

情報・システム研究機構 国立極地研究所

自己点検評価報告書

令和2年7月

目次

1. はじめに	1
2. 沿革	2
3. 設置目的	4
4. 主要事業	4
4. 1. 研究活動	
4. 2. 共同利用	
4. 3. 極域観測	
4. 4. 大学院教育	
5. 情報・システム研究機構と国立極地研究所の組織	5
6. 研究組織の概要	8
7. 研究	10
7. 1. 基盤研究グループの活動	10
7.1.1 宙空圏研究グループ	10
7.1.2 気水圏研究グループ	11
7.1.3 地圏研究グループ	13
7.1.4 生物圏研究グループ	14
7.1.5 極地工学研究グループ	16
7. 2. 研究プロジェクト	19
7.2.1 募集と審査	19
7.2.2 プロジェクト研究	19
KP301 極域宙空圏総合観測に基づく太陽地球系結合過程の研究	19
KP302 地球温暖化の進行下における極域気候システムの振る舞い	28
KP303 南極における氷床－海氷－海洋相互作用の観測研究	39
KP304 北極環境変動の解明に向けた国際共同研究の推進	47
KP305 南北両極のアイスコア解析による気候・環境変動の研究	56
KP306 極域における固体地球の進化と応答	68
KP307 南極産地球外物質から探る初期太陽系進化	77
KP308 南大洋インド洋区における海洋生態系研究	84
KP309 環境変動に対する極域生物の生態的応答プロセスの研究	90
KZ31 極地観測における工学的課題の抽出とその解決に向けての提案	96
KZ32 極限環境における健康管理および医療体制の研究	102
KZ33 極地観測における工学的課題の抽出とその解決に向けての提案（その2）	106

7. 3. 一般共同研究の評価	109
7.3.1. 一般共同研究の内容	109
7.3.2. 募集と審査	109
7.3.3. 成果の公表	109
7.3.4. 一般共同研究の採択状況	109
7.3.5. 自己評価	109
7. 4. 南極地域観測事業に係る研究の自己点検評価	110
7.4.1. 重点研究観測	110
7.4.2. 一般研究観測	117
7.4.3. 萌芽研究観測	121
7.4.4. モニタリング研究観測	122
7.4.5. 公開利用研究	132
7. 5. 北極域研究推進プロジェクトに係る研究の自己点検評価	135
7.5.1. GRENE 北極気候変動研究事業から北極域研究推進プロジェクト(ArCS)へ	135
7.5.2. 北極域研究推進プロジェクトに係る研究の自己点検評価	136
7. 6. シンポジウム	145
7.6.1. 極域科学シンポジウム	145
7.6.2. 南極関連シンポジウム	145
7.6.3. 北極関連シンポジウム	146
8. センター・室の活動と評価	150
8. 1. 南極観測センター	150
8.1.1. 設置の理念	150
8.1.2. 活動概要	150
8.1.3. 現状の評価	151
8.1.4. 将来の方向性	151
8. 2. 国際北極環境研究センター	153
8.2.1. 設置の理念	153
8.2.2. 活動概要	153
8.2.3. 現状の評価	162
8.2.4. 将来の方向性	166

8. 3. 極域科学資源センター	170
8.3.1. 設置の理念	170
8.3.2. 活動概要	170
8.3.3. 現状の評価	170
8.3.4. 将来の方向性	171
8.3.5. 南極隕石ラボラトリー	171
8.3.6. 二次イオン質量分析ラボラトリー	173
8.3.7. 生物資料室	176
8.3.8. 岩石資料室	177
8. 4. 情報基盤センター	180
8.4.1. 設置の理念	180
8.4.2. 活動概要	180
8.4.3. 現状の評価	182
8.4.4. 将来の方向性	184
8. 5. アイスコア研究センター	185
8.5.1. 設置の理念	185
8.5.2. 活動概要	185
8.5.3. 現状の評価	186
8.5.4. 将来の方向性	187
8. 6. 広報室	190
8.6.1. 広報室の活動概要	190
8.6.2. 南極・北極科学館	190
8.6.3. 一般公開	190
8.6.4. その他のイベント	190
8.6.5. 科学館等との連携について	191
8.6.6. 現状の評価	191
8.6.7. 将来の方向性	191
8. 7. 情報図書室	193
8.7.1. 設置の理念	193
8.7.2. 活動概要	193
8.7.3. 資料等の概要、要目、利用状況	196

8.7.4. 現状の評価	202
8.7.5. 将来の方向性	203
8.8. 国際・研究企画室	205
8.8.1. 設置の理念	205
8.8.2. 活動概要	205
8.8.3. 現状の評価	206
8.8.4. 将来の方向性	207
8.9. 知的財産室	208
8.9.1. 設置の理念	208
8.9.2. 活動概要	208
8.9.3. 現状の評価	208
8.9.4. 将来の方向性	208
8.10. アーカイブ室	209
8.10.1. 設置の理念	209
8.10.2. 活動概要	209
8.10.3. 現状の評価	211
8.10.4. 将来の方向性	212
8.11. 男女共同参画推進室	213
8.11.1. 設置の理念	213
8.11.2. 活動概要	213
8.11.3. 現状の評価	213
8.11.4. 将来の方向性	214
9. 国内外の大学・研究機関との連携、国際共同研究	215
10. 大学院教育	218
10.1. 総合研究大学院大学	218
10.2. 連携大学院	218
10.3. 特別共同利用研究員	218
11. 情報・システム研究機構データサイエンス共同利用基盤施設に関わる研究活動	220
11.1. 極域環境データサイエンスセンターの活動	220

1 2. 中期計画の進捗状況と今後の見通し	223
1 2. 1. 進捗状況	223
1 2. 2. 今後の見通し	224
1 3. 国際戦略アドバイザーによる評価の実施	226
1 4. 結び	227

別添資料：研究活動状況調査等の参考となる数値等

7. 2. 2. 各研究プロジェクトの業績リスト	別添資料	1
7. 3. 4. 一般共同研究 採択課題一覧	別添資料	97
8. 2. 国際北極環境研究センターの別添資料		
付録 1. 「グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス」(GRENE) 事業 「北極気候変動分野」事後評価結果 2017 年 1 月	別添資料	122
付録 2. 北極域研究推進プロジェクト (ArCS) 中間評価結果 2018 年 1 月 科学技術・学術審議会海洋開発分科会	別添資料	131
付録 3. ニーオルスン基地の利用状況 (2016 年度-2019 年度)	別添資料	138
付録 4. ArCS プロジェクトによる成果論文リスト (所内教員・研究者が著者に含まれるもの)	別添資料	150
付録 5. EISCAT 特別実験採択課題一覧 (2016 年度-2019 年度)	別添資料	164
9. 国際研究協力覚書等一覧	別添資料	166
1 3. 国際戦略アドバイザーによる評価 REPORT ON RESEARCH ACTIVITIES	別添資料	173

1. はじめに

国立極地研究所は、「極地に関する科学の総合研究と極地観測」を目的に昭和48年に設置されて以来、国立大学共同利用機関として、また、南極観測事業の中核的实施機関としての役割を担ってきた。平成16年4月には、大学共同利用機関法人「情報・システム研究機構」を構成する大学共同利用機関となり、新たなスタートを切った。

法人としての第一期中期計画の最終年度である平成21年5月1日に、国立極地研究所は、東京都板橋区加賀から東京都立川市緑町に移転した。平成22年6月には交流棟Ⅰ（AKAIKE ゲストハウス）が、また、7月には交流棟Ⅱ（南極・北極科学館）も開館し、移転計画は一段落した。

第二期中期計画では、第一期に引き続き、極域科学研究や南極観測における我が国の中核機関として、南極及び北極域における観測を中心に、社会と学術の要請に基づき、国際水準の先進的研究に取り組むこととした。南極においては、南極地域観測第Ⅷ期計画を「南極域から探る地球温暖化」をメインテーマに変動する地球環境の解明を推進した。北極圏の観測については、平成23年度から文部科学省のグリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス（GRENE）事業気候変動分野「急変する北極気候システム及びその全球的な影響の総合的解明」の中核拠点として共同研究を推進し、さらに平成27年度からは北極域研究推進プロジェクト（ArCS）の代表機関としてわが国の北極圏における研究活動の取りまとめ役を果たしている。

第三期中期計画では、地球温暖化が顕在的に進む状況で、南北両極を通じて過去の変動と現在の変化を詳細に調査し、今後の地球の変化を知ることが重要となっていることを受け、南北両極域に関する総合研究を行うことを目的とする国内唯一の学術研究機関として、極域科学に関わる大学等研究機関との連携協力、機関連携プロジェクトや国際共同観測・研究プロジェクトを主導しつつ、国際水準の観測・研究を実施することとした。南極においては、南極地域観測第Ⅸ期計画（平成28年度～令和3年度）において、地球システムや地球環境変動の解明及び将来予測を目指した先進的、学際的な研究を推進し、北極域では、環境保全と我が国及び国際社会の諸政策の策定のため、我が国の極域研究中核機関として、国際的要請に応えつつ、オールジャパン体制での国際共同研究により、北極域で起きている地球システム変動の観測・研究を通じて現状を把握し、将来予測に貢献することを目指している。

この報告書は、国立極地研究所の法人としての第三期中期計画のうちの平成28年度～令和元年度の活動を取りまとめ、その自己点検と評価を実施したものである。研究が日々進化することはもちろんだが、また大学共同利用機関のあり方についても文部科学省研究基盤部会等で議論が急速に進んでいるのが第三期の特徴である。第三期中期計画の進捗を振り返りつつ、新たな要求にも対応できるよう本資料の活用を期待する。

国立極地研究所の活動、運営に対し、これからも多くの皆様のご理解とご支援、それにご指導をいただくようお願い申し上げます。

情報・システム研究機構

国立極地研究所長

中村 卓司

2. 沿革

我が国の国際地球観測年（IGY）参加の一環として、昭和31年（1956年）に予備観測隊が南極に出発して以来、南極地域観測隊は、一時期の中断期間を除いて毎年派遣され、極地研究は着実に発展してきた。その結果、南極地域観測隊並びに極地研究の中核となる機関を設置する必要が南極地域観測統合推進本部、日本学術会議及び関係者から強く要望された。昭和37年（1962年）国立科学博物館に極地関係の資料兼事務室が設置されたのを皮切りに、順次これが極地学課、極地部、極地研究部、極地研究センターと発展的に改組されてきた。しかし、我が国の南極観測事業のより一層の進展のため、昭和48年（1973年）9月29日に国立科学博物館極地研究センターが発展的に改組され、大学共同利用機関として、国立極地研究所が東京都板橋区加賀に創設された。

その後、研究組織の拡充を続け、平成5年度（1993年度）には、総合研究大学院大学数物科学研究科極域科学専攻が設置された。平成21年度（2009年度）には、立川市への移転を完了し、平成22年度（2010年度）には、南極・北極科学館の開館と統計数理研究所との事務統合を実施し、現在に至る。沿革の詳細は以下のとおり。

- 昭和48年（1973年）9月29日 国立極地研究所創設。研究系4部門、資料系2部門、管理部2課6係及び事業部1課2係が設置された。また、南極の昭和基地が観測施設となった。
- 昭和49年（1974年）4月 研究系に寒地工学研究部門、資料系にデータ解析資料部門、事業部に観測協力室、並びに図書室が設置された。
- 昭秘50年（1975年）4月 研究系に地学研究部門、寒冷生物学研究部門、資料系に低温資料部門が設置された。
- 昭和50年（1975年）10月 事業部観測協力室に設営係と定常観測係が設置された。
- 昭和53年（1978年）4月 研究系に極地気象学研究部門（時限5年）、極地鉱物・鉱床学研究部門が設置され、寒冷生物学研究部門が寒冷生物学第一研究部門と寒冷生物学第二研究部門に改組された。
- 昭和54年（1979年）4月 研究系の超高層物理学研究部門が超高層物理学第一研究部門と超高層物理学第二研究部門に改組され、寒地工学研究部門は極地設営工学研究部門と改称された。
- 昭和56年（1981年）4月 資料系に隕石資料部門が設置され、みずほ基地が観測施設となった。
- 昭和58年（1983年）4月 研究系の極地気象学研究部門が廃止され、気水圏遠隔観測研究部門が設置された。（時限10年）
- 昭和59年（1984年）4月 研究系に隕石研究部門、資料系にオーロラ資料部門が設置された。
- 平成2年（1990年）6月 北極圏環境研究センターと情報科学センターの2研究施設が設置され、資料系のデータ解析資料部門が廃止された。
- 平成5年（1993年）4月 研究系の気水圏遠隔観測研究部門が廃止され、極域大気物質循環部門が設置された。総合研究大学院大学数物科学研究科極域科学専攻が設置され、同大学の基盤機関となった。

- 平成 6 年 (1994 年) 6 月 研究系に地殻活動進化研究部門が設置された。
- 平成 7 年 (1995 年) 4 月 研究施設に南極圏環境モニタリング研究センターが設置された。
- 平成 8 年 (1996 年) 5 月 南極圏環境モニタリング研究センターの整備が行われ、資料系非生物資料部門が廃止された。
- 平成 9 年 (1997 年) 4 月 北極圏環境研究センター及び南極圏環境モニタリング研究センターの整備が行われた。
- 平成 10 年 (1998 年) 4 月 研究施設に南極隕石研究センターが設置された。研究系の隕石研究部門 (客員部門)、資料系の隕石資料部門が廃止された。
- 平成 14 年 (2002 年) 12 月 広報室が設置された。
- 平成 16 年 (2004 年) 4 月 大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立極地研究所設置。研究組織の再編が行われ、研究系、資料系、情報科学センター、北極圏環境研究センター、南極圏環境モニタリング研究センター、及び、南極隕石研究センターが廃止され、研究教育系、極域情報系、及び、極域観測系が設置された。さらに、極域情報系に極域研究資源センター、極域情報基盤センター、及び、南極隕石センターが、極域観測系に南極観測センター、及び、北極観測センターが設置された。図書室が情報図書室に改称された。南極のあすか基地、ドームふじ基地、及び、北極のニーオルスン基地が観測施設となった。国立大学法人総合研究大学院大学発足。また、数物科学研究科が改組再編され、複合科学研究科極域科学専攻となった。
- 平成 18 年 (2006 年) 10 月 研究組織の再編が行われ、極域情報系の極域研究資源センターと南極隕石センターが極域科学資源センターに、極域情報基盤センターが極域データセンターにそれぞれ改組された。極域観測系の南極観測センターが南極観測推進センターに改組された。国際企画室が設置された。
- 平成 20 年 (2008 年) 4 月 知的財産室が設置された。
- 平成 21 年 (2009 年) 4 月 事業部及び南極観測推進センターが、事務系・教員系の融合した組織として南極観測センターに改組された。
- 平成 21 年 (2009 年) 5 月 東京都立川市緑町へ移転。
- 平成 22 年 (2010 年) 4 月 アーカイブ室が設置された。
- 平成 22 年 (2010 年) 7 月 統計数理研究所との事務統合。南極・北極科学館開館。
- 平成 26 年 (2014 年) 4 月 極域科学資源センター氷床コアラボラトリーが発展的に改組アイスコア研究センター、研究戦略企画室が設置された。
- 平成 27 年 (2015 年) 4 月 北極観測センターが国際北極圏環境研究センターに改組された。女性研究者活動支援室が設置された。
- 平成 29 年 (2017 年) 4 月 極域データセンターが、情報基盤センターとデータサイエンス (PEDSC) に女性研究者活動支援室が男女共同参画推進室に改組さ

れた。

平成 30 年（2018 年）4 月 国際企画室と研究戦略企画室を統合し、国際・研究企画室に改組された。立川共通事務部が分離した。

3. 設置目的

平成 16 年（2004 年）4 月 1 日、国立大学法人法第 5 条第二項の規定により大学共同利用機関法人が設置する大学共同利用機関として、極地に関する科学の総合研究及び極地観測を行うことを目的として設置された。

4. 主要事業

4. 1. 研究活動

我が国における極域科学研究の中核拠点として、観測を基盤に極地に関する総合研究を進める。このため、極域科学を地球科学、環境科学、太陽地球系科学、宇宙・惑星科学、生物科学などを包含した先進的総合地球システム科学ととらえ、大学等の研究者との共同研究として研究を行う。

4. 2. 共同利用

大学共同利用機関として、大学及び研究機関の研究者等に、南極・北極における観測の基盤を提供するとともに、資・試料、情報の提供を行う。

4. 3. 南極地域観測事業

我が国の南極地域観測事業を担う中核機関として、極地に関する科学について総合的に研究観測計画等を企画立案して推進、実施するとともに、南極地域にある観測基地施設の管理・運営を行う。また、観測隊の編成準備、各種訓練、観測事業に必要な物資の調達、搬入計画の作成等の業務や観測で得られる試・資料の収集、保管等を行う。

4. 4. 北極研究

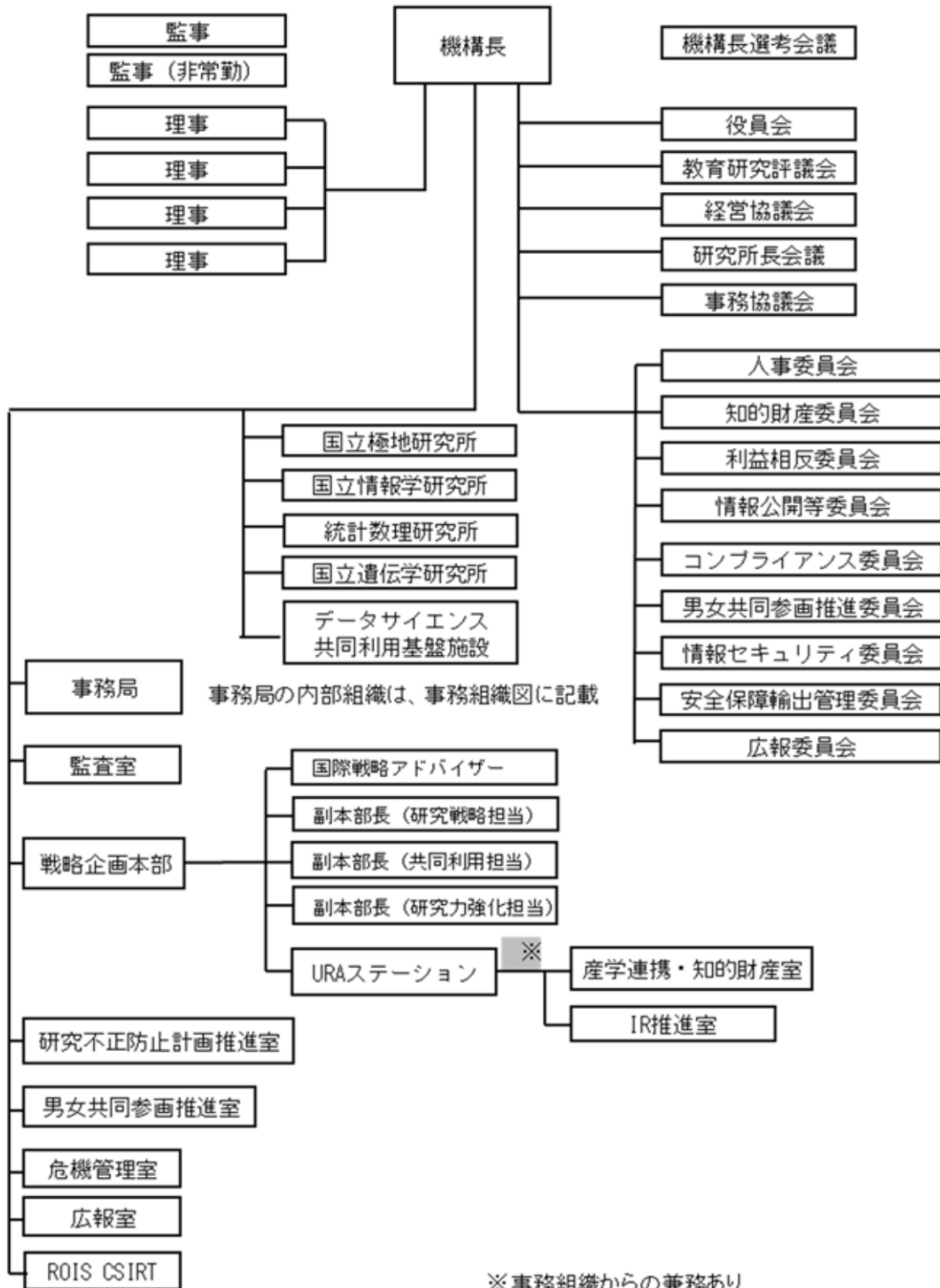
北極に関する共同研究の推進や情報提供とともに、北極圏の共同利用施設の整備や拡大、国際共同観測への機会提供を進める。

4. 5. 大学院教育

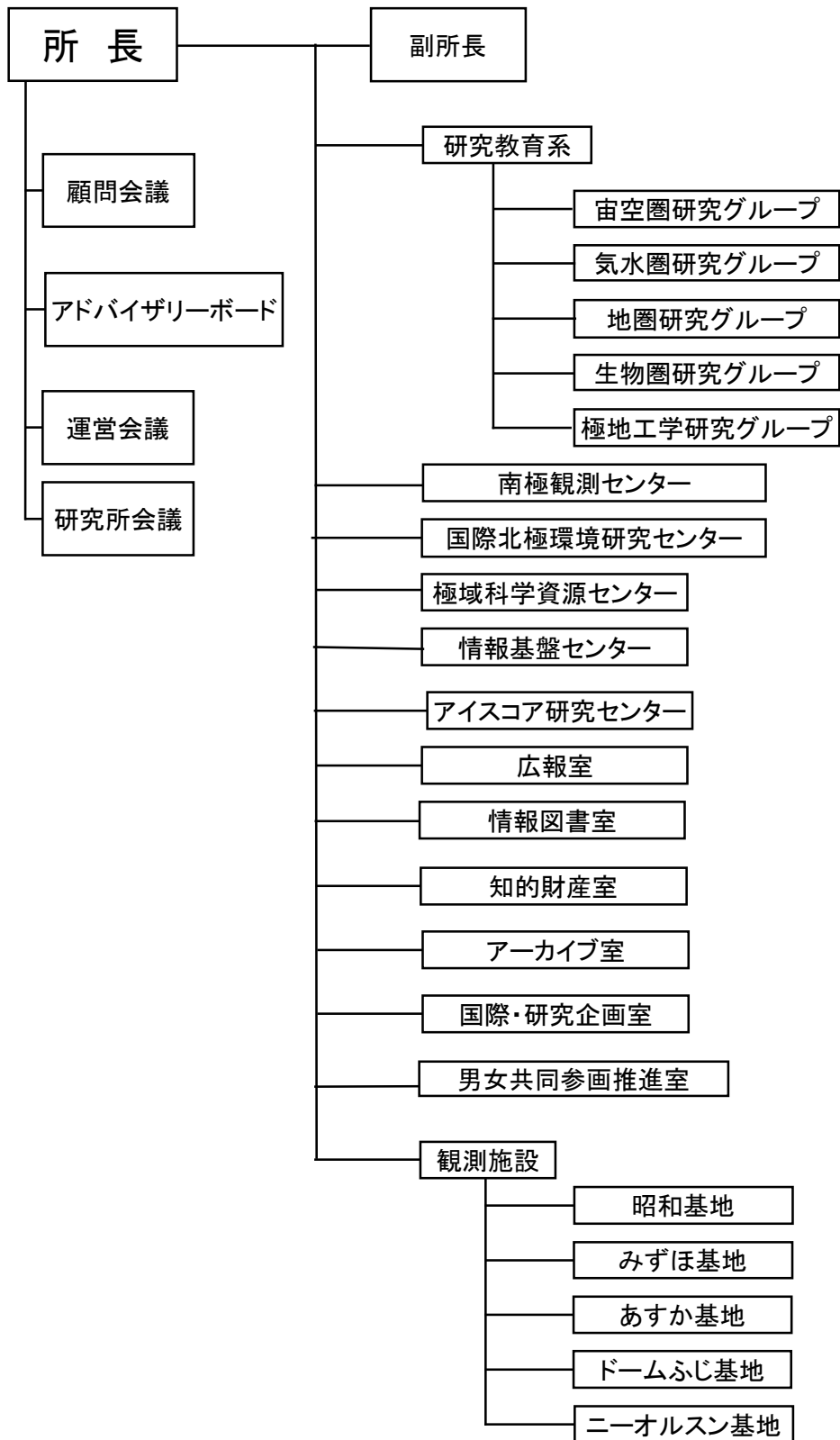
総合研究大学院大学の基盤機関として、博士後期課程の教育研究指導を行う。なお平成 18 年（2006 年）度からは、5 年一貫制博士課程による学生の受け入れを開始し、幅広い視野をもった国際的で独創性豊かな研究者の養成を図っている。併せて大学の要請に応じ、当該大学の大学院における教育に協力する。

5. 情報・システム研究機構と国立極地研究所の組織

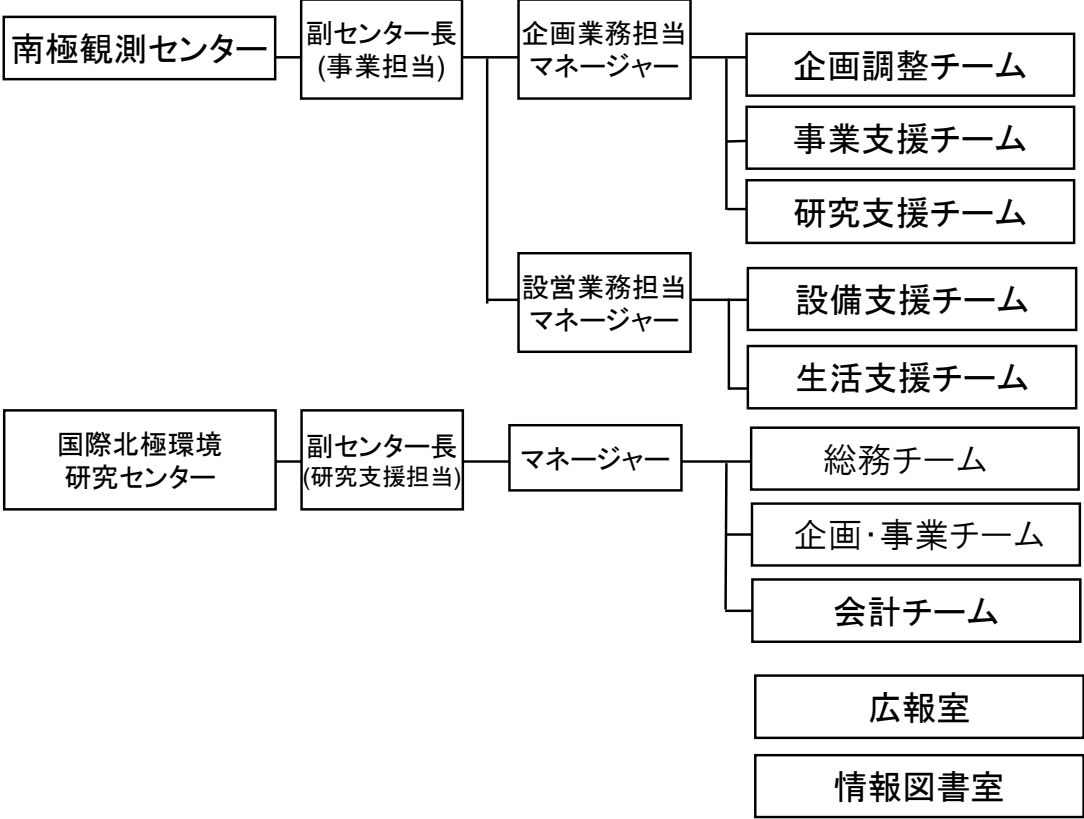
情報・システム研究機構組織図



国立極地研究所組織図（事務組織を除く）



国立極地研究所事務組織図



6. 研究組織の概要

研究所には、所長および3名の副所長、2名の所長補佐が配置され、以下のような組織をもって運営されている。

研究教育系

研究教育基盤グループ

宙空圏、気水圏、地圏、生物圏、極地工学の研究グループから構成され、基盤研究、共同研究、大学院教育協力を行う。また、プロジェクト観測、モニタリング観測を担うとともに、シンポジウムを開催する。すべての研究教育職員は、研究教育基盤グループに所属する。

南極観測センター

南極地域観測に係る事業計画案の作成、南極地域観測隊の編成、準備及び実施その他南極地域観測に関する業務を行う。

国際北極環境研究センター

北極域での観測の推進を図るため、観測施設の運営、共同利用に関すること、観測計画の企画と立案及び観測の運営に関すること、諸情報の収集と提供に関すること、観測に関する支援に関すること、研究及び観測の国際対応に関することを行う。

極域科学資源センター

極域科学の研究推進を図るため、研究所が所有する南極隕石、生物試資料、岩石試資料などの活用に関する極域学術資料の管理と配分、基本解析と共同利用機器、施設の運用、情報の公開に関すること、南極隕石ラボラトリー、二次イオン質量分析ラボラトリー、生物資料室、岩石資料室の運営に関することを行う。

情報基盤センター

極域科学の研究推進及び研究所の合理的運営を図るため、研究所が所有する諸情報の活用及び情報基盤に関して、研究所の運営、大型計算機の運用に関すること、所内及び昭和基地等のネットワークの管理運用に関することなどの管理運用に関することを行う。

アイスコア研究センター

日本のアイスコア研究を強化し、日本がこの分野で世界をリードしていくために、国内外の研究者との共同研究を強化し、中長期的視野に立ってアイスコア研究を総合的に推進する。

広報室

広報関係出版物及びホームページに関すること、報道機関を利用して行われる広報及び情報発信に関すること、昭和基地とのテレビ会議システムの利用、講演会及び研究所の見学に関すること、広報を目的とした観測資料等の貸し出し及び収集・管理に関すること、極地観測記録映画等の制作に関すること、その他研究所の広報に関することを事務部と協力して行う。

情報図書室

情報図書室資料の収集、整理及び保管等、管理に関すること、編集委員会において発行が決定された出版物の編集及び発行整理に関すること、参考業務に関すること、情報・システム研究機構の各研究所に置かれる図書室との連携に関することを事務部と協力して行う。

国際・研究企画室

国内外の研究の動向に関する情報収集と分析に基づき、研究所としての国際戦略・協定・交流の立案と対応、および研究戦略の企画・立案と対応を行う。また、研究教育職員、研究員の業績向上のための支援、外部資金獲得に向けた支援、国際対応支援を行う。

知的財産室

研究所内で生じた発明等の帰属判断、機構としての特許権、実用新案権出願の可否判断に関する事、研究所内で創作された著作物、有体物を外部で利用する場合の権利の帰属判断に関する事、研究所内における商標についての出願の判断に関する事、その他知的財産に関する事を行う。

アーカイブ室

研究所の研究活動の過程で、歴史的記録をとどめている非公文書（非現用法人文書）、刊行物、写真、図版、図面、音声、映像、電子記録、観測機材、設営機材、装備、衣類、および個人資料などの収集・整理・保管・管理を行う。

男女共同参画推進室

女性を中心とした研究者の研究力強化を推進するため、機構本部と連携しつつ、国内の男女共同参画の取り組みの調査や研究所内への啓蒙、極地研独自の支援制度の実施を行う。

7. 研究

7. 1. 基盤研究グループの活動

7.1.1. 宙空圏研究グループ

活動概要

宙空圏研究グループの2016～2019年度の教員配置は、2016年度：11名（教授3名、准教授6名、助教2名）、2017年度：10名（教授2名、准教授6名、助教2名）、2018年度：10名（教授3名、准教授5名、助教2名）、2019年度：10名（教授2名、准教授5名、助3名）であった。

当研究グループの大きな研究課題の1つは、オーロラを中心とする磁気圏・電離圏物理学現象の研究である。オーロラ帯に位置する南極昭和基地やトロムソ（ノルウェー）、昭和基地の地磁気共役点に位置するアイスランド、カस्प域に位置する南極点基地（米国）や中山基地（中国）、スバルバル（ノルウェー）などにおいて、国際共同研究の下、オーロラ現象の総合観測を行い、オーロラ帯からカस्प域、極冠域までの領域に生起する様々なオーロラ関連現象の研究を行っている。主な研究テーマとして、オーロラの共役性、オーロラサブストームの発生機構、昼間側オーロラの動態、オーロラの微細構造、オーロラ現象に伴う電離圏パラメータの変動、極域電離圏イオン上昇流の発生機構などがある。また太陽風・磁気圏グローバルシミュレーションと観測データとの比較研究により現象の生成プロセスを定量的に検証する研究も行っている。

当研究グループのもう一つの大きな研究課題は極域中層・超高層大気の研究である。極域の中層・超高層大気は、大気下層で励起され上方伝搬する大気波動の影響と、オーロラ現象による電離圏・下部熱圏からのエネルギー流入や太陽活動、宇宙からの物質の降り込みなどの影響を受け、放射平衡から大きくずれた状態にある。しかし、この高度領域の観測は不足しており、その定量的な理解は十分ではない。われわれは昭和基地に、世界に先駆けて大型大気レーダー（PANSY）を建設すると共に、先進的な光学・電波観測機も導入し、この高度領域を集中的に観測し研究を進めている。また大気大循環モデルを用いた計算機実験による下層大気と中層・超高層大気との結合過程の研究なども進めている。

その他の国際共同研究としては、北欧のEISCAT（欧州非干渉散乱）の運営に参加し、全国の共同利用研究者と共同実験・研究を進めているほか、国際SuperDARN大型短波レーダーネットワークの一部として、昭和基地の大型短波レーダーを運営し、その観測データを共同研究に供している。また、南極大陸内の磁場観測ネットワークに参加し、昭和基地周辺に無人磁場観測ネットワークを展開しているほか、南極域大気光観測ネットワークによる中間圏大気重力波の観測・研究を実施している。これら地上観測のほか、人工衛星高度からのオーロラ現象の観測などにも取り組んでいる。こうした観測データの多くは極地研内のサーバーに登録され、当研究グループやオーロラデータセンターのホームページを通じ、国内外の研究者に公開されている。

当研究グループはこのように北極、南極における観測に責任を持つと同時に、大学共同利用機関法人として国内の大学や研究機関の研究者に対し共同研究や共同実験の対応・調整を行い、観測データの公開や解析・研究を行っている。更に、先進的な観測器の開発や、総研大極域科学専攻の教員として大学院教育に従事するなど、多様な仕事に取り組み、着実な成果を上げている。

研究プロジェクトへの関与状況

当研究グループはプロジェクト研究「極域宙空圏総合観測に基づく太陽地球系結合過程の研究」を中心に研究を進めている。

一般共同研究への対応

宙空圏分野では、2016年度は32課題（新規11、継続21）、2017年度は32課題（新規18、継続14）、2018年度は34課題（新規12、継続22）、2019年度は34課題（新規12、継続22）が採択された。当研究グループはこれらの研究課題に対応し、共同研究を行った。参加した一般共同研究員の総数は、2016年度は76名、2017年度は71名、2018年度は84名、2019年度は90名であった。共同研究により得られた研究成果は極地研が毎年開催する「極域科学シンポジウム」で発表することをお願いしている。

南極地域観測隊の研究への関与状況

2016～2019年度は第IX期観測計画の重点研究観測課題として「南極から迫る地球システム変動：サブテーマ1：南極大気精密観測から探る全球大気システム」を、一般研究観測課題として「南極昭和基地での宇宙線観測による宇宙天気研究の新展開」、「無人システムを利用したオーロラ現象の広域ネットワーク観測」、「南極点・マクマード基地オーロラ多波長同時観測による磁気圏電離圏構造の研究」、「SuperDARN レーダーを中心としたグランドミニマム期における極域超高層大気と内部磁気圏のダイナミクスの研究」、「電磁波・大気電場観測が明らかにする全球雷活動と大気変動」を、モニタリング観測課題として「宙空圏変動のモニタリング：オーロラ光学観測、地磁気観測、西オングル島における宙空モニタリング観測」、「地球観測衛星データ受信による環境変動のモニタリング」を、それぞれ実施した。これらの観測実施のため、当研究グループは、第58次隊に越冬隊長1名、越冬隊員2名、夏隊員2名、第59次隊に越冬隊員2名、60次隊に観測隊長兼越冬隊長1名、越冬隊員1名、61次隊に越冬隊員1名を、それぞれ派遣した。

現状の評価と将来の方向性

上述したように宙空圏研究グループは、2つの大きな研究課題の下、昭和基地における先端的な拠点総合観測、地上多点ネットワーク観測、大型レーダーによる国際協同観測など、国内外の共同研究者と協力して、南極域、北極域において多様な観測を行っており、数多くの研究成果が得られている。将来的にもこうした共同研究の下での観測・研究を積極的に推進する必要がある。と同時に、精力の分散化を招かないように、2つの研究課題を統合するより大きなテーマ、視点の下で、集中した重点観測・研究を行うような戦略も必要と思われる。

7.1.2. 気水圏研究グループ

活動概要

気水圏研究グループでは、大気科学、気象学、雪氷学、海水・海洋科学、古気候学などに関するテーマで研究を進めている。極域の大気圏（対流圏、成層圏）、雪氷圏、海洋圏を研究対象とし、地球環境や気候の過去・現在・未来を明らかにする。この目的のため、相互に関連する気水圏の変動メカニズムに関する研究を主に現地観測、それに衛星リモートセンシング研究や気候・氷床システムのモデル研究との連携によって進めている。

近年の地球温暖化が顕在化してきたことで、極域研究の社会的役割は極めて重要になっている。多くの問いに答えていくことが社会的な要請となっている。南極や北極が地球の気候環境システムのなかでどのような意味を持つか？南極の大陸と氷床の構造体がどのように成立し、どのような境界条件や内部構造で維持されているのか？氷床から、地球上の過去 100 万年以上の気候・環境変動の歴史を如何にアイスコアというアーカイブから解明できるのか？両極の氷床は、地球温暖化とともに今融解を加速しつつあり、海面上昇をひきおこすもとなる脆弱な物体であり、その脆弱さや動態をシステムやその構成要素としてどうとらえるか？さらに、極域は人為起源物質の放出源から距離のあるエリアであり、そこで得られる観測情報から地球の変化を知ることができる。

極域大気圏の現象とそのメカニズムを明らかにする研究としては、大気や大気中のエアロゾル、微量気体、水などの物質循環・物質輸送に関する研究、極域エアロゾルの放射特性や雲との相互作用とその気候への影響、放射収支の研究、両極での二酸化炭素・メタンガスなど温室効果ガスの連続観測などや、広域な地上気象や高層気象観測による熱・物質循環研究を行っている。

極域雪氷圏に関する研究は、両極地域の氷床、－南極とグリーンランド－や氷河の掘削によってアイスコアを採取し、古環境を復元する研究から過去の地球規模の気候・環境変動を明らかにしてきた。その時間スケールは、これまで最も古いものとしては南極ドームふじで掘削したアイスコアを用いて 72 万年の時間スケールをカバーするほか、将来のアイスコア掘削は 100 万年を超える年代までの古環境の調査を目指している。

さらに南極とグリーンランドの氷床の形成過程や内部構造や流動、質量収支や氷床への物質輸送に関する研究をおこなっている。氷床縁辺部の融解や棚氷の崩壊、流動の変化、かん養量の変化は、地球温暖化にともなう海水準上昇を決定づける重要な現象であり、極域全体の変動の把握が強く求められている。

北極雪氷圏での学際的な総合的観測を行っている。極域海洋圏に関しては、ポリニヤ域や南極底層水の形成機構、海氷成長・融解過程と海洋構造・循環特性及び海氷変動が気候変動に与える影響の研究、極域海洋が地球表層における大気－海洋系の二酸化炭素循環に及ぼす影響および海洋酸性化の研究などを行っている。

研究プロジェクトへの関与状況

気水圏研究グループの教員・研究員が中心になって 2016 年度から 4 課題の研究プロジェクトを進めた。

「地球温暖化の進行下における極域気候システムの振る舞い」

「南極における氷床－海氷－海洋相互作用の観測研究」

「北極環境変動の解明に向けた国際共同研究の推進」

「南北両極のアイスコア解析による気候・環境変動の研究」

一般共同研究への対応

2016 年度は 26 件の一般共同研究（継続 15 件＋新規 11 件）と 8 件の研究集会、2017 年度は 25 件の一般共同研究（継続 16 件＋新規 9 件）と 8 件の研究集会、2018 年度は、19 件の一般共同研究（継続 17 件＋新規 2 件）と 12 件の研究集会、2019 年度は、20 件の一般共同研究（継続 10 件＋新規 10 件）と 12 件の研究集会へ対応した。関係した共同研究員は 2016 年度 55 名、2017 年度 43 名、

2018年度31名、2019年度41名であった。

南極地域観測隊の研究への関与状況

南極地域観測隊の研究への関与については、2016年度から始まった第IX期南極観測計画の重点研究観測のサブテーマ3件、一般研究観測12件、萌芽研究観測2件、モニタリング観測4件に対応した。

当研究グループの教員からは、2016年度（第58次隊）に夏隊員2名、2017年度（第59次隊）に越冬隊員2名夏隊員2名、2018年度（60次隊）に夏隊員2名、2019年度（61次隊）に夏隊員1名を派遣した。

現状の評価と将来の方向性

本研究所は、極域の大気・水・物質・エネルギー循環の研究および教育をおこない、それらを通じ、現在の人類社会が直面する問題である地球温暖化／気候変動に関連した極域の変化を理解し、気候変動における極域の応答と役割を解明してきた。本研究所は、そうした研究と教育をさらに時代に即した要請にこたえる形で続け、知見を社会に伝え続ける役割を果たす。それにより、社会が地球温暖化／気候変動に関連し進むべき方向性にかかる判断材料となる知見を供給する。

7.1.3. 地圏研究グループ

活動概要

グループには15名の教員が配置されている。教授2名、准教授7名、助教6名で構成される。それぞれの専門分野は広く固体地球物理学、地質学、地形学、第四紀地質学、古地磁気学、隕石学の分野をカバーする。

固体地球物理分野では長期継続して実施されている地震、重力、地磁気、GPS、VLBIや潮位などの観測から得られたデータをもとに研究を進めている。また、沿岸露岩域や内陸域に展開する観測とともに、「しらせ」、その他観測船および航空機等を利用した観測で得られたデータを用いた研究も進めている。最近では、インフラサウンドの手法を用いた地球物理学的観測も行われている。

地質分野ではエンダービーランドから、昭和基地周辺、さらにはセール・ロンダーネ山地にわたる広い地域と、過去にゴンドワナ大陸を形成し、これらの地域と密接な関係にあったと考えられているインドやアフリカの地質学的・岩石学的・地球化学的研究を通じて、太古代から古生代にわたる大陸地殻の形成発達過程の解明を目指している。また、二次イオン質量分析計を用いた同位体分析や関連する共同研究を積極的に進めている。2019年度には、新しい地質時代「チバニアン」の認定に関わる千葉セクションでの77万4千年前の地磁気逆転の年代測定にも貢献した。第四紀地質学、地形学分野では陸上露岩域と大陸棚の地形・堆積物を調べることで、新生代の東南極氷床の変動史およびそれにとまなう地球規模の海水準変動史や海洋・気候変動への影響を明らかにすることを目指している。

隕石学分野では南極観測隊が採集した17,400個に及ぶ膨大な隕石を中心に、最近発見が相次いでいる砂漠の隕石も用いて研究を進めている。また隕石に加え、雪氷グループとの連携により、内陸氷床中の微隕石の採集にも着手した。さらに、2014年に打ち上げられ、2020年末に地球に帰還予定の「はやぶさ2」のサンプルリターン計画にも関わりつつ研究を進める。今後は、南極隕石と

微隕石の継続的な収集に加え、これらのキュレーション設備の改善と整備も目指す。それぞれの教員の専門分野を活かし、以下のプロジェクト研究「南極産地球外物質から探る初期太陽系進化」および「極域における固体地球の進化と応答」の研究に積極的に参画して、分野間の連携をとりつつ研究を進め始めている。

研究プロジェクトへの関与状況

「南極産地球外物質から探る初期太陽系進化」および「極域における固体地球の進化と応答」といったプロジェクト研究を中心に研究を進めた。

一般共同研究への対応

2016年度は新規10課題、継続9課題の計19課題の共同研究に対応した。2017年度は新規10課題、継続12課題の計22課題の共同研究に対応した。2018年度は新規7課題、継続17課題の計24課題の共同研究に対応した。2019年度は新規4課題、継続15課題の計19課題の共同研究に対応した。関与した共同研究員は、2016年度39名、2017年度30名、2018年度31名、2019年度28名であった。

南極地域観測隊の研究への関与状況

第IX期観測計画の重点研究観測「南極から迫る地球システム変動」サブテーマサブテーマ3「地球システム変動の解明を目指す南極古環境復元」に関与し、第59次夏隊に教員1名が参加した。一般研究観測では、「太古代-原生代の地殻形成と大陸進化の研究」、「地震波・インフラサウンド計測による大気-海洋-雪氷-固体地球の物理相互作用解明」、「絶対重力測定とGNSS観測による南極氷床変動とGIAの研究」に関与し、第58次夏隊で教員3名、第59次夏隊で教員2名、第60次夏隊で教員1名、さらに第61次越冬隊に教員1名が参加した。また、モニタリング観測として、「地殻圏変動のモニタリング」に関与した。2019年度には、外国共同観測として、インド隊、韓国隊にそれぞれ教員1名が参加した。

現状の評価と将来の方向性

今後、極域の固体地球研究を軸として、現在から数百万年スケールの Glacial Isostatic Adjustment (GIA) や氷床モデルに基づく南極氷床変動の定量的復元、地質学的・地形学的記録から読み取れる最終氷期の海水準変動に関する研究等を、他分野と連携しながら推進していく。さらに、約40億年前から数千万年スケールの研究も、地球の進化と地球内部ダイナミクスといった観点から、極域で得られる試料やデータから発展させる。また、南極氷床上の地球外物質探査も引き続き実施し、「グラントゥールス」として、探査機によるリターンサンプル等と連携させ、太陽系形成期や惑星進化の解明の研究を進展させる。

7.1.4. 生物圏研究グループ

活動概要

当研究グループには教授3名、准教授3名、助教4名により構成されており(2020年3月現在)、極域の生物海洋学、海洋大型動物、陸上生物(湖沼を含む)の3分野を対象に調査・研究を実施している。野外調査は、南極域において、日本南極地域観測隊に参加して「しらせ」の航路に沿った海域・昭和基地周辺の海水域での航海観測とともに、東京海洋大学との協定に基づいた「海鷹丸」

の研究航海を実施した。また、昭和基地周辺の陸上・湖沼域の調査と大型動物の動物行動生態調査も行った。さらに外国の南極観測との共同でアンターセー湖やセール・ロンダーネ等の南極域での生物多様性に関する野外調査も実施した。北極域では、北極域研究推進プロジェクト等に参画して研究を実施した。ノルウェー・スピッツベルゲン島ニーオルスンの観測基地周辺等において継続的な研究を行ったほか、アメリカ・アラスカ沖での鳥類行動、カナダ北極圏での湖沼と生物多様性に関する国際共同研究などを行った。

生物海洋学分野では、東京海洋大学と共同で南極海水縁域での海水が関与する物質循環と生態系構造の解明を目指し、現場観測を継続して進めた。氷縁域、海水下および海水中の微小生物組成とといった新たな知見を集積した。海洋大型動物生態分野では、当グループの開発した超小型の行動記録計(マイクロデータロガー)を動物に取り付け、回収するバイオリギング手法により、ペンギン類、アザラシ類、魚類の繁殖生態、摂餌戦略の解明を進め、環境変動に対する応答を探求した。また、アザラシ類については、動物の移動や潜水行動だけでなく、海水温や塩分濃度などの海洋環境パラメータを計測し、冬期の南極沿岸域の海洋環境について海洋物理研究チームとも連携した観測を行った。陸上生物の分野では、南極の露岩域の微気象データを長期連続観測しつつ、湖沼やその周辺に分布する微細生物群の多様性と生態に関する研究を進めた。また、係留観測による南極の多年結氷湖・季節結氷湖において通年の湖水環境の変動観測データの取得を行った。北極ツンドラ生態系における植生、微小生物群集多様性と物質循環研究および氷河上における微生物群集の解析を進めたほか、高緯度北極の湖沼に関する共同調査にも参加して研究を進めた。

各教員は次項に示す研究プロジェクトに参画し、他の関連分野と協同して研究を推進している。

研究プロジェクトへの関与状況

プロジェクト研究の「南大洋インド洋区における海洋生態系研究」、「環境変動に対する極域生物の生態的応答プロセスの研究」、「南極極限環境下におけるヒトの医学的研究」および「北極域研究推進プロジェクト」に関与した。

一般共同研究への対応

2016年度は新規11課題、継続16課題の27課題の共同研究に対応した。関係した共同研究員は56名であった。2017年度は新規7課題、継続18課題の25課題の共同研究に対応した。関係した共同研究員は46名であった。2018年度は新規9課題、継続14課題の23課題の共同研究に対応した。関係した共同研究員は46名であった。2019年度は新規9課題、継続16課題の25課題の共同研究に対応した。関係した共同研究員は47名であった。

南極地域観測隊の研究への関与状況

第IX期観測計画の重点研究観測サブテーマ2「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」およびサブテーマ3「地球システム変動の解明を目指す南極古環境復元」に生物圏研究の視点から共同で観測を行った。一般研究観測では、「露岩域と生物の変遷から探る生態系のメジャーランジション」、「一年を通じた生態計測で探る高次捕食動物の環境応答」、「南大洋インド洋セクターにおける海洋生態系の統合的研究プログラム」、「南極陸上生態系における生物多様性の起源と変遷」、「極限環境下における南極観測隊員の医学的研究」に関与し、58次に2名の教員を越冬隊員として派遣したほか、58次夏隊、59次夏隊、60次夏隊、61次夏隊にそれぞれ3

名、3名、2名、2名の教員を派遣した。また、59次・60次夏隊においては海外の研究者を同行者として受け入れ、露岩域湖沼の共同観測を実施した。

モニタリング研究観測としては、「生態系変動のモニタリング」としてしらせ往復路において海洋生態系モニタリングのため夏隊員1名を派遣し、越冬期間中にはアデリーペンギンの個体数観測を越冬隊員の協力のもと継続実施した。また、58次・60次隊においては陸域生態系変動のモニタリングの実施のため夏隊員を1名ずつ派遣した。

第60次隊で実施した萌芽研究観測「海水下における魚類の行動・生態の解明」へも関与した。

第59次隊の公開利用研究「3次元観測水中無人探査機を用いた南極湖沼のハビタットマッピング」および第60次隊の公開利用研究「極域窒素循環の特殊性とその理解」「南極環境における光合成生物の光応答と適応プロセスの解明」において、一般研究観測・モニタリング観測での参加隊員が野外調査・観測活動を支援した。

2018年度の外国共同観測派遣者として教員1名をアンターセー湖へ派遣し、国際共同調査を行った。

現状の評価と将来の方向性

極域海洋生態系および陸上生態系（湖沼を含む）に関しては、積極的に南北両極域での航海研究観測やフィールドワークを繰り返し実施できたことを通じ、係留観測機器での環境変動性に関するデータ蓄積ができた他、これまで研究事実が不十分な生物群に関する試料採集とその分析・解析研究を進展させることができた。また、動物の行動を利用した海洋観測など新たなバイオリギング手法にもチャレンジし、冬季の南極沿岸海洋環境の観測での有用性を提示することができた。こうした研究は、教員の南極での越冬観測参加や国内外の共同研究者との共同研究体制を強化することで実現できたところも大きいと考える。今後、海洋と陸域生態系とのかかわりや、それぞれの生態系の機能的側面からの研究、動物行動特性を利用した環境観測への応用や生態系変動と動物行動の調和現象の研究を進めていきたい。

7.1.5. 極地工学研究グループ

活動概要

極地で研究観測を行う場合、厳しい寒さ・強風・積雪への対策が課題となる。また、輸送の手段が限られているため、限られた燃料・食料・資材等をいかに有効活用するか、また最近では、周辺環境への影響をいかに小さくするかも大きな課題である。極地工学研究グループでは、これらの極地観測に付随する様々な技術的課題の解決に取り組んでいる。以下、研究テーマ毎に活動概要をまとめた。

(1) 現地でエネルギーを創るための研究

昭和基地の燃料消費は、基地の大型化や観測の多様化により年々増加している。一方で、輸送船が運べる燃料には限りがあり、今後は基地の備蓄量が減少することが予想される。この状況を改善するため、太陽光や風力のような再生可能エネルギー利用を増やし、化石燃料だけに頼らない取り組みが行われている。その一環として、太陽電池パネルの効率的な設置方法や表面の劣化対策に関する研究を行っている。

(2)再生可能エネルギーの安定利用に関する研究

太陽光・風力で発生した電力は、日照条件や風速などにより大きく変動する。一方、昭和基地の電力のほとんどは、軽油を利用したディーゼル発電機で生み出される。変動が激しい再生可能エネルギーとディーゼル発電機を同時に用いるためには、「系統連系」と言われる技術が必須となる。系統連系はそれ自体が一つの大きな技術的課題となっており、現在、各種の技術を調査し、次世代の電力供給方法を研究している。

(3)余剰電力の備蓄と利用に関する研究

再生可能エネルギーによって一時的に余剰な電力が得られた時、それを棄てずに備蓄できれば一層効果的に使うことができる。電気エネルギーを備蓄する手段には、有機ハイドライド技術や蓄熱技術があり、これら技術は国内で実用段階に入っている。これらの技術の南極への導入を目指して、大学や民間企業と連携して研究を進めた。

(4)新たな造水方法に関する研究

飲料などの生活水を確保するために、昭和基地ではこれまで周辺の雪を溶かすことで造水していた。しかし、氷点下の雪氷を用いた造水には膨大な熱量が必要で、昭和基地では常時約 100kW の熱量を使っている。海水を逆浸透膜法で淡水化すれば、電力が少なく済むだけでなく、造水タンクへの雪の投入などの労力も軽減できる。この方法の実現に向けて、配管の温度管理、海水の汲み上げ技術などの研究を進めた。

(5)将来の内陸オペレーションを見据えた設営的課題の研究

南極大陸内陸でのオペレーションを実施するにあたっては、大量の物資輸送、内陸への安全な輸送ルートの確保、精密機器の運搬における耐震の方策、氷床上の建物や構造物の設置とスノードリフト対策といった設営的課題を一つ一つ解決していく必要がある。そのためには、これまでの蓄積をベースにしつつ新しい方策やテクノロジーの導入など、幅広い情報収集と試験開発が必要とされる。特に内陸での雪氷上輸送および内陸での建物に関する問題について研究を進めた。また、内陸で計画されている次期深層掘削計画に対する極地工学的検討も行った。

(6)無人観測に関する研究開発

極地で人間が活動する場合、それ自体が環境へのインパクトとなり、またエネルギーの消費を伴う。省電力で信頼性の高い無人観測装置の開発は、環境・エネルギー利用の両面において有利である。これら、極域での無人観測に関する問題点について研究を進めた。

研究プロジェクトへの関与状況

2016年度から2018年度に「極地観測における工学的課題の抽出とその解決に向けての提案」を極地工学研究グループが中心になって実施した。その後継プロジェクトである「極地観測における工学的課題の抽出とその解決に向けての提案（その2）」を2019年度から3か年計画で実施している。

一般共同研究への対応

一般共同研究については、2016年度 11 件（新規 8 件、継続 3 件、所外共同研究者総数 15 名）、2017年度 8 件（新規 2 件、継続 6 件、所外共同研究者総数 11 名）、2018年度 10 件（新規 4 件、継続 6 件、所外共同研究者総数 28 名）、2019年度 6 件（新規 3 件、継続 3 件、所外共同研究者総数

21名)にそれぞれ対応した。

南極地域観測隊の研究への関与状況

昭和基地の近代化に関する極地工学研究、内陸基地に関する輸送及び建築等に関する設営的諸問題の研究、内陸での深層掘削計画に対する極地工学的検討、極域での無人観測に関する問題点などについて、それぞれ研究を進めた。

現状の評価と将来の方向性

[現状の評価]

極地工学研究グループは、極地研の研究・教育体制の中では若干異質な存在である。本来は、南極観測事業の設営的諸問題に呼応して、既存の研究体系にとらわれず、極地観測に特化した設営にかかわる工学的テーマを扱うことを目指して設置された。南極観測での設営活動への直接的な対応は、南極観測センター設営業務担当のタスクであることから、その中に極地工学グループがいかに有機的に関わるかが常に問題であった。その模索は継続中である。

[将来の方向性]

極地という厳しくかつ制約の多い条件下で、いかに効率よく安全に観測を行い、良質なデータを得るか、極地工学の目指す方向はこの言葉に集約されるであろう。拡大する観測規模と省エネルギーという二律背反をどのように実現させるか、極地工学の果たす役割は大きい。あるテーマを設定し、メーカーからの協力や情報も得ながら、実現に向けての地道な取り組みが求められる。

7. 2. 研究プロジェクト

7.2.1. 募集と審査

(1) 募集

研究所が重点的・計画的に推進する研究事業を所内公募により、6か年計画（課題によっては3か年）で実施している。

(2) 審査

申請課題の審査は所内研究委員会が行い、採否の決定は所内研究委員会の審査に基づき所長が行っている。

採択課題は、毎年度、年次実績報告が義務づけられ、研究継続の希望がある場合は継続申請書を提出し、所内研究委員会の審査を受けている。

(3) 中間評価

各研究課題については、2018年度に統合研究委員会の中間評価を受けている。

7.2.2. プロジェクト研究

別添資料：各研究プロジェクトの業績リスト

別添資料 1～96 頁

KP301 極域宙空圏総合観測に基づく太陽地球系結合過程の研究

研究期間：2016年度から2021年度（6年間）

研究代表者氏名：宙空圏研究グループ・教授・堤 雅基

共同研究者数：所内 15 人、所外 50 人

研究目的

第IX期南極観測計画ならびに北極域における EISCAT レーダーや地上観測網を中心とした総合観測に基づき、下記の4つのサブテーマの研究目標の達成に努めるとともに、連携協力して極域を中心とした太陽地球系結合過程を統合的に理解する。

- ・サブテーマ1：南極中層・超高層大気と結合過程

南極昭和基地大型大気レーダー（PANSY）を中心に、極域でのライダーや各種光学観測、各種電波観測と関連ネットワーク観測データ、モデリングを駆使して、地表から超高層大気までの全大気圏の上下結合および極域から中・低緯度域までの領域間結合過程を明らかにする。そのための観測技術や装置の開発にも注力する。

- ・サブテーマ2：極域広域観測網による 太陽圏－磁気圏－電離圏－大気圏間の電磁的結合過程の解明

太陽圏中の現象（太陽風変動、宇宙線変動など）が地球磁気圏、電離圏、大気圏に及ぼす影響を、極域を中心に南北両半球で展開する SuperDARN レーダー観測網等の地上観測点網や電離圏・磁気圏衛星による複合的な観測により解明する。特に、第IX期計画で予定されている南極域観測や北極域での広域観測から得られるデータをもとに、ERGなどの内部磁気圏衛星などと連携して総合研究を進める。

- ・サブテーマ3：EISCAT国際共同研究の推進

EISCATレーダーを中心に、磁気圏－電離圏－大気圏の電磁的結合過程および大気物理・化学過程を明らかにする国際共同研究を推進する。特に、PANSYレーダーとの連携による全球規模の大気・物質循環研究、ロケットとの同時観測による地球大気散逸過程の解明、ERG衛星との同時観測・高速光学観測によるオーロラ生成機構の研究などを実施する。EISCAT_3Dレーダー計画も推進する。

・サブテーマ4：太陽地球系結合過程のシミュレーションと観測データの比較研究

太陽風・磁気圏グローバルシミュレーションや大気化学シミュレーションとサブテーマ1から3の観測基盤から得られる観測データとの比較研究により現象の生成プロセスを定量的に検証する。特に、オーロラから宇宙線など高エネルギー粒子の変動原理とその大気応答を明らかにする。

研究経過と成果

サブテーマ1：PANSYレーダーを用いた、極域中間圏夏季・冬季エコー(PMSE・PMWE)の観測から、周期1時間以上の大気重力波が中間圏の運動量輸送を主に担うことを初めて定量的に明らかにした。中間圏で準半日周期をもつ慣性重力波や、PMWEと銀河雑音吸収やMFレーダーエコーとの関係、MFレーダー長期観測に基づく8時間周期大気潮汐波の季節的振舞いなども明らかにした。あらせ衛星との同時観測により、オーロラ爆発の直後にオーロラ粒子よりもエネルギーの高い電子が放射線帯から降り込み、高度65km付近の大気を電離させたことを明らかにした。対流圏・成層圏観測では、慣性重力波や鉛直風擾乱の特性を明らかにした。PANSYレーダーによる電離圏非干渉性散乱(IS)レーダー観測結果の解析により、沿磁力線不均一構造(FAI)による反射波の干渉下にあっても、適応的信号処理によってこれを抑圧し電子密度測定を行えることを示した。また、観測精度向上のための不要波除去アルゴリズムの開発を進めた。

大気光イメージャによる研究では、極地研宙空グループが提案した新たなスペクトル解析手法を汎用化し、複数の観測点のデータに適用することで、中間圏界面領域における大気重力波の位相速度分布やエネルギーの観測点間の差異を明らかにした。

レイリー・ラマンライダーによる研究では、成層圏・中間圏における重力波のポテンシャルエネルギーの高度分布と季節・経年変化を明らかにした他、2014年8月の大気重力波活動度の異常増大および減少について、前者は極側に傾く極夜ジェットによる重力波の屈折効果、後者は上部成層圏を通過した総観規模擾乱による重力波のフィルタリングに起因することを示した。

共鳴散乱ライダーによる研究では、国内での開発時に行ったCa⁺観測データとGPS-TECデータを用いて、電離圏E領域に突発的に発生するスポラディックE層内の不規則構造と電離圏F領域に発生する中規模伝搬性電離圏擾乱が密接に関係していることを観測的に明らかにした。2017年から2018年のFe原子の変動特性を調査し、夏から冬至に向け増大したFe密度が、春に向けて減少し、夏に再び増加する事を明らかにした。またFe密度の温度変動に対応する応答が85km付近を境に変化する事を明らかにした。2017年、2018年に昭和基地で行ったCa⁺観測データを精査し、南極域における中間圏・下部熱圏領域のCa⁺層の存在を明らかにした。中間圏・下部熱圏領域の金属原子層の密度変動に流星群が与える影響を調べるために、ふたご座流星群期間中のNa共鳴散乱ライダーデータを再解析した。その結果、輻射点高度が高くなる時間帯(仰角60度以上)にのみNaカラム量が優位な増加を示すこと、および群活動の終盤に特に大きくカラム量が増加することを明らかにした。

その他の研究として、長期の気象再解析データを活用し、高エネルギー荷電粒子降り込みが成層圏・中間圏に与える影響を抽出するとともに、各再解析データの相互比較と信頼性の検証を行った。

サブテーマ2： 昭和基地の2基の SuperDARN レーダーによる研究観測を継続して実施すると共に、空中線の更新計画を進めた。特に、「あらせ」衛星と連携した特別観測を2017年3月下旬より実施した。国際 SuperDARN Workshop に毎年参加し研究発表を行うとともに、各国と連携した国際共同研究、データ共有を進めた。国内の関係諸機関の研究者と連携して、定期的な打合せや研究集会開催を毎年度実施した。特に2019年には国際 SuperDARN Workshop を国内他機関と連携して日本で開催し、そこでの研究発表を中心とした Special Issue の発行提案を Polar Science 誌に対して行い認められた。期間中、SuperDARN データを用いた極地研関係者の主著・共著論文が国際学術誌に5編出版された。

毎年度、アイスランドの2観測点に出張し、既設機器の保守作業を行い、自動連続運用を維持するとともに、国内諸機関の研究者と連携して、2観測点に、100Hz 高速オーロライメージャ (HAI) など複数の観測機器を新規設置した。また、中国極地研究所の観測点における共同研究に向けた調査と打合せを実施した。昭和基地側にも HAI など新規観測器が設置され、共役点同時観測データを、2017年に4夜、2018年に15夜、2019年に6夜、取得することが出来、100Hz イメージャ共役点同時観測にも成功した。「あらせ」衛星との同時観測機会は、2017年度に合計81回、2018年度に合計61回、2019年度に合計95回あり、昭和基地、アイスランド観測点、「あらせ」衛星の間のオーロラ同時観測にも成功し、同時観測データを用いた論文3編が国際学術誌に出版された。

南極点基地とマクマード基地におけるオーロラ光学観測データを継続取得・公開するとともに、国内外の研究者との共同研究を進め、南極点基地のデータを用いた昼間側脈動現象に関する論文2編が国際学術誌に出版された。無人磁力計ネットワーク観測データを継続取得・公開した。2017年2月にアムンゼン湾に設置された無人オーロラ観測装置について、自動連続観測を行い、昭和基地、アイスランド観測点とのオーロラ同時観測データを取得出来た。昭和基地近傍沿岸域でのオーロラ観測ネットワーク網構築に向けて、南アフリカ (南ア)、ベルギー、インドの研究者との共同研究に向けた打合せを進め、2020年1月にベルギーのプリンセス・エリザベス基地に無人オーロラ観測装置2号機を、インドのマイトリ基地に全天オーロライメージャシステムをそれぞれ設置し自動連続観測を開始した。南アとの共同研究として、2018年4月にマリオン島に設置された2周波リオメータの自動連続観測データの取得とアーカイブを行った。また、THEMIS 衛星-地上データを用いた解析を進め、論文1編が国際学術誌に出版された。また独自に開発を進めてきた Watec 単色イメージャシステムについての論文が Polar Science 誌に出版された。

サブテーマ3： 3観測点の流星レーダーを用いて、極域上部中間圏から下部熱圏域で両極性拡散係数が異常増大することを初めて見出し、ナトリウムライダーや EISCAT レーダーとの同時観測から、電離圏電場増大に伴う電子温度増大がその原因と考えられることを示した。ドイツのグループと共同して、中間圏界面領域の風速の水平構造の推定や、成層圏突然昇温時における惑星波の振る舞いについての解析研究も行った。

2016年から2020年にかけて、PANSY や EISCAT を中心とした大型大気レーダー国際協同観測 (ICSOM) による、両極を繋ぐ全球規模の大気・物質循環研究を毎年1-2月に実施した。得られたデータ

を基に、成層圏突然昇温時の D 層イオン温度及び鉛直イオン速度の日変化を明らかにした。

「あらせ」衛星と EISCAT レーダーとの共同観測を 2017 年 3 月より継続して実施し、計 100 回の同時観測イベントを取得することに成功した。この共同観測データから新たな科学成果を見出すためのワークショップを 2019 年度に計 3 回極地研で実施し複数の注目すべきイベントを抽出し研究を進めた。沿磁力線方向に強い異方性をもつ電子流を「あらせ」衛星が観測したイベントについて、EISCAT の同時観測データから、衛星と電離圏の間で電子の加速や減速が起きていないことを示した。

1997-2016 年の EISCAT レーダーデータを用いて、磁気嵐に対する極域電離圏イオン上昇流の応答を調べ、太陽風擾乱のタイプにより、上昇流の継続時間や上昇フラックスが顕著に異なることを明らかにし、国際学術誌に出版した。

地球大気散逸過程の解明を目指す北欧でのロケットキャンペーン観測計画に参加し、地上サポート観測の準備を国際的に進めた。また、2019 年 1 月の Rock-sat 国際ロケットキャンペーン観測時には、EISCAT サポート観測を集中的に実施し、得られたデータのデータ解析研究を進めた。

脈動オーロラの時空間的階層構造の研究について、大型科研費(基盤 S)の枠組みも活かした国際共同研究を実施し、複数の学術論文を出版した。

EISCAT レーダーを用いたスペースデブリ研究を、国内の研究者と協力・連携して、2016 年度から 2019 年度にかけて実施した。

EISCAT_3D 計画への日本からの貢献として、専用の送信機開発を担当メーカー及び EISCAT 本部と協力して進め、固体化電力増幅器(SSPA)を 2016 年度に 19 台、2017 年度にはその改良版を 55 台製作し、トロンソの技術実証サイトに設置した。2018 年度には、464 台の EISCAT_3D 用 SSPA を EISCAT 協会に供給するための国際入札を実施した。また 2019 年度には、2022 年からの第 1 期 EISCAT_3D 運用に必要な送信機について、機能強化経費「多点大型レーダー観測計画の推進」を用いた部分整備を進めるための手はずを、各種関係機関との相談・調整を経て進めた。さらに、2019 年 9-12 月及び 2020 年 3 月(から 5 月まで)に極地研教員 1 名を EISCAT_3D システム設計メンバーとして EISCAT 本部(キルナ)に派遣し、計画全体の実現に貢献している。また、EISCAT_3D 計画に関する最新の情報・成果を発信するため、国内向けの更新版パンフレットを 2019 年度に製作した。

2019 年 8 月に IRF キルナ建物屋上に近赤外分光器を設置し、近赤外オーロラ及び OH 大気光観測を実施した。また、ロングイヤビエン光学観測施設(KHO)にて 2020 年度に近赤外分光器観測を開始するための準備・検討を現地対応者と共に行った。

サブテーマ 4: 極域電離圏における対流や電流分布を太陽風と磁気圏の相互作用から再現するグローバル磁気圏シミュレーション REPPU による研究を進め、サブストーム開始やシータオーロラの詳細なメカニズムに関する理解が進み、銀河宇宙線の太陽周期変動モデルや太陽プロトン被ばくモデルの研究開発が進んだ。それぞれ研究論文を出版した。また、関連した成果について教科書を電子出版した(「複合系磁気圏物理学」田中高史著)。

適合格子細分化法による太陽圏シミュレーションの共同研究成果が論文として発表された。

また、昭和基地の宇宙線観測データベースと、予測シミュレーション結果をウェブサイトで公開した。

今後の研究の展望と期待される成果

サブテーマ1: 昭和基地における、対流圏から下部熱圏までの幅広い高度領域での様々な物理量の連続観測に加え、南極大気光イメージャネットワークの拡張やスーパープレッシャー気球観測による、南極域全体をカバーする面的観測網の構築を進め、鉛直・水平双方の結合過程を明らかにする研究を推進する。PANSYレーダーの高機能化、ミリ波分光計観測の多チャンネル化、高分解能気温ゾンデ観測等により、より高精度・高分解能なより多くの物理量のデータを取得・活用し、惑星規模から乱流スケールまでの幅広いスケール間の相互作用を明らかにする研究を推進する。2016～2019年の南極夏期に実施された大型大気レーダー国際協同観測により取得された、両極域を含む全緯度帯における対流圏・成層圏・中間圏の風速データを解析し、北半球の成層圏突然昇温に伴って南極の中間圏が変動する半球間結合過程を観測的に捉え、中層大気大循環モデルとの融合研究によりそのメカニズムを解明する。

サブテーマ2: 昭和基地の2基のSuperDARNレーダーにより、「あらせ」衛星との同時観測など、国内外の関係諸機関と連携した国際共同研究観測を継続実施すると共に、老朽化部分の更新を進める。特に、後半2年間では、低太陽活動期における電離圏・磁気圏・超高層大気の変動に着目した研究を行う。また、Polar Science誌のSuperDARN特集号の編集・出版を進める。アイスランド観測点での自動連続観測を、国内諸機関の研究者と連携して継続して行い、南極側の観測点や「あらせ」衛星との間の共役点観測データを取得し、様々なオーロラ活動の生成メカニズムの研究を行うとともに、アイスランドにおける中国極地研究所との間の共同研究をさらに進める。南極域では、無人ネットワーク観測や、複数の外国基地との国際共同観測をさらに推進し、極冠域からサブオーロラ帯まで、夜側から昼間側までの幅広い領域における、様々なオーロラ活動の時空間変動特性の研究を行う。

サブテーマ3: 欧州北部の流星レーダー国際観測網構築を推進し、中間圏界面領域における温度場・風速場の時空間変動を広い水平領域において観測し、EISCATレーダーとの異なる高度領域での相補的な研究を行う。EISCATレーダーについては、全国共同利用を継続実施し、各種飛翔体、関連光学・電波観測データと合わせた総合研究を推進する。特に、電離大気流出過程の国際ロケットキャンペーンとの同時観測実現に向けて、地上光学観測やEISCAT観測モードの整備・開発を進め、大気流出の素過程に関する新しい知見を得ることを目指す。「あらせ」衛星との共同観測については、同時観測計画を継続して進めるとともに、これまでに得られた共同観測データを用いた解析を進める。2022年1月に開始予定のEISCAT_3D計画については、送信システムの日本からの提供を関係各方面と綿密に調整しながら推進するとともに、レーダーシステムに必要なソフトウェア開発など計画の実現に向けた日本からの貢献を進める。

サブテーマ4: 空気シャワー計算モデルのPANSYレーダーやリオメータ観測への応用研究や、宇宙線モデルと昭和基地宇宙線観測データとの比較研究、REPPUシミュレーションと地上オーロラ - 「あらせ」衛星同時観測データとの比較研究、などを推進し、こうしたモデルやシミュレーションを用いた共同利用・研究を推進する。

今後の研究計画

【2020年度】

サブテーマ1: 数年にわたって実施してきた昭和基地での水蒸気ゾンデ観測データを用いて、南極域では初となる衛星水蒸気観測の検証を行うとともに、気象再解析データと組み合わせて南極域での降雪に

影響を及ぼす上部対流圏の水蒸気輸送過程に関する研究を行う。

サブテーマ2： 昭和基地の2基のSuperDARNレーダーによる「あらせ」衛星と連携した特別観測など研究観測を継続実施し、空中線の更新計画を進める。SuperDARN国際Workshopへの参加、国内研究集会開催を行う。アイスランド観測点での自動連続観測を継続して行い、南極側や「あらせ」衛星との共役点同時観測データを取得するとともに、中国極地研との共同研究をさらに推進する。南極域の無人ネットワーク観測や、複数の外国基地との国際共同観測を継続する。特に、サナエ基地に全天イメージャシステムを設置し観測を開始する。国際共同南北共役領域観測網構築計画を推進する。

サブテーマ3： 前年度に引き続き、EISCATレーダー全国共同利用を推進すると共に、極地研に整備したEISCATデータベースや関連観測機器データも合わせ用いて、極域超高層大気の上下結合や長期変動、脈動オーロラとオーロラ微細構造、電離圏イオン上昇流を中心とした研究を進め、その成果を学会や論文として公表する。2022年1月からのEISCAT_3Dレーダー観測の実現に向けて、EISCAT国際コミュニティを中心に準備を協力して進める。前年度に引き続き、欧州北部の流星レーダー観測網を用いた国際共同研究を推進する。

サブテーマ4： 研究会等を通して、サブテーマ間をまたぐサイエンス・シミュレーション共同利用やIUGONETの利用、などを推進する。

【2021年度】

サブテーマ1： スーパープレッシャー気球観測により南極全域での大気重力波の運動量フラックス分布を導出し、PANSYレーダー観測で得られる時間高度分布と組み合わせ、南極域における大気重力波の運動量輸送を4次元的に捉えることを目指す。PANSYレーダー、ミリ波分光計、レイリー/ラマン/共鳴散乱ライダー等、第Ⅷ期から第Ⅸ期にかけて実施している長期観測のデータを活用し、昭和基地上空における気温、風速、微量成分の経年および長期変動を明らかにする。

サブテーマ2： 昭和基地の2基のSuperDARNレーダーによる「あらせ」衛星と連携した特別観測など研究観測を継続実施し、空中線の更新計画を進める。SuperDARN国際Workshopへの参加、国内研究集会開催を行う。アイスランド観測点での自動連続観測を継続して行い、南極側や「あらせ」衛星との共役点同時観測データを取得するとともに、中国極地研との共同研究をさらに推進する。南極域の無人ネットワーク観測や、複数の外国基地との国際共同観測・研究を継続実施し、国際共同南北共役領域観測網構築計画を推進する。

サブテーマ3： 前年度に引き続き、EISCAT_3Dレーダー観測の実現に向けて、EISCAT国際コミュニティを中心に準備を協力して進める。それと並行して、日本の研究者が新たなEISCAT_3Dレーダーを用いた主体的な研究を進めるための国内共同利用体制を議論し、現行の体制を強化・改善する。

サブテーマ4： 研究会等を通して、サブテーマ間をまたぐサイエンス・シミュレーション共同利用やIUGONETの利用、などを推進する。

プロジェクト研究員の果たした役割

3名の研究員が採用され、以下の研究を実施した。

高橋透研究員（2016-2018年度）：①ナトリウムライダー及びEISCATレーダーとの同時観測データを用いて、オーロラ粒子降下によって生成されたNO⁺、O₂⁺とナトリウム原子が電荷交換反

応を行うことを観測的に明らかにした (Takahashi et al., 2017)。②複数のEISCAT レーダーとキルピスヤルビ受信アレイ (KAIRA) の同時観測データを用いて、2次元電離圏電場ベクトルと電子密度を導出し、オーロラパッチ内部に分極電場が生成されることを明らかにした

(Takahashi et al., 現在査読中)。③北極域の流星レーダーによる両極性拡散係数の異常増大の発生特性の研究を行い、学会などで発表すると共に投稿論文の準備を行った。

佐藤由佳研究員 (2016-2017年度) : EISCATスバルレーダーの国際極年キャンペーン観測データを使用し、電離圏中の電子プラズマ波増大現象の統計解析を行い、その出現特性の地方時・季節・地磁気活動度依存性や、磁力線の順・逆方向で強度差や高度差が生じていることを明らかにし、学会などで発表すると共に投稿論文の準備を行った。

木暮優研究員 (2019年度) :

アンデス山脈上空の山岳波の碎波に伴って重力波が二次生成され、上部中間圏に達することを、衛星観測データ (AIRSおよびVIIRS) を用いて初めて観測的に明らかにした。昭和基地とデービス基地の大気光イメージャの観測データからM変換を用いて中間圏界面における重力波の位相速度スペクトルを求め、2地点の差異が上部成層圏・下部中間圏で励起された重力波に起因する可能性があることを示した。

極地研の役割と所外研究者との協力体制

サブテーマ1 : 極地研研究者は、PANSYレーダーなど昭和基地観測の国内サポート、データ処理、共同利用推進を担うと共に、南極大気光イメージャネットワークの構築を主導し、新スペクトル解析手法の利用拡大を推進し、複数の国際共同研究の立ち上げや、海外若手研究者の受け入りなどに貢献した。所外研究者は、新しい技術や解析手法を提供し、研究の高度化に貢献した。特に、PANSYレーダーについては東京大学や京都大学と、ライダー計画では首都大学東京や信州大学と連携して、観測機器運用、データ品質チェック、データ解析等を進めた。また、東京大学やJAMSTECと連携して、高解像度数値モデルを用いた研究も進めた。

