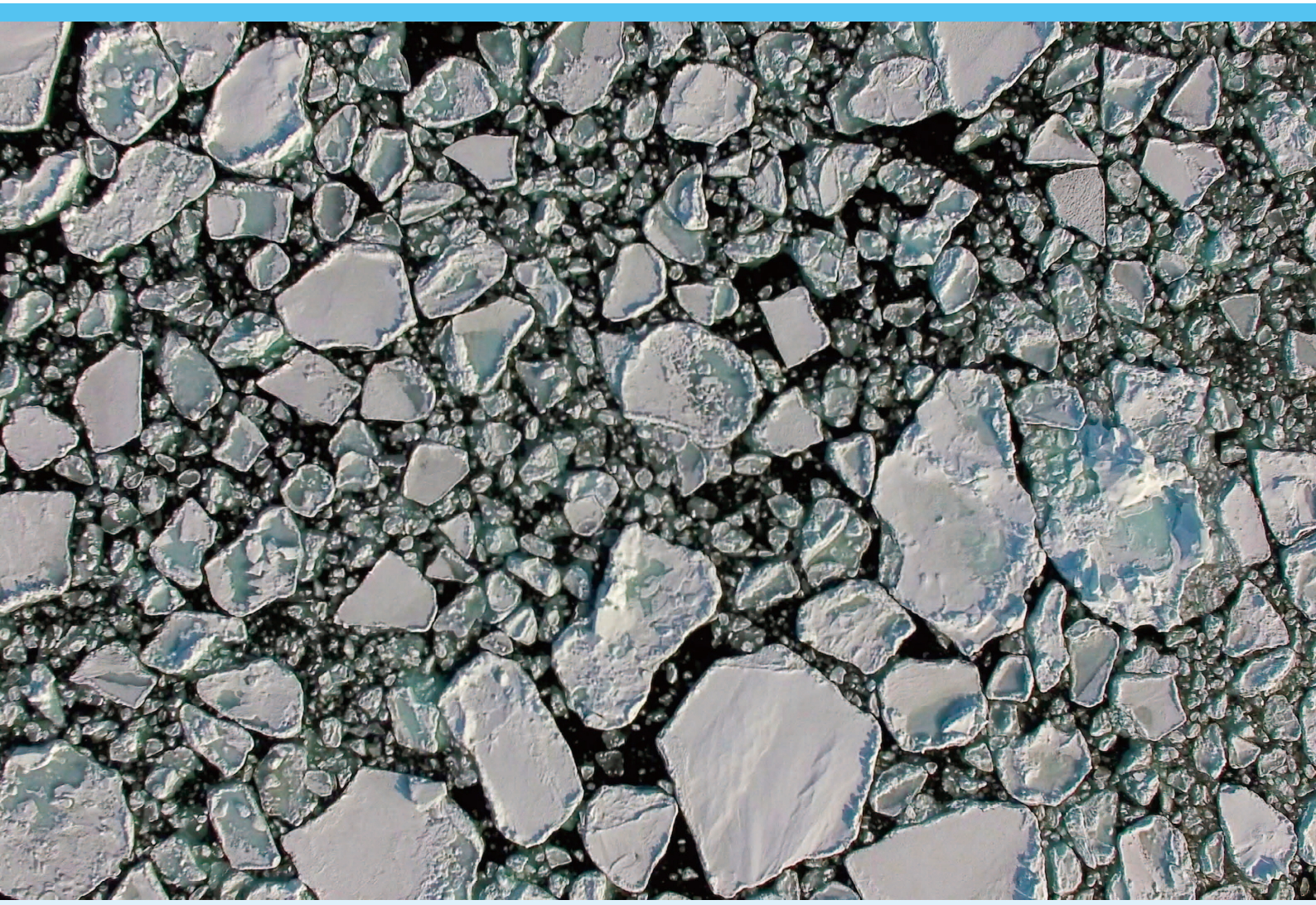
ILTS
低温研ニュース
2022年6月
No.53



ドローンで撮影されたオホーツク海南部の氷縁域における氷盤分布
（撮影範囲：縦47m、撮影日：2020年2月13日、撮影者：豊田威信）

Research

環オホーツク観測研究センターの活動紹介
（西岡　純　他）……3

海の微生物が駆動する気候変動：
大気エアロゾルの有機物から探る
（宮﨑　雄三）……8

Predicting the long-term mass loss of the Antarctic and Greenland ice sheets
（Ralf Greve）……12

第63次南極地域観測隊での氷河観測
（杉山　慎）……15

Preface……2

People……18

Report

南極昭和基地周辺、ラングホブデ氷河
（杉山　慎）……20
グリーンランド・シオラパルク村
（的場　澄人）……21

Publication／Press Release／News

北海道大学低温科学研究所
http://www.lowtem.hokudai.ac.jp

Preface

所長挨拶

低温科学研究所長　渡部　直樹

本年４月１日に所長に就任いたしました。至らない点も多々あるかと思いますが、研究所の運営に全力を尽くす所存です。皆さま２年間何卒よろしくお願いいたします。

ご存じの通り、低温科学研究所は、令和４年（2022年）から始った国立大学法人第四期中期計画においても、国内外のコミュニティへの貢献や分野融合の卓越した研究活動等が評価され、「寒冷圏及び低温条件の下における科学的現象に関する学理及びその応用の研究」を目的とする共同利用・共同研究拠点として、その継続が文部科学省によって認定されました。これもひとえに所員の皆さま、関係各位のご尽力の賜物です。この場を借りて御礼申し上げます。共共拠点の認定は喜ばしいことでありますが、同時に、求められることも大きくなることも認識しなくてはなりません。附置研究所として独自性のある研究を推進するとともに、拠点として国内外のさまざまなコミュニティに貢献する責務を果たすことは、決して簡単なことではありません。低温研の規模にあっては、一人一人の研究者が主役となって、高いレベルで研究を遂行することが求められます。また、技術職員、事務職員、非常勤職員も常に向上心をもって諸事に取り組むことがとても大切になります。所長として、良い研究所を維持発展させるため、全所員が一丸となって働ける職場環境の維持に努めてまいります。同時に、皆さま方には様々な面でのご理解・ご協力をお願いいたします。

現在の低温研は日本でも有数の研究環境が整った研究拠点であることは、多くの人が認めるところだと思います。この環境は、低温研延いては北大の先人の努力の上に成り立っていることを忘れないようにしたいものです。「環境」に胡座をかき、高い意識を持たずに漠然と研究を続けることのないよう私自身常に気をつけています。こう書くと、いかにも難しいことを要求しているように聞こえるかもしれませんが、決してそういう事ではありません。研究者になったばかりの頃に感じた科学に対するわくわく感や情熱を忘れず、絶えず貪欲に取り組むことが、必ずや良い研究に繋がると思っています。好きな研究をしていれば端から見れば苦労でも、本人はいたって意気軒昂なものです。低温研の研究者の皆さまが絶えずこうしたフェーズにいられるよう、微力ながら尽力したいと思います。低温研では、様々な分野の研究者が他にはない独創的な研究を展開しています。その多くはそこに至るまでに短くない時間を費やしているはずです。特に、若い研究者が学際的な新しい研究に挑戦するには、多くの時間と勇気が必要になります。それを応援し許容できることもまた低温研の大切な文化の一つだと思います。現在、「すぐに役に立つ実学」や「産業界と連携できる研究」に対する貢献が強く求められる風潮にあります。もちろん、その重要性は理解できますが、第一義的にそれを意識させたり性急に結果を求めることは、基礎科学にとってはあまり良いことにはならないでしょう。好奇心から生じる自由な基礎研究、時間がかかる新しい研究を後押しできる研究所でありたいと思っています。

昨年度、低温研は創立 80 周年を迎えました。研究機関間の競争が益々激化するなか、今後 100 周年においても現在と同等またはそれ以上の研究所でいられるかは、今後の所員の活動にかかっています。既存の学問分野にとらわれないという低温研の長所を活かし、ユニークで新しいサイエンスを発信し、それにより国内外の研究機関と新しいネットワークを構築することこそが、その活路になると考えています。二番煎じの研究はしない世界有数の独創的な研究所をめざし、所員の皆さまのさらなる努力に期待するとともに、関係各位のより一層のご指導ご鞭撻をよろしくお願いいたします。

環オホーツク観測研究センターの活動紹介

西岡純、三寺史夫、白岩孝行、中村知裕、的場澄人、
江淵直人、大島慶一郎、川島正行、関宰、豊田威信

1．はじめに

環オホーツク観測研究センター（以下センター）は低温科学研究所の付属施設として 2004 年 4 月に設立されました。今年度でセンター発足から 18 年目を迎えます。その間、低温科学研究所の所内の顔ぶれも随分と変わってきました。今回、本稿執筆の機会を頂いたこともあり、改めてセンターの活動を多くの皆様に知って頂きたいと思い、現在センターで取り組んでいる研究、今後センターの目指す方向性などを紹介させて頂くことにしました。

本センターが取り組んでいるのはその名のとおり環オホーツク地域の研究です。我々は環オホーツク地域を、オホーツク海を中心とし、西は北東ユーラシアから東は北太平洋、北は北極圏から南は亜熱帯域にわたる地域と捉えています（図 1）。この地域では、近年温暖化が進み、シベリア高気圧の急速な弱化、オホーツク海季節海氷域の減少、海洋中層の温暖化、陸域雪氷圏の面的変化としてその影響が鋭敏に現れています。当センターは、環オホーツク地域が地球規模の環境変動に果たす役割を解明すること、また気候変動から受けるインパクトを正しく評価することを目的とする国際研究拠点となることを目指しており、以下のような研究活動を行っています。

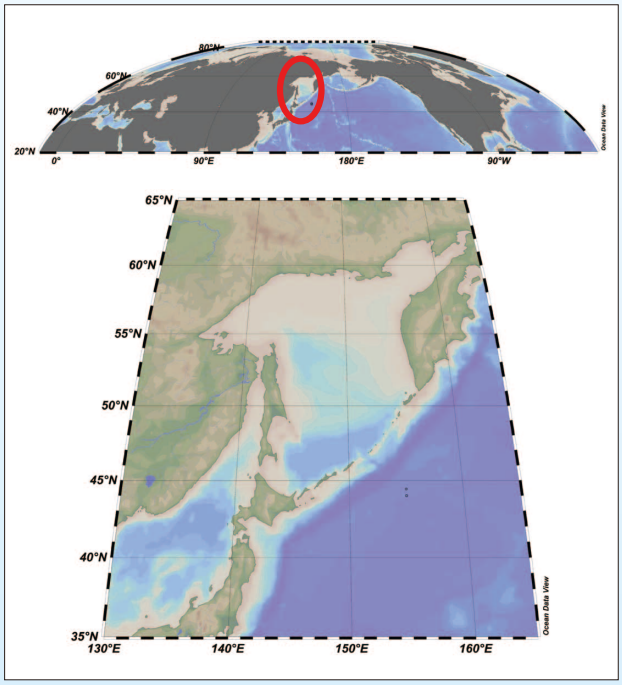


図 1　環オホーツク地域

2．近年の研究活動の取り組み

2．1　オホーツク海と海氷と知床

短波海洋レーダによる宗谷暖流の観測

本センター発足前の 2003 年に、宗谷暖流のモニタリングを目的として、宗谷海峡域に 3 局および紋別・雄武に 2 局の短波海洋レーダを設置し、表層流速の連続観測を行ってきました。運用開始以来 18 年間蓄積したデータから、宗谷暖流の季節変動・経年変動の実態が明らかになりました。残念ながら老朽化等のため、2022 年 3 月をもって運用を停止しましたが、アーカイブされたデータの解析や発信は今後も継続していきます。

砕氷船「そうや」を用いたオホーツク海南部の海氷調査

本センターと海上保安庁の共同研究として、1996 年以来、毎年 2 月にオホーツク海南部で砕氷巡視船「そうや」を用いた海氷観測を実施し、数々の成果が得られています。

オホーツク海や南極海のような季節海氷域では氷盤同士が互いに乗り重なる過程（変形過程）が氷厚の発達や海氷面積の変動に重要な役割を果たしています。そのような海氷の力学的な変形過程を観測するために、「そうや」による現場観測を基に合成開口レーダを用いて変形氷域を抽出するアルゴリズムの開発と検証を行っています（図 2）。また、季節海氷域の融解過程の理解を目的とするドローンによる海氷観測では（表紙写真）、直径 15m 以下の氷盤の形状や分布特性に自己相似性（フラ

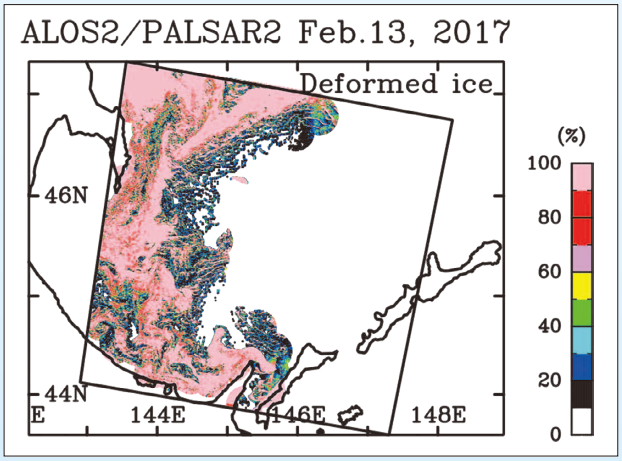


図 2　アルゴリズムから推定される変形氷の存在比率の分布

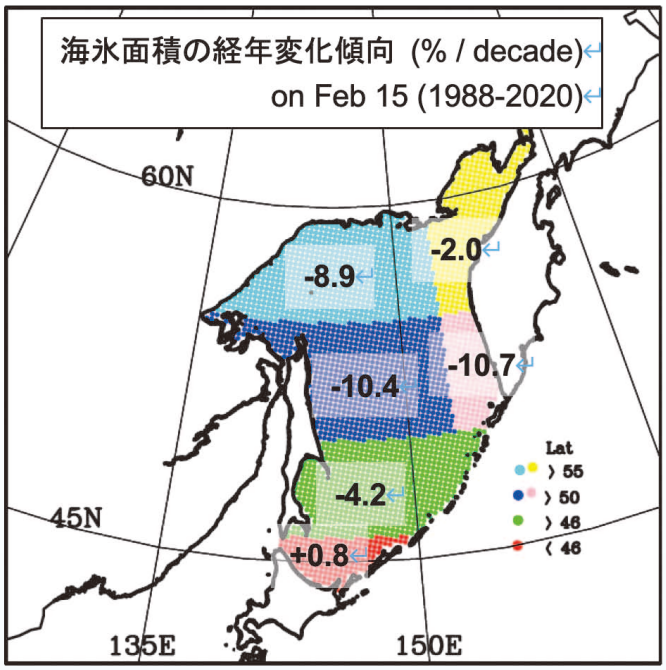


図３　オホーツク海各海域における海氷面積の経年変化傾向。各海域の 33 年間の平均面積を基準として 10 年間当たりの変化割合。オホーツク海全体では -7.1%/dec。オホーツク海南部（赤色領域）の海氷面積は中部（水色領域）・北部（青色領域）とは有意に異なる変動特性を示す

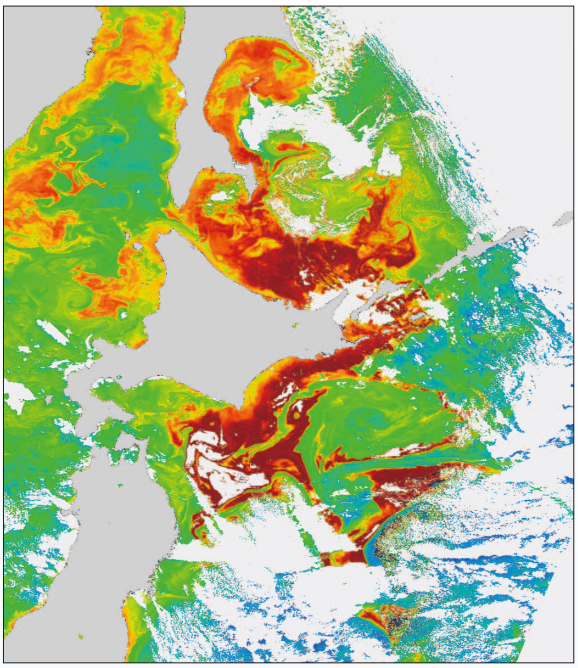


図４　南部オホーツク海の春季植物プランクトンブルーム時の衛星クロロフィル画像（GCOM-C/SGLI（JASMES）参照：赤色ほど植物プランクトンが多いことを示す）

クタル）の特徴があることを見出しました。さらに、四半世紀にわたる「そうや」観測データ、衛星データ、それに気象客観解析データを併せることで、オホーツク海南部における海氷の年々変動の特性とその要因などが分かってきました（図 3）。オホーツク海南部（赤色領域）の海氷面積は中部（水色領域）・北部（青色領域）とは有意に異なる変動特性を示すこと、南部の海氷体積の年々変動要因は海氷の生成を促す熱力学的な環境というよりは、氷厚発達を促進する海氷変形過程の力学的作用の影響が大きいことなどが明らかになっています。

また、海氷が生態系に与える影響を正しく理解するため、冬季オホーツク海の主要な基礎生産者である、海氷中のアイスアルジー（海氷微細藻類）と海氷下の植物プランクトンの群集組成や光合成生理状態の観測、海氷および海氷下の海水に含まれる重金属や栄養物質濃度などの観測を行っています。

春季オホーツク海の海氷融解と植物プランクトン大増殖の関係

春季の南部オホーツク海では海氷が融解すると植物プランクトンの大増殖（ブルーム）が起こります（図 4）。本センターではそのメカニズムに関する研究を進めています。

まず、酸素センサー付きプロファイリングフロートによって連続的に観測される海水中の溶存酸素量の変動から、オホーツク海の広範囲で正味の生物生産量（純群集生産量）を見積もることに成功しました。純群集生産量は春、直前に海氷が存在していた海域で圧倒的に大きくなることが示され、春の植物プランクトンブルームが海氷融解によってもたらされていることが初めて定量的に明らかになりました（図 5）。見積もられた純群集生産

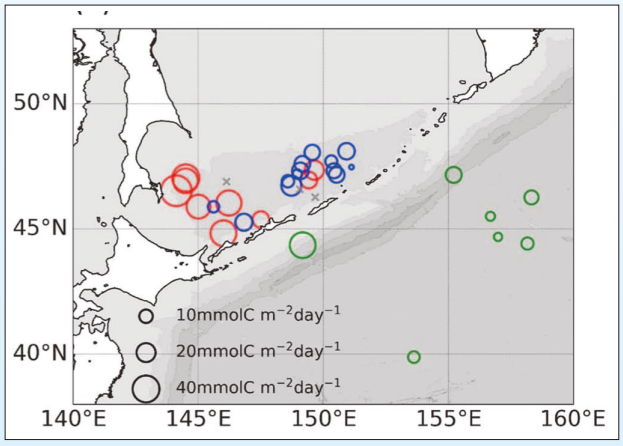


図５　春季ブルームにおける純群集生産量の大きさ（円の大きさで示す）の空間分布。赤円は海氷有、青円は海氷 無、緑円は太平洋の各ケース

量は、世界で最も顕著な春季ブルームが起こる南大洋氷縁域にも匹敵し、オホーツク海の高い生物生産を生み出すことに海氷がその一翼を担っていることが明らかになりました。

また、本センターで観測航海を主導し、複数の国内研究機関の研究者と協働で春季ブルームの集中観測を実施しています。これまでに、南部オホーツク海の水塊構造や鉄分を含む栄養物質の循環などを調べるための３回の航海や、季節を通して水塊構造や生物生産量を把握するための定点観測および係留計観測を行っています。

