



環境技術等研究開発推進事業費補助金
北極域研究推進プロジェクト（ArCS）
平成 27 年度成果報告書

平成 28 年 5 月 30 日

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

国立研究開発法人 海洋研究開発機構

国立大学法人 北海道大学

目次

北極域研究推進プロジェクト（ArCS）平成 27 年度成果報告書

・全体概要	2
・国際連携拠点の整備メニュー	9
・若手研究者派遣による人材育成及び国際連携メニュー	11
・国際共同研究の推進メニュー	
－気象・海氷・波浪予測研究と北極海航路支援情報の統合	12
－北極域環境における多圏相互作用の実態解明と気候予測への応用	20
－グリーンランドにおける気候・氷床変動の研究	28
－北極気候に関わる BC 等エアロゾルの動態・発生源と雲・放射影響	32
－北極域における温室効果気体の動態解明と収支評価	41
－北極生態系の生物多様性研究	49
－北極域データアーカイブシステム	53
－北極海洋環境気候変動	57
－温暖化と酸性化が北極海の動・植物プランクトンに与える影響の評価	66
－環北極気候変動の長期時間スケール予測	70
－BC&メタンの全球および北極域における収支・輸送過程のアセスメント	76
－環境変動と人為的インパクトに対する北極海生態系の反応メカニズムの解明	81
－北極域における氷床氷河－海洋相互作用	89
－北極の人間と社会：持続的発展の可能性	99
・AC 等北極関連会合への専門家派遣メニュー	104

平成27年度 北極域研究推進プロジェクト (ArCS) 成果報告書 (全体概要)

プロジェクトディレクター

国立極地研究所・海洋研究開発機構 深澤 理郎

サブプロジェクトディレクター

国立極地研究所 榎本 浩之

海洋研究開発機構 河野 健

北海道大学 齊藤 誠一

平成27年度北極域研究推進プロジェクト (ArCS) の成果等について、以下のとおり報告します。

1. プロジェクトについて

北極域研究推進プロジェクト (ArCS) は、平成23年度から国立極地研究所を中心として実施された GRENE 北極気候変動研究事業の後継プロジェクトとして、平成27年9月からスタートした。ArCS は、急変する北極域の気候変動の解明と環境変化、その社会への影響を明らかにし、持続可能な北極の利用等諸課題について適切な判断を可能とする精度の高い将来予測や環境影響評価等を行うなどして、科学的な成果をあげ、さらにその成果を広く社会に発信していくことを目的とする。国立極地研究所が代表機関を努め、海洋研究開発機構及び北海道大学を副代表機関として後述する運営体制により実施される、我が国の統合的な北極研究プロジェクトである。

ArCS は GRENE 北極事業の取組・成果を引き継ぐものであるが、GRENE 北極事業とは異なる ArCS の特色として、国際共同研究の推進の他に国際連携拠点の整備や AC 等国際会議への専門家の派遣を実施メニューに取り入れた。また、GRENE 北極事業でも行った若手研究者海外派遣についてもメニューとして実施し、北極域研究のための基盤整備と人材育成を含めた包括的な取組を推進していくこととした。研究面では、人文・社会科学分野をテーマのひとつとしたことも特色である。北極の環境変化に関する科学的情報を重要かつ有用なものとして社会に提供していくという目的を果たしていくため、人文社会科学分野と自然科学分野の研究テーマとが連携し、得られた成果を社会に向けて効果的に発信していくこととしている。

2. 運営体制

(1) 事業開始時の体制

上記1.の目的に向けた事業実施のため、ArCSでは全体を総括するプロジェクトディレクター (PD) を置くとともに、PDを補佐し、各機関が担当するメニューを掌理するサブプロジェクトディレクター (SPD) を置き、各メニューを統括する実施責任者 (PI) をそれぞれ置いた。また、運営面での重要事項を審議・決定するため、PD、SPDを委員とする運営委員会を設置するとともに、同委員会の要請に基づき、社会的課題・ニーズ等の視点から事業運営を検討し、助言する評議会を設置した。

これらの会議、及び実施するメニューの庶務に対応するため、事務局は3機関の共同事務局とし、極地研を中心として事業の事務的処理にあたることとした。

このような体制の下、ArCSでは「国際連携拠点の整備」、「若手研究者海外派遣」、「国際共同研究の推進」、「AC等北極関連連合会への専門家の派遣」の各メニューを推進していくこととし、「国際共同研究の推進」についてはさらに14の研究メニューに整理し、それぞれにPIを置いた上で、14メニューを5つの研究分野に区分し、当該分野を横串的にとりまとめる研究分野代表者 (FP) を設置した。(図1)

(図1)



(2) 体制の見直しについて

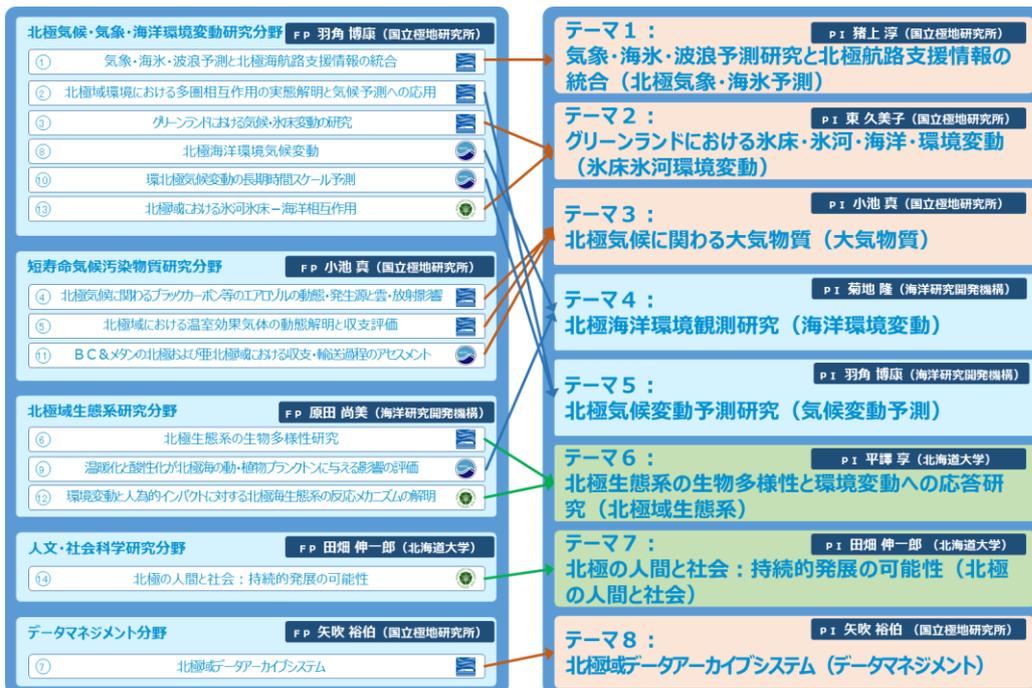
上記(1)の運営体制により事業が開始された後、平成27年度においては、次年度以降に事業をより効率的・効果的に推進していく観点から、運営体制の見直しを行った。具体的には、それまで5つの分野となっていた国際共同研究の14メニューを8つのテーマへと再編し、成果発信の観点からコーディネーター(CDN)を設置するとともに、事業運営体制のガバナンス強化の観点から新たに国際助言委員会(International Advisory Board: IAB)を設置することとした。

見直しの背景としては、(1)の体制によりプロジェクトを開始したところ、特に「国際共同研究の推進」については、5つの研究分野とそれをとりとめるためのFPを設置したものの、各機関の担当するメニューを掌理するSPDとの重複的な構造により、FPが当初期待した機能を発揮することが難しく、個別メニュー間相互の連携や研究成果の最大化が必ずしも見込めない懸念が生じたことがある。また、運営面においても、運営委員会への助言機能である評議会のみでは国際的な視点を確保する上で十分ではなく、海外の専門家の知見も取り込むための助言体制の必要性も指摘された。

以上のような要因により、前述したプロジェクトの目的を果たしていくことに支障が生じるおそれがあることから、PD及びSPDにおいて対応策を協議した結果、「国際共同研究の推進」のメニューを再編し、平成28年度からこれを実施することとした。また、社会に向けたより効果的な情報発信を推進するためコーディネーター(CDN)を設置し、事業運営体制のガバナンスを一層強化する観点から、ArCSで実施する国際共同研究全体の国際的な位置づけ、方向性について助言いただくため、新たに国際助言委員会(International Advisory Board: IAB)を設置することとした。

この結果、国際共同研究メニュー・テーマを図2のとおり再編することとし、運営のための運営体制も図3へと改めることとした。

(図2)



(図3)



このような計画の見直しにより、北極域に関する包括的な研究から科学的知見を統合し、社会に向けて有効な情報を提供していくという事業の目的達成を向けてより効果的にアプローチしていくこととしている。

なお、以上については、2月15日(月)に開催された文部科学省のArCS推進委員会において、PD、SPDほか関係者から報告し、見直しについて了承いただいた。

3. 活動報告

ここでの活動報告は、ArCSの事業全体にかかる取組の主なものについてであり、各メニューの詳細については、それぞれに取りまとめた報告書(後掲)により参照。

(1) 各種会議の開催について

ArCSでは、事業の円滑な推進や事業目的に向けた的確な方向付け等のため、平成27年度において以下の会議を開催した。

① キックオフ全体会合

事業が開始されたことを踏まえ、参画する多くの研究者が一同に会し、これまでの先行活動による成果と、それを踏まえたプロジェクトにおける実施計画について議論を行うことで、プロジェクトの目的を共有するため、11月25日(水)に海洋研究開発機構横浜研究所にて、キックオフ全体会合を

開催した。当日は、80名以上の研究者及び関係者の参加を得て、冒頭の文部科学省挨拶とPDからの趣旨説明に続き、プロジェクトで実施する各メニューの計画等についての説明・質疑を行った。

② 評議会

社会的課題を踏まえた研究のニーズなどの観点から、事業の運営に関する必要事項を検討し、助言をいただくことを目的として、ArCS 評議会を設置した。同評議会の委員の人選については、文部科学省からの意見も踏まえて検討を行い、大村纂スイス連邦工科大学名誉教授を議長とし、学術の各分野（自然科学及び人文社会科学）の専門家、海洋や気候・気象に関わる民間企業及びマスメディアからの有識者に委嘱し、9名の委員により構成した（別紙一覧参照）。

第1回の会議は3月24日（木）にJPタワーにおいて開催され、会議では、ArCS関係者より各メニュー・テーマの計画等について紹介し、質疑・意見交換があり、各委員よりArCSで取り組むべき課題として、社会に向けた積極的な情報発信、国際共同研究の一層の推進、若手研究者派遣の広報強化等について助言をいただいた。

③ 運営委員会

プロジェクトの円滑な推進のため、プロジェクト開始時より毎月一回、運営委員会を開催している。運営委員会は、PD、SPDを委員とし、FP、PI、コーディネーター、事務局をメンバーとして、予算配分や必要な要項整備等について審議した。

(2) 情報発信について

ArCSでは、北極の諸課題に関する有益な情報を社会へ提供していくという目的を踏まえ、コーディネーターを中心として情報発信の取組を積極的に推進していくこととしている。平成27年度において実施した取組は以下のとおり。

① ホームページ、メールマガジン等の開設

ArCSのホームページを9月より公開した。同HPでは、コンテンツを随時拡充し、プロジェクトの概要・各メニュー・テーマの紹介、研究進捗や各種の活動報告、ArCSとして開催する公開イベントの情報等を掲載した。また、ブログ形式の「ArCS通信」とプロジェクトのメールマガジンを1月からスタートし、各メニューの進捗報告等を掲載した。

② 公開講演会の開催

3月5日（土）に品川コクヨホールにて公開講演会を開催した。同講演会では、PDよりArCSの概要・目的を紹介し、PD・SPDほかをパネリストとして、北極を巡る諸課題と今後の北極研究についてパネルディスカッションを行った。

③ 国際会議への参加

「AC等北極関連会合への専門家派遣」メニューの報告にあるとおり、ArCSでは北極に関する国際会議へ専門家を派遣する取組を実施している。ACのWorking Groupの一つであるAMAP、BC・メタン

に関わる Expert Group である EGBCM への派遣とその報告については当該メニューの報告にまとめた
が、その他の北極関連の国際会議においても ArCS について紹介するなど国際的な情報発信にも努め
ている。具体的には、10 月開催の Arctic Circle 2015 Assembly (10 月 16–18 日、アイスランド)、
Arctic Frontier 2016 (1 月 24 日–29 日、ノルウェー) 及び Arctic Observing Summit 2016 (3 月
15 日–18 日、アメリカ合衆国) に PD を派遣し、日本の北極研究について発表を行うなど、ArCS の
プレゼンスの強化を図った。

4. 備考

「国際連携拠点の整備」、「若手研究者海外派遣」、「国際共同研究の推進」、「AC 等北極関連会合への
専門家の派遣」の各メニューの報告は、前述のとおり、後掲のメニューごとの報告書を参照。

○評議会委員

	氏名	所属・職	専門分野等
1	井上 智広	日本放送協会 制作局 科学環境番組部 チーフ・プロデューサー	情報発信、科学技術全般の知見
2	大村 纂（議長）	スイス連邦工科大学 名誉教授	雪氷学、気象学
3	岸上 伸啓	国立民族学博物館 教授	文化人類学、北方文化研究
4	角南 篤	政策研究大学院大学 教授	科学技術イノベーション
5	長谷川 雅世	NPO 法人国際環境経済研究所 主席研究員／ フューチャー・アース 関与委員会委員	環境問題
6	福西 浩	公益財団法人日本極地研究振興会 常務理事	地球惑星科学、科学技術コミュニケーション
7	宮部 二郎	株式会社ウェザーニューズ 副社長	気象情報、海氷予測
8	山内 豊	ジャパン マリンユナイテッド株式会社 技術研究所 氷海研究グループ グループ長	造船
9	山内 恭（副議長）	国立極地研究所 名誉教授／総合研究大学院大学 名誉教授	大気物理学、極域気候学

1. メニュー名および実施責任者

メニュー名	国際連携拠点の整備
実施責任者	榎本 浩之 (国立極地研究所)

2. 活動実績

(1) アメリカ

○アラスカ大学国際北極圏研究センター (IARC)

- ・平成27年9月 IARC との利用契約に基づき、研究拠点として運用を開始。
- ・平成28年3月 IARC 所長と今後の連携協力について打合せを実施。
- ・平成28年3月 ポーカーフラット観測所の現地視察、IARC オフィススペース (改修中) の現状確認、および IARC 共同研究者との打合せを実施。
- ・平成27年度利用実績 (平成27年9月以降) 延べ9人日

(2) カナダ

○ケンブリッジベイ基地 (CHARS)

- ・平成28年3月 CHARS 施設の利用を含む日本-カナダ国際共同研究推進に関する協定書 (LoU) 締結 (平成28年6月署名・発効予定) に向けて、CHARS の運営母体である Polar Knowledge Canada (POLAR) と LoU 案に関する協議を実施。

(3) ロシア

○スパスカヤパッド観測拠点

- ・平成27年12月 国内研究コミュニティと、スパスカヤパッド観測拠点の今後の運用方針について協議を実施。

○ケープ・バラノバ基地

- ・平成27年11月 ロシア関係機関とケープ・バラノバ基地に関する打合せをモスクワにて実施。
- ・平成28年3月 観測拠点利用を含む包括的な連携協定 (MoU) の締結に向け、ロシア北極南極研究所 (AARI) 宛にレターを送付。
- ・平成28年3月 ASSW2016 期間中フェアバンクスにて、AARI 関係者と打合せを実施。

(4) ノルウェー

○ニーオルスン基地

- ・平成28年3月 ノルウェー極地研究所 (NPI) 及び管理運営を行うキングス・ベイ社 (KB 社) と、平成28年度からの研究拠点運用に関する協議を実施。

○スバルバル大学 (UNIS)

- ・平成28年3月 UNIS と、平成28年度からの研究拠点運用に関する協議を実施。
- ・平成28年3月 NPI と共同オフィスとする方針で合意。

(5) デンマーク

○東グリーンランド深層氷床掘削プロジェクト (EGRIP) 観測拠点

- ・平成27年11月 EGRIP 観測拠点に関し、コペンハーゲン大学との間で MoU を締結。

○グリーンランド天然資源研究所 (GINR)

- ・平成 27 年 9 月 研究拠点としての施設利用を含む日本-グリーンランド/デンマーク国際共同研究推進のための MoU を GINR と締結。

3. 成果

(1) アメリカ

○アラスカ大学国際北極圏研究センター (IARC)

- ・研究拠点として運用を開始した。

(2) カナダ

○ケンブリッジベイ基地 (CHARS)

- ・協定書案について大筋合意に達し、6 月の日加科学技術協力合同会議 (オタワ) での署名・発効の目途がついた。

(3) ロシア

○ケープ・バラノバ基地

- ・観測拠点利用を含む包括的な連携協定 (MoU) に関する協議が進展した。

(4) ノルウェー

○ニーオルスン基地

- ・H28 年度からの研究拠点運用について合意した。

○スバルバル大学 (UNIS)

- ・H28 年度からの研究拠点運用について合意した。

(5) デンマーク

○東グリーンランド深層氷床掘削プロジェクト (EGRIP) 観測拠点

- ・コペンハーゲン大学との間で EGRIP 観測拠点に関する MoU を締結し、平成 28 年度からの観測拠点としての利用開始について合意した。

○グリーンランド天然資源研究所 (GINR)

- ・GINR との間で研究拠点利用に関する MoU を締結した。

1. メニュー名および実施責任者

メニュー名	若手研究者派遣による人材育成及び国際連携
実施責任者	齊藤誠一（北海道大学）

2. 活動実績

- 平成28年12月18日から平成29年1月18日にかけて、ArCS ホームページ等を中心とした媒体で、若手研究者海外派遣の公募を実施した。
- 代表機関及び副代表機関二機関に所属する研究者7名からなる人材育成ワーキンググループで審査を行い、派遣者1名を決定した。
- 選抜された若手研究者1名を平成28年3月12日から21日にかけて2週間の日程で米国アラスカ大学フェアバンクス校へ派遣した。

3. 成果

- 本事業により、GRENE 北極気候変動研究事業の北極環境研究若手研究者派遣支援事業では派遣実績のなかった人文社会科学系の研究者を派遣することができた。派遣者は北極科学サミット週間2016、北極観測サミットや、学部学生や大学院生を対象とした北極評議会の模擬交渉であるモデル北極評議会に参加・傍聴し、国際法の研究バックグラウンドを活かした観察と分析を行った。
- モデル北極評議会への参加を通して、オブザーバーの役割を含めて、北極評議会の会合がどのように運営されているかという知見が得られた。同時に、派遣者を除いてはアジア諸国からの参加者がおらず、関心の低さを実感することとなった。高級北極実務者会合関係者へのインタビューを通して、オブザーバー国の役割が非常に限定されることが明らかになった。International Arctic Assembly Day の傍聴を通して、北極海中央部における漁業における交渉や科学協力タスクフォース (SCTF) における法的拘束力をもつ合意の交渉の最新情報を得ることができた。本派遣の成果は、ArCS 通信等の電子媒体で報告されると共に、平成28年度に派遣される若手研究者らと共同で企画・運営される報告会で報告される予定である。
- 平成27年度の公募を実施することにより、派遣制度面の改善点や、公募の告知方法等についての知見が得られた。これらの改善点は、平成28年度若手研究者海外派遣の公募へと反映される予定である。

1. メニュー名および実施責任者

メニュー名	気象・海氷・波浪予測研究と北極航路支援情報の統合
実施責任者	猪上 淳 (国立極地研究所)

2. 活動実績

➤ 極域予測プロジェクト (PPP) と極域予測年 (YOPP) へ向けた活動

世界気象機関 (WMO) の世界天気研究計画 (WWRP) が推進する極域予測プロジェクト (PPP) は、2013年から2022年の10年計画で進められている観測とモデルを統合した国際プロジェクトで、数時間から季節スケールまでの予報精度向上を目指している。この中でも、2017年～2019年の2年間は集中的に極域の観測を実施し、モデル・予報研究に役立てるための極域予測年 (YOPP) として位置づけられている。当該研究メニューでも、観測研究及び予測研究による PPP への積極的な貢献を図ることとしている。

観測データの入手

平成27年度は独自の観測活動は行わなかったが、海外で取得された観測データを入手し、解析を始めている。具体的には、韓国極地研究所 (KOPRI) の砕氷船 ARAON 号で取得されたラジオゾンデデータ、およびノルウェー極地研究所 (NPI) が中心となって行った N-ICE2015 プロジェクトのラジオゾンデデータ (AWI 提供) である。前者は夏季、後者は冬季の北極海上のデータである。いずれもデータ同化研究に有用なもので、AWI, KOPRI, NPI などとの国際共同研究を進めた。次年度の共同観測についても KOPRI (夏季) および AWI (冬季) と調整を開始した。

データ同化を用いた予測可能性研究

北極海で実施した高層気象観測データ (みらい2013年航海等) を用いた予測可能性研究をとりまとめ、YOPP サミットや Arctic Circle Forum in Singapore などステークホルダーが多数集まる場で発表した。特に、気象観測データが気象予測だけではなく北極航路上の海氷予測にも有用であることを示した。合わせて、ロシア経済危機に伴う観測網の縮小がもたらす気象予測精度の低下や、N-ICE2015 による冬季観測データがもたらす北米寒波現象の予測精度の向上についても解析を進めている。

➤ 現業予報データの利用

世界各地の数値予報機関が現業的に行っている中期 (1-2 週間先が対象) アンサンブル予報データ (TIGGE データ)、および、季節内～季節 (1-2 ヶ月先が対象) アンサンブル予報データ (S2S (subseasonal to seasonal) データ) を用い、大気・海洋・陸面諸現象の予測可能性研究、ならびに、準リアルタイム予報プロダクトページ (TIGGE Museum および S2S Museum) の開設・運営を行った。実施担当者は、以前より TIGGE データを使った大気現象の予測可能性研究、ならびに、TIGGE データによる各種予報プロダクトを準リアルタイムに配信する TIGGE Museum (<http://gpvjma.ccs.hpcc.jp/TIGGE/>) の運

営を行ってきたが、これを継続・発展させるとともに、2015年夏から利用可能になった新しいデータセットであるS2Sデータでも同様の研究を行った。S2Sデータがまだ世界的にほとんど利用されていない状況を踏まえ、S2Sデータ(含各数値予報機関のアンサンブル予報システム)の仕様調査、S2Sデータの取得・デコード方法の確立を行った後、S2Sデータを用いた準リアルタイムウェブサイト(S2S Museum: <http://gpvjma.ccs.hpcc.jp/S2S/>)の開設・運営を行った(図1)。また、これらの活動で得られた成果の一部を、研究会において発表し、データ利用の普及活動も行った。

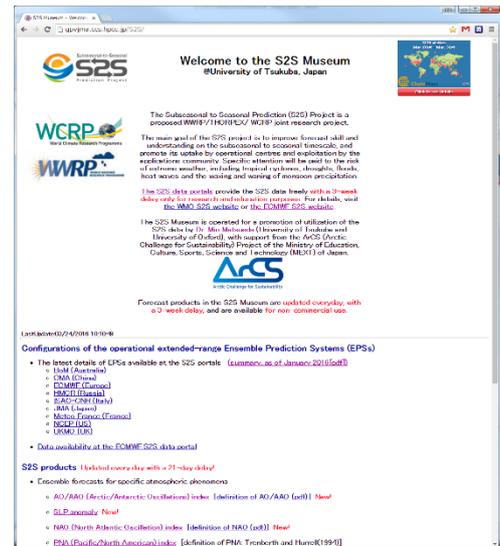


図1: S2S Museum(S2Sデータによる予報プロダクトを準リアルタイムに配信)。

➤ 波浪・飛沫・着氷研究の準備活動

- 2016年「みらい」北極航海で投入する2基の波浪ブイの仕様を決め、設計を終えた(図2)。
- 船体着氷研究の基礎データ取得のため、2016年「みらい」北極航海時に海水飛沫と着氷の計測を行う。そのため、観測航海チームと詳細な打ち合わせを行い、観測計画の詳細を詰めた。
- 波に関するデータがない北極海において、氷の衰退により新たに発生するようになった波浪を推算する手法について、検討を開始した。

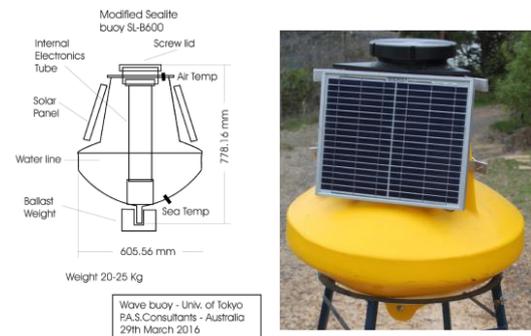


図2: 波浪観測ブイ概要(左図)と改造中の観測ブイ(右図)

➤ 研究会の開催等

- 2015年度日本気象学会秋季大会 極域・寒冷域研究連絡会「極域予測可能性研究に向けた現状と展望」の企画・講演(平成27年10月28日、京都テルサ)。
- GRENE北極気候変動研究事業第2回特別セミナー「北極海航路の持続的利用実現に向けて」における1セッションを担当(平成27年11月6日、東京海洋大学楽水会館)
- 第31回北方圏国際シンポジウム「オホーツク海と流氷」にて日韓合同セッションを企画・発表(平成28年2月21日~24日、北海道紋別市)。

➤ その他

- EUの「Horizon 2020」プロジェクトの申請に当該メニューが参画した。申請プロジェクト名はNECTAR(Northern hemisphere weather and climate influenced by the changing Arctic)で北極と中緯度の気象・気候の繋がりを観測・モデルから調べるものである。
- ノルウェー-日本の共同研究NORPAN (Partnership between Norway and Japan for excellent Education and Research)が採択され、当該メニューも参画している。

3. 研究成果

- 観測コストを考慮した北極海上の最適観測頻度を実証(Inoue et al. 2015, Sic. Rep.)

一般に北極海上は気象観測データが乏しいため、数値モデルでの気象現象の再現・予測は、他の領域に比べて不確実性が大きいことが指摘されている。環境の厳しい北極域で観測点を増やすことは容易ではなく、観測回数や観測場所など、観測コストと効果のバランスを検証したうえで、国際協力のもと観測網の構築を行う必要がある。そこで、2013年9月にJAMSTECの海洋地球研究船「みらい」による北極海上の高層気象観測を定点で実施するとともに、ドイツ(AWI)とカナダ(Environment Canada)が北極域に有する観測点でも追加の高層気象観測を行い(図3)、これらのデータを初期値に組み込むと予報が向上するかを検証した。

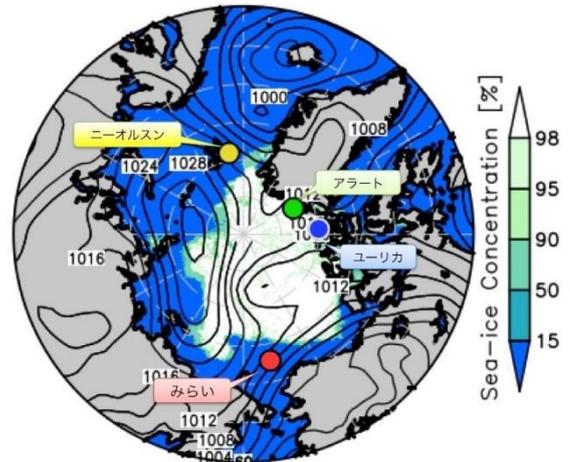


図3：日本が中心となって実現した北極海上の特別高層気象観測網(2013年9月11-24日)。海洋地球研究船「みらい」では2週間の定点観測を実施。陸上(ニーオルスン, アラート, ユーリカ)では通常の2倍から6倍の頻度でラジオゾンデ観測を実施。等値線と陰影はそれぞれ2013年9月21日の海面気圧(hPa)と海氷濃度(%)。

観測期間中の2013年9月20日前後に北極海航路上のロシア沿岸域で、高気圧の縁辺部による強

風が数日間継続し、航路の一部が海氷で閉ざされた。この高気圧について、上記観測データを計算に反映させると、より精度よく高気圧の強さや移動経路を予報できることが示された。また、観測頻度の増加の効果は、1日4回の観測で頭打ちとなり、8回では精度向上の効果が小さいことが分かった。さらに、特別観測を取り込んで予測した表層風(地上付近の風)で海氷-海洋結合モデルを駆動させると、海氷分布をより精度よく予測できることも示された。これは猛烈に発達する低気圧の事例についても同様のことが示された(Ono et al. 2016)。このように、従来のデータ空白域での特別観測は気象予測だけではなく海氷分布予測にまで影響が及ぶことから、適切な時期に適切な回数の観測を実施することが効果的であることが明らかとなった。本成果は2015年11月20日にプレスリリースを行った。

- 海氷予測技術の開発

人工衛星による海氷観測データを、北極海全域の海氷海洋連成モデルに同化させ、その効果を検証した。その結果、例えば海氷濃度を同化させると、同化していない海氷厚や海氷漂流速度も改善されるなど、データ同化の効果が明確に見られた。さらに、同化させるデータの種類の影響、同化する時間間隔の影響

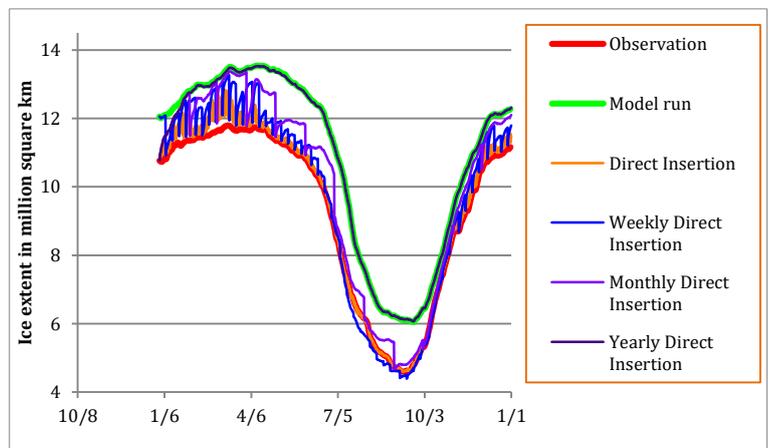


図4：海氷濃度データの同化時間間隔に関する感度実験結果。

(図4)、同化手法の影響などを調査した。これらの成果は、下記の領域モデルとの結合による高精度海氷予測計算に、次年度以降生かされる。なお、この成果は論文として投稿

中で、平成 28 年 3 月にアラスカのフェアバンクスで行われた Arctic Observing Summit での発表でも好評を得た。

また、世界中の種々の気象機関による天気予報データ (TIGGE) を駆動力として、海氷海洋連成モデルの高解像度領域モデルの計算を行った。まだ事例は限られるが、5 日予報の氷縁の予測誤差が 10-15km と高いものが得られた。上記のデータ同化した初期値を用いると、さらに向上すると思われる。次年度は、氷縁誤差の検討を続けるとともに、高解像度モデルへのデータ同化についても検討する。

➤ S2S ミュージアムの立ち上げ (<http://gpvjma.ccs.hpcc.jp/S2S/>)

1-2 ヶ月先を対象とする S2S データは、WMO の WWRP と世界気候研究計画 (WCRP) による季節内～季節予報プロジェクト (S2S) により 2015 年夏から公開され、世界各地の数値予報機関で日々行われている現業アンサンブル予報データとアンサンブル再予報データからなる。S2S データは、主に大気海洋結合モデル (JMA (日本), HMCRC (ロシア) を除く) により

表 1: 各数値予報機関のアンサンブル予報システムおよび S2S データの概要。

	Real time					Reforecast				orig data grid
	forecast length	model resolution	ens. size	forecast freq.	data available period	system (model ver.)	ens. size	reforecast frequency	reforecast period	
BOM (Australia)	D1-62 (00UTC)	T47L17	32+1	Sun Thu	2015.01.01 -	fixed (2014.01.01)	33	1st, 6th, 11th, 16th, 21st, 26th of each month	1981-2013	T47 (144x72)
CMA (China)	D0-60 (00UTC)	T106L40	3+1	daily	2015.01.01 -	fixed (2014.05.01)	4	daily	1994-2014	1.5x1.5
ECMWF (Europe)	D0-46 (00UTC)	TL639L91 (<D10) TL319L61 (>D10)	50+1	Mon Thu	2015.01.01 -	on the fly	11	Mon Thu	past 20yrs	1.5x1.5
HMCRC (Russia)	D0-61 (00UTC)	1.125x1.40625 L28 (uncoupled)	19+1	Wed	2015.01.07 -	on the fly	10	Wed	26yrs	1.5x1.5
ISAC-CNR (Italy)	D0-31 (00UTC)	0.8x0.56L54 (a 'slab' ocean)	40+1	Mon	2015.11.09 -	fixed (2015.03.26)	1	every 5 days	1981-2010	1.5x1.5
JMA (Japan)	D0.5-33.5 (12UTC)	TL319L60 (uncoupled)	24+1	Tue Wed	2015.01.06 -	fixed (2014.03.04)	5	10th, 20th, the last date of each month	1981-2010	1.5x1.5
Met. France (France)	D0-61 (00UTC)	TL295L91	50+1	monthly (1st)	2015.05.01 -	fixed (2014.12.01)	15	1st and 15th of each month	1993-2014	1.5x1.5
NCEP (US)	D0-44 (00UTC)	T126L64	15+1	daily	2015.01.01 -	fixed (2011.03.01)	4	daily	1999-2010	1.5x1.5
UKMO (UK)	D0-60 (00UTC)	N216 (0.83x0.56) L85	3+1	daily	2015.12.01 -	on the fly	3	1st, 9th, 17th, 25th of each month	1996-2009	1.5x1.5

り作成されており、降水、風、気温、高度場といった大気要素だけでなく、海面水温、海氷密接度、土壌水分等の海洋や陸上の要素も利用可能である (機関によって提供されていない要素もある)。

S2S は新しいデータセットであるがゆえに、世界的にほとんど利用されていないため、はじめに、S2S データ (含各数値予報機関のアンサンブル予報システム) の仕様調査 (表 1) 及びデータの取得とデコード方法の確立を行った。2016 年 3 月現在、9 つの数値予報機関のデータが利用可能であるが、アンサンブル予報システムの概要は機関により大きく異なっているため、データ解析を行う際には細心の注意を払う必要があることを確認した。そして S2S データポータルからのデータ取得の転送速度が遅いことを考慮し、日々行われている現業アンサンブル予報データについては、毎日定時に取得するようにした。

上記の下準備を行った上で、これらを利用した各種予報プロダクトを準リアルタイムに配信する S2S Museum (<http://gpvjma.ccs.hpcc.jp/S2S/>) を開設し (図 1)、各種予報プロダクトを公開した。S2S Museum の公開により、S2S データの利用を促進し、季節内～季節スケールでの予測可能性研究を活性化する狙いもある。平成 27 年度は、季節内～季節の時間スケールで特に重要である北極振動 (AO) / 北大西洋振動 (NAO), 太平洋・北米 (PNA) パターン、成層圏突然昇温 (SSW)、マッデン・ジュリアン振動 (MJO)、海面更正気圧、海面水温、海氷密接度などの予報プロダクトを作成し、準リアルタイムで更新されるようにした。今後、地上気温、地上風、降水量などに関する予報プロダクトを順次作成・公開する予定である。

4. 研究成果発表

(1) 論文発表

(1-1) 査読あり

- Takuya Nakanowatari, Jun Inoue, Kazutoshi Sato, Takashi Kikuchi. Summertime atmosphere-ocean preconditionings for the Bering Sea ice retreat and the following severe winters in North America. *Environmental Research Letters*, **10**, 094023, 2015.
- Jun Inoue, Akira Yamazaki, Jun Ono, Klaus Dethloff, Marion Maturilli, Roland Neuber, Patti Edwards, Hajime Yamaguchi. Additional Arctic observations improve weather and sea-ice forecasts for the Northern Sea Route. *Scientific Reports*, **5**, 16868, 2015.
- Jun Ono, Jun Inoue, Akira Yamazaki, Klaus Dethloff, and Hajime Yamaguchi. The impact of radiosonde data on forecasting sea-ice distribution along the Northern Sea Route during an extremely developed cyclone. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, **8**, 292-303, 2016.
- Fumikazu Taketani, Takuma Miyakawa, Hisahiro Takashima, Yuichi Komazaki, Xiaole Pan, Yugo Kanaya, Jun Inoue, Ship-borne observations of atmospheric black carbon aerosol particles over the Arctic Ocean, Bering Sea, and North Pacific Ocean during September 2014. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, **121**, 1914-1921, 2016.
- Richard Swinbank, Masayuki Kyouda, Piers Buchanan, Lizzie Froude, Thomas M. Hamill, Tim D. Hewson, Julia H. Leller, Mio Matsueda, 6 co-authors. The TIGGE project and its achievements. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **97**, 49-67, 2016.
- Jung Thomas, Neil D. Gordon, Peter Bauer, David H. Bromwich, Matthieu Chevallier, Jonathan J. Day, Jackie Dawson, Francisco Doblus-Reyes, Christopher Fairall, Helge F. Goessling, Marika Holland, Jun Inoue, 14 co-authors, Advancing polar prediction capabilities on daily to seasonal time scales. *Bulletin of the American Meteorological Society*, doi:10.1175/BAMS-D-14-002461.1, 2016. (Accepted)
- Dulini Yasara Mudunkotuwa, Liyanarachchi Waruna Arampath De Silva, Hajime Yamaguchi, Improving numerical sea ice predictions in the Arctic Ocean by data assimilation using satellite sea ice observations. *Polar Research*, 2016. (Submitted)

(1-2) 査読なし

- Hajime Yamaguchi. Research on navigation support system for the Arctic sea routes, *Proc. 31st International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice (Mombetsu-16 Symposium)*, 45-48, 2016.
- Dulini Yasara Mudunkotuwa, Hajime Yamaguchi, Data assimilation in an ice-ocean coupled model to improve sea ice predictions in the Arctic Ocean, *Proc. 31st International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice (Mombetsu-16 Symposium)*, 235-238, 2016.

