

## 北極研究戦略委員会「議論の取りまとめ」（案）

### 1. はじめに

北極域は、近年、他の地域の2倍の速さで温暖化が進行しており、急激な海水の減少など、気候変動の影響が最も顕著に現れているとともに、こうした北極域における環境変化が地球全体の環境や生態系に大きな影響を与えることが科学的に指摘されており懸念されている。

他方、海氷の減少等に伴う北極海航路や資源開発の可能性への期待などから、非北極域の諸国も含め、世界的に大きな注目を集めている。

こうした中、我が国は、昨年10月に我が国で初となる「北極政策」を海洋政策本部において決定した。「北極政策」においては、北極に潜在する可能性と環境変化への脆弱性を認識し、持続的な発展が確保されるよう、我が国の強みである科学技術を基盤として、国際社会において、先見性を持って積極的に主導力を発揮していくこととされている。

一方、北極域に関する研究分野は雪氷、大気、海洋、陸域、生態系など、いわゆる総合科学であり、グローバルな気候変動や急激に進む極域における温暖化に関する課題を解明するためには、別表に示す広範な研究課題に取り組む必要がある。このため、本委員会は、北極域研究全体を俯瞰しつつ、我が国として今後、どのように戦略的に取り組んでいくべきかについて取りまとめを行った。

### 2. 北極域研究の意義、我が国の役割

#### （1）北極域研究の意義

我が国の強みである科学技術を活かして北極域における変化を総合的かつ包括的に把握し、変化の原因やメカニズムを解明することにより、全球的な影響の可能性や精緻な将来予測を行い、これらに基づき社会・経済的なインパクトを明らかにすることが重要である。

非北極域である我が国は、北極域国の領域や利害得失に直接関与しない立場にある一方、北極域の環境変動に伴う北極海域利用国としてその存在感を増しつつある。このような立場を活かして、北極域の持続的発展、利用における国際的なルール形成や政策形成過程へ、科学的知見の観点から関与し、貢献することが重要である。

このように、我が国の強みである科学技術を活かした貢献を行うことが、我が国自身への裨益に加えて、北極域国や国際社会に対する我が国のプレゼンスの強化につながるものである。

## （2）我が国の役割

北極域における環境変化に関する科学的知見については、これまで研究観測が実施され、様々な成果が得られているが、気候システム等、北極域における変化を全面的に解決するためには、今後、取り組むべき課題が山積している。

また、我が国が北極域を利用し得る多くの非北極域の立場を踏まえた開かれた研究観測体制や開発・利用・保全のバランスを考慮した政策展開を推進していくことが、国際的にも求められている。

このため、北極域全体を俯瞰し、中長期的な課題と短期的な課題を整理しつつ、国際的に未着手になっている課題や、我が国の強みを活かす課題解決を通じて国際社会に貢献できるよう戦略的に研究観測を推進し、世界の北極域研究をリードしていくとともに、戦略的研究観測の一環として、人材育成や技術支援等を含めた二国間、多国間協力を実現していくことが必要である。

また、北極域における科学的知見の蓄積を円滑に進めていくためには、各国がそれぞれの役割分担を調整し、得られた各種データを公開・共有していくことが必要である。我が国としては、アジア諸国を含む北極域を利用し得る多くの非北極域国の立場を踏まえつつ、これまでの研究観測の実績やそれらのデータ管理・公開の実績をもとに、オープンデータサイエンスを積極的に主張していくことも必要である。

一方で、北極域には、先住民をはじめ多くの人々が暮らしていることから、科学的知見に基づく情報、課題解決のための手法や選択肢を適切に内外のステークホルダーに発信していくとともに、ステークホルダー等のニーズを踏まえた、北極域における漁業資源や海底資源の探査・調査に資する研究観測を行うことも必要である。

さらに、我が国の国益を確保するための方法の一つとして、北極域における経済活動に関心を持つ産業界等のニーズを把握し、適切な情報提供を行うことも必要である。

## 3. 北極域研究におけるこれまでの取り組み、成果、現状

北極域は、その大半を北極海が占め、その周辺は沿岸国の領域で占められている。我が国の研究観測活動は、1950年代から雪氷、大気、海氷、陸域等、北極域全般で実施されており、これまでに多くの成果をあげている。

また、人文・社会科学分野においては、長年のフィールドワーク等による人類学、言語学、民族学、経済学、地域研究等において多くの知見を蓄積するとともに、北極域内の様々な地域社会との信頼関係を構築している。

