

# Blue Earth

海と地球の情報誌

vol.174



Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

ISSN 1346-0811  
2024年9月発行 (通巻174号)

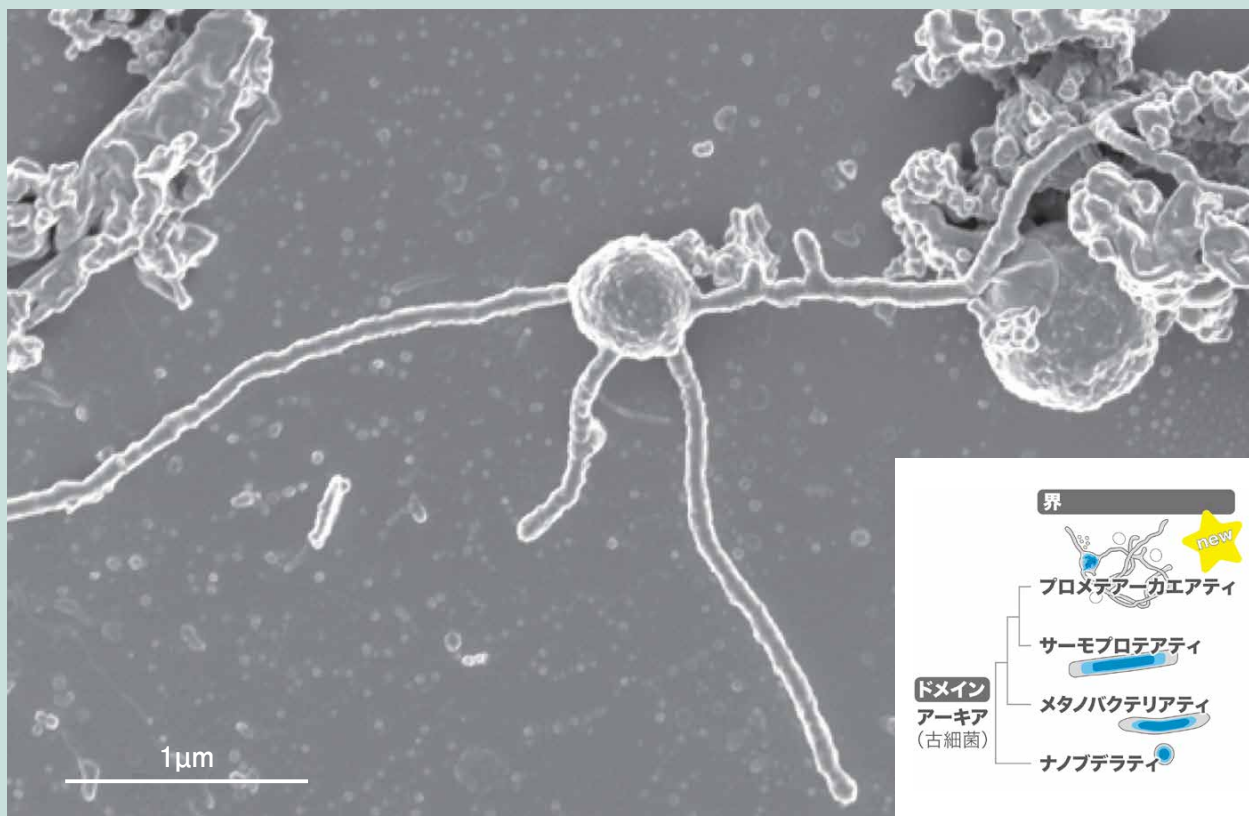


見えてくる!?

地球の未来が

海を知れば、

海洋観測  
最前線



右下の図はアーキアの4つの界。画像はプロメテアーカエウム シントロフィカム MK-D1株の走査型電子顕微鏡像。  
左下のスケールバーは1μmを示す。(画像提供：井町寛之、延俊、JAMSTEC)

## 培養に成功したアーキアが、新しい“界”として認定！

JAMSTEC 超先鋭研究開発部門では深海や海底に存在する未知の微生物の実態を解き明かすための研究を長年にわたり行っている。今回、有人潜水調査船「しんかい6500」で採取した深海の泥から培養に成功していたアーキア（古細菌）であるMK-D1株が、これまでに知られているいずれの生物とも遠縁で、既知の生物グループに分類できない、極めて新しい生物であることを明らかにした。これまで原核生物<sup>\*</sup>は7つの「界」に分類されていたが、本研究においてMK-D1株を代表とする新しい界「プロメテアーカエアティ」(*Promethearchaeati*)を提案し、

認定された。

生物分類における上位階級である界の認定は極めて稀で、私たち人間を含む真核生物と照らし合わせると、動物や植物と並ぶような大きな生物群を発見したことと同じ意味になる。本成果は、原核生物の記載・命名の専門誌『International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology』に発表された。

※原核生物…細胞内にDNAが入った核を持たない生物のこと。つまり、原核生物とはアーキアやバクテリア（細菌）を指し、単細胞の微生物のことである。

詳細は「JAMSTEC BASE」で！



深海に半年間放置されたセルロース製のコップ。プラスチックとは違い、微生物による分解がしっかりと進んでいるのがわかる。  
(協力：NEDO、写真提供：磯部紀之、JAMSTEC)

## 海洋プラスチック問題を海で分解可能な素材が解決!?

プラスチックの登場は、人の生活を飛躍的に便利にした。一方、海に流れ出したプラスチックごみは分解されず、何十年も海の中に残り続けている。この課題を解決するため、JAMSTEC 海洋機能利用部門生物地球化学センター有機分子研究グループでは、微生物によって分解される新素材の開発を進めている。

現在研究しているのは、木と同じ成分の「プラスチックの代替素材」。深海には、クイガイという木にたくさんの穴を開ける二枚貝が存在する。クイガイが木に穴を開けると、木屑やふんなどが発生。そこに微生物が集まり、木の分解が進んでいくのだ。同研究グループではこの分解の仕組みに注目し、木の主成分・セルロースでできた新素材を開発。この素材はスーツケースに用いられるプラスチック程度の硬さを持つ上、見た目も透明にすることができる。

また、研究グループでは、カニの殻などに含まれる成分であるキチンにも注目。深海で生物に分解されるスピードは、キチンでつくった代替素材の方がセルロースのものよりも倍以上速いという。

課題は、現状のつくり方だと高価になってしまうこと。大量生産できるようになれば、原料コストは抑えられるが、製造工程が複雑であるため、石油製品並のコストを目指すには限界があるのだという。

海洋プラスチックが環境や生物にどんな影響を与えるのかは、まだ不明な点が多い。課題を解決していくためにも、地道に検証を行っていく必要がある。

詳細は「JAMSTEC BASE」で！





## P00 JAMSTEC “mini” BASE

特集

P02 地球のシステムを解明する、  
海洋観測の現在地P04 海洋観測を実現する、  
4つのアプローチ額綱 慎也／JAMSTEC 地球環境部門  
海洋観測研究センター センター長P06 全球的な視座を持つ、  
アルゴフロートの功績とは？額綱 慎也／JAMSTEC 地球環境部門  
海洋観測研究センター センター長P08 高精度・高精度な船舶観測を可能にする、  
国際プロジェクト“GO-SHIP”重光 雅仁／JAMSTEC 地球環境部門  
海洋観測研究センター  
海洋物理・化学研究グループP10 熱帯域の大気と海洋を観測する  
“係留ブイ観測網”の現在植木 巖／JAMSTEC 地球環境部門  
大気海洋相互作用研究センター  
海洋気候研究グループ グループリーダーP12 数値モデルの再現精度を向上させる、  
“データ同化”という手法長船 哲史／JAMSTEC 地球環境部門  
海洋観測研究センター  
海洋データ統合研究グループP14 全球海洋観測システム“OneArgo”が、  
世界に“革命”をもたらす細田 滋毅／JAMSTEC 地球環境部門  
海洋観測研究センター  
全球海洋環境研究グループ グループリーダーP16 海洋環境と生態系を分野融合的に研究する  
変動海洋エコシステム高等研究所が始動！須賀 利雄／変動海洋エコシステム高等研究所  
研究所長

座談会／日本郵船× JAMSTEC

P18 アルゴフロート投下をサポートする、  
民間企業のボランティア瓜生 浩二／日本郵船株式会社 海務グループ  
航海チーム  
齋藤 直宏／日本郵船株式会社 ESG経営グループ  
サスティナビリティニシアティブチーム  
平野 瑞恵／JAMSTEC 地球環境部門  
海洋観測研究センター 全球海洋環境研究グループ

