北極環境研究若手研究者派遣支援事業

若手研究者派遣報告

前号に続き北極環境研究若手研究者派遣支援事業に参加、帰国した三人の報告を紹介します。

12月のカナダ　松野孝平（国立極地研究所/北海道大学）

2014年9月にカナダ沿岸警備砕氷船アムンゼン号に乗る機会があり、そこで北極海洋生態研究の権威であるLouis　Fortier博士と知り合うことができました。12月にオタワで開催された国際学会Arctic change conferenceに行くことは決めていたので、せっかくならそのまま博士のいるラバル大学に滞在したいと思い、若手研究者派遣支援事業に応募することにしました。

無事に採択されましたので、12月初旬にオタワに向かいました。当然ですがオタワは寒く、会場の前の川が凍りついていました。しかし、夜になるとそこらじゅうが綺麗に電飾されて、その光が白い雪に映り幻想的な雰囲気を演出していました。学会では口頭発表でアドバイスを頂いたり、様々な講習を受けたりと良い経験になりました。

その後、ケベック市にあるラバル大学に2週間ほど滞在しました。大学は冬休みに入っていたので、構内は静かで、研究室にも学生が2-3人しかおりませんでした。休み前だったからかもしれませんが、Louis博士を始めとして皆さんが生き生きと研究をしていたことが印象的でした。研究としては、アムンゼン航海中に仲良くなった研究室のメンバーと相談し、2014年のアムンゼン航海で採集した動物プランクトン試料の解析を行いました。使わせてもらった顕微鏡やシャーレなどの道具が普段使っているものと違っていたので、最初少し戸惑いましたが、問題なくデータを取ることができました。今回の派遣で得られたデータは、まだまだこれから解析する必要がありますが、私が採集した試料のデータと比較し、研究成果につなげたいと思います。

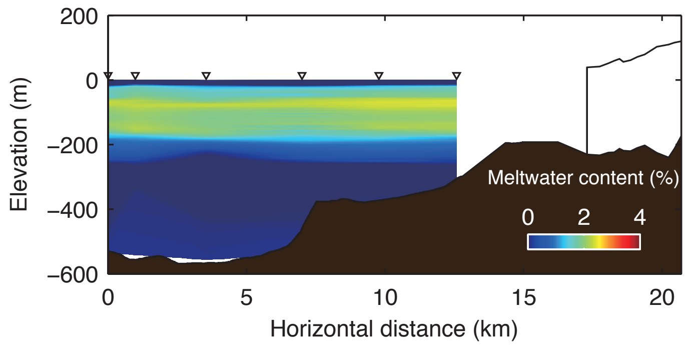
動物プランクトン試料の解析で使った顕微鏡と実験器具（写真：松野）

カービング氷河と海洋・湖の相互関係　箕輪昌紘（北海道大学）

昨年12月から2月までの3ヶ月間、一年の中で最も暗く、寒い時期（氷点下40度!）にアラスカ大学フェアバンクス校地球物理研究所の氷河グループに滞在しました。滞在先のグループには、若手から著名な氷河研究者まで多くの方々が在籍しており、日々活発な議論を耳にしました。いつも研究の参考にしていた論文の著者達と議論ができたことは、とても刺激的な経験でした。

現在、世界のカービング氷河（末端が海や湖に浸かった氷河）は、通常の氷河よりも急速に縮小しています。その原因の一つとして、温暖化した海や湖による氷河融解の加速が提案されています。北海道大学の氷河氷床グループに所属する私は、グリーンランドやパタゴニアの海や湖で現地観測を実施してきました。これらの観測で得たデータの解析を、カービング氷河の研究をリードするアラスカ大学で進めることが、今回の訪問の目的です。フィヨルド内で測定した海水特性を解析した結果、海水中に含まれる氷河融解水の割合が明らかとなりました（下図）。今後は、水中での氷融解がカービング氷河の変動にどのような影響を与えているのか、解明したいと考えています。

有意義な時間を提供して頂いた受入れ教員のMartin　Truffer教授、暖かく接してくれた氷河グループのみなさん、どうもありがとうございました。



グリーンランド北西部ボードイン氷河の断面図。海水中に含まれる氷河融解水の割合を示す。

カナダでの滞在を通して　星一平（新潟大学）

私は今回の派遣支援を受けてカナダのマニトバ大学に３ヶ月間滞在しました。滞在中は2つの国際学会にも参加し、派遣期間中の研究成果を含めてポスター発表をしてきました。本派遣期間中は、多くの研究者と議論し有益なアドバイスを受けることができました。

