

沖縄トラフ西端部と黒島海丘での潜航調査概要 - 「しんかい2000」NT00-06 Leg-1 航海 -

新城 竜一^{*1} 町山 栄章^{*2} 牧 陽之助^{*3} 本山 功^{*4}
當山 元進^{*1} 外窪 周子^{*1} 鍾 孫霖^{*5}

2000年5月8日～15日に「しんかい2000」潜航調査(NT00-06 Leg-1航海)が実施された。

トラフ西端部の拡大軸と斜交するNE-SW方向に配列する火山群での潜航では、流紋岩(黒曜岩質)の露頭が観察された。堆積物の被覆が貧弱であることから、若い火山であることが推定される。一方、東方の与那国中央地溝内にある拡大軸に平行に貫入してきた火山体では、玄武岩が得られたが、この山体の大部分は厚い堆積物に覆われていた。東経123度を境として、西部地域の火山岩は系統的に K_2O に富み、玄武岩を欠く。マグマ組成の違いはトラフの発達段階(あるいは地殻の厚さ)を反映している可能性がある。

与那国島北方の島弧斜面下部の海丘での潜航調査では、海丘の下部が玄武岩、上部が石灰質岩石からなることが分かった。水深200 m以浅の堆積環境を示唆する石灰質岩石が現在水深1,400 mにあることから、この海丘は少なくとも1,000 m程度沈降したと考えられる。

黒島海丘では2潜航が行われ、ガスハイドレートに伴う冷湧水活動で形成された炭酸塩類の分布や産状の調査と生成物および生物群集の採取が行われた。海丘の西側には大規模な化石チムニー群が、東側には大規模なシロウリガイ死貝群集が分布することが分かった。今回新たに活動的な冷湧水(メタン湧水)とそれに伴う生物群集を確認できたことから、少なくとも本海域の冷湧水活動は完全には終了しているわけではない。

キーワード: 沖縄トラフ, 背弧海盆, 黒島海丘, 冷湧水

Outline of SHINKAI-2000 dive surveys at the westernmost part of the Okinawa Trough and the Kuroshima Knoll - Preliminary report of the NT00-06 Leg-1 Cruise -

Ryuichi SHINJO^{*6} Hideaki MACHIYAMA^{*7} Yonosuke MAKI^{*8} Isao MOTOYAMA^{*9}
Genshin TOYAMA^{*6} Shuko HOKAKUBO^{*6} Sun-Lin CHUNG^{*10}

Outline of the "NT00-06 Leg-1" cruise, operated during May 8 to 15, 2000, are reported.

Rhyolitic lavas and breccias were observed and sampled at the NE-SW orientated volcanic body, oblique to the spreading axis. Poor recent sedimentation on volcanic edifice suggests a relatively young volcanic activity. On the other

*1 琉球大学理学部物質地球科学科
*2 海洋科学技術センター深海研究部第2研究グループ
*3 岩手大学人文社会科学部環境科学課程
*4 筑波大学地球科学系
*5 国立台湾大学地質系
*6 Department of Physics and Earth Sciences, University of the Ryukyus
*7 Deep Sea Research Department, JAMSTEC
*8 Faculty of Humanities and Social Sciences, Iwate University
*9 Institute of Geoscience, University of Tsukuba
*10 Department of Geoscience, National Taiwan University

hand, the EW-elongated volcanic body (basaltic), parallel to the spreading axis in the Yonaguni Graben, seems to be older. Volcanic rocks recovered west of 123 °E have higher K₂O contents relative to the eastern counterpart, suggesting that compositional difference may reflect a tectonic setting, such as crustal thickness related to rifting.

On the knoll at the foot of the slope, north of Yonaguni Island, limestones are exposed at ~1,400 to 1,150 m water depth, which are underlain by basaltic breccias. Since these calcareous rocks were formed under shallow environment (probably < 200 m water depth), we infer that the site area subsided about 1,000 m after their formation.

Two dives were undertaken at the Kuroshima Knoll. The western part of the Knoll is mainly covered by "old" sand chimneys and clastic carbonates, while the eastern part is dominated by crowd of dead *Calypptogena*. We observed, for the first time, bubbling (methane?) from the fracture, indicating that cold seep activity is still active there.

Keywords : Okinawa Trough, Backarc basin, Kuroshima Knoll, Cold seep

1. はじめに

沖縄トラフ西端部は琉球弧と台湾との接合部付近に位置し、背弧海盆のリフト形成の初期段階にある(図1)。最近の Sibuet et al(1998)による同海域での詳細な海底調査によって、海底地形やリフティングに伴う断層群の詳細および火山体の分布状況が明らかになった。その結果、同地域にはリフト軸に平行に存在する火山岩体と、西部においてこれと斜

交したNE-SW方向に配列した火山群の2種類の産状が確認された(図2)。これまで中部沖縄トラフや南沖縄トラフ(八重山地溝)からは多数の火山岩が採取されており、詳細な岩石学的研究がなされているが(Shinjo et al., 1999)、本地域での二つの対照的な火山体の産状や岩石学的性質については全く分かっていない。

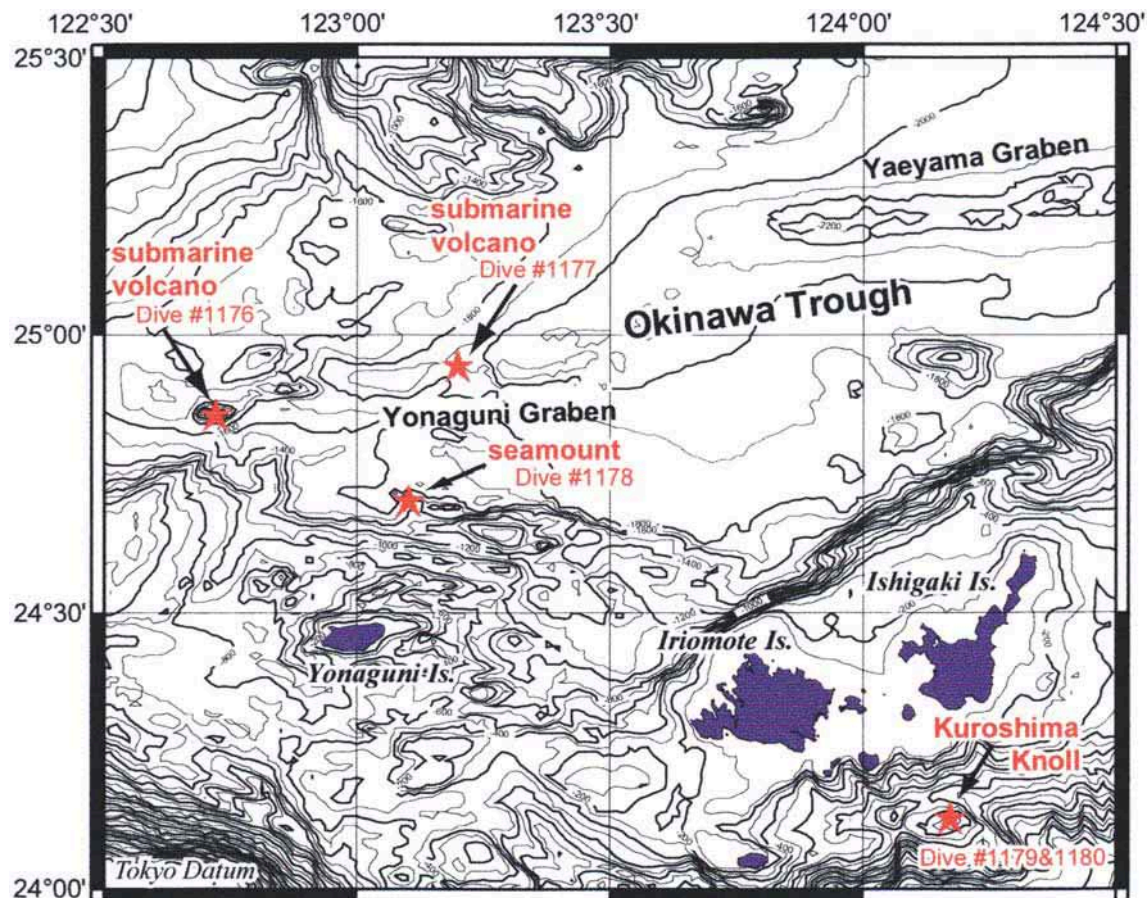


図1 調査海域図および潜水調査地点位置図。

Fig. 1 Diving survey points by SHINKAI-2000 of NT00-06 Leg-1 Cruise.

