagami, Terra Sci. Pub. Comp., Tokyo.
- Yuasa, M., A. Nishimura and H. Makimoto (1981): "Sediment, rocks and ferromangans oxide." p95-109. In: Geological investigation of the Ogasawara (Bonin) and northern Mariana arcs. Edited by Honza et al., Geol. Surv. Jap.

(原稿受理: 1994年 6月30日)

(注) 表及び写真は次ページ以降に掲載

表 1 乗船研究者一覧

Table 1 List of scientist aboard during the cruise IZUMARIA 2.

Dr. Kantaro Fujioka
Chief Scientist
Deep Sea Research Department, Japan Marine Science and Technology Center (JAMSTEC)
2-15, Natsushima-cho, Yokosuka, Kanagawa Prefecture 237, Japan
Tel : 0468-66-3811 Ex. 411, Fax : 0468-66-5541, E-mail : fujiokak@mstkid.jamstec.go.jp

Dr. Hidekazu Tokuyama
Assistant Chief Scientist
Ocean Research Institute, University of Tokyo
1-15-1, Minamidai, Nakano Tokyo 164, Japan
Tel : 03-5351-6441, Fax : 03-5351-6438

Dr. Patricia Fryer
Assistant Chief Scientist
SOEST/Planetary, Geosciences, University of Hawaii
2525 Correa Road, Honolulu, HI 96822, U.S.A.
Tel : 808-956-3146, Fax : 808-956-4322, E-mail : pfryer@soest.hawaii.edu

Dr. Hideki Wada
Institute of Geosciences, Shizuoka University
836 Ohya, Shizuoka 422, Japan
Tel : 054-237-1111 Ex. 5808, Fax : 054-238-0491

Dr. Susan DeBari
Geology Department, San Jose State University
San Jose, California 95192-0102, U.S.A.
Tel : 408-924-5027, Fax : 408-924-5053
E-mail : susan@pangea.stanford.edu
susan%geosun1@sparta.sjsu.edu

Dr. Takeshi Naganuma
Deep STAR Program, Japan Marine Science and Technology Center
2-15, Natsushima-cho, Yokosuka, Kanagawa 237, Japan
Tel : 0468-66-3811 Ex. 484, Fax : 0468-66-6364, E-mail

Ms. Kyoko Okino
Hydrographic Department, Maritime Safety Agency
5-3-1 Tsukiji, Chuo-ku, Tokyo 104, Japan
Tel : 03-3541-3811, Fax : 03-3545-2885

Dr. Yujiro Ogawa
Institute of Geoscience, University of Tsukuba
Tsukuba 305, Japan
Tel : 0298-53-4307, Ex : 4473, Fax : 0298-51-9764, E-mail : yogawa@arsia.geo.tsukuba.ac.jp

Dr. Atsushi Oshida
Deep Sea Research Department, Japan Marine Science and Technology Center
2-15, Natsushima-cho, Yokosuka, Kanagawa Prefecture 237, Japan
Tel : 0468-66-3811, Fax : 0468-66-5541, E-mail : oshidaa@mstkid.jamstec.go.jp

Dr. Harumi Nishimura
Institute of Geoscience, University of Tsukuba
Tsukuba 305, Japan
Tel : 0298-53-4546, Fax : 0298-51-9764, E-mail : yogawa@arsia.geo.tsukuba.ac.jp

Mr. Hisayoshi Kato
Institute of Geology and Paleontology, Faculty of Science, Tohoku University
Aobayama, Sendai 980, Japan
Tel : 022-222-1800, Ex. 3418

Mr. Kan Aoike
Geological Institute, Faculty of Education, Yokohama National University
156, Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240 Japan
Tel : 045-335-1451

表 2 潜航点一覧
Table 2 List of dive points.

#168潜航	9月11日	伊豆・小笠原中部海側斜面	水深 6,500m
海洋科学技術センター 藤岡換太郎			
#169潜航	9月12日	伊豆・小笠原中部海側斜面	水深 6,390m
San Jose State Univ. Susan DeBari			
#171潜航	9月14日 (火)	伊豆・小笠原中部前弧斜面	水深 6,344m
San Jose State Univ. Susan DeBari			
#172潜航	9月16日 (木)	陸側斜面須美寿海山斜面	水深 6,499m
海洋科学技術センター 藤岡換太郎			
#173潜航	9月17日 (金)	小笠原海溝陸側斜面鳥島海山斜面	水深 4,056m
海洋科学技術センター 長沼 毅			
#174潜航	9月18日	小笠原海溝陸側斜面鳥島海山斜面	水深 4,037m
静岡大学理学部 和田 秀樹			
#175潜航	9月19日	伊豆・小笠原海嶺鳥島リフト	水深 2,679m
東京大学海洋研究所 徳山 英一			
#176潜航	9月21日	四国海盆東部	水深 4,644m
海上保安庁水路部 沖野 郷子			
#177潜航	9月22日	四国海盆東部	水深 4,739m
海洋科学技術センター 藤岡換太郎			
#178潜航	9月30日	マリアナ海溝バックマン海山南東翼	水深 3,604m
University of Hawaii Patricia Fryer			
#179潜航	10月1日	マリアナ海溝コニカル海山	水深 3,275m
海洋科学技術センター 藤岡換太郎			
#180潜航	10月2日	マリアナ海溝コニカル三角地帯	水深 5,755m
University of Hawaii Patricia Fryer			
#181潜航	10月4日	マリアナ海溝海側斜面	水深 6,424m
筑波大学 小川勇二郎			

Table 3 List of all the samples collected during the cruise.

