

# 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

山崎 徹<sup>1)</sup>・池原 研<sup>1)</sup>・石塚 治<sup>2)</sup>・井上卓彦<sup>1)</sup>

## 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を超えたマネジメントにより科学技術イノベーションを実現するために創設された国家プロジェクトです。このプロジェクトは、国民にとって真に重要な社会的課題や、日本経済再生に寄与できるような世界を先導する課題を解決することを目的としています。その特徴として、1)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を総合科学技術・イノベーション会議が選定すること、2)府省・分野横断的な取り組み、3)基礎研究から実用化・事業化までを見据えて一気通貫で研究開発を推進すること、4)企業が研究成果を戦略的に活用しやすい知財システム、が挙げられます。

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成因研究に関するGSJの2015年度までの成果と、第3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<sup>(注1)</sup>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。SIP施策「次世代海洋資源調査技術」に関しては、研究開発計画(内閣府政策統括官、2016)に、より詳しい記述があります。また、本SIPプログラムの成因研究に関する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)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、海洋鉱物資源の科学成因論に基づいた、低コスト・高効率で調査する技術及び将来の海洋資源開発に不可欠な環境影響評価手法の開発に取り組んでいます。これらの実現のため、本SIPプログラムでは(1)海洋資源の成因に関する科学的研究、(2)海洋資源調査技術の開発、そして(3)生態調査・長期監視技術開発の3つの柱で研究開発を実施しています。さらに、2015年度からは、既存の取り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し、海洋調査産業の創出の加速を目指しています。GSJ地質情報研究部門は、研究開発の3本の柱のうち、「(1)海洋資源の成因に関する科学的研究」においてJAMSTECと連携しているほか、後に述べる地球深部探査船「ちきゅう」を用いた海底熱水鉱床の成因研究においては、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を推進しています。加えて、「(2)海洋資源調査技術の開発」実施機関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

1) 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門

2) 産総研 地質調査総合センター活断層・火山研究部門

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

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 km<sup>2</sup> 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 km<sup>2</sup> 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知見に加え、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及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2~4)。そこで、本SIPプログラムにおける「海洋資源の成因に関する科学的研究」において、GSJでは、海洋資源の調査手法開発に資するため、地質学的観点から、造構場や成因に由来する地形的・地球物理学的情報や、岩石学的・地球化学的情報を取得・解析し、新たな有望海域の抽出に資する各種地球科学的指標の特定と、有用元素濃集域形成をともなう造構モデルの構築を行うことを目標としています。このうち、前者の各種地球科学的指標の特定は、JAMSTECと連携し、「海洋資源の成因に関する科学的研究」全体として一体となって研究開発を推進するもので、後者の造構モデルの構築は、GSJの有する地質学的知見に基づいてGSJが主導して推進するものです。

