

領域略称名：海底下の大河

領域番号：2008

平成25年度科学研究費補助金「新学術領域研究  
(研究領域提案型)」に係る事後評価報告書

「海底下の大河：  
地球規模の海洋地殻中の移流と生物地球科学作用」

(領域設定期間)

平成20年度～平成24年度

平成25年6月

領域代表者 (東京大学・理学系研究科・教授・浦辺徹郎)

## 目 次

1. 研究領域の目的及び概要	3
2. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況	5
3. 研究領域の設定目的の達成度	7
4. 研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況	10
5. 研究計画に参画した若手研究者の成長の状況	11
6. 研究経費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）	12
7. 総括班評価者による評価	13
8. 主な研究成果（発明及び特許を含む）	15
9. 研究成果の取りまとめ及び公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公开发表等）	17
10. 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度	29

## 1. 研究領域の目的及び概要（2ページ程度）

研究領域の研究目的及び全体構想について、応募時に記述した内容を簡潔に記述してください。どのような点が「我が国の学術水準の向上・強化につながる研究領域」であるか、研究の学術的背景（応募領域の着想に至った経緯、これまでの研究成果を発展させる場合はその内容等）を中心に記述してください。

### ■ 本研究領域の目的

1977年ガラパゴス海嶺において偶然海底熱水活動が発見され、その熱水噴出口周辺に豊かな生物群集が観察された。それらは海底面周辺の化学合成独立栄養微生物群集による一次生産に支えられていることが明らかにされた。この発見は、地球の生命活動はすべて太陽の輻射エネルギーによる光合成に支えられているという概念を覆すものであった。天文学者である Gold (1992) はそれを知って「地下生物圏」の概念の提唱を行ったし、地質学者である W. Fyfe は「おそらく玄武岩質海洋地殻の上部 2～3 km は微生物に充ち満ちているだろう」と期待を寄せた。地球表面積の 70% を占める海洋底下に広大な「地下生物圏」が広がっており、原核生物中の有機炭素量で比較すると海洋域の 99% 以上の原核生物は海水中ではなく海底下に棲息するという驚くべき推定が指摘され (Whitman et al., 1998)、地球上の炭素循環のみならず、地球生命のあり方と進化、および地球生命圏の限界について大きなパラダイムシフトが起こりつつあった。

これらの海底下の生態系を支えているのが、海洋底テクトニクスおよびマグマ活動に制御された、海洋地殻内の熱水循環によるエネルギー供給と物質循環である、というのが我々の視点である。海洋底は、透水性の低い未固結堆積物とそれに覆われた非常に高い透水率 ( $> 10^{-12} \text{ m}^2$ ) を持つ空隙に富んだ海洋上部地殻からなり (Fisher et al., 2003)、地球上の水圏の 2-3% が海底下にあると推定された。海洋地殻内のそれらの流体の移動は、循環 (convection) というより、海水の系へのかん養 (recharge) と海洋への放出 (discharge) の間をつなぐ過程であることが多く、移流 (advection) と呼ぶべきである。海洋底は流体/固体地球最大の境界層でもあり、その移流は地球内部からの熱や物質の放出や循環にきわめて大きな役割を果たしていることが容易に推定される。そこでの熱放出のスタイルは、堆積物のない海嶺軸部における高温熱水活動、堆積物におおわれた海嶺翼部における低温熱水活動、および 65 Ma 内外より古い海洋地殻での熱伝導に区分されてきた (Stein and Stein, 1992)。低温の活動を含めた海洋地殻中の熱水循環の総体およびそれによる岩石の変質は、地球の冷却様式を規定することを通じて、全マントルのダイナミクスにも影響を及ぼすことが指摘されており (Ocean Mantle Dynamics Workshop Report, 2002)、海洋地殻中の熱水の移流の広がりをも明らかにするための詳細な研究が求められていた。

このように、全地球的な視野での海洋地殻中の熱水移流の解明は、海洋底地球科学にとどまらない新たな課題といえる。本研究の目的は、既存の学問分野の枠を遙かに超えたこの新しい研究分野に対し、掘削による直接アプローチというユニークな手法と、地球科学と微生物学のチームによる異分野連携体制を構築して挑むものである。

### ■ 本研究領域の概要

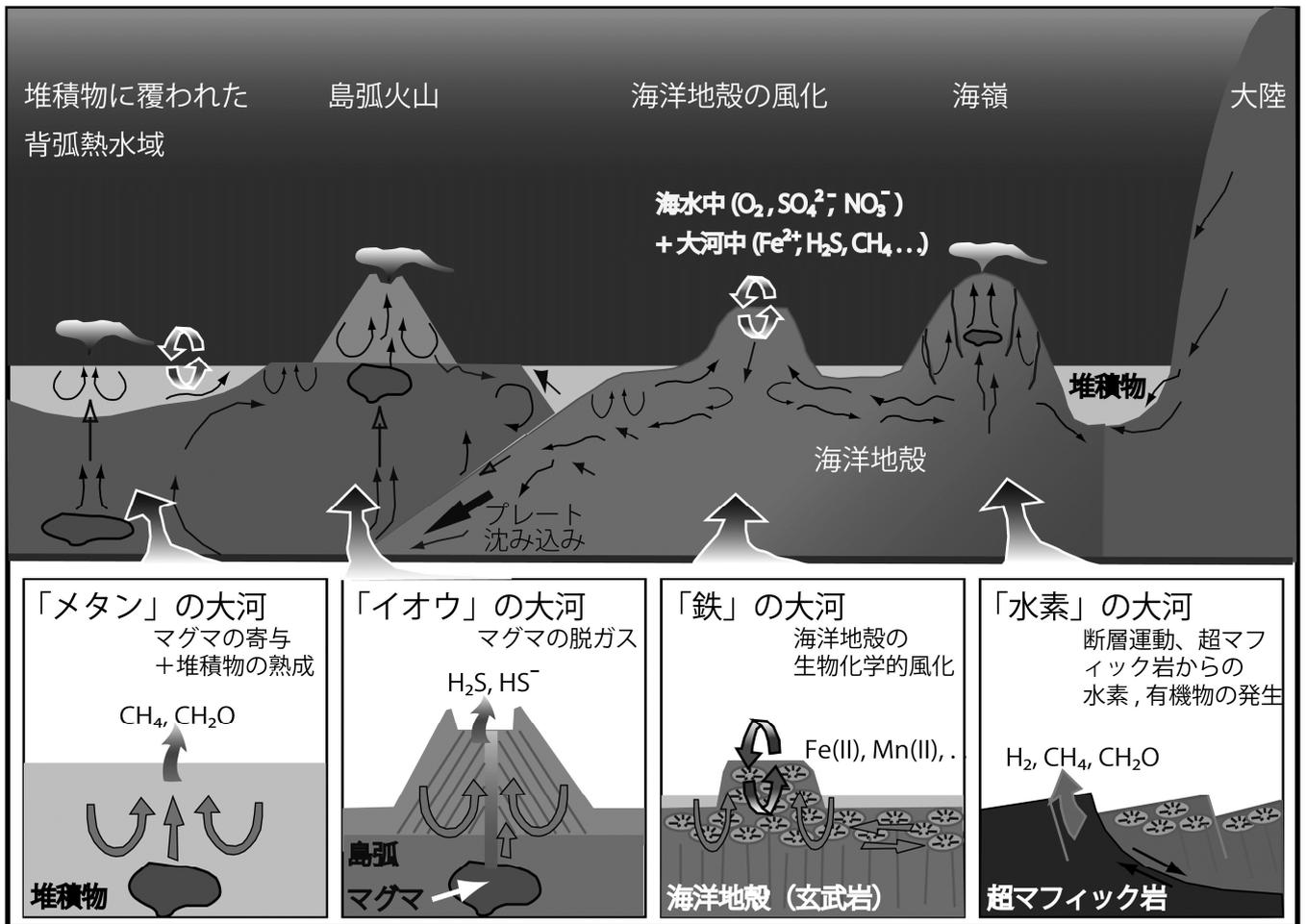
この熱水循環を「海底下の大河」と呼ぶ。熱水循環は単なる海水の熱的循環ではなく、マグマ由来の揮発性成分を初めとするさまざまなインプットを持ち、「流域」では風化や岩石-水反応を通じて地殻と成分のやりとりを行い、陸上の河川と同様に大洋に“流入”してその組成の一部を制御していると考えられる。

この「海底下の大河」は陸上河川のインプットと比肩する流量と化学的なフラックスを有している。たとえば、海嶺における海洋地殻の生成量をもとに求められた熱水量は、海嶺翼部を循環する低温熱水 ( $5^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ ) を含めると  $0.2 \sim 2 \times 10^{19} \text{ g/年}$  と計算される (Mottl, 2003)。この量はほぼ河川水の総流量 ( $3.74 \times 10^{19} \text{ g/年}$ ) に匹敵し、全海水が 70 万年から 7 百万年ごとに海嶺翼部の熱水循環系に取り込まれている計算になる。この点をさらに詳しく見れば、海底下の大河は海洋底テクトニクス、マグマ活動および流域の岩石・地層に制御されてその化学組成や物理化学的パラメータを変化させる。そのようにして形成された大河の水は、そこに棲息する微生物群集を規定するものと考えられる。つまり、海底下生物圏の微生物は地球が育んだ生命であり、地球の内因的エネルギーに依存する生命圏といえるのである。

さらに、「海底下の大河」の“河口”に当たる熱水域では、噴出流体が周囲の海水中を浮力により上昇しつつ拡散混合する。その部分を熱水プルームと称する。プルーム中では化学的非平衡の度合いが大きいことから活発な生物化学反応が起こっている。全海水は数千年に一度このプルームの一部となって「大河」の水と接すると考えられ (German and Von Damm, 2004)、熱水プルームは大河の海底下の部分とあわせて、固体地球が地球表層環境に影響を与えることに寄与している。熱水プルーム中に一次生産があるとすれば、それは直接海洋中の食物連鎖に取り込まれていることだろう。

海底下の大河を介した物質循環と化学エネルギー供給をもとに、化学合成独立栄養微生物が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であるというのが McCollom and Shock (1997) の予測であった。しかし海底熱水活動の場で本当にそのような代謝が起こっているかどうかを知るためには、まず検証すべき仮説を立て、総合的なアプローチを構築すると共に、掘削により海底下に直接アプローチし確かめる必要がある。そこでわれわれは以下の図にあるように、代謝に用いることができる還元物質（電子供与体）に注目して、海底下の大河が4つに分類できることを提案した(下図)。メタン(炭素)の大河、イオウの大河、鉄の大河、および、それらの大元である水素の大河である。これら4種の大河はさまざまなテクトニクス、マグマ活動、および地質条件の所に、それに深く規制されて生成すると考えられる。上にも述べたように、これら4種の大河は、固体地球そのものが元素循環の中で作り出す多様な化学エネルギー源なのである。

この仮説を証明するために、われわれはインド洋海嶺 3 重点、南部マリアナ、および沖縄トラフという主要な 3 カ所のテストフィールドを選定して、地球物理学、海洋地質学、地球化学、地球微生物学および海洋生物学などの広い分野を融合して 5 カ年計画に取り組んだ。以下に述べるように、この仮説は証明され、その試みはほぼ成功したと言って良いだろう。



「海底下の大河」の概念図：メタン(炭素)の大河、イオウの大河、鉄の大河、および、水素の大河の概念と、それらを生み出す地質・地球物理学的環境（テクトニクス）の関係を示す。インド洋海嶺 3 重点には水素とイオウの大河が、南部マリアナには鉄とイオウの大河が、そして沖縄トラフにはメタンとイオウの大河が見られる。

## 2. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況（2ページ程度）

領域内の計画研究及び公募研究を含んだ研究組織と領域において設定している各研究項目との関係を記述し、どのように研究組織間の連携や計画研究と公募研究の調和を図ってきたか、図表などを用いて具体的かつ明確に記述してください。

### ■研究組織間の連携

#### ・一緒に調査船に乗る

本研究領域の特長は何といても地球物理学、海洋地質学、地球化学、地球微生物学および海洋生物学などの幅広い分野の研究者と一緒に調査船に乗り、同じ場所で研究を行い、同一のサンプル(岩石、堆積物、水など)を分けてさまざまな手法で分析・解析したということである。逆に言えば、本領域は別々に研究計画を行い後で統合するのとは異なり、最初から融合的な目的で多様な専門家による航海を行なった。欧米の研究計画では、多くの場合競争的資金を獲得した研究代表者が、単一の目的で航海を実施するのが普通であるが、本計画ではそのような単目的航海はほとんど無く、外国人研究者からうらやましがられた。

