

Blue Earth

海と地球の情報誌

vol.176



Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

ISSN 1346-0811
2025年9月発行 (通巻176号)

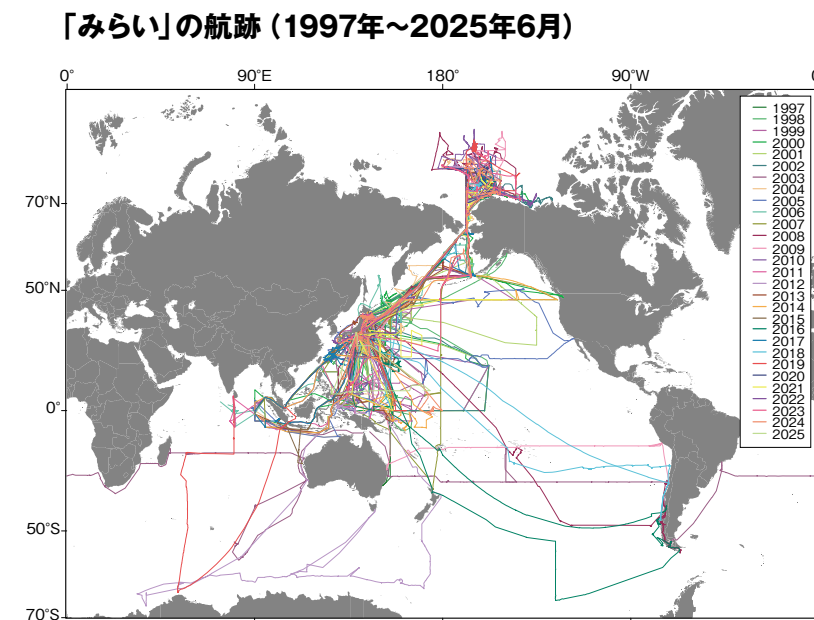


北極の海洋科学

地球の海洋科学

日本の海洋科学を、新しい未来へ！

これから始まる新たな海洋科学の可能性に注目していく。



「みらいⅡ」が切り拓く
新たな挑戦①

北極海水下における 「蓄熱」へのアプローチ

JAMSTEC
北極海洋環境研究グループ
グループリーダー

渡邊 英嗣

海水下を暖める 「床暖房」とは？

なぜ海水は減少するのか——。その原因の一つとして渡邊英嗣氏が挙げるのが、「海水下における床暖房の蓄熱」である。北極海の北米大陸側の海域では、太平洋起源の暖かい海水が流れ込み、海水下の海洋亜表層（水深30～100m）で暖水層を形成している。この蓄熱が海面付近に伝わることで、海水を底面から融かしていくのだ。

「そこで、海洋地球研究船『みらい』による約20年間の長期航海データを解析したところ、太平洋起源水が流れてくる下流域のチュクチボーダーランド海域でも、亜表層の貯熱量が顕著に増加していることがわかりました。さらに、上流域のパロー海底谷に設置した係留系による長期時系列データや、人工衛星

一般的に、「北極の海水面積は、減少傾向にある」という印象は強い。しかし、衛星観測史上でもっとも小さい値を示した2012年9月以降、実は13年経った現在もその記録は更新されていない。ここでは、北極海における海水の融解に関する研究を続ける北極海洋環境研究グループのグループリーダー・渡邊英嗣氏に、そのメカニズム解明のためのアプローチについて話を聞いた。

に搭載された海面高度計による広範囲のデータセットから推定した海洋循環の変動の様子も解析。すると、太平洋起源水の水温上昇と、チュクチボーダーランドに向かう海流の強化の組み合わせによって、貯熱量の増加が進行していることが明らかになったのです」

融解を引き起こす、 海水のさまざまな動き

海水減少のさらなるメカニズムを解明するために、氷上観測プロジェクト“Ice Exercise”（ICEX）を通じて、海水の動き（氷板の変形パターン）に関する観測も続けている。そもそも海水の主要な動きには、複数の氷板が押し寄せられ、鉢合わせる「収束」、氷板が反対方向に離れようとする「発散」、氷板同士がズレ動く「せん断」がある。収束が起これと海水は動きにくくな

り、海面に蓋をしたような状態になる。逆に発散が生じると、海水は動きやすくなり、隙間が空いて海水面が露出するようになる。その結果、海水が大気の影響を受けやすくなり、冬場は急速に冷却され、夏場は逆に加熱されるようになる。また、海水が動きやすくなると、風のエネルギーが海水の中に入り込むようになり、上下にかき混ぜられる「鉛直混合」が発生する。すると水深30m近くの床暖房の熱が海面付近まで伝わり、結果的に海水の底面から融解が進むとも考えられている。このように海水の動きのパターンを知ることができれば、海洋の貯熱量変化や海水融解の理解が進む可能性があるのだ。

「そこで私たちのグループでは、アラスカ沖のボーフォート海域で漂流ブイによる氷上観測を実施しました。まず衛星回線を通じて随時場所を確認できるGPS ブイを10地点に設置して海水の動きをモニタリング。また、ウェブカメラを取り付けたSide Kickという観測システムを用いて、海水が変化する様子を映像で記録しました。これらの観測で取得した海水の位置データを解析してわかってきたのは、海水が収束と発散を小刻みに繰り返すことで、亀裂を拡大させているということです。今後これらの知見は、北極海における船舶の航行安全を支える情報としても役立つものだと考えています」

極めて情報が足りない 「生物や積雪」にも注目

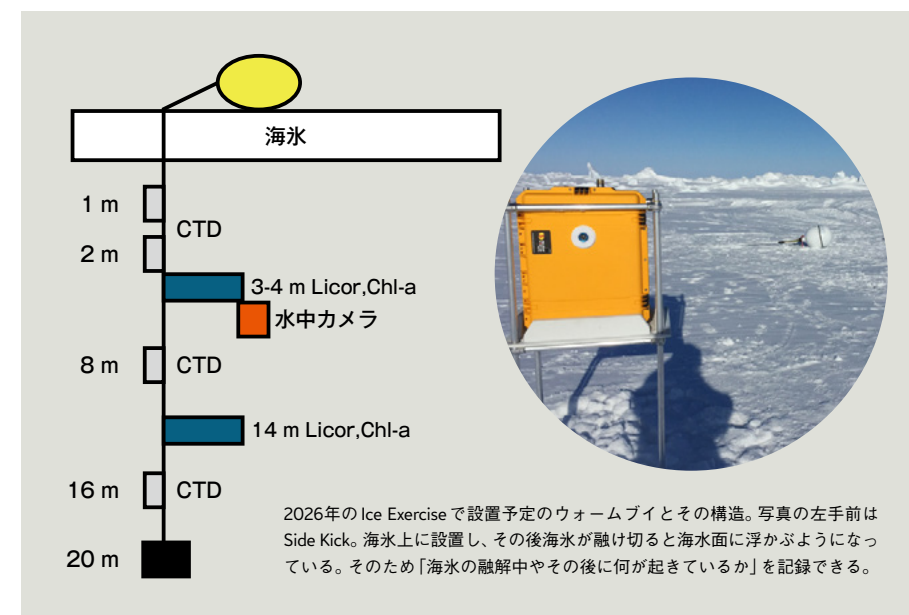
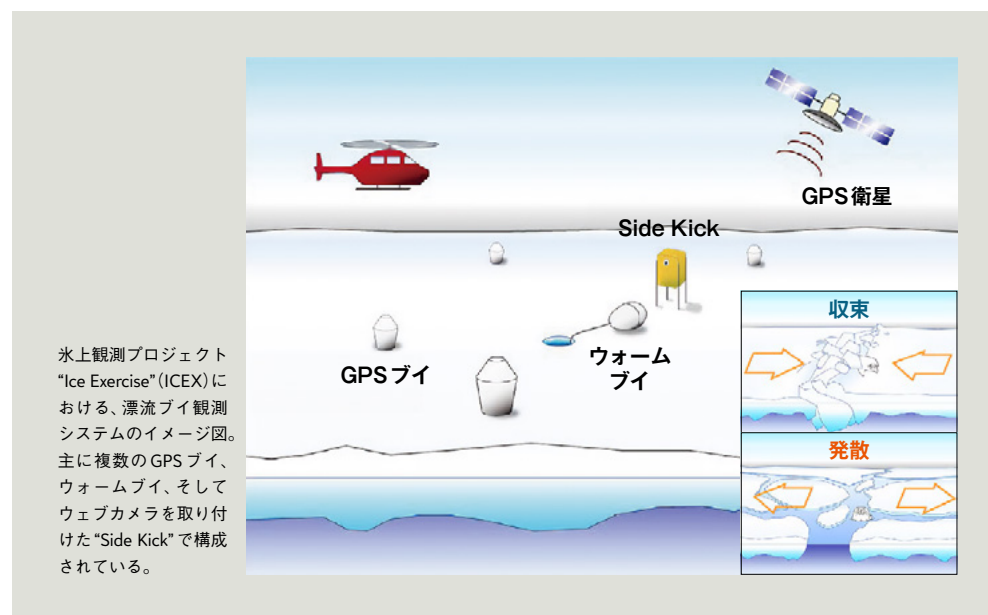
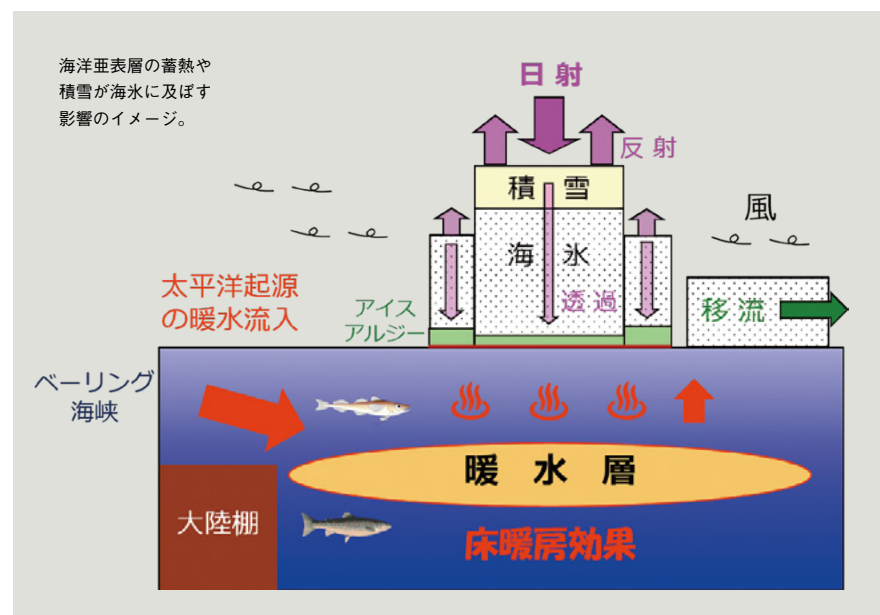
このような氷上観測は、来年の2026年にも実施される予定。しかも次回は、海水下の様子も調査するため、ウォームブイと