サブテーマ2 : 極地研は、昭和基地の2基のSuperDARNレーダーの運用責任機関として、国内外の関係諸機関・研究者と連携した共同観測・研究を進めた。特に、2016年に国内5研究機関で共同研究契約を結び、共同研究体制の強化を図ると共に、データベース作成・公開、研究集会の開催などを連携して行った。アイスランド～昭和基地共役点観測については、極地研は、アイスランド大学や国内の共同研究者と連携して、観測計画の立案・調整・実施、データベース作成・解析を中心的に担った。南極域においては、無人ネットワーク観測や南極点基地における観測を中心に、それぞれ、関係する各国や国内の研究者と連携して、観測研究計画を進めた。

サブテーマ3 : 極地研は、EISCATレーダーを全国共同利用施設とする共同研究を、名古屋大学と協力して推進し、申請受け、実施計画立案、現地観測サポート、データ整理・解析サポートなどを毎年度実施した。共同研究申請は、毎年12-15件あり、様々な研究テーマの観測が実施され、毎年度研究集会を開催し、研究成果が着実に得られた。北欧域での地上オーロラ光学観測については、スウェーデン、フィンランド、ノルウェーなどの関連諸機関との国際共同観測体制を確立して継続的に実施し、極地研研究者は、観測機器の運用、データ公開などを中心的に担った。また、北欧域の流星レーダー観測・研究を、トロムソ大学や名古屋大学など国内外の研究者

と連携して推進した。

サブテーマ4： 極地研研究者は、所外研究者と連携して、特に、オーロラや銀河宇宙線の計算機シミュレーションによる共同研究を推進し、毎年度研究集会を開催した。

研究課題の達成度・問題点及び今後の改善策

サブテーマ1： PANSYレーダー、ライダー、ミリ波分光計、イメージャ等の各測器による観測が確実に実施され、観測データを用いた研究も着実に進行され、論文成果も得られた。特に、イメージャの新スペクトル解析手法の提案・普及により新たな国内・国際共同研究が立ち上がり、多くの成果が得られ、達成度としては問題ない。一方で、異なる測器間の連携による融合研究の推進については、いくつかの共同研究成果が出つつあるが、期待されたレベルには至っていないという問題点がある。今後は、異なる測器の関係者間での会合を定期的に持ち共同研究を推進していく。

サブテーマ2： SuperDARNレーダーを用いた研究については、ほぼ計画通りの達成度だったが、論文成果も得られたが数がまだ十分ではない、観測機器の老朽化が進んだ、などの問題点があった。今後は、論文成果につながる共同研究をさらに推進し、空中線の更新作業を計画的に進める。アイスランド～昭和基地共役点観測を含む広域地上観測による研究については、PWINGや中国極地研究所との共同研究の進展などもあり、当初の計画以上の達成度を得られたが、観測データ処理の遅れ、論文成果数の不足、などの問題点があった。今後は、データ処理や成果創出に関わる体制の整備や国内外研究者との共同研究のさらなる推進を行う。

サブテーマ3： EISCAT全国共同利用については、特別実験やデータ解析へのサポートを重点的に進め、毎年の応募数12-15件を維持し、特別実験の実施率も9割程度を保つことが出来、年7編程度の論文出版成果が得られ、ほぼ計画通りの達成度を得られた。一方で、共同利用や現地運用のための作業や、関連観測機器の国内準備・現地作業にかなりの労力を要し、観測データの詳細解析や研究成果創出のための打ち合わせや論文執筆の時間が確保できず、所内教員が主著者の論文数が減っている、という問題点があった。今後は、各研究者間の役割分担/タスクの優先順位を再検討し、作業の効率化及び負荷分散を進める。

サブテーマ4： シミュレーション関連の論文成果が継続的に出版され、ほぼ予定通りの達成度を得られた。一方で、サブテーマ間をまたぐサイエンスや、シミュレーション共同利用、IUGONETシステムの利用などが不十分という問題点があった。今後は、これら3つの点を強調した研究集会を開催するなど共同研究をさらに推進する。

研究課題に関連する外部資金の獲得状況

科学研究費補助金

- 1 基盤研究(B)、研究代表者：行松彰、研究期間：2013-2018、金額：1,742万円
- 2 若手研究(B)、研究代表者：富川喜弘、研究期間：2014-2016、金額：364万円
- 3 挑戦的萌芽研究、研究代表者：江尻省、研究期間：2015-2016、金額：377万円
- 4 基盤研究(C)、研究代表者：佐藤夏雄、研究期間：2015-2018、金額：416万円
- 5 基盤研究(A)一般、研究代表者：中村卓司、研究期間：2015-2018、金額：3,965万円
- 6 基盤研究(A)海外学術、研究代表者：門倉昭、研究期間：2015-2019、金額：2,483万円

- 7 基盤研究 (S)、研究代表者：藤井良一、研究期間：2015-2019、金額：分担金 722 万円 (小川泰信)
- 8 挑戦の萌芽研究、研究代表者：堤雅基、研究期間：2016-2017、金額：338 万円
- 9 基盤研究 (B) 一般、研究代表者：堤雅基、研究期間：2016-2018、金額：1,339 万円
- 10 基盤研究 (B)、研究代表者：大塚雄一(名大)、研究期間：2016-2018、金額：分担金 90 万円 (小川泰信)
- 11 若手研究(A)、研究代表者：西山尚典、研究期間：2016-2019、金額：2,600 万円
- 12 基盤研究 (A)、研究代表者：関華奈子(東大)、研究期間：2016-2019、金額：分担金 60 万円 (小川泰信)
- 13 特別推進研究、研究代表者：塩川和夫(名大)、研究期間：2016-2020、金額：分担金 1,100 万円(片岡龍峰)、分担金 515 万円(田中良昌)
- 14 基盤研究 (C)、研究代表者：田中良昌、研究期間：2017-2018、金額：180 万円
- 15 基盤研究(B)海外学術、研究代表者：富川喜弘、研究期間：2017-2019、金額：1,729 万円
- 16 基盤研究 (C)、研究代表者：片岡龍峰、研究期間：2017-2019、金額：442 万円
- 17 基盤研究 (B)、研究代表者：野澤悟徳、研究期間：2017-2019、金額：分担金 40 万円(堤雅基)、分担金 40 万円(小川泰信)
- 18 新学術領域研究 (研究領域提案型)、研究代表者：富川喜弘、研究期間：2018-2019、金額：338 万円

その他

- 1 寄付金、研究代表者：西山尚典、研究期間：2019-2021、金額：100 万円

KP302 地球温暖化の進行下における極域気候システムの振る舞い

研究期間：2016年度から2021年度（6年間）

研究代表者氏名：平沢尚彦

共同研究者数：所内 13人、所外 36人

研究目的

北極域における海氷の減少やグリーンランド氷床の消耗は多くの研究によって示唆されており、北極域における温暖化と雪氷圏の縮小は連動している。これに対して、南極域では、西南極表面の急速な温暖化と氷床の縮小を多くの研究が示唆する一方で、東南極では明瞭な温暖化トレンドが検出されず、氷床の涵養／消耗の動向は明らかではない。東南極の長期変化は明瞭ではなかったが、最近になって顕著な氷床涵養や温暖・表面融解現象が発生し始めていることは、温暖化の特徴である“極端現象”の発生率の増加を伺わせている。南極海の海氷の面積の増加も未解明な点であり、南極域の現状は複雑である。このような状況を反映して、北極域における雪氷圏の縮小が今後も加速されていくのか？北極域の変動が日本を含む中高緯度域にどのような影響をもたらすのか？地球温暖化が進行しているにも拘わらず東南極が温暖化しない仕組みは何か？今後温暖化する可能性があるのか？など、人類にとって関心の高い疑問が提起されている。このような疑問への答えは、大気・雪氷・海洋圏からなる極域における熱と水の循環を司る仕組みを知り、それが作り出している現在の気候や今後の気候の変動の見通しを得ることにある。本研究では、極域の気候を作り出す仕組みを“極域気候システム”と考え、現在の、温暖化が進行している下での極域気候システムの振る舞いを解明することを目標とする。この問題に取り組む上で、以下に示すようないくつかの研究課題を設定して進める。尚、現在の極域気候システムの振る舞いについて、南極と北極の違いが際立っていることは大きな特徴であり、両極域の比較研究はこの問題の理解にとって重要な鍵になると考えている。また、本研究が対象とする“極域気候システム”として、対流圏を中心に置き、地表（積雪表層、海氷・海洋表層）と成層圏（主に下部）を含んだ領域に現れる現象を想定する。

（具体的な研究課題）

- a) 東南極域の温暖化、水・物質循環システムの研究
- b) 北極・南極域の大気循環場の精緻な再現による極域気候システムの研究
- c) 北極・南極域の気候に関するモニタリング観測データの解析
- d) 東南極域の海氷状態と大気環境との関連
- e) 高解像度観測による南極対流圏界面の精密研究
- f) 極域・寒冷域における降雪量、積雪深観測の高精度化
- g) エアロゾル粒子が極域混相雲内での雲物理に与える影響の評価
- h) エアロゾルの極域への輸送・氷床内に取り込まれる課程の研究

研究経過と成果

- a) 東南極域の温暖化、水・物質循環システムの研究

南極観測58～61次隊にプロジェクト観測計画を提案・参加し、氷床上へのAWS（無人気象観

測装置)設置、高層気象ゾンデ等の観測を実施してきた。

- ・南極全域気象予報と気候変動検出のためのアーカイブ

2016年(初年度)に極地研・極域科学計算機において、NHMを用いた48時間後までの1日に2回の南極全域気象予報計算を開始した。予報結果は極地研究所、及び南極昭和基地において参照され、現地での野外活動等のスケジュール調整に利用されている。予報結果を時系列データとしてアーカイブしている。

- ・AWS、高層気象ゾンデによる観測と気候変動検出のためのアーカイブ

AWSは、既設のH128に加え、ドームふじ、中継拠点、S17(スイスと共同)、MD78に設置された。

高層気象ゾンデ観測は、59次・60次隊のそれぞれ夏季にドームふじ、59次・60次・61次隊のそれぞれ夏季にしらせ船上、59次隊冬季に中継拠点-S16間の内陸ルート上、60次隊冬季にMD78-S16間の内陸ルート上において実施された。ドームふじのデータでは内陸の日変化等、内陸ルート上のデータでは冬季の氷床上の大気の緯度断面構造の解析を進めている。

これらのデータは衛星回線を通じて即時に世界中の気象局に送信され、毎日の天気予報に利用された。繰り返し更新される再解析全球気候データにも使われる。

ウィスコンシン大学のAWSプロジェクトの代表者を招いてワークショップを開催し、今後のデータ品質維持や、現地観測における協力関係を強化することを結論した。この研究を通して、積雪深データの分析から、総観規模擾乱、削剥、圧密、昇華蒸発等による雪面変動が解析できる可能性のあることを示した。また、強制通風式温度計と自然通風式温度計の比較から、AWSに広く採用されている自然通風式温度計の計測値の問題点を指摘し、その補正方法を提案した。

- ・氷床表面の水収支・融解の観測と研究

氷床表面の昇華量を独自の観測方法によって実施し、夏季の1か月の昇華蒸発量は年間降水量の約5%に相当することが分かった。

マイクロ波放射計観測からは、放射量の急激な上昇が氷床表面の融解に伴うこと、海岸から50km程度の地域で放射量が極端に小さいことが分かった。人工衛星による広域データとの比較を行った論文を投稿した。

2012/13年夏季に南極氷床表面の融解がこれまで観測されたことのない高地で起こったことの原因としてフェーン現象による高温を提案した。このような高温現象の頻度が2005年頃から顕著になっていること、オゾンホール回復との同期性を指摘した。

- ・UAVによる物質輸送の観測と研究

58次・60次夏季のS17及び冬季の昭和基地においてUAVによるエアロゾル分布・輸送の観測を実施し、海洋表面起源のエアロゾルが氷床内陸に向かって輸送される仕組みを解析している。

S17-海岸の往復(約40km)観測を20回以上実施したことはATCMの年報に報告され、ATCM/COMNAPの南極無人飛行機に関する委員会議長とのメール質疑の後、価値ある情報として国際的に共有された。

- ・安定同位体を用いた水・物質の広域輸送の研究

ラドン濃度・トロン濃度、及び⁷Be濃度を「しらせ」船上、昭和基地、S17、冬季の内陸旅行中の雪上車において実施し、総観規模大気循環や日変化による大気・物質輸送のメカニズムを議論している。⁷Be濃度の観測からは南極の高緯度に向かって濃度が上昇する傾向が明瞭に捉えられており、この結果はこれまでの知見を改めることになる。成層圏との大気の混合が盛んであることが示唆される。

「しらせ」船上で行った水蒸気中の同位体の観測からは、南大洋上の地上水蒸気の起源について議論し、また、フェーンに伴って頻繁に南極氷床表面での昇華蒸発が起こっていること示した。

b) 北極・南極域の大気循環場の精緻な再現による極域気候システムの研究

・極域の予報精度の向上に関する研究

WMOが主導する極域予報プロジェクト (Polar Prediction Project: PPP)、2017年～2019年に設定された極域予報年 (Year Of Polar Prediction: YOPP) に貢献した。

(北極)

北極海の高層気象ゾンデ強化観測が日本周辺の低気圧の経路の予報精度を改善することを示した (Sato et al. 2017, JGR)。北極海上の極渦の初期場を観測で正確に捉えていない場合、予報誤差を増幅させるメカニズムがあることを提唱した (PPP関連の会合での招待講演)。また、「みらい」でのラジオゾンデ観測を含むYOPPの観測データのハリケーン予測への貢献について研究している。

みらい北極航海が2019年10月に実施され、雲粒子ゾンデ・ラジオゾンデ観測を行なった。また、2020年3月にはニーオルスン基地においてAWIの協力下、「みらい」と同様の雲粒子ゾンデ観測を実施した。これらの観測により、雲粒子の総数、水・氷・混相雲の判別、粒径分布に関する情報が取得され、他の測器・衛星センサーから得られるパラメータとの比較から定量的な議論をおこなう。

チュクチ海における高解像度の海氷予測において、暖水塊が流入するベーリング海やベーリング海峡の海洋構造を正確に境界条件として与えると、数日先の高解像度 (水平2.5km) の海氷予測が実現すること示した (De Silva et al. 2020, Pol. Geo.)。この成果は、2019年「みらい」北極航海の海氷予測支援として社会実装することにも貢献した。また、波浪予報計算における境界条件として用いる海氷密接度データセットの値のバラツキについて調査した。様々な海氷密接度データを境界値として波高計算を行ったところ、海氷密接度データのバラツキが、波高予測のバラツキと密接に関連していることがわかり、海氷縁の海氷データセットの精緻化が重要であることが示された (Nose et al., 2019 The Cryo. Discuss.)。このような海氷・波浪予報の精緻化には大気の強制力が高精度であることが大前提であるが、それには大気の追加観測が有効である一方で、大気観測データの質の向上も重要な課題であることがロシアのラジオゾンデ観測の解析から示された (Inoue, 2020 Pol. Sci.; Hori et al. Pol. Sci. submitted)。

(南極)

YOPP-SH (YOPP in the Southern Hemisphere) の特別観測期間 (2018年11月16日から2019

年2月15日)において昭和基地およびドームふじでの高層気象ゾンデ強化観測を実施し、氷床上のAWSデータを配信した。今後はこれらのデータを含む特別観測期間中のデータを用いて大気循環の予測可能性研究を実施する。

これに先立ち、2017年12月の豪州砕氷船での高層気象ゾンデ観測がタスマニアなどに降雪をもたらした低気圧の、2018年1月のドームふじでの同観測が昭和基地に暴風をもたらした低気圧の経路予測を改善させることがわかった (Sato et al. 2018, GRL; Sato et al. 2020, AAS)。ドームふじで実施されたラジオゾンデ観測データについて、その観測の効果は低緯度側に位置する昭和基地において、ブリザード級の暴風をもたらした低気圧の予測精度向上に効果的であることを、データ同化システムによる観測システム実験で実証した (Sato et al., 2020 Adv. Atm. Sci.)。そのメカニズムとして、南極氷床上空の対流圏上層の渦位偏差に観測シグナルが取り込まれ、それが低気圧の発生場所や強さの予測向上に影響を与えていたことが挙げられる。観測の有無による予報への影響は、ECMWF (観測あり) と気象庁 (観測なし) でも現れ、ドームふじの観測データを同化したECMWFの方が、この低気圧を高精度に予報できることも確認された。この論文は、EurekAlert!でも紹介された。

また、昭和基地及びNeumayer基地の顕著な降水イベントの時にAtmospheric river (水蒸気の集中化した輸送システム) が発達したことを論文として出版した (Gorodetskaya et al. 2020, AAS)。

YOPP-SHに関するラジオゾンデ集中観測・解析結果については、概要論文をPPP SGとしてアメリカの気象学会の雑誌に投稿した (Bromwich et al., Bull. Amer. Meteor. Soc.)。2022年に計画されつつある、時期のSOPに向けた議論に参加している。

・総観規模擾乱に伴う強風形成、降雪形成と年々変化の研究

2015年1月中旬に昭和基地で発生した1月の歴代1位の強風現象について、局地気象モデル: WRFを用いた解析により、地形性ブロッキング現象が起こっていたことを指摘した。(Yamada and Hirasawa, 2018, JGR)。また、同事例を降水形成の観点から解析し、内陸への降水の特徴を明らかにした (Hirasawa et al. 2019, IUGGにおける招待講演)。

c) 北極・南極域の気候に関するモニタリング観測データの解析

南極昭和基地において、大気中CO₂、CH₄、CO、O₂濃度の連続観測および定期大気採取を維持するとともに、56–58次隊において定期採取された大気試料を分析し、各成分の長期観測データを蓄積した。大気中N₂O濃度の連続観測を開始した。

大気球を用いた成層圏大気採取実験 (1998–2013年の間に4回実施) によって得たCO₂、CH₄、N₂O、SF₆濃度から南極上空成層圏における各成分の鉛直分布と時間変動を明らかにし、熱帯対流圏から成層圏に流入した大気が、Brewer-Dobson循環によって南極上空の成層圏に輸送されるまでに4–6年程度を要することが分かった。

d) 東南極域の海氷状態と大気環境との関連

南大洋における海氷面積の急減少が2016年に発生し、世界的に関心が高まっている。この現象

に関する文献分析を行った。その結果は著書原稿に含めて出版準備中となっている。

e) 高解像度観測による南極対流圏界面の精密研究

昭和基地での水蒸気ゾンデ観測を定期的実施し、データを蓄積している。2016年7月に実施した水蒸気・オゾンゾンデ集中観測データの解析から、昭和基地上空の上部対流圏が湿潤化される場合、中緯度と同様のwarm conveyor beltに伴う下層からの水蒸気輸送が重要であることを示した (Tomikawa et al., in prep.)。

f) 極域・寒冷域における降雪量、積雪深観測の高精度化

WMOが進める個体降水国際比較実験 (Solid Precipitation InterComparison Experiment: SPICE) の報告を出版した。この成果に基づいて58次夏期のS17、59-60次の昭和基地、59次冬期の内陸旅行中のそれぞれの観測から降雪量を求めている。

また、62次隊で南極・昭和基地の降水レーダーを導入するための準備を進めている。これまでの陸別町のデータに基づいて、レーダーのデータから昭和基地の降水量の評価を行う。

g) エアロゾル粒子が極域混相雲内での雲物理に与える影響の評価

エアロゾル粒子の氷形成能力を評価するためのオリジナルの実験系を完成させた (Tobo 2016, Sci. Rep.)。スバル諸島より持ち帰ったエアロゾル試料を利用して、北極域混相雲内でのエアロゾル-雲相互作用を研究している。

MOSAiC (Multidisciplinary drifting Observatory for the Study of Arctic Climate) や COMBLE (Cold-air Outbreaks in the Marine Boundary Layer Experiment) といった国際共同研究プロジェクトの一環として、スバル諸島・ニーオルスンのZeppelin山およびその山麓にあるGruvebadet観測所に自動エアロゾルサンプラーを設置し、エアロゾル粒子のサンプリングを行った。

海洋地球研究船「みらい」による北極航海中 (2019年9月27日~2019年11月10日) には、海洋大気中に含まれるエアロゾル粒子の挙動を理解するためのエアロゾルサンプリングを実施した (サンプリングは、みらいに乗船したJAMSTECの共同研究者に依頼)。これらの活動で得られたエアロゾル試料の分析については順次開始しており、今年度は北極海・ベーリング海・北太平洋の上空における氷晶核として働くエアロゾル粒子の数濃度-粒径分布に着目した分析に重点的に取り組んだ (極地研のCRAFTを使用)。

h) エアロゾルの極域への輸送・氷床内に取り込まれる課程の研究

「大気・雪氷・海洋間の物質交換・循環と極域への物質輸送に関する研究集会」を開催した。

今後の研究の展望と期待される成果

- ・ 東南極の温度変化と氷床の涵養/消耗の実態を把握するために、南極観測J60-J63計画に参画し、南極氷床上でのAWS (無人気象観測装置) の維持やゾンデ観測、係留気球観測、UAV観測など

を組み合わせ実施し、総観規模大気循環による影響を含めて、通年の極域-中・高緯度間、大気-氷床間、大気-海洋間のエネルギー・水・物質の輸送に関する観測データを得る。また、今後10年以上に亘って長期的に継続できる観測態勢を整える。これにより、東南極で温暖化の兆候が現れた場合に、その検出、そのメカニズムの解明をする。

- ・WMO/PPP、及びYOPPへの貢献を継続し、現地における集中的なゾンデ観測、海洋ブイ観測等を展開する。今後、観測データの有無が数値予報精度に与える影響を研究していく。これまでの研究から北極域、南極域ともに極渦の正しい把握が予報精度の改善に重要であることが示唆されているが、その性質を更に確かめること、どの地域の観測データが予報精度の向上にとって重要ななど、観測の重点化に関する研究を行う。そのため、観測の有無によって生じる再解析データや予報データの誤差伝播の影響も診断することで、極域観測網の維持体制に資する知見を導く。特に、北極域の変動については、中高緯度気候への影響を含めて研究する。

これによって得られる精緻な再現データに基づいて近年の極域気候システムの変動のメカニズムの解明に繋げる。

- ・UAVの観測体制を強化し、氷床内陸域、冬季の観測から、南極内陸域への物質輸送の研究を発展させる。
- ・南極昭和基地において大気中温室効果気体およびその関連成分、同位体比のモニタリング観測を維持継続するとともに、従来蓄積してきた各観測結果をまとめてデータベース化する。各成分の長期的な動態について、三次元大気輸送モデルによる数値実験結果も利用して物質輸送・循環に着目した解析を進めることで、各気体成分の変動要因、気候・環境変動との関係を考察し、地球表層の温室効果気体の収支を定量的に評価する。得られる結果は、温室効果気体循環、炭素循環の基礎的な情報として、気候変動の将来予測研究推進への貢献が期待される。
- ・昭和基地での水蒸気ゾンデ観測を継続し、南極上部対流圏・下部成層圏における水蒸気量決定プロセスの理解、極成層圏雲との関係を明らかにし、衛星水蒸気観測の検証に必要なデータを提供する。
- ・南極、北極域のこれまでより精度の高い降雪観測データを提供する。そのためにSPICEから得た知見に加え、国内観測実験を更に重ねる。また、その知見を極域での観測に反映させる。
- ・野外観測や室内実験により、エアロゾル粒子が極域混相雲内での氷形成に及ぼす影響などを評価する。また、エアロゾルの極域への輸送・氷床内に取り込まれる課程を研究する。

今後の研究計画

2020年度

両極域の温暖化、水・物質循環システムの現地観測、数値モデル、衛星データを用いた研究

a) 東南極域の温暖化、水・物質循環システムの研究

- ・南極氷床上の降雪分布に影響する総観規模循環と氷床地形の相互作用を明らかにし、氷床表面涵養について、AWS・雪尺の観測値と比較する。
- ・AWS・雪尺の観測値、及び数値モデル結果を併せて、南極氷床上の気温、表面涵養、放射収支、雪温について、年々変動を明らかにし、その原因を研究する。その際、日変化と総観規模循環を

考慮する。

- ・ 大気トレーサー物質（ラドン、⁷Be）の観測を実施し、これまでの観測値を合わせて大陸沿岸部及び内陸の総観規模大気循環による物質輸送について研究する。
- ・ 氷床上及び南極海洋上でのゾンデ観測を実施し、氷床上・南大洋・氷床周辺の大気循環の構造の季節変化、経年変化を明らかにする。
- ・ 前年度から引き続き各気体濃度変動の解析を実施し、各変動の要因について考察する。特にCO₂については、その変動に密接に関係するO₂やCO₂同位体比の変動と組み合わせた解析により、地球表層のCO₂収支を定量的に評価する。過去に得られたCO₂収支推定結果との比較により、近年のCO₂収支の変化の特徴を明らかにし、CO₂の放出・吸収源の年々の変動について、その原因、気候・環境変動との関連性を考察する。

b) 北極・南極域の大気循環場の精緻な再現による極域気候システムの研究

- ・ YOPP-SHのSOP（特別観測期間）等を実施した観測を用いて、強化観測のインパクト、及び精密データを用いた極域の降水システムの研究を行う。
- ・ 2022年4月～7月に予定されている国際強化観測（YOPP-SHの第2回SOP）における日本の活動の計画を調整するとともに、2018年に実施した昭和基地等におけるラジオゾンデ観測のデータ同化実験を行う。
- ・ 2018、2019年度に取得した雲粒子ゾンデのデータを解析し、雲粒子の総数、水・氷・混相雲の判別、粒径分布について、他の測器・衛星センサーから得られるパラメータとの比較から定量的な議論をおこなう。
- ・ ロシア製のラジオゾンデセンサーで取得される大気プロファイルの質に関する調査をVaisalaや明星電気などの等のメジャーなセンサーと比較する。また、ラジオゾンデ観測の代替・補間観測システムとして、汎用ドローンの利用を検討する。特に、室内実験・野外実験を通じて適切な気象センサーの選択と配置、飛行方法を試行し、GTSにデータ配信できる精度を確保する基礎研究を進める。

極域・寒冷域における降雪量、積雪深観測の高精度化

- ・ WMO/ SPICE（降水国際比較実験：Solid Precipitation InterComparison Experiment）から強風時にディストロメータの過大評価が起こることが明らかにされており、その補正や観測方法の改善について検討する。
- ・ 南極、北極域の降雪データの取得に取り組む。

エアロゾルの極域への輸送と生成、極域混相雲内での雲物理、氷床内に取り込まれる課程の研究

- ・ 北極域混相雲内でのエアロゾル-雲相互作用を研究する。
- ・ MOSAiCおよびCOMBLEプロジェクトの期間中にニーオルスンおよび海洋地球研究船「みらい」の北極航海で得られたエアロゾル試料の分析を重点的に行い、エアロゾル粒子の氷晶核としての活性などについて調べる（極地研のCRAFTを使用）。それらの観測結果や化学輸送モデルによる数値シミュレーションの結果などを参照することにより、北極域の下層大気中において氷晶核として働くエアロゾル粒子の季節性や地域性について考察する。

2021年度

- ・AWSによる観測データとNHMによる予報データとの比較を進め、観測データの信頼性を確認するとともに、数値モデルの系統的なエラーを検出し、計算スキームの改良を図る。
- ・AWS・雪尺の観測値、及び数値モデル結果を併せて、南極氷床上の気温、表面涵養、放射収支、雪温について、年々変動を明らかにし、その原因を研究する。その際、日変化と総観規模循環を考慮する。
- ・氷床上でのゾンデ観測を強化し、過去のデータを併せて氷床上の大気循環の構造の年々変化を解析する。
- ・大気トレーサー物質（ラドン、 ^7Be ）の観測を新たに実施し、南大洋、大陸沿岸部及び内陸の総観規模大気循環による物質輸送について研究する。
- ・YOPP-SH期間中の顕著現象（豪州熱波等）に着目した観測システム実験を実施し、南極の観測データが果たす中高緯度の予測可能性研究を進める。他国の計算結果等の相互比較も実施する可能性がある。
- ・前年度から引き続き各気体濃度変動の解析を実施し、各変動の要因について考察する。特に CO_2 については、その変動に密接に関係する O_2 や CO_2 同位体比の変動と組み合わせた解析により、地球表層の CO_2 収支を定量的に評価する。過去に得られた CO_2 収支推定結果との比較により、近年の CO_2 収支の変化の特徴を明らかにし、 CO_2 の放出・吸収源の年々の変動について、その原因、気候・環境変動との関連性を考察する。
- ・水蒸気ゾンデ観測データを用いた衛星水蒸気観測（e.g., MLS等）の検証を行う。
- ・南極、北極の降雪量の年々変動の長期解析に耐えるデータ構築方法を確立する。
- ・北極域混相雲内でのエアロゾル-雲相互作用を研究する。

プロジェクト研究員の果たした役割

2017年～2019年度にプロジェクト研究員として山田恭平を採用した。成果は以下の通り。

- ・極地研 curx/pyxis サーバー上において局地気象予報モデル（NHM）を用いて南極域全域の1日2回の48時間予報を開始・継続している。この結果は昭和基地の野外活動に活用された。計算結果をアーカイブし続けている。昭和基地、氷床上のAWSでの観測値とモデルの予報値を比較し、気温や風向風速の時間変動がよく一致していることを確認した。一方、相対湿度に特徴的な差異が現れることが分かり、原因について検討中である。
- ・複数地点のAWSデータに品質管理の一つとして観測高度の画一化に取り組んだ。
- ・昭和基地の1月の風速記録を更新したブリザードを対象として、地形性ブロッキングが強風を形成するメカニズムであることを明らかにした。ブリザードに伴う南極内陸域への降雪の供給についても解析を始めた。
- ・第59次越冬隊において、冬季の中継拠点観測旅行、及び夏季のドームふじ観測旅行に参加し、中継拠点でのAWSの設置、既設のH128及び新ドームふじのAWSの保守、及び各旅行中の高層気象ゾンデ観測等を実施した。これらのデータは南極内陸域の気候変化を検出するための基礎データとなる。観測データを世界中の気象局に配信した。

極地研の役割と所外研究者との協力体制

・ YOPP等に対する貢献

JARE及びArCSで実施している高層気象ゾンデ観測やAWS観測はYOPPへの貢献を続け、各国の気象局の日々の気象予報の改善にも繋がっている。今後繰り返される再解析全球気候データの作成時に常に利用されるデータとなった。

AWS観測においては、米国ウィスコンシン大学を中心に精力的に実施されている既存の観測コミュニティとの連携を図っている。

観測・研究の実行の際、気象庁及び南極観測隊気象部門との連携を構築でき、この信頼関係は将来の新しい協力関係を作る際の糧になる。

・ 地球温暖化の監視とメカニズム解明に対する貢献

国際社会的な関心事である、南極域の温暖化や海水準上昇に関わる氷床表面の質量収支の観測データを取得・解析している。即時データとしては既に公開しているが、気候変動の視点でデータをまとめることは、更に重要な情報となる。

・ UAVを使った観測は今後ますます活発になると考えられる。58次隊で実施した観測は南極域で初めての大掛かりな観測の成功となり、ATCM/COMNAPの南極無人飛行機に関する検討委員会に委員に対して、UAVの種類、オペレーションの進め方等に関して価値ある情報として共有された。南極でのUAV利用に関するガイドライン策定への貢献があった。

また、気球に吊り下げて上昇させ、気球から切り離して帰還させるシステム（気球浮揚UAV観測）は本研究を開始する以前から共同研究を続けていた。これまで高度23km、10km、5kmからの帰還を成功させ、フィルター上へのサンプルを持ち帰っている。この発展は、UAVによる観測、観測目的に応じたUAVの開発など、国内の理学、工学の研究者、及び企業等、産業界を含めたのコミュニティ形成に貢献している。

・ 昭和基地における温室効果気体モニタリング観測によって得られた観測データの一部は、米国NOAAの国際的なデータ公開プログラムに提供し、全球の温室効果気体濃度変動監視の一翼を担っている。東北大学の研究分担者は同モニタリング観測の毎年の準備、維持作業に直接的に関わっており、安定的な観測維持のほか、観測データの解析・解釈に大きく貢献している。

・ SPICEの観測サイトを陸別町に維持しその観測結果を最終報告に反映させたことにより、SPICEへの貢献が明示的に示された。この活動で連携した気象庁、WMOとの信頼関係は将来の様々な活動の糧になる。また、我々の報告は気象庁オリジナルの測器、ディストロメータの解析、重量式降雪量計に現れる温度依存性など、他のサイトにはない成果を多く含んでおり、この成果を極域の降雪量観測に活かす試みとともに、降雪観測のコミュニティにとって貴重な情報となる。

研究課題の達成度・問題点及び今後の改善策

達成度

計画した下記の項目について、概ね順調に進んでいると考えている。ただし、「東南極域の海

氷状態と大気環境との関連」、及び「エアロゾルの極域への輸送・氷床内に取り込まれる課程の研究」については、計画期間の後半に観測及びデータ解析を進めることになる。

- a) 東南極域の温暖化、水・物質循環システムの研究（100%）
- b) 北極・南極域の大気循環場の精緻な再現による極域気候システムの研究（80%）
- c) 北極・南極域の気候に関するモニタリング観測データの解析（100%）
- d) 東南極域の海氷状態と大気環境との関連（10%）
- e) 高解像度観測による南極対流圏界面の精密研究（100%）
- f) 極域・寒冷域における降雪量、積雪深観測の高精度化（100%）
- g) エアロゾル粒子が極域混相雲内での雲物理に与える影響の評価（100%）
- h) エアロゾルの極域への輸送・氷床内に取り込まれる課程の研究（10%）

問題点・改善策

- ・ 領域気象モデルの運用

前半3年間の運用を実施した。関連研究課題（科研費）で更に長期のデータ作成が行われるようになり、連続予報計算を停止し、イベント解析用の利用に変更した。モデルとAWSとの比較研究がやや遅れており、残りの期間で実施したい。

- ・ 研究員の雇用

予定していた研究員の退職に伴い、新しい研究員を雇用することが望ましい。しかし、経費的な制約があるため、関連の外部資金と合わせて可能な範囲で雇用することになる。科研費等の外部資金を用意する必要があり、その準備を進めてきた。

- ・ UAVの安定運用

UAVは物質輸送観測の重要な方法である。研究コミュニティとしては観測の能力を備えているものの、その人的資源には余裕がない。また、低温下での飛行については、無人飛行のための装備品（無人飛行制御装置）の動作確認が十分ではない可能性がある。これらのことに対応すべく、より高い計画性が必要になっている。

- ・ 内陸観測の維持

AWSの保守、及び氷床上での高層気象ゾンデ観測を継続することは当プロジェクトにとって重要である。しかし、内陸観測の担い手が減っており、今後の継続のために、人的な確保を広範囲に広げるなど、更に強力に努力する必要がある。

研究課題に関連する外部資金の獲得状況

科研費

若手研究（B） 2014-2016 代表：富川喜弘 「南極成層圏の水蒸気量変動が気候に与えるインパクト」 配分総額：364万円

基盤研究（B）一般（2015～2018）：西太平洋～インド洋海域洋上エアロゾルの光学特性と変質（塩原匡貴）

基盤研究（B）一般（2015～2018）：南極沿岸域の炭素質エアロゾル：低中緯度域からの輸送とその起源（原圭一郎）

基盤研究 (C) 一般 (2015~2017) : 精度良い降雪量観測に向けた降雪粒子自動観測の試行 (小西啓之)

挑戦的萌芽 (2015~2016) 手軽に高精度で、大気中の氷晶核の数濃度を計測できる手法の検証 (當房豊)

若手研究B : 大気中アルゴン濃度測定システムの開発と海洋・陸上生物圏のCO₂吸収量定量評価、後藤大輔、2015-2017、300万円

科学研究費補助金(若手研究(A))「北極域混相雲の頻発領域におけるエアロゾルの氷晶核能の詳細解明」、研究代表者：當房豊、2016~2018年度、22,880千円 (直接経費：17,600千円、間接経費：5,280千円).

基盤研究 (B) 海外 2017-2019 代表：富川喜弘 「高解像観測による南極対流圏界面の精密研究」 配分総額：1729万円

科研費・基盤研究 (A) : 北極漂流横断観測による「新しい北極海」の探究 (代表：猪上淳)、2018年度~2021年度 (直接経費総額：33,600千円)

科研費・国際共同研究強化 (B) : 日独共同観測による「北極の湿潤化」の追究 (代表：猪上淳)、2018年度~2020年度 (直接経費総額：13,900千円)

南極新学術領域・公募課題：南半球における中高緯度大気循環の不確実性の定量化 (代表：猪上淳) 2018年度~2019年度 (直接経費総額：3,000千円)

科学研究費補助金(基盤研究(A))「海洋大気バイオエアロゾルの起源と氷晶核化：蛍光特性で探る生態系・物質・雲のリンク」、研究代表者：金谷有剛 (研究分担者：當房豊)、2018~2020年、44,330千円 (直接経費：34,100千円、間接経費：10,230千円).

JAXA

降水観測ミッション (PMM)、(2016~2018) : 北東ユーラシアにおける降水観測ミッション陸域共同検証研究 (飯島慈裕) : 3000万円

降水観測ミッション (PMM)、(2016~2018) : GPMアルゴリズム改善に資する降雪粒子形状記録を含む降雪粒子の地上観測 (小西啓之) : 255.3万円

ArCS

北極気候・気象・海洋環境変動研究分野 (2015~2019) : 気象・海氷・波浪予測と北極海航路支援情報の統合 (猪上淳)

短期寿命気候汚染物質研究分野 (2015~2019) : 北極気候に関わるブラックカーボン等のエアロゾル動態・発生源と雲・放射影響 (小池真)

グリーンランドにおける気候・氷床変動の研究 (2015~2019) : グリーンランド氷床の変動と急激な気候変動メカニズムの解明、及びその影響評価 (東久美子)

その他

環境研究総合推進費「地球温暖化に関わる北極ブラックカーボンとダスト粒子の動態と放射効果」、研究代表者：小池真 (研究分担者：當房豊)、2017~2019年度、120,000千円(最大).

KP303 南極における氷床－海氷－海洋相互作用の観測研究

研究期間：2016年度から2019年度（4年間）

研究代表者氏名：田村 岳史

共同研究者数：所内 8+2 人、所外 22 人

研究目的

氷床（氷河）－海氷－海洋システム間の相互作用の鍵を握るのは海洋である。東南極沿岸における特徴的な相互作用特性の把握と背景環境要因の特定を目指すとともに、特にリュツォ・ホルム湾（LH湾）域で顕著な十年規模変動の実態把握を目的とする。これまで観測がないウィルクスランド沿岸域を対象に加え、従来の観測手法に新たな観測装置および測地学的手法を融合させた分野横断型観測研究により、これらの課題でのブレイクスルーを目指す。

東南極沿岸を特徴付けるトッテン氷河－ビンセネス湾（ウィルクスランド沖）、ケープダンレーポリニヤ、およびLH湾の三海域に着目し、南極底層水形成につながるビンセネス・ケープダンレー域と、底層水形成のないLH湾での対比的な観測により、地形的な条件や大気・海洋の気候的条件と海氷生産・陸氷融解との関連性を探る。しらせをウィルクスランド沖（東経110－120度）の陸棚域に回航させて、船舶海洋－海氷観測、ROV/AUV観測等により、海氷厚の分布、トッテン氷河近傍への暖水アクセス、氷河融解水の分布・生物地球化学的特徴等を明らかにする。ビンセネス湾では新たに開発するプロファイル型係留系により、海況の季節変化と海氷生産の影響を解明する。ケープダンレー沖では、プロファイル型係留系を用いて、海氷生産と海洋構造の関連および海況の十年規模変動を探る。過去に実施した海洋観測との比較により、経年的な海洋特性変化把握にもつながる。

LH湾では、白瀬氷河を中心とする氷河－海氷－海洋システムの実態把握に加え、十年規模以上のシステム変動の解明に注力する。白瀬氷河とラングホブデ氷河における海洋熱供給と氷河融解・淡水流出を評価するため、ROV/AUVによる氷下観測、GPS氷上多点展開による変位観測、プロファイリング係留系による海洋・海氷観測、氷河上の直接観測等といった新たな手法の融合により、時空間的に稠密な氷床・海氷動態、氷河底・近傍海洋の観測研究を実施する。直近では2007年以降、LH湾定着氷域では大規模な崩壊、流出が発生していないが（*注：その後2016年に大規模流出発生）、過去36年間の変動傾向に見られる準周期性から今後の変動の可能性やその物理機構を明らかにするため、多年氷の物理・化学的構造を把握する現地観測が不可欠である。

研究経過と成果

これまでの研究観測の経過について主要4項目と、これまでに得られた研究成果の内の主要2項目について下記にまとめる。

研究観測1：LH湾

LH湾内の定着氷下の水温塩分プロファイルの空間分布データを取得するために、LH湾内において「しらせ」停船観測によるCTD・採水観測と航走観測による海底地形測量を行った。「しらせ」停船観測によるCTD観測点数は2016年度に31点、2017年度に27点となった。これらにより、白瀬氷河の底面を融かしている暖かい海水の流入の過程および白瀬氷河の融解水の流出過程を明

らかにすることが可能となる（詳細は後述）。10年に一度のLH湾の定着氷の大規模流出によって、広範囲に渡る水温塩分データを二年連続で取得し、LH湾・白瀬氷河における氷河・海洋相互作用の理解を前進させる決定的なデータを得ることとなった。

研究観測2：白瀬氷河

氷河の動的状態を定量的に把握するため、白瀬氷河上にGNSSを多点展開した。複数台の2周波GPS装置を活用し、夏期の集中観測や通年観測を通じて、流動ベクトルを鉛直方向も含めた三次元で高精度に計測し、陸氷と海洋の力学的相互作用を評価することを目的としている。また、白瀬氷河の浮氷舌上にApRES（氷河氷厚レーダ）を設置し、白瀬氷河氷厚の変化の通年モニタリングを開始した。これによって、上記の白瀬氷河における氷河・海洋相互作用の理解の鍵となる、白瀬氷河自身の融解量を、一点ながらも通年でデータを取得することができ、海洋観測によって推定できる、海洋が白瀬氷河底面を融かしている総量との比較を行うことができる。

研究観測3：ケープダンレー

ケープダンレーポリニヤにおける海氷・海洋観測を実施した。東南極沿岸を特徴付ける三海域の一つであるケープダンレー沖海域に着目し、高海氷生産による高密度陸棚水の形成過程の定量的把握と、上流に位置する棚氷・冰山群を含めた淡水・物質循環過程を捉える事を目的としている。これまでのケープダンレープロジェクトで実施した海氷生産と海洋構造の関係に関する観測を進展させ、「しらせ」によって海底係留式自動浮沈水温塩分測定ブイと時系列採水器を主力とした係留系を設置・回収した。これらから取得されるデータによって、衛星海氷生産量の検証を行い、水塊特性の季節発展の詳細解析による淡水起源の把握を目指す。

研究観測4：ウィルクスランド沖

トッテン氷河付近の水温塩分プロファイルの空間分布データを取得するために、トッテン氷河近傍において「しらせ」停船観測によるCTD・採水観測と航走観測によるXCTD観測及び海底地形測量を行った。「しらせ」停船観測によるCTD観測点数は約30点、航走観測によるXCTD観測点数は約200点となった。Dalton Polynya～Moscow University Ice Shelf～Totten Glacierに至る広範囲の海洋観測データを解析することにより、トッテン氷河の底面を融かしている暖かい海水の流入の過程およびトッテン氷河の融解水の流出過程を明らかにすることが可能となる。東南極沿岸を特徴付ける三海域の一つであるトッテン氷河近傍海域に着目し、トッテン氷河を中心とする氷河・海洋相互作用の理解を前進させるデータを得ることとなった。

研究成果1：LH湾氷河海洋相互作用

第58次、59次南極地域観測夏季期間中（2016-18年）及び第31次、32次南極地域観測越冬期間中（1990-92年）にリュツォ・ホルム（LH）湾の広域で実施された海洋観測のデータ（Ushio and Takizawa, 1993; Ohshima and Kawamura, 1994）をもとに、氷河と海洋の相互作用という新たな観点で解析を行った。

LH湾の中央部には、白瀬氷河へと続く海底峡谷が存在し、氷河末端近傍では1200m程の水深を有する。海底峡谷内の谷底では、約400m以深に温暖な周極深層水が分布しており、氷河近傍でも0℃を超える温暖な水塊が分布していた。対照的に400m以浅では、海底峡谷内の南北間で顕著な違いが見出された。北側（昭和基地とほぼ同緯度の海域）では、海面から400m深にかけて結氷点

近傍の水温一様層が形成されており、これは冬季の対流混合で形成されたことによる典型的な水温構造であると考えられた。一方、南側の白瀬氷河末端近傍では、垂表層 200~400m 深に特異な特徴が見られ、峡谷内北側と比べて高い水温の水塊が楔状に貫入する構造を呈していた。この地点における流速の時系列データから、特異的な構造が見られた垂表層では、北向きの流れに伴い高温のシグナルが出現するという関連性が見られた。

これらを総合的に解釈した結果、(1) 沖合から流入した温暖な周極深層水は、主に LH 湾の海底峡谷に沿って白瀬氷河末端域へと流入し、氷河底面を融解させる、(2) 周極深層水は底面融解水と混合して変質し、氷河下の垂表層から北向きに流出する、という一連の白瀬氷河と海洋の相互作用が示唆された。また、LH 湾北東斜面域の卓越風の季節変動に連動した冬季水の層厚の変化を介して、LH 湾内への海洋熱フラックス、つまり白瀬氷河底面融解率の季節サイクルが引き起こされているとも結論づけられた。この大気・海洋・氷河相互作用は、南極沿岸域での卓越東風の将来変化が南極棚氷/氷舌の底面融解の将来的な動向をコントロールしうる 1 つの重要な要素となりうる、という一般性を示唆している。

研究成果 2 : LH 湾定着氷変動

2016 年 4 月、南極・昭和基地のあるリュツォ・ホルム湾を覆っていた定着氷が大規模に崩壊し、一気に流れ出した。これ以上の規模で定着氷が流れ出したのは、10 年以上前の 1998 年にさかのぼる。定着氷とは、陸などに固着して成長するほとんど動かない海氷のことで、昭和基地周辺はこの定着氷に閉ざされて南極の沿岸でも到達が難しい（インアクセシブル）場所として知られてきている。このリュツォ・ホルム湾の定着氷について、大規模な崩壊イベントが過去に何回か起こっていることは知られてきたが、定着氷がどのようなタイミングでどこまで割れるのかについては明らかにはなっていなかった。

昭和基地で受信された人工衛星画像から、1997 年にさかのぼって定着氷が毎年どこまで崩壊するのかを読み取り、昭和基地で行われている気象観測記録や全球規模での海面水温観測資料との比較を行った。定着氷が季節的に最も割れこむのは秋（4 月）なので、4 月に割れ込んだ緯度と地上気圧や海面水温などの気候学的な変数の月平均値との相関関係を解析した。

解析の結果、湾内の定着氷が崩壊する割れ込みの深さは、約 1 万 7 千キロ離れた熱帯太平洋の海面水温が暖かいときほど深くエルニーニョに対応する、という傾向が見られた。定着氷の崩壊は、その背後に流れ込む白瀬氷河の末端の位置にも影響する。白瀬氷河は南極で最も流れの速い氷河の一つであるが、流れ出した氷河の末端部は、海に広がる定着氷に押し止められる。定着氷が大規模に流れ出すと、支えを失った氷河の末端部も同時に流れ出す。白瀬氷河の末端は、1960~1970 年代に最も張り出していたが、1980 年代の初めには大きく後退していた。一方、熱帯太平洋は 20~30 年周期の全球気温変動を決めるペースメーカーともいわれ、熱帯の海面水温は 1970 年代後半を境に急に暖かくなったと考えられている。この時期を境に強いエルニーニョの数も増えた。この熱帯ペースメーカーが南極氷河の末端流出のタイミングを握っている可能性がある事が明らかになった。

今後の研究の展望と期待される成果

今後の研究の展望

南極の氷床－海氷－海洋システムは、地球規模の海水位、海洋深層循環、気候形成に重要な役割を果たしており、このシステムの鍵を握る海洋の役割は注目を集めている。中でも西南極と東南極の氷床・海洋特性の相違、西南極氷床の潜在的な不安定性についてはこれまでも指摘され、近年の西南極氷床の融解加速と海洋の役割については、IPCC 第五次評価報告書でも海水位の将来予測の中で大きな不確定要素とされる。一方で東南極氷床においても、ウィルクスランドのトッテン氷河における近年の急激な融解に注目が集まっており、南極の棚氷・氷河において、次に不可逆的臨界点を迎えるであろう最有力候補として、どこの国でもいいから観測研究を早急に進めなければならないと位置づけられている。

本研究では、東南極における氷床－海氷－海洋相互作用特性の地域的相違の解明と十年規模変動の実態把握を目指す。具体的には、東南極において棚氷融解が顕著とされるウィルクスランド沖と、それとは対照的な白瀬氷河周辺域を舞台とした氷床－海氷－海洋相互作用の素過程の詳細な把握を目指す。また、リュツォ・ホルム湾域に見られる定着氷や氷河氷舌の十年規模変動、および海洋経年変動の実態とそれとの関係性を明らかにする。

本研究の遂行には特に東南極における現場観測が不可欠であるが、第IX期南極地域観測事業における重点研究観測サブテーマ2（課題名：氷床・海氷縁辺域の総合観測から迫る大気－氷床－海洋の相互作用）が、本課題の研究期間と同期間において採択されているため、現場観測の実現可能性は既にある程度担保されている。

これまで行ってきた現場観測及び衛星観測に基づく氷床・海氷・海洋観測研究をさらに進展させた上で、新たな無人観測装置・測地学的手法・バイオリギングを活用した分野横断的観測研究を行う事により、南極気候システム理解のブレークスルーを目指す。

期待される成果

南極大陸棚域全域を網羅することは不可能であるが、本研究で対象とする海域における相互作用レジームを理解することで、東南極沿岸域を大きく代表し得る。局所的に見ても、本課題の対象海域は、海洋深層循環を通して直接・間接的に全球的な影響をもつ。ウィルクスランド沖は南極底層水形成域として新たに注目され、その理解が底層水形成の新たな描像の把握に貢献する。ケープダンレー沖も南極底層水の形成域の一つであり、その下流域で起きている底層水変化の要因特定にも寄与する。LH湾を含むエンダビーランドでは、底層水が形成されていないものの、氷河－海氷－海洋システムの詳細な理解は普遍的な応用を可能にする。十年規模と長期トレンドの把握は、南半球環状モードとの対応関係の理解により、より広域での変動把握につながる。海水位変動ならびに GIA の精密な評価も、全球的な海水位変動把握に貢献する。

本研究による氷床－海氷－海洋システムの把握および変化の把握は、S00S、CLIVAR/S0 Panel、および CliC といった国際プログラムに大きく貢献するものである。また、ウィルクスランド沖での観測提案に関しては、オーストラリア南極プログラムおよび ACE CRC と協同で実施した成果がベースとなっている。トッテン氷河近傍での観測については、しらせの高い砕氷能力に期待する同国の研究コミュニティから強い要望が寄せられている。LH湾内の定着氷域での観測について

は、Antarctic Fast Ice Network (AFIN)から、強い要望が寄せられている。十年規模および長期変動の把握は、IPCC 第五次評価報告書でも十分でない全球規模の淡水供給と海洋塩分との収支の変化に関して、その評価を前進させ誤差を低減することに役立つ。ウィルクスランド沖での融解加速の可能性に関する、基礎的な知見の取得につながる。

今後の研究計画

2020 年度

【研究観測】

ラングホブデ氷河における氷河・海洋観測を行う。2017 年度に実施した熱水ドリルによる掘削観測点および接地線上流側で同様の掘削観測を行うことにより、底面条件が流動に与える影響などを観測する。加えて、氷河前面の定着氷上・下の海洋・GPS・ROV 観測を行うことで、流入する海水の特性が氷河の底面での融解に与える影響を潮汐スケールから季節変動スケールにわたり調査する。また、氷河下海水サンプリングにより、物質輸送・交換過程を調べる。

【研究 1】

ラングホブデ氷河における海洋熱供給と氷河融解・淡水流出を評価し、氷河 - 海氷 - 海洋システムの実態を把握し、十年規模以上のシステム変動の解明に繋げる。また ROV 観測の実施により、海氷厚の分布、氷河融解水の分布・生物地球化学的特徴、高解像度の海底地形データ取得等の成果を得る。また、この年度の観測の結果に、それ以前のラングホブデ氷河及び LH 湾内の定着氷の観測結果を加え、白瀬氷河とラングホブデ氷河における海洋熱供給と氷河融解・淡水流出を評価し、白瀬氷河を中心とする氷河 - 海氷 - 海洋システムの実態把握に加え、十年規模以上のシステム変動を解明する。これは、LH 湾内の定着氷の安定性を支配する要因についての解明にも繋がる。

【研究 2】

トッテン氷河近傍において、海氷厚の分布、トッテン氷河近傍への暖水アクセス、氷河融解水の分布・生物地球化学的特徴等を明らかにする。またビンセネス湾では、海況の季節変化と海氷生産の影響を解明する。以上をもって、東南極沿岸を特徴付ける三海域の対比的な観測が完了し、地形的な条件や大気・海洋の気候的条件と海氷生産・陸氷融解との関連性を明らかにする。

2021 年度

【研究観測】

LH 湾での観測においては、新たに AUV (Autonomous Underwater Vehicle) を展開することにより、氷河・定着氷下を含む広域での三次元的な水温・塩分プロファイルを取得する。

【研究 1】

前年までの観測に加える形での AUV 観測の実施により、海氷厚の分布、氷河・定着氷近傍への暖水アクセス、数値モデル研究に必須な海底地形データ取得等の成果を得る。これにより、氷河 - 海氷 - 海洋システムの実態把握と、十年規模以上のシステム変動の解明をさらに進展させる。

【研究 2】

本課題の成果を総括すると共に、以降のプロジェクト研究としての継続有無を検討する。デー

タ解析、研究集会開催、学会等における発表と論文投稿を行ない、最終年度としての研究総括を行なう。総括においては、将来の展望に加え、新たな現地観測データ取得の必要性についても議論する。また、計画の達成度や成果のアウトプットに応じて、以降の発展を見据えた科研費等の外部資金や所内プロジェクト研究を申請する。

プロジェクト研究員の果たした役割

2名の研究員が採用され、以下の研究を実施した。

- ・ **平野大輔**：過去の JARE 海洋観測のデータをもとに、氷河と海洋の相互作用という新たな観点で解析を行った。その結果として、LH 湾にある白瀬氷河と海洋との相互作用が示唆された。この知見をもとに、本課題で計画した、LH 湾海洋観測の具体的な内容（測線や採水深度などの設定）の検討、立案に貢献した。2016～2017 年度に実施された関連の海洋観測では、上記の解釈を支持するデータが取得された。
- ・ **柏瀬陽彦**：南極海沿岸ポリニヤでの「フラジルアイスを考慮した海氷生産量」の長期変動解析を行うことのための基礎研究として、2003 年冬季にサハリン沖で取得された係留系現場観測データと衛星マイクロ波放射計データとの比較を実施した。これにより、時間分解能・空間分解能が大きく異なる現場観測データと衛星観測データとを比較するための手法を確立し、サブグリッドスケールでの詳細な直接比較を世界で初めて実現した。また、JARE 60 次夏隊へ参加し、南極海の海氷域において、ヘリコプター氷厚計観測、海中有線ロボットによる海氷下の海洋観測などを実施した。これらの現場観測によって得られる知見は衛星観測データとの比較・検証に活用されることが期待される。

極地研の役割と所外研究者との協力体制

本課題の実施により、分野横断的な、異なるアプローチでの融合を加速する結果となった。海洋と雪氷、測地といった分野を融合した現場観測研究の実施により、現場観測レベルでの協同のみならず、人工衛星観測へグラウンドトゥールズを提供し、棚氷を組み込んだ気候モデルなど現在発展しつつある数値実験手法の検証、パラメタリゼーションにも資する事となった。また、氷河下の生態系の把握や、古気候学、積雪をはじめとする大気科学へも知見を提供している。これらの結果、研究グループを跨いだ所内の共同研究メンバーを中心として、海外を含めた所外の幅広い研究機関の研究者を巻き込んだ、大きな研究コミュニティの構築に成功した。これが、所内外の研究者間の活発な共同研究に繋がり、研究発表という結果に実を結んでいる。なお、「9. 所外共同研究員数」に書かれた数字は本研究プロジェクト開始時の人数であり、この3年間で所外協力メンバーは2倍程度まで膨れ上がっている。

また、本課題の実施により、特に無人観測をはじめとする新たな機器開発および研究展開を促進してきた。これはこうした測器をベースにした、より機動力の高い観測機器の開発に繋がっている。これにより、従来では不可能な観測密度を実現できると同時に、夏季観測のみで通年観測の多くを実施できることから、人的資源への観測負荷の低減に繋がっている。本課題で新たな開発を進めてきている一部の器材は、豪州や韓国など他国でも興味もたれており、本課題での運

用成功は、世界に先駆けた観測成果となる一方で、他国をも巻き込んだ世界的な広域観測網の構築という研究展開へと繋がる発展性がある。

さらに、本研究では南極観測事業の枠組で夏季に精力的な現地観測活動を実施し、観測隊同行者としての大学院学生の観測研究への参加によって、極域海洋分野の若手研究者育成に貢献してきている。今後もこれを継続する事により、所内外間の共同研究のさらなる推進とコミュニティの裾野拡大・底上げに繋げる。

研究課題の達成度・問題点及び今後の改善策

LH 湾氷河海洋相互作用の解明や LH 湾定着氷の十年規模変動の解明をはじめとして、本研究課題の当初目的を着実に達成しながら研究を進めている。今後はこれに融解の激しいトッテン氷河を中心とするウィルクスランド沖での本格観測を実施する事により、東南極沿岸における特徴的な相互作用特性の把握と背景環境要因の特定を目指す。従来の観測手法に新たな観測装置および測地学的手法を融合させた分野横断型観測研究を進める事により、極地研研究者を中心として、海外を含めた所外の幅広い研究機関の研究者を巻き込んだ、大きな研究コミュニティの構築に成功し、これにより活発な共同研究を進めてきており、今後も十分に期待できる。

上記のように、本研究課題は順調に進捗しており、今後の目標課題達成についても不安要素は無いが、強いてあげるとしたら一つだけ問題点がある。それは本課題の根幹となる氷床－海氷－海洋相互作用の解明を推進する極地研の教員が乏しい事である。極地研内には本課題遂行の主要部分となる海洋物理学の教員が存在しない。プロジェクト研究員や所外共同研究者の働きにより、本課題の遂行に関して不安は無いが、本来、プロジェクト研究員は自身の将来を見据えて研究を行う必要があるし、所外研究者に過度に頼るのは極地研が推進する研究プロジェクトとしては好ましくない。これは所外の共同研究者から極地研に対して本気度を問われかねない問題である。

氷床－海氷－海洋相互作用の解明は、今後の地球の海水準予測をしていく上で、当面不可欠となる研究対象であり、極地研がコミュニティをリードして取り組まなければならない課題である。これに取り組む安定ポジションの極地研所属研究者を確保する事が肝要である。これにより、本課題終了後も含めた本研究のさらなる発展と波及が見込まれる。

研究課題に関連する外部資金の獲得状況

- ・科学研究費助成事業 若手研究 (A)、代表：田村岳史、2017-2020 年度、直接経費総額：16,700 千円、南極における氷床－海氷－海洋相互作用の解明
- ・科学研究費助成事業 基盤研究 (A)、代表：青木茂、2017-2021 年度、直接経費総額：31,600 千円、酸素同位体観測による南極沿岸海洋への氷床融解水流入の直接評価
- ・科学研究費助成事業 基盤研究 (A)、代表：大島慶一郎、2017-2019 年度、直接経費総額：34,200 千円、ポリニヤを起点とする熱塩／物質循環
- ・科学研究費助成事業 新学術領域研究 (研究領域提案型)「熱-水-物質の巨大リザーバ：全球環境変動を駆動する南大洋・南極氷床」、代表：野木義史、2017-2021 年度、直接経費総額：

182,300 千円、未探査領域への挑戦

- ・科学研究費助成事業 新学術領域研究（研究領域提案型）「熱-水-物質の巨大リザーバ：全球環境変動を駆動する南大洋・南極氷床」、代表：大島慶一郎、2017-2021 年度、直接経費総額：120,600 千円、南極底層水を起点とする熱塩循環・物質循環のダイナミクス（基盤 BC・若手 B・萌芽等の少額資金については記述を省略）

KP304 北極環境変動の解明に向けた国際共同研究の推進

研究期間：2016年度から2021年度（6年間）

研究代表者氏名：国際北極環境研究センター・教授・榎本浩之

共同研究者数：所内15人、所外12人

研究目的

北極域では急速な環境変化が進行している。その変化を正確に把握し、変化を引き起こすプロセスの解明と精度の高い将来予測が国際的に強く求められている。本プロジェクトでは、北極環境変動研究の基盤となる北極域モニタリング観測を維持・継続するとともに、分野を横断した北極環境研究を推進することを目的とした。

<温室効果気体>

温室効果気体（GHG）の増加と温暖化の顕在化への対応のため、GHGの収支を明らかにし、その気候・環境変化に対する応答を理解して、将来のGHG濃度を正確に予測することが重要である。北極域を含む北半球高緯度域には、多数のGHG放出源や吸収源が存在しており、温暖化に伴う自然起源の温室効果気体の放出が増大する可能性や、大気中CO₂濃度の上昇に伴う北方林によるCO₂吸収促進の可能性などが予想されている。温室効果気体の動向を監視し、その実態を把握することを目指す。

<大気成分-海洋相互作用>

2000年以降の全球平均気温の上昇が停滞しているという報告に対し、海洋貯熱量の方は増加を続けているといわれている。これは大気から海洋へ蓄積されている可能性を示唆しているが、今後、海洋深層に蓄えられた熱が地球表層に放出された場合、大気に急激な温暖化を生じさせる可能性が懸念される。本研究では、海洋貯熱量推定に向け大気中アルゴン濃度の計測を開始し、海洋との関係性について調査することを目的とする。

<雲、放射、エアロゾル、ブラックカーボン(BC)>

北極の気候変動で重要な役割を果たしながらも不明な点が多く残る雲・エアロゾルの特性やそれらの発生、輸送過程を正確に明らかにすることを目指す。さらに、北極域の極夜期におけるエアロゾルの光学的厚さの変動を明らかにする。また、ニーオルスンにおいてBCとダストの輸送、積雪への沈着課程を明らかにする。

<大気、海洋、海氷と生態系>

北極陸域の土壌圏から放出されるCO₂は活動層の厚さが変化することや二酸化炭素放出量の連続測定が困難なことなどの影響により実態が掴めていないため、温暖化の予測に関する不確実性の一つとなっている。そこで、土壌中の二酸化炭素濃度を連続的に計測することにより、濃度変化を捉えると共に、その変化の要因を明らかにすることを目的とする。さらに、鉛直方向に連続

した大気変動システムの検討を行う。また、海鳥の行動・生態について、物理環境変動との関連性や長期変動を探る研究にも着手する。

これらの観測結果と北極データアーカイブシステム（ADS）に集積した衛星データを活用し、様々な地表面の物理や放射特性に関する実証研究を進める。さらに、日本の北極研究の中核機関として、今後重点的に推進すべき北極環境研究の課題を探ることをめざす。

研究経過と成果

本研究課題では、北極環境変動研究の基盤となる北極域モニタリング観測の維持・継続と、新たな課題の抽出、そしてそれらを通じて北極観測活動の強化や拡大を模索してきた。環境モニタリングとしては、1991年のニーオルスン基地の観測開始当初から継続してきた温室効果気体が主要であるが、さらに大気、気象、地表状態、生態系の特徴の把握や変化の動向に注目している。また、国内外の共同研究の拡大にむけて国内研究者の活動域の雪氷関連の情報整備やニーオルスン基地のあるノルウェー、さらにチェコ、カナダ、アラスカの研究機関との共同研究を進展させている。

これらの環北極研究の取り組みや2016年に25周年を迎えたニーオルスン基地での共同研究の歴史の出版、および現地研究者及び屋内外の北極科学・政策担当者の参加を含めてのセミナーは、研究者はもとより社会的にも波及効果を及ぼすものであった。ニーオルスンの観測建物の新築と長期滞在研究支援員の配置など、新たな観測展開が始まるに至った。新観測建物の利用開始は、従来ラベンで行われていた観測項目の見直しと、設置場所の移動、およびGruvebadetなどの新しい設置場所の利用計画にもつながった。

<温室効果気体>

- ・ニーオルスンにおける週一度の大気採取と現地の連続観測を継続し、CO₂、CH₄、N₂O、CO、O₂の濃度およびCO₂の同位体比、CH₄の同位体比の高精度時系列データ蓄積を継続してきた。カナダ・チャーチルの大気サンプルから大気中CH₄の同位体測定を実施している。
- ・経年変動に関しては、ニーオルスンにおいて2013年までに得られたCO₂、O₂およびCO₂同位体比の経年変動を解析することにより、全球平均CO₂収支を推定した。2001-2013年の平均として、大気に放出された化石燃料起源CO₂のうち、陸上生物圏と海に吸収されている比率が明らかになった。
- ・ニーオルスンにおいて観測された18年間のCH₄濃度およびその同位体比変動の解析結果から、2000年代前半のCH₄濃度増加停滞は微生物起源および化石燃料起源の減少により生じ、その後の再増加は微生物起源CH₄の増加が原因であることが示唆された。
- ・大気中Ar濃度測定システムの試験および改良を進めた。
- ・2019年度中に行われたニーオルスン新基地利用開始に伴い、ラベンからGruvebadetへGHG観測装置の移設のための準備をおこなった。両基地建物で並行観測を実施した結果、データの質と

してGruvebadetでもラベンと同等のものが得られると判断できている。これは今後長期的な観測を続けるにあたり重要な確認作業となった。

<雲, 放射, エアロゾル, BC>

- ・ニーオルスンにおいて北極雲エアロゾル放射総合観測 (Arctic-CARE 2017) に参加, 北極域における雲の微物理特性やエアロゾルの光学特性およびその変動特性と雲エアロゾル放射相互作用に関してリモートセンシングを主体とする地上観測を実施した。

- ・北極域の極夜期のエアロゾルの光学的厚さの変動を明らかにするために, これまで日中の観測に用いていたスカイラジオメータを月光観測も可能となるよう改良した。

- ・ニーオルスンにおいて採取した積雪及び新雪のBC分析データおよびノルウェー極地研に依頼して採取した降雪のBC分析データの比較解析により, BCの沈着過程を調査した。

- ・2019年にMOSAiCやCOMBLE (Cold-air Outbreaks in the Marine Boundary Layer Experiment) といった国際共同研究プロジェクトの一環として, エアロゾル粒子のサンプリングを実施し, 氷晶核として働くエアロゾル粒子の数濃度計測を調べた。この活動で米国、ノルウェーとの共同研究を開始し, さらにAWIPEV基地の協力により, 北極域下層雲を構成する雲粒子の数濃度や相の直接観測を目的とした雲粒子ゾンデ (CPS) を放球している。

<北極海観測活動: 「みらい」での雲物理観測>

- ・海洋地球研究船「みらい」による北極航海中 (2019年) において海洋大気中に含まれる氷晶核として働くエアロゾル粒子の挙動を理解するためのエアロゾルサンプリングを実施し, 北極海・ベーリング海・北太平洋の上空における氷晶核として働くエアロゾル粒子の数濃度-粒径分布に着目した分析をおこなっている。

- ・夏季のスバルバル諸島の大气中でみられる微生物 (バイオエアロゾル) の挙動についても研究を開始した。その発生源のひとつだと考えられる氷河堆積物中に含まれる微生物 (細菌と真菌) の分析手法の検討, および予備実験 (培養実験やDNA解析など) を行なった。

<大気, 海洋, 海氷と生態系>

- ・北極陸域の土壌圏から放出される二酸化炭素の連続測定をめざし, ニーオルスン, 東ブレグガ-氷河後退域において, 地表面から放出されるCO₂を推定するために, AWI及び農研機構・農業環境変動研究センターとの共同研究体制でCO₂センサー, 温度計および土壌水分センサーによる観測を実施。さらに, 設置した総合気象センサーにより現場気象を把握。

- ・通年の土壌CO₂濃度, 土壌温度および土壌水分の観測より, 濃度の季節変化やRain on snow (RoS) (冬季の積雪上への降雨) による土壌CO₂の変化を捉えていた。当初想定していたよりも, 冬季の土壌CO₂濃度はダイナミックに変化していることが明らかとなった。冬期のCO₂の動態は, 生物的要因よりも物理的な要因が強く影響していることを示唆している。また, 厳冬期にも突然CO₂濃度が上昇する現象を北極域で初めて捉えることに成功している。

・周辺海域で起きている地表一気象の現象の観測と予測に向けて、海氷上の積雪に着目した観測と解析を行った。海氷は北極の気候システムを考慮する上で重要なパラメータの一つである。最新の再解析データ（NCEP-CFSR）で、初めて氷上積雪深が得られるようになったため、北極海で2002年から2013年まで海氷厚と積雪深を同時に計測してきた35個のIce Mass Balance（IMB）ブイによる検証を行い、積雪深の季節変化の再現や、冬から春にかけてのバイアスなどを確認した。また、海洋地球観測船「みらい」で取得された高層気象観測データを用いてERA-Interim大気再解析プロダクトの対流圏上部の再現性を検証した。

・北極圏の気象の中緯度への影響については、北極の気象観測で日本の寒波予測の精度向上や、北極海航路上の海氷厚分布と北極低気圧の予測精度と関連を確認した。また、北極航路上の安全航行にかかわる海氷減少と最大波高が上昇との関連、さらに北極域の気象観測で台風の進路予報が向上するといった、対象とする地域や季節を拡大した成果が得られており、研究成果から社会に直接かかわる成果として、プレスリリースで積極的に公開しているが、これらの成果は国内外のメディアにも多く取り上げられている。

・北極海の海氷観測では海氷厚を推定することが課題となっている。マイクロ波放射による推定アルゴリズムの開発に対し、北極海の海氷上に設置された漂流ブイや大気再解析プロダクトの表層温度を採用して氷厚推定の改良を行った。

<共同研究の拡大に向けた活動>

・衛星データによる北極の広域環境変動の監視と今後の共同研究の拡大を探るための観測・解析を、北極域データアーカイブ（ADS）の衛星観測データを用いて、サンプリング、地域、時系列比較を行なった。日本の研究者が調査活動をしている、またはこれから始めようとしている環北極域の22か所で衛星によるモニターを行っている。

・ニューオルスンに加え、アラスカやカナダ、シベリア、グリーンランドに日本の研究者の活動域が拡大しているが、それらを時空間的に俯瞰できる情報を整理した。融解域についてアラスカからカナダ、グリーンランドを経て、スバルバルに至る遷移の様子が見られた。

・地形や植生、雪氷面や土壌の凍結・融解により複雑な北極圏の地表状態のリモートセンシングの課題について多分野の研究協力を目指し研究レビューを出版した。

・地表面からのCO₂放出は生態系機能の一要因である。北極陸域は時間的・空間的変動が大きいことが知られており、生態系の構造や機能については、調査地点数、データ数が増えているにも関わらず、規則的な法則性を見いだせていない状況である。そのため、ニューオルスン以外の北極陸域における調査をめざし、ロングイヤービンのスバボーダ基地を有しているチェコ南ボヘミア大学とMoUを締結した。2017年には、同基地での共同研究を開始した。

広大な北極域を有しているカナダにおいても北緯53度から84度という広範囲に基地を複数有しているCenter for Northern Studies（CEN）との共同研究を開始し、生態系機能に関する研究を進め、カナダのArcNet会合で成果発表を行った。さらに、カナダ・ケンブリッジベイCanadian High Arctic Research Station（CHARS）にて2019年においてセミナーを開催し、現地研究者との打

ち合わせや土壌微生物多様性解析の議論を行った。

＜ニーオルスン北極観測の記録の編集と発行＞

ニーオルスン基地は2016年に設立25周年を迎えた。これまでの研究活動のまとめと今後の国際共同研究拡大にむけた「北極ニーオルスン基地開設25周年と将来展望」を出版した。基地の活動については、研究者間の共有とともに、2018年の第3期海洋基本計画においても、ニーオルスン基地の活動や北極研究の進展が取り上げられるなど、研究活動の社会への周知といったアウトカムにもつながった。

今後の研究の展望と期待される成果

ニーオルスン基地では2019年度より新基地建物の利用が始まった。また常勤の観測員も2019年秋より配置された。これにより観測活動の拡張が可能となり、大気、生態系観測など、通年での観測が可能になる。これまでに利用していたZeppelin山での観測サイトとともに、山麓のGruvebadetの利用を開始する予定である。

各テーマに関して：

- ・温室効果気体の継続観測とともに、大気中酸素濃度観測、さらにArの観測の開始による、海洋貯熱量の推定は、北極の環境の各分野に及ぶ波及効果が期待される。
- ・エアロゾル研究に関して、特に今後数年の間に多くの国際共同観測が計画されており、ニーオルスンでの観測が貢献できる。
- ・エアロゾル研究では特に氷河後退域の土壌から生物圏、さらに雲の生成につながるといった顕著な成果が出ており、今後の多圏を結ぶ研究拡大として期待される。夏季に雪氷が解けた際に、陸域から放出されるエアロゾル（ダスト、微生物など）が雲微物理に与える影響に着目した調査研究を今後もニーオルスンを拠点として展開が期待される。
- ・地表面からのCO₂放出量の推定については、安定的なモニタリング体制の構築および冬期の土壌中のCO₂濃度のモデルによる再現性の高精度化および地表面からのCO₂放出量推定のためのモデル構築、さらに、生態系が発達している場所での同様のシステムによるモニタリングにより、生態系の異なる発達段階における土壌中のCO₂動態解明が期待される。

国際共同研究の拡大に向けて：

- ・チェコやカナダとのMOU締結により、新たに利用可能となったロングイヤービンケンブリッジベイおよびカナダ東岸の北極陸域での発展的な調査が可能である。
- ・スバルバルでの国際共同研究のフレームワークとして推進され、日本も加盟しているSvalbard Integrated Arctic Earth Observing System (SIOS) の施設利用も今後の海外研究拠点での観測活動拡大として期待できる。
- ・ニーオルスンの観測成果から環北極の環境変化や、社会的関心へと成果の公開が期待できる。

ニーオルスンでは陸域フラッグシッププログラムへの貢献、環北極域では、国際北極科学委員会の陸域観測プロジェクトT-MOSAiCを通して日本の研究成果を国際的なプロジェクトに組み入れることが期待できる。

・国内の研究者との協力に対しては、既に長年の実績があるモニタリング観測の維持とともに、新たな共同研究分野の拡大に向けて北極域データアーカイブを用いた環北極域情報が準備されており、これを関連研究者提供することにより、新たな共同研究が期待できる。

今後の研究計画

2020年度

・ニーオルスンにおいて週一回の大気サンプリング、CO₂、O₂の連続観測を継続する。ラベンからGruvebadetへ設備の移設を予定している。

・Ar観測については産総研の方と協力して準備を進めている。特にAr計測のための専用の大気採取容器の使用実験を行う予定である。良好な結果が得られれば、月一回程度のAr分析用大気サンプリングを目指すことになる。海洋貯熱量の変動をArを用いて検出するために、データを蓄積する必要があるが季節変化などの議論には着手できる予定である。

・MOSAiCおよびCOMBLEプロジェクトの期間中にニーオルスンおよび海洋地球研究船「みらい」の北極航海で得られたエアロゾル試料の分析を重点的に行い、エアロゾル粒子の氷晶核としての活性などについて調べる（極地研のCRAFTを使用）。それらの観測結果や化学輸送モデルによる数値シミュレーションの結果などを参照することにより、北極域の下層大気中における氷晶核として働くエアロゾル粒子の季節性や地域性について考察する。

・ニーオルスンにおいて、エアロゾル粒子の有機・無機成分や雲凝結核としての活性を調べることを目的としたエアロゾル観測を実施する予定である。

・エアロゾル観測キャンペーンの実施：2019年1～5月にアメリカ主導のCOMBLEプロジェクトへの協力が始まった。COMBLEのメインサイトは、ノルウェーのAndenesであるが、MOSAiCサイト（Polarstern）とニーオルスンでも同時期にエアロゾル観測の要請があり実施予定である。

・土壌中のCO₂濃度の測定を継続する。2020年は国際北極科学委員会（IASC）陸域科学分科会（TWG）プロジェクトの一つであるT-MOSAiCに加わり、得られたデータや解析結果をT-MOSAiCで共有する。

・ADSデータ利用、衛星データを用いた新観測項目の提案とADSとの連携を進める。

2021年度

・大気観測：GHGモニタリング、酸素とArによる海洋貯熱量の観測。

・エアロゾル観測および生物圏との協働。

・生態系観測の維持。

・ADSデータ利用、衛星データを用いた新観測項目の提案とADSとの連携。

・国内研究者との共同研究推進の意見交換。

- ・各種成果のとりまとめと今後の研究進展への検討。

プロジェクト研究員の果たした役割

特任研究員 ヌアスムグリ・アリマス

北極環境変動の共同研究の拡大に向けて、スバル諸島および近年の日本の北極研究者の活動域として確認されている北極圏の22の地域について北極域データアーカイブ（ADS）の整備する衛星マイクロ波観測データを利用して雪氷データを収集・解析した。新しい雪氷観測情報の作成にむけて、極地研が備える可搬型マイクロ波放射計を用いた雪氷観測手法の開発を行っている。北極海海氷情報取得に向けたマイクロ波活用を支援した。

雪氷特性の変化だけでなく、極端気象、防災、陸域生態系との関連にもテーマを拡大すべく資料を取りまとめている。特に温暖化の冬季環境への影響として冬季の昇温や積雪上への降雨

（RoS）という異常気象の多発が北極圏で記録されていることから、地表面への影響を考えるべく注目した。最近利用が始まったカナダ・ケンブリッジベイおよび生態系研究で注目されているカナダCENの活動に対しても現地調査に資する雪氷変動観測データを抽出中である。これらの国内外の研究活動により2019年に日本雪氷学会賞を受賞した。また、代表者として科研費（若手、2019-2021）を取得し、本課題に貢献している。

極地研の役割と所外研究者との協力体制

本研究所内メンバーの塩原（・2018年度に退職）、内田、猪上、後藤、當房の各極地研研究者は、ニーオルスンにおける現地観測の推進、所外研究者の現地作業のリード、NySMAC会議での観測活動全体の方向性や連絡活動に大きな貢献をしてきた。またYOPPやT-MOSaICなどの国際交際協力の国内主導研究者として、国内の研究者との共同活動を推進する上でも貢献は大きい。

ニーオルスン25周年記念事業においては、25年間の国内の研究者の活動の情報収集と報告冊子とりまとめ活動、さらに現地での記念セミナーの実施を通じてこれまでの国際協力の確認と今後の協力について認識を固めた。日本から同セミナーに参加していた政府関係者にも活動の重要性を示すことに成功している。また、2016、2018年の科学大臣会合においてニーオルスンおよび環北極研究の重要性を政策決定者にも示すことが出来ている。また、内閣府北極プロジェクトチームが2019年にまとめた、これからの北極研究に関する推進すべき活動にもニーオルスン基地の活用が掲げられている。これらは各研究課題の研究そのもの成果に留まらず、日本の北極研究環境や科学外交へも波及効果を与えていると言える。

