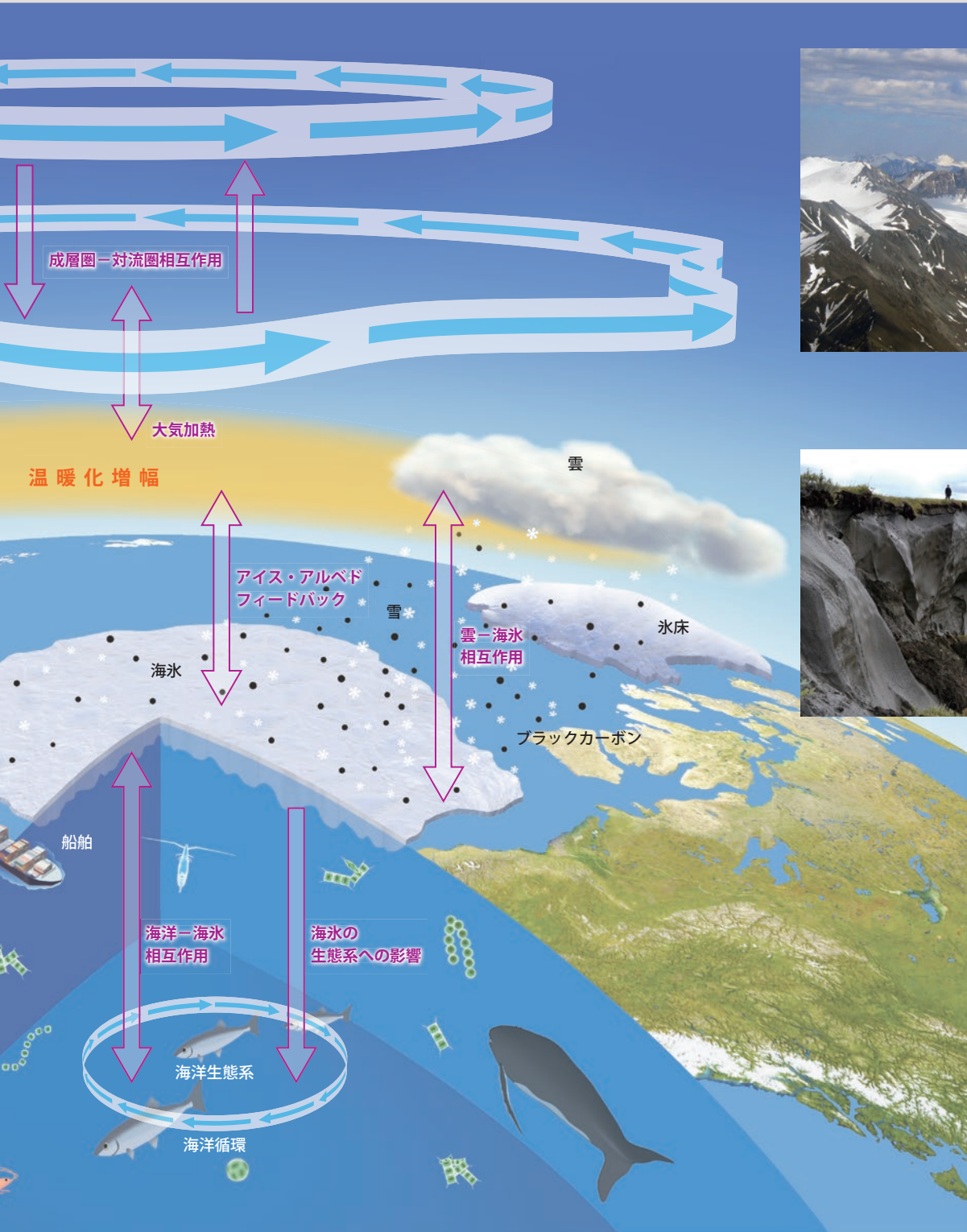


生態系へも大きな影響を与えることが予測されています。陸上の植物の活動に変化が起きると、植物が大気から吸収する二酸化炭素の量が変化し、再び地球温暖化を左右することにつながっていきます。北極から離れているように思える日本でも北極の気候変動の影響を受けていることが分かっており、その変化を見逃すことはできません。

こうした激しい北極の変化を捉え、その仕組みを解明し、さらに将来の予測をすることに貢献しようと、グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス (GRENE) 北極気候変動研究事業「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」を

2011年から2016年の5年にわたって実施しました。39の研究機関との共同研究を行い、わが国の北極研究者360名以上が参加、初めて日本の総力を挙げて、分野横断的な研究や観測とモデルとを融合した研究による総合的な北極研究が実現しました。

ここにその成果「何が分かったか」を報告します。本事業では、解明すべき4つの目標が設定されました。次の見開きの中に目標ごとに分かったことをまとめています。そして、各目標が互いにどのように関係し合い、全体として「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」がどのようになされたかを、裏表紙のフロー図にまとめています。

