参考資料１

科学技術・学術審議会　海洋開発分科会　委員名簿

（順不同）

（委　　員）

◎	藤　井　輝　夫	東京大学理事・副学長
○	中　田　　　薫	国立研究開発法人水産研究・教育機構理事
	平　田　　　直	国立研究開発法人防災科学技術研究所参与兼首都圏レジリエンス研究推進センター長

（臨時委員）

石　田　和　憲	前株式会社環境総合テクノス取締役東京支店長
榎　本　浩　之	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構 国立極地研究所副所長・教授
沖　野　郷　子	東京大学大気海洋研究所海洋地球システム研究系海洋底科学部門教授
川　辺　みどり	東京海洋大学学術研究院海洋政策文化学部門教授
河　村　知　彦	東京大学大気海洋研究所長・教授
窪　川　かおる	帝京大学戦略的イノベーション研究センター客員教授
阪　口　　　秀	国立研究開発法人海洋研究開発機構理事
田　中　康　夫	日本郵船株式会社技術アドバイザー
谷　　　　　伸	GEBCO 指導委員会委員
中　川　八穂子	株式会社日立製作所　研究開発グループ　デジタルテクノロジー イノベーションセンタシニアプロジェクトマネージャ
西　村　　　弓	東京大学大学院総合文化研究科国際社会科学専攻教授
廣　川　満　哉	独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構理事
藤　井　良　広	一般社団法人環境金融研究機構代表理事
見　延　庄士郎	北海道大学大学院理学研究院地球惑星科学部門教授

（令和３年１月現在）

◎：分科会長

○：分科会長代理

参考資料２－１

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）

令和２年 12 月

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

報告書概要（エグゼクティブ・サマリー）」

本検討会では、近年急速に重要性を増す北極域に関する環境面、研究面、国際面等での状況を踏まえつつ、我が国が北極域研究船を保有する場合の利活用方策・費用対効果等について、専門的見地から検討を行い、結果を本報告書に取りまとめた。

北極域は、温暖化等の環境変動が未曾有のペースで進行する一方、海氷融解に伴い、資源輸送を含めた北極海航路の利用が拡大するなど、地政学的な重要性が高まっている。米中をはじめ、各国が北極政策を次々と打ち出している。

こうした状況の中、我が国として北極政策や気候変動対応等をエビデンスに基づき的確に進めるためには、観測の空白域である北極海海氷域における自律的かつ分野横断的な観測研究が必要である。砕氷機能を有する北極域研究船は、これを実現する新たな海洋観測基盤となるのみならず、国際連携によるプレゼンス向上や次代を担う若手研究者育成等の基盤としての意義を有するものと認められる。

また、北極域研究船の利活用により、具体的には、台風等の異常気象、気候変動、海運・航行支援、漁業・水産、生物資源利用、資源・エネルギー、産業（造船業等）、人材育成等の分野において、多様な社会経済効果が創出されることを確認した。定量的には、少なくとも年間64.2～124.1億円の効果創出が想定されるほか、多岐にわたる定性的な効果も期待されることから、費用対効果として妥当であることを確認した。

なお、想定される建造・運用費用（運用30年間で1,155億円。年平均38.5億円）に関しては、他国の同規模の砕氷研究船と比較して妥当な規模である。また、高精度多項目の海洋観測を担う海洋研究開発機構（JAMSTEC）の海洋地球研究船「みらい」は老朽化が進んでおり、「みらい」が退役した際に、広範な海域の調査能力を有する北極域研究船がその機能を継承することが想定される。本船建造によりJAMSTECの研究船舶運用の効率化が図られることも高く評価すべきである。

本検討会では、これらの点を総合的に考慮し、我が国として北極域研究船を速やかに建造・運用することが適当であると結論づける。

また、今後我が国として北極域研究船を活用し北極域研究を更に進めるにあたり、関係府省、関係研究機関、アカデミア等が連携し、北極や北極域研究に係る広報・情報発信や人材育成を積極的に推進すべきである。

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）

目次

報告書概要（エグゼクティブ・サマリー)」 2

目次 3

１．はじめに 5
２．北極域を取り巻く最近の主な動向 7
（１）IPCC 報告書における北極海の海氷減少等に係る指摘 7
（２）各国の動向.. 7
①　米国.. 8
②　ロシア... 8
③　その他の北極圏国..................................... 8
④　中国.. 9
⑤　韓国.. 9
（３）我が国のアカデミア及び JAMSTEC における検討や研究開発の状況... 9
① アカデミアにおける検討.................................. 9
② JAMSTEC における検討 10
３．我が国が北極域研究船を保有する意義 10
（１）我が国による自律的・主体的な観測研究の実施................. 10
（２）外交・発信力の基盤.................................... 11
（３）総合的・横断的要求への対応.............................. 11
（４）統合観測システムの必要性................................ 12
（５）人材育成・科学技術立国の礎.............................. 12
（６）北極政策を超える幅広い分野への貢献........................ 12
４．北極域研究船により実現可能となる観測 13
（１）北極域研究船の空間性能・時間性能......................... 13
（２）実現可能な観測航海の例.................................. 14
５．利活用方策・費用対効果の分析について 15
（１）利活用方策及び想定される社会経済効果...................... 15
① 直接効果 16
ａ）異常気象・気候変動 16

ｂ）海運・航行支援 17
ｃ）漁業・水産 18
ｄ）生物資源利用 19
ｅ）資源・エネルギー 20
② 間接効果 20
ａ）産業（造船業等） 20
ｂ）人材育成 21
ｃ）その他（市民科学、広報教育利用等） 22
（２）「みらい」の実績について 22
（３）主要要件及び費用等 23
① 主要要件 24
② 費用等 24
（４）利活用方策・費用対効果について 25
６．おわりに 26

検討の経緯 28
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 委員名簿 29

（別紙）主な社会経済効果の一覧

１．はじめに

北極域は、地球上で最も速いペースで温暖化が進行しており、北極海の夏季海氷面積は、2012 年（平成 24 年）に観測史上最小を記録し、本年も観測史上２番目の小ささを記録するなど、過去 35 年で３分の２程度となるまで急速に減少している。また、気温についても、本年６月にロシア・シベリア地方で北極圏での観測史上最高となる 38℃を記録したことに続き、７月にはノルウェー・スヴァールバル諸島において観測史上最高となる 21.7℃を記録するなど、各所で記録的な高温がみられた。

このような未曾有の環境変動は、北極域の脆弱な生態系に深刻な影響を与えるおそれがあるだけでなく、全球的な気象・気候変動に影響を及ぼしかねず、北極のみならず地球規模での環境的、経済的、社会的な持続可能性に影響する可能性がある。

一方で、夏季海氷の減少により、利用可能な海域が拡大することに伴い、北極域のエネルギー資源の輸送を含めた北極海航路の利活用の機会が拡大するなど、北極海の経済的利用の機運が高まっている。また、北極海の地政学的な重要性等も踏まえ、各国が続々と新たな北極政策を打ち出すなど、北極圏国・非北極圏国を問わず、北極への国際的な関心が高まっている。

我が国は、総合海洋政策本部において、平成 27 年 10 月に我が国の初の「北極政策」を決定した。同政策において、我が国は、脆弱かつ復元力が低い北極の環境や生態系に十分配慮しつつ、日本の強みである科学技術をグローバルな視点で最大限活用し、気候・環境変動の影響への経済的・社会的適合を目指すこととしており、研究開発の取組の一環として、「新たな北極域国際研究プラットフォームとしての北極域研究船の建造に向けた検討を行う」こととされた。同船の建造等に向けた検討については、平成 30 年５月に閣議決定された「第３期海洋基本計画」においても盛り込まれたことに続き、令和元年６月及び令和２年６月に取りまとめられた総合海洋政策本部参与会議意見書において、気候変動予測の高度化に資する海洋情報を把握する等の北極域における研究開発の強みをより一層発揮する等のため、同船の取組を加速する旨提言がなされた。

文部科学省においては、平成 28 年８月に科学技術・学術審議会海洋開発分科会北極研究戦略委員会において、今後の北極域研究の在り方についての議論を取りまとめた上、同年から平成 29 年にかけて開催した北極域研究船検討会において、「研究船による北極域研究の現状」、「北極域研究船を保有するメリット」、「我が国が強みを有する研究課題」、「北極域研究船に求められる能力等」について調査検討を実施した。同検討会の報告書においては、

・我が国の強みである高精度多項目観測の実施海域、実施時期を拡大するため、太平洋側北極海の海氷融解域において研究・観測を行なっている海洋地球研究船「みらい」では実施することができなかった海氷域での観測を行うことが可能な砕氷能力、具体的には、多年氷が一部混在する一年氷の中を通年航行できる能力（ポーラクラス４～５以上）を有するとともに、氷海での観測に不可欠な、ヘリコプター、無人探査機（ROV、AUV 等）、観測ブイ等の運用を想定した北極域研究船が必要であること
・「みらい」による継続的・高精度な研究・観測は国際的に高い評価を得ており、北極域研究船は、引き続き「みらい」と同等以上の観測能力を保有させることが必要であること
・国際プラットフォームとしての活用を見据え、外国人研究者も含めた 60 人程度の研究者が乗船できるスペースや船上において速やかな分析等ができるようにするための船上ラボ等が必要であること
・我が国の強みを有する研究の強化または新たな強みの創出のため、以下の研究例が考えられること
  ① 温暖化によって広がる結氷・融解域における現象の解明に係る研究
  ② 夏季海氷激減のメカニズム解明に係る研究
  ③ 北極海航路の活用に資するための海氷予測の高度化等に係る研究・観測
  ④ 氷海航行する船舶の建造技術の高度化に資する船体挙動、着氷等の船舶工学的モニタリング研究
・砕氷性能を有する研究船を建造し、運航することにより、砕氷船の設計・建造技術の蓄積や船舶運航人材の養成への寄与等、幅広い分野における波及効果が期待できること
・我が国の海洋観測船の効率的・効果的な運用という観点から、必要に応じ北極域以外の海洋の研究・観測にも対応できる機能とすることが重要であること

など、北極域研究船の大枠の在り方について取りまとめが行われ、詳細については、「北極域研究船の保有に係る政策判断に向けて、より具体的な項目の調査研究が必要」とされた。

これを踏まえ、海洋研究開発機構（JAMSTEC）において、平成 29 年度より北極域研究船の調査検討や研究開発を実施してきており、これらの成果等を踏まえながら、北極域研究船の利活用方策・費用対効果等について専門的見地から議論を行うため、本年３月より本検討会を開催し、４回にわたる議論を経て、その結果を本報告書に取りまとめるものである。

２．北極域を取り巻く最近の主な動向

北極域を取り巻く国際枠組みや各国の動向、我が国のアカデミアやJAMSTECにおける検討の進捗等について、直近数年の主なものを中心に以下にまとめる。

（１）IPCC報告書における北極海の海氷減少等に係る指摘

国連気候変動に関する政府間パネル（IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change）においては、近年急激な変動が見られる北極海の海氷に関し、今後の変動の予測や、北極域以外も含め及ぼしうる影響について、重大な関心が寄せられている。

IPCCが2019年（令和元年）９月に公表した「海洋・雪氷圏特別報告書」では、

・最近数十年にわたり、地球温暖化の影響により北極海の海氷面積および氷厚が減少している（確信度が非常に高い）

・夏季海氷および春季の陸域の積雪の減少によるフィードバックは北極域の温暖化を増幅しており（確信度が非常に高い）、過去20年に地表気温は地球上の平均の２倍以上上昇した可能性が高い

・北極海の海氷の変化は、中緯度域の気象に影響が及ぶ可能性がある（確信度が中程度）

・北極域の海氷の減少は今世紀半ばまで継続し、その後の差異は地球温暖化の規模に依拠すると予測される。1.5℃の安定化した地球温暖化では、今世紀末までに海氷のない９月となる確率は約１％であり、これは２℃の安定化した地球温暖化では10～35％に上昇する（確信度が高い）[1]

などと指摘がなされた。

このように、地球温暖化による夏季海氷の減少・消失の恐れ等について指摘されているが、その時期や場所、生態系や環境への影響、我が国を含む中緯度域の気象への影響など、実現象の把握及び予測に必要な情報は十分ではないのが現状である。

（２）各国の動向

---

[1] IPCCが2018年（平成30年）10月に公表した「1.5℃特別報告書」では、温暖化に伴うリスクとして、２℃の地球温暖化の場合、昇温の安定後、少なくとも約10年に１度の可能性で夏の北極海の海氷が消失する（確信度が中程度）、と指摘されていたところであり、翌年の「海洋・雪氷圏特別報告書」では、海氷消失のリスクについてより深刻な評価がなされていることに留意。

本項では、米国における砕氷船プログラムの動向や、ロシアやその他の北極圏国における近年の動き、非北極圏国である中国・韓国の近年の動向についてまとめる。

① 米国

米国は、これまで沿岸警備隊所属の「Healy」（1999年（平成11年）建造）や「Polar Star」（1976年（昭和51年）建造、2012年（平成24年）再生工事）、国立科学財団所属（アラスカ大学運航）の「Sikuliaq」（2014年（平成26年）建造）等の砕氷船により、北極域の観測を行ってきた。このうち「Sikuliaq」については、欧米の砕氷研究船からなる北極域研究砕氷船コンソーシアム（ARICE）に参加[2]している。

近年、北極海の戦略的重要性に関する国際的な認識が高まる中、米国も「北極海航路は、21世紀のスエズ運河及びパナマ運河となりうる[3]」などの認識を示し、本年６月には極域砕氷船プログラム（Polar Security Cutter Program）の刷新に係る大統領メモランダムにおいて、2029会計年（令和11年）度までに極域砕氷船を調達する計画を発表した。

② ロシア

ロシアは、ヤマルLNGプロジェクト[4]等により、北極圏の資源開発を積極的に推進しており、本年７月には、同プロジェクトによるLNGを積載した砕氷LNG船が我が国に初めて入港するなど、経済活動を活発化させている。また、ロシアは北極海航路のLNG輸送を強化するため、カムチャツカ地方においてLNGの積み替え施設の整備計画を推進している。

加えて、研究面での基盤強化も進めており、ロシア水文気象環境監視局及びロシア北極南極研究所が共同し、漂流型の北極海観測プラットフォームである「North Pole」を2018年（平成30年）から建造中である。計画では本年の完成を予定している同プラットフォームは、北極海海氷域を複数年に亘り漂流可能な観測研究の拠点として運用される予定である。

③ その他の北極圏国

北極圏の各国における北極に関する活動が活発化している。

---

[2] 他には「Polarstern」（ドイツ）、「Oden」（スウェーデン）、「Kronprins Haakon」（ノルウェー）、「Fennica」（フィンランド）、「Amundsen」（カナダ）が参加している。
[3] 米国の北極政策に関するポンペオ国務長官演説（2019年（令和元年）５月）
[4] ヤマルLNG社がロシア・ヤマル半島にLNGプラントを建設・操業し、北極海航路等を活用して欧州やアジア向けにLNGを輸送・販売するプロジェクト。

調査研究に関しては、ノルウェーでは、砕氷研究船「Kronprins Haakon」が2018年（平成30年）に就航し、ノルウェー海洋研究所の運航により北極海等の調査観測を実施している。

各国の北極戦略に関しては、カナダ先住民関係・北方問題省が「北極・北方政策枠組」を2019年（令和元年）９月に発表した。また、スウェーデンでは2011年（平成23年）策定の北極戦略を改訂中であり、新たな戦略は今年秋に発表される見込みである。デンマークにおいては、「2011～2020年北極戦略」に代わる新たな北極戦略の策定作業が進行中である。

国際政治に関して、アイスランドは、北極評議会の現議長国（任期は2021年（令和３年）５月まで）として、海洋専門家会合（2020年（令和２年）９～10月）、北極海洋プラスチックごみ国際会議（2021年（令和３年）３月）等を主催する予定のほか、2021年（令和３年）５月には、我が国との共催により、東京で第３回北極科学大臣会合（ASM3）を開催予定である。

④　中国

中国は、2018年（平成30年）１月に公表した「中国の北極政策」白書において、北極砕氷船の建設の推進などを通じた北極の調査と理解の深化や、関係国等との共働による「氷上のシルクロード」構想等を打ち出した。

砕氷船については、中国初の国産砕氷極地研究船である「雪龍２号」が完成し、2019年（平成31年）７月に中国極地研究所へ引き渡された。同船は、本年７月には、初の北極科学調査へ出航した。中央北極海を含めた海域で科学調査を実施したとみられている。

⑤　韓国

2009年（平成21年）に砕氷研究船「Araon」を建造した韓国は、北極海観測を含めた同船の運航を行っている。韓国の造船会社は近年、砕氷能力を有した商船を建造し、諸外国に輸出していることから、「Araon」建造が砕氷船建造技術を高度化するきっかけになったとみられる。

（３）我が国のアカデミア及びJAMSTECにおける検討や研究開発の状況

① アカデミアにおける検討

我が国のアカデミアにおいては、北極に関わる様々な分野の研究者が協力して立ち上げたネットワーク型組織として、北極環境研究コンソーシアム（JCAR）が平成23年より活動しており、北極環境研究に関する長期計画策定や研究・観測推進の基盤整備に関する検討、国際協力・連携の推進・検討、人材育成の方策の検討等を実施している。

JCAR では、北極域研究船利用計画ワーキンググループを立ち上げ、北極域研究船を用いた10年程度の長期的な研究テーマとそのための ３～５か年程度の観測計画の検討を進めている。具体的には、自然科学から工学・航海学、人文社会科学等の多分野にわたり検討するとともに、北極海のコンテンツ化などによる啓発活動等の波及効果も含め検討を進めており、本年６月には一般参加型のオンラインワークショップを開催し、産学官から130名程度の参加を得て活発な議論が行われた。

② JAMSTEC における検討

JAMSTEC では、平成29年度以降、以下のとおり北極域研究船の調査検討や研究開発を実施している。

- 平成29年度：北極域研究船の観測環境・運用等の各種要件や、求められる機能・設備、主要目、運航形態等について調査検討を実施
- 平成30年度：調査検討結果を踏まえ、模型船を用いた氷海水槽試験による砕氷性能評価、えい航水槽試験による巡航性能評価等を実施。燃料消費量を10 ％程度向上可能な船型案を検討
- 令和元年度：北極域研究船の安全かつ効率的な運用の実現のため、同船の運用やメンテナンス等に有用な情報を得るための「氷海航行支援システム[5]」の構築に着手
- 令和２年度：北極域研究船の主要な船体構造や設備・観測装置類の検討・決定等を行う基本設計・デザインを行うとともに、氷海航行支援システムの構築を継続的に実施中

３．我が国が北極域研究船を保有する意義

上述の状況等を踏まえつつ、我が国が北極域研究船を保有する意義について、主に以下の６点に整理する。

（１）我が国による自律的・主体的な観測研究の実施

砕氷研究船を有する他国（北極圏国等）に観測を依存すると、国際情勢や他国事情により観測が途絶する可能性があるほか、観測データの品質管理や検証が出来ない恐れがあるため、我が国として自律的な観測システムが必要であ

5 「統合化システム・インターフェースのデザイン」「氷海予報システムの実用化」「船体構造応答計測システムの実用化」「海氷識別技術の開発」「海氷下観測ドローンの開発」の５つの実施項目からなる。

る。特に気象等は自国船の安全航行や我が国の気象災害等にも影響を及ぼしうるため、必要な観測データを自律的に取得することは重要である。

加えて、現在観測が疎である季節・海域（空間的・時間的な観測空白）においても、我が国の砕氷研究船を用いた国際共同研究を提案することで必要なデータを取得するなどの選択肢がとりうる。

なお、新型コロナウイルスの感染が世界的に広がっている現在、他国の研究船に同乗する機会を確保することは困難であり、今後も含め、今般のコロナ禍のような状況に陥った際のことを考えると、自律的な観測手段の確保の必要性は更に高まっていると言える。

（２）外交・発信力の基盤

我が国は、2021 年（令和３年）にアジアで初となる第３回北極科学大臣会合（ASM3）を東京で開催予定であるところ、北極域に関する国際プレゼンスを更に向上するためには、北極域研究船の役割は極めて重要である。

例えば、IPCC や漁業管理等を含め、国際的な枠組みにおいて、我が国として公正に主張・提案を行うためには、科学的エビデンスに基づいた検討や解析が必要であるほか、他国の主張を検証するためには独自データが必要である。我が国が「みらい」で培った観測技術等を北極海海氷域で応用し、高精度なデータを取得することにより、国際的なルールメイキングの進展への貢献が期待される。

さらに、非北極圏国という我が国の第三者的立場を生かして、北極海における権益に関係する課題の調査や、北極圏国・非北極圏国を問わず砕氷研究船非保有国との連携を主体的に生み出すなどの利用策も考えられ、国際的な重要性が高まっている北極海において、各国との関係やニーズを踏まえつつ、北極域研究船の観測・研究能力を効果的に活用することも期待される。

（３）総合的・横断的要求への対応

北極域研究は、様々な分野 （海洋、気象、雪氷、水産、生物、航海、造船等）に跨り、これらの分野の研究は相互に関連する。こうした多様な観測ニーズを満たすには、自国の船を保有して必要な観測能力を確保する必要がある。他国の砕氷船へ同乗する際は、乗船人数に制約があり特定項目の観測に留まるケースが多いことから、分野横断的な相乗効果が限定的となる。

（４）統合観測システムの必要性

砕氷研究船、衛星、ブイ等の観測手段はそれぞれ、精度や空間的・時間的網羅性、観測項目等にそれぞれ得手不得手[6]があり、単独では総合的・高精度なデータセットを取得することはできず、研究に制約が生じる。

我が国は既に北極域の海氷観測を行っている独自の衛星センサ（AMSR2）を有しており、北極域研究船の現場観測による衛星データの検証や、現場観測により検知した現象についての衛星観測による広域的な確認など、現場観測と衛星観測を相互補完的に行うことにより、世界をリードする高精度なデータセットが出来、研究のブレークスルーが起きることが期待される。

（５）人材育成・科学技術立国の礎

他国の砕氷船に同乗する現状では、保有国の事情により航海が中止になることも多く、博士課程学生の学位取得のための研究や、任期付若手研究者の研究など、時間的に限られた研究活動にとっては見通しが予め立てにくいことから、北極域研究を担う次世代の若手研究者が育たない一因となっている。この状況は、今般の新型コロナウイルスの世界的な蔓延により、更に悪化すると見込まれる。北極域研究船を保有することにより、このような若手研究者育成の阻害要因を解消することが期待できる。

また、我が国として、最先端研究を実施可能な基盤（プラットフォーム）を保有することにより、北極域の科学研究をリードする人材を国内外から結集することができると考えられる。

さらに、我が国の若手研究者が主導的に研究計画を策定可能になることにより、長期的な教育効果も考えられる。とりわけ北極域研究は、他国と連携した分野横断的な国際プロジェクトの実施が求められるところ、我が国の研究者がこうしたプロジェクトを主導するためにも、自国のプラットフォーム保有が必要不可欠である。

（６）北極政策を超える幅広い分野への貢献

北極域研究船は、北極政策に限らず、より幅広い枠組みや分野へ貢献することが可能な海洋観測の基盤となりうる。

北極域における急速な環境変動やその生態系への影響等については、IPCC のほか、国連気候変動枠組条約（UNFCCC）や生物多様性条約（CBD）の締結国会

---

[6] 例えば、衛星は地球表面を広範囲に観測し得るが、海中は観測できない上、海水面、海氷面の観測精度は船舶よりも低い。一方で船舶は一定時間に観測できる範囲は限られるが、海中等を高精度に観測でき、かつ衛星データによる広範な海水面データを組み合わせることで広範囲の海中の状況も推測可能となる。ブイは、定点観測に限られるため機動性はないが、一定期間連続して海中データを取得可能という利点がある。

議（COP）などにおいても重要な課題として議論がなされている。北極域研究船による観測研究により、北極域のより精緻な現状把握や将来予測の実現を通じ、これらの地球規模の枠組みに貢献することが考えられる。

また、2021 年（令和３年）から始まる「持続可能な開発のための国連海洋科学の 10 年」（以下「10 年」という。）では、「健全で回復力のある海（A healthy and resilient ocean）」「予測できる海(A predicted ocean)」等のテーマが掲げられ、持続可能な開発目標（SDGs。「海の豊かさを守ろう」(SDG14) 等）を達成するため、集中的に取組を実施することとされている。科学的知見やデータの蓄積を通じ、北極域研究船が「10 年」における海洋科学の推進に寄与することが期待される。

さらに、北極域研究船は、各研究分野においても北極域に留まらない相乗効果を生み出す基盤となる。北極域研究船により、海洋物理学、海洋化学、海洋生物学、気象・気候学、海洋底科学、船舶工学等の多様な分野において、北極海が新たに観測研究のフィールドとして加わることとなる。他地域で得られた知見に、北極域で得られる新たな知見が融合することにより、各分野の研究の更なる進展が期待される。また、各分野の（特に若手）研究者に、北極域における観測研究機会を提供することにより、北極域研究に携わる研究者層の厚みと多様性を増すことにつながり、この点からも、我が国の北極研究の研究力強化に貢献すると考えられる。

４．北極域研究船により実現可能となる観測

本項では、北極域研究船が北極海海氷域の空間的・時間的な観測空白を埋める可能性について整理するほか、北極域研究船により実現可能となる具体的な観測計画の例を示す。

（１）北極域研究船の空間性能・時間性能

北極域研究船の運航により、空間的には、我が国ではこれまで船舶による観測能力を有しなかった北極海海氷域における観測を実施することが可能となる（水平方向のカバレッジ向上）。同海域は、全球的にみても海洋観測の空白域となっており、これを埋めることは、我が国のみならず国際的にも意義が大きいものと考えられる。また、北極域研究船による直接の観測に加え、同船による海氷下観測用の AUV や係留系の展開により、これまで衛星や航空機ではデータを取得できなかった海中、海氷下の観測が可能となる（鉛直方向のカバレッジ向上）。さらに、衛星よりも細かいメッシュでの観測・サンプリングに加

え、衛星データの実地検証によりデータの精度向上に寄与するなど、衛星と北極域研究船が機能を補完することにより、分解能及び精度の高い観測が機動的に実施可能となる。

時間的には、「みらい」による北極海観測が夏季に限られていたところ、北極域研究船は春季の海氷融解期、秋期の結氷期における観測が可能となる[7]ほか、海氷域において氷上ブイや係留系を設置することにより通年観測を実施可能となることにより、時間的な観測空白域を解消しうる。

なお、我が国は、南極地域観測事業において運用される砕氷船「しらせ」を保有しているが、同船は南極昭和基地への物資輸送業務の遂行に主眼を置いた船舶であり、観測能力に制約があることから、北極域研究船の代替手段として運用することは困難と言える。

（２）実現可能な観測航海の例

上述のとおり、北極域研究船の運航により、北極海海氷域の空間的・時間的空白域を解消する機動的な観測が実現可能となると見込まれる。また、北極海観測と、他地域の観測による相乗効果も期待できる。

具体的には、地球温暖化等の我が国を含む全球の気候変動予測の高度化や海洋酸性化等の海洋環境の変化の理解等に貢献するため、「みらい」では実施不可能であった、北極海の海氷が融解し始める春季から結氷し始める秋季における大気・海洋・海氷の物理的・生物学的・化学的・生物地球化学的な総合観測を実施可能となることに加え、「みらい」で実施してきたベーリング海や北部北太平洋など、北極海と我が国の間に存在する海域や、熱帯域などにおける総合観測を引き継ぐことにより、北極海の環境変化との相互作用や遠隔影響（テレコネクション）を理解し、近年大規模な災害をもたらす台風、豪雨、豪雪等の予測の高度化の進展が見込まれる。

これらの点を踏まえ、北極域研究船の年間観測計画の例[8]を下表に示す。

調査海域	調査時期	調査期間	実施内容例
①北極海	４月下旬～ ８月中旬	約 80 日 間	各国の砕氷研究船と連携し、海氷の融解が始まる春季から夏季における北極海中央部を含む総合観測を実施

[7] 北極海海氷域の観測ノウハウの蓄積により、北極域研究船の砕氷能力の範囲内で、冬季の北極海観測も可能となると見込まれる。

[8] 実際は、その年の氷況や、各種の観測ニーズ等を踏まえ、毎年の調査航海計画を決定する。本文記載以外の北極海の研究航海例として、夏季～秋季における氷縁観測等により気象気候研究等を行う航海や、漁業調査能力を有する船舶との連携による漁業資源、生態系、及び海洋環境を調査研究するための航海なども考えられる。

②熱帯太平洋	８月下旬～ 10 月下旬	約 70 日間	我が国に大規模な台風や豪雨等をもたらす根源となる熱帯域における諸現象（北極海との遠隔影響を含む）を把握するための総合観測を実施
③西部北太平洋	11 月下旬～ 12 月中旬	約 20 日間	温暖化増幅に寄与するブラックカーボン等の環境汚染物質の発生源やその循環機構、北極海や我が国周辺を含む各地域への影響を網羅的に解明するための大気・海洋観測を実施
④ベーリング海、北部北太平洋	１月中旬～ ２月下旬	約 40 日間	北極海と我が国を含む中緯度域の間に存在する海域において、温室効果ガスの収支や海洋酸性化等の変化を把握するための総合観測を実施

５．利活用方策・費用対効果の分析について

本項では、北極域研究船を建造・運用した場合に考えられる利活用方策及び想定される社会経済効果について、JAMSTEC において実施中の「北極域研究船の基本設計・デザイン」及び㈱三菱総合研究所において実施した「北極域研究船のユースケース及び社会経済効果」 に係る分析調査（以下「社会経済効果分析」という。）を基に以下のとおりまとめる。

（１）利活用方策及び想定される社会経済効果

北極域研究船の利活用により、アウトカムとして多様な政策分野へ貢献が見込まれる。具体的には、北極域研究船による直接効果として、異常気象（台風等）、気候変動、海運・航行支援、漁業・水産、生物資源利用、資源・エネルギー等の分野への貢献が期待されるほか、間接効果として、産業（造船業等）や人材育成等の分野への寄与が想定される。

社会経済効果分析においては、効果発生事例の特定、各事例におけるエビデンスに基づく社会経済効果の算出（定量効果のみ）、（特定・算出した効果について）関連研究者や実務者等のヒアリングによる妥当性の検証という３段階の手順により、各事例において専門的観点から妥当性を担保しつつ、効果の特

定・算出を行った[9]。本報告書では、各事例における分析概要を以下にまとめたほか、別紙に整理した。

なお、効果の特定・算出に当たっては、気候変動等の将来予測をベースに、現状の観測体制（衛星、「みらい」、他国砕氷船等による観測）を維持し、北極域研究船を導入しない場合の現状維持シナリオ（As Is シナリオ）と、北極域研究船を導入した場合の導入シナリオ（To Be シナリオ）との差分を算出することにより、他の観測手段による既存の効果を除く形で、北極域研究船の導入によって新たに生じる効果を特定・算出した。

なお、社会経済効果については、定量的に算出可能な「定量効果」又は（現時点で）定量化は困難であるが有益と考えられる「定性効果」の２類型に分類した。北極域研究船による観測研究は、効果の出現まで中長期的な時間を要すること等を踏まえれば、費用対効果の分析にあたり、定量効果のみならず、定性効果を勘案した総合的な分析を要することに留意が必要である。

① 直接効果

ａ）異常気象・気候変動

北極域研究船によって北極海の現場観測を実施することにより、衛星観測では取得が困難であった氷厚・海水温・風向風速・積雪・波浪等の各種データが取得可能となる。これにより、大気-海洋-海氷の相互作用の理解の深化、気候モデルや数値予報モデルの精度の向上につながると考えられ、気候変動予測や季節予報の精度改善が期待される。また、偏西風等の予測精度向上を通じて、日本を含めた中緯度域等における台風・ハリケーン等の進路予測精度の向上や寒波予測精度の向上が期待される[10]。

これらによる社会経済効果を整理すると次のとおりである。

（主な定量効果）

---

9 分析の前提、効果特定・算出の基礎となる現状維持シナリオ及び導入シナリオにおけるロジックモデル、効果特定・算出に用いたエビデンス、具体の計算式等については、社会経済効果分析を別途参照。なお、気候変動等の社会経済効果分析において、現在の価値を優先し将来の便益を過少に評価することを避けるために社会的割引率を適用しない例を踏まえ、気候変動が関係する本分析においても、社会的割引率を適用せず、単年ベースでの分析を行った。

10 台風については、北極海等で特別に実施した気象観測により、我が国近傍を移動する台風の進路予報の向上（中心位置精度向上及び不確実性幅低減）につながるとの研究成果が得られている（国立極地研究所等（平成 30 年））。また、北極の気象観測で日本の寒波予測の精度が向上するとの研究成果も得られている（国立極地研究所等（平成 28 年））。

・台風の進路予測精度向上に基づく交通サービスの運休判断適正化による営業損益削減効果[11]　20.7～27.4 億円/年

（主な定性効果）

・台風の進路予測精度向上に基づく農林水産業の事前対策（ビニルハウス強化や早期収穫等）の徹底による被害軽減
・台風の進路予測精度向上に基づく製造業等の操業停止判断等の適正化による営業損益削減
・台風の進路予測精度向上に基づく避難判断の迅速化による人的被害の軽減
・熱波・寒波予測の精度向上に基づく事前対策の促進による人的被害・農作物被害（コメ冷害[12]等）の軽減
・季節予報の精度向上に基づく取水時期調整の適正化による渇水被害の軽減
・中長期的な気候予測の精度向上に基づくインフラ整備・土地利用の適正化による水害等の気象災害被害の低減（適切な気候変動適応策の実施）
・気象予報の精度向上に基づく気象ビジネス（防災・エネルギー等）の進展