所外研究者の貢献については、東北大学、産総研、東京大学、農研機構など各機関の研究者との協力が行われている。また海外では、AWI、ラバル大学、ケベック大学、CHARS、南ボヘミア大学などとの協力が盛んである。特にラバル大学はIASC、陸域ワーキンググループのプロジェクトT-MOSaICのリーダー研究者が日本の参画をサポートしている。

研究課題の達成度・問題点及び今後の改善策

研究課題ではニーオルスンのモニタリング観測の維持を行い、長期データの蓄積から北極圏の温室効果気体の長期変化を明らかにすることができている。2019年度から利用が始まった新基地建物とこれまでのラベンでの大気観測との連続性についても確認されている。

ニーオルスンにおける地表面からのCO₂放出量推定については、土壌の浅いところにおけるCO₂濃度再現性の精度向上が課題である。さらに、各深度の土壌CO₂濃度のデータから地表面から放出されるCO₂濃度推定のためのモデルの構築にも着手するなどの予定がある。現在土壌中のCO₂濃度を測定している地点は、土壌有機物炭素量の蓄積が比較的少ない。一方、日本基地付近は土壌有機物の蓄積量が多く、地表面から放出されるCO₂量も多いことが知られている。スーパールバル政府およびNySMACの許可を得て、基地付近に同様のシステムを設置することにより、観測点数を増やすことが望まれる。

共同研究推進に向けて

ニーオルスンでの観測活動を基盤とするが、さらに環北極に展望を広げる活動が進められることが望ましい。この数年に、多くの共同研究協定が準備された。すでにチェコ基地やカナダの観測サイトでの活動は始まっているが、進展に向けた検討が必要である。共同研究の推進に向けて国内研究者のネットワークへの情報交換が行われてきたが、さらに機会を増やす必要がある。共同研究集会など、既存の分野をこえたものも必要である。環北極のデータに関してADSの整備が進んでいるが、これを活用していくことが有効である。

予算的には、モニタリング観測の維持や各研究の情報支援が主で、特定のテーマを推進する研究予算は提供できていない。それぞれの研究者の研究費の持ち寄りに依存している。安定した継続が必要なモニタリングは今後安定した予算を確保する必要がある。

国内研究者、研究環境、国際動向（新しいニーオルスンの共同観測のロードマップ、SIOSなどの国際協力）など、急速に変化する北極環境とそれに対する研究の要請、社会の関心の中で、どう変わり、対応していくかは課題である。

問題点及び今後の改善策について（2019年中間評価を受けて）

2019年に行われた中間評価の結果では、個々の観測活動や成果創出には十分な成果が得られA評価となっているものの、研究所が取り組む北極研究の展望の創出は現体制では不十分であることが指摘され、この点も含めるとB評価となっている。

これらの点について、特定のテーマに関するモニタリング維持活動、新たな観測の展開、将来の共同研究に対する国内外の研究者との対話が求められる。現在は①個人の研究者の貢献に負うところが多いが、②基盤研究グループ、③センター、④研究所、⑤共同研究コミュニティ、⑥J-ArcNet拠点活動（北大・JAMSTEC・極地研）、⑦国家プロジェクト、⑧国際研究枠組み、⑨北極政策の動きとの連動をどう図るかは課題である。これら①～⑨については、本プロジェクトに閉じない大きな課題であるため、国際北極環境センターの項目の「8.2.4 将来の方向性」に課題と

今後の改善に向けた活動をまとめた。

研究課題に関連する外部資金の獲得状況

- ・科学研究費補助金・基盤研究(A): 北極漂流横断観測による「新しい北極海」の探究(代表:猪上淳) 2018~2021年度(直接経費総額:33,600千円)
- ・科学研究費補助金・国際共同研究強化(B): 日独共同観測による「北極の湿潤化」の追究(代表:猪上淳) 2018~2020年度(直接経費総額:13,900千円)
- ・ArCS:2015~2019年度 テーマ1:猪上淳、テーマ6(サブテーマ2):内田雅己
- ・科学研究費補助金・基盤研究(B)海外学術、高緯度北極における土壌炭素の放出・流出プロセスの広域評価と将来予測, 研究代表者:中坪孝之(広島大学)、研究分担者:内田雅己, 2012~2016年度, 16,250千円
- ・科学研究費補助金・基盤研究(B)一般、特殊パルス NMR 法の活用による陸域溶存有機炭素の分子レベルでの変遷プロセスの解析, 研究代表者:藤嶽暢英(神戸大学)、研究分担者:内田雅己, 2015~2018年度, 17,290千円
- ・科学研究費補助金・基盤研究(B)一般、急変する北極ツンドラ生態系における土壌微生物の多様性と機能・応答性の解明, 研究代表者:内田雅己, 2018~2020年度, 17,290千円
- ・科学研究費補助金・基盤研究(B)海外学術、北極ツンドラ生態系における土壌 CO₂ フラックスの冬期の動態解明と年間の高精度推定, 研究代表者:内田雅己, 2018~2020年度, 17,420千円
- ・科学研究費補助金・若手研究(A)「北極域混相雲の頻発領域におけるエアロゾルの氷晶核能の詳細解明」、研究代表者:當房豊、2016~2018年度、22,880千円(直接経費:17,600千円、間接経費:5,280千円)。
- ・環境研究総合推進費「地球温暖化に関わる北極ブラックカーボンとダスト粒子の動態と放射効果」、研究代表者:小池真(研究分担者:當房豊)、2017~2019年度、120,000千円。
- ・科学研究費補助金・基盤研究(A)「海洋大気バイオエアロゾルの起源と氷晶核化:蛍光特性で探る生態系・物質・雲のリンク」、研究代表者:金谷有剛(研究分担者:當房豊)、2018~2020年、44,330千円(直接経費:34,100千円、間接経費:10,230千円)。
- ・科学研究費補助金・若手研究「北極域の雪氷・凍土の融解・凍結および積雪被覆の変化を検知する手法の開発と研究」、研究代表者:ヌアスムグリ・アリマス、2019~2021年度、4,290千円(直接経費:3,300千円、間接経費:990千円)。
- ・科学研究費補助金・基盤研究(A)「高精度海氷情報取得のためのマイクロ波放射伝達モデルの開発」、研究代表者:榎本浩之、2020~2023年、31,700千円(直接経費:27,800千円、間接経費:3,900千円)。

なお、2019年にニーオルスンで日本が利用できる新基地建物が、ノルウェー政府によって建築され、2019年秋より本格運用が始まった。また、2018年度より、文科省機能強化予算により、北極新基地の利用開始支援を得ている。これにより、ニーオルスンの基地常駐観測員の配置が可能になり、2019年11月より現地に着任している。

KP305 南北両極のアイスコア解析による気候・環境変動の研究

研究期間：2016 年度～2021 年度（6 年間）

研究代表者氏名：東久美子

共同研究者数：所内 14 人、所外 21 人

研究目的

北極における氷床・氷河や海氷の変化は予想を大きく超える速度で進行している。一方、南極は北極に比べて変化のスピードは小さいものの、一度変化が生じると地球の気候システムや海面変動に大きな影響を及ぼすことが懸念される。このため、南北両極の気候・氷床変動の実態を把握し、変動のメカニズムを解明することが急務である。しかし、南北両極は、ともに長期にわたる観測データが極端に乏しい地域であり、直接の観測データだけから気候変動や氷床変動の実態を把握することは困難である。本研究は、地球規模での気候・氷床・環境変動のメカニズム解明を目指し、両極で掘削されたアイスコアから長期に及ぶ気候・氷床・環境の変動を復元することを目的とする。

アイスコアから気候・環境変動に関する最大限の情報を引き出すため、最先端のアイスコア分析法の開発、分析の自動化、省力化、サンプル少量化を進める。氷床における堆積環境の研究とアイスコア・シグナルの形成・保存状態に関する研究もあわせて行う。また、掘削機と検層技術の開発や、氷床探査技術の開発を行う。アイスコアだけでなく、海底コアや地形地質観測データ等との比較も行う。また、氷床・氷河の堆積環境、気候モデル、氷床モデル、GIAモデルの研究者等とも連携し、総合的な視点から、過去の気候・環境変動のメカニズムと気候・環境変動が及ぼす影響を研究する。

研究経過と成果

（1）南極アイスコアに関する研究

- ・ ドームふじ深層コア（DF1 及び DF2）の水安定同位体比のデータを解析し、72 万年間の南極と南大洋の温度変動を復元した。その結果を用い、CO₂ 濃度と南極の気温変動にずれがある一因が日射量の変動であることを示した。また、南極の気温の自転軸傾斜角の変化に対する同調性が 40 万年周期で変動することを発見した。これらの成果は Nature Communications 誌に掲載された。
- ・ ドームふじ深層コア（DF1 及び DF2）のイオンデータ解析結果から、これまでの定説とは異なり、南極前線以南の南大洋で過去 7 回の氷期に植物プランクトン由来の硫酸の発生量が減少していたことが推定された。その結果は Nature Communications 誌に掲載された。
- ・ 極地研を含む国際共同研究チームが、グリーンランド深層アイスコアと、ドームふじ深層コアを含む南極の複数の深層アイスコアの水の安定同位体比のデータを解析し、最終氷期にグリーンランドで起こった急激な気候変動が、「大気」による迅速な伝搬経路と、「海洋」によるはるかにゆっくりとした伝搬経路の 2 つの経路によって、南極大陸へ伝搬していたことが初めて実証された。この成果は Nature 誌に掲載された。
- ・ ドームふじ深層コアの完新世の一部を対象に融解抽出法によるメタンの分析を約 50 年の高時間分解能で実施した。

- ・ ドームふじ深層コア (DF1、 DF2) の連続融解分析 (CFA) による化学分析およびメタン濃度の測定を実施した。完新世および最終退氷期を分析中である。世界初となる南極内陸でのブラックカーボン (BC) のデータを取得することができた。また、8200 年前の寒冷化に伴うメタン濃度低下イベントを利用し、CFA および融解法の分析結果から、氷床に空気を取り込まれる際のスムージング効果についての情報を得た。
- ・ 南極ドームふじ深層コア (DF1 コア、 DF2 コア) について、 固体電気伝導度 (DEP) 値の 2 コア間の信号強度を比較し、 1 か所の深層コアから抽出される信号の再現性や信頼度の評価を実施している。2 本のアイスコアの計測は、 校正に問題があり、単純比較が難しいことが明らかになり、今後の対策を検討中である。
- ・ ドームふじ深層コア (DF1 コア、 DF2 コア) について、 結晶方位構造の層位やその発達を読み解くために、 ミリ波誘電テンソルの計測を進めている。深度の増大に伴う結晶 C 軸の鉛直軸への集中やそのゆらぎを明らかにしつつある。
- ・ ドームふじ深層コア DF2 の約 800m 深の試料について、 結晶 C 軸方位計測装置を用いて結晶 C 軸方位分布の解析を実施した。約 500 個の結晶粒についての結晶方位を取得した。
- ・ DF2 コアの深層部の結晶 C 軸方位のデータを点検し、 今後の出版について共著者と議論した。
- ・ JARE59 で採取した 3 本のアイスコアに対し、 初期的な解析として固体電気伝導度解析を実施し、 試料の年代決定作業を開始した。解析結果から、 過去 3600 年間、 及び過去 600 年間の堆積量を復元し、 地点間の違いを明らかにした。
- ・ JARE59 で、 ドームふじ基地近傍にある NDF 地点で掘削したアイスコアの CFA 分析を開始した。また、 NDF で採取したピット試料について、 化学成分・ダスト濃度の測定を開始した。
- ・ 南極ドームふじ南方地域で 2018/2019 年に新たに掘削された 142m 長の浅層アイスコア (NDFN コア) の各種解析を実施した。このコアについて、 142m 長分の固体電気伝導度 (DEP) 計測、 表層部 15m 長のミリ波誘電テンソル計測、 近赤外線反射率計測、 ガンマ透過法密度計測を実施した。また、 新たに開発した通気度計測システムを用いて通気度の計測を開始した。
- ・ JARE59 と 60 で掘削した浅層コア 4 本の分析を一部行った。得られた DEP データを用いた年代対比を行い、 その結果などからそれぞれの地点の涵養量を推定した (DF3 掘削点検討のため)。
- ・ H128 フィルン空気の温室効果ガスと窒素、 酸素、 希ガスの分析を実施した。
- ・ アイスコアに含まれる菌類の培養・遺伝子解析に着手した。南極のみずほ基地とドームふじ基地で掘削されたアイスコアを用いて、 約 1000 年前～約 9000 年前の各年代の試料から菌類の培養に成功した。また培養株の遺伝子解析も実施し、 古い試料から培養された菌類は新種の可能性があることが分かった。

(2) 北極アイスコアに関する研究

- ・ グリーンランド北東部で国際共同研究によって実施している深層コア掘削プロジェクト (EGRIP) に参加し、 氷床コア掘削とコアの現場解析を行った。掘削深度は 2019 年度に 2122m に達した。
- ・ EGRIP でピット観測を行った。2016 年度は 2 地点、2017 年度は 3 地点、2018 年度と 2019 年度は 1 地点で実施した。

- ・ グリーンランド氷床に輸送される花粉 1 粒ずつの DNA 解読を試みるために、EGRIP のピットにおいて夏層と思われる密度の低い層から雪試料を採取した。また、雪氷試料から花粉粒を効率良く回収するために、誘電泳動法を利用した花粉粒補足システムを導入した。
- ・ 2016 年度に EGRIP で採取したピット試料について、化学成分・ダスト濃度の測定結果を解析し、取得したデータから、各化学成分とダスト濃度の季節性を明らかにした。そして、その季節サイクルの数から近年の表面質量収支を明らかにした。最近数年の表面質量収支は過去 400 年間の平均値に比べて 4~5 割増加したことが分かった。これらの成果を Polar Science に投稿した。また、2016~2018 年に採取したピット試料から表面質量収支の空間変動と、1 点のデータの代表性について考察を行い、その結果を Polar Science に投稿した。
- ・ EGRIP でフィルンエアの採取を行い、採取した試料を分析した。
- ・ スイスのベルン大学で実施された EGRIP 深層アイスコアの国際共同 CFA 分析に参加し、ブラックカーボン (BC) の分析を担当した。これまでに深度 1400m までの分析を終了した。BC が規則正しい季節変動を示していることや、20 世紀前半に化石燃料燃焼による人為起源の BC が増加したことなどが確認された。
- ・ グリーンランド北西部で掘削された SIGMA-D コアから、BC の変動を高時間分解能 (月単位) で復元した。化石燃料起源の BC の流入により、19 世紀後半から BC の濃度、粒径分布、季節変動のパターンが変化したことが明らかになった。
- ・ 走査型電子顕微鏡 (SEM) / エネルギー分散型 X 線検出器 (EDS) を用いて SIGMA-D コアに含まれる鉱物粒子の組成を過去 100 年間にわたり、高時間分解能で復元した。1920~1945 年及び 1990 年以降の温暖期には、中緯度の乾燥域からの長距離輸送によるダストが多い寒冷期とは異なり、グリーンランド沿岸部等、高緯度を起源とするダストが多いことが示唆された。
- ・ グリーンランドの NEEM 深層コアを融解法により分析し、完新世におけるメタン濃度を高時間分解能 (約 50 年) で復元した。ドームふじ深層コアの結果と合わせて南北差の変動を推定し、その変動の原因を検討した。
- ・ NEEM 深層コアをクライオ SEM/EBSD (後方散乱電子回折) システムを用いて分析した。氷期のクラウド・バンドから切り出した試料と、それに隣接するクラウドでない層から切り出した試料では、c 軸及び a 軸方位分布に差は見られなかった。しかし、クラウド・バンドの試料の方が亜結晶粒界を多く含むことや、詳細な結晶方位差の分析結果から、クラウド・バンドにはより多くの転位が蓄積していることが分かった。これらの成果を論文として出版した。
- ・ NEEM 深層コアのイオン分析結果から、過去 13 万年間の陸域環境の変化を復元した。その結果、北米の陸域植物の活動は、グリーンランドで現在よりも 2~3 °C 温暖だったと考えられている完新世初期と、現在よりも 8 °C 程度温暖だったと考えられている最終間氷期とで、ほとんど違いがみられなかった。また、東アジアの乾燥域が起源と考えられている鉱物ダストの発生量も、最終間氷期と完新世初期で 3 割程度の変化しかなかった。これらの結果は、最終間氷期におけるグリーンランドの温暖化の度合いが北極の温暖化増幅によって全球平均よりも大きかったことを考慮すれば、将来の地球温暖化を 1.5~2 °C に抑えることができれば、北半球中緯度~高緯度において、それほど大きな陸域環境の変化が起きない可能性を示唆するものである。この

成果は Nature Communications 誌に掲載された。

- NEEM 深層コアの Br 分析の結果から、過去 11 万年間の海水変動を復元した。その結果、カナダ北極域において、氷期の寒冷期には多年氷が多かったこと、完新世初期には多年氷が減少し、一年氷の面積が過去 11 万年の中で最大となっていたことが分かった。この結果は、地球温暖化の進行により、北極海の多年氷が今後さらに減少することを示唆する。この成果は論文として出版された。
- 北極域における BC の沈着の長期的な動態を解明するため、ニーオルスンで降水・降雪の採取を実施している。得られた成果を論文発表した。また、北極域広域の積雪中に含まれる BC の濃度と堆積量のデータを解析し、モデル計算の結果と比較して考察し、これらの成果は論文として出版された。

(3) 気候・氷床・環境変動に関する総合的研究

- ドームふじコア及びドーム C コアのデータ解析と気候モデルによるシミュレーション結果の解析を行い、第 2 期ドームふじコアのコミュニティ論文として、Science Advances 誌に出版した。
- ドームふじコミュニティ論文で明らかとなった気候の平均状態と不安定性の原因を探るため、MIROC 気候モデルによる多数の淡水流入実験の結果の検討を東京大学と共同で実施した。
- ドームふじとドーム C コアの揮発性微粒子の組成および形状のデータを比較解析し、ダストフラックスと供給源、輸送について MIROC-ESM モデルの結果との比較議論などを行い、海塩と大気化学環境、積雪の化学組成に関する議論などとともに論文として出版した。
- 氷床レーダ及び DF2 掘削孔温度のデータや、1 次元氷床モデルの結果等の解析から、DF3 掘削点の検討を開始した。

(4) アイスコア分析法の開発

- CFA に接続した ICP 質量分析計(ICP-MS)について、低濃度の Al、Fe、Ca を分析可能にするため、分析条件の最適化を行った。また、硫黄(S)の干渉除去に関する分析条件の検討を行い、極域雪氷試料中に存在する硫酸イオンに由来する 50ug/l 程度の濃度の硫黄の変動を検出することが可能になった。更に、ケイ素(Si)の分析条件の検討を行い、極域雪氷試料中に存在するケイ素の変動を検出することが可能になった。
- CFA によるメタンガスの高精度分析を行うため、キャリブレーション方法を確立した(特にパーシガス脱気)。また、1 次データおよびその処理方法の課題を洗い出し、改良方針を検討した。さらに、高分解能化および高抽出効率化の可能性を探るため、数種の気体抽出モジュールを購入し、試験を開始した。
- 南極ドームふじアイスコアの深部(約 2000m 深以深)の詳細な化学・物理的な層位を分析するための準備として、CFA 用小型融解ヘッド(30mm x 30mm 寸)を試作し、融解テストを実施した。これに基づき、現状(34mm x 34mm 寸)に比べて断面積が 78%のコアの分析ができるように準備を進めている。
- CFA システムにおける深度の誤差を小さくするため、融解部に設置したカメラを用いてアイス

コアの融解深度を自動的に検出するプログラムを作成した。また、異なる分析項目の間の検出時間のずれを見積もる実験を行い、ずれを最小限に抑えるための改良を行った。

- ・ 4 種類の固体微粒子分析装置の比較を行い、各装置の特徴を明らかにすることで、分析データを正確に解釈できるようになった。また新規に導入したコールターカウンターと、従来のコールターカウンターで同じサンプルを分析し、同じ粒径範囲の固体微粒子について、分析結果に整合性があることを確認した。その上で、新規のコールターカウンターについて分析条件の最適化を行った。
- ・ NEEM コア及びドームふじコアの完新世後期を対象にした融解法による気体の分析データを検討し、特に温室効果ガス濃度を外国研究機関の結果との比較により手法や精度について評価した。手法論文を出版準備中。
- ・ アイスコアから空気を抽出して二酸化炭素濃度を測定するため、切削法空気抽出装置を製作した。
- ・ 希ガス同位体の処理ラインと分析手法を開発した。また、試料の回収率を高めるため、6本の試料チューブの先端 15cm 長を 4K まで冷却することが可能なヘリウムサイクル冷却器を新たに導入した。
- ・ フィルンエアサンプリング装置を改良した。
- ・ ミリ波誘電テンソル計測において、約 15GHz～約 60GHz までの超広帯域の周波数下での誘電テンソル値を計測できるようなミリ波開放型共振器の整備をおこなっている。高出力が可能な信号発生器も購入して、装置系の構築を実施している。
- ・ アイスコアの自動切断装置の設計と構築を行っている。南極ドームふじで利用するものと、国内試験機を作成中である。掘削直後の円柱状のアイスコアに対し、水平切断や垂直切断をできるように構築している。
- ・ アイスコアの近赤外反射特性を現状の波長 930nm からより長波領域である 1500nm まで拡張する収録系を構築している。
- ・ 氷河・氷床で取得した融解水試料を長期間冷蔵保存すると、微生物増殖によって粒子数濃度が増加する試料があり、問題となっていた。クリーンベンチ内の清浄な環境下で融解水試料に UV 照射を行うことで、粒子数濃度の増加を抑えることに成功した。現在、論文出版の準備を進めている。
- ・ アイスコアに含まれる化石花粉の種同定を行うために、本年度はトウヒ花粉の DNA 分析に使用するプライマーの設計に取り組んだ。

(5) 掘削・検層技術の開発

- ・ 第 3 期南極氷床深層掘削計画 (DF3) で用いる深層掘削システムの開発を行った。ウインチ・マストシステム、深層ドリル、コントローラ、電装部を開発・製作し、氷掘削実験と総合訓練を行った。また、氷掘削の新技术として、ステップカッターの開発・実験を行い、次期深層掘削にも使える技術であるとの確信を持った。
- ・ 深層掘削研究会を年に 2 回ずつ開催した。

- ・ アイスコアの掘削時にケーブルのキンク事故が発生した場合の対処法についての検討と議論を開始した。

(6) 氷床探査

- ・ JARE59 で、南極ドームふじ南方域の約 1 万平方キロメートルにわたる地域の氷床レーダ観測を実施し、JARE60 にて、日本・米国・ノルウェーの共同で、NDF 周辺における氷床内部や底部のレーダ観測や積雪観測等を実施した。
- ・ JARE59 および 60 で実施した現場観測データの解析を、国内研究および国際共同研究として進めた。取得したレーダのデータをもとに、氷床の厚さ、底面の融解凍結判別、内部層の深部の状態を抽出し、地図化した。ドームふじの南方域では氷床厚が概ね 2,400m よりも薄くなければ、氷床の底面は融解している可能性が高いことや、氷床深部に縦断層がはいっている地域の存在が明らかになった。これらの結果から古い時代のコアの掘削に適さない地域が明らかになった。

(7) アイスコア管理にかかるアクティビティ

- ・ アイスコアのデータベースを作成し、随時更新した。これを、アイスコア・コンソーシアム (ICC) メールやウェブでアナウンスした。DF2 についてはコアの写真の掲載を行った。
- ・ 大震災等に備えたアイスコアの分散保管のため、ドームふじコアの一部を仙台の冷凍庫に輸送した。
- ・ 研究のための利用者がいない古いアイスコアを整理し、各種分析法のテスト等のために公開利用に供し、ICC メールやウェブでアナウンスした。
- ・ 2019 年度に、データベースサーバーの移行・更新作業 (選定・調達および設定) を実施した。
- ・ 貯蔵在庫の整理・確認を定期的実施した。2019 年度には、低温室工事にかかる貯蔵庫移動を行った。

今後の研究の展望と期待される成果

- ・ ドームふじ深層アイスコアの CFA 分析を更に進め、最終氷期の最寒期から最終退氷期を経て完新世初期に至るまでの気候・環境変動を明らかにする。
- ・ アイスコアおよびフィルムの空気については、これまでに引き続きサンプリングや分析の技術開発と解析を継続し、大気組成復元や年代決定、気候変動メカニズムや気体分別の理解に資するデータを取得していく。データの解釈に当たっては所外の気候氷床モデリング研究者と協力し、変動メカニズムの解明を進める。
- ・ ドームふじ深層アイスコアを用いたマイクロ波・ミリ波誘電率テンソルの解析処理を更に進め、今後約 3 年間で、ドームふじ深層コアの全層計測を実施し、データ解析を進める。
- ・ 南極ドームふじアイスコアの深部 (約 2000m 深以深) の詳細な化学・物理的な層位を分析する解析を進める。
- ・ JARE59 で採取した 3 本のアイスコアに対し、マイクロ波・ミリ波誘電率テンソルの解析処理を

進める。

- JARE59 で、NDF 地点で掘削したアイスコアと、採取したピット試料の化学成分・ダスト濃度のデータから、NDF における近年の年間堆積量の変動を復元する。また、化学成分とダスト濃度の季節性や相関関係等の解析から、過去の気候・環境変動を復元する。
- EGRIP の浅層コアを CFA 分析し、過去数百年の気候・環境変動を復元する。また、EGRIP の深層コアから、急激な気候変動が発生した時代の試料を選択して極地研で CFA 分析を行い、急激な気候変動の生じた速度や、発生条件、環境への影響などを研究する。更に、ベルン大学における国際共同 CFA キャンペーンで取得した EGRIP 深層コアの BC 分析データの解析を行う。
- SEM を用いて EGRIP の浅層コア及びグリーンランドの深層コア (NEEM 又は EGRIP) の一部を分析し、鉱物組成の変動と気候変動との関係を解明する。
- EGRIP のピット試料のデータ解析を進める。化学成分・ダスト濃度のデータから、EGRIP における近年の環境を復元する。また、化学成分・ダスト濃度・微生物細胞数濃度の季節性や相関関係等の解析から、各物質の起源やその年々変動等を明らかにする。
- 現在、南極アイスコアで進めている菌類培養実験を、より古い試料やグリーンランドの試料等も用いて行う。取得した培養株の遺伝子解析や代謝・生理実験を実施し、氷期・間氷期の試料から培養される菌類について、種の系統的な違いや生理的な違いを明らかにする、また、培養株の有用性の評価もおこなう。さらに両極間の違いについても、同様に解析を行う。その他、細菌等の他の微生物を対象とした培養実験・遺伝子解析も進めて行く。
- アイスコアの分析法 (化学成分、固体微粒子、気体、花粉の DNA、菌類の培養と遺伝子解析) の開発を継続する。
- 第 3 期ドーム計画 (DF3) で使用する掘削装置の改良を行う。また、検層装置の仕様について引き続き検討し、開発・製作を行う。
- 南極ドームふじ南方域で実施したレーダ観測のデータ処理をさらに進め、DF3 の掘削地点を選定する。
- DF3 実施のための設営準備を行うとともに、深層コア掘削計画と深層コア解析計画の詳細を立案する。

上述したように、極地研で開発してきた最先端の分析技術を用いて南極及びグリーンランドの複数のアイスコアを高時間分解能で分析し、比較する。得られた結果を気候氷床モデリングの研究者と共同で解析することで、様々な時間スケールの気候変動の実態とメカニズムが解明できるとともに、気候変動が環境に及ぼす影響を評価できることが期待される。

今後の研究計画

<2020年度>

- ドームふじ深層アイスコアの CFA 分析を更に進め、最終氷期の最寒期から最終退氷期を経て完新世初期に至るまでの連続データを取得する。
- 南極およびグリーンランドの各深層・浅層コアの気体成分の分析、NDFN フィルンエアの分析を

継続する。得られたデータを用いた気候・環境復元や変動メカニズム、ガス取り込み機構に関する研究を進める。

- ・ 改良型の高分解能ミリ波誘電率テンソル計測装置系を用いて、ドームふじ深層アイスコアの測定を進める。目標深度は2400-2700m。
- ・ 2019年度に開発した小型化試料融解用のヘッドを用いて、Na、Ca、Si濃度の連続高時間分解能解析を実施する。目標深度は2400-3000mのうち選択した区間。
- ・ NDFコア及びピット試料の化学分析を実施し、取得したデータを解析する。
- ・ ベルン大学のCFAキャンペーンで取得したEGRIP深層アイスコアのBC分析データの解析を行う。また、ベルン大学でのCFA分析の際に分注した試料のイオン分析を実施する。
- ・ グリーンランドのSIGMA-Dコアの鉱物組成分析について執筆中の論文を投稿する。また、BC分析の結果に関する論文を執筆する。
- ・ EGRIP浅層コアのCFA分析を行う。
- ・ EGRIPピットのデータを解析し、物質循環に関する論文を出版する。
- ・ ドームふじコアとグリーンランドコアに含まれる菌類及び細菌の培養実験、培養株の遺伝子解析を行う。
- ・ 検層装置の仕様を検討する。

<2021年度>

- ・ 南極ドームふじ深層コアのCFAデータから、最終氷期の最寒期から最終退氷期を経て完新世初期に至るまでの気候・環境変動を明らかにする。
- ・ 南極およびグリーンランドの各深層・浅層コアの気体成分の分析、NDFNフィルンエアの分析を継続する。得られたデータを用いた気候・環境復元や変動メカニズム、ガス取り込み機構に関する研究を進める。
- ・ 改良型の高分解能ミリ波誘電率テンソル計測装置系を用いて、ドームふじ深層アイスコアの測定を進める。目標深度は2700-3000m。
- ・ NDFコア及びピット試料のデータを解析し、気候・環境変動を復元し、論文出版する。
- ・ ドームふじ深層アイスコアとグリーンランドコアに含まれる菌類と細菌の培養実験・遺伝子解析を行う。各時代の試料から培養された菌類について、種の系統的な違いや気候変動との関係を明らかにし、論文にまとめる。
- ・ EGRIPピットのデータを解析し、微生物変動に関する論文を出版する。
- ・ ベルン大学のCFAキャンペーンで取得したEGRIP深層アイスコアのBC分析データから、完新世におけるBCの変動を明らかにし、論文としてまとめる。
- ・ ベルン大学でのCFA分析の際に分注した試料のイオン分析を実施する。
- ・ EGRIP浅層コアのCFA分析結果を用いて、過去数百年の気候・環境変動を復元する。
- ・ DF3での深層掘削にかかわる様々な周辺機器について検討する。

プロジェクト研究員の果たした役割

本研究プロジェクトで2016年度4～6月の3ヶ月間雇用した櫻井俊光氏は、以下のような役割を果たした。レーザー顕微ラマン法を用いてドームふじコア深層部の解析を行い、直径が数マイクロメートルの硫酸微液胞を同定した。液体が微液胞として観測されたことは、拡散が抑制されていることを示している。この成果により、古環境復元の指標となるイオンの移動に伴う古環境情報の変質についてのこれまでの論争に終止符を打つための第一歩を踏み出すことができた。この他、レーザー技術を用いたアイスコアの解析技術の開発、アイスコア掘削技術の開発に関する新しいアイデアを提案し、今後のアイスコア研究の方向性を検討する上で重要な貢献をした。

本研究プロジェクトで2019年度から雇用している永塚尚子氏は、グリーンランドEGRIPにおける国際共同掘削プロジェクトに参加し、アイスコアの現場処理を行い、日本チームの一員としてプロジェクトへの貢献を行った。また、EGRIPにおいてピットを掘り、過去数年間にEGRIPに堆積した積雪、ダスト等の他不純物のサンプリングを行った。持ち帰ったピット・サンプルを用い、含有鉱物粒子のSEM（走査型電子顕微鏡）/EDS（エネルギー分散型X線）分析を行った。

さらに、永塚氏はSEM/EDSを用いて、これまでダスト濃度の低い時期ではあまり研究が行われてこなかったグリーンランドのアイスコア中の鉱物組成分析を行った。グリーンランド氷床北西部で掘削されたSIGMAコアから、過去100年間の鉱物組成変動を明らかにし、温暖期と寒冷期ではグリーンランドに飛来する鉱物ダストの発生源が異なることや、温暖期にはグリーンランド周辺の発生源の寄与が大きくなったことなどを見出した。グリーンランドに飛来する鉱物ダストの発生源について重要な知見が得られただけでなく、温暖化によるグリーンランド周辺地域の環境変化についての情報も得ることができた。

極地研の役割と所外研究者との協力体制

- ・ アイスコアの水同位体分析では名古屋大学の研究者らとの連携を継続し、分析結果のクオリティチェックや標準水の製作・管理等で協力を得るとともに、データ解析結果の出版も共同で進めている。
- ・ アイスコアの気体分析・研究に関しては、高精度分析に不可欠な分析技術や標準ガススケールについて引き続き東北大学との連携を進めている。
- ・ 全球気候モデルや氷床モデルでは、東京大学大気海洋研究所や JAMSTEC らの研究者との連携を継続し、DF2 コアのコミュニティ論文等にその成果が現れている。
- ・ ドームふじ深層アイスコアを用いたマイクロ波・ミリ波誘電率テンソルの解析処理では、共同研究者をリードした。
- ・ 北海道大学低温科学研究所でおこなうグリーンランド氷床コア（SIGMA コア）にかかる物理計測では、極地研が確立してきたノウハウを移転し、学生指導に活用した。
- ・ 南極観測関連の資試料やデータの処理に関しては、基幹研究所として分析をリードしている。
- ・ JARE59 で掘削した NDF アイスコアは、極地研がリードして分析を行っている。極地研は、化学イオンや水安定同位体比などの基本解析を担当している。一方、最先端の分析技術を要する硫黄同位体比と宇宙線生成核種（ ^{10}Be や ^{36}Cl など）の分析は、東京工業大学と弘前大学に試料を

提供し、両大学との共同で研究を進めている。

- ・ 極域アイスコアの微生物解析は、八戸工業大学と共同で進めている。また慶応大学、産総研、遺伝研と共同研究・融合研究に向けた議論を進めている。BC分析は東京大学と共同で研究を進めてきた。分析法の開発は東京大学が、アイスコアや降積雪試料の採取や分析については極地研が、それぞれリードしてきた。
- ・ 雪氷試料のSEM観察については、ユトレヒト大学、デンマーク工科大学、AWI、長岡技術科学大学と共同で研究を進めてきた。
- ・ EGRIPにおける深層コア掘削・現場解析はデンマークが主導する国際共同研究によって実施している。日本は掘削、現場解析、ピット観測等で貢献している。また、EGRIP深層コアの国際共同CFA分析においては、BC分析とイオン分析を担当している。
- ・ グリーンランドSIGMA-Dコアの化学分析は、北海道大学低温科学研究所、気象研究所、名古屋大学、山形大学、千葉大学、東京大学等と共同で進めてきたが、極地研はBC分析、SEM/EDSによる鉱物分析をリードした。
- ・ 南極における氷床探査はノルウェー、アメリカ、ドイツとの共同研究として実施している。国内では東京大学及びJAMSTECのモデル研究者と共同研究を実施している。極地研は設営及びレーダ観測計画の立案や実施において主導的な役割を果たした。外国の共同研究者は高性能レーダの開発・運用に貢献し、国内の共同研究者は観測地域選定のためのモデル計算で貢献している。
- ・ 極地研はドームふじコア分析の主体であるICCの運営の中心的役割を担うとともに、ドームふじコアの試料や分析データを外部の共同研究者に提供している。
- ・ 北極域で掘削されたアイスコアや積雪試料についても、外部の共同研究者に試料やデータを提供したり、データを共同解析することで、共同研究を行っている。
- ・ 極地研は国内各種のアイスコア分析法の開発をリードし、国内の共同研究者からの依頼分析を行っている。また、アメリカ、フランス、デンマーク、スイス、ドイツ等の外国の研究者や国内の共同研究者と常に情報交換を行い、最先端技術の開発を行っている。
- ・ 極地研が中心となり、長岡技術科学大学、北海道大学低温科学研究所等の国内の研究機関、及び国内の民間会社と共同でアイスコアの掘削・検層システムの開発・制作を行っている。また、デンマーク、アメリカ、ロシア、ドイツ等と情報交換も行い、最先端の掘削・検層システムの構築を目指している。開発した技術は中国、韓国、インド等の諸国に提供している。
- ・ 極地研が中心となって国内の多数の共同研究者の協力のもと、第3期ドームふじ深層掘削計画を進めている。

研究課題の達成度・問題点及び今後の改善策

各課題について、着実に研究を進めている。多数の試料の分析を行っているのみならず、アイスコアの分析法の開発にも大きな成果を上げている。問題点は、マンパワーの継続的な不足であるが、即効性のある解決策はない。研究資金が増えれば学術支援特任技術専門員や学術支援技術補佐員の増員等で賄える部分もあるため、引き続き予算獲得の努力をしていく必要がある。ま

た、長年かけて高度な分析技術を取得してきた学術支援特任技術専門員や学術支援技術補佐員を継続して確保していく必要がある。

極地研の承継職員は研究活動全般やマネジメント、予算獲得にかかるエフォートが大きく、これを如何に効率的に配分していくかが課題である。既にエフォート量は飽和しているため、優先順位を付けて行わなければならない。今後は、現場での観測や掘削と、国内での試料分析やデータ解析・研究、マネジメント、予算獲得といった異なる種類の活動に適宜優先度を設定し、最大限の成果を産み出すように取り組む必要がある。

極地研では少ない人数で幅広いテーマの研究を実施しており、多岐にわたる重要な研究成果が多数得られ、多数の学会発表が行われている。その一方で、極地研の研究者が第一著者となっている論文の数が少ない。ドームふじ深層コアの解析結果については、インパクトの高い雑誌に主要な結果を出版することができたが、論文出版までに時間がかかってしまった。論文執筆は一定期間集中して取り組む必要があるが、現状ではそれ以外のエフォートが大きく、なかなか論文執筆のための時間がとれないことが課題となっている。今後は、極地研全体としてマネジメントの効率化を行い、研究に使うエフォートを増やす取り組みが必要である。

アイスコア解析において、生物学的観点からの研究は、物理・化学的な研究と比べ、さほど多くはなかった。近年、遺伝子解析技術は急速に進歩しており、アイスコア中で長期間冷凍保存されている、古代微生物やそのDNA情報の復元にも関心が高まりつつある。これまで、アイスコア研究との関わりが少なかった研究者と連携しながら、新分野の開拓、並びに最先端のアイスコア分析法の開発をさらに進めて行く必要がある。

研究課題に関連する外部資金の獲得状況

- ・ 新学術（氷床班）「南極氷床と気候の変動及び相互作用」、川村賢二、2017～2021年度、約1億2900万円（直接経費総額）
- ・ 科研費 国際共同研究強化「南極氷床コア高解像度大気組成分析に基づく退氷期における気候・海洋・氷床変動の解明」、川村賢二、2016～2019年度、10,900千円（直接経費総額）
- ・ 科研費 基盤研究(S)「過去72万年間の気候変動情報を含むアイスコアの物理と層位および「最古の氷」の研究」、藤田 秀二、2018～2023年度、88,600千円（直接経費総額）
- ・ 科研費 基盤研究 (A)「グリーンランド氷床コアから解読する過去の急激な気候変動と陸海域環境への影響」、東久美子、2018～2021年度、33,900千円（直接経費総額）
- ・ 科研費 基盤研究 (A)「南極氷床コア中ダストのマルチパラメータ分析による氷期・間氷期の気候・環境変動解明」、2015～2018年度、東久美子、35,500千円（直接経費総額）
- ・ 科研費 基盤研究 (B)「高分解能顕微観察による氷床含有超微粒子探査とレオロジーに関する研究」、2017～2019年度、東信彦、1,800千円（分担金直接経費総額）
- ・ 科研費 基盤研究 (C)「氷河掘削試料中の花粉DNA 解読とその遺伝情報を用いた中央アジア半乾燥域の環境復元」、中澤文男、2016-2019年度、3,800千円（直接経費総額）
- ・ 科研費 基盤研究 (B)「地下氷コア解析によるアラスカ永久凍土域の環境動態解明－氷床コア究法を応用して－」、大野浩、2016～2018年度、900千円（分担金総額）

- ・ 環境研究総合推進費「地球温暖化に関わる北極ブラックカーボンとダスト粒子の動態と放射効果」、小池真、2017～2019年度、7,700千円（分担金直接経費総額）
- ・ 科研費 基盤研究(S)「過去の大規模な気候変動における氷床・海洋・大気の相互作用の解明」、阿部彩子（代表）・川村賢二（分担）、2017～2021年度、17,800千円（分担金直接経費総額）
- ・ 科研費 基盤研究(A)「高解像度マルチアーカイブ分析による太陽地磁気変動史と宇宙線イベントの解明」、堀内一穂（代表）・川村賢二（分担）、2019～2022年度、2,440千円（分担金直接経費総額）
- ・ 科研費 基盤研究(B)「北極圏における氷河起源ダストが氷晶核分布に与える影響の評価」、當房豊（代表）・永塚尚子（分担）、2019～2021年度、13,300千円（分担金直接経費総額）
- ・ 科研費 若手研究「北極域の氷河暗色化と融解促進理解の新たなアプローチ．鉱物・微生物プロセスの研究」、永塚尚子（代表）、2019～2023年度、3,300千円（直接経費総額）
- ・ ArCS テーマ2「グリーンランドにおける氷床・氷河・海洋・環境変動」、東久美子、2015～2019年度、137,695千円(総額)
- ・ ArCS テーマ3「北極気候に関わる大気物質」、小池真、2015～2019年度、小池真、21,000千円（分担金総額）

KP306 極域における固体地球の進化と応答

研究期間：2016 年度から 2021 年度（6 年間）

研究代表者氏名：野木義史

共同研究者数：所内 23 人、所外 85 人

研究目的

地球システムは、気圏、水圏、固体地球圏、生物圏といったサブシステムの相互作用による、様々な時空間スケールの変動の複合体である。極域は、固体地球の応答である現在の地殻変動現象から、地球の進化に関わる数十億年スケールの現象までの、様々な時間・空間スケールの固体地球の変動現象を理解する絶好の場である。本研究課題では、極域の固体地球圏を中心に、地球表層環境変動と地球内部活動との相互作用に加えて、気圏および水圏サブシステムと固体地球圏の相互作用に関する理解も進め、地球環境変動の将来予測の高精度化に資する。本課題は、現在から数百万年スケールの地球表層環境変動に伴う固体地球の応答を扱う「極域氷床変動と固体地球の応答」、および数百万年から数十億年スケールの固体地球の進化を扱う「極域の大陸の進化と分裂のダイナミクス」の 2 つのサブテーマのもとに研究を推進し、極域の研究観測を基礎に、固体地球の応答と進化に関わる変動現象のメカニズムの解明を進める。サブテーマ 1 「極域氷床変動と固体地球の応答」においては、測地学、地震学、第四紀地質学およびモデルシミュレーション等の研究分野を核として研究を進め、サブテーマ 2 「極域の大陸の進化と分裂のダイナミクス」では、主に地質学および固体地球物理学的なアプローチにより研究を推進する。さらに、極域における固体地球研究の新展開を目指し、新たな探査手法等の導入に関する検討も行う。

研究経過と成果

サブテーマ 1 「極域氷床変動と固体地球の応答」

JARE59 で取得した絶対重力測定データの処理を行うとともに、約 20 年間の測定データの蓄積のある昭和基地については、重力変化速度を求めた。また、南極の外国基地（ノルウェー基地とインド基地）においても絶対重力測定を実施した。

ALOS/PALSAR データによる、宗谷海岸南部の 2007 年から 2011 年にかけての氷床および氷流の流動分布図を作成し、流動の時空間変動について調べ、スカーレン氷河とテーレン氷河の流動速度および流動方向の変化を見出した。また、白瀬氷河の流動速度変化を求めるとともに、河口周辺の海氷（定着氷）の影響について検討を行った。

宗谷海岸露岩域で実施している GNSS 観測データ解析を行い、地殻の上下変位速度を求めた。これらの変位は GIA (Glacial Isostatic Adjustment) に伴うものだけでなく、現存する南極氷床の質量変動に伴う変位も含まれているため、衛星データを用い、現在の氷床質量変動の影響を補正し、GIA モデルから予想される変位との比較を行った。さらに、JARE56 より行っている白瀬氷河上での GNSS 観測データを解析し、流動速度や上下変位を求めた。一方で、JARE59 期間中に昭和基地で実施した無人航空機による多時期の空撮画像からそれぞれ表面地形 (DSM) を作成し、DSM の時間変動を求め、測地観測に対する積雪影響の補正に使用できる事を示した。

南極地域観測隊が宗谷海岸に展開している GNSS 観測点のデータや東南極にある IGS 点 GNSS デー

タを解析し、GIAに伴う地殻変動の検出を試みた。GRACEの質量変動データを使ってGNSS観測から求められた地殻変動に対し、最近の南極氷床質量変動に伴う荷重弾性変形の補正を行い、GIAに伴い生じたと考えられる地殻変動を求めた。

約3万年前から数千年前までに至るグローバルな氷床量の時間的変化について、かつての氷床域から離れた地域（スリランカ、オーストラリア）における海水準変動の観測値と、GIAモデリング結果の比較を通じて推定した。約3万年前から最終氷期最盛期にかけて氷床が拡大する期間において、これまで漸次的な氷床成長が考えられてきたが、今年度の成果によって、最終氷期最盛期はさむ約2千年間に急拡大したことが明らかになった。さらに、数千年前の完新世においては、主に南極氷床の融解が約3千年前程度に完了していたことを示唆する結果を得た。これは、第四紀より現在までを通じた南極域のGIAを評価する上で重要である。

約6億6千万年前のマリノアンスノーボール期におけるGIAについて、第四紀の氷床変動に適用していたGIAモデルを、地球史時間スケールに対しても適用可能とするための拡張・開発を行った。拡張したGIAモデルによる解析を行い、理論的海水準変動の特徴や地球回転変動への影響などを詳細に解析し、地質学的証拠との比較をすすめ、推定される当時の粘性構造について検討した。その結果、数億年前の現象に対しても、第四紀スケールでの粘性率を適用することで矛盾なく当時の海水準変動を説明できることを示した。これは、地球史時間スケールにおける地球表層と内部の共進化について、マントル熱史やテクトニクス、粘性率との関係を考察する上で重要な成果となる。

氷河地震関連で、昭和基地の地震検知率統計解析について、季節依存性と気温・海氷・風速との相関、特に海氷変動との関連を調べた。リュツォ・ホルム湾域の冰山・海氷・氷河変動に伴う高周波共鳴地震微動を衛星データと対比から、定着氷と冰山の衝突等、発生原因について考察した。さらに、氷床観測点のノイズ相関解析により、地震表面波の速度変化を元に氷床下部の底面溶解や圧雪状態について、経年及び季節変化が得られた。また、ベイズ的手法によるS波速度構造推定方法を開発し、地殻浅部の2層構造を用いた数値実験による検証を行った。また、昭和基地を含む地震観測の半世紀の極域地震学研究の歴史・展開についてレビューを行った。さらに58次隊で実施した東オングル島における地震計アレイ観測による氷震の震源決定の成果を報告した。インフラサウンドデータを用いた解析では、昭和基地及び周辺域の微気圧計アレイデータから、各周波数帯の波動の到来方向推定を行い、リュツォ・ホルム湾の波浪や海氷を起源とするイベント検知を行った。また、昭和基地の11年間の時系列解析では、微気圧計の2008 - 2018年の連続データのスペクトルから脈動と微気圧擾乱の短時間変動、日周・季節変化、並びに長期間の経年変化を求めることで、気象データと良い相関が得られた。

後期新生代の氷床変動史の解明を目的に、宗谷海岸沿岸に広がる湖沼や浅海域において、新たに開発したパーカッションピストンコアラーを用いて従来よりも長尺の湖底・海底堆積物をJARE59において採取した。また、宗谷海岸およびプリンスオラフ海岸の広域において、地形地質調査を実施し、岩石試料採取およびUAVを用いた高精度地形情報の取得を行った。これらの調査概要および新型コアラーについて論文としてまとめた。

東南極宗谷海岸域においてこれまでに実施した現地調査および採取試料の分析から、約2万年前の最終氷期最盛期(LGM)以降の氷床後退過程を復元した。その結果、LGMにおける南極氷床は最大

400 m 以上の厚さで宗谷海岸南部全域を覆って拡大し、約 9~6 千年前の間に氷床高度を急激に下げつつ後退したことが明らかになった。この急激な氷床後退は周極深層水に流入による融解促進に起因する可能性がある。さらに、南極氷床変動の定量的復元と融解メカニズムの解明を目指して、南極観測事業と新学術領域研究の支援を得て、宗谷海岸およびシューマッハオアシスにおいて現地調査を実施した。宗谷海岸では湖沼堆積物の掘削と浅海域の地形調査を実施した。また、西オングル島では地中探査レーダーによる地層探査を実施し、62 次以降の陸上掘削に向けた基礎データが得られた。シューマッハオアシスでは湖沼・浅海域での堆積物掘削を実施するとともに、表面露出年代測定用試料の採取も行った。

Brunhes-Matuyama 境界における地磁気変動と酸素同位体ステージ (MIS) 19 における環境変動についての共同研究を実施した。とくに千葉セクションにおいて、MIS19 の気候変動を復元するとともに、地磁気逆転の関係についての論文にまとめた。極地研が中核を担って千葉県房総半島の地層「千葉セクション」を前期-中期更新世境界の国際標準模式地 (GSSP) として、国際地質科学連合に提案書を提出した。その結果、「千葉セクション」は日本初の GSSP として認定され、地質時代の中期更新世が「チバニアン」と命名された。

既存の GIA モデルに氷床融解に伴う地球回転変動に関連した長波長の地球変形や真の極移動を詳細に再現できるモデルを実装し、第四紀の氷床変動および地球内部構造の影響を定量的に評価した。特に深度上部・下部マントル境界の粘性ジャンプが少なくとも 1 桁程度は存在すること、下部マントルの深さに依存して漸進的に約 1023 Pa s まで粘性率が高くなる可能性を、観測値と数値計算結果の比較より具体的に示した。また、GIA モデルによる、南極氷床およびグリーンランド氷床の復元に関する研究も進めた。

サブテーマ 2 「極域の大陸の進化と分裂のダイナミクス」

南極セール・ロンダーネ山地、リュツォ・ホルム岩体、中央ドロニングモードランド、ならびに、南インド太古代~原生代の地質帯の岩石試料の解析を共同研究者とともにおこなった。火成作用、変成作用、地殻流体、年代学的解析などによってこれらの地域の地殻発達について検証するとともに、周辺大陸の試料解析ともあわせて広域的な地殻進化ならびに地殻深部プロセス解明に向けての検討をおこなった。その成果は、国際学術誌等に順次公表をすすめている。特に、JARE58 と JARE60 での昭和基地周辺 (リュツォ・ホルム岩体) からエンダビーランド (西レイナー岩体、レイナー岩体、ナピア岩体) にかけての野外調査の国内対応と岩石試料の解析・共同研究の実施によって、原生代から太古代にかけての地殻進化の重要な知見を得た。

JARE58・JARE60 で採取された昭和基地周辺 (リュツォ・ホルム岩体) からエンダビーランド (西レイナー岩体、レイナー岩体、ナピア岩体) 岩石試料の解析を進め、原生代から太古代にかけての地質情報を整備した。JARE61 で計画されている南極セール・ロンダーネ山地での地質調査のための準備と国内対応をおこなった。

SHRIMP を中心とする共同利用設備を用いた共同研究・共同利用を推進し、U-Pb 年代測定および酸素同位体測定による共同研究を精力的に実施した。特に、南極ナピア岩体から採取された試料についてジルコンの酸素同位体分析を行い、その予察的結果を得た。また、SHRIMP を用いた U-Pb 年代測定の高精度化や、ジルコン中の極微量元素濃度を分析する手法を確立し、ジルコンを形成した

メルト組成や二次的な影響について検証した。高電圧パルス選択制粉碎装置 (Selfrag) を用いたジルコン回収方法の基礎実験などによって、共同利用・共同研究の発展に寄与した。さらに、ジルコンの U-Pb 年代、酸素同位体分析を重点的にすすめて、多種同位体地球化学データを用いた太古代から原生代にかけての地殻進化過程を検討するとともに、SHRIMP を用いた微少領域ストロンチウム同位体分析手法の開発を進めた。

海洋域の研究に関しては、 Gondwana 大陸分裂の初期過程の解明を目的に、アルフレッドウエゲナー極地海洋研究所 (AWI) 主導のもと共同連携研究として 2017 年 7 月-8 月にかけて実施された、ドイツ海洋調査船ゾンネによる S0258/2 航海に参加し、日本の観測機材を使用してスリランカ沖における地磁気三成分データを取得した。さらに観測結果は、古地磁気強度変動に関する神戸大学との共同研究にも活用した。また、南極観測船「しらせ」で取得した地磁気三成分、海底地形の解析を進め、南東インド洋海嶺における海底地形の時間変動を明らかにし、国内外の学会で成果を発表した。今後、中央海嶺の時間変動が気候変動に与える影響を評価する。加えて、南極ケープダンレー沖のマルチビーム海底地形データ海底地形解析を Geoscience Australia との共同研究を継続し、これまでの成果を極域科学シンポジウム等で発表し、論文の投稿準備を進めている。さらに、インド洋コンラッドライズ周辺海域の地形、地磁気および重力異常等のデータ解析を継続実施し、インド洋の新たな海洋底拡大史を提案するとともに、デルカノライズやコンラッドライズの一部の海山が大陸地殻である可能性を示した。本成果をとりまとめ、投稿論文を準備中である。さらに、2018 年度に行われた白鳳丸による南極海観測航海により、地磁気、重力、海底地形データおよび岩石試料等を取得した。

東京大学大気海洋研究所調査船「白鳳丸」KH-20-1 航海 (ケープタウン～フリーマントル、2020 年 1 月 18 日～2 月 16 日) で海上地球物理観測 (マルチビーム音響測深、全磁力、船上磁場 3 成分、船上重力) を実施し良好な観測データを新たに取得した。さらに、コンラッドライズ海域において岩石ドレッジを実施し火成岩、炭酸塩、底生生物サンプルを採集した。ケープダンレー沖の南極大陸斜面の海底でも岩石ドレッジを実施し火成岩試料を採集した。

2019 年度に実施された「白鳳丸」南半球世界一周航海を機会として西南極における研究も新展開があり、スコチア海とウェッデル海における海洋底拡大史の解明および沈み込み帯の実態把握に関する観測研究を進めた。「白鳳丸」KH-19-6-Leg4 航海 (プンタアレナス～ケープタウン、2019 年 12 月 19 日～2020 年 1 月 16 日) で海上地球物理観測 (マルチビーム音響測深、全磁力、船上磁場 3 成分、船上重力) を実施し良好な観測データを取得した。

地球表層流体圏における変動が固体地球マグマ活動に及ぼす影響に着目した研究を進めた。中央海嶺マグマ活動の数万～数十年スケールの時間変動を捉える目的で、南東インド洋海嶺、大西洋中央海嶺、チリ海嶺の海嶺軸近傍において、5 つの研究航海で海底地形・磁気・海上重力データを新たに取得した。

長期的な固体地球テクトニクス理解の年代軸基盤となる海洋リソスフェア中の磁性鉱物の挙動について研究を進め、四国海盆の海洋コアコンプレックス (マドメガムリオン) を対象に「よこすか」YK19-04S 航海において調査を実施した。しんかい 6500 による潜航調査を通して玄武岩から地殻深部およびマントル (かんらん岩、ガブロ、蛇紋岩) までの岩石試料を新たに採集した。また、

これら試料の物性・岩石磁気分析を実施し基礎データを取得した。

探査機の開発では、南極縁辺域大陸棚の海氷下で海底地形等の観測を可能とする、AUV (Autonomous Underwater Vehicle) の開発を進めている。さらに、AUV での海底地形調査が困難である浅海域の観測に関して、市販の小型 ROV (Remotely Operated Vehicle) を応用した探査手法の開発も進めている。

今後の研究の展望と期待される成果

今後、本プロジェクトを発展させ、サブテーマ 1 および 2 の連携のみならず、他分野との連携も視野に入れた、次期プロジェクトの立ち上げに向けた研究を展開する。

サブテーマ 1 「極域氷床変動と固体地球の応答」

- ・微気圧データ等による研究では、固体地球と大気・氷床・海洋との物理相互作用で生じる波動伝播現象解明を目指しており、今後とも他分野との連携による研究が期待される。
- ・測地学の観測は、南極の外国基地での観測をさらに展開し、観測の空間分布の充実を図る。加えて、これまでの南極域での観測の継続とその精度の向上により、地殻変動の長周期の時間変動等が明らかになる事が期待される。これらの時空間の分解能が上がることにより、GIA のような、氷床変動に伴う地殻変動等の詳細が明らかになり、第四紀地質学で扱う時間変動と同等の議論が可能となると予想される。加えて、GIA 以外の短周期変動成分等も明らかになり、多分野との連携も含め、分野を横断する研究の大きな進展が期待される。
- ・第四紀地質学においては、新たな堆積物、岩石採取や地形データ等により、氷床変動や海水準変動に関連する研究の大きな発展が期待される。特に、新たに開発されたパーカッションピストンコアラーを用いた、長尺の湖底・海底堆積物採取により、新たな研究の進展が期待される。
- ・測地学および第四紀地質学における南極での研究等は統合され、GIA モデルによる定量的な議論や新たな問題提起へと繋がり、地球内部構造を含めた固体地球科学の進展に大きく寄与する。
- ・北極域でも上記の研究の一部が実施される予定であり、両極の視点による研究の推進も期待される。

サブテーマ 2 「極域の大陸の進化と分裂のダイナミクス」

- ・昭和基地周辺 (リュツォ・ホルム岩体) からエンダビーランド (西レイナー岩体、レイナー岩体、ナピア岩体) 岩石試料の解析や、同位体分析等により、太古代から原生代にかけての地殻進化過程に関する研究の大きな進展が期待される。
- ・南極海洋域での研究からは、 Gondwana 大陸の初期分裂とそれに伴うインド洋の拡大史が新たに提案される事が予想され、 Gondwana 大陸の復元モデルも含め、大陸分裂過程といった地球内部ダイナミクスの研究の進展が期待される。
- ・上記、地殻進化過程および大陸分裂過程の研究は、固体地球科学の大きな問題の一つである、大陸の離合集散過程のメカニズムの解明に大きく寄与する。
- ・AUV の開発や ROV を応用した探査により、今までデータの得られなかった領域からデータを得る事が可能となり、新たな研究分野の創設等が期待される。

上記のサブテーマ1に関連する、地球表層環境の変動による固体地球の応答と、サブテーマ2に関連する、地球内部ダイナミクスによる地球表層環境の変動に関する研究の融合を促進する事により、地球惑星科学分野の進展に大きく寄与すると期待される。

今後の研究計画

全体

また、本プロジェクト全体を通して、2020年度以降も、サブテーマ1および2の成果は、それぞれの年度において、JpGU Meeting、極域科学シンポジウムやSCAR等の国際会議、ならびに関連する国内学会等で発表する。さらに、サブテーマ1および2が連携するような時間・空間スケール変動に跨がる研究を目指し、極域科学シンポジウム等で本プロジェクトのテーマをセッションとし、研究の連携等の促進を図る。

2020年度

サブテーマ1「極域氷床変動と固体地球の応答」

- ・レーザー高度計・GRACEなどの測地衛星から推定されている近年の氷床変動のモデル化を行い、その変動に伴う弾性変形成分を定量的に評価し、これまで提案されている最終退氷モデルを用いた粘弾性的地殻変動を再現する。
- ・フォワードモデリング的手法で近年の氷床変動が測地現場観測に与える影響を精密に評価し、東南極域における最終退氷モデル・地球内部粘性構造、それぞれについての不確定性を明らかにする。
- ・白瀬氷河やトッテン氷河流域を観測したSARデータに干渉SARやOffset Trackingといった解析手法を適用し、流動速度分布を求めるとともにその時間変化の有無についても調査する。
- ・昭和基地と周辺域の微気圧データから、南大洋波浪による脈動の時系列解析、海氷消長に伴う地震動の活動度等を継続する。
- ・極域に特有な励起源を仮定した波動伝播特性のモデリングと多圏間カップリングを継続して研究する。
- ・海洋波浪による微気圧擾乱の振幅・周波数の長期間変動を調べ、気象・海氷データと比較して表層環境の影響を評価する。
- ・氷河地震では、地震検知率の時間変動の統計解析を継続する。
- ・氷震微動の時間空間変動を調べ、表層環境データとの関連を検討する。
- ・昭和基地周辺でのアレイデータから、周辺の氷震の検知・到来方向・震源決定を継続して行う。
- ・南極氷床融解史モデルの構築にむけ、宗谷海岸およびシューマツハオアシスにおいて得られた堆積物や地形調査等の解析を進める。

サブテーマ2「極域の大陸の進化と分裂のダイナミクス」

- ・昭和基地周辺（リュツォ・ホルム岩体）からエンダビーランド（西レイナー岩体、レイナー岩体、ナピア岩体）岩石試料の解析を進め、原生代から太古代にかけての地質情報の整備を継続す

る。

- ・ JARE62 で計画されているリュツォ・ホルム岩体での地質調査のための準備と国内対応をおこなう。
- ・ ジルコンの U-Pb 年代、酸素同位体、ハフニウム同位体分析による多種同位体地球化学データを用いた太古代から原生代にかけての地殻進化過程を検討する。
- ・ 新たに研究観測航海で得られた海底地形を含む地球物理データの解析を行い、南インド洋の C34 および M0 (約 1 億 2100 万年前) の年代を中心とした海洋底拡大史に関して研究を進める。
- ・ 大陸初期分裂過程解明や大陸内部地質の推定のため、東南極大陸縁を中心に固体地球物理観測データおよび大陸棚で採取された岩石等の解析を進める。
- ・ 新たに研究観測航海で得られた海底地形を含む地球物理データの解析地球表層流体圏における変動が固体地球マグマ活動に及ぼす影響着目した研究を進める。
- ・ 海洋リソスフェア中の磁性鉱物の挙動については、しんかい 6500 により新たに採集玄武岩から地殻深部およびマントル (かんらん岩、ガブロ、蛇紋岩) までの岩石試料の解析を進める。
- ・ AUV の開発に関しては、南極海での試験運用を行う。

2021 年度

サブテーマ 1 「極域氷床変動と固体地球の応答」

- ・ 測地学的データとモデルを組み合わせた解析を行い、東南極域における最終退氷モデル・地球内部粘性構造の研究を継続するとともに、結果をとりまとめ公表する。
- ・ 衛星や測地学的データにより白瀬氷河やトッテン氷河流域の流動速度分布を求めるとともにその時間変化を明らかにする。
- ・ 極域に特有な励起源を仮定した波動伝播特性のモデリングと多圏間カップリングを継続して研究し、氷震微動の時間空間変動等と表層環境変化との関連を明らかにする。
- ・ 、これまで南極で得られた堆積物や地形調査等の解析を進め、南極氷床融解史モデルを構築する。

サブテーマ 2 「極域の大陸の進化と分裂のダイナミクス」

- ・ 南極セール・ロンダーネ山地、リュツォ・ホルム岩体、エンダビーランド、また、インド、スリランカで採取した岩石試料の解析を継続し、地殻進化過程の研究を進める。
- ・ インド洋を中心とした海洋底拡大史の新たな Gondwana 復元モデルについての結果をまとめ投稿する。
- ・ 東南極大陸縁を中心に固体地球物理観測データおよび大陸棚で採取された岩石等の解析をとりまとめ、大陸初期分裂過程解明や大陸内部地質の推定を行う。
- ・ 地球表層流体圏における変動が固体地球マグマ活動に及ぼす影響に着目した研究や海洋リソスフェア中の磁性鉱物の挙動についての研究を継続する。
- ・ AUV や ROV の開発に関しては、南極海での本格運用を開始する。

プロジェクト研究員の果たした役割

プロジェクト研究員の一人である、Zhao 氏は、海底堆積物の古地磁気記録や古環境変動の復元に

不可欠な基礎情報である磁性鉱物組成についての新たな分析手法を開発した (Zhao et al., 2018)。この研究成果は既に JGR 誌にて発表されており、続けて現在はこの分析手法を一般向けソフトウェアとして開発中である。これらの一連の研究成果は既に国内外の学会等でも注目されている。また、2018 年には国際深海科学掘削計画 (IODP) の Ross 海掘削に On-shore 研究者として、2019 年にはフランスの調査船 (MARION DUFRESNE) に乗船し、掘削された海底堆積物試料の古地磁気分析を進め、掘削された過去 300 万年分の堆積物試料の古地磁気分析を進めた。この分析結果は南極氷床や南大洋海洋変動の復元に不可欠な堆積物試料の年代を決定する基礎情報となる。また、本航海を主導したビクトリア大学 (ニュージーランド) の Rob McKay 博士などと共同で、鮮新世温暖期における西南極氷床の応答解析の議論を進めている。さらに、上部マントルにおける磁性鉱物の形成と海洋リソスフェアの磁化獲得過程に注目し、インド洋における調査で取得された岩石試料を用いて先駆的な磁気分析を産総研と共同で進めている。

また、もう一名のプロジェクト研究員竹原真美氏の貢献によって、JARE58 でナピア岩体から採取されたトータル岩質片麻岩を対象に、SHRIMP を用いたジルコン年代測定を進め、ジルコン年代の年代信頼度に基づく区分法を検討した。さらに、ジルコンを形成したメルト組成や二次的な影響評価のために、SHRIMP を用いたジルコン中の極微量元素存在度分析手法ならびに高精度酸素同位体分析手法の開発を進めた。また、JARE58 においてナピア岩体 Harvey Nunatak から採取された斜方輝石片麻岩中のジルコンが、リチウムやウランに極端に富むことを見出し、その成因を解明すべく SHRIMP によるリチウム同位体分析法を確立した。飛騨帯神岡地域をテストケースとして、ジルコン多種同位体分析手法の迅速化を行い、南極試料への適用準備を進めた。SHRIMP を用いた微少領域ストロンチウム同位体分析手法の開発を進めている。

極地研の役割と所外研究者との協力体制

- ・本プロジェクトにかかわる南極に関連したフィールドワークや、科研費プロジェクト等の実施にあたって、極地研として全面的にバックアップした。
- ・本プロジェクトを推進するにあたって、極地研保有の共同利用実験施設や観測機器等の有効利用を促進した。
- ・データや解析手法の情報共有を積極的に実施し、極域科学研究の更なる発展を促進した。
- ・講演や他大学を含めた講義等に、本プロジェクトに関連した最新の成果を取り入れ、若手育成やアウトリーチ活動を積極的に実施した。
- ・所外研究者は、極地研あるいはそれぞれの研究機関において室内実験・研究やデータ解析等を共同研究として実施し、その成果は本プロジェクトに大きく貢献している。
- ・本プロジェクト研究を推進するにあたって、積極的な所外研究者との議論や意見交換を通じて、今後の研究の方向性等を検討している。

研究課題の達成度・問題点及び今後の改善策

- ・それぞれのテーマ毎には概ね順調に成果は上がっている。特に、サブテーマ 1 においては、南極氷床と固体地球のカップリング等において、測地学と第四紀地質学との連携が進んでいる。しかしな

がら、サブテーマ1および2に跨がる時間・空間スケール変動の研究が未だ不十分である。

- ・共同利用施設等の利用促進にも努め、それなりに有効利用されてきているが、予算の関係等で、機器の不具合等への対応や修理等が遅延している。

(今後の改善策)

- ・それぞれのテーマ毎の結果をまとめとともに、プロジェクト全体としての成果を総括する。さらに、極域科学シンポジウム等で本プロジェクトのテーマとしてセッション等を組み、研究の連携の可能性を議論する場を設ける。
- ・所外共同研究者の共同利用施設や観測機器等の使用要望等に応えられるように、外部資金も含めて予算獲得に努めるとともに、共同利用に資する施設や運営体制の見直しも行う。

研究課題に関連する外部資金の獲得状況

- ・ 科研費補助金・基盤研究 (A) (研究代表者：金尾政紀 H. 24-R. 1 年度)
- ・ 科研費補助金・基盤研究 (B) (研究代表者：菅沼悠介 H. 28-R. 2 年度)
- ・ 科研費補助金・基盤研究 (B) (研究代表者：外田智千 H. 29-R. 2 年度)
- ・ 科研費補助金・基盤研究 (B) (研究代表者：野木義史 H. 30-R. 3 年度),
- ・ 科研費補助金・基盤研究 (C) (研究代表者：奥野淳一 H. 28-H. 30 年度)
- ・ 科研費補助金・基盤研究 (C) (研究代表者：本吉洋一 H. 30-R. 2 年度)
- ・ 科研費補助金・挑戦的萌芽研究(研究代表者：菅沼悠介 H. 27-H. 30 年度)
- ・ 科研費補助金・挑戦的萌芽研究(研究代表者：三浦英樹 H. 29-R. 1 年度)
- ・ 科研費補助金・新学術領域研究(計画研究) (研究代表者：野木義史 H. 29-R. 3 年度)
- ・ 科研費補助金・若手研究 (研究代表者：藤井昌和 H. 30-R. 2 年度)
- ・ 東レ科学財団科学技術研究助成(研究代表者：菅沼悠介 H. 29-R. 1 年度)

KP307 南極産地球外物質から探る初期太陽系進化

研究期間：2016年度から2021年度（6年間）

研究代表者氏名：山口 亮

共同研究者数：所内3人、所外16人

研究目的

現在年間4万トンほどの宇宙物質が地球に降り注いでいる。その大部分は微隕石（宇宙塵）（<1-2 mm）である。この中で隕石の割合は少ないが、試料の大きさから多様な研究手法が適応できるため、太陽系進化に関して様々な情報を得ることができる。隕石は、大きくコンドライト（始原的隕石）とエコンドライト（分化隕石）にわけられる。さらに、エコンドライトは、小惑星起源（小惑星型）のものと月や火星起源（惑星型）にわけられる。小惑星は、太陽系初期に存在した微惑星の生き残りである。コンドライトは、太陽系が誕生した当時の微惑星が集積したときの特徴を保っている。しかし、多くのコンドライトは、水質変成作用、熱変成作用、衝撃変成作用などの二次的プロセスを受けている。エコンドライトは、部分的あるいは全体的に熔融を経験した隕石である。微隕石は、集積以前の始原的物質が多く、彗星起源（外縁天体）のものも見つかっている。隕石を詳しく調べることで微惑星の進化過程を明らかにすることができる。また、コンドライトや微隕石を調べることで、集積以前の固体物質の進化過程を明らかにすることができる。また、惑星型エコンドライトから、進化した分化天体（月、火星）の発達史を明らかできると期待される。

本研究の目的は、主に南極で回収される宇宙物質を固体物質科学的に研究することで、初期太陽系の形成過程および微惑星、月や火星の表層発達過程を明らかにすることである。本研究のテーマは、大きく三つにわけられる：①電子プローブマイクロアナライザ（EPMA）や走査型電子顕微鏡等（SEM）を用いて、隕石や微隕石の微細組織や鉱物組成から、熱履歴と衝撃履歴を読み解き、微惑星の発達過程を明らかにする。②レーザーアブレーション型ICP質量分析計（LA-ICP-MS）を用いて、局所あるいは微小試料の主要および微量元素測定技術の開発を行い、隕石や微隕石、小惑星探査試料の分析を行う。上記テーマ①と組み合わせ、微惑星や原始惑星の集積過程・水質変成および脱水作用、熱変成作用、熔融分化による金属コア・マントル・地殻形成過程、また、衝突過程を明らかにする。③微隕石など微小試料のハンドリングおよび分析技術の開発を行う。これまでよりも汚損や汚染の少ないハンドリング手法の確立を行う。これによって、コンドライト隕石中の始原物質や彗星物質など、これまでハンドリングの難しかった試料の分析を試みる。さらに、小惑星探査試料との対比研究を行う。

研究経過と成果

- ・始原的コンドライトのキャラクタリゼーション：詳細な組織観察および鉱物組成の定量分析により、南極隕石から最も始原的なコンドライト（未分化隕石）の探索を行った。比較的始原性の高い18個のタイプ3普通コンドライト隕石の精密バルク組成（主要、希土類元素など）を行った。これによって、太陽系の原材料物質の組成の推定、始原物質の星雲や母天体における分化過程について考察する。これは、プロジェクト研究員のテーマの一つであった。
- ・普通コンドライトとCO3コンドライトのバルクX線回折測定：研磨薄片試料を面内回転させるこ

とで粉末X線回折パターンを得た。この手法は当該分野において新しいものである。また、CO₃コンドライトからはこれまでの異なる分析機器による結果と整合する結果が得られるとともに新たな結晶学的知見を得た。

- ・コンドルールの形成過程：アメリカ合衆国ウィスコンシン大学の研究者達とコンドルールの同位体に関わる共同研究を実施した。特に酸素同位体組成に関する研究を行い、コンドルールの化学組成と酸素同位体組成が密接に関係することを明らかにした。その成果は論文としてまとめた。また消滅核種のアルミニウム同位体の分布に斜長石の鉱物学的特徴が重要であることを見出し、その要因を検討した。
- ・始原的エコンドライト隕石の形成過程：ユレイライトは、主にかんらん石と輝石からなる隕石で、原始惑星のマントルを起源とする。元素組成や同位体組成からその母天体（微惑星）の起源や進化過程を明らかにしようとした。32個のユレイライトの鉱物組成（Mg/Fe比）、酸素・炭素同位体組成の関連性の考察から、ユレイライト母天体は、二つのリザーバから形成ことで説明できることを示した。これはさらに、非常に炭素に富む天体が存在したことを示唆する。
- ・南極やまど山脈付近の裸氷帯で発見された始原的エコンドライト（ロドラナイト隕石） Yamato 983119 の形成史を明らかにするために、岩石鉱物科学的な研究を行った。その主要な岩石組織、鉱物化学組成の特徴は、通常のロドラナイト隕石のものと整合的である。一方、Yamato 983119 は、多量な直方輝石、メルト包有物の存在など、通常のロドラナイト隕石には見られない特徴を持つ。これらの結果は、Yamato 983119 が通常のロドラナイト隕石のような溶け残り岩ではないことを示している。Yamato 983119 がより複雑な形成プロセスによって形成したことを提唱した。
- ・分化エコンドライト（HED隕石および類似隕石）の形成過程：HED隕石は、小惑星ベスタを起源とする分化エコンドライトである。衝突により角礫化したHED隕石のフィールドエミッション走査電子顕微鏡（FE-SEM）などによる組織観察を行う同時に、ICP-MSを用いた元素の精密定量を行った。親鉄元素の濃度あるいはその元素比から、衝突物質の組成の特定を行った。その結果、衝突物質は鉄隕石(IAB, IVA)および炭素質コンドライト(CM, CO, CV, CK, CB, CR)である可能性が高いことがわかった。この結果は、HED隕石の一部に、自然ニッケル鉄（鉄隕石）や炭素質コンドライトの小片が入っているという岩石学的事実と調和的である。EET 92023およびDho 007隕石は、HED隕石に類似したエコンドライトで、分化微惑星に由来する。粗粒結晶質な組織を示し、いわゆる衝撃組織を示していない。主要元素や親石元素の特徴から、これらの隕石は母天体で形成した火成岩（集積岩）であることがわかった。しかし、通常この種の火成岩には見られない鉱物、テーナイトを含み、また、その全岩親鉄元素の含有量（コンドライト隕石の10%程度）は類似隕石に比べ非常に高い。これは、集積岩のターゲットに鉄隕石が衝突し汚染を引き起こし、その後、強い再結晶作用を受けたためであると考えられる。
- ・バルク元素組成および結晶学的特徴からみた隕石の分類に関する考察：国立極地研究所は 1,162 個の隕石の全岩化学組成を湿式分析法により得た。このデータを基に隕石の分類を検討した。コンドライトをユレーイ-クレイグ図にプロットすると異常な領域に分布するものが認められる。地球上での風化作用が一因である。また角礫岩化作用の寄与も大きい。光学顕微鏡観察によれば異

常な組成の普通コンドライトの多くは角礫岩である。エンスタタイトコンドライトや炭素質コンドライトでは従来のデータより広い範囲の全岩化学組成を持つことが明らかになった。HED 隕石の全岩化学組成は鉱物組合せや分類と一致する。本研究により湿式分析法による全岩化学組成データは分類上、重要であることがわかった。これと同時に全岩化学組成や分類の議論に当たっては岩石学的観察が不可欠であることも示した。結果は論文として公表した。

- X線回折測定法により、60個の普通コンドライトを測定し、系統的な差異を明らかにした。また、光学顕微鏡やEPMAなど異なる分析機器による結果と整合する結果が得られるとともに、衝撃変成度の差異をかんらん石と輝石の回折線の半値幅から得た。熱変成度の差異は、直方輝石の積分強度と正の相関、単斜輝石の積分強度には負の相関を見出した。これらの結果についても論文を発表した。
- ナンセン氷原における隕石集積機構の考察：JARE-54・BELARE 2010-2011隕石探査において採集した隕石および氷の同位体データによる隕石集積機構に関する研究である。隕石の分類データと特徴（風化度など）、落下年代（ ^{14}C および ^{36}Cl ）、衛星データからの氷床表層の流動速度、また、モデル計算から、同氷原に含まれる隕石の75-85%は、上流の数百平方kmの領域を起源とし、15-25%は直接落下した可能性を示した。また、採集した氷の酸素同位体組成から最終間氷期から同地域の氷床地形の変化はほとんどないことを示した。
- はやぶさ2サンプルリターン試料分析手法の確立：「はやぶさ2」試料のキュレーションチームの一つ（Phase2高知）として、精密分析や輸送技術の開発を目的として、JAXA/ISAS（キュレーション）、JAMSTEC高知コアセンター、分子科学研究所、SPring-8との共同研究を進めている。小惑星リュウグウの試料は2020年末に試料が持ち帰られる予定である。本年度は、サンプル容器の開発およびサンプル保持器具などの汚染評価を行い、その結果は査読付き論文に掲載された。テスト分析として南極隕石や南極宇宙塵を用いてSPring-8においてCT分析を2回行った。今後は、はやぶさ2試料を模擬した微細組織解析、同位体分析、X線分析などのリンケージを進める予定である。また、炭素質コンドライトと小惑星リュウグウの分光データの比較研究の成果が公表された。
- 南極微隕石：南極微隕石採集システムの開発を行なっている。これまで、凍結乾燥により30kg程度のドームふじの雪の処理を行った。極地研にて処理された試料（テフロンシート）を九州大学に輸送し、微粒子のピックアップを行った。数粒の微隕石と思われる微隕石を回収することができた。しかし、試料のピックアップの技術的問題また雪中の塩による微粒子の固着などの問題がみられた。凍結乾燥方法の改善、ピックアップツールの開発などを進めている。
- 鉄隕石および石鉄隕石の成因の解明：LA-ICP-MSを用いた短時間（数分から十数分程度）かつ簡便な手法を開発した。既存の方法（放射化学分析：INAA）による結果と非常に良い一致を示した。手法によって、鉄隕石や石鉄隕石の金属部分（混合部分）の成因の解明を進めている。今年度Meteorite Newsletterとして7個の鉄隕石の分析結果を公表した。
- 南極隕石コレクションには貴重な炭素質コンドライトが多々含まれるが、この中から始原的CMコンドライトに分類される試料を見出した。これらは水質変成作用などの二次的過程をほとんど経ていないものであり、CMの分類学及び、それらのコンドライトの形成過程に関する知見を得る