いう測器を大きくグレードアップすることになっている。

「私たちが一番知りたいのは『海水が融けている最中に何が起きているか』。そのため、観測を通じて、海水の融解に伴う成層（海水の混ざりやすさの指標）の変化を捉えていく必要があります。この測器は、浮きの下に海水の水温・塩分を測るCTDセンサーや植物プランクトンの存在量を測るクロロフィルセンサー、あとは水中カメラをロープでつなげた装置で、海水が上下方向にどれだけ混合するかや、光の増加に伴って発生する植物プランクトンのブルーム（繁殖）を捉えることもできます。この観測を続けていくことで、床暖房の熱がどれだけ海水を融かすか、海水が融けることで生態系がどのように変化するかなど、海水に関わる様々なプロセスを解明できると考えています」

また、今渡邊氏が注目しているのが「海水上の雪」の存在だ。雪というのは断熱効果が大きい。そのため、冬場に海水の上に積雪があると、その下の海水が冷えにくくなり、海水の生成を抑制する動きが生まれる。一方、夏場の場合、積雪は太陽光の反射率が高く、内部の透過率も低いため、海水の融解や海水下にいる生物の光合成も抑制する動きがある。

「ただ現在は、海水上の積雪に関する情報が極めて少ないという現状があります。しかし、今後『みらいⅡ』が運航されるようになれば、海水域で直接観測を行うことが可能になります。『みらいⅡ』は海水が減少するプロセスだけでなく、将来的に水産有用種がどれだけ生息域を拡大していくのかという調査にも力を発揮していくでしょう。その可能性に大いに期待したいと思います」





「みらいⅡ」が切り拓く
新たな挑戦②

海氷生態系の謎を解く、 “Polar Morning” “Polar Evening”

JAMSTEC
北極海洋環境研究グループ
副主任研究員

藤原 周

観測データが乏しい 海氷域の課題

北極海では、真冬になると太陽が一日中昇らなくなる極夜の季節を迎える。

さらに初冬から春までの厳冬期には海面は厚い海氷に覆われるため、その下の海には一面暗い世界が広がる。その間、日光が遮られるため、一次生産者に分類される植物プランクトンたちによる光合成は抑えられる状態が続き、海中には豊富な栄養分が蓄えられていく。

やがて白夜の季節が近づき日照時間が増え始めると、しばらくしてから海氷が融け始める。暗闇にさらされていた海中には、

北極海において特有の時期とも言うべき、春の“Polar Morning”と初冬の”Polar Evening”。その海氷の融解と生成のタイミングに合わせて、なぜ植物プランクトンはブルームを起こすのか。北極海の海氷下生態系を研究する北極海洋環境研究グループの藤原周氏に「研究船を使わずに実施した氷上観測」から見てきたその一連のプロセスについて解説してもらった。

ほぼ一日中日光が降り注ぐ環境もたらされ、植物プランクトンは冬の間に蓄えられた栄養とふんだんに降り注ぐ日光の恵みを受けて活発に光合成を再開し、大増殖を起こす。このダイナミックな生態系のイベントは「植物プランクトンブルーム」と呼ばれる。融氷時期のブルームによる一次生産量は、一年の生物生産の大部分を支えるほどの規模に達する。北極海では、このような極夜が明けて海氷融解が始まる初夏までの特徴的な期間のことを、“Polar Morning”（北極の夜明け）と呼んでいる。

海洋生態系は一般的に、食物網の底辺に位置する植物プランクトンの変化に大きく影響されると考えられているが、Polar Morningにおける植物プランクトンがブルームを起こす一連のプロセスは、国際的にも観測データが乏しいため、科学的理解が進んでいないと藤原周氏は説明する。



図は、海氷の生成と融解のプロセスを表したもの。季節が左から右に進んでいく中、初冬に海氷が生成される過程で植物プランクトンが海氷内部に取り込まれ、春の海氷融解で外に放出されていると考えられている。

「北極海のサイエンスをさらに発展させていくには砕氷船が不可欠です。しかし、世界的にも観測研究に特化して作られた砕氷能力を持つ船は多くなく、砕氷船を保有している国であったとしても、複雑な制約があることが大抵で、研究のためだけに使うということが難しい状況にあります。そのため、北極域を研究する科学者は少なくないものの、やはり日本近海などのアクセスしやすい海に比べると圧倒的に観測データが少なく、それゆえ研究が進みにくいという現状があったのです」

砕氷船研究に先立って 氷上観測

そこで藤原氏は、冬に海氷が作られる際、どのように植物プランクトンが海氷の中に取り込まれ、その後の融解でどのように海中に放出されるのかを解明するべく、2023年と2024年に研究船を使わない形で北極海における氷上観測を実施。Polar Morning 期間の5月上旬～中旬を狙い、アラスカ州バロー岬に定着した海氷の上をスノーモービルで数km移動し、目的地の