ｂ）海運・航行支援

北極域研究船による北極域の現場観測及び氷海航行支援システムによる収集データの活用により、海氷予測の予測精度や分解能が向上し、航行リスクが低減することから、北極海航路を選択する船舶が増加することが期待される。また、北極海航路航行中の航路選択の最適化や速度向上も期待される。

これにより、いわゆる南回りの航路よりも距離・期間が短縮されることから、輸送コスト（主に燃料費、用船料及びスエズ運河通行料）が削減可能とな

---

11 国立極地研究所の研究成果をもとに、北極域観測に基づく台風の中心位置精度向上（約10%、4.5 日前）及び不確実性幅低減（約 20%～30%、4.5 日前）により、交通インフラの計画運休範囲を同程度（約 28%～37%）縮減可能と仮定。令和元年台風 19 号による交通事業者の計画運休による損失額（推定 320 億円）を元に、５年に１度の同規模の台風において損害の軽減がなされると仮定した場合、年間 17.9 億円～23.7 億円の損失の回避が可能と試算。また、交通サービスの運航状況に大きく左右される興行の中止判断の回避により、年間 2.8 億円～3.7 億円の損失の回避が可能と試算。なお、本試算では航空会社の運休判断の適正化による損失回避や、個人の移動機会の損失回避による効果等は定性的には考えられるものの、定量的なエビデンスに乏しく効果の定量化が困難であるため、定量効果に算入していないことに留意。なお、以降の定量効果の項目に関する計算式等は、社会経済効果分析を別途参照。

12 北極の気象観測で日本の寒波予測の精度が向上したという研究成果（国立極地研究所等（平成 28 年））を踏まえ、北極域研究船の観測により、東北地方にコメの冷害をもたらす低温の予測精度向上が図られると考えられる。予測精度向上による被害回避等の定量効果として 11.1 億円～22.2 億円/年を見込む試算も考えられるが、近年はコメ冷害の発生頻度が減少している状況等を踏まえ、本報告書では定性効果の１つとして整理することとする。

るほか、建材等の貨物を需要ピークシーズンに間に合うように適時に輸送可能となることにより、倉庫での管理コスト削減等が見込まれる。加えて、欧州からの食品、ワイン等の他の貨物の輸送需要が顕在化することで、自国分だけで日本の海運事業者が一括輸送するに十分な貨物量となり（建材と混載）、他国船への混載に依存する必要がなくなることが期待できるため、他国への途中寄港による遅延の回避や、北極海航路の毎年の安定的利用が可能となると見込まれる。

また、北極海航路の利用機会拡大は、海上輸送航路の複線化を意味することから、特定の航路を利用した輸入が困難になるなどの経済安全保障上のリスクを回避可能となることは、重要な効果と言える。

これらの社会経済効果を整理すると次のとおりである。

（主な定量効果）

・北極海航路シフトによる建材の輸送コスト減　3.6 億円/年

（主な定性効果）

・日本の海運事業者が北極海航路で一括輸送することによる貨物の安定輸送
・航行速度向上・航路選択最適化による輸送コスト減
・倉庫等の管理費減
・安全航行の実現
・航行支援サービスの売り上げ増
・航路の複線化による地政学リスクの回避

ｃ）漁業・水産

北極域研究船での船舶観測及び氷海域への係留系等の展開により、北極域において通年観測を実施することで得られるデータから、魚類の分布や生息環境に関する理解の進展が見込まれる。とりわけ、海水温上昇や海洋酸性化、マイクロプラスチックを通じた化学物質汚染等の生態系全体への影響の把握やメカニズム解明により、ニシン、サバ、タラ、カニ、サケ等の水産資源の安全性確保や、新たな漁場の特定・評価、資源量の長期的な予測精度向上に寄与し、海洋環境変化等の科学的エビデンスを考慮した水産資源管理と、適切な対策による持続可能な水産資源利用へ貢献することが期待される。

これらの社会経済効果を整理すると次のとおりである。

（主な定量効果）

・北極域生態系モデルに基づく中長期的な水産資源確保による水産加工業等の事業維持（米国産輸入サケ）　15.0～30.0 億円/年

（主な定性効果）

・北極域生態系モデルに基づく中長期的な水産資源確保（国内産サケ、輸入魚全般（米国産輸入サケを除く））
・北極域水産資源の生物濃縮状況把握（マイクロプラスチック等）に基づく安全性確保
・海洋酸性化等の影響を考慮した水産資源管理と適切な対策による、持続可能な水産資源利用
・現地住民の持続可能な漁業実現による生活安全確保
・水産資源を捕食する高次生物の保護

ｄ）生物資源利用

北極域研究船での海氷域・氷縁域の観測により、新たに利用可能な生物資源（微生物から魚類まで）や有用物質の発見につながる可能性がある[13]。また、北極域における観測強化で各種モデルの再現性が改善することで、生物の生息分布再現性の向上、精度の高い北極海の生物資源量変動予測につながることから、北極域の生物資源採取の効率化や適正量の見極めが可能となり、持続可能な利用にも貢献する。

有用な生物資源の例としては、新たな過冷却促進物質[14]や不凍タンパク質の発見により、医療・創薬分野における細胞保存方法の高度化や、毒性の低い不凍材（自動車のエンジン冷却液や航空機の除氷液等）の代替製剤開発が進展する可能性がある。また、北極域の低温微生物が有する低温下で高活性な酵素に関する研究の進展により、バイオマスエタノールの製造高効率化に寄与しうる[15]。

また、北極域においても漁具等の海洋プラスチックごみが課題となっている中、北極海の生態系及び低温下においても分解可能な生分解性プラスチックの開発が求められている。北極域研究船を利用した低温微生物の研究により、北極海の環境下で分解可能な生分解性プラスチックを用いた漁具等の製品開発の進展が期待される。

これらの社会経済効果を整理すると次のとおりである。

（主な定量効果）

---

13 南極域の資源利用は条約上制約もあり、商業利用を志向するにおいて北極域での生物資源利用の検討が重要である。

14 凍結抑制効果を有する、不凍タンパク質より低分子な化合物。抗氷核活性物質とも呼ばれる。

15 これらが実現されれば、多額の定量効果が創出されることが期待されるが、実現には北極域生物資源に関する基礎研究の進展が欠かせないことを踏まえ、本項では定性効果として整理することとする。

・北極海で分解可能な生分解性プラスチックの開発（漁具等）　11.6～34.1億円/年

（主な定性効果）

・新たな過冷却促進物質や不凍タンパク質の利用による細胞保存方法の高度化
・新たな過冷却促進物質や不凍タンパク質の利用による不凍剤の代替製剤の開発
・新たな低温活性酵素の利用によるバイオマスエタノールの製造高効率化
・海洋微生物を元にした新規研究試薬等の開発

ｅ）資源・エネルギー

北極域研究船による氷の密接度・厚さ、波浪、風向・風速等の現場観測により、海氷分布・海氷移動をはじめとする海象・気象状況の把握と予測精度の向上が図られ、北極条件下における石油・ガス関連の海洋構造物への影響把握や適切な安全基準設定による事故回避、洋上生産オペレーションの効率化、船舶による安全な資源輸送が可能となる。加えて、石油・天然ガス埋蔵海域における長期的な海氷減少状況の予測により、当該海域における資源開発のリスクと採算性評価の信頼性が向上し、我が国企業の参入を含めた資源開発促進にも貢献しうる。北極域研究船を保有することで、北極域の資源国とこのような調査を国際協力として実施することも提案可能となる。

再生可能エネルギーについても、北極域の現場観測及び長期的な気候変動予測精度の向上により、北極域沿岸の風力発電所の設置場所や経済性について適切な計算モデルのもと判断を行うことができると見込まれる。

これらの社会経済効果を整理すると次のとおりである。

（主な定性効果）

・海洋構造物の強度等に起因する事故の減少
・海洋構造物からの輸送時における事故の減少
・北極域における採算性を有する資源開発海域の特定による開発の促進（資源国との国際協力による調査の実施）
・洋上生産オペレーションの最適化
・適切な経済性判断に基づく風力発電所の建設

② 間接効果

ａ）産業（造船業等）

現在は北極域を航行する船舶が少ないため氷海航行に適した船舶の建造や航海機器の開発に必要な情報が不足しているところ、船体構造応答計測システム

[16]を備える北極域研究船の運用により、北極域及びその他海域航行中の気象・海象、船体負荷、機器稼働状況等のデータを取得可能となる。これにより、我が国の造船業において、氷海内外の双方で燃費・安全性等の面で高い性能を有する船舶の設計・建造能力の向上に寄与し、北極海航路航行船や舶用機器の受注が増加することが期待される。

また、船体構造応答計測システムの運用により、船体への負荷の蓄積をモニタリング可能となり、メンテナンスの最適化による費用削減につながるとともに、海難事故の防止や、適切な船舶規則の策定等に向けた我が国のプレゼンス向上に寄与すると見込まれる。

これらの社会経済効果を整理すると次のとおりである。

（主な定量効果）

・北極海航路航行船の受注増加　13.3～29.0 億円/年

（主な定性効果）

・氷海航行用舶用機器の売上増加（一部は上記定量効果に含まれる）
・北極海航行船のメンテナンス費用削減
・北極海航行船の海難事故回避
・船舶規則策定への貢献

ｂ）人材育成

北極域研究船は、我が国の若手研究者の北極域研究の機会を充実させるのみならず、北極域研究をリードする優秀な人材を国内外から結集する国際研究プラットフォームとなることが期待される。

これにより、北極域研究を担う若手研究人材が増加するとともに、我が国の北極域研究が質・量ともに充実することが見込まれる。

また、研究面における人材育成のほか、長期的に増加すると見込まれる極水域船員養成の需要に対応し、乗船訓練の機会提供や、訓練用の氷海航行シミュレータの開発に寄与することも期待される。

これらの社会経済効果を整理すると次のとおりである。

（主な定量効果）

・我が国の北極関連研究の総論文数　年平均約 292 件（現状より 97 件の増加）[17]

---

16 船体に設置した光ファイバ計測網により、氷の荷重等の船体への負荷を計測するシステム

17 ドイツのアルフレッドウェゲナー極地海洋研究所（AWI）が砕氷研究船「Polarstern」を導入した前後の北極関連論文数増加と同様の効果が期待されると仮定して試算（約 1.5 倍）。また、国際的地位向上の評価の基準となる国際共著論文も「Polarstern」の導入後

・研究人材の増加　300 人（運用期間累計）
（主な定性効果）
・将来増加する北極航行船の航行需要に対応した極水域船員養成

ｃ）その他（市民科学、広報教育利用等）

気候変動、生物多様性、プラスチックごみなどの海洋に関するテーマについて一般市民を含めた関心が高まる中、海外では調査船を活用し、海洋研究の航海機会を公募により市民へ広く提供する流れが広がりつつある。

北極域研究船は、こうした市民参加型の調査航海の機会を国内外へ提供することが可能であり、市民目線での新たな研究（市民科学）の実現が期待される。

また、実際の乗船のほか、アバターでの遠隔乗船や調査機器等の遠隔操作の機会の提供を通じて、リモート環境での市民科学の実現に寄与するほか、調査観測のリモート化やバーチャル観光等に向けた技術実証の場としての貢献も考えられる。

さらに、北極域で取得した映像を、例えば VR での北極体験や、科学館・展覧会での上映等に活用するなど、教育・広報・商業コンテンツとして展開することで、北極への社会の認知が向上し、教育・人材育成への更なる波及効果も期待できる。

これらの社会経済効果を整理すると次のとおりである。
（主な定性効果）
・市民・民間参加型の研究・技術開発プラットフォームとしての活用
・北極域の魅力・課題がより市民に身近となる教育、普及効果

（２）「みらい」の実績について

北極域研究船は、海洋地球研究船「みらい」が退役した際、その機能を継承し、北極海に加えて、低中緯度域も含めた海洋観測を行うことが想定される。従って、（１）で検討したような、砕氷機能を有する同船によって北極海海氷域の観測研究が可能になる新たな効果に加えて、これまで「みらい」が担ってきた機能が引き継がれる点についてもあわせて考慮する必要がある。

「みらい」は、原子力船「むつ」（昭和 45 年竣工）を大規模改造し、平成９年に竣工した世界で最大級の大型観測船である。ドップラーレーダーをはじめとした汎用的かつ充実した観測機器及び研究室を有するほか、砕氷機能を有し

に増加しており（1.14 倍）、国内外の人材が集まる効果は我が国北極域研究船でも同様に期待できる。なお、我が国の現状の北極関連論文は、北極域研究推進プロジェクト（ArCS）の論文数（年平均で約 195 件）を用いている。

ないものの薄い一年氷の海域に耐える耐氷構造を有しており、太平洋側北極海の海氷融解域から低中緯度域まで、広大な海域の海洋観測を実施してきた。

具体的には、中央北極海や大西洋等を除く全海域において令和元年までに延べ 6,385 日の航海を実施[18]し、船舶観測の国際的な枠組みにおいて高品質な時系列データを提供してきたほか、30 か国の研究機関から延べ約 2,700 名の乗船研究者を受け入れる[19]など、世界の海洋観測を支える基盤として活躍している。

「みらい」の高精度観測により、太平洋の深層水温上昇を発見し気候変動研究が大きく進展したほか、我が国と米国とのイニシアチブにより開始した太平洋熱帯域における大型観測ブイ（トライトンブイ）の展開・運用により、エルニーニョ現象のメカニズム解明や予測のための基盤データ取得に貢献している。また、水産分野では、東日本大震災後によって甚大な被害を受けた海域の詳細地形及びがれき分布に係る情報を作成し、地元の漁業関係者に提供するなどの貢献をするとともに、海洋資源開発分野においては、南鳥島沖からレアアースを高濃度で含む地層サンプルを採取するなど、資源量評価へ寄与している。

北極海に関しては、太平洋側北極海の海氷融解域を中心とした一部海域の観測に留まるものの、これまでの観測により、北極域の気象観測により台風の進路予測が向上することや、北極海の海氷減少により北極温暖化と大陸寒冷化、ひいては我が国の寒冬・豪雪へ影響すること、北極海が他の海域と比べて二酸化炭素を吸収しやすく、海洋酸性化が微生物等の生態系に影響を及ぼしていることなど、気象気候変動や生態系変動に関わる重要な知見を創出している。

一方で、「みらい」は竣工から 23 年、「むつ」を引き継いだ船首部は 51 年を経過しており、船舶の運用年数は通例 25～30 年であることを踏まえれば、上記のような研究成果を引き続き創出するためには、新たな海洋観測体制の構築が必要であり、北極域研究船が「みらい」の退役に際し、その機能を担うことが想定される。

（３）主要要件及び費用等

本項では、北極域研究船が上記の社会経済効果を創出するために必要な主要要件及び当該要件の実現に必要な建造・運用・維持に要する経費について以下のとおり整理する。

18 うち、北極航海は 17 回（延べ 706 日）実施。

19 うち、外国人約 380 名、女性約 350 名。他に、観測技術員等を延べ約 4,400 人（外国人約 14 名、女性約 900 名）受け入れ。

① 主要要件

北極域研究船が上記の社会経済効果を創出するためには、北極海を安全・効率的かつ低環境負荷な形で航行し、海氷域における高精度な観測を実施するとともに、北極域研究のプラットフォーム機能を発揮することが必要である。また、上記のとおり「みらい」の機能の継承も視野に入れる必要がある。この観点から、北極域研究船に具備すべき主要要件は次のとおりと考えられる。

・「みらい」による観測項目を維持する観測設備と科学魚群探知機等の新たな設備の搭載
・海氷域における必要十分な砕氷・耐氷性能と通常海域を含む観測性能を両立するための船型
・安全性かつ効率的な運航に資する先進的な氷海航行支援システムの搭載
・デュアルフューエル機関の採用による環境負荷低減、低燃費の工夫
・十分な定点保持機能と効率的な推進システム
・ROV、AUV 等の無人探査機器の運用
・安全確保、海氷等観測用のヘリコプターの運用機能
・十分なラボスペース、優れたネットワーク等の研究・分析環境
・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
・豪雨等による自然災害発生時の被災地支援対応

② 費用等

上記の主要要件を実現するために必要な建造・運用・維持費については、JAMSTEC でこれまで実施してきた調査等を踏まえ、次のとおり想定される。なお、北極域研究船の運用期間は 30 年を想定する。

・総建造費：約 335 億円（船本体の建造費、船本体と一体的に整備する観測機器類の整備費及び建造監理費。建造期間は５年程度を想定。）
・観測機器類の整備費：約 10 億円（船本体とは別に整備する氷海下観測用の AUV 等の観測機器類の費用。）
・総運用費：約 780 億円（年間運用費約 26 億円[20]。）
・大規模修繕費：約 30 億円（船舶の老朽化が進行する 15 年目、20 年目、25 年目に大規模修繕や、大規模な観測装置の換装等の実施を想定。）

これらの経費を合算すると、運用 30 年間で計約 1,155 億円の経費を見込む（年平均約 38.5 億円）。

[20] 修繕費（毎年の航海による損傷・老朽化箇所の修繕及び５年に一度の定期検査項目を各年に分割・平準化して実施する検査・工事に要する経費）、調査支援業務費、船員費、燃料費等

なお、他国の同規模の砕氷研究船の例[21]を挙げると、ドイツの「Polarstern」（1982年（昭和57年）就航）は、建造費が推定270億円（当時で約1.88億ドイツマルク）、年間運用費が約28.6億円（約22百万ユーロ）である。また、英国の「Sir David Attenborough」（本年就航予定）は、建造費が約303億円（約２億英ポンド）、想定される年間運用費が約26億円（約17百万英ポンド）である。

これらの砕氷研究船と比較すると、北極域研究船は、「みらい」が実施する低中緯度域の観測機能を含め、より広範な機能を有するにも関わらず、建造・運用費用に特段の差は生じているとは言えず、費用面における想定は妥当と考えられる。

（４）利活用方策・費用対効果について

（１）で記載したとおり、北極域研究船の建造・運用により、多様な政策分野における社会経済効果の発現が期待される。

社会経済効果のうち、定量効果については、定量的エビデンスを踏まえて算出した結果、少なくとも、台風の進路予測精度向上に基づく交通サービスの運休判断適正化による営業損益削減（20.7～27.4億円/年）、北極海航路シフトによる建材の輸送コスト減（3.6億円/年）、北極域生態系モデルに基づく米国産輸入サケの中長期的な水産資源確保による水産加工業等の事業維持効果（15.0～30.0億円/年）、北極海で分解可能な生分解性プラスチックの開発（11.6～34.1億円/年）、北極海航路航行船の受注増加（13.3～29.0億円/年）、我が国の北極関連研究の総論文数の増加（現状より年97件の増加）、研究人材の増加（運用期間累計300人）などの効果が見込まれる。これらの定量効果のうち貨幣価値換算可能なものを総計すると、64.2～124.1億円/年となる。

また、（現状では北極域における観測研究例の不足等によりエビデンスに乏しく定量化が困難であるものの、）定性効果についても専門家への意見聴取等を通じて、前述及び別紙のとおり、異常気象・気候変動、海運・航行支援、漁業・水産、生物資源利用、資源・エネルギー、造船業、人材育成等の分野において、多岐にわたる効果が見込まれる。

このように、北極域研究船は、（３）②で整理した建造・運用の総費用（運用30年間で1,155億円。年平均38.5億円）と比較しても、多様な分野において一定規模の社会経済効果を見込むことができることから、利活用方策及び費

[21] 建造費、運用費は各船の運用機関の情報による。為替は平成30年平均為替（１ユーロ＝131.92円、１英ポンド＝151.48円）による。「Polarstern」の運用費については過去の情報であり、現在は増加している可能性が高い。

用対効果の観点からも、我が国が北極域研究船を建造・運用することは妥当であると考えられる。

６．おわりに

本検討会では、近年急速に重要性を増す北極域を取り巻く環境面、研究面、国際面等での状況を踏まえつつ、我が国が北極域研究船を保有する場合の利活用方策・費用対効果等について、本年３月より約半年をかけて専門的見地から検討を重ね、その結果を本報告書に取りまとめた。

近年、かつてないほど気候変動が進行している北極域について、国際的な科学コミュニティは、今後の推移について危機感を一層強めている。一方、北極域は、海氷融解の進行等に伴い、北極海航路をはじめとした経済機会の拡大や、地政学的な重要性の高まりを見せ、各国が北極政策を積極的に打ち出しており、我が国の国際戦略上も重要な地域となっている。

こうした状況の下、我が国としてエビデンスに基づき適切な対応を行うため、観測の空白域となっている北極海海氷域を航行可能な砕氷研究船を保有し、これにより自律的かつ分野横断的な観測研究を行うとともに、外交上のプレゼンス向上や研究者・船員等の人材育成の基盤として活用することが必要である。

また、北極域研究船の利活用により、台風等の異常気象、気候変動、海運・航行支援、漁業・水産、生物資源利用、資源・エネルギーの各分野への直接的な貢献や、産業（造船業等）、人材育成等への間接的な貢献により、多様かつ一定程度の費用対効果が見込まれることを確認した。想定される建造・運用費用に関しては、他国の同規模の砕氷研究船と比較して妥当な規模であると考えられる。また、高精度多項目の海洋観測を担う「みらい」が退役した際に、広範な海域の調査能力を有する北極域研究船が「みらい」の機能を継承することが想定される。同船建造により JAMSTEC の研究船舶運用の効率化が図られることも高く評価すべきである。

本検討会では、これらの点を総合的に考慮し、我が国として北極域研究船を速やかに建造・運用することが適当であると結論づける。

なお、同船の調達においては、契約における競争性を適切に確保するため、調達情報の発信などについて積極的に取り組むことが必要である。また、同船の利活用方策の更なる多様化を図ることが重要である。このため、同船の建造・運用期間において、文部科学省及び JAMSTEC として、内閣府総合海洋政策本部事務局をはじめとした関係府省の協力を得つつ、国内外を問わず外部機関

との連携を深め、運用開始後の調査航海の受託機会確保等に務めることが重要である。加えて、同船の運用開始後、運用状況や実績について、適切な評価の実施に努めるべきである。

最後に、我が国として北極域研究船を活用し北極域研究を更に進めるにあたり、北極が直面する気候変動の現状等について市民一般の理解を深めるとともに、若手研究者等の人材育成を戦略的に進めることが重要である。このため、現在実施中の北極域研究加速プロジェクト（ArCSⅡ）[22]の活動等において、関係府省、国立極地研究所、JAMSTEC、北海道大学、JCAR 等が連携し、北極や北極域研究に係る広報・情報発信や人材育成を積極的に推進すべきである。

以上

22 北極域における観測の強化、研究の加速のため、北極域の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・精緻化などの先進的な研究を推進するとともに、人材育成・情報発信に戦略的に取り組む事業。国立極地研究所（代表機関）、JAMSTEC（副代表機関）及び北海道大学（副代表機関）を中心に、令和２年度より開始。

検討の経緯

■第１回
開催日：令和２年３月 31 日（火）
議題　：検討の進め方について
　　　　北極域研究船に関する経緯等について
　　　　同船の利活用方策・費用対効果等について

■第２回
開催日：令和２年６月 23 日（火）
議題　：第１回検討会における御意見について
　　　　北極域研究船に関する社会経済効果分析の検討状況について

■第３回
開催日：令和２年８月７日（金）
議題　：これまでの検討会における御意見について
　　　　北極域研究船に関する社会経済効果分析の検討状況について
　　　　北極域研究船の基本設計等の進捗状況について
　　　　検討会報告書案について

■第４回
開催日：令和２年９月 11 日（金）
議題　：北極域研究船に関する社会経済効果分析について
　　　　検討会報告書について（取りまとめ）

「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」
委員名簿

江川　雅子	国立大学法人一橋大学経営管理研究科 特任教授
榎本　浩之	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 副所長
川澤　良子	Social Policy Lab 株式会社 代表取締役社長
河野　　健	国立研究開発法人海洋研究開発機構 地球環境部門長
角南　　篤	笹川平和財団 理事長兼海洋政策研究所所長
◎山口　　一	国立大学法人東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授

【敬称略】

◎：座長

（別紙）主な社会経済効果の一覧

	事業分野	定量効果	定性効果
直接効果	異常気象（台風等）・気候変動	・台風の進路予測精度向上に基づく交通サービスの運休判断適正化による営業損益削減効果＜20.7～27.4 億円/年＞	・台風の進路予測精度向上に基づく農林水産業の事前対策（ビニルハウス強化や早期収穫等）の徹底による被害軽減 ・台風の進路予測精度向上に基づく製造業等の操業停止判断等の適正化による営業損益削減 ・台風の進路予測精度向上に基づく避難判断の迅速化による人的被害の軽減 ・熱波・寒波予測の精度向上に基づく事前対策の促進による人的被害・農作物被害（コメ冷害等）の軽減 ・季節予報の精度向上に基づく取水時期調整の適正化による渇水被害の軽減 ・中長期的な気候予測の精度向上に基づくインフラ整備・土地利用の適正化による水害等の気象災害被害の低減（適切な気候変動適応策の実施） ・気象予報の精度向上に基づく気象ビジネス（防災・エネルギー等）の進展
	海運・航行支援	・北極海航路シフトによる建材の輸送コスト減＜3.6 億円/年＞	・日本の海運事業者が北極海航路で一括輸送することによる貨物の安定輸送 ・航行速度向上・航路選択最適化による輸送コスト減　・倉庫等の管理費減　・安全航行の実現 ・航行支援サービスの売り上げ増　・航路の複線化による地政学リスクの回避
	漁業・水産	・北極域生態系モデルに基づく中長期的な水産資源確保による水産加工業等の事業維持効果（米国産輸入サケ）＜15.0～30.0 億円/年＞	・北極域生態系モデルに基づく中長期的な水産資源確保（国内産サケ、輸入魚全般（米国産輸入サケを除く）） ・北極域水産資源の生物濃縮状況把握（マイクロプラスチック等）に基づく安全性確保 ・海洋酸性化等の影響を考慮した水産資源管理と適切な対策による、持続可能な水産資源利用 ・現地住民の持続可能な漁業実現による生活安全確保 ・水産資源を捕食する高次生物の保護
	生物資源利用	・北極海で分解可能な生分解性プラスチックの開発（漁具等）＜11.6～34.1 億円/年＞	・新たな過冷却促進物質や不凍タンパク質の利用による細胞保存方法の高度化 ・新たな過冷却促進物質や不凍タンパク質の利用による不凍剤の代替製剤の開発 ・新たな低温活性酵素の利用によるバイオマスエタノールの製造高効率化 ・海洋微生物を元にした新規研究試薬等の開発 ・北極評議会への貢献
	資源・エネルギー	―	・海洋構造物の強度等に起因する事故の減少　・海洋構造物からの輸送時における事故の減少 ・北極域における採算性を有する資源開発海域の特定による開発の促進（資源国との国際協力による調査の実施） ・洋上生産オペレーションの最適化　・適切な経済性判断に基づく風力発電所の建設
間接効果	産業（造船業等）	・北極海航路航行船受注・氷海航行用舶用機器売上増加＜13.3～29.0 億円/年＞ 【参考】・北極域研究船建造によるメーカ・ベンダの売上増加 190 億円（建造時のみ）	・氷海航行用舶用機器の売上増加（一部は左記定量効果に含まれる） ・北極海航行船のメンテナンス費用削減 ・北極海航行船の海難事故回避 ・船舶規則策定への貢献
	人材育成	・我が国の北極関連研究の総論文数　年平均約 292 件（現状より 97 件の増加） ・研究人材の増加 300 人（運用期間累計）	・将来増加する北極航行船の航行需要に対応した極水域船員養成
	その他	―	・市民・民間参加型の研究・技術開発プラットフォームとしての活用 ・北極域の魅力・課題がより市民に身近となる教育、普及効果

※㈱三菱総合研究所の資料を基に作成

北極域研究船のユースケース及び社会経済効果

成果報告資料

2020年12月

MRI 株式会社三菱総合研究所

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

本報告書は、国立研究開発法人海洋研究開発機構の委託業務として、株式会社三菱総合研究所が実施した「北極域研究船の経済効果分析業務」（契約期間：令和2年6月15日～12月25日）の成果を取り纏めたものである。

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

目次

1. 目的・実施概要 ―― 4
2. 総論：検討の視点 ―― 5
3. 社会経済効果分析 ―― 12
4. まとめ ―― 51

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

1. 目的・実施概要

- ■ 北極域研究船の建造及び運用を進めるにあたり、その社会経済効果を明らかにする（事例特定、ロジック明確化、定量化）。
- ■ その効果を生み出すために必要な機能や運用方針等を適宜設計・運用方針にフィードバック。

効果分析手順

【STEP①】効果発生事例（ユースケース）の特定

- 北極域研究船の効果発生事例（ユースケース）の収集、選定
- 各事例のアウトプット（直接の成果）／アウトカム（社会経済効果）／インパクト（間接・波及効果）情報の収集、特定
- 事例別のロジックモデル構築（北極船あり／なしのシナリオ検討、代替不可能性の考慮）
- （効果発現にあたり設計・運用の見直しが必要な場合、設計側にフィードバック）

【STEP②】社会経済効果算出

- 各ユースケースのアウトカム／インパクトの算出
  （必要に応じて算出モデルを構築）
- ユースケース毎の定量効果積み上げ＋定性効果整理

【STEP③】妥当性確認・検証

- 関連研究者や実務者等へのヒアリング
  （ロジック及び数値の妥当性確認、必要に応じて見直し）
- 社会経済効果取り纏め

インプット

情報源

【既存情報の収集・整理(文献)】

- 既存の調査船「みらい」のユースケース
- 海外の類似・先行事例
- 北極の諸課題（資源開発、航路利用、気候変動等）に関する情報
- 北極域研究推進プロジェクト（ArCS）の成果
- MRIの北極関連業務の知見、情報
- 上記文献等で収集する、ユースケースの定量データ

【ヒアリング等】

- 北極関連研究（ArCS等）の研究者等
- 関連実務者等のステークホルダ、ユーザ
- 「北極域研究船の基本設計・デザイン」の検討状況
- 上記ヒアリングで収集する、ユースケースの定量データ

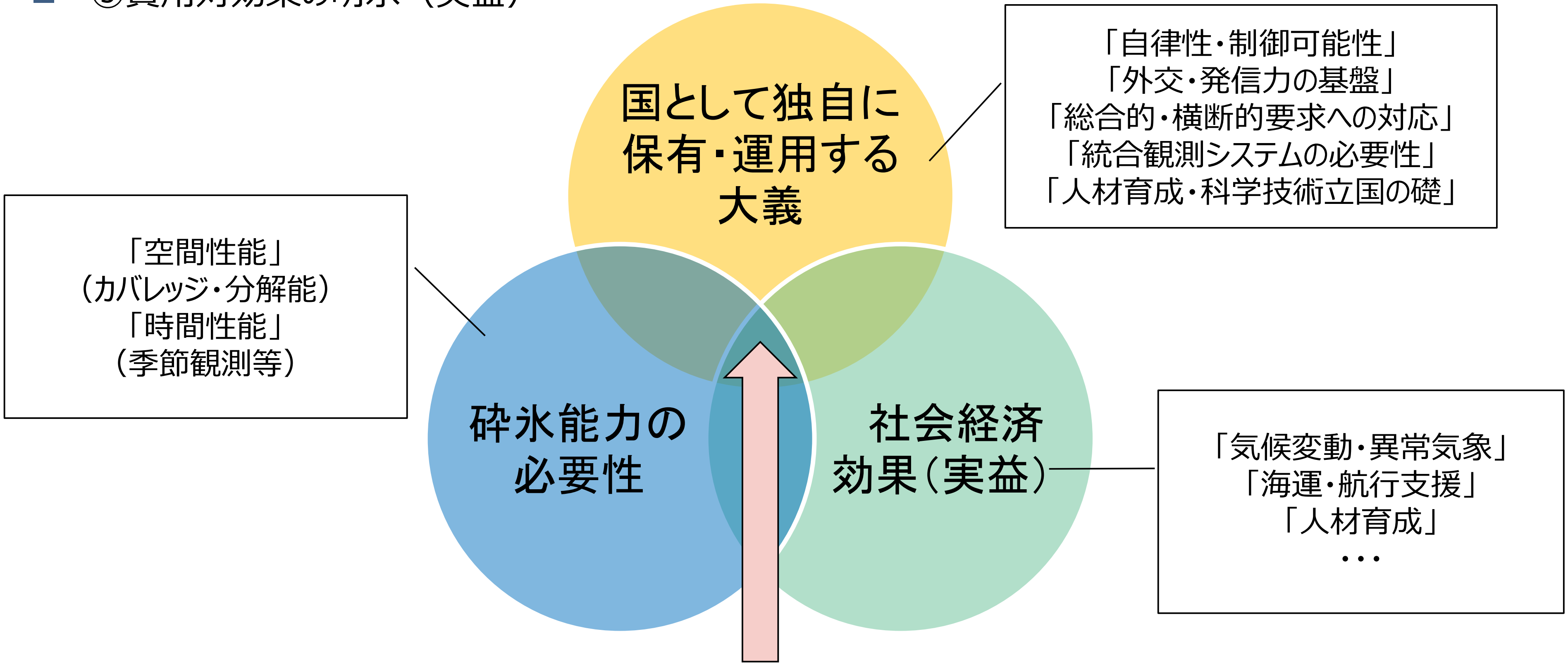
【データセット】

- 各種統計データ
- インパクト分野の各種予測・推計資料　等

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

2. 総論：検討の視点

- 以下3点を満たすことで、我が国の北極域研究船（砕氷船）の必要性を明確化
  - ①我が国として独自に予算を拠出し取り組む意義の納得性（国家戦略、社会的価値を含む）
  - ②現状の観測手段（「みらい」、衛星センサ（AMSR2等）など）では満たされない、砕氷ニーズ
  - ③費用対効果の明示（実益）



