

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：12601

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2008～2013

課題番号：20109002

研究課題名(和文)大河流域を規制する地球物理・地質学的構造

研究課題名(英文)Geological and geophysical background of subseafloor hydrothermal systems "TAIGA"

研究代表者

沖野 郷子(OKINO, KYOKO)

東京大学・大気海洋研究所・准教授

研究者番号：30313191

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 212,400,000円、(間接経費) 63,720,000円

研究成果の概要(和文)：海底熱水系を「海底下の大河」と捉え、熱水の化学組成や噴出孔の様式は、周囲の地質・地球物理学的環境に規制されていることを示すための観測研究を実施した。南部マリアナ熱水域(イオウの大河)では、表層から上部マントルまでの構造を明らかにし、熱水系の発達過程が主に熱源となるマグマ活動の盛衰によって規制されることを明らかにした。インド洋海嶺三重点のKairei熱水フィールド(水素の大河)では、構造探査と岩石分析から、熱水の組成や循環様式が、テクトニックな海底拡大に起因する地下浅部のガプロ・カンラン岩類と海嶺軸部の火成活動との双方に規制されることがわかった。

研究成果の概要(英文)：The integrated geological and geophysical field surveys were conducted on the hypothesis that the diversity of subseafloor hydrothermal circulation (TAIGA: Great River) is controlled by tectonic and geological setting beneath and around the hydrothermal fields. The series of AUV and submersible dives and geophysical explorations showed that the sulfur-rich hydrothermal sites in the southern Mariana backarc spreading center are controlled mainly by the waxing and waning of magmatic activity. In contrast, the results of geological, geophysical surveys and rock geochemistry revealed that the hydrogen-rich Kairei hydrothermal field at the southernmost Central Indian Ridge is constrained by both axial basaltic magmatism and detachment faulting that exhumed ultramafic rocks on a shallow subsurface.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：海底熱水系 地殻構造 上部マントル構造 岩石学 中央海嶺 背弧拡大系

1. 研究開始当初の背景

中央海嶺における熱水孔出現の頻度や化学フラックスは概ねその場所におけるマグマ生産量(多くの場合は拡大速度と同義)に比例すると理解されてきた[Urabe et al., 1995]。一方、超低速拡大系における予想以上の熱水活動の検出[Baker et al., 2004]、低速拡大系における従来と異なるタイプの熱水活動の発見[Allen and Seyfried, 2004; Kelley et al., 2005]、ラウ背弧拡大軸における非常に高い熱水活動[Baker et al., 2006]の発見などが近年相次ぎ、断層分布などのテクトニックな環境が主に熱水系を規制している例があることなどが注目されはじめた。高速拡大系においては、熱水系は寿命が短く火成活動が最もさかんな拡大軸中心に分布し、主にマグマ貫入イベントに規制されると考えられる。これを「マグマ活動規制型」と呼ぶ。一方、低速拡大系においては、「マグマ活動規制型」以外に、拡大軸谷の縁辺部や海嶺セグメント境界付近に比較的寿命が長い熱水系が発達し、これらは主に断層に規制されていると考えられる。これを「断層規制型」と呼ぶ。「断層規制型」熱水系の中には、マグマ供給量の不足と大規模な正断層運動により、海底面近傍に超マフィック岩がもたらされ、超マフィック岩の蛇紋岩化作用により通常と異なる組成の熱水が噴出しているものもある。このように、熱水系の多様性は、熱源の種類と規模・熱水循環を維持する構造・母岩の組成等の要因が作用した結果であり、海洋性地殻形成プロセスの多様性に呼応していると考えられた。

さらに、研究分野を超えた海底熱水系の研究者が集い、低温の活動も含めた海底下の熱水循環を熱や物質を運ぶ「大河」と捉え、1)大河の多様性を熱水生態系の一次生産者である化学合成独立栄養微生物がエネルギー源となる還元物質として何を使うかによって「イオウの大河」「水素の大河」「メタンの大河」「鉄の大河」と系統立てることができる、2)それぞれの大河の存在様式(地質学・地球物理学的背景)が生態系を規定する、という仮説を立て、その検証のために複数分野を融合した新学術領域研究「海底下の大河」を提案するに至った。

