

南部マリアナトラフの地形と海底熱水活動 - YK-99-11の調査結果 -

益田 晴恵*¹ 満澤 巨彦*² 島 伸和*³
升本 真二*¹ YK-99-11乗船研究者一同*⁴

2000年1月によこすかの単独行動(YK-99-11)による南部と中部のマリアナトラフの海底調査が行われた。本報告では、12°30'N ~ 13°10'N付近の南部マリアナトラフで得られた海底地形調査と島弧海山(TOTOカルデラ)と拡大海嶺での曳航式ビデオカメラによる底質と海底熱水活動の観察の結果を述べる。

南部マリアナトラフの東端に分布する中軸海嶺は拡大速度の大きい東太平洋型の中央海嶺の地形を示す。中軸海嶺の尾根では、複数の海底熱水活動の兆候が見られ、新鮮な枕状溶岩が尾根に沿って広く分布することから、現在も火成活動が活発であることは明らかである。その西側に広がる海盆底は中央部がドーム状に隆起しており、海洋地殻下に密度の低い物質の存在が示唆される。

島弧海山に属するTOTOカルデラ(12°42'N, 143°32'E)の内部には、激しい海水の白濁が認められ、海底にエビやチューブワームなどの熱水生物群集が発見された。熱水湧出は明瞭ではなかったが、カルデラの北東端にあるマウンド周辺で最大の熱水活動が期待される。

キーワード：マリアナトラフ, 背弧海盆, 海洋底拡大, 海底熱水活動

Bathymetry and hydrothermal activities in the southern Mariana Trough - reconnaissance results of YK-99-11

Harue MASUDA*⁵ Kyohiko MITSUZAWA*⁶ Nobukazu SEAMA*⁷
Shinji MASUMOTO*⁵ YK-99-11 Shipboard Scientific Party*⁸

The geophysical characteristics and hydrothermal activities in the southern and middle Mariana Trough area was surveyed by the R/V Yokosuka in the January 2000. In this report, the morphological characteristics and the geology and hydrothermal activities observed by a deep-tow video camera are discussed in relation to the present volcanic activities in the southern Mariana Trough.

Morphology of the spreading ridge, located on the eastern end of the southern Mariana Trough, is similar to that of the East Pacific Rise, which is one of the fast spreading oceanic ridges. Uplifted dome-like structure can be observed on the center of the Mariana back arc basin, which extends to the west of the present spreading ridge, suggesting the presence of low gravity material beneath the oceanic crust.

The seawater in the TOTO caldera, which belongs to the Mariana active arc volcanoes, occasionally includes white

* 1 大阪市立大学大学院理学研究科

* 2 海洋科学技術センター深海研究部

* 3 神戸大学内海機能教育研究センター

* 4 長谷川裕一：千葉大学自然科学研究科；宮本元行・富樫尚孝・宗輝・山野辺仁：(株)マリンワーク・ジャパン海洋科学部

* 5 Department of Geosciences, Osaka City University

* 6 Deep Sea Research Department, JAMSTEC

* 7 Research Center for Island Seas, Kobe University

* 8 Yuichi HASEGAWA: Graduate School, Chiba University; Motoyuki MIYAMOTO, Naotaka TOGASHI, Akira SO and Hitoshi YAMANOBE: Marine Work Japan Co. Ltd.

suspended matters, indicating the strong hydrothermal plume(s) from the bottom of the caldera. Biological communities such as shrimps and tube worms were observed on the mound, located on the northeastern edge of the caldera bottom. The mound and/or surrounding area must be the most active hydrothermal area in the TOTO caldera.

