

科学技術・学術審議会 海洋開発分科会（第71回）
議事次第

1. 日時 令和6年3月25日（月）10時00分～12時00分

2. 場所 オンライン会議

3. 議題

（1）令和5年度の海洋開発分科会における評価について

（2）今後の深海探査システムの在り方について

（3）次期北極域研究プロジェクトについて

（4）その他

4. 資料

資料1-1 海洋情報把握技術開発 事後評価結果（案）概要

資料1-2 海洋情報把握技術開発 事後評価結果（案）

資料2-1 科学技術・学術審議会海洋開発分科会深海探査システム委員会の検討状況
について

資料2-2 今後の深海探査システムの在り方について 中間とりまとめ（案）概要

資料2-3 今後の深海探査システムの在り方について 中間とりまとめ（案）

資料3 次期北極域研究プロジェクトについて

参考資料1 令和5年度海洋開発分科会における評価の実施について

参考資料2 深海探査システム委員会における検討の進め方について

参考資料3 令和6年度予算（案）について

参考資料4 海洋開発重点戦略について

参考資料5 G7海洋の未来イニシアティブ（FSOI）ワーキンググループ会合について

参考資料6 経済安全保障重要技術育成プログラム（K Program）における取組について

参考資料7 戦略創造的創造研究推進事業について

海洋資源利用促進技術開発プログラム 海洋情報把握技術開発

事後評価結果（案）について

令和6年3月25日

プログラムディレクター（PD）
外部評価委員会 主査

花輪 公雄
小池 勲夫

目次

○海洋情報把握技術開発 事業概要

○事後評価結果（案）

1. 各課題における当初の目標・計画に対する成果内容
2. 評価結果（各課題及び事業全体の達成状況）
3. 成果及び活動実績（事前評価で示された指標に対する実績）
4. 今後の展望

背景・課題

- 海に囲まれている我が国において、海洋状況把握の基礎となる海洋情報の収集・取得に関する取組を強化し、海洋空間を有効利用するための情報資源として活用することが重要。海洋基本計画（H30.5閣議決定）を踏まえ、**海洋環境等の海洋情報について、効率的に観測・計測するための技術開発が必要**。
- また、国際的には、国連の持続可能な開発目標（SDGs）等において、**海洋酸性化、生物多様性、海洋ごみが今後解決すべき課題**とされており、課題解決に向けて、**科学的データの収集は喫緊の課題**となっている。

<政策的背景>

- 「**未来投資戦略2017**」（平成29年6月閣議決定）
及び「**科学技術イノベーション総合戦略2017**」（平成29年6月閣議決定）
→MDAに資する研究開発等、その能力強化に向けた取組を推進する旨記載あり。

<国際動向>

- 2015年9月 国連の持続可能な開発目標（SDGs）の採択**
→SDG14「海の豊かさを守ろう」
- 2016年5月 G7 茨城・つくば科学技術大臣会合**
→海洋酸性化や海洋生物多様性、海洋ごみ等の問題が重要視され、科学的根拠に基づく海洋及び海洋資源の管理、保全及び持続可能な利用に向けた海洋観測の強化が必要。



事業概要

- 大学等が有する高度な技術や知見を幅広く活用し、**海洋環境等の海洋情報を効率的かつ高精度に把握する観測・計測技術を研究開発**し、開発された成果を民間企業等へ技術移転することなどにより、海洋のSociety5.0実現に貢献する。
- 上記目的を達成するため、以下の3分野の課題を実施。

- ①BGC-Argo 搭載自動連続炭酸計測システムの開発
(東京大学大学院理学系研究科 茅根 創)
- ②海洋生物遺伝子情報の自動取得に向けた基盤技術の開発と実用化
(東京大学大気海洋研究所 濱崎 恒二)
- ③ハイパースペクトルカメラによるマイクロプラスチック自動分析手法の開発
(国立研究開発法人海洋研究開発機構 藤倉 克則)



目次

○海洋情報把握技術開発 事業概要

○事後評価結果（案）

1. 各課題における当初の目標・計画に対する成果内容
2. 評価結果（各課題及び事業全体の達成状況）
3. 今後の展望

海洋情報把握技術開発 事後評価結果 (案)

1. 各課題における当初の目標・計画に対する成果内容

①BGC-Argo 搭載自動連続 炭酸計測システムの開発 (東京大学大学院理学系研究科)

■ 目標(概要)

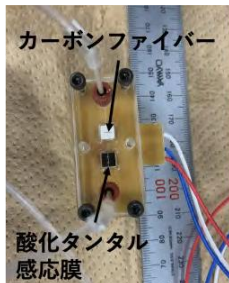
海洋酸性化・地球温暖化の解明に必要な海洋炭酸系の循環を把握するために、フロートへの搭載が可能で、自動連続かつ高精度にpH・アルカリ度を計測できる機器を開発するとともに社会実装に向けた取組を行う。

■ 成果内容

- 海水・高圧条件でもpH・アルカリ度を計測可能な**次世代型ISFETセンサを開発**。
- 本事業終了後も複数の外部資金で採択**されており、今後もさらなる発展が見込まれる。
- 次世代センサーの特徴を生かし、**医療分野や半導体など精密機器分野への応用のための共同研究も推進**。



フロートに搭載するシステム



カーボンファイバー
酸化タンタル
感応膜
pH・アルカリ度を
計測可能なセンサ

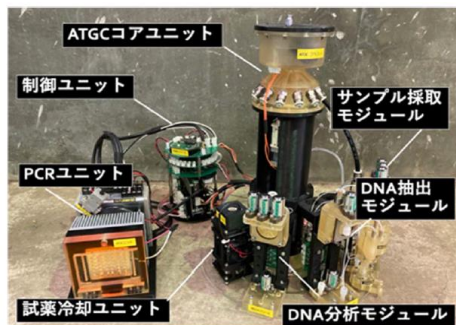
②海洋生物遺伝子情報の自動取得に 向けた基盤技術の開発と実用化 (東京大学大気海洋研究所)

■ 目標(概要)

船上や実海域において、環境DNAのサンプル採取から遺伝子データ解析までを自動化する機器を開発するとともに社会実装に向けた取組を行う。

■ 成果内容

- 核酸回収・抽出の独自手法を確立**し、環境DNA抽出の基本プロトコルとしてオープンアクセス学術誌に発表。
- 特定遺伝子の検出を行う**卓上型の自動分析装置を開発**。
- MiFish法に基づく**環境DNAデータ解析技術を新たに開発**、公開データベースにデータを提供。
- 社会実装に向けて**SBIR制度による事業化(ベンチャー起業)も推進**。



海洋遺伝子自動分析装置

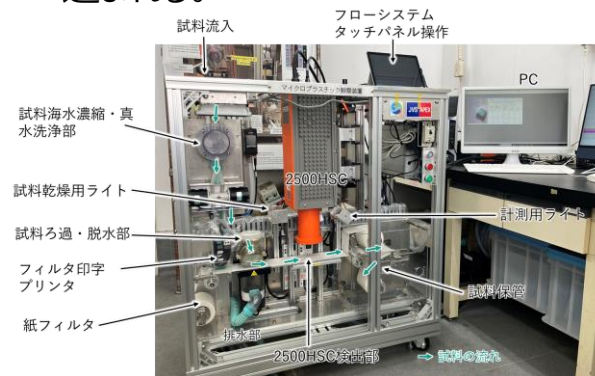
③ハイパースペクトルカメラによるマイクロ プラスチック自動分析手法の開発 (海洋研究開発機構)

■ 目標(概要)

ハイパースペクトルカメラを活用し、マイクロプラスチックの材質・形状・サイズ・個数を、迅速かつ自動で分析できる機器を開発するとともに社会実装に向けた取組を行う。

■ 成果内容

- マイクロプラスチックの**材質・形状・サイズ・個数を連続的に自動で分析できるシステムを開発**。
- 民間企業への技術移転**がなされており、**受注製造可能な状況**。
- 小型化、低価格化を目指し、**事業終了後も企業や他機関との共同研究を実施**しており、今後もさらなる発展が見込まれる。



マイクロプラスチック自動分析システム

2. 評価結果（各課題及び事業全体の達成状況）

【総合評価】

- いずれの課題においても、**海洋での情報把握における研究開発として世界的にニーズが高い研究開発内容**となっており、それぞれの目的に沿って**社会実装に繋がる技術開発が進展し、事業全体として波及効果が大きな技術開発がなされた**ことは評価できる。
- また、各研究課題とも実施期間を有効に活用し、**海洋情報把握(MDA)の基礎となる海洋情報の収集・取得に資する多くの科学的成果が創出**されたことに加え、一部の課題では事業期間中に**社会実装へ向けた事業化への明確な道筋**が示された。
- さらに、全ての課題で、本事業終了後も外部資金獲得につながっており、事業終了後も更なる発展が期待される。
- 研究開発課題により発想や推進体制が大きく異なる中、**研究開発期間を通じてPDが責任を持って一貫してプログラム運営を統括**し、研究推進委員会等を通して計画の点検や、今後の研究計画の見直し等の助言を確実に実施しており、**本事業の実施体制は、十分有効に機能した**と評価できる。
- 事業期間中に新型コロナウイルスなどによる社会情勢の変化があり、研究への影響も少なからずあった中で、各課題において適切な対応が行われ、当初の想定以上の成果を挙げている課題もあり、**事業全体として、当初の目標は概ね達成**しているものと考えられる。
- 以上より、**費用構造の適切性や費用対効果、波及効果は想定以上であったと高く評価**できる。
(各観点における達成状況は次項)

2. 評価結果（各課題及び事業全体の達成状況）

○各観点における達成状況は以下の通り。

【必要性】

- ✓ 本事業は海洋酸性化、生物多様性の減少、マイクロプラスチックによる海洋汚染といった、第3期海洋基本計画等の国の政策やSDGsの推進等において、国際的にも課題とされている地球環境問題の解決に資するものであり、国や社会のニーズに適合したプログラムとなっている。
- ✓ 特に、昨今の国際動向として、アルゴフロートについては、BGC-Argoを組み入れたOneArgo計画が発足し、G7仙台科学技術大臣会合でも取り上げられた。（課題①）
- ✓ 環境DNAについても、生物多様性の維持にも有益であるとの考えから、30by30で活用されるなど大きな注目を集めており、国内外において研究が活発化している。（課題②）
- ✓ マイクロプラスチックは、早急に対処が必要な海洋汚染の課題として、国際的にも広く認知されている。（課題③）
- ✓ 以上から、本事業で設定された課題は重要度・注目度が年々高まっており、国や社会のニーズを先取りした先進的な事業であったと言える。

【有効性】

- ✓ 本事業の目標である「海洋情報を収集・取得するための自動計測・分析機器の開発、自動観測・分析の実現に必要な技術の開発」に対し、事業全体として10件のシステムが開発され、その開発過程で多くの科学的知見が創出された。
- ✓ また、全ての課題において開発されたシステムの実海域試験が実施されたほか、ベンチャー起業や民間企業への技術移転など、5年間で社会実装に向けた道筋を立てられるところまで到達している。
- ✓ 科学的な知見を高めながら、同時に社会実装に向けた技術開発も行うという、極めて顕著な成果が認められることから、本事業の有効性は高い。

2. 評価結果（各課題及び事業全体の達成状況）

【効率性】

- ✓ 中間評価の結果や各課題の進捗状況を踏まえ、予算配分額を見直すなど、事業全体として適切なマネジメントが図られた。
- ✓ また、課題毎に研究推進委員会を定期的に開催し、外部の専門家からの意見を適時適切に反映しながら、目標の達成が図られた。これらの委員会にはPD自ら出席し、事業の適切な進捗管理に努めており、効率性の高い事業運営がなされた。
- ✓ さらに、各課題に対してPDによる的確かつ丁寧な進捗管理と明確な方向性の提示がなされたことにより、プログラム全体として当初の目的を概ね達成できたことは評価できる。
- ✓ 前述の通り、本事業では、科学的知見の創出のみならず、事業期間中に社会実装に向けた道筋を立てられるところまで到達しており、費用構造の適切性や費用対効果は想定以上であったと認められ、本事業の効率性は高い。

3. 今後の展望

- 海洋の現場での利用を目的とした研究開発には時間を要するが、本事業では、**開発した技術の実用化及び民間企業等への技術移転という目的が上手く機能し、本事業の開始前に出ていた一定程度の成果がうまく生かされたと言える。これらは、技術開発の段階に応じた事業目的とのマッチングの重要性を示しているものであり、本事業の運営で得られた知見を今後の事業の設計にも生かしていくことが重要**である。
- 我が国で使用されている海洋の観測・計測機器の大部分が海外製品であり、国内には対応する企業がほとんどないため、大学等による多くの技術開発が社会実装（製品化）まで到達しづらい状況が続いている。研究開発投資の効果を最大化し、社会実装まで進めるためには、本事業での取組に加え、**研究チームに民間企業を加えるのみならず、起業の専門家を加えるなど、更なる検討が必要**である。
- 加えて、我が国の海洋産業の活性化や社会実装を考えた場合、国内の研究機関のみならず、**経済安全保障に留意しつつ海外の企業からの申請や連携を呼びかけることも併せて検討することが有用**である。
- 最後に、**観測・計測技術の開発において、「世界標準」や「世界を見据えた開発」というのは重要**だと考える。また、価格的にも、円安は世界を見据えればプラスになると考えられる。まだ出口に達していないプログラムもあるが、次の研究費の獲得もなされており、さらなる進捗が期待される。