2. 研究の目的

固体地球と海洋境界部の現象を支配する海底下の流れ「大河」を解明するという新学術領域「海底下の大河」全体の目標の中で、本研究では、大河の流れている場の環境の地学的特徴(テクトニックセッティング)がいかに大河の水(熱水の組成)や河口(熱水噴出孔)の位置を支配するかを解明する。最近の研究により、熱水孔周辺の環境の違いによって熱水の温度や組成に多様性が生まれることがわかってきた。この多様性は、熱源の種類や規模・地殻構造・母岩の組成等の要因が作用した結果であり、海洋性地殻形成プロ

セスの多様性に呼応しているといえる。本研究では、既に特徴的な熱水化学組成が明らかになっている「イオウの大河」南部マリアナトラフ熱水系と「水素の大河」中央インド洋海嶺南端熱水系を集中観測域とし、観測に基づいて熱水系を支える地殻・リソスフェアの構造と地殻形成プロセスを明らかにすることを目標とする。

3. 研究の方法

「イオウの大河」南部マリアナトラフ熱水系と「水素の大河」中央インド洋海嶺熱水系周辺域を対象に、主に観測に基づいた研究を行い、熱水系の背景となる構造とプロセスを解明する。また、領域内の他の研究計画と連携して航海計画の立案・実施・解析を行い、「海底下の大河」の包括的な理解をめざす。

- (1) 高精度浅部構造イメージング：AUV(自律型海中ロボット)や潜水船に搭載したソナー・磁力計観測による観測を行い、火山噴出物の規模や溶岩形態の解析、断層・開口割れ目の分布や規模の推定、磁化構造推定、などに基づいた熱水系の熱源や循環系の広がりや推定する。
- (2) 深部構造イメージング：海底電位差磁力計・海底地震計を用いた海底観測により、上部マントルの電気伝導度構造、地殻の厚さ・地殻深部の地震波速度構造を明らかにし、拡大軸下の熔融帯の形態や熔融開始深度、マグマ供給量を推定することで、地殻の形成が多様化するプロセスの解明を行う。また、長期微小地震観測から、マグマ活動や断層活動の空間分布・時間変化を明らかにして、これらの要因が熱水系の活動をどのように規制しているかを明確にする。
- (3) 岩石採取と分析：ドレッジ、潜水船などにより岩石を採取し、化学組成の分析や磁化率測定を行う。玄武岩類の化学組成に基づいて、メルト生成率や物質的構造を推定し、マントルや下部地殻物質の海底表面での岩相分布と化学組成の相関関係を明らかにすることにより、地下におけるマグマの通過時間すなわち地球深部からの熱輸送効率の見積もりを試みる。
- (4) 総合的な解釈：流体力学と化学反応の相互作用を考慮した熱水系数値シミュレーションを参考に、熱水系の多様性(規模・寿命)や出現頻度が拡大速度やテクトニックセッティング(熱源分布・地殻構造)にどのように依存するかを解明する。

4. 研究成果

集中観測域であった2タイプの熱水系について、主要な研究成果を述べる。

- (1) 南部マリアナトラフ(イオウの大河)
2009年にAUVうらしまによる高精度浅部構造イメージング、2010年に海底地

震計・電位差磁力計による深部構造イメージング探査を実施した。また、他計画班と協力して2010, 2011年に有人潜水船による潜航調査, 2010年に浅部掘削(BMS)を実施した。

これらの調査の結果、熱水系を支える浅部地質・地殻構造と上部マントルまで含めた深部構造を明らかにし、熱水系の発達過程が主に熱源となるマグマ活動の盛衰によって規制されることを明らかにした。自律型海中探査機(AUV)を利用して得られた精密な地形・地磁気データの解析(図1)を元に熱水域に特有の微地形があることを明らかにするとともに、熱水循環による磁化の減少が生じていること、さらに磁化減少域が海嶺軸部と軸から離れた場所で広さがまったく異なることが示された。また、地震計・海底電位差磁力計による観測データを解析し、地震波速度構造、微小地震分布、電気伝導度構造を明らかにした。観測期間中に自然地震がほとんど検知されず、他の熱水系とは異なる様相であることが示された。海底電位差磁力計による観測データから推定した上部マントル比抵抗構造により、海底拡大系の地殻形成を支えるメルト供給の実態を明らかにした。