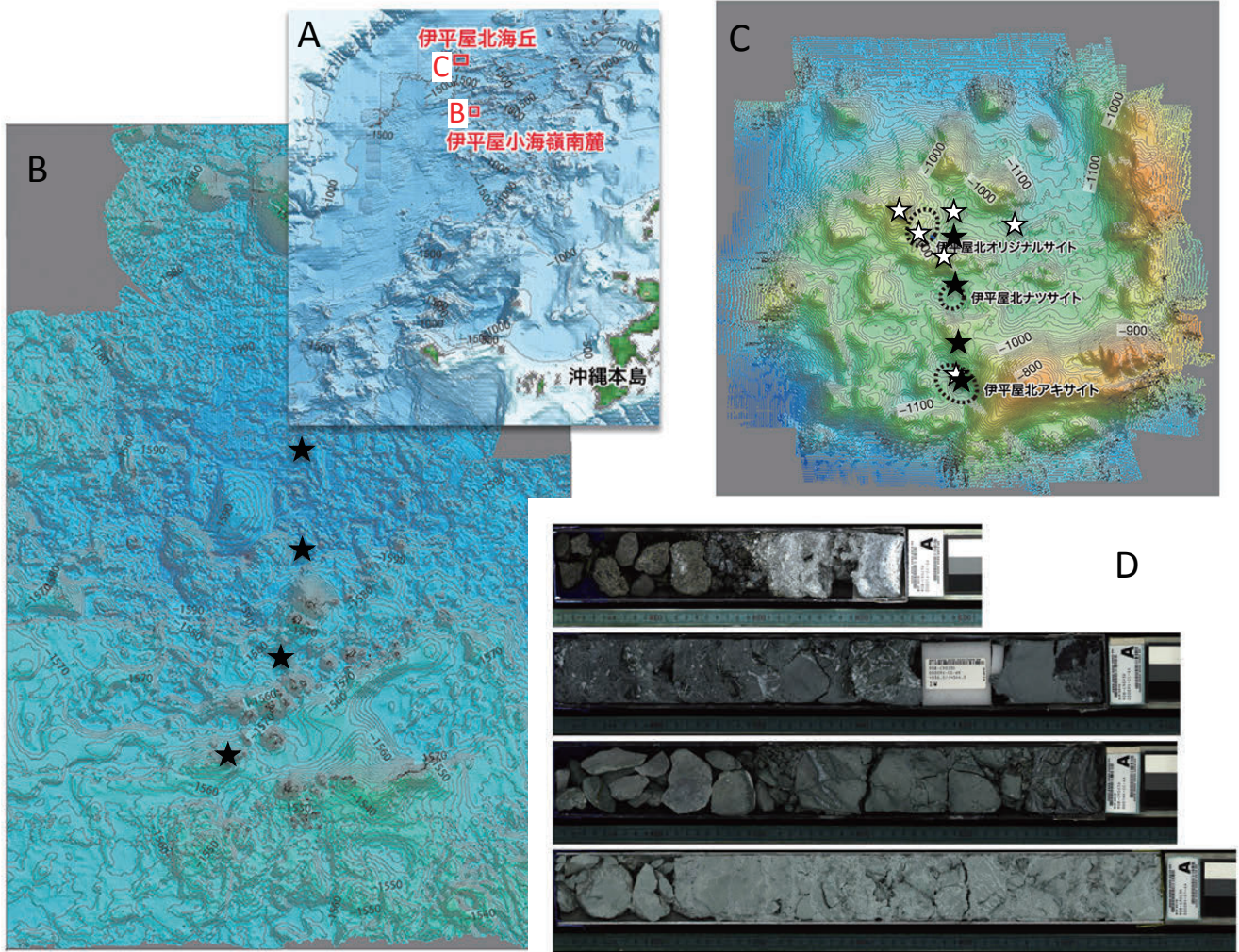
### 4. これまでの研究成果

本SIPプログラムの3本柱である、「海洋資源の成因に関する科学的研究」と「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8日から7月26日までの19日間にわたり、沖縄トラフ伊平屋北海丘(水深