沖合で海氷研究の最重要試料である「海氷コア」の採取を行った。

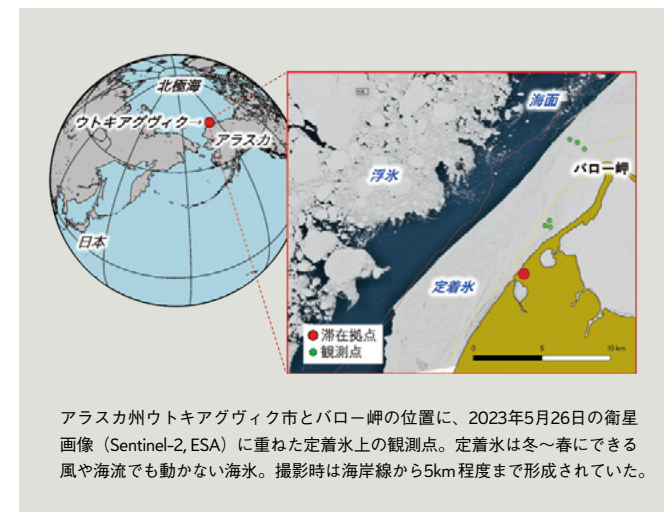
「私が注目していたのは、『植物プランクトンが大増殖する際、その元となる“種”はどこから来るのか』ということでした。そこで、模擬実験と持ち帰った試料の分析・解析を進めたところ、海氷が植物プランクトンの種を運びキャリアとして重要な役割を持つということがわかってきました。というのも、海水が凍結する際には、海の表面が気によって急激に冷やされるため、表層から海底近くまでかき混ぜられる強い対流、鉛直混合が起こります。この鉛直混合とともに海底に沈んでいた植物プランクトンが表層にまで巻き上げられ、海氷の中に取り込まれることがあります。そして、いざ初夏になると、植物プランクトンは栄養や光が豊富にある理想的な場所に放出され、ブルームを起こす——。そのような海氷生成・融解を介した生態系の片鱗が見えてきました」

「みらいⅡ」が 北極観測を加速させる

また藤原氏は、Polar Morning に注目する一方で、晩秋から極夜に向かって日照時間が急激に短くなる時期“Polar Evening”（北極の夕暮れ）にも注目している。

「生物生産が落ちていく Polar Evening の時期に合わせて、さまざまな生き物が次の命をつなぐために各自工夫した進化を遂げています。今後は、『それらの生き物が命をつなぐために、どのような備えを行っているか』を明らかにする研究も同時に進めたいと考えています」

これらの Polar Morning、Polar Evening に関する研究は、今後「みらいⅡ」の利用を通じて飛躍的に進むはずだ、と藤原氏。「2032～33年には北極と南極で実施される大規模な国際共同観測プロジェクト“International Polar Year”も予定されているため、今まさに『みらいⅡ』を通じてどのような国際貢献が可能なのかを議論している最中です。『みらいⅡ』の活躍を今から楽しみにしています」



大気・気象・海洋・海水… さまざまな観測を可能にする

「みらいⅡ」搭載の海洋ロボティクス

現在、2026年秋ごろの竣工が予定されている、北極域研究船「みらいⅡ」。その大きな特徴のひとつが、大気、気象、海洋、海水などに関するさまざまな観測を可能にする機器や設備を搭載していること。ここでは、そんな「みらいⅡ」の海洋ロボティクスを紹介していこう。

監修／ JAMSTEC
研究プラットフォーム運用部門
北極域研究船推進部 部長
赤根 英介

非破壊での海水下の観測を 可能にする



©JAMSTEC / ArCS II

黄色のデザインが特徴的な「COMAI」。
名前は、「Challenge of Observation and
Measurement under Arctic Ice」の頭文字から取っている。

海水下ドローン

C O M A I

現在開発が進められている「COMAI」は、北海道で漁獲されるタラ科の魚類「氷下魚（コマイ）」にちなんで名付けられたユニークな探査機である。予め与えられたプログラムによって、海水を破壊することなく自律航行による観測が実施できる。

「COMAI」には、CTD（塩分、水温、深度）計、蛍光・濁度計、海水を下から撮影するカメラとソナーを搭載。「みらいⅡ」が定点保持している海域から投入され、海水の下を航行しながら環境パラメータを測定し、破壊されていない氷の下部の形状や生物の様子を視覚画像と音響画像で観測することができる。

「COMAI」では、その自律性を生かし、海面（海水）下300mまでの“面”の観測を実施していく。



©JAMSTEC / ArCS II

写真は2023年の北極航海での海域試験の様子。

海水下のモニタリング、 試料採取を実現

無人探査機

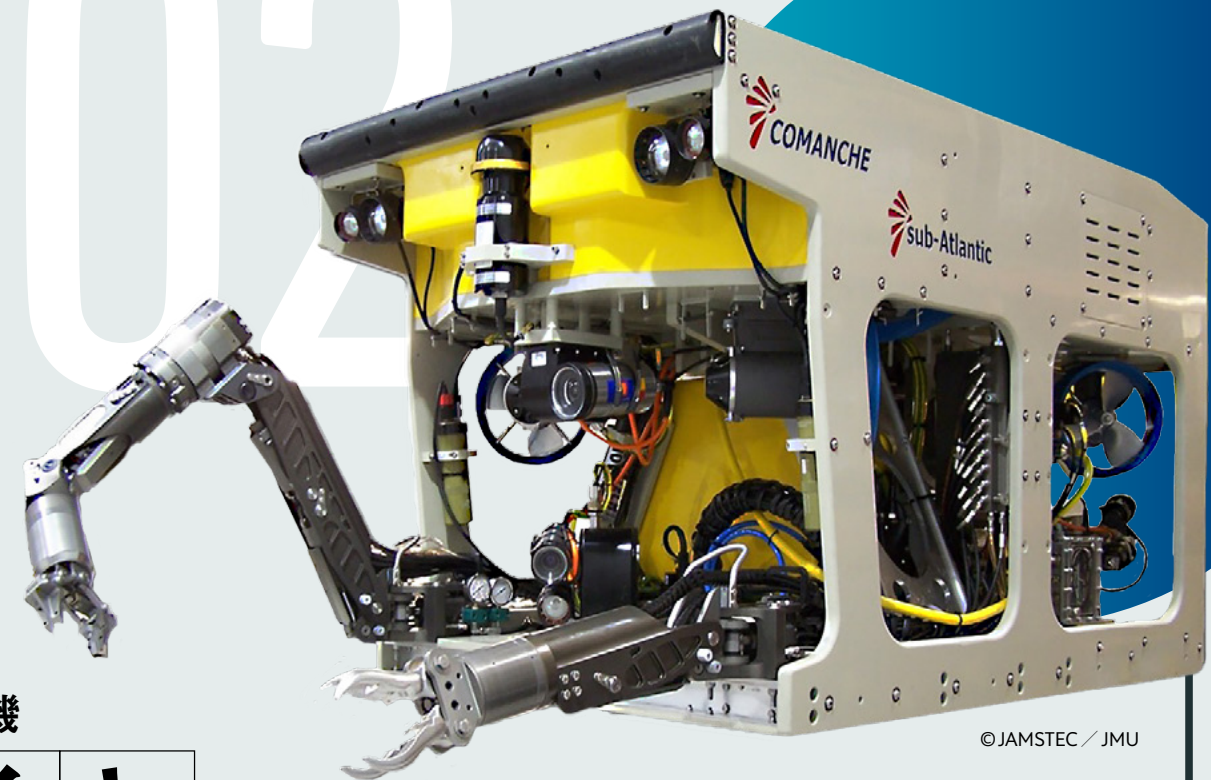
ほくと

「ほくと」は、「みらいⅡ」を母船とするROV（遠隔操作型無人探査機）。最大水深3000mまで潜航することができ、北極海の海底でマニピュレータを使用した採取作業などが行える。また、母船とケーブルで接続しているリアルタイム性を生かし、船上のモニターの映像を観察しながら採取作業や高画質映像の撮影ができるのも特徴。さらに、作業に応じた機器の搭載と運用のために（予備的な）油圧、電源、通信設備を備えている。

「ほくと」は、機体の位置や姿勢を自動で制御することが可能であり、機体に搭載した深度計やジャイロコンパス、速度計など様々なセンサーを使用することで安定した姿勢を保つ。この機能によって、一定の間隔を移動しながら採取作業をしたり、浮いた状態で定点保持し、海水下の生物活動などを調査することも可能だ。