また、研究期間中に新たな熱水噴出孔 Urashima サイトを発見し、海底近傍音響・磁気探査が熱水系の位置確認に有効であることを示した。

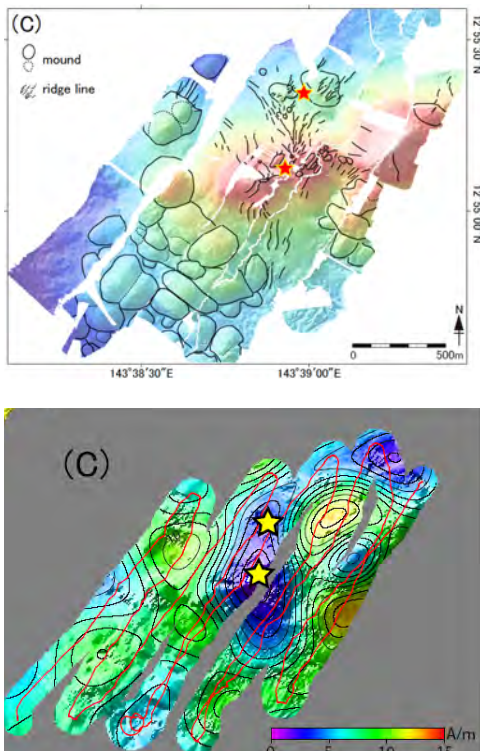


図1: 南部マリアナ Pika サイトの微地形(上)と磁化強度分布(下)

- (2) 中央インド洋海嶺(水素の大河)(図2) 水素に富む熱水組成を示す Kairei フィ

ールドにおいて、2010年に浅部構造調査を実施した。しかし、計画していたAUVの探査については、AUVの事故により1潜航しかできず、高解像度探査については不十分である。一方、岩石採取は計画以上の成果を挙げた。また、2011年度に海底地震計・電位差磁力計による探査および潜水船による調査を計画していたが、東北地方太平洋沖地震の発生により研究船の運航計画が大幅に変更され航海延期となり、本来の研究期間の最後である2012年度末に航海が実施された。そのため、研究費の繰越申請をし、2013年度に解析及びまとめを行った。

浅部構造の解析および集中的な岩石試料採取・分析の結果、熱水系の周辺には地下深部物質(ガブロ・カンラン岩類)が露出する構造が複数存在し、マグマが欠乏した環境下でのテクトニックな拡大が数百万年にわたって優勢であったことが明らかになった。熱水の組成と併せて考察すると、Kairei フィールドはテクトニクスに起因するガブロ・カンラン岩類の存在と海嶺軸部の火成活動との双方に規制されると考えられる。また、地震観測の初期的な結果からは、熱水フィールドの北で断層活動が現在起きていることを示唆する微小地震分布が明らかになった。

また、本研究の集中観測域ではないが、中央インド洋海嶺においても熱水系の総合観測を行い、水素に富む新たな熱水系を発見した。

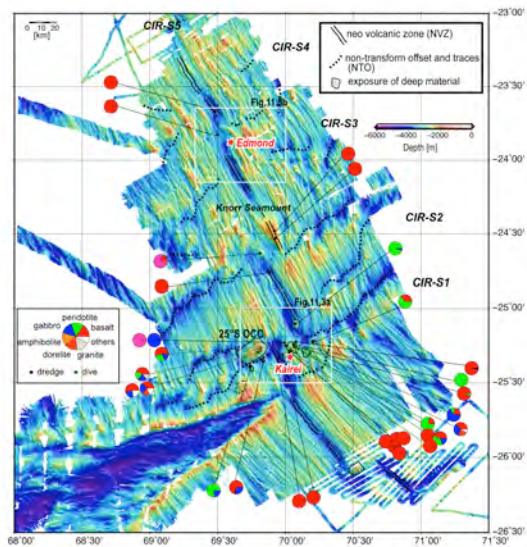


図2: インド洋 Kairei フィールド付近の地形と岩石分布状況

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 60 件)