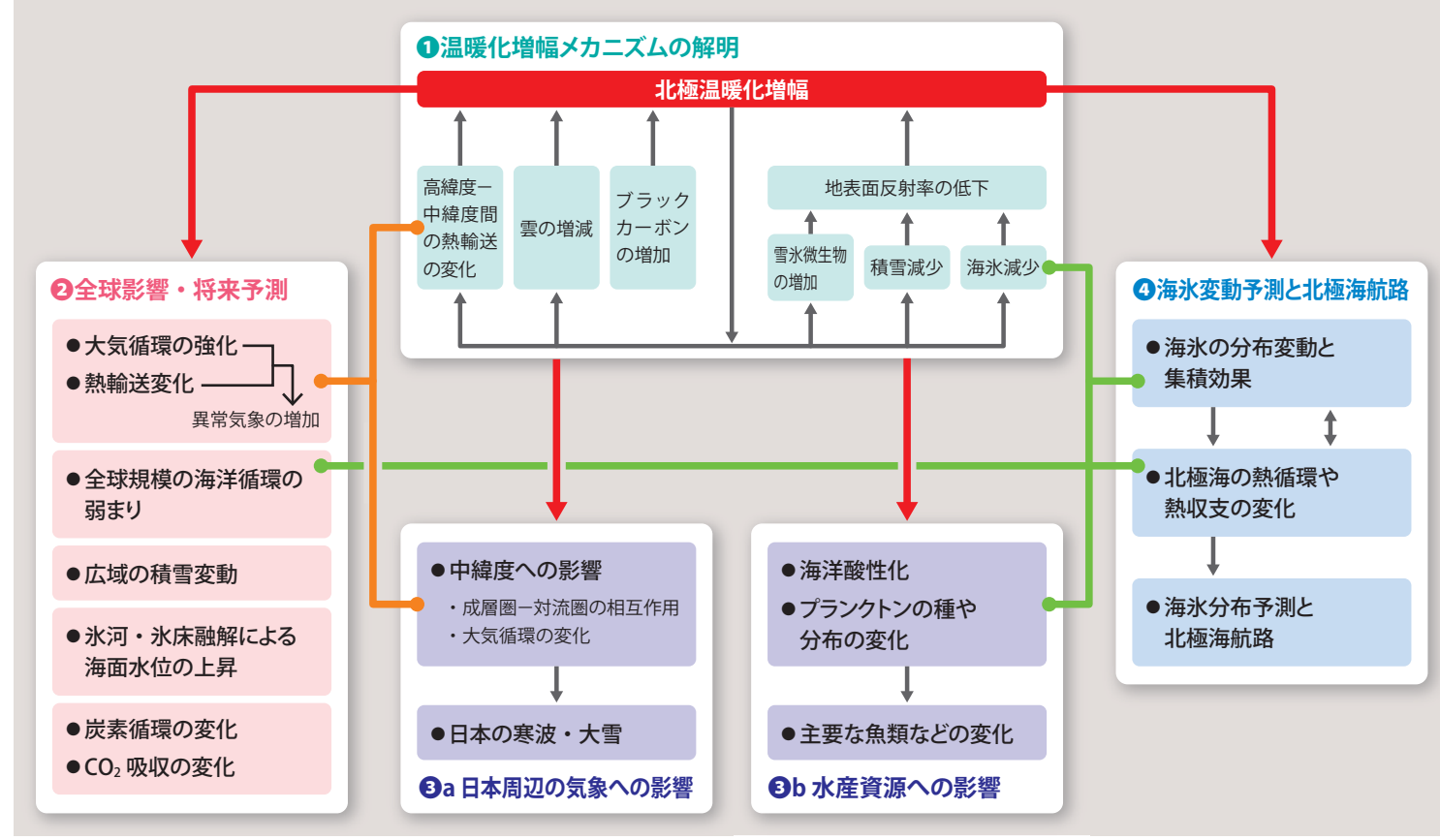


後退するシベリア・スタルハヤタ山岳氷河 (写真：榎本浩之/国立極地研究所)



融解侵食するアラスカ・ノースロープ永久凍土層の中の地下水 (エドマ) (写真：内田昌男/国立環境研究所、岩花 剛/International Arctic Research Center)

北極域における気候変動で鍵を握っているのは「温暖化増幅」です。これは海水域の変化をもたらし北極海航路の可能性にもつながるとともに、地球全体の気候や雪氷変動、炭素収支などに影響を及ぼします。また、海洋中の化学成分やプランクトンの環境を変化させ、主要な魚類などの変化や、水産資源にも影響します。中緯度の気候にも影響して、日本に冬の寒波や大雪をもたらします。



