

沖縄トラフ中部の地形、地質構造と粟国海丘 付近の潜航調査—1986年—

加藤 茂*¹ 中村光一*² 岩瀬 洋*¹ 河合晃司*¹ 瀬田英憲*¹

沖縄トラフ中部の粟国海丘とその周辺の海域において、4回の潜航調査が実施された。この潜航調査は、シービームによる詳細な海底地形調査や音波探査データをもとに、トラフの形成過程を解明するためのキーポイントと考えられた、海丘及びその周辺をターゲットとして実施したものである。沖縄トラフには、いくつかの雁行する地溝が知られているが、この粟国海丘はこの地溝の中央に位置している。

粟国海丘及び近隣の小海丘群は、規模の違いにもかかわらず、枕状熔岩を主体とする海底火山活動によって生じた海底地形であること、そして、化学組成が主成分元素で見る限り極めて均一であることが判明した。また、泥に多少なりとも被覆されていること、採取したすべての熔岩にマンガン酸化物が付着しており、目視観察でも新鮮な表面をした熔岩が見出せなかったことから、ごく最近の活動は無かったのではないかと考えられる。

Topographic and Geologic Characteristics of the Middle Part of the Okinawa Trough Revealed by Seabeam Survey and the Geology around the Aguni Knoll Studied with a Submersible in 1986

Shigeru KATO*³, Ko-ichi NAKAMURA*⁴, Yo IWABUCHI*³,
Koji KAWAI*³ and Hidenori SETA*³

Four "SHINKAI 2000" dives made in 1986 at the Aguni Knoll in the central part of the Okinawa Trough. According to the Seabeam bathymetric survey data and seismic reflection profiles, the Aguni Knoll is situated at the axis of one of the grabens which are arranged in echelon. This area is the important part in order to clarify the geological history of the Okinawa Trough.

We observed the Aguni Knoll and adjacent small knolls consist of volcanic rock, mainly pillow lava, which chemical composition is uniform. We also observed that the lava is slightly covered by soft mud and attached manganese oxide. These facts suggest that the volcanic activity of the Aguni Knoll and adjacent knolls does not exist recently.

*¹ 海上保安庁 水路部

*² 工業技術院地質調査所 海洋地質部

*³ Hydrographic Department, Maritime Safety Agency.

*⁴ Geological Survey of Japan.

1. はじめに

海底地球科学者の近年のひとつの夢であった島弧における海底熱水性鉱床が、沖縄島の北西約120kmにある伊是名海穴で、1988年6月にゾンネ号を用いた日独共同調査で発見された(Halbach et al. 1989)。これは1986年から海上保安庁水路部と地質調査所が共同で実施している沖縄トラフの潜航調査として、1987年に潜航したデータ(中村ほか1987a)に基づいて、海底熱水性鉱床の有望地点として日本側から調査海域として提案し、発見されたものである。1989年9月には、この共同潜航調査の3年目の調査として伊是名海穴に潜航し、同鉱床がチムニーを形成してまさに生成中の鉱床であることを確認した(加藤幸弘ほか1989ほか本号の一連の報告)。伊是名海穴の海底熱水性鉱床は、その鉱石に金・銀などの有用金属が多量に含まれ、鉱床として価値が高いこと、これまで中央海嶺拡大軸や背弧海盆拡大軸で発見されていた海底熱水性鉱床が、初めて島弧域で発見されたこと、水深が浅いことなどから大いに注目されている。

沖縄トラフ海域は、活動中の海底熱水性鉱床の発見に至るまでに様々な海底地形、地質調査がなされ、基礎的データが蓄積されていた。初期のものとしては、琉球弧と沖縄トラフの島弧-背弧海盆としての骨組みを明らかにした海上保安庁水路部及び地質調査所による調査がある。水路部では1975年から1982年に奄美大島以南の琉球弧を対象とした調査(浜本ほか, 1979, 加藤ほか 1982)が実施され、20万分の1「大陸棚の海の基本図」シリーズとして公開された。地質調査所では1975年に琉球弧全域にわたる調査を実施し(Honzaed. 1976), 100万分の1広域海底地質図(本座栄一ほか1977)として刊行された。その後、1984年から1987年にかけて海上保安庁水路部の大陸棚調査によって、沖縄トラフ、琉球弧の全域にわたって、海底地形、音波探査、地磁気、重力のデータが整備された(桂ほか1986, 春日ほか1987, 河合ほか1987, 大島ほか1988)。この調査の一環として、沖縄トラフ中部海域の精密海底地形調査が1986年4~5月に行われた。精密海底地形調査はシービームによって海底を100%カバーしたデータを取得したもので、その後の「しんかい2000」の潜航

調査はもとより、ゾンネ号による日独共同調査などにも大いに活用されている。潜水船調査を代表とする海底の狭い範囲の集中調査には、精密海底地形図が極めて重要であることが確認されている。

本稿は、海上保安庁水路部と地質調査所が1986年から共同で実施している沖縄トラフ海域の潜航調査の一連の報告のはじめに、基礎となった海底地形調査の概要について述べ、明らかとなった地形、地質構造の特徴を記し、その上で、1986年7月に実施した粟国海丘とその周辺の潜航調査(Dive 336, 337, 340(加藤茂), Dive 339(中村光一))で判明した事実、採取した岩石、温度測定などの結果をまとめたものである。なお、両機関の南西諸島における共同潜航調査は1985年にも鬼界カルデラにおいて、水路部の5万分の1沿岸の海の基本図「薩摩硫黄島」の調査、地質調査所の白嶺丸GH84-1及び3の調査(盛谷ほか1985)結果に基づいて実施されている(中村ほか1986b)。

2. シービーム海底地形調査の概要



図1. 沖縄トラフ中部の潜航調査海域位置図

I~IVはシービーム海底地形調査海域を示す。
粟国海丘はIIの海域に含まれる。

Fig. 1 Location map of the central part of the Okinawa Trough around the diving sites. Boxes I~IV show the Seabeam surveyed areas. Aguni Knoll situated in Box II.

