



1 JAMSTEC生まれの種たち
「江戸っ子1号」海底観測の国際標準への挑戦

4 特集

若い力が海と地球の 未来を変える！

JAMSTEC若手人材育成プロジェクト

14 My Field
大気と海と生物をつなぐ

18 ウミガメ由来の海洋観測データで
季節予測が大幅に改善された



「江戸っ子1号」 海底観測の国際標準への挑戦

「江戸っ子1号」——東京や千葉の中小企業が中心となり、JAMSTECや大学、金融機関などと連携して開発された海底観測装置である。2013年には、日本海溝の水深約8,000mの海域で魚類などの3Dハイビジョンビデオ撮影に成功し、話題になった。2015年にガラス球の製造を担当する岡本硝子(株)を中心に事業化し、「江戸っ子1号」シリーズの販売を開始。現在、世界で唯一市販されている海底観測装置である。さらにJAMSTECと岡本硝子は、1年間継続して観測できる「江戸っ子1号365型」と、それをを用いた海底環境の観測法を開発。海底資源を開発する際の環境影響評価手法として国際標準化することを目指している。

取材協力

岡本 毅

岡本硝子(株) 代表取締役会長

高橋 弘

岡本硝子(株) 取締役・事業開発本部 E&E事業部長

桂川正巳

東京東信用金庫 お客様サポート部 コーディネーター

三輪哲也

JAMSTEC 研究プラットフォーム運用開発部門 技術開発部 観測技術研究開発グループ 調査役

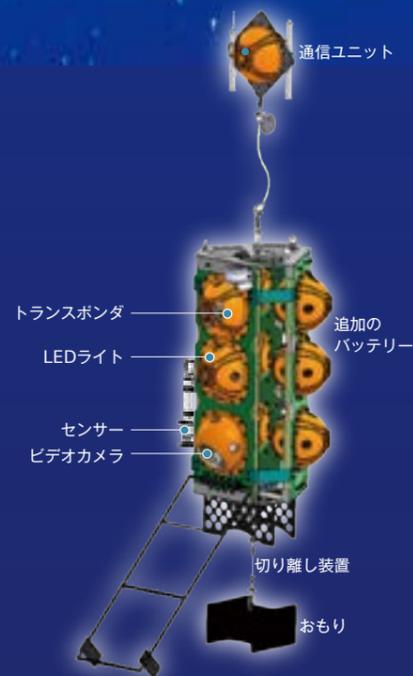
東京・千葉の中小企業が深海を目指す

「これが全ての始まりです」と言って、東京東信用金庫の桂川正巳さんが1枚の書類を出した。「2009年6月、東京・葛飾区の(株)杉野ゴム化学工業所社長の杉野行雄さんから、うちの技術相談会に提出されたものです。『東大阪の町工場が人工衛星を打ち上げたというニュースを見て、東京下町の町工場でも何か新しいことができないかと話し合い、海底資源発掘用の機械の設計・製作を検討しています。壮大な計画なので、試験や技術面でのアドバイスをほしい』と書かれています。そこで、東京海洋大学や芝浦工業大学、そしてJAMSTECに相談に行ったのです」

JAMSTECの三輪哲也さんも、当時を知っている

1人だ。「話を聞くと、海底を動き回ることができる遠隔操作型の探査機をつくりたい、しかも世界で最も深いマリアナ海溝の水深1万1000mに行きたい、でもお金がない、と。何を言っているんだろう、と思いましたね」と笑う。「最低限何をやりたいのかと話し合い、タイヤを外し、マニピュレーターを外し、とパーツをそぎ落としていった結果、ガラス球とフレームだけになったのです」

JAMSTECでは1979年、ガラス球にカメラを入れ、自由落下で深海に行き撮影し、おもりを切り離して浮上してくる観測装置を開発していた。基本デザインは同じだ。これならば、町工場それぞれの技術を持ち寄り、安価に、深海への夢を実現できるのではないか、と期待が膨らんだ。



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く。
提供：SIP 革新的深海資源調査技術

国産ガラス球の誕生

2011年4月、「江戸っ子1号」プロジェクト推進委員会が発足。同年9月には、JAMSTECの「実用化展開促進プログラム」に採択された。これは企業などの課題提案をもとに、JAMSTECのシーズ・施設・設備・ノウハウなどを組み合わせた共同開発によって製品化・事業化を目指す制度である。このプログラムに採択されたことで、JAMSTECとして本格的に「江戸っ子1号」のプロジェクトを支援できるようになった。参加企業も増え、大学の学生たちや、ソニーの技術者、新江ノ島水族館、漁船「源春丸」など支援者の活動にも支えられ、浅海での実験での性能確認も進んでいった。

しかし、大きな問題が発生した。「アメリカの企

業にガラス球を注文したのですが、しばらくしてつくれなくなったと断られてしまったのです。困り果て、つてをたどって岡本硝子の社長に相談しました」と桂川さん。

現在は会長である岡本 毅さんは、「ガラスでなくてもできるものの場合、ほかの材料との価格競争になってしまいます。ガラスの特性を生かし、ガラスでしかできないものは何か、それを探るのが私の役割だと考えています。ガラスは傷がなければ、圧縮する力に対して鋼よりも強いんです。だから、深海用のガラス球をつくれるかと聞かれ、できます、やりましょう、と即答しました」と振り返る。

そうして2012年4月、岡本硝子がプロジェクトに加わった。ガラス球の開発を担ったのが、高橋弘さんだ。「JAMSTECでアメリカ製とドイツ製のガラス球を見せてもらい、これならばつくれる、と思いました。そして形状や成分を分析し、それぞれの悪い点を改良することで、求められた性能を満たすガラス球をつくることができました」

ガラス球の国産化に成功したことで、「江戸っ子1号」の主要部品が全て国産となった。そしてさまざまな試験の結果、「江戸っ子1号」の本体は、アルミフレームにガラス球3個を縦に並べる構造に決まった。ガラス球は樹脂のハードハットで覆い、上から、船と音響通信を行うトランスポンダ、LEDライト、ビデオカメラが入っている。

実海域での試験に成功。そして、その後。

2013年11月、JAMSTECの海洋調査船「かいよう」で実海域試験を実施。房総半島沖の日本海溝において、水深約4,000mの海域に1機、約8,000mの海域に2機を投入し、全ての「江戸っ子1号」の回収に成功した。搭載した3Dハイビジョンビデオカメラには、餌に群がる魚類などの姿が鮮明に捉えられていた。

この成果はマスコミで大きく取り上げられた。海洋立国推進功労者表彰、産学官連携功労者表彰、グッドデザイン賞などさまざまな賞にも選ばれ、展示会や講演会、テレビ番組からも次々と声が掛かった。桂川さんは、「マスコミへの露出を増やして資金を集め、マリアナ海溝への挑戦につなげようという戦略を立てていました。しかし注目は長く続くものではありません」と声を落とす。

一方、三輪さんをはじめとするJAMSTECの研究者たちの間では、「江戸っ子1号」への関心が膨らんでいた。「夢を達成して満足感を得ると、なかなか次に進めないということはよくあります。しかし、『江戸っ子1号』がこのまま消えてしまうの

はもったいないと思っていました」

そのころ、内閣府が主導する戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の「次世代海洋資源調査技術」（2014～18年度）が始まった。海洋鉱物資源を低コスト・高効率で調査する技術に関する研究開発を行い、民間に技術移転することで日本の海洋資源調査を飛躍的に加速させることを目指したもので、JAMSTECは管理法人を務めるとともに研究開発にも参加していた。

「海底資源を開発する際、環境にどのような影響を与えるのかを調査し、評価しなければなりません。『江戸っ子1号』は安価で、投入・回収も簡単です。海底環境調査に『江戸っ子1号』の活路があるのではないかと考えました」と三輪さん。

生まれ変わった「江戸っ子1号」

しかし、そのままでは使えない。SIP「次世代海洋資源調査技術」では、水深2,000m以浅の海底熱水鉱床を主要なターゲットとしていた。熱水鉱床の周辺では硫化水素の濃度が高く、アルミ製のフレームが腐食してしまうのだ。チタン製にすれば腐食を防げるが、重く、高価になる。

そうした中、三輪さんが相談を持ち掛けたのが、バキュームモールド工業(株)だ。2012年2月からプロジェクトに加わり、ガラス球のハードハット的设计・製作を担当してきた。「浮力のある樹脂でフレームをつくれれば、軽く、耐腐食性も高くなります。バキュームモールド工業は、プラスチックトレイの真空成形用金型や抜型の設計・製作で日本トップのシェアを誇っている会社で、どんな形の樹脂製品でも自在につくり出す技術を持っています。いとも簡単にフレームをつくってくれました」

こうして耐腐食性が高く熱水鉱床周辺でも海底の観測が可能な「江戸っ子1号耐腐食（HSG）型」が誕生した。そして事業化のめどが立ったことから、「江戸っ子1号」プロジェクト推進委員会は2015年2月に解散。岡本硝子が開発・製造・販売・営業までを行い、ほかのメンバーは連携企業や支援グループとして協力することになった。標準型と耐腐食型の販売を開始し、まずSIP「次世代海洋資源調査技術」が3機購入。2016年には石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）が3機購入し、順調な滑り出しとなった。

1年間観測可能な365型を開発

近年、日本に限らず世界中で海底資源に熱い視線が注がれている。そうした中、公海域の海底鉱物資源の管理を行う国際海底機構（ISA）が、海底鉱物資源を開発する場合、1年間の環境調査が必要であるというガイドラインを出した。ところが、「江戸っ子1号」の標準型と耐腐食型が観測を継続できるのは3カ月ほどである。3カ月ごとに入れ替えるのは現実的ではない。そこで考えたのが、3機を三角柱構造に組み合わせるといったものだ。搭載できるバッテリーが増えるので、1年間の観測が可能になる。JAMSTECと岡本硝子は共同で、「連結水中探査機」として特許を出願した。

そうして誕生したのが、「江戸っ子1号365型」だ。「やむにやまれずパーツを取り除いていってガラス球とフレームだけになったのですが、今にして思えば、無駄のない美しい形をしていますよね。シンプルな形だから連結できたのです」と三輪さんは言う。「江戸っ子1号365型」には、フレームが緑とピンクの2種類がある。最初に開発されたのは緑色の方で、水深3,000mまでの調査が可能だ。ピンクは、SIP第2期「革新的深海資源調査技術」（2018～22年度）がターゲットとする水深6,000mまで調査できるように、樹脂フレームの強度を高めてある。

