

マリアナ・トラフ北部の拡大過程の研究 —「しんかい6500」第142潜航概要報告—

山崎 俊嗣^{*1} 湯浅 真人^{*2}

マリアナ・トラフ北部は、リフティングの初期（北緯24度）から成熟した海洋底拡大（北緯18度）に至る過程が観察できる点で、背弧海盆の形成過程を研究するうえで最も適した場所の1つである。この研究のためには、リフティングから海洋底拡大へ、どこで、どのように移り変わるかを理解することが重要である。マリアナ・トラフの20°～22°Nの地殻の性質については、海洋底拡大によってできた海洋地殻であるとする意見と、リフティングの進んだ島弧地殻であるとする意見がある。「しんかい6500」第142潜航の主な目的は、トラフの基盤を構成する岩石を採取し、地殻の起源を調べることであった。潜航調査は、北緯21度付近のグラーベンを画する断層崖で行なわれた。このグラーベンは非対称な断面を持ち、若い年代の背弧海盆にしては異常に深い5,300mを超える水深を持つ。崖からはドレライト、玄武岩、デイサイトが採取された。ドレライトはトラフの基盤を構成する岩石と考えられ、現在実施中の化学分析により地殻の起源が明らかになると期待される。デイサイトは崖から崩落した転石と思われ、また風化が進んでいる。しかし、このデイサイトは細粒の玄武岩質捕獲岩片を多く含み、バイモーダルな火山活動の存在を示唆する点で興味深い。このことは、マリアナ・トラフの21°N付近では、たとえ海洋底拡大が始まっても、トラフ内には大量の島弧地殻の断片が残されていることを示唆する。

Study on Rifting and Spreading in the Northern Mariana Trough : Preliminary Report of Dive 142 of Submersible "Shinkai 6500"

Toshitsugu YAMAZAKI^{*3} Makoto YUASA^{*4}

The northern Mariana Trough is one of best places in the world for studying process of the formation of backarc basin, because it develops southward from incipient rifting (24°N) to mature seafloor-spreading (18°N). For this goal, it is important to understand where and how the transition from rifting to seafloor-spreading occurs. There is a controversy about the nature of the crust in the Mariana Trough between 20° and 22°N ; oceanic crust of seafloor-spreading origin vs. rifted island-arc crust. The major objective of the dive

* 1 地質調査所海洋地質部

* 2 石油公団

* 3 Marine Geology Department, Geological Survey of Japan

* 4 Japan National Oil Corporation

142 of submersible "Shinkai 6500" is to collect rocks which constitute the basement of the trough and know the origin of the crust. The dive was carried out along a fault scarp of an graben at about 21°N. The graben has an asymmetric cross-section, and is anomalously deep, deeper than 5,300m, for young backarc basin. A dolerite, basalt, and dacite were obtained from the cliff. The dolerite would be a constituent of the basement of the trough, and we expect to be able to know the origin of the crust by chemical analyses being now in progress. The dacite may be a talus brought by collapse of the cliff, and is highly weathered. But this rock is notable because it contains many small basaltic xenolith, suggesting bi-modal volcanism. This would imply that the floor of the trough around 21°N is occupied by large amount of fragments of rifted island-arc crust even if seafloor-spreading has started there.

1 はじめに

背弧海盆の形成経過については以前より大きな関心を持たれてきた。深海掘削等、近年の詳しい研究により、背弧海盆の形成過程における、リフティングによる大陸（または島弧）地殻の伸張・薄化の過程の重要性が認識されるようになった（e.g. 玉木, 1992）。背弧海盆においては、海洋地殻ではなく伸張・薄化した大陸・島弧地殻によって占められている部分が従来考えられていたよりもかなり広いことがわかってきた。

三日月形をしたマリアナ・トラフは活動的な背弧海盆として知られ（Karig, 1971）、遅い拡大速度の海底拡大系に分類されている（Hussong and Uyeda, 1982）。その北端は、伊豆・小笠原弧の火山フロント上の火山である南硫黄島のすぐ南、北緯24度付近に位置する。南に向かってリフティングが進行し、トラフの幅が最大となる北緯18度付近では海洋底拡大が行われていることが確実である。北部マリアナ・トラフは、リフティングの初期から成熟した海洋底拡大に至る過程を観察することができる点で、背弧拡大のテクニクスの研究のための重要な地域である。

