

SIP「次世代海洋資源調査技術」における 産総研の2016年度成果と今後の取り組み

山崎 徹¹⁾・池原 研¹⁾

1. はじめに

戦略的イノベーション創造プログラム(Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program ; SIP)は、総合科学技術・イノベーション会議(CSTI)が司令塔機能を発揮して、府省の枠や旧来の分野の枠を超えたマネジメントに主導的な役割を果たすことを通じて、科学技術イノベーションを実現するために創設されたプログラムです。SIPは、社会的に不可欠で、日本の経済・産業競争力にとって重要な課題、そのプログラムディレクター(PD)及び予算をCSTIがトップダウンで決定し、府省連携による分野横断的な取組を産学官連携で、基礎研究から実用化・事業化までを見据えて一貫通貫で研究開発を推進するという特徴をもっています。

産総研地質調査総合センター(GSJ)地質情報研究部門は、11課題あるSIPプログラムのうち、「次世代海洋資源調査技術」(PD、浦辺徹郎東京大学名誉教授、国際資源開発研修センター顧問)に発足当初の2014年度から参画しています。本論では、このSIPプログラムにおける海洋資源の成因研究に関するGSJの2016年度までの成果と、第4事業年度となる今年度の取り組みを紹介します。

なお、本論におけるSIP施策全体および「次世代海洋資源調査技術」全体に関する記述は、内閣府のウェブサイトやパンフレットに公開されている資料に基づいており、全体としてそれらの内容を引用・要約したものです。本SIPプログラムに関しては、研究開発計画(内閣府政策統括官、2017)に、より詳しい記述があります。また、本SIPプログラムに関するGSJの取り組みの全体像については、本論における完結性を保つために、山崎・池原(2014)及び山崎ほか(2015, 2016)に基づいて記述しており、それらと一部重複があります。

2. 「次世代海洋資源調査技術」(海のジパング計画)の概要

我が国は、国土面積の12倍を超える領海・排他的経済

水域を有しており、これらの海域には、産総研をはじめ、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)、国立研究開発法人海洋研究開発機構(JAMSTEC)や大学等の海洋調査によって、海底熱水噴出口を伴う塊状硫化物やコバルトリッチクラストなど、数多くの有用元素濃集域の存在が報告されています。しかしながら、これらは厚い海水に覆われているため、資源の確認や開発、利用のためには、有望海域を絞り込むための海洋資源の成因解明研究や、従来よりも飛躍的な効率で調査するための調査機器・手法の開発、さらに、開発に伴う海洋環境悪化を防止するための海洋環境を長期に監視する技術の開発が必要です。

SIPプログラム「次世代海洋資源調査技術」(海のジパング計画)では、府省連携のもと、海洋鉱物資源を低コストかつ高効率(従来の数倍以上のスピード)で調査する技術を世界に先駆けて実現すること、資源が眠る深海域において使用可能な未踏海域調査技術を確認することを目標に研究開発に取り組んでいます。そして、競争力のある技術を産官学一体で開発、技術ノウハウを民間企業に移転し、海洋資源調査産業を創出すること、また、グローバルスタンダードを確立し、海外での調査案件受注など海外へ展開することを出口戦略としています。これらの実現のため、本SIPプログラムでは(1)海洋資源の成因の科学的研究に基づく調査海域の絞り込み手法の開発、(2)海洋資源調査技術の開発、そして(3)生態系の実態調査と長期監視技術の開発の3つの柱で研究開発を実施してきました。そして2015年度からは、既存の取組みの充実に向けて、大学等を取り込んで海洋資源調査技術を産学官一体で開発することによって海洋調査産業の創出の加速化を図るとともに、2016年度には本SIPプログラムのマネジメント体制を一新し、それらの大学等の公募事業を既存の研究課題と統合し、3つのテーマとしました。さらに、2017年度からは、海底熱水鉱床を対象として、技術移転を受ける民間企業が主体となって調査を行う、(4)統合海洋資源調査システムの開発・検証を重点化し、これを4つ目のテーマとして、最終的な次世代海洋資源調査技術の確立を目指し

