

# 南極地域観測将来構想

新たな南極地域観測事業のあり方 2018

— 2034 年へのビジョン —

## 中間報告

平成 30 年 7 月 20 日

大学共同利用機関法人  
情報・システム研究機構

国立極地研究所

南極観測将来構想タスクフォース

「南極地域観測将来構想 新たな南極地域観測事業のあり方 2018」中間報告に寄せて

国際地球観測年（1957-1958年）を契機に開始された我が国の南極地域観測事業では、これまで昭和基地やドームふじ基地、あるいは南極観測船「しらせ」を舞台に数々の科学的成果を上げてきました。1977年からは、4～6年を一区切りとする中期的な計画を基に、各年度の実施計画を立案・実施してきており、現在は、2016-2022年の6年計画の枠組みで、第IX期計画を進めています。

前身の国立科学博物館の時代から実施機関として南極地域観測事業の中核を担ってきた国立極地研究所では、現南極観測船「しらせ」の就航（2009年）にあわせ、2008年に10年先の南極地域観測事業を見据えて「新たな南極地域観測事業のあり方—新観測船時代のビジョン—」を策定し、長期的な視点により第VIII期、第IX期計画に取り組んできましたが、当初想定した10年が経過し、南極地域観測事業や学術・科学技術を取り巻く社会的、国際的な状況にも変化が生じています。

そこで、国立極地研究所では、時代に沿った新たな南極地域観測事業の将来構想を検討するため、2017年10月に所内の南極観測委員会の下に南極観測将来構想タスクフォースを設置し、南極観測センタースタッフと若手研究者を中心としたメンバーで計24回の会合、2回のワークショップ（うち一回は公開で実施）を重ね、2034年頃と見込まれる次期南極観測船就航を睨んだ将来構想の検討を進めてまいりました。

この度、より多くの皆さまの研究ニーズやアイデアを構想に盛り込んでいくため、2018年7月31日に開催する「南極観測シンポジウム2018」に併せて、中間報告という形で現時点の構想を公開することといたしました。本報告を基礎に、シンポジウムで新たに提案されるサイエンスの方向性や、本報告に対するご意見を踏まえ、2018年秋を目途として最終的な報告をまとめる予定です。なお、本報告では「基地整備・運用」に関する部分を、敢えて記載していません。これは、本文にも記載しております通り、現状のプラットフォームの機能・枠組みに捉われることなく、より多くの皆様からの意見を反映させつつ、サイエンスの方向性を実現するために必要なプラットフォームの機能を特定したうえで、「基地整備・運用」を具体的に構想することとしたためです。

本報告が皆さまの目に留まり、最終報告までの間に、より多くの皆さまから多様なご意見をいただけることを期待します。

2018年7月20日  
南極観測将来構想タスクフォース  
委員長 野木義史

## 目次

1. はじめに .....	1
2. 目的 .....	2
3. 現状分析 .....	3
3.1. 南極観測を取り巻く状況 .....	3
3.2. 第Ⅷ期及び第Ⅸ期の重点研究観測の設定と評価 .....	3
4. 将来のサイエンスの方向性 .....	5
4.1. 国家戦略としての地球規模課題解決 .....	5
4.1.1. 南極氷床融解に起因する海水準変動の予測 .....	6
4.1.2. ポストオゾンホール時代の地球温暖化 .....	8
4.1.3. 人為活動によって絶滅が危惧される南極海の海鳥の保全 .....	10
4.2. 知のフロンティア .....	12
4.2.1. 地球惑星の形成と進化の探求 .....	13
4.2.2. 太陽地球システムの解明－宇宙天気研究 .....	14
4.2.3. 環境変動に対する生物の適応・進化の理解 .....	16
5. プラットフォームの方向性 .....	17
5.1. 研究観測基地・拠点 .....	18
5.2. 研究観測船 .....	19
6. 事業運営の方向性 .....	20
6.1. 次期南極観測船 .....	20
6.2. 基地整備・運用 .....	23
6.2.1. 昭和基地 .....	23
6.2.2. 内陸基地 .....	23
6.2.3. 移動可能・無人観測拠点 .....	23
6.3. 実施期間・アクセス .....	23
6.4. 輸送 .....	24
6.5. 財務戦略 .....	25
6.6. 事業の枠組み .....	29
6.6.1. 観測隊員 .....	30
6.6.2. 観測隊組織 .....	30
6.6.3. 国内運営体制 .....	31
6.6.4. Japanese Antarctic Science Program .....	31
7. 参考資料 .....	33

## 1. はじめに

地球規模の気候変動システムを理解し、将来の気候を高精度で予測することは大きな社会的な要請である。北極域では、近年温暖化や海氷減少の加速をはじめ、急速な環境の変化が起こっている。南極域においては、南極氷床は比較的安定とこれまで考えられてきたが、近年になり西南極の氷床融解が相次いで報告されている。地球システムの中で、両極域は全球的な環境変動の影響を受け変動し、この両極で起きる環境変動は、大気・海洋循環等を通して結合し、全球的な気候システムに大きな影響をもたらすと考えられている。しかしながら、ひとたび変動が起きれば全球的な影響が大きい南極域と、急変する北極域との両極間の結合も未だ明らかではない。一方で、全球的な気候システムを含む地球システムそのものを理解する上で、両極の相互作用を含む極域システムの解明は不可欠である。したがって、地球規模の気候変動解明の鍵であるとされる両極域において、現在、進行している温暖化等の環境変動シグナル及びその影響を精密観測により定量的に把握し、人類の生存のため、将来予測の精度を上げる事が強く求められている。

IPCC(気候変動に関する政府間パネル)や IPBES(生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム)等による、気候や生態系変動等の予測の高度化や精緻化には、観測データにもとづいた現在の状態と変化、および過去の変動記録等の解明が必須である。特に IPCC 第 6 次評価報告書 (AR6) サイクルで、特別報告書として「変化する気候下での海洋・雪氷圏に関する IPCC 特別報告書」の作成が進んでおり、海洋・雪氷圏で構成される両極域、とりわけ巨大な氷床を有し周囲を海洋で囲まれた南極域が非常に重要な地域である事は明白である。しかしながら、両極域は、厳しい気象条件や、海氷、氷床等に阻まれ、他地域に比して、圧倒的に観測データの少ない地域であり、その実態は未だ十分に明らかにされていない。全球的な気候や生態系変動等の予測の高度化や精緻化に向け、今以上に両極域の現場からの多くの詳細な観測データの取得が現在においても望まれている。

以上のような、全球のおよび両極の視点をもとに、南極域での研究・観測を実施する上では、厳しい自然や限られた環境の中での計画の立案および実施となり、設営面を含めた事前準備にかなりの時間を要する。したがって、将来の研究・観測実施に向け、現時点で南極域での研究・観測の進むべき方向を整理し、その実現のために必要なプラットフォームや運営を予め検討し、速やかに整備等に着手していく必要がある。また、技術革新により、南極域での研究・観測にも変化をもたらされる可能性は高く、それに対応するプラットフォームや運営等の整備も必要になる。

今回の将来構想が契機となり、分野を超えた南極での研究・観測や国家的な政策に関する議論が活性化し、今後の南極観測が持続的に、より大きく飛躍する事を願っている。

## 2. 目的

地球規模気候変動の解明および将来予測の精度向上において、ますます両極域の重要性が増す中、今後の研究・観測の方向を整理し、国際的な動向も踏まえ、極域研究における日本の進むべき道を検討する必要がある。特に、南極における研究・観測においては、プラットフォームの整備等に時間を要する事から、長期的ビジョンを持って着実に進めていく事が不可欠である。「新たな南極地域観測事業のあり方—新観測船時代のビジョン—」（2008.5）（以下「2008年構想」と言う。）の策定から10年が経過した。この構想のもとに南極地域観測事業（以下「本事業」と言う。）の不断の改革がなされてきたが、社会、環境及び研究観測動向の変化を踏まえ、これらの見直しも必要とされている。特にこの構想では、南極観測における設営や運営方針の改善等に重点が置かれている事から、南極で行うべきサイエンスの観点からの整理および再検討の必要性がある。また、南極観測船「しらせ(5003)」も就航後8年が経過しており、次期南極観測船の建造（2030年頃から）に備え、求める機能や運用方法についても幅広く議論を行い、今後の方向性を取りまとめる必要がある。

本構想は、上記のような問題意識のもと、本事業において昭和基地と並ぶ最大のプラットフォームである南極観測船の代替のタイミングを念頭に、本事業の実施中核機関である国立極地研究所（以下「極地研」と言う。）が、特に「将来のサイエンスの方向性」を基軸に、そのサイエンスを実行するために必要となる、「研究観測基地や研究観測船などの主要なプラットフォームに求める機能」および「事業運営のあり方」についての長期的な方向性を示すことを目的とする。

本構想で示す方向性は、次期南極観測船により実現する研究・観測を念頭に置くものであり、当該研究・観測の実現時期は次期南極観測船の運用期間ということになる。ここでは、現南極観測船「しらせ（5003）」の耐用年数（25年）に鑑み、次期観測船の運用開始を2034年、運用期間は概ね25年以上と仮定する。上記を踏まえ、本構想で掲げるプラットフォームや事業運営などは、2034年までに実現すべきものとして構想する。

本事業が国民に支えられた国家事業としての枠組みで発展してきた経緯も踏まえ、本構想の内容は、国民の理解と賛同を得られる内容でなければならない。具体的な想定読者としては、上記の目的を踏まえ、政策決定者や研究者コミュニティをターゲットとして想定するとともに、本事業の中核実施機関としての極地研の事業推進の今後の指針となるべきものを目指す。なお、社会情勢や科学技術の進歩などの状況を踏まえ、時代に応じた改定を適宜行っていく。

本事業は、現在、文部科学大臣を本部長とした南極地域観測統合推進本部（以下「南極本部」と言う。）が定める6か年計画により実施しているが、6か年を超えるような長期の基本方針や北極における「我が国の北極政策」（2015年）のような基本的な政策が南極には存在しない。また、宇宙、海洋、北極などと違い、南極は政府の科学技術基本計画の中への位置づけもない。本

構想は、極地研が関連コミュニティの意向を踏まえつつ構想したものであり、これがそのまま我が国の政策として位置づけられるものではないが、本構想で示す方向性が今後の我が国の南極研究・観測の方向性を示し、いずれは「我が国の南極政策」の科学部分に組み込まれていくことを期待する。

### 3. 現状分析

#### 3.1. 南極観測を取り巻く状況

IPCCにおいて極域が重要なパートあることは言うまでもないが、SCAR (Scientific Committee on Antarctic Research) では南極に関する知見をより詳しく整理すべきとの考えに基づき、IPY (International Polar Years) 2007-2008 を契機として、南極版 IPCC 報告書とも言うべき、“ANTARCTIC CLIMATE CHANGE AND THE ENVIRONMENT”を出版した。この動きは、さらに“SCAR HORIZON SCAN”となり、南極における研究の方向性を世界のステークホルダーに知らしめるものとなった。一方、COMNAP (Council of Managers of National Antarctic Program) は、“SCAR HORIZON SCAN”を受けて、そこに構想された研究・観測を実施する上で必要な設備・技術開発・輸送などの設営的課題を、実現可能な機関、予算などの観点から洗い出す作業を行い、“Antarctic Roadmap Challenge”として整理した。“SCAR HORIZON SCAN”および“Antarctic Roadmap Challenge”は、各国の南極研究コミュニティや観測実施責任機関にとって、今後の将来計画策定の礎となり得る。

長中期計画において、先進的な取り組みを見せているのは豪州である。豪州政府は2011年3月に“Australian Antarctic Science Strategic Plan 2011-12 to 2020-21”を発表した。新砕氷船（2019年就航予定）、内陸への展開、基地設備の更新などを柱に、20年プランを策定し、それに基づいて、組織、予算、あらゆる活動のベクトルを合わせる。一方で、研究領域を、絞り込んで重点的に配分することで、これらが可能となっている。

近年は、英国、中国、インド、ドイツ、豪州など新砕氷船の就航・就航予定が続いている。豪州砕氷船オーロラ・オーストラリスは1990年に就航し2019年までの30年間、ドイツ砕氷船ポーラーシュテルンは1982年就航し、30年以上南北両極の最先端の海洋・海氷観測と、南極基地の物資輸送を担ってきた。イギリスは、新砕氷船が2019年に就航し、基盤基地であるロゼラ基地の棧橋では、新船の能力に対応できないことから、ロゼラ基地の大規模な設備更新を計画している。米国は、60年以上経過したマクマード基地の再整備を計画し、90以上の建物を19に集約すると方針を打ち出した。