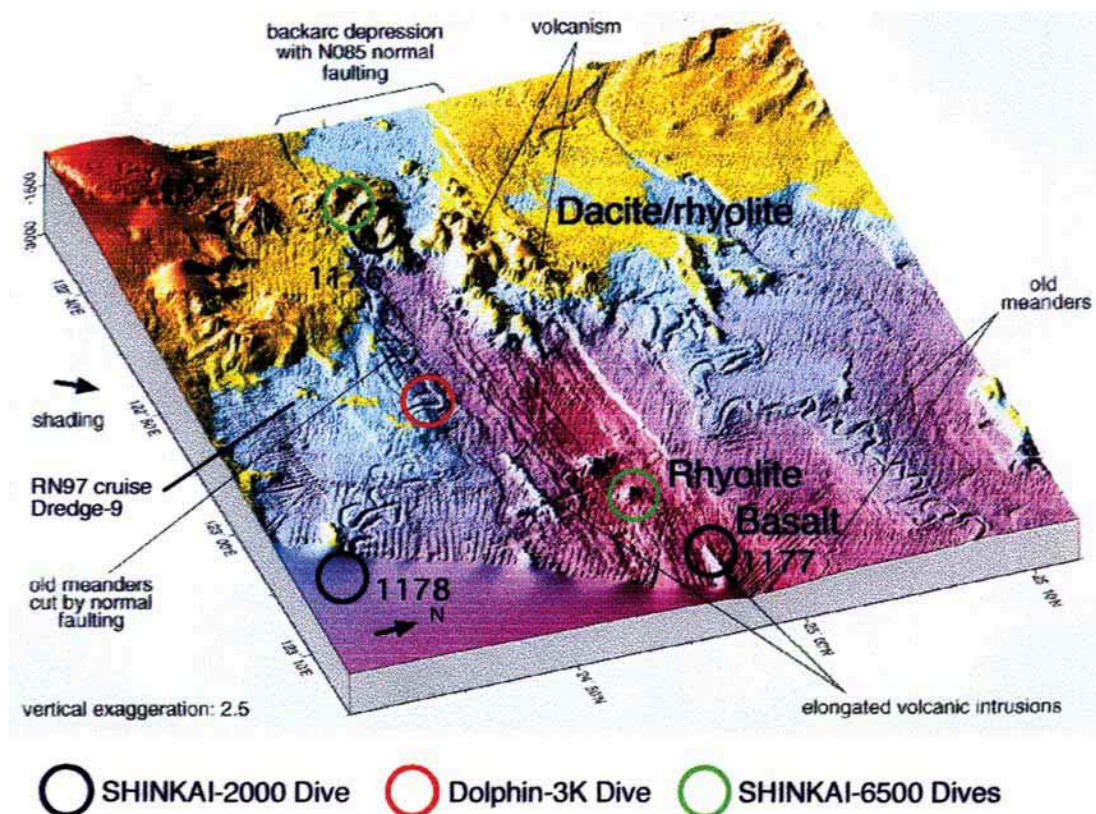


図2 沖縄トラフ西端部のシービームマップ(Sibuet et al., 1998)と「しんかい2000」潜航地点。2000年に実施された「しんかい6500」および「ドルフィン・3K」潜航地点も参考のため記した。

Fig. 2 Detailed seabeam map (Sibuet et al., 1998) around the westernmost part of the Okinawa Trough. Locations of "SHINKAI-2000", "SHINKAI-6500" and "Dolphin-3K" dives operated in 2000 are also shown.

また、リフティングによって形成されたトラフ縁の急崖には、南琉球弧の基盤が露出している可能性が高く、潜水艇での直接観察によって、これまで音波探査記録に頼っていた海底層序についての情報やトラフの形成過程に関する重要な情報を得られる可能性がある。

一方、石垣島の南方、黒島海丘(図3)においては、その南側斜面の崩壊が1771年に発生した八重山地震津波の原因と推定されている(松本ほか, 1997など)。その頂部平坦面上には化学合成生物群集と冷湧水によって形成されたとみられる炭酸塩類等が発見されており、また海底下にはガスハイドレートが存在が示唆されている。しかしながら、その分布・規模、基盤岩の性質については未だ不明な点が多い。

「しんかい2000」NT00-06 Leg1航海では、2000年5月8日～15日にかけて、Dive1176～1180の5潜航を行った(図1)。本航海では、上述のとおり、1) 沖縄トラフ西端部における海底火山の産状観察およびリフト南縁の地質観察と試料採取、2) 黒島海丘での冷湧水に伴う化学合成生物群集と炭酸塩類の産状観察と試料採取の二つをテーマとし、1)について3潜航、2)については2潜航を行った。調査結果の概要を以下に報告する。なお、第1178潜航については、船上記載とそれにもとづく若干の考察が木村ほか(2001)において報告されている。

2. 沖縄トラフ西端部

2.1. 調査目的

沖縄トラフ西端部、「与那国地溝」に生じた東西に延びる海底火山とその西方のトラフ拡大軸(EW方向)と斜交してNE-SW方向に延びる火山群の火山地形と産状観察および試料採取を目的とした。また西端部の火山群では、台湾海洋大学グループによる調査結果と今回事前に行ったPDR記録に熱水活動の兆候が認められたので、これの確認も目的とした。

与那国島北方のトラフへ至る島弧斜面域は、東西性の起伏に富んだ複雑な海底地形(地塁・地溝)を呈する。この斜面域の北端、沖縄トラフ底との境界部には500 mほどの比高をもつ東西に細長い海山が存在する。この海山は島弧斜面の最下部に位置しているが、もしもこれが沈降した島弧地殻の断片であるならば、与那国島北方の複雑な海底地形や沖縄トラフの形成過程の解明にとって地質調査が必要であると考えられた。また急崖のため露出が良好であると判断された。

2.2. 調査結果概要

各潜航によって採取された試料のリストを表1に示す。

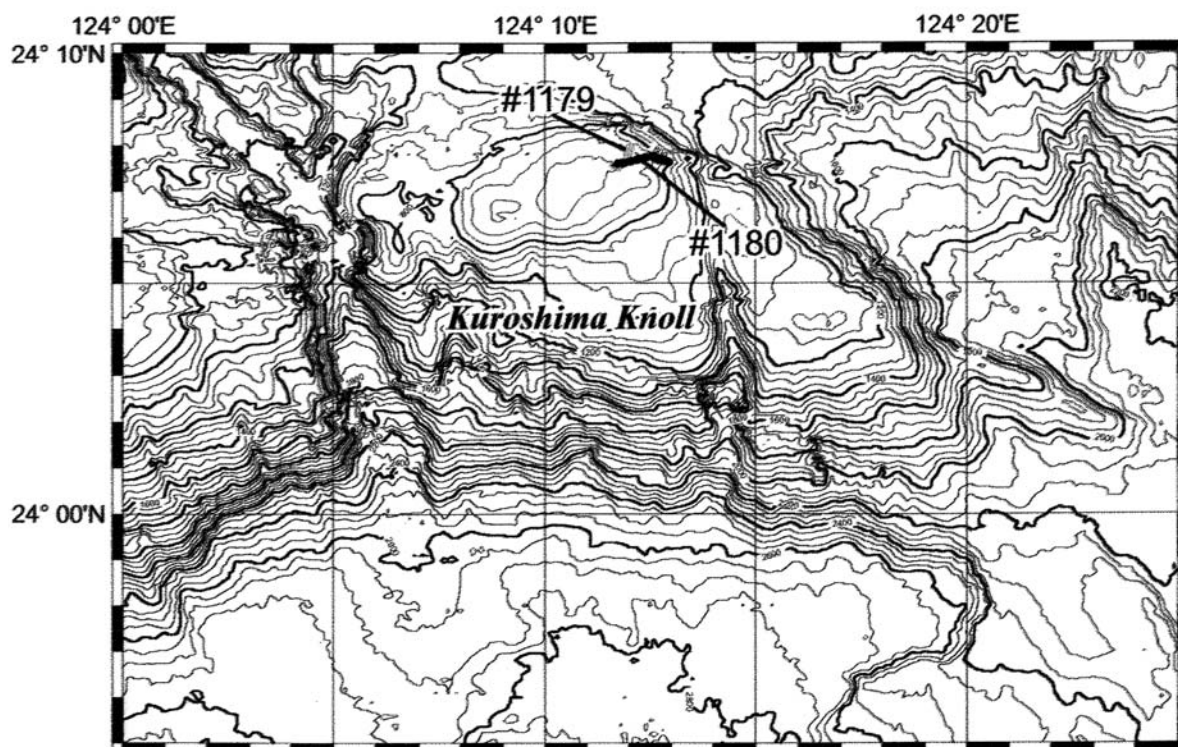


図3 黒島海丘における調査航跡図。

Fig. 3 Survey lines by "SHINKAI-2000" on the Kuroshima Knoll.

