

# 沖縄海域の海洋地質調査

## — 海底鉱物資源開発に利用できる国土の基盤情報の整備 —

荒井 晃作\*、下田 玄、池原 研

沖縄海域の海洋地質調査は、国土の基盤情報整備の一環として2008年度から開始された。沖縄海域の九州から台湾に続く島嶼は琉球弧と呼ばれ、フィリピン海プレートの琉球海溝における沈み込みに伴って形成された島弧である。琉球弧の西側には沖縄トラフと呼ばれる背弧海盆が形成されており、活動的な海底火山や海底熱水活動が知られている。鉱床の胚胎場には地質構造の規制が存在すると考えられるので、海底鉱物資源が期待される場の海洋地質情報の整備は資源賦存場の絞り込みにとっても有効である。周囲を海洋に囲まれた日本にとって、海底鉱物資源の開発に向けて期待はますます大きくなる。国土の基盤情報の一つの利用方法として、地質現象に基づく海底鉱物資源の開発に向けた方法論を提示する。

**キーワード:** 海洋地質、地質構造、沖縄トラフ、背弧海盆、鉱物資源

## Marine geological mapping project in the Okinawa area

### – Geoinformation for the development of submarine mineral resources –

Kohsaku ARAI\*, Gen SHIMODA and Ken IKEHARA

AIST has been conducting marine geological surveys in the Okinawa area to construct geological maps since 2008. The chain of islands extending from Kyushu to Taiwan in the Okinawa area is called the Ryukyu Arc, and was formed with the subduction of the Philippine Sea Plate beneath the Eurasian Plate along the Ryukyu Trench. The Okinawa Trough is a back-arc basin formed behind the Ryukyu Arc. Active submarine volcanoes and hydrothermal phenomena are known to exist in the trough. Because large scale mineral deposits may exist in relation to the geological structures, collecting the marine geological information around the area where submarine mineral resources are expected is very effective for grasping the location of resource-rich zone. Being surrounded by sea, Japan is expected to increase marine utilization within the Exclusive Economic Zone (EEZ) in the future. Methods for developing submarine mineral resources based on the geological phenomena are presented as tools for exploiting fundamental geological information.

**Keywords:** Marine geology, geological structures, Okinawa Trough, backarc basin, marine mineral resources

### 1 はじめに

日本周辺海域の地質情報の整備として実施してきた海洋地質調査は、20万分の1海洋地質図の作成のための調査が1974年度に工業技術院特別研究「日本周辺大陸棚海底地質総合研究」として本格的に開始され、2006年度に日本主要四島（本州・北海道・九州・四国）周辺について終了した。その後、国土の基盤情報の未整備海域である「沖縄」周辺海域の海洋地質調査を2008年度から開始した（以下、沖縄プロジェクトと呼ぶ）。沖縄プロジェクトではまず2008～2010年度の3年間に沖縄島周辺の調査を実施し、2011年度のGH11航海では北部沖縄トラフの調査を行った。産総研の調査航海は「GH08航海」のように示され、地質調査総合センターの英語名であるGeological Survey of Japanの頭文字Gと使用船舶である第2白嶺丸の頭文字H、ならびに実施年度（西

暦）で航海名を表している。2012年度からの4年間は鹿児島県沖永良部島、徳之島および奄美大島の周辺海域の調査を計画している。その後、南部沖縄トラフの広域調査を行った後に、南琉球の島嶼（宮古島、石垣島および与那国島）周辺の調査を実施する予定である<sup>[1]</sup>。

沖縄海域の調査の計画を策定する時期と前後するように、日本の海洋開発・利用に関しても大きな変化があった。2007年に海洋基本法が制定され、2008年にはこれに基づいて海洋基本計画と海洋エネルギー・鉱物資源開発計画が策定された。海洋エネルギー・鉱物資源開発計画の中では、2018年までの海底熱水鉱床の商業化がうたわれている。また、世界金融危機（2007年）以降の資源価格の世界的な高騰等もあり、鉱物資源をめぐる情勢も大きく変化してきた。これらの背景により海底鉱物資源の開発の重要性が急激に増すことになった。今後、日本が有する広大な

産業技術総合研究所 地質情報研究部門 〒305-8567 つくば市東 1-1-1 中央第7

Geological Survey of Japan, AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba 305-8567, Japan \* E-mail: ko-arai@aist.go.jp

Original manuscript received October 2, 2012, Revisions received January 31, 2013, Accepted February 15, 2013

排他的経済水域（EEZ）の管理・保全や開発に資する地質情報を整備することは、日本周辺の海洋の開発・利用という観点から重要である。

2012年4月には、国連に申請中の日本の大陸棚延伸が一部を除き認められ<sup>[2]</sup>、広く報道された。新たに大陸棚に認められたのは、四国海盆海域、小笠原海台海域、南硫黄島海域および沖大東海嶺南方海域の一部で、その広さは約31万km<sup>2</sup>にも及ぶ(図1)。これらの広大な範囲には、海底鉱物資源の期待される海域が含まれる。鉱床の胚胎場には地質構造の規制が存在すると考えられるので、海底鉱物資源が期待される場の海洋地質情報の整備は資源賦存場の絞り込みに有効である。EEZを含めてこれらの海域の管理・保全や開発の計画のために地質情報の整備が必要となる。これらの調査を効果的に実施することによって、知的基盤整備を加速することは日本の国益につながる。