環境影響評価手法の国際標準化を目指す

「どのように海底を観測するかも重要」と三輪さんは指摘する。「江戸っ子1号365型」は、定期的にビデオカメラを作動させて撮影する。海水の流れや生物の活動は潮汐の影響を受けるため、撮影の周期を潮汐の周期と少しずつずらす。それによって、潮汐の影響も含めた海底の変化を1年間にわたって観察することができる。また、複数のビデオカメラで撮影した場合、時刻を同期させて記録媒体に記録する必要がある。プロトコルを決めた手法について、「画像記録方法、画像記録プログラム、情

報処理装置及び画像記録装置」としてJAMSTECと岡本硝子の共同で特許を出願した。

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ない。しかし、海底の環境影響評価について標準化された手法はまだない。そこで三輪さんはJAMSTECの研究者と共に、上述の画像記録の方法などを含めた環境影響評価手法を国際標準化機構（ISO）に国際標準規格として提案している。

ガラス球は南極へ

「江戸っ子1号365型」の開発に当たって、ガラス球にも少し変更を加えた。高橋さんは、「ガラスは圧縮する力には強いのですが、引っ張りの力には弱い。水圧がかかると赤道面の一部に引っ張りの力がかかり、何度か使っていると欠けてくることがあります。耐久性を上げるため、赤道面を少し厚くするなどの工夫をしました」と解説する。

現在、深海用のガラス球は、ほかにアメリカ、ドイツ、中国の会社が製造している。三輪さんは、「岡本硝子のガラス球は、耐久性や透明度などの品質が最も高い」と言う。その言葉に高橋さんは、「私たちは深海用ガラス球のメーカーとしては後発です。いかに信頼を勝ち取るかが重要であり、気が抜けない」と表情を引き締める。

岡本硝子では現在、南極のニュートリノ観測施設「IceCube-Gen2」用のガラス球もつくっている。「IceCube-Gen2」とは、稼働中の「IceCube」の観測能力を向上させるため、氷床の中に検出器を700個追加するというものだ。この国際プロジェクトに参加する千葉大学ハドロン宇宙国際研究センターの研究者が「江戸っ子1号」を知り、岡本硝子に声が掛かった。千葉大学が担当する検出器は300個。それを入れる紫外線透過ガラスの耐圧球をつくる。「深海の次は、南極の氷の中。40年以上ガラス製造をやってきましたが、ガラス球の需要がこんなところにもあったのかと驚いています」と高橋さん。

岡本硝子は、プロジェクター用反射鏡、プロジェクターの内部レンズ、デンタルミラーの世界シェアがナンバー1である。高橋さんは、「私たちの仕事の多くは部品を納めるところまででした。システムとして組み上げて販売するのは『江戸っ子1号』が初めてです。これは、会社としても大きな転換になりました」と語る。市販されている海底観測装置は、世界で「江戸っ子1号」シリーズだけだ。提案している環境影響評価手法が国際標準化されれば、「江戸っ子1号」も世界へ広がっていく可能性がある。



岡本硝子に保管中の「江戸っ子1号」の前で（左は耐腐食型、右は365型）。左からJAMSTECの三輪哲也さん、岡本硝子の筒井啓介さん、高橋 弘さん、東京東信用金庫の桂川正巳さん、岡本硝子の上野有穂さん、池田和正さん。筒井さんと池田さんは、乗船して「江戸っ子1号」の設定も行う。回収のとき、おもりを切り離す信号音を船から送り、「江戸っ子1号」からの返信が返ってくるまでの時間が、最も緊張すると話す。「お二人のように若い人へと技術が伝わっていくことがうれしい」と三輪さん。

岡本さんは、「安請け合いをしてしまったなど思ったこともありましたが」と笑う。「ガラス球単体とシステム、両方の広がりが見えてきたことは、大きな成果です。ぜひもっと使っていただきたいと期待しています」

いろいろな使い方をしてほしい

SIP第2期「革新的深海資源調査技術」では、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の研修を行っている。研修項目には「江戸っ子1号」を用いた海底観測も入っている。「江戸っ子1号」は小型で軽量なので、大きな研究船がなくても、漁船やカヤックで投入・回収が可能だ。この研修をきっかけに、島しょ国が導入してくれることを期待している。「面倒な操作が要らないのも、『江戸っ子1号』の特徴です。いろいろな人が、いろいろな場所に、いろいろな用途で使ってもらいたいですね」と三輪さん。

「江戸っ子1号365型」は2019年3月、南鳥島周辺の水深6,000mの海域に投入され、ISOに提案している環境影響評価手法にのって1年間の調査を行ってきた。2020年3月に回収され、これから解析が行われる。また、新たに設置された「江戸っ子1号365型」で1年間の観測を行う計画だ。 **BE**

（文・鈴木志乃／フotonクリエイト）

特許情報

- 特開2019-111941 連結水中探査機
- 特開2019-114923 画像記録方法、画像記録プログラム、情報処理装置及び画像記録装置

【問い合わせ先】
JAMSTEC 研究資源
マネジメント課
chizai@jamstec.
go.jp

【JAMSTECシーズ集】
JAMSTECの最先端
の研究や技術開発から
生まれた、さまざまな
分野に及ぶ特許を
下記のWEBサイトで
紹介しています。



岡本硝子にて耐圧ガラス球の製造風景。つぼで溶かしたガラス種を棒で巻き取り、型に落とす。耐圧ガラス球の半球は約5kg。1回に巻き取れるガラス種は2～3kgのため、2人の職人さんが巻き取る量を調整しながら息を合わせ、型に落とす。上から押型をはめて圧縮機にかけて成形する。半球2個を組み合わせてガラス球にする。全ての工程で職人の技が必要とされる。



提供：SIP革新的深海資源調査技術

3年生

5年生

4年生

若い力が海と地球の未来を変える!

JAMSTEC 若手人材育成プロジェクト

取材協力

高井 研

超先鋭研究開発部門 部門長

大久保 隆

人事部 人事企画・ダイバーシティ推進課
事務主事

吉松あゆみ

人事部 職員課 課長

杉浦玲佳

人事部 職員課 事務主任

泉本朋美

経営企画部 経営戦略課 事務副主任

奥津なつみ

研究プラットフォーム運用開発部門 運用部
研究航海マネジメントグループ 技術主事

田中隆太

研究プラットフォーム運用開発部門 運用部
船舶工務グループ 技術主事

第22回「JAMSTEC 海洋の夢コンテスト」(アート部門)への応募作品から

JAMSTECでは、海そして海洋科学への興味を持ってもらうため、本部のある神奈川県横須賀市などに在住の小・中学生を対象に「はがきに書こう海洋の夢」を1982年度から実施。1998年度からは全国の小学生を対象に、「はがきにかこう海洋の夢コンテスト」を主催してきました。

かつての応募者の中には現在、JAMSTEC広報課の職員としてこのコンテストにも携わっている藤本憲章さん(海洋科学技術戦略部 技術主任)がいます。

—小学校4~5年生のころに通っていた絵画教室で「海底未来都市」の絵を描いて、「はがきに書こう海洋の夢」に応募しました。残念ながら入賞は逃しましたが、参加賞として紙製オベラグラスを頂いたことを覚えています。応募したことで海やJAMSTECに親近感を持ち、その後、JAMSTECの職員を志望するきっかけとなりました。

2019年度からは「海洋の夢コンテスト」と名称を変え、第22回は「海をつかってやってみよう!」をテーマに、新しい技術や科学のアイデアを絵や文章で自由に表現する「アイデア部門」と、テーマに沿った絵やCGを描く「アート部門」の2部門に分けて作品を募集しました。

入賞者の発表は、JAMSTECのホームページでお知らせします。



海洋分野の未来を担う若手人材の育成も、JAMSTECの重要な使命である。若手研究者の支援や大学院生などの受け入れとともに、海洋分野への進路選択を応援・促進する取り組みとして、2019年度には「『深海研究のガチンコファイト』を体感せよ!」や「海への招待状 for Girls」を実施した。JAMSTECの若手人材育成の取り組みを紹介しよう。

「深海研究のガチンコファイト」を体感せよ!

取材協力

高井 研

超先端研究開発部門 部門長

大久保 隆

人事部 人事企画・ダイバーシティ推進課
事務主事

JAMSTECでは、未来の海洋科学を支える

リーダー的人材の育成を目指して、専門分野に進む前の学生を対象に最先端の海洋研究現場での経験と教育を提供するプロジェクトを開始。初回の2019年度は有人潜水調査船「しんかい6500」による潜航調査航海、「『深海研究のガチンコファイト』を体感せよ!」(以下、ガチンコファイト)を実施した。