(敬称略、五十音順)

磯辺 篤彦 九州大学応用力学研究所 教授

植松 光夫 埼玉県環境科学国際センター 総長

小山内 智 (一社) 海洋産業研究・振興協会 常務理事

河野 健 (国研) 海洋研究開発機構 理事

○小池 勲夫 東京大学 名誉教授

中田 薫 (国研) 水産研究・教育機構 理事

○：主査

研究開発課題の事後評価結果
(案)

令和6年3月

科学技術・学術審議会

海洋開発分科会

海洋情報把握技術開発の概要

1. 課題実施期間及び評価実施時期

平成30年度～令和4年度

中間評価：令和2年、事後評価：令和6年

2. 課題の概要・目的

海洋科学データの効率的な取得により、我が国の海洋状況把握（MDA）に貢献するとともに、成果の技術移転により、今後重要性が増す海洋観測を行う民間企業等の産業競争力の強化及び海洋調査の加速化を図る。また、海洋に関する観測・分析の手法等に係る国際規格・標準の確立等、我が国主導で国際的な海洋ガバナンスの構築を図る。

3. 研究開発の必要性等

本課題で取り組む研究開発は、政府方針において重要とされているMDAに資するものであり、適切な海洋政策の推進や我が国の国益の確保、安全保障の確保等にとって不可欠なものであることから必要性は高いと考えられる。

また、海洋情報をより効率的かつ高精度にリアルタイムで把握可能な観測・計測・分析技術を開発することを目指すため、直接的に実用化に貢献するものである。さらに、これにより開発された成果の民間企業等へ技術移転やJAMSTECが開発している海洋プラットフォームへの開発機器の搭載を目指すものであり、有効性は高いと考えられる。

委託機関においても研究開発の手段やアプローチの妥当性等について定期的に議論を行う予定であり、研究開発計画及び実施体制、手段及びアプローチについて常に妥当性が評価されるため、効率性が高いと考えられる。

4. 予算（執行額）の変遷

年度	H30(初年度)	R1	R2	R3	R4	総額
予算額	99百万	108百万	81百万	81百万	81百万	451百万
執行額	98百万	105百万	81百万	81百万	(未確定)	(未確定)

5. 課題実施機関・体制

プログラムディレクター：山形大学理事・副学長 花輪 公雄

・課題①：BGC-Argo搭載自動連続炭酸系計測システムの開発

研究代表者 東京大学大学院理学系研究科教授 茅根 創

・課題②：海洋生物遺伝子情報の自動取得に向けた基盤技術の開発と実用化

研究代表者 東京大学大気海洋研究所教授 浜崎 恒二

・課題③：ハイパースペクトルカメラによるマイクロプラスチック自動分析手法の開発

研究代表者 国立研究開発法人海洋研究開発機構地球環境部門

海洋生物環境影響研究センター長 藤倉 克則

海洋情報把握技術開発 事業概要

事業実施期間：H30～R4年度

背景・課題

○海に囲まれている我が国において、海洋状況把握の基礎となる海洋情報の収集・取得に関する取組を強化し、海洋空間を有効利用するための情報資源として活用することが重要。海洋基本計画（H30.5閣議決定）を踏まえ、**海洋環境等の海洋情報について、効率的に観測・計測するための技術開発が必要。**

○また、国際的には、国連の持続可能な開発目標（SDGs）等において、**海洋酸性化、生物多様性、海洋ゴミが今後解決すべき課題**とされており、課題解決に向けて、**科学的データの収集は喫緊の課題**となっている。

<政策的背景>

- 「**未来投資戦略2017**」（平成29年6月閣議決定）
及び「**科学技術イノベーション総合戦略2017**」（平成29年6月閣議決定）
→MDAに資する研究開発等、その能力強化に向けた取組を推進する旨記載あり。

<国際動向>

- 2015年9月 国連の持続可能な開発目標（SDGs）の採択**
→SDG14「海の豊かさを守ろう」
- 2016年5月 G7 茨城・つくば科学技術大臣会合**
→海洋酸性化や海洋生物多様性、海洋ごみ等の問題が重要視され、科学的根拠に基づく海洋及び海洋資源の管理、保全及び持続可能な利用に向けた海洋観測の強化が必要。

事業概要

- 大学等が有する高度な技術や知見を幅広く活用し、**海洋環境等の海洋情報を効率的かつ高精度に把握する観測・計測技術を研究開発**し、開発された成果を民間企業等へ技術移転することにより、海洋のSociety5.0実現に貢献する。
- 上記目的を達成するため、以下の3分野の課題を実施。

- ①BGC-Argo 搭載自動連続炭酸計測システムの開発
(東京大学大学院理学研究科 茅根 創)
- ②海洋生物遺伝子情報の自動取得に向けた基盤技術の開発と実用化
(東京大学大気海洋研究所 濱崎 恒二)
- ③ハイパースペクトルカメラによるマイクロプラスチック自動分析手法の開発
(国立研究開発法人海洋研究開発機構 藤倉 克則)



「海洋資源利用促進技術開発プログラム 海洋情報把握技術開発」

外部評価委員会 委員名簿

(敬称略、五十音順)

磯辺 篤彦 九州大学応用力学研究所 教授

植松 光夫 埼玉県環境科学国際センター 総長

小山内 智 (一社) 海洋産業研究・振興協会 常務理事

河野 健 (国研) 海洋研究開発機構 理事

○小池 勲夫 東京大学 名誉教授

中田 薫 (国研) 水産研究・教育機構 理事

(○ : 主査)

事後評価票

(令和6年3月現在)

1. 課題名 海洋情報資源把握技術開発

2. 研究開発計画との関係

研究開発計画との関係

施策目標：極域及び海洋の総合的な理解とガバナンスの強化、基盤的技術の開発と未来の産業創造

大目標（概要）：

- ・地球規模での生物多様性の減少や生態系サービスの劣化が生じていることから、自然と共生する世界の実現は、国内だけでなく国際社会でも重要な目標となっており、生物多様性の損失の防止を図る。
- ・「海洋立国」の立場にふさわしい科学技術イノベーションの成果を上げるため、海洋の調査・観測技術や海洋資源等の海洋の持続可能な開発・利用に資する技術、これらを支える科学的知見・基盤的技術に着実に取り組む。
- ・海洋に関する基礎研究や中長期的な視点に立って実施すべき研究開発を推進するとともに、国家存立基盤に関わる技術や広大な海洋空間の総合的な理解に必要な技術など、世界をリードする基盤的な技術の研究開発を推進する。

中目標（概要）：

- ・生物・化学データを含む海洋の総合的な観測や海洋生態系の構造、機能等に関する研究を強化するとともに、全海洋の生物多様性及び生物資源量の解明調査を先導することにより、海洋環境の変化の把握とその生態系への影響の解明を進め、海洋資源の管理・保全及び持続的利用を図る。
- ・海洋に関する科学技術を支える基盤的技術などを開発・整備するため、最先端の調査・観測・開発利用技術の開発・運用や、シミュレーション技術やビッグデータ収集・解析技術等の情報基盤の整備・運用を進める。

重点取組（概要）：

既存プログラムで研究開発されたモニタリング技術やセンサ技術等の成果も積極的に活用しつつ、海洋生態系や海洋環境変動等の状況をより効率的かつ高精度に把握する革新的な観測・計測技術を検討し具体化する。

指標（目標値）：

アウトカム指標：

- ・海洋環境変化が海洋生態系の機能及び構造に与える影響に関する知見の活用、政策的議論への反映

（実績）

- 環境省の「海洋プラスチックごみ研究戦略検討会」に参画し、ハイパースペクトルカメラによるマイクロプラスチック分析のポテンシャルについて情報を提供した。本事業の成果が生物多様性国家戦略等の国

の戦略でも取り上げられた。

- 本事業を通じて改変された環境 DNA 調査及び実験マニュアルが、環境省、国交省、水産庁等で実施されている各種プロジェクトで活用された。

・海洋生物資源の管理・保全及び持続的利用に関する国際的なルール作りへの貢献

(実績)

- 本事業を通じて改変された環境 DNA 調査・実験マニュアルが、CalCOFI や NOAA 等の海外の関連機関のプロジェクトで有効利用された。
- 本事業で開発された技術が、国連の海洋科学委員会 SCOR に設置された動物プランクトン多様性に関するワーキンググループによるプロトコル及びベストプラクティスの作成に活用された。

・海洋科学技術による革新的なイノベーションの創出

(実績)

- 開発された次世代センサ及びそれを組み込んだシステムにより、これまでBGCアルゴにおいて計測に問題の多かったpHと、計測ができなかったアルカリ度の計測が可能となった。また、開発された次世代センサは、対象物を参照電極で汚染しないという特徴を持つことから、これを活かした医療分野への応用が期待される。
- 完全自動の遺伝子解析装置は、海洋環境における生物情報把握にとどまらず、下水等に含まれる病原ウイルスの常時モニタリングへの応用も可能である。また、開発されたマルチスケール流体技術は、遺伝子解析だけでなく、幅広い生化学分析の自動化へも寄与も期待される。
- 「マイクロプラスチック自動分析システム」により、これまで多大な時間と労力を要していたマイクロプラスチックのデータ取得を極めて効率化できるようになった。加えて、マイクロプラスチック分布の時系列変動モニタリングや流出源や流出経路のシミュレーション精度を大幅に上げることが期待される。

・開発された技術基盤の活用（国際的な活用、民間への技術移転等）

(実績)

- 全ての課題において、技術移転先となり得る民間企業やその他外部機関との連携が図られている。加えて、本事業で開発された技術の民間企業への技術移転がなされたほか、ベンチャー起業を目的とした他の事業に採択され事業化が進められた。
- 上記以外にも国内外の複数の外部機関との連携が進められているほか、事業終了後も外部資金等を活用した継続的な研究開発や、企業等との共同研究が進められている。
- 本事業の成果に基づく査読付き論文発表数は69件、研究成果報道発表数は8件であり、事業全体として積極的な成果の発信が行われた。ま

た、開発されたシステムにより取得されたデータを公開データベースなどへ提供した。その結果、前述のとおり海外の事業やワーキング等で活用されたほか、国の戦略などでも取り上げられるなど、大きな波及効果をもたらした。

アウトプット指標：

- ・ 海洋環境変化が海洋生態系の構造及び機能に与える影響やその回復過程の理解
 - 海洋環境や海洋生態系に関する観測データの取得状況
(実績)
 - 新規取得データ数：1,856件
 - 観測・計測技術の高度化、予測モデルの開発、評価手法や管理・利用技術の開発等の研究開発成果
(実績)
 - 研究成果報道発表数：8件
 - 査読付き論文発表数：69件
- ・ 得られたデータや科学的知見の集積状況、国内外の関係機関への提供実績・国際的な枠組みへの日本人研究者等の参画状況
(実績)
 - 国内外の研究機関・企業等への提供、これによる共同研究を推進
 - 国内の様々なイベント、シンポジウム等を通じて成果を発信
- ・ 調査・観測技術の開発状況及び運用実績
(実績)
 - 開発成果報道発表数：8件【再掲】
 - 開発件数（開発されたシステム数）：10件
 - 実海域での活用実績：
 - ・ 本事業において、14件の実海域試験を実施
 - ・ 本事業外でも、本事業で改良された手法を使った実海域試験を80件以上実施

3. 評価結果

(1) 課題の達成状況

(ア) 必要性

本事業は海洋酸性化、生物多様性の減少、マイクロプラスチックによる海洋汚染といった、第3期海洋基本計画等の国の政策やSDGsの推進等において、国際的にも課題とされている地球環境問題の解決に資するものであり、国や社会のニーズに適合したプログラムとなっている。

特に、昨今の国際動向として、アルゴフロートについては、BGC-Argoを組み入れたOneArgo計画が発足し、G7仙台科学技術大臣会合でも取り上げられた。また、環境DNAについても、生物多様性の維持にも有益であるとの考えから、30by30で活用

されるなど大きな注目を集めており、研究も活発化している。マイクロプラスチックは、早急に対処が必要な海洋汚染の課題として国際的にも広く認知されている。

以上から、本事業で設定された課題は重要度・注目度が年々高まっており、国や社会のニーズを先取りした先進的な事業であったと言える。

評価項目

科学的・技術的意義、社会的・経済的意義、国費を用いた研究開発としての意義
評価基準

国や社会のニーズに適合したプログラムとなっていたか。

(イ) 有効性

本事業の目標である「海洋情報を収集・取得するための自動計測・分析機器の開発、自動観測・分析の実現に必要な技術の開発」に対し、事業全体として10件のシステムが開発され、その開発過程で多くの科学的知見が創出された。

また、本事業では、全ての課題において開発されたシステムの実海域試験が実施されたほか、ベンチャー起業や民間企業への技術移転など、5年間で社会実装に向けた道筋を立てられるところまで到達している。科学的な知見を高めながら、同時に社会実装に向けた技術開発も行うという、極めて顕著な成果が認められることから、本事業の有効性は高い。

