

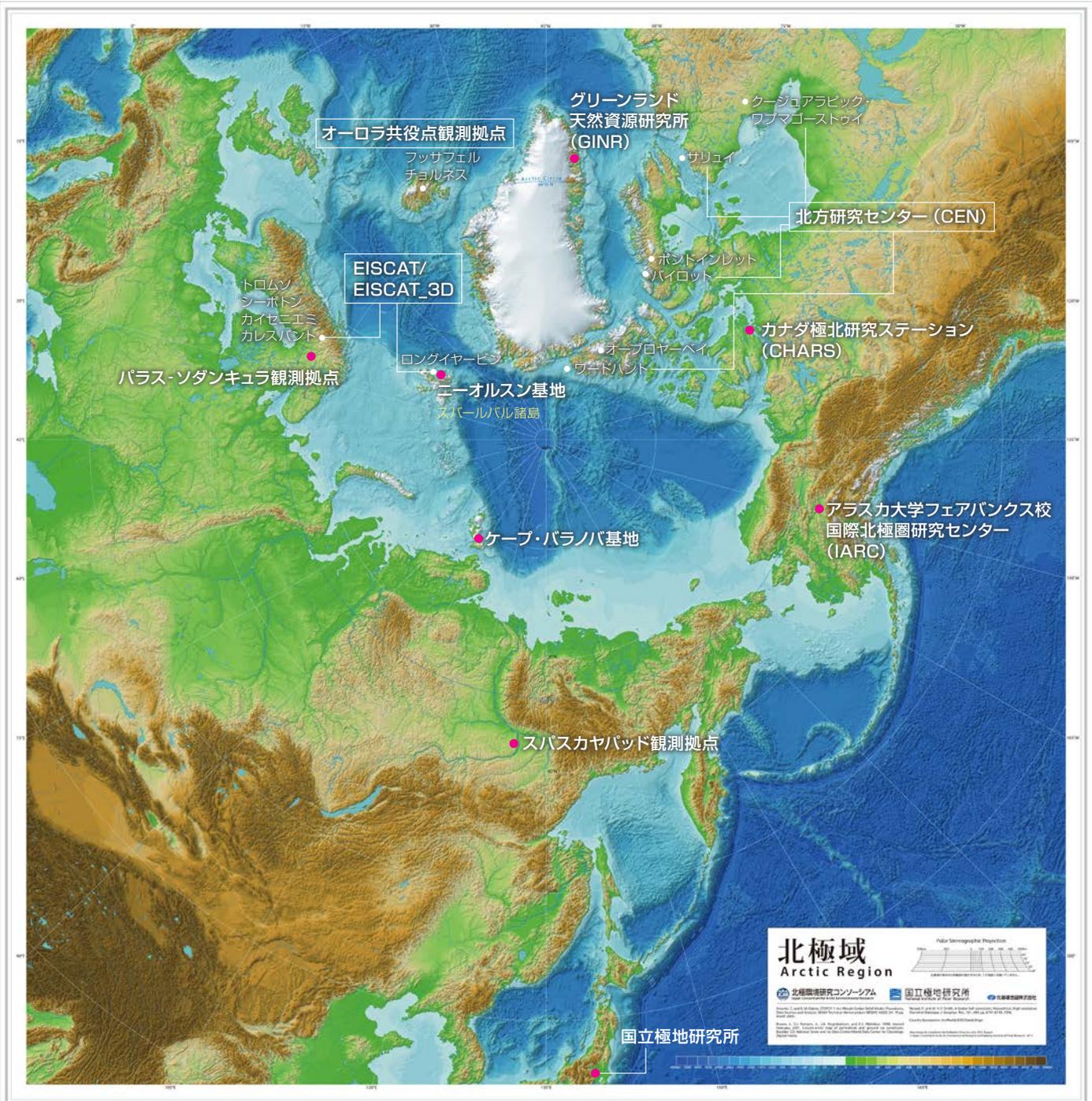
WHY WE STUDY AND CARE ABOUT THE ARCTIC

北極 觀測

ARCTIC ENVIRONMENTAL RESEARCH



変わりゆく北極、動き出す世界。



国立極地研究所が連携している観測施設など。「北極地域図」(©2015 北極環境研究コンソーシアム・国立極地研究所)を改変

北極とは

一般的に北緯 66 度 33 分よりも北を北極圏と呼びます。しかし、樹木限界線、あるいは最暖月の平均気温が 10℃の線、また北極海を囲む永久凍土の南限までなどの定義も使われています。北極圏に領土を持つ国は、アメリカ合衆国、カナダ、デンマーク（グリーンランド）、アイスランド、ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、ロシアの 8 か国です。