(2) 学会発表

- ・ 猪上淳, 海氷予測における気象観測網の役割, GRENE 北極気候変動研究事業第2回特別セミナー「北極海航路の利用実現に向けて」, 2015年11月6日, 東京海洋大学楽水会館.
- ・ Jun Inoue, Additional atmospheric observations improve weather and sea-ice forecasts over the Arctic Ocean, 12 November 2015, Arctic Circle Forum in Singapore, Marina Mandarin Singapore, Singapore (invited).
- ・ 佐藤和敏, 猪上淳, ドップラーレーダーによって観測された海氷縁で強化される降雪現象, 2015年11月16日, 第6回極域科学シンポジウム, 国立極地研究所.
- ・ 中野渡拓也, 猪上淳, 佐藤和敏, 菊地隆, ベーリング海の家氷融解と北アメリカの厳冬を引き起こす新たな要因～夏期北太平洋からのテレコネクションの影響～, 2015年11月19日, 第6回極域科学シンポジウム, 国立極地研究所.
- ・ Takuya Nakanowatari, Kazutoshi Sato, Jun Inoue, Predictability of the Barents Sea ice in early winter: Remote effects of oceanic and atmospheric thermal conditions from the North Atlantic, 01 December 2015, ILTS International Symposium on Low Temperature Science, Sapporo.
- ・ Takuya Nakanowatari, Jun Inoue, Kazutoshi Sato, Takashi Kikuchi, Summertime atmosphere-ocean preconditionings for the Bering Sea ice retreat and the following severe winters in North America, 15 December 2015, AGU Fall Meeting, San Francisco, USA.
- ・ 中野渡拓也, 猪上淳, 佐藤和敏, 菊地隆, 北極海の家氷変動予測における海洋熱の重要性, 2016年3月4日, GRENE 北極気候変動研究事業研究成果報告会, 国立国語研究所.
- ・ 中野渡拓也, 猪上淳, 佐藤和敏, 菊地隆, ベーリング海の家氷融解と北アメリカの厳冬を引き起こす新たな要因～夏期北太平洋からのテレコネクションの影響～, 2016年3月15日, 日本海洋学会春季大会, 東京大学本郷キャンパス.
- ・ Jun Inoue, Kazutoshi Sato, Hiroyuki Enomoto, Japanese contribution to the Polar Prediction Project (PPP), 17 March 2016, 3rd Arctic Observing Summit, Fairbanks, Alaska, USA.
- ・ 松枝未遠, TIGGE および S2S データを使った予測可能性研究, 「極域・寒冷域」及び「観測システム・予測可能性」合同研究連絡会, 2015年10月28日, 京都テルサ.
- ・ 中澤哲夫, Hyun-Suk Kang, Frederic Vitart, Andrew Robertson, 松枝未遠, WCRP-WWRP 季節内～季節予報プロジェクト(S2S)について, 日本気象学会秋季大会, 2015年10月30日, 京都テルサ.
- ・ Tetsuo Nakazawa, Hyun-Suk Kang, Frederic Vitart, Andrew Robertson, Mio Matsueda, International Research Project on Sub-seasonal to Seasonal Prediction, Asian Conference on Meteorology, 26-27 October 2015, Kyoto, Japan.
- ・ 山口一, Development of navigation support system for the Arctic sea routes. Symposium1: Maritime activities and Innovation in the Arctic, 11 November 2015, Hokkaido University Finnish Universities Joint Symposium, Hokkaido Univ., Sapporo, Japan. (invited)
- ・ 山口一, Navigation support system (including oil-spill pollution) and ice forecast

using satellite data, 9 March 2016, Special Seminar in connection with the 6th Meeting of Japan–Finland Joint Commission for Science and Technology Cooperation, Mita Conference Center, Tokyo, Japan. (invited)

- ・ 山口一, 未知の海を見続ける目「人工衛星による海氷のモニタリング」, 2015年9月13日, 宇宙開発フォーラム2015, 東京大学本郷キャンパス,
- ・ Dulini Yasara Mudunkotuwa, Hajime Yamaguchi, Improving numerical sea ice predictions in an ice–ocean coupled model with data assimilation, 10–11 March 2016, 3rd GTL Symposium, Multidisciplinary Graduate Education for Research Universities, Kashiwa, UTokyo.
- ・ Dulini Yasara Mudunkotuwa, Liyanarachchi Waruna Arampath De Silva, Hajime Yamaguchi, Improving sea ice predictions along the Arctic sea route using observation data, 15–18 March, 2016, 3rd Arctic Observing Summit, Fairbanks, Alaska, USA.
- ・ Hajime Yamaguchi, Research on navigation support system for the Arctic sea routes, The Sixth Symposium on Polar Science, 16–19 Nov. 2015, National Institute of Polar Research (NIPR), Tachikawa, Japan (invited).
- ・ 山口一, 研究課題の取組みと成果、展望, GRENE 北極気候変動研究事業第2回特別セミナー「北極海航路の利用実現に向けて」, 2015年11月6日, 東京海洋大学楽水会館.
- ・ 山口一, 北極海航路の持続的利用の可能性, GRENE 北極気候変動研究事業公開講演会「北極温暖化の実態と影響～何がわかったか、これから何をするのか～」, 2016年3月5日, コクヨホール, 品川 (invited)
- ・ 早稲田卓爾, 北極海における波浪予測、展望, GRENE 北極気候変動研究事業第2回特別セミナー「北極海航路の利用実現に向けて」, 2015年11月6日, 東京海洋大学楽水会館.
- ・ Takuji Waseda, Resonant interaction of surface gravity waves under influence of external forcing, Brazilian Symposium on Ocean Waves, 14–16 March 2016, Federal University of Rio de Janeiro, Brazil (invited) .
- ・ Andrew A. Webb, 早稲田卓爾, 清松啓司, A 20–Year High–resolution Wave Resource Assessment of Japan, 2016年3月14–18日, 日本海洋学会春季大会, 東京大学.
- ・ Wataru Fujimoto, Takuji Waseda, Keiji Kiyomatsu, Simulating observed freak waves in deep water near Japan using WAVEWATCH III and the Higher Order Spectral Method, 9–11 March 2016, 3rd International Conference on Violent Flows 2016, Osaka, Japan (Best Student Paper Award).
- ・ Amin Chabchoub, Takuji Waseda, Hydrodynamic breathers modeling rogue waves, 9–11 March 2016, 3rd International Conference on Violent Flows 2016, Osaka, Japan.
- ・ Andrew A. Webb, Takuji Waseda, Keiji Kiyomatsu, Progress on a 20–Year High–Resolution Wave Resource Assessment of Japan, Nov. 8–13, 2015, 14th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Florida, U. S. A. (IWMO Young Scientist Award 1st place and IWMO Best Presentation Award 3rd place).

(3) アウトリーチ、出版物、取材等

- ・ 中野渡拓也, 猪上淳, 佐藤和敏, 菊地隆, 国立極地研究所プレスリリース, 「北アメリカの厳冬を引き起こす新たな要因の解明～夏期北太平洋亜熱帯からの大気のテレコネクションの影響～」, 2015年9月22日. (<http://www.nipr.ac.jp/info/notice/20150922.html>)
- ・ Takuya Nakanowatari, Jun Inoue, Kazutoshi Sato, Takashi Kikuchi, ERL 誌プレスリリース, Bering Sea ice cover depends on air condition in western Pacific three months earlier, 2016年1月5日, environmental research web (<http://environmentalresearchweb.org/cws/article/news/63613>)
- ・ 猪上淳, 山崎哲, 小野純, Klaus Dethloff, Marion Maturilli, Roland Neuber, Patti Edwards, 山口一, 国立極地研究所プレスリリース「観測コストを考慮した北極海上の最適観測頻度を実証-北極海航路の気象・海氷予測の高精度化に貢献-」, 2015年11月20日. (<http://www.nipr.ac.jp/info/notice/20151120.html>)
- ・ 公益社団法人日本海難防止協会 (山口一共著, 検討委員会委員長), 北極海航路ハンドブック実務編(上巻), 日本海難防止協会, 2016年3月刊行, 254p.
- ・ 山口一, 2015年10月19日. 北極圏温暖化で国際研究. 日本経済新聞(東京, 札幌, 名古屋, 大阪, 福岡版)
- ・ 山口一, 2015年10月26日. 2015年11月5日. シリーズ記事「北極南極」の「アジア-欧州 北極海航路 海氷面積縮小が後押し」. 東京新聞(10月26日), 中日新聞(11月5日)
- ・ 山口一, 2015年11月25日. シリーズ記事「先端技術 日本のイノベーター」の「北極の海氷分布予測 統計分析使い. 航路支援」. 日経産業新聞
- ・ 山口一, 木村詞明, 佐川玄輝, 大塚夏彦, 2016年1月31日. (科学の扉)北極海航路の氷予報衛星で観測、厚さ考慮しの中, 朝日新聞

(4) その他

- ・ 山口一, 2016年1月. いま、流氷は?, SORA FRONT LINE Vol.11, 月刊SORA Web版 2016年2月号

1. メニュー名および実施責任者

メニュー名	北極域環境における多圏相互作用の実態解明と気候予測への応用
実施責任者	羽角 博康 (国立極地研究所)

2. 活動実績

- ・ 気候モデルにおける海氷海洋過程・大気過程・陸面過程の精緻化を行い、再現性向上の確認と精緻化したプロセスに関係した北極域気候変動メカニズムの解明を目的とした数値実験を実施した。
- ・ 気候モデルに観測データを同化して初期値化を行うシステムを開発し、北極海氷の予測可能性に関する数値実験を実施した。
- ・ 北極域と中低緯度域の間の気候連関の解明を目的として、気候データの解析を実施した。
- ・ 気候遠隔影響のメカニズム解明を目的として、大気大循環モデルおよび気候モデルによる数値実験を実施した。
- ・ 会合
 - メニュー全体会合 (キックオフ)
2015/10/13, 東京大学山上会館, 参加者約 30 名
 - メニュー内グループ間会合
2016/1/7-9, 新潟大学駅南キャンパス, 参加者約 30 名
 - AWI/Potsdam 大気グループとの合同ワークショップ
2015/11/9-11, アルフレッドヴェゲナー研究所 (ポツダム, ドイツ), 参加者約 30 名
 - 大気海洋結合カップラー開発打ち合わせ
2015/10/6, 11/5, 11/25, 12/22, 2016/1/27, 3/3, 3/28, JAMSTEC 横浜研究所, 参加者約 10 名
 - 海洋モデル開発打ち合わせ
2015/9/18, 11/27, 1/29, JAMSTEC 東京事務所, 参加者約 10 名

3. 研究成果

- ・ **気候モデル精緻化を通じた北極域気候変動メカニズム解明**
北極海における大西洋水の流入量・深さ・経路や渦活動などを適切に再現できる高解像度モデルを構築し、北極海への熱輸送量とその経年変動要因について調べた。モデルで得られた Fram 海峡における北向き熱輸送量 (図 1 左上、赤線) の時系列に対して冬季海面気圧を回帰させたところ、その空間パターンは北大西洋振動 (NAO) に近いものとなった (図 1 左下)。一方、Fram 海峡を通過した後にユーラシア大陸棚縁に沿って西に向かう熱輸送量 (図 1 左上、緑線) の時系列は Fram 海峡を北向きに通過する熱輸送量とは有意に相関しない。この時系列に対して冬季海面気圧を回帰させたところ、その空間パターンはシベリア高気圧の強弱に対応するものになった (図 1 右下)。すなわち、大西洋から北極海に流入する熱量は総観規模の大気変動モードと連動していることが示された。
北極域の地球環境変動予測研究を進展させるために、極域のメソ擾乱や雲・降水・降雪過程が表現可能な高解像度大気海洋結合モデルの開発を実施した。
簡易的な湿地スキームを陸面モデルに組み込んで、陸面オフライン実験による感度実験を行い、湿

地の持つ貯水効果が、陸域水循環や地表面の熱収支に与える影響の評価を行った。従来の陸面モデルは高緯度域で蒸発散を過小評価している場所が多かったが、簡易湿地スキームを組み込むことで夏期の蒸発散が増加し、これらの過小評価が改善する傾向となることがわかった。また、北極圏の主な河川の下流域で河川流量の日平均値を検証した結果、誤差、相関ともに改善する結果となった。

全球気候モデルにおいて積雪情報を精緻化した実験を行った。その結果、現実的な積雪情報を初期条件として用いることによって地表面付近の諸予報変数は観測データに近づくことが確認された。さらに、エアロゾル沈着に起因する積雪汚染過程を全球気候モデルに導入することについて検討を開始した。

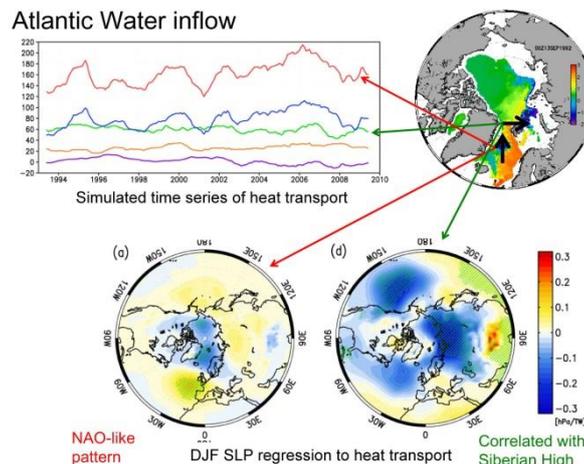


図 1: 大西洋からの熱流入の時系列とそれに相関する大気変動パターン。

・ 予測モデル開発を通じた北極域気候予測可能性研究

観測された大気・海洋・海氷データを用いて **incremental analysis update** 法によって気候モデルを初期値化する予測実験を実施した。海氷面積が最小となる 9 月の北極域における海氷面積偏差の時間変化を見ると、同化結果および 3 ヶ月先の予測は観測データに良く追従する。線型（温暖化）トレンドを除去した場合には予測スキルは多少低下するものの、同化と 3 ヶ月先の予測は海氷の年々変動を良く捉えている。図 2 に予測スキルの季節依存性を示す。線型トレンドを除去しない場合のアノマリー相関係数は、どの月から開始した予測でも概ね 0.6 を越えている（左図）。これは、観測された二酸化炭素濃度などの温暖化気体を外部境界条件として与えた気候再現実験でも近年の海氷減少を再現できるためである。線型トレンドを除去した場合の結果（右図）からは、海氷の年々変動の予測可能性が理解できる。11～1 月頃に予測スキルが高くなる傾向が初期値の月によらず現れるが、これは、冬季の氷縁位置が海洋熱フラックスの収束に強く依存するために海洋内部にメモリが残り、それが翌年に現れるためと考えられる。

上記の調査と並行してアンサンブルカルマンフィルター（EnKF）を採用した新しい初期値化システム開発を進めてきた。EnKF を使用していない旧世代初期値化システムと比べて、新しいシステムでも同様の結果が得られた。旧システムでは様々な大気データを取り入れることで海氷初期値化精度を上げたのに対し、新システムでは大気データとして海面気圧データのみを使用しても同等の精度が得られており、EnKF の優位性が示される。EnKF のシステムに海氷データを直接同化するスキームを既に導入しており、今後検証を経て海氷予測精度の向上に繋げていきたい。

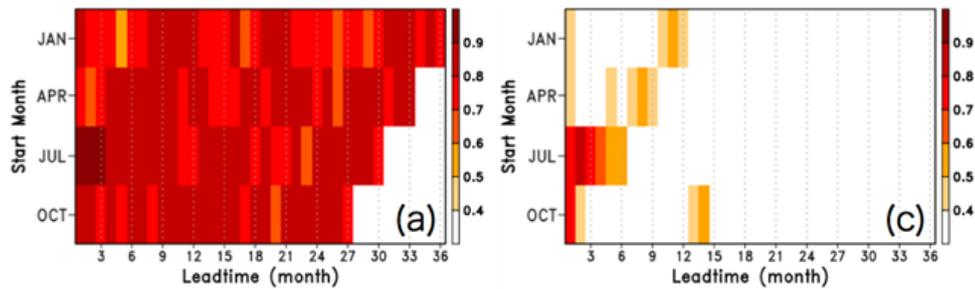


図 2: 1 月、4 月、7 月、10 月開始実験に対するリードタイム毎の海氷面積偏差の予測スキル。トレンドを含む場合 (左) と含まない場合 (右) のアノマリー相関係数を示している。

・ 気候データ解析を通した北極域に関わる気候変動メカニズムの解明

大気循環偏差場における主要テレコネクションパターンのひとつである WP パターンについて、大気再解析データに基づく合成図解析から、気圧の月平均偏差が高さとともに南西に傾く傾圧構造を持つことを見出した (図 3)。この傾圧構造に伴い、気候平均場からの有効位置エネルギー変換によって自身を効率的に維持できることから、WP パターンが力学モードであることを初めて示した。

2012 年 1 月半ばから 2 月半ばにかけて欧州に記録的寒波をもたらしたブロッキング高気圧の形成・維持に与る力学過程を、大気再解析データに基づき調査した。寒波の最盛期には、ロシア西部に傾圧構造を持つ顕著な高気圧性循環偏差が形成され、それに伴う北東風偏差による寒気移流が記録的寒波をもたらしたことが分かった。高気圧性偏差の軸は高さとともに北西に傾いており、温かい北大西洋と寒冷な北極海やユーラシア大陸間の気温勾配を緩和するような熱輸送を通じ、有効位置エネルギーを効率的に変換して偏差を維持できることも明らかとなった。

ユーラシア大陸北部における極端高温事例について 30 年分の再解析データおよび地上気象水文観測データの解析を行った。その結果、1990 年代後半以降にモンゴルを中心とする地域において局所的に熱波が増加していることが確認された。これと同期して、欧州と北東ユーラシア上空の対流圏中層では夏の平均場として 2000 年代に高気圧偏差が卓越していた (図 4)。地上気温の高温偏差はこの高気圧偏差パターンとよく対応しており、大気から陸面への強制としてモンゴル周辺の土壌乾燥化を説明することができる。一方、地上観測データに基づく解析によると、大気循環場だけでなく土壌の乾燥化も近年の熱波増加に寄与していることが示唆された。

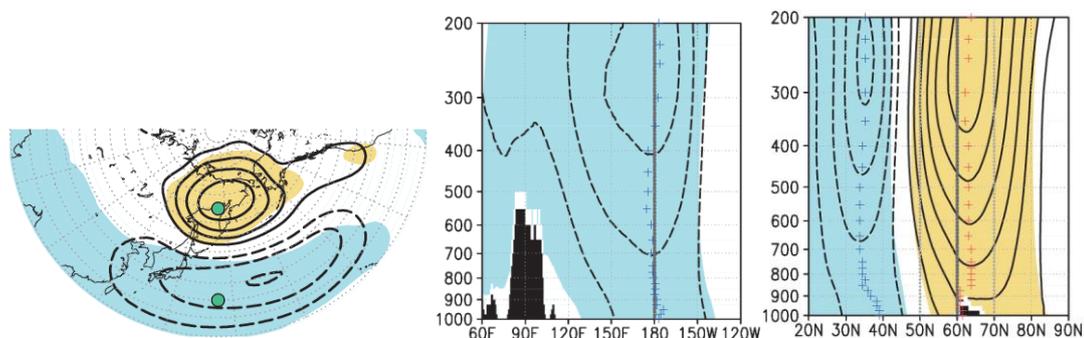


図 3: WP パターンに伴う月平均高度偏差 (20 m 毎、破線は負値)。18 の強い正位相の月に基づく合成偏差図。陰影は 95%信頼限界で有意な偏差。(左) 500hPa 高度偏差。緑丸は南北の作用中心。(中) 30N における東西断面。(下) 南北作用中心を通る 155E における南北断面。十字は偏差の軸。

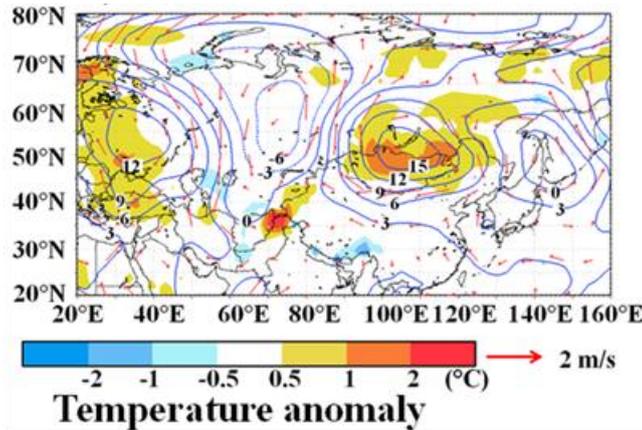


図 4: 2000 年代における 500hPa 面高度場と風（等値線、ベクトル）及び 2m 気温（カラー）の気候値からの偏差。

・ 大気大循環モデル実験を通じた気候遠隔影響メカニズム解明と気候予測可能性研究

大気大循環モデル実験を通して、近年の北極変動に伴う北極・中緯度気候リンクには成層圏が陽に關与している事を明らかにした。さらに、その延長上に位置づけられる以下の 2 項目について研究を進めた: (1) 成層圏・対流圏結合の鍵となる渦熱フラックスの時空間分布、(2) 将来の海氷変動に伴う北極—中緯度気候リンク。(1) に関しては数値実験結果と再解析データの両方の初期解析を終えた。北極海の海氷減少に伴う凍結時期の遅れによりバレンツ・カラ海において大気・海洋間での乱流熱フラックスが増加し、その結果励起された準定常ロスビー波の伝播により、気候場に存在するシベリア上空のトラフが強化されることで成層圏の極渦が弱体化し、さらにその結果として晩冬の対流圏にシグナルが伝わるという一連の力学プロセスの詳細を、渦熱フラックスの時空間分布特性という観点から明らかにした。(2) では、過去・現在の海氷変動に伴う北極—中緯度気候リンクが、将来の海氷減少に伴ってどのように定性的・定量的に変化するかという問題を扱う。初期解析の結果から、現在よりもさらに海氷減少が進むと、これまで重要視されて来た成層圏を介した遠隔応答に加えて、対流圏を介した遠隔応答が重要となるという結果を得た。

オホーツク海の海氷被覆が将来減少することによる大気循環への影響を調査するため、大気大循環モデル実験を行った。海氷減少に伴い北西太平洋上の対流圏中上層に高気圧性応答が晩冬に現れた。大気大循環モデルで得られた非断熱加熱を大気循環の線形傾圧モデルに与えたところ、同様な応答が得られたことから、大気大循環モデル中での応答は非断熱加熱偏差に対する大気循環場の線形的な応答と考えられる。

大気の潜在的予測可能性への北極域の海氷変動の寄与を調査するため、大気大循環モデルのアンサンブル実験を行った。北米や北欧では他地域に比べて、冬季における気温変動の予測可能性に対する海氷変動の寄与が大きいこと、およびその予測可能性において中緯度水温前線の寄与が重要性であることが示された。

大気海洋結合モデルにおいて熱帯太平洋のみ海面水温変動を観測履歴に強制的に一致させるペースメーカー実験、及び放射強制力を産業革命前の状態に固定し内部変動のみを抽出するマルチ気候モデル実験の比較を実施し、熱帯太平洋の 10 年規模自然変動が大気循環の持続的変動の励起を介し北半球の広い地域で地表気温を変化させることで全球平均気温を変動させ、温暖化の加速・減速をもたらすことを明確にした。

4. 研究成果発表

(1) 論文発表

(1-1) 査読あり

Day, J. J., S. Tietsche, M. Collins, H. F. Goessling, V. Guemas, A. Guillory, W. J. Hurlin, M. Ishii, S. P. E.

Keeley, D. Matei, R. Msadek, M. Sigmond, H. Tatebe, and E. Hawkin, The Arctic Predictability and Prediction on Seasonal-to-Interannual Time Scales (APPOSITE) data set, *Geosci. Model Dev. Discuss.*, **8**, 8809–8833, doi:10.5194/gmdd-8-8809-2015, 2015.

Matsumura, Y., Ohshima, K.I., Lagrangian modelling of frazil ice in the ocean, *Ann. Glaciol.*, **56**, 373–382, doi:10.3189/2015AoG69A657, 2015.

Erdenebat, E., and T. Sato, Recent increase in heat wave frequency around Mongolia: role of atmospheric forcing and possible influence of soil moisture deficit, *Atmos. Sci. Lett.*, **17**, 135–140, doi:10.1002/asl.616, 2016.

Kawasaki, T., Hasumi, H., The inflow of Atlantic water at the Fram Strait and its interannual variability, *J. Geophys. Res. Oceans*, **121**, 502–519, doi:10.1002/2015JC011375, 2016.

Ogi, M., B. Taguchi, M. Honda, D. G. Barber, and S. Rysgaard, Summer-to-winter sea-ice linkage between the Arctic Ocean and the Okhotsk Sea through atmospheric circulation, *J. Climate*, **28**, 4971–4979, doi:10.1175/JCLI-D-14-00125.1, 2016.

Nakamura, T., K. Yamazaki, K. Iwamoto, M. Honda, Y. Miyoshi, Y. Ogawa, Y. Tomikawa, and J. Ukita, The stratospheric pathway for Arctic impacts on mid-latitude climate, *Geophys. Res. Lett.* (accepted)

Newman, M., M. A. Alexander, T. R. Ault, K. M. Cobb, C. Deser, E. Di Lorenzo, N. J. Mantua, A. J. Miller, S. Minobe, H. Nakamura, N. Schneider, D. J. Vimont, A. S. Phillips, J. D. Scott and C. A. Smith, The Pacific Decadal Oscillation, revisited, *J. Climate*. (accepted)

Kosaka, Y., and S.-P. Xie, Tropical Pacific variability as key pacemaker of the global warming staircase, *Nature Geosci.* (submitted)

Tanaka, S., K. Nishii and H. Nakamura, Vertical structure and energetics of the Western Pacific teleconnection pattern, *J. Climate*. (submitted)

Wang, C.-Y., S.-P. Xie, Y. Kosaka, Q. Liu and X.-T. Zheng, Global influence of tropical Pacific variability related to global warming hiatus, *J. Climate*. (submitted)

(1-2) 査読なし

なし

(2) 学会発表

Kosaka, Y., and S.-P. Xie, Hiatus and acceleration of surface global warming due to tropical Pacific decadal variability, Asian Conference on Meteorology 2015, Kyoto, Japan, October 26, 2015.

新田友子, 芳村圭, 阿部彩子、簡易湿地スキームを用いた大気陸面結合実験、日本気象学会秋季大会、京都、2015年10月28日

西井和晃, 中村尚, 中村哲, オホーツク海海氷減少に対する大気応答、日本気象学会秋季大会、京都、2015年10月29日

松村伸治, 堀之内武, 杉本志織, 佐藤友徳, 北西太平洋 SST 変動に対する梅雨降水帯の応答、日本気象学会年秋季大会、京都、2015年10月30日

- 田村健太, 佐藤友徳, 領域気象モデルを用いた海面水温操作実験における冬季北海道西岸沖に発生するポーラーローの応答, 日本気象学会秋季大会, 京都, 2015年10月30日
- Hoshi, K., J. Ukita, M. Honda, K. Iwamoto, T. Nakamura and K. Yamazaki, Deeper look at a stratospheric pathway of the Arctic-midlatitudes climate linkage, Deutsch-Japanischer Workshop, Potsdam, Germany, November 9, 2015.
- Miyoshi, Y., Y. Tomikawa, T. Nakamura, K. Yamazaki, K. Iwamoto, M. Honda, J. Ukita, Y. Ogawa, Stratospheric variability associated with Arctic sea ice loss, Deutsch-Japanischer Workshop, Potsdam, Germany, November 9, 2015.
- Nakamura, T., K. Yamazaki, J. Ukita, A first result of AFES AMIP-type simulation for the recent past, Deutsch-Japanischer Workshop, Potsdam, Germany, November 9, 2015.
- Ukita, J., M. Honda, K. Iwamoto, M. Kadono, Y. Harada and H. Kanzawa, Recent changes in the atmospheric energy transport of the northern high latitudes, Deutsch-Japanischer Workshop, Potsdam, Germany, November 9, 2015.
- Ukita, J., Japanese Arctic research initiative from GRENE to ArCS (Phase II), Deutsch-Japanischer Workshop, Potsdam, Germany, November 9, 2015.
- Kosaka, Y., and S.-P. Xie, Acceleration and slowdown of surface global warming due to tropical Pacific natural variability, 8th International Workshop on Tropical Marine Environmental Changes, Guangzhou, China, November 14, 2015.
- Ukita, J., The eddy heat flux as a key for better understanding of the Arctic climate system, The 6th symposium on Polar Science, Tachikawa, Japan, November 18, 2015.
- Hasumi, H., Coordinated observational and modeling studies on the basic structure and variability of the Arctic sea ice-ocean system. The 6th Symposium on Polar Sciences, Tachikawa, Japan, November 18, 2015.
- Matsumura, Y., Ito, M. and Ohshima, K. I., Modeling sediment entrainment into newly formed sea ice, The 6th Symposium on Polar Sciences, Tachikawa, Japan, November 19, 2015.
- Ono, J., M. I. Nodzu, H. Tatebe, M. Ishii, and Y. Tanaka, Pan-Arctic Sea Ice Prediction System with the MIROC Climate Model, The 6th Symposium on Polar Science, Tachikawa, Japan, November 19, 2015.
- Kawasaki, T., and H. Hasumi, A modeling study on the mechanism of Atlantic Water modification in the Barents Sea. The 6th Symposium on Polar Sciences, Tachikawa, Japan, November 19, 2015.
- Kosaka, Y., and S.-P. Xie, Hiatus and acceleration of surface global warming due to tropical Pacific decadal variability, CLIVAR-ICTP International Workshop on Decadal Climate Variability and Predictability: Challenge and Opportunity, Trieste, Italy, November 19, 2015.
- Satoh, M., High-resolution global nonhydrostatic simulations by NICAM using the K computer, SPNS2015: International Workshop on Software for Peta-Scale Numerical Simulation, Tokyo, Japan, December 3, 2015.
- Misako H., K. Yoshimura, D. Yamazaki and T. Oki, A study on the impact of dynamic open water surfaces by river inundation in a global climate model, AGU Fall Meeting, San Francisco, December 14-18, 2015.
- Nitta, T., K. Yoshimura and A. Abe-Ouchi, On the impact of arctic wetlands on the climate system: Model sensitivity simulations with MIROC5 AGCM and the simplified wetland scheme, AGU Fall Meeting, San Francisco, December 14-18, 2015.

Sato T., and K. Mori, Role of snow cover on urban heat island intensity investigated by urban canopy model with snow effects, AGU Fall meeting, San Francisco, USA, December 16, 2015.

北野慈和, 山田朋人, 複数の低気圧から形成される爆弾低気圧の統計的解析, 土木学会北海道支部平成 27 年度年次技術発表会, 札幌, 2016 年 1 月 30 日

竹内大輝, 山田朋人, Y. N. Pokhrel, 人間活動を考慮した全球気候モデルによる灌漑農業が地表面の熱収支に与える影響, 土木学会北海道支部平成 27 年度年次技術発表会, 札幌, 2016 年 1 月 30 日

北川敦士, 山田朋人, 大陸スケールにおける消雪日の空間分布および年々特性, 土木学会北海道支部平成 27 年度年次技術発表会, 札幌, 2016 年 1 月 30 日

Kawasaki, T., and H. Hasumi, Interannual variability of Atlantic Water inflow and modification in the Barents Sea, Ocean Sciences Meeting, New Orleans, USA, February 22, 2016.

Hoshi, K., J. Ukita, M. Honda, K. Iwamoto, T. Nakamura and K. Yamazaki, Arctic sea ice reduction and stratosphere-troposphere coupling, The 6th Symposium of Polar Research, Monbetsu, Japan, February 22, 2016.

Iwamoto, K. and J. Ukita, The eddy heat flux as a key for better understanding of the Arctic climate system, The 6th Symposium of Polar Research, Monbetsu, Japan, February 22, 2016.

Erdenebat, E. and T. Sato, Recent changes in heat wave over northeastern Eurasia and a possible contribution of spring soil moisture to subsequent summer extremes, The international science conference on MAHASRI, Tokyo, Japan, March 2, 2016.

Sato, T., E. Erdenebat, K. Tamura, S. Sugimoto, Multi-decadal regional climate experiments for understanding the roles of regional land-ocean-sea ice distributions on atmospheric variations over North Asia, The international science conference on MAHASRI, Tokyo, Japan, March 3, 2016.

Takeuchi, D. and T. J. Yamada, Sub-seasonal predictability of water availability by using an AGCM with the representation of human impacts, The International Science Conference on MAHASRI, The International Science Conference on MAHASRI, Tokyo, Japan, March 3, 2016.

鳩野美佐子, 芳村圭, 荒川隆, 山崎大, 沖大幹, 高解像度河川氾濫過程の導入が大気大循環モデルの推計値に及ぼす影響, 第 60 回水工学講演会, 仙台, 2016 年 3 月 15 日

松村義正, 大橋良彦, 青木茂, 杉山慎, グリーンランド氷河融解水を起源とする高濁度水ブルームのモデリング, 日本海洋学会春季大会, 東京, 2016 年 3 月 15 日

Ono, J., H. Tatebe, M. Ishii, and M. I. Nodzu, Pan-Arctic sea-ice predictability with the MIROC climate model, The Joint US-Japan Workshop on Climate Change and Variability, San Diego, USA, March 21-22, 2016.

北野慈和, 山田朋人, 北日本を通過する爆弾低気圧と太平洋ブロッキングとの関係, 土木学会第 60 回水工学講演会, 仙台, 2016 年 3 月 14 日

(3) アウトリーチ、出版物、取材等

中村 尚, 『日本の四季』がなくなる日—連鎖する異常気象—, 小学館新書, 2015 年 10 月 (書籍出版)

立花義裕, 気象学—災害大国日本における地学教育の重要性—, みえ防災コーディネーター育成講座, 2015 年 10 月 18 日 (講演) .

佐藤正樹, 「THE SCIENCE 未来を予測する「天気予報」の仕組み」, 雑誌 Precio, 2015 年 11 月号

(取材)

本田明治, 長岡 24 時間で 69 センチ降雪 小さな低気圧次々通過, 新潟日報朝刊, 2016 年 1 月 28 日

(新聞報道)

浮田甚郎, 北極温暖化 日本に寒波, 共同通信配信 (毎日、産経他 13 紙掲載), 2016 年 2 月 13 日 (新聞報道)

羽角博康, 「海と大気の明日と 100 年後」, 未来こどもがっこう, 2016 年 2 月 14 日 (小中学生向け授業)

本田明治, 変わる異常気象と地球温暖化, 平成 27 年度第 4 回公民館サイエンスカフェ, 2016 年 2 月 27 日 (講演)

(4) その他

なし

1. メニュー名および実施責任者

メニュー名	グリーンランドにおける気候・氷床変動の研究
実施責任者	東 久美子 (国立極地研究所)

2. 活動実績

- 9月15日、信州大学松本キャンパスで開催された雪氷研究大会の会期中、本メニューの中核をなすEGRIP計画に関する国内研究計画打合せを行った。
- 10月19日、国立極地研究所でEGRIP計画に関する国内研究計画打合せを行った。
- 10月27~29日にコペンハーゲンで開かれたEGRIP運営会議に参加し、デンマーク、アメリカ、ドイツ、スイス、フランス等の研究者と、観測・研究計画・予算案について打合せ・調整を行った。上記2回の国内研究計画打合せによって、日本チームが実施するアイスコア解析計画と氷床上での観測計画を立案したが、これをEGRIP運営会議で提案した。アイスコア解析計画と観測計画は、今後、EGRIP運営委員会で議論して詳細を決定することになった。
- 新潟県湯沢でワークショップを開催し、EGRIP氷床ダイナミクス研究チームのデンマーク、ドイツ、日本の研究者の間で氷床の変形メカニズムや掘削孔傾斜の経時変化データについて議論した。氷床の流動は氷の塑性変形が律速すること、そして、塑性変形速度は高濃度不純物層で速くなることを確認した。
- グリーンランド氷床全体の質量変化に関しては、モデル間に結果の相違が生まれる原因を詳細に解析した。
- GIAモデルによるグリーンランド地域の海水準復元、氷床の高度と面積の推定研究を開始した。
- 2016年にEGRIP掘削地点で日本チームが実施する観測計画と日本から派遣する人員を決定し、設営担当のコペンハーゲン大学に連絡した。

3. 研究成果

- アイスファブリックや結晶組織解析法の開発、氷の変形実験による氷の力学物性研究、塑性異方性を考慮した流動則の提案、氷床中の再結晶とコア解析データからの流動状態推定などを実施した。
- 後方散乱電子回折 (EBSD) 検出器を搭載した環境制御走査型電子顕微鏡 (ESEM) を用いて、圧密焼結氷 (人工氷) の結晶格子の方位差解析の観察最適条件を確立した。観察条件は、(1) なめらかな試料表面、(2) ESEM 内での試料台傾斜角、(3) 試料表面の保持および (4) 電子線による帯電の防止に着目して最適化した。この結果、0.5MPa、-10°C、ひずみ10%のクリープ試験後の試料において、亜粒界 (亜粒界と大傾角粒界のしきい値は5°と定義) の密度が低下する傾向を見出している。
- X線小角散乱 (SAXS) を用いた超微粒子 (平均直径10-20nmのシリカ (SiO₂)) の空間分布状況を定量評価する目的で、データ取得の最適化を行った。X線の透過率が試料厚で決まることから、最適ホルダーを設計し、X線の透過能を確認した。また、氷中に分散したシリカの粒子間干渉を確認するため、液体窒素温度に近い低温で SAXS の測定が可能な試料ホルダーおよび真空チャンバ

一の設計を行った。

- ・ グリーンランド氷床全体の質量変化に関しては、国際氷床モデルプロジェクト SeaRISE で行われた温暖化応答実験をもとにして、モデル間に結果の相違が生まれる原因を詳細に解析した。気候などの境界条件、氷床力学過程、モデル構成などさまざまな要素を評価した結果、モデル間のばらつきは、氷床力学の再現性よりも、表面質量収支や現在の氷床の再現性により強く影響されることが明らかとなった。これらの成果は Saito et al. (2016) としてまとめられた。
- ・ GIA モデルによるグリーンランド地域の海水準復元、氷床の高度と面積の推定研究を開始した。まず、GIA に関するモデル開発として、アイソスタティックな地殻変動だけではなく、氷床変動に伴う地球回轉變動が引き起こす地球変形の効果を組み込むことに成功した (Nakada et al., 2016)。さらに、氷床力学モデル (IceIES) に基づいて構築されたグリーンランド氷床変動史を入力値として、グリーンランド沿岸域の完新世海水準変動再現を試みた。その結果、従来の地球内部粘性構造モデルを用いた海水準変動は、地形地質学的観測値を十分説明可能であり、氷床力学モデルにより構築された氷床変動史は、グリーンランド沿岸域における約 1 万年の時間スケールの固体地球変動に対しても、十分適用可能であることが明らかとなった。

4. 研究成果発表

(1) 論文発表

(1-1) 査読あり

- ・ T. Homma, H. Mima, M. Nanko, M. Takeda, Dispersion of nanoscale oxides in MnSi_{1.73} fabricated by solid state reaction and pulsed electric current sintering, *Applied Physics Letters*, 108, 103901, 2016.
- ・ M. Nakada, J. Okuno, Y. Yokoyama, Total meltwater volume since the Last Glacial Maximum and viscosity structure of Earth's mantle inferred from relative sea level changes at Barbados and Bonaparte Gulf and GIA-induced J_2 dot. *Gophysical Journal International*, 204, 1237-1253, 2016.
- ・ R. Greve and H. Blatter, Comparison of thermodynamics solvers in the polythermal ice sheet model SICOPOLIS, *Polar Science*, 10, 11-23, 2016.
- ・ F. Saito, A. Abe-Ouchi, K. Takahashi, H. Blatter, SeaRISE experiment revisited: sources of spread in multi-model projections of the Greenland ice-sheet. *The Cryosphere*, 10, 43-63, 2016.
- ・ T. Homma, Y. Matayoshi, R. Voskoboinikov, Application of the Bons-Azuma method and determination of grain growth mechanism in rolled Ti-Zr alloys, *Philosophical Magazine Letters*, 95 (12) 564-573, 2015.
- ・ H. Astrid Kjær, R. Dallmayr, J. Gabrieli, K. Goto-Azuma, M. Hirabayashi, A. Svensson, P. Vallenga, Greenland ice cores constrain glacial atmospheric fluxes of phosphorous, *Journal of Geophysical Research*, DOI: 10.1002/2015JD023559, 2015.
- ・ A. J. Orsi, K. Kawamura, J. M. Fegyveresi, M. A. Headly, R. B. Alley, J. P. Severinghaus, Differentiating bubble-free layers from melt layers in ice cores using noble gases, *Journal of Glaciology*, 2016 (Accepted).