くまのプーさんのもととなったWinnie-the-pooh
(ウィニペグ,アシニボイン公園にて／写真：星)

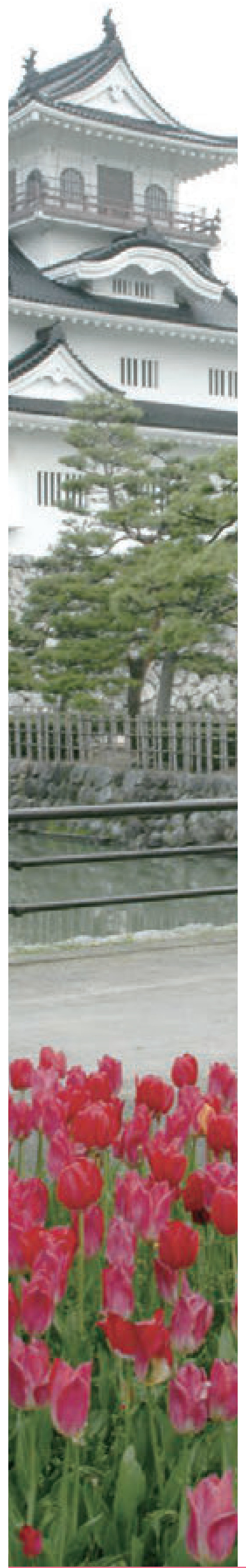
私は気象学的な視点から、北極域の海氷域変動と北米・ユーラシア気候との関係、またそのプロセスを調べています。派遣先の研究グループは、気象学はもとより海洋学や化学、生物学などの視点から北極気候について研究を行っていました。学外の研究者を招いたセミナーも頻繁に開催され、非常に興味深いさまざまな分野の北極研究に触れることができました。

カナダのマニトバ州付近は私の研究対象地域でもあります。近年の海氷域変動により冬に低温化することが示唆されていますが、平年値としても冬は非常に寒く最低気温は-30℃をも下回ります。11月から1月までの真冬の時期に滞在した私は、データ解析から数字でしか知らなかったカナダの気候を肌で感じることができました。

また、カナダの住宅街には野生のリスが生息しており、ある公園では野生のトナカイを見ることができました。真冬になると、凍った川がスケートリンクになりました。滞在中は、カナダならではのとても貴重な体験もすることができました。

おもてなしキャッチコピー

とやま
きときと
ほっきょく
きらきら
ASSW2015



ASSW 2015 Toyama
Arctic Science Summit Week

ASSW 2015 富山市で開催

ISAR-4フォトセッション

北極科学サミット週間（ASSW）2015は、国際北極科学委員会（IASC）主催、日本学術会議との共同主催で、平成27年4月23日から30日まで、富山国際会議場（富山市）で世界26の国と地域から708名の参加のもと開催され、大盛会のうちに終了しました。ASSWは北極科学に関する世界最大のイベントであり、日本では初開催です。次のASSWは来年3月にアラスカ・フェアバンクスで予定されています。

IASCカウンシル会場

●国際北極科学委員会関連会合　4月23日（木）～25日（土）

各分野での今後の研究課題や北極研究の推進に関する議論のみならず、北極における科学研究の社会への貢献のあり方や、重要性の高い研究課題を国際協力により推進する方策などの議論が活発に行われました。

●第4回国際北極研究シンポジウムおよび第3回国際北極科学計画会議（ISAR-4・ICARPⅢ）
4月27日（月）～30日（木）

10年に一度、将来的な研究課題を検討する第3回国際北極研究計画会議(ICARPⅢ)と、隔年で行われている科学シンポジウム第4回国際北極研究シンポジウム（ISAR-4）が合同で開催されました。初日には、名誉総裁をお引受けいただいた高円宮妃殿下をお迎えして開会式が行われました。妃殿下からは北極研究への期待のお言葉を賜り、また安倍晋三内閣総理大臣からのメッセージも披露されました。27の科学セッションを通じて自然科学だけではなく人文・社会科学からも発表や議論が活発にあり、最終日には今後の国際的な北極研究の方向性を示す声明が出されました。本事業からはA1セッションで口頭発表11件、ポスター発表24件がありました。

