

国立国会図書館 調査及び立法考査局

Research and Legislative Reference Bureau
National Diet Library

論題 Title	第4章 北極域における海洋観測研究
他言語論題 Title in other language	Chapter 4 Arctic Ocean Observational Research
著者 / 所属 Author(s)	猪野千尋 (INO Chihiro) / 国立国会図書館調査及び立法考査局 文教科学技術課
書名 Title of Book	海洋をめぐる動向と課題 科学技術に関する調査プロジェクト報告書 (Trends and Issues in Ocean Affairs)
シリーズ Series	調査資料 2024-5 (Research Materials 2024-5)
編集 Editor	国立国会図書館 調査及び立法考査局
発行 Publisher	国立国会図書館
刊行日 Issue Date	2025-3-27
ページ Pages	95-123
ISBN	978-4-87582-938-6
本文の言語 Language	日本語 (Japanese)
摘要 Abstract	北極域の環境・社会的動向を概説し、日本及び諸外国の研究体制を比較するとともに、海洋観測研究の手法を紹介する。また、日本が北極域において科学技術の面から果たし得る役割をまとめる。

* この記事は、調査及び立法考査局内において、国政審議に係る有用性、記述の中立性、客観性及び正確性、論旨の明晰（めいせき）性等の観点からの審査を経たものです。

* 本文中の意見にわたる部分は、筆者の個人的見解です。

第4章 北極域における海洋観測研究

国立国会図書館 調査及び立法考査局
文教科学技術課 猪野 千尋

目 次

はじめに

I 北極域の概要及び動向

- 1 北極域とは
- 2 気候変動と日本への影響
- 3 北極海航路の利用
- 4 資源開発
- 5 国際連携の経緯

II 日本及び諸外国の研究体制

- 1 日本の北極域研究の経緯
- 2 日本及び諸外国の研究体制の比較

III 北極域における海洋観測の手法

- 1 船舶による観測
- 2 係留系・漂流ブイによる観測
- 3 海中ロボットによる観測
- 4 人工衛星による観測

IV 北極域研究のデータ活用と課題

- 1 北極域研究データの活用
- 2 北極域における研究活動の課題

おわりに

【要 旨】

北極域は、気候変動や資源開発、航路利用等により世界的に重要性が高まっている。さらに、北極域における気候変動は日本の異常気象や水産資源にも影響し、航路やエネルギー資源の開発は日本にとって有益となる可能性があるなど、北極域の動向は日本の社会や経済にも影響を与える。

北極海沿岸国ではない日本は、科学的知見の提供が重要な役割であり、特に海洋観測研究においては1990年代から様々な活動が行われている。海洋観測の手法は、船舶、係留系、漂流ブイ、海中ロボット、人工衛星に分けられ、各々に利点と課題があるため各手法を組み合わせることで効果的な観測を実施することが可能である。観測したデータは、船舶に対し海水情報として提供されるなど社会にも還元される。また、今後の北極域研究においては、ロシアとの科学協力関係の変化や国内に加え国際的な研究人材の育成に対応する必要がある。日本は、新たな北極域研究船の建造や人工衛星の開発とそれらの運用等、今後より一層北極域における海洋観測を発展させることとしており、得られた知見を国際社会で広く活用することが期待される。

はじめに

北極域は、急速に温暖化が進行する中で、北極海航路（Northern Sea Route: NSR）の利用や石油、液化天然ガス（LNG）等の資源開発も進められており、科学的な側面に加え経済・社会的な側面からも重要性が高まっている。また、南極と異なり⁽¹⁾、中央部の公海を除けばロシアや米国、カナダ等の北極海沿岸国の領域主権が及ぶ地域であり、研究活動の動向が国際情勢に影響されやすい。

日本が北極域の研究を行う目的は、環境変化の実態把握とプロセス解明、気象気候予測の高度化などを推進することにより、北極の急激な環境変化が日本を含む人間社会に与える影響を評価し、研究成果の社会実装を目指すとともに、北極における国際的なルール形成のための法政策的な対応の基礎となる科学的知見を提供することであると整理される⁽²⁾。特に、海洋は、人為起源二酸化炭素を吸収することで大気中の二酸化炭素濃度を抑えるなど環境や社会に大きな影響を与えており⁽³⁾、北極海域では温暖化・淡水化⁽⁴⁾・酸性化⁽⁵⁾が進行するとともに、さらに、北極海の環境変化が中・

* 本稿におけるインターネット情報の最終アクセス日は、令和7（2025）年2月6日である。筆者は令和6（2024）年9月3日に、国立研究開発法人海洋研究開発機構北極環境変動総合研究センター（神奈川県横須賀市）を訪問して菊地隆同センター長に対し聞き取り調査を行った。貴重な時間を割き調査に協力してくださった方々に、この場を借りて感謝申し上げる。本稿において出典を明記していない記述の一部には、その際の聞き取り内容を反映している。ただし、本稿の文責は筆者に属し、訪問先の公式見解を示すものではない。

- (1) 南極地域は、1961年に発効された「南極条約（The Antarctic Treaty）」（昭和36年条約第5号）により、同地域の平和的利用、科学的調査の自由、領土主権の凍結等が定められている（「南極条約・環境保護に関する南極条約議定書」2025.1.9. 外務省ウェブサイト <https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/kankyo/jyoyaku/s_pole.html>）。
- (2) 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ほか「北極域研究加速プロジェクト（ArCS II）2023年度成果報告書」2024.5.27, p.1. <https://www.nipr.ac.jp/arcs2/wordpress/wp-content/uploads/2024/06/arcs2_2023_report.pdf>
- (3) IPCC, Valérie Masson-Delmotte et al., eds., *Climate Change 2021: The Physical Science Basis: Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2021, pp.79-80. <<https://doi.org/10.1017/9781009157896>>
- (4) 海水の融解や河川からの流入による淡水の増加や、北極海上の大気循環の変化（カナダ側北極海における淡水の蓄積）の影響等が原因とされる（B. Rabe et al., “Arctic Ocean basin liquid freshwater storage trend 1992–2012,” *Geophysical Research Letters*, Vol.41 Issue 3, 16 February 2014, pp.964–965. <<https://doi.org/10.1002/2013GL058121>>;

低緯度を含む全球規模の気候変動や水循環にも影響している⁽⁶⁾。しかしながら、北極海は海水が存在するため、他の海域と同じように観測できない。特に、海水直下の海洋環境調査はより一層困難であるため、十分なデータを得られず科学的知見が不足しているとされる⁽⁷⁾。それゆえ、国際的に連携した北極域における海洋観測が必要となる。海洋観測では、海水の温度、塩分濃度、電気伝導度、二酸化炭素濃度、プランクトン等や、海流の流向、流速、海水の面積、密接度、厚さ等の様々な科学的性質を調査する。

本稿では、気候変動の影響や、北極海航路の現状、海洋エネルギー資源、国際連携の取組など北極域の概要及び同地域をめぐる国際的な動向を概説し（Ⅰ）、北極域に対する日本の主な科学研究活動の経緯と諸外国の研究体制を整理する（Ⅱ）。その上で、北極域における海洋観測の手法について利点や課題をまとめる（Ⅲ）。さらに、海洋観測によって得られたデータ、特に海水データの活用方法を紹介するほか、北極域研究における課題をロシアとの科学協力関係及び研究人材育成の観点から論じる（Ⅳ）。

Ⅰ 北極域の概要及び動向

1 北極域とは

北緯 66 度 33 分以上の地域は「北極圏」と呼ばれ、1 年間に 1 日以上極夜（太陽が 1 日中上らない日）及び白夜（太陽が 1 日中沈まない日）⁽⁸⁾が生じる。一方、「北極域」の厳密な定義は一義的ではなく科学的分野によって異なり、天文学的には「北極圏」以北の地域、気象学的には極前線帯（寒帯気団と北極気団の境界となる前線）以北の地域、気候学的には最暖月の平均気温が 10 度以下の地域等とされる⁽⁹⁾が、一般には、「北極圏」及びその周辺地域が「北極域」と呼ばれ、本稿でも同様の定義とする。

北極点を中心にユーラシア大陸と北米大陸に囲まれた海域が「北極海」であり、沿岸国である米国、カナダ、ロシア、ノルウェー、デンマーク（自治領であるグリーンランドが北極海に面する。）に、スウェーデン、フィンランド、アイスランドを加えた 8 か国が「北極圏国」とされる⁽¹⁰⁾（図 1）。

領海の基線（低潮線）から外側 200 海里（約 370km）の線までの海域（領海を除く。）並びにその海底及び海底の下は、排他的経済水域（EEZ）である。沿岸国は EEZ において、天然資源の探査・開発、人工島の設置、海洋の科学的調査、海洋環境の保全等に関する権利、管轄

Amy Solomon et al., “Freshwater in the Arctic Ocean 2010–2019,” *Ocean Science*, Vol.17 Issue 4, 17 August 2021, pp.1088-1095. <<https://doi.org/10.5194/os-17-1081-2021>>。

(5) 二酸化炭素が海水に溶けると水素イオンが発生しその大部分は消費されるが、一部の水素イオンが残ることで、長期にわたり海水の pH が低下することを「海洋酸性化」と呼ぶ。水温が低いほど二酸化炭素が溶けやすくなるため、北極海など高緯度地域では酸性化が進みやすく、特に北極海は河川からの淡水の流入もあり、世界の海で最も大きな pH 低下が予測されている。海洋酸性化は、海洋生物への影響、特に石灰化生物への影響（炭酸カルシウムの殻や骨格が作りにくくなる）が強く懸念されている（川合美千代・張圓昕「北極海の海洋酸性化」『地球化学』53 巻 4 号, 2019, pp.173-175, 179. <<https://doi.org/10.14934/chikyukagaku.53.173>>）。

(6) 北極域研究推進プロジェクト事務局編『北極研究推進プロジェクト（ArCS）2015-2020 研究成果報告書』2020, p.75. <https://www.nipr.ac.jp/arcs/about/pamphlet/arcs_summary2020.pdf>

(7) 菊地隆氏からの聞き取りによる。

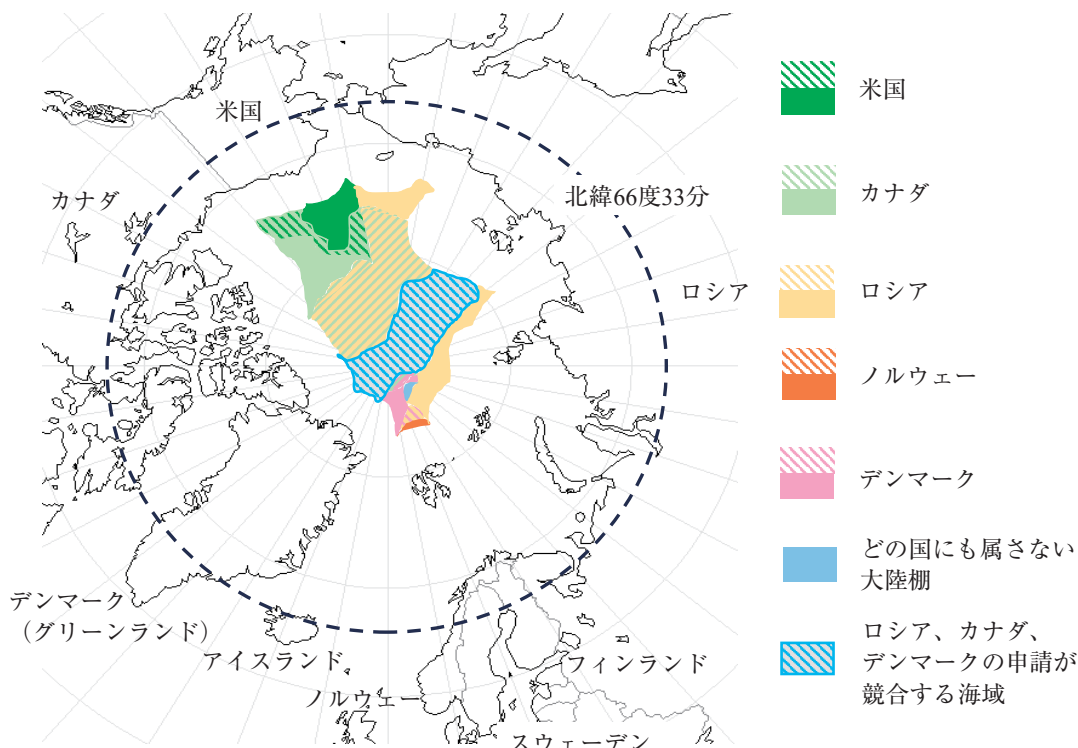
(8) 新田尚ほか編『キーワード気象の事典』朝倉書店, 2002, p.135.

(9) 南極 OB 会編集委員会編『北極読本—歴史から自然科学、国際関係まで—』成山堂書店, 2015, pp.2-3.

(10) 石原敬浩『北極海—世界争奪戦が始まった—』PHP 研究所, 2023, pp.30-31.

権を有する⁽¹¹⁾。大陸棚は、原則として領海の基線から外側 200 海里（約 370km）の線までの海域（領海を除く。）の海底及びその下である⁽¹²⁾が、地質的及び地理的条件等によっては「海洋法に関する国際連合条約（United Nations Convention on the Law of the Sea）」（平成 8 年条約第 6 号。以下「国連海洋法条約」）第 76 条の規定に従い更に外側まで延長することが可能である。大陸棚の申請は国際連合の「大陸棚限界委員会（Commission on the Limits of the Continental Shelf: CLCS）」に対して行うが、北極海においては、ロシア、カナダ、デンマーク等の主張が競合している⁽¹³⁾（図 1）。

図 1 北極海沿岸国の大陸棚延長申請の状況



- (注 1) 枠線で囲まれた斜線部はロシア、カナダ及びデンマークの大陸棚申請が競合している海域を、枠線で囲まれていない斜線部は 2 国間の大陸棚申請が競合している海域を示す。
- (注 2) 米国は国連海洋法条約を批准していないが、同条約第 76 条における大陸棚延長制度を国際慣習法とみなし、2023 年 12 月 19 日に大陸棚の延長を発表した。U.S. Department of State, “Announcement of U.S. Extended Continental Shelf Outer Limits,” December 19, 2023. National Archives Website <<https://2021-2025.state.gov/announcement-of-u-s-extended-continental-shelf-outer-limits/>>
- (出典) CraftMAP ウェブサイト <http://www.craftmap.box-i.net/country_area.php?area=18>; International Boundaries Research Unit (IBRU), Centre for Borders Research, Durham University, “Continental shelf submissions in the Central Arctic Ocean,” January 2024 updated. <[https://www.durham.ac.uk/media/durham-university/research/research-centres/ibru-centre-for-borders-research/maps-and-databases/arctic-maps-2024-january/Map-2-IBRU-Arctic-map-04-01-24-\(Continental-shelf-submissions-in-the-CAO\).pdf](https://www.durham.ac.uk/media/durham-university/research/research-centres/ibru-centre-for-borders-research/maps-and-databases/arctic-maps-2024-january/Map-2-IBRU-Arctic-map-04-01-24-(Continental-shelf-submissions-in-the-CAO).pdf)>; “IBRU Arctic Maps Series.” *ibid.* <<https://www.durham.ac.uk/research/institutes-and-centres/ibru-borders-research/maps-and-publications/maps/arctic-maps-series/>> を基に筆者作成。

(11) 「領海等に関する用語」海上保安庁ウェブサイト <https://www1.kaiho.mlit.go.jp/ryokai/zyoho/msk_idx.html>