スバルバル条約と日本の基地

1920 年、第一次世界大戦直後にスバルバル諸島の扱いに関して多国間で条約を交わしました。主権はノルウェー領土ではなく、条約加盟各国が自由に活動できる地域となりました。この条約のもと、今日のスバルバル諸島は世界中の科学者に開かれています。日本は 1991 年にこの地のニーオルスンに基地を開設、2019 年には新基地に移転し、多様な研究活動を続けています。



北極は地球温暖化の最前線

北極がいま、世界の注目を集めています。その理由は、単なる地球温暖化ではありません。北極では海氷の減少、グリーンランド氷床の融解、凍土の崩壊、生態系の変化が同時に進行し、地球規模の気候システムに影響を及ぼしています。これらの変化は、資源開発や北極航路、先住民の暮らし、国際関係など、人間社会にも深く関わっています。

北極は地球の気候変動に最も敏感に反応する地域です。衛星観測によれば、北極海の海水面積は1979年以降減少を続け、2012年には過去最小を記録しました。グリーンランド氷床の融解も進み、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）報告書は海面上昇への寄与を指摘しています。さらに永久凍土の融解によるメタン放出や地盤変化、生態系の変容など、地域社会の基盤にも影響が及んでいます。一方で、北極は地政学的にも大きく揺れています。資源開発や新航路の出現をめぐる国際的関心が高まる中、ロシアのウクライナ侵攻以降、北極評議会などの国際協力にも緊張が生じました。また、各国の政策も変動し、気候研究の後退が観測体制に影響を及ぼすことも懸念されています。

それでも北極の変化は待つはくれません。国立極地研究所は、日本の中核機関として気候・海洋・陸域・生態系・人間社会にわたる観測と研究を推進し、国際的なネットワークの要として北極研究を牽引しています。



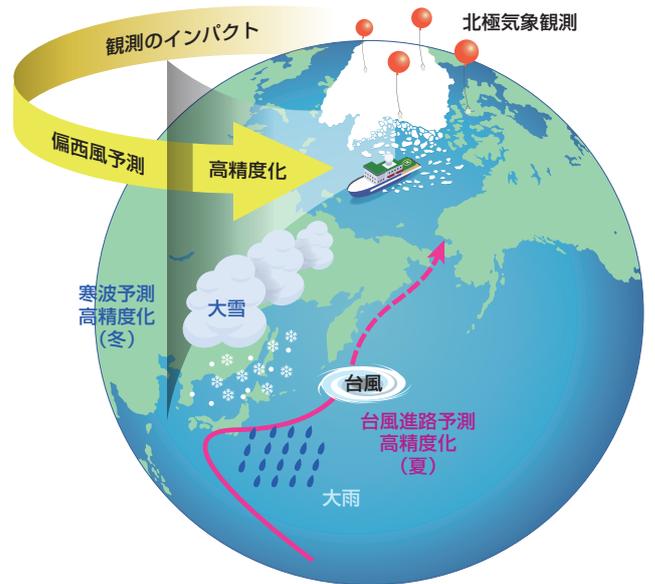
ニーオルスンに立ち寄る大型客船

社会や日本への影響

北極で起きている変化は、日本にとっても決して「遠い出来事」ではありません。日本は熱帯と極域のはざまに位置し、北極の大気や海洋の変動は偏西風を通じて中緯度の気象に影響します。近年の研究では、北極の観測データを予測に取り入れることで、日本周辺を含む中緯度の台風進路や寒波の予測精度が向上することが明らかになっています。北極の大気を正確に把握することは、数日から1週間程度先の天気を的確に予測するために不可欠です。

しかし、北極の観測体制は必ずしも安定していません。アラスカなどでは政策的要因により観測網が縮小し、沿岸域の予報精度の低下が懸念されています。そのため、観測データを国際的に共有し、持続的な観測システムを構築することが世界的な課題となっており、観測の継続性と多国間協力の推進が求められています。

国立極地研究所は、日本を代表して北極域の観測とデータ提供を担い、気象・気候予測の高度化と地球環境変動の理解に貢献しています。北極を観測することは、日本の天気・気候を知ること、そして地球の未来を見通すことにつながるのです。



北極での観測データが日本周辺の気象予測を向上させる概念図

見え方は違っても、科学は共有できる



北極の変化は国ごとに捉え方が異なります。だからこそ、科学的に現状を共有し、将来の影響を議論する共通の土台が必要です。急速に変わる北極を理解し備えるため、確かなエビデンスとなる観測研究が不可欠です。