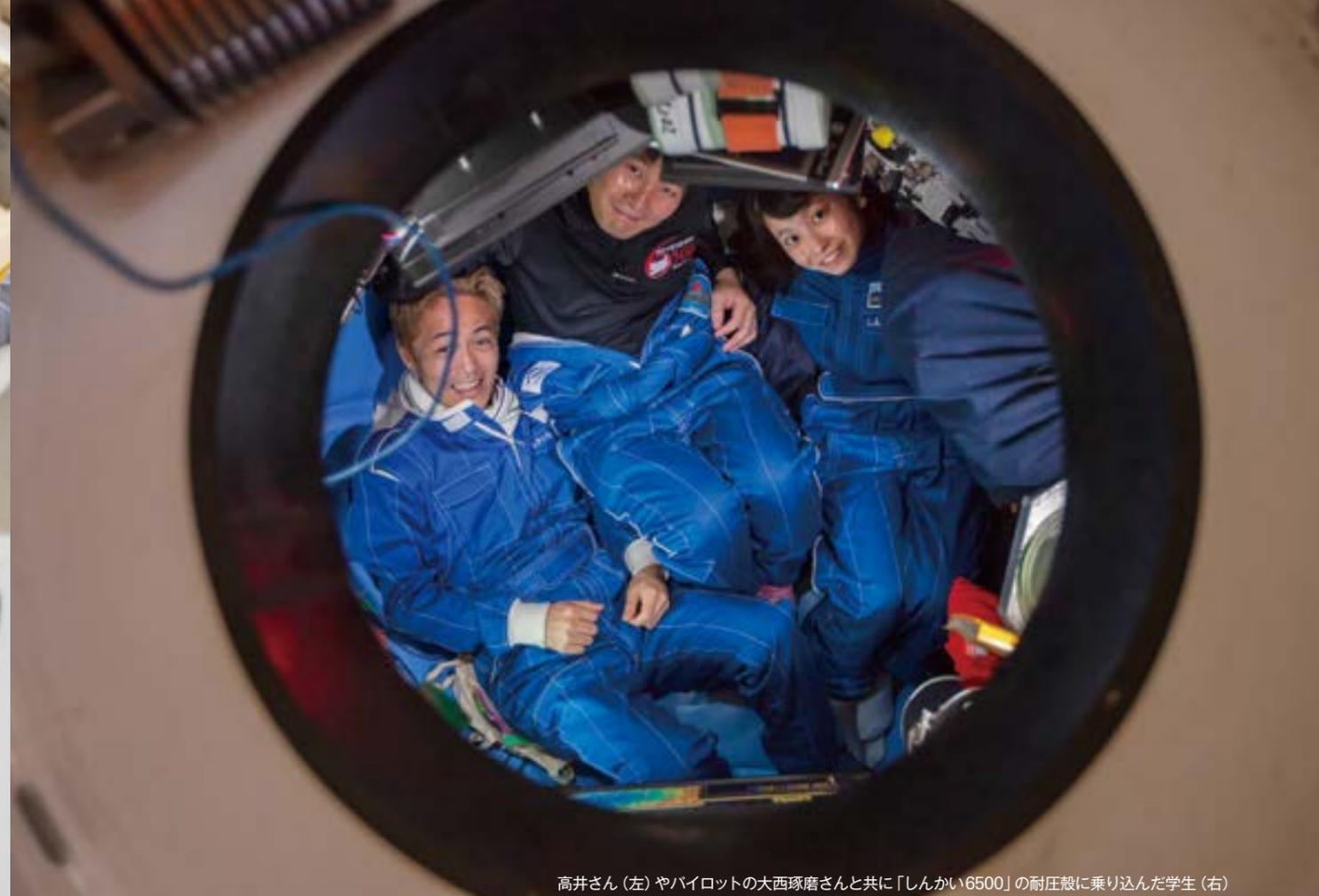
当プロジェクトを提案し、今回の調査航海の

首席研究者を務めた高井 研さんと、

実施責任者の大久保 隆さんに、プロジェクトの趣旨を聞いた。



「しんかい6500」に乗り込む素晴らしい笑顔の学生



高井さん(左)やパイロットの大西琢磨さんと共に「しんかい6500」の耐圧殻に乗り込んだ学生(右)

表紙および6～9ページの写真撮影: Chong CHEN/JAMSTEC

■行くことが可能なフロンティア

——なぜ、若手人材育成の新しいプロジェクトを提案したのですか。

高井: 海洋科学の現場を支える人材が減っており、この分野に進む若い人も少なくなっています。さらにJAMSTEC自体も研究開発予算が減少傾向で、研究船や探査機などの運用や維持・管理に大きな影響を及ぼし始めています。JAMSTECの象徴である「しんかい6500」は建造から30年がたちますが、次の有人潜水調査船の計画がない状況です。

そのような事態を招いているのは、多くの人が海に未来の夢を描くことができていることが原因の一つでしょう。この状況を何とかしたい、JAMSTEC独自の若手人材育成を進めなければいけないという思いは、JAMSTECのみんなにありました。そこで、人材育成のターゲットの一つとして、進路を選択する前の高校生や大学生を対象にしたプログラムを提案したのです。

大久保: JAMSTECの2019年度から開始された中長期計画でも「若手の人材育成」に注力していくことが明記されました。高井さんの提案と聞いて、この企画は人材育成につながると確信し、実施責任者に立候補しました。

——JAMSTECへの就職志望者も減っているのですか?

大久保: 幸い、新卒採用においては、たくさんの方が志望してくださる状況は変わっていません。ただし日本の科学分野全体では、研究職を目指して博士課程に進学する学生が減り、日本の科学力も落ちていることが近年指摘されています。このプロジェクトが、科学分野、特に海洋研究分野を志望する人の進路選択のきっかけになってほしいと思います。

——海洋研究分野には、どのような魅力がありますか。

高井: 海は、行こうと思えば行けるのに、未踏の地が広大に残されているフロンティアです。ところがこれまで、海がまだまだフロンティアであることを多く

の人たちに示す努力が足りていなかったと思います。

海洋研究には、地球に関するありとあらゆるテーマや課題が含まれています。具体的な魅力や関心事は、例えば深海資源だったり海洋プラスチック問題だったり、人によってさまざまでしょう。私にとっては、誰も踏み入ったことのないフロンティアに最初に行き、そこに価値を見いだすこと、それこそが海洋研究の最大の魅力です。

■最高の非日常体験による人材育成

——人材育成の舞台に、「しんかい6500」を選んだ理由は何ですか。

高井: JAMSTECが提供できる最高の非日常体験だからです。ところがこれまで、3人の定員のうち、2人のパイロットのほかに観察者が1人しか乗れないため、大学院生にすら搭乗させてきませんでした。それが、海の魅力を限られた人にしか訴求できていなかった理由の一つだったかもしれません。2018年度から

ワンマンパイロットによる運航が可能となったことも、「しんかい6500」によるガチンコファイトを提案するきっかけとなりました。

——ガチンコファイトとは?

高井: これまでも「しんかい6500」や研究船に、お客さまを招待したことはありました。今回は、お客さま扱いしない真剣勝負の場だという意味です。若い人たちが、海洋研究の現場において研究者や技術者、船員たちの本当のプロフェッショナルに触れたとき、自分もそうなりたいと思ってくれるはずだ、と期待したのです。

本当は、高校生も含めたかったのですが、いきなりそれは難しいので、初回は大学1～3年と高等専門学校4年生以上を対象に、やる気がある者は来い!と募集をかけました。

大久保: 10人ほどの定員(募集開始時)、3週間弱という短い募集期間に、224人の応募がありました。やはり「しんかい6500」の訴求力はすごいですね。

——どのように参加者を絞り込んだのですか。

大久保: 応募者には、履歴書と自由形式で自分をアピールする文章を送ってもらいました。私が全員の文章を読み込み、「しんかい6500」になぜ乗りたいのか、人とは異なる自分なりの強い意志を持ち、それを自らの言葉で論理的に説明できている人を30人選びました。さらに高井さんや人事企画・ダイバーシティ推進課長も加わり20人に絞り込み、面接を行いました。

高井: この20年ほど、若い世代は冒険をあまりしない傾向にあると感じていました。ところが今回の応募者は、夢やロマンを肯定し、冒険心を素直に表現する人が多かったですね。若い世代も変わってきました。

——このプロジェクトで、どのような人材を育てることを目指しますか。

高井: 一番の理想は、プロジェクトをきっかけに、JAMSTECあるいは海洋科学のスター研究者に育つことです。ただし、海洋科学には研究を支える船員や技

術者も必要です。また、必ずしも海洋分野に進む人材を育てることだけが目的ではなく、各分野で光る人材を育て、海に価値を見だし、夢を描ける人、海の理解者を増やすことを目指しています。

大久保: 企業や行政組織に進んだとしても、このプロジェクトが刺激となり、将来、大きく活躍してくれるとうれいそうですね。

■真剣勝負の場

——最終的に何人に絞り込んだのですか。

大久保: 航海に参加する7人の合格者(男性3人・女性4人)と補欠合格者3人を決定しました。結果的に合格者全員が大学3年生以上となりました。そして合格者7人による、「しんかい6500」潜航者3人に選ばれるための競い合いが、潜航の前日まで続きました。

高井: 乗船前の3日間、7人にJAMSTEC横須賀本部に集合してもらい、航海に参加するための準備や事前学習を実施しました。今回の調査海域は、小笠原海域の

水曜海山の熱水域、そこに生息するアルピンガイおよびシンカイヒバリガイについて調べる9日間の航海（2019年8月19～27日）です。事前学習では、深海熱水域という極限環境に生息する生物を研究する背景となる「生命とは何か」や、深海熱水域に関する研究の概論、有人潜水調査船を用いる意義について私が講義を行うとともに、討論型学習の機会を設け、参加者それぞれが主張し合いました。

深海潜水調査船支援母船「よこすか」の船上では、さまざまな実作業を体験してもらいました。それを指導する船員や技術者、「しんかい6500」運航チームには、お客さま扱いをしないでほしいと頼んだところ、本当に厳しく接してくれました。

そして、事前学習や船上での言動から、3人の潜航者を選びました。参加者たちの真剣さは、選考するこちらの気持ちも重くなるくらいで、「しんかい6500」に乗りたいという熱い思いが伝わってきました。

【人を変える力を持つ「しんかい6500」
——「しんかい6500」による潜航を体験した学生の感想は？

高井：海洋研究では、無人潜水機と自動運航型船舶を組み合わせた新しい海洋調査が進められており、コストのかかる有人潜水調査船には否定的な意見もあります。今回の潜航者には、有人潜水調査船に否定的な意見を持つ学生も選びました。

その人の感想を紹介しましょう。「有人潜水調査船に必要性はありません。ですが、存在意義は確かにあるのだと、私は今回の潜航で感じました」と述べ、次回のガチンコファイトの参加者へ向けてメッセージを残してくれました。

「深海に潜るということは、きっと、あなたたちが想像している以上のものを教えて、与えてくれるのだと伝えたいです。深海に潜るということは、あの神秘的で、静かで、美しい世界や生命との触れ合いを楽しんだり、ドキドキしたりという気持ちだけが湧き起こるのではないのです。潜航する人によっては、そこに恋をしたり、夢を見たり、一生分の憧れ

を奪われてしまったり。でも、確かにそこにはきっと今までに経験したことのない、自分自身の変化があります」

——実施側の感想はいかがですか。

高井：今回のプロジェクトを通じて、「しんかい6500」が、自分たちが考えていた以上の力を持っていることを思い知らされ、やはり有人潜水調査船を残していかなければいけない、と決意を新たにしました。また、今回の参加者たちが、海洋研究に強い憧れを抱いていることを現場の全員が感じました。その憧れの対象を衰退させてはいけない、という思いを強くしました。

大久保：私は「よこすか」に乗船しませんでしたでしたが、帰ってきたときの参加者の顔は行く前とは明らかに違い、短期間に成長したことが表情からも分かりました。参加者たちが互いの主張や思いに触れたことも大きかったのでしょう。

高井：上の世代の言葉は若い人たちにあまり響きません。本当に胸へ突き刺さるのは、同世代の言葉です。このプロジェクトは競わせることが主眼ではありませんが、真剣勝負、ガチンコファイトでな



航海の無事終了を祝して、ガチンコファイトに参加した学生と、厳しく指導した研究者や乗組員たち。

い限り、何も得られません。今回は、予想以上の大成功でした。

大久保：初回は準備期間が短く、前例のないプロジェクトを立ち上げる事務作業を一手に引き受けた私にとってもガチンコファイトでした。その過程で若い人たちの真剣で熱い思いを直接聞いたことで、私も初心に帰り、大きく変わった気がします。