本文は、北部マリアナ・トラフにて行われた潜水調査船「しんかい6500」第142潜航の概要報告として、潜航調査の目的、潜水船からの観察事項と採取された岩石の記載を主な内容とする。採取試料の化学分析等は現在実施中であるので、その結果は別途報告したい。

2 潜航調査の目的

2.1 マリアナ・トラフ北部の拡大過程に関する従来の研究

地質調査所では1984年から1989年にかけて、海底熱水活動研究の一環として、白嶺丸を用いて伊豆・小笠原弧及びマリアナ・トラフの海底地質・地球物理学的調査を実施した（成果については、地質調査所月報の特集号Vol.42（1991）No.12, Vol.43（1992）Nos. 4 & 7の各論文を参照）。北部マリアナ・トラフにおいては、北緯20度以北について2～4マイル間隔の測線で、測深、シングルチャンネル音波探査、重力異常、地磁気異常の観測を行い、さらに熱流量測定やドレッジによる岩石採取を実施した。その結果、北部マリアナ・トラフの22°N以北はリフティングの状態にあり、トラフ底は断層で切られた島弧地殻からなると考えられること、リフトは非対称な構造を持ち、トラフ東縁が地殻の伸張・薄化の集中するリフト軸となっていることが明らかになった（図1）（Yamazaki et al., 1992）。

北緯22°以南では、北北西－南南東走向の縞状の磁気異常が存在する。山崎ほか（1992）、Yamazaki et al.（1993）は、音波探査による地質構造とあわせて、この縞状異常を海洋底拡大によって生産された海洋地殻の磁化に起因すると解釈した（図1）。この解釈によれば、マリアナ・トラフの20°～22°Nでは3.5Maころに片側拡大速度約2 cm/年で海底拡大を開始し、現在は約