GRENE北極気候変動研究事業の観測・活動が行われた地域



- 陸域植生観測
 - エアロゾル・雲・放射観測
 - 積雪・氷河・氷床観測
 - 温室効果気体観測
 - 海洋生態系観測
 - 海洋変動・海水観測
 - 積雪調査ライン
 - 永久凍土調査ライン
 - 民間航空機観測ライン
- 実線(黄、橙、ピンク、青)：船舶観測

本事業について
 文部科学省の大学発グリーンイノベーション創出事業「グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス」(GRENE) 事業・北極気候変動分野「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」
 代表機関：情報・システム研究機構 国立極地研究所
 参考機関：海洋研究開発機構
 実施期間：2011年7月～2016年3月
<http://www.niprac.jp/grene/>
 成果の詳細については「GRENE北極気候変動研究事業成果報告書」を参照

編集・発行
 大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立極地研究所
 〒190-8518 東京都立川市緑町10-3
<http://www.nipr.ac.jp>

発行日
 2016年8月31日

表紙：グリーンランド。雪氷微生物で着色した氷と融解水 (写真：杉山 慎/北海道大学)

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

2011-2016 成果報告概要



GRENE-Arctic

地球上、最も温暖化する北極

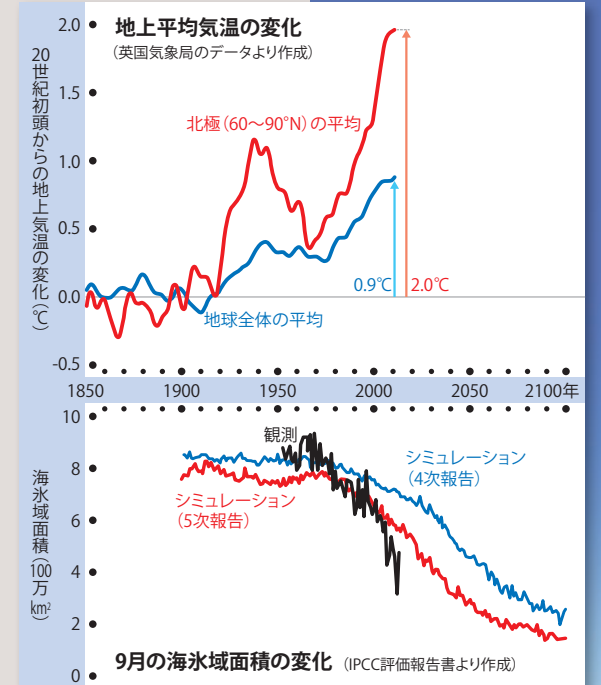
今、北極では何が起きているのでしょうか？

人為起源の二酸化炭素濃度の増加による地球温暖化の中で、北極では地球平均の2倍以上の速さで温暖化が進行しています。これを「北極温暖化増幅」と呼び、その原因の解明が早急に求められています。

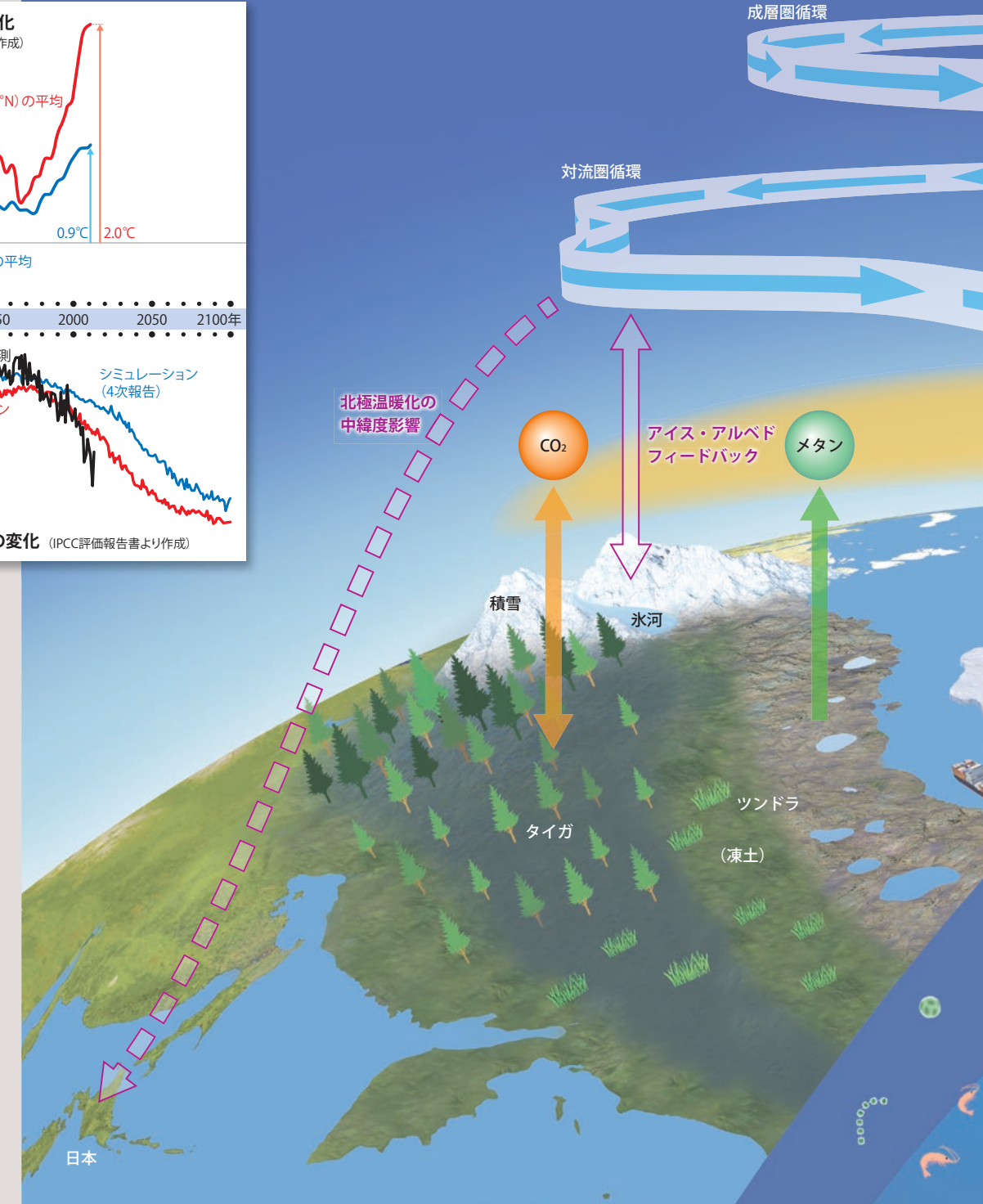
北極海では海を覆う海水域面積の減少が続き、特に2000年代に入って急激に減少しています。これによって、北極海で持続的に船舶が行き来できる可能性が高まり、北極海航路という注