国際会議の様子 (写真提供: 木村 元)

誤差は北極からやってくる



北極海上では気象観測データが乏しいため、北極海上や沿岸域での高層気象観測が重要です。これにより予報の初期値が高精度化され、日本周辺の天気予報の精度も向上します。観測が不足すると、風下域では予測誤差が拡大します。

気象観測用ゾンデの放球

北極観測最前線(1)

北極の大気が語る、地球のこれから。

今、記録し続けることが未来を築く

産業革命以降の人間活動の活発化に伴う大気中の温室効果ガスの増加によって、地球規模の温暖化が顕在化しています。この問題に対応するためには、温室効果ガスがどれだけ大気に放出され、どれだけ地球表層に吸収されているか、という温室効果ガスの収支を理解することが重要です。

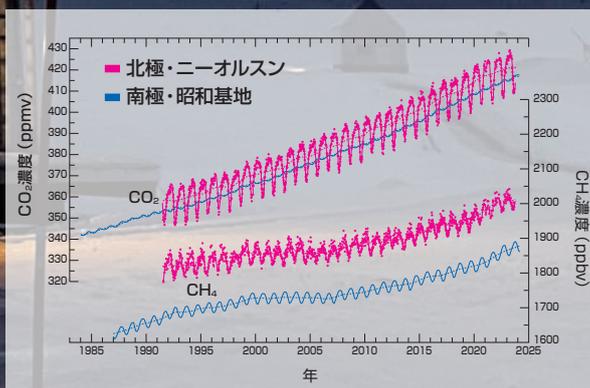
そのためにはまず、大気中の温室効果ガスの濃度変動の実態を正確に、長期的に把握することが必要になります。国立極地研究所はニーオルスンに基地を開設した1991年から大気中の二酸化炭素濃度とメタン濃度の観測を開始し、関連する大気成分の観測も拡充しながら温室効果ガスのモニタリングを続けてきました。長年の観測により、二酸化炭素もメタンも上昇傾向が続いていることが分かっています。

このような長期観測データは、温室効果ガスの大気中の変動要因の解明、温室効果ガスの放出量・吸収量の定量的な評価や、大気輸送モデルの検証・高度化に向けた研究に広く利用されています。パリ協定で定められた温室効果ガス排出削減目標の達成に向けて各国が対策を続ける中、その対策の効果を確認・検証するためにも、大気中温室効果ガスのモニタリングは不可欠です。

温室効果ガスをはじめ、今現在の地球環境の状態は今記録しなければ二度と記録することはできません。この記録の積み重ねは、将来の地球環境や気候変動研究の基盤にもなっています。未来のためにも、地道に「今」の状態の記録を続けています。

ニーオルスンの大気観測施設

南北両極の二酸化炭素とメタン濃度の変化。長期変化が読み取れます。



北極の雲を観る—変わる気候を読み解く鍵

北極海上の「雲」は、気候変動を理解するうえで重要、かつ最も難しい要素のひとつです。雲は太陽光を反射して地表を冷やす一方、そこから放射される長波放射で海氷や海面を温める働きも持ち、そのバランスの変化が海氷の融解や結氷、大気循環にも影響します。特に、雲の特性（高度、雲量、雲粒の固相 / 液相の状態など）によって放射特性は大きく変わるため、気候モデルで雲の実態・影響を再現するのは容易ではありません。

北極の雲の形態は多様で、大気循環、季節や海域、雲核となるエアロゾルなどと密接に関わります。国立極地研究所では、雲粒子センサーゾンデ、シーロメーター、ドローン観測、衛星データなどを組み合わせ、雲粒の成長過程や、降水・放射特性を明らかにし、気候モデルの検証・改良に役立つデータを提供してきました。

近年の北極の大気環境の急変に伴い、雲の構造や性質も変化しています。今後は、北極域研究船「みらいII」など新しい観測プラットフォームも使い、北極海上空の雲と海氷・海面の相互作用を高精度に観測する計画です。雲が北極域の熱収支に与える影響を理解することは、気候変動の未来を読み解く鍵となります。北極の空の下で、その観測と解析が今も続けられています。



ドローンで撮影した高度1kmからの北極海上の多層構造の雲



海面や雪氷面の熱収支は雲の有無によって大きく変化します。

ドローンと伝統知で拓く北極の未来

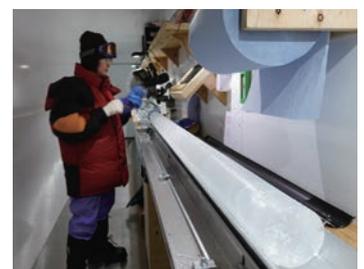
ドローンは、北極域の大気・海氷観測などに加え、先住民と協働した海棲哺乳類の生態調査にも活用されています。先進的な観測技術と先住民の伝統知を融合することで、生活やハンティングに必要な環境情報を高精度に取得し、急変する北極環境の理解と地域社会の適応力の向上に貢献しています。



