

北

北極でいま、なにが起きているのだろうか？

極



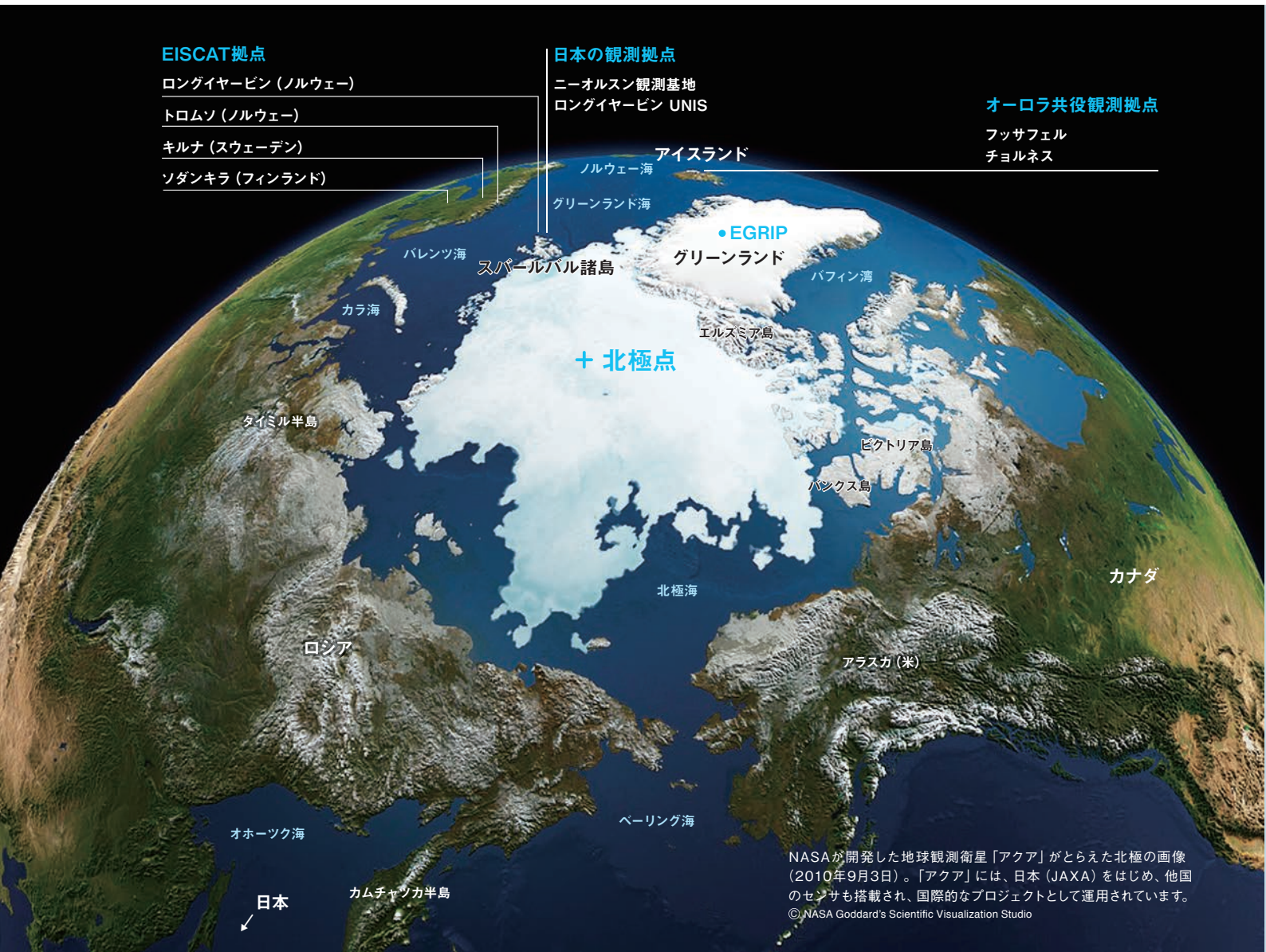
観



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

測

北極の気候に、 大きな変化が起きています。



北極とは

北極点は北緯90度の一点を指しますが、一般的に北緯66.5度より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、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