さらに超音波流速計（ADCP）の体積後方散乱強度データから、主に動物プランクトン活動、堆積物の巻き上がり、海中内部で生成される海氷（フラジルアイス）、等の海中浮遊物を検知・識別する手法を開発しました。これにより、冬季海氷期は、海氷のない時期とは逆に、沿岸域より沖合域の方が動物プランクトンの日周の鉛直的な移動が活発となることが示されました。

知床周辺をはじめとするオホーツク海南部の海氷海洋変動予測の研究

今後の温暖化によっては北海道周辺海域でも海氷域が消失する可能性があり、オホーツク海における海氷変動の機構解明と予測のための研究が急務です。これまで、オホーツク海数値モデルの開発や紋別沿岸付近における水温・塩分データの解析を通して、北海道沿岸の海氷変動には宗谷暖流の勢力が関係していることが見えてきました。これらの知見は、知床地域科学委員会を通して、知床世界自然遺産管理にも生かされています。

世界自然遺産知床における漂着ゴミの研究

世界自然遺産知床の海岸に漂着するゴミは、生物多様性の保全にとって支障となるばかりでなく、保全地域の海岸の美観を損ねる要因となっています。本センターでは、ゴミの堆積・侵食メカニズムの解明を目指し、測量用ドローン等を用いた漂着ゴミ分布のモニタリングを行っています。その結果、前浜と後浜の漂着ゴミが、冬季の海氷到来前に発生する 4-5m の波高の高波によって 1-2 年に 1 度程度の頻度で堆積・流出することや、浜堤頂部に堆積する大量の漂着ゴミは、10 年に一度程度発生する波高 7-8m 程度の高波によって移動することを見出しました。

２．２　オホーツク海と北太平洋の繋がり
海の恵みをもたらす親潮中層水の経年変動機構の解明

これまでの本センターの研究によって、オホーツク海の海氷生成が作り出す中層の循環によって栄養物質である鉄分が広く親潮域や西部北太平洋に供給され、高い生物生産を支えていることが明らかになっています。最新のデータ解析では、親潮域の中層水は、その元になる西部亜寒帯水とオホーツク海中層水の混合割合が、温暖化と 18.6 年周期潮汐変動（月と地球の位置関係による）の両方の影響を受けて大きく変動することが明らかになりました。道東の親潮域中層では、低温で栄養豊富なオホーツク海中層水の占める割合が 40 年で 30% も減少し、高温化しており、これは温暖化による海氷生成の減少によりオホーツク海を起点とする中層循環が弱化したことが原因であることが分かってきました。2020 年代中盤からの 10 年間は潮汐の効果と温暖化の効果が相乗して、親潮中層水におけるオホーツク海水の割合の減少と昇温が一気に起こりうることが予想されています。

北太平洋高解像度物質循環モデリング

海洋中の中規模渦を分解できる解像度の北太平洋物質循環モデルを開発しています。このモデルは海洋表層と中層をつなぐ北太平洋子午面循環を再現し、起潮力（海の潮汐を引き起こす外力）を陽に導入しているという特徴を持つため、北太平洋とオホーツク海の間の海水交換における潮汐の影響や、オホーツク海から北太平洋へ流出する鉄や栄養塩の評価などを行えます。

北方圏縁辺海と北太平洋をつなぐ熱塩循環・物質循環

ロシア極東海洋気象学研究所との共同研究を実施し、オホーツク海やベーリング海の北方圏縁辺海が海洋循環・栄養物質の循環を通して、北太平洋とどのようにつながっているのかを、ロシア船を用いた現場観測や高解像度モデルを用いて研究しています。その結果、西部北太平洋亜寒帯域には、オホーツク海から鉄分が、ベーリング海から高濃度の栄養塩がそれぞれ中層水の循環を通じて供給されることで、高い生物生産や大きな CO_2 吸収量をもたらしていることが明らかになりました。本センターでは、これらの海洋観測データを公表しています。

2．3　陸域研究と陸海結合システム

カムチャツカ半島からの河川流出量の見積と周辺海域に及ぼす影響の解明

河川流出数値モデルを用い、陸域がオホーツク海に与えるインパクトを見積もる研究を実施しています。カムチャツカ半島の 11 河川における流量データを使用してモデルを検証し、オホーツク海に流出する河川流量とオホーツク海の北西部陸棚域の表層塩分を比較したところ、両者には有意な負の相関関係が認められました。また、河川流量が平年から大きく偏っていた年ほど、塩分との関係が明瞭でした。つまり、カムチャツカ半島の河川流出の多寡が、オホーツク海の塩分を変化させ、高密度陸棚水の形成を介して広く海洋循環に影響を及ぼしています。

寒冷域感潮河川の水循環に関する研究

センターでは、国内 10 におよぶ研究機関からなる共同研究を立ち上げ、道東をモデルフィールドにした陸海結合システムの観測研究を進めています。最近では、別寒辺牛川の河口付近の感潮域において、河川流量（図 6）や、水位、電気伝導度、有色溶存有機炭素濃度、栄養塩の観測・分析を実施して、厚岸湖・厚岸湾に対する栄養塩供給源としての河川の役割を調べています。感潮域では潮汐に応じて大量の河川水が流出と流入を繰り返します。これにともない、窒素が河川から厚岸湖に供給される一方、河川と湖の両方に供給源をもつリンとケイ素は、河川と厚岸湾沿岸の間で相互に輸送されていることが分かってきました。

図 6　ドップラー式超音波流向流速計を使用した河川流量観測

気候変化が北日本の過去 4400 年の狩猟漁撈採集文化に与えた影響

環オホーツク地域の南部に位置する北海道は、1 万年前から 19 世紀まで狩猟採集文化の人口密度の高い社会が変化を伴いながら存続していた世界でも稀な地域です。本センターでは、利尻島の南浜湿原の泥炭コアから過去 4000 年間の気候を復元して、この地域の気候変化のタイミングがオホーツク文化をはじめとした各文化圏の遷移期とよく対応することを明らかにし、これまでよく分かっていなかった北海道の文化圏の盛衰に気候変動が実質的な影響を与えたことを示しました。

2．4　雪氷圏

冬季積雪観測

低温科学研究所では 1966 年から冬季の積雪観測を実施しています。本センターは 2011 年からこの観測を担い、気象庁気象研究所との共同研究で、放射、気象、エアロゾルの連続観測と冬季の週 2 回の積雪断面観測を行い、積雪変態モデルの精度向上や人工衛星観測データの検証に貢献してきました。また、屋外気象観測場では、様々な機関による飛雪観測、観測測器の比較性能試験、大気環境モニタリングなどが行われました。本センターでは、これらの気象・積雪観測データを公開しています。

羊蹄山の周氷河環境の解明

北海道に存在する永久凍土は、大雪山山頂付近のものが古くから知られていますが、知床羅臼岳や羊蹄山などの山頂にも存在する可能性が指摘されています。本センターでは、羊蹄山山頂の永久凍土の存在の確認や、付近の周氷河地形の形成環境を解明するため、羊蹄山山頂において地温分布や気温の測定など、温度環境のモニタリングを開始しました。また、ドローンを用いた周氷河地形の写真測量なども実施しています。

季節海氷域における水・物質循環プロセス

地球温暖化にともない変化している季節海氷域周辺の水・物質循環のプロセスを明らかにすることを目的にグリーンランド北西部において雪氷・気象観測を実施しています（図7）。グリーンランド最北の村シオラパルクでの観測・調査では、海氷上に形成されるフロストフラワー（海氷上に形成される霜の塊）が大気中の光化学反応に重要なハロゲンを放出していることをつきとめ、また近年増加している冬期の海氷流出が及ぼす社会科学的な影響を明らかにしました。また、グリーンランド氷床沿岸部の３カ所でアイスコア掘削に成功し、グリーンランド氷床沿岸域で生じている過去100年間の水・物質循環プロセスの変化の解明に取り組んでいます。

３．今後のセンターが目指す方向性

多分野に亘るこれまでの研究によって、北半球地球システムの様々なスケールで環オホーツク地域が果たす役割が見えつつあり、また、既に環オホーツク地域の変化の一部も捉えつつあります。しかし、気候変動によって環オホーツク地域が受けるインパクトを総合的かつ定量的に評価するには至っていません。今後、センターで目指す科学的研究の共通の課題は、この環オホーツク地域に存在するシステムの理解を深化させ、その「変化」を捉えることだと考えています。そのためには、海、陸、大気、雪氷の研究者が、また観測と数値モデルの研究者が、より一層有機的に協働して研究に取り組むことが必要となってきます。また分野内、分野間、研究者間、組織間、国際共同研究の枠組みを更に発展させ、次世代につないで行きながら研究を進めていくことが重要であり、この点を意識して今後のセンターの活動の展開を図っていきたいと考えています。

加えて、今後、センターから科学的知見やデータを有効に発信する仕組みの整備を進めていきたいと思います。これまでもセンターでは短波海洋レーダのデータ、大学構内での気象･積雪断面観測のデータなどを公開し、ユーザーに広く利用されてきました。今後は、これらの発信を海洋環境データやモデル解析結果などを含めて拡張し、より広くデータそのものや科学的知見を、ユーザーとなる人たちに提供できる体制を構築していきたいと考えています。これによって北海道という地域に根ざした大学附置研のセンターとしての位置付けを強化していきたいと思います。

今後もセンターは、環オホーツク地域というユニークなフィールドを生かし、研究プロジェクトや共同研究を牽引し、数多くの分野の研究者が出入りする研究拠点となり、世界的なレベルの最新の自然科学的知見を発信することを目指します。また、全国の学生や研究者に観測プラットフォームを提供し、研究を通して学生や若手研究者を育て、極域、海洋、陸域、雪氷、大気、数値モデル、など様々な分野で活躍する科学に関わる人材を育てていくことを目指して活動していきます。

図7　極夜期のグリーンランドシオラパルクでの降雪観測の様子

海の微生物が駆動する気候変動：大気エアロゾルの有機物から探る

水・物質循環部門　宮﨑　雄三

海洋表層の微生物活動と大気エアロゾルを有機物がつなぐ

大気に浮遊する微粒子（エアロゾル）は太陽光を直接散乱・吸収するほか、雲を生成する核として、雲の量や降水過程に影響を与えるなど、気候の変動に重要な役割を果たします。有機物はエアロゾルの主要成分ですが、有機物の発生源のうち自然起源（陸域植生、海洋表層）のエアロゾルの気候影響は最も不確定性が大きいとされています（陸域植生が大気有機エアロゾルを介して気候に与える影響については過去の低温研ニュース [2017年12月、No.44] をご参照ください）。地球の表面積の約7割を占める海洋の表面には、微生物とその活動に伴う有機物が蓄積し、海水飛沫（しぶき）として大気へ放出されるエアロゾルの量と組成に影響します（図1）。その後の雲の形成や降水過程等の変化を通し、海洋生態系で光合成に使われる放射や海洋への栄養塩の供給、雪氷圏のアルベド（地表面がエネルギーとして太陽光を反射する割合）などに影響を及ぼします。

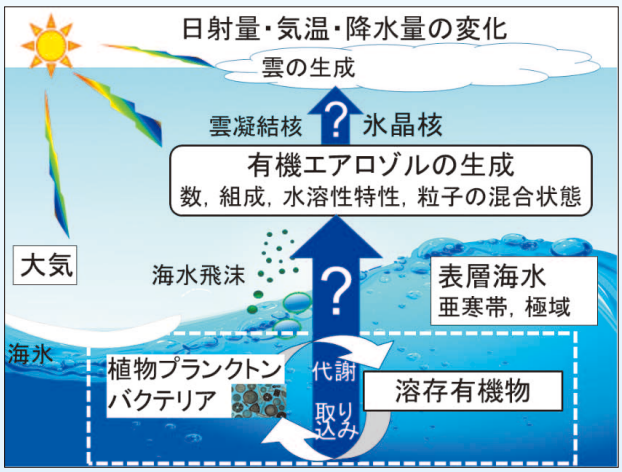


図1　亜寒帯、極域表層海水での微生物活動と代謝物の溶存有機物および海水飛沫を通して大気放出され、雲粒子の生成を通して気候に与える影響の模式図。海水飛沫のうち、一般的に海塩成分が多く含まれる大きい粒子（直径が数μmかそれ以上）は重力落下等により、短い時間スケールで海面に戻ることが多いが、有機物が多く含まれる比較的小さい粒子（直径が1μm以下）は平均して1週間ほど大気に滞在するため、雲の生成など大気への影響は大きい。私達のグループが理解を目指す主な部分を「？」で示した。

海洋表層において、植物プランクトンが光合成により光エネルギーを利用して行う二酸化炭素からの有機物の生産は、その直上の大気エアロゾルの生成量・質を支配する重要な要因です。低温科学の見地から、極域を中心とする寒冷域での海氷融解・氷床面積の減少による海水表面積の拡大や、海水温の上昇などに伴う微生物の種や量・活動度の変化に伴って、海洋表層から大気へ放出・生成されるエアロゾルの質・フラックス[1)]が変化することが予測されます。その変化が海洋上の雲凝結核能[2)]・氷晶核能[3)]を通して雲の生成・放射場にどう影響を及ぼすか、そのプロセスを定量的に理解することは気候変動の理解の観点から重要です。

海洋上における大気エアロゾルの有機物：何がわかっていないか？

海洋表層から大気へ放出されるエアロゾルとして、硫酸ジメチル（DMS）に由来する硫酸塩が古くから知られており、硫酸塩は高い雲凝結核能を持ちます。一方、有機物は組成・分子量によって雲生成を促進も抑制もするという真逆の働きをします。したがって、海洋上の大気に存在する硫酸塩に対する有機物の相対量と組成が、気候影響の観点から雲の生成量を決定づける因子として重要です。これまで海洋上の大気エアロゾルが含む有機物量を気候モデルなどで表現する際、人工衛星で観測される海洋表層の光合成色素（クロロフィル*a*）濃度から植物プランクトンの現存量を計算し、その直上の大気エアロゾルの有機物量が推定されてきました。しかし、現場観測との比較結果などから、海域や季節、時間スケールによっては必ずしも大気エアロゾルの有機物量を正確には推定できていないことが指摘されています。したがって、海洋上の雲の生成を介した放射影響には大きな不確定性が伴っています。このような背景のもと、海洋から大気へ移行する有機物量を決定づける要因・プロセスの理解や、クロロフィル*a*の濃度以外に、海洋大気の有機物の「質と量」を決める指標が求められています。

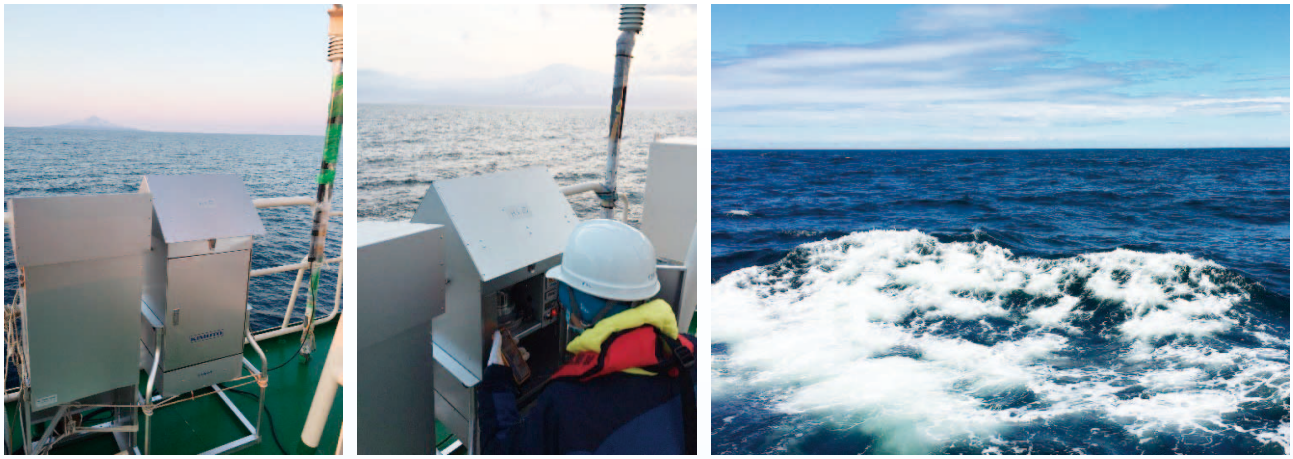


図２　オホーツク海における研究船上での大気エアロゾルサンプリング装置（左）とサンプリングの様子（中央）および表層海水から大気へ有機物を供給する海水飛沫の様子（右）。利尻富士（左）や知床半島（中央）をのぞむ。

海洋植物プランクトンの「老化」に着目：大気中の有機物・雲凝結核能との深い関わり

私達は亜寒帯西部北太平洋やオホーツク海南部において海水から大気へ移行する有機物の化学的変化を捉え、その量と質を制御する要因を理解するための観測を行ってきました。観測の手段として学術研究船白鳳丸や新青丸を用い、植物プランクトンが増殖する時期やその前後において、他の多くの研究者と共同で大気と表層海水の試料取得を同時に行う観測を実施してきました（図２）。表層海水と大気を繋ぐ海水飛沫の同定には、海水起源を示すエアロゾル中の有機物の安定炭素同位体比と分子レベルでの指標（糖類）を測定し、その結果と海洋表面の風速データを用い、全試料から海水飛沫の試料のみを抽出する独自の手法を用いました。

海水飛沫であるエアロゾル試料とそれらに対応する海水試料の組成（蛍光特性）を比較した結果、海水中と比べ大気エアロゾル中では、生物学的に分解されやすい有機物（タンパク質様）よりも生物学的に分解されにくい有機物（腐植様[4)]）が著しく多く存在していることを見いだしました（図３）。これは半日から１日の間に、エアロゾルとして大気へ移行する有機物において、タンパク質様の有機物の分解が進むこと、もしくは腐植様の有機物が大気エアロゾル中でより多く生成することを示唆しています。さらにこの傾向は、エアロゾルの大きさ（粒子の直径）によらないことが明らかになりました。このような特性は、海洋表層と大気の境界領域での反応により、大気組成はその直下の海水組成をそのまま反映はしていないことを示しています。生物学的もしくは光化学