©JAMSTEC / JMU



©JAMSTEC / JMU

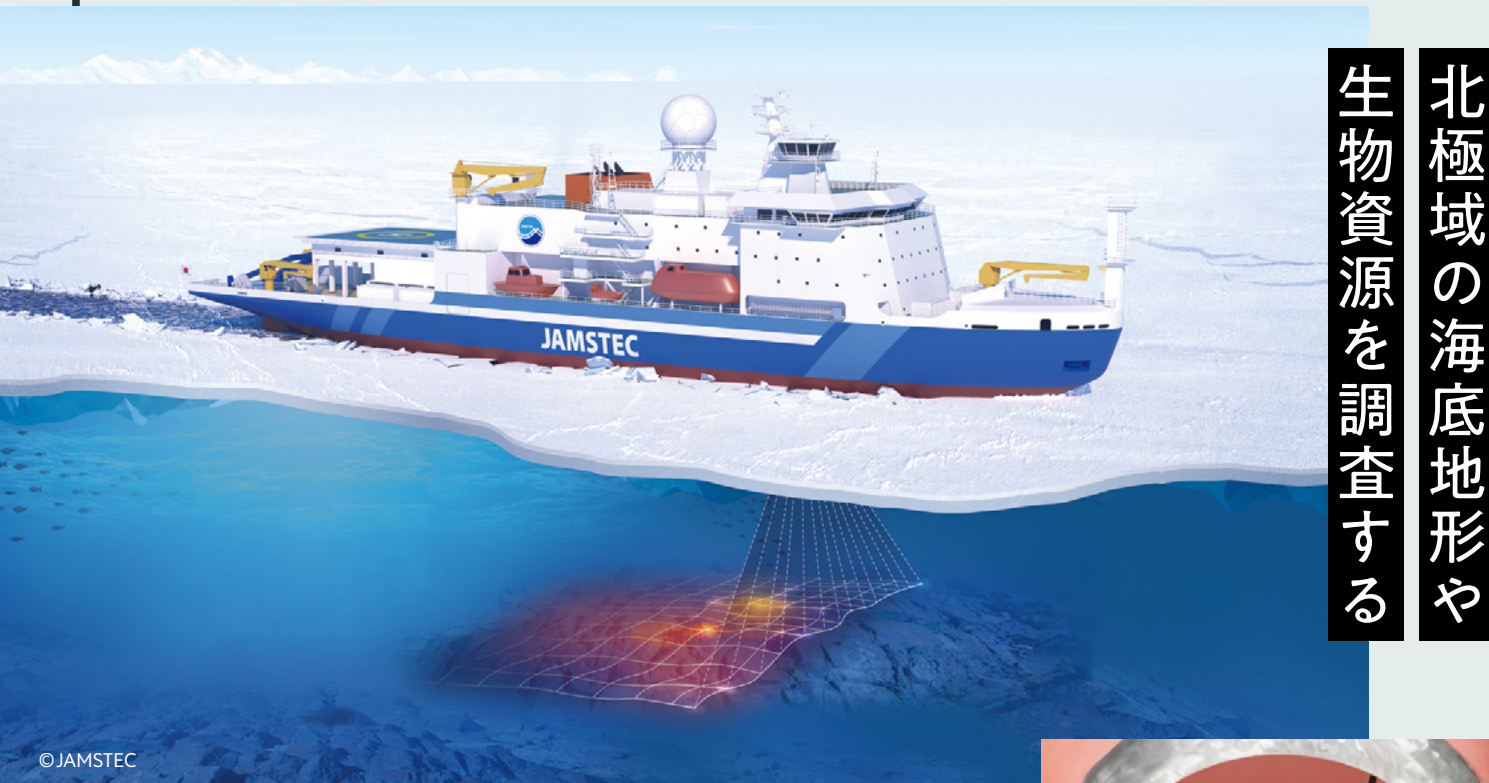
「ほくと」の大きな特徴は、北極域の海水下を水深3000mまで潜航し、モニタリングや試料採取、さらには高画質映像取得などの探査も実施できることだ。

©JAMSTEC / JMU



「みらいⅡ」から「ほくと」を投入・揚収を行うための投入揚収装置（LARS：Launch And Recovery System）。「ほくと」を安全に投入・揚収するために、ROVとの嵌合機能を有した専用設備。

「みらいⅡ」に搭載されているウィンチ。ドラムを回転させることで「ほくと」につながった遠隔操作のケーブルを巻き上げたり、下げたりできる。



北極域の海底地形や
生物資源を調査する

マルチビーム測深機で海底の観測を行う様子を表したイメージ。

音響観測機器

「みらいⅡ」の船底にはさまざまな音響観測機器が搭載されているが、代表的な機器として「マルチビーム音響測深機」と「計量科学魚群探知機」がある。

マルチビーム音響測深機は、船底から発射する音波の反射波を受波器で受信し、往復時間から船底と海底の間の距離を計測。そのデータから海底の地形図を作成することができる。現在、2030年までに地球上の海底地形図を完成させることを目指した国際プロジェクト「GEBCO Seabed 2030」も進んでいるため、「みらいⅡ」に期待が寄せられている。

一方、計量科学魚群探知機は、生物資源の調査・把握に活躍する。近年は、北極海公海における漁業の可能性について国際的に議論されており、そのための科学的な知見を提供していくためにも「みらいⅡ」の役割は非常に重要だと言える。



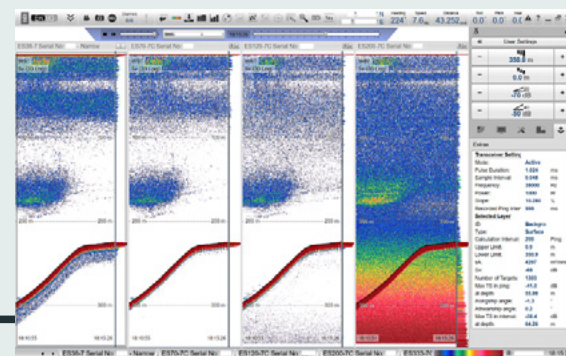
©JAMSTEC / JMU

「みらいⅡ」の船底に取り付けられた、
マルチビーム測深機。

©JAMSTEC / JMU



©日本海洋株式会社



船首に搭載されている魚群探知機
(左)とソナーの画像(右)。観測
対象によって周波数を分ける必要
があるため、「みらいⅡ」では異
なる4種類の周波数帯を発信でき
るようにしている。

大気・気象観測で 活躍する

気象観測 レーダー

「みらいⅡ」には、研究船としては非常に希少となる気象観測レーダー（ドップラーレーダー）を搭載する。レーダーから上空に電波を発射し、雲の粒子にあたって返ってきた反射波を処理、雲の中の風や雨滴・雪片の降水速度・量を測定する。そのデータから雲が発達するしくみやその構造、雨（雪）を降らせる性質などを解析することができる。

気象観測レーダーは、もともと海洋地球研究船「みらい」に搭載していたものを引き継ぐ（移設する）。「みらい」では研究船の機動性を生かして極域から熱帯に至るさまざまな環境下で気象観測を行ってきたが、「みらいⅡ」でも引き続き実施していく。

現在、移設するレーダーは「みらい」から取り外され改修中であり、「みらいⅡ」への搭載は2026年2月を予定している。

2025年、GO-SHIP航海時の様子。

この航海を最後に、「みらい」での気象観測レーダーの運用は終了となった。

©JAMSTEC



©JAMSTEC / JMU



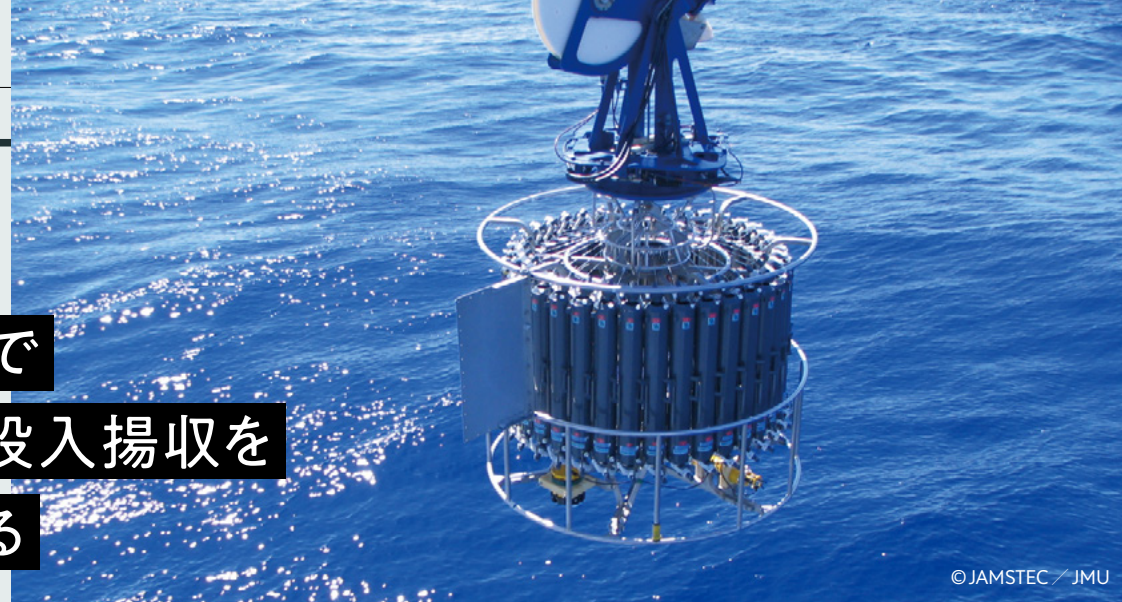
©JAMSTEC



左／「みらいⅡ」建造時の写真。この架台が船上に搭載され、さらにその上に気象観測レーダーが設置される。

右／画像は「みらいⅡ」に搭載予定の気象観測レーダー本体。全方位を観測するために回転しながら電波の送受信を行う。

海水域で 安全な投入揚収を 実現する



©JAMSTEC / JMU

CTD採水装置は複数のボトルがセットされており、様々な深さの海水を採取できる。採取した海水は、船上の分析機器を用いて、塩分や、二酸化炭素（全炭酸）、栄養塩濃度、溶存酸素濃度を精密に測定する。

