

北極ニーオルスン基地開設 25 周年と将来展望



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

北極ニーオルスン基地開設 25 周年と将来展望



緒言

北極ニーオルスン基地開設 25 周年と将来展望

情報・システム研究機構国立極地研究所長

白石 和行



ニーオルスン基地（写真：山内）



ニーオルスン基地は、北極圏における日本の初めての恒久的な観測基地として、1991年に設立され、2016年に25周年の節目を迎えた。同基地の開設は、国際北極科学委員会(IASC)の創立の翌年であり、また国立極地研究所が北極圏を対象とした初めての研究組織である「北極圏環境研究センター」を設置した翌年でもあった。以後、ニーオルスン基地は日本の北極研究の拠点として、多くの研究者に利用され、親しまれてきた。この中には多くの大学院生が含まれ、極地のフィールドの現場に触れていることは特筆に値する。

北極域では、近年、地球温暖化の影響を顕著に反映しており、ここで起きている自然現象を的確に把握することは、将来の地球環境の変化を予測するうえで大変重要なカギを握っていることは明らかである。地球温暖化に対する社会的関心が高まる中、わが国が北極圏で長期にわたって観測を続けることの意義は大きい。特に、11カ国が参加する国際観測地域にあるニーオルスン基地では、国際共同による観測も行っており、わが国の研究者、特に若手の研究者の育成にとっても理想的な環境が整っているといえる。

本書は、国立極地研究所の共同利用施設としてのニーオルスン基地を舞台とした25年間の観測や国際共同研究等の活動とその成果の記録である。将来にわたって同基地が有効に利用され、ここを拠点とした研究活動が発展するための基礎資料として役立つことを希望してやまない。文部科学省をはじめ、関係機関、各位にこれまでのご支援を感謝し、今後のご援助をお願いしたい。

なお、ニーオルスン基地の25周年を記念して、2016年9月には、現地で「記念ワークショップ」を開催し、ノルウェー、ドイツをはじめとするニーオルスン国際観測地域の各国基地の代表者、滞在者、同観測施設の経営母体職員等、多数の出席を得て盛大に挙行できたことは誠に喜ばしい。特に、日本から、北極のフロンティアについて考える議員連盟の鈴木俊一会長、上川陽子幹事長、白石和子北極担当大使、文部科学省の白間竜一郎大臣官房審議官、在ノルウェー日本国大使館員等が訪問し、ニーオルスン国際観測地域、またロングイヤービンのスバルバル大学や欧州非干渉散乱レーダーのサイトをつぶさに視察されたことは、わが国の北極への関心を内外に示す良い機会となった。参加していただいた各氏にこの場を借りてお礼申し上げる。

2017年3月

巻頭特別寄稿

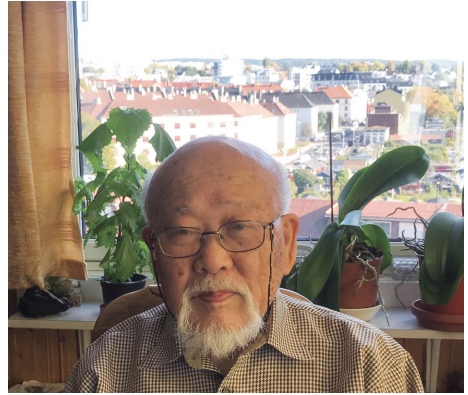
スバルバルで過ごした日々

元ノルウェー極地研究所主席研究員・地質学者

太田昌秀



南の山嶺から望むコングスフィヨルドとニーオルスン（画：太田昌秀）



2016年10月7日オスロのご自宅にて
(写真：塩原)

私は1964年、ノルウェーの奨学金を得てオスロの地質学博物館で長石と花崗岩の研究を始めた。1966年に初めて西スピッツベルゲン島で地質図作成のため岩石学調査をした。これが私と北極との出会いであった。スピッツベルゲンでは毎夏調査を行い、アシスタント2名とテント暮らしが続いた。白熊が出没する地域もあり、ドイツ製の古いモーゼル銃を使う練習をして、危険に備えた。この地域で10年にわたりカレドニア変成岩を調査し、カレドニア帯で初めての青色結晶片岩を見つけた。1972年にノルウェー極地研究所で職を得、家族と共にオスロに住みつくことになったが、当時は、国立極地研究所の皆様にもお世話になった。

ニーオルスンには国によって炭鉱が造られていたがあまり活発ではなかった。ここはナンセンのフラム号がシベリアからの長旅から帰着した所であり、また、スウェーデンの気球探検隊が出発した地点、アムンセンがイタリアの仲間と北極点へ出発した地点でもあった。捕鯨や狩猟が行われた歴史もある。現在では北極研究の中心的存在となったことは喜ばしい。