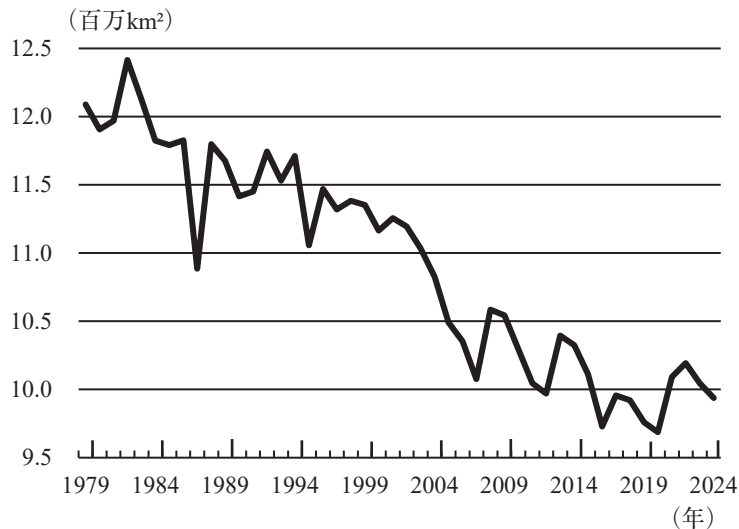
(12) 同上

(13) Ekaterina Antsygina and Cornell Overfield, “The Problems of Overlapping Governance on the Arctic Continental Shelves Pending Delineation and Delimitation,” 4.10.2022, pp.1-4. Norwegian Centre for the Law of the Sea, The Arctic University of Norway Website <https://site.uit.no/nclos/wp-content/uploads/sites/179/2022/10/Ekaterina-Antsygina-and-Cornell-Overfield_04102022_-the-NCLOS-blog_-final.pdf>

2 気候変動と日本への影響

(1) 北極域における気候変動

図2 北極海水域面積の推移



(注) 各年の平均値の推移。

(出典) 国立極地研究所データアーカイブシステム VISHOP <<https://ads.nipr.ac.jp/vishop/#/extent/time=2024-08-01%2000:00:00>> を基に筆者作成。

少し続けている (図2)。なお、北極域で急速に海水が減少する原因は、地球温暖化による直接的な気温上昇に限らず、北極海とその周辺海域との間の海流の変化や、大気・海水・海洋間の相互作用によるプロセス等⁽¹⁷⁾、多数の要因が複雑に関係している。北極海の海水にはこうした重要な気候学的役割があるにもかかわらず、アクセスが困難であることが研究上の課題であるとされる。そのため、広域を容易に観測できる人工衛星により、長期にわたる継続的な海水のモニタリングが実施されている (Ⅲ-4 参照)。

(2) 北極域の気候変動が日本に及ぼす影響

北極域における気候変動は、日本にとって無関係ではなく、極端気象の発生や水産資源への影響が指摘されている。例えば、秋季に北極海の海水が少ない年の冬季は、日本を含む極東一帯が低温になる傾向が確認できた。数値シミュレーションを用いた解析では、北極のバレンツ海 (ロシア西部、スカンジナビア半島の近海) とカラ海 (バレンツ海の東側) で夏季から秋季にかけての海水域面積が小さいと、最終的に日本に寒冬や大雪をもたらすことが明らかになった⁽¹⁸⁾。

(14) Mika Rantanen et al., “The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979,” *Communications Earth & Environment*, Vol.3 No.168, 11 August 2022, pp.2-3. <<https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>>

(15) 猪上淳「第9章 北極大異変」藤岡換太郎編著『海の科学がわかる本』成山堂書店, 2010, p.135.

(16) 南極 OB 会編集委員会編 前掲注(9), pp.45-46. その他の北極域温暖化増幅の要因として、大気や海洋が太陽光を吸収して放射する赤外線など長い波長の電磁波のほか、雲、水蒸気等が関係しているとされる (Rantanen et al., *op.cit.*(14), p.2; Michael Previdi et al., “Arctic amplification of climate change: a review of underlying mechanisms,” *Environmental Research Letters*, Vol.16 No.9, 2021, pp.7-15. <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1c29>>; 「地球温暖化と雲・エアロゾル」国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構ウェブサイト <https://www.eorc.jaxa.jp/EARTH/CARE/about/gw_cloud_aerosol_j.html>; International Panel on Climate Change (気象庁訳)『気候変動 2013—自然科学的根拠—よくある質問と回答—』2015, pp.37-38. <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/ipcc_ar5_wg1_faq_jpn.pdf>。

(17) 菊地隆「北極の海水減少と海洋環境の変化」『milsil』13 巻 5 号, 2020.9, p.6.

(18) 「第2章 人・暮らし・社会の変化 第2節 日本への影響の変化」北極域研究加速プロジェクト (ArCS II) 編『変わりゆく北極』国立極地研究所, 2024, pp.43-44.

冬季の寒冷化以外にも、令和2（2020）年7月の九州における豪雨⁽¹⁹⁾など、大気循環を介して夏季の降水量増加にも一定の影響を与え得ることが判明しており、北極域の温暖化が続くと日本など東アジアの大雨の頻度と激しさが増すことが示唆されている⁽²⁰⁾。

また、北極域の温暖化は、海水と密接に関わるホッキョクグマやアザラシ等を含めた生態系にも影響する⁽²¹⁾ことはよく知られている。事実、海水の継続的な減少により海水とともに生きる生物が絶滅の危機に直面すると同時に、亜寒帯産の動物プランクトン種の流入や増加が進むなど、北極海は「亜寒帯化」が進んでいるとされる⁽²²⁾。日本はベーリング海に生息するスケトウダラやカニ類を大量に輸入しているが、それらが北極海に移動する可能性も示唆されており⁽²³⁾、輸入量が減ることで価格の高騰も考えられる⁽²⁴⁾。このように、温暖化による北極域の生態系の変化は、日本の水産資源や食生活にも影響を与える可能性がある。

3 北極海航路の利用

(1) 概要

北極海を横断して太平洋と大西洋をつなぐ航路は、ロシア沿岸を通る北東航路、カナダ多島海を通る北西航路⁽²⁵⁾及び北極海中央を横断する極点航路が考えられている⁽²⁶⁾。ロシア沿岸を通る北東航路のうち、ノバヤゼムリヤ島からベーリング海峡までの EEZ 等は、ロシアで「北極海航路」⁽²⁷⁾と呼称されている⁽²⁸⁾。ロシアは、安全保障上の理由から同海域への権利意識が非常に強く、冷戦期には戦略的要衝に位置付け、国際的な航路としての利用は完全に閉ざしていた。しかし、冷戦末期の1987年に、ミハイル・ゴルバチョフ（Михаил Сергеевич Горбачёв）共産党書記長は、北極域及び北大西洋諸国に向けて安全保障問題の協議を呼びかけたムルマンスクにおける演説の中で、北極海航路を国際商業航路として開くことを示唆した⁽²⁹⁾。その後、1990年にソビエト連邦（ソ連）は北極海航路の航行に関する規則を定めた。ソ連崩壊後の2013年、

(19) 令和2（2020）年7月に西日本・東日本において梅雨前線の活動が非常に活発になり、特に九州では記録的大雨となり、全国の被害状況は死者84名、住家全壊が1,620棟であった（内閣府『防災白書 令和3年版』2021, pp.8-10. <https://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/pdf/r3_all.pdf>）。

(20) 「北極温暖化の遠隔影響により梅雨期の降水量が増加することを発見—豪雨災害の予測にむけて新たなメカニズムを提唱—」2022.2.28. 北海道大学ウェブサイト <https://www.hokudai.ac.jp/news/pdf/202228_pr.pdf>; Tetsu Nakamura and Tomonori Sato, “A possible linkage of Eurasian heat wave and East Asian heavy rainfall in Relation to the Rapid Arctic warming,” *Environmental Research*, Vol.209, June 2022, pp.6-11. <<https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112881>>

(21) “Climate Change and the Arctic.” Marine Mammal Commission Website <<https://www.mmc.gov/priority-topics/arctic/climate-change/>>

(22) 「第1章 北極で今起きていること 第3節 海洋生態系からわかる変化」北極域研究加速プロジェクト（ArCS II）編 前掲注(18), p.19.

(23) 平譚享「北極海洋生態系の変化」『milsl』13巻5号, 2020.9, pp.12-13.

(24) 平譚享「私たちに大きく関係する北極海の“異変”とは」(Science Report 052) 2024.3.27. 大学共同利用機関法人情報・システム研究機構ウェブサイト <<https://sr.rois.ac.jp/article/sr/052.html>>

(25) カナダ側は、年による変動は大きいですが、近年はほぼ毎年夏季には海水がなくなっている。地形が複雑なため氷況予測が難しい点が課題とされ、商業利用はロシア側（北東航路）より遅れているが、2013年に耐氷貨物船が横断するなど今後の利用増加が期待されている（山口一「北極の急激な温暖化と海水減少—持続可能な航路利用を目指して—」『世界平和研究』233号, 2022. 春季, pp.16-17.）。

(26) 大塚夏彦「北極海航路の歩みと展望」『ユーラシア研究』60号, 2019.6, p.3.

(27) 北極海航路の水域は、1999年度連邦法第81号「商業航行法典（Кодекс торгового мореплавания (КТМ РФ)）」第5条第1項に定められている（小泉悠「【ロシア】北極海航路の航行に関する法改正」『外国の立法』No.255-1, 2013.4, pp.18-19. <<https://doi.org/10.11501/8196101>>）。

(28) 大塚 前掲注(26), p.3.

(29) 金子七絵「日本の北極政策と北極海航路—「エネルギー安全保障」と「航行の自由」の相克—」『外交』67号, 2021.5・6, p.120.

ロシア政府は20年以上施行された1990年の航行規則に代わり、新たに北極海航路の航行に関する規則を定めた。2013年の航行規則では、航行許可の待機期間が短縮され、ロシアの砕氷船による先導なしに単独での航行が場合により可能になるなど、航行に関する規制が緩和された⁽³⁰⁾。航行規則は幾度も改正されており⁽³¹⁾、近時では2024年2月に新たに改正されている⁽³²⁾。

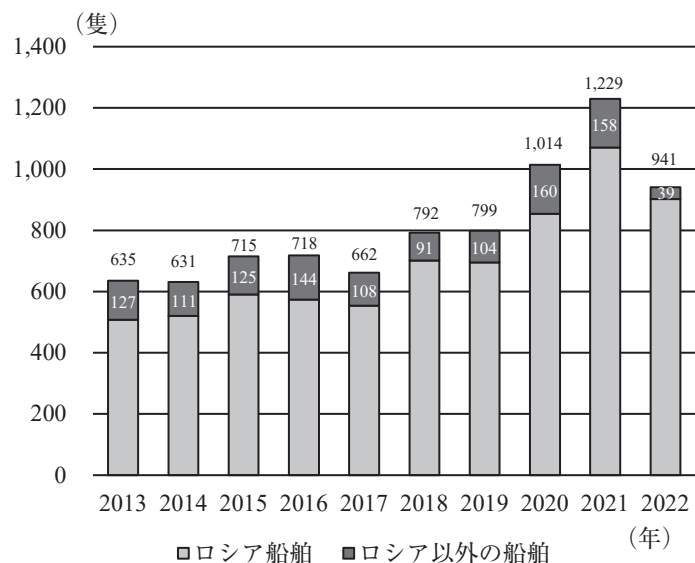
北極海航路の航行には、氷況予測が必要不可欠である。航行の際の航路決定のための1週間程度の短期予測、配船計画のための中期予測、新造船発注などのための長期予測がそれぞれ必要とされる⁽³³⁾。これらの氷況予測のためには、人工衛星による継続的な海水の観測が重要である(IV-1(3)参照)。

(2) 現状、利点及び課題

海水の長期的な減少や、原油やLNG等の天然資源開発を背景として、北極海航路の利用は増加傾向にあった。2013年から2022年までの北極海航路における航行が許可された船舶数は、2021年には2013年の約2倍に達した(図3)。しかし、ウクライナ侵攻による国際的な対露経済制裁により、北極海航路を利用した国際貨物中継輸送は2022年に減少に転じ、2023年には皆無になったとされる⁽³⁴⁾。

日本にとっての北極海航路の利点は、欧州と東アジアを結ぶスエズ回り航路又は喜望峰回り航路よりも航行距離及び航行日数が短縮される⁽³⁵⁾点、使用する燃料が少なくCO₂排出削減につながる点⁽³⁶⁾、スエズ回り航路と比較し海賊による襲撃や紛争等のリスクが少ない点⁽³⁷⁾等

図3 北極海航路の船舶航行許可数



(出典) “Permissions for navigation in the water area of the Northern sea route.” Federal State Budgetary Institution the Information Analytical and Statistical Center of the Rosmorrechflot Website <http://www.nsr.ru/en/rassmotrenie_zayavleniy/razresheniya.html?year=2022> 各年のデータを基に筆者作成。

(30) Viatcheslav Gavrilov, “Russian legislation on the Northern Sea Route navigation: scope and trends,” *The Polar Journal*, Vol.10 Issue 2, 2020, pp.276-277. <<https://doi.org/10.1080/2154896X.2020.1801032>>

(31) 2014年以降は、西側諸国との関係悪化や制裁を背景に、外国船舶の航行を制限する傾向を強めているとされる (Andrey A. Todorov, “Russia on the Northern Sea Route: Having the Cake and Eating It Too?” *МИРОВАЯ ЭКОНОМИКА И МЕЖДУНАРОДНЫЕ ОТНОШЕНИЯ*, Vol.65 No.11, 2021, pp.125-126. <<https://doi.org/10.20542/0131-2227-2021-65-11-123-130>>).

(32) “New changes to the Rules of navigation in the waters of the Northern Sea Route,” 7.2.2024. NSR General Administration ROSATOM Website <https://nsr.rosatom.ru/en/urgent-information/?ELEMENT_ID=187268>

(33) 山口 前掲注(25), p.19.

(34) チムール・クラフメトフ「制裁下の北極海航路と北極圏 LNG プロジェクト」『ロシアNIS調査月報』69巻4号, 2024.4, p.48.

(35) スエズ回り航路2万728km、喜望峰回り航路2万6867km (オランダ・ロッテルダム港から京浜港まで) に対し北極海航路は約1万3000km (ドイツ・ハンブルグ港から横浜港まで) であり、航行距離は約5~6割に短縮される (上田剛士「(港湾用語の基礎知識56) スエズ運河」『港湾』93巻11号, 2016.11, p.42; 国土交通省総合政策局海洋政策課「北極海航路の利用動向について」2021.7.28 (2022.4.6.訂正), p.1. <https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/ocean_policy/content/001476544.pdf>).

(36) 山口 前掲注(25), p.14.

(37) 玉井雅隆「北極海航路とエネルギー安全保障」『エネルギー安全保障』1号, 2019, pp.12-14.

が挙げられる。また、北極海航路では日本がアジアのハブ港になる可能性があり、アジア物流の最上流に立つことも想定される⁽³⁸⁾。一方、課題として、航路全体として水深が浅い、沿岸に小規模の港しかなく緊急避難や資機材の供給が困難である、通信環境がぜい弱である⁽³⁹⁾、油が流出した際に甚大な被害になりやすい⁽⁴⁰⁾等が指摘されており、識者はスエズ回り航路に代替し得る航路となるには依然長い年月を要する⁽⁴¹⁾との見解でおおむね一致している。

4 資源開発

2008年に米国地質調査所（United States Geological Survey: USGS）は、北極圏には世界の未発見の石油の約13%（約900億bbl（バレル））、同じく天然ガスの約30%（約1669兆ft³（立方フィート））が残存しているとの調査結果を発表した⁽⁴²⁾。また、独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構の試算によると、北極海沿岸4か国（米加露ノルウェー）における可採埋蔵量は、石油473億bbl、コンデンセート（天然ガスの副産物である超軽質原油）102億bbl、天然ガス2542億boe（石油換算バレル⁽⁴³⁾）（約1525兆ft³）とされ⁽⁴⁴⁾、その合計量はサウジアラビアの石油埋蔵量2672億bbl⁽⁴⁵⁾を上回る。北極海の大陸棚の約6割に相当する270万km²を占めるロシアの大陸棚（領海基線から200海里以内）⁽⁴⁶⁾は、内陸部の石油・ガスを生成する堆積盆地が北極海まで延伸しているものであり、また、西部のバレンツ海は冬季も結氷しないことから、ロシアの石油・天然ガスの資源ポテンシャルは非常に高いとされている。現状、北極海における石油・ガス開発はロシアのみが進行しており⁽⁴⁷⁾、例えば、ロシア北極海沿岸では、「ヤマルLNGプロジェクト」や「Arctic LNG2プロジェクト」⁽⁴⁸⁾等の大規模LNG開発プロジェクトが稼働している。

5 国際連携の経緯

北極域は中央部の公海を除き、ロシアや米国といった8か国の主権の及ぶ地域であることから、特に冷戦時代は国際的に連携した大規模な観測活動が行われることは少なかったとされる。しかし、1987年に、前述のミハイル・ゴルバチョフ共産党書記長によるムルマンスクにおけ

(38) 山口 前掲注(25), p.14.