連載

## P20 だから、研究者になった！ vol.1

CHEN Chong／JAMSTEC 超先鋭研究開発部門  
超先鋭研究開発プログラム

連載

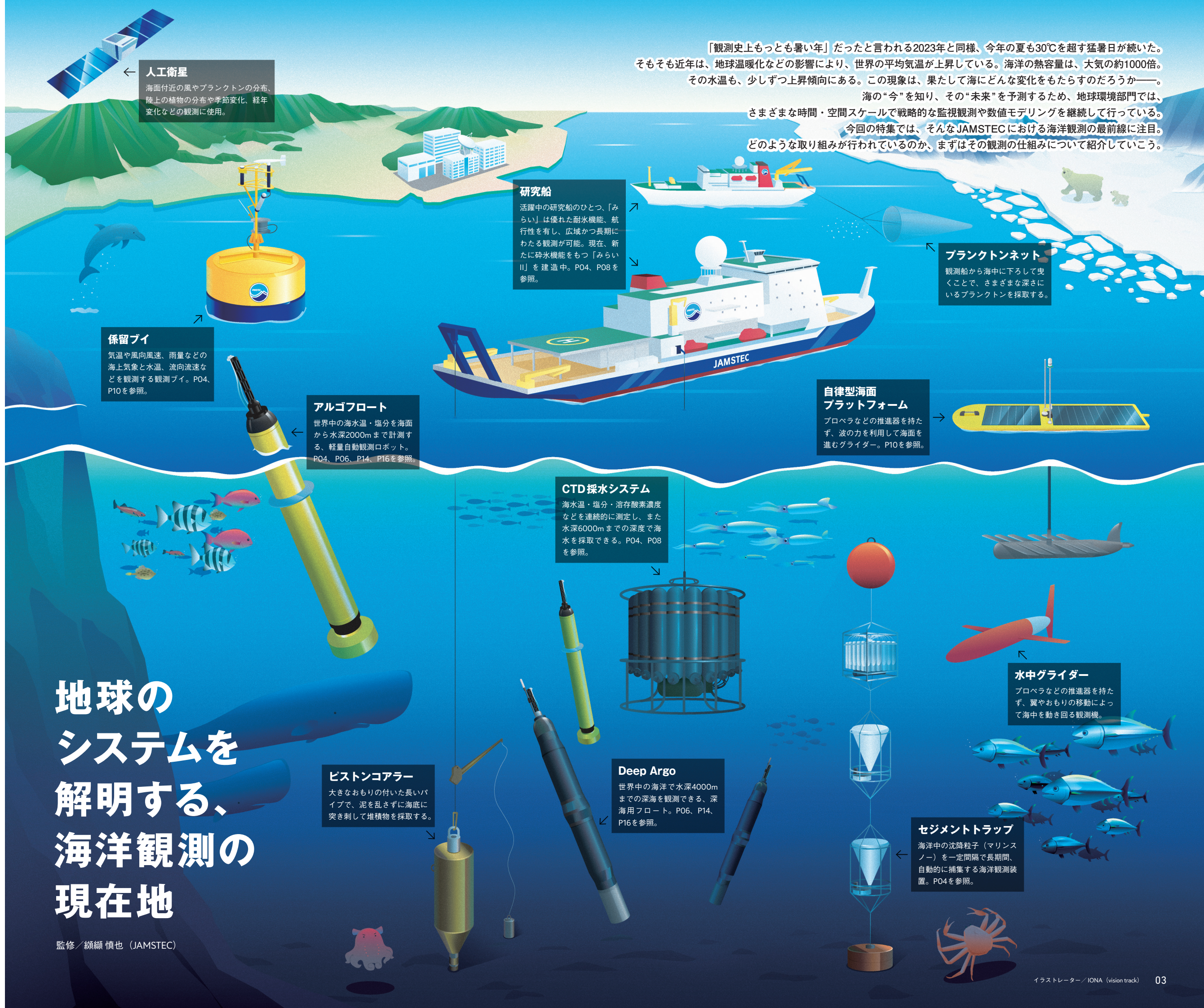
## P21 教えて!! 海の先生

細田 滋毅／JAMSTEC 地球環境部門  
海洋観測研究センター  
全球海洋環境研究グループ グループリーダー

画像資料提供：JAMSTEC

制作／Concent, Inc.  
クリエイティブディレクター／渡邊 徹（Concent, Inc.）  
プロデューサー／橋 泰良（Concent, Inc.）  
編集、ライター／柴崎 卓郎（butterflytools）  
アートディレクター／小谷 圭史  
イラストレーター／IONA（vision track） MORITA YUUSAKU  
カメラマン／栗原 諭（4×5）地球の  
システムを  
解明する、  
海洋観測の  
現在地

監修／額綱 慎也（JAMSTEC）



「観測史上もっとも暑い年」だったと言われる2023年と同様、今年の夏も30℃を超す猛暑日が続いた。そもそも近年は、地球温暖化などの影響により、世界の平均気温が上昇している。海洋の熱容量は、大気の約1000倍。その水温も、少しずつ上昇傾向にある。この現象は、果たして海にどんな変化をもたらすのだろうか――。

海の“今”を知り、その“未来”を予測するため、地球環境部門では、さまざまな時間・空間スケールで戦略的な監視観測や数値モデリングを継続して行っている。今回の特集では、そんなJAMSTECにおける海洋観測の最前線に注目。どのような取り組みが行われているのか、まずはその観測の仕組みについて紹介していこう。

## 人工衛星

海面付近の風やプランクトンの分布、  
陸上の植物の分布や季節変化、経年  
変化などの観測に使用。

## 研究船

活躍中の研究船のひとつ、「み  
らい」は優れた耐氷機能、航  
行性を有し、広域かつ長期に  
わたる観測が可能。現在、新  
たに砕氷機能をもつ「みらい  
II」を建造中。P04、P08を  
参照。

## プランクトンネット

観測船から海中に下ろして曳  
くことで、さまざまな深さに  
いるプランクトンを採取する。

## 係留ブイ

気温や風向風速、雨量などの  
海上気象と水温、流向流速な  
どを観測する観測ブイ。P04、  
P10を参照。

## アルゴフロート

世界中の海水温・塩分を海面  
から水深2000mまで計測す  
る、軽量自動観測ロボット。  
P04、P06、P14、P16を参照。自律型海面  
プラットフォームプロペラなどの推進器を持た  
ず、波の力を利用して海面を  
進むグライダー。P10を参照。

## CTD採水システム

海水温・塩分・溶存酸素濃度  
などを連続的に測定し、また  
水深6000mまでの深度で海  
水を採取できる。P04、P08  
を参照。

## 水中グライダー

プロペラなどの推進器を持た  
ず、翼やおもりの移動によっ  
て海中を動き回る観測機。

## ピストンコアラー

大きなおもりの付いた長いバ  
イプで、泥を乱さずに海底に  
突き刺して堆積物を採取する。

## Deep Argo

世界中の海洋で水深4000m  
までの深海を観測できる、深  
海用フロート。P06、P14、  
P16を参照。

## セジメントトラップ

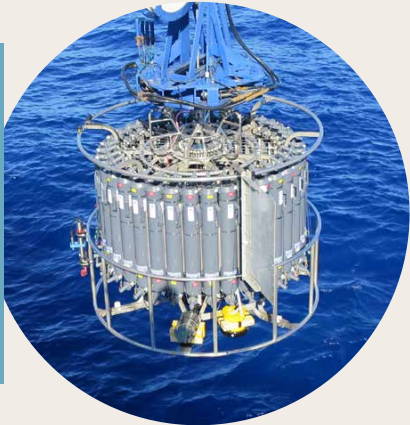
海洋中の沈降粒子（マリンス  
ノー）を一定間隔で長期間、  
自動的に捕集する海洋観測装  
置。P04を参照。



# 海洋観測を実現する、4つのアプローチ

JAMSTEC 地球環境部門の海洋観測研究センターは、海にどんな変化が起きているのか、将来的にどうなっていくのかを知るため、海の状態を観測し続けている。では、広大で水深もある海を対象にして、どのように海洋観測を行っているのだろうか。額額慎也センター長にそのアプローチについて話を聞いた。

## CTD 採水システム



海水の電気伝導度（Conductivity）、水温（Temperature）、および、測器の深度（Depth）を計測するセンサー（CTD）と、海水を採取してくる採水システムで構成されている。これらを通じて得られる観測データは、主に海水の特性や流れの解析などに使われている。

## 係留ブイ



海底にロープで係留され、海上気象と水深750mまでの海中の水温・塩分・流速などを計測し、通信衛星を介して観測データを常時送信する。天気予報にも利用されている。現在は新型トライトンブイ「m-TRITON」が開発され、東部熱帯インド洋に展開されている。

## セジメントトラップ



海中に落ちていく粒子（マリンスノーなど）を捕集する装置。粒子はコーンの上から入り、下の防腐剤入りのカップの中に溜まっていく。カップは複数取り付けられており、あらかじめセットした時間に自動的に交換することが可能で、粒子を長期間連続的に集めることができる。

## アルゴフロート



全長約2m、重量約20kg程度の小型観測機器。大人ひとりでも抱えられるような小さな本体に、浮き沈みするための機構、センサー、通信機構など、さまざまな機能が搭載されている。現在、30か国を超える国と機関が参加し、約4000台のアルゴフロートが全球的に稼働している。

## “海水”に詰まっている、海を理解するための科学とは？

主に海水と海水に溶けた物質を中心に観測を続けている、海洋観測研究センター。しかしながら、なぜセンターでは「海水を観測する」ことを重要視しているのだろうか——。そんな素朴な疑問を額額慎也氏にぶつけてみると、「海水には、海を理解するための科学が詰まっているから」という簡潔な答えが返ってきた。

「例えば、プランクトンは海洋の高次の生き物（魚類や海鳥、鯨類など）と海洋中の栄養物質の橋渡しを担う、とても大きな役割を果たしています。このプランクトンが生きていくために不可欠な栄養物質を運ぶのが、海洋大循環です。海洋大循環とは、海水が世界の海洋を長い時間をかけて大きく循環すること。海水というのは温度が低いほど重く、また塩分が高いほど重くなる性質を持っています。その重い海水が表層から深層へ沈み込み、また深層から表層に浮上することによって、海洋が大きく循環していきます。このような海洋のダイナミックなシステムを解き明かすためにも、海水を観測することを通じて、水温

や塩分、密度などの精度の高いデータを記録していくことが重要になります」

## 高度な測定を可能にする、さまざまな観測機器

では、そのような海洋観測を可能にするためには、現在どのような手段が使われているのだろうか。海洋観測研究センターでは、主に「CTD採水システム」「係留ブイ」「セジメントトラップ」、そして「アルゴフロート」という4つの観測機器を利用したアプローチで観測を行っているという。

まず、CTDは海水の塩分、温度、圧力（深度）を計測するセンサーで構成された観測装置。船舶観測の際、ケーブルにつないで海水の中に投下することで、それぞれの分布を観測できる。近年ではセンサーの改良が進み、現在は海水に溶け込んだ酸素や二酸化炭素、栄養塩、pHなども測ることが可能だという。

また、このシステムには、さまざまな深さで採取する観測機も取り付けられている。採取した海水はすぐに船上で分析が行われ、塩分や二酸化炭素、栄養塩、酸素などの濃度を測定する

ことができる。

海洋の特定のポイントに設置して定点観測を行う係留ブイは、気温や風、雨量などの海上気象と、海水の流れや水深750mまでの水温などを測定する。海面上で起こる変化と、海中に蓄積していく変化の両方を同時に測れるため、それぞれの相互作用を記録することができるのだ。

また、海洋観測では、海水に溶けていない状態の物質にもフォーカスを当てている。そこで活躍するのが、セジメントトラップという装置。海洋には、直径1cmにも満たない「マリンスノー」と呼ばれる粒子状物質が浮遊している。セジメントトラップは、上から降ってくるマリンスノーを捕集し、時系列的に保存する。これを分析することで、炭素や窒素などのさまざまな物質がどのように海洋深部へ運ばれてきたかを明らかにできる。