このような背景からこの論文においては、沖縄海域の国土の基盤情報整備の意義とその状況を報告する。沖縄プロジェクトの調査海域には活動的背弧海盆の沖縄トラフが含まれる。沖縄トラフには九州から延びるトカラ列島とそれに連続する海底火山での火山活動、および活動的な海底熱水活動もすでに知られている<sup>[3]-[5]</sup>。近年期待の高まっている海底鉱物資源の開発に向けての産総研としての取り組み方について現状と課題を考える。

## 2 海洋地質図の調査と地質情報の整備の方法と利用

海洋地質図は、調査船を利用した海洋地質調査を基にして作成され、2012年9月末の段階で76枚の地質図が出版されている(図2)。日本の周辺海域の海洋地質図は8枚の1/100万の海洋地質図として出版済みである。また、より詳細な地質図として1/20万の海洋地質図シリーズが出版されている。1/20万海洋地質図シリーズは、表層堆積図および海底地質図に分けられ、海底地質図には重力・磁力異常図が付けられている。

産総研の海洋地質調査では、効率的に船を利用するために、主に夜間に航走観測を行い、昼間に停船して堆積物の採取を実施している(図3)。これらの調査では画一的なデータの取得を目指している。画一的なデータとは、系統的・網羅的にデータが取得され、かつデータの取得項目およびその手法に大きなばらつきがなく、地質学的解釈に十分な質が保たれているデータである。表層堆積図は海底表層から採取した堆積物を基に作られる図面で、グラブ採泥器や柱状採泥器等により試料を採取し、その粒度や堆積物の組成からその海域の堆積作用を示す地質図である。グラブ採泥器には、CTD(電気伝導度水温水深計)、濁度計、採水器および海底カメラが取り付けられており、同時に試料採取地点の海洋環境に関する情報を得ることができる。表層堆積図は堆積学、海洋学および地球化学等を総合的

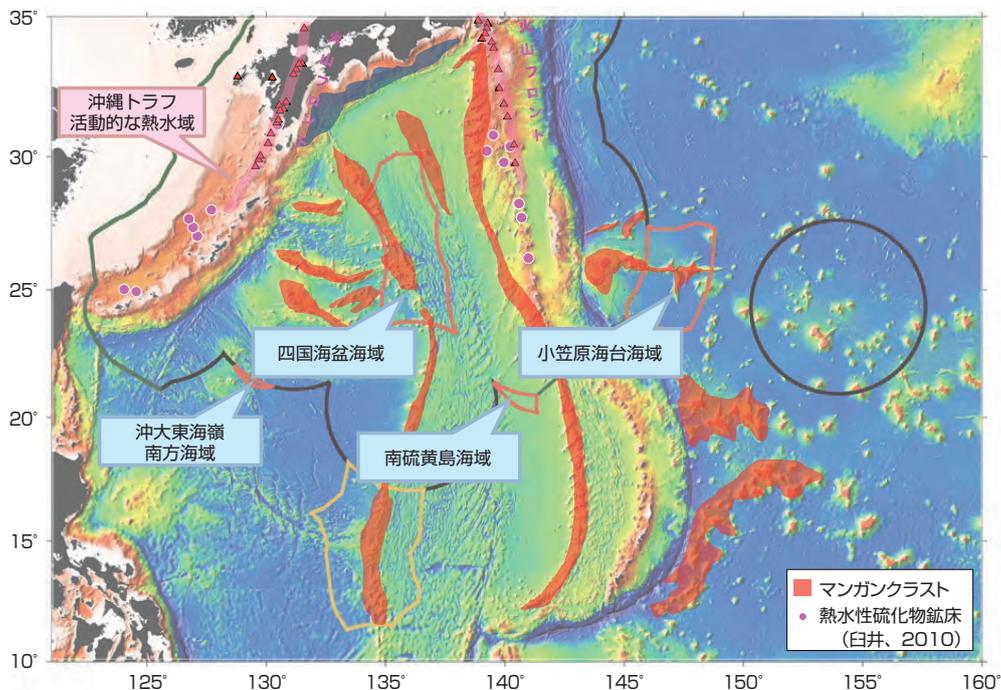


図1 大陸棚の拡大が認められた海域および主な活動的な熱水域

日本周辺の海底地形および排他的経済水域。黒線は公海、緑線は隣国との境界を示す。橙色は拡大が認められた海域を示し、黄色は審査先送りの海域(内閣官房総合海洋政策本部:平成24年版海洋の状況および海洋に関して講じた施策)。沖縄トラフは活動的な熱水域の存在が知られている海域である<sup>[3]</sup>。

に解釈して作成される。一方の海底地質図は、反射法音波探査および重力・磁力等の物理探査データを基にした海底面下のイメージ図である。海底地質図は音波探査断面および採取した堆積物の年代値を基に作成され、地質構造や層序を示している。構造地質学、音響層序学、地球物理学、堆積層序学等を統合的に解釈して作成される。

これらの国土の基盤情報のデータ取得から利用までの流れをシナリオとして図4に示す。船上調査で取得されたさまざまなデータはデータベースや海洋地質図として公表され、重要な知的基盤情報となる。データや図面の利用の一例を図4では「地質災害リスク評価」および「海底資源評価」として示している。例えば、海底地質図は、海底活断層の

存在やその地質学的な活動時期が把握できるので、海岸沿いの建築物の地質災害リスクの評価のための資料として利用されている。また、この論文で重点をおいて論じた海底熱水鉱床のポテンシャル把握への利用のみならず、表層堆積物は砂や礫といった骨材資源になり得る堆積物の分布の把握に利用されている。