評価項目

新しい知の創出への貢献、実用化・事業化や社会実装に至る全段階を通じた取組
評価基準

科学的知見の創出につながるプログラムであったか。
波及効果の見込まれる成果が得られているか。

(ウ) 効率性

中間評価の結果や各課題の進捗状況を踏まえ、予算配分額を見直すなど、事業全体として適切なマネジメントが図られた。

また、課題毎に研究推進委員会を定期的開催し、外部の専門家からの意見を適時適切に反映しながら、目標の達成が図られた。特に、事業当初に提案したとおりの技術ではなかったとしても目標達成を目指せるような方針転換であれば承認し、結果的に事業期間中に着実な成果が創出されるなど、適切かつ柔軟なマネジメントがなされた。更に、PD による的確かつ丁寧な進捗管理と明確な方向性の提示が各課題に対してなされたことにより、プログラム全体として当初の目的を概ね達成できたことは評価できる。

加えて、前述の通り、本事業では科学的知見の創出のみならず、事業期間中に社会実装に向けた道筋を立てられるところまで到達しており、費用構造の適切性や費用対効果は想定以上であったと認められ、本事業の効率性は高い。

評価項目

計画・実施体制の妥当性、費用構造や費用対効果向上方策の妥当性

評価基準

プログラムの実施方法、体制は妥当であったか。

事業全体として、費用構造や費用対効果向上の方策は妥当であったか。

(2) 総合評価

①総合評価

今回の三つの課題は、いずれも海洋での情報把握における研究開発として世界的にニーズが高いものであり、その目的に沿って社会実装に繋がる技術開発が進展し、事業全体として波及効果が大きな技術開発がなされたことは評価できる。

また、事業期間中に新型コロナウイルスなどによる社会情勢の変化があり、研究への影響も少なからずあった中で、各課題において適切な対応が行われ、当初の想定以上の成果を挙げている課題もあり、事業全体として、当初の目標は概ね達成しているものと考えられる。

各課題の達成状況は以下の通り。

・課題①：

海水・高圧条件下でもpHやアルカリ度を計測可能な次世代型ISFETセンサを開発した。本事業終了後も複数の外部資金で採択されており、今後もさらなる発展が見込まれる。アルカリ度センサの改良や耐圧性、耐久性、応答性の向上等の技術的課題に加え、産業化に向けた戦略の見直しなども必要と思われ、実用化に向けては改善の余地が残されているが、次世代センサの特徴を生かし、医療分野や半導体など精密機器分野への応用のための共同研究等も推進しており、当初の目的以外への波及効果も期待される。

・課題②：

核酸回収・抽出の独自手法を確立し、環境DNA抽出の基本プロトコルとしてオープンアクセス学術誌に発表した。また、特定遺伝子の検出を行う卓上型の自動分析装置を開発した。更に、MiFish法に基づく環境DNAデータ解析技術を新たに開発、公開データベースにデータを提供した。更に、SBIR制度を活用した事業化によりベンチャー起業も推進するなど、社会実装に向けて極めて顕著な成果が認められる。測定技術開発だけではなく、確立された解析技術を進展させ、高いレベルの科学的知見が多く得られたことに加え、技術移転への道筋も明確となっており、当初の期待を上回る成果と評価できる。

・課題③：

マイクロプラスチックの材質、形状、サイズ、個数を連続的に自動で分析できるシステムを開発した。事業期間中に、民間企業への技術移転がなされており、受注製造可能な状況にまで進展していることに加え、実績のあるコーヒーマシンの紙フィルタ

一とその供給装置を応用したこと、ハイパースペクトルカメラの利用に詳しい民間企業との連携、より廉価な国産のハイパースペクトルカメラの利用の可能性などが提案されており、実用化に対する道筋が明確に示されている点も評価できる。また、小型化、低価格化を目指し、事業終了後も企業や他機関との共同研究を実施しており、今後もさらなる発展が見込まれる。

②評価概要

研究開発課題により発想や推進体制が大きく異なる中、研究開発期間を通じてPDが責任を持って一貫してプログラム運営を統括し、研究推進委員会等を通して計画の点検や、今後の研究計画の見直し等の助言を確実に実施しており、本事業の実施体制は、十分有効に機能したと評価できる。

また、各研究課題とも実施期間を有効に活用し、MDAの基礎となる海洋情報の収集・取得に資する多くの科学的成果が創出されたことに加え、一部の課題では事業期間中に事業化への明確な道筋が示された。更に、全ての課題において本事業終了後も外部資金獲得につながっている。以上より、費用構造の適切性や費用対効果、波及効果は想定以上であったと認められ、高く評価できる。

(3) 今後の展望

海洋の現場での利用を目的とした研究開発には時間を要するが、本事業では、開発した技術の実用化及び民間企業等への技術移転という目的が上手く機能し、本事業の開始前に出ていた一定程度の成果がうまく生かされたと言える。これらは、技術開発の段階に応じた事業目的とのマッチングの重要性を示しているものであり、本事業の運営で得られた知見を今後の事業の設計にも生かしていくことが重要である。

また、本事業では、観測・計測技術の開発が目的であり、最終目標として開発した技術の実用化及び民間企業等への技術移転を明確に打ち出していた。一方、我が国で使用されている海洋の観測・計測機器の大部分が海外製品であり、国内には対応する企業がほとんどないため、大学等による多くの技術開発が社会実装（製品化）まで到達しづらい状況が続いている。研究開発投資の効果を最大化し、社会実装まで進めるためには、本事業での取組に加え、研究チームに民間企業を加えるのみならず、起業の専門家を加えるなど、更なる検討が必要である。加えて、我が国の海洋産業の活性化や社会実装を考えた場合、国内の研究機関のみならず、経済安全保障に留意しつつ海外の企業からの申請や連携を呼びかけることも併せて検討することが有用である。

最後に、観測・計測技術の開発において、「世界標準」や「世界を見据えた開発」というのは重要だと考える。また、価格的にも、円安は世界を見据えればプラスになると考えられる。まだ出口に達していないプログラムもあるが、次の研究費の獲得もなされており、さらなる進捗が期待される



我が国の深海探査における喫緊の課題

EEZの約50%が水深4,000m以深である我が国の深海探査は、科学的知見の充実の基盤であるとともに、我が国の様々な社会課題（防災・減災、地球環境変動等）にも密接に関わっており、総合的な海洋の安全保障上も極めて重要。しかしながら、

- ROVやAUVの大深度化・高性能化の遅れ
- 日本で最深度まで潜航できるHOVの老朽化

など、喫緊の課題を抱えており、早急に対応が必要。

委員会の論点

深海探査システムを取り巻く現状と課題、これらを踏まえた今後の我が国の深海探査システムの在り方及び推進方策について、以下を主軸をおいて検討

- ① 深海探査システムに求められる能力
- ② 深海探査システムを実現するための研究開発
- ③ その他(運用方法・体制、人材育成、アウトリーチ等)

(※詳細はp.2)

【スケジュール】

- 第1回（令和5年11月22日）
- 第2回（令和5年12月26日）
- 第3回（令和6年2月5日）
- 第4回（令和6年2月22日）

* 海洋開発分科会（令和6年3月25日）に中間とりまとめ（案）を報告。以降、報告書のとりまとめに向けた検討を実施。

【委員名簿】 ◎主査

日野 亮太	東北大学大学院理学研究科 教授
河野 健	国立研究開発法人海洋研究開発機構 理事
廣川 満哉	独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構 特別参与（金属環境・海洋・石炭本部担当）
◎松本 さゆり	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 港湾空港生産性向上技術センター 副センター長
岩崎 弘倫	株式会社NHKエンタープライズ制作本部 自然科学番組部エグゼクティブ・プロデューサー
奥村 知世	高知大学教育研究部総合科学系 複合領域科学部門 准教授
小島 茂明	東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授
谷 健一郎	独立行政法人国立科学博物館地学研究部 研究主幹
巻 俊宏	東京大学生産技術研究所 准教授
湯浅 鉄二	川崎重工業株式会社エネルギーソリューション&マリカンパニー船舶海洋ディビジョン エグゼクティブフェロー(潜水艦・AUV 関連技術担当)

(参考) 科学技術・学術審議会 海洋開発分科会 深海探査システム委員会の検討状況について

- 本委員会では、「今後の深海探査システムの在り方について」（平成28年8月）の達成状況等を踏まえ、**以下の3つの観点**でヒアリングを実施。
- ヒアリングで示された各コミュニティからのご意見を踏まえ、中間とりまとめを行う。

① 深海探査システムに求められる能力

- 深海探査システムのユーザーである各分野の専門家から、各分野の最新の研究動向や今後の深海システムに対するニーズについてヒアリングを実施

【第2回委員会】 海底地質学①（谷委員）、地球生命科学（奥村委員）、海底鉱物資源（神戸大学 石橋教授）

【第3回委員会】 海底地質学②（名古屋大学 道林教授）、地震防災（日野委員）

② 深海探査システムを実現するための研究開発

- 産学の専門家から、探査機や要素技術に関する最新の技術開発動向や今後の展望についてヒアリングを実施

【第2回委員会】 水中音響通信の技術開発動向（JAMSTEC 志村技術開発部長）

【第3回委員会】 工学系アカデミアの研究開発動向（巻委員）、民間企業の研究開発動向（湯浅委員）

③ その他（運用方法・体制、人材育成、アウトリーチ等）

- メディア関係者から自然科学番組制作等のアウトリーチ活動についてヒアリングを実施

【第3回委員会】 メディアにおけるアウトリーチ活動（岩崎委員）

- その他、①②のヒアリングにおいて、産学の専門家から、深海探査システムを取り巻く諸課題（運用体制、人材育成、産学連携等）についても意見を聴取



I. 我が国における深海探査システムの現状と課題

1. 深海探査システムの国内外の状況

深海大国である我が国では、**深海探査は科学的基盤の強化及び総合的な海洋の安全保障(防災・減災、地球環境変動等)の観点から極めて重要**であるが、以下のような課題を抱えている。

<深海探査システムに関する課題>

- (HOV) 6,500m級のHOV「しんかい6500」は**4,500m超の海域で作業が可能な唯一の探査機**だが、母船「よこすか」も含め、**老朽化が深刻**。構成機器、部品の生産中止等が進み、国内での大深度HOVの製造技術も後退。
- (ROV) フルデプス級の「かいこう」など、かつては世界トップクラスの技術を誇っていたが、現在では**4,500m級まで後退**。世界に大きく後れをとっている状況。
- (AUV) **8,000m級AUV「うらしま」を開発中**。運用時に複数の水中作業員を要するため、**コスト面や複数・多機種同時運用の実現等が課題**。
- (運用面) 探査機、母船いずれも複数・多機種同時運用などの**効率的な運用を想定した設計となっておらず非効率**。一方、海外では**運用システムの効率化**が進んでおり、**シップタイムを最大限有効に活用**※。

※海外の事例 ・米国ではROVやAUVなど複数・多機種の深海探査機を用いた24時間の連続観測など、シップタイムを有効活用した効率的な調査を実施。
・米国、英国等では昇降式、ガレージ式の着水揚収システムの導入により省人化を推進。
・船上装置の陸上からの遠隔操作の導入など、効率的な運用システムの開発も進展。

<深海探査システムを取り巻く課題>

- (人材育成) 研究船の減少に伴う航海日数の減少などにより、特に**若手研究者が研究航海に参加する機会が減少**。海洋研究者の裾野拡大や海洋分野の重要性について国民から広く認識してもらうため、**アウトリーチ活動も重要**。
- (産学官連携) AUV戦略等も踏まえ、**産業向け探査機の技術を取り入れるなどの産学官連携も重要**。

2. 各分野の研究開発動向と深海探査システムに求められる能力について

- ✓ 下記に示す各分野のニーズのとおり、多様な手法を駆使して幅広い空間を対象に高分解能での調査を実施するため、**HOV・ROV・AUV各種をバランスよく整備し、これらを組み合わせて同時に運用可能なシステムの構築が重要**。
- ✓ 科学的観点・社会課題解決の観点から調査意義の高い海溝底へのアクセスが可能な**フルデプス級の探査機の開発が必要**。
- ✓ **分野横断型の調査研究を推進**するため、より多くの研究者が参画できる**遠隔操作等の新技術の導入も必要**。

<各分野のニーズの例>

- 【海底地質学】岩石採取のための露頭観察の能力、数百kgの岩石の持ち帰りが可能な大容量サンプリング能力
- 【地球生命科学】数cm単位で制御可能なマニピュレーション能力、深海生物の行動を詳細に把握できる高い視認性
- 【海底鉱物資源】調査範囲の絞り込みのための広範囲調査、岩石採取のための重作業能力、海底面付近を観察できる高い視認性
- 【地震防災】海溝底（6,500m～フルデプス）の岩石等を採取可能な大容量サンプリング能力、測器の海底への設置、ケーブルへの接続等の重作業能力

