

砕氷機能を有する北極域研究船の要望書

北極環境研究コンソーシアム

2018年12月

1. 砕氷研究船の必要性

北極は中心部が海であり、北極研究の進展には船による観測が重要となる。平成 27 年 10 月に総合海洋政策本部から発表された「我が国の北極政策」、並びに、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、平成 28 年 11 月から平成 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「砕氷研究船」の必要性が示され、それを受けて、平成 29 年度より国立研究開発法人海洋研究開発機構にて、砕氷型の北極域研究船の検討が進められているところである。また、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においても平成 30 年度の 2 回の北極域研究計画ワークショップにて砕氷研究船の必要性を強く認識し、ここに研究者の立場からの要望書を纏めるに至った。

全球気候システムの理解と北極海氷の将来予測の精度向上において、北極海の家氷変動メカニズムの解明は喫緊の課題である。2007 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。これらの現象のメカニズムを理解することなく、海氷減少に伴う大気海洋循環や気候変動への影響、物質循環・炭素循環や海洋生態系の応答を予測することは不可能である。現場における諸現象の理解のためには、大気―海氷―海洋の熱収支や生態系および物質循環・炭素循環を視点としたプロセス研究が必須である。ただし、季節海氷域化しつつある北極海において、これら各プロセスの理解は、夏季などの限定された期間や開放水面域のみなどに限定された観測では困難である。例えば、海氷融解の場合、結氷期の形成量、冬季の氷厚の熱力学的・力学的増減、融解までの大気―海氷間・海氷―海洋間の熱収支の時系列が必要になり、なおかつ海氷は移動する。季節海氷域化した北極海では特に冬季の熱収支・海氷速度などの変化が過去よりも著しくなっている。これまでのような夏季のみの重点観測や数点で展開される係留系、海氷移動に観測域が強く制限される漂流系による「結氷期以降の冬季の諸現象の理解」や「プロセスに焦点を絞った観測」だけでなく、全季節・全海域をカバーした現場におけるデータ取得が不可欠である。さらに、温暖化が進行した北極海や氷床の状況を予測する上では、現在と顕著に異なる気候状態における北極海の家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。これを実施するには、北極海の家底地形の探査により、海底下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が不可欠である。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および、北極海の家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とを理解する必要がある。つまり北極研究の推進のためには、変化の著しい北極海の大気―海氷―海洋システムに臨機応変に対応し、いま起きている変化を示す現場データや試料を取得するための観測基盤整備が最も重要であり、上述した観測を全て可能にする砕氷研究船の整備が必要不可欠である。

これまでの日本の北極海観測は自国耐氷船か他国砕氷船¹を利用して行われ、それぞれに観測時期・海

¹ 【砕氷船と耐氷船】 砕氷船と耐氷船は、船の等級を定め審査する船級協会の規則により定義される。耐氷船規則は砕氷船規則の下位に位置し、砕氷を積極的に行わない船になり、商船に多い。耐氷船の中の上位等級に属するものには砕

域・人員・予算等の制約の中で実施されてきた。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保有するとともに、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、他国砕氷船は研究船でない場合もあり（沿岸警備隊所属の船舶など）、その観測機器や実験室等の設備が充実しておらず、研究ミッションのプライオリティーも高くないため、取得データの質や量が十分とは言えないこともある。例え研究を目的とした砕氷船であっても、日本のように高い観測技術を有した人員が乗船しておらず、高精度観測が実施できていない場合もある。加えて他国砕氷船への観測機材およびサンプルの輸送（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化学および生物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、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。一方で、砕氷船を擁する各国は、予算や砕氷船の仕様、人員、観測技能など様々な問題を抱えつつも、既に観測研究体制を整え、精力的に研究を実施している。自国砕氷船を持たないことによる数々のデメリットがあったとはいえ、日本にはこれまで北極海観測研究を継続してきた実績から、デメリットをカバーする独自の視点（例えば耐氷船による観測戦略やハイテク観測装置の開発など）と自国砕氷船を持つことにより観測研究をさらに発展させるポテンシャルがある。今後、日本独自の北極研究を革新的に発展させるためには、観測期間・海域を柔軟に設定できる自国砕氷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等）を、越冬も含めて季節を問わずに展開できる自国の各分野間の連携を中心においた体制を整え、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。

2. 砕氷研究船の研究意義

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研究を数多く実施してきた日本には、独自の砕氷船運用による独創性のある観測研究を行うことで、さらなるプロセス解明を行う余地が多分にある。また、既存の耐氷船との併用は、海氷域・氷縁域・開水面域における結氷のプレコンディションを面的に捉える観測や、通年の大気-海氷-海洋熱収支観測を可能にする。また、IODP等で実施に向けて議論されている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事が期待される事も、独自の砕氷船を保有する大きな意味の一つとなる。砕氷船の保有が、日本の北極研究の可能性を飛躍的に広げることは明白である。自国砕氷船を持つことの各種観測活動における具体的な意義について、表1にまとめた。