グリーンランド沿岸にて

グリーンランド氷床が語る、350年分の黒い粒子

氷床や氷河は過去の大気や環境の天然アーカイブです。グリーンランド氷床でアイスコアを採取し、350年分のブラックカーボンを解析した結果、19世紀後半から化石燃料由来の粒子が増加しましたが、森林火災由来と区別できました。雪面に堆積した粒子は反射率を下げ、氷床融解や気候変動への影響が示唆されます。



アイスコア現場処理の様子

雪氷の減少によって現れる 新たな課題。

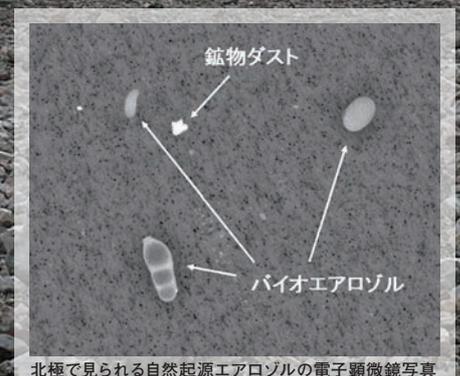
温暖化の影響によって変化するエアロゾル

北極では、温室効果ガス以外にも、大気中に浮かぶ液体や固体の微粒子であるエアロゾルの観測が行われています。北極の大気では、18世紀の産業革命の時代から、冬から春の時期にかけて視程が悪くなる現象が報告されてきています。これは人間活動に伴って大気中に放出された人為起源のエアロゾルが引き起こす「北極ヘイズ」が主な原因とされていますが、近年は改善傾向にあると言われています。

その一方で、北極のエアロゾルに関して、新たな問題が指摘されるようになってきています。そのひとつが北極の温暖化によって生じる自然起源のエアロゾルの増加です。例えば、最近のスバル諸島のツェッペリン山観測所での観測では、北極の陸域から放出されたとされる鉱物ダストやバイオエアロゾル（真菌胞子などの生物由来のエアロゾル）などの自然起源のエアロゾルが多く検出されることがわかってきました。

これらの自然起源のエアロゾルは、北極の陸域が氷(氷河・氷床、積雪)に完全に覆われた状態だと大気中にほとんど飛散しませんが、北極の温暖化が進行して氷の融解が進むことで、北極の大気中へと飛散しやすくなることが予測されます。

国立極地研究所では、大気、雪氷、陸域生態系などの複数の研究分野の専門家が協力し、北極の温暖化によって、北極で見られるエアロゾルがどのように変化し、それらが北極の気候や生態系にどのような影響をもたらすのかを調査しています。



北極で見られる自然起源エアロゾルの電子顕微鏡写真

温暖化に翻弄される生物と生態系

日本よりも1.5倍から3倍の速さで温暖化している北極では、氷河・氷床の急速な後退や縮小、凍土の融解、積雪期間の短縮などが生じています。このような変化は、生物や生態系にどのような影響を与えるのでしょうか？

国立極地研究所では、北極圏のなかでも、森林限界を超えたツンドラと呼ばれるエリアで研究を展開しています。ノルウェー・スバルバル諸島の北緯79度にあるニーオルスン基地を拠点とし、カナダ東部では、北緯53度から北緯83度の3,000kmを超える緯度勾配を利用して、温度環境と生物・生態系の多様性や機能性に関する調査・研究を行っています。

ツンドラの微生物については、わかっていないことが多くあります。氷河上からは、未知のバクテリアや真菌が発見されてきています。そのなかには、氷河の上でしか見つからないものがあり、氷河の後退とともに消えゆく可能性があります。また、低温や貧栄養下で生命活動を営む特性を利用して、人間社会に役立つような微生物が見つかり始めています。一方、植物の種類や分布、サイズは、温暖化によって変化する可能性があります。

ツンドラ地域は、これまでは二酸化炭素を吸収する役割を果たしていましたが、地球温暖化の影響で、逆に二酸化炭素を放出する可能性があり、その結果さらに温暖化が進むことが懸念されています。この二酸化炭素の変化には、植物と土壌微生物が大きく関係していて、その仕組みや将来予測についても研究しています。