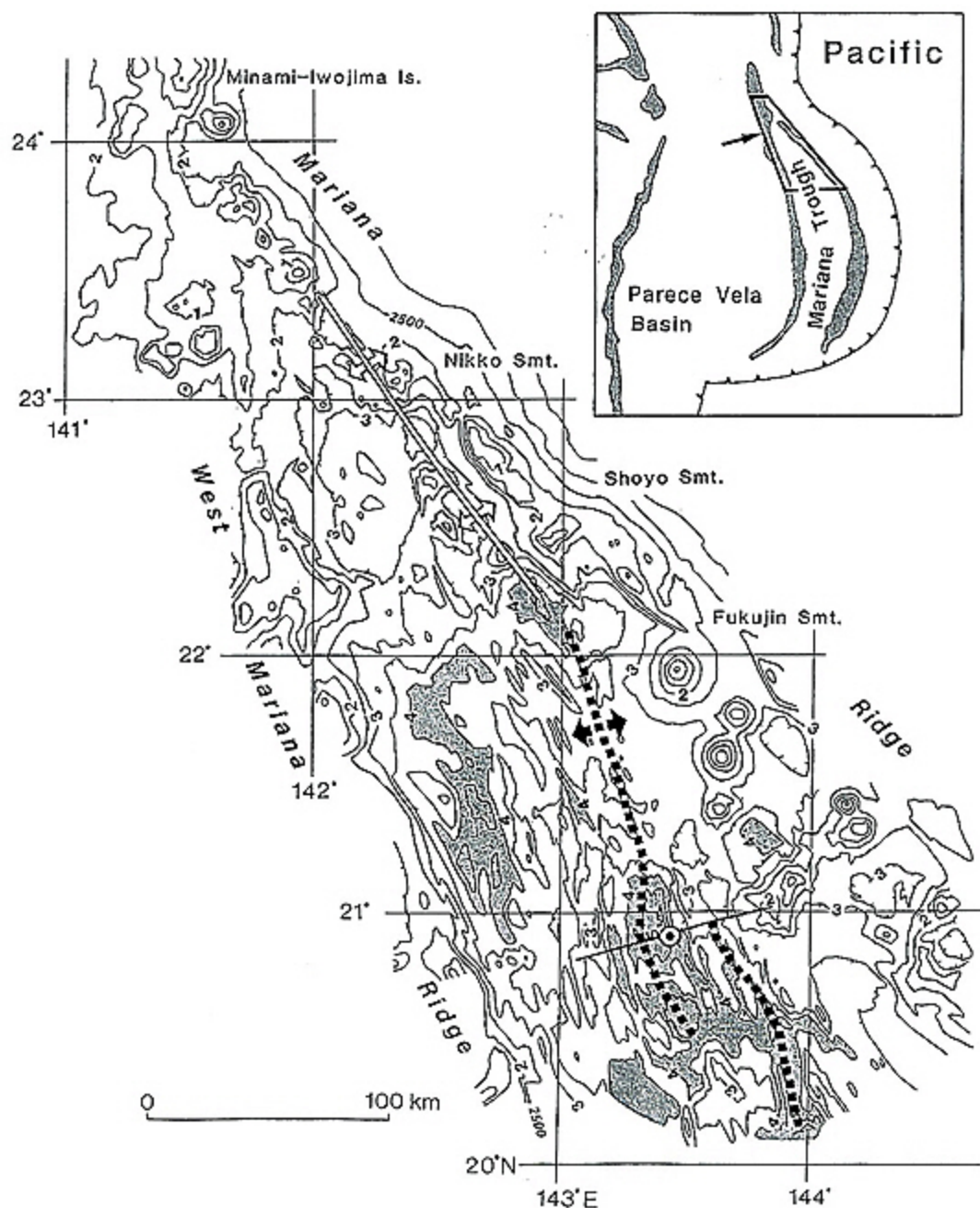


図1 北部マリアナ・トラフの20°Nから24°Nの地形及び構造の概略。等深線は500m間隔。水深4,000m以深には影をつけてある。等深線上の太数字は水深(×1,000)。北緯22°以北の二重線は、現在地殻の伸張・薄化の集中しているリフト軸の位置を示す。太破線は磁気異常及び地質構造から推定した海底拡大軸の位置を示す(Yamazaki et al., 1993)。二重丸は「しんかい6500」第142潜航の位置を示し、そこを通る直線は図2に示した音波探査記録の位置を示す。

Fig. 1 Simplified topography and tectonic setting of the northern Mariana Trough from 20° to 24°N. Contours are at 500m intervals. Shaded areas are deeper than 4,000m. Bold numbers on the contours are depths (×1,000m). Double lines north of 22°N indicate the rift axis where crustal extension is concentrated. Bold dash lines are the position of spreading centers inferred from magnetic lineations and geological structure (Yamazaki et al., 1993). A double circle is the location of dive #142 of submersible "Shinkai 6500", and a line crossing it is the position of the seismic profile shown in Fig. 2.

1 cm/年で拡大している。そして、島弧地殻のリフティングから海洋地殻の組織的な生産に移り変わるのが22°N付近ということになる。

一方、Martinez et al. (1992) は、組織的な海洋地殻の生産の開始は、さらにトラフの幅が広がる20°N以南であり、20°~22°Nのトラフ底は依然主に島弧地殻からなると考えた。彼らは縞状の磁気異常の原因を、トラフ東縁部に固定されたリフト軸において島弧地殻の断層に沿って起こる火山活動による貫入岩・溶岩に求めた。リフティングが進行して地殻が伸張・薄化して広がっていけば、古い貫入岩・溶岩ほどリフト軸から離れるため、見かけ上海洋底拡大による縞状磁気異常と似た磁気異常をこのメカニズムにより作ることは可能である。

上記の2つのモデルの相違は、島弧地殻の伸張・薄化がどれだけ進んだ段階で海洋地殻の組織的な生産が開始されるのか、リフティングから海洋底拡大への移り変わりはどうなっているのか、といった、リフティングのテクトニクスを理解するうえで極めて重要な問題を含んでいる。これら2つのモデルを磁気異常から区別することは困難であり、トラフ底を構成する地殻の岩石を採取し研究することが必要である。このようなことから、本潜航調査の主な目的を、トラフの基盤を構成する岩石を採取することに置いた。

2.2 潜航調査地点の選定

上記の目的のためには、基盤岩が露出していて、基盤形成後の火山活動による影響が少ない場所を選ぶ必要がある。近年の海嶺に関する詳しい研究により、海底拡大軸は、さまざまなスケールの不連続によりセグメント化されていることが知られている。(e.g. Macdonald et al., 1988)。一般に、海底拡大軸に沿ってセグメントの中央から境界に向かって水深が大きくなるが、東太平洋海嶺のような拡大速度の大きな海嶺では、これはマグマの供給量の違いを示していると考えられている。マリアナ・トラフを含む、大西洋中央海嶺で代表されるような拡大速度の小さな海底拡大系では、マグマ供給量が小さいため、構造的な変形がセグメント化のためにより重要な役割を果たして、下部地殻が露出したハーフ・グラベン状の構造をしばしば示すと考えられる(Mutter and Karson,