#### 3.2. 第VIII期及び第IX期の重点研究観測の設定と評価



### （１）第Ⅷ期以前の重点研究観測のテーマ設定と評価

第Ⅵ期 5 年計画以前は、宙空圏、気水圏、地圏、生物圏の 4 つの研究分野・研究領域において、大学共同利用機関としての極地研が、それぞれコミュニティの意向を踏まえて、観測計画を立案して実施してきた。また、MAP（中層大気国際共同観測計画）、WCRP/ARC（南極研究計画）、BIOMASS（南極海洋生態系及び海洋生物資源に関する生物学的研究計画）など、国際共同研究計画の一翼を担い、かつ分野横断的な一面をもつ大型計画も実施されてきた。

国立大学法人化に伴い、主として中期計画の立案や実施における効率性の観点から、第Ⅶ期計画は 4 年、第Ⅷ期計画以降は 6 年間で実施されることとなった。第Ⅶ期計画は（第 48 次隊～51 次）、輸送においても大きな過渡期と重なった。すなわち、初代「しらせ」の最終年次（第 49 次隊）、オーロラ・オーストラリス号の備船（第 50 次隊）、新「しらせ」の就航（第 51 次隊）である。他方、研究観測においては、計画期間を通して集中的にとりくむ研究観測として、「重点プロジェクト研究観測」として、「極域における宙空圏－大気－海洋の相互作用からとらえる地球環境システムの研究」が設定された。そして、2 つのサブテーマ「極域の宙空圏－大気圏結合研究」および「極域の大気圏－海洋大気結合研究」のもと、境界領域を研究対象とする観測が実施された。南極本部の外部評価委員による第Ⅶ計画の外部評価書では、「全体として計画通り達成され、以降の研究基盤として発展的に引き継がれ、成果創出の貢献することが期待される」との評価であった。

第Ⅷ期計画（第 52 次隊～57 次隊）は期間が 6 年となり、当該計画のフラッグシップ計画は第Ⅶ期計画の流れを受けて、「重点研究観測」として設定された。このテーマ設定において、極地研が中心となり、広く研究コミュニティからの課題のシーズ・ニーズ提案を受け議論する場「南極観測シンポジウム」を開催して、課題の集約を図った。これらを踏まえ、南極本部では、国際的な研究動向や、研究観測アセットなどを考慮して、重点研究観測「南極域から探る地球温暖化」を定め、このもとに 3 つのサブテーマ「南極域中層・超高層大気を通して探る地球環境変動」「南極域生態系の応答を通して探る地球環境変動」「氷期－間氷期サイクルから見た現在と将来の地球環境」を実施した。南極本部外部評価委員会は、「我が国の南極観測は、学術研究面のみならず、南極における様々な活動をと通して国際貢献にも重要な役割を果たしており、今後も明確な戦略に基づき、継続的に実施することが適当」と総論している。個別評価では、サブテーマ 1「南極域中層・超高層大気を通して探る地球環境変動」は、計画をはるかに上回ったと評価された。一方で、分野横断的・融合的な研究観測計画の立案、先端領域に開拓や将来を見据えた極域科学研究体制の戦略的構築、環境保全に対する取り組みの推進、国際連携の強化、成果の国民への発信などを一層進めるべきとの指摘があった。

### （２）第Ⅸ期の重点研究観測のテーマ設定

第Ⅸ期計画（第 58 次隊～63 次隊）の策定に向けて、開始 2 年前に、本部において、基本的な考え方および、第Ⅷ期計画同様に期を通して集中的に実施する重点研究観測テーマ「南極から迫る地球システム変動」を、平成 26 年 11 月に定めた。このメインテーマのもとに 3 つのサブ

テーマ「南極大気精密観測から探る全球大気システム」、「氷床・海水縁辺域の総合観測から迫る大気－氷床－海洋の相互作用」、「地球システム変動の解明を目指す南極古環境復元」が立てられた。これらサブテーマは、南極本部観測・設営計画委員会のリーダーシップにより、国内外の研究動向を踏まえた第IX期で実施すべき課題として、また、我が国の南極コミュニティが目指す研究の指向とも重なるよう定められたものである。

#### 4. 将来のサイエンスの方向性

南極域での将来のサイエンスの方向性として、全球的な視点から、南極の地理的および環境的特異性を踏まえた独自性の高いサイエンス、言わば、南極でしか実施できない、または南極で実施する事にこそ大きな意味があるサイエンスを戦略的に進めていく必要がある。

本構想では、南極条約の継続を堅持し、上記方向性ととも国際的な動向（SCAR Horizon Scan 2014 等）等を踏まえつつ、将来実施するサイエンスを、トップダウン的に実施すべき「国家戦略としての地球規模課題解決」、およびボトムアップ的ではあるが人類や地球の未来に大きく資するポテンシャルを持つ「知のフロンティア」の大きく2つの観点で整理し、ここにいくつか具体例を示す。いずれの観点の研究課題も、これまで行ってきた南極域でのモニタリング等の継続的な観測データの蓄積を基礎とし、これらの観測の継続を前提として成り立つものである。

##### 4.1. 国家戦略としての地球規模課題解決

地球温暖化に伴う地球規模の環境問題は、人類にとっての喫緊の課題であり、国家戦略として進めるべき研究課題である。この中で極域、特に南極域で進めていかなければならない課題は何であろうか？

両極の特徴が、自ずとその将来的な道筋を浮き彫りにする。その大きな特徴は、氷床の存在である。両極の氷床は、海水準で約 70m 相当する地球上の淡水の貯蔵庫であり、その内の約 89 パーセントが南極に存在し、温暖化に伴う氷床の挙動と海水準の変動等の将来予測は、人類の生存戦略の策定に欠かせないものである。IPCC においても、第 6 次評価報告書（AR6）サイクルで作成する特別報告書のうちの 1 つとして、2019 年秋に公表予定で、「変化する気候下での海洋・雪氷圏に関する IPCC 特別報告書」の作成が進んでいる。これは、海洋・雪氷圏が今後の地球規模の気候変動の予測に非常に重要な要素である事を物語っている。すなわち、海洋に囲まれ、中央に雪氷圏である氷床に覆われた大陸を有する南極域は、今後の地球規模環境変動に重要な影響を与える地域である事も表している。また、極域の特徴的な現象として、オゾンホールが挙げられる。南極オゾンホールは回復していくと考えられているが、最近になり、地球温暖化と南極オゾンホールの変動に起因する様々な気候変動の可能性が指摘されている。このメカニズムの解明は、地球温暖化の進行を予測する上で、早急に取りかかるべき新たな環境問題の課題と位置付け



られる。更に、進行する温暖化や人為的活動に伴う生態系の変動の観点からは、極域特有の種の保全等も、IPBES等の国際的な枠組みへの貢献も含め、国家的に進めるべき課題である。

#### 4.1.1. 南極氷床融解に起因する海水準変動の予測

##### 海水準変動の予測

近年の地球温暖化による海面水位上昇については、国土の消失という形で緊急の課題となっている国が存在する。現時点で他国と比べて危機的な状況に陥っていない日本でも、2034年という未来を念頭に置くと、その時までには大きな脅威となっている可能性は高い。精度の高い海水準変動の予測データは、21世紀の人類の生存戦略にとって不可欠となる主情報の一つに挙げられるだろう。

近年の海面上昇の50%は海水膨張成分で説明できるが、過去の海水準上昇については、それに対する熱膨張の寄与はわずかであり、その大部分は氷床の縮小によって生じたものである。今後温暖化が進んでも海水膨張による海水準上昇はせいぜい数十cm程度であるが、一方で地球に存在する全ての氷が融解すると海水面は60~70m上昇する。今後の海水準変動予測については、海水熱膨張よりも氷の融解に着目する必要がある。地球上の氷の存在量の約89%が南極氷床、約9%がグリーンランド氷床、約1%が山岳氷河、約1%が永久凍土、約0.1%が海水である。近年の温暖化によって山岳氷河・永久凍土・海水の減少が大きな注目を集めており、これらは重要な地球環境課題であるが、今後の海水準変動の予測という点では主要成分とはなり得ない。

海水準変動に関わる要因の中で、大きな割合を占めかつ予測困難な要因は、氷床融解に起因する海水準変動である。氷床融解に起因する海水準変動の予測を行うためには、過去の氷床変動を解明し、現在において氷床融解を加速させている氷床海洋相互作用を解明した上で、未来の海水準変動をシミュレーションする必要がある。

##### 地球上の氷の9割が南極に

近年、北半球において環境変動が特に高緯度で顕在化し、グリーンランド氷床の融解が顕著になってきた。このグリーンランド氷床が全て融解すると、海水準としては約6~7m程度のインパクトがある。一方で南極氷床は、その全てが融解すると約50~60m程度の海水準上昇に直結する。南極氷床は比較的安定であると考えられてきたが、近年になって西南極における氷床融解が相次いで報告されている。

南極氷床においては、大気氷床相互作用よりも氷床海洋相互作用の方がより重要であると近年考えられてきている。氷床海洋相互作用とは、氷床末端部にあたる棚氷の下の海洋に暖水が貫入して、氷床底面から融解が進むプロセスである。南極氷床下には基盤地形が海面下である地域が多く、西南極および東部東南極の大部分がこれに該当する。基盤地形が海面下である地域において暖かい海水が氷床下に流入すると、氷床を底面から連続的に融解させる事が可能となる。海は熱容量も影響範囲も大きく、氷床に対して急激な変化を起こしうる。このため、南極氷床には一

度を超えてしまうと容易に後戻りできない「ティッピング・ポイント」が存在すると考えられていて、今現在これに近づいている可能性が指摘されている。

南極氷床は海水準変動に対して他の要因と比べて 1~3 オーダー大きい潜在能力を持っていると同時に、今後急激な進行が起こる可能性がある。さらに、衛星データから明らかになった近年の西南極の氷床融解の加速は、専門分野の研究者にも衝撃であり、西南極に基地を構える各国は競って現場観測を行いつつある。しかしながら、西南極の限られた事象から南極全体の理解を進めることは困難である。また衛星データからは、東南極でも場所によって融解加速に転じたと報告されている。東南極は西南極よりも 1 オーダー大きい氷床体積を持ち、この東南極の動向は決定的に重要である。日本が地の利を活かして東南極の空白域に研究を展開すれば、南極氷床融解に起因する海水準変動予測に対して先行して貢献できる。

日本は、沿岸の昭和基地と内陸のドームふじ基地を構える当地域をホームグラウンドとしており、国際連携の観点からも東南極を観測の主軸とするのは必然である。遡って約 60 年前、IGY（国際地球観測年）に日本が南極観測に参入し観測基地を持つことになった際、唯一の選択肢が当時「到達不能地域」とされた当地域であり、これはこの周辺の環境が南極の中でも特に厳しいことを表している。その中で随一の観測を展開してきた日本こそが、未知なる東南極域を解き明かす責任を担っていると言え、国際社会からの期待も大きい。

#### 棚氷下の観測

南極氷床融解に起因する海水準変動の予測のためには、南極氷床およびその周辺の南大洋に関して、観測とモデリングによって素過程を理解し、種々の相互作用の実態とメカニズムを明らかにする必要がある。南極氷床・南大洋が関わる全球環境変動メカニズムには、異なる時間・空間スケールの様々な相互作用が関与している。南極アイスコアからは、数万~数千年の時間スケールで気温と CO<sub>2</sub> 濃度が同期して変動していたことが示されており、全球気候に影響を与えてきた炭素循環変動における、南大洋の物理・生物・化学過程の重要性は明らかである。南大洋では過去 50 年間に栄養塩濃度の変化が観測されており、その海洋循環や海水変動との関連、莫大な生物生産量を持つ南大洋生態系へのインパクトの解明が重要課題となっている。

このため、重要かつ未踏の調査地域が多い東南極をターゲットとし、海洋・氷床・固体地球・生態系の実態と変遷について、研究・観測を集中的に実施する必要がある。第一に、氷床末端部にあたる棚氷の下の海洋に暖水が貫入して、氷床底面から融解が進むプロセス、すなわち氷床海洋相互作用を明らかにする観測が必要である。これには棚氷下の海洋観測というハードルの高い観測が必須となり、無人探査技術を含めた新技術の導入が不可欠となる。また、沿岸・外洋境界域に位置する氷床-海水-海洋システムに対して複合的な相互作用をもたらしている、大気・海洋・海水・物質循環・生態系変動場について明らかにする観測が必要である。さらに、長い時間スケールで変化する氷床や海洋を理解するため、南極大陸や南大洋でアイスコアや堆積物を採取し、岩石等を用いた過去の変動の復元も行う必要がある。