Keywords : Mariana Trough, back-arc basin, seafloor spreading, seafloor hydrothermal activity

1. はじめに

マリアナトラフは島弧地殻の中に生じた三日月型をした背弧海盆である。その拡大は、約6Ma以前に南部から生じたと考えられてきた(Scott et al., 1981)。最初期に拡大を始めた南部マリアナトラフは、現在では、活動を停止していると考えられる研究者が多かったが、1992年にしんかい16500が13°N付近にある円錐形火山の頂上近くに220℃の水温を示す熱水系を発見し(Gamo et al., 1993)、この海域の火成活動が現在も活発であることが確認された。また、その後も、しんかい16500や白鳳丸の調査によりこの海域の複数の島弧海山に活動的熱水の湧出や熱水徴候が発見された(益田他, 1994; Gamo et al., 1998)。

これらの海山は、マリアナ島弧の火山前縁帯の延長線上にあり、島弧の火成活動が、以前に知られていたよりはるかに南に伸びていることが明らかであった。

一方で、この海域で行われた調査は散発的であり、拡大海嶺と考えられた地点での調査はほとんど行われることがなかった。唯一、13°Nの拡大海嶺地点で1998年に白鳳丸によるドレッジが行われているのみである。このとき、変質していない急冷ガラス層を持つ枕上溶岩が採取されている(Masuda et al., 1998)。

2000年1月に行われたよこすかの単独行動では、南部マリアナ海域の火成活動に関する調査を目的として、基礎的データを採取するために、海底地形と地磁気に関する洋上からの計測を行った。島弧と拡大海嶺での火成活動の証拠となる熱水活動を探索するために、それぞれで1地点ずつを選び、重点的に曳航式探査装置を用いて海底の観測を行った。また、これらの海底調査は、2000年5~6月にかけて行われる予定であったかいれいによる潜航調査の候補地点選択のための予備調査も兼ねていた。