#### ・一緒に航海計画を立てる

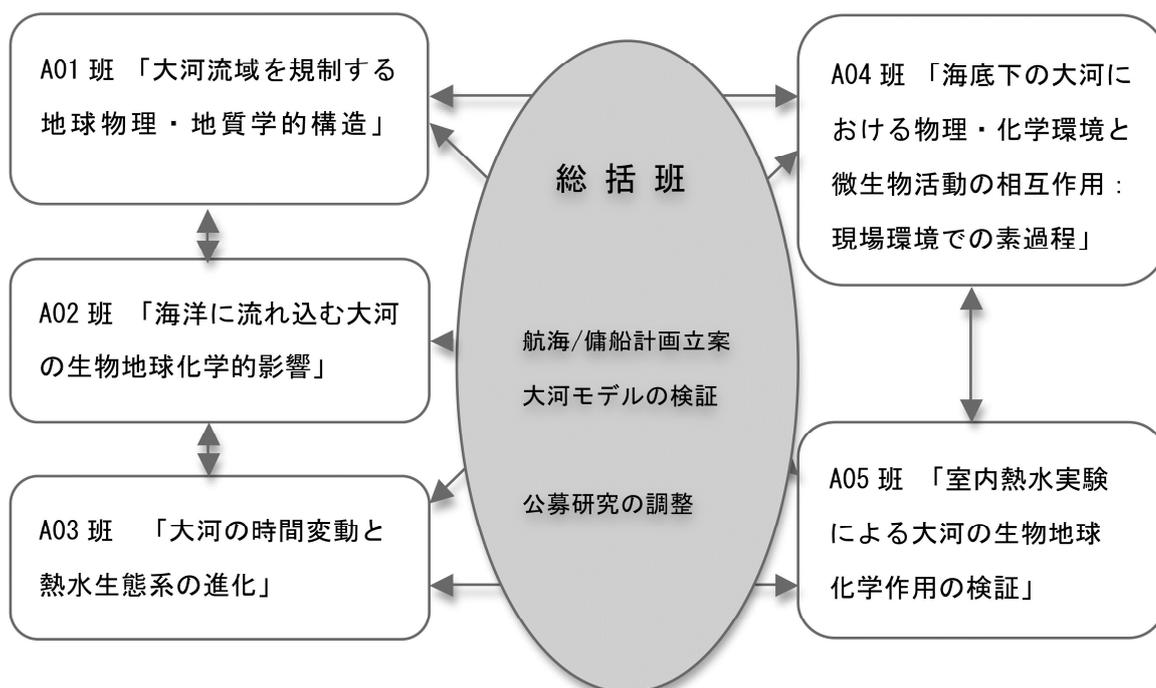
それを可能にしたのが下図の研究組織である。総括班の下に研究テーマ毎に A0-A5 の5つの研究班を作るものの、航海や備船計画は総括班の下で一括管理し、調査旅費もそこに集約することによって、すべてのメンバーが他の班による公募航海への応募であっても事前に情報を共有でき、参加する際も旅費の工面をせずに済むようにした。航海の速報やクルーズレポートは速やかにホームページのメンバー限定サイトにおいて共有され、データやサンプルの交換の目的に供された。また総括班には各研究班の班長のみならず、若手の研究者も加えてメールリスト等で情報を交換してきた。その意味で、総括班はまさに日常的に研究全体を総括していたと言える。

より具体的には、海洋底地球科学の分野でもっとも専門が離れているとされてきた、地質・地球物理学探査研究者(A-01 班が主体)と、海水中の熱水地球化学・微生物学の研究者(A-02 班が主体)とが、南部マリアナにおける自律型海中探査機(AUV)調査を計画立案段階から実施・解析に至るまで協力して実施し、データの突き合わせから新しい熱水噴出孔 Urashima サイトの発見を導いた例がある。

#### ・一緒に論文を書く

後に述べるように、本研究領域で得られた多くの成果論文は異分野の融合の結果生みだされたものである。たとえば、微生物群集の解釈に熱水化学のデータが深く使われていたり、地球物理学の解析に岩石学の結果が組み込まれていたり、枚挙にいとまがない。また A05 班の室内実験では、実際の海底の条件を再現した実験のみならず、酸素に満ちてしまった現在では見ることのできない 30 億年前の海底熱水系の条件を再現したり、水素の大河を支える水素の成因を実験的に明らかにして、重要な研究組織の一翼を担った。

## 「海底下の大河」領域を推進するに当たっての研究体制



## ■若手を分野横断的に育成する協力体制について

大学院生にその専門と異なる分野の研究を学ばせることは多くの困難を伴う。これは異分野に学生を送り出す側と受け入れる側が信頼関係を構築するだけでなく、共同で学生を後押しする必要があるからである。そこで本計画では T-MORE という制度を作った。これは大学院生を 1 ヶ月以上の長期にわたって国内留学させ異分野の考え方と手法を学ばせるもので、これにより 8 名が支援を受け、研究者として大きく成長した。

具体的には、無機地球化学(博士後期学生)→海洋底地球物理学、構造化学(博士前期学生)→地球微生物学・生態学、構造化学(博士前期学生、上とは別)→高温高压実験、同位体地球化学(博士前期学生)→海洋生態学、地球微生物学(博士後期学生)→同位体地球化学、有機地球化学(博士後期学生)→同位体地球化学、などで、非常に多様である。これら全員について「海底下の大河」ホームページでブログが公開されている。T-MORE システムや度重なる集会や議論を通じて、若手が自分の専門以外の研究領域に対して大きな障壁を感じず、学際性というものが現実に目の前に当たり前のように存在しているものだということを体現させることができた。この結果、本領域の若手は学際研究が当たり前であるという感性を既に有している。多くの学術論文は、若手によって書かれたものであり、多くの中堅研究者を育成したことが誇れる成果である。

## ■国際協力体制について

本研究領域では国際海嶺研究計画(InterRidge Program)と密接な協力のもと、各国の研究者と連携すると共に、研究情報の交換を行ってきた。特に、この組織を通じて貴重な熱水生態系の保全を求めるガイドラインの作成や、資源開発関連組織への働きかけなどの重要な役割の一翼を担っている。

平成 24 年 12 月に開催されたアメリカ地球物理学連合(AGU)の秋期合同大会(Fall Meeting; 参加者約 2 万人)において、InterRidge を通じて 2 つの共同セッションを組織し、本研究領域から合計約 40 件の口頭及びポスター発表を行った。

## ■総括班について

上図にあるように A01~A05 班は仮説の検証に必要な分野を“隙間無く”カバーするものであった。それらの班の間の連携をより確実なものとするため、計画発足時から「大河モデルの検証」は総括班の役目としていた。これを実現するため、総括班の主導の下、3 回の全体会議(ないし合宿)を実施し、研究結果の相互紹介とモデルの構築を行った。これは大学院生も含めて参加・発表しており、いずれも 60-70 名が集まって朝から深夜まで議論が行なわれた。

## ■公募研究について

本研究領域では 2 度にわたり公募研究の募集を行った。これは研究組織内で専門家が居ない分野の研究者に広く参加を呼びかける良い機会と言える。そこでメンバーの期待は大きかったし、実際熱水拡散の数値シミュレーションなどの分野で非常に良いコラボレーションを実現することができた。しかし総体的に見ると、応募者が少なくチョイスがなかったり、公募研究の趣旨を理解せずに応募してきた人も居たりして、必ずしも成功とは言えなかった。当方の希望研究テーマを前面に出すことへのためらいから、正しく情報を伝えきれなかったという当方の反省もあるものの、公募研究の研究期間が短いこともあって、双方の呼吸を合わせることは必ずしも容易ではなかった。数は多くないものの、重複申請ができるもう一つの科研費種目という理解で応募してくる人がいる場合、それらを排除することは難しいのではないだろうか。

### 3. 研究領域の設定目的の達成度（3 ページ程度）

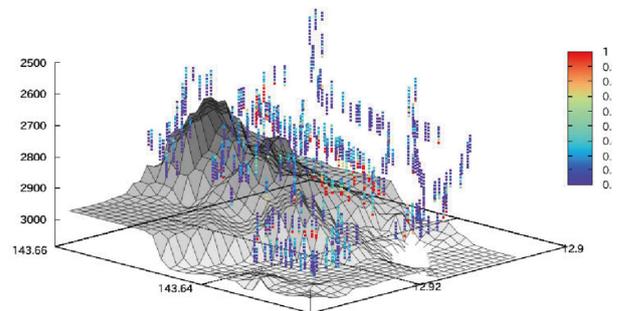
研究期間内に何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか、また、応募時に研究領域として設定した研究の対象に照らしての達成度合いについて、具体的に記載してください。必要に応じ、公募研究を含めた研究項目毎の状況も記述してください。

#### A-01 班：

- ・A-01 班の研究目的は、固体地球と海洋境界部の現象を支配する海底下の流れ場の地質・地球物理学的環境（テクトニックセッティング）がいかに大河の水（流体の物理・化学特性）や河口（熱水噴出孔）の様式を支配するかを観測に基づいて解明することである。
- ・研究対象とした海底熱水域は、南部マリアナ、インド洋海嶺 3 重点の 2 つの重点観測域であった。以下、そこでの主要な結果のみ述べる。
- ・南部マリアナ熱水域（イオウの大河）では、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。
- ・インド洋海嶺 3 重点の **Kairei** 熱水フィールド（水素の大河）における地震計・海底電位差磁力計観測が 24 年度末(本年 2-3 月)に延期されたため、その結果は解析中である。過年度に実施した同海域の浅部構造の解析結果によると、熱水系の発達と化学的性質がテクトニックな海底拡大に起因する地下浅部のガブロ・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明らかになった。また、「水素の大河」周辺に分布する岩石類の分布を詳細に知ることができ、通常の拡大系の岩石類との比較が可能になった。
- ・このように、計画していた 2 つの重点観測域の観測研究はほぼ予定通り実行でき、各熱水系の特性を明らかにすることができた。
- ・一方、当初の目標を達成できなかった点もある。熱水作用により変質した岩石類の分析は可能となったが、どのようなテクトニクス上の条件および熱水変質条件が整えば、特に「水素の大河」が作られるのか、という点についての完全な解明はできなかった。
- ・さらに、中間評価でも遅れが指摘された数値シミュレーション研究が、担当研究者の異動等により達成できなかった。航海延期によるインド洋深部構造解析が未完であることとあわせて、全体の達成度は **70%** と自己評価している。

#### A-02 班：

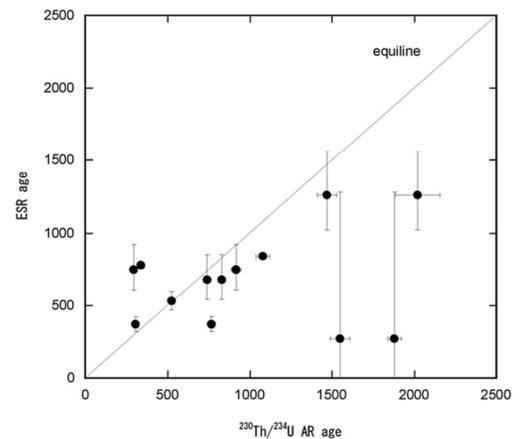
- ・A-02 班の研究目的は、大河流域の直上に形成される熱水・冷湧水プルームを最新の化学センサーにより検出する技術と、プルーム中の微生物・動物プランクトン群集の定量計測技術を組み合わせた現場観測を行い、プルーム形成とその中に発達する生態系モデルを検証することにある。このプルーム解析により、「大河」が海洋に直接あるいは間接的に及ぼす生物地球化学および生態学的な影響の時空間定量化を目指すことである。
- ・熱水プルーム観測のため、現場測器・サンプリング装置・音響探査手法を開発し、西太平洋やインド洋の 18 箇所の熱水域にて、自律型海中探査機(AUV)を用いた調査を含む深海熱水プルームの時空間定量化調査を実施した。その結果、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が見出され、プルーム内での 4 つの大河仮説が検証された。(なお、右図は A-01 班と共同で AUV に搭載した音波濁度センサーによる詳細な三次元プルームマッピング結果を地形図上に表示したものである)。
- ・具体的な熱水プルーム観測方法の開発と適正化：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。



- ・熱水プルーム中での大河仮説の実証：西太平洋、インド洋の18の熱水活動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γプロテオバクテリアが優占し、その割合は熱水の化学成分に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を明らかにした。
- ・熱水プルーム中の食物連鎖メカニズムの解明：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発見した。
- ・動物プランクトンの採取方法：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。
- ・一方、当初の目標を達成できなかった点もある。それは、公募研究で目指していたプルームの数値シミュレーションである。一定の結果は得られたが、上記の成果を元にしたシミュレーションは行なうことができなかった。よって、全体の達成度は90%と自己評価している。

#### A-03 班：

- ・A-03 班の研究目的は、「大河」の活動について数年から数千万年にわたるタイムスケールでの時間変動を評価することである。具体的な研究手法としては、「大河」の活動記録として海底面上に形成される熱水性鉱床と熱水域の生物群集に着目し、地球化学的な解析と生物学的な解析によって年代情報を取得する手法をそれぞれ確立することである。
- ・海底熱水活動域から採取される鉱石試料について地球化学的年代決定法を適用する手法を開発し、長期（数年～数万年）のタイムスケールにわたる海底熱水活動の時間変動をより精確に評価する手法を確立した。
- ・具体的には、熱水活動域から採取された熱水性沈殿物の塊をブロックに分割し、ブロック中に含まれる硫酸塩鉱物に対して電子スピン共鳴法(ESR 法)を、硫化鉱物に対して U/Th 放射非平衡法を適用することで、年代決定のクロスチェックを行った所、得られた年代値が比較的良好な一致を示した(右図)。熱水性鉱石試料を対象とした年代決定法のクロスチェックはこれまでに研究例がなく、本研究により初めて信頼性の高い年代値が得られることを示すことができた。
- ・海底熱水域固有生物種について遺伝子解析と生態学的解析を用いて、その熱水域生態系の進化・発達に関する時間的情報を得る手法を確立し、複数の熱水活動域に対してこの解析を適用することで熱水活動史に制約条件を与えることができた。たとえば、マリアナトラフのアルビンガイ集団を対象とした分子系統解析から、遺伝的特性と地理分布を異にする2つのグループから成る事が示され、両者の分岐は約90万年前で、20万年ごろに急速に個体数が増加したことが推定され、熱水活動の消長との関連性が示唆された。
- ・マリアナトラフ海域では、南部マリアナトラフの3つの熱水域の熱水性鉱石の年代決定により、拡大軸から遠い熱水域ほど古い年代を示す傾向が得られた。この結果は、拡大軸上の熱水域は断層活動に伴い他の場所に移動しやすいのに対しオフリッジの熱水域は同一地点で継続する傾向が強い、という地質学的な予想と一致するものである。しかし、熱水域間の距離が短いこともあり、3つの熱水域の間での生物種の進化段階を見いだすことはできなかった。今後、中部マリアナトラフの熱水域から鉱石試料を採取して解析することができれば、生物学的解析から示されたマリアナトラフ域全体に対する生物種の進化史を裏付けることができると思われる。
- ・海底熱水活動の経時変動に関する議論はこれまで観察情報にもとづく定性的なものにとどまっていたが、上記の全く異なる原理に基づいた2つの手法を組み合わせることで定量的なデータに基づく議論が可能になることを示すことができた。
- ・ただし、航海時期が遅かったこと、調査航海日程が予定どおりとれなかったことなどから、研究期間内に十分な試料数の解析を研究期間内に終えることができなかった。現在、これまでの解析結果をつきあわせて議論を進めている。これらの成果をもとに、全体の達成度は90%と自己評価している。