1992)。

地質調査所の調査により、北緯21°付近のトラフ中央部には、拡大軸の近くとしては異常に深い、水深5,300mに達するグラベンが存在することが明らかになっていた(図1)。音波探査記録によればこのグラベンは非対称な断面を示し、東側を画する断層は比高1,500m以上の急斜面となっている(図2)。従って、このグラベン付近は火山活動より構造変形が卓越しており、この断層崖にはマリアナ・トラフの地殻下部を構成する岩石が露出している可能性が高いと考え、潜航調査地点に選んだ。

このグラベン付近は磁気異常の振幅が特に小さく、縞状磁気異常の同定は容易ではない。山崎ほか(1992)、Yamazaki et al. (1993)の解釈では、ここは一種のセグメント境界にあたり、グラベンの両側で拡大軸が重複していて、西側の拡大軸から東側の拡大軸へのリッジ・ジャンプの過程を見ているものと考えられる(かつては20°35'N付近のトランスフォーム断層で拡大軸がずれていたが、東側の拡大軸が北へプロパゲートするようになった)。磁気異常の振幅が小さいことは、マグマの供給量が小さいことを反映しているものと思われる。磁気異常に基づく、潜航調査地点付近の海底の推定年代は約1.5Maである。

3 マルチナロービームによる海底地形調査

潜航調査地点周辺の海底地形は、極めて複雑である。地質調査所による調査では、密な測線(2マイル間隔)を配置し海底地形の概要を明らかにしたが、ナロービームでない従来型の測深装置の限界により、詳細な地形は不明であった。今回、潜航調査の事前及び事後の夜間を利用して、母船「よこすか」に搭載のマルチナロービーム測深装置(古野電気製)により、潜水地点付近及びその南東方の精密海底地形調査を実施した。測線は主に東西走向、5マイル間隔であり、総延長約170マイルである。得られた海底地形の概略を図3に示す。船上のモニターの原記録では50mの等深線が描かれているが、外側のビームがしばしば雑音を拾ったため、とりあえずこれらを手作業で除き、250m間隔の等深線を引いた。より正確な地形図を作成するためには、磁気テープに記録されてい

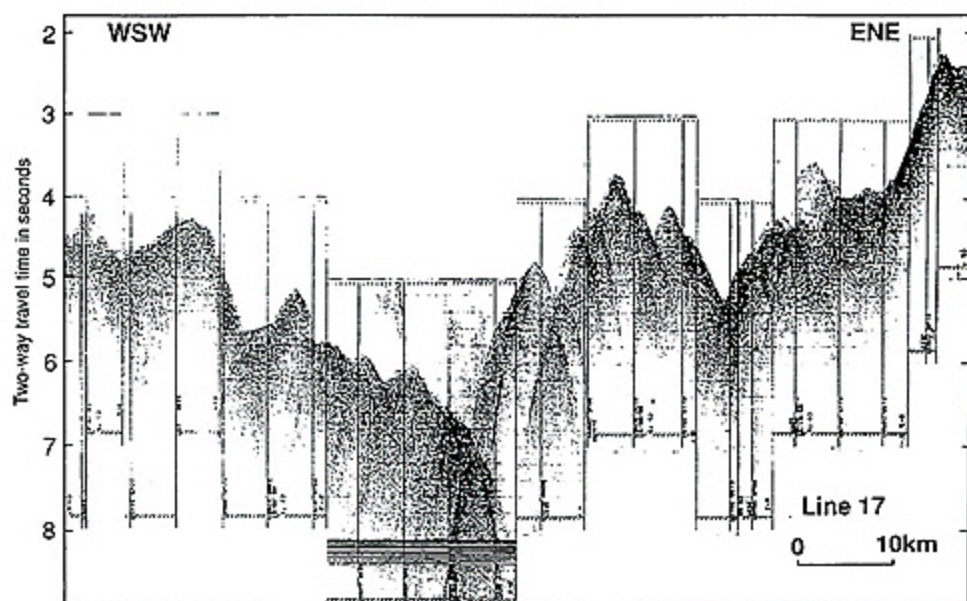


図2 「しんかい6500」第142潜航の調査地域付近を横切るシングル・チャンネル音波探査記録。矢印は潜航調査を行った範囲を示す。測線の位置は図1に示す。

Fig. 2 A single-channel seismic reflection profile across study area of dive #142 of "Shinkai 6500". An arrow indicates the study area. The position of this line is indicated in Fig. 1.