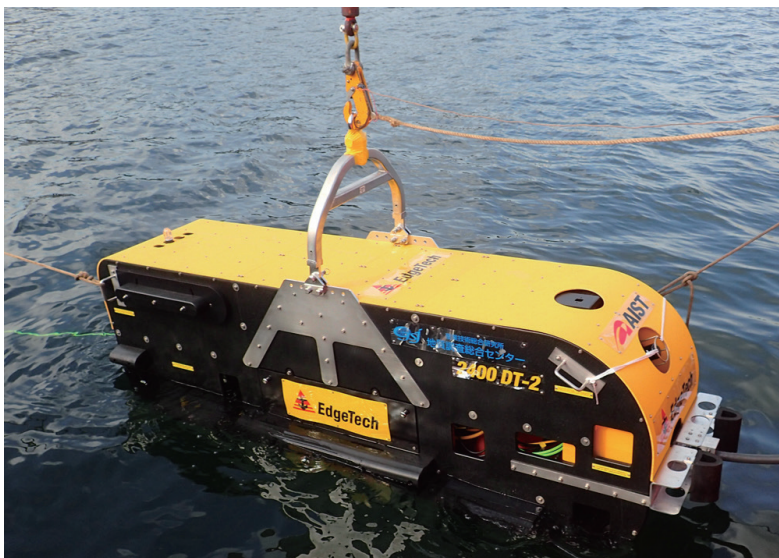
約1,000 m)において、地球深部探査船「ちきゅう」による掘削航海が実施されました。また、「海洋資源の成因に関する科学的研究」の一環として、2015年2月3日から2月12日までの10日間、南鳥島沖の拓洋第5海山の水深3,000-4,000 mにおいて、深海調査研究船「かいらい」による、海底資源探査用遠隔操作無人探査機(Remotely operated vehicle: ROV)「かいこう Mk-IV」を用いたコバルトリッチクラスト調査航海が実施されました。これらの成果の概要は、山崎・池原(2014)及び山崎ほか(2015)に紹介しています。

第2事業年度となる2015年度は、2016年2月15日から3月17日までの32日間にわたり、沖縄トラフ伊平屋北海丘及び伊平屋小海嶺(水深約1,550 m)(第1図)において「ちきゅう」によって海底熱水域掘削調査航海が実施され、GSJから乗船研究者として参加しました。この掘削結果の速報は、航海終了時の3月18日にJAMSTECからプレス発表されており(注5)、以下の船上での成果は主としてこの発表に基づくものです。この掘削航海では、2014年度と同様に掘削同時検層(Logging/Measurement While Drilling: LWD/MWD, 以下LWD)機器を用いて掘削を実施し海底下の物理検層を行った後、隣接した場所でコア試料取得のための掘削を行いました。さらに、伊平屋北海丘及び伊平屋小海嶺の各1孔において、熱水の物理パラメーター(温度、圧力、流量)長期観測や鉱物沈殿プロセスを観察するためのモニタリング装置を設置しました。LWDの結果、詳細な物理検層データと地震波探査構造解析との照合に成功したほか、2014年度の掘削では観察されなかったパターンの、ガンマ線強度と比抵抗の深度方向への変化を新たに捉えることなどに成功しました。また、掘削孔における鮮明な孔壁比抵抗画像の取得に成功しました。引き続き掘削試料採取では、硫化鉱物濃集層、変質粘土層、変質火山岩層及び珪化岩層など熱水鉱床を構成する典型的な岩相から網羅的にコア試料を取得することに成功しました(第1図)。特に伊平屋北海丘では熱水鉱床マウンドを海底下208.5 mまで掘削し、掘削孔全体を通じて各岩相の層厚や物性データを取得することができたほか、伊平屋小海嶺においては、珪化質岩から構成される伊平屋北海丘とは著しく異なる、玄武岩質の一連の層序を観察・取得することに成功しました。

JAMSTECと連携した掘削航海に加えて、2015年度は海洋地質調査手法の精度向上に資する研究開発の一環として、2014年度に導入した深海曳航式海底調査機器の実海域での運用を実施しました(第2図)。この調査航海では、海底面から高度100 m以内で機器を曳航することにより、



第1図 地球深部探査船「ちきゅう」による中部沖縄トラフの掘削地点と回収された掘削コア。A. 伊平屋小海嶺及び伊平屋北海丘の位置。B. 伊平屋小海嶺の海底地形図と掘削地点(星印)。C. 伊平屋北海丘の海底地形図と掘削地点。塗りつぶしの星印は2015年度掘削地点、白抜き星印は2014年度掘削地点。D. 代表的な掘削コア試料。上から順に、硫化物濃集層、変質粘土層、変質火山岩層及び珪化した白色粘土層の代表的なコア試料(4本目のコア試料は一部分のみを抜粋。それぞれのコアは左が上位で、直径は約6cm)。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<sup>(注5)</sup>掲載の図に基づく。