#### A-04 班：

- ・A-04 班の研究目的は、「水素」「イオウ」「メタン」、そして「鉄」の4つの「大河」における様々な段階・領域の物理・化学環境と微生物活動の相互作用を解き明かし、微生物が関与するエネルギー・物質循環の全体像を紐解くことである。特に、「大河」の現場環境(フィールド)における素過程を、高精度観察及び分析、反応・機能解析により明らかにすることを目的とする。

- ・世界に先駆けて、現場ラジオアイソトープ及び安定同位体トレーサー培養器、現場間隙水抽出装置及び現場化学計測機器の製作を行い、ラジオアイソトープによる活性測定法やバイオマスプロダクションの定量法を確立した。これにより、エネルギー代謝のフラックスを定量できるようになった。
- ・それらを用いた調査により、沖縄トラフ熱水中に含まれるメタンが、熱水近傍の熱水循環系において有機物の熱分解や好熱性メタン菌による微生物活動によって生成されたものではなく、むしろ熱水活動域から遠く離れたトラフ堆積物の深部で微生物共栄養によって生成されたものであるとする、全く新しい「広域的な海底下の大河」構造モデルを発表した。
- ・沖縄トラフにおける「ちきゅう」IODP 掘削により、巨大な海底下熱水の移流・滞留層の発見と、気液二相分離に伴う熱水密度成層構造の存在という、熱水系の大構造を明らかにした。これは掘削によってのみ可能な発見である。
- ・中央インド洋海嶺調査航海では、地質学的条件の異なる新たな熱水活動を2つ発見した。インド洋における熱水の化学組成の多様性（大河の多様性）を明らかにすると共に、熱水生態系の多様性を見出した。さらに、インド洋の水素に富んだ熱水活動域にて、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を明らかにした。
- ・南部マリアナ「イオウの大河」では、微生物-物理化学因子相互作用、各種無機エネルギー源の濃度分布やフラックス、原動力についての解析及び考察、安定同位体を用いた（微）生物活動の定性・定量評価、微生物生態学的手法やゲノミックス的手法を用いた微生物群集構造や機能の解析を行い、物理化学因子と微生物群集の分布及び生態との相互作用メカニズムについて理解を進めた。
- ・北部マリアナ「鉄の大河」については、鉄の酸化還元存在状態の解析・金属元素の特異的集積と微生物活動の相互作用についての解析を進め、鉄依存型の微生物生態系の存在を明らかにした。IODP 大西洋「鉄の大河」の流域の掘削航海で得られたサンプルについて微生物学的研究をすすめ、「鉄の大河」における硫黄酸化菌や水素酸化菌の重要性を見だし、「鉄の大河」が本当に存在するのかという問題提起を行った。
- ・このように4つの「大河」の総てにおいて、多くの海底掘削や深海調査によって得られたデータに基づき大河モデルの検証を行い、そのモデルがおおよそ整合性をもって成立していることを見出した。これらの成果をもとに、全体の達成度は100%と自己評価している。

#### A-05 班：

- ・A-05 班の研究目的は、「大河」流域環境の地質学的要因、流体の物理・化学組成、微生物生態系の多様性・機能の相互作用について実験に基づいた検証を行うため、典型的な「大河」の物理化学環境を水熱実験によって追跡し、岩石-水-微生物間の反応素過程とそのリンケージを明らかにすることによって、4つの「大河」の仮説検証と理論構築を行うことにある。
- ・岩石-海水反応実験では、水素の大河再現実験を行い、カンラン石や酸化アルミニウム濃度を变化させた合成コマチアイトと模擬海水との 300-400 度、500 気圧の実験により、水素の大河が成立する濃度である数 mM の水素の発生が確認された。さらに地球生命発生時に普遍的であった高濃度二酸化炭素海水と玄武岩との反応によりアルカリ高温熱水の再現に成功し、現世の酸性熱水との差を明らかにした。
- ・BMS 掘削によりマリアナの熱水地帯から得られた安山岩を人工海水と反応させる実験を行い、島弧の熱水活動に特有な元素群の見かけ上の分配を決定し、安山岩、熱水および熱水沈殿物（硫化物）の元素組成間に強い相関があることを明らかにした。その結果、もしマリアナトラフなどの島弧の熱水活動を勘案すると、ほとんどの元素で熱水は河川による寄与とほぼ同等の海洋へのフラックスを持つことが明らかとなった。
- ・岩石同士の摩擦実験により高濃度の水素が発生することを確認した。このときの水素発生量は、摩擦の仕事量に比例する。さらに、**Gutenberg-Lichter** 則を用いて地震のマグニチュードとの関係に変換すると、海嶺や沈み込みで頻繁に起きている微弱な地震でも、メタン菌を一次生産者とする生態系を維持するのに十分な数 mM という濃度で水素が発生することが明らかになった。この結果は、断層に伴う海底下生命圏の可能性を示唆するものであり、波及効果は大きい。
- ・南部マリアナトラフのチムニーから得られた古細菌（アーキア）および真正細菌（バクテリア）を接種した、フロー型熱水循環微生物培養装置を現在なお運転中である。実験生成物の化学的、微生物学的解析を実施予定である。
- ・熱水系のような水の多い環境では、アミノ酸の重合化の進行は遅いというのが常識であるので、アミノ酸重合化反応と粘土鉱物・水との関係を実験的に検討した。その結果、粘土鉱物（スメクタイト）と無水条件下で反応させた場合にのみ、グリシンの重合が確認された。熱水系や堆積物の深部で期待される 100-150°C 程度までの間隙水が少ない環境下で重合化反応が促進されることが明らかになった。
- ・今回開発したフロー型熱水循環微生物培養装置は、先進的な機能を持つ実験装置であるが、構造が複雑で運転が難しかったため、やっと実験ができるような状態となった。そのため進捗が遅れていることもあり、全体の達成度は70%と自己評価している。

#### 4. 研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況（1ページ程度）

研究推進時に問題が生じた場合には、その問題点とそれを解決するために講じた対応策等について具体的に記述してください。また、組織変更を行った場合は、変更による効果についても記述してください。

##### ■開始当初の問題点：調査船の確保と調査許可の獲得

- ・**問題点：調査船の確保**：本領域は日本周辺及び海外のフィールドにおける研究航海を中心として設計されたものである。よってまず研究航海を実現しなければならないが、通常、調査船の運航計画は1年前に決められるので、前倒しの取り組みが不可欠である。今回の新学術領域は5カ年計画であり、その意味では大変に有難かった。しかし研究開始時に実際に計画実施に取り組むことができたのは初年度の12月になってからであり、スタートで大きなハンディキャップを負うことになった。  
さらに、本計画のように公募航海の船舶にない機能である海底掘削が必要な場合、その機能を持つ船を用船するか、統合国際深海掘削計画(IODP)などの計画に応募せざるを得ない場合が出てくるため、本計画そのものが用船の都合に大きく左右される恐れが出てくる。
- ・**対応**：申請時には採択済み、内定、申請中などを含め、9航海を予定していたが、メンバーの危機感がバネとなり第1期2年で海洋研究開発機構(JAMSTEC)公募研究が順調に採択され、倍の18航海を実施できた。第1期3年目および第2期を加えると合計46回もの航海を実施することができた。一方で、以下に述べるように外部計画の予定がずるずる延期されると、最大限の効果を活かす方法がとれない恐れが出てくる。
- ・**問題点：外国での航海**：本計画のように外国の排他的経済水域(EEZ)での調査を行う場合、調査開始日の6ヶ月前までに当該沿岸国に対し、国連海洋法の規定に従って、科学調査の申請(Application for Consent to Conduct Marine Scientific Research)を提出しなければならない。今回、対象となったのは米国（注：米国は国連海洋法を批准していないが、この手続きに関しては加盟国と同様の手続きを要求している）とモーリシャスである。しかし近年、この申請に対し認可されないケースが増加している。さらに、本計画の場合、南部マリアナにおける第2白嶺丸の掘削調査の前に米国に対して申請を出す必要があったが、窓口となった文部科学省のある課の職員が、東京大学側の度重なる依頼にもかかわらず提出書類を長期にわたって保持し、次の窓口である外務省国際法局海洋室に回さなかったため、申請時期が6ヶ月の期限を大きく割り込み、航海中止寸前まで追い込まれた。
- ・**対応**：事情を理解して下さった外務省海洋室がその後の手続きの迅速化に大変協力下さり、グアム出港当日の朝になって米国から許可状が出たとの知らせを、海洋室から直接、受けることができた。本来この通知は再度文部科学省を通じて東京大学に伝えられるべきものであるが、その後も伝えられることはなかった。幸いこのケースでは、海洋室の機敏な対応が窮地を救ってくれた訳であるが、他国のEEZ内の科学調査が今後ますます困難になっていく中で、政府内で迅速な対応がなされないと、申請時期が過ぎていることを理由に断る(時間切れにする)口実を相手国に与えてしまうことになる可能性がある。

##### ■研究推進時の問題点：航海の中止・延期

- ・インド洋海嶺三重点のKaiei 熱水フィールド（水素の大河）における地震計・海底地震計観測を23年度に予定していたが、東日本太平洋沖地震発生後の放射能調査等に観測船が利用されたため航海が24年度末に延期された。この観測に関わる経費の繰越申請を行い、24年度末（平成25年1月～3月）に観測を実施した。これにより、予定していたデータ解析が平成25年度にずれ込むことになった。
- ・沖縄トラフ伊平屋北熱水域（メタンの大河）における(微生物—物理化学因子の相互作用についての深海掘削船「ちきゅう」を用いた統合国際深海掘削計画(IODP)掘削航海については、高井(A-04 班研究代表者)によるプロポーザルが受理されており、「大河河口域」および「大河流域」における複数の掘削航海が平成21年に実施される予定であった。しかし、実際には平成22年9月～10月に1回だけ、半分の日数で行われたに留まっている。以下に述べるように、この掘削の航海後の研究は本計画で行われ大きな成果が上がっているものの、本来計画されていた、周辺部の深い掘削は行われず、残念な結果と成った。
- ・このような航海計画変更は、やむを得ない事情があり不可抗力とはいえ、準備に時間と労力を掛けてきた我々にとって大きな失望といらだちをもたらすものであった。海洋における研究には、荒天待機という日常的なリスクとともに、このような本質的なリスクがある。これらの問題を研究の達成度が満点ではないことの言い訳にするつもりは全くないが、評価される方には是非理解して頂きたいことである。

##### ■組織変更

組織変更は行っていない。

## 5. 研究計画に参画した若手研究者の成長の状況（1ページ程度）

研究領域内での若手研究者育成の取組及び参画した若手研究者の研究終了後の動向等を記述してください。

### ■T-MORE 制度の実施

本研究領域では独自に T-MORE (TAIGA Mentorship On Research and Education)制度を作り、大学院生に、出身研究室以外の異なる環境において 1 ヶ月以上の長期にわたり研究する機会を与えた。審査は「若手の会」に任せ、総括班はその結果に基づき旅費支援や書類整備などの手続きを行う。この制度は領域内の指導教員、受け入れ研究者が全員賛成して開始したもので、合計 7 名が参加した。参加した学生には必要最小限の旅費等の支援を行ったが、受け入れ側はボランティアで引き受けた。学生は [海底下の大河] ホームページのブログで日報を公開している。

その内から引用すると、「今回の T-More では今までに体験したことのない経験をたくさんさせていただきました。蛍光顕微鏡観察は最初はピントを合わせるだけでも一苦勞でしたが、最後らへんになるとその作業も大分素速くできるようになりました。やはり経験は大切だと実感しました。今回の T-More で異分野の研究室に行くことにより、新たな発見があったと同時に、自分の研究室の素晴らしさも知ることができました。」

([http://www.gbs.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~taiga/Blog/TaigaBlog/TAIGA\\_Blog/TAIGA\\_Blog.html](http://www.gbs.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~taiga/Blog/TaigaBlog/TAIGA_Blog/TAIGA_Blog.html))

本領域ではこのように領域全体で若手の人材育成に当たった。上記の引用にもあるように、学生達は指導教員が想像する以上に多くを学び、また自分の領域のすばらしさも実感したようである。

### ■「若手の会」の活動

本領域に参加したほとんどすべての大学研究室において大学院生が乗船研究の機会を与えられた。教員の中には乗船経験が無い人も居られるが、院生にとって抵抗なく経験を積むことができたようである。これは学生旅費も総括班で一括管理していたため、研究室に負担をかけずに済んだこともプラスに作用したかも知れない。船の中では「同じ釜の飯」を食べる事から、日本中の仲間と友人になることができ、自然と「若手の会」の結成につながった。総括班では彼らの活動を支援すると共に、国際研究集会などの機会を促して外国人研究者に協力を呼びかけ、少人数での英語の発表練習と指導の機会を設け、その後の国際学会での発表支援を行った。