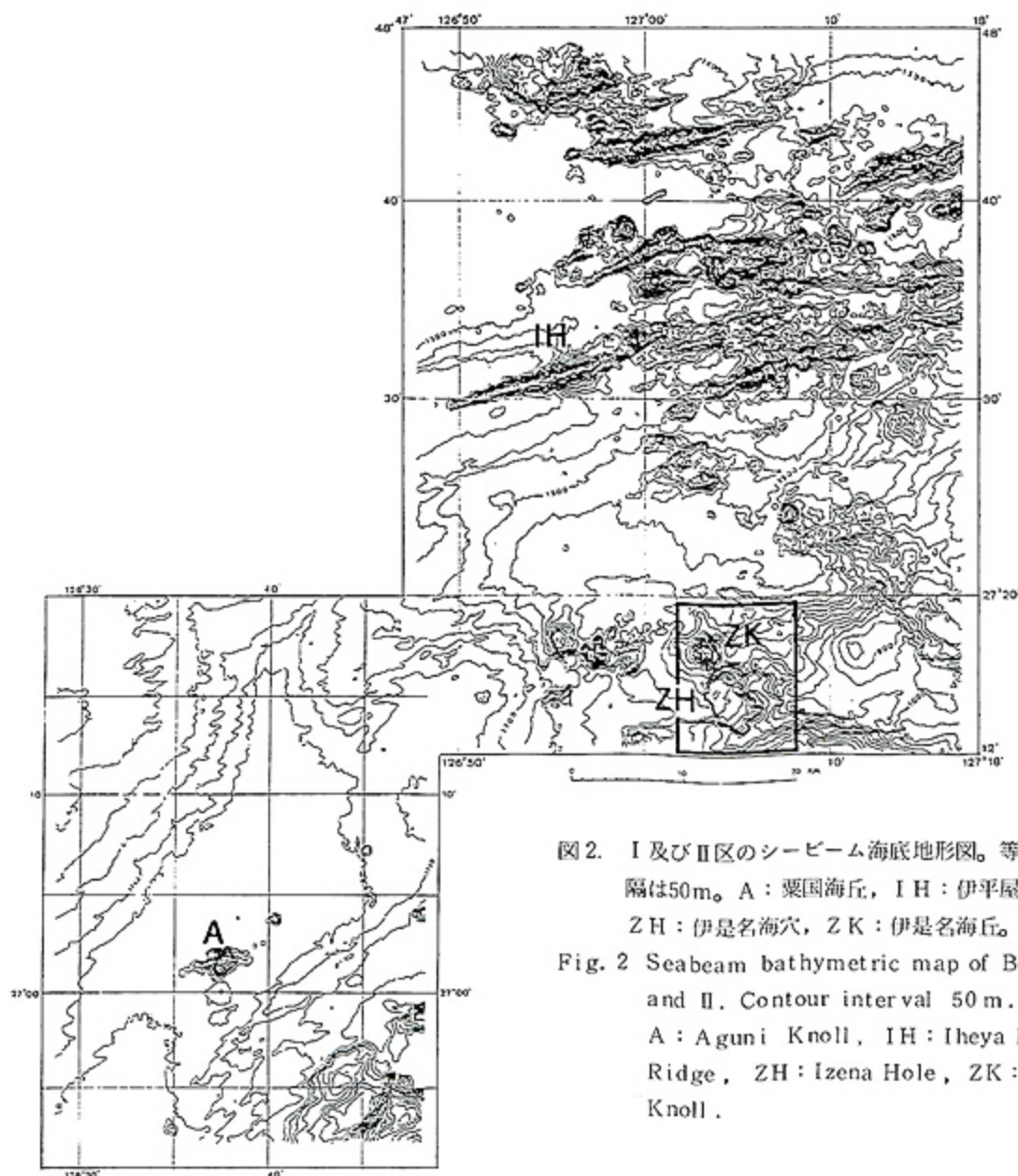


図2. I及びII区のシービーム海底地形図。等深線間隔は50m。A：粟国海丘，IH：伊平屋小海嶺，ZH：伊是名海穴，ZK：伊是名海丘。

Fig. 2 Seabeam bathymetric map of Boxes I and II. Contour interval 50 m. A: Aguni Knoll, IH: Iheya Minor Ridge, ZH: Izena Hole, ZK: Izena Knoll.

調査は、沖縄トラフ中部海域（図1）において次の要領で行われた。なお、この調査では海底地形調査と同時に、海上重力、海上地磁気調査、採泥等を実施しているが、ここでは省略する。

- ・期 日 1986年4～5月
- ・調査海域 I及びII区（沖縄島北西海域）
III及びIV区（慶良間海裂西方海域）
- ・調査船 測量船「拓洋」（2,600総トン）

橋本 堅船長

- ・調査班員 堀井孝重，岡崎 勇，春日 茂，
小川正泰，瀬田英憲，「拓洋」乗組員
- ・測 位 ロランC，NNSS等による複合測位
- ・測 深 シービームによる精密測深
- ・調査測線 I区……南北方向1.0km間隔
II区……南北方向1.2km間隔

Ⅲ区……南北方向 1.0 km 間隔

Ⅳ区……南北方向 2.4 km 間隔

・シービームのカバー率

Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ区……ほぼ100%

Ⅳ区……ほぼ50%

調査データについては、測位データの補正を行い、水深値の音響測深改正表(英国水路部 NP139)による改正を行い、縮尺 5 万分の 1 海底地形図(等深線間隔 10m)が作成されている。図 2 に示す海底地形図(Ⅰ, Ⅱ区)はこれを簡略化したものである。図 3(本文末)に示す海底地形鳥瞰図はこのシービームデータにより作成されたものであり、南側から 45° の伏角で俯瞰したもので、高さは水平距離に対し、4 倍強調してある。

3. 沖縄島北西海域(Ⅰ, Ⅱ区)の海底地形

Ⅰ区とⅡ区には、沖縄トラフと琉球弧の境界部の斜面と沖縄トラフ底が含まれる。

沖縄トラフ底は平坦な海底であるが、Ⅰ区では 1,500~1,650 m、Ⅱ区では約 1,800 m と南西側の方が深い。沖縄トラフ全体を通覧しても、北東端の男女海盆では水深約 800 m であるのに対して、南西端の八重山海底地溝では約 2,200 m となり、その間、北東から南西に向って中心部の水深は徐々に深くなっている。Ⅰ区とⅡ区の沖縄トラフ底の水深の違いはこの全体の傾向の一部である。平坦な沖縄トラフ底の中に、Ⅰ区には伊平屋小海嶺を含む小海嶺や海丘が多数分布し、伊平屋海丘群を形成している。これに対し、Ⅱ区には粟国海丘を含むいくつかの海丘が点在している。

伊平屋海丘群の海丘は比高 1,000 m 以下で 500 m 程度のものが多い。麓径は 1~4 km 程度で円錐形のものや複合したもの、そして細長くのびるものなど、様々な形態が見られる。伊平屋海丘群のなかには、伊平屋小海嶺をはじめとする細長く、直線状にのびる小海嶺が数条認められる。伊平屋小海嶺は長さ約 20 km、幅 1~4 km、頂上水深 950 m、比高 600 m の北東-西南西に直線状にのびる小海嶺である。いくつかの小海嶺の中でこの小海嶺が最も大きく、また西半部では、小海嶺付近が周辺の約 1,500 m の沖縄トラフ底から約 150 m 落ち込んで深くっており、Ⅰ区における最深部

を形成しているのが大きな特徴である。

伊是名海穴は、最大水深 1,665 m、周囲の海底よりの深さ約 500 m、北北西-南南東方向の長軸約 6 km、短軸約 3 km の矩形をした凹地である。同様の凹地は、琉球弧と沖縄トラフの境界部に沿って多数認められ、Ⅰ, Ⅱ区でも、形は伊是名海穴ほど明瞭ではないが数個認められる。

Ⅱ区には沖縄トラフの最深部に粟国海丘と付随する海丘、及びその北東方に 2 つの小さな海丘が見られる。粟国海丘は、水深約 1,800 m の沖縄トラフ平坦面にある麓の直径約 3.5 km、頂部水深 1,230 m、比高約 600 m の円錐形の海丘である。粟国海丘に付随する小海丘は N70° E の方向に並んでおり、この方向はⅠ区の伊平屋小海嶺をはじめとする小海嶺群ののびの方向と平行である。また、粟国海丘の南に緩やかなマウンド(以下、南マウンドと呼ぶ)がある。小海嶺群や小海丘の地形が急峻で、火山起源を思わせる地形であるのに対して、このマウンドは緩やかで火山地形とは考えにくい。

4. 沖縄島北西海域の地質構造

沖縄トラフには、いくつかの雁行する地溝が知られている(木村 1983, 春日ほか 1987, 大島ほか 1988)。特に中央部より南西側で、地溝地形は顕著である。沖縄島北西海域では伊平屋小海嶺を中心とする地溝、粟国海丘を中心とする地溝、及びその間にある小地溝と 3 つの地溝が left step(杉形)に雁行している。図 2 の等深線は粗いので、正断層の地形が明瞭なところは少ないが、原図や 3.5 kc 音波探査、シービーム直下測深記録に基づいて解析すると(加藤ほか 1986 a, 春日ほか 1987, 中村ほか 1987 b, c)、伊平屋小海嶺を中心とする地溝では、伊平屋小海嶺に平行な走向を持つ正断層が卓越するのに対して、粟国海丘を中心とする地溝では N50° E と N70° E の 2 方向に正断層群が見られる。特に粟国海丘の南東側の沖縄トラフと琉球島弧の境界部では両方向の断層がよく発達し、地形にも菱形の階段地形となってよく反映している(図 2, 3)。この 2 方向の内、N70° E の走向は、伊平屋小海嶺ののび及び周辺の正断層、そして粟国海丘に付随する小海丘の列の方向に平行であり、また、地震の発震機構で示

される最小主応力軸の方向 (Eguchi and Uyeda 1983) にほぼ垂直である。それに対して、N 50° E の方向は琉球島弧の一般走向に平行であり、II 区の粟国海丘と北東方に見られる小海丘を結ぶ走向に平行である。

以上のことから、大きな地溝地形及びそれを作る正断層、小海嶺などに見られる火成活動の貫入形態は、発震機構で見られる広域応力場に支配されて N70° E 方向にのびるのに対して、火成活動の中心は琉球海溝よりのフィリピン海プレートの沈み込みに規定される (Tatsumi 1986) から琉球島弧の方向に配列し、また、琉球島弧の古い構造 (例えば、小西 1965) は島弧に平行であるから、それに規制されて N 50° E 走向の正断層も生じると考えられる。沖縄トラフの中心部の地溝の雁行配列も含めて、これらの大構造は、structural trend に対して伸張方向が斜交することによって生じる oblique rifting (Withjack and Jamison 1986) の結果として説明できる (中村ほか 1987b, c, 中村 1987)。

