

提出日：2014年2月8日

クルーズサマリー

1. 航海情報

航海番号：KY14-01

船舶名：かいよう

航海名称：平成25年度 研究船利用公募 伊平屋北熱水フィールドにおける総熱水化学フラックスと化学合成生物群集の総化学合成代謝の全定量への挑戦「ハイパードルフィン3000」

首席研究者〔所属機関名〕：高井研〔海洋研究開発機構〕

課題代表研究者〔所属機関〕：高井研〔海洋研究開発機構〕

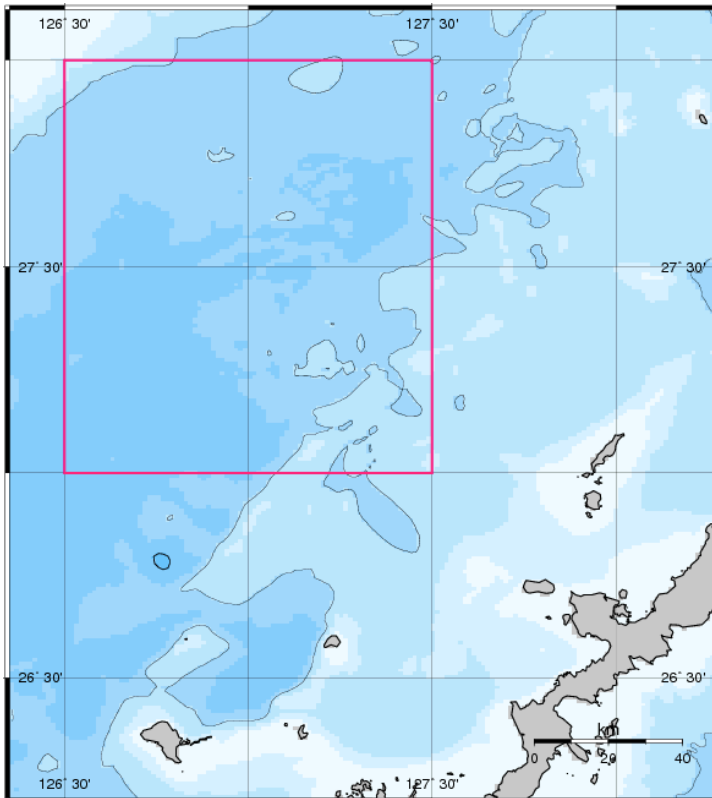
研究課題名：伊平屋北熱水フィールドにおける総熱水化学フラックスと化学合成生物群集の総化学合成代謝の全定量への挑戦：熱水フィールドまるごと理解と深海熱水資源開発における真の環境影響評価への応用

航海期間：2014年1月8日～2014年1月31日

出港地～寄港地～帰港地の情報：横浜港国際埠頭～那覇新港

調査海域名：中部沖縄トラフ

調査マップ：



2. 実施内容

調査概要：

KY14-01 航海に於いて、ハイパードルフィンによる合計 11 潜航の潜航調査を行った（伊平屋北オリジナルフィールドに 7 潜航、伊平屋北ナツフィールドに 2 潜航、伊平屋北アキフィールドに 2 潜航）。本航海における特筆すべき成果としては、1995 年に伊平屋北海丘において、伊平屋北熱水フィールド（オリジナルサイト）が発見されて以来 20 年近く詳細な研究が行われてきたにもかかわらず、全く存在すら知られていなかった高温海底熱水活動域を、2 箇所（伊平屋北ナツフィールドと伊平屋北アキフィールド）発見したことが挙げられる。

航海前半は海況不良のため、たった 2 潜航のみ実施することができなかったが、東京大学生研の開発したレーザースキャンマッピング装置 SeaXeroxs やシドニー大学が開発した 3D カメラ Serpent Camera を用いて、2010 年 9 月に「ちきゅう」によって科学掘削調査が行われて以来 3 年以上にわたって、人工的な環境変化がもたらされた伊平屋北オリジナルフィールドの熱水活動の変化や熱水化学合成生態系の応答についての、詳細なポスト・ドリリング環境影響調査が行われた。伊平屋北オリジナルフィールドの主要な熱水噴出サイトや化学合成生物群集をほぼ網羅することのできる詳細な写真画像や可視化画像が得られ、それらの画像から、伊平屋北オリジナルフィールドの全大型生物バイオマスの定量や棲み分けパターン、動態変化といった世界で初めての深海熱水化学合成生物群集の生態・動態に関する網羅的解析が可能になると期待できる。また、近い将来に計画されている新たな科学掘削調査の貴重な事前調査データとなることも期待できる。