本冊子の情報は2018年1月現在のものです。

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カ国です。北極海^{*}は約1,400万km²で、ほぼ南極大陸の面積に匹敵し、最深部は5,440mあります。

^{*}ユーラシア大陸、北米大陸、グリーンランドに囲まれた海域



スバルバル諸島にあるスピッツベルゲン島最大の町・ロングイヤービンへは、商用航空機でアクセス可能。日本 (成田) からはノルウェーのオスロ経由等が標準的なルート。飛行時間は合計で約16時間です。



減少の傾向が続くホッキョクグマ

ホッキョクグマは地上最大の肉食動物。体長は2～2.5m、体重はオスで250～600kg、メスで150～300kgにもなります。カナダの島々を中心に、グリーンランド、アラスカ、ロシアにかけて北極海を取り囲むように分布しており、現在22,000～31,000頭が生息していると考えられています。主な生活の場は海氷上で、主食はアザラシ類。このため、陸生というよりも海生哺乳類といわれています。北極の海氷の減少にともない、比較的南方の群から生息数の減少も観測されています。国際自然保護連合は、絶滅の恐れがある動植物を掲載している「レッドリスト」に2006年版からホッキョクグマを掲載しました。

北極の氷が消える？

北極がいま、世界の注目を集めています。その最大の理由は、地球温暖化。新聞やテレビで、縮小する氷河やホッキョクグマの個体数の減少を指摘する報道を目にされた方も多いでしょう。

南極も北極も一見すれば、氷の世界。しかし、数10万年以上をかけて降り積もった雪が最大4,776mもの厚さの氷床を形づくる南極大陸と異なり、北極点は北極海の海氷上。海氷は薄く変化しやすいうえ、周囲は、ユーラシア大陸、北米大陸に取り囲まれて、人間活動も盛んに行われています。北極は、地球温暖化に最も敏感に反応する地域であると考えられています。

実際に北極の海氷面積は、1979年以降、減少傾向を示しています。衛星観測から見る北極海の海氷面積は、2012年9月に過去最小を更新。グリーンランド氷床の融解の進行も明らかで、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）報告書も、グリーンランドの氷床の融解・流失が降雪量を上回り、海面水位の上昇に影響を与えている可能性があることを指摘しています。急速に減少が予測されている北極の雪氷域。変化を把握し、その原因を追求することが求められています。

日本にも波及する北極の気候変動

これらの急激な変化は、北極と同じ北半球に位置する日本にとっても対岸の火事ではありません。それを象徴するのが、日本の大雪や寒波の原因として注目されるようになった「北極の温暖化増幅」です。北極の気候変動が、水産資源等に及ぼす影響の解明も急がなければなりません。

国立極地研究所では、その変動の実態とメカニズム、生態系への影響を解明するため、大気、雪氷、海洋、陸域環境、超高層大気の各分野で現地観測を軸に研究を進めています。

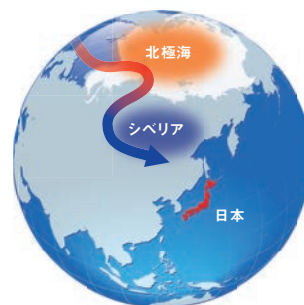


モナコ氷河の末端（スピッツベルゲン島）

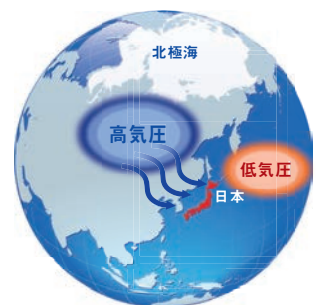
北極の温暖化増幅と異常気象

日本は熱帯域と極域に挟まれた中緯度に位置するため、北極の気候変動の影響が日本の天候に現れることがあります。近年の冬季北極海では、海水減少や南からの暖かい空気の流入によって極端に高温となり、真冬でも雨が降ることがあります。一方で、中緯度では日本をはじめ、欧米でも極端に寒い冬とな

ることがあります。この「暖かい北極・冷たい大陸」という不思議な関係を解明するために様々なメカニズムが提唱されています。海水減少や中緯度海洋の変動など、いくつかの学説がありますが、それらを裏付ける十分な観測データが不足しているのが現状で、継続的な観測とデータの蓄積が欠かせません。