1) 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門

キーワード：戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)、次世代海洋資源調査技術、海底鉱物資源、海洋地質

ています。

GSJ地質情報研究部門は、4つのテーマのうち、「(1) 海洋資源の成因の科学的研究に基づく調査海域の絞り込み手法の開発」(以下、「成因研究」)においてJAMSTECや国立大学法人九州大学を代表とする研究課題と連携して研究開発に取り組んでいます。加えて、「(4) 統合海洋資源調査システムの実証」の主体である民間の次世代海洋資源調査技術研究組合(J-MARES)及び一般社団法人海洋調査協会(JAMSA)と連携し、「成因研究」で得られた科学的知見や海洋調査技術の民間企業への橋渡しを目指しています。

3. 産総研の取り組みの全体像

我が国周辺の海洋鉱物資源有望海域は数千km²規模であり、船舶や探査機が短期間で行動でき概査が可能な面積である数百km²規模にまで絞り込むためには、資源の形成過程や濃集メカニズム等の成因解明による地球科学的根拠に基づいた手法を用いるほかに考えられません。また、その後の準精査によって有望海域をさらに絞り込むためにも、成因論に基づき最適な取得データ項目や調査機器のスペックを決定することが重要です。そして、その海洋資源の成因を深く理解するためには、採取試料の化学分析等の解析結果に加え、海洋調査によって得られる空間的広がりを持った海底地形や海洋地質情報等の知見が必要です。

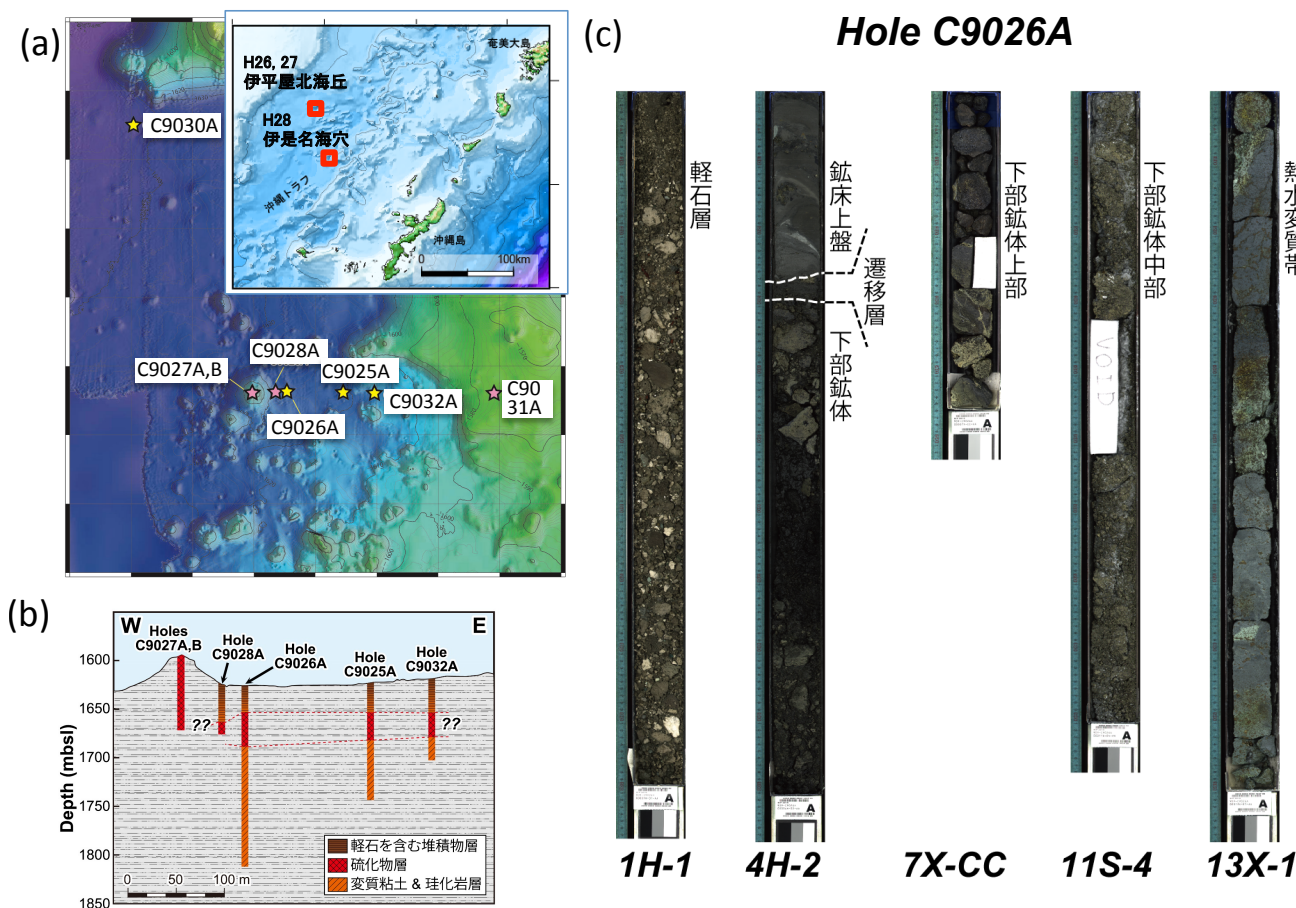
GSJは我が国の「地質の調査」に関するナショナル・センターとしての役割を担っており、地質学的研究の多岐にわたる専門家を有しています。また、同センターでは、過去40年以上にわたり日本周辺海域の海洋地質学的研究およびその成果としての海洋地質図の出版を行っており、海域の地質調査による資試料の取得からその解析・分析を一貫して行うことのできる組織です(例えば、荒井ほか、2013)。海底鉱物資源に関しては、特にこの数年、沖縄周辺海域において活発な熱水活動域を複数域で発見し、多種類の金属を含む塊状硫化物等の採取に成功しています(注1-3)。そこで、本SIPプログラムにおける「成因研究」において、GSJでは、モデル海域の海底熱水鉱床を胚胎する地質基盤の成因モデル(造構モデル)の確立を通じて、調査海域の絞り込みに資する地質学的情報や地球科学的指標を特定することを目指しています。そのために、JAMSTECや大学等と連携し、「成因研究」全体で一体となって研究開発を推進すると同時に、GSJの強みとする部分については主たる分析・解析等を分担・主導して実施しています。

