

Blue Earth

161

海と地球の情報誌

ISSN 1346-0811
2019年11月発行
年4回発行
第31巻 第3号
(通巻161号)



Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

1 特別記事

Team KUROSHIO 準優勝！
Shell Ocean Discovery XPRIZE 挑戦の軌跡

4 特集

深海資源

18 連載 My Field

2度目の南極



Team KUROSHIO 準優勝！

Shell Ocean Discovery XPRIZE 挑戦の軌跡

国際海洋ロボットコンペ「Shell Ocean Discovery XPRIZE」で、国内8つの研究機関や企業から若手が集まって結成された日本の産学官共同チーム「Team KUROSHIO」が見事、準優勝の栄冠に輝いた。

この大会は、有人の支援母船を使用することなく、無人探査ロボットだけで高速かつ広域の海底探査を行うものである。世界中から32の強豪チームが集まるなか、技術提案書審査、Round1技術評価試験、Round2実海域競技と、3つの関門を突破しての快挙だ。大会の開催が公表されてから準優勝までの軌跡について、Team KUROSHIOに参加したJAMSTECの4人に話を聞いた。

取材協力

中谷武志

Team KUROSHIO 共同代表
JAMSTEC 研究プラットフォーム運用開発部門
技術開発部 海洋ロボティクス開発実装グループ
技術研究員

大木 健

Team KUROSHIO 共同代表
JAMSTEC 特任技術副主任

麻生達也

Team KUROSHIO ロジスティクス担当
JAMSTEC 研究プラットフォーム運用開発部門
技術開発部 海洋ロボティクス開発実装グループ
技術主事

杉山真人

Team KUROSHIO コミュニケーション担当
JAMSTEC 海洋科学技術戦略部 対外戦略課
課長代理



2018年12月にギリシャ・カラマタ沖で行われたRound2実海域競技で、データの取得に成功して喜ぶTeam KUROSHIOのメンバーとXPRIZE財団関係者。写真は、ギリシャ・カラマタ港の港湾倉庫に設置された陸上管制局にて。ロボットが港を出た後は、この場所でロボットの遠隔管制が行われた。

開催公表から技術提案書提出を経てRound1技術評価試験へ

—— Shell Ocean Discovery XPRIZEは、2015年12月、アメリカ地球物理学連合(AGU)の大会中に開催が公表されました。**中谷**：今回の大会は、石油業界大手企業 Royal Dutch Shellがメインスポンサーでした。石油業界では水深3,000m以深での海底油田開発が進められています。船舶を用いての海上からの調査では開発に必要な解像度の地形図を得られないため、海中ロボットを使ってより詳細な地形図を得たいということで、この大会を企画したようです。

大木：今回の大会で求められるシステムは、洋上ロボット(ASV：洋上中継器)で海中ロボット(AUV：自律型水中ロボッ

ト)を岸壁から調査海域まで連れて行って切り離し、AUVによる調査完了後にロボットたちだけで調査海域から岸壁まで帰還する、というものです。海での調査システムをロボット化し、オペレーターは陸上の管制局から遠隔操作でオペレーションを行う必要があります。このような母船レスでの海底探査を実海域で大規模に行った例はこれまでにありません。

中谷：開催が公表された後、私と大木、東京大学生産技術研究所のソートン・ブレアさん、九州工業大学の西田祐也さんの4人で、出場に必要な機材や技術などについて議論をしました。Round1技術評価試験以降はそれ以外の研究機関・企業の人たちも加わることになりますが、2016年12月が締め切りだった技術提案書につ

いては4人でまとめました。ただRound1技術評価試験に向けた準備はすでに進めていましたので、Round1技術評価試験に参加する各機関に確認をした上で技術提案書を提出しました。

大木：2017年2月に技術提案書の審査の結果が公表され、Round1技術評価試験に進むチームは32から21に絞られました。そのタイミングで、Team KUROSHIOを構成する産学官の7機関での共同研究契約が締結されていたので、各機関のメンバーがそろって記者会見を開きました。その後、ヤマハ発動機が4月に加わり、現在のTeam KUROSHIOのかたちになりました。——Round1技術評価試験はもともと2017年秋にプエルトリコの実海域で開催される予定でしたが、開催直前の9月に襲

来したハリケーンのため変更になりましたね。

大木：主催者側からはまず、予定通りには開催できないという連絡がありました。現地の状況が分からないなか、やきもきしながら、さまざまな状況に備えて調整を進めていました。最終的に、プエルトリコに機材を輸出する直前のところで、Round1技術評価試験はプエルトリコでは行わないことが決まったのです。

中谷：その後、Round1技術評価試験は、審判員が各チームを訪問して11項目の技術審査を行う方式に変更となりました。当初主催者が想定していた実海域でのRound1技術評価試験を実施した場合、それを突破する能力があったのかどうかを評価するため、長時間の航行性能など、

さまざまな審査が行われました。Team KUROSHIOの審査は2018年1月、東京大学生産技術研究所にある海中ロボット用の試験水槽で行われました。そのときの審査は、実は水槽でも実海域でもよかったのです。実海域の方がアピール度は高いのですが、天候に左右されない水槽の方が、Round1技術評価試験を突破できる確率が高いだろうと考えて水槽での審査を選択しました。

杉山：実海域であれば一連の流れが一目瞭然です。一方で水槽では、要素技術ごとに見せていくしかありません。各要素技術を統合するとどうなるのかを見せるために、実海域でのASV運用時の映像をあらかじめ撮影しておき、水槽でのデモンストレーションと併せて審判員に説明す

るといった工夫もしました。

中谷：さらに、Round1技術評価試験以前から、Round2実海域競技に進むことを前提に準備を進めていました。

——Round1技術評価試験の前の2017年4月からと、Round1技術評価試験突破後の2018年4月からの2度、クラウドファンディングが行われましたね。

杉山：チームメンバーの旅費や機器の輸送費など、ASVやAUVの開発費以外にも、さまざまな資金が必要でした。そのような費用を集めるため、クラウドファンディングを行いました。またクラウドファンディングを通じて一般の方に知っていただくことで広報の効果も高まると考えました。国立研究開発法人としてクラウドファンディングをするのは初めてのことで試行

錯誤が続きましたが、幸いにも多くの方々にご支援を頂くことができました。

トラブル後のリトライで成功した決勝戦

——Round1技術評価試験で使われたAUVは、東京大学生産技術研究所の2機と、海上技術安全研究所の1機、計3機体制でした。一方、Round2実海域競技ではJAMSTECの「AUV-NEXT」と東京大学生産技術研究所の「AE-Z」が使われました。「AUV-NEXT」は、Round2実海域競技直前のタイミングで新たに開発したそうですね。

中谷：「AUV-NEXT」は、たまたま同時に所内の別プロジェクトで製作の検討が進められていました。これはチャンスだと考え、私自ら開発の取りまとめを行うことを申し出たところ、性能試験の一環としてRound2実海域競技で使用させていただけることになりました。その結果、私はTeam KUROSHIOの共同代表を務める一方で、JAMSTECで「AUV-NEXT」開発の取りまとめも行うことになりました。通常、海中ロボットの開発には2～3年かかるところを、Round2実海域競技に間に合わせるため設計から試験まで8ヵ月で開発を進めました。このような短期間で開発できたのは、長年のJAMSTECでの開発のノウハウがあったからこそです。

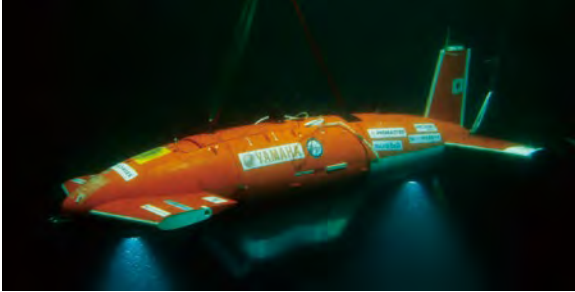
カバーの素材に成形しやすい物を使ったり、浮力材の製作に新しい技術を導入したり、工期を短くするためにさまざまな工夫を行いました。普通は時間がないと難しいと考え、チャレンジしないのではないのでしょうか。私たちは逆に、工期を短くするためにさまざまなことにチャレンジしたのです。

——決勝であるRound2実海域競技は、2018年12月にギリシャのカラマタ沖の地中海で行われました。

中谷：ギリシャという内示があったのは6月でした。その後すぐに輸出関係の準備を急ピッチで進めました。

麻生：Round1技術評価試験が国内での審査になったので、海外への輸送は

2018年1月に行われたRound1技術評価試験の審査は、東京大学生産技術研究所の水槽を使って行われた。右の写真は東京大学生産技術研究所のAUV「AE2000f」で、画像撮影のデモンストレーションをしている場面である。



Team KUROSHIOのメンバーは、JAMSTEC、東京大学生産技術研究所、九州工業大学、海上・港湾・航空技術研究所、三井E&S造船、日本海洋事業、KDDI総合研究所、ヤマハ発動機の8機関・企業の若手、30人以上で構成されている（発足当初は7機関・企業で、2017年4月からヤマハ発動機から技術者が加わった）。上はその一部のメンバーの写真だ。中央でロゴマークを持っているのが中谷さん、その向かって左（前列）が大木さん、左から2人目（後列）が杉山さん、右から5人目（後列）が麻生さん。

Round2実海域競技が初めてでした。輸送がうまくいかない大会に参加すらできません。多くの方が応援してくださっているなかで、輸送ができなかったことで参加できないという事態だけは避けなければと思い、手続きなどを進めていました。

中谷：アテネからカラマタまでは陸路で200kmほどあります。日本からギリシャまでの輸送に加えて、ギリシャ国内の輸送手段も自分たちで準備する必要がありました。9月に現地まで視察に行き、高速道路やホテルの状況などについて情報収集を行いました。また、12月の大会本番の前に、アテネ周辺にロボットの整備拠点を設けるなど、ロジスティクスには注意を払いました。

大木：Round2実海域競技では、すべてのチームが同じ海域で、時期をずらして競技を行います。私たちに割り当てられた期間は、12月9日から19日までの11日間でした。順番によって有利不利があってはいけないので、具体的な海域は現地に到着するまで伝えられていませんでした。実際、私たちに具体的な調査海域が示されたのは12月9日に陸上管制局に入ってからでした。

カラマタに到着し、必要な説明を受けた後に機材のセッティングや機器の動作確認などを行いました。その後、港のすぐ近くで動作確認を目的とした試験潜航を行いました。その時点で残りは6日ほど。Round2実海域競技では、港を出発してから24時間以内に最大水深4,000mの海域で250km²以上の海底地形を調査し、海底ターゲットの写真を10枚撮影、さらに調査終了から48時間以内に調査データから海底地形図データを作成して提出しなければ