中部以西に顕著な沖縄トラフ内の地溝地形と火成活動の関係を見ると、3 種類に分類でき、この 3 つは、地溝の発達過程を示している可能性がある (春日ほか 1987)。

第 1 のものは「断裂ステージ」の地溝とも呼ぶべきもので、多数の平行した低断層崖により地溝地形が形成されているが、中央部に海丘、小海嶺を伴わないもので、奄美大島の西方に典型的なものが見られる。

第 2 のものは「海丘ステージ」の地溝と呼ぶべきもので、地溝地形の中軸部に、海底火山と考えられる円錐型小海丘や地溝と平行な方向にのびる海丘がわずかに存在するものである。粟国海丘を中心に持つ地溝や宮古島北西沖の八重山海丘を中心に持つ八重山海底地溝はその例である。

第 3 のものは「小海嶺ステージ」の地溝と呼ぶべきもので、海丘や小海嶺が幾重にも列をなして複合した地形の高まりを伴う地溝で、伊平屋海丘群を典型とする。

伊平屋海丘群を作っている地域 (I 区) は、「断裂ステージ」→「海丘ステージ」→「小海嶺ステージ」と発達してきた可能性が高い。しかし、沖縄トラフで見られる地溝地形が今後すべて、この

発達過程を経て、火成活動が盛んになり、海洋地殻まで形成するようになるかどうかは断言できない。地溝の発達と火成活動は、地殻の伸張率と火成活動の量、堆積物の供給量に規制される。その量比によっては海洋地殻ができつつある段階でも、カルフォルニア湾の Guaymas Basin で見られるように、玄武岩は浅所貫入する岩床という形で存在し、地溝内には海底噴出した火山は存在しないという状況も生じ得るからである (Lonsdale and Lawver 1980, Einsele et al, 1980)。

5. Dive 236 — 粟国海丘の北東に接する高まり —

粟国海丘付近における潜航調査は、我々に先立って 7 月 4 日に安藤雅孝氏が乗船して、Dive 234 として粟国海丘頂上部の調査が実施されていたため (木村ほか 1987)、重複を避けて計画された (図 4)。

Dive 236 は 1986 年 7 月 22 日、粟国海丘の北東斜面に麓を接する比高約 200 m の高まりを目標とし、この高まりの火山としての形態を調べ、かつ N70° E の方向に弧立して存在する小海丘との間の平坦

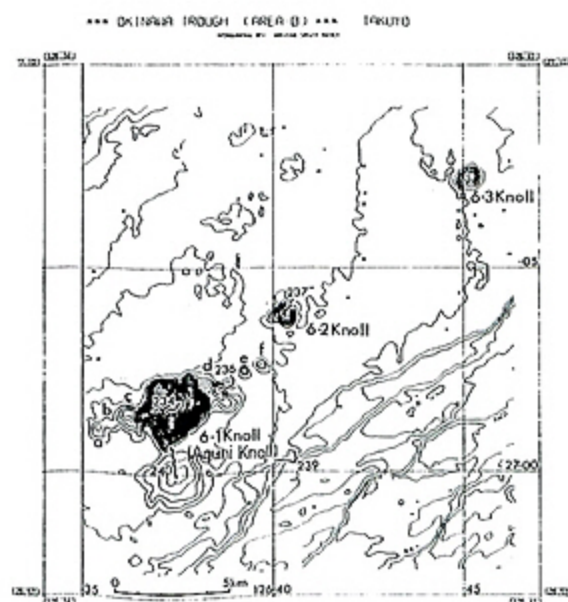


図 4. II 区のシービーム海底地形図と「しんかい 2000」による 4 回の潜航調査航跡。等深線間隔は 20m。
Fig. 4 Tracks of four dives by "Shinkai 2000" on the Seabeam map of Box II.

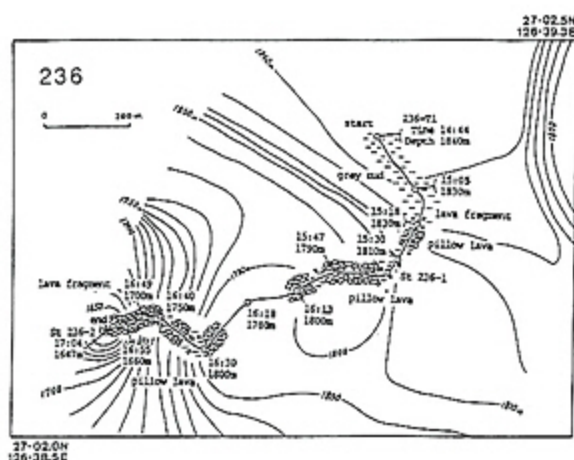


図5. 第236回潜航調査のルートマップ。

Fig. 5 Route map of dive 236 shows the distribution of bottom materials.

な海底に、マグマ貫入と関係する裂け目が構造が見られるかどうかを目的として、加藤の他、潜水船要員として、井田正比古、桜井利明氏が乗船して実施された（図5）。

北東側の麓から約200mの地点の沖縄トラフ平坦面に着底した。着底地点の水深は1,840m、底

質は泥、水温3.78℃、視程約7mで、水の流れは無かった。平坦面を観察した後、高まりの斜面を頂上まで登った。

岩石試料は、高まりの麓付近と、頂上の2ヶ所で各1個採取した（図5表2）。

海底下の温度測定は、着底地点（236-T1）で実施した。その結果は、表1に示すように海底下の温度は直上の海水温度と大きな違いは見られなかった。なお、今回の一連の潜航調査で使用した温度計は、木村ほか（1987）で紹介されている東京大学地震研究所の山野誠氏によって製作されたものである。

着底地点をはじめ、沖縄トラフの底の平坦面は灰色の泥が広がっている。そのなかに、直径20cm以下の大きさの穴やマウンドが点在している。これらは、生物の作ったものらしい。また、穴やマウンド程の頻度ではないが、海底から1mほどの高さの直立するカイメン状生物が点在している。沖縄トラフは、堆積速度が速いと言われているものの地殻変動も激しい。潜航地点付近はトラフのなかでも、地溝の中心に位置していることから、地殻変動の跡が海底の微細な起伏に現われている可能性が考えられたが、そのようなものは観察

表1. 海底下の温度測定結果

Table. 1 Results of the temperature measurement beneath the sea bottom.

潜航番号 年月日	測定地点		STDによる 周囲海水温度 W ℃	aセンサーの 温度 A ℃	bセンサーの 温度 B ℃	(A) - (W) ℃	(B) - (W) ℃	測定時間 分
	地点番号 経緯度	地形と水深						
236 1986.7.22	236-T1 27-02.4 N 126-39.0 E	栗国海丘麓近くの 平坦面 1,840 m	3.79	3.80	3.83	0.04	0.03	9
237 1986.7.23	237-T1 27-04.1 N 126-40.5 E	栗国海丘北東方の 小海丘麓の平坦面 1,810 m	3.77	3.78	3.79	0.02	0.01	10
	237-T2 27-03.7 N 126-40.2 E	小海丘の山頂火口 (?) 内 1,630 m	3.80	3.81	3.90	0.10	0.09	9
240 1986.7.26	240-T1 26-59.9 N 126-37.4 E	栗国海丘南マウン ドの頂上 1,740 m	3.76	3.80	3.83	0.11	0.07	6

aセンサー（A）は海底下約25cm、bセンサー（B）は海底下約50cmの温度を示す。

れなかった。

高まりの斜面では、麓から頂上まで累々とした枕状熔岩が観察された(図5, 写真1)。一部には角礫状にブロック化した熔岩が分布する部分もあった。枕状熔岩は斜面の最大傾斜方向に沿って流下したことを示す。枕状熔岩の表面は不規則に割れ目が入っていることが多かった。岩石は黒色を呈し、その上に薄く灰色の泥が被っていた。肉眼観察では、枕状熔岩、ブロック化した熔岩とも単一の岩種からなるように見えた。