### 3 活動的な琉球弧・沖縄トラフ背弧海盆の地質と構造

沖縄プロジェクトでは海域の地質情報の整備を目指して、主に琉球弧の島嶼周辺海域の地質情報の取得を行っている。琉球弧の地質層序に関して、これまでの研究は、琉球弧全体から見ればわずかでしかない陸上踏査が主体であり、その構造発達史はまだ解明されていない点が多く残されている。沖縄プロジェクトによる海洋地質データの取得は新しい知見を提供できるだろう。

琉球弧は九州と台湾の間に位置する長さ約1,200 kmにもおよぶ島嶼であり、これは、フィリピン海プレートが琉球海溝に沿って沈み込むことによって形成された島弧-海溝系である。琉球海溝の最大水深は6,000 mを超え、およそ島弧と平行に北東-南西方向に配列している。琉球弧南部においてはその方向がおよそ東西方向の配列に変わる(図5)。琉球海溝の前弧斜面は、四国・本州沖合の南海トラフの沈み込み帯の前弧斜面と比べると前弧海盆がほとんど無いか規模が小さく、目立った外縁隆起帯が存在しない。これは、フィリピン海プレートの沈み込み様式の違いに起因する可能性がある。目立った外縁隆起帯が存在しないのは琉球海溝の中・北部の沖縄島沖より北側の琉球海溝の斜面で顕著である<sup>[7]</sup>。琉球弧は地質学的な累帯構造の違いから、北琉球・中琉球・南琉球の3つに分けられる<sup>[8]</sup>。この境界部は、北からトカラ海峡および慶良間海裂と呼ばれる水深1,000 mを超す北西-南東方向に延びるへこみによ

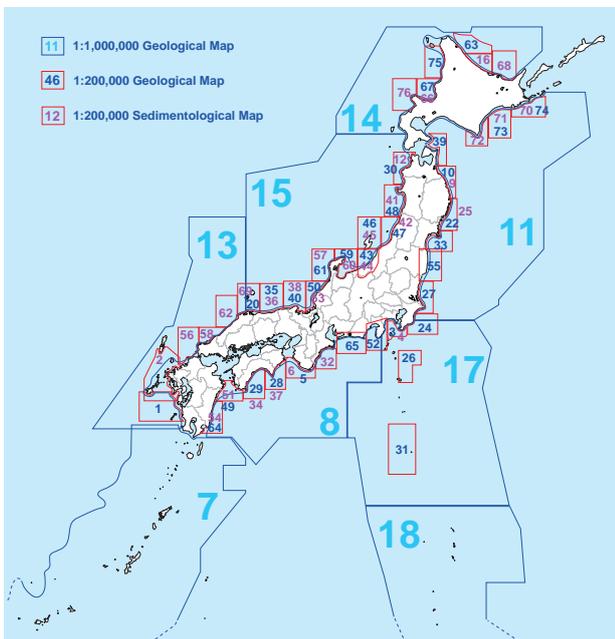


図2 日本周辺海域の海洋地質図の出版状況  
青枠が100万分の1の海洋地質図、赤枠で示した四角が20万分の1の海洋地質図がすでに出版されている(産総研 URL: より引用)。

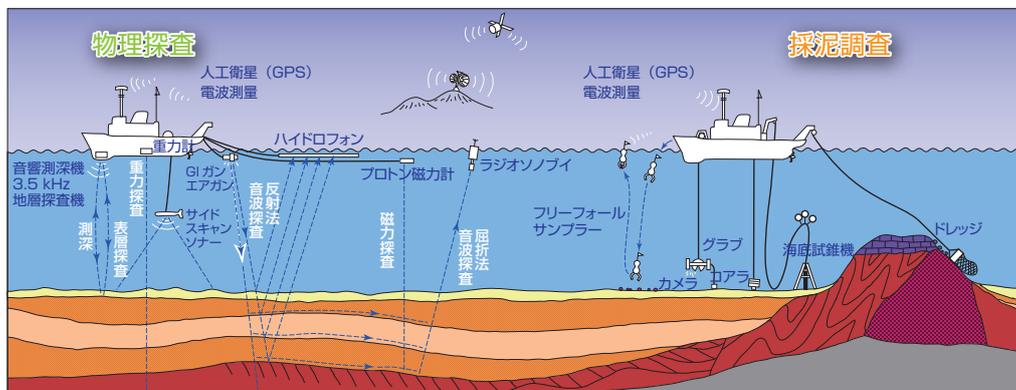


図3 海底の調べ方の模式図 ([6] より引用)  
航走観測(物理探査)および停船観測(採泥調査)のイメージ図。1/20万分の海洋地質図の作成には、航走観測には測深、表層探査、重力探査、反射法音波探査および磁力探査を用いる。停船観測には、グラブ採泥器、コアラ、ドレッジが用いられる。

て特徴付けられる。これらの構造は島弧を横切る方向に発達する断層運動に伴って形成されている。GH08 航海でも、沖縄島東方のフィリピン海側にはいくつかの特徴的な島弧を横切る方向に発達する活動的な正断層を見つけている<sup>[9]</sup>。これらの調査の結果、琉球弧およびその前弧斜面上部においては、多数の島弧を切る断層運動が陸に近い浅海域にも発達していることが明らかとなった。これらの断層の活動は津波を発生させる可能性もあるので、今後より詳細な断層の分布や活動度を明らかにする必要がある。沖縄県における歴史資料には、被害地震や津波の記録は少ないが、過去に八重山諸島や宮古諸島において甚大な被害をもたらしたとされる明和 8 年八重山地震津波 (1771 年) が知られている<sup>[10]</sup>。沖縄プロジェクトとして琉球弧の島嶼周辺を画的に調査し、地質災害のリスクを評価することは減災に向けても極めて重要である。

