01

情報・システム研究機構ブックレット

SCIENCE REPORT

001-006

北極を知って地球を知る。

大学共同利用機関法人
情報・システム研究機構

01

情報・システム研究機構ブックレット

SCIENCE REPORT

001-006

北極を知って地球を知る。

大学共同利用機関法人
情報・システム研究機構

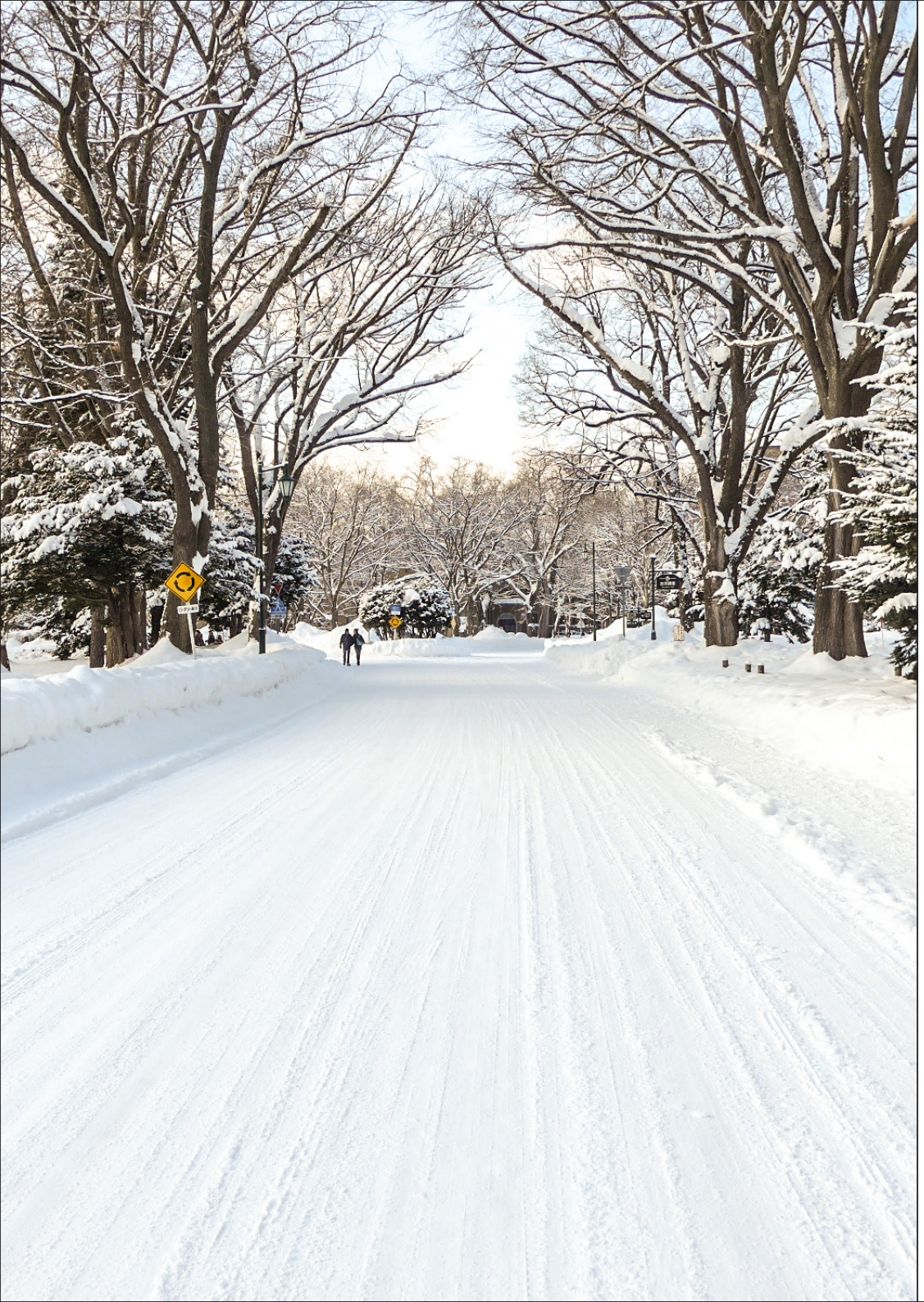
『サイエンスリポート』について

『サイエンスリポート（https://sr.rois.ac.jp/）』は、
大学共同利用機関法人情報・システム研究機構が
運営するウェブサイトです。

2016年12月公開以来、
当機構の大学共同利用機関法人としての役割を踏まえ、
自機構のみならず他機構および
広く大学・研究機関等の話題を採り上げ、
広く一般・マスコミの方々へ向けて、
学術の成果や取り組みに関する情報を提供しています。

その中心的なコンテンツとして、ウェブサイトと同名の連載記事を
定期的に（月1回程度）掲載し、
継続的に新しい記事を追加しています。
先端的な取り組みをわかりやすく紹介し、
人々の疑問に科学者コミュニティが答えるような構成で、
学術の役割と活動を広くご紹介しています。

本書は、その記事が身近にお手にとれるよう、
冊子にまとめました。



目 次

03 『サイエンスリポート』について

10 Science Report 001
北極は船の通り道！？
答える人 | 山内恭名誉教授

17 Science Report 002
北極が温暖化すると日本の冬が寒くなる？
答える人 | 猪上淳准教授

23 Science Report 003
北極海の氷をもっと詳しく調べると？
答える人 | 舘山一孝准教授

32 Science Report 004
海の変化は生態系にどう影響している？
答える人 | 西野茂人主任技術研究員

38 Science Report 005
世界は北極域をどう見ているのだろう？
答える人 | 田畑伸一郎教授

44 Science Report 006
北極と日本って、どんな関係？
答える人 | 榎本浩之教授

55 大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構について
機構長　藤井良一

SCIENCE REPORT

001-006

北極を知って地球を知る。

SCIENCE REPORT 001

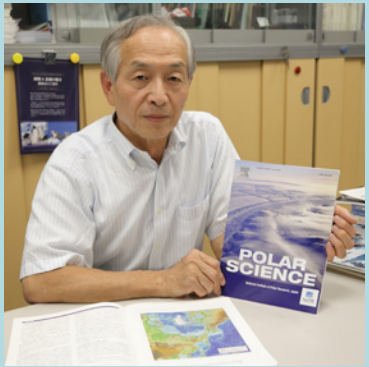
北極は船の通り道!?

北極と南極―地球にあるふたつの極地は、長い地球の歴史や地球温暖化のメカニズム、各国の気象現象などを解明する上で、重要な鍵を握っていると考えられている。中でも厚い氷に閉ざされてきた北極海は、近年、海氷の減少が著しく、夏の一定期間なら船の航路として利用できる可能性も見えてきた。変わる北極と私たちの関係をめぐって、これからちょっと身近になりそうな北極の科学をお伝えしよう。

答える人

山内 恭名誉教授

[国立極地研究所]



極域大気の放射収支、大気・物質循環および雲・海氷気候の研究を行っている。2011〜2015年度「急変する北極気候システム及びその全球的な影響の総合的解明」(GRENE北極気候変動研究事業)のプロジェクトマネージャを務めた。手にしているのは、現在編集長を務める、極域科学の国際科学ジャーナル『Polar Science』。

ふたつの極地の観測は同時に始まった

極点から66度33分までの高緯度地域を、それぞれ北極圏、南極圏という。これらの地域では地球の他の場所では見られない現象があり、その観測は、特に地球の変化を捉える上で重要な意味を持っている。この認識が世界的に広まった1957〜58年の国際地球観測年を機に、日本の南極・北極観測は、実は同時に開始されている。その翌年の南極条約によって南極大陸が平和的利用に限られ、日本は主に昭和基地を拠点に活動してきた一方で、北極圏はロシア、アメリカなど8ヶ国の主権が及ぶことから、ことに戦後から米ソ冷戦時代にかけては目立った観測活動が行われてこなかった。

ノルウェーが管轄する北極海のスバールバル諸島・ニーオルスン基地。日本を含む11ヶ国の国際観測拠点となっており、1920年代のスバールバル条約により、ここだけが北極圏では例外的に各国の主権が及ばない。写真:国立極地研究所

北極は地球の未来が見える場所

ところが近年、北極がにわかに注目を集めているという。「地球温暖化をはじめ、地球全体の変化が極地で顕著に、しかも先取りして現れることは以前から知られていました。しかし温暖化増幅は、北極によりはっきりと現れているんですね。実際、ここ100年間の北極の気温は、全球平均と比べて2倍以上の速さで上昇しています。これを温暖化増幅といいます」と、国立極地研究所の山内恭名誉教授は言う。南極と北極の最も大きな違いは、北極は海、南極は陸であることだ。北極が海氷を浮かべた海であるのに対して、南極は世界5番目の大陸であり、雪が降り積もって作られた2,000〜3,000メートルもの氷床でできている。「海氷は太陽光のほとんどを反射しますが、海氷が減少すると、海が太陽光を吸収するようになり、北極域がさらに暖まる。これをアイスアルベドフィードバックといい、温暖化増幅の基本的な原因と考えられています」。

