

北極域研究船の利活用方策・費用対効果等に関する有識者検討会

北極域研究船のユースケース及び社会経済効果

成果報告資料

2020年12月

 株式会社三菱総合研究所

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。

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

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

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

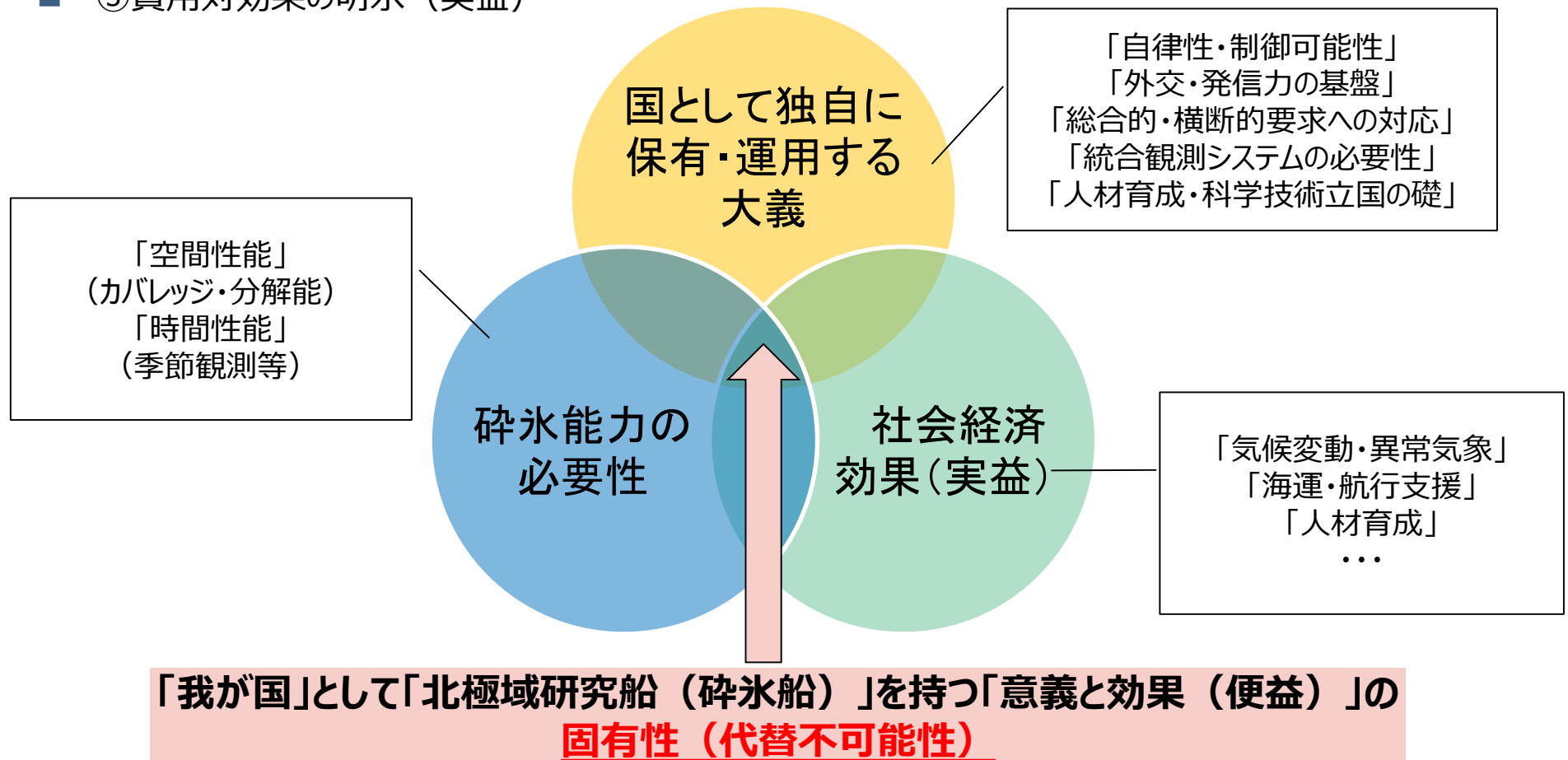
【データセット】

- 各種統計データ
- インパクト分野の各種予測・推計資料 等

インプット

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）



【補足】我が国砕氷船に係るSWOT分析



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事が期待出来る。
- 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。

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

○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)	○(高緯度対応)	○(AUV,係留系)	○(直接採集も可)	△(春・秋も対応)	○
従来研究船	△(高緯度不可)	○	○	×(夏季のみ)	○
航空機	○(ただし天候制約有)	×	△	△	○
衛星	○(ただし天候制約有)	×	△	○	×