琉球弧の北西側には沖縄トラフと呼ばれる背弧海盆が形成されている<sup>[11]</sup>。活動的な背弧海盆である沖縄トラフも、琉球弧とおおよそ並行に続いており、長さ 1,000 km、幅 200 km で、北部から南部に向かって軸部の水深は徐々に深くなり、最大水深は南部で 2,000 m を超す。現在の沖縄トラフの形成開始時期に関しては、まだ議論が残るものの、南部沖縄トラフでは音響層序と陸上層序の対比から更新世以降とされている<sup>[12]</sup>。沖縄トラフには九州から沖縄島北西沖へ続く火山フロントが存在し、海底火山が分布している<sup>[4][13]</sup>。琉球弧ならびに背弧海盆を形成した新生代テクトニクスに関しては、多くの研究が行われているが<sup>[11][14]</sup> 北部のデータが乏しく、いまだ全体像が把握できていない。したがって、GH11 航海では北部沖縄トラフのデータ取得を行った。沖縄トラフは大陸性の地殻が引きのばされるリフティングのステージにあると考えられるが、沖縄トラフ北部ではトラフ底

を埋める成層した堆積層が発達し、この堆積層を切る正断層群が多数認められた (図 6)。断層面の傾斜方向は軸の北西側では北西方向に、南東側では南東方向にブロック状に回転しており<sup>[15]</sup>、その軸部において堆積層が最も薄くなる。このリフティングの軸は地形的な最深部とは必ずしも一致していない。また、リフティングの軸は沖縄トラフを横切る方向である北東-南西方向に連続するが、断層によって切られて雁行状に配列している<sup>[16]</sup>。このような観察事実から、この海域の地質理解のためには地形的な最深部を見るだけではなく、海底面下の地質構造を調べることが重要であると言える。

#### 4 海底鉱物資源の開発への展開

次に、海洋地質図の利用の一例として、海底鉱物資源の開発への活用を議論する。産総研は既述の通り、地質情報の整備の一環として海底の地質構造や表層堆積物の採取・分析のノウハウを長年に渡って培ってきた。鉱床の胚胎場には地質構造の規制が存在すると考えられる<sup>[17]</sup>。したがって、海底鉱物資源が期待される場の海洋地質情報の整備は資源賦存場の絞り込みにとっても有効と期待される。特に、産総研の行う画的なグリッド状の海洋地質調査によって、これまで見落とされていた新たな海底鉱物資源の賦存可能性場の発見の可能性がある。

なお、海底鉱物資源評価においては、国の複数の機関がそれぞれの機関の有する技術や機器・機材の特徴を活かして取り組んでいる。海洋研究開発機構および大学関係機関からは海底鉱物資源の調査を実施し、特に「もの」の調

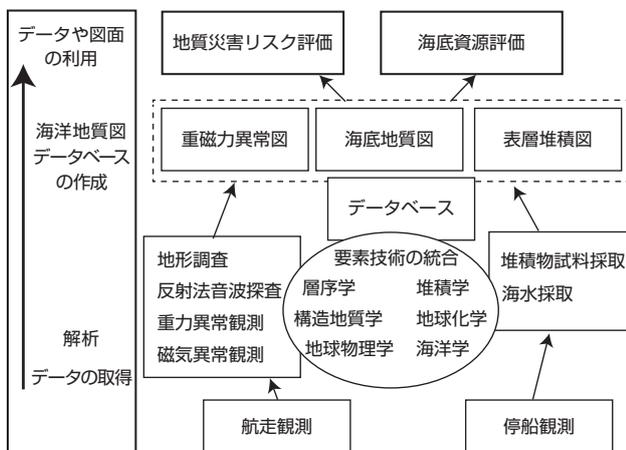


図 4 20 万分の 1 海洋地質図のデータ取得から海洋地質図の作成とデータや地質図利用のシナリオ

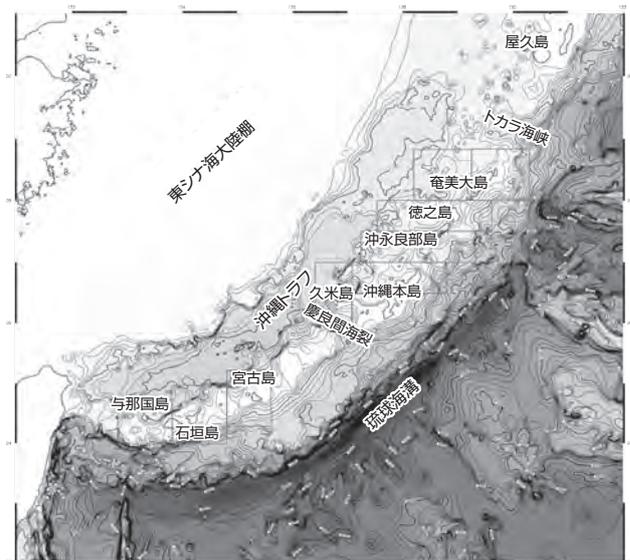


図 5 沖縄プロジェクトの調査範囲と海底地形 ([1] より引用) 四角は地質図を作成する予定のエリアを示す。沖縄プロジェクトでは島嶼周辺で 10 枚の 20 万分の 1 の地質図を作成する。

