

## 中央インド洋海嶺（南緯18-20度）に 新たな海底熱水活動の兆候を求めて

— 白鳳丸 KH-06-4航海速報 —

蒲 生 俊 敬\*

2006年12月に実施された研究船白鳳丸による中央インド洋海嶺の熱水ブルーム調査は、従来のCTD各層採水やCTD-Towyoといった既存探査手法に加えて、現場化学分析装置および自立型海中ロボットが本格活用された点で、きわめて画期的な航海であった。その成果に基づき、有人潜水船を用いた本格探査が今急がれている。ホットな話題に満ちたインド洋を紹介する。

### 1. はじめに

地球化学的な海底熱水系探査の究極目標は、海底の熱水活動がグローバルな海洋の物質循環にどう関わっているのか定量的に理解することである。そのためには、地球を取り巻くように

して深海底を縦断している大洋中央海嶺の詳細な化学的調査が必要となる。筆者もこれまでに、1988年の潜水船アルビン号（米国ウッズホール海洋研究所）による東太平洋ゴルダ海嶺潜航調査（Campbell et al., 1994）や、1994年の潜水船「しんかい6500」（海洋科学技術センター、現海洋研究開発機構）による大西洋中央海嶺TAG熱水域の潜航調査（MODE'94レグ2）等に参加して熱水の採取と化学分析に従事した（Gamo et al., 1996a）。特に後者の海域では、高さ15mを超える巨大なブラックスモーカー群からの高温熱水噴出に圧倒された。しかし残念ながら、これらの中央海嶺は既に欧米の研究者によって先鞭がつけられており、地理的にも

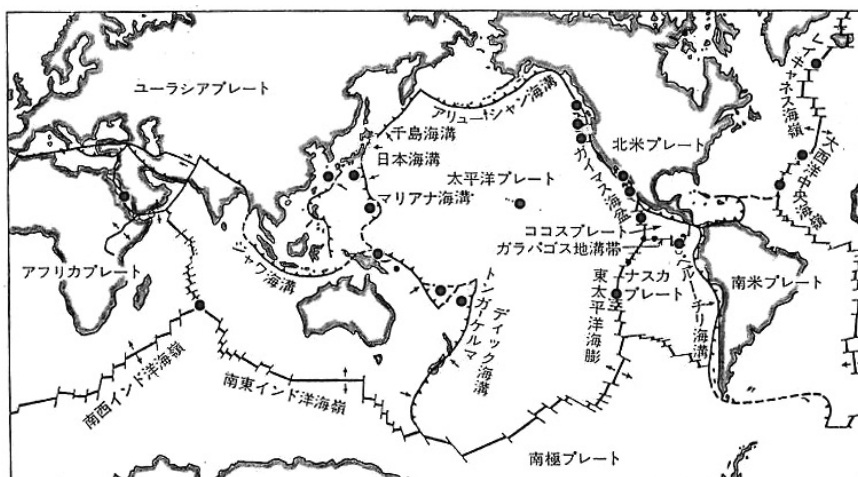


図1. 世界中でこれまでに確認されている主要な海底熱水系の位置 (●).

\*東京大学海洋研究所教授

日本からかなり遠方であった。

図1から明らかなように、これまでに活発に調査が実施され、多くの海底熱水系が見いだされているのは太平洋、そして大西洋の中央海嶺系である。それとは対照的に、ほとんど空白なのがインド洋で、20世紀最後の年まで高温の熱水活動域はひとつも見つかっていなかった。欧米の研究者にとってインド洋は遙か遠方にあるため、目前にある大西洋や太平洋の調査に加えて、さらに調査船や潜水船をインド洋まで派遣するのは難しい事情があるであろう。しかし、中央海嶺からの物質フラックスをグローバルに見積もるうえで、また太平洋と大西洋にまたがって複雑な分布パターンを見せる熱水生物群の進化の過程を明らかにするために、インド洋中央海嶺が重要な要に位置していることは論を待たない。その空白域にメスを入れることの学術的意義はきわめて高いと言わねばならない。