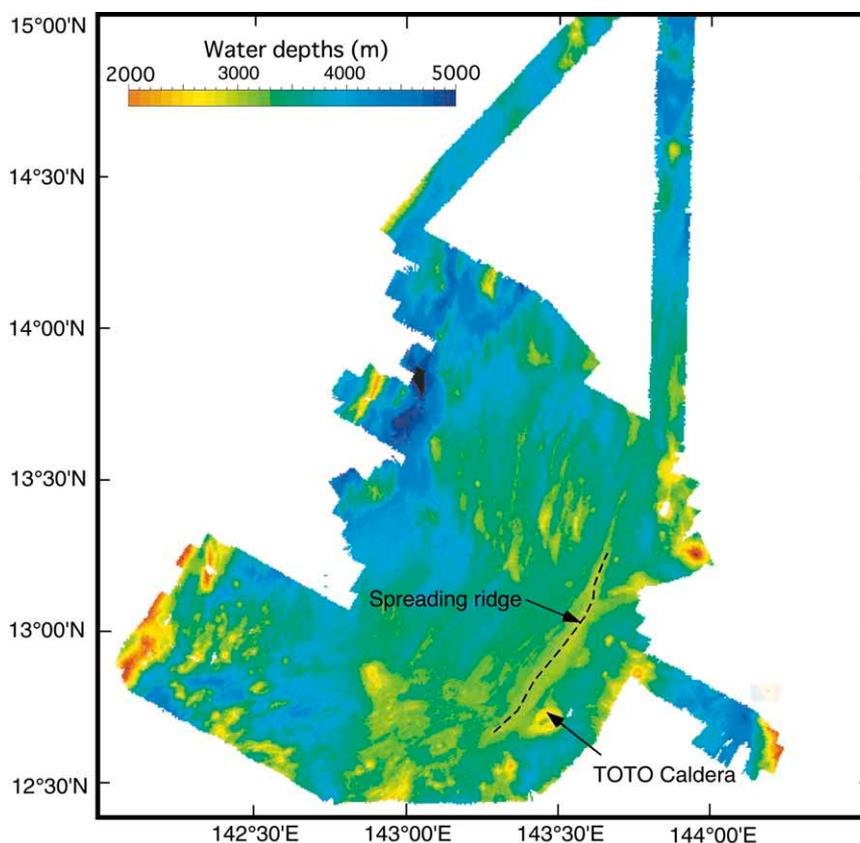


図1 YK99-11のマルチナロービームの測深結果により作成された南部マリアナトラフの海底地形

調査結果の概要は、すでに満澤ほか(2000)で報告されている。本報告では、海底地形の特徴と、曳航観測による底質と海底熱水活動の観測結果とを説明する。

2. 海底地形

図1に、よこすかのマルチナロービームにより作成された調査海域の海底地形図を示す。南部マリアナトラフ海域では、海底ケーブル敷設時に行われた測線(Hagen et al., 1992)と、よこすかの1992年と1993年の調査で得られた13°N付近の海域(たとえば、益田ほか1993; 1994; Fryer et al., 1998)、ハワイ大学によって調査された最南部の海域についての詳しい海底地形図はある(Martínez and Fryer, 2000)が、マリアナ島弧と西マリアナ島弧を完全に横断する広範囲の詳細な海底地形図はこれまで作成されていなかった。この調査で得られた結果により、初めて南部マリアナトラフの地形の全容が明らかになった。

地形図の東端部はマリアナ諸島をなす島弧の斜面である。また、西端部には西マリアナ海嶺が部分的に見えている。マリアナ諸島斜面の西側と西マリアナ海嶺の東側の海盆との境界部は、水深が4000mより深くぼ地がある。これらは、二つの海嶺が裂けたときにできた深みのなごりであろう。現在の活動的火山前縁帯は、マリアナ島弧側のこのくぼ地に沿って西側に2列に並んでいる。マリアナ島弧は12°30'N, 143°45'Eのあたりで大きく屈曲しており、それより北ではおおむね北北東の走行を持つものに対して、ほぼ東西の走行に変化する。前縁帯火山列もこれに平行に走行が変化する。西マリアナ海嶺とは、12°30'N, 142°50'Eあたりで接している。

143°00'Eより東側の背弧海盆の内部には13°10'Nあたりを境にして、それより北ではほぼ南北方向の走行を持つ地塁-地溝構造が見られる。同様な構造はその南側でも見られるが走行はほぼ北北東に変わる。これらの構造は、海盆拡大軸の活動によって生じたものであると推定される。地形調査と同時に行われた地磁気測定の結果は現在解析中である(長谷川他, 2001)。この結果が出れば、海盆拡大の時期が明らかになるであろう。

現在の活動的拡大軸は、これらの地塁-地溝構造の最も東側の水深約3000mの比較的平らな尾根を持つ海嶺である。ここでは、本調査の約3ヶ月後に新しい熱水活動が発見されており(益田ほか, 本報告書)、深海底堆積物に覆われない新鮮な枕状溶岩が分布することから、現在も活発な活動が推定される。この点については後述する。

南部マリアナトラフの地形の最大の特徴は、海盆中央部の水深が周辺に比べて浅くなっていることである。このことは、中部や北部のマリアナトラフでは観測されない。また、拡大海嶺の尾根部には、中部や北部に見られる中軸谷がない。これら2点の特徴は、少なくとも14°N以南では明瞭である。中軸谷のない尾根全体が盛り上がった地形は、拡大速度の大きい東太平洋海膨型の拡大軸の特徴である。この付近の海底では、密度の低い物質が存在し、速い拡大を起こしているのかもしれない。もしそうであるなら、マリ