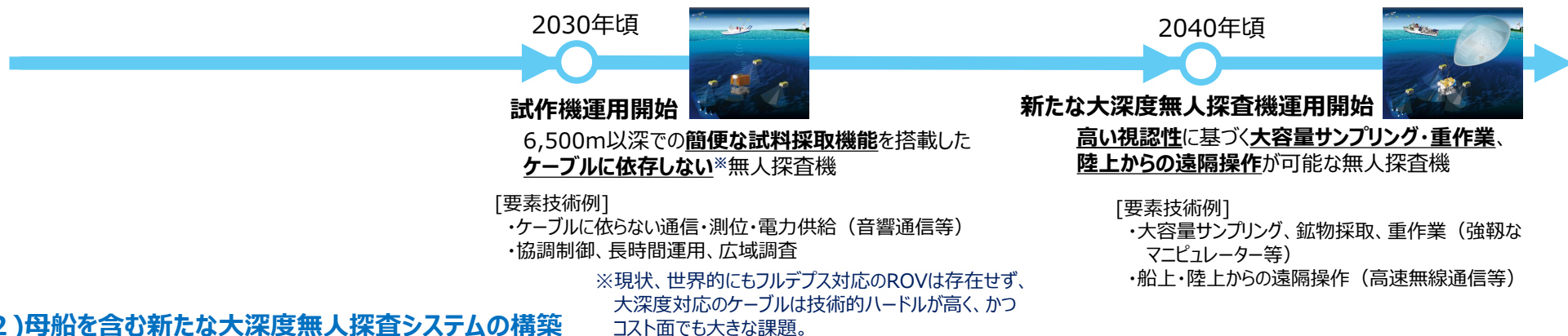
II. 我が国の深海探査システムの在り方について

1. 深海探査システムの今後の方向性について

I. 2. の各分野のニーズから、「しんかい6500」のみに依存せず、4,000m以深で観察・計測、試料採取、重作業の機能を満たす新たな大深度の探査機が必要。そのため、HOV、ROV、AUV及びそれらの母船について、具体的には**以下の三点について開発を推進**。

(1) 新たな大深度無人探査機の開発

我が国で対応が後れている**大深度での試料採取及び重作業の機能の強化、研究機会の増大、効率性向上**等のため、**フルデプス対応した無人探査機を開発**



(2) 母船を含む新たな大深度無人探査システムの構築

24時間観測や複数・多機種同時運用などが可能なシステムを構築



(3) 「しんかい6500」及び母船「よこすか」の老朽化対策・機能強化

老朽化対策及び機能強化を最優先で実施し、「しんかい6500」を**耐圧殻の設計限界である2040年代まで最大限活用**



II.我が国の深海探査システムの在り方について

2.深海探査システムを取り巻く諸課題への対応

<人材育成>

- 若手人材育成に資する研究航海の機会確保に加え、我が国が国際共同研究等においてリーダーシップを発揮し、海外の優れた研究者を呼び込むことにも繋がるため、**海洋科学技術分野の人材育成及び裾野拡大の観点からも前述の深海探査システムの維持・発展は重要。**

<アウトリーチ>

- 「しんかい6500」等の深海探査機は、海洋科学技術・深海探査の重要性・必要性を社会的に認識してもらう上でも象徴的な存在であることから、**探査機が実際に行っている作業を公開しつつ、市民目線で分かりやすく成果を発信。**
- **海洋科学技術・深海探査の重要性・必要性について国民から広く認識を得るためのアウトリーチを推進。**
- 具体的には、**深海のリアルな映像を鮮明に伝えるための技術**（4K・8KのHDR映像、全方位カメラなどVR映像、深海広域照明設備等）の開発や、**リアルタイムで発信するための大容量通信インフラを整備。**加えて、**調査研究と併せてアウトリーチに活用可能な映像情報を取得。**

<産学官連携>

- 深海探査システムの開発で得られた成果を活用した**産業育成や経済安全保障の確保なども見据え、産学官の連携を推進。**

今後の深海探査システムの在り方について
中間とりまとめ（案）

1
2
3

4 <目次>

5 <はじめに>

6 I. 我が国における深海探査システムの現状と課題

7 1. 深海探査システムの国内外の状況

8 (1) HOV

9 (2) ROV

10 (3) AUV

11 (4) 探査機の運用システム等について

12 2. 各分野の研究開発動向と深海探査システムに求められる能力について

13 (1) 海底地質学

14 (2) 地球生命科学

15 (3) 海底鉱物資源

16 (4) 地震防災

17 (5) 分野横断型の調査研究

18 II. 今後の深海探査システムの在り方について

19 1. 深海探査システムの今後の方向性

20 (1) 新たな大深度無人探査機の開発

21 (2) 母船を含めた新たな大深度無人探査システムの構築

22 (3) 「しんかい 6500」及び母船「よこすか」の老朽化対策・機能強化

23 2. 深海探査システムを取り巻く諸課題への対応

24 <はじめに>

25 我が国は、四方を海に囲まれ、排他的経済水域（EEZ）の面積は世界で第6位であ
26 り、またその海域は多様性に富み、様々な面で国民の社会経済活動に深く関わってい
27 る。

28 2022年8月に、海洋開発分科会において、広くかつ深い海洋を包括的に理解するた
29 め、海洋調査データを格段に増やす必要があり、そのためフロート、海底設置型観測
30 機器、係留系観測機器、探査機¹等を用いた海洋調査観測の拡充を図るとともに、技
31 術の改良・高度化を進めることの重要性が指摘された²。また、2023年12月には、総
32 合海洋政策本部において、総合的な海洋の安全保障上も海洋に関する情報収集体制を
33 強化することの重要性が指摘されている³。

34 これらの中でも、深海探査は、以下のような喫緊の課題を抱えており、早急に取り
35 組む必要がある。

36 (1) 深海大国日本における深海探査の重要性

- 37 ✓ 我が国のEEZは約50%が水深4,000m以深であり、本海域を自国で探査する能
38 力は、科学的知見の充実の基盤であることに加え、海洋状況把握（MDA）の観
39 点からも必須であり、防災・減災、地球環境変動等の総合的な海洋の安全保
40 障上も極めて重要

41 (2) ROVやAUVの大深度化・高性能化の遅れ

- 42 ✓ ROVやAUVは、海外で大深度化や高性能化が著しく進展し、いずれも6,000m
43 級の製品が市販化
- 44 ✓ 一方、我が国の国産技術は、AUVは4,000m級に止まり、かつてフルデプス級⁴
45 を運用していたROVも4,500m級まで後退し、海外から大きく後れている状況
- 46 ✓ また、アジア・太平洋域では、6,000m以深へ到達できる探査機が特定の国に
47 集中しており、他の海域に比べ、探査能力が脆弱

48 (3) 日本で最深度まで潜航できるHOVの老朽化

- 49 ✓ 「しんかい6500」は、無人機も含めて、現在我が国が所有する6,000m以深で
50 の調査・作業が可能な唯一の探査機であるが、完成から30年以上が経過し、
51 老朽化により、近い将来、使用できなくなる懸念
- 52 ✓ 母船「よこすか」も就航から30年以上が経過し、老朽化や陳腐化が激しく、
53 また、航海期間や人員の活用等の運用効率面にも課題⁵を抱えており、「しん
54 かい6500」と合わせた「大深度HOVシステム」が失われる危機的状況である
55 ことから、広く認識を共有し、早急に対策を講じる必要

56 (4) 人材の育成・確保

- 57 ✓ 海洋分野においても、少子高齢化に伴う人口減少による影響に加え、イノベ
58 ーションを創出できる人材の必要性の高まりなどの課題が顕著。人材育成・
59 確保の強化とともに、EEZの約50%が水深4,000m以深であることの実事や、
60 海洋に関わる諸活動の重要性について国民から広く認識を得る必要があり、
61 そのためのアウトリーチ活動も課題

62 以上より、我が国の深海域における調査・作業能力を維持・強化するため、HOV・

¹ここでは、有人潜水調査船（HOV）、遠隔操作型無人探査機（ROV）自律型無人探査機（AUV）を指す。

²「今後の科学技術の在り方について（提言）～国連海洋科学の10年、関連する主な基本計画を踏まえ～」（令和4年8月30日科学技術・学術審議会海洋開発分科会決定）

³「我が国の海洋状況把握（MDA）構想」（令和5年12月22日総合海洋政策本部決定）

⁴ここでは、世界最深であるマリアナ海溝の最深部（約11,000m）に到達可能なレベルを指す。

⁵本年6月に日本学術会議が開催した公開シンポジウム等でも議論がなされており、アカデミアからも強い危機感が示されている（日本学術会議公開シンポジウム「有人潜水調査船の未来を語る」<https://www.sci.go.jp/ja/event/2023/336-s-0617.html>）。

63 ROV・AUVを中心とした深海探査システムの研究開発及び整備に早急に取り組む必要が
64 ある。

65 本報告書では、深海探査システムを取り巻く現状と課題、これらを踏まえた今後の
66 我が国の深海探査システムの在り方及び推進方策についてとりまとめた。

67

68 I. 我が国における深海探査システムの現状と課題

69 1. 深海探査システムの国内外の状況

70 深海探査は科学的知見の充実の基盤であるとともに、海洋状況把握（MDA）や防
71 災・減災、地球環境変動等の総合的な海洋の安全保障上も極めて重要であることから、
72 海外でも深海探査システムの研究開発が急速に進展している。

73 これらの状況を踏まえ、海外との比較も通じた我が国の深海探査システムの現状・
74 課題を以下の通り整理する。

75 (1) HOV

76 海外では、米国、中国、フランス等が6,000m以深対応のHOVを保有している。
77 特に、2018年には米国 Triton Submarines 社が、2020年には中国科学院がフルデ
78 プス級を建造⁶している。

79 我が国では、6,500m級の「しんかい 6500」が4,500mより深い海域で試料採
80 取・重作業が可能な唯一のHOVである。「しんかい 6500」は、これまでの潜航実
81 績から推定される耐圧殻の設計限界として、2040年頃まで使用可能であるが、
82 1991年に「しんかい 6500」が建造されて以来、同等以上の大深度HOVは我が国で
83 は建造されておらず、構成機器・部品の生産中止や機器メーカーのサポート停止
84 が進み、技術が失われつつあるため、現状のままでは海外から更に後れをとる恐
85 れがある。また、「しんかい 6500」の運用には多数の船員が必要であり、運用コ
86 スト面でも課題がある。

87 また、「しんかい 6500」の母船である「よこすか」も竣工から30年以上が経過
88 し、老朽化や陳腐化が激しく、また航海期間や人員の活用等の運用効率面でも課
89 題がある。

90 (2) ROV

91 7,000mを超える水深にアクセスできる大深度ROVは製品化されておらず⁷、世
92 界的にも技術が確立していないものの、海外では海底油田等の海洋産業を背景に、
93 欧米の民間企業が6,000m級のROVを多数市販している。このような背景もあり、
94 米国、英国、フランス、ドイツ、ノルウェー、中国、韓国など多数の国の公的機
95 関・大学が6,000m級のROVを所有している。

96 我が国では、フルデプス級の「かいこう」など、かつては世界トップクラスの
97 技術力を誇っていたが、「かいこう」のビークル亡失（2003年）や、母船「かい
98 れい」の退役（2022年）もあり、現在では4,500m級の「かいこう Mk-IV」及び
99 「ハイパードルフィン」のほか、民間企業を含む幾つかの機関が3,000m級ROVを
100 複数機保有するに止まり、ROVによる深海探査能力において海外から後れをとっ
101 ていることは、海洋状況把握（MDA）や防災・減災、地球環境変動等の総合的な
102 海洋の安全保障上も課題がある。また、「しんかい 6500」に不測の事態があった
103 場合の救難活動⁸に備えて、潜航深度が同等以上の大深度ROVが必要である。

104 しかし、現在、国内に大深度ROVを製造する民間企業はほとんど存在せず、構
105 成機器を含め、基本的には海外から購入している。また、6,000m以深対応の一次
106
107

⁶ 米国では、海軍（運用はWHOI）が唯一所有するHOVの改造を2021年に完了し、4,500mから6,500mに大深度化。また、2018年に Triton Submarines 社がフルデプス級HOVを建造するなど、民間での商用利用向けの開発が進展。中国では、2020年に中国科学院のHOVがフルデプス級を達成したほか、7,000m級を複数機、4,000m級を1機所有。インドも6,000m級を建造する計画。

⁷ ノルウェーの Argus 社は、現状、世界で最も深くにアクセスできる7,000m級ROVを製造。

⁸ 現在は、安全を確保するための装置の一つとして救難ブイを搭載。潜航中に、海底に拘束され、自力での浮上が困難となった場合、救難ブイが浮上し、母船「よこすか」に搭載されているワイヤで救難ブイを引っ掛け、「しんかい 6500」を引き揚げる。

108 ケーブルも国内メーカーは既に撤退しており、新たな開発には技術的なハードル
109 が高い。更に、ケーブルが劣化することへの対策として、開発した後も定期的な
110 交換が必要であり、運用コストも課題であることから、6,000m 以深対応の ROV の
111 実現に向けた新たな研究開発が必要である。しかし、6,000m 以深対応の探査機に
112 ついては、海外においても構成機器の市販品がないことから、これまで「しんか
113 い 6500」等で培ってきた我が国の技術を発展させ、国内で開発する意義は大きい。
114

115 (3) AUV

116 海外では、米国や英国、ドイツ等の公的機関が6,000m 級 AUV を保有しているほ
117 か、米国、ノルウェー、カナダ等の民間企業において航行型の6,000m 級 AUV が市
118 販化されている。また、中国科学院において、2021 年にフルデプス級が開発され
119 ている。