(1-2) 査読なし

特になし

(2) 学会発表

- ・ R. Greve, A simple anisotropic flow law for polar ice based on anisotropic, scalar flow enhancement, International workshop on Greenland ice sheet mass loss and its impact on global climate change, 北海道大学低温科学研究所, 札幌市, 2016年3月22日~3月24日
- ・ K. Goto-Azuma, K. Kawamura, S. Fujita, J. Okuno, A. Abe-Ouchi, R. Greve, F. Saito, T. Homma, N. Azuma, H. Motoyama, H. Enomoto, D. Dahl-Jensen, Japanese participation in the new international deep ice core project in Greenland (EGRIP) under the ArCS project, 2015年 11 月 16日~2015年 11 月19日, The Sixth Symposium on Polar Science, 日本, 東京都立川市
- ・ R. Greve and H. Blatter, Comparison of thermodynamics solvers in the polythermal ice sheet model SICOPOLIS, 2015年 11 月 16日~2015年 11 月19日, The Sixth Symposium on Polar Science, 日本, 東京都立川市
- ・ 東久美子, 川村賢二, 藤田秀二, 奥野淳一, 本山秀明, 阿部彩子, グレーベ・ラルフ, Dorthe Dahl-Jensen, 榎本浩之, 東グリーンランド深層氷床掘削プロジェクト (EGRIP) による氷床・気候変動の研究, 2015年 9月13日~9月16日, 日本雪氷学会 雪氷研究大会 (2015-松本), 信州大学理学部
- ・ 高田守昌, 平林幹啓, 東久美子, Remi Dallmayr, 東信彦, イオンクロマトグラフを用いた氷床コア試料の連続融解分析装置の開発IV, 2015年 9月13日~9月16日, 日本雪氷学会 雪氷研究大会 (2015-松本), 信州大学理学部
- ・ 繁山航, 永塚尚子, 本間智之, 高田守昌, 東久美子, R.V. Mateiu, 東信彦, 電子線後方散乱回折法を用いた氷の結晶方位に向けた技術開発, 2015年 9月13日~9月16日, 日本雪氷学会 雪氷研究大会 (2015-松本), 信州大学理学部.
- ・ 東久美子, 川村賢二, 藤田秀二, 奥野淳一, 本山秀明, 阿部彩子, グレーベ・ラルフ, 齋藤冬樹, 本間智之, 東信彦, 榎本浩之, Dorthe Dahl-Jensen, 東グリーンランド深層氷床掘削プロジェクト (EGRIP) による気候・氷床変動の研究, 第7 回 大気・雪氷・海洋間の物質循環と極域への物質輸送に関する研究小集会, 2015年9月28日~29日, 国立極地研究所
- ・ W. Shigeyama, N. Nagatsuka, T. Homma, M. Takata, K. Goto-Azuma, I. Waikusat, M.R. Drury, E.J. Kuiper, G. Pennock, N. Azuma, Measurement of misorientation in ice crystals by using electron backscatter diffraction (EBSD), 2015年11月16日~11月19日, The Sixth Symposium on Polar Science, 日本, 東京都立川市.
- ・ R. Dallmayr, K. Goto-Azuma, K. Kawamura, M. Hirabayashi, V. Gkinis, K. Kitamura, Y Ogawa-Tsukagawa, K. Hayashi, A. Tsushima, J. Ogata, High Resolution Continuous Flow Analysis System developed at the Ice Core Research Center, National Institute of Polar Research 2015年 2015年11月16日~11月19日, The Sixth Symposium on Polar Science, 日本, 東京都立川市.
- ・ K. Goto-Azuma, R. Dallmayr, S. Fujita, M. Hirabayashi, K. Kawamura, H. Motoyama, Development of ice-core analysis techniques at the Ice Core Research Center, National Institute of Polar Research, 2015年2015年11月16日~11月19日, The Sixth Symposium on Polar Science, 日本, 東京都立川市.
- ・ R. Shiba, K. Nota, M. Takata, N. Azuma, K. Goto-Azuma, Development of melting device for firn core samples, 2015年2015年11月16日~11月19日, The Sixth Symposium on Polar Science, 日本, 東京都立川市.
- ・ K. Goto-Azuma, K. Kawamura, S. Fujita, J. Okuno, A. Abe-Ouchi, R. Greve, F. Saito, T. Homma, N. Azuma, H. Motoyama, H. Enomoto, D. Dahl-Jensen, Japanese participation in the new international deep ice core project in Greenland (EGRIP) under the ArCS project, 2015年11月16日~11月19日, The Sixth Symposium on Polar Science, 日本, 東京都立川市.

(3) アウトリーチ、出版物、取材等

- ・ 東久美子, グリーンランドのアイスコアから分ること、「北極読本」、南極OB会編集委員会編、成



Arctic Challenge for Sustainability

山堂書店、2015年10月刊行.

- (4) その他
 - 特になし

1. メニュー名および実施責任者

メニュー名	北極気候に関わる BC 等エアロゾルの動態・発生源と雲・放射影響
実施責任者	小池 真 (国立極地研究所)

2. 活動実績

本メニューでは先端的な観測と数値モデル計算により、北極気候に関わるブラックカーボン・エアロゾル(BC)などのエアロゾルの動態を調べ、その影響を定量化することである。2015年度は、以下のように機器の整備、観測、データ解析、数値モデル計算の準備、重要な国際会議への参加などを行った。

- ノルウェーのスバルバル諸島のニーオルソン(ゼッペリン山)、およびアラスカのバローにおいて、日本で開発された BC 測定装置 COSMOS を用いて大気中の BC の連続測定を実施した。同時に観測が実施された他の研究機関(ストックホルム大学およびアメリカ海洋大気庁(NOAA))の BC 観測との比較解析を実施した。また BC の雪氷への沈着過程の鍵となる降水(降雨・降雪)のサンプリングを両地点において実施し、降水中の BC 量の定量化を行った。これらの降水中 BC データを、積雪中の BC 測定データと比較解析した。
- ニーオルソン(ゼッペリン山)において、雲微物理量(雲粒および降水粒子の粒径分布など)の連続測定を実施した。ゼッペリン山およびふもとのエアロゾルデータ(ストックホルム大学、フランス ISAC など)との比較解析を実施した。
- ニーオルソンにおいて、雲レーダ(ドップラ計測機能付 95 GHz ミリ波雲レーダ、FALCON-A)により雲物理量の3次元内部構造(雲粒の大きさ、密度、水と氷の割合など)や雲中の鉛直運動構造(雲内の風の流れ・雲粒の動き)の連続測定を実施した。受信機安定性向上およびノイズ対策のために、増幅器やケーブルなど電子部品等の保守・交換およびアイソレータとフィルターの導入などを実施した。
雲レーダは通常は真上方向天頂のみを観測しているが、天頂方向から $\pm 10^\circ$ の範囲を1方向に沿って機械的な走査観測を実施可能である。2015年度はこの走査観測を試験的に数回行い、雲の層状構造や内部の濃淡が測定できることを確認した。これは今後、雲の空間構造やドップラデータと併用することで内部運動の解析に利用することが期待でき、また後述する人工衛星観測の空間解像度の違いを考慮した比較ができるようになると考えられる。
- ニーオルソンにおいて偏光機能付きマイクロパルス・ライダ観測を実施し、球形・非球形の区別を含むエアロゾルおよび雲微物理量の高度分布の連続観測データを取得した。
- 上記のニーオルソンに設置されている雲レーダと偏光機能付きマイクロパルス・ライダのデータを解析し、雲域を抽出するアルゴリズムを開発した。またニーオルソンをエアロゾル・雲の鉛直分布を測定する人工衛星(CALIPSO, CloudSat)がニーオルソンを測定した時期との同期解析を実施した。
- 人工衛星に搭載された雲レーダとライダ(CALIPSO, CloudSat)観測データを用い、北極域の雲特性と海氷の変動特性の解析を実施した。2006年から2010年のデータを解析し、高度別、相別(水・氷)に、雲出現頻度を調べた。この解析に基づき、北極域の雲特性と海氷の変動特性の解析を実施した。
- 北極に輸送される各緯度帯・領域の BC 発生源の寄与を数値モデル計算により評価する前段階の研究として、BC 発生源における BC の粒形分布や混合状態の仮定が計算結果におよぼす感度を調べた。また輸送中での BC の降水による除去を評価する上で鍵となる BC の雲凝結核特性や、それらの特性をもつにいたる時定数の評価を数値モデル計算により行った。

- 2015年9月にフィンランドのヘルシンキにおけるブラックカーボンとオゾンの北極気候影響に関する AMAP 報告書作成のための会議に近藤がオブザーバーとして参加した。また、同時期に行われた、短寿命気候汚染物質の北極気候に及ぼす影響を調べる国際的な研究計画 PACES (air Pollution in the Arctic: Climate, Environment and Societies) の計画会議に出席して、計画の進め方などに関する議論を行った。その後、PACES の実行委員会のメンバーとして近藤と小池が参加することが認められた。
- 北極委員会 (AC) による第1回目のブラックカーボン及びメタン専門家グループ (Expert Group on Black Carbon and Methane (EGBCM)) 会議が 2016 年 1 月にアイスランドのレイキャビクで行われた。アメリカ、カナダ、デンマーク、フィンランド、アイスランド、ノルウェー、ロシア、スウェーデン、AAC, ACAP, フランス、イギリス、イタリア、日本、ポーランド、韓国、スペイン、EU、AC から 28 名が参加し、日本からは、近藤が出席し討議に参加した。
この会議の主目的は「ブラックカーボン、メタンの排出削減に関するこれまでの知見・理解のまとめと、AC 国を中心とする削減実施の勧告を含む内容の報告書 (Summary of Progress and Recommendations)」を取りまとめることであった。この文書を作成するという点においては、参加者の合意に達した。最終的には 2017 年 4 月の Arctic Council Ministerial Meeting に SAO が各国大臣に報告書を提出できるように今後の日程を設定した。また文書の形式や内容について詳細な議論がなされた。AC 国やオブザーバー国の役割についての議論も行われた。近藤は会議を通して、報告書の作成に関しいくつかの意見を述べた。
- 第 1 回 EGBCM 会議を受けて、報告書作成に必要なブラックカーボンとメタンの排出に関する5つの論文を準備することになった。近藤はこのうち、ブラックカーボンの移動発生源 (mobile sources of black carbon) の論文原稿の執筆に大きく貢献した。完成した論文の原稿は EGBCM のメンバーによる査読が行われている。

3. 研究成果

2015 度は GRENE プロジェクト最終年度と重なっており、研究成果として不可分の部分もあるので、その場合はそれらも含めて記述した。

- ニーオルソンおよびバローにおいて 2012 年から実施してきた COSMOS による BC 質量濃度測定に基づき、その季節変動などを調べた (図1)。またそれぞれの場所において同時期に実施されたストックホルム大学の PSAP およびアメリカ NOAA の CLAP/PSAP による BC 測定と比較解析した。この結果、それぞれの比較において光吸収係数は良く相関しているものの、NOAA などの測定値は 20-30% 程度系統的に高い値となっていることが明らかとなった。一方、バローでアメリカの Baylor 大学が一年間行った元素状炭素 (EC) の測定と本研究の COSMOS 測定とを比較した結果、両者は 10% 以内で良く一致し、COSMOS の測定精度を改めて示す結果が得られた。これらの一連の従来の測定法との比較により、これまで従来の測定法により長期間にわたり北極で行われてきた BC 測定の絶対値の精度を評価し、長期的な変動を定量化することが可能となった。
- ニーオルソンのゼッペリン山観測所で通年測定された雲粒数濃度データを解析した結果、4-9 月に他の月よりも相対的に濃度が高くなる季節変化が明らかとなった。また直径 100nm 程度以上のエアロゾル数濃度を雲凝結核数濃度の指標として雲粒数濃度と比較したところ、正の相関がみられた。これはエアロゾル数濃度が雲粒数濃度に影響を与えていることを、北極圏での連続観測から初めて示唆する結果である。
- ニーオルソンの雲レーダ FALCON-A で取得されたデータについて強度校正を行うことによりレーダ反射因子 dBZ に変換した。メニュー内での共同研究促進のために、このデータを ADS (北極データアーカイブシステム) にアップロードした。また同じ目的から雲レーダによる雲観測のリアルタイムデータを、ADS に自動転送するシステムを整備し、いつでもどこからでも雲レーダの観測結果を見ることができるようにした。

- ニーオルソンのゼッペリン山で直接測定された雲・降水粒子の粒径分布を用いて、レーダ反射因子 Z を計算し、雲レーダで観測された Z と比較した。初期的な解析の結果、両者は少なくともオーダーが一致していることがわかった。
- W バンド 94 GHz 雲レーダを搭載している観測衛星 CloudSat がニーオルソンの雲レーダから 2 km 程度以内を通過したケースを抽出し、比較を行った。その 1 例を図 2 に示した。2つの観測の信号強度は高度 1km 以下の部分を除外すると、よく一致していることがわかる。また、直前に撮られている Aqua-MODIS の RGB 合成画像（左上の図）から、この時の雲は空間的に均一性のある雲であることがわかり、空間分解能が大きく異なる 2 つの観測が良く一致していることと整合的である。
- 雲レーダと偏光機能付きマイクロパルス・ライダーの統合的解析を実施し、2013-2014 年の CloudSat/CALIPSO との同期解析を実施した。地上レーダと衛星雲レーダの感度を合わせ、地上レーダにさらに降雨減衰を考慮すると、地上レーダと衛星レーダの間でレーダ反射因子、雲出現頻度分布は共に良い一致を示す事がわかった。また地上レーダ・ライダー解析用の氷粒子微物理アルゴリズムを開発した。地上雲レーダ・ライダーのデータから氷雲微物理特性解析を実施した結果、30-200 ミクロンで変動し、下層に向かって大きく成長している事が捉えられた。
- 人工衛星に搭載された雲レーダとライダー (CALIPSO, CloudSat) 観測データを用い、北極域の雲特性と海氷の変動特性の解析を実施した。2006 年から 2010 年のデータを解析し、高度別、相別(水・氷)に、雲出現頻度を調べた。この解析に基づき、北極域の雲特性と海氷の変動特性の解析を実施した。これらとマイクロ波放射計結果から求められた海氷面積との対応を調べた。5-10 月には水雲が、それ以外は氷雲の雲量が卓越する事がわかった。毎年 7 月には下層水雲の雲量が極小になること、10 月には海氷面積が極小になっていた。10 月に下層の水雲の雲量は極大になっていた。また解析期間では 2007 年の雲の減少がもっとも顕著で、それと対応して海氷面積が同じ年の 9 月に極小になること、10 月の下層の水雲の雲量が最大になるのは、海氷の消失と対応して発生している事が示唆された。
- 数値モデルを使った研究により、BC の大きな発生源である東アジアから春季に排出された BC は、過飽和度 1.0%(積乱雲などの強い対流雲)ではほぼ 100%が雲凝結核特性をもち降水により除去される可能性がある一方、過飽和度 0.1%(層積雲などの弱い対流雲)では 20-50%程度が粒形に応じて雲凝結核特性をもつことがわかった。これらの結果は、アジアから北極へと輸送される BC 量の評価において、BC の粒径や混合状態といった雲凝結核特性に影響する要素を精度良く計算することが必要であることを強く示唆するものである。

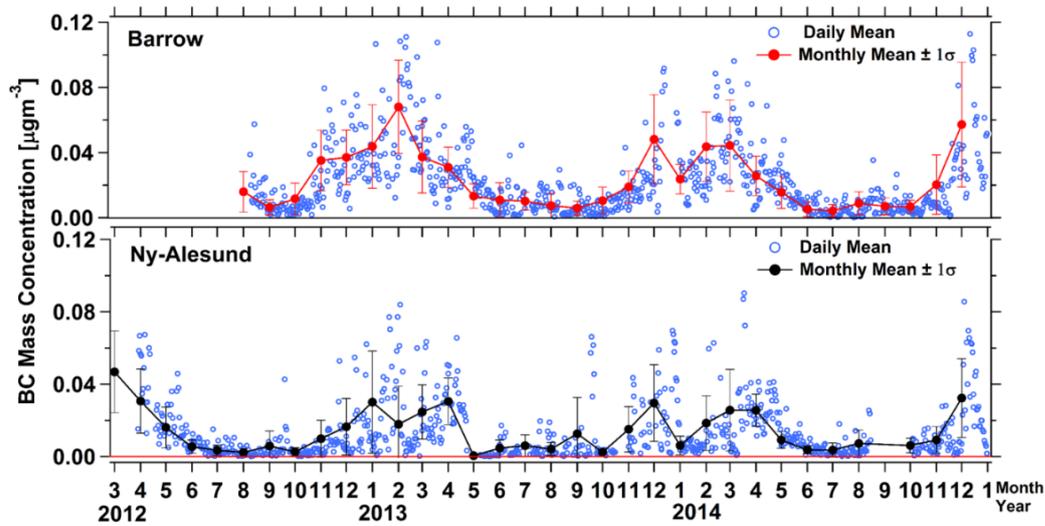


図1. 北極圏のアラスカのバローおよびスバルバル諸島のニーオルソンにおけるブラックカーボン・エアロゾル (BC) の質量濃度の時系列。日本で開発された BC 質量濃度連続測定装置 COSMOS により観測された。

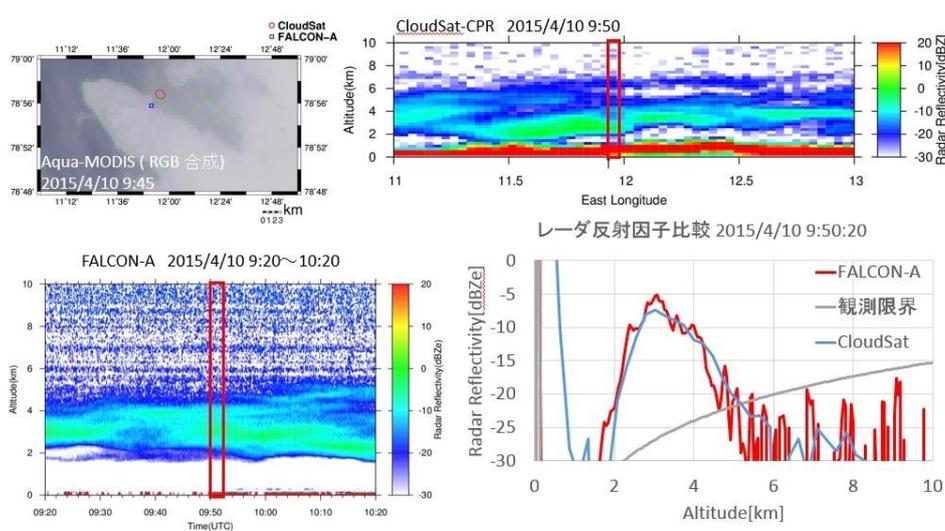


図2: 2015年4月10日の人工衛星 CloudSat のニーオルソン通過時の雲レーダ FALCON-A との比較。両者で見える雲は、高度 1km 以下の部分を除外すると、よく一致している。直前に撮られている Aqua-MODIS の RGB 合成画像 (左上の図) から、この時の雲は空間的に均一性のある雲であることがわかり、空間分解能が大きく異なる 2つの観測が良く一致していることと整合的である。

4. 研究成果発表

(1) 論文発表

(1-1) 査読あり

- Sho Ohata, J. P. Schwarz, Nobuhiro Moteki, Makoto Koike, Akinori Takami, Yutaka Kondo, Hygroscopicity of materials internally mixed with black carbon measured in Tokyo, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, doi:10.1002/2015JD024153, 2016.
- J. M. Alvarado, C. R. Lonsdale, M. L. Macintyre, H. Bian, M. Chin, D. A. Ridley, C. L. Healed, K. L. Thornhill, B. E. Anderson, M. J. Cubison, J. L., Jimenez, Yutaka Kondo, K. L. Sahu, J. E. Dibb, and C. Wang, Evaluating model parameterizations of submicron aerosol scattering and absorption with in situ data from ARCTAS 2008, *Atmos. Chem. Phys. Discuss*, doi:10.5194/acp-2015-935, 2016.
- Tatsuhiro Mori, Nobuhiro Moteki, Sho Ohata, Makoto Koike, Kumiko Goto-Azuma, Yuzo Miyazaki, Yutaka Kondo, Improved technique for measuring the size distribution of black carbon particles in liquid water, *Aerosol Sci. Technol.*, 50, 242-254, 2016.
- Takuma Miyakawa, Yugo Kanaya, Yuichi Komazaki, Takao Miyoshi, Hideki Nara, Akinori Takami, Nobuhiro Moteki, Makoto Koike, Yutaka Kondo, Emission regulations altered the concentrations, origin, and formation of carbonaceous aerosols in the Tokyo Metropolitan Area, *Aerosol and Air Quality Res.*, doi: 10.4209/aaqr.2015.11.0624, 2016.
- Atsushi Yoshida, Nobuhiro Moteki, Sho Ohata, Tatsuhiro Mori, Ryuji Tada, P. Dagsson-Waldhauserová, and Yutaka Kondo, Detection of light-absorbing iron oxide particles using a modified single-particle soot photometer, *Aerosol Sci. Technol.*, 50, i-iv, doi:10.1080/02786826.2016.1146402, 2016.
- T. C. J. Hill, P. J. DeMott, Yutaka Tobo, J. Fröhlich-Nowoisky, B. F. Moffett, G. D. Franc, S. M. Kreidenweis, Sources of organic ice nucleating particles in soils. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, doi:10.5194/acp-2016-1, 2016.
- Hitoshi Matsui, Black carbon simulations using a size- and mixing-state-resolved three-dimensional model: 1. Radiative effects and their uncertainties, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, doi:10.1002/2015JD023998, 2016.
- Hitoshi Matsui, Black carbon simulations using a size- and mixing-state-resolved three-dimensional model: 2. Aging timescale and its impact over East Asia, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, doi:10.1002/2015JD023999, 2016.
- A.J. Illingworth, H.W. Barker, A. Beljaars, M. Ceccaldi, H. Chepfer, N. Clerbaux, J. Cole, J. Delanoë, C. Domec, D.P. Donovan, S. Fukuda, M. Hiraoka, R.J. Hogan, A. Huenerbein, P. Kollias, T. Kubota, T. Nakajima, T. Y. Nakajima, T. Nishizawa, Y. Ohno, Hajime Okamoto, R. Oki, Kaori Sato, M. Satoh, M.W. Shephard, A. Velázquez-Blázquez, U. Wandinger, T. Wehr, G.-J. van Zadelhoff, The EarthCARE Satellite: The Next Step Forward in Global Measurements of Clouds, Aerosols, Precipitation, and Radiation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96, 1311–1332, doi: 10.1175/BAMS-D-12-00227.1., 2015.
- A. V. Konoshonkin, N. V. Kustova, A. G. Borovoi, Hajime Okamoto, Coherent and incoherent additions of light beams at solutions of the light scattering problem by use the beam tracing method within the framework of physical optics, Proc. SPIE., 9680, 21st International Symposium Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 96802X, doi: 10.1117/12.2204879, 2015.
- A. V. Konoshonkin, N. V. Kustova, A. G. Borovoi, H. Ishimoto, K. Masuda, Hajime Okamoto, Comparison of the physical optics code with the GOIE method and the direct solution of Maxwell equations obtained by FDTD, Proc. SPIE., 9680, 21st International Symposium Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics,

96802M.,doi: 10.1117/12.2203288, 2015.

- Matthew Newman, Michael A. Alexander, Toby R. Ault, Kim M. Cobb, Clara Deser, Emanuele Di Lorenzo, Mathan J. Mantua, Arthur J. Miller, Shoshiro Minobe, Hisashi Nakamura, Niklas Schneider, Daniel J. Vimont, Adam S. Phillips, James D. Scott, Catherine A. Smith, The Pacific Decadal Oscillation, *Revisited. J. Climate*, 29, 2016 (Accepted)
- G. Cesana, H. Chepfer, D. Winker, B. Getzewich, X. Cai, O. Jourdan, G. Mioche, Hajime Okamoto, Y. Hagihara, V. Noel, M. Reverdy, 2016:Using in-situ airborne measurements to evaluate three cloud phase products derived from CALIPSO,*J. Geophys. Res. -Atmosphere*, 2016 (Accepted)
- Hajime Okamoto, Kaori Sato, Y. Hagihara, Evaluation of retrieval algorithms for ice microphysics using CALIPSO/CloudSat and EarthCARE, 27th International Laser Radar Conference, 2016 (Accepted)
- Hajime Okamoto, Kaori Sato, T. Makino, T.Nishizawa, Y. Jin, N. Sugimoto, Depolarization ratio of clouds measured by multiple-field of view multiple scattering polarization lidar, 27th International Laser Radar Conference, 2016 (Accepted)
- Kaori Sato, Hajime Okamoto, H. Ishimoto, Modeling lidar multiple scattering, 27th International Laser Radar Conference, 2016 (Accepted)
- Sho Tanaka, Kazuaki Nishii, Hisashi Nakamura, Vertical structure and energetics of the Western Pacific teleconnection pattern. *J. Climate*, (Submitted)

(1-2) 査読なし

特になし

(2) 学会発表

国内学会発表

- P.R. Sinha, Yutaka Kondo, Makoto Koike, Sho Ohata, Nobuhiro Moteki, Tatsuhiro Mori, Kumiko Goto-Azuma, Yoshimi Tsukagawa, Measurement of refractory black carbon mass concentrations in falling and deposited snow in the Arctic, GRENE 北極気候変動研究事業 研究成果報告会, 2016年3月2日, 国立極地研究所, 立川市, 東京.
- 岡本創, 北極域の雲特性と海氷相互作用研究. GRENE 北極気候変動研究事業 研究成果報告会, 2016年3月3日, 国立極地研究所, 立川市, 東京.
- 鷹野敏明, 矢永賢洋, 永瀬雄斗, 渡辺哲郎, 井浦太一, 森大知, 河村洋平, 中田裕之, 塩原匡貴, 山内恭, 雲レーダー FALCON-A による北極ニーオルスンでの雲観測, GRENE 北極気候変動研究事業 研究成果報告会, P03-025, 2016年3月4日, 国立極地研究所, 立川市, 東京.
- 當房豊, 土壌起源の有機エアロゾルとその氷晶核としての役割 (招待講演), 有機エアロゾルに関するワークショップ: 大気におけるその動態・性状・役割 (第2回), 2016年3月1日, 秋葉原 UDX, 東京.
- 當房豊, 氷晶核濃度のパラメタリゼーション化に関する取り組み, 国立極地研・研究集会「エアロゾル-雲相互作用について語らう会」, 2016年2月26日, 東京.
- 近藤豊, 中緯度から北極へのエアロゾルの輸送と降水除去, 国立極地研究所・研究集会 「エアロゾ

ル-雲相互作用」, 2016年2月26日, 東京.

- ・ Yutaka Tobo, Potential importance of biogenic ice nucleating particles (invited), DEGCR-Atmosphere Seminar, 20 January 2016, JAMSTEC, 神奈川.
- ・ 森谷哲平, 鷹野敏明, 中田裕之, 大矢浩代, 河村洋平, 小池真, 塩原匡貴, ミリ波雲レーダ FALCON-A による北極圏の雲の定量解析, 日本大気電気学会 第94回研究会, No.57, 2016年1月9日, 東京.
- ・ 井浦太一, 矢永賢洋, 永瀬雄斗, 鹿野隼人, 河村洋平, 中田裕之, 鷹野敏明, 北極気候変動観測用ミリ波雲レーダ FALCON-A と CloudSAT の同時観測, 日本大気電気学会 第94回研究会, No.59, 2016年1月9日, 調布, 東京.
- ・ 今間陽介, 矢永賢洋, 河村洋平, 中田裕之, 鷹野敏明, 高村民雄, 柏柳太郎, ミリ波雲レーダ FALCON-I による大気輝度温度の観測と検証, 日本大気電気学会 第94回研究会, No.61, 2016年1月9日, 調布, 東京.
- ・ 関谷和樹, 今間陽介, 森大知, 森川康平, 河村洋平, 中田裕之, 鷹野敏明, アンテナ雲レーダ FALCON-X におけるキャンセル回路の作成とその評価, 日本大気電気学会 第94回研究会, No.62, 2016年1月9日, 調布, 東京.
- ・ 當房豊, バイオエアロゾル・氷晶核の調査研究: ロッキー山脈の森林地帯での事例 (招待講演), 第九回「放射性物質の大気沈着・拡散過程および陸面相互作用の理解」, 2015年12月9日, 気象研, 茨城.
- ・ 永塚尚子, 小川佳美, 東久美子, 杉浦幸之助, 榎本浩之, 中野孝教, Sr-Nd 同位体比を用いた北極域の積雪中ダストの供給源推定. 極域科学シンポジウム, 2015年11月19日, 立川, 東京.
- ・ 永塚尚子, 小川佳美, 東久美子, 杉浦幸之助, 榎本浩之, 中野孝教, Sr-Nd 同位体比を用いた北極域の積雪中ダストの供給源推定. 同位体環境学シンポジウム, 2015年11月19日, 京都.
- ・ P. R. Sinha, Yutaka Kondo, J. Ogren, A. Jefferson, Makoto Koike, Spatial variations of black carbon and insoluble particles in snow in Alaska, Multi-year measurements of black carbon aerosol over Barrow and Ny-Alesund in the Arctic, The 6th symposium on polar science, November, 18, 2015, National Institute of Polar Research, Tokyo.
- ・ Yoshimi Ogawa, Kumiko Goto-Azuama, Konosuke Sugiura, Yutaka Kondo, Sho Ohata, Tatsuhiro Mori, Nobuhiro Moteki, Motohiro Hirabayashi, Hiroyuki Enomoto, Spatial variations of black carbon and insoluble particles in snow in Alaska, The 6th symposium on polar science, November, 18, 2015, National Institute of Polar Research, Tokyo.
- ・ Yutaka Tobo, Naoko Nagatsuka, Jun Uetake, Investigation of the ice nucleation properties of dust collected in northwest Greenland, The 6th Symposium on Polar Science, 16 November 2015, National Institute of Polar Research, Tokyo.
- ・ 當房豊, コールドプレート実験に基づいた氷晶核計測法の評価, 日本気象学会 2015年度秋季大会, 2015年10月27日, 京都テルサ, 京都.
- ・ 永塚尚子, Ramona Valentina Mateiu, 東久美子, 塚川佳美, 杉浦幸之助, 榎本浩之, 青木輝夫, 朽木勝幸, 平林幹啓, 走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いた北極域の積雪に含まれる黒色炭素の形態観察, 雪氷研究大会, 2015年9月14日, 松本, 長野.
- ・ 當房豊, 氷形成を誘発するバイオエアロゾル粒子 (招待講演), 雪氷化学分科会, 2015年9月14日, 信州大学, 長野.

国際学会発表

- Makoto Koike, Yutaka Kondo, P. R. Sinha, Masayuki Shiobara, Jinro Ukita, T. Kobayashi, Takaaki Takano, Hajime Okamoto, Aerosol-cloud study of GRENE and ArCS projects Japan-German Arctic Science Workshop, Alfred Wegener Institute, Potsdam, Germany, November 10, 2015
- Naoko Nagatsuka, Konosuke Sugiura, Yoshimi Ogawa, Kumiko Goto-Azuma, Hiroyuki Enomoto, Takanori Nakano, Variations in Sr and Nd isotopic ratio of dust in Arctic snow, IPICS, 2016年3月7日, Hobart, Australia.
- Tatsuhiro Mori, Nobuhiro Moteki, Sho Ohata, Makoto Koike, Kumiko Goto-Azuma, Yuzo Miyazaki, Yutaka Kondo, Improved technique for measuring the size distribution of black carbon particles in rainwater and snow samples, AGU fall meeting, San Francisco, USA, December, 2015.
- Sho Ohata, J. P. Schwarz, Nobuhiro Moteki, Makoto Koike, Akinori Takami, Yutaka Kondo, Hygroscopicity of materials internally Mixed with black carbon measured in Tokyo, AGU fall meeting, San Francisco, USA, December, 2015.
- Takuma Miyakawa, Fumikazu Taketani, Naga Oshima, X. Pan, Yuichi Komazaki, Yutaka Kondo, Yugo Kanaya, Aging and removal of black carbon measured using a single particle soot photometer in East Asia, AGU fall meeting, San Francisco, USA, December, 2015.
- Kaori Sato, Hajime Okamoto, Space-borne active sensor cloud retrievals and evaluation by ground-based MFMSPL measurements, AGU fall meeting, San Francisco, USA, December, 2015.
- Hajime Okamoto, Kaori Sato, H. Ishimoto, Y. Hagihara, Global analysis of generation mechanism of ice microphysics inferred from space-borne active sensors and infrared sounder, AGU fall meeting, San Francisco, USA, December, 2015.
- Naga Oshima, Aging of black carbon and its impact on the spatial distribution and radiative effect using a MRI global model, JSPS-DFG Workshop on Aerosols, Max Planck Institute for Chemistry, Mainz, Germany, November 27, 2015.
- Naga Oshima, Taichu Y. Tanaka, Tsuyoshi Koshiro, Hideaki Kawai, Makoto Deushi, Mizuo Kajino, Makoto Koike, Impact of the micro-scale aging process of black carbon on its global-scale spatial distribution and radiative effect, The 13th International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality (ASAAQ13), Kobe, November 11, 2015.
- Naga Oshima, Taichu Y. Tanaka, Tsuyoshi Koshiro, Hideaki Kawai, Makoto Deushi, Makoto Koike, Yutaka Kondo, Impact of black carbon aging on its spatial distribution and radiative effect using a MRI global aerosol model, 14th AeroCom Workshop, Rome, Italy, October 6, 2015.
- Toshiaki Takano, Yohei Kawamura, Hiroyuki Nakata, Tamio Takamura, Masataka Shiobara, Clouds observations with high resolution FMCW cloud profiling radar FALCON-A at the arctic station in Ny-Alesund 2015 SPIE Remote Sensing, 9640-15, Sept. 23. 2015, Toulouse, France.

(3) アウトリーチ、出版物、取材等

- 當房豊, 雲粒は何°Cまで下がると凍るのか?, 国立極地研究所 子供向けサイエンスカフェ「めざせ! 極地の研究者 大気 of 研究者編」, 2016年3月29日, 極地研.
- 岡本創, 雲の一生ダブル観測, 2016年2月26日, 毎日新聞 朝刊.

- ・ 當房豊，小さな生き物の活動と降雪・降水現象とのかかわり，津軽半島環境研究センター 市民公開サイエンス講座，2015年9月19日，津軽半島環境研究センター。

(4) その他

特になし

1. メニュー名および実施責任者

メニュー名	北極域における温室効果気体の動態解明と収支評価
実施責任者	森本 真司 (国立極地研究所)

2. 活動実績

- 2015年10月19日に、JAMSTEC 東京事務所において、「北極域における温室効果気体の動態解明と収支評価」課題の全体会合を開催し、研究目的の共有と大気・陸域・モデル研究サブグループの研究計画について議論した。参加者は、計17名であった。
- 本委託研究を名古屋大学においてスムーズに遂行できるようにするために、平成28年1月1日付けで、名古屋大学宇宙地球環境研究所附属国際連携研究センターに北極域研究推進プロジェクト推進室を設置した。
- アラスカにおける一連の観測と研究は、アラスカ大学フェアバンクス校・国際北極圏研究センター (International Arctic Research Center; IARC) の敷地内で実施している。そのため、次年度以降も継続して観測体制を維持するために、IARC 所長に本委託研究の趣旨を伝え、IARC 側からの継続的なサポートを受けることで了解を得た。
- 現地観測によって質の高い温室効果気体フラックスデータを取得するためには、現地に長期にわたって滞在できる研究員が必要不可欠である。そこで次年度から本委託研究に専念できる研究員を特任助教として募集し、人事選考を行った後、名古屋大学宇宙地球環境研究所附属国際連携研究センター北極域研究推進プロジェクト推進室に平成28年4月1日付けで着任できるよう採用手続きを進めた。
- 大気中の温室効果気体及び関連気体濃度の長期高精度観測を維持するため、観測装置の整備・改造・改造準備などを実施した。スバルバル諸島ニーオルスン、カナダ・マニトバ州チャーチル、ロシア・スルグート上空で定期的に採取している大気試料の温室効果気体濃度及び同位体比の高精度分析を継続実施し、それらの時系列観測データを蓄積した。また、ニーオルスンにおいて大気中 O_2 、 CO_2 、 CH_4 濃度の連続観測を維持し、長期の欠測もなく高精度時系列データを蓄積すると共に、ニーオルスンで採取された大気試料の一部を用いて、 Ar/N_2 、 O_2/N_2 比と N_2 、 O_2 、 Ar の安定同位体比分析を行った。得られたデータの一部についてデータ解析を開始した。2016年2月にニーオルスン基地に滞在し、各システムの保守点検を実施した。
- 東京―パリ間の民間定期旅客機上で高度 10-12km 付近の大気を採取し、 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 、 SF_6 、 CO 、 H_2 の各濃度および CO_2 と CH_4 の安定同位体を測定した。大気採取は2015年10月14日、12月14日、2016年3月1日に、日本航空の協力を得て観測者が航空機に搭乗して実施した。
- 平成27年度秋季に行われた研究船「みらい」による北極圏航海中に観測された大気中メタン濃度の解析を行った。また、航海中に採取された船上大気試料について、 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 、 CO および SF_6 の各濃度、 O_2/N_2 および Ar/N_2 比、 CO_2 の炭素および酸素安定同位体比、 CH_4 の炭素および水素同位体比をそれぞれ分析した。観測されたメタンの時空間分布に北極圏からのメタン放出が及ぼす影響を調べるため、観測結果と北半球中・高緯度におけるモニタリングサイトでのメタン濃度との比較や、後方流跡線解析によって観測されたエアマスの起源推定、さらに、大気輸送モデルでの計算結果との比較を

行った。

- ・ 米国アラスカ州フェアバンクス近郊のタイガ（クロトウヒ林）において、温室効果気体（CO₂およびCH₄）フラックス、気象要素や放射・熱エネルギーなどの地表面フラックスの観測を継続すると共に、観測システムの保守を行った。また、アラスカ観測サイトの複数箇所で次年度から実施予定のチャンバー計測の準備（複数個の自動開閉式閉鎖型チャンバーシステムの作成、計測機器の購入、機器の調整など）を国内で実施した。さらに、エドマ・サーモカルスト観測チーム（北見工業大学）が行うエドマ中のCH₄や有機炭素などの組成分析およびサーモカルスト地盤沈下（エドマの変化過程）の観測的研究に協力し、エドマ融解にともなうCH₄放出量の推定手法について議論した。
- ・ ロシア連邦サハ共和国ヤクーツク近郊のタイガ（カラマツ林：スパスカヤ・パッド試験地およびエレゲイ試験地）において、CH₄フラックス以外の研究項目について、アラスカと同様の観測を維持・継続した。また、ロシア側カウンターパートであるロシア科学アカデミー・シベリア支部寒冷圏生物問題研究所に観測サイトの借料を支払った。これまでに取得済みの観測データを使って解析を進めた。
- ・ 永久凍土および多年地下氷に含まれる温室効果気体（メタン）を回収・分析するためのシステムを構築するとともに、アラスカ永久凍土地帯で事前に採取された永久凍土地下氷試料に対して予備的な分析を行った。また、アラスカ永久凍土地帯で予備調査を行い、永久凍土の試掘を実施した。
- ・ ポーカーフラットでの気象、二酸化炭素フラックス観測（タワー）および地表面温度・積雪状況の観測（DTS観測）、インターバルカメラによる植物季節観測を継続した。また、来年度のDTS光ファイバ敷設拡張作業について、必要機材の搬入や現地管理者との打合せなど必要な準備を行った。
- ・ Terra と Aqua 衛星に搭載されたMODISセンサーで毎日観測した衛星データを解析し、アラスカの着葉期間の開始と終了の期日を地図化した。

3. 研究成果

- ・ これまでスバル諸島ニューオルスンとカナダ・マニトバ州チャーチルで行ってきたCH₄濃度及びCH₄の炭素・水素同位体比観測について、それらの季節変化に着目した解析を開始した。デジタルフィルターを用いて観測データからそれぞれの季節変化成分を抽出し、¹³C及びD（²H）を含むCH₄（¹³CH₄、CH₃D）の収支式を解くことにより、化石燃料起源・森林火災起源・微生物起源CH₄放出源それぞれによるCH₄濃度季節変化への寄与を求めた。その結果、微生物起源CH₄の放出量が夏期（6-9月）に、化石燃料起源CH₄放出量が冬期（11-1月）に増加していることが示唆された。
- ・ ニューオルスンにおいて初夏に観測されるO₂濃度の数日規模の不規則な変動の要因について、後方流跡線解析、衛星観測データ、大気輸送モデルを用いた数値実験結果を利用した解析を進めた結果、このO₂濃度の不規則な変動は、グリーンランド海、ノルウェー海、バレンツ海の海洋生物のブルームによるO₂放出によって生じていることが明らかになった。また、観測した変動から、海洋生物活動による生産量を推定し、衛星観測データから推定された純一次生産量分布と比較した結果、両者は良い一致を示した。
- ・ ニューオルスンにおいてCO₂、CH₄濃度の明瞭な季節変動や秋～冬に頻出する数日～半月程度の短周期の変動が観測された。数日～半月程度の短周期の変動に関して、CO₂濃度とCH₄濃度がほぼ同期する正の相関を持った変動を示したが、後方流跡線解析の結果から、大陸起源と洋上起源の気塊の入れ替わりにより変動が引き起こされていることが推察された。ニューオルスンで観測されたN₂およびO₂の安定同位体比は僅かな季節変動を示し、夏季に比して冬季のN₂同位体比は約2 per meg高かった。こ

の変動は極夜の逆転層内における大気分子の拡散分離に起因している可能性があり、分子拡散分離の影響が強く現れる Ar/N₂ 比との比較や、1次元拡散モデルによる検証を進めている。