高井：JAMSTECの職員が生き生きしていないと、誰もJAMSTECで働くとは思いません。いずれは「しんかい6500」にJAMSTECの事務系職員も乗

せて、もっときらきらと輝いてほしいですね。

【人材育成は継続が重要

——このプロジェクトをどう発展させていくべきだとお考えですか。

高井：人材育成は継続して結果を出すことが重要です。参加者が各分野で一人前になるまでの期間、20年ほど続けて初めてプロジェクトの結果が出ます。

大久保：参加者の進路・就職先を継続的にモニターしていく予定です。このプロジェクトは参加者だけでなく、JAMSTEC

で働く私たちにもメリットがあることが分かったので、ぜひ続けていければと思います。

高井：ほかの研究機関で研究現場を体験させても、大学の研究室とあまり環境が変わりません。研究船や「しんかい6500」という非日常の濃密な環境で若手の人材育成ができるのは、JAMSTECならではの強みです。ガチンコファイトの趣旨は変わらず、海洋地球研究船「みらい」の北極航海や、地球深部探査船「ちきゅう」の掘削航海を人材育成に活用するなど、バリエーションを増やすことも検討すべきでしょう。

参加者の人選に関しては、初回は絶対に失敗ができないこともあり、手堅い人選を行いました。本当は集団をかき乱すような変わった人が入った方が、面白い化学反応が起きるかもしれません。また今回は、結果的に全員、大学3年生以上を選びました。やはり大学1年生と3年生以上では思考レベルや表現力に差がありました。でも、いろいろな年代が混じった方が刺激的です。最も効くのは年下に鋭いことを言われたときなので、いずれは高校生も参加できるようにしたいですね。

——次回のガチンコファイトの予定は？

大久保：大学生と高等専門学校4年生以上を対象とした、ガチンコファイト2020の実施（時期は調整中）を予定しています。

「しんかい6500」ペイロード準備時の様子



「よこすか」の船上で海洋研究の現場を体験

研究者や乗組員と語らうガチンコファイトに参加した学生たち

みんなから水を掛けられる学生。これは「しんかい6500」初潜航を祝う恒例行事である。



海への招待状 for Girls



取材協力

吉松あゆみ

人事部 職員課 課長

杉浦玲佳

人事部 職員課 事務主任

泉本朋美

経営企画部 経営戦略課
事務副主任

JAMSTECでは、理系分野に関心を持つ女子中高生向けに、海洋科学の魅力を知らせてもらうイベント「海への招待状 for Girls」(以下、for Girls)を、2015年度から続けている。

このイベントを推進する人事部職員課を率いる吉松あゆみさん、立ち上げから2年目までを担当した泉本朋美さん、3年目以降の担当の杉浦玲佳さんに、for Girlsの5年間の取り組みを聞いた。

2017年度の講演会。講師を参加者が囲み、活発な質疑応答が行われた。

女性研究者と女子中高生が直接出会う場

——なぜ、女子中高生を対象を絞った取り組みfor Girlsが必要なのですか。

泉本：国が定めた第5期科学技術基本計画は、「日本の研究者全体に占める女性の割合は主要国と比較するといまだに低い水準であり、多様な視点や優れた発想を取り入れて研究開発活動を活性化していくには、女性の活躍を推進していくことが不可欠だ」と指摘しています。そして、女子中高生やその保護者の興味や関心、理解を深めることを、必要な取り組みの一つとして掲げています。for Girlsは、国立研究開発法人であるJAMSTECの使命なのです。

——どのようなイベントを企画したのですか。

泉本：海洋科学分野でも女性研究者の割合が低いと、一般向けのイベントでは男性研究者が前面に出ることが多く、この分野の研究職は女性の仕事ではない、という誤った印象を持たれるので

は、と危惧していました。そこで、この分野で活躍している女性研究者と女子中高生が出会う場をつくりたいと思い、講演会や施設見学に加えて、直接、相談ができる座談会を行いました。

英語や数学が苦手でも研究者への道は開ける

——女子中高生からどのような相談が多いのですか。

吉松：2019年度までの5年間のイベントを通じて、勉強や進路に関する相談がほとんどです。中でも多いのが、英語が苦手ですが大丈夫ですか、という質問。講師の研究者も、もともと英語が得意だったというより、苦労しながらも現場で身に付けた、という方が多かったように思います。英語も必要だが、まずは国語が大事。そもそも国語ができないと国内で研究費の申請書類が書けない、とアドバイスする研究者もいました。

泉本：数学が苦手だと相談する参加者

もいますが、私も中高生のころは数学が嫌いだった、という研究者が意外と多いですね。やりたいことがきちんとあれば、大学で英語や数学が必要となったとき、その勉強も頑張れる。だから、中高生のときに英語や数学が苦手でも、研究者を諦める必要はない。そういった柔軟な考え方を研究者から直接聞くことで、参加者は安心します。

海洋科学にはさまざまな分野があり、その仕事に至るルートは多様

——毎回、少しずつ形式を変えて実施していますね。

杉浦：1~2年目の参加者のアンケートを見ると、高校生には、すでにやりたいことや進路が明確な人もいますが、中学生の多くは、興味の対象がまだ漠然としています。生物に興味がある参加者が多い印象ですが、海洋科学にはさまざまな分野や仕事があり、そこで女性が活躍しています。それを伝えるために、3年目

2015年度の座談会。保護者とは席を分けて、参加者が女性研究者に直接、相談する機会を設けた。



2018年度のミニ実習「化学の力で海の秘密を探ろう」

の2017年度には、JAMSTECにはない分野の研究を進めている他機関の研究者にも参加していただき、パネルディスカッションを行いました。

パネリストには、今の仕事に加えて、ご自分が中高生のころ、どんなことに興味があったのかを話してください、とお願いました。すると皆さんの中高生時代の興味の対象はさまざま。今の仕事に直接はつながっていないが、異分野との連携にすごく役立っていると話してくださいました。中高生のころに目指す進路が明確に決まっていなくても大丈夫。今、興味のあることを一生懸命にやってください。無駄になることは一つありません。皆さんが、そういうメッセージを参加者に伝えてくださいました。

吉松：ほかの仕事から研究職に転職した経験を紹介してくださった方もいらっしゃいました。中高生に海の仕事の魅力をいきなり伝えても、彼女たちにはまだ

先のことに感じられるようで、なかなか届かない印象があります。今の仕事に至るまでの思いや経験も含めて伝えることで、興味を持ってもらえるのでは、と感じます。

泉本：自分の好きなことを突き詰めていくことで人生が豊かになる、という将来に対してポジティブな印象を参加者に持ってもらうイベントになっていると思います。また、私たち事務職員にとっても、海にはさまざまな研究分野や働き方があることをあらためて知り、さらに多様で柔軟なキャリアパスを知ることによって、人生の可能性の広がりにも勇気づけられる機会となっています。

杉浦：見学に来る職員が毎年いますね。——保護者からは、どのような質問が多いのですか。

吉松：研究者は毎日徹夜しているのか、研究船に女子トイレや風呂があるのか、と心配する方もいます。そのような誤ったイメージや心配を解消するため、女性



2019年度のパネルディスカッション。第60次南極地域観測隊夏隊に同行した大学院生の渡邊日向さん（総合研究大学院大学）にもパネリストの一人として加わっていただいた（左端）。

研究者に直接、研究現場の様子をお話しいただいています。また女性の部下を持つ男性上司が参加して、保護者とお話したこともあります。

泉本：実際に私たちは普段、仕事を持つ女性に協力的な男性をたくさん目にしています。

——このイベントをどのように進めていこうと考えていますか。

杉浦：JAMSTECの横須賀本部や横浜研究所がある神奈川で実施しているので、参加者は東京・神奈川が中心ですが、地方からの参加者も毎年います。また、50~60人の定員にキャンセル待ちが出たときもあり、このイベントに対する期待の高さを感じています。

毎年、新しい形式も取り入れてきました。2018年度は、海水を化学分析するミニ実習を実施して好評でした。また2019年度は、参加者と年齢が近い大学院生にもパネルディスカッションに参加してもらったり、JAMSTECの事務系の新入職員が参加者からの質問に答えたりしました。

さらに2019年度には、JAMSTECと連携協定を締結している函館市の主催で、函館市の「海への招待状 for Girls」が開催され、JAMSTECの女性研究者が講演とパネルディスカッションに参加しました。

吉松：女性研究者が女子中高生と直接話をする機会を持ち、自分の中高生時代から現在に至るまでの思いや経験を含めてさまざまな海の魅力を伝える、という趣旨は変えませんが、そのためにどのような形式が有効か、検討を続けていきます。

JAMSTECのニューフェイスに聞く

海洋研究の現場はわくわくする世界!



新卒としてJAMSTECに入所した

奥津なつみさん(2019年)と田中隆太さん(2018年)に、現在の仕事と、そこに至るまでの経歴を聞いた。

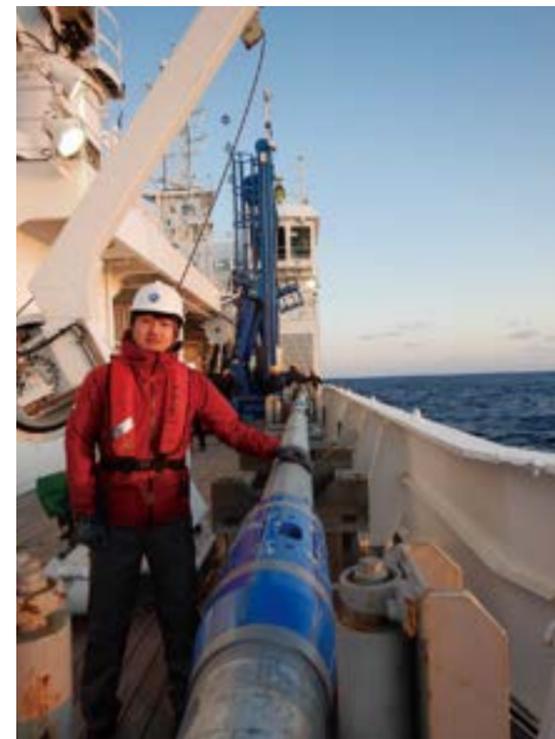
2020年1月、「ちきゅう」による南海トラフ東端部遠州灘の掘削航海に乗船し、研究者と協議する奥津さん(中央)。©IODP/JAMSTEC



2017年2月、大学院修士課程のときに、日本財団オーシャンイノベーションコンソーシアム主催のセミナー「「ちきゅう」を知りつくそう!」に参加した田中さん(左端)。©JAMSTEC



2019年9月の「ちきゅう」を知りつくそう!で、JAMSTECの職員として学生を案内する田中さん(中央)。©JAMSTEC



2020年2月、海底広域研究船「かいめい」に乗船して設備を点検する田中さん。手をかけているのは「大型ピストンコアラー」。©JAMSTEC

取材協力

奥津なつみ

研究プラットフォーム運用開発部門 運用部
研究航海マネジメントグループ 技術主事
1991年、神奈川県生まれ。日本大学文理学部地球システム科学科(現 地球科学科)卒業。東京大学大学院新領域創成科学研究科自然環境学専攻博士課程修了。2019年4月、JAMSTEC入所。

田中隆太

研究プラットフォーム運用開発部門 運用部
船舶工務グループ 技術主事
1993年、兵庫県生まれ。同志社大学理工学部機械システム工学科卒業。大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻船舶海洋工学コース修士課程修了。2018年4月、JAMSTEC入所。

私が海を目指す理由

——JAMSTECで、どのような仕事を行っているのですか。

奥津: 研究者の意見を聞きながら、研究航海がうまくいくように、準備段階から航海、その後の報告書の作成まで、研究支援を行っています。航海中は、研究目的を理解した上で、船の乗組員に研究の優先順位を伝え、逆に研究者に対しては、専門用語の多い船や設備の状況などを理解してもらえるように伝えます。研究員と乗組員の間を調整する役割を担う

のです。

田中: 私は、研究者や船の乗組員の意見を聞きながら研究船の設備の整備・改造計画を立て、メーカーや委託先と協議しながら、より良い設備を実現する仕事をしています。

——今の仕事を志望した理由は?