(39) 大塚 前掲注(26), p.6.

(40) 南極OB会編集委員会編 前掲注(9), pp.143-144.

(41) 金子 前掲注(28), p.125; 森本亮「講演会 令和2年度CPC交流セミナー 第2回」北極海航路の現状と動向」『海と港』39号, 2022.3, p.21.

(42) Kenneth J. Bird et al., “Circum-Arctic resource appraisal: Estimates of undiscovered oil and gas north of the Arctic Circle,” *Fact Sheet*, 2008-3049, 2008. U.S. Geological Survey Website <<https://doi.org/10.3133/fs20083049>>; “Arctic oil and natural gas resources,” January 20, 2012. U.S. Energy Information Administration Website <<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=4650#>>

(43) 天然ガスなどを石油のエネルギー量（熱量）に換算した値。1boeは1bblに、1boeは約6,000ft³に相当する（Jordan Moore, “Bbl, BOE, BTU, Mcf and Other Common Oil and Gas Abbreviations.” Kimray Website <<https://kimray.com/training/bbl-boe-btu-mcf-and-other-common-oil-and-gas-abbreviations>>）。

(44) 原田大輔「北極域における石油天然ガス開発」（第11回北極海航路に係る産学官連携協議会 資料5）2021.7.28, p.4. 国土交通省ウェブサイト <https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/ocean_policy/content/001418154.pdf>

(45) “OPEC Share of World Crude Oil Reserves, 2023.” Organization of the Petroleum Exporting Countries Website <https://www.opec.org/opec_web/en/data_graphs/330.htm>

(46) 本村真澄「ロシア北極海の資源ポテンシャルとシュトックマン・ガス田の開発」『石油・天然ガスレビュー』41巻6号, 2007.11, pp.1-2.

(47) 本村真澄「ロシア北極圏での石油・ガス開発の現状と意義」『ロシアNIS調査月報』63巻3号, 2018.3, pp.11-12.

(48) 2023年11月に米国による制裁対象となったが、2024年8月時点でLNGの輸出が行われていると見られる（坂井光「LNGでも「闇の船団」 ロシア制裁破りは拡大するか」『日本経済新聞』（電子版）2024.9.5.）。

る演説が転換点となり、各国の北極域における観測活動が活発化した⁽⁴⁹⁾。

1990年、北極と地球全体の科学研究の推進を目的とする研究者による国際組織として、「国際北極科学委員会（International Arctic Science Committee: IASC）」が発足した。IASCには、日本を含む24か国⁽⁵⁰⁾の研究者が参加し、研究プロジェクトを通じて得た北極に関する科学的な情報を一般に公開するほか、研究者の育成も行っている⁽⁵¹⁾。その後1996年に、北極圏国8か国による北極評議会（Arctic Council: AC）が発足した。ACは、北極の持続可能な開発や環境保護に関する国際協力の促進を目的とし、閣僚級会合（隔年）及び高級実務者会合（毎年）を開催し、北極域の課題解決に向けた六つの作業部会を設置している⁽⁵²⁾。前述のIASCには、ACの科学的な面での助言機関としての役割が期待されている。日本は2013年にオブザーバーとしてACに加盟して以来、政策担当者の会合への参加や、作業部会への専門家の派遣等を行っている⁽⁵³⁾。2022年3月、ロシアのウクライナ侵攻開始に伴いロシア以外の7か国は全ての会合への参加を一時的に停止した⁽⁵⁴⁾ものの、同年6月にロシアを除いて一部の活動を再開し、2024年2月にはロシアも含めた作業部会をバーチャル形式で再開した⁽⁵⁵⁾。しかしながら、ロシアとの政府レベルの協力再開時期はいまだ見通せない状況にあると指摘されている⁽⁵⁶⁾。

II 日本及び諸外国の研究体制

北極域における研究活動について、日本及び米国等の諸外国の研究体制や政策を概観し、各国の研究動向を整理する。

1 日本の北極域研究の経緯

(1) グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス（GRENE）事業北極気候変動分野

日本は、平成2（1990）年に国立極地研究所が北極圏環境研究センター（現北極観測センター）を設置し、翌平成3（1991）年にノルウェーのニーオルスンに観測基地を開設して以来、30年以上にわたり継続的に観測活動を実施している⁽⁵⁷⁾。また、同じく平成2（1990）年に海洋科学技術センター（現国立研究開発法人海洋研究開発機構（JAMSTEC））も北極研究を開始した。特に、平成10（1998）年からは、海洋地球研究船「みらい」による太平洋側北極海での観測航海を始めた。これまでに国内外の研究者と協力して継続的に観測航海を行い、27年間で22回の航海を実施している⁽⁵⁸⁾。

(49) 榎本浩之「北極を巡る日本の政策と研究の動向」『公明』152号、2018.8, pp.11-12.

(50) “IASC Council.” International Arctic Science Committee Website <<https://iasc.info/about/organisation/council>>

(51) “About.” International Arctic Science Committee Website <<https://www.iasc.info/about>>

(52) “About the Arctic Council.” Arctic Council Website <<https://arctic-council.org/about/>>

(53) 榎本 前掲注(49), p.14.

(54) “Joint Statement on Arctic Council Cooperation Following Russia’s Invasion of Ukraine,” March 3, 2022. National Archives Website <<https://2021-2025.state.gov/joint-statement-on-arctic-council-cooperation-following-russias-invasion-of-ukraine/>>

(55) “Arctic Council advances resumption of project-level work,” 28 February 2024. Arctic Council Website <<https://arctic-council.org/news/arctic-council-advances-resumption-of-project-level-work/>>

(56) 「ロシア、北極評議会「脱退も」 国際枠組みに揺さぶり一対中関係でジレンマ「二つの北極」(4)」2024.9.13. 時事ドットコムニュースウェブサイト <<https://www.jiji.com/jc/v8?id=202409hokkyoku-1-041>>

(57) 榎本 前掲注(49), p.12.

(58) 菊地隆氏からの聞き取りによる。

平成 23 (2011) 年から、5 か年計画の「グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス (GRENE)」事業北極気候変動分野「急変する北極気候システム及びその全球的な影響の総合的解明」が開始された。GRENE は、平成 22 (2010) 年 6 月に閣議決定された新成長戦略や、同年の総合科学技術会議による答申に基づき⁵⁹⁾、環境エネルギーに関する重要研究分野ごとに国内の有力大学が戦略的に連携するための大学発グリーンイノベーション創出事業である⁶⁰⁾。北極気候変動分野では、北極域における温暖化増幅メカニズムの解明、北極海航路の利用可能性評価につながる海水分布の将来予測など、四つの戦略研究目標が掲げられた⁶¹⁾。参加したのは、国立極地研究所や JAMSTEC を中心とする国内 39 機関である⁶²⁾。また、GRENE では、北極研究者を連携させ裾野を拡大するため、北極環境研究コンソーシアム (JCAR)⁶³⁾を設立し、その運営を支援した。JCAR では、様々な分野の北極研究者が協力し、北極環境研究に関する長期計画を策定するほか、研究体制や国際連携、人材育成の方策を検討し社会に対して提案している⁶⁴⁾。

(2) 北極域研究推進プロジェクト (ArCS) 及び後継プロジェクト

平成 25 (2013) 年に日本が AC にオブザーバーとして加盟した (I-5 参照) ことを受けて、国として北極に関する議論が高まった。そうした背景により、平成 27 (2015) 年度から令和元 (2019) 年度まで実施されたのが、「北極域研究推進プロジェクト (ArCS)」である⁶⁵⁾。同プロジェクトは、国立極地研究所、JAMSTEC、北海道大学の 3 機関が中心となり、GRENE の自然科学分野の成果を発展させながら、新たに人文科学・社会科学分野も対象として北極海航路や北極域の先住民の生活に北極域の環境変化が及ぼす影響等の課題に取り組んだ⁶⁶⁾。令和 2 (2020) 年 6 月からは、ArCS の後継プロジェクトである「北極域研究加速プロジェクト (ArCS II)」が令和 7 (2025) 年 3 月まで実施された⁶⁷⁾。さらに、令和 7 (2025) 年度から令和 11 (2029) 年度までは、ArCS II の成果や課題を引継ぎ、新たに建造される北極域研究船「みらい II」(Ⅲ-1 (3) 参照) などを活用した「北極域研究強化プロジェクト」(仮称) の実施が予定されている⁶⁸⁾。

59) 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際北極環境研究センター GRENE 北極気候変動研究事業事務局編『急変する北極気候システム及びその全球的な影響の総合的解明—GRENE 北極気候変動研究事業—2011-2016 成果報告書—』2016 (WEB 改訂版 2018.2.5) p.3. <<https://www.nipr.ac.jp/grene/doc/grene-seika-j3.pdf>>

60) 「グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス (GRENE) 事業について」(第 6 期環境エネルギー科学技術委員会 (第 2 回) 参考資料 1) 2011.5.19. 文部科学省ウェブサイト <https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/050/shiryo/_icsFiles/afldfile/2012/11/14/1306900_03.pdf>

61) GRENE 北極気候変動研究事業 前掲注59), p.3.

62) 「GRENE 北極気候変動研究事業 本事業について」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ウェブサイト <<https://www.nipr.ac.jp/grene/about.html>>

63) 「JCAR について」北極環境研究コンソーシアムウェブサイト <<https://www.jcar.org/about/>>

64) 榎本 前掲注49), p.12.

65) 菊地隆氏からの聞き取りによる。

66) 榎本 前掲注49), p.12.

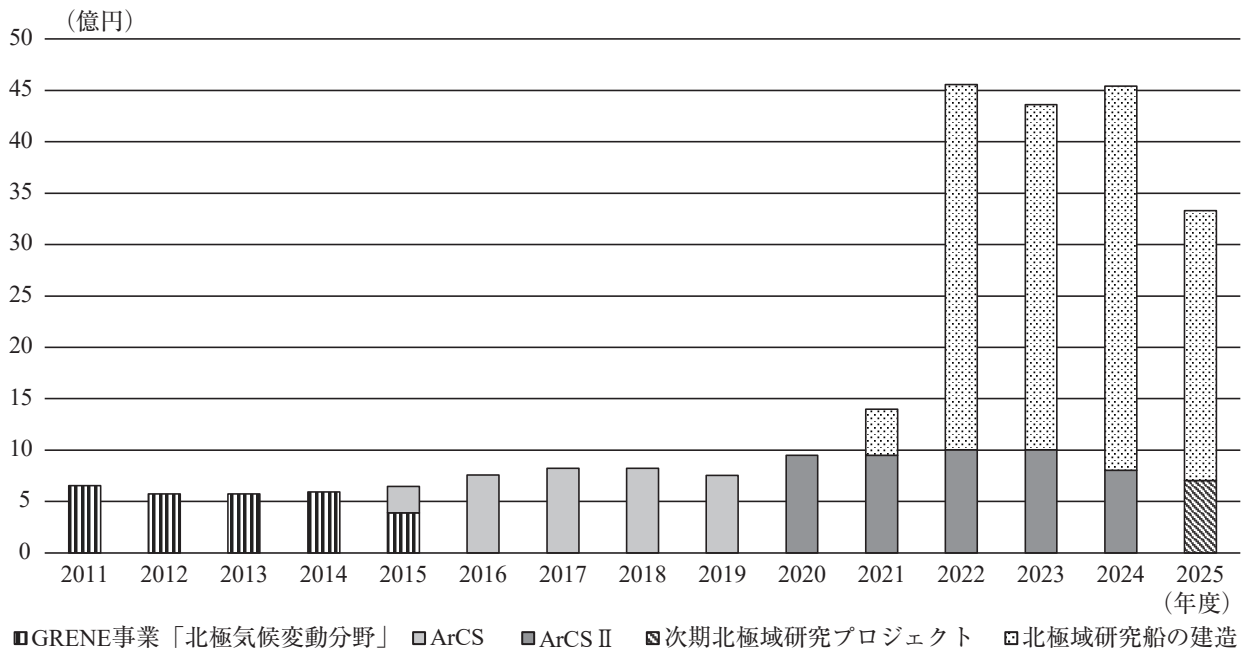
67) 「ArCS II 北極域研究加速プロジェクトの概要」大学共同利用機関法人情報・システム研究機構国立極地研究所ウェブサイト <<https://www.nipr.ac.jp/arcs2/about/>>

68) 「次期北極域研究プロジェクト (案) について」(第 72 回 科学技術・学術審議会 海洋開発分科会 資料 1-3) 2024.8.1, pp.3-6. 文部科学省ウェブサイト <https://www.mext.go.jp/content/20240801-mxt_kaiyou-000037335_1.pdf>;「研究開発課題の事前評価結果 (案)」(第 72 回 科学技術・学術審議会 海洋開発分科会 資料 1-4) 2024.8.1, pp.1-2. 同上

(3) 北極域研究関連予算の推移

平成 23 (2011) 年度の GRENE 開始以降、文部科学省は GRENE 事業「北極気候変動分野」に毎年約 6 億円を計上し、平成 27 (2015) 年度には新たに開始された ArCS と併せて約 7 億円を計上した。平成 28 (2016) 年度からは、ArCS、ArCS II の予算として毎年約 8～10 億円が充てられた。現在のところ、令和 7 (2025) 年度から開始予定の次期北極域研究プロジェクト(「北極域研究強化プロジェクト」(仮称))の予算にも、約 7 億円が計上されている。研究プロジェクトのほか、令和 3 (2021) 年度に着手された北極域研究船「みらい II」の建造のための予算として、令和 3 (2021) 年度に 4.5 億円、令和 4 (2022)～令和 6 (2024) 年度に約 35 億円、令和 7 (2025) 年度に約 26 億円が計上されている(図 4)。

図 4 文部科学省の北極域研究関連予算の推移



(注) 令和 7 (2025) 年度のみ成立前の当初予算案の金額。

(出典) 「グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス」(GRENE) 事業「北極気候変動分野」事後評価委員会「「グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス」(GRENE) 事業「北極気候変動分野」事後評価結果」2017.1, p.3. 文部科学省ウェブサイト <https://www.mext.go.jp/content/1381857_001.pdf>; 科学技術・学術審議会海洋開発分科会「北極域研究推進プロジェクト事後評価結果」2021.2, p.2. 同 <https://www.mext.go.jp/content/20210309-mxt_kaiyou-000013289_1.pdf>; 科学技術・学術審議会海洋開発分科会「北極域研究加速プロジェクト中間評価結果」2023.3, p.3. 同 <https://www.mext.go.jp/content/20230328-mxt_kaiyou-000028964_1.pdf>; 「令和 3 年度予算について」(海洋開発分科会(第 64 回) 参考資料 3-1) 2021.5.19, p.11. 同 <https://www.mext.go.jp/content/20210519-mxt_kaiyou-000017658_2.pdf>; 「令和 5 年度概算要求及び令和 4 年度第 2 次補正予算(文部科学省 海洋科学技術関連部分)」(海洋開発分科会(第 68 回) 資料 4) 2022.12.7, p.3. 同 <https://www.mext.go.jp/content/20221207-mxt_kaiyou-000026489_05.pdf>; 「令和 6 年度予算(案)について」(海洋開発分科会(第 71 回) 参考資料 3) 2024.3.25, p.4. 同 <https://www.mext.go.jp/content/240325-mext_kaiyou_000034809_02.pdf>; 「12 研究開発局主要事項—令和 7 年度科学技術関係予算(案)—」 p.13. 同 <https://www.mext.go.jp/content/20250116-opec_dev03-000039564_13.pdf> を基に筆者作成。

