

## 北極環境研究コンソーシアム

## 北極域研究船利用計画

## 北極域研究船利用計画ワーキンググループ

## 1. 背景と趣旨

北極は中心部が海であり、北極研究のさらなる進展には船舶による観測が重要となる。現在の日本の北極海観測は自国耐氷船か他国砕氷船を利用して行われ、それぞれに観測時期・海域・人員・予算等の制約の中で実施されている。特に他国砕氷船の利用は、各国の政治的動向による自国観測計画への干渉のリスクを常に内在するとともに、データの利活用における制限などの無視できない問題を持つ。また、他国砕氷船は沿岸警備隊所属の船舶などの場合もあり、必ずしも観測機器や実験室等の設備が充実しているとは限らない。また、当該船の行動目的が優先されるため、観測が計画通り行われず、取得データの質や量が十分ではない場合もある。例え研究を目的とした砕氷研究船であっても、日本のように高い観測技術を有した人員が乗船しているケースは稀である。加えて他国砕氷船への観測機材および試料の輸送（輸出入）等にかかわる経費や事故・トラブル対応は、現場分析や実験等が必要な分野の研究にとって大きな負担となる。このようなことが、我が国の研究対象やデータ取得を制限する大きな阻害要因となってきた。

他方、自国の砕氷研究船を持たないことによる数々の障害があったとはいえ、日本にはこれまで北極海・南極海のみならず、季節海氷域であるオホーツク海・ベーリング海において分野をまたいだ数多くの研究実績がある。また、耐氷船による観測戦略や先進的な観測装置の開発など、障害を克服する独自性も有している。したがって、自国砕氷船を持つことで、それらの先進性や独自性の維持発展を志向しつつ、北極研究を国際的にリードしていくことが可能である。

大きな課題と可能性の双方を有する中で、2015（平成 27）年 10 月に総合海洋政策本部が策定した「我が国の北極政策」、並びに、2016（平成 28）年 2 月から 8 月にかけて開催された文部科学省 科学技術・学術審議会 北極研究戦略委員会にて、新たな「北極域研究船」建造の必要性が示された。そして、同年 11 月から 2017（平成 29）年 1 月にかけて開催された文部科学省 北極域研究船検討会にて「砕氷機能を有する北極域研究船」の在り方が示され、それを受けて、2017（平成 29）年度に「北極域研究船の推進」事業が予算化され、国立研究開発法人海洋研究開発機構（JAMSTEC）において、北極域研究船の具体的な機能検討等が実施された。さらに、2018（平成 30）年 5 月に閣議決定・公表された第三期海洋基本計画では、「北極政策の推進」が大きく取り上げられるとともに、「砕氷機能を有する北極域研究船の建造等に向けた検討を進める」と明記されるに至った。北極環境研究コンソーシアム（JCAR）では、これらの政策的動向と並行し、2018（平成 30）年度に 2 回にわたって北極域研究計画ワークショップを開催し、砕氷研究船の必要性を強く認識し研究コミュニティの立場からの要望書を纏めるに至った。

2017（平成 29）年度以降段階的に進められてきた「北極域研究船の推進」事業は、性能評価や氷海航行支援システムの検討などを経て、2020（令和 2）年度には本船の基本設計・デザインを実施した。これらの進展を踏まえ、JCAR では、前述の課題を克服し、我が国の研究コミュニティが有する研究課題を現実化するため、現時点から北極域研究船の就航後を見据えた研究コミュニティとしての準備を開始することとし、「北極域研究船利用計画ワーキンググループ」を設置した。ワーキンググループでは 2018（平成 30）年 12 月に纏めた要望書をベースに、さらには当時検討されていた北極域研究船の機能や主要目を踏まえ、就航後 10 年程度を見据えた具体的な北極域研究船の利用計画を策定した。研究コミュニティによるそれらの活動も寄与し、2021（令和 3）年度から、2026（令和 8）年度の就航を目指して本船の建造が開始された。当ワーキンググループでは、最新の研究動向や本船の建造状況などを踏まえ、就航に向けた準備を一層加速していくこととし、その一環として利用計画を改訂することとした。

本利用計画は、項目 2 として、まずは北極域研究船による研究の意義を概観し、項目 3 に個別の研究テーマとその内容を整理した。加えて、各研究テーマについては具体的な観測計画を検討した（付録①）。さらに、北極域研究船が期待される役割を果たし、最大限活用されるため、項目 4 として国際連携、項目 5 として情報発信・アウトリーチ、項目 6 として具体的な運用の在り方、項目 7 として運航経費の確保についても述べた。

## 2. 北極域研究船による研究意義

全球気候システムの理解と北極域の将来予測の精度向上において、北極海の海氷変動メカニズムの解明は喫緊の課題である。2007（平成 19）年や 2012（平成 24）年に代表される海氷激減は海洋温暖化が著しい太平洋側北極海で主に観測されてきたが、北極海全域で季節海氷域化が進行している現在では、大気－海氷－海洋システムの観点から全北極海が未知の領域となりつつある。

一般に、氷縁を含む季節海氷域では、大気－海洋間の熱交換、海氷や高密度水による物質の輸送、植物プランクトンの光合成などが活発であり、さらに北極海では河川水の流入による影響も多分に受ける場合があり、物理的にも生物地球化学的にも興味深く複雑な現象が多く存在する。北極海におけるこれら諸現象の理解のためには、大気－海氷－海洋の熱収支、生態系や物質循環・炭素循環を視点とした現場観測および観測データに基づく学際的なプロセス研究が必須である。しかし、季節海氷域化した北極海では季節ごとの熱収支・海氷速度などが過去よりも著しく変化しており、夏季のみの船舶による重点観測や数点で展開される係留系観測、海氷移動に強く制限される漂流系観測といった観測手段だけでは研究の進展は困難である。さらに、温暖化が進行した北極海や氷床の状況を再現し予測するために、現在と顕著に異なる過去の気候状態における北極海の海氷分布や氷床末端位置を復元し、それらの変動メカニズムを理解することが重要である。そのためには、海底における侵食と堆積の状況を把握し、堆積物を広範囲に採取することも不可欠である。加えて、より長期的な変動を理解するためには、現在海洋底が拡大しているガッセル海嶺等のテクトニクス、北極海の形成過程や地球内部構造等の解明が必要となり、堆積物等の古環境・古気候研究と合わせた、