表1 沖縄トラフ西端部での「しんかい2000」第1176・1177・1178潜航により得られた試料。

Table 1 Samples recovered by Dives 1176, 1177 and 1178 of "SHINKAI-2000" at the westernmost part of Okinawa Trough.

| Sample No. | Equipment | Sample Type | Date | Time | Latitude | Longitude | Depth (m) | Description |
|------------|-------------|-------------|----------|-------|------------|-------------|-----------|--|
| 2K#1176-R1 | Manipulator | Rock | 05/09/00 | 11:51 | 24-51.693N | 122-43.718E | 1313 | Rhyolite lava 108 × 105 × 97 (mm) |
| 2K#1176-R2 | Manipulator | Rock | 05/09/00 | 11:59 | 24-51.697N | 122-43.722E | 1310 | Rhyolite lava 155 × 98 × 90 (mm) |
| 2K#1176-R3 | Manipulator | Rock | 05/09/00 | 11:59 | 24-51.697N | 122-43.722E | 1310 | Tuff breccia 140 × 101 × 75 (mm) |
| 2K#1176-R4 | Manipulator | Rock | 05/09/00 | 12:12 | 24-51.717N | 122-43.697E | 1318 | Rhyolite lava 180 × 140 × 74 (mm) |
| 2K#1176-R5 | Manipulator | Rock | 05/09/00 | 12:39 | 24-51.728N | 122-43.580E | 1367 | Rhyolite lava 305 × 242 × 178 (mm) |
| 2K#1176-R6 | Manipulator | Rock | 05/09/00 | 13:36 | 24-51.827N | 122-43.324E | 1311 | Rhyolite lava 193 × 137 × 105 (mm) |
| 2K#1176-R7 | Manipulator | Rock | 05/09/00 | 14:26 | 24-51.892N | 122-43.179E | 1156 | Rhyolite lava 220 × 214 × 161 (mm) |
| 2K#1176-R8 | Manipulator | Rock | 05/09/00 | 15:01 | 24-51.975N | 122-43.086E | 1085 | Rhyolite lava 250 × 210 × 103 (mm) |
| 2K#1177-R1 | Manipulator | Rock | 05/10/00 | 13:49 | 24-56.925N | 123-11.601E | 1788 | Basalt 110 × 75 × 82 (mm) |
| 2K#1177-R2 | Manipulator | Rock | 05/10/00 | 14:06 | 24-56.962N | 123-11.593E | 1747 | Lost |
| 2K#1177-R3 | Manipulator | Rock | 05/10/00 | 14:13 | 24-56.977N | 123-11.855E | 1757 | Basalt 103 × 53 × 55 (mm) |
| 2K#1177-R4 | Manipulator | Rock | 05/10/00 | 15:05 | 24-57.001N | 123-12.034E | 1749 | Basalt 254 × 110 × 106 (mm) |
| 2K#1177-R5 | Manipulator | Rock | 05/10/00 | 15:40 | 24-57.011N | 123-12.102E | 1738 | Basalt 218 × 187 × 118 (mm) |
| 2K#1177-R6 | Manipulator | Rock | 05/10/00 | 15:59 | 24-57.011N | 123-12.102E | 1493 | Basalt 185 × 130 × 107 (mm) |
| 2K#1178-R1 | Manipulator | Rock | 05/11/00 | 12:10 | 24-42.609N | 123-06.046E | 1493 | Basalt 115 × 80 × 74 (mm) |
| 2K#1178-R2 | Manipulator | Rock | 05/11/00 | 12:24 | 24-42.575N | 123-06.002E | 1439 | Basalt 240 × 125 × 10 (mm) |
| 2K#1178-R3 | Manipulator | Rock | 05/11/00 | 13:05 | 24-42.516N | 123-05.975E | 1294 | Bioclastic sandy limestone 227 × 169 × 83 (mm) |
| 2K#1178-R4 | Manipulator | Rock | 05/11/00 | 13:37 | 24-42.417N | 123-05.992E | 1209 | Pumice 280 × 165 × 80 (mm) |
| 2K#1178-R5 | Manipulator | Rock | 05/11/00 | 13:56 | 24-42.417N | 123-05.975E | 1176 | Foraminiferal limestone 168 × 139 × 91 (mm) |
| 2K#1178-R6 | Manipulator | Rock | 05/11/00 | 14:20 | 24-42.422N | 123-05.911E | 1137 | Pumice 153 × 65 × 52 (mm) |
| 2K#1178-R7 | Manipulator | Rock | 05/11/00 | 15:09 | 24-42.169N | 123-05.934E | 1411 | Pumice 353 × 286 × 118 (mm) |
| 2K#1178-R8 | Manipulator | Rock | 05/11/00 | 15:29 | 24-42.225N | 123-05.912E | 1361 | Bioclastic limestone 160 × 125 × 85 (mm) |
| 2K#1178-R9 | Manipulator | Rock | 05/11/00 | 15:35 | 24-42.225N | 123-05.912E | 1361 | Foraminiferal limestone 165 × 95 × 60 (mm) |
| 2K#1178-C1 | | Mud | 05/11/00 | 11:11 | 24-42.884N | 123-05.998E | 1592 | Dark brown mud |
| 2K#1178-C2 | | Mud | 05/11/00 | 14:58 | 24-42.137N | 123-05.941E | 1418 | Dark brown mud (11 cm) above olive grey mud (3 cm) |
| 2K#1178-B1 | | | 05/11/00 | 15:35 | 24-42.225N | 123-05.912E | 1361 | Sponge (10 cm) |

(1) 第1176潜航(図4)

トラフ拡大軸(EW方向)と斜交してNE-SW方向に配列した海底火山群のうち、南部にあるものを対象とした。潜航ルートは南北の二つの火山体に挟まれた谷部にあたる。その東方には別の火山体が存在する。南東山麓に着底(水深1,388 m)し、北側の火山体の南斜面を観察しながら北西方向へ航走した。水深1,350 m付近から露頭が現れ始め、溶岩(図4B)について角礫岩(図4C)が観察された。これらの火山岩上には堆積物がほとんどなく、最近の活動によるものであることが示唆される。潜航ルート全体でも最近の泥質堆積物の分布は限られていた。鏡下観察によれば、採取された岩石の大部分は新鮮なガラス質で黒色～灰白色の黒曜岩質岩石であった。一個の岩石(R3)は火山角礫岩であった。

谷が東側の火山体と接する離底点(水深1,119 m)近くでは熱水活動が期待されたが、熱水は発見できなかった。しかしこの付近では懸濁物が多く海水が濁り、近傍での熱水活動の可能性は高いと思われた。その後、同年7～8月に行

われたYK00-06航海「しんかい16500」潜航では、本潜航の離底地点の火山体の東側山麓(図2)において大規模な熱水活動地帯が確認された(松本ほか, 2001)。

(2) 第1177潜航(図5)

本潜航では与那国中央地溝内にある東西方向に延びた、トラフの拡大に伴って貫入したと考えられる海底火山(比高約180 m)において、産状観察とサンプル採取を行った(図2)。ルートマップを図5Aに示す。火山体の南西端の山麓に着底し(水深1,903 m)、北東方向へ山体を登りながら山頂に達し(水深約1,750 m)、その後は山頂部を東へ向け航走しながら観察を行った。火山体の大部分は厚く泥に覆われており、この火山体が最近形成されたものではないことが明らかになった。また、崖錐性の礫(図5B)や玄武岩質の角礫岩の露頭(図5C)が山頂付近の数カ所で観察できた。枕状構造は明瞭ではなかった。

周辺地域からはデイサイト～流紋岩など酸性火山岩も得られている。例えばこの山体の直ぐ西方の円錐状の小火山

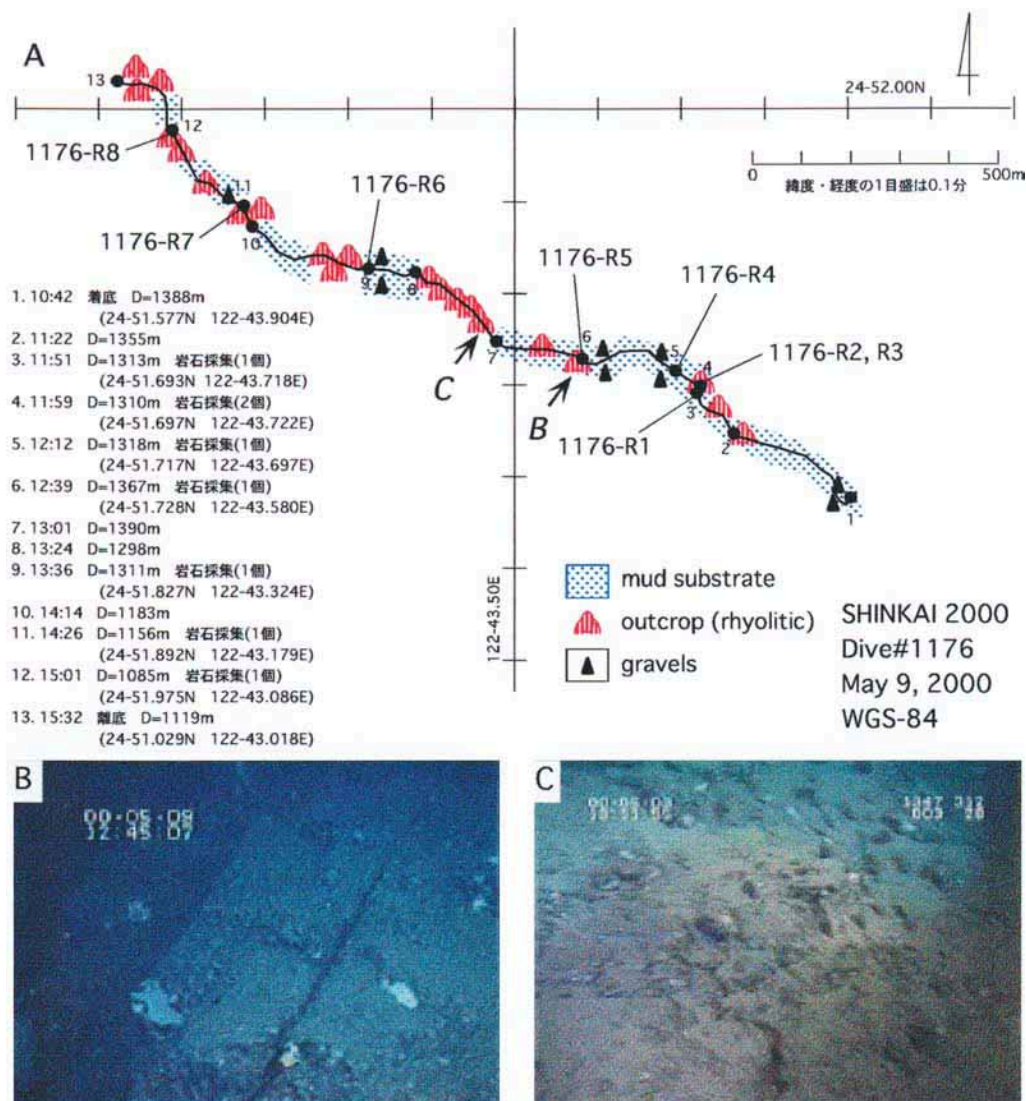


図4 A. 「しんかい2000」第1176潜航調査ルートマップ。B. 黒曜岩質溶岩の露頭。C. 黒曜岩質角礫岩の露頭。
 Fig. 4 A. Rout map of "SHINKAI-2000" 1176 Dive. B. Outcrop of obsidian lavas. C. Outcrop of obsidian breccias.