#### (1) これまでの取り組み

平成3年(1991年)には、国立極地研究所が、ノルウェー、スバルバル諸島ニーオルスン観測村にニーオルスン観測基地を開設し、大気、雪氷、生態等の観測を開始した。また、海洋研究開発機構(以下、「JAMSTEC」という。))においては、平成9年(1997年)から海洋地球研究船「みらい」を用いた海洋観測を開始している。

- 北極域の超高層大気変動の解明を目指す欧州非干渉散乱レーダー科学協会(EISCAT)に国立極地研究所が平成8年(1996年)に加盟し、レーダーの整備等に貢献するとともに研究観測を実施している。
- 北極域の気象、海洋、海氷を観測する地球観測衛星が継続して打ち上げられている。
- 平成23年(2011年)、文部科学省はGRENE事業の一環として「北極気候変動分野」(以下、「GRENE」という。)を取り上げ、「急変する北極気候システム及び全球的な影響の総合的解明」を目的に、GRENEを5ヶ年の計画で開始した。
- 平成23年(2011年)には、オールジャパン体制で北極環境研究の強化に取り組む研究者コミュニティのネットワーク型組織である「北極環境研究コンソーシアム」(JCAR)(「以下、「JCAR」という。))が設立され、主要研究プログラム等の推進協力、研究者コミュニティ内の円滑な情報共有や国内外に対する研究観測成果の発信等、専門分野を越えた研究者間の連携等が開始された。
- 平成27年(2015年)4月には、組織的な北極域研究推進の一環として、JAMSTECが「北極環境変動総合研究センター」、北海道大学が「北極域研究センター」を新設。また、国立極地研究所が組織を改組し「国際北極環境研究センター」を設置した。

## (2) 成果

これまでのニューオルスン観測基地における北極域の自然環境に関する様々な研究や、EISCAT レーダーによる北極域超高層・中層大気の国際共同研究、海洋地球研究船「みらい」による北極海観測、GRENE による北極域の気候変動の研究等により、多くの研究成果をあげてきており、我が国の北極域における科学技術によるプレゼンスに貢献している。

- 1980年代末のソビエトによる北極域における研究を開放していくといった宣言、研究者による北極域における科学研究促進の必要性の認識の流れを受け、北極域研究の機運が高まり、1990年に国際北極科学委員会(IASC)(以下「IASC」という。)が設立され、我が国の加盟も1991年1月に開催された第1回評議会で認められた。
- IASCの科学活動に続き、北極域に係る共通の課題(持続可能な開発、環境保護等)に関し、先住民社会等の関与を得つつ、北極域諸国間の協力・調和・交流の促進を目的とした北極評議会(AC)(以下、「AC」という。)が平成8年(1996年)に設立された。我が国はこれまでの科学的貢献等を踏まえ、平成25年(2013年)に、ACへのオブザーバー参加資格が承認された。
- JCARにおいて、平成26年(2014年)9月に今後10~20年で取り組むべき課題等を検討した「北極環境研究の長期展望」を取りまとめるとともに、その活動は、国内にとどまらず、国際的な研究者ネットワークとしての役割を果たしている。
- 平成27年(2015年)4月、我が国で初めて、北極科学サミット週間(ASSW)が富山で開催された。北極に関する世界の研究者やステークホルダー等約700名が参加し、北極研究の推進等に関する議論が行われた。

## (3) 現状

平成27年(2015年)から、文部科学省では、北極域における環境変動と地球全体へ及ぼす影響を包括的に把握し、社会・経済的影響を明らかにすることを旨とした「北極域研究推進プロジェクト(ArCS)」(以下、「ArCS」という。)を開始し、国際連携拠点の整備、国際共同研究の推進等に取り組んでいる。

- ArCS では、GRENE で醸成された組織的な研究及び課題解決に資する研究観測等をより促進するため、国立極地研究所を代表機関、JAMSTEC 及び北海道大学を副代表機関として、我が国の多くの研究機関が参画するプロジェクトとして実施されている。

ArCS における新たな取り組みとして、人文・社会科学分野を研究テーマの一つとして位置づけ、自然科学分野との連携を促進する取り組みを実施している。

- 平成28年（2016年）4月、北海道大学北極域研究センターがネットワーク型の共同利用・共同研究拠点「北極域研究共同推進拠点」として文部科学大臣認定された。本拠点は、国立極地研究所国際北極環境研究センター、JAMSTEC 北極環境変動総合研究センターが連携施設として参画する国立大学法人、大学共同利用機関法人、国立研究開発法人という異なる法人の連携による初の拠点であり、それぞれの機関の特徴を活かした北極域研究の推進の役割を果たすことが期待されている。