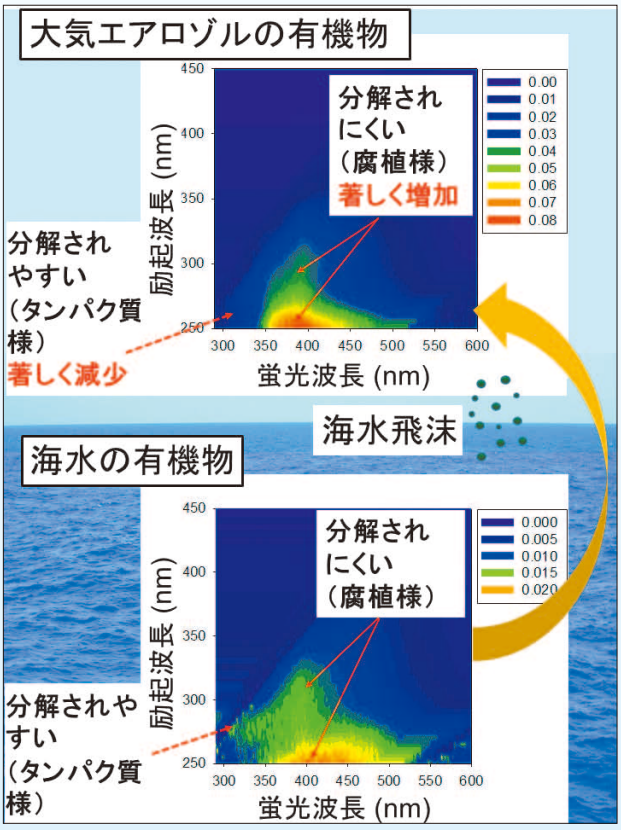


図３　蛍光分析によって得られた表層海水中と海水飛沫（大気エアロゾル）中の有機物の腐植様とタンパク質様の信号強度。海水飛沫によって、海水中と比べ大気エアロゾル中ではタンパク質様の有機物よりも生物学的に分解されにくい腐植様の有機物として多く存在している。

的に分解されやすい組成か否かはエアロゾルの分子量や水溶性特性と密接に関係し、それらの特性が雲の生成能力を理解する上で必要不可欠となります。

このような有機物の化学的性質と併せ、その量を決める要因として、表層海水中での植物プランクトンの「活動度」に着目しました。その結果、代表的な植物プランクトンである珪藻類の細胞老化[5]が進むほど、海水飛沫として大気に放出されたエアロゾルに含まれる有機物の量が大きくなる明瞭な関係を見いだしました（図４左）。これは植物プランクトンの細胞老化が進むほど、細胞からの滲み出しなどで表層海水中の有機物の量が増え、海水飛沫によって大気へ移行する有機物の量が増えると考えられます。さらに、この植物プランクトンの細胞老化に伴う大気の有機物量の増加が、エアロゾルの雲粒生成能力[6]を抑制する可能性があることが初めて明らかになりました（図４右）。これは細胞から滲み出した有機物が大気中では雲凝結核能を抑制する組成・分子量をもつことを示しており、その化学特性のより詳細な理解や氷晶核能への影響の理解は今後の課題です。

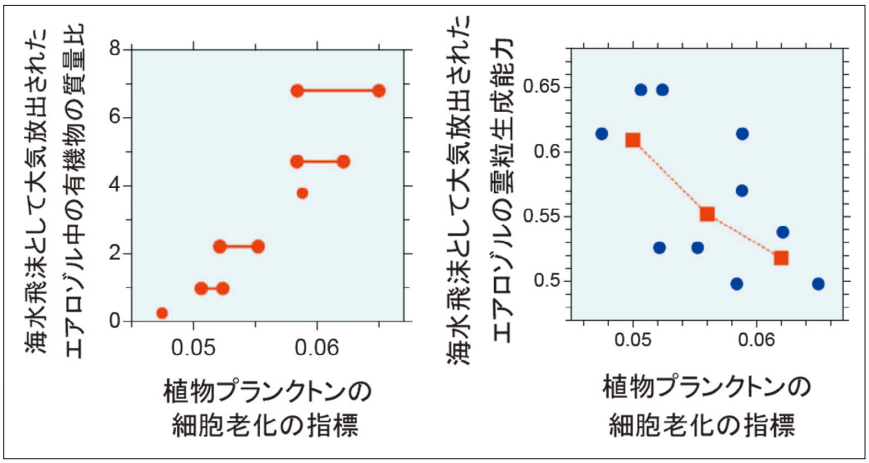


図４　亜寒帯西部北太平洋で取得した表層海水中の植物プランクトンの細胞老化の指標（横軸）と海水飛沫中の有機物の重量比（海塩粒子の指標であるナトリウムイオンに対する相対質量）（左図、縦軸）および海水飛沫として大気に放出されたエアロゾルの雲粒生成能力を示すパラメータ（右図、縦軸）。海水中の植物プランクトンの細胞老化が進む（右図の横軸指標の値が大きくなる）につれ、対応するエアロゾルの雲粒生成能力は低くなることがわかる。右図の青い点は個別のデータ点、赤い四角は指標数値の範囲ごとの平均値を示す。

寒冷圏における海洋表層－大気間の有機物フラックスと気候影響の理解に向けて

極域を含む寒冷圏での海洋大気エアロゾルの有機物組成と海洋表層中の生物・非生物プロセスをより明確に関連付けるには、方法論の確立も含め、大気と接する表層海水中の生物・化学組成とエアロゾル組成の同時観測が必要となります。さらに、海水中の有機物と大気エアロゾルの雲凝結核・氷晶核との関係や雲の生成への影響を定量的に明らかにするには、海水中で有機物を放出する生態系の代謝経路や反応経路等の詳細な情報を潜在的に含む分子レベルでの理解も求められます。全球スケールの気候モデルにより、雲の生成を介した海水飛沫の気候影響を精度よく推定する際、有機物の割合をより正確に表現する海水飛沫フラックスのパラメータ化についての知見を得るために、上記のプロセスの定量化が必要となります。これには研究船等による、気体・エアロゾルおよび表層海水（化学・生物・物理パラメータ）のデータ取得をセットとした包括的な同時観測や、海洋微生物を用いた実験室内での培養（メソコスム）－大気測定実験が有効な手段です。実際の例として私達は、大気への有機物の新たな放出源として海洋の窒素固定（窒素分子を栄養塩として利用可能な反応性窒素へと変換する）生物に着目し、微生物の単離株を用いた実験室内での培養－大気測定による実験を行うことで、大気エアロゾルの有機物の中でも窒素を含む成分の大気放出量とその変動を制御する要因についての研究も行っています（図５）。

また、より長期の時間スケールの変動を理解するための海洋大気境界層内（極域・亜寒帯域の陸域沿岸）の長期観測、特に気候応答感度が高い北極域などでの観測やプロセス研究を積み重ねていくことの重要性は今後さらに増していくと考えられます。ここで述べた研究分野に新たな変革や転換をもたらすためには、大気科学と海洋科学両方の研究コミュニティの参加による複合的な観測や数値モデリングによる研究が、さらに必要となります。

地球表層システムはいくつものサブシステムから成り

立っており、それらの相互作用が、気候変動を含む地球表層のシステム変動として現れています。複雑なそれらの繋がりのメカニズムを解くには、長期 - 短期の時間スケールでの観測と、地球化学的手法を用いた現象解析と併せ、観測や室内実験によるプロセス研究の結果を気候モデル・地球システムモデルに反映、定量的に解釈することが重要な鍵となってきます。大気と海洋の相互作用におけるエアロゾル・大気化学のパラメタリゼーションを取り込むことで、システム全体からみた海洋生態系がもたらす大気エアロゾルによる生物地球化学的な気候影響と、海洋生態系へのフィードバックの包括的かつ実証的な解明を目指していきたいと考えています。このような展望のもと、ミクロな大気エアロゾル量の変動に伴うマクロな気候システム応答の解明に向けて研究を展開していきたいと考えており、このフレームワークにおける分野連携を積極的にはかっていきたいと思います。

図５　恒温槽内で人工海水と海洋微生物を用い、光強度・温度を制御した条件下で微生物を培養し、大気に放出される有機物のエアロゾル相・気相の濃度・組成とそれらの時間変化を調べる実験システム。

謝辞

ここで紹介した研究は、低温科学研究所や地球環境科学研究院の教員、環境科学院の大学院生のほか、国内外の多くの方々との共同研究として行ったものです。化学分析では技術補助員の立花英里さんにサポートしていただきました。本記事で紹介した研究は科研費（19H04233, 21K19835）および低温科学研究所共同利用・共同研究拠点の助成を受けて実施しています。

語句説明

1）（エアロゾルの）フラックス … 本稿では、単位時間内に単位面積を通って海洋表面から大気へ移動するエアロゾル質量を指す。

2）雲凝結核能 … 大気中で雲粒子が生成される際、水蒸気（気体）から水（液体）に凝結する時にエアロゾルが核として働く能力。

3）氷晶核能 … 大気中で雲粒子が生成される際、水蒸気（気体）から氷（固体）に昇華する時または水（液体）から氷に凝固する時にエアロゾルが核として働く能力。

4）腐植様（有機物）… 生物遺骸などが微生物などによって分解される過程で形成された無定形な有機化合物群の総称。「～様」と表現されるのは、化学的に明確な特定の物質を示すわけでなく、蛍光特性の類似性など状況証拠から定義されるためである。本稿の内容では、タンパク質様有機物との相対的な存在量が重要となっている。

5）細胞老化 … 増殖していた細胞が持続的に増殖を停止する状態を指す。本稿で紹介した研究では、従来の植物プランクトン現存量（クロロフィル*a*濃度）以外に、老化した植物プランクトン細胞中でクロロフィル*a*が酵素により分解されることで生成する「クロロフィリド*a*」濃度とクロロフィル*a*濃度の質量比を、海洋大気エアロゾル中の有機物量を推定する際の新たな指標として提案した。

6）雲粒生成能力 … 捕集した大気試料からエアロゾルを再発生させ、その全個数を測定し、測定装置の内部で過飽和（相対湿度 >100%）の状態に晒した後、雲粒に成長したエアロゾルの個数を測定する。この測定により、湿度を加える前後で雲粒になったエアロゾルの数の割合を調べ、どれだけの割合のエアロゾルが「水蒸気を取り込んで雲粒になるか」を指標とする。

Predicting the long-term mass loss of the Antarctic and Greenland ice sheets

Frontier Ice and Snow Science Division Ralf Greve

Ice sheets and climate

The ice sheets of Antarctica and Greenland (Fig. 1) are the largest potential contributors to future sea-level rise caused by global warming because of their enormous volumes. These amount to 57.9 ± 0.9 m SLE (sea-level equivalent) for the Antarctic ice sheet (AIS) and 7.42 ± 0.05 m SLE for the Greenland ice sheet (GrIS). Observations revealed that both ice sheets have been losing substantial amounts of mass since the 1990s. For the period 2012–2017, the international IMBIE (Ice sheet Mass Balance Inter-comparison Exercise) team reported a mass loss of 219 ± 43 Gt/a for the AIS, most of which originates from the West Antarctic ice sheet (WAIS), and they reported a loss of 244 ± 28 Gt/a for the GrIS. Therefore, the recent absolute losses are of similar size (likely somewhat larger for the GrIS), whereas the relative loss (compared to the total mass) is approximately 10 times smaller for the AIS compared to the GrIS. For both ice sheets, changes in the surface mass balance (SMB) as well as dynamic changes contribute to the mass loss.

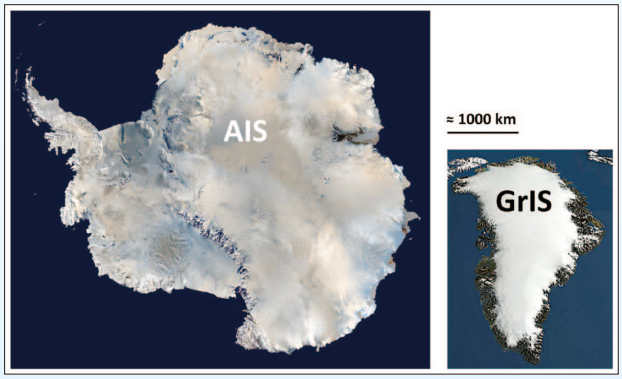


Figure 1: Rendering of the present-day Antarctic ice sheet (AIS) and Greenland ice sheet (GrIS) from topographical data, approximately to scale. Image credit: Dave Pape, NASA (public domain).

ISMIP6 project

Assessing the future contribution of the AIS and GrIS to sea-level rise by computer modelling is of major societal relevance. To achieve this for the period from the year 2015 until the end of 2100, the Ice Sheet Model Intercomparison Project for CMIP6 (ISMIP6) was devised. It is part of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6), a collaborative, international framework designed to improve knowledge of climate change. ISMIP6 received 16 sets of simulation results from 13 modelling groups worldwide for the AIS, and 21 sets of results from 14 groups for the GrIS. These results served as input for the recently (late 2021) published Sixth Assessment Report (AR6) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (see www.ipcc.ch/report/ar6/wg1).

We carried out the full suite of ISMIP6 experiments with our ice-sheet model SICOPOLIS ("SImulation COde for POLythermal Ice Sheets", www.sicopolis.net), as documented in detail in two technical reports (Zenodo, doi: 10.5281/zenodo.3971232, doi: 10.5281/zenodo.3971251; both published in September 2020). SICOPOLIS requires climate forcings (surface mass balance, surface temperature, ocean temperature) as input, and computes three-dimensionally the evolution (ice area, thickness, flow speed, ice temperature) of the ice sheet in question (Fig. 2). Climate forcings for two different pathways were considered: The unabated warming ("business as usual") pathway RCP8.5/SSP5-8.5, and the reduced emissions pathway RCP2.6/SSP1-2.6. Here, "RCP" is the terminology from the older CMIP5 global climate models (GCMs) and means "Representative Concentration Pathway", while "SSP" is the latest terminology for the CMIP6 GCMs and means "Shared Socioeconomic Pathway". The difference between RCPs and

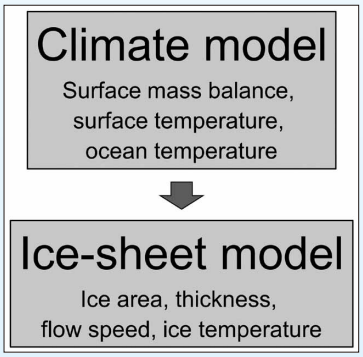


Figure 2: Schematics of the modelling approach. The ISMIP6 climate models deliver the climatic forcings for the experiments. These are used to drive our ice-sheet model (SICOPOLIS), which then computes the evolution of the ice sheet into the future for the given scenario.

SSPs is that RCPs merely describe different levels of greenhouse gas concentrations in the future, while SSPs place this in a wider context of societal and economic narratives. For our purpose, the distinction is not important, though. Results for the AIS revealed a non-uniform response of the Antarctic ice sheet: for both employed future climate scenarios (RCP8.5/SSP5-8.5, RCP2.6/SSP1-2.6), mass losses and gains occur, depending on the specific climate forcing. This is due to the counteracting effects of increasing ocean temperature (leading to a loss) and increasing precipitation (leading to a gain). By contrast, the picture was clearer for the GrIS, which reacts in all cases with a mass loss, significantly more so for RCP8.5/SSP5-8.5 than for RCP2.6/SSP1-2.6.

Long-term projections until the year 3000

Due to their size, ice sheets have a response time of the order of thousands to tens of thousands of years. It is thus clear that the full impact of 21st-century climate change on the Earth's ice sheets cannot be revealed by simulations that cover only the 21st century. Therefore, we carried out additional projections until the end of 3000 for both the AIS and the GrIS. From 2015 until the end of 2100, they are identical to the original ISMIP6 simulations. Beyond 2100, for each experiment the climate forcing is kept fixed at late-21st-century conditions; in other words, no further warming trend is applied. We analysed the results of the simulations with respect to the total mass change of the ice sheets, regional changes, and also the different contributors to mass change, which are the surface mass balance, basal mass balance and calving (release of icebergs) at the ice fronts.

The simulated mass loss of the AIS, as shown in Figure 3, reveals a substantially different picture for the entire 3rd millennium compared to the 21st century (the original ISMIP6 period). An unequivocal distinction between the responses to the unabated warming and reduced emissions pathways arises. By the year 3000, the unabated warming pathway produces as much as 3.5 (1.5 to 5.4) m SLE, while for the reduced emissions pathway only 0.25 (0.13 to 0.32) m SLE are found. This demonstrates clearly that the impact of 21st-century climate change on the Antarctic ice sheet extends well beyond the 21st century itself, and the most severe consequences – multi-metre contribution to sea-level rise – will likely only be seen later. Efficient climate change mitigation in the next decades will be crucial for preventing such a disastrous long-term development.

The main reason for the decay under the unabated warming pathway is the collapse of the WAIS through a process known as marine-ice-sheet instability. The possibility of this process has been discussed in the scientific literature for decades. It is made possible by the fact that the WAIS is grounded on a bed mostly well below the sea level. The trigger is increased basal melting under the surrounding ice shelves due to a warming ocean, resulting in a runaway ice discharge. The sequence of map-view plots in the figure shows, for one example simulation, that the instability can lead to a near-complete deglaciation of West Antarctica within a few centuries. East Antarctica is affected less severely, and in the interior ice sheet even some thickening is seen due to increased precipitation.

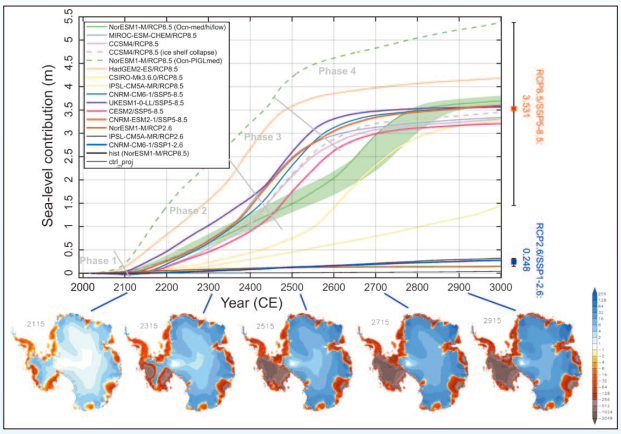


Figure 3: Simulated mass loss of the AIS until the end of the year 3000 expressed as sea-level contribution: Fourteen experiments for the unabated warming pathway (RCP8.5/SSP5-8.5), three experiments for the reduced emissions pathway (RCP2.6/SSP1-2.6), a historical run ('hist') for 1990–2015 and a control run for a constant 1995–2014 climate ('ctrl_proj') under which the ice sheet is essentially stable. The uncertainty of the sensitivity to oceanic forcing is sampled with three RCP8.5 experiments, represented by the green line (standard, "medium" sensitivity) and the upper and lower limits of the green-shaded area ("high" and "low" sensitivities, respectively). The red and blue boxes to the right show the means for RCP8.5/SSP5-8.5 and RCP2.6/SSP1-2.6, respectively; the whiskers show the full ranges. Phase 1 is the original ISMIP6 period until 2100. Phases 2-4 are valid for RCP8.5/SSP5-8.5 and show an accelerated mass loss (phase 2), the main instability of the West Antarctic ice sheet (phase 3) and a final phase 4 where the mass loss levels out. Map-view plots below are ice surface elevation differences relative to 2015 (in metres; blue means thickening, red/brown means thinning) for the simulation forced by MIROC-ESM-CHEM/RCP8.5.