ばいけません。残り6日間で、何度もトライできるわけではありませんでした。

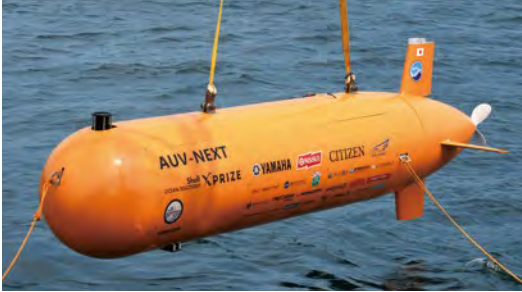
——12月13～14日に最初のトライが行われましたね。

中谷：最初のトライではASVからAUVを切り離せず、調査を始めることができませんでした。大きなうねりがきっかけで、えい航するワイヤに沿わせていた電線が切れてしまったことが原因でした。やはり海は厳しい環境なのだと思いますね。

麻生：日本でも海に出ての試験は何度も行ってきて、電線が切れてしまうトラブルは一度も発生したことはありませんでした。もちろん時間も海況も違うのですが、ここで起きるのか、と……。

杉山：トラブルがあったことで、チームとしてのまとまりがより強固になったと思います。Team KUROSHIOでは失敗も含めて広報していました。SNSで皆さんから頂いた激励のメッセージを陸上管制局内に掲示して励みにしていました。

大木：修理の後、16～17日に行ったリトライの調査はうまくいきました。調査完了後、AUVが調査海域から港に戻ってきてからデータを吸い出すので、データ処理に使える時間は40時間ほどしかありません。海底地形図を提出したのは最終日の午後3時。ぎりぎりのタイミングでした。



2018年12月のRound2実海域競技で使われたJAMSTECのAUV「AUV-NEXT」



Round2実海域競技では、ASVからAUVを切り離せないトラブルが発生した。写真は12月16日、修理後のリトライでASVがAUVをえい航しながら出港するシーン。

アメリカチームに次ぐ準優勝

——授賞式は2019年5月31日にモナコの海洋博物館で行われました。事前に順位は分かっていたのですか？

中谷：授賞式前に順位の内示は一切ありませんでした。また授賞の対象は2位まででした。3位以降は順位も出ません。2位と3位では差が非常に大きいので、2位で呼ばれたときには、この3年間の取り組みが報われた気持ちでホッとしました。

麻生：応援してくださった方々に、かたちとして示すことができたので、ホッとしました。

中谷：スポンサーやサプライヤー、クラウドファンディングのサポーター、そしてSNSで応援してくれた皆さんなど、期待していただいた方々がとてもたくさんいらっしゃいました。またロボット開発を短期間

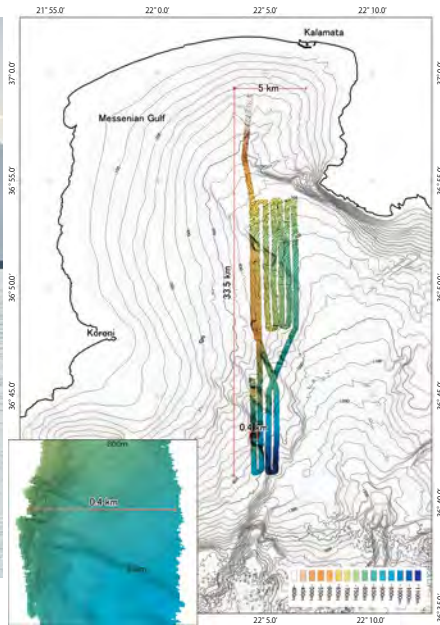
で進めるにあたり、さまざまなメーカーの方に無理を聞いていただくなど、本当に多大な協力を頂きました。そういった大変多くの人たちのアツい気持ちが詰まっていた大会でした。ロボットの技術開発だけでなく、衛星通信や、実海域でのオペレーション、また現地への輸送やプロモーションなど、総合力が試された大会だったと思います。

——Team KUROSHIOの成果は、今後にどうつながっていくのでしょうか。

大木：プロジェクトを3年間進めてきて、チーム内で気軽に話し合えるような関係性ができています。技術的側面だけでなく、人的ネットワークという成果もあるのではないかと思います。

中谷：今後はTeam KUROSHIOに参加した8機関に限らず、若手を中心としたコミュ

Round2実海域競技で提出した海底地形図。修理後のリトライは12月16日から17日にかけて行われ、23時間4分の調査時間で約5km×33.5kmの範囲を調査した。



ニティーをさらに発展させていきたいですね。世界中のさまざまなチームとの友好関係も築けたので、今後も引き続きコミュニケーションを取っていきたいです。

大木：将来的な洋上ロボットの無人運航や、海中ロボットの高度化につながる多くの知見を、競技に挑んだそれぞれのメンバーが蓄積できたのではないのでしょうか。それらの知見が今後、日本の海洋調査技術の進展に貢献することになるはずだす。

中谷：海中ロボットの技術に関して日本はトップレベルにあります。ただ石油業界などで海外に大きなマーケットがありながら、そこへ出ていくことができていませんでした。今回の大会で私たちの技術を実証でき、世界からも認知してもらえたと思います。日本のメーカーが海外に打って出ているような素地ができたのではないのでしょうか。一方でサイエンス面での活用も、JAMSTECにとっては重要です。地震などをはじめとして、地形図が詳細になることで進む研究は多いと思います。

海底の調査ニーズは幅広く存在します。自分たちの技術をさらに延長していくときに、どのような分野で貢献可能かについて情報収集した上で、次のステップにつなげていければと考えています。

BE

(文・岡本典明／ブックブライト)



2019年5月31日に行われた授賞式の様子。Team KUROSHIOはアメリカのチームに次いで準優勝の成績を収めた。賞金総額700万ドル（約7億4500万円）で、準優勝賞金は100万ドルだった。



日本周辺の深海底には、マンガン団塊、コバルトリッチクラスト、熱水鉱床、レアアース泥など、さまざまな資源が存在していることが報告されている。しかし、深海底という特殊な環境ゆえ、世界を見ても深海鉱物資源は産業的にはまだ開発が行われていない。そうしたなか日本では、深海における鉱物資源の調査技術と回収技術を開発・実証し、産業化への道筋をつくろうという取り組みが、府省、産学官、分野の枠を超えたオールジャパン体制で進められている。戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「革新的深海資源調査技術」について紹介しよう

深海資源

取材協力

石井正一

プログラムディレクター
(石油資源開発株 顧問)

荒井晃作

テーマリーダー
(産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 副研究部門長)

大澤弘敬

テーマリーダー
(JAMSTEC 深海資源調査技術開発プロジェクトチーム プロジェクト長)

川村善久

テーマリーダー
(JAMSTEC 深海資源生産技術開発プロジェクトチーム プロジェクト長)

松川良夫

テーマリーダー
(伊藤忠商事株 理事)

山本啓之

JAMSTEC 革新的深海資源調査技術管理調整プロジェクトチーム 調査役

南鳥島周辺で調査航海中の海洋地球研究船「みらい」。水深約6,000mの深海底の堆積物を採取するため、船尾からピストンコアラーを降下させている様子。南鳥島周辺の深海底には高濃度のレアアースを含む堆積物「レアアース泥」が分布していることが報告されている。

日本周辺の深海底には豊富な資源が眠っている

取材協力 石井正一 プログラムディレクター（石油資源開発㈱ 顧問）

日本は、国土面積では世界で60位前後に位置している。一方、日本は四方を海に囲まれており、領海と排他的経済水域を含む海洋の視点から見ると、面積では世界第6位、水深を考えた体積では世界第4位となる。日本の海は豊かだといわれていたが、最近の国際的な科学調査によって、全海洋生物約25万種のうち13.5%が日本近海に生息していることが分かってきている。

豊かなのは生態系だけではない。日本近海の海底には鉱物資源が豊富に存在していることが分かってきた。そして、いま、この深海鉱物資源が大きな注目を集めている。

レアメタル、レアアースとは

鉱物資源には多様な金属が含まれており、それらはさまざまな用途に使われ、私たちの生活を支えている。なかでもレアメタルと呼ばれる金属は、モーターの磁石、電池の電極材、電子機器の基板、触媒などに使われ、現代社会には欠かせない。し

かし、存在量が少なかったり、採掘や精錬が難しく生産コストがかかったりすることから、とても希少価値の高い金属である。

電気自動車の普及によって今後さらにレアメタルの需要拡大が見込まれるが、日本はレアメタルのすべてを輸入に頼っているため、安定供給の確保が国としての重要な課題となっている。そうした背景から、レアメタルの新たな供給源として、日本近海に存在する熱水鉱床、コバルトリッチクラスト、レアアース泥、マンガン団塊などの深海鉱物資源に期待が寄せられているのだ。レアアースとはレアメタルのうち希土類に属する金属で、特に希少である。

