

平成 26 年 5 月 30 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：20109001

研究課題名(和文)大河計画統括と航海調整

研究課題名(英文)Construction of "TAIGA" model and planning of research cruises

研究代表者

浦辺 徹郎(Urabe, Tetsuro)

東京大学・理学(系)研究科(研究院)・客員共同研究員

研究者番号：50107687

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 147,400,000円、(間接経費) 44,220,000円

研究成果の概要(和文)：地下・海底下に存在する大量の水は、流域の岩石との反応により、海洋を含む地球表層環境や生命活動に大きな影響を与えられられてきた。本研究では、海底下の水の流れを地質学的背景から4種類に分類し(4つの大河仮説)、鉱床形成を含めた物質循環システムと微生物生態系システムが4つの大河に対応して制御されていることを、期間中に実施した33の研究航海と物理・化学・生物・地質の分野横断的手法を通じて明らかにした。

研究成果の概要(英文)：It was estimated that extensive advection systems exist beneath the deep-seafloor which may be responsible for controlling both the ocean chemistry and the subsurface biosphere through interaction with solid earth. In this study, we proposed a hypothesis that such sub-seafloor aquifers can be categorized into four types (four TAIGA hypothesis) based on their chemistry which is controlled by the difference in the geological background. We proved the hypothesis through 33 research cruises which were conducted by multi-disciplinary approach among geophysics, geochemistry, biology, and geology, in combination with related modeling. It is proven that the microbial communities and their characteristic metabolism are controlled and constrained by the chemistry of these four TAIGAs.

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：海底下の大河 海底熱水活動 地下・海底下生物圏 化学合成熱水生態系 掘削 物質循環 生命の起源 海底資源

1. 研究開始当初の背景

1960年代に本格的に開始された深海底研究は、プレートテクトニクス説の成立という、地球科学を統合するパラダイムを創造するという成果につながった。本研究は「海底下の大河」という仮説を提出し、固体地球物理学のみならず、岩石・熱水化学や地下生物圏まで含めた大きな枠組みの中で、深海底研究に新たな領域の創成と展開を行うためのものである。

本総括班の目的は、海洋底およびその地下という雲をつかむような大きな目標から「まな板」の上に乗るサイズの研究テーマを切り出して5つの計画研究班とし、その間にすき間や重複が無く、効率的かつ具体的な研究が遂行できるか、目配りをするにある。

2. 研究の目的

本計画で立てた以下の4つの仮説が検証されたかどうかを統括して、大河モデルの構築を行うことが総括班の目標である。

(1) 海洋地殻中には高い透水率に支えられた移流(advection)が存在し、その流量は陸上の河川水の総量に匹敵し、地球の物質循環にも大きな影響を持つ。それを包括的に「海底下の大河」と呼ぶ。

(2) 「海底下の大河」は4種類に大括りでき、流域のテクトニクス、岩石種、熱源、物質の供給などの存在様式が、その流域に生息する地下微生物生態系を規定している。

(3) それらの総和が現在の地下生物圏の全貌であり、そこにおける生成物は熱水・冷湧水ブルームとして海洋に大きな影響を与えている。

(4) 現在の地下生物圏は地球最古の生態系のアナロジーであるとともに、地球外生命が存在するならば、その生態系のあり方を示唆するものである。

上記の科学研究目標に加え、統括班では、領域全体の研究の円滑な遂行のため、研究航海の計画、応募、調整を行うとともに、若手研究者の育成や InterRidge を通じた国際貢献をすることを目標とする。

3. 研究の方法

本領域では研究上調査航海の占める重要性が非常に高く、調査航海を研究分野間の総合的な繋がりの中で企画・実施できるかどうかに、本領域研究の成否がかかっていた。統括班では、研究航海の計画立案の統括と航海実施のサポートを行った。公募航海については、公募航海への応募・目的に応じた適切な乗船者の調整などを統括した。また、本研究の中核をなす海底下の掘削航海について、南

