

琉球海溝の海側・陸側斜面の地形と地質 —琉球海溝横断潜航—

藤岡換太郎*¹ 松本 剛*¹ 加藤 幸弘*² 鳥井 真之*³
新城 竜一*⁴ 小野 朋典*⁴

琉球海溝南部で「しんかい6500」による潜航調査が初めて行われた。海溝の海側斜面では海溝軸にほぼ直交する南沖繩地壘・地溝地形区に潜航し、フィリピン海最古の玄武岩のピローブレッチャの露頭を発見した。玄武岩には無斑晶質なもの（斑晶量<3%）と斑晶質（~10%）なものがあり、その鉱物組合せはPL+OLあるいはPL+CPX+OLである。全岩のFeO*/MgOは1.35~3.70、TiO₂は1.25~3.52wt%の範囲にあり、分化している。アルカリに若干富み、高アルミナ玄武岩の領域に落ちる。また各潜航地点ごとに独自の分化トレンドを示すようである。岩石中のincompatible元素の比は、N-MORB~E-MORBの間にあり、全体としてT~E-MORB的であり、DSDP-Site447の玄武岩がN-MORB的な性質を示すのとは対照的である。これらの玄武岩のSr-Nd同位体比は、DSDP-Site447の玄武岩がMORBに類似するのに対し、明らかにわずかながらenrichした組成であり、HawaiiやIcelandの玄武岩類の同比と似ている。これらの玄武岩を覆って急斜面を厚いマンガンが被覆していることがわかった。このマンガンは枕状溶岩のような形態を呈し道路のコンクリートの吹き付けのように見える。このようなタイプのマンガンは今までに知られてはいない。

一方、海溝陸側斜面では海底地形図から想定されていたように巨大な崩壊地形が確認された。崩壊は500mの単位で起こっており全体として水深2,000mから海溝底の7,000mにまで及ぶと考えられる。崩壊箇所の始まりは固結した八重山層または島尻層がえぐられたほぼ垂直な急崖を形成している。海溝域の潜航で生物の痕跡の化石、Spirorhapheやzoophycusに類似した生痕が発見された。これらの潜航の結果はフィリピン海の発達史と琉球海溝に沈み込むプレートの変形を知るうえで重要な結果を提供している。琉球海溝の軸に沿って北から南に向けて海側の斜面、海溝域、島弧、背弧で3つの違いがあり、それは海溝軸と沈み込むプレートの向き、及び海側の斜面と陸側の斜面のカップリングの違いによるものと考えられる。

キーワード：南沖繩地壘・地溝地形区、筒装タイプマンガン、海洋地殻、斜面崩壊、土石流

* 1 海洋科学技術センター深海研究部

* 2 海上保安庁水路部

* 3 熊本大学理学部

* 4 琉球大学理学部

* 5 Deep Sea Research Department, Japan Marine Science and Technology Center

* 6 Hydrographic Department, Maritime Safety Agency

* 7 Department of Geology, Kumamoto University

* 8 College of Science, University of the Ryukyus

Topography and Geology of Seaward and Landward Slopes of the Ryukyu Trench

—Transect Dive of the Ryukyu Trench—

Kantaro FUJIOKA*⁵ Takeshi MATSUMOTO*⁵ Yukihiro KATO*⁶
Masayuki TORII*⁷ Ryuichi SHINJO*⁸ Tomonori ONO*⁸

Submersible "Shinkai 6500" dive surveys were performed at the southern part of the Ryukyu Arc for the first time. At the seaward slope of the Ryukyu Trench, southern Okinawa horst and graben structure which is almost perpendicular to the trench axis were surveyed and oldest pillow lava and pillow breccias of basalts of the Philippine Sea were discovered and sampled. These basalts which show aphyric (less than 3% phenocrysts) and porphyritic (more than 10% phenocrysts) texture include plagioclase and olivine clinopyroxene as phenocryst minerals. FeO*/MgO ratio of bulk rock ranges from 1.35 to 3.70 and the contents of TiO₂ ranges from 1.25 to 3.52 weight % which represent differentiated basalt. The differentiation trend of basalts differs at the different sites. The ratio of incompatible elements represent their nature to be N-MORB or E-MORB and T to E-MORB as a whole. This feature is comparable that basalts from DSDP site 447 are similar to that of N-MORB. Sr-Nd isotope ratio of these basalt are similar to those of the Hawaii and Iceland, whereas basalts from the site 447 are similar to those of MORB. Thick manganese crusts cover the steep cliff of horsts and such kind of manganese was never known before.

On the contrary, huge collapse structure were recognized by "Shinkai 6500" dive as has been thought to be by topographic map. Unit of collapse reaches almost 500m and as whole the area of the slope failure covers from 2,000 to 7,000 meter water depth. Starting point of slope failure was identified where solidified Yaeyama or Shimajiri formations were broken and collapsed and form steep almost vertical cliff.

During the dive around the trench area, trace fossil like structures were encountered and they are similar to the fossil *Spirorhapha* and *Zoophycus*.

These dive results may offer significant information about the development of the Philippine Sea Plate which is now subducting along the Ryukyu Trench. Along the Ryukyu Arc from north to south, there are three tectonic segments which have different morphotectonic elements. These differences may be caused by the different coupling between seaward and landward slopes of the Ryukyu Trench, direction between trench axis and direction of subduction, for example.

Key words : Minami-Okinawa horst and graben structure, Manganese pavement, Oceanic crust, Slope failure, Debris flow

1. はじめに

琉球弧は九州中部から台湾北部にまでつながる全長1,200kmにわたる島弧—海溝系である。琉球弧に関しては従来数多くの研究がなされてきたが特に、その背弧である沖縄トラフの伊平屋海凹、伊是名海穴、南奄西海丘

の3か所から高温の熱水チムニーとそれに付随する生物群集、海底から自噴する液体炭酸ガスの発見は海洋科学技術センターの潜水調査船「しんかい2000」やディープトウなどによってなされてきた(木村ほか, 1987; 門馬ほか, 1989; 田中ほか, 1990)。これらは今後の詳細な

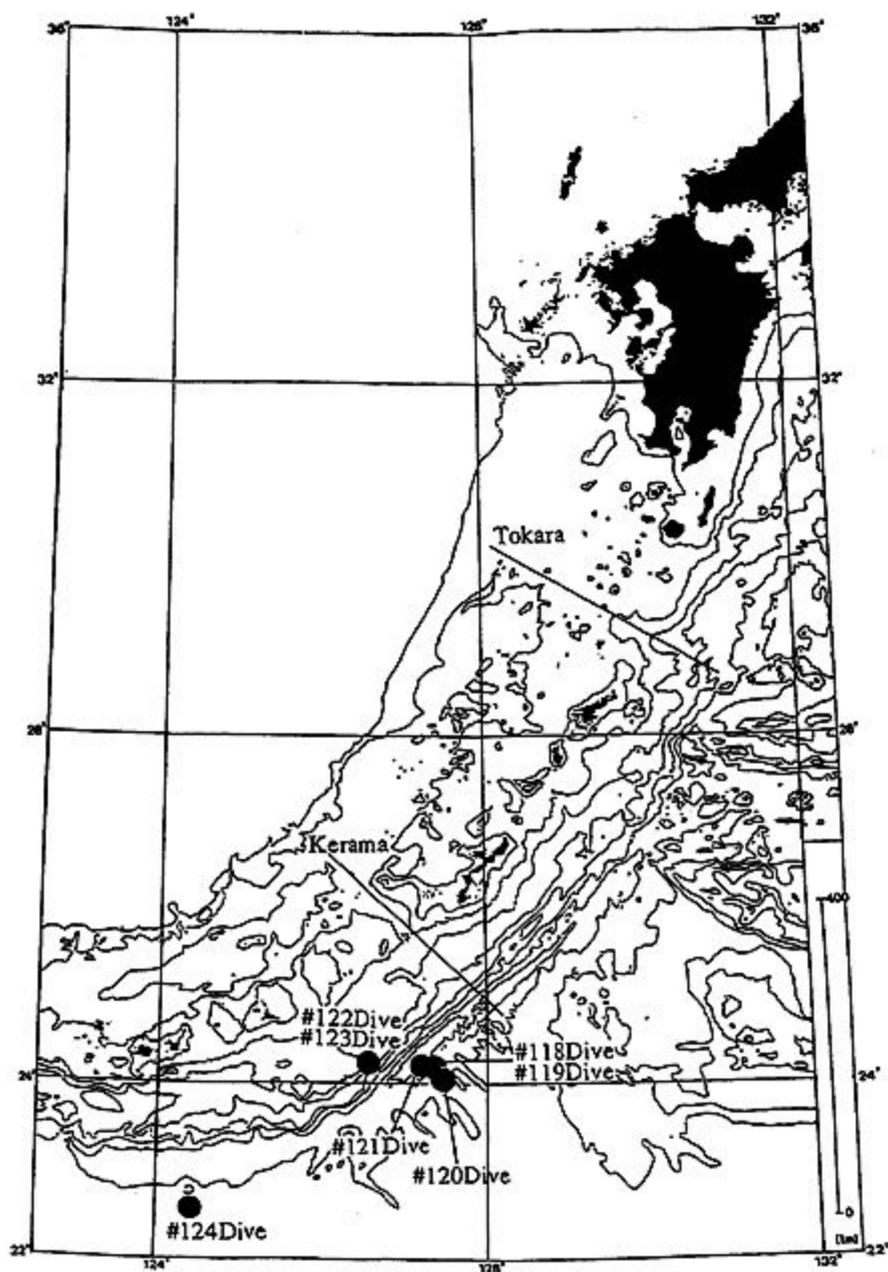


図1 琉球弧(南西諸島)の海底地形と構造, 潜航点を含む。Tokara, Kerama はギャップの位置を示す。

Fig. 1 Submarine topography and structure with dive sites. Tokara and Kerama show the major Gaps.

研究が待たれる重要な課題であるが、沖縄トラフが現在極めて活発な地域であることを示している。海洋科学技術センターでは「しんかい6500」を用いて1991年より日本列島周辺の島弧について島弧横断潜水計画(TRANSARC計画: Arc Trench Backarc Transect Diving Program)をうちたてた(藤岡ほか, 1992)。琉球弧については1992年よりその計画の一環として、南

西諸島海溝域(琉球海溝)の海側と陸側の表層の構造を「しんかい6500」を用いて比較検討することにした。海溝の海側斜面には従来言われていた海溝軸にわずかに斜交する南沖縄地塁-地溝群(Kato, 1991)がありこれらの水深が6,500mより浅いために潜水調査船で潜って直接海底を観察することができる。また前弧の斜面には1771年八重山津波地震の震源があり海底に大きな崩壊地

表1 琉球弧の3区分とセグメントの中の地球科学的性質
Table 1 Morphotectonic division of the Ryukyu arc and geotectonic features within each segment.

