

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5 月 29 日現在

機関番号：12601

研究種目：新学術領域研究

研究期間：2008～2012

課題番号：20109003

研究課題名（和文）

海洋に流れ込む大河の生物地球化学的影響

研究課題名（英文）

Biogeochemical impact of TAIGA flux to deep sea environment

研究代表者

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

研究成果の概要（和文）：

海底下の大河の海洋環境への化学・生物学・生態学的影響評価のため、深海熱水プルームの時空間定量化を実施した。熱水プルーム観測のため、現場測器・サンプリング装置・音響探査手法を開発し、西太平洋やインド洋の18箇所の熱水域にて、自律型潜水艇を含む調査航海を実施した。熱水プルーム中での微生物群集組成と噴出熱水成分の相関性を見出し、プルーム内での4つの大河仮説が検証された。熱水プルーム内での微生物による一次生産量測定手法を開発し、一次生産量を見積もるとともに、動物プランクトン化学分析により、熱水プルームでの有機物生産が深海生態系に一定の影響を及ぼしている証拠を初めて提示することができた。

研究成果の概要（英文）：

To estimate the impacts of deep-sea hydrothermal activity (TAIGA), we quantified the chemical, biological, and ecological parameters of deep-sea hydrothermal plume in time and space. We developed in situ sensors, water sampler, and acoustic survey methods to observe the plume. These methods were applied at the 18 hydrothermal area using research vessels with AUV, ROV, submersible, or wired deep-tow. We found the strong positive correlation between microbial community structures and hydrothermal chemical compositions, which validate the evidence for '4 types of TAIGA hypothesis'. We developed the methods to measure the primary production of microbes in deep-sea and estimate the primary production rate in the plume. We found the evidence that the microbial primary production affected the zooplankton in deep sea by stable isotopic analysis.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	32,600,000	9,780,000	42,380,000
2009年度	18,100,000	5,430,000	23,530,000
2010年度	16,800,000	5,040,000	21,840,000
2011年度	16,000,000	4,800,000	20,800,000
2012年度	14,200,000	4,260,000	18,460,000
総計	97,700,000	29,310,000	127,010,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体惑星地球物理学

キーワード：深海熱水プルーム、深海環境、海洋生態、化学合成微生物、化学センサー、自然環境モニタリング、環境影響評価

1. 研究開始当初の背景

「海底下の大河」(以下「大河」)は、地下に広がる流域から様々な金属元素やマグマ揮発成分等を溶かし込み、熱水・冷湧水として海洋へ流出させている。海底下の大河は、深海熱水プルームを通じて海洋環境に陸上河川の総量に匹敵する影響を与えていると推定され、プルームの測定と深海環境への影響評価は、地球表層環境に対する「大河」の長期的な影響を見積もる上で必須である。

これまで、熱水プルームの研究は、米国を中心に東太平洋中央海嶺の「イオウの大河」をモデルフィールドとして進められてきたが、これらの中央海嶺系熱水とは化学成分も成因も異なる沈み込み帯島弧系での「イオウ」や「メタンの大河」、地質学的な成因の異なる「水素」や「鉄の大河」に由来する深海プルームに、中央海嶺のデータを代表させて画一的に結びつけることには無理が生じつつある。また、プルーム中で増大している微生物種と化学合成を担う化学種との相関性や動態、「大河」の深海域への流出に伴う化学合成総生産に関する知見は極めて乏しく、それに由来する基礎生産が、動物プランクトンなどの高次消費者を通じて、深海環境や海洋生態系におよぼす影響は世界中の深海プルームを通じて、全く調査がなされていない

2. 研究の目的

本計画研究では、流出域の直上に形成される熱水・冷湧水プルームを最新の化学センサーにより検出する技術と、プルーム中の微生物・動物プランクトン群集の定量計測技術を組み合わせた現場観測を行い、プルーム形成とその中に発達する生態系モデルを検証する。このプルーム解析により、「大河」が海洋に直接あるいは間接的に及ぼす生物地球化学および生態学的な影響の時空間定量化を目指す。

3. 研究の方法

イオウ、メタンの大河における深海プルームの4Dモニタリング:

船上からのCTD-CMSを用いたプルーム探査と採水調査に加えて、各種センサー類と採水装置を組み合わせた「プルーム計測システム」を無人探査機ROVや自律型水中ロボットAUVに搭載し、詳細な三次元プルームマッピングを行う。さらに設置型流行流速計により底層流と熱水噴出を測定し、時間成分を入れたプルーム分布の観測からプルームの時間変動モデルを作成する。

イオウ、水素、メタンの大河の化学・微生物フラックス:

プルーム指標として、温度、濁度、pH、 ^3He

の他に、採水試料を用い水素、揮発性炭素化合物、イオウ化合物、マンガン、鉄の濃度と安定同位体比測定を行う。さらに、船上微生物細胞定量装置を用いて水素酸化、硫黄酸化、メタン酸化、アンモニア酸化、鉄酸化の機能を持つ各微生物群を分析し、複合的な指標によるプルーム検出を試みる

プルームがもたらす影響の評価:

現場培養や同位体測定によるプルーム内での化学合成微生物による炭素生産量測定、プランクトンカメラや音響探査による動物プランクトンの分布調査、採集した生物試料の窒素同位体による生物栄養段階の解析を行い、プルーム中の化学合成微生物による生物生産が動物プランクトンなどの高次動物群を通じて海洋生態系の物質循環に寄与するモデルを構築し、海底下の「大河」が海洋生態系に及ぼす影響の評価を試みる。

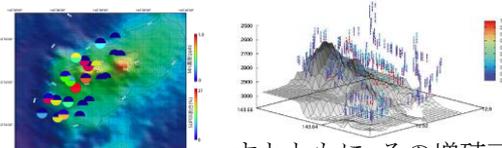
4. 研究成果

(1) センサーおよび高密度採水システムによるプルームモニタリング

深海熱水系や浅海熱水系において、新規開発した高密度採水器、AUV用24連採水システム、濁度計、ISFET型pHセンサー、硫化水素センサー、現場化学計測計(マンガンなど)、プルーム総合現場観測システム、熱水プルームの音響計測、現場ろ過システム、船上微生物計測システム、溶存態有機物測定システムなど熱水プルーム探査や生態系解析に用いる調査・分析機材を改良・適正化し、研究期間中に26航海で調査・分析を実施。中部沖縄トラフでの新しい熱水活動域の発見につながった。

(2) AUVによる深海熱水プルームの高精度モニタリング

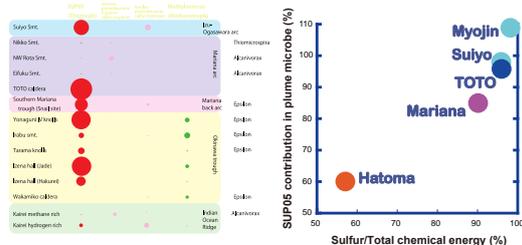
マリアナ海域イオウの大河で自律型潜水艇(AUV)うらしまを用い、センサー類による熱水プルームの3Dマッピングと世界初のAUVによる採水に成功し、化学成分と微生物群集の空間分布解析を実施し(下左図)熱水プルーム中の主要微生物群であるイオウ酸化微生物SUP05と化学成分との密接な関係を見出



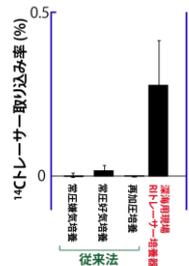
すとともに、その増殖可能域を特定。ADCPを用いた音波による熱水プルームの広域三次元探査に成功(下右図)。

(3) 4種の大河が微生物群集におよぼす影響 本研究中に得られた西太平洋、インド洋の18

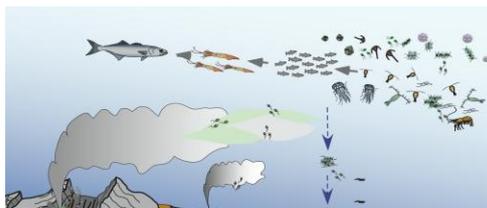
熱水サイト由来の熱水プルームについて、微生物群集解析を実施した結果プルーム中微生物の増加が顕著なプルームでは、イオウ酸化系統群 SUP05 が優占し、その割合は熱水の化学成分にはほぼ対応していることを初めて明らかにした。また、メタンの大河ではメタン酸化微生物が、水素の大河では、水素酸化系統を含む ϵ プロテオバクテリアの存在が明らかになった。



(4) 熱水プルーム中微生物群集の活性
微生物群集構造と活性測定を行い、液体二酸化炭素存在下での微生物群集の生態を明らかにした。熱水-海水混合域における現場型保圧培養システムによる有機物、メタン、二酸化炭素の微生物取り込み能を測定し、培養システムの有用性を見出した (右図)。本システムを熱水プルームに適用し、微生物の炭素同化速度の見積もりを行い、微生物細胞だけでなく溶解態への二酸化炭素の取り込みが多いことが明らかになった。