C T D ・

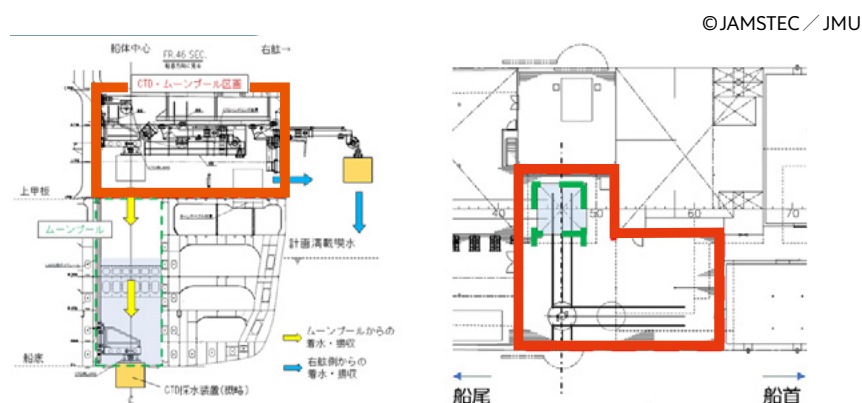
ムーンプール区画

「みらいⅡ」の大きな特徴の一つとして、船体中央付近のCTD・ムーンプール区画が挙げられる。船上から船底までを貫くムーンプールからCTD採水装置を投入揚収することで、周囲に海水が漂う海域であっても影響を受けることなく安定して運用することが期待できる。さらに、この区画を屋内に配置することによって、寒冷地の「寒さ」による作業負担を軽減する。

このCTD・ムーンプール区画では、右舷側からCTD採水装置を投入揚収することも可能。これらの選択肢を持つことで、様々な海域に合わせたCTD観測を実現できるのだ。



©JAMSTEC



©JAMSTEC / JMU

「みらいⅡ」のイメージ図。CTD・ムーンプール区画は、船体中央部の赤枠の箇所に配置されている。

右の図は、左上のイメージ図・赤枠部分のCTD・ムーンプール区画全体を真上から見た平面図。一方、左の図は、船尾からの視点で区画を見たときの断面図。CTD採水装置は、ムーンプール以外に、右舷側からも投入揚収することができる。

砕氷船ならではの海水観測を可能にする

2つの観測作業機器



©NMRI



©JAMSTEC

左／マンライディングバスケットを使用して、水上作業を行っている様子。

右／人を乗せることが前提であるマンライディングバスケットは、使用するクレーンも特殊仕様になっている。「みらいⅡ」では、赤枠で示した船首・船尾の2基のクレーンでマンライディングバスケットが運用可能。

©NMRI

「みらいⅡ」では、「みらい」では実施が難しかった本格的な海水観測が実施できる。海水観測の具体的な例として、マンライディングバスケットによる水上作業と、電磁誘導法による氷厚観測が挙げられる。

マンライディングバスケットでは、その名の通りバスケット内に人が乗った状態で水上へアクセスし、直接サンプルが採取できる。安定した氷であれば人が降りることもできるし、薄い氷の上でもバスケットに乗ったまま作業できるため、安全な水上作業を実現する。

また、電磁誘導法による氷厚観測では、電気的・磁気的な性質の違いを利用し、センサーの測定値の差を取ることによって氷の厚さを測定する。ただ、使用するセンサーが磁性体である船体に強く影響を受けるため、船体から十分に離れた状態で吊り下げられるよう専用のブーム（要するに吊り下げ棒）を製作し、「みらいⅡ」に搭載する。

氷厚観測のため、電磁誘導法で使用するセンサーを吊り下げている様子。このセンサーは、磁性体である船体から十分に距離を取って投下するため、「みらいⅡ」では左舷側の船首にブームを搭載し、そこから横に伸ばすイメージで海水上にセンサーを展開する。



「みらいⅡ」への
新たな期待Ⅰ

海洋科学における 「国際連携」の重要性

地球規模の気候変動・海洋変動問題を解明する上で欠かすことができない、多国間との国際連携。しかしながら、北極観測の分野においては、長年の間、連携を模索する状態が続いていたという。ここでは、地球環境部門の増田周平部門長、北極環境変動総合研究センターの菊地隆センター長が、これまでの海洋科学における国際連携の取り組みについて解説。「みらいⅡ」を通じた今後の国際連携の展望についても語ってもらった。

JAMSTEC
地球環境部門
部門長
増田 周平

JAMSTEC
北極環境変動総合研究センター
センター長
菊地 隆

WOCEによる 国際連携海洋観測の礎

海洋観測における国際連携は、地球規模の海洋問題に対処するために必要不可欠である。海洋は言うまでもなく一つにつながっており、海洋内部での、あるいは大気を介しての、海盆間の結合により、全球海洋の変動が決まる。また、海洋は全球表面積の約7割を占めるほど広大である。これらの特性から一国、一地域だけの観測でその動態を把握することは困難だからだ。海洋科学において、国際連携をベースとした初めての組織的な全球規模観測が1990年代に実施された。それが、全球的な海洋循環モデルを構築し、気候変動に与える海洋の役割を解明することを目的とした世界海洋循環実験計画“WOCE”（World Ocean Circulation Experiment）である。地球環境部門の部門長・増田周平氏は、WOCEがもたらした功績についてこのように説明する。

「WOCEの中で、世界中の大陸間に陸から陸まで結ぶ縦横の観測線を設定し、それらに沿って海面から海底直上まで高精度・高密度観測をするというHydrographic Programmeがありました。この計画によって、海洋の大循環や鉛直構造の理解が大幅に進んだだけでなく、観測手法の画一化やデータフォーマットの統一などにも貢献しました。同時に各国が関与しやすい形で観測を効率的に実現するという柔軟な国際連携も実現することができたと思っています。その後、WOCEの成果を活かす形で、観測線に沿った再観測を実施するレビジット・プログラムが行われており、現在は“GO-SHIP”（The Global Ocean Shipbased

Hydrographic Investigation Program）という名称でその活動と精神が引き継がれています。実海域での海洋観測データはすべての海洋科学の出発点と言えますので、各国が取得した同じフォーマットのデータを相互に、自由に使えることは、海洋科学を進めるうえでこの上なく重要です」

冷戦が遅らせた 北極観測での国際連携

一方、北極観測における国際連携についてはどうだったのだろうか。北極環境変動総合研究センターの菊地隆氏は、各国のコミュニティ形成という動きは多少あったものの、全球的な海洋観測が行っていたような総合的な連携と比べると、10年ほど遅れがあったと語る。

「WOCEが始まった1980年代は冷戦の真っ只中で、北極海はまさにアメリカとソ連の軍事的対立の最前線となっていました。そのため、国際的な連携を結ぶには程遠く、観測も各国それぞれが北極で個別に実施している状況でした。北極観測が本格的に国際連携に踏み出せるようになったのは、冷戦終了後のこと。以来、研究コミュニティ中心で連携が行われるようになっていったのです。例えば、1990年には北極研究の国際コミュニティ『国際北極科学委員会』（IASC）が設立され、2000年代には国際北極科学委員会がリードする形で、アメリカ・カナダ・日本・中国・韓国・ロシアの6か国の研究機関や研究者で構成された“PAG”（Pacific Arctic Group）が誕生します。PAGでは、北極海における生物活動が活発な海域を観測する国際的な連携観測網“DBO”（Distributed Biological Observatory）が2011年にス