具体的には、東南極氷床の代表的な流出域である白瀬氷河・アメリー棚氷・シャクルトン棚氷・

トッテン氷河・メルツ氷河・クック氷河、および周辺海域をターゲット観測域として、表面や底面での融解過程といった素過程を解明するとともに、衛星観測も合わせて、現在および過去数十年の氷床質量収支と海洋・海水・生態系の変動を明らかにする。これらの観測の知見を取り入れた南極氷床モデルと海洋モデルによるシミュレーション、アイスコアや古海洋のデータによる検証を経ることより、南極氷床融解による海水準上昇の予測が可能となる。

#### 人類の生存戦略の策定

上記に示したように、南極氷床融解に起因する海水準変動の予測を目的とし、東南極を第一のターゲットとして、これまでのこの地域における日本の先見性を活かし、現場観測とモデル研究を融合させ、南極とその周辺における底層水・周極流・生態系・氷床・固体地球の実態と変動の素過程、およびそれらの相互作用を明らかにする必要がある。特に、氷床海洋相互作用や、過去の南大洋と南極気候・氷床変動の復元、生物動態等の変動の解明が不可欠となる。これらを通して、南大洋と南極氷床が種々の相互作用を通じて全球環境変動に果たす役割とそのメカニズムを解明する事ができる。また、IPCCを含む気候の将来予測や社会影響など、多くの分野への波及効果も期待される。数値モデルによるシミュレーションと現場観測データとの融合、分野横断による現場観測や、無人探査技術の工学的発展など、学際的側面の意義も大きい。

南極氷床融解に起因する海水準変動の予測には、南大洋・南極氷床の理解が必要であり、このためには長期の継続的な観測が不可欠である。特に東南極は観測が限られており、南極全体の研究において未解明部分が多い。日本の極域コミュニティが中心となって東南極をホームグラウンドとする諸外国との国際連携を進めることで、長期的な東南極域のモニタリングに向けた国際的な研究協力体制やプラットフォームの整備が期待される。また、分野横断的なアプローチを行うため、「氷床・海洋相互作用」や「氷床下の生態系システム」などの新しい分野の創出・発展が期待される。南極観測主要国に先行して分野融合研究を加速することで、南大洋・南極氷床結合システムの理解と全球環境へのインパクトを含めた将来予測において世界をリードすることが期待される。さらに、若手研究者が融合研究の場で研究を進めることにより、個々の研究分野を超越した広い視点を持つ研究者に育つことが期待され、将来の南極観測に不可欠な継承財産となる。

精度の高い海水準変動の予測データは、21世紀の人類の生存戦略を考える際に不可欠である。我々は社会を変える事を目的として科学を追究しているわけではないが、人類の未来は我々の結果を必要としている。

#### 4.1.2. ポストオゾンホール時代の地球温暖化

##### 南極の温暖化増幅

北極域では、雪氷の融解によって温暖化が加速する温暖化増幅により、地球上で最も早く温暖化が進行している。一方、南極域では、全域を温暖化させる地球温暖化の効果と、南極大陸上を寒冷化、その周辺域を温暖化させる南極オゾンホール発達の影響が重なり合い、中緯度に近い南

極半島では温暖化増幅、それ以外の南極大陸では温暖化抑制が起こっていた。しかし、今後はオゾン破壊物質排出の規制効果により南極オゾンホールは回復していくと見込まれることから、それに伴って南極大陸での温暖化が加速すると考えられている。ただし、雪氷の融解が地表面の露出を引き起こして温暖化を加速する北極とはメカニズムが全く異なることから、その正確な予測が喫緊の課題となっている。また近年、地球温暖化の進行と南極オゾンホールの発達に起因すると考えられる様々な気候変動（偏西風の強化や降水量の増加等）が南半球中低緯度域で報告されている。しかし、南極オゾンホールの回復が見込まれる今後数十年のポストオゾンホール時代に、南半球、そして全球においてどのような変動が起こるかは、そのメカニズムを含めて全く分かっていない。将来の全球における気候変動を正確に見積もり、地球規模であるいは各地域において必要とされる適応策・緩和策を検討するために、南極域における温暖化増幅のメカニズム解明と正確な予測が求められている。

### 南極域での観測の不足

気候変動の影響は、人間が体感できるほどまで大きくなってしまったときには既に手遅れであり、僅かな変化のシグナルをいち早く把握できるよう、気温・風などの基本的な観測を長期にわたって途切れることなく継続することが求められる。一方で、近年の全球気候モデルや全球気象再解析データの発達は、全球の気候を網羅的に把握することを可能にしつつある。しかし、それらを検証・改良するために必須の観測データは、南極域では他地域に比べて圧倒的に不足している。特に、最も基本的な観測量である地上の気温や風、そしてモデルによる気候の再現性を左右する上空の気温や風といった観測データの拡充が求められている。

また、1987年のモントリオール議定書の締結により、1990年代中盤以降、オゾン破壊物質は順調に減少していると考えられてきた。しかし、主要なオゾン破壊物質であるCFC-11の減少速度が遅くなっていることが2018年に報告されるなど、オゾン破壊物質の減少と南極オゾンホールの回復は必ずしも確定した未来ではない。南極オゾンホールの状況をリアルタイムで監視し、随時必要な施策を実施していくためにも、南極域でのオゾン観測の継続が重要である。

### 基本観測の継続と新たな面的観測の提案

上述の通り、南極域でこれまで実施されてきた基本的な観測（気温、風、オゾン等）の継続と、他地域に比べて圧倒的に少ない南極内陸部の地上観測と南極域全体の高層観測の拡充が必須である。

南極内陸部には有人基地がほとんどなく、定期的なメンテナンスと一定量の電力供給が必要とされる無人気象観測も困難であった。その困難さは現在も変わらないが、今後の技術革新により南極内陸部でも使用可能な無人気象観測装置が開発されれば、それを南極内陸部に展開することで、他地域に匹敵する地上気象観測網を構築することが可能となる。

現在の南極域では、10余りの基地のみで行われている高層気象観測が、上空の気温や風の状況を知る数少ない手段の一つである。基地は大部分が南極大陸沿岸部に位置しているため、特に



南極大陸内陸部および南極海上空の高層観測が不足している。これらを補完するため、南極におけるスーパープレッシャー気球観測を提案する。スーパープレッシャー気球は、上空 10~30km の高度を数か月にわたって浮遊することができ、南極上空の風に乗って南極域全域を観測することができる。気温や風の観測装置をスーパープレッシャー気球に搭載し、常時多数の気球が南極上空を飛揚している状態を作り出すことで、これまで得られなかった南極域全体の上空の気温や風の観測データを定常的に取得することが可能となる。

これらの面的観測を定常的に実施することは日本だけでは不可能であり、南極大陸に基地を持つ多くの国々が連携・協力して実施する必要がある。

#### 南極観測による国際社会への貢献

これまで述べてきたように、本課題の最大の目的は、これまで不足していた南極域の（特に面的）観測を拡充し、ポストオゾンホール時代の全球の気候変動を正確に見積もるために必要な情報を提供することで、IPCC 等による予測の改善に資することである。これにより、将来的な気候変動に対する緩和策・適応策の策定に貢献する。また、本課題で提案する南極域における面的観測の拡充は、短期的な数値予報の精度も向上させることから、今後増加するであろう南極域のツーリズムや航空管制にも必須と考えられる。そして、これらの観測を日本が主導する国際協力の下で実施することで、国際社会における日本のプレゼンスを高めることにも貢献する。

#### 4.1.3. 人為活動によって絶滅が危惧される南極海の家鳥の保全

##### 南極海における種の保全

16 年先の未来を正確に見通すことはもちろん誰にもできないが、地球の人口増加にともなって天然資源を採取する様々な人間活動が現在以上に広範囲に、そして徹底して行われるようになってきていることは間違いないだろう。そしてそれにともない、人間活動によって負の影響を受ける生物種の管理や保全が、現在以上に深刻な社会的課題になっていることも間違いないように思われる。

南半球の高緯度地域には広大な公海が広がっており、日本を含む多数の国々が大規模な漁業活動を展開している。産業として最も重要なのは、マグロ類（ミナミマグロ、キハダ、ビンナガ、メバチ）をターゲットとした延縄漁（餌のついた多数の釣り針を仕掛け



図1 絶滅危惧種に指定されているワタリアホウドリ。



る漁法）である。これは最も効率よくマグロ類を捕獲できる伝統的な漁法であるが、アホウドリ類（ワタリアホウドリ、マユグロアホウドリ等）が仕掛けた餌を飲み込んだり、漁具に絡まったりして死亡する事故が頻繁に起きる。アホウドリ類は高い飛翔能力を持ち、非常に広い範囲を飛び回って獲物を探しているため、延縄漁船を見つけると自ら進んで追跡し「飛んで火に入る夏の虫」になる。その結果、南極海のアホウドリ類はほとんどの種が数を激減させており、IUCN（国際自然保護連合）のレッドリストで絶滅危惧種（endangered）や危急種（vulnerable）に指定されている。漁業大国である日本の責任はとりわけ大きく、少し古いデータではあるが、1991年に発表された論文によると、南極海で操業されている日本のマグロ延縄漁業により最低でも毎年44,000羽のアホウドリが死亡しているとされる。

アホウドリ類だけではない。南極海を代表するもう一つの海鳥であるペンギン類（キングペンギン、アデリーペンギン、エンペラーペンギン）も近年の気候変動にともなう生息環境の変化によって、個体数を減少させている。たとえばエンペラーペンギンはここ数十年の間に個体数が半数にまで減ったという報告があり、この傾向はしばらく続くと予想されている。

地球上で最も広い公海の一つである南極海。ここで現在起きている海鳥類の個体数の激減を食い止めることが、2034年時点で解決すべき大きな社会的課題であると考えられる。

#### リアルなデータとリアルな分析

アホウドリ類の延縄漁業による混獲を減らすためには、広大な南極海のどこで、どの時期に、どの種が延縄漁船に遭遇しているのかを正確に把握しなければならない。そのためにはアホウドリ類の生態と延縄漁船の操業パターンの両方を調べる必要がある。それだけでなく、個々の延縄漁船が必要な防止策を講じるためには、アホウドリ類がどのように延縄漁船を探し出し、なぜ執拗に追いかけるのかを理解する必要がある。それと並行して、アホウドリ類のそれぞれの種の営巣数やヒナの巣立ち率など、個体数の増減に直結する基礎的な情報のモニタリングを続け、短長期的な変動のパターンを把握しなければならない。

ペンギン類についても同様である。アホウドリ類と比べると、ペンギン類は漁業という直接的な人為活動の影響は少ないが、人為活動に起因する気候変動の影響によって個体数を減らしていると考えられている。その背景にあるメカニズムを理解し、必要な防止策を講じるためには、ペンギン類がどのような海洋環境を好み、また海氷をどのように利用しているのかを正確に理解しなくてはならない。いっばうで営巣数やヒナの巣立ち率などのモニタリングも続ける必要がある。

広大な南極海で確かに起きている海鳥の個体数減少の実態を把握し、必要な対策を講じるためには、現場観測が欠かせない。

### 広大な南極海をカバーする

アホウドリ類に最新鋭の記録計を取り付け、その行動を詳しくモニタリングする。リモートセンシングによるデータと合わせ、どのような風をどのように利用して獲物を探しているのかを明らかにする。それと同時に、南極海で操業されている延縄漁船の航行データを取得して分析する。アホウドリ類と延縄漁船の時空間的なオーバーラップの大きいホットスポットを特定する。

ペンギン類にも記録計を取り付け、一年にわたる行動パターンを詳しく記録する。リモートセンシングによるデータと合わせ、どこで、どのような海洋環境や海氷を利用しているのかを明らかにする。

アホウドリ類においても、ペンギン類においても、モニタリングの場所を複数設定し、営巣数、親鳥の体重、ヒナの成長率、ヒナの巣立ち率などを長期にわたって記録する。また国際的な連携を強化し、南極の各国の基地で行われている海鳥のモニタリングプログラムを一つの枠組みに入れる。営巣数などの基礎的なデータをリアルタイムでアップデートしていくデータベースを構築する。