海底面での詳細な観察では、伊平屋北オリジナルフィールドの熱水活動中心である NBC と呼ばれる巨大熱水マウンドに特筆すべき変化が見られた。NBC マウンドは「ちきゅう」によって科学掘削で、新しい熱水噴出孔が形成され、その後 2 年にわたり、新しい熱水噴出孔から集中的な高温熱水を噴出し、そのため超高速チムニー成長が観察される等、ポスト・ドリリング熱水活動変化において最も大きな変動を示すイベントであった。掘削以後 3 年以上経過した今回の調査では、依然新しい熱水噴出孔から集中的な高温熱水は観察されるものの、高速チムニー成長は観察されなかった。むしろ硫化鉱物析出によって新しい熱水噴出孔からの高温熱水噴出が抑制され、マウンド内で逃げ場を失った高温熱水の圧が、マウンド中腹の硫化鉱物塊を崩壊させ、大規模なディフューズフローを形成し、そのディフューズフローに依存した高密度かつ大規模な化学合成生物群集コロニーが形成されていることが観察された。このような掘削による新しいディフューズフローの形成とそれに伴う化学合成生物群集の移動と大規模コロニー形成は、C0014G や C0016B と呼ばれる人工熱水噴出サイトで、掘削終了後 2 年以内に観察された現象であり、今回は同様の現象が、NBC マウンドで観察されたと言える。いずれの場合も年単位の時間軸のなかで、トータルとしての熱水噴出量の増加、高温熱水集中噴出から海底下混合によるディフューズフローへの変化、大規模な化学合成生物群集の移動・集散・コロニー形成に伴う生物量の増加と組成変化というプロセスが起きることが明らかとなった。

さらに、伊平屋北オリジナルフィールドにおける総熱水化学フラックスを定量化する一つの切

り札として、現場計測マルチ化学センサーの試用が行われた。特に現場水素、硫化水素、溶存酸素については極めて再現性の良い十分な感度の結果が得られた。今回はメタン濃度センサーの導入は間に合わなかったが、現場水素、硫化水素、溶存酸素に加えメタン濃度が定量できるようになれば、船上に持ち帰った化学酸化や微生物消費の影響を受けた可能性のあるサンプルによるフラックス定量とは、時空間的解像度や精度の面から次元が異なるフラックス定量が可能に成ると期待される。その最初のステップとしてのデータが得られた。

そして最も特筆すべき成果は、伊平屋北海丘における2箇所の新しい熱水域の発見である。以下その概要と発見の意味合いを首席研究者の手記として簡潔に示す。

沖縄本島から北西150kmの中部沖縄トラフ伊平屋北海丘に、1995年に伊平屋北熱水フィールドが発見されて以来20年近く、その熱水化学、熱水に依存した微生物・生物生態系研究が精力的に行われてきた。また2010年9月には地球深部探査船「ちきゅう」によって日本で初めて深海熱水域の科学調査掘削が行われ、世界で初めての海底下黒鉱の存在、巨大な海底下熱水湖の存在、人工熱水噴出孔の創成と人工熱水噴出孔での熱水金属鉱物の急成長、熱水噴出孔直下海底下微生物圏の存在、等の新しい知見が明らかにされてきた。中部沖縄トラフにはこれまで、公開された情報として8カ所の深海熱水域が報告されているが、2012年から始動した海洋研究開発機構海底資源研究プロジェクトの最新の方法論に基づいた深海熱水探査の予察的な結果から、中部沖縄トラフには、これまでに見つかつてきている深海熱水域は、氷山の一角に過ぎず、遙かに多くの熱水域が未発見のまま残されていることが明らかになってきた。

伊平屋北熱水フィールドの海底下熱水循環系の推定と科学掘削調査による実証から、沖縄トラフの深海熱水は海底面で観察される熱水活動の規模の数倍の水平方向の広がりや数百メートルに及ぶ海底下熱水鉱床を敗退する可能性が示されており、中部沖縄トラフの未発見深海熱水域には、これまでに見つかった深海熱水を上回るような巨大な海底熱水システムや熱水鉱床が存在している可能性が十分に期待できる。