タート。太平洋側北極海の生物学的ホットスポットに観測線を設定し、物理・化学・生物が協力した国際連携による繰り返し観測を長期にわたって実施するようになりました」

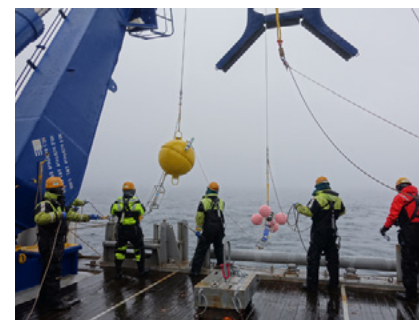
その後PAGでは、韓国が中心となってチュクチ・ボーダーランドで実施する観測プロジェクト“PACEO”（Pacific Arctic Climate Ecosystem Observatory）や、中央北極海漁業規制協定に貢献する“CAO”（Central Arctic Ocean）などのプロジェクトも開始。さらに近年はDBOの取り組みを北極海の他の海域に広げる取り組みも進められている。このように、北極海観測ではPAGが各国をリードする形で国際連携が進められていったという。

世界をリードする 国際研究プラットフォームへ

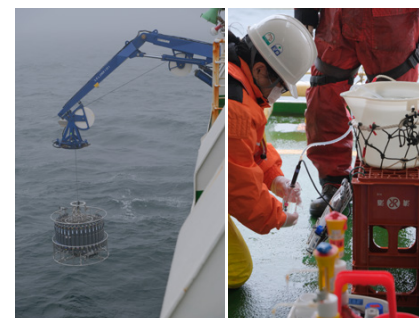
「また、2014年からは研究者のボトムアップによる議論から、北極海を複数船舶で同時かつ広域にカバーする観測プロジェクト“SAS”（Synoptic Arctic Survey）の実施が計画され、2020～2022年にSASによる最初の同時広域観測が実施されました。この取り組みではJAMSTECは『みらい』を用いて太平洋側北極海の観測を担当し、成果を公表しています。2030年には“SAS-2”の実施を目指していて、その実施に向け2025年からJAMSTECがSASの事務局を担うこととなりました。現在はSAS-2のサイエンスプランを検討している最中です。ここでは『みらいⅡ』の活用が期待されています。SAS-2以外でも、日本が国際的なプロジェクトをリードし貢献していくために、『みらいⅡ』を国際研究プラットフォームとして積極的に活用していきたいと考えています」

SASの一環として太平洋側北極海の観測も行われた、2022年の「みらい」北極航海より。写真は海水線に向かって移動した際に観測の一環で飛ばしたドローンの映像。海水帯と開水域がくっきり分かれている。

©JAMSTEC ArCSⅡ 写真撮影：勝野 智嵐（東京大学）



チュクチ海北東部バロー海底谷にて、2021年に設置した係留系の回収と再設置作業を行っている様子。SASを通じて蓄積したデータは、この海域の海水・海洋環境の大きな変化を示す重要な手掛かりとなる。



2022年「みらい」北極航海より。チュクチ海を北上しながらSASの観測を実施。水温・塩分などを計測しつつ水試料を採取するCTD採水システム投入の様子と、バケツで取った表層水から試料を採取している様子。

国際研究プラットフォームとしての 「日本の強み」とは何か？

「みらいⅡ」の完成が来年に迫る今、北極研究の進展に期待が高まっている。とはいえ、今後「みらいⅡ」が国際研究プラットフォームとして活躍していくためには、同時に北極の科学における日本の研究ならではの強みも世界に示していく必要があるだろう。ここでは、その鍵となる3つの研究事例を紹介していく。

日本の研究者が持つ 「考える力」とは？

JAMSTEC
地球環境部門
部門長

増田 周平

“

日本の海洋科学の本来的な強みは、『みらいⅡ』のような高性能な船や観測機器を持ち合わせていることでは決してありません。

注目すべきなのは、それらを使う研究者たちです。

わたしの周りの研究者たちは海洋観測に対して非常に真面目であり、その一方でユニークなアイデアも持ち合わせています。

そんな研究者一人ひとりが高い想像力を発揮し、

最新の船や機器が持つポテンシャルを最大限に引き出す――。

そのような『考える力』で『みらいⅡ』をフル活用させ、唯一無二の科学成果を上げることこそが『みらいⅡ』を運用する醍醐味なのではないでしょうか。

『みらいⅡ』の完成は、日本の研究者の強みを活かす大きな契機になるはずです。

研究者が一丸となり、海洋科学の高みに挑戦していければと考えています

”

では、日本の研究者たちが持つ「考える力」とはどのようなことなのか。

次のページから3つの事例を紹介していきたい。

観測の正確さを支える 高精度観測と標準物質

JAMSTEC
海洋観測研究センター
海洋物理・化学研究グループ
主任研究員

内田 裕

国際的な大洋スケールに対して高精度の海洋観測を実施する“GO-SHIP”。その精度はプロジェクトの元となった“WOCE”に準拠していて、水温や塩分の場合1000分の2という値が要請されている。しかし、2000年代に入り、北太平洋を再観測したところ、深層の水温が10年間で1000分の2℃上昇していることが判明した。高精度観測の研究を行う内田裕氏はこのように言う。

「当然、GO-SHIPやWOCEで掲げている精度では、深海の微小な変化を検出できません。そこで、1000分の1℃の微小な温度変化も検出可能なCTD測定法を開発。より高精度な観測を実現したことで、信頼できる水温、塩分、水圧の測定を行えるようになりました」

また、海洋の長期変動を捉えるためには、海水標準物質が不可欠。例えば、塩分は19世紀末から世界の各海域で測定が実施されていて、海洋の環境変動を捉えるのに十分なデータの蓄積がある。ところが、実は塩分の測定値を保証する国際海水標準物質の認証値がWOCEで掲げている精度を満たしていないことがわかり、以来、認証値の誤差を確かめる研究が進んでいったという。

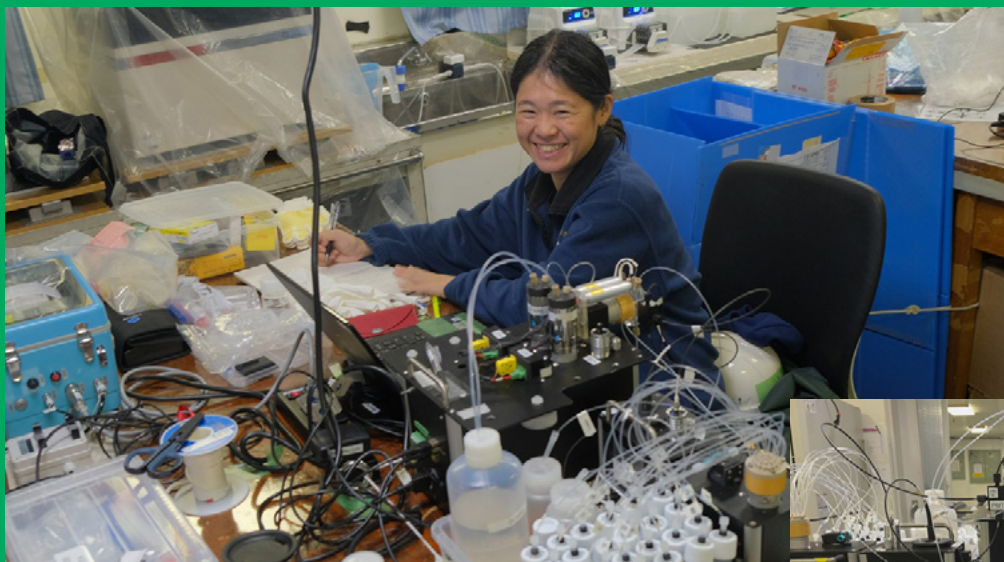
「その中で、近年私たちは国際海水標準物質よりも安定した海水標準物質を日本で初めて開発。現在、太平洋の深層で発生している小さな塩分変化の確認に活用されています」



