

北極域研究
推進プロジェクト



Arctic Challenge for Sustainability

2015-2020
研究成果報告書 [要約版]

Arctic Challenge for Sustainability
2015-2020 Report [Summary]



国立極地研究所
大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構



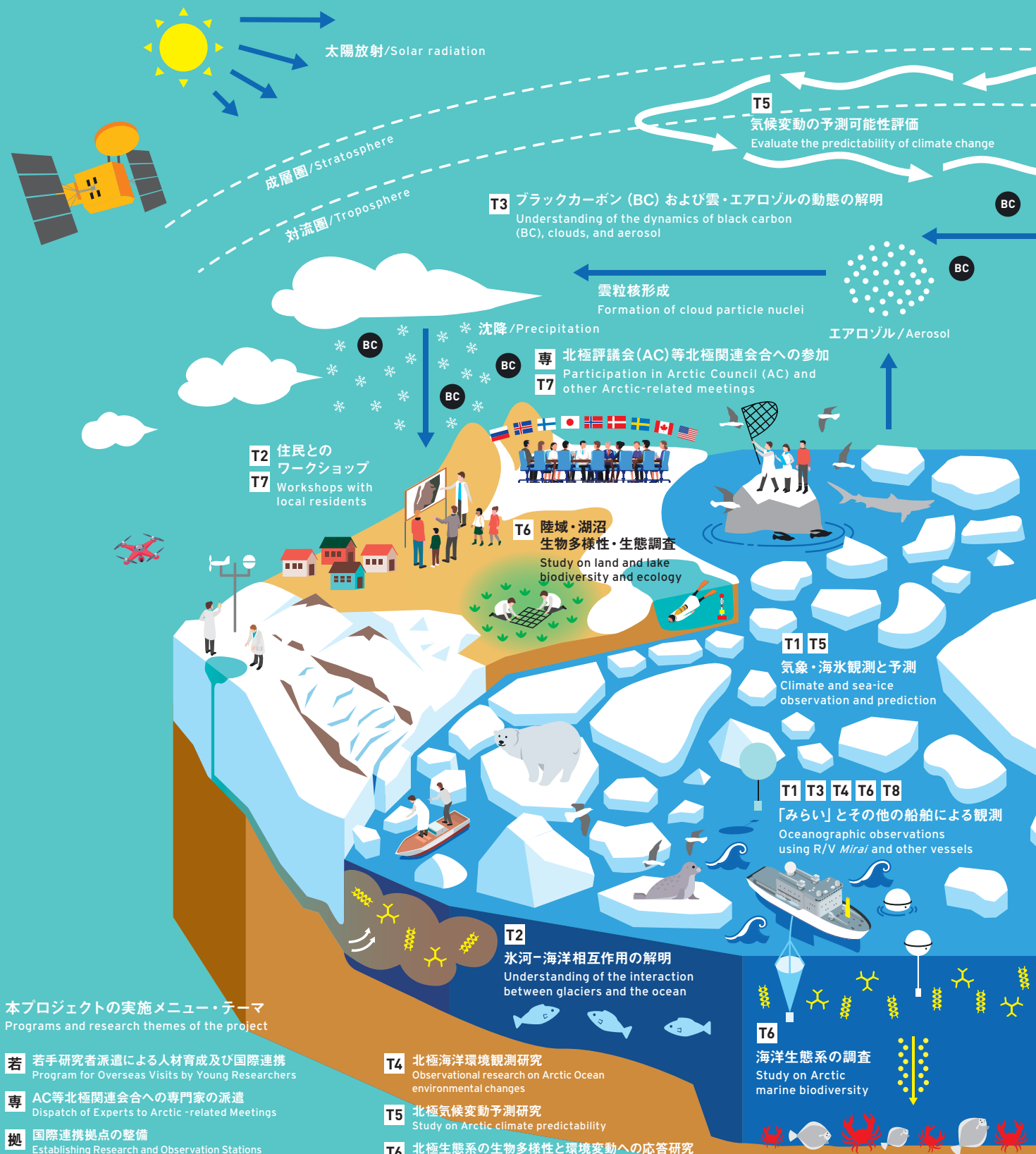
JAMSTEC 国立研究開発法人
海洋研究開発機構
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology



北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY

ArCSの北極研究活動 — 持続可能な未来への貢献 —

Research activities of ArCS project - Contribution to the sustainable future -



本プロジェクトの実施メニュー・テーマ Programs and research themes of the project

- 若** 若手研究者派遣による人材育成及び国際連携
Program for Overseas Visits by Young Researchers
- 専** AC等北極関連会合への専門家の派遣
Dispatch of Experts to Arctic -related Meetings
- 拠** 国際連携拠点の整備
Establishing Research and Observation Stations
- T1** 気象・海水・波浪予測研究と北極航路支援情報の統合
Predictability study on weather and sea-ice forecasts linked with user engagement
- T2** グリーンランドにおける氷床・氷河・海洋・環境変動
Variations in the ice sheet, glaciers, ocean, climate and environment in the Greenland region
- T3** 北極気候に関わる大気物質
Atmospheric climate forcers in the Arctic

- T4** 北極海洋環境観測研究
Observational research on Arctic Ocean environmental changes
- T5** 北極気候変動予測研究
Study on Arctic climate predictability
- T6** 北極生態系の生物多様性と環境変動への応答研究
Response and biodiversity status of the Arctic ecosystems under environmental change
- T7** 北極の人間と社会: 持続的発展の可能性
People and Community in the Arctic: Possibility of Sustainable Development
- T8** 北極域データアーカイブシステム
Arctic Data archive System (ADS)

※T1~T8は「国際共同研究推進」メニューの8テーマを表します。
※T1-T8 means that the eight research themes of the project.

本プロジェクトでは激しく変化する北極の自然環境について、研究分野ごとに網羅的な調査・観測や予測を行いました。そして、そこから得られた高精度な情報や、研究者が気づいた北極の諸変化を、今後北極どう向き合っていくのか判断するためのよりどころとして、さまざまな形で社会や人々に提供しました。

In this project, we surveyed, observed, and predicted the rapidly changing Arctic natural environment in a comprehensive manner for each field of research. Highly accurate information acquired in this initiative and various changes that researchers found were shared with society and people in diverse ways to serve as a foothold for our future response to Arctic challenges.





序

北極域研究推進プロジェクト (ArCS) は、国際共同研究の推進、北極域における研究・観測拠点の整備、若手研究者および専門家の北極関連研究機関あるいは会議への派遣等の取り組みを実施した。この活動は、2015年に決定された『我が国の北極政策』にのっとり、その骨子である「日本が北極問題の解決に科学をもって貢献し」、「北極域での秩序ある持続可能な発展に主導力を発揮する」ことを実現したものである。また、同様に重要なこととして、社会に対し本プロジェクトの科学的成果を積極的に提供するため、情報発信の方策を準備し実施した。

科学的成果

本プロジェクトの目的達成のための基礎となる国際共同研究は、それぞれの課題設定にもとづいて北極の環境変化についての新たな知見を見出すべく研究を行う自然科学系テーマ（テーマ1～6）、人文科学・社会科学を扱うテーマ（テーマ7）、データマネージメントを行うテーマ（テーマ8）の8つが、主に北極圏国の研究機関と連携する形で、研究・観測拠点や海洋地球研究船「みらい」などの研究基盤を有効に活用し研究が進められ、多数の学会発表・論文発表につながった。プロジェクト全体を通じて、以下のような特徴的な成果をあげてきたといえる。すなわち、A) 日本のこれまでの北極研究による蓄積に立脚して国際的に認知された成果をあげていること、B) 日本が提案や議論を主導した国際的な観測計画から多くの成果があがっていること、あるいは日本の測定技術が基準となるなど、世界の調査・観測を牽引する役割を担ったこと、C) 異分野横断的な研究として、特に北極の地域住民と情報交換を行いながら実施する調査観測スタイルや環境教材の作成、教育ツールの作成などにおいて、今後の研究のモデルケースとなったことである。

研究基盤

北極域の研究・観測拠点の整備

プロジェクト開始以降、研究・観測拠点数とその設置国とともに増加させ、現地の国々や国際的な研究体制への参加を通じて日本の北極研究における貢献を示した。ノルウェーやグリーンランドでの継続的な観測体制の維持により、信頼性の高い長期データや調査成果が得られるとともに、特に、

ロシアと米国の観測タワーを維持し、気象関係や植生のデータを取得したことで、積雪と植生の関係などの北極域特有の現象を多項目かつ長期にわたり取得できる世界的にも稀有な拠点の確保が可能となった。