4. これまでの研究成果

本SIPプログラム発足当初の3本柱のひとつである「生態調査・長期監視技術開発」との共同調査航海として、2014年7月に19日間、沖縄トラフ伊平屋北海丘(水深約1,000m)において、地球深部探査船「ちきゅう」による掘削航海が実施されました。また、「成因研究」の一環として、2015年2月に10日間、南鳥島沖の拓洋第5海山の水深3,000-4,000mにおいて、深海調査研究船「かいいい」による、遠隔操作無人探査機(Remotely operated vehicle: ROV)「かいこう Mk-IV」を用いたコバルトリッチクラスト調査航海が実施されました。これらの成果の概要は、山崎・池原(2014)及び山崎ほか(2015)に紹介されています。さらに、第2事業年度となる2015年度は、2016年2月から3月にかけて32日間、沖縄トラフ伊平屋北海丘及び伊平屋小海嶺(水深約1,550m)において「ちきゅう」を用いた海底熱水域掘削調査航海が実施され、GSJは船上研究に従事しました。この掘削結果の概要及びその他の2015年度の成果の概要は、山崎ほか(2016)に紹介されています。

第3事業年度である2016年度は、2016年11月16日から12月15日にかけて、30日間にわたる「ちきゅう」掘削航海が沖縄トラフ伊是名海域(水深約1,600m)で実施され、乗船研究者の一員としてGSJからも参加し、掘削コアの肉眼記載や電気的特性の計測などを担当しました。この掘削結果の速報は、航海終了時の2016年12月19日にJAMSTECからプレス発表されており(注4)、以下の船上での成果は主としてこの発表に基づく共同研究成果です。この航海では、海底熱水鉱床の成因モデル構築と調査海域の絞り込み手法実証のため、沖縄本島の北西、中部沖縄トラフに位置する伊是名海穴 Hakurei サイト(注5-6)(第1図a)において、海底下鉱体、マウンド鉱体、その周辺の海底下地層構造の把握を目的とした科学掘削調査を行いました(第1図b)。そして、既存情報が存在し、潜頭性熱水鉱床の調査指針確立に適したフィールドである同海域を対象とし、系統的なコア試料採取(第1図c)、船上分析、孔内物理検層を行いました。