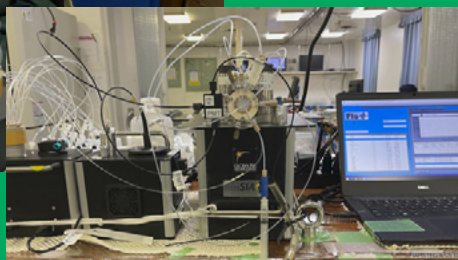
採水器で採水した海水をボトルに採っている様子。この後、採水した海水の塩分を精密に測定し、センサーで計測した塩分を高精度で補正する(2025年の「みらい」航海より)。



内田氏の研究チームが開発した海水標準物質。使用する素材を変えて試作を重ね、アルミ缶を使用した最終的な形状(g)にたどり着いたという。



写真は2023年、「みらい」による北極観測の際に、船上でクリーンに採水し、ごく微量に融けているアルミニウムの測定手法を検証している様子。現在、船上分析が可能な小型分析法が確立しており、その長期的な性能検証が続いている。



海洋科学を進展させる、 微量金属の測定手法開発

JAMSTEC
北極環境変動総合研究センター
北極海洋環境研究グループ
主任研究員

八田 真理子

海洋生物と金属の関係は、生命の誕生から進化、そして海洋環境におけるさまざまな現象に深く関わっている。金属はその元素によって海洋の一次生産者である植物プランクトンにとって、必須な栄養素にもなれば、逆に海洋環境汚染の原因物質にもなり得るからだ。1970年代以降、海洋化学の分野では海洋中の金属、特に鉄に注目が集まり、観測が行われてきた。しかしながら、こうした微量金属の観測は極めて難しい。理由は、汚染されやすい一方で濃度が非常に低く、精度の高い測定が困難だからであると北極環境変動総合研究センターの八田真理子氏は説明する。

「そもそも観測を行う研究船自体が金属ですし、採水用のケーブルも金属製でした。そのため、目的の海域でサンプリングを行っても、採水や測定の過程で汚染が発生する可能性があります。取り組みたい実験や観測は数多くありますが、それ以前に『どのように採取・測定するか』が大きな壁になっています」

そこで八田氏は、2026年完成予定で微量金属採用水用の機材も搭載される「みらいⅡ」に、船上で使用可能な微量金属測定システムを導入することを目指し、物質循環の理解に有効なアルミニウムに着目して、自動測定手法の開発を進めている。

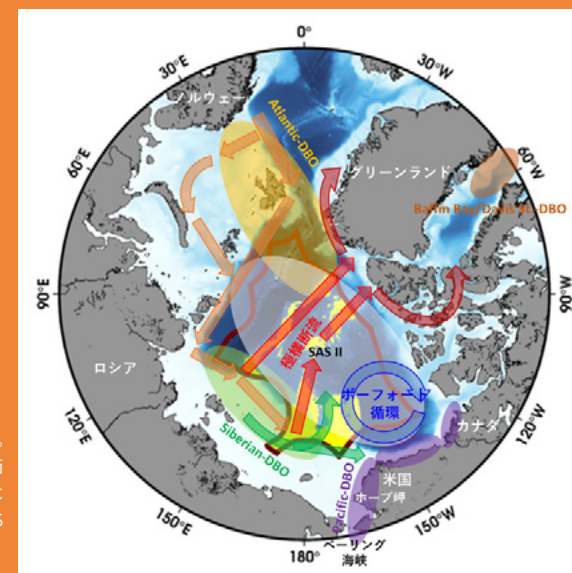
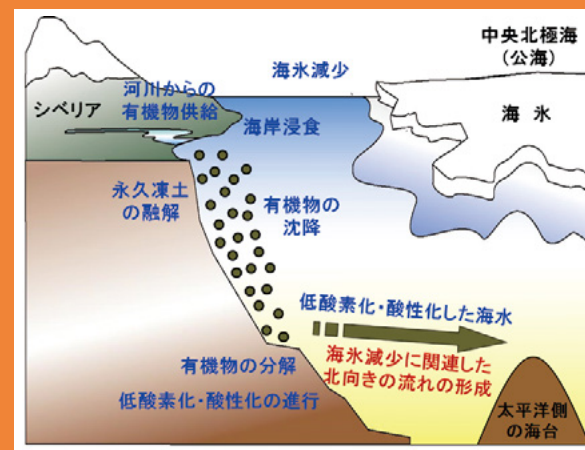
「精密でありながら誰でも扱える金属測定装置や、その手法の自動化は、海洋化学におけるニーズが非常に高い。今後の観測を進展させるためにも、新たな研究の土台として新しい技術をどんどん活用していければと思っています」

サイエンスの力を
国際社会に発信する

JAMSTEC
北極環境変動総合研究センター
北極海洋環境研究グループ
主任研究員

西野 茂人

「みらいⅡ」への
新たな期待Ⅱ



「みらい」乗船者が語る、北極観測の現場とは？

2024年8月26日～9月30日、北極域研究加速プロジェクト（ArCS II）の活動として、「みらい」による北極海観測航海が実施された。

ここでは、22回目となった航海の現場を振り返るべく、「みらい」に乗船した首席研究者の伊東素代氏、ポストドクトラル研究員の深井悠里氏、そしてジャーナリストとして同行した時事通信社の出井亮太氏が登場。

1か月を超える北極観測の現場について、想いを語っていただいた。



JAMSTEC
北極海洋環境研究グループ
副主任研究員
伊東 素代氏



JAMSTEC
北極海洋環境研究グループ
ポストドクトラル研究員
深井 悠里氏



時事通信社
外信部編集委員
出井 亮太氏



9月24日、北緯76度・西経167度付近で、通称「金魚すくい」と呼ばれるユニークな方法で海水の採取を行ったときの様子。1m前後のバリエーションに富んだ浮水を採取し、生物・化学的成分を調査した。

© JAMSTEC / ArCSII

緩やかな海水減少の中 なお変化を続ける北極海

出井 実は昨年の北極航海というのは、私にとって船で北極に行くはじめての経験だったんです。ただ、ベーリング海峡を抜けて北極海に入っても、しばらくの間は海水のない海域での観測が続いていたので、最初は本当に北極海にいるのか実感が湧きませんでした。

深井 「みらい」は耐氷船なので、そもそも砕氷船のように厚い海水があるような場所には行けません。実際、航海の際は、海水を避けるような航路を選んでくれていますよね。

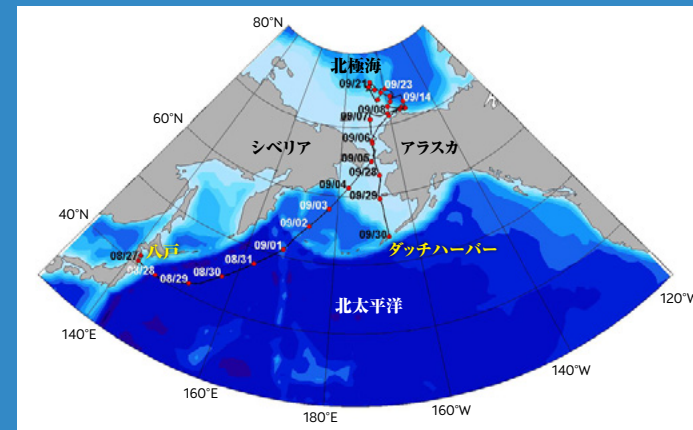
伊東 そうなんです。とはいえ、特に2000年代に、北極海の海水減少が大きく進んで、以前は海水があった場所でも夏には海水が融けるようになりました。それにより「みらい」の観測海域もどんどん広がりました。2010年代以降は、減少は緩やかで、海水が少ない状況は続いているんですが、年による変動が大きいんです。今後、この海水変動の原因と環境への影響を解き明かすことが期待されています。

多様な研究者が乗船する「みらい」の北極海観測

出井 北極航海では、皆さん本当にさまざまな研究観測が行われていましたね。

深井 確かに、「みらい」での北極航海の場合、ドローンを飛ばして観測を行う人や係留系で定点観測する人、海水や海水のデータを取る人など、本当にいろいろなタイプの研究者が乗船するのが通例になっています。

出井 採水の現場は私も拝見していましたが、手がかじかむような寒さの中、24時間体制で交代しながら作業に没頭されていましたよね。「研究者の皆さんはこんなにも苦労して北極海の変化を研究されているのか」と思いました。昨年の航海の中で、お二人にとって一番印象に残った出来事は何でしたか。



2024年の北極航海の航路。航路上にある数字は日付を表している。

伊東 私は首席という立場だったので、航海全体のマネジメントもしており、海水状況に応じて、日々観測計画の更新を行っていました。予定外のことも起こりましたが、乗船者のみなさんの現場の力で乗り切ったことが印象に残っています。