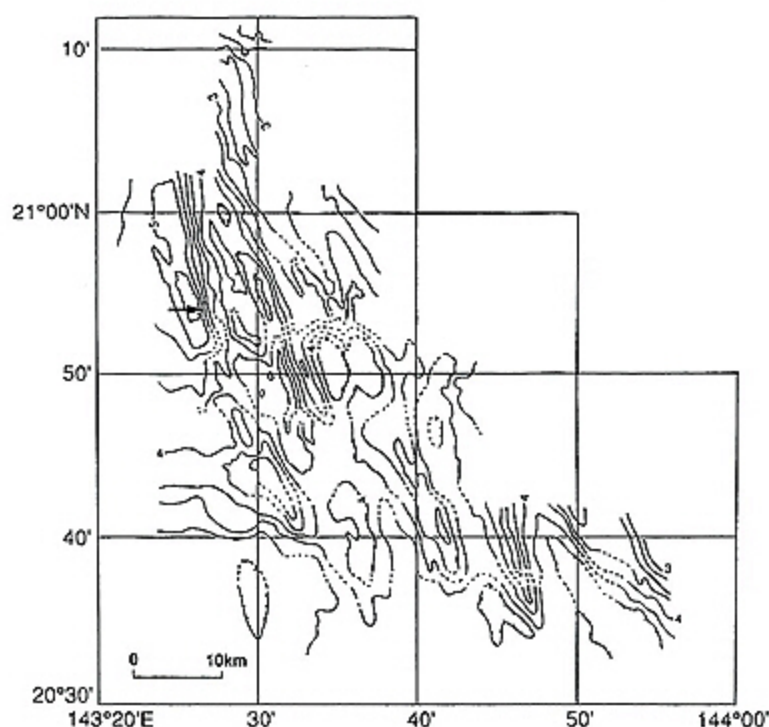


図3 「よこすか」のマルチナロービームによる測深結果に基づく、潜航調査域周辺の海底地形概略。等深線は250m間隔。等深線に付した数字は水深(×1,000m)。矢印は潜航調査の場所を示す。

Fig. 3 Simplified topography around the diving area based on bathymetry using a multi-narrow-beam echo-sounder installed in mother-ship "Yokosuka". Contours are at 250m intervals. Bold numbers attached to the contours are depths (×1,000m). An arrow indicates the diving area.

るデジタル・データに基づいてノイズ除去を行うことが必要であり、今後そのような処理を行う計画である。

新たに得られた海底地形図は、地質調査所のデータに基づく地形図と比較して大きな変更点はない。しかし、マイナー・リッジ／トラフの走向や延長がより明確になった。リッジ／トラフは走向方向に20km程度連続しているものが多い。潜航調査地点付近の崖は北北西-南南東走向であるが、東方及び南方に向かって、北西-南東方向になっていく傾向にある。潜航調査地点を含むグラーベンの最大水深は5,350mに達する。リッジトラフの比高は、潜航調査地点付近が約1,500mと最大であり、傾斜も最も急である。その他の場所の比高は1,000m程度である。北緯20°35'付近ですべてのリッジが不連続となっており、ここには東西走向のトランスフォーム断層の存在が推定されている（山崎ほか、1992；Yamazaki et al., 1993）。