#### 4. 今後、取り組むべき課題

##### （1）研究全般

北極域における環境変動は、地球上の他の地域より急速に進んでおり、全球的な環境変動を増幅する懸念となっている。これは、単に北極域国の課題にとどまらず、全球的な気象への影響、極端気象の頻発など非北極域国にも影響を与える課題であるため、我が国としても、引き続き、北極域研究に積極的に取り組んでいく必要がある。

北極域の環境変動が全球的な環境に影響を及ぼす懸念があることから、従来の研究者及び研究者グループを中心に実施されてきた研究に加えて、北極域国が重視する外交や安全・安心等とのつながりも意識した、グローバルな政策判断、課題解決に資する国際共同研究の拡充や新たな国際共同研究等の推進が必要である。

また、効率的・効果的に研究観測を進めるためには、取り組むべき課題を戦略的に設定することが必要である。

今後、取り組むべき課題設定に係る検討に当たり、別表のとおり、北極域研究の各種課題について、全体を俯瞰するとともに、北極域研究の特徴を踏まえて、北極域研究における5～10年程度の中長期的な課題を抽出、整理し、これまで十分に取組みされていないものや、我が国が主導的立場を取り得るもの

について積極的に進めていくとともに、政策形成、課題解決に向けた研究観測等の実施が必要である。

なお、課題の整理にあたっては、AC等の国際場裡において解決が必要とされている課題を積極的に研究テーマに取り込むとともに、するなど、科学技術を通じた我が国の貢献を積極的に打ち出せる分野を積極的に課題化し、研究観測の結果をAC等の国際場裡に発信する必要がある。

今後、取り組んでいくべき主な課題については次のとおり。

（北極域における環境変動等を解明していくために必須な課題）

- 永久凍土の現状の把握、永久凍土の気候システムに及ぼす影響、海底永久凍土の融解による海底への影響等、重要な課題にもかかわらずこれまで組織的な研究観測が不十分であった永久凍土に関する課題
- 超高層大気の変動、電離圏擾乱現象の有効かつ確実な検出と予測、中層・超高層大気の詳細なモニタリング観測による気候変動モデルの解明とさらなる予測精度向上に関する課題
- 人間活動の北極陸域生態系への影響等、人文・社会科学分野の研究者と自然科学分野の研究者の連携・協働が重要な陸域における生物多様性に関する課題

（我が国がリードを取り得るもの）

- 国際的な観測データの共有を促進し、北極域研究における我が国の主導権を発揮するための観測データベースの実データの共有化

また、例えば、北極海海底地形図作成のための研究観測等、日本で関与する研究者が少ないため、その分野の世界的な研究観測状況を把握しにくい分野もある。

このように、北極域における国際的な研究観測動向を把握し、我が国として進める必要のある研究分野等を検討する際には、研究観測の実施や北極域の実利用の際に必要な最も基礎的な情報に関する分野についてもこのような状況にあることにも留意し、可能な限り研究動向の把握に努める必要がある。

## （2）研究枠組み

研究者個人の自由な発想に基づく研究活動は重要であるが、加えて、ArCSのように目的を明確にした研究観測活動も北極域研究を通じた国際貢献を目指すこととしている我が国にとっては重要である。一方で、ArCS終了後も解明されていない課題は存在すると考えられ、引き続き、ArCSと同様な目的による研究支援の枠組みが必要である。このような取り組みの継続が、我が国の国益の確保及び国際貢献にもつながるものである。

また、最近の北極域における環境変化を踏まえ、その変化に弾力的に対応できるような柔軟な研究体制の構築も必要である。

さらに、北極域における環境変化を継続的に把握するためには、大気、海氷、海洋、陸域、超高層等における各種データを長期間にわたって取得することが必要であり、人的にもインフラ面においても、長期間の観測実施を可能とする体制の確保が必要である。また、現在空白となっている地域における観測網の強化を図ることも必要である。

### （3）人文・社会科学分野を含めた研究者ネットワークの強化

北極域研究は、大気、雪氷、海洋、陸域、超高層大気等、幅広い分野を対象とするため、北極に関する諸課題の解決と持続可能な発展への貢献のためには、引き続き専門分野を越えた研究者ネットワークの構築、研究者の協働を促進していく必要がある。特に、ArCSで取り組んでいる自然科学分野と人文・社会科学分野の連携を一層発展させ、北極域全体を総合的に理解し、課題解決に貢献していくことが必要である。

人文・社会科学分野においては、特定の専門分野であっても北極域全体を対象とした研究というより特定の国や地域における研究に特化しているケースも多く、同じ専門分野であっても他の国や地域を専門とする研究者との協働が必須であり、人文科学や社会科学の間でも学際的な研究を進める必要がある。