マリアナ海域と沖縄海域での調査計画の立案と備船を行った。

領域の研究計画は、海底下の大河仮説の立証の目的で、地殻、熱水-海水、時間変動、熱水反応素過程、模擬実験による熱水再現を研究対象とする5つの計画研究班により行った。具体的には、A01班は構造イメージングと地殻・マントルの化学組成の解析を通じて、「海底下の大河」を支える地殻形成プロセスの解明を実施した。A02班は熱水・冷湧水ブルームの検出や微生物・大型生物の定量分析を通じて海洋に流出した「海底下の大河」の影響を定量的に解析した。A03班は年代測定等を通じて「海底下の大河」の活動の数年から数千万年にわたるタイムスケールでの長期時間変動を評価した。A04班は物理・化学環境と微生物活動の相互作用を、微視的なスケールの素過程として解き明かした。そして、A05班は唯一フィールドにでず、室内高温高压実験で「海底下の大河」の環境を再現した。計画研究で不足している部分や分野について、公募研究を実施した。これらを統括し、統括班は、5つの計画研究班内の研究分担者・協力者も含めた大河計画全体として分野融合的アプローチを推進した。

4. 研究成果

(1) 本計画の最大の成果は、最初に4つの大河という仮説を立て、それを分野横断的手法と数多くの航海を通じて実際に検証したことである。本研究の開始前には、化学合成独立栄養微生物が化学物質を代謝して一次生産をしているとすれば、熱力学によりそのエネルギー代謝量は計算できるはずという McCollom and Shock (1997) の予測があったが、本当に異なった化学成分と環境を有するさまざまな熱水系において、異なる化学物質に見合った微生物群集が居るのかについては全く分かっていなかった。しかも、4つの大河という仮想的な流れ自身が、どのような地質・地球物理学的環境(テクトニックセッティング)で形成され、どのような構造を持ち、そしてどのように海洋に還っていくのかについての情報もなかった。そこで、それまでの断片的な情報を元に南部マリアナトラフ、沖縄トラフ、およびインド洋中央海嶺3重点、というそれぞれ複数の熱水系を持つ場をテストフィールドとして選定し、総合的なアプローチを構築した。2種類の直接掘削を計画に取り入れたのは世界で最初かつ唯一である。

(2) その結果、南部マリアナトラフで「イオウの大河」と「鉄の大河」を発見し、かつそれらの違いをもたらしたマグマ供給シ

ステムを地球物理学的手法で明らかにすると共に、高精度磁気構造の解析から熱水変質の範囲を明らかにし、硫化物・硫酸塩鉱物を用いた年代測定と併せて熱水系の変遷と進化を明らかにした。また、ここでは熱水ブルーム中に活発な「イオウの大河」が存在していることを3次元的に明らかにした。

- (3) 沖縄トラフでは「イオウの大河」と「メタンの大河」が卓越していることを示した。2つの熱水域を掘削し、その構造と熱水活動の持続時間について明らかにした。「イオウの大河」はほぼ総ての熱水系でもっとも生産性が高く、McCollom and Shock (1997)の予測を裏付ける結果となった。「メタンの大河」は堆積物に覆われた熱水系に特徴的なものであるが、そのメタンの起源については正確に分かっていなかった。同位体研究により、その起源が詳細に明らかにされ、大河の上流、流域も含めたモデルが構築された。
- (4) インド洋中央海嶺3重点においては「水素の大河」の起源が、マントル起源の岩石と海水の反応によってもたらされたと考えられる地質構造モデルが作られた。また実験により、中央海嶺で見られるようなマグニチュードの小さな断層でも、水素ベースの地下生物圏を保持しうるような水素量を発生しうるということが明らかにされた。さらに重要な成果として、ここに水素に依存した海底下微生物生態系及び化学合成生物共生システムが存在することが明らかになった。
- (5) これらの成果は、熱水地帯の地質構造解析と熱水系のマッピング、採水器の開発と熱水の採取、異分野間での試料の分配、熱水の化学組成や同位体組成の分析、微生物クローン解析、生物活性測定、および一次生産量定量化など、さまざまな手法の組み合わせの上で得られたもので、どれひとつ欠けても成果が得られない。
- (6) 本研究による Takai and Nakamura (2010, 2011) などにより、熱水の地球化学的多様性とそこに棲息する微生物群集のもつ代謝能力間に明解な関係が存在することが明らかにされ、4つの大河仮説は証明されたといえる。また、熱水の地球化学的多様性を生んだ地質学的多様性についても数多くの論文が出され、これらの(微)生物生態系が地球に支えられ育まれたものであることが明らかとなった。これこそ本来の「地球生命圏」といって差し支えない、新たな生態系なのである。
- (7) 本研究の成果は、現在の地球に限定されず、地球生命の誕生や、アストロバイオロジーへの寄与が大きいものである。生命の起源研究に新たな道筋を開いたといってもよいのではないかと考えて居る。これらの成果は、個別の論文や研究発表の他に、2012, 13年度の

