



Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Blue Earth 170

特集

加速する北極域研究

Blue Earth

170号

2022年3月発行
(通巻170号)

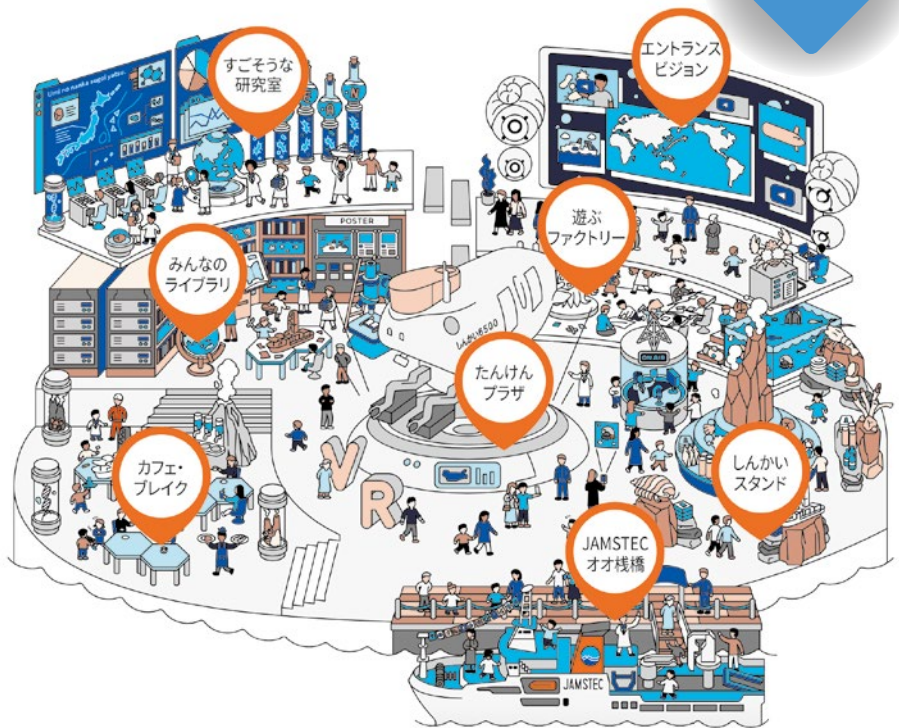
編集・発行 国立研究開発法人海洋研究開発機構 海洋科学技術戦略部
〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25

立報課

制作・編集協力 有限会社フットンクエント
デザイン 株式会社デザインコンベクト

海と地球の情報誌

Pick Up
JAMSTEC



ようこそ、
JAMSTECパークへ。

JAMSTECのウェブサイトにはオンラインテーマパークがオープンしていることをご存じでしょうか？ その名も「JAMSTECパーク」。海の研究を身近に感じることができるエリアをたくさんご用意しています。ぜひ遊びにいらっしゃってください。コンテンツも続々更新中！ JAMSTECトップページの右上「#JAMSTEC」からどうぞ。



▲JAMSTECパーク

<https://www.jamstec.go.jp/park/>

賛助会（寄付）会員名簿 2022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IH
株式会社IH原動機
株式会社アイエイエス
株式会社アクト
朝日航洋株式会社
アジア海洋株式会社
株式会社天野回酒店
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
一般社団法人インダストリスパコン
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
海のみらい静岡友の会
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
株式会社江ノ島マリンコーポレーション
MOLマリン&エンジニアリング
株式会社
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
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
株式会社構造計画研究所
神戸ペイント株式会社
株式会社
株式会社COAST
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
五洋建設株式会社
株式会社コンボイ研究所
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
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
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
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
鈴与株式会社
セイコーウォッチ株式会社
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
セナードパートナーズ株式会社
株式会社ソルトン
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
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
株式会社地球科学総合研究所
株式会社株式会社
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
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
東京製鋼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
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
株式会社日産電機製作所
株式会社日産電機株式会社
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
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
濱中製鎖工業株式会社
東日本タグボート株式会社
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
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
三菱重工マリタイムシステムズ
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
株式会社森京介建築事務所
ヤンマーパワーテクノロジーズ株式会社
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
若菜建設株式会社

北極航海の途中に出会ったホッキョクグマ。2013年撮影。ホッキョクグマは海氷に乗って獲物を捕まえるため、海氷減少の影響を大きく受けている。
撮影：山口 一／北極域研究船推進室



加速する北極域研究

全球平均の2倍以上の速度で温暖化が進行している北極域。
北極域の変化を捉え、変化のメカニズムを理解し、影響や将来を予測することが必要である。
JAMSTECでは1990年ごろから北極域の研究を行ってきた。
夏の北極海を航行できる「みらい」や高度なモデル研究を可能にする「地球シミュレータ」を持つJAMSTECは、オールジャパンの北極域研究プロジェクトでも重要な役割を果たしてきている。
そして、さらなる北極域研究の推進のため、
砕氷性能を持つ北極域研究船の建造が2021年度から始まった。
日本における北極域研究の過去・現在・未来を紹介しよう。



なぜ北極を研究するのか

取材協力

菊地 隆

JAMSTEC 北極環境変動総合研究センター（IACE）
センター長

北極と南極は、どう違うのですか？——北極環境変動総合研究センターのセンター長を務める菊地隆さんは、一般向けの講演会などでよく質問される。「北極の真ん中は海、南極の真ん中は陸。それが最大の違いです。また、南極には人が住んでおらず、どの国にも属していません。一方、北極には人が住んでいて、8カ国が領土を持っています。あと、よく聞かれるのですが、南極にペンギンはいませんが、北極にはいません」と菊地さん。

北極点は北緯90度の一点を指し、北緯66.55度線より北を北極圏という。単に北極といったときには、北極

圏内だけでなくその周辺地域を含めることも多く、北極域とも表現する。

■ 世界平均の2倍以上の速度で温暖化が進行

北極は一年中寒いというイメージを持っている人も多いだろう。ところが2020年6月、ロシア・シベリアのベルホヤンスクで38℃（カ氏100度）を記録した。ベルホヤンスクは北緯66.55度線の北約115kmに位置し、これは北極圏における観測史上最高気温である。2021年8月には、グリーンランドの氷床の最高地点（標高3,216m）で降雨が観測された。その場所で雪ではなく雨が降ったのは、観測史上初めてだ。菊地さんは、「北極では、降雨や高温などの極端現象が増えています。一方、極端な低温は減っていて、今世紀に入ってから15日以上続く寒波は発生していません」と解説する。

1971年から2019年にかけて北極の地表付近の気温は年平均で3.1℃上昇した。全球平均では約1.1℃上昇している。北極域は、全球平均の2倍以上、3倍に近い速度で温暖化が進行しているのだ。

菊地さんが初めて北極を訪れたのは1997年。それから30回近く行っている。北極の変化を感じているのだろうか。「北極には、観測船で行くときは夏から初秋の8～10月、アイスキャンプと呼ばれる氷上の基地で観測するときは冬の終わりの3～4月に行きます。冬は、昔も今も見渡す限り海氷です。ただし、割れている所が増えたかなという印象を持っています。それを検証しようと、人工衛星データを解析しているところです。夏の北極海は変わりました。海氷が少なくなっています」

1979年に人工衛星による観測が始まり、北極海の水氷域面積が分かるようになった。北極海の水氷は春夏に融解し、水氷域面積は9月半ばに最も小さくなる。観測が開始されたころ、北極海の多くは夏も水氷に覆われていた。その北極海の水氷域面積は減少傾向が続いており、

特に1990年代後半以降、減少のペースは上がっている。このままのペースでいくと、21世紀半ばごろには夏の北極海に海氷がなくなると予測されている。

■ 温暖化の最先端にある北極から学ぶ

菊地さんは、「変化が速すぎる」と言う。「変化がゆっくりであれば、次に何が起きるのかを予測し、対策を取ったり適応したりできます。しかし変化が速いと、それが難しくなります。次に何が起きるのかを予測し対策を取るためにも、何がどのように変化しているのかを継続的に詳しく観測し、またそのメカニズムを明らかにすることが、より重要になってきます。だから北極域の観測研究が必要なのです」

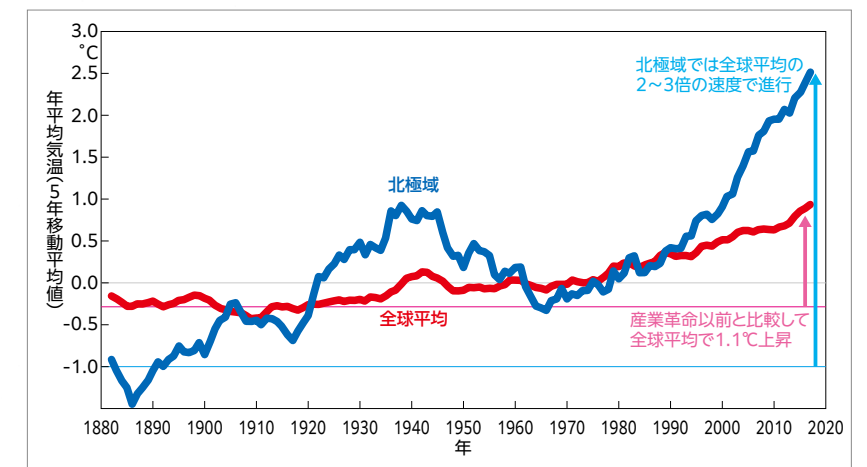
さらに菊地さんは、「北極は温暖化の最先端にある」と言う。「極端現象の増加、海水温の上昇、森林火災の増加、海洋酸性化、生態系の変化……。今、北極で起きていることは、いずれ日本、そして世界中で起きることなのです。北極の気候変動は、地球全体、全ての人に関係があり、北極から学ぶことはたくさんあります」