第2図 深海曳航式精密海底調査機器の海域での運用の様子。サイドスキャンソナーとサブボトムプロファイラー、インターフェロメトリック式のスワップ測深装置、動揺センサー等を装備している。海中で曳航することにより、調査船に比べて格段に詳細な精度の海底表面の情報、海底表層部の地層情報、海底地形情報を得ることが可能である。

海底面の詳細なサイドスキャンソナーイメージやこれまで認められなかった地点において水中音響異常を効率的に捉えることができました。

産総研の研究開発の目標である造構モデルの構築に際しては、特定元素の濃集に係る熱水活動と火成活動との成因的關係や地質構造発達史の解明のために、地質学的な諸現象に対して年代軸を与えるという作業が決定的に重要です。そこで、2015年度は、Ar-Ar年代測定システムを導入し、高精度の年代測定環境の整備を開始しました(第3図)。Ar-Ar年代測定法は、岩石中に含まれる放射性カリウムがアルゴンに放射壊変することを利用した岩石の年代測定法です。産総研では、過去20年間にわたりAr-Ar年代測定を実施しており(石塚, 2006)、国の大陸棚限界画定調査でも、日本近海の地殻構造発達史の解明に大きな役割を果たしました(例えば、石塚ほか, 2015)。今回このシステムの心臓部である質量分析計について、最新のマルチコレクター(多検出器)型希ガス質量分析計を導入しました(第3図)。この質量分析計はこれまでの質量分析計にはなかった優れた特徴を持っています。Ar-Ar年代測定で測定が必要なアルゴンの5つの同位体( $^{36}\text{Ar}$ ,  $^{37}\text{Ar}$ ,  $^{38}\text{Ar}$ ,  $^{39}\text{Ar}$ ,  $^{40}\text{Ar}$ )を同時に計測できる5つの検出器を備えると同時に、極微量試料の測定の場合に使用できる二次電子増倍管も備えています(第3図)。このため、これまでより大幅に測定時間を短縮できると同時に、高精度な年代決定が可能となります。海底での岩石試料採取では、採取量が限られていたり、海底熱水活動等による風化・変質により、分析に適した試料の量が極めて限られていることがよくあります。今回導入したシステムは、このような状況下でも正確で誤差の小さな岩石の形成年代を与えることが可能です。このシステムにより、海底掘削や調査船に

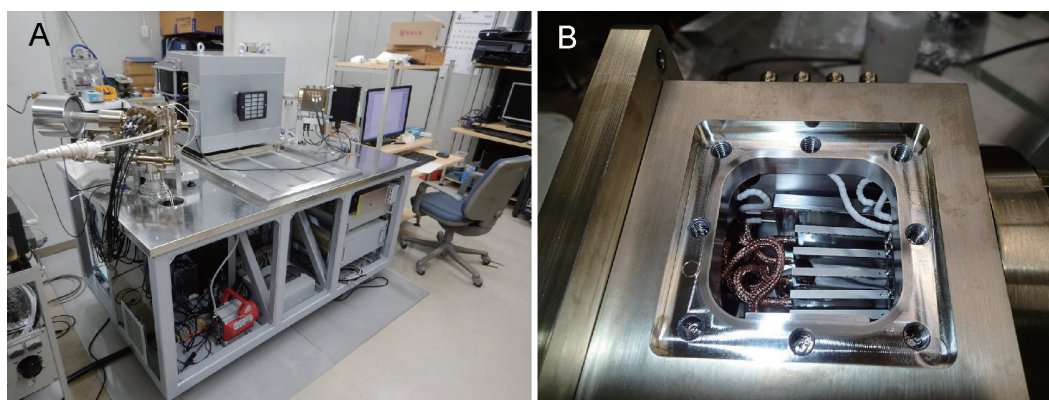
よるサンプリングによって得られた岩石試料の年代を精度良く決定し、火成活動史、構造発達史の解明に貢献することが期待されます。