クリオコナイトが一面に見られるグリーンランド氷床。写真：国立極地研究所

いま北極に起こっている大きな変化

温暖化増幅をはじめ、地球環境という時間的・空間的スケールの大きな現象を解明するには、機関や国、分野の枠を超えてデータを共有し、研究連携することが不可欠だ。そこで、2011年「GRENE北極気候変動研究事業」という研究プロジェクトが開始され、それまで個別に進められていた日本の北極研究から、国立極地研究所を含む40研究機関・約360人の研究者が参加するオールジャパン体制が作られた。そのリーダーを務めたのが山内教授である。「北極海の海氷も年々減っていますし、気温だけでなく気象も変化しており、先住民の人たちや動植物にも影響を与え始めています。またグリーンランド氷床など陸の氷雪も著しく融けているんですね。白いはずの雪の表面が黒く汚れたように見えるのは、黒っぽい色をしたクリオコナイトという微生物によるもので、この生態系の変化によっていっそう氷雪の融解が進んでいるという新たな事実もわかってきました」。

スエズ運河経由より安全で経済的な航路開発

一方、北極の氷が減ることで、よい側面もある。船が通りやすくなることだ。「日本からヨーロッパへ行く北極海の航路は、スエズ運河を回っていくより大幅に航行距離を短縮できると試算されています。では安全面、採算面で合うのかという精度の高い「予測」が、科学に期待されています」。GRENE北極気候変動研究事業では、2015年夏の海氷分布予測を高い精度で的中させ、これに基づいて具体的な航路選択を支援する最適航路探索手法の提案も行った。航路開発には経済的な背景などから、北極圏に油田を持つロシアをはじめ中国・韓国などの国々も積極的だという。

グリーンランドにある港の風景。北極は南からメキシコ湾流が流れ込んでくる影響で、南極と比べるとかなり暖かい。このため、高緯度にあるノルウェー、ロシア、アイスランドなどの国々では、冬季でも砕氷船を必要としない不凍港が多いという。写真：国立極地研究所

北極域の夏の風景。かつては夏も雪に覆われたままであったが、融解が進み、地表が現れているところ。写真：国立極地研究所

戦前に日本人が挑戦した北極海航行計画

ところで北極海航路の歴史をひもとくと、日本人の足跡が残されていることは、案外知られていない。「私も比較的最近知ったのですが、武富栄一船長が率いる農商務省水産局の快鳳丸1,093トンが、1937年には現在のロシアにある東シベリア海のコリマ川河口付近まで到達しているんですね。その後1941年には快鳳丸に1年半分の食糧を積み込んで北極を横断し、大西洋を下って南極に至る地球縦断航海の計画もあったんです。」だが、この航海はドイツ軍のソ連侵入という差し迫った戦時情勢により、往路半ばで中断せざるを得なかった。

日本に暮らす私たちにとって、北極はこれまで、ほとんど知る機会のない場所だったかもしれない。しかし私たちの暮らしに直接関わってくるような地球全体についてのさまざまな変化が、いま北極から発信されていると言っても過言ではない。これから全6回にわたって北極の科学について見ていこう。

公開日：2016/12/12

戦前に行われた快鳳丸の航海

武富栄一船長の航海について説明する、オホーツク流氷科学センターの高橋修平氏(「極域科学シンポジウム2016」2016年12月2日、国立極地研究所にて)。快鳳丸の第5次北氷洋航海には、気象台から派遣された2名の職員が乗り込んでいた。彼らが航海の様子を記した「白熊日誌」が、後世に残されることとなった。その一人で、のちに網走地方気象台長となった高橋正吾(1916-1995)氏は、講演者の父にあたるという。

SCIENCE REPORT 002

北極が温暖化すると日本の冬が寒くなる?

2016年冬、東京都心で11月に降るのは54年ぶりという初雪が舞い降りた。2016年12月には、札幌市で10日に積雪65センチ、次いで23日には積雪96センチもの大雪となり、空の便が大幅に欠航となるなど交通に大きな影響があったことも、記憶に新しい。実は日本だけでなく、近年、北半球の中緯度圏にある北米、ヨーロッパなどの広い範囲で、冬に記録的な冷え込みや大雪などが発生し、さまざまな被害が出ているという。確かに、世界のさまざまな地域で、地球温暖化による過去に例のない大規模な干ばつ、洪水などの異常気象が起こるようになってきた。しかしこの「寒冷化」する現象も、地球「温暖化」の影響だと考えることができるのだろうか?

答える人

猪上淳准教授
[国立極地研究所]

温暖化が進む極域の気象を、大気・海氷・海洋の相互作用から総合的に理解する研究に取り組む。特に北極海において、熱や水を移動させる源となる低気圧や、海氷減少と関連する中緯度の異常気象等の現象に注目し、極地観測と高度な解析の両刀で解明に挑む。

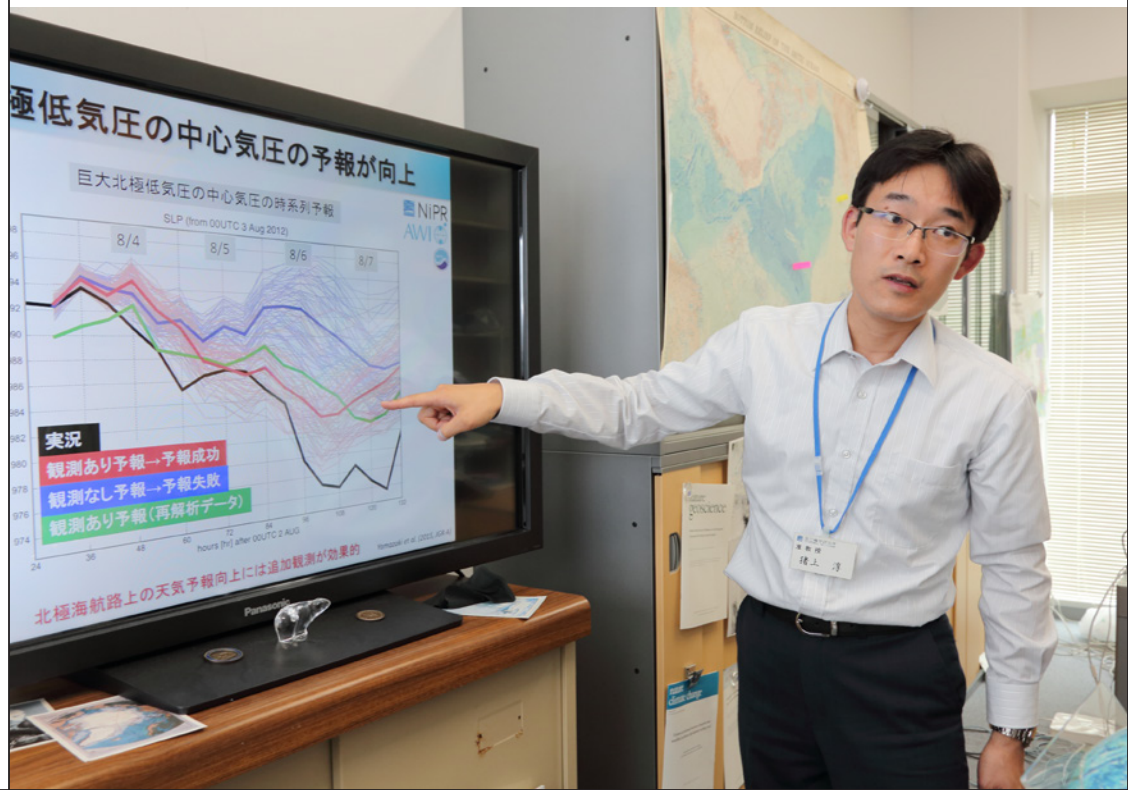
既に根雪が張る2016年12月20日の札幌。
撮影：猪上淳

地球が温暖化しているのに日本の冬は寒い

ニューヨーク、マンハッタン島の脇を流れるイースト川が凍りつき、一面に氷が浮かんだ。北米東部を襲った記録的な寒波により、ニューヨークは−18度、五大湖で−15度、フロリダ半島で0度と、米国各地で最低気温が更新されたのは、2015年2月のことだ。「さかのぼると2005〜6年の冬にも、日本海側で豪雪による大きな被害があったんです。データを集めてみると2000年代後半から、北半球の中緯度圏で、冬に低温や豪雪などの被害が出ていることがわかりました」というのは、国立極地研究所の猪上淳准教授である。ふつうに考えれば、地球が温暖化しているのだから、どちらかというと暖かくなりそうなものだ。「ところが、その豪雪の直前の夏は、当時観測史上、北極海の海氷面積が最も小さかった年でした。そこで、北極の海氷が少ないことと日本の気象には関係があるのではないかと考えたのです」。