120 我が国では、米国企業から購入した6,000m 級の「NGR6000」を保有しているほ
121 か、3,500m 級の「うらしま」を改造し、2025 年度に8,000m 級 AUV として運用が
122 開始される見込みだが、探査機の使用に複数の水中作業員を必要とするため、運
123 用コストの面や複数・多機種同時運用の実現面などに課題⁹がある。

124 そのほか、我が国では、南極等の極限環境での観測が可能なホバリング型 AUV
125 や、AI を活用したウミガメを自動探知・追跡する航行型 AUV、高速でのパイプ
126 ラッキングが可能な AUV 等、用途に応じた多様な AUV の開発¹⁰が進行中であり、
127 引き続き世界に先駆けた研究開発を進めることが重要である。
128

129 (4) 探査機の運用システム等について

130 ① 深海探査機の複数・多機種同時運用や長期運用

131 米国では、ROV や AUV など複数・多機種の深海探査機を用いた24 時間の連続観
132 測を実施している。AUV で取得した高精細な海底地形図を直ちに船上で処理し、
133 これに基づき ROV で海底観察と試料採取を行うため、我が国の深海探査機の通常
134 の運用では最低でも2 航海、計40 日以上 of 調査期間が必要と推定されるデータを
135 1 航海、2 週間の調査期間で取得可能であり（調査時間は計200 時間以上）、調査
136 航海の期間（シフトタイム）を有効活用するという観点で極めて効率性が高い。

137 一方、我が国の深海探査機及び船舶は、必ずしも複数・多機種同時運用が想定
138 された設計・体制となっていないため、例えば JAMSTEC では、AUV を使用する際
139 と ROV を使用する際にはそれぞれ船舶の運用が必要となり、時間的にもコスト的
140 にも非効率である。

141 複数の AUV を同時運用する技術は、国内外で開発が進展しているが、実際の調
142 査航海で有効活用している事例は確認できない¹¹。広域での効率的な探査を実現
143 し、シフトタイムの有効活用にもつながる技術として期待されるため、世界に先
144 駆けた研究開発が重要である。

145 また、海底ステーションを基地とし、ROV や AUV を海中に長期展開するレジデ
146 ント技術は、母船レスや長期運用の実現に資する基盤技術であり、コンセプトから
147 実現に向けた技術開発が進展中である。更に、国内外の民間企業等で、パイプ
148 ラインの点検等への活用に向けた開発もなされており、深海探査への活用に向け

⁹ 詳細は（4）にて後述。

¹⁰ 浅海域向けでは、国内外で小型水中ドローンの開発も進められており、陸上のドローン技術の応用等により、低コスト化が進み、市販品も多く販売。

¹¹ 我が国では、2018 年に Team Kuroshio が Shell Ocean Discovery XPRIZE で第2 位を獲得するなど、高い技術力を保持。

149 た研究が必要である。

150 ②着水揚収

151 着水揚収システムについては、英国の民間企業では昇降式システムの、米国で
152 はガレージ式システムの母船への導入が進められている。また、AUV「NGR6000」
153 のように母船を選ばず、揚収に特定のクレーンを必要としない探査機の市販化や、
154 船上装置の陸上からの遠隔操作の導入などが進められ、効率的な調査が可能なシ
155 ステムの開発が世界的に進展している。

156 一方、JAMSTECの母船を用いた着水揚収作業には、Aフレームクレーンを使用¹²
157 しており、多くの人員が必要となる。特に、HOV「しんかい6500」及びAUV「うら
158 しま」の揚収には水中作業員による作業が必須であり、24時間観測や複数・多機
159 種同時運用体制を構築する上でも大きな障壁となっているほか、船員不足や安全
160 性確保への対応の観点からも課題がある。

161 ③探査機を構成する要素技術

162 「しんかい6500」から母船「よこすか」への画像伝送に使用されている水中音
163 響通信装置は、従来の装置に比べ約10倍以上の性能を達成し、約2.5秒に1枚の
164 頻度で画像を送信可能である。

165 また、従来は別々の装置で処理されていた通信と測位を統合した装置を開発し、
166 これを用いた複数機のAUVの隊列制御にも成功している。

167 他方、AUVの自律性を高める要素技術は、世界的にもまだ開発途上であり、我
168 が国の世界トップレベルの水中音響通信技術を生かした技術開発の推進が必要で
169 ある。

170 更に、各探査機の大深度化を推進する上では、センサ¹³やカメラ、マニピュレ
171 ータ等の現場観測機器も大深度に対応した技術開発が必要である。

172 ④深海探査システムを取り巻く諸課題

173 10年前と比べ、研究船の減少に伴う、航海日数の減少¹⁴などにより、特に若手
174 研究者が研究航海に参加する機会が減少しており、海洋調査コミュニティーが縮
175 小している。EEZの大半を深海域が占める我が国にとって、科学的基盤の強化及
176 び経済安全保障の観点から海外に後れをとらないよう、海洋研究者の裾野を広げ
177 ることが不可欠である。また、海洋に関わる諸活動の重要性について国民から広
178 く認識してもらうため、アウトリーチ活動も重要である。

179 2023年12月に、総合海洋政策本部において、洋上風力発電の設置・保守管理、
180 海洋インフラ管理、海洋生態系のモニタリング等への活用が期待されるAUVの社
181 会実装の推進について方針が示された¹⁵ことなども踏まえ、浅海域での利用を目
182 的とした産業向け探査機等の技術を取り入れることも必要である。

183 2. 各分野の研究開発動向と深海探査システムに求められる能力について

184 深海は、主に海底地質学、地球生命科学、海底鉱物資源、地震防災といった研究分

¹² 専用の着水揚収装置を備える「KM-ROV」は除く。

¹³ 環境センサ（塩分、水温、圧力、溶存酸素等を計測）、航海センサ（慣性航法装置、深度計、スキャニングソナー等）等を想定。

¹⁴ JAMSTECの研究船（「ちきゅう」を除く）の航海日数は、2013年度は約1,700日であったが、2023年度は約1,100日（見込み）まで減少している。

¹⁵ 「自律型無人探査機（AUV）の社会実装に向けた戦略」（令和5年12月22日総合海洋政策本部決定）

189 野のフィールドとなっており、EEZ の大半を深海域が占める我が国はこれらの研究を
190 推進していくことが重要である。また、各分野のみならず、分野横断型の調査研究から
191 得られる新たな発見も期待される。

192 各分野の研究開発動向と求められる深海探査システムを以下の通りに整理する。

193

194 (1) 海底地質学

195 海底火山研究では水深 2,000m までの比較的浅いところ、プレートテクトニク
196 スやマグマ活動の研究では水深 4,500~6,500m までの比較的深いところが対象と
197 なり、それらの研究開発を進めるためには岩石試料の採取が必要である。

198 マリアナ海溝（最深部 約 11,000m）南部の岩石は海溝、島弧、背弧の岩石学的
199 性質の全てを示すと言われているため、HOV・ROV による、海底を詳細に観察しな
200 がらのサンプリングやピンポイントでの観測機器の設置が重要であるが、1. の
201 現状のとおり、水深 6,500m 以深においてそれらの作業を行うことは不可能である。

202 伊豆・小笠原海溝（水深 6,500m 以深）の海溝斜面において、HOV「しんかい
203 6500」と ROV「かいこう 7000Ⅱ」¹⁶を用いて採取した岩石により、プレートの沈
204 み込みに関するメカニズム解明に向けた新たな発見があったが、現状、この水深
205 で調査・試料採取ができる ROV を我が国では所有していない。

206 また、2015 年に実施した Havre 火山噴火調査航海では、米国の調査船を用いて、
207 24 時間体制で無人探査機（ROV、AUV）の同時運用と海底サンプルエレベータを用
208 いた調査を実施した。このような AUV のマルチビームソナー、サイドスキャンソ
209 ナー、サブトムプロファイラーを用いて作成した詳細な海底地形図に基づく、
210 効率的な調査を実施可能とするため、AUV における要素技術の高度化、大深度化
211 も進める必要がある。

212 以上より、海底地質学では、有人・無人問わず少なくとも水深 7,000m で海底
213 を観察して試料を採取する手段が必要とされる。

214 具体的には、以下の能力が必須であり、これらの技術開発を進める必要がある。

- 215 ・ 岩石採取の適地を選定するために、地層や岩石が露出した露頭観察の能力
- 216 ・ 岩石試料の採取が可能な強さを備えたマニピュレーション能力
- 217 ・ 1 潜航あたり数百 kg の岩石の持ち帰りが可能な大容量サンプリング能力

218

219 (2) 地球生命科学

220 生命誕生や地球外生命圏の理解に向け、初期の地球や火星でも起こっていたと
221 される岩石と水の反応（蛇紋岩化）に着目した研究が世界中で盛んになっている。
222 本反応に関連した海底アルカリ性湧水域は、日本近海を含む北太平洋域の海溝周
223 辺では水深 2,000~6,500m に分布しており、湧水、生物、岩石等の採取及びコア
224 リングが可能な水深 6,500m の調査能力の維持が必要不可欠である。

225 原核生物から真核生物の進化の鍵とされる古細菌の分離の成功や、生態系への
226 影響が懸念されているマイクロプラスチックの動態把握といった、世界的にイン
227 パクトの大きい成果が日本近海の深海堆積物の研究よりもたらされている。

228 生態系維持の観点から、海洋保護区の指定が進んでいるが、基礎情報が不足し
229 ているため、最近 10 年で急速に深海を含めた海洋生態系に関する研究が進展して
230 いる。また、海底鉱物資源の採掘等による環境影響評価への対応の重要性は世界的
231 的にも高まっており、これらの調査・研究には HOV による人の目での現場観察や、

¹⁶ 現在は、後継機の ROV「かいこう Mk-IV」となっている。

232 ROV・HOV を使用したサンプリング、現場実験が必要である。

233 以上より、地球生命科学では、多彩な試料採取や現場観測能力（湧水、生物、
234 岩石・堆積物）が可能な ROV・HOV が必要である。

235 特に、深海底は生物多様性に富んでおり、数 cm の範囲で形成される生物が集
236 中する環境（沈降してきた生物の死体や巣穴等が形成する小さな構造物）を把握
237 する必要がある、数 cm 単位で地質の化学組成とあわせて調査することが重要であ
238 る。したがって、繊細な試料採取が可能となるマニピュレーション能力や、HOV
239 の視認性、機動性、安定性、作業性は不可欠であり、1. の現状を踏まえ、AI に
240 よる画像認識等を活用した自律型試料採取システムなど、HOV と同等の作業能力
241 を持つ探査機が必要である。加えて、深海生物の行動をより詳細に把握するため、
242 全方位カメラなどによる撮影技術の高度化も重要である。

243 (3) 海底鉱物資源

244 海底熱水鉱床は水深 500~3,000m の火山弧や背弧海盆、コバルトリッチクラ
245 ストは水深 1,000~2,500m の海山・海台、マンガン団塊及びレアアース泥は水深
246 4,000~6,000m の平坦な深海底に存在する。これらのような鉱物の分布を把握す
247 るため、AUV によるマッピングや、鉱物の試料採取及び海底熱水の採取には、操
248 作性の高いマニピュレータを備えた ROV・HOV が使用される。

249 また、鉱物の成因解明のため、AUV によるマンガンクラストの厚み計測や、操
250 作性の高いマニピュレータを有する ROV・HOV で鉱物の付着を確認するなどの現場
251 実験が実施されている。加えて、鉱床の形成過程の解明には、水深によって鉱物
252 の形態が異なるため、幅広い水深範囲（特にこれまで探査の機会が少なかった水
253 深 3,000m 以深）あるいは対照的な地質場（島弧と中央海嶺）における調査・比較
254 や、鉱物はあるが量的に少ない地域と多い地域とを比較する必要がある。

255 以上より、海底鉱物資源では、大深度 AUV 等による調査範囲の絞り込み、ROV・
256 HOV による試料採取能力の維持が不可欠である。特に、海底地形の立体的な構造
257 やスケール感は直接の視認が必要であるため、HOV 又は HOV と同等の高い視認性
258 を持つ高度可視化システムの開発が必要である。

260 (4) 地震防災

261 海溝近傍で発生する特異な津波地震には未解明な点が多く、学術的にも防災上
262 も、フルデプスにおける調査研究が重要である。

263 最近の成果として、船舶及び探査機を用いた海底観測や GNSS 観測によって、
264 東日本大震災の際の東北沖の断層すべり量が精緻に観測された。また、海外の
265 HOV によって、東日本大震災によって日本海溝の底（水深約 7,500m）に生じた隆
266 起地形と断層崖を世界で初めて現地で観察・撮影された。

267 精度の高い地震発生予測には、観測精度を十分に高めた地殻変動観測が必要で
268 ある。例えば、南海トラフにおいては、ROV による海底光ファイバーへの歪計取
269 り付け作業や、海底掘削孔内への地殻変動観測装置の設置などを行い、微小地殻
270 変動（ゆっくりすべり）等をモニタリングしている。

271 今後は、太平洋プレートの沈み込みに伴って、大きな地殻変動が進んでいる北
272 海道・千島列島沖でも観測が必要である。

273 過去の巨大地震の痕跡から発生履歴を解明するため、水深 6,500m 以深におい
274 て海溝底の岩石や堆積物を採取可能な探査機の開発が必要である。
275