## 6. 研究経費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）（1 ページ程度）

領域研究を行う上で設備等（研究領域内で共有する設備・装置の購入・開発・運用・実験資料・資材の提供など）の活用状況や研究費の効果的使用について総括班研究課題の活動状況と併せて記述してください。

### ■用船費

- ・本計画で最大の費用を投入したのが（独）石油天然ガス・鉱物資源開発機構 JOGMEC 所有の「第 2 白嶺丸」およびそれに搭載された海底設置型掘削装置 BMS の用船費である。BMS は最大 10 数メートルしか掘削能力がないが、世界で唯一と言って良いほどの掘削実績を持ち、信頼が置ける掘削装置である。母船（第 2 白嶺丸）から吊り下げ、装置に取り付けたハイビジョンカメラで海底を見ながら掘削点を決める事ができるという大きな利点がある。
- ・我々はさらにこの装置の掘削泥水装置に改良を加えた。これは掘削クズを掘削孔から取り除くための掘削泥水（海水）の取水口に多段フィルターを取り付け、掘削泥水中の微生物をすべて取り除くことにより、地下生物圏に海中の微生物を注入することの無いように気を付けた。このような無菌掘削は世界でほかに誰も実現できていない手法である。
- ・本計画では 2010 年 06 月 14 日～06 月 23 日の間南部マリアナにおいて、2011 年 5 月 31 日～6 月 9 日の間中部沖縄トラフにおいて、あわせて 2 回の用船を行った。マリアナにおいては 4 カ所の熱水域において 12 本の掘削を行い、合計 41.93m 掘進し 25.22m のコアを得た。沖縄においては 3 カ所の熱水域において 8 本の掘削を行い、合計 23.59m 掘進し 12.17m のコアを得た。
- ・これらはいずれも化学分析、岩石学的解析、鉱物解析、微生物解析、変質鉱物解析などにまわされた。特にマリアナの硫化物鉱石の解析から、深度により異なる鉄酸化菌の微生物クローンが同定された。さらに、掘削後に挿入されたチタン製のケーシングパイプから湧出する低温熱水中に「鉄の大河」の存在を示す微生物群集が得られた (Kato et al., 2009)。これらは、無菌掘削を行ったことによる成果と言える。
- ・沖縄トラフ伊是名海穴 HAKUREI サイトで行った掘削では、海底面下に 2 枚目の塊状硫化物層が存在することが明らかとなり、下位層の生成年代がほぼ 11000 年であることが ESR 法で明らかとなった。これは、熱水活動が同じ場所で繰り返し起こっていたことを示す初めての結果である。掘削によって初めて明らかになった、このような熱水活動の開始、休止、再開という現象は大河の構造を解析する上で貴重なデータである。
- ・よって、用船費は効果的に使用されたと見なすことができるだろう。

### ■備品費

- ・蛍光 X 線分析装置（専修大学）：A01 班の関係する岩石類の主成分元素測定に用いている他、A03 班が対象としていた、熱水性鉱物の化学分析値について、他の手法と比較するために分析を行うなど、班を越えて、必要な分析を行う体勢が整い、使用されている。
- ・レーザ加熱システム（海洋研究開発機構）：計画されていたごく少量の鉱物試料から年代決定を行う手法の開発において、アルゴンを保持する部位を選択的に破壊、アルゴンを抽出する装置として導入された。ただし、このシステムを設置した既存の質量分析計が故障などによりその性能が十分に得られない状態が続いた。このため、既知試料を用いた分析手法の確立のための条件検討を主にこれまで進めてきた。試料の性質から背弧海盆の試料については精度が確保されることがわかったので、その分析を進めて A01 班の研究に有用なデータを提供しつつある。今後は、質量分析装置の低ノイズ化など検出側の装置性能向上をあらためてはかることで、計画された目的への使用が期待される。
- ・微量元素測定用 ICP 質量分析装置（東京大学地震研究所）：年代決定法の開発において、熱水性鉱石から目的の元素（ウラン、トリウム）を化学分離する際の元素移動の追跡や元素回収率の評価を行うために利用され、こうした前処理法の検討において効率の向上に貢献した。また、熱水性鉱石中に含まれる微量元素化学濃度の分析にも利用されるようになり、鉱石形成過程における元素挙動を明らかにする研究への利用も進んだ。
- ・ガス状放射性同位体トレーサー測定システム（海洋研究開発機構）：メタンや CO<sub>2</sub> の生成／消費実験の検出や定量に大きく寄与している。これによる研究成果については 3. 研究成果の A-04 班の項目を参照。
- ・その他、単品としては額が小さいが、数多くの現場型機器類を多数製作・購入した。特に、A-01 班の成果で述べた、自律型海中探査機 (AUV) へ装着したセンサー類、海底電位差磁力計、A-02 班で述べた現場測器・サンプリング装置、船上微生物細胞測定装置などはいずれも広範な航海で専門の垣根を越えて使用され、本計画の成果の多くを支えた。
- ・特に強調したいことは、備品予算の申請についてはすべて総括班で妥当性を議論してからなされたことで、あらかじめ計画全員の用に供することが約束されていた点である。このやり方により、総てのメンバーが機器や装置の存在を知り、T-MORE などの機会を通じて、広く共用されたという点である。

## 7. 総括班評価者による評価（2 ページ程度）

総括班評価者による評価体制や研究領域に対する評価コメントを記述してください。

### 総括班評価者：川幡穂高(東京大学大気海洋研究所、教授)による評価(テキストをペースト)

#### 1) 研究計画について

文部科学省科学研究費新学術領域研究「海底下の大河：地球規模の海洋地殻中の移流と生物地球化学作用」(2008-2012 年度)は、統合国際深海掘削計画(IODP)と並んで、わが国の幅広い研究者が集まって実施された、**海洋底地球科学分野における主要な研究計画**として、特記すべき事例である。計画研究代表者である沖野郷子、砂村倫成、石橋純一郎、高井 研、および鈴木勝彦(敬称略)はいずれも第 1 線でわが国の海洋科学を牽引している中堅研究者であり、海洋地球物理学、海洋地球化学、および海洋地球微生物学の広い分野をカバーしている。昨年 12 月にサンフランシスコで開催されたアメリカ地球物理学連合(AGU)の **Fall Meeting** において、本計画に属する院生・ポスドクを含め 40 名を超えるメンバーが成果を発表したのは、この研究が多くの成果を生んだことの証拠であるといえる。

#### 2) 総括班体制について

本計画の領域代表者であり、総括班班長である浦辺徹郎教授は、科学技術振興調整費により大型海洋底科学計画を率いてきた人である。1993 年度～1998 年度にリッジ・フラックス計画（海嶺におけるエネルギー・物質フラックスの解明に関する国際共同研究）、2000 年度～2004 年度にアーキアン・パーク計画（海底熱水系における生物・地質相互作用の解明に関する国際共同研究）を成功させ、世界中の海底熱水活動を積極的に調査すると共に、わが国における熱水活動研究を主導してきた。

今回の海底下の大河計画は、それらの成果の上に立ち、新たに強力な陣容を集め、仮説検証型の問題提起を行ったものである。わが国の海洋研究は予算規模が小さく、備船を行って研究することはほとんど無いが、本計画では海底掘削のために「第 2 白嶺丸」と海底設置型の掘削装置 **BMS** を 2 度にわたって備船するなど、大型研究の持ち味を活かした計画となっている。それらを主導した領域代表者のリーダーシップは評価されて良いだろう。

そのこともあって、総括班評価者として特にこうすべきと申し上げた点はない。ただし成果についてタイミングを失せず発表していくことはぜひ実行して欲しい。国内シンポジウムをもっと積極的に開催してもよかったと思われるが、今回本研究で航海を年間絶え間なく実施されたことを拝見し、シンポジウムを開催する時間とタイミングがあまりなかったであろうことも納得された。

#### 3) 若手育成について

他のどの分野よりも分野融合的な知識が必要な海洋底地球科学において、本研究課題の存在は研究者にも学生にも刺激を与えている。本計画では、若手の会の発想により **T-MORE** 制度という異分野チャレンジ制度を実施され、8 名もの院生が参加したことは素晴らしく、他の計画でも実施すべきであると感じた。また、ポスドクについて、研究室の出身者は雇用しないことを全員で決め、若手の視野拡大を図ったことは地味ながら有効な方式と考える。このようにして、本計画では 10 名程度のポスドクが雇用されたと聞いているが、その内の何名かを見ていると、議論の中にさまざまな分野のデータが使われている。それがすべてこの計画の成果かどうかは分からないが、細分化された分野内のみの整合性で議論するといったことは少なくなって居るようだ。彼らの研究の今後の進展を見守りたい。

#### 4) 新学術領域の創出について

本計画は科研費の新しいカテゴリーである新学術領域研究の第 1 年度目のテーマの一つである。新学術領域は、5 年間で新たな学術領域を創ることができたかどうかで評価されると聞いている。評者は専門が少し違うのでこの分野の事情に通じているわけではないが、このテーマは世界的に見ても最先端であることは言えるようで、実際、本研究計画が走り出した 1 年後、米国では **K.J. Edwards (USC)** が “**Dark Energy Biosphere**” を、ドイツでは **Kai-Uwe Heinrichs (Bremen U.)** が “**DARC-LIFE**” という、よく似た大型研究を開始した。本計画の皆さんはこれらと研究者と交流があるようで、上記の AGU でも共同でセッションを開催していた。本研究計画の、海底下の大河というネーミングは外国でも評判が良く（それまでは海底下の海 **sub-seafloor ocean** と呼ばれていた）、その概念は海洋研究者の間に共有されているようであった。海底下に巨大なバイオマスがあるのでないかという当初の過大な推定は否定されつつあるものの、それらの地球上の生物必須元素である炭素や窒素の循環にこの地下生物圏が果たしている役割の大きさと重要性については、認識が広まっているようだ。今後は熱水系のみならず、さまざまなテクトニクスの場合の海底下生物圏の実態と挙動を調べなければならないが、

この新たな分野が今後とも海洋底地球科学の重要なトピックとなり続けることは間違いないだろう。その意味で、科研費の新制度が求めた成果である新領域の創出は、姿を現してきていると評価できる。

領域代表者は本年3月に定年退職されたが、5人の計画研究代表者はまだ若いので、次の計画の提案をすべきであろう。というのも、IODP計画の事実上の縮小に重ねて、本計画が終了すると、海洋底地球科学分野での大規模計画が無くなり、調査・観測機器の開発や人材育成に支障を来すからである。ぜひ活発な提案を期待したい。

#### 5) 広報体制について

他の新学術領域研究のホームページには非常に活発なものが散見されるが、本計画のそれはあまり更新されておらず、やや見劣りがする。ブログに学生達が乗船の感想を載せているのは面白いが、研究で得られた成果は論文リストの形で載せられているだけで、一般の人には全く分からないだろう。このような研究は多額の備船費や旅費がかかるので、ホームページに費用を掛けられなかったのかも知れないが、能力のある院生などを使ってはどうだろうか。なお、東大の大気海洋研では沖野准教授が自分のホームページに本計画の紹介をしており、本体のHPの情報不足をカバーしている。

評価できるのは地学雑誌(2009, vol.118, No.6)に特集号:「海洋地殻内熱水循環と地下微生物圏の相互作用」を編集し、計画の概念とそれまでに得られた結果をまとめて出版したことである。関心のある人には良い導入論文となっており、ホームページだけでは理解できない内容を知ることができる。(特集号の内容はJ-Stageから無料でダウンロードできる。)

#### 6) その他の波及効果

本計画とは直接関係はないが、海底熱水鉱床を対象とした海底資源開発が高い社会の関心を呼んでおり、経済産業省資源エネルギー庁関連の(独)石油天然ガス・鉱物資源開発機構 JOGMEC が10カ年計画を立てて取り組んでいる。また文部科学省も海底資源探査に向けたセンサー開発「基盤ツール」プログラム(「海洋資源利用促進技術開発プログラム 海洋鉱物資源探査技術高度化」)を実施している。特に前者の、環境影響評価技術開発には、本計画に関わっている研究者が深く関わっており、本研究によるゲノム解析結果無しに、開発計画は立てられないとまで言われている(これらの研究に大気海洋研の小島教授やそのお弟子さんたちが大活躍している)。海底熱水活動の多くは本研究およびそれに先駆けた科学研究の結果発見されたものということができ、それも勘案するとこのような科学研究なしに資源開発は不可能と言っても良いだろう。

本研究のような科学研究が資源開発に果たした役割の大きさについて、より強く主張しても良いのではないだろうか?また、今後ともこのような科学研究が、生産技術開発プロジェクトと共に実施されることを願っている。

## 8. 主な研究成果（発明及び特許を含む）〔研究項目毎または計画研究毎に整理する〕

（3 ページ程度）

新学術領域研究（公募研究含む）の研究課題を元に発表した研究成果（発明及び特許を含む）について、図表などを用いて研究項目毎に計画研究・公募研究の順に整理し、具体的に記述してください。なお、領域内の共同研究等による研究成果についてはその旨を記述してください。

### ■主な研究成果

- ・ 5つの班のそれぞれの研究成果については3. の達成度の所で詳しく述べたので、重複を避ける。ここではそれらを取りまとめて、全体として何が達成されたかについて述べる。
- ・ 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。
- ・ 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、ここでは熱水プルーム中に活発な「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。
- ・ 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。
- ・ 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。
- ・ 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。
- ・ 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。
- ・ 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。

### ■産業財産権

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

名称：発電システム

発明者：山本正浩他7名

権利者：山本正浩他7名  
種類：特許  
番号：特願2012-071864  
出願年月日：2012年3月27日  
国内外の別：国際

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：核酸のゲル化沈殿による希土類金属の回収方法  
発明者：高橋嘉夫、宮地亜沙美、近藤和博  
権利者：アイシン精機株式会社、国立大学法人広島大学  
種類：特許  
番号：特願 2012-228261  
出願年月日：2012年10月15日  
国内外の別：国内

## 9. 研究成果の取りまとめ及び公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）（5ページ程度）

新学術領域研究（公募研究含む）の研究課題を元に発表した研究成果（主な論文、書籍、ホームページ、主催シンポジウム等の状況）について具体的に記述してください。論文の場合、計画研究・公募研究毎に順に記載し、研究代表者には二重下線、研究分担者には一重下線、連携研究者には点線の下線を付し、corresponding author には左に\*印を付してください。また、一般向けのアウトリーチ活動を行った場合はその内容についても記述してください。

■ ページ数の制限から、論文成果については査読のあるものののみとし、それ以外は省略した。また学会発表も国内における日本語によるものはすべて省略した。以下、班毎に示す。

A-01 班： [査読あり]

Matsuno, T., R.L. Evans, N. Seama and A.D. Chave (2012) Electromagnetic constraints on a melt region beneath the central Mariana back-arc spreading ridge, *Geochem. Geophys.*, 13, Q10017

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.