人材育成・専門家派遣

プロジェクトにより多数の若手研究者が北極の研究議論と観測の場に送り込まれた。さらに、当初研究者のみとしていた若手研究者海外派遣支援事業の支援対象を2017年度に民間にも広げ、短期派遣の形で北極関係の各種国際会議に派遣し、北極を取り巻く社会的な状況の理解と他国からの出席者との会話を促進した。北極評議会（AC）をはじめとする北極関連会合への専門家派遣を行い、北極の環境変化の把握とその対応を広く議論し、日本がその活動に貢献できることを積極的に示した。これは日本が北極を経済活動の場と一義的に捉えているわけではないことを示すことにも有効であった。

データマネージメント

北極域データアーカイブシステム（ADS）がデータセンターの役割を担い、プロジェクトで得られた各種研究データの収集・保管、データ活用を進めた。物理データから文化人類学的なデータまで、多岐にわたる北極研究のデータやその情報がひとつのシステムに集約・公開されるのは世界的にも少数といえる。この特徴的なデータアーカイブを通じて、北極研究の国際協力が強化されることを、また社会との連携が行えるという考えを実践した。

社会との連携

国内外の一般の人々、北極圏国・非北極圏国の政策決定者、AC（主にその作業部会）、産業界関係者、北極地域住民など、北極の環境変化の影響を受ける人々を広くプロジェクトのステークホルダーと捉え、対象にあわせてウェブサイトを中心とした情報発信、一般向け冊子やボードゲームの作成、日本国内における公開講演会などを実施した。また、国際助言委員会（IAB）と評議会というふたつの会議体を設置し、前者からはプロジェクトの国際的な意義付けに関する助言・進め方・科学的な成果への評価を、プロジェクトと社会の対話の窓口と位置付けた後者からは、研究ニーズなどをふまえて運営に関する助言をいただくことで、常に外部と意思疎通しながらプロジェクトの各種活動を進めた。



Preface

In the Arctic Challenge for Sustainability Project (ArCS), we promoted international collaborative researches, established research and observation stations in the Arctic region, and dispatched young researchers and experts to Arctic research institutions and conferences. These initiatives were carried out based on *Japan's Arctic Policy*, adopted in 2015 in order to provide evidentiary support for the policy outlines that Japan contributes to offering scientific solutions to Arctic issues and takes a lead in achieving an orderly and sustainable development in the Arctic region. As another important initiative, we also developed and implemented measures to actively share with society the information on scientific achievements of this project.

Scientific Achievements

The international collaborative researches that serve as a basis for achieving the goals of this project were carried out while effectively utilizing the research and observation stations, the research vessel *Mirai*, (R/V *Mirai*) and other research infrastructures. These programs were conducted through collaboration mainly among research institutions in Arctic countries and the following eight research themes designed to gain new knowledge of Arctic environmental changes based on their respective goals: natural science-related themes (Themes 1 to 6), the humanities and social sciences-related theme (Theme 7), and the data management-related theme (Theme 8). We successfully presented our findings at many academic conferences and published a number of research papers. Through the entire project, we achieved distinctive results in the following ways through the entire activity. (A) This project produced internationally recognized results grounded in the accumulated knowledge of the Japan's past Arctic research activities; (B) many findings were obtained in the international observation programs where Japan took a lead in the proposal and discussion process, or Japan played a internationally leading role in research activities, such as adopting Japanese technology as a standard measurement method; and (C) the interdisciplinary research approach became a model case for future research activities, especially in the implementation style conducted while exchanging information with local residents in the Arctic region, the creation of environmental teaching materials, and the development of educational tools.

Research Infrastructure

Development of Arctic Research and Observation Stations

Since this project began, there have been an increasing number of research and observation stations and countries that have established facilities, thereby expanding Japan's presence in the Arctic research. In

particular, the observation towers built in Russia and the United States were maintained to acquire climate and vegetation data, which enabled us to secure a globally rare station where we can conduct wide-ranging and long-term observations of Arctic-specific phenomena, such as the relation between snow accumulation and vegetation.

Human Resource Development and Dispatch of Experts

The Program for Overseas Visits by Young Researchers enabled to young researchers to join the discussions in the international conferences and visit research sites in the Arctic. This program was originally intended only for researchers, then became available to the private sector in 2017. On this occasion, participants were dispatched to various international Arctic conferences for a short period of time in order to gain a better understanding of the social situation surrounding the Arctic, as well as to facilitate dialogue with attendees from other countries. In addition to the dispatch of experts to the Arctic Council (AC) and other Arctic-related meetings, this initiative effectively conveyed the message that Japan does not see the Arctic only as a place for economic activity.

Data Management

The Arctic Data Archive System (ADS) served as a data center to collect, store, and utilize various research data obtained from this project. It is quite rare in the world that a diverse set of Arctic research data and information, from physical data to cultural anthropological data, are consolidated and publicized in a single system. This activity worked as the international collaboration of data use and also realized a step of enhancement of the social engagements.

Cooperation with Society

We see people affected by Arctic environmental changes as the stakeholders of this project, such as the general public in Japan and abroad, policymakers in and outside Arctic countries, the AC (mainly its working groups), people in industry, and local residents in the Arctic region; for their sake, we shared information mainly on our website according to their interest, created leaflets and board games for the public, and gave public lectures in Japan. We also established two meeting systems: the International Advisory Board (IAB) and the Council of ArCS project. The IAB gave advice on the international significance of this project, research protocols, and assessment of scientific achievements, while the Council, acting as a catalyst for dialogue between this project and society, made recommendations on the project management based on research needs. The two bodies assisted us in carrying out various activities in this project while constantly communicating with relevant external parties.

北極域の気象・海氷・海洋の予測精度向上に向け、世界気象機関（WMO）の極域予測プロジェクト（PPP）の枠組みのもと、（1）持続可能な北極観測網の構築を目指した国際集中観測とデータ同化を用いた観測システム実験、（2）各国の現業気象予報機関の気象・海水予報データを利用した北極変動を起因とする極端気象の予測可能性研究、（3）北極海航路上の海水予測と最適航路探索・波浪予測手法の開発を軸とした観測的・数値的研究を推進するとともに、海洋地球研究船「みらい」を用いた高層気象観測、波浪ブイ観測、地球シミュレータ等を用いたデータ同化・予測実験等から観測データの影響評価を行った。

これにより、北極域の観測データは数日程度の精緻な気象・波浪・海水予測に極めて有効であること、中緯度の気象現象の予測にも効果があることなどの成果を得た。また、現業気象予報機関の気象・海水予報における初期値・予報値の最適な組み合わせを検討し、高空間分解能の海水・海洋結合モデルIcePOMの開発・精緻化を図り、北極海航路上の10日程度先の海水予測を行う基盤モデルの目処をつけた。さらに、こうした現業気象予報機関の気象・海水予報データやIcePOMによる海水予測結果をテーマ8の協力のもと、システム上で統合し、船上で利用しやすい予測情報として提供する仕組みを整え、プロジェクト後半の「みらい」航海で実際に利用することにより、これらの予測情報が北極海を航行する船舶の安全と活動の両立に役立つことを実証した。今後は、観測の強化とそれに付随する環境負荷や観測資源の確保・運用などの諸問題とのバランスを考慮しながら、社会のニーズに応えることができるような、持続性のある観測体制の構築を目指す。

For higher accuracy in the weather, sea-ice and ocean prediction in the Arctic region, we promoted the following three activities under the framework the Polar Prediction Project (PPP) of the World Meteorological Organization (WMO): (1) intensive Arctic observations for establishing a sustainable Arctic observation network, as well as data assimilation-based observing system experiments, (2) study on the predictability of extreme weather events attributable to Arctic changes utilizing atmospheric and sea-ice prediction data provided by operational weather centers around the world, and (3) observational and numerical study focusing on improving the skill of sea-ice forecast, optimal route search, and wave prediction on the Northern Sea Route. We also conducted atmospheric soundings and wave buoy observations using R/V *Mirai*, and data assimilation and prediction experiments to understand impacts of the observations on the atmospheric and sea-ice predictabilities by employing the Earth Simulator supercomputer, etc.