	North	Central	South
Water depth	shallow	middle	deep
Crustal thickness	thick (27-30 km)	middle (? km)	thin (23-24 km)
Volcanic rock	Th & Ca	H.A.T.	Th
Peak of volcanism	<3 Ma ?	<6 Ma	10-6 Ma
Topographic characteristics	vol. tect. dep.*	rift	old rift
Outer arc	Tanegashima Is.	Okinawa Is.	Ishigaki Is.
Arc-trench gap	200-210 km	200 km	? km
Moho	7.6 km/s	? km/s	7.2 km/s

* volcano-tectonic depression

形のあることが予想される(木村, 1985; 松本ほか, 1992)。宮古島南方と石垣島の南の琉球海溝で1992年6月5日から6月12日の間に計8回の潜航が行なわれ、海溝の海側と陸側の斜面の地球科学的性質が大きく違うことが明らかとなった。小論は今回の潜航調査の結果を記載し、特に海溝の海側斜面と陸側斜面に観察される一連の現象についてその成因を予察的に考察した結果である(藤岡ほか, 1992)。

2. 琉球弧の地形・地質の概略

琉球弧は単調な1つの島弧ではなくいくつかのセグメントに分けられる。小西(1965)は奄美大島と屋久島の間にある北西-南東方向のトカラ海峡(トカラチャンネル)、宮古島と沖縄本島の間にあるケラマ海峡(ケラマギャップ)によって琉球弧を構造的に大きく3つに区分した(図1)。島弧を胴切りにするこの2つの大きなギャップは地質学的な構造線であるとともに生物地理学的にも大きな障害になっている。最近、琉球弧の陸上、海洋域について様々な研究がなされて来た(例えば木崎, 1985; 氏家, 1986; 木村, 1989; 古川, 1991; 藤岡, 1991, 1992; 日野, 1991)。これらの最近の研究を考慮しこの3区分の中で火山フロントの分布、海溝底の水深、背弧リフトの水深、陸側斜面や海側斜面の地形変化を見直すと、多くのことが主としてフィリピン海プレートのユーラシアプレートの下への沈み込みによって統一的に説明できる(藤岡ほか, 1992)。琉球弧の3区分を地球科学的性質に着目してまとめてみたのが表1である。背弧海盆の水深は北から南へと徐々に深くなる。海溝底の深さは、与論島の東あたりから急激に深くなるがそれより北側では6,000m以浅のところが多い。

このような変化は主として琉球海溝に沿って沈み込む海側斜面の地形に原因があると考えられる。すなわち北部には九州・パラオ海嶺、奄美海台、大東海嶺のよう

な remnant arc が衝突しているのに対し(Tokuyama et al., 1985)、中、南部ではそのようなものは存在せず、西フィリピン海拡大に伴ってその拡大軸近辺で形成された大地形群(南沖縄地壘・地溝地形区)が存在する(Kato, 1991)。琉球弧の前弧及び背弧の陸に近い地域には大規模な斜面崩壊とそれに伴う土石流堆積物が認められる(藤岡ほか, 1992)。前弧海盆の北部については堆積物は海溝を埋積し、海側の斜面にまで達しているように見える。従って、北部の海溝は水深が浅い。南部には前弧に大きな海底谷は全くなく広大な深海平坦面が発達している。琉球弧にはその背弧側にも斜面崩壊が認められ、これは第一宮古海丘がその例であり、潜水でもこれが海山ではないことが確認されている。これらは大陸縁辺域からリフトが形成された時期に起こった大規模な斜面崩壊によるマスマーブメントを表している。

琉球海溝の前弧にある喜界島や海側にある大東島の隆起の歴史を調べることによって、プレートの沈み込みに伴う隆起・沈降、カップリングの変遷が読み取れる(小西, 1984)。琉球弧の陸上及び周辺海域の地質から大雑把な地質発達史が明らかにされている(Letouzey and Kimura, 1985, 1986)。図2に木崎(1985)の琉球弧の層序を示した。

琉球弧のテクトニックな発達史の中で重要な問題は、1) リフト形成以前の陸棚から陸棚斜面の堆積環境、2) バルバドスタイプの付加体の発達、3) 九州-パラオ海嶺の通過、4) 伊豆・小笠原から分れた九州-パラオ古海嶺再通過、5) 奄美海台等の衝突と前弧の隆起と崩壊等を手掛かりとして解くことができるであろう。その際、高千穂変動を含めた琉球弧の層序の中での不整合が重要な意味を持つであろう。

3. 琉球海溝海側斜面

琉球海溝の海側の斜面には北から特徴的な性質が認め

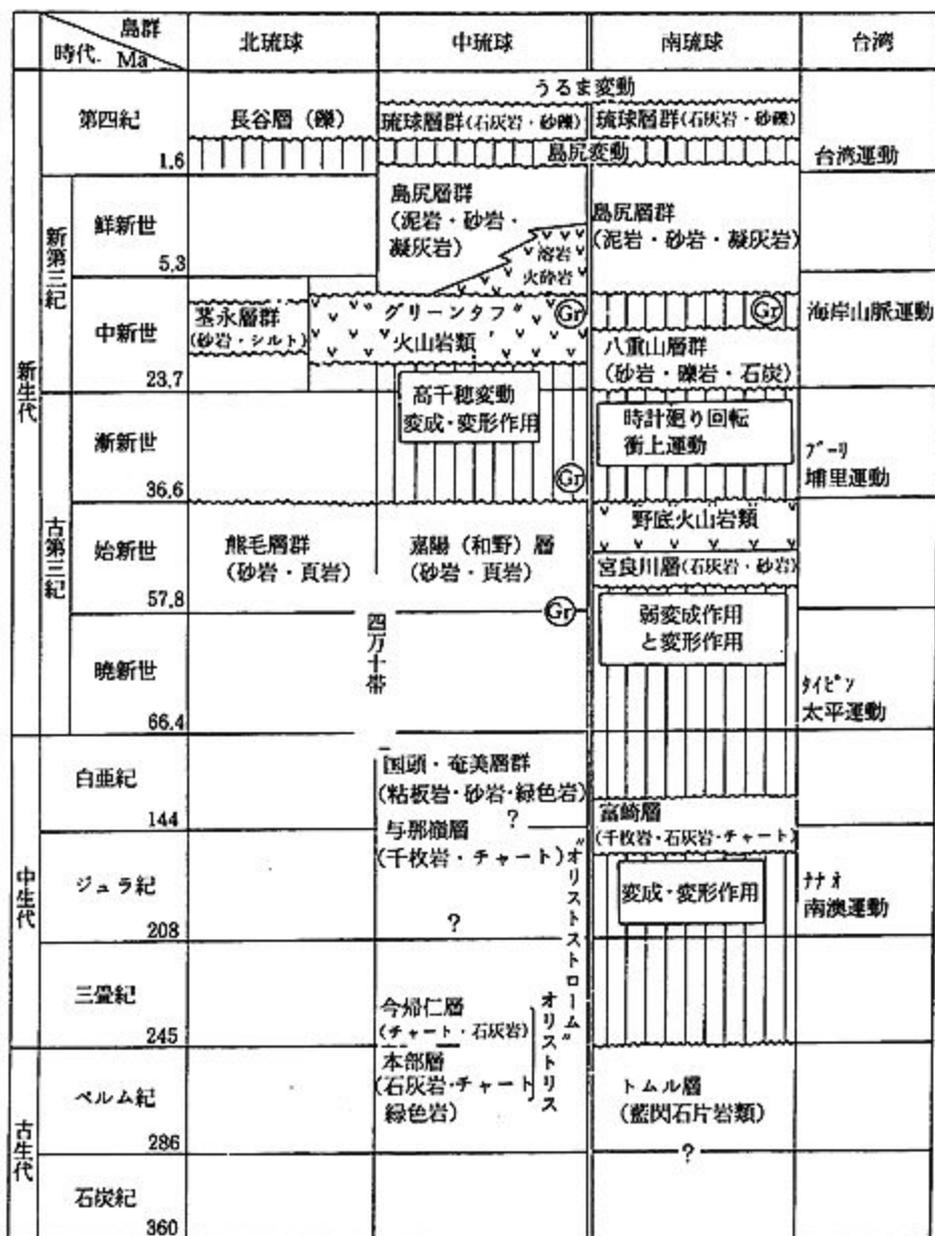
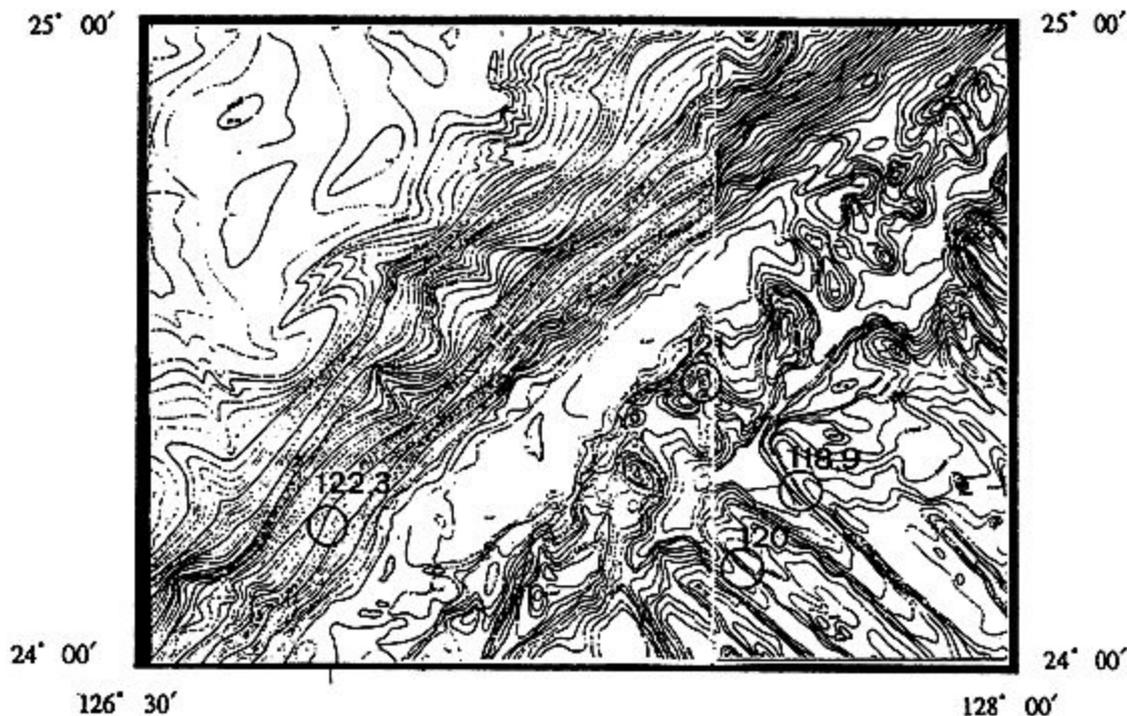


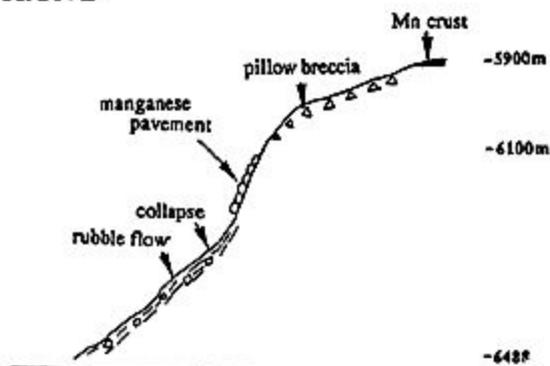
図 2 琉球弧の層序 (木崎, 1985 による)
Fig. 2 Stratigraphy of the Ryukyu Arc (After Kizaki, 1985).