目されるようになってきました。また海水の減少や温暖化に伴って、海の中の環境の変化ばかりでなく、生息する生き物にも変化が表れることが予測されています。

陸上に目を移すと、北極各地にある多くの氷河は縮小を続けており、広大な氷の塊であるグリーンランド氷床も融解や末端氷河の流出・崩壊が著しく、世界の海面水位の上昇をもたらすことが懸念されています。加えて積雪期間も広域にわたって短くなるなど、雪や氷をめぐる変化が著しく、大気の流れや陸上の



(上) 北極の平均気温は、この100年で見ても、最近の40年余りで見ても、地球全体の平均の2倍以上の速さで上昇していることが明らかです。
 (下) 北極の海水域面積(9月)の20世紀後半からの減少は、モデルによるシミュレーション結果よりも速い速度で進行しており、モデルによる予測では今後も減少が続くとされています。

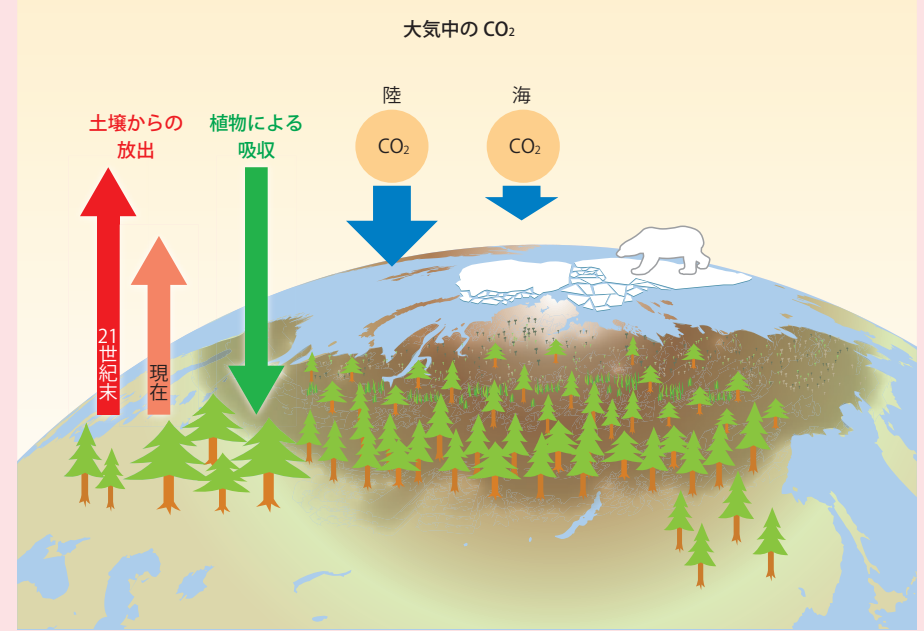


戦略研究目標② 全球の気候変動及び将来予測における北極域の役割の解明

地球全体に影響を及ぼす北極域の変化が進みつつあります。

北極域の陸域と海洋は大気中の二酸化炭素を吸収していることが、大気観測から見積もられています。また、最近10年間の吸収量は、陸域で増大傾向が見られることが分かりました。