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

Umino, S. (2012), Emplacement mechanism of off-axis large submarine lava field from the Oman Ophiolite, *J. Geophys. Res.*, 117, B11210, doi:10.1029/2012JB009198.

浅田美穂, 富士原敏也, 海野進 (2012) 中部マリアナトラフ拡大軸における火山活動位置についての考察.. — 深海曳航式サイドスキャンソナーと「しんかい.. 6500」による高解像度観察の記録から, *火山*, 57, 1-18

T. Morishita, K. Hara, ... K. Nakamura, T. Sawaguchi, A. Tamura, S. Arai, K. Okino, K. Takai, H. Kumagai, (2009) Igneous, alteration, and exhumation processes recorded in abyssal peridotites and related fault rocks from an oceanic core complex along the Central India Ridge, *Journal of Petrology*, 50, 1299-1325

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

\* 川田佳史, 島伸和, 沖野郷子, (2009) 海洋地殻構造と地殻内熱水循環, *地学雑誌*, 118, 1037-1063

\* H. Kumagai, K. Nakamura, T. Toki, T. Morishita, K. Okino, J. Ishibashi, U. Tsunogai, S. Kawagucci, T. Gamo, T. Shibuya, T. Sawaguchi, N. Neo, M. Joshima, T. Sato, K. Takai, (2008) Geological background of the Kairei and Edmond hydrothermal fields along the Central Indian Ridge: Implications of their vent fluids' distinct chemistry, *Geofluids*, 8, 239-251

\* T. Fujiwara, S. Umino, M. Asada, Y. Koike, (2008) A submersible study of the Mariana Trough back-arc spreading center at 17°N, *JAMSTEC Rep. Res. Dev.*, 8, 61-73

\* M. Shinohara, E. Araki, M. Mochizuki, T. Kanazawa, K. Suyehiro, (2009) Practical application of a sea-water battery in deep-sea basin and its performance, *Journal of Power Sources*, 187, 253-260

\* E. Fujita, M. Hidaka, A. Goto, S. Umino, (2009) Simulations of measures to control lava flows, *Bulletin of Volcanology*, 71, 401-408

\* 小池悠己, 富士原敏也, 海野進, 浅田美穂, 岡田聡 (2008) 「しんかい 6500」に搭載されたサブボトムプロファイラを用いたマリアナトラフ背弧拡大軸付近の表層堆積物観察, *JAMSTEC Rep. Res. Dev.*, 8, 75-89

\* M. Shinohara, T. Fukano, T. Kanazawa, E. Araki, K. Suyehiro, M. Mochizuki, K. Nakahigashi, T. Yamada, K. Mochizuki, (2008) Upper mantle and crustal seismic structure beneath the northwestern Pacific Basin using seafloor borehole broadband seismometer and ocean bottom seismometers, *Physics of Earth and Planetary Interiors*, 170, 95-106

[学会発表: 国際集会のみ]

Matsuno, T., Constraint on a melting regime in upper mantle beneath the central Mariana back-arc spreading center through the geophysical electromagnetic forward modeling, *Workshop: Ocean*

- Mantle Dynamics: from Spreading Center to Subduction Zone, 2011/10/3-10/6, 東京大学柏キャンパス
- Seama, N. Comparison among available electrical resistivity structural images beneath back-arc and mid-ocean ridge spreading centers, 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
- 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
- Shindo, H. Electrical conductivity structure of the upper mantle beneath in the southern Mariana Trough, Workshop: Ocean Mantle Dynamics: from Spreading Center to Subduction Zone, 2011/10/3-10/6, 東京大学柏キャンパス
- Kimura, M. Electrical conductivity structure of a seafloor hydrothermal system at the southern Mariana Trough spreading axis, Workshop: Ocean Mantle Dynamics: from Spreading Center to Subduction Zone, 2011/10/3-10/6, 東京大学柏キャンパス
- Tada, N. Development of a 3-Dimensional Forward Program for Magnetometric Resistivity Method: Application to Alice Springs Field, Workshop: Ocean Mantle Dynamics: from Spreading Center to Subduction Zone, 2011/10/3-10/6, 東京大学柏キャンパス
- Matsuno, T. Constraint on a melting regime in upper mantle beneath the central Mariana back-arc spreading center through the geophysical electromagnetic forward modeling, American Geophysical Union Fall Meeting, 2011/12/5-12/9, San Francisco, USA.
- Seama, N. Upper mantle electrical resistivity structure beneath back-arc spreading centers, American Geophysical Union Fall Meeting, 2011/12/5-12/9, San Francisco, USA.
- Mochizuki, N. emanent magnetizations of oceanic basalts on the back-arc spreading axis in the southern Mariana, American Geophysical Union Fall Meeting, 2011/12/5-12/9, San Francisco, USA.
- Yoshikawa, S. Topographic characteristics of four hydrothermal sites at the southern Mariana Trough, American Geophysical Union Fall Meeting, 2011/12/5-12/9, San Francisco, USA.
- Seama, N. Electrical resistivity structural images beneath sea-floor spreading centers, The First Korea-Japan Marine Geosciences Symposium2, 2012/4/16-4/17, ソウル (韓国)
- Okiino, 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)
- Seama, N. Tectonic evolution, magmatic activity variation, and mantle dynamics of Mariana Trough back-arc basin, Mariana Vent Larvae (MarVel) Workshop: International Study of Connectivity Between Hydrothermal Vents (招待講演), 2012/5/10-5/11, 沖縄
- Matsuno, T. Robust magnetotelluric inversion, 21st EM induction Workshop, 2012/7/25-7/31, ダーウィン (オーストラリア)
- Matsuno, T. Electromagnetic constraints on a melt region beneath the central Mariana back-arc spreading ridge, 21st EM induction Workshop, 2012/7/25-7/31, ダーウィン (オーストラリア)
- Seama, N. Mantle to hydrothermal vent sites of the Southern Mariana Trough back-arc Basin: Results from the Taiga Project, American Geophysical Union Fall Meeting, American Geophysical Union Fall Meeting, 2012/12/3-12/7, San Francisco, USA.
- Shindo, H. Electrical resistivity structure of the upper mantle in the Southern Mariana Trough, American Geophysical Union Fall Meeting, American Geophysical Union Fall Meeting, 2012/12/3-12/7, San Francisco, USA.
- Mochizuki, N., Decay of natural remanent magnetization of oceanic basalt on the back-arc spreading axis of the southern Mariana, American Geophysical Union Fall Meeting, American Geophysical Union Fall Meeting, 2012/12/3-12/7, San Francisco, USA.
- Sato, T. Seismic structure and seismicity at the southern Mariana Trough with hydrothermal activities, American Geophysical Union Fall Meeting, American Geophysical Union Fall Meeting, 2012/12/3-12/7, San Francisco, USA.
- Yoshikawa, S. Role of tectonic and volcanic activity in hydrothermal systems at the southern Mariana Trough: detailed bathymetric characteristics of the hydrothermal sites, American Geophysical Union Fall Meeting, American Geophysical Union Fall Meeting, 2012/12/3-12/7, San Francisco, USA.
- Okino, K. Tectonic background of a unique hydrogen-rich Kairei Hydrothermal Field. Central Indian Ridge:

- Results from Taiga Project, American Geophysical Union Fall Meeting, American Geophysical Union Fall Meeting, 2012/12/3-12/7, San Francisco, USA.
- Sato, H. Petrology and geochemistry of mid-ocean ridge basalts along southern Central Indian Ridge, American Geophysical Union Fall Meeting, American Geophysical Union Fall Meeting, 2012/12/3-12/7, San Francisco, USA.
- Fujii, M. Magnetic Structure of Backarc Spreading Axis with Hydrothermal Vents; the Southern Mariana Trough, American Geophysical Union Fall Meeting, American Geophysical Union Fall Meeting, 2012/12/3-12/7, San Francisco, USA.
- Morishita, T. Petrological evidence of ancient mantle components beneath the mid-ocean Ridge? Results from a serpentine seamount along the Central Indian Ridge, American Geophysical Union Fall Meeting, American Geophysical Union Fall Meeting, 2012/12/3-12/7, San Francisco, USA.
- A-02 班 : [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-CO<sub>2</sub> and low-pH extremes. *ISME J.* 7:555-567.
- Noguchi, T., Mayumi, H., Yamanaka, T., & Okamura, K. (2013) "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, .org/10.2116/analsci.29.9
- Provin, C., Fukuba, T., Okamura, K., & Fujii, T. (2013) "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.
- Yoshida-Takashima Y, Nunoura T, Kazama H, Noguchi T, Inoue K, Akashi H, Yamanaka T, Toki T, Yamamoto M, Furushima Y, Ueno Y, Yamamoto H, Takai K., (2012) Spatial Distribution of Viruses Associated with Planktonic and Attached Microbial Communities in Hydrothermal Environments. *Applied and Environmental Microbiology*, 78: 1311-1320.
- 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.
- 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
- 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.
- 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:国際集会のみ]
- 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.
- Lindsay, D., Yoshida, H., Ishibashi, S. Umetsu, M., Yamaguchi, S., Yamamoto, H., Nishikawa, J., Reimer, J.D. Watanabe, H., Fujikura, K., Maruyama, T. The uROV PICASSO, the Visual Plankton Recorder, and other attempts to image plankton. *International Symposium on Underwater Technology 2013*
- Yanagawa, K., Nunoura, T., Kawagucci, S, Hirai, M., Sunamura, M., Breuker, A., Brandt, L., Christopher H. Housel, Sean M. McAllister, Craig L. Moyer, Ken Takai. 「Structural and functional diversity of microbial communities beneath the hydrothermal vent at the Iheya North field of the Mid-Okinawa Trough (IODP Expedition 331)」 *AGU. OS13A-1696*. 2012
- 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
- Noguchi, T., Hatta, M., Sunamura, M., Fukuba, T., Suzue, T., Kimoto, H., & Okamura, K. (2012).

“Carbonate system at Iheya North in Okinawa Trough~IODP drilling and post drilling environment~” in American Geophysical Union 2012 Fall Meeting, 2012/12/03, Moscone Convention Center (OS13A). San Francisco, USA.

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 Paleoceanography、2012/11/19、Kochi University. (Kochi)  
Sunamura, M. 2012. Hydrothermal plume and microbes at Mariana trough: Spatical distribution of hydrothermal plume and SUP05 thiotrophic plume microbes in Mariana hydrothermal region. OIST WS. 20120511

〔図書〕

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), 133p. 共著

A-03 班 : [査読あり]

Seo, M.H., S. Koyama, T. Toyofuku, S. Kojima, H. Watanabe (2013) Determination of extremely high pressure tolerance of brine shrimp larvae by using a new pressure chamber system. Zoological Science, 30: in press.

Aoki, K., B. Windley, K. Sato, Y. Sawaki, T. Kawai, T. Shibuya, H. Kumagai, K. Suzuki, S. Maruyama (2013) Phengite K-Ar dating of metapelites from the Barrovian metamorphic belt at Loch Leven, Scotland. 地質学雑誌, 印刷中.

Hidaka, H., H. Watanabe, Y. Kano, S. Kojima (2013) Mitochondrial genome rearrangement in a hydrothermal vent-endemic lineage of provannid gastropods provides a new DNA marker for phylogeographic studies. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 93: 1053-1058. (DOI: 10.1017/S0025315412001506)

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)

Yorisue, T. R. Kado, H. Watanabe, J. T. Høeg, K. Inoue, S. Kojima, B. K. K. Chan (2013) Influence of water temperature on the larval development of *Neoverruca* sp. and *Ashinkailepas seepiophila* – implications for larval dispersal and settlement in the vent and seep environments. Deep-Sea Research I, 71: 33-37. (DOI:10.1016/j.dsr.2012.10.007)

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)

Takahashi, Y., Y. Sasaki, Y. Chikaraishi, M. Tsuchiya, H. Watanabe, T. Asahida, T. Maruyama, K. Fujikura (2012) Does the symbiotic scale-worm feed on the host mussel in deep-sea vent fields? Researches in Organic Geochemistry. 28: 23-26.

Yorisue, T., K. Inoue, H. Miyake, S. Kojima (2012) Trophic structure of hydrothermal vent communities at the Myojin Knoll and the Nikko Seamount in the northwestern Pacific Implications for photosynthesis-derived food supply. Plankton and Benthos Research, 7: 35-40.

Kojima, S., S. Murakami, S. Nemoto, H. Watanabe, H. Miyake, S. Tsuchida (2012) Genetic diversity and population structure of a vestimentiferan annelid *Lamellibrachia satsuma* in Japanese and northern Mariana waters. Plankton and Benthos Research, 7: 146-150.