私が調査していた頃は、アジア系の研究者は来ておらずヨーロッパに遅れをとっていると常々感じていた。帰国するたびに、北極の重要性を何人かの人々に話しをしたりしていた。日本の研究者には、少人数で研究をやる時代はとうの昔に終わっていることに気付いてほしい。ヨーロッパの連中はとにかくよくしゃべり、情報が多い。一人、二人が優秀でもだめで、各国と協力していこうという流れに乗ってほしい。

最近、北極海を囲む地域ではオイル・シェールにかかわる問題が重要になってきた。広大な大陸棚は大量の燃料資源を含んでおり、新しい産業や経済活動を生み、その活動はすでに始まっている。自然科学の研究者も組織作りから運営まで参加すること、経済的な側面も広く勉強し、文科系の視点を持った研究がますます重要になって来ている。ぜひ、そういう仲間に入って行ってほしい。

二度の大戦や冷戦などを経験し、スカンジナビアの小国であるノルウェーは忍耐強く各国と協力しあうことを選んできた。この平和が崩れたら次に何が起こるのか。“Within Eurasia”、ユーラシア全体のけんかになる。北極圏は資源開発で注目されているが、具体的な研究を通してならばつながりあえる。若い人にはそういうやりかたをしてほしい。世界の平和を保つのにどうすればいいか。こういうことも極地研究所の役目の一つと考えてほしい。

私のとても好きな句があるので最後に紹介しておく。

国境を知らぬ草の実 こぼれ合い (作：井上信子)

ニーオルスン基地開設の背景

元国立極地研究所長

渡邊興亞



名古屋大学名誉教授

岩坂泰信



我が国の北極観測の黎明期

第二次大戦前には日本人の北極域での探検、観測活動は千島列島、樺太に限られ、現代の意味での北極域における観測活動は大戦直前の「快鳳丸」の航海(1937～1941年)のみである。

戦後1957年、当時北海道大学教授であった中谷宇吉郎がアメリカのIGY観測のための準備活動に参加し、グリーンランド氷床の雪氷観測、北極海の氷島T-3での観測等を行っている。1960年代に入ると、中谷宇吉郎学派のアラスカ、氷島ARLIS-II観測、グリーンランド氷床観測の継続、および明治大、東北大、名古屋大の学術観測が行われた。また日本大学隊のグリーンランド、スピッツベルゲン島での探検、登山活動が活発に行われたことは特筆すべき事柄であろう。こうした探検、登山活動は1970～80年代の日大隊(日大隊1978年到達、植村直己1978年犬ぞり単独到達)や和泉雅子(1985年途中断念、1989年到達)らの北極点到達の試みへと繋がり、いくつかは北極点到達に成功している。これらの活動は科学的観測とは異なるが、科学者をはじめ我が国の北極域への関心を大いに高めたことは言うまでもない。

1960年代半ばには日本人研究者の国際的評価も高まり、赤祖父俊一(アラスカ大)、太田昌秀(ノルウェー極地研究所：以下NP*)、小島覚(カナダ、ブリティッシュコロンビア大)、庄子仁(ニューヨーク州立大)らは北極域での観測活動を国外研究機関、大学の一員として長期にわたって研究、観測に従事し、その後のわが国の北極観測の本格化に大きな影響を与えている。1970～80年代には北海道大学低温科学研究所の一連の広域(ソ連、アラスカ、カナダ等)北極観測が行われている。

スバルバル諸島、日本基地建設前夜

1957年から始まった日本の南極観測は、探險的観測の「宗谷」(南極観測船)の時代から「ふじ」の時代を経て、1980年代には本格観測「しらせ」の時代へと進展していった。1980年後半には日本の南極観測は昭和基地南方の「みずほ高原」を観測域としての広域雪氷観測、本格的な極域気象観測、ロケットによる超高層観測、衛星観測などが行われ、次第にグローバルサイエンスとしての認識が高まり、それに呼応して「北極域」への関心が高まっていったのは当然の成り行きであろう。

小口高(東京大学名誉教授、名古屋大学名誉教授)らは、1975年頃からブリティッシュコロンビア大学の渡辺富也教授らと続けてきたオーロラ動態観測を発展させ、1985年にはカナダ北部からアラスカ・ノルウェーにかけて観測点を展開し、オスロ大学やNPなどと協力し国際的な観測を本格化させている。また、教育社の援助を受け、スバルバルでの研究調査を目的に研究グループが結成され(代表：立見辰雄/東京大学名誉教授)、1983～88年にかけて超高層物理、生物、地質、氷河などの調査・研究が実施された。超高層物理関係では東京大学理学部の國分征らがニーオルスンに観測点を設け、

1984～85年、1985～68年に上記のオーロラ・地磁気などの観測をオスロ大学との共同研究として、NPの援助のもとに国際キャンペーン観測を行った。超高層分野でアイスランド大学との「共役点観測」（同一地磁気子午線の南北共役関係現象）が1983年に昭和基地—アイスランドで始まったのもその一環であろう。