「暖かい北極・冷たい大陸」のパターンには偏西風の蛇行を伴う。



大陸の寒気は冬型の気圧配置時に日本域へ流れ込む。

北極の大気と氷が、 地球の気候の変化を教えてください。

人間活動がもたらすもの

日本は、1991年から北極でCO₂やメタンなどの温室効果ガスのモニタリングを続けています。その変動を明らかにすることが、将来の温室効果ガスの濃度予測をより確実なものにすることに直結するからです。

2011年3月には、北極の上空で、南極のオゾンホールに匹敵するオゾン層の破壊が起きました。人間活動による温室効果ガス増加にともなう北極上空の低温化が誘因と考えられています。しかし、人間活動によって生じた物質は温暖化を促進するものばかりではありません。そのひとつがエアロゾルです。エアロゾルとは、大気中に浮かぶ液体や固体の微粒子で、火山活動や砂塵などの自然現象に加え、化石燃料の燃焼をはじめとする人間活動でも生成されます。エアロゾルは雲をつくり、太陽光を遮る働きがあり、長期的には地球の日射量を制御し、気温を寒冷に保つ働きを持つと考えられています。

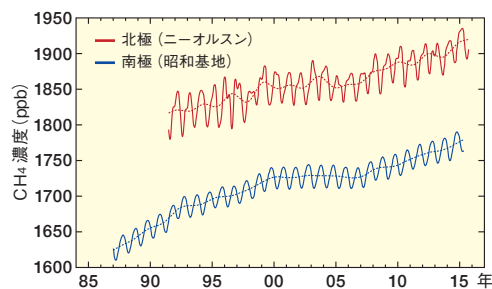
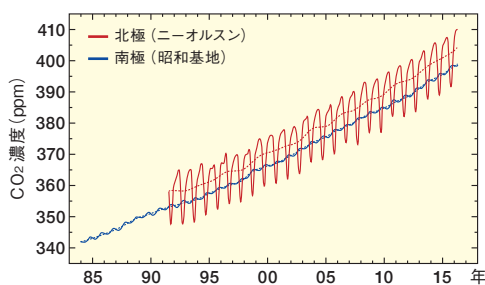
温室効果ガスとエアロゾルが、地球の気候変動におよぼす影響の検証には長期間にわたる継続的な観測が欠かせません。その意味で、北極観測は、まだ緒に就いたばかりなのです。



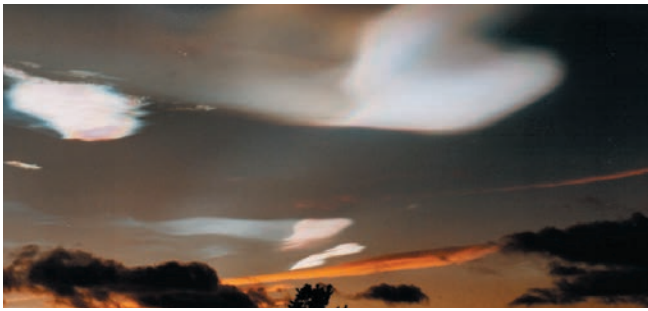
太陽や空の明るさを測定して大気中の微粒子、エアロゾルを測る観測機

増え続ける温室効果ガス

1991年にニーオルスンに北極観測基地が設立されてから、大気のモニタリング観測が継続して行われています。北極では、森林や湿地などの影響で季節による変動が激しい傾向はありますが、南北両極でCO₂とメタン濃度の上昇傾向が続いています。



南北両極域で観測された大気中のCO₂ (左) とメタン (右) 濃度の変化



オゾンホールの原因となる極成層圏雲

南極で多く見られる極成層圏雲（左）が北極でもしばしば見られるようになりました。この雲は、対流圏（高度0～10km）にできる普通の雲よりもずっと高い成層圏（高度15～25km）に発生します。極成層圏雲ができる原因は、対流圏から運ばれたわずかな水蒸気が氷粒にな

るなど、超低温になることにあります。CO₂などの温室効果ガスが増加すると、地上付近では気温が上昇しますが、逆に成層圏の気温は低下、極成層圏雲の発生を促します。この雲粒の表面でおきる化学反応を介してオゾン破壊が進むと考えられています。