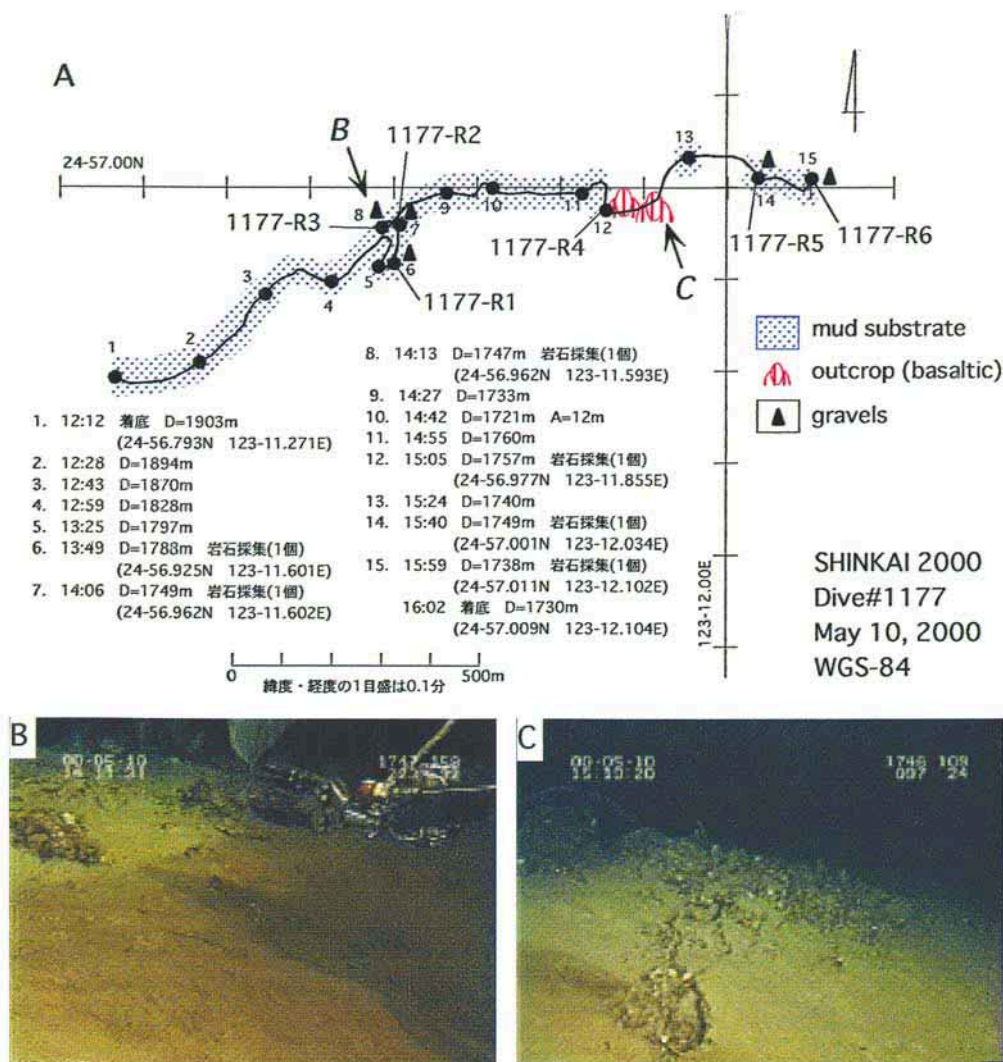


図5 A.「しんかい2000」第1177潜航調査ルートマップ。B. 堆積物に覆われた玄武岩角礫岩。C. 山頂付近の玄武岩角礫。

Fig. 5 A. Route map of "SHINKAI-2000" 1177 Dive. B. Basaltic breccias covered by recent sediment. C. Basaltic breccias near the summit.

(図2)は同年夏の「しんかい16500」YK00-06航海で調査されたが、そこは流紋岩質の岩石であった。したがって、この地域では玄武岩質と流紋岩質マグマのバイモーダル火成活動で特徴づけられる。また火山体の形状はマグマの組成と粘性に密接に関連しているものと考えられる。

(3)第1178潜航(図6)

与那国島北方のトラフ島弧側斜面でややトラフよりに張り出した東西約14 km南北約1 kmの東西に細長く伸びた海山(比高500 m)を調査対象とした(図1)。北側山麓(水深1,592 m)に着底し、南へ向けて崖を登りながら、露頭観察とサンプル採取を行った(図6A)。山頂(水深1,137 m)に達した後は、南側山麓へ移動したのち南側斜面の急崖を中腹まで調査した。着底地点は泥に覆われていたが、斜面が急傾斜になるにつれ、露頭が現れた。水深1,500 m付近には玄武岩質の

岩塊があり(図6C)、水深1,300~1,400 mより上では、石灰質の岩石が観察された(図6D)。玄武岩と石灰質岩石の接触関係はよく分からないが、境界部に軽石凝灰岩が挟まっている可能性がある(図6B)。また、北側の山麓(水深1,520~1,560 m)の泥底上に生きたチューブワームの群集が認められた。付近の泥底表面には白または黒色の変色域も認められた。チューブワームは海山下部の玄武岩と山麓部の泥質堆積物との境界域に集中して群生していることから、この境界に沿う冷湧水性の生物群集と考えられる。下船後に行った室内観察にもとづく岩石試料の特徴は以下のとおりである。

- R-1: かんらん石含有 - 普通輝石 - 玄武岩(考察参照)。
- R-2: かんらん石含有 - 普通輝石 - 玄武岩(考察参照)。
- R-3: サンゴ(六放および八放サンゴ)、コケ虫、二枚貝・巻貝、有孔虫、無節サンゴ藻や石英・火山岩片を多数

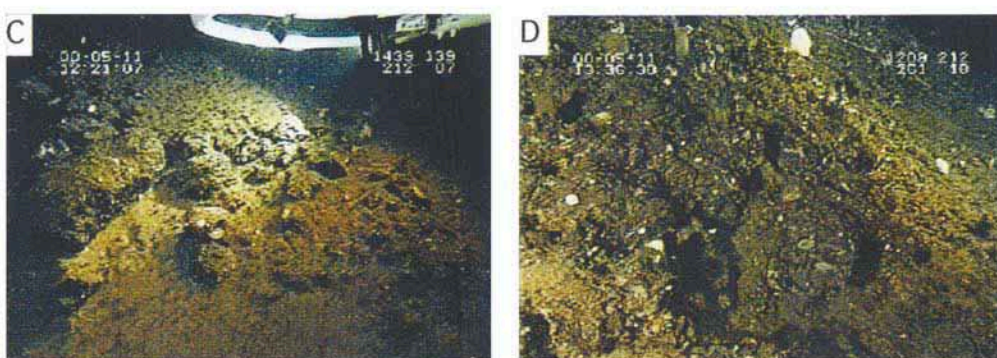
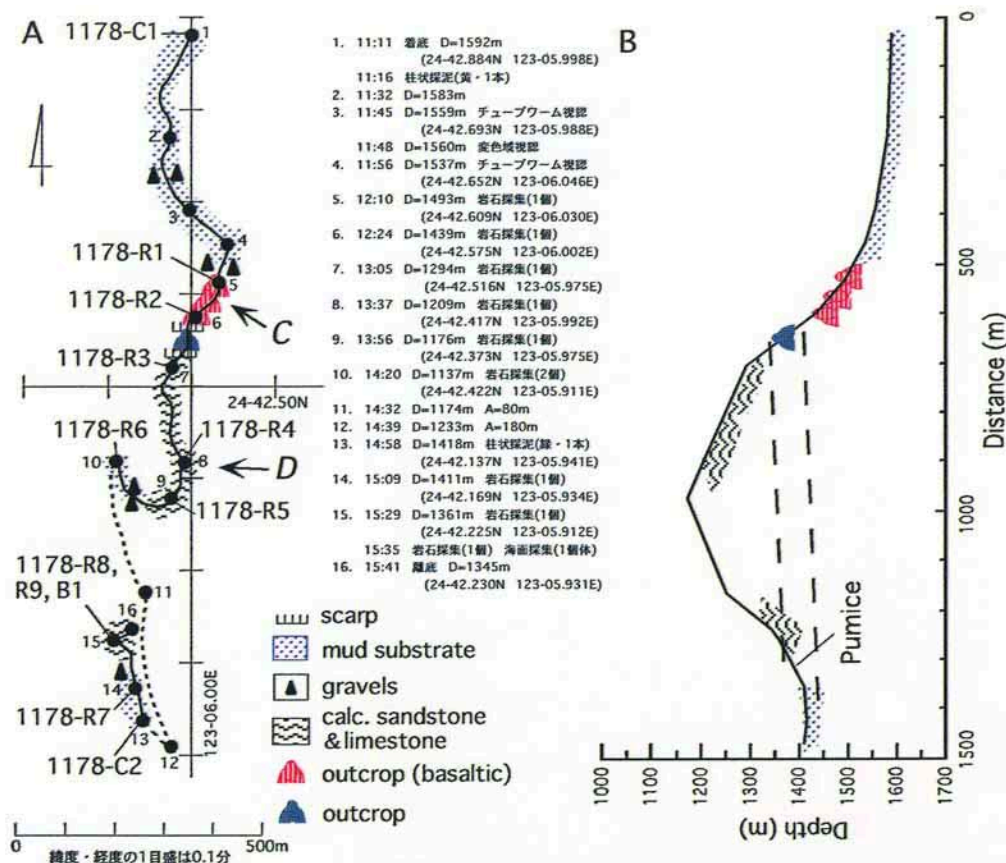