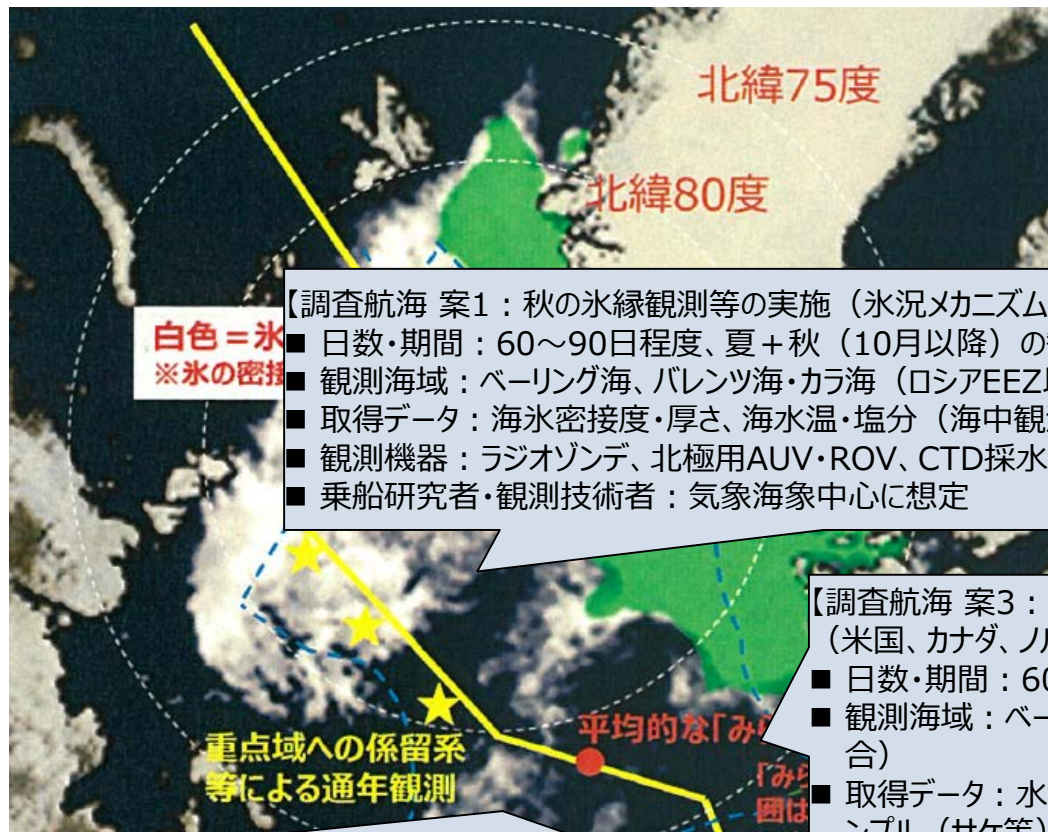
3. 社会経済効果分析：前提条件・基本シナリオ

- 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

【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：海水密接度・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、「おしよる丸」との連携航海も視野

【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：海水密接度・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

【その他航海案】

- オホーツク海の冬季観測、実習利用

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

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水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水厚の現場観測データを利用する。これにより、海水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、海水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。 ※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	p.49

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）

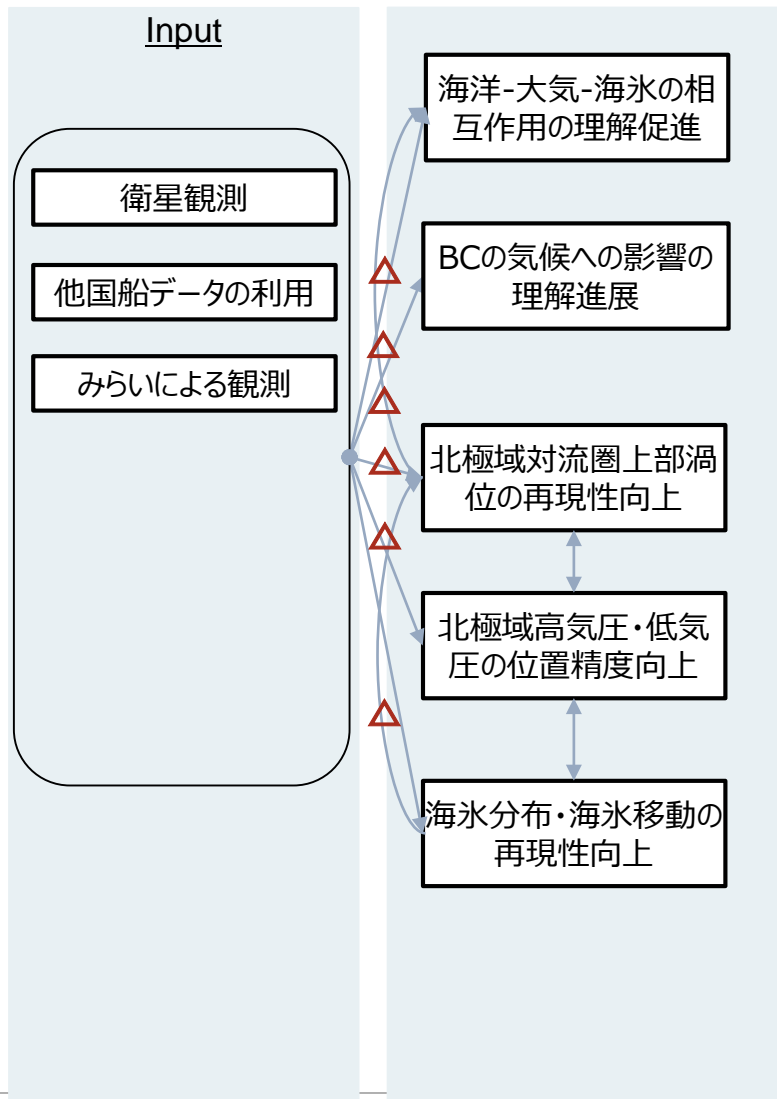
- 衛星観測等に加え、北極域研究船で定期的に北極域の現場観測データを得ることで、データの空白域が埋まり精度が改善し、海洋-大気-海氷の相互作用の理解、数値気候モデルの再現性向上等につながる。
- 北極域における気象現象の理解、偏西風蛇行等の遠隔影響現象の予測精度向上により、気象予報（台風予測含む）・将来気候予測の精度向上に貢献する。これにより、台風・ハリケーン被害や冷害による農作物被害への適切な対策が講じられることによる被害額軽減、気象ビジネス・気候変動適応ビジネス加速への貢献も期待。
- 特に台風については、北極域の特別観測成果を用いたことにより中心位置精度向上・不確実性幅低減につながる研究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