No.	Dive No.	潜航年月日	潜航者	試料種類	試料番号	試料名	数量	重量(g)	外径 (cm*cm*cm*)	記 載
1	#168	1993 9 11	藤岡 換太郎	岩石	R-001	Mudstone with manganese coat	1	450	11 9 5	Brownish gray mudstone with maximum 10mm to minimum 3 mm manganese crust.
2	#168	1993 9 11	藤岡 換太郎	岩石	R-002	Mudstone	1	2250	23 15 10	Highly jointed light yellow brown mudstone with manganese crust.
3	#168	1993 9 11	藤岡 換太郎	岩石	R-003	Brownish gray mud	1	750	5 3 2	Brownish gray mud.
4	#168	1993 9 11	藤岡 換太郎	岩石	R-004	Mudstone	1	600	14 12 5	Yellow brown mudstone with manganese coating.
5	#168	1993 9 11	藤岡 換太郎	コア	C-001	Mud	1			Coarse mud with pebbles of mudstones, brown mud with white ash layer.
6	#168	1993 9 11	藤岡 換太郎	コア	C-002	Mud	1			Dark brown mud with ash suffered from highly bioturbation.
7	#168	1993 9 11	藤岡 換太郎	コア	C-003	Mud	1			Brown mud with white ash layer.
8	#169	1993 9 12	Susan DeBari	岩石	R-001-a	Basaltic Andesite	1	525	10 9 6	Blueish gray. A little thin crack.
9	#169	1993 9 12	Susan DeBari	岩石	R-001-b	Basaltic Andesite	1	1250	18 8 7	Blueish gray. A little thin crack.
10	#169	1993 9 12	Susan DeBari	コア	C-001	Mud	1			Dark brown to grayish brown. There is a burrow in the middle horizon of the core.
11	#171	1993 9 14	Susan DeBari	コア	C-001	Mud	1			Moderate brown. Homogeneous, very soft, no internal structure. Dark reddish brown lenses make slightly lamination in 5cm of the lower part of the core.
12	#171	1993 9 14	Susan DeBari	コア	C-002	Mud	1			Moderate brown. Homogeneous, very soft, no internal structure.
13	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	コア	C-001		1			試料は入っていないかった。
14	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	コア	C-002	Mud	1			Brownish gray mud. Slightly consolidated, bedding.
15	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	コア	C-003	Mud	1			Dark brown mud.
16	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	コア	R-001-01	Serpentinite	1	3400	19 11 13	Massive dark green serpentinite with white fine vein network. Contact with serpentine conglomerate.
17	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-001-02	Serpentinite	1	2900	18 13.5 10	Highly sheared serpentinite.
18	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-001-03	Serpentine Sandstone	1	400	11 6 5	Serpentine sandstone, irregular mixture of coarse sand and serpentine.
19	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-001-04	Basalt	1	400	9 7 5	Fine-grained basalt with alteration halo. Aphyric with minute vein.
20	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-001-05	Serpentinite	1	300	6.5 5 5	Highly altered serpentinite.
21	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-001-06	Serpentinite breccia	1	350	8 6.5 6	Dark green Serpentine breccia with vein (cataclastic texture).
22	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-001-07	Serpentinite	1	100	6 3.5 3.5	Highly serpentinitized serpentinite.

No.	Dive No.	潜航年月日	潜航者	試料種類	試料番号	試料名	数量	重量(g)	外径 (cm*cm*cm*)	記 載
23	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-001-08	Serpentine Sandstone	1	150	9 5 2	Serpentine sandstone and siltstone.
24	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-001-09	Peridotite	1		5.5 2.5 3	
25	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-001-10	Peridotite	1		2.5 3.5 1.5	
26	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-001-11	Peridotite	1		5 2.5 3	
27	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-001-12	Peridotite	1		4.5 3 2	
28	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-001-13	Peridotite	1		3.7 2.8 1.5	
29	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-001-14	Peridotite	1		3.5 3 1.7	
30	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-001-15	Peridotite	1		3 2.5 1.5	
31	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-002-01	Serpentine Conglomerate	1	5800	27 15 14	Serpentine conglomerate highly sheared with white vein inside, meta-gabbro (quartz diorite) with fine white vein rather leucocratic.
32	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-002-02	Basalt	1	3500	19 16 9	Vesicular basalt (or boninite) megacryst, plagioclase free contact with debris.
33	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-002-03	Peridotite	1		4 2.5 1.8	
34	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-002-04	Peridotite	1		2 1 0.9	
35	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-002-05	Peridotite	1		2.6 1.3 0.8	
36	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-002-06	Peridotite	1		1.8 1.5 1.3	
37	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-002-07	Diorite	1	11300	24 20 14	Micro quartz diorite.
38	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-003-01	Conglomerate	1	20	45 25 20	pumice, scoria, altered scoria and matrix.
39	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-003-02	Conglomerate	1	3600	21 10 13	Same as R-003-01.
40	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-004-01	Basalt	1	500	9 8 6	Altered pillow basalt.
41	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	R-004-02	Serpentinite	1	300	7.5 6.5 4.5	Serpentinite inside rodingite.
42	#172	1993 9 16	藤岡 換太郎	岩石	172-雑多	Pebbles				Various kind of rocks gathered in the sample basket.
43	#173	1993 9 17	長沼 毅	コア	C-001	Clay	1	約200cc		主に red clay. 上部 6 cm 黒色の中粒砂。コア長約15cm 最上層部の一部は 4℃ および液体窒素中で保存 (長沼管理)。他の部分は和田秀樹氏 (静岡大学理学部) が保存管理。
44	#174	1993 9 18	和田 秀樹	コア	C-001	Mud	1			骨から 2.5m の海底表面の泥
45	#174	1993 9 18	和田 秀樹	コア	C-002	Mud	1			骨から 1.5m の海底表面の泥
46	#174	1993 9 18	和田 秀樹	コア	C-003	Mud	1			骨から 0.3m の海底表面の泥。環形の生物が多数見られる表層のど真ん中。
47	#174	1993 9 18	和田 秀樹	コア	C-004	Mud	1			採取骨の真下の堆積物。採取した泥の下部に 15センチほどの環形の生物がしたの層から抜けて採取された。