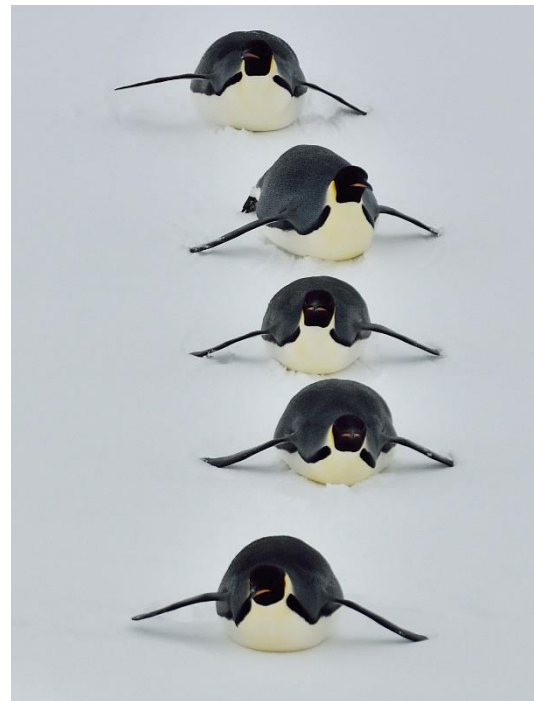


図2 準絶滅危惧種に指定されているエンペラーペンギン。

### 日本が率先する種の保全

アホウドリ類の分布と延縄漁船の操業パターンとの時空間的な重なるの多いホットスポットを特定する。当該海域での漁業効率等も考慮に入れながら、避けるべき海域や避けるべき時期を総合的に判断し、国際機関を通して提言を行う。またペンギン類においても、海洋環境や海氷の利用パターンを明らかにし、それに基づいて保全のためにできる手段を総合的に判断し、国際機関を通して提言を行う。こうした活動の結果、南極海の海鳥類の個体数の減少を食い止めることができれば、それが何よりも大事なアウトカムである。どの国の領海でもない広大な南極海で、日本が率先して種の保全という大きな社会的課題に取り組み、成果を挙げることができたのならば、国際的に非常に大きなインパクトを与えることができるだろう。

## 4.2. 知のフロンティア

南極域は、大陸の周囲を海で囲まれ、東西方向に遮る陸地がない。南極大陸と一番近い南米との間が最短で約 1,000 km、オーストラリアやアフリカでは 3,000 km 以上離れている。大陸周囲の海洋域は暴風圏であり、また南極大陸に近づくと、冰山や海氷に覆われていく。南極大陸その

ものも、約 97%が氷床に覆われた大陸である。さらに、南極地域は低温、乾燥と強風等の過酷な自然環境であり、周囲の海も含め、未だに人を寄せ付けない。それ故、南極域は、未だ調査が進んでいない未探査の領域が広大に広がっており、人類の知的領域を拡大もしくは未来を大きく変えるような発見等に繋がるポテンシャルが極めて高い地域である。人類共通の知的資産に貢献し、人類や地球の未来に資するような研究は、基礎的な地道な研究の積み上げによって成し遂げられるものであり、これらの基礎研究を可能とする持続可能な南極域での研究観測体制が必要である。

#### 4.2.1. 地球惑星の形成と進化の探求

地球が現在の姿に至るまでの形成と進化のプロセスとは？

われわれ人類の生きる地球が、どのような過程を経て現在の姿・状態に到達したのか、その手がかりは地表に露出する様々な岩石の中に記録されている。プレートテクトニクスによって、例えば海洋底の岩石は最大でも 2 億年程度でマントル中にリサイクルされて消滅する一方で、ひとたび陸上に固定された岩石すなわち大陸地殻の中には、約 40 億年前にさかのぼる古い岩石も存在する。こうした地球の歴史を知る鍵が南極大陸にある。

地球上に残された最後の空白域

南極大陸は地球上の総大陸面積の約 1 割を占める重要な大陸である。今から約 5 億年前に地球上の大陸の多くがひとつに集まっていたという Gondwana 超大陸において、南極大陸はその中核部として、周囲のアフリカ・インド・オーストラリアといった大陸の接合の鍵を握る重要パーツである。また、地質時代区分の重要な境界である 25 億年前（太古代／原生代境界）と 5 億 4 千万年前（原生代／古生代境界）の岩石が、昭和基地を含む ドロンイングモードランドから エンダビーランドにかけて広く分布する。それらは、Gondwana 超大陸を構成する「典型的」な大陸地殻であるとともに、その一部は地殻内部が 1000°C の高温にまで熱せられた“超高温変成岩”と呼ばれる特異な岩石となっており、その形成メカニズムはきわめてホットな研究テーマである。さらに、現存する地球最古の岩石（40 億年前のカナダのアスタ片麻岩）に匹敵する約 38 億年前の古い地質記録が日本の南極観測の活動域の東端のエンダビーランドのナピア岩体から見つかっている。このように、地球史 46 億年の時間スケールでの不可逆的な変動と地球内部で起きている物理・化学的現象を理解する重要なフィールドとして、ドロンイングモードランドからエンダビーランドにかけての地域への足がかりを持つ日本の南極観測が主導する観測には、国際的にも強い関心が寄せられている。南極大陸はその表面積の約 98%を厚い氷で覆われているために、大陸氷床下の岩盤や氷海の下の大陸棚を含む周辺海域には、これまで探査が困難であった広大な未知の領域が広がっている。また、基地や船からのアクセスの制約や困難さ、また限られた調査可能期間のために、これまで得られている基盤地質の情報は他の大陸と比較して圧倒的に不足している。さらには、南極大陸のほとんど調査のされていない領域にどのような石が残されているのか、その探索が急務である。

こうした基盤地質の情報をベースとしつつ、南極大陸が古い極めて安定した大陸であることから、測地観測などからは微小な地球の変動の検知が可能である。また、現在進行形の地形発達情報は氷期-間氷期サイクルを含めた地球環境変動の理解に不可欠であるとともに、固体地球と氷床との間の相互作用を調べる上で、氷床下の岩盤の地殻熱流量などの観測も重要である。また、南極大陸周辺海域は海氷の発達のために海底探査データの乏しい空白域が広がっており、砕氷船や航空機を用いた地磁気や重力などの地球物理観測が必要である。こうした南極大陸自体の観測や調査に加えて、南極氷床上で採取される隕石からは太陽系創生期の重要な知見が得られる。

#### 露出する岩盤、氷床下・海底下の地質情報から南極大陸の全貌を解明する

南極大陸に露出する岩盤（露岩）の岩石を徹底的に調べることが、まずは全ての基本となる。南極には植生がほとんどないために、岩盤を全面で観察できる稀有な、また、非常に魅力的なフィールドである。露岩を歩き回って石をじっくりと観察し、必要なものを採取する、ということが南極でおこなう観測となる。地質の調査には、極論すれば、地図とハンマーがあれば必要十分である。その代わり、必要な露岩に必要な人が必要な期間、調査に行ける、という体制が重要である。そのためには、広い範囲に散在する露岩域への安全なアクセス手段として航空機・ヘリコプターによる輸送支援や車両を使った氷床上の移動手段、また野外で安全な調査活動をおこなうための装備が必要である。2034年頃には、これまでアクセスの難しかった遠隔露岩などでも機動的な野外調査が可能になることを期待している。基盤地質の情報が基本であるが、それをベースとし、南極氷床下や海洋底の重力・地磁気・地震波等のデータを得るための航空機や観測船による地球物理観測、氷床下岩盤までの掘削による氷床底岩石の回収や氷河堆積物を用いた内陸域の地質推定、また、氷床下の岩盤の地殻熱流量測定などをおこなう。氷床上での隕石探査も重要な観測テーマである。

#### 地球全史の理解に向けた南極からの貢献

南極大陸は、基盤地質の観点からは、現在たまたま極域に位置している大陸であり、地球上の他の大陸と比べて地質学的特質として、特別なものである必然性はない。しかし、これまでに南極大陸で見ついている38億年前にさかのぼる初期地殻の情報や、太古代-原生代境界と原生代-古生代境界という時代区切りとなるタイミングの地殻の物理化学現象、また、太陽系の原材料や惑星形成の初期情報を持つ隕石の採取や現在進行形の地殻変動を検知する場として、地球惑星の進化の記録を紐解く重要な情報が残されているフロンティアである。氷床下の広大な未踏査の空白地帯の情報を埋めるとともに、地球惑星の成り立ちや現在の地球の状態と変動を人類が理解するための鍵としての情報が、南極大陸の観測と研究から得られる筈である。

#### 4.2.2. 太陽地球システムの解明－宇宙天気研究



## 宇宙と地球の接続に関する問題の背景と、宇宙天気予報

宇宙空間に浮かぶ地球という惑星の大気や地磁気が、宇宙空間を流れる太陽風や宇宙線と、どのように作用し、どのように接しているか、ひいては生命への影響はどのようなものかについて知ることは、古くは地上で調べられるオーロラの変動や地磁気の変動を頼りにした研究から始まった。半世紀ほど前からは、人工衛星や探査機の活躍する宇宙時代に入り、より直接的に宇宙空間のプラズマや高エネルギー粒子を調べられるようになったが、そんな現代でも、その実態解明は困難を極めている。ここで実態解明とは、より具体的に言うならば、私たちは、やみくもに経験則に頼るのではなく、物理的に、オーロラの発生分布や、高エネルギー粒子による大気への影響について、定量的に予測できるか、ということであり、近い将来に起こるであろう太陽活動の減衰や、遠い将来に起こるであろう、地磁気反転などの大きな変化の際にも、正しく評価できるか、ということである。

1990年代以降になり、近場の宇宙環境の変化に敏感な、人工衛星、電力網、通信網などの社会インフラを安定的に利用するための、宇宙天気予報という言葉や、実際の国際的な取り組みが充実し、いまは各国の注目する、応用研究の一分野として、国際社会に対して非常に大きな被害を生む自然災害対策の重要課題としても広く常識として知られるようになった。この予報を主目的として発展してきたコンピュータ・シミュレーションは、いまや基礎研究の理論ツールとしても、必要不可欠な存在となりつつある。極域科学の中心課題であるオーロラを例に挙げれば、観測データをもとにして、簡単な理論をもとにオーロラの世界分布を予測することは不可能であり、太陽風と磁気圏と電離圏のエネルギーのやりとりをプラズマと磁場の保存則に従って、コンピュータが丁寧に解くことでのみ、定量的で信頼性の高い、しかし短期間の、予測が可能となりつつある。

## 近い将来における緊急の課題

太陽活動の活発だった、過去半世紀の宇宙時代は終わり、近場の宇宙環境は、いままさに新たな時代に入りつつある。現在、太陽活動は2重の意味で、弱体化の傾向にある。一つは、いわゆる11年周期と呼ばれるもので、2020年ごろには、太陽黒点が1年を通して出てこないような、太陽活動の極小期を迎えるはずである。この弱体化は、あくまで一時的なもので、数年もすれば、また黒点が何度も出現する太陽活動の極大期を迎えることが期待される。しかし、過去40年ほどかけて、太陽磁場が明らかに弱体化し続けていることから、次の太陽活動極大期では、もう黒点もあまり出てこない状態になり、17世紀に数十年も太陽黒点が消えた「マウンダー極小期」と呼ばれるような、グランドミニマムのような状況に突入することも期待されている。

このような変化の大きな状況にあって、私たちにとって未経験のことであるため経験則に頼ることもできず、定量的に宇宙環境と、その地球への影響を予測できるような体制には至っていない。もし数十年でグランドミニマムに入ったらオーロラは見えなくなるのだろうか？太陽活動が極端に弱い時代には、宇宙からの影響によって、地球の大気は変化するだろうか？緊急性の低い、より長期的な問題としては、地磁気が弱くなり続ける地球では、磁気嵐や放射線帯はどう変わる



のか？地磁気反転のときには、大気や気候にどのような影響があるのか？という問題も、類似する側面がある。

#### 課題の解決のために

宇宙からの影響や、地球大気へのインパクトについて、異様に詳しいレベルまで確認しながら実験・観察・研究できるのは、いつの時代になっても地球の極域だけである。特に、南半球は磁場が北半球に比べて弱いため、将来の地球を一部、先取りしたような特異な状況にある。まず、オーロラ活動などに関する、非常に精密な定量観測データ（現在よりも精度を高めたデータ）が、これからますます重要になることは自明であり、これは太陽活動の減少とともに、オーロラの明るさや磁場の変動も、弱くなるためである。また、グランドミニマムや、さらに長期的な大気への（あるいは大気から宇宙空間への）影響などを議論する上では、太陽の 11 年周期などに比べて長期的かつ高品質のデータが不可欠であり、地道に 2030 年代まで、現在の南極昭和基地で継続されてきたようなモニタリング観測を、品質を損なうことなく継続しておくことが、将来の人間にとって、宝となるだろう。オーロラのグローバルシミュレーションは発展を続け、将来、現実そっくりの再現性を持ち、北極の氷は消え、両半球の極を埋め尽くす観測ネットワークが実現し、メソスケールのオーロラの理解は、今の気象業界に似た、かなりロバストなものになっているだろう。そんな中で、残された最大のフロンティアは、極冠のオーロラだろう。オーロラの環の内側は、まだほとんど何もよくわかっていない。太陽風密度が極端に減少した「太陽風が消えた日」には、極冠を埋め尽くすようなオーロラも出現した。北極と連携した形での、南極のオーロラの冠に関する、新たな研究が、宇宙天気予報のフロンティアとして、よりチャレンジングな長期的な定量予測の検証の場として、将来の人間にとって不可欠なものになっているだろう。