## アルゴフロートがもたらした海洋観測への功績

「これらの観測機器を利用したアプローチは、海洋観測を行う

上で非常に有効な手段です。とはいえ、広大な海を観測するには圧倒的に観測の密度が足りません。そこで、2000年から世界各国で協力して地球規模の海洋観測網をつくるという『アルゴ計画』がスタートしました。このプロジェクトでは、アルゴフロートという2mほどの大きさの自動観測装置を使用して観測を行います。海に投下されたアルゴフロートは段階的に水深2000mまで沈み、海中の水温や塩分、圧力を測ります。また、10日に一度海面に浮上し、上空の人工衛星に観測データを送信。このような観測を、3～4年の間自動で行うことができます」

アルゴ計画において特に大きな強みになっているのは、現在まで世界の海に約4000台を投下し、その結果として均質的な観測が行えるようになったこと。もちろん、地球上の海洋すべてを網羅するには程遠いものの、それでもこれまで観測できていなかった空白域を埋めることができたのは非常に大きい。実際、広範囲にわたって海洋の温度を測定した結果、「完全に上昇している」ことを明らかにすることもできた。

とはいえ、「アルゴフロートも万能な観測システムではない」と額額氏。例えば、アルゴフロートは海中に溶けた成分のうち一部の重要な物質の濃度を測ることができない。そのため、今後もその他の機器によるアプローチを駆使し、海洋観測に必要な精度のデータを確保していくことが求められている。





アルゴ計画では、世界中の海にアルゴフロートを約4000台投下することで、広範囲の海洋のデータを均一的に測定することを実現した。しかも、先述の額顕慎也センター長によれば、アルゴ計画は高精度のデータを測定できたことにとどまらず、海洋観測の新たな扉を開くことにもつながったという。その功績とは何だったのか。

## 海洋研究を進化させた アルゴフロート観測網

2000年、全世界の海洋にアルゴフロートを展開し、海洋表層から中層のリアルタイム観測システム網を構築する国際プロジェクト「アルゴ計画」が始まった。

地球温暖化をはじめとするさまざまな気候変動の仕組みを解明していくには、地球規模で海洋表層から深層までにおよぶ観測を行う必要がある。しかし、アルゴ計画以前は、時間スケールとしても、空間スケールとしても、十分な海洋観測を行うことが難しかったという。当時の様子について、額顕氏はこのように語る。

「1990年代から2000年代初頭にかけて、当時の海洋観測で得られたデータを数値シミュレーションで解釈する研究が進められていました。ただ、観測の頻度に限界があったことから、数値モデルとの比較を行った際に生じる『この場所と比べると合っているが、この場所では合っていない』という問題に対して、それが数値モデルの問題であるかどうか十分に実証することができませんでした。ですが、アルゴ計画がスタートして、海洋観測の解像度が飛躍的に向上したことで、それまで数値モデルでしかできなかったことを実際に観測できるようになっていったのです」

## 今日の海洋研究に欠かせない 基盤観測網として

そして、24年が経った今、これまでに投下されたアルゴフロートの数は約4000台にも増え、約16万プロファイルもの精密なデータを取得することが可能になった。アルゴフロートは今日の海洋研究において欠くことのできない基盤観測網となり、現在まで実に多くの功績を生み出している。

# 功績とは？ アルゴフロートの 視座を持つ、 全球的な

「その中で特に大きかったのは、以前より続く海水温の上昇をしっかりと捉えることができたことです。アルゴ計画はそのことを実証するためにデザインされたプロジェクトだったということもあり、とても大きな成果だったと考えます」

一方、アルゴ計画では想定していなかった収穫もあった。アルゴフロートの観測網によって、今まで解明されていなかった渦の正体が少しずつ判明してきたのだ。

「通常、渦を観測するには、衛星を利用して海面の凸凹の様子を捉える海面高度計を使用します。ただ、海面高度

アルゴフロートは、全長約2m、重量約20kgの小型観測機器。小さな本体の中に浮き沈みするための機構、センサー、通信機構など、さまざまな機能が搭載されている。右の写真はアルゴフロートを抱える全球海洋環境研究グループの平野瑞恵氏（P18を参照）。

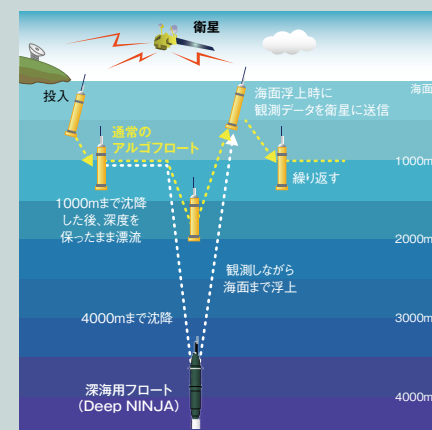


## 研究者のフォーカスを一変させた アルゴフロートのインパクト

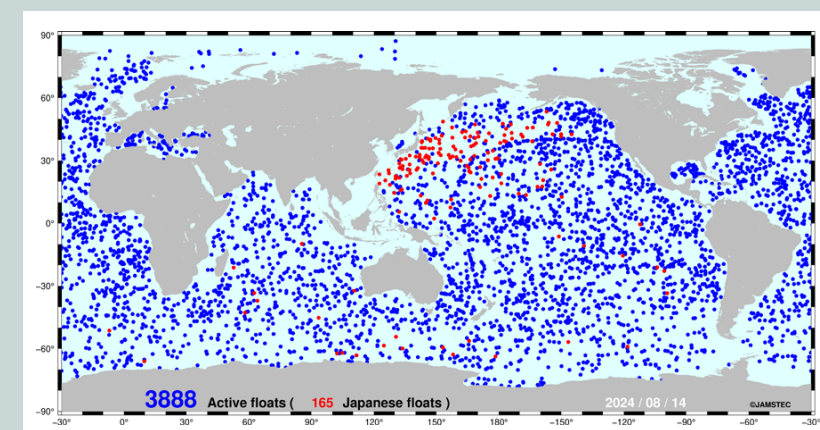
このように高精度な海洋観測を実現することができたアルゴ計画だが、実は海洋研究そのものにも大きな影響を与えていると額顕氏は説明する。

「アルゴフロートを使えば、世界中の海洋を均一的に観測できます。このような全球的な視座を持つ観測プラットフォームが確立してきたことで、研究者たちはさらに細かいプロセスであったり、別の角度の観測に力を入れたりすることができるようになりました。その結果、研究者たちの海洋観測に対するフォーカスが一变したのです。このような作用は、今後も海洋研究全体の新たな可能性を切り開いていくと考えます」

実際、現在は、アルゴフロートを利用した海洋生態系の解明の取り組みなど、新たなアプローチが検討されている。ただ、そのためには、さらに海洋に投下するアルゴフロートの量を増やし、観測網の目を細かくしていくことが不可欠だ。今は見逃している海の変化を確実に捉える——。海洋研究の新たな知見を生み出すために、アルゴフロートの進化はこれからも続いていくのだ。



アルゴフロートは海に投入されると段階的に水深2000mまで沈み、海中の水温・塩分・圧力を観測する。そして、10日に一度海面に浮上し、観測データを上空の人工衛星に送信する。また、投入後は4～7年間自動で計測を続けることができる。



現在日本では、JAMSTECと気象庁が中心となり、毎年約100台のアルゴフロートを航海に送り出している（図の赤色が日本で投入したアルゴフロート）。また、海洋への投下には、研究機関や関係省庁だけでなく、高校や大学の練習船による協力も得ている。



研究船、アルゴフロート、係留ブイなどを組み合わせた海洋観測網の中で、最も高精度で多様な観測項目に対応できるのが船舶観測である。

そこで、船舶による海洋観測システムの運用・発展を担う海洋物理・化学研究グループにおいて、海洋観測と数値モデルを使用した研究を行う重光雅仁氏に、船舶観測について話を聞いた。

## 高精度な観測を、 10年間隔で繰り返し実施

海洋変動のメカニズムなどを解明する上で、最も高精度な観測を可能にする船舶観測。JAMSTECでは、国際的な協力・連携のもと研究開発を進めていくため、船舶観測の国際的なプロジェクトである「GO-SHIP」に参画している。

GO-SHIPとは、海洋物理、炭素循環、海洋生物地球化学、生態系などを専門とする世界中の科学者などが結集し、地球規模の海洋・気候観測を実施するという取り組みだ。その特徴は、世界中の海洋に大陸から大陸までの観測線を縦横に設定し、それらに沿って海面から海底直上までの物理量や溶存物の濃度を観測するという。さらに、このような観測線に沿った観測を約10年間隔で繰り返し実施するため、非常に高精度な海洋変動モニタリングが可能になるのだという。

日本において、その重要な活動拠点のひとつとなっているのが、広域かつ長期にわたる観測研究が可能な「みらい」である。海洋物理・化学研究グループの重光氏は、その「みらい」の船上で、海水の中に溶けた有機物を測定して研究を行っている。

## 海洋の中の“情報”が、 地球温暖化の謎を解く

「溶存有機物とは、炭素をはじめ、窒素やリン、硫黄、水素、酸素などを含む孔径0.2～0.7μmのろ紙を通過する有機物の総称で、主に植物プランクトンの光合成によって生産される有機物が起源になっています。そもそも海中の炭素量として一番多いのは、溶存無機物の炭素（二酸化炭素）です。しかし、溶存有機物の炭素も、大気中の二酸化炭素の炭素とほぼ同じ量に相当し、重要な炭素貯蔵庫になっています。また、溶存有機物は細菌によってゆっくり分解されますが、海水温が上がることでそのスピードが速くなることもわかっています。これらのことを地球温暖化の文脈で考えると、海水温が暖かくなって溶存有機炭素の分解が進むことで、海水中のpHを下げ、大気中の二