2 日本及び諸外国の研究体制の比較

日本の北極研究は、前述した ArCS 及び後継プロジェクトが主導している。政府は、研究戦略として、「[第 2 期] 海洋基本計画」(平成 25 年 4 月 26 日閣議決定)⁶⁹⁾において、北極をめぐる取組を重点的に推進すべき課題の一つとして初めて位置付け、平成 27 (2015) 年に初の北

⁶⁹⁾ 「[第 2 期] 海洋基本計画」(平成 25 年 4 月 26 日閣議決定) 内閣府ウェブサイト <<https://www8.cao.go.jp/ocean/policies/plan/plan02/pdf/plan02.pdf>> 北極関連部分は pp.8, 10-11, 24, 30, 32, 34-35, 46-47 を参照。

極に関する包括的な政策である「我が国の北極政策」⁽⁷⁰⁾を策定した⁽⁷¹⁾。以後、「〔第3期〕海洋基本計画」(平成30年5月15日閣議決定)⁽⁷²⁾、「〔第4期〕海洋基本計画」(令和5年4月28日閣議決定)⁽⁷³⁾において「我が国の北極政策」を基にした施策が示されている。

米国では、学術・研究機関等による非営利団体である米国北極研究コンソーシアム (Arctic Research Consortium of United States: ARCUS) が、北極域の研究、教育を推進している⁽⁷⁴⁾。政策面では、連邦政府は2022年に、2013年版を改訂した10年間の新たな国家戦略として「北極域国家戦略」を策定しており、安全保障、気候変動と環境保護、持続可能な経済開発、国際協力とガバナンスという四つの柱を据えている。また、実際に戦略を実施する際の五つの原則の一つに、アラスカ先住民コミュニティとの協議、調整及び共同管理を掲げている⁽⁷⁵⁾。

カナダの北極域の共同研究団体である ArcticNet は、2003年に研究者の要望により設立された⁽⁷⁶⁾。イヌイト組織、北方コミュニティ、35の国内大学、8の連邦機関、11の州政府機関で構成され、北極域における人間の健康、自然科学、社会科学分野を研究している⁽⁷⁷⁾。連邦政府は、2019年にカナダ先住民関係・北方開発省(現王室先住民関係・北方問題省 (Crown-Indigenous Relations and Northern Affairs Canada))の主導により、「北極北部政策枠組み (Canada's Arctic and Northern Policy Framework)」を発表し、八つの主目標を掲げている⁽⁷⁸⁾。そのうち、第4目標「知識と理解が政策決定を導く」では、先住民の知識を全面的に取り入れた国際的な極地科学研究協力を強化することや、先住民の知識を保持する者や機関が研究資金を得る際の障害を減らすこと等が提示されている⁽⁷⁹⁾。

欧州連合 (EU) が資金提供する北極域の共同研究団体としては、2020年から2024年まで欧州21か国25機関が参加し、欧州の極地研究を推進し政策立案のための知見を提供する EU-PolarNet 2⁽⁸⁰⁾、2021年から2025年まで17か国35機関が参加し汎北極観測システムの統合を推進する Arctic PASSION⁽⁸¹⁾、2024年から2029年まで51機関が参加し極地研究インフラの提供に取り組む Polar Research Infrastructure Network (POLARIN)⁽⁸²⁾等がある。これらは全て、欧州委

(70) 科学技術の活用、国際協力の推進、北極海航路や資源開発の推進、安全保障への注意等七つの基本方針を定め、具体的な取組として、研究開発、国際協力、持続的な利用の3点を掲げる(総合海洋政策本部「我が国の北極政策」2015.10.16. 内閣府ウェブサイト <https://www8.cao.go.jp/ocean/policies/arcticpolicy/pdf/japans_ap.pdf>)。

(71) 白石和子「第5章 我が国の北極政策とその課題」稲垣治・柴田明穂編著『北極国際法秩序の展望—科学・環境・海洋—』東信堂、2018、p.59。

(72) 「〔第3期〕海洋基本計画」(平成30年5月15日閣議決定) pp.69-72. 内閣府ウェブサイト <<https://www8.cao.go.jp/ocean/policies/plan/plan03/pdf/plan03.pdf>>

(73) 「〔第4期〕海洋基本計画」(令和5年4月28日閣議決定) pp.77-80. 内閣府ウェブサイト <https://www8.cao.go.jp/ocean/policies/plan/plan04/pdf/keikaku_honbun.pdf>

(74) “Values, Vision, Mission, and Goals.” Arctic Research Consortium of the United States Website <<https://www.arcus.org/arcus/>>

(75) The White House, “National Strategy for the Arctic Region,” October 2022, pp.7-8. National Archives Website <<https://bidenwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2022/10/National-Strategy-for-the-Arctic-Region.pdf>> 詳細は本報告書「海洋基本計画と海洋政策の現況」を参照。

(76) 小牧加奈絵「カナダの北極圏海洋科学政策」『OPRI Perspectives』4号, 2020.1.27, p.4. <https://www.spf.org/global-data/opri/perspectives/prsp_004_2020_komaki.pdf>

(77) “About us.” ArcticNet Website <<https://arcticnet.ca/about-us/>>

(78) 小牧 前掲注(76), p.3.

(79) “Goals and objectives (Canada’s Arctic and Northern Policy Framework).” Crown-Indigenous Relations and Northern Affairs Canada Website <<https://www.rcaanc-cirnac.gc.ca/eng/1560523306861/156052330587#s6>>

(80) “About EU-PolarNet 2.” EU-PolarNet Website <<https://eu-polarnet.eu/about>>

(81) “Launch of the new EU-Project: Arctic PASSION,” 11 June 2021. Association of Polar Early Career Scientists Website <<https://www.apecs.is/news/apecs-news/4622-launch-of-the-new-eu-project-arctic-passion.html>>

(82) “Objectives.” Polar Research Infrastructure Network Website <<https://eu-polarin.eu/objectives/>>; “Partners.” *ibid.* <<https://eu-polarin.eu/partners/>>

員会（EU の行政機関）による EU 加盟国を対象にした研究とイノベーションのための複数年の研究助成プログラム「Horizon 2020」（2014～2020 年）⁽⁸³⁾又は「Horizon Europe」（2021～2027 年）⁽⁸⁴⁾の支援を受けている⁽⁸⁵⁾。また、欧州委員会は、2021 年 10 月に「平和で持続可能かつ繁栄した北極域に向けた EU のより強力な関与に関する共同声明」を公表し、海洋の観測や気候予測を強化し、地球温暖化や異常気象の影響を予測する取組等を示している⁽⁸⁶⁾。

日本、米国、カナダ、EU における、北極域研究に係る政府関連組織、主な研究機関等は表 1 のとおりである。

表 1 日本、米国、カナダ、EU における北極域研究体制の比較

	日本	米国	カナダ	EU
政府関連組織	北極域研究推進プロジェクト推進委員会：文部科学省の下に設置。北極域研究事業推進のため、公募要領の策定・審査、研究計画への助言等を行う。	米国北極研究委員会 (USARC)：大統領が任命する諮問機関。北極に関する科学研究の目標と目的を概説した政策勧告を 2 年ごとに大統領及び議会に提出する。	Polar Knowledge Canada (POLAR)：王室先住民関係・北方問題省 (CIRNAC) の管轄下にある省庁法人として 2015 年に設置。自身で研究活動を行うほか他機関の研究プロジェクトに資金を提供する。	—
主な研究機関	・国立極地研究所 (NIPR) ・海洋研究開発機構 (JAMSTEC) ・宇宙航空研究開発機構 (JAXA)	・海洋大気庁 (NOAA) ・航空宇宙局 (NASA) ・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 (IARC)	・漁業海洋省 (DFO) ・海洋科学研究所 (ISO) ・Bedford Institute of Oceanography (BIO) ・ラバル大学	加盟国の主な研究機関例： ・Alfred Wegener Institute (独) ・French Polar Institute Paul-Émile Victor (仏)
研究観測基地	スバルバル諸島 (ノルウェー・ニーオルスン)	国内に多数	カナダ極北研究ステーション等	スバルバル諸島等
北極域研究観測船	砕氷船「みらいⅡ」を建造中	Polarstar 等	LSSL、Laurier 等	PolarStern (独)、Aranda (フィンランド) 等

(出典) 大畑哲夫「北極域環境の研究体制における日本の課題」『科学技術動向』101 号, 2009.8, pp.25-29. <<http://hdl.handle.net/11035/2067>>; 「北極域研究推進プロジェクト推進委員会の設置について」(第 15 回北極域研究推進プロジェクト推進委員会 資料 1) 2024.3.8. 文部科学省ウェブサイト <https://www.mext.go.jp/content/2024_0312-mxt_kaiyou-000034567_2.pdf>; “About USARC.” US Arctic Research Commission Website <<https://www.arctic.gov/about-usarc/>>; “About Polar Knowledge Canada.” Government of Canada Website <<https://www.canada.ca/en/polar-knowledge/behindthescenes.html>> 等を基に筆者作成。

(83) “What is Horizon 2020?” European Commission Website (インターネットアーカイブ Archive-It により保存されたページ) <<https://wayback.archive-it.org/12090/20220124080448/https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/what-horizon-2020>>

(84) “Horizon Europe.” European Commission Website <https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe_en>

(85) 岡村浩一郎「第 1 部 科学技術イノベーション政策の国際動向」国立国会図書館調査及び立法考査局編『ポスト 2020 の科学技術イノベーション政策—科学技術に関する調査プロジェクト 2019 調査報告書—』(調査資料 2019-6) 国立国会図書館, 2020, pp.9-10, 17-18. <<https://doi.org/10.11501/11472879>>; “Connecting Science with Society.” European Polar Board Website <<https://www.europeanpolarboard.org/projects/eu-polar-net-2/>>; “Launch of the new EU-Project: Arctic PASSION,” *op.cit.*(81); “Partners,” *op.cit.*(82).

(86) European Commission, “A stronger EU engagement for a peaceful, sustainable and prosperous Arctic,” 13.10.2021, p.11. European Union External Action Website <<https://www.eeas.europa.eu/sites/default/files/documents/Joint%20Communication%20on%20a%20stronger%20EU%20engagement%20for%20a%20peaceful%20and%20sustainable%20and%20prosperous%20Arctic.pdf>>

Ⅲ 北極域における海洋観測の手法

海洋観測研究では、多数の研究対象が存在することや、陸域の観測研究よりも食料や燃料等の制約を受けやすいことから、目的に応じて様々な観測手法を利用して調査を行う必要がある⁸⁷⁾。主な観測手法には、船舶を用いた観測、人工衛星をプラットフォームとするリモートセンシング、係留系や漂流ブイを用いた長期連続観測がある。北極域では本格的な実用化には至っていないものの、近年は海中ロボットを用いた観測も注目されている⁸⁸⁾。これらの観測手法は、「面」として観測する人工衛星、「線」として観測する船舶や漂流ブイ、「点」として観測する係留系、局所的調査を行う海中ロボットのように観測範囲が異なっている⁸⁹⁾。Ⅲでは船舶、係留系、漂流ブイ、海中ロボット及び人工衛星の観測手法について利点や課題等を整理する。

1 船舶による観測

(1) 概要

海洋内部の環境を知るためには、船舶を用いて現場に行きデータや試料を取得する方法が、あらゆる海域で古くから行われてきた⁹⁰⁾。日本の北極域研究では、これまで主に、JAMSTECの所有する海洋地球研究船「みらい」⁹¹⁾が、海水のない海域を夏季に調査してきた⁹²⁾。研究者が乗船する研究船は、精密な計測を行う設備と測器を備えた移動可能なプラットフォームであり⁹³⁾、多種多様な調査を行うことが可能である。例えば、「みらい」は、海水温や海流、海水の電気伝導度、海水の流速・流向、海水中の二酸化炭素ほか溶存化学物質の濃度、プランクトンなど小型生物、海底の堆積層等を計測又は採取する⁹⁴⁾。特に、生物・化学分野では通常100以上の観測項目が計測され、その多くは人工衛星等による遠隔での計測が難しいことから、船舶による現場観測の重要性が高いとされる⁹⁵⁾。

(2) 利点及び課題

船舶を用いた現場観測の大きな利点は、現場に行くことができ、なおかつ天候や海況等の気象条件が悪化しなければ、安全な環境で学際的及び高精度の観測を実施することが可能となる点である。後述する他の観測手法と比較しても、観測可能な項目が多く、直接的で最も強力な

87) 前野克尚「第12章 海洋観測論2」藤岡編著 前掲注(16), p.181.

88) 岡田仁志「北極海に潜るドローン」に「新研究船計画」も！今“熱い”北極研究の最前線を紹介する」2023.12.19. 国立研究開発法人海洋研究開発機構ウェブサイト <<https://www.jamstec.go.jp/jpr/topics/explore-20231219-2/>>

89) 菊地隆氏からの聞き取りによる。

90) 菊地隆「第14章 変化する北極海環境に関する観測研究と国際協力—過去・現在・未来—」稲垣・柴田編著 前掲注(7), p.200.

91) 「みらい」のほか、北海道大学水産学部附属練習船「おしよ丸」も北極航海を実施している（「2023年度おしよ丸北極航海」2023.9.27. ArCS II ウェブサイト <<https://www.nipr.ac.jp/arcs2/project-report/2023-oshoro/>>）。

92) 菊地隆「北極海調査の歴史とこれから—北極域研究船に向けて—」『Kanrin』101号, 2022.3, p.32. <https://doi.org/10.14856/kanrin.101.0_28>

93) 花輪公雄「海洋観測における研究船の役割とその効率的運用に向けて」『学術の動向』24巻11号, 2019.11, p.83. <https://doi.org/10.5363/tits.24.11_83>

94) 前野 前掲注(87), pp.186-189.

95) 津田敦「海洋観測の重要性和研究船の果たす役割」『学術の動向』24巻11号, 2019.11, p.62. <https://doi.org/10.5363/tits.24.11_62>

観測手法であると言われる⁽⁹⁶⁾。また、漂流ブイや係留系、海中ロボット等の測器の設置や回収を行うほか、洋上気象観測点としても運用されている⁽⁹⁷⁾。

一方で、食料や燃料の制約により数か月以上の連続した観測が難しい点を始め、時化（しけ）など気象・海象条件に左右される点⁽⁹⁸⁾、砕氷船の運航は通常の船舶以上の費用と時間を要する点など、観測機会を得にくいことが課題である。また、北極海での観測の場合、砕氷船を用いても、太陽光が当たらない冬季や分厚い多年氷に覆われたグリーンランドからカナダ多島海北部の沖合などにおける観測を行うことは困難であり、観測の時期や場所に偏りが生じているとされる⁽⁹⁹⁾。

(3) 砕氷船の概要及び国際的動向

北極海を航行する船舶は、海水や低温環境に対する安全性を考慮しなければならず、通常の研究船とは異なった特徴を持つ。北極海で観測を行うことができる船舶は、砕氷船と耐氷船に分類されることが多い。砕氷船は、（プロペラの推力と船の形状及び重さのみで）「海を覆う硬い氷盤を破壊して航行し、他の船が安全に通過できるようにする船舶」であり、単独で砕氷航行することができる。その一方、耐氷船は、「氷海中を航行するための強度を備えた船舶」であり⁽¹⁰⁰⁾、船級協会⁽¹⁰¹⁾や関係政府機関の定める耐氷規則⁽¹⁰²⁾に従って設計される。耐氷船の氷海航行は、通常、砕氷船の後を追従する、あるいは前もって砕氷船により開かれた水路を利用することになる⁽¹⁰³⁾。砕氷船や耐氷船は、その砕氷（又は耐氷）性能に応じて、国際船級協会連合（International Association of Classification Societies: IACS）が規定する極地氷海船階級（Polar Class: PC）のPC1からPC7までの7段階に区分され、数字が小さい程砕氷性能が高くなる⁽¹⁰⁴⁾。日本の場合、JAMSTECの海洋地球研究船「みらい」は耐氷船でありPC7に相当し、海上自衛隊が運用する南極観測船（砕氷艦）「しらせ」⁽¹⁰⁵⁾は砕氷船でありPC2に相当する⁽¹⁰⁶⁾。

北極域の中でも大西洋側からユーラシア地域における海洋観測は、主にロシア、ノルウェー、ドイツ、スウェーデンの、太平洋側では、米国、カナダ、中国、韓国及び日本などの砕氷船や研究船が実施している⁽¹⁰⁷⁾。世界の主要国の主な砕氷船について、政府及び民間が保有する数を比較すると、2022年4月4日時点で、ロシアが51隻と圧倒的に多く、次いでカナダ12隻、フィ

(96) 菊地 前掲注(90), p.200.