固体地球変動と表層環境の相互作用を理解する必要がある。すなわち、全球気候システムの理解と北極域の将来予測の精度向上を目指した北極研究を進展させていくためには、変化の著しい北極海の大气－海氷－海洋システムに臨機応変に研究戦略を立案・更新し、いま起きている変化を示す現場データや試料を適時に効率よく取得することが不可欠である。具体的には、北極域研究船をプラットフォームとして、現場観測（氷上も含む）・有人観測ステーション・無人観測（AUV やドローン等）を展開できる体制を整え、他国との有機的な連携も含めた北極海全域への観測研究の展開が必要である。このような砕氷機能を有する北極域研究船を最大限利用した観測研究を実現することで、これまで培ってきた日本独自の北極研究を飛躍的に発展させることが期待できる。

我が国は北極域研究船という強力な現場観測手段を有することで、これまで述べてきたような研究面での飛躍的進展に加え、国際的な北極海研究掘削においても、事前調査や掘削研究等の面で日本が大きな役割を担うことも可能となる。北極域研究船によって可能となる研究とその意義について概略を表1にまとめた。

表 1：北極域研究船を利用した研究の具体的な意義

対象	意義
海洋・海氷	結氷期から融解期までの海氷域の観測の実現
	我が国耐氷船との連携による海氷域内外の同期（同時）観測の実現
	複数船舶の連携による大型国際プロジェクトの主導（高精度・多項目観測、北極海横断観測など）
	海氷生成・融解期における物理・生物・化学過程の現場観測の実現
	海氷－海洋結合モデルの再現性向上（航路予測にも不可欠）
	観測時期・海域の選択に関する自由度（柔軟性）の飛躍的な向上
海氷・波浪	開水面および氷縁域の波浪の現場観測及び予測精度の向上
	大気海洋海氷間の運動量・熱・物質フラックスの推定精度向上
	航行する船舶の危険回避、燃費向上
	沿岸居住域の保全
物質循環	我が国含む中緯度域起源の汚染物質やブラックカーボン等の北極域への流入定量化（中緯度域からの影響の理解）
	陸域から沿岸域、外洋域への物質輸送の定量化（北極域における物質循環の全体像把握）
	通年の物質循環観測体制の確立
	海氷を介した物質の蓄積、放出過程の理解
	分析装置やサンプルの海外輸送に係る諸問題による観測項目制限の解除
	観測時期及び海域の選択に関する自由度（柔軟性）の飛躍的な向上（再掲）

海洋生態系	海氷中・海氷下から海底までの氷海域での統合的な生態系観測の実現
	海洋生態系の多様性や脆弱性の評価
	通年の海洋生態系観測体制の確立
	観測時期及び海域の選択に関する自由度（柔軟性）の飛躍的な向上（再掲）
	中央北極海無規制公海漁業防止協定や生態系を脅かすプラスチックごみ問題等に対する科学データ・情報の提供（研究成果の社会実装）
	先住民の食の安全や文化を支える海洋生態系についての科学調査の結果と先住民の在来知の統合
気象・気候	氷海域の高層気象観測による中高緯度における予報精度の向上
	ドローンやマイクロ波放射計などの今後活用が見込まれる気象観測手法・データ同化のテストベッド
	北極海航路上の船舶運航の気象情報提供
	MOSAicのような大型国際プロジェクト立ち上げのためのフラッグシップ
	観測時期及び海域の選択に関する自由度（柔軟性）の飛躍的な向上（再掲）
数値モデル	短期（数日スケール）から中長期（季節、数十年スケール）に至るシームレスかつ高精度な海氷予測の実現
	地球システムモデルの再現性の向上
古海洋	過去の海氷分布・氷床分布の復元精度の向上
	北極海形成過程の推定
	観測を超える時間スケールでの環境復原
	将来の大規模掘削に向けた事前調査
テクトニクス	海底地形図の精度の向上
	海氷下を含む北極海海底下内部構造の探査
	海氷下海底広大軸上の熱水系の探査
船舶海洋工学・ 船用機関学	波浪、海象、海氷、海水飛沫、船体着氷等、画像を中心とした周辺環境の自動観測技術の確立
	船体運動、船体構造応答、機関などの高精度自動計測技術の確立
	氷海船舶技術の高度化や一般船用センサーの実証に係るテストベッド・プラットフォームとしての活用
航海学	我が国発の砕氷研究船による氷海航行技術の確立、特に本船が航行時に取得する各種モニタリングデータ群を利用した、一般氷海船舶の航行に係る安全性・経済性向上への貢献
	本船の氷海航行トレーニングシップとしての活用による海技従事者の

	育成
観測技術	世界に例をみない我が国独自の先進的な技術による海水域の水平方向・鉛直方向の総合的観測の実現
	観測データによる様々な研究の進展やリモートセンシング技術の発展への貢献
人文社会科学	北極評議会等の国際枠組みにおける政策検討や公海漁業規制等の法規制に係る科学的知見提供への貢献
	(軍籍ではない) 準公船による極海航行手段の確保による我が国の安全保障(あるいは海洋状況把握)への貢献
	北極域の気候変動や環境変化が人間社会にどのような影響をもたらすのかを明らかにし、どのように対応するべきかを検討することで、持続可能な発展の達成および我が国の国際プレゼンスの向上に貢献

### 3. 北極域研究船により推進される研究

#### 3-1. 海洋・海氷

海氷は、大気-海洋間の断熱効果や高い太陽光反射率、結氷時の塩の排出と融解時の淡水供給などにより、海洋内部の熱や塩分の輸送等に大きな影響をもつ。北極海では、海氷の減少による開放水面の拡大化・長期化だけでなく、海洋に蓄えられた熱量・淡水量、海洋循環の変動や水塊変質もすでに観測されつつある。これらの現象は今後の海水量の変動だけでなく、気象・気候や海洋生態系にも影響を及ぼす。北極海の環境は 1990 年代とは大きく変化したため(不可逆的という意味で「新たな北極」と称されている)、通年において、海氷の性質、大気-海氷-海洋間の熱収支、海洋環境の変化を観測し明らかにしなければならない。さらに、薄氷・一年氷・多年氷といった様々なタイプの海氷が混在する北極海において、海氷種の分布だけでなく、各海氷種に応じた大気-海洋間の熱の出入り、運動エネルギーの伝達や海洋の各層の構造変化などの実測値に基づく知見を得ることは、北極海の変貌を直接理解するのに必須であることはもとより、すでに世界的にも先進的な日本の衛星観測プロダクトの検証・校正やモデルへの展開(初期値の整備・検証・改良を含む)において極めて有効である。日本の衛星観測、再現・予測モデルをさらに発展させるためには、海氷のみならず、海氷変動を大きく左右する大気・海洋内部の同時観測が必須であり、これらの様々な課題を克服する最も有効な手段は、砕氷機能を有する北極域研究船による高精度な機動的観測である。