# 国際プロジェクト「GO-SHIP」 高精度・高精度な船舶観測を可能にする、

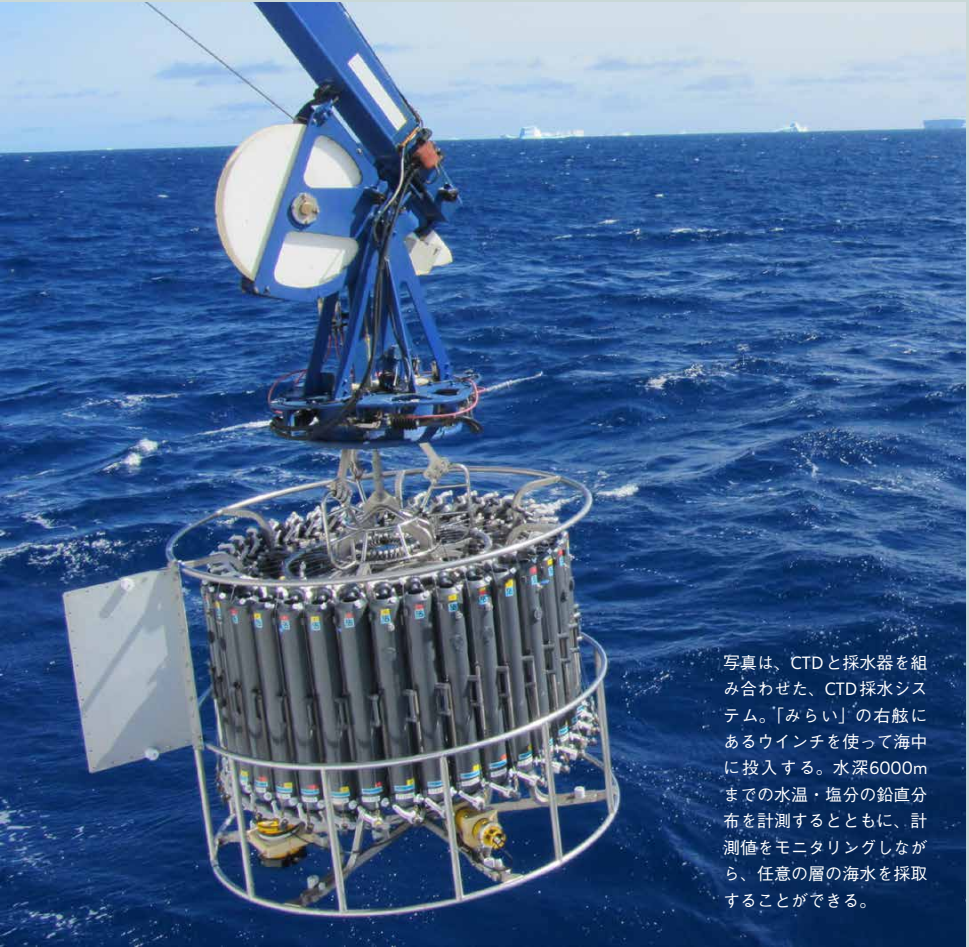


JAMSTEC 地球環境部門  
海洋観測研究センター  
海洋物理・化学研究グループ  
**重光 雅仁**

専門は海洋生物地球化学。北海道大学大学院環境科学院地球圏科学専攻で博士（環境科学）を取得。その後、北海道大学地球環境科学研究院地球圏科学部門で博士研究員を経てJAMSTECに着任。2015年度より現職。現在、海洋中の溶存有機物に関する研究を海洋観測と数値モデルの両方を用いて進めている。



海洋地球研究船「みらい」は、極域での操業も可能な上、荒天でも高い航行性を有し、広域かつ長期間の観測・研究が可能。北極海や太平洋、インド洋、亜熱帯・亜寒帯海域など世界各地で海洋の熱循環・物質循環、海洋の生態系、地球の環境変動などの海洋調査を行っている。老朽化のため、2025年度で運用終了を予定している。



写真は、CTDと採水器を組み合わせた、CTD採水システム。「みらい」の右舷にあるウインチを使って海中に投入する。水深6000mまでの水温・塩分の鉛直分布を計測するとともに、計測値をモニタリングしながら、任意の層の海水を採取することができる。

酸化炭素に大きな影響を与える可能性があるということになります。また、その際に酸素を消費するので、海水中の酸素の減少にも影響を及ぼすことも考えられます。このような仕組みを解明するために、溶存有機物に関する観測は非常に有効です」

船舶観測を行う上で、特に重要な存在になっているのが「CTD」である。CTDとは、電気伝導度（塩分）、水温、圧力（深度）を連続計測するセンサーで構成された装置。海中に投下し、水温と塩分の深さ方向の分布を観測していく。また、この工程を計画に基づいた何十もの観測線で実施することで、海の面的、あるいは深さに沿った構造を明らかにできるのだ。

その観測の際、CTDに取り付けられた「採水器」を利用して、さまざまな深さの海水も採取する。採水器は一般的な仕組みとして、パイプ状のボトルのふたを開けたまま海中へ投下し、目的の深度で閉じることによって採水する。採取された海水は、「みらい」の船上の分析機器を用いて、塩分や二酸化炭素（全炭酸）、栄養塩、溶存酸素などの濃度を精密に測定していく。これらのデータもCTDの観測データと併せて、海水の特性や流れの解析などに使用するという。

## “BIO GO-SHIP”という、 新たな海洋観測に向けて

「一方、GO-SHIPでは、船舶観測で必ず測定しなければいけないパラメーターが決められています。主なものとして温度、塩分、圧力、酸素、全炭酸、アルカリ度、栄養塩、フロン類、SF<sub>6</sub>（六フッ化硫黄）です<sup>\*</sup>。これらの観測データを高精度・高精度で分析し、その結果を10年ごとのデータと比較することで、海洋の物理情報の変化に加え、海洋生態系に悪影響を及ぼす海洋酸性化、脱酸素化の進行状況なども確認することができます。また、これらのデータは非常に高精度・高精度であるため、海洋モデルの検証やアルゴフロートデータのキャリブレーションにも大変重要になっています」

現在、これまでのGO-SHIPの船舶観測の実績により、海洋における物理情報、化学情報に関する高精度・高精度なデータが集まってきていると重光氏。しかし、生物の情報に関するデータは圧倒的に足りない状況だと説明する。

「そのため、近年は『BIO GO-SHIP』という生物科学者たちを巻き込んだ新たなプロジェクトが検討されています。このプロジェクトが実現できれば、環境DNAの観測などを通じて、その海洋にどんな生物がいるのか、生物量がどの程度あるのか、また10年規模での変動がどうなっているのかが解明されていくはず。その情報にこれまで私たちが培ってきた物理や化学の観測データを組み合わせることで、気候と海洋の相互作用に関する研究がさらに進展していくことを期待しています」

※その他に、船上海洋表層観測システムによる温度、塩分、pO<sub>2</sub>（二酸化炭素分圧）、ADCPといった機器によって測定される流速、水深、気象データもある。



# 熱帯域の大気と 海洋を観測する “係留ブイ観測網” の現在

大気海洋相互作用研究センターでは、近年話題となっている極端現象の理解を目指し、関連する大気と海洋の変動を観測により捉え、その機構を知るための研究を推進している。その中で、熱帯を起源とする短期気候変動現象を対象に研究を行っている海洋気候研究グループ・植木巖氏に、係留ブイによる海洋観測について話を聞いた。

JAMSTEC 地球環境部門 大気海洋相互作用研究センター  
海洋気候研究グループ グループリーダー

## 植木 巖

専門は海洋物理学。東海大学大学院海洋学研究科海洋科学専攻で博士（理学）を取得。その後、JAMSTECに着任。2023年度より現職。現在、東部熱帯インド洋及び西武熱帯太平洋における大気海洋相互作用に関する研究を進めている。

## なぜ、“大気と海洋”に 注視し続けるのか？

近年、日本では台風や豪雨などによる気象災害が基大化している。その原因のひとつとなっているのが、数年という短期間で繰り返し発生している熱帯起源の短期気候変動だ。

そもそも熱帯太平洋西部には、熱帯地域の中でも特に海面水温が高い「暖水プール」と呼ばれる海域がある。この海域では日中の海面水温が30℃に達することもあり、その影響で上昇気流が発生し、大気対流活動が活発になる。そして、上昇した大気は熱帯太平洋東部で下降し、東西に非常に大きな大気循環（ウォーカー循環）を生み出している。

この熱帯域における大気循環は、東部の海面水温が平年より高くなるエルニーニョや、逆の状態を引き起こすラニーニャに対応して大きく変動している。この一連の変動は、「エルニーニョ南方振動」（以下、ENSO）と呼ばれている。また、インド洋熱帯域にも海面水温の東西分布が数年に一度大きく変化するダイポールモード現象が、同様に大気変動の大きな変化を引き起こす。これらの大気海洋現象は全球に影響を及ぼしているため、植木氏は「観測を通じて、熱帯太平洋、インド洋それぞれにおける大気と海洋の相互作用を捉えることが重要です」と語る。

「ENSOやダイポールモード現象の現状を確認するには、海盆スケールでの観測が不可欠です。特にこれらは大気海洋相互作用に根差した現象なので、大気の下層と海洋の上層に注目して観察していかなければいけません。また、ENSOの把握とそれらを反映した気象・気候予測に向けて、観測データをすぐ手に入れられるようにする必要もあります」

## 大気海洋現象の観測に適した 係留ブイという存在

これらの条件の中で、最も安定した観測ができるのが係留ブイである。その利点は、「固定点で測れる」こと。定点で精度の高い大気の情報が見れる上、海面上層に蓄えられる暖かい海水の厚さを観測でき、アレイを組むことによってそれらの広がりなども観測することができるのだ。

JAMSTECでは、このような特徴を持つ係留ブイ「トライトンブイ」を1998年に開発。その後、アメリカの「TAOブイ」の観測網と協調する「TAO/TRITONアレイ」という熱帯太平洋域の観測プロジェクトをスタートさせ、ENSOのメカニズム解明を進展させることができた。

現在は、これまでの係留ブイ観測で培った知見を生かし、熱帯域における観測システム網のアップデートが国際的な調整の

もとで行われているという。

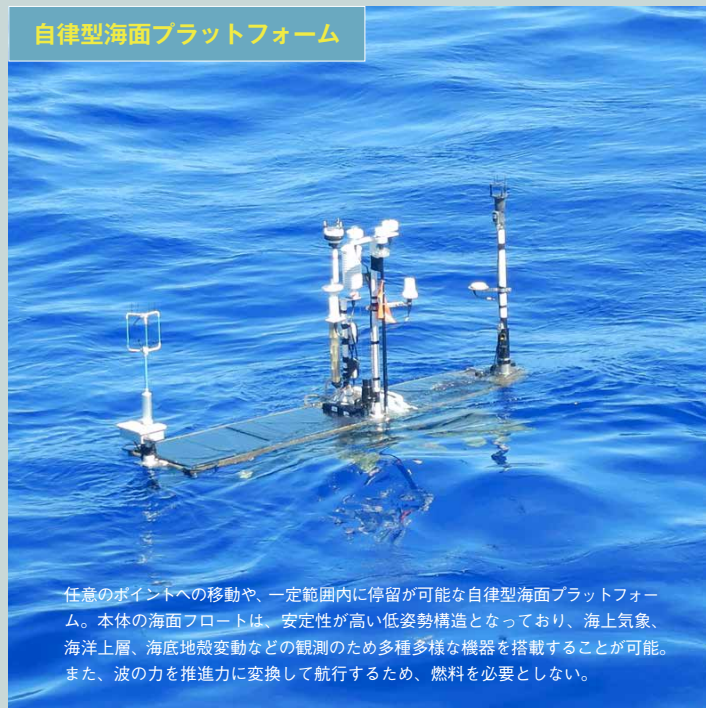
「例えば、係留ブイは数に限りがあるため、大量に投入することができません。現在は全球展開が進んだアルゴフロートがあるので、それらの利用も効果的です。広い範囲の平均的な海洋上層の状態の把握はアルゴフロートの得意なところですが、フロート自身は観測したい地点に留まっていることができませんし、大気の様子を測ることもできません。そのため、海洋と大気の関係性が強い赤道付近には引き続き係留ブイを配置して、固定点で海洋と大気の詳細な構造の変化を捉えるようにしています」