深海鉱物資源の開発の現状

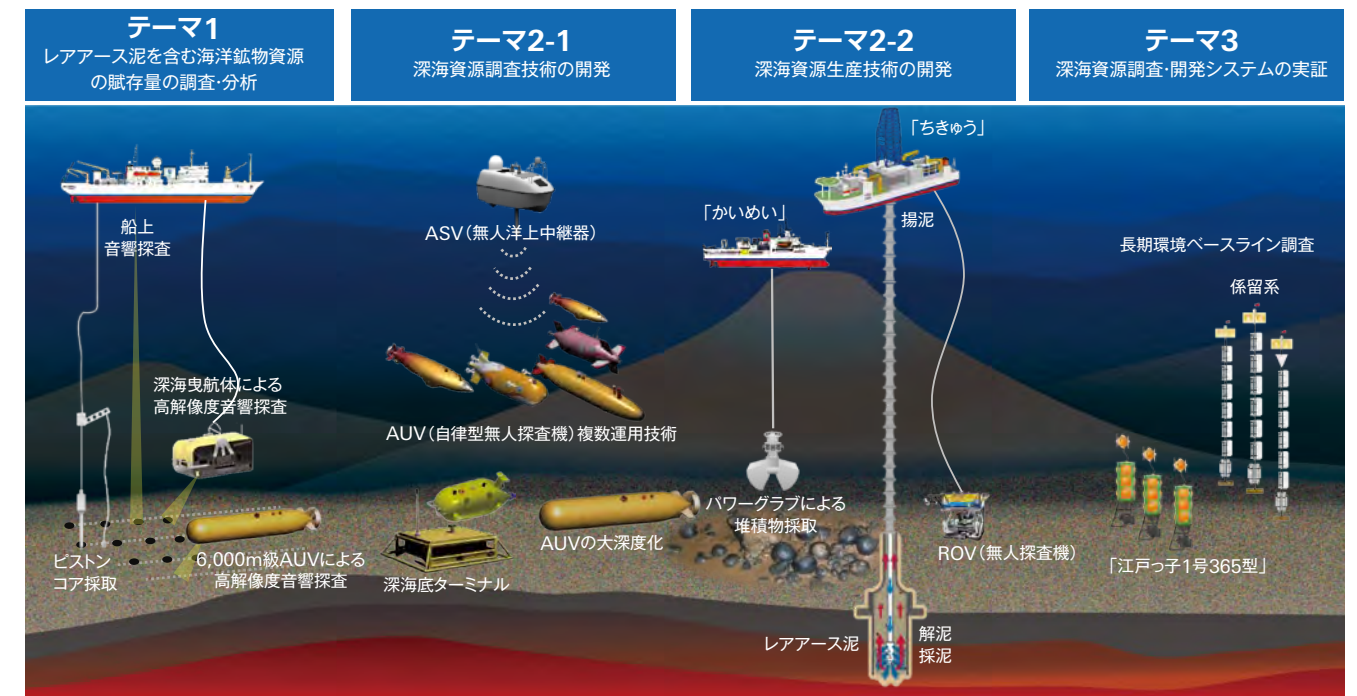
深海鉱物資源は、世界ではまったく開発が行われていない。「私は50年近く、海洋石油・天然ガスの開発に携わってきました。その経験からも、深海鉱物資源が持つ可能性は大きいですが、開発は大変難しく、経済的には成立しないと考えていました。石油・天然ガス開発は、水深1,000mより浅い海域が主で、最深でも3,000m程度ですが、鉱物資源は水深6,000mの海域にもあります。また、鉱物資源は固体のため、液体の石油、気体の天然ガスのような方法で生産することができません。深海鉱物資源の開発には、石油・天然ガス開発の技術水準をはるかに超える最新技術が必要になります」と石井正一さんは話す。

しかし、この5年ほどで石井さんの認識が大きく変わってきた。それは、自身もサブプログラムディレクターとして参加した、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第1期の「次世代海洋資源調査技術」によるところが大きい。

SIPとは、府省、産学官、分野の枠を超えて連携し、基礎研究から実用化・事業化まで一貫通貫で研究開発を行うことで、社会を飛躍的に変える科学技術イノベーションの実現を目指す、内閣府が主導する国家プロジェクトである。「次世代海洋資源調査技術」（浦辺徹郎プログラムディレクター）は、2014～18年度に行われ、水深2,000m以浅の海底面下30mあたりにある現在は熱水活動が停止している潜頭性海底熱水鉱床を主要なターゲットにプログラムを進め、高効率・低コストでの調査を可能とする統合海洋資源調査システム技術の確立に成功した。

また2017年には、石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）が、沖縄近海の水深約1,600m

SIP「革新的深海資源調査技術」の概要



の海底熱水鉱床を掘削し、世界で初めて破碎した鉱石を海水と共に船上に揚げることに成功し、その後、鉱石から亜鉛地金の製造まで実現している。

「熱水鉱床については、調査から採鉱、揚鉱、精錬までの技術的なめどが立ってきました。その技術を発展・応用することで、さらに深いところに眠っている多くの海洋鉱物資源にも開発の可能性が出てきたと思うようになったのです」と石井さん。

そうして、第1期の最終年度と重複して、2018年度から5年計画でのSIP第2期「革新的深海資源調査技術」が始まった。それをプログラムディレクターとして率いているのが石井さんだ。

ターゲットは、水深2,000m以深、レアアース泥

「『革新的深海資源調査技術』では、深海資源の調査能力を飛躍的に向上させ、深海鉱物資源の生産技術を世界に先駆けて確立・実証し、民間企業への技術移転の道筋をつけることを目指しています」と石井さんはいふ。第1期では水深2,000m以浅の熱水鉱床に重点を置いていたが、第2期では水深2,000m以深で6,000m海域までの鉱物資源、特に南鳥島周辺のレアアース泥に目標を定め技術開発を進めることになった。

プログラムは3つのテーマで構成され、テーマ1「レアアース泥を含む海洋鉱物資源の賦存量の調査・分析」では、南鳥島周辺の海域について、ど

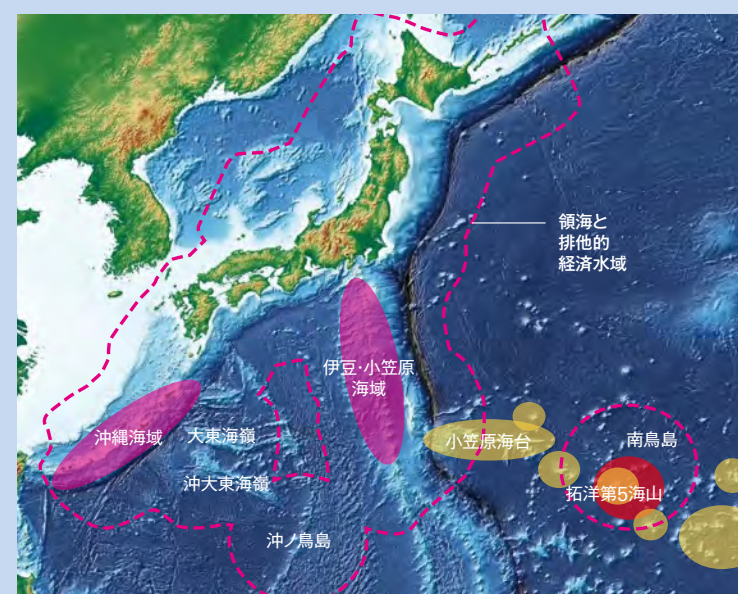
こに、どのような成分のレアアース泥が、どれだけあるかを明らかにする。テーマ2は2つのサブテーマで構成され、2-1「深海資源調査技術の開発」では、AUV（自律型無人探査機）の複数機運用技術と深海底ターミナル技術の開発を行う。テーマ2-2「深海資源生産技術の開発」では、レアアース泥の解泥・採泥・揚泥技術を開発。テーマ3「深海資源調査・開発システムの実証」では、経済性を視野に入れた動向調査や海洋環境対策を実施し、プログラム全体の総仕上げとしての統合的なシステムの海洋実証試験を計画している。

これらのテーマに、9の府省、海洋研究開発機構（JAMSTEC）、産業技術総合研究所（AIST）、海上・港湾・航空技術研究所、石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）、高知大学、東京大学、民間企業が、連携して取り組んでいる。JAMSTECは、SIP第1期に引き続き、予算や課題の管理を行う管理法人を務める。

「もちろん、ハードルはとても高い。しかし、私たちが目標を達成できれば、日本近海の深海底に眠る鉱物は今後の日本の産業界に大きく貢献し、さらには深海鉱物資源開発において日本が世界をリードできます。出口戦略を見据え、情熱をもって取り組んでいきたい」と石井さんは意気込む。

次のページから、テーマごとの取り組みを紹介していこう。

日本近海における海洋鉱物資源の分布



■ 海底熱水鉱床 ■ コバルトリッチクラスト ■ マンガン団塊 ■ レアアース泥

レアアース泥は、どこに、どれだけある？ その組成は？ 開発の候補地点を絞り込む

取材協力 荒井晃作

テーマリーダー
(産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 副研究部門長)

南鳥島は、本州から約1,800km離れた日本の最東端に位置する、周囲7kmほどの小さな島である。2012年、東京大学の研究グループが、南鳥島周辺の水深約6,000mの海域で、海底下にレアアースを豊富に含む泥状の堆積物「レアアース泥」を発見。その後、石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）などが行った調査によって、南鳥島周辺の海底下に広くレアアース泥が分布していること、島の南方沖にレアアースの濃度が高い海域があることが分かってきた。SIP「革新的深海資源調査技術」は、世界初となるレアアース泥の開発システムの実証を、その海域で行おうとしている。

海底下の堆積物を採取して分析

「南鳥島の南方沖に存在するレアアース泥の量を正確に推定し、開発に最も適した地点を絞り込むことが、テーマ1の課題です」とテーマリーダーの荒井晃作さんはいふ。「そのためには、どの場所に、どのくらいの濃度のレアアース泥が存在し、どのよ

うな組成なのかを、詳細に調べる必要があります。高濃度の層が海底面からどのくらい下にあるのかも重要です。あまり深いと、開発が難しくなります」

まず、ピストンコアラールによる海底下の堆積物の採取を行った。船上からピストンコアラールをワイヤでつり下げて海底まで降ろして、長い筒を海底に突き刺し、地層を崩さずに海底下の堆積物を柱状に採取する。この柱状試料をコアと呼ぶ。2018年度に、JAMSTECの海洋地球研究船「みらい」と深海調査研究船「かいらい」の航海を行い、合計46本、総長502mのコア採取に成功した。2019年6月には、通常のピストンコアラールより太く長いコアを採取できる、ジャイアントピストンコアラールによる堆積物の採取も行った。

採取したコアは、JAMSTEC高知コア研究所と高知大学海洋コア総合研究センターが共同で運営する高知コアセンターに運び込まれ、X線CTスキャンによる内部構造の観察、半割して肉眼での観察、レアアース元素の含有量や組成などさまざまな分析を行う。

分析は続いているが、レアアースを5,000ppmという超高濃度で含有しているコアもあった。これま

での調査から南鳥島周辺のレアアース泥は希土類のなかでも原子量の大きい重希土類を多く含むことが報告されていたが、同様の結果が出ている。重希土類の地球上での分布は偏っていて、とても希少なため、重希土類を多く含むことは大きな利点である。また、陸上のレアアースの鉱山にはウランやトリウムなどの放射性物質も含まれていることが多いが、南鳥島周辺のレアアース泥は放射性物質を含まないという有利な特徴もある。

音波で海底下の構造を見る

2018年度に行った「みらい」と「かいらい」の航海では、サブボトムプロファイラーによる海底下構造の音響探査も実施。船底から音波を発振し、海底下の地層で反射してきた信号を受信して処理することで、海底下の構造や堆積物の性質が分かる。構造探査を行った距離は合計1万3000kmを超えた。得られた海底下構造データからは、海底面の20~30m下に音響基盤があること、その上に塊状の堆積物が覆っていることが分かる。塊状の堆積物の部分に、レアアース泥があると思われる。