その上で、北極域における持続可能な発展のためには、人文・社会科学、自然科学分野全体における研究者ネットワークの構築、協働のもとに、北極域全体を総合的に理解していくことが必要である。

### （4）観測データの共有の促進

効果的・効率的に研究観測を進めていくためには、観測データの共有化は重要な課題であり、国際的な関心も高い。

各研究者グループが観測データベースを構築し、相互の連携・協力に向けた動きも見られ、メタデータについては一定の連携が進んでいるが、実データの連携については、不十分な状況である。

このため、我が国が率先して実データの連携構築に取り組むことは、我が国

の強みである科学技術を活かした北極域における国際貢献として大きな意味があると考えられ、積極的に取り組んで行く必要がある。

#### (5) 研究拠点の整備

北極域研究を促進するため、国内外における研究拠点の整備が必要である。ネットワーク型の共同利用・共同研究拠点として文部科学大臣認定された「北極域研究共同推進拠点」においては、北極域における環境と人間の相互作用の解明に向けた異分野連携による課題解決に資する先端的・学際的共同研究等を推進し、北極域の持続可能な発展に関する萌芽的な研究課題に対する支援等、ArCS で実施する目的を明確にした研究プロジェクトにつながるような、研究の裾野を広げることを視野に入れた活動を実施することが必要である。

我が国を代表する北極域研究プロジェクトである ArCS と北極域研究共同推進拠点は、役割分担を明確にしつつ、それぞれの有する特徴を活かしながら相互補完し、活動することが必要である。特に北極域研究共同推進拠点は、大学、大学共同利用機関、国立研究開発法人という異なる3法人で構成されるネットワーク型拠点であるという利点を最大限発揮することが必要である。

また、北極域における研究対象は大気、雪氷、海洋、海氷、陸域、超高層等と幅広いものであるが、長期間にわたり確実に観測が実施できる体制を構築するとともに、現在空白となっている観測網の強化を図ることが必要である。

#### (6) 国際連携、国際協力

北極域における研究観測は、北極域諸国の主権等を尊重するため、国際的な連携の下で進めることが必要である。また、北極域の影響は北極域に限定されたものではないため、他の非北極域国との連携・協力も、効果的・効率的な研究観測の実施のためには必要である。さらに、利用国の視点に基づく、連携・協力も必要であり、アジアを含む非北極域利用国間の連携について、積極的に取り組んでいく必要がある。

なお、諸外国との間において、大学や研究機関等の実際に研究を実施する機関では対応が困難な状況が生じた際には、文部科学省をはじめとする関係省庁が相手方政府との交渉等を適切に実施し、北極域における研究観測の実施を阻害する要因等の除去に取り組む必要がある。

北極域に関する諸課題は、“北極”が閉じた地域として存在しているものではなく、全球的な地球環境変動と密接に関係するものである。このため、北極を専門とする研究者のみならず、共通した変動システムや観測手法が有効な南極や全球を専門とする研究者やデータサイエンスとの連携・協力を促進し、効果的、効率的に研究観測を進めることが必要である。



## （7）研究観測のための施設・設備

北極域において研究観測を実施するためには、その研究観測を行う観測機器等の開発及び維持するために技術が必要である。このため、必要な技術力の維持及びそれらの技術を担う人材の育成が必要である。

また、各国の研究者が利用する国際的なプラットフォームは、それを保有する国のプレゼンスの発揮に直結することも認識しつつ、長期の研究観測体制を確保するための施設・設備の整備などが必要である。

北極域は海洋の占める割合が大きいことから、北極海における海水変動、物質循環や生態系の変化、海洋の酸性化等が生物多様性に及ぼす影響等、多くの課題の観測手法として研究船が必要とされており、北極域で活動できる研究船の役割は非常に大きい。また、他国の研究船を傭船した研究観測の実施については、所有者の意向が最優先されることから、希望する運航航路、日数、観測の実施が確保できない等、様々な制約が課せられる。

我が国が主体的に研究観測を実施していくためには、今後取り組むべき課題に対応する観点から、どの程度の規模（大きさ、砕氷・耐氷能力等）で、どのような装備の研究船が必要かについて、費用対効果の面も含め、さらに、検討を進める必要がある。