The simulated mass loss of the GrIS is shown in Figure 4. Like for the AIS, we find a clear distinction between the responses to the two different pathways. By the year 3000, the unabated warming pathway produces 1.79 (0.71 to 3.54) m SLE, while for the reduced emissions pathway the loss is only 0.28 (0.16 to 0.40) m SLE. These numbers are much larger than for the 21st century. The melting and retreat of the GrIS affects all regions from the far north to the south, and it occurs gradually over time. Even though the loss can be as large as 50% of the entire ice volume, it does not develop as a sudden instability because of the lack of extended bed areas below sea level. This contrasts strongly with the AIS, for which a large part of the mass loss is due to the instability of the WAIS. The mechanisms are thus different, but for both the AIS and GrIS, the impact on the long-term sea-level rise can be damaging.

Future work

The results reported here, described in more detail in two recent articles in the *Journal of Glaciology* (Chambers, Greve and 3 others, doi: 10.1017/jog.2021.124; Greve and Chambers, doi: 10.1017/jog.2022.9) were obtained under the simplifying assumption of the constant late-21st-century climate. Further, only a single ice-sheet model (SICOPOLIS) was used. Within the international cooperation of the ISMIP6 community, it is planned to conduct simulations with more realistic future climate scenarios beyond 2100, encompassing the full range from ongoing, extended warming (pessimistic pathway) to a reduction below 21st-century extremes (optimistic pathway) (tinyurl.com/ismip6-ais-2300). Further, other working groups will contribute results obtained with different ice-sheet models. This will provide a more complete picture of the expected long-term mass loss of the Earth's ice sheets, including qualified uncertainty assessments.

Acknowledgements

The author wishes to thank the collaborators of the studies reported here, Dr. Chris Chambers (ILTS), Dr. Takashi Obase (AORI/Univ. Tokyo), Dr. Fuyuki Saito (JAMSTEC), Prof. Ayako Abe-Ouchi (AORI/Univ. Tokyo), and the entire ISMIP6 community. A further thanks is extended to the numerous colleagues who have been contributing to the development and application of the ice-sheet model SICOPOLIS over the years.

Our work was supported by Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) KAKENHI Grant Nos. JP17H06104, JP17H06323, a Leadership Research Grant (Category 2) of Hokkaido University's Institute of Low Temperature Science, and by the Arctic Challenge for Sustainability project (ArCS II) of the Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) (program grant number JPMXD1420318865).

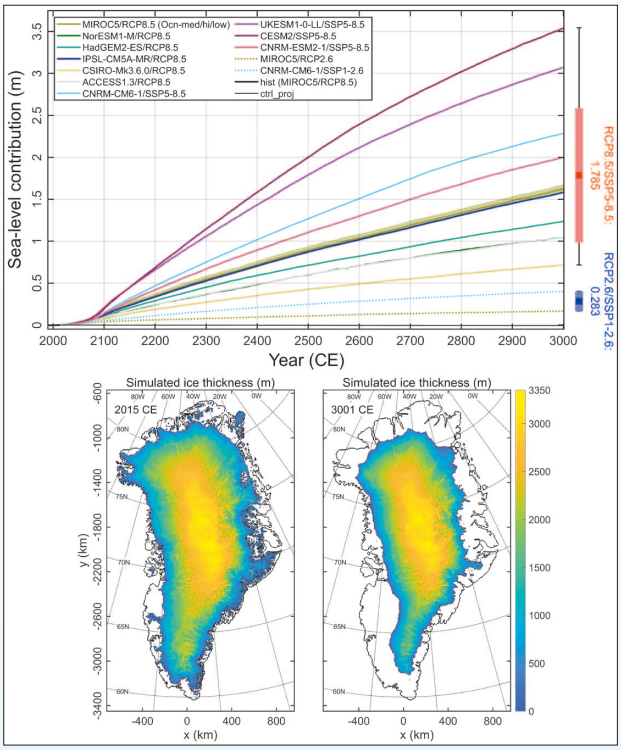


Figure 4: Simulated mass loss of the GrIS until the end of the year 3000 expressed as sea-level contribution: Twelve experiments for the unabated warming pathway (RCP8.5/SSP5-8.5), two experiments for the reduced emissions pathway (RCP2.6/SSP1-2.6), a historical run ('hist') for 1990–2015 and a control run for a constant 1960–1989 climate ('ctrl_proj') under which the ice sheet is essentially stable. The uncertainty of the sensitivity to oceanic forcing is sampled with three RCP8.5 experiments, represented by the olive line (standard, "medium" sensitivity) and the upper and lower limits of the olive-shaded area ("high" and "low" sensitivities, respectively). The red and blue boxes to the right show the means (± 1 standard deviation) for RCP8.5/SSP5-8.5 and RCP2.6/SSP1-2.6, respectively; the whiskers show the full ranges. The original ISMIP6 period is until 2100. Map-view plots below are ice thicknesses for the years 2015 and the end of 3000 (= 3001) for the simulation forced by MIROC5/RCP8.5.

第63次南極地域観測隊での氷河観測

共同研究推進部　杉山　慎

南極の氷が減少中

南極大陸の面積は日本の 37 倍。その 98 パーセントを、平均厚さ 2000 メートルの氷が覆っています。この巨大な氷のかたまりを「南極氷床」と呼びます。最近の研究から、南極氷床が融けて縮小傾向にあることが分かってきました。もし氷床の融解が進めば、融け水が海に入って海水準の上昇を引き起こします。また海水の性質に影響が出れば、熱と物質を運ぶ海のベルトコンベア「海洋大循環」に変化が予想されます。

なぜ氷が減っているのでしょうか。南極は気温が低いので、気温上昇で氷が融けているわけではありません。実は大気ではなく、海洋環境の変化が近年の氷床変動の原因です。南極氷床の周縁部は海に流入して、海に浮かび上がった「棚氷」を形成します（図２と図７を参照）。この棚氷が海の熱で融かされて縮小すると同時に、内陸からの氷の流れが加速して海への流出が増加しているのです。棚氷がどのくらい融けているのか、氷の流動に変化があるのか。私たちは、氷床と海洋の境界で起きている変化に着目して研究を行っています。

このような背景の下、2021 年 11 月～ 2022 年３月に第 63 次南極地域観測隊に参加して、氷河の観測を実施しました。本観測は、低温科学研究所の共同研究推進部プログラム「南極海洋－氷床－海氷結合システム」の一環として、南極地域観測第９期重点研究観測「氷床・海氷縁辺域の総合観測から迫る大気・氷床・海洋の相互作用」と科研費・新学術領域研究「熱・水・物質の巨大リザーバ：全球環境変動を駆動する南大洋・南極氷床」および基盤研究（A）「カービング氷河の末端プロセスと変動メカニズム　－海と湖で何が違うのか－」の支援を受けて実施したものです。

ラングホブデ氷河へ

研究対象地は、日本の南極観測拠点である昭和基地から 20 キロメートルの位置にあるラングホブデ氷河（図1）。わたしたちがこの氷河で観測を行うのは３回目になります。過去２回は氷河末端部の棚氷を掘削して、氷の下の海洋環境を明らかにしました。今回はより内陸側に着目して、氷河が陸に載った部分を掘削して氷流動メカニズムの解明に挑戦します（図 2）。

研究活動の中心は「熱水掘削」です。熱水ジェットで氷を融かして縦孔を掘るこの技術は、世界でも限られた研究チームによって運用されています。低温科学研究所で開発した熱水掘削システムは、南極の他、スイスやパタゴニアで実績を挙げてきました。とはいえ今回の掘削地は氷が厚く、掘削に必要な水を得るのも難しい場所です。これまでの経験を頼りに、慎重に検討と準備を重ねました。また氷河への物資輸送でも苦労がありました。砕氷船しらせの大型ヘリコプターで輸送を行いますが、このヘリコプターは過去に氷河上への着陸実績がありません。南極へ向かう船内で検討を重ねて、事前に氷河上で十分な安全確認を行いました。

日本から南極に向かう観測隊は、通常オーストラリア

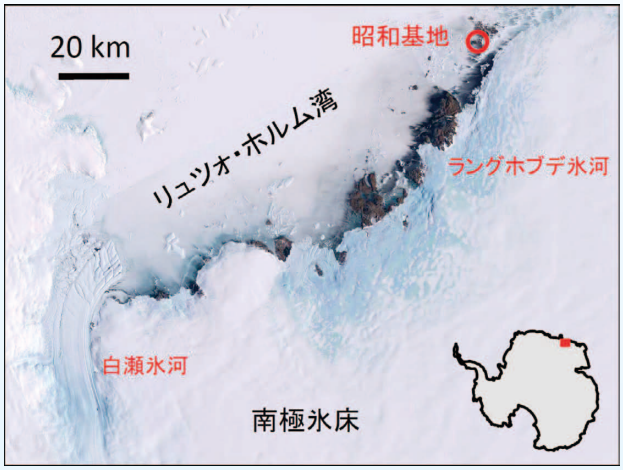


図１　観測を行ったラングホブデ氷河周辺の衛星画像

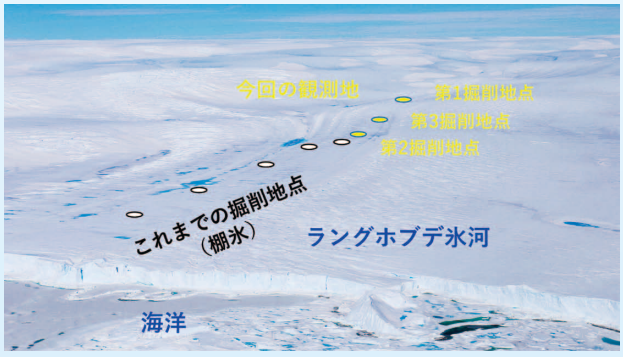


図２　ラングホブデ氷河上の掘削地点

図３　氷河上のキャンプ

でしらせに乗船します。しかしながら今回は COVID-19 の影響を受けて、日本から南極まで船での往復となりました。2021 年 11 月に横須賀を出港し、長い航海を経て昭和基地近くに到着したのは 12 月中旬のこと。準備の甲斐あって無事にヘリコプターが氷河へと着陸し、約８トンの観測物資の輸送に成功。１月末までの約６週間にわたって、氷河に設営したキャンプに滞在して熱水掘削と各種観測を実施しました（図 3）。

熱水で氷河を掘削

これまでに掘削した地点から数キロメートル上流に狙いを定め、氷の下が基盤に接していると予想される場所に熱水掘削システムを設置しました（図 4）。氷河上の水を大きな水槽に汲み上げてボイラーに送ります。約 80 度まで加熱した熱水は、氷河上に束ねた長さ数 100 メートルのホースに導かれて、先端に取り付けたノズルから噴出。この熱水ジェットを使って氷を融かします。掘削速度は毎時約 50 メートルですが、孔が深くなるとさらにゆっくりと掘る必要があります。氷レーダーによる測定で氷の厚さに見当をつけますが、いつ氷を貫通するか正確には分かりません。しばらく掘り進んでは孔の底を確認する作業を繰り返し、作業を始めて４日目にようやく氷河の底まで到達しました。氷の厚さは 550 メートル。私たちにとっては過去最長の掘削となりました。耐圧容器に入れたビデオカメラを孔の中に降ろすと、底面に近づくにつれて氷の中に土砂が増える様子が確認されました（図 5）。南極氷床の沿岸で、氷河の基盤に達する掘削は稀です。この孔を使って、氷河底面環境の直接観測が実現しました。

観測に向けて新しく開発した装置を氷河の底に設置して、底面水圧と氷の動きを測定しました（図 6）。その結果、気温、降雨、潮汐などに反応して水圧が変化を示

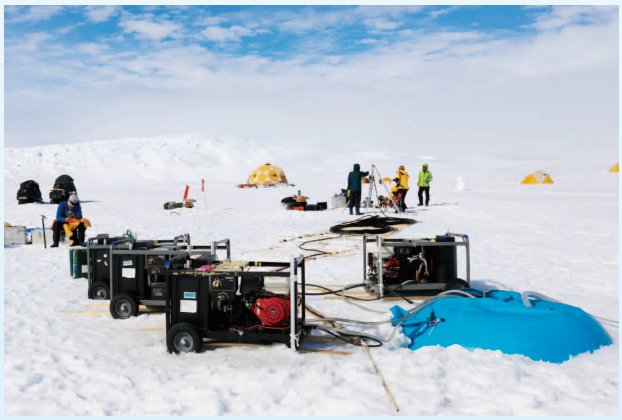


図４　ラングホブデ氷河上の熱水掘削システム

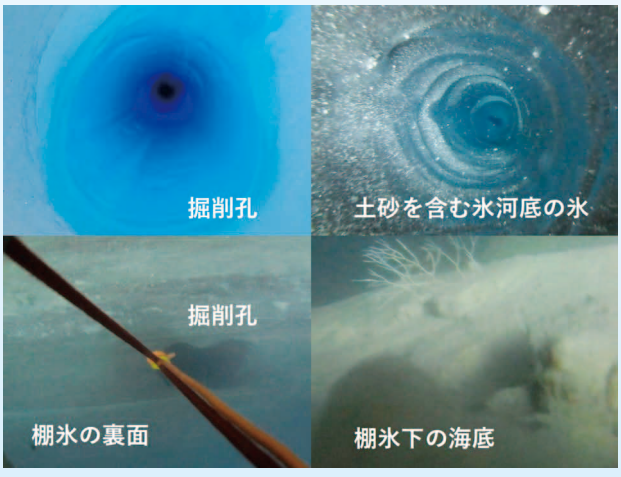


図５　掘削孔に降ろしたカメラの画像

図６　新規に開発した氷河底面の測定装置。先端部分に封入したセンサで加速度、水圧、温度を測定します

しました。この結果は、氷の底に水路があり、氷河表面や海とつながっていることを意味します。また水圧が上がると、氷河の流動が加速することも明らかになりました。底面水圧と流動速度の関係は山岳地域の氷河で観測されていましたが、南極で確認されるのは初めてのことです。今後の気候変動によって、氷河の底面環境や流動に大きな変化が生じる可能性があります。

この地点でさらに掘削を行った後、下流側の第２、第３掘削地点に装置を移動して合計３か所で５本の孔を掘ることに成功しました(図７)。その結果、予想よりもずっと上流側まで氷河の底に海水が入り込み、そのような氷の下の奥まった場所にも生物が観察されました（図５)。棚氷の下の生物については研究が進んでおらず、未知の生態系として注目が集まっています。生物分野の研究者を巻き込んだ、さらなる研究の必要性が示されました。

この他氷河の上では、流動速度や氷河地震の測定、氷レーダーによる基盤地形と氷厚の探査、ドローンや自動撮影カメラを使った測定など、様々な観測を実施しました。私たちが現地を離れた後も、掘削孔と氷河の上では測定装置が稼働しており、一年後に回収される観測データが楽しみです。

南極学カリキュラム修了生との再会

南極では嬉しい再会がありました。低温科学研究所は環境科学院と協力して、極域科学を総合的に学ぶ大学院プログラム「南極学カリキュラム」を実施しています。今回の南極観測隊に、このカリキュラムで学んだ５名の若手研究者が参加していたのです。南極への夢をかなえた若者の活躍は、私にとって南極学カリキュラムを継続する支えになります。今後も研究と教育の両面で、南極科学の発展に貢献したいと考えています。

本研究にご協力頂いた、南極地域観測隊のみなさまとプロジェクト関係者に感謝します。特に観測隊の渡部陽氏には、氷河観測に主要な役割を果たして頂きました。

ラングホブデ氷河での研究活動については以下で詳しくご覧いただけます。

http://wwwice.lowtem.hokudai.ac.jp/~sugishin/research/hokudai2/langhovde/langhovde.html

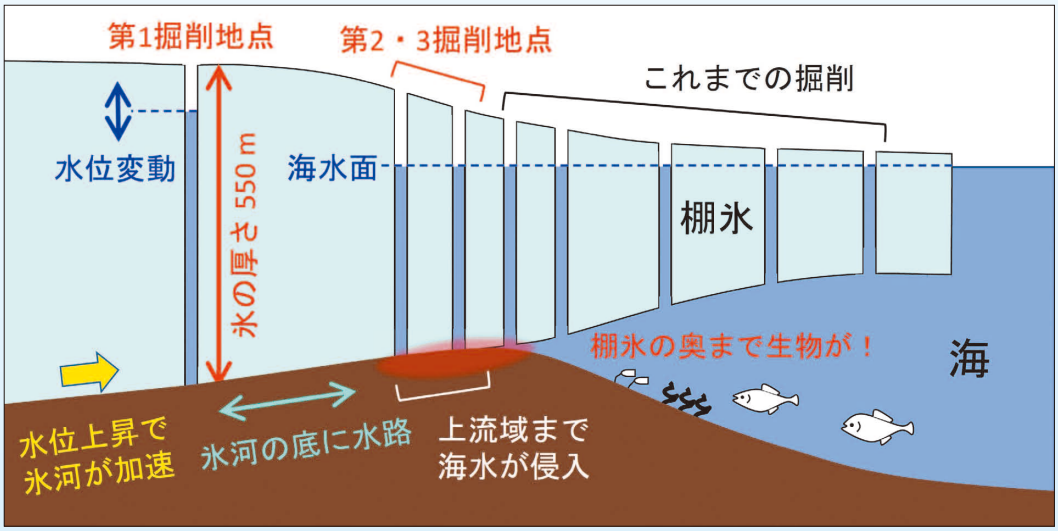


図７　掘削によって明らかになった氷河の断面図

退職のご挨拶

香内　晃
（元　雪氷新領域部門）

2022年3月31日をもって低温科学研究所を定年退職いたしました。1982年12月1日に物理学部門の助手として着任して以来、39年4か月もの長い期間にわたって、研究三昧の楽しく有意義な生活を送ることができました。これもひとえに多くの先生のご指導・ご鞭撻、共同研究者との実験･議論、技術部･事務部の皆様のサポートがあってのことです。また、多くの方々と酒席を共にしたことも楽しい思い出であり、研究を行っていく上で重要な心得を教えて下さいました。個々のお名前をあげることはいたしませんが、この場をお借りして心より感謝申し上げます。

低温研で最初に行ったのは、雪の晶癖変化を解明する鍵になると考えられていた、氷表面の疑似液体層のX線回折でした。当時は、雪結晶の晶癖変化の問題は解決したと思っていましたので、その後は、宇宙における氷生成の研究に舵を切りました。宇宙でアモルファス（非晶質）氷または氷結晶ができるのはどのような条件かを明らかにするとともに､アモルファス氷の物性（蒸気圧、熱伝導率、拡散係数など）が結晶とは大きく異なることを見出しました。

1995年に低温研は全国共同利用の研究所に改組され、大部門制になりました。その年の12月には、新設された低温基礎科学部門・宇宙雪氷学分野の教授に昇任しました。何か新しいことをやりたいと考え、10K（-263℃）の星間分子雲の微粒子表面で、どのようにして星間分子（H_2O、CH_3OH、CO_2、H_2 など）ができるかを調べる実験を始めました。実験は苦労の連続で、実験の鍵となる低温の水素原子を作ることがなかなかできませんでした。5、6年にわたりほとんど論文を出せない状況が続きましたが、なんとか2002年に最初の論文を出すことができました。共同研究者の努力に感謝すると同時に、このようなものになるかどうか分からない研究を行うことを許して下さった低温研にあらためて感謝いたします。その後、分子生成の研究が大きく発展したことは、皆様もご存知だと思います。