日本の極地雪氷観測は日本雪氷学会極地雪氷分科会を研究構想発案、計画審議の場としていたが、そこで北極観測の重要性が高まり、極地雪氷分科会が「北極観測計画を国際学術研究」として科学研究費の申請を行うことが発議され、当時国立極地研究所（以下極地研）雪氷部門教授であった渡邊が研究代表者となった。極地研究者からはそれまで、極地研は「極地」を標榜しながら、「南極観測」のみを行うのは片手落ちであるという指摘もあった。その結果始まったのが、1987年のスバルバル、1989年のグリーンランドにおける氷床、氷河掘削計画で、スバルバル諸島ヘーグヘッタ氷河では氷河掘削、グリーンランド中央部の氷床上には Site-J を設け、浅層掘削が行われた。

当時まだ冷戦下にあったスバルバル諸島は「スバルバル条約」の下のノルウェーの行政的管理が厳しく施行されている状況下であり、同諸島での科学観測もノルウェー側に対応機関、研究者がいない場合、同地での観測には一定の制約があり、何かと不便を感じるが多々あったのは事実である。とはいえ、ノルウェーは科学研究に対し、寛容な国柄であり、文部省科学研究費海外学術調査から支援を受けた観測はほぼ計画通り遂行でき、成果をあげることができた。

当時、オスロ空港近くにあった NP には太田昌秀さんが研究員として勤めておられた。太田先生は北海道大学理学部地質学鉱物学学科の出身で、1966年にNPのスバルバル地質調査隊に参加され、その後1972年には同研究所の研究員として招聘され、以後ご家族でオスロに滞在されておられ、日本人のスバルバル観測の全ての面において協力いただいていたのである。

1989年頃、NPのログネ所長から当時NPが中心に始めようとしていたニーオルスン国際共同観測センターへの参加を勧められた。日本の参加はアジア諸国の北極域研究に大きな影響を与えるはずだから、是非日本がその先鞭をつけて欲しいと言われた。こうした働き掛けの背後には日本の研究者はもっと国際的な場で活躍すべしという太田先生の強い意志があったことは間違いあるまい。当時、NPの食堂などでニーオルスン国際共同観測センターの責任者（太田先生がニーオルスン村の「村長」と呼んでいた。戦時中は対ナチスドイツのレジスタンの隊長だった方で、当時は温厚そうなお年寄りであった）を紹介してもらったりしていたので、太田先生の意志を感じていたのである。

ニーオルスン基地開設交渉

当時の記録（渡邊作成）によると、開設までの道筋は次のとおりである。

- (1)1989年10月、NP所長のログネさんからニーオルスン国際共同観測センターに日本の観測基地を設けることを勧められ、太田先生からも同様の勧めがあった。
- (2) 帰国後、渡邊は極地研の星合孝男所長、平澤威男研究主幹と相談し、検討を始める了承を得た。渡邊が開設計画案を作成し、教官会議に諮り、ほぼ了解が得られた。
- (3) この開設計画に対し、名古屋大学空電研究所^{*2}の小口高所長からこれまで行ってきたニーオルスンにおける超高層分野、特にグローバルオーロラ国際動態観測を通して得られた種々の資産や成果を充分に取り込むよう助言を受け、急遽、小口、岩坂泰信名古屋大学教授、平澤、渡邊で協議することとなった。協議会場には平澤研究主幹が欠席したため、三人の協議となり、以後は渡邊と岩坂が諸課題を調整することとなった。当時、スバル諸島に関しては超高層研究分野、気象学分野、雪氷学分野が積極的な関心を持っており、当面の基地運営はこの三分野が中心になって進めることになったのである。生物学分野も関心が深いと考えられたが、当時の星合所長（生物学分野）が当面の作業の前面に出ることを遠慮されたのかもしれない。
- (4) 翌1990年3月、渡邊と岩坂がニーオルスンに向かい、ニーオルスン国際共同観測センターのスネルベイト氏と協議を開始した。ニーオルスンの国際観測基地はノルウェー工業省管轄下のキングスベイ石炭公社（以下KBKC）^{*3}の管理下にあり、NPを含め建物を借用するという形になっていた。
- (5) ニーオルスンには数多くの建物（個人住宅も含め）、港湾設備等があり、KBKC、NP等が使用し、一部は英国、スウェーデンがすでに借用、あるいは交渉中であったが、空き家も相当あり、改築中のものもあった。
- (6) 彼らに勧められた建物の一つは飛行場の近くにあり、最近までノルウェーの衛星観測機関が使っていた建物で、側にパラボラアンテナを納めた大きなレドームが立っていた。建物は観測所向きのシンプルな作りで、広さも十分であるが、町の中心からかなり離れている（約1km）のがやや難点である。冬季には白熊が徘徊するので町の中心へは車で行かざるを得ない。現地視察の判断で、この建物を借りることに決め、当地の地名から「ラベン観測所」と名付けた。
- (7) 以上の交渉結果に基づいて、同年6月にKBKCとの間で基本合意書を作成した。合意書の原型は極地研—アイスランド大学間の協定書である。