そのほかにも、ENSOの影響を知るために熱帯の島嶼部や沿岸域の検潮所での水位計による観測や、海面表層を広範囲で捉えることが可能な人工衛星による観測等も利用することで、それぞれのアプローチの強みを組み合わせた観測システム網が構築されているのだ。

## 観測方法を組み合わせ、 さらに精密なデータを

「それでも、ENSOの予測の精度は高いといえる状態ではありません。例えば、東部のペルー沖に存在する湧昇域の海面水温を予測モデルで再現しようとすると、現実よりも高くなるという現象が起こります。これを解決するためには、海洋と大気の細かい乱流のプロセスをしっかりと観測し、関連するプロセスをモデルに反映する必要があります。そこで現在は、大気乱流を直接測れるシステムを開発し、自律型海面プラットフォーム『ウェーブ・グライダー』に、搭載して検証を進めています。一方で、大気と接する海洋の極表層の観測を向上させる必要もあります。というのも、係留ブイの海面を測るセンサーというのは実行水深1mに取り付けられているため、厳密な意味では海面を測ることができていないのです。例えば、アルゴフロートでも、海面表層から数m程度は正確なデータが取りにくい状況です。そこで、海面付近の観測の精度を上げるために、ウェーブ・グライダーやフラックス漂流ブイを利用した観測アプローチが進められています」

大気海洋相互作用のさらなる理解を深めるには、さらに技術的な改革を進めないといけない、と植木氏。次世代の全球観測網を構築し、より精密なデータを観測するために模索する日々が続いている。





# 数値モデルの再現精度を向上させる、 “データ同化”という手法

約2000年かけて1周するといわれる、海洋大循環。海洋にはその壮大な時間スケールの中で起きた現象が記録されている。その現象を紐解きながら、海洋の現実的な姿を再現していくのが「データ同化」である。ここでは、その新たな手法を利用して太平洋の循環やその変動について研究する長船哲史氏に話を聞いた。

## 観測とモデルのズレに注目し、 時間を遡って特定・修正

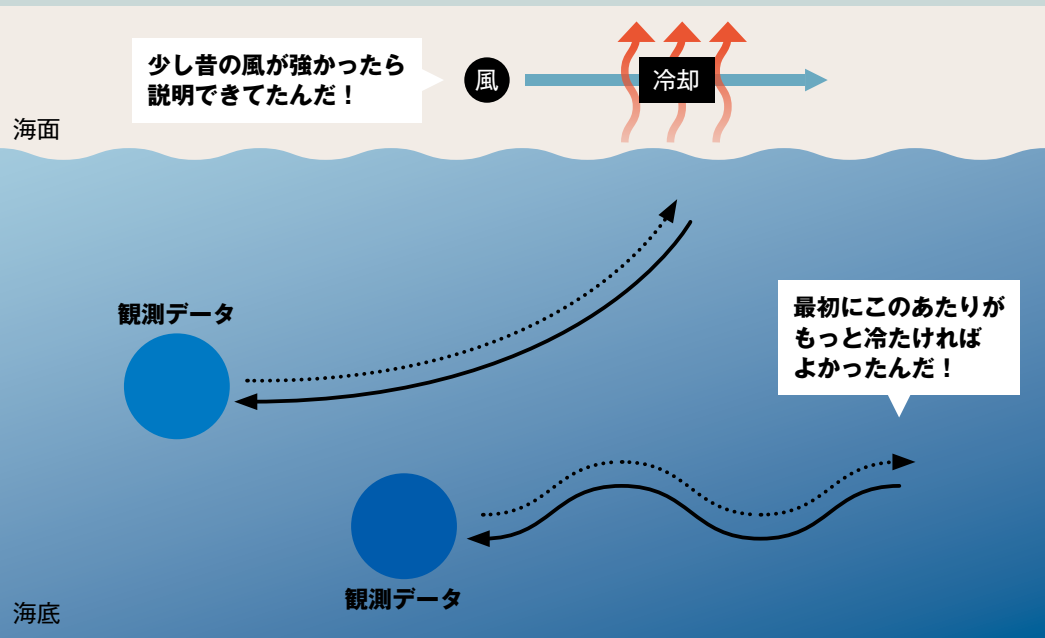
海洋観測とは、海が記憶してきた変化の履歴の断片を捉えることに対応する。しかしながら、観測されたデータというのは、観測した場所や時間が限られており、観測データのみから海洋変動の全体像を捉えるのは難しい。そのため、物理の法則に従って海洋の変化を計算する数値モデルを用いて、観測された変化をコンピューター上で再現し、そのメカニズムを調べることが有効な手段のひとつである。

ただ、数値モデルを活用しても、海洋に起こった変化を完璧に再現するのは簡単なことではない。その変化の初期の様子を観測することが、不可能に近いからだ。また、大気からの外力を正確に把握することも難しい。そのため、現実在即したシミュレーションを行っても、どうしても誤差が生まれてしまう。

そこで用いられるのが、観測データを取り込むことでシミュレーション結果を修正するデータ同化である。中でも、初期値と大気外力という数値モデルに対する入力データの最適値を推定する「4DVAR（4次元変分法データ同化）」は、数年から数十年という長い時間スケールを持つ気候変動と関連した海洋変化の理解につなげる上で強力な手法である。この手法について長船氏はこう説明する。

「4DVARとは、わかっている方程式から知りたいことに向かって逆向きに推定していくシミュレーション。観測データと数値モデルから生まれた『結果のズレ』に注目し、時間を遡ってその理由を推定し、修正を行っていきます。この4DVARを使うことで海洋に残された記憶の断片を無理なく物理的につなぎ合わせられるため、長期的・広域的な時空間のつながりを意識しながら、観測された現実の現象を定量的に議論し、メカニズムの理解につなげることができるのです」

「4DVARとは、わかっている方程式から知りたいことに向かって逆向きに推定していくシミュレーション。観測データと数値モデルから生まれた『結果のズレ』に注目し、時間を遡ってその理由を推定し、修正を行っていきます。この4DVARを使うことで海洋に残された記憶の断片を無理なく物理的につなぎ合わせられるため、長期的・広域的な時空間のつながりを意識しながら、観測された現実の現象を定量的に議論し、メカニズムの理解につなげることができるのです」



4次元変分法によるデータ同化を表した簡略図。背景の色と実線が、数値モデルで計算された水温と海水の軌跡、○の色が観測データに現れた水温だとする。それぞれの観測データが数値モデルの結果と異なっているのがわかる。そこで、この誤差の原因を解明するために、4次元変分法を使って点線の矢印のように遡って特定。そうすることで、物理法則を保ちつつ、観測データと整合的なデータセットを作成することができる。

## 詳細なメカニズムの理解に向け、 数値モデルの検証を実施

近年、長船氏は4DVARを通じて海水の「鉛直混合」に関する取り組みを行った。鉛直混合とは、密度の異なる上下の海水が混ざること。海洋深層には、極域で冷却されて重くなった海水が広がっており、表層の暖かい海水との密度差で安定的な状態を保っている。潮汐や風の影響によって、密度差を超えて海水が鉛直に混ざることが、海洋大循環に大きな影響を与えていることがわかっているものの、その強さや変動についてはまだ不明な部分も多い。

「海洋観測研究センターの大きな役割のひとつに、『観測・理論・予測の科学サイクルの加速に資する』というものがあります（※科学サイクルの概要は、下記のイメージ図を参照）。そのためには、理論研究の進展に伴う数値モデルの高度化の有効性を検証することも重要になります。そこで鉛直混合の研究では、私たちの数値モデルの鉛直混合の計算方法を高度化しうえでデータ同化を行い、モデルによる再現性を確認しました。その結果、底層水温変化の空間パターンの再現性を向上することに成功し、数値モデルを改良することの意義や、これまで培われてきた鉛直混合に関する知見が役立つことを確かめることができたのです」