また、無人探査機（AUV）等、船舶以外の氷海下観測機器の開発等も併せて進めていく必要がある。

北極域の気候変動等に関する研究・観測を推進するためには、国際連携・分担による研究観測点や地球観測衛星による観測データ等が不可欠である。また、地球観測衛星による観測データ等は我が国が誇る共有データとして高く評価されている。このため、衛星からの観測データを継続的に取得できる体制の構築とともに、研究観測拠点において衛星観測データを検証できる観測データを継続的に取得できる体制の強化が必要である。

加えて、大学間連携等、ソフト的なプラットフォームの構築・活用も必要である。

## （8）人材育成

若手研究者の育成は重要である。このため、北極域研究の担い手となる若手研究者育成の枠組みの構築が必要であり、大学院連携プログラムの構築等の検討も必要である。

大学や研究機関等における北極域研究への組織的な取組が増加せず、期限付の研究プロジェクトがあるのみでは、若手研究者にとっても将来が不安な状況

である。

このため、大学や研究機関における研究職ポストの増等、若手研究者が北極域研究者としてのキャリアパスを描けることが重要であり、北極域研究を実施する大学、研究機関が積極的にポストを増加する枠組みを構築することが必要である。

#### (9) 社会との連携、社会への情報発信

研究・観測を実施するためには、そのための技術開発が必要であり、企業との技術開発を含めた長期的な計画を作成することが必要である。

研究成果の出口における市場化が展望できないと、民間企業からの研究資金の投入は期待できない。研究と利用面の連携を支援する枠組みを検討することにより民間企業のリスク負担を軽減し、民間企業が長期的な研究開発資金を投入しやすくなるような、産官学連携による魅力的な研究支援の枠組を構築する必要がある。

さらに、北極域研究に対する国民や政策決定者等、ステークホルダーの理解を得るため、「北極展」の開催や研究船の一般公開等、積極的なアウトリーチ活動が必要である。

特に北極域は南極域と異なり人々が居住し、社会的活動を行っている地域である。北極域における環境の急激な変動等は、そこに暮らす人々の生活に直結する問題でもある。このため、北極域における研究観測で得られた成果については、北極域で生活する人々へ情報提供し、暮らしに貢献することが必要である。

## 5. おわりに

北極域研究は、大気、雪氷、海洋、陸域、超高層大気等、幅広い領域を対象とするとともに、人文、社会、自然分野が関与する総合科学である。

本委員会においては、北極域研究を俯瞰しつつ、何が課題であるのか、これまでに何が解明されたのか、これから何を解明すべきなのか、そのために必要は観測ツールは何なのか、日本はその強みである科学技術を活かして何をなすべきなのか等について議論を行ってきた。

議論の中で見えてきたのは、北極域研究という領域は非常に広範であり、科学的にも解明されていない点がまだまだ多いということである。

その中でも、これまでに得た科学的知見を踏まえつつ、今後の北極域研究の在り方について、一定の方向性を見いだすとともに、「議論を取りまとめ」として取りまとめた。

今後、研究観測を進めて行くために必要な施設・設備の在り方等、引き続き、戦略的な北極域研究を進めて行くための議論を継続していくこととしたい。



## 検討の経緯

### ■ 第1回

開催日：平成28年2月22日（月）

議題：今後の北極研究のあり方について

○関係者からの報告

- ・「GRENE・ArCSの取り組み、課題等について」（榎本 浩之 国立極地研究所教授・副所長）
- ・「国立極地研究所の北極研究の取組・課題等について」（宮岡 宏 国立極地研究所教授・国際北極環境研究センター副センター長）
- ・「海洋研究開発機構の北極研究の取組・課題等について」（河野 健 海洋研究開発機構研究担当理事補佐・北極環境変動総合研究センター長）

### ■ 第2回

開催日：平成28年4月11日（月）

議題：今後の北極研究のあり方について

○関係者からの報告

- ・「北極研究を巡る諸課題、取組状況等」（榎本 浩之 国立極地研究所教授・副所長）

### ■ 第3回

開催日：平成28年6月13日（月）

議題：今後の北極研究のあり方について

○関係者からの報告

- ・「日本における北極に関わる人文社会科学 人文系3分野（経済、環境、ガバナンス）」（高倉 浩樹 国立大学法人東北大学東北アジア研究センター教授）
- ・「我が国における北極研究の取組状況」「我が国の北極環境研究データの連携状況」（榎本 浩之 国立極地研究所教授・副所長）

### ■ 第4回

開催日：平成28年7月5日（火）

議題：今後の北極研究のあり方について

○関係者からの報告

- ・「北極の海底地形」（谷 伸 GEBCO 指導委員会委員長）
- ・「北極域研究共同推進拠点の概要」（齊藤 誠一 北海道大学教授・北極域研究センター長）
- ・「北極で活動する主な観測船等」（河野 健 海洋研究開発機構研究担当理事補佐・北極環境変動総合研究センター長）