図6 A. 「しんかい2000」第1178潜航調査ルートマップ。B. ルートに沿った断面図。C. 下部の玄武岩角礫の露頭。D. 上部の石灰質岩石。

Fig. 6 A. Rout map of "SHINKAI-2000" 1178 Dive. B. Cross-section along the survey route. C. Outcrop of basaltic breccias at the lower horizon of the knoll. D. Calcareous rocks at the upper horizon.

含む砂質石灰岩。

R-4: 軽石。

R-5: 有孔虫, コケ虫, 無節サンゴ藻, 二枚貝・巻貝等を含む有孔虫石灰岩。

R-6: 軽石。

R-7: 軽石。

R-8: 底生有孔虫, 無節サンゴ藻片や軽石片を含む生砕 (サンゴ藻) 石灰岩。

R-9: 有孔虫石灰岩, および有孔虫 - サンゴ藻石灰岩。

これらの石灰質岩石の含有化石や堆積相の予察的な結果として水深数10~200 m程度の陸棚の環境が推定される。さらにこれらの堆積年代を求めることができれば, この海丘の沈降年代や沈降速度の推定も可能になると期待される。

3. 黒島海丘

3.1. 調査目的

今回の調査では, これまで明らかとなっている生物群集と炭酸塩について, その分布・規模を把握するための潜航調

査を行うことを目的とした。また、基盤岩(島尻層群～琉球層群基底部)の観察と採取、ならびに石灰質チムニーの産状観察・採取を主として行い、そのマッピング・年代測定などを通じて、冷湧水現象と基盤変動解明のための基礎データを得ることも目的とした。さらにこれらの生物群集の生態学的基礎データの収集と泥底中の硫化鉱物と生物群集構成種の軟組織安定硫黄同位体組成を比較検討することによって、冷湧水中の硫化水素に由来するエネルギーフローの推定を目的とした。なお、各潜航によって採取された試料のリストを表2に示した。

3.2. 調査概要

(1) 第1179潜航(図7)

本潜航では、黒島海丘の北東斜面を登りながら、南西方向へ向かう測線での調査を行った(図7A)。着底地点の北東斜面ではステップ状の地滑り滑落崖と推定される地形が発達しており、この部分には基盤の島尻層群の泥岩が露出していた。また海底面には、NE-NW方向に伸びるカレントリップルが顕著に発達している。海丘の北東斜面～頂上部縁辺における段差地形は、マンガンで被覆されていない泥岩塊が散乱していることから、新期のものと考えられる。西部にも同様なものが認められることから、北側縁辺部全体に新期の変動が及んでいる。しかしながら、潜航時間の制約上、炭酸塩の分布の特性を把握するには至らなかった。

頂部では、比較的規模の大きな起伏地形が発達しており、谷部には礫質砂中にシロウリガイ死貝群集(図7C)、尾根部にはpavement状炭酸塩(shell crust: 厚さ50-70 cm; 図7D)やその岩塊(塊状炭酸塩 < 1.5 m)が発達する。石灰質チムニーは数カ所で礫状に分布しており、直立しているものも頻繁に認められた(図7B)。離底直前に、生きたシロウリガイ群集(5個体以上)と小規模なバクテリアマットならびにチューブ

ワームを確認した。一方、pavement状炭酸塩類の割れ目に沿ってシンカイヒバリガイ群集が着生しているのが確認された(図7E)。ここではガスの気泡が間欠的に視認されていることから、おそらく冷湧水(メタン湧水)が現在も湧出しているものと考えられる。またこの付近で巻貝数個体を発見した。今回新たに活動的な冷湧水(メタン湧水)とそれに伴う生物群集を確認できたことから、少なくとも本海域の冷湧水活動は完全には終了しているわけではない事が明らかとなった。

船体に設置されている流行流速計によれば、NE方向からの底層流(10～15 cm/s, 最大40 cm/s)が卓越している。頂部南部ではWSW方向からの流れを確認した。

(2) 第1180潜航(図8)

頂上部の東側、水深880 m付近に着底し、WNW方向に向かって緩い斜面を登りながら、まずハナシガイの群集を探索した(図8A)。計3箇所数個体ずつのコロニーを発見し、直下の底泥とともに採取した(図8B)。個体はクロシマオヒメハマグリ、*Vesicomya kuroshimana* と同定された(牧ほか, 2001)。その後、第1179潜航で発見されたシンカイヒバリガイ群集に向かった。途中の一带はシロウリガイの殻に覆われており、ほとんど死滅していた。殻の色は(マンガンコーティングの程度によって)白から黒褐色までさまざま、これは死滅後の時間の経過を反映しているものと考えられる。おびただしいシロウリガイの死貝のあちこちに、炭酸塩岩の割れ目に沿うようにシンカイヒバリガイ群集が観察された(図8C)。また割れ目からの気泡がヒバリガイ群集から立ち上るのを観察した。シンカイヒバリガイがこの湧出物(気体・液体)に依存していることは間違いない。また、ウニの一種と大きな巻貝がシンカイヒバリガイを明らかに摂食していた。シンカイヒバリガイ群集は幼貝が多く、若い群集と推定された。比較的大きな黒い個体が混在していたが、幼貝とは別の種

表2 黒島海丘での「しんかい2000」第1179・1180潜航により得られた試料。

Table 2 Samples recovered by Dives 1179 and 1180 of "SHINKAI-2000" at the Kuroshima Knoll.

| Sample No. | Equipment | Sample Type | Date | Time | Latitude | Longitude | Depth (m) | Description |
|------------|-------------|-------------|----------|-------|------------|-------------|-----------|--|
| 2K#1179-R1 | Manipulator | Rock | 05/13/00 | 11:25 | 24-07.802N | 124-12.007E | 686 | Muddy sandstone 465 × 245 × 86 (mm) |
| 2K#1179-R2 | Manipulator | Rock | 05/13/00 | 11:37 | 24-07.800N | 124-12.011E | 685 | Muddy sandstone 325 × 220 × 84 (mm) |
| 2K#1179-R3 | Manipulator | Rock | 05/13/00 | 13:21 | 24-07.557N | 124-11.725E | 654 | 167 × 145 × 95 (mm) |
| 2K#1179-R4 | Manipulator | Rock | 05/13/00 | 14:18 | 24-07.567N | 124-11.673E | 647 | Bioclastic sandstone |
| 2K#1179-R5 | Manipulator | Rock | 05/13/00 | 14:35 | 24-07.581N | 124-11.667E | 643 | Blown, Sandstone 230 × 235 × 140 (mm) |
| 2K#1179-R6 | Manipulator | Rock | 05/13/00 | 14:50 | 24-07.557N | 124-11.659E | 643 | Sandstone 250 × 147 × 158 (mm) |
| 2K#1179-C1 | | Mud | 05/13/00 | 11:10 | 24-07.828N | 124-11.993E | 690 | Total 117. Tube 87. CC 30 (mm) |
| 2K#1179-C2 | | Mud | 05/13/00 | 12:05 | 24-07.705N | 124-12.009E | 676 | Total 145. Tube 110. CC 35 (mm) |
| 2K#1179-B1 | Manipulator | Shell | 05/13/00 | 14:13 | 24-07.567N | 124-11.673E | 647 | |
| 2K#1179-B2 | Manipulator | Shell | 05/13/00 | 14:43 | 24-07.556N | 124-11.653E | 641 | |
| 2K#1180-R1 | Manipulator | Rock | 05/14/00 | 14:30 | 24-07.575N | 124-11.660E | 642 | 163 × 95 × 45 (mm) |
| 2K#1180-B1 | | Shell | 05/14/00 | 11:16 | 24-07.685N | 124-12.681E | 798 | Lived Vesicomia × 4, Dead × 1.5(B1&B2) |
| 2K#1180-B2 | | Shell | 05/14/00 | 11:40 | 24-07.738N | 124-12.602E | 789 | |
| 2K#1180-B3 | | Shell | 05/14/00 | 12:07 | 24-07.731N | 124-12.595E | 785 | Lived Vesicomia × 3 |
| 2K#1180-B4 | | Shell | 05/14/00 | 13:54 | 24-07.566N | 124-11.667E | 642 | |
| 2K#1180-B5 | Manipulator | Warm | 05/14/00 | 14:20 | 24-07.571N | 124-11.667E | 642 | Tube Warm × 1. 134 cm |
| 2K#1180-B6 | | Shell | 05/14/00 | 14:38 | 24-07.571N | 124-11.662E | 643 | |
| 2K#1180-C1 | | Sand | 05/14/00 | 11:21 | 24-07.685N | 124-12.681E | 798 | Sand |
| 2K#1180-C2 | | Sand | 05/14/00 | 11:46 | 24-07.685N | 124-12.602E | 789 | Sand |
| 2K#1180-S1 | | Mud | 05/14/00 | 12:09 | 24-07.731N | 124-12.595E | 785 | Olive gray |