基本合意書に基づいた日本の実施提案に対し、太田先生を通じて、NP側からいくつかの疑問点、要望が示された。その主なものは、

- ① 本来の建物所有者であるKBKCとなぜ直接契約を結べないのか。
- ② 観測計画の重複を避けるために、観測経過の具体化に関してはNPと協議して欲しい。

というものであった。



ラベン観測所（レドームに挟まれた建物）と滑走路（写真：渡邊）

①については、観測基地に関わる日本側の経費は国際協同事業経費であり、家賃借料等は研究機関である NP である必要がある。②に関しては国際共同観測センター発足の歴史的背景から理解できると了承した。

その後、何回かのやり取りがあり、ノルウェーと日本の会計制度の違いもあり、難しいケースもあったが、1991年1月に最終案の合意に達し、星合所長とログネ NP 所長はニーオルスンにおける北極観測に関する協力についての合意書に署名した。

ニーオルスン国際共同観測センター構想

第一次世界大戦後の1920年、わが国を含む9カ国によるスバルバル条約が結ばれ、ノルウェーに統治権が認められたとともに、加盟各国が資源開発や社会的活動、科学的調査のために自由に立ち入ることの出来る場所となった。ニーオルスンでは、1917年より KBKC による大規模な石炭採掘が始まり、1929年まで続けられた。その間、北極探検の出発基地ともなり、アムンセンの飛行船による北極点探検に使われた係留塔は今も残っている。ニーオルスンはその後、漁業基地として利用され、第二次大戦後、再び石炭採掘が再開され、爆発事故が起こった1962年まで続けられた。事故後、会社は国有化され、ノルウェー工業省管轄下の石炭公社がニーオルスンの土地と建物等地上設備を所有している。

ニーオルスンにおける科学観測は1965年にヨーロッパ宇宙研究機関 (ESRO) による人工衛星テレメトリー基地開設を嚆矢とし、その後1968年、NP が観測所を開設し、観測基地の機能が本格化した。1977年にはノルウェー大気研究所 (NILU) の観測所も開設された。

1980年代に入ると、NP はニーオルスンを国際的共同観測センターとすることを提唱、1990年から国際的な働きかけを始め、ドイツのアルフレッド・ウェゲナー極地海洋研究所 (AWI)、1991年にはイギリスの自然環境研究会議 (NERC)、日本の極地研の観測基地開設に続き、その後、ノルウェー地図局による測地観測施設、イタリア学術会議 (NRC) による大気観測所の開設、ノルウェー宇宙センターのロケット打ち上げ基地の建設等が行われてきた。

日本ニーオルスン観測基地（ラベン観測所）での観測開始

ニーオルスンはスバルバル諸島中のスピッツベルゲン島の西海岸に位置し、行政の中心であり国際空港のあるロングイヤービンから空路120kmの地点にある。航空連絡便（小型機、ヘリコプター）は NP を通じて予約ができた。天候待ち、連絡便の遅延などがしばしば起こるので、ロングイヤービン空港前にあり、「空港ホテル」と呼ばれていた建物（NP が管理）の数室を借り上げ、荷物デポと宿泊に使用した。

観測基地の建物は約 300 平方メートルの広さがあり、リビングルーム、寝室、トイレ、シャワー室、観測室および倉庫などがあり、奥の一室はこれまで地磁気観測を継続観測してきたノルウェー機関が引き続き使用することを合意した。

ニーオルスンは開設当時で年平均気温 -5.8°C 、最低気温は -40°C と厳しい気候環境であるが、ラベン観測所には電気、温水が年間を通じて供給されるので、観測所としての機能は十分と考えられ、特に新たな熱、水関係の増設、改修は当面必要なしとした。但し、新鮮な水を多量に使用とする実験室設備、低温実験室、雪氷資料の保存庫の新設（倉庫室として使用予定の大部屋）などを将来計画として考慮し、その実現の妨げにならないような観測所建物の使用計画を立てる必要があった。島内移動、氷河観測のための 4 輪駆動車、スノーモービルの購入も計画、白熊対策のために銃の購入、射撃訓練も必要であった。

基地開設により、雪氷、気象、超高層、生物分野を中心に本格的な長期観測計画を立て、各国との調整（できるだけ同一観測の重複を避けるという要請に基づく）も必要であった。気象分野では、観測項目にライダー観測があったことから、早々に我々に先んじていたドイツの研究陣との調整が求められた。ニーオルスン日本基地開設の意義は次に述べるスバル諸島の地球科学的な位置から窺えよう。