■ 第 5 回

開催日：平成 28 年 7 月 25 日（月）16 時～18 時

議 題：今後の北極研究のあり方について

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 委員名簿

(五十音順)

(正委員)

浦 辺 徹 郎 東京大学名誉教授・  
一般財団法人国際資源開発研修センター顧問

(臨時委員)

白 山 義 久 国立研究開発法人海洋研究開発機構理事  
瀧 澤 美奈子 科学ジャーナリスト  
藤 井 良 広 上智大学大学院地球環境学研究科客員教授・  
一般社団法人環境金融研究機構代表理事  
◎藤 井 良 一 大学共同利用機関法人情報・システム研究機構  
理事  
横 山 広 美 東京大学大学院理学系研究科准教授

(専門委員)

池 島 大 策 早稲田大学国際学術院教授  
榎 本 浩 之 国立極地研究所教授・副所長  
三 枝 信 子 国立研究開発法人国立環境研究所地球環境研究  
センター副研究センター長  
杉 山 慎 北海道大学低温科学研究所准教授  
高 倉 浩 樹 国立大学法人東北大学東北アジア研究センター  
教授  
谷 伸 GEBCO 指導委員会委員長  
山 口 一 東京大学大学院新領域創成科学研究科教授

(平成28年4月8日現在)

◎：主査





北極域における急激な温暖化やグローバルな気候変動を理解するためには、大気、海洋、陸域、生態系などの広大な研究分野が存するとともに、それらが相互に影響しあっている点に留意が必要である。

以下の表は、北極域全体を俯瞰し、各分野の研究を進展させるための課題（個別研究テーマ）について国際的な枠組みや我が国がプロジェクトベースで取り組んできた課題及び今後実施予定の課題について整理したものである。なお、本表に人間社会との関係に関するテーマは含まれていないが、研究を進める上では常に意識しておく必要がある。

(凡例)



**<1.1 北極温暖化増幅>**  
 全球の昇温速度の倍の速さで、北極域の温暖化は進行。GRENEプロジェクトで、アイスアルベドフィードバックや海洋の役割の季節変化など、このプロセスの理解が進展。今後、北極における観測の充実、同化データの精緻化、モデル化と予測を進めることが必要。

①フィードバックの役割					用いる手法
1. 季節変化過程					スーパーコンピュータ
2. BC, エロゾル・雲等の放射強制力の評価					衛星、航空機、海外観測拠点、研究船等
3. 大気と陸・海面の相互作用					海外観測拠点、データアーカイブ
②成層圏-対流圏結合					
4. 大気の下層・上層間における水平鉛直熱輸送					スーパーコンピュータ
③陸域雪氷圏の役割					
5. 積雪・凍土・植生・氷床					衛星、海外観測拠点
④将来予測					
6. モデルの改良、大気海水海洋相互作用の重要過程の確認、国際プログラムとの協働					スーパーコンピュータ、同化データ

**<1.2 北極-中緯度気象連鎖、全球との相互作用>**  
 北極の温暖化は、北極域に閉じた現象ではなく、中緯度に影響を及ぼすとの理解が進展。さらに、低緯度から高層大気を通じて北極に影響を与えることも判明した。高緯度と低緯度、対流圏と成層圏の連結に関わる研究が今後の課題。YOPP(極域予測年)(2017-19年)の成果は、北極航路などの産業や防災にも不可欠。長期観測・予測体制につなぐ観測・データ同化・予測の改良を見出すことが課題。

①大気的作用					
1. 北極海の海水縮小が中緯度の気象に与える影響					スーパーコンピュータ、同化データ
2. 極端気象の予測可能性					スーパーコンピュータ、同化データ
3. 大気テレコネクションパターン及びその変動の理解					スーパーコンピュータ、同化データ
②海洋的作用					
4. 海水変動に伴う海洋循環の変化					研究船等、係留系
5. グリーンランド海における北大西洋深層水形成					研究船等、係留系
6. 温暖化に伴う太平洋水の流入の変動					研究船等、係留系
7. 中緯度大気海洋大循環を介する北極へのフィードバック					スーパーコンピュータ、同化データ、モデル
③陸域的作用					
8. 北極-全球相互作用における陸域プロセスの影響					スーパーコンピュータ、同化データ、モデル
④超高層大気的作用					
9. 北半球大気循環場・成層圏大気を通じての極域・中緯度大気変動連鎖					スーパーコンピュータ、同化データ
10. 極域超高層大気の影響					レーダ系
⑤多圏相互作用					
11. 大気海洋結合計、大気陸面結合計などの多圏相互作用の解明					レーダ系、モデル