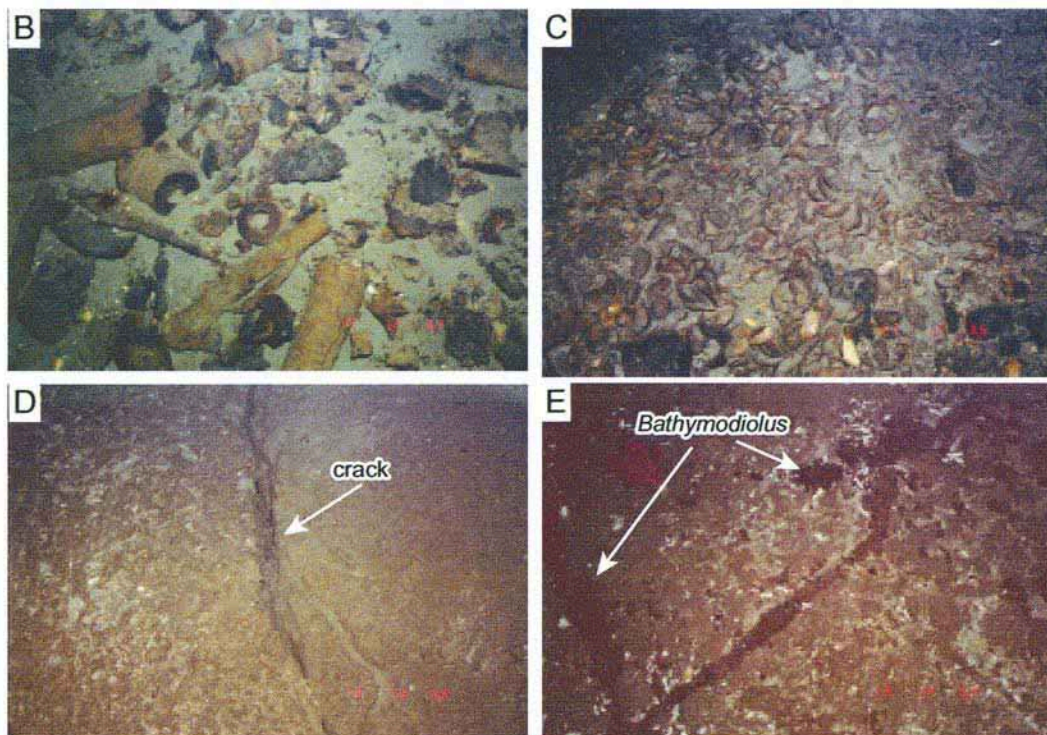
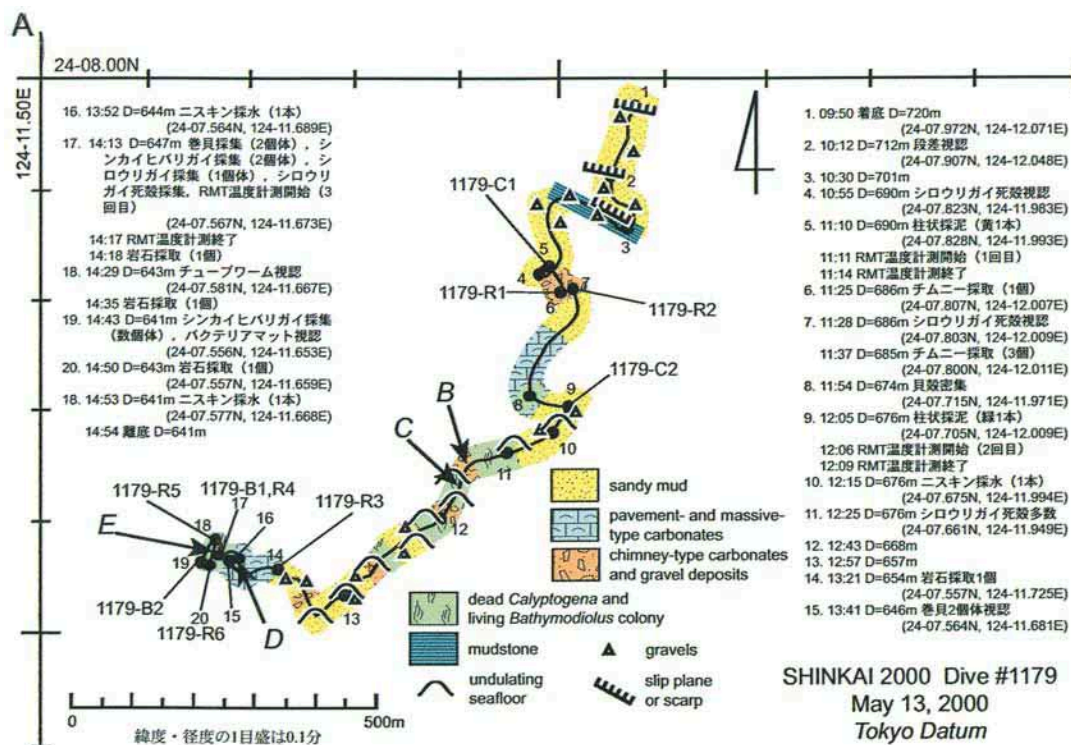


図7 A. 「しんかい2000」第1179潜航調査ルートマップ。B. チムニータイプ炭酸塩の角礫。C. マンガンでコーティングされたシロウリガイ死殻コロニー。D. 海底面を覆うpavementタイプ炭酸塩。E. pavementタイプ炭酸塩の割れ目沿いに群生するシンカイヒバリガイ。

Fig. 7 A. Rout map of "SHINKAI-2000" 1179 Dive. B. Gravels of chimney-type carbonates. C. A Mn-coated, dead *Calyptogena* colony. D. Pavement-type carbonates. E. *Bathymodiolus* colonies along the cracks in pavement-type carbonates.

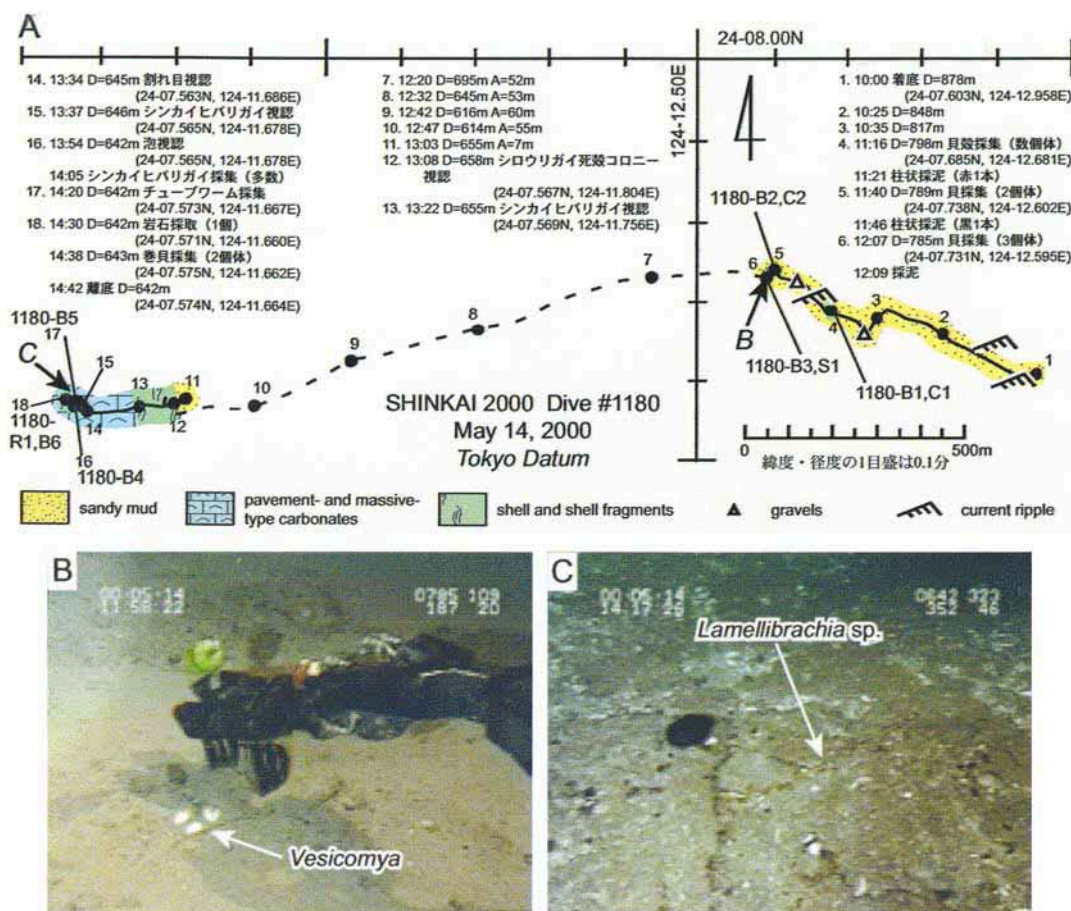


図8 A.「しんかい2000」第1180潜航調査ルートマップ。B. クロシマオヒメハマグリ産状。C. pavementタイプ炭酸塩の割れ目に生息するハオリムシ。
Fig. 8 A. Rout map of "SHINKAI-2000" 1180 Dive. B. Occurrence of *Vesicomya kuroshimana*. C. A living *Lamellibrachia* sp. in the crack of pavement-type carbonate.