#### 4.2.3. 環境変動に対する生物の適応・進化の理解

##### 野生動物の進化の謎

生物学のゴールは、突き詰めていけば進化の謎を解き明かすことである。それはダーウィンの活躍した 19 世紀からそうだったし、現在でも、そして 16 年後の 2034 年でもそうだろう。20 世紀を通して遺伝学が飛躍的な発展を遂げ、小型の飼育動物（ショウジョウバエやメダカ等）を対象にして、遺伝子レベルの解析が多数行われるようになった。しかし、いまだに残されている課題は、大型の野生動物がどのように環境に適応し、どのように次世代に残す子孫の数を最大化して、さらにそれが数十年間という長い時間スケールにおいてどのように変化するのかを理解することである。

### 環境変動の大きさを利用する自然実験

南極大陸の沿岸部は地球上で最も環境変動の大きい地域の一つである。夏の時期、分厚い海氷がびっしりと海面を覆っていることもあれば、海氷がすっかり流出してちゃぷちゃぷとした海面が露出していることもある（図3）。そうした海氷の変動は、海氷の上を歩いて移動し、隙間から潜水して獲物を捕らえるアデリーペンギンに劇的な影響を及ぼしていると予想される。実際、これほど大きな環境変動を毎年のように経験している野生動物はめったにいない。そこで、南極のアデリーペンギンをモデル種にすることで、長期的な環境変動に対する野生動物の適応、進化という大きな学問的課題にチャレンジすることができる。



図3 南極のアデリーペンギン。背景に見える海氷の状況は、毎年劇的に変動する。

### リアルで詳細なデータを継続的に

南極のアデリーペンギンに記録計を取り付け、その移動経路、潜水パターン、捕食行動を詳細に記録する。それと並行して、営巣数、親鳥の体重、ヒナの成長率、ヒナの巣立ち率をモニタリングする。そのような観測を毎年、途切れることなく実施する。作業をマニュアル化し、ペンギンの研究者が参加しない年でも、フィールドアシスタント等の助けを借りてデータが取得できるような体制を整える。

### 適応進化の例をはっきりと

ペンギンの行動パターンおよび繁殖に関する数十年分のデータを蓄積させ、リモートセンシングによって得られる海氷のデータと合わせて総合的に解析することにより、ペンギンが環境の変動に対してどのように対応し、またどのような影響を受けてきたのかを明らかにする。さらに、集められた膨大なデータから、ペンギンの進化につながる環境適応の蓄積を読み取る。南極という環境変動のとりわけ大きい特殊な環境を利用することで、野生動物における適応進化の一例をはっきりと示すことができれば、学術的に大きなインパクトがある。それだけでなく、ペンギンという世間の注目を集めやすい動物を使った最先端の研究は、科学の裾野を広げ、次世代の研究者を育成することにも大きく貢献すると期待される。

## 5. プラットフォームの方向性

前章で示したサイエンスの方向性を実現するためには、そのためのプラットフォームが必要と

なる。現在の本事業のプラットフォームとしては、基地として昭和基地、観測船として「しらせ」が大きな位置づけを占めるが、ここでは現状のプラットフォームの機能・枠組みに捉われることなく、前章で示したサイエンスの方向性を実現するために必要なプラットフォームの機能を洗い出し、方向性について構想する。

## 5.1. 研究観測基地・拠点

### 研究観測基地・拠点に求められる地理的要素

地球規模環境変動の理解および監視には、全球的な観測網が必要となる。観測網は全球に観測点が均等に配置され、安定した観測の継続とデータの提供が理想的である。しかしながら、現在の大陸海洋配置から観測点の均等な配置は困難である。中でも南極域は、広大な南大洋に囲まれ大陸上の観測点はその大陸と比較して極めて少なく、全球に可能な限り均等に観測点を展開する上で、重要な地理的位置を占める。昭和基地が位置する東南極においては、現存の基地は特に疎らであることから、地球上における観測点としての重要性は極めて高く、開設して60年以上となる昭和基地において継続的に取得された観測データの蓄積は、人類にとって貴重な資産である。

同時に、南極地域は、人間活動の活発な地域から最も遠く、その影響が極めて少ないことから、地球環境の現状を理解するための人為起源のノイズが極めて少ない良好な大気、海洋、生物などのデータを収集できる地球上で唯一の場であり、今後の地球規模環境変動を監視する上で、南極の定点での長期的な継続観測は必須である。

一方で、極域という観点からは、極域特有のオーロラに代表される宙空圏現象の観測ができる場であり、地球を取り巻く宇宙空間の環境変動を知る手掛かりとなっている。昭和基地は、オーロラ帯直下に位置する数少ない基地であり、貴重な観測が継続により、地球を取り巻く宇宙空間の理解に大きく貢献している。さらに、今後の観測の継続とともに、昭和基地を足掛かりとした極冠域への観測の展開も期待される。

基地において継続して観測を行うとともに、これらのデータを基礎とし、基地を拠点とした、周辺域への野外調査を中心とした研究・観測の展開も可能である事は重要な点となる。地磁気観測やオーロラ観測などの宙空圏に関する研究、大気観測や雪氷調査などの気水圏に関する研究、測地・重力・地震観測や地形地質調査及び隕石探査などの地圏に関する研究、陸上生物や海鳥類の調査などの生物圏に関する研究・観測には、野外での観測が不可欠であり、その拠点となるべき観測拠点は、科学的な目的に応じて広域に展開することが求められる。

### 研究観測基地・拠点に必要な機能

基地観測において、安定した観測の継続とデータの提供という点では、継続的な観測には、安定的な電力供給等の基盤インフラは必須であり、それらのデータの即時的な有効利用において、観測データの即時国内伝送を可能にする通信インフラの整備も必要とされる。また、研究・観測のための基地・拠点という観点から、国内同水準の研究環境の確保も重要である。今後、様々な

観測に機動的に対応するために、新たな観測装置を設置するためのキャパシティを必要とする。観測船への搭載や基地にそのまま運び込めるプロジェクト毎のコンテナラボの活用なども有効な方策である。

基地から離れて野外観測を実施するためには、①野外観測を準備するための拠点、②野外観測地点にアクセスするための移動手段、③野外観測地点で安全に観測を実施するための装備、といった機能を必要とする。機能①については、野外装備物資保管庫、野外観測の準備作業のための空間、野外用物資の荷捌き用の物資一時保管庫、などの野外観測物資の集積・準備拠点を基地あるいは観測船の中に設ける。機能②について、夏期間の輸送の基本は観測船に搭載するヘリコプターと考える。ヘリコプターの航続距離を考えると、遠隔地や広域に展開するためには、ヘリコプターを搭載する観測船の機動的・広域的な運用が必要である。また、航空機を利用して遠隔地の露岩近くの氷床上に直接アクセスするということが選択肢となる。氷床上では、雪上車・スノーモービル・4輪駆動車などの車両を目的に応じて利用できることが重要である。特に、氷床上で抜群の機動力を誇る4輪駆動車（アークティックトラック等）の導入は不可欠である。機能③として、野外活動の標準装備として、野営設備や通信・発電・安全対策などの装備類のパッケージ化と適切なアップデートが必要である。また、国内で集約・準備することはもちろんであるが、基地や観測船にも適切なパッケージを配備して、状況に応じて臨機応変な対応ができる体制や専門スタッフの配置が必要である。

## 5.2. 研究観測船

### 研究観測船を必要とするサイエンス

南大洋・南極氷床が関わる全球環境変動メカニズムには、異なる時間・空間スケールの様々な相互作用が関与しており、海洋・氷床・固体地球・生態系の実態と変遷について、観測研究を集中的に実施する必要がある。例えば、前述した「南極氷床融解に起因する海水準変動の予測」のためには、南極氷床およびその周辺の南大洋に関して、現場観測とモデル研究を融合させ、南極とその周辺における底層水・周極流・生態系・氷床・固体地球の実態と変動の素過程、およびそれらの相互作用を明らかにする必要がある。これには、沿岸・外洋境界域に位置する氷床-海水-海洋システムに対して複合的な相互作用をもたらしている、大気・海洋・海水・物質循環・生態系変動場について明らかにする観測が必要となる。

これらのサイエンスを実現する為には、南大洋・南極氷床の現場観測が不可欠である。例えば、氷床末端部にあたる棚氷の下の海洋に暖水が貫入して、氷床底面から融解が進むプロセスである氷床海洋相互作用を明らかにする観測が必要であるが、これには棚氷下の海洋観測というハードルの高い観測が必須となり、無人探査技術を含めた新技術の導入が不可欠であると共に、それらの母体となる研究観測船が必須となる。また、長い時間スケールで変化する海洋を理解するため、南大洋で堆積物コア等を採取し、過去の変動の復元も行う必要があるため、大気・海洋・海水の現場観測だけでなく、海底コア採取を含めた海底に関わる現場観測も不可欠となり、そのプラッ



トフォームとしての研究観測船は多面的観点からも必須と言える。

### 研究観測船に必要な機能

上記サイエンスを実現する為には、第一に、海氷域において通常海域と同様のパフォーマンスを発揮できる研究観測船が必要となる。そのために必要な機能は強力な砕氷航行能力である。具体的には、厚さ 2m の平坦氷を 3kt の船速で連続砕氷可能とする砕氷航行能力である。この砕氷航行能力により、厚い海氷域の航行も可能となり、海氷そのもの及び海氷下の海洋観測が可能となるだけでなく、沿岸の氷河・棚氷域周辺の氷上および海洋観測を行う事ができる。

次に観測能力を担保する観測機能及び装備・搭載機器についてだが、大気・海洋・海氷・生態系・海底地形・地質等、多岐に渡る観測ニーズに対応する必要がある。また、野外観測の移動補給拠点としても機能する必要がある。特に欠かせないものとして、ヘリ甲板及び格納庫やコンテナラボ対応区画のような、後付けが不可能な機能が考えられる。また、現在におけるムーンプールのような新技術の導入も欠かせない。ムーンプールは通常海洋観測の合理化・効率化に貢献するばかりでなく、ROV や AUV といった新技術を用いた観測の実施の推進に欠かせない。さらに、A フレームの搭載や、十分な広さの実験分析スペースの確保といった基本項目も同様に重要である。具体的に必要な観測機能及び装備・搭載機器については、巻末の参考資料 (1) にまとめた。

## 6. 事業運営の方向性

2008 年構想では、この部分に大きく紙面を割いて様々な構想を示した。その項目の一覧を巻末の参考資料 (2) に掲載する。2008 年構想のうち、実現できたものも実現できなかったものもあるが、本章の以下の項では、2008 年構想の達成状況も踏まえつつ、前章まで掲げたサイエンスの方向性とプラットフォームの方向性を実現するための方策としての事業運営の方向性を構想する。

### 6.1. 次期南極観測船

#### 現在の問題点（ハード面）

現行の南極観測船「しらせ」のハード面での問題点は、海洋観測の能力を著しく制限されていることである。しらせはスラスターと呼ばれる定点保持機構を持たないため、風向きを固定する必要のある観測や、船からケーブルを繰り出して測器を使う観測には大きな制限が加わる。また、アーマードケーブルと呼ばれる通信ケーブル入りのケーブルが装備されていないため、着底による測器の損傷からの回避や、ケーブル繰り出し中のデータ破損の早期発見等の対応ができない。さらに、A フレームまで装備されていないため、通常海底堆積物掘削等の観測にも対応できな



い。分厚い海氷域を割って入って行くことはできても、そこで標準的な海洋観測を行う能力は備えていない事になる。

つまり、現行「しらせ」は、昭和基地への物資輸送に偏重しすぎた設計のため、その高い砕氷能力によって海氷域内部に入り込む事はできても、そこでの海洋観測を行う事はできない。諸外国から「しらせ」の砕氷能力は注目を集めており、南極沿岸の厚氷域における大気・海洋・海氷・雪氷・海底堆積物等の観測に関して期待を受けながらも、現状の観測能力では期待に応えられない現実が続いてきた。