日本の冬を寒くする空と海のメカニズム

海氷面積の減少は、今、北極に起こっている大きな変化のひとつだ。衛星観測で正確に海氷面積を把握できるようになった1979年以降、北極域では毎年ほぼ北海道に匹敵する面積の氷が減っており、2007年と2012年に年最小値を更新した後、現在、実は2016年が2番目に少ない年となっており、実際12月には大寒波が北米を襲った。北極は地球全体の環境変化に対して重要な役割を担っているが、気象の変動についても、北極に連動して遠隔地が変化する「テレコネクション（遠隔応答）」という現象が知られている。応答するメカニズムをどう解くか？「ヨーロッパの高緯度地域が暖かいのは、南からメキシコ湾流が北大西洋へ上ってくることがひとつの原因です。私たちが発見したのは、これに加え、近年海氷が減ってしまった海上に発達する冬場の低気圧が北へ移動しており、さらにこの低気圧による南風が、海氷を北へ押し流しているという事実でした（参照プレスリリース http://www.nipr.ac.jp/info/notice/20140816.html）」。南風を受けて北極海はいっそう暖まり、一方の陸は寒冷化して、相対的に高気圧となる。「日本では、冬型として西高東低の気圧配置が知られていますが、その西側の大陸上の高気圧の寒気、すなわち“冬将軍”が強くなることに相当します」。猪上准教授は現在、「北極域研究推進プロジェクト（Arctic Challenge for Sustainability: ArCS）」において、さらにこの問題に迫っているところだ。



世界の科学者が協力して気象データを集約

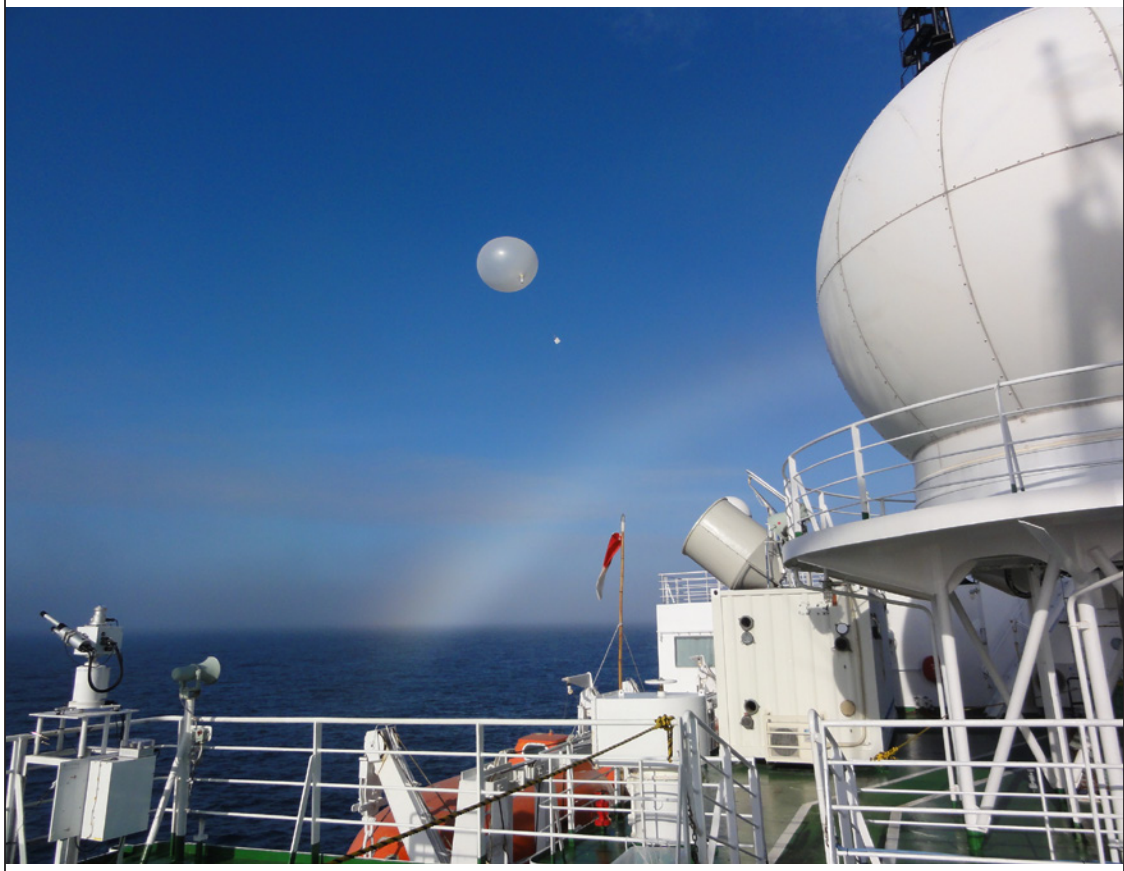
ところで気象の解明や予測に不可欠なのが、自然界から取得される実際の観測データである。猪上准教授によれば、地上観測による基礎データや衛星観測データに加え、地上から高さ約30キロメートルまでの気温・湿度等の高層気象データが大切なのだそうだ。しかしながらそれらの観測地点は現在、北半球を中心に人口が多い地域のデータが多く、北極・南極や発展途上国等では非常に少ないといった偏りや不足があるという。また観測したデータは、直ちに世界気象機関（World Meteorological Organization: WMO）へ送られることで、世界中の信頼度の高い観測データが1カ所に集められ、しかもリアルタイムで使用可能となるしくみだ。

北極の観測が気象予測の精度を上げる

リアルタイムでWMOに集められたデータは、日本、アメリカ、ヨーロッパをはじめ各国の天気予報に即時に利用されている。「リアルタイムデータを基に複数のモデルを比較したり、与えるデータを差し替えて結果の違いを検証したりする予測可能性研究が、気象・海氷予測の精度の改善に大きく貢献します。また解析結果により、どんな観測を追加すればよいか等もわかるわけです」と、猪上准教授は言う（参照プレスリリース http://www.nipr.ac.jp/info/notice/20161221.html）。「日本の気象学は伝統的に熱帯を中心に発展してきましたが、最近は北極も注目されつつあります。2017年からの2年間はYOPP（極域予測年、The Year of Polar Prediction）も予定されており、世界的に天気予報の精度が向上していくでしょう」。

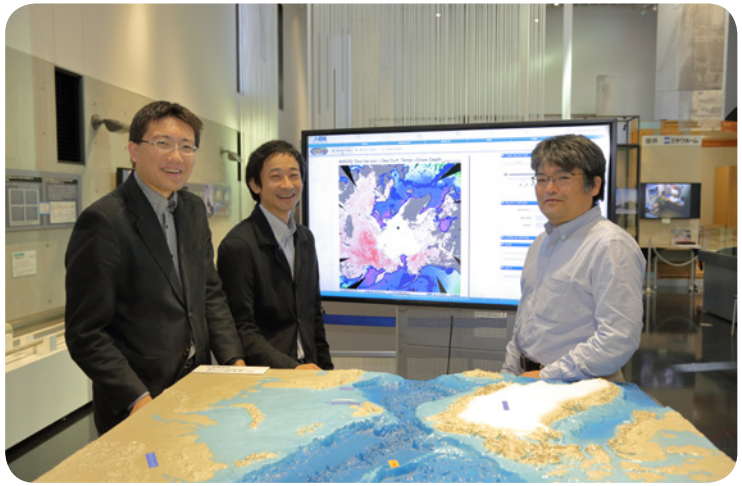
遠隔の地である日本の冬の寒冷化が北極の温暖化増幅と関連しており、猪上准教授らの研究によって、北極の海氷が少ない冬に日本が寒くなるという関係があることが明らかになった。また観測、解析、予測するために不可欠なデータ共有等の国際連携が、活発に進められていることも印象的だ。次回も引き続き、北極の科学について報告する。

公開日：2017/01/10



高層気象観測に使われるラジオゾンデ。ヘリウムを充填したバルーンにラジオゾンデを吊り下げて空へ放つ。大気の気圧、気温、湿度、風向・風速等を測ることができ、世界の数百か所で1日2回、同時に実施されているという。「観測手法としては古いものの、同時に行うと各地の高度ごとの細かな気温・湿度のデータが取れるため、どこの地点のどの高度でどんな風が吹いているかといったことがわかる」という。撮影：猪上淳

北極域データアーカイブシステム（ADS）



実際の北極海の海氷面積をリアルタイムで表示する「北極域データアーカイブシステム（ADS）https://ads.nipr.ac.jp」と、その研究開発を担う、写真右から矢吹裕伯特任准教授・杉村剛特任研究員・照井健志特任研究員（国立極地研究所）。スタート地点とゴール地点を指定すると最適ルートを算出してくれる北極航路シミュレーター、北極海の海氷密接度や海水面温度のデータ公開など、日本や北極圏諸国のニーズに応えるさまざまな情報を提供し、月間100万PVものアクセスを集める。極域の大気、海洋、雪氷、陸域、生態に関する観測データ、JAXAが提供する宇宙データ等を統合的に、また可視化して提供するオープンなシステムとして2012年稼動開始。現在は、北極域研究推進プロジェクト（ArCS）の成果を集約するプラットフォームとして、全球地球観測システム（Global Earth Observation System of Systems: GEOSS）や世界気象機関（WMO）をはじめ国際機関へ送るデータの整備も担う。

SCIENCE REPORT 003

北極海の氷を もっと詳しく調べると？

地球環境にさまざまな影響を及ぼす北極域に、いま大きな変化が起こっている。なかでも北極海の氷の減り方は著しく、過去35年間で夏季の海氷面積は3分の2程度になっているという。しかも、北極の海氷が減ると太陽熱の反射が弱まり「アイスアルベドフィードバック」によって、北極の温暖化はさらに加速する（Science Report 001参照）。極域の景観そのものである雪氷は、このように熱をやりとりする他、水・塩分・炭素などさまざまな要因からなる、地球全体の複雑なメカニズムの糸口でもあるのだ。そこで今回は、変化の鍵を握る北極海の海氷が、実際にどんな状態になっているのか、少し詳しくリポートしていこう。