査を行い成因に関する研究等を行っている。例えば、IODP（統合国際深海掘削計画）では、沖縄トラフの伊平屋北熱水活動域で海底微生物研究をターゲットとした科学掘削が行われた<sup>[18]</sup>。一方、石油天然ガス・鉱物資源開発機構は、特に資源開発の有望海域にターゲットをおいて海底着座式ボーリングマシン（BMS）等を使ってコア試料を採取し、資源量の評価を実施している。海底鉱物資源評価においては、「もの」を中心としたこれらの組織の研究と、広域の「場」を中心とした産総研の研究とは、互いに協力・連携しながら推進していく必要がある。

以下に、これまでの沖縄プロジェクトの調査例として、産総研の海洋地質調査を基にした海底鉱物資源の開発に向けた調査研究の展開と課題を述べる。

#### 4.1 沖縄トラフにおけるポテンシャルサイト検討の視点

ここで、熱水活動が現在存在するか過去に存在した可能性のある場所を「ポテンシャルサイト」と呼ぶ。活動的な背弧海盆としての新しい地質現象が認められる沖縄トラフでは、トラフのリフティングの軸とそれを横切る方向の断層の接合点付近、および島弧-海溝系に支配される海底火山列の海底カルデラにおいて熱水活動の存在の可能性が指摘されている<sup>[5]</sup>。これまで日本周辺海域では、火山フロントや背弧リフト帯の海底カルデラや構造的凹地で熱水鉱床の賦存が確認されて探査が行われてきた。その主な発見域は伊豆・小笠原弧および沖縄トラフ海域である（図1）。つまり、海底下の地質構造を理解し、断層系の分布を把握することや、海底火山やカルデラの分布を把握することは、沖縄トラフに存在する未知の熱水鉱床を探し出す可能性を導くものである。さらに、同じような地質学的なバックグラウンドをもつ海域においては、現在は非活動的な場所にも過去の活動による鉱床形成の可能性がある。沖縄プロジェクトの海洋地質調査で1/20万の地質図を作成する調査海域

（図5）はトラフには及んでいない。ポテンシャルサイトの検討には、調査海域を拡大して沖縄トラフの背弧海盆の地質情報を整備する必要がある。

#### 4.2 新たなポテンシャルサイトの発見に向けた画一的なグリッドデータ取得の意義

海洋地質調査において、的確に地質構造を把握するために、海域における航走観測では、船を自由な方向に走らせてデータが取れる利点を活かし、一般的には地質構造つまり変形の方に直交するように測線を設定する。近年の1/20万海洋地質図の調査では、地質構造に直交する航走観測の測線間隔は約2マイルで設定し、マルチナロービーム測深機による海底地形、パラメトリックSBP（サブボトムプロファイラー）による表層探査、反射法音波探査、重力・磁力探査等の物理探査を同時に行っている。さらに、その測線に直交する方向に約4マイル間隔で測線を設定している。これにより、約5 km以上の長さをもつ断層や褶曲軸のような地質構造を把握可能である。また、堆積物の採取地点もこの直交する測線の交差点に設定されるため、グリッドを作るように試料採取が行われている。このような画一的なデータセットの取得と解析は、海域の全体像の把握に不可欠であるとともに、恣意的に観測を行うと見落とされてしまう情報を得ることができる。

#### 4.3 ポテンシャルサイトにおける可能な調査研究の現状と課題

##### 4.3.1 航走観測の調査と課題

反射法音波探査は海底地質構造を知るための基礎的な調査方法の一つである。沖縄トラフのリフティングの軸がそれと斜向する断層によって切られている接合部に海底熱水鉱床が存在している可能性があり、伊是名海穴はその一例とされている<sup>[5]</sup>。反射法音波探査による背弧海盆全体の地下構造の把握はポテンシャルサイトの把握のためにまず実

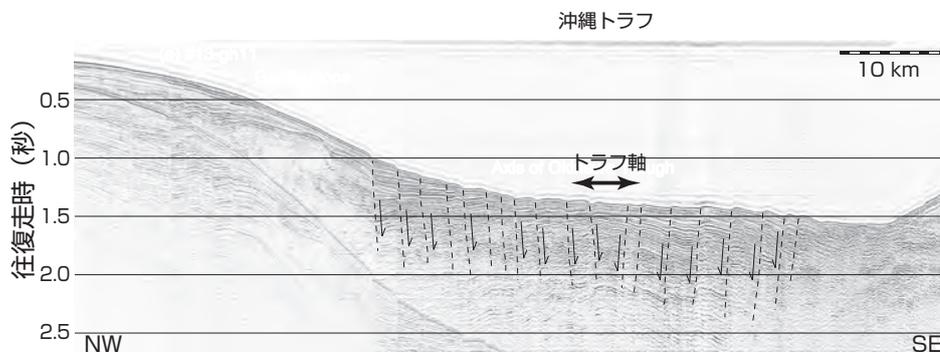


図6 GH11 航海で取得した音波探査断面 ([16] より引用)  
 沖縄トラフに直交する音波探査断面。成層した地層の内部反射面が明瞭に認められる。これらの地層は正断層群（図の破線で示す）によって切られている。

施すべき手段と言え。同じくポテンシャルサイトになり得る海底カルデラについて特に重点をおき、GH09～12航海では沖縄トラフでいくつかの海底カルデラの地下構造断面の取得に成功した。反射法音波探査や岩石採取は海底カルデラの形成メカニズムを解明する上で重要である。航走観測で同時に行う重力・磁力探査等の物理探査においても、火山岩を伴う岩石が地下に存在していれば、異常として見いだすことができる。これらによって、カルデラ全体の広がりや、カルデラ形成の年代やメカニズムの解明につなげることが可能になってきた。