(97) 花輪 前掲注(93), pp.83-84.

(98) 前野 前掲注(87), p.186.

(99) 菊地 前掲注(90), p.200.

(100) 赤井謙一『世界の砕氷船』交通研究協会, 2010, pp.1-3, 6-7.

(101) 船舶の構造など技術規則を制定・公開し、船舶が技術規則に従って建造されているかを検査することで規則に適合することを証明する認証機関（今井史彦「1章 船級協会とは」『日本造船学会誌』863号, 2001.9, pp.535-537; 高木宏治・対馬和弘「差別化を競う時代に 船級協会のいま」『コンパス』39巻4号, 2020.7, p.39.）。

(102) 代表的な耐氷規則としては、フィンランド政府及びスウェーデン政府が定めた耐氷構造規則（FSICR: Finnish Swedish Ice Class Rules）があり、日本海事協会等主要な船級協会規則に取り入れられている（原田晋「極地氷海船に関するIACS統一規則」『Kanrin』23号, 2009.3, p.20. <https://doi.org/10.14856/kanrin.23.0_20>）。

(103) 山内豊・水野滋也「氷海域を航行する船舶の性能と課題」『Kanrin』70号, 2017.1, p.10. <https://doi.org/10.14856/kanrin.70.0_10>

(104) 北極海航路ハンドブック検討委員会編『北極海航路ハンドブック』日本海難防止協会, 2015, pp.25-26.

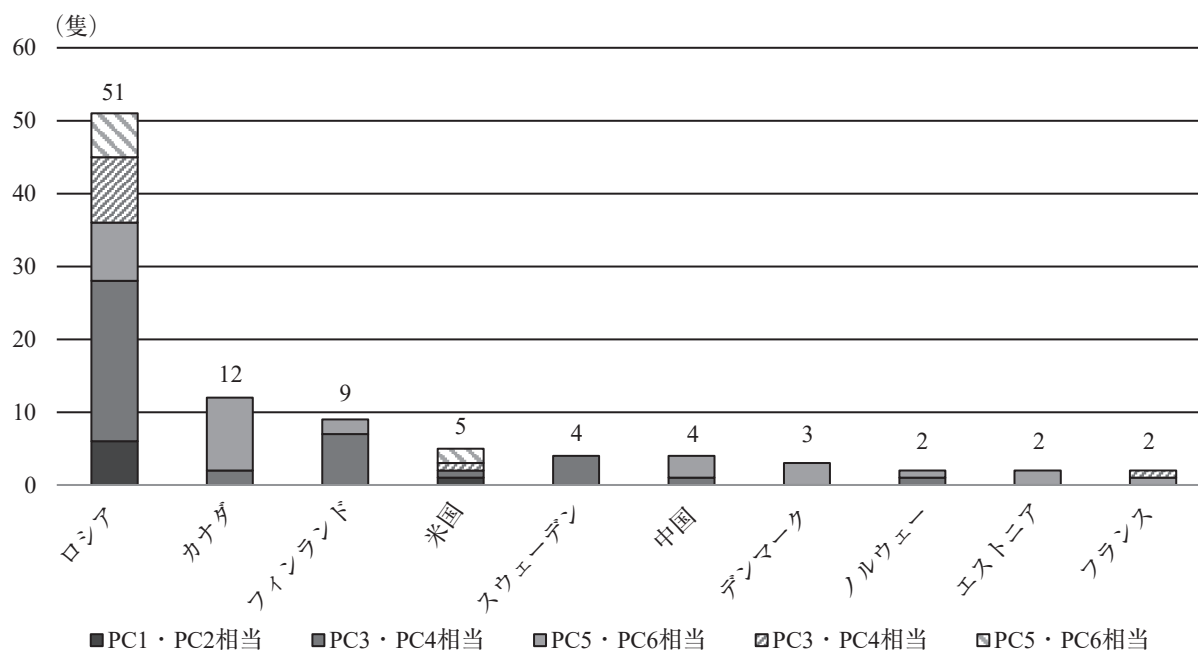
(105) 「砕氷艦「しらせ」型」海上自衛隊ウェブサイト <<https://www.mod.go.jp/msdf/equipment/ships/agb/shirase/>>

(106) 海洋研究開発機構北極環境変動総合研究センター「北極域研究船検討会（第2回）ご説明資料」（北極域研究船検討会第2回 資料3）2016.11.16, p.11. 文部科学省ウェブサイト <https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/kaihatu/021/shiryo/_icsFiles/fieldfile/2016/11/21/1379615_001.pdf>

(107) 菊地隆氏からの聞き取りによる。

ンランド9隻、米国5隻となっている（図5）。砕氷船は研究目的に加え軍事的にも重要であるため、ロシアと中国が北極域でのプレゼンスを強めている⁽¹⁰⁸⁾ 現状に対し、特に米国は砕氷船の不足を強く懸念しているとされる⁽¹⁰⁹⁾。そのため、2024年7月、米国、カナダ及びフィンランドは、「砕氷船協力協定」(Ice Pact)を締結した⁽¹¹⁰⁾。同協定により、専門知識や情報を共有し、今後10年間に世界で必要となると推定される70～90隻の新たな砕氷船の多くを建造することを目指すとしている⁽¹¹¹⁾。

図5 主要国の主な砕氷船数（2022年4月4日時点）



- (注1) 塗りつぶし部分は政府保有の船舶数、斜線部分は民間保有の船舶数であり、2隻以上保有する国のみ示す。
 (注2) 北極又は南極で単独で活動できる砕氷船を集計対象とし、PC7の砕氷船は含まれていない。
 (出典) Congressional Research Service, “Coast Guard Polar Security Cutter (Polar Icebreaker) Program: Background and Issues for Congress,” *CRS Report*, RL34391, Updated November 19, 2024, pp.50-52. <<https://crsreports.congress.gov/product/pdf/RL/RL34391>>を基に筆者作成。

(4) 日本における研究船「みらい」及び「みらいⅡ」

海洋地球研究船「みらい」による北極航海は、平成10（1998）年からほぼ毎年実施され⁽¹¹²⁾、令和6（2024）年度までの合計で22回に及ぶ⁽¹¹³⁾。「みらい」による北極域の海洋観測の成果は様々

(108) Jacob Gronholt-Pedersen and Gwladys Fouche, “Dark Arctic,” November 16, 2022. Reuters Website <<https://www.reuters.com/graphics/ARCTIC-SECURITY/zgvobmbmlrpd/>>; Erdem Lamazhapov et al., “China’s Polar Silk Road: Long Game or Failed Strategy?” November 14, 2023. The Arctic Institute Website <<https://www.thearcticinstitute.org/china-polar-silk-road-long-game-failed-strategy/>>

(109) 米国で現在運用されている極地砕氷船は2隻のみで、2隻とも耐用年数を過ぎている（“Background Press Call Previewing the New Trilateral Icebreaker Arrangement,” July 10, 2024. National Archives Website <<https://bidenwhitehouse.archives.gov/briefing-room/press-briefings/2024/07/10/background-press-call-previewing-the-new-trilateral-icebreaker-arrangement/>>）。

(110) “Joint Statement on ICE Pact,” July 11, 2024. National Archives Website <<https://bidenwhitehouse.archives.gov/briefing-room/statements-releases/2024/07/11/joint-statement-on-ice-pact/>>

(111) “Background Press Call Previewing the New Trilateral Icebreaker Arrangement,” *op.cit.*(109); ラナ・フォルハー「米、北極砕氷船で3国協力」『日本経済新聞』2024.8.16.

(112) 菊地 前掲注(92), p.31.

(113) 「2024年度海洋地球研究船「みらい」北極航海」ArCS IIウェブサイト <<https://www.nipr.ac.jp/arcs2/mirai2024/>>

な研究に活用されている⁽¹¹⁴⁾。

平成 27 (2015) 年に政府が海洋政策本部において決定した「我が国の北極政策」の中で、新たな北極域国際研究プラットフォームとして北極域研究船の建造が示された⁽¹¹⁵⁾ことを踏まえ、平成 28 (2016) 年度に文部科学省に「北極域研究船検討会」が設置された⁽¹¹⁶⁾。同検討会は、「みらい」は耐氷船であるため観測活動に制限があり、他国研究船による観測や国際共同観測に参加する場合は日本主体の研究・観測が難しく、アジア諸国の中で既に砕氷研究船を保有する中国及び韓国と比べ日本の優位性が脅かされる可能性が高い⁽¹¹⁷⁾等の理由から、砕氷性能を有する北極域研究船の建造を提示した⁽¹¹⁸⁾。当該検討を受けて、平成 29 (2017) 年度から JAMSTEC に「北極域研究船の推進」が予算化され、建造に向けた調査検討を経て、令和 3 (2021) 年度から砕氷性能を持つ北極域研究船「みらいⅡ」の建造が開始された⁽¹¹⁹⁾。竣工は令和 8 (2026) 年 11 月を予定している⁽¹²⁰⁾。

「みらいⅡ」の主な特徴としては、PC4 相当の砕氷性能、「みらい」レベルの観測設備に加え科学魚群探知機等の新たな設備の搭載、環境負荷低減や低燃費の工夫、国際プラットフォームとしてジェンダー等に配慮した居住環境等が挙げられる。総建造費は約 339 億円であり⁽¹²¹⁾、年間運用費は約 26 億円⁽¹²²⁾、運用 30 年間の合計で約 1155 億円の経費がかかると推計されている⁽¹²³⁾。砕氷船を持たないデメリットは前述したとおりであるが、砕氷船の必要性に関しては異なる意見もある。例えば、長期的に海水域面積が減少し続ける中、日本は海水のない海域で長年蓄積したデータが強みになっているが、海水が残る特定の海域を他国の砕氷船と一緒に観測・調査することは他国の観測研究の後追いになりかねないのではないかという意見が示されている⁽¹²⁴⁾。

(114) 北極域研究加速プロジェクト ArCS II において「みらい」を利用した研究に関しては、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ほか 前掲注(2)を参照。

(115) 総合海洋政策本部 前掲注(70), p.6.

(116) 「参考資料 1 北極域研究船検討会の設置について」2016.10.7. 文部科学省ウェブサイト <https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/kaihatu/021/attach/1379316.htm>; 赤根英介「北極域研究船の概要と氷工学への貢献」『日本船舶海洋工学会講演会論文集』35 号, 2022.11, p.117. <https://doi.org/10.14856/conf.35.0_117>

(117) 日本は既に砕氷機能を持つ南極観測船「しらせ」を保有しているが、「しらせ」が南極往復に加え北極観測をする場合、メンテナンスや乗組員の訓練の時間が不足するとされた（「(扉) 新型砕氷船 北極海を進め 観測活動強化や新航路調査へ 建造急ぐ」『朝日新聞』2021.4.9.）。

(118) 北極域研究船検討会「今後の北極域研究船の在り方の検討結果について」2017.1, pp.8-9. 文部科学省ウェブサイト <https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/kaihatu/021/houkoku/_icsFiles/afiedfile/2017/01/31/1381651_001.pdf>

(119) 赤根 前掲注(116), p.117.

(120) 「北極域研究船概要」国立研究開発法人海洋研究開発機構ウェブサイト <<https://www.jamstec.go.jp/parv/j/overview/>>

(121) 「10 研究開発局主要事項—令和 7 年度科学技術関係概算要求—」p.13. 文部科学省ウェブサイト <https://www.mext.go.jp/content/20240827-ope_dev02-000037780_11.pdf>

(122) なお、他国の同規模の砕氷研究船における年間運用費は、ドイツの「Polarstern」が約 28.6 億円、英国の「Sir David Attenborough」が約 26 億円（想定）であるとされる（北極域研究船の利活用方策・費用対効果等に関する有識者検討会「北極域研究船の利活用方策・費用対効果等に関する検討結果について（報告書）」2020.12, p.25. 文部科学省ウェブサイト <https://www.mext.go.jp/content/20201225-mxt_kaiyou-000011958_1.pdf>）。

(123) 同上, p.24.

(124) 猪上淳「第 5 章 北極の海と空の研究」和田章義編著・筆保弘徳編『天気と海の関係についてわかっていることとないこと』ベレ出版, 2016, pp.194, 204.

2 係留系・漂流ブイによる観測

(1) 係留系による観測

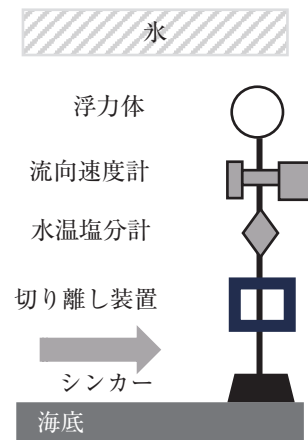
(i) 概要

Ⅲ-1 (2) で前述したとおり、北極海における船舶による観測の大きな課題は冬季から春季にかけての観測が困難である点である。そのため、その時期の観測は係留系観測と漂流ブイ観測が補う⁽¹²⁵⁾。

係留系による観測では、海底にシンカー（おもり）を下ろして場所を固定し、そこから係留ロープと観測装置を取り付け、最上部に（必要に応じて中間部にも）浮力を持つフロート（係留ブイ）を付けることで、海中に固定された観測システムを立ち上げることができる。シンカーの上方には、音響通信（音波による無線通信）を用いて作動させることができる切り離し装置を取り付けている（図6）。係留系は、あらかじめ決められた海域に船上から投入し、一定期間観測や試料採取を行った後、再び現場海域に行き切り離し装置を作動させて観測機器を回収する⁽¹²⁶⁾。

係留系観測では、超音波氷厚計や水温塩分深度計、音響式流向速度計、溶存酸素計等を用いて海水や海水の物理・化学的な変動を連続で観測することができる⁽¹²⁷⁾。また、動物プランクトン等の生物の死骸やフン、河川から流入する土壌等の様々な表層からの沈降粒子を捕集するセジメントトラップ⁽¹²⁸⁾も用いられる⁽¹²⁹⁾。

図6 係留系の概要図



(注) 流向速度計、水温塩分計等の観測機器は一例であり、その他の機器が用いられる場合もある。

(出典) 独立行政法人海洋研究開発機構「北極海チャクチ海に設置した係留系亡失について」2010.9.22, p.[3]. <https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/archive/2010/20100922.pdf> を基に筆者作成。

(ii) 利点及び課題

北極海における係留系観測の最大の利点は、希望する観測地点において、海水に覆われた冬季を含め通年でデータを取得できる点である。その一方で、課題として、観測範囲が船舶に比べて制限される（「点」としての観測しかできない。）こと、確実に係留系を回収できるとは限らないことが挙げられる。係留系を回収できない主な原因には、金属の電蝕（しょく）による係留系の劣化、漁業の網との接触、そして海水による破損があり得る⁽¹³⁰⁾。特に、北極海では冬季に海水の厚さが最大30m近くまで成長し、漂流速度が2m/sを超えることもあるため、水深が浅くなるほど海水による破損のリスクは大きいとされる。こうしたリスクを避けるため、北極海に設置される係留系は最上部が水深30mより深くなるように設計されている。その結果、

(125) 菊地隆氏からの聞き取りによる。

(126) 菊地 前掲注(90), p.202.