「我が国」として「北極域研究船（砕氷船）」を持つ「意義と効果（便益）」の
<u>固有性（代替不可能性）</u>

【補足】我が国砕氷船に係るSWOT分析

	ポジティブ	ネガティブ
内部要因	**強み** • 「みらい」等による観測実績、ArCS含む北極域研究の蓄積 • 気候・気象研究等の関連研究の先端性、複数分野連携可能性（シナジー） • 衛星（AMSR2）等のセンサによる総合観測（AMSR3も計画あり、継続性担保） • 太平洋、アジア域の近接性、他観測データや研究成果	**弱み** • 「みらい」の退役 • 「非北極圏国」としてのプレゼンス • 大西洋側、北極沿岸国管轄海域内の観測困難性 • 総合的北極人材の不足
外部要因	**機会** • 温暖化進展に伴う北極域の利用拡大（北極海航路、資源開発等） • 温暖化進展に伴う海面上昇、異常気象、沿岸被害等の悪化に対する課題認識の増加 • 他国の砕氷船との連携観測（データカバレッジ拡大）	**脅威** • 温暖化進展による被害拡大 • 他国の砕氷船の存在（代替可能性） • 他国情勢による観測の不安定性、品質の不確実性

⇩ 「強み」と「機会」を生かした砕氷船の活用（ユースケース）の検討

⇩ 「弱み」と「脅威」をカバーする対策（活用戦略）の検討

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

2. 総論：我が国として独自に砕氷船を保有・運用する固有の意義

■「自律性・制御可能性」

- 他国（北極圏国等）に観測を依存してしまうと、国際情勢や他国事情・外交関係の変化等（今般の新型コロナウイルス感染症のような事例含む）による観測途絶、品質管理や検証が出来ない課題等あり。自国として自律的な観測システムが必要となる。特に気象等は自国船の安全航行や我が国気象災害等にも影響を及ぼし、必要なデータ取得をコントロールすることは安全保障上クリティカルである。
- また、現状で日本として観測の実施が困難な海域についても、日本の砕氷船を用いた国際共同研究を提案することで必要なデータを取得するといった戦略的活用を選択肢とできる（自国船でないとこのような戦略的アプローチは出来ず、必要なデータが取れない状況が続く可能性あり）。

■「外交・発信力の基盤」

- 国際フォーラム（IPCC、漁業管理等）において、自国にとって有益な主張を説得力を持って行うには、科学的エビデンスに基づいた検討や解析が必要であり、また他国の主張を検証するためには独自データが必須。結果、国際議論において固有の有益な貢献をすることも可能。

■「総合的・横断的要求への対応」

- 北極研究は、様々な分野（海洋、気象、雪氷、水産、生物、航海、造船等）に跨り、相互に影響する。こうした多様な観測ニーズを満たすには、自国の船を持って必要な観測能力を確保する必要がある（特定分野しか対応できないと、横断分野や相互フィードバックされるところの評価等が出来ず、効果が限定的となる）。

■「統合観測システムの必要性」

- 各観測手段（衛星、船、ブイ等）はそれぞれ得手不得手があり、単独の観測手段では精度や空間的・時間的網羅性が担保出来ない。観測手段を総合して精度を高め有益なデータセットとすることで、はじめて有用な研究成果を生み出すことに繋がる。
- 日本は北極域の海氷観測を行っている独自の衛星センサ（AMSR2）を有しており、この観測と連動した観測（現場観測による検証）を行うことで世界をリードする高精度なデータセットが出来、研究のブレークスルーが起きることが期待されている。

■「人材育成・科学技術立国の礎」

- 最先端研究が出来る環境（プラットフォーム）を国として持つことで科学研究をリードする人材を集めることができる（海外からの人材含め）。これにより我が国の国際的な科学技術研究の維持・レベル向上につながることが期待出来る。
- 特に国際的プロジェクトをリードできるような人材は、分野横断的知見・実績を有することが求められる（特に北極はArCS研究課題に見られるように多様な分野への対応が求められる）。自国砕氷船による経験・育成が重要となる。

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

2. 総論：何故「砕氷能力」が必要か

- 空間性能
  - カバレッジ
    - 水平方向：高緯度地域の観測→空白域を埋める（再解析データの精度課題克服、メカニズム解明）
    - 鉛直方向：海中観測（海氷下AUV利用、係留系等）→海水温による氷融解等の再現性向上等
  - 分解能
    - 細かいメッシュでの観測・サンプリング→精度向上（衛星データ検証）、船舶等の移動体のニーズ対応、生物や氷雪・地質コア等の直接採集可能
- 時間性能
  - 季節観測
    - 春・秋・冬季観測→時間的空白域を埋める効果（再解析データの精度課題克服、メカニズム解明）
    - 氷上ブイ・係留系設置による通年観測
  - 機動性・即応性
    - 必要な科学観測計画を独自に立案・実施可能（ただし極域までの移動時間は必要）

北極域観測ニーズへの各観測プラットフォーム対応可能性　〇対応可能、△一部対応、×対応不可

観測プラットフォーム	空間性能			時間性能	
	水平	鉛直	分解能	季節・通年観測	機動性・即応性
砕氷船(+AUV等搭載機器)	〇(高緯度対応)	〇(AUV,係留系)	〇(直接採集も可)	△(春・秋も対応)	〇
従来研究船	△(高緯度不可)	〇	〇	×(夏季のみ)	〇
航空機	〇(ただし天候制約有)	×	△	△	〇
衛星	〇(ただし天候制約有)	×	△	〇	×

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

3. 社会経済効果分析：前提条件・基本シナリオ

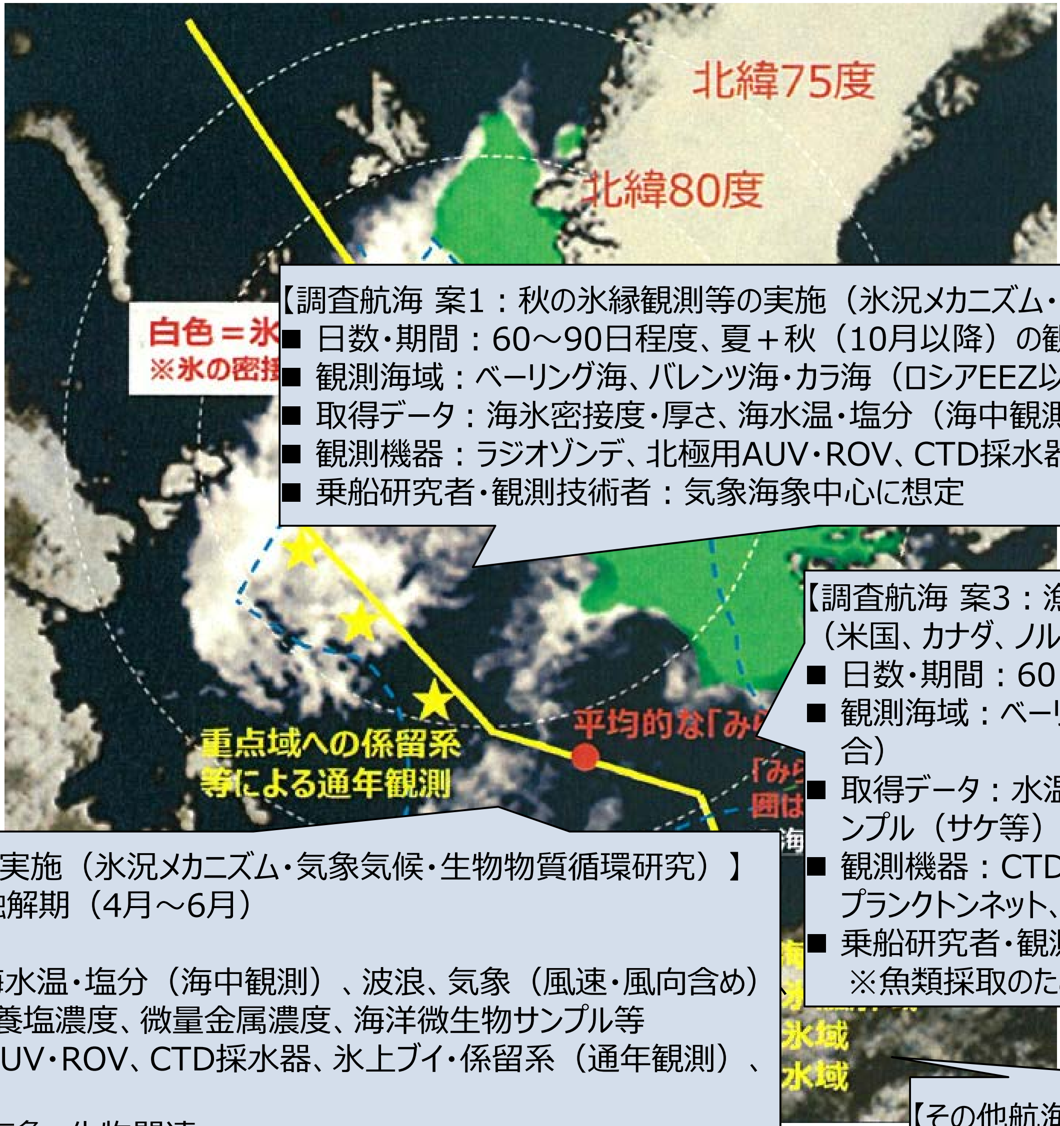
- 砕氷船の概要、能力、コスト等
  - PC4相当（一年氷・一部多年氷も対応、季節・ルート・年ごとの違いに依存するが概ね北緯80度以上、夏季～秋季は北極点まで到達も可能と想定）
  - 想定観測機器等：北極用AUV・ROV、CTD・採水器、グラブ、コアラー、ドレッジ、計量魚探、MBES、SBP、他搭載可能装置（ラジオゾンデ、ブイ、係留系）、船内ラボ・実験装置　等
  - コスト（想定）：建造費（約335億円）＋運用費（約26億円/年×30年＝780億円）＋大規模修繕費（約10億円×3回=約30億円）＋海氷・波浪識別レーダや空中ドローン等の北極観測用新規機器（約10億円）＝約1155億円　→年間約38.5億円の便益がターゲットの目安

- ベースシナリオ
  - 気候変動等の将来予測をベースに、我が国砕氷船が導入されない場合のAs Is／導入された場合のTo Beの世界との差分を検討
  - 複数シナリオが存在する場合、ユースケース毎に最も確からしいシナリオを採用

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

【補足】ユースケース効果発生シナリオの前提となるモデル調査航海（案）

- ユースケースの観測ニーズに基づき、それを満たしうる調査航海を設計
- 定線観測ニーズへの対応＋個別の科学観測ニーズ、及びその年の氷況を踏まえ、毎年の調査航海を決定する前提
- 通年観測ニーズに対しては、係留系や氷上ブイ設置によりある程度対応



【調査航海 案1：秋の氷縁観測等の実施（氷況メカニズム・気象気候研究）】
- 日数・期間：60～90日程度、夏＋秋（10月以降）の観測
- 観測海域：ベーリング海、バレンツ海・カラ海（ロシアEEZ以北） 等
- 取得データ：海氷密接度・厚さ、海水温・塩分（海中観測）、波浪、気象（風速・風向含め）
- 観測機器：ラジオゾンデ、北極用AUV・ROV、CTD採水器、氷上ブイ・係留系（通年観測） 等
- 乗船研究者・観測技術者：気象海象中心に想定

【調査航海 案2：春の氷縁観測等の実施（氷況メカニズム・気象気候・生物物質循環研究）】
- 日数・期間：60日程度、春の氷融解期（4月～6月）
- 観測海域：チュクチ海等
- 取得データ：海氷密接度・厚さ、海水温・塩分（海中観測）、波浪、気象（風速・風向含め）、フラックス観測、溶存酸素濃度、栄養塩濃度、微量金属濃度、海洋微生物サンプル等
- 観測機器：ラジオゾンデ、北極用AUV・ROV、CTD採水器、氷上ブイ・係留系（通年観測）、プランクトンネット、コアラ 等
- 乗船研究者・観測技術者：気象海象、生物関連

【調査航海 案3：漁業資源・生態系・海洋環境調査（米国、カナダ、ノルウェー、アイスランド等との共同調査）】
- 日数・期間：60日程度、6月～10月（サケ回遊期）
- 観測海域：ベーリング海・アラスカ沖等（米国サケの場合）
- 取得データ：水温・塩分、各種濃度（酸性化等）、魚サンプル（サケ等）、マイクロプラスチック等
- 観測機器：CTD採水器（ヘリ投入型含む）、計量魚探、プランクトンネット、曳航式ネット、北極用AUV・ROV 等
- 乗船研究者・観測技術者：水産、海洋化学関連
  ※魚類採取のため、「おしょろ丸」との連携航海も視野

【その他航海案】
- オホーツク海の冬季観測、実習利用

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

3. 社会経済効果分析：前提条件・基本シナリオ

- 費用便益試算の基本方針・条件
  - 便益はユースケース毎に個別に試算・積み上げ
    - 効果発生のロジックや前提条件はユースケース毎に異なるため、個別に精査が必要
    - 将来予測となるため、前提条件・仮定・シナリオの「確からしさ」をエビデンスを基に可能な限り高めることが肝要（→効果発生シナリオの具体化・社会経済効果試算範囲の絞込みを実施）
    - 定量効果算出のため必要な「定量的情報」が入手可能で原単位を決められることが条件（対象とする価値について必ずしも適当な定量情報がそろっているわけではない）
    - 上記が十分に担保されないユースケースの効果については、定性評価まで実施
    - （結果、便宜的に便益試算を行う裨益主体が限定的（特定企業、特定地域等）になることがあるが、実際は効果は広く社会一般に裨益可能性があるものである点に留意（定性的に記述））
  - 便益発生期間は最大30年を想定、費用は固定（建造費＋北極観測用新規機器＋運用費30年分）
    - ただし、30年間の総便益ではなく、各ユースケースの発生効果を年単位で試算（一般の公共事業とは異なり、様々な研究テーマに供されその用途も固定的とならないと想定されるため、あくまでも個別ケースの効果の評価という性質のものである点に留意）
    - 上記特性を考慮し、時間的選好から長期の便益を割り引くものである「社会的割引率」は適用しない（また、気候変動等の分野では、現在の価値を優先し将来の便益を過少に評価することになってしまうことから、割引率を一律に適用することは望ましくなく適用しない事例もあり、本件も同様の考え方を適用することは妥当と判断）
  - ステークホルダへのヒアリング等により妥当性・確からしさを検証

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

3. 社会経済効果分析：ユースケース・便益一覧

- ■ 特定したユースケース及び便益概要一覧　※各事例詳細は後述
  - ■ 北極域研究船によるアウトプットがもたらす「直接効果」だけでなく、「間接効果」も対象とする
  - ■ 定量効果まで分析可能な事例だけでなく、意義が大きい事例については最低限定性的な評価まで実施

事例分野		概要・想定ロジック	掲載ページ
直接効果	異常気象（台風等）	台風等の極端気象（日本への影響含む）を解明するため、砕氷船でないと入手できない極域の気象・気象観測データを利用する。これにより、初期値・境界値の不足という台風・異常気象予報シミュレーションにおける課題にアプローチでき、高度な予測に基づいた都市・インフラ保全、社会経済活動維持等の対策が取りやすくなる。	p.13
	気候変動	北極域の観測データの増加は、北極のみならず地球全体の気候変動についての新たな理解と、より精緻な予測につながる。このような気候変動の予測の高度化により、中長期的な視点で効果的な気候変動への適応策を打ち出すことができる。これにより、海面上昇等の高度な予測に基づいた沿岸インフラ保全、社会経済活動維持等の対策が取りやすくなる。なお、温暖化に影響を及ぼすブラックカーボンの観測・メカニズム解明・影響評価等の貢献も期待される。 北極域における研究機会の増大による独自の研究成果の蓄積により、気候変動交渉におけるエビデンスや成果に基づく日本の政策提言や発言力の強化も期待。	
	海運・航行支援	北極海航路を航行する船舶の速度を左右する海氷厚の予測精度を向上させるため、航路としての利用が検討されている海氷厚の現場観測データを利用する。これにより、海氷予測の精度向上による安全・効率航行への貢献、北極海航路の活用促進につながる。 また、定期航路として安定的に利用できることにより（日本の海運会社がサービス提供）、我が国の輸送網を確保し「経済安全保障」にも貢献。	p.19
	漁業・水産	北極域の海面水温上昇等を要因として、漁場の変化等が確認されているが、その仕組みや将来予測は十分には分かっておらず、極域を含む海水や水産資源サンプリングによる調査とそれに基づくシミュレーションを行うことで、適切な漁場把握・水産資源管理最適化（持続可能な漁業）の実現が期待される。 また、北極域におけるマイクロプラスチックの生物濃縮による汚染、海洋酸性化の影響把握等の貢献が期待できる。 北極圏国との調査協力による「経済安全保障」の強化にもつながる（例：アメリカとのサケ調査等）	p.24
	生物資源利用	北極域固有の生物資源関連の調査が進むことで、その利活用が進むことが考えられる。（例：「不凍たんぱく質」の医療や食品分野利用、低温微生物を利用したバイオエタノール、北極域でも分解される生分解性プラスチック開発、等）	p.31
	資源・エネルギー	北極域における探査が進み、海氷状況等も踏まえた安全性確保、環境影響等も評価・モニタリングした上での持続可能な資源開発が可能となる。 また、風況等のポテンシャル調査を行うことで、極域での再生可能エネルギー等開発（沿岸域の持続可能な開発）への貢献可能性も期待される。	p.36
間接効果	産業	砕氷機能を持つ船の建造ノウハウが蓄積されることで、今後拡大する可能性がある北極海航路利用、北極海資源開発を見据えた造船業の競争力強化につながる。 その他、極域気候変動予測が高度化することで、現在実施されている気候変動適応・防災関連ビジネスが活性化することも期待される。	p.39
	人材育成	日本で砕氷船を保有することで、北極域研究船への多くの日本人船員の乗船が可能となり、研究者の能力強化につながる。特に、海洋、気象気候、環境、資源、生物・医療等の様々な領域における教育機会も増大し、優秀な人材の育成、人材育成の早期化、研究の質の高度化が期待できる。 また、極水域船員養成については、北極域で取得した実海域データ（船体応力、氷密接度状況、画像・映像等）を利用したシミュレータ開発、航行経験者の講師登用、実海域乗船訓練等、効果的訓練を国内で提供可能となる。長期的に増加する北極海航路利用需要に対応し、国内外の潜在訓練ニーズを満たす。	p.43
	その他	砕氷船に乗船する市民参加型の調査航海（Citizen Science）を実施する。市民目線での社会に有益な研究の実現や、北極の世界や課題がより身近になる効果が期待される。 また、VRでの北極体験、コンテンツの科学館・展覧会での利用等、北極域における観測成果を広報・商業コンテンツとして展開する。各種メディアで取り上げられることによる北極域関連の社会の認知向上が実現され、教育・人材育成等への更なる波及効果も期待できる。	p.49

※異常気象と気候変動はロジックの重なりがあるため、あわせて整理

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース①②：異常気象・気候変動

砕氷船が導入されない場合の基本シナリオ（AsIs）

- 北極域の気象海象（そして海氷）観測が、衛星観測、みらい等既存船による観測、他国観測データの利用のみとなっており、空間及び時間的空白があり検証も十分でなく、海洋-大気-海氷の相互作用の理解、数値気候モデルの再現性等に課題がある状況が続く。
- 特に北極域海氷の融解による大気への熱放出が偏西風蛇行につながり、アジアへの寒波や、日本域への台風等にも遠隔影響するが、北極域のデータ不足によりその現象理解や予測精度が十分でない。
- 結果、台風等の気象被害対策の最適化がなされず、回避可能なコスト・ロスが発生し続ける。台風予測の精度不足により4～5日前から広域避難等の対策を取ることができず、日本は水害に対し無防備であり続ける。

【要因】

- ✓ 海氷域・ 氷縁域の氷厚・海水温・風速・積雪・波浪等の観測が困難（これらのパラメータは海氷の生成・融解、移動、海からの熱の放射に大きく影響）
- ✓ 特に現象の理解に重要となる海域（バレンツ海・カラ海およびベーリング海）のデータ取得が不確実
- ✓ 通年データがないとモデル同化用観測データとしての効果は限定的（春や秋の海氷が融解形成される時期のデータの重要性に関する研究成果あり）

砕氷船を導入した場合の効果発生ロジック（ToBe）

- 衛星観測等に加え、北極域研究船で定期的に北極域の現場観測データを得ることで、データの空白域が埋まり精度が改善し、海洋-大気-海氷の相互作用の理解、数値気候モデルの再現性向上等につながる。
- 北極域における気象現象の理解、偏西風蛇行等の遠隔影響現象の予測精度向上により、気象予報（台風予測含む）・将来気候予測の精度向上に貢献する。これにより、台風・ハリケーン被害や冷害による農作物被害への適切な対策が講じられることによる被害額軽減、気象ビジネス・気候変動適応ビジネス加速への貢献も期待。
- 特に台風については、北極域の特別観測成果を用いたことにより中心位置精度向上・不確実性幅低減につながる研究成果が得られており、適切な初動による被害削減効果が期待できる。砕氷船が導入されれば、毎年継続観測し、更に高緯度の空白域を埋めることでよりモデルの再現性が高まり、遠隔影響のある台風の予測精度向上が期待できる。

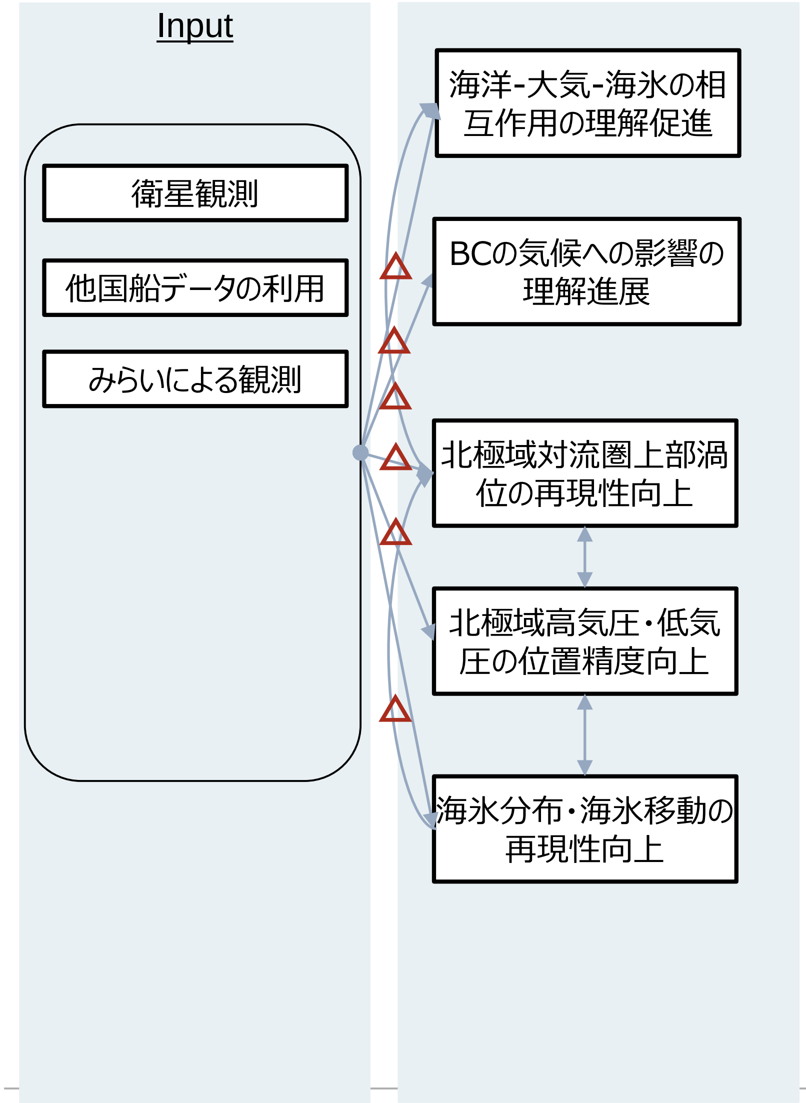
【我が国砕氷船固有の貢献】

- ✓ **海氷域・氷縁域について、氷厚・海水温・風速・積雪・波浪等の観測が可能となる（熱の放射データ入手・現象理解につながる）**
- ✓ **自国の現場観測手段を持つことで、モデルの精度向上に効果的な時期・海域を選定可能となる**

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース①②：異常気象・気候変動

ロジックモデル図（AsIs）



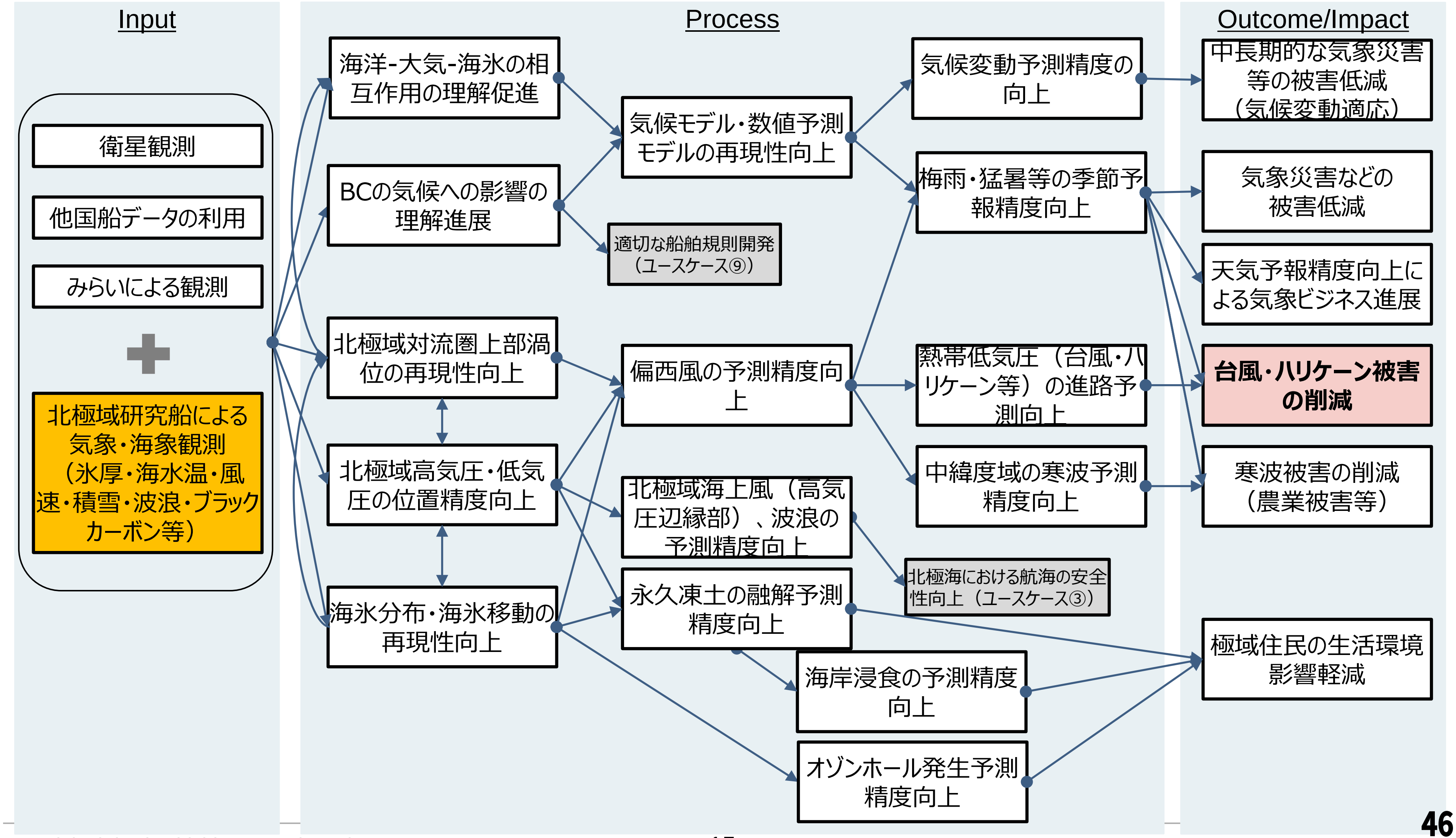
- 衛星観測の限界
  - 氷厚・海水温・風速・積雪・波浪等の観測は困難（これらのパラメータは海氷の生成・融解、移動、海からの熱の放射に大きく影響）
  - 気候への影響が大きいBCの発生源（化石燃料、バイオマス燃料）や輸送過程に関する理解の進展
  - 霧などの影響で他データ取得も困難な場合あり
- 他国船データの利用の限界
  - 他国の観測データの精度が低い場合あり（例：ロシアのラジオゾンデ）
  - 特に現象の理解に重要となる海域（バレンツ海・カラ海およびベーリング海）のデータ取得の不確実性（「みらい」以外の他国船について）
  - 情勢変化等による観測データ取得の不確実性（例：コロナ禍で航空機による観測データが不足）→バックアップとしての自国の観測手段確保の必要性
- 「みらい」による観測の限界
  - 通年データがないとモデル同化用観測データとしての効果は限定的、特に秋のデータの重要性に関する研究成果あり（Navarro, 2019）
  - 海氷域・氷縁域の観測は限定的（インパクト大）

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース①②：異常気象・気候変動

ロジックモデル図（ToBe）

定量化
試算対象



Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース①②：異常気象・気候変動

期待される便益一覧及び試算結果（1/3）

便益項目	裨益する主体	便益の内容詳細	計測の考え方・前提条件	計算式	試算結果
①台風等の被害削減（直接）	交通インフラ（国内）	交通サービスの運休判断適正化による営業損益削減 ※その他、航空会社等が挙げられるが、ここでは定量情報が得られる鉄道を取り上げる	中心位置精度向上（約10%、4.5日前）と不確実性幅低減（約20-30%、4.5日前）で計画運休範囲も同程度（28~37%）削減すると仮定 ※2016年夏の北極海高層気象観測の効果分析事例より算出（ref. Sato et al. 2018） ※直前になると北極観測の効果は薄れる ※港湾や河川を通過するかどうかで被害額は大きく異なる	R1台風19号における対象被害額320億円（JR東で160億円の影響を全国で割り戻し）÷5（5年に1度発生）×0.28~0.37	**17.9億円～23.7億円/年** ※一般市民・企業にも裨益（交通インフラ利用者の移動機会の損失、下記「興行中止」はその一部） ※気候変動に伴う台風強度増大による増加の可能性
①台風等の被害削減（波及）	興行主（国内）	交通サービスの運休判断適正化による営業損益削減	興行中止等の判断は交通サービスの運航状況に大きく左右される。興行中止保険は年平均100億円規模、そのうち半分程度が台風と仮定、28~37%が削減できると仮定 ※令和元年台風19号で10月12日に予定されていたラグビーワールドカップの試合が10日時点で中止判断	興行中止の経済損失年100億円×0.5（台風の影響半分程度）÷5（5年に1度発生）×0.28~0.37	**2.8億円～3.7億円/年** ※気候変動に伴う台風強度増大による増加の可能性
①台風等の被害削減	農林水産業従事者	事前対策の徹底による被害軽減	台風襲来を見越したビニルハウス強化、早期収穫等による被害軽減（事前対策の被害軽減効果の定量データなし）	（定性評価まで）	【参考】R1台風19号による農林水産業の被害額**3,000億円超（MAFF, 2019）** ※気候変動に伴う台風強度増大による増加の可能性
①台風等の被害削減	その他企業（国内）	製造業の操業停止判断の適正化による営業損益軽減	（企業の操業停止による営業損益、および予測精度の向上による避難率等向上の定量データなし）	（定性評価まで）	【参考】R1台風19号の総経済被害は**約1兆6500億円**、保険金支払9900億円（ref. エーオン報告書） ※気候変動に伴う台風強度増大による増加の可能性
①台風等の被害削減	一般市民（国内）	避難の迅速化による死亡者削減	（予測精度の向上による避難率等向上の定量データなし）	（定性評価まで）	【参考】200年に一度の降水イベントで利根川付近の避難率40%向上で**死者7,510人削減**（CAO,2010） ※気候変動に伴う台風強度増大による増加の可能性

※社会経済効果は、「コスト・ロスモデル」の考え方に基づき、予測情報の精度の違いによる「対策コスト＋被害ロス」の期待値差を算出。
※気候や異常気象による影響は、予測精度の向上が寄与しないもの（例：設備被害）と、寄与しうるもの（例：機会損失）が分離されている事例が少ない。
そのため、ここでは後者に該当するもので定量情報がある項目について、定量化を試みている。