セッションの様子

ポスター発表

バンケットのアトラクション

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

情報・システム研究機構　国立極地研究所
2015年6月30日発行

GRENE北極気候変動研究事業
www.nipr.ac.jp/grene/

No.6

北極通信

北極海航路の利用へ向けて

島田浩二／東京海洋大学 准教授

北極海航路の利用の可能性を探るうえで考えなければならないのは、海氷変動の実態とその分布がどうなるのかを知ることにあります。

北極海では、昔から夏に海氷が融け、冬に海氷が生成されるサイクルが繰り返されています。「海氷融解量」と「海氷生成量」が同じであれば、年平均すれば海氷変動は起こりません。近年の海氷減少を考えるにあたって、「海氷融解」に加えて「海氷生成」の変化に注目する必要があります。北極海に浮かぶ海氷は海水が凍ってできたものなので、どれだけ氷ができるかは、「大気側からの冷却」と「海水がどれだけ温かいのか」で決まります。

北極海航路は、北極海沿岸域付近にあります。北極海全体の海氷面積減少と北極海航路上の海氷の有無は必ずしも連動しません。その理由は、海氷が厚く成長する過程として、「海氷の積み重なり」というプロセスもあるからです。海氷が海岸線に向かって動き、陸に阻まれ積み重なってゆくところで「海氷の積み重なり」が起きます。北極海航路予測で難しい点は、局所的にでも氷で塞がると通れなくなる場所があるかないかを予測することにあります。ひと夏の加熱で融けきれるほどの厚さの氷であっても、1 枚が重なって 2 枚になれば、さらに重なれば夏の終わりまで残存することも可能になります。人工衛星観測のデータだけでは、海氷の表面の状態しか分からず、どれだけ積み重なっているのか判別できません。そこでそれらの氷がどんな場所を通って積み重なりを受けたものなのか、海氷の漂流軌跡を逆追跡して調べてみました。すると、積み重なりを多く経験した海氷ほど、遅くまで残ることが分かりました。この方法を用いることにより、春の段階で、夏までにどのくらいの氷が融けていくのか推定できることが分かりました。

カナダ砕氷船ルイ・サンローラン号（写真・舘山一孝）

海氷減少をもたらすもの

島田浩二／東京海洋大学　准教授

北極海の海氷減少は空間的に一様ではなく、大西洋側北極海ではメキシコ湾流の末裔である大西洋水が入る周辺海域での減少が顕著です。詳しくは、後述の数値モデルによる研究紹介をご覧ください。一方、太平洋側では、温かい太平洋夏季水が分布するベーリング海峡北部の海域での減少が顕著です。太平洋夏季水は、海氷下の約 100m深までに分布しており、風と海氷運動によって引き起こされる海洋循環により北極海内部に運ばれています。海洋循環が強くなると、運ばれる熱が増え、凍りにくい海の状態になり海氷は減少すると考えられます。逆に海洋循環が弱くなると、海氷は増えると考えられます。本プロジェクトの現場観測は 2012 年に開始されましたが、同年の 9 月には衛星観測開始以降の最小海氷面積の記録が更新されました。2013 年以降、2012 年の海氷面積を下回ることは起こっていません。海洋の熱変動が海氷変動を担うのではという仮説が真であるのならば、海洋循環をもたらす海氷運動が小さくなり、海は冷たくなっていなければなりません。太平洋側北極海の海氷運動、海氷温度を継続的に調べたところ、この仮説に従って海氷が変動していることが分かりました。本プロジェクトでは、さらに、風 / 海氷運動、海洋循環、海氷は同時に変動するのではなく、時間差をもって変動していることが分かりました。

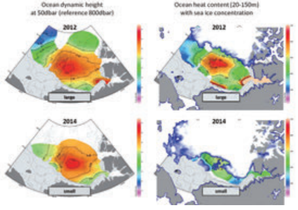


図 1（左）2012 年と 2014 年の時計回りの海洋循環。天気図と同じく等値線に沿った流れで、流れは、等値線が混んでいるところの方が大きい。（右）2012 年と 2014 年の海洋貯熱量と 9 月の海氷分。

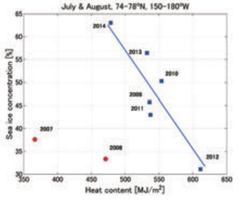


図 2　海洋の貯熱量（20-150m）[74-78oN, 150-160oW] と 7～ 8 月の海氷被覆度（%）[74-78oN, 150-180oW] の関係。直前の冬にできた一年氷が主体となった 2009 年以降、夏の海氷被覆度は海洋の貯熱量に左右されている。2007 年と 2008 年は、突発的な海洋熱輸送が起こったため、他の年とは異なる。