2019年5月には、ディーブ・トウを用いた音響探査を実施した。光ファイバーケーブルの先端にディーブ・トウをつなぎ、海底付近を低速で曳航しながら調査を行う。「水深6,000mの海域では、船から出した音波が海底下の地層で反射して戻ってくるまで10秒ほどかかります。そのため音波の発振間隔が空いて、水平方向の解像度が低くなってしまいます。ディーブ・トウを用いると、海底面との距離が船より近くなるので、音波を出してから戻ってくる

までの時間が短くなります。短い間隔で音波を出せるので、解像度が上がるのです」と荒井さんは解説する。しかし、船で曳航していることから曳航体が揺動してしまい、データに揺らぎが残ってしまう。

「テーマ2-1で導入する水深6,000mまで潜航可能なAUVを用いて、音響探査を行うことを計画しています。AUVは海底に数十mまで近づいて、かつ一定の高さを保って安定して航行することが可能です。船からのサブボトムプロファイラーの分解能は1~2mですが、AUVを用いると数十cmの構造も見分けることができ、かつ精度がよくなると期待しています」

レアアース泥を採る地点を絞り込む

今後は、音響探査によって得られた海底下構造データとコアから得られたデータを合わせ、レアアース泥の分布を三次元的に明らかにしていく計画だ。そして、レアアース泥の開発システムの実証を行う地点を絞り込む。

「地点の選定は、プログラムの成否を握るので、プレッシャーはありますね。しかし、このプログラムには、組織や分野の枠を超え、経験豊富な人たちが集まっています。科学的な根拠に基づいた最適な地点を選定できる自信があります」と、荒井さんは力強く語る。

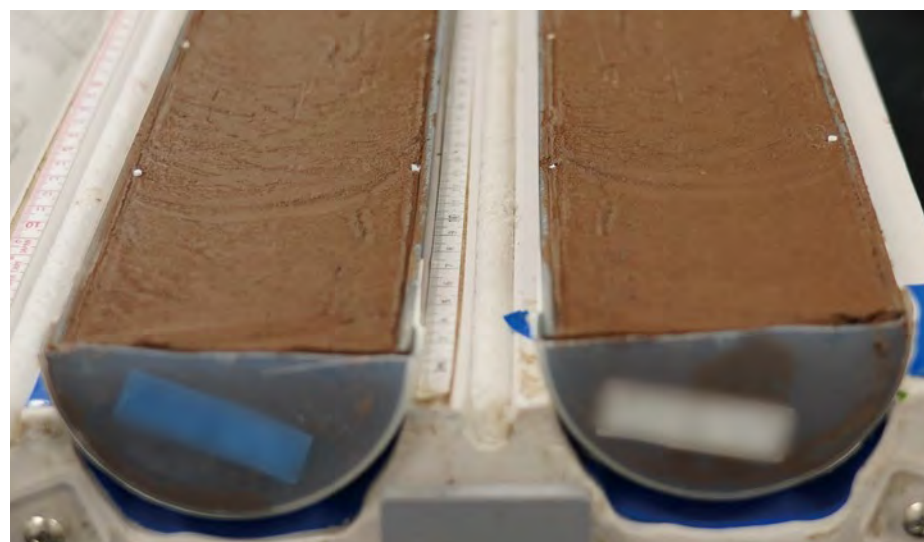
ピストンコアラールを船上に回収する様子
パイプの茶色になっている部分までが海底下に貫入したことが分かる。



ピストンコアラールで採取されたコア
2018年9月11日～10月18日に行われた「みらい」による調査研究航海では、26本のコアが採取された。コアの総長は304mで、1997年の「みらい」就航以来の一航海でのコア採取最長記録を更新した。

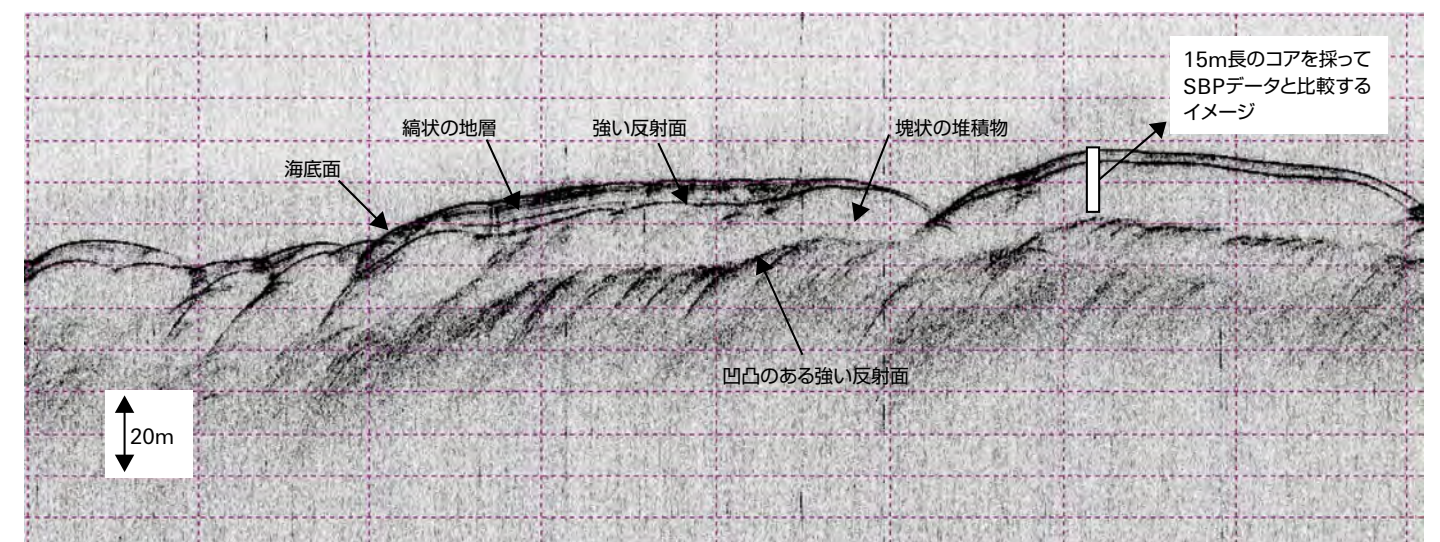
採取されたコアの観察と分析

このコアには、高濃度のレアアースが含まれている。半割した一方を用いて観察やさまざまな分析を行い、もう一方はそのまま保管される。



南鳥島周辺の海底下構造

音響探査（サブボトムプロファイラー：SBP）のデータから作成。最も強い反射面が海底面に当たる。海底面下20~30mに広がっている凹凸のある強い反射面が音響基盤である。音響基盤の上に塊状の堆積物が覆っている。この部分にレアアース泥があると考えられる。



AUVの複数機運用と充電可能な深海ターミナルによって調査効率を大幅に向上

取材協力 大澤弘敬

テーマリーダー
(JAMSTEC 深海資源調査技術開発プロジェクトチーム プロジェクト長)

SIP「革新的深海資源調査技術」が対象とする、日本近海の水深2,000～6,000mの海底には、レアアース泥のほかにもさまざまな深海資源が存在している。「深海資源を開発するにはまず、どこに、どのような資源が、どのくらいあるのか、実態を詳しく知ることが大事です。私たちは、そのための調査技術を開発しています」と大澤弘敬さんはいう。

大澤さんがテーマリーダーを務める2-1では、複数のAUV（自律型無人探査機）を運用する技術と、AUVの充電が海底でできる深海底ターミナル技術を開発し、それを組み合わせることで、深海資源の調査効率の大幅な向上を目指している。

複数のAUVと同時に通信・測位する

広大な海底を調査するには、1機のAUVより複数で同時に行う方が、効率がいい。AUVは、コンピュータを内蔵し、あらかじめ設定されたシナリオに従って自律して航走できる無人探査機である。現時点のAUVの運用では、航走中のAUVの現在位置を測位し、状況によってはその情報をもとに位置を補正する命令をAUVへ送るなど、航走には測位と通信が必要になる。通常、AUVの測位・通信などの監視は母船が追従して行う。しかし、この方式では、母

船がAUVの調査ミッション以外の作業を同時に行うことは困難である。そこで、船舶の代わりに、複数のAUVと測位・通信を行う機能を持つASV（無人洋上中継器）を用いることで、10機のAUVの同時運用を目指す。

そのために取り組んでいるのが、音響通信・測位統合システムの開発である。音響という通り、海中では通信や測位に音波を使う。陸上で使われている電波は、海中ではすぐに減衰してしまい遠くまで届かないからだ。

「これまで別々の装置で行っていた通信と測位を1つの装置にまとめ、さらに最大10機までのAUVと同時に通信・測位ができるシステムをつくります」と大澤さん。複数のAUVの場合、ばらばらに動くより、隊列を組んで動いた方が、調査効率が上がる。すべてのAUVの状態を管理しつつ隊列を組むためには、各AUVの位置を把握して隊列から外れそうなAUVには速度調整などの指示を出さなければならない。音波の伝搬速度は約1,500m/sと遅いため、1機ずつ順番に通信・測位をしていたのでは、10機目を終えるまでに1機目の位置が大きくずれたり、異常に気づくのが遅れたりして、隊列が崩れてしまう可能性が高くなる。隊列を制御するには、すべてのAUVと同時に通信・測位する必要があるのだ。

「簡単にいうと、通信・測位に使用する周波数を分割して、各AUVに割り当てるのです。AUVから

の信号は10機分が混ざってASVに届きますが、各AUVから送られてくる信号の周波数は決まっているので、周波数からどのAUVからの信号かわかります」と大澤さんは解説する。

2019年9月には、「HUBSea」というASVと「じんべい」「ゆめいるか」という2機のAUVを用いて、通信と測位を統合した装置の試験を実施し、有効性が確かめられた（表紙）。今後、1機のASVで5機のAUVと同時に通信・測位する試験を行う計画だ。

深海底ターミナルでAUVが自動充電

通常は、朝にAUVを船舶から海中に投入し、潜航して調査を行い、電池の残量がなくなった時点で浮上してきたAUVを揚収する。しかし、水深6,000mの場合、潜航と浮上にそれぞれ2時間以上かかるため、調査できる時間は限られてくる。「潜航し浮上する時間がもったいない。長時間の調査ができるように、船上に揚収しなくてもAUVの充電が可能な深海底ターミナルの開発を進めています」と大澤さん。