ことができた。

- ・ X線回折装置を用いた微小石質隕石試料のキャラクタリゼーションはX線を集光するポリキャピラリーユニットとGandolfiアタッチメントとを組み合わせることにより放射光を用いずとも実験室で効率的に測定ができる。この手法を用いて、様々な微小な石質隕石の回折パターンを取得し、それらの特徴を明らかにした。この研究成果は国内外の学会で発表し、現在論文に投稿中である。
- ・ その他：Asuka 10164エンスタタイトコンドライトの中にコーサイトとよばれる高圧鉱物を発見した。エンスタタイトコンドライトとよばれるグループからは、初めての高圧鉱物の発見である。鉱物組み合わせや組成、コーサイトの産状から、その衝撃イベントの温度圧力条件は、1000°Cで3-10 GPと推定される。その他、火星隕石や普通コンドライトの衝撃プロセスに関する研究を行った。これらの研究から、主要な隕石グループすべてに高圧鉱物が含まれることがわかった。また、CRコンドライトに含まれる特異な難揮発性包有物の鉱物学的・同位体学的解析を行い、太陽系初期における凝縮過程に関する考察を行った。HED隕石やメソシデライトの岩石鉱物学的解析および精密年代測定から、小惑星ベスタの初期冷却過程の推定、また、大規模衝突イベントに関する研究を行った。火星隕石から衝撃や水の影響に関連した火星の表層史に関する研究を行った。以上の結果は全て論文として発表した。

今後の研究の展望と期待される成果

本プロジェクトでは、南極隕石と微隕石を中心とした多種多様な地球外物質を固体物質学的に研究することで、太陽系小天体や惑星の進化史や太陽系の初期進化過程を明らかにする。今後は特に小惑星サンプルリターン試料の研究プロジェクトと緊密に連携する。現在進めている微小始原的物質試料のリンケージ分析の高精度化をさらに進め、サンプルリターン試料を南極隕石や微隕石と比較研究することで炭素質小惑星や太陽系始原物質の起源や形成過程の解明を目指す。

- ・ 極地研所蔵の南極隕石には、数十個の鉄隕石があり、分析の難しさから分類が行われていなかった。昨年度までに開発を行ったLA-ICP-MSによる鉄隕石の微量分析方法に基づいて、南極鉄隕石の分類を行う。そして、鉄隕石母天体の形成過程の解明を行う。

- ・ ユークライト隕石は、普通コンドライトと同様に、衝撃変成作用と熱変成作用を受けている。特に衝撃変成に着目したところ、ピークの数および半値幅に組織観察やカソードルミネッセンス発光強度から独立に見積もった衝撃変成度と良い相関が認められた。こうした解析手法は、これまで観察主体によった分類体系と異なり、数値的に評価することが可能となりより客観的な組織解析を可能にする。

- ・ 南極微隕石採集システムの開発を継続する。これまでは、雪に含まれる微隕石は、雪を融解してきた水をフィルターに通すことにより採集してきた。しかし、この方法では、微隕石中の物質（可溶性物質など）と水との反応、フィルターの目より細かい微小物質（<数 μm ）が採集できないなどの欠点があった。本計画では、凍結乾燥機を用いた採集装置、また、微隕石の初期処理および分析技術を極地研において確立することを目標とする。本設備に開発によって、南極から採集することのできる宇宙物質すべての研究が可能になる。微小物質という性質上、分析フローの検討や技術の開発も想定される。

・2015年3月25日に「はやぶさ2」試料受入準備にかかるJAXAとの連携協定が締結された。これは、JAXA/ISAS（キュレーション）、JAMSTEC高知コアセンター、分子科学研究所、SPring-8の共同研究により、サンプルリターン試料のハンドリングや分析システムの構築を目指すものである。このチームは、はやぶさ2試料の分析チームである「Phase2高知」として現在に至っている。2020年末に試料が持ち帰られる予定である。そのために、引き続き「Phase2高知」のメンバーとして協力し、サンプルリターン試料の解析技術を開発し、試料が持ち帰られた後、その分析を行う。

・その他、今後も現在共同研究が進行している各種課題を継続する予定である。炭素質コンドライトの岩石学的研究とそのコンドライト中の構成成分の成因、について微細組織、鉱物組成、同位体組成に基づき水質変成や熱変成作用などから炭素質母天体（C型小惑星）の形成史を解明する。メソシデライトとHED隕石の組織や元素組成、また放射年代、太陽系初期に起こった分化隕石母天体（ベスタ）の巨大衝突プロセスについて解明しようとしている。火星隕石、普通コンドライト隕石、ユークライト隕石から、地球外天体（火星、S型小惑星、小惑星ベスタ）における衝突現象に関する隕石研究・実験学的研究を行なっている。

今後の研究計画

はやぶさ2によるサンプルリターン試料の分析に向けて、炭素質コンドライトや微隕石など類似物質を用いた初期処理、分析手法、また輸送技術の確立を行う。また、サンプルリターン試料と同レベルで、炭素質コンドライトなどの精密同位体分析や微細組織観察などの多様な手法による解析を行い、南極隕石を中心とした隕石そのものの解析を進めると同時に探査試料のための比較用データを得る。

昨年度に引き続きエコンドライト隕石の組織観察および微量元素組成測定を行う。FE-SEM、EPMA、LA-ICP-MS、XRDを用いて、局所領域の組織解析および主要微量元素組成分析を行う。特に親鉄元素および揮発性元素に着目する。溶融分化、熱衝撃変成作用に伴う組織や元素（同位体）組成の変化から微惑星や原始惑星で起こった物質進化過程についての研究を進める。

コンドライト隕石および小惑星試料の分析に向け、局所微量元素組成（特に揮発性元素）の分析手法の確立を進める。その組成から熱史や水質変質過程を推定する。また、XRD分析によって熱変成度や衝撃変成度を詳細に決定すると同時に、異なる化学グループ間での成因的関連性について検討する。

昨年度に引き続きドームふじの雪試料から微隕石試料のサンプリングとそのハンドリング技術確立を行う。凍結乾燥から微粒子ピックアップまでのプロトコルを確立する。微粒子の走査電子顕微鏡観察のためにスローリークシステムを導入したい。さらに、回収した微隕石の鉱物分析や有機物の解析を進める。

プロジェクト研究員の果たした役割

Hublet Genevieve Claire B (2016-2017年度)

7個の南極ユレイライトに関し、同位体学的あるいは岩石学的研究を行った。酸素同位体組成 $\Delta^{17}O$ は、-1.89 から 0.02 の範囲を示し、他のユレイライトのデータと一致する。他方、 ^{66}Zn 同位体値は不均質であった。このZn同位体分別を、レイリーの蒸留モデルを適用した結果、この重いZn

同位体に富む理由は、精錬過程に伴う蒸発過程に関連したと考えられることを示した。

始原的コンドライトの組織と組成から形成過程の解明を行った。選定した試料を EPMA および FE-SEM により、岩石学的サブタイプを決定した。隕石試料を粉末化したのち溶液化し、ICP-MS による精密元素分析測定を行った。18 試料の分析を行った。また、普通コンドライト Asuka 12389 および Asuka 12011 は、日本ベルギー共同探査で回収された隕石である。この隕石は、変成度の異なる LL コンドライト、また、衝突熔融岩の破片からなる母天体表層で形成したレゴリス角礫岩であることがわかった。この隕石の組成や組織を調べることで、母天体の表層史を解明することを目指した。

極地研の役割と所外研究者との協力体制

はやぶさ 2 サンプルリターンプロジェクトには、極地研の KP306 のメンバー 2 名（山口・今栄）が、試料分析の Phase 2 高知チームに加わり、活動を行っている。当チームは、JAMSTEC 高知コアセンターおよび SPring-8 を主体として、分子科学研究所や宇宙科学研究所のリターンサンプルキュレーション部門などで構成されている。定期的に会合を行い、南極隕石や南極微隕石を活用して試料分析の手順や得られると予測される成果について多角的な検討を行っている。

一般研究観測「南極における地球外物質探査」によって、ドームふじ基地付近表層の雪が採集された。極地研において、雪の中から微隕石を採集するためのシステムを設置し、予備実験を開始した。所外共同研究者に試料を提供している。新しい発想に基づく微隕石処理システム（凍結乾燥機）の開発を行った。これは、過去 10 年以上にわたり 2 トンの雪から 1000 個近い微隕石を回収するなど、野口（九大）らによる長年にわたる試行錯誤の研究から出た発想である。

普通コンドライト母天体（小惑星）の衝突過程の全体像を把握するために、南極普通コンドライト普通コンドライトのサーベイ的研究を行った。これまでに数百個の普通コンドライトの初期観察を行った。詳細解析のために、選定した試料を所外研究者に提供した。極地研設置された ICP 質量分析計を用いた微量元素分析法の開発を行なっている。首都大で開発された元素分析の手法、および、フロリダ州立大で習得した LA-ICP-MS 分析の手法の移植とアップグレードを行った。

研究課題の達成度・問題点及び今後の改善策

2016-2019 年度の 4 年間で予定されていた研究課題の 7-8 割は達成できたと考える。特に、課題②から派生したテーマ（X 線回折法による隕石の衝撃度と変成度の定量化）に関しては、普通コンドライトにおいては初期成果が上がり、また、他の隕石（ユークライト）についてもさらに進めつつある。これは主に大学院生のテーマとして進めている。また、はやぶさ 2 サンプルリターン試料解析のための準備も順調に進んでいる。

問題点としては、派生したテーマが多岐にわたることである。もう少しテーマを整理し絞る必要がある。また、予算不足から分析装置の維持管理費用（年間メンテナンス）や消耗品費用が十分であるとは言い難い。さらなる外部資金の導入のための努力をする必要がある。

研究課題に関連する外部資金の獲得状況

科学研究費補助金

- ・基盤研究 (B) 「木星の形成は原始太陽系星雲を分裂させたのか? -分化隕石からのアプローチ-」, 山口亮, 2019-2022 年度, 総額 1436 万円
- ・基盤研究 (C) 「太陽系最初期段階の熱履歴解明のための物質科学的研究」, 木村眞, 2018-2021 年度, 総額 330 万円
- ・基盤研究 (C) 「クヌーセンセルを用いたコンドリュール再現実験生成物の Mg, Fe, Si 同位体比分析」, 今栄直也, 2017-2019 年度, 総額 442 万円

その他

- ・情報システム研究機構 2018 年度未来投資型プロジェクト 2018FS、山口 亮 (代表)、課題名: 課題名: 宇宙物質と大気の相互作用: 流星-宇宙塵からのアプローチ、研究期間: 2018 年度、金額: 総額 180 千円 (2018 年度 600 千円)

KP308 南大洋インド洋区における海洋生態系研究

研究期間：2016年度から2021年度（6年間）

研究代表者氏名：小達恒夫

共同研究者数：所内6人（他、連携研究者1人）、所外22人（2016年度）
所内7人（他、連携研究者1人）、所外20人（2017年度）
所内7人（他、連携研究者1人）、所外19人（2018年度）
所内5人（他、連携研究者1人）、所外19人（2019年度）

研究目的

本研究では、南大洋インド洋区における海洋生態系の構造と機能の現状を解明し、その将来予測を行うことを目標とし、以下の観点から研究を進める。

- ① **構造解析**：新たに得られる海洋生態系に関する基本観測結果をデータベースに登録するとともに、未処理の生物標本の分析を進めてデータベースの充実を図り、海洋生態系の構造（生息環境、主要生物種など）の現状把握を行う。
- ② **プロセス研究**：構造解析で明らかになった生物種間を繋ぐ食物連鎖（食物網）の研究を進め、生態系内の物質循環、エネルギー転送過程を明らかにする。特に、海氷縁生態系においては、海氷融解に伴う有機物供給が表層生態系へ及ぼす影響を評価する。また、生物生産の高いケルゲレン海台海域からの有機物水平輸送過程について研究を進める。これらの目的のために実施される国内外の共同研究で得られる試料分析及び成果発表支援を行う。
- ③ **生態系の中・長期変動解析**：海洋生態系の将来予測を行うために、海洋生態系に関するデータベースを用いて過去～現在までの中・長期変動を抽出し、その変動に影響を与える主要プロセスを検証する。
- **その他**：本研究を通じで大学間連携、特に東京海洋大学との連携協定に基づく連携強化、国際的には南大洋インド洋区で研究を展開しているオーストラリアとの研究協力強化を図る。また、文部科学省委託事業「南極地域観測事業 基本観測（海洋物理・化学観測）」の支援を行う。

研究経過と成果

- ① **構造解析**：2015年度～2017年度に実施された海鷹丸南極航海で得られた一般研究観測の採集情報については、JARE DATA REPORTS で公開した。また、南極観測事業第Ⅷ期計画期間中に得られた海洋生態系モニタリング観測で得られたプランクトン試料の解析を行い、その結果についても JARE DATA REPORTS で公開した。第Ⅸ期計画で得られた海洋生態系に関する基本観測結果については、2017年度、極地研究所が刊行開始した Polar Data Journal で公開すべく準備を進め、一部については出版された。
- ② **プロセス研究**：JARE 第Ⅷ期一般研究観測「プランクトン群集組成の変動と環境変動の関係に関する研究」やこれまで海鷹丸南極航海で得られた成果を取りまとめ、学術雑誌 Polar Science の特集号として公表した（2017年7月）。

海氷縁生態系において、海氷融解に伴う有機物供給が表層生態系へ及ぼす影響を評価するため、海鷹丸南極航海では海氷融解が進んでいる夏季の海氷縁において浮氷を採集した。また、周辺の海水試料も採集し、海氷中・海水中の動・植物プランクトン量・組成の比較を行った。本研究から、放出された海氷性カイアシ類は比較的速やかに他の生物に捕食されるなどして水柱から除去される可能性が示唆された。海氷内藻類は海氷から放出された後、多くの種が消失してしまうが、6種の珪藻類については増殖しブルームに寄与することが確かめられた。これらの結果は、海氷融解に伴い有機物が表層生態系へ供給されていることを意味する。上述の海氷性カイアシ類は沿岸性種として知られており、海氷を採集した外洋域には生息していないことから、これらの海氷は沿岸域（沿岸ポリニア）で生成され、海氷の張り出しとともに低緯度側へ運ばれてきたものと推察される。このことは南極海においては海氷の生成・張り出し・融解といった過程が、有機物の水平輸送として機能していることを示唆するものである。

これまで本研究で製作してきた漂流ブイに関して、耐氷性能を向上させる改造を行い、第59次南極地域観測隊で、「しらせ」から海氷域内に放流し、海氷が融解する期間の沈降粒子を補足する計画であった。しかしながら、「海鷹丸」ではGPSブイ部分は回収されたが、係留していた観測機器は亡失した。「しらせ」で放流後、氷海内で海氷との接触によるブイフレーム損傷に伴うものと思われる。耐氷性能を向上させる改造を行い、第61次南極地域観測隊で、「しらせ」往路に海氷域内に放流し、復路において回収することが出来た。海氷が融解する期間の沈降粒子を補足されているものと期待される。得られたデータ・試料は2020年度に解析する。

2017年度科学研究費挑戦的研究（萌芽）「南極海における海氷の生態学的意義－マイクロハビタット発現に関する実験的研究－」（研究代表者・小達）の支援を受け、海氷生成装置を製作し、海水試料を用いた海氷生成の予備実験を、研究代表者の所属する情報・システム研究機構国立極地研究所内の低温実験室内で行った。海氷生成のタイミング等が明らかになったことから、2018年度以降、植物プランクトンを含む海水試料を用いた実験を行った。その結果、混合の強度と海氷内に取り込まれる藻類量に関連があることが分かった。当該科研費の研究期間は終了するが、ここで製作した海氷生成装置を活用し、引き続き海氷生成実験を行う。

③ 生態系の中・長期変動解析： 2019/20及び2020/21シーズンに計画されている、Southern Ocean Sentinelの国際共同ベンチマークキャンペーンの準備を進めた。関係者と会合を持ち、本研究で分かってきた流れ・中規模渦とプランクトンの輸送過程研究、及び海氷融解と食物連鎖の研究をさらに発展させる必要がある事で意見が一致した。そこで、2017年度科学研究費補助金基盤研究（A）（海外学術調査）「南大洋センチネル計画－日豪共同によるインド洋区生態系のベンチマーク2020－」（研究代表者・小達）を申請し、採択された（2017年度～2021年度）。

○ その他：大学連携として、文部科学省委託事業「南極地域観測事業 基本観測（海洋物理・化学）」を、国立極地研究所・東京海洋大学の連携協定に基づく事業として受託した。2016年度～2019年度に得られた結果を、極地研究所・学術データベースに登録した（以下のアドレス）。

http://scidbase.nipr.ac.jp/modules/metadata/index.php?content_id=271

また、南極海洋研究に関わる国立極地研究所・東京海洋大学ワークショップを開催し、これまでに実施された海鷹丸南極航海で取得したデータおよび生物サンプル分析・解析結果についての報告会を実施し、情報の共有および議論を行った。基本観測および海洋生態系モニタリングで取得したデータを Polar Data Journal で公表した。

国際協力として、日本とオーストラリアの主要研究海域である南大洋インド洋区では、Southern Ocean Indian Sector Working Group を組織した。本研究組織が中心となって、2017年8月12～16日に、SOOS RWG - Southern Ocean Indian Sector Working Group 2017 Meeting を神奈川県葉山町で開催し、日豪の国際的リーダーシップを発揮して、ベンチマーク 2022 に向けた議論を行った。なお、この開催経費（会場費、招聘旅費の一部等）は、情報・システム研究機構「国際 NW 形成・MoU 推進プロジェクト」の支援を受けた。

2018年7月25日～26日の期間、東京海洋大学・品川キャンパスにおいて、南極研究に関する日豪ワークショップ（第4回）を開催し、前回以降、本研究に関連した共同研究実績及び将来計画について議論した。

2019年4月3日～5日の期間、オーストラリアの研究者を招き、日豪 Umitaka-maru - Penguin ワorkshopを開催し、ケーシー基地近傍のペンギンの行動と沖合の海洋生物の分布に関して問題点を洗い出し、将来の共同研究について議論した。また、2019年には、極地研の外国人研究員として招聘するタスマニア大学の Kerrie Marguerite Swadling 客員教授と海洋生態系研究における日豪協力体制について議論した。これらの議論を踏まえ、南極観測事業第X期計画を立案することになっている。

今後の研究の展望と期待される成果

これまでの研究から、海氷内には多量の微小生物が生息しており、海氷融解に伴い有機物が表層生態系へ供給されていることが考えられた。また、海氷内のカイアシ類は沿岸性種であることから、南極海における海氷の消長が、有機物の水平輸送として機能していることを示唆するものである。一方、海氷内藻類は海氷から放出された後、いくつかの種の珪藻類は増殖し、氷縁ブルームに寄与することが確かめられた。このことは、南極海の氷縁域における生態系には、元々海洋中にいた植物プランクトンによる現場の一次生産に加え、高緯度側から輸送された海氷の融解に伴う藻類の添加・増殖や微小動物の放出による有機物供給といった別経路が存在し、それが南極海の生物生産が高くなる要因と考えられる。南極海海洋生態系研究の新たな展開が期待される。

海氷内に出現したカイアシ類の場合、海洋表層ではほとんど見られないことから、そのまま沈降し水柱から除去されるか他の生物に捕食されるなどして水柱から除去されると考えられる。今後の研究では、氷海内漂流ブイを用いて、海氷が融解する期間の沈降粒子を補足させ、その実態（生物体そのものか、その破片を含む糞粒か）を明らかにすることが出来れば、沈降による除去か捕食による除去かを明らかにすることができる。後者の場合、海氷融解は有機物を表層生態系へ供給する機能とともに、そこから始まる食物連鎖を介した有機物転送を促進させている可能性を示すことができる。

一方、生物生産の高いケルゲレン海台海域からの有機物の水平輸送過程についての研究は、

観測の機会に恵まれなかったことから遅れがちである。しかしながら、本研究組織では、Southern Ocean Indian Sector Working Group (SOIS-WG) を通じて国際的な観測データの共有に向けて活動している。特に、「海洋物理・化学観測」及び「海洋生態系モニタリング」で得られたデータについては、Polar Data Journal で公開し SOIS-WG での共有を進める。南大洋インド洋区における海洋物理・化学・生物データの共有が進めば、当該海域の海洋環境・生態系の中・長期変動解析に貢献できる。

今後の研究計画

2020 年度及び 2021 年度

- ① 第 61 次観測及び第 62 次海鷹丸南極航海で得られた一般研究観測の採集情報について、JARE DATA REPORTS で公開する。これまでの海洋生態系モニタリング観測で得られたプランクトン試料の分析を行い、その結果については Polar Data Journal で公開する。
- ② 第 61 次観測で回収された漂流ブイシステムで得られたデータ・試料を解析する。また、海水生成装置を用いて、植物プランクトンを含む海水試料を用いた実験を行う。
- ③ SOIS-WG を通して、南大洋インド洋区における海洋物理・化学・生物データの共有を図る。
- 2020 年度及び 3 年度文部科学省委託事業「南極地域観測事業 基本観測（海洋物理・化学）」で得られた結果を、極地研究所・学術データベースに登録する。

南極海洋研究に関わる国立極地研究所・東京海洋大学ワークショップを数回開催し、本研究の推進を図る。

プロジェクト研究員の果たした役割

本研究プロジェクトで採用した研究員佐野雅美は、②プロセス研究を中心に研究活動を行った。2006 年度海鷹丸南大洋航海において海洋表層・中層より採集された試料を分析した結果、本海域の動物プランクトン分布構造の成立要因として、餌環境が重要な要因の 1 つと考えられた。そのため次に食物網解析に関連する研究を行った。まず、食物網解析の主要な手法である窒素・炭素安定同位体比分析および分子生物学分析に適した試料固定方法を検討し、10%ルゴールによる固定が最適であることを明らかにした。本結果をもとに、現在南大洋で係留中のセジメントトラップの固定液をルゴールとしており、船による観測が困難な夏季以外の季節の生態系構造を明らかにする上で重要な情報が得られることが期待される（投稿・査読中）。

次に食物網構造解析のため、動物プランクトン試料を種レベルで同定・選別し、懸濁・沈降粒子試料と合わせ窒素・炭素安定同位体比を分析した。その結果、季節海水域における各分類群の海水由来の有機物への依存度が求められ、0%からおよそ 80%まで種により大きく異なることが示唆された。

また、有機物の沈降過程の理解や海洋中層における食物網構造の解析には、沈降粒子を個別に採集・分析する必要がある。そこでゲル充填型セジメントトラップを新たに導入し、2019 年 1 月の南大洋航海で水深 50m, 200m, 500m より沈降粒子を個別に採集することに成功した。沈降粒子各種の有機炭素粒子束寄与率を求めたところ、50m ではクロロフィル極大の直下にも関

わらず大型の糞粒の寄与が大きく、植物プランクトンやその凝集物の寄与率は低かった。さらに深度に伴い糞粒が分解され凝集体となり、また殆どが深度間で消費・リパッキングされることが示唆された。プランクトンネット試料には、大型の糞粒排出者としてオキアミ類及び有殻翼足類が確認されており、安定同位体比分析で海氷由来の有機物への依存度が高いとされたこれら分類群が沈降過程に大きく寄与している可能性がある。現在、糞粒の排出者や各種沈降粒子それぞれの消費者を明らかにするため、分子生物学手法による分析を行っている。また予備的解析において動物プランクトンが消費する沈降粒子タイプの指標として細菌叢が有用であることが明らかとなり（現在投稿・査読中）、本解析もこの結果に基づき進めている。

極地研の役割と所外研究者との協力体制

本研究課題は極地研・海洋大連携協定に基づき実施されており、連携強化につながっている。南大洋インド洋区における海洋生態系研究のため、海鷹丸南極航海で採集された試料解析のため、東京海洋大学の大学院学生が極地研・特別共同利用研究員となり、極地研究所教員の指導を受けた。これらの結果は東京海洋大学大学院の修士学位論文として提出されている。特別共同利用研究員の中には、総研大・極域科学専攻科に3年次編入を果たしたのもいた。また、2019年度より、クロスアポイントメント制度を活用した両機関の人事交流（極地研・真壁→海洋大、海洋大・茂木→極地研）を進めることが出来た。

一方、国際的には南大洋インド洋区における海洋生態系研究を推進するため、オーストラリアの研究者と連携を進めた。本研究課題にオーストラリア研究者を共同研究員（So Kawaguchi、Andrew Constable、Kerrie Swadling）として加えるとともに、本研究課題の研究員もオーストラリアの課題【PROJECT 4331: Functional dynamics of zooplankton in Southern Ocean food webs: assessment of drivers and boundaries (PI: Kerrie Swadling)、PROJECT 4344: Assessment of habitats, productivity and food webs on the Kerguelen Axis in the Indian Sector of the Southern Ocean (PI: Andrew Constable)】の共同研究者（小達、高橋、茂木）となった。また、極地研・海洋大・AADで交わされた共同研究・学生教育の推進の覚書に基づき、豪研究者・大学院学生が海鷹丸南極航海へ参加することとなった。得られた試料・データ解析のため、情報・システム研究機構のインターンシップ制度を活用してタスマニア大学・大学院学生を招聘し（延べ4名）、研究成果発表を推進させることが出来た。

本研究課題の研究組織では、2012年度以降、文部科学省委託事業「南極地域観測事業 基本観測（海洋物理・化学観測）」を支援している。この事業を受託することによって、海鷹丸南極航海の燃油費を確保し、毎年実施することが出来ている。本研究課題の他、関連する科学研究費の現場観測も合わせて実施しており、海洋生態系研究だけではなく海洋における物質循環研究等、南大洋研究の幅を広げることが出来ている。南極海に興味を持つ東京海洋大学、長崎大学、鹿児島大学の学部卒業生が、東京海洋大学水産専攻科に多数入学している。海鷹丸南極航海時には、乗船している水産専攻科を対象とした、最新の研究成果等の講義も行われ、啓発活動にも貢献している。

研究課題の達成度・問題点及び今後の改善策

本研究からは、海氷を介した食物連鎖・物質循環に関わる新たな研究成果を得ることが出来ており、順調に当初計画が達成されていると考えられる。

国内的には、東京海洋大学との研究だけではなく、教育・人事交流といった点でも連携が強化されている。また、国際的にはオーストラリアとの研究・教育における連携強化が図られた。本研究課題を実施することにより、大学共同利用機関法人としての機能強化に大きく貢献しており、当初計画を超える達成度と考えられる。

研究課題に関連する外部資金の獲得状況

- ・ 南大洋センチネル計画－日豪共同によるインド洋区生態系のベンチマーク2020－、科学研究費補助金 基盤研究 (A) (2019～2021) (研究代表者：小達恒夫)、32,700 千円
- ・ 南極海における海氷の生態学的意義－マイクロハビタット発現に関する実験的研究－、科学研究費補助金 挑戦的研究 (萌芽) (2017～2019) (研究代表者：小達恒夫)、4,900 千円
- ・ 地域スケール及び周極全体スケールの相互比較から探る南極海動物プランクトン群集変動、科学研究費補助金 基盤研究 (B) (2016～2020) (研究代表者：高橋邦夫)、13,000 千円
- ・ 南極海洋生態系センチネル研究－事前観測－、科学研究費補助金 基盤研究 (A) (2014～2016) (研究代表者：小達恒夫)、34,500 千円

KP309 環境変動に対する極域生物の生態的応答プロセスの研究

研究期間：2016年度から2021年度（6年間）

研究代表者氏名：生物圏研究グループ・教授・伊村智

共同研究者数：所内8人、所外14人

研究目的

両極域の陸上環境には、陸上を繁殖の場として利用する海洋大型動物の営み、およびその厳しい環境を生活の場とする陸上動植物の営みが見られる。これらは低温と乾燥という生物にとってきわめて過酷な極域の環境に適応し、そこに単純ながら物質循環系を作り出している。

ペンギン・ウミガラスなどの海鳥やアザラシなどの海獣からなる海洋大型動物は、それぞれの動物種に特徴的な採餌行動によって海洋からエネルギーを獲得している。彼らは繁殖期を陸上環境等で過ごすため、その際に糞などと共に有機物や窒素やリンなどを陸上生態系に供給する。陸上生態系では、この輸送された有機物や栄養塩類を起点とした物質循環、これらに依存した生物多様性が観察される。このような生態系内での物質循環と生物多様性は、一般的には非常に複雑で全体像の把握は難しい。しかし南北両極域では、利用できるエネルギーが少ないことからその生物量、生物多様性共に小さく、構造も非常に単純である。この特徴を利用して海洋と陸上をつなぐ極域沿岸生態系における物質循環系とそこに見られる生物多様性の全体像を明らかにすることで、今後予想される急激な地球環境変動に対する応答の予測に役立てる。

また、海洋大型動物の繁殖成功は海洋での捕食活動に依存しているため、その個体数は海洋環境の変動を如実に反映すると考えられる。陸上の植生も、環境変動を的確に反映するセンサーとして重要であるとされる。一方で陸上土壌微生物の変動は、人間活動の直接の影響を評価するために重要な意味を持っている。極域沿岸生態系モニタリングにおける基礎的なデータの積み重ねは、変動のセンサーと生態系の応答予測の両面において欠かせないものである。

そこで本研究課題では、両極域の沿岸生態系の地球環境変動に対する生態的応答を明らかにするため、モニタリング情報の取り纏めと動物の採餌行動・物質循環過程・生物多様性の解析を行うことを目的とする。

研究経過と成果

（1）極域大型動物の行動生態

これまでに得られた南極域のアデリーペンギンの行動生態に関するデータやサンプルについて解析や分析を進め、学会発表や論文投稿を行った。また、南極域においては、第58次から60次にかけて南極地域観測隊に隊員を派遣して昭和基地周辺でアデリーペンギンやウェッデルアザラシ、ユキドリの生態観測を実施し、解析や分析を進めて学会発表や論文投稿を行った。アデリーペンギンの繁殖期間中の採餌行動について、GPS・地磁気ロガーから詳細な移動軌跡情報が得られた。ペンギンが沿岸のタイドクラックから潜水するときに、数十mという狭い範囲でしか採餌を行っていないこと、繁殖期間中の採餌範囲が近隣のルッカリーの影響を受けていることなどが明らかになるなど、新たな知見が得られた。一方、北極域においても、アラスカ大学フェアバンクス校の共同研究者とともにベーリング海セントローレンス島で海鳥類4種の行動調査を実施し

た。GPS ロガーから詳細な移動軌跡情報が得られており、また繁殖後の行動を解析するためのジオロケータの装着・回収作業を実施した。ジオロケータの解析の結果から、セントローレンス島で繁殖するエトロフウミスズメ・コウミスズメが繁殖後 2000km 以上を移動して、オホーツク海や北太平洋で越冬していることなどが明らかになりつつある。また、生理サンプルのストレスホルモン分析や安定同位体分析が進んでおり、春先の海氷の後退のタイミングが早いと、繁殖期間中の海鳥の栄養ストレス状態が全般的に高くなるなどの結果が明らかになってきている。

（２）極域陸上生態系における物質循環

ニーオルスン、東ブレッガー氷河後退域において、地表面から放出される二酸化炭素（CO₂）量を推定するために、ドイツのアルフレッドウェゲナー研究所、農研機構・農業環境変動研究センターとの共同研究体制で、2016 年夏に CO₂ センサーを地表面から深さ 50cm まで数深度に埋設したが、融雪時期に水が二酸化炭素（CO₂）濃度測定センサー内部に侵入し、センサーが故障した。その後は、センサーを保護するチャンバーの構造見直しを行いながら測定を継続している。何本かのセンサーは冬期を通じた土壌中の CO₂ 濃度の連続測定に成功し、現在論文を執筆している。また、温度や水分など CO₂ の動態に影響する環境要因を把握するため、温度センサーと土壌水分センサーを、さらに、現場の気象状況を把握するため、総合気象センサーも設置し、データの回収を行っている。2017 年度にはタイムラプスカメラを設置し、設置機器付近の様子を 1 日 1 回撮影している。

チェコとの共同研究では、2017 年にロングイヤービンのスバボーダ基地に滞在し、共同研究を始めている。また、カナダの Center for Northern Studies (CEN) が保有する基地を利用し、生態系機能に関する研究を進めている。さらに現在建設中であるカナダ・ケンブリッジベイの Canadian High Arctic Station (CHARS) においても、現地研究者との打ち合わせや秋期に土壌を採取してきており、今後土壌微生物多様性の解析を実施する予定である。

南極湖沼を中心とした物質循環に関しては、第 58 次南極地域観測隊の越冬隊に隊員を派遣して実施した集中観測の解析を進め、関係学会での課題講演を企画して実施したほか、湖水発達・水温変動・水中への日射到達量を総合的に解析した論文や窒素循環、湖沼水質に関する論文発表を随時行ってきた。

（３）南極陸上生態系の生物多様性

これまでに得られた試料を用い、南極におけるコケ群落と共存する菌類の多様性、南極湖沼中のバクテリアの多様性解析、沿岸底生微小動物多様性等について解析と論文出版を積極的に行った。第 60 次夏隊に隊員を派遣し、土壌細菌を中心とした観測を実施した。また、第 61 次南極観測隊夏隊では、セール・ロンダーネ山地西部に位置するベルギーのプリンセス・エリザベス基地に隊員 2 名（林・田留）を送り、現地で合流したフィールドアシスタント 1 名（高村）と共に、約 1 ヶ月間のフィールド調査を実施した。調査は基地からの日帰りとし、セール・ロンダーネ山地北西部のスノーモービルでアクセス可能な範囲の露岩域を訪れ、土壌細菌と地衣類を中心とした植生サンプリングを実施した。今後解析を進める。

（４）極域生態系変化のモニタリング

これまでに得られている昭和基地周辺でのアデリーペンギンの個体数モニタリングデータにつ

いて、オーストラリア、フランスの研究者と共に共同解析を進めている。また 59 次越冬隊によるリュツォ・ホルム湾のアデリーペンギンの個体数カウントデータの整理・取りまとめを実施した。さらに、アムンゼン湾においてもペンギン繁殖地の位置を確認するために、「しらせ」ヘリによる網羅的な沿岸露岩域の空撮を行った。陸上生態系モニタリングデータでは、58 次隊による露岩域気象のモニタリング観測データの Polar Data Journal 誌での公開を行った。また、60 次隊で実施した湖沼生態系モニタリングでは、係留機器からのダウンロードデータを点検し、公開準備を行った。さらに、北極氷河後退域における地衣類の分布や生理応答の多様性に関するデータ公開と論文投稿を実施した。

今後の研究の展望と期待される成果

(1) 極域大型動物の行動生態

これまでに南極地域観測事業第 9 期前半に実施した南極でのペンギンの行動生態データやベアリング海北部セントローレンス島での海鳥類の行動生態データなどが数年分蓄積されてきている。今後これらのデータ解析を着実に進めていくことで、海氷状況等の環境の年変動に対する動物の生態応答について新たな成果が得られると期待される。また、今後の研究の展望として、動物に装着した記録計から、動物の行動に関する情報だけでなく、酸素濃度、塩分濃度、餌密度などの詳細な環境情報を記録し、ファインスケールでの環境変化に対する動物の応答を明らかにするという方向性を考えている。これまでの環境の年々の変化に対する動物の応答の解析だけではわからなかった、よりファインスケールでの環境変化に対する動物の応答が明らかになることで、極域生態系の環境変動に対する応答予測の高精度化に貢献できると期待される。

(2) 極域陸上生態系における物質循環

北極域においては、安定的なモニタリング体制の構築および冬期の土壌中の CO₂ 濃度モデルの高精度化などにより、地表面からの CO₂ 放出量の推定モデルを構築し、また生態系の異なる発達段階における土壌中の CO₂ 動態の解明を行う。さらに、これまでに新たに利用可能となったロングイヤービン、ケンブリッジベイおよびカナダ東岸の北極陸域での、発展的な研究体制の確立が期待される。得られた成果を国際誌に投稿するだけでなく、国際北極科学委員会のプロジェクト T-MOSAic やニーオルスンの陸域フラッグシッププログラムへの貢献を通し、日本の研究成果を国際的なプロジェクトに組み入れてゆく。

南極昭和基地周辺地域については、残りの期間中には観測隊員を派遣する予定はないが、これまでに取得したデータ、サンプルの分析を継続して実施する。これによって、湖沼生態系における湖水発達・水温変動・水中への日射到達量の総合的解析や、窒素を中心とした物質循環系の全体像に関する研究を進め、多くの論文として発表してゆく。

(3) 南極陸上生態系の生物多様性

当初の予定では、昭和基地周辺地域とその東方（エンダビーランド、リーセルラルセン山地域）および西方（セールロンダーネ山地地域）の広範な地域において、生物多様性の比較研究を予定していたが、第 60 次南極地域観測隊で予定していたエンダビーランド調査計画がキャンセルとなったため、主要対象地域の一つを欠くことになった。少なくともこれまでに取得した昭和

基地周辺地域のデータとセール・ロンダーネ山地地域のデータの比較により、最低限の解析を実施する。また 62, 62 次で予定している海洋潜水調査による底生微小動物多様性観測においては、これまで未知であった陸上と海洋を繋ぐ環境での多様性を明らかにし、海-陸の物質循環にも関わるデータを取得する。

(4) 極域生態系変化のモニタリング

アデリーペンギン、陸上生態系のモニタリングとともに、観測項目の追加等を行わず、継続的な安定したデータの取得、早急なデータの公開および所定機関への報告を行ってゆく。長期的なデータの積み重ねのなかでの変動抽出を目指す。

今後の研究計画

2020 年度

北極域では、ArCS に続く新たな研究計画のスタートが期待されるが、できる限り継続した野外観測の実施が可能になるよう、新体制の確立に努める。

南極域では、第 62 次南極観測隊夏隊に隊員を複数派遣し、昭和基地周辺の沿岸海域においてゴカイやセンチュウなどの海洋底生微小動物を対象とした潜水調査を実施する。海洋と陸上を結ぶ沿岸海域はこれまでほとんど研究対象となつて来なかったため、ここでの生物多様性情報についてはこれまで調べられたことがなく、貴重なデータの取得が期待される。

2021 年度

前年に引き続き、第 63 次南極観測隊夏隊に隊員を複数派遣し、昭和基地周辺の沿岸海域において海洋底生微小動物を対象とした潜水調査を実施する。

ここまでに得られた観測・研究成果を取り纏め、本研究プロジェクトの総括を行う。

プロジェクト研究員の果たした役割

本プロジェクトでは辻雅晴、辻本恵、Jean Baptiste Thiebot の 3 名のプロジェクト研究員を雇用してきた。3 名はそれぞれ多くの論文を発表し、本プロジェクトに大きく貢献している。

辻本恵は、南極産クマムシの極限環境耐性及び生活史研究を進めると共に、沿岸微小動物相研究グループを組織して共同研究を推進した。2019 年 4 月より、慶應大学に赴任している。

辻雅晴は、極域産菌類について多様性研究を進めると共に、生理活性研究において顕著な成果をあげた。2019 年 9 月より旭川高専に赴任している。

Jean Baptiste Thiebot は、北極域セントローレンス島で海鳥類野外調査を実施してデータ取得に貢献した他、ペンギンのビデオデータ、ジオロケータデータ等を解析し論文発表を行うなど、プロジェクトの推進に大いに貢献した。

極地研の役割と所外研究者との協力体制

すべての研究領域について、極地研の研究者が野外観測の主体を務め、所外研究者や総合研究大学院大学の学生を含めた研究チームを率いて観測を行っている。データ解析、論文執筆についても、所内研究者の確実なリーダーシップのもとに進められている。それぞれ、所外研究者のネ

ネットワーク構築を積極的に進めており、幅広い分野での共同研究体制が構築されてきた。国際的にも、南極、北極ともに海外研究者を招いての観測を実施しており、その後の論文執筆でも研究協力を進めている。

極地で取得したサンプル、データの共同利用についても、構築した幅広い研究者ネットワークに広く公開し、それぞれの分野で有効利用されており、多くの論文として結実している。

研究課題の達成度・問題点及び今後の改善策

(1) 極域大型動物の行動生態

これまでに、南極地域観測事業第9期前半に実施した南極でのペンギンの行動生態データやベーリング海北部セントローレンス島での海鳥類の行動生態データなどが順調に取得され、データ解析により興味深い結果を得ていることから、本研究課題としては十分な達成状況にあると考える。今後は、より幅広い環境・動物の生理情報を取得できるロガーの開発に挑むことで、ファインスケールでの環境変化に対する動物の応答を明らかにしてゆきたい。これにより、極域生態系の環境変動に対する応答予測の高精度化に貢献することが可能になると期待される。

(2) 極域陸上生態系における物質循環

北極域においては、ほとんどの研究課題について観測が実現でき、およそ8割の達成度にあると考える。今後は、プロジェクト的な観測から、安定したモニタリング体制への移行が必要である。また雪氷に閉ざされる冬期についても、現場観測やモデルの構築により高い精度でのCO₂動態の解明が必要である。これまでの精密観測はニーオルスン地域に限られており、これを新たに利用可能となったスバル諸島他地域や、カナダのケンブリッジベイおよび東岸地域に拡張することも、今後に向けての大きな課題であろう。

南極昭和基地周辺地域については、南極地域観測事業第9期前半には予定した以上のデータ、サンプルが取得できており、分析も順調に進んでいることから、今後の論文発表を残しても8割以上の達成度にあると考える。植物防疫に係る輸入禁止品である土壌サンプルの処理に問題が生じた事が大きな反省点としてあげられるが、これについては再発防止に向けた万全な体制を構築中である。

(3) 南極陸上生態系の生物多様性

第60次観測隊で予定していた昭和基地東方のエンダビーランド調査計画がキャンセルとなったため、主要対象地域の一つを欠くこととなり、当初計画していた研究計画の達成は困難となった。研究課題の達成度は8割程度であると考えられる。今回の欠測領域へのアプローチは、次期6か年計画に持ち越す。生物多様性に関わる研究者ネットワークをより拡大、拡充することが求められており、人材育成を含めた体制の再構築を検討している。

(4) 極域生態系変化のモニタリング

アデリーペンギン、陸上生態系のモニタリングとともに、継続的な安定したデータの取得を行っており、特にペンギンについてはデータの所定機関への報告および公開体制が完成している。陸上モニタリングについても、湖沼データ等の定常的なデータジャーナルへの公開体制が整った。これらについては、十分な達成状況にあると考える。現在再構築中のデータベースを用いた、土

壤バクテリアデータの公開、植生写真データの公開・解析については、さらなる改良が必要である。

研究課題に関連する外部資金の獲得状況

- ・科学研究費補助金 新学術領域研究（公募研究） 南極から北極まで渡る飛翔性海鳥のナビゲーション行動の研究（研究代表者：高橋晃周 2017～2018年度）
- ・科学研究費補助金 基盤研究(B) 海鳥類の行動・生理ストレス計測による重要保全海域の特定と生態影響評価（研究代表者：高橋晃周 2015～2018年度）
- ・科学研究費補助金：基盤研究A（海外学術調査） ベーリング海北部の環境変動と人間活動が高次捕食動物に与える影響の評価（研究代表者：高橋晃周 2016～2018年度）
- ・科学研究費補助金 基盤研究(B) 外洋性大型魚類の水温適応を解明する新手法の提案と実践（研究代表者：渡辺佑基 2016～2019年度）
- ・科学研究費補助金 国際共同研究加速基金(国際共同研究強化(B)) 海水温上昇にともなう大型回遊魚の分布域の変化を予測するモデルの構築（研究代表者：渡辺佑基 2018～33年度）
- ・情報・システム研究機構 未来投資型プロジェクト2017 FS (feasibility study) 動物学・流体力学・ロボット工学の融合による鳥類の形態進化研究と動物型ロボット設計への応用：「野生動物工学」分野の創成（研究代表者：塩見こずえ 2017～18年度）
- ・科学研究費補助金 若手研究 (B) 長期行動計測による南極の高次捕食動物の越冬生態の解明（研究代表者：國分瓦彦 2016～2018年度）
- ・科学研究費補助金 基盤研究(B)一般 急変する北極ツンドラ生態系における土壤微生物の多様性と機能・応答性の解明（研究代表者：内田雅己 2018年～2020年度）
- ・科学研究費補助金 基盤研究(B)海外学術 北極ツンドラ生態系における土壤CO₂フラックスの冬期の動態解明と年間の高精度推定（研究代表者：内田雅己 2016年～2020年度）
- ・科学研究費補助金 基盤研究 (B) 南極湖沼生態系からつなげる生命現象と理論（研究代表者：田邊優貴子 2014年～2017年度）
- ・科学研究費補助金 若手研究 (A) 環境変動下における極域湖沼生態系の生物多様性とその遷移・応答機構の解明（研究代表者：田邊優貴子 2016年～2019年度）
- ・科学研究費補助金 基盤研究(B) 南極陸上植生コアに刻まれた人新世における地球環境変動の解析（研究代表者：伊村智 2019年～2021年度）

KZ31 極地観測における工学的課題の抽出とその解決に向けての提案

研究期間：2016年度から2018年度（3年間）

研究代表者氏名：

研究教育系・教授・本吉洋一（2016年度）

研究教育系・教授・本山秀明（2017年 - 2018年度）

共同研究者数：所内8人、所外8人

研究目的：

昭和基地の設営に関する諸問題について、以下のテーマを設定しその解決に向けての情報収集や開発を行う。また、得られた成果について、国内外の学会、研究集会等で発表を行う。以下の4項目が主な研究目的の内容である。

テーマ1. 昭和基地の効果的融雪法に関する研究

最近昭和基地では積雪量が多く、夏期の融雪時にも残雪があり、PANSY アンテナなど観測設備や夏期作業および基地内の物資輸送に大きな障害となっている。これらを解消するため、日射を効率的に利用した融雪法について研究し、その方法や時期を確立し、観測隊に情報を提供する。

① 過去の気象データ（日射量、積雪量、気温、ブリザード等）を解析し、効果的な融雪剤の散布時期、除雪時期を見出す。

② 極地で使用可能な融雪散布機材を開発する。

③ 環境に配慮した融雪剤と融雪方法および除雪方法について、国内および昭和基地で実験を行い検討する。

④ 以上の検討を踏まえ、観測隊向けの融雪・除雪マニュアルを作成する。

テーマ2. 昭和基地のスマートエネルギーシステムに関する研究

近年は砕氷船が接岸できないことも多く、昭和基地への燃料輸送が大きな障壁になっている。基地機能の安定した運用のためには、化石燃料消費を減らし、再生可能エネルギーの大幅な増強とその備蓄が不可欠である。また、消費する側では、電力および廃棄熱エネルギーなどを情報通信技術を用いて組み合わせ活用する、スマートエネルギーシステムの構築が必要となる。このテーマでは、以下の項目について検討を進める。

① 風力・太陽光発電装置とディーゼル発電機との効率的連系システム

② 上記のシステムに適した風車および太陽光パネル

③ スマートグリッドシステム

④ 海水淡水化法による造水と海水利用ヒートポンプによる室内暖房

⑤ 有機ハイドライドや蓄電池による電力の備蓄法

⑥ センサーネットワークの構築

テーマ3. 短期間の利用に適した汚水処理法の開発

昭和基地の夏期隊員宿舎は、毎年、12月中旬から2月中旬までの約2ヶ月間だけ稼働する。そのような短期間の使用では、ゆっくりした速度で汚水処理する従来の生物処理などは不向きで、新たな処理方法の開発が望まれる。現状は、凝集剤による固形物の分離が可能だが、理想的な液体処理はできていない。同じような条件である山岳地での処理方法などを調査し、南極向けに改良または

新たに開発する。

テーマ4. 将来の内陸計画を見据えた設営的課題の問題解決

第X期に想定される内陸新基地設置に向けて、様々な設営的課題（輸送、燃料、基地建設、通信など）について検討を行う。

当初目的からの変更点としては、テーマ1から3までを昭和基地の近代化としてまとめ、テーマ4について、内陸オペレーション、内陸観測、無人観測にわけて研究を進めた。

研究経過と成果

1. 昭和基地の近代化

1-1. 昭和基地の効果的融雪法に関する研究

昭和基地の過去の気象データ（気温、積雪深、日射放射量、ブリザード）を解析し、最適な除雪時期を検討した。その結果、融雪材の散布を含めた除雪作業を11月中旬から開始するのが効率的であることが分かった。この結果は、設営シンポジウムとロシア、バイカル湖で行われた国際会議(The second Baikal International Scientific and Practical Conference)で発表するとともに、南極資料(Vo.62 1-13, 2018)で発表した。また、融雪剤散布機(クローラー走行車にホッパーを取り付けたもの)の散布状況視察を北海道北見市周辺の農場で行い、北海道陸別町においては、一般道路での凍結防止散布材(塩化カルシウム)の遠心分離式散布装置の調査を行った。この装置を小型化してドローンに搭載するか、スノーモービルなどで牽引する方法について検討した。

1-2. 昭和基地のスマートエネルギーシステムに関する研究

(1) 両面受光型太陽光パネルの垂直設置

太陽光パネルを将来増設するにあたり、主風向(北東～東北東)に面したパネルの強風による破損が問題になっている。それを解決する方法として、両面受光型パネルを主風向に向けて垂直に設置する方法を提案し南観センター実験フィールドにて実験準備したが、立川での積雪がなく、目的のデータ取得には至らなかった。

(2) 大容量蓄電池の検討

将来、再生可能エネルギーが増えた時に、出力変動を抑えるために蓄電池の導入が必要であり、停電対策で大容量蓄電池の導入が望まれたため、ナトリウム・硫黄電池およびリチウムイオン電池の開発会社と打合わせを行った。その結果、停電事故用に大容量電池、短周期変動を抑制するためには、リチウム電池やフライホイールなど2種類の電池の導入が望ましいことがわかった。

1-3. 短期間の利用に適した汚水処理法の開発

(1) 夏期隊員宿舎の汚水処理法

現在の凝集剤による方法では、BODやCODの改善は望めないため、夏の短期間だけで稼働できる簡便な装置を調査した。その結果、簡便で電力も少なく済むオゾンファインバブル装置を付加することにより、し尿を酸化分解しBOD等の改善ができることが分かった。

1-4. 風力発電機の稼働状況分析

昭和基地には第56次隊と第57次隊により、2機の20kW風力発電機が設置されており、調整運転を実施しながら昭和基地に電力を供給している。昭和基地から送られてくる月例報告では予想以上に発電量が少ないが、詳細は不明である。そこで、風力発電機本体の毎秒毎の運転ログを分析し

て発電状況と問題点を分析した。

運転は、安全確認のために回転数を制御しながら出力を徐々に上げてゆく方法がとられた。当初は設定パラメータ通りの運転状況が確認できたが、次第に予想外のエラー（安全確保のための発電停止）が頻度を上げて発生していることが確認できた。製造業者と内容を確認したところ、風車の回転を発電機に伝えるベルト機構の調整不足が原因と考えられた。

風力発電機の稼働状況をモニターし、運転ログを分析し、随時結果を南極観測センターと観測隊に状況をフィードバックした。結論として風力発電機本体の調整が必要となり、第 60 次隊が夏期作業で行うこととなり、3 機目の 20 kW 風力発電機建設作業にあわせて実施された。調整作業後の運転を確認すると、明らかに改善が見られた。今後も運転ログを詳細に分析し、結果をフィードバックして安定した電力供給に資する予定である。

1-5 昭和基地電力の見える化システム

第 55 次隊で昭和基地消費電力の見える化システムをテスト導入した。その後、測定ポイントを増やしながらシステムを拡充し、ある程度の結果を得た。第 59 次隊で昭和基地消費電力の見える化システムの測定ポイントの再配置を行い、昭和基地全体の電力使用状況の把握を目指す計画であったが、観測隊の都合により実施できなかった。今後南極観測センター通じ、第 60 次隊に実施を依頼する予定である。

1-6 観測隊設営データのデータベース化

第 38 次隊で昭和基地に LAN が構築された頃から各種設営データがデジタル保存されるようになった。その後昭和基地と極地研究所がインテルサット回線で常時接続されてから、情報量が飛躍的に増大した。しかし、それ以前のデータは紙ベースでしか存在しておらず、フォーマットも統一されていなかった。昭和基地の変遷を知るためにも過去のデータは重要なので、昭和基地設営に関する基礎的データの確認・整理を開始した。

1-7 南極基地での再生可能エネルギーを利用した発電と暖房方法について

南極基地で各国が採用している発電・暖房方法について調査した。主に、大型風車とディーゼル発電機の連系方法、および発電と関連した造水方法についても調べた。その結果を、南極観測センターが開催している昭和基地インフラ再構築検討 WG で発表した。

1-8 埋め立て廃棄物の処理について

昭和基地で過去に埋設した廃棄物の処理方法に検討するため、各国基地の取り組みについて調査した。封じ込めを行っているところはなく、長期間かけて掘削・持ち帰りを実施していることが分かった。その詳細については、南極観測センターが開催している昭和基地廃棄物埋立地対策検討 WG で発表した。

2. 内陸オペレーション

2-1 将来の内陸計画を見据えた設営的課題の問題解決

内陸基地運営の課題は、輸送である。全輸送物資に占める燃料の割合が格段に大きい。輸送燃料を削減するには、①車両の自走燃料を減らすこと、②基地建物の断熱性を良くすること、③再生可能エネルギーを利用し、化石燃料の持ち込みを減らすことが解決策である。①として、米国が開発したシート櫓とピロータンクを組み合わせた方法に着目し文献調査を行った。それと並行して陸上

輸送、航空機輸送、パラドロップの経済調査も実施した。②として、ジャパンドームハウス社の高断熱発泡スチロールドームハウスを見学・調査した。軽量で輸送には適しているが、紫外線での劣化が同程度あるのかが課題であることがわかった。③としては、風力エネルギー、太陽光エネルギーが有力だが、内陸部は弱風帯で風力エネルギーがあまり期待できない。しかし、高高度では大きな出力が期待できる。高高度エネルギー利用に適したのがカイト（凧）発電である。従来の風車のように大きなタワーが必要なく、設置が簡単で、しかも航空法の規制もなく、南極に適した方法であることが文献調査の結果わかった。

次期深層掘削や内陸新基地実現のために必要とされる物資輸送や内陸基地について南極観測センターを中心に検討が進められているが、協力して研究を進めた。極地での安定的な無人での輸送を検討するために、IHI で開発中の無人走行車について調査した。また、雪上の建造物および基礎地盤に関する研究会を企画した。極地研にて会合を開催し、研究者や技術者と意見交換した。雪氷地盤の改良や不等沈下に関する知見が得られた。

極地研の極地工学研究グループ、南極観測センターおよび民間建築会社の研究所で構成した「雪上建造物および基地地盤に関する研究会」を開催し、内陸基地での建造物とその雪氷基盤に関する検討を実施した。特に、S17 航空機観測拠点の建物の埋設に伴う、構造的変形の解析、各国の高床式建物の変遷の文献調査を行った。その結果は、第 15 回南極設営シンポジウムで発表した。

また、「南陸輸送研究会」を新たに立ち上げ、燃料輸送量の増量を目的とした運搬システムに関し検討を行い、上記シンポジウムで発表した。

1.1 に記載したバイカル湖の国際会議において、日本の南極観測隊の内陸輸送を含めたオペレーションに関する発表を行った。北海道陸別町が毎年実施している極寒体験イベントイグルー製作現場を調査し、効率的なイグルー製作のアドバイスをを行った。

3. 内陸観測

第 3 期南極深層掘削計画が進行中であり、掘削技術に関する研究会に参加した。前回の深層掘削では氷床底面の温暖氷の掘削が困難であった。これを改善するため、ステップカッターという新たなカッターを試作した。このステップカッターと通常使用するカッターを用いて極地研低温室にてマイナス 50℃とマイナス 30℃の氷で切削実験を行った。様々な問題点が出たのでステップカッターのデザインを改良する。

4. 無人観測

極地での無人観測は様々な分野で実施されているが、極限環境での省電力で信頼性の高い機器の開発には、必要とされる共通な技術が多い。南極内陸部で運用する無人気象観測装置について仕様を検討し、ソーラー発電レギュレーター及び送信機に関する問題点がわかり、その対応を行った、また、防水・調圧技術についての調査と試作を行い、防水・調圧技術は、防水排気弁を用いた内外等圧システムを構築するのが効率的との結論となった。しかしこの前提として、正圧ではなく、負圧での気圧差 0 の電池性能を評価する必要があり、0 気圧下での CPU 及びリチウム電池の性能評価を行う。

今後の研究の展望と期待される成果

後続課題である KZ33 に記載した。

今後の研究計画

後続課題である KZ32 に記載した。

プロジェクト研究員の果たした役割

該当なし

極地研の役割と所外研究者との協力体制

本プロジェクトの研究課題は、南極観測センターと南極地域観測隊、所外研究者との協力や連携が基本となっている。また極地工学研究グループの客員教授2名の研究テーマに協力して、本研究課題にも係る研究を進めた。さらに本研究課題に係る一般共同研究が、2016年度11件、2017年度8件、2018年度10件あり、協力しながら研究を進めた。

研究課題の達成度・問題点及び今後の改善策

1. 昭和基地の近代化

昭和基地の効果的除雪法に関しては、詳細な気象解析を行い論文にまとめるとともに、国内および国外で口頭発表することができた。この成果をもとに、除雪の適切なタイミングに関し、南極観測センターおよび観測隊へアドバイスを起こない、当初の目的を達成することができた。しかし、ドローンやスノーモービルを使った融雪剤の散布に関しては、予算の制約などから、実験機の製作・実験には至らなかった。今後は、他大学および民間企業との協力で研究を継続する。

両面受光型太陽光パネルに関しては、極地研実験フィールドでの基礎データ取得は行ったが、積雪状態での性能比較実験をすることは、気象条件および予算の制約から実施できなかった。継続してデータの取得および昭和基地での実験を目指す。

大容量蓄電池および短期間の利用に適した汚水処理法の開発については、具体的な成果を得ることはできなかった。引き続き検討する。

再生可能エネルギーを利用した発電と暖房方法の文献調査を実施し、論文（電気設備学会誌）と口頭（昭和基地インフラ再構築 WG）で発表した。この成果の詳細を南極資料等で、改めて発表する計画である。

2. 内陸オペレーション

雪氷上での建造物建設に関しては、上記のように研究会をやや頻繁に開催し、その成果を南極設営シンポジウム等で発表した。また、雪上車や橇輸送に関する研究会を新たに立ちあげ、主にシート橇について検討した。その結果、民間企業が新たなシート橇の試作走行試験を雪上で実施することができた。今後は、建築と内陸輸送を統合した一般共同研究を立ち上げ、効率的な内陸オペレーションを、総合的に検討することにする。

3. 内陸観測

第1期深層掘削計画から第2期深層掘削計画へは大幅に深層ドリルを改良した。第3期深層掘削計画では、第2期の深層掘削ドリルシステムとほぼ同様な仕様としたが、第2期で生じたトラブルへの対応や外国隊のドリルを参考にして、第3期のドリルシステム開発に協力していく。

4. 無人観測

無人氣象観測装置については、国内で十分なテストを行ったつもりでも、超低温で極夜のある南極氷床上では考えていなかった問題が生じる。この解決について、国内で検討して解決案を見出し

でも、現地での対応が1年以上先になることがある。現地にて観測データを収録する方式が主流であったが、最近はアルゴス衛星経由でのデータ送信で準リアルタイムで観測データの取得や観測状況をモニターすることが可能になってきた。確実な観測を確立すべく、さらに経験を積む必要がある。

防水・調圧技術に関しては、H30年度は低圧化での防水ハウジングと、低消費電力CPUの評価を行った。成層圏気球をターゲットとした場合、外気圧を0 atmとした場合でも、負圧としてたかだか1気圧となる。リチウム電池の安全弁は8気圧程度まで耐性があるとの記述がみうけられ、この場合耐圧ケースでシステムを構成するよりも、防水排気弁でケース内を外気圧と同等にする設計のほうがより軽量に防水システムを構築できることがわかった。また、昨今の低消費電力CPUで入手が容易なものは、ARM社のコアを使っているものが増えてきている。Arduino というような組み込みユニットとして出荷されているものには、microSDカードソケットを基板にあらかじめ搭載したものなど各種用途に応じた規格品が入手可能となっている。これらを組み合わせて、仕様に応じたシステムを構築していくことが肝要となる。

研究課題に関連する外部資金の獲得状況

なし

KZ32 極限環境における健康管理および医療体制の研究

研究期間：2016年度から2021年度（6年間）

研究代表者氏名：客員教授・大野義一郎／生物圏研究グループ・教授・伊村智

共同研究者数：所内2人、所外15人

研究目的

南極の自然環境（寒冷、白夜極夜、長期間の閉鎖隔離、食事の栄養素の偏向や欠乏等）は日本とかけ離れ、人の生存に不適なもので人の健康を大きく損なうものとなる。また、南極基地の医療体制は、国内で通常ある器材がない、途中で医材補充が不可能、医師以外の医療スタッフがいない、緊急時の直接的な外部支援や患者搬送が不能など、国内では考えられない制約がある。また、あらゆる領域の疾患が発生しており、医師は専門外の疾患の対応を要求される。これらのことは、普通の医師にとっては経験したこともない悪条件下での医療を強いられ、患者にとっては国内であれば治療可能な疾患でも南極においては後遺症が生じたり救命できない危険性がある。これらの医療上の問題を解決することは、南極観測事業を遂行するうえで不可欠な課題であり、他の部署ではできない本研究の固有の目的である。

本南極医学研究計画の目的は、自然環境及び医療環境の厳しい南極における医療体制の拡充のため、南極で使用可能な医療機器や遠隔医療の検証や開発に取り組み、予防医学的観点から疾患を解明して南極観測へのフィードバックを目指すことである。そのためには、毎年の観測隊医師に合わせてその年次ごとに研究計画を立案し、実行可能な計画となるよう助言を行なう。

研究経過と成果

高所医学、越冬隊員に対する心理研究、レジオネラ属菌など、継続的に実施してきた研究課題について、データの取り纏めを実施している。成果の一部は、COMNAP や SCAR において継続的に発表してきた。

特にレジオネラ属菌に関する医学研究については、観測隊の持ち帰った試料に基づいて東邦大学医学部石井研究室で分析を行い、昭和基地近傍および基地外の小島で採取した土壌試料において、レジオネラ属菌の遺伝子断片を検出した。同じ試料で、共生していると見られるアメーバの遺伝子断片も検出されており、南極観測基地とその周辺でのレジオネラ属菌の繁殖動態に興味深い知見が得られつつある。

毎年7月に開催している「南極医学医療ワークショップ」では、特にアジア圏の海外研究者を積極的に招聘し、また南極昭和基地や外国基地とを結んだテレビ会議を導入するなど、積極的な展開を行っている。同時に韓国等での極地医学会に国内医師を派遣し、心理研究、内陸基地での医療的な問題、越冬中の疾病等につき紹介するなど、双方向の研究協力体制を目指している。また、越冬隊で実施する医学研究計画について、現場での調査が円滑に進むよう計画案を検討し、調査を担当する医療隊員に対する支援を行なうほか、帰国後の研究取り纏め、成果発表を支援している。

以下に、58次から60次観測隊で実施してきた観測項目一覧を示す。

タイトル	研究代表者	58	59	60	61
レジオネラ検査	大野義一朗	○	○	○	
口腔保健状態と口腔保健行動の調査	財津崇	○	○	○	
ビデオ会議システムと東洋医学的アプローチによる順応評価	及川欧	○	○	○	
Getting Sea Legs の研究	長谷川達央	○			
南極越冬隊員におけるストレス、気分、睡眠と代謝（メタボロームとアミノ酸比）の関連性の研究	粕谷和彦		○	○	
南極地域観測隊におけるプロバイオティクス内服に伴う腸内細菌叢の変化	宮岡陽一		○		
南極地域観測隊における運動量とサルコペニアの関連について	宮岡陽一		○		
南極地域越冬中のストレスと三大欲求の変化について	宮岡陽一		○		
南極の高所環境がもたらす健康影響の評価	大谷眞二		○		
南極における高度障害に対するポケットエコーを用いた新しい評価法	岡田豊			○	
南極高所滞在時における血清アンギオテンシン変換酵素濃度の変化と高度障害の関係性について	岡田豊			○	
南極地域観測隊におけるメンタルストレスと脂質プロファイルの関連	廣田大輔			○	
昭和基地におけるメンタルストレスと口腔内ヘルペス・カンジダの関連	廣田大輔			○	
南極滞在中における免疫力および口腔保健行動の変化と口腔保健状態の関連について	財津崇				○
南極越冬期間中における腸内細菌叢の変化について	宮岡陽一				○
南極越冬期間中における健康診断結果の解析	宮岡陽一				○

今後の研究の展望と期待される成果

長期にわたり取り組んできた、高所医学、心理研究、レジオネラ属菌については、それぞれ成

果の取り纏めが進みつつある。国内外の学会における発表は極めて積極的に行われてきており、日本の南極医学の成果として国際的なアピールも大きいものの、論文としての成果発表がされていないことが課題であった。しかしここに来て各分野での論文執筆が進んでおり、成果発表が進みつつある。

アジア諸国との医学・医療ネットワークの形成については、シンポジウムにおける交換派遣に留まらず、具体的な共同研究に向けた動きもあり、今後のさらなる発展が期待される。また、宇宙医学との心理研究における共同研究の発展も期待される。

年ごとの越冬医療隊員の医学研究計画についても、継続的に展開する提案が出てきている。医学・医療研究のシーズとして位置付け、展開をサポートしてゆきたい。

今後の研究計画

これまで同様、南極観測隊に参加経験を持つ医師、観測隊での調査研究に興味を持つ医療関係者、越冬隊に参加する医療隊員との円滑な情報交換をサポートし、国際的な協力体制を確立してゆく。

具体的な研究内容については越冬隊に参加する医療隊員に依存するところが大きいため、長期計画は建てにくい。これまで実施してきた高所医学、越冬隊員に対する心理研究、レジオネラ属菌などの長期研究項目については、その成果取りまとめに注力する。

プロジェクト研究員の果たした役割

なし

極地研の役割と所外研究者との協力体制

極地研には医学・医療部門が無いため、客員教授として極地研に所属していただいている大野医師に研究代表者を務めていただいていたほか、関連分野ということで生物圏の伊村が共同で対応にあたっている。

観測隊に参加経験のある医師の他、極限環境での医療・医学に興味を持つ研究者に参加していただいております。幅広い分野にネットワークが広がりつつある。

研究課題の達成度・問題点及び今後の改善策

本研究課題は、極地研の中期計画や南極観測の六か年計画に基づく他の課題とは異なり、越冬医療隊員を中心とした実施体制を年ごとに組織し直す形態であるため、組織的な運営が困難であるという特殊性を持つ。このため、本来の所内研究プロジェクトの枠に対応しにくい一面がある。しかし、医学・医療分野での研究の立案、帰国後の解析に対応するためには本研究課題は必須であり、今後運営体制の再検討を進める必要がある。

本研究課題の持つ研究面での問題点は、得られた結果を論文としてほとんど出版出来ていない点に尽きる。帰国後、サンプル・データの処理・解析を学会において発表するまではなんとかサポートが出来ており、特に近年は COMNAP や SCAR のシンポジウムで日本の医学・医療研究はそれ

なりに大きな存在感を示している。しかし、それぞれが医師としての多忙な職務を持つため、論文執筆まで持ち込めていない。この点は、コミュニティ内でも問題意識を共有しており、現在いくつかの課題において積極的な論文出版に向けた作業が進行中である。本予算を用いての英文校正は行っているが、論文出版をいかにサポートするかが、今後の大きな課題である。

研究課題に関連する外部資金の獲得状況

なし

KZ33 極地観測における工学的課題の抽出とその解決に向けての提案（その2）

研究期間：2019年度 から 2021年度まで（3年間）

研究代表者氏名：本山秀明

共同研究者数：所内7人、所外10人

研究目的

極地で研究観測を行う場合、厳しい寒さ・強風・積雪・極夜への対策が課題となる。また、輸送の手段が限られているため、限られた燃料・食料・資材等をいかに有効活用するか、最近では周辺の影響をいかに小さくするかも大きな課題である。これら極地観測に付随する基地や輸送に関して様々で特有な技術的課題の解決に取り組んでいく。さらに、極域で進められている観測計画に対してのサポートを行う。以下の4つのテーマを中心に研究を進めていく。

テーマ1. 昭和基地の近代化に関する極地工学研究

南極昭和基地のエネルギーシステムに関する研究を行う。具体的には、①太陽光、風力などの再生可能エネルギーの利用、②水素、アンモニア、蓄電池を活用したエネルギー保存法、③化石燃料発電機のコ・ジェネレーションとしての利用法、④造水法および海水エネルギーの活用、⑤効率的な送電技術などである。また、過去から現在まで昭和基地において近代化に向けた対策が行われてきたが、その歴史的資料が四散する前に収集し、整理する。

テーマ2. 内陸基地に関する輸送及び建築等に関する設営的諸問題の研究

南極の内陸基地運営に関わる輸送および建築等に関する課題を解決するため、室内および可能であれば野外実験を含めた研究を行う。具体的には、①沿岸からドームふじ基地までの様々な雪氷路面に対応できる雪上車および橇の研究、②重量建築物の基礎地盤としての雪氷改良の研究、③地吹雪による建造物周囲のスノードリフト軽減の研究 ④輸送および経済効率を考慮した基地の建物とエネルギーに関する研究、である。

テーマ3. 内陸での深層掘削計画に対する極地工学的検討

第3期ドームふじ深層掘削計画が進行中であり、その深層掘削技術に関して極地工学的な検討を進め、世界水準の深層ドリル開発に協力する。

テーマ4. 極域での無人観測に関する問題点の検討

通年の無人観測が南極大陸の沿岸や内陸において行われている。寒冷、極夜等の厳しい条件の中での運用のため、様々な研究分野で様々な工夫や開発が進められてきたが、その技術が共有されていない。安定した極域での無人観測のために、その技術を集積し、さらなる開発を目指す。

研究経過と成果

初年度が経過したところであるが4つのテーマを中心に研究を進めた。

テーマ1. 昭和基地の近代化に関する極地工学研究

- 研究会を開催し、昭和基地の発電、暖房、造水などのエネルギーに関する以下の検討を行った。
- ・ディーゼル発電機と再生可能エネルギー（太陽光発電、風力発電）によるハイブリッド発電に関する系統連系と電力備蓄に関する検討
 - ・海水を利用した逆浸透膜に関する造水法および海水採水と配管経路の検討
 - ・両面太陽光発電パネルのデータ取得および従来のパネルとの発電効率の検討

また、風力発電、電力に見える化システムについて、下記のように検討した。

- ・昨年に引き続き 20 kW 風力発電機の動作解析を行い、システムの問題点をおおかた洗い出した。結果を基に改善に向けて製造業者と検討を行い、現地にフィードバックする予定であったが、現地で風力発電機ローターの一部が脱落するというトラブルが発生し、運転が休止されてしまった。トラブルの原因究明後に対策を講じて運転を再開する予定だが、いまだ再稼働できていない。
- ・電力の見える化システムは、センサーの適正配置を実施する予定であったが、現地のマンパワーの都合に加え、システムの OS のバージョンが古いため実施を見合わせた。

テーマ 2. 内陸基地に関する輸送及び建築等に関する設営的諸問題の研究

研究会を開催し、内陸での雪氷上輸送および内陸での建物に関する問題について以下の検討を行った。

- ・新しいシート橇の走行試験と解析・南極走行試験のための改良と準備
- ・牽引力を増強した新雪上車の設計の検討
- ・新ドーム基地での深層掘削用トレンチ屋根の軽量部材の検討と試作
- ・スノードリフト軽減の数値計算

テーマ 3. 内陸での深層掘削計画に対する極地工学的検討

深層掘削研究会を開催し、第 3 期南極氷床深層掘削計画で用いる深層掘削システムについて検討した。また、極地研低温室にて氷掘削時のドリルモーター電流値低減と切削チップ粗大化を目指しているステップカッター実験を実施した。さらに、ドリル製作会社の所在地である宮崎県で実施された南極氷床深層掘削総合実験・訓練に協力し、長さ 12.3m の深層ドリルを吊るして氷掘削実験を行った。ステップカッター実験と総合実験・訓練では、掘削にかかわるデータを記録しており、定量的な掘削技術の評価を行う予定である。

テーマ 4. 極域での無人観測に関する問題点の検討

南極氷床上の沿岸から内陸にかけて複数の無人気象観測装置 AWS を展開しているが、その設置に伴い PMT 電源・送信方法やチャージコントローラなど様々な問題が生じ、その解決に向けて検討し対応を続けている。このため、現地にいる南極地域観測隊へ AWS のメンテナンスについて調整・依頼を行った。

極地の無人観測の観測寿命を延ばすためには、通信経路と電力設計が重要になる。低ビットレートで可能な観測の場合、変調方式と送信回路が単純かつ自前での基盤搭載が可能なアルゴシステムの使用は一考の余地がある。半導体部品は -25 度程度から動作可能となる。通信回路のユニットを購入せずに、素性のわかった部品で構成することで、全体の動作温度を低く抑えることが可能になる（この手法は衛星搭載機器でしばしば用いられている）。電力を削減するためには、保温のための電力を削減する必要がある。調査の結果、塩化チオニルリチウム電池の中には、-80 度から動作するものがあることがわかった。この電源を利用することで、-20 度程度での連続動作が可能となる。こういった電源と断熱技術を用いることで、本体の動作温度を抑え、保温のための電力を削減することで装置の長時間稼働を行う方策をとるべきである。

今後の研究の展望と期待される成果

極地で観測を行うためには、その観測を支える様々な設営的課題を解決する必要がある。また隊

員の生活の拠点となる基地についても、安全かつ効率的な運営のための工夫が必要である。近年はとくに、いかに化石燃料の使用を抑え再生可能エネルギーの導入を進めるかということも重要な課題となる。これらの課題は、所内外の研究者、技術者、そして民間企業との連携が不可欠であり、そのためのインターフェースとしての役割も本プロジェクトの重要な使命ととらえている。

昭和基地開設から 60 年以上も経ち、昭和基地の近代化に向けた対策は毎年実施されてきた。この過去の貴重な資料をまとめて整理する必要がある。さらに、これからの近代化に向けて新しい極地工学的な研究を進める。南極内陸基地について、特殊な極限環境で、建築や輸送方法を研究することは、新しい技術の開発につながる。深層ドリルや無人観測についての検討も、極限環境での使用を前提としたもので、新たな技術開発につながる。

今後の研究計画

2019 年度に引き続き、4 つの研究テーマに対して研究を進める。また研究会を開催し、最終年度には研究成果をまとめて南極資料などに投稿する。

プロジェクト研究員の果たした役割

該当なし

極地研の役割と所外研究者との協力体制

本プロジェクトの研究課題は、南極観測センターと南極地域観測隊、所外研究者との協力や連携が基本となっている。また極地工学研究グループの客員教授2名の研究テーマに協力して、本研究課題にも係る研究を進めた。さらに本研究課題に係る一般共同研究が、2019年6件あり、協力しながら研究を進めた。

研究課題の達成度・問題点及び今後の改善策

3 年計画の 1 年目を終えるが、KZ31 にて記載した研究課題の達成度・問題点及び今後の改善策に対して対応しつつ、このまま研究を続けることとする。

客員教員・一般共同研究・極域観測・南極観測センターへの協力や産官民との共同開発など、この研究プロジェクトがかかわる対象は多岐にわたる。国立極地研究所との共同研究としてうまく開発・研究できるように推進すべきである。

研究課題に関連する外部資金の獲得状況

2019 年度北海道大学低温科学研究所共同研究、PI: 本山秀明

7. 3. 一般共同研究

7.3.1. 一般共同研究の内容

一般共同研究とは、一般公募による共同研究で、所外の個人又は複数の研究者と所内の教員が協力し、当研究所を共同研究の場として、極地に関する研究を実施するものである。一般公募を毎年行っており、審査の上採択された研究課題を実施している。また、極域科学に関連し、研究の方向性や方法論、成果についての議論・検討を比較的少人数で行う研究集会もあわせて公募している。

7.3.2. 募集と審査

毎年、12月頃に翌年度実施する研究課題を公募している。各課題の実施期間は、1～3年であり、新規・継続課題の両方について、共同研究連絡会、所内研究委員会、統合研究委員会での審査を経て、運営会議にて採否を決定している。

7.3.3. 成果の公表

年度ごとに「共同研究報告書」を作成しWeb上で公表している。また、論文等に極研の共同研究より何らかの援助を受けた際の謝辞の記載についてのガイドラインを定めており、募集要項に記載するなどして関係者に周知している。

7.3.4. 一般共同研究の採択状況

一般共同研究の応募数及び採択数を以下に示す。また採択課題は別添に一覧を示す。

別添資料：一般共同研究・研究集会 採択課題一覧

別添資料 97～121 頁

一般共同研究、及び、研究集会の応募件数及び採択数

2016 年度		2017 年度		2018 年度		2019 年度	
応募件数	採択件数	応募件数	採択件数	採択件数	採択件数	応募件数	採択件数
134	134	136	136	139	139	137	137
一般共同研究：115 研究集会：19		一般共同研究：112 研究集会：24		一般共同研究：110 研究集会：29		一般共同研究：104 研究集会：33	

7.3.5. 自己評価

一般共同研究は、所内の研究者と所内の研究者が共同して、極域科学研究を推進する事を目的とした、30年以上の長い歴史のある共同研究であり、可能な限り広く開放し、多くの研究課題を受け入れ、また発展させてきた。しかしながら、次第に縮小してゆく予算枠ではほぼ一定件数の研究課題を受け入れる事により、研究課題一件当たりの研究費配分額が少なくなり、使い勝手が悪くなる傾向が進みつつある。一部必要な消耗品等のほかは、研究費のほとんどは旅費に充てられるのが現状であるが、これも十分とは言えない。一方で、この研究費を使用して、大学院生が研究協力者として当所へ来所して研究を行う事も可能となり、若手研究者育成の促進に貢献している。

本一般共同研究は、研究者コミュニティの形成・維持に関してそれなりの成果が上がっているものの、共同研究と共同利用の関係が明確でない部分もある。極域科学研究を推進するために、所内プロジェクトも含めた一般共同研究の位置付けを整理し、研究費の配分方針を含めて、より効率的な制度の見直しを行っていく必要があると考えられる。