全球環境変動メカニズムを明らかにする上で、南極大陸と南大洋は切り離すことのできない一体化した存在であるものの、我が国の南極地域観測では、基地観測を中心とした南極大陸上の観測に比し、南大洋の観測が十分に行われてきたとは言い難い。例えば、氷床融解に起因する海水準変動を予測するためには、南極氷床や氷床下の地質の研究だけでは立ちゆかず、沿岸の棚氷下の海洋の働きが鍵であることがこの5～10年で明らかになった。現行「しらせ」建造の際には、昭和基地周辺の海氷状況を考慮し、輸送に特化した船の設計となったが、現行船の寿命である25年という時間スケールで考えると、海洋観測能力の欠如が、氷床研究の進展に結果的にブレーキをかけることとなっている。

以上の状況を踏まえると、次期南極観測船としては、現行の南極観測船「しらせ」が持つ砕氷航行能力と輸送能力を維持しながら、国際競争に勝てる海洋観測能力を付加した研究観測船が必要と考えられる。

#### 現在の問題点（ソフト面）

現行の南極観測船「しらせ」のソフト面での問題は、観測及び輸送に関するフレキシビリティが著しく制限されていることである。現状では、南極地域に出入りする日程は事前に決まっており、またその回数も、1シーズンに1度、約100日の南極行動に限られる。このような運用では、観測計画に沿って、複数回のレグを組む、あるいは早期に日本を出港して観測を開始するというアレンジも容易ではない。

同様の砕氷船を持つ他国のケースを見ると、例えば豪州の場合は、年に7回程度のレグを組んで南極に出入りする事により、基地輸送と海洋観測を両立させている。ドイツの場合は、ケープタウンでドックに入る事により、北極海を含めた年300日にわたる航海運用を実現している。また、他国の観測船（「しらせ」と同様に観測隊員が約80人乗船できる規模を想定）の場合、乗員は概ね50人程度であるところ、「しらせ」では約180人となっている。このように他国では、運行計画、運行日数、乗船者比率などで科学的な目的を重視した運用をおこなっており、効率的に研究成果を上げている。

以上の状況を踏まえると、次期南極観測船の運用にあたっては、乗員数の削減などを通じて効率化し、科学的目的を達成するための十分な観測日数を確保するとともに、柔軟な運行計画が実現できる体制を目指す必要がある。また、現場でのオペレーションに関して、観測船に対する観測隊の指揮権も明確にし、危険に関わることを除き、基本的な運行は観測計画に基づいて行われ

る体制も必要である。

#### 今後の方向性（次期南極観測船の建造）

これまで本構想で記述してきたサイエンスを実現する為には、基地観測に必要な輸送と海洋観測・沿岸調査の両立が不可欠である。このために、次期南極観測船として、現行「しらせ」と同等の強力な砕氷航行能力有し、優れた観測機能（スラスター・アーマードケーブル・A フレーム等）を備えた船を建造する。これによりこれまでと同レベルの基地輸送に加え、厚い海氷域に入り込んでの海洋観測・沿岸調査が可能となる。

一方で、海洋観測機能の中には、ムーンプールのように、現時点での技術レベルでは強力な砕氷航行能力と両立できない項目も存在する。このような事態に対応するためには、連携研究観測船の導入による砕氷研究観測船マルチシップ体制を整える。

これは現状においては、現行「しらせ」に加えてもう一隻の砕氷研究観測船を保有することを意味し、現在の日本の厳しい財政状況やサイエンスに投入できる予算状況を鑑みると簡単に実現できることではない。しかしながら、構想が進んでいる北極海用研究砕氷船等の構想が実現した場合には、その船を南極観測にも利用するという可能性は十二分に考えられる。厳しい厚氷域における観測についても、しらせが先行してエスコートし、比較的砕氷能力の低い観測船がその後について観測を行うという事も可能である。備船についてはこれまでもいくつかの取り組みがなされてきたが、費用対効果の観点からも、観測測器及びサンプルの輸出入に関わる諸問題を考え、あまり効果的とは言えない。しかしながら、他国の研究砕氷船との共同観測は、日本のプレゼンスの確保という観点からも効果的と言える。各国の砕氷船にはそれぞれ特徴があり、日本の長所と他国船の長所を生かした観測を行う事も可能となる。

上記をまとめると、以下のような表になる。

観測船	観測機能	輸送機能	砕氷機能
現行「しらせ」	△	○	◎
次期南極観測船	◎	○	◎
連携研究観測船	⊗	—	○

凡例) ⊗：特に優れている、◎：優れている、○：十分な機能、△：十分ではない、—：不要

#### 今後の方向性（次期南極観測船の運航形態）

これまで本報告書で記述してきたサイエンスを実現する為には、次期南極観測船には、運行計画立案段階から実際の運行に至るまでのすべての意思決定が観測計画の目的に沿ってなされる体制が必要である。当然、運行を担う組織はそのような運行が可能な組織でなければならぬため、次期南極観測船の運航体制の検討にあたっては、現行「しらせ」の運行を担う海上自衛隊の他、民間企業に委託するという選択肢を慎重に利益衡量した上で、決定する。いずれの場合でも、観測計画を担う極地研が、次期南極観測船を利用した研究観測・輸送の全体計画のコーディネートを担い、船の運航の方針を決める。なお、次期南極観測船の母港・ドックは、観測測器及びサ

サンプルの輸出入に関わる諸問題の関係から、日本国内に設定する。

## 6.2. 基地整備・運用

前章プラットフォームの方向性の研究観測基地・拠点の項で、サイエンスの方向性を実現するために必要な研究観測基地及び拠点の方向性を構想した。

ここでは、それをもとに、日本の研究観測プラットフォームとなる研究観測基地及び拠点を、昭和基地、内陸基地、移動可能・無人観測拠点の3つとして、その整備及び運用の方針を構想する。

**（以下 6.2.1 から 6.2.3 の各項は、南極観測シンポジウム 2018 での発表や議論を踏まえ記載予定）**

### 6.2.1. 昭和基地

### 6.2.2. 内陸基地

### 6.2.3. 移動可能・無人観測拠点

## 6.3. 実施期間・アクセス

航空機と船舶（主に次期南極観測船）を利用して、必要な人が、必要な地域に、必要な時期に、必要な期間だけ南極地域に滞在し、研究活動または設営作業を行うことができる体制を構築する。具体的には、最短1ヶ月で日本から南極に行って帰って来られる体制を目指す。また、航空機と船舶を組み合わせ、必要に応じたアクセスができるようにする。1ヶ月という短期間での観測実施体制を構築することにより、優秀な若手研究者の南極研究への参加を促すことができる。

### 観測船

これまでの人員移動の手段はほとんどが観測船によって行われてきた。夏隊であれば出張期間は11月末から3月末までの4ヶ月に渡るが、昭和基地周辺での活動期間は12月半ばから2月半ばまでのおよそ2ヶ月間に限られる。日本からの出港、日本への帰港などの運航日程は毎年ほとんど変わらない硬直的な運用になっている。毎年同じ運用であるということは、毎年同じ時期に観測を行うということになる。この硬直的な運航形態を様々な観測計画によって柔軟な日程を取れるように変えることが必要である。例えば、必要に応じて出港時期を最大で1ヶ月程度前後にずらす、観測船の運航期間を伸ばすまたは短縮する、南極へ1シーズンに2往復するなどの方法で、観測にバリエーションを作ることができる。これにより、幅広い観測を実施できる体制を整える。船舶による早期（11月または12月上旬に南極に到達）の人員輸送が実施できる体制ができると、夏期間の安定した天候の時期により大規模な観測・設営が可能になる。船舶の早期の

輸送は、毎年実施するものではなく、観測・設営計画に応じて立案する。

柔軟な日程で運用できる観測船運航体制を構築できれば、次に述べる輸送についても、海水の状態によって時期を前後させることを検討できる。たとえば、海水が厚く、容易に割れない状況であれば輸送時期を遅らせて、少しでも海水が緩む 2 月頃から実施するという計画が可能になる。逆に、海水の融解が進んで 1 月頃の氷状は氷上輸送には緩すぎる恐れがある場合には、いまより半月ほど早い 12 月初旬には南極に到着して輸送をするという計画も可能である。

### 航空機

南極の野外で研究・設営などを実施できる期間は、夏期に限られるため、非常に短い。できるだけ早く南極に入ることにより、観測期間などをより長くとることができる。現在でも DROMLAN (Dronning Maud Land Air Network) を用いて早期に昭和基地入りする計画が取り入れられており、陽の長くなる 11 月から 12 月までの、これまであまり活動が活発でなかった時期を有効に利用できている。夏の活動期間を長く取れることは、観測だけでなく設営作業にもメリットがある。建築などの専門性の高い隊員を派遣するケースでは、夏期のみで短期間で仕事ができるようになる。また、帰路も航空機を利用することにより、短い出張期間で観測を実施することができる。航空機による人員の輸送を更に増やし、観測を効率化していくことが必要である。このように、航空機の利用が増えた際には、航空路による南極へのゲートウェイとなっているケープタウンで、人や物の受け入れを行うスタッフが常駐することが望ましい。

オーストラリアは、南極大陸上のデービス基地近傍（基地より 6km）に通年利用可能な滑走路を整備する構想を発表（2018 年 5 月）した。50 次隊（2008 年）の昭和基地への輸送はオーストラリアの砕氷船オーロラ・オーストラリスによって行われるなど、オーストラリアと日本の間では南極観測で協力体制を築いている。今後は、航空路として DROMLAN だけでなく、オーストラリアとの協力も視野に入れることが必要である。

## 6.4. 輸送

### 現在の問題点

南極昭和基地への物資輸送は、その大半を観測船「しらせ」に頼っているのが現状である。

現在の「しらせ」に関しては、出港と帰港、南極圏での行動日数などの日程が毎年ほぼ変わらず、他国の南極観測における海上輸送と比較しても運用に柔軟性がなく、観測計画や設営計画の柔軟な運営を困難にしているのが現状である。高い砕氷能力を有している「しらせ」であるが、それでも海水状況によっては昭和基地への接岸が困難な場合があり、接岸不能時の輸送に関しては、大幅な計画変更を余儀なくされている。

昭和基地以外への輸送としては、内陸基地への輸送があげられる。現在の内陸基地への物資輸送に関しては、計画実行の前年までに必要物資の大半を昭和基地へ輸送した後に、越冬期間中の海水が安定する時期を待ち、雪上車による海水上の輸送を経て、内陸への出発点に物資を集積す



るといった状況にある。ここでも、海氷の状況により雪上車での物資輸送が困難になる場合があり、物資輸送ができなければ観測計画の変更や中止の可能性が常につきまとう。また、海氷上輸送が可能となった場合でも、越冬開始後海氷が安定してからの作業開始となることで、物資輸送、車両整備などに費やせる時間が非常に短い状況となっている。

さらに、サイドスラスターの無い「しらせ」では、南極大陸に接岸して直接物資を降ろすことができず、また、クレーンの能力に限界があり、牽引性能の高い大型トラクターを昭和基地に導入することが難しいため、内陸への輸送は現在保有している大型雪上車のみ reliant を得ず、輸送力を大きく改善することが難しい状況である。

#### 今後の方向性

昭和基地への物資輸送の方向性として、「海氷状況に左右されない物資輸送」、「船舶の接岸に依存しない基地の運営」、「船舶が接岸しなくとも対応できる空輸体制」を構想する。海氷状況に左右されない昭和基地への物資輸送については、船舶運用時期を柔軟にすることにより対応は可能だと考える。現状の決められた日程の中での運用から、海氷状況に合わせた日程調整や複数回の輸送を実現することにより、機動的で確実な対応が可能となる。また、昭和基地で使用する燃料の備蓄量を増やすなどの対応を行い、2～3年に1度の船舶の接岸による給油でも基地の維持が可能となる設備を構築する。また、空輸のみでも基地の運営が可能となるような、安定した大型物資輸送が可能な航空機（大型ヘリなど）の配備を行う。