アナトラフ全体でマントルウェッジ内の熱流量が不均質で南部でより高い熱流量が期待されるかも知れない。これらについては、今後の研究課題であろう。

3. TOTOカルデラ内部の地形と海底熱水活動

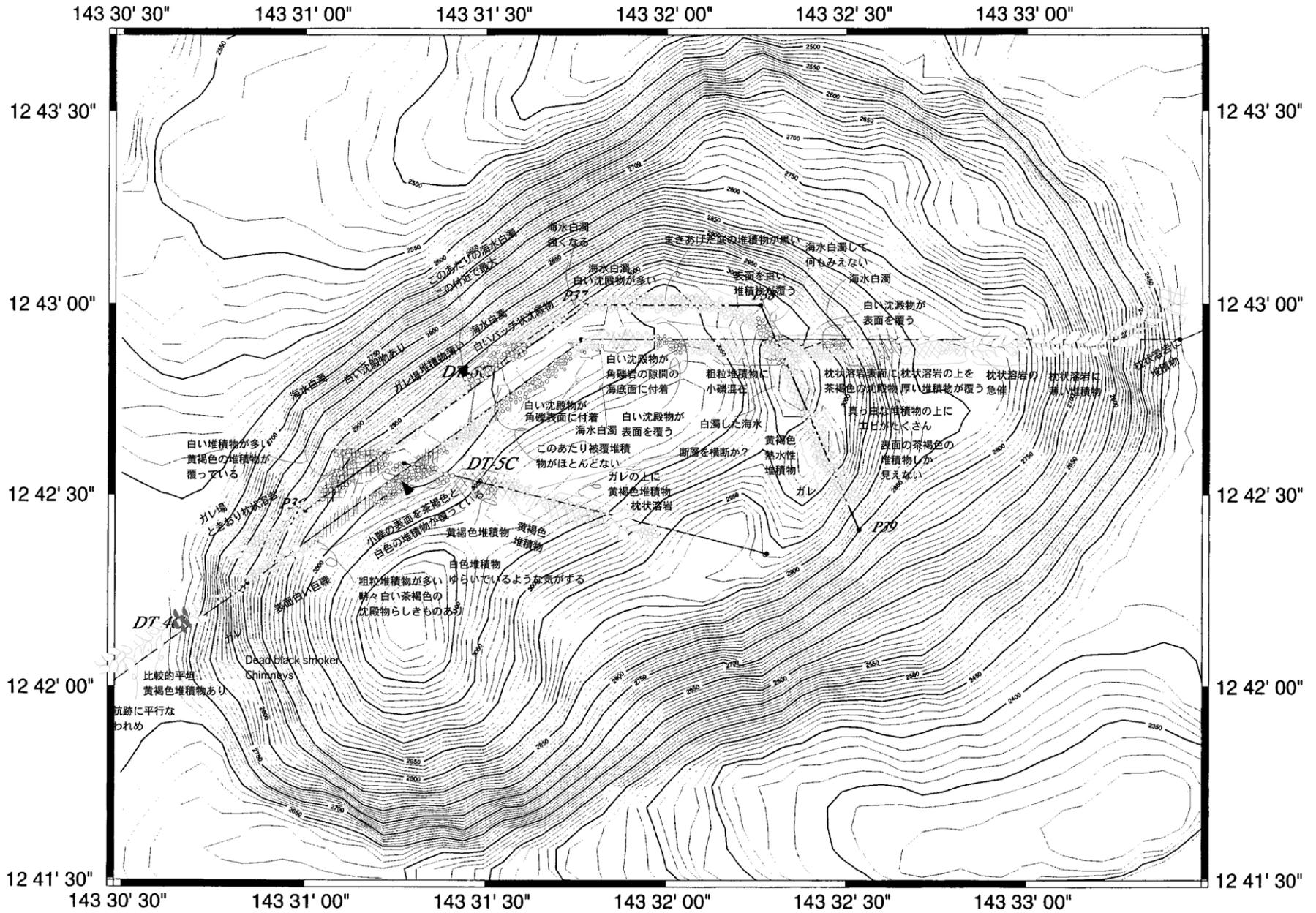
TOTOカルデラは、島弧前縁火山帯に属し、この海域の海山の中では、山麓部分がかつとも大きな山体を持つものの一つである。外輪山の頂部の水深は最浅部で約2500mであり、頂部は長径約6.5km、短径約4kmのだ円形の外径を持つ。カルデラ内部の最深部の水深は約3000mで、2800m付近にテラス状の地形を持っている。長径の伸長方向は拡大海嶺や前縁火山帯などの構造の走行方向と一致している。カルデラの海底地形と曳航式深海ビデオカメラによる海底の観察結果をルートマップにしたものが図2である。