Our findings from these activities include that the observation data of the Arctic region are highly effective for precise short-range weather, wave, and sea-ice predictions, and that such data are also helpful in predicting mid-latitude weather phenomena. In addition, based on the products from operational weather centers, we designed the best combination of atmospheric and oceanic initial states and the atmospheric forcing for our high-spatial-resolution sea-ice and ocean coupled model IcePOM. This skillful model would be ready for implementing medium-range sea-ice predictions on the Northern Sea Route. In collaboration with Theme 8, the weather and sea-ice prediction data from operational weather centers and the sea-ice forecast by our IcePOM were integrated into a system that is easily accessible on ships. This system was actually employed on the R/V *Mirai* cruise in the latter half of the project, which successfully demonstrated that such prediction information is helpful for both safety and activity of vessels traveling the Arctic Ocean. Going forward, while giving consideration to a good balance with various challenges, such as observation enhancement with environmental loading under limited observing and human resources, we will strive to establish a sustainable observing network that meets social needs.



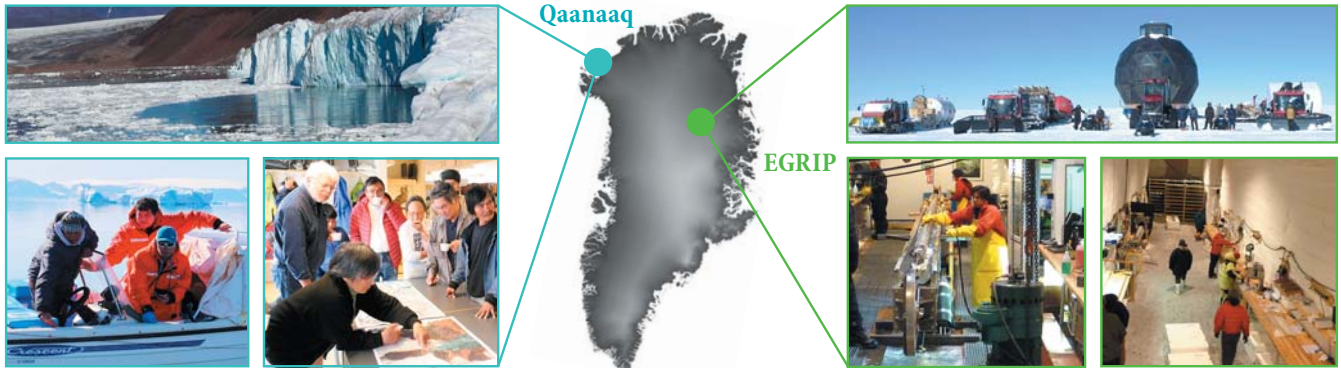
2019年10月中旬の結氷期に海氷域で観測する「みらい」 R/V *Mirai* moving in the sea-ice area in the middle of October, 2019



グリーンランドにおける氷床・氷河・海洋・環境変動

Variations in the ice sheet, glaciers, ocean, climate and environment in the Greenland region

実施責任者 東 久美子 / Principal Investigator: Kumiko Goto-Azuma



テーマ2 の観測・研究実施地点であるEGRIP とカナック/EGRIP and Qaanaaq in the map of Greenland

テーマ2では(1)グリーンランド最大の氷流の上流部で実施されている東グリーンランド深層氷床掘削プロジェクト(EGRIP)に参加し、氷床の変動メカニズムとその気候変動との関わり合いの解明に取り組む一方、(2)近年の環境変化が加速する一方でデータの空白域でもあるグリーンランド氷床の北西部に着目し、気候変動の影響を受けた氷河氷床と海洋の変動と相互作用、さらに生じている自然災害や社会への影響に関する研究を実施した。

具体的な成果として、(1)ではEGRIPサイトでのアイスコア掘削に参加し、サンプルの国際共同分析を進めるとともに、掘削地点近傍のピット観測を実施し、層位観察とサンプルの分析結果から過去10年の表面質量収支変動を復元した。過去に得られたアイスコアサンプルの分析も並行して進め、過去350年間のブラックカーボン(BC)濃度の変動を明らかにした。また、将来の海面上昇予測に深く関係する氷床氷の変形に関して人工氷とアイスコア氷を用いた室内実験を行い、不純物を含む氷の流動則の改良を行った。数値予測に関しては氷床モデルを用いた海水準変動予測のために氷床変化にともなう地殻変動の計算を行うGIAモデルの改良を進め、氷床シミュレーションの精度向上を実現した。

(2)では国外の大学や現地協力者の支援を受け、急激に縮小する氷河氷床の質量損失速度を定量化し、その変動メカニズムの解明に貢献する成果をあげた。特にカービング氷河の変動と末端プロセスに関して、多くの新しい知見を得てその成果を発表した。さらに氷河氷床から流出する融解水が海洋におよぼす影響、特にフィヨルドに栄養塩を供給する役割を定量的に示すことにはじめて成功した。また動植物プランクトンから海鳥、海生哺乳類に至るフィヨルド生態系に氷河が果たす役割が示された。一方陸上では、近年頻発する氷河河川洪水や地すべりなどの自然災害について、そのメカニズムと将来の見とおしを明らかにした。また大気中の物質輸送や降雪、海水や氷山の分布を明らかにし、グリーンランド沿岸域の環境変動を定量的に示した。これらの成果は、毎年カナックでワークショップを開催して地域住民にフィードバックされた。地域住民と情報交換を行いながら実施する調査観測スタイルは、今後の研究のモデルケースとなりうるものである。

In Theme 2, we were engaged in the following two research projects: (1) participating in the East Greenland Ice-Core Project (EGRIP) to understand the mechanisms of ice-sheet changes and climate changes, and (2) focusing on the northwestern Greenland ice sheet, an unexplored area with rapid environmental changes in recent years, and conducting a study on the interaction between the climate change-affected glaciers and ice sheets and oceanic changes, as well as on ongoing natural disasters and the social impacts thereof.

The achievements in (1) include that we participated in ice-core drilling at EGRIP and international ice-core analysis campaigns. We also conducted pit observations near the drilling site and reconstructed the surface mass balance during the past 10 years. Ice cores drilled previously were also analyzed, which revealed temporal variability in black carbon (BC) concentration over the past 350 years. Furthermore, we conducted laboratory experiments using artificial ice and ice-cores to understand mechanisms of ice-sheet flow that is closely related to predictions of future sea-level rise. This resulted in an improved flow law for impurity-containing ice. With regard to numerical prediction of sea-level change utilizing ice-sheet models, the GIA model that calculates diastrophism due to ice-sheet changes was improved. We also improved ice sheet modeling by taking into account impurity effects and ice stream physics.

The achievements in (2) include that, with cooperation from overseas universities and local collaborators, we quantified the mass loss rate of rapidly shrinking glaciers and ice sheets and contributed to clarifying the mechanism of the changes. Among others, we gained much knowledge about, and reported the findings of, the change in calving glaciers and the processes near the calving front. Moreover, we first quantified the impacts of meltwater from glaciers and ice sheets on the ocean, especially its role in supplying nutrient to the fjords. This study also showed the influence of glaciers on the fjord ecosystem from plankton to sea birds and marine mammals. When it comes to land-related outcomes, we have shown the mechanism and prospects of glacial river floods, landslides and other natural disasters. In addition, atmospheric material transport and snowfall, as well as distribution of sea ice and icebergs, were revealed in this study, quantifying the environmental changes in the coastal areas of Greenland. These findings were shared with local residents in the annual workshop held in Qaanaaq. Our survey and observations conducted in close collaboration with local residents is a model case for future research activities in the Arctic.