答える人

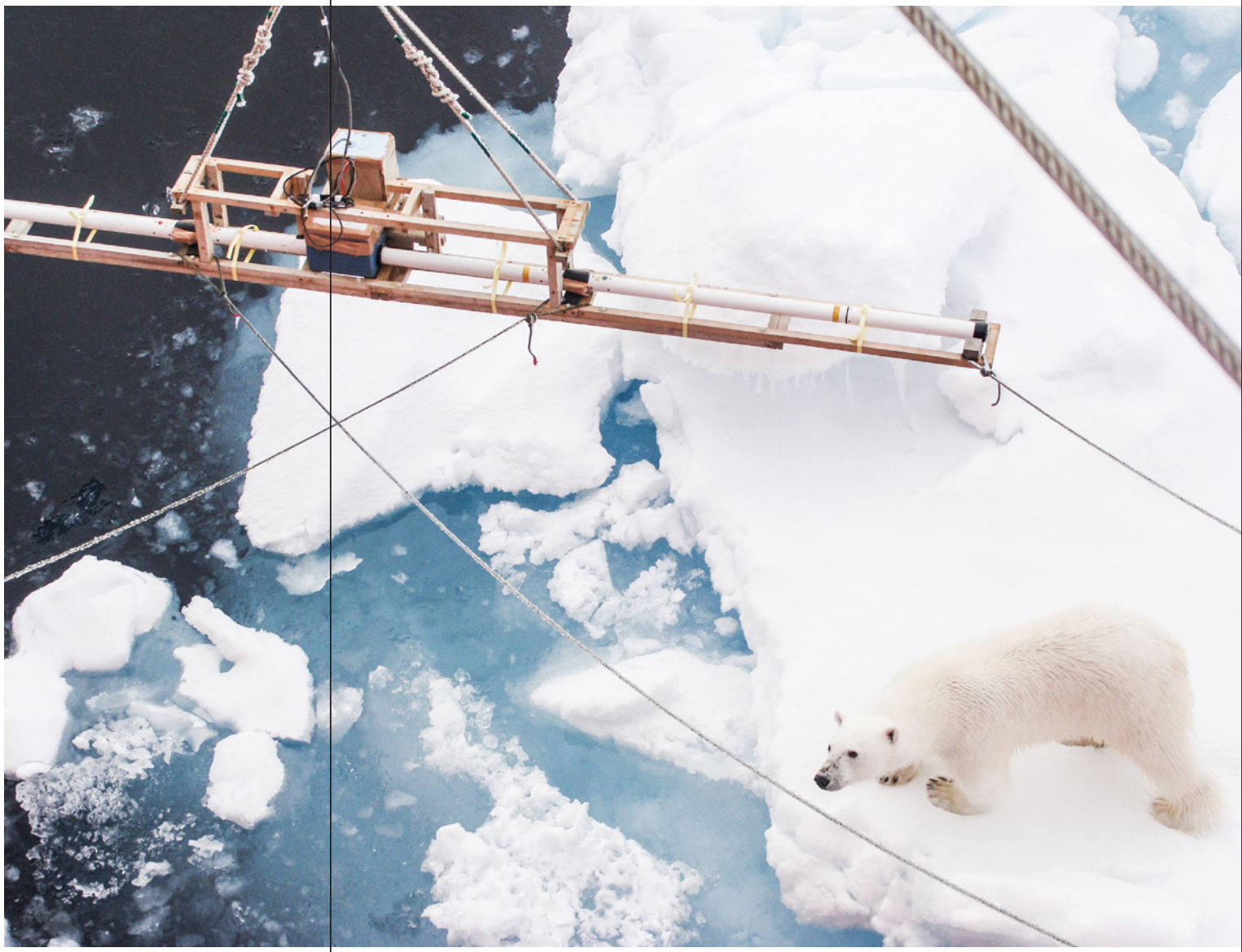
舘山 一孝准教授

［北見工業大学］

北極海、南極海、オホーツク海などにおける海氷量変動の実態を調査し、また衛星観測との連携により、これまで捉えられなかった海氷の厚さ推定に挑む。海氷現象に伴う地球環境変動の監視のほか、北極海航路や北極海沿岸の海底油田など氷海開発に関わる研究を推進。GRENE北極気候変動研究事業、北極域研究推進プロジェクト（ArCS）に参加。

まずは海氷と氷山の見分け方から

北極海の氷とひとくちに言っても、その種類はさまざまだ。「海氷」は海水が凍ったもので数十センチメートルからせいぜい10メートル程度の厚さしかない。一方、タイタニック号が衝突したことでも知られる「氷山」は、陸地で降り積もった雪などがカチカチに固まり、その大きな氷の塊が海岸線までゆっくりと流れて、やがて潮汐によってバキッと折れて海へ流れていくものだという。なかでもグリーンランドの中央部には氷厚2,000〜3,000メートルもの氷床があり、その沿岸から大小の氷山が産出されていく。北見工業大学の舘山一孝准教授によれば「船が進む時に氷を砕く音も違いますね。その年に出来た薄い一年氷はシャリシャリ、夏を2回以上経過した多年氷はガツンガツンという大きな音だったり、発泡スチロールが擦れるようなキューキューという音を立てたりする」という。ところが海氷も氷山も雪を被っているので、実は上から見ただけでは見分けがつかない。「海氷断面を観察するんです。出来たての海氷は灰色で海の水が透けて見えます。一年氷から二年氷では青っぽく、多年氷になると緑っぽい色になります」と、舘山准教授は言う。ちなみに、氷上からアザラシを獲って生息するホッキョクグマは、生きていくために海氷が欠かせない。海氷調査をしていると、毎日のように出会う年もある一方、海氷がなくなればまったく見かけなくなるという。



観測中、海氷上に現れたホッキョクグマ。
撮影：舘山一孝

重い水の沈み込みがつくる海洋の大循環

北極海の海氷は極点の近海を中心に多年氷が蓄えられ、大きな流れをつくって循環していることが知られている。海氷は真水成分から凍っていき、塩分が濃縮された“ブライン”を氷結晶の中に閉じ込めたり、海水中に排出したりして結氷する。北極海の海水の結氷温度はおよそマイナス2度程度であるため、ブラインは凍らずに塩分がいっそう濃縮されて重くなり、どんどん海の底へと落下していく。これが深層水となって大西洋を南下し、南極大陸の北部を東進し、太平洋を南北に一巡して大西洋に戻っていくのが1周約千年もかかる大循環「全球海洋コンベアベルト」だが、ここでも極地の雪氷を介した熱と塩の収支が大きな役割を担っていることがわかる。「20〜30年の短期間で見ると、温暖化との関連で海も変化しており、北極海では厚い多年氷が減って薄い海氷の割合が増えています。夏に薄い氷は融けてしまうので開放水面が拡がって大気中の水蒸気量が増加し、雨や雪の降る量が増えます。北極海に流れ込む河川水の増加と相まって北極海の塩分が薄くなってきていると言われています。塩分が薄くなれば凍りやすくなるため、海氷の面積は今後回復するかもしれません。また、海氷上に大量の雪が降り積もり氷化することで海氷が急速に成長します。南極昭和基地周辺の定着氷が近年、過去最大の厚さを記録したというのも、むしろ温暖化の一側面と考えることができるんですね」。

上空からの観測を地上で検証して高精度を実現

そこで舘山准教授らは、毎年9、10月頃に北極海へ行き、現地で起きていることを調査している。海氷の詳しい実態は、気象予報の精度向上や、生物と気象の関連解明などにつながる可能性があり、また今、日本が世界から期待されている科学データのひとつでもある。海氷観測に使われるのは電磁誘導式氷厚計やマイクロ波放射計という非破壊のリモートセンシング装置で、舘山准教授は学生時代の2003年からこの技術に関わってきた。「氷の有無や、一年氷／多年氷の識別だけでなく、実際にどのくらいの厚さなのかを10センチ単位で出せないか、工夫を重ねています。また衛星データと連携して、複雑に重なった変形氷への対応や、海氷上の水溜たまりと海面をどう区別するかなどの問題を、現地データと数値モデルの組み合わせで解決しようとしています」。ユニークなのは、上空からの観測と地上検証との融合で、実用精度を目指している点だ。「2016年4月には、グリーンランドの海岸に固着した定着氷の上を、地上チームが犬ぞりで移動しながら旗を立てていき、このラインを目印にヘリコプターが上空からデータを集めていくという観測を行いました」。これはまた北極域研究推進プロジェクト（ArCS）の中で、グリーンランド陸上の氷河を専門とする研究者が中心となって進めている共同研究でもある。「陸と海の接点に注目したもので、陸上の氷河が海に達して流出したり融解したりする質量収支や水循環を調べています。初めての試みで非常に面白く、これからの研究の進展が楽しみ」と舘山准教授は言う。