ユースケース①②：異常気象・気候変動

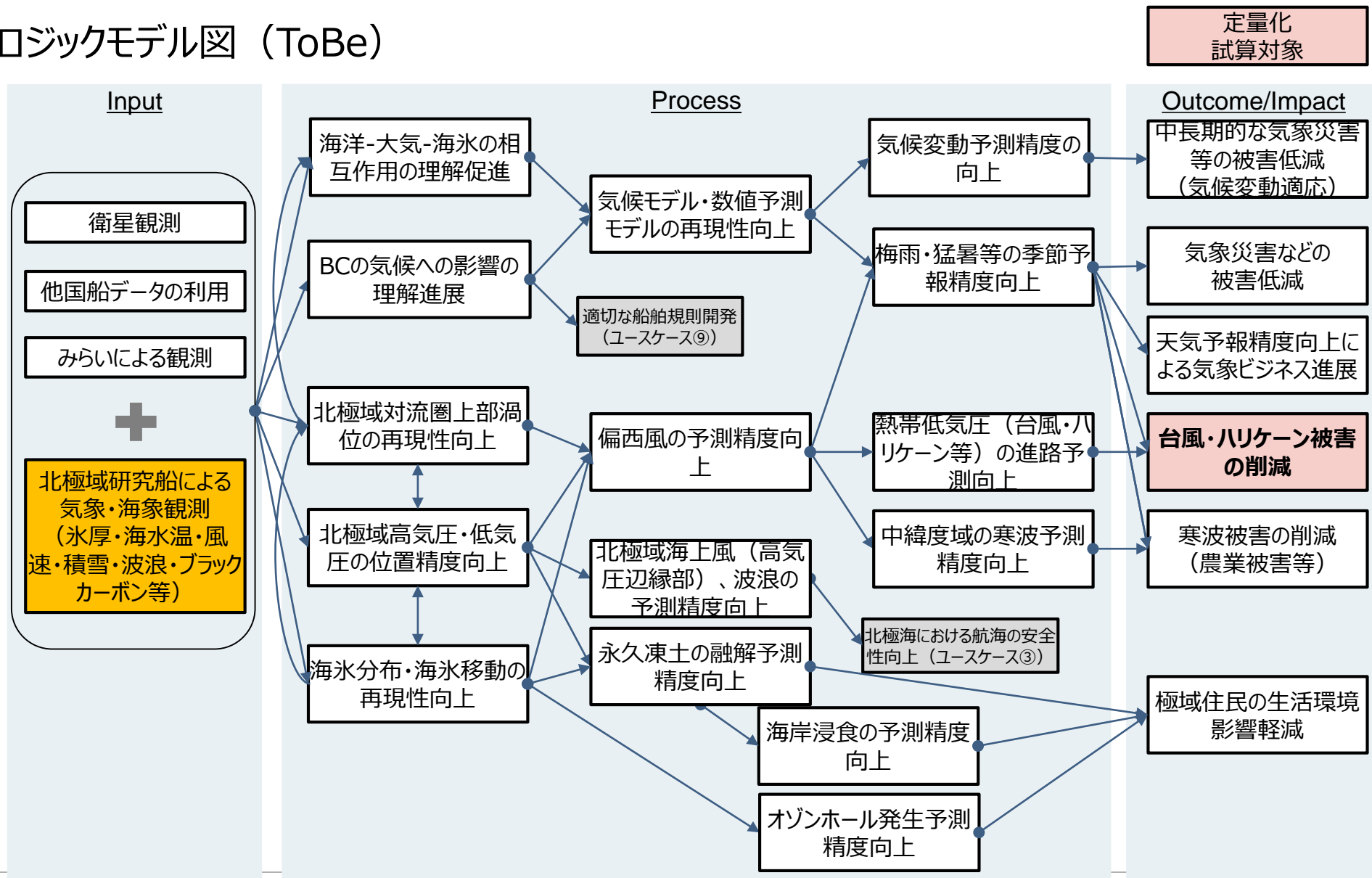
ロジックモデル図 (AsIs)



- 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）

ユースケース①②：異常気象・気候変動

ロジックモデル図 (ToBe)



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。

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

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（海水分布、海水移動）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）

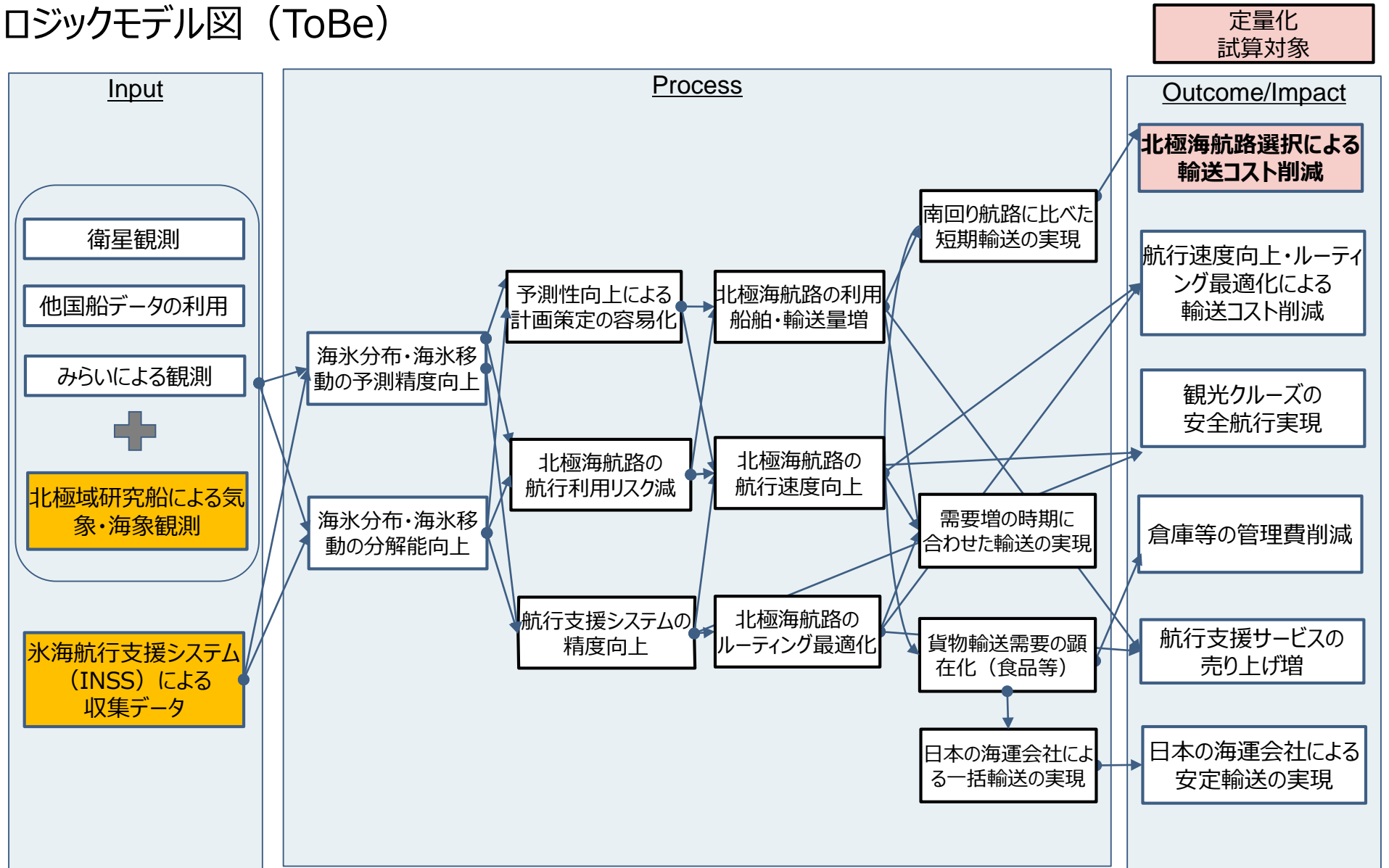
- 海氷予測の正確性や分解能の向上によりルーティング最適化や速度向上による経路短縮航行が可能になる。結果、輸送コストが削減される（現状で北極海航路を利用している船舶、砕氷船を伴わない単独航行が主対象、主に冬季）。また運航スケジュールの確度を上げることが可能となり、極域での滞船時間低減や砕氷船の稼働率向上につながる。
- 海氷予測の精度・分解能の向上で航行リスクが低減し、南回りから北回りの航路へのシフトにより北極海航路の輸送量（特に時間的価値が高いもの）が増加する。それにより、南回り航路に比較して輸送コストが削減される。
- 建材、ワイン、食品等を混載して日本の海運会社が一括輸送することで、安定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