2021年9月16日の北極海の水氷分布

北極海の水氷域面積は毎年9月半ばに最小になる。黄色線は1981年から2010年における年最小値となったときの平均的な水氷範囲。

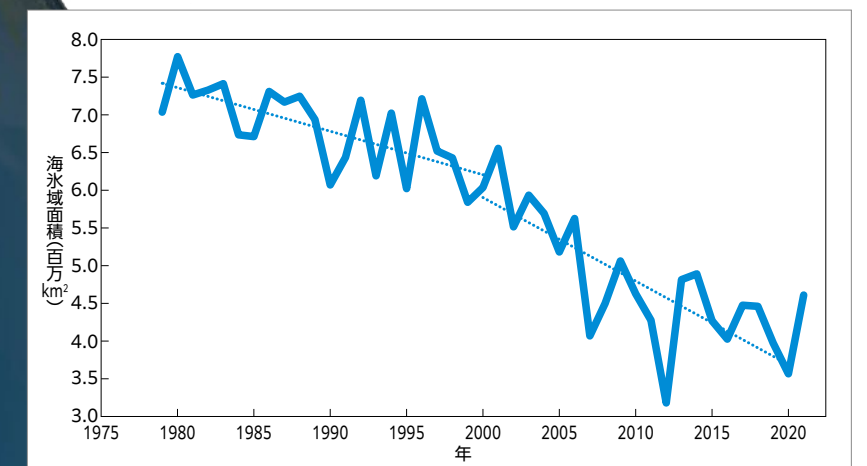
©NASA's Scientific Visualization Studio

全球平均および北極域の年平均気温の経年変化



出典：NASA GISS Surface Temperature Analysis (<https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/>) より作成

北極海の水氷の年最小面積の経年変化



出典：2001年以前はJASMES-Climate (<https://kuroshio.eorc.jaxa.jp/JASMES/Climate/>)、2002年以降はADS (Arctic Data archive System) 極域環境監視モニター (<https://ads.nipr.ac.jp/vishop.ver1/ja/vishop-extent.html?N>) より作成



日本の北極域研究のこれまでと今

取材協力

菊地 隆

JAMSTEC IACE センター長

日本で北極域研究が本格的に始まったのは1990年ごろである。第1次南極観測隊は1957年。それと比べて遅いと感じた人もいるかもしれない。

■近代海洋学は北極海から始まった

北極は、南極と同じく探検の地として注目され、多くの探検家が北極点を目指した。ノルウェーの探検家ナンセンは、フラム号を北極海の水氷に閉じ込めそのまま漂流することで北極点到達を試みた。1893～96年のことだ。北極点には到達できなかったが、菊地さんは「ナンセンは優れた科学者でもあり、近代海洋学はこのとき北極海から始まりました」と言う。ナンセンはこのとき、大西洋の海水が北極海へ流入していること、密度の低い水が混合せずに表層近くに存在していると船が進まなくなる死水現象が発生することなどを発見している。

20世紀に入ると、北極点到達が達成され、北極海の観測も進んだ。しかし第二次世界大戦後、北極圏に領土を持つアメリカとソ連は冷戦に突入し、北極海の観測データは軍事機密として公表がされない時代が続いた。そして気が付けば、北極海は海洋観測研究の進歩から取り残されていたのだ。冷戦が終結し、北極海が各国の研究者に開かれたのが1980年代末である。

■「みらい」で北極海へ

JAMSTECはまず、アメリカの大学や研究所と共同で北極海での観測を始めた。「当時は、北極に行ってデータ

を取ってくるのが目的になっていました」と菊地さん。

その状況が変わったのが、1998年だ。前年に誕生した海洋地球研究船「みらい」は耐氷性能を持ち、海氷が漂う北極海を航行できる。自分たちの船で北極海へ行き、自分たちで考えた研究を進めることができるようになったのだ。JAMSTECが最初に掲げた研究テーマは“なぜ北極海に海氷があるのか”と“海氷のある北極海役割”を明らかにすることだった。2000年代に入ると北極海の水氷の減少のペースが加速したことから、“なぜ北極海の水氷は減少するのか”の解明へと研究テーマが移った。

■オールジャパンプロジェクト始まる

日本では、北極域について大学や研究機関のグループがそれぞれ専門分野の観測研究を行い、大きな成果を上げてきた。しかし、北極の急変を目の当たりにして、北極域研究の体制にも大きな変化が起きた。「急変する北極域の現状を捉え、変化のメカニズムを明らかにし、影響を予測するには、分野横断的・総合的な取り組みが必要です。そこで、北極域研究に関わりのある日本の研究者300人以上が連携して取り組むことにしたのです。専門が異なる研究者たちが連携し情報交換することで、新しいアプローチや発見が生まれる効果があります」と菊地さん。それが2011年から始まった「^{グリーン}北極気候変動研究事業」である。日本の極地研究の中核であり、北極海のスバルバル諸島にニーオルスン観測基地を持つ国立極地研究所が代表機関を務め、JAMSTECが参画機関として「みらい」による北極航海を実施。JAMSTECはスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を持つことから、モデル研究においても中心的な役割を果たしてきた。

2013年に日本は、北極域に関するハイレベルなフォーラムである北極評議会のオブザーバー国となった。北極域研究も国際社会との連携が求められるようになっていく。そして2015年9月、「北極域研究推進プロジェクト(ArCS^{アー・ス})」がスタートした。北極域の気候変動が人間社会に与える影響にも関心が高まってきたことから、自然科学だけでなく人文社会科学の研究者も加わって北極域研究を進めることになった。JAMSTECに北極環境変動総合研究センター(IACE)が設立されたのも、この年である。

ArCS開始直後に内閣府から発表された「我が国の北極政策」では、日本は北極域の諸課題へ科学技術を基盤として取り組むとしていく。そうした流れを加速するべく、2020年から5年計画で「北極域研究加速プロジェクト(ArCS II)」が始まった。JAMSTECはArCSとArCS IIの副代表機関として、代表機関の国立極地研究所、副代表機関の北海道大学と共に、日本における北極域研究の主導的役割を担ってきている。

研究の進展や社会からの要請によって、研究テーマは変わっていく。“温暖化が進行し北極海の水氷の減少などが起きると、どのような影響があるのか”を明らかにすることが、最近の北極域研究の大きなテーマとなっている。菊地さんは「気候や海氷の変化、その影響について私たちはまだ十分に理解できていません。変化や影響を予測するには、知識のギャップを解消する必要があります」と指摘する。

そして、これから取り組むべきこととして、「最初の“海氷のある北極海役割とは何か”に戻るべきではないか」と語る。地上気温の変化予測を見ると、気温上昇が大きいのは、北極海以外では陸地ばかりである。海洋は熱容量が大きいので、温暖化を抑える働きがある。にもかかわらず北極海で温暖化が進行しているのは、北極海とほかの海の違い、つまり海氷の存在が理由だと菊地さんは考えている。2026年に誕生する砕氷性能を持つ北極域研究船によって海氷のある北極海の観測が可能になる。日本の北極域研究が大きく進むと期待される。

まずは次ページから、JAMSTECが関わっている研究を中心にArCS IIの取り組みを紹介しよう。

北極域研究加速プロジェクト(ArCS II)の戦略目標と研究課題

4つの戦略目標

戦略目標①

先進的な観測システムを活用した北極環境変化の実態把握

戦略目標②

気象気候予測の高度化

戦略目標③

北極域における自然環境の変化が人間社会に与える影響の評価

戦略目標④

北極域の持続可能な利用のための研究成果の社会実装の試行・法政策的対応

大気課題
海洋課題
雪氷課題
陸域課題

遠隔影響課題
気候予測課題

社会文化課題
北極航路課題
沿岸環境課題

国際法制度課題
国際政治課題

11の研究課題

2020年、北極海を航行中の「みらい」。

撮影：飯田康人／日本海洋事業株式会社



未来を左右する海洋熱輸送を探る

取材協力

渡邊英嗣

JAMSTEC IACE 北極環境・気候研究グループ
副主任研究員

北極海における夏季の海氷面積が大きく縮小している最大の要因は、気温上昇による海氷の融解だ。「しかし、それだけでは海氷面積の激減を説明できません」と、ArCS II「海洋課題」の研究課題代表者を務める渡邊英嗣さんは指摘する。