られる。九州の地殻のセグメントとして北部に相当するところでは、沈み込むプレート上面にはいくつかの障害物が認められる。それらの最大のものは九州一パラオ海嶺である。ほかには奄美海台、大東海嶺などがある。これらの障害物は沈み込みの際にプレートに浮力を与えていると考えられる。Tokuyama (1985) は奄美海台の部分では海溝軸で衝突が起きていることを音波探査の結果示した。一方、南部には Kato (1991) によって提案された南沖繩地壘—地溝地形区と呼ばれる大構造が

あり海溝の軸にほぼ直交している。海底地形図から海溝軸にわずかに斜交する構造線が認められ、Kato (1991) は西フィリピン海のトランスフォーム断層であると解釈した。もしこの考えが正しいとすれば海溝の海側斜面でフィリピン海を拡大させた海嶺で過去に起こった一連の地球科学現象を目視することができる。またこの地壘・地溝の壁に添って海洋地殻の断面を見ることができる。従ってここで #118, 119, 120, 121 の計 4 回の潜航が行われた。以下に潜航の概要を示す。潜航点は図 1 及び図



#119DIVE



#121DIVE

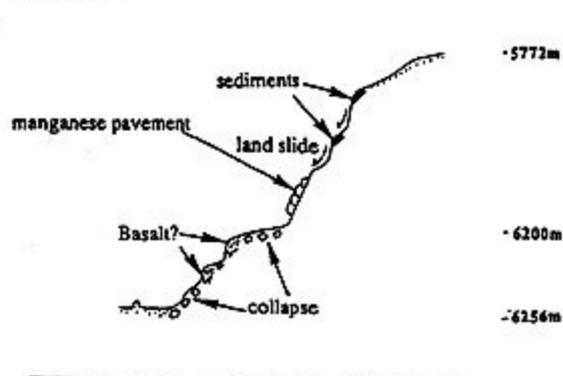


図3 琉球海溝海側斜面の潜航地点と#119、#121潜航の模式断面(加藤ほか, 1992)

Fig. 3 Dive sites of the landward slope of the Ryukyu Arc and schematic cross section of #119 and #121 dives (Kato et al., 1992).

3に示した。

3. 1 #118潜航の結果

[目的]: 南琉球地壘・地溝地形区を形成する基盤岩の採取と沈み込むフィリピン海プレートの海洋地殻の年代

測定とテクトニクス。Kato (1991) によって南沖縄の海側斜面の地形の特徴がまとめられている。海溝軸にゆるく斜交する断層、海溝に直交する地溝群が認められている。Kato (1991) は、これらの断層はフィリピン海

プレートの琉球海溝への沈み込みに伴って再活動したものであるとした。本潜航では地溝の崖の観察と玄武岩のサンプリング、その直上の堆積物から急崖の年代決定と形成の場、そして現在に至ったプロセスを考察する。

[調査結果]: 地形、底質、生物等海底観察

i) 地形: 水路部のシーブームや「よこすか」のマルチナローブームによると南沖縄地塁・地溝地形区はN45°W (315°) に直線的の伸びた急崖をもつ。その落差は、大きいところで約1,000mある。地溝は北より明瞭なものが3つ認められ(24度以北)、北から2番目のものの北側の急崖に潜航する。等深線は、315°方向にはほぼ平行に分布しており斜面の平均傾斜は約26度である。地溝の平坦底は水深7,000mのところにある。また等深線は、6,200m以浅ではやや幅が広くなり、地塁の頂部は5,880mとなっている。潜航中に見られた微地形は硬いBasalt からなる60度以上の急崖と堆積物に覆われたやや平坦な部分との組み合わせである。急崖には崩壊して滑落した地滑りのあとが見られる。

ii) 底質: 急崖を構成するマンガンクラストの表面には薄く泥がたまっている。表面の凹部には石灰質軟泥が堆積している。マンガンはクラスト状のものと団塊状のもの、後者が集合してビーチロック状になったものがある。ビーチロック状のものは表面が割れている。堆積物は平坦面に厚く石灰質軟泥で、表面には玄武岩の角礫のラブルが見られる。#118では玄武岩は2個得られており、いずれも著しく変質しており表面は2mm程度のマンガンに覆われている。堆積物の表層には生物の糞、はい跡、巣穴等の生痕化石が多数認められた。

iii) 生物: ナマコやイソギンチャク、一見ガラス海綿のようでもあるものが見られた。堆積物の表面にはおびただしい生痕化石が見られる。それらは曲がりくねったはい跡や巣穴から放射状に分布するものもある。(化石としてはZoophycus等がある。)

潜航の結果

着底点: 堆積物と岩石のラブルより成る。

急崖: 表面の丸いマンガンに覆われていて60°以上の斜面でも安定である。マンガンの厚さは厚いところでは10cm以上もあるように見える。これは全体としてpillow lobeのような形をしているが色が下面は平坦で、下に隠された岩石の形なりにマンガンが付着したものと考えられる。枕状のマンガンは大きいもので長径1m以上、小さいもので10cm程度である。急崖のマンガンの表面はうすく堆積物に覆われるが、ハチの巣状あるいは仏頭状の表面が特徴的である。急崖は10mもしくは

それ以上続き平坦面へと移化する。

斜面: 急崖の上には硬い堆積物が見られるが下方へと滑り落ちた表面を呈する。これは乗っていたマンガンが滑り落ち、ブロックまたはブレッチャになったと解される。また少々緩やかな斜面上には上方より転落したマンガンや玄武岩のブレッチャが認められる。

平坦面: 堆積物厚く石灰質である。少なくとも柱状採泥等の長さにより厚い。表面にブレッチャを伴うことがある。生痕化石が多数認められ、生物の活動が活発であったことを思わせる。

マンガンクラスト: 頂部付近にはマンガン団塊がいくつも集合したクラスト状の板が認められる。これが変形していくつかのブロックになっている。割れ目の方向は315°と75°が卓越している。厚さは15cm以上あり、下には石灰質の堆積物(岩)を伴っている。

3. 2 #119潜航の結果

[目的]: 水路部の調査により、沖縄の南、西フィリピン海盆上には極めて連続性のよい北西-南東方向に伸びる地塁と地溝から構成される地形が発見された。Kato (1991) はこの地形区を西フィリピン海盆形成時のリフト地形とみなし、また、地形区は南西諸島海溝に近づくにつれ、沈み込むプレートのベンディングによって正断層が再活動したため、その地形の起伏がはっきりするようになったと解釈した。今回の潜航調査では、第1にベンディングを原因とする変動地形の有無を調べ、Kato (1991) の考えが正しいか検証すること、第2に崖に露出しているであろう西フィリピン海盆の海洋性地殻の観察とサンプリングを行ない、西フィリピン海盆西部の形成年代を決定することを目的としている。

[調査結果]: 地形、底質、生物等海底観察

i) 地形: 南沖縄地塁・地溝地形区は、北西-南東方向に伸びる極めて直線的な地溝、地塁列から構成される。この地形区で最大の地溝は比高が1,800mに達している。同一の地溝内では、地溝からの距離が大きくなるにつれて比高は小さくなる傾向がある。また地塁の上面は、平坦ではなく細長い幾つかの海嶺が分布する。

今回潜航したのは、地形区の中で最も比高が大きい地溝の北東側斜面である。比高は1,800mで地形図上での平均傾斜は、約25度となっている。斜面は地溝底から徐々に傾斜を増し、水深6,200~6,100m付近で最大となる。さらに上部は、ほぼ平坦な面となっている。潜航調査では、最大傾斜面が単純な斜面ではなくマンガンコーティングされた突出部(崖)と、やや傾斜の緩い堆積物で覆われた谷の部分が水平方向に繰り返していること、

頂部平坦面の縁には幅10cmに満たない尾根が存在し、北側に崩落地形が分布することが判明した。

ii) 底質: マンガンクラストで海底面が覆われている所を除き、黄灰白色の軟泥が広く分布する。堆積物上には生物のはい跡、巣穴が多数観察された。マンガンクラストは、急崖で岩石?コンクリート吹き付け状に覆い、半球~ドーム状のクラストを作るものと、堆積物の上に板状のクラスト(厚さは数mm~15cm)の2種類存在する。このほかに頂部ではマンガンジュール及びマンガンジュールが複合したマンガンクラストも分布する。水深6,000~5,500mにかけての尾根上には、径10~20cm位の、割と粒径のそろった角礫が多数分布する。ここでは他にマンガンクラストが一部認められるだけで、転石は大部分を角礫が占めている。水深6,200m以深の斜面には、上記泥の上にマンガンクラスト、角礫が多数崩落した礫として分布する。

iii) 生物: 海底面に生息する生物としては岩石に付着するイソギンチャク(2か所, 2個体), ナマコ(2か所, 2個体, 透明, 体長15cm)が観察された。このほかに泥が堆積している斜面でははい跡、巣穴が多数認められ生物活動が活発であることを示している。海水中には、エビ、“オタマジャクシ型”魚が観察された。エビは2種類(ピンク色, 白色)おり、体長は、およそ30mmで5か所で確認した。“オタマジャクシ型”魚は体長が15cmくらいの白色の魚である。種類については不明。

潜航の結果

1) 調査結果概要

調査した地溝北西側斜面の水深6,488m以浅は、分布する岩石から大きく4つに区分される。

(a) 6,488~6,200m: 平板状、半球状チューブ状をした表面が平滑なマンガンクラスト、表面が不規則な形をしたマンガンクラスト、そして変質した玄武岩から構成される崖堆積物。

(b) 6,200~6,100m: 平板状、半球状チューブ状をした表面が平滑なマンガンクラストが急崖を構成する。マンガンクラストは割れ、くだけ、下方に角礫を供給している。

(c) 6,100~5,920m: 変質した玄武岩の角礫が一面に分布する。角礫は薄くしかマンガンコーティングされておらず、海水にさらされ始めたのがさほど昔ではないことを示している。事実航跡に沿った方向に伸びる尾根の上には、尖塔状、屏風岩状に変質した玄武岩の角礫岩が点在し、その回りでは角礫岩が崩れてきた全くマン

ガンコーティングを受けていない岩石が認められた。

(d) 5,920~5,901m: 玄武岩の角礫が分布しなくなりマンガンジュールや、マンガンジュールが複合し表面が不規則なマンガンクラストが分布する。またマンガンクラストの一部は薄い堆積物で覆われている。

2) 西フィリピン海盆の海洋地殻断面

地溝北東側斜面では、斜面崩壊による崖堆積物とマンガンクラストのために、最上部しか観察することができなかった。最上部では、玄武岩を複数採集することができたので形成年代を明らかにすることは可能である。

3. 3 #120潜航の結果

[目的]: 南沖縄地壘・地溝地形区を形成する基盤岩の採取と沈み込むフィリピン海プレートの海洋地殻の年代測定とテクトニクス。Kato (1991) によって南沖縄の海側斜面の地形の特徴がまとめられた。海溝にゆるく斜交する断層、海溝に直交する地溝群が認められている。Kato (1991) は、フィリピン海プレートの琉球海溝への沈み込みに伴って再活動した断層であるとした。本潜航では北から3番目の地溝の北崖の観察と玄武岩のサンプリング、その直上の堆積物から急崖の年代決定と形成の場、そして現在に至るプロセスを考察する。