276 また、海底ケーブル式地震・地殻変動観測網の構築のために、測器の海底への
277 設置とケーブルへの接続を行うことが可能な重作業 ROV の開発も必要である。

278 更に、機動観測型（ケーブル非接続）の測器を断層直近などにピンポイントで
279 設置し、それらで得られる観測データの収集を行うための非接触高速通信機能を
280 有する探査機の開発が必要である。

281 加えて、広域海底測量の実現のため、超高精度な慣性航法能力を備えた AUV の
282 開発も必要である。

283 284 (5) 分野横断型の調査研究

285 上記の各分野での調査研究のみならず、分野横断型の調査研究から得られる新
286 たな発見も期待されることから、分野横断型の調査研究を活性化するシステムも
287 重要である。

288 例えば、深海の海溝底は、地理的な隔絶と高圧等の環境要因により特殊な生態
289 系が構築されており、少ない調査で多くの新しい生物が発見されているほか、
290 2023 5 年には東日本大震災で日本海溝底に生じた断層崖が発見されるなど、様々
291 な分野で調査の意義が高いことから、日本海溝等の海溝底へのアクセスが可能な
292 フルデプス級の探査機の開発が必要である。

293 また、船上あるいは陸上からの遠隔操作の技術を取り入れるなど、より多くの
294 異分野の研究者がディスカッションを行いながら同時に調査に参画できるシステ
295 ムの開発が必要である。

296 更に、いずれの分野にも共通するニーズとして、多様な手法を駆使して幅広い
297 空間を対象に高分解能での調査が重要であるため、HOV・ROV・AUV 各種の探査機
298 をバランス良く整備し、これらの探査機を組み合わせることで同時に運用できるシステ
299 ムを構築する必要がある。

302 **Ⅱ. 今後の深海探査システムの在り方について**

303 **1. 今後の方向性**

304 I. 2. に記載されている深海探査機に求められる機能を整理すると、大まかには、
305 以下の四つに分類される。

- 306 ・ 航行型 AUV が得意とする詳細な海底地形図作成などの「広範囲の観察・計測」
- 307 ・ HOV が得意とする深海生物や露頭の観察などの「海底面付近での観察・計測」
- 308 ・ HOV 及び ROV が得意とする海底を詳細に観察しながらの「試料採取」
- 309 ・ HOV 及び ROV が得意とする地殻変動観測装置等の観測機器のピンポイントでの
310 設置などの「重作業」

311 深海大国である我が国においては、水深 4,000m 以深の大深度海域において、いず
312 れの機能も必要不可欠である。特に、水深 6,000m 以深～フルデプスの海域では、海
313 溝底¹⁷など科学的観点・社会課題解決の観点から調査意義が極めて高い海域が存在す
314 るため、フルデプス級の機能を持った探査機を備えることが望ましい。

315 一方、I. 1. で示した通り、海外において探査機の大深度化や高性能化が著しく
316 進展する中、我が国は探査機の技術開発等で大きく後れをとっている。特に、海外で
317 は複数の国が市販の 6,000m 級の ROV やフルデプス級の HOV を所有しているのに対し、
318 現在の我が国の ROV の最高潜航深度は 4,500m であり、これより深い海域での「試料採
319 取」及び「重作業」は、「しんかい 6500」のみに依存している状況である。また、AUV
320 については、8,000m 級の航行型 AUV を開発中であり、「広範囲の観察・観測」の機能
321 は強化されることとなるが、航行型 AUV のみでは「試料採取」及び「重作業」が十分
322 に行えず、「海底面付近での観察・計測」にも限界があるため、これらの作業が可能
323 な ROV 等が必要である。老朽化が深刻な「しんかい 6500」及び母船「よこすか」の運
324 用が停止すると、我が国が調査可能な水深が 6,500m から大きく後退し、我が国がこ
325 れまで長年継続してきた深海の調査・研究が途絶えてしまう懸念がある。

326 こうした状況を踏まえ、我が国において、深海の調査・研究を継続的に行うために
327 は、「しんかい 6500」及び母船「よこすか」の老朽化対策を最優先で進めるとともに、
328 遅くとも「しんかい 6500」の運用限界と推定される 2040 年頃までに、新たな大深度
329 の探査機の運用を開始する必要がある。加えて、I. 2. で示したような深海探査に
330 おける多様なニーズに応えとともに、I. 1. (4) で示した船員不足や航海日数
331 の減少等の課題、I. 2. (5) で示した分野横断型の調査研究の推進などに対応す
332 るためには、母船の運用を含め、効率的な調査が可能な新たな深海探査システムを構
333 築する必要がある。そのためには、HOV、ROV、AUV をバランスよく整備するとともに、
334 幅広い研究者の参画を可能とする複数・多機種同時運用や遠隔操作が可能なシステム
335 を導入することで、調査の効率性や精度をより一層高める必要がある。

336 HOV、ROV、AUV 及びそれらの母船について、具体的には以下の三点について開発を
337 進める。

338
339 **(1) 新たな大深度無人探査機の開発**

340 上記の通り我が国で対応が後れている大深度での「試料採取」及び「重作業」
341 の機能の強化、熱水鉱床付近などアクセス困難な海域での調査など研究者の安全
342 性の確保、多様な研究ニーズに応えるための研究機会の増大及び調査時間の長期
343 化等の観点から、フルデプス対応した無人探査機を開発する。

¹⁷ 詳細は I. 2. (5) 参照。

344 新たな無人探査機では、一度の調査に多数の研究者が参画し、実際に海底に行
345 って調査する場合に近い感覚での調査を可能とするため、高い視認性を確保する
346 高度可視化システムや陸上からの遠隔操作など、これまでの探査機にない新たな
347 機能を付加することで、効率性・機能性を追及する。加えて、陸上からの遠隔操
348 作により、複数の分野に跨る多く研究者が同時に調査に参画し、ディスカッショ
349 ンを行いながら調査することが可能なシステムとすることで、分野横断型研究の
350 促進など調査研究の質の向上にもつなげる。

351 また、6,000m 以深対応の ROV を太径ケーブルに依存せずに運用できるシステム
352 は世界に例が少ない¹⁸ ことに加え、大深度 ROV の構成機器は海外でも市販品がな
353 いことから、これまで培ってきた我が国の技術を発展させ、世界に先駆けて開発
354 する意義は大きい。

355 新たな大深度無人探査機の開発には、下記の①、②に記述した通り、多くの要
356 素技術の開発が必要であり、相当の時間を要する。そのため、「しんかい 6500」
357 の運用限界と推定される 2040 年頃までに運用できるよう、以下のスケジュールで
358 開発を進める。

359 ① 基盤的な要素技術及び試作機の開発（～2030 年頃）

- 361 ・ 2040 年頃までに大深度無人探査システムを運用開始するため、まずは水
362 深 6,500m 以深での簡便な試料採取機能や、I. 1. (1) のとおり技術
363 面・運用コスト面で課題がある太径ケーブルに依存しない通信・測位技
364 術などの基盤的な要素技術を開発する。加えて、24 時間観測や複数・他
365 機種同時運用に向け、AI 等を活用した自律航行・航走機能、探査機間の
366 協調制御、長時間運用、広域調査等に必要な技術開発を進める。また、
367 2030 年頃までにこれら技術を搭載した大深度無人探査機の試作機の運用
368 を開始する。

369 (技術開発が必要と考えられる要素技術の例)

- 371 ・ ケーブルレスでの高速・高精度な通信・測位を可能とする音響通信技術、または細径
372 ケーブルによる通信・測位技術
- 373 ・ ケーブルによる電力供給に代わる大容量バッテリー
- 374 ・ ケーブルレス化による動作制御のタイムラグなどにも対応しつつ、自律型試料採取を
375 可能とする AI 等を活用した自律航行・航走機能や試料を識別する画像認識機能
- 376 ・ 協調制御のための AI や音響通信等を活用した自律制御・マルチピークル技術の高度
377 化
- 378 ・ 長時間運用のためのレジデント技術¹⁹
- 379 ・ 広域調査のための慣性航法能力 等

380 ② 新たな大深度無人探査機の開発（～2040 年頃）

- 381 ・ ①のシステムを発展させ、大容量サンプリング能力や岩石試料等の採取
382 及び重作業が可能な強さを持つ試料採取システム、高い視認性に基づく
383 機動的な調査が可能な VR 等を活用した高度可視化システム、幅広い研究
384 者が参画可能な船上あるいは陸上からの遠隔操作等の技術開発を行い、
385 2040 年頃までにこれらの機能を兼ね備えた新たな大深度無人探査機の運
386

¹⁸ 細径ケーブルを活用した海外の事例として、米国の「Nereus」、中国の「Haidou-1」などがある。

¹⁹ 詳細は I. 1. (4) ①参照。

387 用を開始する。

388

389 (技術開発が必要と考えられる要素技術の例)

390 ・ 大容量サンプリング・岩石の採取・重作業を可能とする電力を供給できるバッテリー、
391 上記の作業が可能な強度を持つコンピュータ、サンプリングを効率化するサンプル
392 エレベータ

393 ・ 高度可視化システムのための全方位カメラ、3D 仮想表示技術、SLAM²⁰

394 ・ 遠隔操作のための高速無線通信 等

395

396 (2) 母船を含めた新たな大深度無人探査システムの構築

397 「しんかい 6500」の耐圧殻の設計限界は 2040 年代と推定されているが、運用
398 に必須な母船「よこすか」の老朽化はより深刻であり、「しんかい」が停船する
399 より前に停船となる可能性も高いため、大深度無人探査機を搭載可能な母船の在
400 り方についても、早急に検討が必要である。

401 「よこすか」などの JAMSTEC の多くの船舶の着水揚収システムとして搭載され
402 ている A フレームクレーンは、作業効率も悪く、船舶の定員や安全性確保の点等
403 を考慮すると、24 時間観測や複数・多機種同時運用を実現する上でも大きな障壁
404 となっている。したがって、国内外における昇降式システムやガレージ式システ
405 ムの導入等の最新の動向を調査した上で、HOV、ROV、AUV いずれの探査機にも幅
406 広く対応した新たな汎用性の高い着水揚収システムを検討することが必要である。
407 また、現在改造中の AUV「うらしま」なども着水揚収時に多くの水中作業員を必
408 要とするため、上記のような汎用性の高い着水揚収システムを搭載することによ
409 り、既存の探査機の運用の効率化にもつながる。

410 船員不足への対応や運航コスト削減等の運用面の課題に対応するため、今後は、
411 上記のような汎用性の高い着水揚収システムを搭載した母船や、船上あるいは陸
412 上からの遠隔操作等の技術を取り入れることにより、省人化・効率化を進めるこ
413 とが重要である。

414 具体的には、以下のスケジュールで開発を進める。

415

416 ① 汎用性の高い着水揚収システムに関する FS (～2030 年頃)

417 ・ 汎用性の高い着水揚収システムやそれを備えた母船について、海外の事例
418 等を調査し、今後の母船の在り方について検討を行う。加えて、(1) ①
419 で開発した試作機の実海域における船舶を活用した実証など、24 時間観
420 測や複数・多機種同時運用の実現に向けた実証試験を実施する。

421

422 (技術開発が必要と考えられる要素技術の例)

423 ・ 昇降式・ガレージ式等の着水揚収システム

424 ・ (1) ①で開発した試作機の実海域における船舶を活用した実証 等

425

426 ② 新たな大深度無人探査システムの構築 (～2040 年頃)

427 ・ ①の FS 及び検討の結果を踏まえ、汎用性の高い着水揚収システムを実装
428 し、24 時間観測や複数・多機種同時運用を開始する。

429

430

²⁰ SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)自己位置推定と地図作成を同時に行う技術。

431 上記（１）、（２）の技術開発を進めるにあたり、AIを用いた自律・協調制御技術や
432 VRを用いた可視化技術、遠隔操作のための通信技術等については、他分野で先行して
433 いる技術を積極的に取り入れることも重要である。また、海外では既に探査機の24時
434 間運用や複数・多機種同時運用等が一部進められていることも踏まえ、上記のシステ
435 ムの検討にあたっては、海外での事例等も調査した上で最適なシステムを設計する。

436 加えて、目的特化型の多様なAUVの開発など、最先端の技術を生かした探査機や要
437 素技術の研究開発を世界に先駆けて行う。

440 (3) 「しんかい6500」及び母船「よこすか」の老朽化対策・機能強化

441 前述の通り、老朽化が深刻な「しんかい6500」及び母船「よこすか」の運用が
442 停止すると、我が国が調査可能な水深が6,500mから大きく後退し、我が国がこれ
443 まで長年継続してきた深海の調査・研究が途絶えてしまう懸念がある。また、
444 「しんかい6500」には人が安全に乗船するための特別な技術が必要だが、構成機
445 器・部品の生産中止や機器メーカーのサポート停止などにより技術が失われつつ
446 あり、国内で同等の能力を持つHUVの新造は開発期間・コストの両側面から困難
447 な状況である。加えて、母船「よこすか」は、船底外板の減肉などの船体構造の
448 劣化、着水揚収装置の油圧装置などのHUV潜航支援装置の劣化が激しく、「しんか
449 い6500」の継続的な運用が危ぶまれている。したがって、「しんかい6500」及び
450 母船「よこすか」の老朽化対策を最優先で進め、「しんかい6500」をこれまでの
451 潜航実績から推定される耐圧殻の設計限界である2040年代まで、あるいは、上記
452 (1)、(2)が開発されるまで、最大限活用する。