■太平洋からの熱で海氷が底面から融ける

北極海の大西洋側では、風によって海氷が大西洋へ流出することが観測されている。一方、太平洋側では、太平洋から暖かい海水が水深50～100m付近に流れ込み、その熱で海氷が底面から融けるプロセスも考えなければならない。

「気温上昇や風によって北極海の海氷面積が縮小する現象はすでによく分かっています。しかし、太平洋からどれくらいの量の熱がどのようなルートを通して北極海の

どの海域まで輸送されて海氷を融かすのか、太平洋からの海洋熱輸送の全体像はまだよく分かっていません」

近年、人工衛星により海面高度の計測が行われている。海面の高低から水深50mくらいまでの表層の海流が分かる。ArCS IIでは、複数の人工衛星による北極海の海面高度のデータから海洋循環を高解像度で推定したデータセットを構築して公開する計画だ。また、北極海の海底につないだ係留系や海氷に設置したブイ、さらに「みらい」航海によって、亜表層（水深50～200m付近）の水温の観測を続けている。

「亜表層を流れる海洋熱の輸送ルートは海底地形の影響も受けます。数値モデルが専門の私は、観測データとモデルによるシミュレーション結果を照らし合わせながら、太平洋からの海洋熱輸送の全体像と、それが海氷縮小に与える影響を明らかにしようとしています」

右ページの図のように、太平洋起源の海洋熱はベーリング海峡を通りアラスカ沿岸に沿って北東へ運ばれることが以前から知られている。近年、その熱輸送量が増加

していることも観測されている。

「アラスカ沖を北東方向に進んだ太平洋起源の海洋熱が、北西方向に向きを変え、カナダ海盆の西側に位置するチュクチボーダーランド海域へ運ばれるルートが、2017年に発表された複数の論文で明らかになりました。その一帯にある亜表層の貯熱量が最近20年間で増加傾向にあることも観測されています。さらにその先は、3つのルートがあると、私たちは推定しています。しかしどれが熱輸送量の最も多いメインルートかを知るための観測データがありません。3つのルートがそれぞれどこまで続いているのかも不明です。3つのルートには係留系やブイのデータが極めて少なく、夏季でも厚い海氷に覆われているため『みらい』による観測もできないからです。新しく建造される北極域研究船による観測に期待しています」

■生態系やCO₂収支にも影響を与える

海洋熱輸送の解明は、海氷だけでなく生態系の予測にとっても鍵となる。熱を運ぶ暖水と一緒に太平洋の豊富な栄養分が北極海へ運ばれ、それをもとに生態系を支える植物プランクトンが繁殖するからだ。

熱や栄養分は河川からも北極海へ流入する。渡邊さんは2020年、北極海の海氷減少と気温上昇に及ぼす河川水の影響を世界で初めて解明した。「河川からの熱の流

入により、北極海沿岸域の海氷の厚さを最大10%減少させていることが分かりました」

海は、温室効果ガスであるCO₂を大気から吸収したり、大気に放出したりしている。ArCS IIでは北極海のCO₂収支を高精度で推定するためのモデル開発も進めている。

「現在の北極海では大気からCO₂を吸収する量が放出する量を上回っています。北極海の面積は全海洋の約3%にすぎませんが、海洋全体が吸収するCO₂のうち10%は北極海で吸収しています。しかし、温暖化により北極海はCO₂の放出源に転じる恐れがあります。海水温が上昇するほどCO₂を蓄えにくくなるからです。北極海におけるCO₂収支の変化を予測する上でも、海洋熱輸送に注目する必要があります」

人類が排出するCO₂の半分は陸の森林や海に吸収されている。しかし陸や海の生態系や化学過程が温暖化の影響を受けることで、陸や海のCO₂吸収能力は変化する。21世紀に入り、その変化を予測する地球システムモデルの開発が各国で進められてきた。「地球システムモデルにおいて、北極域の予測精度の向上についてはほかの海域に比べて遅れていました。海洋熱輸送などを解明することによって、北極海で起こる変化を高い精度で予測できるようにすることが、私たちの大きな目標の一つです」



太平洋からの海洋熱輸送ルート

太平洋起源の海洋熱はベーリング海峡を通りアラスカ沿岸に沿って北東へ流れる。その後、北西に向きを変えてチュクチボーダーランド周辺に輸送されることが2017年に分かった。その先は、3つのルートが推定されており、さらなる実態解明を進めているところである。

ArCS IIでは、北極海で海洋プラスチックの調査も行っている。太平洋からの海洋熱輸送ルートは、海洋プラスチックの広がりとも深く関係している。

2021年、北極海を航行中の「みらい」より。

撮影：飯田康人／日本海洋事業株式会社



温暖化を増幅する“すす”を予測

取材協力

滝川雅之

JAMSTEC IACE 北極化学物質循環研究グループ
グループリーダー

北極域は世界平均の2倍以上の速度で温暖化が進行している。その大きな原因は海氷の減少にあると考えられている。海氷や雪は白いため太陽光を最大85%反射するが、海面の反射率はわずか7%ほどだ。夏に海氷が融けて海面が現れると、太陽光を吸収して海が暖まる。すると秋から冬にかけて海の熱で大気が暖められて気温が上がり、海氷の生成量が減少する。それにより翌年の夏に海氷がますます融けやすくなって海面が現れる面積が拡大して太陽光をたくさん吸収する、という“温暖化の増幅”が起きているのだ。

■ 温室効果を持つブラックカーボン

「ブラックカーボンも温暖化を増幅させている可能性があります」と、ArCS II「大気課題」の研究を進めている滝川雅之さんは指摘する。ブラックカーボンとは、石炭の不完全燃焼や野焼き、森林火災などで発生する“すす”のことだ。ブラックカーボンは、大気中を漂って太陽光を吸収したり、雪や氷に付着して太陽光の反射率を低下させたりする温室効果を持つ。白い雪や氷に覆われた地域が多い北極域では、通常の土壌より高い反射率で太陽光が反射され、地表面の温度上昇が妨げられていた。しかし、ブラックカーボンが含まれることにより雪氷面での反射率が大きく低下して海氷や氷河・氷床、永久凍土

が融解し、温暖化が促進される可能性が指摘されている。

■ 温暖化で落雷による森林火災が増加

石炭の燃焼や野焼きなど人為起源のブラックカーボンは排出削減の努力がされている。しかし温暖化の進行に伴い、大規模な森林火災が世界各地で増加傾向にある。

「北極域ではこれまで、地表付近には低温の重い空気が横たわり、その上には太陽光で暖められて相対的に高温の軽い空気が乗っていたため、大気がかき混ぜられず雷雲が生まれにくい傾向でした。それが急速な温暖化によって地表付近の気温が上がることで大気が不安定になって、北極域でも雷雲が発生しやすくなっています」

森林火災によるブラックカーボンが温暖化を促進させ、それにより落雷が増えて森林火災がさらに多発してブラックカーボンが増えるという、ブラックカーボンを介した温暖化の増幅サイクルが回り始めている可能性がある。

ブラックカーボンが温暖化へ与える影響を知るには、どこでどれくらいのブラックカーボンが発生し、雲に取り込まれたり化学変化を起こしたりしながらどこへ移動するのかを把握する必要がある。しかし人工衛星による宇宙からの観測では、地表付近のブラックカーボンを捉えることは難しい。「しかも、北極域のブラックカーボンは日本など中緯度域に比べて4桁ほど低い濃度です。わずかな濃度の変化を捉えるには現場で高精度の観測を行う必要があります」

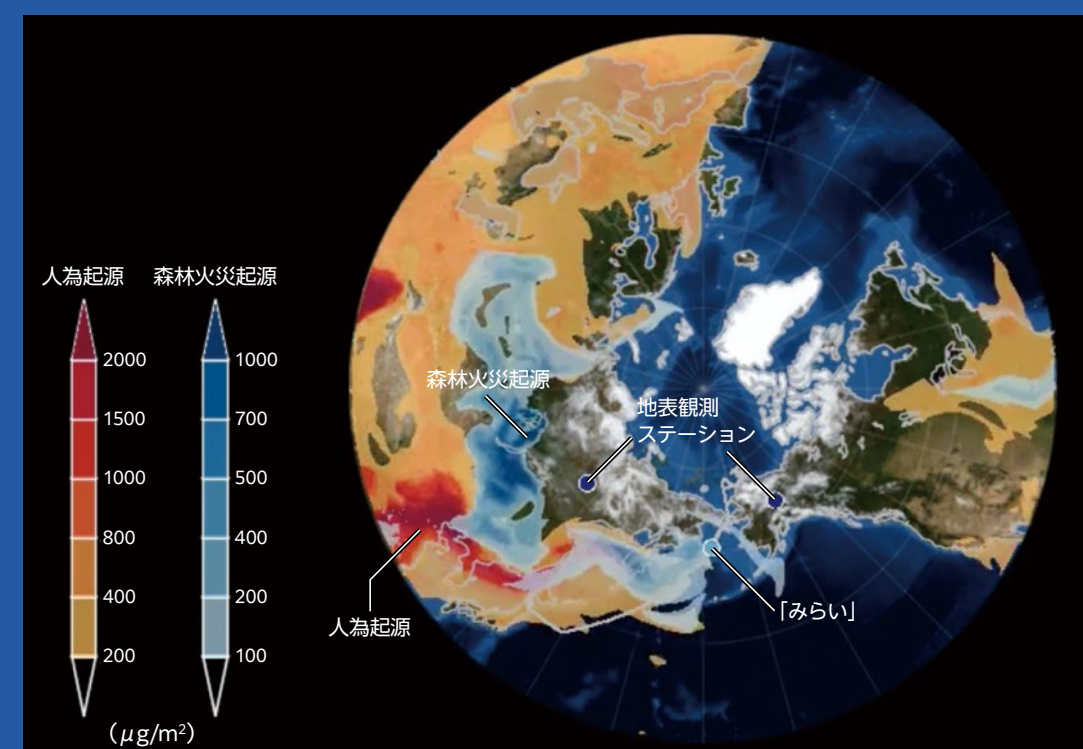
JAMSTECでは「みらい」による数カ月間にわたる北極航海において、ブラックカーボンの高精度観測を2014