[調査結果]: 地形、底質、生物等海底観察

i) 地形: 水路部シービームや「よすか」マルチナロービームによると南沖縄地壘・地溝地形区はN45°W(315°)に直線的に伸びた急崖をもつ。その落差は、大きいところで約1,000mある。地溝は北より明瞭なものが3つ認められ(24°以北)、北から2番目のものは北側の急崖に潜航する。等深線は、315°方向にほぼ平行に分布しており斜面の平均傾斜は約26°である。地溝の平坦底は水深7,000mのところにある。また、等深線は、6,200m以浅ではやや幅が広くなり、地壘の頂部は5,800mとなっている。南沖縄地壘・地溝地形区第3地溝北側斜面はその底が6,500mより浅く潜航可能である。南沖縄地壘・地溝地形区第3地溝北側斜面は、第2地溝と違ってマルチナロービームによると中腹に2段の平坦面が認められる。潜航中に見られた微地形は硬い玄武岩から成る60°以上の急崖と堆積物に覆われたやや平坦な部分との組み合わせである。急崖には崩壊して滑落した地滑りの跡が見られる。

ii) 底質: 急崖を作るマンガンはクラスト状で、下が平坦で上が凸になっている。小谷の玄武岩の角礫は、巾2~3mでマンガン団塊も含む。玄武岩の急崖は数十cm程度の玄武岩の角礫が卓越しており堆積物がマトリックスとして挟まれている。これが60°近い急崖をな

している。Basalt は pillow の破片や pillow breccia である。茶褐色の堆積物は砂礫と細粒の層とがある。砂礫はマンガン団塊の礫、スコリアなどである。茶褐色の堆積物も多くはマンガン団塊から由来すると思われる。

iii) 生物 (肉眼で見た個体数、種類、生息場所、生息状況 (群れか単体か) 等)

生物はほとんど見られないが生痕化石が多い。

1) Zoophycus 状の放射状生痕

最大 2m 程度の直径をもつもの、放射が全方向にあるもの、まだ途中のもの。

2) スパイラル

これもサイズは大きいもので 1m ほどある。

3) 小丘

高さ 10cm 程度の円錐丘を作っており、その頂部に穴があいている。

潜航の結果

着底点: 厚い白色堆積物とマンガンクラストのベープメント。マンガンは 60° 以上の急崖を形成。

急崖: 表面の丸いマンガンに覆われていて 60° 以上の傾斜をもつ。マンガンのないところは崩壊し、下方へ滑落ちた跡が見られる。角礫の小さな谷がある。礫は玄武岩やマンガン団塊から成る。角礫の大きさは大きなものでは 50cm 以上もある。

玄武岩ブレッチャの急崖: 60° 近くある急崖に玄武岩の breccia が露出しているところが見られる。第四紀の別所礫岩のような急斜面で角礫で礫と礫の間にはマトリックスをなす細粒の堆積物が埋めている。

褐色砂礫と褐色堆積物: 玄武岩の上位には pebble size から砂サイズの茶褐色の礫が幅 50cm 位で斜面に直行して続く。その上位に細粒の茶褐色の堆積物が覆う。厚さは厚いところで 1m 以上ある。これはマンガン由来の粘土かもしれない白色の薄層をささむ。

平坦面: これらの上位は頂上で白い堆積物に覆われる。表面にはおびただしい生痕化石が認められる。

南琉球地壘・地溝地形区を形成する基盤岩の採集

一般に海溝の海側斜面は陸側斜面に比べて傾斜が緩いが、ここでは南沖繩地壘・地溝地形区は北西-南東方向の急崖を持ち厚いマンガンに覆われており、マンガンのコンクリートはちょうど道路の吹き付けのように斜面の崩壊を防止している (Cliff cover manganese pavement)。マンガンの被覆の下には玄武岩の角礫 (ピローブレッチャ) が積み重なっており、その上には金属酸化物に富む砂礫層や堆積物が来る。この層序はフィリピン海プレートの最古の海洋地殻の層序と考えられる。

3. 4 #121 潜航の結果

[目的]: 南沖繩地壘・地溝地形区の北西端には、過去のトランスフォーム断層に挟まれた幅 20km の細長い zone が存在する。この zone は、南西諸島海溝の軸部に達しており、今まさに沈み込もうとしていると考えられ、海洋地殻が沈み込む際のような変形を受けることになるのか明らかにする最適な場所の 1 つである。今回の調査潜航は、この zone の変動地形を観察し、沈み込む海洋地殻の変動様式について考察する。

[調査結果]: 地形、底質、生物等海底観察

i) 地形: 南沖繩地壘・地溝地形区の北西端には、南西諸島海溝とやや斜交する N45°E の走向を持つ 2 本の直線的な溝が存在する。この溝に挟まれ幅約 20km のいくつかの地形的な高まりが分布する。この zone はトランスフォーム断層に挟まれた海洋地殻と考えられ、現在はあまり明確ではないが、より南方の地形区と同様 N45°W 方向の溝が認められる。この高まりの比高は海溝に近づくにつれて、いいかえれば北東側ほど小さくなっている。潜航地点は N45°W 方向に伸びる海丘の間の鞍部である。鞍部は緩傾斜にかかわらず崩落崖が何段かあり、海丘を構成する岩石が崩落している。東方の海丘斜面は、まだ大規模な崩落は生じておらず、ほとんどはマンガンクラストに覆われた面となっているか、軟泥に覆われた面となっている。崩落している所でも、表層の堆積物が崩れているのみで、崩落崖の比高も 50cm 以下となっている。また崩落崖の上方には崩落の輪郭に平行する幾筋かの溝が分布する。

ii) 底質: 岩石の露出する所を除いて、黄灰白色の堆積物で覆われている。水深 6,280m 以深の海底面は、上記堆積物の上に白色の軟泥の塊やマンガンクラストの転石が点在する。この海底面は、高さ 10cm 径 20cm の円錐状をした小マウンドが列をなして 3 か所において観察された。また、泥の上には放射状、コイル状、直線状の生物のはい跡が多数分布する。東方の海丘西側斜面では、斜面の傾斜方向に幾筋かの白色の堆積物の筋や、より粗粒なデブリが認められた。この斜面においても生物のはい跡が多数分布する。

iii) 生物: #119 の潜航点より明らかに生物数が多い。泳いでいた生物としては、エビ、ナマコを観察した。エビは体長が 15cm で赤色、白色のものが生息している。海底面には多数のはい跡が認められた。このはい跡を作った生物は確認できなかった。生物そのものとしては、ナマコのみが観察できた。

潜航の結果

水深6,256~6,255m: 海底面は黄灰白色の堆積物の上に白色の軟泥の塊やマンガンクラストの転石が点在する。この海底面は、高さ10cm径20cmの円錐形をした小マウンドが列をなして3か所において観察された。また、泥の上には放射状、コイル状、直線状の生物のはい跡が多数分布する。

水深6,255~6,124m: 厚い板状マンガンクラスト、表面が半球状マンガンクラスト、玄武岩の巨大な角礫が点在する。なかには長径5mを超えるものも含まれる。2か所で比高9mと5m崩落崖を確認した。斜面上の堆積物は多く、#119で観察した現斜面上で堆積物にマンガンが付着し形成されたと考えられる薄いマンガンクラストを認められなかった。

水深6,124~5,907m: 板状マンガンクラスト、表面が半球状マンガンクラストの露出とマンガンクラストの転石が点在する泥の底質が繰り返す。マンガンクラストの表面には割れ目が存在するものも含まれる。泥の上には、上方からの堆積物の流れを示す、白色の筋や、デブリ堆積物の筋が認められる。

水深5,907~5,848m: マンガンクラストが分布しなくなり、一面泥だけの底質となる。水深5,889mと5,864mの2か所で崩落崖が存在する。崩落崖の比高も50cm以下であり、この斜面上に水平に堆積する軟泥層の断面が露出する。また崩落崖の上方には崩落の輪郭に平行する幾筋かの溝が分布する。

水深5,848~5,772m: 泥の底質、生物のはい跡が多数分布する。水深5,822mの地点で、南北方向に並ぶ泥のマウンドが存在する。

図3に#119潜航と#121潜航の模式断面図を示した。

4. 琉球海溝陸側斜面

陸側斜面は急崖、平坦面という組み合わせが水深2,000mの深海平坦面より海溝底まで続くことが地形図から判断される。急崖は中規模の崩壊地で馬蹄形のえぐれた表面を呈し堆積物は土石流となって斜面を下ったと考えられる。中規模の崩壊地形は約500m規模の大崩壊を作り、水平な島尻、ないし八重山層を削っている。このような大規模な斜面崩壊は初めて観察された。これは恐らく、500~700mの単位の斜面崩壊の段が7~8段あり海溝下部斜面を形成しているものと思われる。ここでは#122, 123, 124, 125の4回の潜航が行われておりその結果を以下に示す。

4. 1 #122潜航の結果

[目的]: 琉球海溝陸側斜面の形状と構成物質を観察しフィリピン海プレートの沈み込みに伴って海溝陸側斜面にどのような変形が起こっているのかを考察する。琉球海溝陸側斜面の上位には深海平坦面が広がっている。これは水深2,000mより何段かの急崖とやや平坦な面との組み合わせで海溝底まで続いている。ここでは過去の潜航調査は全く無く、これが崩壊面と堆積面あるいは侵食面であることが想像されてきた。本潜航では水深5,500mからの急崖と5,000mの平坦面との間の部分に潜航してここがどのような地形やどのような地質からなるのかを観察する。

[調査結果]: 地形、底質、生物等海底観察

i) 地形 (Sea beam や、その他の地形図から判読した大地形、潜航中に観察した微地形など)

(i) 琉球海溝の方向が45°から72°へと屈曲する陸側斜面には複雑な地形が認められる。陸側斜面の等深線は海溝軸と平行にはならず斜交して波打つ。陸側斜面下部には225°方向の土石流堆積物の作るような地形が認められ、急崖、平坦面、小凹地の組み合わせがみられる。

海溝底から最初の平坦面は水深5,000mの2~3km程度の広さのものでその下の斜面は傾斜が26°程度である。斜面は土石と考えられる。潜航中に観察された地形はおおむね地形図から読み取られたものと同様で、50cm程度のステップ、20m程度の斜面崩壊、土石流堆積物、の組み合わせであった。500mの斜面は、小規模の地入り、中規模のそれ及び巨大崩壊にわけられる。

ii) 底質 (堆積物<岩>の色、厚さ、粒度<砂とか泥>、種類、表面構造、変形の程度など)

(ii) 白色度土石流堆積物、表面に薄くマンガンの被覆あり。角礫を含む。所々に斜面なりの層理面を持つ地層が見られるが、これは崩壊したものが斜面を滑って来たためと考えられる。崩壊は小規模なものから大規模なものまである。馬蹄形の斜面には斜面下方へ向けた条痕がある。それとは別に流れを示す跡もある。5,000mの平坦面は層理面で、垂直な崩壊面が認められる。

iii) 生物: ナマコ、エビ、三脚魚、ソコダラが見られた。

潜航の結果

着底点: 平坦な白い堆積物に覆われた面。平坦面は約300m続き徐々に傾斜を増す。表面には生痕や生物、ナマコ、三脚魚、魚、エビ、等が見られた。生痕は主として小さな(5~10cm)円錐丘があるが頂部に穴はない。斜面の上には角礫が所々見られ上からの転落や滑落が考

えられる。

小規模崩壊：急斜面には幾つかの波打った地形、凹地が見られる。これは斜面に平行しており地這りの頭と思われる。えぐり取られた馬蹄形の崩壊面が見られる。これは20m程度続く。崩壊面の表層には下の地層が見え斜面の下方へと下る条痕がある。