AUVは、深海底ターミナルに自動でドッキングして、非接触で充電を行い、取得したデータを転送して保存する。「深海底での非接触充電は、例がありません。この技術は、深海資源の調査だけでなく、養殖場の監視や海底ケーブルの保守、深海底の長期観測など、さまざまな用途が考えられます」

水深6,000m級のAUVを導入

また、水深6,000mまで潜航できるAUVを導入する。6,000m級のAUVがあれば、日本の排他的経済水域の90%以上を調査できることになる。「近い将来、レアアース泥が分布している南鳥島周辺で海底下構造の音響探査を行う計画です。AUVは海底から数十mくらいを一定の高さを保って航走できるので、水平解像度も精度が高い海底下構造のデータが得られると期待しています。AUVが深海資源の分布調査に有用であることを示したいですね」

ASV1機によるAUV5機同時運用とAUV単独で5日間の連続運用を実証する

このプログラムの最終年度である2022年度には、1機のASVで5機のAUVと同時に通信・測位して深海資源調査ができること、また、AUVが単独で深海底ターミナルで充電をしながら5日間連続して調査を行う実証試験を計画している。そして、最終的にはAUVの10機運用の技術的なめどを立てる。

「実証試験には民間企業にも参加してもらう予定です。使えるシステムであることを示し、各社が運用技術を習得できれば、産業化に大きく近づきます」と大澤さんは展望する。「知る技術を手にすれば、宝探しに行くことができます。それによって、資源小国から資源大国になれる可能性があるのではないのでしょうか」



深海資源調査技術の開発の概要

ASV「HUBSea」

ASVは、複数のAUVと通信・測位を行う。写真は、2019年7月に行われた通信と測位を統合した装置の試験の様子。海中にAUV「じんべい」が航走している。「HUBSea」はSIP第1期で開発した。現在、深海底ターミナルを用いた長期間の調査を実現するため、長期運用型ASVの開発を行っている。

「ちきゅう」を用いて水深6,000mからレア アース泥を連続的に回収する技術を開発

取材協力 川村善久

テーマリーダー
(JAMSTEC 深海資源生産技術開発プロジェクトチーム プロジェクト長)

このプログラムのなかで最も難しいといわれるのが、川村善久さんがテーマリーダーを務める2-2である。「目標は、水深6,000mの深海底にあるレアアース泥を連続的に回収する技術の開発。まだ世界で誰もやったことがありません。私たちは、地球深部探査船『ちきゅう』を使って、それを実現しようとしています」

「ちきゅう」は、海底下をより深く掘削するため、石油掘削に使われているライザー掘削という技術を初めて導入した科学掘削船である。まず、船と海底をライザーパイプでつなぎ、そのなかにドリルパイプを通す。ドリルパイプのなかを船上からポンプを使って特殊な液体（泥水）を海底へ送り込みながら、先端のドリルビットで海底面の地層を掘削していく。泥水は、掘削したときに出てくる掘りくずと一緒にドリルパイプとライザーパイプの間を押し上げられ、船上に戻る。泥水循環と呼ばれるこの仕組みを使い、レアアース泥を循環流に取り込んで回収しようというのだ。「限られた期間・予算で世界初のことをやろうとしたとき、すべての技術をゼロから開発するのではなく、既存の設備や技術をうまく組み合わせながら、鍵となる技術の開発に注力することが重要です」

レアアース泥を細かくする「解泥」

『「ちきゅう」を用いたレアアース泥の回収技術のポイントは3つ』と川村さん。

1つ目は、レアアース泥を細かくする「解泥」だ。レアアース泥は粘土のようにかたく締まっていて、そのままでは循環流に取り込むことができない。そこで、ドリルパイプの先端にブレード（羽）を付けて回転させ、レアアース泥を細かく砕くことにした。南鳥島周辺の深海底からピストンコアラで採取してきたレアアース泥や、パワーグラブという装置で採取してきた堆積物などを使って実験を行った結果、ブレードの回転で解泥が可能であること、一度解泥すればすぐに再び固まってしまうことはないことが確かめられた。「数値計算も使いながら、最適なブレードの形状や数、回転の速さを探っているところです。解泥については、これでいけるでしょう」と、川村さんは自信を見せる。

細かくしたレアアース泥を循環流に取り込む「採泥」

2つ目は、細かくしたレアアース泥を循環流に取り込む「採泥」である。当初は、ライザー掘削とまったく同じ方法でドリルパイプの先端から液体を勢いよく噴出させ、その力で細かくしたレアアース泥を循環流に取り込む方法を考えた。しかし、パワーグラブで採取してきた堆積物などをもとに周辺の地層の物性を想定して数値計算を行ったところ、地層が循環流の圧力に耐え切れず、レアアース泥と一

緒に海底面に噴き出してしまう可能性があることが分かった。

もう1つ大きな問題がある。レアアース泥は海底下数～十数mのところに層状に分布しているのだが、「ちきゅう」が掘り進むことができるのは下方向のみ、という点だ。「ちきゅう」の位置を少しずつ移動させていけば水平方向にも展開できるが、海底に突き刺してあるライザーパイプを一度引き抜き、つり下げたまま「ちきゅう」を移動して、別の場所で海底に突き刺すといった作業が必要のため、効率が悪くなる。川村さんは、「採泥の技術開発には、もう一工夫が必要」という。

深海底から船上まで揚げる「揚泥」

3つ目は、レアアース泥を深海底から船上まで揚げる「揚泥」である。「ちきゅう」で使用しているライザーパイプはとても重いため、2,500mより長くすると、自分でその重さを支え切れなくなってしまう。水深6,000mの海底まで延ばすには、ライザーパイプを現在の直径約50cmから30cm程度の細いものに変えて軽くする必要がある。しかし、ライザーパイプの直径が小さくなると、揚げることができるレアアース泥の量も少なくなってしまう。

「私たちは、1日に350トンのレアアース泥を回収する技術の実証を目標にしています」と川村さん。産業として採算を取るには1日に3,500トンの回収が必要という試算がある。技術実証としてその10分の1を達成できれば、産業化に道筋をつけることができると考えているのだ。数値計算では、直径30cmのライザーパイプでも1日10時間稼働させれば350トンのレアアース泥を回収できるという結果が出ている。揚泥についての現在の数値計算は一次元であるため、今後、三次元の数値計算を行い、詳しく検討していく。「水深6,000mという特殊な環境を地上で再現して実験を行うことには限界があります。レアアース泥回収の技術開発にとって、数値計算はとても有効です」

「ちきゅう」を用いた統合システムの実証試験

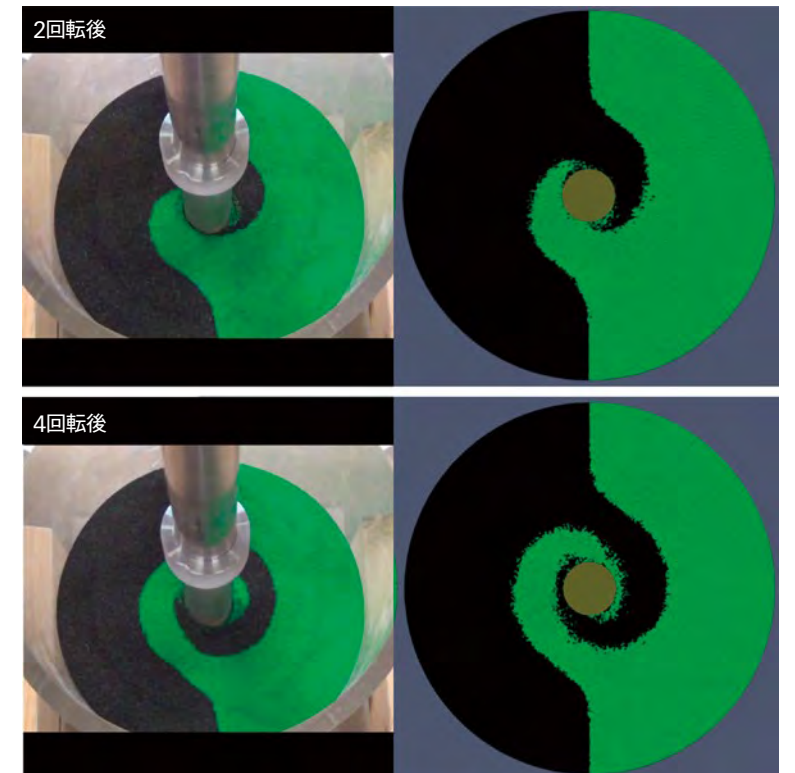
川村さんは、長年、エンジニアとして海洋石油・天然ガスの開発に携わってきた。「鉱物を相手にするのは初めてです。石油・天然ガスとは、ずいぶん違いますね。深海鉱物資源の開発にトライした例は1970年代からいくつかありますが、商業化できた



解泥実験の様子
南鳥島周辺の深海底からピストンコアラで採取してきたレアアース泥を用いて実験を行った。ブレードを回転させることで、粘土のようにかたく締まった状態のレアアース泥を、十分に細かい粒子にできることが確認できた。