図5の中で、斜面を登る途中の16時20分前後の場所には、底質分布を表現していないが、これは大きな凹地を越えたため、潜水船が海底から離れて航走したことによる。この凹地の中心部をソーナーで見ると、周囲を強い反応に囲まれ、凹地は火口を思わせるものであった。

水深1,650mの離底地点は、高まりのほぼ頂上に達したと思われる。ここでは、岩石採取をしたが(st. 236-2)、周囲を下り斜面が取り囲んでいるように見え、また、ソーナーには周囲に障害物の反応が見られなかった。

6. Dive 237 一粟国海丘北東方約6 kmの小海丘一

Dive 237 は1986年7月23日、粟国海丘北東方約6 kmに位置する直径約2.5 km、比高約200mの、円錐形の小海丘の調査を目的として、加藤の他、潜水船要員として内田徹夫、桜井利明氏が乗船して実施された(図6)。

小海丘の北東の麓から約100m離れたトラフ底平坦面に着底した。着底地点の水深は1,830m、底質は泥、水温3.78℃、視程約8mで、240°方向へわずかに水の流れがあった。トラフ底を小海丘に向けて航走した後、小海丘を頂上まで登った。

岩石試料は、小海丘の斜面の麓に近い地点(st. 237-1)で1個、山頂(st. 237-2)で3個採取した。採泥は、沖縄トラフ底の着底地点(st. 237-T1)と小海丘頂上(st. 237-T2)の2地点で実施した。ただし、採泥管を1本しか持って行かなかったため、1本の採泥管の上下に2地点の採泥試料を入れた(図6, 表2)。

また、温度測定は、採泥と同じ2地点で実施した。表1のように着底地点での海底下の温度は、

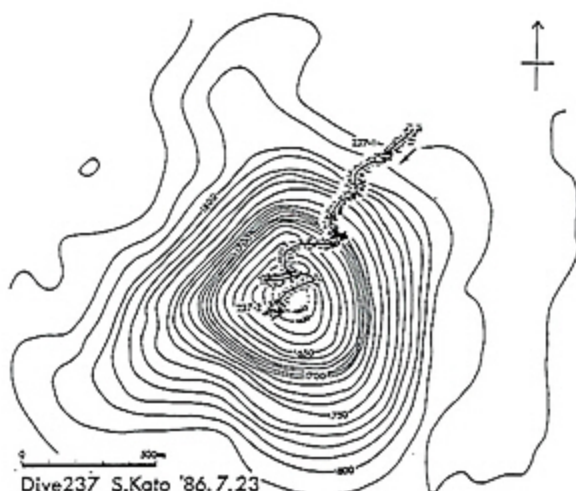


図6. 第237回潜航調査のルートマップ。☆はサンプリング地点を示す。

Fig. 6 Route map of dive 237 shows the distribution of bottom materials. ☆ shows the sampling points.

付近の海水温度との違いはみられなかったが、小海丘山頂では、海水に比べ、海底下約50cmの深さの温度は約0.1℃高かった。

灰色の泥が広がるトラフ底から南西方向に100mほどの地点に、泥の被った角礫からなる高さ約15mの崖があり、これを登ったところで傾斜が緩くなっており、岩石採取を行った(st. 237-1)。ここからは、泥の急斜面と角礫が点在する泥の斜面が大部分であり、広範囲に岩石が露出するのは、水深1,700m付近と頂上付近の2ヶ所であった。

水深1,700m付近の岩石露出域は、ちょうど斜面を刻む谷にはいったようで、小海丘を構成する熔岩の層状の構造を側面から観察することができた。数10cmの厚さの熔岩層が何枚も重なっていて、そこには生物の付着が多いことが印象的であった(写真2)。

山頂付近は、直径約30mの円形をした火口地形を示している。円形のリム付近は岩盤や角礫が露出し、中央部はリムより5m程低い皿のような低地に泥が広がっている。山頂部での温度測定と採泥はこの中央部の泥の分布域で実施し、岩石採取はリムで実施した。山頂部付近の岩石は、一連の潜航調査のなかで最も厚いマンガン酸化物に被覆

されている様子が観察された。

7. Dive 239 一粟国海丘南方の断層崖一

Dive 239 は、粟国海丘南方の沖縄トラフと琉球弧の境界部付近に発達する $N50^{\circ}E$ と $N70^{\circ}E$ の断層崖に潜航し、両方向の断層の前後関係、ズレの方向、特に横すべり成分を持つかどうか等を検討するため、1986年7月25日、中村の他、潜水船要員として、内田徹夫、桜井利明氏が乗船して実施された。

着底地点の水深は1,801m、底質は砂まじりの泥で、直径1cm以下の果実が多くあり、エビ穴のような直径数10cmの穴もあった。水温は $3.78^{\circ}C$ 、視程約7mで、 240° 方向へ約0.1ktの流れがあった。

Dive 239 では着底から離底まで岩石の露頭と呼べるものは全く無かった。海底面上には時折、こぶし大から30cm大位までの岩片が認められ、3ヶ所で合計4個の試料を採取したが、1個は円磨されたスコリア、残り3個はすべて軽石であった。柱状採泥は2ヶ所で実施した(表2)。温度計測は実施しなかった。

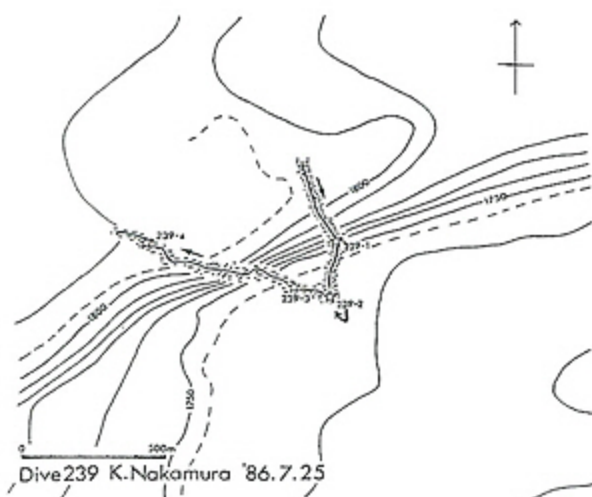


図7. 第239回潜航調査のルートマップ。☆はサンプリング地点を示す。

Fig. 7 Route map of dive 239 shows the distribution of bottom materials, ☆ shows the sampling points.

着底地点から最初に向かった $N70^{\circ}E$ 走向の崖はCTFMソーナーで反応はあるものの、灰色の泥で被覆された斜面で、水深1,800m位から微傾斜となり徐々に傾斜を増して、1,780m位から 30° (?)位の斜面となるが1,745m位で再び平坦になる。st. 239-2で採泥の後、 $N70^{\circ}E$ 方向の崖と $N50^{\circ}E$ 方向の崖の交又するあたりで、両方向の断層の関係を見ることを試み、進路を 280° 方向に取って崖を下った。水深1,750m位から下り傾斜となり、1,770m, 1,786m, 1,790mで、 $N30\sim40^{\circ}E$ 方向に走る落差1m余りの斜面の一般的傾斜よりわずかに急な斜面があったが、1,803mで再び平坦になった。斜面の一般的走向は $N70^{\circ}E$ であったから、 $N30\sim40^{\circ}$ 走向の斜面は $N50^{\circ}E$ の走向の断層崖に関係あると考えられる。この点だけの観察では、二方向の断層の活動時期に前後があるとすれば、 $N70^{\circ}E$ の斜面に $N30\sim40^{\circ}E$ の小斜面を形成しているのだから、 $N50^{\circ}E$ の走向の断層の活動が後ということになる。しかし、5万分の1の海底地形図を見ると、潜航地点付近では、 $N70^{\circ}E$ の崖の方が顕著で、潜航時に観察された斜面の一般走向と一致しているから、 $N30\sim40^{\circ}E$ の小斜面は、先に活動した $N50^{\circ}E$ 走向の断層が、 $N70^{\circ}E$ 走向の断層によって切られた後に、斜面上に $N50^{\circ}E$ 走向の断層の痕跡が何らかの作用で修飾され、泥に被覆されてできたと解釈することもできるであろう。