No.	Dive No.	潜航年月日	潜航者	試料種類	試料番号	試料名	数量	重量(g)	外径 (cm*cm*cm*)	記 載
48	#174	1993 9 18	和田 秀樹	コア	C-005	Mud	1			顎の骨の中央部, 耳骨のしたの堆積物。
49	#174	1993 9 18	和田 秀樹	生物		鯨骨	1			1) 鯨骨1個。大きさは約15cm立方体に近いが, 泥に埋まっていた下部から3センチくらいが大きく, シンカイヒバリガイの付着している上部が捕食によって細くなりてっぺんは丸くなっている。
50	#174	1993 9 18	和田 秀樹	生物		シンカイコシオリエビ	1			2) シンカイコシオリエビ1個体。持参の網で鯨骨を覆い骨に付いていた3匹のコシオリエビを捕獲したが, 骨を収用する際に, 2匹は逃亡した。
51	#174	1993 9 18	和田 秀樹	生物		ウニ	1			3) ウニ1個体。採取した鯨骨の北側の骨に付着していたものを採取した。これ以外にウニの付着している骨は2個体が観察される。
52	#174	1993 9 18	和田 秀樹	生物		巻き貝	2			4) 巻き貝2個体。鯨骨から2センチ以内の泥の層の上に生息していた個体を採取した。
53	#174	1993 9 18	和田 秀樹	生物		多毛類				5) 採取した鯨骨の周辺数センチには, びっしりと多毛類の管状の個体が堆積物のなかから突き出している。そのうちグラバの操作によりひとつかみの泥と一緒に生物も採取した。
54	#174	1993 9 18	和田 秀樹	生物		耳骨	1			6) 鯨の顎の部分から耳骨1個体。耳骨と思われる, ほねとは違って少し茶色がかったながさ10センチ太さ5センチくらいの紡錘形の物体を採取した。これは, 巻き貝のように巻き込まれた形をしており, 耳骨と思われる。鯨の種の同定に有効であろう。
55	#174	1993 9 18	和田 秀樹	生物		ヒトデ, その他				7) ヒトデ, その他のぶよぶよのゼリー状の丸い生物が, 採取した泥のなかから採取された。
56	#175	1993 9 19	徳山 英一	岩石	R-001	Volcanic Sandstone	1	3900	30 14 10	grading が認められる。水中噴火した pyroclastic flow の先端部かも知れない。
57	#175	1993 9 19	徳山 英一	岩石	R-002	Claystone	1	3950	25 15 10	大部分が clay mineral より構成されている。ナノプランクトンおよび有孔虫は認められない。
58	#175	1993 9 19	徳山 英一	岩石	R-003	Gabbro	1	600	10 9 7	完晶質
59	#175	1993 9 19	徳山 英一	岩石	R-004	Basalt	1	3600	18 14 14	brecciated pillow の一部と解釈される。発泡度が高い。
60	#175	1993 9 19	徳山 英一	岩石	R-005	Volcanic Sandstone	1	1000	14 9 10	サンプル175-001と同類のものと判断される。
61	#175	1993 9 19	徳山 英一	コア	C-001	Mud	1			色彩: pale yellowish brown 有孔虫を含む。
62	#175	1993 9 19	徳山 英一	コア	C-002	Mud	1			色彩: brownish black, brown glass を含む火山岩起源の堆積物。
63	#176	1993 9 21	沖野 郷子	岩石	R-001-1	角礫岩	1	1600	13 14 10	マンガンに被覆されている。基質は泥質, 中粒砂。層はおそらく Basalt 片の細~中礫 (max ϕ = 4.5)
64	#176	1993 9 21	沖野 郷子	岩石	R-001-2	泥岩	1	350	11 8 5.5	マンガンに被覆されている。黄褐色。フン状生痕化石のほか Recent の生痕で穿孔されている。