(5) 深海熱水プルームが動物プランクトン群集におよぼす影響
VMPS ネットなどを用い、熱水プルーム水深からの動物プランクトン採取に初めて成功した。動物プランクトン中の炭素と窒素の安定同位体解析の結果から、熱水プルーム該当水深から得られた動物プランクトンでは安定同位体比の異常が認められ、熱水プルーム中の微生物による有機物生産が深海生態系に影響をおよぼしていることを世界で初めて明らかにした。



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 29 件) (すべて査読あり)

- ① 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.
- ② Noguchi, T., Mayumi, H., Yamanaka, T., & Okamura, K. "Fast Measurement of Dissolved Inorganic Carbon Concentration for Small Volume Interstitial Water by Acid Extraction and Nondispersive Infrared Gas Analysis," Analytical Sciences, vol. 29(1), 9-13, (2013). doi.org/10.2116/analsci.29.9
- ③ Provin, C., Fukuba, T., Okamura, K., & Fujii, T. "An Integrated Microfluidic System for Manganese Anomaly Detection Based on Chemiluminescence: Description and Practical Use to Discover Hydrothermal Plumes Near the Okinawa Trough," IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. 38(1), 178-185, (2013).
- ④ Yanagawa, K., M. Sunamura, M. A. Lever, Y. Morono, A. Hiruta, Ryo Matsumoto, Tetsuro Urabe, Fumio Inagaki, 2011. Niche localization of methanotrophic archaea (ANME-1 and -2) in methane-seep sediments of the eastern Japan Sea offshore Joetsu, Geomicro. J. 28. 118-129.
- ⑤ 砂村倫成、野口拓郎、山本啓之、岡村慶 熱水活動が海洋環境と深海生態系にもたらす影響. (2009) 地学雑誌、118: 1160-1173
- ⑥ Furushima, Y., M. Nagao, A. Suzuki, H. Yamamoto, T. Maruyama. (2009) Periodic behavior of the bubble jet (geyser) in the Taketomi submarine hot springs of the southern part of Yaeyama Archipelago, Japan. Marine Technology Society Journal, 43: 13-22.
- ⑦ Fukuba, T., C. Provin, K. Okamura, T. Fujii, (2009) Development of Microfluidic Device for Mn Ion Quantification in Ocean Environments" IEEJ Trans. SM, 129, 69-72.

[学会発表] (計 88 件)

- ① Yamamoto, H., Lindsay, D. J., Tsuchiya, M., Sunamura, M. Trophic structure of planktonic community at hydrothermal vent field based on stable isotopes., 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 2013/05/22, 幕張メッセ (千葉)
- ② Fukuba, T., T. Kusunoki, Y. Maeda, K. Shitashima, M. kyo, T. Fujii, T. Noguchi, M. Sunamura, In situ chemical sensing for hydrothermal plume mapping and modeling, American Geophysical Union 2012 Fall Meeting, 2012/12/06, San Francisco (USA). OS13B-1747, 2012
- ③ 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, San Francisco, USA.
- ④ Okamura, K., Hatta, M., Noguchi, T., & Sunamura, M., Development of a 128-channel multi-watersampling system for underwater platforms and its application to chemical and biological monitoring, International Symposium on Paleocyanography, 2012/11/19, Kochi University. (Kochi)
- ⑤ 柳川 勝紀, 布浦 拓郎, 川口 慎介, 平井 美穂, 砂村 倫成, 高井 研, 熱水噴出孔下に生命圏は存在しうるか? 中部沖縄トラフ伊平屋北海域 IODP 掘削 (Exp. 331) からの答え (セッションハイライト), 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 2012/5/21, 幕張メッセ (千葉県)
- ⑥ 砂村 倫成, 深海の雲と微生物, 第 5 回海の研究シンポジウム, 2010 年 7 月 1 2 日, 東大小柴ホール (東京都) (招待講演)

[図書] (計 1 件)

- ① 岡村慶, 朝倉書店, “現場自動化学分析” in 地球と宇宙の化学事典, 日本地球化学会編集, (2012), 472p. 共著

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

山本 啓之 (YAMAMOTO HIROYUKI)
海洋研究開発機構・極限環境生物圏研究センター・技術研究主幹
研究者番号: 30182645

岡村 慶 (OKAMURA KEI)
高知大学・海洋コア総合研究センター・准教授
研究者番号: 70324697

福場 辰洋 (FUKUBA TATSUHIRO)
海洋研究開発機構・海洋工学センター・技術研究主任
研究者番号: 80401272

(3) 連携研究者

リンズィ ドゥーグル (Lindsay Dhugal)
海洋研究開発機構・極限環境生物圏研究センター・技術研究主任
研究者番号: 80344282