ただし、熱水鉱床の開発としては、鉱床自体が範囲数100 m程度の狭い範囲に堆積物あるいはカルデラ壁からの崖錘堆積物と混在して存在することから深度方向および水平方向の地層分解能は数 m程度が要求される。また、背弧海盆の熱水鉱床域の賦存域はカルデラ壁近傍の複雑な場所にあり、これまでの反射法音波探査のみから正確なイメージングが難しい。したがって、今後は高分解能の音源を使った新たな手法や、海底面直上を曳航する深海曳航式の音波探査、海底面直上の重力・磁力探査等、これまでとは異なるより精度の高い手法の導入が必要となる。

#### 4.3.2 停船観測の調査と課題

停船観測による採泥作業では、グラブ採泥器を用いたグリッド状の表層堆積物の取得、柱状コア試料の取得、また、急峻な岩石の露出域ではドレッジによる採泥作業が行われてきた。これら画一的に採取された表層堆積物試料



図7 GH12航海で使用した「白嶺」に搭載されている遠隔操作無人探査機（ROV）システム

このROVシステムはフェザーケーブルと呼ばれるケーブルでROV本体を海底で切り離すことができる。そのため、投入時にケーブルに浮力体を付けるなどの作業が不要で有り、短時間でのオペレーションができる。ROVにより、海底の様子をリアルタイムで観察でき、マニピュレーターを使って岩石の採取や海底での作業も可能である。

はこれまで熱水活動の把握のためには利用されてこなかったが、これらの堆積物試料を弱酸によりリーチングし、熱水活動により放出された硫化物を選択的に分解して分析することで、熱水活動の痕跡や活動域の絞り込みに貢献できる可能性がある。さらに、GH12航海では、2012年に就航した「白嶺」（石油天然ガス・金属鉱物資源機構所有）に搭載されている遠隔操作無人探査機（ROV）を利用した調査を実施した（図7）。ROVは約2 kmの海底観察を2露頭（2本のルートでの探査）で行って、合計で3つの試料を採取した。作業は、投入揚収時間も合わせて約5時間であった。ROVの調査では、海底映像をリアルタイムで観察でき、必要なサンプルをその場で判断して採取できる。潜航調査による露頭観察が採泥作業と同様に短時間のオペレーションで可能になれば、ポテンシャルサイトがある程度絞り込んだ次のステップとしてROV調査が有効である。ただし、ROV調査を利用できる船舶は限られている。

#### 5 まとめと今後の展望

この論文では、知的基盤整備の一環として実施する海洋地質調査の成果の活用の例として、沖縄プロジェクトに関する現状と、主として海底鉱物資源の開発への貢献の方法を論じた。

2008年度から開始した沖縄プロジェクトは島嶼周りの知的基盤整備の一環として地質情報の取得を目指している<sup>[19]</sup>。これまでに、琉球弧で最も主要な島の一つである沖縄島周辺の調査をはじめの3年間で完了し、2012年度の調査では鹿児島県沖永良部島周辺の調査を実施した。沖縄プロジェクトでは海洋地質学的な見地から、海域活断層の把握や海底鉱物資源探査の基礎となるカルデラ構造の把握等の重要な成果をあげつつある。

今後、知的基盤整備として実施している沖縄プロジェクトの計画を、沖縄トラフに調査範囲を広げてデータの取得を目指すことで新しい鉱床の発見の可能性は大きく広がると言える。ただし、調査海域の拡大にはいくつかの課題がある。最も大きなものは、調査を実施する船舶の確保である。海洋地質調査には、設定した測線、設定した観測点で調査を行うための装備をもった船舶が必要となる。また、海底鉱物資源の開発へ向けて広域的な調査の実現を目指したときには、これまで述べてきた通り効率化と技術面での課題も残される。より大きな目で国益を考えれば、海底鉱物資源の開発は省庁、機関を超えて効果的効率的に行うことが必要であることは言うまでもない。産総研を含め、互いの技術やノウハウを活かす連携協力を構築し、効率的な研究体制を作る必要がある。