奥津: 高校生のころ宇宙と地球に興味がありました。宇宙に実際に行くのは難しいですが、地球ならばいろいろなフィールドを探検することができると思い、地球科学を学べる学部に進学しました。そして学部生のとき、東北地方太平洋沖地震の断層を掘削する地球深部探査船「ちきゅう」の研究航海を紹介したNHKの『サイエンスZERO』という番組を見て、さまざまな分野の人たちが一つの目的に向かって協力しながら研究を進めていく研究航海の世界を知り、私も参加したいと思いました。そこで大学院では海洋地質学を学び、博士課程のときに「ちきゅう」の研究航海に参加する機会に恵まれ、とてもエキサイティングで楽しい経験をしました。ぜひ、研究航海に携わり

たいと今の仕事を志望したのです。

田中: 私は高校生のころ、一つの公式でいろいろな現象を説明できる物理が好きになり、『講談社ブルーバックス』シリーズの物理や工学関係の本をよく読みました。大学の学部で船や飛行機、鉄道などの機械システム工学を学び、その中でも巨大なシステムに携わりたいと、大学院では船舶を専攻しました。大型コンテナやタンカーなど一般商船を中心に学びましたが、世界に一つしかないような特殊な船に興味を持ち、「ちきゅう」の見学セミナーに参加しました。そこで同世代の参加者や現場の乗組員の方々から刺激を受けたり、「ちきゅう」のスケールや高度な技術に魅力を感じたりするとともに、JAMSTECが地震や地球環境など幅広い分野の研究を進めていることにも魅かれて、今の仕事を志望しました。

会話力と何でも楽しむ能力

——学生時代の活動で、仕事に役立っていることは何ですか。

田中: 今の仕事は、いろいろな立場の人

と話をし、問題点・改善点を見いだしていくコミュニケーション力が求められます。私は中学では野球部、高校では生徒会に所属しました。さまざまな人と協力する活動の中でコミュニケーション力は養われるのだと思います。

奥津: 研究航海では、研究がうまく進まないこと、苦しい時期もあります。それも含めて、何でも楽しむ能力が必要です。私は大学のときにオーケストラのチェロパートの首席奏者を務めました。多くの人たちをまとめて演奏会という目標に向かっていった経験が、今の仕事に役立っています。

——学生時代にもっと頑張っておけばよかったと思うことはありますか。

田中: 現場のものづくりを理解する上で、学生時代の教科書を引っ張り出して学び直すことがよくあります。専門分野の基礎をもっと勉強しておけばよかったです。

奥津: 研究航海の目的はさまざまで、そこに多様な分野の研究者が参加します。その研究支援を行うには、幅広い知識を

身に付け、いろいろな分野の研究を理解できる土台を築いておくべきでした。特に学部1~2年生のころに学んだ地球科学の基礎がどれも大事だったのだと痛感しています。

できることを見つけて、やりたいことに突き進む

——中高生には、英語や数学が苦手でも将来、研究に携わることができるかどうか心配している人が多いそうです。

田中: 「ちきゅう」の乗組員には外国籍の方が多く、公用語は英語です。私自身、英語で自分の意図を十分に伝えられないことも多く、何とかうまく意思疎通を図ろうと努力しているところです。数学に関しては、技術の世界には高度な数学が求められる仕事もありますが、数学が苦手でも技術者として生きる道、できることはたくさんあります。

奥津: 研究者たちは、英語が苦手な人に対してゆっくり話すなど配慮をしてくれます。私は数学が苦手ですが、サイエンスの世界でも数学を使わないで貢献でき

ることはたくさんあります。自分が得意なことやできることを優先して進路を選ぶべきか、やりたいことに突き進むべきか、私も迷いました。やはり、自分が本当にやりたいことを追求めたい。苦手なことがあっても、できないなりにできることを見つけていこう。そう決意して現在の仕事を志望しました。

——今の仕事の魅力は?

田中: 例えば2018~19年に「ちきゅう」は南海トラフで地震発生帯の掘削に挑みました。そのような、世界に一つしかない船による人類初のプロジェクトに携われることが魅力です。

奥津: 研究支援の立場で、世界中のさまざまな研究者・乗組員と知り合い、これから大きく発展し得る研究について、その初期段階から関わることができます。海洋研究の現場は、興奮する本当に面白い世界です。『Blue Earth』の若い読者の方々にも、ぜひ将来、一緒に海を目指していただきたいですね。 **BE**

(文・立山 晃/フotonクリエイト)



大気と海と生物をつなぐ

大気中には、さまざまな微小粒子が浮遊している。竹谷文一さんは、そうしたエアロゾルの観測を行っている。研究フィールドは大気だけではない。大気の観測は、海、さらには生物へとつながっていく。

係留気球の放球の様子。気球は、全長約6.5m、直径2.5m。「放球にもたくさんの人の助けが必要です。いつもの大気観測は1人で行っているのですが、係留気球観測は私にとって新しい経験でした。この気球は、皆さんからスナック菓子の名前が呼ばれていました。形が似ていますよね」と竹谷さん（緑色の服）。



係留気球に取り付けたカメラから撮影した「みらい」。気球が受ける相対風速が0m/sに近い状態になるように、方向や速度を変えながら「みらい」を操船し観測する。



気温が低い環境で上げ下げをし、膨らんだりしぼんだりを繰り返したため、気球に亀裂が生じた。写真は気球を補修している様子。

全ての観測を終え、係留気球と記念撮影。中央が竹谷さん。2019年の北極航海では7回の観測を実施、観測最高高度は1,200m。



地球環境部門
地球表層システム研究センター 物質循環・人間圏研究グループ
北極環境変動総合研究センター 北極化学物質循環研究グループ
主任研究員

竹谷文一

たけたに・ふみかす。富山県生まれ。名古屋大学大学院理学研究科素粒子宇宙物理学専攻博士課程修了。博士（理学）。2006年よりJAMSTEC地球環境フロンティア研究センター特任研究員、2013年より地球環境変動領域主任研究員などを経て、2019年より現職。専門は大気化学・物理化学。

4回目の北極航海

—2019年9月27日～11月10日に行われた海洋地球研究船「みらい」による北極航海に参加されました。北極航海は何回目ですか。

竹谷：4回目です。私の専門は大気化学で、大学院ではオゾン層の破壊反応を実験から解き明かす研究をしていました。2006年にJAMSTECに来てからは、エアロゾルの大気中における化学反応の室内実験や、長崎県五島列島の福江島や中国でエアロゾルの観測を行ってきました。研究船に乗って観測したのは、2014年が初めてでした。その後、2015年、2018年、2019年と繰り返し乗船していることに、自分でもちょっと驚いています。（航海日記はJAMSTEC地球表層システム研究センターのホームページで公開されています）

—北極航海では、どのような観測を行っているのですか。

竹谷：主に、北極海上のブラックカーボンを観測しています。エアロゾルのうち粒径が $2.5\mu\text{m}$ (0.0025mm)以下のもの

をPM2.5と呼びます。ブラックカーボンはPM2.5の成分の一つで、ディーゼルエンジンや石炭などの不完全燃焼、野焼きや森林火災などで発生します。

PM2.5は、肺に入り込んで健康を害するだけでなく、気候へ影響を及ぼすことが指摘されています。しかも、PM2.5の成分のうち硫酸塩や硝酸塩などは太陽光を散乱して大気を冷却するのに対し、黒いブラックカーボンは、太陽光を吸収して周りの大気を暖め、地球温暖化を促進する働きがあります。

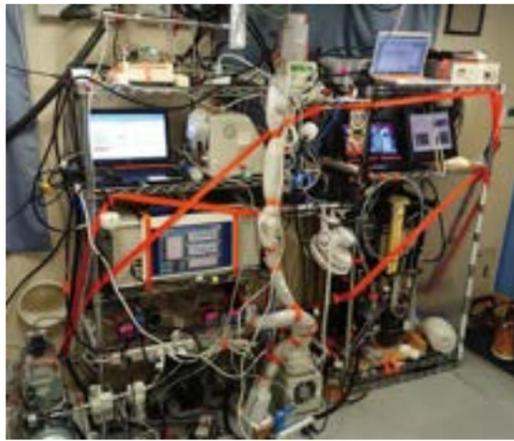
しかし、ブラックカーボンについての情報はとても少なく、どこでどれだけ生成され、どのように輸送され、どこにどれだけあるのか、よく分かっていません。大気を加熱する効果についても、二酸化炭素に匹敵する大きな値から小さな値まで報告によって幅があります。地球温暖化への影響を正しく見積もるためにも、ブラックカーボンの観測が必要です。

—なぜ北極なのですか。

竹谷：白い氷や雪は太陽の光を反射しますが、ブラックカーボンが氷や雪の上に落ちると太陽光を吸収して氷や雪を融かし、温暖化が進みます。広く氷や雪に覆われている北極域では、ブラックカーボンによる気候への影響がほかの地域より大きいのです。にもかかわらず、北極域、特に北極海は簡単に行ける場所ではないため、ブラックカーボンに関する情報がほとんどありません。

北極海の氷が少なくなると、北極海を航行する船が増えると考えられます。船から排出された煙は、その地域のブラックカーボンの発生源の1つになり得ます。北極海航路の利用が本格化する前に、ブラックカーボンの情報を集め、地球温暖

「みらい」の汎用観測室に設置された測定装置の数々。「ごちゃごちゃに見えますが、この配置が最適解」と竹谷さん。汎用観測室は「みらい」の最上階にあり、外気を室内に取り込んで測定する。