(127) 藤原周「6-7-5 海洋」北極環境研究コンソーシアム長期構想編集委員会編『北極域の研究—その現状と将来構想—』海文堂, 2024, p.337.

(128) 捕集された沈降粒子を化学分析することで、どの季節にどのような化学組成を持った粒子が、どの程度海洋表層から深海に輸送されるのかを定量することができ、海洋の二酸化炭素循環の研究等に利用される（本多牧生「係留系を用いた北太平洋の二酸化炭素循環過程の時系列観測」『日本航海学会誌』163号, 2005.12, p.69. <https://doi.org/10.18949/jinnavi.163.0_67>）。

(129) 「第4章 観測作業（後編）—海水の分析にもいろいろあるんですね—Vol.48. 「セジメントトラップ」の設置」2015.9.19. 国立研究開発法人海洋研究開発機構国際海洋環境情報センター（GODAC）ウェブサイト <<https://www.jamstec.go.jp/godac/j/godac/logbook/mr15/fourth.html>>

(130) 菊地隆氏からの聞き取りによる。

海水直下から水深 30m までの範囲を観測できない点も課題である⁽¹³¹⁾。

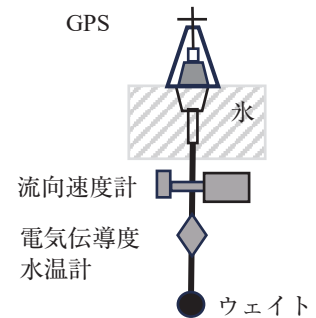
係留系は、基本的に設置してから回収するまでデータを取得することはできない。上述した回収リスクを考慮すると、ハイリスク・ハイリターンな観測手法とも言える。係留系のリアルタイムデータ通信方法としては、音響通信装置を付ける方法や、海底ケーブルを用いて地上基地までつなぐ方法が考えられるが、データ取得にかかるコストや手間を踏まえると、現状リアルタイムのデータ通信は非現実的と考えられている⁽¹³²⁾。

(2) 漂流ブイによる観測

(i) 概要

海水の存在を利用して観測を行う手法が海水設置型漂流ブイである。海水に穴を開け、海水上に GPS 位置情報と衛星通信装置を備えた観測機器を置き、ブイの下に観測装置を付けたケーブルを取り付け海中に垂らして、自動で観測を行う（図 7）。ケーブルでは海中の観測を、ブイでは気象の観測を行い、人工衛星で通信することによりリアルタイムで位置情報とともに観測データを取得することができる。なお、漂流ブイの回収は基本的にしない。バッテリーには、通常は耐寒性があるリチウムイオン電池が使用されることが多い⁽¹³³⁾。国際北極ブイ計画（International Arctic Buoy Programme: IABP）⁽¹³⁴⁾では、国際連携による北極海域での漂流ブイ観測の推進・調整を行うとともに、自動かつリアルタイムで得られた漂流ブイによる観測データを全球気象通信システム（Global Telecommunication System: GTS）に配信することを推奨しており、各国の気象予測に役立てられている⁽¹³⁵⁾。

図 7 海水設置型漂流ブイの概要図



(注) 流向速度計、電気伝導度、水温計等の観測機器は一例であり、その他の機器が用いられる場合もある。
(出典) 海洋科学技術センター「我が国初の北極点への水海観測用小型漂流ブイによる観測に成功」2000.5.17, p.[7]. 国立研究開発法人海洋研究開発機構ウェブサイト <https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/archive/2000/20000517.pdf> を基に筆者作成。

(ii) 利点及び課題

北極海における海洋観測において、漂流ブイの最も優れた点は、季節を問わず観測データを安全かつほぼリアルタイムで取得できる点である。また、係留系では観測できない海水直下の範囲も観測することができ、センサによる計測のみならず水中カメラで海水直下の映像を撮影することも可能である⁽¹³⁶⁾。人工衛星や船舶と比較して安価（センサを除くトップブイのみの場合、数万～数十万円）であり、装置が比較的小さいため設置の手間があまりかからないことも大きな利点である⁽¹³⁷⁾。しかし、問題点が2点ある。1点目は、観測地点が海水の動きに左右されるため任意の場所を指定できないこと、2点目は、海水上に設置することを前提にした観測

(131) 菊地 前掲注(90), pp.202-203.

(132) 菊地隆氏からの聞き取りによる。

(133) 同上

(134) 海洋及び気象データの収集を目的とし、太平洋北極地域にブイを設置し維持する複数の国際機関による共同プロジェクト（“International Arctic Buoy Programme.” National Oceanic and Atmospheric Administration Website <<https://arctic.noaa.gov/research/international-arctic-buoy-programme/>>）。

(135) 菊地 前掲注(90), p.201.

(136) 同上

(137) 菊地隆氏からの聞き取りによる。

手法であるため海水がなくなった海域では使用できないことである⁽¹³⁸⁾。

3 海中ロボットによる観測

海中ロボットは、パイロットが搭乗する有人潜水艇（Human Occupied Vehicle: HOV）、母船からケーブルを介して遠隔操作する遠隔操作型無人探査機（Remotely Operated Vehicle: ROV）、人が操作せず全自動で行動する自律型無人探査機（Autonomous Underwater Vehicle: AUV）に分類される⁽¹³⁹⁾。HOVは3種類の中で最も運用コストが大きく⁽¹⁴⁰⁾、ROVは詳細な調査や複雑な操作を行えるが、ケーブルがあるため広域調査には向かないとされる⁽¹⁴¹⁾。本節では、「[第4期]海洋基本計画」において技術開発の推進が明記される⁽¹⁴²⁾など、海中ロボットの中でも特に技術開発が進展しているAUVに焦点を当て、概要や北極域における利点及び課題を整理する。

(1) AUVの概要

AUVはプログラムに従って自律的に海洋調査を行う海中ロボットであり⁽¹⁴³⁾、長時間にわたって海底地形をマッピングするなど、比較的単調な作業を広域で行う場合に用いられることが多い。通常は、母船から切り離された後、事前に設定されたコースに従って調査を行いながら航行し、その後浮上して母船に回収される⁽¹⁴⁴⁾。AUVに搭載される観測機器は、水質センサや各種ソナー、水中カメラ等観測目的に応じて様々であり⁽¹⁴⁵⁾、電源としては主にリチウムイオン電池が用いられる。なお、一般的な稼働時間は半日から1日程度とされる⁽¹⁴⁶⁾。海中では電波の減衰が非常に大きくGPSを利用できないため⁽¹⁴⁷⁾、母船を基準とした音響測位（母船からAUVに音波を発信し、AUVが反射した音波を計測することで距離や方向を測位する。）によって位置を把握する⁽¹⁴⁸⁾。

AUVは、用途によって主に3種類に大別される。巡航型AUVは、これまで主として利用されており、海中で停止することなく移動し続けながらデータ計測を行う⁽¹⁴⁹⁾。高速で移動できるため、広域調査に用いられるとされる⁽¹⁵⁰⁾。ホバリング型AUVは、航行速度は遅いものの⁽¹⁵¹⁾、一時停止（ホバリング）、垂直移動、旋回など複雑な運動が可能であるため⁽¹⁵²⁾、海底や物体に接近して写真を撮影するなどのイメージ観測に有利である。ホバリング型AUVにマニピュレータ（ロボットアーム）等の作業用道具を装備したタイプは作業型AUVとも呼ばれ、海中で対

(138) 菊地 前掲注(90), p.201.

(139) 吉田弘「海への適用 海中ロボット技術」『金属』89巻7号, 2019.7, p.563; 巻俊宏「AUV:自律型海中ロボット」『日本機械学会誌』121巻1199号, 2018.10, p.24. <https://doi.org/10.1299/jsmemag.121.1199_24>

(140) 巻 同上

(141) 村島崇「海中ロボット ROV (Remotely Operated Vehicle)」『Kanrin』85号, 2020.7, p.15. <https://doi.org/10.14856/kanrin.85.0_15>

(142) 「[第4期]海洋基本計画」(令和5年4月28日閣議決定) 前掲注(73), pp.19, 77.

(143) 吉田弘・巻俊宏「AUV:自律型海中ロボット」『Kanrin』85号, 2020.7, p.19. <https://doi.org/10.14856/kanrin.85.0_19>

(144) 大木健「過酷な海洋環境に挑む母船レス海底観測ロボットシステム」『計測と制御』60巻4号, 2021.4, pp.266-267. <<https://doi.org/10.11499/sicejl.60.266>>

(145) 巻 前掲注(139), p.25.

(146) 吉田 前掲注(139), p.568.

(147) 巻 前掲注(139), p.25.

(148) 吉田 前掲注(139), pp.568-569.

(149) 同上, p.564.

(150) 大木 前掲注(144), p.267.

(151) 吉田 前掲注(139), p.564.

(152) 巻 前掲注(139), p.24.

象物に接近もしくは接触した状態でのサンプリング等の複雑な作業を行う⁽¹⁵³⁾。

(2) AUV の利点及び課題、北極域における利用

AUV は、HOV や ROV とは異なり、自律的なセンシング・認識・判断といった高度な技術が必要になるが、高い安全性の担保や大規模な船上専用設備が不要になるため、装置のコストを低減できる点が利点である⁽¹⁵⁴⁾。他方、課題としては、AUV が得たデータを音響通信によりリアルタイムで取得することは困難であり、母船に AUV を回収してからデータを取得することになる。そのため、一般的にデータ取得の即時性は ROV よりも劣る点が挙げられる⁽¹⁵⁵⁾。

AUV をはじめとする海中ロボットは、北極域における海水下の探査でも活躍が期待される。AUV は、海水下での鉛直方向や広域の探査に適しており、特に海水により母船が入れない海域においては、ROV とは異なりケーブルの制約を受けずに広範囲を行動できるという大きな利点がある。なお、ROV は母船の近くの海水下や海底面の観察や試料採取等を得意とし、海水域における係留系等の海中敷設及び回収や、AUV の非常時の回収など他の観測機器を支援する応用性を有する⁽¹⁵⁶⁾。北極域における海中ロボットの利用にこれらの利点がある一方、海水下探査特有の問題も存在する。海水域は広大であり、母船が簡単に入ることができない等の問題もあるが、最大の問題は、海水により人工衛星からの電波や母船からの音波が阻まれ⁽¹⁵⁷⁾ AUV の位置を計測できない⁽¹⁵⁸⁾ 点と、海水下で AUV に不具合やトラブルが発生した場合、海水があるため海面に浮上できず AUV を回収できない⁽¹⁵⁹⁾ 点である⁽¹⁶⁰⁾。こうした問題に対し、漂流ブイと組み合わせることで通信させる手法⁽¹⁶¹⁾ や、モジュールサブシステムを使用して設計することで AUV の一部の箇所が故障しても全体を故障させない手法等⁽¹⁶²⁾ が考えられている。

(153) 吉田 前掲注(139), pp.564-565.

(154) 吉田・巻 前掲注(14), p.19.

(155) 大木 前掲注(14), p.267.

(156) 藤原 前掲注(12), p.337; 山縣広和「水中ロボット「MONACA」、南極の海を潜る！」2024.9.24. 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ウェブサイト <<https://kyoku.nipr.ac.jp/special/1897>>

(157) 吉田弘「北極海水下ドローン「COMAI」の技術—海水下観測とナビゲーションの新たな挑戦—」2024.3.11, p.5. 東京大学環境モデリング統合学研究室ウェブサイト <https://lemons.k.u-tokyo.ac.jp/symposium/7/2_4「北極海水下ドローン「COMAI」の技術—海水下観測とナビゲーションへの新たな挑戦—」.pdf>

(158) 具体的には、通常海中ロボットは慣性航法装置（加速度と角速度で相対位置を計算する装置）によって出発点からの移動距離を求め、音波を用いて位置補正を行うが、北極海の海水域では、慣性航法装置の誤差が大きくなる、方位計が正確でなくなる、音波による補正が難しくなる、といった理由によりロボットの位置を計測できなくなる（吉田弘「北極域研究船の分身となりたい「海水下ドローン」のチャレンジ」2023.2.9. 国立研究開発法人海洋研究開発機構北極域研究船プロジェクトウェブサイト <<https://www.jamstec.go.jp/parv/j/blog/202302.09.html>>）。

(159) 海水下調査における AUV の損失リスクは、海水がない外洋調査と比較して 4.9 倍になるとされる（Tzu Yang Loh et al., “Fuzzy System Dynamics Risk Analysis (FuSDRA) of Autonomous Underwater Vehicle Operations in the Antarctic,” *Risk Analysis*, Vol.40 Issue 4, 2020.4, p.819. <<https://doi.org/10.1111/risa.13429>>）。

(160) 吉田弘ほか「北極海水下観測のための海中ロボット用電波航法の研究」『電子情報通信学会通信ソサイエティ大会講演論文集 2017 年』2017, p.182. <http://www.sawaya.ecei.tohoku.ac.jp/common/item/pdf/socit/2017_society_yoshida.pdf>

(161) Peter Wadhams and Bo Krogh, “Operational history and development plans for the use of AUVs and UAVs to map sea ice topography,” *Polar Science*, Vol.21, September 2019, pp.198-199. <<https://doi.org/10.1016/j.polar.2019.07.004>>

(162) Chris Kaminski et al., “12 days under ice: an historic AUV deployment in the Canadian High Arctic,” *2010 IEEE/OES Autonomous Underwater Vehicles*, 1-3 September 2010, pp.[9-10]. <<https://doi.org/10.1109/AUV.2010.5779651>>

4 人工衛星による観測

(1) 概要

人工衛星による海洋観測では、その衛星の軌道の種類（静止軌道、極軌道⁽¹⁶³⁾）や搭載機器の種類によって観測頻度・範囲が異なるが、一般的に地球上の多数の領域を広く同時に（又は一定の時間間隔で）カバーする観測データを取得することができる⁽¹⁶⁴⁾。主な観測対象としては、海面水温、海面塩分、海上風速・風向、植物プランクトン、波浪、海水密接度（海面に占める海水で覆われた部分の割合）⁽¹⁶⁵⁾ 等がある。人工衛星による観測データは、船舶等による現場観測データとともに海洋の現況把握と将来予測に利用される⁽¹⁶⁶⁾。観測センサによって観測方法や観測対象は異なる（表2）。

表2 海水観測に用いられる主な衛星搭載観測センサ

センサ	光学センサ		マイクロ波放射計	合成開口レーダ SAR
	可視赤外放射計	熱赤外放射計		
放射源	太陽	対象物	対象物	レーダ
観測波長帯	約 0.4～3 μm	約 7～14 μm	約 1mm～10cm	約 1cm～1m
観測項目	反射	熱放射	マイクロ波放射	後方散乱係数
空間分解能	約 1m～1km	約 100m～1km	約 5km～50km	約 5m～100m
観測方法	太陽光が地表面等に当たり反射した電波を観測する。	地表面等から放射される熱赤外の電波を観測する。	地表等から放射されるマイクロ波を観測する。	レーダが電波を発射し、地表面等に当たって散乱されて戻ってくる電波を観測する。
観測対象	植物の分布状況、海の色、地表の状態等	地表面や海面の温度等	海面の温度、海水の分布、積雪の厚さ、降水量等	火山や地震活動による地形変化、森林伐採監視、浸水域や船舶の動き
特徴	天候の影響を受けやすく曇天時には観測できないが、快晴時には観測画像の色や形状から詳細な海水分布状況を判別できる。		空間分解能は低いが、大気の影響を受けにくく海水分布域を的確に把握可能である。	全日、全天候で観測でき、空間分解能も高い。ただし、海水と水面の判読が容易ではないため光学センサとの併用が有効である。また、1日に全北極域をカバーできない。

（出典）長幸平「地球温暖化と衛星による海水観測」『航空と宇宙』750号, 2016.6, pp.23-27; 「リモートセンシングと放射伝達」国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構ウェブサイト <<https://earth.jaxa.jp/ja/eo-knowledge/remote-sensing/index.html>>; 「地球観測衛星の種類」国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構ウェブサイト <<https://earth.jaxa.jp/ja/eo-knowledge/eosatellite-type/index.html>>; 長幸平「衛星による海水観測の重要性」（海洋と宇宙の連携推進シンポジウム「海洋状況認識に有効な宇宙技術」）2015.3.5, p.[6]. 日本リモートセンシング学会ウェブサイト <https://www.rssj.or.jp/rssj/jitsuriyou_kouen_ppt/symp_report20150409/8.pdf> を基に筆者作成。

(2) 利点及び課題

人工衛星による海洋観測は、他の観測手法では不可能もしくは非現実的である広域モニタリングを継続的に行える点が最大の利点であると言われる⁽¹⁶⁷⁾。特に、北極域は地上の観測網が十

(163) 静止軌道は赤道上空にあり、静止軌道上にある衛星は地球上の同じ領域を常に観測できる。極軌道は南北の極付近を通る軌道であり、極軌道上にある衛星は高緯度地方を高頻度で観測できる（「静止気象衛星と極軌道気象衛星」気象衛星センターウェブサイト <<https://www.data.jma.go.jp/mscweb/ja/general/geopolar.html>>）。

(164) 菊地 前掲注(90), p.199.