氷床は地球のタイムカプセル

グリーンランドには広大な氷床が広がっていますが、近年グリーンランド氷床の氷が減少して海面上昇を招くことが問題になっています。氷床の融解量の増加や氷床流動の加速による海への流出の増加が氷の減少の原因と考えられますが、詳しいメカニズムは分かっていません。

日本はグリーンランド最大の氷流（NEGIS）の上流部で実施されている国際深層掘削計画（東グリーンランド氷床コアプロジェクト、EGRIP）に参加して、氷床コアの掘削・解析を行っています。この氷床コアを分析することで、氷床の氷がどのように流動しているかを解明することができます。また、最終氷期中盤（5～6万年前）にまで遡って気候・環境変動を復元することができます。特に現在よりも気温が3度ほど高かったと考えられている完新世初期の気候・環境を詳しく調べることで、将来、地球温暖化が進行したとき、グリーンランド氷床がどの程度縮小し、海面変動にどのような影響を与えるのか、また、どのような気候・環境変化が生じるか推定することができます。

一方、最終氷期には、数10年という短期間に10℃も気温が上昇した、急激な気候変動が20数回もあったことが分かっていますが、氷床コアを分析することで、将来、このような急激な気候変動が起こりうるのか、推定することができます。

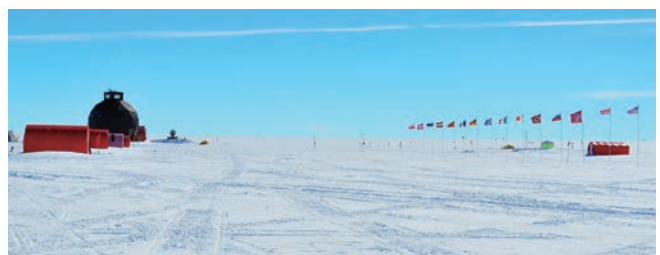


EGRIPのコア現場処理室の様子。テーブルの上に横たわる円柱状の氷が氷床コア

12カ国が参加する国際深層掘削計画「EGRIP」

デンマーク、ドイツ、日本、ノルウェー、アメリカ、フランス、スイス、イタリア、中国、韓国、スウェーデン、アイスランドの12カ国が東グリーンランドで実施している氷床深層掘削計画。2015年から掘削を行い、最終的には2,600mの深さの岩盤付近まで到達する予定です。

EGRIPの氷床コアは各国に配分され、水の安定同位体、温室効果ガス、ブラックカーボン、ダストなどについて詳細な解析が行われています。解析が進めば、現在よりも約3℃気温が高かったと考えられている完新世の温暖期にどのような気候・環境変動が生じていたのか、などを知ることができます。



EGRIPキャンプ。世界各国の研究者と協力して、最先端の技術による氷床コア掘削・解析が行われています。

北極の生態系が気候の変化に 応答する姿を探っています。

氷河後退域では、コケ、地衣類、ムラサキユキノシタなどが侵入し、キョクチャヤナギなどの植物がそれに続きます。すると、それまで姿を見せなかった動物がやってきます。



ムラサキユキノシタ



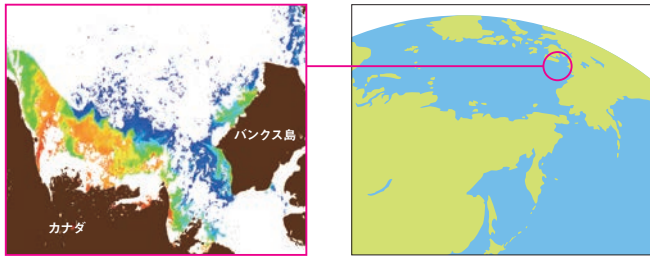
キョクチャヤナギ



コケマンテマ

北極に生きる可憐な生命たち

北極における樹木限界以北の維管束植物は約900種知られており、そのうちの3分の2は北極に固有だといわれています。日本の北極観測基地があるスバルバル諸島スピッツベルゲン島では、100種以上の種子植物が知られています。



茶色い部分が陸地、白い部分は海水を表しています。色つきの部分がクロロフィルa濃度で、青から赤に近づくほど量が多いことを示しています。(2011年6月25日観測)