<1.3 物質循環と生態系>

海洋酸性化の研究における日本の貢献が進捗。陸域から海洋への物質の輸送は今後の課題。永久凍土域の変化による温室効果気体の発生は今後緊急に解明されるべき課題。温室効果気体やブラックカーボンなどの大気中の輸送は、分析精度が向上。今後、測定方法や観測地の国際標準としての提供や国際的な監視の協力が必要。

<b>①大気微量成分の濃度変化</b>				
1. BC、温室効果気体、短寿命気体、エアロゾル等の大気微量成分の時空間変動				衛星、航空機、海外観測拠点、雲レーダ、研究船等
2. 定点観測点、航空機観測、衛星データのインバージョン計算、地上観測との比較				衛星、航空機、海外観測拠点
3. 観測手法開発と評価指標の検討、複数地域サンプリング				衛星、航空機、研究船等
<b>②陸域生態系の影響</b>				
4. 二酸化炭素の陸域生態系による発生・吸収				衛星、航空機、海外観測拠点
5. 森林火災による大気微量成分発生の把握				海外観測拠点、境界層タワー
6. 湖沼からのメタン放出				海外観測拠点
7. 植生・土壌と温室効果気体の放出・吸収評価				海外観測拠点
<b>③海洋生態系に関わる物質循環</b>				
8. 温室効果気体と吸収・放出に関する海洋の影響				研究船、係留系
9. 海氷・海洋変動に伴う大気微量成分循環の変動				研究船、衛星、AUV
<b>④陸から海への物質輸送</b>				
10. 陸から海への物質輸送				海外観測拠点
11. 北極における淡水収支メカニズム				研究船、衛星
<b>⑤生態系変化</b>				
12. 温暖化と環北極陸域生態系の変化				海外観測拠点
13. 表層湿潤化と植生変動				海外観測拠点
14. 環北極森林調査				海外観測拠点
15. ツンドラ生態系				海外観測拠点

<1.4 海洋・海氷変動>

海氷が後退し海水面が開く、北極海太平洋セクターでの国際協力体制が構築された。衛星データを使った夏季の海氷変動予測も国際的に評価されている。今後、より精緻化するには冬季の海水厚のデータが重要。海氷が存在する地域、時期についての観測活動は、他国が主導した観測となっており、日本独自の観測技術やプラットフォームの確保が不可欠。

<b>① 海氷減少のメカニズムの解明</b>				
				同化データ、モデル
<b>② 海氷の熱的減少過程</b>				
				研究船等
<b>③ 大気(雲・低気圧等)に与える影響</b>				
				研究船等、係留系、モデル
<b>④海洋(成層・深層循環・物質循環・生態系など)に与える影響</b>				
1 北極海の循環と海氷変動およびその物理過程モデリング				同化データ、モデル 衛星
2 北極海の淡水収支の変動				衛星、モデル
3 海氷生産量のマッピングと沿岸観測				衛星、研究船等
4 北極海酸性化:新評価手法の運用				研究船等
5 北極海における物質循環・生態系の変化の定量的な理解				研究船等、係留系、AUV
6 北極海の一次生産力と海洋循環				衛星、研究船等、AUV等
7 北極海からのメタン放出・海底永久凍土の融解によるメタン放出				研究船等、AUV等
8 陸域からの淡水及び物質供給が海洋生態系に与える影響				研究船等、係留系、AUV等
<b>⑤ 海氷変動予測</b>				
				研究船等、AUV等

**<1.5 雪氷圏・水循環>**  
 氷床変動の流動観測とモデル研究が進展。今後、精度向上及び海洋に接した雪氷Ice and Oceanの研究が課題。  
 大陸規模での分布を含む陸上の雪氷分布状況のモニターは、衛星データの利用等、観測手法が整ってきた。衛星利用の継続と陸域の植生変化や永久凍土への関連付けが課題。

<b>①氷河水床</b>					
1 北極における氷河の縮小傾向把握と予測					衛星、海外観測拠点
2 グリーンランド氷床の変動メカニズムと将来予測					衛星、海外観測拠点、スーパーコンピュータ
3 気候と氷床流動・不安定化					掘削
<b>②永久凍土</b>					
4 永久凍土域における物質循環(氷・炭素)の定量的な解明					衛星、データアーカイブ
5 永久凍土の気候システムにおける役割・フィードバック解明					スーパーコンピュータ、データアーカイブ
6 海底永久凍土およびその融解による海洋への影響(メタン放出)					研究船等、AUV
<b>③降積雪</b>					
7 陸域変動モデルによる再現及び予測: 植生・積雪凍土を含んだ地表面過程のモデル比較					衛星、データアーカイブ
8 温暖化と陸域関連変動: 陸域雪氷被覆と温暖化増幅					衛星、モデル
<b>④水文過程</b>					
9 温暖化に伴う水循環の変動					衛星、データアーカイブ