ユースケース③：海運・航行支援

ロジックモデル図 (ToBe)



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)

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。	海水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)

【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.夏季シーズンのみ利用を想定して総輸入建材量に1/4を掛けている 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	約5船舶

<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 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/cm ³ で計算→1トンあたり価格56,055.6円/tに換算	約3270万円
(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） 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	約1622万円
(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トンのスエズ運河トン数として試算 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）	約2389万円

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）

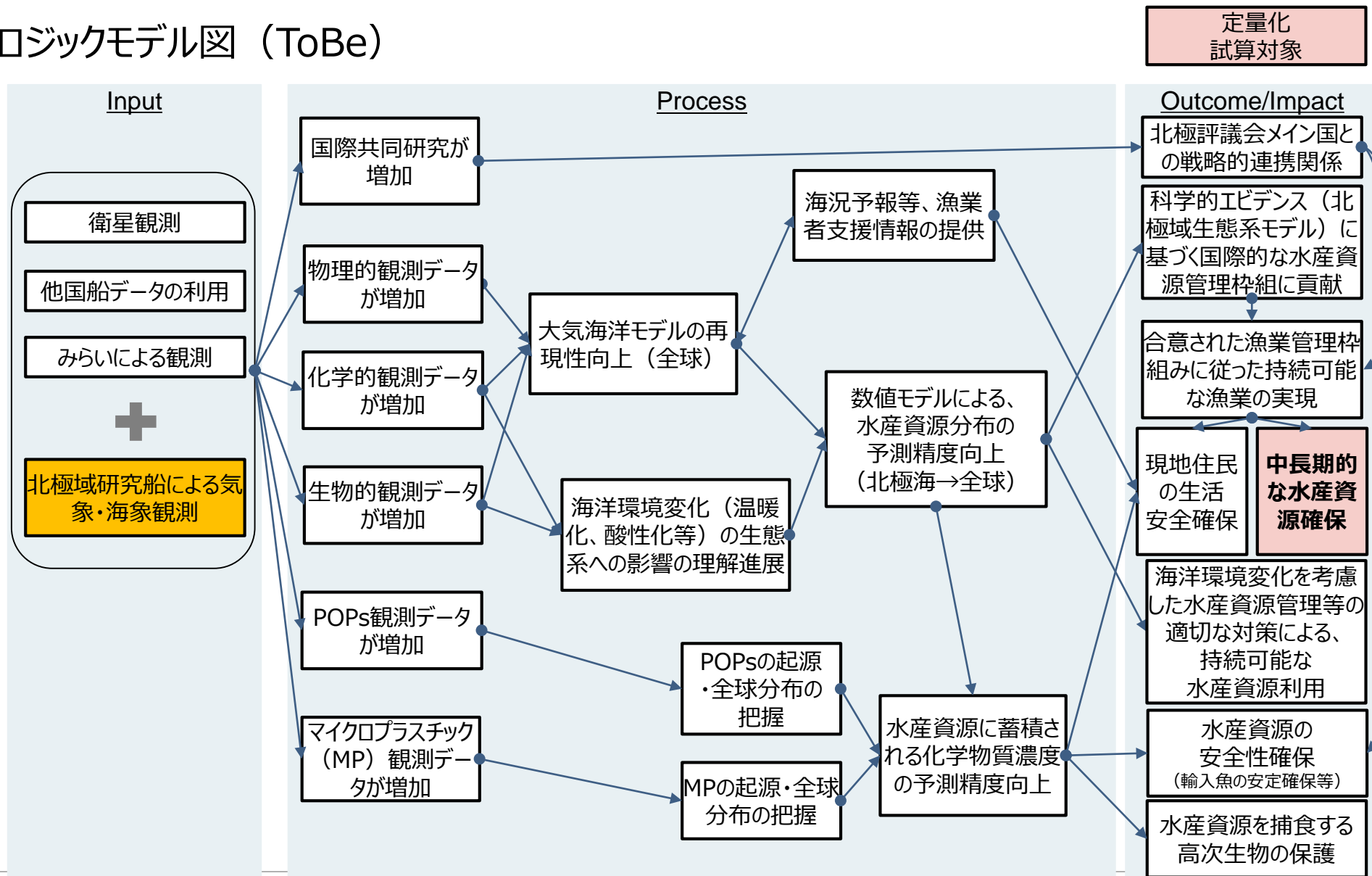
- 北極域において通年観測を実施することで得られるデータにより、魚類の分布や生息環境に関する理解の進展が期待される。魚類分布の変動を把握することは、北極域の持続可能な利用に向け、科学的なエビデンスに基づいて水産資源管理を実施するための基盤となる。また、海水温上昇や海洋酸性化の、生態系全体への影響・メカニズムを理解することで、水産資源量の長期変動予測を行える。北極域の水産資源サンプリングにより、マイクロプラスチック等の汚染実態、生物濃縮状況等の把握、対策の検討が可能になる。
- アイスランド、グリーンランド、米国等との共同観測を実施し、我が国への輸入漁（サバ、ニシン等）も多い北極海の水産資源の実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



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ーン変化・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(岡山北大名誉教授)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、 $154 \times 0.8 \times (1 - 0.41) \times (1 + 0.31 / 0.59) = 110.8$ 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的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