表1：自国砕氷船を持つことの各種観測活動における具体的な意義

大気観測	海氷上の高層気象観測による、中高緯度における天気予報の精度の向上
	北極海航路上の船舶運航の気象情報提供
	MOSAIC等の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
海洋・海氷観測	氷上通年観測の実施（冬季海氷域の観測の重要性）
	海氷消失域との同期観測の実現（既存の耐氷船と連携）
	複数船舶による北極海同時横断観測等への大型国際プロジェクトへの貢献
	海氷生成・融解期の物理・化学過程の現場観測の実現（氷上での越冬観測を含む）
	海氷海洋結合モデルの再現性の向上（航路予測にも不可欠）

氷船首を採用し、厚さ数10cmの平坦氷を砕氷可能なものがあるが、日本の海洋地球研究船「みらい」は砕氷船首をしておらず、海氷に閉じ込められる危険があるため、海氷域には入らない運用がなされている。

	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
生態系観測	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（現状の各国砕氷船相乗り体制では不可能）
固体地球・古環境・古気候調査	過去の海氷分布・氷床分布の復元精度の向上
	海底地形図の精度の向上
	海氷下海底拡大軸上の熱水系の探査
	北極海海底下内部構造の推定
	北極海形成過程の推定
	古環境・古気候研究の進展と将来の大規模掘削へ向けた事前調査
航海学・船舶海洋工学・船用機関学に関わる観測研究	船体運動、船体構造応答、機関などの高精度自動計測、および本船を開発プラットフォームとした商船用後付けセンサの開発
	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
	上記データ群を利用した安全かつ経済的な航行技術の開発

3. 砕氷研究船により推進される研究

3-1. 海洋・海氷

極域において海氷の役割は、大気-海洋間の熱交換の妨げ、大気から海洋への運動量の伝達である。しかしながら、季節海氷域へと変貌しつつある北極海では、海氷のレオロジー・開放水面の拡大化・長期化・海氷量の減少だけでなく、海洋に蓄えられた熱量、海洋循環場の変動や水塊変質もすでに観測されている。これらの現象は今後の海氷量だけでなく、大気場・海洋生態系へも影響する。1990年代の場とは大きく変わった北極海、特に冬季北極海において、今一度、海氷の性質・大気-海氷-海洋間の熱収支・海洋の変化を明らかにしなければならない。

砕氷船による観測から、これまで夏～結氷初期までの観測値で推定していた冬季の場（熱量分布、成層構造、海洋循環場など）が明らかになり、大気・海洋にある熱が海氷変動に与える寄与率を明確にすることができる。特に薄氷・一年氷・多年氷といった様々な種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-海洋間の熱収支、運動量の伝達や海洋の成層構造の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だけでなく、すでに世界的にも先進的な日本の衛星観測データの検証やモデルへの展開（初期値の整備・検証・校正を含む）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喫緊の課題であり、この課題を克服する手段として機動的に観測を行える砕氷船が最有力手段となる。観測の不十分な冬季北極海での取得データによる、衛星観測・モデル再現の改良に加えて、数値モデルの初期条件・境界条件の改善・データ同化に貢献することで、北極海から北半球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予測精度向上が大きく期待される。

3-2. 物質循環

陸に囲まれ、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容易に予想されるが、砕氷船を用いた化学的観測はいまだ海域、季節、測定項目が限られており、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や質は春と夏では異なることが分かってきたが、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、氷の存在する春季でも観測可能な砕氷船の利用が必須である。外洋でも、海氷融解前の春期から生物生産が始まることが観測されているが、その生産を支える栄養塩の供給源は不明である。また、冬季に海氷上に溜まった大気由来物質や海水に蓄えられた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。つまり、砕氷船を用いた春季の広域観測は、北極海における物質循環の理解に向けて次に踏むべきステップであるといえる。また、夏季においても、これまでは海氷域を含めて広域に観測するためには他国の砕氷船にたよるしかなく、分析機器やサンプル輸送の制限に悩まされてきた。自国の砕氷船が保有できれば、これまでに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を駆使した北極海研究の展開が期待できる。

3-3. 海洋生態系

海氷減少に代表される北極海の気候変動は、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、季節海氷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との接点の増加、すなわち汚染にさらされる懸念も加わり、より一層海洋生態系の動態を注視する必要がある。