7. 4. 南極地域観測事業に係る研究の自己点検評価

2016 年度に開始された南極地域観測第 IX 期 6 か年計画は、国家事業としての「南極地域観測事業」とそれ以外の「公開利用研究」と「継続的国内外共同観測」に大きく分け、このうち南極地域観測事業は、「研究観測」と「基本観測」に区分して実施されている。第 VIII 期 6 か年計画に引き続き、「重点研究観測」、「一般研究観測」、「萌芽研究観測」の 3 種類の研究観測及び「定常観測」、「モニタリング観測」の 2 種類の基本観測を実施している。また、「公開利用研究」も第 VIII 期 6 か年計画から継続し、新たに「継続的国内外共同観測」を加えて行っている。以下は、「重点研究観測」、「一般研究観測」、「萌芽研究観測」、「モニタリング観測」および「公開利用研究」について、2019 年度に南極地域観測統合推進本部外部評価委員会により実施された、南極地域観測第 IX 期 6 か年計画の中間評価において自己点検として取りまとめたものを以下記載する。自己点検の評価基準は以下の通りである。

S: 計画をはるかに上回った実績・成果を上げている

A: 計画を上回った実績・成果を上げている

B: 計画通りの実績・成果を上げている

C: 計画を下回っている

7. 4. 1. 重点研究観測

研究観測のうち、重点研究観測は、社会的な要請や SCAR による南極研究における重点研究課題のような国際的な研究観測動向を踏まえ、全球的視野や極域を総合的に捉える視野を有し、多方面に大きな貢献及び成果が期待できる科学的意義の高い研究観測である。また、新たな研究領域の開拓を目指した先進的かつ独創的な研究観測、あるいは分野を横断する学際的な研究観測であり、国際協調を目指すと同時に日本独自の戦略的な取組として実施される研究観測でもある。

南極地域観測第 IX 期 6 か年計画では、地球システムにおける現在と過去の南極サブシステムの変動、サブシステム内の相互作用の解明及び南極域の変動と地球システム変動との関係を明らかにすることを目的として、重点研究観測はメインテーマ「南極から迫る地球システム変動」のもとに、3 つのサブテーマにより進めている。サブテーマ 1 は、極域大気が地球システムに与える影響の解明を目指す「南極大気精密観測から探る全球大気システム」、喫緊の課題とされている温暖化に伴う棚氷融解などに関わる氷床-海氷-海洋間相互作用の解明を進めるサブテーマ 2「氷床・海氷縁辺域の総合観測から迫る大気-氷床-海洋の相互作用」、環境変動史を復元し全球気候変動に南極が果たす役割の解明を目的とするサブテーマ 3「地球システム変動の解明を目指す南極古環境復元」である。

7. 4. 1. 1. 重点サブテーマ 1「南極大気精密観測から探る全球大気システム」

研究代表者氏名：佐藤 薫(東京大学・教授)

研究期間：2016 年度～2021 年度

研究計画

第 VIII 期重点研究観測サブテーマ 1 では、南極域の下層から超高層まで連続した大気を、大型大気レーダー (PANSY レーダー) をはじめとする観測機器で精密観測し、その変動のしくみを解明して温暖化等地球環境変化の予測に貢献することを目的とした。第 VIII 期計画では、1,045 本のアンテナ

で構成される南極初の大型大気レーダー（PANSY レーダー）の完成、及び安定した運用のための整備を進め、地上 500km に渡る対流圏から電離圏までの幅広い領域で、南極固有あるいは他地域と大きく異なる特性の大気現象の観測データが取得されており、先端的なリモートセンシングや分光観測と合わせた総合的な大気物理・化学観測を展開している。第IX期計画では、これを発展させ、現在の変動を精査・検出して短期から長期にわたる将来の気候変動等の地球環境変化を予測するために、地表から超高層大気までの広範囲な大気をつなぐ一つのシステムである「全大気（Whole Atmosphere）」として捉え、地球環境変化の予測に不可欠な、多様な南極大気現象の物理化学過程を定量的に理解する観測の実施が必要である。第IX期計画においてフルシステム運用による本格連続観測を行う PANSY レーダーを駆使した、対流圏から電離圏までの広い高度領域の3次元風速やプラズマパラメータの高分解能・高精度観測を軸に、各種の電波・光学観測を組み合わせ、ネットワーク観測及び数値モデリング研究とも連携した、極域大気を多元的に捉える研究観測を実施する。さらに、第IX期計画期間には極端に太陽活動度の低いグランドミニマム期に突入する可能性があり、グランドミニマム期が全球規模の気候変動へ及ぼす影響を解明するため、極域超高層大気の変容を定量的に理解する観測を実施する。これらの観測の実施により、第IX期重点研究観測サブテーマ1「南極大気精密観測から探る全球大気システム」のもと、多面的で国際的な協同観測を展開するとともに、種々の大気大循環モデルとの連携により、南極上空を通じて全地球大気システムを明らかにする。

実績・成果

2015年10月から開始したPANSYレーダーのフルシステム連続観測を第IX期も継続すると共に、各種特殊観測の調整を行った。相補的な各種ライダー観測やミリ波観測もほぼ計画通りに実施した。中間圏物質循環の駆動に寄与する重力波を捉える、大型大気レーダー観測網（ICSOM）や大気光イメージャ観測網（ANGWIN）による国際協同観測を主導した。

PANSYは時間高度分解能が高い鉛直風を含む風の鉛直プロファイルが取得できる。極域でのみ取得可能な夏期中間圏連続観測データを活用して世界初の中間圏重力波の広帯域スペクトルを求め、運動量輸送を担う重力波の周期が通説とは異なることを指摘した（Sato 他, 2017; 2017年1月プレスリリース）。自ら開発した南半球高解像格子を実装してGCM再現実験を行い、観測される半日周期振動が潮汐ではなく大規模重力波によるとの調和的成果も得た（Shibuya 他 2017, 2019）。対流圏・成層圏については、近慣性重力波の卓越および季節変化を明らかにした（Minamihara 他, 2016; 2018）。また、PANSYの不規則アンテナ配置も加味した乱流エネルギー消散率推定を行い、ラジオゾンデ観測による従来法の問題を指摘した（Kohma 他, 2019; Nishimura 他, 改訂中）。超高層大気との関連においては、あらせ衛星とPANSYの同時観測により、オーロラ爆発直後に放射線帯電子の流入が起こり、夜間にも関わらず下部中間圏の電離を引き起こしたことを解明した（Kataoka 他, 2019; 2019年2月プレスリリース）。銀河雑音吸収強度との対応を調べ、未解明だった極域冬期中間圏エコーメカニズムの手掛かりを得た（Nishiyama 他, 2018）。PANSYを用いて世界初の南極電離圏非干渉性散乱観測に成功し、電子密度の推定を行った（Hashimoto 他, 2019）。この研究では、先の基礎研究により開発した高度信号処理法（Hashimoto 他, 2016; 2017）が専用アンテナアレーを用いた沿磁力線不均一構造（FAI）からの干渉波除去に有効であることを示した。ICSOM国際協同観測

を 2016 年～2019 年に 4 回行い、特に 2019 年は北極成層圏大昇温現象を捉えることに成功した。観測データの物理的解釈に必要な全中性大気データのデータ同化システム開発を進め、後半に行う計画の南北両半球結合の定量研究に向けた準備も順調である。

MF レーダーによる長期中間圏水平風データを用いた研究では、極域重力波の年々変動と低緯度対流活動との関連を指摘した (Yasui 他, 2016)。大気光イメージャは小規模な重力波の空間パターンが検出できる。先に開発した解析法を汎用化して (Perwitasari 他, 2018)、ANGWIN データに適用し、中間圏界面域における重力波のエネルギーや位相速度の地点間の違いを明らかにした (Matsuda 他, 2017)。鉛直分解能の高いレイリー・ラマンライダーによる気温データを用いて、成層圏・中間圏重力波の季節・経年変化や、重力波の短期変動や間欠性をもたらす力学機構を示した (Kogure 他, 2017; 2018)。共鳴散乱ライダー観測では、国内試験時にスプラディック E 層の微細な乱流構造を捉えた (Ejiri 他, 2019)。また、58・59 次では南極中間圏界面付近の絶対温度観測を行うと共に、カリウム層 (南極初)、カルシウムイオン層 (南半球初) の存在を確認した。

研究成果による論文は 31 編、受賞は 10 件であった。

自己点検評価： 評価結果 S

以下のように、観測計画を着実に実施した結果、科学的価値の極めて高い成果が創出されており、S と判断した。

必要性

- ・世界初の南極大型大気レーダー (PANSY) のフルシステム観測を安定して継続し、世界的にも例のない高精度・高分解能な連続データを取得することに成功した。また、これらの高品質なデータを用いて、定説を覆す成果や南極初の乱流パラメータ推定、電子密度の推定など、独創性・先導性の高い研究を実施した。
- ・大規模な国際協同観測 (ICSOM) を 4 回 (58～61 次) にわたって主導し、様々な条件におけるグローバルな中間圏重力波の変動を捉えることに成功するとともに、自ら組織した南極域大気光観測ネットワーク (ANGWIN : SCAR の AG として承認) の共同研究を推進するなど、国際連携の強化を図った。
- ・PANSY 観測では大気科学 (理学) と通信情報システム学 (情報学) の融合的研究が進められ、いずれの分野でも国際的に高い評価を受けた。また、観測データを共有することで、中性大気および電離大気の両方を含む全地球大気の変動を太陽-地球系システムの一部として捉える学際的研究を進める等、分野横断的な連携の促進を図った。

有効性

- ・PANSY 観測により得られた定説を覆す結果 (Sato 他, 2017) は既存の気候モデルの改善に寄与する重要な成果となり、南極初の乱流パラメータ推定 (Kohma 他, 2019) は、ラジオゾンデ観測による同パラメータ推定法の見直しを迫る成果となった。また、PANSY で得られる良好な中間圏データが注目され、国際共同研究提案を受け、現在進行中である。昭和基地の大気光イメージャデータのために開発した重力波解析手法は広く ANGWIN で用いられ、小規模重力波特性の広域空間分布解明に貢献した。
- ・WCRP (世界気候研究計画) の主要プロジェクトの一つ SPARC (成層圏・対流圏の諸過程と気

候影響研究)においては、気候モデルにおける重力波パラメタリゼーションの改良に関するプロジェクト (ISSI) が進められている。特に高緯度での地形性重力波の表現が問題となっており、同領域で実績のある本観測研究グループからも 2 名の参加が要請され、観測およびモデルの両面で貢献している。また同じく SPARC の FiSAPS (微細な大気過程と構造研究) では、大型レーダー観測による乱流エネルギー消散率の推定は貴重なため、ラジオゾンデによる推定の検証という位置づけで捉えられており、本グループメンバーが参加している。大気の高高度電離に関する研究 (Nishiyama 他, 2018; Kataoka 他, 2019) は、太陽活動の地球大気への影響の新たな形として注目されており、SCOSTEP (太陽地球系物理学科学委員会) の次期科学プログラム (PRESTO) とも密接に関連する。

- ・多数の国際学会・研究集会において基調講演 (国際 2 件)・招待講演 (3 年で国際 19 件) が行われたほか、若手研究者が主要な国際学会で受賞するなど、日本の国際的プレゼンスの向上に貢献した。さらに、国内で国際シンポジウムを主催 (ISWA, 2016 年 9 月)、主要国際会議を日本へ招致 (SPARC-GA, 2018 年 10 月) し、いずれも高い評価を得た。

効率性

- ・ほぼすべての観測装置についてほぼ計画通りの観測を実施し質の高い連続データを取得するとともに、世界初となる観測も複数成功した。また、60 次では当初の計画を超えて、大型大気レーダーの強力な電波を利用する新機能の流星風観測を追加する調整を開始した。

7.4.1.2. 重点サブテーマ 2「氷床・海氷縁辺域の総合観測から迫る大気―氷床―海洋の相互作用」

研究代表者氏名：青木 茂(北海道大学低温科学研究所・教授)

研究期間：2016 年度～2021 年度

研究計画

第Ⅷ期重点研究観測サブテーマ 2 では、「しらせ」に加え「海鷹丸」との共同観測を行い、酸性化実験や長期係留系の複数年観測等により、極域で特に進行する海洋酸性化の実態の解明を進めてきた。第Ⅸ期計画では、海洋酸性化にも関連する喫緊の課題として、大陸氷床縁辺部や棚氷の融解を取り上げる。西南極ではすでに顕著であるが、我が国の南極地域観測隊の主要活動域である東南極域では、その実態を明らかにするだけの観測事例が不足している。その一方、東南極ドロンピングモードランドで降雪量の増大や大陸斜面表面の広域にわたる融解の痕跡が観測される等、全球において進みつつある地球温暖化に関連した変化が東南極域でも顕在化してきた可能性がある。このように東南極域で起こりつつある気候変化は多岐にわたっているが、すべてを広範囲に検出することには制約があるため、第Ⅸ期重点研究観測ではサブテーマ 2「氷床・海氷縁辺域の総合観測から迫る大気―氷床―海洋の相互作用」の下に、海氷生産・陸氷融解の面で東南極沿岸を特徴付けるトッテン氷河 - ビンセネス湾 (ウィルクスランド沖)、ケープダンレーポリニヤ及びリュツォ・ホルム湾の 3 海域に着目し、それぞれの対比的な観測により、海底地形の条件や大気・海洋の環境要因と海氷生産・陸氷融解との関連性を中心に、海氷域における海洋環境及び海洋生態系変動とそれに果たす海氷等の役割についても探る。これを果たすため、リュツォ・ホルム湾のみならず、ケープダンレー沖やウィルクスランド沖にも「しらせ」を回航し、CTD/RMS (採水システム付き水温・塩分・水深測定装置) 等の標準的な観測機器に加え、無人探査機による氷下観測、GPS (全地球測位シス

テム) /GNSS (全地球航法衛星システム) 氷上多点展開による変位観測、プロファイリング係留系による海洋・海氷観測、氷河上の直接観測、コアラーなどの新たな手法を融合させ、時空間的に稠密な氷床・海氷動態、氷河底・近傍海洋の総合的な観測を実施する。

実績・成果

東南極を特徴付ける3海域において、海洋と氷河・海氷との関係性を理解するうえで重要な観測を実施した。

リュツォ・ホルム湾域においては、定着氷の流出が顕著な不安定期に入り(Aoki, 2017)氷海航行が比較的容易になったことも手伝って、白瀬氷河前定着氷域での「しらせ」による大規模な海洋観測に成功した。海洋下層を高温の深層水が占め、氷河底面へアクセスすることで高い氷河融解率をもたらし、上層へと氷河融解水を供給する描像を明らかにした(Hirano et al., in prep)。氷河上に設置したレーダーにより得た氷厚の時間変化から導いた氷河融解率の見積もり(年間平均 約8m)と、今回の船舶観測や過去の係留観測の結果、および数値実験を用いて導出した融解率やその季節変動とよく一致した。氷河上の測地観測でも、同程度の氷面高度の低下が見積もられた。またリュツォ・ホルム湾内東側に位置するラングホブデ氷河においても夏期氷河下観測および通年係留観測に成功し、底面融解と融解水の流出の可能性が捉えられた。潮位の変化が氷河の水平・鉛直方向の変動をコントロールしていることも明らかになった(Minowa et al., 2019)。

南極底層水の起源域の一つであるケープダンレーポリニヤでは、新型のプロファイラーと時系列採水器の1年間の係留に成功し、塩分・水温および密度成層の季節的な変動と氷河融解水トレーサーの季節的な発展を観測した。底層水の形成に必要な塩分レベルへの到達時期が過去の観測にみられる実際の底層水の形成時期と整合的であった(Aoki et al., submitted)。人工衛星により求めた海氷生産による塩分増加との比較(Tamura et al., 2016)から、塩分変化は外洋との水塊交換により影響を受けている可能性が示唆された。また夏期の水塊特性における顕著な経年変動の存在が観測された。

トッテン氷河前においては、「しらせ」を機動的に使用することにより、58次、59次での予備的な海洋観測に成功した。これまでの唯一の観測により捉えられた水温よりもさらに高温の深層水の存在を見出し、IX期後半での本格観測に向けた足がかりを得た。

本課題により導入した無人海洋観測機 ROV の運用により、オキアミの大群集・海氷底面のアイスアルジーの点在映像や海氷底面起伏情報等の取得に成功しただけでなく、多分野にまたがる観測手法の適用へ向けた基盤をつくった。

研究成果による論文は37編、受賞は7件であった。

自己点検評価： 評価結果 A

以下のように、当初計画を上回る形で観測を順調に進め、科学的に重要な知見が得られつつあることからAと判断した。

必要性

- ・これまで西南極氷床を中心に国際的に進められてきた海洋による熱供給と氷河氷床流動の不安定性との関係性の研究にたいして、東南極域海洋における暖水流入の状況と高融解領域の存在を初めて体系的に示した。

- ・近年急速に注目を集めるトッテン氷河周辺海域での現場観測に諸国に先駆けて着手した。
- ・衛星観測や数値実験の成果とあわせて、海洋・海氷、氷河、測地、地形・地質、生物・生態系での分野間での共同研究が活発化したことに加え、工学分野との共同観測も行い、分野横断的連携を促進した。また、米・豪・独と観測面およびデータ解析面で連携し、国際連携を推進した。

有効性

- ・本課題は、南大洋および大陸縁辺の国際多分野観測網である SOOS (Southern Ocean Observing System) の公認プログラムであり、また、氷河レーダーを白瀬氷河上に展開することにより国際的な環南極氷床質量収支観測網 NECKLACE(The Network for the Collection of Knowledge on mELt of Antarctic iCe shElves)にも参加し、その充実に貢献した。
- ・国際学会における招待講演(3件)は本計画に対する国際的関心の高さを反映しており、日本の国際的プレゼンスの向上に貢献した。これにより、現在、米・豪・独・NZ・英・韓との共同研究を推進または調整している。

効率性

- ・観測実績は、当初のスケジュールを上回る形で効率的に進展している。リュツォ・ホルム湾奥部における海洋観測による夏期海洋構造の詳細な把握は、JARE 史上初となる画期的な成果である。ケーブダンレーポリニヤにおいても、氷況が比較的良好であった好機を活かし、係留観測計画が前倒しで進んだ。トッテン氷河での観測は、第IX期後半に向けた準備段階であるが、既に想定以上の観測結果を得ている。
- ・58次・59次では、「しらせ」の能力を最大限効率的・効果的に活かし、リュツォ・ホルム湾定着氷域での海洋観測を、かつてない大規模で実施した。

7.4.1.3. 重点サブテーマ3「南極大気精密観測から探る全球大気システム」

研究代表者氏名：川村 賢二

研究期間：2016年度～2021年度

研究計画

第VIII期重点研究観測サブテーマ3では、第VIII期計画までの内陸観測において地下3,000mを超える掘削によって採取したドームふじアイスコアの分析によって、過去72万年前に遡る地球の気候変動等の解明を進め、硫酸塩エアロゾルが氷期-間氷期の気温変動に寄与していたことや、氷床レーダー探査からドームふじ基地の南方において底面が凍結している可能性の高い地域が存在すること等が明らかになってきた。また、第四紀地形・地質研究では、内陸のセール・ロンダーネ山地での調査結果から、第四紀を通した氷床高度低下史の復元とその原因となる地球システム変動の解明が進められている。さらに、マルチナロービーム測深機を用いたリュツォ・ホルム湾海底の氷河地形調査から、大陸棚末端付近まで氷床が着底したことや、現在の沿岸付近で堆積物が欠如していること等が明らかになってきた。第IX期重点研究観測サブテーマ3「地球システム変動の解明を目指す南極古環境復元」では、これらの研究をより進展させるべく、78万年前に起こった地磁気の逆転現象が地球システムに与えた影響等を解明するため、現存する世界最古のアイスコア(80万

年)より古い年代まで遡るアイスコア(仮称:第3期ドームふじアイスコア)の掘削を目指した新たな掘削点の探査と掘削拠点となる内陸新基地の設営の準備に着手するとともに、過去数千年の氷床や環境の変動史を復元するため、ドロンイングモードランド沿岸のアイスライズ(棚氷に囲まれ、盛り上がった海洋底を基盤とする氷帽)掘削を、国際共同観測として実施する。また、内陸に位置する、やまと山脈からトロール基地周辺山地等を含む、ドロンイングモードランドに氷河地形地質調査の範囲を広げ、氷床変動史をより三次元的に復元することや、国際共同による大陸棚の地形探査と過去数百万年をカバーする堆積物採取等をより広域で実施し、南極氷床の拡大・縮小史を復元することで、地球規模の海水準変動に与える氷床体積変化量の見積もり等を行う。

実績・成果

国際連携組織 IPICS(International Partnerships in Ice Core Sciences)が掲げる「最古の氷床コア」計画に貢献すべく、第59・60次の夏期に、ドームふじ近傍で氷床レーダー探査や浅層掘削などの雪氷調査を実施した。60次では当初計画を超えて米国およびノルウェーとの国際共同観測とし、高性能レーダーによる氷床内部層や基盤の観測に成功した。その準備として、2016年度に日・米・諾・独の4カ国会合を主催し共同観測を議論した。独は2016年度にドームふじ周辺の広域航空機探査を行い、取得された未出版データは翌年共有され、それも参考に59次の地上探査測線を決定した。59次の探査結果から、60次では絞り込んだ範囲で国際探査を実施した。物資は前次隊で輸送し、南極航空網 DROMLAN 利用により観測期間を長く取った。60次においては、米国のレーダーとノルウェー研究者が内陸ルート上に英国保有の航空機で飛来するなど、国際協力を存分に活用したオペレーションとなった。レーダー探査のほか、表面質量収支の時空間変動把握のための浅層コア掘削や、空気の封じ込め過程把握のためのフィルン空気採取、積雪ピット観測、雪尺観測、自動気象観測器の設置など、様々な観測を実施した。次期掘削に向けた国内活動においては、深層ドリルの開発・製作が計画通りに進んでいる。

沿岸域においては59次でリュツォ・ホルム湾の地形地質調査を実施した。前半は昭和基地周辺および南方の4エリアにおいて、湖沼および浅海域の23カ所から26本の堆積物試料を採取した。後半は、宗谷海岸とプリンスオラフ海岸での無人航空機による高精度地形情報の取得とともに、75カ所から計740kgの岩石を採取した。これらの成功は、DROMLAN 利用による早期の調査開始や、新開発の可搬型パーカッションピストンコアラー(特許出願中)、無人航空機といった新手法やプラットフォームの活用によるところが大きい。

ドームふじコア解析の成果として、過去72万年間の南極内陸の気温と南大洋の表面水温の同位体解析による推定や(Nature Comm., 2018)、両極間の温度変化の逆転現象における大気と海洋による気候シグナル伝搬に関する研究(Nature, 2018)、氷期サイクルにおける南大洋の硫化ジメチルの変動推定(Nature Comm., 2019)など、質の高い国際学術成果を多く公表した。内陸観測の初期成果としては、氷床底付近の内部層構造の把握や、表面質量収支の時空間分布の把握、高分解能のフィルン空気成分プロファイルなど、今後の本格解析を経て質の高い知見が多く蓄積され、数値モデルグループにも活かされ、掘削地点選定に供される見込みである。また、沿岸域では従来困難であった長尺の湖沼・浅海堆積物の採取が実現し、最終氷期以降の氷床後退史と生物相変化の連続復元を可能とするデータを得た。また、詳細地形調査と表面露出年代測定から、リュツォ・ホルム湾

の氷床後退は 14,000 から 9,000 年前にかけて起こったことが分かった。GIA モデルに基づく氷床後退シナリオの信頼性評価が可能になると期待される。

研究成果による論文は 46 編、受賞は 2 件であった。

自己点検評価： 評価結果 A

以下のように、観測実績には一部マイナス要素があるものの、それを上回るプラス要素があり、研究成果も科学的に価値の高い成果が出ていることから A と判断した。

必要性

- ・当初計画を超えて、世界最高性能のレーダー機器などを用いた先進的な観測を国際共同で実施した。
- ・堆積物掘削システムを新たに開発し、従来採取が困難であった長尺の堆積物採取が可能となり、南極変動復元研究が大きく進展した。

有効性

- ・IPICS の最古のアイスコア掘削計画は、南極の複数の地域での掘削を掲げているため、ドームふじ近傍での掘削に向けた活動はこれに大きく貢献する。
- ・新たに開発した沿岸域の研究手法は国外からの注目を集め、今後インド隊やベルギー隊などと国際共同調査を実施することとなった。
- ・招待講演（国内外で 21 件）、基調講演（国外 2 件）を始めとした多数の成果発表を行った。また、日本で国際シンポジウム (First GRAntarctic International Symposium) を開催し、高評価を得た。

効率性

- ・観測において特に有効であった、米国が開発を担当したレーダー機器は外部資金（科研費新学術：代表川村）によって支出し、これとの共同実施とした。この面での観測成果は計画を超えたものとなった。当初計画にあったアイスライズ掘削は、ノルウェーが国際共同観測の計画を変更したことから中止となったが、リソースを再配分することで内陸観測を効率的に実施することができた。
- ・DROMLAN を効果的に活用し、早期に南極入りすることで初めて達成できる観測を効率的に実施出来た。航空機の活用は研究観測の高水準を保つために非常に効果的である。

7.4.2. 一般研究観測

研究計画

一般研究観測は、南極の特色を生かして比較的短期間に集中して実施する研究観測であり、重点研究観測課題が決定された後、国立極地研究所から研究者や研究者コミュニティ等に対して公募が行われ、提案された課題について有識者からなる委員会での科学的意義や研究の発展性などの観点から検討され、観測項目が決定される。第IX期計画においても、第VIII期計画と同様に、公募を行い実施計画を決定する。一般研究観測の実行に当たっては、重点研究観測で展開されるプラットフォームなどを有効活用し、実行可能性を勘案しつつ、年次計画の中に組み込んでいく。また、一般研究観測の中でも、目的、対象とする現象、観測手法などが重点研究観測メインテーマ及びサブテーマと関連の深い観測項目については、積極的に連携し重点研究観測メインテーマの推進を強化す

る。また、宙空圏、気水圏、地圏、生物圏の主要研究領域に加え、第Ⅷ期計画に端緒を開いた天文や宇宙医学分野に関連する分野の研究提案に対しては、第Ⅸ期計画でも継続して受け入れる。さらに、分野横断的な発展が期待される無人観測手法などの設営工学分野については、積極的に推進する。

実績・成果

・公募実績

2014年（第58次・59次・60次隊対象） 応募27件 採択22件（うちⅧ期持越し5件、取下げ2件）

2016年（第60次・61次・62次・63次隊対象） 応募16件 採択15件

第Ⅸ期計画に基づき公募を実施し、ピアレビューによる科学的評価、および設営面での実行可能性の評価も加え、ほぼ所外委員で構成される南極観測審議委員会において、最終的な採択可否を行った。第Ⅸ期前半で実施した課題の分野別内訳は、宙空圏分野6件（うち2件は同一内容で異なる時期）、気水圏分野7件、地圏分野5件、生物圏分野4件、複合分野1件である。なお、2018年（第62次・63次隊対象）にも公募を実施して、4件を採択した（応募数5件）。

・主な実施課題および実績・成果

【宙空圏分野】 論文数：48、受賞：4

・「南極昭和基地での宇宙線観測による宇宙天気研究の新展開」では、中性子計ネットワーク（SSE）とミュオン計ネットワーク（GMDN）を統合して、同地点・同時観測から宇宙天気研究に利用された例は南極のみならず、世界にもなく、これを昭和基地で着手し、計画通り観測を開始した。

・「SuperDARN レーダーを中心としたグラントミニマム期における極域超高層大気と内部磁気圏のダイナミクスの研究」では、ERG（あらせ）衛星との本格連携観測が開始され、様々な同時観測が行われた。高エネルギー粒子降込の超高層大気への影響、脈動オーロラ等の発生機構等についての成果が出ている。

・このほか、「無人システムを利用したオーロラ現象の広域ネットワーク観測」では無人オーロラ観測装置1号機をアムンゼン湾に新設、「南極点・マクマード基地オーロラ多波長同時観測による磁気圏電離圏構造の研究」では全米科学財団（NSF）とニュージャージー工科大学と共同観測を実施、「電磁波・大気電場観測が明らかにする全球雷活動と大気変動」では国際的に欠くことのできない高品質のELF波動・大気電場観測データを取得するなど、順調に観測を実施した。

【気水圏分野】 論文数：8、受賞：1

・「東南極における氷床表面状態の変化と熱・水循環変動の機構」では、内陸3地点に新型のAWS（無人気象計）を設置し連続自動観測を開始した。温暖化の影響を最も如実に表しやすい氷床沿岸域の夏季の表面融解についてマイクロ波放射計を用いた観測に成功した。極域の気象予報精度を向上させる国際プロジェクトYOPP-SHの一環として、2018年11月～2019年2月の特別強化観測期間に、昭和基地、ドームふじ、「しらせ」からゾンデ観測実施して、世界的にもトップクラスの貢献を果たした。

・「夏季の海洋・海氷上～南極氷床上における、降水、水蒸気、エアロゾル粒子の空間分布と水循環」では、「無人飛行体観測による南極沿岸域のエアロゾルの空間分布観測」および「全球生物地

球化学的環境における東南極域エアロゾルの変動」と共同で、氷床縁辺域の S17 拠点に長期滞在し、気象・エアロゾル・表面状態の地上連続観測、氷床縁辺域内の移動観測、高層気象ゾンデ観測、更に無人飛行機を用いた広域 3 次元観測に成功したほか、昭和基地や「しらせ」船上での観測を実施した。

・このほか、「南極底層水昇温・低塩化期における深層循環の変貌解明」および「南大洋・南極大陸斜面接合海域における循環流場の観測」では「海鷹丸」を効率的に利用して、東経 110 度ビンセンス湾沖での深層、底層、循環流を含めた観測を実施、「南極成層圏水蒸気の長期観測」では 59 次極夜期に集中観測を実施するなど、ほぼ順調に観測を実施した。

【地圏分野】 論文数：12、受賞：2

・「太古代-原生代の地殻形成と大陸進化の研究」では、約 40 億年前～5 億年前までの長大な時間軸を持つ南極ドロンイングモードランドからエンダビーランドの基盤地質の特質を生かし、地殻形成と大陸進化の研究を資する資料を採取するため、58 次夏にプリンスオラフ海岸ならびにエンダビーランド地域の露岩域の地質調査を実施した。アジア地域の若手研究者（AFoPS チーム）を野外に同行したことも特筆される。

・「極域の地殻進化の研究」では、60 次夏に先遣隊として空路で南極入りし、オングル諸島での詳細な地質調査や、ボツンヌーテンのふもとから頂上までの詳しい地質調査を実施した。リュツォ・ホルム湾沿岸域で大陸衝突帯に特徴的な構造やシュードタキライト（地震の化石）を見出したほか、アムンゼン湾地域では、これまで日本隊が未到達であった露岩域での地質調査を実施した。

・このほか、「地震波・インフラサウンド計測による大気-海洋-雪氷-固体地球の物理相互作用解明」、「南極における地球外物質探査」、「絶対重力測定と GNSS 観測による南極氷床変動と GIA の研究 - 宗谷海岸およびセール・ロンダーネ山地-」の各課題を実施し、順調に試料およびデータを取得した。

【生物圏分野】 論文数：28、受賞：3

・「露岩域と生物の変遷から探る生態系のメジャートランジション」では、越冬期を含めて、湖沼と集水域での生物活動観測、湖沼の生物活動の季節変動観測、湖沼堆積物採集と潜水観測、魚探プロッターと ROV による湖底マッピングを実施した。これらの観測から、露岩域水域（季節流水・湖沼）の特徴的な溶存有機物などの水質環境や、現場実験から露岩域土壌と湖沼堆積物での動態の知見を得た。また、湖沼の成立過程の異なる複数の湖盆から堆積物の柱状試料が獲得でき、今後の解析により環境と生物群集変遷に関する新たな知見が期待される。

・「一年を通した生態計測で探る高次捕食動物の環境応答」では、バイオロギングの新規手法を用いて、アデリーペンギン、飛翔性海鳥（ユキドリ等）、ウェッデルアザラシなどの南極海沿岸生態系の高次捕食動物の一年を通した行動・生態計測を実施した。その結果、ウェッデルアザラシが冬期に昭和基地を大きく離れてアムンゼン湾方面まで移動していること、また、アデリーペンギンは、抱卵期（11～12 月）に、従来知られていた結果と大きく異なり、リュツォ・ホルム湾沖まで 300km 以上も移動していることなどの新しい知見の取得に成功した。

・このほか、「南極陸上生態系における生物多様性の起源と変遷」では 60 次隊復路エンダビーランド調査計画がキャンセルされたことにもない当初の計画達成が困難になったものの、「南大洋イ

ンド洋セクターにおける海洋生態系の統合的研究プログラム」では「しらせ」と「海鷹丸」で連携し、南極海で優占するハダカイワシ仔魚の一種が沈降粒子を摂食しその粒子の多くが珪藻類を含むこと（世界初）を明らかにした。

【複合分野】 論文数：1

・「極限環境下における南極観測隊員の医学的研究」では、自然環境及び医療環境の厳しい南極における医療体制の拡充のため、南極で使用可能な医療機器や遠隔医療の検証や開発に取り組み、予防医学的観点から疾患を解明して南極観測へのフィードバックを目指す研究が複数行われている。レジオネラ属菌に関する医学研究については、観測隊の持ち帰った試料の分析を行い、昭和基地近傍および沿岸露岸域で採取した土壌試料において、レジオネラ属菌の遺伝子断片を検出し、基地とその周辺でのレジオネラ属菌の繁殖動態に興味深い知見が得られつつある。

自己点検評価： 評価結果 A

以下のように、計画通りに公募および採択を行い、ほぼ順調に実施しただけなく、重点研究観測やモニタリング観測とも柔軟に連携しつつ新たな発想による観測も実施し、プラットフォームの活用面でも実際の観測の実施面でも非常に効率的に実施できた。加えて、YOPP-SHへの貢献や世界に先駆けた宇宙線観測など、研究面でも大きな成果が挙げられていることから、全体としてAと判断した。

必要性

- ・第IX期前半では、公募により採択した課題のうち、宙空圏分野6件、気水圏分野7件、地圏分野5件、生物圏分野4件、複合分野1件の計23件の課題を実施した。
- ・宇宙線観測や地球外物質観測など新たな発想による独創性や先導性に富む観測が計画されて、順調に開始されている
- ・一方で、地球外物質探査やGNSS観測など、第VIII期で観測した項目を国際観測ネットワークの位置づけの中で、再度、あるいは繰り返し行う事で成果に繋がった事例が見られる。
- ・特に宙空圏分野や気水圏分野では重点研究観測や萌芽研究観測との共同観測も複数計画され、分野横断的な成果に繋がっている。
- ・オーロラ観測や東経110度の海洋観測では、国際連携の促進が図られている。

有効性

- ・オーロラ観測、磁力計観測、AuperDARNレーダー観測、ゾンデ観測など、多くの観測は国際観測ネットワークの一翼を担い、希少かつ重要なデータとして国際貢献を果たしている。
- ・AWS（無人気象計）新設やYOPP-SHキャンペーンへの参加は国際的なプレゼンスを高め、かつ、地球温暖化の状況把握や予報精度向上に直接貢献している。

効率性

- ・各課題で独立した活動を行うのではなく、重点研究観測、モニタリング観測、萌芽研究観測、公開利用研究、他の一般研究観測と互いに協力し、一緒に活動することで、効率的にプラットフォームを活用するとともに、活動の効率性も高まった。
- ・DROMLANを効果的に利用して11月初頭に観測地域に入ることで、従来はできなかった時期の調査を行い、新しい知見が得られた。

7.4.3. 萌芽研究観測

研究計画

将来の研究観測の新たな発展に向けた予備的な観測・調査・技術開発などを目的とする萌芽研究観測を公募提案に基づいて実施する。一般研究観測と同様に、重点研究観測課題の決定後、国立極地研究所から研究者や研究者コミュニティ等に対して公募が行われ、提案された課題について有識者からなる委員会でその科学的意義や研究の新規性・独創性などの観点から検討して抽出される。第IX期計画においても、第VIII期計画と同様に公募を実施し、実行可能性を勘案して実施計画を決定する。

実績・成果

・公募実績

2014年（第58次・59次・60次隊対象） 応募6件 採択5件（1件は条件が整わず実施保留）

2016年（第60次・61次・62次・63次隊対象） 応募3件 採択3件

第IX期計画に基づき、新たな発展に向けた予備的な観測・調査・技術開発などを目的とした公募を実施し、ピアレビューによる科学的評価、および設営面での実行可能性の評価も加え、採択可否を決定した。なお、2018年（第62次・63次隊対象）にも公募を実施して、2件を採択した（応募数2件）。

・実施課題および実績・成果

論文数： 4

【宙空圏・気水圏分野】 「無人航空機による空撮が拓く極域観測」

カイトプレーンによるエアロゾル・気象観測時にカメラを搭載し、海水状況の判別に資する画像を取得した（59次）。60次夏期には、白夜のオーロラ観測のため、無人航空機にオーロラ撮影用の赤外カメラを搭載し、ゴム気球と連結させて放球した。上昇途中で予定外に気球と分離し、機体は滑空降下するが、コントロールできずに着地した。後日、機体を回収して原因の特定を行った。

【気水圏分野】 「超多年氷の成長・維持機構の解明に向けた海氷全層掘削」

超多年氷（数十年間の長期に維持された海氷）の実態を把握し、氷上積雪や氷床融解水の影響を含めた変動機構を理解するために、海氷の全層試料を採取し、その物理・化学的解析を行うことを目指した。リュツォ・ホルム湾奥部の超多年氷では、試料がドリル内部で凍結したため、全層の掘削を断念したが、昭和基地周辺では二年氷に相当する多年氷を良質な状態で全層採取できた。本課題で使用した新たな掘削技術・手法が、氷河や氷床と比べて極めて脆い状態にある海氷から、良質の試料を採取するために有益であることが立証された。

【地圏分野】 「南極仕様 SLR 観測システム開発」

全球宇宙測地観測網構築のため昭和基地局の GGOS 中核局化へ向けて、南極初の SLR（衛星レーザ測距）局設置をめざした予備観測を実施した。設置可能場所の予察を行ったほか、59次で全天カメラおよび雲量計を稼働させた結果、天候可観測性は日本・欧州とほぼ同等であることが確認できた

【地圏分野・国際協力】 「AFoPS サイエンスチームの南極派遣」

アジア極地科学フォーラム（AFoPS）の枠組みの許で、九州大学との連携により、アジア地域の

南極観測未参加国の若手研究者 3 名を 58 次隊に受け入れて、地圏分野の地質調査チームに同行させた。南極での行動・野営・安全対策など、南極観測における基本的な野外行動様式について理解を深めたと考えられる。将来それらの国々が南極観測をおこなう際の中核となる人材の育成、ならびに日本の南極観測のアジア地域での国際的なプレゼンスを高めることができたと考えられる。

【生物圏分野】 「海水下における魚類の行動・生態の解明」

極域における魚類の行動解析、特に海面を海水に覆われた海域での調査・研究が行われた例はほとんど無い。本課題では、海水下の小型魚類の行動を、超音波テレメトリーによって計測する手法の確立を第 1 の目的として 60 次夏に実施し、この手法の有効性、ならびに低温下での動作確認及び設置方法に関する情報を得ることができた。さらに、現地観測から、調査海域に生息する魚類相に関する知見も得られた。

自己点検評価： 評価結果 B

以下のように、計画通り将来の研究観測の新たな発展に向けた課題を公募・採択し、5 件実施した。研究内容においても、挑戦的な課題において計画変更は想定内であり、5 件の課題ほぼ全てで計画通りに、近い将来の研究観測の発展に向けた成果が得られたことから、全体として B と判断した。

必要性

- ・公募で採択した 5 件の課題を実施した。
- ・学術の水準を高めるためには、未実施領域へのチャレンジが不可欠であり、第 IX 期前半で実施した 5 件は全て萌芽研究観測の特性を活かした先駆的な研究である。

有効性

- ・計画通りに実施できないなかでも、次のステップに進む経験や情報を得られたことは評価できる。
- ・AFoPS では国際的なプレゼンスの向上に繋がる成果を上げた。また、その他の課題でも、将来的に一般研究観測への展開や重点研究観測への貢献が期待できる成果が得られた。

効率性

- ・実施期間を原則 1 か年（最長 2 か年）と設定する事で、新しい課題を採択できることは、限られた予算枠の中で、より多くの課題を採択できるメリットがあり、この点で効率的である。
- ・実施した 5 件の課題は、当該課題のみで独立した活動を行うのではなく、互いに支援・協力可能な一般研究観測チームと一緒に活動することで、効率的にプラットフォームを活用するとともに、活動の効率性も高まった。

7.4.4. モニタリング観測

モニタリング観測と定常観測により構成されている基本観測は、継続的な観測を前提に実施されるものであり、国際的または社会的な要請への対応、十分な観測データ品質の維持・管理、速やかなデータ公開を目指し、データの品質を保持しつつ観測の自動化・省力化などを更に推進している。各観測項目は、情報通信研究機構、国土地理院、気象庁、海上保安庁、文部科学省が担当する定常観測と、国立極地研究所が担っているモニタリング観測に区分され実施されている。

7.4.4.1. 宙空圏変動のモニタリング

研究計画

昭和基地は、南極域においてオーロラ帯に位置し、オーロラ光学観測のほか、地磁気、ULF 脈動、VLF 自然電波、銀河雑音電波吸収など極域オーロラ現象の総合観測を実施している数少ない貴重な有人基地の一つである。

オーロラ現象は、太陽風－磁気圏－電離圏相互作用の結果として南北両極域に現れる現象であり、両極域での同時比較観測により、そうした現象を生み出す地球周辺の宇宙空間の環境変動をモニターすることが出来る。昭和基地においては、オーロラ光学観測及び地磁気絶対観測、地磁気変化観測を継続実施し、地球内部磁場の長期変動やオーロラ活動及びそれに伴う電離圏電流の様々な時間スケールの変動のモニターを行う。また、電磁雑音の少ない環境にある西オングル島において、ULF 脈動、VLF 自然電波、銀河雑音電波吸収の観測を行い、太陽風－磁気圏－電離圏結合系の中で生起する自然電磁波動や高エネルギー粒子降下現象の様々な時間スケールの変動のモニターを行う。

実績・成果

・オーロラ光学観測

昭和基地での観測機器の運用と観測、データ取得は、大きなトラブルもなく、ほぼ予定通り順調に実施出来た。また、アイスランドの観測点との同時観測データや、「あらせ」衛星との同時観測データも取得出来た。

・地磁気観測

地磁気絶対観測と地磁気 3 成分変化観測を順調に継続実施した。また、副方位標の設置、磁力計センサー庫の保温対策、磁気測量用測量鉞の設置など、より信頼性の高い観測を行うための対策も行った。

・西オングル島における観測

各観測機器を通年連続運用することが出来た。特に、ハイブリッド電源システムにより安定した電源供給を行い、越冬中の保守作業の負荷を低減することが出来た。旧 VLF 受信器と新旧インダクション磁力計については、順調に連続観測データを取得出来た。新 VLF 受信器の低周波数側の感度が低い問題点、30MHz と 38.2MHz のリオメータの正常な出力が得られない問題点については、継続検討課題となった。

上記の観測データは、極地研・情報基盤センターの「極域科学総合データライブラリシステム」に保管・アーカイブされ、共同利用に供されている。本課題で得られたデータの利用により、論文 4 編、発表 14 件の成果があった。

自己点検評価： 評価結果 B

以下のように、機器の不具合により計画を下回った項目もあるものの、地磁気観測において計画を上回った調査を実施した点、および、グローバルな観測網の中での南極における重要観測拠点として、ほぼ計画通りの実績・成果を上げている点から、全体としては B と判断した。

必要性

- ・国際的な地磁気観測網への貢献、南極域の他の観測点での同様な観測との共同研究を継続的に行っている。また、オーロラの「あらせ」衛星との同時観測など、重点研究や一般研究との融合的研究も実施している。

有効性

- ・モニタリング観測では、様々な研究で必要不可欠な基本情報、バックグラウンド情報を提供しており、特に昭和基地は地磁気絶対観測を行っている希少な観測点であることから、観測結果は、国際標準磁場モデル（IGRF）の導出にも使用されている。
- ・昭和基地におけるオーロラ光学観測は、昭和基地開設の1957年以来、継続的に実施されており、両極域を通じて、これだけの長期間オーロラ光学観測を継続実施してきている観測点は数少なく、太陽活動の変化に伴うオーロラ活動の変動など、太陽風～磁気圏～電離圏現象の長期変動を研究する上で貴重なデータを提供してきている。

効率性

- ・一部の観測器の不具合について原因究明中ではあるものの、地磁気観測においては副方位標の設置や全磁力の試験観測、傾斜変動調査など、将来に向けて計画を上回った調査を実施した。

7.4.4.2. 気水圏変動のモニタリング

研究計画

南極域の気水圏、すなわち大気－雪氷－海氷－海洋系の諸現象は全球規模の気候システムと深く関わっており、南極域の気水圏の動態を監視することは、地球温暖化等の地球規模環境変化の診断にとって極めて重要である。この南極域は、人間活動の活発な北半球中・高緯度地域から遠く離れており、地球規模大気環境のバックグラウンドの変化を監視する上で最適な場所である。昭和基地で、大気中の温室効果気体、エアロゾル、雲の動態を長期的にモニタリングし、地球規模の気候・環境変動の現況評価と今後の変化予測に資する観測を実施する。また、地球表層の淡水の90%を占める南極氷床は地球システムの重要な冷熱源であるが、温暖化現象などの気候変動に応答して変化するため、氷床氷縁や氷床表面質量収支の変動を系統的に観測する。そして、南大洋高緯度を広く覆う海氷は、大気・海洋循環との相互作用を通して、地球規模環境変化に大きな役割を果たしている。この南極海氷域の実態把握とその変動機構を解明するため、航路沿い周辺海域と昭和基地周辺において、海氷、氷上積雪、海洋物理環境に関する現地観測データを継続的に取得する。

実績・成果

・大気微量成分観測（温室効果気体）

昭和基地における大気中温室効果気体および関連気体（二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化炭素(CO)、酸素(O₂))濃度の連続観測、および温室効果気体の同位体比測定用大気試料の定期採取を継続して、高精度時系列データを蓄積した。60次からは、これまで主要な温室効果気体の中で唯一観測していなかった大気中亜酸化窒素(N₂O)濃度の連続観測を開始した。国内外の関連機関に依頼された定期大気採取も計画通り実施した。CO₂は、観測を開始した1984年と比較して約18%増加、CH₄は1987年比で約12%増加しており、南極域においても確実に温室効果気体が増加している様子を明らかにした。

・エアロゾル・雲の観測

昭和基地に設置した装置により、エアロゾルの粒径分布および粒子数濃度の連続観測を実施している。気候への影響が注目される黒色炭素観測もプロジェクト観測からモニタリング観測に移行し、順調に継続している。エアロゾル等の観測から、エアロゾル新粒子の生成、海塩粒子の大気への放出、分散・輸送、粒子上の化学反応等に関する総合的な評価を行い、研究メンバーの一人が気象学会賞を受賞した。

・南極氷床の質量収支モニタリング

氷床上の沿岸観測点から内陸ドームふじ基地までの夏期内陸旅行（第59次隊、第60次隊）と、内陸観測点までの春期内陸旅行（59次隊）によって、ルート沿いの雪尺観測、雪尺網観測、表面積雪サンプリング及び無人気象観測装置の点検を実施した。昭和基地から南極大陸上陸地点であるとつつき岬までの海氷厚と積雪深、とつつき岬から氷床上沿岸観測点までの雪尺観測と表面積雪サンプリングを越冬中（58次以降毎年）に複数回実施した。雪尺観測と同時にハンディGPS受信機で雪尺位置を測定し、氷床の流動速度を計測した。大陸氷床上の3地点に設置された無人気象観測装置のメンテナンスと国内に送信されたデータの整理を行った。

・しらせ航路上及びリュツォ・ホルム湾の海氷・海洋物理観測

「しらせ」航路上で実施した、電磁誘導型氷厚計、カメラ、目視による観測から、海氷厚・積雪深など海氷状況に関する各種データを取得することによって、海氷分布の実態と年々変化の特徴を把握し、海氷変動機構の解明に向けた基礎データを蓄積した。基地付近の定着氷上に設定したモニタリング定線上の電磁誘導型氷厚計データや採取試料の物理・化学的解析の結果からは、海氷成長・維持に氷上積雪が果たす役割の重要性が、第VIII期計画による観測結果に引き続いて明らかとなってきた。また、船体挙動に関するデータ取得も順調に継続し、氷海航行性能試験と連携した観測、データ解析を共同で進めている。ヘリコプター吊下げ式の電磁誘導型氷厚計を用いたリュツォ・ホルム湾内の広域観測については、60次は計測システム不具合のため観測を取り止めたが、58次および59次は良好なデータを取得し、同湾の海氷厚の空間分布を把握でき、定着氷域の広域崩壊に現れる安定／不安定の長期変動機構の理解に有益な情報が得られた。

船上における海水の流速分布観測については、船底設置 ADCP（超音波式流向流速プロファイラー）が修繕されなかったため、流速データは全く取得されておらず、早期の修理が望まれる。

本課題で得られたデータの利用により、論文6編、発表22件、受賞1件の成果があった。

自己点検評価： 評価結果 B

以下のように、一部未取得のデータがあるものの、N20 観測装置の新規設置および研究成果による受賞があり、ほとんどの観測は東南極での希少な越冬観測拠点として計画通り継続実施されていることから、全体としてBと判断した。

必要性

- ・海氷の現地観測データを長期のモニタリングとして継続的に取得している点では他国に見られない独創性を有する。

有効性

- ・モニタリング観測では、様々な研究で必要不可欠な基本情報、バックグラウンド情報を提供している。特に温室効果気体データはアメリカ大気海洋庁 (NOAA) の国際的な全球の温室効果気体濃度監視プログラムに提供し、南極域の立場から大気中濃度の変動監視・把握に貢献しているほか、雪尺観測は氷床の質量収支を研究するうえで世界で唯一の長期で継続的な現場観測である。
- ・エアロゾルは気候変化の将来予測において最大の不確定要因となっており、インド洋区の南極沿岸部での越冬観測拠点は希少であることから、昭和基地で得られるデータは非常に重要であり、国際的にも注目されている。
- ・N2O の精密連続観測のデータは南極域では非常に限られており、昭和基地で新たに N2O 濃度観測を開始したことにより、今後、全球の N2O 変動・循環の理解への貢献が期待される。
- ・エアロゾル・雲データを利用した研究により、研究メンバーの一人が 2019 年度の気象学会賞を受賞した。

効率性

- ・「しらせ」搭載の観測器である ADCP の未修理によって一部未取得のデータがあるものの、ほとんどの観測は計画通りの実績・成果が得られている。

7.4.4.3. 地圏変動のモニタリング

研究計画

グローバルな地球変動現象は、地球全体を覆う観測網を用いて包括的に観測する必要があるが、南半球における観測点数は十分とは言えない。その中であって、昭和基地や「しらせ」の往復航路上は貴重な観測点であり、国際的に標準化された高品質なデータを国際標準フォーマットにより提供する。

昭和基地及び周辺域における測地観測や重力観測、地震観測を通して GIA (Glacial Isostatic Adjustment ; 氷河性地殻均衡) やプレート運動に伴う地殻変動現象を観測し、固体地球ダイナミクスについての知見を得るとともに、世界測地基準座標系の高精度化に資するデータを取得する。また、衛星観測やインフラサウンド計測、地温観測で得られたデータと統合的に解析することにより、大気、海洋、氷床などの変動に伴う地殻変動現象を高精度に検出し、表層流体も含めた動的な地球システムの解明を目指す。さらに、南インド洋の地磁気、重力や海底地形データを取得し、固体地球ダイナミクス解明等に資する基礎データを蓄積する。

実績・成果

・統合測地モニタリング

昭和基地において①DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite) 観測、②VLBI (Very Long Baseline Interferometry) 観測、③超伝導重力計観測を実施しており、周辺露岩域、氷床、海氷上で④衛星データ地上検証観測、⑤露岩 GNSS (Global Navigation Satellite System) 観測、⑥地温の通年観測を実施している。第IX期前半において、これらの観測をほぼ順調に実施した。VLBI 観測では従来の南極オヒギンズ基地を中心とした南半球 VLBI 観測網での国際共同観測 OHG (O' Higgins) 観測に加え、TRF (Terrestrial Reference Frame : 地球基準座標系) の保持を目的とした TRF 観測やアジア - オセアニア観測網での AOV (Asia-Oceania VLBI)

観測といった国際共同観測にも参加を開始した。超伝導重力計観測は 2018 年 9 月に装置の不具合が発生し、観測は継続されているものの、高精度データは得られていない。原因は判明しており、復旧に向けた作業を行っている。得られたデータは IVS(International VLBI Service)や IDS(International DORIS Service)、IGETS(International Geodynamics and Earth Tide Service)といった IAG(International Association of Geodesy)傘下のサイトから公開されているほか、研究グループのホームページからも公開している。なお、これまでの VLBI や DORIS といった宇宙測地観測の長期継続が認められ、2018 年に IAG 傘下の組織である GGOS(Global Geodetic Observing System)から、昭和基地は GGOS ネットワーク局として認証を受けた。

・地震モニタリング

昭和基地・地震計室での短周期地震計(HES)・広帯域地震計(STS-1)による連続観測、沿岸露岩域での無人観測点の展開・保守を実施している。第IX期前半において、通年での観測を順調に実施できており、取得したデータは国際地震センター (ISC)より公開されている。

・船上地圏地球物理観測

「しらせ」船上において、航路上の重力および地磁気データを取得するとともに、リュッコ・ホルム湾沖の定点において、海底圧力計による、海底圧力(ほぼ水深の変動、海水準の長期変動を表す)の連続時間変化データを取得している。第IX期前半においても、上記のデータの取得を継続した。重力および地磁気データとともに、海底物理の基礎データとなる海底地形データ(海上保安庁が主担当)については、2014年度以降マルチナロー音響測深器の修復ができておらず、代替措置として、精度は落ちるが地層探査装置による水深測定データを取得している。得られた重力、地磁気および海底圧力データは、ホームページ等を通じて公開しており、更に国際的な枠組で実施されている南極域のマッピングプロジェクト等に貢献している。特に、南極域の地磁気異常マッピングプロジェクトである、ADMAP(Antarctic Digital Magnetic Anomaly Project)に関しては、本モニタリング観測の地磁気データを含む、新たなデータを組み込んだ地磁気異常マップが 2018 年に公開された(Golynsky et al., 2018)。

・インフラサウンド観測

昭和基地におけるインフラサウンド観測では、発生源位置や励起メカニズム解明(Murayama et al., 2017)並びに、極域の大気-海洋-雪氷圏の物理相互作用解明へ貢献した(例えば南大洋起源の微気圧擾乱励起様式推定のための、大気-海洋-固体地球間カップリングの有限要素法モデリング、等)。

アーカイブされた観測データは、共通フォーマット(WIN)による波形データの統合ファイルを作成するとともに、スペクトル解析データ等の自動公開システムを整えており、メタ情報が極地研のサイトより公開されている。

本課題で得られたデータの利用により、論文 14 編、発表 46 件の成果があった。

自己点検評価： 評価結果 B

以下のように、超伝導重力観測での精度低下やマルチビームの未修理による海底地形データの精度低下があったものの、GGOS ネットワーク局の認定や ADMAP に関する地磁気異常マッ

プへのデータ提供、VLBI の高頻度観測など計画を大きく上回るも成果あり、全体としてはグローバルな観測網の中での南極における重要観測拠点として、ほぼ計画通り観測を継続実施し、国際的な枠組でのデータの提供を継続している事から、B と判断した。

必要性

- ・統合測地モニタリングで実施している宇宙測地観測は ITRF (International Terrestrial Reference Frame : 国際地球基準座標系) の構築・保持に欠くことができない観測であり、昭和基地での宇宙測地観測データも最新の ITRF である ITRF2014 の構築に利用された。
- ・「しらせ」船上で実施されている、地磁気 3 成分観測は、日本が開発した技術であり、先導性において学術の水準を高めている。
- ・インフラサウンド観測では、KOPRI との連携により西南極テラノバ湾の韓国基地(Jang Bogo) へもインフラサウンドアレイを設置し、観測範囲の拡大とともに国際連携の強化を図っている。

有効性

- ・これまでの VLBI や DORIS といった宇宙測地観測の長期継続が認められ、2018 年に IAG 傘下の組織である GGOS から GGOS ネットワーク局の認証を受けた。これにより我が国プレゼンスの向上に大きく貢献した。
- ・船上地圏地球物理観測では、未だ面的なデータが乏しい南極海の重力および地磁気データを蓄積し、海底地形データとともに、固体地球科学や古環境等に関する研究の基礎資料を着実に提供している。また、ADMAP 等の国際的な枠組で実施されているマッピングプロジェクト等に大きく貢献しているほか、海底圧力(海水準)の南極海深海での連続観測は、日本が唯一実施しており、我が国のプレゼンスを高めている。
- ・インフラサウンド観測の観測成果は、海氷・海洋・氷河・氷床の変動イベントの検知に貢献するとともに、表層環境モニタリングの指標となっている。また、固体地球応答と雪氷圏変動への影響 (SERCE) /SCAR 等のプロジェクト推進へ直接貢献している。

効率性

- ・超伝導重力計観測において約 10 か月間高精度データの取得ができていないものの、VLBI 観測では計画以上の観測数を実施している。
- ・地震モニタリング、船上地圏地球物理観測、インフラサウンド観測については、計画通りの実績・成果が得られている。

7.4.4.4. 生態圏変動のモニタリング

研究計画

南極域は寒冷な極限環境であり、そこに生息する生物種を調べることは、全球的な生物多様性を把握する上で重要である。また、近年指摘される環境変化に応答すると考えられる生物量・組成変化をいち早く検知する上で、南極の海洋・陸域の生態系変動のモニタリングは必須である。

南極海・南大洋海洋生態系の変化傾向を捉えることを目的として始まった観測船の航路上での表層水温、塩分、栄養塩、プランクトン群集 (連続プランクトン採集器の曳航を含む) に関するデータを連続的に取得し、表層水及び海洋上大気中の二酸化炭素濃度の航走観測を継続実施する。また、

第Ⅷ期計画から開始したリュツォ・ホルム湾の定着氷域、浮氷域、開放水面域における氷縁生態系観測を継続する。さらに、南極海生態系の高次捕食者であるアデリーペンギンに関し、昭和基地周辺に営巣活動に訪れる個体数変化の継続調査を行う。南極陸域生態系の長期変動監視のため、宗谷海岸露岩域での気象環境の連続自動観測、湖沼環境と生物量変動の係留観測、南極特別保護区であるラングホブデ雪鳥沢流域に設けた植物群落の方形区観測を定期的実施する。また、人間活動と生態系との関係把握の観点から、数年おきに実施してきた昭和基地周辺の土壌微生物相と現存量調査を実施する。

実績・成果

・アデリーペンギンの個体数観測

昭和基地周辺の繁殖地においてアデリーペンギンの個体数観測を実施した。概ね予定通り個体数・営巣数のデータを取得した。一部の繁殖地(1-3箇所)において海氷状況が悪化し危険であったため観測を中止したが、その他の繁殖地では安全に十分留意し観測を行った。観測結果から、個体数がここ数年で増加傾向にあることが明らかになっている。観測データは南極海洋生物資源保存条約委員会(CCAMLR)の生態系モニタリングプログラム(CEMP)へ毎年登録している。

・海洋生態系モニタリング

- 1) 海洋表層観測：しらせ及び海鷹丸船上において航走観測を実施し、海洋表層環境の経年変動データを蓄積した。
- 2) 浅層鉛直観測：東経110度（しらせで5点、及び海鷹丸で6点）及び東経150度（しらせで5点）上において実施した。
- 3) 氷海内停船観測（しらせのみ）：季節海水域および定着氷域に設定したモニタリング5～6定点において実施した。
- 4) CPR(連続プランクトン採取器)観測：しらせ及び海鷹丸航路上においてCPR曳航による連続動物プランクトン採集を実施した（それぞれ6カセット分）。
- 5) 得られた試料の分析を行い、公開用データを得た。

海洋生態系モニタリング全体としてほぼ計画通りに進捗しているが、悪天候・海況の際は危険を回避し、安全を最優先とするため、観測を中止した。

浅層鉛直観測の結果から、1990年代以降、それ以前に比べ高クロロフィル濃度が観測される頻度が高まる傾向などが明らかになってきている。観測結果についてはPolar Data Journalでの公開を進めた。

・陸上生態系モニタリング

隔年でのモニタリング観測であるため、実施は58次、60次の2隊次であった。

それぞれの隊次において、①土壌微生物モニタリング、②雪鳥沢の生態系監視、③湖沼環境連続観測の3観測項目を予定通り実施した。天候や積雪状況によって多少の欠測などはあったが、ほぼ予定通りのサンプリング、写真撮影、データ回収を行った。観測結果からは、これまでのところ、長期的な変化傾向などは見られていない。湖沼環境連続観測、雪鳥沢の生態系監視については、データジャーナルおよび極地研内の研究チームウェブサイトでの公開を行っている。

本課題で得られたデータの利用により、論文9編、発表9件の成果があった。

自己点検評価： 評価結果 B

以下のように、観測の実施が天候・海況等に大きく左右されるなかで臨機応変に対応し、国際的な観測網の中ではほぼ予定通りの観測を行っており、また、計画通り継続的なデータ提供を行っていることから、全体としてBと判断した。

必要性

- ・アデリーペンギンの個体数観測では、東南極地域における国際的観測網の重要な位置を占めており、日・豪・仏による国際共同研究の展開に貢献した。
- ・海洋生態系モニタリングでは、Southern Ocean Observing System (SOOS)の Southern Ocean Indian Sector Working Group (SOIS WG)を通じ、南大洋インド洋区で観測を展開する各国との国際連携を強化した。

有効性

- ・アデリーペンギンの個体数観測は、南極海洋生物資源保存条約委員会 (CCAMLR) の生態系モニタリングプログラム (CEMP) の一環として位置づけられている。
- ・海洋生態系モニタリングにおける海洋環境及びプランクトン群集に関する観測は SOIS WG の活動となっている。また CPR 観測は SCAR の Expert Group、また国際 CPR 観測網の中での活動となっている。
- ・雪鳥沢は南極特別保護地区 (ASP) となっており、生態系のモニタリング観測が南極条約国会議 (ATCM) や環境保護委員会 (CEP) でも重要と認識されている。また SCAR の生態系モニタリングプログラム ANTOS への国際的な貢献を通じて我が国のプレゼンスを高めることに寄与した。

効率性

- ・いずれの観測においても、一部で天候・海氷状況等による欠測があったが、全体としてはほぼ計画に沿った観測を実施している。

7.4.4.5. 地球観測衛星データによる環境変動のモニタリング

研究計画

南極域における広域の地表面・雲、対流圏・成層圏・超高層大気の状態をモニタリングするため、昭和基地に設置した衛星受信システムを用いてデータ取得を行う。衛星によるリモートセンシングは、地球上で最もアクセスが困難な南極域において、離散的な地上観測を補う最も有効な広域観測手段である。特に、昭和基地で受信する極軌道衛星は、ほぼ同じ地域を長期間にわたり繰り返し観測することができる。こうした広域モニタリング観測は、衛星リモートセンシングにおいて他に有効な手段はない。南極域における中長期の環境変動の実態を解明するため、その基本情報となる南極大陸及びその周辺における雪氷・海洋・大気圏の状態を地球観測衛星を用いて多元的かつ高精度にモニタリング観測する。

実績・成果

- ・ NOAA/DMS/P/TERRA/AQUA 衛星データの受信

58 次、59 次の各衛星の受信パス数は例年の通り、DMS/P: 約 6000、NOAA・METOP: それぞれ約 2000、

TERRA・AQUA：それぞれ約 2500、NPP・JPSS(2018 年 3 月より受信開始)：合計約 5000 であり、現在実施中の 60 次においても同頻度の受信を続けている。また、機器の老朽化やデータ容量の増加に対応したハードウェアのメンテナンスを適宜実施している。

NOAA/METOP-1 衛星の AVHRR/AVHRR3 画像及び TERRA/AQUA 衛星の MODIS 画像は、南極域の雲・海氷・大陸氷床の二次元分布や物理特性を広域的に識別する上で極めて有用で、可視パスをほぼ全て自動受信することにより、高時間分解能を実現している。

・ **全球数値予報モデルの初期値データ作成用衛星データを WMO(世界気象機関)へ提供**

受信した NOAA 衛星/TOVS データ、NPP 衛星/ATMS データ、METOP-1 衛星/AMSUA, MHS, HIRS, HKTM データは、すべて気象庁を通じて WMO に全球数値予報モデルの初期値データとして提供しており、日々の天気予報や全球気候モデルの精度向上に国際貢献している。

・ **衛星データ公開システムの強化**

氷これまで極地研の内部のサーバーからデータ公開を実施してきたが、データ容量の増加に対応し、より効率的で容易なアクセスを実現するため、既に立ち上がっている ADS (Arctic and Antarctic Data archive System)を利用したデータ公開へと、2017 年に切り替えを開始した。現在までに、データ管理サーバーへの移行はほぼ完了し、主な Quick Look 画像の公開をしている。

・ **主な利用・実績**

本課題によって得られる衛星データは、氷床表面温度・積雪粒径・放射特性、雲分布、海氷分布などの地表面の情報、大気温度・風の 3 次元分布、エアロゾル、オゾンなどの大気微量成分の分布、オーロラの発光域分布など極域の地球科学的基本的物理量を把握し、提供するものである。例えば、東南極で進行する大気-氷床-海洋システムの変動解析では、雲分布データ等を利用し、南極氷床表面の融解現象のメカニズムが明らかになってきている。また、東南極域に強い降水をもたらす総観規模システムに関する力学的研究や物質輸送への役割、及び雲分布の統計解析としてのディープラーニングによるアプローチなどに利用されている。

得られた QL 画像は昭和基地からも利用可能であり、国内との情報共有や、昭和基地内外での観測を安全に遂行するための海氷状況の把握に利用されている。

本課題で得られたデータの利用により、論文 2 編、発表 41 件の成果があった。

自己点検評価： 評価結果 B

以下のように、計画通り観測実施とデータ提供を継続して行い、国際的にもデータが継続利用されていることから、全体として B と判断した。

必要性

・ DMSP/NPP 衛星 OLS/VIIRS (DNB) 画像は、太陽風エネルギーの極域大気への流入をオーロラ発光として高い空間分解能で可視化するもので、宇宙からオーロラ撮像できる唯一の衛星として、第Ⅷ期に引き続き貴重なデータを提供している。

有効性

・ WMO (世界気象機関) が中心となって推進する PPP (Polar Prediction Project) の活動の一環として現在進行中である YOPP (Year Of Polar Prediction) や、雪氷圏の気候変動を

監視する GCW (Global Cryosphere Watch) の国際的な活動の中で、人工衛星による地球観測は広域を捉えるリモートセンシングとして重要な役割を持ち、南極域の環境変動のモニターに貢献している。

- ・受信した NOAA 衛星/TOVS データ、NPP 衛星/ATMS データ、METOP-1 衛星/AMSUA, MHS, HIRS, HKTM データは、すべて気象庁を通じて WMO に全球数値予報モデルの初期値データとして提供しており、日々の天気予報や全球気候モデルの精度向上に国際貢献している。

効率性

- ・受信作業は自動化・無人化されており、最小限の隊員への負荷で最大限効率的な観測を維持・継続している。

7.4.5. 公開利用研究

研究計画

第Ⅷ期計画では、国の事業として実施する「研究観測」や「基本観測」とは別に、観測船や基地などの南極地域観測事業のプラットフォームを利用して南極の特色を生かした研究や技術開発を行うことを目的とした「公開利用研究」を新たな公募カテゴリーとして導入した。この目的は、6年の長期にわたる中期計画に縛られることなく、南極域の科学的価値を最大限に生かすため、大学等の研究者が比較的短期間に集中して、機動的な研究を推進することであった。「公開利用研究」の公募は第Ⅷ期計画中、継続して応募があり、一定の成果が得られている。第Ⅸ期計画では、本制度を更に発展させる観点から、既実施の研究領域にとらわれず、南極域の特色を生かすという趣旨に照らして、南極条約体制や環境影響など、人文・社会学領域等からの公募受付も実施する。一方で、第Ⅷ期計画中に応募された「公開利用研究」では、同行者として自らが参加する計画ではなく観測隊への委託観測が多かったという点が今後の課題としてあげられる。委託観測には、国内外の研究機関や気象業務機関から継続的に依頼があり、かつ、作業内容も軽微な計画があるが、これらについては、国内外の大学等研究機関と国立極地研究所の協定等に基づき、新たに「継続的国内外共同観測」と位置づけて実施する。

「公開利用研究」は南極地域観測事業の枠外で実施され、国内はもとより国外も含んだ大学等の研究機関に所属する研究者が、必要経費を負担した上で立案・実施することを原則とする。提案された計画は、当該年次の観測事業実施計画との整合性を勘案しつつ、科学的妥当性及び計画の実現性の観点の事前審査を行うとともに、計画実施後の自己点検や報告、事後評価などは、第Ⅷ期計画中に確立した一連のプロセスに従って実施する。

実績・成果

第Ⅷ期計画で確立した公募・審査・実施・評価のプロセスに従い、第Ⅸ期前半(60次夏)までに、58次で3件、59次で6件、60次で7件、計16件の課題を採択し、そのすべてを実施した。

16件のうち、昭和基地のプラットフォームを利用した計画が3件、昭和基地から100km以内の露岩域での計画が2件、大陸氷床上の拠点を利用した計画が2件、南極観測船「しらせ」を利用した計画が7件あったほか、南極条約体制にかかわる研究や安全教育プログラムの開発に関する研究など、これまでの研究領域にとらわれない人文・社会学領域の課題が2件あった。

第Ⅷ期では実施37件中32課題が委託課題であったことが問題であったが、第Ⅸ期前半では実

施 16 件のうち委託課題は 7 件にとどまり、さらに、委託観測のうち越冬の 2 件を除く 5 件は、1 件あたりの作業時間が数時間以内の軽微な作業内容であった。

公開利用研究で採択・実施した課題の主な成果は次の通り。

- ・ 58 次で初めて人文・社会科学領域の課題を実施した。南極科学研究の現場で国際法がどのように認識され適用・実施されているかを調査し、南極科学研究と国際法を含む社会学的研究の連携の可能性と必要性に関する知見を得た。これは国際的に極めて高い関心を集め、国際的な研究大会において基調講演を行ったほか、国際共同研究に発展している。
- ・ 59 次で南極湖沼における水中小型無人探査機による多次元観測に成功した。これは、南極湖沼の生物分布とその変動因子を捉えようとする試みであり、新聞等多くのメディアから注目された。
- ・ 59 次では、不確実性の高い自然環境において、意思決定が直接的な損害をもたらす状況下でのリスク認知やマネジメント方略を調査し、認知科学的に認知プロセスの解明を目指す人文・社会学領域の課題を実施した。リスクの認知や対応方略に関する知見が得られ、第Ⅸ期後半での萌芽研究へと発展した。観測隊の安全教育のみならず、広くフィールド研究者への安全教育プログラムの開発への貢献が期待されている。
- ・ 59 次・60 次では、スイス連邦工科大学ローザンヌ校 (EPFL) と共同で観測する課題を実施し、南極氷床上に吹雪自動計測システムを設置した。吹雪の質量収支計算が可能になったほか、ノルウェーやベルギーなど他の基地に展開している同様の測器から得られた結果と合わせて総合的に解析し、南極氷床の質量収支の定量的な評価を目指している。

公開利用研究全体の成果としては、第Ⅸ期前半の 3 ヶ年で、査読あり論文 6 編、学会発表 36 件の成果が挙げられている。60 次夏で実施した課題は現在解析中のものも多く、今後の成果が期待される。第Ⅸ期から新たに制度化された「継続的国内外共同観測」では、2 件の「しらせ」を利用する計画が採択され、第Ⅸ期前半の 3 ヶ年で継続的に実施した。

自己点検評価： 評価結果 A

以下のように、第Ⅷ期で確立した「公開利用研究」をより効率的に運用し、技術開発や先駆的研究を機動的に実施しただけでなく、新たに人文・社会学領域の課題を実施して、国内外から極めて高い関心を集め、計画以上に我が国の国際的プレゼンスの向上に貢献したため、A と判断した。

必要性

- ・ 第Ⅷ期で確立したプロセスに従い、16 件の課題を採択し、実施した。
- ・ 既存の研究領域にとらわれない、人文・社会学領域の課題を 2 件実施し、得られた知見が国際的に極めて高い関心を集めたほか、国際的かつ学際的な研究の促進につながった。
- ・ 小型無人探査機の開発と観測など、「公開利用研究」の特色を生かした課題を実施し、学術の水準を高めることにつながった。

有効性

- ・ 南極海は観測データの空白域であることが多く、極域窒素循環観測や酸素濃度観測など 4

件の課題で得られたデータは国際的に貴重なデータとなっている。

- ・国際法に関する研究では国際的な研究大会において基調講演を行い、社会学的研究との連携において我が国のプレゼンスを高めることにつながった。

効率性

- ・年毎の募集である機動性を活かし、昭和基地や「しらせ」だけでなく、大陸氷床上や露岩域での研究課題も受け入れて、観測事業プラットフォームを広く効率的に提供することで、技術開発など挑戦的な課題もより機動的に実施することが可能となっただけでなく、研究者のすそ野を広げ、融合的な研究を推進することにつながった。

7. 5. 北極域研究推進プロジェクトに係る研究の自己点検評価

7.5.1 GRENE 北極気候変動研究事業から北極域研究推進プロジェクト(ArCS)へ

GRENE 北極気候変動研究事業

プロジェクト実施期間：2011年度～2015年度（5カ年）

プロジェクトマネージャー：山内 恭（国立極地研究所）

代表機関：国立極地研究所

参画機関：海洋研究開発機構（JAMSTEC）

参加機関数：40機関（極地研、JAMSTEC含む）

共同研究者数：約360名

【概要】

急変する北極の気候システムとその全球的な影響を総合的に解明することを目的とする大型北極研究事業として国立極地研究所が代表機関となり、5年間にわたり事業運営を主導した。下記の4つの戦略目標のもと、7つの研究課題を設定した。

- ①北極域における温暖化増幅メカニズムの解明
- ②全球の気候変動及び将来予測における北極域の役割の解明
- ③北極域における環境変動が日本周辺の気象や水産資源等に及ぼす影響の評価
- ④北極海航路の利用可能性評価につながる海氷分布の将来予測

【成果】

具体的な研究成果として、数値モデル・シミュレーションの解析から北極域における温暖化増幅の季節進行とその仕組み、北極の気候変動が日本へ寒波や大雪をもたらすメカニズムなどを明らかにした。また、海氷減少に伴い、北極海の温暖化や淡水化、酸性化が進行していることから、こうした環境変化が水産資源に及ぼす影響も今後注視する必要があることが判明した。さらに北極海航路の利活用に向けて、航行支援情報や海氷予測の高度化を進めた。

本事業では、日本の北極域研究者の分野横断的コミュニティである北極環境コンソーシアム（JCAR）の事務局の運営を支援するとともに、国内研究者の研究活動を支える研究基盤として、海洋地球研究船「みらい」・外国砕氷船と係留系、地球シミュレータ、雲レーダー・北極域データアーカイブシステムの開発・運用、アラスカ大学国際北極圏研究センター（IARC）の施設利用を可能にするとともに、若手研究者派遣支援事業を開始し、国際会議へ専門家を派遣して北極を取り巻く状況の変化に対応する体制を整備した。なお、成果の詳細は、『2011-2016 成果報告書』及び『2011-2016 成果報告概要』にまとめられている。<https://www.nipr.ac.jp/grene/pamphlet.html>

【自己評価とその理由】

本事業は、自然科学系の研究を中心に実施し、プロジェクトの枠組みは後継事業である北極域研究推進プロジェクト（ArCS）に継承され、日本の北極域研究が北極域研究事業として定着・発展する基礎を築いた。特に、北極研究分野において多くの若手研究者を特任研究員として雇用できたことは、将来の北極研究者の育成に大きく貢献したものと評価できる。また、海外の研究動向もリアルタイムに把握することができ、北極研究の国際連携強化の推進に貢献した。

なお、前回の自己点検評価報告書（2014年3月）では、GRENEプロジェクトがまだ実行途中で外部評価結果を記載することができなかつたため、付録1に「グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス」(GRENE)事業「北極気候変動分野」事後評価結果（2017年1月 同上事後評価委員会）を添付する。

7.5.2 北極域研究推進プロジェクトに係る研究の自己点検評価

北極域研究推進プロジェクト (ArCS)

プロジェクト実施期間：2015年度～2019年度（5カ年）

プロジェクトディレクター：深澤 理郎（国立極地研究所／海洋研究開発機構）

代表機関：国立極地研究所

副代表機関：海洋研究開発機構（JAMSTEC）、北海道大学

参加機関数：20機関以上

共同研究者数：約300名

【概要】

北極域研究推進プロジェクト(ArCS)は、国立極地研究所を代表機関、海洋研究開発機構(JAMSTEC)と北海道大学を副代表機関とする事業として2015年より2020年まで実施した。2015年10月に『我が国の北極政策』が策定され、その中で日本は科学・技術の力をもって北極域で諸外国、特に北極圏国との協力を押し進めるため、「秩序ある北極域利用に関わるような国際的な議論の場で日本のプレゼンスを高める」ことが謳われている。ArCSはその主要な具現手段の一つとして位置づけられた。本プロジェクトの特徴は、トップダウンの国家プロジェクトとして、科学的成果だけでなく、社会的波及効果(outcome)も強く期待されたところにある。

ArCSでは、図1に示す通り、人文科学・社会科学を含めた国際共同研究の推進、北極域における研究・観測拠点の整備、若手研究者および専門家の北極関連研究機関・会議への派遣等の取り組みを実施した。その結果、これまでの北極研究の蓄積から国際的に認知された科学的成果や日本が提案や議論を主導した国際的な観測計画としても成果があげた。とりわけ日本の測定技術が世界基準となるなど、北極域の国際的な調査・観測を牽引する役割を担ったことは特筆に値する。北極の地域住民と情報交換を行いつつ実施する調査観測スタイルや現地語による環境教材の作成、教育ツールの作成など、今後の研究プロジェクトを企画する上でモデルケースとなっている。