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 $8.0 \pm 1.2\%$ の個体から、サバでは $12.6 \pm 3.1\%$ 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 $0.068 \sim 0.092 = 4.1 \sim 5.5$ 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 $0.095 \sim 0.157 = 13.6 \sim 22.5$ 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 $4.1 \sim 5.5$ 億円×日本の水産加工業の平均的な生産誘発係数 $1.525 = 6.2 \sim 8.4$ 億円 ②輸入減額 $13.6 \sim 22.5$ 億円×日本の水産加工業の平均的な生産誘発係数 $1.525 = 20.7 \sim 34.2$ 億円を回避する。 ※生産誘発係数は $1 + \text{付加価値率} \times 0.31 / \text{原材料使用率（輸入分）} \times 0.59$ 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

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	<p>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</p> <p>※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)</p>	<p>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</p> <p>※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</p>	(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)	<p>【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</p> <p>※Fossi et al. 2016</p>

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 of 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）

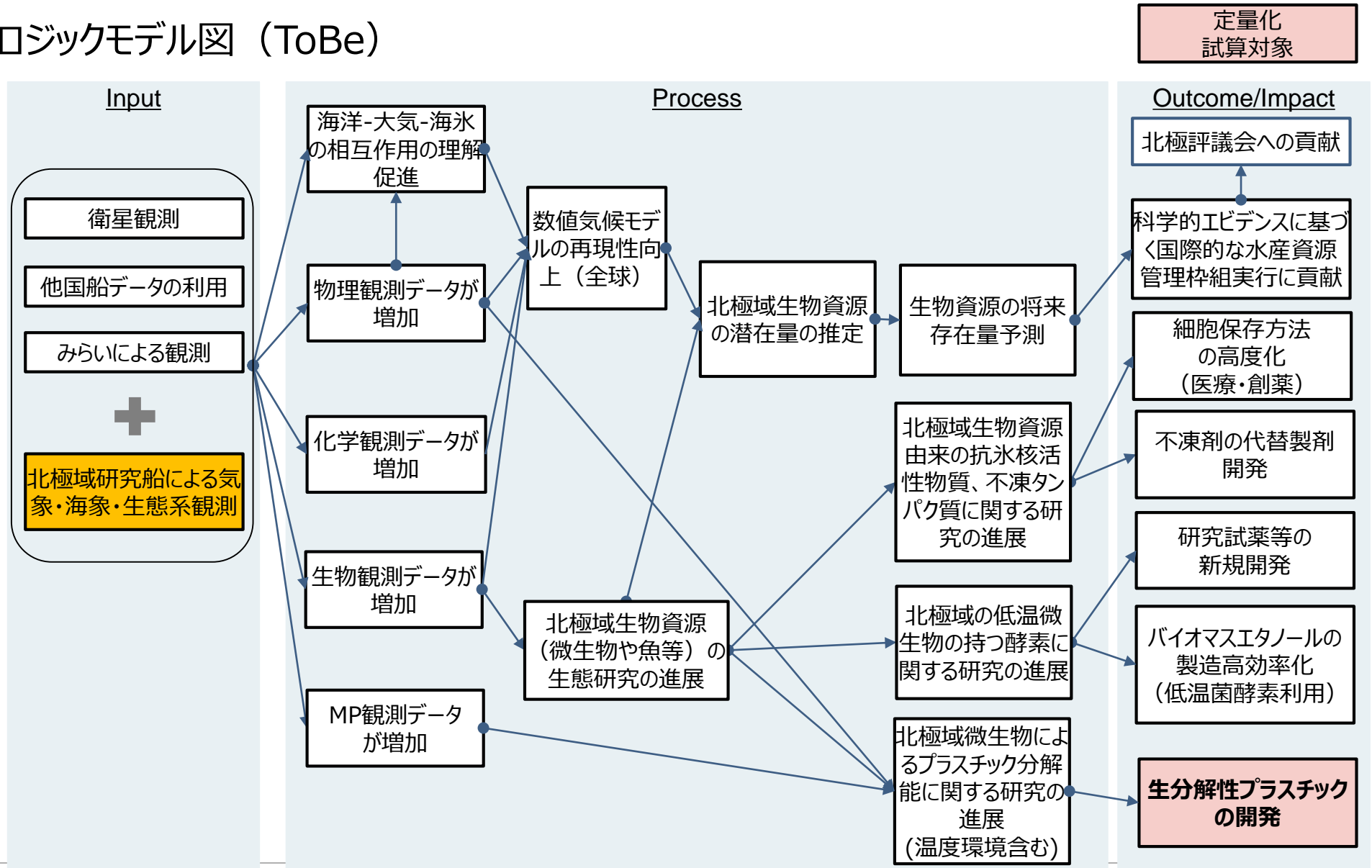
- 氷縁、氷下、氷の中も含め北極域において採水等の観測が充実することにより、新たに利用可能な生物資源（微生物から魚類まで）や酵素等の化合物が発見される可能性がある。他国に先んじて観測を行い、基礎研究を進展させることで、産業利用に結びつくことも期待される。たとえば、不凍タンパク質は南極海の魚類等から発見され、食品・医療産業等での活用研究が進んでいる。他にも、低温活性酵素の産業利用検討も進んでおり、北極海で分解される生分解性プラスチックの開発進展も期待される（一方で南極域の資源利用は条約上制約もあり、商業利用を志向するにおいて北極域での生物資源利用の検討が重要となる）。
- 通年観測を実施すること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

ユースケース⑤：生物資源利用

ロジックモデル図 (ToBe)



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があるが、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 ※クーブ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

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)

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、再生可能エネルギー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）