(165) WMO（世界気象機関）は、氷で覆われた海面の量を10分の1で表した比率と定義する。1/10では海面がよく見え、10/10では海面は全く見えず氷に覆われている（“Sea Ice Nomenclature,” WMO-No.259, 2014.3, p.[16]. World Meteorological Organization Website <<https://library.wmo.int/idurl/4/41953>>; World Meteorological Organization, “Sea-ice Information and Services,” WMO-No.574, 2024, p.4. <<https://library.wmo.int/idurl/4/31442>>）。

(166) 江淵直人「『国連海洋科学の10年』に向けた日本の海洋衛星観測の展望と課題」『Ocean Newsletter』481号, 2020.8.20. <https://www.spf.org/opri/newsletter/481_1.html>

(167) 菊地 前掲注(90), p.199.

分に備わっていないため、環境変動を継続的に監視する上で人工衛星による観測がこれまで果たしてきた役割は大きいとされる⁽¹⁶⁸⁾。他方、人工衛星による観測には多大な費用が必要とされるため、多くの国では国家プロジェクトとして実施され、国際連携も不可欠であり簡単に実施することはできない。さらに、基本的には海洋内部の観測を行うことはできないため、海中の環境を知るためには別の観測手法が必要となる。また、人工衛星に搭載されたセンサの種類によっては、データ取得が天候や光環境に左右されるものもある（表2参照）⁽¹⁶⁹⁾。

(3) マイクロ波放射計の開発動向

北極域における海水の観測は、1987年以降毎日観測を続けるマイクロ波放射計が中心となっている⁽¹⁷⁰⁾。本節では、マイクロ波放射計の概要や日本及び欧州における開発動向を概説する。

(i) マイクロ波放射計の概要

人工衛星に搭載される観測センサのうち、マイクロ波放射計は、地球の表面（海面、陸面、淡水）や大気中の水粒子が温度と物質特性に応じて放射する様々な電磁波（マイクロ波）を観測することで⁽¹⁷¹⁾、陸地、海面、氷上といった地表の状態を判別する。マイクロ波放射計による観測は、空間分解能は数km～数十kmと低いものの、天候の影響を受けにくく⁽¹⁷²⁾、太陽光を光源としないため昼夜の別なく観測できることが特徴である⁽¹⁷³⁾。そのため、極域など曇天が多い地域の観測ではマイクロ波放射計が大きな役割を果たしている⁽¹⁷⁴⁾。

(ii) 日本の高性能マイクロ波放射計2 (AMSR2)

日本は、平成24(2012)年に、高性能マイクロ波放射計2 (AMSR2) を搭載した水循環変動観測衛星「しずく」(GCOM-W) を打ち上げ、海水分布などの観測データを発信しており、観測データは広く利用されている。「しずく」は日本に限らず世界的な観測インフラとして認知されている⁽¹⁷⁵⁾。AMSR2は、世界90か国以上の750を超える研究機関・大学・民間企業等で利用され⁽¹⁷⁶⁾、米国防省や米国大気海洋庁(NOAA)、英国気象局やフランス気象局、ノルウェー気象局など各国政府機関に対しデータを提供しているとされる⁽¹⁷⁷⁾。

「しずく」は高度約700kmの極軌道上に配置され、搭載されているAMSR2は、およそ2日

(168) 堀雅裕「6-2 衛星観測」北極環境研究コンソーシアム長期構想編集委員会編 前掲注(127), p.317.

(169) 菊地 前掲注(90), pp.199-200.

(170) Angela C. Bliss, “Passive microwave Arctic sea ice melt onset dates from the advanced horizontal range algorithm 1979–2022,” *Scientific Data*, Vol.10, 1 December 2023, p.1. <<https://doi.org/10.1038/s41597-023-02760-5>>

(171) 可知美佐子「リモートセンシング質問箱（第27回）マイクロ波放射計の観測データとその利用」『日本リモートセンシング学会誌』38巻5号, 2018.11, p.466. <<https://doi.org/10.11440/rssj.38.466>>

(172) 長幸平・直木和弘「AMSR2による海水観測の高度化」『日本リモートセンシング学会誌』33巻4号, 2013.9, p.283. <<https://doi.org/10.11440/rssj.33.283>>

(173) 今岡啓治ほか「AMSR2観測の概要と特徴」『日本航空宇宙学会誌』62巻6号, 2014.6, p.212. <https://doi.org/10.14822/kjsass.62.6_209>

(174) 可知 前掲注(171), p.466.

(175) 菊地隆氏からの聞き取りによる。

(176) 布野泰弘・平林毅「次期マイクロ波放射計の検討状況について」(宇宙政策委員会 宇宙産業・科学技術基盤部会(第43回) 資料5-2) 2018.11.13, p.3. 内閣府ウェブサイト <<https://www8.cao.go.jp/space/committee/27-kiban/kiban-dai43/pdf/siryous5-2.pdf>>

(177) 沖大幹「GCOM-Wの成果及びAMSR2後継センサに向けた期待と展望」(GCOM-W(しずく)の成果と後継ミッションの利用展望ワークショップ) 2017.4.28, pp.14-18. GCOM-W1ウェブサイト <https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM-W/materials/ws_shizuku_may2017/1-1_oki.pdf>

間で地球上の99%以上の場所を昼夜1回ずつ観測できる⁽¹⁷⁸⁾。高緯度洋上では海水密接度を測定し、その空間分解能は15kmである⁽¹⁷⁹⁾。一般に、マイクロ波放射計は、アンテナ口径が大きく、観測周波数が高くなるほど、空間分解能が高くなる。AMSR2のアンテナ口径は2mであり⁽¹⁸⁰⁾、現在世界最高性能のマイクロ波放射計となっている⁽¹⁸¹⁾。設計寿命は5年であるが、運用は既に10年を超えている。令和7(2025)年度に後継機である高性能マイクロ波放射計3(AMSR3)の打ち上げが予定されており、早期の運用開始が待たれる⁽¹⁸²⁾。AMSR3は、温室効果ガス観測センサ3型(TANSO-3)と共に、温室効果ガス・水循環観測技術衛星(GOSAT-GW)に搭載される予定である。AMSR3は、アンテナ口径、観測周波数等の基本的な仕様はAMSR2を引き継ぐが、降雪量観測や高分解能海面水温観測など新しい観測対象も加えられる⁽¹⁸³⁾。

(iii) 欧州宇宙機関(ESA)のCIMR

日本のほか、欧州宇宙機関(European Space Agency: ESA)も新しいマイクロ波放射計であるCIMRの開発を進めている。CIMRの目的は、北極海が大部分を占める北極の変化を監視することであり⁽¹⁸⁴⁾、1日置きに極地を観測しながら毎日地球上の95%を観測するとされる。CIMRは、2029年と2035年に打ち上げ予定の2機の人工衛星に搭載される計画であり⁽¹⁸⁵⁾、海水密接度、海面温度、海面塩分濃度のほか、海上風速・風向、積雪量、降水量等も観測する。アンテナ口径は8mであり、海水密接度の空間分解能は5km未満とAMSR2やAMSR3を上回る性能が示されている⁽¹⁸⁶⁾。極域の観測を主目的とするCIMRによる高精度のデータと、全球の地球温暖化を観測するAMSR3によるデータを組み合わせることで、より高精度かつ効率的な地球観測体制が構築されることが期待される。

IV 北極域研究のデータ活用と課題

北極域研究で得られたデータに関して、各種研究データの統合や、北極海航路航行のための海水情報の提供、海洋観測データを基にした海水予測といった活用方法について紹介する。加えて、そうした北極域研究のデータ活用に負の影響を及ぼし得る、ロシアとの科学協力関係及び研究人材育成という2点の北極域研究における課題を論じる。

(178) 「しずく(GCOM-W)」国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構第一宇宙技術部門サテライトナビゲーターウェブサイト <<https://www.satnavi.jaxa.jp/ja/project/gcom-w/>>

(179) 伊藤徳政「GCOM-W1(「しずく」とA-Trainの概要)『写真測量とリモートセンシング』52巻4号, 2013, p.178. <<https://doi.org/10.4287/jsprs.52.178>>

(180) 長・直木 前掲注(172), p.284.

(181) 堀 前掲注(168), p.317.

(182) 宇宙開発戦略本部「宇宙基本計画工程表」(令和6年度改訂) 2024.12.24, pp.20, 22. 内閣府ウェブサイト <https://www8.cao.go.jp/space/plan/plan2/kaitei_fy06/kaitei_fy0612.pdf>

(183) 江淵直人ほか「AMSRシリーズによる全球水循環の観測」『日本リモートセンシング学会誌』41巻2号, 2021.5, p.268. <<https://doi.org/10.11440/rssj.41.267>>

(184) “CIMR goals.” European Space Agency Website <https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/CIMR/CIMR_goals>

(185) “cimr: Placing the Arctic in a global context.” European Space Agency Website <https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/CIMR>

(186) “CIMR goals.” *op.cit.*(184)

1 北極域研究データの活用

(1) 北極域研究データの統合

北極域の各分野における環境情報をビッグデータとして包括し、整理及び提供するオープンサイエンス基盤として、「北極域データアーカイブシステム (Arctic Data archive System: ADS)」⁽¹⁸⁷⁾が国立極地研究所北極観測センターにより整備され、平成 26 (2014) 年から運用されている。平成 27 (2015) 年 9 月以降は、ArCS 及び ArCS II の下で運用、開発が行われている⁽¹⁸⁸⁾。ADS では、集積されたビッグデータの解析及び可視化ウェブプラットフォームを開発し⁽¹⁸⁹⁾、現場観測データを始めとする研究データを管理検索するシステムの提供やリアルタイムに配信される衛星データの可視化等を実施している。各分野間でのデータの相互利用を図り、現場観測データ、衛星データ、数値実験データ等のデータセットの構築を通して、北極域の大気—海洋—陸域システムの変動の実態とプロセスの解明、影響評価、将来予測精度の向上を目指しているとされる⁽¹⁹⁰⁾。

(2) 人工衛星観測データの提供

船舶が安全かつ経済的に北極海を航行する上では、詳細な海水の情報及びその情報を提供するためのシステム構築が必要となる。これらのニーズに対して、JAXA は平成 30 (2018) 年から、AMSR2 により取得された海水密接度等のデータを船舶に対して提供している。提供の際には、国立極地研究所が開発した船舶航行支援サービス (VEselle Navigator by Unitized Systems: VENUS) が利用されている⁽¹⁹¹⁾。提供までの流れは、①衛星が取得したデータを JAXA が ADS に対して配信し、② ADS はデータを加工し国立極地研究所のメールサーバに配信し、③国立極地研究所と船舶のメールサーバが衛星通信により同期し、④船舶のメールサーバから船内 LAN によって PC で閲覧可能となる⁽¹⁹²⁾。なお、メール上では数値データとして配信され、船内で画像に変換される。通常、船舶ではデータ送信量に制限があるため、VENUS に用いるデータは必要領域を切り出し、生データを圧縮することで送信容量を小さくしている。現在、VENUS は、JAMSTEC の海洋地球研究船「みらい」や、南極観測船「しらせ」、東京海洋大学の実習船「海鷹丸」、北極海航路を利用する一部の民間船舶に設置されている⁽¹⁹³⁾。

(3) 海水情報の予測

海水予測の時間スケールは、数日～10 日程度の短期、数か月程度の中期、数年～数十年程度の長期に大別される。短期予測は実際の航行中の航路選択に、中期予測は航行計画の支援や

(187) “ADS: Discover and access Arctic and Antarctic Data.” 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ウェブサイト <<https://ads.nipr.ac.jp/>>

(188) 山口一・大塚夏彦「北極海航路実現に向けた総合的研究と課題」『土木学会論文集 B3 (海洋開発)』73 巻 2 号, 2017, p.1_38. <https://doi.org/10.2208/jscejoe.73.I_36>

(189) 「北極域の科学的知見の公開に向けて」北極域研究推進プロジェクトウェブサイト <<https://www.nipr.ac.jp/arcs/project/collaborated/08.html>>

(190) 矢吹裕伯「北極における地球環境研究とそのデータの取り扱い」『パテント』72 巻 3 号, 2019.3, p.43.

(191) 小野温ほか「北極海航路を航行する船舶への AMSR2 プロダクトの提供及び検証に関する取組みの紹介」『雪氷』82 巻 2 号, 2020.3, p.101.

(192) 矢吹裕伯「極域・氷海域における海水情報提供の現状や課題と AMSR2 後継センサに向けた新たな取組みについて」(GCOM-W (しずく) の成果と後継ミッションの利用展望ワークショップ) 2017.4.28, p.[17]. GCOM-W1 ウェブサイト <https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM_W/materials/ws_shizuku_may2017/3-2_yabuki.pdf>

(193) 矢吹 前掲注⁽¹⁹⁰⁾, p.47.