海氷面積の縮小はアクセス可能な公海の面積の増加とも同義であることから、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（**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、本邦の耐氷船のみを使った海洋生態系の観測体制では、安全面の理由によりわずかな海氷の存在にも大きく調査可能海域に制限を受けてしまうため、海氷域での調査ができないのが現状である。つまり開放水面域の調査に限定され、国際的な科学的知見のニーズに対して、知見の蓄積が追いついていない。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。従って、砕氷船による海洋生態系観測は、激変の最中で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、**Ecosystem Based Management** の実践につながる知見を蓄積させる唯一無二の観測拠点である。世界でもトップクラスの研究レベルを持つ本邦の海洋生態系研究分野が砕氷船という拠点をもって北極海調査に加わることは国際社会の成熟にも極めて大きな意味を持つ。

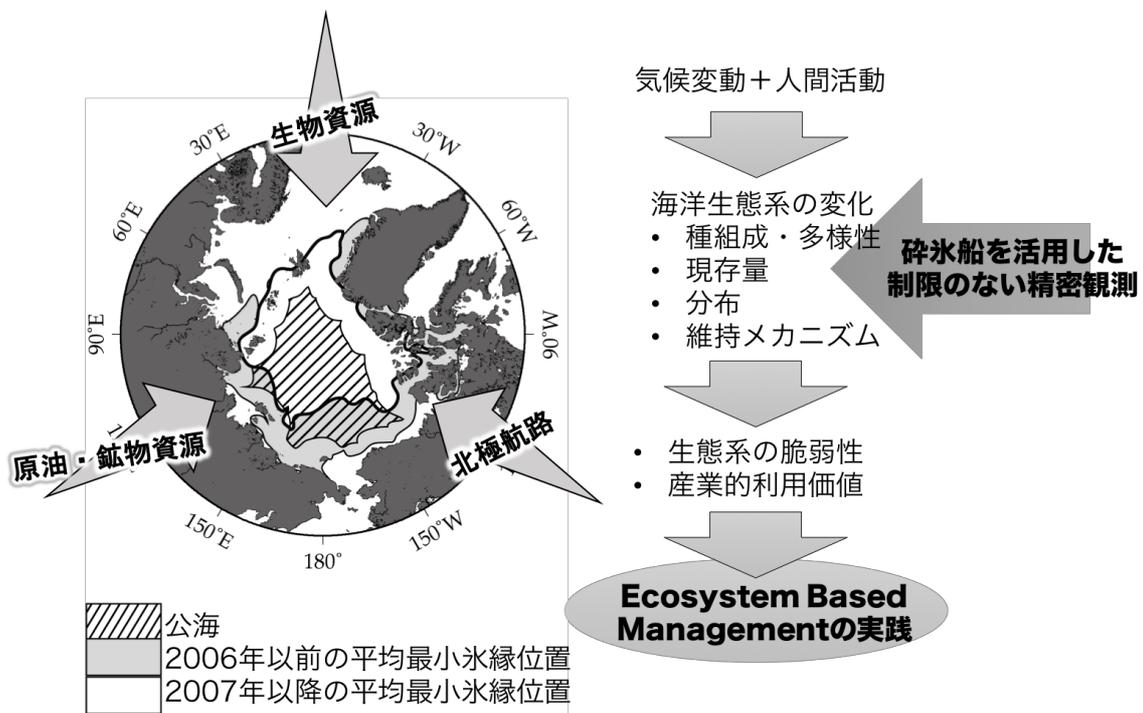


図 1：砕氷船を用いた北極域の海洋生態系の方向性。

3-4. 気象・気候

北極海や南大洋では気象観測データが極めて限られるため、大気再解析データや気象予報における大気循環の再現性は、数値モデルや同化手法に加えて、同化に用いる観測データ数に大きく依存する。高層気象観測ネットワークは、大気の3次元構造を把握するのに最も有効な観測データ源の一つであるが、極域では現業気象観測が乏しいため、不確実性の根源ともなっている。中緯度での異常寒波に代表される極端現象が近年頻発していることを鑑みると、冬季の極域観測データの拡充に伴う予報誤差の低減や極域予測のさらなる精緻化は社会活動に対して大きく貢献するであろう。また、北極海航路上で急激に発達する夏季の北極低気圧に伴う強風予測など、気象サービスの向上という点からも、良質な観測データが必要不可欠である。極域予測研究の発展と国益のためにも、砕氷船を用いた長期あるいは定期的な高層気象観測の実現が望まれる。