北極海における冬季を含む通年のデータ取得による、衛星観測プロダクトや数値モデルの改良に加えて、数値モデルの初期条件・境界条件の改善や北極海のデータ同化に貢献することで、北極海から中緯度・低緯度側への気象の影響を明らかにする気象予測や、夏季の海氷消失に伴い実現化しつつある北極海航路の利活用に深く関わる海氷の予測精度向上が大きく期待される。

### 3-2. 海氷・波浪

海氷の形成・崩壊過程の解明は、外力としての波浪との関係が鍵となる。しかしながら、これまで現場観測データが圧倒的に不足しているため、北極域研究船では、特に経年的にも気象スケールでも大きく変化する氷縁域で、波浪と海氷の同時観測を重点的に行う。さらに、波浪緩衝帯としての氷縁域・流氷帯を通過し多年氷帯に侵入する波浪をモニタリングし、波浪による海氷の崩壊イベントを捉える。北極域研究船による融解期から結氷期までの世界に例をみない我が国独自の先進的な技術による海氷・波浪同時計測、さらに、北極域研究船からのレーダー観測や南極海で実績のある研究船を起点としたヘリコプター・無人航空機による観測機器の広域展開などにより、年間を通した海氷・風などのモニタリングが実現すれば、海氷の予測精度の向上に大きく貢献するものと期待できる。さらに、波浪による海洋混合の促進、大気境界層の変化は、開水面での大気-海洋間熱フラックスの変化や、氷縁域における雲の形成など気象現象にも影響し、その蓄積は気候の変化に影響すると考えられる。また、波浪による鉛直混合と水平輸送は、生態系はもちろん、マイクロプラスチックの輸送にも重要である。このように、極域の短期（数日スケール）から中長期（季節、数十年スケール）のすべてに関係がある波浪は、大気-海洋-海氷結合数値モデルにも組み込まれることが期待される。

海氷と波浪の干渉メカニズムは船舶の航行にも大きく影響し、北極海航路のような極域を航行する船舶にとって、海氷の船体への衝突は最大の事故要因であり、そのリスクは経年的な開水面と氷縁域の拡大に伴い増大しつつある。さらに、波浪影響は沿岸浸食など不可逆的な北極圏の変化にもつながるため、沿岸居住域の持続的な保全など人間社会を考えるうえでも重要な要素となる。

### 3-3. 物質循環

陸域に囲まれ、太平洋と大西洋の間に位置する北極海は、全球物質循環の要所であり、その実態解明には陸域と海洋の密な連携による観測が不可欠である。また、ブラックカーボンや汚染物質など、大気を介した中緯度から北極域への物質輸送が北極海システムに与える影響についての定量的理解が急務である。

海氷の存在は、生物を介した物質変質と輸送、大気-海洋間の物質循環、物質の光分解、物質そのものの輸送経路などに影響を及ぼすことが予想されるが、基本観測項目である栄養塩や炭素についてさえ不明な点が多く残されている。例えば、北極海を取り囲む沿岸域に流入する陸起源炭素や栄養成分の量と質は春と夏では異なることが分かっていたが、それらが沿岸海域の生物生産にどのように作用し、どのような量・質として外洋に流出するかを理解するためには、海氷の存在する春季でも観測可能な北極域研究船によるさらなる観測が必須である。一方、外洋でも、Polar Morningである海氷融解前の春季から生物生産が始まるということが観測されているが、その生産を支える栄養成分（特に窒素や微量金属など）の供給源やメカニズムは不明である。また、科学的知見の少ない春季観測においては北極先住民の在来知の活用も計画立案に有効となるであろう。冬季に海氷上に溜まったブラックカーボンなどの大気由来物質が海水に蓄えられ、その分解由来物質などが一気に大気に放出されるのは海

氷融解期である。このブラックカーボンについては、中緯度からの輸送量が春季に増大すると推定されており、観測による検証が必要である。つまり、北極域研究船を用いた春季の 대기・海氷・海洋に関する広域観測は、北極海における物質循環の理解に向けて世界に先駆けて実現するべきものである。そのためには、従来の耐氷船で行ってきた大気や海水の化学観測を実施する海域や時期を広げるとともに、ヘリコプターを利用したエアロゾル観測や積雪・海氷採取などの機動的観測を盛り込むことが望まれる。氷上における活動が可能となると、多年氷域における海氷上モニタリングタワーによる CO<sub>2</sub> フラックスの計測や海氷コア分析による汚染物質蓄積量の年々変動の解析など新たな取り組みが期待される。北極域研究船の保有により、分析機器やサンプル輸送の制限に悩まされずに、これまで日本の海洋学で培ってきた世界最先端の微量金属、微量気体、同位体比などの化学分析技術と環境 DNA、RNA を用いた分子生物学的手法を駆使した世界最先端研究の展開が期待できる。

#### 3-4. 海洋生態系

海氷減少に代表される北極海の環境変化は、海洋生態系に多くの変化をもたらしている。海氷融解の早期化と、結氷の晩期化は植物プランクトン群集の季節遷移性を変え、氷縁の北上や海水温の上昇は動物プランクトンや魚類など多くの生物の適応分布域の変化を引き起こしている。これまで海氷に閉ざされていた海域が、季節氷海域に変わるということは、その場に全く新しい海洋生態系が形成されると言っても過言ではない。このように海洋生態系は環境変化に鋭敏に応答する一方で、現在では北極海への産業の進出に伴う人間活動の増加、すなわち汚染・移入種・環境負荷にさらされる懸念も加わる。特に、北極海におけるマイクロプラスチック汚染や残留性有機汚染物質の懸念が高まっており、海洋生態系への影響の解明が求められている。これらの実態把握のためにも、季節氷海域も含めた観測により、海洋生態系の動態を一層注視する必要がある。

海氷面積が縮小するとアクセス可能な公海の面積が拡大するため、海洋生態系に関する科学的知見に基づいた、国際的な北極海の持続的利用を实践する管理基準が求められる (EBM: Ecosystem Based Management)。そのためには海洋生態系の多様性の現状、そして環境変化および人間活動に対する脆弱性に関する知見の蓄積が急務である。その一方で、「みらい」等の耐氷船のみを使った海洋生態系の観測体制では、海氷によって大きく調査可能海域が限定されてしまうため、国際的な科学的知見のニーズに十分に答えられない。世界でもトップクラスの研究レベルを持つ我が国の海洋生態系研究分野が、北極域研究船を用いた北極海の生態系研究に加わることで、科学的な進展はもとより、国際社会からの要請に応えることが可能となる。