北極気候に関わる大気物質

Atmospheric climate forcers in the Arctic

実施責任者 小池 真 / Principal Investigator: Makoto Koike

北極の温暖化に重要な役割を果たす大気物質、特に温室効果気体であるCH₄や、太陽放射収支に影響するBCなどの短寿命気候影響物質 (SLCF) に着目した研究を実施した。SLCFの放射影響や削減効果に残る不確定性を低減するため、正確な動態把握、モデルの高度化、信頼性の高い収支推定を目指した。温室効果気体については、大気中濃度観測にもとづくトップダウン解析と、発生源観測にもとづくボトムアップ解析の両方を実施した。さらに、雲微物理とエアロゾルについても研究を実施した。具体的な成果として以下があげられる。

北極BC研究

大気中BCの質量濃度測定器COSMOSを用いた継続観測体制 (ABCM-net) を立ち上げ、「みらい」北極航海、ニーオルスンなどでの積雪中および降雪中のBC観測ともあわせ、北極の広域でBC濃度測定を実施した。その結果、先行研究の積雪中BC濃度が大きく過大評価されていたことを明らかにした。また、BCの数値モデル計算についても改良を実施し、各種観測をよりよく再現することに成功した。

北極雲・氷晶核研究

夏季の氷晶核濃度の増加が北極域のアウトウォッシュ・プレーン等で発生したダストによって生じており、しかもその主成分である鉱物ではなく、微量に含まれる有機物の存在によって高められていたことを明らかにした。また雲微物理量の連続観測により、その季節変化などを明らかにした。

温室効果気体：トップダウン研究

地上基地・航空機・船舶による大気観測から、温室効果気体の変動と、陸上生物圏と海洋それぞれのCO₂吸収量、CH₄濃度変動における微生物起源CH₄の重要性を明らかにした。

温室効果気体：ボトムアップ研究

東シベリアのカラマツ林、および内陸アラスカのクロトウヒ林におけるCH₄収支を長期観測し、環境変動に対する生態系CH₄収支の応答を明らかにした。これらの観測データを用いて陸域生態系モデルのパラメーターを調整し、高緯度陸域生態系のCH₄収支の広域推計を行った。その結果、高緯度陸域生態系のCH₄放出量には、水循環変動に起因した土壌水分量の変動や水位の変動が大きく関わっていることが明らかになった。また、アラスカとスバルバル諸島の地下水に含まれる有機炭素量を調べ、地下水の気泡中に含まれるCH₄濃度やCO₂濃度に、サイト間で大きな違いがあることを明らかにした。

This theme focused on climate forces in the atmosphere that play important roles in Arctic warming, especially CH₄ (greenhouse gas, GHG) and BC (light-absorbing aerosols), both are known to be short-lived climate forcers (SLCFs). For GHG studies, we took both top-down and bottom-up approaches. We also studied cloud microphysics and ice nucleating particles (INP). By conducting accurate measurements and state of the art numerical model calculations, we contributed to reductions in uncertainties in radiative forcing of these SLCFs as well as effectiveness of mitigation measures.

Study on Arctic BC

We established an Arctic BC COSMOS Measurement Network (ABCM-net) using the COSMOS which we have developed. We also conducted atmospheric BC measurements on the R/V *Mirai* Arctic cruise and during AWI aircraft experiment. BC concentrations in snowpack were also measured across an extensive area of the Arctic. We found that BC in snowpack reported in previous studies was largely overestimated. By improving numerical models, better estimates in BC radiative forcing were provided.

Study on Arctic Clouds and INP

We found that INP concentrations in the Arctic increased in summer due to dust from glacial outwash sediments. This high ice nucleating ability was likely due to presences of organic substances. First continuous measurements of cloud microphysical properties in the Arctic were also carried out and their seasonal variations were revealed.

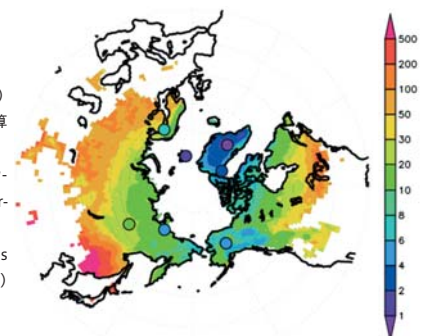
Greenhouse Gases: Top-down Approach

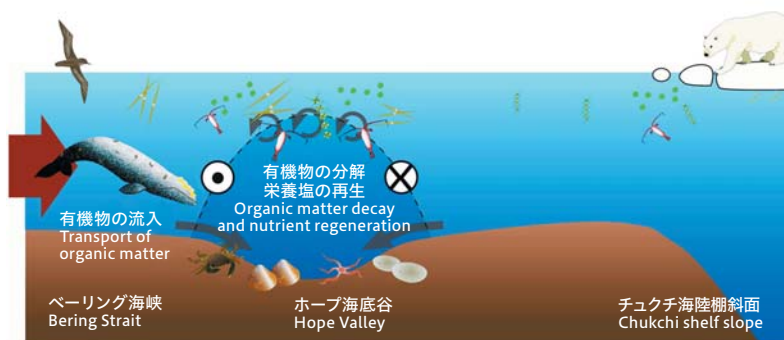
In the “top-down” studies, sources/sinks as well as processes controlling GHG concentrations were studied from measurements of their atmospheric concentrations at the ground stations, commercial aircraft and R/V *Mirai*. We evaluated CO₂ sources/sinks and importance of biogenic CH₄ sources to the CH₄ variations.

Greenhouse Gases: Bottom-up Approach

In the “bottom-up” studies, long-term flux measurements of CH₄ were carried out at two larch forest in eastern Siberia and a black spruce forest in interior Alaska. We revealed how the ecosystem CH₄ budget responds to environmental changes. The observation data were used to adjust environmental parameters for the terrestrial ecosystem models. Investigating the amount of organic carbon contained in the underground ice clarified that the concentrations of CH₄ and CO₂ present in underground ice bubbles greatly varies among sites.

積雪中BC濃度の測定値 (丸印) とMRI-ESM2数値モデル計算値との比較 (単位はng g⁻¹)
BC concentrations in snowpack. Circles represent observations and color map shows model calculations (MRI-ESM2) (unit is ng g⁻¹)





基礎生産の増加 [秋季ブルーム] High primary production [Autumn bloom]

チュクチ海ホープ海底谷での秋季ブルームの模式図。図中の○、および⊗の記号は、それぞれ図の裏から表に向かう方向の流れ、および図の表から裏に向かう方向の流れを表す。

Autumn bloom in Hope Valley in the Chukchi Sea. ⊙ and ⊗ represent flows from the back to the face of the figure and from the face to the back of the figure, respectively.

北極域における海洋環境変動の実態の理解と、その低次生態系や気候学的な影響の評価を目的として、4つの研究グループが、海洋地球研究船「みらい」やその他船舶を用いた、太平洋側北極海を中心とする現場観測、係留系時系列観測、室内実験、数値実験などを実施して研究を進めた。各グループの具体的な成果としては以下があげられる。

- 1) 北極海の生物学的ホットスポットであるチュクチ海南部のホープ海底谷に世界ではじめて係留系を設置し、水温、塩分、溶存酸素、濁度、動植物プランクトンの活動状況などのデータを取得した。その結果、植物プランクトンは海氷融解期である春季だけでなく秋季にも大增殖（ブルーム）が起きること、その原因はホープ海底谷で有機物が分解されて生じる栄養塩であること、分解過程でCO₂が生じるため海底で海洋酸性化が進行することなどを明らかにした。
- 2) 海洋環境の変化が植物プランクトン群集動態におよぼす影響について、培養実験を実施して検証した。チュクチ海北部で採水した海水の温度、CO₂濃度、塩分をさまざまな設定にし、昇温と酸性化により小型の植物プランクトンが増える傾向、つまり、北極海の環境変化が植物プランクトン群集のサイズ組成を小さい側にシフトさせる効果があることを、世界ではじめて定量化することに成功した。
- 3) 衛星搭載の干渉合成開口レーダー高度計による観測データを用いて地衡流の流線関数を定義する海面力学高度（月平均）を導出し、冬季北極海の海洋循環が大気場・海氷運動にともなって月平均ベースで刻々と変動することがわかったほか、海面力学高度から季節海水域における貯淡水量変動が推定可能であることなどが示唆された。
- 4) 予測に重要だが実態把握が十分でない海水厚分布に関して、チュクチ海北東部沿岸域での超音波水圧計の係留観測により、海水の喫水深の時系列データを得ることができた。これにより海水厚の変動は北東風の卓越による沿岸ポリニヤの発生などの影響を受けることが明らかになった。

また、テーマ6、7と連携しながら、Value Tree Analysis (VTA)を応用した日本の北極科学活動と政策の関係の可視化、北極学習ツール（ボードゲーム『The Arctic』）の製作を進め、従来の自然科学研究だけではない成果をあげることが特筆される。

To understand the situation of environmental changes of the Arctic Ocean and assessing the lower trophic ecosystem and climatological impacts, four research groups in this theme conducted on-site observations mainly in the Pacific sector of the Arctic Ocean, by R/V *Mirai* along with other ships, time-series measurements of mooring systems, laboratory experiments, and numerical experiments. The research highlights of the theme are as follows:

- 1) We successfully collected time-series data on water temperature, salinity, dissolved oxygen, turbidity, and dynamics of zooplankton and phytoplankton activities by year-long mooring measurement. The data revealed that phytoplankton blooms occur not only spring when sea ice is melt, but even in fall. Nutrient generated by organic matter decomposition plays an important role to the fall blooms in the Hope Valley. Using the same mooring data, we also found that CO₂ released during decomposition enhances ocean acidification at the bottom of the Hope Valley.
- 2) For better understanding of the impacts of rapid environmental changes on the Arctic ecosystem, we conducted shipboard experiments to examine the effects of temperature, CO₂, and salinity on phytoplankton dynamics. Our results suggest that the smaller phytoplankton tend to dominate in the shelf edge region of the Chukchi Sea in the western Arctic Ocean under multiple environmental perturbations.
- 3) Satellite observation data of Synthetic Aperture Interferometric Radar Altimeter (SIRAL) were used to figure out the sea surface dynamic height (monthly average) that can define the geostrophic current, thereby unveiling the fact that changes of the Arctic Ocean circulation in winter. This result suggests that the sea surface dynamic height can be used to estimate the change in freshwater storage capacity in the seasonal sea ice zones.
- 4) The mooring observation using an ultrasonic water pressure gauge in the coastal areas of the northeastern Chukchi Sea enabled us to obtain time-series data on sea-ice draft. Using the data, we investigated the sea ice thickness distribution that is important for prediction but whose situation is still not sufficiently understood. This also clarified that the change in sea ice thickness can be affected by coastal polynya formed by predominantly northeast winds.