莫大な量の水が動く海洋循環というものは、長い時間をかけてできます。今、そこにある北極海の海洋循環は、過去どれぐらいに渡る期間の海氷運動や風の影響でできているのか、北極海内部に温かい海水が辿りつくまでにどれだけの時間がかかるのかが重要になります。北極海の海氷循環は、海をこする風による海氷運動に遅れること約 3 年で応答することが分かりました。そして北極海中央部に温かい水が到達するまでに、さらに約一年を要することが観測から明らかになりました。

近年、海氷の動きが最も大きかったのは 2008 年で、その 3 年後の 2011 年に海洋循環の強さが最大になりました。そして、その一年後の 2012 年に温かい水が北極海内部に到達し、海氷最小面積になったことが分かりました。2009 年以降、海氷の動きは 2008 年を上回っていません。2009 年 +3 年 +1 年＝2013 年となりますが、2013 年以降、海の温暖化も止まり、海氷が回復したことも矛盾なく説明できます。本課題のテーマは「海氷予測」ですが、「のろまな海の性質」から、前年の海洋の状態が分かっていれば、今年の海の状態がおおよそ把握でき、これを数値シュミレーションを用いた予測に入れ込んでやれば、より確実性の高い予測が可能になると考えられます。

北極海の海氷融解プロセスの変化について紹介したいと思います。6 月になると、地球上で一日当たりの日射が最大になるのは、赤道ではなく北極海になります。その大きさは、約 1 平方メートルあたり約 400W にも達します。1 平方メートルごとに電気ストーブを北極海に渡って並べて置いた状況を想像すると分かりやすいかと思います。そんなに温められたら、北極といえども海氷は融け始めます。また、海氷の表面は平坦ではなく凸凹があります。まず、海氷の上に積もった雪が解けて、凹部に融解水が溜まっていきます。水溜りになれば、白色から暗い色に変わり、日射がどんどん吸収されて海氷融解が進みます。長年北極海に足を運んでいると、この海氷融解の進み方に大きな変化が起こっていることに気付きました。昔は、水溜りが深くなって海氷融解が進んだのですが、最近は水溜りが広がって海氷融解が進んでいる点です。もし塩分のない淡水の場合、水温約 4℃で密度が最大になります。海氷上の水溜りの温度は氷自体が器になっているので、温まってもせいぜい 1℃ぐらいです。温められた水ほど水溜りの底に沈んで行って氷の融解が起こるので、面積はあまり変化しません。これが古くて厚い氷に覆われた時代の北極海の状況です。最近は、直前の冬にできたばかりの一年氷が北極海の大部分を覆う状況になっています。海水から海氷ができるときに、海氷中の塩分が排出されるしくみがあり、海氷と海氷の間に排出された塩分が集まる隙間ができます。一年氷はこの隙間が残った氷となります。そのため、夏になり氷が温められると、隙間から海水が浸み込みやすくなるのです。余談ですが、昔の北極海氷の主人公であった多年氷とは、夏を越した氷のことを言います。夏を越すときに表面融解した水で、氷の中の隙間が埋められ、冬、これが再結氷すると隙間のない氷になります。その大きさは、約 1 平方メートルあたり約 400W にも達します。一年氷がスポンジならば、多年氷はガラス板のようなものと考えていただけると分かりやすいかと思います。スポンジのような一年氷の場合には、海水がジワジワと浸み込んでくるので、海氷の上にある水溜りには大きな塩分成層ができます。温められた水溜りの上の方の水は塩分が低く、温められても大きな密度にならず、表面近くに留まることになります。そのため先ほどとは逆に水溜りの上部で最も温かくなり、縁にあたる部分の海氷が融けてゆくことになります。海氷融解は水溜りの面積を拡大するように起こり、面積が拡大すれば、さらに太陽光を吸収して融解は速度を増し、白い水が黒い水に置き換わってゆきます。黒い水の部分が拡大すると海氷盤の強度は著しく低下し、低気圧の襲来など、ちょっとした揺さぶりで簡単にボロボロになり、消滅してしまうのです。これが、近年の海氷減少速度の速さの原因の一つだと考えています。