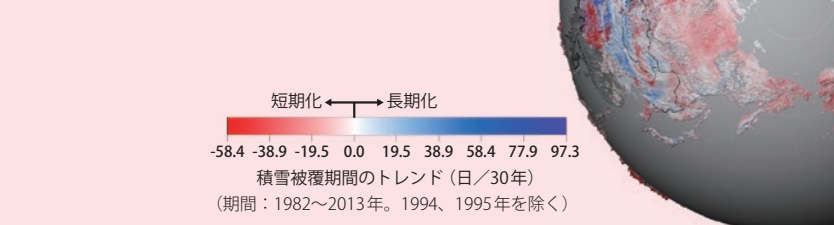
陸域での二酸化炭素収支は、植物の光合成と呼吸を合わせた正味の二酸化炭素吸収量と土壌中の微生物などの呼吸（土壌呼吸）による二酸化炭素放出量の差し引きで決まります。これまで、北極の陸域では温暖化に伴って光合成が活発化して、寒冷地の植物の生産量は高くなると考えられてきました。しかし環北極域の樹木の成長指標となっている年輪の幅を解析した結果では、温暖化とともに生産量が低くなっている地域があることが分かりました。また、陸域生態系のシミュレーションによると、今後100年の間に北極域全域で土壌呼吸による二酸化炭素放出量の増加が予測されているので、北極域の二酸化炭素吸収がこのままずっと



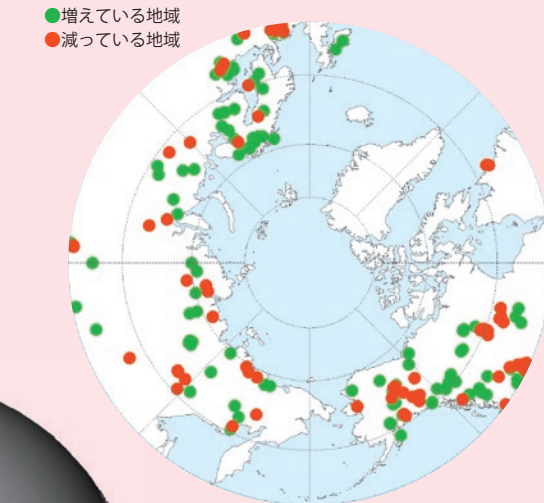
北極域での二酸化炭素 (CO₂) 収支のイメージ



アラスカ・ディナリ国立公園近くの積雪調査地 (写真：塚川佳美/国立極地研究所)