北極海の生態系を支える植物プランクトン

左の図は、北極海のポーフォート湾におけるクロロフィルa(葉緑素)濃度を表したもので暖色系の場所ほど濃度が高い。その濃度が高いほど、植物プランクトン量が多く、CO₂の大きな吸収源であることを示します。北極海では6月頃から海水が融け始めます。すると、海中に太陽光が届き、植物プ

ランクトンの大増殖を引き起こします。植物プランクトンの増殖は、それを捕食する動物プランクトンの増殖を促し、それが、魚類、底生生物、鯨類等のえさとなるというように、北極海の豊かな生態系の中核となっています。北極海は世界で最も高クロロフィルa濃度となる海域のひとつです。

気候変動が陸上生態系にもたらすもの

氷河の後退や温暖化は、北極に生きる生物や生態系にどのような変化を引き起こすのでしょうか。アラスカなど、北極の中でも緯度の低いエリアでは1960年代から継続的な観測が行われ、気候や環境変動に対して生物がどう応答するのかが詳細に研究されてきました。しかし、年の大半を氷に閉ざされ、アクセスも難しいより高緯度ではほとんど観測が行われていませんでした。

北極では緯度によって生態系の構造が大きく異なるため、真の姿を知るためにはできるだけ多くのポイントでの観測が重要です。そこで、国立極地研究所では、北緯79度の地にニーオルスン観測基地を設置以来、氷河後退域の生物とそれらに対する温暖化の影響について、継続的な調査と研究を行っています。

調査の主眼は温暖化によって生態系の炭素循環がどのように変化するかを予測すること。現在までに、氷河後退から間もない場所にいち早く侵入するムラサキユキノシタ、侵入速度は遅いものの、高い光合成活性をもつキョクチャヤナギ、土壌有機物を分解する微生物などの調査を行っています。それらの結果によると、氷河後退域の生態系の炭素収支は、非常に微妙

なバランスで成り立っており、今後の温暖化で炭素の吸収源から放出源になる可能性が明らかとなってきています。

海洋生態系が変動する可能性

視点をCO₂の大きな吸収源である海に転じてみましょう。その主役は光合成により陸上の植物を凌ぐ量のCO₂を吸収する植物プランクトンです。国立極地研究所では、漁業資源の豊富な海域としても知られるベーリング海で、人工衛星と船舶観測を組み合わせ、植物プランクトンの一種である円石藻類の時空間変動とその要因についての調査を実施してきました。

得られたデータを分析した結果、この10年間で円石藻類が減少に転じたことが明らかになっています。

北極の動物たちの真の姿にも迫る

北極の生態系の頂点に立つ動物や魚類の行動調査も始まっています。バイオロギングの手法を活用し、ホッキョクグマをはじめ、アゴヒゲアザラシ、ニシオンデンザメなど調査対象も拡大しています。

加速度データロガーで明らかになったアゴヒゲアザラシの生態

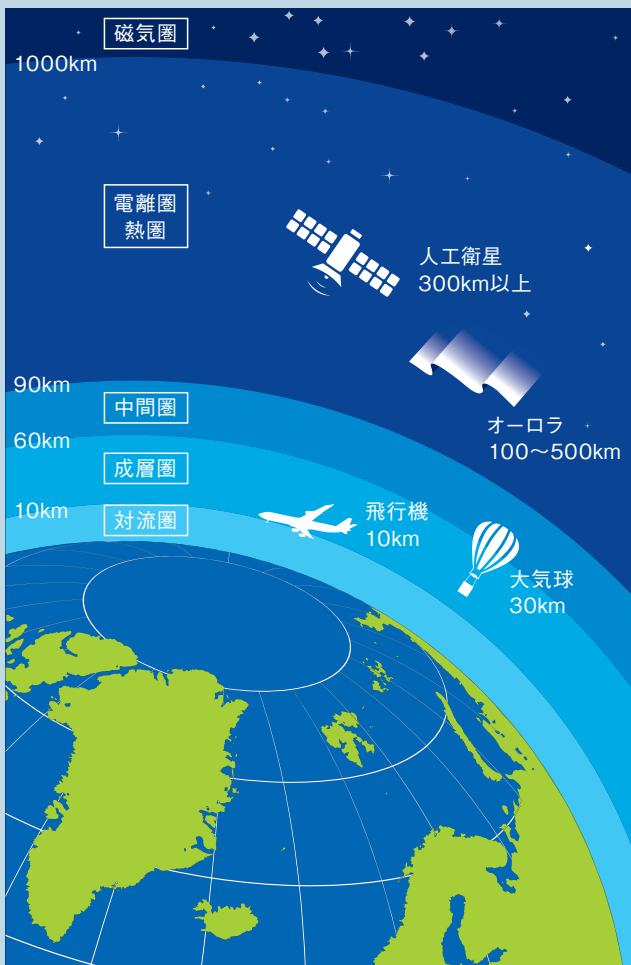
海を自在に泳ぎ回るアゴヒゲアザラシは、生まれながらの泳ぎの達人ではありません。いわば陸上動物として生まれ、授乳期間のわずかな数週間のうちに、遊泳、潜水能力を発達させ、海洋動物へと“変身”します。その急速な発達過程が、加速度データロガーを使った北極での調査で明らか