- ① Okino, K., K. Nakamura, and H. Sato, Tectonic background of four

- hydrothermal fields along the Central Indian Ridge, J. Ishibashi et al. (Eds.), *Subseafloor Biosphere Linked to Global Hydrothermal Systems; TAIGA Concept*, 査読有, Springer Japan, Tokyo, 2014.
- ② Sato, H., K. Nakamura, K. Kumagai et al., *Petrology and geochemistry of mid-ocean ridge basalts from the southern Central Indian Ridge*, J. Ishibashi et al. (Eds.), *Subseafloor Biosphere Linked to Global Hydrothermal Systems; TAIGA Concept*, 査読有, Springer Japan, Tokyo, 2014.
- ③ Seama, N., H. Sato, Y. Nogi et al., *The mantle dynamics, the crustal formation, and the hydrothermal activity of the Southern Mariana Trough back-arc Basin*, J. Ishibashi et al. (Eds.), *Subseafloor Biosphere Linked to Global Hydrothermal Systems; TAIGA Concept*, 査読有, Springer Japan, Tokyo, 2014.
- ④ Matsuno, T., M. Kimura and N. Seama, *Electrical resistivity structure of the Snail site at the Southern Mariana Trough spreading center*, J. Ishibashi et al. (Eds.), *Subseafloor Biosphere Linked to Global Hydrothermal Systems; TAIGA Concept*, 査読有, Springer Japan, Tokyo, 2014.
- ⑤ Sato, T., M. Mizuno H. Takata et al., *Seismic structure and seismicity in the Southern Mariana Trough and their relation to hydrothermal activity*, J. Ishibashi et al. (Eds.), *Subseafloor Biosphere Linked to Global Hydrothermal Systems; TAIGA Concept*, 査読有, Springer Japan, Tokyo, 2014.
- ⑥ Nakamura, K., T. Toki, N. Mochizuki et al., *Discovery of a new hydrothermal vent base on an underwater, high-resolution geophysical survey, Deep-Sea Research I*, 査読有, vol.174, pp. 1-10, 2013. DOI:10.1016/j.dsr.2012.12.003
- ⑦ Yoshikawa, S., K. Okino and M. Asada, *Geomorphological variations at hydrothermal sites in the southern Mariana Trough: Relationship between hydrothermal activity and topographic characteristics*, *Marine Geology*, 査読有, vol303-306, pp.172-182, 2013. DOI:10.1016/j.margeo.2012.02.013
- ⑧ Morishita, T, K. Hara, K. Nakamura et al., *Igneous, alteration and exhumation processes recorded in abyssal peridotites and related fault rocks from an oceanic core complex along the Central Indian Ridge*, *Journal of Petrology*, 査読有, vol. 50, pp.1299-1325, 2009. DOI:10.1093/petrology/egp025
- ⑨ Nakamura, K., T. Morishita, W. Bach et al., *Serpentinized troctolites exposed near the Kairei Hydrothermal Filed, Central Indian Ridge: Insights into the origin of the Kairei hydrothermal fluid supporting a unique microbial ecosystem*, *Earth and Planetary Science Letters*, 査読有り, vol. 280, pp.128-136, 2009. DOI:10.1016/j.epsl.2009.01.024
- [学会発表] (計 105 件)
- ① 沖野郷子ほか、インド洋 Kairei 熱水フィールドの地質・地球物理学的背景-大河プロジェクトの成果-、日本地球惑星科学連合 2013 年大会、2013. 5. 19-23, 幕張メッセ (千葉)
- ② 島伸和ほか、南部マリアナ背弧海盆の地球物理学成果：マントルから熱水活動域まで、日本地球惑星科学連合 2013 年大会、2013. 5. 19-23, 幕張メッセ (千葉)
- ③ Fujii, M. et al., *Magnetic structure of backarc spreading axis with hydrothermal vents: the Southern Mariana Trough*, *American Geophysical Union Fall Meeting*, 2012.12.3-7, San Francisco (USA).
- ④ Sato H., et al., *Petrology and geochemistry of mid-ocean ridge basalts along southern Central Indian Ridge*, *American Geophysical Union Fall Meeting*, 2012.12.3-7, San Francisco (USA).
- ⑤ Okino, K. et al., *Tectonic background of a unique hydrogen-ridge Kairei hydrothermal filed, Central Indian Ridge: Results from Taiga Project*, *American Geophysical Union Fall Meeting*, 2012.12.3-7, San Francisco (USA).
- ⑥ Seama, N. et al., *Mantle to hydrothermal vent sirts of the Southern Mariana Trough back-arc basin: Results from the Taiga Project*, *American Geophysical Union Fall Meeting*, 2012.12.3-7, San Francisco (USA).
- ⑦ 野木義史ほか、AUV を使用した南マリアナトラフ熱水活動域の深海磁気探査、日本地球惑星科学連合 2012 年大会、2011.5.22-27, 幕張メッセ (千葉)
- ⑧ 沖野郷子ほか、中央インド洋海嶺総合探査-水素の大河の全貌-、日本地球惑星科学連合 2012 年大会、2011.5.22-27, 幕張メッセ (千葉)
- ⑨ Mochizuki N. et al., *Remanent magnetizations of oceanic basalts on the back-arc spreading axis in the southern Mariana Trough*, *American*