年からほぼ毎年、続けてきた。「それまで捉えることができなかったわずかな濃度変化を観測するだけでなく、粒の大きさや、ブラックカーボンの周囲に水滴が付いているかどうか調べています。水滴が付くと太陽光をたくさん吸収するようになります。また、シベリアやアラスカの森林に囲まれた地表観測ステーションでも観測を続けています。一方、私自身はブラックカーボンを含むPM2.5などの移動・分布を予測する化学天気予報モデルの開発を続けてきました」

下の図は、モデルが予測した2016年9月25日のブラックカーボンの分布（鉛直積算量）だ。「シベリアのバイカル湖付近の森林火災で発生したブラックカーボンが、ちょうど『みらい』が航行していたベーリング海付近まで流れていくことを予測しました。『みらい』での観測データでも同じような時期に濃度上昇が見られており、現在検証を進めているところです。森林火災の発生自体は人工衛星から地表面の明るさ（輝度情報）や温度変化などによって検出できますが、そこから出るブラックカーボンの総量や輸送途中での大気からの除去過程などを推定するには、モデル開発と現場観測の連携が必須です。今後はモデルによって、北極域のある地域の森林で火災が起きると、どれくらいの量のブラックカーボンが発生するのか、それがどこへ運ばれてどれくらいの昇温効果をもたらすのかを予測することで、重点的に防火対策を行うべき地域を示し、温暖化の増幅サイクルを断ち切ることに貢献したいと思います」

2019年「みらい」北極航海における
係留気球を使ったブラックカーボン観測
高度1,000mまでのブラックカーボンをはじめと
するエアロゾルを観測した。

撮影：竹谷文一／北極環境変動総合研究センター



モデルで推定した ブラックカーボンの 鉛直積算量

バイカル湖付近の森林火災で発生したブラックカーボンが、「みらい」が航行するベーリング海付近まで流れていく様子を予測した。



永久凍土の融解実験を開始

取材協力

小林秀樹

JAMSTEC IACE 北極化学物質循環研究グループ
グループリーダー代理

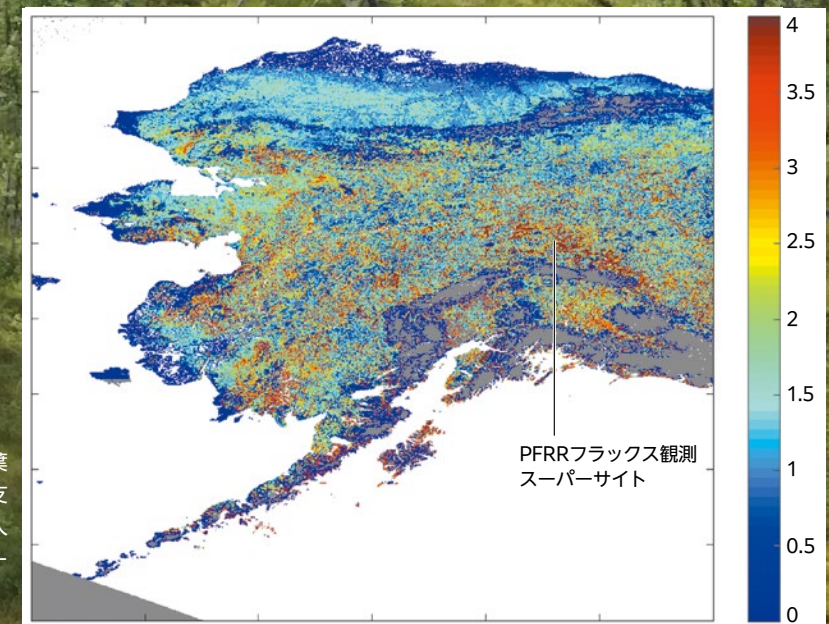
ポーカーフラットリサーチレンジ (PFRR) フラックス観測スーパーサイト

アラスカ大学と共同で2010年からCO₂などの観測を続けている。ここで行われる永久凍土の融解実験では、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）が2021年に発表した第6次評価報告書で使われているシナリオのうち、CO₂排出量が最も多いSSP5-8.5シナリオによる温暖化を想定した温度で凍土を暖める。人がアクセスすることの難しい極寒の北極域で、永久凍土を長期間暖めて融解させる野外実験は、大きな電力を必要とするため、これまで実施されてこなかった。この実験もアラスカ大学と共同で実施される。

人工衛星の観測データから推定したアラスカの葉面積指数

葉面積指数は、各地域の上部にある植物の全ての葉の総面積をその土地面積で割ったもので、CO₂収支を調べる上での重要な指標となる。この画像は、人工衛星による2020年7月3日～7月10日の観測データから推定した葉面積指数の分布図。

作図協力：柳 裕二／北極環境変動総合研究センター



急速な温暖化により、北極圏周辺の陸域ではどのような変化が起きているのか。ArCS II「陸域課題」研究課題代表者である小林秀樹さんはアラスカ大学と共同で、2010年からアラスカの「ポーカーフラットリサーチレンジ (PFRR) フラックス観測スーパーサイト」で観測を続けてきた。アラスカの北側には厚い永久凍土層が全面に広がるツンドラ地帯があり、そこには低木や草しか生えていない。PFRRはその南側に位置する森林地帯で、日当たりの良い場所には永久凍土はないが、日当たりが悪い場所や低地には薄い永久凍土が分布している。

■ 凍土融解による光合成変化やメタン・CO₂放出量を探る

「PFRRでCO₂の観測を続けてきた結果、植物の光合成によってCO₂を大気から吸収する量が呼吸によって放出する量をわずかに上回る傾向が見られます。北極域のほかの森林地帯にある観測所でも同様の傾向が報告されています。PFRRの地中の温度は上昇傾向です。今後、温暖化が急速に進み、この地域の薄い永久凍土が融けると、CO₂収支はどう変化するのか、それを調べていく計画です。以

前は、温暖化するとこの北極域でも植物の光合成が活発になり、CO₂吸収量が増えるだろうと予想されていました。ところが最近では、地中の温度が上がることで土壌中の水分が蒸発して乾燥化が進み、光合成が抑制されてCO₂吸収量が低下する可能性も指摘され始めています」

永久凍土が融けると、森林生態系とCO₂吸収量はどのように変化するのか。「それを知るために、PFRRの永久凍土にヒーターを埋め込み、直径6mの円の範囲を3～5年間にわたり融解させる実験を2022年に開始します。永久凍土を長期間融解させて生態系の変化を調べる野外実験は、世界初です」

永久凍土では夏になると表層が融けて、土壌中の有機物を微生物が分解してCO₂やメタンが生成され、その一部が大気へ放出される。永久凍土には大気中の2倍の炭素が含まれていると推定されている。凍土融解によってどれくらいの量のCO₂やメタンが大気に放出されるのかを推定することが、温暖化研究における大きな課題の一つになっている。

同じ質量で100年間を比較した場合、メタンはCO₂の約30倍の温室効果があるので、凍土融解によりどちらが多く生成されて大気へ放出されるのかによって、温暖化への影響も変わる。「土壌中の水分量によってCO₂やメタンの大気への放出量が変わります。私たちは融解実験により、土壌の温暖化や乾燥化がどのように進み、CO₂とメタンの大気への放出量がどう変わっていくのかを時系列で調べる計画です。この実験は、ツンドラ地帯を覆う永久凍土の融解で発生するCO₂やメタンの量を推定する上でも重要な知見となるはず」

PFRRでの観測や実験を、シベリアやカナダなどのほかのサイトの観測データと比較したり、人工衛星で観測した間接的なデータを現場観測の直接的なデータで解釈したりして、北極圏周辺の陸域全体のCO₂収支や凍土融解によるCO₂やメタンの放出量を推定する必要がある。「さらにモデル開発の研究者と連携して、北極圏周辺の陸域で起きる変化の仕組みを解明することで、温暖化した地球の変化を予測する地球システムモデルの予測精度の