4 第142潜航

「しんかい6500」第142潜航は、1992年9月16日、潜水船船長小倉訓、船長補佐牧哲司、観察者山崎俊嗣により行われた。

着底地点（20°53.88' N, 143°26.39' E, 水深5,296m）は崖の最下部の傾斜地であり、堆積物（赤色粘土）の上に礫が散在していた。ここから、急斜面に沿って上昇しながら観察を行った。離底地点（20°54.01' N, 143°26.79' E, 水深4,638m）まで、東北東方向に水平距離で約750m航走する間に約660m上昇した。従って、観察を行った斜面の平均傾斜は約40度と極めて急である。水深5,200～5,070m付近及び4,750～4,640m付近は特に急斜面になっているようで、岩石の露出がよく、Massiveな産状を示す露頭が見られた（写真1）。枕状岩石のような溶岩流を示す産状の岩石は観察されなかった。水深5,185mの地点で全く発泡していない緻密な玄武岩を、水深4,650mの地点でドレライトを採取した。これらのことから、この崖には予想どおり地殻のやや深い部分が露出しているものと考えられる。採取した岩石の記載は次章にまとめてある。なお、水深5,100m付近では、崖の走向に平行に走る亀裂（幅2～3m、深さ及

び延長は不明）が観察された。一方、水深5,070～4,750m付近は、堆積物（赤色粘土）に覆われているところが多く（写真2）、やや傾斜が緩くなっていると思われる。従って、急斜面とやや緩斜面が繰り返しているものと推定される。水深5,061mの地点で軽石を、水深4,794mの地点でデイサイトを採取した。

潜航調査を行ったグラーベンでは、バクテリアの異常により熱水活動の兆候があると報告されているが（三田ほか、1989）、本潜航調査では熱水活動、あるいは熱水活動を示唆するような生物は観察されなかった。採取された岩石には鉄マンガン酸化物の被覆が見られるが、すべて水成のものである。

5 岩石記載

第142潜航で採取された岩石の肉眼及び薄片による観察結果を以下に記述する。

(1) 試料#142-1

- ・採取位置 20°53.93' N, 143°26.44' E（東京測地系）
- ・水深 5,195m
- ・サイズ（cm）30×19×10, Angular；鉄マンガン酸化物の被覆 約5mm
- ・無斑晶質玄武岩（写真3）。発泡していない。主に斜長石、単斜輝石から構成され、極細粒の不透明鉱物がわずかに含まれる。二次鉱物としてクリノゾイサイトの脈がある。一部に元来ガラス質であったと思われる部分があり、その近くでは斜長石は燕尾状（swallow tail structure）をしていたり、斜長石の周囲を羽毛状～樹枝状の単斜輝石がとりまいていたりする。このような特徴は、急冷を受けたことを示すと考えられる。ガラスその物は脱ハリ化し、細粒の結晶質物質に変わっている。前述のクリノゾイサイト脈はこの「ガラス」質部分に存在する。

(2) 試料#142-2

- ・採取位置 20°53.95' N, 143°26.51' E
- ・水深 5,061m
- ・サイズ 20×20×18, Sub-angular；鉄マンガン酸化物の被覆 約7mm
- ・普通角閃石デイサイト質軽石。斑晶として淡

緑色ホルンブレンド、斜長石及び不透明鉱物（鉄鉱）を含む。

(3) 試料 #142-3

- ・採取位置 20°54.00' N, 143°26.70' E
- ・水 深 4,794m
- ・サイズ 16×13×9, Angular; 鉄マンガン酸化物の被覆 約5mm
- ・単斜輝石デイスaito。多くの細粒な捕獲岩片（径4mm以下）を含む。捕獲岩片は再結晶しており原岩の構造はほとんど残っていないが、かんらん石斑晶と考えられる仮像が見られることから、玄武岩のものが多くいようである。風化・変質が著しい。

(4) 試料 #142-4

- ・採取位置 20°54.04' N, 143°26.79' E
- ・水 深 4,650m
- ・サイズ 14×14×8, Angular; 鉄マンガン酸化物の被覆 1mm程度
- ・単斜輝石かんらん石ドレライト（写真4）。構成鉱物は、かんらん石、単斜輝石、斜長石及び鉄鉱であり、かんらん石はすべて変質して淡緑褐色の粘土鉱物になっている。サブオフィティック構造を示す。斜長石と単斜輝石とが放射状に平行連晶している場合がしばしばある。

6 考察と課題

今回の潜航調査ではドレライトが採取されたことで、トラフの基盤を構成する岩石を採取するという目標を達成したと考えられる。今回調査を行った崖は急傾斜かつMassiveであり、現地性の岩石を採取するよう努めたつもりではあるが、“採取可能な岩石”は崖の上部から崩落してきた転石である可能性は十分考えられる。採取された岩石のうちでは最も地殻の深い部分を構成すると考えられるドレライトが、水深の最も浅い地点で採取されたことは、水深4,640m以深の地殻はドレライトからなり（さらに深くなるに従いガブロ等の深成岩となるかもしれない）、水深4,640m以深から採取された岩石（#142-1, 2, 3）は上部からの崩落物であることを示唆している。