実験

数値計算

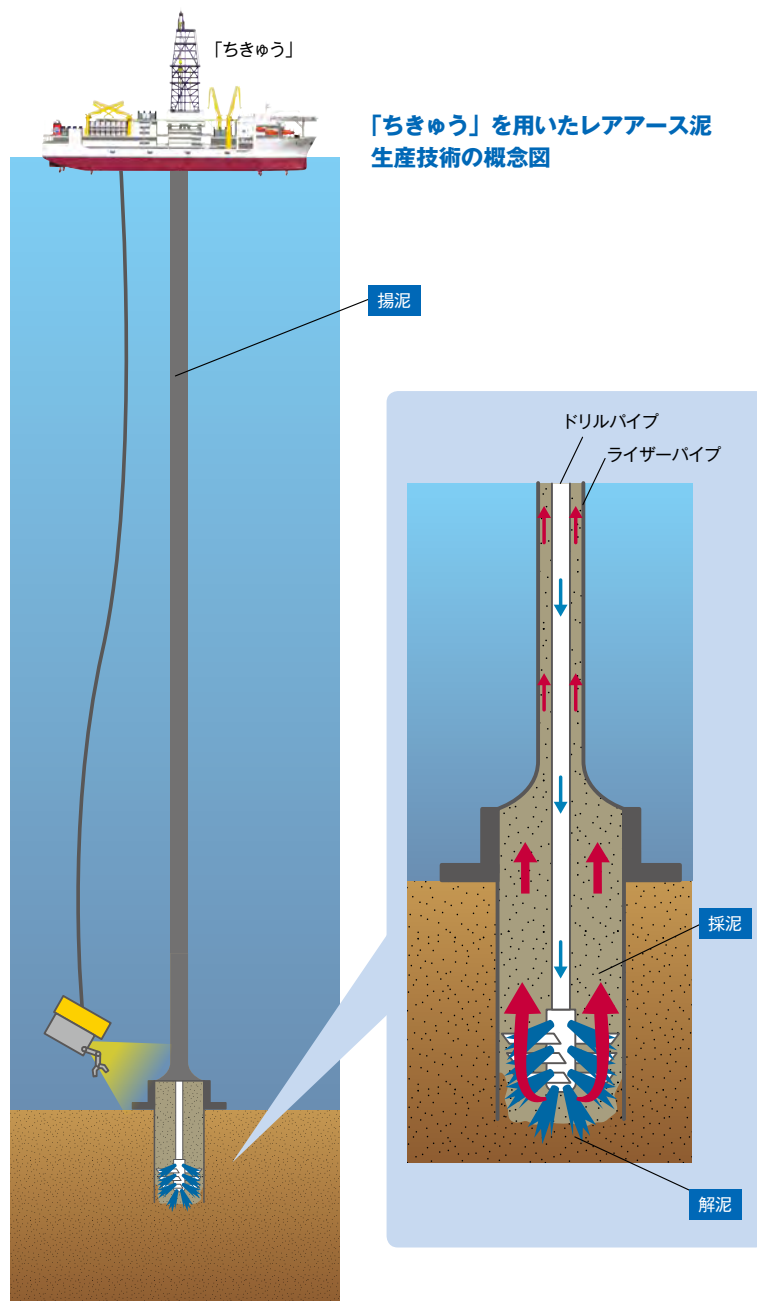


ブレード回転による混合度合いの実験と数値計算の比較

左右対称な初期条件から、埋められたブレード（1分あたり10回転）が2回転した後と4回転した後の表層の混合度合いを色で表して比較した。数値計算が実験を十分に再現することが確かめられた。

ものはありません。難しいのです。しかし、いま私たちが荒唐無稽なことをやっているとは思っていません。これまで私たちが深海探査や深海掘削で培ってきた知見を活かし、いまある技術をうまく組み合わせ、そして一工夫することで、レアアース泥の連続回収は可能です」

プログラムの最終年度である2022年度に、「ちきゅう」を用いて解泥・採泥・揚泥の要素を合わせた統合システムの実証試験を行う計画である。「実証実験というからには、南鳥島周辺の水深6,000mの深海底からレアアース泥を採ってきたい」と、川村さんは表情を引き締める。



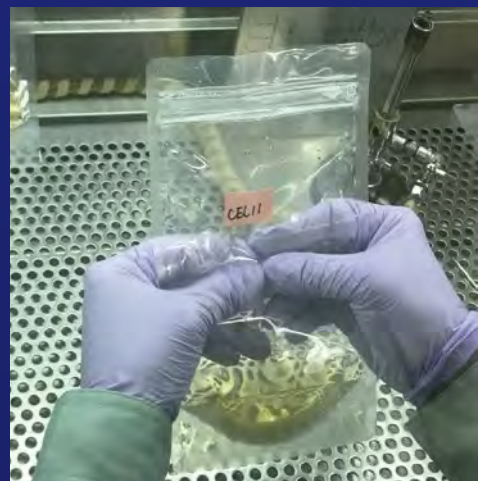
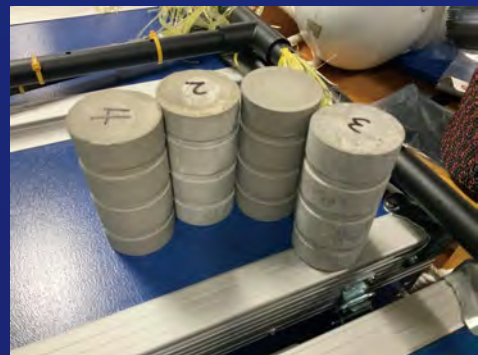
深海鉱物資源の調査技術・開発技術を産 業へつなげる

取材協力 松川良夫
テーマリーダー
(伊藤忠商事(株) 理事)



海中に投入された「江戸っ子1号365型」

海底まで自由落下していき、1年間の長期環境モニタリングを行う。機体に試料を取り付けることで、深海環境を利用した試験・研究ができる。下は、2019年3月に投入された「江戸っ子1号365型」に取り付けられた土佐宇宙酵母とセメント試料。



「画期的な調査技術や生産技術を確立すれば、直ちに深海資源開発に着手できるというわけではありません」。そう指摘するのは、テーマ3のリーダーを務める松川良夫さんである。「長期的な事業採算の見通しと海洋環境保全技術の確立がなければ、深海資源には誰も手を出さないでしょう。まずは環境保全コストを含む開発・生産コストやレアアースの長期の需要動向・価格動向を十分に評価した上で、深海底の調査技術・鉱物開発に関心を持つ民間企業の参加も得て調査・開発・生産システムの実証を行い、民間企業へ技術移転を進めていくことが不可欠です」

産業化に向けた問題点を抽出し対策を講じる

経済性などを評価し、産業化の可能性を見極めるため、これまでさまざまな調査や検討が行われてきた。

「深海底の調査技術は、プログラム終了後、短期間で産業化できる可能性が高い」と松川さん。実際、AUVを使った深海底調査を手掛ける民間企業が、世界に1社ある。しかし、技術だけでなく料金も、その会社と競合できるくらいでないと、調査の依頼

は来ないだろう。技術開発からコストを意識して進める必要がある。また、海洋石油・天然ガス開発は最深でも水深3,000mであり、実は、大深度の海底調査の需要は大きくない。浅い海をターゲットに何ができるかを新たに考える必要がある。

「テーマ1や2の開発の状況を踏まえて産業化に向けた問題点を抽出し、具体的な解決策を提示するのも、私たちテーマ3の役割です」

レアアース泥開発の産業化に必要なもの

モーターの磁石や電池の電極の材料となるレアアースの需要は、電気自動車の普及などに伴って、今後も増加していくと予測されている。レアアースのすべてを輸入に頼っている日本にとって、排他的経済水域でレアアースを生産できれば、とても望ましいことである。しかも、テーマ1の調査から、南鳥島周辺深海底には国内需要を十分に満たすレアアース濃集層の存在が分かってきた。ただし、レアアース泥があるのは、本州から約1,800kmも離れた、しかも水深6,000mの深海底の下だ。採算が取れず産業化は無理だ、という意見もある。

しかし松川さんは、「シェールオイルと同じことが、レアアース泥など深海資源でも起き得る」という。シェールオイルとは、地下深^{けつがん}くの頁岩（シェール）層という地層に含まれる原油である。1990年代に注目されたが、掘削にコストがかかり商業化は難しいといわれていた。しかし、低コストの優れた生産技術が開発されたことで、いまでは大規模な生産が行われている。「低コストで優れた生産技術が開発できるかどうか、つまりテーマ2-2が、レアアース泥開発の産業化の鍵を握っているといえるでしょう」

深海環境を利用した新しい産業を

「深海資源の調査や開発からのスピノフとして、

深海環境を利用した新しい産業を生み出せないか」と、松川さんは考えている。深海底の環境には、高い水圧、低い水温、太陽光が届かないという特徴がある。その環境を地上で再現しようとすると、大掛かりな装置が必要になる。一方、深海資源の開発では環境モニタリングが必須であり、そのための装置に試料を取り付ければ、手軽に深海底の環境を使った試験・研究が可能になる。

2019年3月には、セメント試料と、国際宇宙ステーションに10日間滞在した「土佐宇宙酵母」が、環境モニタリングに使用する海底観測装置「江戸っ子1号365型」に取り付けられ、南鳥島周辺の水深6,000mの深海底に設置された。1年後に回収し、セメントや酵母の特性がどのように変化しているかを調べる。セメント試料を試験したのは、海底を特殊なセメントで覆ってからその下の鉱物資源を生産することで環境への影響を低減できるのではないかという提案があり、そのためのデータ収集を目的としたものだ。「酵母のように、深海資源とは関係のない分野の試験・研究にこそ、ぜひ使ってほしい。利用が増えれば、深海資源開発のコストが下がることにもつながります」

2019年7月、新たなアイデアを求めて課題の公募を行った。5件の応募があり、そのなかから2020年3月に「江戸っ子1号365型」を再設置する航海を利用して、次の1年間の試験を開始する計画だ。

太平洋島しょ国を対象に研修を実施

2019年3月には、太平洋島しょ国の技術者や行政官などを対象に、海洋モニタリング技術についての研修を実施した。ミクロネシア、フィジー、サモア、トンガから8人が参加。「南鳥島周辺は、彼らにとって庭のようなもの。私たちは海底資源の開発にあたって環境対策をしっかり行っていることを知っていただくのが、大きな目的です」と松川さんは説明する。好評で、2019年度も開催している。

別の目的もある。「南太平洋の海底にも高濃度のレアアース泥が分布していることが分かっています。信頼関係を築いておくことで、将来、太平洋島しょ国がレアアース泥の開発を行うときに、私たちの調査・生産システムを使ってもらいたいです」

松川さんは、「深海は地球最後のフロンティアである」という。「もっと深海に目を向けてほしいですね。そこには、日本の未来を支える国力のもと、豊富な海底資源があるのですから」

現状を知り、影響を予測し、監視する——環境影響評価手法の国際標準化を目指す

取材協力 山本啓之

JAMSTEC 革新的深海資源調査技術管理調整プロジェクトチーム 調査役

「深海資源の開発においても、持続可能な開発目標（SDGs）を守らなければいけません」。そう語るのは、テーマ3で海洋環境保全技術を担当する山本啓之さんである。SDGsとは、2015年の国連サミットで採択された、持続可能な世界を実現するための国際目標（2016～2030年）である。

「SDGsでは、自然環境に手を加えてはいけないといっているわけではありません。自然環境に手を加える場合は、持続的に利用できるように影響を最小限にすることが求められているのです。そこで私たちは、深海資源開発における環境影響評価手法を構築し、その実用性を実証しようとしています」。環境影響評価手法の構築は、SIP第1期から継続して取り組んでいる課題である。

1年間の継続観測が可能な「江戸っ子1号365型」

山本さんは、「環境影響評価には3つの段階が必要」という。開発を行う前の状態を把握するベースライン調査、開発によって生じる影響の予測とそれを最小限に抑えるための対策の実施、対策が正し