向上に貢献することを目指します」

■ 永久凍土を掘削して変化の仕組みを解明する

PFRRでは2022年に、永久凍土を深度15mほどまで掘削して試料を採取する計画だ。「その深度まで掘れば、この地域の永久凍土を貫通できる可能性があります。その掘削試料を解析して、微生物の種類や化学成分を調べます」。このような分析が、凍土融解で起きる現象の仕組みを解明する上で欠かせない。

永久凍土には、長い年月をかけて大気から降り積もった水銀が蓄積されていることも分かってきた。凍土融解によりその水銀が流れ出し、生態系や人体に悪影響を与えることが懸念されている。「ただし、永久凍土にどれくらいの量の水銀が含まれているのか実態が分かっていません。ArCS IIの研究と一緒に進めている末吉哲雄さん（IACE 特任主任研究員）のチームでは、PFRRの掘削試料に含まれる水銀の量を分析する計画です」



海氷の厚さや雲を計算する新手法

取材協力

羽角博康

東京大学大気海洋研究所 教授
JAMSTEC IACE 北極域気候変動予測研究グループ
招聘上席研究員

ArCS II「気候予測課題」の研究課題代表者を務める羽角博康さんは、「北極域の温暖化や気候を予測する上で、海氷の変化が重要です」と語る。

海氷か海面かによって、太陽光の吸収率が大きく変わったり、海と大気の熱や水蒸気のやりとりが変わったりして、気温や気圧配置、雲のでき方に大きく影響するからだ。しかし、海氷の変化を予測することは難しい。「その大きな原因の一つは、人工衛星で海氷の分布は観測できても、厚さがよく分からないことです」

海氷は厚いほど融けるのに時間がかかり、翌年以降も

残る可能性が高くなる。将来の海氷面積や分布を予測するには、気温や海水温などのデータに加えて、海氷の厚さの情報が不可欠だが、北極海全域について海氷の厚さを高精度で推定したデータが存在しないのだ。

■海氷の動きを追跡し年齢を厚さに換算

「海氷は衝突・合体を繰り返して厚くなるため、古い海氷ほど厚い傾向があります。私たちは、人工衛星で海氷の動きを追跡したデータから海氷の年齢を解析し、年齢から厚さを推定する手法の開発を進めています」

それは従来にない独創的な手法だ。「新しい手法で推定した海氷の厚さが正しいかどうかを検証して推定の精度を向上させるには、観測データが必要です。新しくできる北極域研究船により、海氷の厚さを直接観測することに期待しています」

海氷が融けて現れた海面にできる波が、海氷の衝突・

合体を促す働きをして、海氷と海面の境界の分布に大きな影響を与える。ArCS IIでは北極海における波浪シミュレーションのモデル開発も進めており、それも海氷の分布予測に役立つはずだ。

■温暖化した北極域の雲を予測する

さらに羽角さんは「気候モデルの長年の課題は、温暖化した地球における雲のでき方を予測することです」と指摘する。雲には太陽光を反射する日傘効果と、地表から宇宙へ逃げていく熱を閉じ込める温室効果がある。どちらの効果が勝るかは、雲ができる高度や厚さによって異なる。そのため、温暖化がさらに進行する将来の地球において、どのような雲ができるかは、温暖化の行方を左右する要因となる。しかし、無数のミクロな水粒が集まって雲ができる過程を正確に計算することは困難だ。

「特に北極域の雲には、水粒に加えて氷粒も多く、温暖化するとその比率も変わるので、雲のでき方はとても複雑です。氷粒の結晶の形によっても太陽光の反射率は異なります。また雲は海氷のでき方にも大きく影響します。ArCS IIでは北極域にできる雲を高い精度で再現できるモ

デルの開発に力を入れています」

北極域を含む地球全体の気候予測では、一辺が50～150kmほどの格子に分けて計算することが一般的だ。しかしそれでは、格子よりも小さなサイズの雲のでき方を物理法則に基づいて計算することはできない。

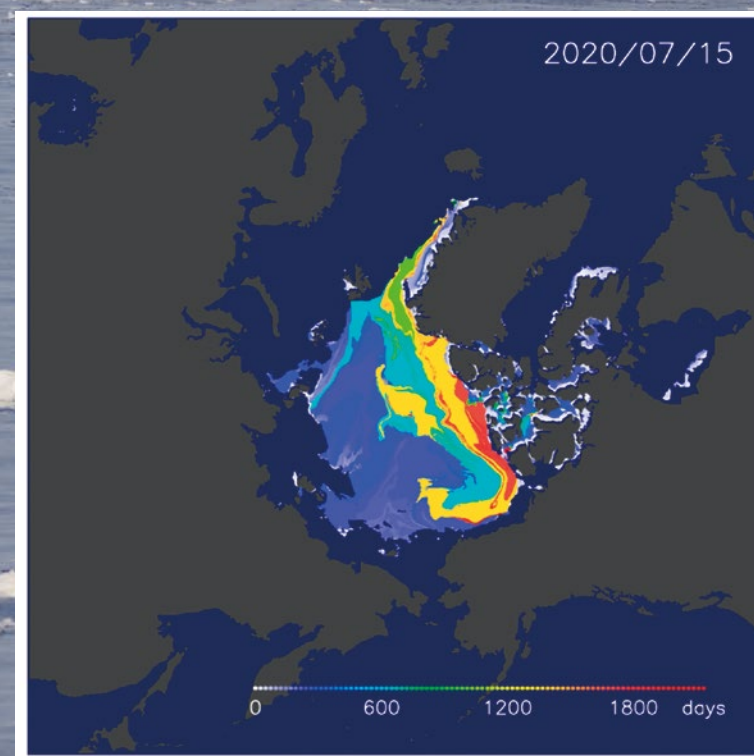
「私たちはまず、100m四方といった高解像度の格子の中で、気温や気圧、海氷分布など、北極域で想定されるさまざまな条件で雲のでき方の違いを物理法則に基づいて計算する実験を進めています。その計算に基づき、この条件のときにはこのような雲ができる、という情報をパラメーターとして気候モデルに与えて、北極域の気候予測を行います」

北極域の雲を再現する気候モデル開発は、世界のほかの研究グループでも進められている。パラメーターの違いなどにより、それぞれの気候モデルの予測結果にはばらつきが出ることが予想される。「その違いの原因を比較検討したり、航空機などで採取した雲試料の分析データでモデルを検証したりすることで、北極域における気候の予測精度を向上させていくことを目指します」

2021年、北極海を航行中の「みらい」より。
撮影：飯田康人／日本海洋事業株式会社

北極海の家氷年齢

人工衛星で海氷の動きを追跡したデータから、海氷ができてからの日数（年齢）を解析した。羽角博康さんらは現在、海氷の年齢を厚さに変換する手法の開発に取り組んでいる。





寒冷渦の新指標で極端現象を予測

取材協力

本田明治

新潟大学 自然科学系 教授

■北極由来の寒冷渦が日本に集中豪雨や竜巻をもたらす

北極域の環境変動は、日本の気候・気象にどのような影響を与えるのか。ArCS II「遠隔影響課題」の研究課題代表者を務める本田明治さんは、「寒冷渦」に注目している。寒冷渦とは、高度5～10km付近の対流圏の上層にできる、北極からの寒気を伴う気圧の低い大気の渦だ。寒冷渦は冬季に限らず発生して地表付近の大気を不安定

にし、竜巻や突風、線状降水帯による集中豪雨、局所的な豪雪などの極端現象を日本にもたらす原因となる。

熱帯域の暖気と北極の寒気が接する中緯度域の上空には、西から東へ向かって偏西風が吹いている。偏西風が大きく蛇行してちぎれるようにして寒冷渦は発生する。寒冷渦の発生や発達、進路を事前に予測することができれば、極端現象を予報して被害を回避・軽減させることに役立つ。「しかし寒冷渦の特徴を捉える従来の指標（渦位）では、寒冷渦の中心位置や渦の構造は分かっても、発生や進路などの挙動を追跡することは難しいものでした」

■寒冷渦の発生や発達・進路を追跡できる新指標

本田さんらは2021年、寒冷渦を捉える新指標を開発するとともに、ある時刻の上空天気図から寒冷渦の新指標を自動的に計算する手法の構築に成功した。

その新指標は、寒冷渦の中心位置、強度、影響範囲という3つの要素から成る。この3要素は、寒冷渦へ成長する前、上空の気圧の谷の段階から抽出することが可能だ。数日から1週間という時間スケールで起きる、寒冷渦の発生・発達、複数の寒冷渦の合体を追跡することができる。