開放水面域と海氷域、そして両者の相互作用を総合的に評価して初めて北極海の海洋生態系の全体像（多様性と脆弱性）は解明される。海氷域の海洋生態系観測を実現できる北極域研究船は、激変の最中にある海洋生態系に関する自然科学的知見のみならず、人類による将来的な北極海利用に対して、EBM の実践につながる知見を蓄積させる極めて有力な観測拠点と言える。さらに、EBM の実践には、先住民の在来知の活用も重要である。先住民に北極域研究船の航海に参加してもらい、科学調査の結果と彼らの在来知との統合を図ることにより、先住民の食の安全や文化を支える海洋生態系の理解促進とより効果的な EBM の実践が期待される。加えて、先住民の食の安全と健康を守るためには、人間活動起源の汚染物質による生物への影響を、培養・飼育に基づく生命科学的手法によって解明することも求められる。

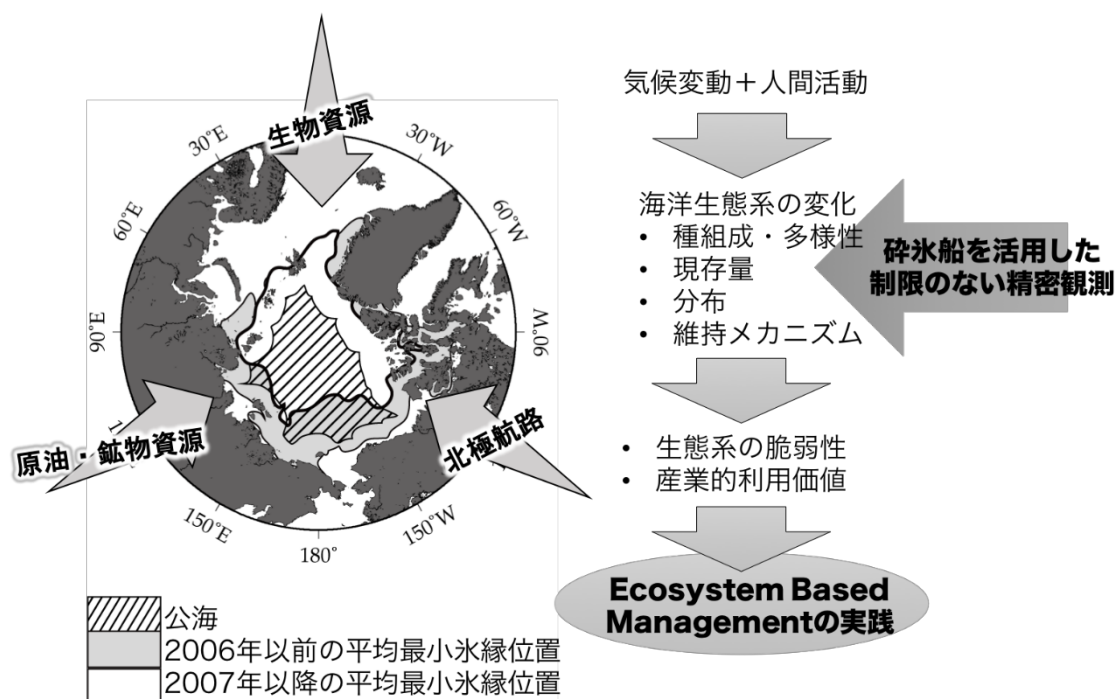


図 1：北極域研究船を用いた北極域の海洋生態系研究の方向性

### 3-5. 気象・気候

北極海上の気象・気候は、様々な分野に影響が及ぶ(例えば、海水や海洋への熱力学的応答、エアロゾルなどの物質輸送、日射を介した海洋生態系への影響、風や視程による操船への影響など)。しかし、研究で使用される大気再解析データや数値予報モデルにおける北極域の大気循環の精度は全球平均に比べて低い。これは、雲形成過程に代表される大気の様々な物理過程が十分に表現されていないことや、予測モデルに取り込むべき北極海上の気象観測データが極めて限られるためである。物理過程の精緻化のためには、基本場に関する継続的な観測データの蓄積と、気候平均場にも大きく影響する「大気の川」現象など極端現象のメカニズムの解明が必要不可欠である。

北極海上での船上気象データ（放射やエアロゾル観測を含む）は、最も基本的かつ重要なものであるが、空間的な解釈が極めて限定されるため、空間的に広がりのあるデータも必要



不可欠である。大気の鉛直構造を把握するためのラジオゾンデ観測データは、数値予報にも活用され、「みらい」によるそのデータはWMOの極域予測プロジェクト（PPP）や北極域統合地域ダウンスケーリング計画（Arctic CORDEX）において国際的に大きな貢献をしてきた。しかし、「みらい」より長期間の行動が見込まれる北極域研究船で、このラジオゾンデ観測を定常気象観測として位置づけるにはコスト的に厳しく、本格的な持続可能な観測システムの導入が望まれる。例えば、国内でも気象庁を中心に配備が進むマイクロ波放射計を搭載することで、気温や湿度の鉛直分布を高時間分解能に把握することが可能となる。また、ドローンによる高度1000mまでの大気鉛直構造の把握は、1日1回程度の準定常観測として実施できることが、南極観測船「しらせ」で実証されている。これらに加え、既存のドップラー降水レーダーやライダーシーロメーターを用いることで、数値モデルで表現が難しいとされる北極域の雲システムの熱力学的なデータが刻々と蓄積される。

このように、連続的観測と機動的観測を組み合わせることで、高緯度での統合的な気象観測データの構築が可能となり、各物理過程の解明や気候モデルの検証に应用可能となる。気象現象は、海洋・海氷・生態系分野の各現象に対するトリガーとなることが多いため、どのような研究航海においても利用可能な高品質のデータを提供するべく、定常気象観測装置の保守・運用が行われる体制が望まれる。

### 3-6. 数値モデル

極域海洋特有の海氷とその変動は、地球規模での気候変動のみならず物質循環や海洋生態系に影響を及ぼす要因の一つである。とりわけ近年の北極海では急激な海氷減少が進み、我が国を含む中緯度気候への影響や北極海航路の利用という観点から、科学的・社会的関心を集めている。今後起こり得るさらなる海氷減少に伴う環境変動や北極海航路利用の高まりに対応するためには、信頼性の高い海氷予測情報が必要となる。先行研究によると北極海の海氷面積は数ヶ月前から予測可能であるが、より長期間の海氷予測精度を向上させるためには、重要でありながら観測が不十分な積雪深・海氷厚・海洋亜表層のデータ取得・解析とそれに基づいたモデル構築・改良が必要である。特に熱力学的な成長・融解を考える上では、アルベド（太陽光の反射率）や熱伝導率が大きく異なる「積雪」と「海氷」をそれぞれ精度良く再現することが必要となる。また、海氷の成長・融解には海洋亜表層からの熱供給も重要であるが、海氷下の水温や混合強度のデータも不足している。ブラックボックスになっている晩秋～春季の動態も含めて、不確定性が大きいこれらの環境変数を北極域研究船で直接観測できれば極めて意義が大きい。