Sato, F., S. Toyoda, D. Banerjee, J.I. Ishibashi (2011) Thermal stability of ESR signals in hydrothermal barites. Radiation measurements, 46: 866-870. (DOI: 10.1016/j.radmeas.2011.05.007)

Toyoda, S., F. Sato, D. Banerjee, J. Ishibashi (2011) Characteristics of the Radiation Induced ESR Signals in Barite. Advances in ESR applications, 27: 4-6.

佐藤佳子・熊谷英憲・兵藤博信 (2011) マルチクロノロジー時代の Ar-Ar 年代測定法の評価法について. フィッショントラックニュースレター, 24, 1-8.

Toyoda, S. Sato, F., Banerjee, D. and Ishibashi, J. (2010) Characteristics of the Radiation Induced ESR Signals in Barite. Advances in ESR Applications, 27, 4-6.

Okumura, T., S. Toyoda, F. Sato, A. Uchida, J. Ishibashi, and S. Nakai (2010) ESR dating of marite in chimneys deposited from hydrothermal vents, Geochronometria, 37, 57-61. (doi:10.2478/v10003-010-0091-z)

- Kumagai, H., S. Tsukioka, H. Yamamoto, T. Tsuji, K. Shitashima, M. Asada, F. Yamamoto and M. Kinoshita (2010) Hydrothermal plumes imaged by high-resolution side-scan sonar on a cruising AUV, Urashima. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 11, Q12013, (doi:10.1029/2010GC003337)
- Raynold, K.C., H. Watanabe, T. Sasaki, E. Strong, C.M. Young, S. Kim, K. Uematsu, H. Miyake, S. Kojima, Y. Suzuki and K. Fujikura (2010) Internal brooding and a novel larval form in a deep-sea hydrothermal vent gastropod. *Biol. Bull.*, 219, 7-11.
- 小島茂明, 渡部裕美, 藤倉克則 (2009). 化学合成生物群集の進化生態に基づく熱水活動史の推定. *地学雑誌* 118, 1174-1185.
- 石橋純一郎 (2009) 海洋地殻内流体の熱水循環に伴う物質フラックス. *地学雑誌*, vol. 118, No. 6, p.1064-1082
- 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
- [図書]
- Watanabe, H., K. Fujikura, S. Kojima, J. Miyazaki and Y. Fujiwara, "The Vent and Seep Biota, Topics in *Geobiology 33*" (S. Kiel 編), 2010年 pp. 379-401, Springer
- 小島茂明 「海底鉱物資源の産業利用」(飯笹幸吉編), シーエムシー出版, 印刷中 (2013)
- [学会発表]
- Toyoda, S. et al.: ESR dating of barite: practical applications to submarine hydrothermal sulfide depositions in Okinawa and in South Mariana, in comparison with U-Th ages. BIODOSE2013, Leiden (Netherlands), 2013/3/24-28.
- Watanabe, H. et al.: Biodiversity of deep-sea hydrothermal vent fauna and its relationships to environmental factors in Okinawa Trough. Deep-Sea Biology Symposium, Wellington (New Zealand), 2012/12/4.
- Yahagi, T., S. Kojima et al.: Distribution and population genetic structure of vent shrimps in the Okinawa Trough. Deep-Sea Biology Symposium, Wellington (New Zealand), 2012/12/3.
- Miyoshi, Y., J. Ishibashi et al.: Structure of a seafloor hydrothermal system in volcanic sediment: distribution of hydrothermal clay minerals, at the Iheya North Knoll, Okinawa Trough. 2012 AGU (American Geophysical Union) Fall Meeting, San Francisco (USA), 2012/12/3-7.
- Ishibashi, J. et al.: Hydrothermal fluid-mineral interactions within volcanic sediment layer revealed by shallow drilling in active seafloor hydrothermal fields in the mid-Okinawa. 2012 AGU (American Geophysical Union) Fall Meeting, San Francisco (USA), 2012/12/3-7.
- Uchida, A., S. Toyoda, J. Ishibashi: Radon loss from barite in submarine hydrothermal sulfide deposits. 2012 AGU (American Geophysical Union) Fall Meeting, San Francisco (USA), 2012/12/3-7.
- Toyoda, S. et al.: ESR dating of submarine hydrothermal activities using barite in sulfide deposition. 2012 AGU (American Geophysical Union) Fall Meeting, San Francisco (USA), 2012/12/3-7.
- Takamasa, A., S. Nakai et al.: U-Th and ESR dating of drilled cores from a giant hydrothermal mounds in South Mariana. 2012 AGU (American Geophysical Union) Fall Meeting, San Francisco (USA), 2012/12/3-7.
- Seo, M.H., S. Kojima et al.: Biodiversity and biogeography of hydrothermal vent species in the western Pacific: a biological perspective of TAIGA project. 2012 AGU (American Geophysical Union) Fall Meeting, San Francisco, (USA), 2012/12/3-7.
- Fujiwara, T., S. Toyoda et al.: ESR dating of barite in sea-floor hydrothermal sulfide deposits taken from Okinawa Trough. 3rd Asia Pacific Conference on Luminescence and Electron Spin Resonance Dating including non-dating applications, Okayama (Japan), 2012/11/18-22.
- Y. Isono, S. Toyoda et al.: The alpha effectiveness for formation of SO<sub>3</sub><sup>-</sup> in barite: an application to ESR dating. 3rd Asia Pacific Conference on Luminescence and Electron Spin Resonance Dating including non-dating applications, Okayama (Japan), 2012/11/18-22.
- Miyoshi, Y., J. Ishibashi et al.: Formation process of clay minerals correlated with vertical structure of a seafloor hydrothermal system. The 2nd Asian Clay Conference, Seoul (South Korea), 2012/09/07.
- 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.
- Yorisue, T., S. Kojima et al.: Larval development and morphology of deep-sea vent/seep barnacles:

- implications for dispersal and settlement. 10th International Larval Biology Symposium, California (USA), 2012/7/31.
- Seo, M.H., S. Kojima et al.: Larval dispersal and pressure response of vent decapods in the Okinawa Trough, Japan. 10th International Larval Biology Symposium, California (USA), 2012/7/31.
- Kojima, S.: Phylogeography of vent fauna in the western Pacific. Mariana Vent Larvae (MarVeL) Workshop: International study of connectivity between hydrothermal vents, Okinawa (Japan), 2012/5/10.
- Ishibashi, J.-I. et al.: Diversity of vent fluid chemistry among hydrothermal activities at on- and off-axial sites of backarc spreading in southern Mariana. Mariana Vent Larvae (MarVeL) Workshop: International study of connectivity between hydrothermal vents, Okinawa (Japan), 2012/5/10.
- Seo, M.H., S. Kojima et al.: Dispersal and Pressure Response of Vent Decapods in the Okinawa Trough, Japan. Mariana Vent Larvae (MarVeL) Workshop: International study of connectivity between hydrothermal vents, Okinawa (Japan), 2012/5/10.
- Yahagi, T., H. Watanabe, S. Kojima: Biogeography and population genetic structure of vent shrimps in the northwestern Pacific. Mariana Vent Larvae (MarVeL) Workshop: International study of connectivity between hydrothermal vents, Okinawa (Japan), 2012/5/10
- Watanabe, H. et al.: Population connectivity among hydrothermal vent fields in the northwestern Pacific. World Conference on Marine Biodiversity, Aberdeen (UK), 2011/9/28.
- Seo, M.H., S. Kojima et al.: Genetic diversity and connectivity of the hydrothermal vent galatheid crab *Shinkaia crosnieri* in the Okinawa Trough, Japan. World Conference on Marine Biodiversity, Aberdeen (UK), 2011/9/28.
- Toyoda, S. et al.: Dating of Submarine Hydrothermal Deposits by ESR and U-Series Methods. Goldschmidt Conference 2011, Prague (Czech), 2011/8/14-19.
- Toyoda, S. et al.: The alpha efficiency of ESR signals in barite. 13th International Conference on Luminescence and Electron Spin Resonance Dating, Torun (Poland), 2011/7/10-14.
- Sato, F., S. Toyoda et al.: The ESR measurements and dating of deep sea hydrothermal barite. 13th International Conference on Luminescence and Electron Spin Resonance Dating, Torun (Poland), 2011/7/10-14.

A-04 班 : [査読あり]

- Kashiwabara, T., Takahashi, Y., Marcus, M. A., Uruga, T., Tanida, H., Terada, Y., and Usui, A. (2013) Tungsten species in natural ferromanganese oxides related to its different behavior in oxic ocean from molybdenum. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 105, 364–378
- Nakada, R., Takahashi, Y., and Tanimizu, M. (2013) An isotopic and speciation study on cerium during its solid-water distribution with implication for Ce stable isotope as a paleo-redox proxy. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 105, 49-62
- Takahashi, Y., Kondo, K., Miyaji, A., Umeo, M., Honma, T., and Asaoka, S. (2012) Recovery and separation of rare earth elements using columns loaded with DNA-filter hybrid. *Anal. Sci.*, 28, 985-992
- Yokoyama, Y., Tanaka, K., and Takahashi, Y. (2013) Differences in the immobilization of arsenite and arsenate into calcite. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 91, 202-219
- Mitsunobu, S., Shiraishi, F., Makita, H., Orcutt, B., Kikuchi, S., Jorgensen, B., and Takahashi, Y. (2012) Bacteriogenic Fe(III) (oxyhydr)oxides characterized by synchrotron microprobe coupled with spatially-resolved phylogenetic analysis, *Environ. Sci. Technol.*, 46, 3304-3311
- Kimura, H., Mori, K., Tashiro, T., Kato, K., Yamanaka, T., Ishibashi, J.-I. and Hanada, S. (2010) Culture-Independent Estimation of Optimal and Maximum Growth Temperatures of Archaea in Subsurface Habitats Based on the G plus C Content in 16S rRNA Gene Sequences. *Geomicrobiol. J.*, 27, 114-122
- Tsuchida, S., Suzuki, Y., Fujiwara, Y., Kawato, M., Uematsu, K., Yamanaka, T., Mizota, C. and Yamamoto, H. (2011) Epibiotic association between filamentous bacteria and the vent-associated galatheid crab, *Shinkaia crosnieri* (Decapoda: Anomura). *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, 91, 23–32
- Noguchi, T., Hatta, M., Yamanaka, T. and Okamura, K. (2013) Fast Measurement of Dissolved Inorganic Carbon Concentration for Small Volume Interstitial Water by Acid Extraction and Nondispersive

- Yamanaka, T., Maeto, K., Akashi, H., Ishibashi, J., Miyoshi, Y., Okamura, K., Noguchi, T., Kuwahara, Y., Toki, T., Tsunogai, U., Ura, T., Nakatani, T., Maki, T., Kubokawa, K., and Chiba, H. (2013) Shallow submarine hydrothermal activity with significant contribution of magmatic water producing talc chimneys in the Wakamiko Crater of Kagoshima Bay, southern Kyushu, Japan. *J. Volcan. Geotherm. Res.*, 258, 74–84.
- 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
- Kato, S., Nakamura, K., Toki, T., Ishibashi, J., Tsunogai, U., Hirota, A., Ohkuma, M., and Yamagishi, A. (2012) Iron-based microbial ecosystem on and below the seafloor: a case study of hydrothermal fields of the Southern Mariana Trough. *Frontiers in Microbiological Chemistry*, 3, 89
- Mino, S., Makita, H., Toki, T., Miyazaki, J., Kato, S., Watanabe, H., Imachi, H., Watsuji, T., Nunoura, T., Kojima, S., Sawabe, T., Takai, K., and Nakagawa, S. Biogeography of *Persephonella* in deep-sea hydrothermal vents of the Western Pacific. *Frontier in Extreme Microbiology*, 4, 107
- Watsuji, T., Nishizawa, M., Morono, Y., Hirayama, H., Kawagucci, S., Takahata, N., Sano, Y., and Takai, K. (2012) Cell-specific thioautotrophic productivity of epsilon-proteobacterial epibionts associated with *Shinkaia crosnieri*. *PLoS ONE*, 7, e46282
- Makita, H., Nakagawa, S., Miyazaki, M., Nakamura, K., Inagaki, F., and Takai, K. (2012) *Thiofractor thiocaminus* gen. nov., sp. nov., a novel hydrogen-oxidizing, sulfur-reducing epsilonproteobacterium isolated from a deep-sea hydrothermal vent chimney in the Nikko Seamount field of the northern Mariana Arc. *Arch. Microbiol.*, 194, 785-794
- 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.*, 339, 213-225
- Nakamura, K., Watanabe, H., Miyazaki, J., Takai, K., Kawagucci, S., Noguchi, T., Nemoto, S., Watsuji, T., Matsuzaki, T., Shibuya, S., Okamura, K., Mochizuki, M., Orihashi, Y., Ura, T., Asada, A., Marie, D., Koonjul, M., Singh, M., Beedessee, G., Bhikajee, M., and Tamaki, K. (2012) Discovery of new hydrothermal activity and chemosynthetic fauna on the Central Indian Ridge at 18°–20°S. *PLoS ONE*, 7, e32965
- 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
- Izumi, H., Nunoura, T., Miyazaki, M., Mino, S., Toki, T., Takai, K., Sako, Y., Sawabe, T., and Nakagawa, S. (2012) *Thermotomaculum hydrothermale* gen. nov., sp. nov., a novel heterotrophic thermophile within the phylum Acidobacteria from a deep-sea hydrothermal vent chimney in the Southern Okinawa Trough. *Extremophiles*, 16, 245-253
- Yoshida-Takashima, Y., Nunoura, T., Kazama, H., Noguchi, T., Inoue, K., Akashi, H., Yamanaka, T., Toki, T., Yamamoto, M., Furushima, Y., Ueno, Y., Yamamoto, H., and Takai, K. (2012) Spatial distribution of viruses associated with planktonic and attached microbial communities in hydrothermal environments. *Appl. Environ. Microbiol.*, 78, 1311-1320
- Tsuji, T., Takai, K., Oiwane, 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.*, 213-214, 41-50
- Yamamoto, M., and Takai, K. (2011) Sulfur metabolisms in epsilon- and gamma-Proteobacteria in deep-sea hydrothermal fields. *Front. Microbiol.*, 2, 192
- de Ronde, C. E. J., Massoth, G. J., Butterfield, D. A., Christenson, B. W., Ishibashi, J., Ditchburn, R. G., Hannington, M. D., Brathwaite, R. L., Lupton, J. E., Kamenetsky, V. S., Graham, I. J., Zellmer, G.