巨大崩壊：5,000mの平坦面からその下は垂直な崩壊面になっている。地層は水平で島尻か八重山からなる。土石は下方へと転落や滑落し条痕を残す。崩壊している部分は全体で40m程度である。巨大崩壊は小規模な崩壊の組み合わせで5,000mから5,600mの斜面全体が崩壊したと考えられる。

4. 2 #123潜航の結果

深海の生存する微生物は栄養源が少ないため飢餓状態に適応しているように考えられる。深海環境下では微生物の活動は活発ではなく、C:N源の豊富な、例えば魚の死骸等があってもその分解に必要な酵素を生産したくとも生産に必要なエネルギーさえ容易に供給されない状況と考えられる。我々は1991年度、日本海溝陸側、海側斜面において採泥を行い、その中から幾つかの Protease 生産菌を取得したが、その中に高圧力下において活性の上昇する Protease を生産する菌を見いだした。Morita の提唱する飢餓状態との関連性が注目される。

今回の目的は好圧菌、耐圧菌を取得、さらにその中から Protease 生産菌をとり、その酵素の解析を通じて好圧菌、耐圧菌の特徴を明らかにすることにある。たまたまかもしれないが日本海溝における調査で海側と陸側で低温菌の分布が異なっていた。今回の航海においてもそのようなことが言えるのか興味を持っている。

深海生物の採取：深海底に着底した時点において、まず付近の観察を試みた。一定点を観察しようと思ったが潜水艇のプロペラによって泥が舞ってしまいうまく行かなかった。別の地点へしばらく航走を続け、潜航で準備した電動グラバーで捕獲できる可能性のあるナマコを対象として試みた。潜航中3回試みたが失敗した。

深海底泥の採取：前回(122DIVE)の潜航で生物の排泄物と思われる物体をいたるところで見いだした。本潜航でも同様の物体を見いだしたのでそれを採泥した。揚収後その状態を調べたが、泥でありかなり水っぽいものであった。通常の泥も採泥したが、これはかなり粘土質のものであった。池本式採泥器の比較を行ったが、Grainer tube の底を開けたもの開けなかったもの、開けたもので自立型の tube、自立型でない tube を比較した。深海底泥は粘土質の泥であることが多いため、

tube の底を開けた方が容易に採泥できた。底を開ける場合は自立型より自立型でない方が細工が容易に行えたが、容積が小さくなるのが難点である。今回のサンプルの中から好圧菌の分離、Protease 生産菌の分離を試みる。

4. 3 #124潜航の結果

八重山諸島の南側(海溝側)については、1991年11月、1991年4月、1992年1月、及び4月に、「かいよう」「よこすか」により地形調査を行い、海溝域の地形の特徴が明らかになった(松本ほか、1993)。すなわち、この海域には幅20~30mの海溝底の平坦面があり、またその平坦面上あるいは平坦面に接する部分に幾つかの海山があることが初めて確認された。特に、22°50'N、124°26'E付近の海山はこれらのうち最大級であり、海溝底の平坦面に乗り上げていること、またその南部は東西方向に走る断層で断ち切られているように見えること、この海山の東西で海溝軸の向きが変化し、また海溝底の平均水深も変化していることから、琉球海溝のこの部分の微細変動の鍵を握るものとして注目する必要がある。

琉球島弧-海溝系においては、海溝陸側斜面上での海底地滑りの生起に伴う1771年八重山地震津波の発生、1991年の西表群発地震など、活発な地学現象が発生している。これらの原因はすべてフィリピン海プレート沈み込みに伴う海陸両側の変動、変形、破壊によるものであり、防災上の面からも早期に調査し着手すべきであるが、これまでは日本海溝、南海トラフ等の同様な海域に比べて調査が立ち遅れており、海上保安庁水路部の大陸棚調査の範囲からも外れていた。

八重山沖琉球海溝の海側斜面上に位置する海山の成因と変動過程を調べるため、その東側斜面から頂部にかけて目視観察及び底質採取を行った。全体は厚く泥を被っていたが、頂部には粗礫が見られ、また頂部付近の急斜面では基盤岩らしきものも見られた。180mほど下がったところより下部では、顕著な崩壊のあとが見られた。着底点で径2~3cmのマンガン団塊を多数、また頂部で火山性の岩石を採取した。一方、コース上3地点で重力測定を行った。

着底点付近(水深4,462m)は小礫混じりの泥で覆われていてこれを採取したところ、径2~3cmのマンガン団塊であった。途中、水深約4,430mから4,330mの間は、ところどころに平板状や丸い角礫がありその周辺に細粒~中粒の礫が散在していた。さらにその上部はほとんど泥で覆われ礫がほとんど見られなかったが、水深

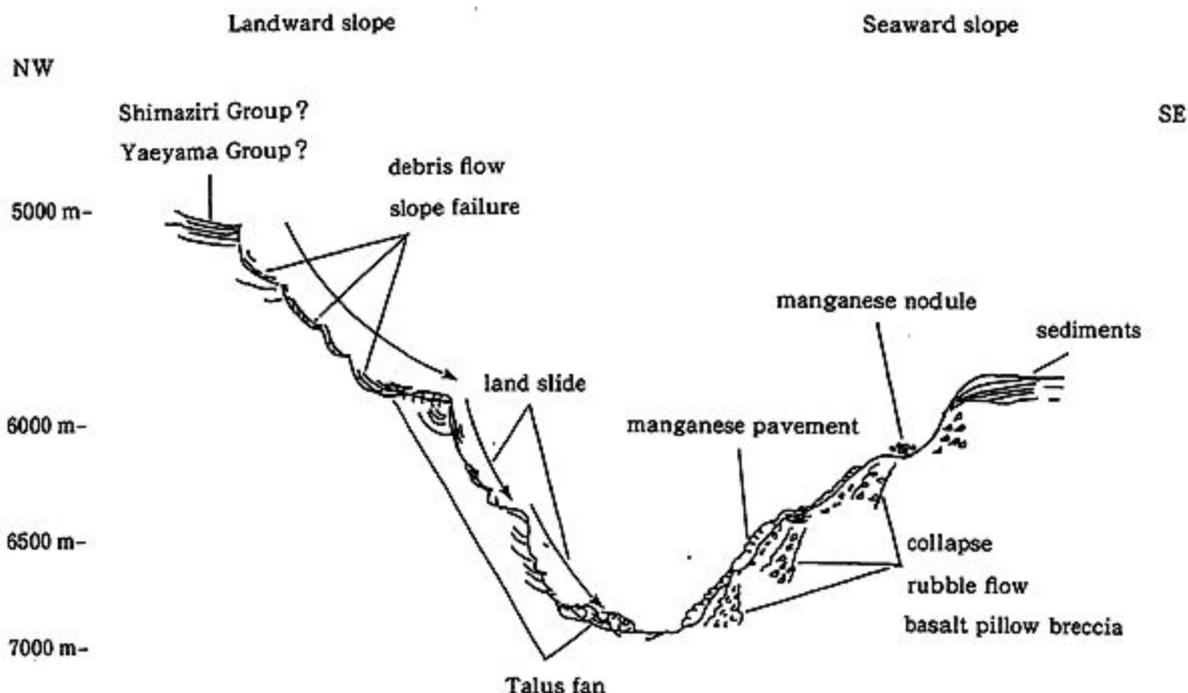


図4 琉球海溝の海側斜面と陸側斜面の潜航結果の模式断面

Fig. 4 Schematic cross section of the seaward and landward slopes of the Ryukyu Trench compiled by all the dives.

4,226mのところと4,165m前後のところでは、基盤岩と思われる巨岩が泥を被り自らも現われていた。山頂部には泥を被った中粒の礫がみられ、採取したところ、表面が一部黄土色に変色し、タールのようなものが付着している火山岩（恐らくは玄武岩と思われる）であった。この海山は、火山性の山であることは間違いないが、石灰岩が見られないことから、頂部が海面に達したことはない。そして、海溝に近づくにつれて変形を受け、特に中腹で斜面崩壊が起こったものと考えられる。

4.4 #125潜航の結果

事前調査では認められなかった半固結から固結下泥の急崖や急斜面からなる複雑な地形を呈している。急崖では島尻層と思われる基盤岩が随所に露出し、一部の基盤岩には層理面が見られた。急斜面では雪崩のように流れてきた堆積物が幾つも重なっており、一部では大きくえぐれて基盤岩が露出する所もあった。また、上位より運ばれてきた可能性のある Pteropoda の破片らしきものを確認した。

以上の潜航結果をもとに琉球海溝の海側斜面と陸側斜面の潜航の結果を要約すると以下ようになる。また図4は海側の潜航結果と陸側の潜航結果を模式的に断面図にしたものである。

1) 南西諸島海側斜面の60°以上の急崖にはマンガンのペーブメント (Ciff cover manganese pavement) が

あり、急崖は崩壊していない。上位の玄武岩角礫の急崖露頭は崩壊して土石流やラブルフローとなり斜面の一部を覆っている (#118-121)。

2) マンガンのペーブメントの下に隠されたフィリピン海プレートの最古の海洋地殻を作る玄武岩類 (ピロプレッチャ、角礫) が得られた (#118-121)。

3) 海側斜面からマンガンの団塊、クラスト、ペーブメントが発見された。最後の急崖を覆うタイプは今までに知られてはいない (#118-121)。

4) 一方、南西諸島陸側斜面は巨大斜面崩壊 (500m以上にわたる) を起こし、崩壊は深海平坦面から海溝底まで7~8段ある。水平な島尻層や八重山層が削られ斜面崩壊、地這り、土石流となって海溝底へと雪崩下っている (#122)。

5) 海溝の海側、陸側とも平坦面や緩斜面の上には、生痕化石が著しく生物活動が活発であること、従って生物を養うための条件がよく整っていることを示す (全潜航)。

5. 琉球海溝海側斜面から得られた火山岩

琉球海溝海側斜面から得られた玄武岩の産状は直接海底に露出しているのは少なく、厚いマンガンに覆われて急崖を形成している。マンガンの崩落しているところや小さな海底谷やガレの堆積物として観察される玄武岩

表 2 琉球海溝の玄武岩の主要元素と微量元素の組成

Table 2 Major and trace element compositions for basalts from the Ryukyu Trench; major element are recalculated on H₂O free basis.