海氷予測精度をさらに向上させるためには、これまで理解が不十分であった海氷物理・氷縁プロセス・海氷直下の海洋熱輸送も定量的に明らかにし、その知見に基づいて海氷海洋結合モデルを改良していく必要がある。そのためには、モデルの結果を現場観測に、現場観測の結果をモデルにフィードバックさせることによって相互の改善サイクルを駆動させていくことが必須となる。我が国の気候研究コミュニティは、北極域でもこのサイクルを駆動させる十分な実績を有しており、北極域研究船という観測手段を有することによって確実に実行が可能である。改良された海氷海洋結合モデルを気候モデルに実装し、海氷のデータ同化

手法と組み合わせることにより、数日から数十年スケールにまたがるシームレスな海氷予測の精度向上が期待され、北極海航路利用のための計画立案に加えて、世界気候研究計画 (WCRP) の気候モデル間相互比較プロジェクト (CMIP) や IPCC 評価報告書の作成に貢献し、日本の存在感を示すことにもなる。

### 3-7. 古海洋

海底地形の調査及び堆積物の採取を行い、北極における古環境変動を復元する。過去から現在に至る気候変動に対して北極域がどのように応答したかを明らかにし、南極域での古環境変動と併せることで、全球気候変動において極域の大気、海洋、雪氷が果たした役割を明らかにする。例えば、過去に北極海で実施された IODP 航海 (Leg 302) により、5500 万年前にさかのぼる堆積物コアが採取され、北極域も南極域に同調して、中期始新世には寒冷化が始まっていたことが明らかになっている。遡れる期間は堆積速度とコア長に依存するが、多くの研究結果が得られている南極域に比べ、調査研究が不十分な北極域における研究の重要度は高い。

北極域研究船によって取得可能な堆積物コアの解析から、過去の温暖期の北極海の海氷分布、海流系、河川流入、生物群集組成を明らかにすることにより、北極海における海氷分布の規制因子やその生態系への影響を理解し、温暖化の進展に伴い北極海環境がどのように変化するのか予測する手がかりを得る事ができる。また、過去 1000 年程度の北極海環境を高い時間解像度で復元することにより、過去数十年の観測記録 (海氷、海流、河川流入、生物群集、炭酸系) を長い時間スケールの中で位置づけ、評価することができる。

ベーリング海峡の地史を明らかにすることにより、ベーリング海峡通過流の気候に及ぼす影響を理解するとともに、北米大陸等への人類の移動の歴史的背景を明らかにすることができる。

### 3-8. テクトニクス

北極海の中で現在活動的な中央海嶺であるガッケル海嶺によって形成されたユーラシア海盆の発達史は、海底の年代同定に用いられる地磁気異常の縞模様などから比較的よくわかっているが、それ以外の海盆や海嶺などの成因については様々な説がある状況である。上記の古環境研究とも関連し、北極海の発達過程に伴う海洋循環の変遷や大陸氷床の発達との関係および北極域における環境変動を明らかにするためにも、北極域のテクトニクスの解明は重要である。

特に、中生代以降の大陸分裂と海盆形成過程について、高緯度北極大火成岩区 (HALIP: High Arctic Large Igneous Province) との関連で検討する必要がある。アメリカ、カナダやロシアの大陸棚調査に伴って、HALIP の範囲はチュクチ海のノースウインド海嶺にまで及んでいたと推定されているが、火成活動の変遷などの解明には、基盤岩の岩相分布の調査が必要である。

また、ガッケル海嶺についてもユーラシア大陸側 (東側) での熱水活動や地球深部まで含めた物質循環についての研究はヨーロッパ側 (西側) に比べて進んでいない。現在の地球で

数少ない超低速拡大海嶺の中でも、さらに拡大速度が遅い東側での熱水活動や物質循環に関する研究が進むことによって、大陸分裂に伴うマントルダイナミクスだけではなく、地球表層での物質循環にも重要な示唆を与えるはずである。

北極域研究船の利用により、これまでほとんど調査の行われていなかった北極域での、海底地形調査、地球物理観測（重力・地磁気、地震波構造探査）、基盤岩石の採取、ROV などを用いた直接観測などが行われることで、北極域の地球物理観測、海底地質構造、基盤岩の岩相、熱水活動についての詳細が明らかとなる。これらに加えて、北極域のテクトニクスを理解することで、環境変動との関連をより詳細に検討することが可能となる。

### 3-9. 船舶海洋工学・船用機関学

北極域研究船は、我が国初の本格的な砕氷型「研究」船である。砕氷型船舶は、海上航行する船舶の中で最も厳しい使用環境（極低温度と海氷の存在）に耐える性能・装備を持つ必要があるため、この種の船舶で得られるデータは、造船を含む工学全体の発展に不可欠である。我が国の砕氷型船舶の中でも本船は、国際法上軍艦に分類される「しらせ」より観測行動や機器搭載の自由度が高い。従って、本船は我が国では極めて貴重なテストベッド・プラットフォームとなる。

本船に期待される工学上の役割のひとつは、自身をセンサーとして、極限環境下での工学的データを得ることである。具体的には、船体運動、船体構造応答、機関出力などの高精度自動モニタリングを行う。これにより、我が国における性能の優れた船舶の開発を支援し、商船のうち一定数を占めている耐氷型船舶（アイスクラス船）の建造能力を底上げできる。船舶のヘルスマニタリングの観点では、不確実性が大きい氷荷重による構造応答データを蓄積することにより、安全基準・耐氷船規則などの改善や構造の最適化を図る。また、燃料消費や排出ガスなどを詳細に分析する。このことは、現在～将来の造船業界で大きな差別化要因である、船舶の環境性能の改善に寄与できる。分析の結果は、北極海のような脆弱な環境に対する影響評価のバックデータとして国際的に活用する。

本船の運航中に観測される現象には、気象、波浪、海象といった外乱因子に加え、極域に特有な海氷や船体着氷などがある。すなわち、氷海航行では開水域より外乱因子が多様で、それらに対応して最適運航を実現するため、様々な因子を自動観測し、かつ気象、波浪、海象予測モデルと統合に利用する氷海航行支援システムを構築する。これは、本船の安全かつ経済的な運航に活用できるほか、今後増加も見込まれる我が国の氷海用船舶への搭載が進めば、北極海航路利活用の促進効果が大きく期待できる。さらに、現在実現に向けて研究が進められている自動運航船のシステムと連携することで、相互の発展にも寄与できる。