過去30年間の積雪期間の変化。赤い部分は地表面に積雪がある期間が短期化、青い部分は長期化しています。ヨーロッパで特に短くなっています。



年輪解析から見た20世紀後半の樹木の生産量

戦略研究目標① 北極域における温暖化増幅メカニズムの解明

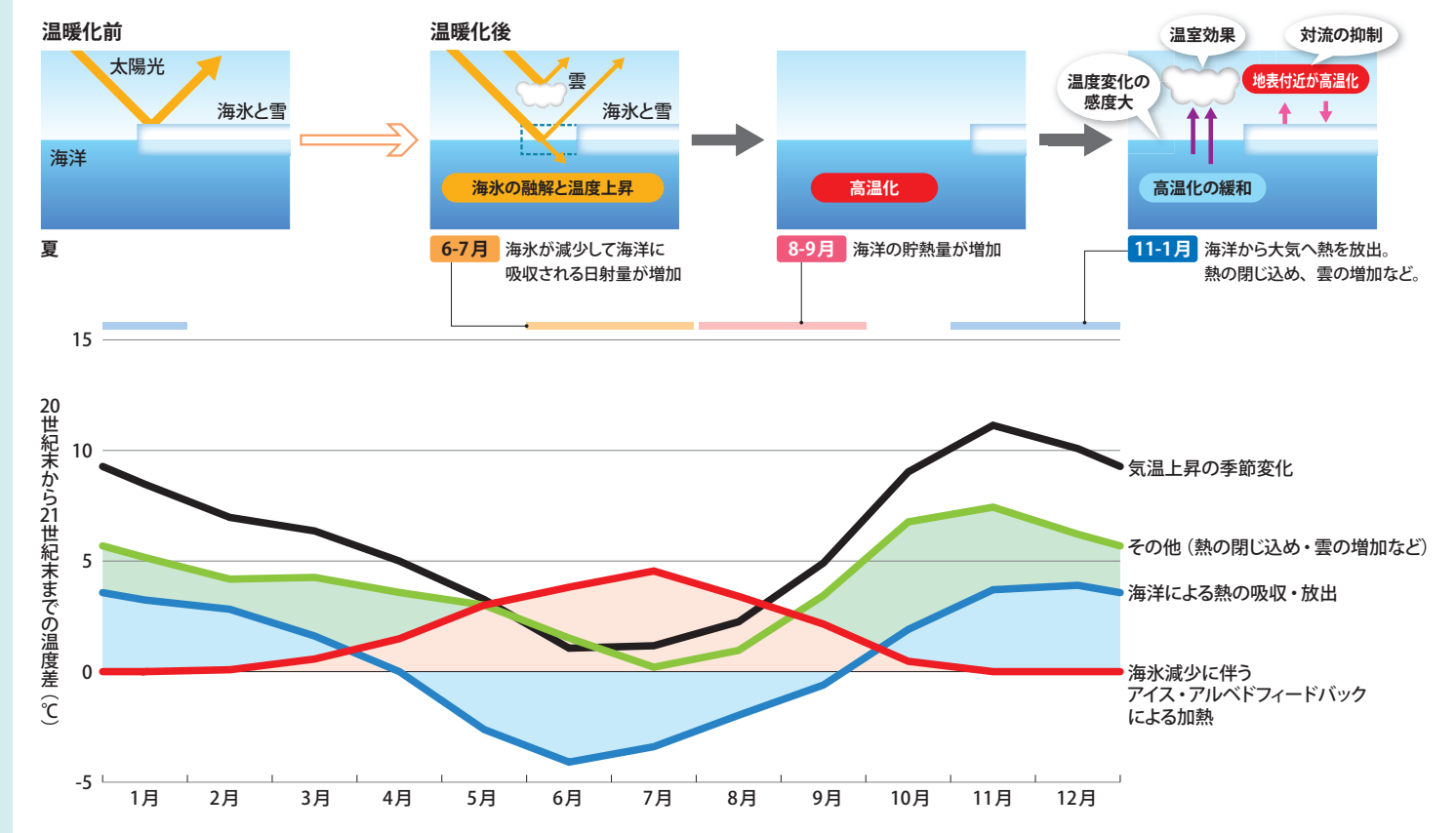
北極温暖化増幅の季節進行とその仕組みを明らかにしました。

世界各国の複数の気候モデルによる温暖化シミュレーション結果を解析して、北極域における温暖化増幅の季節進行とその仕組みを調べました。

北極域における地表付近の温暖化は、夏に最小、冬に最大となります。北極海では、海水減少に伴うアイス・アルベドフィードバック*による加熱が夏に最大となりますが、加えられた熱は、陸よりも暖まりにくい海に吸収されるため、夏の北極はあまり温暖化しません。一方で、秋から冬にかけては、海水の消えた暖かい海から冷たい大気へと熱が放出されるだけでなく、対流が抑制された大気が熱を地表付近に閉じ込める、雲が増加して日射を遮るけれども雲による温室効果がそれを上回り地表を暖める、寒い地域は温暖な地域に比べもともと温度が上がりにくい、などの理由により、北極域では大きな温暖化増幅が生じます。陸上でも積雪の減少に伴うアイス・アルベドフィードバックによる加熱が初夏に最大となりますが、加えられた熱の一部が蒸発に使われるものの、その大部分は地表を暖

*アイス・アルベドフィードバック：気温が上昇すると太陽光をよく反射する雪や氷の融解が進み、黒っぽい地面や海面の露出が増えます。すると太陽光の吸収が増加して、さらに気温を上昇させ雪や氷の融解を進める、というものです。

北極海上での温暖化増幅の季節進行とその仕組み。グラフは、RCP4.5という中庸な温暖化シナリオによる20世紀末から21世紀末までの北極海上で平均した気温上昇の季節変化を、主な要因に分けて示している。