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース①②：異常気象・気候変動

期待される便益一覧及び試算結果（2/3）

便益項目	裨益する主体	便益の内容詳細	計測の考え方・前提条件	計算式	試算結果
②寒波による被害の削減	一般市民 農業従事者 （国内）	豪雪による人的被害、インフラ被害の削減 冷害による農作物被害の削減（コメ等）	北極域観測により低温発生確率の1カ月予報精度が向上し、農作物（最も経済規模が大きいコメ）の低温に対する対策（畦畔補修・水管理等）の的中率が向上する。結果、予報が外れて低温が発生した場合の被害（ロス）及び対策を実施したにも関わらず空振りした損失（コスト）が低減される。 ※北極域の特別集中観測により、～5.5日後の低気圧の予報精度（ACC: アノマリー相関係数）が改善した事例に基づき、1カ月気温予報についても精度が5~10%改善すると想定。（Sato et al., 2016） 東北地方の水田（60万400ha）を対象とする。	（定性評価まで） ※冷害がH8～11と同様の規模と仮定した場合の試算は以下の通り 現状の潜在冷害被害（予報に従って判断をした場合の被害・空振りコスト合計）36,912円/ha－予報改善（ミニマム5%を想定）した場合の潜在冷害被害35,067円/ha＝1,845円/ha（「対策コスト＋被害ロス」の期待値差、haあたり）×対象水田60万400ha=約11.1億円 （精度10%改善の場合更に×2倍の効果）	【参考】 左記条件通りの場合の社会経済効果試算結果は以下の通り 11.1億円～ 22.2億円/年 ※気候変動によるさらなる増加の可能性
②寒波による被害の削減	農業従事者 一般市民 （海外）	ユーラシア・北米の冷害被害の削減、人間の安全保障への貢献	例えば、モンゴルのゾド（冷害による家畜被害）に対し、1か月ごとのハザードマップの精度向上による、早期警戒で家畜死亡数を軽減させた事例あり（名古屋大学）	（定性評価まで）	【参考】モンゴルの家畜被害に絞っても**年被害額約302億円（1999-2003平均）** ※気候変動によるさらなる増加の可能性
③熱波による被害の削減	一般市民 （国内外）	熱中症感染者・死亡者の減少	予報の精度向上により事前の対策を実施し、人的被害を削減（予測精度向上度合・効果に関する定量データなし）	（定性評価まで）	【参考】2003年の熱波による**欧州の死者70,000人、農作物被害1兆6800億円** ※気候変動によるさらなる増加の可能性
③渇水被害の削減	農業従事者 一般市民等	取水時期調整による渇水被害削減	季節予報の精度向上により農家の栽培作物調整とともに取水時期調整が行われ、渇水被害が軽減（予測精度向上度合・効果に関する定量データなし）	（定性評価まで）	【参考】1994年の列島渇水の**工業被害350億円、農業被害1400億円** ※気候変動によるさらなる増加の可能性

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース①②：異常気象･気候変動

期待される便益一覧及び試算結果（3/3）

便益項目	裨益する主体	便益の内容詳細	計測の考え方・前提条件	計算式	試算結果
④適切な適応策の実施（水害被害等の削減）	一般市民等	適切なインフラ整備・土地利用変化による水害などの気象災害被害防止	水害リスクが高まる地域や農作物の栽培適地等が精度高く予測され、適切なインフラ整備等を促進（気候予測の精度向上及びその効果に関する定量データなし）	（定性評価まで）	【参考】2050年に世界全体で**28-50兆円**（2011-12年の潜在市場規模は11兆円）
⑤気象ビジネス進展	一般市民等（主に国内）	気象市場の活性化（防災、環境・エネルギー、メディア　等）	防災サービスや再生可能エネルギー導入等を促進（気象予報の精度向上に関する定量データなし）	（定性評価まで）	【参考】国内全体で**300億円**（2012年）、波及効果も大きい

ユースケース③：海運・航行支援

砕氷船が導入されない場合の基本シナリオ（AsIs）

- 海氷予測（密接度・分布・移動等）の精度や分解能の不足により、現状で北極海航路を航行する船舶（既存ユーザ）のルーティングが最適化できず（主に冬季）、船舶の速度を落として航行せざるを得ないことから航行期間の長大化による輸送コスト増につながる。夏季においても、氷況の不透明性から船舶手配等の意思決定が難しくなる。
- 海氷域の分布予測精度・分解能の不十分さは、航行リスクの高さおよび不透明性につながり、潜在的利用需要がある海運会社・荷主も北極海航路以外の輸送距離の長い航路（スエズ・南回り航路）を選択し、輸送コストが高止まりとなる。
- 特定のタイミングに短時間で輸送したい需要のある貨物（例：豪雪地帯における住宅着工に必要な建材の冬前の輸送）について、南回りを使わざるを得ず、輸送費が北回りに比べ追加的に発生し、海運会社や荷主の負担となっている。
- 海外の海運会社を利用した輸送の場合、他国へ寄港して長期滞在することがあり、貨物の到着に遅延が発生することがある。

【要因】
- ✓ 北極域の現場観測（氷の密接度・厚さ、海水温、波浪、風向・風速、その他気象情報）がない →海氷予測（海氷分布、海氷移動）の予測精度・分解能の低さにつながっている

砕氷船を導入した場合の効果発生ロジック（ToBe）

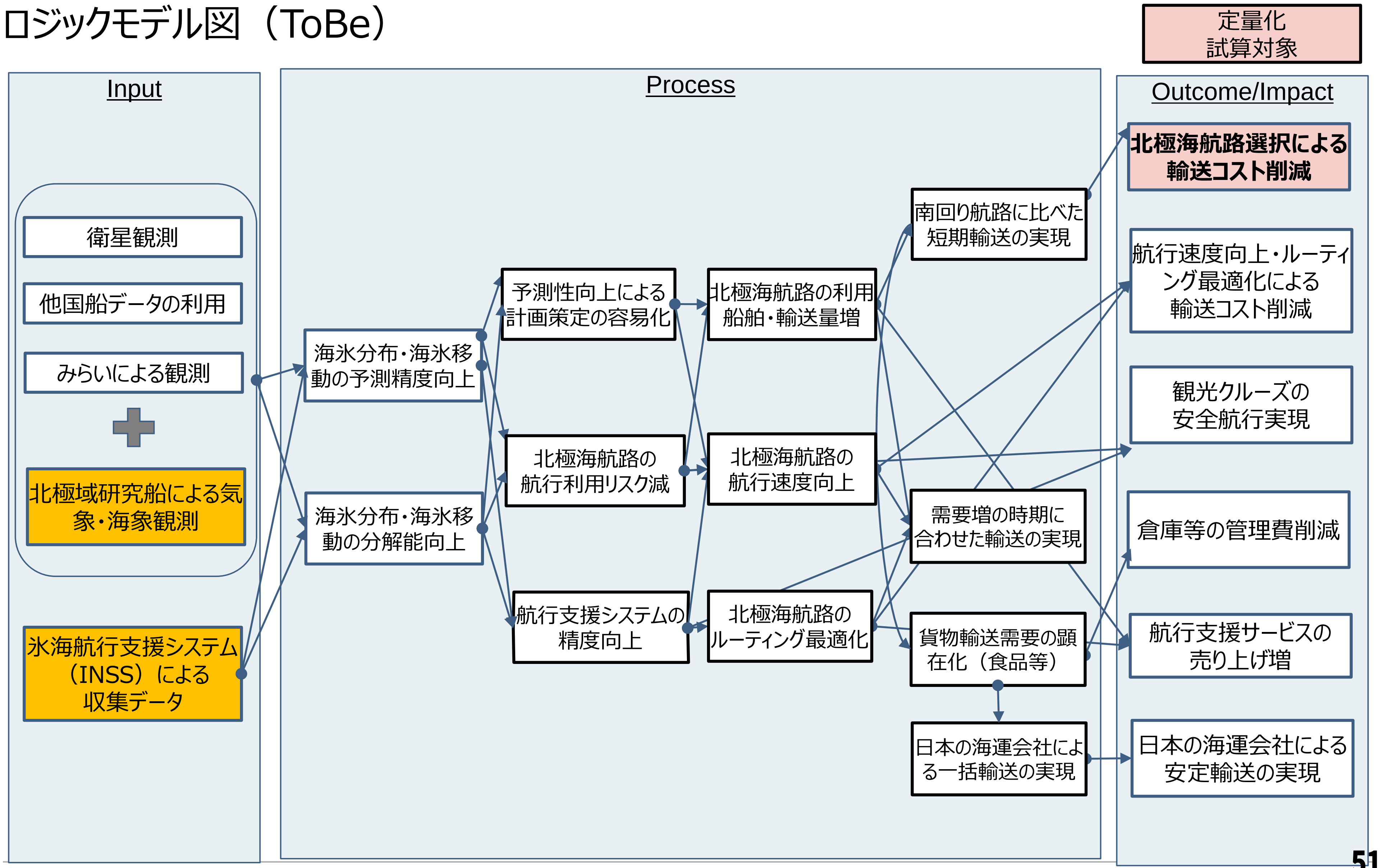
- 海氷予測の正確性や分解能の向上によりルーティング最適化や速度向上による経路短縮航行が可能になる。結果、輸送コストが削減される（現状で北極海航路を利用している船舶、砕氷船を伴わない単独航行が主対象、主に冬季）。また運航スケジュールの確度を上げることが可能となり、極域での滞船時間低減や砕氷船の稼働率向上につながる。
- 海氷予測の精度・分解能の向上で航行リスクが低減し、南回りから北回りの航路へのシフトにより北極海航路の輸送量（特に時間的価値が高いもの）が増加する。それにより、南回り航路に比較して輸送コストが削減される。
- 建材、ワイン、食品等を混載して日本の海運会社が一括輸送することで、安定した貨物輸入が可能になる。
- 具体事例（貨物例）：需要ピークシーズンに間に合うようタイムリーに輸送することが出来るようになる貨物（豪雪地帯における冬前の建材需要等）が発生。倉庫での管理費用の削減も期待。
- 海氷予測の正確性向上や北極海航路の利用船舶増により、WNIによる航行支援システムの売上げ増加も期待。（産業波及効果）

【我が国砕氷船固有の貢献】
- ✓ **北極域の現場観測（氷の密接度・厚さ、海水温、波浪、風向・風速、その他気象情報）、氷海航行支援システム（INSS）による収集データの活用により、海氷予測の予測精度や分解能が向上**

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース③：海運・航行支援

ロジックモデル図（ToBe）



Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース③：海運・航行支援

期待される便益一覧及び試算結果（1/2）

便益項目	裨益する主体	便益の内容詳細	計測の考え方・前提条件	計算式	試算結果
①北極海航路シフトによる輸送コスト減	海運会社 荷主企業 ※輸送コスト減は結果として輸送貨物の価格にも影響し一般市民も裨益する可能性あり	(1)短期輸送により燃料費削減 (2)短期輸送により用船料削減 (3)北極海航路シフトによりスエズ運河通行料の節約	(1)特定の貨物に絞り、北極海航路シフトによる総燃料削減費を試算（建材を対象） (2)北極海航路シフトによる用船料削減費を試算。 (3)北極海航路にシフトする船舶分のスエズ運河通行料を試算。	(1)北極海航路シフトにより削減される1航海あたりの燃料費×同航路にシフトする船舶数（5隻） (2)同航路にシフトする船舶数（5隻）×北極海航路の短期輸送による削減用船料 (3)同航路にシフトする船舶数（5隻）×1船舶当たりのスエズ運河通行料 ※次々頁に計算前提条件等詳細記載	**約3.6億円/年** ※以下内訳 (1)約1億6290万円 ＋(2)約8110万円 ＋(3)約1億1945万円
②複数貨物の一括輸送による安定輸送	荷主企業 日本国民	複数貨物を混載して一括輸送することで、安定した貨物輸入が可能になる。	建材、ワイン、食品等、北極海航路を利用したい潜在需要が顕在化し、日本の貨物だけで日本のコンテナ船を定期的に手配可能となると期待 →他国情勢に左右されず輸送可能となり「経済安全保障」にも貢献	（定性評価まで）	（定性評価まで）
③航行速度向上・ルーティング最適化による輸送コスト減	海運会社	航行速度向上・ルーティング最適化で輸送コスト減。	運航スケジュールの確度を上げることが可能となり、極域での滞船時間低減や砕氷船の稼働率向上を実現可能。	（定性評価まで）	（定性評価まで）
④倉庫等の管理費減	荷主企業	需要増の時期に合わせてストックする必要がなくなることによる管理費減。時間価値のあるものを対象。	短期輸送により、需要増の時期に合わせて事前に建材等をストックする必要がなくなることにより、管理費減を実現できる。	（定性評価まで）	（定性評価まで）

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース③：海運・航行支援

期待される便益一覧及び試算結果（2/2）

便益項目	裨益する主体	便益の内容詳細	計測の考え方・前提条件	計算式	試算結果
⑤安全航行の実現	クルーズ船 運航会社 その他	北極海において安全なルーティングを選択して航行することによる事故減。	海氷予測向上により北極海において安全なルーティングを選択して航行することが可能となり、事故を減らすことができる。	（定性評価まで）	（定性評価まで）
⑥航行支援サービスの売り上げ増	WNI	航行支援サービスの精度向上・北極海航路利用船舶増による航行支援サービスの売り上げ増。	航行支援サービスの精度向上や北極海航路へのシフトによる利用船舶増は航行支援サービスの売り上げ増につながる。	（定性評価まで）	（定性評価まで）
⑦航路の複線化による地政学リスクの回避（波及効果）	日本国民	航路の複線化により、特定の航路を利用した輸入が困難になることによる経済安全保障上のリスクを回避する。	航路の複線化により、地政学リスク回避による資源等の安定的な輸入を実現可能。	（定性評価まで）	（定性評価まで）

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

【参考】北極海航路シフトによる輸送コスト減による効果試算プロセス

＜前提：北極海航路にシフトする船舶数（建材）＞

試算項目	計算式	構成要素	算出結果
北極海航路にシフトする船舶数	北極海航路にシフトする輸入建材量/船舶あたり貨物輸送量	北極海航路にシフトする輸入建材量：139267.9t ※1.日本全国のうち豪雪地域の占める住宅着工実績割合を12.05%として算出(出所：平成30年度住宅着工実績) ※2.夏季シーズンのみの利用を想定して総輸入建材量に1/4を掛けている	約5船舶
		船舶あたり貨物輸送量：30600t ※1.貨物船の載貨重量トン数34000の内90%を貨物に利用と想定	

＜1船舶あたり削減費＞

試算項目	計算式	構成要素	算出結果
(1)短期輸送による削減燃料費	航路シフトによる削減航行時間×時間あたり燃料費	航路シフトによる削減航行時間：約438.64時間 ※1.トゥルク港（フィンランド）～苫小牧港の輸送シナリオ ※2.通常海域15knot、北極海航路12knotで航行と仮定	約3270万円
		1時間あたり燃料費：約74553.9円 ※1.消費燃料32t/日で計算（最新航行実績に基づく）→1時間あたり1.33t消費と想定 ※2.C重油価格50450円／kl（2020年度1~3月の価格、出所：新電力ネット）と設定 ※3.重油比重0.9g/㎤で計算→1トンあたり価格56,055.6円/t に換算	
(2)短期輸送による削減用船料	南回り航路の用船料－北極海航路の用船料 ※北極海航路はアイスクラスの船舶利用のため1日当たりの用船料が15%高いが、航行日数が少ないため用船料合計では北極海航路＜南回り航路となる	1日あたり用船料：約1,090,000円（南回り）、約1,253,500円（北極海航路）（出所：日本郵船、1ドル109円で計算）	約1622万円
		航路シフトによる削減航行日数：約18.28日	
		北極海航路の用船料合計（22.58日分）：約28,304,030円	
		南回り航路の用船料（40.85日分）：約44,526,500円	
(3)北極海航路シフトによるスエズ運河通行料の節約分	船舶のスエズ運河トン数(scnt)×スエズ運河トン数あたり通行料	スエズ運河トン数：34000scnt ※1.スエズ運河トン数は総トン数に近似するため、総トン数34000トンをスエズ運河トン数として試算	約2389万円
		スエズ運河トン数あたり通行料について、最初の5000scntは7.88SDR、次の5000scntは6.08SDR、次の10000scntは4.24SDR、次の20000scntは3.18SDRと規定。（出所：Suez Canal Authority、2020年4月時点） ※1.よって算出式は5000×7.88＋5000×6.08＋10000×4.24＋14000×3.18となる。 ※2. 1SDR:152.4096円で計算（出所:日本郵便、2020年1月時点）	

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース④：漁業・水産

砕氷船が導入されない場合の基本シナリオ（AsIs）

- 北極域の物理・化学・生物観測は、空間及び時間的空白があるため、数値気候モデルの再現性、さらに海水温上昇や海洋酸性化の影響も含めた生態系理解等に課題がある状況が続く。そのため、北極域における魚類の資源量変動の予測には大きな不確定性が伴う。また、マイクロプラスチック（への吸着化学物質）が魚類への生物濃縮につながり人間への健康被害に繋がる可能性が指摘されているが、その起源・分布・循環の実態の把握が十分でなく、対策が十分に取られない。
- 結果、北極域水産資源の量・質の維持が適切に行われず、北欧等の北極圏沿岸国から日本への輸入漁への悪影響（取引停止等）に及ぶ可能性もある。
- 十分な砕氷能力を持たず北極海で商業漁業を実施している沿岸国（アイスランド、グリーンランド、米国等）による、船の共同利用による観測充実希望がある（対して、中国等の砕氷船を有する国が協力を進め、日本にとって連携機会が失われる可能性も否定できない）。

【要因】
- ✓ 北極域の物理・化学・生物観測の実施が困難
- ✓ 北極海の水産資源把握（サンプリング）も不十分
- ✓ マイクロプラスチックの実態把握が出来ていない（分布、排出源、生物濃縮状況等）
- ✓ 海外への共同観測等の魅力・価値を提供できない

砕氷船を導入した場合の効果発生ロジック（ToBe）

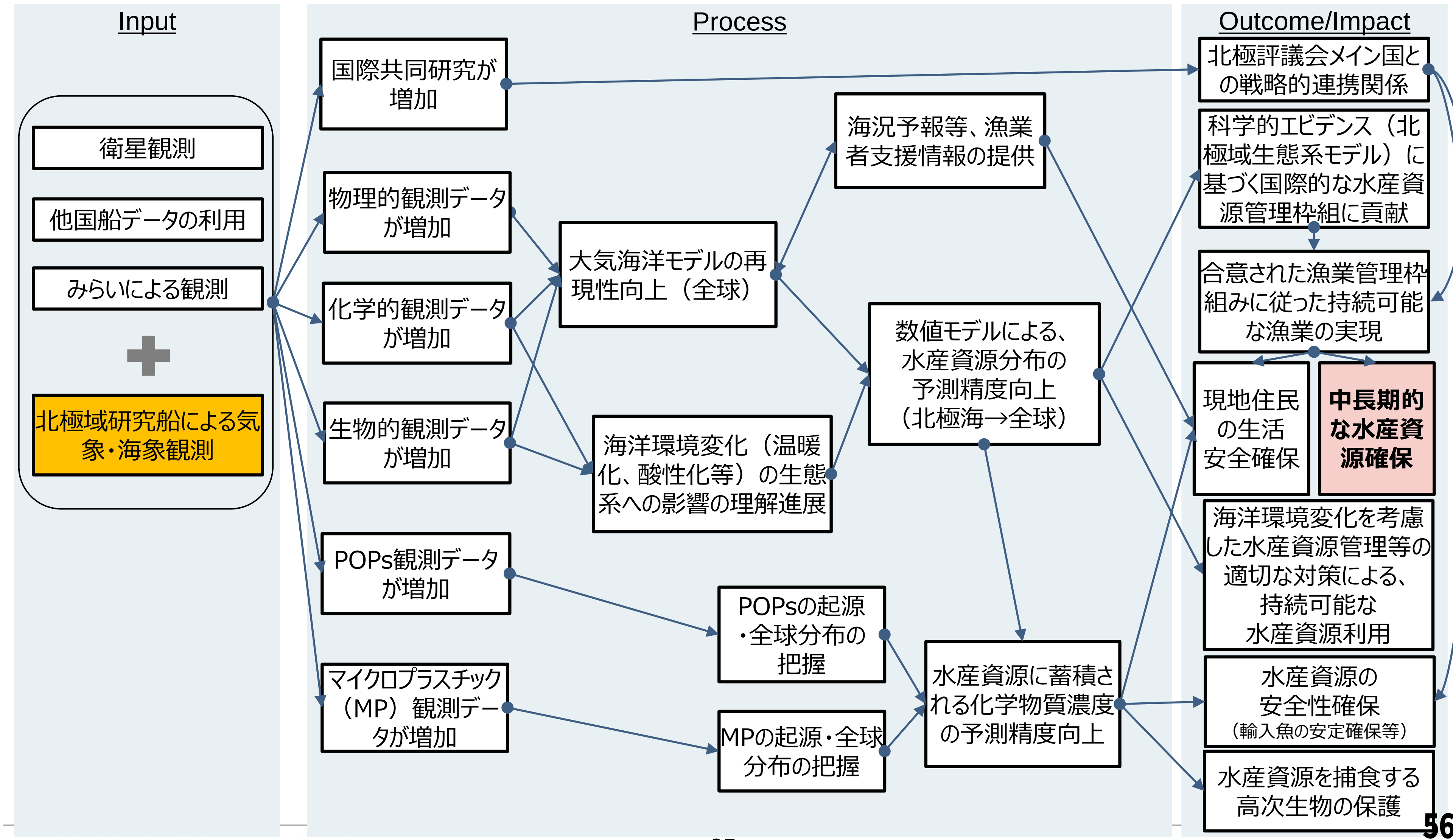
- 北極域において通年観測を実施することで得られるデータにより、魚類の分布や生息環境に関する理解の進展が期待される。魚類分布の変動を把握することは、北極域の持続可能な利用に向け、科学的なエビデンスに基づいて水産資源管理を実施するための基盤となる。また、海水温上昇や海洋酸性化の、生態系全体への影響・メカニズムを理解することで、水産資源量の長期変動予測を行える。北極域の水産資源サンプリングにより、マイクロプラスチック等の汚染実態、生物濃縮状況等の把握、対策の検討が可能になる。
- アイスランド、グリーンランド、米国等との共同観測を実施し、我が国への輸入漁（サバ、ニシン等）も多い北極海の水産資源の実態把握、安全性評価、対策等を可能とする。結果、我が国の安定的水産資源輸入（安全性を担保するための輸入停止処分等の回避）と、それらを利用する水産加工業の事業継続に貢献する。

【我が国砕氷船固有の貢献】
- ✓ **海氷域・氷縁域について、物理・化学・生物観測（サンプリング含む）が可能となる（水産資源分布、マイクロプラスチック実態、生物濃縮状況等把握）**
- ✓ **自国の現場観測手段を持つことで、日本が利害関係を持つ北極海沿岸国との共同調査実施提案、それによる戦略的二国間関係構築につなげられる**

ユースケース④：漁業・水産

ロジックモデル図（ToBe）

定量化
試算対象



Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース④：漁業・水産

期待される便益一覧及び試算結果（1/5）

便益項目	裨益する主体	便益の内容詳細	計測の考え方・前提条件	計算式	試算結果
①北極域生態系モデルに基づく中長期的な水産資源確保（サケ・輸入）	国内水産加工業者等（及びそれを消費する一般消費者＝エンドユーザ）	サケの国内水産加工業等の事業維持効果（サケ輸入量減少による生産活動減の回避）：北極域研究船を用いた米国との国際共同研究観測の実施により、ベーリング海等に6月~11月頃に回遊するサケへの海洋酸性化（オキアミ等のエサへの影響）や温暖化（海面水温上昇による回遊パタン変化・高緯度海域へのシフト等）の影響を調査し、北極域の生態系モデルを明らかにし、新たな漁場の特定や資源量を踏まえた持続可能なサケ資源管理に貢献する。 これにより、日本へのサケの輸入を中長期的に確保（現状の輸入量維持）することが可能となり、それらを利用する水産加工業者等の事業継続を支え、それを消費する一般消費者への影響も回避可能となる。	米国からのサケ・マス輸入金額は2018年には総額約154億円。米国内のアラスカ産のサケは全体の80%程度であり、総輸入量の8割を対象とする。 海洋酸性化や温暖化（海面水温上昇）影響により、中長期的にアラスカ産サケ・マスの漁獲量が減少する率を8~16%とする（既にアラスカにおいて漁獲されたマスノスケの大きさが1990年以前と比べて8%小さくなっており、気候変動要因である可能性が指摘されている。同様の魚体縮小傾向が他のサケ・マス類にも現れる想定）。北極域研究船の観測がない場合、この分の輸入量が減ると想定。研究船による国際共同観測を実施した場合、適切な漁獲量を把握しつつ新たな漁場を特定出来、現状の漁獲（輸入）量を維持出来ると仮定。 輸入減回避の効果は、サケ・マスを利用する日本の水産加工業者の生産活動に直接影響するため、その生産誘発額の減少回避分を社会経済効果とする。 ※Oke et al. 2020	2018年米国からのサケ・マス輸入総額154億円×アラスカ産割合0.8×市場への影響率0.08~0.16×日本の水産加工業の平均的な生産誘発係数1.525＝15.0~30.0億円 ※財務省貿易統計 ※平成29年度水産加工業経営改善支援事業関係調査 表2-5-2、表2-7-1 ※生産誘発係数は1+付加価値率0.31/原材料使用率（輸入分）0.59で計算	**15.0億円~30.0億円/年** ※なお、サケ・マスはノルウェーやロシアからの輸入も多く、米国以外との国際共同調査による同様の波及効果も期待できる。 ※【参考】日本系サケの2030年の来遊数は2018年の来遊数の41%になるとの来遊数予想モデル（帰山北大名誉教授）による試算もある。同様の傾向が米国サケにも現れると仮定し、2030年以降は2030年のサケ来遊数が維持されると仮定すると、154×0.8×(1-0.41)×(1+0.31/0.59)=110.8億円との試算も可能。

ユースケース④：漁業・水産

期待される便益一覧及び試算結果（2/5）

便益項目	裨益する主体	便益の内容詳細	計測の考え方・前提条件	計算式	試算結果
①北極域生態系モデルに基づく中長期的な水産資源確保（サケ・国内）	一般市民、漁業者	海水温上昇や海洋酸性化などの環境変化により、水産資源の生息地や資源量の変化が予測されている。北極域まで含めた生態系モデルを構築することで、同海域まで回遊する魚種（サケ等）の長期的な資源量変動予測が可能となり、それを考慮した漁獲量管理、環境変化に強い魚種の育成と養殖による中長期的な水産資源確保が期待出来る。	海水温上昇に伴ってシロザケの分布域が北上し、21世紀末には日本系サケの母川回帰が困難になるとの予想もなされている。野生サケの資源量管理、環境変化に強い種の育成や放流時期の調整等の放流事業の工夫により、国産サケの資源を確保。これにより国産のサケが漁獲できなくなり、国内漁業者の職が失われるリスクを低減。 ※Kaeriyama et al. 2014	（定性評価まで）	【参考】2018年のサケの年間水揚価額は約563億円 ※産地水産物流通調査より上場水揚価額（209漁港）を1/0.6倍し推算
①北極域生態系モデルに基づく中長期的な水産資源確保（輸入魚全般）	一般市民	北極海沿岸国の持続可能な水産資源管理への貢献により友好な外交関係を構築し、日本に輸入する水産資源を確保 ※北極海公海において日本が漁獲枠獲得の可能性も存在するが、現時点では実現可能性は低いものと評価されている	温暖化に伴い水産資源の生息域北上傾向が指摘されている。カナダの潜在的な北極海周辺での漁獲量は、温暖化による海水温上昇に伴って（魚類の生息地が移動し）21世紀末に平均値で407万トンから695万トンへと約1.7倍に増加するとの試算。この結果からは、日本近海で漁獲される魚種が中長期的に変化する可能性も示唆。水産資源分布・量の中長期変動を把握し、日本近海にとどまらない広域の水産資源を適切に管理し、輸入により確保 ※Mueter and Litzow 2008 ※Tai et al. 2019	（定性評価まで）	【参考】2018年の日本の水産物輸入量は238万トン、総額は1.791兆円 ※水産庁

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース④：漁業・水産

期待される便益一覧及び試算結果（3/5）

便益項目	裨益する主体	便益の内容詳細	計測の考え方・前提条件	計算式	試算結果
②北極域水産資源の生物濃縮状況把握に基づく安全性確保	漁業者（現地）、輸入卸会社、水産加工会社、一般市民（国内）	マイクロプラスチック等を経由して生じる水産資源への化学濃縮を把握・予測し、漁獲された水産資源（北極圏国からの輸入魚）の廃棄を予防することで、関連水産業者の生産活動機会の損失を回避	①ニシンの卵の日本への輸入（2018年にカナダ等北極圏国から約60億円分輸入） ②サバの日本への輸入（2018年にノルウェー等北極圏国から約143億円分輸入）（について、マイクロプラスチック等を通じた生物濃縮の人間への影響が評価された場合、マイクロプラスチックが検出された魚体の取引が禁止されると仮定（ニシン、サバからマイクロプラスチックが検出されたとの報告は既に存在。観測事例は多くないものの、平均的にはニシンでは8.0±1.2%の個体から、サバでは12.6±3.1%の個体から検出。ただし、ばらつきは一標準偏差とした）し、予測に基づいてそれら汚染された魚資源の、現地漁業者による漁獲ロスを防ぐ。更に、汚染を防ぐ根本的な対策（プラスチックゴミの回収や、生分解性プラスチックへの代替等）の実施により、供給不足を回避し、我が国の水産加工業者の付加価値産出機会の損失を回避（代替の難しい魚種であり、日本の一般消費者にとっての価格高騰によるロスも想定される） ※財務省貿易統計 ※Bråte et al. 2017	（定性評価まで） ※汚染の解決がなされるという前提であれば、以下の試算が可能 水産資源の汚染に関する研究の進展により、漁業者はマイクロプラスチック（MP）による汚染を受けている魚体の漁獲を回避し、 ①2018年のニシンの卵輸入額60億円×ニシンの平均的なマイクロプラスチック検出率0.068~0.092=4.1~5.5億円 ②2018年のサバ輸入額143億円×サバの平均的なマイクロプラスチック検出率0.095~0.157=13.6~22.5億円 輸出相当額の損失を回避する。 化学物質汚染の根本的な解決により、これらを輸入し加工・販売する我が国の水産加工業者の付加価値産出機会の損失、 ①輸入減額4.1~5.5億円×日本の水産加工業の平均的な生産誘発係数1.525＝6.2~8.4億円 ②輸入減額13.6~22.5億円×日本の水産加工業の平均的な生産誘発係数1.525＝20.7~34.2億円 を回避する。 ※生産誘発係数は1+付加価値率0.31/原材料使用率（輸入分）0.59で計算	【参考】 左記の条件が成り立った場合の社会経済効果試算結果は以下の通り ①6.2~8.4億円/年 ②20.7~34.2億円/年 ※汚染の根本的な解決が前提

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース④：漁業・水産

期待される便益一覧及び試算結果（4/5）

便益項目	裨益する主体	便益の内容詳細	計測の考え方・前提条件	計算式	試算結果
③北極海洋環境変化を考慮した水産資源管理等の適切な対策による、持続可能な水産資源利用	漁業者（国内）、一般市民（国内）	海洋酸性化の水産資源への影響を把握し、長期的な水産資源活用方針の策定（持続可能な漁業の実施） ※長期的に日本近海で捕獲されるカニ資源の枯渇、更には国内観光需要への悪影響も想定される ※北極海は他の海に先駆けて温暖化、酸性化が進んでいる海域である（川合・張）	アラスカのレッドキングクラブに与える経済的損失は年間数千万米ドル（数%に相当）との試算。日本においても同様の経済的損失がもたらされると想定。酸性化の進展がより顕著である北極域において、カニを包含する生態系の基礎研究を進め、日本近海のカニ資源減少を見据えた持続可能なカニ資源管理（漁獲量管理、酸性化に耐性のある種の育成、養殖技術の高度化等）を実施。養殖等の技術進展によりカニ資源量の減少を防ぐ、あるいはカニ資源量の変化を見据えて漁業対象魚種を変更することで漁業者の失職を防ぐ ※Bednaršek et al. 2020 ※"AMAP Assessment 2018: Arctic Ocean Acidification"	（定性評価まで）	（定性評価まで）

ユースケース④：漁業・水産

期待される便益一覧及び試算結果（5/5）

便益項目	裨益する主体	便益の内容詳細	計測の考え方・前提条件	計算式	試算結果
④現地住民の生活安全確保	北極海沿岸部に居住する住民	温暖化により実施が困難になっている北極沿岸住民の漁業をスマート化し、必要なガソリン経費を削減 ※クジラなどの水産資源への生物濃縮を正確に評価し、沿岸住民の健康を確保することも可能となる。ホッキョククジラからPCBが検出されている。クジラの汚染に関する理解の進展により、汚染されたクジラの漁獲を回避することも可能になる可能性がある（Hoekstra et al. 2002）	アラスカ捕鯨民は30ほどのグループが捕鯨のための経費として年間約350万円を必要とする。高精度の海況予報情報の提供、鯨の回遊観測情報の提供により、捕鯨効率が改善され、経費の削減を行う ※近藤「人新世の漁業史」、岸上「北アメリカ極北先住民の食文化と社会変化」 ※アラスカ捕鯨民だけでなく、カナダやロシアの捕鯨民の捕鯨効率化にも寄与しうる	（定性評価まで）	（定性評価まで）
⑤水産資源を捕食する高次生物の保護	高次生物	環境汚染による高次生物への健康被害の抑止	高次生物の保護に効果的な方法で、プラスチックゴミの回収を実施	（定性評価まで）	【参考】マイクロプラスチックを通じたクジラの化学物質汚染が示唆されている ※Fossi et al. 2016