地球惑星連合大会、2012年の米国地球物理学連合秋季大会におけるセッション開催、Springer社から2014年9月出版予定のSubseafloor Biosphere Linked to Hydrothermal Systems (全460ページ予定)にて公表する。

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 200 件)

以下すべて査読あり

- Yanagawa K, Morono Y, de Beer D, Haeckel M, Sunamura M, Futagami T, Hoshino T, Terada T, Nakamura K, Urabe T, Rehder G, Boetius A, Inagaki F., (2013) Metabolically active microbial communities in marine sediment under high-CO₂ and low-pH extremes. ISME J. 7:555-567.
- Takamasa, A., S. Nakai, F. Sato, S. Toyoda, D. Banerjee, J. Ishibashi (2013) U-Th radioactive disequilibrium and ESR dating of a barite-containing sulfide crust from South Mariana Trough. Quaternary Geochronology, 15: 38-46. (DOI: 10.1016/j.quageo.2012.12.002)
- Nakamura, K., Toki, T., Mochizuki, N., Asada, M., Ishibashi, J., Nogi, Y., Yoshikawa, S., and Okino, K. (2013) Discovery of a new hydrothermal vent site in the Southern Mariana Trough based on geophysical surveys using the AUV Urashima. Deep-Sea Research Part I, 74, 1-10
- Takai, K., Mottl, M. J., Nielson, S. H. H., and the IODP Expedition 331 Scientists (2012) IODP Expedition 331 finds enormous hydrothermally altered lithostratigraphy comparable to typical Kuroko deposits and chemically stratified hydrothermal fluid

reservoir, and points to possible existence of functionally active microbial communities beneath the Iheya North hydrothermal system, the Okinawa Trough. *Scientific Drilling*, 13, 19-27
Toyoda, S., F. Sato, H. Nishido, M. Kayama, J. Ishibashi (2012) The alpha effectiveness of the dating ESR signal in barite. *Radiation Measurements*, 47: 900-902. (DOI: 10.1016/j.radmeas.2012.04.016)

Kawagucci, S., Ueno, Y., Takai, K., Toki, T., Ito, M., Inoue, K., Makabe, A., Yoshida, N., Muramatsu, Y., Takahata, N., Sano, Y., Narita, T., Teranishi, G., Obata, H., Nakagawa, S., Nunoura, T., and Gamo, T. (2012) Geochemical origin of hydrothermal fluid methane in sediment-associated fields and its relevance with the geographical distribution of whole hydrothermal circulation. *Chem. Geol.*, doi:10.1016/j.chemgeo.2012.05.003.

Yoshikawa S., K. Okino and M. Asada (2012), Geomorphological variations at hydrothermal sites in the southern Mariana Trough: Relationship between hydrothermal activity and topographic characteristics, *Marine Geology*, 303-306, 172-182.