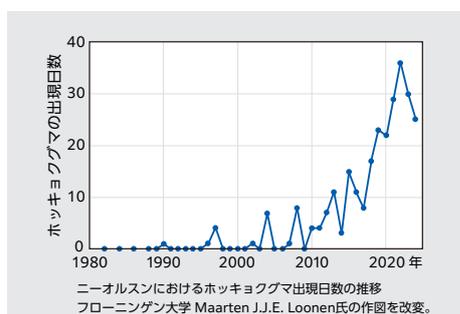
カナダ、エルズミア島のArkllo氷河後退域

ホッキョクグマが困ると研究者も困る？

私たちはホッキョクグマの生息域で調査しています。ホッキョクグマは海氷上にいるアザラシを獲物にしていたため、遭遇することはありませんでした。しかし、温暖化により海氷面積が縮小すると、海氷上に行けなくなったホッキョクグマたちが、ニーオルスン付近にやってくるようになりました。野外で調査する研究者は、クマの目撃情報があると急いで基地へ避難します。温暖化は、ホッキョクグマと研究者それぞれに問題を投げかけています。



ニーオルスンのホッキョクグマ



ニーオルスンにおけるホッキョクグマ出現日数の推移
フローニンゲン大学 Maarten J.J.E. Loonen氏の作図を改変。

1年あたりのホッキョクグマの出現日数は2000年代に入ってから増加しています。

北極観測最前線 (3)

地球と宇宙のはざまに見られる変化。

最先端の大気レーダーによる国際共同観測を軸に、太陽風エネルギーの流入とその影響を解明

日々の気象現象の舞台である対流圏や成層圏の上に広がる中間圏、さらにその上の熱圏・電離圏の超高層大気は、太陽からの電磁波や高エネルギー粒子をまっさきに受け止め、地球上の生命をやさしく守ってくれる目に見えない防護壁です。

この領域は、宇宙空間からのエネルギー流入とともに、地表面や下層大気からの擾乱も受けて、グローバルな大気循環や気候変動に大きな役割を果たしていることが分かってつづあります。この領域の観測・研究を重点的に推進するため、国立極地研究所は、日本の代表機関として、

1996年に欧州非干渉散乱(EISCAT)科学協会に加盟し、スカンジナビア半島北部とスバルバル諸島に設置されたEISCATレーダーを用いた先進的な観測・研究を国内外の研究機関と協力して実施してきました。そのEISCATレーダーに代わる、次世代大気レーダー(EISCAT_3D)の整備を国際共同で進めています。

EISCAT_3Dレーダーは、時間・空間的に激しく変動する「太陽活動の地球大気への影響」を高精度で測定可能であり、太陽風のエネルギーがどのように地球の北極域に流入し、どのように変換・散逸するかを明らかにすることが期待されています。そのような最先端の観測研究により、宇宙天気予測や気候変動の理解に貢献します。



EISCAT_3Dレーダー送受信局(シーボトン・ノルウェー)のアンテナアレイ(上図)と全体像(下図)。直径約80mの範囲に約1万本のアンテナを配置し、大出力の電波を宇宙空間に放射します。その後、電離圏から返ってくる散乱波を、2つの受信局(カイセニエミ・スウェーデン、カレスバント・フィンランド)を含む3つのサイトで3方向から受信することで、電離圏内の電離大気の数値や温度などの物理量を、広範囲で正確に測定することが可能です。