グリーンランドとスバル諸島間のフラム海峡（コングスフィヨルドの出口）は、北極海から大西洋への海水（深層流を含め）、海水の流出路となっており、北極気候システム、ひいてはグローバルスケールの気候システムを左右する鍵となる場所である。大気側から見ても、成層圏では極渦の中に位置する重要な観測点である。対流圏ではこの地域はアイスランド低気圧を始めとして低気圧活動の活発なところであり、北極をめぐる北緯 70 度線上の南北方向の水蒸気輸送量が北極域中でこの付近の経度帯がもっとも大きくなっていることからそのことが窺われる。

一方、北緯 80 度近いスバル諸島は、冬期はこれら南からの海洋性気団と北からの北極気団の境目となることが多く、南からの気団が優勢な時は気温も高く、降水量も多くなるが、一方、北からの乾燥した寒冷な気団下では、晴天も多く、低温となる。この二つの対照的な気候状態の間のドラスティックな変化も特徴的である。

大気科学分野では、北極成層圏での極成層圏雲の動態が世界的に強い関心を集めていたことからニーオルスンにおけるライダーによる極成層圏雲の観測には大きな期待が寄せられていた。しかし、岩坂らのライダー観測計画は、ドイツの AWI のライダー観測計画と競合することになってしまい、先行して準備していた AWI グループと種々調整し、1991 年ポツダムでの AWI で観測研究の最終的協議を行った。結果、ドイツは極成層圏雲のライダー観測を主とし、日本は気球による直接観測を主とすることとした。日本のライダー観測は補助的なものと扱うことになったのである。

観測基地の開設に当たり、国内共同利用機関施設として名古屋大と極地研との間には当時、次のよう



プレッガー氷河と周辺の山城（写真：渡邊）

な考えがあった。

①これまで名古屋大学太陽地球環境研究所^{*2}が当地で実施してきた観測実績を尊重し、観測基地の運営に関しては極地研、太陽地球環境研究所の両者の共同運営の形を取り、必要な取り決めを定める。経費負担に関しては極地研が負担し、観測点群（既存観測施設）の維持に関しては太陽地球環境研究所側が負担する。

②また、ニーオルスン観測所の運営に関しては北極科学研究推進特別委員会（設立年 1989 年）の助言を尊重し、全国大学共同利用研究施設としての役割を果たすべく、必要な措置を講ずる。

その後の調整によりニーオルスン基地は極地研の経費負担のもとで運営が行われ、広く共同利用施設として提供されて今日に至っている。

終わりに

私たち（渡邊、岩坂）がニーオルスンの基地開設に奔走した時から 25 年の歳月が過ぎた。開設してから十数年は私たち自身も大いに利用し、北極観測活動に貢献したつもりである。

しかし、この十数年、ラベン観測所がどのように運営されたかは寡聞にして知るよしもなかった。数週間前^{*4}、中国でシンポジウムがあり、たまたま隣に座った中国の研究者が蘭州のかつての氷河・凍土研究所（現在は名前が変更されている）天山観測所所長で、彼はまたスバル諸島、ニーオルスンの黄河観測所（中国基地）の責任者であった。シンポジウムでの自己紹介で、最近の中国の北極域での活動を誇らしげに語っていた。彼に同地の日本基地のこと、そこでの協力関係等を尋ねたところ、「特に共同観測、研究を行っている訳ではないが、NySMAC の活動等を通じて緊密な関係にあり、今後はさらなるアジア的関係の深化をも期待している」とのことであった。この基地の基礎を築いたわれわれとしても、設立当初の目的が実現しつつあることを願ってやまない。

註

^{*1} ノルウェー極地研究所は、ノルウェー語標記では Norsk Polarinstittutt のため NP と略すが、英語表記では Norwegian Polar Institute となるため NPI と略される。