陸に近く堆積速度の速いところでは、たとえば音波探査記録や、サイド・スキャン・ソーナーの記録で断層崖が確認されても、潜航して見ると泥に被覆された斜面が存在するだけで、断層崖は存在しないという例は、カリフォルニア湾のGuaymas Basin (Lonsdale and Becker 1985)や南カリフォルニアの太平洋岸 (Kennedy et al. 1985)で報告されている。このような地点では、表層の堆積物はgrowth faultによく見られるように、撓曲、あるいは単斜構造をしていると考えられる。沖縄トラフには海水準が低下した氷期には、大量に東シナ海大陸棚から堆積物が供給されるであろうし、現在も遠洋性堆積物の供給量は決して少なくないであろうことを考え合わせると、沖縄島北西海域の精密海底地形図に見られる断層の大部分は、growth faultの構造を持ち、海底面では、

単なる泥に被覆された斜面となっているものが大部分ではないかと考えられる。

海底面には、先述した巣穴の他、ナマコ、ゴカイ類の這い跡が多い。巣穴の中には、巾10cm、長さ1mで深い穴が直線状、あるいは、円弧状に連なったものがしばしば見られた（写真3）。また、決して多いとはいえないが、カイメン、ウミシダ、カニ類が認められる。また、水深1,807m付近で tripod fish が一尾見られ、1,744m付近で、投棄された浅い木の箱が観察された。

8. Dive 240—栗国海丘に隣接する南マウンド—

Dive 240 は直径約3km、比高約70mの南マウンドを航走し、この地形の成因の手掛りを得ること及び、栗国海丘の南麓において、栗国海丘を構成する火山岩と沖縄トラフ底の堆積物の関係を観察することを目的として、1986年7月26日に加藤の他、潜水船要員として井田正比古、桜井利明氏が乗船して実施された（図8）。

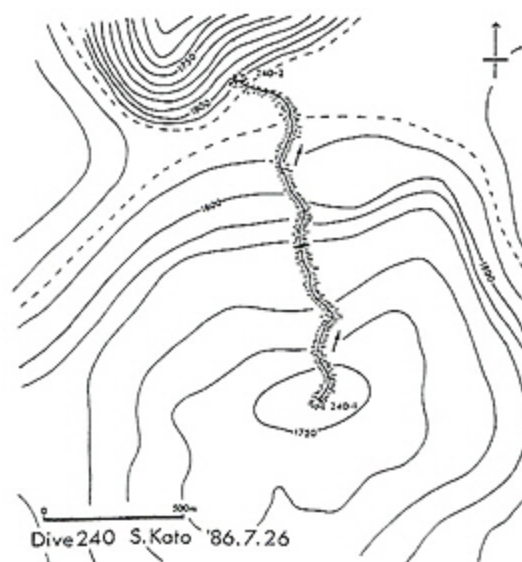


図8. 第240回潜水調査のルートマップ。☆はサンプリング地点を示す。

Fig. 8 Route map of dive 240 shows the distribution of bottom materials. ☆ shows the sampling points.

沖縄トラフに分布する海丘は、いずれも円錐型でないし、海嶺状の細長い形をして、比高が小さくとも急な斜面をしており、火山地形として形成されていると考えられるものが多い。この南マウンドは円形をしているものの、極めて緩やかな高まりであり、その形成過程は、他の海丘と大きく違うことが予想される。南マウンドの頂上部に着底して、ここを観察した後、栗国海丘の南麓まで北上するコースをとった。

岩石は、着底地点において海底に点在する軽石と、栗国海丘の南麓の露岩を採取した（表2）。採泥と海底下の温度測定は、着底地点（st. 240-T1）で実施した。表1のように、海水に比べ、海底下約50cmの深さの温度は約0.1℃高かった。

着底地点は、平坦な泥の広がる水深1,742mの海底であった。水温は3.76℃、視程約7mで、30°方向へ約0.2ktの流れがあった。ここは、南マウンドのほぼ頂上なので、マウンド全体が泥で覆われているらしい。泥の平坦面の上に、数個の石が点在していた。このうちの1個を採取したところ軽石であった（240-1）。

緩い南マウンドの斜面を北北西に向けて下ったが、着底地点と同様の平坦な泥の広がりとなり、そのなかに点在する軽石が観察された。平坦な泥の海底には生物による穴や、魚、そしてカイメンなどが時折見られた。

着底地点から約600mの地点には南マウンド唯一の岩盤の露出域が認められた。岩盤は、約2mの南下りのステップの崖に露出し、火山岩のように見えた。ステップは、約N50°E方向に直線状にのびるソーナー反応を示した。このステップが南マウンドの一般的な断面を示すものだとすれば、南マウンドは火山岩らしい岩盤の上に薄く泥が覆っているということになる。また、このステップは南マウンドの緩い斜面をずらしていることから、マウンド形成後に形成された可能性がある。直線的であり、そののびる方向が、この海域に卓越する新しい断層系とよい一致を示すことから、このステップもこの断層系の一部をなす新しい断層かもしれない。

南マウンドを下りた後、栗国海丘の南の麓に到着した。海丘の斜面の始まるこの地点では、板状の岩盤と角礫状の岩塊からなる岩石露出域が見え

はじめた。岩石の上には薄く泥が被り、カイメンなどの付着生物も認められた。

南マウンド内で1ヶ所認められた小崖の岩石試料が得られなかったことから、南マウンドの成因について決定的なことはいえない。しかし、小崖の観察結果及び形態が、カリフォルニア湾のGuaymas Basinで認められる浅所貫入の玄武岩の岩床による海底地形の盛り上がり(Lonsdale and Lawyer 1980)に似ることから、海底面を被覆したsheet lavaを更に泥質な堆積物が被覆したものか、浅所貫入の岩床による海底面の盛り上がりと推定される。

水深1,775m付近で、Dive 239に続いて tripod fishが観察された。

9. 採取試料

計4回の潜航調査で得られた試料は、熔岩が7個、軽石(及びスコリア)が5個、柱状採泥試料が5本である。採取地点は図5~8に示した。岩石試料については、「拓洋」により栗国海丘でドレッジされた試料とDive 234で得られた試料も含めて、検鏡とXRFによる主成分全岩化学分析を行い、また一部の試料についてEPMAによる

斑晶鉱物の分析を行った。全岩化学分析試料を作製する際の塩抜き方法及び分析方法は中村ほか(1986b)と同様である。表2に採取位置とともに結果をまとめて示す。柱状採泥試料については粒度分析と組成の検討を行ったが、結果については別稿で論ずる予定である。

熔岩はほとんどが急冷縁を持つ枕状熔岩の断片で、海底上に露出していた面には厚さ1~4mmのマンガン酸化物が被覆している。特に海底面と接した付近はマンガン酸化物の被覆が、海底面に沿って張り出して厚くなっている。各試料は急冷縁を様々な方向に向けて、海底に着地しており、熔岩流として流れた後に、節理に沿って割れて崩壊し、着地して堆積する泥に埋もれつつあったと考えられる。

岩石種はカンラン石-単斜輝石-斜方輝石玄武岩である。斑晶中の単斜輝石には急冷によるsector zoningが見られるものがある。すべての熔岩が、水を除いた再計算値でSiO₂ 51.7~53.5%の狭い範囲に入る。栗国海丘北東方約6kmの小海丘の頂上で得られた岩石(237-2-1~3)が、少し分化した組成を示す。SiO₂-Na₂O+K₂O図でKuno(1966)の高アルミナ玄武岩とソ

表2. 採取した試料の主成分化学組成と軽石、スコリアの見掛け密度

Table. 2 Major-element analyses of collected samples and apparent densities of pumice and scoria.