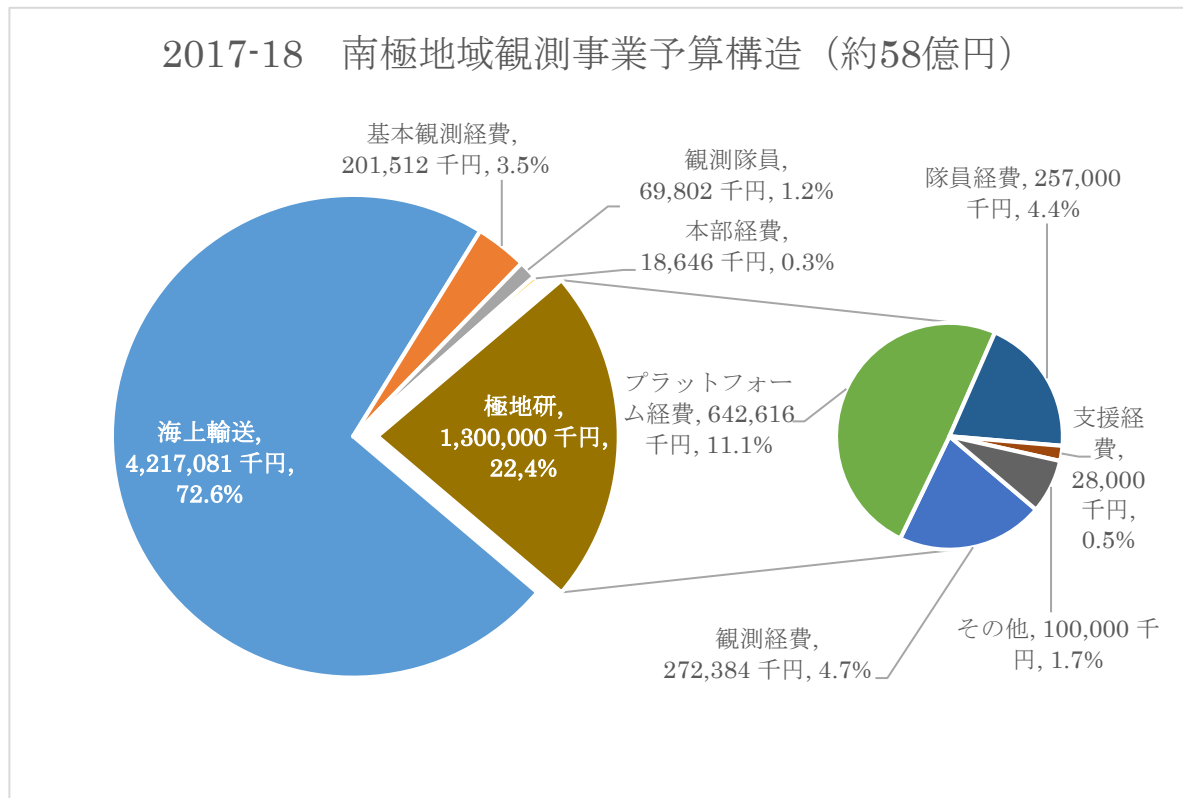
内陸基地への物資輸送については、既存ルートの他、外国基地で利用されている船を用いて、クラウン湾への揚陸する方法を構想する。揚陸された物資は、雪上車によりベルギーのプリンセス・エリザベス基地を経由して直接内陸基地まで輸送する。この輸送方法を実施すれば、昭和基地周辺の海氷状況に左右されずに内陸基地への物資輸送が可能となる。この方法を実現させるために、チャーター船の利用はもちろんであるが、クラウン湾から内陸基地への雪上車による輸送に関して、ルートを整備できるグレンデ整備車の確保と牽引力のあるトラクターなどを採用する。また、これらの車両の充実とともに、大量の物資輸送に対応した橋も配備する。

また、将来的にも高い砕氷能力を有する必要がある日本の観測船の輸送力を活かし、他国からの要望があれば、厚氷域での物資輸送などを請け負うことを構想する。

#### 6.5. 財務戦略

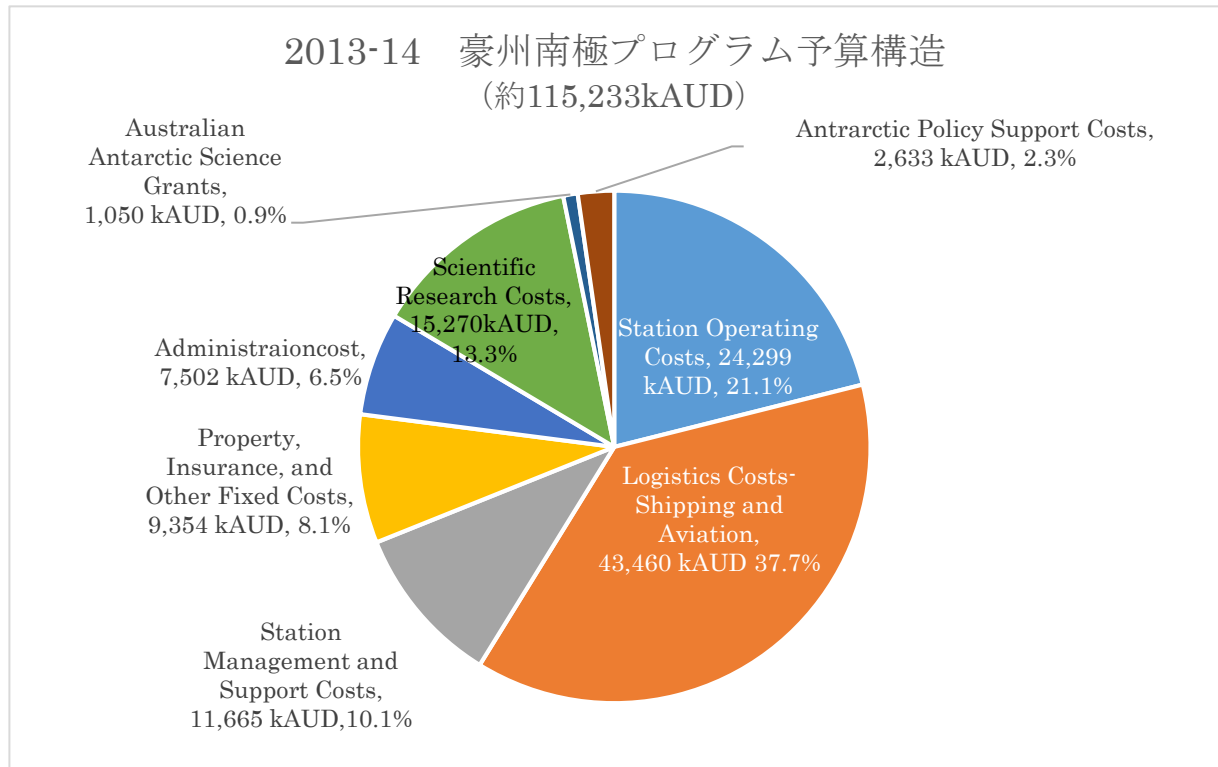
将来の南極地域観測事業の財務戦略を構想するにあたり、まずは、現状の分析から入りたい。2017年度（第59次隊）の本事業の予算構造は、以下の通りである。





全体約 58 億円のうち、「しらせ」や大型ヘリコプターの運航・運用及び保守等に要する海上輸送経費が全体の 72.6% の約 42 億円となっている。昭和基地や DROMLAN などの海上輸送部門以外のプラットフォーム経費は、約 6.4 億円、わずか 11.1%、観測経費（基本観測経費 + 観測経費）も、4.7 億円、8.2% に留まっている。

では、我が国の予算構造を他国のそれと比較した場合、どのような特徴が見られるであろうか。各国で予算の積算方法が一樣ではないため、直接的な比較とはならず、あくまで参考資料という位置づけを出ないが、2013-14 シーズンのオーストラリア南極プログラムの予算構造が公開（20 Year Australian Antarctic Strategic Plan, 2014）されており、その資料を以下に掲載する。なお、オーストラリア南極プログラムの主なプラットフォームの構成は基地 4（Casey、Davis、Mawson、Macquarie island）、観測船 1（Aurora Australis）となっている。

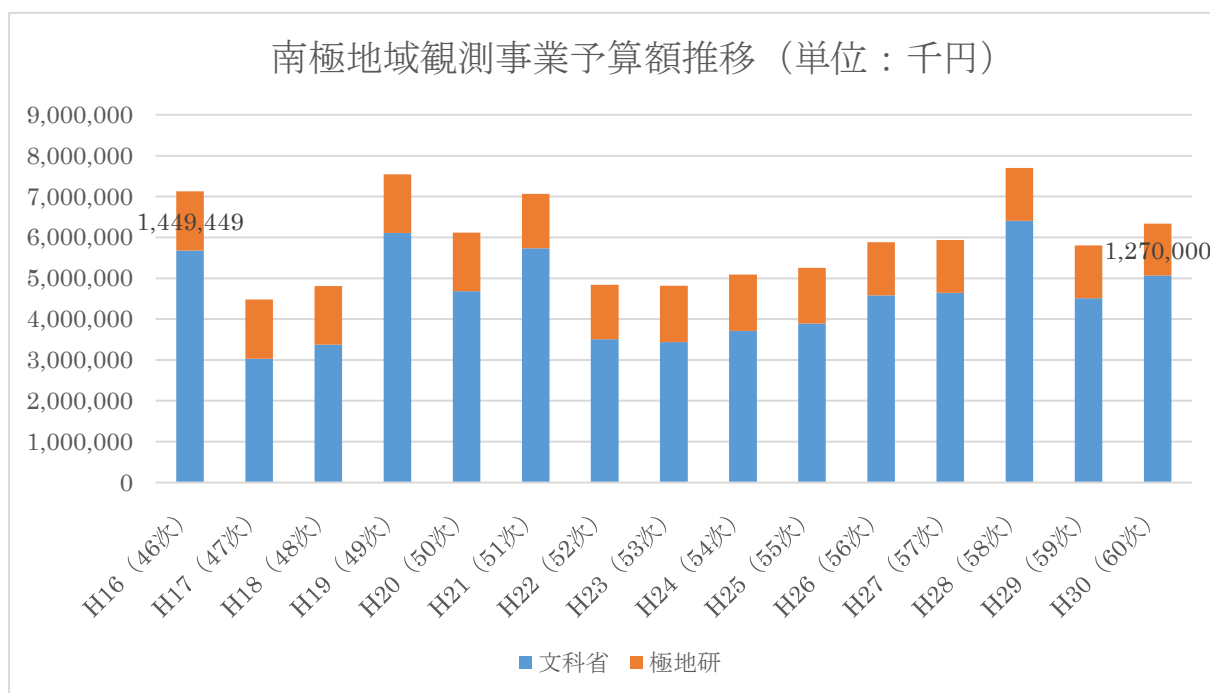


我が国とオーストラリアの南極事業に関する予算構造を比較した場合、輸送（Logistics Costs- Shipping and Aviation：海上及び航空輸送）に要する経費が最大となっている点で同様の特徴を示している。他の大陸から遠く離れた南極での活動にあたって、輸送に要する経費が高むのは必然であり、両国において、輸送経費が最大の支出となっているのは不思議ではない。一方で、予算全体に占める輸送経費の割合は、日本 72.6%、オーストラリア 37.7%と大きな差異がある。日本の南極地域観測事業の予算構造は、このように、海上輸送の高コスト体質の影響により、研究の基礎となるべき基地をはじめとしたプラットフォーム経費や観測経費に十分な配分ができない事態を招いている。

上記を踏まえ、本構想では、南極での研究に直結するプラットフォーム経費及び観測経費の充実を目指して、将来の財務戦略として、以下2点を構想する。

#### 外部資金獲得

我が国の科学技術予算は2000年代から横ばいで推移しており、本事業においても、今後の劇的な予算増を考えることは合理的ではない。H16年（極地研の法人化）以降の本事業の予算推移（下グラフ）を概観すると、大型ヘリコプターの調達や「しらせ」の修理等による予算の増減はあるものの、概ね50~60億円前後で推移している。うち、プラットフォーム経費や観測経費の財源となる、国立極地研究所の運営費交付金分の事業費は、概ね漸減傾向で、H30年度はH16年度比で、約12%減となっている。



このような予算状況の中、新たな財源を政府予算以外にも求めていくことは、論理的帰結と言える。我が国の南極地域観測は、政府予算と共に、民間からの多大な寄付に支えられて出発した。開始当初の精神に立ち返り、民間との共同研究や寄附・寄贈を推進することにより、財源の多角化を図るべきである。

具体的な方策としては、以下を構想する。

①プラットフォームの開放

2008年の第51次隊以降、新たな枠組みとして「公開利用研究」を開始し、南極観測事業費に依らない研究を実施してきた。制度上、民間企業を排除しているわけではないものの、採択基準やその後の評価、あるいは成果物の扱い等が一般的な研究と同一基準となっていることから、民間企業の製品・サービス開発や実証実験などを企図した計画は実現できていない。

今後は、地理的・環境的特異性を有する南極を、企業の製品・サービス開発や実証実験の場として広く開放することを企図し、「昭和基地利用プログラム」として、民間の製品やサービス開発及び実証実験の場と昭和基地等のプラットフォームを開放することにより、民間の力、財源を活用した研究開発を本事業の一翼として実現する。