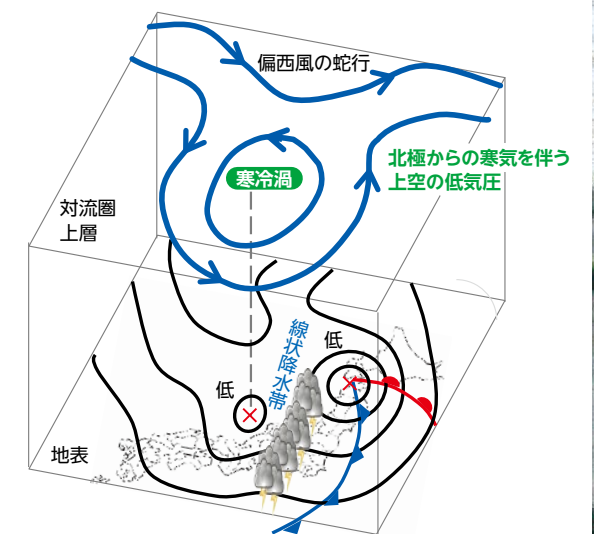
「上空に寒冷渦があるとき、地表で必ず極端現象が発生するわけではありません。この新指標を寒冷渦の予測に役立てるとともに、どのような寒冷渦があるときに、どこでどの種類の極端現象がどれくらいの規模で起きる確

率が高いのか、相関関係を明らかにしていく計画です。それにより、数日～1週間程度前に極端現象の発生を予報する手法の開発を目指します」

温暖化に伴い寒冷渦はどのように変化するか。「北極域が急速に温暖化すると、熱帯域との温度差が小さくなる影響で偏西風が弱くなるはずですが。すると偏西風が蛇行しやすくなって、寒冷渦が発生しやすくなる可能性があります。また、海氷の縮小など北極域の環境変化は、偏西風の蛇行の仕方に影響を与えます。私たちは、温暖化が進行した将来の地球において寒冷渦の発生頻度や強度、挙動がどう変化するかモデル実験を進めており、その変化が極端現象の発生にどのような影響を与えるのか明らかにしていく計画です」

寒冷渦と極端現象

蛇行した偏西風がちぎれてできる北極由来の寒冷渦が、地表付近の大気を不安定にして、線状降水帯による集中豪雨や、竜巻・突風、豪雪などの極端現象を日本で引き起こすことが多い。



新指標で捉えた竜巻発生時の寒冷渦

2012年5月6日に茨城県つくば市などで竜巻が発生したときに、上空にあった寒冷渦の特徴を新指標（中心位置・強度・影響範囲）で捉えたもの。新指標により、この寒冷渦の発生と動きを、竜巻発生の数日前までさかのぼって追跡できた。なお、寒冷渦の強度は200hPaという気圧面がどの高度までへこんで地表へ近づいているのかに対応し、黒の濃淡で示している。

新潟大学では、6日前から6日後までの寒冷渦の挙動を示した「寒冷渦マップ」を試験運用中。
<http://naos.env.sc.niigata-u.ac.jp/~coluser>



2020年7月、豪雨で増水した大井川（静岡県）

西日本から東日本にかけての広い範囲に長期間、大雨をもたらした「令和2年7月豪雨」のときにも上空には寒冷渦があり、線状降水帯が発生した。

©時事通信フォト



北極域研究船は砕氷と観測を両立

取材協力

山口 一

研究プラットフォーム運用開発部門
北極域研究船推進室 室長

「みらい」によって日本の北極域研究は大きく前進した。しかし「みらい」は砕氷性能を持たないため海氷域に入っていくことはできず、観測できる範囲や時期が限られる。砕氷性能を持つ研究船が欲しい——日本の北極域研究者の長年の願いが実現しようとしている。

「人工衛星で観測できるのだから海氷を割ってまで行く必要はないだろう、と言われることがあります。しかし、現場に行くと、現場で観測し試料を採取しないと分からないことがたくさんあるのです」と北極域研究船推進室の室長である山口一さんは言う。人工衛星によって観測で

きる空間と時間は広がった。しかし、人工衛星によって得られるのは電気信号であり、その電気信号がどういう意味を持っているかを知るには現場のデータが必ず要る。

■ 海氷域に行く。それだけを目指した船ではない

「これから建造する北極域研究船は、砕氷能力が世界一であるとか、何かに特化した船ではありません。私たちが目指しているのは、研究者も船を動かす人も“使いやすい”と喜んでくれる船です」と山口さん。

南極観測船「しらせ」は厚さ1.5mの海氷を船速3ノット（時速約5.56km）で連続砕氷可能という世界屈指の砕氷能力を有している。北極域研究船の砕氷能力は、厚さ1.2mの海氷を船速3ノットで連続砕氷可能なレベルだ。「砕氷能力を重視してしまうと、氷がない海域では航行

性能が落ちて使いにくい船になってしまいます。それは、日本の海洋観測研究全体で見るとマイナスです。そこで、北極点到達や北極海横断航海に必要な砕氷・耐氷性能は持ちつつ、海氷域だけでなく通常海域でも『みらい』でできることプラスアルファの観測ができる船にします」と山口さんは解説する。

■ 新しい北極域研究を可能にする装備の数々

北極域研究船は観測のためのさまざまな装備を有するが、特筆すべきはムーンプールとドップラーレーダーだ。船体の中央に穴が開いていて、このムーンプールから観測機器を下ろすことで、海氷の下データを安全に取得できる。「最近建造された砕氷船ではムーンプールを持つものもありますが、ドップラーレーダーを搭載する砕氷船は初めて」と山口さん。「ドップラーレーダーを搭載するということは、一番見晴らしのいい所に大きなドームができるということ。船としては邪魔なので付けたくないんです。砕氷船では海況調査や緊急時のためにヘリコ

プターを搭載するので、その発着も考慮しなければならず、設計も難しくなります。しかし、『みらい』は研究船として世界で初めてドップラーレーダーを常設し、高精度な大気・気象観測を行ってきました。その観測が海氷域でもできるようになれば大きな意味があり、ドップラーレーダーを外すことは考えませんでした」

ゴンドラをクレーンでつり下げて研究者が海氷の上に降りることができるシステムを準備している。これによって、海氷の観察や計測、試料の採取が可能になる。また、氷の厚さを非接触で計測できる電磁誘導式氷厚計を搭載。海氷面積や分布の予測に不可欠でありながら不足している海氷の厚さの情報の取得を目指す。

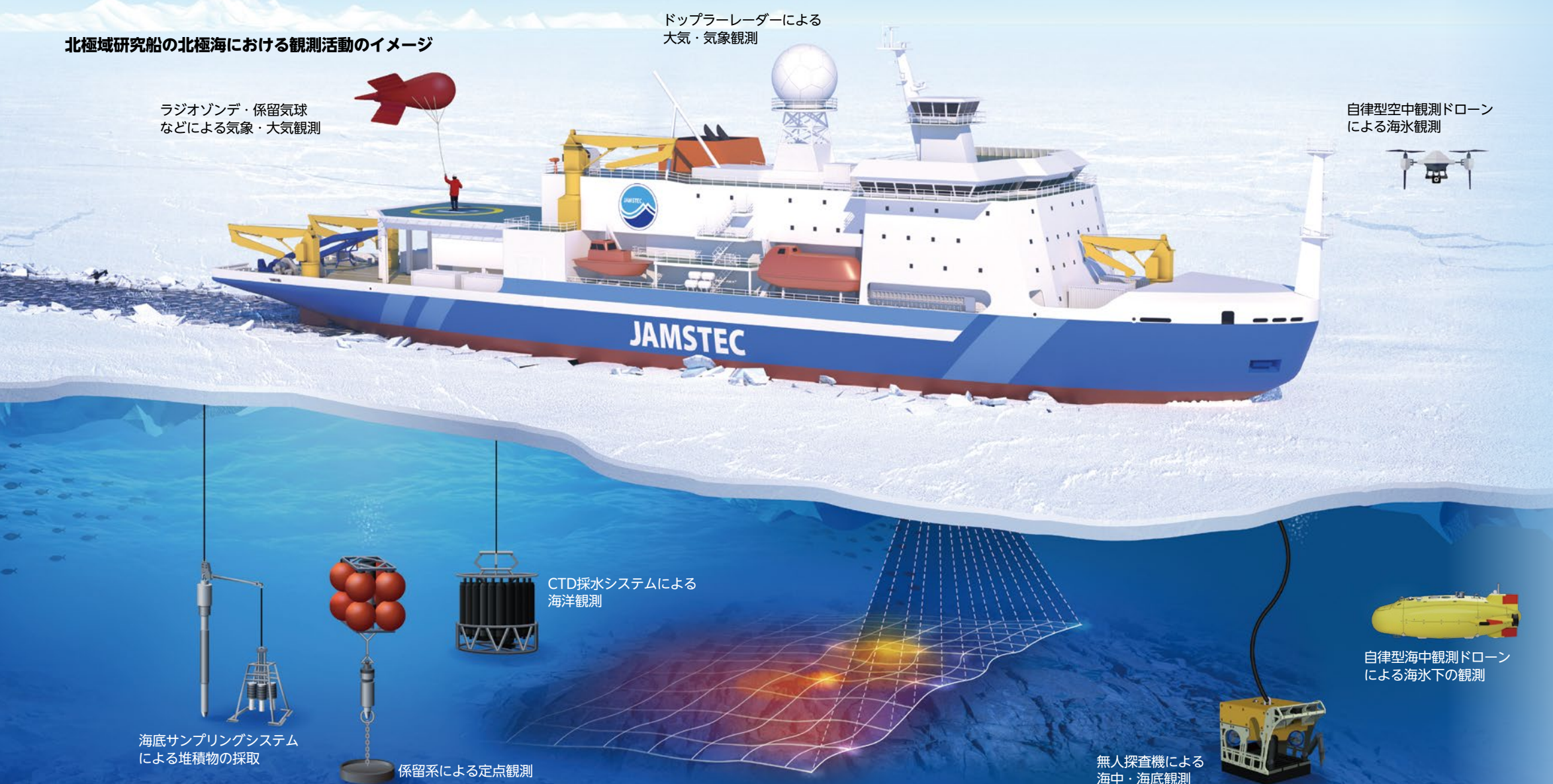
氷海航行支援システムを搭載することも大きな特徴である。北極域研究船では、アイスレーダーや赤外線カメラなどによって海況をモニタリングし、また砕氷などによって船体に生じるひずみや、スクリュープロペラの推力やトルクを連続的に測定し記録する。それらはデータベースに蓄積され、航行中に操船のガイドとして、また下船後に安全で効率的な航行方法を検証・改良するためにも使える。観測データを取得したときに、船がどの位置にいて、どういう海況だったかも分かる。“航行支援”と付いているが研究にも役立つシステムになっている。