	118-1	118-3	119-1	119-2	119-3	119-4	119-5	120-1	120-2	120-3	120-4	120-5
SiO ₂ (%)	50.69	48.12	50.52	49.43	49.08	49.31	49.42	48.95	49.51	49.38	49.84	49.08
TiO ₂	3.26	2.36	2.11	2.06	1.74	1.66	1.75	1.25	1.65	1.34	1.69	1.35
Al ²⁺ O ₃	20.02	18.67	15.78	14.82	16.85	16.43	16.57	18.44	17.70	18.72	17.47	16.88
Fe ₂ O ₃ *	11.82	12.22	10.88	13.86	10.80	11.06	10.76	9.80	10.51	9.46	10.46	11.41
MnO	0.17	0.14	0.15	0.16	0.17	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13	0.14	0.15
MgO	3.80	4.85	5.42	5.01	6.24	6.26	5.87	6.51	5.85	5.80	5.33	5.90
CaO	7.04	9.90	11.14	10.77	11.81	11.91	11.98	12.07	11.71	12.05	11.69	12.06
Na ₂ O	2.15	2.82	3.36	3.04	2.78	2.79	2.85	2.43	2.75	2.47	2.69	2.65
K ₂ O	0.67	0.54	0.43	0.67	0.35	0.27	0.47	0.26	0.46	0.46	0.48	0.39
P ₂ O ₅	0.38	0.37	0.22	0.19	0.19	0.16	0.19	0.14	0.20	0.18	0.20	0.15
O.S.	100.50	99.39	98.42	99.46	99.04	98.94	98.55	98.55	98.63	99.58	98.44	99.43
H ₂ O (+)	2.11	1.68	0.75	0.78	0.10	0.13	0.94	0.56	0.70	0.77	1.06	1.28
H ₂ O (-)	1.68	1.41	1.01	0.83	0.44	0.64	1.16	1.17	1.18	1.02	1.01	1.05
FeO*/MgO	2.80	2.27	1.81	2.49	1.56	1.59	1.65	1.35	1.77	1.47	1.77	1.74
Nb (ppm)	22.1	15.8	11.3	11.4	10.7	9.2	10.5	5.8	9.6	7.2	9.5	6.8
Zr	233	177	153	144	127	114	127	94	120	101	121	89
Y	72	54	45	43	38	37	37	31	37	32	38	30
Sr	200	208	178	170	207	168	202	150	178	160	176	164
Rb	15.5	15.4	10.6	19.6	6.8	3.7	10.5	5.1	9.8	12.0	10.5	7.8
Th	2.3	1.7	0.2	0.7	0.6	—	1.0	0.8	1.5	0.7	1.3	0.4
Pb	1.3	1.6	2.5	1.2	0.7	1.5	0.4	0.8	0.5	0.8	0.7	0.6
Ga	25	23	21	21	19	19	19	17	19	18	19	18
Zn	178	157	108	98	104	101	98	94	98	87	101	128
Cu	118	117	128	106	112	115	126	91	102	93	119	107
Ni	26	47	65	36	113	72	157	134	81	30	93	70
Co	38	44	51	36	46	42	65	47	40	33	41	44
Cr	41	58	98	111	283	188	258	279	283	278	284	326
Ce	39.9	34.4	22.6	23.3	13.7	18.9	23.1	13.7	21.6	18.8	16.4	14.3
V	313	297	365	344	307	326	298	264	272	259	279	262
Ba	80	59	61	43	67	46	51	21	31	32	26	32

O.S.=Original Sum. Fe₂O₃* and FeO* indicate total Fe as Fe₂O₃ and FeO, respectively.

は、pillow breccia や pillow lave として海洋地殻の一部を形成していたものと考えられる。#118及び#119, 120潜航で多数の玄武岩資料が得られ岩石学的な検討を行った。

分析方法

全岩主成分・微量元素分析は、東北大学理学部岩鉱教室の蛍光X線分析装置 (XRF) を用いて行った。H₂O は灼熱減量法による。主成分組成には H₂O 測定後の粉末からガラスビートを作成した。微量元素成分は粉末加圧成型ペレットによる。Sr, Nd 同位体測定は東北大学理学部岩鉱教室の Finnigan MAT261 質量分析計で行った。Sr同位体測定には、海水と変質による影響を除くため 6N HCl で12時間、ホットプレート上で leaching した後、粉末にしたものを測定に供した。同位体比

測定期間中、NBS-987 Sr Standard の値は ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr=0.710239, La Jolla Nd Standard の値は ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd=0.51850 であった。

分析結果

全岩主成分・微量元素組成の分析結果を表 2 に示す。Sr, Nd同位体組成は表 3 に示した。SiO₂ は48~51%で玄武岩である。今回の琉球海溝海側斜面から得られた玄武岩を、DSDP による西フィリピン海盆玄武岩 (DSDP Site 447) と沖大東海嶺北方の南大東海盆玄武岩 (DSDP Site 446) と比較してみた。SiO₂-アルカリ図 (図 5) では、DSDP Site 447 玄武岩と同様な組成領域にある。MgOによる組成変化図を図 6 に示した。Site 447 の玄武岩に比べて、MgO に乏しく分化した性質を有しており、分化に伴い TiO₂, FeO が増加するソレア

表 3 Sr と Nd の同位体のデータ
Table 3 Sr and Nd isotopic data.

	Rb/Sr ^a	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr obs.	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr init. ^b	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd obs.
118-1	0.078	0.703491 +/- 25	0.70333	0.512870 +/- 21
119-1	0.060	0.703591 +/- 24	0.70347	0.513082 +/- 21
119-3	0.033	0.703644 +/- 17	0.70358	
119-4	0.022	0.703651 +/- 23	0.70361	0.512950 +/- 21
120-1	0.034	0.703330 +/- 23	0.70326	0.512961 +/- 21
120-4	0.060	0.703540 +/- 24	0.70342	0.513000 +/- 09
West Philippine Basin ^c (DSDP Site 447 A)				
49-53	0.108	0.70269	0.70254	
21-2	0.085	0.70270	0.70259	
25-1	0.008	0.70270	0.70269	

^a calculated from XRF-analyses.

^b Age corrected for 50 Ma age.

^c Data from Armstrong and Nixon (1981).

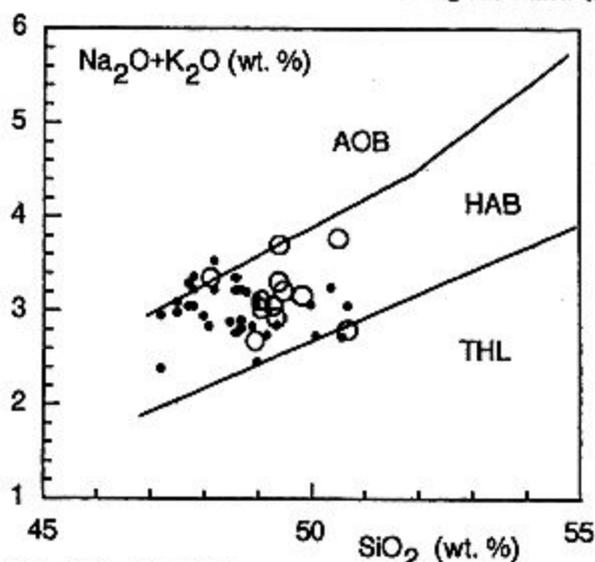


図 5 SiO₂-アルカリ図

Fig. 5 SiO₂-(Na₂O+K₂O) diagram. Solid lines indicate boundaries between tholeiite (THL), high-alumina basalt (HAB) and alkali olivine basalt (AOB) (Kuno, 1968). Basalt from DSDP Site-447 (Wood et al., 1981) and Site-446 (Wood et al., 1980) are also plotted.

イト的な分画傾向を示す。これらの玄武岩類を、変質の影響をほとんど受けない HFS 元素に注目した Ti-Mn-P (Mullen, 1983), Nd-Zr-Y (Meschede, 1986) の地球化学的判別図にプロットしてみた (図 7)。琉球海溝海側斜面から得られた玄武岩は MORB あるいは海洋性ソレライトに類似した組成領域にプロットされ、T~E-Type MORB 的な性質を有している。N-MORB で規格化した微量元素のスパイダー図を図 7 に示す。琉球海溝海側斜面から得られた玄武岩は、沈み込み帯の島弧ソレライト (IAT) に、特徴的な高い LIL/HFS 比を示さ

ず、その LIL/HFS 比及び HFS/HFS 比はむしろ E-MORB やプレート内ソレライトの同比に近い。また Site446 のソレライト、玄武岩とも似ている。Rb, K は若干富むのは、変質によるものであろう。一方、Site 447 の玄武岩は depleted MORB (N-MORB) と似ている。

代表的なサンプルについて Sr-Nd 同位体測定を行った (表 3)。⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 測定値は 0.70333~0.70365 の範囲にあり、岩石の年代を 50 Ma と仮定し、全岩 XRF の Rb/Sr 比をそのまま用いて計算したときの ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 初生値は 0.7033~0.7036 となる。岩石は多少変質を被っており、実際の (初生的な) Rb 含量、Rb/Sr 比はこれより低いことが予想されるが、仮に低く見積っても計算される ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 初生値はほとんど ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 現在値と変わらないであろう。この値は、Armstrong and Nixon (1981), Cohen and O'Nions (1982) による西フィリピン海盆 DSDP Site447 の玄武岩の ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr よりも有意に高い値である。図 8 には ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr-¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 同位体組成図を示し、他地域の玄武岩類の同比とも比較してみた。琉球海溝海側斜面から得られた玄武岩はマントルアレイ上にあるが、明らかに EPR-MORB や Mariana Trough の玄武岩に比べて、やや enrich した性質を示しており Iceland や Hawaii の玄武岩類と似ている。一方、DSDP Site447 の玄武岩は MORB と極めて類似している。

6. 海側斜面のマンガ

新しいマンガンの産状について記載する。従来、海洋底で見つかっているマンガには団塊とクラストが知ら

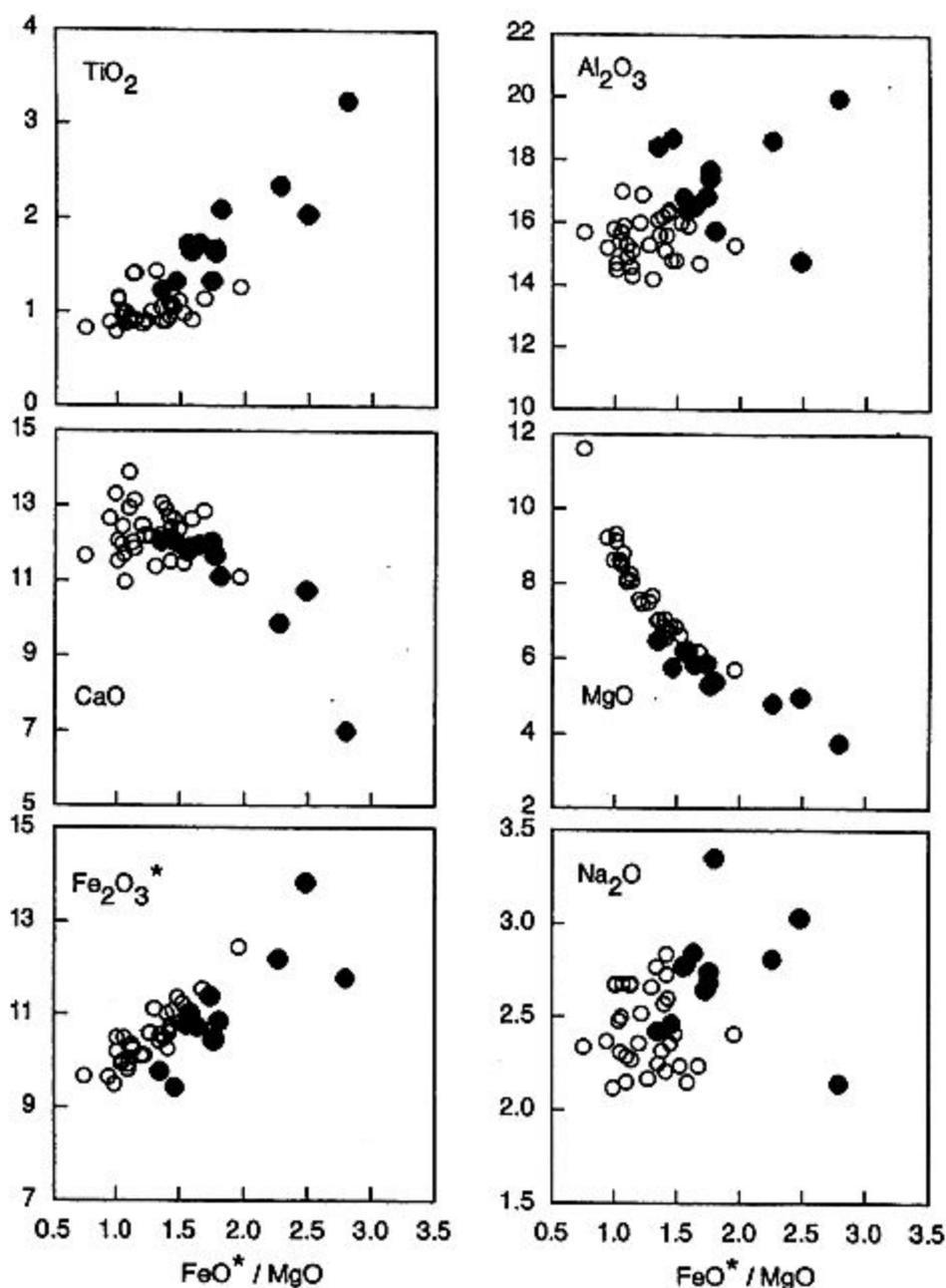


図 6 FeO^*/MgO —主要酸化物図

Fig. 6 FeO^*/MgO vs. selected major element oxides variation diagrams. Basalts from DSDP Site-447 (Wood et al., 1981) and Site-446 (Wood et al., 1980) are plotted.