^{*2} 名古屋大学空電研究所は、名古屋大学太陽地球環境研究所を経て現在は名古屋大学宇宙地球環境研究所に改組されている。

^{*3} キングスベイ社 (Kings Bay: KB) の前身。詳細は「第 1 章 ニーオルスンの現状と日本の観測基地」参照。

^{*4} 本原稿の執筆は 2016 年 11 月。

目次

緒言 北極ニーオルスン基地開設 25 周年と将来展望 白石和行	2
巻頭特別寄稿 スパールバルで過ごした日々 太田昌秀	4
寄稿 ニーオルスン基地開設の背景 渡邊興亜 / 岩坂泰信	6
目次	12
第1章 ニーオルスンの現状と日本の観測基地	15
1.1 ニーオルスン国際観測拠点とは	16
1.2 日本のニーオルスン基地	19
第2章 25 年間の歩み	21
2.1 研究活動の変遷	22
2.2 研究者の利用状況	23
2.3 分野別の変遷	24
第3章 研究活動と成果	25
3.1 北極研究プロジェクトの変遷	26
3.2 雪氷・氷河観測	29
3.3 海洋物理観測	31
3.4 大気中の温室効果気体観測	32
3.5 雲・エアロゾル・降水観測	37
3.5.1 地表付近のエアロゾル	39
3.5.2 ニーオルスンで観測された雲量	40
3.5.3 降水レーダー観測	41
3.6 オゾン観測	42
3.6.1 フーリエ変換赤外分光器 (FTIR) とオゾンゾンデによる成層圏オゾンの観測	42
3.6.2 ライダーによる極成層圏雲観測	43
3.6.3 ニーオルスンでの気球搭載光学オゾンゾンデ観測	45
3.7 陸域生態系観測	47
3.8 海洋生態系観測	51
3.8.1 ニーオルスン・コングスフィヨルドでの海洋観測の立ち上げ	51
3.8.2 バイオロギング	52

表紙と扉の写真

表紙上：ラベンから望むニーオルスン中心部（熊谷宏靖）

下：ニーオルスンと背後の山々 2016年9月9日（白石和行）

裏表紙：ニーオルスンの中心にあるアムンセン像（山内 恭）

炭鉱時代の名残（山内 恭）

扉：ニーオルスン基地に掲げられている表札（熊谷宏靖）

3.9 電離圏観測	54
3.9.1 VLF/LF 帯標準電波を用いた放射線帯電子大気降下現象の観測	54
3.9.2 ニーオルスンにおけるイメージングリオメータ観測	55
第4章 国際共同・連携体制・教育 / 社会貢献	57
4.1 ニーオルスン国際観測拠点の研究観測設備	58
4.1.1 Kings Bay 社が管理する研究観測設備	59
4.1.2 各国の研究観測設備の現況	60
4.2 国際ネットワーク	64
4.2.1 NySMAC (Ny-Ålesund Science Managers Committee) の成立と議長の役割	64
4.2.2 NySMAC の現況	64
4.2.3 SSF (Svalbard Science Forum)	66
4.2.4 SIOS (Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System) スバルバル統合観測システム計画	67
4.3 北極研究国際会合	69
4.3.1 ニーオルスンと国際北極科学委員会 (IASC)	69
4.3.2 ニーオルスンと国際北極研究計画会議 (ICARP)	70
4.3.3 ニーオルスンと国際北極研究シンポジウム (ISAR)	71
4.4 教育への利用	74
4.5 社会貢献 - アウトリーチ	74
第5章 ニーオルスン基地と北極研究の将来展望	77
5.1 NySMAC の Ny-Ålesund Flagship Programmes	78
5.2 北極域研究推進プロジェクト (ArCS)	79
5.3 地球観測衛星の地上検証観測サイトとして	82
5.4 ロケット観測と EISCAT・地上連携観測	83
5.5 日本の新基地構想	84
5.6 座談会 ニーオルスン基地の今後の利用と北極研究の将来展望	86
第6章 参考資料	91
6.1 ニーオルスンでの観測・研究による日本の業績リスト	92
6.2 ニーオルスンでの研究による学位取得	103
6.3 年表 我が国の北極研究の流れ	105
執筆者・写真提供者・協力者	106

Rabben もう一つの記憶

- 1965年 Hamnerabben 一体で Kongsfjord Telemetry Station という衛星観測データ受信施設 4 棟の建設が始まった。
- 1967年 施設の利用が開始された。
- 1991年 施設の一つが日本の基地となった。
- 2016年 日本の基地は 25 周年、Kings Bay は 100 周年を祝った。
- 2017年 建物は築 50 年の節目を迎えた。

第1章

ニーオルスンの現状と日本の観測基地

1.1 ニーオルスン国際観測拠点とは



スバルバル諸島及びニーオルスンの位置

北緯 79 度の国際観測拠点

北大西洋の高緯度に位置するニーオルスン（北緯 78 度 55 分、東経 11 度 56 分）は、スバルバル諸島スピッツベルゲン島にある。スバルバル諸島はノルウェー本土北端と北極点との間に位置しており、スピッツベルゲン島の他に北東島、バレンツ島、エッジ島、プリンскарール島などからなる。スピッツベルゲン島の中心はロングイヤービヤン（北緯 78 度 13 分、東経 15 度 33 分）であり、ここまではノルウェー本土から航空機の定期便が運航されている。ロングイヤービヤン～ニーオルスン間はチャーター便が運航されている。ロングイヤービヤンは北極での船舶や航空機による観測の活動拠点となることも多い。世界最北の大学 University Centre in Svalbard (UNIS) も 1993 年に開設されている。この 20 年余りの間に、ロングイヤービヤンは観光の拠点として発展した。北東島はほぼ全域が氷帽で覆われ、氷河掘削調査なども実施されている。観測点の少ない北極域、特に陸地の少ない北緯 70 度以北に於いて、北緯 79 度の観測拠点の役割は大きい。基地設置に向けて、初代北極圏環境研究センター長の小野延雄先生が 1991 年の『極地』に次のように期待を書かれている（地名標記は原文に従う）。