It is also worth noting that we initiated and produced some results, such as applying the Value Tree Analysis (VTA), to encourage social and natural sciences for the Arctic. For public outreach of Arctic research, we were able to develop an Arctic educational tool (a board game named *The Arctic*) in collaboration with Themes 6 and 7.



北極域に関連した気候変動の予測可能性を理解するため、(1) 気候予測可能性の科学的基盤の確立、(2) 中長期気候変動予測の手法の確立を目指して研究を実施した。

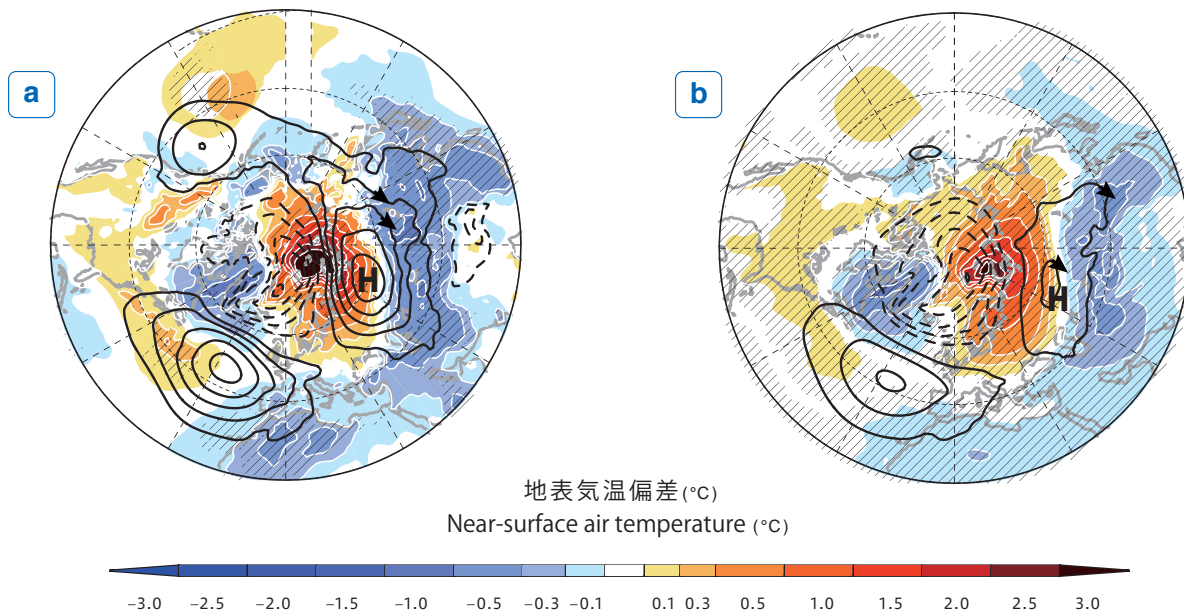
(1) では北極域環境を構成する大気・海洋・雪氷など多圏間の相互作用、および北極域外の気候への遠隔影響に関する研究を実施し、海水変動が引き起こす北極域成層圏の応答や陸域過程をととした気候メモリーが気候変動およびその予測可能性にとって重要な役割を果たすことを明らかにするとともに、熱帯や南半球といった北極域からかけ離れた地域の気候が北極域の気候に影響する過程を解明し、それにもとづく気候変動の予測可能性の存在、あるいは逆に予測可能性の制限要因の存在を示した。

(2) では気候モデルを利用した季節から数十年の北極域気候の予測に関する研究を実施した。特に、海水をひとつの焦点として、海水そのものの予測に向けた研究、海水変動に影響をおよぼす大気海洋過程の研究、および気候温暖化における海水の応答および役割に関する研究を行い、夏季の海水面積の予測可能性が、北極海の太平洋側における海水の持続性（質量または体積）と関連することなどを明らかにした。また、予測における重要要素でありながら観測による実態把握が十分でない海水厚分布に関して、海水域の季節予測のために開発してきた手法を応用することによりデータセット作成に向けた基盤を確立した。

The goal of this theme is to evaluate the predictability of Arctic-related climate variations, wherein we aim to: (1) establish the scientific basis of climate predictability; and (2) develop a method for predicting and projecting medium- and long-term climate variations.

In target (1), we carried out a study on the interaction among the multiple spheres that constitute the Arctic environment, such as atmosphere, ocean and cryosphere, as well as on the remote influence on climates outside the Arctic region. We demonstrated that the Arctic stratospheric response to sea ice changes and the climate memory through the land process play a crucial role in climate variability and its predictability. We also clarified the process of how Arctic climate is affected by the climates of areas far from the Arctic region, such as tropical areas and the southern hemisphere, and indicated the possibility of climate predictability based on the process, or on the other hand, the presence of factors that limit the predictability.

In the target (2), we conducted a study on seasonal to multi-decadal Arctic climate prediction utilizing climate models. We especially focused on sea ice processes and studied prediction of sea ice itself, atmospheric and oceanic processes affecting sea ice variability, and sea ice response to, and roles in, climate warming. This study revealed that the predictability of the summer sea ice extent is associated with the durability (mass or volume) of sea ice in the Pacific sector of the Arctic Ocean. In addition, a basis for creating a dataset of sea ice thickness distribution, which is important for prediction but not yet sufficiently understood, was established by applying the methodology developed for seasonal sea-ice extent predictions.





底曳トロール網で採集した魚類・底生生物
Fishes and benthos collected by bottom trawling

本テーマでは、地球温暖化とそれともなう海水減少に対する北極域における生物の応答や変化のメカニズム解明、低緯度域を起源とする汚染物質の北極域の生物への影響、生物多様性を保全するために必要な生物相の全容解明、生態系の構造、機能、生態系サービスなどの理解の深化といった目的を達成するために、ふたつの研究課題をおいた。すなわち、研究課題1: 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評価と研究課題2: 北極生態系の生物多様性研究である。

研究課題1では、北ベーリング海陸棚域の高い生産力を維持するプロセスや、環境変化に対する海洋生物の応答（移動、シフト）について、過去の報告以上に詳しく理解することができた。また、汚染物質の影響も評価することができた。今後の環境の変化に対する予測を行うには、各プロセスについてより一層の理解を要するが、いずれの成果も科学的に重要であると同時に、将来の北極海生態系保全と水産資源管理に関する意思決定の際に必要な知見となったと考えられる。

研究課題2では、さまざまな生物種を対象にした調査・研究により新たな知見が得られた。分野によっては北極圏植物相・動物相保存作業部会（CAFF）専門家グループのメンバーに加わり、ACへの貢献の一端を担うことができた。また、保全施策への提言の実施や先住民や日本国民への研究成果の情報提供を行うことにも注力できた。本テーマの実施により、現在の北極生物多様性の実態把握や生態系機能の解明を中心とする成果が得られたが、今後も生物多様性の変化、連動する生態系の構造・機能の変化をより正確に把握し、メカニズムを解明することが必要である。

This theme is composed of two research projects to achieve the following goals: clarifying the mechanism of biological response to, and changes due to, global warming and sea-ice reduction caused thereby in the Arctic region; fully identifying the impacts of pollutants originated in the low-latitude regions on Arctic creatures, as well as on the biota necessary for biodiversity conservation; and deeply understanding the ecological structure, functions, and services. Specifically, the projects are Research Project 1: Estimation of the Mechanism of the Arctic Ocean Ecosystem Response to Environmental Changes and Human Impacts, and Research Project 2: Study on the Biodiversity of Arctic Ecosystem.