になりました。アザラシの幼獣は成長にともない、潜水中に足ひれの動きを止めるグライディング泳法を習得、同時にひとかきで進む距離を延ばし、泳ぎを効率化します。泳ぎを急速に身につけることで、ホッキョクグマに襲われる危険を減らしていると考えられます。



アゴヒゲアザラシ

北極の上層大気の観測から 気候変化のしくみを探ります。



宇宙と地球の境界域 —超高層・中層大気—

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。最近の研究から、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きました。国立極地研究所では、国内外の研究機関と協力して、この領域の観測・研究を重点的に推進しています。

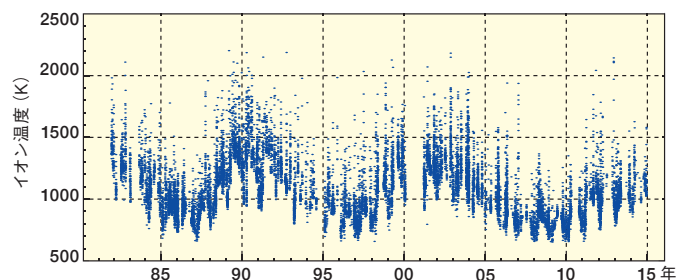
超高層観測設備：EISCATレーダー

欧州非干渉散乱 (EISCAT) レーダーは、超高層大気を精度よく観測することができる現在最も強力な観測設備です。大きなレーダーから発射された電波は、上空の電離大気で散乱され、戻ってきた微弱な信号を重ね合わせて分析することにより、高さ約60~1,000km以上の大気の密度、温度、運動を

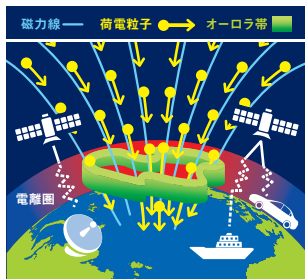
極域超高層大気の長期変動

超高層大気の温度は、太陽からの紫外線やX線の吸収・加熱により上昇します。太陽活動が活発な時(1989年~1992年や2000年~2003年)とそうでない時では、熱圏の温度が約500K(ケルビン)も変化しています。極域超高層大気の温度や密度は、その他にも下層大気からの影響や磁気圏からの

電磁エネルギーや粒子エネルギーを受けて変化します。EISCATレーダーは1981年から現在まで観測を継続しており、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傾向を調べる研究にも役立てられています。



EISCATで観測された過去34年間のイオン温度の年変動(高度300km)



宇宙環境の影響を受ける社会基盤

私たちの暮らしにも影響する「宇宙天気」

オーロラは、太陽風や地球磁気圏内の荷電粒子（主に電子）が極域の大気圏に降り込む際に、大気と衝突して光らせる現象。明るく激しい運動をとまぬオーロラは、太陽活動が活発な時期に数多く出現します。太陽活動はオーロラだけでなく、超高層大気にも大きな影響を及ぼします。強い磁

気嵐の際には、大量の高エネルギー粒子により人工衛星が故障したり、地上の送電線網に大電流が流れ、大規模停電を引き起こすこともあります。こうしたリスクを最小限に抑えるため、太陽活動や地球磁気圏・電離圏の状態をリアルタイムに観測・監視して、予測する「宇宙天気」の研究が