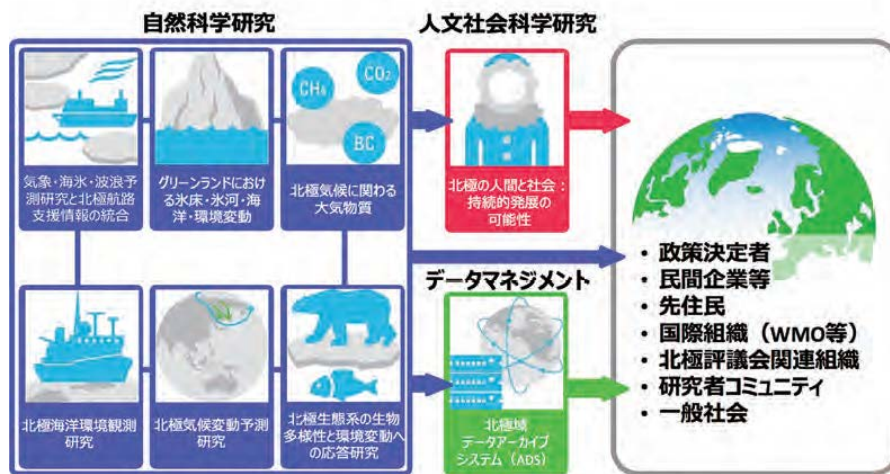


図 1. 北極域研究推進プロジェクト(ArCS)の研究テーマと波及効果

本プロジェクトは、2015年に日本政府が決定した『我が国の北極政策』に基づき、その骨子である「日本が北極問題の解決に科学をもって貢献し、北極域での秩序ある持続可能な発展に主導力を発揮すること」を実現するため、①北極環境変化の実態の科学的な把握と北極環境変化の正確な予測を行い、②国内外のステークホルダー（国際的機関、行政、民間、NGO等の関係機関及び関係者）に必要な情報として成果を提供することを目的としている。

【成果】

国際共同研究の推進、北極域における研究・観測拠点の整備、若手研究者および専門家の北極関連会議への派遣等の取り組みのほか、社会に対して本プロジェクトの科学的成果を積極的に提供するため、情報発信にも力を入れた。5年間の成果の詳細は『2015-2020 研究成果報告書』（2020年2月29日発行）に記載している。

本プロジェクトの目的達成の基礎となる国際共同研究では、「国際共同研究の推進」メニューとして、各研究課題に基づき北極の環境変化について新たな知見を見出す研究を行う自然科学テーマ（テーマ 1～6）、人文科学・社会科学テーマ（テーマ 7）、データマネジメントテーマ（テーマ 8）の 8 テーマを設定した。また、主に北極圏国の研究機関と連携する形で、研究・観測拠点、海洋地球研究船「みらい」などの研究基盤を有効に活用した。結果的に多数の学会発表・論文発表につながり、査読付き学術雑誌の論文数は、2015年度 73 件、2016年度 104 件、2017年度 118 件、2018年度 161 件、2019年度 114 件が出版され、この中からプレスリリース 53 件（うち国際プレスリリース 20 件）が発信され、実際に新聞・ニュース 92 件、テレビ 36 件、ラジオ 6 件、雑誌 22 件、ウェブコンテンツ 28 件で取り上げられた。また、プロジェクト全体を通じては、下記の特徴的な成果をあげた。すなわち、①日本のこれまでの北極研究による蓄積に立脚し、国際的に高く評価された成果をあげた、②日本が提案や議論を主導した国際的な観測計画から多くの成果をあげた、または日本の測定技術が基準となるなど、世界の観測を牽引する役割を担った、③異分野横断的な研究として、北極の地域住民と情報交換を行いつつ実施する調査観測スタイルや環境教材・教育ツール

の作成など今後の研究のモデルケースとなった、などである。

各研究テーマの具体的成果の概要は以下のとおり。

● **テーマ1：気象・海氷・波浪予測研究と北極航路支援情報の統合**

北極域の気象・海氷・海洋の予測精度向上に向け、世界気象機関（WMO）の極域予測プロジェクト（PPP）の枠組みのもと、(1) 持続可能な北極観測網の構築を目指した国際集中観測とデータ同化を用いた観測システム実験、(2) 各国の現業気象予報機関の気象・海氷予報データを利用した北極変動を起因とする極端気象の予測可能性研究、(3) 北極海航路上の海氷予測と最適航路探索・波浪予測手法の開発を軸とした観測的・数値的研究を推進するとともに、海洋地球研究船「みらい」を用いた高層気象観測、波浪ブイ観測、地球シミュレータ等を用いたデータ同化・予測実験等から観測データの影響評価を行った。

これにより、北極域の観測データは数日程度の精緻な気象・波浪・海氷予測に極めて有効であること、中緯度の気象現象の予測にも効果があることなどの成果を得た。また、現業気象予報機関の気象・海氷予報における初期値・予報値の最適な組み合わせを検討し、高空間分解能の海氷-海洋結合モデル IcePOM の開発・精緻化を図り、北極海航路上の10日程度先の海氷予測を行う基盤モデルの目処をつけた。さらに、こうした現業気象予報機関の気象・海氷予報データや IcePOM による海氷予測結果をテーマ8の協力のもと、システム上で統合し、船上で利用しやすい予測情報として提供する仕組みを整え、プロジェクト後半の「みらい」航海で実際に利用することにより、これらの予測情報が北極海を航行する船舶の安全と活動の両立に役立つことを実証した。今後は、観測の強化とそれに付随する環境負荷や観測資源の確保・運用などの諸問題とのバランスを考慮しながら、社会のニーズに応えることができるような、持続性のある観測体制の構築を目指す。

● **テーマ2：グリーンランドにおける氷床・氷河・海洋・環境変動**

テーマ2では、(1) グリーンランド最大の氷流の上流部で実施されている東グリーンランド深層氷床掘削プロジェクト（EGRIP）に参加し、氷床の変動メカニズムとその気候変動との関わりを解明に取り組む一方、(2) 近年の環境変化が加速する一方でデータの空白域でもあるグリーンランド氷床の北西部に着目し、気候変動の影響を受けた氷河氷床と海洋の変動と相互作用、さらに生じている自然災害や社会への影響に関する研究を実施した。

具体的な成果として、(1) では EGRIP サイトでのアイスコア掘削に参加し、サンプルの国際共同分析を進めるとともに、掘削地点近傍のピット観測を実施し、層位観察とサンプルの分析結果から過去10年の表面質量収支変動を復元した。過去に得られたアイスコアサンプルの分析も並行して進め、過去350年間のブラックカーボン（BC）濃度の変動を明らかにした。また、将来の海面上昇予測に深く関係する氷床氷の変形に関して人工氷とアイスコア氷を用いた室内実験を行い、不純物を含む氷の流動則の改良を行った。数値予測に関しては氷床モデルを用いた海水準変動予測のために氷床変化にともなう地殻変動の計算を行う GIA モデルの改良を進め、氷床シミュレーションの精度向上を実現した。

(2) では国外の大学や現地協力者の支援を受け、急激に縮小する氷河氷床の質量損失速度を定量化し、その変動メカニズムの解明に貢献する成果をあげた。特にカービング氷河の変動と末端ブ

ロセスに関して、多くの新しい知見を得てその成果を発表した。さらに氷河氷床から流出する融解水が海洋におよぼす影響、特にフィヨルドに栄養塩を供給する役割を定量的に示すことにはじめて成功した。また動植物プランクトンから海鳥、海生哺乳類に至るフィヨルド生態系に氷河が果たす役割が示された。一方陸上では、近年頻発する氷河河川洪水や地すべりなどの自然災害について、そのメカニズムと将来の見とおしを明らかにした。また大気中の物質輸送や降雪、海氷や氷山の分布を明らかにし、グリーンランド沿岸域の環境変動を定量的に示した。これらの成果は、毎年カナックでワークショップを開催して地域住民にフィードバックされた。地域住民と情報交換を行いながら実施する調査観測スタイルは、今後の研究のモデルケースとなりうるものである。

● テーマ3：北極気候に関わる大気物質

北極の温暖化に重要な役割を果たす大気物質、特に温室効果気体である CH_4 や、太陽放射収支に影響する BC などの短寿命気候影響物質 (SLCF) に着目した研究を実施した。SLCF の放射影響や削減効果に残る不確定性を低減するため、正確な動態把握、モデルの高度化、信頼性の高い収支推定を目指した。温室効果気体については、大気中濃度観測にもとづくトップダウン解析と、発生源観測にもとづくボトムアップ解析の両方を実施した。さらに、雲微物理とエアロゾルについても研究を実施した。具体的な成果として以下があげられる。

1) 北極 BC 研究

大気中 BC の質量濃度測定器 COSMOS を用いた継続観測体制 (ABCM-net) を立ち上げ、「みらい」北極航海、ニーオルスンなどでの積雪中および降雪中の BC 観測ともあわせ、北極の広域で BC 濃度測定を実施した。その結果、先行研究の積雪中 BC 濃度が大きく過大評価されていたことを明らかにした。また、BC の数値モデル計算についても改良を実施し、各種観測をよりよく再現することに成功した。

2) 北極雲・氷晶核研究

夏季の氷晶核濃度の増加が北極域のアウトウォッシュ・プレーン等で発生したダストによって生じており、しかもその主成分である鉱物ではなく、微量に含まれる有機物の存在によって高められていたことを明らかにした。また雲微物理量の連続観測により、その季節変化などを明らかにした。

3) 温室効果気体：トップダウン研究

地上基地・航空機・船舶による大気観測から、温室効果気体の変動と、陸上生物圏と海洋それぞれの CO_2 吸収量、 CH_4 濃度変動における微生物起源 CH_4 の重要性を明らかにした。

4) 温室効果気体：ボトムアップ研究

東シベリアのカラマツ林、および内陸アラスカのクロトウヒ林における CH_4 収支を長期観測し、環境変動に対する生態系 CH_4 収支の応答を明らかにした。これらの観測データを用いて陸域生態系モデルのパラメータを調整し、高緯度陸域生態系の CH_4 収支の広域推計を行った。その結果、高緯度陸域生態系の CH_4 放出量には、水循環変動に起因した土壌水分量の変動や水位の変動が大きく関わっていることが明らかになった。また、アラスカとスバルバル諸島の地下氷に含まれる有機炭素量を調べ、地下氷の気泡中に含まれる CH_4 濃度や CO_2 濃度に、サイト間で大きな違いがあることを明らかにした。

● **テーマ4：北極海洋環境観測研究**

北極域における海洋環境変動の実態の理解と、その低次生態系や気候学的な影響の評価を目的として、4つの研究グループが、海洋地球研究船「みらい」やその他船舶を用いた、太平洋側北極海を中心とする現場観測、係留系時系列観測、室内実験、数値実験などを実施して研究を進めた。各グループの具体的な成果としては以下があげられる。

- 1) 北極海の生物学的ホットスポットであるチュクチ海南部のホープ海底谷に世界ではじめて係留系を設置し、水温、塩分、溶存酸素、濁度、動植物プランクトンの活動状況などのデータを取得した。その結果、植物プランクトンは海氷融解期である春季だけでなく秋季にも大增殖（ブルーム）が起きること、その原因はホープ海底谷で有機物が分解されて生じる栄養塩であること、分解過程でCO₂が生じるため海底で海洋酸性化が進行することなどを明らかにした。
- 2) 海洋環境の変化が植物プランクトン群集動態におよぼす影響について、培養実験を実施して検証した。チュクチ海北部で採水した海水の温度、CO₂濃度、塩分をさまざまな設定にし、昇温と酸性化により小型の植物プランクトンが増える傾向、つまり、北極海の環境変化が植物プランクトン群集のサイズ組成を小さい側にシフトさせる効果があることを、世界ではじめて定量化することに成功した。
- 3) 衛星搭載の干渉合成開口レーダー高度計による観測データを用いて地衡流の流線関数を定義する海面力学高度（月平均）を導出し、冬季北極海の海洋循環が大気場-海氷運動にともなって月平均ベースで刻々と変動することがわかったほか、海面力学高度から季節海氷域における貯淡水量変動が推定可能であることなどが示唆された。
- 4) 予測に重要だが実態把握が十分でない海氷厚分布に関して、チュクチ海北東部沿岸域での超音波水圧計の係留観測により、海氷の喫水深の時系列データを得ることができた。これにより海氷厚の変動は北東風の卓越による沿岸ポリニヤの発生などの影響を受けることが明らかになった。

また、テーマ6、7と連携しながら、Value Tree Analysis (VTA)を応用した日本の北極科学活動と政策の関係の可視化、北極学習ツール（ボードゲーム『The Arctic』）の製作を進め、従来の自然科学研究だけではない成果をあげたことが特筆される。

● **テーマ5：北極気候変動予測研究**

北極域に関連した気候変動の予測可能性を理解するため、(1) 気候予測可能性の科学的基盤の確立、(2) 中長期気候変動予測の手法の確立を目指して研究を実施した。

(1) では北極域環境を構成する大気・海洋・雪氷など多圏間の相互作用、および北極域外の気候への遠隔影響に関する研究を実施し、海氷変動が引き起こす北極域成層圏の応答や陸域過程をととした気候メモリーが気候変動およびその予測可能性にとって重要な役割を果たすことを明らかにするとともに、熱帯や南半球といった北極域からかけ離れた地域の気候が北極域の気候に影響する過程を解明し、それにもとづく気候変動の予測可能性の存在、あるいは逆に予測可能性の制限要因の存在を示した。

(2) では気候モデルを利用した季節から数十年の北極域気候の予測に関する研究を実施した。特に、海氷をひとつの焦点として、海氷そのものの予測に向けた研究、海氷変動に影響をおよぼす

大気海洋過程の研究、および気候温暖化における海氷の応答および役割に関する研究を行い、夏季の海氷面積の予測可能性が、北極海の太平洋側における海氷の持続性（質量または体積）と関連することなどを明らかにした。また、予測における重要要素でありながら観測による実態把握が十分でない海氷厚分布に関して、海氷域の季節予測のために開発してきた手法を応用することによりデータセット作成に向けた基盤を確立した。

● **テーマ6：北極生態系の生物多様性と環境変動への応答研究**

本テーマでは、地球温暖化とそれにとまなう海氷減少に対する北極域における生物の応答や変化のメカニズム解明、低緯度域を起源とする汚染物質の北極域の生物への影響、生物多様性を保全するために必要な生物相の全容解明、生態系の構造、機能、生態系サービスなどの理解の深化といった目的を達成するために、ふたつの研究課題をおいた。すなわち、研究課題1：環境変動と人為的インパクトに対する北極海生態系の反応メカニズムの評価と研究課題2：北極生態系の生物多様性研究である。

研究課題1では、北ベーリング海陸棚域の高い生産力を維持するプロセスや、環境変化に対する海洋生物の応答（移動、シフト）について、過去の報告以上に詳しく理解することができた。また、汚染物質の影響も評価することができた。今後の環境の変化に対する予測を行うには、各プロセスについてより一層の理解を要するが、いずれの成果も科学的に重要であると同時に、将来の北極海生態系保全と水産資源管理に関する意思決定の際に必要な知見となったと考えられる。

研究課題2では、さまざまな生物種を対象にした調査・研究により新たな知見が得られた。分野によっては北極圏植物相・動物相保存作業部会（CAFF）専門家グループのメンバーに加わり、ACへの貢献の一端を担うことができた。また、保全施策への提言の実施や先住民や日本国民への研究成果の情報提供を行うことにも注力できた。本テーマの実施により、現在の北極生物多様性の実態把握や生態系機能の解明を中心とする成果が得られたが、今後も生物多様性の変化、連動する生態系の構造・機能の変化をより正確に把握し、メカニズムを解明することが必要である。

● **テーマ7：北極の人間と社会：持続的発展の可能性**

本テーマは他の自然科学の研究と連携し、研究成果をいわゆるステークホルダーに効果的に伝えるという役割を担っている。北極域における経済開発の持続可能性を考察するという目的を設定し、1) 北極海航路の利用と資源開発、2) 環境と人間の相互作用、3) 北極ガバナンスの3つの観点から研究を行った。また、1)～3)を縦断する形で数多くの国際シンポジウムやセミナーを開催した。

1)では北極海航路、資源開発、通信について研究を進め、貨物輸送の動向分析、氷海航行の実態把握と航行可能性の分析、海氷状況の整理、貨物輸送のコスト分析等を行った。2)ではロシアのサハ共和国、グリーンランド、アラスカを舞台に、自然科学研究と連携してフィールド調査を行った。サハでは永久凍土融解の状況とそその地域住民の生活への影響について、文化人類学、地理学、歴史学、地質学、環境生態学の研究者が共同で調査にあたる一方、環境経済学の視点から森林火災の影響についての研究を進め、環境教育教材の作成も行った。内陸アラスカとグリーンランドでは、野生動物（ビーバー、キングサーモン、クジラ等）と人間の関係の理解に取り組み、捕鯨の捕獲枠算定、環境モニタリングの制度化といった事象の考察を行った。このような取り組みは、科学的な

手続きを経てうみ出される知識と、先住民や地域住民の持つ在来知の、有機的な結合のテストケースとなると考えられる。3) では北極国際法政策研究、北極の安全保障環境に関する研究、非生物資源開発をめぐるガバナンスに関する研究、さらには温暖化にともなう地政学的環境の変化が北極国際関係にどのような変化をおよぼしたかに関する研究が行われた。

また、AC の作業部会に関する意見交換会や、「北極に関する政府と研究者との懇談会」を通じた政府関係者との意見交換をふまえ、政策決定者向け報告書を作成した。

本テーマの成果はまとまった形として、田畑伸一郎・後藤正憲編著『北極の人間と社会：持続的発展の可能性』として 2020 年 2 月に出版した。

● **テーマ 8：北極域データアーカイブシステム**

プロジェクトのデータセンターとしての役割を担いつつ、学際的な共同研究を促進するためのデータ解析プラットフォームの開発、北極海の観測データ・モデル出力を用いた情報配信サービスの開発に取り組んだ。

データセンターとしては、各テーマが実施する各種調査・観測およびモデル・同化研究のデータを収集し、ADS に登録・公開するとともに、北極研究活動のデータベース「Arctic Research Directory (arDirectory)」に調査・観測および研究の情報を網羅的に登録・公開し、データ検索システム「極 (KIWA)」によりデータへの容易なアクセスを実現した。また、データアーカイブとしての機能も持ち、プロジェクトで取得された大半の実データを登録・公開する一方、必要に応じて Digital Object Identifier (DOI) を付与することでデータ公開を支援した。

北極域の研究・観測拠点の整備

プロジェクト開始以降、研究・観測拠点とその設置国を 5 カ国 10 拠点まで拡大し、現地機関や国際的な研究連携体制への参加を通じて北極研究における日本のプレゼンスを示した。ノルウェーやグリーンランドでの継続的な観測体制の維持により信頼性の高い長期データや調査成果が得られるとともに、ロシアと米国においてモニタリング観測タワーを整備することにより、気象・植生データを取得し、積雪と植生の関係など北極域特有の現象を長期にわたり取得できる世界的にも貴重な拠点施設を維持・運用した。

● **人材育成・専門家派遣**

プロジェクトにより多数の若手研究者を北極に関する研究と観測の現場に派遣した。さらに、当初は研究者のみに限定した若手研究者海外派遣の支援対象を 2017 年度から民間にも広げ、短期派遣の形で北極関係の各種国際会議に派遣し、北極を取り巻く社会状況の理解と他国からの出席者との対話交流を促進した。また、北極評議会 (AC) をはじめとする北極関連会合へ専門家を派遣し、北極の環境変化の把握とその対応を広く議論し、日本がその活動に貢献できることを積極的に示した。

● **データマネジメント**

研究活動により収集された北極域の学術的価値の高いデータを長期にわたり安定的に保管し、利用しやすい形で提供するため、「国際共同研究の推進」メニューのテーマ 8 として「北極域データアーカイブシステム (ADS)」を中心にこれを推進した。各種データの取り扱いとその利用等について

て基本的な方針を定めた「北極域研究推進プロジェクト（ArCS）データポリシー」と、得られたデータの取り扱いについて必要事項を定めた「北極域研究推進プロジェクト（ArCS）調査観測データ取扱要項」を制定し、プロジェクト実施期間中に得られたデータの収集・公開・活用等を推進した。ADS の活動の詳細は 8.2.2.3 にて後述する。

● **情報発信**

国内外の一般の人々、北極圏国・非北極圏国の政策決定者、AC（主にその作業部会）、産業界関係者、北極地域住民など、北極の環境変化の影響を受ける人々を広くプロジェクトのステークホルダーと捉え、対象に合わせてウェブサイトを中心とした情報発信、一般向け冊子・ボードゲームの作成、日本国内における公開講演会などを企画・実施した。

・ ArCS 通信（ブログ）（2015 年度～2019 年度）

研究進捗、調査・観測活動やイベントの報告等を和英両方で報告した。

・ 北極フォトアルバム（2015 年度～2016 年度）

時事通信社と共同で主に研究者が野外調査の際に撮影した写真に短文の説明を付して紹介した。

・ 「みらい」北極航海（2018 年度～2019 年度）

JAMSTEC の海洋地球研究船「みらい」による北極海の海氷周辺域での観測活動を集めるウェブページを作成し、乗船研究者からの写真付きメッセージの掲載を行った。国立極地研究所の SNS など複数の媒体へも同時掲載し、幅広い範囲への情報提供となるよう発信に努めた。

・ メールマガジン配信（2015 年度～2019 年度、計 51 回）

・ 公開講演会

2015 年度「北極温暖化の実態と影響—何がわかったか、これから何をするのか—」（GRENE 北極と共同開催、参加者 231 名）

2016 年度「北極研究と日本—我々はなぜ北極を研究するのか—」（参加者 158 名）

2017 年度「北極の未来と科学」（参加者 152 名）

2018 年度「北極の環境変化と人々への影響」（参加者 122 名）

2019 年度「北極研究から見えてきたもの」（参加者 128 名）

・ 冊子作製

パンフレット…本プロジェクトの目的、実施体制などをまとめた（和英）。

中間活動報告リーフレット…プロジェクト前半での成果を中心にまとめた（和英）。

一般向け冊子『これからの北極』：10 年程度の時間スケールで将来の北極に起こりうる自然界の変化を概観し（第 1 章）、その影響がどのように現れるかをまとめた（第 2 章）。

（2019 年 3 月 25 日発行、A5 版 56p、和文）。

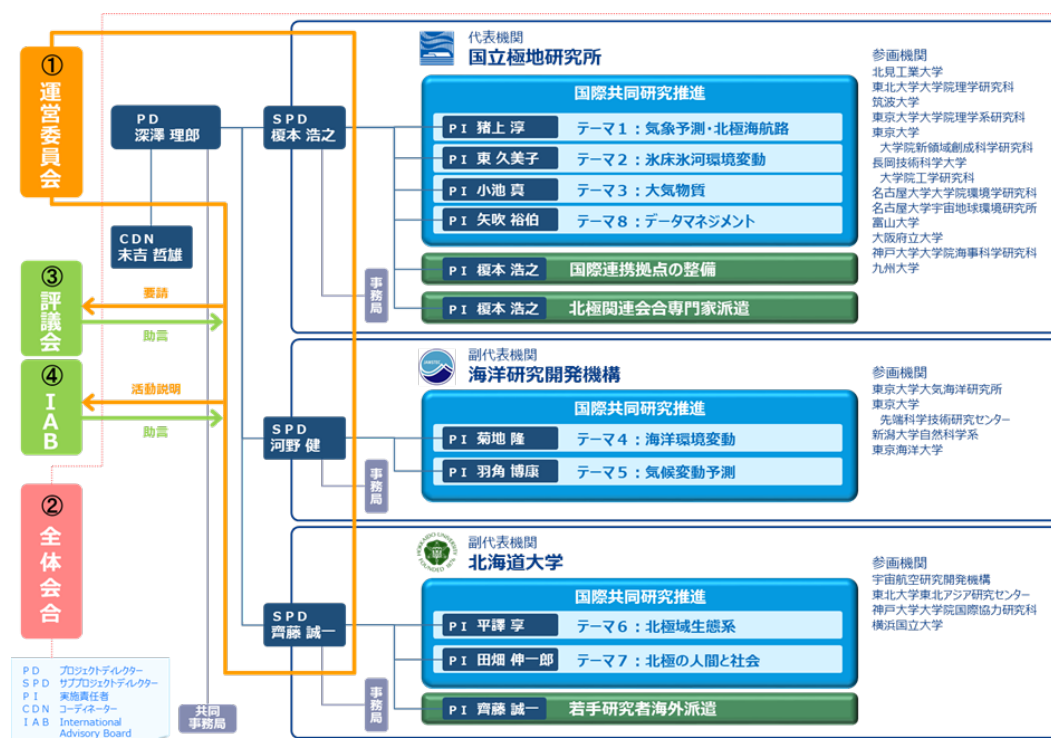
これからの日本の北極政策の展望：北極域に関する日本で初めての文理融合型研究の成果を踏まえ、今後の日本の北極政策に関して政策決定者向けの提言をまとめた（2020 年 2 月 28 日発行、A4 版 30p、和文）。

・ ボードゲーム『The Arctic』

北極域の課題をさまざまな視点から捉えるための教育ツールとして 2019 年 8 月 8 日に作成。

【運営体制】

プロジェクトの目的達成に向けて、下記の運営体制により事業を推進した。



全体を総括するプロジェクトディレクター (PD) のもと、PD を補佐し、各機関が実施するメニューを掌理し、各機関を代表するサブプロジェクトディレクター (SPD) を置いた。また、「国際連携拠点の整備」、「若手研究者海外派遣」、「AC 等北極関連会合への専門家の派遣」の各メニューならびに「国際共同研究の推進」メニューの各テーマを統括する実施責任者 (PI) を配置した。さらに、社会に向けてより効果的な情報発信を推進するコーディネーター (CDN) を置いた。

運営面での重要事項を審議・決定するため、PD、SPD を委員とする運営委員会を設置するとともに、同委員会が要請する論点につき社会的課題やニーズを踏まえた意見交換と助言を行う評議会、さらに、プロジェクトの国際的評価を踏まえ、その意義付けと活動方針に関して助言する国際助言委員会 (International Advisory Board : IAB) を設置した。

これらの会議や実施メニューの庶務に対応するため、事務局は 3 機関の共同事務局とし、極地研を中心に事業の事務的処理を実施した。

【事業予算】

5 年間の予算額は下表の通り。2015 年度は GRENE 北極気候変動研究事業の最終年度と ArCS の初年度が重なり、ArCS 事業は 2015 年 9 月より開始となった。総額は 3,416 百万円。

単位：千円

年度	2015 年度	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	総額
予算額	259,291	758,181	821,837	822,123	755,562	3,416,994

7. 6. シンポジウム

7.6.1. 極域科学シンポジウム

極域の変動が、地球全体の環境変動に多大な影響を与えている事が明らかになりつつある。また、地球規模の気候・環境変化は極めて複雑な要因に支配され、その解明には複合領域研究あるいは境界領域研究が重要となってきている。このような流れの中、極域研究のよりいっそうの進展を図るため、それまで各研究グループで個別に開催していたシンポジウムを改め、2010年度からは統合型の「極域科学シンポジウム」を企画してきた。本シンポジウムを通じて、極域科学のそれぞれの専門分野内での議論を深めるだけでなく、研究分野を超えた情報交換の活性化、新分野の開拓を目指した。

2016年度の第7回極域科学シンポジウムは、「南極地域観測第Ⅷ期から第Ⅸ期6か年計画に向けて」を主題とした特別セッションを中心とし、11月29日-12月2日に開催した。他に、北極域の科学、アイスコア研究、大型研究計画、中層大気・熱圏をテーマとした横断セッションを設定した。

2017年度は、第8回極域科学シンポジウムとして12月4日-12月18日に実施した。特別セッションのテーマを「先端的技術で切り開く極域科学ー極域観測における計測、分析、解析の最前線ー」とし、他に北極国際連携拠点の新展開、極域データサイエンス、全大気圏をテーマとした横断セッションを設定した。

2018年度は、12月4日-12月7日に第9回極域科学シンポジウムを実施し、新学術領域研究「南極の海と氷床」主催の第1回 GRAntarctic 国際シンポジウムと合同での特別セッション「Antarctic ice-ocean interaction ~observation, reconstruction, and modeling~」を開催した。

2019年度は、12月3日-12月5日に第10回極域科学シンポジウムを開催し、「Future plan of Antarctic research: Towards phase X of the Japanese Antarctic Research Project (2022-2028) and beyond」をテーマとした特別セッションを設定し、南極観測第X期計画への展望を議論した。

参加者数は、第7回極域科学シンポジウムは約480名、第8回は約420名、第9回は約450名、第10回は約290名となり、第10回はそれまで400から500名の間で安定していた参加者数から減少している。この原因としては、開催準備や情報公開の遅れが影響したことも考えられるが、統合型のシンポジウムとしての再出発から10年を経過した今、今後のあり方を再検討する時期に来ているといえる。

7.6.2. 南極関連シンポジウム

研究者のニーズを随時調査しつつ、南極観測第Ⅷ期研究観測課題を含めた観測課題を提案・検討し、新たな課題に向けて柔軟な観測実現体制を構築する場として、2007年度に開始された南極観測シンポジウムは、2015年度の第7回南極観測シンポジウム以降、2018年度に将来の南極域でのサイエンスの方向性を議論する場として、南極観測シンポジウム2018を開催した。

この南極観測シンポジウムは、将来の新たな観測計画の提案などを幅広く議論・検討する場として企画され、南極での研究計画を検討している研究者や研究者コミュニティにとって、計画の立案や実現可能性に関する情報が得られる場となっている。

南極観測における設営活動をより効率的で環境に配慮したものにするため、南極設営シンポジウムを実施している。2016年6月20日に第13回、2017年6月27日に第14回、2018年6月4日に第15回、2019年6月3日には第16回を開催した。

先進的な基地設営の実現を目指し、民間や公的研究機関を問わず幅広いアイデアと技術を募り意見交換することを目的とし、関連したテーマを広く募集し、新しい提案や実験報告など幅広い観点から多数の発表を得てきている。

7.6.3. 北極関連シンポジウム

● 第4回～第6回国際北極研究シンポジウム ISAR-4～6

国際北極研究シンポジウム (ISAR) は、2008年からほぼ2年ごとに開催され、今年で6回目となる。自然科学だけではなく、人文、社会、工学分野の研究者も交えて、北極域の自然環境や北極圏で生活する人々や社会の変化を中心に北極の持続可能なあり方やステークホルダーへの知見の提供について議論する場となっている。ISAR-4(北極科学サミット週間 ASSW2015 の一環)では、高円宮妃殿下に科学シンポジウムの名誉総裁を務めていただき、ISAR-5にも公式参加していただいた。ISAR-6にもご臨席を予定していた。2020年に北極科学技術大臣会合 (ASM3) の日本開催が予定されており、約半年前に開催されるこのシンポジウムは、ASM3に科学的な成果を伝える機会としても期待された。

ISAR-4

ASSW (北極科学サミット週間) 2015の一環として、第3回国際北極科学計画会議 (ICARPⅢ) と合同シンポジウムを開催した。

会期 2015年4月23日～30日 (27日～30日が科学シンポジウム)

会場 富山市・富山国際会議場

主催 国際北極科学委員会

共催 国立極地研究所、北極環境研究コンソーシアム、北海道大学、海洋研究開発機構

参加国 26国と地域、参加者708名 (うち日本人450名)

ISAR-5

テーマ : The changing Arctic and its regional to global impact: From information to knowledge and action

会期 2018年1月15日～18日

会場 東京都千代田区・一橋講堂

主催 北極環境研究コンソーシアム (JCAR)

共同主催 国立極地研究所、北海道大学 (J-ARC Net)、海洋研究開発機構

参加国 24国 参加者344名 (うち日本人226名)

ISAR-6

テーマ : Arctic research: the past decade and the decade future :

- ・ Understanding Arctic change and its accelerating and cascading impacts.
- ・ How the Arctic research has contributed to sustainable development.

会期 2020年3月19日～4月30日

会場 オンライン形式 (ZOOM)

主催 北極環境研究コンソーシアム

共同主催 国立極地研究所、北海道大学 (J-ARC Net)、海洋研究開発機構ほか

参加国 29国と地域 参加者: 380名 (うち日本人 212名) *2020年2月5日現在参加予定者
2020年3月2～6日に一橋講堂を会場に口頭・ポスター発表を行う予定だったが、新型コロナウイルスの感染拡大の影響を受け、オンライン発表形式に変更した。

● 第18回 EISCAT 国際シンポジウム及び第15回 MST ワークショップ

開催日: 2017年5月26-31日

開催場所: 国立極地研究所大会議室(5月30日のみ国語研講堂も使用)

EISCAT (欧州非干渉散乱) レーダー関係者が一同に会し、太陽地球系科学をはじめ、レーダー工学、プラズマ科学等の最新の研究成果を発表・議論する EISCAT 国際シンポジウムを開催した。このシンポジウムは、主に EISCAT 科学協会加盟国が持ち回りで隔年開催しており、今回は2001年以来の日本(極地研)開催となった。加えて、レーダー観測技術や観測領域などの面で EISCAT と共通点が多い「中間圏・成層圏・対流圏(MST)レーダーワークショップ」(2-3年毎の開催)も同時合同開催した。両シンポジウム・ワークショップで計15のセッション(内、6つの合同セッション)を設け、146件の口頭発表(内、招待講演31件)及び87件のポスター発表が行われた。19ヵ国から計182名(国外120名、国内62名、学生28名)が参加し、機関数は計84機関(国外66、国内18)と多岐にわたった。今回のホットトピックとして、日本の科学衛星「あらせ」(2016年12月打ち上げ)と EISCAT レーダーとの共同観測結果や EISCAT_3D の最新情報に基づく科学的・技術的な議論などが注目された。

今後の方向性としては、EISCAT_3D レーダーやその他の既存・新規の MST/IS レーダーとの連携をさらに深め、汎地球的な国際共同観測・共同研究を推進することが挙げられる。なお、実施にあたり、EISCAT 国際シンポジウムについては、国立極地研究所のほか、機構本部の「国際ネットワーク形成・MoU 推進プロジェクト」支援、ならびに名古屋大学宇宙地球環境研究所の国際研究集会、地球電磁気・地球惑星圏学会の国際学術研究集会補助などの助成を得た。

● 日露北極研究ワークショップ

ロシア北極南極研究所 (ARRI) との共同研究合意書 (包括的 MOU 及び具体的観測に関する Agreement) が締結され、2017年10月よりロシア北極海に面するケープ・バラノバ基地における国際共同観測が開始された。これを機に、2018年1月15日～18日に開催された ISAR-5 のサイドミーティングとして、ARRI の Makarov 新所長以下5名を極地研に招聘し、日本・ロシアの北極研究に関するワークショップを開催した。15日午後にワークショップ1日目として、日露双方における北極研究の現況やバラノバ基地での共同観測(ブラックカーボンやラジオゾンデ拡充観測)の紹介、19日は2日目として、観測を実施する場合のデータの取り扱い、ゾンデ観測実施に伴う諸問題、今後開始を希望する降水同位体観測、海氷・海洋観測、オゾンゾンデ観測等の提案説明が行われ、今後の対応方針や合意書の改訂等について議論した。

北極研究におけるロシアの役割、とりわけ観測点の少ない北極海での観測の重要性を踏まえて、ロシア側の総責任者である ARRI 所長を含む関係者との人的交流の機会を得られたことは有意義で、今後の北極研究を進める上で有効な機会となった。

● ニーオルスン基地開設 25 周年記念国際ワークショップ

北極ニーオルスン基地が開設 25 周年を迎えたことを記念し、2016 年 9 月 7 日に現地で国際ワークショップを開催した。ニーオルスン基地は、1991 年 4 月にノルウェー・スバル諸島のスピッツベルゲン島ニーオルスンに、北極圏では日本として初めての常設観測基地として開設された。ワークショップには、来賓として「北極のフロンティアについて考える議員連盟」から鈴木俊一会長及び上川陽子幹事長（ともに衆議院議員）のほか、日本政府から白石和子外務省北極担当大使、白間竜一郎文部科学省大臣官房審議官（研究開発局担当）等が出席され、ニーオルスン基地が果たしてきた役割や同基地での観測・研究活動を今後も日本政府として引き続き支援していくことなど挨拶された。さらに、日本、ノルウェー、ドイツで北極研究を推進する研究機関の代表者から、これまでの研究成果をはじめ、国際共同研究による観測の実績について計 5 件の招待講演が行われ、今後の北極圏での研究観測において、どのように国際連携を強化すべきかなどについて議論を交わした。ワークショップにはニーオルスンに滞在中の各国研究者等を含め計 65 名が参加した。

● IARC 北極域研究協力ワークショップ

国立極地研究所の国際連携研究拠点の一つである IARC（アラスカ大学フェアバンクス校国際北極圏研究センター）において開設 20 周年記念として「Japan-U. S. Arctic Science Collaboration -Reflections on the Past Two Decades and Future Opportunities-」と題した会合が 2019 年 3 月 4 日-6 日に現地で開催された機会に、ArCS 国際連携拠点メニューの一環として、IARC における共同研究の推進を目的としたワークショップ「ArCS Workshop for Promoting Arctic Collaboration between IARC/UAF and Japan」を 3 月 5 日に開催し、日米双方から約 50 名の参加があった。

● Canada-Japan Future Collaboration Workshop on Arctic Environment based at Canadian High Arctic Research Station (CHARS) Campus

2019 年 7 月 1~2 日に CHARS 運営主体であるカナダ極地知的基盤機構(Polar Knowledge Canada: Polar) との共同開催で CHARS を活用した今後の共同研究や連携強化のためのワークショップを開催した。ケンブリッジベイにおいて日本の研究機関が主催するワークショップが開催されたのはこれが初めてである。日本からは 10 名の研究者が参加し、ビジネスミーティングでは、ケンブリッジベイの行政機関や地域の代表者と交歓する機会を得たほか、ケンブリッジベイ住民に向けた日本の研究紹介では、家族連れも含む約 50 名の参加があり、質問も多数出て盛況であった。

● ニーオルスン新観測施設開所記念ワークショップ

国立極地研究所の新たな北極観測施設がスバル・ニーオルスンに整備されたことを記念し、2019 年 9 月 10 日に現地においてノルウェー極地研究所との共催で開所式典ならびに記念ワークショップを開催した。式典及びワークショップには、来賓として「北極のフロンティアについて考える議員連盟」の新藤義孝衆議院議員、伊藤忠彦衆議院議員、日本政府から岡村直子文部科学省大臣

官房審議官、ノルウェー政府からは Bjorn Midthun ノルウェー外務省北極圏資源課長が参加された。各来賓ならびに両極地研究所長より、ニーオルスンがこれまで北極研究に果たしてきた役割や今後の観測研究活動への強い期待と抱負が表明された。引き続き、ノルウェー、日本、英国、ドイツの北極研究機関の代表から地球規模課題の理解に向けた国際連携の重要性、ニーオルスンにおける日本の研究計画、海洋生態および雪氷分野における最新プロジェクトの成果、ならびにスバル統合地球観測システム (SIOS) によるデータ共有・相互利用の重要性などについて講演があり、北極研究における国際連携の重要性について共通認識を深めた。ワークショップ参加者は、現地に滞在する各国の研究者等を含めて約 60 名であった。

● **Arctic Frontiers Abroad Seminar in Tokyo**

2019年12月6日、在京ノルウェー大使館において北極域における環境・社会・経済の持続可能性に関する課題について幅広く議論する標記のセミナーをArctic Frontiers事務局（ノルウェー・トロムソ）、ノルウェー極地研究所、および在日ノルウェー大使館とともに共同主催し、セミナーの企画立案ならびにプログラム作成などを主導した。講演はすべて招待講演とし、①過去100年の北極圏の気候・環境変化、②北極海の資源とその課題、③科学から政策へ、の3セッションで計14件の基調講演と一般講演で構成した。日本、ノルウェー両国の北極研究者をはじめ、ニーハマル在日ノルウェー大使や北極議連の新藤議員、伊藤議員にもご参加いただいた。極地研からは中村所長、榎本副所長、宮岡特任教授ほか多数の関係者が出席した。参加者は約70名。

8. センター・室の活動と評価

8. 1. 南極観測センター

8.1.1. 設置の理念

南極観測センターは、2004年4月1日の研究所の法人化に伴う研究系の組織改革の一環として発足した。その後、2006年の研究系組織の見直し再編により「南極観測推進センター」と改称したが、2009年度より、南極観測事業の中核機関としての機能を最大限に発揮するために、教員と事務系・技術系職員の融合組織として大幅に改組され、現在の南極観測センターとなった。南極観測センターは、1)南極地域観測の中期的観測計画の企画調整に関わること 2)南極観測事業の後方支援、環境対策、安全対策等に関すること 3)基本観測の実施に向けての準備に関すること等を担う組織として位置づけられている。

南極観測センターは、南極地域観測統合推進本部（本部長：文部科学大臣）で決定される観測計画の実施および南極観測隊を派遣するにあたって、観測計画や企画にかかる国内外の研究者との連絡調整、附属施設である昭和基地他の維持、観測隊の編成や訓練、輸送、安全や環境保全対策等を主たる任務として設置された。南極観測センターでは、各研究部門の研究者等がコーディネーターとなり、観測計画や実施に関する事前調整、観測隊の後方支援や南極地域観測事業の将来計画の立案等を実施している。2019年度には、南極観測センター設置以降はじめて専任の教員を配置し、観測活動支援等の機能強化を行っている。

8.1.2. 活動概要

南極観測センターの活動は、①観測隊との連携をはかりながら、②現場の視点に立脚し、安全や環境保護等の観点を含む観測隊の活動の事前調整および後方支援にあたり、③国内的な組織や各種委員会の議論・検討の場に、南極の現場からの意見を反映させるとともに、委員会等からの助言を活動に活かすことに努め、④南極の現場から極域科学研究の進展に寄与する事に努めるものである。観測隊活動の実質的な支援として、南極観測センターで検討を行った観測隊の編成や観測実施計画等に関しては、所内委員で構成される南極観測委員会において審議決定するとともに、必要に応じてタスクフォースを組織する等により課題解決を行っている。研究観測計画の科学面の評価等は、所外委員を主とする南極観測審議委員会において審議されるが、研究観測計画の評価や実施計画実行可能性の調整等の事前準備も南極観測センターを中心に行っている。

特に2016年度から開始された南極地域観測第IX期計画（2016年度～2021年度）の実施にあたって、事前調整および支援を主たる業務として行っている。2019年度には南極観測統合推進本部による南極地域観測第IX期計画の中間評価が実施され、南極観測センターを中心に自己点検評価の取りまとめ等を実施した。また、次期の6ヶ年計画となる、南極地域観測第X期計画（2022年度～2027年度）の策定も2019年度に開始され、これに関しても南極観測センターを中心に準備を開始した。

さらに、「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年）の策定から約10年が経過し、社会、環境および研究観測動向の変化を踏まえ、特に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り、また、次期南極観測船の建造（2030年頃）に備え、今後の南極観測の方向性を取りまとめる必要もあることから、南極観測委員会のもとに、南

極観測将来構想タスクフォースを設置し、南極観測センターを中心としたメンバーにより将来構想の取りまとめを行った。タスクフォースでの議論とともに、ワークショップや「南極観測シンポジウム2018」を開催し、様々コミュニティから提案されたサイエンスの方向性等に関して議論を行い、南極観測センターが主導して将来構想の検討を進めた。これらの検討結果を、「南極地域観測将来構想—2034年に向けたサイエンスとビジョン—」として取りまとめ2019年に公表した。

加えて、2018年度に、昭和基地および観測船「しらせ」をベースとした南極観測オペレーションを安全かつ円滑に実施するため、特に現場での観測および設営の支援強化を目指し、南極観測センターにオペレーション支援室を設置するべく、オペレーション支援準備室を設置した。2019年度には、オペレーション支援室を立ち上げ、さらにセンター設置以降これまで兼務教員だけであったが、はじめて専任の教員を配置し、南極観測の推進を強化する体制を築いた。また、南極観測地域観測事業における産学連携の強化に取り組むため、2018年度に南極観測センターに産学連携推進室準備室を設置した。

8.1.3. 現状の評価

2016年度から2019年度まで、南極観測センターでは、事前調整を含む南極地域観測第IX期計画実施の支援を主として実施してきた。現場での活動を基軸として、南極観測地域観測の事前調整および後方支援に関して一定の役割を果たしたものと評価できる。南極地域観測事業の実施中核機関として、南極観測センターが中心となり、観測隊と国立極地研究所間の連携を促進し、研究所における観測隊の支援体制の強化を進めた。また、2019年度には専任の教員を配置するとともに、オペレーション支援室を設置し、観測船「しらせ」や昭和基地をベースとした観測・設営活動等を中心とした事前の計画策定や情報共有等を行った事により、南極観測オペレーション実施の効率化を進める事ができた。さらに、「南極地域観測将来構想—2034年に向けたサイエンスとビジョン—」をまとめ、今後の方向性を整理した事により、南極観測センターのあるべき将来像を明確にできた。

8.1.4. 将来の方向性

「南極地域観測将来構想—2034年に向けたサイエンスとビジョン—」においては、次期南極観測船の建造(2030年頃)から)時期を一つの目安として、特に南極で行うべきサイエンスの観点から、幅広い議論を行い、今後の方向性を将来構想としてまとめた。この将来構想は、2030年頃を目安として、将来あるべき南極観測の運営体制として、南極観測センターの将来像も記載されている。ここでは、南極観測センターの将来的な機能として、サイエンス支援および設営・オペレーション支援の二つの機能整備が提案されている。現状の南極観測センターは、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設営・オペレーション支援の性格が強いが、十分にカバーできない部分もあり、より広範にカバーできる専門人材の措置が必要とされる。また、サイエンス支援に関しては、現状では兼務教員がコーディネーターという形で担っているが、機能を向上するためには、専任スタッフの配置が欠かせない。2019年度には、はじめて専任の教員を南極観測センターに配置したが、多様な要望に応えるためには、専門性を持つ複数名の教員や研究マネジメント人員等の配置が望まれる。また、国際的・社会的要請に応えながら、南極観測の継続的な実施の支援を行う必要がある。そのために

は、社会、環境および研究観測動向の変化を見据え、南極観測センターの在り方も適宜見直しを行っていく必要があるであろう。

8. 2. 国際北極環境研究センター

8.2.1. 設置の理念・組織

国立極地研究所は、1980年代後半の冷戦終結を契機とした北極研究の高まりの中、北極圏の海氷・海洋、雪氷、海洋生態、陸域生態、大気、超高層大気の研究推進をめざして、1990年6月に「北極圏環境研究センター」を設置し、翌1991年にはノルウェー・スバル諸島に、ニーオルスン基地を開設して組織的な北極研究の推進に着手した。2004年の法人化を機に「北極観測センター」と名称変更し、2011年度にはグリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス（GRENE）北極気候変動研究事業の代表機関に採択され、全国の大学・研究機関と協力して事業運営を推進してきた。

こうした実績を踏まえて、北海道大学北極域研究センター、および海洋研究開発機構北極環境変動総合研究センターと連携して、新たなネットワーク型共同利用・共同研究拠点を形成して北極に関する総合的な課題解決型研究を積極的に推進するため、2015年4月に現在の「国際北極環境研究センター」に改組した。同年9月より、北極域研究推進プロジェクト（ArCS: Arctic Challenge for Sustainability）の代表機関としてプロジェクトを主導し、北極に関する共同研究の推進、研究者コミュニティへの情報提供、北極圏における共同利用施設の整備拡大、国際共同観測への参加などを実施してきた。このために以下の運営体制を整備した。

- ・北極担当副所長のもと、センター長、ならびに研究担当および研究支援担当の2名の副センター長を配置し、研究および研究支援体制を強化した。これらの組織変更を「情報・システム研究機構組織運営規則」に明示的に規定し、南極観測センターと同等の位置づけとした。
- ・研究系に専任教員を10名規模で配置し、兼任教員、特任教員、客員教員等を重点配置した。
- ・研究基盤として継続的なデータ管理を推進する北極域データアーカイブチームを設けた。
- ・専任のマネージャーと企画チームを配置し、企画・情報分析力を強化した。
- ・研究戦略・国際企画力強化のため、研究戦略企画室および国際企画室との連携体制を整備した。
- ・北極研究コミュニティ支援としてJCAR事務局をセンター事務局内に置き、活動を支援した。

8.2.2 活動概要

国際北極環境研究センター教員は、GRENE や ArCS など北極域研究事業の課題責任者としてプロジェクトゴールの達成に大きく貢献するとともに、ニーオルスンでの現地観測や共同研究の推進、NySMAC 会議での観測計画の調整、さらに YOPP や MOSAiC などの国際共同研究への対応研究者として、国内外の共同研究を推進する上でも大きな役割を果たしている。

超高層大気分野では、欧州非干渉散乱（EISCAT）レーダーの国内共同利用を担う「EISCAT 国内推進室」、ならびに次世代の EISCAT_3D レーダー整備計画を推進する「EISCAT_3D 計画準備室」をセンター内に新たに設置し、非干渉散乱レーダ委員会での審議を踏まえて EISCAT の国内共同利用と国際共同研究を推進している。

2016年に実施したニーオルスン25周年記念事業では、25年間の国内共同研究者の活動を報告冊子として集約し、現地での記念セミナーを通じて今後の国際協力関係を強化することができた。

2016年、2018年の北極科学大臣会合では、ニーオルスンおよび環北極研究の重要性を政策決定者に示すことにより、内閣府が2019年に策定した今後の北極研究で推進すべき活動にもニーオル

スン基地の活用が明記された。これらは日本の北極研究環境や科学外交に波及効果を与えた。

共同利用のための観測施設の管理・運営

a) ニーオルスン基地

1991年に開設したスバルバルのニーオルスン基地(Rabben)は、25年以上にわたり温室効果ガスや大気中エアロゾルの連続観測、北極域の生態系調査などに活用されてきたが、建物の老朽化が進んだため、2017年にノルウェー政府の協力を得て新たな施設を整備することを決定し、建設を開始した。2019年3月に竣工し、4月にニーオルスンを管理するキングスベイ社と新観測施設(KingsBay Veksthus)の賃貸借契約を締結し、新観測所(NIPR Observatory)として運用を開始した。

2019年11月より、基地の維持管理を行う長期滞在技術職員を派遣して現地での観測活動支援と基地管理業務を開始した。新観測所の完成に伴い、2019年8月に旧基地よりビーコン電波受信装置と低周波観測システムを移設した。温室効果気体の連続観測に関しては、2019年5月よりGruvebadet 大気観測所にて並行試験観測を開始した。この観測結果を踏まえて、2020年度中に旧基地からGruvebadet 観測所に観測装置を移転し、観測を継続することとなった。

当該期間中の基地利用状実績(人日数)は、2016年度：466人日、2017年度：282人日、2018年度：295人日、2019年度：479人日である。なお、ニーオルスン基地の利用実績の詳細は付録3に示す。

b) スバルバル (UNIS 内オフィス、チェコ・スバボーダ基地)

2006年に開設したUNIS オフィスは、ロングイヤービンにあるEISCAT レーダー施設やUNISの光学観測施設(Kjell Hendrickson Observatory)を利用する際の研究スペースのほか、ニーオルスン基地利用にともなう作業スペースとして利用されている。2016年度：62人日、2017年度：108人日、2018年度：33人日、2019年度：17人日の利用があった。また、南ボヘミア大学(チェコ)が運営するスバボーダ基地においては、2017年度に共同研究として基地周辺の生態系調査に参加し、24人日の利用があった。

c) グリーンランド (GINR、EGRIP)

2015年にグリーンランド天然資源研究所(GINR)と締結した観測・設営の両面における協力関係強化に関する覚書のもと、グリーンランド全域を対象とした設営面の支援や施設利用が可能となった。これまでは、人文・社会科学分野の利用が主で、GINRおよびグリーンランド大学の研究者、グリーンランド自治政府関係者へのインタビュー調査、図書室での文献収集などが行われ、2017年度10人日、2018年度に7人日の利用があった。

2015年にコペンハーゲン大学ニールス・ボア研究所と締結した協力協定に基づき、ArCSプロジェクトの一環として東グリーンランド深層氷床掘削プロジェクト(EGRIP)に参画した。国際共同掘削・観測が行われるEGRIPサイトは、若手育成の野外実習フィールドとして活用され、日本から若手を含む研究者や技術者が参加し、2016年度58人日、2017年度248人日、2018年度170人日、2019年度は70人日の利用があった。

d) カナダ (GEN、CHARS)

2016年6月にラバル大学と締結したカナダでの共同研究に関する覚書に基づき、ラバル大学、

ケベック大学リモースキー校およびケベック大学州立科学研究所からなる北方研究センター (Centre d'études nordiques : CEN) がカナダ東岸の北緯 53～83 度の北極域で運営する 8 つの観測拠点の利用が可能となった。生物分野の研究者がラバル大学およびケベック大学リモースキー校の研究者と共同研究の一環として、蘚苔類の多様性調査、北極土壌生態系の調査などを実施した。2016 年度 262 人日、2017 年度 146 人日、2018 年度は 30 人日の利用があった。

同じく 2016 年 6 月にカナダの Polar Knowledge Canada (Polar) と締結した研究協力合意書に基づき、カナダ北極域ヌナブト準州ビクトリア島のケンブリッジベイに新たに整備された研究施設 Canadian High Arctic Research Station (CHARS) の利用が可能となった。CHARS 研究者との共同研究として、北極土壌生態系の調査や降水・雪の同位体観測を実施したほか、2019 年 7 月 1～2 日には、「Canada-Japan Future Collaboration Workshop on Arctic Environment based at Canadian High Arctic Research Station (CHARS) Campus」と題した CHARS を利用した共同研究のためのワークショップを Polar と共同開催した。施設の利用実績としては、2018 年度 20 人日、2019 年度 60 人日であった。

e) アラスカ IARC 内オフィス

2012 年 12 月に締結したアラスカ大学フェアバンクス校国際北極圏研究センター (IARC) との覚書 (MOU) を引き継ぐ形で新たな MOU を 2018 年 5 月に締結した。新 MOU では、アラスカを拠点とした幅広い活動 (オフィス・実験室・地下倉庫等の設備利用、共同研究に関する調整、若手研究者の交流、合同ワークショップの開催等) に対して支援が受けられることになった。2019 年 3 月には IARC 開設 20 周年にあたるワークショップの一環として、IARC との共同研究推進ワークショップを開催した。

f) ロシア (スパスカヤパッド観測拠点、ケーバラノバ基地)

スパスカヤパッド観測拠点は、2017 年 3 月にロシア科学アカデミーシベリア支部北方圏生物問題研究所 (IBPC) と締結した協定に基づき、メタンフラックス関連調査、植物季節観測等、シベリア陸域の観測拠点として国内研究者の共同利用に供している。

ケーバラノバ基地は、2017 年 8 月に締結したロシア北極南極研究所 (AARI) との共同研究の覚書に基づき、同年 10 月より COSMOS によるブラックカーボン観測、2018 年 10 月より降水・雪の同位体調査等を開始した。また、2018 年 1 月には AARI 新所長以下 5 名を招聘し、日露の北極研究に関するワークショップを開催し、最新の北極研究の状況紹介、共同研究に詳細打ち合わせ等を行った。各観測施設の 2016 年度～2019 年度の利用実績を表 1 に示す。

	2020年4月9日現在				
	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	合計 (人日)
ニーオルスン基地	466	282	295	479	1522
UNISオフィス	62	108	33	19	222
チェコスバポータ基地	0	24	0	0	24
GINR	0	12	7	0	19
EGRIP	58	248	170	70	546
IARC	13	9	226	83	331
スパスカヤパッド観測拠点	0	344	228	186	758
ケープバラノバ基地	0	3	4	0	7
CEN	262	146	30	0	438
CHARS	0	0	20	60	80
合計 (人日)	861	1176	1013	897	

表 1. 国際北極環境研究センターが運営する北極域研究観測拠点の利用実績

北極域データアーカイブシステム (ADS) の運用

ADS は北極研究で得られたデータの利活用を目的としてデータの収集・登録の促進、データの統合的なオープンサイエンス基盤の確立を行うためのシステムである。主要なサービスは以下の通り。

- ・データ公開サービス「極 (KIWA)」とその機能の一部である「Map Search」と「Metadata Catalog」
- ・様々な 2 次元データを可視化解析する「VISION」
- ・準リアルタイム極域環境監視モニター「VISHOP」
- ・北極海航路探査システム「Sea Route Search」
- ・様々な地点に設置された自動気象観測装置のデータをリアルタイムで表示する「Real Time Monitor」
- ・北極域研究に関する調査・観測、モデル・同化研究情報の登録・公開を行う「arDirectory」
- ・航路支援サービス「VENUS」

ADS ではプロジェクト期間中、データの収集・保管作業を実施した。特に最終年度には、これまでデータ提出者が自ら行っていたメタデータの作成やデータの登録作業を提出者の負担軽減のため可能な限りサポートし、積極的にデータの収集に努めた。

北極域研究共同推進拠点 (J-ARC Net)

北極域研究共同推進拠点 (J-ARC Net) は、北海道大学北極域研究センターを推進拠点、国立極地研究所国際北極環境研究センター、海洋研究開発機構北極環境変動総合研究センターが連携施設となって連携ネットワーク型の全国共同利用・共同研究拠点として文部科学省の認定を受け、2016 年度より活動を開始したものである。

従来共同利用・共同研究拠点と異なり、J-ARC Net は、国立大学法人、大学共同利用機関法人、および国立研究開発法人と異なる法人組織の組み合わせによる初の連携ネットワーク型拠点である。連携機関の多様性のメリットを生かし、北極域における自然環境と人間活動の相互作用の解明とその成果を踏まえた異分野連携による課題解決に資する先端的・学際的共同研究を重点的に推進

している。主な活動内容は下記の通り。

a) 研究者コミュニティ支援

- ・萌芽的異分野連携共同研究：共同研究集会での議論や共同推進研究の実績も踏まえ、それらに参画した研究者等が発展的に融合させた研究企画を支援し、異分野連携による課題解決に資する萌芽的研究の実施を促進する。
- ・共同推進研究：自然科学系研究者のみならず人文社会科学系や実学系などの幅広い分野の研究者、さらにはそれらの分野から北極域研究に新規に参入する研究者も対象として、研究者の自由な発案による共同研究の実施を促進する。
- ・共同研究集会：幅広い分野の研究者を対象として、萌芽的異分野連携の共同研究や共同推進に係る研究プロジェクトを形成するための議論の機会を提供する。

b) 北極域産官学連携の推進

- ・北極域オープンセミナー：企業や官公庁の関係者を対象として、北極に関する最新の自然科学や社会科学に関する情報を提供するとともに、北極の課題解決の取り組みへの新規参入の需要を喚起するためのセミナーを開催する。これまでに毎年2回、札幌と東京を会場としてセミナーを開催した。講師には産業界の各分野で活躍する方を中心に構成し、北極域を舞台にどのようなビジネスが展開されているのか、我が国にとって事業参画に期待できる分野はどのようなものがあるのか等の報告がある。各回50～70名ほどが参加した。
- ・産官学連携課題設定集会：研究者や企業、官公庁の関係者を対象に、産官学が連携して共同で解決にあたる課題について議論し、共同研究を形成するための機会を提供した。
- ・産官学連携フォービリティ・スタディ：産官学連携課題設定集会等での議論を基に設定された課題について、研究者や企業・官公庁の関係者を対象に、産官学が連携して共同で解決にあたる課題解決型の共同研究を進めるための実現可能性調査活動を支援した。2016年～2019年度の共同研究・集会の採択実績は表1の通り。

	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
萌芽的異分野連携共同研究	1	0	3	4(継続3)	4(継続1)
共同推進研究	10	16	8	15	8
共同研究集会	7	7	5	7	4
産官学連携FS	3	1	3	3(継続2)	3(継続2)
産官学連携課題設定集会	2	3	2	3	3
合計	23	27	21	32	21

表1 共同研究・集会数

c) 北極課題解決人材育成の推進

研究者のほか企業や官公庁関係者も対象とし、俯瞰的な視野を持って北極の課題解決に貢献する人材を持続的に育成するためのコースを提供する。本コースの実施にあたっては、北海道大学が設置する日露ジョイントセンター等を活用し、北極域におけるフィールド研修等を実施する。主な活

動として下記を実施した。

- ・ウィンタースクール

ロシア北東連邦大学およびロシア科学アカデミーIBPC (Institute for Biological Problems of Chryolithozone) の協力で大学院生、若手研究者、行政・企業の実務者の若手をシベリアのヤクーツクでの実習に参加させる。日本側も講師を派遣し、日露で協力して講座を提供する。極地研から末吉特任准教授 (2018年2月)、山内特任教授 (2019年2月) を派遣した。

- ・北極域課題解決人材育成講座「北極域科学概論」

3機関の研究者を中心に、北極域を理解するために必要な基礎講座を提供するもので2017年度より開催した。札幌と東京を会場に二元同時中継による遠隔授業形式で実施した。学部生から社会人まで毎年幅広い層から約30名前後が出席し、極地研の研究者は、歴史・地理、大気、雪氷・氷床、データ関係の講座を担当した。

- ・北極基礎市民講座

日本極地研究振興会との共催、(株)クルーズライフの後援で、産学官連携事業として2019年度より実施した。本講座は人材育成講座をより一般向けに分かりやすくして北極の魅力を伝えるもので、毎回2コマずつ6回シリーズとしたが、2020年3月はコロナウィルスの影響で延期となった。参加者のリピート率が高く、各回25名前後の参加があった。極地研は、地理と歴史と大気のテーマを担当した。

d) 成果の発信

ISAR-5、ISAR-6の共催機関として、基調講演者の招聘など日本が主催する国際シンポジウムの開催を支援した。

北極環境研究コンソーシアム事務局 (JCAR)

JCARは2011年に設立された北極研究にかかわる自然科学、人文社会科学、工学の研究者を結集したコンソーシアムである。2015年まではGRENE北極気候変動研究事業が事務局活動を支援したが、2016年以降は極地研がそれを引き継いでいる。運営委員会を年3-4回開催し、活動内容を協議するほか必要に応じて委員長・副委員長会合を開催している。年1回全体集会を開催し、活動報告、活動計画を報告するとともに、トピック的な課題の講演会を開催した。JpGUでは「北極域の科学」セッションを企画し、会員に成果発表と議論の場を提供している。また、会員のメーリングリストを運営し、北極研究に関する様々な情報を提供している。これまでに約900件の発信を行った。

約2年ごとに開催される国際北極研究シンポジウム (ISAR) を2013年度のISAR-3から主催・共催し、2020年3月開催のISAR-6 (オンライン開催) まで運営した。2014年には「北極環境研究の長期構想」を集約・公開し、2018年にその小改訂を行った。現在、2024年の大改訂に向けて準備を開始した。2016年に学会的な団体に移行する方針を運営委員会で決議し、より学術的な組織に変わりつつある。2015年にArCSプロジェクト公募に関する提言、2018年には「JCARから文科省への北極域研究に関する要望」をまとめて文科省に申し入れた。今後はより学会的な組織に移行するため、国内研究大会の開催、雑誌の出版、会員へのサービスを充実させる取り組みなどを検討する。

情報発信

国際北極環境研究センターの活動、ならびに日本の北極観測・研究に関する情報発信のため、センターのホームページの運営やパンフレットの改訂、ArCS プロジェクトの情報発信等を実施した(7.6.2を参照)。

<北極観測・研究全般>

- ・パンフレット『北極観測』(和文)、『Arctic Research』(英文) 小改訂(2018年4月、2019年3月)
- ・広報誌『極』18号(2019年7月発行) ArCSプロジェクト特集
- ・GRENE 北極気候変動研究事業成果報告書『2011-2016 成果報告書』、同要約版和英(2016年9月発行)
- ・GRENE 北極気候変動研究事業英語版成果報告書 “Rapid Change of the Arctic Climate System and its Global Influences —Synthesis Report of GRENE Arctic Climate Change Research Project (2011-2016)—”(2020年3月WEB版発行)

<北極域の共同利用施設関連>

- ・ホームページでの施設情報、利用方法等周知(随時)
- ・ニーオルスン基地開設 25 周年記念誌『北極ニーオルスン基地開設 25 周年と将来展望』発行(2017年3月31日)
- ・ニーオルスン基地常駐スタッフによる観測・研究活動情報「北極ニーオルスン Now!」(2019年11月～2020年3月)

<北極海海氷関連>

- ・ADSによる海氷密接度等のJAXAの衛星観測データ公開(随時)
- ・センター教員等による年間最小面積に関するプレスリリース(毎年9月頃)

国際対応

a) 欧州非干渉散乱レーダー科学協会(EISCAT)

欧州非干渉散乱科学協会は、非干渉散乱(IS)レーダーを用いて宇宙科学の研究や教育を推進するため、レーダーの建設と維持・運用を目的として欧州6ヶ国(独、仏、英、ノルウェー、スウェーデン、フィンランド)の共同出資により1975年に設立された国際研究コンソーシアムで、日本は国立極地研究所を代表機関として1996年に正式メンバーとして加盟した。現在の加盟国は、ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、英国、日本、中国の6カ国となっている。毎年2回開催されるEISCAT評議会、その諮問委員会である財務委員会ならびに科学諮問委員会に極地研から代表委員を派遣し、レーダーの運用をはじめ、科学協会の運営に貢献している。2017-2018年には、宮岡特任教授(現在)が評議会議長を務めた。世界最大級の非干渉散乱レーダーであるEISCATレーダーシステム(計4サイト)を運用するため、各国が毎年分担金を拠出し、その負担割合に応じて各国にレーダー特別実験時間が割り当てられている。日本は、毎年2,246万円の分担金(全体の6%)を支払うことで、約170-190時間の特別実験を実施するとともに、共通実験モードによる観測データを自由に使うことができ、国内研究者の共同利用に供している。当該期間中に採択した特別実験の課題数ならびに配分時間数は表1の通り。各年度の採択研究課題の一覧は付録5を参照。

年度	課題数	KST 実験時間	ESR 実験時間
2016	12	129	50
2017	13	129	63
2018	12	125	68
2019	11	102	84

表 1. EISCAT レーダー特別実験の各年度の採択課題数と配分実験時間

1981 年の運用開始後 30 年以上が経過し、老朽化が進む EISCAT メインランドレーダーに代わる次世代レーダーとして 2002 年頃より検討が始まった「EISCAT_3D レーダー計画」の建設着工が 2017 年 6 月に極地研で開催した EISCAT 評議会にて決定した。2017 年 9 月に主局が設置されるシーボトン（ノルウェー）において起工式が開催され、日本からは藤井機構長ほか評議会委員 2 名（宮岡、野澤名大准教授）が参加した。

極地研では、2014 年度より内部予算を用いて EISCAT_3D 用レーダー送信機の自主開発を進めてきたが、2016 年度に「多点大型レーダー計画の推進」（8800 万円）の予算化を受け、技術実証用送信機 19 台を開発・製造し、トロムソ観測所の試験用サブアレイ装置に組み込み、技術実証試験に貢献した。難易度の高い EISCAT_3D の要求性能をすべてクリアするとともに安定した動作状況が高く評価された。2018 年度には、さらに 55 台の送信機を追加提供し、EISCAT_3D レーダーの整備計画に貢献した。2019 年度 9 月より EISCAT_3D レーダーのソフトウェア開発チームの一員として、橋本大志助教（センター兼任）をスウェーデン宇宙物理研究所（キルナ）の EISCAT 本部に長期派遣し、レーダー運用ソフトウェアの開発に参加している。さらに、2020 年 2 月に、「EISCAT 科学協会と情報・システム研究機構国立極地研究所の EISCAT_3D システム送信機用増幅器の提供に関する覚書」を締結し、国際入札で採用が決定した DA-Design 社（フィンランド）製のサブアレイ送信機ユニットを EISCAT 本部から委託調達することとした。これにより、2021 年度までに、第 1 期 EISCAT_3D レーダー整備計画で設置する約 10,000 台の送信機のうち約 1/4 の整備に日本が直接貢献する見込みとなった。

b) ニーオルスン観測調整会議（NySMAC）

NySMAC (Ny-Ålesund Science Managers Committee) は、ニーオルスンにおける観測活動を調整する目的で 1995 年に設立され、国立極地研究所は、ノルウェー極地研究所 (NPI)、ノルウェー大気科学研究所 (NILU)、ドイツ・アルフレッド・ウェグナー極地海洋研究所 (AWI)、英国・自然環境研究委員会 (NERC) とともにその創立メンバーとなった。現在は 11 カ国 18 機関が加盟している。年 2 回開催する NySMAC 会議では各機関の活動報告や観測計画などを報告し合い、ニーオルスンにおける各国の研究者の活動を円滑に進めるための調整や、国際的な連携研究を支援しているほか、スバルバル全域で研究観測活動を実施する上で必要な情報を共有し合う場となっている。

NySMAC では、ニーオルスンにおける主要研究分野として、①大気、②陸域生態、③海洋 (Kongsfjorden)、④雪氷の 4 分野を対象に「Ny-Ålesund Flagship Program」を設定し、重点的に

研究推進を支援している。大気科学フラグシップは2008年、陸域生態系は2009年、Kongsfjordenは2008年、雪氷は2011年にそれぞれフラグシッププログラムが制定された。以後、定期的に4分野のフラグシップワークショップが開催され、各フラグシッププログラムの内容について計画更新が続けられている。

一方、ニーオルスンにおける研究プロジェクトが急激に増加していることを受け、ニーオルスンの自然環境保護という観点から、NySMACとして各研究プロジェクトの内容をより適切に把握する必要性が指摘され始め、PID Forum(Ny-Ålesund Project Information Discussion Forum)というシステムが構築され、2015年12月より運用が開始された。PID Forumはwebベースのフォーラムで、ニーオルスンで実施する研究・観測活動が一定の基準に触れる場合には、そのプロジェクトのホスト国のNySMACメンバーがPID Forumに研究計画を投稿し、各NySMACメンバーのチェックを受ける仕組みである。PID Forumに投稿された計画は、概ね2週間ほどNySMACメンバーのコメントを受け付け、計画の修正を求められる場合もある。

ニーオルスンにおける研究活動は近年活発化しており、各国の研究者によるニーオルスンの利用も年々増加している。最近ではメディアの取材・訪問も増加し、NySMAC会議でもしばしばその対応について議論されている。ニーオルスン国際観測拠点というコミュニティの活動が活発化している現在、NySMACの役割はより複雑かつ重要なものとなっている。

c) スバルバル統合地球観測システム (SIOS)

SIOS (Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System) 計画は、ニーオルスン基地があるスバルバル諸島、およびその周辺海域で運用されている各国の観測システムを国際協力により統合的に活用し、顕在化しつつある地球規模変動の監視と研究を推進することを目的としてノルウェー政府が推進する国際共同研究計画である。ノルウェー研究評議会主導の下、SIOS計画は、2008年に欧州大型研究施設整備計画 (ESFRI) に採択され、国立極地研究所はその当初からSIOS-Preparatory Phase、Interim Phaseの正式パートナーとして計画の企画立案に参加した。さらに、2018年1月26日に開催された第1回総会に参加して「スバルバル統合観測システムのためのコンソーシアムの設立に関する覚書」を締結し、2018年1月より正式にSIOSコンソーシアムの創立メンバーとなった。現在の加盟機関は計24機関である。

本コンソーシアム参加により、国内の研究者が、①SIOSが提供する観測施設・設備の利用、②観測データの利用、③野外ロジスティックサービスの利用、④SIOSが主催するワークショップ、訓練講習等への参加、⑤SIOS研究プロジェクトへの参加、が可能になるとともに、副次的な効果として、北極研究における日本の科学的貢献および国際プレゼンスの強化、特に日本・ノルウェー科学技術協力へのvisibleな貢献となることが期待される。国立極地研究所は、創設メンバーとして年額10,000ユーロ(約130万円)の分担金を負担し、年数回開催されるSIOS理事会(Board of Directors)ならびに年1回のSIOS総会に参加することで活動方針の策定や実施に貢献している。

d) 持続的な北極観測ネットワーク (SAON)

SAON (Sustaining Arctic Observing Networks) は、環北極観測システムの構築を促進し、それらを持続させるための支援を結集すること、北極に関するあらゆる観測データを自由に相互利用できるようにすることを目的として AC の Nuuk 宣言 (2011 年) でその設置が決定され、2014 年に Committee on Observing Network (CON) と Arctic Data Committee (ADC) の二つの Committee が設置された。2016 年に外部評価が行われ、この評価委員の一人として参加した兒玉特任教授が SAON Board の日本代表委員を務めている。この外部評価に基づき 2018 年に戦略プラン 2018-2028 が作成され、1) 環北極観測システム構築のためのロードマップの作製、2) 観測データへのオープンアクセスを可能にすること、3) 長期的な観測を確実にすること、を 3 つのゴールとして明記した。2018 年にはロードマップタスクフォースが組織され (兒玉が参加)、2019 年に ROADS (Roadmap for Observing and Arctic Data Sharing) が上梓された。なお、2018 年からノルウェーが SAON 事務局への支援を半減したため、その不足分の一部を極地研と JAMSTEC が支援している。

SAON は 2 年に一度開催される Arctic Observing Summit を IASC とともに共催している。また、EU の Arctic GEOSS への公募についても応募団体とともに検討を行っている。米国やドイツは SAON 活動を支える国内組織があるが、日本にも北極観測に係る省庁と研究者をつなぐ国内委員会の設置が望まれている。

8.2.3. 現状の評価

a) 北極域研究推進プロジェクト (ArCS)

【自己評価とその理由】

極地研は、プロジェクトを支える研究基盤として北極域の研究・観測拠点の整備を担い、プロジェクト開始以前の 3 か国 5 拠点から、5 か国 10 拠点到拡大させた。特に、継続的な交渉・協議の末、北極海に面するロシアの観測点 (ケープ・バラノバ) の利用を実現させたことは大きな成果で、国際的な観測体制の強化にも貢献するものといえる。北極評議会 (AC) をはじめとする北極関連会合への専門家派遣では、北極の環境変化の把握とその対応を広く議論し、日本がその活動に貢献できることを示した。極地研は、その人と情報の往来のハブとして国内各省庁との対応も担った。データマネージメントに関しては、極地研が運用する北極域データアーカイブシステム (ADS) がデータセンターの役割を担い、プロジェクトで得られた各種研究データの収集・保管、データ活用を進めた。社会との連携では、国内外の一般の人々、北極圏国・非北極圏国の政策決定者、AC の作業部会、産業界関係者、北極地域住民などの多様なステークホルダーに対し、北極センター ArCS 事務局からウェブによる情報発信をはじめ、一般向け冊子制作、他機関と連携してボードゲームの作成、公開講演会等を実施した。

数多くの科学論文・書籍等に加えて、北極関連の会合への専門家派遣、海外連携拠点の強化を含めてプロジェクトの成果を統合し、それを社会や政策決定者に提供してきた。北極の自然科学と社会・政策とを連携させた取り組みは我が国初となるもので、この取り組みで認知された本プロジェクトの活動は、『第 3 期海洋基本計画』(2018 年) 等において日本が実践する北極の課題解決に向けた研究活動として引用された。さらに、日本の科学的貢献と科学外交への期待は、2020 年に予定さ

れている第3回北極科学大臣会合（3rd Arctic Science Ministerial : ASM3）の日本開催につながった。こうした大きな社会的波及効果（outcome）をもたらしたという点で、本プロジェクトはその目的を十分に達成したものと評価できる。

【今後の課題】

2017年度に科学技術・学術審議会の海洋開発分科会で行われた中間評価では、プロジェクトを引き続き展開していく上での留意点として、①ステークホルダーとの連携、②既存分野の枠を超えた新しい知の創出、③自然科学系及び人文・社会科学系の研究者ネットワークの拡大、および④基盤となる実施体制の充実、などが課題と指摘された。いずれも一朝一夕で解決されるものではなく、今後も日本が国家プロジェクトとしての北極研究を継続していく中で、こうした課題に対し持続的に進捗を図っていく必要がある。

【国際助言委員会による外部評価】

ArCSプロジェクトでは、プロジェクトの最適な運営を図るため、北極研究の国際プロジェクトを主導した経験を持つ5名の海外有識者からなる国際助言委員会（International Advisory Board）を設置し、2018年3月に外部評価を実施した。その評価報告書から総括コメントを以下に示す。

「総括として、ArCSチーム全体に対し、並々ならぬ秀逸な科学プログラム実施に関する賛辞を呈したい。このような複雑なプログラムの実施は容易ではない。我々は皆、ArCSの研究活動、ArCSがかくも短期間に成し遂げた成果に強い感銘を受けている。ゆえに、2020年の第3回北極科学閣僚会議が日本の北極研究をひときわ輝かせる機会となることが非常に重要である。ArCS首脳部に対し、早い段階で日本政府の関係閣僚と対話を開始し、さらに過去2回の閣僚会議に参加した米国やドイツの同僚研究者とのコミュニケーションチャンネルを確立して彼らの経験から学ぶよう奨励する。

さらに、研究結果を国際レベルで共有し、成果が活用され主要な評価や総合活動に引用され取り込まれるようにすることを奨励する。以下の事項について常に意識するよう奨励する：

- ① 長期気候時系列が根本的に重要
- ② 10年スケールで明白な変動の探索と理解
- ③ 関係する大規模大気・海洋ダイナミクスのメカニズムの解明
- ④ 国際的な大規模科学プロジェクトの計画立案への参加
- ⑤ 北極航行&インフラへの国の投資を牽引・推進力とみなして検討する。
- ⑥ 北極への経済投資や技術開発の基盤として、より信頼性の高い気候シナリオの開発を試みる。
- ⑦ グローバル規模と地域スケール双方で気候モデルの推測不確実性削減を図る。
- ⑧ 本分野での日本の能力拡大に応じて、社会科学研究者がプロジェクトを開発および主導し、他のプロジェクトに参加するように奨励／推進する。
- ⑨ 北極過程観測の空間的カバー範囲の拡大に努める。

ArCSプログラムは、日本の北極研究が国内および国際舞台の双方で輝かしい未来が待っていることを示唆する原動力を培っている。これは偶然に生まれるものではない。精励と優れた管理運営、そして強固な科学的協調の賜物である。IABは、ArCSチームのプロフェッショナルリズムに賛辞を呈する。

全てのプログラムは終わりがある。ArCS が完了日に近づくにつれ、レガシー（次段階へ引き継ぐ遺産）に関する具体的な計画を立て、次のステップに備えることが重要となる。総じて、この種のプランニングは早期に着手されるほど実りも大きく、影響力の広がりも増す。ArCS チームに対し、可及的速やかにプランニングを開始することを奨励する。向こう数年は ArCS プログラムと日本の北極科学にとって、慌ただしくも興奮と刺激に満ちた期間となるであろう。」

b) 北極域データアーカイブ (ADS)

ADS では、調査・観測の概要および調査・観測地点を表示するとともに、「極 (KIWA)」に登録されたその調査・観測のデータと関連付けるために、「arDirectory」の開発を行った。「arDirectory」では、調査・観測情報だけでなく、モデル・同化研究に関する情報も参照できる。表 1 に ADS に登録されたメタデータ、データセット数を示す。また、プロジェクト期間中のメタデータ及びデータの取得率は、それぞれ 93%、86%であった。