ではないかと推察された。幼貝と見えたものはヘイトウシカイヒバリガイ, *Bathymodiolus platifrons*, 大きく黒い個体はカヅシカイヒバリガイ, *B. aduloideus* と同定された(牧ほか, 2001)。東側の底質は砂質で, ハナシガイ(クロシマオヒメハマグリ)のコロニーの分布はうすく, また発見されたコロニーの構成種は3個体が最大であった。

4. 考察: 火山岩の岩石学的特徴 (第1176, 1177, 1178潜航)

第1176潜航で得られた岩石は, 普通角閃石 - 斜方輝石 - 流紋岩ないしは普通輝石含有 - 普通角閃石 - 斜方輝石 - 流紋岩である。斑晶は多い順に斜長石・石英・斜方輝石・普通角閃石・Fe-Ti酸化物+/- 普通輝石で, これらの集斑晶も少量認められる。石基はガラス基流晶質を呈し, 少量の針状斜長石と粒状のシリカ鉱物の間をガラスや隠微晶質のものが埋め流理構造が認められる。1176-R4は砂岩の捕獲岩を含む。

第1177潜航で得られた岩石は, かんらん石 - 普通輝石 - 玄武岩あるいはかんらん石含有 - 普通輝石 - 斜方輝石 - 玄武岩である。斜長石斑晶が多く, その他の有色鉱物斑晶は

少ない。石基は填間状・間粒状で, 斜長石・輝石の間を新鮮な褐色ガラスや隠微晶質のものが埋める。

第1178潜航で得られた岩石は, 多孔質なかんらん石含有 - 普通輝石 - 玄武岩である。斑晶は多い順に斜長石・普通輝石・かんらん石・Fe-Ti酸化物である。石基は填間状・間粒状で, 斜長石・輝石の間を新鮮な褐色ガラスや隠微晶質のものが埋める。

これらの岩石の代表的なものについて主成分元素を分析した。結果を表3に示す。分析方法はガラスビードを作成し国立台湾大学の蛍光X線分析装置(Rigaku Rix3000)を使用した。第1176潜航で得られた岩石は流紋岩組成である(図9A)。一方, 第1177・1178潜航の岩石は玄武岩である。これらの岩石は非アルカリ岩系列にある。玄武岩類はMgOが5~6 wt.%と低く分化した性質を持つ。第1177潜航の玄武岩はlow-Kとmedium-K系列の境界付近にプロットされ, 第1178潜航の玄武岩はややK₂Oに富む(図9B)。

図9Bには, これまでに得られている同海域(南沖縄トラフ)の岩石も比較のため示した。注目すべきは東経123度を境にして, それより西側にある火山岩には玄武岩がなく, 同じ

表3 「しんかい2000」第1176・1177・1178潜航で得られた火山岩の全岩主成分元素組成 (wt.%)
Table 3 Major element composition (wt.%) for volcanic rocks recovered by "SHINKAI-2000" 1176, 1177 and 1178 dives.

| | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | Total |
|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------|
| Dive#1176 | | | | | | | | | | | |
| 1176-R1 | 69.38 | 0.26 | 14.59 | 2.42 | 0.06 | 0.43 | 2.23 | 3.65 | 3.00 | 0.05 | 96.07 |
| 1176-R2 | 70.18 | 0.27 | 13.47 | 2.54 | 0.05 | 0.44 | 2.13 | 3.61 | 3.13 | 0.05 | 95.86 |
| 1176-R4 | 69.29 | 0.27 | 15.28 | 2.45 | 0.06 | 0.41 | 2.18 | 3.51 | 2.88 | 0.05 | 96.37 |
| 1176-R5 | 72.11 | 0.28 | 12.97 | 2.61 | 0.05 | 0.46 | 2.01 | 3.54 | 3.15 | 0.05 | 97.23 |
| 1176-R6 | 70.19 | 0.28 | 13.56 | 2.63 | 0.05 | 0.45 | 2.19 | 3.64 | 3.06 | 0.05 | 96.09 |
| 1176-R7 | 70.73 | 0.29 | 14.19 | 2.61 | 0.05 | 0.48 | 2.11 | 3.48 | 2.98 | 0.05 | 96.97 |
| 1176-R8 | 70.67 | 0.28 | 12.89 | 2.56 | 0.05 | 0.43 | 2.13 | 3.61 | 3.15 | 0.05 | 95.82 |
| Dive#1177 | | | | | | | | | | | |
| 1177-R1 | 51.15 | 0.83 | 18.24 | 10.43 | 0.17 | 5.13 | 9.89 | 2.29 | 0.52 | 0.14 | 98.79 |
| 1177-R4 | 50.16 | 0.85 | 17.08 | 11.04 | 0.18 | 5.35 | 10.40 | 2.25 | 0.51 | 0.15 | 97.97 |
| 1177-R5 | 51.67 | 0.85 | 17.66 | 10.70 | 0.17 | 5.06 | 9.82 | 2.32 | 0.55 | 0.15 | 98.95 |
| 1177-R6 | 50.90 | 0.84 | 18.75 | 10.63 | 0.17 | 5.04 | 9.68 | 2.36 | 0.54 | 0.14 | 99.04 |
| Dive#1178 | | | | | | | | | | | |
| 1178-R1 | 50.53 | 0.96 | 18.01 | 9.98 | 0.14 | 6.03 | 9.53 | 2.05 | 0.82 | 0.15 | 98.20 |
| 1178-R2 | 52.24 | 0.99 | 17.18 | 10.09 | 0.15 | 5.96 | 9.77 | 2.04 | 0.80 | 0.15 | 99.37 |

SiO₂量を有する岩石を比較した場合、東側の岩石に比べてK₂Oに富む傾向が認められることである。マグマの生成条件が両者で異なるためと考えられるが、両地域で和達 - ペニオフ帯の深度はほぼ同じなので、この違いはトラフの発達段階と地殻の厚さを反映している可能性が高い。今後、これらの岩石の微量元素組成やSr-Nd同位体比など、詳細な岩石学・地球化学的データの検討を行う必要がある。

5. 考察：黒島海丘頂部における冷湧水起源の炭酸塩類・生物群集

黒島海丘の石灰質チムニー等の炭酸塩類は、その分布・規模とも日本周辺では最大である。また、それらはチムニー（円筒型・層状・ドーナツ型）・コンクリーション・巣穴状・pavementといったあらゆる形態を持つ。このような多種多様な産状・規模の分布例は世界的にも少なく、本調査域は研究対象として非常に重要であると考えられる。

炭酸塩類は、肉眼観察では、細粒な陸源性碎屑物をミクライト等が膠結したものと推定される。これは、服部ほか（1994）により相模湾の初島沖から報告された炭酸塩クラストと同様なものであり、特にチムニー状を呈するものは御前崎沖の南海トラフからSakai et al. (1992) によって採取されたものと同一で、サンドチムニー（小川, 1996）と考えられる。チムニータイプには、冷湧水等が内部を通っていたと考えられるvent hole構造を持つものや、不明瞭な同心円構造を呈するもの、きれいな円筒状のものから膨縮した形状（一部層状）のものまで様々な外形が認められる。また巣穴そのものがサンドチムニー化したものも認められる。

調査範囲内では、表層に露出しているpavementタイプ炭酸塩類は、起伏を示す海底面の高みに分布する傾向があり、一部は塊状の産状を示している。このpavement状炭酸塩類とチムニータイプはほとんど共産しない。おそらく、このような炭酸塩タイプの相違は、その形成環境（生成要因）が異なっていたためと解釈される。