極域を航行する船舶にとって、海氷との干渉は性能低下や事故の大きな要因である。しかし、近年は海氷勢力が減退傾向にあり、海氷域の端部近辺に出現する開水域を通航する例が増えている。一方、こうした氷縁部は波浪の影響が加わり、海氷の特性やダイナミクスが海氷域内部とは異なるが、船舶の設計や運航に必要な識別、性状、及ぼす荷重、挙動予測といった知見がほとんどなく、合理的な評価ができない状況にある。従って、本船では氷縁部における各種計測を重視し、自然科学的な観測と併せて様々な工学的データを取得することに

より、現実的な運航における船体と海氷の相互干渉現象の解明に貢献できる。

本船で得られたデータ群は、それ自身が科学的な価値を有することはもとより、本船を開発プラットフォームとした船用センサーや耐環境性に優れた装備・製品の開発に活用できる貴重な財産ともなり得る。これは我が国の工業製品の優位性、競争力の向上そしてレピュテーション回復につながり、産業利用価値が十分に見込まれる。また、そうした優れた製品の創出及び提供が、北極海航路の利活用をはじめ産業活性化のトリガーとなることが期待できる。

### 3-10. 航海学

氷海航行では海氷と船体の干渉を常に考慮に入れる必要があり、海氷の認知から海氷の密接度・種類の識別、および避航に至るまで様々な操船・運航技術が要求される。また、特に氷からの脱出のため、砕氷船による支援が必要な場合やラミング（チャージング）が必要とされる場合や、着氷による船体や操船性能影響を考慮する場合などの厳しい氷海中での航行は、砕氷能力が高い砕氷型船舶が必要であるが、現状、観測機会も限られており研究が不十分である。そこで、本船の砕氷能力、かつ多様なセンサーや計測機器を搭載していることを活かし、海氷域での船舶の操縦性能や、氷況に応じた操船に対する評価、主機操作履歴や燃費・推進効率などを網羅的に記録する。それらデータにより本船をデジタルツイン化し、仮想環境での運航シミュレーションが可能となれば、海氷域での操船に関する体系化及び合理性分析に役立つことが期待できる。

船舶の高度情報化によって、船舶の運航を支援する技術や各種機器は近年大きく進化している。航海学もそれらの利用に対応して変化しているが、海氷域ではリモートセンシングなどの新しい技術が運航手法に大きな変化をもたらすため、常に最新技術を先駆けて試行し、評価及び運用法を確立することが重要となる。その対象には、要素技術だけでなく、本船での構築が期待される氷海航行支援システムも含まれる。本船は研究船としての柔軟性を活かし、これらのテストベッドを提供する。これにより、船舶が海氷域を航行する際に必要な、高度な技術の開発について、我が国の産業界が、常にリードすることが可能となる。

また、極域における具体的な船舶運用には、高緯度及び寒冷海域特有の考慮が必要となる。例えば、磁気コンパスや衛星通信の不感帯、港湾の結氷による閉鎖、乗組員の健康管理や傷病対策、着氷の除去、排出物の制限などがあり、緊急時対応も含めて運航計画や補給計画を考慮する必要がある。これらを踏まえ、本船では実用的な氷海航行のため、極海オペレーションマニュアル（PWOM：Polar Water Operation Manual）を整備する。その第一目的は、本船による成果の最大化であるが、内包する知見は他船を含む氷海航行全体にも裨益する。

氷海航行経験の豊富な船員は優れた海氷観測者でもあり、船上で海氷の状態を正確に把握・予測し、危険を避けることができる。こうした船員は世界的に希少であり、より多くの人材の育成には多様な海氷域での運航経験が必要である。本船は砕氷型船舶であり、厳しい氷況での航行も可能であることを活かし、船員の実地トレーニングシップとして活用する。また、STCW 条約に規定される上級訓練証明書を得ようとする者は、海氷域又は同等の甲板部での承認された2ヶ月以上の海上航行業務が必要であることから（また証明書の更新手段

の一つの方法として、過去 5 年間に合計して少なくとも 2 ヶ月の期間の海上航行業務が必要)、本船の活用が期待される。

氷海航行スキルを有する日本人船員を一定数確保することは、本邦船籍船や本邦船社の北極海航路進出を支援するために重要であると同時に、本船の運用における安全性・経済性を長期的に支える体制づくりにも必要なことである。

### 3-11. 観測技術

北極海、さらには北極域の環境変動の現在を把握し、高精度な将来予測を実現していくためには、これまで他の項目で繰り返し述べられているとおり、いかに「海氷」を理解するかが重要となる。海氷の理解は、物理学的、化学的、生物学的、生物地球化学的なあらゆる研究テーマの推進に不可欠であり、さらには北極海航路の利用の活発化による環境汚染リスクの評価や対策をはじめ、北極域における持続的な社会経済活動の確保にとっても欠かせない。海氷の理解のためには、分布、密接度、厚さ、大きさ、氷種等の海氷そのものの各種パラメータを観測する必要があるとともに、海洋—海氷—大気の相互作用など、海氷を取り巻く環境（海氷上、海氷下を含む）を多角的に観測することが重要である。また、海氷下の環境をより正確に把握することを考慮すれば、海氷を非破壊で観測することも実現する必要がある。

そこで、北極域研究船では、世界でも例をみない複数手段を組み合わせた観測技術による総合的な海氷環境観測を実施する。具体的には、海氷上下からの 2 種類のドローンによる観測、すなわち、鉛直方向には海氷直下から水深 300m まで、水平方向には 30km の自律航行が可能であり、CTD やマルチビームソナー、光学カメラ等の各種観測機器・センサーを搭載し、海氷下においても位置測位が可能な機能を有する「海氷下観測ドローン」と、海氷下観測ドローンを海氷上で測位しつつ海氷域の電波反射特性を活用した海氷厚観測を自律的に実施する「電磁測位・海氷上観測ドローン」による観測、さらには、北極域研究船に搭載した「海氷・波浪識別レーダー」によって、本船から 30km 程度の範囲の海氷や波浪を観測し、機械学習等を活用して氷況や波浪・海象を識別するための海氷・波浪識別センシング観測によって海氷環境観測を実施する。

これらの海氷環境観測で得られる貴重な観測データは、他の項目で述べられている様々な研究テーマに活用されるとともに、我が国の人工衛星によるセンシング観測の検証データとしても極めて重要な位置づけとなる。