中部沖縄トラフに眠る未発見深海熱水域を網羅的に探査し、海底・海底下の熱水活動の規模が、伊平屋北フィールドや伊是名海穴フィールドを凌駕する巨大な深海熱水システムを効果的に見つけ出すために、海洋研究開発機構海底資源研究プロジェクト海底熱水システム研究チームでは、従来の熱水探査法と大きく異なる新しい深海熱水探査法を考案した。新しい深海熱水探査法は、(1) 高速広域探査、(2) 絞り込み熱水特性探査、(3) 海底観察探査、の3段階からなる。と書けば、「どこが新しい深海熱水探査法なんだ？」と疑問に思うかもしれない。

海底観察探査に関して言えば、本質的には有人潜水船や無人潜水ロボットを用いた海底観察と試料採取なので、「世界で最も深海熱水を体験してきた研究チームの経験とセンスに支えられた」という形容詞がつく以外は（しかし、おそらくこれらが熱水探査や熱水システムの理解には最も重要な要因であることは付記しておく）、目新しさは感じられないかもしれない。ミソは(1) 高速広域探査と(2) 絞り込み熱水特性探査にある。

これまで広域探査は、調査船で海底の地形、磁力、重力を測定し、何らかの特異的なシグナルを見つけて出すことで「熱水が存在するかもしれないしあったらイイな領域」を推定することが行われてきた。しかし、この方法で実在する深海熱水を特定することができるのは極めて稀で、実質的に(2) 絞り込み探査によって熱水の可能性を検証する必要がある、極めて確率の低い、非効率的な第一段階探査である。我々はこれまでの調査結果に基づき、調査船の高周波のマルチナロービーム音響探査によって現存する中部沖縄トラフの深海熱水を、海面から確実に検知できることを明らかにした。この方法を用いれば、探査領域の海上を走らせるだけで深海熱水が存在するかどうかを知ることができる。1日で探査できる距離は、最大200 - 300 kmにおよび、20km四方の領域を大まかに探査することが可能になる。このような(1) 高速広域探査で目星をつけた領域を、自律型水中ロボットを用いて(2) 絞り込み探査を行うことになる。

自律型水中ロボットによる絞り込み探査では、これまでの方法論では、詳細な海底地形や磁力・重力といった物理探査とカメラによる海底観察、および温度・濁度・酸化還元電位・マンガン濃度センサーによる化学検知、によって、熱水が存在する可能性と位置を絞り込むことが主な目的であった。我々の探査スキームでは、既に(1) 高速広域探査の段階で熱水が存在する可能性と位置がかなり絞り込まれており、(2) 絞り込み探査では、詳細な位置や熱水の広がりだけでなく、熱水システムの特徴、特に熱水循環系の広がりや熱水活動の年代、熱水硫化鉱物の組成等、についての推定まで視野に入れている。具体的には、音響探査と詳細な磁気異常による詳細な位置や熱水循環系の広がり、推定、熱水ブルームの水素濃度、メタン濃度、アンモニア濃度、水銀濃度、メタン炭素安定同位体比のその場計測による熱水循環系の広がりや熱水活動の年代、熱水硫化鉱物の組成への推定である。これまでの深海熱水探査では熱水の存在の可能性を知る目的であった探査段階において、我々のスキームでは「巨大な熱水鉱床を胚胎している可能性の高い資源的な観点から有望な熱水」や「海洋物質循環や極限環境微生物や特異な熱水化学合成生態系の多様性や機能を理解する上で鍵となる学術上重要な熱水」を多くの候補リストの中から絞り込むことまで可能となる。

この画期的な深海熱水探査法の検証研究調査が、2013年11月から2014年1月にかけて実際された。2013年11月に調査船「なつしま」を用いて、中部沖縄トラフの高速広域探査を計画・実施した。海況不良のため、当初の計画の変更を余儀なくされ、結果、1日の高速広域探査のみを行った。調査時間が限られていたため、伊平屋北熱水フィールドが存在するおよそ10 km四方の伊平屋北海丘とその南10 kmに位置する海丘10 km x 5 kmの領域だけを探査した。その結果、伊平屋北海丘の伊平屋北熱水フィールドの南南西1.2 kmの低地と伊平屋北熱水フィールドの南南西2.6 kmの低地において明瞭な熱水ブルームのシグナルが検出された。2013年12月に調査船「よこすか」と自律型潜水ロボット「うらしま」を用いた絞り込み探査を計画・実施した。本調査も海況に恵まれず、結果、およそ半日間の絞り込み探査を実施するに留まった。高速広域探査で熱水活動の兆候が認められた2地点をカバーする領域(2 km x 1 km)を、「うらしま」に搭載された音響装置によって詳細な海底地形と熱水ブルームの検出、その場濁度・酸化還元電位センサーによって熱水の広がりを調査した。同時並行に開発を進めている水素、メタン、アンモニア、水銀濃度センサーは、この探査には搭載されておらず、熱水特性探査までは実施できなかった。しかしながら、高速広域探査で検出された領域と重なるよ