玄武岩質捕獲岩片を多数含むデイスaito（#142-3）が採取されたことは、バイモータルな火山活

動の存在を示唆している。トラフの基盤が海洋地殻か島弧地殻かの結論はドレライトの化学分析結果を待たなければならないが、たとえ海洋地殻からなるとしても、島弧地殻の断片がトラフ中央部にもかなり残されていることをこのデイスaitoは示唆している。

断層崖の潜航調査から、このハーフ・グラーベンを作った構造運動はやや古いものであり、現在は活動的でないと考えられる。それは、採取された岩石には比較的厚い鉄マンガン酸化物が付着していること、崖は急斜面にもかかわらず堆積物に覆われていることから判断される。

採取された岩石のうち比較的変質の少ない、玄武岩（#142-1）とドレライト（#142-4）について現在、化学分析（主要元素、微量元素、希土類元素）、同位体比測定、年代測定を進めている。これらのデータがそろえば、島弧地殻か海洋地殻かの区別、さらにマリアナ・トラフの拡大過程についての新たな知見が得られるものと考えられる。また、磁気異常データの解釈の精度を上げるため、これらの試料についての岩石磁気学的分析も予定している。

本潜航調査で観察を行ったような、急斜面かつMassiveな産状の崖において現地性の岩石を採取することは非常に難しい。潜水船用の小型ドリルを開発することができれば、潜水調査船の調査能力がさらに飛躍的に向上するであろう。

謝 辞

今回の乗船研究にあたり、兵頭博船長をはじめとする「よこすか」乗組員の方々、板倉勝海司令をはじめとする「しんかい6500」運航チームの方々、海洋科学技術センター堀田宏深海研究部長、藤岡換太郎博士には種々御尽力いただきました。航海の主席研究員徳山英一博士及び共同乗船研究者の沖野郷子氏、橋本惇氏には調査に御協力いただきとともに議論していただきました。中尾征三地質調査所海洋地質部長、広瀬研吉科学技術庁海洋開発課長には乗船に関して御配慮いただきました。以上の方々に深く感謝いたします。なお、本研究の一部は、工業技術院特別研究「物質循環に関わる海洋地質学的研究」の一環として実施された。

参考文献

- Hussong, D.M. and 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 : Init. Rep. DSDP vol.60. Edited by D.M. Hussong and S. Uyeda et al., U.S. Gov. Print. Off., Washington D.C.
- Karig, D.E. (1971) : Structural history of the Mariana Island Arc system. Geol. Soc. Amer. Bull., 82, 323-344.
- Macdonald, K.C., P.J. Fox, L.J. Perram, M.F. Eisen, R.M. Haymon, S.P. Miller, S.M. Carbotte, M.-H. Cormier and A.N. Shor (1988) : A new view of the mid-ocean ridge from the behaviour of ridge-axis discontinuities. Nature, 335, 217-225.
- Martinez, F., P. Fryer, S.H. Bloomer and R.J. Stern (1992) : Rift to spreading transition in the northern Mariana Trough. EOS Trans., 73 Spring Meeting Suppl., p.278.
- 三田直樹・前田昌調・川幡穂高 (1989) : マリアナトラフ (18°N及び21°N) における海水中のバクテリアの分布と海底熱水活動. 「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63年度研究概要報告書, 工業技術院地質調査所, 114-122.
- Mutter, J.C. and J.A. Karson (1992) : Structural processes at slow-spreading ridges. Science 257, 627-634.
- 玉木賢策 (1992) : 日本海の形成機構—新しい背弧海盆拡大モデル. 科学, 62, 720-729.
- 山崎俊嗣・村上文敏・斎藤英二 (1992) : マリアナ・トラフ北部における海洋底拡大の様式. 月刊地球, 14, 493-498.
- Yamazaki, T., F. Murakami and E. Saito (1992) : Asymmetric rifting of the northern Mariana Trough. 29th IGC, Abstracts p.124.
- Yamazaki, T., F. Murakami and E. Saito (1993) : Mode of seafloor spreading in the northern Mariana Trough. Tectonophysics 221, 207-222.