	Dive 236		Dive 237				Dive 240	Takuyo	Dive 239				Dive 240
Locality	236-1	236-2	237-1	237-2			240-2	6109006	239-1	239-2	239-3	240-1	
Lat. (N)	27°02.2'	27°02.1'	27°04.0'	27°03.7'			27°00.6'	27°01.8'	27°00.31'	27°00.20'	27°00.22'	26°59.9'	
Long. (E)	126°39.0'	126°38.6'	126°40.5'	126°40.2'			126°37.3'	126°37.1'	126°40.73'	126°40.72'	126°40.65'	126°37.4'	
Depth	1810m	1650m	1810m	1625m			1810m	1360m	1752m	1744m	1744m	1740m	
Sample No.	236-1	236-2	237-1	237-2-1	237-2-2	237-2-3	240-2	006-1	239-1	239-2	239-3-1	239-3-2	240-1
Rock type	pillow	lava	pillow	lava	lava	lava	lava	pillow	scoria	pumice	pumice	pumice	pumice
Chemical composition without water													
SiO ₂	51.56	51.65	52.08	53.14	53.20	53.21	51.62	51.62	58.86	76.33	74.22	73.91	73.52
TiO ₂	1.02	1.08	1.10	1.38	1.38	1.37	1.05	1.07	0.86	0.16	0.32	0.32	0.32
Al ₂ O ₃	16.61	17.14	17.72	17.57	17.66	17.57	16.98	16.96	16.11	12.65	13.40	13.27	13.23
Fe ₂ O ₃	9.72	9.63	9.54	10.72	10.67	10.52	9.48	9.63	7.19	2.56	3.07	3.08	3.05
MnO	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.17	0.20	0.30	0.25	0.12	0.12	0.10	0.09
HgO	6.96	5.94	5.15	3.57	3.46	3.47	6.19	6.28	1.60	0.02	0.48	0.46	0.44
CaO	10.49	10.64	10.27	8.88	8.89	8.89	10.80	10.59	3.35	1.87	2.73	2.75	2.74
Na ₂ O	2.51	2.72	3.05	3.41	3.42	3.69	2.62	2.63	5.84	4.50	4.02	3.95	4.00
K ₂ O	0.53	0.64	0.49	0.54	0.51	0.57	0.57	0.54	3.93	1.36	1.41	1.41	1.41
P ₂ O ₅	0.17	0.20	0.15	0.18	0.18	0.18	0.19	0.19	0.46	0.01	0.05	0.05	0.05
Total	99.74	99.81	99.73	99.57	99.54	99.65	99.70	99.80	98.49	99.56	99.81	99.31	98.86
lg. loss	0.39	0.40	0.56	0.68	0.54	0.48	0.25	0.77	0.07	4.51	2.48	1.80	1.92
apparent density of pumice and scoria									0.55	0.53	0.21	0.20	0.41

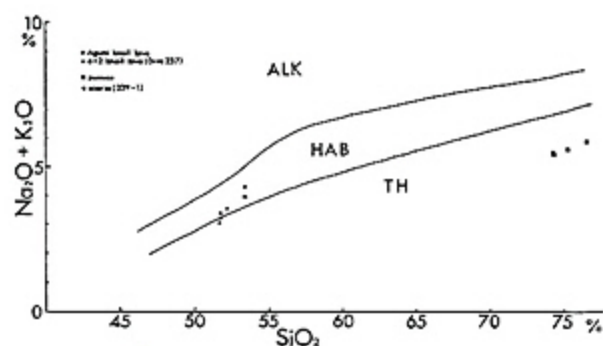


図9 採取試料の $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$ ダイアグラム, ALK (アルカリ系列), HAB (高アルミナ玄武岩系列), TH (ソレイト系列) の境界は Kuno (1966) による。

Fig. 9 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$ diagram of the samples, ALK (alkalic), HAB (high-alumina basalt), and TH (tholeiitic): compositional fields by Kuno (1966).

ソレイト玄武岩の境界付近に (図9), $\text{SiO}_2 - \Sigma\text{FeO} / \text{MgO}$ 図で Miyashiro (1974) のカルクアルカリ系列とソレイト系列の境界付近にプロットされる (図10)。粟国海丘付近は、加藤ほか (1982) が推定した火山フロントより背弧側に位置するが、この近辺の「火山フロント」沿いの火山岩に関するデータは皆無であり、また、九州からトカラ列島にかけての第四紀火山岩は、島弧に沿う方向でも (例えば松本1977, 中田1986) 島弧に直交する方向でも (氏家他1984) 火山岩の組成が変化するので、これだけの結果から琉球島弧における位置づけを行なうのは難しい。この岩石の地球化学、岩石学的及び放射年代学的研究は現在進行中なので、近い将来に稿を改めて論ずる予定である。

5個の軽石及びスコリアの内、239-1はアルカリ岩質である。このスコリアは円磨されており、海面を他のスコリア片と共に漂流する間に円磨され、沖縄トラフに到達して沈降したものと考えられる。琉球火山弧周辺では、東シナ海大陸棚縁部でアルカリ岩の報告 (加藤祐三1985) はあるものの、確実に第四紀に活動した証拠のあるアルカリ岩質火山活動は存在しない。それに対して、火

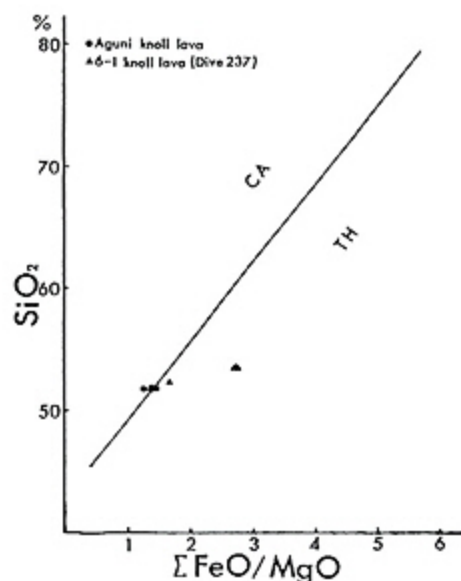


図10 採取試料の $\Sigma\text{FeO} / \text{MgO} - \text{SiO}_2$ ダイアグラム, TH, CA (カルクアルカリ系列) の境界は Miyashiro (1974) による。

Fig. 10 $\Sigma\text{FeO} / \text{MgO} - \text{SiO}_2$ diagram of the samples, TH and CA (calc-alkalic): compositional fields of Miyashiro (1974).

山列島南部からマリアナ島弧北部にかけては、アルカリ岩質の火山活動が存在し (Bloomer et al, 1989), 1986年の南硫黄島近海の福徳岡の場の海底火山噴火では、アルカリ岩質な軽石が多数、琉球列島に漂着している事実 (加藤祐三1988) があることから、このスコリアの供給源をその周辺に求めることは可能であろう。239-3-2は30cm大の急冷縁をもつ軽石で、気泡はわずかにのびた形態をしている。軽石の給源については何も決める手はない。

10. ま と め

粟国海丘及び近隣の小海丘群は、規模の違いにもかかわらず、枕状熔岩を主体とする海底火山活動によって生じた海底地形であること、化学組成が主成分元素で見ると極めて均一であることが判明した。海底自破砕熔岩がほとんど見られないことは、粟国海底の火山活動の固有の特徴なのか、被覆する泥質堆積物に隠された見かけのものなの

かはわからない。また、泥に多少なりとも被覆されていること、採取したすべての熔岩にマンガン酸化物が付着しており、目視観察でも新鮮な表面をした熔岩が見出せなかったことから、ごく最近の活動は無かったのではないかと考えられる。

謝 辞

今回の潜航調査の実現に尽力頂いた岩淵義郎・海上保安庁水路部企画課長（当時）、嶋崎吉彦・地質調査所海洋地質部長（当時）、堀田 宏・海洋科学技術センター深海研究部長、潜航にあたって色々御支援、御助力を頂いた山田章夫司会をはじめ「しんかい2000」運航チーム、浜中利夫船長はじめ「なつしま」乗組員の方々、海底温度計を使用させていただいた東京大学地震研究所の山野誠氏、蛍光X線分析にあたって便宜をはかっていただいた服部仁地質調査所地質部長に深く感謝いたします。