- 図1に東京ーパリ間を飛行する民間定期旅客機上で採取された大気サンプル中の CO₂ 濃度および外気温の経度分布を示す。10月は対流圏では濃度が増大する時期であるが、成層圏では夏季の対流圏大気の流れによる濃度上昇が終わって徐々に濃度が下がり始める時期に相当するため、観測された対流圏と成層圏での CO₂ 濃度の差が非常に小さくなっている。12月には対流圏の CO₂ 濃度はさらに上昇し、圏界面から離れた成層圏では逆に濃度が低下することが知られている。しかしながら12月の観測値は全てのポイントで10月に比べて高い濃度を示しており、12月14日のフライトでは中部成層圏の大気試料は採取できなかったものと考えられる。東経25度や85-95度付近に見られる低濃度は圏界面直上の遷移領域に相当すると思われる。3月になると対流圏と成層圏の CO₂ 濃度は一層差が大きくなるのがわかっている。東経10度や125-135度で観測された高濃度は対流圏のサンプルであると考えられ、他は遷移領域の大気であると推察される。同様の観測によって得られた CH₄ 濃度の経度分布を図2に示す。10月の CH₄ 濃度は CO₂ 濃度とは違って成層圏大気が対流圏より明らかに低くなる。CO₂ 濃度では確認できなかったが、東経40-65度の CH₄ 濃度は成層圏大気の特徴を表していると言える。この経度での、温位が高いことからより成層圏的であることを裏付けている。12月になると対流圏と成層圏の濃度差は縮まるものの、有意な差は存在している。この時期は CO₂ 濃度も対流圏と成層圏の濃度差が存在しているため、経度分布は CH₄ 濃度と CO₂ 濃度で似た形をしている。すなわち、2015年10月の緯度分布は、CH₄ 濃度も CO₂ 濃度も主に成層圏大気の影響の大きさによって支配されていると考えることができる。3月になると成層圏と対流圏における CH₄ 濃度の差はさらに広がるので、この時期も経度分布が CO₂ 濃度と近いことが確認できる。今年度実施した大気サンプリングは3回のみであったが、今後も同様な観測を継続することによって温室効果ガスの対流圏・成層圏交換のメカニズムや、シベリア域における温室効果ガスのフラックスの変動を明らかにしていくための貴重なデータを積み重ねていく予定である。
- 「みらい」北極圏航海で観測された大気中 CH₄ 濃度に、多数の短期的ピークが見られた。後方流跡線解析の結果、これらの濃度ピークの多くはエアマスが陸側から輸送される際に観測されることが分かった。特に、アラスカ北部（ノーススロープ）やロシアの最北東端域から輸送される場合に比較的高濃度の CH₄ が観測されたが、エアマスが北極海側から輸送される場合にもピークが観測されることも数例あり、海洋からの CH₄ 放出の可能性も残された。また、既存の CH₄ フラックス分布と大気輸送モデルを用いた計算結果と観測結果の比較から、モデルの水平解像度が高いほどよく短期変動を再現することが分かった。しかし、ピークの大きさは必ずしもモデル計算結果と一致せず、CH₄ フラックス分布または大気輸送に改善の余地があることが示唆された。
- 「みらい」船上大気中の O₂/N₂ 比と CO₂ 濃度の観測結果から計算される大気ポテンシャル酸素 (APO = O₂ + 1.1xCO₂) は明瞭な日々変動を示した。過去に行った同様の観測について解析を進めた結果、観測された APO の日々変動は、「みらい」航海で観測された溶存酸素濃度から推定した現場海域の大気・海洋間 O₂ フラックスの変動に起因していることが示唆された。
- アラスカの永久凍土上のタイガ（クロトウヒ林）において2011～2013年に渦相関法によって観測された CH₄ フラックスは、風向によって大きく異なり、湿潤なミズゴケが優先するほうから風が吹いた場合に CH₄ フラックスは大きく、乾燥した林から風が吹いた場合に CH₄ フラックスは小さいことが明らかになった。3年間の生育期間の CH₄ 放出量は、12～36 mmol m⁻² であり、他の高緯度湿原と比べて

1桁程度 CH₄ 放出が少ない。

- 植物生理モデルと群落微気象モデルを結合させたモデルを開発し、CO₂濃度上昇に伴い高緯度生態系の総一次生産量 (GPP) がどの程度変化してきたかを定量評価した。評価の結果、2003～2014年の期間の 23 ppm の CO₂濃度上昇によって、GPP が 3.2±0.7%増加していることが明らかとなった。
- スパスカヤ・パッドにおける蒸発散量と光合成量の解析から、暖候期 (5月～9月) には、2005年～2009年の降水量増加期以降、土壌水分量が維持されても蒸発散効率 (群落コンダクタンスとボーエン比) は低下したことが、2005年～2008年以降、森林群落全体の値としての光合成量は減少したが、林床の光合成量は増加していたことが明らかになった。このことから、樹冠における光合成量は減少していると考えられた。
- アラスカ内陸部フェアバンクス近郊 (Fox)、北極海沿岸バロー、北部ノーススロープ地域 (通称 Anak2 および Kanevskiy) で採取した多年地下氷の予備的な分析を行った。ガス含有量が概して体積比で数パーセント程度であったのに対して、メタン濃度は試料毎に大きく異なる (数百～数万 ppmv) ことなどが明らかになった。これらの結果は、地域ごとに、また同一の氷体内においても部位によって、温室効果ガス (メタン) ガス濃度が顕著に異なることを示唆している。メタンガスの安定炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) は -90‰～-70‰、安定水素同位体比 (δD) は -360‰～-330‰程度の値をとり、これらのガスが微生物起源であることを示唆している
- 今年度導入したドリルの性能を評価する目的で、アラスカ北部ワイズマン近郊に分布する、氷層 (アイスレンズ) と凍結土壌が互層構造をなすパルサ (永久凍土丘) で鉛直掘削を行った (図 3)。結果は良好であり、ドリルは地下氷体および凍土のどちらに対しても期待通りの掘削性能を示した。
- ポーカフラットにおける気象・二酸化炭素フラックスおよび地表面温度・積雪状況、植物季節の観測値を継続・更新した。
- 衛星による植物季節観測の高精度化のための地上真値を得た。

4. 研究成果発表

(1) 論文発表

(1-1) 査読あり

- Ishidoya, S., H. Uchida, D. Sasano, N. Kosugi, S. Taguchi, M. Ishii, S. Morimoto, Y. Tohjima, S. Nishino, S. Murayama, S. Aoki, K. Ishijima, R. Fujita, D. Goto, T. Nakazawa, 2016: Ship observations of Atmospheric Potential Oxygen and regional air-sea O₂ flux in the Northern North Pacific and the Arctic Ocean, Tellus B (submitted).
- Goto, D., S. Morimoto, S. Aoki, P. K. Patra and T. Nakazawa, Seasonal and short-term variations of Atmospheric Potential Oxygen at Ny-Ålesund, Svalbard, Tellus B (submitted).

(1-2) 査読なし

なし

(2) 学会発表

- 藤田遼、森本真司、石島健太郎、Prabir Patra、梅澤拓、Doug Worthy、青木周司、中澤高清、カナダ・チャーチルにおける大気中 CH₄濃度の季節変動とその起源解析、第 21 回大気化学討論会、東京

工業大学、東京都目黒区、10/19-21、2015.

- ・ 石島健太郎、Prabir Patra、Ed Dlugokencky、伊藤昭彦、町田敏暢、梅澤拓、青木周司、森本真司、中澤高清、放出源別モデル計算を用いたメタンフラックスの最適化について、日本気象学会秋季大会、京都、10/28-30、2015.
- ・ 澤庸介、町田敏暢、松枝秀和、丹羽洋介、梅澤拓、民間航空機を用いた温室効果気体の広範囲モニタリング、日本気象学会2015年度秋季大会、京都府京都市、2015年10月28-30日.
- ・ 石戸谷重之、村山昌平、遠嶋康徳、坪井一寛、後藤大輔、田口彰一、松枝秀和、森本真司、菅原敏、気候変動と炭素循環の包括的評価を目指した大気中アルゴン濃度と酸素濃度の高精度観測、日本気象学会秋季大会、京都、10/28-30、2015.
- ・ 川崎照夫、中澤高清、青木周司、森本真司、後藤大輔、町田敏暢、遠嶋康徳、向井人史、勝又啓一、村山昌平、石戸谷重之、加藤健次、下坂琢哉、青木伸行、渡辺拓朗、小出寛、高橋正臣、滝沢厚詩、藤谷徳之助、松枝秀和、澤庸介、坪井一寛、温室効果ガス観測に関する相互比較実験 (iceGG0) の結果、日本気象学会 2015 年度秋季大会、2015 年 10 月 28-30 日、京都
- ・ Machida, T., Y. Sawa, H. Matsueda, Y. Niwa, K. Tsuboi, K. Katsumata, T. Umezawa, H. Eto, S. Morimoto, S. Aoki, Comparisons of CO₂ and other greenhouse gases sampled by three different methods in the CONTRAIL project, IAGOS-IGAS Joint Meeting, Toulouse, France, 17-21 November 2015.
- ・ 野々垣亮介、齋藤尚子、今須 良一、塩見慶、丹羽洋介、青木周司、森本真司、町田敏暢、松枝秀和、澤庸介、坪井一寛、モデル及び航空機による GOSAT の CH₄ 鉛直データの評価、生研フォーラム、東京、3/17-18、2016.
- ・ Ichii, K., Kondo, M., Ueyama, M., Ito, A., Kobayashi, H., Maki, T., Niwa, Y., Prabir, P. K., Sato, H., Sasai, T., Yanagi, Y., Saigusa, N., Changes in terrestrial CO₂ budget in Siberia in the past three decades, 2015 年 12 月 15 日, AGU Fall meeting, San Francisco USA.
- ・ Tahara, N., Ueyama, M., Iwata, H., Nagano, H., Harazono, Y., Ichii, K., Successional change in photosynthetic capacities after wildfires across the North American boreal forests, 2015 年 12 月 16 日, AGU Fall meeting, San Francisco USA.
- ・ Commene, R., Lindaas, J., Benmergui, J. S., Luus, K. A., Chan, R. Y. -W., Miller, S. M., Henderson, J., Karion, A., Miller, J. B., Sweeney, C., Miller, C. E., Lin, J. C., Oechel, W. C., Zona, D., Euskirchen, E. S., Iwata, H., Ueyama, M., Harazono, Y., Veraverbeke, S., Randerson, J. T., Daube, B. C., Pittman, J. V., Wofsy, S. C., Empirically constrained estimates of Alaskan regional net ecosystem exchange of CO₂, 2012-2014, 2015 年 12 月 18 日, AGU Fall meeting, San Francisco USA.
- ・ Kobayashi, H., Yang, W., Yunus, A., Nagai, S., Ono, Y., Sugiura, K., Nasahara, K., Kim, Y., Van Dam, B., Nagano, H., Zona, D., Harazono, Y., Bret-Harte, M. S., Ichii, K., Ikawa, H., Iwata, H., Oechel, W., Ueyama, M., Suzuki, R., Satellite and ground-based monitoring of terrestrial ecosystem structure and phenology in Arctic and sub-Arctic region, Arctic Science Summit Week 2016, 2016 年 3 月 12 日, Fairbanks, AK, USA.
- ・ 田原成美、植山雅仁、岩田拓記、永野博彦、原菌芳信、市井和仁、伊川浩樹、Eugenie S. Euskirchen, 北方林における森林火災からの遷移に伴う植物生理特性の変動、農業気象学会全国大会 2016, 2016

年3月15日, 岡山大学.

- ・ ガルトバヤルサロール、小谷亜由美、太田岳史、モンゴルとシベリアの北方林における地表面熱収支と大気境界層の年々変動、2016年3月28日、第127回日本森林学会大会、日本大学.
- ・ 檜山哲哉、藤波初木、金森大成、熊谷朝臣、藤井秀太、石毛貴也、東ユーラシアにおける夏季の大気水循環の経年変動：東シベリアの湿潤化とモンゴルの乾燥化に着目して、2015年11月12日、陸-大気相互作用の研究会 ～湿潤な熱帯から寒冷圏まで～、首都大学東京.
- ・ Hiyama, T., Ohta, T., Kotani, A., Iijima, Y., Park, H., Changes in hydrologic cycle under current global warming in eastern Siberia, 2015年11月30日, ILTS International Symposium on Low Temperature Science, Auditorium, Institute of Low Temperature Science (ILTS), Hokkaido University, Sapporo.
- ・ Saito, K. et al. Spatio-temporally continuous monitoring of surface and ground temperature in Interior Alaska forest by optical Fiber DTS. 2015年12月17日. AGU. Moscone Center.
- ・ Nagai, S. et al. Detection of spatio-temporal variability of the timing of start and end of growing season by multidisciplinary in situ and satellite observations. 2015年10月7日. Phenology 2015. Turkey.
- ・ Nagai, S. et al. Accurate detection of year-to-year variability of plant phenology in an open-canopy black spruce forest in Alaska. 2015年11月19日. 第6回極域科学シンポジウム, 極地研.

(3) アウトリーチ、出版物、取材等

- ・ 檜山哲哉, リレーエッセイ『地球を俯瞰する自然地理学』 気候変動がシベリア永久凍土帯の水環境と社会に及ぼす影響, 岩波『科学』, 85巻12号, 1127-1129. 2015年12月刊行.

(4) その他

- ・ 特になし

図表

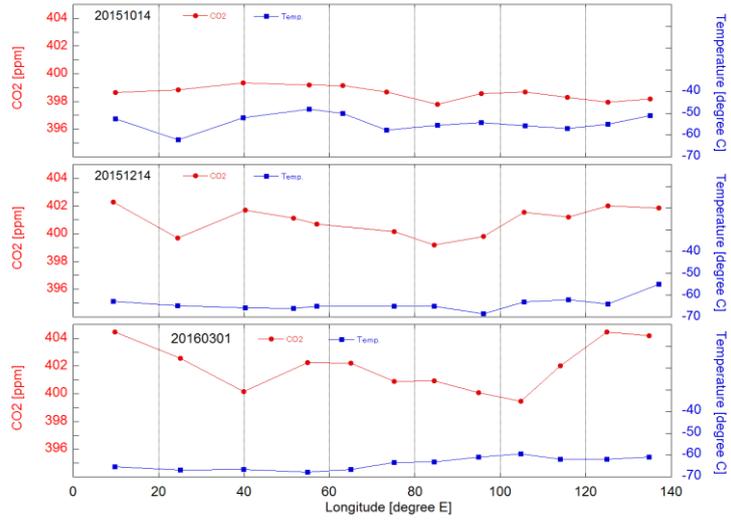


図 1. 上部対流圏/下部成層圏における CO2 濃度と気温の経度分布

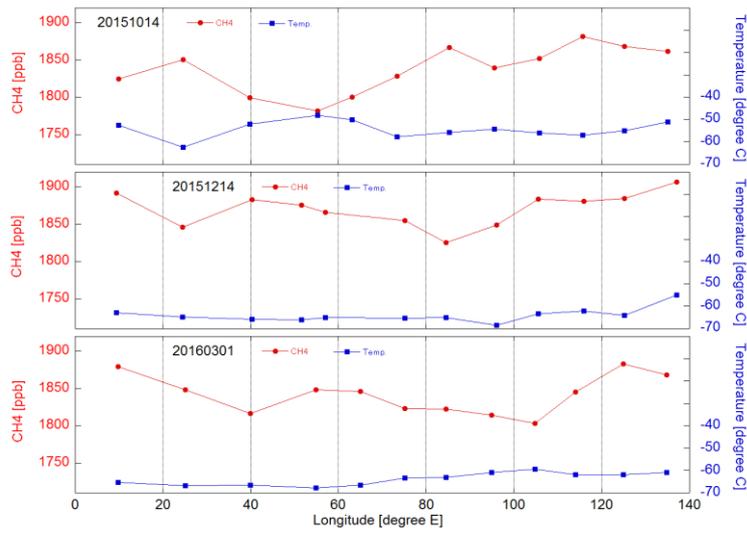


図 2. 上部対流圏/下部成層圏における CH4 濃度と気温の経度分布



図3. 永久凍土試掘の様子（左）および回収されたコア（右）

1. メニュー名および実施責任者

メニュー名	北極生態系の生物多様性研究
実施責任者	内田 雅己 (国立極地研究所)

2. 活動実績

- ・ 来年度からの研究開始に向けて準備を進めている。
 - ・ 11 月 4 日、国立極地研究所において本メニューの初会合を開催した。全メンバーが集まることはできなかったが、10 名で研究計画や、研究実施予定地であるロシア地域、アラスカ地域およびカナダ地域での研究実施に際する規制やサンプル持ちだしに関する許可申請などの情報交換を行った。
- 1)ロシア・シベリア地域におけるトナカイなど陸生哺乳類の研究について、サハ共和国ヤクーツクにある、ロシア北東連邦大学 (North-eastern Federal University) およびロシア科学アカデミーシベリア支部凍土圏生物問題研究所 (IBPC) と ArCS における共同研究体制およびフィールド設定に関する調整を開始し、北大との協定をベースとすることで合意した (平成 27 年 9-10 月)。野生トナカイとその捕食者 (クマ類、オオカミ) およびホッキョクグマの土地利用実態の解明が主要課題となる。現地スタッフにより調査候補地 (ティクシ (レナ川デルタ)、チュコルダ、チェルスキー (コリマ川デルタ)) の下見を実施し、調査適地の検討と許可申請の準備を進めた (平成 28 年 2 月)。ヤクーツク市において第 1 回のミーティングを行い、共同研究グループを立ち上げるとともに、捕獲・追跡体制に関する打ち合わせを行った。また、同国政府 (自然保護省) および同大学 (学長ほか) に、プロジェクトに対する協力を要請した (平成 28 年 3 月)。動物に装着する衛星発信機の受発信試験をヤクーツク市近郊で行い、発信出力、耐寒性、定位精度などについて検討を行った。また、クマ類の麻酔下での人・首輪・イヌに対する反応実験を行った。平成 28 年 3 月には、米国フェアバンクス市で開催された Arctic Science Summit Week 2016 に参加し、研究発表および共同研究に関する打ち合わせを行った。
- 2)ベーリング海峡における海鳥の研究については、主に極地研・高橋准教授とアラスカ大学フェアバンクス校 Alexander Kitaysky 教授との間で打ち合わせを進めている。セントローレンス島での野外調査に向けて米国側から申請する必要のある許可申請の確認、共同研究内容についての議論等を、2 週間に 1 度ほどの頻度で行っている。さらに、現地の先住民コミュニティから調査許可を得るための交渉も実施した。
- 調査で使用する行動記録計の購入および調整作業を実施する一方、過去に得られたベーリング海南東部セントジョージ島での海鳥の行動データの解析を実施した。
- 3)カナダ地域におけるツンドラ生態系研究については、カナダ、ケベック州にある Center for Northern Studies (CEN) との打合せを開始した。CEN では、来年度から開始予定の生物多様性にも関係する新プロジェクト「Northern Gradients」との連携を目指しており、プロジェクトの主導者であるケベック大学リムスキー校の Joël Bêty 教授および CEN の scientific director である Warwick F. Vincent 教授との打合せを進めている。平成 27 年 11 月 27 日にスカイプによる初会合を行い、ArCS における生物多様性メニュ

一とカナダ側のプロジェクトである Northern Gradient の概要に関する情報交換を実施した。さらに詳細な情報を得るため、ケベックで打合せを実施したい旨を伝えたところ、3月8-9日にラバル大学にて打合せを実施することが決定した。横浜国立大学の森章准教授が現地へ赴き、カナダ北極での研究計画に関するセミナーを実施したのに加え、カナダ側からも CEN の組織紹介や Northern Gradients の詳細な情報を得た。また、セミナー終了後の情報交換では、我々が平成 28 年の夏に利用予定である Whapmagoostui-Kuujuarapik 基地の利用方法や調査に適した場所、植生調査に適した時期、調査地への行き方等具体的な情報を得ることができた。さらに平成 29 年度以降に利用予定の基地の情報についても得ることができた。一方国内では、平成 28 年度予算を鑑みた研究計画の検討を継続した。

平成 28 年度以降に実施するカナダ北極観測基地 (CHARS) を利用した調査・研究に向けて、カナダ側とのやり取りを行い、極地研の田邊助教が 9 月にケンブリッジベイに訪問した。この視察によって CHARS の研究者らと意見交換および調査計画の打ち合わせをし、実際に現場の様子を確認しながら調査対象とする湖沼・陸上生態系の場所と植生の情報を得た。また、建設中の CHARS の視察も行い、今後の利用可能スケジュールについても情報を得た。これに伴い、事前に必要となる水中環境モニタリング係留系で利用するロガーを調達した。さらに、平成 28 年度の夏に Center for Northern Studies (CEN) と共同で実施するカナダ高緯度北極 ワードハント島での湖沼調査に向けて、CEN の Warwick F. Vincent 教授が 9 月に来日した際に第 1 回目の打合せを行った。その後、メールにて調査内容・調査手続き・調査に係る金額・各種ロジスティクス等についての情報交換を綿密に続け、平成 28 年 7 月上旬～下旬にかけてワードハント島で調査をすることを決定した。

平成 27 年 9 月にカナダ北極、バフィン島のスコットインレットと呼ばれる海域において、ニシオンデンザメとカラスガレイの生態調査を実施した。この調査は、カナダ、ウィンザー大学の Nigel Hussey 博士との共同研究であった。まず、セイウチの脂肪をエサにして延縄を設置し、数時間待ってから引き揚げ、ニシオンデンザメを捕獲した。共食いによって死亡しているサメも多かったが、生きたサメも捕獲することができた。生きたサメにロープを使ってゴムボートの横に固定し、体長計測および血液や組織切片のサンプル採集などを行った。その後、サメの頭の上に記録計のパッケージを取り付け、ロープをほどいてサメを放流した。記録計のパッケージは 2~3 日後にタイマーで切り離され、海面に浮かび、人工衛星に信号を発信する仕組みになっているため、調査船内のインターネットを利用して、人工衛星から信号が入ったのを確認した後、調査船でその海域に移動した。手持ちのアンテナで電波信号を受信しながら、記録計のパッケージを探し出し、回収した。このような方法を繰り返し、計 5 個体のニシオンデンザメからデータを取得することができた。その後、トロール漁を行い、カラスガレイを捕獲した。その中から、比較的大きい個体を選び出し、体長計測の後に、記録計のパッケージを取り付けた。記録計を取り付けたカラスガレイは、しばらくバケツの中で泳がせ、元気よく泳いでいることを確認した後に、計 3 個体のカレイを放流した。しかし、残念ながら記録計は 1 台も回収することができなかった。2 個体からは人工衛星の信号が全く入らず、何かのトラブルに見舞われた可能性が高かった。1 個体については、人工衛星の信号が入ったものの、位置を特定することができず、目視で記録計のパッケージを探したものの、見つけることはできなかった。

- 4) 人社系メニューとの連携を模索するため、12 月と 2 月に、北海道大学にて「北極の人間と社会」のメニューとの意見交換を実施した。人社系メニューではロシアに力を注ぎたいとのことであったため、生物多様性メニューでロシアのサハ共和国でトナカイやホッキョクグマを対象に研究を展開予定である

立澤助教との連携を深めることとなった。また、政策が専門の池専任講師からカナダのビクトリアで平成 28 年 4 月に開催される政策関係のワークショップへの参加を打診されたため、応諾した。

3. 研究成果

- 1) ロシアで使用予定の衛星発信機について、ロシア連邦の使用許可を得やすい Argos 衛星を使った場合と、許認可のリスクが大きい GPS 衛星を使った場合とで、高緯度になるほど精度の差が小さくなることを確認した。また、冬期の外気温下において、 -30°C 以下の場合に、バッテリー消費が急激に加速すること、また、GPS 衛星の場合に定位の間隔と精度が急速に劣化することがわかった。
- 2) ベーリング海に繁殖する表面採食性の海鳥と潜水性海鳥の採食行動の年変化を調べた。表面採食するアカアシツユビカモメは主に海盆域で採食し、寒冷年と温暖年で採食海域は変化せず、血中ストレスホルモンレベルにも差がなかったが、主に陸棚域で潜水採食するハシブトウミガラスでは、採食場所までの距離は寒冷年の方が温暖年に比べ遠く、陸棚斜面を含んだ海域で採食し、血中ストレスホルモンレベルが高かった。これは、気候変化への生態系応答は海盆域と陸棚域で違っており、ひいては高次捕食者の反応の違いにも現れることを示唆していた。
- 3) カナダ北極でのニシオンデンザメ調査では、5 個体から行動データを得ることができた。どの個体も、400 ~ 1000 メートル程度の深い海を泳ぎ続けていた。放流直後のサメの行動データは、自主的に泳いでいるものの、活発な上下移動は見られなかった。しかし、しばらく時間が経過すると、活発な上下移動が始まった。このことは、放流初期は延縄による捕獲ストレスを受けていると示唆された。詳細な解析を現在続けているところだが、放流前に採取した血液に含まれる乳酸の濃度は、上下移動を始めるまでにかかる時間と正の相関がありそうである。つまり延縄から逃れようと暴れ、血中に乳酸を蓄積した個体ほど、正常な行動を見せるのに時間がかかっていることが示唆された。記録計のパッケージにはビデオカメラも組み込んであったが、残念ながら、サメがエサを捕る様子を撮影することはできなかった。今回用意したビデオカメラは、タイマー機能が使えず、放流時には既に記録を開始する必要があった。そのため、記録のほとんどは、サメが活発な上下移動を開始する前に終わっていた。今年度はこの点を改良して、タイマー機能を備えたビデオカメラを使用する必要があると考えられた。

4. 研究成果発表

(1) 論文発表

(1-1) 査読あり

- ・ [Uchida M.](#), [Muraoka H.](#), [Nakatsubo T.](#), Sensitivity analysis of ecosystem CO_2 exchange to climate change in High Arctic tundra using an ecological process-based model. *Polar Biology*, 39, 251-265, doi:10.1007/s00300-015-1777-x, 2016
- ・ [Hayashi K.](#), Shimomura Y., Morimoto S., [Uchida M.](#), [Nakatsubo T.](#), Hayatsu M., Characteristics of ammonia oxidation potentials and ammonia oxidizers in mineral soil under *Salix polaris*-moss vegetation in Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Biology* 39, 725-741, doi: 10.1007/s00300-015-1829-2, 2016 (Accepted)
- ・ [Nobuo Kokubun](#), Takashi Yamamoto, Nobuhiko Sato, [Yutaka Watanuki](#), Alexis Will, Alexander Kitaysky,

Akinori Takahashi, Foraging segregation of two congeneric diving seabird species (common and thick-billed murre) breeding on St. George Island, Bering Sea. *Biogeosciences*, in press, 2016 (Accepted)

- Takashi Yamamoto, Nobuo Kokubun, Dale Manjiro Kikuchi, Nobuhiko Sato, Akinori Takahashi, Alexis Will, Alexander Kitaysky, Yutaka Watanuki, Differential responses of seabirds to environmental variability over two years in the continental shelf and oceanic habitats of southeastern Bering Sea. *Biogeosciences*, in press, 2016, (Accepted)

(1-2) 査読なし

なし

(2) 学会発表

- Sato N, Kokubun N, Yamamoto Y, Dale M Kikuchi, Watanuki Y, Kitaysky AS, Takahashi A, The jellyfish buffet: seabirds find fine dining among jellyfish in the Bering Sea, 2016年3月7日—9日, ESSAS Annual Science Meeting, Yokohama World Porters.
- Nobuo Kokubun, Takashi Yamamoto, Dale Manjiro Kikuchi, Nobuhiko Sato, Yutaka Watanuki, Alexis Will, Alexander Kitaysky, Akinori Takahashi, Foraging ecology of thick-billed murre in the southeastern Bering Sea: inter-annual variability in relation to upper-ocean thermal structure, 2016年3月7日—9日, ESSAS Annual Science Meeting, Yokohama World Porters.
- Tatsuzawa S. et al. 2016. Community-based Adaptive Wildlife Management in Sakha Republic, Russia, under the Global Warming Condition, Arctic Observing Summit, ASSW2016, 15-18 March 2016, Fairbanks, USA.

(3) アウトリーチ、出版物、取材等

- 渡辺佑基, 「日本のエクスプローラー」(ナショナルジオグラフィック誌 web 版での連載), 2015年2月～現在
<http://natgeo.nikkeibp.co.jp/nng/article/20150204/434322/>
- 立澤史郎, 北海道大学 Super Scientist Program (SSP) アドバイザー (野生トナカイに関する調査研究指導) (<https://www.hokudai-ssp.com>), 2015年～現在
- 内田雅己, 朝日新聞取材 (ArCSにおける北極生物多様性メニューについて), 2015年12月7, 16日

(4) その他

- なし

1. メニュー名および実施責任者

メニュー名	北極域データアーカイブシステム
実施責任者	矢吹 裕伯 (国立極地研究所)

2. 活動実績

- ADS と GEO (Group of Earth Observation) との連携強化のため、GEO Discovery and Access Broker (GEO-DAB) の担当者である、Dr. Stefano Nativi および Dr. Mattia Santoro (Earth and Space Science Informatics laboratory (ESSI-lab) of the National Research Council of Italy - Institute of Atmospheric Pollution Research (CNR-IIA)) との打ち合わせを行い、ADS のメタデータを GEOSS-Potal への連携を行うことを合意した。
- ADS と SAON (Sustaining Arctic Observing Networks) のメタデータの連携に関して、事務局長である、Jan René Larsen 氏と打ち合わせを行い、ADS のメタデータを SAON のポータルサイトに登録することに関して合意をした。また SAON のデータポータルの担当機関である、ノルウェー気象局の担当者と技術的な打ち合わせを行った。
- 地球規模/各地域の観測で得られたデータを収集、永続的な蓄積、統合、解析を行い、社会経済情報などとの融合を行うデータ統合・解析システム DIAS (Data Integration and Analysis System) への ADS のメタデータの統合を行うために、DIAS のデータ担当者である、京都大学チームとの打ち合わせを行った。ADS のメタデータの DIAS との連携を行うメタデータブローカーツールに関して技術的な意見交換を行った。
- ADS が JAXA より配信を受ける AMSR2 プロダクト (海氷密接度および海氷厚) 等を自動的に極域観測船に自動配信する航行支援サービス (VENUS) のシステム開発を行った。今年度は北極公開を実施する、JAMSTEC の研究船“みらい”、南極観測船“しらせ”、東京海洋大学の“海鷹丸”への実装を行った。ADS では各船舶のデータ担当者との打ち合わせを行い、それぞれに必要なに応じたデータの転送の要望の調査を行った。その結果、海氷密接度だけでなく、24、48 時間の気象予報値 (風速場、気圧場) の転送も行うことを合意し、そのデータ転送のためにシステム開発を行った。

3. 研究成果

- ADS および GEO-DAB が開発を行っている GEO-Potal の連携テストを開始した。第一段階として、GEO 側から、ADS のデータカタログに Web API(OAI-PMH)を用いて接続するテストを行い、無事終了した。第二段階についてデータブローカーを介した接続テストを行った。最終的に ADS のデータの GEOSS Potal (図 1) へのメタデータの提供を開始した。

http://www.geoportal.org/web/guest/geo_home_stp

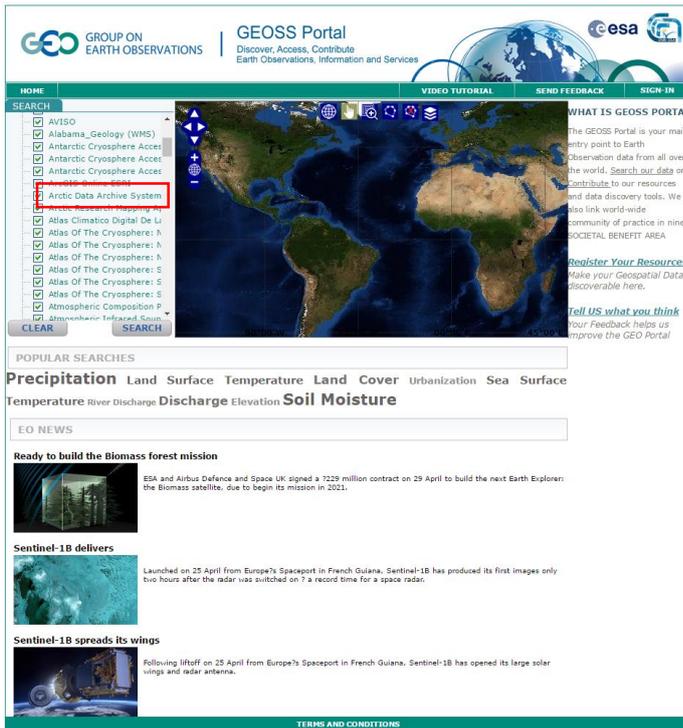


図 1 : GEOSS Portal への ADS へのメタデータ連携

ADS および DIAS が開発しているデータ俯瞰検索システム (β) の連携テストを開始した。第 1 段階として、DIAS 側より 2 つのメタデータの連携方法 (GI-CAT および Web API(OAI-PMH2)) の実装依頼があり、ADS では 2 つのメタデータ連携ツールの実装を行った。DIAS 側では 2 つの方法での ADS のメタデータ取得に関してテストを行い、Web API を経由してのメタデータの連携が可能であることの報告があり、Web API を通してのメタデータの連携を開始した。

<http://dias-dss.tkl.iis.u-tokyo.ac.jp/ddc/finder?lang=ja>



図 2 : DIAS への ADS メタデータの連携

- SAON のデータポータルとしてサービスを行っている Arctic Data Center とのメタデータの構造に関してレクチャーを受けた。ADS ではメタデータに対応していることの確認を行い、先方の作業待ちの状態である。
- JAMSTEC 研究船“みらい” (図3) 南極観測船“しらせ”、東京海洋大学の“海鷹丸”版 (図4) の VENUS サービス実施 (転送データ: 海氷密接度、海水厚、24・48 時間予報値 (風速場、気圧場)) を行った。

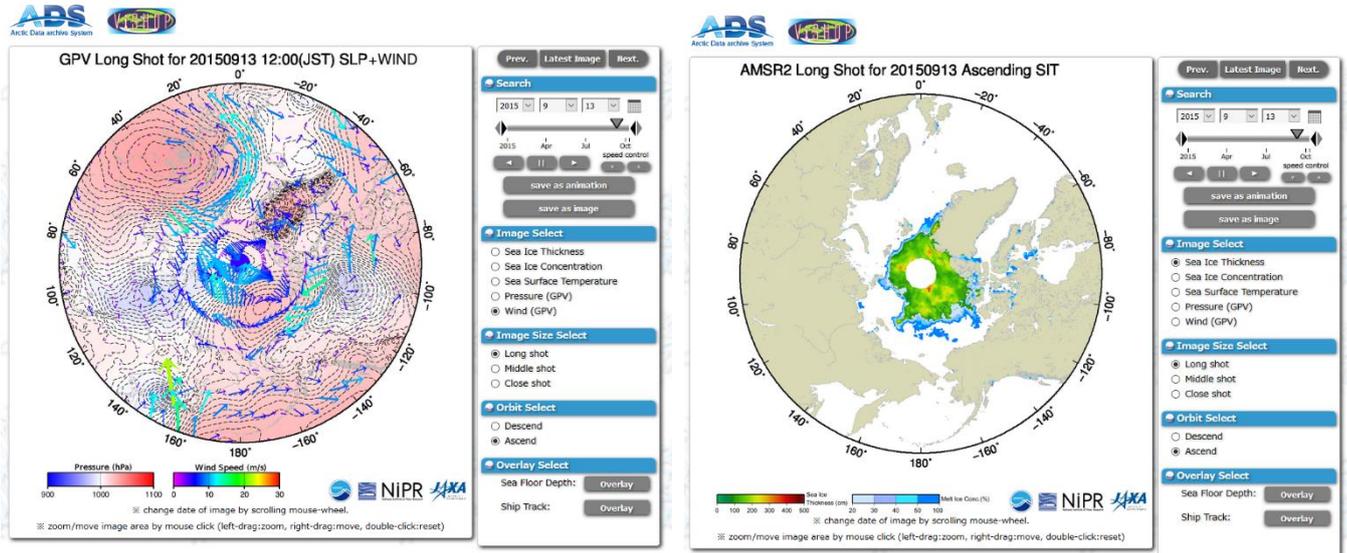


図3 : JAMSTEC 研究船“みらい”版 VENUS サービスの実装画面 (左: 風速場および気圧場、右: 海氷厚)

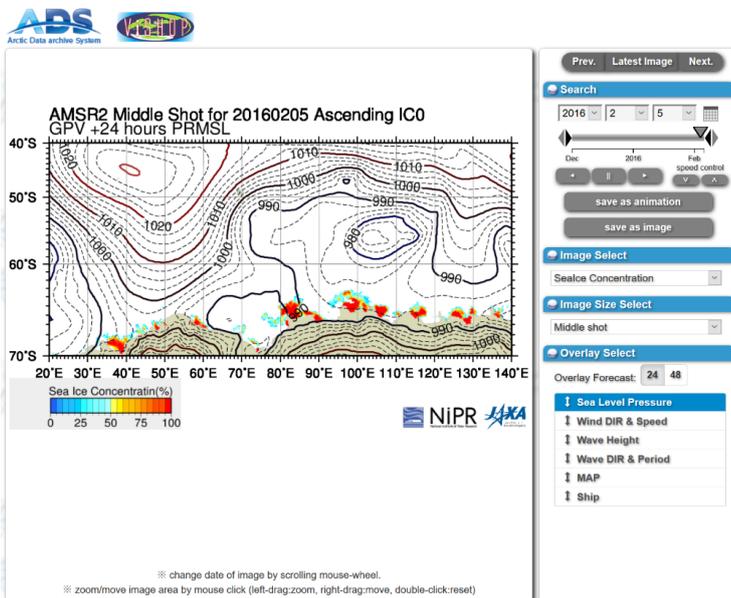


図4 : 南極観測船“しらせ”、東京海洋大学の“海鷹丸”版の VENUS サービス実装画面

4. 研究成果発表

(1) 論文発表

(1-1) 査読あり

- Sueyoshi, T., K. Saito, S. Miyazaki, J. Mori, T. Ise, H. Arakida, R. Suzuki, A. Sato, Y. Iijima, H.

Yabuki, H. Ikawa, T. Ohta, A. Kotani, T. Hajima, H. Sato, T. Yamazaki, and A. Sugimoto, 2016. The GRENE-TEA model intercomparison project (GTMIP) Stage 1 forcing data set. Earth Syst. Sci. Data, 8, 1–14, 2016, www.earth-syst-sci-data.net/8/1/2016/, doi:10.5194/essd-8-1-2016

- Anna K. Liljedahl, J. Boike, R. P. Daanen, A. N. Fedorov, G. V. Frost, G. Grosse, L. D. Hinzman, Y. Iijma, J. C. Jorgenson, N. Matveyeva, M. Necsoiu, M. K. Reynolds, V. E. Romanovsky, J. Schulla, K. D. Tape, D. A. Walker, C. J. Wilson, H. Yabuki, D. Zona, Pan-Arctic ice-wedge degradation in warming permafrost and its influence on tundra hydrology. Nature Geoscience 9, doi:10.1038/ngeo2674, 2016.

(1-2) 査読なし

なし

(2) 学会発表

- 矢吹 裕伯, 杉村 剛, 照井 健志, データセンターの長期安定的維持の戦略 –北極域データアーカイブのケース–, 2015年9月13-16日, 雪氷研究大会 (2015・松本), 松本.
- 照井 健志, 杉村 剛, 矢吹 裕伯, 衛星データの準リアルタイム可視化を行う Web サービスの開発, 2015年9月26日-30日, 日本海洋学会秋季大会, 愛媛.
- Hironori Yabuki, Takeshi Sugimura, Takeshi Terui, Arctic Data archive System (ADS), 27-29 October 2015, 2nd Polar Data Forum, Canada.
- Takeshi Sugimura, Takeshi Terui, Hironori Yabuki, Data Sharing using Online Data Visualization Tool “VISION” on ADS, 27-29 October 2015, 2nd Polar Data Forum, Canada.