In Research Project 1, we successfully understood, in more detail than our previous reports, the process of maintaining the high productivity and the marine biological response (advection, shift) to environmental changes in the shelves in the Northern Bering Sea. The impact of pollutants was also estimated in the research project. Further understanding of each process is necessary to predict future environmental changes, however, the findings from the two research projects are scientifically important, while at the same time they are also considered to have become helpful in the decision-making process for future conservation of marine ecosystem and fishery resources management in the Arctic Ocean.

In Research Project 2, we obtained new knowledge through research and study of various species. In some fields, we joined an expert group of Conservation of Arctic Flora and Fauna (CAFF) and played a part in contributing to Arctic Council (AC). We were also dedicated to making recommendations on conservation policies and sharing our research findings with the native people and the people of Japan. Conducting this theme allowed us mainly to ascertain the present situation of Arctic biodiversity and also clarify the ecosystem functions. However, it is still necessary to have a better understanding of changes in biodiversity and shifts in the ecosystem structure and functions linked therewith for clarification of the mechanisms.



クジュアラピック（カナダ）の調査地
Study site in Whapmagoostui-Kuujuarapik, Canada



北極の人間と社会：持続的発展の可能性

People and Community in the Arctic: Possibility of Sustainable Development

実施責任者 田畑 伸一郎 / Principal Investigator: Shinichiro Tabata



ビーバーのダムに隙間を開ける内陸アラスカ先住民/Indigenous people in Alaska opening up gaps in beaver dams

本テーマは他の自然科学の研究と連携し、研究成果をいわゆるステークホルダーに効果的に伝えるという役割を担っている。北極域における経済開発の持続可能性を考察するという目的を設定し、1) 北極海航路の利用と資源開発、2) 環境と人間の相互作用、3) 北極ガバナンスの3つの観点から研究を行った。また、1)～3)を縦断する形で数多くの国際シンポジウムやセミナーを開催した。

1) では北極海航路、資源開発、通信について研究を進め、貨物輸送の動向分析、氷海航行の実態把握と航行可能性の分析、海水状況の整理、貨物輸送のコスト分析等を行った。2) ではロシアのサハ共和国、グリーンランド、アラスカを舞台に、自然科学研究と連携してフィールド調査を行った。サハでは永久凍土融解の状況とその地域住民の生活への影響について、文化人類学、地理学、歴史学、地質学、環境生態学の研究者が共同で調査にあたる一方、環境経済学の視点から森林火災の影響についての研究を進め、環境教育教材の作成も行った。内陸アラスカとグリーンランドでは、野生動物（ビーバー、キングサーモン、クジラ等）と人間の関係の理解に取り組み、捕鯨の捕獲枠算定、環境モニタリングの制度化といった事象の考察を行った。このような取り組みは、科学的な手続きを経てうみ出される知識と、先住民や地域住民の持つ在来知の、有機的な結合のテストケースとなると考えられる。3) では北極国際法政策研究、北極の安全保障環境に関する研究、非生物資源開発をめぐるガバナンスに関する研究、さらには温暖化にともなう地政学的环境の変化が北極国際関係にどのような変化をおよぼしたかに関する研究が行われた。

また、ACの作業部会に関する意見交換会や、「北極に関する政府と研究者との懇談会」を通じた政府関係者との意見交換をふまえ、政策決定者向け報告書を作成した。

本テーマの成果はまとまった形として、田畑伸一郎・後藤正憲編著『北極の人間と社会：持続的発展の可能性』として2020年2月に出版した。

This theme is linked with other natural science research programs (theme 1 to 6), thereby playing a role in sharing research findings with our stakeholders in an effective manner. To consider the sustainability of economic development in the Arctic region, we conducted a research program from the following three perspectives: (1) utilization of the Northern Sea Route and resource development, (2) interaction between the natural environment and humans, and (3) Arctic governance. We also held a number of international symposiums and seminars to discuss subjects (1) through (3).

In subject (1), while conducting studies on the Northern Sea Route, resource development, and communication, we analyzed the circumstances of freight transportation; ascertained the present situation of, and explored the possibilities of, ice navigation; collected sea-ice information, and performed a cost analysis for freight transportation.

In subject (2), we carried out a field survey in the Sakha Republic in Russia, Greenland, and Alaska in cooperation with other natural science research programs. Researchers of cultural anthropology, geography, history, geology, and environmental ecology jointly investigated the situation of permafrost thaw in Sakha and associated impacts on local residents around the area. We also created teaching materials for environmental education. In interior Alaska and Greenland, we figured out the relationship between wild animals and humans, while also examining relevant events, such as calculating the whaling catch quotas and developing an environmental monitoring system. These initiatives are expected to become test cases for an organic integration of scientifically derived knowledge and the indigenous knowledge the natives and local residents have.

Studies conducted in subject (3) include Arctic international law and policy, the Arctic security environment, governance of non-living resource development, and changes to Arctic international relations caused by global warming-driven changes in the geopolitical environment.

We also created reports for policymakers based on dialogues with government officials through discussion meetings on the AC working group and round-table conference on Arctic between government officials and researchers.

The findings from this theme were published in February 2020 as a book titled *People and Community in the Arctic: Possibility of Sustainable Development*, edited by Shinichiro Tabata and Masanori Goto.

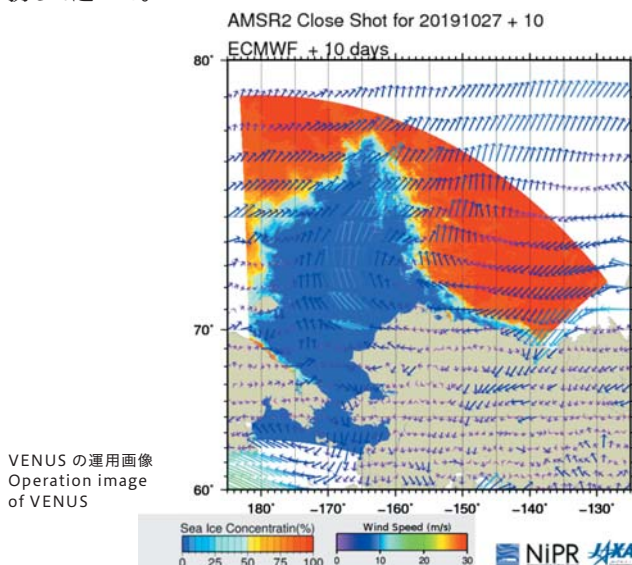


プロジェクトのデータセンターとしての役割を担いつつ、学際的な共同研究を促進するためのデータ解析プラットフォームの開発、北極海の観測データ・モデル出力を用いた情報配信サービスの開発に取り組んだ。

データセンターとしては、各テーマが実施する各種調査・観測およびモデル・同化研究のデータを収集し、ADSに登録・公開するとともに、北極研究活動のデータベース「Arctic Research Directory (arDirectory)」に調査・観測および研究の情報を網羅的に登録・公開し、データ検索システム「極 (KIWA)」によりデータへの容易なアクセスを実現した。また、データアーカイブとしての機能も持ち、プロジェクトで取得された大半の実データを登録・公開する一方、必要に応じて Digital Object Identifier (DOI) を付与することでデータ公開を支援した。

さらに、オンライン可視化アプリケーション「VISION」の大幅な機能強化を行い、衛星データやモデル計算結果等の2次元グリッドデータや、グリーンランド等の自動気象観測装置 (AWS) 等で取得した時系列データ等がオンラインで可視化および解析できるプラットフォームの構築を推進した。また、準リアルタイムで極域環境を監視できるモニター「VISHOP」についても機能拡張や北極海氷分布予報の公開を行った。

小型デバイスを利用したIoT (Internet of Things) による技術開発として、航路支援サービス「VENUS」の機能強化を行い、船舶ごとにカスタマイズした海水密度等のデータ配信や、船舶上でのデータの可視化を実施した。特にプロジェクト後半の「みらい」航海では、欧州中期予報センター (ECMWF) の大気予報データを東京大学による海水・海洋結合モデル (IcePOM) に与えて計算した詳細な海水予測等の情報を「みらい」に配信し、安全な北極航海のサポートをするという、社会実装を視野にいたれたテスト運用をテーマ1と連携して進めた。



While this theme served as a data center for the projects, we were also engaged in developing a data analysis platform that facilitates interdisciplinary joint research programs, as well as an information delivery service utilizing model outputs from the observation data on the Arctic Ocean.