Tsuji, T., Takai, K., Oiwan, H., Nakamura, Y., Masaki, Y., Kumagai, H., Kinoshita, K., Yamamoto, F., Okano, T., and Kuramoto, S. (2012) Hydrothermal fluid flow system around the Iheya North Knoll in the mid-Okinawa Trough based on seismic reflection data. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 213 41-50. Doi: 10.1016/j.jvolgeores.2011.11.007

Takai, K., and Nakamura, K. (2011)

Archaeal Diversity and Community Development in Deep-Sea Hydrothermal Vents. *Curr. Opin. Microbiol.*, 14, 282-291

Kawada, Y., N. Seama, and T. Urabe (2011) The role of seamounts in the transport of heat and fluids: relations among seamount size, circulation patterns, and crustal heat flow, *Earth and Planetary Science Letters*, 306, 55-65

鈴木 勝彦, 吉崎 もと子, (2010) 深海熱水環境における非生物的な炭化水素合成: 熱水実験による制約, *地球化学*, 44, 115-125.

Kawagucci, S., Toki, T., Ishibashi, J., Takai, K., Ito, M., Oomori, T., and Gamo, T. (2010) Isotopic variation of molecular hydrogen in 20 ° -375 ° C hydrothermal fluids as detected by a new analytical method. *J. Geophys. Res.*, 115, G03021

Takai, K., and Nakamura, K. (2010) Compositional, physiological and metabolic variability in microbial communities associated with geochemically diverse, deep-sea hydrothermal vent fluids. *Geomicrobiology: Molecular & Environmental Perspective*, 251-283

K.Nakamura, T.Morishita, W.Bach, F.Klein, K.Hara, K.Okino, K.Takai, H.Kumagai, (2009)

Serpentinized troctolites exposed near the Kairei Hydrothermal Field, Central Indian Ridge: Insights into the origin of the Kairei hydrothermal fluid supporting a unique microbial ecosystem, *Earth and Planetary Science Letters*, 280, 128-136

T.Sato, K.Okino, H.Kumagai, (2009) Magnetic structure of an oceanic core complex at the Southernmost Central Indian Ridge: Analysis of shipboard and deep-sea three-component magnetometer data, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 10

砂村倫成、野口拓郎、山本啓之、岡村慶 (2009) 熱水活動が海洋環境と深海生態系にもたらす影響., *地学雑誌*, 118: 1160-1173

石橋純一郎, 中井俊一, 豊田新, 熊谷英憲, 野口拓郎, 石塚治 (2009)地球化学的手法による熱水活動変遷の解析. *地学雑誌*, vol. 118, No. 6, p.1186-1204

Kato, S., Yanagawa, K., Sunamura, M., Takano, Y., Ishibashi, J., Kakegawa, T., Utsumi, M., Yamanaka, T., Toki, T., Noguchi, T., Kobayashi, K., Moroi, A., Kimura, H., Kawarabayashi, Y., Marumo, K., Urabe, T., and Yamagishi, A. (2009) Abundance of Zetaproteobacteria within crustal fluids in back-arc hydrothermal fields of the Southern Mariana Trough., *Environ. Microbiol.*, 67, 351-370

浦辺徹郎、沖野郷子、砂村倫成、石橋純一郎、高井研、鈴木勝彦 (2009)海底下の大河—海洋地殻内熱水循環の多様性と生物地球化学プロセス—, *地学雑誌*, 118, 1027-1036

Yoshizaki, M., Shibuya, T., Suzuki, K., Shimizu, K., Nakamura, K., Takai, K., Maruyama, S., (2009) H₂ generation by experimental hydrothermal alteration of komatiitic glass at 300 °C and 500 bars..., *Geochem. J.*, 43, e17-e22.