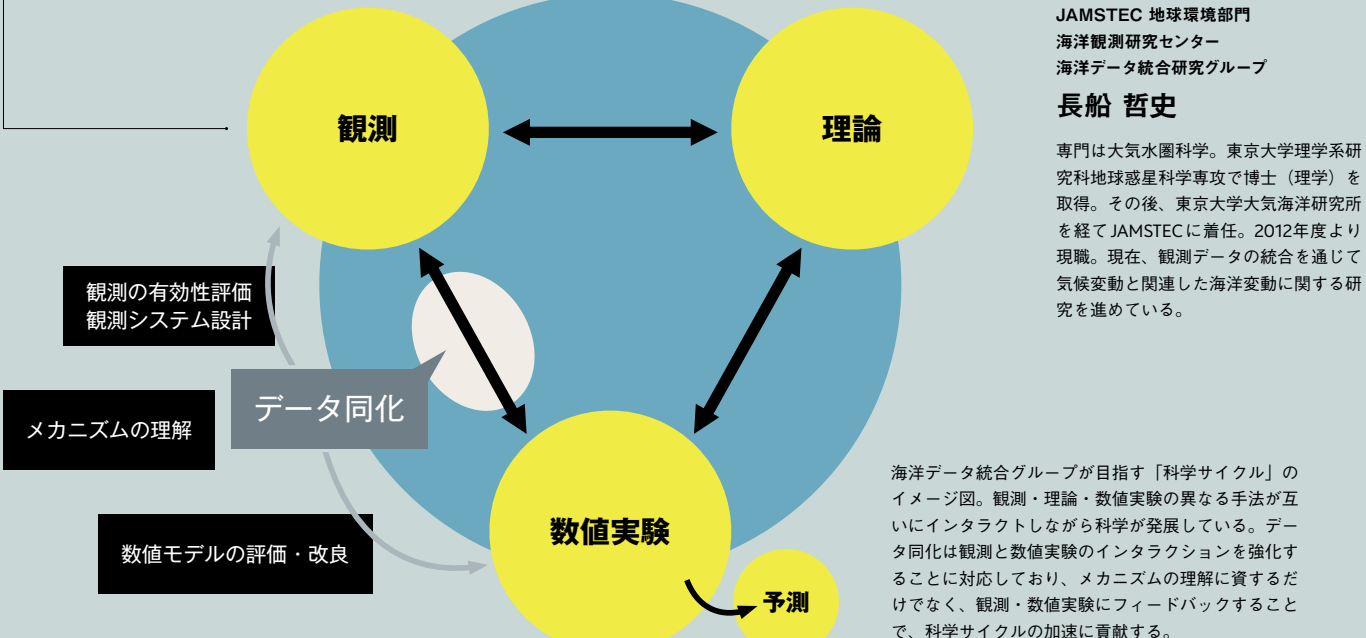
また、長船氏が現在注目しているのは、「太平洋10年規模振動（Pacific Decadal Oscillation／以下、PDO）」と呼ばれる、数十年スケールの気候変動に関連した海洋の変化である。「これは、太平洋の各海域で、10年から数十年の周期で大気

と海洋の状態が連動しながら変動していく現象。これにより北太平洋中央部で平年よりも水温が低くなると、逆に東部や赤道付近の水温が高くなり、その反対のパターンも生じるというものです。この気候変動のシグナルを理解する取り組みには気候モデルを使用することが多いのですが、そこでも『シミュレーションを観測と比べると完全には一致しない』ということが起こってしまう。そこで、現実の変動と対応づけてメカニズムを理解していくために、4DVARを使用して研究を進めています」

## 新たな変動の理解にも役立つ、 “科学サイクル”の重要性

このような海洋の循環に関する変動のメカニズムを理解することは、その予測にも直接的に役立つだけでなく、これまでと異なる現象が起きたときに、その理由を考えるためのベースにもなりうる。また、海洋の循環の変動は物質や生態系にも影響するはずなので、今後、気候変動に伴う生物地球化学・生態系の変動の理解にも役立つだろう。実際、長船氏が所属する海洋データ統合研究グループでは、4DVARで作成した物理場の上で走らせた物質循環や低次生態系のモデルに対するデータ同化にも取り組んでいる最中だという。

「今、私たちが海洋観測のデータで見ている変動の理由を、より長い歴史の中で捉えて理解していきたい」と長船氏。そのためにも、「観測・理論・予測の科学サイクル」の強化に向けた挑戦が続けられている。



海洋データ統合グループが目指す「科学サイクル」のイメージ図。観測・理論・数値実験の異なる手法が互いにインタラクトしながら科学が進展している。データ同化は観測と数値実験のインタラクションを強化することに対応しており、メカニズムの理解に資するだけでなく、観測・数値実験にフィードバックすることで、科学サイクルの加速に貢献する。



全球海洋観測システム  
「OneArgo」が、  
世界に「革命」をもたらす

アルゴフロートの観測網を、  
極域や縁辺海を含む  
海面から海底までの全層をカバーし、  
生物地球化学（BGC）変数も計測する  
多分野観測網に拡張する——。  
それが、“OneArgo”という計画だ。  
この画期的なプロジェクトは、  
なぜ誕生したのか。  
全球海洋環境研究グループの  
グループリーダーを務める  
細田滋毅氏に話を聞いた。

JAMSTEC 地球環境部門 海洋観測研究センター  
 全球海洋環境研究グループ グループリーダー

細田 滋毅

専門は海洋物理学。北海道大学地球環境科学研究科地図環境科学専攻で博士（地球環境科学）を取得。その後、海洋科学技術センター（現・JAMSTEC）に研究員として着任。2014年度より現職。現在、地球規模の海洋貯熱量、熱輸送量の長期的変動ならびに海洋内部における物理と生物地球化学過程とのつながりに関する研究を進めている。

## OneArgoの誕生と、 全球海洋観測システムの進化

国際プロジェクト「アルゴ計画」が2000年にスタートし、これまでの知見を書き換える気候変動や海洋環境の目覚ましい科学的成果が数多く生み出された。そして現在、そのアルゴ計画の次のステップ「OneArgo」が国際連携で進行している。細田氏はその背景についてこのように説明する。

「アルゴ計画が始まって、他の観測プラットフォームにはない優位性が明らかになっていく中で、『真の意味で全球海洋の変化を捉えるには、Core Argo フロート（アルゴ計画で使用されている従来型のアルゴフロート）を他の観測項目にも活用してさらに観測網を拡充していくべきだ』という認識が世界に広まっていました。そのことをきっかけに、海洋内部のさまざまな観測が可能になる Core Argo をベースとしたフロートやセンサーの改良が行われていくようになったのです。

このようなアルゴ観測網の発展を踏まえ、2019年に海洋研究の専門家が集まって開催された国際会議『OceanObs'19』では、これらの観測を網羅した全球観測システムOneArgoの構築を進めていくことが提唱されました。その後、国連総会によって『国連海洋科学の10年（2021～2030年）』のプロジェクトにも採択され、本格的に全球を多変量観測するシステムを構築する方向に加速していきました」

## アルゴ計画を発展させたOneArgo、 その観測システムと科学的成果

アルゴ計画をベースとしたOneArgoを構成する拡張版の海洋観測、そのひとつが、「Deep Argoフロート」である。水深2000mまで観測可能なCore Argoフロートより深層の観測が不可欠な、全球規模の海面水位の上昇や貯熱量の変化、深層循環の推定に関しては、これまでGO-SHIPのような船舶観測などのデータが主として用いられていた。しかし、高精度ではあるものの、データ量としては圧倒的に足りないという問題を抱えていたという。そこで、深海においてより大きな空間スケール



Core Argo (水温、塩分、圧力計測センサー搭載の通常のアルゴフロート(上)と、生物地球化学項目計測センサーが搭載されたBGC Argo(下)。BGC Argoは、主に6つのBGC変数(酸素、硝酸塩、pH、クロロフィルa、懸濁粒子、下向き放射照度)を計測することができる。

OneArgo の課題解決が、  
社会産業へのインパクトにつながる

他分野・領域へ拡張するOneArgoであっても、最重要事項はこれまでのアルゴ計画で得られた全球の水温・塩分データの継続的な取得である。拡張と継続を両立させつつ、OneArgoを軌道に乗せるには、さまざまな大きな障壁を乗り越える必要がある。例えば、Deep、BGC Argoフロートの展開数と観測データの品質管理である。

「BGC Argo フロートの目標フロート稼働数は、数値モデルの検証に基づき1000台以上の展開により、炭素循環や海洋酸性



2013年、世界に先駆けてはじめて実用化に成功した国産の Deep Argo (Deep NINJA)。永年海水域（北極海の一部）を除く世界中の海洋で、水深4000mまでの深海の時空間的な変動データを取得する。

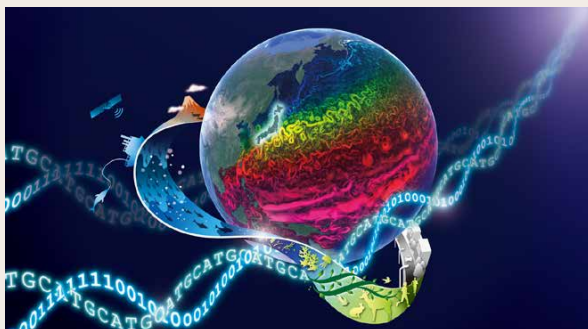
化を把握する精度の高いデータが取得できることがわかってい  
ますが、現在の稼働数は600台ほどに留まっています。Deep  
Argoフロートに至っては、深層貯熱量や海面高度上昇をより  
高精度に捕捉するための目標稼働数が1200台であるのに対し、  
200台前半程度です。Deep Argoフロートが目標に遠く及んで  
いない理由は、主に水深6000mにも耐えられる精度の良い機  
材開発技術、それに伴う高コストの問題、予算獲得に不可欠な  
効果的な目標設定が難しいことです。また、DeepやBGC Argo  
センサーの精度もまだまだ不十分です。確度の高い科学的な成  
果を生み出すためには、全球的に均一な高精度データを提供す  
るハードウェアの高精度化、データ品質管理手法の高度化が必  
要です。これについては世界中の研究者が目標の達成に向けて  
がんばっています」

壮大な目標に対し、期待される成果を実現するには現時点では課題も多く、道半ばである。「これまで海洋観測でOneArgoのような大規模な国際プロジェクトはほとんどありませんでした。それだけに、多くの課題を乗り越えてOneArgoの観測網が本格的に完成させることができれば、海洋研究を大幅に前進させることができるだけでなく、水産業をはじめとする社会産業にも革命的なインパクトを与えるはずです」と細田氏。世界各国の多くの研究者の連携のもとに、新たな海洋の価値を見せてくれるであろうOneArgoの発展に、ぜひ今後も注目していきたい。



# 海洋環境と生態系を分野融合的に研究する 変動海洋エコシステム高等研究所が始動！

2024年1月、東北大学とJAMSTECが共同運営を行う「変動海洋エコシステム高等研究所」(以下、WPI-AIMEC)が設置された。今後この研究所では、海洋生態系の環境応答・適応メカニズムの解明・予測に向けて、最先端の分野融合研究と国際的な高等教育を推進していく。WPI-AIMEC研究所長である須賀利雄氏に話を聞いた。



WPI-AIMECでは、海洋に存在する生態系に焦点をあて、学際的なアプローチにより、海洋生態系の維持に重要な運動性・安定性・適応性の理解を深化させ、人間社会に役立つ海洋生態系の変動予測の実現を目指す。それにより、新しい学術領域「海洋・生態系変動システムティクス(OECS)」を創成。海洋及び生態系の再生と回復に向けた「惑星スチュワードシップ」に貢献していく。画像は、WPI-AIMECのイメージ図。