No.	Dive No.	潜航年月日	潜航者	試料種類	試料番号	試料名	数量	重量(g)	外径 (cm*cm*cm*)	記 載
65	#176	1993 9 21	沖野 郷子	岩石	R-001-3	軽石	1	400	11 8 8	Cobble サイズの pumice。
66	#176	1993 9 21	沖野 郷子	岩石	R-002-1	凝灰角礫岩を被覆す	1	1800	19 13 13	泥岩ないし凝灰質泥岩 (3.5cm厚) に火山岩片 (0.5~2cm φ) に富む凝灰角礫岩 (5cm厚) が重なり, これを2.5cm厚のマンガンが被覆している。
67	#176	1993 9 21	沖野 郷子	岩石	R-002-2	泥岩及び玄武岩 (?)	1	800	12 7.5 7	泥岩にアフィリックな火山岩の貫入したもの。
68	#176	1993 9 21	沖野 郷子	岩石	R-003	泥岩	1	350	11 9 7	マンガンに被覆されている。黄褐色。フン状生痕化石。
69	#176	1993 9 21	沖野 郷子	コア	C-001	砂質泥岩	1			sd/mud. Moderately yellow brown. Contains foraminifera.
70	#176	1993 9 21	沖野 郷子	コア	C-002	砂質泥岩	1			Covered with black manganese. Manganese coating granule. sd/mud. Dark yellow brown. Contains foraminifera. sd/mud. Moderate yellow brown. Dark obscure layer.
71	#177	1993 9 22	藤岡 換太郎	岩石	R-001-01	Basalt	1	3350	21 13 10	Aphyric pillow basalt with chilled margin.
72	#177	1993 9 22	藤岡 換太郎	岩石	R-001-02	Basalt	1	600	11 9.5 5	Pillow basalt breccia.
73	#177	1993 9 22	藤岡 換太郎	岩石	R-001-03	Basalt	1	450	11 6 5	Dark gray to brown basalt, plagioclase phytic.
74	#177	1993 9 22	藤岡 換太郎	岩石	R-002-01	Mudstone	1	4400	20 18 10	Yellow brown mudstone with manganese coating basalt.
75	#177	1993 9 22	藤岡 換太郎	岩石	R-002-02	Basalt	1	2750	19 12 10	Slightly altered porphyritic basalt.
76	#177	1993 9 22	藤岡 換太郎	岩石	R-003-01	Basalt	1	1000	13 9 8	Pillow basalt.
77	#177	1993 9 22	藤岡 換太郎	岩石	R-003-02	Manganese Crust	1	14500	40 27 18	Manganese pillow with calcareous sediments including basalt breccia.
78	#177	1993 9 22	藤岡 換太郎	岩石	R-004-01	Basalt	1	1400	15 12 7	Basalt intruded into soft sediments including soft sediments.
79	#177	1993 9 22	藤岡 換太郎	岩石	R-004-02	Basalt	1	4700	36 28 5	Ropy lava flowed on the soft nannofossil rich sediments. Nannofossil chalk ball is included with lava.
80	#177	1993 9 22	藤岡 換太郎	コア	C-001	Mud	1			Upper 10cm dark brown mud and lower light brownish gray mud (slightly consolidated).
81	#177	1993 9 22	藤岡 換太郎	コア	C-002	Mud	1			Upper 3cm manganese granule pebble and mudstone bearing mud and lower light brownish gray mudstone.
82	#178	1993 9 30	Patricia Fryer	岩石	R-001-1	Serpentinized Harzburgite	1	7600	18.5 16 12.5	Piece of serpentinized harzburgite collected at base of large peridotite boulder that was covered with a cap of serpentine mud.
83	#178	1993 9 30	Patricia Fryer	岩石	R-001-2	Serpentinized Harzburgite	1	4300	16 16 14	Piece of serpentinized harzburgite collected at base of large peridotite boulder that was covered with a cap of serpentine mud.
84	#178	1993 9 30	Patricia Fryer	岩石	R-002	Serpentinized Harzburgite				Piece of serpentinized harzburgite collected from the cap of serpentine mud covering a large peridotite boulder.
85	#178	1993 9 30	Patricia Fryer	岩石	R-002 mud	Mud		400		