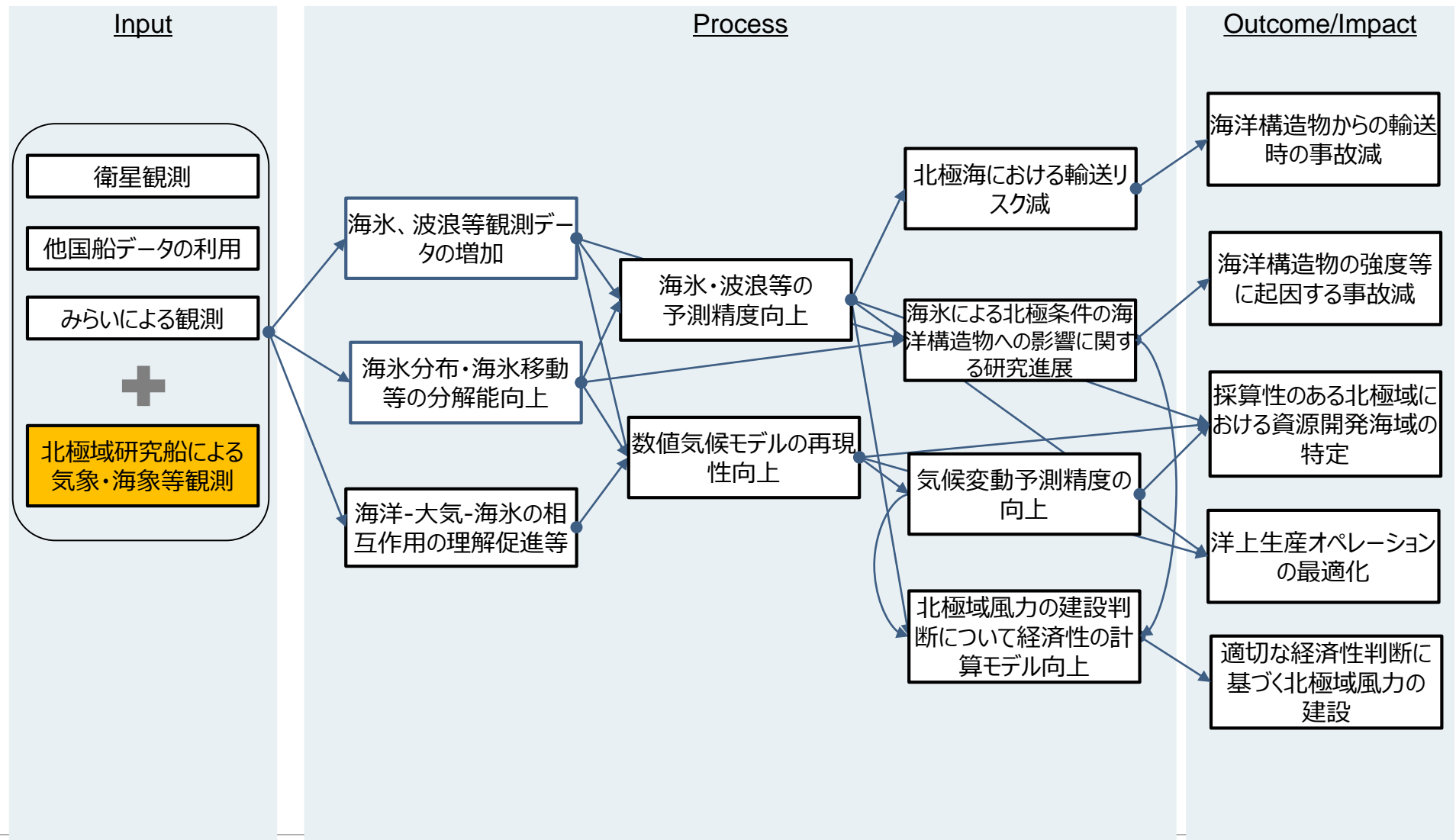
- 海氷分布・海氷移動、波浪、風向・風速等の観測や、それによる長期的な気候変動予測精度の向上により、北極条件下における海洋構造物への影響をより正確に把握でき、今後の気象状況等に基づいた適切な安全基準のもと海洋構造物の強度等を原因とする事故が減る。
- 海氷分布・海氷移動をはじめとする気象状況の予測精度の向上により、適切な洋上生産オペレーションの実現や適切な環境下で安全な資源等の輸送が可能になり事故減に貢献する。
- 海氷分布・海氷移動、海水温、波浪、風向・風速等の観測や、それによる長期的な気候変動予測精度の向上により、極域沿岸部の風力発電所の設置場所や経済性について適切な計算モデルのもと判断ができる。
- 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する（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生産オペレーション、再生可能エネルギー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)



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)	—
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)	—
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水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、長期的な海水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)	—
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)	—
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、海水状況を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)	—

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、日本の船用メーカ・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っていない。

【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）

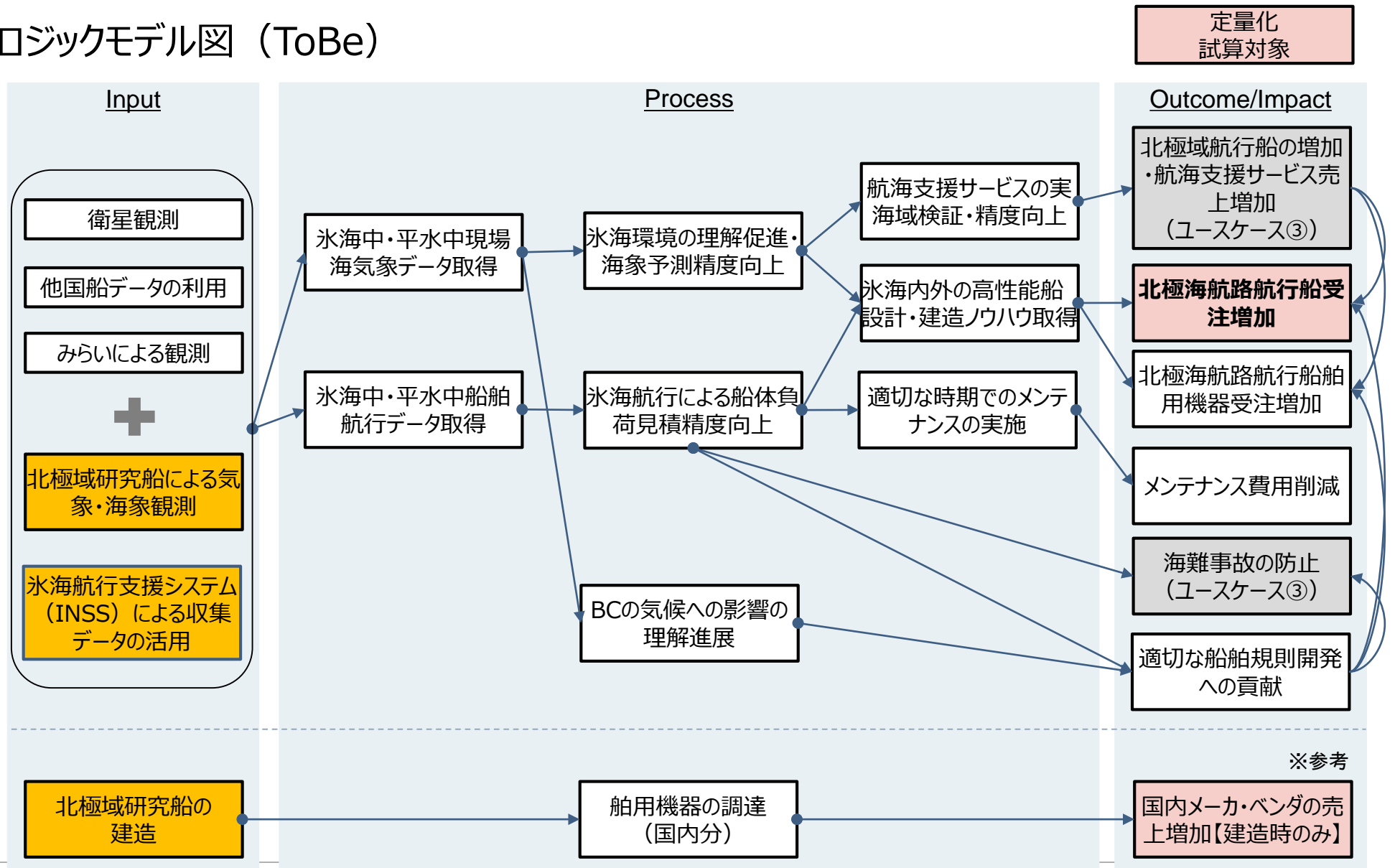
- 気候変動の影響による北極海航路の活用を見据え、先んじて北極海航行及び平水中の航行に関するデータを取得することで、航海支援サービスの検証・精度向上、将来的な売り上げ増加につながる。
- 光ファイバ計測網によるヘルスマモニタリングの高度化により、適切な時期でのメンテナンスの実施が可能に。メンテナンス費用削減とともに、海難事故の防止にもつなげる。
- 上記による船舶航行デジタルツインの進展により、氷海中・外の両方で効率の良い船の設計・建造能力を日本の造船所が持つことで、北極海航路を利用する船舶の受注拡大につながる。