## 5. 産総研における2016年度(第3事業年度)の取り組み

産総研のSIP全体開発計画書(5カ年)では、中間目標として本年度(第3事業年度)に、特定の検討海域での造構モデルの提案を掲げています。この目標に向けて、本年度は特に海底熱水鉱床の成因研究に重点的に取り組みます。

具体的には、2014-2015年度にSIP事業として科学掘削が行われた伊平屋北海丘及び伊平屋小海嶺をモデル海域として、これまでに得られた岩石試料の全岩・鉱物化学組成分析、同位体比測定、岩石の表面伝導度計測等を実施し、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。これらの結果をもとに、モデル海域周辺の基盤岩類である火成岩類の成因と起源、噴火様式等の詳細な検討を進め、熱水活動を規制する熱源の実態や岩石層序、広域的な地質構造等に関する造構モデルを構築・提案します。さらに、基盤岩類等の形成年代を得るため、2015年度に導入したAr-Ar年代測定システムによる高精度の年代測定環境の整備を続けます。

一方、空間的な広がりをもった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の、地形地質調査手法の精度向上に関する研究開発も引き続き行っています。この研究開発の結果は、既存の調査機器を用いた民間等における効率的な調査技術開発に直接的に貢献することが期待されることから、SIP実施項目「海洋資源調査技術の開発」に従事する民間のJ-MARESやJAMSAとの共有により、産総研が実



第3図 2015年度に導入したマルチコレクター型希ガス質量分析計。A. 装置全体(撮影 石塚 治)。B. 質量分析計の検出器。手前の5個がファラデー検出器、一番奥の厚めの板状の検出器が二次電子増倍管(撮影 山崎誠子)。

施する成因研究における成果の民間への橋渡しを目指します。

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、モデル海山として調査が予定されている拓洋第5海山等において、ROV「かいこう Mk-IV」を用いたコバルトリッチクラストの詳細な産状観察や試料を実施し、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、地質調査総合センター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」の一環です。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、こうしたSIPの取り組み以外の産総研独自の調査航海等を含めた経験や科学的知見の蓄積の継続的な努力によって、我が国最大級の公的研究機関とし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、今後もより一層の成果の獲得とその成果普及に努めていきます。

- 注1 戦略的イノベーション創造プログラム（SIP：エスアイピー）  
<http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/index.html>（2016/4/7確認）
- 注2 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](http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2012/pr20121212_3/pr20121212_3.html)（2016/4/7確認）
- 注3 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](http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2013/pr20130909/pr20130909.html)（2016/4/7確認）
- 注4 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](http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2014/pr20140306/pr20140306.html)（2016/4/7確認）
- 注5 地球深部探査船「ちきゅう」による「沖縄トラフ熱性堆積物掘削II」について（航海終了報告）（2016年3月18日プレス発表）  
[http://www.jamstec.go.jp/j/about/press\\_release/20160318/](http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20160318/)（2016/4/7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.
- 石塚 治（2006）極微量の岩石鉱物試料についての地質年代測定。 *AIST Today*, **61**, 38–39.
- 石塚 治・小原泰彦・湯浅真人（2015）フィリピン海海盆形成とマグマティズム。 *地学雑誌*, **124**, 773–786.
- 内閣府政策統括官（科学技術・イノベーション担当）（2016）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，35p.，[http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/5\\_kaiyou.pdf](http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/5_kaiyou.pdf)（2016/7/28確認）
- 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.

---

YAMASAKI Toru, IKEHARA Ken, ISHIZUKA Osamu and INOUE Takahiko (2016) GSJ's 2015FY results and 2016FY research objectives about the genesis of submarine mineral resources on the Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP), "Next-generation technology for ocean resources exploration".

---

（受付：2016年4月15日）