No.	Dive No.	潜航年月日	潜航者	試料種類	試料番号	試料名	数量	重量(g)	外径 (cm*cm*cm*)	記 載
86	#178	1993 9 30	Patricia Fryer	岩石	R-003-1	Serpentinized Harzburgite	1	450	15 10 7	Small piece of serpentinized harburgite collected from the chimney area adhering to substrate on which the chimneys had formed.
87	#178	1993 9 30	Patricia Fryer	岩石	R-003-2	Chimney	3	100	5.5 5 4	
88	#178	1993 9 30	Patricia Fryer	岩石	R-004	Siltstone	1	800	20 10 4	Small piece of manganese encrusted brown siltstone.
89	#178	1993 9 30	Patricia Fryer	コア	C-001	Serpentine Mud				Core of serpentine mud collected from an area with several 1m high exposures of serpentine mud in a series of 4 ridges and troughs (fault controlled).
90	#178	1993 9 30	Patricia Fryer	コア	C-002	Mud				Core of sediment covered serpentine collected at a distance of 1 m from the chimney site.
91	#178	1993 9 30	Patricia Fryer	コア	C-003	Mud				Core of sediment covered serpentine collected at a distance of 0.5m from the chimney site.
92	#178	1993 9 30	Patricia Fryer	コア	C-004	Mud				Core of sediment covered serpentine collected at a distance of 0.0m from the chimney site.
93	#178	1993 9 30	Patricia Fryer	コア	C-005	Mud				Core of brown sediment collected near the site where sample 178-R004 was collected.
94	#179	1993 10 1	藤岡 換太郎	岩石	R-001-01	Serpentinite	1	300	7.5 6 4	Serpentinite with reddish veinlets.
95	#179	1993 10 1	藤岡 換太郎	岩石	R-001-02	Serpentinite	1	150	6 5 2.5	Highly altered serpentinite with reddish pebbles.
96	#179	1993 10 1	藤岡 換太郎	岩石	R-001-03	Peridotite	1	50	3.5 3.5 2.5	Highly altered peridotite.
97	#179	1993 10 1	藤岡 換太郎	岩石	R-002-01	Peridotite	1	4000	22 17 11	Peridotite. Surface manganese coated.
98	#179	1993 10 1	藤岡 換太郎	岩石	R-002-02	Serpentinite	1	1300	12 10 9	Serpentinite.
99	#179	1993 10 1	藤岡 換太郎	岩石	R-003-01	Peridotite	1	1500	16 9 7.5	Peridotite with brown vein.
100	#179	1993 10 1	藤岡 換太郎	岩石	R-003-02	Peridotite	1	2800	17 11 11	Peridotite.
101	#179	1993 10 1	藤岡 換太郎	岩石	R-003-03	Peridotite	1	1400	12 9 8	Peridotite.
102	#179	1993 10 1	藤岡 換太郎	岩石	R-003-04	Peridotite	1	700	7 7 10.5	Peridotite.
103	#179	1993 10 1	藤岡 換太郎	岩石	R-003-05	Serpentinite	1	5500	19 18 16	Serpentinite.
104	#179	1993 10 1	藤岡 換太郎	岩石	R-003-06	Peridotite	1	1800	17 11 8.5	Peridotite.
105	#179	1993 10 1	藤岡 換太郎	岩石	R-003-07	Peridotite	1	1000	11 10 7.5	Peridotite.
106	#179	1993 10 1	藤岡 換太郎	岩石	R-003-08	Peridotite	1	1500	13 11 9	Peridotite.
107	#179	1993 10 1	藤岡 換太郎	岩石	R-003-09	Serpentinite	1	300	7.5 8.5 3.5	Serpentinite.
108	#179	1993 10 1	藤岡 換太郎	岩石	R-003-10	Peridotite	1	300	8.5 7 5	Peridotite, highly altered.

No.	Dive No.	潜航年月日	潜航者	試料種類	試料番号	試料名	数量	重量(g)	外径 (cm*cm*cm*)	記 載
109	#179	1993 10 1	藤岡 換太郎	岩石	R-003-11	Mud	1	150	6.5 5.5 2	Mud ball.
110	#179	1993 10 1	藤岡 換太郎	岩石	R-003-12	Peridotite	1	200	7.5 6 3	Peridotite.
111	#179	1993 10 1	藤岡 換太郎	岩石	R-003-13	Peridotite	1	500	10 8.5 6.5	Peridotite.
112	#179	1993 10 1	藤岡 換太郎	岩石	R-004	Chimney	1	12000	40 25 15	Chimney.
113	#179	1993 10 1	藤岡 換太郎	コア	C-001	Mud	1			Soft mud. Uppey 5cm unconsolidated yellow brown soupy mud. Lower dark brown nannofossil rich mud. (13cm)
114	#179	1993 10 1	藤岡 換太郎	コア	C-002	Pebbly Mud	1			Semiconsolidated mud with pebble light greenish gray. (18cm)
115	#179	1993 10 1	藤岡 換太郎	コア	C-003	Sandy Mud	1			Grayish brown sandy mud. (17cm)
116	#179	1993 10 1	藤岡 換太郎	コア	C-004	Mud	1			Soupy mud.
117	#180	1993 10 2	Patricia Fryer	岩石	R-001	Coarse-grained sandstone	1			Small piece of coarse-grained sandstone.
118	#180	1993 10 2	Patricia Fryer	岩石	R-002	Coarse-grained sandstone	1			Several small fragments of siltstone.
119	#180	1993 10 2	Patricia Fryer	岩石	R-003	Sheared metabasalt	1			
120	#180	1993 10 2	Patricia Fryer	岩石	R-004	Serpentinized peridotite (harzburgite?)	1			
121	#180	1993 10 2	Patricia Fryer	岩石	R-005	Metamorphosed gabbro	1			
122	#180	1993 10 2	Patricia Fryer	岩石	R-006	Metamorphosed vesicular basalt	1			Sheared and brecciated has slickensides on.
123	#180	1993 10 2	Patricia Fryer	岩石	R-007	Metabasalt	1			Originally vesicular sheared and metamorphosed.
124	#181	1993 10 4	小川 勇二郎	堆積物	R-001	Siliceous Shale	1		10 25 18	Grayish brown, lamination of grayish brown to light brown.
125	#181	1993 10 4	小川 勇二郎	岩石	R-002	Basalt	1		23 18 14	Dark gray massive, subophitic (?), probably a part of pillow lava.
126	#181	1993 10 4	小川 勇二郎	岩石	R-003	Volcanic sandstone	1		20 20 10	Alternation of greenish and whitish fine grained volcanoclastic sandstone.
127	#181	1993 10 4	小川 勇二郎	岩石	R-004	Siliceous shale	1		25 18 10	Finely laminated dark brownish red and moderate brown siliceous shale.
128	#181	1993 10 4	小川 勇二郎	岩石	R-005	Siliceous shale	1		25 20 15	Bedded moderate brown and light brown siliceous shale.
129	#181	1993 10 4	小川 勇二郎	岩石	R-006	Pillow breccia with volcanoclastics	1		7 7 12	Manganese coated basaltic rock, probably pillow breccia and volcanoclastics.
130	#181	1993 10 4	小川 勇二郎	コア	C-002	Mud	1			Dark brown pelagic mud.
131	#181	1993 10 4	小川 勇二郎	コア	C-003	Mud	1			Moderate brown pelagic mud.
132	#181	1993 10 4	小川 勇二郎	コア	C-004	Mud	1			Moderate brown pelagic mud.