## WPI創設以来初の 複数機関のプログラム

「世界トップレベル研究拠点プログラム(WPI)」とは、2007年度より開始された、文部科学省の事業である。世界トップレベルの研究拠点の形成を目指すプロジェクトに対して政府が支援を行い、自主的な取り組みを促しながら、世界から第一線の研究者が集まる優れた研究環境と高い研究水準を誇る拠点形成を行っていくというものだ。2023年度からは、複数の機関がひとつの拠点を運営するプログラムに対して公募がスタート。そして、WPIプログラム創設以来初の枠組みのもとでWPI-AIMEC(エイメック)が始動することになったのだ。所長を務める須賀氏は、その背景についてこのように語る。

「東北大学が特に強みを有する研究領域のひとつに、『地球科学』があります。この領域には、『惑星スチュワードシップ』(地球の持続可能な管理と保護のための責任ある行動規範・原則)への貢献が期待されています。地球が抱える課題の中で、とりわけ海洋の領域には未知の側面が多いです。近年、海洋やその生態系は大きく変化していますが、その全貌はほとんどわかっていません。そこで、WPIでの拠点形成を通じて、海洋研究を大きく前進させる取り組みができないかと考えたのです」

また、このような課題に複数機関で取り組むのなら、JAMSTECと共同したいと考えたという須賀氏。そもそも東北大学とJAMSTECは、2012年より包括連携協定を結んでいる。その上、須賀氏自身も東北大学の教壇に立つ傍ら、2000年からはJAMSTECの研究員を兼務し、現在も招聘上席研究員として在籍している。このような2つの機関を横断する活動の中で、「研究機関のファシリティを活用しながら、学生たちの教育も実現する」ということに手応えを感じていたこともあり、このようなプログラムを検討したのだという。

## 海洋物理学と生態学を 融合できる研究体制

WPI-AIMECが目的とするのは、海洋物理観測と環境DNA分析などから得られるデータの統合解析を進め、海洋環境の変化に対する生態系の応答・適応メカニズムの解明に挑むこと。それらのデータとそこから得られる海洋に対する知見に基づき、人間社会に役立つ予測の実現を目指していく。その中で、須賀氏が特に重要視しているのが、「海洋環境と生態系の変動というテーマを分野融合的に取り扱うこと」だと言う。「この二十数年間、アルゴ計画を進めていく中で、海洋におけ



複数機関が共同するWPI拠点として、東北大学の基礎学術や高等教育機能と、JAMSTECの海洋調査や計算機プラットフォームの機能を強固に連携。海洋生態系の応答・適応メカニズムの解明・予測のための先端的な分野融合研究と、世界で活躍する人材の育成を促進する。

る水温と塩分などの物理データがグローバルに観測できるようになりました。また現在は海底までの観測を可能にするDeep Argoフロートも活躍しています。さらに近年は、生物地球化学センサーの実用化によってBGC Argoフロートの開発が進み、溶存酸素やクロロフィル、後方散乱、溶存有機物、pH、硝酸塩なども測れるようになりました。このBGC Argoフロートに『アンダーウォータービジョンプロファイラー』というカメラを取り付け、海中の粒子の様子を撮影する研究も進んでいます。ただ、このような全球的な観測網の構築が進められている一方、そこから得られるデータを十分に活用できる、海洋物理学と生態学を横断する研究体制がまだ整っていないという現実もあります。WPI-AIMECでは、これから出てくる多分野にわたる膨大なデータに対応するためにも、このような融合研究を強力に推進できる環境をつくり出していきます」

## 3つの研究を融合させ、 海洋のさらなる理解へ

WPI-AIMECでは、主に3つの研究テーマを掲げている。研究テーマ①として挙げているのは、「気候・海洋・生態系の相互作用とレジーム・シフトの解明」。全球的な観測網から

得られる観測データを活用し、海洋環境場および生態系の時間的・空間的変動パターンを階層的に抽出し、変動間の運動性を統計学的手法やAI機械学習を駆使して明らかにしていくというものだ。

研究テーマ②は、「環境変化に対する生態系の応答・適応・進化のメカニズムの解明」。現場環境計測と室内実験を組み合わせ、群集から個体群、個体そのもの、さらにその遺伝子発現や代謝産物のレベルでの応答・適応性を把握していく。

研究テーマ③では、「海洋生態系の変動予測」を実施。変動のメカニズムを精緻に再現するため、JAMSTECの海洋大循環モデルに①、②の成果を組み込み、観測データを同化。海洋の物理環境と生態系が相互作用する様子を時空間的かつ定量的に理解していく。またAI機械学習を活用し、海洋物質循環と生産性の変化や人間活動への相互フィードバックの理解と予測の高度化につなげていく。

さらに、これらの①～③の研究を融合させながら、10年規模の海洋環境変動と生態系変動について実際の観測データと実験データの同化による環境場の再現とシステム検証を行うという。「WPI-AIMECを通じて、いろんな分野の研究者や学生たちが出会い、想像力を膨らませながら自由に対話できる、新たな『研究のエコシステム』をつくり出したい」と須賀氏。海洋研究における分野融合の実現に向けて、今大きな一歩を踏み出そうとしている。

変動海洋エコシステム  
高等研究所(WPI-AIMEC)  
研究所長

須賀 利雄

専門は海洋物理学。1991年東北大学大学院理学研究科博士課程修了。理学博士。東北大学理学部助手の後、助教授、東北大学大学院理学研究科准教授を経て、2012年より教授、専攻長を務める。2000年から海洋科学技術センター(現・JAMSTEC)の研究者を兼務。2009年からは国際アルゴ運営チームメンバー。2024年、WPI-AIMEC研究所長に就任。



## 10年以上も続く、 日本郵船との連携体制

**平野** 御社にアルゴフロートの投下をご協力いただくようになったのは、2010年からでしたね。

**齋藤** そうですね。10年目となった2020年には、JAMSTECさんから感謝状をいただき、社内でもこのプロジェクトに関する認知がとても広がりました。

**瓜生** このプロジェクトは、弊社からグローバル・オーシャン・ディベロップメント（当時の「みらい」運航委託先。以下、GODI）に出向していた赤嶺正治<sup>\*1</sup>さんが、「みらい」の初代船長として機構に赴任していたのがきっかけでしたね。

**平野** 実はかつて、「みらい」に観測技術員として乗船していたことがあり、当時から赤嶺さんにはよく仕事の相談に乗っていただいていたのです。その相談のひとつが、フロート投下の問題でした。通常、JAMSTECの所属船舶に加えて、

省庁や大学、高校の船舶にフロートを投下していただいていたのですが、太平洋の真ん中などはどうしても手薄な状態になってしまっていたのです。そこで、赤嶺さんに相談したところ、GODIの担当者の方につないでいただいて。

**瓜生** そこで、GODIの方が「この内容なら、日本郵船に話を持っていった方がいいのではないか」と判断して、弊社に話が来たと伺っています。

**平野** 改めて御社に伺ってお話をさせていただいたところ、すぐに「やりましょ」と言ってくださって。本当にうれしかったことを今でも鮮明に覚えています。

**齋藤** このプロジェクトは社会に貢献できることが明かです。そこで、「ぜひ積極的に協力しよう」ということになったわけですね。

### フロート投下活動が、 海洋を考える仕組みづくりに

**平野** 現在、このプロジェクトでは、フ

ロートの数が少なくなっている海域や、フロートのバッテリーが切れて観測が難しくなった海域を中心に、御社の航路に近い投下エリアをご相談させていただいていますよね。

**瓜生** ご要望をいただいて、それから船を選定、本船へ連絡するという流れですね。基本的には、太平洋を横断することが多く、スケジュールも事前に把握しやすい定期航路のコンテナ船を使用することが多いですが、弊社には南太平洋に行く船もあるので、ご提案の内容によって船を選定しています。ただ、気象などの関係で予定の航路を外れてしまうこともありますので、その際は事前にご連絡して、投下エリアを調整しています。

**平野** ご協力いただいたフロートですが、実は**Webサイト<sup>\*2</sup>**を通じてリアルタイムで稼働状況をご覧いただくことができるのはご存じでしたか。

**齋藤** ……すごいですね。これは誰でも見られるものなのですか。

**平野** そうですね。フロート投下にご協力いただいている高校などでは、このサイトを通じて、フロートを観測する授業を実施していただいています。

**齋藤** とても興味深いです。私は社会課題の解決を目指すチームに所属しているのですが、その中でも海洋が抱える課題については特に力を入れていて。例えば、機構のほかにも東北大学のプロジェクトにも協力を行ってまして、そこでは環境DNAの観測を行うための海水採取を実施しています。私たちにあって、海というのは財産でありますし、仕事で毎日携わる現場でもあります。ボランティアを通じて、このような海洋の環境を考える機会を生み出せているというのは、とても重要だと感じますね。

## プロジェクトの恩恵を 社会に還元していくために

**平野** 実は海外の場合、このようなプロジェクトをボランティアで行うことはほとんどないと聞いています。自分たちで船をチャーターして実施することがほとんどのようです。

**瓜生** 日本の海運会社というのは、海外の会社と比べて船の種類が豊富です。当然、船種によって航路も変わっていきまから、その分だけ海洋をカバーしやすくなる。そういう意味では、日本の海運会社とフロート投下は相性がいいのかもしれないですね。

**平野** 近年は、クロロフィルやpHなどバイオ関連のセンサーを搭載したBGC Argoの投下などのニーズも高まっています。そのため、プロジェクトについてご相談する機会が今後も増えていくかも

しれません。

**瓜生** クロロフィルは、船体付着生物に大きな影響を及ぼします。付着生物が増えると、水の抵抗が大きくなり、より多くの燃料を消費してしまうため、非常に深刻な問題なのです。そのような観測が可能になるフロートが増えていくことは、私たちとしても恩恵があると感じます。

**齋藤** 観測というのは、長年続けてこそ重要な意味が生まれていくもの。そういった社会課題に向けたチャレンジには、ぜひ積極的な支援をさせていただければと思います。

**平野** ありがとうございます。アルゴフロートのプロジェクトというのは、皆さんに知っていただき、そのベネフィットを社会にフィードバックすることが重要です。今後も継続してこの活動を進めていきたいと思いますので、ぜひよろしくお願いします。

## 日本郵船 X JAMSTEC アルゴフロート投下を サポートする、 民間企業のボランティア

世界各国で行われている、アルゴフロートの海洋投下の取り組み。JAMSTECでは、多様な船を運航する日本郵船株式会社の力を借りながら、分布密度の低い海洋へのアプローチを行っている。しかしながら、なぜこのような民間企業のサポート体制を構築することになったのか。全球海洋環境研究グループで技術スタッフを務め、観測協力の交渉を行っている平野瑞恵氏と、プロジェクトに関わりが深い日本郵船の瓜生浩二氏と齋藤直宏氏に、その背景について語っていただいた。