(3) アウトリーチ、出版物、取材等

- 矢吹裕伯, 杉村剛, 照井健志, 北極の今-ADS ブース出展, 2015年9月13日, 雪氷楽会 in 松本, 松本
- 矢吹裕伯, 杉村剛, 照井健志, ADS ブース出展, 2015年9月13-16日, 雪氷研究大会, 松本
- 矢吹裕伯, 杉村剛, 照井健志, ADS ブース出展, 2015年11月6日, 特別セミナー「北極海航路の持続的実現に向けて」, 品川
- 矢吹裕伯, 照井健志, 杉村剛, ADS ブース出展, 2015年11月9日, 海洋生態系シンポジウム「ここまで分かった海洋生態系の変化」, 品川

(4) その他

- 特になし

平成27年度 北極域研究推進プロジェクト (ArCS) 成果報告書

1. メニュー名および実施責任者

メニュー名	北極海洋環境気候変動
実施責任者	菊地 隆(海洋研究開発機構)

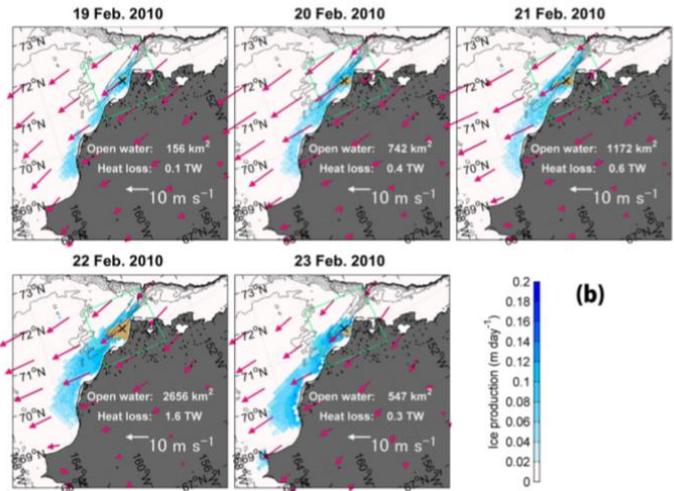
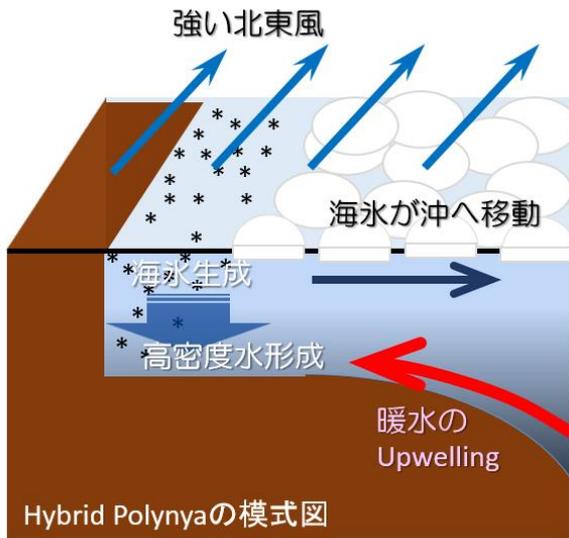
2. 活動実績

- 「みらい」北極航海(MR15-03)による太平洋側北極海での広域観測及び渦集中観測の実施
- バロー海底谷やチャクチ海南部など太平洋側北極海の環境気候変動の鍵となる海域での係留系を用いた時系列観測の実施。
- カナダ・アメリカ・ドイツなど国際連携による砕氷船への参画、北極海をカバーする観測の実施
- ロシア・カナダなど国際連携による環北極観測拠点での水循環・気候変動観測
- 地球シミュレータを用いた数値実験と、北極海環境変動に係る詳細分析
- 高度な専門知識に基づく超音波氷厚計生データからの海氷厚データの導出、データセットの作成
- 既存データセット(現場・衛星・気象再解析)の整備と、これによる近年の海洋循環場や海洋表層混合層内の貯熱量の推定
- 夏季における衛星搭載型塩分センサーによる推定海面塩分値の整備および精度評価
- 既存の化学観測データと新たな統計的手法を用いて、海洋酸性化の指標となる炭酸カルシウム飽和度の北極海全域マッピング
- GRENE 北極研究事業における研究成果を元にした公開シンポジウムの開催など、各種アウトリーチ 活動による社会やステークホルダーに対する啓蒙。
- 北極評議会における作業部会・専門家チームへの参加と、報告書作成への貢献。

3. 研究成果

これまでに得られた結果を解析して取りまとめた結果として、査読付き英文誌に 20 本の論文(Published と Accepted の論文。うち主著 9 本、共著 11 本、関係する他の予算(交付金・科研費・GRENE 北極研究事業など)による研究成果を含む)を発表した。このうち、特筆すべき成果 3 本について、以下にその概要をまとめて記す。

- アラスカ州バロー沖の沿岸ポリニヤの形成メカニズムを解明(Hirano et al., 2016)
係留系観測、衛星観測、及び数値モデル実験の結果から、バロー沖に出現する沿岸ポリニヤ(疎氷域、下右図)が、強い北東風による海氷発散で起きる潜熱ポリニヤ(海氷生成)と、下層の高温水の湧昇と鉛直混合による熱供給で維持される顕熱ポリニヤ(海氷生産抑制)の両方の特徴を併せ持つ Hybrid polynya であることを、明らかにした(下左図参照)。



2010年2月19～23日のアラスカ沿岸の海水密度の変化
北東風が吹いたためバロー沖にポリニヤが発生している。

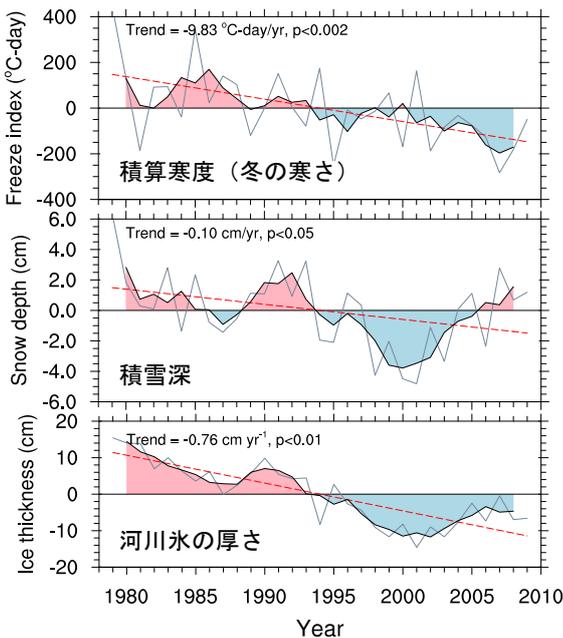
● 北極河川氷の減少と積雪の効果 (Park et al., *J. Climate*, 2016)

北極域の河川にできる氷(河川氷、下写真参照)について、モデル実験とデータ解析から、温暖化による河川氷の厚さの減少、結氷時期の遅れ、春の解氷時期の早期化が進んでいることを明らかにした。またその要因として、冬季の気温上昇の影響以上に、河川氷上の積雪による断熱効果が強く効いていることを、モデルによる感度実験から明らかにした(下図、模式図を参照)。

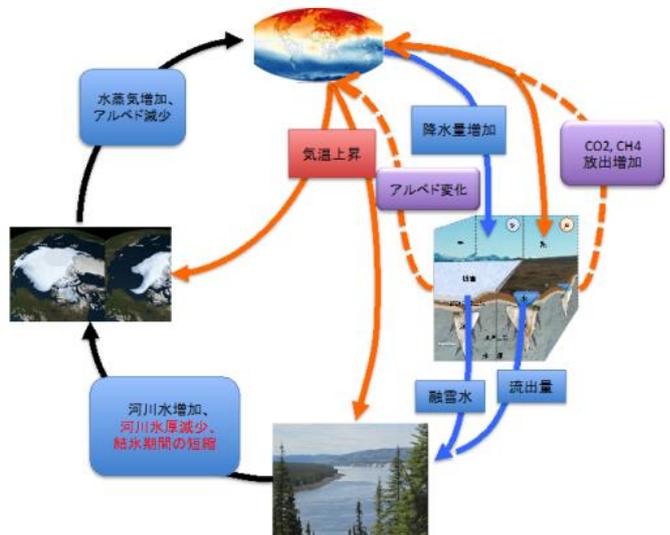
(2016年2月25日プレス発表、http://www.iamstec.go.jp/j/about/press_release/20160225/)



写真) レナ川の(左)夏季と(右)冬季の様子。夏は船舶が通り、冬は河川氷がアクセスロードとして使われる。しかし春季には解氷時に洪水を引き起こすこともある。



地球温暖化に伴う北極域における海洋—積雪—河川の相互作用システム及びフィードバックの模式図

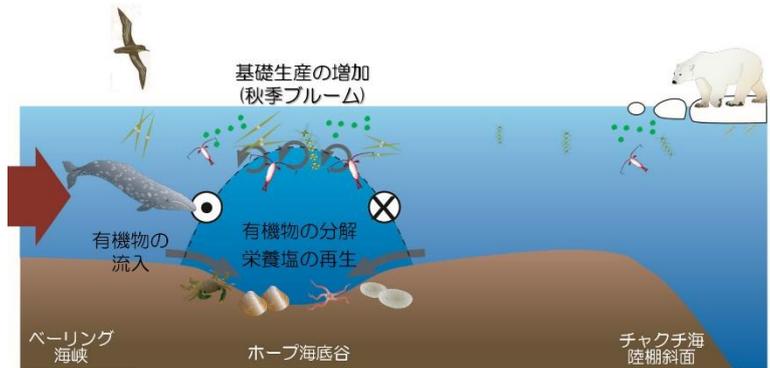
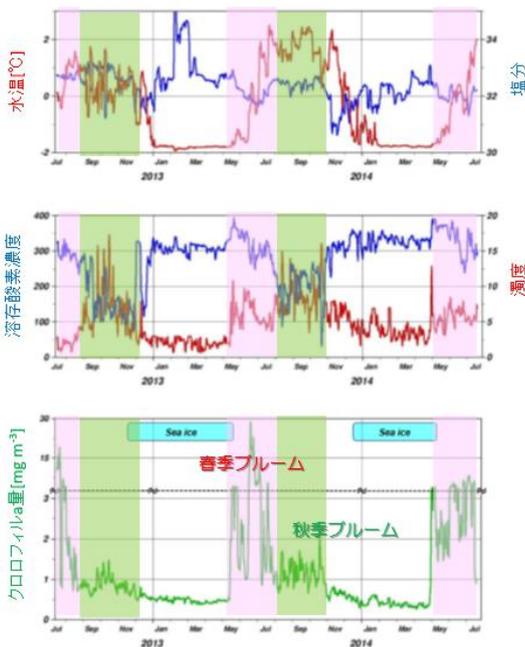


● チャクチ海 Biological hotspot の形成・維持機構と植物プランクトン量の季節変化の解明

(Nishino et al., *Biogeosciences*, 2016)

太平洋側北極海の生物学的ホットスポットと言われているチャクチ海南部ホープ海底谷で行った係留系および「みらい」による観測の結果から、同海域で起きていた春季ブルーム(氷縁ブルーム)とともに、秋季ブルームが1-2か月間継続して起きていることを捉えた。またその形成・維持機構を明らかにした。

(2016年4月29日プレス発表、http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20160429/)



右図) チャクチ海南部ホープ海底谷で起きる秋季ブルームの形成・維持機構の模式図。ベーリング海や河川を起源とする有機物を多く含む水塊がチャクチ海南部に流入。ホープ海底谷にできるドーム状の密度構造に伴って有機物が海底谷に溜まる。これが分解され、栄養塩(アンモニアなど)が再生される。これと表層水との混合が進むことで、植物プランクトン(基礎生産)の増加(秋季ブルーム)が継続的に引き起こされる。 Nishino et al.(2016)を元に作成。

左図) チャクチ海南部ホープ海底谷係留系で得られた2012年7月～2014年7月までの2年間の観測結果。赤・緑の陰影をつけた部分がそれぞれ春季・秋季ブルームを示す。(上) 水温(赤)と塩分(青)、(中) 濁度(赤)と、溶存酸素濃度(青)、(下) クロロフィルa濃度

4. 研究成果発表

(1) 論文発表

(1-1) 査読あり

(a) Published

1. Aksenov, Y., M. Karcher, A. Proshutinsky, R. Gerdes, B. de Cuevas, E. Golubeva, F. Kauker, A. T. Nguyen, G. A. Platov, M. Wadley, E. Watanabe, A. C. Coward, and A. J. G. Nurser, Arctic pathways of Pacific Water: Arctic Ocean Model Intercomparison experiments, *J. Geophys. Res. Oceans*, 121, 1, 27-59, doi:10.1002/2015JC011299, 2016.
2. Carmack E., M. Yamamoto-Kawai, T. Haine, S. Bacon, B. Bluhm, C. Lique, H. Melling, I. Polyakov, F. Straneo, M.-L. Timmermans, W. Williams, Fresh water and its role in the Arctic Marine system: sources, delivery, disposition, storage, export, and physical and biogeochemical consequences in the Arctic and Global oceans. *J. Geophys. Res.-Biogeosciences*, doi:10.1002/2015JG003140, 2015.

3. Evans, W., J. T. Mathis, J. N. Cross, N. R. Bates, K. E. Frey, B. G. T. Else, T. N. Papkyriakou, M. D. DeGrandpre, F. Islam, W. -J. Cai, B. Chen, M. Yamamoto-Kawai, E. Carmack, W. J. Williams, and T. Takahashi, Sea-air CO₂ exchange in the western Arctic coastal ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, 29 (8), 1190-1209, 2015.
4. Fujiwara, A., T. Hirawake, K. Suzuki, L. Eisner, I. Imai, S. Nishino, T. Kikuchi and S. -I. Saitoh, Influence of timing of sea ice retreat on phytoplankton size during marginal ice zone bloom period on the Chukchi and Bering shelves, *Biogeosciences*, 13, 115-131, doi:10.5194/bg-13-115-2016, 2016.
5. Gueguen, C., M. Itoh, T. Kikuchi, J. Eert, and W. J. Williams, Variability in dissolved organic matter optical properties in surface waters in the Amerasian Basin, *Front. Mar. Sci.*, doi:10.3389/fmars.2015.00078, 2015.
6. Hirano, D., Y. Fukamachi, E. Watanabe, K. I. Ohshima, K. Iwamoto, A. Mahoney, H. Eicken, D. Simizu and T. Tamura, A wind-driven, hybrid latent and sensible heat coastal polynya off Barrow, Alaska, *J. Geophys. Res. Oceans*, 121, 980–997 , doi:10.1002/2015JC011318, 2016.
7. Iijima, Y., T. Nakaura, H. Park, Y. Tachibana, and A. N. Federov, Enhancement of Arctic storm activity in relation to permafrost degradation in eastern Siberia, *Int. J. Climatology*, doi:10.1002/joc.4629, 2016.
8. Kumamoto, Y., M. Aoyama, Y. Hamajima, S. Nishino, A. Murata, and T. Kikuchi, Meridional distribution of Fukushima-derived radiocesium in surface seawaters along a trans-Pacific line from the Arctic to Antarctic Oceans in summer 2012, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, doi:10.1007/s10967-015-4439-0, 2015.
9. Liljedahl, A.K., J. Boike, R. P. Daanen, A. N. Fedorov, G. V. Frost, G. Grosse, L. D. Hinzman, Y. Iijima, J. C. Jorgenson, N. Matveyeva, M. Necsoiu, M. K. Reynolds, V. Romanovsky, J. Schulla, K. D. Tape, D. A. Walker, and H. Yabuki. Recent circum-Arctic ice-wedge degradation with major hydrologic impacts. *Nature Geoscience*, 9, 312–318, doi:10.1038/ngeo2674, 2016.
10. Mizobata, K., E. Watanabe, and N. Kimura, Wintertime variability of the Beaufort Gyre in the Arctic Ocean derived from CryoSat-2/SIRAL observations, *J. Geophys. Res. Oceans*, 121, 1685–1699, doi: 10.1002/2015JC011218, 2016.
11. Park, H., Y. Kim, and J. S. Kimball, Widespread permafrost vulnerability and soil active layer increases over the high northern latitudes inferred from satellite remote sensing and process model assessments, *Remote Sensing of Environment*, 175, 349-358, doi:10.1016/j.rse.2015.12.046, 2016
12. Park, H., Y. Yoshikawa, K. Oshima, Y. Kim, T. Ngo-Duc, J. S. Kimball, and D. Yang, Quantification of warming climate-induced changes in terrestrial Arctic river ice thickness and phenology, *J. Climate*, 29, 1733-1754, doi:10.1175/JCLI-D-15-0569.1, 2016.
13. Sueyoshi, T., K. Saito, S. Miyazaki, J. Mori, T. Ise, H. Arakida, R. Suzuki, A. Saito, Y. Iijima, H. Yabuki, H. Ikawa, T. Ohta, A. Kotani, T. Hajima, H. Sato, T. Yamazaki, and A. Sugimoto. The GRENE-TEA model intercomparison project (GTMIP) Stage 1 forcing data set, *Earth System Science Data*, 8, 114. doi:10.5194/essd-8-1-2016, 2016.
14. Uttal, T. and 54 co-authrs (including Y. Iijima), International Arctic Systems for Observing the Atmosphere (IASOA): An International Polar Year Legacy Consortium, *Bull. American Meteorol. Soc.*, doi: 10.1175/BAMS-D-14-00145.1, 2016.
15. Watanabe, E., J. Onodera, N. Harada, M. N. Aita, A. Ishida, M. J. Kishi, Wind-driven interannual variability of sea ice algal production in the western Arctic Chukchi Borderland. *Biogeosciences*, 12, 6147-6168, doi: 10.5194/bg-12-6147-2015, 2015.

(b) Accepted

1. Iijima, Y., H. Park, P. Konstantinov, G. Pudov, and A. Fedorov, 2016, Active layer thickness measurements using a handheld penetrometer at boreal and tundra sites in eastern Siberia, *Permafrost and Periglacial processes*, Accepted, 2016
2. Nishino, S., T. Kikuchi, A. Fujiwara, T. Hirawake, and M. Aoyama, Water mass characteristics and their temporal changes in a biological hotspot in the southern Chukchi Sea, *Biogeosciences*, 13(8), 2563–2578, doi:10.5194/bg-13-2563-2016, 2016.
3. Smith, I. J., H. Eicken, A. R. Mahoney, R. Van Hale, A. J. Gough, Y. Fukamachi, and J. Jones, Surface water mass composition changes captured by cores of Arctic land-fast sea ice. *Continental Shelf Research*, 118, 154-164, doi:10.1016/j.csr.2016.02.008, 2016.
4. Vivier, F., J. Hutchings, Y. Kawaguchi, T. Kikuchi, J. Morison, A. Lourenço, and T. Noguchi, Sea-ice melt onset associated with lead opening during the spring/summer transition near the North Pole, *J. Geophys. Res. Oceans*, 121, 4, 2499-2522, doi:10.1002/2015JC011588, 2016.
5. Yasunaka, S., A. Murata, E. Watanabe, M. Chierici, A. Fransson, S. van Heuven, M. Hoppema, M. Ishii, T. Johannessen, N. Kosugi, S. K. Lauvset, J. T. Mathis, S. Nishino, A. M. Omar, A. Olsen, D. Sasano, T. Takahashi, R. Wanninkhof, Mapping of the air–sea CO₂ flux in the Arctic Ocean and its adjacent seas: Basin-wide distribution and seasonal to interannual variability, Accepted to *Polar Science* on March 31st, 2016, doi:10.1016/j.polar.2016.03.006, 2016.

(c) Submitted

1. Jones, J., H. Eicken, A. Mahoney, R. MV, C. Kambhamettu, Y. Fukamachi, K. I. Ohshima, J. C. George, Landfast Sea Ice Breakouts: Stabilizing ice features, oceanic and atmospheric forcing at Barrow, Alaska, Submitted to *Continental Shelf Research*.
2. Kawaguchi, Y., S. Nishino, J. Inoue, H. Takeda, and K. Oshima, Enhanced diapycnal mixing due to near-inertial internal waves propagating an anticyclonic eddy in the ice-free Chukchi Plateau, Submitted to *J. Phys Oceanogr.*
3. Kawaguchi, Y., T. Hiroki, J. Inoue, S. Nishino, K. Maeno, M. Steele, K. Colburn, and N. Sato, Turbulent mixing and vertical heat transfer in the surface mixed layer of the Arctic Ocean: Implication of a Diapycnal High-Temperature Anomaly, Submitted to *Journal of Marine Research*.
4. Yamamoto-Kawai, M., T. Mifune, T. Kikuchi, and S. Nishino, Prolonged aragonite undersaturation in bottom water of a biological hotspot in the Chukchi Sea, Arctic Ocean, *Biogeosciences Discussion* (submitted to *Biogeosciences*), doi:10.5194/bg-2016-74, 2016.

(1–2) 査読なし

(a) Published

1. Kawaguchi, Y., S. Nishino, J. Inoue, H. Takeda, K. Maeno, and K. Oshima, Enhanced turbulent energy dissipation due to internal wave breaking within an anticyclonic Arctic eddy, The 31st international symposium on Okhotsk Sea & sea ice, 128-130, 2016.
2. Takeda, H., Y. Kawaguchi, and N. Sato, Turbulent mixing within the mixed layer from direct microstructure measurements during Arctic cruise MR14-05, The 31st international symposium on Okhotsk Sea and Sea Ice,

(2) 学会発表

1. Yasunaka, S., A. Murata, E. Watanabe, S. Nishino, N. Kosugi, D.Sasano, M. Ishii, Mapping of the air-sea CO₂ flux in the Arctic: Basin-wide distribution and seasonal to interannual variability, SOLAS2015, September 10, 2015, Bergen, Germany
2. 伊藤優人, 大島慶一郎, 深町康, 清水大輔, A. R. Mahoney, H. Eicken, 北極バロー沖沿岸ポリニヤにおけるフラジルアイスの生成・沈降と堆積物粒子の上方輸送の観測. 2015 年度日本海洋学会秋季大会, 2015 年 9 月 28 日, 愛媛大学, 松山
3. 渡邊英嗣、小野寺丈尚太郎、西野茂人、菊地隆, 北極海チャクチ深海平原の春季水温極大, 2015 年度日本海洋学会秋季大会, 2015 年 9 月 28 日、松山
4. 伊藤優人, 大島慶一郎, 深町康, 清水大輔, Andrew R. Mahoney, Hajo Eicken, チャクチ海バロー沖におけるフラジルアイス生成と海底堆積物の上方輸送の観測. 2015 年 11 月 16 日, 国立極地研究所, 立川.
5. 平野大輔, 深町康, 渡邊英嗣, 岩本勉之, Andrew Mahoney, Hajo Eicken, 清水大輔, 大島慶一郎, 田村岳史, ハイブリッド特性を有するバロー沿岸ポリニヤにおける海水生産量の経年変動 (ポスター). 第 6 回極域科学シンポジウム, 2015 年 11 月 19 日, 国立極地研究所, 立川
6. 菊地隆、GRENE 北極・研究課題 6 の研究者, 北極海環境変動研究: 海水減少と海洋生態系の変化 / Ecosystem Studies of the Arctic Ocean with declining Sea ice (ECOARCS)、第 6 回極域科学シンポジウム / The Sixth Symposium on Polar Science, 2015 年 11 月 立川.
7. 川合美千代、三船尊久、菊地隆、西野茂人、William Williams, 北極海における海洋酸性化: GRENE と JOIS の結果から / Arctic Ocean Acidification: Results from GRENE and JOIS, 第 6 回極域科学シンポジウム / The Sixth Symposium on Polar Science, 2015 年 11 月 立川.
8. 朴昊澤, 大島和裕, Warming climate-derived changes in terrestrial Arctic evapotranspiration budget and the impact to hydrological cycle (ポスター), 第 6 回極域科学シンポジウム / The Sixth Symposium on Polar Science, 2015 年 11 月 立川.
9. 中野渡拓也、川口悠介、Jinlun Zhang、Micheal Steel、伊東素代、渡邊英嗣、西野茂人、堀正岳、菊地隆、猪上淳, ポーフォート海の海水拡大に対するベーリング海峡熱移流の影響 (ポスター) / Influence of ocean heat advection from the Bering Strait on the Beaufort Sea ice advance (Poster), 第 6 回極域科学シンポジウム / The Sixth Symposium on Polar Science, 2015 年 11 月 立川.
10. 大額実咲、上野洋路、伊東素代、菊地隆、西野茂人、渡邊英嗣、平譯亨、川合美千代、溝端浩平 (2015), チャクチ海における成層強度の時空間変動とその要因 (ポスター) / Spatio-temporal variations of stratification and its factors in the Chukchi Sea (Poster), 第 6 回極域科学シンポジウム / The Sixth Symposium on Polar Science, 2015 年 11 月 立川.
11. 大島和裕, 緒方香都, 朴昊澤, 立花義裕 東西シベリア水循環の過去 200 年の長期変動要因(ポスター)、第 6 回極域科学シンポジウム / The Sixth Symposium on Polar Science, 2015 年 11 月 立川.
12. 朴昊澤, 吉川泰弘, 大島和裕、北極陸域の河川氷に対する温暖化の影響, 日本シベリア学会第一回研究大会 2015 年 11 月 22 日、札幌
13. Kikuchi, T., M. Itoh, and S. Nishino, Mooring-based monitoring at the mouth of Barrow Canyon & Hope Valley in

- the Pacific sector of the Arctic Ocean, ArcticNet 2015 Annual Science Meeting, 8-10 December, 2015, THE WESTIN BAYSHORE, Vancouver, BC, Canada.
14. [Iijima, Y.](#), T. Nakamura, [H. Park](#), Y. Tachibana, and A. N. Fedorov, Climatological conditions of enhanced Arctic storm activity in relation to permafrost degradation in eastern Siberia (Invited talk), AGU 2015 Fall Meeting, December 15, 2015, San Francisco, CA, U.S.A.
 15. M. Ulrich, H. Matthes, [Y. Iijima](#), H. Saito, [H. Park](#), and A. N. Fedorov, Size, Distribution, and Evolution of Thermokarst Lakes in Central Yakutia, Russia (poster). AGU 2015 Fall Meeting 2015, December 15, 2015, San Francisco, CA, U.S.A.
 16. [Park H. K.](#), [Oshima](#), Y. Yoshikawa, and Y. Daqing Possible implications of terrestrial river discharge with Arctic coastal ice (poster), AGU 2015 Fall meeting, December 17, 2015, San Francisco, CA, U.S.A.
 17. [Fujiwara, A.](#), T. Hirawake, K. Suzuki, L. Eisner, I. Imai, [S. Nishino](#), [T. Kikuchi](#), and S. I. Saitoh, Influence of timing of sea ice retreat on phytoplankton size during marginal ice zone bloom period in the Chukchi and Bering shelves, The 3rd Asian/12th Korea-Japan Workshop on Ocean Color 2015, December 2015, Yokohama, Japan.
 18. [Nishino, S.](#), JAMSTEC researches on the biogeochemical dynamics in the Siberian Arctic Ocean and their differences from those on the Alaskan side, Workshop: Biogeochemical Studies in the Siberian Shelf Seas, 27 January 2016, GEOMAR, Kiel, Germany.
 19. [Fukamachi, Y.](#), [K. I. Ohshima](#), K. Iwamoto, T. Tamura, S. Nishashi, Validation of AMSR-E thin ice algorithm based on moored ice profiling sonar measurement. Workshop on satellite data for Arctic research and applications, Side event during Arctic Frontiers 2016, January 27, 2016, Tromso, Norway.
 20. [Kikuchi, T.](#), [M. Itoh](#), and [S. Nishino](#), Mooring-based monitoring at the mouth of Barrow Canyon & Hope Valley in the Pacific sector of the Arctic Ocean, 2016 Ocean Science Meeting, February 2016, New Orleans, LA, USA.
 21. [Watanabe, E.](#), J. Onodera, [S. Nishino](#), and [T. Kikuchi](#), Overwinter transport of subsurface warm water around the Arctic Chukchi Borderland, 2016 Ocean Science Meeting, February 2016, New Orleans, LA, USA.
 22. Onuka, M., H. Ueno, [M. Itoh](#), [T. Kikuchi](#), [S. Nishino](#), E. Watanabe, T. Hirawake, [M. Yamamoto-Kawai](#), and [K. Mizobata](#) (2016), Spatio-temporal variations of stratification and its factors in the Chukchi Sea, 2016 Ocean Science Meeting, February 2016, New Orleans, LA, USA.
 23. [菊地隆](#)、GRENE 北極・研究課題 6 の研究者、北極海環境変動研究：海水減少と海洋生態系の変化 / Ecosystem Studies of the Arctic Ocean with declining Sea ice (ECOARCS), GRENE 北極気候変動研究事業 研究成果報告会, 2016 年 3 月 立川.
 24. [川合美千代](#)、[三船尊久](#)、[菊地隆](#)、チャクチ海における海洋酸性化：底層における長期の炭酸カルシウム未飽和、GRENE 北極気候変動研究事業 研究成果報告会, 2016 年 3 月 立川.
 25. [飯島 慈裕](#)、[朴 昊澤](#)、A. N. Fedorov. 北極気候変動にともなう東シベリア陸域環境の変化 GRENE 北極気候変動研究事業 研究成果報告会, 2016 年 3 月 立川.
 26. [藤原周](#)、[平譯享](#)、[鈴木光次](#)、Lisa Eisner、[西野茂人](#)、[菊地隆](#)、[今井一郎](#)、[齊藤誠一](#)、海水減少に対する基礎生産者の応答、GRENE 北極気候変動研究事業 研究成果報告会, 2016 年 3 月 立川.
 27. [伊東素代](#)、[菊地隆](#)、[西野茂人](#)、北極海バロー海底谷における流量、淡水、熱輸送量の長期変動 (ポスター)、GRENE 北極気候変動研究事業 研究成果報告会, 2016 年 3 月 立川.
 28. [Nishino, S.](#), [T. Kikuchi](#), [A. Fujiwara](#), T. Hirawake, and [M. Aoyama](#), Water mass characteristics and their temporal changes in a biological hotspot in the southern Chukchi Sea GRENE 北極気候変動研究事業 研究成果報告会, 2016 年 3 月 立川.

29. 渡邊英嗣、照井健志、石田明生、岸道郎、Arctic NEMURO モデルの開発と海氷域生態系研究への応用 (ポスター)、GRENE 北極気候変動研究事業 研究成果報告会, 2016 年 3 月 立川.
30. Yasunaka, S., A. Murata, E. Watanabe, M. Chierici, A. Fransson, S. van Heuven, M. Hoppema, M. Ishii, T. Johannessen, N. Kosugi, S. K. Lauvset, J. T. Mathis, and S. Nishino, Abdirahman M. Omar, A. Olsen, D. Sasano, T. Takahashi, R. Wanninkhof, 北極海 CO2 フラックスの推定: 広域分布と季節・経年変化, GRENE 成果報告会, 2016 年 3 月, 立川.
31. Mizobata, K., and H. Satoh, Validation/calibration of sea surface salinity estimated by L-band microwave radiometers SAC-D/Aquarius in the Pacific sector of the Arctic Ocean, Ecosystem Studies of Sub-Arctic and Arctic Seas (ESSAS), March 7, 2016, Yokohama, Japan.
32. Watanabe, E., J. Onodera, M. Itoh, S. Nishino, and T. Kikuchi, Overwinter Transport of Subsurface Warm Water toward the Arctic Chukchi Borderland, Ecosystem Studies of Sub-Arctic and Arctic Seas (ESSAS), March 7, 2016, Yokohama, Japan.
33. Yasunaka, S., A. Murata, E. Watanabe, M. Chierici, A. Fransson, S. van Heuven, M. Hoppema, M. Ishii, T. Johannessen, N. Kosugi, S.K. Lauvset, J.T. Mathis, S. Nishino, A.M. Omar, A. Olsen, D. Sasano, T. Takahashi, and R. Wanninkhof, Mapping of the air-sea CO2 flux in the Arctic Ocean and its adjacent seas: Basin-wide distribution and seasonal to interannual variability, Ecosystem Studies of Sub-Arctic and Arctic Seas (ESSAS), March 8, 2016, Yokohama, Japan.
34. 西野茂人、川口悠介、藤原周、竹田大樹、大島和裕, 2015 年「みらい」北極航海における海洋観測, ブルーアース 2016, 2016 年 3 月 8 日, 東京海洋大学, 東京.
35. 西野茂人、川口悠介、藤原周、竹田大樹、大島和裕, 2015 年「みらい」北極航海で捉えた海洋構造と植物プランクトン分布, 2016 年度日本海洋学会春季大会, 2016 年 3 月 15 日, 東京大学本郷キャンパス, 東京.
36. 伊東素代、菊地隆、西野茂人, 北極海バロー海底谷における流量、淡水、熱輸送量の長期変動 (ポスター), ブルーアース 2016, 2016 年 3 月 東京.
37. 藤原周、西野茂人、平譯享、鈴木光次、小野寺丈尚太郎、伊藤史紘、川口悠介、菊地隆 (2016), チャクチ海陸棚域における秋季強風イベント前後の植物プランクトン群集組成の変化 (ポスター), ブルーアース 2016, 2016 年 3 月 東京.
38. 大島和裕、川合義美、堀正岳、猪上淳、2015 年「みらい」北極航海における気象観測(ポスター)、ブルーアース 2016, 2016 年 3 月 東京.
39. 大島和裕、猪上淳、堀正岳、Xiangdong Zhang、佐藤和敏、三井拓、鳥羽瀬世宇、竹田大樹、浅井博明、みらい北極航海ラジオゾンデ観測による客観解析データの再現性評価(ポスター)、ブルーアース 2016, 2016 年 3 月 東京.
40. 川合義美、大島和裕、勝俣昌己、堀正岳、猪上淳、MR15-03 及び MR15-04 航海による新型ラジオゾンデの精度検証(ポスター) 、ブルーアース 2016, 2016 年 3 月 東京.
41. Park H., Y. Iijima, and F. Alexander, Design of hydrothermal and biogeochemical observation network in Northeastern Siberia (poster), Arctic Observing Summit, March 15, 2016, Fairbanks, AK, U.S.A.
42. 藤原周、西野茂人、平譯享、鈴木光次、小野寺丈尚太郎、川口悠介、菊地隆 (2016), チャクチ海陸棚域における秋季強風イベント前後の植物プランクトン群集組成の変化 -みらい MR13-06 航海チャクチ海陸棚域定点観測より-, 2016 年度日本海洋学会春季大会, 2016 年 3 月 東京.

43. 伊東素代、菊地隆、西野茂人、北極海バロー海底谷における流量、淡水、熱輸送量の長期変動 (ポスター)、2016 年度日本海洋学会春季大会, 2016 年 3 月 東京.
44. 渡邊英嗣、小野寺丈尚太郎、伊東素代、西野茂人、菊地隆、北極海チャクチ海台における亜表層水温極大の年々変動メカニズム (ポスター)、2016 年度日本海洋学会春季大会, 2016 年 3 月 東京.
45. 大額実咲、上野洋路、伊東素代、菊地隆、西野茂人、渡邊英嗣、平譚亨、川合美千代、溝端浩平、チャクチ海における成層強度の時空間変動とその要因 (ポスター)、2016 年度日本海洋学会春季大会, 2016 年 3 月 東京.
46. 平野大輔、深町康、渡邊英嗣、大島慶一郎、岩本勉之、Andrew Mahoney、Hajo Eicken、清水大輔、田村岳史、アラスカ沖バロー沿岸ポリニヤにおける海水生産量の経年変動. 2016 年度日本海洋学会春季大会, 2016 年 3 月 15 日, 東京大学本郷キャンパス, 東京.
47. 溝端浩平、佐藤平理、北極海における Aquarius 推定海面塩分の検証、2016 年度日本海洋学会春季大会, 2016 年 3 月 15 日, 東京大学本郷キャンパス, 東京.
48. 川合美千代、田中里実、安中さやか、北極海における炭酸カルシウム飽和度の推定. 2016 年度日本海洋学会春季大会, 2016 年 3 月 15 日, 東京大学本郷キャンパス, 東京. (若手優秀発表賞を受賞)

(3)アウトリーチ、出版物、取材等

- 1) 菊地、GRENE 北極研究事業 海洋生態系課題の概要、海洋生態系シンポジウム「ここまで分かった海洋生態系の変化～海水が減ると、生態系は、水産資源は、どうなるの?～」、コクヨホール, 2015 年 11 月 9 日. 東京.
- 2) 西野、激変する北極海の海洋環境、海洋生態系シンポジウム「ここまで分かった海洋生態系の変化～海水が減ると、生態系は、水産資源は、どうなるの?～」、コクヨホール, 2015 年 11 月 9 日. 東京.
- 3) 川合、温暖化だけじゃない! 北極海における海洋酸性化問題の現状、海洋生態系シンポジウム「ここまで分かった海洋生態系の変化～海水が減ると、生態系は、水産資源は、どうなるの?～」、コクヨホール, 2015 年 11 月 9 日. 東京.
- 4) 渡邊、海洋生態系シミュレーション～藻類とサケの将来～、海洋生態系シンポジウム「ここまで分かった海洋生態系の変化～海水が減ると、生態系は、水産資源は、どうなるの?～」、コクヨホール, 2015 年 11 月 9 日. 東京.
- 5) 菊地、原田、牧野、和田、パネルディスカッション「今後の北極海海洋生態系研究の重要課題とその達成手段について」、海洋生態系シンポジウム「ここまで分かった海洋生態系の変化～海水が減ると、生態系は、水産資源は、どうなるの?～」、コクヨホール, 2015 年 11 月 9 日. 東京.
- 6) 西野、GRENE 北極気候変動研究事業・北極域研究推進プロジェクト公開講演会パネルディスカッション・パネリスト、コクヨホール、2016 年 3 月 5 日、東京
- 7) 2015 年 10 月 23 日、FM 横浜 ラジオ出演(菊地)、E-ne! ～good for you～ SPECIAL ヨコハマ・ブルーカーボンのこれから、
- 8) 月刊ダイバー 2016 年 1 月号、エコレポート「北極海の海水減少に伴う海洋生態系の変化」

(4)その他

特になし

1. メニュー名および実施責任者

メニュー名	温暖化と酸性化が北極海の動・植物プランクトンに与える影響の評価
実施責任者	原田 尚美 (海洋研究開発機構)

2. 活動実績

- 研究航海乗船 MR15-03 Leg 1 (2015年8月24日関根浜～10月6日ダッチハーバー)
 プランクトン遺骸を含む沈降粒子フラックス、粒子組成と海洋循環系の時系列変動を観測するための海底固定型係留系をチャクチ海陸棚外縁2か所に設置した(図1)。炭酸カルシウムの殻を持つ動物プランクトンのサンプリングをチャクチ海の28観測点で行った。植物プランクトン群集解析用の採水も19観測点で実施した。また、海洋酸性化、温暖化ならびに淡水化(融氷)が植物プランクトン群集に及ぼす影響を調査するために、現場の植物プランクトン群集を用いた培養実験を船上で行った。培養に用いた海水は、北緯71°44' N, 西経155°20' のバロー沖のチャクチ海から採取し、培養は14日間行った。
- 亜表層の pCO₂ モニタリング (図1)
 研究海域の亜表層における pH や炭酸カルシウム飽和度の低下には pCO₂ の増加が影響するため、ノースウィンド深海平原南部に2013年9月から1年間係留していた pCO₂ センサーのデータの補正を海外のセンサー開発者が中心となって12月に実施した。その観測方法と観測結果の概要を日本海洋学会で報告した。

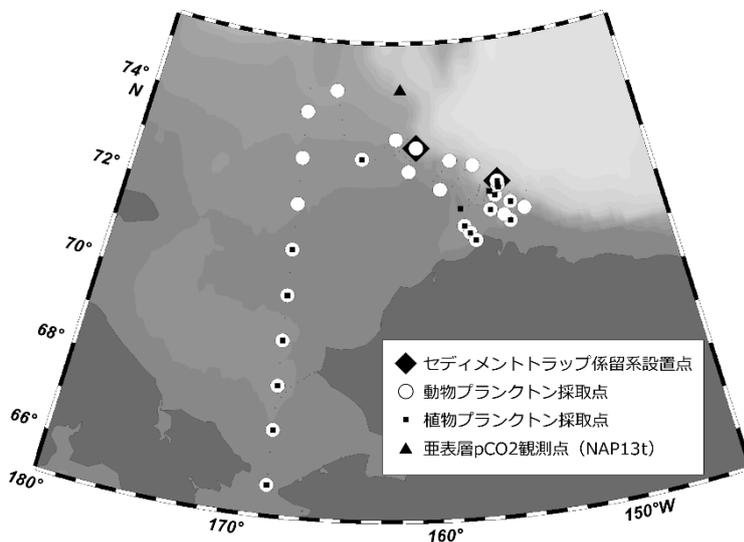


図1 MR15-03 航海でのセディメントトラップ係留系設置点とプランクトン採取点、および2013-2014年の亜表層 pCO₂ 観測点

- チャクチ海南部における動物プランクトンバイオマスの季節変動解析
 動物プランクトンバイオマスの季節変化を明らかにするため、2012年7月から2014年7月にかけてチャクチ海南部にて得られた音響データの解析を行った。