国際的に進められています。多くの実用衛星が飛び交う超高層大気圏は、すでに現代の生活に欠かせない人間の生存圏の一部と言えるでしょう。EISCATレーダーなどの観測データは、この生存圏を維持・監視するためにも有効活用されています。

計測できます。国立極地研究所は、日本の代表機関として、1996年にEISCAT科学協会に加盟し、EISCATレーダーを用いた先端的な観測・研究を実施しています。

現在、EISCATレーダーは、トロンソ（ノルウェー）、キルナ（スウェーデン）、ソダンキラ（フィンランド）、およびロングイヤービン（スバルバル諸島）に配備されていますが、さらに観測性能が10倍以上アップした次世代型レーダーに更新する国際共同プロジェクト「EISCAT_3D」計画が進行中です。



EISCAT スバルバルレーダー

北極超高層大気の拠点観測

国立極地研究所は、EISCATレーダーを中心とした拠点観測をスバルバル諸島やスカンジナビア半島北部に展開しています。



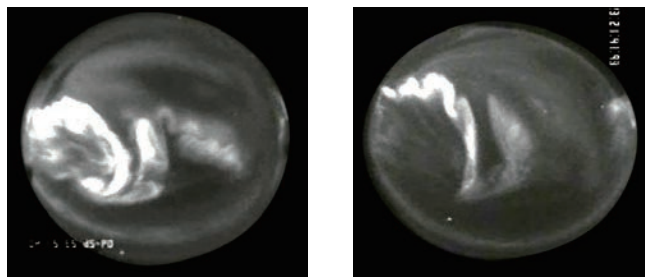
左上：トロンソ光学観測施設、右上：ロングイヤービン光学観測施設、
左下：アイスランド光学観測機器、右下：ロングイヤービン流星レーダー

EISCATレーダーと相補的な役割を担う、中間圏や下部熱圏を観測する流星レーダーやさまざまなオーロラ・大気光観測用光学機器を運用し、超高層大気の研究に利用しています。また、昭和基地の磁気共役点（9P下コラム参照）となるアイスランドに観測拠点を持っています。そこでは、リオメータや地上磁場、オーロラ用各種光学機器を用いた総合観測を継続して実施しており、最新のオーロラ研究を進めています。

オーロラの共役点観測

オーロラは、南北両極のオーロラ帯と呼ばれるドーナツ状の領域でよく観測できます。オーロラ粒子は、磁気圏内で磁力線に沿って南極と北極に降り注ぎますが、だとすれば、南北では同じようなオーロラが発生しているのでしょうか？その謎を解くために、日本では一本の磁力線で結ばれたアイスランドと南

極・昭和基地の間でオーロラの同時観測を行っています。これまでのところ、動きの弱いゆっくりしたオーロラはよく似ており、明るく、動きの激しいオーロラについては共役性が低いことがわかってきました。



アイスランド(左)と昭和基地(右)のオーロラ共役性写真。同時のオーロラをとらえています。

人と地球の未来のために、 北極で世界が手を取り合っています。



11カ国の研究施設が集まるスピッツベルゲン島ニーオルスン国際観測村

スバルバル条約

1920年、第一次大戦直後にスバルバル諸島の取り扱いに関して多国間で条約が取り交わされました。その結果、スバルバル諸島に対する主権はノルウェーが保有するものの領土ではなく、条約加盟各国が自由に活動できる地域となったのです。条約の要旨は次の通りです。

- 第1条：スバルバル諸島の主権は、ノルウェーが持つ。
- 第2条：条約加盟国は、スバルバル諸島での漁業・狩猟について、ノルウェーの国民と同等の権利が与えられる。
- 第3条：条約加盟国は、スバルバル諸島へのアクセス、滞在、諸活

動について、ノルウェーの国民と同等の権利が与えられる。

- 第9条：ノルウェーを含め、いかなる国も島に軍事基地を置くことができない。

この条約のもと、今日のスバルバル諸島は北極研究の基地として世界中の科学者に開かれているのです。



ニーオルスンで来訪者を迎えるアムンセンの胸像



ニーオルスン基地

ニーオルスンへは、ロングイヤービンから14人乗りの小型航空機で約30分のフライト。2019年4月、それまでラベン（ノルウェー語で「岩からなる細長い丘」の意味）の愛称で約30年間親しまれてきた従来の建物から、国際観測村の中心部にある新しい基地建物（Terrestrial science building）に移転しました。