ビデオ映像に基づいたルートマップとサイドスキャンソナーイメージから、カルデラ内部の地形と底質とは次のようにまとめられる。カルデラ内壁はおおむね2850m位の深度までは枕状溶岩の露頭である。ただし、北東側斜面ではもう少し深いところまで枕状溶岩が分布する。それより下の斜面からカルデラ底部まで崩落性の角礫岩が広く覆っている。この角礫岩はカルデラの長径に平行な西北と南東側の斜面では水深3000~2950m付近で平らなテラスの表面をも覆っている。カルデラ底の中央部付近は粗粒の岩石とそれをうすすらと覆う細粒の堆積物で覆われている。カルデラ中央部の最深部にも角礫岩が分布するので、堆積物は表面を覆うだけだと推定される。細粒の堆積物はカルデラの南西と北西にある凹地も覆っている。

カルデラ内部には海底熱水活動が盛んな場所が3ヶ所確認された。北東のマウンド状の高まりの頂部、北西側テラスの上側斜面との境界部の北西端付近と南東付近である。3ヶ所とも海水が白濁し、海底には広い範囲で白い堆積物が降り積もっていた。特に、テラスと斜面の境界に沿っては、白い堆積物が点々と見られるので、低温の熱水湧出点が点在しているのかも知れない。ところどころに堆積物がなく、岩石の亀裂に白い堆積物がついているように見える場所もあったので、これら白い堆積物の一部は低温の熱水湧出点であるかも知れない。

熱水活動の最も規模の大きいのはマウンド頂部であろう。ここは、海底面を真っ白い堆積物が覆っており、ビデオ映像にはリミカリスエビがたくさん見られ、マリアナトラフでは初の発見であるチューブワームも映っていた。曳航装置に取り付けた温度計による温度異常もこの付近で最大であった。また、北西端のテラスと斜面の境界からのものは、この地点の上部約200mの海水中にも白濁が見られることから、マウンドの熱水活動に次いで大きい可能性がある。これらの熱水はホワイトスモーカーであるかも知れない。酸水酸化鉄を含むであろう茶褐色の堆積物は、カルデラ中央部まで薄く広がっているが、熱水湧出地点では必ずしも多くない。白い堆積物は、たぶん自然イオウがシリカであろう。

図2 ビデオ映像から確認したTOTOKALDERA内部のルートマップ



外輪山の南西側の頂部付近に、活動を停止したブラックスモーカーチムニーが林立していた。この付近は、詳査を行っていないので、周辺に有望な熱水域があるかどうかは判断できない。しかし、カルデラ底部のようすからは、過去には南東部に火道があった可能性が高いが、現在の有力な熱源は、北東に移動していると判断できる。したがって、ブラックスモーカーチムニーを形成した熱水活動も、現在の熱水活動と一連のものであるとは考えにくく、南東部に火道があった時期か、その後の熱水活動によるものと考えられる。

4. 拡大海嶺尾根の底質と熱水活動

この海域の拡大海嶺は、前述のように、おおむね北北東の走行を持つ延長20km程度で水深約3000mの平たんな尾根をセグメントとして雁行配列している。今回の調査では12°50'N~13°N付近のセグメントで3測線、海底曳航調査を行った。ビデオ映像では、尾根部は、新鮮な枕状溶岩が露出しており、ところどころ、溶岩の陥没地形と考えられるくぼ地や急崖があった。深海底堆積物はほとんど覆っていない