く機能し環境に深刻な影響を与えていないかを監視するモニタリングだ。

2019年2月、南鳥島周辺のレアアース泥が分布している海域で、ベースライン調査を開始。具体的には、「江戸っ子1号365型」6機と、係留系3式を投入し、マルチプルコアラーという装置を用いて海底の堆積物を採取した。

「江戸っ子1号365型」は、東京や千葉の町工場が共同で開発した「江戸っ子1号」がベースになっている。部品を変えて耐久性を高め、さらに3台を三角柱構造に組み合わせてバッテリーを増やすことで、海底環境を1年間継続して観測できるようにしたものだ。「江戸っ子1号」シリーズは、世界で唯一、市販されている海底観測装置です。大学や研究機関では特別注文品を使いますが、民間企業にとって特別注文品は敷居が高い。民間企業への技術移転、産業化を見据えると、市販品を使えるというのは、大きな利点です」と山本さんは解説する。

南鳥島周辺海域のベースライン調査を実施中

「江戸っ子1号365型」は、ガラス球のなかにビデオカメラが入っていて、海底の様子を撮影できる。「生物がいるのか、いないのか、いるとしたらどう

いう生物か、海底は砂なのか、岩なのか、泥なのか、などなど。映像から非常に多くの情報を得ることができます」と山本さん。

6機のうち3機は、設置後35日で回収した。映像には、魚類やエビの仲間が写っていた。微生物など小さい生物の情報は映像では得られないため、ピストンコアラーで採取した堆積物を解析している。

「江戸っ子1号365型」の残り3機は、定期的に短時間ずつ海底の様子を撮影し、2020年3月の回収まで約1年間、観測を続ける。「その海域が安定した環境かどうかを知っておくことは、開発開始後に観測された変化が開発の影響かどうかを判断する重要な材料になります」

係留系には流向流速計が付いていて、海水がどの方向に、どれくらいの速さで流れているかを1年間計測する。「上流・下流は、開発する海域を選定する際に、とても重要な情報です」と山本さん。「生物は一般的に、上流から下流へ広がっていきます。生物群集がいる上流を避け、下流を開発することで、生物がいったん姿を消してしまっても、開発が終われば上流から生物が来て回復を期待できます。生物群集がいる上流を開発してしまうと、姿を消した生物の回復は望めません」

現在、レアアース泥の回収によってどのような影

響が生じるか、シミュレーションなどを使った予測も行っている。レアアース泥の回収技術の実証を行う際には、影響を最小限に抑える対策を取った上で、モニタリングを行う計画だ。

環境影響評価手法の国際標準化へ

山本さんらは、環境影響評価手法の国際標準化に取り組んでいる。「環境影響評価は、誰がやっても一定の精度・品質のデータを出せなければいけません。しかし、標準化された手法はまだない。そこで、私たちの手法を国際標準化機構（ISO）規格として提案しているところです」。深海鉱物資源の調査技術・開発技術に加え、環境影響評価手法でも、日本は世界をリードしようとしている。

山本さんの専門は、微生物の生態学である。「私から見ると、生物も鉱物も、すべて資源です。深海は、人類が開発する最後の場所でしょう。だからこそ、生態系のあるべき姿を壊すことなく最大限の注意を払って開発しなければならないと思っています」

深海資源の調査能力を飛躍的に向上させ、深海鉱物資源の生産技術を世界に先駆けて確立・実証し、民間企業への技術移転の道筋をつける。——その実現に向けたSIP「革新的深海資源調査技術」の取り組みを、今後も紹介していく。

BE



「江戸っ子1号365型」の構成
「江戸っ子1号」を3台組み合わせることでバッテリーを増強し、1年間の長期継続観測が可能になった。



南鳥島周辺の海底から採取された堆積物
堆積物の顕微鏡観察とDNA解析によって、微生物の種類や量を明らかにする。



「江戸っ子1号365型」によって撮影された生物
ソコダラ科の魚類。ほかにもクラゲなどが写っていた。南鳥島周辺海域の水深約6,000m。

JAMSTECにおいて過去の気候変動の解明や
北極で進行している環境変動の観測を続けてきた
原田尚美さんは2018～19年、27年ぶりに南極地域観測隊に参加、
第60次の副隊長・夏隊長として再び南極の地を踏んだ。
なぜ南極での観測が重要なのか。
南極の魅力とは――



©JARE60

地球環境部門
地球表層システム研究センター センター長
原田尚美

はらだ・なおみ。北海道生まれ。博士（理学）。名古屋大学大学院理学研究科大気圏化学専攻博士後期課程満了。1995年、JAMSTEC研究員。2019年より現職。専門は生物地球化学。



©JARE60



昭和基地

「しらせ」

――南極を初めて訪れたのはいつですか？

原田：大学院博士課程1年生のときです。第33次南極地域観測隊夏隊（1991～92年）に参加して昭和基地に1ヵ月半、滞在しました。そのときは生物医学班の一員として、海洋生物の試料を採取したり、観測隊が継続的に実施しているモニタリング観測としてヘリコプターから特定エリアのペンギンとアザラシの種類と数を数えたりしました。

――南極はどこなところですか。

原田：夏の昭和基地は、それほど寒くないんです。札幌の冬と同じくらいで、セ氏でプラスの気温になることもあります。太陽は1日中沈みませんが、夜になると薄暗くなって、条件がよいと地球影も見えます。野外で観測をしているとペンギンなどがやって来ます。

――今回、再び訪れた南極の印象は？

原田：昭和基地は建物が増えて、すっかり変わりました。でも、昭和基地という木の看板がある19（いちきゅう）広場は昔と一緒にでした。

私が最初に行った第33次では、約40人の越冬隊に30人弱の夏隊という構成でした。今回の第60次は、31人の越冬隊に夏隊40人と夏隊同行者29人が加わり、総勢100人と過去最多でした。夏の期間にしかできない観測や建物の建築・補修

©JARE60



第33次夏隊（1991～92年）に参加した原田さん。

作業があり、忙しさは昔と変わらない印象でした。

——最初のときは、日本の南極地域観測隊に参加した2人目の女性だったそうですね。

原田：当時は隊のなかで女性は私1人だけでした。今回は同行者も含めて14人と、過去最多タイの人数の女性に参加しましたが、それでも全体の1割強です。海外の観測隊は2～3割を占めるので、もっと女性が増えてほしいですね。

南極の氷床を監視する

——なぜ南極で観測する必要があるのですか。

原田：地球上で最も寒く汚染が少ない南極だからこそ、地道な観測を続けることで、地球環境の変動について分かることがたくさんあります。60年以上の日本の南極観測のなかで、たとえばオゾンホー

ルの発見は、大きな成果の1つです。

——地球温暖化などの影響は南極にも表れているのですか？

原田：JAMSTECで私たちは北極での観測を続けています。北極では海水面積や体積が著しく縮小するなど、温暖化の影響がいち早く表れています。それに比べて南極は大きな影響がまだ表れていません。西南極では海に張り出した棚氷が融けだしていると報告されていますが、昭和基地のある東南極では目立った変化は見られません。

北極の海に浮かぶ海水が融けても海面水位は変化しません。一方、南極大陸の上に載った氷床が融けて海に流れ込むと世界の海面水位が大きく上昇して、海抜の低い島しょ国や沿岸に集中している世界の大都市にとって大きな脅威となります。

多くの研究者が南極の氷床も融ける可能性があると考えています。東南極では、沿岸にあるトッテン氷河などが、内陸の氷床が海へ流れ込むのを食い止める役割をしています。観測隊ではそのトッテン氷河の下部にどれだけ暖かい海水が流れ込んでいるのか、氷が融けた淡水の濃度に変化があるのか監視する観測を実施しようとしています。

地球環境に大きな影響を与え得る東南極ではまだ変化が始まっていないからこそ、その変化の始まりを捉えることの重要性がますます高まっていると、今回、再び南極を訪れて感じました。

北極と南極の関係でいえば、成層圏

（高度約10～50km）が注目されています。北極の成層圏が突然1日に数十℃も気温が上昇する現象が生じており、その影響が南極の成層圏にどう及ぶのか明らかにしようという研究が行われています。その地球規模の大気物理のメカニズムを探る国際共同観測の一環として、昭和基地に設置した大型大気レーダーによる観測を行っています。

次の氷期はいつやって来るのか、南極のアイスコアから探る

——氷床には気候変動の歴史が刻み込まれているそうですね。

原田：アイスコアと呼ばれる氷床の掘削試料を分析することで、過去の温暖―寒冷の変動を高い時間分解能で推定することができます。現時点で世界で最も古くまでさかのぼれるアイスコアは、78万年前までです。

現在、いくつかの国際チームが100万年前までさかのぼることができる、さらに長い記録を持つアイスコアを掘削しようと、しのぎを削っています。日本もアメリカやノルウェーと共同で、氷床の厚さを音波で計測して掘削地点を絞り込む調査を行っています。

——100万年前までさかのぼることに、どのような意義があるのですか。

原田：少なくとも80万年分を超える試料をぜひ得たいのです。それは、次の氷期がいつ来るのかを予測する上で重要なデータとなるからです。

現在は、寒冷な氷期と氷期に挟まれた



第60次南極地域観測隊、昭和基地19広場にて。 ©JARE60

間氷期の時代です。過去1万年間ほど温暖で安定した気候が続き、人類は文明を築きました。さらに昔の間氷期を調べると、その継続期間は1万年間くらいが多いため、そろそろ次の氷期がやって来るので温暖化は心配ないという人もいます。しかし今回の間氷期は、さらに1万年長く続く可能性があります。

地球の自転軸の傾きや首振り（歳差）運動、地球が太陽の周りを回る公転軌道が楕円から真円へと離心率が周期的に変化することで、太陽と地球の位置関係が変わり、日射量が増減して間氷期と氷期が繰り返されてきたと考えられています。

前回の間氷期は12万5000年前ごろに1万年間ほど続きましたが、太陽と地球の位置関係は現在とは異なりました。ほぼ同様な位置関係は約40万年周期で訪れます。約40万年前の間氷期は2万年間ほどと、ほかの間氷期よりも長く続きました。ですから今回の間氷期も、さらに1万年ほど長く続く可能性があるのです。しかし、これまでに得られている最も古い78万年分のアイスコアには、現在とはほぼ同じ位置関係だった間氷期の記録は約40万年前の1回分しかありません。約80万年前の間氷期がどれくらい続いたのか、アイスコアからぜひ知りたいところです。その時代にできた氷床が残っている可能性があるのは南極だけです。