As the data center, we collected data from various researches and observations conducted in each theme as well as from models and assimilation studies, and registered them in the ADS for public disclosure. At the same time, these data and other research information were comprehensively registered in, and are now openly available on, the Arctic Research Directory (arDirectory). The data retrieval system, KIWA, also allows for easy access to such data. ADS also serves as a data archive that registers and releases most real data acquired from the projects, and assigned a digital object identifier (DOI) to the data as necessary to facilitate data disclosure. A major functional enhancement was also made to the online visualization application, VISION, in order to promote building the platform that performs an online visualization and analysis of satellite data, model calculation results, and other 2-D grid data, as well as of time-series data, etc., acquired from the Automatic Weather Stations (AWS) and other equipment in Greenland, etc. Furthermore, VISHOP, a quasi-real-time monitoring system for the polar region environment, was also functionally improved, and the Arctic sea-ice forecast was made available to the public as well.

As an IoT (Internet of Things) based technological development utilizing small devices, we enhanced the functionality of VENUS, a navigation support service, so that sea-ice concentration and other customized data can be delivered and data can be visualized on ships. Especially, in the R/V *Mirai* Arctic Cruise held in the latter half of the project, *Mirai* was provided with various information including detailed sea-ice forecast information that was calculated by feeding the climate forecast data from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) to the Sea-Ice and Ocean Coupled Model (IcePOM) of the University of Tokyo. This attempt was carried out in conjunction with Theme 1 as a trial operation for social implementation of the system of supporting safe Arctic cruises.

各テーマのメタデータ、データセット等の登録数

Number of the each theme's archived metadata, dataset etc. in ADS

	メタデータ Metadata	レベル0データ Level 0 data	レベル1データ Level 1 data	調査・観測情報 Research / Observation info.	モデル情報 Model info.
テーマ1 Theme 1	20	0	15	9	5
テーマ2 Theme 2	61	9	54	12	1
テーマ3 Theme 3	60	21	38	28	7
テーマ4 Theme 4	23	10	10	15	1
テーマ5 Theme 5	0	0	0	0	10
テーマ6 Theme 6	68	19	33	25	2
テーマ7 Theme 7	9	5	3	7	0
合計 / Total	241	64	153	96	26

2020年1月23日現在 (重複カウントを除く)

As of January 23, 2020, duplicates are eliminated



若手派遣

若手研究者派遣による人材育成及び国際連携

Program for Overseas Visits by Young Researchers

実施責任者 齊藤 誠一 / Principal Investigator: Sei-Ichi Saitoh

北極域の諸課題について高い専門性と多角的視座から俯瞰でき、かつ多様なステークホルダーと協力して課題解決に取り組むことができる、次世代の北極域若手研究者・実務者の育成に焦点をあわせて制度設計し、約5年にわたり、若手研究者海外派遣支援事業を実施した。その結果、短期派遣者22名、中・長期派遣者30名の合計52名の派遣を実現した。派遣者は最終目標の合計40名より12名多く、当初の目標を30%超えることができたほか、派遣先としても北極圏国8カ国へ42名を派遣し、全派遣者の80%に達した。北極圏国以外でも、北極研究で世界をリードするドイツのアルフレット・ウェゲナー極地海洋研究所 (AWI) に3名を派遣した。また、プロモーションを得た大学院生、研究者が派遣者全体の30～35%を占め、本事業をきっかけに3分の1の派遣者が将来への発展のチャンスを得ていることは本事業の成果のひとつといえる。

Over the past five years, we have conducted the Program for Overseas Visits by Young Researchers, which is designed to foster next-generation young Arctic researchers and professionals who are capable of seeing the big picture of Arctic issues from diversified perspectives with their high level of expertise and providing solutions in cooperation with various stakeholders. As a result, a total of 52 young researchers participated in this program, including 22 for short-term dispatch and 30 for medium- and long-term dispatch. The number of people dispatched was 12 more than the final target of 40, which exceeded the original target by 30%. In addition, 42 people were dispatched to eight Arctic countries, accounting for 80% of the total number of people dispatched. Other than the Arctic countries, three researchers were dispatched to Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI), a Germany-based world-renowned institution in the field of Arctic research. In addition, graduate students and researchers who gained a promotion constitute 30 – 35% of the total number of people dispatched. In other words, one-third of people dispatched through this program have opportunities for their future career after their participation, which is one of the successful results of this program.



専門家派遣

AC 等北極関連会合への専門家の派遣

Dispatch of Experts to Arctic -related Meetings

実施責任者 榎本 浩之 / Principal Investigator: Hiroyuki Enomoto

関係省庁の要請を受け、ACの作業部会をはじめとした北極関連の会合に当該分野の専門家を派遣し、日本の北極研究の成果を北極域の諸問題検討の場に届けることで、国際社会に貢献するだけでなく、科学技術外交の一環として日本のプレゼンスを高めることを目的とした。AC関連会合については北極圏監視評価プログラム作業部会 (AMAP) やCAFFなどの作業部会での科学的議論、Scientific Cooperation Task Force (SCTF) などのタスクフォース、Expert Group on Black Carbon and Methane (EGBCM) などの専門家グループの会合に、科学的な意見を表明できる専門家を派遣した。AC関連以外の会合についてはArctic Circle、Arctic Frontiersで複数回セッションを実施し、本プロジェクトを含む日本の北極研究の取り組みや成果を紹介した。5年間で19種類のAC作業部会・専門家グループの会合や国際会議等に、合計65回、のべ86名の専門家の派遣を行った。また、新たな試みとして、テーマ7と連携して我が国の政府関係者を交えた報告会や意見交換会を持ち、科学活動の方向や成果、可能な協力を積極的に伝達する経路を確立した。北極の科学と社会・政策を連携させる取り組みは我が国では本プロジェクト以前にはなかったものであり、こうして認知された本プロジェクトの活動が『第3期海洋基本計画』(2018年) 等において日本が実践する北極の課題解決に向けた科学研究活動として取り上げられた。日本の科学貢献と科学外交への期待の高まりは2020年の第3回北極科学大臣会合 (ASM3) 日本開催にもつながった。

At the request of relevant ministries and government offices, experts in specific fields were dispatched to the AC working groups and other Arctic-related meetings so that the findings from Japanese Arctic research activities were applied to solutions for various Arctic issues, thereby aiming not only to contribute to the international community, but also to boost Japan's presence as part of its science and technology diplomacy. With regard to AC-related meetings, experts capable of expressing scientific opinions were dispatched to Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), CAFF, and other working group-level scientific discussions, Scientific Cooperation Task Force (SCTF) and other task forces, and expert meetings such as Expert Group on Black Carbon and Methane (EGBCM). As for non-AC-related meetings, several sessions were held in the Arctic Circle and the Arctic Frontiers, where we introduced this project and other activities and findings of Japan's Arctic research. Over the past five years, 86 experts were dispatched to a total of 65 assemblies, including 19 AC working groups and expert groups related meetings, and international conferences. As our new initiative, we also held debrief sessions and roundtable conferences with Japanese government officials in collaboration with Theme 7 to establish a communication channel where directions, findings, and possible cooperation of our scientific activities can be actively delivered. ArCS project is the first initiative in Japan that connects Arctic science, society, and policies together. The activities in this project that gained recognition through the efforts were introduced in the *Third Basic Plan on Ocean Policy* (2018) as Japanese scientific research activities that offer solutions for Arctic issues. The heightened expectations for Japan's scientific contribution and science diplomacy also led to the hosting of the 2020 the Third Arctic Science Ministerial (ASM3) in Japan.