■ 完成予定は2026年

「必要十分な砕氷・耐氷性能と、海氷域だけでなく通常海域における観測性能を両立する船。その設計は、とても難しいものです。しかし、日本の造船技術は非常に優れています」。山口さんの言葉には、北極域研究船実現の自信がみなぎっている。

北極域研究船は現在、詳細設計を行っている。2023年に建造に着手し、2024年進水、2026年完成の予定だ。

北極域研究船の北極海における観測活動のイメージ



北極域研究船の想定要目	
全長	128m
幅	23m
深さ	12.4m
喫水	8m
国際総トン数	13,000トン
砕氷能力	平坦1年氷1.2mを3.0ktの船速で連続砕氷可能
耐氷能力	ポーラークラス4（多年氷が一部混在する厚い1年氷がある海域を周年航行可能）
乗員	99名
主発電機関	約5,600kW 3基（ディーゼル） 約2,600kW 1基（デュアルフューエル）



次の北極域研究へ

2026年、砕氷性能を持つ北極域研究船が誕生する。

北極域研究船ならば、こんな観測研究ができる！こんなことをしたい！
若手研究者5人が語り合う。

北極海を覆う海水の中へ

——北極域研究船ができれば、どのような観測研究をやりたいですか。

野村：北極域研究船ができれば、いろいろな時期に北極海に行けるようになります。これは、とても大きなことです。私は、海水が海洋環境にどのような影響を与えるのかに興味があります。特に、海水ができるときに何が取り込まれ、その後、海水の中でどう変化するのか。また、海水が融けたときに大気や海洋表層にどのような影響を与えるのかを調べています。現在は日本の船では海水域に入っていけないので、ドイツの砕氷船を海水に閉じ込めて北極海を1年以上漂流しながら観測を行う国際プロジェクトMOSAICなどに参加してきました。

北極域研究船が完成すれば、海水が凍り始めるときや海水が融け始めるときなど、いろいろな時期に観測できるようになります。

藤原：海水域は、砕氷船でなければ観測できません。一般的な海洋では、大気との相互作用などで海洋の物理や化学成分が変化し、その結果、海洋生態系に影響が及びます。北極海の場合、海洋の物理や化学成分の決定にさらに海水も関わっています。ところが、これまでは重要なピースである海水の情報が不足していました。北極域研究船ができれば、海洋環境が海洋生態系にどのような影響を及ぼすのかを、海水の役割を含めて総合的に明らかにしたいと考えています。

竹谷：いろいろな時期に北極海に行けるようになることは、大気化学でも

重要です。私はブラックカーボンなど気候に影響を与える大気中の化学物質の観測を行っています。「みらい」が北極航海を行う夏から秋は1年中でも大気がクリーンな時期です。冬季から春先が最も汚染物質の濃度が高くなるといわれているので、その時期を含めて1年を通した変化を観測したいと思っています。

八田：2021年の「みらい」北極航海に藤原さん、野村さんと一緒に乗船したのですが、例年より海水が厚く、いつも海水から逃げていました。私は、生物の生育に関わり、また海洋循環の指標にもなる海水中の微量金属を分析しています。最近興味を持っている場所の1つが、北極海の大陸棚海域にある海水の下です。大陸棚の地下の永久凍土が融解し、海底からメタンな

どが噴出しています。放出されたガスやほかの化学成分は、海水の下に停滞し、水質を変化させるのではないかと考えられています。また、海水の下には海水の融け水や河川水が混ざり合っていて、通常の海水とは違う環境になっていると思われます。北極域研究船は海水から逃げなくてよいので、そうした海水下の環境をぜひ調べたいと思っています。

伊藤：私の専門は海水で、「みらい」は海水に近づけないので「みらい」の北極航海には乗船したことがありません。アラスカ最北端のウトキアグヴィク（バロー）からスノーモービルで海氷上に出たり、南極観測船「しらせ」で南極に行ったり、海上保安庁の巡視船「そうや」でオホーツク海の海水を調査したりしてきました。海水にアプローチできる北極域研究船には、ぜひ乗船したいと思っています。その



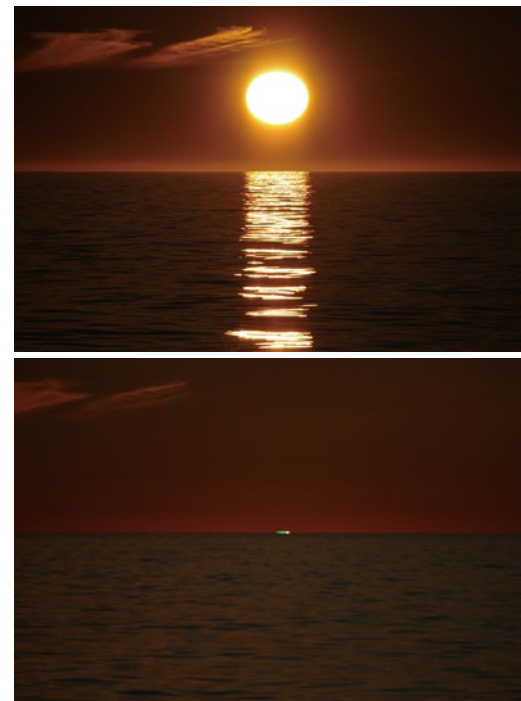
場所に行って見るというのは、とても大事なことです。特に海水は、目で見て分かるがたくさんあります。

コラボレーションしよう

伊藤：海水が連続的にたくさんつづられているのは沿岸で、できた海水は沖へ流れていきます。海水がつくられるとき、野村さんが言うように、いろいろな物質が取り込まれます。そうしたいろいろな物質を取り込んだ海水を沖でつかまえて調べたいと思っています。それは砕氷船でなければできません。そして、普通はどのように物質が入り込んだかは入る瞬間を観察しないと分かりませんが、氷は面白いことに、どのように成長してきたかという履歴が氷の中に全て残っていて、特殊な解析をすることで読み出せるのです。

藤原：海水は、発達するとき物質を取り込み、風や海流によって移動し、融けるときにその物質を放出します。海水によって水平的にいろいろな物質が輸送されているのです。北極海では海水の減少に伴って海水が動きやすくなり、例えばアラスカ沿岸でできた海水がヨーロッパ側まで短期間で移動することもあります。こうした海水による物質輸送に興味があります。海水は、海水からだけでなく、大気からも物質を取り込んでいますよね。

竹谷：大気中の物質は、雪や雨と一緒に海の表面や海水の上に落ちます。



北極海海中の「みらい」で2021年9月12日、太陽が完全に沈む直前、緑色の光が輝いた。グリーンフラッシュと呼ばれる、大気がきれいなときに見られる現象である。（撮影：木名瀬 健/JAMSTEC）

海水は、北極における物質循環に重要な役割を果たしているのではないのでしょうか。

八田：CLIVARという国際プロジェクトで大気から海洋表層への物質の輸送などを調べるために微量金属の分析をしたのですが、海水中の微量金属が大気からどのくらい来たのか、また詳しい溶存プロセスについては、まだまだ分からないことも多く、詳細な研究が必要だと感じました。大気のエキスパートと海洋表層のエキスパート、そして北極海については海水のエ



八田真理子（はった・まりこ）
JAMSTEC 北極環境変動総合研究センター
北極海洋生態系研究グループ 副主任研究員

専門は海洋地球化学。海水中の微量金属を分析しその分布を調べている。分析手法の開発にも取り組む。アメリカの砕氷船「ヒーリー」で北極点に到達したほか、南極海でも観測を行う。2021年「みらい」北極航海に参加。