参 考 文 献

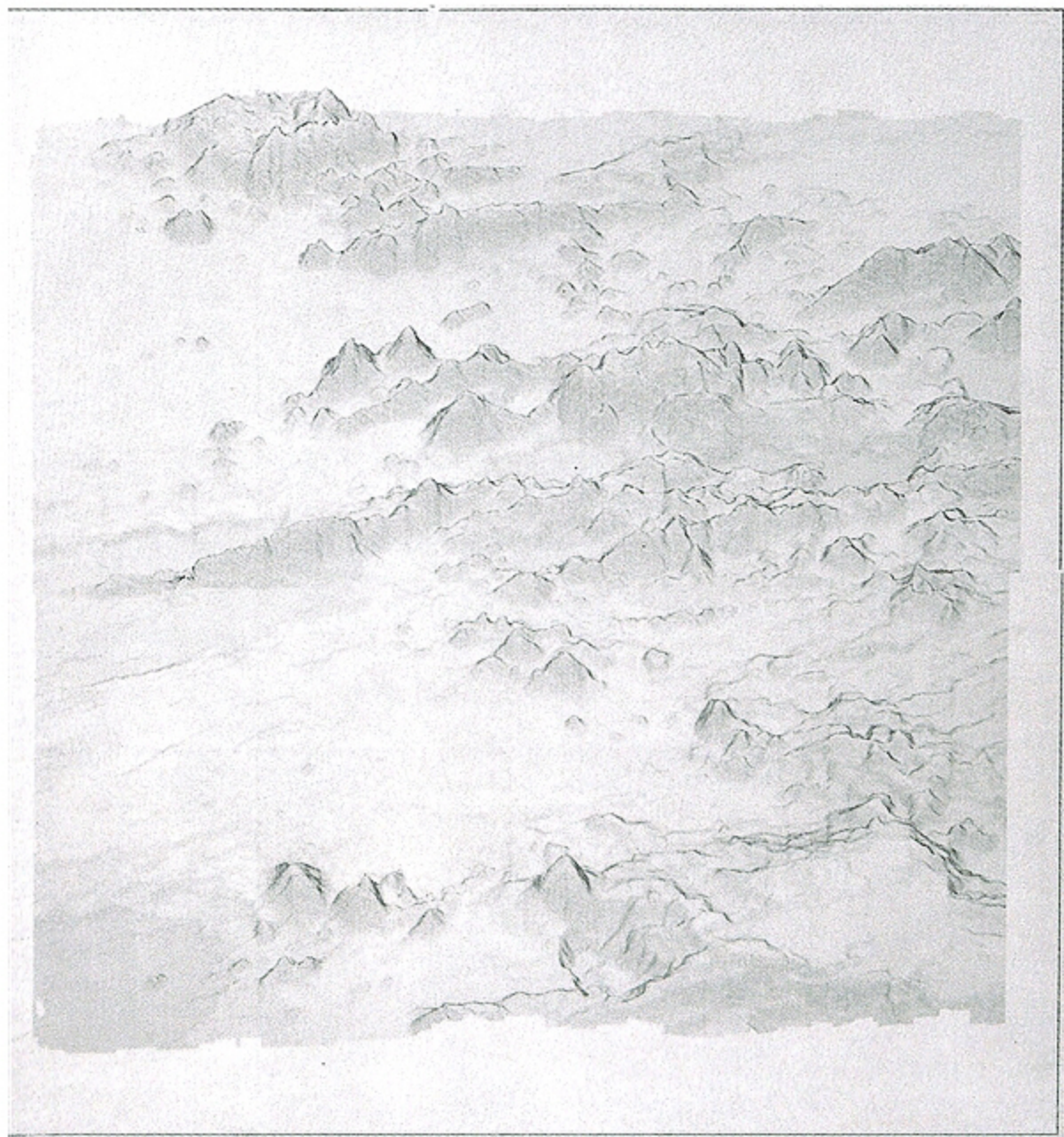
- Bloomer, S.H., Stern, R.J., Fisk, L., and Geschwind, C.H. 1989, Shoshonitic volcanism in the Northern Mariana Arc 1, Mineralogic and major and trace element characteristics, *J. Geophys. Res.*, vol. 94, p. 4469-4496.
- Eguchi, T. and Uyeda S. 1983, Seismotectonics of the Okinawa Trough and Ryukyu Arc, *Mem. Geol. Soc. China* no. 5, p. 189-210.
- Einsele, G., Gieskes, J. M., Curray, J., Moore, D. M., et al. 1980, Intrusion of basaltic sills into highly porous sediments, and resulting hydrothermal activity, *Nature* vol. 283, p. 441-445.
- Halbach, P., Nakamura, K., Wahsner, M., Lange, J., Sakai, H., Kaselitz, Hansen, R. D., Yamano, M., Post, J., Prause, B., Seifert, R., Michaelis, W., Teichmann, F., Kinoshita, M., Mäten, A., Ishibashi, J., Czerwinski, S. and Blum, N. 1989, Probable modern analogue of Kuroko-

type massive sulfide deposits in the Okinawa Trough back-arc basin, *Nature*, vol. 338, p. 496-499.

- 浜本文隆・桜井操・永野真男 1979, 宮古・八重山諸島周辺の海底地質, 水路部研究報告, No. 14, p. 1-38.
- Honza, E. ed, 1976, Ryukyu Island (Nansei-shoto) Arc, GH 75-1 and GH 75-5 cruises, *Cruise Rep.* No. 6, 81pp *Geol. Surv. Japan*.
- 本座栄一, 石原丈実, 村上文敏, 宮崎光旗, 玉木賢策 1977, 琉球島弧周辺広域海底地質図, 海洋地質図 No. 7, 地質調査所
- 春日茂, 岩淵洋, 加藤茂 1987, 水路部による沖縄トラフ中軸部の精密調査。最近の海底調査その7 (シンポジウム資料7) p. 95-107, 日本水路協会
- 桂忠彦, 大島章一, 荻野卓司, 池田清, 永野真男, 内田摩利夫, 林田政和, 小山薫, 春日茂 1986, 沖縄トラフ南西部海域の地質・地球物理学的諸性質, 水路部研究報告 No. 21, p. 21-47.
- 加藤茂, 桂忠彦, 平野賢治 1982, 沖縄本島周辺の海底地質, 水路部研究報告 No. 17, p. 31-70.
- 加藤茂, 中村光一, 安藤雅孝, 岩淵洋 1986a, 中部沖縄トラフの中軸海丘列付近 (B海域) における「しんかい2000」潜航調査, 日本火山学会1986年度秋季大会講演予稿集, p. 27, 及び火山, 2nd, Ser., vol. 31, p. 279-280.
- 加藤茂, 中村光一, 岩淵洋, 河合晃司 1986b, 中部沖縄トラフの中軸海丘列付近 (B海域) における潜航調査 - その1, 海底地形と潜航調査の概要, 第3回「しんかい2000」研究シンポジウム予稿集, p. 28-29.
- 加藤祐三 1985, 東シナ海大陸棚縁辺部でのアルカリ岩の発見, 火山, 2nd, Ser., vol. 30, p. 91.
- 加藤祐三 1988, 福徳岡の場から琉球列島に漂着した灰色軽石, 火山, 2nd Ser., vol. 33, p. 21-30.
- 河合晃司, 堀井孝重, 岡崎勇, 内田摩利夫, 春日