- F., Dziak, R. P., Embley, R. W., Dekov, V. M., Munnik, F., Lahr, J., Evans, L. J., and Takai, K. (2011) Submarine hydrothermal activity and gold-rich mineralization at Brothers Volcano, Kermadec Arc, New Zealand. *Mineralium Deposita*, 46, 541-584
- Kawagucci, S., Chiba, H., Ishibashi, J., Yamanaka, T., Toki, T., Muramatsu, Y., Ueno, Y., Makabe, A., Inoue, K., Yoshida, N., Nakagawa, S., Nunoura, N., Takai, K., Takahata, N., Sano, Y., Narita, T., Teranishi, G., Obata, H., and Gamo, T. (2011) Hydrothermal fluid geochemistry at the Iheya North field in the mid-Okinawa Trough: Implication for origin of methane in seafloor fluid circulation systems. *Geochem. J.*, 45, 109-124
- Masaki, Y., Kinoshita, M., Inagaki, F., Nakagawa, S., and Takai, K. (2011) Possible kilometer-scale hydrothermal circulation within the Iheya-North field, mid-Okinawa Trough, as inferred from heat flow data. *JAMSTEC Report Research and Development*, 12, 1-12
- Takai, K., and Nakamura, K. (2011) Archaeal Diversity and Community Development in Deep-Sea Hydrothermal Vents. *Curr. Opinion Microbiol.*, 14, 282-291
- Takai, K. (2011) Limits of life and biosphere: lesson from detection of microorganisms in deep-sea and deep subsurface in the Earth. In: *Origins and evolution of life: an astrobiological perspective*, (eds., M. Gargaud, P. Lopez-Garcia, and H. Martin), Cambridge University Press, Cambridge, 469-488
- Watsuji, T., Nakagawa, S., Tsuchida, S., Toki, T., Hirota, A., Tsunogai, U., and Takai, K. (2010) Diversity and function of epibiotic microbial communities on the galatheid crab, *Shinkaia crosnieri*. *Microbes Environ.*, 25, 288-294
- Nakamura, R., Takashima, T., Kato, S., Takai, K., Yamamoto, M., and Hashimoto, K. (2010) Electrical current generation across a black smoker chimney. *Angewandte Chemie*, 49, 7692-7694
- 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
- Nunoura, T., Oida, H., Nakaseama, M., Kosaka, A., Ohkubo, S., Kikuchi, T., Kazama, H., Tanabe, S. H., Nakamura, K., Kinoshita, M., Hirayama, H., Inagaki, F., Tsunogai, U., Ishibashi, J., and Takai, K. (2010) Archaeal diversity and distribution along thermal and geochemical gradients in hydrothermal sediments at the Yonaguni Knoll IV, the Southern Okinawa Trough. *Appl. Environ. Microbiol.*, 76, 1198-1211
- 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
- Nunoura, T., and Takai, K., (2009) Comparison of microbial communities associated with phase-separation-induced hydrothermal fluids at the Yonaguni Knoll IV hydrothermal field, the Southern Okinawa Trough. *FEMS Microbiol. Ecol.*, 67, 351-370
- Takai, K., Miyazaki, M., Hirayama, H., Nakagawa, S., Querellou, J., and Godfroy, A., (2009) Isolation and physiological characterization of two novel, piezophilic, thermophilic chemolithoautotrophs from a deep-sea hydrothermal vent chimney. *Environ. Microbiol.*, 11, 1983-1997
- Kato, S., Hara, K., Kasai, H., Teramura T., Sunamura M., Ishibashi, J., Kakegawa, T., Yamanaka, T., Kimura, H., Marumo, K., Urabe, T., and Yamagishi, A. (2009) Spatial distribution, diversity and composition of bacterial communities in sub-seafloor fluids at a deep-sea hydrothermal field of the Suiyo Seamount. *Deep-Sea Res. Pt. I*, 56, 1844-1855
- 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
- Kashiwabara, T., Takahashi, Y., and Tanimizu, M. (2009) A XAFS study on the mechanisms of isotopic fractionation of molybdenum during its adsorption on ferromanganese oxides. *Geochemical J.*, 43, e31-e36
- Langley, S., Igric, P., Takahashi, Y., Sakai, Y., Fortin, D., Hannington, M. D., and Schwarz-Schampera, U. (2009) Preliminary characterization and biological reduction of putative biogenic iron oxides (BIOS) from the Tonga-Kermadec Arc, southwest Pacific Ocean. *Geobiology*, 7, 35-49

- 中村謙太郎、高井研 (2012) 海底熱水系の地球化学：海底熱水の化学的多様性は熱水生態系を規定するか？、地球化学, 45、281-301
- 石橋純一郎、浦辺徹郎、砂村倫成、高井研、丸山茂徳、下司信夫、笠原順三 (2009)海洋地殻内熱水循環と地下微生物圏の相互作用—はじめに—、地学雑誌、118、1021-1026
- 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
- 中村謙太郎、高井研 (2009)海底熱水系の物理・化学的多様性と化学合成微生物生態系の存在様式、地学雑誌、118、1083-1130
- [学会発表]
- Takai, K. A new high-temperature and -pressure cultivation technique will open a way to unknown deep subsurface microbial functions. 7th International Symposium for Subsurface Microbiology.2008.
- Takai, K., and Nakamura, K. Compositional and Functional diversity of thermophilic microbial communities in deep-sea hydrothermal environments. Thermophiles 2009.
- Akashi, H., Yamanaka, T., Maeto, K., Chiba, H., Matsukura, S., and Ishibashi, J. VFAs concentrations in the hydrothermal fluids venting from the sediment-hosted hydrothermal system in the Wakamiko submarine crater, Japan. Goldschmidt Conference 2009
- Miyoshi, Y., Ishibashi, J., Matsukura, S., Kuwahara, Y., Omura, A., Maeto, K., Chiba, H., and Yamanaka, T. Fluid-sediment interactions in a marine shallow-water hydrothermal system at the Wakamiko submarine crater, Japan. Goldschmidt Conference 2009.
- Ishibashi, J., Akashi, H., Yamanaka, T., Toki, T., Teranishi, G., Obata, H., and Gamo, T. Fluid geochemistry of the Suiyo hydrothermal field at the Izu-Bonin arc submarine volcano. Goldschmidt Conference 2009.
- Takahashi, Y. High-sensitive measurement of uranium LIII-edge XAFS using bent crystal analyzer for the speciation of uranium in natural solid materials. Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry.2009.
- Hasegawa, H., Yamamoto, M., Nunoura, T., Kawagucci, S., Ueno, Y., and Takai, K. Novel sulfur disproportionation of a deep-sea vent thermophile. Goldschmidt Conference 2010.2010.
- Takahashi, Y. Rare Earth element patterns as biomineralization probes. Goldschmidt Conference 2010.2010.
- Takai, K. Novel sulfur disproportionation of a deep-sea vent thermophile. International Union of Microbiology Societies Congress 2011. 2011.
- Takai, K. Exploration of limits of life and unseen microbial potentials in the Dark Ecosystem. International Union of Microbiology Societies Congress 2011. 2011
- Takai, K. IODP Expedition 331 drilling for deep hot biosphere and abiosphere. International Symposium for Subsurface Microbiology 2011. 0211
- Takai, K. Exploration of limits of life and unseen microbial potentials in the Deep Biosphere. 34th International Geological Congress (IGC). 2012.
- 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.
- Sayaka Mino, Satoshi Nakagawa, Tomoo Sawabe, Juichi Miyazaki, Hiroko Makita, Takuro Nunoura, Masahiro Yamamoto, and Ken Takai. Population structure of deep-sea chemolithoautotrophs: identification of phenotypic and genotypic correlations. 2012 AGU Fall meeting. Dec 3, 2012. San Francisco
- Satoshi Nakagawa, Shigeru Shimamura, Yoshihiro Takaki, Sayaka Mino, Hiroko Makita, Tomoo Sawabe, and Ken Takai. Genomic and population genetic analysis of deep-sea vent chemoautotrophs. 2012 AGU Fall meeting. Dec 4, 2012. San Francisco.
- Yamagami, S., Fujikura, K., Koito, T., Inoue, K., Yamanaka, T., Reevaluation and comparison of energy source of chemosynthesis-based animals at several hydrothermal fields. American Geophysical Union 2012 Fall meeting, Dec. 3, 2013, Moscone Center, San Francisco, USA.
- Nagashio, H., Yamanaka, T., Watanabe, H., Yamagami, S., Ise, Y., Makita, H., Evaluation of nutrient sources for the sponges inhabited around seafloor hydrothermal fields in the Okinawa Trough, American

- Geophysical Union 2012 Fall meeting, Dec. 3, 2013, Moscone Center, San Francisco, USA
- Yamanaka, T., Akashi, H., Mitsunari, T. What is the constraint on formation of oil-starved hydrothermal systems in the sediment-rich Okinawa Trough, southwestern Japan. American Geophysical Union 2012 Fall meeting, Dec. 3, 2013, Moscone Center, San Francisco, USA
- Y. Takahashi. Molecular environmental geochemistry: a bridge between atomic- and macro-scale phenomena, Presentation at the acceptance ceremony of Guest Professor at Chinese Academy of Science, Feb. 28, 2013, Lanzhou, China.
- Y. Takahashi. XAFS applications to environmental & resource studies, The 6th Asia-Oceania Forum for Synchrotron Radiation Research (AOFSSR 2012), August 8, 2012, Bangkok, Thailand.
- Y. Takahashi. Speciation of elements in aerosols by XAFS related to the neutralization of acid rain, cooling effect, and iron supply to the Pacific Ocean, 27th International symposium on environmental analytical chemistry, May 24, 2012, Antwerp, Belgium.
- Y. Takahashi, K. Tanaka, A. Sakaguchi, Y. S. Shimamoto. A Preliminary Study on the Vertical Distributions of Radioiodine and Radiocesium in Soils, IPAC International Congress on Analytical Sciences, May 24, 2011, 京都

[図書]

- 高橋嘉夫 地球化学実験法. 培風館.2010
- 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. 2011
- NHK「サイエンス Zero」取材班, 高井研, JAMSTEC 深海で生命の起源を探る NHK 出版, 2011
- 高井研 深海に青春を賭けて. National Geographic 日本版 web. 日経ナショナルジオグラフィック社. 2011-2013
- 高橋嘉夫 宇宙と地球の化学事典. 朝倉書店. 2012
- 高井研 アストロバイオロジー. 化学同人. 2013
- 佐野有司, 高橋嘉夫 地球化学. 共立出版. 2013

A-05 班 : [査読あり]

- Kato, S., Shibuya, T., Nakamura, K., Suzuki, K., Rejish Kumar V.J., Yamagishi, A., (2013) Elemental dissolution experiments of basaltic rocks with ultra-pure water at 340°C and 40MPa in a newly developed flow-type hydrothermal apparatus, *Geochem. J.* 47: 89-92
- Chandru, K., (他 3 名) Kobayashi, K., (2013) Survivability and abiotic reactions of selected amino acids in different hydrothermal system simulators, *Orig. Life Evol. Biosph.*, 43, in press, DOI 10.1007/s11084-013-9330-9.
- Kato, S., Itoh, T., Kikuchi, S., Kashiwabara, T., Takahashi, Y., Suzuki, K., Yamagishi, A., (2012) Prokaryotic abundance and community composition in a freshwater iron-rich microbial mat at circumneutral pH, *Geomicrobiol. J.*, 29, 896-905
- Kato, S., Nakawake, M., Ohkuma, M. and Yamagishi, A., (2012) Distribution and phylogenetic diversity of cbbM genes encoding RubisCO form II in a deep-sea hydrothermal field revealed by newly designed PCR primers, *Extremophiles*, 16, 277-283
- Kato, S., Nakamura, K., Toki, T., Ishibashi, J., Tsunogai, U., Hirota, A., Ohkuma, M., Yamagishi, A., (2012) Iron-based microbial ecosystem on and below the seafloor..., *Front. Microbio*, 3, 89 doi: 10.3389/fmicb.2012.00089
- Kurihara, H., Takano, Y., Kaneko, T., Obayashi, Y. Kobayashi, K., (2012) Stability of amino acids and related compounds in simulated submarine hydrothermal systems, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 85, 624-630.
- Kurihara, H., Yabuta, H., Kaneko, T., Obayashi, Y., Takano, Y. and Kobayashi, K., (2012) Characterization of Organic Aggregates Formed by Heating Products of Simulated Primitive Earth Atmosphere, *Chem. Lett.*, 41, 441-443.
- Nitahara, S., Kato, S., Urabe, T., Usui, A. Yamagishi, A. (2011) Molecular characterization of the microbial community in hydrogenetic ferromanganese crusts of the Takuyo-Daigo Seamount, northwest Pacific, *FEMS Microbiol. Lett.*, 321, 121-129
- Kato, S., Itoh, T., Yamagishi, A., (2011) Archaeal diversity in a terrestrial acidic spring field revealed by a novel PCR primer targeting archaeal 16S rRNA genes. *FEMS Microbiol. Lett.*, 319, 34-43