[学会発表](計 500 件)

Urabe, T., S. Kanamori, J. Ishibashi, H. Sato, S. Kato, ,and S. Toyoda Chemical

characteristics of magma and related seafloor sulfide deposits on back-arc spreading center and off-ridge volcanoes in Southern Mariana Trough (invited), AGU Fall Meeting, 2012/12/04, SanFrancisco, USA.

Sunamura, M., Okamura, K., Noguchi, T., Yamamoto, H., Fukuba, T., & Yanagawa, K., Microbiological production and ecological flux of northwestern subduction hydrothermal systems, American Geophysical Union 2012 Fall Meeting, 2012/12/04, SanFrancisco, USA.

Takai, K., Kawagucci, S., Miyazaki, J., Watsuji, T., Ishibashi, J., Yamamoto, H., Nozaki, T., Kashiwabara, T., Shibuya, T. Post-drilling hydrothermal vent and associated biological activities seen through artificial hydrothermal vents in the Iheya North field, Okinawa Trough. 2012 American Geophysical Union Fall Meeting. 2012/12/04, SanFrancisco, USA.

Ishibashi J. et al.: Occurrence of sulfides accompanied by abundant clay minerals revealed by shallow drilling in an active seafloor hydrothermal field in the Okinawa Trough, back-arc basin. 34th International Geological Congress, Brisbane (Australia), 2012/08/06.

Takai, K. Exploration of limits of life and unseen microbial potentials in the Deep Biosphere. 34th International Geological Congress (IGC). Brisbane (Australia), 2012/08/06.

Okino, K. Geophysical mapping along the Central Indian ridge: summary of

past Japanese cruises, The First Korea-Japan Marine Geosciences Symposium (招待講演), 2012/4/16-4/17, ソウル(韓国)

Okino, K. Oceanic detachments: implication for spatial and temporal variation of melt supply, Workshop: Ocean Mantle Dynamics: from Spreading Center to Subduction Zone (招待講演), 2011/10/3-10/6, 東京大学柏キャンパス

[図書](計 19 件)

Subseafloor Biosphere Linked to Hydrothermal Systems, Ishibashi J., Okino K., Sunamura M. eds., Springer, pp 460 (印刷中)

高井研 生命はなぜ生まれたのかー地球生物の起源の謎に迫るー. 幻冬舎 .pp.241, 2011

高井研 (共著)アストロバイオロジー (山岸明彦編). 化学同人 .p200-211, pp.141. 2013

小島茂明、岡村慶、砂村倫成 (共著)「海底鉱物資源の産業利用」(飯笹幸吉編), シーエムシー出版, p17-29, p41-45, pp.237. 2013

[産業財産権]

出願状況(計 4 件)

名称: レアアースの回収方法

発明者: 高橋嘉夫、宮地亜沙美、近藤和博

権利者: 国立大学法人広島大学、アイシン精機株式会社

種類: 特許

番号: 特願 2012-085321

出願年月日: 2012 年 4 月 4 日

国内外の別: 国内

名称: 海底熱水鉱物資源の回収方法及び回収システム

発明者: 高井研他 13 名

権利者: 高井研他 13 名

種類: 特許

番号: 特願 2012 - 026705

出願年月日: 2012 年 1 月 27 日

国内外の別: 国際

取得状況(計 0 件)

[その他]

ホームページ等

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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

浦辺 徹郎 (URABE, Tetsuro)

東京大学・大学院理学系研究科・客員共同研究員

研究者番号: 50107687

(2) 研究分担者

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

砂村 倫成 (SUNAMURA, Michinari)

東京大学・大学院理学系研究科・助教

研究者番号: 90360867

石橋 純一郎 (ISHIBASHI, Jun-ichiro)

九州大学・理学府・准教授

研究者番号: 20212920

高井 研 (TAKAI, Ken)

独立行政法人海洋研究開発機構・極限環境

生物圏研究センター・プログラムディレクター

研究者番号: 80359166

鈴木 勝彦 (SUZUKI, Katsuhiko)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内

部変動研究センター・グループリーダー

研究者番号: 70251329