か、あっても非常に薄かった。このことは、尾根部分の火成活動が新しいものであることを示しているのかもしれない。

熱水活動の兆候が見られる場所は図3に示した。大きな温度異常は2ヶ所で、わずかな温度異常はしばしば観測された。特に大きな温度異常を示した地点は143°42.000'E上の地域である。ここでは、最大で約0.3℃の水温上昇があった。また、同地点でEhセンサーも負の異常を示している(満澤ほか, 2000)。ビデオ映像では、イソギンチャクやコシオリエビなどが数は多くないものの観察され、海底からの低温の熱水湧出があるように見られた。また、この地点付近は水深も急激に減少しており、ガレ場となっていることから、コーン状の高まりのすぐそばを通過したとみられる。サイドスキャンイメージでは、ちょうど同一地点に、航跡に向かって散乱強度が高く、反対側で薄い円形が2つ重なっているように見られたことも、コーン状の高まりの存在を強く示唆している。サイドスキャンソナーイメージでは、海嶺の尾根に沿ってコーン状の高まりと考えられる円形の地形が現れており、このような場所のいくつかからは高温の熱水湧出地点が発見される可能性が高い。

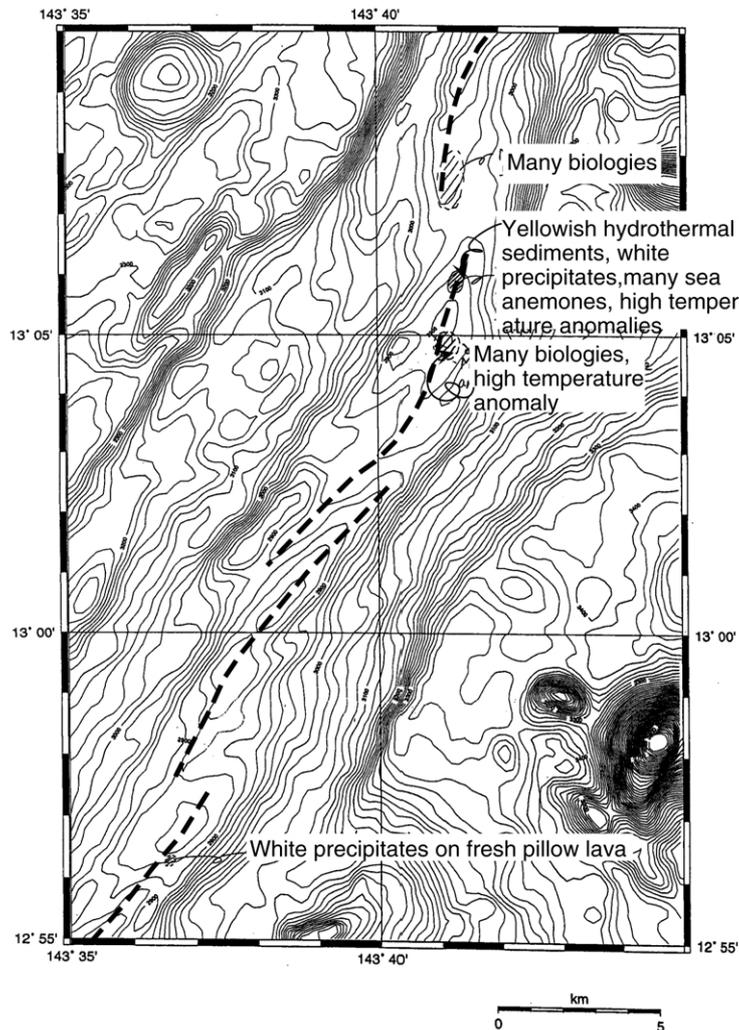


図3 拡大海嶺軸における熱水徴候の確認地点
点線は、拡大海嶺の尾根。

5. まとめ

YK99-11では、南部マリアナトラフで、海上からの海底地形と地磁気調査と、曳航式観測装置による海底の観測を行った。小論では海底地形とビデオ映像から得られた底質について報告した。主な結果は次のとおりである。