海底熱水鉱床の海底下鉱体の成因モデルには、①硫化物マウンドやマウンド上に生成したチムニーの崩落物が堆積して生成したという説と、②海底下に存在する地層が置換されて生成したという説との、大きく分けて2つの仮説が提案されています。これまでの沖縄トラフ・伊平屋北海丘における調査では、熱水の流れを水平方向に規制する不透水層(キャップ層)の存在が鉱化作用・変質作用を支



第1図 地球深部探査船「ちきゅう」による中部沖縄トラフ伊是名海穴の掘削地点と回収された掘削コア。(a) 伊是名海穴及び掘削地点の位置(星印)。右上の海底地形図の「H28 伊是名海穴」海域が拡大図に相当。「H26, 27 伊平屋北海丘」海域は2016年度に掘削を実施し、今回の航海でモニタリング装置を設置した伊平屋小海嶺海域。(b) 掘削地点(Hakurei サイト)の東西断面。(c) Hakurei サイトの掘削孔 C9026A のコア試料の断スキャン画像。左から順に、鉬床上盤の軽石層、鉬床上盤と下部鉬体の遷移層(キャップ層)を含むコア試料、下部鉬体上部、下部鉬体中部、下部鉬体の下盤(熱水変質帯)から採取された磁硫鉄鉬(Fe_{1-x}S)・キューバ鉬(CuFe₂S₃)の脈を含むコア試料。記号(例えば、1H-1)は、コア・セクション番号で、数字が大きいくほどコア深度が深いことを意味する。図・写真はいずれも、国立研究開発法人海洋研究開発機構プレスリリース^(注4)掲載の図に基づく。

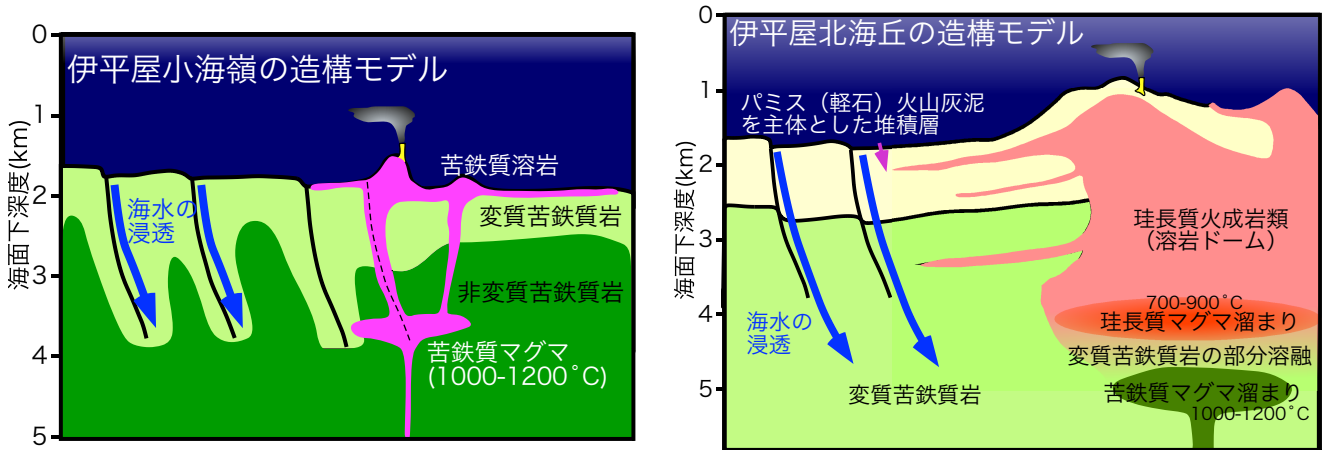
配する重要な鍵であることが明らかにされていました。本調査航海では、海底下鉬体と鉬床上盤との境界層(遷移層)、海底下鉬体中の堆積層との互層構造等が観察され、船上における海底下鉬体の観察・記載とあわせて、海底下に存在する地層が置換されて鉬化帯が生成されたという説が支持されるデータが取得されました。今回の掘削調査により、従来から提案されていた成因モデルの仮説のうち②が支持され、今後の資源探査指針および有望海域絞り込み指針の方向性が定まることが期待されます。さらに、船上でのコア試料の成分分析結果、物理パラメーター測定結果と孔内物理検層結果との比較や、塊状鉬石試料を含む各種岩相を網羅するコア試料の電気的特性データの蓄積により、電気・電磁探査や高解像度深海地震波探査の調査結果等との比較検証といった、コア試料と照合できる物理探査データが増加し、より簡便かつ安価に海底熱水鉬床の海底