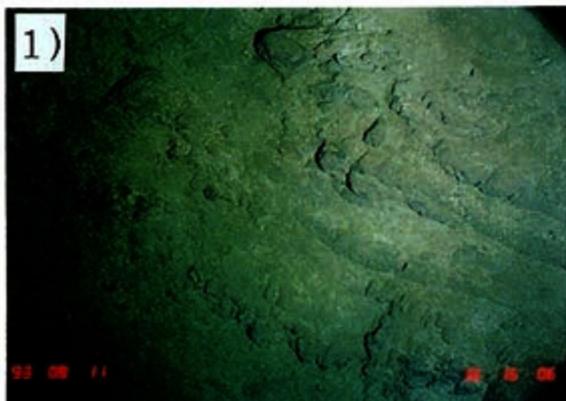


写真 1 著しく変形した泥岩の露頭。伊豆・小笠原弧海側斜面の地塁・地溝の壁を形成している。

Photo 1 Outcrop of highly deformed mudstone, forming wall of the horst and graben structure of the Izu-Bonin seaward slope.



写真 4 伊豆・小笠原弧陸側斜面鳥島鯨骨生物群集全景。発見より1年後

Photo 4 Overview of the Torishima Whale Bone Animal Community after one year from the first discovery, 1991.

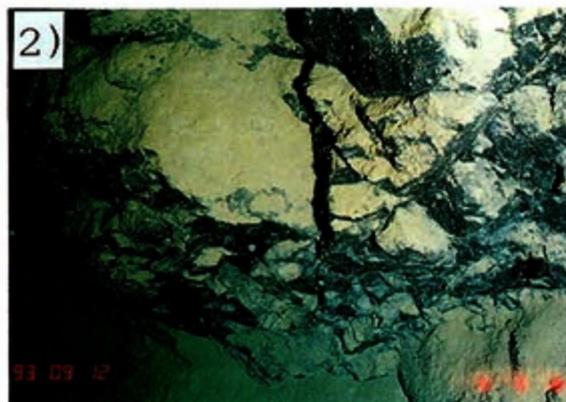


写真 2 伊豆・小笠原弧陸側斜面に見られる塊状玄武岩溶岩の露頭

Photo 2 Outcrop of blocky basaltic lava at the Izu-Bonin landward slope.



写真 5 伊豆・小笠原弧陸側斜面鳥島鯨骨生物群集の顎の骨。耳骨や肋骨も見られる。おびただしい生物が群がる。

Photo 5 Jaw bone of TOWBAC. Ear bones and ribs are also seen.

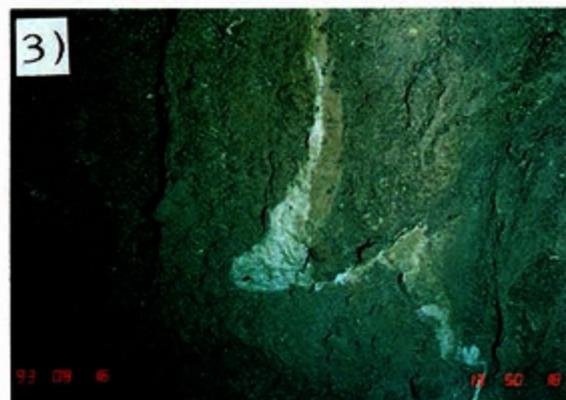


写真 3 伊豆・小笠原弧陸側斜面須美寿海山の蛇紋岩フローの中に見られる白い脈

Photo 3 White vein in the serpentine flow on the Sumisu Seamount at the Izu-Bonin landward slope.



写真 6 伊豆・小笠原弧陸側斜面鳥島鯨骨生物群集の顎の骨の一部。多毛類またはチューブワームが見られる。

Photo 6 A part of jaw bone of the TOWBAC. Tube worms are seen.