## 謝辞

産総研の日本周辺海域の知的基盤整備は、その前身である工業技術院地質調査所海洋地質部から継続的に行われてきた。多くの諸先輩や関係者の皆さまによる海洋調査の手法の開発や科学的な議論の積み重ねの賜である。また、調査船を用いた海洋調査ではその運航などに多くの方々のご協力を頂いた。特に、石油天然ガス・金属鉱物資源機構およびその前身の金属鉱業事業団所有の調査船舶が海洋地質調査における重要な役割を果たしてきた。かかわってこられた皆さまに、ここに記して感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] 荒井晃作, 西村 昭: 沖縄海域の調査に向けて-特集号のはじめに-, *地質ニュース*, 633, 10 (2007).
- [2] 西村 昭, 湯浅真人, 岸本清行, 飯笹幸吉: 大陸棚画定調査への挑戦-国の権益領域拡大と地球科学の貢献-, *Synthesiology*, 6 (2), 103-117 (2013).
- [3] 白井 朗: *海底鉱物資源-未利用レアメタルの探査と開発-*, オーム社 (2010).
- [4] 横瀬久芳, 佐藤創, 藤本悠太, Mirabueno, M.H.T., 小林哲夫, 秋元和實, 吉村浩, 森井康宏, 山脇信博, 石井輝秋, 本座栄一: トカラ列島における中期更新世の酸性海底火山活動, *地学雑誌*, 119, 46-68 (2010).
- [5] 原口 悟, 児玉敬義: 沖縄トラフの海底熱水鉱床, *地質ニュース*, 634, 10-14 (2007).
- [6] 池原 研: 海底を調べる, 海から聞く地球のメッセージ, *産総研TODAY*, 5 (8), 4 (2005).
- [7] S. Kato: A geomorphological study on the classification and evolution of trenches around Japan, *Rep. Hydr. Res.*, 27, 1-57 (1991).
- [8] 小西健二: 琉球列島(南西諸島)の構造区分, *地質学雑誌*, 71, 437-457 (1965).
- [9] 荒井晃作, 井上卓彦, 辻野 匠, 村上文敏, 池原 研: 沖縄島東方沖の音波探査, 『*沖縄周辺海域の海洋地質学的研究*』平成20年度研究概要報告書-沖縄島東方海域-, 産業技術総合研究所地質調査総合センター速報, 46, 29-39 (2009).
- [10] 渡辺偉夫: *日本被害津波総覧 第2版*, 東京大学出版会 (1998).
- [11] J. Letouzey and M. Kimura: The Okinawa Trough: Genesis of a back-arc basin developing along a continental margin, *Tectonophysics*, 125 (1-3), 209-230 (1986).
- [12] J.O. Park, H. Tokuyama, M. Shinohara, K. Suyehiro and A. Taira: Seismic record of tectonic evolution and backarc rifting in the southern Ryukyu island arc system, *Tectonophysics*, 294 (1), 21-42 (1998).
- [13] R. Shinjo: Geochemistry of high Mg andesites and the tectonic evolution of the Okinawa Trough-Ryukyu arc system, *Chem. Geol.*, 157 (1-2), 69-88 (1999).
- [14] J.C. Sibuet, B. Deffontaines, S.K. Hsu, N. Thureau, J.P. Le Formal, C.S. Liu and ACT party: Okinawa Trough backarc basin: Early tectonic and magmatic evolution, *J. Geophys. Res.*, 103 (B12), 30245-30267 (1998).
- [15] C.S. Lee, G.G. Shor, L.D. Bibee, R.S. Lu and T.W.C. Hilde: Okinawa Trough: Origin of a back-arc basin, *Marine Geology*, 35 (1-3), 219-241 (1980).
- [16] 佐藤智之, 荒井晃作, 井上卓彦: GH11航海での反射法音波探査概要: 沖縄トラフ拡大軸と陸棚斜面勾配, 『*東シナ海沖*

『*沖縄トラフ海域の海洋地質学的研究*』平成23年度研究概要報告書-北部沖縄トラフ海域-, 産業技術総合研究所地質調査総合センター速報, 58, 46-53 (2012).

- [17] F.J. Sawkins: Sulfide ore deposits in relation to plate tectonics, *Jour. Geol.*, 80 (4), 377-397 (1972).
- [18] Expedition 331 Scientists: Deep hot biosphere, *IODP Preliminary Report*, 331 (2010).
- [19] 荒井晃作, 池原 研: 沖縄島周辺の海洋地質調査 琉球列島および東シナ海の地質情報整備を目指して, *産総研 TODAY*, 11 (6), 27 (2011).

## 執筆者略歴

荒井 晃作 (あらい こうさく)

1994年金沢大学自然科学研究科物質科学専攻博士課程修了。1997年通商産業省工業技術院地質調査所入所。2001年独立行政法人産業技術総合研究所海洋資源環境研究部門主任研究員、2004年独立行政法人産業技術総合研究所地質情報研究部門主任研究員、2010年から同部門海洋地質研究グループ研究グループ長となる。入所以来海洋地質調査に従事し、遠州灘海底地質図等の海洋地質図を執筆出版した。沖縄プロジェクトの立ち上げから、調査実施を指揮している。この論文では、沖縄プロジェクトに関する現状をまとめ、海底鉱物資源の開発への貢献の方法を論じた。



下田 玄 (しもだ げん)

1996年京都大学大学院人間・環境研究科人間・環境学専攻修了(人間・環境学博士)。1997年京都フィッシュントラック株式会社入社。1998年京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設講師(研究機関研究員)。2001年独立行政法人産業技術総合研究所地球科学情報研究部門重点研究支援協力員。2005年独立行政法人産業技術総合研究所地質情報研究部門研究員。2012年からは資源テクトニクス研究グループ長となる。専門は固体地球化学。この論文では、海底鉱物資源のポテンシャルサイトにおける可能な調査研究の現状と課題に関する提言をした。



池原 研 (いけはら けん)

1982年東京学芸大学教育学部卒業。同年通商産業省工業技術院地質調査所入所。2005年独立行政法人産業技術総合研究所地質情報研究部門海洋地質研究グループ研究グループ長。海域地質図プロジェクトリーダー。2009年独立行政法人産業技術総合研究所地質情報研究部門副研究部門長。入所以来日本周辺海域を中心とした海洋地質調査に従事。専門は堆積学。この論文では、海域地質図プロジェクトリーダーとして海底鉱物資源の開発に向けての産業技術総合研究所としての取り組み方について提言した。



## 査読者との議論

### 議論1 全般

コメント(富樫 茂子: 産業技術総合研究所)

産総研が旧地質調査所時代から継続して実施してきた、日本周辺海域の地質情報の整備としての海洋地質調査について、特に沖縄プロジェクトに関して現状と課題を明らかにしており、国の知的基盤整備の方法論として、シンセシオロジー論文としてふさわしい内容である。初稿においては、方法論としての展開は不十分な点があったが、

改善されている。

コメント（瀬戸 政宏：産業技術総合研究所）

沖縄海域での海洋地質調査の意義について、地球科学の視点、防災および資源ポテンシャル評価の視点から論じており、大変興味深い論文となっている。シンセシオロジー論文としても内容、構成ともに適切なものとなっている。また、沖縄海域の今後の調査の発展を期待したい。