建物内には日本の専有スペース（居室、観測室、ドライラボ、機材室、倉庫）のほか、各国で共同利用する実験室、居室、倉庫などがあります。各国の基地、チェックインや食事をする管理棟へのアクセスがたいへん便利になりました。ただし、村外での野外活動には、ホッキョクグマへの安全対策が必要です。

科学を通して世界がひとつに

北極圏には8つの国がそれぞれ領土を持ち、そこに眠る資源について、各国間で権利の主張や争奪戦が始まっています。そのような状況のなか、北極観測ではいま、世界中の科学者が協力し合い、さまざまな研究・調査活動を行っています。なぜ、科学分野では国境を越えて開かれた交流が可能になったのでしょうか。地球規模の現象を考える場合、問題解決には全球的な科学的視野と調査が必要であり、国際協力が欠かせないからです。

このために、1990年、北極圏内に領土を持つ8カ国が集まり、国際北極科学委員会（IASC）が設立されました。国境を越えて、地球の未来のための調査・研究をするための基礎がつけられたのです。MARINEなど5つの作業部会があります。日本は北極研究に実績を持つ国にも門戸が開かれた1991年からIASCに参加。関係組織である北極研究責任者フォーラム（FARO）、ニーオルスン観測調整会議（NySMAC）などの一員としても、地球の未来を解き明かす観測・研究活動を続けています。

広がる日本の観測拠点

日本の北極観測基地は、北緯79度、スバルバル諸島スピッツベルゲン島のニーオルスンにあり、かつては炭鉱の村でしたが、閉山後にノルウェーの北極観測所が置かれ、その後、北極研究の国際拠点として発展してきました。現在、日本の国立極地研究所をはじめとする11カ国の研究機関が、この地に観測施設を持ち、相互に協力し合いながら研究を実施しています。

日本はこのほかにも、同じスピッツベルゲン島ロングイヤービンのスバルバル大学（UNIS）内にも研究室を置くとともに、アイスランドや北米、ロシアなどにも観測拠点を設けて日本の大学や研究機関との共同利用体制を整えています。

スバルバル統合観測システム（SIOS）計画

2018年、スバルバル諸島およびその周辺海域で運用されている各国の観測システムを統合的に活用し、地球規模気候変動の監視と研究を推進する、「スバルバル統合観測システム（SIOS）計画」が本格的に開始しました。国立極地研究所は創立メンバーとして本計画に参画しています。

北極域研究のためのふたつの事業（ArCS、J-ARC Net）

【北極域研究推進プロジェクト】

（ArCS: Arctic Challenge for Sustainability）

ArCSプロジェクトは、文部科学省の補助事業として2015年9月に始まった、我が国の北極域研究のフラッグシッププロジェクトで、国立極地研究所は代表機関として中心的な役割を担っています。

ArCSは急変する北極域の環境変化についてその実態の科学的な把握および正確な予測を行い、国内外の人々や関係機関が持続可能な北極の利用などの諸課題について適切な判断を行うために必要十分な情報として成果を提供することを目的とし、2020年3月までの約4年半にわたって実施しています。

4つの実施メニュー

- 国際共同研究推進メニュー
- 国際連携拠点整備メニュー
- 若手研究者派遣による人材育成及び国際連携メニュー
- AC等北極関連学会への専門家の派遣メニュー

<https://www.arcs-pro.jp/>

【北極域研究共同推進拠点】

（J-ARC Net : Japan Arctic Research Network Center）

北海道大学と海洋研究開発機構の北極センターとともに、北極域における日本の先端的、学際的共同研究推進の一翼を担っています。

<http://j-arcnet.arc.hokudai.ac.jp/>



オニイワヒゲ



ホッキョクヒナゲシ



コケモモ



ムカゴトラノオ



タカネマンテマ



チョウノスケソウ



コスギラン



オオツボゴケ



エゾワタスゲ

www.nipr.ac.jp

国立極地研究所 〒190-8518 東京都立川市緑町10-3

1903G8000(4)