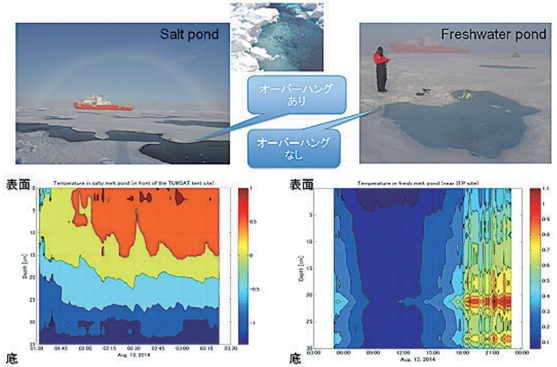


図 3　海水が浸み込んだ水溜りとほぼ淡水のままの水溜りの違い。下段は、水溜り内部の水温。

数十年後の海氷分布は・・・

高精度な予測実現に向けて（長期予測）

川崎高雄／国立極地研究所（東京大学）特任研究員

北極海の海氷分布の数十年先の予測を高精度で実現するためには、北極海の気候をよく再現する予測数値モデルの構築が必要です。海氷分布に影響を与える気候の構成要素として、地球温暖化に代表される変動の大きい大気に加えて、熱を多く含む海洋が挙げられます。北極海で最も多くの熱を有するのは大西洋からやってくる海水（以下、大西洋水）です。

近年、北極海では大西洋水の温暖化が観測されており、その熱の海氷に対する影響を知ることは、北極海の海氷の将来を予測するためには必要不可欠です。私たちサブ課題「北極海氷海洋システムの基本構造と変動に関する観測モデリング融合研究」では、海流や海氷の分布を求めるためのコンピューターシミュレーションを行うことで、大西洋水の海氷に対する影響の評価を行っています。北極海航路が将来どれくらい利用可能になるかのカギとなり、北東航路の中で最後まで海氷が残っているために船が通過することのできないラプテフ海に着目してシミュレーションの結果を紹介します。

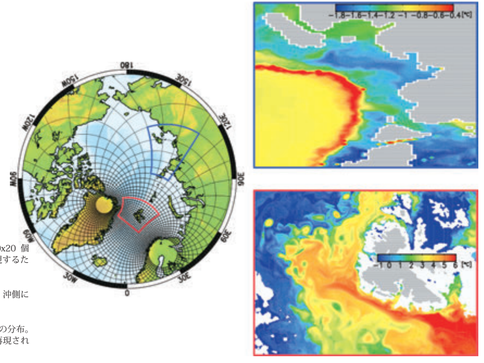
次ページの右上図はラプテフ海とその周辺の海底での水温の分布を示していますが、沿岸から遠く離れた海域で、先ほど述べた高温の大西洋水がよく再現されていると同時に、近年における大西洋水の温暖化もよく表現できました。これは右下図の大西洋から北極海への高温水の流入口にあたるフラム海峡を細かく表現したことによります。観測ではこの高温な大西洋水が北極海航路にあたる陸に近い海域にまで到達していることが明らかにされていますが、シミュレーションでは観測でみられるほど顕著な高温水の到達は再現できていません（右上図）。この原因として、

(1) 海洋渦

(2) 短期間で局地的な風の変化

(3) 海洋潮汐による上下方向の混合と潮流

の 3 つの現象による外洋から陸に近い海域への高温な海水の輸送が、私たちが行った世界最先端のシミュレーションにおいてさえ表現されていないことが挙げられます。北極海の海氷分布の将来予測の精度を向上させるためには、これらの問題点をひとつずつ解決していくことが重要で、高解像度化や海洋潮汐の導入によってより正確なシミュレーションの実現が見込まれます。



左図：黒線で示したのは海洋シミュレーションを行なった数値モデルの格子（20x20 個単位）。私たちが行ったシミュレーションでは大西洋水の北極海への流入を再現するために、フラム海峡付近で比較的細かい格子サイズに設定。

右上図：ラプテフ海（左図の青い太線で囲まれた部分）の海底での水温の分布。沖側に高温な大西洋水が見られるが、陸の近くまでの高温水の輸送は十分ではない。

右下図：フラム海峡（左図の赤い太線で囲まれた部分）の深さ 200m での水温の分布。フラム海峡付近を高解像度に設定したので、大西洋水の北極海への流入がよく再現されている。