れていた。前者は堆積速度の遅い深海底の表面に分布するもので古くは1872~76年のチャレンジャー号航海の時に既に知られていた。後者は、海山の頂上等に見られるコバルトに富んだ平板状のマンガンでコバルトリッチクラストと呼ばれている。今回見られた琉球海溝海側斜面の急崖を覆うマンガンはちょうど道路の切り割りのセメントの吹き付け被覆のような産状を呈しており、今までこのようなタイプのマンガンは知られていない。

琉球海溝海側斜面の地塁・地溝の急崖を覆うマンガンは新しいタイプのマンガンになる。このタイプのマンガンは必ず急崖を被覆しており、全体を一見すると玄武岩の枕状溶岩のような形態を呈している。事実最初の潜航では(#118) 枕状溶岩と思われていた。このタイプのマンガンの1つ1つの枕の形は楕円形であったりやや角張った形態をしているものもある。表面をクローズアップして見るとマンガン団塊特有のぶつぶつ、仏頭状の形

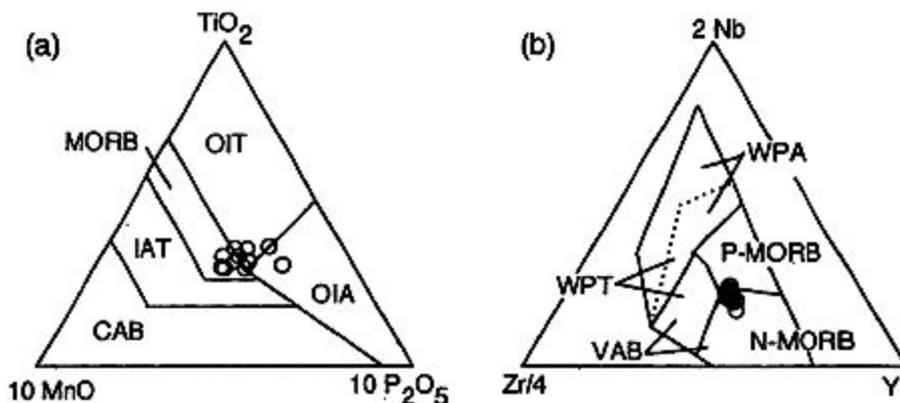


図 7 地球化学的判別図

Fig. 7 Ti-Mn-P (Nulsen, 1983) and Nb-Zr-Y (Meschede, 1986) tectonometric discrimination diagrams. OIT, oceanic island theoleiite; OIA, oceanic island alkalic basalt; MORB, mid-ocean ridge basalt; IAT, island arc theolite; CAB, island arc calc-alkaline basalt; WPA, within-plate alkali basalt; WPT, within-plate theolite; VAB, volcanic arc basalt; P-MORB, plume MORB; N-MORB, normal MORB.

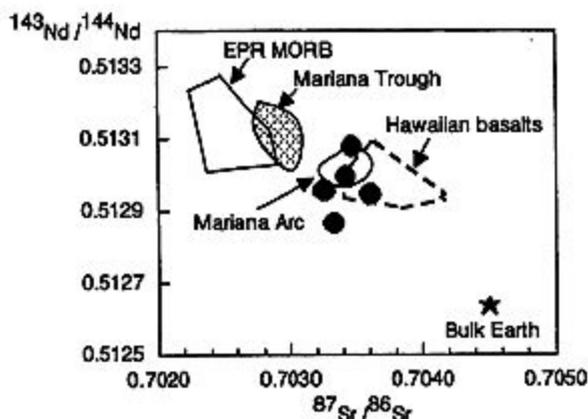


図 8 Sr と Nd の同位体組成

Fig. 8 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ diagram. Solid circles, Ryukyu Trench basalts; open square, DSDP Site-447 basalt (Cohen and O'Nions, 1982). Fields for EPR MORB (Zindler et al., 1984), altered MORB (Jahn et al., 1980), Mariana Trough (Volpe et al., 1987), Iceland and Reykjanes Ridge (O'Nions et al., 1977; Zindler et al., 1979), and Hawaii (O'Nions et al., 1977; White and Hofmann, 1982; Stille et al., 1983; Staudigel et al., 1984) are also drawn.

態が見られ、それを堆積物がうっすらと覆っている。

マンガンは厚さ15cmを超えるものもあり成長速度は一見して早いように思われる。断面はラミナが発達しており普通のマンガン団塊と同様の構造に似ている。

マンガンが成長するためには酸化還元電位や堆積速度といったものが大きく関係しているが、このタイプのマンガンは重力の影響を受けている。マンガンが枕のたれ

さがりのような構造を呈するのは、まだ未固結のうちに重力場の影響を受けている可能性が高く、そうであればこのマンガンは in situ に形成されたことを強く支持する。

7. まとめ

南部琉球海溝の海側斜面と陸側斜面で「しんかい6500」による潜航調査が世界で初めて行われた。海溝の海側斜面では海溝軸にほぼ直交する南沖縄地壘・地溝地形区に潜航し、フィリピン海最古の海洋地殻の一部と思われる玄武岩のピロープレッチャの露頭が発見された。玄武岩は PL+OL あるいは PL+CPX+OL を斑晶としその全岩の FeO^*/MgO は 1.35~3.70, TiO_2 は 1.25~3.52wt% の範囲で、分化が進んでいる。アルカリに若干富み、高アルミナ玄武岩の領域に落ちる。岩石中の incompatible 元素の比は、N-MORB~E-MORB の間にあり、全体として T~E-MORB 的であった。これらの玄武岩の Sr-Nd 同位体比は、DSDP-Site447 の玄武岩が MORB に類似するのに対し、明らかにわずかながら enrich した組成であり、Hawaii や Iceland の玄武岩類の同比と似ている。このような玄武岩を覆って急斜面を厚いマンガンが被覆していることがわかった。このようなマンガンのタイプは今までに知られてはいない。マンガンの被覆は急斜面の崩壊を防いでいるように見える。

海底地形図から想定されているように海溝陸側斜面では巨大崩壊地形が確認された。崩壊は水深2,000mから

海溝底の7,000mにまで及び1つの単位は500mに及ぶ。崩壊の始まる部分の地層は固結した八重山層または島尻層と考えられそれがえぐられたほぼ垂直な崖を形成している。海溝域の潜航では生物の痕跡の化石, Spirogrape や zoophycus に似た生痕が発見された。琉球海溝の軸に沿って北から南に向けて海側の斜面, 海溝域, 島弧, 背弧で3つの違いがあり, それは海溝軸と沈み込むプレートの向き, 及び海側の斜面と陸側の斜面のカップリングの違いによるものと考えられる。

琉球海溝の海側斜面と陸側斜面の地球科学的な大きな違いの原因は, 約50Maに現在のセントラルベーズン断層(フィリピン古海嶺)で形成されたフィリピン海プレート(西フィリピン海盆)が形成の時のままの形状を保ちながら移動し, 深海底の条件で変質し, 長い時間をかけてマンガンが玄武岩の表面を覆い, 琉球海溝でアジア大陸の下へと沈み込み, 陸側プレートとの相互作用により陸側と海側とでは異なった変形をこうむったためであると考えられる。琉球海溝域での潜航は今回が初めてのことであり, 更なる潜航による観察, 観測と今後の研究が必要である。

謝 辞

この研究を進めるにあたり「しんかい6500」運行チーム及び「よこすか」の船長をはじめ乗組員の方々には潜航に際して大変お世話になった。琉球の地質について氏家宏, 木村政昭の両氏からは多くの助言を賜った。琉球の地形については河名俊男氏のご教示に負うところが大きい。琉球海溝の潜航をするに際し, 海洋科学技術センター深海研究部長の堀田宏氏にはその計画の立案の段階から数々の貴重なご意見と支援を賜った。青木美澄氏には琉球弧の文献に関してご教示いただいた。これらの方々に感謝します。

参考文献

Armstrong, R.L. and G.T. Nixon (1981): Chemical and Sr-isotopic composition of igneous rocks from Deep Sea Drilling Project Legs 59 and 60. Init. Repts., DSDP 59, U.S. Govt. Printing Office, 719-727.

Cohen, R.S. and R.K. O'Nions (1982): Identification of recycled continental material in the mantle from Sr, Nd and Pb isotope investigations. Earth Planet. Sci. Lett., 61, 73-84.

藤岡換太郎・西村 昭・小山真人 (1991): 伊豆・小笠

原弧とフィリピン海. 地学雑誌, 100, 455-457.

藤岡換太郎・加藤幸弘・鳥井真之・古賀義徳 (1992): 琉球海溝の海側・陸側の地形・地質その成因. 地震学会予稿.

藤岡換太郎・加藤幸弘・鳥井真之・古賀義徳 (1992): 琉球海溝の海側・陸側の地形・地質その成因. 第9回しんかいシンポジウム予稿集, 16-20.

古川雅英 (1991): 琉球弧と沖縄トラフの発達史—とくに沖縄トラフの形成年代について—. 地学雑誌, 100, 552-564.

日野亮太 (1991): 日本列島周辺の高底地殻構造—地殻構造から見た海溝—島弧—背弧系—. 地学雑誌, 100, 583-595.

Jahn, B., J. Bernard-Griffiths, R. Charlot, J. Cornichet and F. Vidal (1980): Nd and Sr isotopic compositions Ree abundances of Cretaceous MORB (holes 417D and 418A, Legs 51, 52 and 53). Earth Planet. Sci. Lett., 48, 171-184.

Kato, S. (1991): A geomorphological study on the classification and evolution of trenches around Japan. Rep. Hydr. Res., 27, 1-57.

加藤幸弘・藤岡換太郎・鳥井真之・古賀義徳 (1992): 南西諸島海溝海側斜面の形成過程. 第9回しんかいシンポジウム予稿集, 21-23.

木村政昭 (1985): 地震と地殻変動. 九州大学出版会, 195pp.

木村政昭 (1989): 琉球の海底地質学的展望. 月刊地球, 11, 576-584.