北極海には厚さ、形状、成り立ちなどが異なるさまざまな氷が浮かんでおり、それらを詳細に把握することで、北極域や地球全体の環境変動についての理解が少しずつ進んでいくことがわかった。日本でも、毎年北海道のオホーツク海岸に「流氷」が見られるが、これは海水が凍った「海氷」である。しかしここ25年ぐらいの間に漂着のパターンが変わり、また流氷の量も減少して、海を鎮める役割や、海の栄養を運んで漁場を作る役割などがこれまでのように果たされなくなってきているのだそうだ。舘山准教授は言う。「今は静かな北極の海も、今後、荒れることがあるのかもしれない」。

公開日：2017/01/20

オホーツク海で見られる流氷のいろいろ。薄く海水が透けて見える、まだ出来立ての氷(左上)、だんだんに成長しつつある氷(右上・左下)。結氷したての海氷はまだ柔らかいため、お互いにぶつかって縁がめくれ上がったハスの葉のような形状になる。右下は典型的な蓮葉氷。撮影：舘山一孝

亜北極域の森林を監視

北極圏では海氷以外にも、日本の研究者がさまざまな観測を行っている。北海道大学の杉本敦子教授は、地球温暖化に大きな影響を与える炭素や水の循環を中心に、約20年にわたって亜北極域の森林を監視してきた。「北東ユーラシアの東側の高緯度帯の森林は、カラマツが非常によく適応し、主にカラマツ1種類だけの純林が広がっています。樹木の年輪を見ると、ちょうど人間活動によってさまざまな環境変化が起こり始めた100年間ぐらいの歴史を非常に細かく見ることができるのです」と杉本教授。その北は永久凍土の上にタイガなどの木がところどころ生えているような疎林地帯で、コケ類などだけが生育するいわゆる「ツンドラ」の地形は、さらに北の北極海付近に少し見られる程度だという。「カラマツ林と疎林の境界にあるロシアのチョクルダ(北緯70度)で生態系の観測を行っており、温暖化によってタイガ林が北上するかなどを継続的に観察しています」。また杉本教授は、永久凍土が溶け始めたことによる水循環の変化や、湿地からのメタンガス放出にも注目する。「凍土が溶ければ湿地となってメタンを放出しますが、森林はむしろメタンを吸収するんです。湿地と森林が共存する地域がこれからどうなるのかなどを知るために、チョクルダとヤクーツク(緯度62度)で観測を続けています」。

SCIENCE REPORT 004

海の変化は生態系にどう影響している？

いま大きく変化しつつある北極――これまでに紹介した大気、海氷、森林などに続いて、今回は海洋の環境変化についてお伝えしよう。海洋は地球上の約7割を占めるため、その観測は、地球全体の変化やスケールの大きい気候変動を理解する上で欠かすことができない。また海は平均水深約3,800メートルに及ぶ広大な立体空間であり、この中で水温や塩分、密度などの物理的性質、二酸化炭素や栄養塩（主に硝酸、リン酸、ケイ酸）などの化学成分、そして栄養塩を利用する植物プランクトンやそれを捕食する生物など多様な要素が相互に関係し合っている。このように広くて複雑な海洋の環境は、いま北極でどう変化し、海の生態系へどのように影響しているのだろうか？

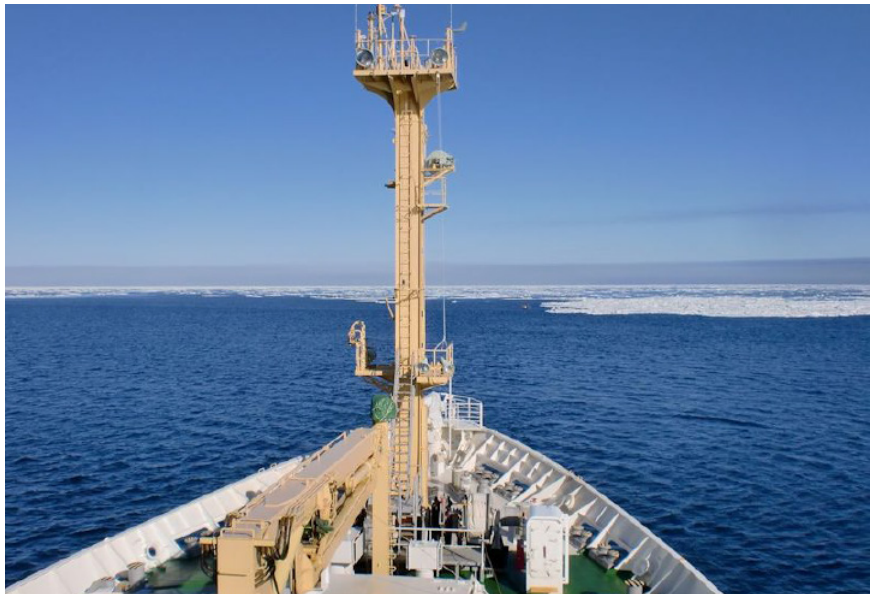
答える人

西野茂人主任技術研究員
［海洋研究開発機構］

北極環境変動総合研究センター 北極環境・気候研究ユニット主任技術研究員（写真左）。JAMSTECの海洋地球研究船「みらい」による北極航海をリードし、海洋や大気の観測を行う。地球温暖化や海氷減少に伴う北極海の物理・化学環境の変化と、生態系への影響についての研究を進めている。写真右は、渡邉英嗣研究員（海洋研究開発機構 北極環境変動総合研究センター 北極環境・気候研究ユニット）。

海洋地球研究船「みらい」8,706トンで北極航海へ

海洋研究開発機構（JAMSTEC）が有する、世界的にも屈指の大型研究船である「みらい」8,706トン。西野茂人主任技術研究員は、この「みらい」に毎年のように乗り込んで北極海での観測を続けている。北極域研究推進プロジェクト（ArCS）の一環としても進められた2016年の北極航海では、2013、2015年に続き首席研究員を務めた。船は日本を出発し、北太平洋を横断、まずは北部ベーリング海を目指す。「生物が非常に豊富な海なので、生物の観測を重点的に行いつつ北上していきます」。シベリアとアラスカに挟まれたベーリング海峡を抜けると、そこはチュクチ海という北極海の中では生物の豊かな海域だ。さらに進むと、海底の水深が深いカナダ海盆と呼ばれる海域に至る。「ここは近年、海氷が融け、海洋の温暖化、淡水化、貧栄養化、酸性化といった大きな環境変化が起きている海域ですね。ここでは、そのような変化をとらえるべく総合的な観測を実施します」。観測メニューは大気、海洋気象、波浪・飛沫（しぶき）、温暖化ガス、海洋物理・化学環境、プランクトンから海鳥等に至る生物や海底堆積



北極海のアラスカ・バロー岬沖（71° 25' N, 158° 40' W）に到達した海洋地球研究船「みらい」の船首から望む海氷縁。撮影：西野茂人

物など、多岐にわたる。「『みらい』は耐氷能力を有するものの海氷に阻まれて船が近づけなかったり、天候によって観測できなかったりします。そこで毎日ミーティングして実施メニューを決めるんです。北極海で起こっていることをできる限りこの『みらい』で捉えようとしています」。

北極海で進行する淡水化、貧栄養化、酸性化

北極海に流入する海水には大きく2つの種類がある。ベーリング海峡から流入する太平洋起源水と、大西洋から入る大西洋起源水だ。2種類の暖かい海水は熱だけでなく栄養塩やプランクトンを多く含み、それらを北極海に供給する役割を担っている。この他北米やロシアから北極海へ流れ込む河川水があり、水深が浅い「陸棚域」で太平洋起源水や大西洋起源水と混ざり、陸棚水を形成している。近年、北極海の海氷が融けてきていることがわかっているが、これにより海の表面近くの淡水化が進んで、陸棚水が薄まり栄養塩濃度が低下(貧栄養化)したり、弱アルカリ性の海水の性質が酸性の方向に傾いたり(酸性化)する。これらはどれも、生態系に影響を及ぼす可能性がある変化だ。また海氷がなくなると、氷に分け隔てられていた海水と大気が直接触れ合うため、二酸化炭素の海への溶け込みを加速し、酸性化をさらに進行させる。「北極海の酸性化は、他の海域に比べて非常に速いペースで進んでいる」と西野主任技術研究員は言う。

2016年の北極航海では、小型のAUV(自律型無人探査機)試作機を用いて海氷の下を自律航走し、水温・塩分などの観測データを取得したり、氷の裏側の形状や、海氷下にプランクトンが活動する映像の撮影に成功した(参照プレスリリース http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20161124/)。JAMSTECでは、海中に一定期間係留する流速計や水温・塩分センサーなどの設置・回収を90年代の終わりから続けており、最近では、植物プランクトン量や酸素、二酸化炭素濃度を計測する生物・化学センサーの係留も始めた(参照プレスリリース http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20160429/)。