コンパステッキと呼ばれる船の屋上に設置されたエアサンプラーのフィルターを交換する竹谷さん(左)。自船の煙を捕集してしまわないように、船の前方からの風の場合のみポンプの吸引を行うように風向風速計と連動する仕組みになっている。

化への影響を正確に予測できるようにしておかなければなりません。そのため、私は「みらい」で北極海に行き、観測を実施しています。

「みらい」最上階の部屋で

——ブラックカーボンをどのように観測するのですか。

竹谷：ブラックカーボンをはじめ、オゾンや一酸化炭素、エアロゾルを測定する装置は、「みらい」の最上階にある汎用観測室に設置します。部屋の真上からチューブで外気を取り込み、装置に導入し、連続的に測定します。ただし、船の煙を吸い込んでしまうと何の成分を分析をしているか分からなくなってしまいます。「み

らい」の煙突は空気取り込み口より後方にあるので、相対風向風速が±60度および3m/s以上の際に得られたデータを解析に用いています。

コンパステッキと呼ばれる船の屋上には、エアサンプラーを設置しています。大気を吸い込んでフィルター上にエアロゾルを捕集します。この装置でも、先ほどの風向風速の条件で吸引が行えるようにしています。フィルターを定期的に交換して、下船後に陸上で成分分析を実施し、どういう物質がどのくらい存在していたかを調べます。

——乗船中は、汎用観測室が仕事場になるのですか。

竹谷：はい。最上階にあるので揺れます。

私は酔い止めが手放せないほど船に弱いので、長居はしたくないのですが……。しかも、装置の音がうるさいんです。集中するためにも、好きな曲を大音量でかけて作業しています。

ブラックカーボンはどこから来た？

——観測から、どのようなことが分かってきたのでしょうか。

竹谷：北極海上のブラックカーボンについては、これまで航空機を用いた観測データしかありませんでした。航空機では数秒から数分間のデータしか得られません。私たちは2014年、世界で初めて船を用いた高精度測定に成功しました。その結果、北極海上のブラックカーボンは0.01~20ng/m³と幅広い範囲で変動すること、平均濃度は1ng/m³であることが分かりました。日本の平均濃度と比べると2~3桁小さい値です。

——2019年の航海について教えてください。

竹谷：いつもの大気観測に加えて、係留気球を用いて高度1,000mまでのブラックカーボンをはじめとするエアロゾルの高度による違いを見る観測を行いました。

2017年の航海で北極海を航行中に2回、ブラックカーボン濃度が高くなりました。1回目の濃度上昇は、アラスカ北部にある油田が発生源だと考えられています。問題は、2回目の濃度上昇です。ブラックカーボンの大気中での滞在時間は通常1週間から10日間程度なので、観測地点からの大気の流れを10日間巻き戻した解析を実施しましたが、まだ北極海上にあり、ブラックカーボンの発生源らしき場所に

たどり着かないのです。このブラックカーボンはどこから来たのか、さまざまなモデル計算を行って検証しました。

その結果、シベリアの森林火災で発生したブラックカーボンが1,000m以上の高さまで吹き上げられて除去されずに時間をかけて北極海上空に運ばれ、それが降下したのではないかとという仮説にたどり着きました。それを確かめようと、係留気球を用いた観測を計画したのです。

「みらい」では十数年ぶりの係留気球観測に挑戦

——係留気球観測とは？

竹谷：ブラックカーボンやエアロゾルの個数や大きさを計測する装置や、サンプリング装置を取り付けて放球し、上昇しながら測定や捕集を行います。気球はケーブルで「みらい」とつながっています。風が強くなると気球が流されてケーブルが切れたり、船の設備に引っ掛かりたりして危険です。そのため、観測中は船が気球の真下に来るように、方向や速度を変えながら操船する必要があります。

「みらい」での係留気球観測は十数年ぶりだったそうです。うまくいか不安もあったのですが、係留気球を扱った経験がある乗組員さんや観測技術員の方々がいたおかげで、順調に観測できました。

——ブラックカーボンの発生源は分かったのでしょうか。

竹谷：7回観測を行いました。2017年に観測されたようなブラックカーボンの濃度上昇は見られませんでした。森林火災のような突発的に発生する現象の観測は、タイミングにも左右されます。長期間にわたって繰り返し観測することが必要です。

北極海上でエアロゾルの高度分布を観測したのは初めてでした。今まで知られていなかった興味深い現象が見えたので、詳しい解析をしているところです。

大気汚染物質のPM2.5が海の生物を育む

——陸上観測についても教えてください。

竹谷：2009年から福江島でPM2.5などの長期観測を行っています。福江島は大陸に近く、近傍にはPM2.5の発生源がないため、大陸から何がどのくらい飛来す

るかを調べる観測地として適しています。観測小屋の中にさまざまな測定装置を設置して、データはリアルタイムで横須賀にある研究室で確認できます。

福江島に飛来してくるPM2.5の多くは中国で発生したものです。主なPM2.5の発生源である中国の北京や上海の郊外でも観測を行いました。発生源付近とその風下の両方で観測したことで、PM2.5の輸送メカニズムや大気中から除去されるメカニズムが分かってきました。そうした結果をもとに、大気化学輸送モデルを用いて、PM2.5が発生源からどのように輸送されていくかシミュレーションを実施しました。

——その一部が北極へも運ばれるのですか。

竹谷：はい。エアロゾルは大気の流れに乗って運ばれていくので、全球のスケールで考える必要があります。また、エアロゾルは大気環境へ影響を及ぼすだけでなく、海洋生態系に対しても大きな意味を持つ可能性があります。

——エアロゾルが海洋生態系に影響を及ぼしているのですか？

PM2.5には、窒素化合物など生物の栄養となる物質がたくさん含まれています。私たちは、東アジアから排出されたPM2.5に含まれる窒素化合物が西部北太平洋亜熱帯域の植物プランクトンの量を増大させることに大きな役割を果たしている可能性を、モデル計算や人工衛星の観測データの解析から示しました。植物プランクトンの量は、それを食べる動物プランクトンの量を変化させ、その影響はさらに大型の生物へと及んでいきます。また、植物プランクトンの量は、二酸化炭素の吸収とも関わります。大気汚染物質として知られているPM2.5が、実は海の生物の栄養にもなり得るという結果が得られたのは、私自身、驚きでした。

——PM2.5と植物プランクトンとの関係性について、今後どのような観測を計画しているのでしょうか。

竹谷：西太平洋や西部北太平洋で実施される「みらい」研究航海に乗船しさまざまな観測を実施する予定です。その一つとして、モデル計算と人工衛星観測データから分かったPM2.5の窒素化合物と植物プランクトンとの関係性を観測で確かめ



長崎県五島列島の福江島に設置した観測点。2009年から、オゾンやブラックカーボン、PM2.5、一酸化炭素などの観測を行っている。

ることを目指しています。PM2.5が大気から取り除かれるとき、そのまま落下する場合と、雨と一緒に落ちる場合があります。その過程を詳しく調べるため、エアロゾル、雨の採取に加えて、係留気球を用いて雲を採取し、それぞれに窒素化合物などの栄養成分がどれくらい含まれているかを分析する計画です。北極航海での係留気球観測の経験を生かして、雲の採取を成功させたいと思っています。

これらの観測実施により、大気から海に供給される栄養成分を全体的に把握することができます。さらに、海中の分析結果と比較することで、PM2.5を含む大気からの栄養成分が海洋生態系へ及ぼす影響を総合的に理解していきたいと思っています。

——研究船での観測の魅力は？

竹谷：船には、いろいろな分野の研究者が乗っています。長期間一緒にいるので、いろいろな分野の話をじっくり聞くことができ、大きな刺激になります。

PM2.5と植物プランクトンとの関係の研究は、せっかくJAMSTECという海の研究所にいたので大気と海を結びつける研究をしたいと思い、海洋の研究者と議論する中で生まれたものです。大気と海のつながりを強く意識するようになってから、私自身の研究がずいぶん広がりました。ちょっと広がり過ぎかなと思うこともあります……。これからは大気、海洋、陸、生物のつながりを意識し、地球システム全体の理解を目指し、大気の視点からエアロゾルを追っていきます。 **BE**

(文：鈴木志乃/フオンクリエイト)



北極海に浮かぶ「みらい」(北緯78度5分)。周りには蓮葉氷と呼ばれるできたばかりの海水が広がっている。2019年北極航海にて。「蓮葉氷には大小いろいろあり、その中を進む様子は、とても幻想的です」と竹谷さん。提供：猪上 淳/国立極地研究所

ウミガメ由来の海洋観測データで 季節予測が大幅に改善された



取材協力

土井 威志

付加価値情報創生部門
アプリケーションラボ
気候変動予測応用グループ
研究員

JAMSTECアプリケーションラボの土井威志さんは、数カ月後の気候異常などを予測する「季節予測」を研究している。季節予測には海水温など実際の海のデータが必要だ。しかし「縁辺海」と呼ばれる陸や島に囲まれた海には観測の空白域が多い。そのような縁辺海の一つ、ニューギニア島とオーストラリア大陸などに囲まれたアラフラ海で、ウミガメに取り付けた装置（ロガー）を使って水温のデータを取得し、そのデータを組み込んでシミュレーションを行ったところ、海面水温の予測の精度が大幅に向上したという。

「季節予測」には熱帯の海水温予測が重要

データを記録するためのロガーを動物に取り付けて生態などを調査する手法を「バイオリギング」という。アザラシや海鳥など、さまざまな生物でバイオリギングは行われている。「今回の研究は、ウミガメのバイオリギングで得た海水温データを、生態研究だけでなく季節予測シミュレーションにも活用しよう

という一石二鳥を狙ったものです」と土井さんは言う。

アプリケーションラボでは、以前から季節予測シミュレーションを行ってきた。これはスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を使い、数カ月後の熱帯域の海水温の変動や、それに伴う猛暑や干ばつ、暖冬などの天候異常を予測するシステムだ。季節予測の情報は、ホームページを通じて発信している。

「短期的な天気予報と異なり、数カ月先を予測する季節予測では、海水温がどのように変化するかを予測することが最も重要です」と土井さん。季節予測に関しては、特に熱帯の海水温が重要だと続ける。「熱帯ではそもそも水温が高く、地球全体の気候異常を引き起こすポテンシャルを持っています。例えばエルニーニョ現象やラニーニャ現象、インド洋ダイポールモード現象などは、世界中で異常気象をもたらす可能性があります」