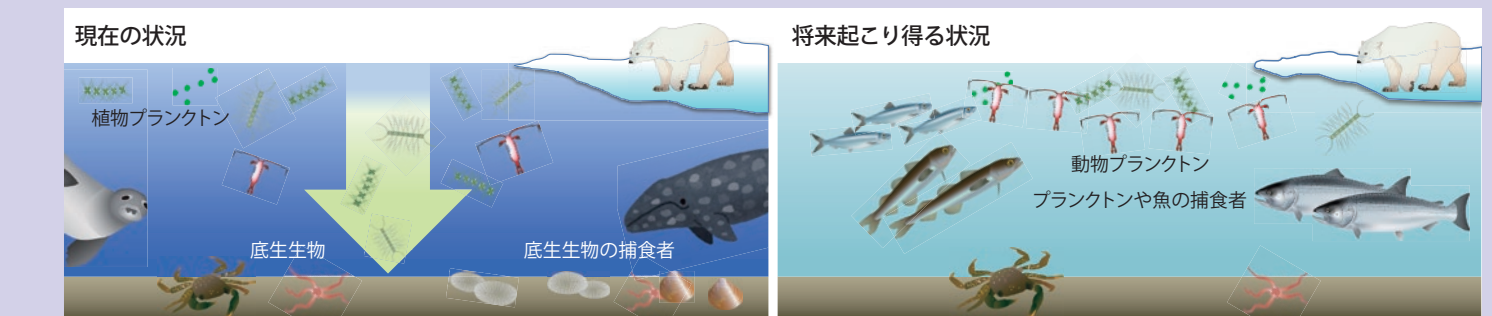


戦略研究目標②b 北極域における環境変動が水産資源等に及ぼす影響の評価

北極海の生態系の変化が進行しています。

海水の減少に伴って、北極海の温暖化や淡水化、そして酸性化が確実に進行しています。太平洋側北極海で海水減少に対する海洋生態系への影響を調べたところ、特に陸棚域では近年の海水後退の早期化が大型植物プランクトンの割合の増加をもたらしていることや、太平洋産種の動物プランクトンや季節回遊性の魚・海生哺乳類などが北極海に入り込むという生態系の北へのシフトが起きていることなどが明らかになりました。

一方で、北極海に流入した太平洋産種の動物プランクトンが、現状ではまだ北極海で定着できそうにないことも分かってきました。現在の太平洋側北極海は、春季に表層の生物が有機物となって海底に沈み込んで底生生物の餌となり、そこに集ま



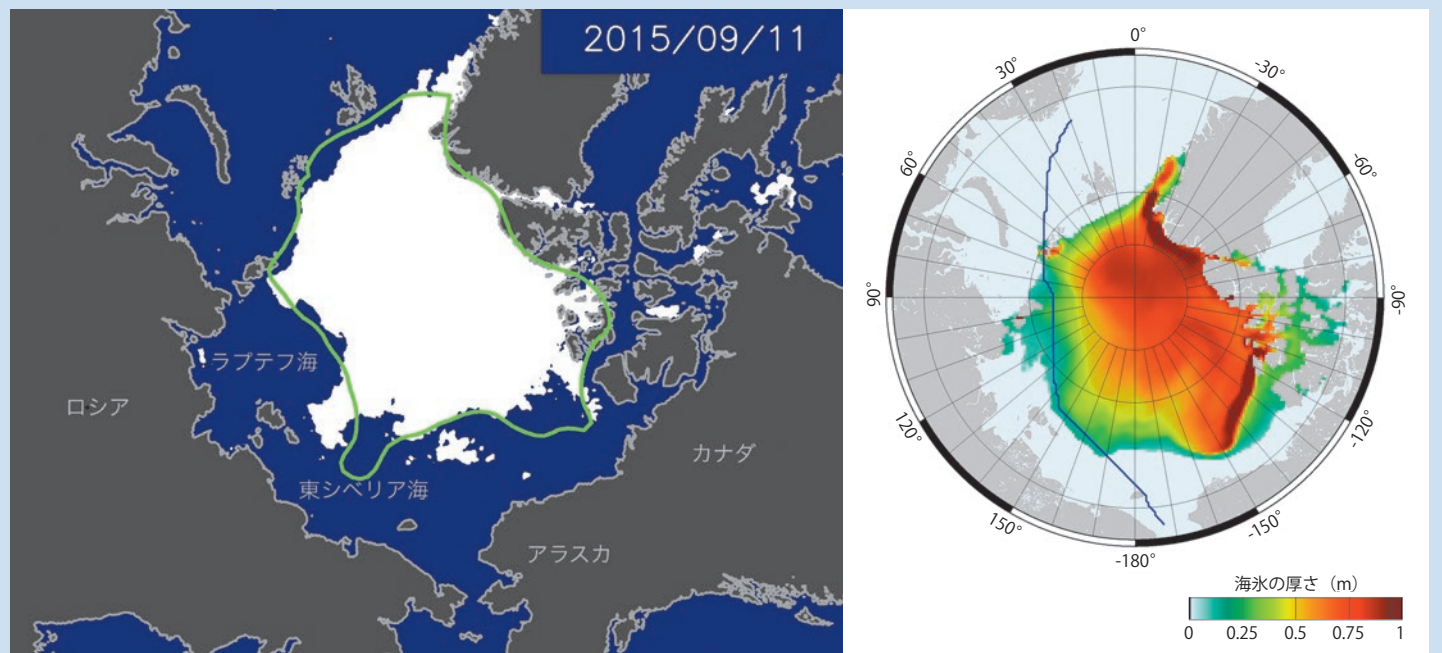
戦略研究目標④ 北極海航路の利用可能性評価につながる海水分布の将来予測

北極海航路の持続的利用の可能性が見えてきました。

北極海での現地観測を実施し、人工衛星観測データから海水の厚さや海洋循環変動を推定する手法を構築しました。現地観測と衛星データを組み合わせた解析から、太平洋側北極海でのポフォート海洋循環量は過去約4年間の海水運動によって決められていることを突き止めました。また、北極海航路で利用される海域では海水が重なり合うことによる厚さの増加が夏の海水残存に重要であること