これまでの調査結果から、頂部には明瞭な新期の変動地

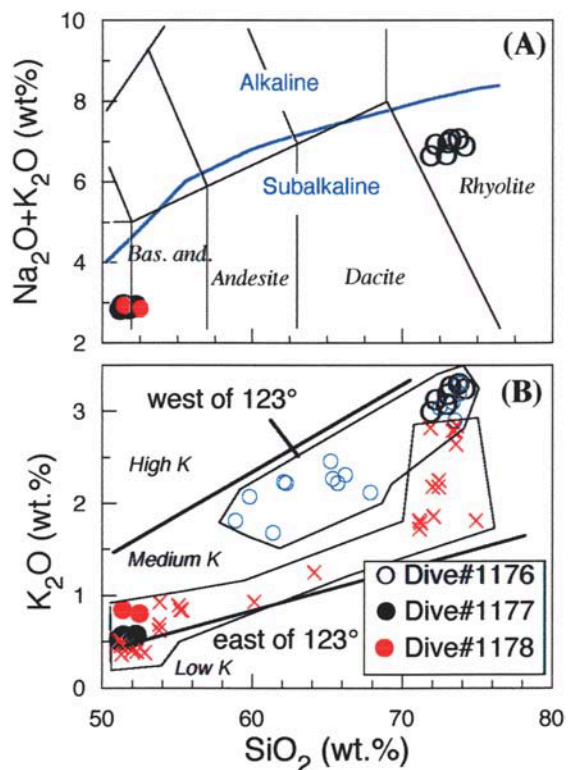


図9 「しんかい2000」第1176, 1177, 1178潜航で得られた火山岩の主成分組成。A. アルカリ - SiO₂ 図 (Le Maitre et al., 1989)。アルカリ岩と非アルカリ岩系列の境界線はKuno (1966) による。B. SiO₂ - K₂O 図 (Le Maitre et al., 1989)。南沖縄トラフでこれまで得られた火山岩のデータも示した (Chung et al., 2000; 新城, 未公表)。

Fig. 9 Major element compositions of volcanic rocks recovered by "SHINKAI-2000" 1176, 1177 and 1178 dives. A. Total alkalis vs silica diagram (Le Maitre et al., 1989). The boundary between alkaline and subalkaline series is from Kuno (1966). B. Subdivision of subalkalic rocks using K₂O vs silica diagram (Le Maitre et al., 1989). Data for volcanic rocks from the southern Okinawa Trough are also shown for comparison (Chung et al., 2000; Shinjo, unpubl.).

形が確認された。また頂部の北縁には断層と考えられる東西方向の割れ目群の発達や、斜面に沿ったすべり面の顕著な発達が視認された。一方、頂部西側には大規模な化石チムニー群が、東側にシロウリガイ群集が分布する傾向が認められる。またシロウリガイ群集(死貝)やチムニー等の炭酸塩類の分布は東西方向に限定され、これは割れ目群の構造地形とも一致する。したがって、構造運動に起因したメタン湧水が存在したことは明らかであり、サンドチムニーはこの冷湧水の湧出帯に沿って形成されたものである。また、γ線測定結果は、頂部東側で高く西側で低い強度の傾向を示す(服部・岡野, 2001)。これは最近活動した活断層・地滑り等の活構造の存在を示唆しており、冷湧水と地形変動の相関が示唆される。一方で、炭酸塩類の炭素・酸素同位体比の検討により、炭酸塩の形成にメタンが関与していた事が判明し、かつそのメタン湧水の供給源としてガスハイドレートの分解水が考えられている(町山ほか, 2000)。したがって、テクニク的な変動がこれらの要因として想定されよう。

また今回の潜航調査では、シンカイヒバリガイのコロニーが割れ目(pavement)タイプ炭酸塩に沿って分布しているのを確認するとともに、割れ目からの気泡を視認した。このコロニーは幼体が圧倒的に多く、比較的若いものと考えられており、また付近のシンカイヒバリガイの硫黄同位体比は重く、メタンに依存している事が報告されている(牧ほか, 2001)。したがって、今回新たに冷湧水(メタン湧水)とそれに伴う生物群集を確認できたことから、少なくとも本海域の冷湧水活動は完全に終了しているわけではないことが明らかとなった。残念ながら、最近に活動している冷湧水生物群集の規模・分布を把握することは時間的制約から無理であった。グリッド方式の精査が今後必要であろう。

シロウリガイ死貝・炭酸塩の多くはマンガンでコーティングされており、また海底下で形成されるチムニー等が表層に露出している。これは過去の活発な冷湧水活動によって形成されたものが、その後の顕著な基盤変動によって表層堆積物が削剥されて現在に至ったものと考えられる。今後はディープ・トウやサイドスキャンソナーを使用した地質マッピング・分布調査、潜水船による産状観察・試料採取・採水を実施する必要がある。また浅部の反射法地震探査を行い、サンドチムニーの形成(メタン湧水)とテクニクスの関係を解明する必要がある。

6. まとめ

(1) 沖縄トラフ西部にはトラフ軸に平行に存在する火山体と、西端部にはこれと斜交しNE-SW方向に配列する火山群が存在する。これらの両火山体での潜航調査の結果、前者(玄武岩)は全体的に堆積物に覆われており、最近の活動によるものではないことが分かった。一方、後者(流紋岩)は露出が良好で比較的若いものである。南沖縄トラフでは、東経123度を境として、火山岩の K_2O 量に系統的な違いがみられ、これはトラフの発達段階あるいは地殻の厚さを反映している可能性がある。

(2) 与那国島北方、リフティングによって形成された島弧斜面下部の海丘における潜航の結果、この海丘の基盤には玄武岩があり上部には水深200 m以浅の堆積環境を示唆する石灰質岩石があることが分かった。石灰質岩石は現在水深1,400 mにあることから、この海丘は石灰質岩石の堆積後に少なくとも1,000 m程度沈降したと考えられる。

(3) 黒島海丘において、冷湧水現象を示唆する炭酸塩類やシロウリガイ死貝群集の分布にはある傾向が認められた。すなわち西側に大規模な化石チムニー群が、東側に大規模なシロウリガイ死貝群集が分布する。

(4) 黒島海丘東部において、まばらではあったがハナシガイ群集の確認と採取ができた。また海丘西部の頂上付近では、シンカイヒバリガイ群集が炭酸塩岩の割れ目に沿って着生しており、群集は数種のシンカイヒバリガイからなると推定された。今回新たに活動的な冷湧水(メタン湧水)とそれに伴う生物群集を確認できたことから、少なくとも本海域の冷湧水活動は完全に終了しているわけではない。

謝辞

本調査航海を実施するにあたり、依田司令をはじめ「しんかい2000」運行チームの皆様、母船「なつしま」の請蔵船長以下乗組員の皆様には、調査行動全般にわたって御尽力を賜った。研究者一同ここに記して感謝申し上げる。

引用文献

- 1) Chung, S.-L., Shinjo, R., Lee, C.-S., Wang, S.-L. and Chen, C.-H., "Initiation of arc magmatism associated with embryo continental rifting in the southernmost part of Okinawa Trough", *TERRA NOVA*, 12, 225-230 (2000).
- 2) 服部陸男・岡野真治, "海洋放射能測定最近の成果", *JAMSTEC深海研究*, 18, 1-13(2001)。
- 3) 服部陸男・大場忠道・蟹江康光・秋元和實, "相模湾初島沖で発見された自生の炭酸塩類", *JAMSTEC深海研究*, 10, 405-416(1994)。
- 4) 木村政昭・松本 剛・新城竜一・中村 衛・本山功・町山栄章・當山元進・八木秀憲, "沖縄トラフ南西部で確認された蛇行チャンネルとその意義", *JAMSTEC深海研究*, 18, 103-120(2000)。
- 5) Kuno, H., "Lateral variation of basalt magma types across continental margins and island arcs", *Bull. Volcanol.*, 29, 195-222 (1966).
- 6) Le Maitre, R.W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Woolley, A.R. and Zanettin, B., "A classification of igneous rocks and glossary of terms", (Blackwell, Oxford, 1989).
- 7) 町山栄章・新城竜一・服部陸男・岡野真治・松本剛・木村政昭・中村 衛・當山元進・岡田卓也, "Dolphin-3K南沖縄トラフ・黒島海丘潜航調査(NT00-

- 05航海)の概要", JAMSTEC深海研究, 18, 15-30 (2000)。
- 8) 町山栄章・武内里香・服部陸男・松本 剛・中村衛・木村政昭・松本 良, "八重山諸島黒島海丘に発達する大規模冷湧水炭酸塩類 - 同位体組成からみる形成過程の考察", 日本地質学会第107年大会演旨, 85 (2000)。
- 9) 牧 陽之助・溝田智俊・鎌田光仁, "西表島沖の黒島海丘で採取された生物試料の硫黄同位体組成", 第17回しんかいシンポジウム予稿集, 40-41(2001)。
- 10) 松本 剛・木村政昭・西田史郎・中村俊夫・小野朋典, "八重山南岸沖の黒島海丘で発見された化学合成生物群集と海底表面の破碎について(NT97-14次航海)", JAMSTEC深海研究, 14, 477-491(1998)。
- 11) 松本 剛・木下正高・中村 衛・「よこすか」YK00-06乗船研究チーム, "沖縄トラフ西端部の構造とテクトニクス", 第17回しんかいシンポジウム予稿集, 37-38 (2001)。
- 12) 小川勇二郎, "ガスチムニーとサンドチムニー", 月刊地球号外, 16, 74-80(1996)。
- 13) Sakai, H., Gamo, T., Ogawa, Y. and Boulegue, J., "Stable isotopic ratios and origins of the carbonates associated with cold seepage at the eastern Nankai Trough", Earth Planet. Sci. Lett., 109, 391-404 (1996)。
- 14) Shinjo, R., Chung, S.-L., Kato, Y. and Kimura, M., "Geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of volcanic rocks from the Okinawa Trough and Ryukyu Arc : Implications for the evolution of a young, intracontinental back arc basin", J. Geophys. Res., 104, 10,591-10,608 (1999)。
- 15) Sibuet, J.-C., et al., "Okinawa trough backarc basin : Early tectonic and magmatic evolution", J. Geophys. Res., 103, 30,245-30,267 (1998)。

(原稿受理:平成13年7月30日)