完全な極夜で挑むオーロラの北限での観測

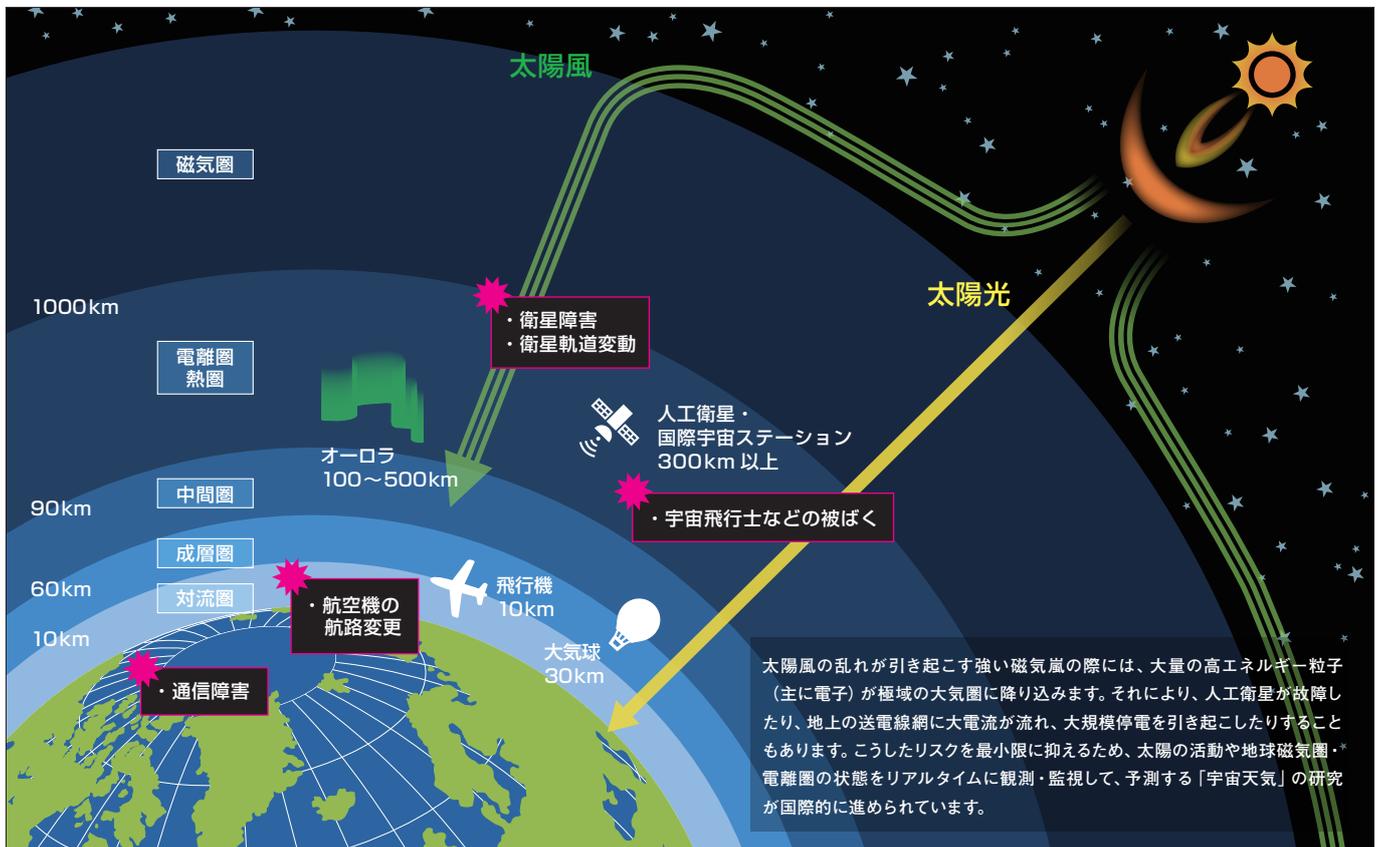
スバル諸島は、スカンジナビア半島やアイスランドよりも高緯度のオーロラ出現域の北限に位置しており、オーロラの特徴を含む宇宙天気の影響の振る舞いや、気候変動の影響が大きく異なる地域として知られています。特に光学観測については、ロングイヤービン郊外に新設された Kjell Henriksen 観測所(KHO)において、オーロラおよび大気光の継続観測が行われています。冬季にはおよそ4ヵ月間にわたり完全な極夜が続くため、この期間は24時間連続で光学観測が可能です。これにより、オーロラの空間構造や時間変化を高精細に捉えるだけでなく、微弱な大気光の観測から高度80km付近の寒冷化が進む大気温度を連続的に導出できる点が大きな特徴です。

大気変動の理解は人工衛星の安全にも直結

北極の高度約500km付近は、多数の人工衛星の軌道が集中する領域でもあることから、スバル諸島上空の大気変動の理解は人工衛星の安全な運用にも直結しています。KHOの近隣にはEISCATレーダーや流星レーダーなどが設置されており、高度約60kmから1,000kmまでの大気密度・温度・風速などの観測が可能です。これらの観測を組み合わせることで、大気と宇宙空間におけるエネルギーおよび運動量の授受を定量的に評価することができます。



ロングイヤービンの光学観測ドーム(手前)とEISCATスバルバルレーダー(右奥)



極域超高層大気の長期変動

EISCATレーダーは1981年から現在まで極域電離圏の観測を継続しています。それにより、太陽活動周期(通常約11年)を超える、長期的な超高層大気の変化のトレンド(例えば、地表の温暖化に伴う超高層大気の寒冷化の特徴)を調べる研究にも活用されています。



EISCATレーダー

飛翔体との連携観測

EISCATレーダーを中心とした北極やスバル諸島での拠点観測の他、アイスランドやアラスカなどの北極域にも地上観測を展開しています。これらの観測は、日本の「あらせ」衛星やロケットなどとの連携観測や、国内・国際共同研究に役立てられています。