分子生成の研究と並行して、有機物の生成・変質機構やその物性を調べる研究も細々と行ってきました。有機物は鉱物や氷に比べて非常に付着しやすく惑星成長を促進したであろうことや、有機物の熱分解によって水ができそれが地球型惑星の水の起源になった可能性があることなど､重要な成果を示すことができたと思っています。しかしながら、惑星科学において、いまだに有機物は市民権を得ていません。惑星材料としての有機物は、その重要性は明確であるにもかかわらず、無視された状況が続いています。原因の一つは私の発信力のなさだと思っており､もう少し何とかすべきだったと反省しています。

2010年頃から、分子生成の研究は一段落しましたので、最後の研究テーマとして透過型電子顕微鏡を用いた氷の形や構造の研究を始めました。こちらも装置の開発に5年以上を要しましたが、いくつかの面白い成果を出すことができました。最近の低温研ニュースに関連する記事を2回書きましたので、説明は省略します。まだ、発表していない結果がありますので、しばらくはデータ整理と原稿書きに励みます。

今後は、皆様の研究を陰ながら見守るくらいのことしかできませんが、低温研でなければできないようなユニークな研究成果が出ることをお祈り申し上げます。

着任のご挨拶

山内　彩加林
（生物環境部門）

はじめまして。2021 年 12 月より生物環境部門 冬眠代謝生理発達分野の助教に着任いたしました、山内彩加林と申します。北海道大学生命科学院において昨年９月に学位を取得し、低温科学研究所の現所属へと異動いたしました。低温研は昨年 11 月に創立 80 周年を迎え、このような大きな節目の年にご縁をいただけたことを大変嬉しく思っています。本稿では、自己紹介を兼ねて、山内の大学院での研究についてご紹介したいと思います。

これまでの研究

大学院では、生命科学院（連携大学院・産業技術総合研究所）において、津田栄教授・近藤英昌准教授・新井達也さん（現・東大新領域助教）のご指導の元、「不凍タンパク質」の構造機能解析を行ってきました。低温研の雪氷新領域部門（相転移ダイナミクス分野）の研究等で、不凍タンパク質の名前を聞いたことのある方もいらっしゃるかもしれません。不凍タンパク質は、寒冷地に生息する様々な生物（魚類・昆虫・植物・微生物等）から発見されている、氷に結合できる特別なタンパク質です。氷は、水が凍結するときに生じた無数の小さな氷が成長したり、氷同士が融合することにより、０℃以下ではどんどん大きくなります。不凍タンパク質は、この小さな氷に結合し、小さな氷が大きくなることを防ぐ機能を持っています。不凍タンパク質はこうした機能により、南極等の０℃を下回る環境（海・土壌等）に生息する生物の身体を凍らないようにして、凍死から守る役割を果たしていると考えられています。私は、不凍タンパク質がどのようにして氷に結合するのか？というメカニズムの解明を目指した研究を行っていました。

また近年では、魚類由来の不凍タンパク質が、４℃下で哺乳動物の細胞の細胞膜に結合し、細胞の生存期間を延長できる細胞保護効果があることも分かっています。通常、我々ヒトのような多くの哺乳動物の細胞は、４℃等の低温に晒されると、様々な低温ストレスが生じるため長期間生存することは困難です。一方、こうした動物細胞も、魚類不凍タンパク質存在下では４℃下で長期間生存可能になります。しかしながら、細胞を保護する機能と氷に結合する機能には相関があるのか？どの生物種由来の不凍タンパク質が、より長い期間、細胞を低温で生かし続けることができるのか？０℃以下でも細胞を凍らせないまま生かすことはできるのか？等はこれまで不明のままでした。私は、こうした点を明らかにしたいと思い、複数種類の不凍タンパク質の細胞保護効果を調べる研究にも携わっていました。研究の結果から、昆虫由来の不凍タンパク質が、氷の成長をより強く抑制し、－５℃でも動物細胞を凍らせずに長期間生かし続けられることが分かりました。低温研では、越冬昆虫に関する長い研究の歴史があり、北海道に生息するクワガタ等の甲虫類が－５℃にもなる木の根株で越冬すること等を過去に報告しています。もしかしたら北海道に住む一部の越冬昆虫は、不凍タンパク質により体液が凍らないようにしつつ、低温ストレスから細胞を保護して、寒い冬を生き抜いているのかも…と思っています。

これからの研究

低温環境に適応した生物は、我々ヒトが持たない分子や機構を有しており、その研究はとても面白いと感じてきました。そんな中、冬眠する哺乳類は、哺乳動物であるにも関わらず、約５℃の低体温でも生存可能なことを知りとても驚きました。冬眠する哺乳類はなぜ低体温でも生存可能なのか？どんな特別な分子や機構を持っているのか？冬眠という現象はどのようにして可能となるのか？冬眠を分子レベルで研究してみたいと思い、低温研・山口良文教授の研究室の門を叩いたのでした。幸いにして、低温研での研究生活をスタートすることができ、研究室の方、低温研の先生・事務の方、共同研究者の方々の温かいご協力をいただきながら有難い毎日を過ごさせていただいております。まだまだ未熟者ではございますが、何か新しい発見や面白い発見をできるよう、なんとか努めていきたいと思っております。皆様これからもどうぞよろしくお願いいたします。

Report

海外調査

■杉山　慎

（1）調査・観測先：南極昭和基地周辺、ラングホブデ氷河
（2）期間：2021 年 11 月～ 2022 年 3 月
（3）参加者：杉山慎・箕輪昌紘（低温研）、近藤研（低温研・環境科学院 D2）
（4）カウンターパートの機関名：国立極地研究所
（5）観測目的：

第 63 次南極地域観測隊に参加して、ラングホブデ氷河における熱水掘削と各種の観測を実施した。観測の詳細は本文中での研究報告を参照のこと。本研究は、南極地域観測第 9 期重点研究課題「氷床・海氷縁辺域の総合観測から迫る大気ー氷床ー海洋の相互作用」、および低温科学研究所共同研究推進部プログラム「南極海洋ー氷床ー海氷結合システム」の一環として実施した。また科研費・新学術領域「熱・水・物質の巨大リザーバ：全球環境変動を駆動する南大洋・南極氷床」および基盤研究（A）「カービング氷河の末端プロセスと変動メカニズム　ー海と湖で何が違うのかー」の助成を受けた。

図 1　昭和基地に近づいた砕氷船しらせ

図 2　大型ヘリコプターを使った氷河への物資輸送

図 3　ラングホブデ氷河での観測メンバー

Report

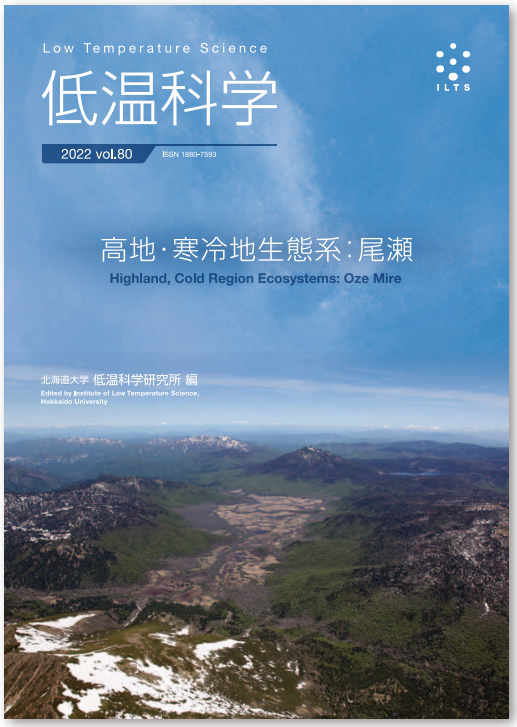
海外調査

■的場　澄人

（1）調査・観測先：グリーンランド・シオラパルク村
（2）期間：2021 年 12 月～ 2022 年 3 月
（3）参加者：的場澄人、黒﨑豊（環境科学院博士 1 年）、山崎哲秀（(一社）アバンナット）
（4）カウンターパートの機関名：一般社団法人アバンナット　山崎哲秀
（5）観測目的：
季節海氷域の冬期における気象、エアロゾル、大気環境の変化のプロセスを明らかにすることを目的に、シオラパルク村前のフィヨルドにおいてフロストフラワー、海氷、海氷下の海洋観測を行った。シオラパルクにて家屋を借り、気象観測、エアロゾル採取、大気汚染モニタリング、水蒸気モニタリング、降雪観測などを行った。

シオラパルク沖の海氷観測に犬ソリで向かう黒﨑豊（環境科学院大学院生）と山崎哲秀（研究協力者、（一社）アバンナット）

Publication



低温科学　第 80 巻　616 P

北海道大学低温科学研究所
令和 4 年 3 月 31 日発行
ISSN: 1880-7593

日本列島は日本海を挟みアジア大陸の東端に位置していることから、日本海に面する地域、特に高地・寒冷域では、冬季はシベリア寒気団の発達の影響で豪雪におおわれ、地域の自然と人々の生活が大きく支配されている。とくに日本列島の中央を走る山岳域は豪雪の影響が大きく、独特の自然が作り上げられている。今回、低温科学誌第 80 巻で特集号として取り上げる尾瀬はその代表的位置を占め、優れた景観が、多くの人々に感動をあたえている。

尾瀬ヶ原は、群馬、福島、新潟３県境の海抜約 1,400m の河川後背地に、低温過湿環境下、植物遺体が、未分解のまま泥炭として堆積し形成された湿原である。これまで３回の総合学術調査が行われ、現在の尾瀬ヶ原を特色づける微地形や池溏など、多様な尾瀬の自然は、過去からの気候変動の影響を反映していることが明らかにされてきた。

2017 年から３年計画で進められた第４次尾瀬総合学術調査では、地球温暖化の進行で増加した短時間集中豪雨とそれに原因する洪水の湿原生態系への影響とあわせ、近年個体数が増加したニホンジカの湿原植生の採食と掘削による湿原攪乱に関する科学的知見を得ることを主な目的とした。この第４次尾瀬総合学術調査では、新しい観測手法の導入と、多面的調査の推進により、多くの新知見が得られた。

尾瀬の諸事象は高地・寒冷環境で起こることから、寒冷圏及び低温条件の下における科学的現象の研究を進める北海道大学低温科学研究所との共同研究プロジェクトを実施した。これらの調査研究から多くの論文が寄せられ、また尾瀬の研究者・関係者からも論文を寄せていただき、45 報告掲載の“高地・寒冷地生態系：尾瀬”の低温科学特集号をとりまとめた。

本特集号が、関連分野の教育・研究の進展と課題解決など、教育、研究、学会、行政へ貢献することを期待する。

最後に、論文を投稿された全ての著者と論文の審査を引き受けていただいた査読者の皆様に厚く御礼申しあげる。

目次

・尾瀬ヶ原湿原に蓄積する有機物、鉄、リン、粘土鉱物の河川からの距離に伴う鉛直分布の変化
・尾瀬ヶ原上田代池溏群の底質に対する洪水の影響
・尾瀬ヶ原における湿原地下環境に関する水文地形学的研究
・尾瀬ヶ原湿原の「動ぎの田代（ゆるぎのたしろ）」の地形的特徴について
・尾瀬ヶ原における池溏の拡大とその速度の測定
・尾瀬ヶ原における河川と池溏の水文地形学
・衛星レーダーを用いた尾瀬ヶ原湿原の観測と環境変化の推定
・尾瀬ヶ原上田代池溏における溶存有機物と水系腐植物質の動態 ー洪水影響の考察ー
・尾瀬の赤褐色雪をつくるアカシボ粒子の顕微鏡観察
・尾瀬の氷雪藻
・1950 ～ 1953 年の尾瀬ヶ原総合学術調査研究以後の尾瀬における植物相研究史
・尾瀬産維管束植物相とその再検討
・尾瀬の維管束植物目録の見直し

・尾瀬沼及び周辺湿原の大型水生植物相
・尾瀬ヶ原の湿原植生 －過去 65 年間の植生調査資料に基づく植生類型について－
・高位泥炭地の尾瀬ヶ原になぜ低位泥炭地のヨシ－ミツガシワ群落が成立できるのか
－微地形・泥炭堆積過程が湿原植物群落の生育、分布に及ぼす影響－
・尾瀬ヶ原の湿原植生分布を決めている泥炭土壌の理化学的要因
・尾瀬ヶ原湿原・中田代の植生回復 － 50 年前と現在－
・アヤメ平の植生復元
・尾瀬ヶ原の池塘における大型水生植物の分布と長期変化
・尾瀬ヶ原湿原における底泥環境に関連した水生植物の池塘内分布
・尾瀬地域における衛星リモートセンシングによる植生モニタリング手法の検討
・尾瀬の動物相
・尾瀬ヶ原と尾瀬沼及びその周辺域から記録された水生昆虫
・尾瀬ヶ原における水生コウチュウ相・水生カメムシ相の特徴（昆虫綱、コウチュウ目・カメムシ目）
・尾瀬ヶ原におけるヌカカ類（双翅目：ヌカカ科）の記録
・尾瀬国立公園から記録されたアザミウマ類（昆虫綱：総翅目）
・尾瀬ヶ原湿原で採集されたミジンコ属（Daphnia）について
・尾瀬ヶ原の池塘に生息する枝角類に対する洪水の影響
・尾瀬ヶ原の上田代池塘群における岸辺水生無脊椎動物への洪水影響Ⅱ －夏季調査－
・尾瀬沼深底部の底生動物群集：1986 年と 2018 年の比較
・尾瀬ヶ原流水に生息するイワナ Salvelinus leucomaenis の年齢、体長組成および生息密度
・尾瀬のコウモリ類 － 2017 年～ 2019 年の調査結果より－
・マイクロ波レーダの動物行動記録への応用
・複数マイクロフォン・ドローンリモートセンシング手法による尾瀬ヶ原湿原のニホンジカ個体数の推定
・尾瀬ヶ原湿原における温室効果ガス放出に及ぼすニホンジカの攪乱の影響
・シカの採食影響に対する尾瀬ヶ原の湿原植物群落の脆弱性評価
・尾瀬ヶ原中田代竜宮地区におけるシカの湿原植生摂餌、撹乱場所とその変遷
・尾瀬地域におけるニホンジカの生息状況と植生被害および対策について
・尾瀬バーチャルツアーのデジタルシステム開発
・尾瀬国立公園の保護と利用 －山岳ガイドの観点から－
・尾瀬地域内外における降水量の空間相関
・尾瀬湿原生態系における温暖化影響
・洪水影響下の尾瀬ヶ原湿原生態系の窒素・リン動
・高地・寒冷地生態系の尾瀬 －第 4 次尾瀬総合学術調査概要－

「低温科学」第 80 巻編集委員会
委員：福原　晴夫（新潟大学名誉教授）
野原　精一（国立環境研究所）
大森　威宏（群馬県立自然史博物館）
福井　　学（北海道大学・低温科学研究所）

顧問：坂本　　充（名古屋大学・滋賀県立大学名誉教授）
岩熊　敏夫（北海道大学名誉教授）
鈴木　邦雄（IGES 国際生態学センター）

(2021/12/13)

氷期の南極の硫酸エアロゾルはどこから飛来したのか？
～南米アタカマ砂漠からの寄与～

発表者：准教授　飯塚　芳徳

【研究成果の概要】

国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学大学院環境学研究科の植村立准教授、松井仁志准教授、藤田耕史教授らの研究グループは、国立極地研究所、北海道大学、琉球大学との共同研究で、南極ドームふじアイスコアに含まれる硫酸エアロゾルの硫黄同位体比（$\delta^{34}S$）の分析を行い、その供給源地域を解析しました。

硫酸エアロゾルは南極における主要な水溶性エアロゾル成分であり、海洋生物活動、海塩、陸域の表面など複数の起源があります。一方で、「なぜ南極の硫酸エアロゾルの沈着量は、氷期と間氷期で大きく変化しないのか？」や「氷期に陸域からの硫酸エアロゾルの供給が多いとすれば、どの地域が起源なのか？」等の未解明の問題も残されています。

本研究では、南極ドームふじアイスコア（注１）の硫黄同位体比の分析結果から、最終氷期では「陸域」を起源とする硫酸エアロゾルの寄与が大きかったことを明らかにしました。この結果は、最終氷期における硫酸エアロゾルの起源は、海洋生物活動であったという従来の有力な説と異なります。さらに、同位体比データから、南米のアタカマ砂漠（注２）周辺の高地が最も有力な供給源地域であることが分かりました。これらの結果から、極度に乾燥した低・中緯度の砂漠に存在する水溶性物質が、南極の硫酸エアロゾルの供給源の一つであることを明らかにしました。

本研究成果は、2021年12月3日付地球科学分野の国際学術誌「Earth and Planetary Science Letters」に掲載されました。

【用語解説】

（注１）　南極や北極の氷床を掘削して得られた円柱状の氷試料のこと。本研究で使用したドームふじアイスコアは、南極地域観測事業により掘削された。

（注２）　南米アンデス山脈の高地に位置する砂漠（図２）。南極北極を除くと、世界で最も降水量が少なく、乾燥した地域として知られる。

【論文発表の概要】

論文タイトル：Soluble salts in deserts as a source of sulfate aerosols in an Antarctic ice core during the last glacial period

著者名：Ryu Uemura[1], Kosuke Masaka[2], Yoshinori Iizuka[3], Motohiro Hirabayashi[4], Hitoshi Matsui[1], Risei Matsumoto[2], Miki Uemura[2], Koji Fujita[1], Hideaki Motoyama[4]（1 名古屋大学大学院環境学研究科、2 琉球大学理学部、3 北海道大学低温科学研究所、4 情報・システム研究機構国立極地研究所）

雑誌名：Earth and Planetary Science Letters
ＵＲＬ：https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012821X21005550
ＤＯＩ：10.1016/j.epsl.2021.117299

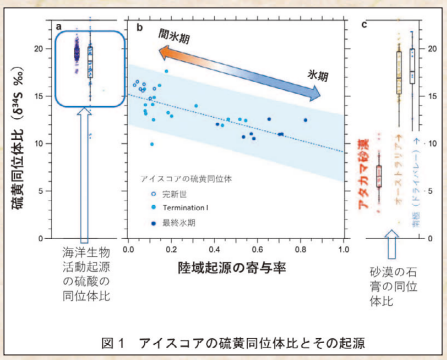


図１　アイスコアの硫黄同位体比とその起源

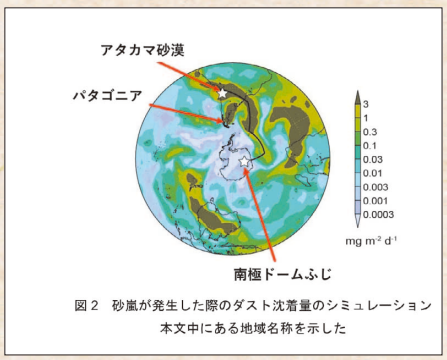


図２　砂嵐が発生した際のダスト沈着量のシミュレーション
本文中にある地域名称を示した

Press Release

(2021/12/27)

アザラシによる観測で秋～冬の南極沿岸の海洋環境が明らかに

発表者：准教授　青木　茂

【研究成果の概要】

国立極地研究所の國分亙彦助教を中心とする研究グループは、南極・昭和基地でウェッデルアザラシに水温塩分記録計を取り付けて調査を行い(図１)、その観測データから、秋に外洋の海洋表層から暖かい海水(暖水)が南極大陸沿岸に流れ込んでいること、また、その暖水を利用することでアザラシが効率よく餌をとっていたことを明らかにしました。本成果は、秋期から冬期の南極海沿岸の海洋循環のメカニズムと海洋生態系の応答プロセスの解明につながると期待されます。この観測は第58次南極地域観測隊（2016年～2018年）の一環として実施されました。

本研究は、南極沿岸域で秋に強まる風の力によって、外洋の表層から海水と餌生物がもたらされている可能性を初めて示しました。研究グループでは、今回の調査結果をモデル計算と組み合わせ、風の力によって大陸棚に運ばれる海水と餌生物の量の推定につなげたいと考えています。さらにこの結果を南極沿岸のいろいろな海域に応用することで、外洋から沿岸にどれくらいの海水が流れ込んできているのか、またそれによって沿岸の海洋生態系にどのような影響があるのか、より詳しい仕組みの解明が期待されます。

【論文発表の概要】

タイトル：Shoreward intrusion of oceanic surface waters alters physical and biological ocean structures on the Antarctic continental shelf during winter: Observations from instrumented seals.