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース⑤：生物資源利用

砕氷船が導入されない場合の基本シナリオ（AsIs）

- 大陸がなく観測拠点の設置が困難な上、氷に覆われ、調査が十分に行われてこなかった北極域では、利用可能な生物資源が人為的影響を比較的受けることなく、そのまま眠っている可能性がある。現在の観測体制では調査を十分に行うことができず、他国が先に新たな資源を発見した場合、我が国の経済的損失は大きい。
- 地球温暖化に伴い北極域での経済活動が今後盛んになっていくことが想定され、北極海の生物資源を科学的根拠に基づき適切に管理することが求められており、今後、北極域において環境規制が実施される可能性もある。しかし現状、北極域の観測データは国際的に不足しており、各種モデルの再現性に課題がある。魚類やその他低次生物等の生息分布や生態系の把握、資源量の変動予測が正確に行えず、適切な管理不在により、貴重な生物資源の損失が発生することも考えられる。

【要因】
- ✓ 海洋・大気の物理・化学・生物観測データが時間・空間的に不足しており、北極域の循環や全球の循環に関する再現が不十分
- ✓ 特に氷に覆われた海域では、魚類を含めた生態系の調査が不十分
- ✓ データが不足しているために北極海の生物資源量の変動予測が行えない

砕氷船を導入した場合の効果発生ロジック（ToBe）

- 氷縁、氷下、氷の中も含め北極域において採水等の観測が充実することにより、新たに利用可能な生物資源（微生物から魚類まで）や酵素等の化合物が発見される可能性がある。他国に先んじて観測を行い、基礎研究を進展させることで、産業利用に結びつくことも期待される。たとえば、不凍タンパク質は南極海の魚類等から発見され、食品・医療産業等での活用研究が進んでいる。他にも、低温活性酵素の産業利用検討も進んでおり、北極海で分解される生分解性プラスチックの開発進展も期待される（一方で南極域の資源利用は条約上制約もあり、商業利用を志向するにおいて北極域での生物資源利用の検討が重要となる）。
- 通年観測を実施することで得られるデータにより、各種モデルの再現性改善により、精度の高い北極海の生物資源量変動予測に繋がる。それに基づく持続可能な北極域の生物資源管理実現への貢献、北極評議会での我が国のプレゼンス向上（外交的価値）も期待。

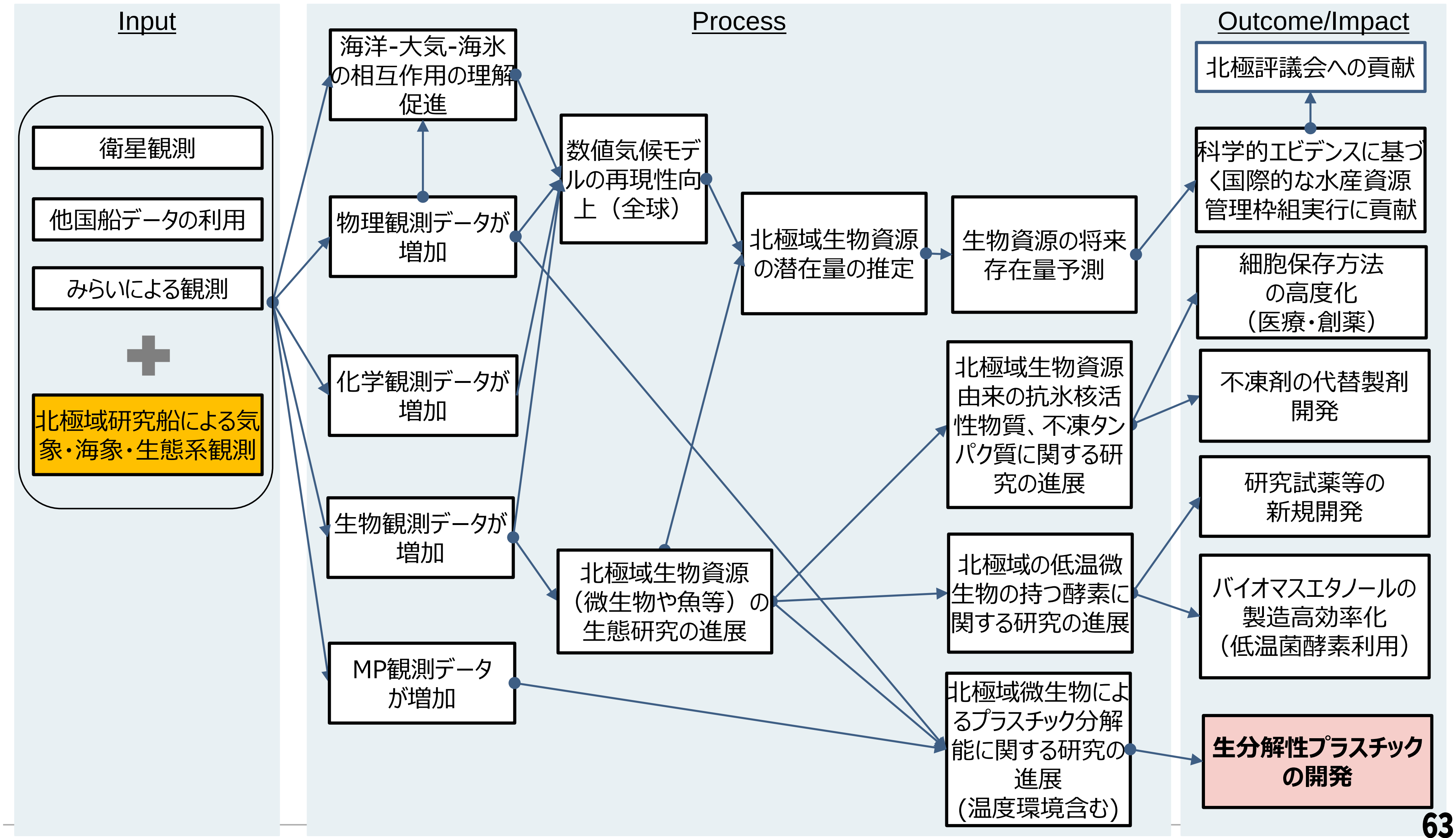
【我が国砕氷船固有の貢献】
- ✓ **海氷域・氷縁域において、生態系の理解の進展につながる観測が可能となる（生態環境、生態そのものに関する理解の進展）**
- ✓ **自国の現場観測手段を持つことで、他国に遅れることなく基礎研究・産業利用を進展させられる**

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース⑤：生物資源利用

ロジックモデル図（ToBe）

定量化
試算対象



ユースケース⑤：生物資源利用

期待される便益一覧及び試算結果（1/3）

便益項目	裨益する主体	便益の内容詳細	計測の考え方・前提条件	計算式	試算結果
①北極域で分解可能な生分解性プラスチックの開発（漁具＋全般）	国内漁具製造企業、国内プラスチック製造企業	北極域の海中でも分解可能な生分解性プラスチックを、同海域の分解酵素（及び温度条件等）を特定し開発。 ①特に、同海域で分解される生分解性プラスチック製の漁具を開発し、国内漁具製造企業の北極圏国への漁具輸出を継続（北極域で最も課題となっているプラスチックごみは漁具）。 ②更に漁具を足掛かりに生分解性プラスチックの国際標準設定を主導することで、国内プラスチック製造企業が、海洋生分解性プラスチックの北極圏市場シェアを獲得 ※https://www.mri.co.jp/knowledge/column/20190408.html ※Urbanek et al.2018	①生分解性プラスチックを用いて代替漁具を開発し、漁具に関する国際規制が実施された場合にも、現在の北極圏国への漁具の輸出規模を維持。漁具は全て生分解性プラスチックに代替されることを仮定 ②プラスチック利用に関する国際規制が広く実施されることを想定し、北極域向けの生分解性プラスチックの、面積比（2.4%）に比例した市場が形成されることを仮定。他国に後れをとらずに研究を進展させ、北極海で分解されるプラスチックを開発し北極圏国に販売、「市場影響シェア」26.1を獲得すると仮定 ※プラスチック全体の10-20%程度が生分解性プラスチックに代替されるとの見地あるが、漁具については全て生分解性プラスチックに代替されることを仮定 ※https://top-researchers.com/?p=2130 ※クープマンの目標値に基づく	①2018年の北極圏国向け、結び網地及び漁網及びその他の網の輸出額11.6億円を維持 ※財務省貿易統計 ②2019年の生分解性プラスチック世界市場規模33億米ドル×北極海面積比0.024×市場シェア0.261=20.7百万米ドル＝22.5億円 ※Grand View Research ※1ドル109円で換算 ※今後、生分解プラスチック利用がより進展する可能性もあるが、そのポテンシャルはここで評価に含めていない ※なお上記数字に①の漁具の市場は含まれていない（未開拓市場のため）	**11.6億円/年～34.1億円/年** ※①のみ実現した場合11.6億円。加えて、②まで実現した場合、更に22.5億円の拡大が期待

ユースケース⑤：生物資源利用

期待される便益一覧及び試算結果（2/3）

便益項目	裨益する主体	便益の内容詳細	計測の考え方・前提条件	計算式	試算結果
②細胞保存方法の高度化	再生医療業界、一般市民（国内外）	再生医療の展開規模拡大、コスト削減	北極域生物を対象とした研究の進展により、新たなモデルとなる過冷却促進物質（抗氷核活性物質）、不凍タンパク質が発見されると仮定する。それらのモデル化合物を基に、未凍結保存、凍結保存による細胞破壊を低減可能な細胞保存方法を開発	（定性評価まで）	【参考】細胞保存液が活用される再生医療の市場規模は、2050年には国内で約2.5兆円 ※経済産業省
③不凍剤の代替製剤の開発	不凍剤メーカー	自動車のエンジン冷却液、航空機の除氷液に使用されているエチレングリコール等の不凍剤は毒性があることが知られている。低温でも凍結しない、天然物由来の製剤の発見・製造によって有害な不凍剤が代替される	エチレングリコールを代替しうる融点の低い化合物が発見され、代替不凍液を他国に先んじて開発 ※https://www.cerij.or.jp/evaluation_document/yugai/107_21_1.pdf ※全体の9%が不凍液として使用されている	（定性評価まで）	【参考】2016年不凍剤世界市場規模は約50億米ドル ※Grand View Research
④バイオマスエタノールの製造高効率化	エネルギー事業者、一般市民（国内外）	製造コストの低下に伴う市場価格の低下	極地に生息する生物の持つ、低温活性酵素を利用し、藻類等を利用したバイオマスエタノール製造効率を高めることで、製造コストを低下	（定性評価まで）	【参考】2018年バイオマスエネルギー市場規模は約4,359億円 ※矢野経済研究所

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース⑤：生物資源利用

期待される便益一覧及び試算結果(3/3)

便益項目	裨益する主体	便益の内容詳細	計測の考え方・前提条件	計算式	試算結果
⑤研究試薬等の新規開発	研究機関	有用な性質を持った酵素が新たに発見され、その酵素を用いた研究試薬が開発・利用されることで、基礎研究が進展 ※長期的には産業利用される可能性もある	海洋微生物に由来する化合物を基に製品化された試薬の売上	（定性評価まで）	【参考】JAMSTECが駿河湾で採取したサンプルを基に、株式会社ニッポン・ジーンが耐熱性βアガラーゼを製品化し、DNA抽出試薬として利用
⑥北極評議会への貢献	日本国	科学的エビデンスに基づいて、北極域の生物資源管理（既に利用されている水産資源のみならず、新たに利用可能性が明らかとなった生物資源も含む）を行うための情報提供を行うことで、北極評議会に貢献	ユースケース⑤を参照	（定性評価まで）	（定性評価まで）

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース⑥：資源・エネルギー

砕氷船が導入されない場合の基本シナリオ（AsIs）

- 北極域における石油・ガス関連のオフショア構造物には、低温、着氷、海氷、波浪といった過酷な環境下で操業するため特定のリスクが存在する。特に地球温暖化の進行によって北極域の環境は大きく変化しており、正確な気象情報（予測を含む）のもと操業されないと、環境要因により構造物の強度が損なわれる、輸送時の事故が発生する等の問題が発生することが想定される。
- 北極域で操業する再生可能エネルギー事業（風力発電等）においては、北極域の過酷な環境によるコスト等を事前に考慮に入れたうえで設置場所等を決め、経済性を判断する必要がある。適切な判断を誤ると、再エネ発電所の採算性が合わなくなることが想定される。
- 北極域における長期的かつ正確な海氷減少状況の把握ができず、採算性のある資源開発海域を正確に特定できない。

【要因】
- ✓ 北極域の現場観測（氷の密接度・厚さ、海水温、波浪、風向・風速、その他気象情報）がなく、海氷等の北極固有の条件による構造物への影響を正確に判断できない
- ✓ 現場観測の不足から正確な気象予測ができず、適切な洋上生産オペレーション、資源の安全な輸送や適切な経済性の計算に基づいた風力発電所等の建設判断ができない

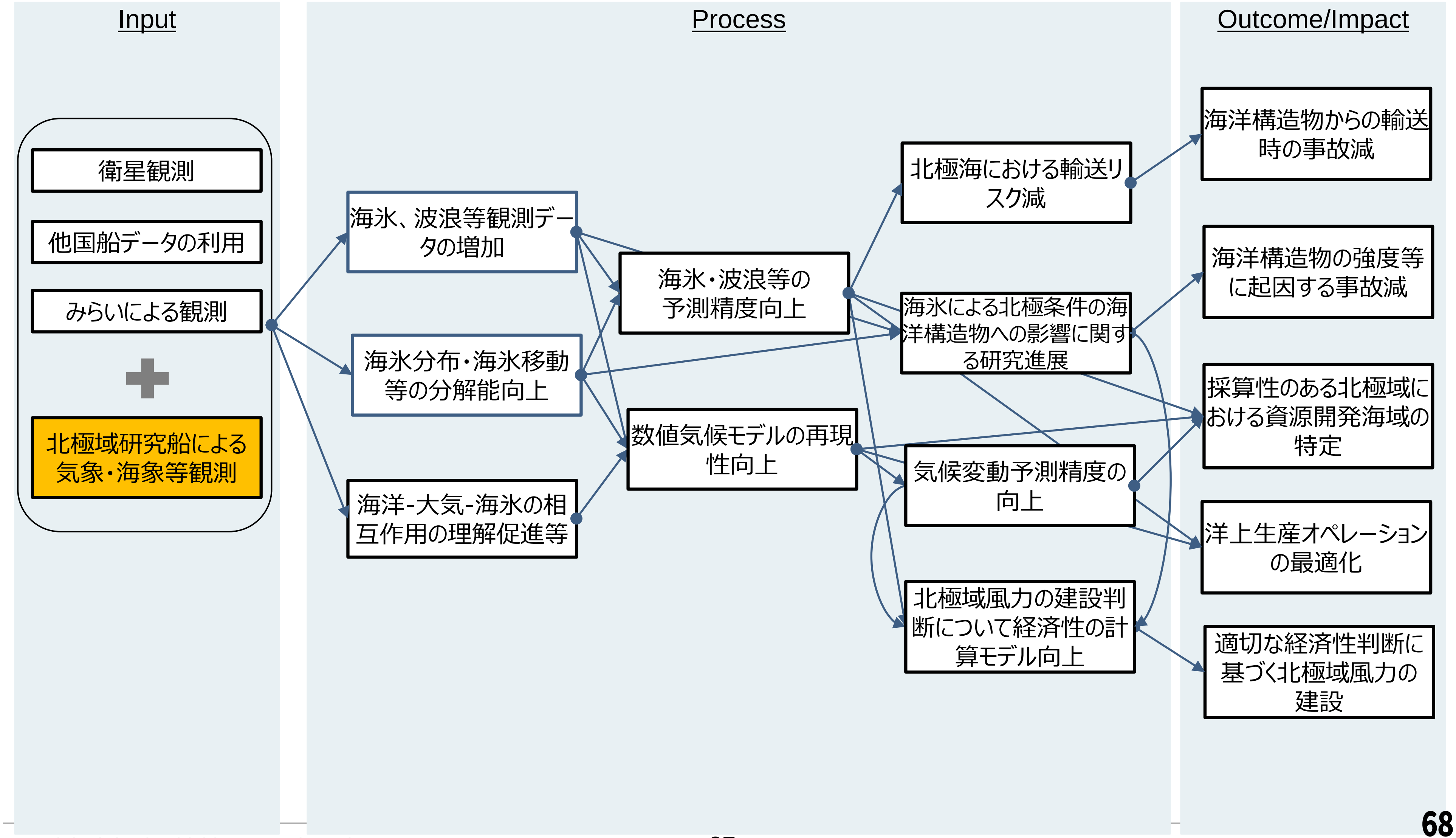
砕氷船を導入した場合の効果発生ロジック（ToBe）

- 海氷分布・海氷移動、波浪、風向・風速等の観測や、それによる長期的な気候変動予測精度の向上により、北極条件下における海洋構造物への影響をより正確に把握でき、今後の気象状況等に基づいた適切な安全基準のもと海洋構造物の強度等を原因とする事故が減る。
- 海氷分布・海氷移動をはじめとする気象状況の予測精の向上により、適切な洋上生産オペレ―ションの実現や適切な環境下で安全な資源等の輸送が可能になり事故減に貢献する。
- 海氷分布・海氷移動、海水温、波浪、風向・風速等の観測や、それによる長期的な気候変動予測精度の向上により、極域沿岸部の風力発電所の設置場所や経済性について適切な計算モデルのもと判断ができる。
- 石油・天然ガス埋蔵海域における長期的な海氷減少状況の予測により、資源開発のリスクと採算性評価の信頼性が向上し、我が国企業参入を含めた資源開発促進に貢献しうる（主にバレンツ海を想定）。北極域研究船を持つことで、北極域の資源国との国際協力で調査を実施することも提案可能となる。

【我が国砕氷船固有の貢献】
- ✓ **北極域の現場観測（氷の密接度・厚さ、海水温、波浪、風向・風速、その他気象情報）が可能となり、北極条件による海洋構造物への影響をより精度をもって判断できる。**
- ✓ **資源の安全輸送や最適な洋上性差のペレ―ション、再エネ発電所の正確な経済性判断を実現できる。**

ユースケース⑥：資源・エネルギー

ロジックモデル図（ToBe）



Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース⑥：資源・エネルギー

期待される便益一覧及び試算結果

便益項目	裨益する主体	便益の内容詳細	計測の考え方・前提条件	計算式	試算結果
①海洋構造物からの輸送時の事故減	資源開発事業者（バレンツ海等に鉱区を持つ日本の事業者等を想定）、海運事業者	気象・海象状況の予測精度の向上により、適切な環境下で安全な資源の輸送が可能になり事故減少。	氷況予測等の向上により、適切なルーティングや速度に基づく、海洋構造物からの安全な資源輸送を実現できる。	（定性評価まで）	ー
②海洋構造物の強度等に起因する事故減	資源開発事業者（バレンツ海等に鉱区を持つ日本の事業者等を想定）	今後の気象状況等に基づいた適切な安全基準のもと海洋構造物の強度等を原因とする事故が減少。	主にバレンツ海における北極条件下における海洋構造物への影響をより正確に把握することで、今後の気象状況等に基づく適切な安全基準のもと海洋構造物の強度等を原因とする事故が減少。	（定性評価まで）	ー
③採算性のある北極域における資源開発海域の特定	資源開発事業者（バレンツ海等に鉱区を持つ日本の事業者等を想定）※資源の安定的な確保は最終的に一般国民に裨益	各石油ガス埋蔵海域における長期的な海氷減少状況の把握により、採算性を有する資源開発海域の特定が可能。二国間協力による資源探査・資源開発の可能性もあり。	主にバレンツ海における気象・海象観測による、長期的な海氷減少状況の予測や短期的な氷況予測により、効率的かつ正確性のある資源探査、採算性を有する資源開発海域の特定が可能になる。日・ノルウェー等の二国間協力による資源探査・資源開発の実現にも貢献する可能性。	（定性評価まで）	ー
④洋上生産オペレーションの最適化	資源開発事業者（バレンツ海等に鉱区を持つ日本の事業者等を想定）	気象・海象状況の予測精度の向上により、洋上生産オペレーションの最適化が可能。	気象・海象（氷況・波浪等）状況の予測精度の向上により、洋上の石油・ガス生産オペレーションの最適化が可能。	（定性評価まで）	ー
⑤適切な経済性判断に基づく風力発電所の建設	極域沿岸の風力開発事業者	極域沿岸の風力発電所の経済性について、適切な計算モデルのもと設置判断を行うことが可能。	極域沿岸部における風力発電所設置にあたり、海上からの風況情報不足の改善により（沿岸の海水温等が影響しており、海氷状況含め観測を行い予測モデルを改善することが有効）、正確なポテンシャル評価のもと適切な経済性判断を行い、設置判断を下すことが可能となる。	（定性評価まで）	ー

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース⑦：産業波及（造船）

砕氷船が導入されない場合の基本シナリオ（AsIs）

- 気候変動の影響により北極海航路の活用が進展しているが、北極海航路に適した航海支援サービスの提供技術を持たないため、日本の舶用メーカ・サービサーの機会損失に繋がっている。
- 北極域を航行する場合の船体への負荷が把握できておらず、適切なメンテナンスができないことにより、船体の破損、海難事故が発生しているほか、それを防ぐための過度なメンテナンスが実施されている。
- 氷海中・外の両方で効率の良い船を作ることが造船所の競争力を高めることに繋がるが、北極域での航行実績・実航海データ（船体応力、各種機器のパフォーマンス等）が十分でなく、それらに基づく適切な船の建造ノウハウを日本の造船所が十分に持てていない。

【要因】
- ✓ 北極域を航行する船の航行データ・建造実績が足りないことから、北極域の航行に適した船舶の建造や航海機器の開発ができない（逆に北極域を航行する船があればニーズへの対応ができるチャンスが生まれる）

砕氷船を導入した場合の効果発生ロジック（ToBe）

- 気候変動の影響による北極海航路の活用を見据え、先んじて北極海航行及び平水中の航行に関するデータを取得することで、航海支援サービスの検証・精度向上、将来的な売り上げ増加につながる。
- 光ファイバ計測網によるヘルスモニタリングの高度化により、適切な時期でのメンテナンスの実施が可能に。メンテナンス費用削減とともに、海難事故の防止にもつなげる。
- 上記による船舶航行デジタルツインの進展により、氷海中・外の両方で効率の良い船の設計・建造能力を日本の造船所が持つことで、北極海航路を利用する船舶の受注拡大につながる。

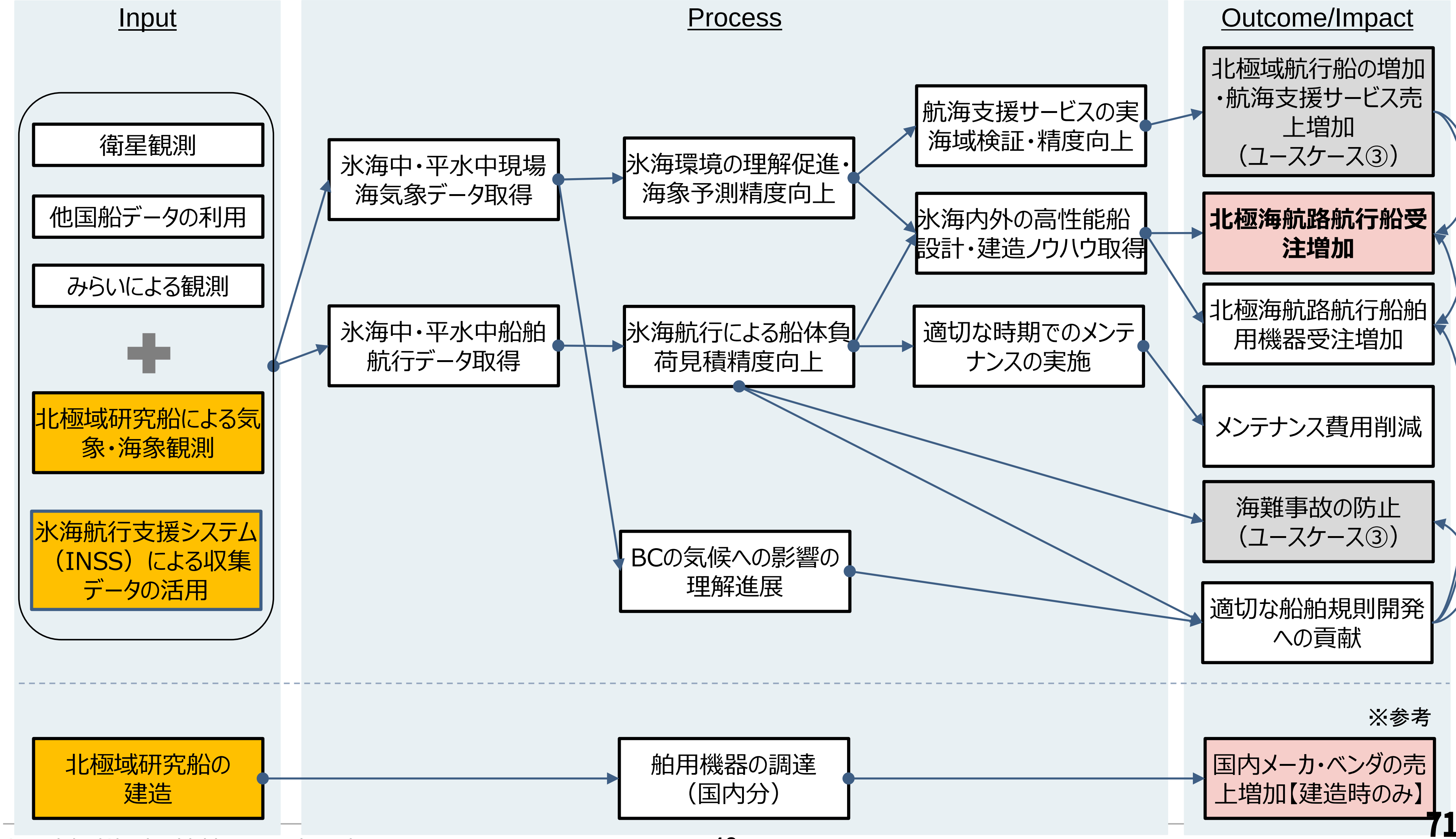
【我が国砕氷船固有の貢献】
- ✓ **北極域航行中、および通常海域航行中の環境・船体負荷・機器挙動データを用いた船体設計の高度化につなげる。**
- ✓ **北極域の現場航行中の海象データを用いた航海支援サービスの検証・精度向上につなげる。**

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース⑦：産業波及（造船）

ロジックモデル図（ToBe）

定量化
試算対象



Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース⑦：産業波及（造船）

期待される便益一覧及び試算結果（1/2）

便益項目	裨益する主体	便益の内容詳細	計測の考え方・前提条件	計算式	試算結果
航海支援サービス売上増加	舶用メーカ 気象会社	航海支援サービスの検証・精度向上に伴う競争力向上	氷海航行における種々のデータを活用し高性能な航海支援サービスの開発が可能 北極海航路の活用が世界的に進展すれば、さらなる売上増が期待できる。	（定性評価）	ー
北極海航路航行船受注増加	造船所 エンジンメーカ 舶用機器メーカ	氷海内外の両方で性能が高い船の設計・建造能力を日本の造船所が獲得し、北極域航行船の新造船の受注増（及びその国内機器メーカ等への波及効果発生）	氷海商船（耐氷船）にはGHG排出量規制が適用されるため、氷海内外で環境性能が良い船の建造が求められる。北極域研究船のINSSで取得される氷海域での実航行データ（船体負荷、機器パフォーマンス、その際の周辺環境）を活用し、氷海内外の両方で性能が高い船の設計・建造能力を日本の造船所が獲得することで、受注増加が期待できる。 ユースケース③に基づき、国内海運会社による耐氷コンテナ船の新造需要が5隻追加されると想定する（日本の造船会社への発注想定）。北極海航路の活用が世界的に進展すれば、さらなる受注増も期待できる。 【参考】北極域航行船が5年で120隻程度発注予定（NSRAの予測では2024年に80M（2019：29M）の貨物がNSRを利用）、うち1%の受注に貢献した場合、年0.24隻分の効果）	耐氷コンテナ船受注額計400億円（耐用年数15年、40億円/隻と想定し、30年で延べ10隻とする）/ 30年＝約13.3億円（年単位効果） 国内機器調達の一次波及効果まで含める場合 ×2.18＝29.0億円（年単位効果） *産業連関表（2015）より	**13.3億円～29.0億円/年** （機器調達が国内で行われた場合の波及効果含む最大値） 【参考】国内舶用メーカ規模：1兆円
氷海航行用船用機器売上増加	エンジンメーカ 舶用機器メーカ	氷海航行中の機関の出力・負荷変動データを踏まえたエンジン設計 耐寒性能を持たせたレーダー、ライト、ヒーティング、通信機器の開発	低燃費エンジン開発ニーズあり、艤装品・機器のテストの必要性も増す 北極海航路の活用が世界的に進展すれば、さらなる売上増が期待できる	※一部は上記に包含	【参考】国内造船所規模：2兆円
北極海航行船メンテ費用削減	船主・船舶管理会社	氷海を航行する場合の船体・機器負荷見積精度向上、安全性向上	氷海航行における種々のデータを活用し、状況に合わせたメンテナンスが可能に	（定性評価）	ー
北極海航行船海難事故削減	船主・運航者	氷海を航行する場合の船体・機器見積精度向上、安全性向上	氷海航行における種々のデータを活用し、海難事故の削減に貢献	（定性評価）	ー

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース⑦：産業波及（造船）

期待される便益一覧及び試算結果（2/2）

便益項目	裨益する主体	便益の内容詳細	計測の考え方・前提条件	計算式	試算結果
船舶規則構築への貢献	船級協会→造船所・船主・運航者	氷海航行データ・現場観測データ（ブラックカーボンなど含む）をもとに、船舶燃料、アイスクラス（船体強度、バラストタンク等）に関するルールメイキングの適正化に寄与	INSSによる氷圧応力および機関データの解析により実現可能（ただしデータが増えることの寄与について定量化が困難）	（定性評価）	ー
※参考 メーカ・ベンダの売上増加 【建造時のみ】	舶用メーカ	北極域航行船に搭載する舶用機器調達による波及効果	船舶建造費のうち、舶用機器にかかる調達によるメーカ・ベンダの売上分。 ※発注時のみの効果	船殻15億円 船体ぎ装20億円 機関・電気95億円 観測設備60億円	190億円

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース⑧：人材育成（研究者）

砕氷船が導入されない場合の基本シナリオ（AsIs）

- 我が国の海洋・北極、気象・海象等の研究者の減少（砕氷船を有する国への流出含む）
  - →研究レベル低下・独自モデル等×
  - →気象災害対策等への悪影響、国際フォーラムでの発信力・交渉力低下等に間接的に影響する