## 2. インド洋中央海嶺ロドリゲス三重点

インド洋の中央海嶺は逆Y字型をしている(図1, 2)。アラビア海からほぼ真南に向かう中央インド洋海嶺、オーストラリア大陸南方から北西方向に延びる南東インド洋海嶺、およびアフリカ大陸南方から北東方向に延びる南西インド洋海嶺、これら3つの中央海嶺がロドリゲス三重点(25°32' S, 70°02' E)で一点に交わっている。

1993年から2000年にかけて、日本の研究船や潜水船を用いた3回の探査航海が、インド洋中央海嶺のロドリゲス三重点付近で実施された。1993年の白鳳丸によるKH-93-3航海では、顕著な熱水ブルームの存在が明らかにされた(Gamo et al., 1996b)。そして2000年8月、この熱水ブルームの源、インド洋で初の高温海底熱水活動が世界に先駆けて発見された



図2. 中央インド洋海嶺において、これまでに発見されている高温熱水系 (Kairei Field および Edmond Field) と、2006年12月の白鳳丸 KH-06-4 航海で調査したセグメント15, 16 の位置。

(Hashimoto et al., 2001; Gamo et al., 2001; 蒲生, 2003)。図2に示す Kairei Field がそれで、ロドリゲス三重点から北に延びる中央インド洋海嶺の最初のセグメント(第1セグメント)にある。翌年、わずかに遅れた米国の調査グループが、中央インド洋海嶺の第3セグメントに高温熱水サイト Edmond Field を発見した(Van Dover et al., 2001)。これらの2サイトをめぐって、その後、潜水船やROVによる調査研究が活発に行われている。

## 3. 熱水調査のための観測技術革新

近年は海洋観測手法が多様化し、研究船や有人潜水船のみならず、無人探査機(有索のもの: ROV (Remotely Operated Vehicle, 無索のもの: AUV (Autonomous Underwater Vehicle))を併用する新しい手法に注目が集まっている。海洋の化学的観測においても、現場自動分析装置や化学センサーを効果的に組み込むことによって、これらの探査機を積極的に活用

することが望まれる。東京大学生産技術研究所海中工学センター（浦研究室）を中心に、海洋化学観測へ AUV の活用を促進するための研究開発が、過去15年以上にわたって積み上げられた（Ura (2005) など）。

AUV は一般に小型であり、観測機器を搭載するスペースはごく限られている。従って、大型の観測装置や海水試料採取のための採水器を多数搭載することは現実的ではない。AUV と相性のよいのは、小型の現場化学分析装置や化学センサーである。我々は1990年頃から現場化学分析機器の開発と実用化に取り組み、現在では高感度化学発行検出器を内蔵する GAMOS (Geochemical Anomaly Monitoring System) と呼ぶ実用機に到達している（Okamura et al., 2001; 2004）。AUV や CTD 採水装置に GAMOS を搭載し、海水中の Mn, Fe などの現場分析に活用してきた。メモリー式 CTD やそのオプションセンサー（透過度計、酸素センサー、pH センサーなど）も、もちろん AUV への搭載が可能である。

GAMOS は通常の CTD 各層採水の際にも、採水装置に付属させて CTD システムの空きチャンネルに接続すれば、現場データを船上でリアルタイムでモニターすることが出来る。CTD 透過度計とともに、現場のマンガンデータは熱水プルームの有無やその規模の判定に大きな威力を発揮する。

#### 4. 中央インド洋海嶺の15, 16セグメント調査

ロドリゲス三重点は中央インド洋海嶺研究のほんの出発点に過ぎない。WOCE 計画によって得られたインド洋深層海水中のヘリウム同位体比 ( $^3\text{He}/^4\text{He}$ ) データ（Srinivasan et al., 2004）によると、中央インド洋海嶺上にはまだ、マントル由来のヘリウムを放出する海底熱水系