藤原 周（ふじわら・あまね）
JAMSTEC 北極環境変動総合研究センター
北極海洋生態系研究グループ 研究員

専門は海洋生態学、衛星リモートセンシング。海洋環境が海洋生態系にどのような影響を及ぼすかを研究。北海道大学練習船「おしよ丸」による北極航海3回のほか、2021年には自身9回目となる「みらい」北極航海に参加。



竹谷文一（たけたに・ふみかず）
JAMSTEC 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

専門は大気化学。ブラックカーボンなど、大気中の化学成分の分析を行う。2014年から4回、「みらい」北極航海に参加。北極域のアラスカ・ポーカークフラットリサーチレンジでも大気観測を行っている。



野村大樹（のむら・だいき）
北海道大学
北方生物圏フィールド科学センター 准教授

専門は極域海洋・海氷生物地球化学。海洋・海水中の物質が海洋生態系や海洋・大気環境へ及ぼす影響を研究。2015年にノルウェーの砕氷船、2020年にドイツの砕氷船、2021年に「みらい」による北極航海に参加。



伊藤優人（いとう・まさと）
国立極地研究所 研究教育系
気水圏研究グループ 特任研究員

専門は海水物理学。第59次南極地域観測隊夏隊に参加し、南極観測船「しらせ」で海水観測を実施。北極海アラスカ沿岸の定着氷の観測や海上保安庁巡視船「そうや」でオホーツク海の海水観測も行っている。

キスパートがしっかり連携して取り組まないと、その理解は進まないでしょう。

野村：いろいろな物質を取り込んでいる海水が融けると、そこでさまざまな反応が起きます。しかし、そのあたりのことにきちんと取り組めている人は、ほとんどいないと思います。

伊藤：さまざまな分野の研究者がそれぞれの専門を生かせば、いろいろな過程を多角的に調べることができるでしょう。私は、海洋観測を専門とする船に乗ったことはありません。たくさんの方々が乗っていて、みんな海や氷や大気や生物に興味を持っています。そういう環境に身を置いてみたいです。

藤原：研究航海は話し合う機会が十分にありますからね。2021年の「みらい」北極航海のときにも、野村さんと八田さんと私で海水に関する共同研究の話がまとまり、動きだしています。

日本が砕氷船を持つということ

——砕氷船を持つ国は複数あり、北極航海を行っています。日本が砕氷船を持つ意義とは？

野村：海外の船では、私たちは便乗させてもらう立場になってしまいます。北極航海では海水の状況によって計画通りに航行できないことがよく

あります。そのような際に日本の船であれば、私たちがリードして計画を変更できる可能性が高くなります。また、大型の観測機器や八田さんの微量金属分析のように特殊な装置が必要な場合は特に、日本の港から出て日本の港に帰ってくるができるのは、輸送の面でも大きな利点となります。

伊藤：それは試料の持ち帰りにも言えます。外国に帰港する場合、試料を航空機で日本に送らなければならない輸送費がかかるので、持ち帰ることができる量が限られてしまいます。海水の場合、輸送中に温度が上がって駄目になってしまうこともあります。日本の船ならば、輸送費の心配をせずに、日本の港まで超低温を維持して持ち帰ることができます。

竹谷：日本が砕氷船を持つのですから、二番煎じではないことをやりたい。アップグレードした、日本独自の視点の観測研究ができればいいなと思っています。

伊藤：私は、二番煎じもできないで新しいことができるとは思いません。まずは海外の砕氷船でやっている観測を、日本が当たり前に行えるようにしないとダメです。それをやった上で、日本の強みを生かしていくべきだと思います。

野村：日本には、どのような強みがあ

るでしょうか。

八田：日本は分析が丁寧ですよ。

伊藤：日本はこれまで極域の観測機会が限られていました。限られた中で最大限の成果を出すために計画を練り丁寧な観測を行うことで、質の高いデータを出しています。だから、観測機会の多い外国と勝負ができています。日本が砕氷船を持つことで、質をキープしつつ、数も加われば、極域の科学の発展に大きく貢献できるのではないのでしょうか。

藤原：北極海沿岸の国の場合、自国の近海の調査が優先される傾向があるようです。日本は、北極海に領海を持たない一方で、どの国とも比較的良好な関係にあるので、科学的に重要な所を調査できるという利点があるかもしれません。

野村：北半球で海水が存在する南限であるオホーツク海に行きやすいというのも、日本の強みでしょう。

伊藤：海水については、北極だけでなく、オホーツク海、そして南極で調べることが重要です。3カ所に共通する一般性をまず理解することで、北極の特殊性が見えてきます。日本の砕氷船が、北極、オホーツク海、南極で使えるというのは、大きな強みです。

北極域研究船ができるまでに

八田：砕氷船があれば海水域の観測全てができるわけではありません。海水が融けると、塩分が低いマイクロレイヤーと呼ばれる薄い層ができます。そこは大気や海水と相互作用するととても重要な場なので、ぜひ分析したい。しかし、砕氷船はマイクロレイヤーを壊してしまいます。小型作業艇などで船から離れたところへ行ったり採水するなど、方法を考える必要があります。

藤原：空中ドローンで採水することも検討されています。

野村：北極域研究船ができる前に、海水域のためのさまざまな観測技術



野村さんが参加したMOSAICプロジェクトで、海水表面が融けてできた水たまりメルトポンドで採水を行っている様子。奥にドイツの砕氷船「ポーラーシュテルン」が見える。(撮影：野村大樹／北海道大学)

を準備しておかないといけませんね。

竹谷：砕氷船にはヘリコプターが搭載されるので、それを観測に使いたいと考えています。気球を用いて高層大気の観測をしています。高度1kmが限界です。ヘリコプターならば、もっと上空まで行けます。機材も載せられるので高精度な観測が可能になると期待しています。ヘリコプターを観測に使用する際の安全基準の策定などを進めておく必要があります。

伊藤：海水は観測の邪魔になるもので砕氷船は邪魔な海水を割る船だと思っている研究者も多いように感じています。北極域研究船は、「みらい」がやっている観測を海水域でもやるための船なのか、「みらい」ができなかった海水の観測もやるための船なのか。私は後者であるべきだと思いますが、北極域研究船をつくる人、使う人に海水を観測する重要性を分かってもらうことも、やっておかなければいけないことだと思います。

だから北極海に行く

——北極海の魅力は？なぜ北極海に行

くのですか。

八田：北極海は、海水があるために船があまり揺れないので、好きな海です。そして地球上で最も温暖化の影響を受けやすく、どんどん変わっている場所なので、目が離せません。

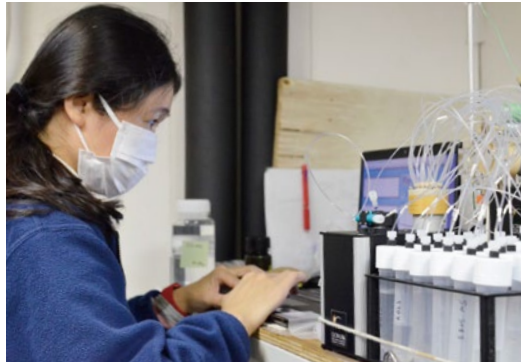
竹谷：北極のことをよく知らないまま初めて「みらい」の北極航海に参加したのが2014年。大気というのは陸の上と海洋の上ではまったく違うことを知り、興味が大きくなって何度も北極へ行きました。次は海水の上の大気を観測するために、また北極海へ行くことでしょ。

藤原：北極海はロマンがあります。そして地理的にも時間的にもダイナミックに変化します。冬は海が凍るのに、夏の海水温は日本近海の冬と変わりません。冬は生物がほとんど活動せず、夏は南からたくさんの生物が集まってくる。なぜ変化がダイナミックなのか分かっていないことも多いというのが面白いですね。

野村：海水が一気になくなったり、北極海の変化は実に分かりやすい。性格的に、変化が分かりやすい現象が

「みらい」船上で、表層水の化学成分を連続測定する装置を設定している八田さん。「化学成分分析は特殊な大型装置が必要な上に手作業が多いんです。小型でボタンを押すだけ、そんな分析装置の開発にも取り組んでいます」

(撮影：木名瀬 健/JAMSTEC)



「みらい」の乗船中、多くの大気観測機器に囲まれた部屋でエアサンプラーのフィルター交換を行う竹谷さん。(提供：竹谷文一/JAMSTEC)

好きなんです。ただし、そのメカニズムはシンプルではなく分かりづらい。行きづらい、研究をやりづらいということにも魅力を感じています。大変だからこそ面白いのです。

伊藤：行ったことがない北極に行ってみいたいというのがありますが、そういう冒険心だけではなく、そこが海水を理解するために重要な場所だから、チャンスがあれば行きたいと思います。海水は、まだまだ分かっていないことが多く、予想外のことが平然と起きます。それが魅力です。そして海水はきれいです。「そうや」や「しらせ」に乗っていると、昼間はまぶしくてサングラスを外せません。夕方サングラスを外して見ると、とてもきれいな風景が広がっていて、海水の研究をやっていてよかったなと思います。

BE