【要因】
- ✓ 研究環境（乗船機会含む）・データの不足による、北極関連研究の質と量の低下。
- ✓ 他国依存による、研究の持続性・自律性・魅力の低下

砕氷船を導入した場合の効果発生ロジック（ToBe）

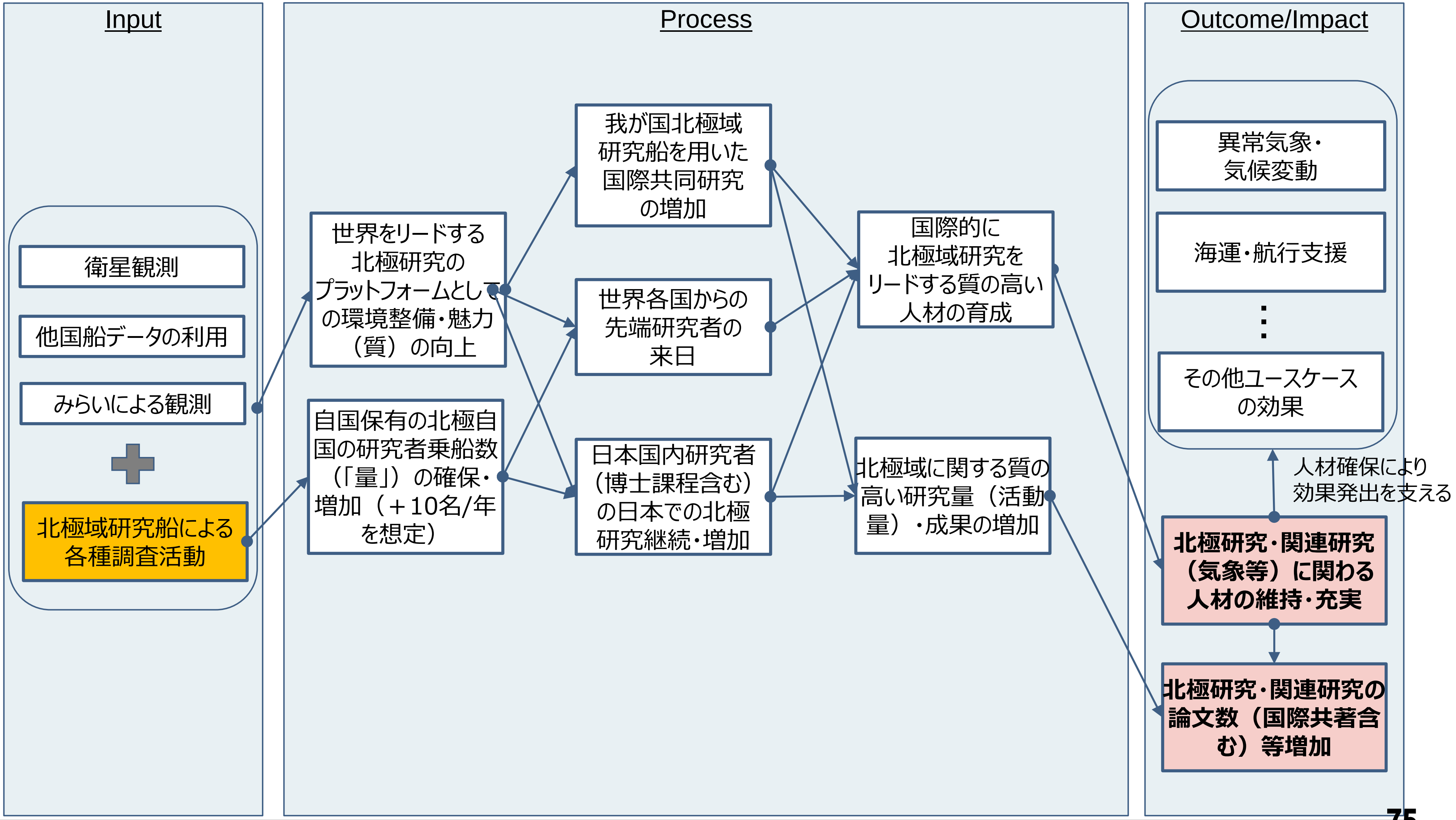
- 日本国内で研究するモチベーション・魅力が増加し、科学研究をリードする人材を集めることができる（海外からの人材含め）。これにより質の高い研究量（活動量）が増え、我が国の科学技術研究の維持・レベル向上につながることが期待出来る。
- 自国砕氷船により我が国主導の国際共同プロジェクトを実施し、国際的プロジェクトをリードできる人材育成が可能となる（北極はArCS課題に見られるように分野横断性が特徴）。

【我が国砕氷船固有の貢献】
- ✓ **最先端研究環境（プラットフォーム）保有（「質」）**
- ✓ **自国研究者乗船の担保（「量」）**

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース⑧：人材育成（研究者）

ロジックモデル図（ToBe）



Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース⑧：人材育成（研究者）

期待される便益一覧及び試算結果

便益項目	裨益する主体	便益の内容詳細	計測の考え方・前提条件	計算式	試算結果
質の高い研究人材獲得・活動量増加による、国際的な科学技術力の維持向上への貢献（論文数増加） **※定量評価**	国 研究機関 大学等	■ 北極域研究船という最先端研究環境の魅力（質）と、我が国船舶として乗船数（量）確保可能なことによる、質の高い人材・研究量の増加 ■ また、質の高い人材育成・確保は、各ユースケースのアウトカムを生み出す基盤としても機能（人材があって初めて実現可能）	■ 論文増加結果としての論文数の増加分で定量評価を行う（導入前後の論文増加期待値パラメタとしてPolarsternの事例：増加係数α=1.5を適用） ■ また、国際的地位向上の評価として、国際共著論文の増加も推計（Polarsternでは導入前後で1.14倍増加） ■ 人材については、「みらい」→北極域研究船の乗船可能研究員の差分（＋10名/年想定）、30年の運用を前提。なお同一研究者が乗船することも想定されるため、延べ人数）	■ 論文数＝現状の北極関連論文（ArCS論文年平均：約195件）×論文増加期待値係数α（1.5） ■ ⊿研究人材＝純増分（10名）×運用年数（30年）	■ **総論文数＝約292件（年平均）（純増分⊿＝97件）** **※加えて、国際共著論文の増加も期待（少なくとも1.14倍）** ■ **⊿研究人材＝300人（累計）**

ユースケース⑧：人材育成（船員）

砕氷船が導入されない場合の基本シナリオ（AsIs）

- ■ 長期的に増加する北極海航路航行の需要に対応し、我が国における極水域船員養成は継続的に行われるものの、乗船経験の提供不可等、満足度が高まらない。
- ■ 特に、氷海航行シミュレータ等の実体感のある満足度の高い訓練が提供不可（訓練者数を鑑み、訓練充実の費用対効果も不十分な状況）
- ■ 北極域の乗船経験の提供が限定的（商船乗船で可能だが、国として提供困難）
- ■ 結果、砕氷船を有し実績のある北極圏の他国によるより効果的な訓練に人材が流れる（今後、国際情勢や定員数次第で訓練が受けられなくリスク等も考えられる）

【要因】
- ✓ 実海域データの不足
- ✓ 北極域の乗船経験の提供が限定的

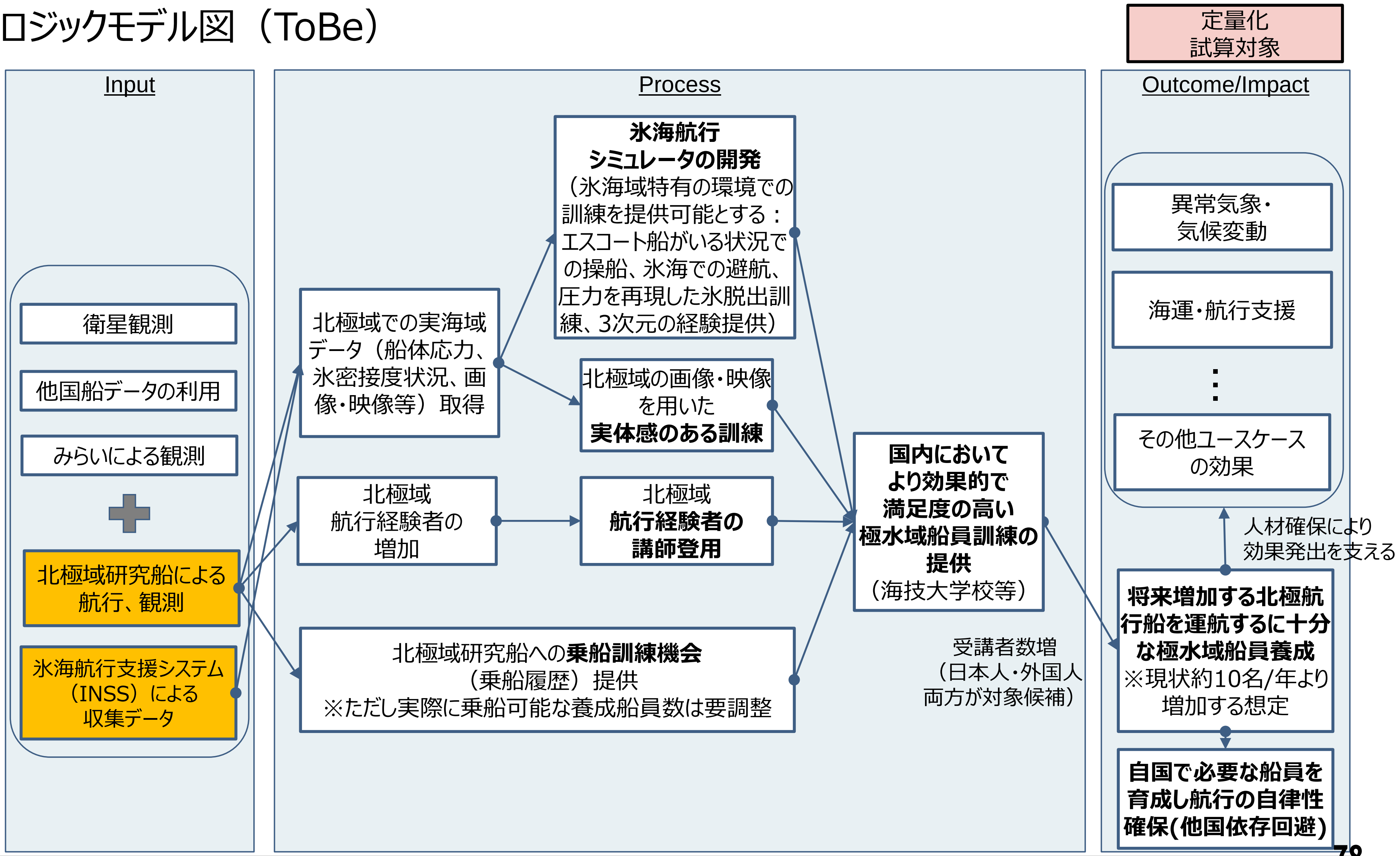
砕氷船を導入した場合の効果発生ロジック（ToBe）

- ■ 北極域で取得した実海域データ（船体応力、氷密接度状況、画像･映像等）を利用したシミュレータ開発（氷海域特有の環境での訓練を提供可能とする：エスコート船がいる状況での操船、氷海での避航、圧力を再現した氷脱出訓練、3次元の経験提供）、航行経験者の講師登用、実海域乗船訓練等、効果的で満足度の高い訓練を国内で提供可能となる。
- ■ これにより、長期的に増加する北極海航路利用需要に対応し、将来増加する北極航行船を運航するに十分な極水域船員養成を行う（国内外の潜在訓練ニーズを満たす）。※受講者は日本人･外国人両方が対象と想定
- ■ 自国で必要な船員を育成し航行の自律性確保(他国依存回避)にも貢献する。

【我が国砕氷船固有の貢献】
- ✓ **北極域実海域データの提供**
- ✓ **実経験（乗船経験）の提供**

ユースケース⑧：人材育成（船員）

ロジックモデル図（ToBe）



Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース⑧：人材育成（船員）

期待される便益一覧及び試算結果

便益項目	裨益する主体	便益の内容詳細	計測の考え方・前提条件	計算式	試算結果
将来増加する北極航行船を運航するに十分な極水域船員養成	国 研究機関 大学 海運会社 等	■ 将来増加する北極航行船を運航するに十分な極水域船員養成 ■ 自国で必要な船員を育成し航行の自律性確保(他国依存回避) ■ また、極水域船員育成・確保は、各ユースケースのアウトカムを生み出す基盤としても機能（船員があって初めて調査航海が実施可能）	■ 国内にて、より高品質で満足度の高い極水域船員訓練の提供を行う（現状、海技大学校の基本訓練で約10名/年） ■ 日本人・外国人両方が訓練対象と想定 ■ 将来増加する北極航行船を運航するに必要な船員数を訓練すると想定されるが、実際の訓練実施数は、必ずしも増加船舶数に対応しない。また、北極域研究船に乗船可能な養成船員数は要調整であることから、増加数は明記しない。	（定性評価まで） 現状約10名/年より増加すると想定（ただし実際の増加数は不明）	**【参考】 少なくとも約10名/年以上**

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース⑨：その他（Citizen Science･広報教育利用等）

砕氷船が導入されない場合の基本シナリオ（AsIs）

- 北極域への国際的関心は、北極クルーズ等の観光目的に限らず、気候変動、生物多様性、プラスチックごみの問題等で高まりつつある。一方で、これらの受け皿として北極域での調査や航海経験の機会を市民も含め広く提供できる受け皿は現状限定的であり、ギャップが存在する。結果、北極域への理解・関心・関与が十分に進まない可能性もある。
- 従来の研究者による調査だけでなく、一般市民も含め広く北極域への航海機会を提供する流れが起きつつある（市民による調査、いわゆるCitizen Scienceだけでなく、北極域での芸術や啓蒙活動等も含む）。受け皿の例として、ノルウェーのNPOであるREV Ocean（https://www.revocean.org/）が調査船をオープンプラットフォームとして気候変動やプラスチック関連の調査テーマを公募し、北極域への航海計画もあるが、定員の制限やテーマ採択不透明性等から、活用できるとは限らない。
- 北極域の画像・映像等、教育や広報等で利用可能なコンテンツが十分でない。結果、北極の魅力・課題の普及啓蒙が進みにくい。

【要因】
- ✓ 我が国として北極の魅力・課題を伝える機会とコンテンツの不在

砕氷船を導入した場合の効果発生ロジック（ToBe）

- 自国の北極域研究船にて市民参加型の調査航海（Citizen Science）の枠を設け実施することが可能となる。市民目線での社会に有益な研究の実現や、北極の魅力や課題がより身近になる効果が期待される。
  - 具体的方法としては、一般市民への研究課題テーマ公募（研究者目線でないが魅力的でイノベーティブな研究課題）、クラウドファンディングの利用、企業提案等が考えられる。国内外問わず募集することで、世界的ニーズを応えることも考えられる。
  - また、実際の乗船でなくアバターで遠隔乗船（調査機器の遠隔操作等）を行うような形態も考えられる。国内の一般市民に広く経験してもらえる機会を提供するだけでなく、国際的に需要が高まるリモート・オペレーションやバーシャル観光の技術開発にも貢献しうる（技術実証プラットフォーム機能）。
- VRでの北極体験、映像コンテンツの科学館・展覧会での利用等、北極域における観測成果を広報・商業コンテンツとして展開することが可能となる。各種メディアで取り上げられることによる北極域関連の社会の認知向上が実現され、教育・人材育成等への更なる波及効果も期待できる。

【我が国砕氷船固有の貢献】
- ✓ **北極の魅力・課題を伝える機会とコンテンツの提供**
- ✓ **市民・民間参加型プラットフォームとしての活用**

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

ユースケース⑨：その他（Citizen Science･広報教育利用等）

期待される便益一覧及び試算結果

便益項目	裨益する主体	便益の内容詳細	計測の考え方･前提条件	計算式	試算結果
北極域の魅力･課題がより市民に身近となる教育、普及効果	一般市民（国内外）	■ 自国の北極域研究船にて市民参加型の調査航海（Citizen Science）の枠を設け実施。市民目線での社会に有益な研究の実現や、北極の魅力や課題がより身近になる効果が期待。 ■ VRでの北極体験、映像コンテンツの科学館･展覧会での利用等、北極域における観測成果を広報･商業コンテンツとして展開することが可能となる。各種メディアで取り上げられることによる北極域関連の社会の認知向上が実現され、教育･人材育成等への更なる波及効果も期待。	■ 一般市民への研究課題テーマ公募（研究者目線でないが魅力的でイノベーティブな研究課題）、クラウドファンディングの利用、企業提案等を想定。 ■ 国内外問わず募集することで、世界的ニーズを応えることも考えられる。 ■ 実際の乗船でなくアバターで遠隔乗船（調査機器の遠隔操作等）を行うような形態も考えられる。国内の一般市民に広く経験してもらえる機会を提供可能。	（定性評価まで）	－
市民･民間参加型の研究･技術開発プラットフォームとしての活用	民間企業 一般市民（国内外）	■ 北極域という特殊な環境を活用した新たな技術･サービス開発を、市民や民間を巻き込み実証する（北極域研究船をプラットフォームとして活用） ■ 具体例：アバターで遠隔乗船（調査機器の遠隔操作等）により、国際的に需要が高まるリモート･オペレーションやバーチャル観光の技術開発を実証する　等	■ 研究課題テーマ公募（研究者目線でないが魅力的でイノベーティブな研究課題）、クラウドファンディングの利用、企業提案等を想定。	（定性評価まで）	－

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

4. まとめ

- 北極域研究船の導入意義
  - 国として独自に保有・運用する大義
    - 「自律性・制御可能性」、「外交・発信力の基盤」、「総合的・横断的要求への対応」、「統合観測システムの必要性」、「人材育成・科学技術立国の礎」 ※各ユースケース、研究者・実務者より強いニーズと現状への懸念あり
  - 砕氷能力の必要性
    - 「空間性能」（カバレッジ・分解能）、「時間性能」（季節観測等）
    - 現状の北極域の現象・メカニズム理解し予測するにおいてネックとなっている空白域（高緯度地域、春秋等の季節、海中等）について、海氷（氷縁）・雪、生物サンプル等を直接観測・データ収集可能な手段は他にない
  - 社会経済効果（実益）
    - 北極域の環境変化は、極域のみならず我が国含めた社会経済活動に大きく影響する（長期の気候変動、台風等気象現象への遠隔影響、北極域を航行する船舶の安全・経済航行、水産資源の安全・安定確保　等）
    - 北極域研究船により、北極域の現象・メカニズムを解明し、予測可能となることで、社会経済に貢献可
- 社会経済効果
  - 北極域の環境変化により、気象気候、海運、漁業水産等、我が国国民生活に直接影響する事例を特定
  - 今回選定した主要ユースケースの社会経済効果（次頁参照）
    - 定量効果のうち、貨幣換算可能なものとしては、少なくとも計約64.2億円～124.1億/年（台風予報精度向上による被害削減、北極海航路利用増による輸送コスト等削減、持続可能な水産資源管理・利用による国内水産加工業等の事業維持効果、北極海で分解可能な生分解性プラスチック開発、極域航行船の受注増加・氷海航行用舶用機器の売上増加）
    - その他定量効果：人材育成（世界をリードする科学技術人材の確保・論文数の増加等）
    - その他、現段階でのエビデンスの不足等により定量化が困難な事例も多数あり、定性効果としては、様々な分野において多岐にわたる効果が期待

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

主な社会経済効果の一覧

事例分野		社会経済効果	
		定量効果	定性効果
直接効果	異常気象・気候変動	・台風の進路予測精度向上に基づく交通サービスの運休判断適正化による営業損益削減効果 ：20.7～27.4億円/年	・台風の進路予測精度向上に基づく農林水産業の事前対策（ビニルハウス強化や早期収穫等）の徹底による被害軽減、製造業等の操業停止判断等の適正化による営業損益削減、避難判断の迅速化による人的被害の軽減 ・熱波・寒波予測の精度向上に基づく事前対策の促進による人的・農作物被害の軽減 ・季節予報の精度向上に基づく取水時期調整の適正化による渇水被害の軽減 ・中長期的な気候予測の精度向上に基づくインフラ整備・土地利用の適正化による水害等の気象災害被害の低減（適切な気候変動適応策の実施） ・気象予報の精度向上に基づく気象ビジネス（防災・エネルギー等）の進展
直接効果	海運・航行支援	・北極海航路シフトによる建材等の輸送コスト減：3.6億円/年	・日本の海運事業者が北極海航路で一括輸送することによる貨物の安定輸送 ・航行速度向上・航路選択最適化による輸送コスト減 ・安全航行の実現 ・倉庫等の管理費減 ・航行支援サービスの売り上げ増 ・航路の複線化による地政学リスクの回避
直接効果	漁業・水産	・北極域生態系モデルに基づく持続可能な水産資源管理・利用による水産加工業等の事業維持効果（サケ輸入減による生産活動停止回避） ：15.0~30.0億円/年	・北極域生態系モデルに基づく中長期的な水産資源確保（国内産サケ、輸入魚全般（米国産輸入サケを除く）） ・北極域水産資源の生物濃縮状況（マイクロプラスチック等）把握に基づく安全性確保による水産加工業損失回避（ニシン卵、サバ等） ・北極域の海洋酸性化等の影響を考慮した水産資源管理と適切な対策による持続可能な水産資源利用（カニ等） ・伝統的な漁業により生計を立てている現地住民の生活安全確保 ・水産資源を捕食する高次生物（クジラ等）の保護
直接効果	生物資源利用	・北極海で分解可能な生分解性プラスチック開発（漁具等） ：11.6~34.1億円/年	・細胞保存方法の高度化 ・不凍剤の代替製剤の開発 ・バイオマスエタノールの製造高効率化 ・研究試薬等の新規開発 ・北極評議会への貢献
直接効果	資源・エネルギー	－	・海洋構造物の強度等に起因する事故及び海洋構造物からの輸送時の事故の減少 ・洋上生産オペレーションの最適化 ・適切な経済性判断に基づく風力発電所の建設 ・北極域の資源開発リスクと採算性評価による開発の促進（資源国との国際協力による調査の実施）
間接効果	産業	・北極海航路航行船受注・氷海航行用舶用機器売上増加 ：13.3～29.0億円/年 【参考】北極域研究船建造によるメーカ・ベンダ売上(波及効果)190億円(建造時のみ)	・北極海航行船のメンテナンス費用削減 ・北極海航行船の海難事故回避 ・船舶規則策定への貢献
間接効果	人材育成	・我が国の北極関連研究の総論文数：年平均約292件（現状より97件の増加） ・研究人材の増加：300人（運用期間累計）	・将来増加する北極航航行需要に対応した極水域船員養成（約10名/年以上）
間接効果	その他	－	・Citizen Science、商業コンテンツ利用により、北極域の魅力・課題がより市民に身近となる教育、普及効果 ・遠隔操船や乗船体験（アバター利用等）の提供により、リモート・オペレーションやバーチャル観光の技術開発貢献（市民・民間参加型プラットフォームとして活用）

Copyright (C) Mitsubishi Research Institute, Inc.

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

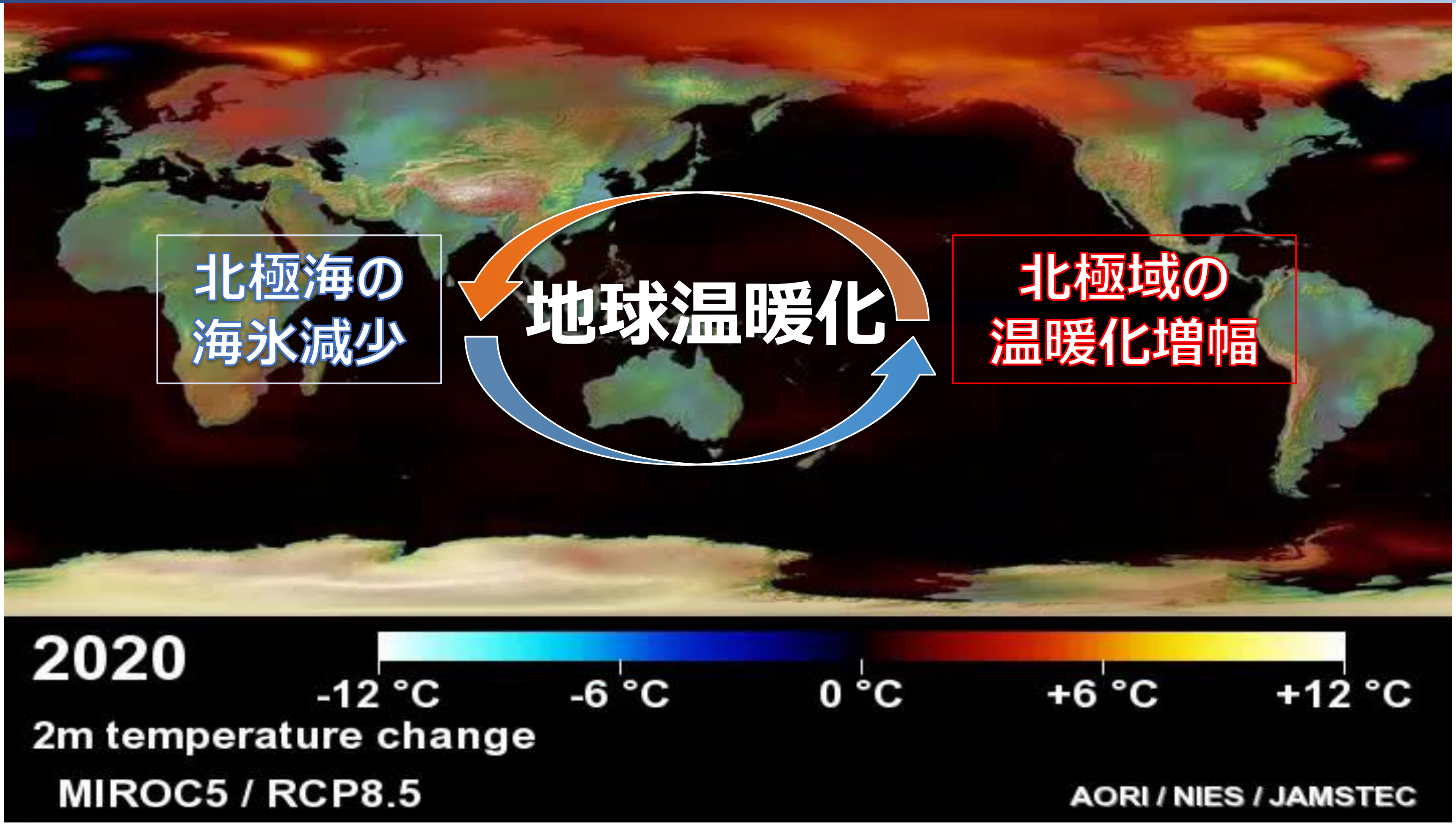
令和3年1月29日
海洋開発分科会

参考資料２－３

JAMSTECにおいて検討中の北極域研究船の概要

海洋研究開発機構
北極域研究船準備室

21世紀中における世界平均地上気温の変化



北極域は温暖化の進行が激しい

- ◆ 「地球シミュレータ」によるIPCC第5次評価報告書に向けて実施された将来気候変動予測における地上気温変化のシミュレーション結果。使用した気候モデルは海洋研究開発機構、東京大学大気海洋研究所、国立環境研究所により共同開発された気候モデル「MIROC5」
- ◆ 将来の温室効果ガス濃度や大気汚染物質排出量は、RCPシナリオ（代表的濃度経路シナリオ）のうち、温暖化抑制策を講じることをせず、温暖化が最も進む場合に相当するRCP8.5シナリオに基づく。

北極域研究（北極海観測）の重要性

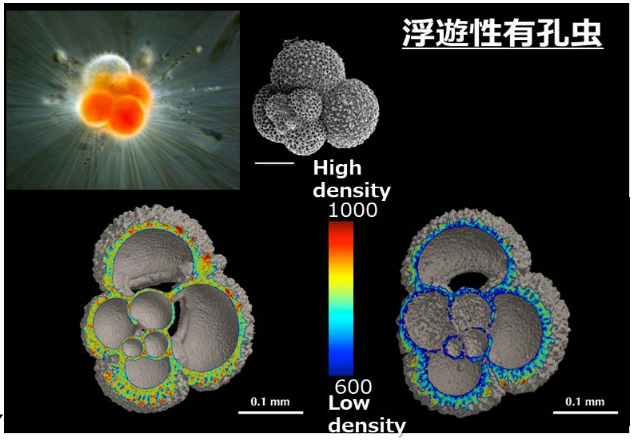
- □ 北極域は、地球温暖化に対して極めて敏感に応答している。
- □ 北極域の環境変化は、予測を上回る速さで進行している。
- □ 北極域の環境・気候変化は、様々な課題に対して大きな影響を及ぼしている。

  我が国を含む全球気候変動に対するフィードバック、生態系の変化、北極海航路の利活用、生活や社会活動への影響など

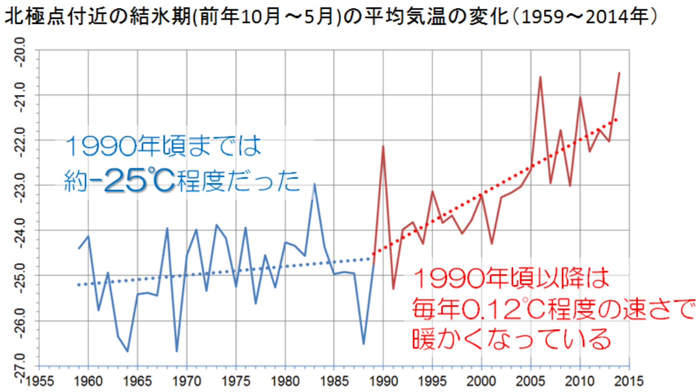
- □ 北極域の環境変動は、このあと他の地域・海域で起きる環境変化に先駆けて起きている可能性がある。

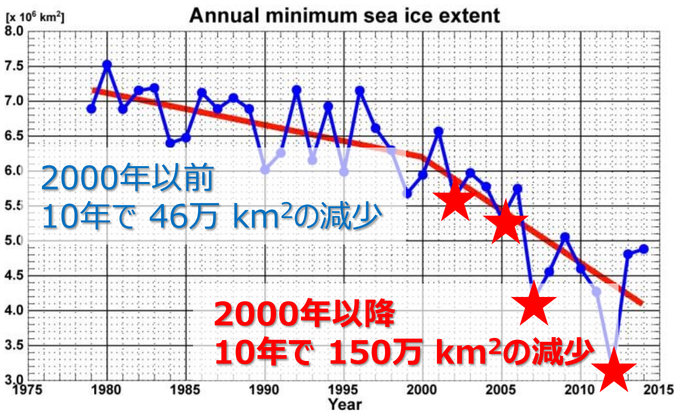
  例えば、海洋酸性化の進行、海洋（水産）生物移動など

炭酸カルシウムの殻をもつ微生物（～200μm)を断層撮影し、殻の密度を精密に計測。青が密度が低い部分、赤が密度が高い部分酸性化した海の物は殻が薄い。



北極海観測は、正確な現状把握と将来予測の精緻化にとって必須





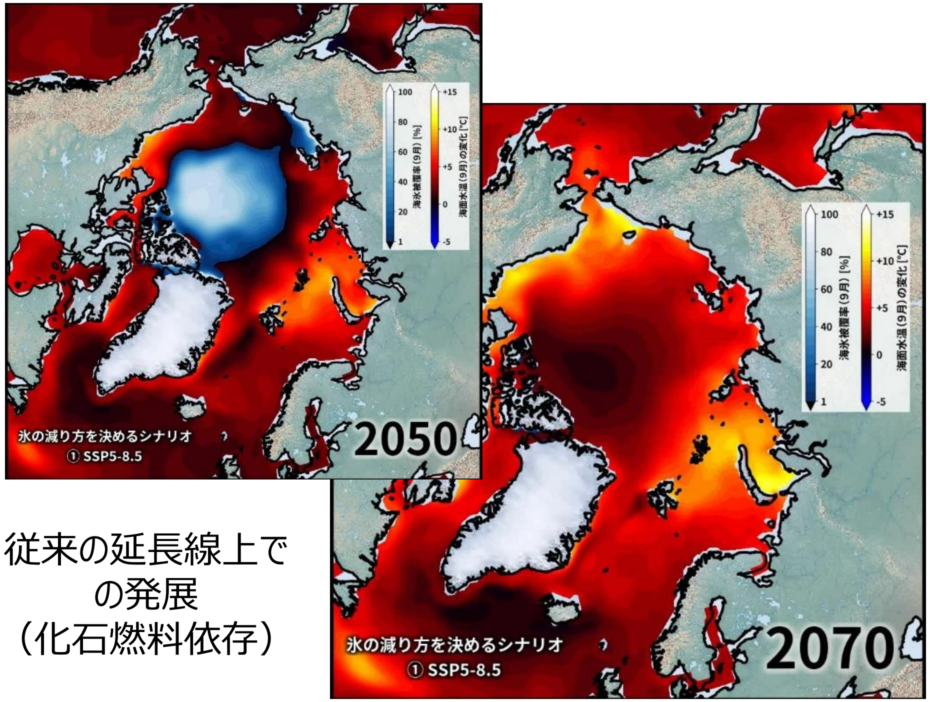
IPCC第6次報告書向けの最新の海氷予測

海氷減少とは、いわば「**蓋**」がなくなっていくこと。これが、

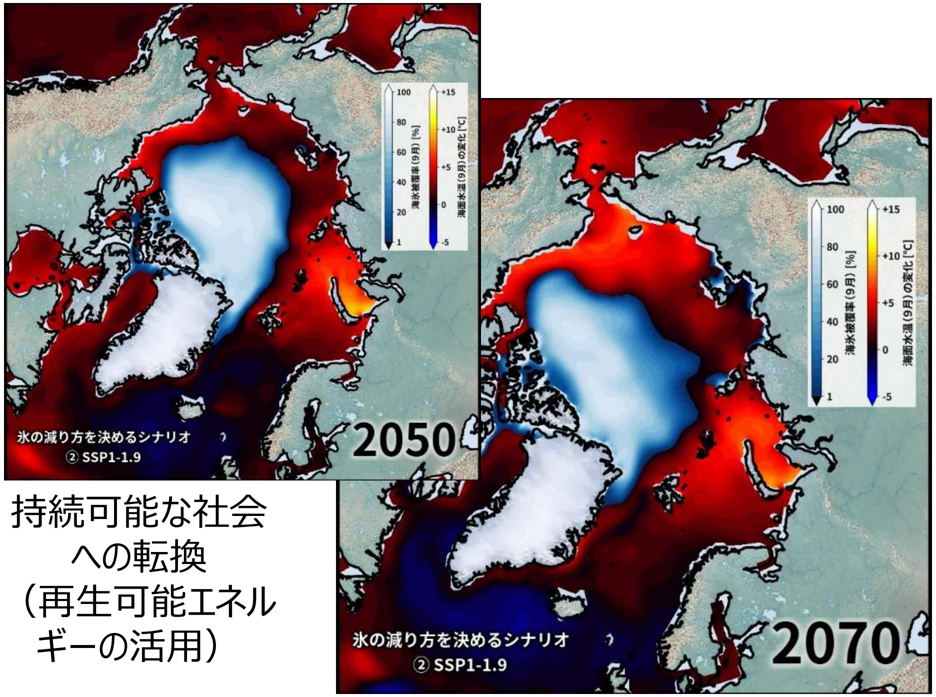
- これまで誰も知らない**科学的な現象（酸性化など）が進行（後述）**
- 豪雪など我が国を含む**中緯度域にも影響（後述）**
- 北極海航路や資源開発などの**経済的な可能性**