うに、より微細な地形情報と一致した明瞭な熱水噴出のシグナルが検出された。

実質たった1.5日間の調査で得られた2カ所の深海熱水域の情報を基に、2014年1月に調査船「かいよう」と無人潜水ロボット「ハイパードルフィン」を用いた科学調査において、海底観察探査を3日間実施した。伊平屋北海丘の伊平屋北熱水フィールドの南南西1.2kmの低地において、多様な化学合成生物からなる広範囲に広がる生物群集と最高計測温度305°Cの熱水を噴出する大きな熱水マウンドをはじめとする多くの熱水噴出からなる伊平屋北ナツ（夏）サイトを発見した。伊平屋北海丘の伊平屋北熱水フィールドの南南西2.6kmの低地において、伊平屋北オリジナルサイトや伊平屋北ナツサイトと共通する化学合成生物からなる広範囲に広がる生物群集と最高計測温度317°Cの熱水を噴出する多数の熱水マウンドを有する伊平屋北オリジナルサイトと匹敵する広がりを持つ活発な熱水域、伊平屋北アキ（秋）サイトを発見した。

新たに発見された熱水域は、どちらも高温熱水を噴出する高さ数mから10mを超える熱水マウンドを有する活発な熱水活動域であった。また、現在活動中の熱水噴出だけでなく、過去の熱水噴出孔や熱水マウンドが至る所に観察され、比較的長期間活動を維持させている熱水活動であると考えられた。噴出する熱水の物理・化学的性質の予察的な結果から、伊平屋北ナツサイトや伊平屋北アキサイトの熱水は、気液二相分離による熱水の分化作用は受けているものの、伊平屋北オリジナルサイトの熱水と類似している可能性が考えられた。伊平屋北ナツサイトや伊平屋北アキサイトで観察される化学合成生物群集の構成生物種は、伊平屋北オリジナルサイトの化学合成生物群集の構成生物種とほとんど共通していると考えられた。伊平屋北オリジナルサイトと伊平屋北ナツサイトと伊平屋北アキサイトの位置は、それぞれ1.2kmと1.4km離れているが、今回調査できていないその中間地点にも、熱水化学合成生物群集が点在している可能性が考えられる。伊平屋北オリジナルサイトの中心から約1.5km東に離れた地点での科学掘削の結果から、伊平屋北オリジナルサイトの海底下熱水溜まりは、数km以上の広がりを持つことが予想されている。

以上の結果から、今回発見された二つの熱水域は、伊平屋北オリジナルサイトと共通する海底下高温熱水溜まりから由来する高温熱水を噴出している可能性が高い。つまり、伊平屋北オリジナルサイトと伊平屋北ナツサイトと伊平屋北アキサイトは、ひとつの大きな海底熱水域と考えられ、高温熱水を噴出する地帯の広がりだけでも3kmにも及ぶ広がりを持つ。沖縄トラフの熱水活動で、このような空間的広がりを有する熱水域が発見されたことはなく、伊平屋北複合熱水フィールドは、これまで沖縄トラフで発見された熱水の中で最も巨大な熱水域であると考えられる。発見されて以来20年近く、精力的な研究が行われてきた伊平屋北熱水フィールドのごく近傍に未発見の活発な熱水活動が存在していたことは、極めて興味深い。このことは、深海熱水を見つけることが決して容易でないことを物語っている。しかし一方で、極めて効率的な方法論を確立し、探査に焦点を当てれば、たった1.5日間の実働時間において、素早く効率的に未発見の深海熱水を探ることができることが明らかとなった。計4.5日間の探査において、新しい熱水域を2つ発見し、その概要を明にすることができたことは、我々の深海熱水探査スキームが、少なくとも沖縄トラフの深海熱水に対して、極めて効果的で画期的であることを示している。