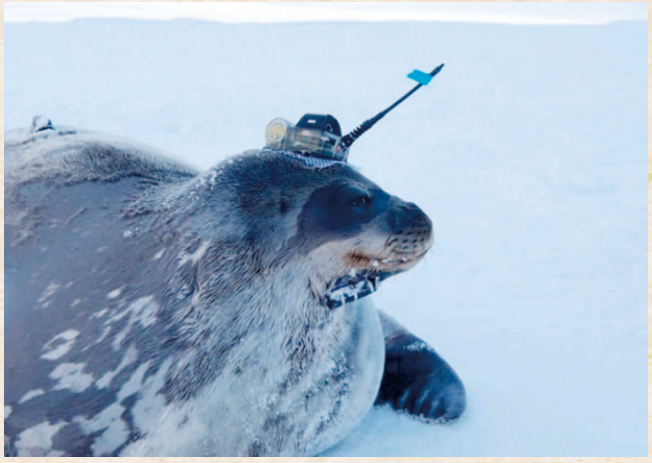
著者名：國分亙彦(国立極地研究所生物圏研究グループ助教)、田邊優貴子(研究当時：国立極地研究所生物圏研究グループ助教)、平野大輔(研究当時：北海道大学低温科学研究所・国立極地研究所気水圏研究グループ助教、現：国立極地研究所南極観測センター助教)、Vigan Mensah（北海道大学低温科学研究所特任助教)、田村岳史(国立極地研究所気水圏研究グループ准教授)、青木茂(北海道大学低温科学研究所准教授)、髙橋晃周(国立極地研究所生物圏研究グループ准教授)

掲載誌：Limnology and Oceanography

ＵＲＬ：https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/lno.11914

ＤＯＩ：10.1002/lno.11914

論文出版日：2021年10月9日



頭に水温塩分記録計を装着したウェッデルアザラシ。装置は体重に比べて十分に軽く、一定期間後、体毛が抜け替わる時期に脱落する。
（撮影：国立極地研究所 國分亙彦）

Press Release

(2022/1/14)

深海に滞留する燃焼由来の溶存物質
～太平洋深海における溶存黒色炭素の除去プロセスを発見～

発表者：教授　西岡　純

【研究成果の概要】

北海道大学大学院地球環境科学研究院の山下洋平准教授と、同大学大学院環境科学院（研究当時）の中根基裕氏、森雄太郎氏、同大学低温科学研究所の西岡 純教授は、東京大学大気海洋研究所の小川浩史教授と共同で、太平洋に燃焼の副産物である溶存黒色炭素※1が普遍的に存在すること、太平洋深海から溶存黒色炭素が除去されていることを明らかにしました。

森林火災や化石燃料燃焼に伴い不完全燃焼産物である煤や炭などの熱成炭素※2が生成されます。熱成炭素の多くは、環境微生物による分解を受けにくく、土壌や海洋に蓄積されやすいことから、地球表層の炭素循環から二酸化炭素を隔離する機能を有すると考えられています。陸上の燃焼活動により生成された熱成炭素の一部は水と共に移動できる形態である溶存黒色炭素に変質し、河川を経由して海洋へと輸送されることが知られています。しかし、海洋へと輸送された溶存黒色炭素が、どのように分布し、どのように挙動するのかは不明でした。そこで研究グループは、南緯40度から北緯54度までの太平洋全域における観測を行い、溶存黒色炭素が太平洋に普遍的に存在すること、太平洋深海中の溶存黒色炭素の濃度は深層水循環に伴い減少することを世界で初めて明らかにしました。また、溶存黒色炭素濃度と溶存酸素濃度との関係から、沈降粒子に溶存黒色炭素が吸着され、深海から除去されることが判明しました。

本研究成果は、地球全体での熱成炭素の収支を解明する上で欠かせない成果であり、気候変動によって変わりつつある森林火災と炭素循環の関係を正しく理解する上でも貴重な知見となります。

なお、本研究成果は2022年1月13日（木）公開のNature Communications誌にオンライン掲載されました。

【用語解説】

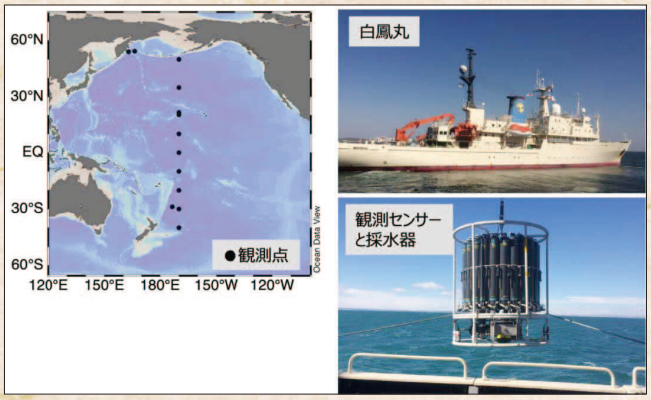
※1　溶存黒色炭素：熱成炭素の中で水と共に移動可能な多環芳香族化合物のこと。
※2　熱成炭素：森林火災や化石燃料を燃焼時の酸素不足による不完全燃焼に伴い形成される煤や炭などの炭素に富んだ物質のこと。

【論文発表の概要】

論文名：Fate of dissolved black carbon in the deep Pacific Ocean（太平洋深海に存在する溶存黒色炭素の行方）

著者名：山下洋平[1,2]、中根基裕[2]、森雄太郎[2]、西岡 純[3,2]、小川浩史[4]（1 北海道大学大学院地球環境科学研究院、2 北海道大学大学院環境科学院、3 北海道大学低温科学研究所、4 東京大学大気海洋研究所）

雑誌名：Nature Communications
ＤＯＩ：s41598-020-61375-7
公表日：2022年1月13日（木）
（オンライン公開）



左：南大洋から北部北太平洋における観測点。
右上：太平洋中央部の観測を実施した海洋研究開発機構の学術研究船白鳳丸。
右下：海洋観測を行う各種センサー類と海水試料を採取する 12L のニスキン採水器。

(2022/1/14)

西暦3000年までの南極氷床の変動を予測
～氷床の崩壊を防ぐための効果的な気候変動対策が重要～

発表者：教授　グレーベ・ラルフ

【研究成果の概要】

北海道大学低温科学研究所のグレーベ・ラルフ教授らは、東京大学大気海洋研究所の阿部彩子教授ら、海洋研究開発機構の齋藤冬樹研究員との共同研究チームで、西暦3000年までの南極氷床の変動についてシミュレーションを行い、地球温暖化の長期的な影響について調べました。

これまで、本研究チームも参画する氷床モデル国際比較相互プロジェクト（ISMIP6※）は、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第６次評価報告書に研究内容を提供しましたが、その氷床変動計算は西暦2100年までした。本研究では、西暦2100年まで既存の気候予測データを使用し、その後西暦3000年まで21世紀後期の気候が持続するという仮定のもと、「温暖化進行」経路シナリオで14の数値実験、「地球温暖化ガス排出量の削減」の経路シナリオで３つの数値実験をそれぞれ行いました。その結果、氷の損失を海面水位上昇に換算すると、温暖化進行のシナリオでは西暦3000年までのアンサンブル平均で、3.5mに上りました。また、温暖化の影響を最も受けると仮定した数値実験では5.3m上昇し、排出量削減のシナリオでは0.25mに留まることがわかりました。

本研究成果は、21世紀中に温暖化が一旦進行してしまうと、例えその温暖化進行が21世紀末で停止したとしても21世期末以降に起こる数百年の南極氷床の後退と海水準上昇に大きく影響し、その影響は長期に及ぶことを示しています。

なお本研究成果は、2021年12月22日（水）公開のJournal of Glaciology誌に掲載されました。

【用語解説】

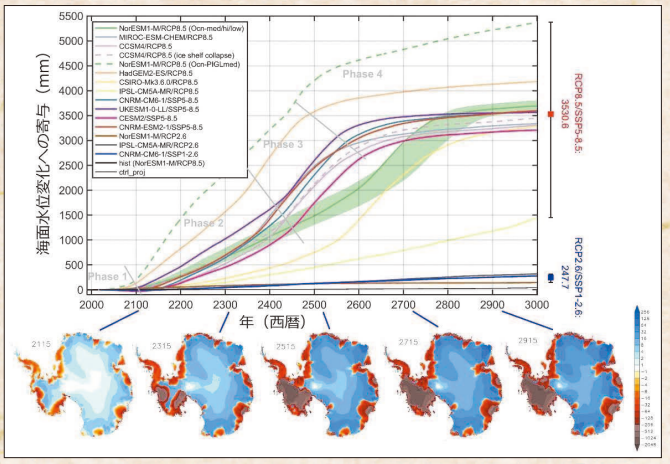
※　ISMIP6：氷床モデル国際比較相互プロジェクト（https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/）

【論文発表の概要】

論文名：Mass loss of the Antarctic ice sheet until the year 3000 under a sustained late-21st-century climate（21世紀後半の持続的な気候下における3000年までの南極氷床の質量喪失）

著者名：Christopher Chambers[1]、Ralf Greve[1,2]、小長谷貴志[3]、齋藤冬樹[4]、阿部彩子[3]（1 北海道大学低温科学研究所、2 北海道大学北極域研究センター、3 東京大学大気海洋研究所、4 海洋研究開発機構）

雑誌名：Journal of Glaciology
（雪氷学の専門誌）
ＤＯＩ：10.1017/jog.2021.124
公表日：2021年12月22日（水）
（オンライン公開）



西暦 1990 年から 3000 年までの南極氷床の体積減少予測（上）と 2015 年と比較した氷表面の高低差（下）

Press Release

(2022/3/2)

氷の成長が描くミクロならせんパターンを発見
～水中の氷の新たな結晶成長メカニズムを解明～

発表者：助教　村田　憲一郎

【研究成果の概要】

北海道大学低温科学研究所の村田憲一郎助教、金沢大学学術メディア創成センターの佐藤正英教授らの研究グループは、氷が水中で成長する際に、その界面で氷結晶の一分子段差が自発的に集合し、より高い段差を形成しながら成長することを発見しました。一般に、結晶の成長はその表面に分子・原子が層状に積み重なり、分子・原子スケールの段差を作りながら進行します。それに対し、成長中の氷の界面では、一分子段差の前進運動と氷の成長によって生じる潜熱の拡散が動的に絡み合う結果、一つ一つの一分子段差が特定の間隔で寄り集まって束になり、より高い段差を作ることが明らかになりました。このような段差（ステップ）の自己組織化現象は「ステップバンチング不安定化」として知られています。しかし融液成長*1と呼ばれる自身の融液からの結晶成長様式ではこれまで観察されていませんでした。本研究は、水から氷へという最も身近な融液成長においてステップバンチング不安定化が存在することを実験的に明示した初めての研究です。

さらに、この現象で生じたステップ列が多方向から衝突することで、定常的ならせんパターンを描き出すことも発見しました。このらせんパターンは渦巻成長といわれ、結晶の成長過程でしばしば見られるものです。しかし、結晶成長に伴うステップ列が自ら渦巻成長を誘起する今回の成長様式は極めてユニークであり、その過程を直接観察したのは本研究が初めてです。

本研究で得られた知見は、融液成長という最もシンプルな結晶成長様式の基礎的理解を深めると同時に、細胞・臓器等の冷凍保存で鍵を握る氷晶成長制御や、さらに広く半導体結晶を始めとする高品質・高機能の結晶性材料の開発・設計に向けた新たな指針となることが期待されます。

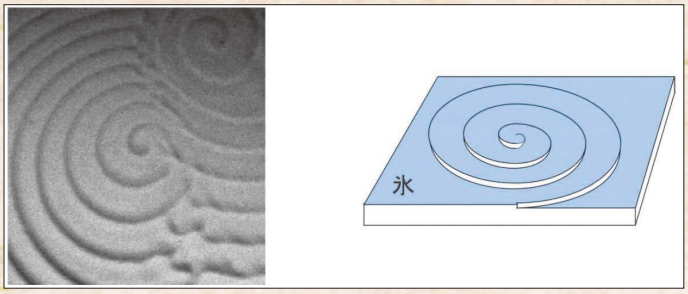
なお、本研究成果は、2022年3月1日（火）公開の Proceedings of National Academy of Science, USA 誌にオンライン掲載されました。

【用語解説】

＊1　融液成長…自分自身の融液から生成・成長する結晶成長様式を指す。液体－固体転移ともいえる。

【論文発表の概要】

論文名：Step bunching instability of growing interfaces between ice and supercooled water 氷－水成長界面におけるステップバンチング不安定性）
著者名：村田憲一郎[1]、佐藤正英[2]、上羽牧夫[3]、斎藤史明[1]、長嶋 剣[1]、佐崎 元[1]（1 北海道大学低温科学研究所、2 金沢大学学術メディア創成センター、3 愛知工業大学基礎教育センター）
雑誌名：Proceedings of National Academy of Science, USA（米国科学アカデミー紀要）
ＤＯＩ：10.1073/pnas.2115955119.
公表日：2022年3月1日（火）
（オンライン公開）



氷結晶の成長中に水－氷界面に現れるらせんパターン（左）とその概略図（右）。

(2022/3/3)

黒潮と親潮をつなぐ日本東方の海水輸送過程を可視化

発表者：教授　三寺　史夫

【研究成果の概要】

北海道大学低温科学研究所博士研究員（研究当時／現：東京大学大気海洋研究所 研究員）の西川はつみ氏と同大低温科学研究所の三寺史夫教授、水産研究・教育機構水産資源研究所の奥西 武グループ長、東京大学大気海洋研究所の伊藤進一教授、海洋研究開発機構の美山 透主任研究員らの研究グループは、亜熱帯循環と亜寒帯循環の境界である“北太平洋移行領域*1”の形成過程を海洋漂流ブイや海流の仮想粒子追跡手法*2を用いて解明しました。

日本の東側の北緯40度付近に帯状に広がる北太平洋移行領域は、黒潮と親潮の水が混ざり合った特徴的な水塊が形成される海域です。この移行領域は、亜寒帯海域にもかかわらず比較的暖かく栄養が豊富なことから海洋生態系にとって好環境であり、漁場も形成される豊かな海です。さらに、この海域での海面水温変動は、中緯度の大気循環に大きく影響することもわかってきています。しかし、移行領域での黒潮・親潮水の挙動はこれまで十分には理解されてきませんでした。本研究では、黒潮水・親潮水が移行領域の中を海底地形に対応した流れによって輸送・滞留する様子を可視化し、移行領域の形成過程を解明しました。また、移行領域へ黒潮水が供給されるためには、流れの時間変動成分（＝渦）が重要な役割を果たしていることを明らかにしました。

なお、本研究成果は、2021年10月18日（月）公開の Progress in Oceanography にオンライン掲載されました。

【用語解説】

＊1　移行領域 … 亜熱帯循環と亜寒帯循環の境界域であり、高温高塩な黒潮水と低温低塩な親潮水が混ざり合うことで特徴的な水塊を形成する海域。亜熱帯と亜寒帯を繋ぐ役割を果たす。

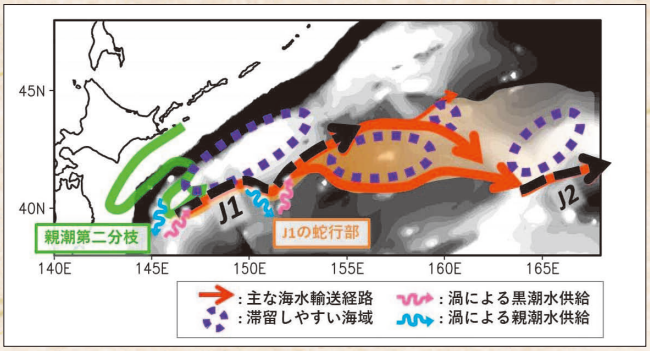
＊2　仮想粒子追跡手法 … 任意の海域に仮想粒子を配置し、流れの場から粒子の動きを推定し追跡する手法。時間を追う方法を前方粒子追跡、時間をさかのぼる方法を後方粒子追跡と呼ぶ。

【論文発表の概要】

論文名：Surface water pathways in the subtropical–subarctic frontal zone of the western North Pacific（北西太平洋の亜熱帯と亜寒帯を繋ぐ表層の海水輸送経路）

著者名：西川はつみ[1]、三寺史夫[2]、奥西 武[3]、伊藤進一[1]、和川 拓[4]、長谷川大介[3]、美山 透[5]、金子 仁[6]、Ren-Chieh Lien[7]（1 東京大学大気海洋研究所、2 北海道大学低温科学研究所、3 水産研究・教育機構水産資源研究所（塩釜）、4 水産研究・教育機構水産資源研究所（新潟）、5 海洋研究開発機構アプリケーションラボ、6 海洋研究開発機構むつ研究所、7 ワシントン大学）

雑誌名：Progress in Oceanography
ＤＯＩ：10.1016/j.pocean.2021.102691
公表日：2021年10月18日（月）
（オンライン公開）



移行領域周辺の海水の輸送・滞留プロセスの概略図。背景の陰影は海底地形。

Press Release

(2022/3/11)

極寒の地域でも使用可能なPM2.5測定用の自動温度制御断熱ボックスを開発 ～アラスカなどの北極圏から南極まで今後の測器展開と寒冷地PM2.5定常観測の発展に期待～

発表者：助教　的場　澄人

【研究成果の概要】

北海道大学北極域研究センターの安成哲平准教授、同大学院工学院修士課程の若林成人氏(研究当時)、同低温科学研究所の的場澄人助教、名古屋大学の松見 豊名誉教授(宇宙地球環境研究所)らの研究チームは、パナソニック製の小型PM2.5センサー[*1]を搭載した、寒冷地でも動作温度環境を自動で保つことが可能な自動温度制御断熱ボックスを開発しました（以下、PM2.5測定装置）。室内及び低温室における動作確認・検証実験や、冬季札幌・夏季アラスカでの現地観測による、現地の独立したPM2.5観測データとも比較検証を行うことで非常に寒冷な環境や、森林火災のような高濃度PM2.5環境下においてのPM2.5[*2]測定にも、開発した装置が十分実用的であることを確認しました。