をもたらしている。

北極の環境変動は北極圏国だけの問題ではない



従来の延長線上での発展（化石燃料依存）



持続可能な社会への転換（再生可能エネルギーの活用）

ただし、長期の海氷予測の精度は必ずしも高くない

- このシミュレーションは、海洋研究開発機構、東大大気海洋研究所、国立環境研究所が「地球シミュレータ」を用いて実施したIPCC第6次評価報告書に向けた温暖化予測実験（CMIP6）による結果。
- 文部科学省委託事業である「統合的気候モデル高度化研究プログラム」の一環として実施。

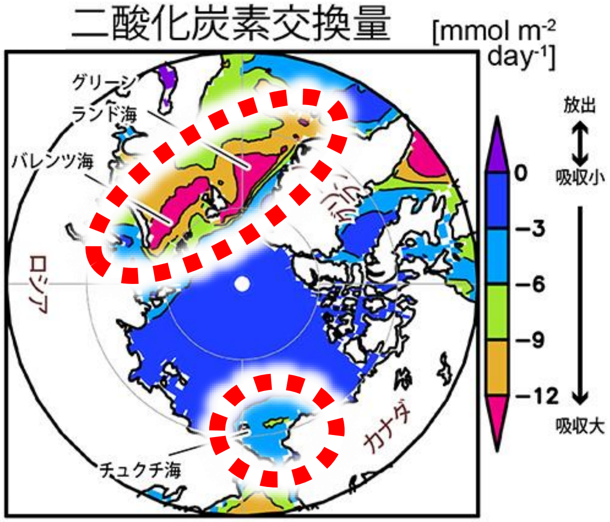
「みらい」による北極海観測実績

回数	年度	出港	出港地	入港	入港地	航海日数	備考
1	1998	7/31	八戸	8/31	ﾀﾞｯﾁﾊｰﾊﾞｰ	32日間	
2	1999	8/25	八戸	10/3	釧路	40日間	
3	2000	8/27	ビクトリア	10/3	ﾀﾞｯﾁﾊｰﾊﾞｰ	38日間	
4	2002	7/25	八戸	10/1	ﾀﾞｯﾁﾊｰﾊﾞｰ	38日間	
5	2004	9/1	ﾀﾞｯﾁﾊｰﾊﾞｰ	10/12	ﾀﾞｯﾁﾊｰﾊﾞｰ	42日間	
6	2006	8/28	ﾀﾞｯﾁﾊｰﾊﾞｰ	9/19	ﾀﾞｯﾁﾊｰﾊﾞｰ	23日間	
7	2008	8/20	ﾀﾞｯﾁﾊｰﾊﾞｰ	10/9	ﾀﾞｯﾁﾊｰﾊﾞｰ	51日間	
8	2009	9/7	ﾀﾞｯﾁﾊｰﾊﾞｰ	10/16	ﾀﾞｯﾁﾊｰﾊﾞｰ	40日間	
9	2010	9/2	ﾀﾞｯﾁﾊｰﾊﾞｰ	10/16	ﾀﾞｯﾁﾊｰﾊﾞｰ	45日間	北緯79度まで到達
10	2012	9/4	八戸	10/16	八戸	43日間	GRENEで実施
11	2013	8/28	ﾀﾞｯﾁﾊｰﾊﾞｰ	10/7	ﾀﾞｯﾁﾊｰﾊﾞｰ	41日間	
12	2014	8/31	ﾀﾞｯﾁﾊｰﾊﾞｰ	10/10	横浜	41日間	
13	2015	8/26	八戸	10/21	八戸	57日間	
14	2016	8/22	八戸	10/5	八戸	45日間	ArCSで実施
15	2017	8/23	ﾀﾞｯﾁﾊｰﾊﾞｰ	10/1	八戸	40日間	ArCSで実施
16	2018	10/25	八戸	12/7	清水	45日間	ArCSで実施
17	2019	9/27	関根浜	11/10	八戸	45日間	ArCSで実施
18	2020	9/19	清水	11/2	清水	45日間	ArCSⅡで実施

海洋地球研究船「みらい」
Class IA （PC7）相当の耐氷船

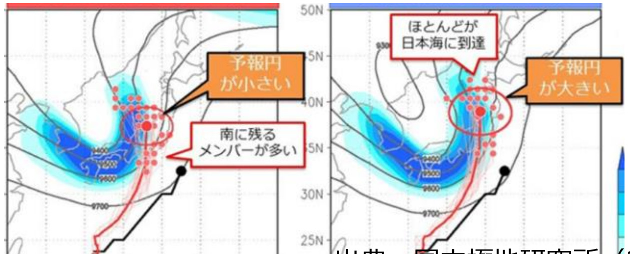
- 「みらい」による多項目・高精度観測は国際的に高い評価を得ており、「みらい」の観測レベルを維持することは極めて重要
- 我が国の北極研究において、北極海観測を実施すための研究船は重要な研究基盤であり、運航費の安定的な確保が必須

「みらい」による観測が貢献した気候・気象への影響の発見



北極海の**面積は海全体の約3%**に過ぎないが、そのCO_2吸収量は、海全体が1年に**吸収するCO_2の10%**にあたることがわかった

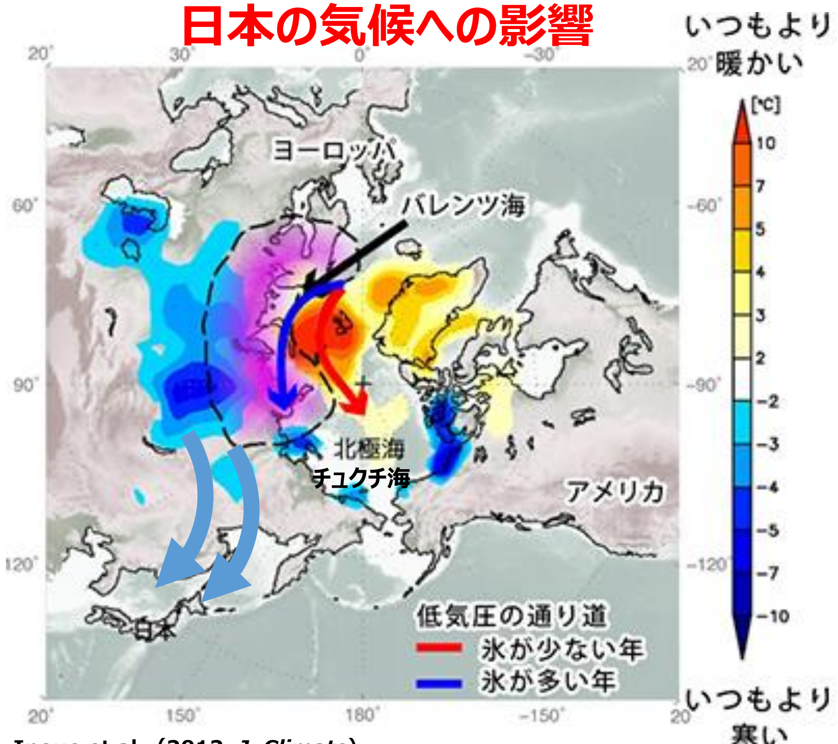
北極域の気象観測で**台風の進路予測が向上**



出典：国立極地研究所（2018年）

2016年台風10号の進路予報において、北極域の気象観測データを加えたもの（左）は、加えていないもの（右）に比べ、実際の進路（黒線）に近い予報結果（赤点）が多く、ばらつきが小さい。しかしながら、依然、予測と実態には隔たりがある状況。

海氷減少がもたらす北極温暖化と大陸寒冷化、**日本の気候への影響**

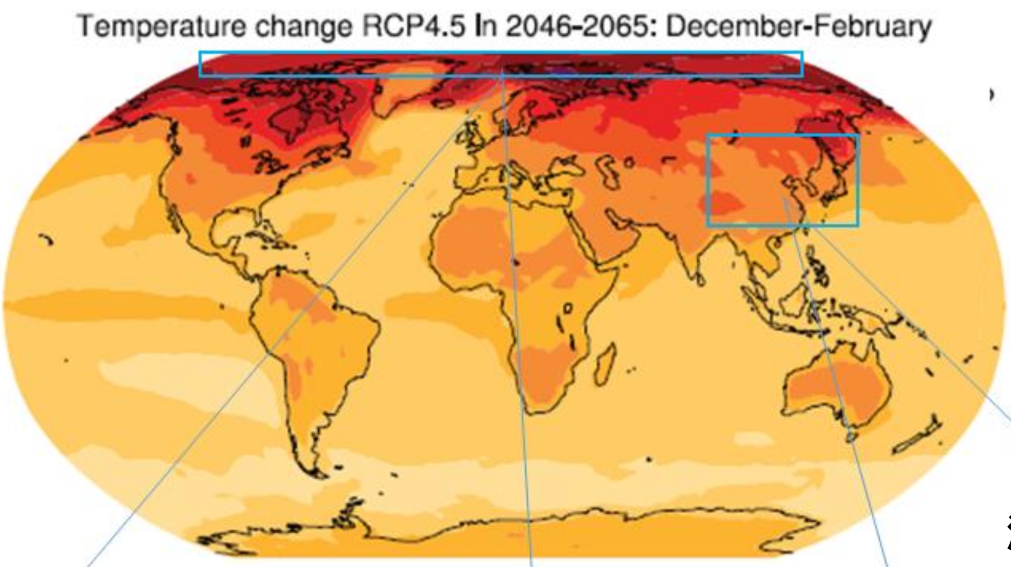


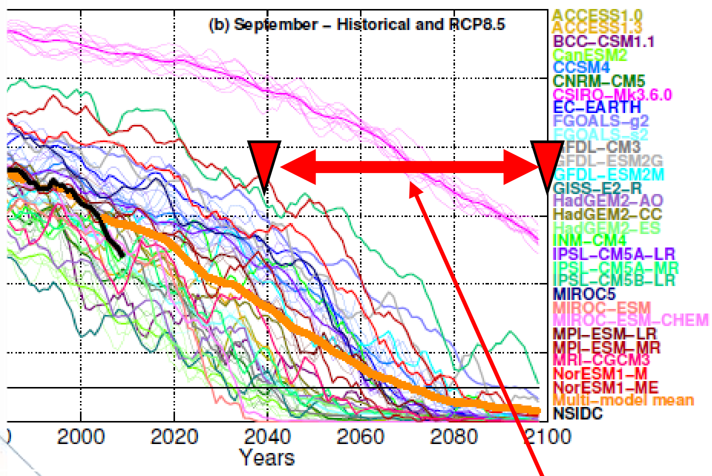
Inoue et al.（2012, *J. Climate*）

- ◆ 海氷が多い年は大陸側を進んでいた低気圧のコースが、海氷の減少によって北極海側に移動
- ◆ 低気圧が北（青矢印→赤矢印）にずれることで、北極海に暖気が入り温暖化する一方で、大陸側はシベリア高気圧が拡大し、日本に寒冬と豪雪をもたらす。

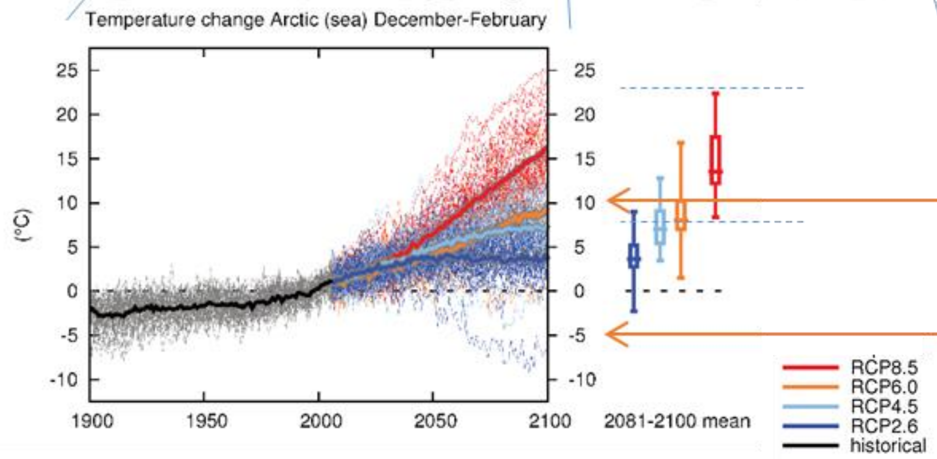
氷に覆われた海域での観測データが必要だということが分かってきた。

北極海域は、温暖化予測精度の不確実性が高い

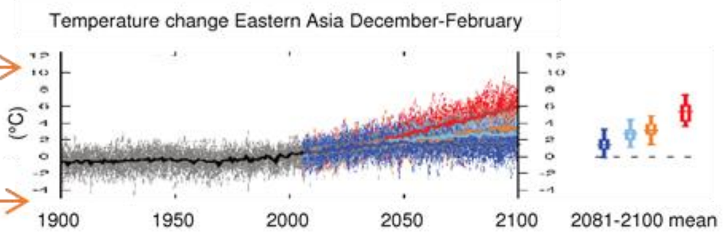




海氷がゼロになる時期には<u>60年近くの幅</u>がある。平均は現実の過去変動に近いが、近年は減少を過小評価しているように見える。



北極海域での温度変化予測



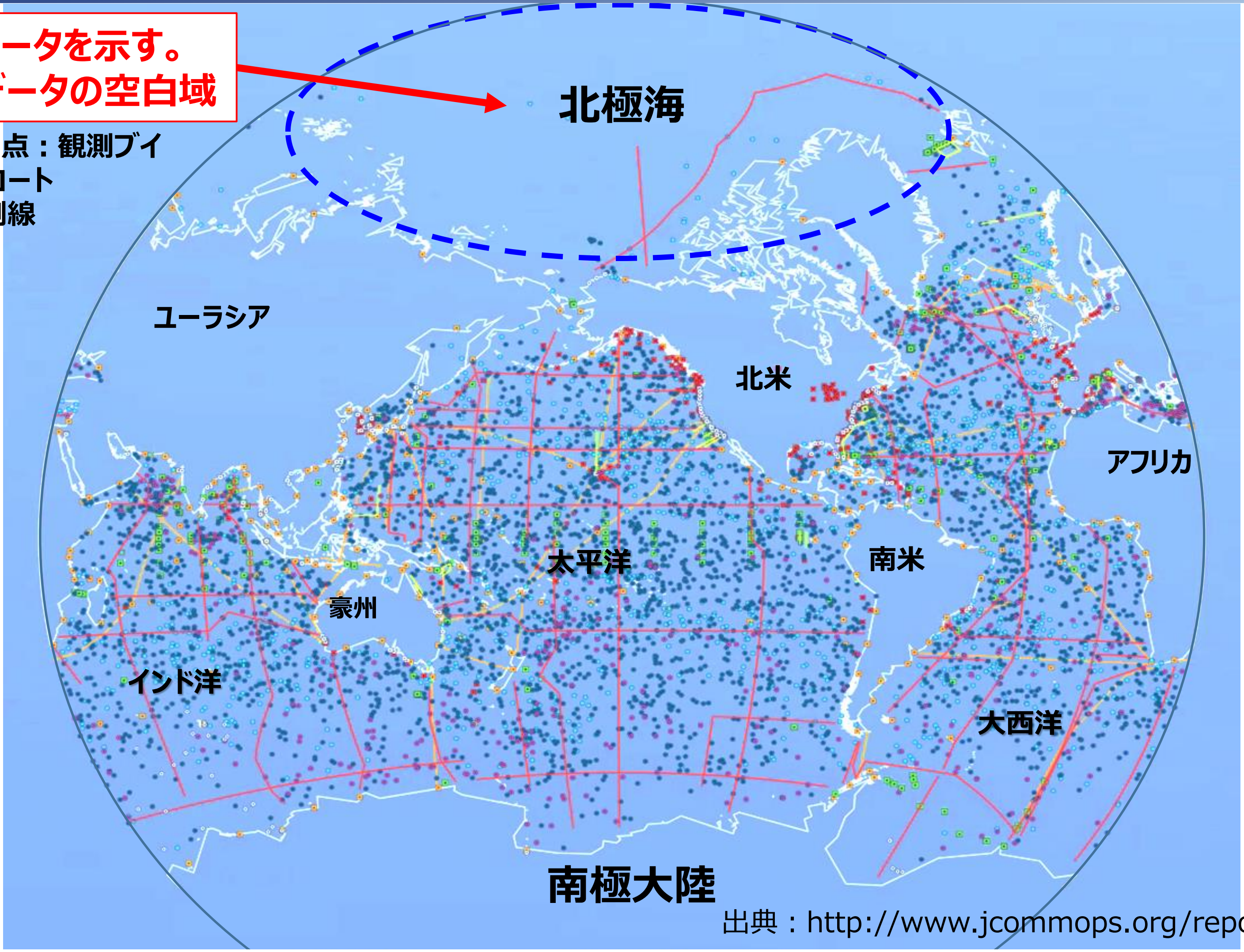
東アジア域での温度変化予測

例えば、シナリオRCP8.5のケースを見ると、東アジア域での冬季温度変化予測の幅がおおよそ4～8℃であるのに対し、北極海域ではおおよそ8～23℃と３倍以上の振れ幅となっている。

氷に覆われた海域での観測データが鍵（全球観測網の空白域）

点や線は観測データを示す。
北極海は観測データの空白域

・水色、赤色、緑色の点：観測ブイ
・青色の点：観測フロート
・線：船舶による観測線



出典：http://www.jcommops.org/reportcard2019/

◆ 北極海は、中緯度海域や南極海と比較して**圧倒的に観測データ網が未整備な状態。**特に**海洋内部の実態把握、温暖化による影響が不明であり、海氷の物性に関する知見も不十分**

◆ 北極海は、**船舶が主要な観測手段**となっているにもかかわらず、「みらい」は耐氷船であり、我が国は**海氷域の現場観測手段を有してない。**

JAMSTECにおける北極域研究船の推進

国による政策的位置づけ

我が国の北極政策
（海本部、H27年10月）

今後の北極域研究船の
在り方の検討結果について
（文科省、H29年1月）

※ほか、第3期海洋基本計画（H30年5月）など

北極域研究船のイメージ
（現時点）

調査検討
（H29年度）

↓

性能評価
（H30年度）

↓

氷海航行支援システムの構築
（R1年度）

→

基本設計・マネージメント・オペレーションデザイン
（R2年度）

→

建造着手
（R3年度～）
総建造費：335億円
建造期間：５年程度

※R8年度（2026年度）就航予定

検討中の北極域研究船の概要

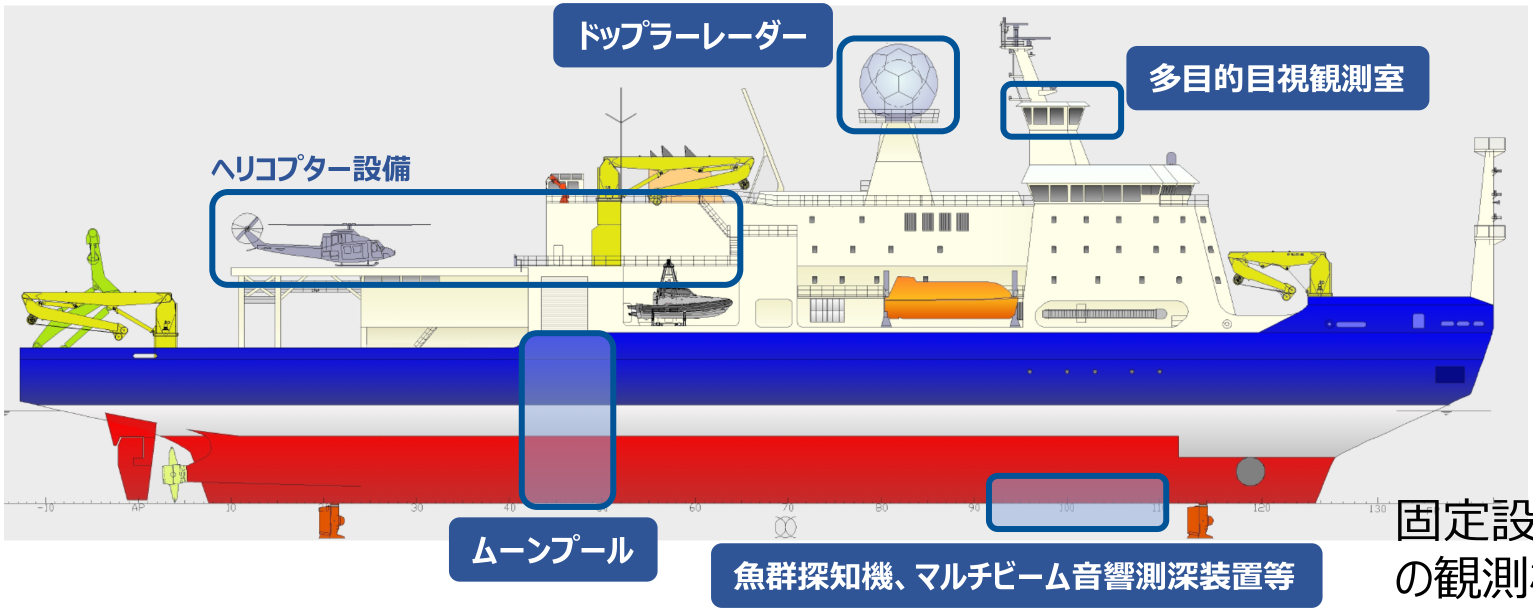
○北極域研究船の主要要件

- □「みらい」レベルの観測が可能な**観測設備と科学魚群探知機等の新たな設備**の搭載
- □海氷域における必要十分な**砕氷・耐氷性能と通常海域を含む観測性能を両立**するための船型
- □安全性かつ効率的な運航に資する**先進的な氷海航行支援システム**の搭載
- □**デュアルフューエル機関**の採用による環境負荷低減、低燃費の工夫
- □十分な定点保持機能と効率的な推進システム
- □ROV、AUV等の**無人探査機器の運用**
- □安全確保、海氷等観測用の**ヘリコプターの運用機能**
- □十分なラボスペース、優れたネットワーク等の世界レベルの**研究・分析環境**
- □国際プラットフォームとして、**ユニバーサルな居住環境**の実現
- □豪雨等による**自然災害発生時の被災地支援対応**

北極域研究船の想定要目 （）内は「みらい」

全長	128m（128.5m）
幅	23m（19m）
深さ	12.4m（10.5m）
喫水	8m（6.9m）
国際総トン数	13,000トン（8,706トン）
砕氷能力	3.0ktにおいて平坦1年氷 1.2 m（－）
耐氷能力	PC4相当（PC7相当）
乗員	99名（80名）

主な観測設備



「みらい」ドップラーレーダー

固定設備のほか、可搬型の観測機器も搭載可能

✓ **主な観測設備**

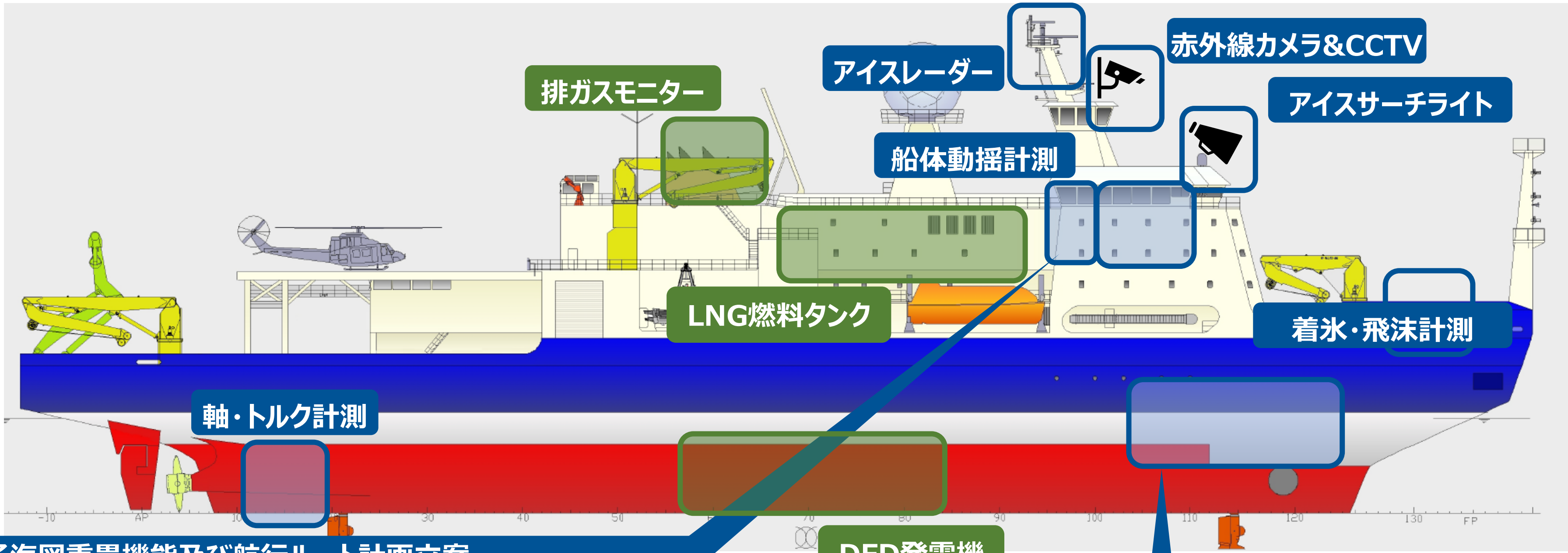
海中・海底探査	：	**マルチビーム音響測深装置、多層式流向流速計、サブボトムプロファイラー、CTD、XBT/XCTD、ディープ・トウ、係留系、重力計、磁力計　等**
試料採取	：	**ピストンコアラー、プランクトンネット、曳航式マルチネット、セディメントトラップ　等**
気象観測	：	**ドップラーレーダー、アイスレーダー、ラジオゾンデ、風向風速計、温湿度計、気圧計、雨量計、ディスドロメータ、放射計、アルベド計、放射水温計、波高計、シーロメータ、水蒸気量観測装置、アイスレーダ、気象衛星受画装置　等**
「みらい」＋αの観測設備	：	**計量魚群探知機、クリーン採水、無人探査機（ROV・AUV）、ヘリコプター搭載設備、ムーンプール、EM氷厚計、多目的目視観測室　等**

✓ **氷海域での観測可能**　：　**連続砕氷可能、ムーンプールにより室内でのCTD観測等を実現**

※観測設備はJAMSTEC他船との共通化も意識する
※搭載する機器・設備は今後変更の可能性がある

氷海航行の安全性と環境に配慮した設備

氷海域における安全かつ効率的な航行に資する「氷海航行支援システム」の実装と、脆弱な北極域の環境に配慮した舶用燃料油とLNG（液化天然ガス）との混合燃料による発電機関の搭載



DFD発電機

船体構造応答モニタリングシステム
（氷の荷重等を計測）

電子海図重畳機能及び航行ルート計画立案
統合型船橋システム（機関・操船統合監視）
海氷予報システム
高度通信システム
情報監視システム
（陸上監視）

デュアルフューエル（DFD）
発電機関イメージ
（出典：IHI原動機）

※搭載する機器・設備は今後変更の可能性がある

北極海における観測活動（イメージ）

北極域研究船の活用と運用体制の在り方

北極域研究の国際的プラットフォーム

例）我が国のリードによる北極海広域観測計画の立案実行

北極海航路の利活用に係る環境整備

例）「氷海航行支援システム」の構築と汎用化

国際枠組みやルール形成への関与

例）中央北極海漁業規制協定に係る科学的調査への参画

さらなる基盤として

氷海船舶建造技術
研究者・技術者・船員教育
市民参加型航海
極域のコンテンツ化

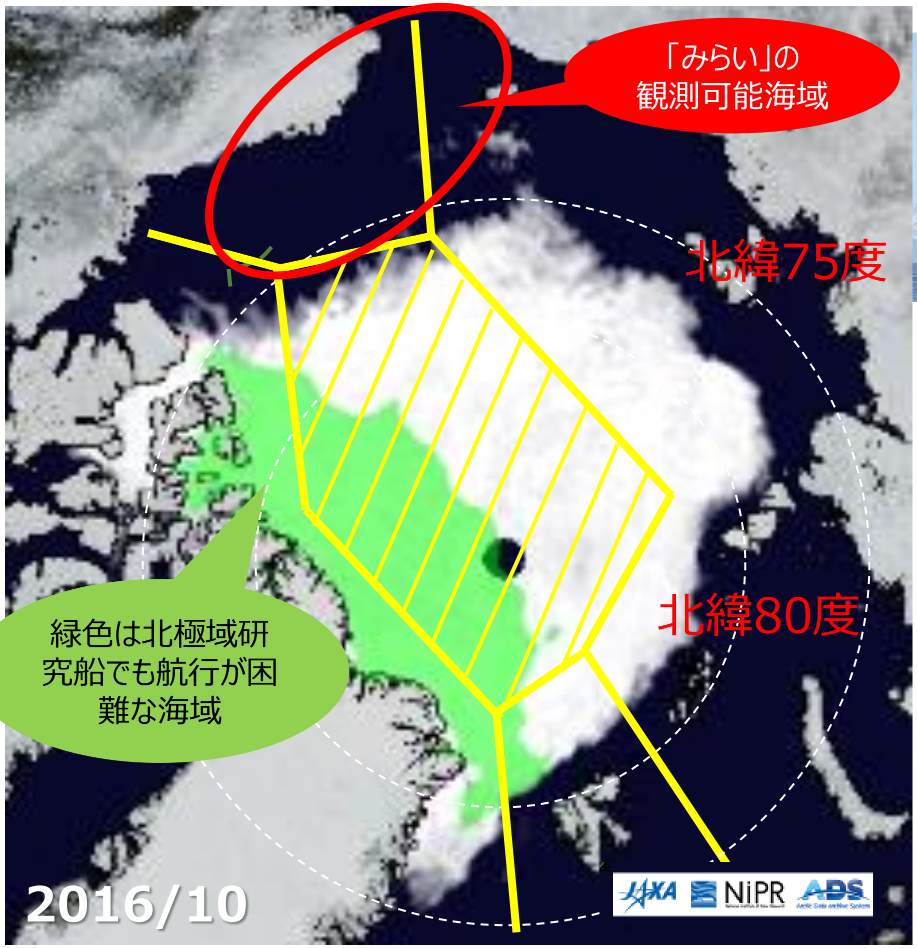
我が国全体（産学官民）で活用できるオープンな運用体制を実現
⇒具体的な連携先（特に産業界）の開拓と早期の協力開始
⇒我が国の北極域研究コミュニティ（JCAR等）との連携

https://www.jcar.org/planning/

各国連携による国際観測プロジェクト（イメージ）

我が国に影響を与える北極海の観測空白域を解消し、他の海域のように継続的な観測を可能とするため、我が国が主導し、海域や時期（季節）を分担した大気・気象・海洋（物理・化学・生物）・海象（海氷・波浪）に関する国際基準に則った統合的高精度観測研究を提案・実行

北極域研究船（日本）



国際北極海統合的観測（案）　黄：観測測線例

研究コミュニティとの連携による先進的な研究テーマの検討

- 北極域研究船は、開かれた国際プラットフォームとして、各国との連携もと、世界の北極観測研究をリードしていく必要
- そのためには、我が国が先進的な研究テーマを提案できることが不可欠であり、我が国の北極域研究を代表するコミュニティである「北極環境研究コンソーシアム」（JCAR）と連携し、北極域研究船で実施すべき研究テーマや利用計画を検討
- 具体的には、JCARに「北極域研究船利用計画ワーキンググループ」を設置し、就航後10年程度を見え据えた具体的な利用計画と5年程度の観測計画を検討。その一環として、令和2年6月にはオープンな議論の場として「北極域研究船利用計画ワークショップ」を開催
- ワーキンググループでは、それらの議論の結果も踏まえ、利用計画と観測計画を策定。利用計画の項目建ては以下の通り。
  - 利用計画の背景と趣旨
  - 北極域研究船による研究意義
  - 北極域研究船により推進される研究（12テーマ）
    →激変する北極域と我が国の影響を把握し、高精度な将来予測の実現
    →理学だけではなく、工学や人文社会科学も含めた横断的かつ総合的な研究テーマ
  - 北極域研究船による波及効果（3つの効果）
  - 付録として観測計画イメージ（本説明資料にも抜粋して掲載）
- 利用計画は、令和2年10月に、JCARのウェブサイト等で公表。今後も引き続きJCARと連携し、北極域研究の進展に合わせて研究テーマや観測計画をアップデートしていくなどの準備を継続

公表ウェブサイト　https://www.jcar.org/planning/arcship/

研究コミュニティとの連携による先進的な研究テーマの検討

	研究テーマ	意義
1	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
2	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
3	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）
4	海洋生態系・生物生産	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）
		北極海におけるプラスチックの実態把握と海洋生態系への影響評価
5	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
		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）