### 3-12. 人文社会科学

人文社会科学では、北極域の急激な気候変動や環境変化が人間社会にとってどのような影響をもたらすのか、また私たちがそれにどのように対応すべきかを検討する。

本船では、人文社会科学研究者が同乗することによって、例えば、1) 極限環境における科学者の特徴や日常的な行動様式の観察（エスノグラフィー）、2) 船舶による科学観測の実施における国際法秩序の適用および運用に係る実務の観察およびデータ収集、3) 北極域の自然に対する芸術的観点に基づく観察とデータ収集、4) 極域航行可能な手段の確保の

ための観察およびデータ収集が行われることなどを想定している。こうした研究を通じ、科学的知見の一般社会との共有、持続可能な発展の達成、および我が国の国際プレゼンスの向上に貢献することが見込まれる。

#### 4. 国際連携

項目3で述べたような研究テーマを推進していくためには関係各国との協力が不可欠であり、また、北極域研究船の国際研究プラットフォームとしての運用は、我が国の政策上の要請はもとより、北極圏と周辺域の国々から期待される役割でもある。国際連携による北極研究の推進は、気候・環境変動への対策という観点からもグローバルな国際貢献の一つであり、我が国のプレゼンス向上に資する取り組みとしてアピールしていく。

以下に関連する国際的な枠組みをいくつか挙げる。

##### ● PAG (Pacific Arctic Group)

この枠組みでは、日本・韓国・中国・米国・カナダ・ロシアの6カ国で主に太平洋側北極海を対象とした共同観測および情報交換を実施してきた。PAGで提案されたDBO

(Distributed Biological Observatory)プログラムでは、同じ海域を複数船舶で繰り返し観測することで海洋環境の季節内変動などを明らかにし、これまでに多くの研究成果を挙げてきた。他国の航海時期は夏～秋に集中しており、北極域研究船で春季”Polar Morning”の観測を実現できれば季節を跨ぐ時間変化の解明につながるため、PAGでの日本の役割がさらに重要になる。

##### ● ESSAS (Ecosystem Studies of Sub-Arctic and Arctic Seas)

亜寒帯から北極域にかけての水産有用種を含む海洋生態系に着目した国際プログラムであり、PAG参加国に北欧諸国も加えて、太平洋側と大西洋側の比較研究などを進めている。日本は3年に1度のサイクルで議長国を務めており、年次会合の開催を通じて水産資源や人間活動との関わりなどの議論をリードしてきた。北極域研究船で中央北極海における環境DNAなどのモニタリングを継続することで、ESSASの重要テーマでもある科学的根拠に基づく生態系管理に貢献できる。

##### ● 北極海同時広域観測研究計画 (SAS : Synoptic Arctic Survey)

10カ国以上の国々が連携しながら複数船舶で北極海の広範囲を同時期にカバーする集中観測を2020年から数年間に渡って実施してきた。SASで得られた空間的にシームレスな観測データをベースラインとして、約10年後の変化を追跡する試みとして、その後継として2030年頃の実施を目指すSAS IIの検討に入っている。それまでに就航する北極域研究船には、他国の船舶だけでは網羅できない空白域（例えば、カナダ海盆の西側から北極海中央部にかけて）を機動的に埋めることが国際的にも大きく期待される。

##### ● 国際極年 IPY (International Polar Year)

IPYは、これまでに1882-1883年／1932-1933年／1957-58年／2007-2009年に4回設定され、北極・南極の大気・海洋・雪氷・陸域でそれぞれ大規模な集中観測が実施され、極域観測における国際協力を推進してきた、2007-2009年のIPYが極域研究に従事する若手研究者の集まりであるAPECS (Association of Polar Early Career Scientists)を設立す

るきっかけとなった。次回は 2030 年代前半に予定されており、次世代を担う世界各国の若手人材から斬新な研究提案を公募しながら、北極航海を実施していない国からの受け皿にするなど、北極域研究船を国際プラットフォームとして大々的に活用する絶好な機会となる。

● IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics)

本組織は測地学と地球物理学に関する国際的な定義を採択する国際学術団体であり、構成組織である IAGA (International Association of Geomagnetism and Aeronomy) や IAG (International Association of Geodesy) において、地磁気や重力のグローバルマッピング計画が進められている。就航する北極域研究船には、船上で取得される基礎的な地球物理データ取得を通して探査の空白域を機動的に埋める貢献が期待される。

● IBCAO (International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean)

この枠組みは、北緯 64 度以北の海底地形データを収録したデジタルデータベースを開発し、北極海の海底の深さや形状について詳細かつ正確な情報を必要とする研究者や研究機関などが利用できるようにすることを目的としている。北極域研究船による音響測深機の水深データは、本枠組みに直接的に貢献する。

● InterRidge

本組織は、8 カ国が主要国として連携し、海洋底の拡大系研究において学際的かつ国際的な研究を 30 年間にわたって推進してきた。形成された研究コミュニティでは、一国だけでは達成の叶わない海底調査の計画や必要な調整が行われ、北極海のガッセル海嶺における初めての探査などの実績を残し、海洋底の岩石試料や物理データの取得に貢献してきた。本組織を通じた効果的な情報交換や斬新な研究提案、新しい技術の提供などは、北極域研究船が国際プラットフォームとして活用される基盤として期待される。

● 国際深海科学掘削計画 (IODP : International Ocean Discovery Program)

この本枠組みは、20 カ国以上が参加する多国間科学研究共同プログラムであり、海底下の堆積物や岩石を掘削し、地球の歴史やダイナミクスを解明することを目的としている。2004 年に北極海のロモノソフ海嶺で実施された北極海掘削計画では、5600 万年前の北極温暖時代が発見され、北極海の古海洋研究の重要性が広く認識されるようになった。計画が採択され現在実施調整中の課題もある。2023 年現在、IODP は新たな枠組みの構築に向けて日欧を中心に検討が進められているが、これまで培われた国際協力を、機動的な採泥観測などが実施できる北極域研究船にも活用し、北極域の古海洋・古環境の理解が進むことが期待される。

## 5. 情報発信・アウトリーチ

国際的には、北極関連の研究者が分野を横断して集まる北極科学サミット週間 (ASSW : Arctic Science Summit Week、毎年開催) の機会に、各作業部会で活動を報告し、海外研究者の乗船機会をアナウンスしながら、国際的に開かれた研究プラットフォームとしての側面をアピールする。日本で数年に 1 回開催される国際北極研究シンポジウム (ISAR : International Symposium on Arctic Research) も貴重な機会として同様に活用する。さらに、長期的な航海計画の策定・意見聴取・公開や、航海後の積極的なデータ公開など、ゲス

ト研究者として海外研究者が参加しやすい情報提供を行っていく。一案として、国内外の有識者による本船利用に係る助言委員会の設置や、オープンシンポジウム、ワークショップ等の定期的な開催などが挙げられる。