がありそうである。

中央インド洋海嶺の第15, 16セグメント付近は、活火山レユニオン島から東に延びるホットスポット火山活動の影響を受けて海嶺軸が西側にシフトしており（図2参照）、海底熱水活動も中央海嶺-ホットスポット系の特異な化学的特徴を示すことが予想される興味深い海域である。この付近では、これまでフランスやイギリスの観測船によって散発的な化学的調査・研究が行われ、熱水活動の兆候を示す熱水プルームが検出されている（Jean-Baptiste et al., 1992; German et al., 2001）が、熱水噴出の現場に迫るにはとてもデータが足りない状況である。

そこで中央インド洋海嶺第15, 16セグメントをターゲットとする白鳳丸航海（KH-06-4 航海第3レグ（主席研究員：玉木賢策教授（東京大学大学院工学系研究科））が立案され、2006年12月7日～12月23日にかけて実施された。本航海では、前節で述べた海洋観測の最先端機器が大活躍をした。東京大学生産技術研究所浦研究室による最新型 AUV “r2D4”（図3）が、予め設定されたコースに沿って、海嶺軸の海底直上を泳ぎ回った（浦ほか、2007）。r2D4先端部のペイロードラックには現場自動 Mn 分析装置 GAMOS を搭載し、海水中の Mn 濃度を常



図3. 観測を終了した自立型海中ロボット (AUV) r2D4の揚収。

時測定し、熱水ブルームの広がりを調べた（岡村ほか，2007）．さらに通常のCTD採水システムにもGAMOSを常時搭載してリアルタイムで現場Mnデータをモニターし、確実に熱水ブルーム試料を採取するよう努めた．得られた海水試料は、北海道大学理学研究院（角皆研究室）と共同で、メタンガスなど溶存気体の濃度と同位体比測定を鋭意進めている（川口ほか，2007）．

観測成果の多くは、上述のように学会等で公表されつつあり、まもなく原著論文としても公表される予定である．

## 5. おわりに：早急な実施が望まれる潜航調査

インド洋中央海嶺の熱水活動調査では、1993年の研究船白鳳丸によるロドリゲス三重点周辺の詳細調査、2000年のROV「かいこう」によるインド洋初のブラックスモーカー高温熱水域Kairei Fieldの発見など、終始我が国が世界の先頭に立ち、独創性の高い研究をリードしてきた．Kairei Fieldにおいては、その発見後も2002年、2006年と潜水船「しんかい6500」を用いた地球物理・化学・生物学的総合調査研究が精力的に続けられ、この熱水系の詳細観測と特異性の解明が日進月歩で進んでいる．しかし一方で、中央インド洋海嶺は、熾烈な他国との競争の場でもある．例えば米国を中心とする研究グループは、Kairei Field発見のわずか半年後に、より高温高塩分で特徴づけられるEdmond Field ブラックスモーカー熱水噴出域（第3セグメント）を発見し、Kairei Fieldと合わせて化学的・微生物学的研究を強力に推し進めている．

中央インド洋海嶺全体から見れば、Kairei FieldとEdmond Fieldはそのごく南端の2例に過ぎない．太平洋や大西洋の中央海嶺の従来

研究結果から類推されるように、中央インド洋海嶺全体にわたって多様な熱水活動の物理・化学・生物学的特徴が予想され、その総合的解明が急がれている．Kairei Fieldを起点として、中央インド洋海嶺のさらに北方へ調査を拡充し、アデン湾にいたる広範なエリアの調査研究を行って初めて、中央インド洋海嶺に関してグローバルな視点からの議論が可能となるであろう．