気圧・風速を含む各気象要素の初期場が改善すれば、海水予測モデルで用いられる大気予報誤差が改善されるので、北極海航路上の数日スケールの海水予報の向上が期待される。また、冬季の大気観測頻度の増加は、風下に位置する日本の気象予報精度の向上につながることから、異常気象等の早期警戒にも貢献すると考えられる。自国の砕氷船があれば、冬季の極域気象観測データを用いた大気データ同化予報研究を実施することができ、ルーチンで実施すべき最適な観測頻度、季節などを提案し、国際協力のもと極域高層気象観測網を拡充することができるだろう。この方向性はWMO(世界気象機関)の推進するPPP(極域予測プロジェクト)と合致し、国際貢献にもつながる。

3-5. 数値モデル

極域海洋特有の海水とその変動は、地球規模での気候変化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。とりわけ近年の夏季北極海では急激な海水減少が進み、日本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。今後予想される海水変動とそれにとまなう気候変化や北極海航路上の海水分布に対応するためには、信頼性の高い海水予

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、より長期間にわたる海氷予測の精度を高めるためには、観測が不十分な海氷厚や海洋亜表層のデータ取得・解析とそれに基づいた物理過程を取り入れたモデル構築・改良が必要である。ここでいう改良には、現行モデルと実際の現場とのギャップの認識と対応策の提示が必要である。このためには、最もブラックボックスになっている冬季北極海の砕氷船による直接観測による時系列が必須となる。モデルと現場とのギャップを観測にフィードバックし、得られた現場観測結果をモデル改良にフィードバックするというサイクルが予報精度の向上のためには絶対的に必要であり、日本にはその素地が十二分にできている。この過程で、これまで理解が不十分であった海氷過程が明らかとなり、その知見に基づいた海氷モデルの改良が可能となる。改良された海氷モデルを海氷海洋結合モデルあるいは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、数日スケールの短期および季節から十年スケールの中長期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る。これにより、北極海航路利用のための計画立案に加えて、世界気候研究計画の気候モデル間相互比較プロジェクトおよび IPCC 評価報告書の作成に貢献し、気候研究コミュニティにおける日本の存在感を示すことにもなる。

3-6. 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気候、海洋、雪氷が果たした役割を明らかにする。例えば、アメラシア海盆とユーラシア海盆の間、北極海中央部に発達するロモノソフ海嶺で実施された IODP 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。

また、堆積物コアの解析から、過去の北極海の海氷分布と海流系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を理解する手がかりが得る事が可能となる。また、氷期・間氷期変動において両極の氷床が海面変動に対してどのような割合で寄与したかを明らかにすることにより、地球温暖化にともなう海面上昇の予測を精密化することができる。さらに、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し、また北米大陸への人類の移動の歴史の背景を明らかにすることができる。

3-7. テクトニクス

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良好にわかっているが、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。3-6.の古海洋・古環境の解明とも関連し、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。

また北極海は北アメリカプレートとユーラシアプレートの発散境界となっている部分である。一方、そこから日本周辺にかけての地域では北アメリカプレートとユーラシアプレートが収束境界となっている。大陸性のプレート境界が発散境界から収束境界へと変化する場所は北極海～日本列島にかけての地域以外にはなく、プレート境界での物質の変形や地下構造などについても解明すべき課題は多い。