北極海航路の利用可否の判断に、長期予測は、砕氷船の建造計画など長期航行計画（造船計画）の支援に用いられる⁽¹⁹⁴⁾。短期予測及び長期予測は、観測データを初期値として気象情報を加味した数値モデルや、気候モデルを含む地球全体の再現予測モデル等を用いて予測する。そのため、短期・長期予測は精度向上が容易である一方、中期予測は数か月先の天気予報ができないことと同様に数か月先の海水予測は難しく、精度の向上が課題であったとされる⁽¹⁹⁵⁾。そこで、人工衛星データを解析する統計的手法による中期予測が開発された⁽¹⁹⁶⁾。具体的には、冬季の海水の動きを毎日観測し海水の厚さをモニタリングすることで、冬季に海水の薄い場所は次の夏季には溶け、反対に厚い場所は夏季にも残るといったように⁽¹⁹⁷⁾、冬季の海水の厚さや動きが春季の海水の厚さ及び夏季の海水分布に影響することを利用し、夏季の海水予測を行っている⁽¹⁹⁸⁾。

米国の ARCUS（II-2 参照）は、2008 年から「Sea Ice Outlook」と呼ばれる北極海における海水の中期予測の取組を行っており、世界各国の研究機関・研究グループ・研究者が毎年 6 月、7 月、8 月、9 月（9 月は 2021 年以降のみ）に当該年の 9 月の平均海水域面積を予測したレポートを公開している⁽¹⁹⁹⁾。2023 年 6 月時点、世界 38 グループが予測を出し、日本からは ArCS II プロジェクト（ArCS II Kids）による予測と、国立極地研究所北極海水情報室（ASIC, NIPR）による予測が提出された。2023 年 9 月の衛星観測による実際の平均海水域面積は 437 万 km² であり、ArCS II プロジェクトによる予測（451 万 km²）は誤差 3%⁽²⁰⁰⁾、国立極地研究所による予測（460 万 km²）は誤差 5% という結果となった⁽²⁰¹⁾。なお、2023 年 6 月時点の予測で最も精度が高かったのは、米国海洋大気庁国立気象局気候予測センター（Climate Prediction Center, National Weather Service, NOAA）の予測（441 万 km²）で誤差は 0.9% であった⁽²⁰²⁾。

別の中期予測の例として、国立極地研究所北極海水情報室は、7～8 月の航路開通時期から 11 月頃までの期間の北極海の海水分布をおよそ 2 か月ごとに予測しており⁽²⁰³⁾、ADS にも可視化されたデータが公開されている。また、米国海洋大気庁国立気象局気候予測センターは、1 週間ごとの海水密接度の予測結果を約 1 か月半後まで公表している⁽²⁰⁴⁾。

(194) 木村詞明「航行計画支援に向けた海水中期予測」（GRENE 北極気候変動研究事業特別セミナー「北極海航路の実現に向けて」）2024.11.17, p.[2]. GRENE 北極気候変動研究事業ウェブサイト <https://www.nipr.ac.jp/grene/20141117seminar/pdf/seminar2_Kimura.pdf>; 川崎高雄・羽角博康「北極海の海洋構造モデルと海水長期予測」（GRENE 北極気候変動研究事業特別セミナー「北極海航路の実現に向けて」）2024.11.17, p.[2]. 同上 <https://www.nipr.ac.jp/grene/20141117seminar/pdf/seminar2_Kawasaki.pdf>

(195) 山口 前掲注(25), p.19.

(196) 山口・大塚 前掲注(88), p.1_37.

(197) 山口 前掲注(25), p.19.

(198) 木村 前掲注(94), pp.[8]-[9].

(199) “Sea Ice Outlook.” Arctic Research Consortium of the United States (ARCUS) Website <<https://www.arcus.org/sipn/sea-ice-outlook>>

(200) “Sea Ice Outlook 2023 June Report Individual Outlook: ArCS II Kids.” Arctic Research Consortium of the United States (ARCUS) Website <https://www.arcus.org/files/sio/panarctic/2023_june_sio_arcs_ii_kids.pdf>; “Sea Ice Outlook: 2023 Post-Season Report,” 19 January 2024. *ibid.* <<https://www.arcus.org/sipn/sea-ice-outlook/2023/post-season>>

(201) “Sea Ice Outlook 2023 June Report Individual Outlook: ASIC, NIPR.” Arctic Research Consortium of the United States (ARCUS) Website <https://www.arcus.org/files/sio/panarctic/2023_june_sio_asic%2C_nipr.pdf>; “Sea Ice Outlook: 2023 Post-Season Report,” *ibid.*

(202) “Sea Ice Outlook 2023 June Report Individual Outlook: Climate Prediction Center.” Arctic Research Consortium of the United States (ARCUS) Website <https://www.arcus.org/files/sio/panarctic/2023_june_sio_climate_prediction_center.pdf>; “Sea Ice Outlook: 2023 Post-Season Report,” *ibid.*

(203) 「北極海水分布予報」国立極地研究所北極海水情報室ウェブサイト <https://www.nipr.ac.jp/sea_ice/forecast/>

(204) “Climate Prediction Center weekly sea ice prediction.” NOAA National Weather Service Climate Prediction Center Website <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/people/yliu/seaice_wk34/>

2 北極域における研究活動の課題

(1) ロシアとの科学協力関係の断絶

2022年2月のロシアによるウクライナへの侵攻により、多くの科学分野においてロシア内外で研究者間の協力関係は断絶している⁽²⁰⁵⁾。現在、ロシア周辺地域での調査活動は困難であり、短期的には活動を延期、中断、中止せざるを得ないとされる⁽²⁰⁶⁾。北極海沿岸のおよそ半分を占めるロシアから観測データを入手できなくなったことで、海洋環境や気候科学の研究に支障が出ているとの指摘もある⁽²⁰⁷⁾。研究者の中には、北米地域における調査活動に変更する者や、人工衛星等によるリモートセンシングで観測を継続する者もいる⁽²⁰⁸⁾。

2017年5月、AC（I-5参照）において「北極に関する国際科学協力の促進に関する協定」⁽²⁰⁹⁾（北極科学協力協定）が成立した。同協定は、北極科学における国際協力を促進するため、同協定が対象とする科学的活動やその活動に関わる参加者に対し、各種行政手続や法制度の適用実施のあり方を容易にするよう求めている。例えば、第6条第1項は参加者が北極域に容易に出入りできるようにすることを、第6条第2項は（EEZ内や大陸棚上での）海洋の科学的調査を実施するための申請の処理を容易にすることを定めている。また、第17条では非締約国との協力について規定しており、非締約国である日本は日露科学技術協力協定⁽²¹⁰⁾を拡大運用することで、これまで以上に北極科学を推進することが可能になったとされる⁽²¹¹⁾。

しかし、現在のロシアと日本の政府レベルの関係では、北極科学協力協定第17条の規定に基づき協力する機会はますます減少している。ロシアのウクライナ侵攻を受けて、日本政府はロシアを強く非難し、G7を始めとする欧米諸国とともに対露経済制裁を実施している⁽²¹²⁾。対するロシア政府も、日本を「非友好国」に指定し⁽²¹³⁾、日本との平和条約に関する二国間交渉を中断した⁽²¹⁴⁾。そのため、両国が日露科学技術協力協定に基づく日露科学技術協力委員会を開催することは困難であり、国際的な学会等で話し合うことも難しい。その一方で、研究者等の非政府レベルの科学活動は、協力できる可能性があるとされる。日本はロシアの学術機関との学

(205) Alexandra Witze, “Russia’s war in Ukraine forces Arctic climate projects to pivot,” *Nature*, Vol.607, Issue 7919, 21 July 2022, p.432. <<https://doi.org/10.1038/d41586-022-01868-9>>

(206) Hiroyuki Enomoto, “Keeping ahead of Arctic science in difficult times: What scientists seek and do,” *Arctic Yearbook*, 2022, p.344. <https://issuu.com/arcticportal/docs/ay2022_final>

(207) 「失われた「平和の海」 鉄のカーテン復活、閉ざす国際協力—科学研究に打撃、先住民分断—「二つの北極」(6)」2024.9.18. 時事ドットコムニュースウェブサイト <<https://www.jiji.com/jc/v8?id=202409hokkyoku-1-061>>

(208) Witze, *op.cit.*(205)

(209) Arctic Council, “Agreement on Enhancing International Arctic Scientific Cooperation,” 2017.5.11. issued. <<http://hdl.handle.net/11374/1916>>

(210) 日本とロシアの間で平和目的の科学技術分野の協力関係を促進するために締結され、2000年9月4日に署名・発行された。協力活動の形態や合同委員会等の政府間協議の枠組みのほか、知的所有権の扱い等について定めている（「科学技術 二国間科学技術協力の枠組み」2024.1.29. 外務省ウェブサイト <<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/technology/nikoku/framework.html>>）。

(211) 柴田明穂「第17章 北極国際科学協力促進協定の意義」稲垣・柴田編著 前掲注(71), pp.227-229, 235-237, 240-248.

(212) 秋山勉「趣旨と構成—ロシアによるウクライナ侵略の概要と日本の対応—」国立国会図書館調査及び立法考査局編『ロシアによるウクライナ侵略をめぐる諸問題—総合調査報告書—』（調査資料2024-2）国立国会図書館, 2024, pp.10-13. <<https://doi.org/10.11501/13365798>>

(213) “The Government approves the list of unfriendly countries and territories,” 7 March 2022. The Russian Government Website <<http://government.ru/en/docs/44745/>>

(214) “Foreign Ministry statement on measures in response to the decisions of the Government of Japan,” 21 March 2022. Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation Website <https://mid.ru/en/foreign_policy/news/1805541/>

術交流を継続しており、ロシア人研究者にも「教授」ビザの発給を続けている⁽²¹⁵⁾。国立大学協会は、日本にいるロシア人研究者及びその家族が不利益を被らないよう適切に対応すると発表し⁽²¹⁶⁾、日本学術振興会は、研究のために来日し正式に審査で認められたロシア人研究者に資金を提供している⁽²¹⁷⁾。国家レベルの協力が凍結されている現在の状況では、研究者に代表される非国家主体が国際科学協力で重要な役割を果たすと考えられる⁽²¹⁸⁾。

(2) 研究人材育成の推進

急激な環境変化に直面している北極域では、海洋学・気象学・生態学など環境科学分野に加え、工学・人文科学・社会科学等の幅広い学問分野の融合や社会における実践が求められている。北極研究は学際的な学問であり国際共同研究の実施も多く、社会と密接に関わるため、北極研究に携わる人材には、専門知識や技術の習得のみならず、国際感覚や協調性、フィールドワークの機会等を持つことが求められるとされる。特に、学際性の担保は課題であり、研究機関や研究プロジェクトにおいては、研究者の評価を学際性やコミュニケーション能力、国際感覚等の多様な軸で行うことを明確にすることが重要であるとの意見がある。また、キャリア初期の研究者が様々な能力や知識を身に付けられるよう、大型の北極研究プロジェクトを活用して雇用機会を確保することの必要性も指摘されている⁽²¹⁹⁾。

研究人材育成に大きな効果を持つとされる国際的な取組としては、Association of Polar Early Career Scientists (APECS) や IASC (I-5 参照) が挙げられる。APECS は、両極を対象とした研究を行っている学生及び若手研究者が自ら運営する組織であり、ホスト機関（ノルウェー北極大学）のほか、IASC や南極研究科学委員会 (Scientific Committee on Antarctic Research: SCAR) 等の組織から支援を受け⁽²²⁰⁾、極地研究者のネットワークの構築や教育とアウトリーチの推進といった様々な活動を行っている⁽²²¹⁾。IASC には、五つの作業部会ごとに毎年一人の若手研究者（フェロー）を参加させるフェローシッププログラムがある。フェローには科学的な貢献に加え、特定の活動の組織化の支援や IASC 事務局への報告の調整といった役割も期待されており、国際的なネットワークを構築し、マネジメント能力を習得する機会が提供されている⁽²²²⁾。日本の若手研究者はこれらの取組への参加が消極的であるとされ、若手研究者には積極的な挑戦が、その指導者には取組への参加に対する適切な理解が求められるとされる⁽²²³⁾。

また、日本の取組としては、海洋地球研究船「みらい」が活用されている。2021 年に開催

(215) 「就業ビザ：教授、芸術、宗教、報道、経営・管理、法律・会計業務、医療、研究、教育、技術・人文知識・国際業務、介護」2023.3.17. 外務省ウェブサイト <<https://www.mofa.go.jp/mofaj/toko/visa/chouki/visa1.html>>

(216) 一般社団法人国立大学協会「ウクライナ情勢に係る国立大学協会声明」2022.3.4. <https://www.janu.jp/wp/wp-content/uploads/2022/03/2021_news_038_001.pdf>

(217) Alexander Sergunin and Akiho Shibata, “Implementing the 2017 Arctic Science Cooperation Agreement: Challenges and Opportunities as regards Russia and Japan,” *The Yearbook of Polar Law*, Vol.14, 2023, pp.73-75. <https://doi.org/10.1163/22116427_014010004>

(218) Pavel Devyatkin, “Can Arctic Cooperation be Restored?” *Arctic Yearbook*, 2022, p.337. <https://issuu.com/arcticportal/docs/ay2022_final>

(219) 末吉哲雄・礪波亜希「6-5 人材育成」北極環境研究コンソーシアム長期構想編集委員会編 前掲注(219), pp.323-324.

(220) 同上, p.325.

(221) “Who We are.” Association of Polar Early Career Scientists Website <<https://www.apecs.is/who-we-are.html>>

(222) “IASC Fellowship Program.” International Arctic Science Committee Website <<https://iasc.info/capacity-building/fellowship-program>>

(223) 末吉・礪波 前掲注(219), p.326.

された第3回北極科学大臣会合（3rd Arctic Science Ministerial: ASM3）⁽²²⁴⁾の際に、日本は、新たな国際研究プラットフォームとして北極域研究船を建造することや、ArCS IIが促進する主なテーマの一つが若手研究者・人材の育成であることを発表した⁽²²⁵⁾。そして、研究船の国際研究プラットフォーム化に向けた動きとして、「みらい」の2023年の北極航海における若手研究者の国際的な提案公募⁽²²⁶⁾が実施された⁽²²⁷⁾。公募には日本を含め8か国16課題（海外からは11課題）が提案され、審査を経て最終的に6か国11課題（海外からは7課題）が採択された。その後の調整の結果、最終的には「みらい」による2023年の北極航海には、米国、英国、デンマーク及びポルトガルから6名の若手研究者が航海に参加し観測を実施した⁽²²⁸⁾。新北極域研究船「みらいⅡ」における航海でも同様に、海外の研究者も含めた若手研究者の提案公募を実施する予定であり⁽²²⁹⁾、日本が主導する国内外の若手研究者の育成が期待される。

おわりに

北極域は、急速な温暖化の進行による海水の長期的な減少など自然環境の変化とともに、石油・天然ガス等の資源開発や航路の利用が促進されており、科学的、経済的、社会的影響は北極海沿岸国のみならず、日本を含む多数の国に影響が及ぶ。非北極圏国である日本にとって、海洋観測等により得られた科学的知見を共有し提供することが、国際社会における重要な役割であると考えられる。また、そうした科学的知見は種々の科学研究活動に活用されるだけでなく、科学的根拠として国内の政策形成・決定や、国際的なルール形成の基礎となり得る。特に、外的環境の変化に対する回復が極めて弱い弱な北極域で持続的な利用を可能とするためには、科学的知見に基づいた政策判断や課題解決を行う必要があり、研究成果を政策決定者や産業界、先住民を含む一般市民に伝えることが重要である⁽²³⁰⁾。令和7（2025）年度に打ち上げが予定されている、水循環を観測する新たな人工衛星「GOSAT-GW」や、令和8（2026）年度に竣工予定の、日本初の砕氷機能を持つ北極域研究船「みらいⅡ」など、日本の新たな観測プラットフォームが今後より一層、国際的に北極域の海洋観測研究を推進させ、更には研究人材育成や法政策の基礎として活用されることが期待される。

（いの ちひろ）

⁽²²⁴⁾ 北極における研究・観測や主要な社会的課題への対応の推進、関係国間や北極圏に居住する先住民団体との科学協力の更なる促進を目的とした会議であり、第3回は日本とアイスランドの共催により東京で開催され、35の国及び団体が参画し各国大臣・大使等が議論した（「第3回北極科学大臣会合（ASM3: 3rd Arctic Science Ministerial）」文部科学省ウェブサイト <https://www.mext.go.jp/a_menu/kaihatu/hokkyoku/ASM3_jp.htm>）。

⁽²²⁵⁾ Ministry of Education, Science and Culture, *Knowledge for a Sustainable Arctic: 3rd Arctic Science Ministerial Report*, Tokyo: Ministry of Education, Science, Culture, Sports and Technology, 2021, pp.76-77. 3rd Arctic Science Ministerial Website <https://asm3.org/library/Files/ASM3_Final_Report.pdf>

⁽²²⁶⁾ “[Closed] Call for Research and Observation Proposal from Early Career Scientists Using R/V Mirai 2023 Arctic Cruise,” September 2, 2022. ArCS II Website <<https://www.nipr.ac.jp/arcs2/e/info/mirai-ecs-2023/>>

⁽²²⁷⁾ 菊地隆氏からの聞き取りによる。

⁽²²⁸⁾ 同上

⁽²²⁹⁾ 同上

⁽²³⁰⁾ 南極 OB 会編集委員会編 前掲注(9), p.57.