下での分布を調査できる見込みが立ちました。

その他の成果として、産総研のSIP全体開発計画書(5カ年)では、第3事業年度にあたる2016年度に、中間目標として、特定の検討海域での造構モデルの提案を掲げてきました。そこで、2016年度は、「成因研究」全体として、これまでの調査海域である伊平屋北海丘・伊平屋小海嶺海域における掘削及びその試料の陸上での研究結果を踏まえた、研究開発成果資料集(鈴木ほか、2016)の作成・出版を行うとともに、第2図に示すような、造構モデルの提案を行いました。

5. 産総研における2017年度(第4事業年度)の取り組み

今後、「成因研究」テーマ全体として、最終年度までに海底熱水鉬床の有望海域の絞り込みのための成因モデルを



第2図 伊平屋小海嶺海域・伊平屋北海丘の火成岩類(基盤岩類)の造構モデル(戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)次世代海洋資源調査技術(海のジパング計画)第3回シンポジウム発表ポスターより)。このモデルは、未だ進行中の分析・解析の現段階の解釈を示したもので、引き続き、2016年度の伊是名海域の記載・化学分析データ等も統合してリバイズしていく予定。

構築するとともに、それを基にし、開発した調査技術を網羅した海洋資源調査技術プロトコルの提案を行うことが開発目標に掲げられています。この目標に向けて、2017年度は、①調査技術プロトコルの一次案の策定、②成因モデルのリバイズ、そして③最終年度に実施する統合海洋資源調査システム実証の計画策定が達成目標として挙げられています。このうち、③は、本SIPにおける他のテーマ(前述のテーマ(4))に関係したもので、実施主体は民間ですが、有望海域の絞り込みやその海域での調査手法に関しては「成因研究」からの提案が大きな役割を果たします。また、①から③までは、相互に密接に関連しており、①は、成因モデルの検討を通じて得られた、有望海域絞り込みのための地球科学的指標を反映させた高効率な調査の手順書の作成であり、③は、それをもとにした検証の実際的な計画策定にあたります。したがって、「成因研究」の研究開発自体本質的な課題は、成因モデルのリバイズによる高度化・一般化にあるといえます。

そこで、GSJでは、昨年度までに得られた試料・データの解析を引き続き「成因研究」全体で連携して進めるとともに、海底地形や海洋地質情報と資源を胚胎する地殻形成過程・地質構造発達史との関連性を検討するため、地形地質調査手法の精度向上に関する研究開発とあわせて、伊是名海域の掘削結果を踏まえた基盤岩類の造構モデルのリバイズに取り組みます。

具体的には、第2事業年度(2015年度)までに「ちきゅう」掘削によって得られた伊平屋北海丘及び伊平屋小海嶺の資試料や、同海域で2010年に実施された統合国際深海掘削計画(IODP)第331次航海で得られたコア試料につい