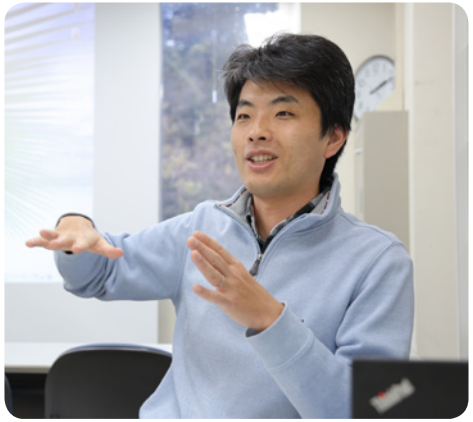
二酸化炭素を吸収する海の異変

海洋はもともと、大気中に排出された二酸化炭素の3分の1を吸収しており、同時に「生物ポンプ」と呼ばれる働きによって、海洋表面から炭素を除去する役目を果たしていることが知られている。海に溶け込んだ二酸化炭素の一部は植物プランクトンに取り込まれ、植物プランクトンはさらに動物プランクトンに捕食される。プランクトンの死骸や糞は沈降していき、その一部が堆積物となって海底に炭素が貯蔵されるしくみだ。「植物プランクトンは栄養塩の豊富な海に多く生息します。しかし、北極海の淡水化が進むとさきほどのように海の表層の栄養塩濃度が低下し、その結果プランクトンが減少し、生物ポンプがうまく働かなくなってきます」。また北極海の酸性化が進むと、海中のプランクトンや甲殻類などの生物の炭酸カルシウムでできている殻が溶けだしてしまうという可能性もある。この溶けやすさの指標が炭酸カルシウム飽和度オメガ（Ω）である。Ωは、1未満で「未飽和」、すなわち生物の殻や骨格などに含まれる炭酸カルシウムが海水に溶け得ることを示す。「北極海の表面では2000年代に入ってから、Ω値が1を切るようになってきました。ただ、それですぐにカニやエビ、貝のような生物の殻が溶けるかというと、生物の環境への応答についてはもう1段階、研究の積み重ねが必要だと思います」（参照プレスリリース https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20091120/）。

西野主任技術研究員と渡邉英嗣研究員が所属するJAMSTECは、2015年から始まった北極域研究推進プロジェクト（ArCS）の副代表機関でもある。このプロジェクトと関連して実施された「みらい」航海の目的地は、太平洋からの海水が流れ込む生物が豊かな海域であると同時に、今まさに海氷減少に伴って海洋環境や生態系が激変している海域だ。「これからも『みらい』などによる観測の成果を気候変動研究に役立てていきたい」と西野主任技術研究員は言う。

公開日：2017/02/10

改良進む海洋シミュレーション



渡邉英嗣研究員は、西野主任技術研究員らの観測データを基 に、JAMSTECのスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を用いた高解像度の海洋シミュレーションを担当する。土台となるシステムが2つあり、ひとつは東京大学気候システム研究センター（現・大気海洋研究所）で開発された、海氷融解や海流などの物理過程を扱える海氷海洋結合モデル「COCO」。もう一つは北太平洋海洋科学機構（PICES）の枠組で開発された、栄養塩から動・植物プランクトンまでの食物連鎖を計算できる海洋生態系モデル「NEMURO」である。「物理・化学・生物過程を総合的にシミュレートできる環境が整いつつあり、しかもコンピュータ性能の向上とモデル改良の積み重ねにより、10年前には考えられなかった水平解像度5キロメートルというかなり詳細なスケールで、10キロメートル規模の渦から北極海全域の海洋循環までを同時に表現できるようになりました。それらによって栄養塩やプランクトンが運ばれる過程を調べることもできるし、氷の下にいるアイスアルジーと呼ばれる海氷藻類もシミュレーションを利用して研究することができます」と渡邉研究員は言う。3D空間に時間を加えた4次元のシミュレーションにより、食物連鎖を含めた実際の海の時空間変動の解明に迫ろうという研究開発は進化を遂げている。

SCIENCE REPORT 005

世界は北極域をどう見ているのだろう？

変わりつつある北極は、地球環境保護の視点からだけでなく、その豊かな鉱物資源や北極海航路などの持続的な開発を巡って、社会・経済的にも世界の注目を集めている。北極圏は北欧、ロシア連邦、アメリカ合衆国など8カ国が領土を有しているが、日本を含めた北極地域以外の国々へとその関心は広がりつつある。また北極の海や大地には、古くから「イヌイット」や「ユピク」という先住民社会があり、近年の急激な環境変化によって森林の倒壊やパイプラインの寸断など、彼らの生活手段や社会のインフラへの影響が大きな問題ともなっている。北極を世界はどう考え、また北極圏の人々はどのように感じているのだろうか？

答える人

田畑伸一郎教授

[北海道大学]

国内総生産（GDP）に占めるロシアの石油・ガス部門のインパクトを明らかにするなど、ロシアのマクロ経済成長を比較経済の視点から統計分析する研究で知られる。2017年1月までスラブ・ユーラシア研究センター長として、北極域に関わる地域間比較研究、境界研究、先住民研究などの分野間連携を図り、北極域研究推進プロジェクト（ArCS）における北極域の文理融合研究推進に尽力。現在同センター教授、および北大北極域研究センター教授を兼任。

北極域を考える国際的な枠組み

北極圏に領土を持つアイスランド、スウェーデン、デンマーク（グリーンランド）、ノルウェー、フィンランド、ロシア連邦、アメリカ合衆国、カナダの8カ国が「北極評議会（Arctic Council, AC）」を設立したのは、冷戦後の1996年にさかのぼる。北極圏の豊かな鉱物資源や北極海航路などを巡って、持続可能な開発や環境保護など、北極圏にかかわる共通の課題について協力・調和・交流を促進しようという政府間協議体だ。「メンバーの中で、圧倒的に発言権が大きいのはロシアでしょうね。北極の経済活動の6割はロシアが担っているし、北極海航路と言えば、基本的にロシアの北を通るルートを指します。また地政学的にも、ロシアは北極海が自分たちの海だとある程度考えているでしょう」と言うのは北海道大学の田畑伸一郎教授だ。ロシアにアメリカ、ヨーロッパの国々などが加わる会議はさながら国際社会の縮図だが、この会議にはもう一つ、先住民族の団体が常時参加者として参与していることも特色となっている。

北極圏に入って約350km、ノルウェー北部にあるトロムス島の街の風景。北緯69度に位置するため、白夜やオーロラなど極域特有の自然が体験できる観光地としてもにぎわう。写真：国立極地研究所

北極域を対象とした人文・社会科学の役割

ところで田畑教授が所属する北海道大学スラブ・ユーラシア研究センターは、北極観測よりも長い60年を超える歴史を持つ。2014年、当センターは「スラブ」に「ユーラシア」を加える名称変更をした。「その理由は、まずスラブというとほぼロシア系の人々を指すと思われてしまうわけですね。ところがロシア・東欧には異なる民族がたくさん住んでいる。たとえば中央アジアやコーカサスの国々、ハンガリー、ルーマニア、エストニアなどがそうです。またセンターの研究者が対象とする地域も、最近はモンゴル、グリーンランドなどへと拡大してきました」。北海道大学ではシベリアをフィールドとした文化人類学や、アイヌをはじめとする先住民研究なども盛んであり、「スカンジナビアのサーミの人々とアイヌの人々には、同じ寒冷地に適応した先住民族として文化的にも共通する部分がある」と田畑教授は言う。「ところが地域研究の対象としての北極圏を人文・社会的に捉えようとすると、今までの学問の枠組には、どうも当てはまらないんですね。そこで私はカナダ、アメリカからロシア、スカンジナビアの国々に至るすべてが『北極域』というひとつの地域なのだという認識で、その地域研究に取り組んでいます。経済・社会的な視点からは、この地域でどうしたら生活を再生産できるのかが研究課題となるでしょう」。

札幌北大キャンパス内にある、北海道大学総合博物館 北極域研究センターの展示室にて。この博物館は入場無料で一般に公開されており、来館者も多い（ホームページhttp://www.museum.hokudai.ac.jp/）。

ロシア経済からみた北極資源の重要性

北極域という地域の大きな特徴のひとつは、豊富な資源を蔵していることだ。たとえばノルウェー北方沖やアイスランド近海では、ベーリング海と並ぶ漁業資源があり、アラスカの北には石油基地が稼動している。またロシアとノルウェーの領海の境界領域に横たわる石油・天然ガスの海底資源を巡っては、しばしば両国間で折衝が行われてきた。「ロシアは生産量・埋蔵量・輸出量のいずれにおいても石油・ガスともに世界第1位か第2位という国ですから、ロシア経済にとって石油・ガス部門は極めて重要なんですね。帝政ロシア期の19世紀後半に工業化を支えたのもカスピ海に面したバクーの豊富な石油資源だったし、1940年代からは第2バクーと呼ばれるヴォルガ＝ウラルが、1970年代には西シベリアが石油・ガス生産の中心となってきました。ところが現在はどこも頭打ちになりつつあり、新しい開発はどんどん東へ北へと向かっています。このような背景から北極の開発はロシアにとって間違いなく重要であり、やらざるを得ないものと考えられるのです」。

ヤマル半島の資源開発を巡って

ロシアが中でも力を入れている資源開発地のひとつが、北極海に面したヤマル半島だという。ちなみに「ヤマル」は現地語で「世界の果て」を意味し、大部分が永久凍土に覆われ、先住民族による伝統的なトナカイの遊牧が現在も大規模に維持されている土地柄だ。「石油・天然ガスが豊富で、液化天然ガス工場を作る計画が2007年から具体的に動いています。また港も建設されつつあり、これに北極海航路が開かれれば、不凍港としてヨーロッパへは通年、夏場には日本や中国などアジア地域への搬出路が得られます」。しかし開発にあたって、ロシアにはLNG生産や深海での油田掘削などの高い開発技術がないという問題がある。「バクー時代からアメリカ資本が事業に参加してきており、アメリカ、日本、フランス、オランダなどの技術支援がないと開発が進まないんですね。またロシアとしては、輸出先であるアジアの国々にも関心を持ってもらう必要があります」。