国内、特に産業界において、日本の観測・測定技術のテストベッドとして積極的に活用されるような連携先の検討・開拓も進める。国際的に利用される研究船であり、学会発表や論文公表などに際してデータ利用が行われることから、参画する企業等にとっても対外的な宣伝の場となりえることをアピールする。

得られた成果については、科学的な成果発表の場ではもちろんのこと、北極評議会（AC：Arctic Council）の作業部会での発表や、政治・経済的な議論の場にもなる北極関連会議（Arctic Encounter、Arctic Frontiers、Arctic Circle など）などの機会も活かして成果に言及するように努め、国際的な認知度の向上を図る。砕氷研究船としての積極的な国際連携観測によって存在感を出し、その価値をアピールしていく。

北極海は、オーロラや極夜・白夜など極域固有の自然現象、ホッキョクグマ・クジラ・アザラシに代表される大型海棲哺乳類も含めて日本では見られない環境や生物相を有しており、北極域研究船によってこれらのコンテンツ素材を取得することにより、市民に向けたアウトリーチへの積極的な活用を模索する。さらに、これらの素材の活用は、近年注目される Science（科学）・Technology（技術）・Engineering（工学）・Art（芸術）・Mathematics（数学）を組み合わせた STEAM 教育の実践にもつながることが期待される。

毎年の研究航海でこれらの素材を SNS・ブログ・ライブ配信・メディアを介して発信するとともに、希望するサイエンスコミュニケーターや学校教員などに乗船してもらう機会を設ける。高性能な通信環境が整備されれば、船上からのリモート授業・講演会も企画していく。北極研究の重要性を理解しながら楽しんでもらえる短期間航海や一般公開などのイベントも企画する。これらの活動にあたっては、関係する研究機関・大学との連携はもちろんのこと、より幅広く関心を集めるため民間企業等異業種とのタイアップも模索する。さらに、高校生などを対象に研究テーマを公募し、研究者または提案者自身が北極域研究船で実施していくような科学コンテストやサマースクールも兼ねたシチズン・サイエンスシップとしての活用も検討する。これらの活動を通じて北極の認知度を向上させるとともに、将来的に極域研究を志す学生や他分野の人材が増える素地を整える。

## 6. 運用の在り方

北極域研究船は、我が国で唯一の氷海航行可能な研究船であり、国際連携のもと、北極域を取り巻く諸課題の解決に貢献していくための中長期的な視点に基づく戦略的な観測研究を実施していくとともに、いわゆるボトムアップ的な学術研究の推進や、長期的に北極域研究を担う若手や女性研究者・技術者を育成していくためのプラットフォームとして積極的に活用していくべきである。

従って、就航後の北極域研究船に係る運用スキーム（具体的な観測研究課題の策定や利用テーマの選定プロセス、利用・乗船枠の設定など）は多角的な視点で、かつ公平性・透明性の確保を意識して構築されるべきである。運用機関による構築検討にあたって、ワーキング



グループとしては、本利用計画を継続的に検討・改訂し、発信（提言）していくことを通して寄与していくとともに、運用機関から研究コミュニティに対して協力要請があった場合には積極的に参画していく。

まずその一環として、現時点（2023年6月）でイメージする運用スキームの概要を以下の通り提案する。

- ・ ワーキンググループでは、国際的なトレンドも念頭において我が国が国際連携のもとで実施すべき研究テーマを「北極域研究船利用計画」として継続的に検討・改訂し、コミュニティの立場から提案・提言する。
- ・ 当該提言も踏まえ、運用機関においては、5年間程度の中期的な観測研究課題及び各課題のPI（研究責任者）を設定のうえ、その課題に資する具体的な利用テーマを公募し選定する。公募にあたっては、（観測研究課題によらない）ボトムアップによる学術利用枠の設定も考慮する。
- ・ 観測研究課題及びPIの設定や利用テーマ等の公募・審査にあたっては、（例えば委員会方式による）審議・審査の場を設ける。審議・審査の場には、研究分野のバランスなどを考慮したうえで、運用機関以外に所属する者も参画させる。
- ・ 観測研究課題は国際連携を念頭においた実施を前提とし、利用テーマは、観測研究課題の方針や方向性、主要対象分野、応募要件・要領（他国乗船者や若手・女性研究者の参加など含む）を定めて募集する。募集の際、項目4で述べたような関係枠組みを利用して積極的に国外にも周知する。
- ・ 利用テーマ選定プロセスの一環として、運用機関によるシンポジウムやワークショップ等を開催し、応募者による提案発表とコミュニティによる議論の機会を設ける（既存の国際会合・学会を活用することも念頭）。
- ・ 観測研究課題または利用テーマについては、しかるべき評価を実施する（実施方法やタイミングについては要検討）。
- ・ 研究面に加え、運用・技術面でも人材交流と国際化を推進しプレゼンスを高めていくため、現行のARICE（Arctic Research Icebreaker Consortium）のような砕氷研究船のコンソーシアムへの参画も視野に入れる。

## 7. 運航経費の確保

北極域研究船がその役割を果たし、本利用計画で述べてきたような科学的・社会的に最大の成果を発揮していくためには、運航経費の安定的な確保が重要であることは言うまでもない。

本船で実施可能な研究テーマや利用可能性を考慮すれば、年間60～90日程度の北極海観測の実施が期待され、当然にその航海日数に応じた運航費用の確保が必要となる。また、船舶自体の運航経費に加え、海氷域の観測活動においては、研究目的による海氷域の観測、航行安全性の確保のための監視、緊急時の移動手段としてヘリコプターの搭載が必須であり、そのための運用経費も必要となる。

近年の我が国の北極海観測に係る費用は、北極域研究プロジェクト（ArCS I & ArCS II）

で確保されており、定常的な観測活動を可能としている。従って北極域研究船の当該経費についても、引き続き北極研究プロジェクトで安定的に確保されることが望ましい。しかし前述の通り、北極域研究船による北極海観測には、(現状の規模を上回る)多額の費用を要することが見込まれるため、現状の北極域研究全体の持続性を鑑みれば、ArCS II以上の予算の確保が必須となる。

次期北極域研究プロジェクトの実現にあたっては、プロジェクトの実施機関だけではなく、コミュニティとしても必要性を最大限アピールし、本利用計画の発信、その他様々な活動を通して北極域に関係する研究者や本船の利用者を拡大していくとともに、市民レベルから「支持者」や「応援団」を増やしていく必要がある。

## 8. 付録

- ① 各研究テーマに係る観測計画概要一覧
- ② 各研究テーマに係る観測概要図