観測ロケットの打ち上げ

研究を支える日本の基盤

データでつながる北極研究ネットワーク。

北極のデータサイエンス

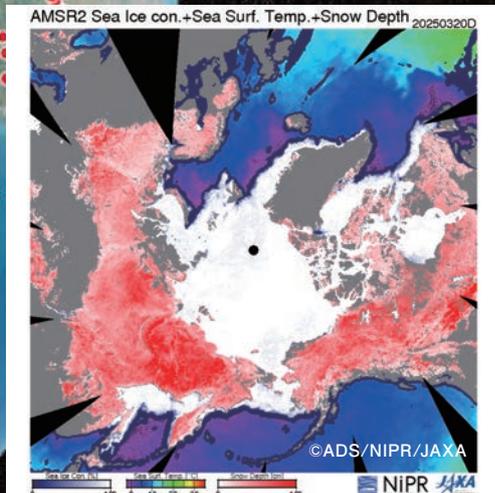
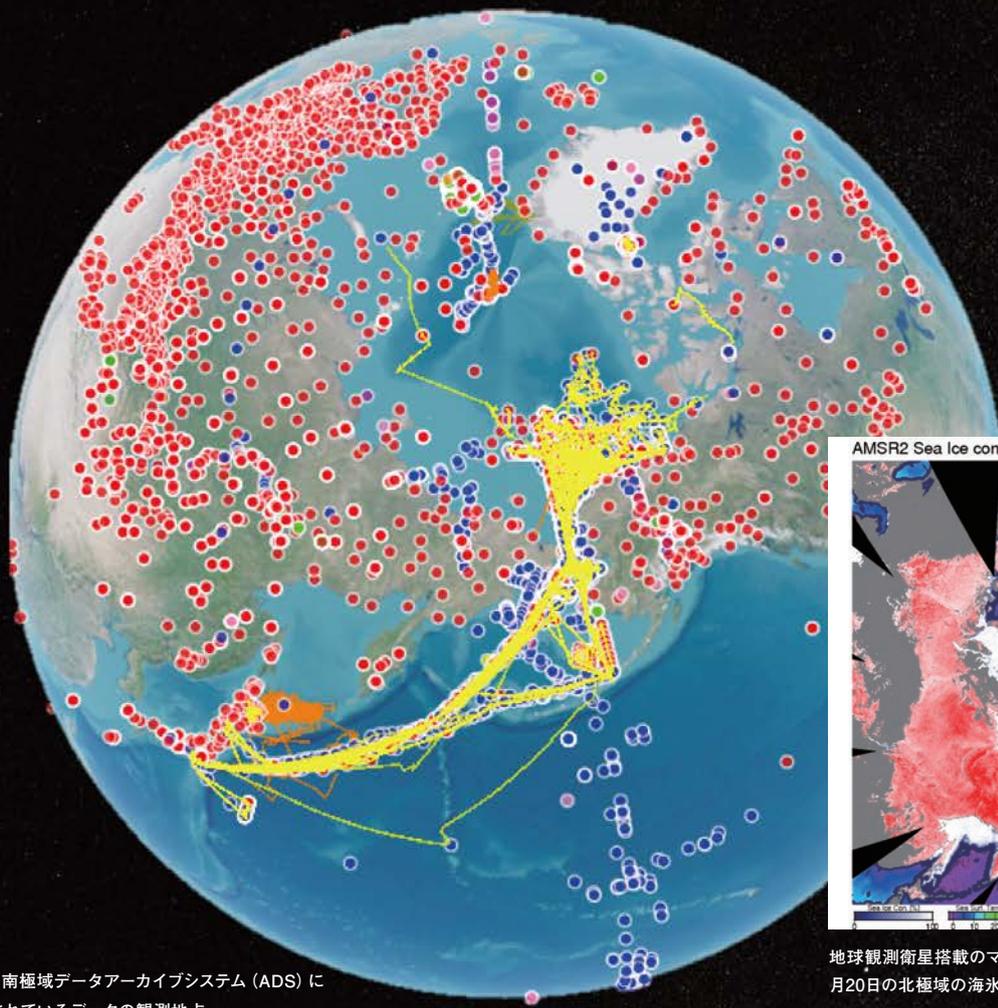
北極・南極域データアーカイブシステム (ADS : Arctic and Antarctic Data archive System) は、国立極地研究所の極域研究のための統合的データ基盤で、大気、海氷、雪氷、海洋、生態系など多様な分野の観測データや研究成果を体系的に収集・保存し、国内外の研究者に公開しています。これにより、分野横断的なデータを効率的に利用でき、地球環境変動プロセスの解明や国際共同研究の推進に大きく貢献しています。