3. 研究成果

- Station NAP13t における亜表層の pCO₂ モニタリング

Station NAP13t (74° 31' N 161° 56' W)において、深度 170m 付近に AADI 社 二酸化炭素分圧 (pCO₂) オプトードセンサーを係留し 2013 年 9 月から翌年 9 月まで 30 分間隔で観測を行った。データ補正後の pCO₂ は 350–700 μatom (期間平均 620 μatom) で変動していた。700 μatom に達する pCO₂ は、高生産海域であるチャクチ海の下層において有機物分解を反映してみられるが、今回得られた pCO₂ の時系列変動は、同時に係留した水温塩分センサーや流向流速計のデータから判断すると、現場の生物生産の季節性よりも海洋循環の時系列変動の影響を受けていると考えられる。高い pCO₂ 観測時にセディメントトラップで捕集された動物プランクトンの炭酸カルシウム殻の保存に影響があったかどうかについては現在試料処理を進めている段階で、今後の課題である。

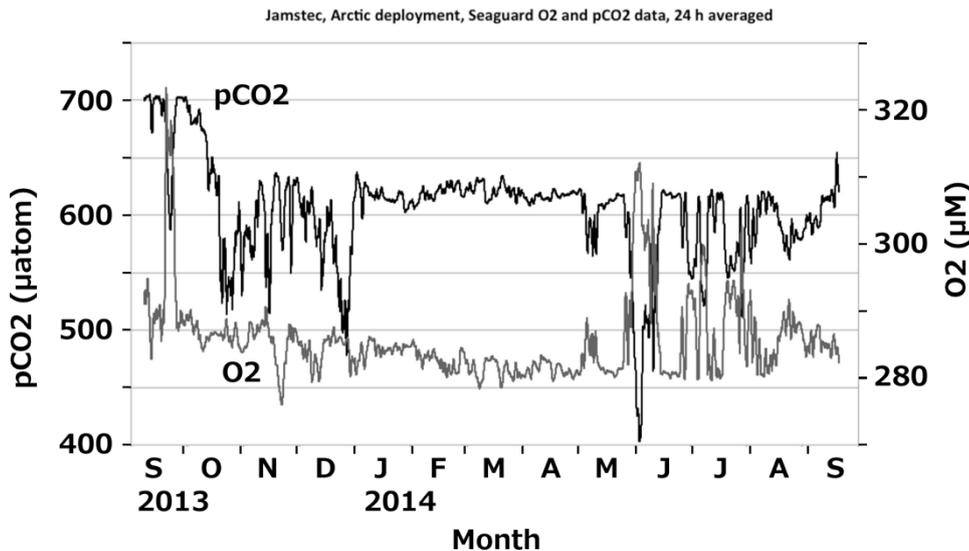


図 2 Station NAP13t の深度約 170m における 2013 年 9 月 8 日から 2014 年 9 月 17 日までの pCO₂ および O₂ 濃度の時系列変動

・ 酸性化と淡水化に対する極域植物プランクトンの応答実験

植物プランクトンの生物量の指標であるクロロフィル a の濃度は対数的に増加し (図 3a), 高水温の系 (HT) では 7 ~ 8 日目, 低水温の系 (LT) では 13 日目に最大濃度となった。サイズ分画したクロロフィル a から算出した大型植物プランクトンの割合において, 実験区間に明瞭な違いは認められなかった (図 3b)。物質循環およびプランクトン群集の構成員の指標となる栄養塩の利用比を図 4 に示す。温暖化の系において低水温の時と比較して, (a) 窒素とリン酸塩の比の有意な上昇, (b, c) ケイ酸と窒素ならびにケイ酸とリン酸の比の有意な低下が見られた。これらの結果は全て, 生態系の鍵グループである珪藻が昇温によって減少した可能性を示唆する。現在までに得られた限られたデータからは, 海洋酸性化および淡水化がプランクトン群集に

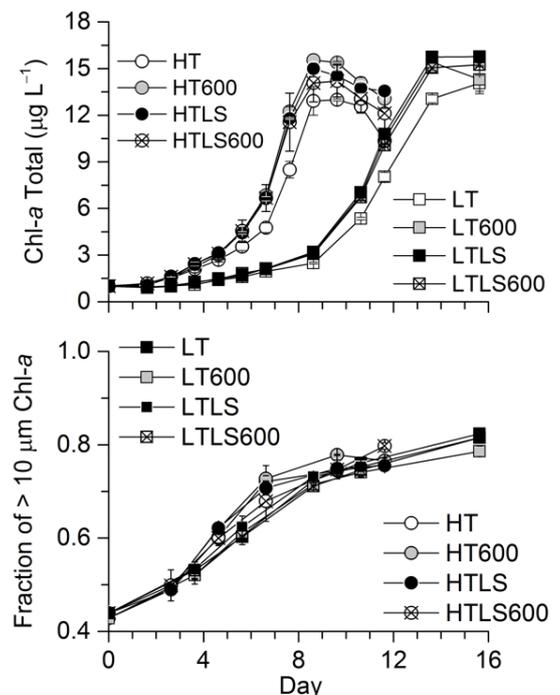


図 3 上 クロロフィル a 濃度の経時変化. 下 10 μm 以上の大型植物プランクトンの割合の経時変化

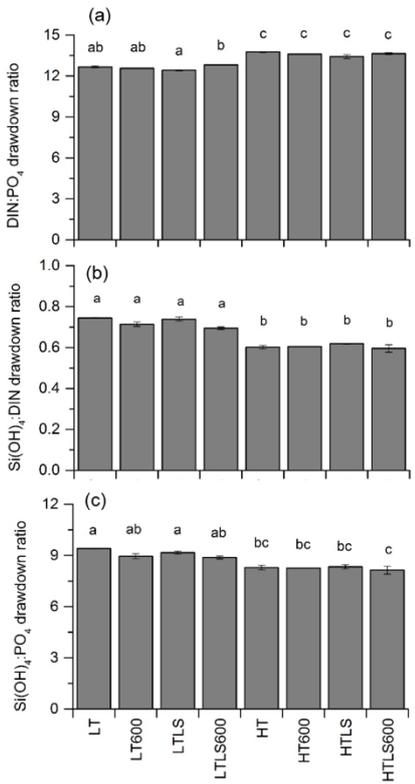


図 4 栄養塩の利用比、(a) 溶存無機窒素とリン酸塩の利用比、(b) ケイ酸と溶存無機窒素の利用比、(c) ケイ酸とリン酸の利用比。グラフの上のアルファベットは、Tukey's B HDS 検定の結果。

あたえる影響は小さいことが示された。今後は粒状物質の分析により、光合成によって取り込まれた炭素の動態について分析・解析を進める。

・動物プランクトンバイオマスの音響データ解析

2012年7月から2014年7月にかけてチャクチ海南部にて得られた音響データを解析し、動物プランクトンバイオマスの季節変化を明らかにした(図5)。動物プランクトンバイオマスは、両年ともに5月後半から増加、秋季に最大、11月中旬から12月初旬より減少し、春季に最低となった。動物プランクトンバイオマス

は、スプリングブルーム期(5~6月)にはまだ低く、この時期の基礎生産産物の多くは沈降すると考えられる。これは当該海域において Pelagic-benthic coupling がいまだ強固であることを示唆している。また、125 および 200kHz の散乱強度データと音響散乱モデルを用いた解析から、夏期後半から秋季にかけては大型プランクトン(オキアミや *Neocalanus cristatus*) が、その他の時期には小型プランクトンが卓越することが示唆された。これまで、ベーリング海からチャクチ海に移流された動物プランクトン(北極固有種に比べて大型)は越冬できないものと予想されてきたが、これを支持する観測は報告されていない。本研究で示された、大型動物プランクトンの冬季の減少は、移流種がチャクチ海で越冬できないことを示唆している。

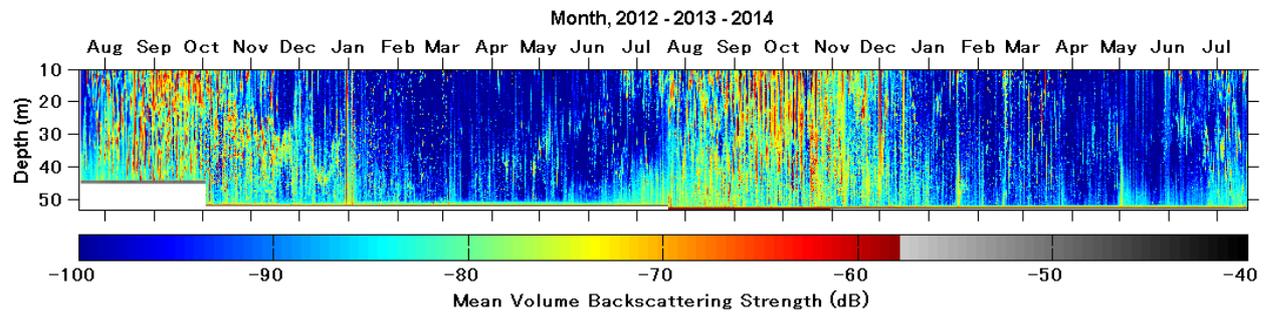


図 5 チャクチ海南部における音響散乱強度の季節変化(青→赤: バイオマス低→高)

4. 研究成果発表

(1) 論文発表

(1-1) 査読あり

Harada, N., Review: Potential catastrophic reduction of sea-ice in the western Arctic Ocean -its impact on the biogeochemical cycles and marine ecosystems- *Global and Planetary Change*, 136, 1-17, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.11.005>, 2016

(1-2) 査読なし

なし

(2) 学会発表

- ・ 原田尚美, 海洋酸性化に対する海洋研究開発機構の取り組み, 温暖化・海洋酸性化の研究と対策に関する専門家会合, 2016年2月18日 虎ノ門 笹川平和財団ビル
- ・ 小野寺丈尚太郎, Anders Tengberg, Dariia Atamanchuk, 西野茂人, 渡邊英嗣, 伊東素代, 菊地隆, 小栗一将, 原田尚美, Northwind 深海平原における太平洋冬季水の pCO₂ 通年観測, 2016年3月15日, 日本海洋学会 2016年度春季大会 16S01-13. 東京大学本郷キャンパス.
- ・ Harada N. Arctic marine biological and biogeochemical observation-Jamstec's challenge, initiative and perspective- 2016年3月16日, Arctic Observing Summit, University of Alaska.

(3) アウトリーチ、出版物、取材等

- ・ なし

(4) その他

- ・ 共同研究の準備に着手

10月に韓国極地研 KOPRI を訪問し、韓国との共同研究の準備に着手した。チャクチボーダーランド海域では東西で海氷減少による水塊環境や動・植物プランクトン生態系への影響が異なると考えられている。そこで当海域の生物源沈降粒子の捕集観測について、東部を日本側が、西部を韓国側が担当し、分割した一部試料の相互提供を行う。当メニューでは、韓国から提供される炭酸カルシウム殻を持つ動物プランクトンについても、MXCTを用いた骨格密度測定から酸性化への影響評価を行う。また、得られたデータは、西部北極海の海氷-海洋物理-低次生態系モデル実験にも活用される予定である。

1. メニュー名および実施責任者

メニュー名	環北極気候変動の長期時間スケール予測
実施責任者	小室 芳樹 (海洋研究開発機構)

2. 活動実績

メニュー内活動

- ・ 9月にメニュー内のキックオフミーティングを行い、メンバーの顔合わせを行うと共に本年度及びプロジェクト全体を通しての研究の進め方等を議論した。
- ・ 3月に ACE CRC (オーストラリア・ホバート) 草原和弥氏を JAMSTEC 横浜研究所に招き、今後の海洋・海氷モデル開発、棚氷モデル開発、ならびに海洋棚氷結合モデル開発に関する意見交換を行った (本メニューからは小室・小野・齋藤・建部が出席)。同じく3月には東大大気海洋研で北極気候氷床検討会を開催 (本メニューから齋藤・阿部 (彩) が参加) し、北極気候氷床に関わる研究の現状把握と技術開発に関する検討を行なった。これらの会合での主な話題は以下の通り。
 - 中・長期的には海洋-棚氷-氷床結合モデル開発が重要かつ必須であるが、結合に先立って海洋モデル・棚氷モデル氷床モデルそれぞれの改良・開発を行う必要がある
 - 海洋モデルには、棚氷氷厚の変化を陽に扱うための改良が必要
 - 氷床棚氷モデル内での熱力学過程を、結合時の水・熱の保存を満たすよう改めて考察する必要
 - 氷床上のエネルギー収支について、陸面モデル中での表現再考を含む詳細な取り扱いが必要
 - 水平高解像度化、長期的にはダウンスケーリングモデル開発との協力を視野に入れるべき
 - 草原氏と短期的、および中・長期的な研究協力を継続することを確認

ArCS 全体・あるいは他メニューとの活動

- ・ 10月に行われたメニュー「北極域環境における多圏相互作用の実態解明と気候予測への応用」のキックオフミーティングに、関連の深いメニューとして小室・小野が参加し意見交換を行った。
- ・ 11月の ArCS キックオフ全体会で小室がメニューの説明を行い、あわせて他メニューとの間の研究協力等について意見交換を行った。

国際研究協力活動等

- ・ 国際的なモデル比較事業 CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) および ISMIP6 (Ice Model Intercomparison Project for CMIP6) 関連の国際会議 (ISMIP6-preAGU、2015年12月、サンフランシスコ) および電子会議に阿部 (彩) が出席し、規格策定のための議論に貢献した。これら会議の成果は現在国際科学誌に投稿中である (阿部 (彩) が共著者として参加)。

3. 研究成果

APPOSITE 実験データを用いた北極海における海氷急減の発生及び予測可能性の検証

2007年や2012年に夏季北極海で見られた急激な海氷減少は、日本を含む中緯度気候への影響や北極航路の利用可能性の中長期的予測という観点から、科学的・社会的関心を集めている。先行研究によると、北極海の家氷面積および海氷体積には1~2年および3~4年の潜在的予測可能性があることがいくつかのモデルで示されている一方、海氷急減についての予測可能性については十分に議論されていない。そこ

で、北極海の海水大激減イベントに着目し、海水の変動メカニズムと予測可能性について調べた。

北極域でのモデル予測可能性に関する国際プロジェクト APPOSITE に参画した大気海洋結合気候モデル MIROC5.2 のリファレンス実験のデータを解析した。この実験では外部強制力を 2000 年に固定しているため、温暖化トレンドは含まれていない。それにもかかわらず、海水は 200 年間で 2 度ほど大激減した。この時の海水はロシア沿岸海域から北極点までの広範囲にわたって後退し、2007 年 9 月に実際に観測された海水分布とよく似ていた。メカニズムを考察すると、リファレンス実験の晩春～夏の海面気圧場は、ポーフォート海上に高気圧偏差、カラ海上に低気圧偏差という海面気圧偏差のダイポール構造となっており（図 1h）、この気圧偏差に伴う風によって海水は沖合へ移動し、氷縁位置は 7 月から 8 月にかけて大きく後退したと推察される。この特徴は 2007 年の観測結果ともおおよそ一致している。

次に、リファレンス実験で海水急減が見られた年の 1・4・7 月の状態に微小なランダム誤差を加えた初期条件を各月 8 ケース分作成して仮想的な予測実験を行った。7 月開始の実験は海面気圧偏差のダイポール構造・氷縁位置を含めた海水分布ともかなりよく予測できた（図 1c、1g）。4 月開始の実験は弱いながらもダイポール構造を予測できたため、ロシア側の海水後退はある程度予測できた（図 1b、1f）。一方、1 月からの予測は気圧場を予測できなかったため、海水はロシア沿岸域の低緯度側で残った（図 1a、1e）。

リファレンス実験で見られた海水急減は、現実には温暖化トレンドの中で見られた急減が気候システムに内在する自然変動（内部変動）だけで生じうることを示唆している。急減のメカニズムの解析と予測実験の結果は、ポーフォート海上の高気圧偏差とカラ海上の低気圧偏差からなる海面気圧偏差のダイポール構造の表現が海水分布の予測・再現に重要であることを示している。今後は、内部変動の予測可能性を高めるために AO・AMO・PDO・ENSO など他の主要な気候変動モードとの関係を調べる必要がある。

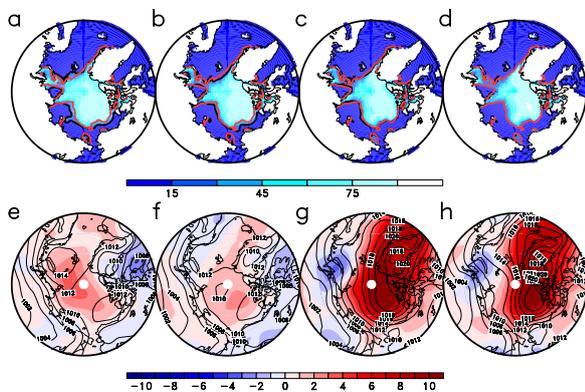


図 1. 海水急減年の (a) 1 月、(b) 4 月、(c) 7 月開始の予測実験および (d) リファレンス実験から得られた 9 月の海水氷接度分布（色塗り、%）。赤線と黒線はリファレンス実験と予測実験の氷縁位置（海水氷接度 15% で定義）を示す。(e) 1 月、(f) 4 月、(g) 7 月開始の予測実験および (h) リファレンス実験から得られた 6～8 月平均の海面気圧偏差（色塗り、hPa）と海面気圧（等値線、hPa）の空間分布。ただし、7 月開始は 7～8 月平均である。

高解像度北極海物理モデルの開発と設定

北極海へダウンスケーリング手法を適用したモデルでの精緻な予測実験実現のために、全球海洋モデルの北極海部分に高解像度のモデルをネスティングしたモデルの開発・設定を行った。まず設定の検討を行い、格子配置を図 2 左図のように定めた。水平解像度の検討を行い、全球海洋モデルは 1/4 度（既に設定・スピンアップ済み）、北極海部分は 5 km またはより高解像度とした。これは北極海の大部分において渦の表現が許容される解像度である。北極海水平 5 km モデルについて設定の作成と調整を行った後、このモデル単独で予備実験を行い、5 年積分可能で再現される場も現実的であることを確認した。計算結果の一例を図 2 右図に示す。今後はこの北極海高解像度モデルを全球海洋モデルにネスティングし、まず海洋モデルの枠組みでの将来予測実験のダウンスケーリングに取り組む予定である。

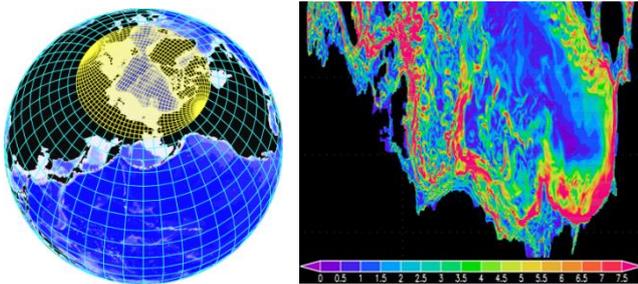


図2. (左) 北極海へダウンスケーリング手法を適用したモデルの格子配置の概念図。黄色が北極海高解像度部分。(右) 北極海 5 km モデルにおける太平洋側北極海の 100 m 深流速スナップショット (単位 cm/s)。

気候モデル MIROC の雲形成過程の改良

熱帯及び亜熱帯の海洋上では、雲頂高度がせいぜい 2km 程度と比較的背の低い雲が頻繁に観測される。このような雲は浅い対流に伴って発生しており、この対流周辺の湿った空気は鉛直方向に効率良くかき混ぜられ、上方へ輸送される。浅い対流過程のない従来の気候モデルでは、温暖化時に低緯度大気下層の雲の量は顕著に増えており、下層雲による大気の冷却効果が過大評価されている可能性があった。その影響は中緯度偏西風の強度や移動性高低気圧の活動度などを介し中高緯度にも及ぶ可能性がある。

開発中の最新気候モデル MIROC6 に浅い対流過程及びこれに伴う雲形成過程のパラメタリゼーションを導入した結果、これまで過小評価されていた西部熱帯太平洋の夏季降水量の分布に大きな改善が見られた (図省略)。この改善が下層雲の表層冷却効果を和らげ、気温の南北差が大きくなった結果、これまで過小評価されていた冬季偏西風及び移動性高低気圧の活動度は最新のモデルでは強化された (図 3)。

地球温暖化に伴う熱帯の昇温によって生じると考えられる冬季中緯度偏西風及び移動性高低気圧の変化は、中緯度から極域への水蒸気輸送量の増加をもたらす (IPCC 第 5 次報告書中程度の確信度)。水蒸気の増加は下向き長波放射の増加につながり、極域における急速な温暖化の主要因の一つと考えられている。浅い対流過程の表現が可能となったことにより、大気子午面循環の温暖化応答における不確実性が低減され、結果として熱帯・中緯度のみならず極域における気候変動予測精度の向上も期待される。

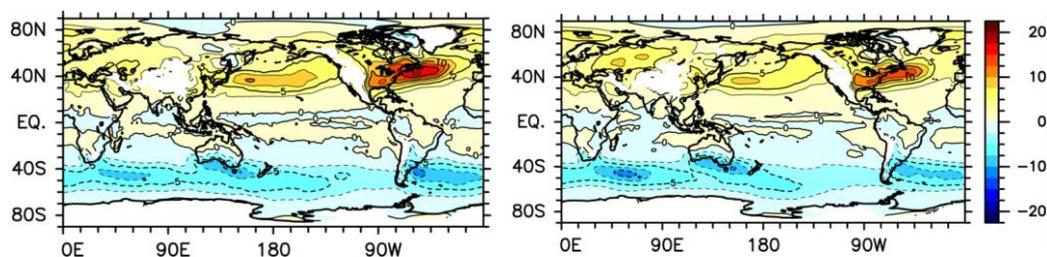


図3. (左) MIROC6 及び (右) IPCC 第 5 次評価報告書時のモデル MIROC5 における、8 日よりも周期の短い移動性擾乱による 850 hPa 高度上での南北温度輸送 (K m/s)。

北極気候氷床研究に関わる技術開発

プロジェクト次年度以降の氷床-気候結合モデルの開発と結果の解析を見据え、氷床モデル開発、アンサンブル実験スキーム導入検討、CMIP5 将来予測実験解析を行なう準備をした。とくに、グリーンランド氷床上のエネルギー収支のモデリングに関して、従来の陸面モデル MATSIRO に代わって SMAP モデルを採用するかどうか調査検討を行なった。大陸上の温暖化の強弱が大気海洋海水のアルベドフィードバックを通じて北極気温増幅をすることがわかってきたので、これまで高度化された陸面過程や陸上植生過程

- Laîné A, Yoshimori M, and Abe-Ouchi A, Surface Arctic Amplification Factors in CMIP5 Models: Land and Oceanic Surfaces, Seasonality. *Journal of Climate*, **29**, 3297–3316, 2016.
- Past Interglacials Working Group of PAGES, Interglacials of the last 800,000 years. *Reviews of Geophysics*, **54**, 162–219, 2016.
- Abe, M, Takata K, Kawamiya M, and Watanabe S, Future warming and snow albedo feedback trends in a boreal forest region of northern Eurasia according to MIROC-ESM. *J. Geophys Res. Atmosphere*, 2016, (submitted).
- Nowicki S, Payne T, Larour E, Seroussi H, Goelzer H, Lipscomb W, Gregory J, Abe-Ouchi A, and Shepherd A, Ice Sheet Model Intercomparison Project (ISMIP6) contribution to CMIP6, *Geoscientific Model Development*, (submitted).

(1-2) 査読なし

- 該当なし

(2) 学会発表

- Abe-Ouchi A and others, How and when to terminate the Pleistocene ice ages?, 18 December 2015, AGU Fall Meeting2015, Moscone Center, San Francisco, US.
- Abe-Ouchi A and others, Role of Stationary wave feedback in shaping the glacial ice sheets, 18 December 2015, AGU Fall Meeting2015, Moscone Center, San Francisco, US.
- Abe M, Takata K, Kawamiya M, and Watanabe S, Effect of snow-albedo feedback on future strong warming in boreal forest region of northern Eurasia in MIROC-ESM. 19 November 2015, The 6th Symposium on Polar Science, National Institute of Polar Research.
- Ono J, Nodzu MI, Tatebe H, Ishii M, and Tanaka Y, Pan-Arctic Sea Ice Prediction System with the MIROC Climate Model. 19 November 2015, The 6th Symposium on Polar Science, National Institute of Polar Research.
- Ono J, Nodzu MI, Tatebe H, Ishii M, and Tanaka Y, Pan-Arctic sea-ice predictability with the MIROC climate model. 21–22 March, 2016, The Joint US–Japan Workshop on Climate Change and Variability, Scripps Institution of Oceanography, UC San Diego, US.
- Saito F, Inclusion of an optimization of the basal sliding coefficients field and its impact on the simulated projection of Greenland ice sheet. 13 March 2016, International Workshop on ‘‘Greenland ice sheet mass loss and its impact on global climate change’’, Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Sapporo.
- Tatebe H, Kosaka Y, Lestari K, and Imada Y, Slowdown and accelerations of surface global warming due to tropical Pacific internal variability: A multi-model intercomparison. 20–23 October 2015, Workshop on CMIP5 model analysis and scientific plans for CMIP6, Dubrovnik, Republic of Croatia.
- 阿部学, 高田久美子, 河宮未知生, 渡辺真吾, MIROC-ESM の将来予測実験におけるユーラシア北部の春季気温上昇と積雪変化の関係, 2015年10月30日, 日本気象学会2015年秋季大会, 京都テルサ.

- ・ 小野純, 北極域の予測可能性, 2015年12月10日, 北海道大学低温科学研究所共同利用研究集会「南北両極海における海洋・海氷の現場観測研究」, 札幌.

(3) アウトリーチ、出版物、取材等

- ・ 小室芳樹, BlueEarth 141号, 特集「計算科学で海洋地球環境の未来を解き明かせ!」内「北極域の気候・生態系・物質循環を精緻に数値モデル化し数十年先の北極環境の変化を予測する」, 国立研究開発法人海洋研究開発機構, pp. 16-17, 2016年2月刊行.

・

(4) その他

- ・ 特になし

1. メニュー名および実施責任者

メニュー名	BC&メタンの全球および北極域における収支・輸送過程のアセスメント
実施責任者	滝川雅之

2. 活動実績

- 北極海上での船舶を用いた世界で初めての BC 濃度計測である、2014 年度「みらい」北極航海の際の北部太平洋域における BC 高精度観測結果を解析したところ、 $0.01\text{ng}/\text{m}^3$ という非常に低濃度での高精度観測に成功した。加えて、これまで報告例の少ない「BC が他の物質と表面で付着した」状態の BC について優位に検出した。また 2015 年度「みらい」北極航海でも BC 高精度観測を継続的に実施した。
- 環北極域における BC の主たる発生源の一つ、森林火災の主要発生源周辺域であるアラスカおよびロシア・ヤクーツク周辺において BC の直接観測を実施するため、現地研究機関との国際共同研究に関する調整を進めた。アラスカではアラスカ大学フェアバンクス校との共同研究のもと、2016 年度よりポーカーフラットでの BC 地上観測を実施するため機器および現地観測サイトの整備を進めた。ロシア・ヤクーツクにおいてはロシア科学アカデミー北方圏生物問題研究所を 3 月に訪問し、同研究所が運営する森林観測サイト周辺での観測サイト設営について現地研究者と協議した。
- 環北極域における BC の動態解明に資するため、化学輸送モデルおよびエミッションインベントリの整備を進めた。エミッションインベントリについては、日本起源 BC の北極域への寄与を評価するため国内の関連研究者と打ち合わせを行い、化石燃料起源の放出量推定については石油エネルギー技術センター、船舶起源の放出量推定については海洋政策研究所が取りまとめた最新版の推定値を化学輸送モデルで利用できるよう、整備を進めた。また最新の全球および領域化学輸送モデルを用いた「みらい」北極航海期間中のシミュレーションのための準備を行った。
- GRENE 北極気候変動研究事業から継続して二酸化炭素やメタンなどの温室効果気体の大気中動態および領域別炭素収支などの解明に向けたモデルシミュレーションを実施した。
- ロシアのシベリア等の森林火災により発生するブラックカーボンの推定値の精度向上のために、森林火災域の衛星の焼失域等のデータ及びインベントリデータを収集した。また JAXA の次期気候変動ミッション GCOM-C の陸域生態系パラメータ LAI/FAPAR アルゴリズムの開発及び入力データ、補助データの整備を実施した。
- 降積雪中に含まれる BC 存在量の分析に向けた機器整備等を実施した。また北海道大学低温科学研究所および富山大学等と連携して国内各地で積雪サンプリングを実施し、SP2 測定装置を利用したレーザー誘起発熱法による単一粒子測定法での計測を行ったところ、積雪断面中での BC 濃度分布について過去の研究事例と同様の傾向を示していることが確かめられ、本解析手法が妥当であることが確認できた。

3. 研究成果

・ メタン放出量の真値に迫る：熱帯域・東アジアでの見直し必要性を指摘

二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、亜酸化窒素(N₂O)など長寿命温室効果気体の収支に関する理解を向上させ、大気組成の変動を通じた人間圏と気候の結びつきを検証するための研究を進展させた。本年度は、CO₂に次ぐ重要な温室効果ガスであるメタンについて、独自に開発した大気化学輸送モデル ACTM と、世界の高精度な濃度観測値を用いて、全陸域を 53 に分けた各領域において 2002 年～2012 年の放出量を逆推定した。その結果、東アジア(主として中国)からの石炭産業起源のメタン放出量が従来

試算よりも少ないこと、熱帯でのメタン放出量は近年の家畜飼料数の増加に伴い増えている可能性があることを指摘した

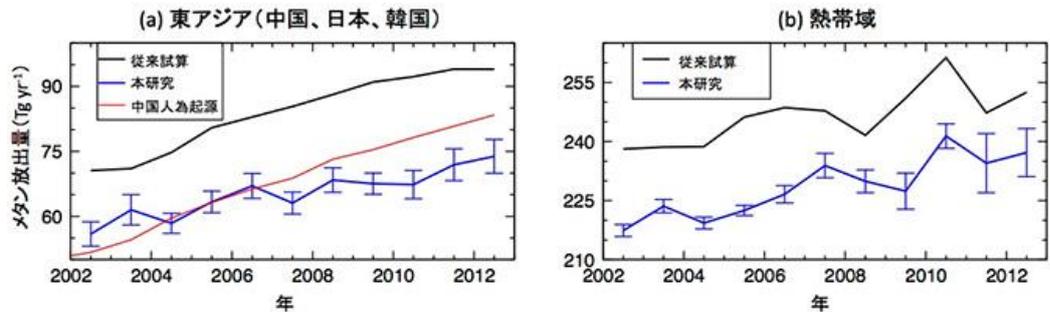


図1 (a)東アジア域および、(b)熱帯域におけるメタン放出量推定値。青線が本研究による結果であり、従来試算(黒)は過大評価となっていたことを指摘した。(a)では、従来試算(黒)に占める中国人為起源の寄与試算を赤で示しているが、それだけでもすでに過大評価となっていることがわかる。

(図1)。メタンの発生源は、野生の反芻動物、湿地、湖沼、海洋などの自然起源のものから、水田、廃棄物の埋め立て地、家畜の反芻動物などの人為起源のものまで多岐にわたっており、地球上の各地域からのメタン放出量の高精度な推定は困難とされてきた。本研究の結果では、全陸域からのメタン放出量は、2002～2006年の平均で505～509 Tg CH₄/yr、2008～2012年で524～545 Tg CH₄/yrと推定され、特に2007年頃を境に大きく増加していると考えられた。しかしながら東アジアと熱帯域では、従来試算はともに約20 Tg CH₄/yrの過大評価となっていることが確かめられた。2007年以降の東アジアでは、放出量自体に加え、放出量「増加率」についても従来の推定値では過大評価されていることがわかった。その原因としては、主として中国からの人為起源による放出を過大評価しているためと推測された。従来、人為起源の放出量の精度は他の発生源と比べて精度が高いと考えられてきたが、他の要因に関する知見の向上もあり、今回初めて人為起源の放出量の見直しが必要であることを指摘するに至った。一方、熱帯域での放出量は従来推定では過大評価であるものの、増加傾向にあることについては支持される結果となった。増加の要因としては、国連の食料農業機関(FAO)の統計を参照として、熱帯地域で需要増加傾向にある家畜からの放出である可能性が示唆された。この点は、メタンの安定炭素同位体比($\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$)に減少傾向が観測されていることから妥当性が裏付けられた。メタンの地域ごとの収支に関する本研究の成果は、温室効果ガスの科学的知見を取りまとめているIPCCやグローバル・カーボン・プロジェクト(GCP)の活動に貢献するとともに、地球温暖化対策および放出量管理に関する政策立案の際の科学的な裏付けとなることが期待される。また、本モデルの計算領域には北極域も含まれているため、北極評議会(Arctic Council)への科学的貢献も期待される。

・ 「みらい」北極航海でのBC高精度測定

全球や北極での温暖化促進効果が懸念されている大気中のブラックカーボン (BC) の時空間分布を把握するため、2015 年度も継続的に「みらい」の北極・インド洋・太平洋航海や、福江島等の定点において、BC 観測を実施した。また、観測点拡充のためにアラスカやシベリアでの観測候補地を策定し、機器整備を進めた。2014 年 8 月から 10 月にかけて実施された「みらい」北極航海 MR14-05 において、SP2 (single particle soot photometer) を用いて得られた BC 粒子の質量濃度、粒径、混合状態などの観測結果を精査し、論文として発表した (Taketani et al., 2016)。このような船舶を用いた北極海上での高精度観測は世界で初めてとなる。解析の結果、北極海上 (2014 年 9 月 4 日～2014 年 9 月 27 日) の測線上で観測された BC 濃度は変動 0.01～20 ng/m³ と 3 桁におよび (図 2)、その平均濃度は 1.0 ng/m³ と、最寄りの陸上の観測地点 (Barrow) のこれまでの 9 月の月平均 BC 濃度 (10 ng/m³) の 10 分の 1 程度の値であった。このような先駆的な観測データは世界の BC に関する大気化学輸送

数値モデリングの評価のためのベンチマークとなる。また、観測された BC 粒子の状態について解析したところ、北極海上の BC は「単体の状態」「他の物質に覆われている状態」「他の物質と表面で付着した状態」の 3 つの混合状態で存在していた。そのうち「他の物質と表面で付着した状態」の BC については、他海域 (ベーリング海上や西部北太平洋上) での先行研究例では全 BC 中の 2% 以下のところ、北極海上では 20%

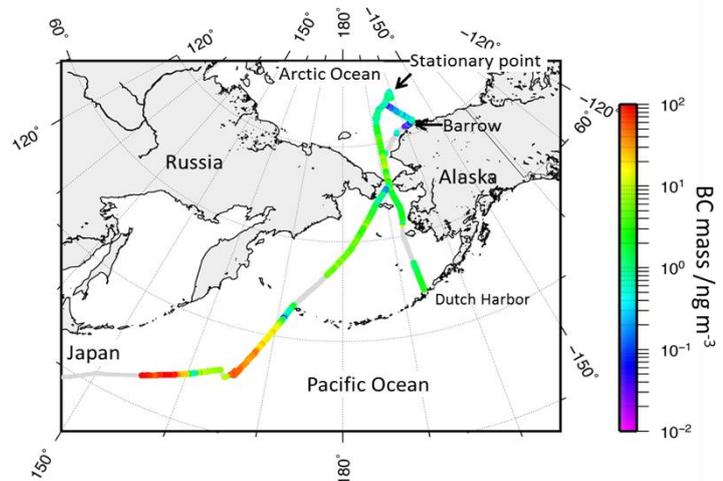


図 2 海上 BC 質量濃度の観測結果。

程度と存在割合が非常に高かった。BC は粒子自身の性質に加え、以上のような混合状態がその光吸収特性を左右する重要な因子であるが、北極海上における BC の気候影響を適切に評価する上で重要な知見を得たと言える。

4. 研究成果発表

(1) 論文発表

(1-1) 査読あり (全て Published)

- ・ F. Taketani, T. Miyakawa, H. Takashima, Y. Komazaki, X. Pan, Y. Kanaya, J. Inoue, Shipborne observations of atmospheric black carbon aerosol particles over the Arctic Ocean, Bering Sea, and North Pacific Ocean during September 2014, *J. of Geophys. Res.*, 121(4), 2016 (プレス発表済み)
- ・ Miyakawa, T., Y. Kanaya, Y. Komazaki, T. Miyoshi, H. Nara, A. Takami., N. Moteki, M. Koike, Y. Kondo, Emission regulations altered the concentrations, origin, and formation of carbonaceous aerosols in the Tokyo metropolitan area, *Aerosol Air Qual. Res.*, in press, 2016.

- ・ Miyakawa, T., Y. Kanaya, Y. Komazaki, F. Taketani, X. Pan, M. Irwin, J. Symonds, Intercomparison between a single particle soot photometer and evolved gas analysis in an industrial area in Japan: Implications for the consistency of soot aerosol mass concentration measurements, *Atmos. Environ.*, **127**, 2016.
- ・ Patra, P. K., T. Saeki, E. J. Dlugokencky, K. Ishijima, T. Umezawa, A. Ito, S. Aoki, S. Morimoto, E. A. Kort, A. Croftwell, K. Ravikumar, T. Nakazawa, Regional methane emission estimation based on observed atmospheric concentrations (2002-2012), *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, **94**, 91-113, 2016. (プレス発表済み)

(1-2) 査読なし

- ・ 該当なし

(2) 学会発表

- ・ 藤田遼、森本真司、石島健太郎、Patra Prabir、梅澤拓、Doug Worthy、青木周司、中澤高清 カナダ・チャーチルにおける大気中 CH₄ 濃度の季節変動とその起源解析, 第 21 回大気化学討論会, 2015/10/20, 東京.
- ・ 竹谷文一、宮川拓真、駒崎雄一、高島久洋、Xiaole Pan、猪上淳、金谷有剛、北極海、ベーリング海、西部北太平洋上におけるブラックカーボン粒子の船上観測, 大気化学討論会, 2015/10/20, 東京.
- ・ Kumiko Takata, P.K. Patra, Ayumi Kotani, Dmitry Belikov, Junko Mori, GTMIP group, Takeshi Ise, Toshinobu Machida, Shamil Maksyutov, Shin Miyazaki, Takeshi Ohta, Hotaek Park, Tazu Saeki, Kazuyuki Saito, Hisashi Sato, Shunsuke Tei, Atsuko Sugimoto, Shuji Aoki, Comparison of carbon fluxes estimated by top-down and bottom-up methods - a case study at Yakutsk, Siberia, the Sixth Symposium on Polar Science, 2015/11/19, 極地研.
- ・ Fumikazu Taketani, Takuma Miyakawa, Hisahiro Takashima, Yuichi Komazaki, Xiaole Pan, Yugo Kanaya, Jun Inoue, Ship-borne observations of atmospheric black carbon aerosol particles over the Arctic Ocean, Bering Sea, and North Pacific Ocean during September 2014, AGU Fall meeting, 2015 2015/12/14, アメリカ.
- ・ Takuma Miyakawa, Fumikazu Taketani, Naga Oshima, Xiole Pan, Yuichi Komazaki, Yutaka Kondo, and Yugo Kanaya, Aging and removal of Black Carbon measured using a Single Particle Soot Photometer in East Asia, AGU Fall meeting, 2015/12/16, アメリカ.
- ・ K. Ravi Kumar, P.K. Patra, K. Ishijima, T. Saeki, T. Machida, Y. Sawa, H. Matsueda, S. Aoki, Assessment of ACTM global model performance using CONTRAIL aircraft observations of greenhouse gases, GRENE 北極気候変動研究事業 研究成果報告会, 2016/03/03, 極地研.
- ・ 森本真司、後藤大輔、村山昌平、石戸谷重之、藤田遼、石島健太郎、P. K. Patra、青木周司、スバルバル諸島ニーオルスン及びカナダ・チャーチルにおける大気中の温室効果気体および関連気体の変動, GRENE 北極気候変動研究事業 研究成果報告会, 2016/03/03, 極地研.
- ・ P. K. Patra, T. Saeki, K. Ishijima, K. Ravi Kumar, S. Taguchi, D. Belikov, S. Makyutov, Y. Niwa, T. Maki, D. Goto, Y. Tohjima, S. Ishidoya, S. Morimoto, S. Aoki, K.