北極評議会には、アジアなど北極域外の12カ国が常任オブザーバー国として列席する。日本も2013年の第8回閣僚会合でオブザーバー資格が承認された。「鉱物資源などの経済的な問題は日本にとっても重要ですし、なにより日本は北極海航路の経由地でもあります。また北極という場を巡ってどういう国際関係が形成されていくのか、中国や韓国も強い関心を寄せていますので、日本としてもプレゼンスを示そうという方向にあるでしょう」。北極は、これからも長く社会経済、国際関係、科学・文化などの視点が絡み合った世界的な関心が注がれる地域となりそうだ。

公開日：2017/03/10

北東ユーラシアの凍土の調査

写真は、北東ユーラシアの凍土の調査に取り組む、矢吹裕伯特任准教授（国立極地研究所）の活動から。地中温度が摂氏零度以下で凍結している土地を凍土といい、このうち少なくとも2年以上零度以下を保ったものを永久凍土という。永久凍土はシベリアを中心に北半球陸地の24%に分布する。地球温暖化は凍土氷を融解させるが、凍土の融解が進むことは、温暖化をさらに加速させる要因ともなる。写真上（左右）は2006年夏、北極海沿岸のツンドラ地帯にあるティクシで60mのボーリングを行い、地温観測装置を設置した時の様子。「調査・観測には現地の人たちとのコミュニケーションが不可欠。地元の理解があってこそ装置の維持が可能」と矢吹准教授。取得されるデータから、地球温暖化に伴う永久凍土変動や陸域植生変動のプロセスを解明する。写真下左は、東シベリアのヤクーツクで凍土融解により池からメタンガスが発生する様子。写真下右は、凍土融解により森林や電柱の倒壊が懸念される、ロシア北東にあるサハ共和国のヤクーツク周辺の町の風景。撮影：矢吹裕伯

SCIENCE REPORT 006

北極と日本って、どんな関係？

遠い極寒の地にある北極が、近年、日本に近い存在になりつつある。これには2013年「北極担当大使」が任命され、同年「北極評議会」のオブザーバー国となり、また2015年には初の包括的な「我が国の北極政策」が決定されて、北極研究・観測や国際協力を具体的に推進することになったという一連の背景がある。国際社会が北極圏に注目していく動きのなかで、日本には特に、研究成果によって科学的事実を示すことへの期待がかかっているという。自然科学の知見とデータを社会のニーズにどうつなげていくか――科学者の挑戦が続く。

答える人

榎本浩之教授

［国立極地研究所］

国立極地研究所教授。北海道大学卒、スイス連邦工科大で海氷と気候の研究で博士号取得。北見工業大学教授を経て、2011年より現職。また現在、同国際北極環境研究センター センター長。北極・南極等における数多くの海氷・氷河・雪氷の観測に参加。2015年にスタートした北極域研究推進プロジェクト（ArCS）ではサブプロジェクトディレクターを務め、国際連携に基づく北極域の研究・観測拠点の整備、北極協議会への専門家派遣等を通じた科学技術外交を担う。

科学的証拠で、国際的舞台で日本の存在感を示す

「北極評議会」をはじめ北極圏を巡る国際社会の議論に、科学者が参加・協力する場面が増えている。「北極における急激な自然環境の変化とともに、それがなぜ、どのように起きており、将来どうなるのかが、北極域の国々だけでなくグローバルな問題となってきています。すると豊富なデータや研究成果を持っているほうが発言力が強いんです」と、国立極地研究所の榎本浩之教授は言う。「科学的成果をどれだけ社会的に有用な情報にできるかが求められており、それがまさに現代の北極研究の姿だと考えています」。しかし北極の環境変化は非常に速く「たとえれば自然環境の変化と人間社会の活動が競争しているような感じで、自然界の変動のほうがちょっと走るのが速い」のだそうだ。国際協力の下で、研究コミュニティがどの観測に注力すべきかという「観測戦略」が、一層求められていると言えるだろう。

北極評議会の6つのワーキンググループのひとつで、北極の海洋環境の保全に関わる政策と非事故時の環境汚染防止措置等について活動する「PAME」総会にも、オブザーバー席に日本の科学者が参加した。2016年9月、米国ポートランド州メインにて。
撮影：大塚夏彦（『ArCS通信』https://blog.arcs-pro.jp/2017/01/pame.htmlより）

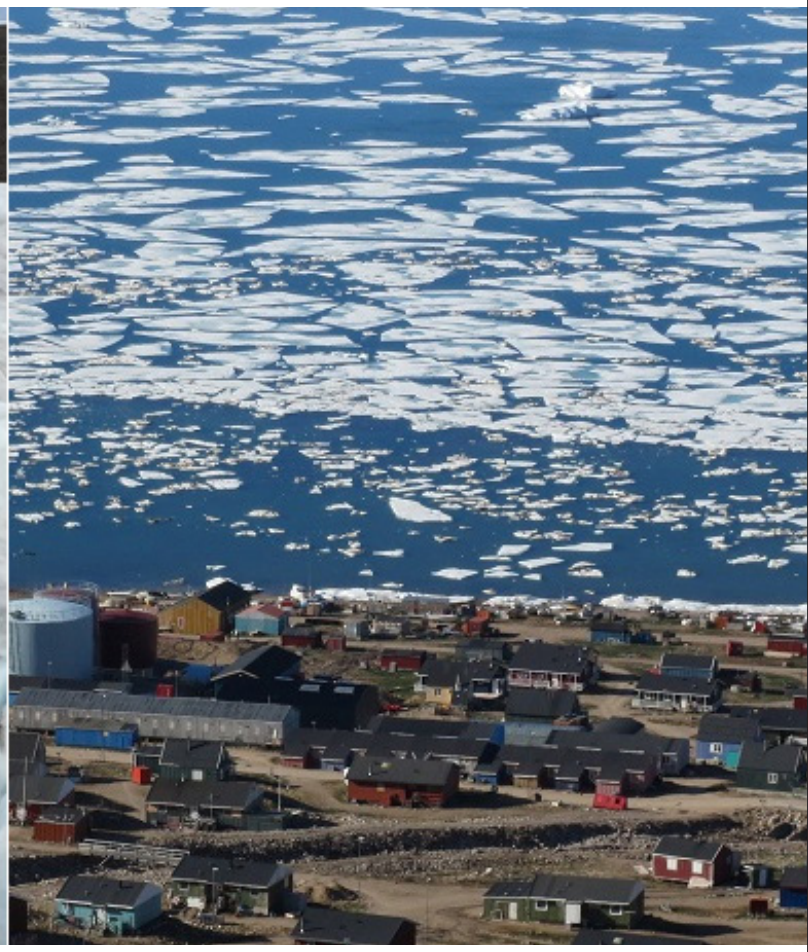
北極研究を地球の未来のために役立てる

榎本教授が取り組む北極域研究推進プロジェクト（ArCS）は、GRENE北極気候変動研究事業（Science Report 001参照）を引き継ぐ北極研究のオールジャパン体制だが、この挑戦が今、世界の研究コミュニティの関心を集めているという。「中緯度の国からコンパクトなチームがやってきて活躍しているという印象を与えていますね。長期的な視点に立った観測拠点の配置、シミュレーションによる気象・航路予測、データアーカイブの構築、現地社会への情報発信や若手育成等の活動については、北極圏の国々にも完成された方法があるわけではありません。逆に日本が遠い国だからこそ、乗り込んで行って貢献できる面もある。アメリカやカナダに同時観測の協力を要請したり、予測精度が向上するような観測方法を提案したりして、データづくりの指標やモデルケースを示すような貢献を進めています」。

2017年3月18日（土）星陵会館（東京都千代田区）で行われたArCSの公開講演会「北極研究と日本ー我々はなぜ北極を研究するのかー」での榎本教授の講演から。北極域の海氷は一年のうち毎年9月に面積が最小になるが、2012年に最小を、2016年に過去で2番目の最小面積を記録したことがわかっている（Science Report 002参照）。ところが、2016年から2017年にかけてのこの冬、なかなか氷が回復しない状態が続いており、特にノルウェー近海やアラスカ付近において顕著であるという――最新の観測データを報告した榎本教授は「北極研究では、登ったつもりがまだすそ野にいた、と思うことがたびたびある。変化が続いている北極の環境です」と話した。

先駆的なる
グリーンランド

ところで、北極域の中でも特に大きな気象変化の途中にあるのが、グリーンランドだという。この世界最大の島は面積の80%以上が氷床であり、南極大陸に次いで、地球上に現存する第2の氷床に覆われた陸だ。氷の厚さは沿岸近くで1,500m、内陸部では3,000mにも及び、氷は中央部から沿岸へ向かってゆっくり流れ、海に落ちて氷山が生産される(Science Report 003参照)。「グリーンランドは、将来南極で起きるかもしれないことを先駆的に示している、と見ることもできるんですね。陸上の氷床は雪が降り積もり、圧縮されて出来たものです。現在、スカンジナビア半島やカナダ等に広く点在する湖は、氷河期時代の氷床の名残で、氷の重みで沈み込んでいた地表が隆起したものと考えられています。グリーンランド氷床も今どんどん溶けていて、もし消えれば湖になると考えられるんですね。パリ協定が採択された2015年の『COP21』では、世界の平均気温上昇を産業革命から2度未満、できれば1.5度に押さえるという目標が示されましたが、1.5℃以上でグリーンランド氷床が急速に溶けるという予想もあります」。