②民間との協力フレームワークの構築

本事業は、設営系隊員の派遣など、民間企業の協力なくしては考えられない。一方で、国家事業として運営されている観点から、民間企業の協力を表立って謳うことを積極的になかった。そのため、隊員派遣や寄附・寄贈等に協力してくれる企業に対して協力に見合うリターンを提供できず、ひいては広く民間企業の協力を得ることが難しかった。

そこで、民間からの協力や寄附を更に得るべく、隊員派遣に協力いただく企業をパートナー、

寄附や寄贈いただく企業をスポンサーとして正式に位置付ける「南極地域観測パートナー・サポーター制度」を制度化するとともに、民間からの寄附金を主な財源とする寄附事業を企画する。

#### 予算構造の見直しと選択的投入

仮に外部資金の導入が上手くいったとしても、予算総額が2倍、3倍になることは考えにくい。そこで必要になるのは、予算構造の見直しと予算の選択的投入となる。

##### ①予算構造の見直し

予算構造の見直しとしては、海上輸送経費の比率の削減が必要となる。適正比率の算定は容易ではないが、10%でも5%でも引き下げが可能となれば、プラットフォーム経費や観測経費など成果に繋がりやすい経費に回せる予算が格段に増える。

次期観測船の建造にあたっては、科学的な成果を十分に得られる機能を前提としつつ、建造経費だけでなくランニングコストやそれを実現できる運営体制も慎重に検討し、海上輸送経費の比率削減を図ることにより、予算構造の見直しを図る。

##### ②予算の選択的投入

限られた予算を成果に結びつけるため、予算は広く薄くではなく、重点的に投入する。

本事業の中核実施機関である極地研は、研究所として科学的成果をあげる責任がある一方、事業運営主体として、極地研所属研究者に限らない幅広い研究者がよい成果を上げるためにプラットフォームやサービスの充実を図り提供する責任も有している。両者をどこでバランスさせるかという価値判断になるが、研究そのものについては南極地域観測事業費以外での実施も可能であることから、本事業でしか提供できないプラットフォームやサービスの部分（国内体制の人員配置を含む）に予算を選択的に投入する。

観測経費としては、2008年以降、公開利用研究を推進し南極地域観測事業費によらない研究を実施し、一定の成果を上げつつあることもあり、今後は、研究観測として経費措置している一般研究観測や萌芽研究観測の件数を絞る、あるいは、公開利用研究へと置き換えていくことにより、重点研究観測への配分比率を増やす。なお、長期間の継続が重要な定常観測やモニタリング観測に要する経費については、積算額や実施項目の精査を不断に行いつつも、安定的に予算確保する。

## 6.6. 事業の枠組み

本事業では、これまでの記載してきた通り、我が国の南極地域観測事業を、将来のサイエンスの方向性をベースに、それを実現するために必要なプラットフォームや事業運営の核になる部分について構想してきた。

ここでは、本構想の最後に、上記で記載しきれなかった事業運営の枠組みの方向性についての構想をいくつか記すとともに、まとめに変えて「Japanese Antarctic Science Program」を構想



する。なお、本事業の大枠は、昭和40年の閣議決定（昭和46年一部改正）に基づいているが、ここでは、この歴史ある閣議決定の内容を維持することを前提に構想する。

### 6.6.1. 観測隊員

2008年構想では、南極地域観測事業に参加する者の区分について、「観測隊員」、「共同利用研究員」、「大学院学生」、「同行者」の4つに区分することを構想したが、実現には至っていない。

現在、本事業に参加する者は、南極本部の定める事業計画（観測計画及び設営計画）を実施する観測隊員と、それ以外の計画を実施する同行者とに区分している。この区分は、計画の優先順位をベースにした区分として合理的に機能していると理解でき、新たに別の区分を設ける理由は薄い。

隊員に関して、長らく論点になっているのは、大学院学生の取り扱いである。現状、本事業に参加する大学院学生は多かれ少なかれ観測計画を実質的に担っていると言って過言ではない（観測計画と乖離した活動を計画する大学院生のみを南極に派遣し活動させることは安全なオペレーション実施の観点から現実的ではない）。ところが、実際の運用にあたっては、別の方針によって、大学院学生は同行者として扱う整理となっており、観測計画を遂行するうえで無用の区別が生じている。重要なのは、観測計画の遂行と科学的成果の創出に必要な隊員編成であり、そのために必要な人材が大学院学生だとしても、区別する必要も合理的理由もないので、大学院学生も他の社会人と同様、観測隊員となり得ることを正式に位置付ける。一方で、社会人には労働災害保険が適用されるのに対して大学院学生にはこの適用がないため、これに相当するリスク管理を本事業費により実現する。

まとめると、本構想では、観測隊員の区分を以下の通り構想する（区分自体は現状と変更はない）。

区分	活動	隊員 委嘱	経費負担	身分	現在の扱い
観測隊員	事業計画を実施	あり	南極本部/ 極地研	社会人	観測隊員
			南極本部/ 極地研	大学院学生	— (現状では事業計画 を実施する大学院学 生はいない整理)
同行者	事業計画でない活 動を実施	なし	所属機関/ 本人	— (なし)	同行者

### 6.6.2. 観測隊組織

アクセスが多様化し、「必要な人が、必要な地域に、必要な時期に、必要な期間だけ南極に滞在する」時代が、もう目の前まで来ている。

そうした時代に、毎年同一時期に出発するグループを称して、「第●次南極地域観測隊」という観測隊組織は意味をなさなくなる。隊員は、それぞれの観測計画や設営計画に必要な任期を個別に付すこととし、隊次や夏隊、越冬隊という大括りのグループは組織しない。

一方で、人員の頻繁な入れ替えが発生することで、現地での動きが複雑化し、安全や効率的なオペレーションに混乱をきたす恐れがある。それに対しては、隊長を補佐し、現地の運営が安全かつ効率的に回るよう、マネジメント層の隊員を配置するとともに、十分な権限を担保することで対応する。

### 6.6.3. 国内運営体制

サイエンスプログラムとしての本事業の運営にあたって、中核的实施機関である極地研の体制を強化する。具体的には、以下の機能を有するプログラムオフィスとして整備し、所要の人員配置を行う。

#### ①サイエンスオフィス

事業運営の肝となる研究計画の策定（募集、審査、採択、予算配分）、進行管理及び評価を担うオフィス。研究成果の発信なども担う。スタッフには、各国の科学技術動向や南極研究動向に明るい研究マネジメント人材等を配置する。

#### ②ロジスティクス&オペレーションオフィス

昭和基地などの研究を支えるプラットフォームの設営的サービスや、安全かつ効率的な現地オペレーション及び事前準備を担うオフィス。個々のサービス分野の高い専門性を有し、南極の現場を十分に把握する人材を配置する。

現行の極地研南極観測センターは、上記②の性格が強いが、広範なロジスティクスやオペレーションのサービスをカバーする人材は十分には措置できておらず、さらなる専門人材の措置が必要である。また、①については、現状では研究系からの兼務教員がコーディネーターという形で担っている部分が多いものの、より機能させるためには、専任スタッフの配置が欠かせない。

現状では、南極観測センターの専任スタッフは、15名程度で、この中から毎年複数名を南極に派遣することも踏まえると、現在の倍の30名規模の専任スタッフの配置が必要であり、予算構造の見直し、選択的投入を行って、国内体制の拡充を図る。

### 6.6.4. Japanese Antarctic Science Program

アメリカの南極プログラムは「United States Antarctic Program」、オーストラリアの南極プログラムは「Australian Antarctic Program」であり、その下に、現地での活動がなされている。翻って日本の南極地域観測事業はJARE（Japanese Antarctic Research Expedition）という活

動とほぼ同義という沿革で進んできた。もちろん、その活動は、中期計画等で科学的な目標を設定したうえで、その達成のために必要な活動と位置付けられているわけだが、「Expedition」や「観測」に意識が引きずられ、目標であるはずの科学的成果を出す部分は事業の枠外と捉えられて来た部分があるのは否めない。

そこで、本事業の目標を観測そのものではなく科学的成果であると明確にするため、南極地域観測事業の英語名称を「Japanese Antarctic Science Program」と正式に定義し、JAREはこの元を実施される活動であると再定義することで、本構想を結ぶ。

## 7. 参考資料

（１）研究観測船に必要な観測機能及び装備・搭載機器の例（但し、現時点で存在する技術に限る）

観測分野	設備等名称	建造時仕様を含めるか
共通	スラスター	船体付
	ムーンプール	船体付
	A フレーム	船体付
	各種クレーン（観測機器揚降用）	船体付
	各種ウインチ（深海用含む）	船体付
	観測用ブーム	船体付
	ヘリ甲板及び格納庫	船体付
	ヘリコプター	必要時レンタル
	無人航空機	必要時搭載
	作業ボート	搭載
	スノーモービル	必要時搭載
	ホバークラフト	必要時搭載
	ROV	必要時搭載
	AUV	必要時搭載
	通信（衛星受信システム及びデータ処理装置）	船体付
	開放観測甲板	船体付
	研究室	船体付
	工作室	船体付
	低温室	船体付
	クリーンルーム	船体付
コンテナラボ対応区画	船体付	
カメラ・ビデオ	搭載	
大気	ラジオゾンデ自動放球装置	搭載
	ドップラーレーダー	搭載
	シーロメータ	搭載
	日射計、雨量計	搭載
	海上気象観測装置	搭載
海洋・海氷	CTD（アーマードケーブル付）・採水システム	搭載



	XCTD 投下システム	搭載
	ソナー	搭載
	音響ドップラー流向流速計（ADCP）	船体付
	氷厚計（EM）	搭載
	EM-bird（ヘリ用）	必要時搭載
	溶存酸素計	搭載
	溶存鉄イオン計	搭載
	クリーン採水システム	船体付
生態系	生態系海氷採取装置	搭載
	海洋生物採取装置（ネット）	搭載
	深海生物採取器	搭載
	オキアミ採取装置	搭載
	保管プール	船体付
	エコサウンダー（科学魚探）	船体付
海底地形・ 地質	マルチビーム（動揺検知補正器込）	船体付
	サブボトムプロファイラー	船体付
	重力計	搭載
	磁力計	搭載
	ピストンコア、マルチプルコア	搭載
	船位制御（ダイナミックポジショニングシステム）	船体付

## (2) 2008年構想の項目・内容

項目	内容
サイエンスプランのあり方	
研究計画のあり方	研究観測立案過程の透明性・公平性を確保、極地研主導による共同研究観測の推進
南極地域観測のあり方	研究観測と基本観測にカテゴリー分け、公開利用研究の新設
研究観測の立案と審査	
機関連携による研究観測の推進	極地研と提携する研究機関等との協定に基づいた連携プロジェクトとして位置付けられる仕組みを導入する
事後評価のあり方	外部委員による南極観測審議委員会での透明性を保った評価を効率よく実施する
事業体制のあり方	
観測隊員の業務と同行者の役割	望ましい観測隊の構成
夏期活動のあり方	アクセスの多様化、夏期活動の長期化、新たな観測隊編成
越冬隊のスリム化および効率化	24-31名規模を基本とする、衛星通信を利用した遠隔監視
観測隊の募集、訓練	隊員募集は公募による、観測隊員募集説明会、アウトソーシング、個別の教育訓練カリキュラムを組む、
危機管理のあり方	不測事態対処計画の策定、事故等事例のデータベース化とリスク分析・リスクアセスメント
設営の将来像	
新観測船による輸送	多様な運航要求に応える、外国基地への輸送協力
昭和基地再生計画	今後30年を見据えた抜本的なグランドデザイン立案
昭和基地グランドデザイン立案におけるゾーニングの重要性	基地主要部や東ワグ棟全体に渡る「都市計画」の立案
新たな観測方式の導入	施設や設備のモジュール化、遠隔運用
短期的に見た昭和基地における設営の課題	抜本的なエネルギー需要予測と対策、需用電力の20%にまで自然エネルギーの比率を高める、廃棄物埋め立て地の対処、総合観測室の設置、野外安息の自動化・無人化
内陸基地の将来像	ドームふじ基地を恒久的に維持するために基地施設を改めて整備する、昭和基地以外の輸送ルートの開拓、雪上車・トラクター・大型橇を併用したオペレーションを実施
国際協力のあり方	
国際共同観測の推進	SCAR、AFoPS、公開利用研究による外国人研究者の受け入れ
設営の国際連携	昭和基地を国際的な研究観測の共有ベースと位置づけ内外の研究者による活用の道を拓く、船舶の運用においても外国隊との協力体制を整備する
南極地域観測事業を支援する国内体制	現代社会にふさわしい観測隊の規範を整備する、隊員必携の改定・隊長の仕事の責任の範囲及び隊員の義務の明確化
財務戦略	民間からの資金による共同研究等の実施、民間への事業委託





# 国立極地研究所

大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構