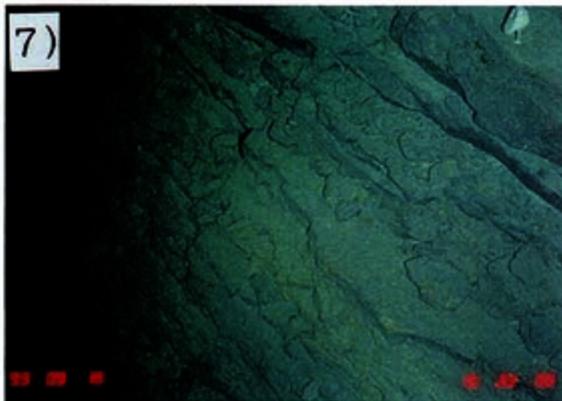


写真 7 伊豆・小笠原島リフトの壁に見られる火山砕屑岩の露頭
Photo 7 Outcrop of volcanoclastics on the wall of the Torishima Rift.

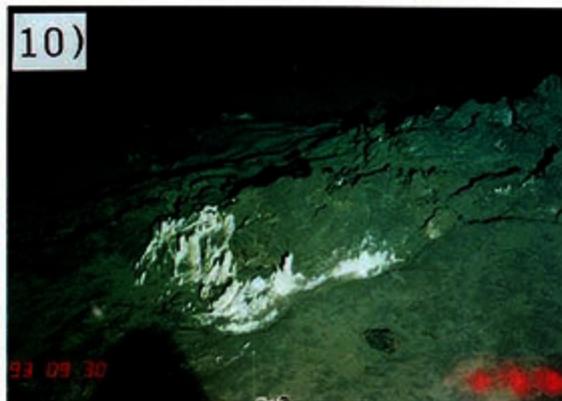


写真 10 マリアナ前弧のバックマン海山南翼に見られるベビーチムニー群
Photo 10 A group of baby chimneys at the southern arm of the Pacman Seamount.

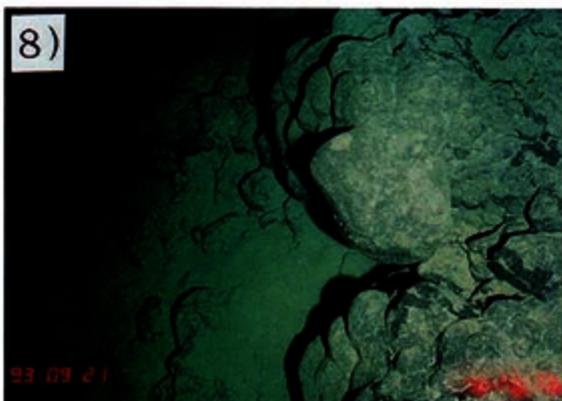


写真 8 四国海盆東部の紀南海底崖を覆う舗装タイプのマンガンの急崖
Photo 8 Manganese pavement covering the Kinan Escarpment east of the Shikoku Basin.



写真 11 マリアナ前弧コニカル海山の蛇紋岩フロー。内部に様々な大きさのカンラン岩や捕獲岩を含む。
Photo 11 Serpentine flow on the Conical Seamount at the Mariana forearc. Inside the flow various sizes of peridotites and xenoliths are included.



写真 9 四国海盆東部の紀南海底崖から発見された縄状溶岩の露頭
Photo 9 Outcrop of ropy lavas at the Kinan Escarpment east of the Shikoku Basin.



写真 12 マリアナ前弧コニカル海山の炭酸塩チムニーに生息する巨大なイソギンチャク
Photo 12 Giant sea anemone living on the carbonate chimney on the Conical Seamount at the Mariana forearc.

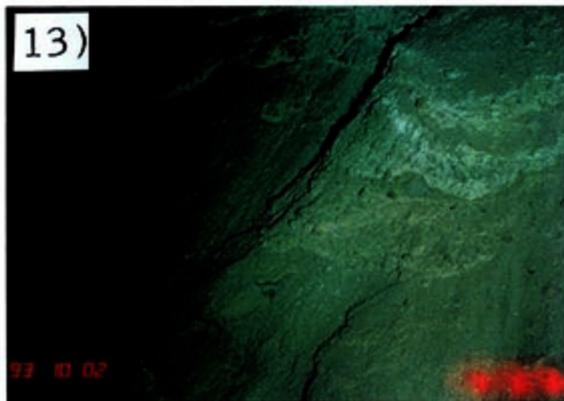


写真 13 コニバック三角地帯の蛇紋岩フロー。何枚も積み重なっている様子がわかる。

Photo 13 Serpentine flow along the Coni-Pac triangle. Sequential relation of the flows are well documented.



写真 14 マリアナ海溝海側斜面のチャートの下に重なる枕状溶岩

Photo 14 Pillow lava below chert at the Mariana seaward slope.



写真 15 マリアナ海溝海側斜面のチャートの上に重なる泥岩層。層理面がはっきり見えるが変形して小断層によって切られている。この下には赤いチャート、玄武岩が重なる。

Photo 15 Mudstone bed above the red chert. Stratification are well observed but deformed and cut by micro faults. Below this is basalt.



写真 16 変形を受けた黄褐色泥岩

Photo 16 Highly jointed light yellow brown mudstone with manganese crust.