深井 研究に関しては、うまくいったことや、いかなかったことが多々思い出されますが、それ以上に北極海で出会う景色はいつも印象に残ります。例えば昨年は、1kmを超えるような非常に大きな氷盤に遭遇しました。そのような北極海ならではの非日常を味わえる瞬間は、また研究を頑張ろうという活力になります。

北極海研究で「みらいII」に期待すること

出井 今後は新たな砕氷船「みらいII」での研究活動が始まります。2027年に

予定されている航海では、海水の状況次第で北極点を目指すことも視野に入れているとか。実現できたら日本の船としては初めてのことになりますし、胸が高鳴ります。

深井 これまで日本が研究してきた北極海は、ほんの一部の海域、季節にしか過ぎません。「みらいII」は特に大きな変化がある海水域や海水のある季節に観測ができるプラットフォームです。そのような強みのある観測船「みらいII」を使って研究を行えるのは楽しみです。

伊東 砕氷機能を有する観測船である「みらいII」を活用することで、日本が北極海研究をより一層リードしていくことが期待されます。「みらいII」は今後の海洋科学研究にとって欠かせない存在になると思います。



© JAMSTEC / ArCSII

9月17日、北極海で「みらい」が遭遇した非常に巨大な海水。推定で縦は1700m、横は1000m以上あった。伊東氏曰く「これまでの『みらい』航海で見た氷盤の中で一番の大きさだった」という。



2025年12月、長年の任務を終える海洋地球研究船「みらい」。(画像提供：JAMSTEC)

「みらい」が海洋観測研究にもたらした功績

「みらい」は、世界最大級の海洋観測船である。優れた航行性能を備え、それまでのJAMSTECの研究船では不可能だった北極航海を実現した。また、減揺装置の搭載によって横揺れが低減され、観測データが不足していた荒天の多い海域でも高精度なデータを取得できるようになった。航続距離は約1万2000マイル(約2万2000km)となっている。

観測対象は海洋、大気、生物、海底と多岐にわたる。Aフレームクレーンをはじめ多種類のクレーンやウインチが備えられており、トライトンブイ、20mピス

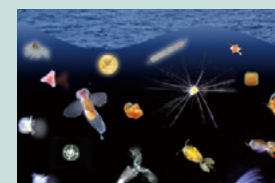
トンコアラー、大型CTD採水システムなど、さまざまな観測機器の搭載・設置・回収が可能である。また、採取した試料やデータを洋上で速やかに処理・分析・保管できる最新の研究設備も整っている。「みらい」はこうした特長を活かし、1997年10月の就航以来、極域から赤道域、北太平洋亜寒帯域、さらには南半球一周など、200回以上の研究航海を行ってきた。総航走距離は120万km以上(地球約30周分に相当)、乗船者数は延べ8,100名を超える。

詳細は「退役記念 海洋地球研究船『みらい』
1997-2025」で！



「みらい」の主な研究成果 1

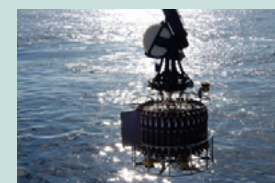
プランクトンは、 海と地球の救世主！



海洋の二酸化炭素吸収メカニズムの1つが、「生物ポンプ」と呼ばれるもの。これは、主に海洋表層の植物プランクトンが光合成で二酸化炭素を吸収し、一連の食物連鎖を経て凝集化し、その有機物が海洋内部へ輸送される仕組みを指す。「みらい」は1997年以来、西部北太平洋亜寒帯域に観測定点を設け、繰り返し観測や係留系観測を実施。その結果、この海域は世界的にも生物ポンプの効率が高いことが検証された。

「みらい」の主な研究成果 3

リピートハイドロ グラフィー航海で 高品質なデータを取得



大陸間を陸から陸まで結ぶ観測ライン上に高密度の観測点を設け、海面から海底直上までを高精度で観測し、これを5年から10年間隔で繰り返す。これが、海洋観測の中で最も過酷な観測「リピートハイドログラフィー航海」である。「みらい」はこのハードな観測を非常に効率良く行うことができた。現在、この航海で得られた高品質なデータは国際的な枠組みで共有が図られ、気候変動研究の基盤として使用されている。

「みらい」の主な研究成果 5

海と大気のつながりの謎に迫る！

大気現象は変化が速いため、複数の観測プラットフォームを現象に応じた規模で同時展開することが有効。大気と海洋を同時かつ高精度に計測できる機器を多数搭載した「みらい」は、それを実現する国際集中観測プロジェクトで活躍した。

「みらい」の主な研究成果 7

海底鉱物資源の調査にも貢献

日本の周辺海域には、さまざまな資源がたくさん賦存している。南鳥島沖におけるレアアース泥の分布に関する調査では、海底堆積物のコア試料26本を採取。採取したコアの全長は304mに到達し、1航海における最大長を記録した。

「みらい」の主な研究成果 2

28年間で23回、 北極の温暖化を観測



「みらい」が北極航海を実施した1998年から2025年までは、北極海の水氷が急速に減少し、地球温暖化の影響が最も顕著に現れるとして北極が注目を集め始めた時期である。私たちは、「みらい」北極航海を通じて温暖化で水氷がなくなった太平洋側北極海で貴重な観測を実施。温暖化の現状とその影響を明らかにする長期観測データを取得し、新たな知見を発表できた。そして、日本の北極研究の国際的なプレゼンス向上に大きく貢献できたのだ。

「みらい」の主な研究成果 4

熱帯観測ブイ網で 海洋と大気の 変動を監視



私たちは熱帯域における気候変動研究として、国際的な海洋観測コミュニティや沿岸国と連携してトライトンブイを用いた熱帯観測ブイ網を構築し、長期的に維持することで熱帯域での海洋と大気の変動を監視してきた。それらの観測活動の中心を担ったのが、「みらい」による研究航海だった。その結果、延べ200基を超える係留系の設置や、多項目の効率的な観測による短期気候変動現象に関する新知見を獲得した。

「みらい」の主な研究成果 6

海底から地球の歴史を読み解く

「みらい」の研究航海では海底調査を実施し、堆積物採取や海山や断層の岩石採取を行ってきた。また地下構造探査や磁力・重力などの地球物理学的データの取得、海底電磁気調査も実施。その観測データは世界中の研究者に活用されている。

「みらい」の主な研究成果 8

物質循環研究を大きく飛躍

新しい大気海洋物質循環研究を目指し、「みらい」などの船上観測に参入して15年。現在はMAX-DOAS(※)の連続観測や、オゾンやブラックカーボンの全球海上・北極大気マッピングが実現。世界データ統合の旗振り役になっている。



賛助会
HPはこちら

賛助会（寄附）会員名簿

2025年9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、寄附を頂戴し、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
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
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
エアロノタ株式会社
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
ENEOS Xplora株式会社
株式会社江ノ島マリンコーポレーション
MHI マリテック株式会社
株式会社OCC
株式会社オーシャンウィングス
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
株式会社オプショ・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
カナデビア株式会社

株式会社カネカ
川崎重工株式会社
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
共立インシユアランス・ブローカーズ
株式会社
極東貿易株式会社
株式会社熊谷組
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
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・ユアテック
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
シナネン株式会社
清水建設株式会社
清水港振興株式会社

下里製作株式会社
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
シュルンベルジェ株式会社
株式会社昌新
株式会社商船三井
商船三井マリテックス株式会社
鈴与株式会社
株式会社スペースワン
セイコーウオッチ株式会社
株式会社関ヶ原製作所
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
タイキンMRエンジニアリング
株式会社
大成建設株式会社
ダイナースクラブ
ダイハツインフィニアース株式会社
有限会社田浦中央食品
株式会社地球科学総合研究所
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
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
トーヨーテック株式会社
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ボン研究所
ナカシマプロペラ株式会社
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
日本マントルクエスト株式会社
日本無線株式会社
野村建設株式会社
株式会社ハイエレコン
株式会社ハイドロシステム開発
濱中製鋼工業株式会社
東日本タグポート株式会社
深田サルベージ建設株式会社
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
行政書士法人 メイガス国際法務事務所
株式会社森京建築事務所
守谷輸送機工業株式会社
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
株式会社YDKテクノロジー
若築建設株式会社

JAMSTEC
からの
お知らせ

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



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