北極圏では、夏季森林火災から冬季気温の逆転層形成による大気汚染[*3]まで、通年を通じてPM2.5の測定が求められていますが、これまでは厳冬期の観測が非常に困難でした。本研究で開発した寒冷地仕様のPM2.5測定装置は、温度コントローラーの設定温度より少し低くなると、装置内部がヒーターで自動で温められ、外部が極寒でも内部をPM2.5センサー動作環境に保つことができるため、冬季や通年で寒冷な場所でPM2.5観測を安定かつ継続して行うことが可能になります。また、開発実験では、防水ファンによる強制通風が必須であることがわかりました。北海道大学低温科学研究所の−25℃の低温室実験では、ヒーターが正常に動作し、通風口2つの条件で内部の温度環境をプラスに保つことができることも確認しました。さらに、2019年2月に北海道大学工学部屋上で観測を行い、環境省国設局「国設札幌」で測定されたPM2.5の1時間値（確定値）の変動と比較したところ、本研究のPM2.5測定結果の1時間平均値と変動が整合的であることも確認できました。2019年6月からは、アラスカ大学フェアバンクス校（UAF）国際北極圏研究センター（IARC）に同PM2.5測定装置を設置し、夏季（6-7月）アラスカの森林火災時の高濃度PM2.5変動を捉えることに成功しました。

今後、冬季に寒冷になるアラスカやグリーンランドなどの北極圏及び南極など通年で寒冷な場所でも、安定にPM2.5の継続観測を行うことが可能となり、PM2.5測定が希薄な極寒の地域での観測展開が大いに期待されます。

なお、本研究成果は、2022年3月10日(木)公開のJournal of Environmental Management 誌に掲載されました。

【用語解説】

*1　パナソニック製の小型PM2.5センサー … 内部の下部ヒーターで上昇流を作り、波長 625nmのLED光を使用して気流中の粒子特性をフォトダイオード検出器で検出し、PM2.5濃度へ換算する(換算用の補正係数は1.3を使用;最小粒子検出サイズは0.3μm)（Nakayama et al., 2018)。現在、パナソニック株式会社から商用版が販売されているが、研究用のものとは最小粒子サイズは異なる。

*2　PM2.5 … 主に2.5μm（1μm=0.001mm）より小さい様々な大気汚染微粒子の総称（厳密には、測定時に空気力学径が2.5μmで捕集効率 50%になる大気汚染微粒子のこと）

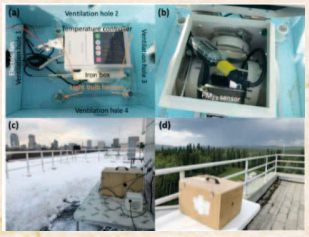
*3　北極圏の夏季森林火災から冬季気温の逆転層形成による大気汚染 … 北極圏では、夏季森林火災（e.g., Yasunari et al., 2018, 2021；過去のプレスリリースも参照)や、冬季気温の逆転層形成時に高濃度PM2.5などの大気汚染(e.g., Tran and Mölders, 2011）が見られることがこれまでの研究から報告されている。

【論文発表の概要】

論文名：Developing an insulation box with automatic temperature control for PM2.5 measurements in cold regions（寒冷地におけるPM2.5測定用の自動温度制御断熱ボックスの開発）

著者名：安成哲平[1,2]、若林成人[3]（研究当時）、松見 豊[4]、的場澄人[5]（1北海道大学北極域研究センター、2 北海道大学広域複合災害研究センター、3 北海道大学大学院工学院、4 名古屋大学宇宙地球環境研究所、5 北海道大学低温科学研究所）

雑誌名：Journal of Environmental Management（環境管理の専門誌）
ＤＯＩ：10.1016/j.jenvman.2022.114784
公表日：2022年3月10日(木)（オンライン公開）



PM2.5 測定装置（自動温度制御断熱ボックス＋小型 PM2.5 センサー）の詳細（a,b）と冬季札幌（c）及び夏季アラスカ（d）での観測の様子

Press Release

(2022/3/24)

北海道の縄文時代以降の歴史からみた気候と人間社会の関係

発表者：准教授　関　宰

【研究成果の概要】

北海道大学大学院地球環境科学研究院の山本正伸教授と同低温科学研究所の関 宰准教授は、過去4000年間の北海道北部の気候変化を復元し、文化圏の変遷のタイミングが気候変化と合うことを明らかにしました。

気候変化が人間社会に与える影響を理解することは、温暖化の進行に伴う人類社会の将来を予測したり、気候変動の社会への影響を緩和したりする上で非常に重要です。北海道は１万年前から19世紀まで、狩猟採集文化の人口密度の高い社会が変化を伴いながら存続していた、世界でも稀な地域です。縄文時代以降、気候が社会や文化に与えた影響が示唆されてきましたが、北海道には、それを実証するのに十分な時間解像度を持つ古気候記録がなかったため、今まで検証されていませんでした。

紀元後の海洋型のオホーツク文化[*1]の南方への拡大は、対馬暖流の弱化と偏西風の南下により、冷たく乾燥した気候に変化した後に起こったことがわかりました。11世紀ごろのオホーツク文化の衰退は対馬暖流及びその延長の宗谷暖流の強化に対応していました。一方で、内陸型の続縄文文化[*2]、擦文文化[*3]、アイヌ文化[*4]の空間分布は、南北の縁が緯度方向に移動するものの、北海道島にとどまりました。文化圏の北縁はオホーツク文化の盛衰に、南縁は偏西風の南北移動に対応した稲作文化の北限の移動に規制されていたようにみえます。

なお、本研究成果は、2022年3月12日（土）公開の Geophysical Research Letters 誌にオンライン掲載されました。

【用語解説】

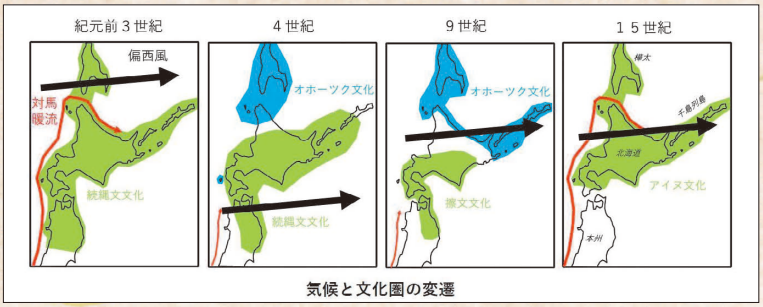
＊１　オホーツク文化 … ３世紀から13世紀までオホーツク海沿岸を中心とする北海道北海岸、樺太、南千島の沿海部に栄えた海洋漁猟民族の文化。集落は海岸線に集中し、海獣猟、漁業に依存。
＊２　続縄文文化 … 紀元前３世紀頃から紀元後７世紀にかけて、北海道を中心に栄えた内陸型の文化。
＊３　擦文文化 … ７世紀ごろから13世紀にかけて、北海道を中心に栄えた内陸型の文化。
＊４　アイヌ文化 … 13世紀ごろに北海道で確立された文化。

【論文発表の概要】

論文名：Impact of climate change on hunter-fisher-gatherer cultures in northern Japan over the past 4400 years（気候変化が北日本の過去 4400 年の狩猟漁撈採集文化に与えた影響）

著者名：山本正伸[1,2]、関 宰[2,3]（1 北海道大学大学院地球環境科学研究院、2 北海道大学大学院環境科学院、3 北海道大学低温科学研究所）

雑誌名：Geophysical Research Letters（地球科学の専門誌）
ＤＯＩ：10.1029/2021GL096611
公表日：2022年3月12日（土）
（オンライン公開）



気候と文化圏の変遷

対馬暖流が弱かった期間にオホーツク文化が栄えた。本州では隣接する稲作文化圏との境界が夏季偏西風の南北移動に対応して変化した。

(2022/3/25)

西暦3000年までのグリーンランド氷床の変動を予測
～このまま温暖化が進むと氷床の体積が半分に減る可能性を示唆～

発表者：教授　グレーベ・ラルフ

【研究成果の概要】

北海道大学低温科学研究所のグレーベ・ラルフ教授とチェンバース・クリストファー博士は、西暦3000年までのグリーンランドの氷床の変動についてシミュレーションを行い、21世紀の温暖化がもたらす長期的な影響について調べました。

これまで、本研究チームも参画する氷床モデル比較相互プロジェクト（ISMIP6[*1]）は、気候変動に関する政府間パネル（IPCC[*2]）の第６次評価報告書に研究内容を提供してきましたが、その氷床変動計算は西暦2100年までででした。本研究では、西暦2100年以降は温暖化の傾向に変化がないとの仮定のもと、西暦3000年までのシミュレーションを行いました。「温暖化進行」経路シナリオで12の数値実験、「地球温暖化ガス排出量の削減」の経路シナリオでは２つの実験をそれぞれ行いました。「温暖化進行」のシナリオでは、氷の損失の海面水位相当（SLE）は、12の実験のアンサンブル平均で1.8mに上りました。「ガス排出量削減」のシナリオでは、氷の損失は、２つの実験のアンサンブル平均で0.25mSLEに留まることがわかりました。

本研究の結果では、温暖化は、たとえ21世紀末に進行が停止したとしても、効果的な気候変動緩和策が取られない限り、その後数百年にわたりグリーランドの氷床への影響があり、世界的な海面上昇につながる危険を示唆しています。

本研究は、2022年3月14日（月）公開の Journal of Glaciology 誌にオンライン掲載されました。

【用語解説】

＊１　ISMIP6 … 氷床モデル比較相互プロジェクト（https://tinyurl.com/ismip6-wiki-gris）。
＊２　IPCC … 気候変動に関する政府間パネル（https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/）。

【論文発表の概要】

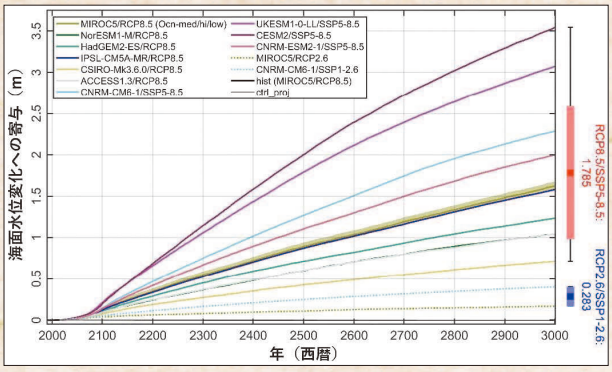
論文名：Mass loss of the Greenland ice sheet until the year 3000 under a sustained late-21st-century climate（21世紀後半の持続的な気候下における3000年までのグリーンランド氷床の質量喪失）

著者名：Ralf Greve[1,2], Christopher Chambers[1]（1 北海道大学低温科学研究所、2 北海道大学北極域研究センター）

雑誌名：Journal of Glaciology（雪氷学の専門誌）

ＤＯＩ：10.1017/jog.2022.9

公表日：2022年3月14日（月）（オンライン公開）



西暦 1990 年から 3000 年までのグリーンランド氷床の体積減少予測

(2022/4/1)

過去150万年間の大気中二酸化炭素濃度を解明

発表者：准教授　関　宰

【研究成果の概要】

北海道大学大学院地球環境科学研究院の山本正伸教授、同大学低温科学研究所の関 宰准教授、同大学環境科学院修士課程（研究当時）の土屋優子氏、東京大学大気海洋研究所の大石龍太特任研究員、阿部彩子教授の研究グループは、ベンガル湾堆積物に含まれる植物起源脂肪酸の炭素同位体比[*1]が過去の大気中二酸化炭素変動を表していることに気がつき、新手法として提案するとともに、過去150万年間の大気中二酸化炭素濃度の変動を明らかにしました。

大気中二酸化炭素は地球の気候を決定する重要因子です。将来の温暖化を予測するうえで、二酸化炭素が過去の気候変動にどのように影響したのか、詳細に解明することが必要です。これまで過去の二酸化炭素濃度は、南極の氷を掘削して得られたアイスコアに含まれるガスを分析することで明らかにされてきました。研究グループは、ベンガル湾堆積物に含まれる植物起源脂肪酸の炭素同位体比が、過去の大気中二酸化炭素変動を表していることを、アイスコアの二酸化炭素濃度を比較によって示しました。そしてその関係を利用し、80万年以前の大気中二酸化炭素濃度変動を、初めて高精度・高時間解像度で明らかにしました。

本研究の結果、80万年前以前でも二酸化炭素濃度が陸上氷床体積にほぼ同調して変動していたことが明らかになりました。しかし、予想外に100万年前よりも前の温暖だった時代でCO_2濃度は決して高くはなかったことがわかりました。また、100万年前よりも前の時代では、二酸化炭素が陸上氷床よりも早く変動していたのに対し、80万年前より後の時代では陸上氷床が二酸化炭素よりも早く変動していたこともわかりました。

なお、本研究成果は、2022年4月1日（金）公開の Nature Geoscience 誌にオンライン掲載されました。

【用語解説】

＊1　炭素同位体比 … 炭素は質量数12と13の安定同位体比をもつ。

【論文発表の概要】

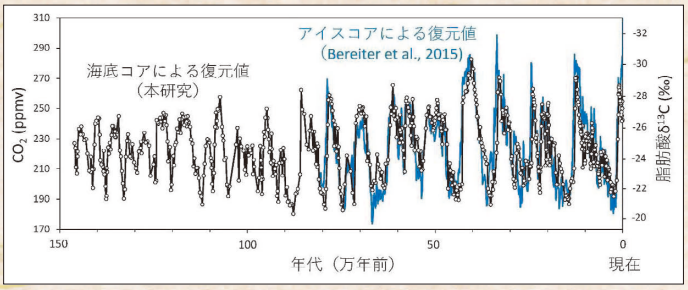
論文名：Increased interglacial atmospheric CO2 levels followed the mid-Pleistocene Transition（堆積物中の葉ワックスから得られた過去146万年間の大気中二酸化炭素濃度の記録）

著者名：山本正伸[1]、スティーブ・C・クレメンス[2]、関 宰[3]、土屋優子[4]（研究当時）、ヨンソン・ファン[2]、大石龍太[5]、阿部彩子[5]（1 北海道大学大学院地球環境科学研究院、2 ブラウン大学、3 北海道大学低温科学研究所、4 北海道大学大学院環境科学院、5東京大学大気海洋研究所）

雑誌名：Nature Geoscience（地球科学の専門誌）

ＤＯＩ：10.1038/s41561-022-00918-1

公表日：2022年4月1日（金）
（オンライン公開）



本研究成果の概要図

Press Release

(2022/4/27)

炭素質隕石から遺伝子の主要核酸塩基5種すべてを検出
～地球上での生命の起源・遺伝機能の前生物的な発現に迫る～

発表者：准教授　大場　康弘

【研究成果の概要】

北海道大学低温科学研究所の大場康弘准教授、海洋研究開発機構の高野淑識上席研究員、九州大学大学院理学研究院の奈良岡浩教授、東北大学大学院理学研究科の古川善博准教授らの研究グループは、最古の太陽系物質である炭素質隕石から、全ての生物のDNA・RNAに含まれる核酸塩基５種（ウラシル、シトシン、チミン、アデニン、グアニン）すべての同時検出に世界で初めて成功しました。

生命誕生前の原始地球上でどのように最初の生命が誕生したのか、という科学における究極の謎について、炭素質隕石や彗星など地球外物質によって供給された有機化合物がその材料となったという説が提唱されています。しかし、生命の遺伝機能を担うDNAやRNAの構成成分、核酸塩基については地球外物質からの検出例が少なく、地球上での初生的な遺伝物質の分子情報や生成機構を含め複素環分子[*1]の多様性に関する基礎情報は、断片的な記載にとどまっていました。

本研究では、独自に開発した高精度な核酸塩基分析手法を駆使して、マーチソン隕石やタギッシュレイク隕石など３種の炭素質隕石から前生物的な遺伝子の候補となる核酸塩基５種すべてを含む18種類の核酸塩基類を網羅的に検出することに世界で初めて成功しました。それら核酸塩基の種類や存在量の分析により、少なくともその一部は太陽系形成前の星間分子雲という環境で生成した可能性が示されました。本成果によって、生命誕生前にも多様な核酸塩基類が地球上に供給されていたことが強く示唆され、始原的な分子進化における最初の遺伝機能発現の過程を読み解く鍵になると期待されています。

なお、本研究成果は、2022年4月27日（水）公開のNature Communications 誌にhighlighting paperとしてオンライン公開されました。

【用語解説】

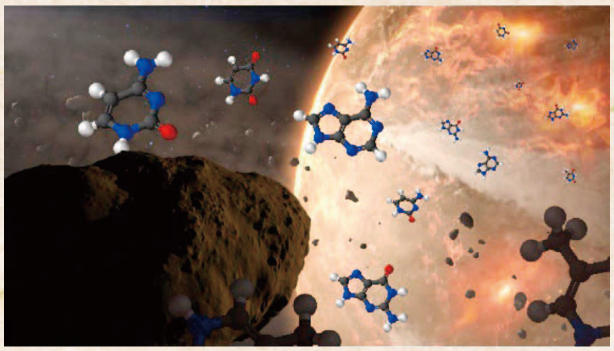
＊１　窒素複素環化合物 … 核酸塩基のように窒素原子が環状化合物の基本骨格の一部を構成する有機化合物のこと。

【論文発表の概要】

論文名：Identifying the wide diversity of extraterrestrial purine and pyrimidine nucleobases in carbonaceous meteorites（炭素質隕石中のプリン・ピリミジン塩基の多様性の発見）

著者名：大場康弘[1]、高野淑識[2]、古川善博[3]、古賀俊貴[2]、ダニエル・グラビン[4]、ジェイソン・ドワーキン[4]、奈良岡浩[5]（1 北海道大学低温科学研究所、2 海洋開発研究機構、3 東北大学大学院理学研究科、4 アメリカ航空宇宙局（NASA）ゴダード宇宙飛行センター、5 九州大学大学院理学研究院）

雑誌名：Nature Communications
ＤＯＩ：10.1038/s41467-022-29612-x
公表日：2022年4月27日（水）（オンライン公開）



隕石による原始地球への核酸塩基の供給に関するイメージ図
（Credit: NASA Goddard/CI Lab/Dan Gallagher）

(2022/5/12)

水／氷の界面に２種目の“未知の水”を発見！
水の異常物性を説明する“２種類の水”仮説の検証に新たな道

発表者：准教授　木村　勇気

【研究成果の概要】

水は、ありふれた存在ですが、特異な物性を示す奇妙な液体であり、多くの自然現象を支配しています。

東北大学多元物質科学研究所の新家寛正助教、北海道大学低温科学研究所の木村勇気准教授、東京大学大学院総合文化研究科 広域科学専攻／附属先進科学研究機構の羽馬哲也准教授と産業技術総合研究所環境創生研究部門の灘浩樹研究グループ長を中心とする研究グループは２年前、水と高圧氷[注1]との界面にできる、通常の水と混ざり合わない高密度な未知の水（高密度水）を発見しています[※]。今回、一般的に知られている氷（氷I_h[注1]）と水の界面に低密度な未知の水（低密度水）ができることを新たに発見しました。高密度水を１種目とすると今回発見した低密度水は２種目の未知の水となります。さらに、この２種類の未知の水の流れやすさを示す物性値（表面張力と粘性の比で表される特徴的速度）を決定することに世界で初めて成功しました。