表 1. プロジェクト期間中のメタデータ、データセット等の登録数

	メタデータ	生データ	公開データ	調査・観測情報	モデル情報
登録数	265	67	171	100	26

ArCS プロジェクト開始直後である 2015 年 10 月以降の ADS の毎月の PV 数を図 2 に示す。

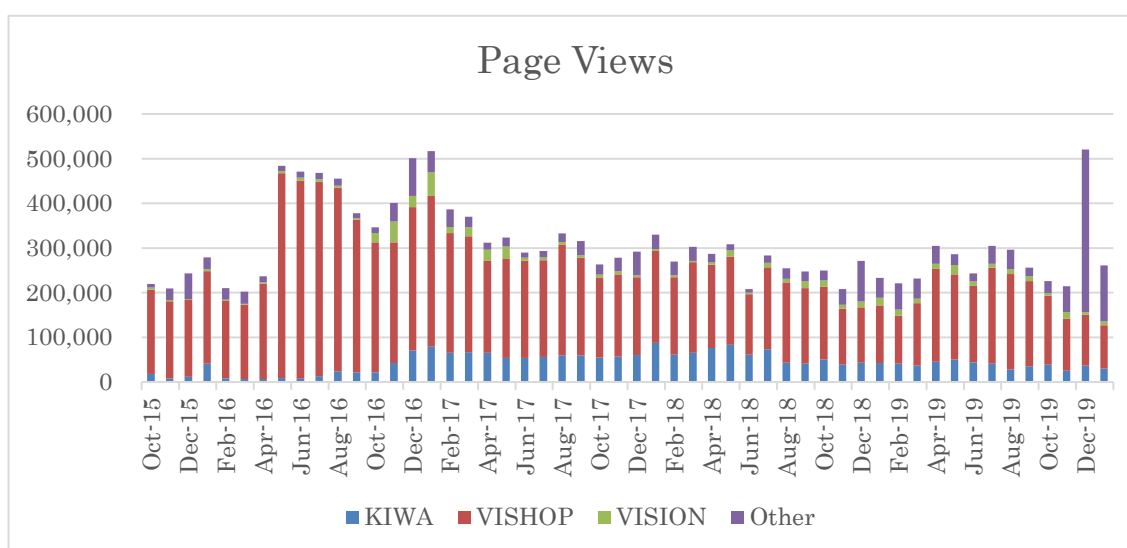


図 2. 2015 年 10 月～ 2019 年 9 月までの ADS のサービスごとの PV 数

プロジェクト期間を通じ、「VISHOP」へのアクセスが非常に多い。これは「VISHOP」のコンテンツである AMSR2 による北極域の海氷情報やテーマ 5 による北極海氷分布の中期予測へのアクセスが多いことに起因する。一方、衛星データやモデルのオンライン可視化解析サービスである「VISION」のユーザーは毎年 12 ～ 1 月にかけて増加する傾向があるが、これは学生による卒業論文や修士論文を執筆する季節と重なり、「VISION」が衛星データ解析の導入ツールであることを

示唆する。毎年、年末にかけて学生からの問い合わせが増加するのも「VISION」についてである。表2にADSのPV数を年度ごとに集計したものを示す。

表2. 年度ごとに集計したプロジェクト期間中（2015年10月～2020年3月）のPV数

期間	PV数
2015年10月～2016年3月	1,363,094
2016年4月～2017年3月	5,012,937
2017年4月～2018年3月	3,601,766
2018年4月～2019年3月	3,003,788
2019年4月～2020年3月	3,847,561
計	16,829,146

図3にプロジェクト期間中の国別訪問者数の割合を示す。ADSの日本国内からの利用は17%で、約83%は海外からの利用となっている。詳細な解析により、これらの海外ユーザーの多くのは「VISHOP」の北極域の海氷情報にアクセスしていることも判明した。

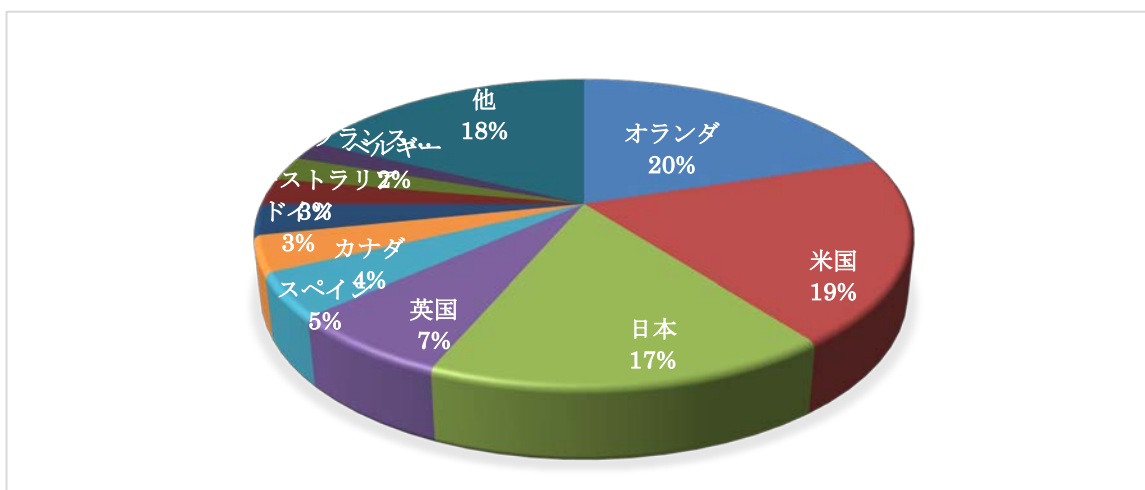


図3. ADSの国別訪問者割合

c) 北極域研究共同推進拠点（J-ARC Net）

2018年度に行われた中間評価（科学技術・学術審議会学術分科会研究環境基盤部会）において、総合評価はBとなり、下記の評価コメントが指摘された。

（評価される点）

- ・ 北極域研究に特化したネットワーク型の共同利用・共同研究拠点として、幅広い領域にわたり拠点活動を展開している。
- ・ 北極域研究に特化した拠点として、地球環境、人文・社会科学分野全般で成果を上げている。
- ・ 気候変動に伴う北極海水産資源変動、北極海航路、海底ケーブルなどに関する異分野融合による新分野創成に貢献している。

- ・ 共同利用・共同研究を通じた様々な取組と、成果論文や学会発表、研究集会等により、関連研究者コミュニティの発展にある程度貢献している。
- ・ ネットワークの形成と異分野連携推進のため、民間企業や官庁にも積極的に連携を働きかけ、人文・社会科学系や産学連携による共同研究が実施されている。

(改善すべき点)

- ・ 拠点としての活動は行われているものの、拠点の規模等と比較して低調であり、作業部会からの助言や関連コミュニティからの意見等を踏まえた適切な取組が必要と判断される。
- ・ 共同利用・共同研究拠点としてボトムアップとトップダウンのバランスに留意しつつ、より広範囲な関連研究者コミュニティからの支持と参加を得られるよう、拠点運営の強化が望まれる。
- ・ 共同利用は十分とは言えない。
- ・ 共同利用・共同研究への参加方法等や申請施設における研究の成果に関する情報提供は行われているが、参加は限定的である。
- ・ インパクトファクターの高い学術誌へ発表された論文は多いとは言えない。

8.2.4 将来の方向性

今後の北極研究活動の強化に向けて、国際北極環境研究センターが取り組むべき課題として、

- ・ 特定の重要課題に関する長期モニタリング観測体制の構築・維持
- ・ 新たな観測装置・システムの開発と展開
- ・ 将来の共同研究に向けた国内外研究者との積極的対話

が重要と考えている。これらは現在のところ、①個人の研究者、の貢献に負うところが大きい、②基盤研究グループ、③センター、④研究所、⑤共同研究コミュニティ、⑥J-ArcNet 拠点活動、⑦国家プロジェクト、⑧国際研究枠組み、⑨日本の北極政策、など多くの関係する階層レベルでの連携をいかに最適化できるかがキーポイントと考えている。以下①～⑨について現状の問題点と改善の方向性を整理する。

- ① 個人の研究活動： 先端的な研究は進んでおり、所内外の研究者との協働も進んでいるが、個人の研究活動をサポートする研究支援体制の整備が求められている。現在、モニタリング観測の維持は研究者個人が獲得した外部資金に多くが依存しており、継続が必要なモニタリング観測への安定した予算措置が必要である。
- ② 基盤研究グループ： 研究者個人の研究活動と基盤グループが責任を持つ共同利用との両立にむけての支援、また今後に向けて中堅や次世代の研究者層の強化が必要がある。
- ③ センター： 国内研究者への基地利用や観測支援は共同利用担当教員のみならず、経験を積んだ研究支援スタッフに支えられている。その維持や評価は重要である。
- ④ 研究所： ニーオルスン基地の主要な国際貢献は、開設時から続く長期のモニタリング活動にある。これを安定した活動にできる所としての方策が必要である。
- ⑤ 共同研究コミュニティ： 教員の世代交代とともに、新たな研究コミュニティが生まれつつある。これまでの実績の継承と新たな世代による活動と協働を探る必要がある。

- ⑥ J-ARC Net 拠点活動（北大・JAMSTEC・極地研）： 2016年度より開始したが、極地研が持つ観測拠点の有効利用を図ることにより、共同研究の実質的な拡大が進められるとよい。
- ⑦ 国家プロジェクト： ArCS では北極圏 5 か国に 10 カ所の観測・研究拠点を整備し、北極センターがその利用支援をおこなった。研究コミュニティにこの拠点の有用性を伝え、新たな研究者の参入を働きかけることが今後の研究推進に有効である。
- ⑧ 国際研究枠組み： 環北極観測の計画、実施、効果的なリソースの投入が課題である。今後の国際的な動きに対応する機動性が求められる。IASC や WMO、EU プロジェクトなどとの情報交換は進んでいるが、実施プランに参画するための国内協議の体制は課題である。
- ⑨ 北極政策： 我が国の北極政策において、極地研が維持してきたニーオルスン基地や国際協働への期待が示されている。政府関係者がニーオルスンの研究活動の最前線を視察し、現在の進んだ観測・研究状況は評価されたが、将来を担う若手の参加について今後の活性化が求められている。

個人の研究活動と共同利用機関職員としての北極コミュニティへの貢献が、相乗効果を生み出すことが望ましい。共同利用機関として、研究集会、共同研究、シンポジウムやセミナーなどが個人の研究活動にもっと生かされるとよい。これが、コミュニティの拡大、プランの創出、研究所との関係を強化することにつながる。北極研究に関わる人材育成や情報発信は、北極プロジェクトのような大きなプロジェクトならではの活動となりうる。2020年度より北極域研究加速プロジェクトの中でこの実施母体を当センターが担う予定である。

国際連携の拡充に関しては、ニーオルスンでの観測活動を基盤に、さらに環北極に拡大する方向性が望ましい。この数年の間に多くの共同研究協定が締結され、スバルバル・チェコ基地、ロシア、カナダ域の観測サイトでの活動が始まっているが、効果的な実利用に向けてさらなる検討が必要である。また、共同研究の推進に向けて国内研究者ネットワークへの情報交換が始まったが、共同研究集会についても既存の分野をこえた企画も必要である。汎北極データに関しては、ADS による整備が進んでいるが、これをさらに強化、活用していく方策が求められる。

ニーオルスンに関しては、2019年に新基地建物がノルウェー政府により整備され、運用が始まった。2018年度からは文科省の機能強化予算が措置され、新基地の利用開始の支援を得ている。これにより、長らく望まれていた常駐観測員の配置が可能になり、2019年11月より学術支援技術専門員1名を現地に派遣している。

将来の北極域研究プロジェクト —GRENE/ArCS から ArCS II へ—

2020年4月13日に、GRENE、ArCSの後継事業となる「北極域研究加速プロジェクト(ArCS II)」が国立極地研究所を代表機関、海洋研究開発機構(JAMSTEC)と北海道大学を副代表機関とする補助事業として採択された。ArCS IIではプロジェクトゴールとして、

「持続可能な社会の実現を目的として、北極域の環境変化の実態把握とプロセス解明、気象気候予測の高度化などの先進的な研究を推進することにより、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、研究成果の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。」が設定されている。

これを実現するために、下記の4つの戦略目標：

戦略目標①：先進的な観測システムを活用した北極環境変化の実態把握

戦略目標②：気象気候予測の高度化

戦略目標③：北極域における自然環境の変化が人間社会に与える影響の評価

戦略目標④：北極域の持続可能な利用のための研究成果の社会実装の試行・法政策的対応

が設定された。観測と予測を基に、環境変化の社会影響、国際的なルール形成という活動を通して社会実装を試行する。さらに、2つの重点課題：

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

を代表機関、副代表機関が共同して実施する。

本プロジェクトを通して、「変わりゆく北極」から「望ましい北極」の姿を模索し、提案できることをめざす。その実現には、国内の研究者の総力とそれを推進する代表機関、副代表機関のプロジェクト運営体制が重要であり、そのためには、国際コンソーシアムの中での協働と国内連携、さらに所内における推進体制の構築・強化が必要となる。

北極域データアーカイブ (ADS)

ADSは、北極域における学際的な共同研究プログラムにおいて得られた現場観測データやモデルシミュレーションデータ、衛星データを共有・解析するプラットフォームとして開発を行っている。これらのデータはプロジェクト内だけでなく、SAONやGEOSなどの北極域の国際観測データネットワークとも連携している。但し、現状ではメタデータの交換に留まり、実データでの連携には至っていない。今後、様々な国際的な観測データネットワークと実データの連携を行うために、実データ交換のための規格の調整とその実装を行う必要がある。ADSで収集・公開されるデータは、北極研究にとって貴重であり、長期安定的な保管・公開の維持が不可欠である。このためADSは日本の北極研究を支える国家的なデータ基盤として、情報・システム研究機構として長期的に開発・維持する必要がある。

北極域研究共同推進拠点 (J-ARC Net)

本拠点の活動は2021年度までとなっているが、それ以降の第2期の拠点活動の継続を想定している。現在は「理工系」の拠点として認定を受けているが、北極域研究が人文社会学や工学系にも広がっていることから「異分野融合系」がふさわしいのではないかという検討がされている。

【自己評価とその理由】

拠点本部が北大にあることから共同研究への参加が北大中心となっている。産業や市民向けの要素を強化し、極地研の活動を補完する関係となることを期待しているが、提案者を幅広く集めることが今後の課題である。また、人材育成講座の参加者を募る方法についても工夫が必要である。参

加者から「とても参考なった」との声を聞くが、本来は北大の大学院修士課程の基礎講座を目指して取り組んでいた経緯も有り、募集する対象者のレベル設定や周知に難しさがある。極地研や海洋機構が保有する基盤の利用という観点では、利用枠をあらかじめ確保する予算配分や研究計画立案時期の工夫が必要となることから共同利用に供するのが難しい。中間評価コメントにもある通り、この拠点が目指す共同研究の活性化には、大学や研究機関にとどまらず、より広範囲の民間企業や社会と繋がる参加者を増やすことなどを検討する必要がある。

別添資料

付録1. 「グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス」(GRENE)事業 「北極気候変動分野」事後評価結果 2017年1月	別添資料 122
付録2. 北極域研究推進プロジェクト(ArCS)中間評価結果 2018年1月 科学技術・学術審議会海洋開発分科会	別添資料 131
付録3. 共同利用施設・共同研究提携施設の利用状況(2016年度-2019年度)	別添資料 138
付録4. ArCSプロジェクトによる成果論文リスト (所内教員・研究者が著者に含まれるもの)	別添資料 150
付録5. EISCAT特別実験採択課題一覧(2016年度-2019年度)	別添資料 164

8. 3. 極域科学資源センター

8.3.1. 設置の理念

極域科学資源センターは、南極・北極域で採集された隕石、生物試資料、岩石試資料などの管理、基本解析、公開資料の作成および研究試料の配分、共同利用機器・施設の運用等を行う。

第1次南極地域観測隊から60年以上に渡って南極観測によって持ち帰られた試資料、ならびに、北極域から持ち帰られた試資料もあわせた総量は膨大な量に及ぶ。これらの試資料を分類し適正に管理するとともに、国内外の研究に供し、また、博物館等への貸し出しやイベント、講演会などでの展示を通して一般に公開していくことは、極域観測を担う中核機関である国立極地研究所の責務である。極域の試資料に加えて、岩石資料室では、南極大陸を含むゴンドワナ超大陸の一部のアフリカ大陸やインドやスリランカ等の試料、また、生物資料室では、高山域を中心に世界各地に及ぶ植物試資料を管理している。

試資料と並んで、大型分析機器や施設を運用し、共同研究に供していくことも任務の柱の一つとなっている。

8.3.2. 活動概要

極域科学資源センターは、2006年10月の組織再編に伴い新たに設置された。現在、南極隕石ラボラトリー、二次イオン質量分析ラボラトリー、生物資料室、岩石資料室から構成される。それぞれのラボラトリーや資料室は、元々の資料系に端を発しており、その後、資料系は時代の要請を取り入れながら改組・発展を繰り返し、生物資料部門、非生物資料部門、及び、低温資料部門の活動が継続されてきた。2006年のセンター設立当初にセンター内に設置されていた氷床コアラボラトリーは、2014年4月の組織改編でアイスコア研究センターとして発展的に改組し、極域科学資源センターから独立した組織となった。隕石資料部門は1998年に南極隕石研究センターに発展的に改組され、法人化に伴い業務に特化した南極隕石センターを経て、当センター内の南極隕石ラボラトリーとなった。また、南極隕石ラボラトリーに所管されていた二次イオン質量分析計の運営は、2013年4月に極域科学資源センター内に新たに設置された二次イオン質量分析ラボラトリーとして独立した。

8.3.3. 現状の評価

極域科学資源センターは、南極、北極を中心に、関連した地域から採集された試資料を適正に管理・整理を行うとともに、有効に利用するいわば極域博物館的な役割も果たしている。極地研の広報やアウトリーチ活動が以前に比べ大きく広がったこともあり、各種のイベントや講演会、地方での展示会などに極域の試資料を貸し出す機会が大幅に増加した。こういった機会に一般市民が隕石、岩石、動物標本などを直接手にとって見たり感じたりすることは、極域での観測成果をアピールする上で大きなインパクトがある。

また、二次イオン質量分析計（SHRIMP）をはじめとした分析機器や施設を共同研究に供して行くことは極域科学資源センターのもう一つの柱であるが、特にマンパワーの不足から、現段階で外部研究者の要望に十分対応しきれていない。極域科学資源センターの教員は、すべて研究グループとの兼任となっており、センターでの業務と研究をいかに切り分けるか、難しい問題を抱え

ている。センター業務に多くのエフォートを割いても、それが教員個人の評価になかなか反映されないという構造的な問題もある。今後に残された大きなテーマである。

8.3.4. 将来の方向性

極域科学資源センターは、極域からの貴重な試資料の収集・整理などの業務を継続させるとともに、大学共同利用研究機関である国立極地研究所としては、こういった試資料を用いた共同研究を広く組織していかなくてはならない。将来的には南極観測のみならず北極観測、更にはレファレンス資料としての他の大陸や海洋の試資料などへの対応も視野に入れながら、極域観測から得られる試料、資料、データ類を貴重な資源として将来にわたって適正に管理するとともに、国内外の研究者の共同利用や教育に供して行く。さらに展示等を通じて一般にも広く公開して行く。試資料に関連するデータについても、すでにある程度の取り組みを進めつつあるが極域環境データサイエンスセンターと連携をはかりながら、その管理と有効利用を模索して行く必要がある。外部対応という意味では、メタデータの公開やニュースレターの発行など、所外研究者がこういった資料・試料を使いやすくする方策も整備しなければならない。

一方、設備や機器の運用については、昨今の分析装置の増加や分析手法の進展、さらに外部ユーザーからの要望にともない、その道の専門家でなければ対応が難しい案件が増えてきたことも事実である。いわゆる「技官」と呼ばれる職種が大学や研究機関からいなくなった現状をふまえ、機器のメンテナンスや分析技術のスキルを持った人材の登用が以前から叫ばれていたが、極域科学資源センターにおいてもその声は強い。センターに所属する兼任教員の業務にかかるエフォートをできるだけ削減し、研究に専念できる時間を少しでも確保する方策が求められる。また、先端の技術を常に追求し、新たな切り口や手法を開拓していく姿勢がなければ、トップクラスの研究あるいは独自性の高い研究成果にはつながっていかない。このため、国立極地研究所が先端の研究機関である以上、センターには学問の新領域を切り開く役割も本来持つべきである。

8.3.5. 南極隕石ラボラトリー

概要

南極隕石ラボラトリーは2006年10月の組織再編に伴い設置されたが、前身の、南極隕石センター、南極隕石研究センターの業務を引き継ぎ、継続的にその業務を行っている。主な業務は隕石キュレーションと共同研究に供する分析機器の保守と運用である。この業務を2人の兼任教員と1人の非常勤職員が行っている。隕石キュレーションは、所の組織の中に正式に位置づけられた1名のキュレーターを中心に、南極での隕石探査、南極隕石の管理、チップングなどの隕石処理、分類、研究者への隕石貸し出し、展示などへの隕石の貸し出し等諸々の業務を行っている。

資料の収集・整理・保管・利用状況

当ラボラトリーは南極地域観測隊が昭和44年（1969年）から採集した17400個に及ぶ膨大な南極隕石を保有している。このコレクションはすべて温度22℃以下、湿度を50%以下に設定したクリーンルーム仕様の隕石保管庫に保管している。南極隕石は順次初期処理をした後、初期分析および分類を行い、ニュースレター（Meteorite Newsletter）で公表している。2016年にMeteorite Newsletter No. 25で800個、2018年にはMeteorite Newsletter No. 26で1,000個の分類結果を公表した。日本ベルギー共同隕石探査（JARE-51, BERARE 2010-2011, JARE-54/BELARE 2012-2013）で

採集した隕石は、ベルギー研究者と共同で分類作業を行なった。これらの分類結果は、国際隕石学会の隕石命名委員会でも審査され、国際隕石学会のデータベースにも登録される。これらの分類情報をもとに、国内だけでなく、欧米を中心に世界から隕石研究計画が寄せられる。これらの隕石研究計画は、外部の研究者を含む南極隕石研究委員会委員の審査によって、あるいはキュレーターの判断で配分が決定される。2016年～2019年までに寄せられ、審査された隕石研究計画は表のとおり、180件であった。これらはほぼすべて配分が認められ、表のとおり、2016年度に27件、270点、2017年度に52件、178点、2018年度に48件、242点、2019年度に53件、210点の隕石配分を行った。

表 年別研究用隕石配分数

年		配分件数	試料配分数	薄片配分数	貸出総数
2016 年度	国内	16	59	14	73
	国外	11	181	16	197
	計	27	240	30	270
2017 年度	国内	40	67	73	140
	国外	12	27	11	38
	計	52	94	84	178
2018 年度	国内	36	42	146	188
	国外	12	27	27	54
	計	48	69	173	242
2019 年度	国内	33	54	79	133
	国外	20	36	41	77
	計	53	90	120	210

主な施設・装置・機器の概要、要目

隕石の初期処理のための専用クリーブース、チップング器具、ワイヤーソー、研磨片製作装置などが設置されている。共同利用機器として、X線マイクロアナライザー（JXA8800）を運用している。JXA8800は主に隕石分類のための初期分析用として運用し、運用は外部に委託している。

情報公開・発信、社会サービス

隕石は研究者の共同利用に供しているばかりでなく、展示や、博物館などの特別展への貸出をとおして一般にも広く公開されている。また、大学や高校に教育用としても貸し出している。2016年度から2019年度の貸し出し状況を表に示す。

表 展示用教育用隕石貸出数

年	貸出件数	貸出隕石数	薄片セット貸出件数
2016 年度	28	96	12
2017 年度	28	111	8

2018 年度	34	77	3
2019 年度	28	85	5

現状の評価

キュレーションに関しては、6年間平均で年間約300個の隕石の分類を行い Meteorite Newsletter で公表した。特に2018年度は1,000個に及んだ。これらを利用して年間27から53件の隕石の研究用貸出申請があり、210から270個の隕石の配分を行った。国内と国外がおおよそ半々で、国際的にも広く利用されていることが分かる。この他展示用、教育用の隕石の貸出は年々増加し、貸出数は100個を超えるようになった。最近、南極隕石はその数と多様性から小惑星探査試料（サンプルリターン）の比較試料としての重要性を増している。これらは1人のキュレーター、ラボラトリー長を含む2人体制で対応しており、業務に当たる時間のウエートが大きくなっている。

将来の方向性

17400個の隕石はそれぞれ貴重な試料である。一部を研究用として国際的に貸し出ししながら、南極産の貴重な資源として将来に向けて適正に保管、管理をする責務を果たしていく。それとともに、隕石探査計画を立案し、隕石、微隕石の更なる収集につとめる。サイズの大きな隕石、希少な隕石のほとんどを除いて、個数にして1/3近い隕石が未分類なので、これらを順次分類し、ニュースレターを通じて公表して行く。ニュースレターの情報によって寄せられる隕石研究計画を主にキュレーターが審査し、必要に応じてその分野に関係した南極隕石研究委員会委員等に審査を委託する形に定着させる。

共同利用機器は適正な保守を行い、共同利用に供して行く。

8.3.6. 二次イオン質量分析ラボラトリー

概要

二次イオン質量分析ラボラトリーは、2013年4月に極域科学資源センター内に新たに設置された。南極隕石ラボラトリーの所管していた大型二次イオン質量分析計（SHRIMP-IIe：高感度高分解能イオンマイクロプローブ）の運営を移管された。2013年度に多重検出器型高感度高分解能イオンマイクロプローブ（SHRIMP-IIe/AMC）と高電圧パルス選択制粉碎装置（Selfrag Lab.）、顕微ラマン分光分析器を新規に導入した。SHRIMPは5～30マイクロメートルの高空間分解能と高感度を両立した質量分析計であり、微小領域分析においては常に先駆者として活躍している機器である。10か国で19台のSHRIMPが稼働しており（2020年3月現在）、国内には4台のSHRIMPが設置されている。共同利用機器として公開されているSHRIMPは、極域科学資源センター設置の2台のみである。5つの検出器を備えた改良型の多重検出器を設置したSHRIMPは、世界で二次イオン質量分析ラボラトリーに設置されているSHRIMP-IIe/AMCのみである。

主な業務は、高感度高分解能イオンマイクロプローブ（SHRIMP-IIe）と多重検出器型高感度高分解能イオンマイクロプローブ（SHRIMP-IIe/AMC）、高電圧パルス選択制粉碎装置（Selfrag Lab.）を中心とした岩石処理施設の保守管理と共同利用への提供、受託試験の実施である。また、共同利用に資する高精度・高確度化を目指した技術開発を行っている。本業務を1名の兼任教員と1名の短時間雇用職員、1名の特任研究員で行っている。2018年4月に設置された国立極地研究

所二次イオン質量分析研究委員会において、共同利用の申請課題の採否および優先度を審査している。

主な施設・装置・機器の概要、要目、利用状況

主な施設：二次イオン質量分析計室、二次イオン質量分析計操作室、岩石処理室、鉱物分離室
 共同利用機器：シングルコレクター高感度高分解能イオンマイクロプローブ (SHRIMP-IIe)、多重検出器型高感度高分解能イオンマイクロプローブ (SHRIMP-IIe/AMC)、高電圧パルス選択制粉砕装置 (Selfrag Lab.)、走査型電子顕微鏡 (JEOL JSM-5900LV)、inVia顕微ラマン分光分析器、超音波ドリル (CHO-ONPA KOGYO M60) など

SHRIMP-A 共同利用実績										
	使用実績* ¹							稼働実績		合計 (日数)
	(日数)	(率)	(/稼働日数)	内部		外部		(日数)	(率)	
				(日数)	(率)	(日数)	(率)			
2019年度	188	56.1 %	84.3 %	81	43.1 %	107	56.9 %	223	66.6 %	335
2018年度	130	35.6 %	83.9 %	80	61.5 %	50	38.5 %	155	42.5 %	365
2017年度	156	42.7 %	56.3 %	47	30.1 %	109	69.9 %	277	75.9 %	365
2016年度	129	35.3 %	38.9 %	35	27.1 %	94	72.9 %	332	91.0 %	365

2019年度	磁場制御部通信系に不具合で稼働日数減少	*1 論文での公開を前提としたデータの取得を「使用」と定義する。データ取得準備や調整等の保守に関わる使用は【使用実績】に含まない。
2018年度	冷却水循環装置・磁場制御部不具合で稼働日数減少	
2017年度	試料ステージ不具合のため稼働日数減少	
2016年度		

SHRIMP-B 共同利用実績										
	使用実績* ¹							稼働実績		合計 (日数)
	(日数)	(率)	(/稼働日数)	内部		外部		(日数)	(率)	
				(日数)	(率)	(日数)	(率)			
2019年度	53	15.8 %	25.9 %	14	26.4 %	39	73.6 %	205	61.2 %	335
2018年度	69	18.9 %	25.9 %	29	42.0 %	40	58.0 %	266	72.9 %	365
2017年度	69	18.9 %	26.8 %	40	58.0 %	29	42.0 %	257	70.4 %	365
2016年度	54	14.8 %	17.4 %	33	61.1 %	21	38.9 %	311	85.2 %	365

2019年度	高電圧系の不具合で稼働日数減少	*1 論文での公開を前提としたデータの取得を「使用」と定義する。データ取得準備や調整等の保守に関わる使用は【使用実績】に含まない。 * 分析前の真空引き期間は【使用実績】に含まない
2018年度	工事・デバイス移設のため稼働日数減少	
2017年度	真空系・高電圧系不具合のため稼働日数減少	
2016年度	試料ステージ不具合のため使用期間減少	

Selfrag 共同利用実績			
	試料数 (個)	総重量 (kg)	総パルス数 (回)
2019年度	30	18	51634
2018年度	58	25	49348
2017年度	107	118	137227
2016年度	218	156	161432

情報公開・発信・社会サービス

ラボラトリーのウェブサイト (<http://shrimp.nipr.ac.jp/>) を公開し、運用する機材や研究業績、共同利用申請システムを広く周知することによって、様々な分野の研究関係者による共同利用を促進するとともに、受託試験についての情報を発信している。SHRIMPの共同利用申請は、所内外の申請者の利便性を考慮し、ウェブサイトの申請フォームを経由して行っている。また、SNSを活用してラボラトリーの日々の活動や共同利用募集状況等をタイムリーに情報発信している。

SHRIMP及びその他の共同利用機器の性能及び適用例を紹介・解説したリーフレットを作成し、共同利用・受託試験の促進を目指している。

極地研究所一般公開（「極地研探検」）において、毎年異なるテーマのもとに一般参加者向けのラボラトリーツアー（探検ツアー）を開催している。ラボラトリーツアーは体験型であり、参加者に分析したい試料の領域（鉱物粒子等）を指定してもらい、2台のSHRIMPを使用して実際の分析を疑似体験できるようになっている。また、SHRIMP等の分析機器のメカニズムやその応用についての解説を行うなど、積極的に啓蒙活動を行っている。

現状の評価

管理・運用している機器群は、高精度U-Pb年代分析や同位体分析を中心としたSHRIMP分析の前処理作業を実施することを前提に整備されている。機器群を近接した実験室に設置することにより、一連の前処理作業を連続的に行うことが可能となり、不純物の混入や試料汚染の低減を図っている。SHRIMPを温湿度が精度よく制御されたクリーンルームに設置し、分析前の汚染を低減するとともに分析環境の安定化に成功している。二次イオン質量分析計を中心にこのような実験環境を整えている施設は稀であり、世界でも有数の実験施設である。優良な施設環境を基盤に、極微小試料に対応した分析技術の開発に成功し、分析精度は世界トップレベルである。また、前処理作業では、実験ノートとは別に、専用の工程管理票を作成しており、汚染源（ソースターム）の評価が可能な環境を構築するとともに、共同利用での実験記録の保存を強く意識した運営を行っている。

ラボラトリーのウェブサイトやSNSを活用し、保有する機材や研究活動に情報発信を行っている。共同利用・受託試験に関する新規の問い合わせは増加傾向にある。SHRIMPの共同利用は四半期ごとに募集しており、ウェブサイトの専用フォームを通じて申請することになっている。共同利用の件数は、SHRIMP-IIeで年間20件程度、SHRIMP-IIe/AMCで年間15件程度となっている。申請課題は二次イオン質量分析研究委員会において採否および優先度を審査している。

共同利用では、岩石試料の洗浄・粉碎、鉱物分離、分析樹脂試料作成、分析、データ解析まで行っており、全行程に2週間以上を要する。2台のSHRIMPを含め運用している機器群の保守管理ならびに共同利用の分析は、1名の兼任教員と1名の特任研究員で実施しており、人的リソース不足が深刻な状態である。SHRIMPやSelfragを保有する国内施設は限られており、保守管理や高精度・高確度な分析を実施できる人材は希少である。人材の育成には多くの時間と労力が必要であり、極域科学資源センターで大きなリソースを割いて育成した人材を確保し続けることが重要となる。

SHRIMP-IIe (1999年導入) は導入後20年を経過している。これまでも適宜点検保守作業を実施してきたが、ポンプや真空計といった真空関連部品や冷却水循環装置、空気圧縮機、高電圧制御基板、磁場制御用電子基板といった常時稼働している設備の劣化が進んでいる。また、SHRIMP-IIe/AMC (2013年導入) も導入後5年が経過し、真空関連部品などの保守整備周期を迎えている。

走査型電子顕微鏡 (JEOL JSM-5900LV) は、SHRIMP-IIeと同様に導入後20年を経過しており、2017年に製造メーカーの保守サービスが終了した。ラボラトリーの運営上不可欠な機材であり、更新が必須である。また、鉍物分離室に設置されている局所排気装置が、2013年以降排気不良により使用禁止状態にあり、鉍物分離作業において試薬を使用することができないため、鉍物分離作業に時間を逃避する状況が続いている。

SHRIMP研究施設設備経費が非常に少ないため、SHRIMPラボラトリーの運営は、教員や特任研究員の科研費等の競争的資金を投入することではじめて成立している現状がある。受託試験による自己収入を含め自助努力により安定した運営を目指しているが、競争的な外部資金は不安定であり、獲得できない時期には、研究や共同利用の停滞を招くばかりでなく、機材の存続にかかわる関わる問題となる。このため、競争的資金の手当が手薄になる期間が発生した場合には、一時的には研究所の厚めの支援を仰がざるを得ない。

将来の方向性

微小領域分析を主体とした同位体地球化学を実践するラボラトリーとして、管理・運用する機器群やその設置環境は世界でも有数であり、高精度な年代学データ・同位体データを幅広く提供していくことにより、極域科学や地球科学に貢献していく。学会等での成果の公表を積極的に行うとともに、ウェブサイトやSNSを活用した情報発信を行うことにより、共同利用を幅広く宣伝する。英語での情報発信も積極的に行い、国際共同研究の拡大を図るとともに、EU一般データ保護規則 (GDPR) や安全保障輸出管理に関わる情報の整理を行う。共同利用の公正化・効率化を図る上で、審査を二次イオン質量分析研究委員会に委託する形を定着させる。

SHRIMPの劣化部品の交換サイクルを固定することにより確保すべき予算額を明確にし、科研費等の競争的資金や受託試験での自己収入を含め経費の確保に努める。単純に保守を行うだけでなく、磁場を高精度に制御するシステムの構築や、圧電素子モーターを使用した試料ステージシステムの導入といった、次世代の分析環境の構築を目指す。

機器群の必要維持経費を見直し、機材の改良を含めたシステムの改善を行い、作業の効率化・高速化を図りつつ、サステナブルなラボラトリー運営を模索する。人的リソース不足は深刻であり、SHRIMPやSelfragの保守管理ならびに高精度・高確度な分析を実施できる人材を確保する。

8.3.7. 生物資料室

概要

生物資料室では、我が国や外国の南極観測隊、あるいは北極域での調査研究活動により得た極域の生物標本を収集し、整理・管理して、広く共同利用研究や博物館等での展示に供している。蘇苔類を中心とした約65,000点の植物標本を保管している標本庫は、世界公共植物標本庫 (World Public Herbaria) の一つとして国際植物分類学会から認可されたものである。また動物標本は海産哺乳類、海鳥類、魚類、海産無脊椎動物など約3,000点余りが整理・保管されている。

資料の収集・整理・保管・利用状況

これまでに植物標本約65,000点、動物標本約3,000点が収集され、保管されている。良好な保管状態を保つため、定期的に防虫作業、標本の点検、保存液の補充作業などを実施している。また標本資料の新規収集・整理も行っている。共同利用研究・博物館での展示等に標本の貸し出し・試料提供を実施しており、2016、2017、2018、2019年度にはそれぞれ127点、121点、71点、318点の標本貸し出し・試料提供を行った。

主な施設・装置・機器の概要、要目、利用状況

生物資料標本室および前室。標本の収蔵の他、標本の整理・保管作業や共同利用研究に伴う作業などにも利用されている。

情報公開・発信、社会サービス

生物資料室において保管されている標本のカタログは整理されCDにまとめられており、大学や関係機関の利用者に配布されている。また、これらのカタログの大部分は、「極域生物多様性データベース」としてまとめられており、極地研のホームページ上に公開されている。また、全国各地の博物館や教育関係機関に標本の貸し出しを実施している。

現状の評価

- ・植物標本は、貴重なタイプ標本も含んだ約65,000点が収蔵され、世界公共植物標本庫としても登録されており、体系的な収集・管理が実施されており、またデータベースの公開作業が着実に進んでいる。
- ・動物標本の収集・データ公開については、2019年度まで、極地研のホームページ上でデータベースを公開していたが、データベースの更新に合わせて2020年度には極域環境データサイエンスセンターの統合データベース上での公開を予定している。
- ・生物資料室では情報発信にも積極的に生物標本を提供しており、博物館等での企画展での利用などに多くの実績があった。

将来の方向性

- ・体系立てて収集された生物標本は、分類学・生態学的な研究のリファレンスとして重要であることは明らかである。またその一方で、分析技術の進歩により、DNA解析・安定同位体解析・微量金属元素測定など、標本が採られたときには想像すらできなかった研究への生物標本の利用可能性も開けている。今後も、標本を良好な状態に保つための管理・新たな標本の収集を実施し、様々な国内・国外の共同利用研究に提供していく。
- ・情報発信・社会サービスの観点からも、生物標本の利用・活用の要望は高まっており、これに対応するためにも標本のさらなる充実を図りたい。

8.3.8. 岩石資料室

概要

日本ならびに外国の南極観測隊あるいは国際学術調査によって採集された岩石・鉱物試料約20,000点を岩石資料室で保管・管理している。これら岩石・鉱物試料は採集された地域の地質学・岩石学的研究にとって重要であるばかりでなく、南極地域以外の大陸間の地質学的対比、さらには地殻・マントル物質の研究材料としても貴重であり、極地研究所研究プロジェクト、国内

外の共同研究、総合研究大学院大学院生のための研究試料、さらには博物館等での展示用標本として広く活用されている。

資料の収集・整理・保管・利用状況

第1次南極地域観測隊以来、南極大陸のリュツオ・ホルム湾、プリンスオラフ海岸、やまと山脈、ベルジカ山脈、セール・ロンダーネ山地、エンダビーランド、マクマードサウンド周辺、エルスワース山脈、プリッツ湾、中央ドロンイングモードランドなどでの地質地形調査によって採集された岩石・鉱物試料を収集・保管している。また、南極との地質対比試料として、アフリカ大陸、インド、スリランカなどの南極以外での地質調査によって採集された岩石・鉱物試料もあわせて保管されている。これらは、隊次別、地域別に岩石資料庫に収納・保管されており、共同研究や展示用の貸し出しに利用されている。岩石標本の貸出数は2016、2017、2018、2019年度にはそれぞれ18件169点、20件143点、23件103点、18件127点であった。

現状の問題点として、立川移転当初から懸念されていたことであるが、岩石試料庫のスペースが十分ではなく、極域や他の地域の観測によって今後採取される試料の収蔵に困難をきたす恐れがあるとともに、大学等の研究者の許で管理されてきた極域や関連地域の貴重試料などを国立極地研究所で引き取って一元管理して欲しいという要望もあり、収蔵庫の拡充が望まれている。

主な施設・装置・機器の概要、要目、利用状況

岩石資料室に関連する設備機器として、以下のような岩石試料処理設備がある。

機器：岩石切断機、岩石研磨機

用途：岩石試料の切断・粉砕・鉱物分離・試料調整

利用状況：所内外の研究者が随時利用

情報公開・発信、社会サービス

岩石鉱物試料標本の展示のための貸出は広報室を通じて受け付けている。展示用岩石鉱物標本（約70点）はホームページ上で閲覧可能である。

(http://polaris.nipr.ac.jp/~geology/specimens/index_j.html)

また、情報・システム研究機構内のデータサイエンス共同利用基盤施設・極域環境データサイエンスセンターの支援を受けて、岩石試料リポジトリ（NRR: NIPR Rock Repository）の整備を進めている。

(<https://ads.nipr.ac.jp/nrr/>)

現状の評価

岩石試料ならびに関連する岩石処理設備や分析装置は所内担当者によってよく整備され、国内外の研究者への共同利用に供されている。これらの岩石試料は、また、博物館等への貸し出しやイベント、講演会などでの展示を通して一般への公開にも積極的に活用されている。国際対応について、リクエストに応じて、国外の研究者への試料提供や情報提供、また分析装置の利用にも対応している。現在すすめている岩石試料リポジトリの整備と公開によって、情報公開も徐々に進展してきている。現状では、岩石資料室に求められる役割を限られた人員で適切にこなしていると考えられる。

将来の方向性

岩石試料の性格上、採集地点の地質状況や地質構造ならび周囲の岩石との関係といった情報が不可欠であり、共同研究・共同利用には採集者との綿密な打ち合わせや情報交換が必要である。そのため、共同利用や国際対応が将来飛躍的に発展するということは考えにくい。これまで通りに継続して岩石試料の整理ならびに関連施設の整備をすすめていく。また、情報発信・社会サービスの観点からも、岩石試資料の利用・活用の要望は高まっており、これに対応するためにも試資料のさらなる充実ならびにデータベース化等の整備を図りたい。

8. 4. 情報基盤センター

8. 4. 1. 設置理念

極域データセンターは、極域科学の研究推進及び研究所の合理的運営を図るため、国立極地研究所が所有する諸情報の活用及び情報基盤に関する事項を行う。

8. 4. 2. 活動概要

2017年度よりデータサイエンス共同利用基盤施設極域環境データサイエンスセンター(PEDSC)発足に伴い、極域データセンターから情報基盤センターに改組し、学術データベースシステム、地震データアーカイブシステム、オーロラデータセンター業務は、PEDSCに移管した。

以上を踏まえて、情報基盤センターにおいては、極域データセンターから継続する以下のシステムについて運用実務を担当した。

- イ) 研究所内情報基盤システム
- ロ) 所内及び昭和基地等のネットワーク
- ハ) 極域科学計算機システム
- ニ) 昭和基地多目的衛星データ受信解析システム
- ホ) 南極 GIS システム

8. 4. 2. 1. 所内情報基盤システム

所内における文書作成用ソフトウェアとして MS Office のライセンス共同購入を行ってきたが、2019年より、テレワーク対策とライセンス契約の見直しのため、Office365への移行を行った。

事務系リレーショナルDBサーバの運用と、専用クライアントの提供

2014年より、認証・ネットワークの基幹サーバとして、冗長電源を搭載したブレードサーバの導入、運用を行っており、2019年まで大きなハードウェア障害は発生することなく運用を継続し、情報共有手段としてグループウェア・共有ファイルサーバ・各種クラウドサービスを運用してきた。毎年4月に新任者向けの講習を行い、情報リテラシーおよび情報セキュリティ研修を行っている。

2017年より国際学術無線 LAN ローミング基盤 (Eduroam) に参加し、所内外の研究者の利便性に貢献している。

これまでテレビ会議専用端末と多地点接続装置 (MCU) を用いて所内テレビ会議および昭和基地とのテレビ会議を開催、運用してきたが、2018年に ZOOM、Skype、Meet 等のビデオ通話システムへの移行を行った。これにより、専用端末が不要になり、利便性が向上するとともに多地点接続の自由度が向上した。

2018年より、情報セキュリティ対策常置分科会において情報セキュリティ緊急対応チーム (NIPR-CSIRT) を結成し、昭和基地を含む所内情報セキュリティインシデント発生時の緊急対応を行う体制を整備した。情報基盤センター長をチームリーダーとして、所内情報基盤システムに精通したスタッフに加え、最新の情報技術に精通した研究系教員を加え、ファイアウォールログの監視、通報窓口対応、インシデント発生時の調査・対応等を分担して実施した。

8. 4. 2. 2. 所内、昭和基地ネットワーク

2016年4月より、所外向け学術情報ネットワーク (SINET5) 回線の増強に伴い、回線速度を 20Gbps に増速した。同時に、ファイアウォール装置の更新を行い、ウイルスウォール機能および

侵入検知(IDS)を導入した。

2017年5月16日に昭和基地向け衛星通信回線の契約更新を行い、これまで南極教室等で使用していた国内小・中学校向け通信回線として使用していた光通信回線を、携帯通信網に移行し、国内の実施負担軽減に貢献した。

2018年3月には、これまで3Mbpsであった昭和基地向け衛星通信回線の速度を4Mbpsに増速し、1日当たりのデータ伝送量が約26GBであった伝送量が、34.6GBに増加するとともに、テレビ会議・南極教室・遠隔医療支援等の画質及び利便性向上を図った。

8.4.2.3. 極域科学計算機システム

2015年2月に、極域科学計算機システムの更新をおこない、2020年1月まで運用をおこなった。システムの主要性能は以下のとおりである。

演算システム 75ノード、演算性能 40.4TFLOPS、主記憶 18.5TB
ファイルシステム 210TB、フロントエンドシステム 4ノード

利用者数の推移は以下のとおりである。

2016年度	186
2017年度	166（確認中）
2018年度	177
2019年度	161

2020年2月に、新極域科学計算機システムを導入し運用を開始した。主な性能は以下のとおり。

演算システム 18ノード、主記憶容量 3.45TB、
ファイルシステム 容量 1.18PB
フロントエンドシステム 2ノード

8.4.2.4. 多目的衛星データ受信解析システム

昭和基地の「多目的衛星データ受信システム」の維持・管理と運用支援を行っている。同システムは、大型のS/X帯衛星受信施設（アンテナ直径11m）として1989年に建設・導入され、これまでに「あけぼの」（EXOS-D；2010年終了）、海洋観測衛星（MOS-1/1b；1996年終了）をはじめ、欧州リモートセンシング衛星（ERS-1/2）、地球資源探査衛星（JERS-1；1998年終了）、環境観測技術衛星（ADEOS-II；2004年終了）、小型高機能科学衛星（れいめい；2017年終了）などの地球観測衛星のデータ受信を行い、現在はVLBI実験に利用されている。また、宇宙開発事業団（現JAXA）、宇宙科学研究所（現JAXA）やNASAの衛星打ち上げ時にテレメトリデータ取得を目的とするロケット追尾支援を行ってきている。

1997年にL/S帯衛星受信システム（アンテナ直径1.5m）を増設し、米国のNOAA/DMSF衛星の自動受信を開始した。2010年にこのシステムにX帯衛星受信システム（アンテナ直径2.4m）を付加し、新たにL/S/X帯衛星受信システムとなり、X帯衛星のTERRA及びAQUAに搭載されているMODISセンサーデータの受信を開始した。ここで受信しているNOAAのTOVSセンサー、METOPのATOVSセ

ンサー（うち、HIRS、AMUS-A、MHS）、及びNPPのATMSのデータはリアルタイムにWMO（世界気象機関）に提供され、気象庁はじめ各国の気象機関で全球天気予報のための初期値データとして利用されている。

各衛星のデータは、極域データセンター内で処理編集され、共同利用に向けて「極域科学総合データライブラリシステム」に登録・保存が行われている。2017年からはAADS（Arctic and Antarctic Data Archive System）によるデータ保存及び公開に切り替え、過去のデータの移行を順次実施している。

8.4.2.5. 南極GISシステム

南極の地形図、地名、地質図、数値標高データ、地名などの地理情報を表示し、地理情報データや南極観測データの公開を支援する南極GISシステムの運用・管理を行っている。南極GISシステムは、所内・観測隊・共同利用者用、所外用、観測船「しらせ」船内用の3つの利用者に区分し、ArcGISソフトウェアがインストールされた独立のサーバで運用している。地理情報データに関しては、国土院が新たに発行した地形図、衛星写真図などを随時追加するとともに、2016年度には有効な岩石採取地点データ、ハンディGPS（Garmin）用地図も公開しており、南極でのフィールド調査や観測・設営作業に活用されている。ハードウェアに関しては、2016年3月に所内版サーバを更新した。

8.4.3. 現状の評価

所内情報基盤システムは、立川キャンパス移転から10年を経過し、基盤システムの経年劣化及び陳腐化が目立ち始めている。所内情報共有サーバは、所内全部署で活用される一方、データ量の増加が顕著でシステムの増強が必要となっている。新システムへの移行を検討しているが、データの活用と整理を同時に検討する必要がある。

所内ネットワークは、安定した運用を行うことができているが、近年の情報セキュリティの強化に伴い、ログ採取および保存のシステム化と、監視体制の強化に追随することが困難になりつつある。利用者のネットワーク需要が、GbEから10GbEへの移行が進みつつあり、基幹ネットワーク増強が喫緊の課題となりつつある。

昭和基地ネットワークは、1997年に光ファイバーを敷設して以来20年を経過し、その後2014年にギガビット化されている。近年、基本観測棟の建築、気象棟の撤去等基地建屋の大規模工事が続きネットワークの需要も大きく変化する一方で、システムの更新が遅れがちである。一方、観測装置の高度化高解像度化が進みデータ需要が増大している。衛星通信回線の増強は可能な限り迅速に実施しているが、遠隔監視、制御等の需要がひっ迫している。

極域科学計算機システムは、2015年の更新においては、大規模シミュレーションおよびデータ解析を中心とした計算機システムの導入を行ったが、その後のデータ爆発ともいえる観測の高度化および高精度化に伴うデータ容量の増大に対応するため、2020年の更新においてはファイルシステムの要領を大幅に増強し、データサイエンスの基盤システムとして高速大容量ファイルシステムの導入を行った。利用者数は安定的に推移しているが、大規模計算の需要増とともに、大規模データの解析と公開のインフラとして利用するユーザが増加する傾向にある。南極観測により得られたデータのデータベース化が進み、大規模ファイルシステムの需要が大きくなりつつある。

多目的衛星データ受信解析システムは、近年の衛星テレメトリーの進歩にともない、LSバンド衛星データ受信に加え、LSXバンドを使用する衛星が増えている。さらにリモートセンシング技術の進歩により、昭和基地におけるダウンリンクデータの増加と同時に、自動運用が進み大容量の衛星受信データの処理が日常化している。超長基線干渉計（VLBI）観測の進歩により、昭和基地において取得されるデータの大容量化も顕著である。

南極GISシステムで公開している地理情報データは非常に有用であるが、地理情報を表示するためのArcGISソフトウェアのバージョンが古いこともあり、最近のウェブブラウザでは、機能を十分に利用することができない。加えて南極GISシステムを運用しているサーバの保守期限切れなどもあり、ソフトウェアとハードウェアともに南極GISシステムを刷新する必要がある。さらに、国外に向けて地理情報データ、観測データを公開すべく、システムの英語表示化にも取り組む必要がある。

8.4.4. 将来の方向性

所内情報基盤システムの方向性として、外部クラウドサービスの活用と同時に、内部サーバの充実の双方の可能性を検討する必要がある。外部クラウドサービスとしては、ホームページサーバやメールサービスの利用が進んでいる一方で、観測データや文書管理においては、内部の情報共有サーバの活用も同時に進むものと予想され、バランスの取れた方針設定と投資が必要と考えられる。

所内ネットワークは、安定運用を旨としているがネットワークスイッチ等の老朽化による障害も見られ、大規模な更新も見据えた検討が必要である。しらせ艦内および昭和基地ネットワークについても同様であるが、管理面で人的資源に限られるため効率的かつ長期的な視点でシステムの更新計画を検討する必要がある。

極域科学計算機システムは、計算需要からデータ需要への変容がみられ、これまでの5年に一度の更新では利用者の需要の急激な変化に対応することが困難であると予想される。より柔軟なシステムの更新または需要に合わせたシステムの導入を検討する必要がある。近年新しいデータ蓄積媒体の出現や、既存技術の廉価化を見越した検討が必要である。

多目的衛星データ受信解析システムについては、地球温暖化が進行する現在、南極域の環境変動を広域に観測する地球観測衛星データの受信は更に重要度を増すと考えられる。また、衛星通信技術の進歩に伴って、昭和基地で受信したデータの一部はリアルタイムで世界中への配信が可能となっており、日々の天気予報が必要とする初期値データにおける観測空白域を埋めている。この初期値データの改善は、それを基に作られる再解析気候データを改善し、気候変動の研究に役立っている。また、VLBI実験は地球表面構造の絶対位置を決めるための有力な手段であり測地の観点において重要である。これらの観測を継続する意義は高い。当システムは口径11mの大型アンテナ、口径2.4mのX帯アンテナ、口径1.5mのL/S帯アンテナの3系統で構成されている。このうち地球観測衛星データ受信に用いられているのは後者2系統であり、大型アンテナはVLBI実験に用いられている。大型アンテナは2020年を以て建設から30年が経過し、老朽化が進行している。現在では毎年の安全確認に基づいて継続利用の可否を判断しており、この状態を長く続けることは好ましくなく、VLBI実験を今後も安定的に継続するためには、大型アンテナ設備の更新が不可欠である。

南極GISシステムについては、地理情報データや観測データの公開と今後のシステム維持の両面

から、ArcGIS のクラウド機能を活用したシステムへの移行が望ましい。これにより、利便性の向上に加え、ハードウェア維持費が不要になるため、移行に向けたシステム設計、データ移行方針などを PEDSC と連携して早急に検討する必要がある。

8. 5. アイスコア研究センター

8.5.1. 設置の理念

アイスコア研究センターは2014年4月1日に極域科学資源センター氷床コアラボラトリーが発展的に改組して発足した。日本のアイスコア研究を強化し、日本がこの分野で世界をリードしていくために、国内外の研究者との共同研究を強化し、中長期的視野に立ってアイスコア研究を総合的に推進することを目的としてセンターが設置された。

8.5.2. 活動概要

アイスコア研究センターでは南極や北極で掘削された様々なアイスコアや積雪資試料の管理と分析、及び資試料の共同利用への提供、低温室の共同利用等の業務を行っている。国立極地研究所の低温貯蔵室には、南極で掘削されたドームふじ深層コアや内陸域及び沿岸域の浅層コア、グリーンランドで掘削された深層コア、グリーンランドやスバルバル、カナダ等の北極域で掘削された浅層コア、南極や北極の積雪等の資試料を整理して低温状態で保管している。ドームふじコアの一部は、震災などによる全試料損失のリスクを避けるため、仙台の冷凍倉庫及び北海道大学低温科学研究所で保管している。アイスコア研究センターの管理下で保管している試料のリストや低温室の共同利用の方法は低温室のホームページ

(<http://polaris.nipr.ac.jp/~coldlab/NC2/htdocs/>) に掲載している。

国立極地研究所における低温実験室では、資試料の整理・保管の他、コア切断・前処理作業や、低温室で実施すべき各種計測を実施している。アイスコアを切断・融解したサンプルや抽出したガスは、雪氷分析室において酸素・水素同位体の分析、イオン分析、固体微粒子解析、トリチウム分析、アイスコア中ガス成分等の分析等を実施している。一方、アイスコアを融解しつつ分析する「アイスコア連続融解分析装置」を開発し、これを用いて酸素・水素同位体、固体微粒子、陸海域起源の元素、ブラックカーボン、メタンガス等の高分解能・連続分析を実施している。これらの分析に関連して、低温実験室や分析室の管理、分析機器の管理、コアサンプル分析依頼の受付等の業務を行っている。センターが管理している施設・設備、分析機器、分析依頼の受付等については、アイスコア研究センターのホームページ

(http://polaris.nipr.ac.jp/~icrc/NC/htdocs/?page_id=31) に記載されている。

南極ドームふじ深層掘削計画で掘削されたアイスコアの管理、研究計画立案、解析はアイスコア研究委員会のもとに設置されている「アイスコア・コンソーシアム」が、中心となって行っている。アイスコア・コンソーシアムについては、ホームページ

(<http://polaris.nipr.ac.jp/~icc/NC/htdocs/>) で紹介している。ドームふじ深層コア以外のアイスコアの管理、研究計画立案、解析については、各研究プロジェクトの担当者を中心に実施しているが、アイスコア研究委員会に状況報告を行い、助言を受けている。

アイスコア研究センターでは、国内外の共同研究者との共同研究により、第3期ドームふじ深層氷床コア掘削計画を推進している。また、デンマークがリーダーとなって実施している東グリーンランド氷床コア掘削計画（EGRIP）に日本の代表として参加し、EGRIP計画の推進に貢献している。さらに、掘削装置の開発も行っている。センターが中心となって推進しているアイスコア掘削プロジェクトや、センターが中心となって実施している研究と成果については、本報告書の

中でプロジェクト研究 KP305 の報告に記載している。

アイスコア研究センターのメンバーは、一般向け講演会等やマスコミ取材等を通じて、情報発信と社会サービスを行っている。また、低温実験室やコア貯蔵庫、アイスコア分析室の見学にも対応している。上述の通り、アイスコア研究センター、低温室、アイスコア・コンソーシアムのホームページを開設し、共同利用の推進と情報発信に努めている。

8.5.3. 現状の評価

アイスコア研究センターでは多数のコア試料や雪氷試料の保管、前処理や分析、データ解析、そして多岐にわたる分析を定常的に実施している。アイスコアの化学分析、物理分析、ガス分析では、国内で最大の分析能力と分析技術を有する。国内の多数の研究機関と共同研究を実施しており、国内のアイスコア研究の主導的立場にある。欧米やアジア諸国とも共同研究を実施しており、国際的視点に立った研究を推進している。インパクトの高い雑誌に論文を出版するなど、国際的にも水準の高い研究成果を創出してきた。

アイスコア連続融解分析装置を開発したことで、高時間分解能の連続データの取得が可能になり、新たな研究が展開した。また、大型の外部資金を複数獲得できたことや、補正予算が配分されたことで、最先端の分析機器を導入することができ、従来分析できなかった項目が新たに分析できる状況になったことも、研究の進展に大きく貢献した。優秀な技術者を最大10年間雇用できる制度ができたことで、経験を積んだ高度な技術者を長期間雇用することができ、アイスコア連続融解分析装置をはじめとする分析技術の開発に大きな進展が見られた。また、従来から課題となっていたデータベースやホームページの整備も進んだ。このように、アイスコア研究センターの設立以後、資試料の管理体制、分析体制、共同利用体制が大幅に改善され、研究に大きな進展が見られた。

問題点としては、膨大なリソースを必要とする非常に重要なアイスコア研究を実施しているにも関わらず、分析技術者、研究者が少ないために、アイスコアの分析速度が上がらないことがあげられる。アイスコア研究センターの業務は多岐にわたり、低温室の管理・運営、膨大な資試料の保管、分析設備・機器の運営・管理や、共同利用研究者からの要請による試料分析等、その運営業務に多大の労力を要する。業務の一部はアイスコア研究センター経費で雇用している学術支援技術専門員及び学術支援技術補佐員が担っているが、その人数が不足しており、教員も多くの時間を費やしている。このため、教員が研究に割くことのできる時間が大幅に削られている。教員は、南極観測での内陸調査や掘削技術開発及び掘削等にも高頻度で参加する状況にあり、アイスコア研究センター運営に充てられる時間は限定的になっている。さらに留守を預かる教員には留守番役として多くの仕事の負荷がかかり忙殺される傾向にある。

もう一つの問題点は、運営費交付金から定常的にアイスコア研究センターに配分される予算が非常に少ないため、アイスコア研究センターの運営は、数名の教員の科研費等の競争的資金を大量に投入することではじめて成立している現状がある。こうした競争的な外部資金は不安定であり、自助努力にかかわらず獲得できない時期には、研究ができないだけでなく、共同利用組織としてのアイスコア研究センターも成り立たない。また、技術者の雇用経費を払うことができなくなるため、長期間かけて育成した高度な技術者の雇用継続が困難になり、時間をかけて開発した

分析技術の継続利用が困難になる。このため、競争的資金の手当が手薄になる期間が発生した場合には、運営体制を崩さずに維持するために、一時的には国立極地研究所から厚めの支援を仰がざるを得ない。しかし、最近数年は国立極地研究所からの支援額が大幅に減少しており、状況は悪化しつつある。分析機器が故障しても修理費を払うことができず、運用を停止しなければならない事態も発生している。

上記の人的及び経費的制約から、外部の研究者からの依頼分析やアイスコア研究センターのメンバーが実施している研究プロジェクト推進のための分析を十分に実施することができない。また、新規の技術開発も期待通りには進まない。この状況が続くと、極地研が国内のアイスコア研究をリードする研究機関としての位置づけを保つことができない。研究は、その研究スピードと最先端技術の開発、さらに技術開発のスピードが重要な鍵である。それに反して、少ない教員の膨大な努力にもかかわらず、その鍵に取り組むことに大きな困難を抱えている。スピードと先端技術の開発という点では、現状では、人的な層の分厚い欧米勢に圧倒されている。この状況が続くと、今後は、中国や韓国にも後れを取るようになる可能性が高い。

このような背景のもと、次のような必要性がある。まず、人的な制約としては、上に述べたような教員の忙殺状態を緩和し、運営や発展的な研究にさける時間資源を確保していく必要がある。人的資源の増強は昨今の社会情勢の中では容易ではないが、現在最も優先的に手当をしたい部分は、雪氷分析室の管理・運営、共同利用対応、アイスコア分析の自動化、高速化、サンプル少量化及び特殊な分析のための技術開発、分析機器の運用等を担当する技術者の確保である。また、研究を推進するための優秀なポストの確保にも力を入れる必要がある。一方で、競争的資金に採択され易くする体制として、国内のアイスコア研究の中核を担うという形を内外にアピールし、研究コミュニティの中での存在感を示していく必要がある。

8.5.4. 将来の方向性

アイスコア研究においては、「資試料からデータを創出し、データに基づいて過去の気候変動や氷床変動にかかる知見や洞察を出版・公表し、科学理解の進歩に貢献すること」が重要である。欧米勢の強力な競争相手や、今後強力な競争相手となりつつあるアジア諸国の存在もあり、また、科学理解発展の見地からも、これを迅速かつ高品質で実施すべきである。上に述べたとおり、「極域科学資源センター氷床コアラボラトリー」の時代には、資試料の管理と基本解析だけにとどまっていたが、アイスコア研究センター設立後は、より高度な分析が可能になった。しかし、分析や技術開発の速度は十分とは言えず、今後、さらに速度を上げていく必要がある。現状では経費の大部分を競争的資金で充当しながら、非常に限定された人的資源、時間的資源、予算のなかで進めており、この本質的に重要な点までの到達は困難である。国内では、アイスコア研究をリードできる研究機関は国立極地研究所のみであり、この機能強化をはからなければ、大学や諸研究機関を含めた日本全体のアイスコア研究を強化することができない。今後も継続して国内のアイスコア研究の中心的役割を担うとともに、国際的にも中心的な役割を担い、氷床コア掘削や研究解析のプロジェクトを国内外でリードしていくために必要な機能は、以下の6項目である。

- (1) アイスコアの掘削・検層にかかる基本技術と先端技術を有し、国立極地研究所や諸大学がおこなうアイスコアの掘削に掘削技術の観点で対応できる。
- (2) 掘削後の資試料の合理的な保管や基本的処理・分配ができる。
- (3) アイスコア解析に必要な基本分析を高速で実施できる対応能力と施設・設備を維持し、それに対応できる。
- (4) 先端的分析の開発に対応し、常に先端の発展的技術の保持を志向する。また、技術イノベーションを取り入れることができる体制にする。
- (5) 教員が研究成果の創出に、現状よりも関与できる時間を有する。
- (6) データや解析・研究にかかる情報は科学コミュニティと一般に広報を積極的におこなう。

(1) に関しては、これまでも、関連の教員や研究員は、ドームふじの深層掘削といった大規模な日本独自の氷床掘削プロジェクトを牽引してきたが、今後とも、こうした日本独自の取り組みと国際連携の取り組みを強化する必要がある。国際連携としては特に、国際グリーンランド氷床コア掘削計画や南極での地球最古の氷床コア掘削計画などの大規模な国際共同観測に参加する方針である。第9期～第10期には、地球最古の氷床コア掘削計画の一環として、日本がリードして実施する第3期ドームふじ深層氷床コア掘削計画の推進に力を入れる必要がある。さらにロシア、カナダ、デンマーク、ノルウェー、ドイツ、アメリカ、スイス、イギリス、オーストラリア、ニュージーランド、中国、韓国、インド等との共同研究により、南極における深層及び中層掘削・解析、北極の多点における浅層コア掘削・解析プロジェクトを推進する必要がある。こうしたプロジェクトに取り組むには、掘削技術の保有・維持・開発が必須である。また、高齢化が進みつつある掘削技術者の育成が急務である。

(2) については、コア資試料の保管やキュレーション体制は、これに専従する有期雇用職員を2012年度から配置したことで整備が整ってきた。ホームページの作成や、資試料データベースの作成も、こうした取り組みのなかで進んでいる。しかし、既存の資試料の整理は現在なかばであり、今後も継続してこの役割の有期雇用職員の配置を必要とする。また、低温室設備の老朽化が進んでいるため、今後、設備維持のために多額の経費が必要となる見込みであり、予算の確保が急務である。

(3) については、研究支援スタッフの安定的な確保が前提になる。運営費交付金と、競争的資金をあわせて、毎年の体制維持が重要である。現状では、高度な技術開発、高度な分析装置の運用、資試料の共同利用と高度な情報発信等を担当している特任助手1名、学術支援技術専門員3名が2022年度中に10年の雇用期限を迎える。また、高度なルーチン分析を担当する学術技術補佐員3名のうちの2名が2022年度中に10年の雇用期限を迎える。このため、高度な分析技術やノウハウの継承と高度な分析の実施が困難になる。高度な技術を持つ特任助手、学術支援特任技術専門員、学術技術補佐員等の支援スタッフを安定して雇用できる体制が必要になる。

(4) については、最先端のアイスコア分析技術を開発すべく、それに対応できる研究員と高度な能力を持った分析技術者を確保する必要がある。特に、これまで長年にわたって技術開発にかかわり、高度な運用を可能にしてきた優秀な技術者を継続して雇用する必要がある。

現在、科学研究費等の外部資金で雇用している研究員2名、プロジェクト研究員1名、特任助手1名、学術支援特任技術専門員3名、及び承継職員の技術職員1名が分析技術の開発に携わっているが、これらの職員の雇用の安定化とアイスコア研究センターでの勤務継続が必要である。優秀な大学院生の開発研究への参加を積極的に進める必要もある。

(5)については、上に述べた研究スタッフや研究支援スタッフ体制が崩れることなく維持されることで、限られた数の教員にも研究に取り組む余裕を創出しなければならない。国立極地研究所内で教員が担当すべき業務の削減と効率化をはかることも重要である。また、優秀な大学院生の研究への参加が不可欠であり、意欲を持った学生が集まる魅力的な組織にする必要がある。

現状でのスタッフ体制の維持や拡充をはかるには、機会をとらえて競争的資金を確保し続けることが必須になる。競争的資金を獲得しやすくするには、存在感の明確になる「アイスコア研究センター」として、このアイスコア研究体制を構えていき、高度な研究成果を創出していくことが重要である。

(6)については、アイスコア研究センター、低温室、ドームふじコア研究アイスコアコンソーシアム（ICC）のホームページにより、共同利用に関する情報提供や、研究に関する情報交換と公開データの所在紹介などのサービスを行っている。今後はADSを積極的に利用することで、ドームふじ氷床コア、及びそれ以外の南極のコア、北極やアジアのコアについてもデータ公開を進めたい。掘削後一定期間を過ぎたコア試料の公開はすでに進めているが、今後も継続していく。コア貯蔵庫や低温実験室のコア試料、雪氷試料については、引き続きデータベース化を進める。教員の負担軽減のため、ホームページやデータベースを担当する支援スタッフの継続雇用が必要である。ホームページについてはアイスコア研究委員会から、学生や専門家だけでなく、一般向けに研究をアピールする努力がさらに必要であるとの指摘を受けており、今後、その方向でも改善を図る必要がある。

以前の氷床コアラボラトリーは、「試料管理、基礎解析の業務を行う組織」という位置づけであり、日常のルーチン分析と共同利用研究者へのサービス業務をこなすと性格づけられた組織として運営されてきた。これに対してアイスコア研究センターは、これらの業務だけでなく、国立極地研究所や日本全体のアイスコア研究を活性化させるための組織に生まれ変わり、技術スタッフの拡充、補正予算の投入、大型の外部資金の投入などもあり、従来に比べて大きな成果が得られた。しかし、昨今の運営費交付金の削減により、人的及び予算的制約が大きくなることが懸念される。今後は、上記(1)～(6)の各課題をシームレスに実現する組織として、また、外部の研究者、特に学生や若手研究者にとって魅力ある組織として、さらに、一般の方にも興味を持っていただける組織として、さらに機能を強化する必要がある。それによって、高度技術を保持しながら先端的な研究課題に取り組む姿勢を明確にし、競争的資金を獲得しつづける努力と研究所からのバックアップの組み合わせで研究を推進しやすい体制にすべきである。

8. 6. 広報室

8.6.1. 広報室の活動概要

広報室では、南極・北極の研究や観測について、より多くの皆さまに知ってもらい、理解を深めてもらえるよう、南極・北極科学館での展示や情報発信、一般公開、南極授業、南極教室、中高生南極北極科学コンテストと南極北極ジュニアフォーラム、公開講座、広報誌「極」、「ふれ極」、「南極もっと知り隊」、「北極のひみつ」の発行、講演会講師派遣等さまざまな広報活動や情報発信を行っている。

8.6.2. 国立極地研究所南極・北極科学館

南極観測・北極観測の観測成果や活動をわかりやすく展示、紹介する情報公開、情報発信の場として、2010年7月に開館した。「実物」、「さわれる」、「映像」を展示の特色にして「南極観測・北極観測の“今”」を発信している。

研究成果を一般向けにはサイエンスカフェで情報発信し、また小学生向けには「めざせ！、極地の研究者」などとして理科に興味を抱かせるようイベントを行っている。2017年7月15日には来館者20万人、2019年9月28日には来館者30万人を達成した。2007年度末までの累計来館者数は311,648人となった。

8.6.3. 一般公開

一般公開「極地研探検」は年1回開催し、研究の成果や活動、南極観測・北極観測の取り組みを分かりやすく紹介している。講演会、南極・北極とのライブトーク、所内施設への探検ツアー、各研究グループやセンター等による展示、サイエンスカフェ等多数のイベントがあり、1日だけの開催ながら約2,000人が来場する。

8.6.4. その他のイベント等

(1) 南極授業、南極教室

南極昭和基地との衛星回線を使用した情報発信である。南極授業は、現職の教員を昭和基地に派遣し現地から授業を行うもので、公益財団法人日本極地研究振興会と連携した企画として、第51次観測隊（2009年）への同行以来、21名を派遣している。2019年8月には、これまで南極に派遣された教員による意見交換会を極地研で開催し、今後に向けての改善点や方向性を議論した。

南極教室は、越冬隊員が講師となって国内の学校に向けて情報発信するもので、年間20回程度開催している。

(2) 中高生南極北極科学コンテストと南極北極ジュニアフォーラム

中高生南極北極科学コンテストは、全国の中高生から観測・実験の提案を公募し、優れた提案を南極観測隊や研究者が現地で行い、結果を提案者にフィードバックするというものである。南極北極ジュニアフォーラムでは、授賞者の表彰と口頭発表、ポスター発表、南極・北極と結んでの観測報告などを実施する。研究の最前線、南極・北極の現場そして生徒と教員の教育の現場が連携しているという他では例のないものあり、2019年度の開催で16回目となる。

(3) 公開講座

極域から地球環境を探る南極観測・北極観測の成果を「公開講座”極域科学シリーズ”」として、立川市と協働で年間6回開催している。

(4) 広報誌「極」、「ふれ極」

極域科学や南極観測・北極観測、国立極地研究所の活動などを広く知ってもらうため、専門的知識がなくても理解でき親しめる内容構成としている。20,000部を作成し全都道府県の関係する科学館や博物館、全国各地にいる南極観測隊員OB・OGや関係者が行う講演等、国立極地研究所や南極・北極科学館への見学者の他、立川市内の図書館・学習館、百貨店や金融機関等で配布している。

(5) 講演会講師派遣等

各種の団体が企画する講演会の講師派遣の依頼を受け、研究者・技術者を派遣している。南極観測隊員OB・OGによる講演活動、全国の科学館・博物館などの企画展の協力し、映像・展示資料の貸出、配布資料の提供を行っている。

8.6.5. 科学館等との連携について

極地観測に関わった展示や企画を行っている博物館、科学館等と国立極地研究所がそれぞれ培ってきた南極観測等にかかる展示や情報発信の広報手段を基盤として、組織的な連携関係を構築することにより、極域科学や南極観測についてさらなる国民の理解増進と知識の普及を図ることを目的とするものである。

現在、北海道から九州まで14機関(稚内市青少年科学館、りくべつ宇宙地球科学館、白瀬南極探検隊記念館、つくばエキスポセンター、立山カルデラ砂防博物館、名古屋市科学館、植村直己冒険館、愛媛県総合科学博物館、佐賀県立宇宙科学館、多摩六都科学館、WNI 気象文化創造センター、西堀榮三郎記念探検の殿堂、名古屋海洋博物館・南極観測船ふじ、サイエンスヒルズこまつ)との連携協定を取り交わしている。企画展示に協力するとともに、昭和基地からのライブ映像を配信している。

8.6.6. 現状の評価

2018年11月30日、所長裁定により「情報・システム研究機構国立極地研究所広報室評価委員会」が設置され、外部委員を含む8名の委員によって、過去10年間にわたる広報室の活動についての評価が行われ、2019年6月5日に「国立極地研究所広報室の活動と組織運営に関する評価報告書」がまとめられた。その結果、創意工夫を凝らした多岐にわたる広報活動を実施し、極地研のプレゼンスを国内外に示すとともに、ステークホルダーによる極地の研究と科学の理解増進に大きく寄与した点、さらに、限られた人的資源と予算のもと、広報室が工夫を重ね、広報戦略で掲げた目標を達成する活動を行ってきた点が高く評価された。また、報道対応、情報発信、展示、出版、対外協力、イベントといった個別の広報活動についても高い水準にあると評価された。

8.6.7. 将来の方向性

「国立極地研究所広報室の活動と組織運営に関する評価報告書」の結果を反映させるため、広報室内では、以下の観点で、短期的及び中・長期的な広報活動の検討を行い、国立極地研究所の広報活動のプレゼンスを上げ、ステークホルダーに対する説明責任を果たす必要がある。

- 1) 広報ポリシー（基本方針）と広報倫理ガイドラインの策定
- 2) HP・ブログ・SNS
- 3) 一般公開「極地研探検」
- 4) 中高生ジュニアフォーラム

- 5) 南極教室を含む南極中継
- 6) 教員派遣と南極授業
- 7) サイエンスカフェ
- 8) 講師派遣・研修制度
- 9) プレスリリース
- 10) 科学館の展示・運営
- 11) 外部への科学館等へのイベント展示協力
- 12) 広報誌各誌
- 13) デジタルデータの保管と活用
- 14) 広報活動の対外評価の向上
- 15) 現在の予算収支の状況把握と課題
- 16) 外部資金獲得のための戦略
- 17) 広報室の業務内容の合理化と効率化
- 18) 南極観測第 X 期計画、中期計画における広報（室）の役割

8. 7. 情報図書室

8.7.1. 設置の理念

大学共同利用機関として、極域科学分野の学術情報センター機能を果たすために、極域研究に関する多数の学術雑誌、図書、探検報告等の資料を広く収集し、整理を行う。これらの資料を開架方式で配備するとともに、全国からの現物貸借、文献複写の依頼に応じて研究者の利用に供することにより、極域科学分野の発展に貢献するとともに、一般への理解を得る。

また、南極観測事業によって得られたすべての科学的データは、南極条約第3条第1項(c)に基づき、その結果を公開し、誰もが自由に利用できるようにすることが加盟国の義務である。その精神に基づき、国立極地研究所情報図書室では、「南極資料」「Polar Science」「JARE Data Reports」「Polar Data Journal」等の学術出版物の編集、刊行を行う。近年ではインターネットによる本文PDFの公開を行う。

以上を踏まえて、情報図書室は、以下の事項について実務を受け持つ。

- (1) 研究所の学術情報資料の収集、整理および保管等、管理に関すること
- (2) 上記所蔵資料の利用および公開に関すること
- (3) 図書館管理システムの運用に関すること
- (4) 学術出版物の編集、発行および公開に関すること
- (5) 国立情報学研究所運用の各種データベースへの当室資料登録に関すること

8.7.2. 活動概要

概要

研究・教育機関の図書室として、極地に関する自然科学全般の学問分野に関する文献・資料の収集、整理、充実に努めている。国立極地研究所情報図書室ホームページ(URL:<https://www.nipr.ac.jp/library/>)を開設し、利用案内、新着図書案内、刊行物案内および所蔵資料検索・電子ジャーナルなどオンラインサービスへのゲートウェイを公開している。

1996年11月から学術情報センター（現国立情報学研究所）に接続し、図書および雑誌の所蔵情報を提供している。2020年3月31日現在の所蔵レコード登録件数は、和洋合わせて図書27,853件、雑誌3,946件である。

また、Arctic & Antarctic Regions（140万件以上におよぶ極域関係論文のデータベース）およびScopusほか多数のデータベース類が所内LANを通じて利用可能であるほか、一部データベースは所外からでも利用可能である。

資料の収集・整理・保存・利用状況

第3期中期計画の4年間における年度別推移として、(1)に蔵書数および増加冊数、(2)に所蔵雑誌タイトル数、(3)に貸出件数および所外利用者数、(4)に相互利用件数、(5)に機関リポジトリ統計を示す。(6)にこの4年間の特筆すべき活動について述べる。

(1) 年度別蔵書数および増加冊数 (()内は増加冊数)

区 分		2016年度	2017年度	2018年度	2019年度
	和 書	10,176	10,357	10,429	10,557
		(298)	(181)	(72)	(128)

単行本	洋書	17,429 (258)	17,695 (266)	17,769 (74)	17,866 (97)
	計	27,605 (556)	28,052 (447)	28,198 (146)	28,423 (225)
小冊子	和書	1,947 (0)	1,947 (0)	1,947 (0)	1,947 (0)
	洋書	1,613 (0)	1,613 (0)	1,613 (0)	1,613 (0)
	計	3,560 (0)	3,560 (0)	3,560 (0)	3,560 (0)
製本 雑誌	和雑誌	3,644 (49)	3,560 (-84)	3,562 (2)	3,650 (88)
	洋雑誌	24,133 (184)	24,346 (213)	24,343 (-3)	24,551 (208)
	計	27,777 (233)	27,906 (129)	27,905 (-1)	28,201 (296)
合計		58,942 (789)	59,518 (576)	59,663 (145)	60,184 (521)

(2) 年度別所蔵雑誌タイトル数

区分	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度
和雑誌	934	971	969	970
洋雑誌	2,870	2,973	2,976	2,976
合計	3,804	3,944	3,945	3,946

(3) 年度別貸出冊数および所外利用者数

区分	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度
貸出冊数	722	543	388	429
所外利用者数	98	189	203	146

(4) 年度別相互利用件数（大学図書館等機関間）

区分		2016年度	2017年度	2018年度	2019年度
受付	文献複写	173	161	189	117
	相互貸借	9	18	15	18
依頼	文献複写	39	42	37	27
	相互貸借	9	8	4	11

(5) 年度別機関リポジトリ統計

区 分	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度
電子データ数	12,782	13,486	13,904	14,238
アクセス数	約 951,000	1,119,462	1,461,604	2,078,676
ダウンロード数	55,449	139,020	203,393	134,699

(6) 4 年間の主な活動

この4年間の特筆すべき主な活動について以下に挙げる。

(a) 機関リポジトリの活用

2014年10月に国立極地研究所の機関リポジトリ（機関の研究・教育活動で得られた成果物を電子データで収集・保存し Web 上で公開するツール）として「国立極地研究所学術情報リポジトリ」（URL:<https://nipr.repo.nii.ac.jp/>）を一般に向けて公開した。商業出版物以外の研究所発行物を電子化して掲載したり、研究所主催シンポジウムのアブストラクトを公開したりして、無料で利用できるコンテンツの拡充に努めている。

2017年11月には情報図書室が素案を作成した「国立極地研究所オープンアクセス方針」が策定され、国立極地研究所では研究成果のほか研究成果のエビデンスとなる根拠データも原則公開することとなった。国立極地研究所学術情報リポジトリは、研究成果をデジタル情報として公開することで、障壁なきアクセスを可能とし、その利活用を介して新たな価値を創出する知識基盤にもなっており、オープンアクセス・オープンサイエンスの推進にも寄与している。

(b) 「Polar Data Journal」の創刊

2017年に学術機関によるデータジャーナルとしては国内初となる「Polar Data Journal」を創刊した。「Polar Data Journal」では極域での実験や観測で得られたデータおよびデータに関する付帯情報を記述したデータ論文の投稿を所属や学術分野にかかわらず、広く国際的に受け付けている。データ論文には、データの取得方法、処理方法、所在等について詳細に記述することを求めており、データ論文をデータジャーナルとして出版することは、科学データという学術情報資産を利用可能な形で維持し、永く再利用に供するための取り組みにもつながっている。

(c) 電子ジャーナル・電子ブック等の利用拡充

国立極地研究所としては2016年を以て外国雑誌冊子体の購読を原則廃止し、電子ジャーナルへ切り替えた。それに伴い新着雑誌架が空いたため閲覧室の様様替えを行った。具体的には①車椅子でも通れるような通路幅の確保や拡大鏡等ツールの整備、②人の背丈より高かった雑誌架を腰の位置まで減らした地震対策、③一般の方に毎月テーマを決めて蔵書を紹介（アトリウム広報）するため通路アトリウムに面した場所への雑誌架配置を行ったことにより、外部からの利用者が2桁台から3桁台に回復した。

情報・システム研究機構としては「Nature」を2018年から、「Science」を2019年から研究所単位ではなく機構単位（ライフサイエンス統合データベースセンターを含む）で契約することとし、価格と手続面での効率化を図った。これまでの電子資料検索ツール「SFX」に代わり、2018年度より

「Intota&360Link」を機構単位で契約し、詳細な契約情報等の管理ができるようになった。

総合研究大学院大学の基盤機関としては引き続き Elsevier（指定タイトルのみ）、Springer、Wiley-Blackwell（パッケージ契約）の電子ジャーナルや地球科学分野の電子ジャーナル約 40 誌の本文 PDF を閲覧可能なデータベース「GeoScienceWorld」を購読し、全学の利用に供している。2017 年 3 月からは随時最新情報に更新される参考資料パッケージとしての Elsevier Science Direct「レファレンスモジュール」を加えた。2018 年度には文献管理ツール「Mendeley 機関版」を全学で利用できるよう働きかけを行った。電子ジャーナル価格高騰への対応としては、Elsevier 社分についてはランザクション 1 件あたりの価格を基準に、その他の出版社のタイトルについても論文単価の高いものについて研究力の低下を招かない程度に文献複写等への切替可否を毎年検討している。

8.7.3. 資料等の概要、要目、利用状況

所蔵資料

2019 年度末時点で、図書 28,000 冊、雑誌 3,900 タイトル、南極地域の地図 3,600 枚、論文別刷 8,200 枚を所蔵している。また、電子資料として電子ジャーナル 4,400 タイトル、電子ブック 9,300 タイトルが利用できる。

所蔵資料の内容としては、極域研究に必要な自然科学各分野（超高層物理、気象、雪氷、地学、海洋、生物、医学、寒地設営工学、隕石、情報等）の資料のほか、極地観測・探検に関する資料、極地に関して書かれた地誌・紀行文、南極条約に関する資料等がある。

閲覧室・書架

当研究所 1 階に閲覧室、書架、貴重書庫、図書事務室がある。総面積は 940m²。座席数は 32 席。

貴重書を除いた図書は開架書架に、雑誌は電動集密書架に配置し、自由に閲覧が可能である。貴重書は長期保存のため貴重書庫内の調湿・殺菌フィルター付きの書棚に収納している。

図書館管理システム

2005 年度よりリコー社 LIMEDIO システムを運用している。資料登録、会計管理、他機関図書館との相互利用運用など、すべての図書事務手続を単独のシステムで行うことができる一方で、利用者は OPAC（オンライン所蔵目録）より所蔵資料の検索を行えるほか相互利用を申し込むことができ、必要な資料を迅速に入手することが可能となっている。

刊行物の概要

当研究所の研究成果刊行物は以下のとおりである。

- (1) 南極資料（2015 年 11 月冊子版刊行の終了、2016 年からは電子出版）
- (2) Polar Science（年 4 回刊行、2007 年度よりエルゼビア社と共同刊行）
- (3) Polar Data Journal（電子出版、2017 年より刊行）
- (4) Memoirs of National Institute of Polar Research, Series A, B, C, D, E, F, Special Issue（不定期刊行）
- (5) JARE Data Reports（不定期刊行）
- (6) NIPR Arctic Data Reports（不定期刊行）
- (7) Antarctic Geological Map Series（不定期刊行）

(8) Special Map Series (不定期刊行)

(9) Catalog (不定期刊行)

Polar Science を除く学術雑誌は、2003 年発行分より情報図書室 OPAC (オンライン所蔵目録) からキーワード検索や、Abstracts と本文 PDF の利用が可能である。(URL:<https://libsv.nipr.ac.jp/mylimedio/search/search-input.do?>) また、既発行約 40 年分については、国立情報学研究所による論文情報ナビゲータ CiNii Articles からキーワードで検索、本文 PDF ファイルを表示可能である。(URL: <https://ci.nii.ac.jp/>)

単行本としては、2000 年度より新しいジャンルとして極地選書を出版している (不定期)。これまでに 2 冊刊行し、Google Book Search Program により全文 Web 公開されている。

また、2010 年度より「極地研ライブラリー」をシリーズとして刊行開始した。これまでに 10 冊刊行されている。本シリーズは、高校生から大学初年級、一般の方を対象読者として、継続した極地観測により解明されてきた、極地の自然、その観測や研究の成果を判りやすく解説かつ紹介することを目的としている。販売することにより、一般の方へのより広い普及を目指して、出版社と契約を行い、極地研は著作権料を受け取ることにしている。

これら刊行物の編集・出版業務は図書係で行っている。(1)に2016年～2019年 (2016.4.1～2020.3.31)の4年間の刊行物一覧を、(2)に年度別出版本数を示す。

(1) 研究所成果刊行物

(a) 南極資料

Vol.60 (2016)

川口創・渡邊研太郎：第 3 回豪日南極研究協力ワークショップの報告, 19-34 (シンポジウム/会合報告).