南極と観測隊の魅力

——今回、なぜ南極に再び訪れようと思ったのですか。

原田：ぜひ、南極で確かめたいことがあったからです。JAMSTECの北極観測の一環として私たちは、太平洋から北極



第60次夏隊（2018～19年）でリーセルラルセン地域を視察する原田さん。 ©JARE60

海へどれだけ海洋生物が流入しているのか調べています。そのために採取した北極海の海水から、共同研究者であった当時筑波大学の学生が偶然、ある特殊な能力を持つ植物プランクトンを発見しました。現在、特許を申請して論文にまとめているところなので、具体的なことは紹介できませんが、人類社会に貢献し得る、とても有益な能力です。

その特殊能力は、極域の低温の海という極限環境と関係している可能性があります。そうならば、南極の海にも同様の能力を持つ植物プランクトンが生息していてもおかしくないと考え、南極をぜひ調べてみたいと思っていたのです。自分で試料を採取する余裕がないため、今回の第60次夏隊に同行者として参加したJAMSTECの塩崎拓平さん（地球表層システム研究センター 特任研究員）に依頼して南極の海水を採取していただきました。

その植物プランクトンの件がなくても、私は南極に再び行きたいとずっと思っていました。南極は特別です。うまく説明できませんが、もう一度、行ってみたいと思わせる魅力があるのです。南極地域

観測隊に参加した人の多くが、そういいます。

それは南極という場所とともに、南極地域観測隊の魅力なのかもしれません。4～5ヵ月間、寝食を共にした仲間との時間は濃密です。最初に参加した第33次隊、そして今回の第60次隊もとてもよい雰囲気でした。

——夏隊の隊長として、どのようなお仕事をされたのですか。

原田：昭和基地ではなく、南極観測船「しらせ」でずっと過ごしました。仕事の大半は、昭和基地との物資輸送や観測チームを調査地点に運んだりピックアップしたりするヘリコプターのスケジュール管理です。8つの観測チームが並行して観測を行い、急激に変化する天候によってヘリコプターが飛べない日、時間帯もあります。今年は好天が続かず、誰とどのくらいの物量の観測物資をどのヘリコプターの何便で運ぶのか、複雑なスケジュールの変更を繰り返す毎日でした。

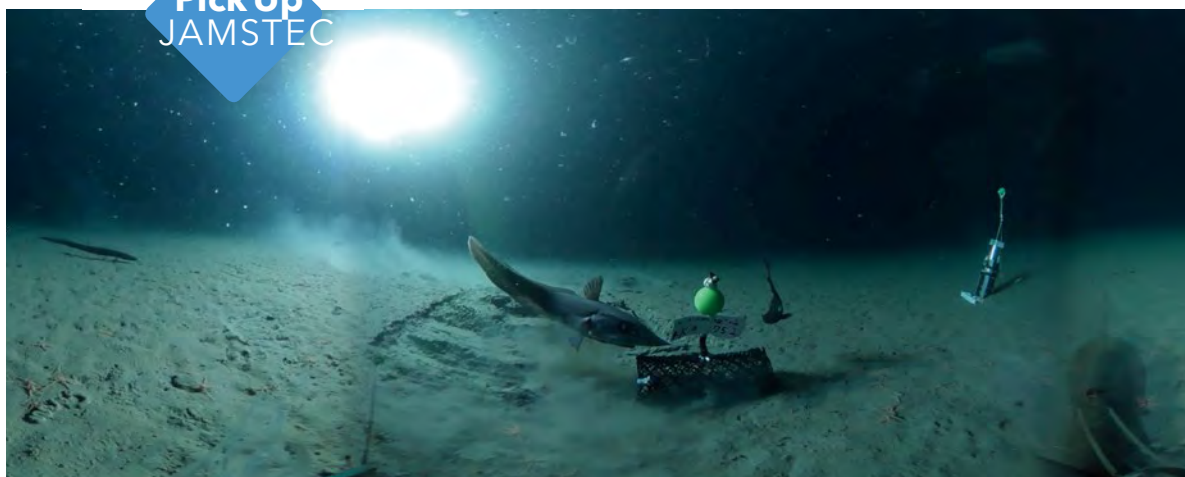
次はぜひ、一隊員として南極に行きたいですね！

BE

（文・立山 晃／フotonクリエイト）



「しらせ」による海水採取の様子 ©JARE60

Pick Up
JAMSTEC

「深海VR——深海に降り立つ」公開中！



国立科学博物館とJAMSTECが開発した「深海360度カメラシステム」によって、深海での360度映像を撮影することに成功しました。撮影された映像を、YouTubeの「JAMSTECチャンネル」で公開しています。まるで自分が深海に降り立ったかのような映像をお楽しみください。また、国立科学博物館の全球型映像施設「シアター360」では「深海—潜水艇が照らす漆黒のフロンティア—」が上映されており、360度全方位に広がる深海を体験いただけます (<https://www.kahaku.go.jp/exhibitions/theater360/>)。

賛助会 (寄付) 会員名簿 2019年10月15日現在

国立研究開発法人海洋研究開発機構の研究開発につきましては、次の賛助会員の皆さまから会費、寄付を頂き、支援していただいております。(アイウエオ順)

株式会社IH
株式会社アイケイエス
株式会社アイフエンタープライズ
株式会社アクト
朝日航洋株式会社
アジア海洋株式会社
株式会社大野回漕店
株式会社アルファ水工コンサルタンツ
株式会社安藤・間
いであ株式会社
株式会社伊藤高圧瓦斯容器製造所
伊藤忠テクノソリューションズ
株式会社
潮冷熱株式会社
株式会社エス・イー・エイ
株式会社エス・イー・シー
株式会社SGKシステム技研
株式会社エヌエルシー
株式会社NTTデータCCS
株式会社NTTファシリティーズ
株式会社江ノ島マリナーポレーション
株式会社MTS雪氷研究所
株式会社OCC
岡本硝子株式会社
株式会社オキシーテック
沖電気工業株式会社
海洋エンジニアリング株式会社
海洋電子株式会社
株式会社化学分析コンサルタント
鹿島建設株式会社
株式会社カネカ
川崎汽船株式会社
川崎近海汽船株式会社
川崎重工業株式会社

川崎地質株式会社
株式会社環境総合テクノス
株式会社キュービック・アイ
共立インシュアランス・ブローカーズ
株式会社
共立管財株式会社
極東貿易株式会社
株式会社きんてん
株式会社熊谷組
クロバテック株式会社
株式会社グローバルオーシャン
ディベロップメント
株式会社KSP
KDDI株式会社
京浜急行電鉄株式会社
鉱研工業株式会社
株式会社構造計画研究所
神戸ペイント株式会社
広和株式会社
株式会社COAST
国際石油開発帝石株式会社
国際ビルサービス株式会社
コスモ商事株式会社
株式会社コエ
株式会社コベルコ科研
五洋建設株式会社
株式会社コンボン研究所
相模運輸倉庫株式会社
佐世保重工業株式会社
三洋テクノマリナー株式会社
三和化成工業株式会社
株式会社ジー・エス・ユアサテクノロジ
株式会社シーフロアコントロール
株式会社JSP

JX石油開発株式会社
JFEアドバンテック株式会社
株式会社JVCケンウッド
静岡市
シチズン時計株式会社
シナネン株式会社
清水建設株式会社
清水港振興株式会社
シモダフランジ株式会社
ジャパンマリナーユナイテッド株式会社
シュルンベルジェ株式会社
株式会社昌新
株式会社商船三井
鈴与株式会社
セイコーウッチ株式会社
株式会社清友農材センター
株式会社関ヶ原製作所
石油開発サービス株式会社
石油資源開発株式会社
セコム株式会社
セナーアンドバーンズ株式会社
株式会社ソリッド・ソリューションズ
株式会社ソルトン
損害保険ジャパン日本興亜株式会社
ダイキンMRエンジニアリング
大成建設株式会社
ダイハツディーゼル株式会社
太陽日酸株式会社
有限会社田浦中央食品
株式会社竹中工務店
株式会社地球科学総合研究所
中国塗料株式会社
中部電力株式会社
株式会社鶴見精機

株式会社帝国機械製作所
株式会社テザック
寺崎電気産業株式会社
株式会社寺本鉄工所
電気興業株式会社
東亜建設工業株式会社
東海交通株式会社
洞海マリンステムズ株式会社
JFEアドバンテック株式会社
東京海上日動火災保険株式会社
東京製綱繊維ロープ株式会社
株式会社東京チタニウム
東北環境科学サービス株式会社
東洋建設株式会社
株式会社東陽テクニカ
株式会社東和製作所
トーヨーテック株式会社
トビー工業株式会社
新潟原動機株式会社
西芝電機株式会社
株式会社ニシヤマ
日油技研工業株式会社
株式会社日産電機製作所
ニッスイマリナー工業株式会社
日鉄エンジニアリング株式会社
日東電工株式会社
株式会社日放電子
日本アキュムレータ株式会社
日本アドバンステクノロジー株式会社
株式会社日本インテリジェントビジネス
日本エヌ・ユー・エス株式会社
日本海工株式会社
日本海洋株式会社
株式会社日本海洋科学
日本海洋掘削株式会社
日本海洋計画株式会社
日本海洋事業株式会社
一般社団法人日本ガス協会
日本軽金属株式会社
日本サルヴェージ株式会社
日本水産株式会社
日本電気株式会社

日本ペイントマリナー株式会社
日本マントル・クエスト株式会社
日本無線株式会社
日本郵船株式会社
野村建設株式会社
株式会社ハイドロシステム開発
濱中製鋼工業株式会社
ハリマ化成株式会社
東日本タグボート株式会社
日立造船株式会社
深田サルベージ建設株式会社
株式会社フグロジャパン
株式会社フジクラ
富士ソフト株式会社
富士通株式会社
富士電機株式会社
古河機械金属株式会社
古河電気工業株式会社
古野電気株式会社
松本徹章株式会社
マリメックス・ジャパン株式会社
株式会社マリナー・ワーク・ジャパン
株式会社マルト
三鈴マシナリー株式会社
三井E&S造船株式会社
株式会社三井E&Sマシナリー
三井住友海上火災保険株式会社
三菱重工業株式会社
三菱スペース・ソフトウェア株式会社
三菱造船株式会社
三菱電機株式会社
三菱電機特機システム株式会社
株式会社森京建築事務所
ヤンマー株式会社
株式会社ユー・エス・イー
郵船商事株式会社
横河電機株式会社
株式会社落雷抑制システムズ
株式会社ラジアン
株式会社ロボット



JAMSTEC 国立研究開発法人
海洋研究開発機構
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