北極海氷の予測と最適航路の探索

（中期予測）

木村詞明／国立極地研究所（東京大学）特任研究員

図 1：昨年 5 月末にウェブで公開した第一報。この後、6 月に第二報、7 月に第三報を出し、予測を修正していった。

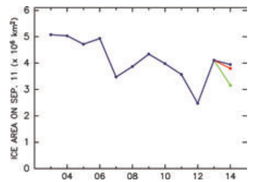


図 2：2003 年から 2014 年までの北極海の最小海氷面積（緑線）と、昨年の第一報（緑線）、第二報（赤線）での予測値。第一報では現実よりかなり小さい面積を予測していた。

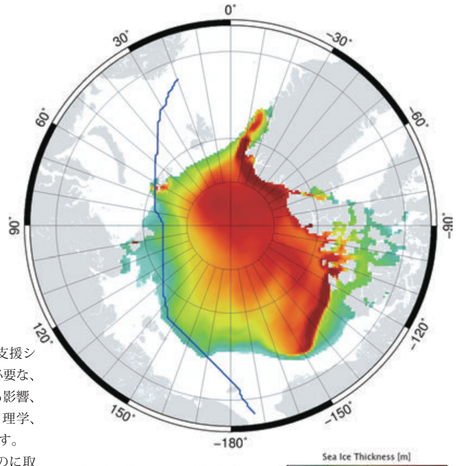


図 3：2011 年 10 月 24 日の海氷の厚さのモデル計算値と、それをもとに選定された最適航路の例（青線）。船の砕氷能力を考慮し、薄い海氷の領域を通過する航路が選ばれている。

サブ課題「北極航路利用のための海氷予測および航行支援システムの構築」では、北極海を航路として利用するために必要な、海氷モニタリング、海氷予測、氷海の航行時に船舶が受ける影響、氷海での最適航路の決定手法、航行の経済性評価など、理学、工学、社会科学にまたがる広い分野の研究をすすめています。

この中の海氷予測については、中期のものと短期のものに取り組んでいます。中期予測では氷の少なくなる夏季（7 月から 9 月）の海氷の状況を 5 月までに予測します。海氷の分布は気象条件（風や気温、雲量など）に大きく左右されますので、その予測のためには気象予測が必要です。しかし、夏までの気象を春に予測することはほとんど不可能です。そこで、私たちは春の時点での海氷の厚さに注目しました。海氷の厚い場所では氷が残りやすく、逆に薄い場所では早く融けると考えられるからです。次の問題は、海氷の厚さのデータが十分にないということです。海氷の広がりは人工衛星によって毎日モニタリングされていますが、海氷の厚さを衛星データから知ることは簡単ではありません。まさに今、私たちのサブ課題でもその手法について研究をすすめているところです。予測では、厚さの代わりに冬から春にかけての海氷の動きに注目しました。この間に海氷が密集していく海域では、海氷どうしが重なり合って厚くなり、発散していく場所では、開いた海面でできた新しい海氷の割合が多くなり薄い海氷になります。このような考えのもとに行った昨年の予測（図 1）では、航路の開通日やロシア側海域での海氷域の縮小の様子を、かなり高精度に予測することができました。一方で、カナダ側海域では予測よりも多くの海氷が残り、そのため北極海全体の最小面積も予測ほどは小さくなりませんでした（図 2）。これはカナダ多島海沖にある厚い多年氷を考慮できていなかったことが原因だと考えられます。その後の解析によって、人工衛星のデータから推定した 12 月の海氷厚を考慮することで、この弱点を克服できることが分かりました。今年は、改良した手法を使ってより高精度の中期予測、さらに海氷の厚さを予測することも目指しています。これらの予測結果は国立極地研究所の Arctic Data Archive System でも公開予定です。

このほか、数値モデルを使った 1 週間程度まで先の短期の海氷予測をすすめています。解像度 2.5km の細かいモデルを使うことによって、海氷が融けるときに発生する渦なども再現可能になり、誤差 10 から 20km 程度で海氷の分布が再現できるようになりました。

さらに、このようにして予測された海氷分布、またはモニタリングされた海氷の現況をもとに、船が航行するのにもっとも適したルートを探す研究もすすめています。最適なルートは船の能力によって変わります。また、予測される海氷状況の精度（不確かさ）も状況によって異なります。それらを考慮しながら、安全性と所要時間を計算し、航路を探索する手法を開発中です（図 3）。