- 茂, 小川正泰, 岩渕洋, 金子康江, 瀬田英憲, 桂忠彦 1987, 沖縄トラフ中部の大陸棚調査速報, 水路部技報, No 5, p. 20-31.
- Kennedy, M. P., Clarke, S. H., Greene, H. G., and Lonsdale, P. F. 1985, Observations from DSRV Alvin of Quaternary faulting on the Southern California continental margin U.S. Geol. Surv. Open-File Rep. 85-39, 25 pp.
- 木村政昭 1983, 沖縄トラフの陥没構造形成に関する考察, 地質学論集, No 20, p. 141-157.
- Kimura, M., Kaneoka, I., Kato, Y., Yamamoto, S., Kushiro, I., Tokuyama, H., Kinoshita, H., Isezaki, N., Masaki, H., Oshida, A., Uyeda, S. and Hilde, T. W. C. 1986, Report on DELP 1984 Cruises in the Middle Okinawa Trough Part Vj Topography and Geology of the Central Grabens and Their Vicinity, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, vol. 61, p. 269-310.
- 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, 井沢英二, 兼永勝, 小野朋典, 押田淳 1987, 沖縄トラフ中央地溝の研究, 海洋学技術センター試験研究報告特集号, 第3回「しんかい2000」研究シンポジウム p. 165-196.
- 小西健二 1965, 琉球列島(南西諸島)の構造区分, 地質学雑誌 vol. 71, p. 437-457.
- Kuno, H., 1966, Lateral variation of basalt magma type across continental margins and island arcs, Bull. Volcanol., vol. 29, p. 195-222.
- Lonsdale, P. and Becker, K. 1985, Hydrothermal plumes, hot springs, and conductive heat flow in the Southern Trough of Guaymas Basin, Earth Planet. Sci. Lett., vol. 73, p. 211-225.
- Lonsdale, P. and Lawver, L. A. 1980, Immature plate boundary zones studied with a submersible in the Gulf of California, Geol. Soc. Am. Bull., Pt I, v. 91, p. 555-569.
- 松本健夫 1977, 琉球列島の第四紀火山, 海洋科学, vol. 9, p. 536-541.
- Miyashiro, A. 1973, Volcanic rock series in island arcs and active continental margins, Amer. J. Sci., vol. 274, p. 321-355.
- 盛谷智之, 中尾征三, 石橋嘉一, 中村光一, 岡村行信, 池原研, 川幡穂高, 西村清和, 山崎俊嗣, 氏家治, 宮崎純一, 木下泰正 1985, 日本周辺海域の海洋地質調査活動—昭和59年度の白嶺丸による調査航海—地質ニュース No 367, p. 22-43.
- 中田節也 1986, 九州に分布する霧島・大山両火山帯岩石の化学組成の比較研究. 火山 2nd Ser., vol. 31, p. 95-110.
- 中村光一 1987, 沖縄トラフにおけるOblique Rifting Process(II) RLTTTで説明できる九州周辺の活構造について, 地震学会講演予稿集, 1987, No 1, p. 82.
- 中村光一, 岩渕洋, 池原研, 加藤茂 1986 a, 中部沖縄トラフの中軸海丘列付近(B海域)における潜航調査—その2 採取試料の分析結果 第3回「しんかい2000」研究シンポジウム予稿集 p. 30-31.
- 中村光一, 阪口圭一, 長井俊夫 1986 b, 鬼界カルデラの海底地質調査, 海洋学技術センター試験研究報告特集号, 第2回「しんかい2000」研究シンポジウム, p. 137-155.
- 中村光一, 岩渕洋, 金子康江 1987 a, 沖縄トラフ伊是名海穴の海底地質調査, 第4回「しんかい2000」研究シンポジウム予稿集 p. 5-6.
- 中村光一, 加藤茂, 岩渕洋, 河合晃司 1987 b, 沖縄トラフにおけるOblique Rifting Process(I) right-lateral transtensional tectonicsの検出, 地震学会講演予稿集 1987, No 1, p. 81.
- Nakamura, K., Kato, S. and Iwabuchi, Y. 1987 c, Uniform north-south extension, oblique to subduction and

- right-lateral trans-tensional tectonics in the Okinawa Trough, Ryukyu "back arc" basin, Geol. Soc. Am. Abstracts with Programs vol. 19, p. 784.
- 大島章一, 高梨政雄, 加藤茂, 内田摩利夫, 岡崎勇, 春日茂, 川尻智敏, 金子康江, 小川正泰, 河合晃司, 瀬田英憲, 加藤幸弘 1988, 沖縄トラフ及び南西諸島周辺海域の地質・地球物理学的調査結果, 水路部研究報告 No. 24, p. 19-43.
- Tatsumi, Y., 1986, Formation of volcanic front in subduction zones, Geophys. Res. Lett., vol. 13, p. 717-720.
- 氏家治, 中村光一, 岡村行信, 盛谷智之 1984, GH 84-1 航海で得られた大隈群島周辺海域の火山岩。火山 2nd Ser, vol. 29, p. 318.
- 上田誠也, 木村政昭, 田中武男, 兼岡一郎, 加藤祐三, 久城育夫 1985, 沖縄トラフ拡大軸の研究, 海洋科学技術センター試験研究報告特集号「しんかい2000」研究シンポジウム特集 p. 123-142.
- Withjack, M.O. and Jamison, W.R., 1986, Deformation produced by oblique rifting. Tectonophys. vol. 126, p. 99-124.
- (原稿受理 1989年6月20日)



I 区の海底地形鳥瞰図 深度方向は 4 倍強調されている。

3 - D image view map of the precise survey areas of I.



II区の海底地形鳥瞰図

深度方向は4倍強調されている。

3-D image view map of the precise survey
areas of II.

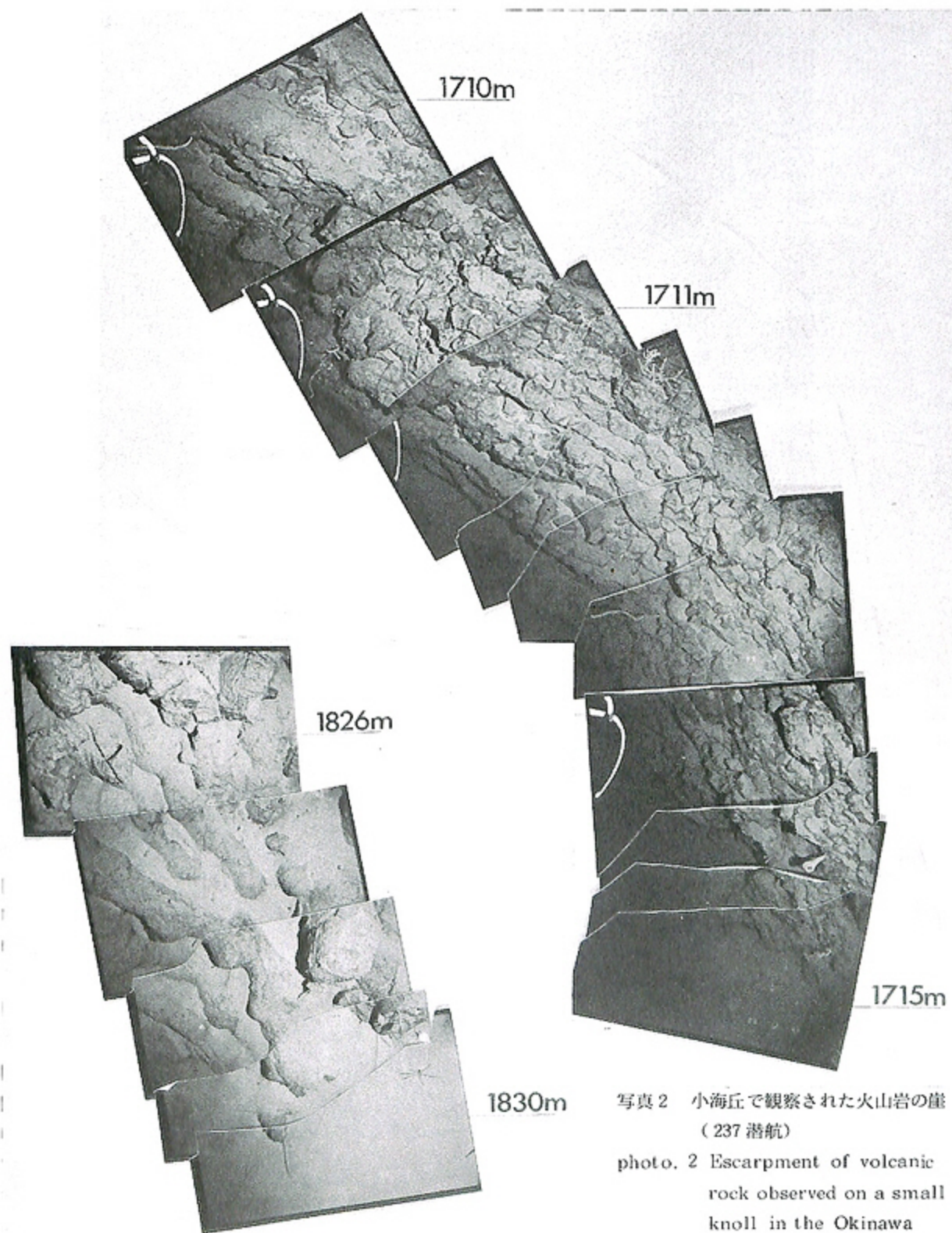


写真1 粟国海丘の枕状溶岩 (236 潜航)

photo. 1 Pillow lava observed on the Aguni Knoll
(6-1 Knoll) in Dive 236.

写真2 小海丘で観察された火山岩の崖
(237 潜航)

photo. 2 Escarpment of volcanic
rock observed on a small
knoll in the Okinawa
Trough in Dive 237.



写真3 Dive 239 で見られた生物の巣穴
photo. 3 Burrows found during Dive 239.



写真4 粟国海丘南麓の岩石の露頭 (St. 240-1)
photo. 4 Exposure of rocks at St. 240-1
at the foot of Aguni Knoll.