**<1.6 古環境から探る現在未来の環境変化>**  
 アイスコアの分析力は強化され、今後、理論化とモデル計算のため掘削調査とコンピューターシミュレーションの協働強化が必要。今後は、南北両アイスコアの比較から海洋深層循環の変動の研究が課題。

① 温暖化に伴う氷床表面質量収支変動・氷床流動メカニズムの解明					スーパーコンピュータ、国内拠点
② 過去の北極温暖化増幅の現在との違い及びその要因					スーパーコンピュータ、国内拠点
③ 過去のグリーンランド氷床の変動とその要因					掘削

**<1.7 環境変化の社会への影響>**  
 自然科学による環境変化の情報を社会で有効に使えるか、また社会が必要とする情報をいかに自然科学者に要請するか、ArGSでそのモデル研究を実施。この取組を継続、拡大しつつ、現プロジェクトで先行事例となる成果の創出が必要。

① 気候変動による影響: 異常気象、森林火災、農業生産等					海外観測拠点
② 陸域変動による影響					衛星、海外観測拠点
③ 海洋変化による影響					衛星、研究船等
④ 太陽活動や超高層大気の変動の影響					レーダ系
⑤ 人間社会の対応					スーパーコンピュータ、衛星、同化データ、データアーカイブ、専門家派遣

**<2.1 ジオスペース・超高層・中層大気>**  
 研究者のポテンシャルや協力体制に実績を有する。超高層大気の違い時間変動と立体構造の国際的な観測体制の進展が課題。

① 下層大気から超高層大気までの大気上下結合過程					スーパーコンピュータ、同化データ
② 温室効果ガスの増大に伴う、中層・超高層大気の寒冷化					レーダ系
③ 下層大気で励起された大気波動による中層・超高層大気の熱的・力学的構造への影響					スーパーコンピュータ、同化データ、レーダ系
④ 電離圏擾乱現象の有効かつ確実な検出と予測					レーダ系
⑤ 太陽風・磁気圏から北極域への電磁・粒子エネルギー侵入過程					レーダ系
⑥ 北極域から中低緯度の中層・超高層大気へのエネルギー・物質循環過程					レーダ系
⑦ 中層・超高層大気微量成分変動の下方伝播とオゾン濃度への影響					衛星、データアーカイブ、レーダ系

**<2.2 生物多様性>**  
 人間社会へ直接影響する分野。長時間、広範囲で起きていくものであり、数値計算や予測もこれから。まず、監視体制の確立、長期維持のしくみが必要。

○陸域					
① 人間活動の北極陸域生態系への影響					衛星、データアーカイブ
② 生物多様性への影響					衛星、海外観測拠点、データアーカイブ、AUV
③ 生物多様性の変化が高次動物や気候に与える影響					
○海洋					
④ 陸域・大気物質が海洋生態系・多様性へ与える影響					衛星、研究船等、係留系
⑤ 低次生態系の物質循環に果たす役割					衛星、研究船等、係留系
⑥ 北極海における食物連鎖と生態系変化・多様性との関係					衛星、研究船等、係留系
⑦ 気候変動に伴う海洋の成層化・脱酸・酸性化の生態系・多様性に及ぼす影響					衛星、研究船等、係留系

**<2.3 凍土>**  
 物質循環の一端を担うものとして重要。IPCCでもこれまでの取組が十分でなく、今後強化すべきとされ国際的にも課題。

① 永久凍土の現状の把握					衛星、海外観測拠点
② 永久凍土の構成物質の不均一性					データアーカイブ
③ 永久凍土の昇温・融解の様態・規模					海外観測拠点

## &lt;2.4 固体地球&gt;

北極の過去、将来の長期変化に対して不可欠の分野。氷河性地殻均衡(GIA)などは、社会基盤に影響を与えることもあり、より正確な予測が課題。

① 北極海海嶺熱水系の海洋環境との相互作用					衛星、研究船等
② 氷床変動と地殻変動					衛星
③ 北極海形成過程における大気—氷床—海洋相互作用					研究船
④ 数千万年~数十億年スケールにおける地球表層環境変動と北極海・周辺大陸の発達過程					