ての、室内での顕微鏡観察・記載、全岩・鉱物化学組成分析・同位体比・物性測定等を引き続き実施するとともに、第3事業年度(2016年度)に実施された伊是名海域の資試料の分析・解析を実施することにより、資源濃集部周辺の基盤岩類の岩石学的・地球化学的・物性的特徴を明らかにします。そして、これらの観察結果・データをもとに、伊是名海域における火成活動のモデルを提案し、第3事業年度に提案した、伊平屋北海丘・伊平屋小海嶺海域におけるモデルとの総合化を目指します。

コバルトリッチクラストの成因研究に関しては、これまでに引き続いて、調査が予定されているモデル海山を対象に、ROVを用いた詳細な産状観察や試料採取を実施し、JAMSTECや高知大学等と分担して化学分析・解析を実施し、成因・形成過程についての研究を連携して進めていきます。

6. おわりに

本SIPプログラムは、GSJの有する海洋地質学的な知見・地質情報に関するこれまでの蓄積を活かし、科学的知見や基礎研究成果を、出口を見据えた調査機器開発や民間での調査技術開発に活かす「橋渡し研究」の一環といえます。私たちは、我が国の地質調査に関するナショナル・センターとして継続的かつ着実な地質情報の整備を行うと同時に、これらの研究開発や科学的知見の蓄積の継続的な努力によって、日本の産業や社会に役立つ技術の創出とその実用化や、革新的な技術シーズを事業化に繋げるための「橋渡し」を目指していきます。

- 注1：沖縄県久米島西方海域に新たな海底熱水活動域を発見（2012年12月12日プレス発表）http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2012/pr20121212_3/pr20121212_3.html（2017/5/7確認）
- 注2：鹿児島県徳之島西方海域に新たな火山活動域を発見（2013年9月9日プレス発表）http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2013/pr20130909/pr20130909.html（2017/5/8確認）
- 注3：沖縄県硫黄島周辺海域のごく浅海に海底火山を発見（2014年3月6日プレス発表）http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2014/pr20140306/pr20140306.html（2017/5/8確認）
- 注4：地球深部探査船「ちきゅう」による「沖縄トラフ熱水性堆積物掘削III」について（航海終了報告）（2016年12月19日JAMSTECプレス発表）http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20161219/（2017/5/8確認）
- 注5：沖縄海域に大規模な海底熱水鉱床を確認（2013年3月27日、JOGMECニュースリリース）http://www.jogmec.go.jp/news/release/news_01_000009.html（2017/5/8確認）
- 注6：沖縄伊是名海穴の海底熱水鉱床の資源量を740万トンと確認（2016年5月26日、JOGMECニュースリリース）http://www.jogmec.go.jp/news/release/news_06_000130.html（2017/5/8確認）

文 献

- 荒井晃作・下田 玄・池原 研（2013）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—. *Synthesiology*, **6**, 162-169.
- 内閣府政策統括官(科学技術・イノベーション担当)(2017) 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP) 次世代海洋資源調査技術(海のジパング計画) 研究開発計画. 内閣府, 40p. (<http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/index.html>) (2017/5/8 確認)
- 鈴木勝彦・池原 研・石橋純一郎・熊谷英憲・山崎 徹(編著)(2016) SIP『次世代海洋資源調査技術』研究開発成果資料集 海底熱水鉱床の成り立ち—調査手法の確立に向けて—. 国立研究開発法人海洋研究開発機構次世代海洋資源調査技術プロジェクトチーム, 60p.
- 山崎 徹・池原 研(2014) 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「次世代海洋資源調査技術」に対する産総研の成因研究への取り組み. GSJ 地質ニュース, **3**, 346-349.
- 山崎 徹・池原 研・後藤孝介・井上卓彦(2015) SIP「次世代海洋資源調査技術」における産総研の2015年度の取り組み. GSJ 地質ニュース, **4**, 191-195.
- 山崎 徹・池原 研・石塚 治・井上卓彦(2016) SIP「次世代海洋資源調査技術」における産総研の2015年度の成果と今後の取り組み. GSJ 地質ニュース, **5**, 251-255.
- YAMASAKI Toru and IKEHARA Ken (2017) GSJ's 2016FY results and future research objectives for the genesis of submarine mineral resources on the Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP), "Next-generation technology for ocean resources exploration".

(受付:2017年4月14日)