453 並行して、「しんかい6500」を可能な限り長くかつ効果的に活用するため、例
454 えば、乗船者間での視野の共有やAUVで広域調査を行い詳細な海底地形図を取得
455 した後に連続して「しんかい6500」によりピンポイントで詳細調査を行うAUVと
456 の同時運用などの機能強化にも取り組む。

457 (技術開発が必要と考えられる要素技術の例)

- 459 ・ 緊急離脱ボルト等の生産終了品の代替品
- 460 ・ 乗船者間での視野の共有のための全方位カメラ、VR技術
- 461 ・ AUVの海底地形図の高精度化・高解像度化、3D化技術 等

462
463 一方、今後の我が国のHUVの在り方については、「しんかい6500」が深海探査
464 研究の面だけでなくアウトリーチの面でも大きな貢献を果たしていることや、我
465 が国の深海探査の象徴であることなども踏まえ、多角的な検討が必要であり、今
466 後も引き続き議論していく。

468 2. 深海探査システムを取り巻く諸課題への対応

469 海洋科学技術分野では、人材の育成・確保や国民への理解増進が課題となっている。
470 II. 1. で示したような高度なインフラ整備は、若手人材育成に資する研究航海の機
471 会確保に加え、我が国が国際共同研究等においてリーダーシップを発揮し、海外の優
472 れた研究者を呼び込むことにも繋がるため、海洋科学技術分野の人材育成及び裾野拡
473 大の観点からも深海探査システムの維持・発展は重要である。特に、「しんかい6500」
474 等の深海探査機の運用で培われた世界トップレベルのオペレーションの技術は、個々
475 の調査の質を高めるものであり、確実に維持・継承する必要がある。

476 「しんかい6500」等の深海探査機は、海洋科学技術・深海探査の重要性・必要性を
477 社会的に認識してもらう上でも象徴的な存在であることから、探査機が実際に行って
478 いる作業を公開しつつ、市民目線で分かりやすい成果の発信を行う。

479 また、海洋科学技術・深海探査の重要性・必要性について国民から広く認識を得る
480 ため、STEAM 教育やアウトリーチを推進する。特に深海探査は、科学博物館などの展
481 示の来場者では 30 代以下の若年層が6割を占めるなど、国民に人気の高いコンテン
482 ツであることから、この強みを活かしつつ、深海のリアルな映像を鮮明に伝えるため
483 の技術（4K・8K の HDR 映像、全方位カメラなど VR 映像、深海広域照明設備等）の開
484 発や、リアルタイムで発信するための大容量通信インフラを整備し、調査研究と併せ
485 たアウトリーチに活用可能な映像情報の取得を行う。

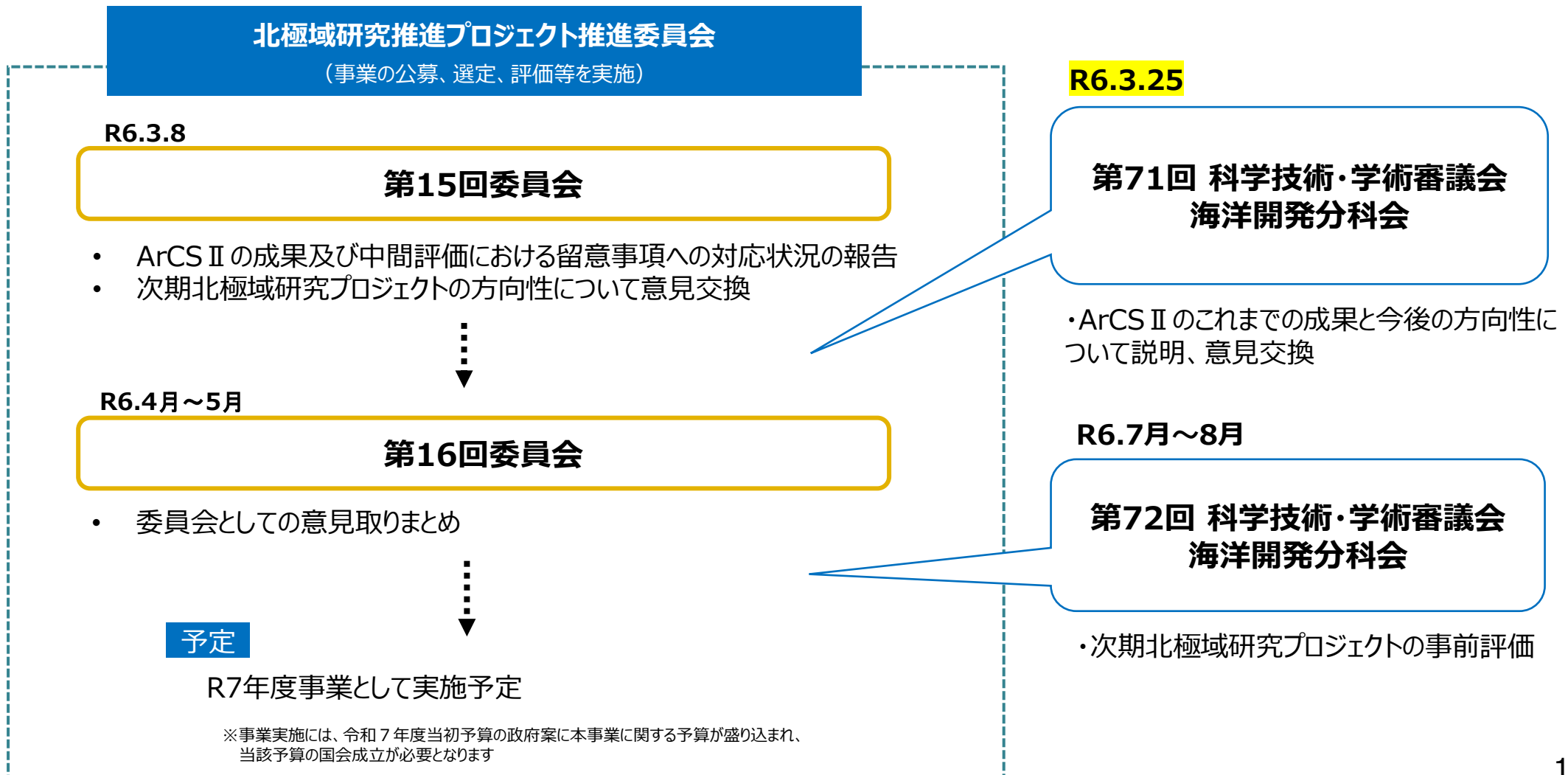
486 深海探査システムの研究開発においては、研究機関や大学等に加え、産業界におけ
487 る開発の推進も重要である。深海探査システムの開発で得られた成果を活用した産業
488 育成や経済安全保障の確保なども見据え、産学官の連携を推進する。

489
490

次期北極域研究プロジェクトについて

次期北極域研究プロジェクトの検討の進め方

- 現在、実施中の北極域研究加速プロジェクト（令和2年度開始）は、令和6年度が事業最終年度のため、北極域研究推進プロジェクト推進委員会において、次期北極域研究プロジェクトの今後の方向性を検討しているところ。



北極域研究推進プロジェクト推進委員会 委員名簿

- ◎ 池島 大策 早稲田大学国際教養学部 教授・前学部長
- 窪川 かおる 帝京大学先端総合研究機構 客員教授
- 合田 浩之 東海大学海洋学部海洋理工学科航海学専攻 教授
- 三枝 信子 国立研究開発法人国立環境研究所 地球システム領域 領域長
- 坂野井 和代 駒澤大学総合教育研究部 教授
- 瀧澤 美奈子 日本科学技術ジャーナリスト会議副会長
- 中田 薫 国立研究開発法人水産研究・教育機構 理事

◎ : 委員長

北極域研究加速プロジェクト(ArCS II)【令和2年度～令和6年度】

目的

持続可能な社会の実現に向けて、北極の急激な環境変化が我が国を含む人間社会に与える影響を評価し、社会実装を目指すとともに、北極における国際的なルール形成のための法政策的な対応の基礎となる科学的知見を国内外のステークホルダーに提供する。

北極域の課題解決に向けた取組

- 4つの戦略目標（「先進的な観測」、「予測の高度化」、「社会への影響評価」、「社会実装の試行・法政策的対応」）を設定し、ArCSで整備された観測拠点、研究船、観測衛星及びデータアーカイブシステム(ADS)の各研究基盤を駆使して、オールジャパンで3本柱を中心とした課題解決に資する研究開発を加速。
- 代表機関：国立極地研究所 / 副代表機関：海洋研究開発機構・北海道大学 / その他大学・国研・企業計51機関が参画(2024年3月1日現在)
- 実施期間：令和2年度～令和6年度

戦略目標①：先進的な観測

観測システムを活用した北極環境変化の実態把握の強化

地球観測衛星や観測船を活用した高精度観測



戦略目標②：予測の高度化

気象気候予測の高度化・精緻化



2050年頃までに地球全体の気温は1.5°C上昇
※IPCC特別報告(2018年10月)による予測

戦略目標③：社会への影響評価

北極域における自然環境の変化が社会に与える影響評価を本格化

日本や北極圏国の極端気象への対応



日本の豪雪



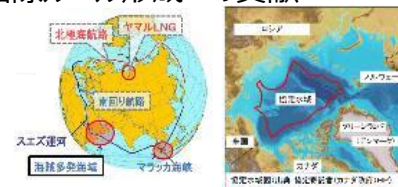
グリーンランドの洪水

戦略目標④：社会実装の試行

・法政策的対応

戦略目標①～③で得られた成果の社会実装の試行及び国際ルール形成への貢献

左図：北極海航路
右図：中央北極海無規制公海漁業防止協定の海域(赤線内)



- 2つの重点課題（「人材育成と研究力強化」、「戦略的情報発信」）を設定し、我が国の次代の北極域研究及び国内外のステークホルダーへの貢献

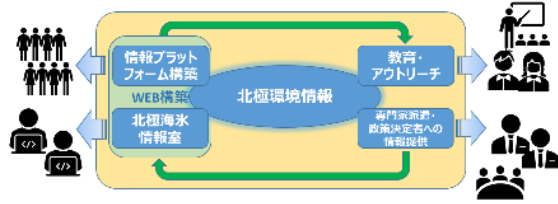
重点課題1：人材育成と研究力強化

若手研究者の派遣・招へい等による人材育成と国際的な人的ネットワークの強化

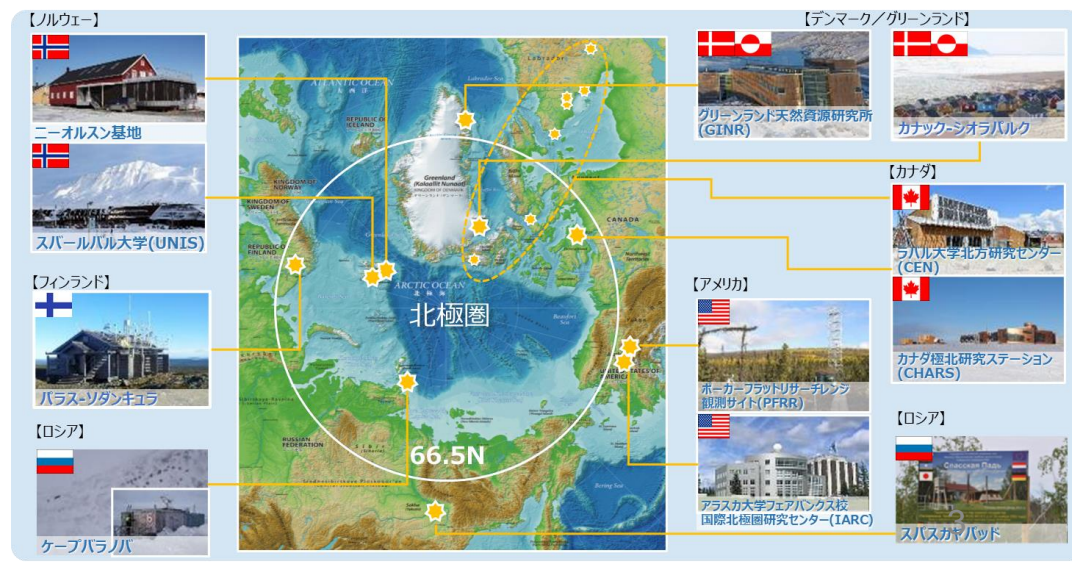


重点課題2：戦略的情報発信

国内外のステークホルダーを対象に、研究成果や北極環境に関する情報の統合的発信、地球環境に関心を持つ裾野の拡大につながる教育・アウトリーチ活動を実施



研究基盤：国際連携拠点一覧



- ・北極域は地球温暖化の影響が最も顕著に現れている地域であり、その継続的な観測・シミュレーション研究が必要。
- ・北極域はさまざまな制約から、元来観測データが乏しく、その環境変化の正確な把握、気象気候予測の精度向上の観点等から観測の空白域を埋めていく必要がある。
- ・北極域環境の変化を北極域のローカルな視点だけでなく、グローバルな視点から社会活動に与える影響の把握と対応策を講じる必要がある。