国際連携拠点の整備

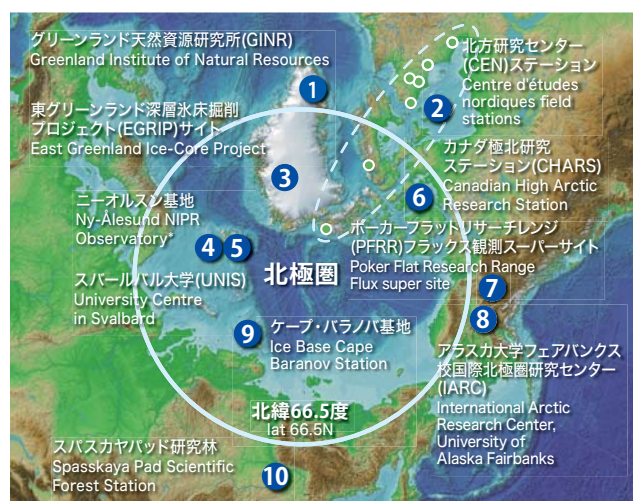
Establishing Research and Observation Stations

拠点整備

実施責任者 榎本 浩之 / Principal Investigator: Hiroyuki Enomoto

アクセスの容易でない北極域に拠点を整備し、観測や調査を実施する環境を整えることは、多くの研究者にとって、北極研究を始めたときからの課題であった。そこで本プロジェクトでは、ほぼ環北極域をカバーするように拠点の整備を進め、日本の研究者の北極域における活動を支え、日本の北極研究の舞台を広げることに大きく貢献した。整備した拠点ではBC観測（図④⑦⑨⑩）、降雪・雪の同位体観測（図⑥⑧⑨）、CO₂・CH₄フラックス観測（図④⑦⑩）など、数多くの国際共同研究が実現した。国と国や研究機関同士の関係において、国際連携拠点の存在は信頼や協力の土台となる。この5年間の取り組みが布石となり、一層の協力関係が進展することが期待される。

Since Arctic research began, it had been a challenge for many researchers to build a research station and create an environment for observation and research activities in the hard-to-reach Arctic region. In ArCS project, remote research stations were established that covers almost all the areas in the pan-Arctic region and supports the activities of Japanese researchers there, thereby greatly contributing to providing more opportunities for the Arctic research of Japan. As a result, these research stations allowed for many international joint research programs, such as BC observations (figures ④, ⑦, ⑨, and ⑩), isotope observations of snowfall and snowflakes (figures ⑥, ⑧, and ⑨), and CO₂/CH₄ flux observations (figures ④, ⑦, and ⑩). An international collaboration base serves as a foundation of trust and cooperation in the relationships between countries or between research institutions. Our efforts over the past five years are expected to become a catalyst for further promotion of our partnerships.



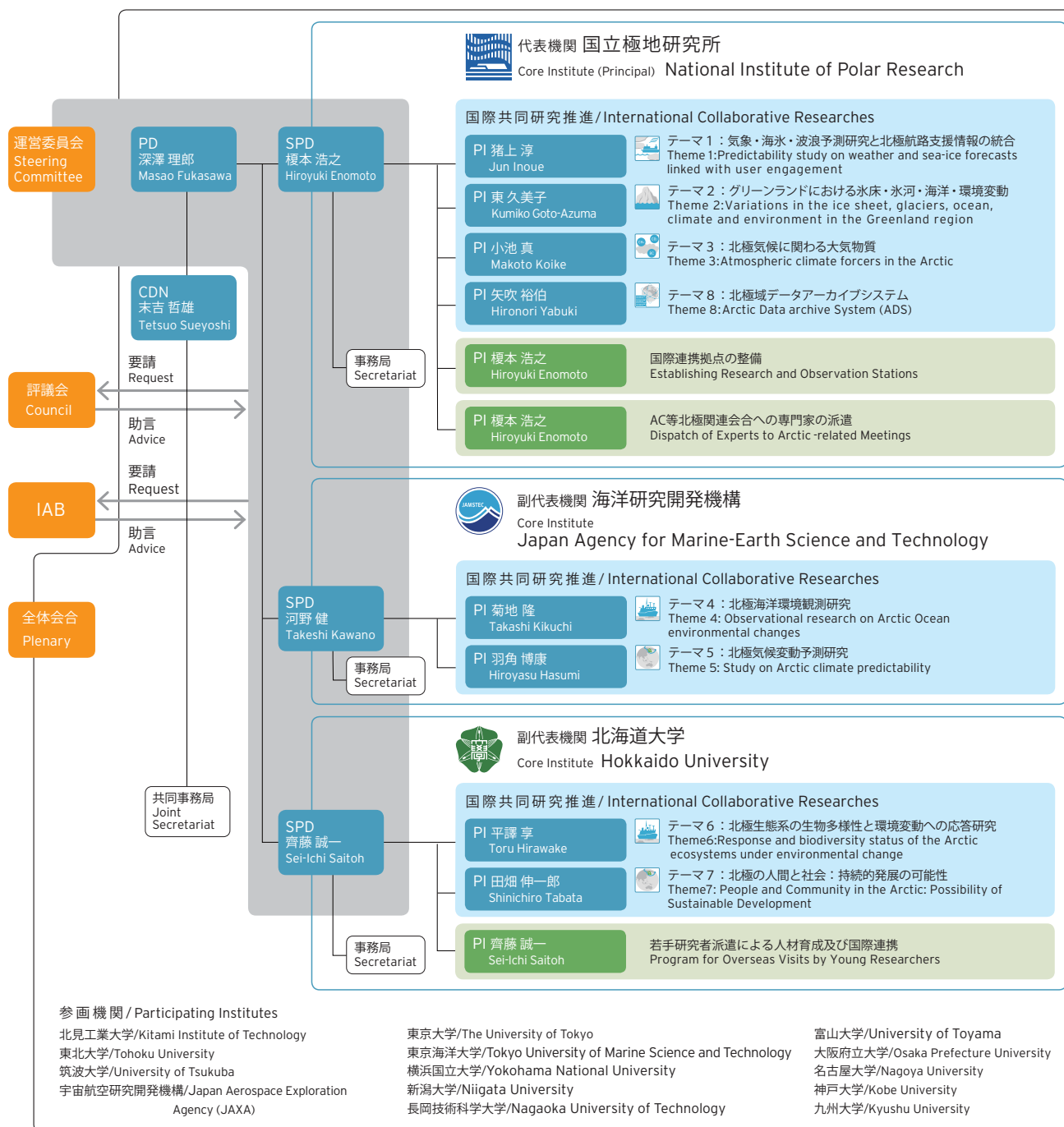
*former Ny-Ålesund Research Station

研究業績数 / Number of the research achievements

	2015	2016	2017	2018	2019	合計 / Total
論文発表 Paper presentation	82	128	165	233	171	779
査読あり論文 (published) Peer-reviewed (published)	73	104	118	161	114	570
査読あり論文 (submitted) Peer-reviewed (submitted)	0	0	0	6	30	36
査読なし論文 (published) Non peer-reviewed (published)	9	24	47	66	27	173
査読なし論文 (submitted) Non peer-reviewed (submitted)	0	0	0	0	0	0
誌上発表 Published in a journal and/or magazine	6	15	14	22	7	64
書籍出版 Published as a book	3	4	6	4	4	21
学会および学会に準ずる会合での発表 Presented at an academic conference or a meeting equivalent thereto	215	463	540	513	209	1940
講演 Lecture	9	66	87	102	20	284
受賞 Award granted	0	2	6	9	3	20

	2015	2016	2017	2018	2019	合計 / Total
教材等作成 Development of teaching materials, etc.	0	0	0	0	2	2
取材対応 Media coverage	17	30	44	66	27	184
新聞・ニュース Newspaper・News	11	7	26	36	12	92
テレビ TV	0	6	6	17	7	36
ラジオ Radio	1	2	1	1	1	6
雑誌 Journal and/or magazine	4	5	2	6	5	22
ウェブコンテンツ Web content	1	10	9	6	2	28
プレスリリース News release	4	12	11	22	4	53
プレスリリース (日) News release (Japanese)	3	7	8	11	4	33
プレスリリース (英) News release (English)	1	5	3	11	0	20

集計対象期間：2015年9月10日～2019年9月30日 / From September 10, 2015 to September 30, 2019



PD:プロジェクトディレクター/Project Director SPD:サブプロジェクトディレクター/ Sub Project Director PI:実施責任者/Principal Investigator
IAB:International Advisory Board CDN:コーディネーター/Coordinator

北極域研究推進プロジェクト (ArCS) 2015-2020研究成果報告書[要約版]
Arctic Challenge for Sustainability (ArCS) 2015-2020 Report [Summary]

発行日：2020年3月23日

Published on March 23, 2020

編集・発行：北極域研究推進プロジェクト事務局（〒190-8518 東京都立川市緑町10-3 国立極地研究所内）
Editing and publication by Secretariat,

Arctic Challenge for Sustainability project (10-3, Midoricho, Tachikawa, Tokyo 190-8518, Japan)

©Arctic Challenge for Sustainability, 2020 All rights reserved

プロジェクトの終了とともに、ウェブサイトのURLが変わります
URL changes when the project ends.

2020年3月31日まで <https://www.arcs-pro.jp/> 2020年4月1日以降 <https://www.nipr.ac.jp/arcs/>
Until March 31, 2020 <https://www.arcs-pro.jp/en/> From April 1, 2020 <https://www.nipr.ac.jp/arcs/e/>