回答（荒井 晃作）

沖縄周辺海域の調査によって、地球科学的な新しい知見が得られています。また、昨今の日本を取り巻く情勢をみても、国土の基盤情報整備は速やかに行う必要があると思います。産総研の調査として一定の質を保ちながら、能率を向上していきたいと思えます。

## 議論 2 国土の基盤情報のデータ取得から利用までの流れ

コメント（富樫 茂子）

「国土の基盤情報のデータ取得から利用までの流れ」や図 4 については、シンセシオロジー論文として丁寧に説明を加えていただきたい。

特に分野外の人には、取得されたデータが堆積図や地質図になる過程を丁寧に説明する必要があります。例えば、堆積学、構造地質学、地球物理学、地球化学、鉱床学、地震学等の最新知識を駆使して、その地域に特有な堆積作用や、地質構造、鉱床生成プロセス等の解釈が必要なことの説明を加えてください。このような多様な「要素技術」を、科学的なシナリオに基づいて「シンセシス」して、対象地域の地質現象を明らかにし、堆積図や地質図にまとめ上げていることを明確に示してください。また、図 4 にも、キーワードとなる上記の\*\*学のうち主要と判断できるものを総合するプロセスを示してください。

また、「海底鉱物資源の開発への展開」については、何を目的として、その方法を選択し、その結果何が分かったか。今後何を分かることが必要で、そのためにどのような方法の選択が必要なのか、そのための課題は何かという流れが明確になるようにしてください。

回答（荒井 晃作）

国土の基盤情報としての海洋地質図の作成から利用までの流れをなるべく分かりやすく加筆いたしました。実際の調査航海では、多くの研究者が乗船して資・試料を収集します。取得したデータの解析・解釈には多様な知識が必要になります。また、取得した試料に関しても、産総研内部にとどまらず、大学等のそれぞれの専門分野の研究者に配分されて、たくさんの知見が得られます。海洋地質図のシリーズはこれらの集大成と言えます。

## 議論 3 「画一的な調査」について

コメント（富樫 茂子）

「画一的な調査」という表現が散見されますが、これはこの論文の重要なキーワードですので、丁寧に説明してください。

画一的の意味は、たとえば、「空間的に系統的網羅的にデータが取得され、かつデータの項目選定や取得の方法が標準化された方法で取得され、一定の質を確保されている」ということでしょうか。

回答（荒井 晃作）

第 2 章に加筆いたしました。

## 議論 4 海底下にある断層活動の調査法

コメント（瀬戸 政宏）

琉球弧およびその前弧斜面上部において島弧を横切る断層が発達していることを述べられた上で、今後の詳細な活動度の調査の重要性を指摘されています。海底下にある断層活動の調査、評価については、地上の活断層調査とは当然異なる手法があると思いますが、そういった技術、方法論は確立しているのでしょうか。また、確立しているとしたらどのような方法によるのでしょうか。

回答（荒井 晃作）

地球のプレート境界部の多くは海域にあります。つまり大きな地震リスクの原因になる断層の多くは海域に存在していると言えます。また、海域の断層の活動は津波を引き起こすこともあります。このような観点で、海域活断層の評価手法の研究は産総研でも続けています。まず、海域の活断層の分布やその形状は反射法音波探査を使って調べることができます。しかし、重要なのはその活動度や活動履歴を知ることです。海域の活断層を挟んでコアを取得して、両者の層厚変化からその活動履歴を研究している例があります。また、地震性堆積物（タービダイト）が、大きな地震に伴って形成されることがあり、柱状コア試料の分析により地震性堆積物の狭する頻度を研究することから大地震の活動履歴を明らかにできます。これらの調査は、それぞれの海域に適した手法を使うことが大事になり、調査事例を積み重ねていくことも必要です。

## 議論 5 鉱床の胚胎場への地質構造の規制

コメント（瀬戸 政宏）

「鉱床の胚胎場には地質構造の規制が存在する」として、地質構造の規制というのは一般的などのような構造や事象を指して言うのでしょうか。

回答（荒井 晃作）

熱水活動の存在の可能性は、島弧火山および背弧海盆に集中しています。背弧海盆では、引張の応力場に関連する背弧リフト帯の形成により、地下のマグマ活動に伴う熱水活動が存在します。地下深部から続く断層等の存在している場所は可能性が高いと考えられます。

## 議論 6 沖縄海域の海洋地質調査の特徴と今後の展開

コメント（瀬戸 政宏）

2008 年から始まった沖縄海域の海洋地質調査の今後の展開について、計画としてどのような地質図幅をどの時点までに整備していくという計画になっているのでしょうか。また、地質図幅の整備においてもそれを担当する研究者のオリジナリティが表現されるものと思いますが、この沖縄海域調査での結果はこれまでの海洋地質調査と特徴という点でどのような違いがでることを期待できるのでしょうか。

回答（荒井 晃作）

計画では、2019 年度まで調査が続く予定です。地質図の作成に関しては、調査がすでに終了した沖縄島および久米島周辺の海域から始めています。順次出版を進めていきたいと思えます。これまでの海域との違いに関しては、地質構造の違いについては、その一部をこの論文に記載させて頂きました。主要四島の調査と違うおもしろい特徴として、大きな河川の流入はないことをあげさせて頂きます。河川で流入してくる陸源の碎屑物が少なく、一方でサンゴ礁が形成され高い生物生産量を有します。したがって、島の周辺では生物遺骸粒子が海底を埋めています。このことは、堆積物の供給および堆積作用等に影響を与えています。