【これまでの成果例】

- ・観測データの乏しい北極域においてこれまで船舶、衛星などの多様な研究基盤を用いて観測研究を実施。
- ・特に、「みらい」による北極航海を北極海同時広域観測研究計画SAS (Synoptic Arctic Survey) の一環として実施するとともに、汎用ドローンを用いた気象観測手法を考案し、ラジオゾンデ観測と同等の精度で大気境界層の気象データを取得可能であることを実証。
等

【課題】

- ・未だ観測の空白域や乏しい領域（特に海氷域）が存在しそれが気象気候予測を大きく制約。
加えて、北極域の環境変動による地球規模課題に対処するため、また更なる国際貢献や人材育成の観点からも国際連携を強化する必要がある。
- ・日本への遠隔影響を含む災害の防止などの積極的な社会課題解決型研究が必要である。
- ・また、社会課題解決型研究を進めるためには、より出口を見据え、これまでの研究課題を横断した一体的な取組が必要である。

【今後望まれる方向性】

- ・今後は、新たな北極域研究船などを活用し、観測の空白域（空白時期等含む）の観測研究を積極的に進める。
- ・重要な研究基盤である北極域研究船を国際共同研究や人材育成の「国際研究プラットフォーム」としても活用。
- ・上記で得られた観測データを活用して各種数値モデリングの高度化を図り、将来予測の不確定性を低減させていく。
- ・これまでに得られた知見等を用いた、日本への遠隔影響の解明や地域社会の気候変動への適応などに資する社会課題解決型研究を実施。そのため、大気・海洋・陸域・雪氷観測、人文社会科学などの様々な分野を横断した一体的な研究などに
等

○海洋地球研究船「みらい」による北極海観測



北極域研究船(みらい II)
資料：JAMSTEC



新たなツールの活用
資料：国立極地研究所

1. 北極域研究の重要性

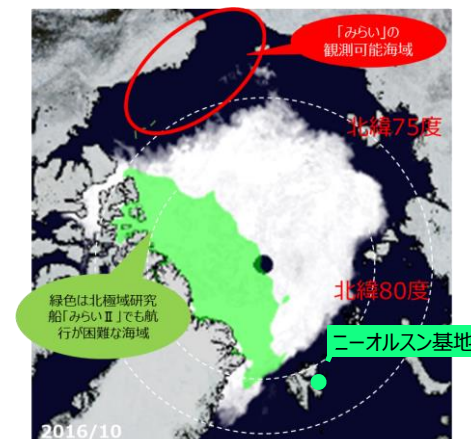
- 北極域は、気候変動の影響が最も顕著に現れている地域※
- 海氷の急速な減少など北極域の環境変動は、我が国を含む地球全体の環境や生態系に大きく影響

※

- 北極海の海氷面積は年々減少傾向にあり、年間最小海氷面積は2012年に観測史上最小面積を記録。また、IPCC(気候変動に関する政府間パネル)の「第5次評価報告書」では、最も気温上昇が高い仮定において、2050年頃の夏季には北極海の海氷がなくなる可能性を指摘
- IPCCの「第6次評価報告書」において、北極圏では世界平均の約2～3倍の速度で気温が上昇すると指摘

2. ArCS II の成果等

- ArCS II (令和2年度～令和6年度)の開始後、令和3年度(2021)から日本で初めてとなる北極域研究船の建造に着手
令和3年5月：アイスランドと共催でアジアで初めて日本で「第3回北極科学大臣会合」を開催。
国際協力のために必要な行動を具体化した共同声明を取りまとめ
令和5年5月：G7仙台科学技術大臣会合において、北極域研究船などの国際的な観測プラットフォームを活用し、観測を強化していくことを支持
- ArCS II等によって、北極域の環境変化の実態や海氷融解メカニズム等を一定程度解明
- しかし、海氷が厚い海域など観測困難な北極域には未だ観測データの空白域が存在。
気候予測等を制約する多くの課題が残っている



「みらい」の観測可能海域

「みらい」や北極域研究船「みらいII」を活用した北極域における高精度の研究・観測等を実施し、北極域研究の継続した推進が必要

次期北極域研究プロジェクトの検討について

3. 今後の課題

- 具体的には、次のような大きな課題が残っており、北極域研究をこれまで以上に推進していくことが必要

(1) : 観測・研究について

- ① 北極域には観測データの空白域や乏しい領域が存在し、それが気候変動予測を大きく制約 ※
- ② 気候変動により増加している森林火災の全体像・影響、北極域の温室効果ガスの収支などが、未だに十分に解明されていない
- ③ 国際情勢の変化や経済のグローバル化などの影響による北極域の地域社会の急激な変化

(2) : (1) で得られた知見を活用した社会課題の解決

- ④ これまでに得られた知見等を用いた、日本への影響を含む防災・減災や地域社会の地球環境変動への適応などの社会課題の解決に資する研究の実施
- ⑤ 社会課題の解決に資する研究実施のため、大気・海洋・陸域・雪氷観測、地上観測、衛星観測、船舶観測、情報技術、工学、人文社会科学などの分野を横断した一体的な観測や研究などの取組 ※
(例えば、北極域の環境変動由来の異常気象早期警戒情報の創出や、防災・減災への貢献など)

(3) : (1) (2) を支える人的基盤

- ⑥ 北極域研究に係る人材の裾野の拡大
- ⑦ 国際共同研究や研究者派遣による国際連携機能の強化 ※

次期北極域研究プロジェクトの方向性（案）

4. 次期北極域プロジェクトの方向性（案）

- 前ページ「3. 今後の課題」を踏まえ、
 - ・北極域研究船「みらいⅡ」を活用した観測データ空白域の観測
 - ・「みらいⅡ」を国際研究プラットフォームとして活用した国際連携の推進
 - ・分野を横断した観測と研究の一体的な取組

などの取組を実施するため、以下の方向性で次期北極域研究プロジェクトの実施を検討

1. 北極域研究船「みらいⅡ」等を活用した北極海海氷域を中心とした観測データ空白域の観測研究

（今後の課題①②③⑦）

- （例）
- ・「みらいⅡ」等を活用し、通年での北極海の環境変化を観測する総合的な研究開発
 - ・十分に解明されていない環境変化やその影響（森林火災、温室効果ガスの収支など）についての観測研究
 - ・国際情勢の変化や経済のグローバル化などの影響による北極域の地域社会の急激な変化等の把握
 - ・「ニーオルスン基地」等を活用した国際連携による共同研究の実施や、研究者派遣の拡大等による国際共同研究の強化 等

2. 「みらいⅡ」の国際研究プラットフォームとしての活用や国際共同研究等による国際連携の推進

（今後の課題⑥⑦）

- （例）
- ・国内外の若手研究者、学部学生、技術者、若手船員等の乗船機会の確保など、北極域研究に係る人材の裾野の拡大
 - ・「ニーオルスン基地」等を活用した国際連携による共同研究の実施や、研究者派遣の拡大等による国際共同研究の強化（再掲） 等

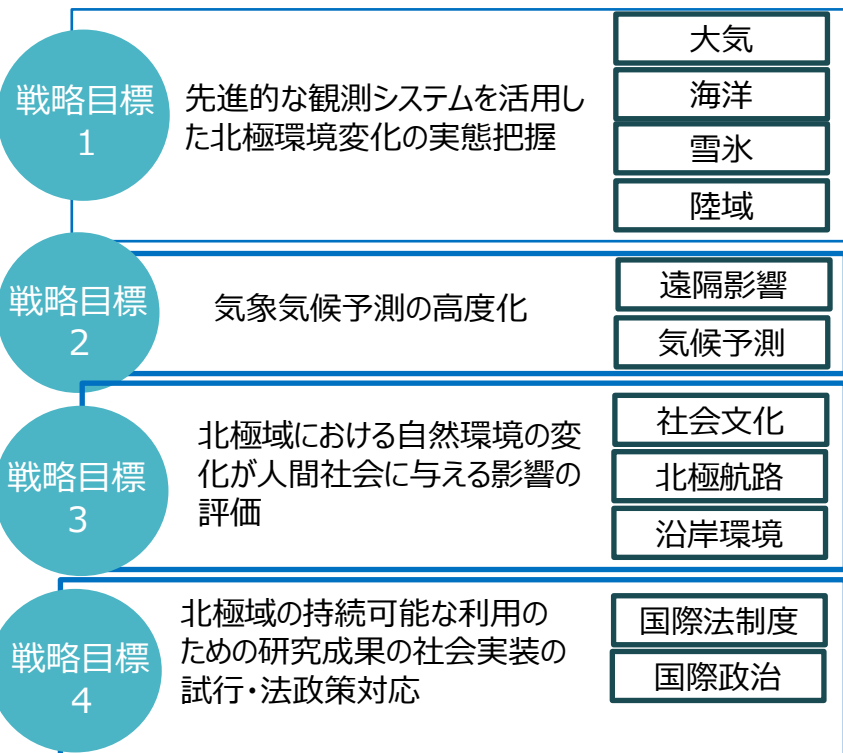
3. 分野横断的な観測と研究による社会課題の解決に貢献する研究開発の推進

（今後の課題④⑤）

- （例）
- ・日本を含む全球への影響把握や将来予測の精度の向上など高度な情報を創出、北極圏国だけでなく非北極圏国でも利活用される社会課題（森林災害、水産業への影響、健康・住環境等）の解決にむけた研究
 - ・「分野を横断した観測研究」、「シミュレーション研究」、「社会課題の解決に貢献する情報創出」を一体的に推進する研究開発 等

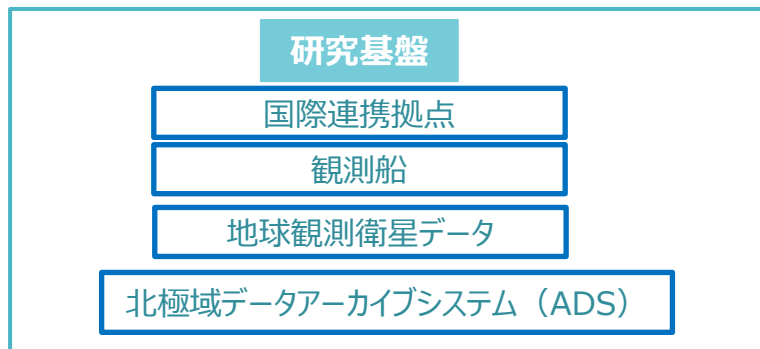
次期北極域研究プロジェクトについて（イメージ）

ArCS II



重点課題1 人材育成・研究力強化

重点課題2 戦略的情報発信



主な課題

- 海氷が厚い海域など観測データの空白域が存在

「みらいII」等を活用した観測データ空白域の観測

- 更なる国際貢献や人材育成の観点から国際連携の強化が必要

国際研究プラットフォーム等による国際連携の推進

- 分野横断的な観測と研究による社会課題の解決に資する研究開発が必要

分野横断による社会課題解決型研究開発の実施

次期プロジェクト

方向性1

観測データ空白域及び継続的な観測の実施

方向性2

国際連携の推進

方向性3

分野横断による社会課題解決型研究開発

研究基盤を活用し、様々な分野を横断した一体的な研究を推進

研究課題（テーマ）のイメージ

気候変動課題

災害課題

ガバナンス課題

地域社会課題

社会課題の解決への貢献を見据え、大気、海洋、雪氷、人文社会科学等の分野を横断した観測・研究テーマを設定

研究基盤

「みらいII」、「みらい」、「おしよる丸」

国際連携拠点、地球観測衛星データ、その国際連携体制構築

人材育成

情報発信・広報

北極域データアーカイブシステム (ADS)

期待される成果

- 北極域の観測データの充実、気候変動予測の高度化・精緻化
- 日本への影響の解明や気候変動への適応などの社会課題の解決に資する情報の創出
- 観測データや科学的知見の提供による国際貢献 等

(参考) 第15回北極域研究推進プロジェクト推進委員会 (R6.3.8) での主な意見

観測・研究について

- 北極域は最も環境変化が大きい場所であることから、空白域に限らず、**継続的に観測する重要性の明示**が必要。
- ロシア情勢により観測等が十分にできないこともある中で、次期プロジェクトの実施により**科学的に進捗が期待できる部分の明示**が必要。
- 我が国が観測データを取得し、それに基づく科学的知見を国際機関等に提供することで、これまで以上に**国際貢献**していくことが必要。
- 北極域研究を推進する上で、継続性に加えて、新規性の観点も必要。

研究基盤について

【人材育成】

- 育成した人材について、研究分野のみならず、多様な関連分野への参画実態などをフォローアップすることで、**若手のキャリアパスがイメージできるような人材育成**を期待。

【北極域研究船「みらいⅡ」】

- 「みらいⅡ」の着実な運航とともに、**国際研究プラットフォームとして国際連携**をこれまで以上に密にし、我が国が砕氷船を持つことにより、北極域研究において主導的な立場で活動することを期待。

【情報発信】

- 北極の環境変化及びArCSの研究活動について、**社会に向けて更なる情報発信**を行うことが必要。