研究コミュニティとの連携による先進的な研究テーマの検討

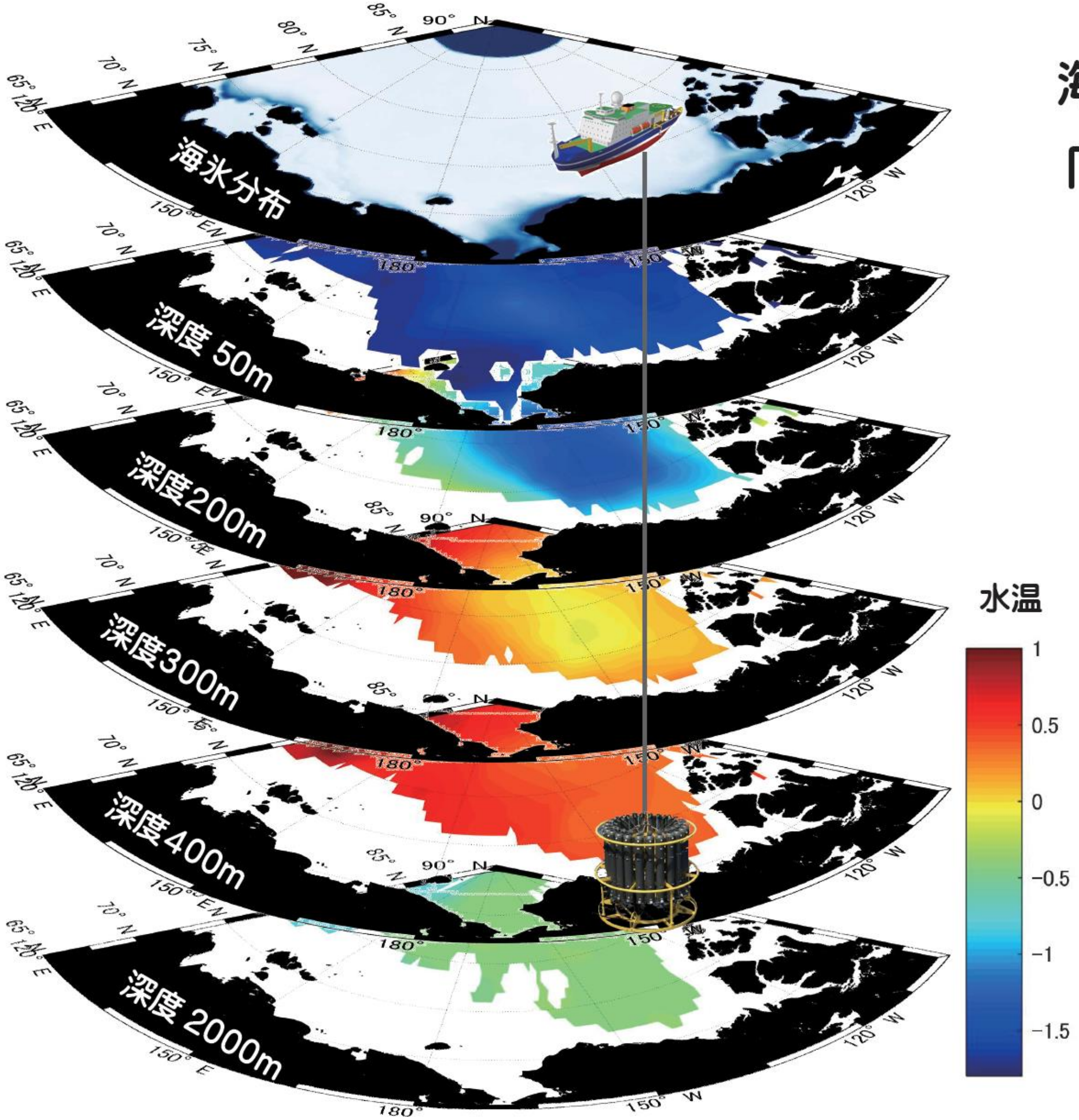
	研究テーマ	意義
6	数値モデル	短期（数日スケール）から中長期（季節、数十年スケール）に至るシームレスかつ高精度な海氷予測の実現
		地球システムモデルの再現性の向上
7	古海洋	過去の海氷分布・氷床分布の復元制度の向上
		北極海形成過程の推定
		古環境・古気候研究の進展と将来の大規模掘削に向けた事前調査
8	テクトニクス	海底地形図の精度の向上
		海氷下を含む北極海海底下内部構造の探査
		海氷下海底広大軸上の熱水系の探査
9	船舶海洋工学・舶用機関学	波浪、海象、海氷、海水飛沫、船体着氷等、画像を中心とした周辺環境の自動観測技術の確立
		船体運動、船体構造応答、機関などの高精度自動計測技術の確立
		氷海船舶技術の高度化や一般舶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
10	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事従事者の育成
11	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氷域の水平方向・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
12	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
－	波及効果	我が国が主導した国際的な観測研究プロジェクトの立案・実行や、砕氷研究船の国際運用枠組みへの参画による国際プレゼンスの向上に貢献
		北極域研究（者）の裾野の拡大、学術研究の発展、若手研究者・技術者の育成
		（北）極海のコンテンツ化や市民参加型航海の実現によるアウトリーチ、リテラシー向上、認知度向上

観測研究テーマ例①

北極海の季節変動観測

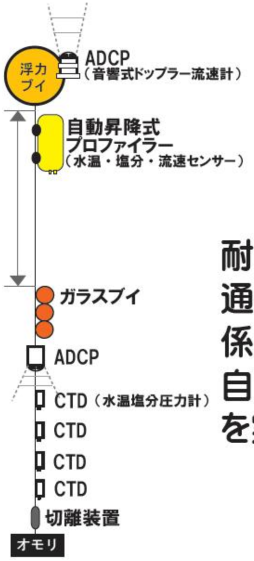
冬季春季の海氷ー海洋システムの実態を理解するための実観測データが圧倒的に不足

海氷激減･大気ー海氷ー海洋相互作用の核心領域を砕氷船観測で射抜く



海氷に覆われる冬季・春季北極海の

「海洋内部」の実態を明らかにする



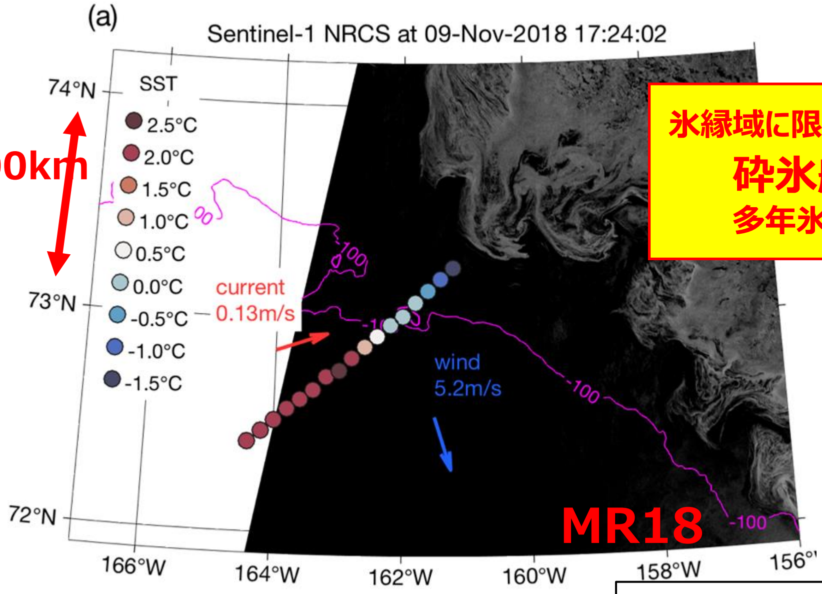
耐氷船では投入不可能な海域で
通常の観測に加えて、
係留系による時系列観測
自立無人潜水機による広範囲の観測
を実施

観測・シミュレーションの融合研究

海氷・気象・温暖化予測の精度向上へ

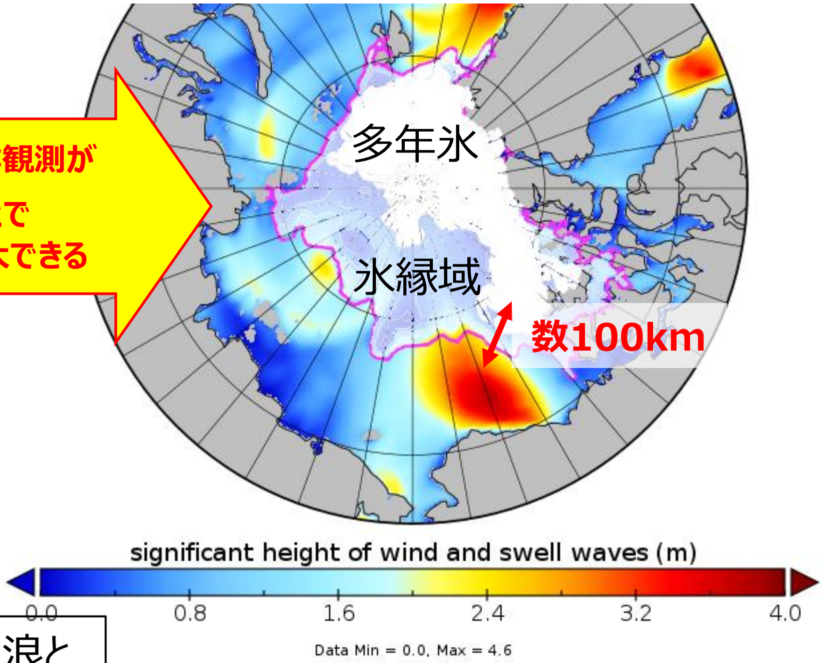
観測研究テーマ例②

氷縁域から多年氷域の波浪と海氷の同時観測



海氷・波浪識別レーダー

氷縁域に限定した波浪海洋観測が
砕氷船 を用いることで
多年氷域へ大幅に拡大できる



結氷期から融解期の波浪と海氷の相互作用の解明

- 波浪による氷盤の破壊
- はす葉氷の形成
- 氷盤サイズの分布と波浪スペクトルの相関
- 波浪による海洋混合

↓

- ◆ 北極航路の安全
- ◆ 沿岸域の保全
- ◆ 極域の気候変動・変化

ステレオカメラ
可視光・赤外

海氷下の波浪の伝搬

氷盤設置波浪計
水温プロファイル
乱流計測

ドローン、
ヘリコプター、
無人機空撮

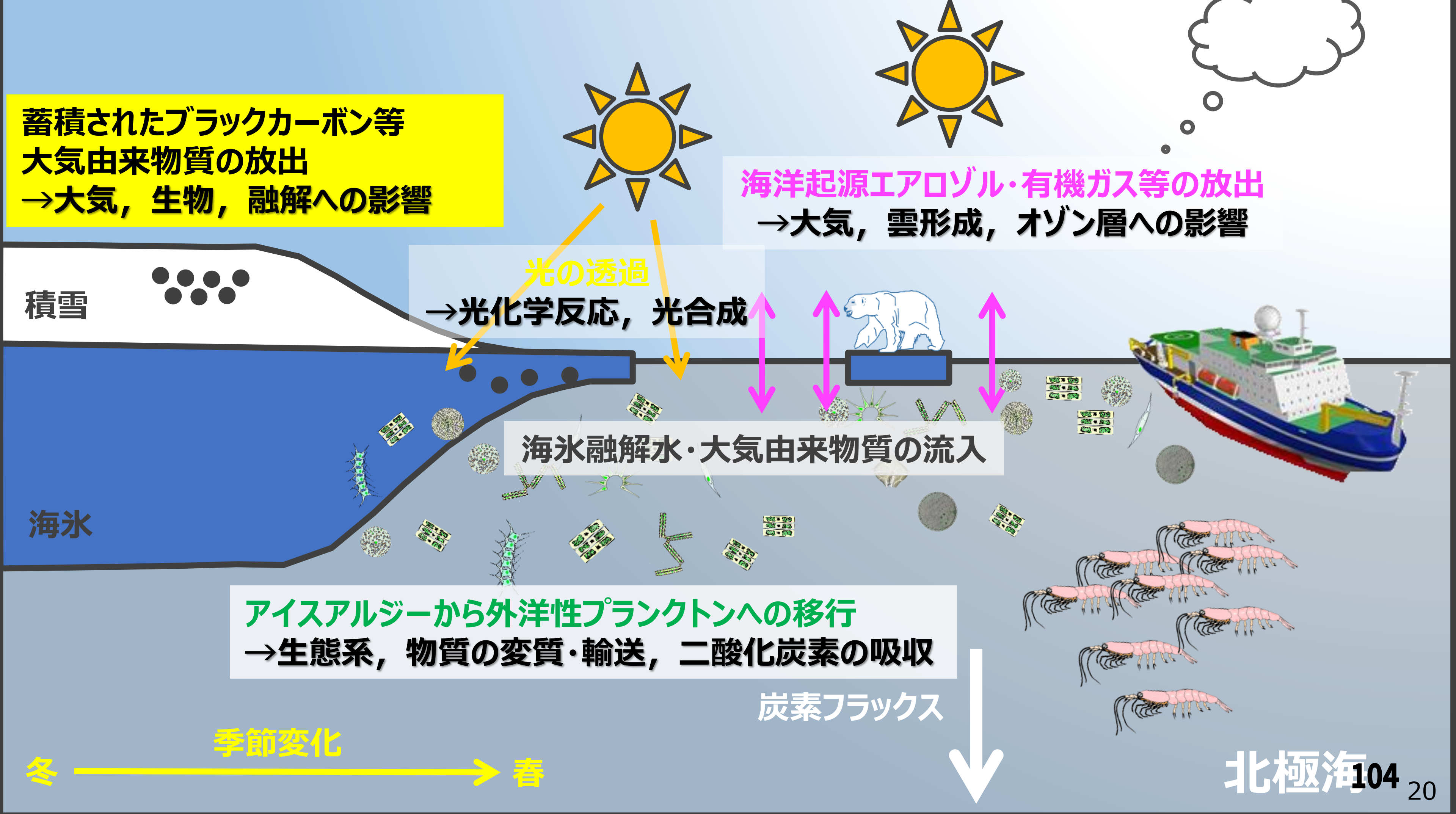
無人自律
観測機器

観測研究テーマ例③ Polar Morning（4月～6月）

物質循環・生物生産において劇的な変化が起きる時期

大気-積雪-海氷-海水-海底：フラックス観測により，変化を定量的にとらえる

＊氷上観測（氷上大気観測タワー，海氷コア採取，フラックス測定）
＊海洋観測（海上大気観測，海水中生物・化学物質分析，短期係留観測）
＊海底観測（堆積物コア採取，フラックス測定）



気候モデルによる海氷予測精度向上を目指した北極海縦断観測

季節海氷域から多年氷域までシームレスに縦断するような国際連携航海を実施

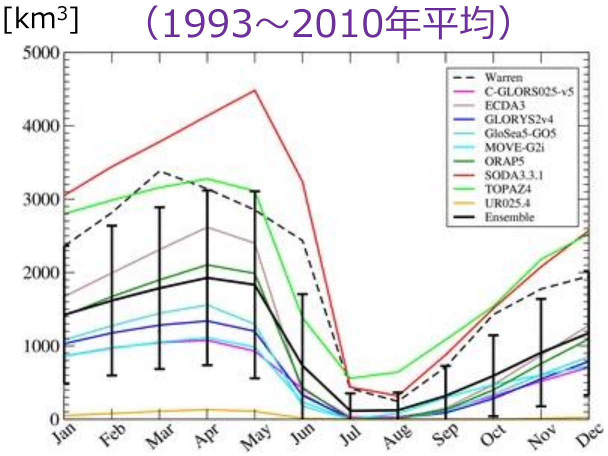
[AOS94]

USCGC Polar Sea
CCGS Louis S. St-Laurent

特性が大きく異なる積雪と海氷を区別して観測することが重要

春季のストームイベント期間に数日以上の連続観測ができればオリジナリティが高い雪のデータが得られる

北極海における海氷上の積雪量（1993～2010年平均）



Utolia et al. [2019]

海氷海洋同化プロダクトの不確定性低減も期待される

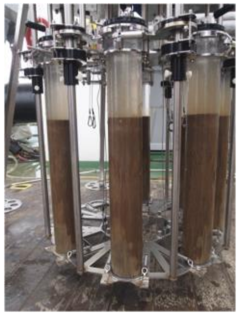
- 積雪＆海氷プロセスの解析研究
- 衛星アルゴリズムの開発＆改良
- 大気再解析データの補正

➢ 海氷を軸とした環境変動の理解
➢ 北極海航路利用計画策定
➢ 将来気候予測の精度向上

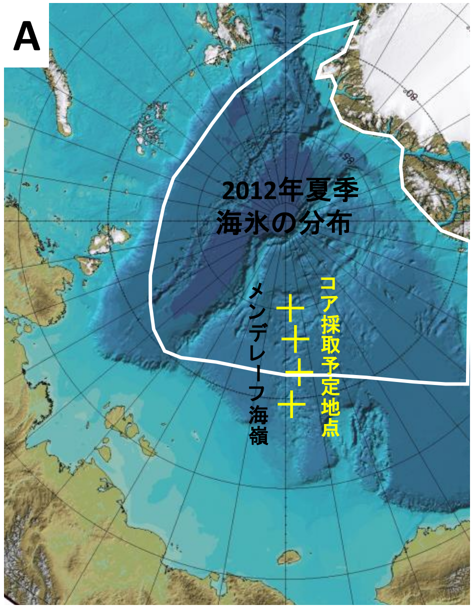
中部北極海の古海洋復元

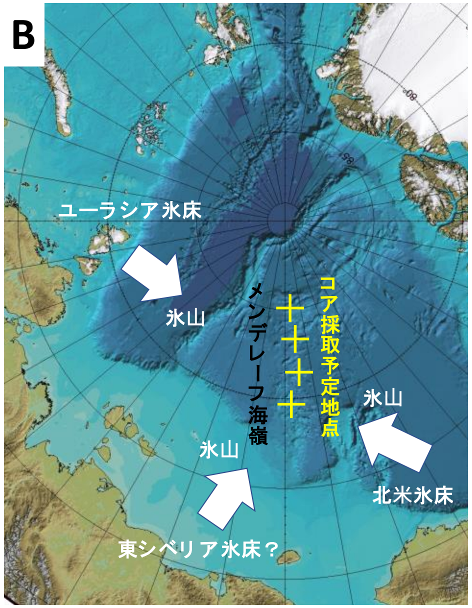
- 温暖期の海氷分布の復元
- 氷床の消長の復元

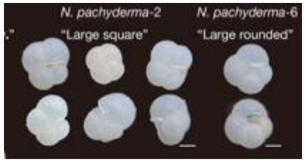
A: 温暖化により北極海夏季海氷分布は縮小している．現在よりも温暖な時代の海氷分布を調べ，異なる温度条件下で，海氷がどこまで退いていたか示す．



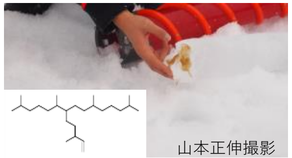
B: 北半球氷床は氷期ごとに異なる．海底コアに残された氷山起源物質の分析により氷床の消長を復元する．







北極海の有孔虫殻化石
（朝日博史，未公表）



アイスアルジと
それに由来するIP25

- 中部北極海メンデレーフ海嶺北緯79度から北緯85度までの範囲で４地点から，堆積物コアを採取する．
- 放射炭素年代，微化石群集組成，有孔虫酸素同位体比，漂流岩屑量，その鉱物組成，バイオマーカーを分析する．

↓

海氷分布の将来予測に役立てる．地球史の理解を深める．

観測研究テーマ例⑥

北極海の構造発達史の解明

わかっていること

○**北極海の各海盆のおおよその形成年代**

→ヨーロッパ側のユーラシア海盆の拡大史は詳細に判明

→アジア側のカナダ海盆の拡大はおおよそ白亜紀と判明

わかっていないこと

○構造的高まりの形成年代や形成プロセス

→ジュラ紀～白亜紀のプルーム活動で形成？

→プルーム活動の継続時間、分布は不確実

→チュクチ海嶺（CR)、ノースウインド海嶺（NR）、アルファーメンデレーエフ海嶺（AR,MR)の形成時期とプルームの影響

どうやって解明するか

○系統的かつ効率的な岩石採取

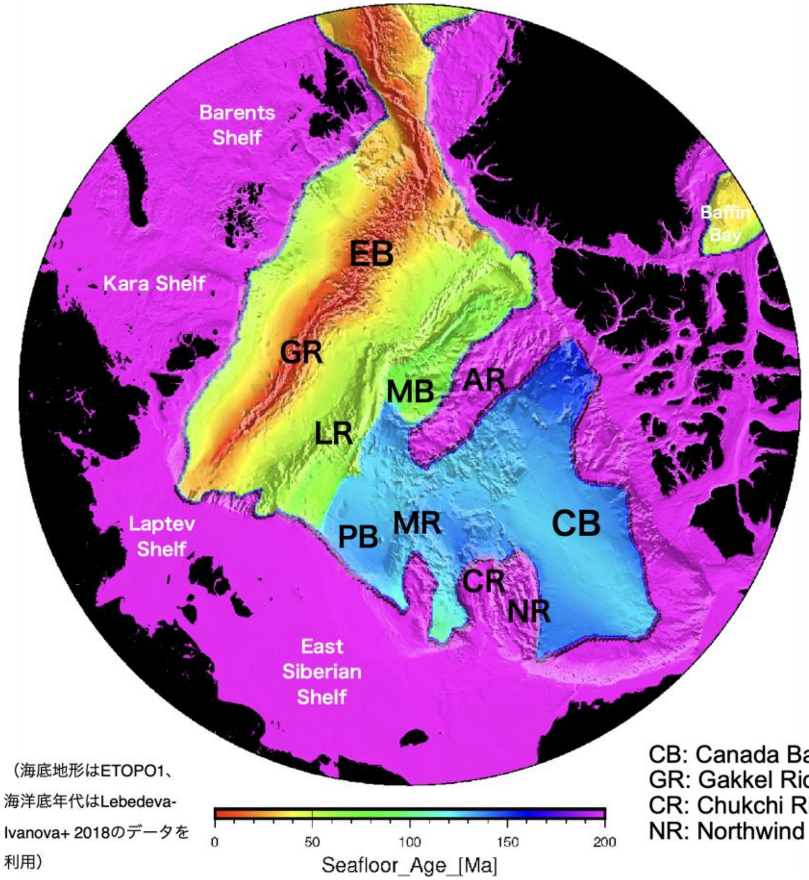
○系統的な地球物理観測（海底地形・地磁気・重力）

→南極周辺を含む、他海域での日本の観測・研究経験を活かす

何につながるか

○北極域の形成過程とそれが環境変動に与える影響

○ジュラ紀～白亜紀にかけての両極を含む構造発達の解明



（海底地形はETOPO1、海洋底年代はLebedeva-Ivanova+ 2018のデータを利用）

CB: Canada Basin
GR: Gakkel Ridge
CR: Chukchi Ridge
NR: Northwind Ridge

・北極域研究の基礎データの提供

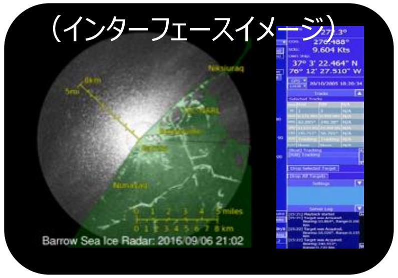
・南極観測や海洋研究で培った我が国の固体地球研究に基づいた極域研究のイニシアチブ

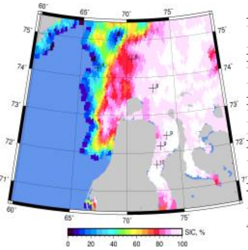
観測研究テーマ例⑦

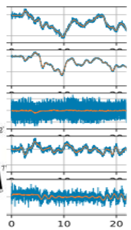
我が国独自の先進的な技術開発による海氷域の統合的観測の実現

北極海海氷域において、網羅的なデータの取得が困難な氷況（分布、氷種、サイズなど）や氷厚、さらには海氷下の物理・化学・生物地球化学・生物学的環境を観測するための先進的な技術開発を実施

（インターフェースイメージ）







海（氷）上観測・測位ドローン

② 電磁測位・氷厚観測技術

目標海氷域まで移動後、目標エリアの電磁場ベクトルマップを作成。海氷厚観測と海氷下観測ドローンの測位を実施

③ 海氷・波浪識別センシング技術

先進的な海氷・波浪レーダーと解析技術の開発による本船から10km程度の海氷分布・サイズ・密接度、波浪・海象のリアルタイムな把握

断続的にビーコンを発信し、氷に微速接近

Sea Ice

ドローン相互で通信し、測位

北極域研究船

調査エリアまで航行・砕氷し、各ドローンを投入（離陸）・回収

最大水深300m

海氷下観測ドローン

全長：2.0m
重量：300kg
深度：300m
速度：1～3kt
距離：30km
観測：CTD、マルチビームソナー、光学カメラ、蛍光光度計等

① 海氷下観測ドローン技術

極低温等を考慮し、取り回しを重視した小型の自律型ドローンを開発し、海氷下や海中の非破壊による調査・モニタリング（画像・映像取得、センサー計測など）の実施

最大15km（往復30km）

観測研究テーマ例⑧ 北極海における船舶運航の安全性と経済性の向上

船舶航行の安全性

○氷海航行の実績は通常海域より少なく、設計にあたってデータが圧倒的に不足している。
○船舶関連データの計測・分析手法自体を開発する必要がある。

→氷況監視・氷荷重計測・機関監視などを行う計測機器を搭載
→多様な氷況において船自身をセンサとした性能データを取得
→海氷のサンプリングにより、機械的特性データを蓄積

船舶航行の経済性

○配船計画では、氷中性能と氷況の関係を正確に把握・予測する必要がある。
○氷況に対する航路選択によって、運航コストが大きく異なる。

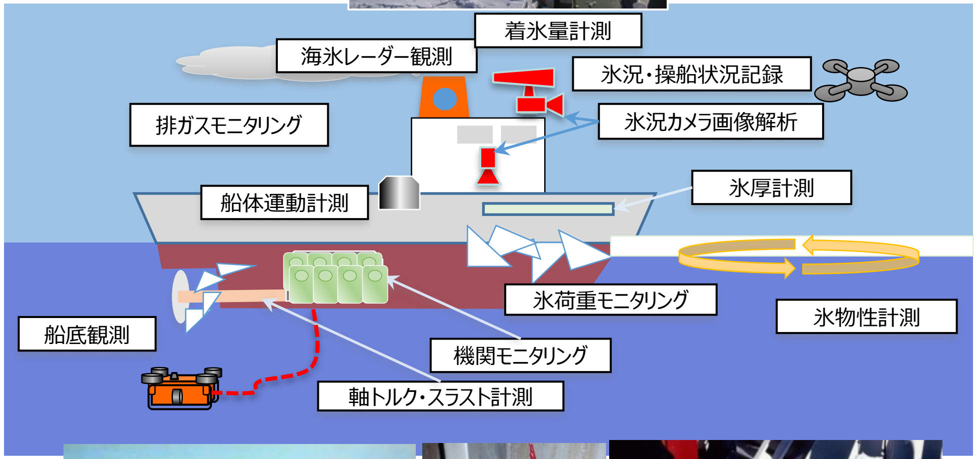
→氷況の変化に対応した氷海航行支援システムの活用
→運航性能推定モデルの高精度化
→船陸または船上におけるデータマネージメントの高度化

氷海運航技術の向上

○氷海航行には寒冷地や規制対応に関する専門知識を備えた人材の育成が不可欠。
○操船技術の不足は安全性・経済性に大きな損失をもたらす。

→高度な運航支援技術及び航海機器の開発と検証
→上級訓練にも対応するトレーニングシップとしての活用
→実用的な極海オペレーションマニュアルの策定

北極海の利活用と海氷変動の相互影響の一環として分析



Polar Code等の国際規則に対応し合理性検証やデータ提供

人文社会科学のフィールドとしての北極域・研究船

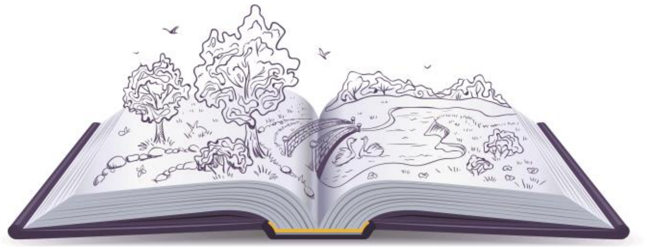
人文社会科学

○普遍的な法則を見出すための学問が中心な自然科学と異なり、個性記述的。法則を導くのではなく、**<u>一回だけの出来事や人間性、社会について何かを解釈し、語る</u>**ことが目的。

→自然科学と人文社会科学の連携のためには、理工系の側である程度進めてしまった研究課題を一方的に投げるのではなく、そもそもの研究プログラムの始まりから複数の分野で一緒に考えることが必要

社会全体で意識化されていない課題は人文・社会系こそが見つけられる

- 北極船上、ないし移動した先（停泊地含む）の人間の日常的な経験や社会の多様性を記述したり、ある視点から解釈する
- 社会全体で意識化されていない課題の発見



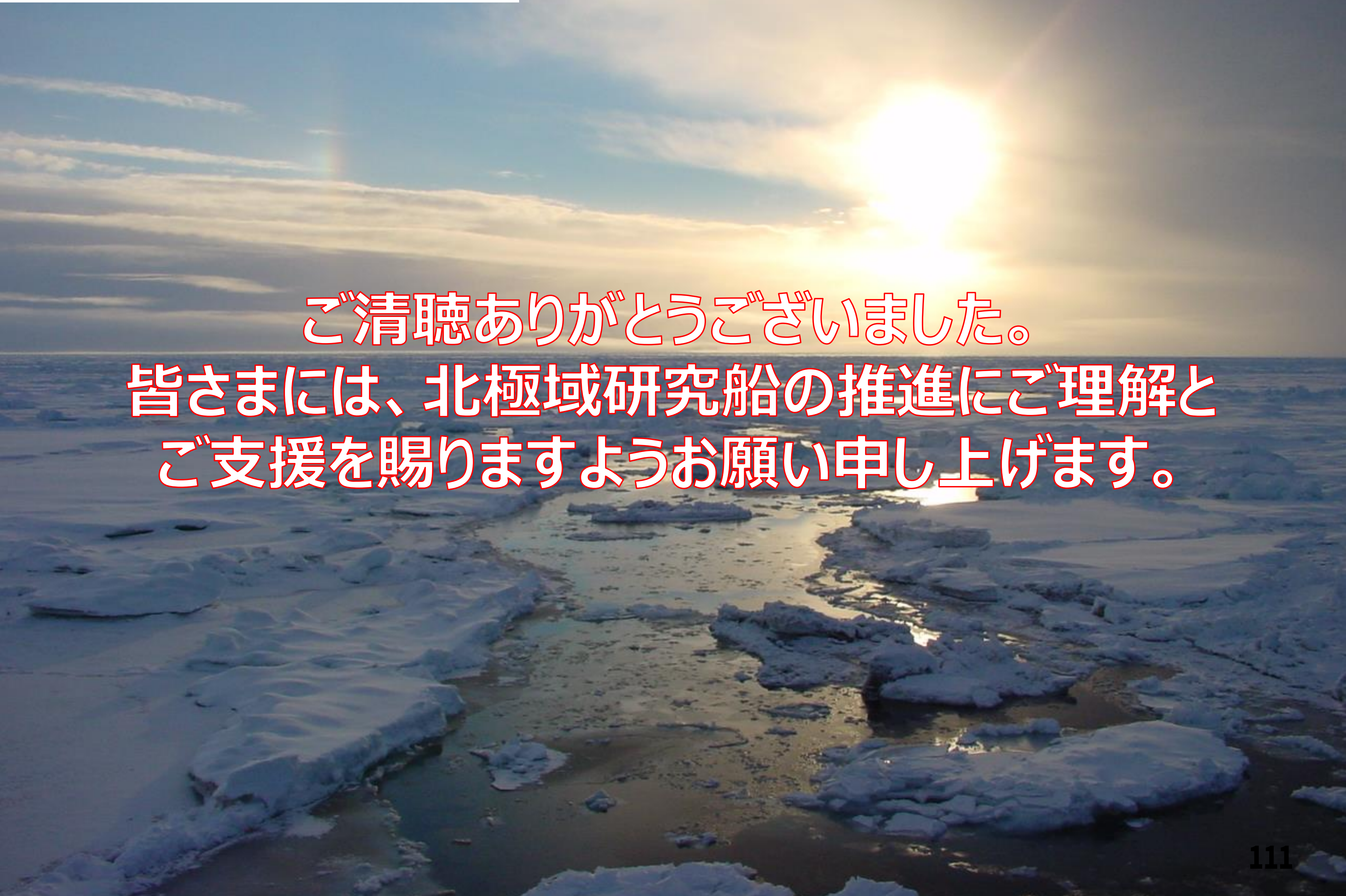
観測内容・概要

○あくまで例として

- 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）
- 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
- 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
- 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
- **<u>北極船のELSI（ethical, legal and social implications, 倫理的・法的・社会的な課題）発見</u>**

期待される成果・国際連携

- 科学的知見の一般社会との共有
- 持続可能な発展の達成
- 社会に意識化されていない課題の発見
- 自然科学と人文・社会科学の連携
- 我が国の国際プレゼンスの向上



ご清聴ありがとうございました。
皆さまには、北極域研究船の推進にご理解とご支援を賜りますようお願い申し上げます。