それらはいずれも、熱帯の海で発生する現象だ。エルニーニョ現象とラニーニャ現象は太平洋、インド洋ダイポールモード現象はその名の通りインド洋の熱帯域で起きる。それらの現象は日本にも影響し、エルニーニョ現象が発生すると日本では冷夏・暖冬になる傾向があり、ラニーニャ現象が発生すると日本では猛暑・寒冬になる傾向がある。またインド洋ダイポールモード現象も日本の降雨量や気温に影響する。「熱帯の海水温が0.5℃上がるだけでも、世界中で異常気象を引き起こす引き金になります。季節予測には熱帯の海水温の予測がとても重要なのです」

シミュレーションには現実の海のデータが必要

アプリケーションラボでは、ヨーロッパと共同で「SINTEX-F 季節予測システム」という予測モデルを開発し、改良を重ねてきた。大気や海洋、陸、海水のそれぞれの物理過程や、またそれらが互いにどのように熱などをやりとりするかなどを表すこ

とができる。

「モデルというのは、熱力学と力学の方程式の集まりです」と土井さん。「例えば地球の回転の効果がない赤道であれば、高気圧から低気圧に空気が流れて風になります。海水温が高いと、接している大気の温度が上がって上昇気流ができて低気圧になります。そういったことを方程式で書くことができます」

予測モデルでは大気や海などを格子で区切り、格子の一つ一つについて計算をする。まずスタート時点での値（初期値）を決め、時間経過とともに値がどう変化していくのかという計算を行うのだ。

季節予測に限らず、コンピュータによるシミュレーションを行う上で重要なのが、現実の観測データだ。季節予測の場合、海の表面水温だけでなく、海中の水温も含めて、海水温の3次元構造を把握することが重要だ。

縁辺海では観測データが不足している

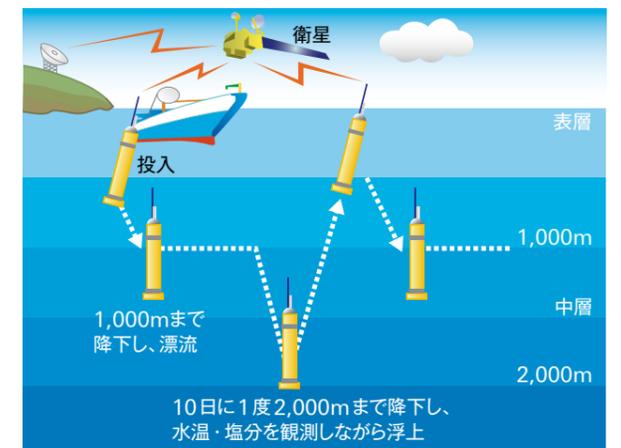
海表面の水温は、人工衛星によって地球規模でモニタリングされている。

一方、海中の水温については船舶や係留ブイなどによる観測に加え、太平洋や大西洋、インド洋など開けた大きな海については「アルゴフロート」という観測機器を使った国際的な観測網が展開されている。

アルゴフロートは水温や塩分のデータを取りながら、水深2,000mから海面まで浮上し、データを人工衛星に送信した後

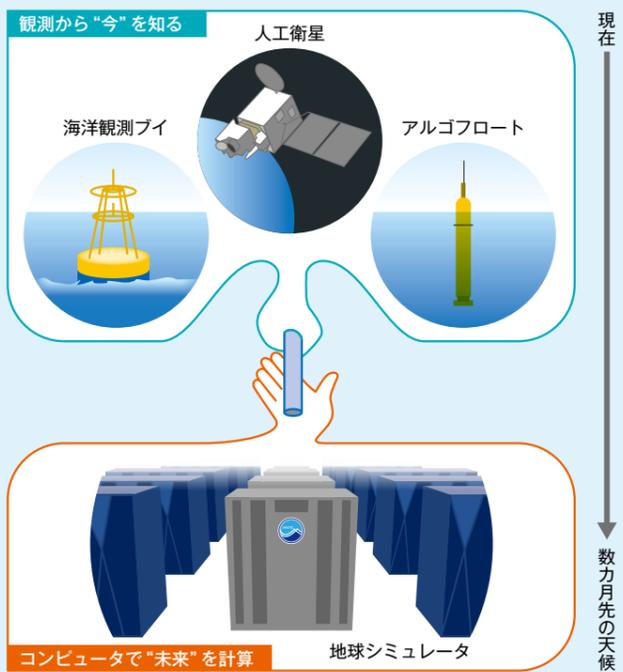
で再び水深2,000mへと潜っていく。10日間サイクルで浮上したり潜ったりを繰り返す、全長1.5~2mほどの自動観測ロボットで、現在は世界中で4,000台ほどが稼働中だ。

アルゴフロートの投入が始まったのは2000年のことだ。「アルゴフロートがないところは、海の表面のことしか分かりませんでした」と土井さん。「海水面の温度は衛星から分かるのですが、水深50mまでそうなのか、あるいは5mまでなのか。その違いによって3カ月先の予測はまったく違ってきます」

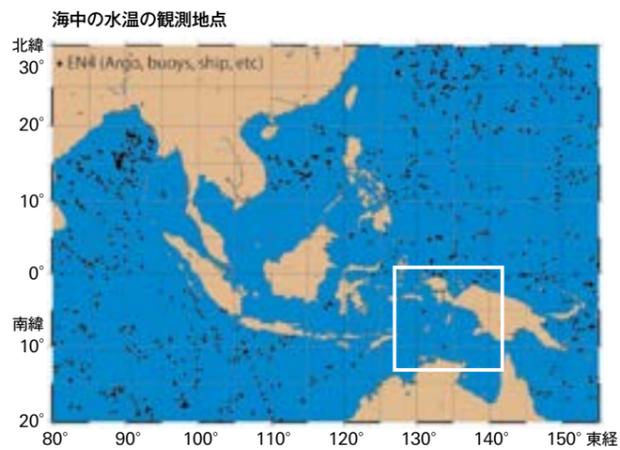


海中の水温や塩分を観測するため、これまで4,000台ほどのアルゴフロートが海に投入されてきた。アルゴフロートは自動で浮き沈みを繰り返しながら観測を行い、海面に浮上したときに人工衛星経由でデータを送信する。

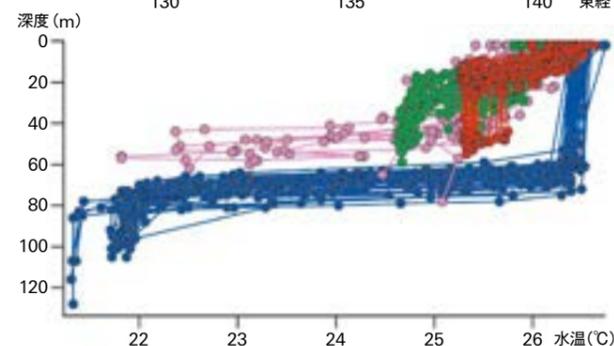
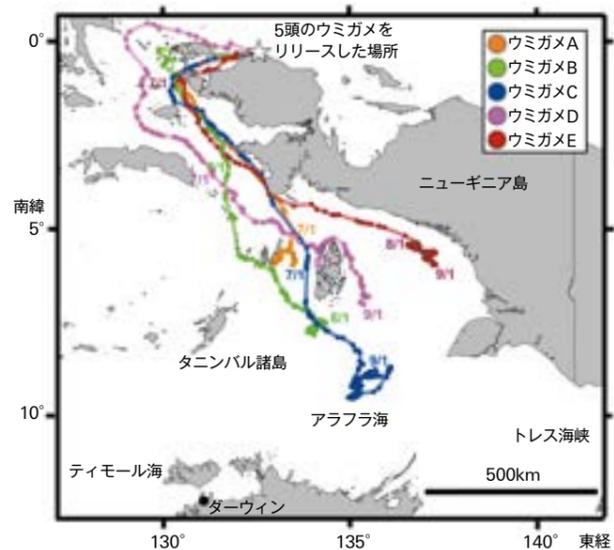
インドネシアのワルマメティ海岸で、ロガーを取り付けられた後、海へ戻っていくウミガメ。
提供：佐藤克文 / 東京大学大気海洋研究所



アプリケーションラボで研究している季節予測システムは、観測とコンピュータのボタンタッチリレーのようなものである。まず人工衛星や係留ブイ、アルゴフロートなどで、海洋の現実の観測データを得る。そのボタン（観測した値）をコンピュータに渡して、時間の経過とともにどのように変動するかを気候モデルで計算していく。



上の地図では、東南アジアの多島海周辺で、船舶や係留ブイ、アルゴフロートなどでの観測点がプロットされている。下図と同じ範囲を白枠で囲んだが、その範囲に観測点はほとんどなく、観測空白域になっている。



上は2017年6月から9月にかけての、5頭のウミガメの回遊の経路。下は4頭のウミガメにより得られた、2017年7月27日から8月6日までの水温の鉛直分布。

熱帯域の多くは太平洋やインド洋のような開けた大きな海である。そういった大洋はアルゴフロートで水温や塩分がモニタリングされている。

しかしアルゴフロートが入っていくことができない海域もある。「縁辺海」と呼ばれる、陸や島に囲まれた比較的小さな海がその一つだ。

アルゴフロートは2,000m程度まで潜ることを前提にしている。そのため深い海でしか使うことができない。縁辺海は水深の浅い所も多く、アルゴフロートを投入できないのだ。「浅いといっても、例えば平均的に200~300mほどの水深があると、その海域の水温データがなければ未来を予測するのが難しい」と土井さんは言う。

「今回、研究対象としたのはインドネシア付近にあるアラフラ海という海域でした」と土井さん。アラフラ海は、ニューギニア島とオーストラリア大陸、タニンバル諸島などに囲まれた縁辺海だ。

縁辺海でも、海表面の水温は人工衛星からモニタリングできる。しかし海中の水温は人工衛星からでは測定することができない。陸地や島で囲まれており地形が複雑な縁辺海での海中の観測データは不足しているのが現状だ。

これまでアラフラ海も観測の空白域であった。「アラフラ海は世界で最も暖かい海域の一部でもあり、その水温変動は周辺の気候などに影響すると考えられるため、季節予測にとって重要な海域です」