特に宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の地球観測衛星による極域の環境情報をリアルタイムで公開しています。高解像度の海水分布データは、海氷の季節変動や長期的減少傾向を把握するための基盤情報であり、研究者にとって不可欠な資料となっています。ADSはこれらのデータを標準化された形式で提供し、解析やモデル同化への即時利

用を可能にしています。さらに、人工衛星観測と現地観測を組み合わせた高精度データの提供により、北極域の環境変化を多角的に捉える「データサイエンス」の拠点として発展しています。

また海氷情報室と連携し、最新の観測データを基盤に、数値モデルを用いた北極全域の短期海氷予測を行っています。さらには数ヶ月先までの中期海水分布予測を行っており、北極航路の安全利用や政策立案にも直結する情報発信を行っています。

ADSは、データ発信を通じて、北極研究の基盤を強化すると同時に、国際的な研究ネットワークを支える重要な役割を果たしています。ADSは、北極域の環境変動を理解し、地球規模の気候変動予測に挑むために不可欠なデータインフラです。



北極・南極域データアーカイブシステム (ADS) に登録されているデータの観測地点

地球観測衛星搭載のマイクロ波放射計 (AMSR2) による2025年3月20日の北極域の海水域分布・海面温度・積雪深

北極をめぐる国際協力。

北極圏の変化を監視するための国際協力体制

北極圏には8カ国が領土を持ち、約400万人が住んでいます。全球平均の3倍以上という急激な速さでの温暖化は、自然環境から社会活動に至るまで大きな変化を起こしています。この急激な変化を把握するには、一国のみの観測では不十分で、国際協力のもとで広範かつ継続的な観測・調査を行う必要があります。日本は、国際的な観測ネットワークや研究プログラムに参画し、変化の全体像を理解するための協働を積極的に推進してきました。

そのような枠組みのひとつである国際北極科学委員会 (IASC: International Arctic Science Committee) は、国際的な北極科学の推進を目的とした非政府組織で、日本は設立された翌年の1991年から参加しています。加盟国は設立時の北極圏8カ国から現在25カ国に広がり、大気・雪氷・海洋・人文社会・陸域の5つの分野に分かれた作業部会では、優先すべき研究テーマを議論して国際協力を促進しています。このような国際組織との連携は、日本の北極研究を世界規模の議論と接続し研究を国際化する重要な機会を作るものでもあります。

日本の観測拠点と海外研究機関との協力

日本の北極観測基地は、北緯79度、スバル諸島のニーオルスンにあります。ここはスバル条約という国際条約によって世界の研究者に開かれており、現在日本をはじめとする11カ国の研究機関がノルウェー極地研究所と協力しながら研究を実施しています。国立極地研究所は海外研究機関と協定を結び、アメリカのアラスカに観測地点を設けているほか、カナダの研究施設を活用するなど、国際連携によって拠点を確保し、国内研究者のための共同利用体制を整えています。

第5回国際極年 (IPY-5)

2032-33年を第5回国際極年 (IPY-5: The 5th International Polar Year) と定めて極域研究の国際協力を進める準備が進んでいます。今回のIPYは極域の急激な変化を受けて前回IPY-4の25年後に計画されました。IPY-5では、地球規模の気候・環境課題に対応するため、観測、データ共有、極域先住民の権利の尊重、国際的な共同研究の枠組み強化を目指しています。



日本の大型北極研究プロジェクトと新研究船「みらいII」

国立極地研究所は2011年から5年単位の国家プロジェクトの中心となって日本の北極研究を強化してきました。GRENE 北極気候変動研究事業で分野横断的な自然科学研究に取り組み、北極域研究推進プロジェクト (ArCS)、北極域研究加速プロジェクト (ArCS II) では観測体制を拡充しつつ人文・社会科学分野との連携を深めました。2025年に開始された北極域研究強化プロジェクト (ArCS III) は分野

横断的研究を一層強化して社会課題の解決への貢献を目指します。

2026年秋に就航する北極域研究船「みらいII」は、日本初の砕氷能力を持つ研究船です。海氷域において大気・気象・海洋・海氷に関する幅広い調査観測が可能となり、今後の活躍が期待されています。

北極域研究船「みらいII」
©JAMSTEC/JMU





国立極地研究所

大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構



www.nipr.ac.jp

国立極地研究所 〒190-8518 東京都立川市緑町10-3

2603A20000