北極域に現地観測の拠点を設けて国際共同研究の態勢を整えていくのも、北極研究推進の現実的な方策である。現在、関係当局のご理解を得て、スバルバル諸島スピッツベルゲン島ニーオルスンに、観測拠点を開設する準備を進めている。ノルウェー極地研究所の協力を得ながら、現地の既設の建物の一部をある期間借りて、北極圏研究の現地拠点として活用することを考えている。



小野先生（写真：山内）

北極での国際共同研究を進める上で観測の拠点を持つことは不可欠であった。ニーオルスンでの日本の基地開設、そして、多くの研究者がここを訪れることになる。

2016 年現在、ニーオルスンには 11 カ国（ノルウェー、英国、ドイツ、日本、オランダ、イタリア、フランス、韓国、中国、インド。観測設備を置くスウェーデンも含むと 11 カ国）の基地や観測設備がある。日本は、1991 年 1 月よりニーオルスンに北極基地を開設した。1991 年当時には、ノルウェー、英国、イタリア、ドイツ、スウェーデンなどのみの活動で、まだ参加国は少なかったが、国際的な観測拠点として活動していた。このような国際拠点においては、各国が行う観測の重複を避け、隙間を埋める協議が当時から行われてきた。

ニーオルスンの立地条件

(地理・気象、基地の配置等)

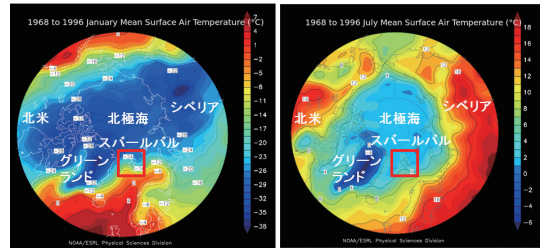
ニーオルスンは、ほぼ北緯 79 度に位置するため、白夜、極夜の期間は長く、それぞれ約 4 カ月ずつある。定常観測が行われている 1998 年 1 月 1 日～2016 年 12 月のデータによると、最寒月の 3 月は平均気温 -11.4°C 、最暖月の 7 月は平均気温 5.7°C 、また年平均降水量は約 439mm である。(NOAA's National Centers for Environmental Information: NCEI の GLOBAL SURFACE SUMMARY OF DAY DATA より)。北極域での気温分布(右上図)から、この地域は高緯度でありながら比較的温暖であることがわかる。また、海水分布(右下図)から、この地域の海水縁の季節変化は少ないことがわかる。スバルバル諸島周辺では大西洋からのメキシコ湾流(Gulf Stream)から繋がるスピッツベルゲン海流(Spitzbergen Current)

と北極海からの寒冷な東グリーンランド海流(East Greenland Current)がすれ違う位置にあり、北大西洋からの低気圧の通過も多く、大気及び海洋の熱交換の行われる地域となっている。北極海から流出する海氷の多くはスバルバル諸島とグリーンランドの間のフラム海峡を通り、海氷の移動は活発である。しかし、その位置の季節変化が少ないのは、大きな大気、海洋の熱交換と気象、海流のもとで、均衡を保っているためである。スバルバル諸島はその海水縁に位置するため、風向により北極海から海水を渡ってくる寒冷な大気場に置かれたり、南方の開水面からの温暖な大気の影響下に置かれたりが決まる。近年は温暖化が観測されている。

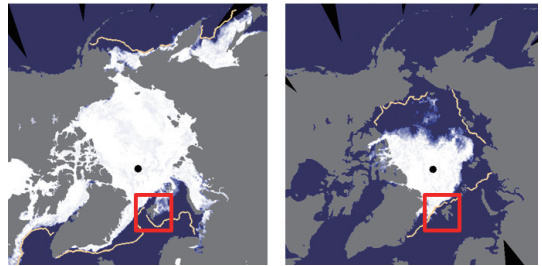
大陸から離れたスバルバル諸島の位置は、大気成分の汎北極的なバックグラウンドの状況をモニターするのに適している。遠隔地域ならではの利点がある。また、気象観測点のない北極海中央部に対しても、この地域から提供される気象情報の寄与は大きい。ニーオルスンは、国際的な高精度高層気象観測点網(GRUAN)や温室効果気体の観測網において、北極高緯度地域の観測をカバーする役割を担っている。

スバルバル諸島の南東にはバレンツ海、さらにその東のフランツ・ヨセフ諸島とノバヤゼムリア島の南にはカラ海が広がるが、これらの地域では近年海氷減少が顕著になっており、日本を含め中緯度との気象の関連が注目されている地域である。ニーオルスンでの気象観測は、北極圏高緯度をカバーする定点観測点としての役割とともに、気候変動が大気・海水・海洋を通して広域に影響を与える仕組みのアクションセンターに臨む地域での観測という役割を担っている。