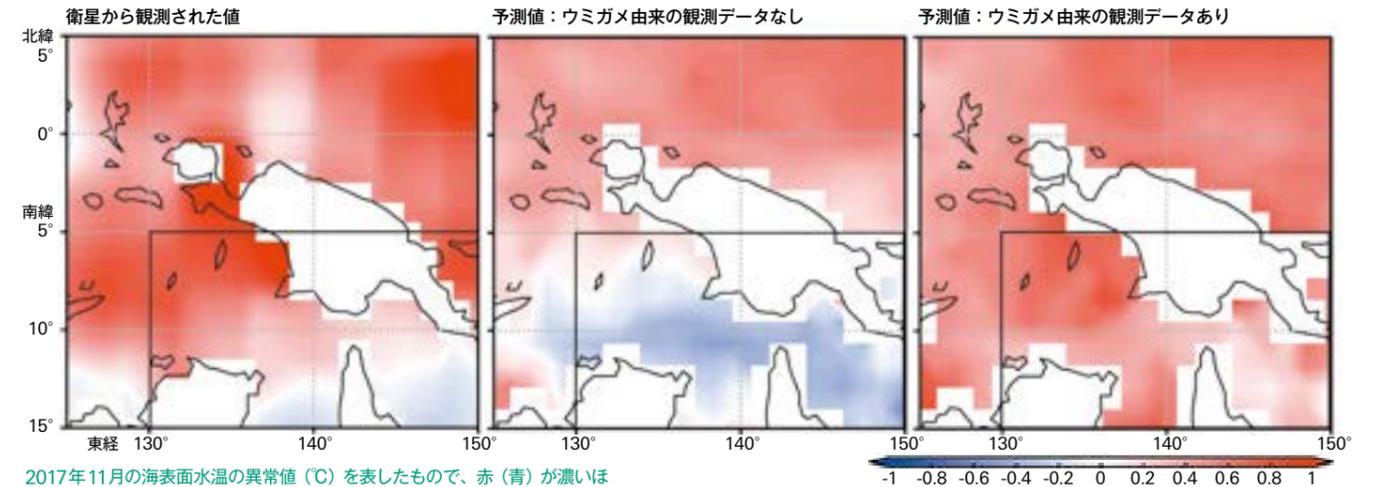
ウミガメを利用して縁辺海の水温データを取得

アルゴフロートによる観測ができないアラフラ海において、海中の水温データを取得するために利用したのがウミガメだ。「ウミガメを利用したバイオロギングでは、もともとはGPSを利用して移動経路が調べられていましたが、その後、ウミガメがすむ海中の環境を知るために水温などを計測するようになったようです」と土井さん。

現在では、記録した情報を人工衛星経由で送ることができるロガーも開発されている。水温や塩分を記録できるロガーも開発され、バッテリーも以前に比べ長持ちするようになってきた。そのようなロガーをウミガメに取り付け、息継ぎのためにウミガメが海表面に上がってきたときに人工衛星経由でその情報を得るのだ。

ニューギニア島にあるインドネシア、西パプア州のワルマメティ海岸には、ヒメウミガメが産卵のために上陸する。その西パプアで2017年6月、今回の研究の共同研究者である東京大学大気海洋研究所の佐藤克文教授が、産卵のために上陸したヒメウミガメ5頭にロガーを取り付けて海へ戻した。

海へ戻った5頭のウミガメがどこへ向かうのか、事前にはもちろん分からない。人工衛星経由で送られてくるロガーのデー



2017年11月の海表面水温の異常値(°C)を表したもので、赤(青)が濃いほど水温が平年より高い(低い)ことを示している。左は実際に人工衛星によって観測された値である。中央と右は、3カ月ほど前の8月1日時点で予測シミュレーションをスタートさせた結果で、中央がウミガメ由来の観測データを組み込んでいないもの、右が組み込んだものである。各図の右下、黒枠で囲んだ海域で、ウミガメ由来の観測データを組み込んだ結果、水温予測が大幅に改善され、実測値に近づいた。

性能はあるのですが、よく分かっていないのが現状です。今回の研究はアラフラ海の周辺の話ですが、さらに研究を進めていけば、そういったほかの気象現象に対する影響も出てくるかもしれません」

動物由来の観測データが実際に役立つことを示せた

太平洋などの大きな海と、日本海のような縁辺海との相互関係は複雑だ。「例えばエルニーニョ現象が発生したときに、日本近海で局地的にどのような影響が出るのかを調べるのは難しい。そのようなときに、アルゴフロートなどでカバーし切れない海域のデータがあると、予測に役立つことができます」と土井さん。「実際の観測データと突き合わせることで、計算結果がどれくらい現実に近いのか、答え合わせに使うこともできるようになります」

人工衛星や船舶による観測データ、またアルゴフロートによる観測データなどは、「全球海洋観測システム(GOOS)」という国際的な海洋観測システムに統合され、研究者が誰でもアクセスできるようになっている。「動物由来の観測データはそこには統合されておらず、誰でもアクセスできるような形にはなっていない」と土井さん。

ただ世界的に、データの統合に向けた動きはあるという。世界各地の海では、さまざまな野生動物が回遊しており、バイオロギングによるデータも世界各地で得られている。「そのようなデータが誰でも使えるようになっていけば、季節予測に限らずさまざまな研究が進むでしょう」

「今回の研究では予測が改善されましたが、研究例はまだ一つだけです。予備的な研究という側面もあり、影響する範囲も局所的ではあります。ただそれでも、動物由来の観測データが、実際に予測に役立つことを示すことができました」と土井さんは言う。「これをきっかけとして、動物由来の観測データを使って研究をしようという機運が高まることを期待しています。また今回の研究が、データの統合に向けた動きを加速させるきっかけになればとも思っています」

BE

(文・岡本典明/ブックブライト)

タから、5頭はニューギニア島を反時計回りに迂回してアラフラ海へと向かっていったことが分かった。

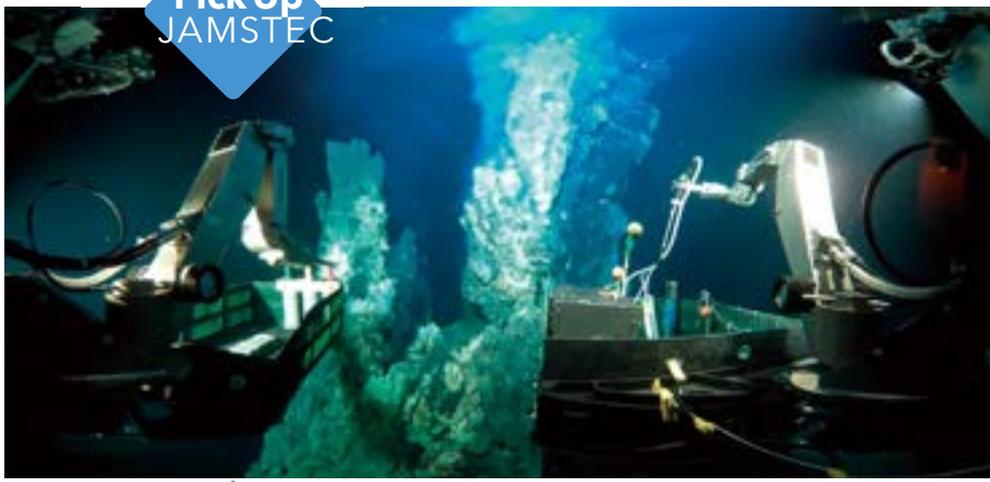
「今回研究に用いたヒメウミガメは、比較的小型のウミガメです。餌を捕るために水深100m以上の潜水を繰り返します。ロガーを取り付けた5頭のウミガメも、それぞれの個体が毎日、数十~100m以上の潜水を繰り返しました。約3カ月間にわたってほぼ毎日、海中の水温データを得ることができました」

ウミガメ由来の海洋観測データでシミュレーションが改善された

「シミュレーションによる予測は初期値、つまり予測を始めるときの状況が重要」と土井さん。ウミガメによって得られたデータを入れることで、データがないときより現実に近い水温の3次元構造が得られる。土井さんはその水温の情報を季節予測システムに取り込んで、3カ月前の水温を予測するシミュレーションを行い、その結果をウミガメ由来の情報を入れずに行ったシミュレーションと比較した。「ウミガメ由来の観測データを入れて計算した方が、実際に人工衛星で観測した海表面の水温の値に近くなりました。3カ月後の周辺海域の水温変動の予測シミュレーションが大幅に改善されたのです」

東南アジアの熱帯域、多くの島が存在する海域は「海大陸(海洋大陸)」と呼ばれる。アラフラ海も海大陸の一部だ。「海大陸は海水温が高いので、さまざまな気象現象に影響している可能性があります」と土井さんは言う。例えばマッデン・ジュリアン振動(MJO)という気象現象がある。これはインド洋で発生し、1~2カ月かけてゆっくりと東へ伝播して海大陸の上を通過していく現象だ。MJOの予測ができると、1カ月前の天気を精度よく予報できるともいわれている。「海大陸は海水温が高く、さまざまな気象現象に関係している可

Pick Up
JAMSTEC



「JAMSTECチャンネル」で公開中!

360度映像「深海VR」、科学技術映像祭 教育・教養部門優秀賞!

「深海VR-海底に降り立つ」が、第61回科学技術映像祭において教育・教養部門優秀賞を受賞しました。JAMSTECと国立科学博物館が開発した「深海360度カメラシステム」を有人潜水調査船「しんかい6500」などに搭載して1,000mを超える深海で撮影した、360度映像コンテンツです。受賞作品は、全国の科学館などで順次上映される予定です。YouTubeの「JAMSTECチャンネル」でも公開しています。自ら海底に降り立ち深海を探索しているような感覚を体験してみませんか?

賛助会 (寄付) 会員名簿 2020年3月10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IH1
株式会社IH1原動機
株式会社アイケイエス
株式会社アイウエンタープライズ
株式会社アクト
朝日航洋株式会社
アジア海洋株式会社
株式会社天野回漕店
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コーポレーション
株式会社MOLマリン
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
株式会社きんでん
株式会社熊谷組
クローバテック株式会社
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
釜研工業株式会社
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
コスモス商事株式会社
株式会社コノエ
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
三洋テクノマリン株式会社
三和化成工業株式会社
株式会社ジー・エス・ユアサテクノロジー
株式会社シープロアークコントロール
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
ジャパンマリンユナイテッド株式会社
シュルンベルジエ株式会社
株式会社昌新
株式会社商船三井
鈴与株式会社
セイコーウオッチ株式会社
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
大陽日酸株式会社
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
株式会社帝國機械製作所 | 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
洞海マリンシステムズ株式会社
東京海上日動火災保険株式会社
東京製網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
トーホーテック株式会社
トビー工業株式会社
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
ニッスイマリン工業株式会社
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
株式会社ソルトン
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
日本ペイントマリン株式会社
日本メントル・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
済中製鋼工業株式会社
ハリマ化成株式会社
東日本タグポート株式会社
日立造船株式会社
株式会社風力エネルギー研究所
深田サルベージ建設株式会社
株式会社フクロジャパン
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
松本徽章株式会社
マリメックス・ジャパン株式会社
株式会社マリン・ワーク・ジャパン
株式会社マルトー
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
郵船商事株式会社
森京介建築事務所
ヤンマー株式会社
株式会社ユー・エス・イー
株式会社森京介建築事務所
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 |
|--|---|---|---|---|