西澤裕子・佐々木洋・高橋邦夫：夏季の南極海インド洋区における有殻翼足類 (*Limacina* spp.) の経年変化, 35-48 (研究論文).

北出裕二郎：第 54 次日本南極地域観測隊東京海洋大学研究練習船「海鷹丸」(KARE16; UM-12-08) 活動報告, 49-64 (報告).

金尾政紀・矢吹裕伯・杉村剛：第 2 回国際極域データフォーラム (Polar Data Forum II) 並びに関連会合報告, 65-72 (報告).

菅沼悠介・金田平太郎・小山拓志・外田智千・赤田幸久：中央ドロンイングモードランド地学調査隊報告 2015–2016 (JARE-57), 73-116 (報告).

茂木正人：第 55 次日本南極地域観測隊東京海洋大学練習船「海鷹丸」(KARE-17; UM-13-09) 活動報告, 117-132 (報告).

山岸久雄：第 53 次日本南極地域観測隊夏期行動報告 2011–2012, 133-194 (報告).

久光純司・小栗秀之・高野松美・杉山暢昌・山本敦：第 52 次日本南極地域観測隊気象部門報告 2011, 195-241 (報告).

Vol.61 (2017)

高橋邦夫・John A. Kitchener・Karen Robinson・Graham W. Hosie：南極研究科学委員会の連続プラ

ンク トン採集器データベースグループワークショップ 2016 報告 (英文) , 1-10 (報告).
外田智千・馬場壮太郎・亀井淳志・北野一平・本吉洋一・Prayath Nantasin・Nugroho Imam Setiawan・
Davaa-Ochir Dashbaatar: リュツォ・ホルム湾, プリンスオラフ海岸, 及び, エンダビーランド
地質調査隊報告 2016–2017 (JARE-58) , 11-56 (報告).
小林圭介: 日の出岬におけるコケ・地衣群落の植物社会学的研究 (英文) , 57-80 (研究論文).
村越真・菊池雅行: 第 58 次日本南極地域観測隊員の南極のリスクに対する態度, 知識, 対応
スキルの実態, 81-107 (研究論文).

Vol.62 (2018)

石沢賢二: 昭和基地での夏期作業に向けた効率的な除雪時期について, 1-14 (研究ノート).
菅沼悠介・田邊優貴子・香月興太・柴田大輔・川又基人: 氷上からの湖底・海底堆積物掘削プ
ロジェクトの報告 (JARE-58/59) , 15-42 (報告).
本吉洋一: 第 58 次日本南極地域観測隊夏期行動報告 2016-2017, 43-95 (報告).
藤田建・大吉智也・清水悟・齧島宏治・坂梨貴将: 第 53 次日本南極地域観測隊気象部門報告
2012, 96-154 (報告).

Vol.63 (2019)

櫻井久恵・佐野雅美・小達恒夫: 極域で採集された動物プランクトンネット試料を用いた樹脂
封入標本の試作報告, 1-8 (報告).
高橋邦夫・Kitchener John A.・Robinson Karen V.・Hosie Graham W.: 南極研究科学委員会の連続プ
ランクトン採集器データベース グループワークショップ 2018 報告 (英文) , 9-19 (報告).
西澤秀明・市川光太郎・浅井咲樹・荒井修亮・三田村啓理・宮本佳則・岩見哲夫: 2019 年 1 月
に北の浦 (リュツォホルム湾・東南極) で採集された魚類の記録, 20-26 (研究ノート).
安部剛・半貫敏夫・田代達一郎・永木毅: 昭和基地の自然エネルギー棟に採用した空気式太陽
熱集熱システムの性能検証, 27-55 (研究論文).

(b) Polar Science

Volume 10

Issue 2, p.111-176. Jun. 2016 (8 full length articles)

Issue 3, Special Issue: ISAR-4/ICARPIII, Science Symposium of ASSW2015, p.177-462. Sep. 2016 (30
full length articles)

Issue 4, p.463-576. Dec. 2016 (9 regular (full length articles), 2 ISAR-4/ICARPIII, Science Symposium of
ASSW2015)

Volume 11

p.1-104. Mar. 2017 (3 full length articles, 6 research notes)

Volume 12

Special Issue: Ecosystem studies in the Indian Ocean sector of the Southern Ocean undertaken by the
training vessel Umitaka-maru, p.1-108. Jun. 2017 (11 full length articles)

Volume 13

p.1-108. Sep. 2017 (10 full length articles)

Volume 14

p.1-88. Dec. 2017 (8 full length articles, 2 research notes)

Volume 15

p.1-104. Mar. 2018 (9 full length articles, 2 research notes)

Volume 16

p.1-90. Jun. 2018 (6 full length articles, 2 research notes)

Volume 17

p.1-94. Sep. 2018 (9 full length articles)

Volume 18

Special Issue: Recent Advances in Climate Science of Polar Region (to commemorate the contributions of Late Dr. S.Z. Qasim, a pioneering doyen of the Indian Polar programme), p.1-226, A1-A4. Dec. 2018 (18 full length articles, 5 reviews)

Volume 19

p.1-154. Mar. 2019 (15 full length articles, 1 research note)

Volume 20

Part 1, Joint volume of Special Issue on 7th Malaysian International Seminar on Antarctica "MISA7" and Regular Issue Connectivity between Polar and Equatorial climate and Biosphere: from the Poles to the Tropics, p.1-106. Jun. 2019 (9 full length articles, 1 review, 1 research note)

Part 2, p.107-166. Jun. 2019 (6 full length articles)

Volume 21

Special Issue: ISAR-5/ Fifth International Symposium on Arctic Research Dedicated the late Dr. Rikie Suzuki, a pioneering Arctic terrestrial researcher and major contributor to the ISAR symposia, p.1-240. Sep. 2019 (23 full length articles, 2 research notes, 2 reviews)

Volume 22

p.1-108. Dec. 2019 (11 full length articles, 2 Special Issue on "ISAR-5/ Fifth International Symposium on Arctic Research)

(c) Polar Data Journal

Vol.1 (2017)

Shun Tsutaki, Shin Sugiyama and Daiki Sakakibara: Surface elevations on Qaanaaq and Bowdoin Glaciers in northwestern Greenland as measured by a kinematic GPS survey from 2012–2016, 1-16, Oct. 2017

Vol.2 (2018)

Masayuki Takigawa, Masahiro Yamaguchi, Fumikazu Taketani, Yugo Kanaya and Yutaka Kondo: Near real-time simulation data of atmospheric components and meteorology in the Arctic region using the WRF-Chem model from August to September 2016, 1-13, Aug. 2018

Hideki Kobayashi, Rikie Suzuki, Wei Yang, Hiroki Ikawa, Tomoharu Inoue, Hirohiko Nagano and

Yongwon Kim: Spectral reflectance and associated photograph of boreal forest understory formation in interior Alaska, 14-29, Nov. 11

Vol.3 (2019)

Takeshi Inoue, Masaki Uchida, Masakane Inoue, Ryo Kaneko, Sakae Kudoh, Yoshinori Minami and Hiroshi Kanda: Vegetation data of high Arctic lichens on Austre Brøggerbreen glacier foreland, Ny-Ålesund, Svalbard, in 1994, 1-11, Feb. 2019

Kunio T. Takahashi, Ryosuke Makabe and Tsuneo Odate: Zooplankton monitoring using a twin NORPAC net during the 58th Japanese Antarctic Research Expedition in austral summer 2016–2017, 12-21, Feb. 2019

Ralf Greve: Geothermal heat flux distribution for the Greenland ice sheet, derived by combining a global representation and information from deep ice cores, 22-36, Feb. 2019

Sakae Kudoh, Yukiko Tanabe, Kentaro Hayashi, Morimaru Kida, Nobuhide Fujitake, Masaki Uchida and Satoshi Imura: Meteorological data from ice-free areas in Yukidori Zawa, Langhovde and Kizahashi Hama, Skarvsnes on Sôya Coast, East Antarctica during December 2014-December 2016, 37-45, Mar. 2019

Ryosuke Makabe, Shintaro Takao and Tsuneo Odate: Chlorophyll a and macro-nutrient concentrations and photosynthetically active radiation during the training vessel Umitaka-maru cruises of the 58th Japanese Antarctic Research Expedition in January 2017, 46-58, Oct. 2019

Vol.4 (2020)

Keishi Shimada, Ryosuke Makabe, Shintaro Takao and Tsuneo Odate: Physical and chemical oceanographic data during Umitaka-maru cruise of the 58th Japanese Antarctic Research Expedition in January 2017, 1-29, Jan. 2020

Alberto J. Foppiano, Bravo Alejandro Manuel, Carlos U. Villalobos and Guillermo V. Concha: Ionosonde observations at King George Island, Antarctica: 1986-1991, 30-44, Feb. 2020

Yoshiaki Ishihara, Takahiko Murayama, Masa-yuki Yamamoto, Takeshi Matsushima and Masaki Kanao: Infrasonic observation at Japanese Antarctic Station "Syowa": 11 years observations and results, 45-54, Mar. 2020

(d) JARE Data Reports

No.347 (Marine Biology 55) Zooplankton sampling from two separate surveys by RSV Aurora Australis and the training vessel Umitaka-maru in Lützow-Holm Bay during the 50th Japanese Antarctic Research Expedition in January 2009., by Kunio T. Takahashi, Atsushi Tanimura, Keishi Shimada and Tsuneo Odate. 11p. Jun. 2016.

No.348 (Marine Biology 56) Plankton sampling by the training vessel Umitaka-maru in the Indian sector of the Southern Ocean in the austral summer of 2012/2013., by Hisae Sakurai, Kaori Uchiyama, Keishi Shimada, Takashi Iwata, Nobue Takasawa, Hazuki Watanabe, Atsushi Ono, Aiko Tachibana, Naho Miyazaki, Motoha Ojima, Yujiro Kitade, Masato Moteki, Takashi Ishimaru, Kunio T. Takahashi, Takahiro

- Iida, Ryosuke Makabe, Tsuneo Odate and Atsushi Tanimura. 20p. Jun. 2016.
- No.349 (Marine Biology 57) Plankton sampling by the training vessel Umitaka-maru in the Indian sector of the Southern Ocean in the austral summer of 2014., by Hisae Sakurai, Kaori Uchiyama, Takuji Hosaka, Keishi Shimada, Hazuki Watanabe, Kentaro Fujii, Akiko Yatabe, Motoha Ojima, Nobuaki Hirose, Aito Takeishi, Kazuo Amakasu, Masato Moteki, Kunio T. Takahashi, Takahiro Iida, Ryosuke Makabe, Tsuneo Odate and Atsushi Tanimura. 17p. Jun. 2016.
- No.350 (Marine Biology 58) Plankton sampling by the training vessel Umitaka-maru in the Indian sector of the Southern Ocean in the austral summer of 2015., by Hisae Sakurai, Kazuo Amakasu, Tetsuo Iwami, Kaori Uchiyama, Keishi Shimada, Naho Miyazaki, Masato Moteki, Takahiro Iida, Ryosuke Makabe, Atsushi Tanimura, Kunio T. Takahashi and Tsuneo Odate. 9p. Aug. 2016.
- No.351 (Marine Biology 59) Zooplankton sampling during the 56th Japanese Antarctic Research Expedition in austral summer 2014–2015., by Kunio T. Takahashi, Tomomi R. Takamura, Takahiro Iida and Tsuneo Odate. 15p. Sep. 2016.
- No.352 (Marine Biology 60) Zooplankton sampling during the 57th Japanese Antarctic Research Expedition in austral summer 2015–2016., by Kunio T. Takahashi, Tomomi R. Takamura, Ryosuke Makabe and Tsuneo Odate. 16p. Nov. 2016.
- No.353 (Marine Biology 61) Biogeochemical properties of seawater measured from the icebreaker Shirase during the 57th Japanese Antarctic Research Expedition in the austral summer, 2015–2016., by Tomomi R. Takamura, Kunio T. Takahashi, Ryosuke Makabe and Tsuneo Odate. 16p. Nov. 2016.
- No.354 (Seismology 50) Seismological bulletin of Syowa Station, Antarctica, 2014., by Takuya Masunaga and Masaki Kanao. 218p. Nov. 2016.
- No.355 (Oceanography 34) Oceanographic Data of the 51st Japanese Antarctic Research Expedition from December 2009 to March 2010., by Noriaki Izumi. 16p. Dec. 2016.
- No.356 (Oceanography 35) Oceanographic Data of the 52nd Japanese Antarctic Research Expedition from December 2010 to March 2011., by Kitoshi Tanaka. 16p. Dec. 2016.
- No.357 (Oceanography 36) Oceanographic Data of the 53rd Japanese Antarctic Research Expedition from December 2011 to March 2012., by Noriaki Izumi. 16p. Dec. 2016.
- No.358 (Oceanography 37) Oceanographic Data of the 54th Japanese Antarctic Research Expedition from December 2012 to March 2013., by Hiroki Shimomura. 20p. Dec. 2016.
- No.359 (Oceanography 38) Oceanographic Data of the 55th Japanese Antarctic Research Expedition from December 2013 to March 2014., by Takeshi Yoshiyama. 19p. Dec. 2016.
- No.360 (Oceanography 39) Oceanographic Data of the 56th Japanese Antarctic Research Expedition from December 2014 to March 2015., by Hiroki Shimomura. 20p. Dec. 2016.
- No.361 (Marine Biology 62) Plankton sampling by the training vessel Umitaka-maru in the Indian sector of the Southern Ocean in the austral summer of 2016., by Hisae Sakurai, Masato Moteki, Kaori Uchiyama, Kohei Mizobata, Keishi Shimada, Hajime Izumida, Hiromasa Kamata, Ryosuke Makabe, Kunio T. Takahashi, Atsushi Tanimura and Tsuneo Odate. 8p. Apr. 2017.

No.362 (Marine Biology 63) Chlorophyll a concentration of phytoplankton during Umitaka-maru cruises of the 55–57th Japanese Antarctic Research Expedition in 2014–2016., by Ryosuke Makabe, Takahiro Iida, Masato Moteki, Jota Kanda and Tsuneo Odate. 12p. Jun. 2017.

No.363 (Marine Biology 64) Plankton sampling by the training vessel Umitaka-maru in the Indian sector of the Southern Ocean in the austral summer of 2017., by Hisae Sakurai, Masato Moteki, Kohei Mizobata, Keishi Shimada, Kohei Matsuno, Yuri Okubo, Masayoshi Sano, Satoshi Nirazuka, Natsuki Yamamoto, Shintaro Takao, Ryosuke Makabe, Kunio T. Takahashi and Tsuneo Odate. 13p. Feb. 2018.

No.364 (Marine Biology 65) Plankton sampling by the training vessel Umitaka-maru in the Indian sector of the Southern Ocean in the austral summer of 2018., by Hisae Sakurai, Masato Moteki, Keishi Shimada, Yusuke Iwai, Yuri Okubo, Satoshi Nirazuka, Junji Matsushita, Mao Mori, Abigail Jessica Rose Smith, Shintaro Takao, Ryosuke Makabe, Kunio T. Takahashi and Tsuneo Odate. 9p. Jul. 2018.

No.365 (Marine Biology 66) Plankton sampling by the training vessel Umitaka-maru in the Indian sector of the Southern Ocean in the austral summer of 2019., by Hisae Sakurai, Masato Moteki, Keishi Shimada, Aki Nosaka, Ayu Yamamoto, Junji Matsushita, Keigo Takahashi, Takumi Hasegawa, Satoshi Nirazuka, Aiko Tachibana, Maki Kobayashi, Ayuko Kagesawa, Masayoshi Sano, Kunio T. Takahashi, Ryosuke Makabe and Tsuneo Odate. 9p. Oct. 2019.

(2) 年度別出版本数

区 分	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度
南極資料	8	4	4	4
Polar Science	58	42	56	57
Polar Data Journal	-	1	6	4
JARE Data Reports	14	3	1	1
計	80	50	67	66

8.7.4. 現状の評価

・ 学術情報資料の収集に関して

2019年3月31日現在の登録所蔵レコード数は、和洋合わせて図書27,853件、雑誌3,566件である。縮小予算の中、極地に関する自然科学全般について文献・資料を収集するための努力を続けている。

・ 所蔵資料の利用および公開に関して

2019年度の貸出件数は429件（前年比+41）、所外利用者数は146人（前年比-57）である。所蔵資料の貸出件数に関しては漸減してきているが、電子ジャーナル・電子ブック等のオンライン資料利用への移行が進んだことの裏返しである。

・ 図書館管理システムの運用に関して

図書館システム(LIMEDIO)については、会計システム(GrowOne) や事務処理に関する手続に対応

しており、業務の効率化に貢献している。

また、電子ジャーナル・電子ブック検索ツール「360Link」の検索結果から機構内図書室及びオープンアクセスのコンテンツにアクセスでき、利用者が効率的に資料を入手できるようになっている。蔵書検索(OPAC)での検索やインターネットを通じた相互利用申込も教員・大学院生の間に浸透している。

・学術出版物の編集、発行および公開に関して

2016年度～2019年度の合計出版本数の概ね70本前後で安定して出版を続けている。JARE Data Reportsの出版本数が2017年度以降減っているのは、データ論文としての出版・公開の機能をPolar Data Journalへ移行を進めてきた本研究所の方針によるものである。Polar Scienceは毎年、特集号が1～2冊企画され、多い時は一年に100本以上の投稿があり活発な出版状況となっている。国別ではインド、中国、日本、マレーシア、ロシアからの投稿が多いものの、西欧からの投稿があまり増えていないのが問題で今後の課題である。

・電子ジャーナル・各種データベース等について

縮小予算の中でも、極域研究に関連する分野の電子資料を購入し、利用に供している。電子ジャーナル・電子ブック等の一次資料の購入・購読に加え、論文検索データベース「Scopus」の契約により、必要な情報が掲載されている資料を容易に見つけることが可能となった。また、電子ジャーナル・電子ブック検索ツール「360Link」の利用契約により、現在購読契約している電子ジャーナルと、学協会・政府機関等が無料公開している雑誌の両方を一元的に検索することが可能である。

8.7.5. 将来の方向性

情報図書室は、極域科学に関するさまざまな研究活動を支援するため、極地を中心とした多様な分野の資料につき、収集・整理及び提供を行っている。近年は電子ジャーナル等、資料の電子化が進んでおり、利用者の利便性も向上しているが、一方で極域関連資料を扱う専門図書室として、長期保存が可能な収集形態も検討する必要がある。

南極資料, Polar Science, Polar Data Journal, JARE Data Reports はいずれも電子ジャーナルでの提供を行っている。発刊後速やかに極域研究成果を提供することが可能であり、引き続き極域研究の最前線を伝える役割を担うこととなる。

電子資料のコンテンツ充実と情報図書室ホームページの利便性向上について教員・総研大生への広報・普及に今まで以上に力を入れる必要がある。現時点でも電子ジャーナルと電子ブックのアクセスは電子ジャーナル・電子ブック検索データベース「360Link」に一本化されており、各種データベースも情報図書室ホームページより一覧可能である。

オープンサイエンスの概念に含まれるオープンアクセスとオープンデータについての取り組みも重要である。オープンアクセス方針の策定により、研究成果公開の受け皿として国立極地研究所学術情報リポジトリは引き続き新たな価値を創出する知識基盤の役割を担うこととなる。雑誌契約においては外国雑誌の価格高騰により、従来の購読支払いモデルから著者が論文掲載料を支払いオープンアクセスで発行するという著者支払いモデルへの移行を検討している。オープンデータは新たな取り組みとして、関連部署とも連携し、研究データの管理・公開のコンサルティング、メタデータの付与・キュレーションなどで研究者をサポートしていくことが求められる。研

究成果とその根拠となるデータに DOI が付与され、リポジトリで公開される方向での取り組みを一層推進し、誰もが検索し、障壁なしにアクセスできる環境の構築を目指す。

これまでの図書館機能も維持しつつ、新しい時代における新たな図書館機能にも対応していく。

8. 8. 国際・研究企画室

8.8.1. 設置の理念

南極、北極域に関する調査・研究は、海外が研究の対象、調査の場となることから、多くの場合国際的な枠組みに則り、関係国研究機関等との調整が欠かせない。「国際企画室」は、南極、北極研究に関わる国際的事項に専門的に対応する部署として設置され、業務内容を(1) 国際条約及び国際会議に関すること、(2) 海外の研究機関等との共同観測・学術協定に関すること、(3) 国際研究交流に関することとし、所内国際企画委員会の協力を得て業務を推進することとされてきた。

一方、極地研の所属する情報・システム研究機構は、2013年度に文部科学省「研究大学強化促進事業」に採択された。本事業は研究マネジメント人材群の確保や集中的な研究環境改革等の取り組みを支援し、研究機関の増強と我が国全体の研究力の強化を目指すものである。これを受け、2014年4月に発足した極地研の「研究戦略企画室」では、情報・システム研究機構本部のURAステーションと連携して研究力の強化を図る2名のリサーチ・アドミニストレーター(URA)を配置し、所長が中心となって所内に設置した「研究戦略会議」の推進役として研究力強化を目指してきた。

2018年4月1日に発足した「国際・研究企画室」は、それまでの「国際企画室」と「研究戦略企画室」を統合し、極地研の国際活動と研究力強化を統一的に推進する組織である。

8.8.2. 活動概要

(1) 国際関連

国際条約、国際会議に関することとして、毎年開催される南極条約協議国会議(ATCM)へ提出する日本の南極観測に関連する文書作成、南極条約で規定される電子的交換情報のうち、文部科学省の南極観測統合推進本部(南極本部)事務局が担当する日本の南極観測に関わる事項につき資料(案)をとりまとめた。このほか ATCM および南極条約体制を構成する、南極海洋生物資源保存条約(CCAMLR)の年次会合に出席し、必要に応じて報告等をおこなった。また、SCARに関する情報を、国内の関係者や所内教員へ転送する作業を適宜おこなったほか、ATCM、CCAMLR、SCAR関係の文書を保管した。

海外の研究機関等との共同観測・共同研究に関することとして、各種研究協力協定の継続手続き、協定案の本文を先方と調整する等して新規協定の締結に対応した。また、日・中・韓の極地研究所所長の話し合いから共同研究につなげる目的で発足したアジア極地科学フォーラム(AFoPS)の年次会合に資料を準備して参加し、各国と極地研究等に関する情報共有を行い所内研究者等へフィードバックを行った。2019年10月から11月には、AFoPSの年次総会を極地研にて開催している。

このほか所の国際企画に関係した外国からの来所者に対応し、関連部署と協力して所内外からの国際企画に関する問合せに対応した。

(2) 研究企画関連

極地研の研究活動全体の活性化を目指し、以下の活動を行った。

・論文出版助成

論文を出版するにあたって、英文校正費、学術雑誌への投稿費、別刷代金等を支援する制度を立ち上げ、研究活動の活性化を図った。期間中4年間における出版論文数は、2016年度が182本、29

年度が 159 本、30 年度が 155 本、31 年度が 150 本となり、若干の低下傾向にあるものの、安定した数値を維持している。なお、2016 年度の出版本数には、北極関係の補助金事業である GRENE の終了に伴う出版が含まれているため、特に例年より大きな値となったものである。

さらに、出版された論文成果について、リポジトリを通じた公開作業の支援、積極的なプレスリリース支援等を実施し、研究成果の社会還元と研究活動の社会へのアピールを支援した。

・外部資金獲得支援

科学研究費補助金や各種民間の研究支援制度の獲得を目指し、外部資金説明会を開催して情報提供に努めた。また申請書のブラッシュアップを積極的に実施した。さらに、科研費の獲得に失敗したものの審査において高い評価を得ていた申請については、「科研費再チャレンジ支援」および「科研費申請奨励金」の仕組みを用意し、次年度の採択に向けての支援を実施した。このような取組により、積極的な外部資金への挑戦、高い採択率の達成に挑み、研究者の外部資金獲得を支援した。その結果、特に科研費ではこれまでに無い高い採択率を達成している。下の表での申請数の減少傾向は、近年の高い採択率達成により既に外部資金を獲得している研究者が増えた影響によるものである。

・受賞支援

研究成果を社会に還元し、同時に表彰・受賞の形で目に見える成果として残すことを目的とし、積極的な受賞申請を支援した。期間中には、2016 年度の「科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞」に 2 名、2017 年度の同賞に 1 名、および同年の日本気象学会賞に 1 名、2017 年度に「科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞（理解増進部門）」に一件が受賞を果たし、2019 年度には日本地球惑星科学連合フェローに 1 名が認められた。

科研費申請数および採択率

	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度
応募件数	65	57	48	24
採択件数	18	19	19	7
採択率	27.7%	33.3%	39.6%	29.2%

8.8.3. 現状の評価

国際関連では、以前より実施してきた南極域に関する国際的枠組みに関わる支援に加え、北極の国際的枠組みを担当する URA を迎えたことにより、両極の国際活動全体をカバーできるようになった。さらに、南極観測センターで独自に実施していた国際対応活動を担当する教員を迎えたことにより、研究所全体の国際活動を統一的に取り扱う部署として、体制はほぼ完成したものと考えられる。

研究企画関連では、研究力強化の一連の支援活動を戦略的に構成し、研究計画立案から資金獲得、評価獲得までをカバーする施策を固めた。これまで独立して行われてきた支援活動を、研究者に対

して組織的なものとして提示できたことは、大きな一歩であったと考える。外部資金の獲得、受賞においても着実な成果をあげており、十分な評価に値すると考える。

8.8.4. 将来の方向性

国際関連では、研究所全体の国際活動を統一的に取り扱う部署として、体制はほぼ完成したものと考えられる。これまで、極地研による国際的な協定締結には、研究者からのボトムアップ的な国際共同研究ベースの要請と、所の運営上のトップダウンの意向があり、国際・研究戦略室はあくまでも支援・調整組織でしかなかった。今後は、研究者のニーズと所の方向性を検討した上で、積極的・戦略的な国際共同体制を提案してゆく機能についても検討してゆきたい。

研究企画関連についても、実施すべき施策項目についてはほぼ達成できたと考えられる。これまでに実施できていない課題として、新規採用者等に対する研究活動開始へのサポートがあるが、これについても準備は進んでおり、2020年度から実施予定である。今後はそれぞれの活動の内容の充実により、高い成果を達成できるよう努力してゆきたい。

8. 9. 知的財産室

8.9.1. 設置の理念

知的財産室では、知的財産戦略策定、知的財産の管理・運用及び知的財産に係る係争への対応に関することを扱い、知的財産の創造、保護および活用促進を図ることを理念としている。

8.9.2. 活動概要

知的財産室は研究所内で生じた発明、考案、意匠の帰属判断、機構としての特許権、実用新案権出願の可否判断、研究所内で創作された著作物、有体物を外部で利用する場合の権利の帰属判断及び研究所内における商標についての出願の判断に関する事柄を扱っており、具体的には、極地観測・共同研究・所内プロジェクト研究などで得られた知的財産について、権利化のための諸手続きなどの管理運用を行っている。

8.9.3. 現状の評価

知的財産室では、極地観測の手法として開発した観測装置や極地観測で発見した微生物による新素材、共同研究で開発した南極観測隊用の高機能な衣服などの研究成果の権利化の手続きや管理をしている。実績として2016年と2017年に1件ずつ特許が認定され、うち1件は民間企業と実施許諾契約を締結し、毎年実施料収入を得ている。2019年も1件の特許申請を行った。国際地質科学連合へ国際標準地に申請中であった「チバニアン」という名称への商標登録申請制限への対応を行った。他にも、アーカイブ室が作成した「デジタルアーカイブ」の一般公開に際し、過去の映像等の肖像権や著作権上の問題の整理をする等少ない人員ながら着実な実績をあげている。

8.9.4. 将来の方向性

南極・北極研究の中核機関としての知見・知名度を活用し、登録商標である極地研究所ロゴマークの使用許諾によるインセンティブ収入等、民間企業との連携事業で知的財産の新たな活用方法を積極的に探っていく。

8. 10. アーカイブ室

8.10.1. 設置の理念

アーカイブズとは組織体ならびに個人の活動で生み出した記録のうち、その組織体や個人、ならびに社会にとっての価値ある情報・証拠として、永続的に保存・活用される記録物をいう。国立極地研究所（以下、極地研）のアーカイブ室は極地研及び他機関の南極観測事業、その他極域研究に関わる歴史的記録をとどめている非現用文書、写真、図版、図面、音声、映像、電子記録、観測機材、設営機材、装備、衣類、及び個人資料を、一定のルールに基づき収集、整理、保管し、共同利用に供することを目的として設置された。これにより重要なアーカイブズの散逸を防ぎ、研究成果の発信を実現しつつ、社会に対する説明責任の役割の一端を担うものである。

[背景と経緯]

極地研所蔵の一般資料の継続管理に加えて、極地研の板橋から立川への移転に際し、研究所・極地観測活動に関する価値ある史料や物品の散逸を防ぐため、所長室会議は、2008年11月、同会議のワーキンググループとして、「移転に伴う文書、物品のアーカイブ取り扱いの検討グループ」（座長：神田啓史教授）を設置した。同ワーキンググループは、教職員へのアーカイブズの意義の説明、具体的な資料の収集と保管を担った。

2009年5月に移転し、それまでに集積し保管・管理した資料の取り扱いと保存について見直しを行うこととなった。2010年4月より3年間、所長裁定のアーカイブ室が設置され、アーカイブズの対象として研究所、南極地域観測事業、その他極域に関わる歴史的な文書や物品等を収集、整理、保管及び利用に供するための検討を行った。2010年度には2名の非常勤職員が配置され、研究所の板橋時代から管理してきた文書類、観測、設営機材等の「一般資料」の他、入間倉庫に保管していた資料、立川移転時に収集した資料の整理、記録、保存作業を実施した。

その後、必要な制度等が整って、2013年度より情報・システム研究機構の組織として正式にアーカイブ室が設置された。

極地研アーカイブ室設置要項（2012年2月2日改正）の中に、「アーカイブ室の運営について審議するためのアーカイブ委員会」が明記されており、2012年4月に第一回のアーカイブ委員会を開催した。以上の背景と経緯のもとで、2013年4月1日、アーカイブ室は国立極地研究所の内部組織として、正式に位置づけられた。

8.10.2. 活動概要

2014年に主としてフィルム写真をデジタル化して保管・整理した「画像データベース」を所内限定で公開し運用を開始した。2017年にはアーカイブ室のWebサイトを公開し、アーカイブ室が所蔵する資料の概要を紹介している。

2019年8月に画像データベース上に登録されていたもののうち、一般へ公開可能な約14,000枚の画像を「極地研デジタルアーカイブ」としてインターネット上で公開を開始した。「極地研デジタルアーカイブ」の運用システムは、データサイエンス共同利用基盤施設 極域環境データサイエンスセンター（PEDSC）により開発されたものである。これにより、インターネット上から第1次隊以降継続されている日本南極地域観測隊の記録写真（行動の記録画像、南極の地形画像等）のほか、北極の動植物や極地で実施された研究プロジェクトに関する記録画像・映像を高画質で閲覧で

きるようになった。この公開に伴って、写真の利用と貸出依頼の利便性も向上し、また、画像の登録・公開を見据えた写真資料の提供・寄贈も増加してきた。今後はメタデータを充実させ検索をより容易なものとしつつ、公開コンテンツを増やす努力を続ける。

文書類の整理を進め、その保管数は2019年度末現在、リスト上で5,000件を超えた。長期保存に適した箱への移し替えや傷んでいる資料の補修などを随時行っている。

公式映画や南極観測隊員および極地研究関係者が撮影し寄贈された8mmなどの映画フィルムを整理し、整理を終えたオリジナルフィルムに関し、2020年3月までに国立映画アーカイブへおよそ400本を寄贈した。研究所の現在の地下資料庫環境ではフィルムの劣化により発生した酢酸が原因と思われる空調機故障(2018年度)が生じるなど、長期保管が難しくなった。より良い保存環境に移す必要性が高まり、また、映像資料の活用を期待して寄贈することとしたものである。

写真のフィルム(ネガ・ポジ)も数多く寄贈され所蔵し整理を行っている。村山雅美資料の9,500枚にもわたるフィルムを始めとし、南極観測隊員個人が撮影しこれまでに寄贈された写真フィルムのひとつをデジタル化した。この他、南極観測第1次隊からのアルバムなど、順次デジタル化作業を行っている。また、南極観測に係わるアーカイブズの寄贈を随時受け入れ、2015年には第1次・3次越冬隊員であった北村泰一氏から100点にわたる資料、特に3,000枚にわたるネガが収納されたアルバムを受け入れ、整理にあたった。これらにより、初期観測隊の資料がさらに充実した。

南極・北極科学館との連携を強め、企画展などにおいて積極的にアーカイブズを貸し出している。アーカイブ室の認知度も高まり、資料を活用したいという問い合わせも増え、これらに対応した。2018年にはこの需要の高まりから、アーカイブ室利用規則を制定した。

・2016-2019年度アーカイブ委員会開催記録

2016年 7月8日 2016年度第1回アーカイブ委員会

2016年11月17日 2016年度第2回アーカイブ委員会

画像データベースの移行に向けた検討を開始

2017年 3月14日 2016年度第3回アーカイブ委員会

2017年 7月12日 2017年度第1回アーカイブ委員会

アーカイブ室Webサイトの公開開始を決定

2017年11月8日 2017年度第2回アーカイブ委員会

2018年3月14日 2017年度第3回アーカイブ委員会

アーカイブ室利用規則の最終確認

2018年 7月11日 2018年度第1回アーカイブ委員会

2018年11月7日 2018年度第2回アーカイブ委員会

2019年 3月16日 2018年度第3回アーカイブ委員会

資料寄附の受け入れに関する申し合わせについて確認。国立映画アーカイブへのフィルム寄贈を決定

2019年 8月22日 2019年度第1回アーカイブ委員会

画像データベースを「極地研デジタルアーカイブ」へ移行し公開について確認

2019年11月27日 2019年度第2回アーカイブ委員会
2020年 3月11日 2019年度第3回アーカイブ委員会
自然科学系アーカイブズ研究会の極地研開催を決定

・2016-2019年度各種委員会、研修等の参加状況

- a) 自然科学系アーカイブズ研究会
1. 2016年8月2・3日 (高エネルギー加速器研究機構)
「極地研のアーカイブズ利用と活用」神田啓史
 2. 2016年12月7・8日 (核融合科学研究所・生理学研究所)
 3. 2017年8月8・9日 (国立科学博物館、高エネルギー加速器研究機構)
「極地研が関わった展示活動の歴史」神田啓史・南山泰之
 4. 2017年12月14・15日 (核融合科学研究所)
 5. 2018年8月22日 (国立科学博物館、高エネルギー加速器研究機構)
「国立極地研究所における史資料在庫管理データベース構築」南山泰之
 6. 2019年1月22・23日 (核融合科学研究所)
「白瀬轟の晩年と南極観測隊とのつながり」神田啓史
 7. 2019年8月7・8日 (高エネルギー加速器研究機構・国立科学博物館)
 8. 2019年12月18・19日 (核融合科学研究所)
「国立極地研究所50年の歩み-序章」山内恭
- b) 資料保存シンポジウム (一橋講堂)
1. 2016年10月3日
 2. 2017年10月10日
 3. 2018年10月9日
 3. デジタルアーカイブ学会第3回研究大会 2019年3月15・16日 (京都大学)
 4. アーカイブ保存修復研修(基礎コース・実技コース)
2016年11月30日・12月2日 (国立女性教育会館)

8.10.3. 現状の評価

アーカイブ室は2013年度より正式に極地研の組織として位置づけられ活動を開始した。現在、室長ほか2名の短時間雇用職員がアーカイブ室付き勤務者であり、これに加え、謝金で雇用している研究所OBと特別研究員によってアーカイブズの保管・整理(登録)・管理・公開と新たに寄贈のあったアーカイブズの価値の評価や登録審査を進めている。寄贈されるアーカイブズの受け入れには、極地観測や研究所の歴史を正確に記録にとどめるという性格上、複数の人材による判断が必要であり、また、アーカイブズの増加に伴い、整理や補修・保管に関する実作業も年々増加してきた。一方で、極めて限定的な予算内で工夫を強いられるという現状の中で、貴重な史資料を失うことなく維持管理し、共同利用にも供する努力を重ねている。

こうした中で写真フィルムのデジタル化を終えたもの一部を「極地研デジタルアーカイブ」としてインターネット上に公開できた。これにより、保管している画像利用の利便性を高めることが

できた。Web サイトでの公開が契機となって、極地研究史の研究者などから保有しているアーカイブズに関する問い合わせ、博物館等の企画展示への貸出協力の依頼も増加した。また、南極観測隊 OB からの資料の寄贈申し込みも増加した。今後も「極地研デジタルアーカイブ」への登録コンテンツを増やし充実させることを目指しているが、画像・映像資料に関しては撮影・記録時情報をできる限り正確に記録登録して資料活用ができるように保管管理することが重要である。このためには当時活躍した観測隊 OB の力を借りるなどして整理を進める必要がある。

写真などのアーカイブズの公開に引き続き、次の段階として、現在整理を進めている文書類や設営機材、観測機材等の資料を利用するための閲覧・検索システムを作成し、利用に供せられる事を目指す。

8.10.4. 将来の方向性

ここまで、日本南極地域観測隊に係わるアーカイブズを主体に、保管・寄贈された史資料の整理を進めてきたが、この作業に従事することのできる人員や保管収納と保存に投じることのできる予算が不足していることもあり、未整理のまま一時保管されているだけになっているものが多数残されている。これらの整理を進めていきつつ、映画フィルムなど長期保管管理が現状の研究所倉庫内では困難なアーカイブズに関しては、2019 年から進めてきたように他のアーカイブ機関への移管などをすすめ、貴重な史資料の損傷や亡失を極力減じる措置を講じていく。

研究所にアーカイブ室が設置される以前に情報図書室で保管管理されていた南極観測に関する蔵書以外のアーカイブズに関しても、移管の容易なものからアーカイブ室への受け入れを検討し、情報公開を通じ、利用者へ提供できるよう進めたい。今後も情報図書室、広報室、知的財産室などと協力しながらアーカイブズの長期的で安定な保管管理と、利用者への情報提供に努めていく。

多くの大学共同利用機関では、15 年ほど前からアーカイブ資料の収集管理の事業が進められてきた。高エネルギー加速器研究機構の史料室、核融合科学研究所の核融合アーカイブ室、国立天文台のアーカイブ室、分子科学研究所の史料編纂室等に見られるように、当該分野や機関に関わる史料編纂を組織として取り組んでいる。国文学研究資料館に代表されるいくつかの機関は、その設置目的自体に史料編纂が位置づけられている。また、総合研究大学院大学では、旧葉山高等研究センターのプロジェクトとして、「大学共同利用機関の歴史とアーカイブズ」（2006 年～2009 年度）を進め、大学共同利用機関の成立に関する歴史資料の収集と我が国における巨大科学の成立史に関する研究を進めた。これら機関との交流会、研究会に積極的に参加しつつ、今後もアーカイブ事業の必要性を訴え、理解を広めることも重要な仕事である。

これまで南極観測主体に集まったアーカイブズの整理と保管管理に注力してきたが、研究所設立 50 周年を迎えることもあり、研究所活動に係わるアーカイブズの整理をこの先数年で進めることを検討している。また、研究所設立後しばらくして活発化してきた北極観測・研究に関するアーカイブを充実させることも重要な課題である。十分な活動には現状に加えたマンパワーの増強が必須である。

8. 1 1. 男女共同参画推進室

8.11.1. 設置の理念

情報・システム研究機構は、2014年度に女性研究者研究活動支援事業（一般型）に採択され、女性研究者のライフイベントや研究力躍進を支援する「ROIS 女性躍進プログラム」を2016年度末まで実施し、極地研においては、2014年12月22日に設置された女性研究者活動支援室（～2015年3月31日）、ついで、2016年4月1日に設置された国立極地研究所女性研究者活動支援室（～2017年3月31日）において女性研究者支援を行った。事業終了後の2017年度からは、機構本部と各研究所が一体となって「男女共同参画推進室」に名称変更し、対象範囲を拡大して活動を進めてきた。

女性研究者が極めて少ないという極域研究特有の問題に対応するために（1）国内の男女共同参画の取り組みの調査や研究所内への啓蒙、極地研独自の支援制度の実施を行うとともに、（2）女性を中心とした研究者の研究力強化、さらには、（3）機構本部が実施する研究支援事業の研究所内での実施に取り組んでいる。

8.11.2. 活動概要

第3期中期目標・中期計画中に改組がなされたが、継続して下記（1）～（3）の業務を推進した。

（1）国内の男女共同参画の取り組みの調査や研究所内への啓蒙、極地研独自の支援制度の実施
国内他機関やコンソーシアム等の男女共同参画や女性研究者の活躍推進、さらにはダイバーシティ等に関連したシンポジウムに積極的に参加し、他機関の実施事例や現在の課題、課題を皆生する上での有効な取り組みなどについて情報収集を行った（計7回以上）。これらの研究所内の情報共有の場として「Web 掲示板」を設置した。また、研究所内の男女共同参画の意識の醸成を図るため、男女共同参画を専門とする研究者を招いてのシンポジウム等を2017年3月、2019年11月（統計数理研究所と共催）と、2回実施した。更に、ライフイベント期の研究者とのディスカッション（2016年5月、2018年7月）を受け、機構本部が実施する研究支援事業の改善や、在宅勤務、保育園設置等の要望を把握し、機構本部の男女共同参画委員会へ適宜フィードバックを行った。また、2019年11月には、機構本部が実施する研究支援員制度ではカバーされない短期のライフイベントに対する支援として、研究支援員制度（短期）を試行的に立ち上げた。

（2）女性を中心とした研究者の研究力強化への取り組み

女性を中心とした研究者の研究力強化として、論文執筆、プレスリリース等のセミナーを計6回開催した（2016年5回、2019年1回）。また、研究者のキャリアアップを対外的に補強する目的で、文部科学大臣表彰若手科学者賞等への女性研究者を中心とした推薦等に積極的に取り組んだ。

（3）機構本部が実施する研究支援事業の研究所内での実施

機構本部が実施する研究支援員制度、ベビーシッター育児支援制度、保育利用料一部補助制度について、研究所内の周知し活用を図るとともに、研究所における実務を担った。

8.11.3. 現状の評価

男女共同参画の意識が高まった結果、極地研の教員公募の際に「能力が同等とみなされた場合には女性を積極的に採用する」旨の記載が2016年度より継続して記載されることとなり、次世代の女性研究者の育成の姿勢を打ち出すことができた。結果として、南極地域観測隊においては、第58

次隊（2016年～2018年）では越冬隊33名中6名が女性となり、女性比率が過去最高の18%以上となった。第60次隊では、南極観測史上初の女性副隊長（兼夏隊長）が誕生し、また観測隊員・同行者100名のうち過去最大の14名の女性が起用される等、極域研究の男女共同参画の推進につながっている。また、2016年度以降において極地研が受賞した文部科学大臣表彰若手科学者賞3名のうち1名が女性となるなど、極地研の研究者の対外的評価の向上に貢献している。

一方、極地研独自の支援制度として2019年度に試行実施した研究支援員制度（短期）は制度利用が行われず、制度の改善が必要である。また、要望の多い在宅勤務や保育園の設置については、他機関や企業等の取り組みや国の制度の調査にとどまっているため、具体的な施策が必要である。

8.11.4. 将来の方向性

2018年度より統数研との共同でのシンポジウム等の実施を開始し、外部機関の参加者も含んだ高い評価につながっている。また、統数研で先行している新規着任者オリエンテーションを参考とし、2020年度から新規着任者へのオリエンテーションの実施を計画中である。このように、専門分野に特化しない部分においては、適宜外部の取り組みを参考に施策を実施、もしくは、他機関との協働実施を目指していきたい。

一方で、極域研究に特有の問題に対する支援については、ライフイベント期の研究者の意見を聴取する機会を増やすことで問題を可視化し、研究支援員制度（短期）の改善等、必要に応じた独自の支援方法を模索していきたい。

9. 国内外の大学・研究機関との連携、国際共同研究の評価

南極域、北極域、南北両極域、その他様々な地域を対象とした学術交流、共同研究、アウトリーチ活動などを遂行すべく、国内外の多くの大学、研究機関等と共同研究契約書、覚書等を取り交わしている。

国内の大学・研究機関との契約・覚書は、2019年度末時点での締結数は27件であった。このうち2019年度中に10件が締結されており、近年の件数増加が顕著である。このうち企業との覚書が2017年度に1件、2018年度に1件、2019年度には4件含まれており、産学連携の動きが加速していることがうかがえる。

国外との基本合意書(MOU: Memorandum of Understanding)を別添資料の表に示す。2019年度末時点での締結数は40件であった。

南極域、北極域、南北両極域、その他様々な地域を対象とした国際共同研究がおこなわれている。多くは国際連携協定(MOU)を締結して、その枠組みの中で実施されている。国際連携協定によらない共同研究について、以下に記述する。

・キタゾウアザラシの採餌行動に関する研究

[相手国・機関]アメリカ・カリフォルニア大学サンタクルーズ校

[研究者氏名・所属・職] (○は、極地研及び相手国側の代表者)

○高橋晃周・国立極地研究所・准教授、渡辺佑基・国立極地研究所・准教授

○Daniel Costa・カリフォルニア大学サンタクルーズ校・教授

Patrick Robinson・カリフォルニア大学サンタクルーズ校・講師

[研究期間]2010年～継続中

[研究目的]

南極域の大型動物研究で培ったバイオリギング手法を用い、カリフォルニア・アニョニョエボ州立公園で繁殖するキタゾウアザラシの回遊中の採餌行動や海洋環境利用、また海洋表層の環境変動への行動的応答を明らかにする。また同時に、より詳細な採餌行動および採餌環境の情報を得るため、手法の開発改良を進めることを目的とする。

[研究経過と実績]

2010年よりキタゾウアザラシの繁殖期である2月、換毛期である6月を中心に、カリフォルニア・アニョニョエボ州立公園で野外調査を行い、回遊中のアザラシの移動経路、潜水深度、捕食行動などに関するデータを取得している。これらのデータについてとりまとめた論文を、2016年以降4編発表している。

[学会誌・著書等への研究発表]

1. Naito Y, Costa DP, Adachi T, Robinson PW, Peterson SH, Mitani Y, Takahashi A, Oxygen minimum zone: an important oceanographic habitat for deep-diving northern elephant seals, *Mirounga angustirostris*, *Ecology and Evolution*, 7, 6259-6270, 2017.
2. Adachi T, Costa D, Robinson P, Peterson S, Yamamichi M, Naito Y, Takahashi A, Searching for prey in a three-dimensional environment: hierarchical movements enhance foraging success in northern elephant

seals, *Functional Ecology*, 31, 361-369, 2017.

3. Adachi T, Huckstadt LA, Tift MS, Costa DP, Naito Y, Takahashi A, Inferring prey size variation from mandible acceleration in northern elephant seals. *Marine Mammal Science*, 35, 893-908, 2019.
4. Yoshino K, Takahashi A, Adachi T, Costa DP, Robinson PW, Peterson SH, Hückstädt LA, Holser RR, Naito Y. Acceleration-triggered animal-borne videos show a dominance of fish in the diet of female northern elephant seals. *Journal of Experimental Biology*, 233, jeb212936, 2020.

[自己評価とその理由]

最大で 2000m 近い深度まで潜水するゾウアザラシに装着可能な十分な耐圧を持つ赤外光ビデオカメラの開発を行って、世界で初めてゾウアザラシの深海での捕食行動を記録することができた。また顎に装着した加速度記録計から得られた捕食行動のデータが蓄積されてきており、今後、成果について着実にとりまとめ、発表していきたい。

・南極大陸と南アフリカ・インド・スリランカとの地質対比に関する研究

[相手国・機関] 南アフリカ・地質調査所／ヨハネスブルク大学、スリランカ・地質調査所、インド・科学研究所／バナラスヒンドゥ大学

[研究者氏名・所属・職] (○は、極地研及び相手国側の代表者)

○外田智千・国立極地研究所・教授、堀江憲路・助教、本吉洋一・特任教授

M. Satish-Kumar・新潟大学・教授、廣井美邦・千葉大学・名誉教授

○Geoffrey Grantham・南アフリカ地質調査所／ヨハネスブルグ大学・客員教授

Bernard Prame・スリランカ地質調査所・元所長

Sajeev Krishnan・インド科学研究所・准教授

Divya Prakash・バナラスヒンドゥ大学・准教授

[研究期間] 1990年代～継続中

[研究目的]

約5億年前のゴンドワナ超大陸において南極大陸と隣接していた南アフリカ、インド、スリランカにおける国際共同研究によって、それぞれの大陸の地殻進化の共同研究をおこなうとともに、大陸間の地質対比研究をおこない、地球史における大陸地殻の進化や超大陸形成メカニズムの解明に向けた研究を推進することを目的とする。

[研究経過と実績]

1990年代より海外学術調査、二国間共同研究、外国人研究員招へい、客員研究員、南極観測事業における交換科学者等の国際共同研究を通して、南極大陸、南アフリカ、インド、スリランカにおける国際学術調査や試料分析の共同研究を実施してきた。最近では、2018年9月にスリランカでの地質調査を実施している。これらの共同研究で得られたデータについてとりまとめた論文を、2015年以降4編発表している。また、JpGUにおいて毎年、上記のメンバーで国際セッション「Supercontinents and crustal evolution」を運営している。

[学会誌・著書等への研究発表]

1. Hokada, T., Grantham, G.H., Arima, M., Saito, S., Shiraiishi, K., Armstrong, R.A., Eglinton, B., Misawa,

- K., Kaiden, H., 2019. Stenian A-type granitoids in the Namaqua-Natal Belt, southern Africa, Maud Belt, Antarctica and Nampula Terrane, Mozambique: Rodinia and Gondwana amalgamation implications. *Geoscience Frontiers*, 10, 2265-2280.
2. Prakash, D., Chandra Singh, P., Tewari, S., Joshi, M., Frimmel, H.E., Hokada, T., Rakotonandrasana, T., 2017. Petrology, pseudosection modelling and U-Pb geochronology of silica-deficient Mg-Al granulites from the Jagtiyal section of Karimnagar granulite terrane, northeastern Dharwar Craton, India. *Precambrian Research*, 299, 177-194.
 3. Nasheeth, A., Okudaira, T., Horie, K., Hokada, T., Satish-Kumar, M., 2016. U-Pb SHRIMP Ages of Detrital Zircons from Hiriyur Formation in Chitradurga Greenstone Belt and its Implication to the Neoproterozoic Evolution of Dharwar Craton, South India. *Journal of Geological Society of India*, 87, 43-54.
 4. Samuel, V.O., Sajeev K., Hokada T., Horie K. and Itaya T., 2015. Neoproterozoic arc magmatism followed by high-temperature, high-pressure metamorphism in the Nilgiri Block, southern India. *Tectonophysics*, 662, 109-124.

[自己評価とその理由]

1990年代から継続している国際共同研究で、極地研究所を中核として、表記の機関やメンバー意外に多くの機関や研究者が参画し共同研究が展開してきた。また、最近では南極大陸とスリランカにおいて、ナノ花崗岩・フェルサイト包有物と呼ばれる高温のメルトの痕跡の発見によって、地殻深部での部分熔融や地殻の進化過程に新たな展開が見いだされつつある。また、JpGUにおいて毎年国際セッションを主催している。以上のように、極地研究所のもつ共同研究ネットワークを生かした国際共同研究の展開として地球科学に貢献している。

10. 大学院教育

10. 1. 総合研究大学院大学

総合研究大学院大学は、我が国初の博士後期課程だけの大学院大学として1988年10月に設置された国立大学（2004年度より国立大学法人）であり、現在では5年間の一貫した博士教育と後期3年の博士教育を併設した博士教育制度を導入している。全国の大学研究者の共同研究推進について中心的役割を果たしている大学共同利用機関等19機関を基盤として、文化科学研究科（国立民族学博物館、国際日本文化研究センター、国立歴史民俗博物館、国文学研究資料館）、物理科学研究科（分子科学研究所、国立天文台、核融合科学研究所、宇宙科学研究所）、高エネルギー加速器科学研究科（加速器研究施設・共通基盤研究施設、物質構造科学研究所、素粒子原子核研究所）、複合科学研究科（統計数理研究所、国立極地研究所、国立情報学研究所）、生命科学研究所（国立遺伝学研究所、基礎生物学研究所、生理学研究所）、先導科学研究科（総研大葉山キャンパス）の6研究科で構成されている。基盤機関等との密接な連携・協力の下に、それらの優れた人材と研究環境を基盤として博士課程の教育研究を行うことを特色としている。

国立極地研究所は、1993年度から総合研究大学院大学に参画し、その基盤機関として同大学数物科学研究科（2004年度より複合科学研究科）に設置された極域科学専攻の教育研究指導を行うこととしている。2016年度から2019年度の在学者数、学位取得者数は下記のとおりである。

在学者数(4月)

年度	人数
2016	20
2017	20
2018	17
2019	18

学位取得者数

年度	博士	修士
2016	3	0
2017	2	0
2018	3	2
2019	0	0

10. 2. 連携大学院

国立極地研究所と九州大学大学院比較社会文化学府とは、2011年3月に「九州大学大学院比較社会文化学府と情報・システム研究機構国立極地研究所との教育研究に関する連携・協力に関する協定書」を締結し、極域地圏環境学分野において連携して大学院教育を実施している。その後九州大学の改組に伴い、協定を九州大学大学院地球社会統合科学府と締結しなおし、現在まで続いている。

本協定は、極域地圏環境学分野において、九州大学大学院が国立極地研究所の研究者等に非常勤講師を委嘱し、大学院生に対する研究指導や講義等を通じて、お互いの教育研究活動の一層の充実を目指すものである。

10. 3. 特別共同利用研究員・共同研究育成研究員

全国の国公私立大学の大学院学生を対象に、当該大学院学生の所属する大学院研究科長からの推薦を受けて、本研究所が研究員として受入れ、併せて、一定期間、特定の研究課題に関して研究指導を行うものである。

これに基づき、国立極地研究所では、1981年度から極域科学及びこれに関連する分野の大学院学生を特別共同利用研究員として毎年受け入れている。また、一般共同研究の課題に関わる大学院学生を別途、共同研究育成研究員として毎年受け入れている。2016年度から2019年度までの受入れ人数は以下のとおりである。

表 特別共同利用研究員受入れ人数

年度	大学	修士	博士	計
2016	国公立	11	1	12
	私立	0	0	0
	計	11	1	12
2017	国公立	8	1	9
	私立	1	0	1
	計	9	1	10
2018	国公立	7	2	9
	私立	1	0	1
	計	8	2	10
2019	国公立	3	1	4
	私立	2	0	2
	計	5	1	6

表 共同研究育成研究員受入れ人数

年度	大学	修士	博士	計
2016	国公立	12	8	20
	私立	1	0	1
	計	13	8	21
2017	国公立	12	13	25
	私立	1	0	1
	計	12	14	26
2018	国公立	5	12	17
	私立	1	0	1
	計	6	12	18
2019	国公立	6	6	12
	私立	0	1	1
	計	6	7	13

1.1. 情報・システム研究機構データサイエンス共同利用基盤施設に関わる研究活動

1.1. 1. 極域環境データサイエンスセンターの活動

設立経緯と目的：

極域環境データサイエンスセンター（PEDSC）は、情報・システム研究機構（ROIS）の中のデータサイエンス共同利用基盤施設（DS施設）に所属するセンターとして、2017年度（2017年度）に新たに発足した。DS施設は、2016年度にROIS内に新たに設置された組織で、オープンサイエンスやデータ中心科学などの時代の要請に応えつつ、大学等の外部コミュニティに対して、データ共有支援、データ解析支援、データサイエンスに関わる人材育成支援を行うことを目的としている。

PEDSCは、DS施設内で、特に極域科学データを基にした支援を行うために設置されたセンターで、2015年度から設置に向けた検討が始まり、2016年度には、国立極地研究所（極地研）内に「準備室」が設置され、年次計画や実施体制などについての具体的な検討が行われた後に、2017年度に正式に発足した。極地研を中心とする極域科学研究コミュニティと連携しながら、極域科学データの公開と共同利用を、より幅広い範囲を対象に、より一層強化・促進することを目的としており、センター発足にあたり以下の7項目のデータ活動を進めることを計画した：

- ① 極域科学分野全体を横断的に俯瞰出来るような総合的な仕組み（統合データベース）の構築
- ② 現在あるデータベースシステム（学術データベース、ADS(Arctic Data archive System)、IUGONET(Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETwork) など)の充実化と相互運用化の促進
- ③ 各分野の時系列データのデータベース化、公開の促進
- ④ 各分野の試料系データのデータベース化、公開の促進
- ⑤ データジャーナル（Polar Data Journal）を通じた、データ出版の積極的な促進
- ⑥ 国内外のデータ活動コミュニティとの積極的な連携
- ⑦ 大学等外部諸機関との間でのデータサイエンス、共同研究の推進

これまでの活動概要：

PEDSCの体制は、教授1名（センター長）、准教授1名、特任准教授3名に、2017年度は事務補佐員2名、2018年度は事務補佐員1名、学術支援技術補佐員1名、2019年度は事務補佐員2名、学術支援技術補佐員1名で、全員がそれまで極地研所属であった。2019年度からは極地研の6名の教員が兼務教員として加わった。

① 統合データベースシステムの構築：

2017年度より仕様の検討を進め、2017年度には、そのシステムの導入ページとなるPEDSCのWEBページの作成を行った。2018年度にはそのWEBページを公開するとともに、データベース中心部分の仕様を確定し、外部業者に発注し納品された。2019年度には、超高層大気、隕石、生物標本、地震、インフラサウンド、などのメタデータを登録し、データ提供者に対して内部公開を開始した。

② 既存のデータベースシステム（学術データベース、ADS、IUGONETなど）の充実化と相互運用化の促進：

2017年度には、学術データベースについては、IUGONETやADSとのメタデータ共有の検討を、ADSについては、AADS（Antarctic & Arctic Data archive System）への発展に向けたシステム検討を、IUGONETについては、Quick Look機能の強化、Web上でのインタラクティブなプロット機能付加などを進めた。2018年度には、学術データベースに登録されているデータへのDOI付与申請受付を開始した。ADSについては、AADSへの発展に向けたシステム整備と南極域のデータ処理を進めた。また、極地研の南極観測センターと連携して、「南極地域観測事業により得られた調査観測データ・サンプルの取扱要項」を定めた。IUGONETについては、ユーザー所有の独自ファイルをシステムで扱えるように変換し登録する機能の開発を行った。2019年度には、ADSについては、「取扱要項」に従って南極観測隊が持ち帰ったデータのメタデータ収集と登録作業を進めた。その他年度を通じて、それぞれのシステムへのデータ登録と公開を進めた。

③ 各分野の時系列データのデータベース化、公開の促進：

2017年度には、昭和基地衛星モニタリングデータ処理計画の検討及び公開プラットフォームの構築や南極リアルタイム映像データ公開サイトの構築を、2018年度には、それらの公開を行った。その他年度を通して、PANSYデータ、地震データ、オーロラデータ、EISCATデータ、SuperDARNデータのデータ処理、アーカイブ、公開を継続的に進めた。

④ 各分野の試料系データのデータベース化、公開の促進：

2017年度には、岩石試料データベースの構築作業を開始し概念設計を行い、2018年度には、その構築を完了し公開した。またアイスコアデータのADSへの登録（14件）、極域関係歴史的画像資料のデジタルアーカイブ構築支援などを行った。2019年度には、極地研アーカイブ室との共同研究として「極地研デジタルアーカイブ」システムを開発し公開した。また隕石や生物標本のメタデータを統合データベースに登録した。

⑤ データジャーナル（Polar Data Journal）を通じた、データ出版の積極的な促進：

Polar Data Journal（PDJ）は2017年1月19日に創刊された極地研発行の英文データジャーナルで、従来のJARE Data ReportsやArctic Data Reportsの役割（南極域、北極域で取得されたデータについての報告）を引き継ぎ発展させることを目指したフリーアクセスのオンラインジャーナルで、国立情報学研究所（情報研）のリポジトリシステム（JAIR Cloud）と連携した共同研究事業として進められている。PEDSCは、その編集作業への支援やADSによる関連実データの登録とDOI付与など、PDJの編集・出版・公開の様々な面についての支援をタスクとしている。これまでの論文出版数は、2017年度が1件、2018年度が5件、2019年度が5件、の合計11件で、査読中なども含めて合計15件の論文が投稿された。

⑥ 国内外のデータ活動コミュニティとの積極的な連携：

PEDSCは、SCAR/SCADM（南極データ管理委員会）、NASA/GCMD（汎地球変動データベース）、WDS（世界データシステム）、CODATA（国際科学技術データ委員会）、DIAS、IASC、GEO、SPEDASなど、国際的なデータ活動コミュニティと連携した活動を行っている。2017年度には、国際集会への参加が3件、開催が1件、国内集会への参加が2件、開催が1件、2018年度には、国際集会への参加が1

件、開催が1件、国内集会への参加が1件、開催が2件、2019年度には、国際集会への参加が2件、国内集会の開催が3件、それぞれあった。また、IUGONETの講習会やブース展示などのアウトリーチ活動を、2017度には5件、2018年度には6件、2019年度には2件、それぞれ実施した。

⑦ 大学等外部諸機関との間でのデータサイエンス、共同研究の推進：

2017年度から開始されたDS施設の公募型共同研究を中心に、国内の大学等外部諸機関との間の共同研究を進めた。PEDSC関連では、2017年度に3件（共同研究3件）、2018年度に8件（共同研究7件、研究集会1件）、2019年度に9件（共同研究8件、研究集会1件）の応募があり、それぞれに対応し、各種データベースの構築・公開支援を行った。

以上の報告内容の詳細については、下記のPEDSCのホームページにて報告・紹介している：

<http://pedsc.rois.ac.jp/ja/>

12. 中期計画の進捗状況と今後の見通し

12.1. 進捗状況

国立大学評価委員会により、年度ごとに情報・システム研究機構としての中期計画の進捗状況について年次評価を受けている。2016年度から2018年度について、国立極地研究所では全ての事項について、「年度計画を上回って実施している」又は「年度計画を十分に実施している」との評価を受けている。この年次評価において注目された事項は、以下のとおり。なお、2019年度については、評価はまだ出ていない。

(2016年度)

- ・小中学生向けの広報誌「ぶれ極」を2万部創刊して、極域科学に対する子供の興味・関心を高めている。また、オーロラシアターのリニューアルや、昭和基地開設60周年記念行事等が奏功し、南極・北極科学館への年間来館者数が初めて3万人を超えており、さらに、学術機関による国内初のデータジャーナル「Polar Data Journal」を創刊するなど、学術研究の広報体制の確立にも貢献している。
- ・ニーオルスン基地開設25周年を記念した「スバルバル観測拠点連携推進国際ワークショップ」を現地で開催し、我が国の取組と成果を紹介するとともに今後の国際連携等について議論を行っており、現地ウェブサイトで紹介されるなど、同基地における我が国の活動のプレゼンス向上に大きく貢献している。
- ・南極観測事業として初めて、南極観測未参加国であるモンゴル、インドネシア、タイから各1名の若手研究者を受け入れており、日本人研究者との共同地質調査等を通じ、南極観測を担う中核的人材を育成するとともに、アジア地域での我が国の南極地域観測のプレゼンス向上に大きく貢献している。

(2017年度)

- ・前年度に広く国民からの寄附金を募るために創設した「極域科学振興募金」について、各種イベント開催時にチラシを配布するなどの周知を行った結果、当該募金による本年度の収入は約698万円となり、対前年度比で約610万円増となっている。
- ・国立極地研究所を中心に、国文学研究資料館や京都大学の教員などが連携して、12～18世紀の古典籍に残されたオーロラ記録を抽出し、最新の宇宙空間物理学や古環境学を駆使して解析することで百～千年に一度の頻度の巨大磁気嵐の発生事例を明らかにしている。今後発生すれば大規模停電等の大災害をもたらす可能性のあるイベントの予測につながるもので、地球惑星科学と古典文学研究の双方にブレイクスルーをもたらし、各メディアでも大きく取り上げられ、文理融合研究の成功例となっている。また、一般市民が研究スタッフのサポートの下で古代・中世における古典籍・古記録からオーロラに関する記述の抽出作業を行うワークショップを開催し、情報発信とともに新たな研究資料の発掘と研究の新展開を目指している。
- ・文部科学省の補助事業「北極域研究推進プロジェクト (ArCS)」の代表機関として、北極域の観測研究推進及び情報の発信に尽力し大きな成果を得ている。地球温暖化に関連する科学成果として、

(1) 北極温暖化メカニズムを解明する鍵であるブラックカーボンを定量的に高精度で計測できる「世界の基準測器」となる計測装置の開発、(2) 北極の海氷の減少で波高が増すなど北極航路運航上重要な発見、(3) 北極の温暖化の影響で記録的な寒さを示したこと等の顕著な成果が新聞等のメディアでも多数取り上げられている。さらに、情報発信として、「第5回国際北極科学シンポジウム (ISAR-5)」を開催し、北極科学研究でのプレゼンスを示す絶好の機会となるなど各種のステークホルダーに対し、直接的に情報発信を行っている。

- ・第59次南極地域観測隊では、南極観測を実施する国々で共同運用する南極への航空路を利用して、過去最大の18名が南極観測船「しらせ」到着前に早期に昭和基地周辺に入り、58次越冬隊と緊密に連携し共同で観測を実施する先遣隊の派遣を実現している。これにより内陸調査を含む昭和基地を中心とした夏期の観測期間を約2倍以上に拡大することに成功し、湖沼掘削や春期の大型動物の行動に関するデータ等が得られ、観測に飛躍的な発展をもたらしている。

(2018年度)

- ・これまで南極観測船「しらせ」や昭和基地における女性専用浴室の設置等、観測隊の女性生活環境の充実を図ってきた結果、男女共同参画を積極的に推進することが可能となり、第60次日本南極地域観測隊は100名の観測隊員・同行者のうち過去最大の14名の女性を起用、越冬隊員も31名のうち5名の女性を起用している。また、これまでに推進した積極的な女性隊員起用により、複数回の観測隊参加経験を持つ女性隊長候補が増加し、第60次隊において初めて女性の副隊長兼夏隊長が誕生している。
- ・文部科学大臣表彰を受賞した2代目オーロラシアターを活用した高精細のオーロラプラネタリウムや、同研究所が監修・制作協力を行った南極観測を題材にしたアニメの爆発的人気をフォローアップする取組（パネル展示等）により、南極・北極科学館の来館者数が、ピークを迎える8月に1か月1万名を超え、これまでの記録を大きく塗り替えている。当アニメはNew York Times誌の2018 ベストテレビ番組海外部門に選出され、国際的にも高い評価を受けている。

12.2. 今後の見通し

南極地域観測事業については、引き続き、南極地域観測統合推進本部（本部長：文部科学大臣）が策定する南極地域観測6か年計画に基づき、実施中核機関として南極地域観測事業における研究観測の企画・実施、観測に関わる昭和基地等の設営活動を着実に実施する。

2015年度9月から2019年度3月までの4年半にわたって実施された北極域研究推進プロジェクト (ArCS: Arctic Challenge for Sustainability) 事業では、代表機関としてオールジャパンの北極観測研究体制を引き続き強化してきた。

共同利用については、従来の一般共同研究や南極地域観測の研究観測を着実に進めると共に、大学等の研究機関との連携を更に進める。情報・システム研究機構のデータサイエンス共同利用基盤施設に設置された極域環境データサイエンスセンター等を介し、データの積極的な公開、共同利用とその解析支援を推進する。南極・北極の観測施設の維持・管理を行い、共同研究員の積極的な受け入れを行っていく。

国内外連携のもと、社会的に注目されている地球規模での環境変動の解明など、極域における科学的活動を通じて、国際社会に貢献する。

教育に関しては、総合研究大学院大学との緊密な関係・協力により、極域科学専攻の基盤機関として大学院教育を実施するほか、連携大学院制度を利用した教育も推進する。

また、「中高生南極北極科学コンテスト」等を実施し、次世代を担う青少年の科学への興味・関心の向上に貢献するとともに、社会に対し活動や成果を積極的に情報発信し、国民の理解増進に努める。

13. 国際戦略アドバイザーによる評価の実施

国立極地研究所が関わる研究分野における国際動向や方向性に関する情報提供を受け、学術の国際動向や方向性、国際共同研究、国際ネットワーク形成やその実施体制等に関して助言をいただく事を目的とし、情報・システム研究機構の国際戦略アドバイザー制度を利用して評価を実施した。2018年10月8日から11月7日にかけて、海洋物理学を専門とするケンブリッジ大学教授である Peter Wadhams 博士を招聘した。所内の各センター、室でのインタビューに基づいて提出された報告書は、その後の所の運営等に活用されている。(別添資料：REPORT ON RESEARCH ACTIVITIES)

別添資料：

国際戦略アドバイザーによる評価 REPORT ON RESEARCH ACTIVITIES

別添資料 173～191

14. 結び

国立極地研究所は我が国における極域研究のナショナルセンターとして、極地から地球環境や宇宙の姿を幅広い時空間にわたって研究することを特色としている。しかし、変容する地球環境や社会情勢にあつて、科学研究に対する期待と責任が高まるなか、国立極地研究所のあり方も、時に応じて変革を迫られている。

文科省等は大学共同利用機関法人や総研大の役割の見直しに着手しており、これらがいわゆる「連合体」を設立して連携を深めることにより、異分野融合の推進・新分野創成等による研究力の強化、大学院教育の充実、及び運営の効率化を図ることを構想している。この動きの中では、各機関はその役割を見直し、より一層の強みや特色を打ち出すことが求められる。南極観測事業では、2016年度に開始された南極地域観測第IX期6か年計画は、2019年度に南極地域観測統合推進本部の外部評価委員会による中間評価が実施された。本中間評価では、設営等の計画も含め、概ね順調に進んでおり、計画を上回る研究観測も含み、着実に成果を上げていると評価された。さらに、評価結果を参考に、今後、南極地域観測の魅力を最大限に引き出し、我が国の強みを発揮できる体制を構築し、南極地域観測の更なる発展が望まれている。また、近年地球温暖化の加速と共に注目されている北極観測においては、全国から多くの研究者を結集して2019年度まで実施してきた文部科学省の北極域研究推進プロジェクト（ArCS: Arctic challenge for Sustainability）事業が終了し、成果の取り纏めが進められている。このプロジェクトは、2020年6月よりスタートする北極域研究加速プロジェクト（ArCS II）へと引き継がれ、これまでの成果にたつたうえで、新しい展開が求められている。

こうした現在の状況を踏まえ、大学共同利用機関として、極域研究のナショナルセンターとして、世界最高レベルの成果を創出するためにやらねばならぬ多くのことを、本自己点検評価は示している。今後、第三期中期計画の後半を実施しつつ、第四期中期計画の立案に向けて、これらの課題を解決していきたい。