海岸線に臨むグリーンランド北西部のカナック村は、北極域研究推進プロジェクト(ArCS)の観測拠点の1つ(写真右)。撮影:大橋良彦(『ArCS通信』https://blog.arcs-pro.jp/2016/07/post-4.htmlより) 写真左は、村から20km離れたボードイン氷河で2016年7月に実施された野外観測の様子。近年変化の激しい氷河末端部に着目して、2013年から毎年観測が行われている。撮影:エヴゲニ・ボドルスキー(『ArCS通信』https://blog.arcs-pro.jp/2016/08/post-6.htmlより)

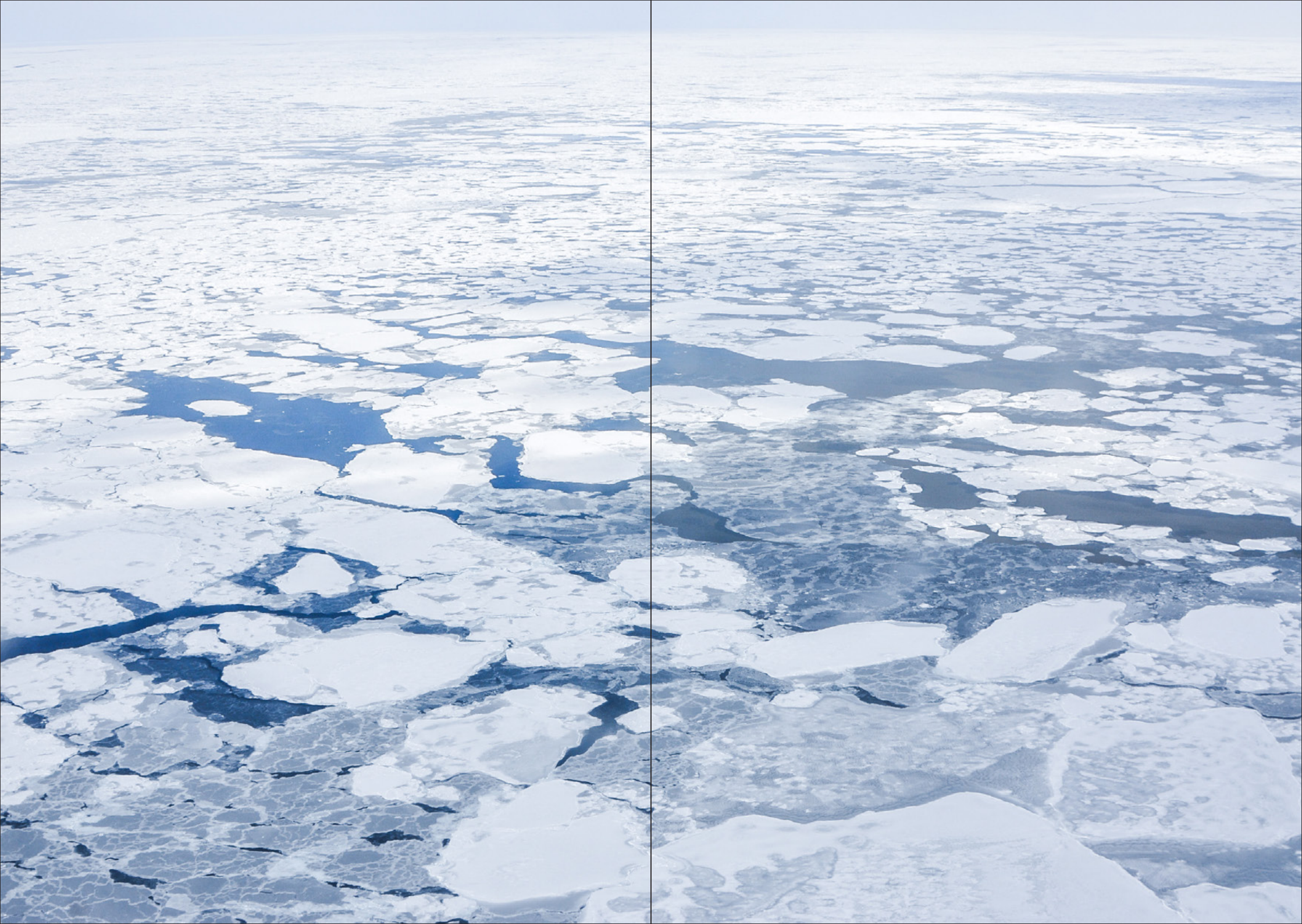
現地でワークショップを開いて住民と科学者をつなぐ

北極域で観測や研究を進めていくには、もともと生活している先住民の人々とその社会とどう関わっていくかも重要な課題だ(Science Report 005参照)。「遠い国の人が勝手にやって来て見慣れない計測機器を置いていったというのではなく、何を調べに来たのかを説明して、一緒にデータを取る。また住民の人たちも長年の経験や知識を提供したり、道案内をしてくれたりする。我々が手に入れたデータや計算結果を現地に伝えて、その生活に役立てる――そういった関係を築くモデルケースとして、現地でのワークショップなども開催しています」。またこのような会合で、観測データを統合する「北極域データアーカイブシステム(ADS)」を紹介したところ、予想以上に大きな反響があった。「自然科学のデータだけでなくもっと社会科学的な情報も入れる必要を感じました」と榎本教授は言う。動植物の生態、産業活動、国際政治、安全対策などが連携していけるような情報提供を、今後一層目指していくという。

自然環境も、それを取り巻く人間社会の動向も、ますます激しく変化する北極域。またこの変化は、科学者たちの予想を越えて、日本をはじめ中緯度地域にも及んでおり、日本と北極の関係は、これからますます近くなりそうだ。

公開日：2017/04/10

2016年7月にカナックで開催された、現地で暮らす人々とのワークショップの様子。グリーンランドは人口約5万6千人で、その公用語はグリーンランド語であることから、グリーンランド語と英語の通訳を準備して行われた。撮影：西沢文吾(『ArCS通信』https://blog.arcs-pro.jp/2016/09/post-9.htmlより)



大学共同利用機関法人
情報・システム研究機構について

平成16年、すでに大学共同利用機関として活動していた国立極地研究所、国立情報学研究所、統計数理研究所、国立遺伝学研究所の4研究所が結集し、大学共同利用機関法人情報・システム研究機構が誕生しました。全国の大学等の研究者コミュニティと連携して、極域科学、情報学、統計数理、遺伝学についての国際水準の総合研究を推進する中核的研究機関を担うとともに、21世紀の重要な課題である生命、地球、人間、社会など複雑な現象に関する問題を、情報とシステムという視点から捉え直すことによって、新たな研究パラダイムの構築及び新分野の開拓を目指しています。

平成 28年度、当機構は 4研究所に「横串」を貫く組織改革を行い、「データサイエンス共同利用基盤施設」を設置しました。これにより、データ共有支援、データ解析支援、データサイエンティスト育成の取り組みを一層強化し、社会のイノベーションにつながるデータ駆動型科学の発展を推進しています。そして研究者コミュニティの要請に応える共同利用・共同研究により、大学等における研究の発展に貢献するとともに、産業界との連携や、市民が参加するオープンサイエンスも進めています。また総合研究大学院大学の基盤機関として、もうひとつの重要な使命である人材育成にも取り組んでいます。

情報・システム研究機構は、各研究所の学理の追究に基づき、データサイエンス時代の新しい研究パラダイム構築を通じて、現代の課題解決や超スマート社会構築等の社会の要請に応えてまいります。皆様の一層のご支援、ご協力を心よりお願いいたします。

機構長　藤井良一
2018年3月

『情報・システム研究機構ブックレット』について

本機構は、新たな研究パラダイムの構築と新分野の開拓を推進し、
また大学共同利用機関法人として、大学等の研究の発展に貢献しています。
『情報・システム研究機構ブックレット』は、
その研究と貢献をわかりやすく紹介していく、シリーズ小冊子です。

情報・システム研究機構ブックレット1
SCIENCE REPORT 001-006
北極を知って地球を知る。

著　者　大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構
監　修　榎本浩之（国立極地研究所 教授）
取材・文　池谷瑠絵（情報・システム研究機構 URA広報）
写　真　飯島雄二（Science Report001-006）、舘山一孝（p2、8-9、52-53）、
国立極地研究所（p6-7、30-31）、池谷瑠絵（p4）
ブックデザイン　hata design
発　行　大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構
〒105-0001　東京都港区虎ノ門4丁目3番13号
ヒューリック神谷町ビル2階
TEL：03-6402-6200　FAX：03-3431-3070
http://www.rois.ac.jp/
発行日　2018年3月26日

©Inter-University Research Institute Corporation
Research Organization of Information and Systems, 2018
ISBN978-4-909638-06-9 C0344
Printed in Japan