【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。**

ユースケース⑦：産業波及（造船）

ロジックモデル図（ToBe）



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	舶用メーカー 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)	—
北極海航路航行船受注増加	造船所 エンジンメーカー 舶用機器メーカー	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ー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） 国内機器調達の一二次波及効果まで含む場合 ×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】国内舶用メーカー規模：1兆円
氷海航行用舶用機器売上増加	エンジンメーカー 舶用機器メーカー	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、艀装品・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ナンス費用削減	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)	—
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)	—

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、バラスタタンク等）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）	—
※参考 メーカー・ベンダの売上増加 【建造時のみ】	船用メーカー	北極域航行船に搭載する船用機器調達による波及効果	船舶建造費のうち、船用機器にかかる調達によるメーカー・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

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）

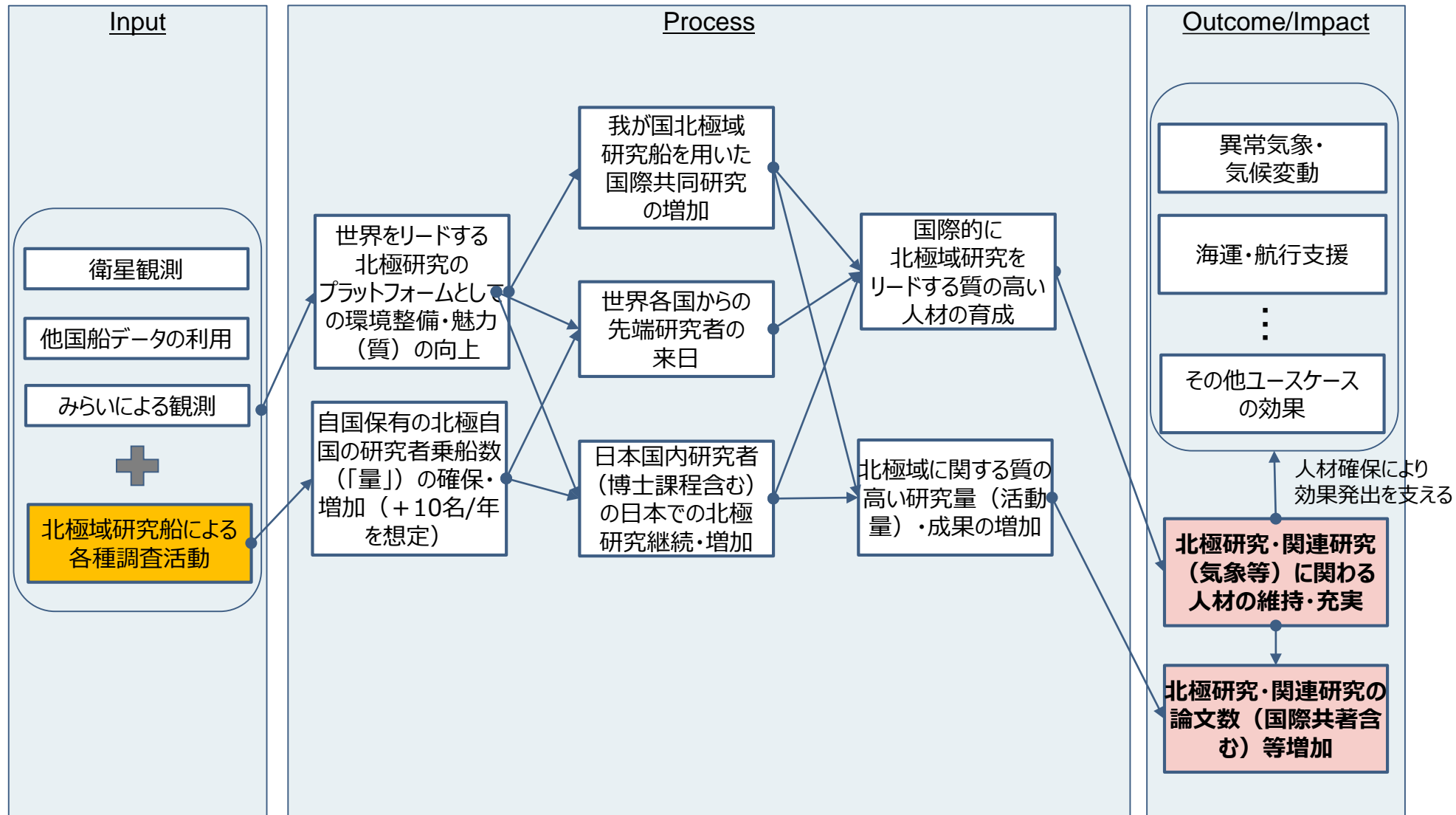
- 日本国内で研究するモチベーション・魅力が増加し、科学研究をリードする人材を集めることができる（海外からの人材含め）。これにより質の高い研究量（活動量）が増え、我が国の科学技術研究の維持・レベル向上につながることを期待出来る。
- 自国砕氷船により我が国主導の国際共同プロジェクトを実施し、国際的プロジェクトをリードできる人材育成が可能となる（北極はArCS課題に見られるように分野横断性が特徴）。