このように砕氷船の利用により、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観測が行わ

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。

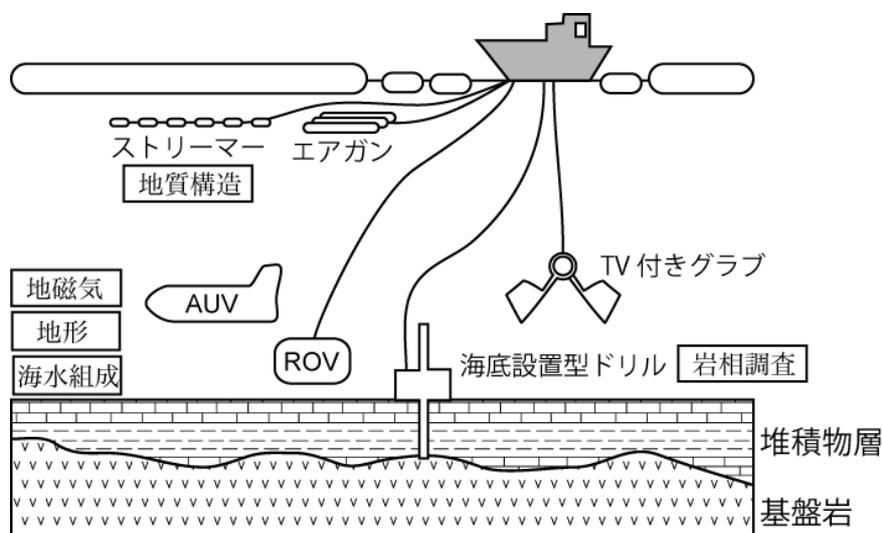


図 2：砕氷船を用いた北極域の固体地球観測の概要。ゴチックが観測装置、明朝が観測項目を示す。

3-7. 航海学・船舶海洋工学・船用機関学に関わる観測研究

本船は日本初の本格的な砕氷観測船であり、日本を代表する船舶として注目されることになる。船体運動、船体構造応答、機関などの高精度自動計測、ならびに、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、および、それらを統合利用した安全かつ経済的な航行技術の開発は、本船の運航に活用できるものである。

加えて、本船の観測・計測により得られるデータ群、本船を開発プラットフォームとしたセンサ開発などは、産業利用に繋がり産業活性化の礎となる。

4. 砕氷研究船に必要な機能

日本独自の砕氷船が建造された場合に想定される運航海域としては、海氷が存在する北極海・南極海・オホーツク海の全てが候補として挙げられる。ただ現実には多年氷域を航行するにはそれに応じたスペックが必要であり、その優先順位が非常に高いわけではない。我が国独自の北極研究を展開するためには、砕氷船の運用目的が学術研究に特化したものである必要があり、各種社会的要請にも柔軟に応じる運用体制の構築が必要である。さらには砕氷船を継続的に運航するための人員・設備・運航組織の構築なども視野に入れる必要がある。早ければ 2030 年代には北極海で夏季の海氷が消失することが予測されているが、冬も含めて通年で北極海に海氷が存在しなくなる可能性は極めて低く、今後砕氷船の需要がなくなる状況は考えにくい。単なる砕氷船ではなく「研究のための砕氷船」として実体のある研究を行うためには、ムーンプール、運航計画立案のための衛星データ受信システムや海氷偵察のためのヘリとヘリポート、CTD 観測システム・格納設備、A フレーム、多目的ケーブル搭載ウィンチ、ラジオゾンデ自動放球装置、化学・生物・地質各種分析・実験室（クリーンルームや低温室含む）、同階層に実験室等を持つ低・広・長の上方開放型観測舷、船上での機器整備機能を備えた工作室、海水下を長期間航行可能かつ多数のセンサーを搭載可能な AUV、試料採取も可能な ROV、氷上作業や砕氷船から離れた場所での観測のための小型観測艇、長尺大口径ピストンコアラ、舷側からコアラを投下するための大型クレ

ーン、水産資源量の把握に有用な魚群探知機、海底地形調査に使用するマルチビーム測深器、地層探査に使用するサブボトムプロファイラー、テクトニクスや地球内部構造推定に使用する重力計や磁力計等の設置が望まれる。また、ムーンプールからより長い堆積物採取を可能にする海底鎮座型掘削装置による掘削が可能な事、および必要に応じて反射および屈折による地震探査装置等が搭載できる事等も望まれる。

砕氷研究船の運行については、運行計画立案段階から実際の運行に至るまでのすべての意思決定が観測計画の目的に沿ってなされる体制が必要である。従って、運行を担う組織は民間企業への委託も含めて広く検討する必要がある。運行を担う組織がどこになるろうとも、観測計画を担う役割は研究機関が担うべきである。この研究機関は、白鳳丸研究課題公募のようなオープンなシステムの下、砕氷研究船を利用した研究観測の全体計画のコーディネートを行い、船の運航の方針を決める必要がある。この研究機関は北極研究を中心として、我が国の極域研究コミュニティの利益を追求する責任がある。また、砕氷研究船の母港は、観測測器及びサンプルの輸出入に関わる諸問題の関係から、日本国内に設定すべきである。

5. 砕氷研究船によって期待される波及効果

日本が砕氷観測船を保有することで、日本独自のミッション型の研究が実施可能になる。例えば、重点海域を設定した特定のプロセスの理解を狙った観測研究の実施が可能になる。また、プラットフォームを基にしたプロジェクトなどで、多分野（大気-海氷-海洋-古海洋-古気候-古環境-固体地球物理、生物-物理-化学-工学-航海学）の日本人研究者のさらなる極域研究への参画と学際的な極域研究の発展が見込まれる。そして、国境にとらわれない観測計画を国際協力のもとに提案可能になる。既存の観測研究船と同様に、外国人の乗船希望者を受け入れる体制を整えておけば、国際共同研究が促進されると共に、世界と対等に研究を展開する事が可能となる。観測研究者や観測技術者の教育のみならず、船員の氷海操船技術向上も含めた、幅広い教育効果も大いに期待される。