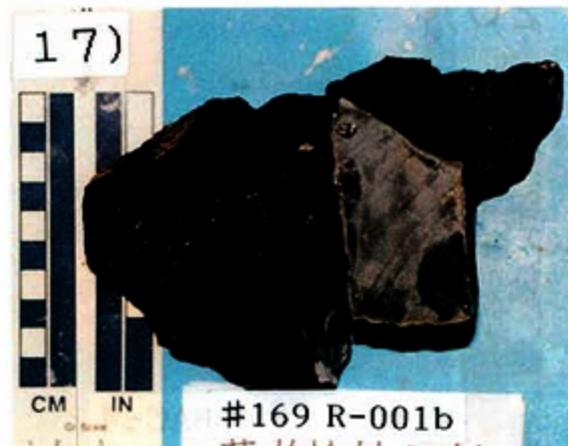


写真 17 島弧の基盤を構成する玄武岩質安山岩

Photo 17 Arc basement basaltic andesite basement.



写真 18 白い脈を挟む蛇紋岩

Photo 18 Serpentinite with minute white vein network.

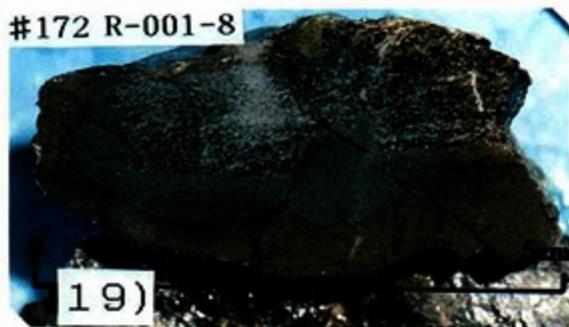


写真 19 堆積性の蛇紋岩, 蛇紋岩質砂岩と泥岩
Photo 19 Sedimentary serpentinite, serpentine sandstone and mudstone.



写真 22 玄武岩のピローブレッチャ
Photo 22 Brecciated pillow basalt.



写真 20 耳骨
Photo 20 Ear bone of TOWBAC.



写真 23 舗装タイプマンガン断面。内部に玄武岩の破片を持つ。
Photo 23 Cross section of pavement type manganese with basaltic fragments.



写真 21 背骨
Photo 21 Backbone of TOWBAC.

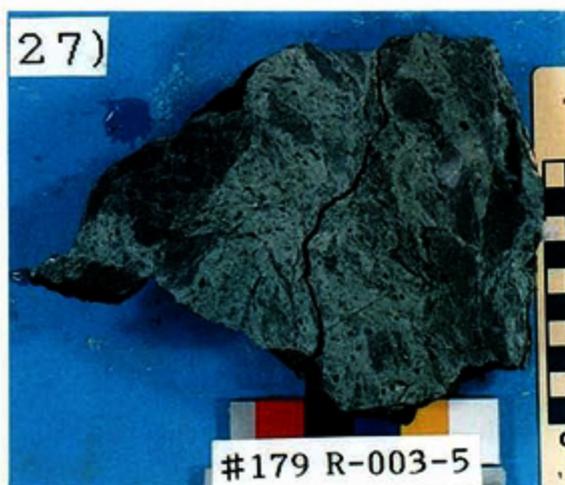


写真 24 縄状溶岩の表面構造
Photo 24 Surface structure of ropy lava.



25) #177 R-003-02

写真 25 縄状溶岩の断面
Photo 25 Cross section of ropy lava.



27)

#179 R-003-5

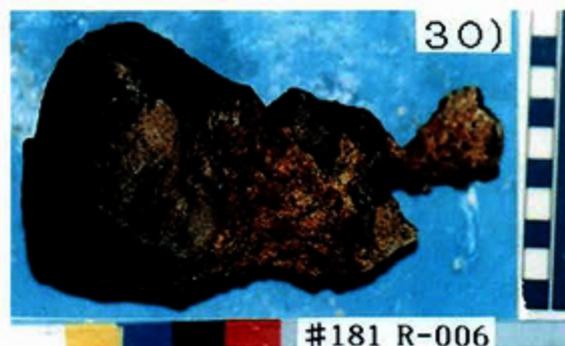
写真 27 蛇紋岩の泥岩
Photo 27 Serpentine mud.



29)

#180 R-005

写真 29 カンラン岩
Photo 29 Peridotite.



30)

#181 R-006

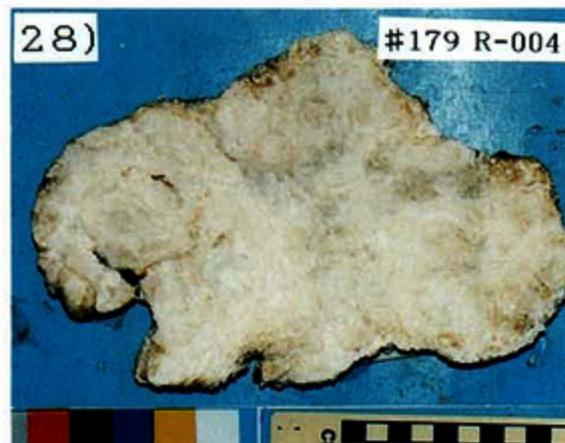
写真 30 玄武岩の枕状溶岩
Photo 30 Pillow basalt.



26)

#178 R-003-01

写真 26 ベビーチムニー
Photo 26 Baby chimney.



28)

#179 R-004

写真 28 炭酸塩チムニーの断面
Photo 28 Cross cut surface of carbonate chimney.



31)

#181 R-004

写真 31 チャート
Photo 31 Chert.