我が国は地の利を生かし、このような探査研究（国際共同研究が望ましい）の先端に立ち、引き続き世界をリードしてゆくことが望まれる．上に述べた研究船白鳳丸KH-06-4航海による第15、16セグメントの調査と新たな熱水ブルーム域の発見により、まさにKairei, Edmondに続く第三、第四の大規模熱水活動の発見、未知の高温熱水、新種の熱水性生物など、魅力的な研究対象がまさに目前にある．海底熱水探査は、潜水船調査によってその現場を視認し、かつ試料を採取してこなければ完結しない．時期を逸することなく、早急に有人潜水船「しんかい6500」等による直接観測と試料採取が強く望まれる．最近ではインド洋の深海研究に中国も参入し、米・英・仏・独の各国も含め、国際競争は一層熾烈さを増している．その意味でも、我が国の潜水船による第15、16セグメントの直接観測の緊急性は極めて高いと言わなければならない．

## 引用文献

Campbell, A.C. et al. (1994): Chemistry of hydrothermal fluids from Escanaba Trough, Gorda Ridge. *U.S.G.S. Bull. 2022* (Geologic, Hydrothermal, and Biologic Studies at Escanaba Trough, Gorda Ridge, Offshore Northern California), 201-221.

- Gamo, T. et al. (1996a): Chemical characteristics of hydrothermal fluids from the TAG mound of the mid-Atlantic Ridge in August 1994: implications for spatial and temporal variability of hydrothermal activity. *Geophys. Res. Lett.*, 23, 3483-3486.
- Gamo, T. et al. (1996b): Hydrothermal plumes at the Rodriguez Triple Junction, Indian Ridge. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 142, 261-270.
- Gamo, T. et al. (2001): Chemical characteristics of newly discovered black-smoker fluids and associated hydrothermal plumes at the Rodriguez Triple Junction, Central Indian Ridge. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 193, 371-379.
- 蒲生俊敬 (2003): 背弧海盆および中央海嶺熱水系の地球化学的研究, *地球化学*, 37, 111-131.
- German, C. et al. (2001): Hydrothermal activity along the central Indian Ridge: Ridges, hotspots and Philately. *EOS Trans. AGU*, 82 (47), Fall Meet. Suppl., Abstract OS42E-06.
- Hashimoto, J. et al. (2001): First hydrothermal vent communities from the Indian Ocean discovered. *Zool. Sci.*, 18, 717-721.
- Jean-Baptiste, P. et al. (1992): Hydrothermal  $^3\text{He}$  and manganese plumes at  $19^\circ 29' \text{S}$  on the Central Indian Ridge. *Geophys. Res. Lett.*, 19 (17), 1787-1790.
- 川口ほか (2007): 中央インド洋海嶺 (南緯18-20度) におけるメタンブルーム: 新たな熱水活動の兆候, 2007年度日本地球化学会第54回年会講演要旨集, 講演2A05, 岡山大学, 130.
- Okamura, K. et al. (2001): Development of a deep-sea in situ Mn analyzer and its application for hydrothermal plume observation. *Mar. Chem.*, 76, 17-26.
- Okamura, K. et al. (2004): Development of an in situ manganese analyzer using micro-diaphragm pumps and its application to time series observation in a hydrothermal field at Suiyo seamount. *Geochem. J.*, 38, 635-642.
- 岡村慶ほか (2007): インド洋中央海嶺ロドリゲスセグメントにおける海底熱水活動の発見と熱水ブルームの特徴, 2007年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, 講演316, 東京海洋大学, 136.
- Srinivasan, A. et al. (2004): Mantle  $^3\text{He}$  distribution and deep circulation in the Indian Ocean. *J. Geophys. Res.*, 109, C06012, doi:10.1029/2003JC002028.
- Ura, T. (2005): Two series of diving for observation by AUVs -r2D4 to Rota underwater volcano and TRI-DOG 1 to caissons at Kamaishi Bay, Proc. International Workshop on Underwater Robotics 2005, Genoa, Italy, (2005.11), pp. 31-39.
- 浦環ほか (2007): 自律型海中ロボット「r2D4」によるインド洋中央海嶺潜航, 第19回海洋調査技術学会研究成果発表会, 海上保安庁海洋情報部 (2007.11.15-16).