Geophysical Union Fall Meeting,
2011. 12. 5-9, San Francisco (USA).

- ⑩ 沖野郷子ほか、AUV うらしまによる南部マリアナ熱水地帯の微地形調査：海底表層の構造は熱水活動を規制するか、日本地球惑星科学連合 2010 年大会、2010. 5. 27, 幕張メッセ (千葉)

[図書] (計 1 件)

J. Ishibashi, K. Okino and M. Sunamura (Eds.), Subseafloor Biosphere Linked to Global Hydrothermal Systems; TAIGA Concept, 査読有, Springer Japan, Tokyo, 2014.

[その他]

ホームページ等

<http://www-gbs.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~taiga/>

http://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/topics/2009/2009_ORI16.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

沖野 郷子 (OKINO, Kyoko)
東京大学・大気海洋研究所・准教授
研究者番号：30313191

(2) 研究分担者

島 伸和 (SEAMA, Nobukazu)
神戸大学・理学系研究科・教授
研究者番号：30270862

篠原 雅尚 (SHINOHARA, Masanao)
東京大学・地震研究所・教授
研究者番号：90242172

佐藤 暢 (SATO, Hiroshi)
専修大学・経営学部・准教授
研究者番号：50365847

海野 進 (UMINO, Susumu)
金沢大学・自然システム学系・教授
研究者番号：30192511

野木 義史 (NOGI, Yoshifumi)
国立極地研究所・教育研究系・教授
研究者番号：90280536

(3) 連携研究者

浅田 美穂 (ASADA, Miho)
(独) 海洋研究開発機構・技術研究副主任
研究者番号：90447376

阿部なつ江 (ABE, Natsue)
(独) 海洋研究開発機構・研究員
研究者番号：80302933

佐藤 利典 (SATO, Toshinori)
千葉大学・理学部・教授
研究者番号：70222015

森下 知晃 (MORISHITA, Tomoaki)
金沢大学・理工研究域自然システム学系・教授
研究者番号：80334746

中村 謙太郎 (NAKAMURA, Kentaro)
東京大学・工学系研究科・准教授
研究者番号：40512083

富士原敏也 (FUJIWARA, Toshiya)
(独) 海洋研究開発機構・技術研究主任
研究者番号：30359129

望月 伸竜 (MOCHIZUKI, Nobutatsu)
熊本大学・大学院先端機構・特任助教
研究者番号：60422549

山本順司 (YAMAMOTO, Junji)
北海道大学・総合博物館・准教授
研究者番号：60378536

(4) 研究協力者

辻 健 (TSUJI, Takeshi)
九州大学・カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所・准教授
研究者番号：60455491
(H21～22, 公募研究)

吉河 秀郎 (Yoshikawa, Shuro)
(独) 海洋研究開発機構・ポストドクトラル研究員
研究者番号：00555196
(H22～24 プロジェクト雇用研究員)