Takata, Modelling of greenhouse gases and related species in the Arctic environment, GRENE 北極気候変動研究事業 研究成果報告会 2016/03/03, 極地研.

- Y. Tohjima, K. Katsumata, J. Matsushita, D. Sasano, N. Kosugi, S. Kameyama, S. Ishidoya, K. Ishijima, P. Patra, Atmospheric CH₄ distributions observed during Arctic cruises of R/V Mirai in 2012-2015, GRENE 北極気候変動研究事業 研究成果報告会, 2016/03/04, 極地研.
- 宮川 拓真, 竹谷 文一, Xiaole Pan, 駒崎 雄一, 金谷 有剛, 単一すす粒子計測装置 SP2 によるブラックカーボンの地上・船上観測, ブルーアース 2016 2016/03/08

(3) アウトリーチ、出版物、取材等

- 竹谷文一, EOS, Detecting Black Carbon in the Arctic Atmosphere, 2016年2月17日 (アメリカ地球物理学連合(AGU)の会報であるEOSに Taketani et al., 2016 が Research Spotlight として紹介される).
- 竹谷文一, 科学新聞, 北極海上のブラックカーボン粒子 「世界初」高精度測定成功, 2016年3月4日.

(4) その他

- 特になし

1. メニュー名および実施責任者

メニュー名	環境変動と人為的インパクトに対する北極海生態系の反応メカニズムの解明
実施責任者	平 譯 享 (北海道大学)

2. 活動実績

- 2015年10月23日に函館まちづくりセンターにおいて、メニュー担当者・協力者および関係者（計17名）によるキックオフ会議を開催した。これまでの各自の研究内容の紹介とArCSでの研究内容について発表を行い、今後の研究の方向性と観測計画について議論を行った。
- 次年度以降の現場観測の機材の準備を行った。特にベーリング海峡付近に設置予定のADCPとそのフレームの調達およびセジメントトラップの整備を行った。また、プランクトンネットの調達・整備、汚染物質分析の準備、冷却装置の調達も行った。
- 2016年度に行われるカナダの国際共同研究（GreenEdge）フィールドワークへの参加枠を確保するための交渉をカナダ・ラバル大学のLouis Fortier教授やMarcel Babin教授らと行った。その結果として、2名程度の無料招待参加枠を確保した。

3. 研究成果

- 2015年度は、主に過去に取得された蓄積データおよび衛星データの解析を行い、対象海域の海洋動態の概観について整理を行った。得られた成果は以下の通りである。
- 2013年6-7月の南部チャクチ海表層における溶存有機物の量的および質的な分布に関する研究を取りまとめ、論文とした（改訂中）。分布解析の結果から、夏季の南部チャクチ海表層における溶存有機物の分布には、現場での生成や分解の影響は小さく、様々な起源水塊中における溶存有機物の保守的混合が重要である事を示唆した。
- チャクチ海陸棚域に堆積した有機物から栄養塩類や微量元素が再生するとともに（Hioki et al., Scientific Reports, 2014）、有機ヨウ素ガスが発生することが明らかになった（Ooki et al., BG, 2016）。近年、海洋から大気への有機ヨウ素ガス放出では、ジヨードメタンとクロロヨードメタンの放出の寄与が大きいと考えられている。とくに、チャクチ海はクロロヨードメタンの放出が活発な海域であることがわかった（Ooki et al., JGR, 2015）。北極海における基礎生産と有機物分解が地球表層のヨウ素循環に影響を与えている可能性がある。
- みらい、おしよ丸航海のデータを取りまとめ、チャクチ海における成層強度の時空間変動とその要因について考察した。（極域シンポジウムで発表）
- ベーリング海北部からベーリング海峡およびチャクチ海にかけて、微量栄養物質である鉄がどのような過程を経て海洋表層に供給されているかを明らかにした。これまでに報告されていた大陸棚の再懸濁だけではなく、Alaskan coastal current 上では海水融解水と河川水、氷縁域では海水融解水からの鉄供給過程が支配的であることが明らかとなった。
- 植物プランクトンサイズ組成の気候速度の分布に関する研究を取りまとめ論文とした（まもなく投稿）。海面水温および植物プランクトンサイズ組成の気候速度と底生生物量との関係を解析し、底生生物のバイオマスのシフトと植物プランクトンサイズ組成のシフトに有意な関係が見られた

(図 1 : 和賀ら、2016 年 3 月海洋学会で発表、若手優秀発表賞 (口頭発表) を受賞。)

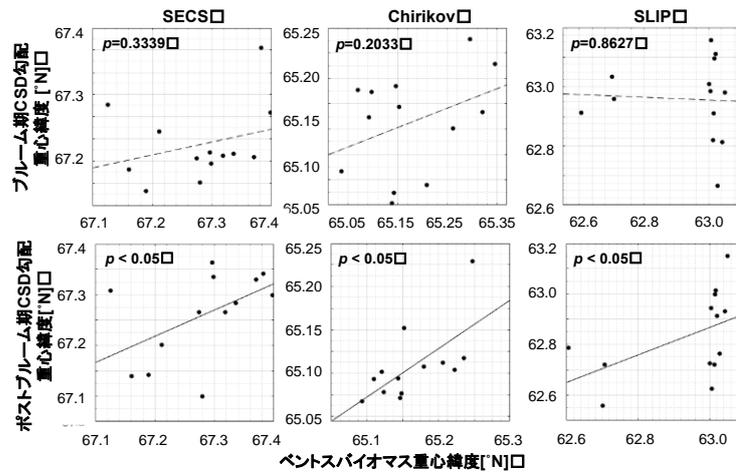


図 1. 北部ベーリング・チャクチ海における、ベントスバイオマスの重心緯度と植物プランクトンサイズ分布 (サイズスペクトルの勾配) の重心緯度との関係。

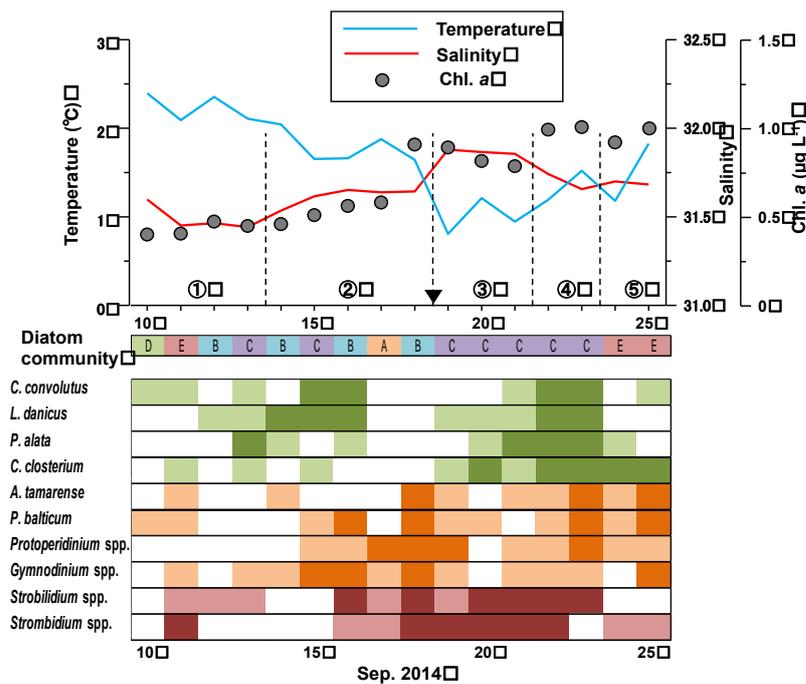


図 2. 2014 年 9 月 10 日から 25 日にかけて、西部北極海チャクチ海に設けた 1 定点における海洋環境 (上図) と優占植物プランクトン群集 (下図) の短期時系列変動。黒三角で示した強風イベントにより、Chl. a が増加し、植物プランクトン群集も変化していた (Yokoi et al., 2016)。

- ロシアおよびアメリカにて採集された動物プランクトン長期変動データに、おしよろ丸で採集されたデータ (1991/92 年および 2007/08 年) を加えて、1945-2012 年に及ぶ長期変動を発表した (Ershova et al. 2015)。初秋のチャクチ海において、強風イベントにより起こった小規模な植物プランクトンブルームが越冬前のカイアシ類に摂餌され、越冬の際のエネルギー源になっていることを明らかにした (図 2 : Yokoi et al. 2016)。

- ・ ホッキョクダラの食性と仔魚分布（図3：Nakano et al., 2015）、ハシボソミズナギドリの分布の季節・年変化に関するとりまとめを行い論文として発表した。カイアシ類にくわえ、高次動物の餌生物としてゼラチン質動物プランクトンおよびオキアミ類にも着目する必要があることがわかった。

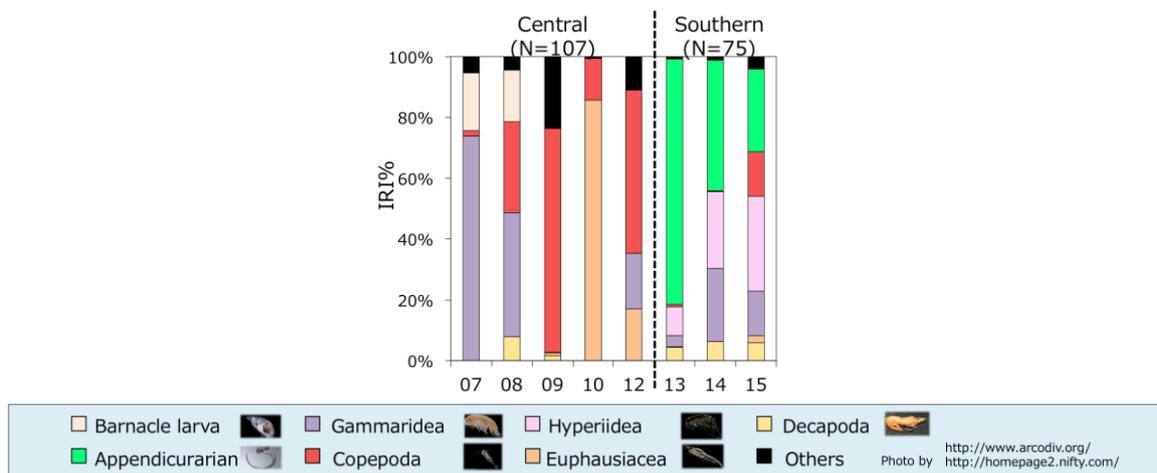


図3. チャクチ海南部と北部のホッキョクダラの食性。

- ・ 2013年おしよろ丸航海で取得した汚染物質測定用の予備的サンプルを整理した。
- ・ 衛星データを用いた初期解析を行い、北極海の家氷がない沿岸域では、CDOMによる太陽可視放射の吸収の寄与が他の生物および生物地球化学的物質よりも相対的に大きいという既存の現場研究からの知見を得ることができ、北極域の環境調査に衛星データ解析が有用であることを確認した。また、夏季の北極海大西洋側のフラム海峡における海面において、海水による太陽可視放射の吸収のうち、植物プランクトンによる寄与が他の物質による寄与よりも顕著に大きい時があるという示唆を得た。一方で、北極域の長期積雪分布のデータセットを完成させた。また、次年度からポスドク雇用の準備として、衛星データ解析用の計算機を選定し、調達作業を進めた。
- ・ 2015年12月18日に神戸大学で開催された国際シンポジウム「北極国際法秩序の展望」に参加し、北極漁業に関する国際法と自然科学とのギャップ、ACが中心となった国際法制定とACオブザーバーの貢献の重要性について議論と意見交換を行った。さらに、2016年3月30日、31日に韓国極地研究所（KOPRI）で開催された国際シンポジウム Roundtable on Central Arctic Ocean (CAO) ecosystem and fisheries issues に参加し、北大おしよろ丸等で得られた海洋生態系に関する成果について、人文科学系（主に国際法関係）の研究者に情報提供を行った。
- ・ ArCS事業で利用する衛星データのの一つである北半球長期積雪域データセットの作成を完了し、過去30年間に北極域の積雪面積が縮小傾向にあることを明らかにした。また、平成28年度より衛星データ解析を担当するポスドク研究員の採用手続きを行い、ポスドクが次年度以降使用予定の衛星データ解析用計算機の調達（4年リース、本年度据付調整）を実施した。
- ・ 2016年3月1日および2日に函館で開催されたベルモントフォーラム First International RACArctic Workshopにおいて、ステークホルダーとの意見交換および、これまでの北極海域における研究成果について、米国およびノルウェーの研究者と情報交換を行った。

- ・ 本研究グループが中心となって開発を進めてきた、海洋観測カメラを搭載した超小型衛星 RISESAT が、JAXA 革新的衛星技術実証プログラムの打上予定 1 号機として選定された。これにより、数年以内に独自の衛星海洋観測が実施できる見通しとなった。

4. 研究成果発表

(1) 論文発表

査読付き Published

- ・ [Ooki A.](#), S. Kawasaki, K. Kuma, [S. Nishino](#), T. Kikuchi, Concentration maxima of volatile organic iodine compounds in the bottom layer water and the cold, dense water over the Chukchi Sea in the western Arctic Ocean: a possibility of production related to the degradation of organic matter. *Biogeosciences*, 13(1), 33-145, 2016.
- ・ Ershova, E.A., R.R. Hopcroft, K. N. Kosobokova, K. Matsuno, R.J. Nelson, [A. Yamaguchi](#), L.B. Eisner, Long-term changes in summer zooplankton communities of the western Chukchi Sea, 1945–2012. *Oceanography*, 28(3), 100–115, 2015.
- ・ Arima, D., K. Matsuno, [A. Yamaguchi](#), T. Nobetsu, I. Imai, Seasonal and inter-species comparison of asymmetry in the genital system of some species of the oceanic copepod genus *Metridia* (Copepoda, Calanoida). *Crustaceana*, 88(12-14), 1307-1321, 2015.
- ・ Arima, D., [A. Yamaguchi](#), T. Nobetsu, I. Imai, Usefulness of deep-ocean water pumping for the seasonal monitoring of mesozooplankton. *Regional Studies in Marine Science*, 3, 18-24, 2016.
- ・ Abe, Y., Y. Yamada, R. Saito, K. Matsuno, [A. Yamaguchi](#), K. Komatsu, I. Imai, Short-term changes in abundance and population structure of dominant pelagic amphipod species in the Oyashio region during the spring phytoplankton bloom. *Regional Studies in Marine Science*, 3, 154-162, 2016.
- ・ Yokoi, N., K. Matsuno, M. Ichinomiya, [A. Yamaguchi](#), [S. Nishino](#), J. Onodera, J. Inoue, T. Kikuchi, Short-term changes in a microplankton community in the Chukchi Sea during autumn: consequences of a strong wind event. *Biogeosciences*, 13, 913-923 2016.
- ・ Arima, D., [A. Yamaguchi](#), T. Nobetsu, I. Imai, Seasonal abundance, population structure, sex ratio and gonad maturation of *Metridia okhotensis* Brodsky, 1950 in the Okhotsk Sea: Analysis of samples collected by pumping up from deep water. *Crustaceana*, 89(2), 151-161, 2016.
- ・ [Ooki A.](#), D. Nomura, [S. Nishino](#), T. Kikuchi, Y. Yokouchi, A global-scale map of isoprene and volatile organic iodine in surface seawater of the Arctic, Northwest Pacific, Indian, and Southern oceans. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 120, doi:10.1002/2014JC010519, 2015.
- ・ [Fujiwara, A.](#), [T. Hirawake](#), K. Suzuki, L. B. Eisner, I. Imai, [S. Nishino](#), T. Kikuchi, and S-I. Saitoh, Influence of timing of sea ice retreat on phytoplankton size during marginal ice zone bloom period in the Chukchi and Bering shelves, *Biogeosciences*, 13, 115-131, 2016.
- ・ Onodera, J., [E. Watanabe](#), [S. Nishino](#), and N. Harada (2016), Distribution and vertical fluxes of silicoflagellates, ebridians, and the endoskeletal dinoflagellate *Actiniscus* in the western Arctic Ocean, *Polar Biol.*, 39, 327–341, doi:10.1007/s00300-015-1784-y.

査読付き Accepted

- Nakano, T., K. Matsuno, B. Nishizawa, Y. Iwahara, Y. Mitani, J. Yamamoto, Y. Sakurai, Y. Watanuki, Diets and body condition of polar cod (*Boreogadus saida*) in the northern Bering Sea and Chukchi Sea. *Polar Biology*, in press, 2015. doi: 10.1007/s00300-015-1769-x.
- Yasunaka, S., A. Murata, E. Watanabe, M. Chierici, A. Fransson, S. van Heuven, M. Hoppema, M. Ishii, T. Johannessen, N. Kosugi, S. K. Lauvset, J. T. Mathis, S. Nishino, A. M. Omar, A. Olsen, D. Sasano, T. Takahashi, and R. Wanninkhof (2016), Mapping of the air–sea CO₂ flux in the Arctic Ocean and its adjacent seas: Basin-wide distribution and seasonal to interannual variability, *Polar Science*, accepted: 31 March 2016.
- Nishino, S., T. Kikuchi, A. Fujiwara, T. Hirawake, and M. Aoyama, Water mass characteristics and their temporal changes in a biological hotspot in the southern Chukchi Sea, *Biogeosciences*, 13(8), 2563–2578, 2016. (3/31 時点では accepted)

査読付き Submitted

- Tanaka, K., N. Takesue, J. Nishioka, Y. Kondo, A. Ooki, K. Kuma, T. Hirawake, and Y. Yamashita, The conservative behavior of dissolved organic carbon in surface waters of the southern Chukchi Sea, Arctic Ocean, during early summer, *Scientific Reports*, submitted. (審査中)
- Nishizawa, B., K. Matsuno, E. Labunski, K. Kuletz, A. Yamaguchi, and Y. Watanuki, Seasonal distribution of short-tailed shearwaters and their prey in the Bering and Chukchi Seas, *Biogeosciences*, submitted. (Biogeosciences Discussion として published、審査中)
- Sasaki, H., K. Matsuno, A. Fujiwara, M. Onuka, A. Yamaguchi, H. Ueno, Y. Watanuki and T. Kikuchi, Distribution of Arctic and Pacific copepods and their habitat in the northern Bering and Chukchi Seas, *Biogeosciences*, submitted. (Biogeosciences Discussion として published、審査中)
- Kokubun ,N., T. Yamamoto, N. Sato, Y. Watanuki, A. Will, A. S. Kitaysky, and A. Takahashi, Foraging segregation of two congeneric diving seabird species breeding on St. George Island, Bering Sea, *Biogeosciences*, 13, 2579-2591, 2016. (3/31 時点では Submitted, Biogeosciences Discussion として published)
- Yamamoto, T., N. Kokubun, D.M. Kikuchi, N. Sato, A. Takahashi, A.P. Will, A.S. Kitaysky, and Y. Watanuki, Differential responses of seabirds to environmental variability over two years in the continental shelf and oceanic habitats of southeastern Bering Sea, *Biogeosciences*, 13, 2405-2414, 2016. (3/31 時点では Submitted, Biogeosciences Discussion として published)
- Kono, Y., H. Sasaki, Y. Kurihara, A. Fujiwara, J. Yamamoto, and Y. Sakurai, Distribution pattern of Polar cod (*Boreogadus saida*) larvae and larval fish assemblages in relation to oceanographic parameters in the northern Bering Sea and Chukchi Sea, *Polar Biology*, in press. (3/31 時点では Submitted)

(2) 学会発表

- Hori M. et al., Evaluation of JXAM5 snow cover extent product using ground based snow depth information and Landsat images, 14 September 2015, 2nd International Satellite Snow Products Intercomparison (ISSPI) workshop, Colorado University.
- 堀 雅裕他, 衛星データ解析に基づいた北半球積雪被覆期間の長期変動傾向, 2015 年 10 月 28 日, 日本気象学会秋季大会, 京都テルサ.

- 堀 雅裕他, JASMES 北半球積雪面積長期トレンドの再解析, 2015 年 11 月 19 日, 極域科学シンポジウム, 極地研.
- Hori M., Sea-ice and Snow Monitoring Using GCOM-W and GCOM-C, Workshop on satellite data for Arctic research and applications, 27 January 2016, Side Event during Arctic Frontiers 2016, The Arctic University of Norway.
- 堀 雅裕, 熱赤外法による雪氷面観測手法開発のまとめと今後の計画, 2016 年 3 月 1 日, 科研費基盤 (S)「北極域における積雪汚染と雪氷微生物が温暖化に及ぼす影響」に関する第 6 回ワークショップ, 女満別(ホテル山水).
- 堀 雅裕他, 北極域の広域積雪観測と気候影響, 2016 年 3 月 3 日, GRENE 北極気候変動研究事業研究成果報告会, 国立国語研究所.
- Landeira, J. M., 松野 孝平, 山口 篤, 平譯 享他, 2007 および 2008 年夏季のベーリング海とチャクチ海におけるズワイガニ (*Chionoecetes opilio*) 浮遊幼生の動態, 2016 年 2 月 22 日, 第 31 回北方圏国際シンポジウム「オホーツク海と流氷」, 紋別市文化会館.
- Yamaguchi, A., Changes in zooplankton in the Arctic Ocean: Alternation by transported Pacific zooplankton. 2016 年 3 月 2 日, First International RACArctic Workshop in Hakodate, 函館市国際水産・海洋総合研究センター.
- Abe, Y., A. Yamaguchi 他, Weight-specific growth rates of large-sized oceanic copepods during phytoplankton bloom, 2016 年 3 月 9 日, ESSAS Annual Science Meeting, 横浜ワールドポーターズ.
- 阿部義之, 中川至純, 山口 篤他, 西部北太平洋親潮域の春季ブルーム期におけるオキアミ類 2 種: *Euphausia pacifica* および *Thysanoessa inspinata* の消化管内容物解析, 2016 年 3 月 16 日, 2016 年度日本海洋学会春季大会, 東京大学本郷キャンパス.
- 松野孝平, 阿部義之, 山口 篤他, 西部北極海における主要カイアシ類 *Calanus glacialis* の個体群構造に影響を及ぼす環境要因, 2016 年 3 月 16 日, 2016 年度日本海洋学会春季大会, 東京大学本郷キャンパス.
- 西岡 純, 黒田 寛, 葛西広海, 村山愛子, 鈴木光次, オホーツク融氷水が親潮域の栄養環境に与える影響, 2015 年度日本海洋学会秋季大会, 2015 年 9 月 27 日, 愛媛大学.
- 漢那直也, 西岡 純, D. Lannuzel, P. van der Merwe, オホーツク海の海氷中に含まれる粒子の鉄溶出量, 2015 年度日本海洋学会秋季大会, 2015 年 9 月 27 日, 愛媛大学.
- 大額実咲, 上野洋路, 伊東素代, 菊地隆, 西野茂人, 渡邊英嗣, 平譯 享, 川合美千代, 溝端浩平, チャクチ海における成層強度の時空間変動とその要因, 第 6 回極域科学シンポジウム, 2015 年 11 月 19 日, 国立極地研究所.
- Onuka, M., H. Ueno, M. Itoh, T. Kikuchi, S. Nishino, E. Watanabe, T. Hirawake, M. Yamamoto-Kawai, K. Mizobata, Spatio-temporal variations of stratification and its factors in the Chukchi Sea, 2016 Ocean Science Meeting, 26 February 2016, New Orleans Ernest N Morial Convention Center, USA.
- 大額実咲, 上野洋路, 伊東素代, 菊地 隆, 西野茂人, 渡邊英嗣, 平譯 享, 川合美千代, 溝端浩平, チャクチ海における成層強度の時空間変動とその要因, 日本海洋学会, 2016 年 3 月 15 日, 東京大学本郷キャンパス.
- 野村大樹, 大木淳之, M. Granskog, A. Silyakova, B. Delille, G. Dieckmann, 今井良輔, 海水表面でのプロモホルム濃度極大, 日本海洋学会 2016 年度春季大会, 2016 年 3 月 13-18 日, 東京大学本郷キャンパス.

ンパス.

- ・ 平譚 享, 夫津木亮介, 新明克人, 藤原 周, 伊佐田智規, 高尾信太郎, 鈴木光次, 渡邊 豊, 野坂裕一, SGLI/GCOM-Cのための純基礎生産推定アルゴリズム 日本海洋学会春季大会, 2016年3月15日, 東京大学本郷キャンパス.
- ・ 藤原 周, 西野茂人, 平譚 享, 鈴木光次, 小野寺丈尚太郎, 川口悠介, 菊地隆, チャクチ海陸棚域における秋季強風イベント前後の植物プランクトン群集組成の変化 ーみらいMR13-06航海チャクチ海陸棚域定点観測よりー, 日本海洋学会2016年度春季大会, 2016年3月13-18日, 東京大学本郷キャンパス.
- ・ 和賀久朋, 平譚 享, 藤原 周, J.M. Grebmeier, 齊藤誠一, 西部北極海における植物プランクトンサイズ組成とベントスの分布シフトの評価, 日本海洋学会2016年度春季大会, 2016年3月13-18日, 東京大学本郷キャンパス.
- ・ Nishino, S., JAMSTEC researches on the biogeochemical dynamics in the Siberian Arctic Ocean and their differences from those on the Alaskan side, Workshop: Biogeochemical Studies in the Siberian Shelf Seas, 27 January 2016, GEOMAR, Kiel, Germany.
- ・ 西野茂人, 川口悠介, 藤原周, 竹田大樹, 大島和裕, 2015年「みらい」北極航海における海洋観測, ブルーアース2016, 2016年3月8日, 東京海洋大学, 東京.
- ・ 西野茂人, 川口悠介, 藤原周, 竹田大樹, 大島和裕, 2015年「みらい」北極航海で捉えた海洋構造と植物プランクトン分布, 2016年度日本海洋学会春季大会, 2016年3月15日, 東京大学本郷キャンパス, 東京.
- ・ Yukihiko Takahashi, Next-generation space development pioneered by Asian micro-satellite consortium, 2015.10.19, The 36Asian Conference on Remote Sensing, Metro Manila, Philippines (Invited).

(3) アウトリーチ、出版物、取材等

- ・ Reynolds, R.A., A. Matsuoka, T. Hirawake, S. Bélanger, B.G. Mitchell, Ocean Colour Algorithms and bio-optical relationships for polar seas (Chapter 4). In Ocean Colour Remote Sensing in Polar Seas, M. Babin, K. Arrigo, S. Bélanger, M-H. Forget (eds.), *IOCCG Report Series*, No. 16, pp. 129, International Ocean Colour Coordinating Group, Dartmouth, Canada, 2015.
- ・ Arrigo, K., V. Hill, S. Bélanger, B.G. Mitchell, T. Hirawake, M. Babin, Estimates of net primary production from space-based measurements (Chapter 5). In Ocean Colour Remote Sensing in Polar Seas, M. Babin, K. Arrigo, S. Bélanger, M-H. Forget (eds.), *IOCCG Report Series*, No. 16, pp.129, International Ocean Colour Coordinating Group, Dartmouth, Canada, 2015.
- ・ 平譚 享, 鈴木 光次, 海洋中の光. 海洋観測ガイドライン第8巻 センサー観測, 日本海洋学会編, G808JP, 001-008, 2015.
- ・ 西野茂人, 激変する北極海の海洋環境, GRENE 北極気候変動研究事業海洋生態系シンポジウム「ここまで分かった海洋生態系の変化 海水が減ると、生態系は、水産資源は、どうなるの?」, 2015年11月9日, コクヨホール多目的ホール, 東京.
- ・ 平譚 享, チャクチ海における海水変動と基礎生産の変化, GRENE 北極気候変動研究事業海洋生態系シンポジウム「ここまで分かった海洋生態系の変化 海水が減ると、生態系は、水産資源は、どうなるの?」, 2015年11月9日, コクヨホール多目的ホール, 東京.

- ・ 渡邊英嗣, 北極海生態系シミュレーション～藻類とサケの将来～, GRENE 北極気候変動研究事業 海洋生態系シンポジウム「ここまで分かった海洋生態系の変化 海水が減ると、生態系は、水産資源は、どうなるの?」, 2015年11月9日, コクヨホール多目的ホール, 東京.

(4) その他

- ・ Hirawake, T., Japanese fishery studies in the Bering and Chukchi Seas: Results from cruises of T/V Oshoro-Maru, Roundtable on ecosystem and fisheries issues in the Central Arctic Ocean (CAO), 30 March 2016, 韓国極地研究所 (KOPRI), 仁川, 韓国.
- ・ Nishino, S., R/V Mirai Arctic Ocean Cruise in 2015 "Observational Studies on the Arctic Ocean Climate and Ecosystem Variability", Pacific Arctic Group (PAG) Fall Meeting, 28 October 2015, KOPRI, Incheon, Korea.
- ・ 西野茂人, 菊地隆, 藤原周, 平譚享, 青山道夫, Water mass characteristics and their temporal changes in a biological hotspot in the southern Chukchi Sea (Poster), GRENE 北極気候変動研究事業 研究成果報告会, 2016年3月4日, 国立国語研究所, 立川.

1. メニュー名および実施責任者

メニュー名	北極域における氷床河－海洋相互作用
実施責任者	杉山 慎 (北海道大学)

2. 活動実績

(1) 氷河氷床とフィヨルドに関する野外観測データの解析

これまでにボードイン氷河、カナック氷帽、氷床内陸、カナック周辺のフィヨルドで取得した観測データを解析して、氷河氷床変動と海洋との相互作用に関する解析を実施した。

(2) 氷河氷床の変動と海洋環境変化に関する人工衛星データの解析

氷河氷床の末端位置、表面高度、流動速度、海洋の濁度、海氷などを人工衛星データによって解析した。

(3) フィヨルドとカービング氷河に関わる数値実験

氷河から海へ流出する融解水の拡散、カービング氷河の流動変化に関する数値実験を実施した。

(4) グリーンランド現地調査に向けた準備

2016年6-8月に予定しているグリーンランド北西部カナック周辺での現地調査に向けて、観測計画の立案、機材の調達、観測テスト、観測許可申請、海外共同研究機関との折衝などを行った

(5) 課題内会合の実施

2015年11月5日に北海道大学低温科学研究所にて課題キックオフ会合を開催した。この他2015年10月16日および2016年1月7日、3月31日には、課題内の情報交換と研究推進に関わる会合を開催した。

(6) 国際ワークショップの開催

2016年3月22-24日に北海道大学低温科学研究所にて国際ワークショップ"Greenland ice sheet mass loss and its impact on global climate change"を開催した。海外研究者9名を含む60名以上が参加して、36の口頭発表と討論が行われた。また3月18日には海外研究者8名とArCS課題関係者で研究会を開催した。

(7) グリーンランド・カナック周辺の海氷調査

衛星マイクロ波放射計を用い、グリーンランド北西部カナック周辺の海氷量（海氷密接度と海氷厚）と気温の年変動を調査した。

(8) 氷河湖の海底地形を目的とした無人船の開発

カービング氷河先端域の海底地形を遠隔操作により計測・地形図作成するためのシステム開発を行った。

3. 研究成果

(1) 潮汐に起因した周期的な氷河地震の発見

グリーンランド北西部ボードイン氷河にて得られた野外観測データを解析し、潮汐に起因して周期的に発生する氷河地震を発見した。潮汐と同期した氷河地震は南極で一例報告されているものの、グリーンランドでは初めての観測例である。同時に実施した GPS 測定により、潮汐によって変化する氷の流動場がクレバス形成をコントロールするメカニズムが明らかになった。この発見は、氷河の流動と破壊現象がわずかな海水面変化（1~2 m）に強く影響を受けることを示しており、海洋が氷河動力学に与える影響を示す新たな知見である。本研究成果を国際専門誌に速報し、北海道大学と国立極地研究所からプレスリリースを行った。

北海道大学プレスリリース http://www.hokudai.ac.jp/news/160317_greenland_pr.pdf

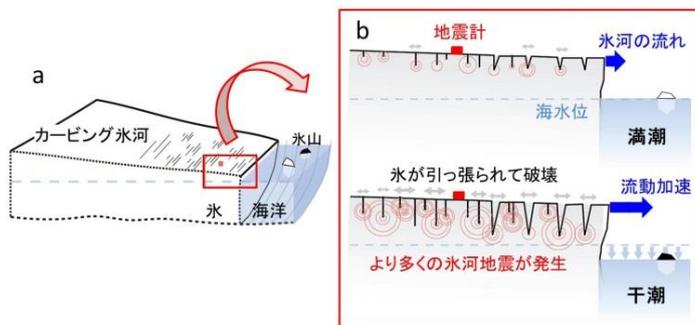


図 1. (a) 海に流れ込むカービング氷河の模式図。(b) 本成果で明らかになったボードイン氷河末端部での氷河地震発生メカニズム。干潮時に氷河が加速し、引っ張られた氷の破壊によって氷河地震が増加する（プレスリリースより引用）。

(2) カナック周辺における近年の氷損失を定量化

ステレオペア衛星画像を使った精密標高測定技術を用いて、カナック周辺の氷損失を測定した。これまでに解析を終えた 6 つの氷帽に加えて、同地域に位置する 16 本の氷河について解析を完了した。その結果、カナック周辺の氷帽では年間約 1 m、一部のカービング氷河では年間 5 m 以上の氷が失われていることが明らかになった。氷帽と氷河に関する論文をそれぞれ投稿して現在査読中。

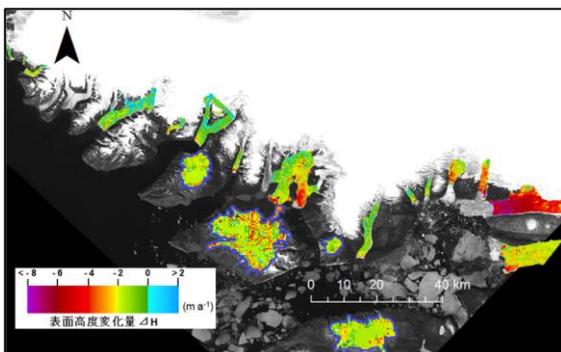


図 2. グリーンランド北西部カナック周辺におけるカービング氷河および氷帽の表面高度変化速度（2006/2007–2010 年）（Saito et al., in review; Tsutaki et al., in review; 片山らによる未発表データ）。

(3) グリーンランド沿岸での高濁度海域の解析を西部全域に拡大

氷河氷床からグリーンランド沿岸に堆積物を含んだ融解水が流出している。この堆積物が海洋に与える影響を定量化するために、人工衛星データの解析を進めた。これまでにカナック周辺で実施した解析をグリーンランド西部全域に拡大し、夏期の高濁度海域の広がりを各地域別に解析した。この結果、ArCS 課題の研究対象地であるカナック周辺の海域は、他の地域と比較してより広く高濁度の海水に覆われる傾向が明らかになった。氷河や氷帽の数やカービング氷河の有無などが原因と考えられる。グリーンランドにおけるこのような解析はこれまでに例がなく、氷河氷床がグリーンランド沿岸の海洋に与える影響を理解する上で重要な成果である。カナック周辺の結果について論文を投稿し現在査読中。

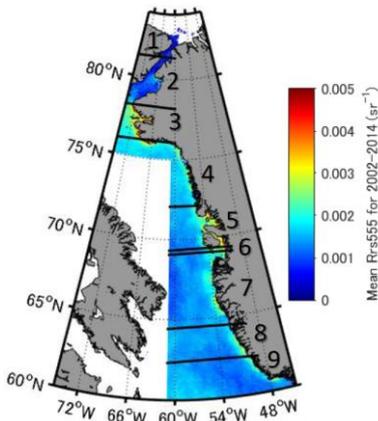


図 3. グリーンランド西部全域における、海水面濁度解析の結果。グリーンランド沿岸部に高濁度海水域が広がっており、特にカナック周辺（流域 3）で影響が強く現れている（大橋らによる未発表データ）。

(4) 氷河流出水のフィヨルド内への拡散に関する数値モデルを構築

カービング氷河の底面から排出される懸濁した淡水が、フィヨルドに拡散する過程を再現する数値モデルを開発した。特に懸濁物質を計算に取り入れた点に新規性があり、懸濁物質の粒径や濃度が淡水拡散に与える影響を数値実験によって明らかにした。今後は、ボードイン氷河前縁のフィヨルドで現地観測結果との比較研究を実施する。

また、3次元有限要素法を用いたカービング氷河モデルを用いて、ボードイン氷河の流動に関する解析を実施した。この数値モデルは、現地観測と衛星データ解析によって明らかになった氷河地形と流動速度から構築したものである。数値実験の結果、底面流動が全流動に占める割合を明らかにし、潮汐に起因した流動変化を再現することに成功した。

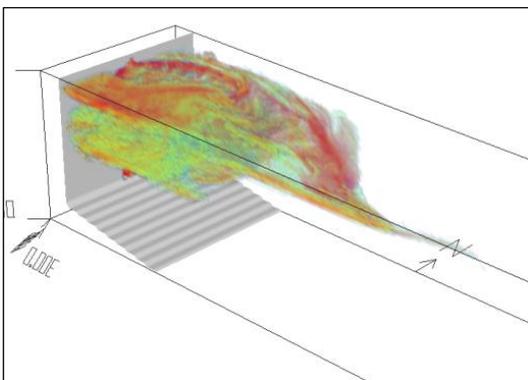


図 4. 氷河末端底面から流出する懸濁した淡水が、フィヨルド内に拡散する過程を示す数値実験結果。現地調査を行っているボードインフィヨルドを単純化したモデル。色は流出開始から 12 時間後の懸濁物質濃度を示す。（松村による未発表データ）。

(5) 国際ワークショップ"Greenland ice sheet mass loss and its impact on global climate change"を開催

GRENE および科研費等で過去 5 年間に実施されたグリーンランド研究を総括し、現状の問題点と将来の研究課題を議論する目的で、標記のワークショップを実施した。このワークショップは、北海道大学低温科学研究所の共同利用研究集会「グリーンランド氷床の質量変化と全球気候変動への影響」との共催で、この分野をリードする海外研究者 9 名を招いて開催したものである。総勢 60 名以上の参加者があり、氷河氷床、氷コア、大気、海洋、生物、さらに人文社会科学を含む広い分野において 36 の口頭発表と活発な討論が行われた。海外の研究者からは最新の研究成果についての報告があり、ArCS にて共同研究を予定しているスイス連邦工科大学、コペンハーゲン大学、デンマーク気象研究所、カルガリ大学、フィレンツェ大学等の研究者と、今後の研究活動について具体的な議論を行った。また、国内の主要な研究者が一同に集ってこれまでの研究成果を俯瞰する発表を行ったことで、日本におけるグリーンランド研究を海外にアピールする場となった。



図 5. ワークショップ参加者

- ・国際ワークショップ HP

<https://sites.google.com/site/arcsgreenland/home>

- ・ArCS 通信報告ページ <http://blog.arcs-pro.jp/2016/04/post-2.html>

(6) グリーンランド・カナック周辺の海氷調査

衛星マイクロ波放射計 AMSR-E と AMSR2 データから海氷密接度と氷厚を推定するアルゴリズムを用い、グリーンランド北西部カナック周辺の海水量（海氷密接度と氷厚）と気温の年変動を調査した（図 6）。海氷厚推定アルゴリズムは、舘山らが 2011 年度から 2014 年度に実施された IARC-JAXA Information System (IIS) プロジェクトにおいて開発し、2011 年度から 2015 年度に実施された GRENE 北極変動研究において検証・改良したもの（Krishfield et al., 2014）を使用した。