日本郵船本社がある東京駅前の行幸通りにて撮影

日本郵船株式会社  
海務グループ  
航海チーム  
瓜生 浩二氏

JAMSTEC  
全球海洋環境研究グループ  
平野 瑞恵氏

日本郵船株式会社  
ESG経営グループ  
サステナビリティ・ニシアティブチーム  
齋藤 直宏氏



提供：NYK Shipmanagement Pte Ltd

※1 1995年よりJAMSTEC本部に赴任し、大型海洋観測研究船運用技術要員長（艦装船長）を務め、1997年「みらい」就航と同時に初代船長に就任した。



だから、  
研究者に  
なった！

「スケリーフットは  
深海に行かないと実物が見られない。  
だったら、研究者になって、  
深海を目指すしかないですよね！」

CHEN氏が「貝」に夢中になったのは中学生のとき。おばあ様がインテリア用に購入したホネガイの標本に魅せられ、以来自分でも貝の標本を収集するようになった。集めた数は当時1000種類。その頃から「貝を研究したい」という想いが芽生えていたという。

「そんなときに、JAMSTECの記事で鉄のうろこを持つ深海の貝・スケリーフットの存在を知って。貝は進化の過程で体をさまざま



熱水域で発見されたスケリーフット。鉄の含有量の違いによって、さまざまな色のうろこを持つ。

まな形に変化させて環境に適応しますが、『なぜスケリーフットは鉄のうろこを身につけたのか』という謎は解明されていなかった。そのとき、『研究者になって、この謎を解き明かしたい』と思ったんです」

念願の研究に辿り着いたのは、大学生活の後半。ちょうど深海を専門にする教授が着任したのだ。すぐにラボの扉を叩き、翌年予定されていたインド洋の研究航海にも参加を決めた。

「私は、スケリーフットに関するさまざまなことを知りたくて。でも、それだと担当教授の専門領域に収まらない。そこで、大学院時代は自らプロジェクトを立案し、ほかの大学の研究者たちと共同研究を行っていました。必要な資金も、自ら調達しました」

現在も深海で生きる生物の謎の解明に向き合うCHEN氏。見つけてきたものが、知識を総動員してもなんだかわからない——。謎が解ける瞬間の面白さを求めて、今も研究に没頭している。



CHEN Chong

専門は、海洋生物学。オックスフォード大学で修士・修士（自然科学）、博士（動物学）を取得。2022年度より現職。現在、深海生物の適応進化、化学合成生態系の生物多様性、軟体動物学、分類学・解剖学などに関する研究を進めている。

撮影：村田克己（講談社写真部）

## 教えて!! 海の先生

今回教えてくれるのは



細田 滋毅 先生

JAMSTEC 地球環境部門 海洋観測研究センター 全球海洋環境研究グループのリーダーであり、アルゴ計画の国際メンバーも務める先生。P14～P15にも登場しているので、要チェック！



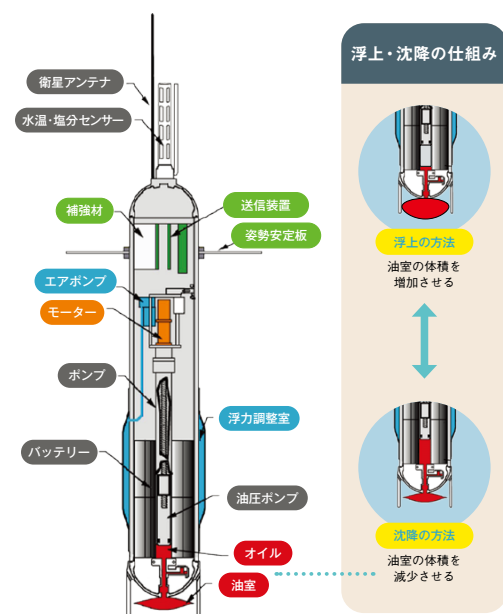
Q アルゴフロートは、  
なぜ浮いたり、沈んだりできるの？

A 海洋観測で大活躍するアルゴフロートの中身は、実はシンプル。上部にデータ送受信用のアンテナ、水温・塩分センサーが搭載されていて、本体内部にはコントロール基盤、データ送信装置、モーター、バッテリー、そして浮き沈み用の油圧ポンプとバルブが配置されています。

実は、フロートが浮き沈みする秘密は、この油圧ポンプの内部に蓄えられたオイルにあります。モーターとポンプを使ってオイルを底の油室に押し出したり、逆に引き込んだりすると、オイルの密度が海水より軽いため、フロート全体の密度が変化します。このとき、オイルを押し出して油室の体積を増加させると、浮上することが可能に。一方、引き込んで油室の体積を減少させると、沈降することができます。このような密度の変化を利用した仕組みが、海面から水深2000mまでの大冒険を可能にしています。

また、海面に浮いているときには上部の安定板によってバランスを保ち、より良い通信状態を確保。シンプルなのに高性能だからこそ、どんな人にも扱いやすい観測機器として世界中に普及しているのです。

### 〈アルゴフロートの内部構造〉



2つの図は、アルゴフロートが浮上／沈降する際のオイル（赤い部分）の様子を表したもの。オイルを押し出して油室の体積を増加させるとフロートが浮上（左図）。逆に、オイルを引き込んで体積を減少させると沈降することが可能に（右図）。





## 賛助会 (寄附) 会員名簿

2024年10月1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、寄附を頂き、支援していただいております。(五十音順)

株式会社 IHI  
株式会社 IHI 原動機  
株式会社 アイケイエス  
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 アルファワークスコンサルティング  
株式会社 安藤・間  
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  
一般社団法人 インダストリアルパコン  
推進センター  
株式会社 INPEX  
潮冷熱株式会社  
株式会社 宇津木計器  
海のまらい 静岡友の会  
株式会社 エス・イー・エイ  
株式会社 SGK システム技研  
NEC ネットワークエスアイ株式会社  
株式会社 エヌエルシー  
株式会社 NTT データ CCS  
株式会社 江ノ島マリンコーポレーション  
エムエイチアイマリック株式会社  
MOL マリン&エンジニアリング  
株式会社  
株式会社 OCC  
岡本硝子株式会社  
株式会社 OKI コムエコーズ  
沖電気工業株式会社  
株式会社 オアシア・オペレーション  
海洋エンジニアリング株式会社  
海洋電子株式会社

鹿島建設株式会社  
株式会社 カネカ  
川崎重工業株式会社  
川崎地質株式会社  
株式会社 KANSO テクノス  
株式会社 キュービック・アイ  
京セラ株式会社  
共立インシュアランス・ブローカーズ  
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  
株式会社 グローバルオーシャン  
ティベロップメント  
株式会社 KSP  
KDDI 株式会社  
興研株式会社  
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  
コスモ商事株式会社  
株式会社 コノエ  
五洋建設株式会社  
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  
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 紫光技研  
静岡市  
次世代海洋調査株式会社  
シチズン時計株式会社

株式会社 SIX VOICE  
シナネ株式会社  
清水建設株式会社  
清水港振興株式会社  
シモダフランチ株式会社  
ジャパンマリンユナイテッド株式会社  
シュルンベルジェ株式会社  
株式会社 昌新  
株式会社 商船三井  
株式会社  
株式会社 スペースワン  
セイコーウツチ株式会社  
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  
セナーアンドバーンズ株式会社  
損害保険ジャパン株式会社  
ダイキン MR エンジニアリング  
株式会社  
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  
大陽日酸株式会社  
有限会社 田浦中央食品  
株式会社 地球科学総合研究所  
株式会社 鶴見精機  
株式会社 帝国機械製作所  
寺崎電気産業株式会社  
株式会社 寺本鉄工所  
東亜建設工業株式会社  
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  
トーホーテック株式会社  
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  
株式会社 トヨタコンポン研究所  
株式会社 NAT  
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 ニッスイ  
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  
株式会社 日放電子  
株式会社 日本海洋科学  
日本気象株式会社  
日本軽金属株式会社  
日本サルヴェージ株式会社  
日本電気株式会社  
日本ペイントマリン株式会社  
日本郵船株式会社  
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  
日本海洋株式会社  
日本海洋事業株式会社  
一般社団法人 日本ガス協会  
日本マントル・クレスト株式会社  
日本無線株式会社  
野村建設株式会社  
株式会社 ハイドロシスチーム開発  
濱中製鋼工業株式会社  
東日本タグポート株式会社  
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 フクロジャパン  
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  
株式会社 FullDepth  
古野電気株式会社  
HELLY HANSEN JAPAN  
松本徹章株式会社  
眞鍋造機株式会社  
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  
丸紅エレクトロニクス株式会社  
三鈴マシナリー株式会社  
株式会社 三井 E&S  
三井住友海上火災保険株式会社  
三井住友トラストクラブ株式会社  
三菱重工業株式会社  
三菱重工業マリンシステムズ  
株式会社  
三菱造船株式会社  
三菱電機株式会社  
三菱電機ソフトウェア株式会社  
三菱電機ディフェンス &  
スペーステクノロジー株式会社  
株式会社 森京介建築事務所  
ヤンマーパワーテクノロジー株式会社  
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  
横浜ベイサイドマリーナ株式会社  
株式会社 落雷抑制システムズ  
株式会社 ラジアン  
若築建設株式会社

Pick Up  
JAMSTEC地球最後の  
フロンティア

海への挑戦にご支援をお願いします!

## 一般寄附金

JAMSTEC の  
研究開発活動全般を  
ご支援いただく寄附金です。

## 使途特定寄附金

寄附者の方が  
応援したい特定の活動等を指定して  
ご支援いただく寄附金です。

## 募集特定寄附金

JAMSTEC が募集している  
特定のテーマへ  
ご支援いただく寄附金です。

※不定期募集のため募集していない期間もあります。

JAMSTEC  
寄附金募集中JAMSTEC への寄附金は「特定公益増進法人」への  
寄附として税制上の優遇措置があります。詳しくは HP をご覧ください。 <https://www.jamstec.go.jp/j/about/support/>寄附金についてのお問合せ  
海洋科学技術戦略部 対外戦略課  
kifu-info@jamstec.go.jp