この成果は、長年にわたる大きな謎である水の特異な物性を説明するために提唱された、“構造の異なる２種類の水が存在する”とする仮説の検証に道を拓くものです。本成果は、アメリカ化学会が発行する The Journal of PhysicalChemistry Letters 誌に５月11日（水）付でオンライン掲載されました。

【用語解説】

注１　高圧氷と氷I_h…高圧氷は、水を加圧することで結晶化する、水に対して高密度な氷の総称。私たちが普段目にする氷とは結晶構造が異なる。私たちが普段目にする氷は氷I_hと呼ばれ、六角柱状の水分子の並びを基本構造としている。

【論文発表の概要】

タイトル：Low- and High-Density Unknown Waters at Ice-Water Interfaces

著者名：Hiromasa Niinomi, Akira Kouch, Tetsuya Hama, Hiroki Nada, Tomoya Yamazaki and Yuki Kimura)

雑誌名：The Journal of Physical Chemistry Letters

ＤＯＩ：10.1021/acs.jpclett.2c00660

公表日：2022年5月11日（水）（オンライン公開）

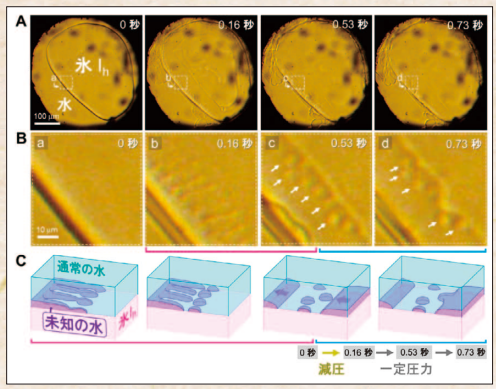


図１　成長する氷 I_h/ 水界面に形成する低密度な未知の水の顕微鏡その場観察像。A：減圧により成長する氷 I_h 単結晶。B：図 A の拡大像。a–d は図 A 中の点線で示された領域 a–d の拡大像。白い矢印は低密度な未知の水の液滴を示す。C：各顕微鏡像の模式図。

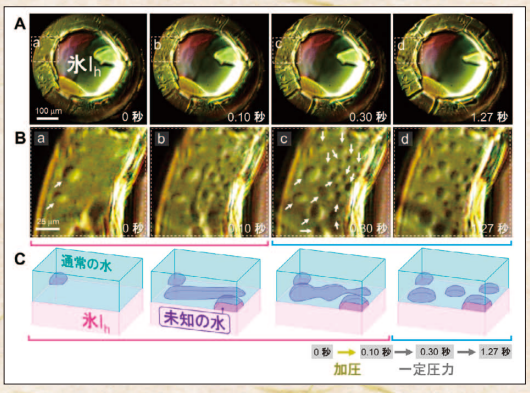


図２　融解する氷 I_h/ 水界面に形成する低密度な未知の水の微分干渉顕微鏡その場観察像。A：加圧により融解する氷 I_h 単結晶。B：図 A の拡大像。a–d は図 A 中の点線で示された領域 a–d の拡大像。白い矢印は低密度な未知の水の液滴を示す。C：各顕微鏡像の模式図。

Press Release

(2022/5/17)

高層大気に見られる夜光雲の形成メカニズムを解明
～新しい理論モデルを用いて夜光雲の形成メカニズムを特定～

発表者：准教授　木村　勇気

【研究成果の概要】

北海道大学低温科学研究所の木村勇気准教授、東北大学大学院理学研究科の田中今日子客員研究員、ノルウェーのトロムソ大学のイングリッド・マン教授は、中間圏[*1]に観測される夜光雲[*2]の形成メカニズムを新しい理論モデルを用いて解明しました。

中間圏では、高度80-90kmの低温度の領域（マイナス130度以下）で夜光雲が頻繁に観測されていますが、これまで中間圏での氷粒子の生成を説明するために２つのメカニズムが提案されてきました。本研究では氷粒子の形成過程を新しい理論モデルを用いて調べることにより、形成メカニズムを特定することに成功しました。本研究の手法は汎用性があり、他の惑星大気の雲の生成を考える際にも適用することが可能です。

なお、本研究成果は、2022年４月28日（木）公開の Atmospheric Chemistry and Physics 誌に掲載されました。

【用語解説】

＊１　中間圏 … 地球大気の高度50-90km付近の領域で、85km付近の温度が地球上で最も低くなる。
＊２　夜光雲 … 中間圏の高度80-90km付近に作られる雲で主に夏の極域地方で見られる。

【論文発表の概要】

論文名：Formation of ice particles through nucleation in the mesosphere（中間圏の核生成による氷粒子の生成）
著者名：田中今日子[1]、Ingrid Mann[2]、木村勇気[3]（1 東北大学大学院理学研究科、2 トロムソ大学、3 北海道大学低温科学研究所）
雑誌名：Atmospheric Chemistry and Physics（大気学の専門誌）
ＤＯＩ：10.5194/acp-22-5639-2022
公表日：2022年4月28日（木）（オンライン公開）

北海道大学低温科学研究所が紋別市のスカイタワーに設置したカメラで撮影した夜光雲

Press Release

(2022/5/24)

海洋深層大循環に激変の兆しを検出
～低密度化により南極大陸縁辺の沈めぬ冷水が大量に中深層へ～

発表者：准教授　青木　茂

【研究成果の概要】

東京海洋大学の嶋田啓資特任助教らの研究グループは、オーストラリア南方の南極海の中深層で水温が下がり、溶存酸素濃度*1が高くなる傾向が広がっていることを見いだしました。これまで、主に氷河・氷床の融解促進により南極海の広い領域で塩分*2が低くなっており、それにより海水の密度*3は低下し、南極底層水の生成量は少なくなっていると考えられていました。南極海で低温な水の沈み込みが弱くなることで全球を巡る深層大循環*4が弱まり、南極海の底層を中心に高温化していることが指摘されていました。今回見いだされた中深層の低温化、高酸素濃度化は低密度化によって底層に沈み込めなくなった低温・高酸素濃度の海水が、より浅い中深層に大量に広がっていることを示しており、深層大循環変貌の実態をさらに包括的に捉えたものと言えます。こうした海の変化の実態は、南極地域観測事業の一環として東京海洋大学の練習船「海鷹丸」により2010年度以降継続して観測した結果を、過去の観測データと併せて解析することで判明しました。今後も南極海の低塩分化、沈み込みの浅化が継続すると、深層大循環の変化に伴い熱や炭素などの輸送が大きく変わり大規模な気候変動をもたらすことが危惧されるため、引き続き海鷹丸の観測を維持し変化の動態を注視していく必要があります。

なお、本研究は東京海洋大学、北海道大学、国立極地研究所、上海海洋大学の共同で実施されました。本研究成果は、日本時間2022年5月19日（木曜）に Communications Earth & Environment 誌に掲載されました。

【用語解説】

＊1　溶存酸素濃度 … 海水の中に溶けている酸素の量のこと。海水1kgの中に溶けている物質量（μmol/kg^3）で定義する。海面で大気から供給されるため、沈み込んでからあまり時間が経っていない海水ほど高い値をとる。

＊2　塩分 … 海水の中に含まれる塩の量のこと。海水１kgのなかに溶けている量のグラム数で定義する。

＊3　密度 … 海水の単位体積当たりの質量のこと。1m^{3}の海水の質量（kg）で定義する。

＊4　深層大循環 … 深さ数千メートルに及ぶ全球規模の海洋循環であり、海水の水温、塩分の違いが決める密度差によって駆動する。なお、海洋には海面で高密度化した水が沈み込むことで形成される様々な循環があり、高密度化の度合いにより沈む層が変わる。最も深く沈む水が南極底層水であり、比較的浅く沈む水として中層水（北太平洋中層水、南極中層水等）等が挙げられる。

【論文発表の概要】

論文名：Shoaling of abyssal ventilation in the Eastern Indian Sector of the Southern Ocean（南大洋インド洋セクター東部における底層への沈み込みの浅化）

著者名：嶋田啓資[1]、北出裕二郎[2]、青木茂[3]、溝端浩平[2]、程霊巧[4,5]、高橋邦夫[6,7]、真壁竜介[2,6,7]、神田穣太[2,6]、小達恒夫[6,7]（1 東京海洋大学船舶・海洋オペレーションセンター、2 東京海洋大学海洋環境科学部門、3 北海道大学低温科学研究所、4 上海海洋大学海洋科学学院、5 上海海洋大学極地研究センター、6 国立極地研究所、7 総合研究大学院大学）

雑誌名：Communications Earth & Environment
ＤＯＩ：10.1038/s43247-022-00445-2
公表日：2022年5月19日（木曜）（オンライン公開）

南極海で観測を行う海鷹丸

■共同研究・研究集会採択課題

令和４年度北海道低温科学研究所共同研究･研究集会は､令和３年12月１日から令和４年１月14日まで公募を行い、審査の結果、下記の課題を採択いたしました。

なお、研究代表者の職名は原則として申請時のものといたしましたことをご容赦願います。

Ⅰ．開拓型研究（採択件数３件）

氏名	所属	職名	タイトル
中井　陽一	理化学研究所 仁科加速器科学研究センター	専任研究員	極低温氷表面での化学物理過程研究の新展開：低エネルギー荷電粒子との相互作用
長尾　誠也	金沢大学環日本海域環境研究センター	教授	陸海結合システム: 沿岸域の生物生産特性を制御する栄養物質のストイキオメトリー
渡邉　友浩	北大低温研	助教	低温水層における真の微生物機能の追究

Ⅱ．研究集会（採択件数 15 件）

氏名	所属	職名	タイトル
岩本　洋子	広島大学大学院統合生命科学研究科	准教授	寒冷圏大気-海洋間の生物地球化学的相互作用に関する研究集会
内田　　努	北大院工学研究院	准教授	氷・水・クラスレートの物理化学に関する研究集会
遠藤　貴洋	九州大学応用力学研究所	准教授	環オホーツク陸海結合システムの冠動脈：対馬暖流系の物質循環
大沼友貴彦	東京大学生産技術研究所	特任研究員	氷河氷床変動に関する現地観測-リモートセンシング-数理モデリング研究の新展開
郭　　新宇	愛媛大学沿岸環境科学研究センター	教授	亜寒帯–亜熱帯域含めた日本周辺の海洋環境科学の統合的理解
木田新一郎	九州大学応用力学研究所	准教授	海洋の統合的理解に向けた新時代の力学理論の構築
近藤　能子	長崎大学	准教授	海洋コンベアベルト終焉部の生物生産・物質循環における北方圏縁辺海の役割評価
佐崎　　元	北大低温研	教授	結晶表面・界面での相転移ダイナミクスに関する理論とその場観察
菅沼　悠介	国立極地研究所	准教授	長期スケールの南極・南大洋変動に関する研究集会
中村　知裕	北大低温研	講師	知床とオホーツク海の海氷-海洋-物質循環-生態系の連関と変動
野原　精一	国立環境研究所	シニア 研究員	雪氷の生態学(16)高地・低温生態系における長期モニタリング研究
平野　大輔	国立極地研究所	助教	氷床-海氷-海洋システムの統合観測から探る東南極氷床融解メカニズムと物質循環変動
平譯　　享	国立極地研究所	教授	南大洋における生物生産・物質循環解明のための鉄観測実現に向けた研究集会
福井　　学	北大低温研	教授	温度軸から捉える微生物科学最前線
古市　尚基	水産研究・教育機構水産技術研究所	主任研究員	海洋乱流の観測およびモデリングに関する研究集会

Ⅲ．一般研究（採択件数 35 件）

氏名	所属	職名	タイトル
伊川　浩樹	農業・食品産業技術総合研究機構	主任研究員	耕地生態系と大気環境の相互作用の解明
石川　雅也	東京大学大学院農学生命科学研究科	特任研究員	植物由来の新規氷核活性物質の氷晶形成機構の解析
泉　　洋平	島根大学生物資源科学部	准教授	凍結耐性鱗翅目昆虫における体液の氷結晶成長抑制に関する研究

稲垣　厚至	東京工業大学	助教	格子ボルツマン法を用いた都市気流の大規模計算と物質拡散
今井　　剛	山口大学大学院創成科学研究科	教授	中温メタン細菌及び中温水素生成細菌の低温適応可能性とその適応機構
梅澤　和寛	静岡県立大学	助教	融雪期の湿原におけるメタン動態とメタン代謝微生物の寒冷地適応の解明
大島　　泰	国立天文台	助教	グリーンランド氷床からの超広視野サブミリ波宇宙探査観測の実現
大場　康弘	北大低温研	准教授	超微量有機物の化学分析拠点の構築II
梶田　展人	弘前大学理工学部	助教	「千葉セクション」から始める房総半島のバイオマーカー古環境研究
金子　文俊	大阪大学理学研究科	准教授	昆虫体表脂質の炭化水素組成と構造・物性の相関に関する研究
栗田　直幸	名古屋大学宇宙地球環境研究所	准教授	氷床中の宇宙線生成核種を使った太陽粒子嵐の復元
小林　秀樹	海洋研究開発機構	グループリーダー代理	野外観測と陸面モデルによる永久凍土融解と北方林の温室効果ガス交換過程の解析
斉藤　和之	海洋研究開発機構	主任研究員	南半球陸域における凍土状況と気候の変動
佐藤壮一郎	京都府立大学生命環境科学研究科	講師	冬季の常緑樹における光合成関連遺伝子の発現制御機構の解明に向けて
佐藤　正英	金沢大学EMI	教授	異種分子の存在が引き起こす結晶成長界面での不安定現象の解明
下西　　隆	新潟大学	助教	中間温度帯の星間氷試料に対する紫外線照射実験
澄田　智美	海洋研究開発機構	副主任研究員	生態系及び代謝経路解析に用いられるアミノ酸解析技術の高度化と新規解析基盤構築
高崎　和之	東京都立産業技術高等専門学校	准教授	積雪自動計測システムの機能向上に関する検討
高橋　庸哉	北海道教育大学札幌校	名誉教授	大気中で適用し得る雪結晶の形と成長条件ダイアグラムの確立（鉛直過冷却雲風洞実験）
竹腰　達哉	北見工業大学	助教	ミリ波サブミリ波分光撮像観測に基づく星間物質進化の研究
中川　達功	日本大学生物資源科学部	教授	寒冷域アマモ根圏のアンモニア酸化アーキアの活性酸素に対する抗酸化作用の解明
中野渡拓也	水産研究・教育機構水産資源研究所	主任研究員	オホーツク海における高解像度海氷・海洋低次生態系モデル開発研究
中村　和樹	日本大学工学部	准教授	東南極における定着氷・棚氷による氷河流動の抑制
庭野　匡思	気象庁気象研究所	主任研究官	次世代日本域気象・積雪モデルの開発と検証
野村　大樹	北大北方生物圏フィールド科学センター	准教授	南極の海氷および氷河の融解が海洋炭酸系に与える影響の評価
濱田　　篤	富山大学学術研究部都市デザイン学系	准教授	雪崩災害予測のための降雪粒子自動観測および気象モデルとの比較
原田鉱一郎	宮城大学食産業学群	准教授	北海道における土壌の最大凍結深の分布の把握
冨士　泰期	水産研究・教育機構水産資源研究所	研究員	アミノ酸安定同位体比によるサンマを中心とした生態系構造の時空間変化の解明
藤田　耕史	名古屋大学環境学研究科	教授	ヒマラヤのアイスコア分析による鉱物粒子沈着量と大気循環の変動復元
堀　　彰	北見工業大学	准教授	グリーンランド南東ドーム浅層コアの密度測定に基づく年間涵養量の推定
堀内　一穂	弘前大学大学院理工学研究科	准教授	グリーンランド南東ドームアイスコアの超高解像度宇宙線生成核種分析
美山　　透	海洋研究開発機構	主任研究員	海底地形と渦がつくる亜寒帯特有の循環形成と変動メカニズムの理解
本山　秀明	国立極地研究所	教授	ドームふじ深層掘削孔の検層観測への追加デバイスの提案
山田　芳則	釧路大学	教授	氷相バルク微物理モデルの再検討及び降雪粒子観測とレーダーデータによるモデルの評価
渡邊　美穂	秋田県立大学	助教	北海道 - 東北地域の油ガス田微生物生態系の解明と環境資源技術への適用

NEWS

■人事異動（令和３年 10 月２日から令和４年４月１日まで）

異動日	異動内容	氏　名	職　名	備　考
R3.10.18	採　用	XING DAOCHAO	学術研究員	
R3.10.31	任期満了	XING DAOCHAO	学術研究員	
R3.10.31	辞　職	NGUYEN HOANG PHUONG THANH	博士研究員	
R3.10.31	辞　職	新　家　寛　正	非常勤研究員	
R3.11. 1	採　用	K.W.P.BETHMINI SENEVIRATHNE	技術補助員	
R3.11.30	任期満了	山　内　彩加林	学術研究員	
R3.12. 1	昇　任	西　岡　　純	教　授	
R3.12. 1	採　用	山　内　彩加林	助　教	
R4. 1.31	辞　職	K.W.P.BETHMINI SENEVIRATHNE	技術補助員	
R4. 2. 1	採　用	小　泉　淑　子	技術補助員	
R4. 2.28	辞　職	北　島　謙　生	博士研究員	
R4. 3.31	定年退職	香　内　　晃	教　授	
R4. 3.31	任期満了	W.M.C.SAMEERA	特任助教	
R4. 3.31	任期満了	中　田　和　輝	博士研究員	
R4. 3.31	任期満了	澁　谷　未　央	学術研究員	
R4. 3.31	任期満了	小　泉　淑　子	技術補助員	
R4. 4. 1	転　出	北　原　友　梨	一般職員	総務企画部人事課人材育成担当へ
R4. 4. 1	転　入	齊　藤　花　依	一般職員	学務部学務企画課総務担当から
R4. 4. 1	採　用	佐　伯　　立	博士研究員	
R4. 4. 1	採　用	GUCSIK ARNOLD	特任准教授	
R4. 4. 1	採　用	張　　振　龍	博士研究員	
R4. 4. 1	採　用	SIMU SHARMINE AKTER	学術研究員	
R4. 4. 1	採　用	澁　谷　未　央	非常勤研究員	

編❄集❄後❄記

▶春を迎えた北海道から海と氷の豊富な話題をお届けします。（山口）
▶地球の気候は、海洋、大気、陸域、雪氷、生物など多くの要素が絡み合って維持されています。もちろん人類も ...（渡辺）
▶今号の Research 記事は、極域や環オホーツク域に関する研究が盛り沢山となりました。低温研らしい研究成果の数々をお楽しみください。（日髙）
▶今号も低温研らしい研究の魅力をボリュームいっぱいに詰めてお届けできたと思います。個人的には記事執筆と編集という異なる視点で新たな気づきもあり、とても勉強になりました。（宮崎）

低温研ニュース第53号
（北海道大学低温科学研究所広報誌）
発行人：低温科学研究所長
編　集：低温研広報委員会
（山口　良文、渡辺　力、日髙　宏、宮崎　雄三、事務部総務担当）

ご意見、お問い合わせ、投稿は下記まで
〒060-0819　北海道札幌市北区北19条西8丁目
TEL：011-706-5445　　FAX：011-706-7142

●低温研ニュースは本研究所ウェブサイトでも公開しております。
https://www2.lowtem.hokudai.ac.jp/research.html#6