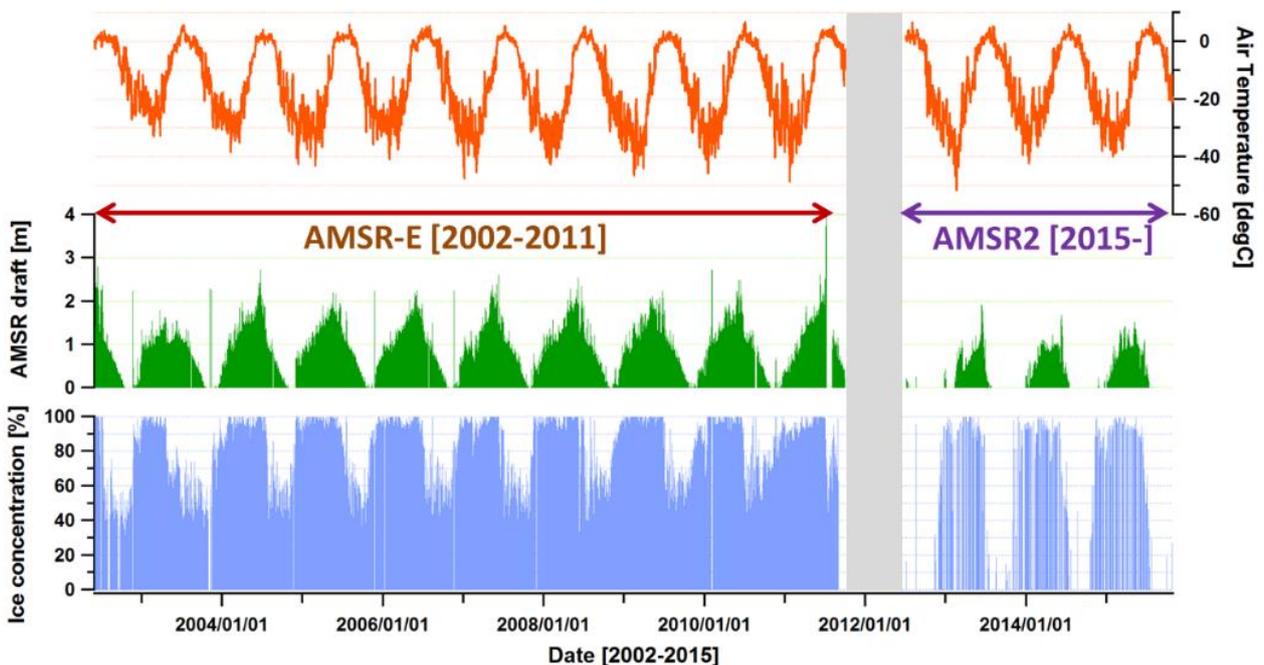


図 6. 2002 年 7 月から 2015 年 12 月までのカナック周辺の海氷密接度（%）と氷厚（水面下に沈んでいる部分の厚さ、m）、気温（°C）の経年変化

その結果、2012 年以降に顕著な結氷期間の減少と薄氷化がみられた。2012 年夏期は北極海で観測史上最小の海水面積を示した年であると同時に、衛星センサが AMSR-E から AMSR2 へ切り替わった時期でもあり、海水量の大きな変化が自然現象なのか、それともセンサの違いによるものなのか精査を必要である。このような背景で海氷密接度や氷厚推定アルゴリズムの精度を検証するために、現地のカナックにおいて海氷分布と厚さの実測を行う。

当初、2015年11月にカナック周辺の定着氷上においてドリル掘削を行って海氷厚分布のプレ調査を行い、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構が所有するヘリ搭載型電磁誘導式氷厚計 EM-BIRD 観測と同期して測定精度検証を実施し、翌年度以降の本調査に必要な準備を行うことを予定していた。しかし、2015年の夏期は観測史上最も気温が高かったため、グリーンランド北西部カナック周辺の結氷が例年よりも大幅に遅れ、予定していた EM-BIRD とドリル掘削による海氷厚分布のプレ調査を11月に実施できなかった。関係各所との相談・調整の結果、EM-BIRD 観測にはヘリコプターを使用するため、十分な日照時間と安全に氷上活動を行える氷厚などの条件を満たすのは4月以降実施が適切と判断されカナックでのプレ観測は断念し、次年度の2016年4月20日-27日に本調査を行うことに計画変更した。

この変更に伴い、4月のカナックでの本調査を確実にものにするためカナダより EM-BIRD の開発者（Ferra Dynamics 社 John Lobach 氏）を2月27日から3月4日かけて招聘し、に北海道東部サロマ湖氷上においてヘリコプターを用いた EM-BIRD 飛行と KOVACS タイプのドリル穿孔の慣熟訓練、機器の動作チェックや精度検証を行った（図7a-c）。



図7.2016年3月1日にサロマ湖氷上で実施した(a)EM-BIRD 組み立て・動作チェック、(b)ヘリ飛行、(c)ドリル掘削の慣熟訓練の様子

その結果、EM-BIRD は正常に動作し、EM-BIRD 運用ノウハウと1時間×3回分の検証データが得られた（図8）。

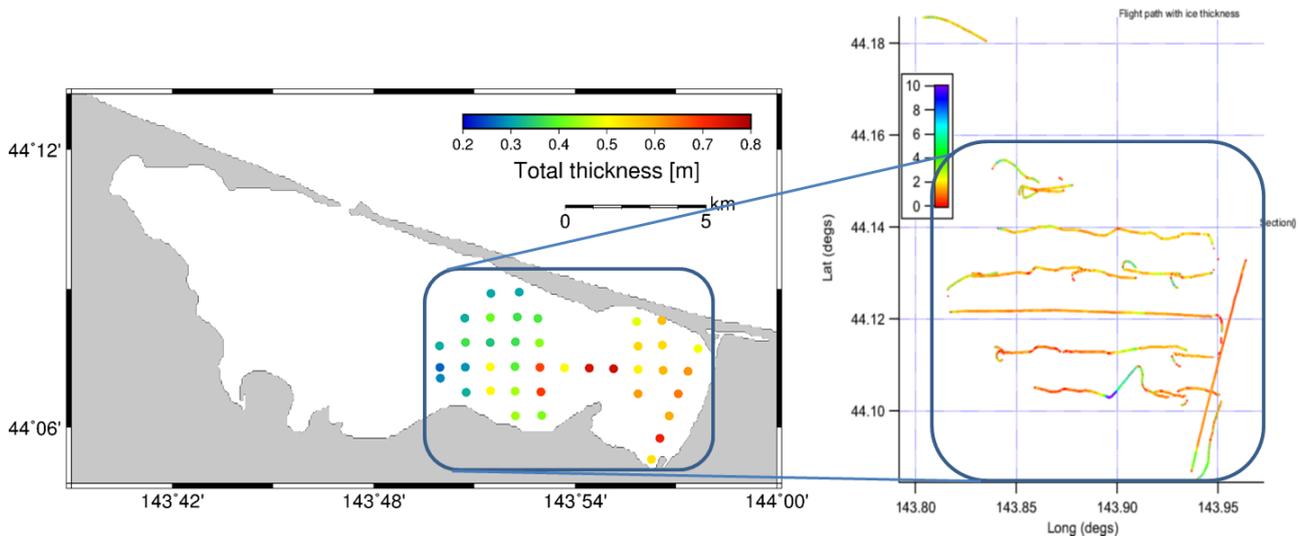


図 8. 2016 年 3 月 1 日にサロマ湖氷上で実施した EM-BIRD による氷厚測定の結果例

(7) 氷河湖の海底地形を目的とした無人船の開発

到達困難なカービング氷河先端域の海底地形を遠隔操作により計測・地形図作成するためのシステム開発を行った。本年度は ZigBee および Arduino を用いた長距離無線伝送システムの導入を主とするシステムを開発し、さらに新開発した双胴船型大型船舶模型にそれを搭載し、神奈川県芦ノ湖および、山梨県四尾連湖で試験を実施した。

両方の湖において約 300m 離れた距離から遠隔操船により精密な水底地形を得ることができた。芦ノ湖では、水中に没した森林をベンチマークとし、測定を行ったが、数十センチ程度の微小な地形でも取得できることが確認できた。また、四尾連湖では長時間の連続測定を行い全域の水域地形図の作成に成功した。本成果により、グリーンランドでの氷河末端の地形の取得が可能になるとと思われる。来年度は、グリーンランドの調査環境の調査を行い、2 年後の本格調査に向けて準備を行う予定である。

4. 研究成果発表

(1) 論文発表

(1-1) 査読あり

Abe, T., Furuya, M., and Sakakibara, D., 2015. Brief Communication: Twelve-year cyclic surging episode at Donjek Glacier in Yukon, Canada. *Cryosphere Discuss.*, 9, 5943-5955. doi:10.5194/tcd-9-5943-2015. (published)

Greve, R., and Blatter, H., 2015. Comparison of thermodynamics solvers in the polythermal ice sheet model SICOPOLIS. *Polar Science*, 10(1), 11-23. (published)

Iizuka, Y., Matoba, S., Yamasaki, T., Oyabu, I., Kadota, M., and Aoki, T., 2016. Glaciological and meteorological observations at the SE-Dome site, southeastern Greenland Ice Sheet. *Bulletin of Glaciological Research*, 34, 1-10. (published)

Matoba, S., Motoyama, H., Fujita, K., Yamasaki, T., Minowa, M., Onuma, Y., Komuro, Y., Aoki, T., Yamaguchi, S., Sugiyama, S., and Enomoto, H., 2015. Glaciological and meteorological observations at the SIGMA-D site,

northwestern Greenland Ice Sheet, *Bulletin of Glaciological Research*, 33, 7-14. (published)

Oyabu, I., Matoba, S., Yamasaki, T., Kadota, M., and Iizuka, Y., 2016. Seasonal variations in the major chemical species of snow at the South East Dome in Greenland. *Polar Science*, 10(1), 36-42. (published)

Podolskiy, E., Sugiyama, S., Funk, M., Genco, R., Tsutaki, S., Walter, F., Minowa, M., Ripepe, M. 2016. Tide-modulated ice flow variations drive seismicity near the calving front of Bowdoin Glacier, Greenland. *Geophysical Research Letters*, 43, doi:10.1002/2016GL067743. (published)

Machguth, H. and 30 others including Sugiyama, S., Greenland surface mass balance observations from the ice sheet ablation area and local glaciers. submitted to *Journal of Glaciology*. (submitted)

Ohashi, Y., Iida, T., Sugiyama, S., Aoki, S., Spatial and temporal variations in high turbidity surface water off the Thule region, northwestern Greenland. submitted to *Polar Science*. (submitted)

Saito, J., Sugiyama, S., Tsutaki, S., and Sawagaki, T., 2015. Surface elevation change on ice caps in the Qaanaaq region, northwestern Greenland. submitted to *Polar Science*. (submitted)

Tsutaki, S., Sugiyama, S., Sakakibara, D., and Sawagaki, T., Surface elevation changes from 2007-2013 near the termini of Bowdoin and Tugto Glaciers, northwestern Greenland. submitted to *Journal of Glaciology*. (submitted)

(1-2) 査読なし

特になし

(2) 学会発表

Aoki, T., K. Kuchiki, M. Niwano, T. Tanikawa, M. Hori, R. Shimada, H. Ishimoto, K. Stamnes, W. Li, N. Chen, S. Matoba, S. Yamaguchi, K. Masuda, and M. Schneebeli, 2015. Darkening of Greenland ice sheet and satellite-derived snow parameters, 第6回極域科学シンポジウム, 2015年11月16-19日, 立川市, 国立極地研究所.

Katayama, N., Tsutaki, S., Sakakibara, D., Sugiyama, S., and Sawagaki, T., Elevation change of calving glaciers in northwestern Greenland analyzed by satellite data. 第6回極域科学シンポジウム, 2015年11月19日, 立川市, 国立極地研究所.

Katayama, N., Tsutaki, S., Sakakibara, D., Sugiyama, S., and Sawagaki, T., Elevation change of calving glaciers in northwestern Greenland analyzed by satellite data. 低温科学研究所国際シンポジウム, 2015年12月1日, 札幌, 北海道大学低温科学研究所.

紺屋恵子, 齊藤潤, 杉山慎, Application of a distributed surface mass balance model to ice caps in northwestern Greenland. GRENE 北極気候変動研究事業, 研究成果報告会, 2016年3月4日, 立川市, 国立極地研究所.

松村義正, 大橋良彦, 青木茂, 杉山慎, グリーンランド氷河融解水を起源とする高濁度水ブルームのモデリング. 2016年度日本海洋学会春季大会, 2016年3月15日, 東京, 東京大学本郷キャンパス.

松野智, 津滝俊, 榊原大貴, 杉山慎, グリーンランド北西部における氷床から海洋への融解水流出. GRENE 北極気候変動研究事業, 研究成果報告会, 2016年3月4日, 立川市, 国立国語研究所.

Minowa, M., Sugiyama, S., Sawagaki, T., Tsutaki, S., and Sakakibara, D., Seasonal variations in the dynamics of

Bowdoin Glacier, northwest Greenland. 第6回極域科学シンポジウム, 2015年11月19日, 立川市, 国立極地研究所.

Minowa, M., Sugiyama, S., Sawagaki, T., Tsutaki, S., and Sakakibara, D., Seasonal variations in the dynamics of Bowdoin Glacier, northwest Greenland. 低温科学研究所国際シンポジウム, 2015年12月1日, 札幌, 北海道大学低温科学研究所.

箕輪昌紘, 杉山慎, 澤柿教伸, 津滝俊, 榊原大貴, Short-term variations in the dynamics of Bowdoin Glacier in northwestern Greenland. GRENE 北極気候変動研究事業, 研究成果報告会, 2016年3月4日, 立川市, 国立国語研究所.

箕輪昌紘, 杉山慎, 大橋良彦, 澤柿教伸, 津滝俊, 榊原大貴, 青木茂, Podolskiy Evgeny, Yvo Weindmann, Water properties and circulation in front of tidewater glaciers in northwest Greenland. GRENE 北極気候変動研究事業, 研究成果報告会, 2016年3月4日, 立川市, 国立国語研究所.

大橋良彦, 飯田高大, 杉山慎, 青木茂, 2015年11月19日. グリーンランド氷床北西部 Thule 地域沿岸における高濁度海水域の変動. 第6回極域科学シンポジウム, 2015年11月19日, 立川市, 国立極地研究所.

大橋良彦, 飯田高大, 杉山慎, 青木茂, 2016年3月4日. グリーンランド氷床北西部 Thule 地域沿岸における高濁度海水域の変動. GRENE 北極気候変動研究事業, 研究成果報告会, 2016年3月4日, 立川市, 国立国語研究所.

Ohashi, Y., Iida, T., Sugiyama, S., and Aoki, S., Temporal variations in the extent of high turbidity ocean water off the Greenland coast. International workshop on "Greenland ice sheet mass loss and its impact on global climate change", 2016年3月24日, 札幌, 北海道大学低温科学研究所.

Podolskiy, E., Sugiyama, S., Funk, M., Genco, R., Minowa, M., Walter, F., Tsutaki, S., and Ripepe, M., Investigating calving front dynamics with a local seismic infrasound network (Bowdoin glacier, Greenland). 第6回極域科学シンポジウム, 2015年11月19日, 立川市, 国立極地研究所.

Podolskiy, E., Sugiyama, S., Funk, M., Genco, R., Minowa, M., Walter, F., Tsutaki, S., and Ripepe, M., Tide-modulated seismicity in the Bowdoin Glacier calving front, northwestern Greenland. 低温科学研究所国際シンポジウム, 2015年12月1日, 札幌, 北海道大学低温科学研究所.

Podolskiy, E., Sugiyama, S., Funk, M., Genco, R., Minowa, M., Walter, F., Tsutaki, S., and Ripepe, M., Seismic emissions from a tide-water calving glacier (Bowdoin glacier, Greenland). GRENE 北極気候変動研究事業, 研究成果報告会, 2016年3月4日, 立川市, 国立国語研究所.

榊原大貴, 杉山慎, Ice front and flow speed variations of marine terminating outlet glaciers along the coast of Prudhoe Land, northwestern Greenland. 第6回極域科学シンポジウム, 2015年11月19日, 立川市, 国立極地研究所.

榊原大貴, 杉山慎, グリーンランド北西部における溢流水河の末端位置と流動速度の季節変化. GRENE 北極気候変動研究事業, 研究成果報告会, 2016年3月4日, 立川市, 国立国語研究所.

Seddik, H., Greve, R., Sugiyama, S., Sakakibara, D., and Tsutaki, S., Modeling the flow dynamics of Bowdoin Glacier,

Qaanaaq region, northwestern Greenland. 第6回極域科学シンポジウム, 2015年11月19日, 立川市, 国立極地研究所.

Sugiyama, S., S. Tsutaki, D. Sakakibara, J. Saito, Y. Ohashi, M. Maruyama, N. Katayama, E. Podolskiy, M. Minowa, T. Sawagaki, M. Funk, R. Genco, H. Enomoto. Ice mass loss in northwestern Greenland —Results of the GRENE Greenland project and overview of the ArCS Greenland project—. 第6回極域科学シンポジウム, 2015年11月19日, 立川市, 国立極地研究所.

Sugiyama, S., S. Tsutaki, D. Sakakibara, J. Saito, Y. Ohashi, M. Maruyama, N. Katayama, E. Podolskiy, M. Minowa, S. Matoba, T. Sawagaki, M. Funk, R. Genco. Ice mass loss in northwestern Greenland. 低温科学研究所国際シンポジウム, 2015年12月1日, 札幌, 北海道大学低温科学研究所.

杉山慎, 津滝俊, 榊原大貴, 斉藤潤, 大橋良彦, 丸山未妃呂, 片山直紀, エヴゲニ・ポドルスキ, 箕輪昌紘, 松野智, 澤柿教伸, 的場澄人, マーティン・フंक, リカルド・ゲンコ, 榎本浩之. グリーンランド北西部における近年の氷質量損失—GRENE グリーンランドプロジェクトの成果と ArCS プロジェクトへの展望—. GRENE 北極気候変動研究事業, 研究成果報告会, 2016年3月4日, 立川市, 国立国語研究所.

Tsutaki, S., Maruyama, M., Sugiyama, S., Sakakibara, D., and Sawagaki, T., Field observations of surface mass balance, ice velocity and ice temperature on Qaanaaq ice cap, northwestern Greenland. 第6回極域科学シンポジウム, 2015年11月19日, 立川市, 国立極地研究所.

Tsutaki, S., Maruyama, M., Sugiyama, S., Sakakibara, D., and Sawagaki, T., Field observations of surface mass balance, ice velocity and ice temperature on Qaanaaq ice cap, northwestern Greenland. 低温科学研究所国際シンポジウム, 2015年12月1日, 札幌, 北海道大学低温科学研究所.

Tsutaki, S., Björk, A., and Sugiyama, S., Surface elevation change of outlet glaciers in northwestern Greenland for 1985-2010. 2015 AGU Fall Meeting, 2015年12月14日, Moscone Center, San Francisco, USA.

津滝俊, 杉山慎, 片山直紀, 榊原大貴, 澤柿教伸, グリーンランド北西部における溢流氷河の質量収支. GRENE 北極気候変動研究事業, 研究成果報告会, 2016年3月4日, 立川市, 国立国語研究所.

(3) アウトリーチ、出版物、取材等

・アウトリーチ

杉山慎, GRENE 北極気候変動研究事業／北極域研究推進プロジェクト, 公開講演会『北極温暖化の実態と影響 —何がわかったか、これから何をするのか—』, 2016年3月5日, コクヨホール.

Evgeny Podolskiy, 杉山慎, Martin Funk, Riccardo Genco, 津滝俊, Fabian Walter, 箕輪昌紘, Maurizio Ripepe, プレスリリース『グリーンランドで海洋の潮汐によって発生する氷河地震を発見』, 2016年3月17日.

・出版物

的場澄人, グリーンランドの都市、カナック-グリーンランド人の心のふるさと, 小澤実, 中丸禎子, 高橋美野梨編, 「アイスランド・グリーンランド・北極を知るための65章」, 明石書店, 62-65, 2016年.

的場澄人, 世界遺産①・イルリサット・アイスフィヨルド, 小澤実, 中丸禎子, 高橋美野梨編, 「アイスランド・グリーンランド・北極を知るための 65 章」, 明石書店, 66-68, 2016 年.

的場澄人, 地球温暖化とグリーンランド氷床 - 日本におけるグリーンランド氷床観測, 小澤実, 中丸禎子, 高橋美野梨編, 「アイスランド・グリーンランド・北極を知るための 65 章」, 明石書店, 419-422, 2016 年.

的場澄人, 山崎哲秀, 極地フィールド研究者と犬ぞり北極探検家のフィールドノート, 月刊「地理」, 古今書院, 47-51, 2015 年 9 月.

高橋美野梨, グリーンランドの都市ーヌークとカナック, 小澤実, 中丸禎子, 高橋美野梨編, 「アイスランド・グリーンランド・北極を知るための 65 章」, 明石書店, 59-62, 2016 年.

高橋美野梨, イヌイット環極北会議ー北方先住民の権利と利益を守るために, 小澤実, 中丸禎子, 高橋美野梨編, 「アイスランド・グリーンランド・北極を知るための 65 章」, 明石書店, 116-120, 2016 年.

高橋美野梨, グリーンランドの政治・政党ー自治のゆくえ, 小澤実, 中丸禎子, 高橋美野梨編, 「アイスランド・グリーンランド・北極を知るための 65 章」, 明石書店, 127-131, 2016 年.

高橋美野梨, 気候変動とグリーンランドの産業ー資源をめぐる動向, 小澤実, 中丸禎子, 高橋美野梨編, 「アイスランド・グリーンランド・北極を知るための 65 章」, 明石書店, 132-137, 2016 年.

高橋美野梨, EU とアイスランドー非加盟を貫くという選択, 小澤実, 中丸禎子, 高橋美野梨編, 「アイスランド・グリーンランド・北極を知るための 65 章」, 明石書店, 163-167, 2016 年.

高橋美野梨, EU とグリーンランドー加盟、地外化を経て構築される新しい関係, 小澤実, 中丸禎子, 高橋美野梨編, 「アイスランド・グリーンランド・北極を知るための 65 章」, 明石書店, 168-171, 2016 年.

高橋美野梨, 国際捕鯨委員会と先住民生存捕鯨ー制度と現実の相反, 小澤実, 中丸禎子, 高橋美野梨編, 「アイスランド・グリーンランド・北極を知るための 65 章」, 明石書店, 172-177, 2016 年.

高橋美野梨, シリウス・パトロールーグリーンランド沿岸犬ぞり警備隊の 70 年, 小澤実, 中丸禎子, 高橋美野梨編, 「アイスランド・グリーンランド・北極を知るための 65 章」, 明石書店, 178-183, 2016 年.

高橋美野梨, 生活の中のメディアーアイスランドとグリーンランド, 小澤実, 中丸禎子, 高橋美野梨編, 「アイスランド・グリーンランド・北極を知るための 65 章」, 明石書店, 213-216, 2016 年.

高橋美野梨, グリーンランドのサッカーー人々を熱狂させるスポーツ, 小澤実, 中丸禎子, 高橋美野梨編, 「アイスランド・グリーンランド・北極を知るための 65 章」, 明石書店, 273-276, 2016 年.

杉山慎, 表紙写真でめぐる旅「グリーンランド イルリサット氷河から流れ出た氷山」, 地理・地図資料 (2015 年度 3 学期号), 帝国書院, 2016 年 1 月

・新聞取材

杉山慎, 「海の温暖化」が解かず氷河, 読売新聞, 2016 年 2 月 14 日.

(4) その他

特になし

1. メニュー名および実施責任者

メニュー名	北極の人間と社会：持続的発展の可能性
実施責任者	田畑 伸一郎（北海道大学）

2. 活動実績

(A)北極の経済開発研究

- 北極海航路について自然科学研究者との間で北極ガバナンスの問題を視野に入れた意見交換を行った（北海道大学とフィンランドの大学との間の国際シンポジウム）。
- ロシア北極圏における天然ガス開発の中心地であるヤマロ・ネネツ自治管区で行った開発と環境に関する現地調査（JSPS 二国間共同事業）の結果の分析に基づき、同地域の持続的経済発展に関して分析・考察を進めた。

(B)環境と人間のインタラクションのあり方

- メニュー「北極域における氷河氷床-海洋相互作用」と連携して、グリーンランドにおける経済開発と環境の保全との関係に関する研究を進めた。
- メニュー「北極生態系の生物多様性研究」の実施責任者・担当者との間で、今後の研究連携に関する協議を行った。
- ロシア北東連邦大学から研究者を招聘し、サハ共和国における人口推移、とくに人口の集中度と経済活動に関する解析を実施した。また、タイガ林の広がる地域とツンドラ域の各4つの地域におけるエネルギー消費量と効率に関するデータを入手し、解析を開始した。さらに、土地利用（地表面被覆）と植生の現状の理解と将来予測に向けて、生態系モデルの検討と改良に着手するとともに、今後大きな地表面状態の変化が予想される北極圏河川低地の現状とその生態系の脆弱性を評価する目的で、衛星データを用いる GIS 手法による解析に着手した。この分野の研究については、Belmont Forum プロジェクト「東部ロシア北極域永久凍土上の生態系と都市と村落の炭素収支（COPERA）」と連携して進める体制を構築し、サハ共和国の行政府との協力関係も築いた。
- シベリア地域の環境教育教材の制作に関して、現地協力機関であるロシア科学アカデミーシベリア支部人文学・北方少数民族問題研究所などと協議を進めた。東北大学東北アジア研究センターと同研究所との間で、共同研究における協働のための MOU を締結することで合意した。さらに、北海道大学文学研究科も、同研究所との間で、部局間学術交流協定を締結し、今後の考古学の分野等における研究連携の基礎を築いた。
- ASSW2016（フェアバンクス）に参加し、現在の北極研究における持続的発展と環境教育、ステークホルダーとの分野横断的学際研究の研究方法に関する最新の知見と関連する研究者とのネットワークづくりを行った。

(C)国際機関・国・自治体における政策論等の把握

- 北極評議会ワーキング・グループの北極圏監視評価プログラム作業部会（Arctic Monitoring and Assessment Programme：AMAP）と北極圏植物相・動物相保存作業部会（Conservation of Arctic Flora

and Fauna : CAFF) について、ArCS からの参加者との間で意見交換会を開き、この2つのワーキング・グループにおけるこれまでの議論の状況、各国の動向や、日本に求められている課題などについて情報収集を行った。また、実施担当者の1人が2016年3月3-4日に米国ワシントンDCで開催された北極評議会科学協カタスクフォース (Scientific Cooperation Task Force : SCTF) 第8回会合に日本代表団としてオブザーバー参加し、北極評議会関係会合の運用状況やオブザーバー国の地位につき実践的な知見を得た。

- 北極公海漁業制度形成について、メニュー「環境変動と人為的インパクトに対する北極海生態系の反応メカニズムの解明」の実施責任者等との間で、今後の研究連携に関する協議を行った。また、函館で開かれた Belmont Forum プロジェクト「気候変動下における北極海洋システムの回復力と適応力 (RACArctic)」の研究会に参加し、漁業分野のステークホルダーの利害について情報収集、意見交換を行った。さらに、2016年3月30-31日に韓国仁川で開催された北極公海漁業問題に関する学術会合に実施担当者1名を派遣した。
- フィンランド、カナダ、アイスランドの研究者等を招いて意見交換会 (神戸大学) を開催し、科学的知見のインプットが求められている北極域国際制度の動向を中心に最新情報を入手し、理解を深めた。
- ノルウェー、カナダの研究者を招いて北極安全保障環境に関するセミナー (北海道大学) を開催し、ロシアをはじめとする北極圏の国際関係、安全保障に関する最新情報を入手し、理解を深めた。
- ASSW 2016 (フェアバンクス) に参加し、各国の研究者・実務家と意見交換を行い、各国における政策論に関する情報収集を行った。
- 参画機関の神戸大学が、大学院国際協力研究科内に「極域協力研究センター (Polar Cooperation Research Centre: PCRC)」を設置した。また、PCRC のホームページの開設やメーリングリスト「北極域国際制度研究フォーラム」を開設するなど、情報提供システムを整備した。

3. 研究成果

(A)北極の経済開発研究

- 北極海航路のコストとベネフィットの試算に必要な視点の一部を洗い出し、今後の本格的な試算に向けた基礎を固めた。また、北海道をはじめとする日本側の対応 (港湾機能など) についても検討した。
- ロシア極北地域における経済開発の現状に関するデータ分析、連邦政府・地方政府の開発政策に関する分析を進めた。これらの分析に基づき、ロシア極北地域を経済発展パターンにより3~4のカテゴリに類型化した。さらに、石油価格の下落やウクライナ紛争に伴う経済制裁が北極の資源開発や北極海航路の利用に及ぼす影響に関して考察を進めた。

(B)環境と人間のインタラクションのあり方

- グリーンランドにおける環境と人間のインタラクションに関して、気候変動、軍事安全保障、住民の政治的・経済的自治、先住民による捕鯨など、多様な視点から考察を進めた。
- サハ共和国における環境と人間のインタラクションに関して、人口推移、とくに人口の集中度と経済活動に関する分析を行い、今後の研究のための基礎的な情報・データを整理した。また、タイガ林の

広がる地域とツンドラ域の各4つの地域におけるエネルギー消費量と効率について分析を進めた。さらに、土地利用（地表面被覆）と植生の現状の理解と将来予測のために、生態系モデルの検討と改良に着手した。北極圏河川低地では、今後大きな地表面状態の変化が予想されることから、その現状と生態系の脆弱性を評価するために、衛星データを用いるGIS手法による解析に着手した。

- シベリア地域の環境教育教材の制作に関して、気候変動で影響を受ける永久凍土と地域社会に焦点を当てる、具体的にはレナ川右岸地域とコリマ川中流域に焦点を当てることを決めた。この地域は、近年の気候変動により、前者は洪水被害、後者は地滑り被害が発生している場所であり、その被害の発生原因と今後のシナリオ分析を行うと同時に、地域住民の環境利用についての近過去を含めた民族誌的情報を収集し、住民がどのように現状を認識し、未来を構想していこうとするのかについての映像及びテキスト記録を制作するという方針を決めた。
- ASSW2016に出席した国際北極科学委員会の勧告の委員と打ち合わせを行い、2016年5月にソウルで実施される韓国極地研究所主催の国際会議に出席・発表し、本メニューの国際的発信を実施することとなった。

(C)国際機関・国・自治体における政策論等の把握

- 北極域国際制度に関する国際機関、日本、外国における政策論についての理解を深めた。とくに、北極公海漁業制度について、日本のステークホルダーの利害に関する理解を深め、こうしたステークホルダーに対する情報提供のあり方に関する考察を進めた。また、今後、ArCSの自然科学メニューの研究成果を踏まえて、国際機関等に対してどのような情報提供が可能であるかについて考察した。
- ノルウェー、カナダ、米国、フィンランドをはじめとする各国の研究者との意見交換を通じて、北極圏の国際関係や安全保障についての理解を深めた。とくに、ウクライナ紛争勃発後のロシアと欧米の関係変化が、北極評議会をはじめとする北極におけるこれまでの国際協力に及ぼす影響に関する分析を行った。これらの分析に基づき、日本の政策対応を考えるうえで必要となる情報提供の準備を行い、日本の北極政策に関する考察を深めた。また、意見交換の成果を、2016年7月に刊行予定の神戸大学『国際協力論集』第24巻1号に掲載することが決定した。
- AMAPとCAFFについて、これまでの日本の関わり方についての知識・理解を深め、今後、これらのワーキング・グループに対する日本の貢献を高めるための方策の検討を開始した。北極評議会SCTFについては、第8回会合にオブザーバー参加することを通じて、北極評議会関係会合の運用状況やオブザーバー国の地位に関する理解を深めた。
- 情報発信システムの整備とネットワーキングにより、情報発信力を強化させることができた。PCRCの設置により我が国初の北極法政策を専門に研究する場が対外的に可視化され、メーリングリストによりネットワーク化した。また、北極大学連合北極法研究ネットワーク（University of Arctic, Arctic Law Thematic Network）に、アジアから初のパートナー機関として神戸大学が加盟した。さらに、アクレイリ大学と共同で2016年Arctic Circleでのブレイクアウト・セッションを企画する案が具体化している。

4. 研究成果発表

(1) 論文発表

(1-1) 査読あり

- Minori Takahashi, The Politics of the Right to Self-Determination: Reframing the Debate on Greenland's Autonomy. *Eurasia Border Review*, **6**(1), 25-43, doi: 10.14943/ebr.6.1.25, 2015.
- Akiho Shibata, Japan and 100 Years of Antarctic Legal Order: Any Lessons for the Arctic? *Yearbook of Polar Law*, **7**, 1-54, doi: 10.1163/2211-6427_002, November 2015.
- Hiroki Takakura. Limits of pastoral adaptation to permafrost regions caused by climate change among the Sakha people in the middle basin of Lena River. *Polar Science*, **30**, 1-9. April 2016.
- Minori Takahashi, Greenland, the Island of Military Bases: Negotiations for Turning the Island into a Missile Defense Stronghold. *The Journal of Island Studies*, **17**(1), 47-65, 2016.
- 柴田明穂, 北極：国際科学協力推進のための独自の法域, 国際協力論集（神戸大学）, **24**(1), 2016年7月（accepted）。
- Akiho Shibata and Maiko Raita, An Agreement on Enhancing International Scientific Cooperation in the Arctic: Only for Eight Arctic States and their Scientists? *Yearbook of Polar Law*, **8** (accepted).

（1－2）査読なし

- 特になし

（2）学会発表

- 高橋美野梨, グリーンランドの近代：「自己決定権をめぐる政治学」を振り返って, 2015年11月7日, 第4回北極クラブ例会, 東京資源会館。
- Fujio Ohnishi, Power, Order and Governance: The Conditions for Political Stability in the Arctic, 11 November, 2015, Hokkaido University - Finnish Universities Joint Symposium, Hokkaido University.
- 大西富士夫, 日本の北極国際政治への参画：北極政策にみる現状と課題, 2015年11月14日, 国際文化表現学会東京研究会, 日本大学。
- 高倉浩樹・加藤博文, 北極域研究推進プロジェクトとシベリア研究, 2015年11月21日, 日本シベリア学会第一回研究大会, 北海道大学。
- Minori Takahashi and Shunwa Honda, Whaling Regulations and Greenland: The Case of Qeqertarsuaq, 2016.1.28, Arctic Frontiers 2016, University of Tromsø, Norway.
- 日向美郷・田村亨・杉木直, 港湾機能及び輸出貨物量の変化による船社の最適行動分析, 2016年1月30日, 土木学会北海道支部年次技術研究発表会, 北海道大学（札幌）。
- 大西富士夫, 北極をめぐる国際情勢, 2016年2月2日, エンジニアリング協会第3回氷海技術研究講演会, エンジニアリング協会, 虎ノ門。
- 高橋美野梨, 捕鯨の国際政治学：北極域グリーンランド島における先住民生存捕鯨と国際捕鯨委員会, 2016年2月15日, 鹿児島大学国際島嶼教育研究センター第166回研究会, 鹿児島大学。
- Fujio Ohnishi, Why Arctic Security Matters: An Introductory Comment, 27 February 2016, International Seminar on Current Change from Cooperation into Confrontation? Security Environment in the Arctic Region, Slavic-Eurasian Research Center, Hokkaido University.
- Fujio Ohnishi, The Arctic Region: Possibilities for Increased Security, Environmental and Economic

Cooperation in a U.S.-Japan-Russia, 10 March 2016, Trilateral Conference organized by the National Committee on American Foreign Policy (NCAFP), New York.

- ・ Shiro Tatsuzawa, Community-based Adaptive Wildlife Management in Sakha Republic, Russia, under the Global Warming Condition [poster presentation], 15-18 March 2016, Arctic Observing Summit, ASSW2016, Fairbanks, USA.
- ・ Minori Takahashi, The Varieties of Political Thinking in Greenland: Analyzing Climate Change from the Viewpoint of Social Sciences, 2016.3.23, International workshop on ArCS project "Ice-ocean interaction in Greenland" / Co-organized by ILTS: Institute of Low Temperature Science workshop on "Greenland ice sheet mass loss and its impact on global climate change", Hokkaido University, Japan.

(3) アウトリーチ、出版物、取材等

- ・ Fujio Ohnishi, Japan's Arctic Policy Development: From Engagement to a Strategy, in *Asian Countries and the Arctic Future*, edited by Leiv Lunde, Jian Yang, Iselin Stensdal, New Jersey: World Scientific Publishing, 171-182, Oct. 2015.
- ・ Fujio Ohnishi, Does the Sun also Rise in the Arctic? Three Pillars of Japan's Arctic Policy, in *Arctic Yearbook* edited by Lassi Heininen, Heather Exner-Pirot, Joël Plouffe, Akureyri: Northern Research Forum, 410-411, Oct. 2015.
- ・ 田村亨, 北極海航路活用による欧州と北海道間の国際市場戦略, 北海道経済同友会講演会, 2015年10月19日。
- ・ 高倉浩樹・千葉義人編, シベリアからの声: 民俗写真展示プロジェクト記録と調査地からのメッセージ, 「東北大学東北アジア研究センター報告」18号, 全59頁, 2015年 (ISBN9784908203015)。
- ・ 高橋美野梨, クジラへの視線 (連載・北の献立/第7回グリーンランドの献立), 「アークティック・サークル」97号, 北海道: 北方文化振興協会, 12-13. 2015年12月刊行。
- ・ 高倉浩樹, シベリア・北極研究と二つのコンソーシアム, 「地域研究コンソーシアムニュースレター」20号, 7-8, 2016年3月。
- ・ 小澤実・中丸禎子・高橋美野梨編著, アイスランド・グリーンランド・北極を知るための65章 (エリアスタディーズ・シリーズ140), 東京: 明石書店, 全456頁, 2016年3月刊行。

(4) その他

- ・ 特になし

1. メニュー名および実施責任者

メニュー名	AC 等北極関連会合への専門家の派遣
実施責任者	榎本 浩之 (国立極地研究所)

2. 活動実績

- 平成27年度は以下の会合へ専門家の派遣を行った。

政策的な側面が強い会合

- (1) 2015年9月13-16日 AC AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Program)
開催地：トロムソ (ノルウェー)
参加者：榎本(極地研)、菊地 (JAMSTEC)、斎藤(北大)
- (2) 2015年9月14-18日 AC CAFF (Conservation of Arctic Flora and Fauna)
開催地：トロムソ (ノルウェー)
参加者：内田(極地研)
- (3) 2015年10月16-18日 Arctic Circle 2015 Assembly
開催地：レイキャビク (アイスランド)
参加者：深澤 PD (極地研/JAMSTEC)
- (4) 2016年1月27-28日 AC EGBCM (Expert Group on Black Carbon and Methane)
開催地：レイキャビク (アイスランド)
参加者：近藤(極地研)
- (5) 2016年3月3-4日 AC SCTF (Scientific Cooperation Task Force)
開催地：アーリントン (米国)
参加者：柴田 (神戸大)

科学的な側面が強い会合

- (6) 2016年3月15-18日 AOS (Arctic Observing Summit) 2016
開催地：フェアバンクス (米国)
参加者：深澤 PD (極地研/JAMSTEC)

3. 成果

政策的な側面が強い会合

(1) 2015年9月13-16日

AC AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Program)

成果：我が国の北極研究の状況についてプレゼンを行い、高い科学技術力や広範な活動について、各国から高い評価を受け、我が国のプレゼンス強化に寄与した。

(2) 2015年9月14-18日

AC CAFF (Conservation of Arctic Flora and Fauna)

成果：環境省の行政官に随行し、同氏に対して適切な助言を行うことなどにより、我が国のプレゼンス強化に貢献した。また、議論を通じて、北極圏国やそこに住む先住民族等が必要とするような研究が明らかになり、今後の我が国の研究方針の策定の指針となるべき知見が得られた。

(3) 2015年10月16-18日

Arctic Circle 2015 Assembly

成果：日本の北極政策に関するセッションにおいて、「JAPAN'S DETERMINATION TOWARDS THE ARCTIC」と題してArCS PD自らがArCSを中心とした我が国の北極研究の取り組みを紹介し、我が国のプレゼンス強化に貢献した。

(4) 2016年1月27-28日

AC EGBCM (Expert Group on Black Carbon and Methane)

成果：BC&メタンに関する我が国高い測定技術や高精度モデルによる影響評価の知見をもとに、BC&メタンの今後の影響評価と排出削減に関する議論を主導し、課題解決へ向けて貢献した。

(5) 2016年3月3-4日

AC SCTF (Scientific Cooperation Task Force)

成果：北極研究における協力体制構築に関して、非北極圏国の立場から北極圏国に対し積極的な働きかけを行い、非北極圏国も含めた世界的に効果的・効率的な研究協力体制構築を提案した。

科学的な側面が強い会合

(6) 2016年3月15-18日

AOS (Arctic Observing Summit) 2016

成果：北極研究者が一同に会するASSW2016と併せて開催されるAOSにArCS PDが出席することにより、我が国の北極研究のプレゼンスの強化を図った。