【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」）**

ユースケース⑧：人材育成（研究者）

ロジックモデル図（ToBe）



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	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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） 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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$\alpha=1.5$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） 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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） ■ Δ研究人材 = 純増分（10名）×運用年数（30年） 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 総論文数 = 約292件（年平均）（純増分Δ = 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） ■ Δ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）

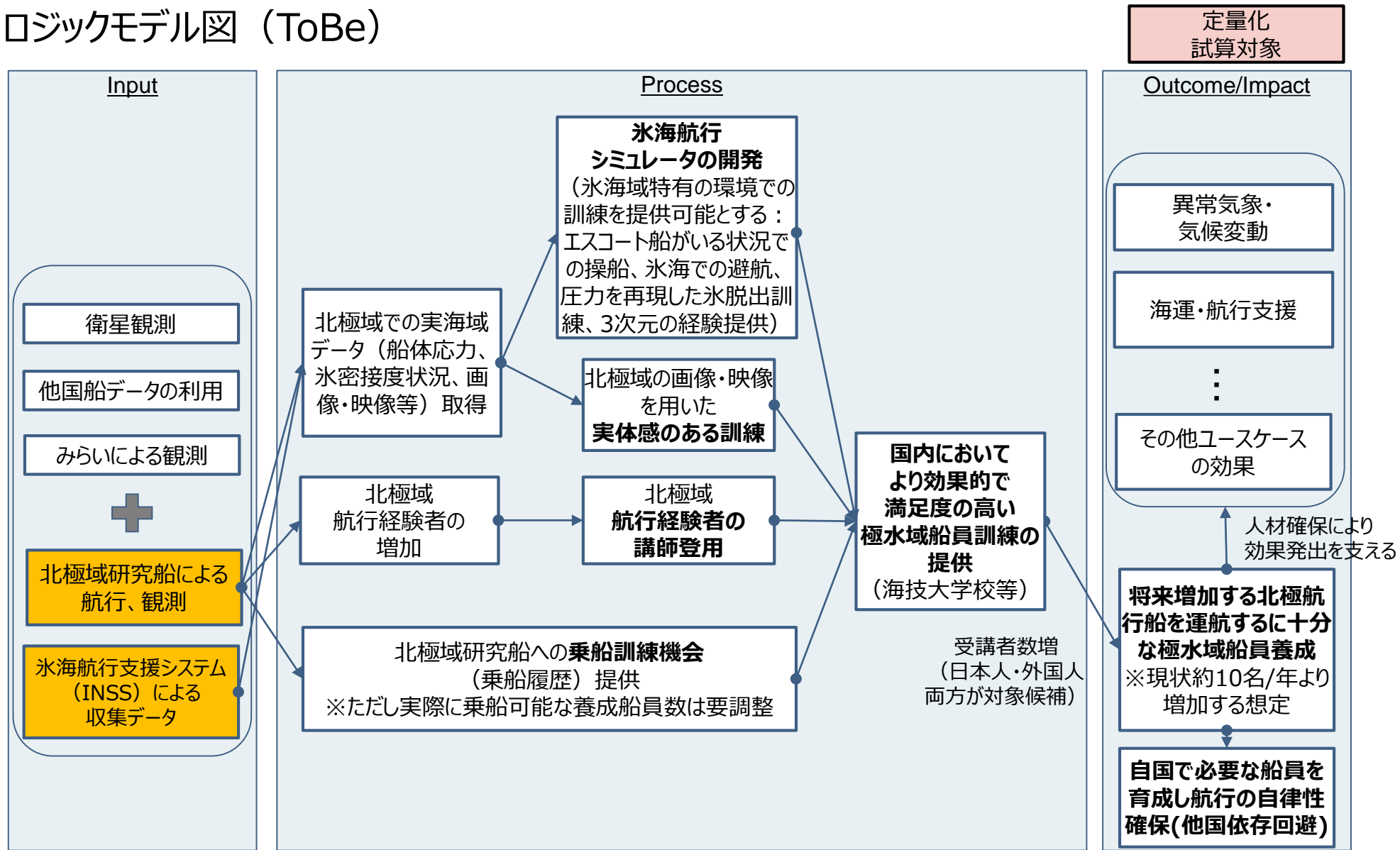
- 北極域で取得した実海域データ（船体応力、氷密接度状況、画像・映像等）を利用したシミュレータ開発（氷海域特有の環境での訓練を提供可能とする：エスコート船がいる状況での操船、氷海での避航、圧力を再現した氷脱出訓練、3次元の経験提供）、航行経験者の講師登用、実海域乗船訓練等、効果的で満足度の高い訓練を国内で提供可能となる。
- これにより、長期的に増加する北極海航路利用需要に対応し、将来増加する北極航行船を運航するに十分な極水域船員養成を行う（国内外の潜在訓練ニーズを満たす）。※受講者は日本人・外国人両方が対象と想定
- 自国に必要な船員を育成し航行の自律性確保(他国依存回避)にも貢献する。

【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）



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	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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） 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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

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チ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

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)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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らる機会を提供可能。 	(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)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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)	—

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

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	<ul style="list-style-type: none"> ・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
	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	<ul style="list-style-type: none"> ・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
	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	<ul style="list-style-type: none"> ・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
	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	<ul style="list-style-type: none"> ・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
	資源・ エネルギー	—	<ul style="list-style-type: none"> ・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・氷海航行用船舶用機器売上増加：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)	<ul style="list-style-type: none"> ・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航行需要に対応した極水域船員養成（約10名/年以上）
	その他	—	<ul style="list-style-type: none"> ・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）