が分かりました。北極海の高分解能数値モデル研究では、大西洋からの海水による熱輸送が精緻に再現され、氷縁付近における海洋の渦が海水分布変動に与える影響が分かりました。北極海航路利用の計画立案には、春の時点で夏季の海水分布を知る中期予測が必要で、人工衛星と観測データによる統計的な予測手法の開発・改良を行い、海水域が後退するタイミングや位

置、最小面積などを高精度で予測できるようになりました。そして具体的な航路選択を支援するために、北極海全体スケールでの海水分布や船舶近傍での海水分布をもとにした最適航路探索手法を開発しました。航路の経済性評価や運航シナリオの提案システムの開発にも取り組んでおり、北極海航路の本格的実利用に向けた研究が大きく進みました。



2015年夏の最小期 (2015年9月11日) の海水分布 (白い部分)。緑線は、同年5月発表の第一報で予測された海水域。北極海航路利用のための海水予測と最適航路予測システム。2011年10月24日の海水の厚さのモデル計算をもとにした最適航路の例。



薄氷域を進む外国砕氷船 (写真：龍山一孝/北見工業大学)

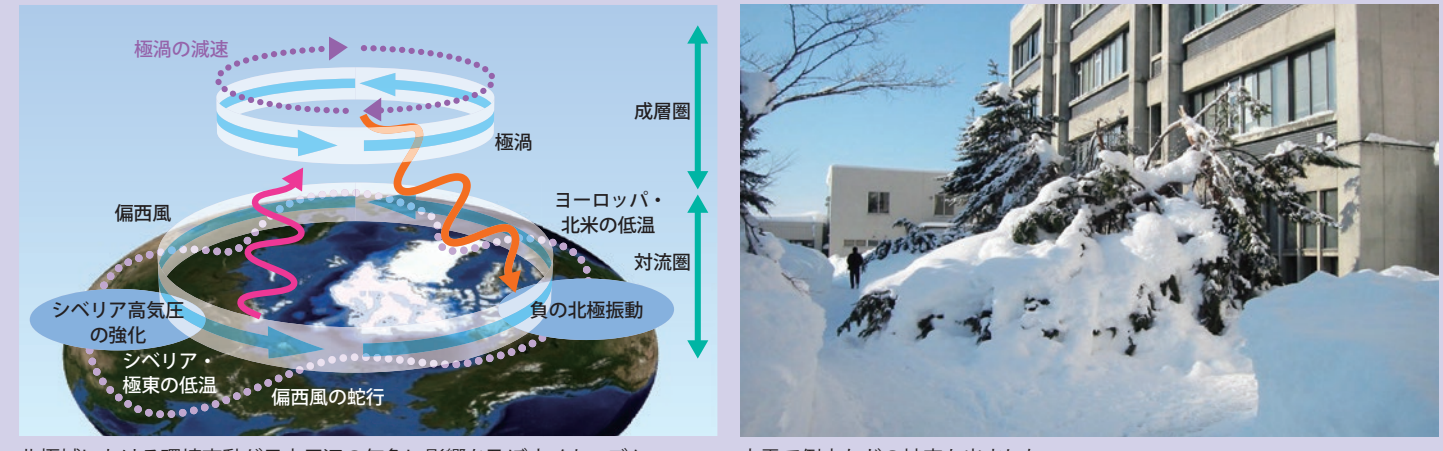
戦略研究目標③a 北極域における環境変動が日本周辺の気象に及ぼす影響の評価

北極の気候変動が日本へ寒波や大雪をもたらします。

近年の日本、さらには北米やヨーロッパなど北半球の広い範囲で、寒冬や大雪が多く発生しています。この現象の原因を突き止めるために、数値シミュレーションの結果と観測値を用いた解析を行いました。

解析によると、特に2000年以降のように北極のバレンツ海とカラ海で夏から初冬にかけて海水面積が小さいと、海から大気中に多くの熱が放出され、その結果、上空の大気の流れに乱れ

が発生し、シベリア上空の寒気を強めます。さらに、この大気の乱れは上空数十kmの成層圏にまで達し、それが対流圏の下層に影響を及ぼしシベリア上空にもともとある寒気を一層強め、その影響で日本に寒冬や大雪をもたらすというメカニズムを明らかにしました。また同様に、北米やヨーロッパでも寒気が吹き出しやすい気圧パターンになり、北半球の広い範囲で寒冬や大雪が多く発生しやすくなっていることが分かりました。



北極域における環境変動が日本周辺の気象に影響を及ぼすメカニズム



大雪で倒木などの被害も出ました (写真：高橋修平/北海道立オホーツク流氷科学センター)