- 1 14°N以南のマリアナトラフは、中心部が盛り上がったドーム状の構造をしており、海底下に密度の低い物質の存在が疑われる。
- 2 南部マリアナトラフの拡大海嶺は、現在も活動的である。
- 3 島弧海山であるTOTOカルデラ内部は、熱水活動が盛んで、熱水性動物群集も豊かである。火成活動は現在も活動的であり、これまでに確認されている南部マリアナ海域の前縁帯島弧海山では、最も南に位置する活動的火山である。

謝 辞

調査航海中は、斉藤房夫船長を始め、よこすかの乗組員にたいへんお世話になった。ここに、感謝する。

引用文献

- Fryer P., Fujimoto H., Sckine M., Johnson L., Kasahara J., Masuda H., Gamo T., Ishii T., Ariyoshi M. and Fujioka K. (1998) Volcanoes of the southwestern extension of the active Mariana Island Arc: New swath-mapping and geochemical studies. *The Island Arc*, 7, 596-607.
- Gamo T. and the Shipboard Scientific Party of the Y9204 Cruise (H. Chiba, P. Fryer, J. Ishibashi, T. Ishii, L. E. Johnson, K. Kelly, H. Masuda, S. Ohta, A.-L. Reisenbach, P. A. Rona, T. Shibata, J. Tamaoka, U. Tsunogai, T. Yamaguchi) (1993): Revisits to the mid-Mariana Trough hydrothermal site and discovery of new venting in the southern Mariana region by the Japanese submersible Shinkai 6500. *Inter Ridge News*. V. 2 (No. 1), 11-14.
- Gamo T., Okamura K., Hasumoto H., J. Ishibashi, E. Nakayama, H. Obata, H. Masuda and KH-98-1 Shipboard Scientific Party (1998): Evidence for submarine hydrothermal activity at the southernmost Mariana Trough. *EOS Transactions, American Geophysical Union*, 79, F398 (OS71B-22).
- Hagen R. A., A. N. Shor and P. Fryer (1992): Sea MARC II evidence for the locus of seafloor spreading in the southern Mariana Trough. *Marine Geology*, 103, 311-322.
- 長谷川裕一・島伸和・満澤巨彦・益田晴恵・山崎俊嗣 (2001): 中部および南部マリアナトラフの海上地球物理観測 - よこすかYK99-11航海の成果。第17回しんかいシンポジウム講演予稿集, P13.
- Martínez F. and P. Fryer (2000): Geophysical characteristics of the southern Mariana Trough, 11(50°N=13°40'N). *Journal of Geophysical Research*, 105(B7), 16571-16607.
- Masuda H., Gamo T., and Shipboard Scientific Party KH-98-1, Leg 2 (1998): Present volcanisms of arc and back-arc spreading axis in the southern end of the Mariana Trough. *EOS Transactions, American Geophysical Union*, 79, F398 (OS71B-21).
- 益田晴恵・リチャード ラッツ・松本哲志・升本真二・藤岡換太郎 (1994): 13°Nマリアナトラフの拡大軸の移動と最近の火成活動。JAMSTEC深海研究, 10, 175-185.
- 益田晴恵・蒲生俊敬・P. Fryer・石井輝秋・J. E. Johnson・田中宏明・角皆潤・松本哲志・升本真二・藤岡換太郎 (1993) 南部マリアナトラフの主要科学性分に見た火成作用と地形との関係。しんかいシンポジウム報告書, 9, 181-189.
- 満澤巨彦・益田晴恵・島伸和・長谷川裕一・宮本元行・富樫尚孝・宗輝・山野辺仁 (2000): 中部及び南部マリアナ熱水活動域「よこすか」深海曳航調査速報(YK99-11-Leg 2)。JAMSTEC深海研究, 17, 73-87.
- Scott R. B., L. Kroenke, G. Zakariadze and A. Sharaskin (1981): Evolution of the south Philippine Sea: Deep Sea Drilling Project Leg 59 Results, Initial Reports of DSDP 59, 803-815, U. S. Government Printing Office, Washington.

(原稿受理: 2000年12月25日)