- Kato, S., (他 7 名), Kobayashi, K., Ito, Y., Ishibashi, J., Yamagishi, A., (2011) Biogeography and biodiversity in sulfide structures of active and inactive vents at deep-sea hydrothermal fields of the Southern Mariana Trough. *App. Environ. Microbiol.*, 76, 2968-2979
- 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, (査読有)
- 鈴木勝彦, 中村謙太郎, 加藤真悟, 山岸明彦, (2010)海底熱水循環系の生物地球化学的理解に向けた実験的アプローチ, *地学雑誌*, 118, 1131-1159
- 山岸明彦, (2010) 深海や大気圏上空、宇宙の微生物、化学療法の領域 26, 2426-2427
- Kato, S. and Yamagishi, A., (2010) Microbial ecosystem in marine hydrothermal system in the early and present Earth, *Viva Origino* 38: 46-55
- Yoshizaki, M., Shibuya, T., Suzuki, K., Shimizu, K., Nakamura, K., Takai, K., Maruyama, S., (2009) H<sub>2</sub> generation by experimental hydrothermal alteration of komatiitic glass at 300 ° C and 500 bars..., *Geochem. J.*, 43, e17-e22.
- Kato, S., Kobayashi, C., Kakegawa, T., Yamagishi, A., (2009) Microbial communities in iron-silica-rich microbial mats at deep-sea hydrothermal fields of the southern Mariana Trough, *Environ. Microbio.* 11, 2094-2111
- Kato, S., (他 13 名), Kobayashi, K., Urabe, T. and Yamagishi, A. (2009) Abundance of Zetaproteobacteria within crustal fluids in back-arc hydrothermal fields of the Southern Mariana Trough, *Environm. Microbiol.*, 11, 3210-3222
- Mori, K., K. Suzuki, T. Urabe, M. Sugihara, K. Tanaka, M. Hamada and S. Hanada (2011) Thioprofundum hispidum sp. nov., an obligately chemolithoautotrophic sulfur-oxidizing gammaproteobacterium isolated from the hydrothermal field on Suiyo Seamount, and proposal of Thioalkalispiraceae fam. nov. in the order Chromatiales, *Intern. Jour. Syst. Evol. Microbiol.* (2011), 61, 2412-2418 DOI 10.1099/ij.s.0.026963-0
- 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. Planet. Sci. Lett.* 306, 55-65.
- [図書]
- 小林憲正 (2013), 生命の起源 宇宙・地球における化学進化, 講談社, 195 pp.
- 小林憲正 (2013), 第 7 章 地球における有機物合成, 書名「アストロバイオロジー」, 山岸明彦編, 化学同人, pp. 95-106.
- Kato, S. and Yamagishi, A., *Microbial Biodiversity and Biogeography on the Deep Seafloor*. In: *Changing Diversity in Changing Environment* (eds Grillo O, Venora G). InTech. (2011) 総ページ 392pp.
- 山岸明彦、第 2 章 熱水噴出孔は始原生命をはぐくむか、書名「生命の起原をさぐる：宇宙からよみとく生物進化」 奥野誠、馬場昭次、山下雅道編、p.82-97 東大出版会 (2010)総ページ数 224pp
- 山岸明彦、第 1 章 生命進化における極限環境、書名「新しい生物学第 10 巻極限環境生物学」、p.1-44 岩波 (2010) 総ページ数 225pp.
- 松本良・浦辺徹郎・田近英一(2013)「改訂版 惑星地球の進化」放送大学教材、296pp.NHK 出版
- 浦辺徹郎(2013) 海洋鉱物・エネルギー資源の開発、利用の推進、海洋白書 2013、第 4 章、第 3 節 (印刷中)。
- 浦辺徹郎(2011) 海底エネルギー・鉱物資源の開発推進と環境保全、「海洋白書 2011」第 3 章第 2 節、71-76、海洋政策研究財団発行、231pp.
- [学会発表]
- Chandru, K., (他3名) Kobayashi, K., GADV Peptide / Aggregate Synthesis Using a Hydrothermal Simulator at Elevated Temperature, JpGU 2013, 2013/5/21, Chiba.
- Kato, S., Nakamura, K., Toki, T., Ishibashi, J., Tsunogai, U., Hirota, A., Suzuki, K., Ohkuma, M., Yamagishi, A., Appearance of Iron-based Microbial Ecosystems on and below the Seafloor: a Case Study of the Southern Mariana Trough, AGU Fall Meeting 2012, 2012/12, San Francisco, USA
- Yamagishi, A., Kato, S., Ohkuma, M., Urabe, T., Sub-seafloor bacterial community structures within massive sulfide deposits at the Southern Mariana Trough, AGU Fall Meeting 2012, 2012/12, San Francisco, USA
- Nitahara, S., Kato, S., Yamagishi, A., Microbial community on oceanic ferro-manganese crusts from

- Takuyo-Daigo Seamount and Ryusei Seamount, AGU Fall Meeting 2012, 2012/12, San Francisco
- Fuchida S. and Masuda H. (2012) Effect of water on thermal behavior of glycine adsorbed on montmorillonite. 2nd Asian Clay Conference. 2012/9/7, Ewha Womans University, Korea (日本粘土学会学術振興基金賞)
- Masaki, Y., Shibuya, T., Yoshizaki, M., Nozaki, T., Suzuki, K., Takai, K., Experimental study on hydrothermal alteration of dacite collected from the Hatoma Knoll, Okinawa Trough, Japan, AGU Fall Meeting 2012
- Kato, S., Itoh, T. and Yamagishi, A., Phylogenetic diversity of Archaea in terrestrial and marine hydrothermal fields revealed by a novel PCR primer targeting 16S rRNA genes, Thermophiles 2011, 2011/9, Montana, USA
- Suzuki, K., Hirose, T. H<sub>2</sub> generation during simulated earthquake faulting: its implication for subsurface microbial evolution, Goldschmidt 2010, 2010/06/14, Knoxville, USA
- Kato, S., Microbial effect on dissolution of elements from seafloor massive sulfide deposits, NZ-J workshop of mineral resource, 2010/11, Tokyo, Japan.
- Kurihara, H., (他5名), Kobayashi, K., Formation of Complex Amino Acid Precursors in Simulated Primitive Atmosphere and Their Alteration under Simulated Submarine Hydrothermal Conditions, 38th COSPAR Scientific Assembly, 7/18-24/2010, Bremen, Germany.
- Yoshizaki, M., Suzuki, K., Shibuya, T., Shimizu, K., Nakamura, K., Yamaguchi, K.E., Yamamoto, S., Omori, S., Takai, K., Maruyama, S. Experimental study on hydrogen production through hydrothermal alteration of komatiite glass, Goldschmidt Conference 2009, 2009/6/24, Davos
- Tokumaru A., Nozaki T., Goto K. T., Takaya Y., Suzuki K., Chang Q., Kato Y., Usui A., Urabe T., (ほか) temporal and depth variation of Os isotope composition in ferromanganese crusts from the Takuyo Daigo Seamount, northwestern Pacific Ocean, 22nd V.M. Goldschmidt conference
- Omori, S., Yoshizaki, M., Shibuya, T., Suzuki, K., Yamamoto, S., Morishita, T., Kumagai, H., Maruyama, S., Serpentinization of Ocean Core Complex in the Central Indian Ridge: Reactions and Hydrogen Production., AGU Fall Meeting, San Francisco
- Sekine, Y., Shibuya, T., Suzuki, K., Kuwatani, T., Experimental constraints on hydrothermal activities in Enceladus., AGU Fall Meeting, San Francisco
- 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, San Francisco

〔一般向けのアウトリーチ活動〕

- 浦辺徹郎：「海底下に大河は流れる一科研費 新学術領域研究「海底下の大河」計画」、地球・惑星科学 トップセミナー (2012年5月20日、幕張メッセ)
- 浦辺徹郎：「深海底に生命の起源を探す」、出前授業、(2013年3月20日、アースウォッチ・ジャパン)
- 浦辺徹郎：「深海底に生命の起源を探す」、出前授業、(2012年9月30日および2011年、都立大泉高校附属中学)
- 浦辺徹郎：「深い海の底の話、そこで起こっている事、住んでいる生物」、出前授業、(2012年2月16日、大田区立大森第一小学校)
- 浦辺徹郎：「深海底の資源は将来の人類の共通財産になるだろうか?」、出前授業、(2009年10月28日、茨城県立取手第1高校)
- 高井 研：サイエンスカフェ〜みらい倶楽部 vol.9〜「生命に満ち溢れる地球。最古の生命はどう探す?」(2011年3月13日 日本科学未来館)
- 高井 研：NHK スペシャル『深海大探査 生命誕生の謎に迫る』(2011年7月17日、NHK)
- 高井 研：「ムック」書籍シリーズ『生命を巡る七つの謎』第1章「私たちは、地球の生物をどれくらい知っているのだろうか?」(2011年8月27日 ニュートン)
- 高井 研：「地球生命の起源について」(2012年3月16日読売新聞社「読売テクノ・フォーラム」)
- 高井 研：「宇宙は生命で蔓延している。そして地球外生命は必ず見つかるはずだ」(2013年1月25日自然科学研究機構 国立天文台)

## 10. 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度（1ページ程度）

研究領域の研究成果が、当該学問分野や関連分野に与えたインパクトや波及効果などについて記述してください。

### ■本研究の海洋底地球物理学への新貢献

・本研究では AUV, 潜水船を利用した高解像度磁気探査の探査手法とデータ解析法を確立し、熱水系研究に有効であることを示した。これによりマリアナにおける新しい熱水噴出孔 **Urashima** サイトが発見されたが、その波及効果はそれに留まらない。本来、地球物理学的手法は海面の船舶ないし人工衛星から、リモートセンシングとして大構造を知ることに長けているが、今回用いた手法は対象に近づき、高精度の探査を行うことにより海洋地殻の構造に関し、これまでに無い精密情報が得られることを明らかにした。

### ■本研究の海洋化学への新貢献

・これまで海底熱水活動の化学フラックスとしては **Elderfield and Schltz (1996)** による中央海嶺の高温熱水活動からの元素フラックスのみが議論されてきた。そのため、プレート沈み込みに伴い循環する一群の **fluid-mobile** 元素は主として河川水から海洋にもたらされるとされてきた。しかし、島弧の火山活動に伴う熱水活動では鉛・ヒ素・バリウムに代表されるそれらの元素が高濃度で放出されており、それを勘案するとほとんど総ての元素において、熱水が河川水と同様の重要さで海水の化学組成を規制していることが分かって来た。

・このことは海水中の元素濃度の垂直分布や平均滞留時間の計算に大きな変更をもたらす可能性がある。

### ■本研究の海洋生物学への新貢献

・本研究では熱水プルーム内での微生物による一次生産量の測定手法を開発し、一次生産量を見積もるとともに、動物プランクトンの化学分析により、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。つまり、「海底下の大河」における化学合成が海底面に限られず、海洋の中にも伸びていることを示した新しい事実である。

・これは、海洋表層における光合成にのみが海洋における生物生産の場ではなく、海洋の食物連鎖のこれまでの常識をくつがえす成果である。今後、より定量的な検討が必要となるだろう。

### ■本研究の海洋地質学への新貢献

・本研究では海底熱水系の掘削等を通じて、海底で生成する鉱物資源の成因についても多くの示唆が得られた。特に、海底熱水系の地下には広範な硬石膏( $\text{CaSO}_4$ )の沈殿が見られ、これが本来空隙率の高い表層堆積物を固着して透水率を下げ、地熱系でいう帽岩(**Cap-rock**)として熱水の上方逸散を防いでいる。このような **cap-rock** は掘削が行われたすべての活動的熱水系で認められ、一般的な構造であることが判明した。

・わが国に数多く知られる第三紀中新世の黒鉱（くろこう）鉱床は、本州弧の海底火山活動に伴う化石海底熱水鉱床であるが、これにも鉱床下盤側に石膏鉱石が広範に分布している。その成因については不明であったが、掘削の結果 **cap-rock** であったことが判明した（浦辺ほか、2009）。これらの結果は、今後の陸上の鉱床の比較研究と探査に大きな手がかりを与えるものである。

・熱水系の中で濃厚塩水(**brine**)と蒸気(**vapor**)の分離が起こっていることを初めて掘削で明らかにした。

### ■本研究によるわが国の海洋開発への貢献

・平成 25 年 4 月に閣議決定された第 2 次海洋基本計画の中で、第 2 部「海洋に関する施策に関し、政府が総合的かつ計画的に講ずべき施策」の真っ先に上げられているのが「1. (1) 海洋エネルギー・鉱物資源の開発の推進」である。そのために、「資源開発の産業化を推進するとともに国際競争力を強化するため、関係府省の連携の下、海洋エネルギー・鉱物資源関係の調査・探査・研究開発等の成果を集約するとともに、我が国の有する他の分野の先端技術を結集して資源開発に活用する。」とされている。

・ここで「鉱物資源関係の調査・探査・研究開発等の成果」とあるが、わが国で「鉱物資源」が生成する海底熱水活動の科学研究を総合的に実施しているプロジェクトは本研究しかなく、本研究のさまざまな成果が資源開発計画に与えている影響の大きさは非常に大きいものがある。

・特に、熱水系の構造についての科学的理解は探査にとって最も重要な情報であるが、「ちきゅう」および **BMS** により熱水系の掘削を行い、その構造について議論しているのは本研究のみである (**Kawagucci et al., 2012**) 。

・さらに、海底熱水系周辺の生態系ベースライン調査は長年の積み重ねを必要とするが、それらの多くが本研究を通じてなされたものと言って過言ではない（たとえば **Watanabe et al., 2010, Springer**）。