木村政昭・加藤祐三・田中武男・仲 二郎・蒲生俊敬・山野 誠・安藤雅孝・上田誠也・酒井 均・大森保・伊沢英二・兼永 勝・小野朋典・押田 淳 (1987): 沖縄トラフ中央地溝の研究. 「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 3, 165-196.

木崎甲子郎 (1985): 琉球弧の地質誌. 沖縄タイムス社, 278pp.

小西健二 (1965): 琉球列島(南西諸島)の構造区分. 地質学雑誌, 71, 437-457.

小西健二 (1984): サンゴ礁の地学的研究の最近の成果—南西諸島より. 地学雑誌, 93, 473-480.

Kuno, H. (1968): "Differentiation of basaltic magmas." p 623-688. In: basalts, 2. Edited by H.H. Hess.

Letouzey, J. and M. Kimura (1985): Okinawa Trough genesis: Structure and evolution of a back-arc

- basin developed in continent. *Marine Petroleum Geol.*, 2, 111-130.
- Letouzey, J. and M. Kimura (1986): The Okinawa Trough: genesis of a back-arc basin developing along a continental margin, *Tectonophys.*, 125, 209-230.
- 松本 剛・藤岡換太郎・木村政昭・加藤幸弘・青木美澄 (1993): 南西諸島海溝域南西端部の海底精密地形. 海洋科学技術センター試験研究報告, 30, 17-36.
- Meschede, M. (1986): A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental theoleiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chem. Geol.*, 56, 207-218.
- 門馬大和・橋本 惇・田中武男・深海研究グループ (1989): 沖縄トラフ深海曳航調査 (DK88-2-OKN-LEG1, 2) 速報. 海洋科学技術センター試験研究報告, 21, 203-221.
- Mullen, E.D. (1983): $MnO_2/TiO_2/P_2O_5$: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and implications for petrogenesis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 62, 53-62.
- O'Nions, R.K., P.J. Hamilton and N.M. Evensen (1977): Variations in $^{143}Nd/^{144}Nd$ and $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios in oceanic basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 34, 13-22.
- Pearce, J.A. (1982): "Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries." p 525-548. In: *Andesites*. Edited by R.S. Thorpe, John Wiley & Sons.
- Pearce, J.A. (1983): "The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins." p 230-249. In: *Continental basalts and mantle xenoliths*. C.J. Hawkesworth and M.J. Norry, Edited by Shiva.
- Staudigel, H., A. Zindler, S.R. Hart, T. Leslie, C. Chen and D. Clague (1984): The isotope systematics of a juvenile intraplate volcano: Pb, Nd, and Sr isotope ratios of basalts from Loihi Seamount, Hawaii. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 69, 13-29.
- Stille, P., D.M. Unruh and M. Tatsumoto (1983): Pb, Sr, Nd and Hf isotopic evidence of multiple sources for Oahu, Hawaii basalts. *Nature*, 304, 25-29.
- 中武男・堀田 宏・酒井 均・石橋純一郎・大森保・伊沢英二・小田 望 (1990): 伊是名海穴の熱水現象とその分布. 「しんかい2000」研究シンポジウム報告書, 6, 11-26.
- Tokuyama, H., Y.S. Kong, H. Kagami and N. Nasu (1985): "Collision of the Amami Plateau with the Ryukyu Island Arc." p 853-873. In: *Formation of Active Ocean Margins*. Edited by N. Nasu et al.
- 氏家 宏 (1986): 琉球弧の海底—底質と地質. 新星図書出版, 120pp.
- Volpe, A.M., J.D. Macdougall and J.W. Hawkins (1987): Mariana Trough basalts (MTB): trace element and Sr-Nd isotopic evidence for mixing between MORB-like and Arc-like melts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 82, 241-254.
- White, W.M. and A.W. Hofmann (1982): Sr and Nd isotope geochemistry of oceanic basalts and mantle evolution. *Nature*, 296, 821-825.
- Wood, D.A., I.L. Joron, N.G. Marsh, J. Tarney and M. Treuil (1980): Major- and trace-element variations in basalts from the North Philippine Sea drilled during Deep Sea Drilling Project Leg 58: A comparative study of back-arc basin basalts with lava series from Japan and mid-ocean ridges. *Init. Repts. DSDP 58*, U.S. Govt. Printing Office, 873-894.
- Wood, D.A., D.P. Matthey, J.L. Joron, N.G. Marsh, J. Tarney and M. Treuil (1981): A geochemical study of 17 selected samples from basement cores recovered at sites 447, 448, 449, 450 and 451, Deep Sea Drilling Project Leg 59. *Init. Repts., DSDP 59*, U.S. Govt. Printing Office, 743-752.
- Zindler, A., S.R. Hart, F.A. Frey and S.P. Jakobsson (1979): Nd and Sr isotope ratios and rare earth element abundances in Reykjanes Peninsula basalts: evidence for mantle heterogeneity beneath Iceland. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 45, 249-262.
- Zinder, A., H. Staudigel and R. Batiza (1984): Isotope and trace element geochemistry of young Pacific seamounts: implications for the scale of upper mantle heterogeneity. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 70, 175-195.

(原稿受理: 1994年6月30日)

(注) 写真は次ページ以降に掲載

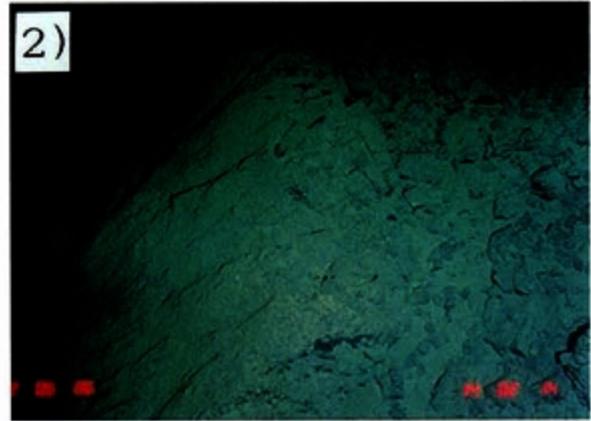
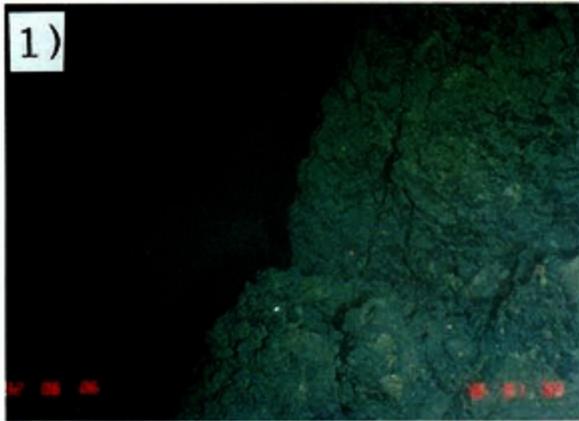


写真 1, 2 南沖縄地塁・地溝地形区の海溝海側斜面に露出するフィリピン海で最も古いと考えられる玄武岩の角礫岩
 Photos 1, 2 The oldest basalts of the Philippine Sea cropping out on the seaward slope, Minami Okinawa Horst and Graben Province, Ryukyu Trench.

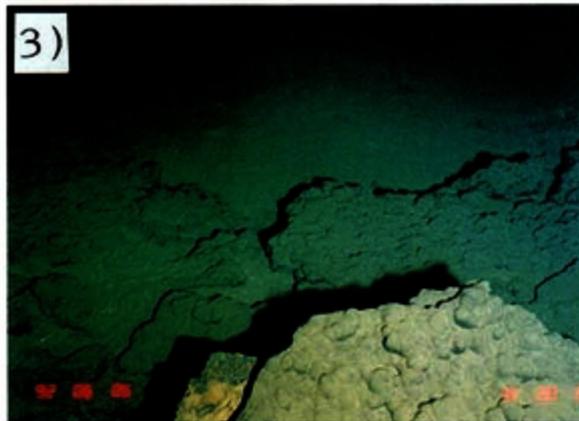


写真 3, 4 マンガンクラストに覆われた海底面
 Photos 3, 4 Sea floor covered with manganese.

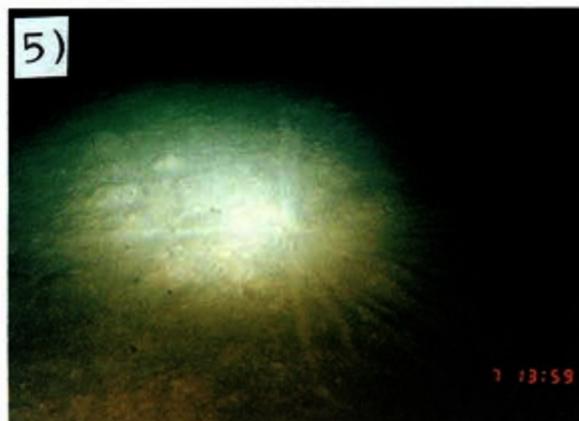


写真 5, 6 海底面に残された生物の痕跡。生痕化石の Spirorhaphé や Zoophycus に類似している。
 Photos 5, 6 Trails on sea floor. These are quite similar to those fossil Spirorhaphé and Zoophycus.

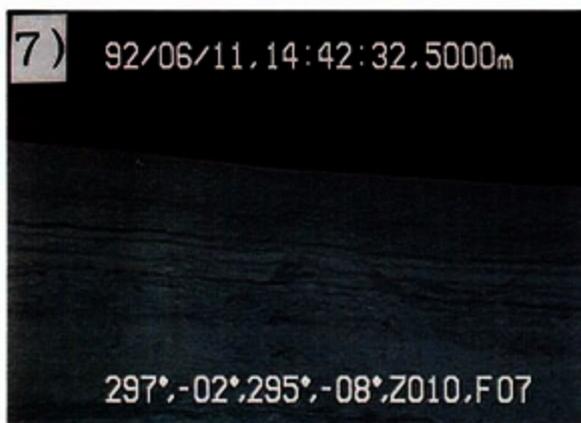


写真 7-10 琉球海溝陸側斜面にみられる大崩壊地形の上部。八重山、島尻層に相当すると考えられる。

Photos 7-10 Upper portion of the giant slope failure on the landward slope of the Ryukyu Trench. This may be equivalent to Yaeyama or Shimajiri formation.

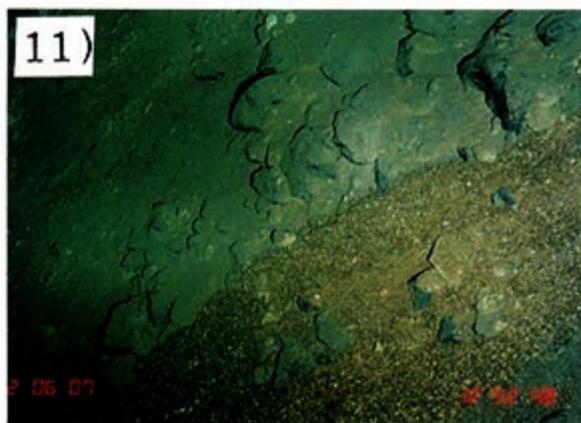


写真 11 玄武岩の角礫と上部より流れ込んできた細粒の堆積物

Photo 11 Basalt breccia and fine sediment being transported from the upper part.



写真 12 マトリックスをほとんど含まない玄武岩の巨礫が崖堆積物を作っている。

Photo 12 Basalt rubble forming talus deposits without matrices.