(原稿受理 : 1993年8月2日)

(注) 写真は次ページ以降に掲載

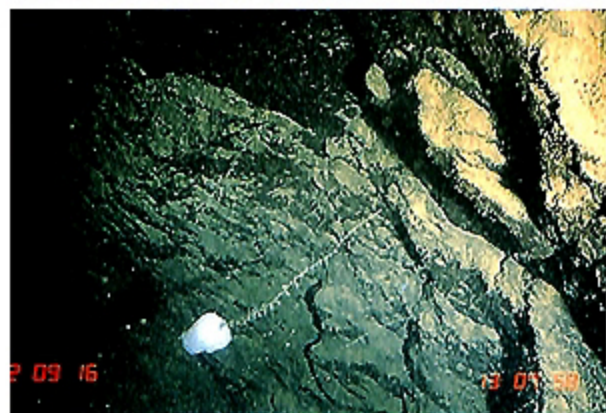


写真1 Massiveな産状の露頭からなる急斜面。水深
5,070m

Photo 1 Scarp showing massive outcrops. Depth
5,070m.

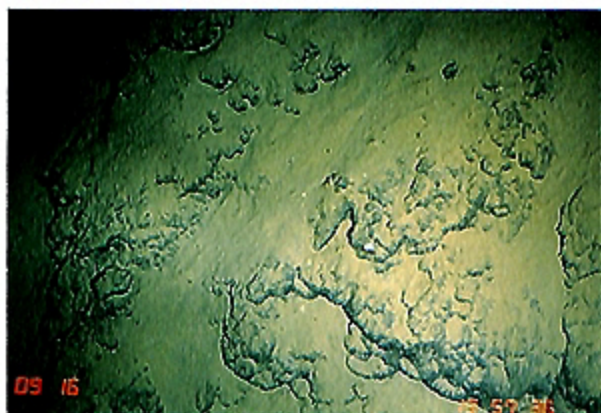


写真2 堆積物（赤色粘土）に覆われた斜面。水深
4,800m

Photo 2 Steep slope covered with sediments (red
clay). Depth 4,800m.

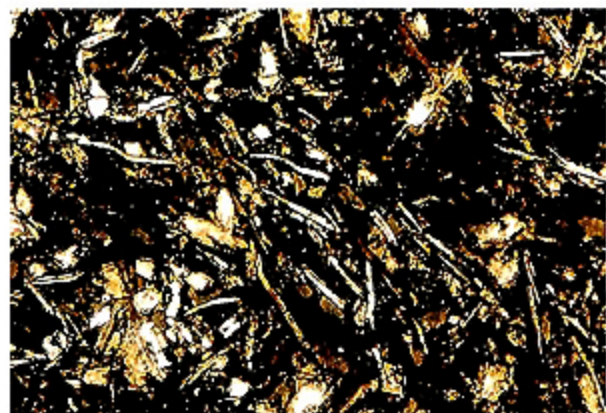


写真3 玄武岩（試料#142-1）の偏光顕微鏡写真。写
真の幅が約1.4mm

Photo 3 Photomicrograph of a basalt (Sample
No.142-1). Scale : width of this micro-
graph is about 1.4mm.

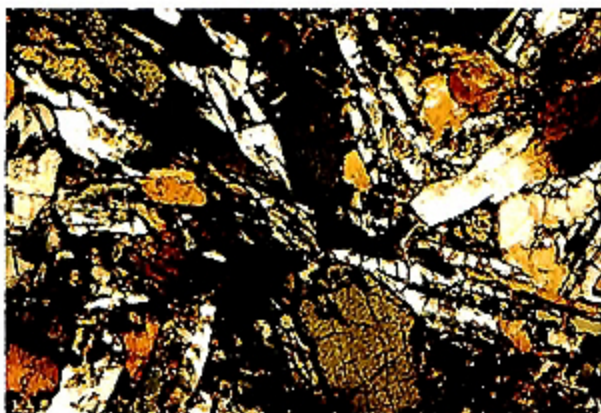


写真4 ドレライト（試料#142-4）の偏光顕微鏡写真。
スケールは写真3と同じ。

Photo 4 Photomicrograph of a dolerite (Sample
No.142-4). Scale is the same as Photo 3.