スピッツベルゲン島は、氷河とツンドラで覆われており、長期のツンドラの土壌や生態系の調査が行われてきた。近年、縮小する氷河域の後退後に現れた地表面での生態変化などの観測が行われている。スバルバルには、末端が海に直接落ち込む氷河も多いため、海洋と氷河の関係を調べる調査活動も重要なテーマとなっている。



北極の冬(左)と夏の気温分布。スバルバル諸島周辺は、夏も冬も温度勾配の大きな地域にある。(データ NOAA/ESRL Physical Science Division より)



北極域の海水分布。左:冬季の状態(2016年2月27日)、右:夏季の状態(2016年9月16日)。スバルバル諸島を赤枠で示す。実線は1980年代の同じ日の平均海水縁。データ及び表示: NSIDC, JAXA, NIPR-ADS

ニーオルスン国際観測拠点の管理運営

ニーオルスンの国際観測拠点全体の年間利用研究者・日数は、近年は毎年 13,000 人日前後を推移している。利用が多いのは、7～8月の夏である。近年、極夜の時期の活動も増加している。ニーオルスンでは、リサーチアドバイザーが議長となり各基地のリーダーが一堂に会する定例ミーティングである基地リーダー会議 (Station Leaders Meeting) が定期的に行われている。各リーダーから活動の現状報告がなされると共に、ニーオルスン全体に関わる事項が通知される。さらに、ニーオルスンで活動する各国の代表者からなるニーオルスン観測調整会議 (Ny-Ålesund Science Manager Committee: NySMAC) は、調査研究のための設備や技術の共有に向けた調整を行なっている。スバルバル全域に関してはスバルバル・サイエンス・フォーラム (Svalbard Science Forum: SSF) が観測活動計画の RiS (Research-in-Svalbard) 登録されたものに対し活動許可を与えている。スバルバルでの研究・観測機能の整備や共同利用の推進に向けて、EU プロジェクトであるスバルバル統合研究システム (Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System :SIOS) が 2015 年より実施されている。日本もフルパートナーとしての参加を予定している。これらについては本誌第 4 章で詳しく説明されている。

Kings Bay 社について

キングスベイ社 (Kings Bay AS。以下 KB) は、ノルウェーの貿易、産業及び漁業省が所有する有限会社である。鉱山会社としての設立は 1916 年であるが、漁業や北極探検の拠点としても利用されてきた。しかし、ニーオルスンの炭鉱としての活動は 1963 年に終了し、その後 1960 年代に入ってニーオルスンは科学調査の拠点としての役割を果たし始めた。1967 年～1974 年にかけて最初の大きな研究活動である衛星テレメトリー基地の活動があった。1968 年からは、ノルウェー極地研究所がニーオルスンに観測基地を設け、通年の観測活動を開始した。1990 年代に入ってから、国際的な観測活動が開始した。今日、KB は、研究者に対し研究観測設備の貸与、輸送サービス、食事や宿泊の提供を行っており、三十数名の職員がこれを担っている。

ニーオルスンの特長は、定期航空路や小型航空機による交通手段で、年間を通して容易にアクセス可能であること、そのアクセス可能な地域の環境攪乱をほとんど受けない豊富で多様な自然環境が存在することにある。このニーオルスンに対し、KB の活動目的は、観測及び科学活動を推進するサービスを行なうこと、そして国際的な北極の科学・観測基地として発展させることに寄与することにある、としている (Kings Bay, 2016)。KB はブレッガー半島及びその東西、コングスフィヨルドの北側を含む、295 km² を管理する。その地域に 29 ある歴史的建築物の保全も担っている。KB は、ツェッペリン山の大气汚染観測所、ノルウェー地図局の測地観測所に協力している。ツェッペリン山では日本の大気観測グループがセンサーを設置して観測を行なっている。なお、スバルバル諸島周辺では海水減少が起きており、また今後、北極航路に向かう船舶の増加も予想される。北極海の高緯度の漁業、鉱物資源開発、海上交通や観光などの産業利用の増加に対して、スバルバル諸島の南にある Bjornoya (Bear Island) が捜査救援 (Search and Rescue: SAR) の将来の活動拠点の候補と考えられている。(榎本)

引用文献

- 小野延雄, 1991. 極地, 国立極地研究所北極圏環境研究センター 52 号, 26(2), 56-57.
- Kings Bay, 2012. K STRATEGIC PLAN KINGS BAY AS 2012-2015, http://kingsbay.no/kings_bay_as/strategic_plan/content/filelist_384f5f70-5a19-4972-8137-0e3e09dee26e/1372410636007/strategic_plan_kings_bay_as_2012_2015.pdf strategic_plan_kings_bay_as_2012_2015.
- Kings Bay, 2016. Kings Bay strategy 2016-2018, http://kingsbay.no/kings_bay_as/strategic_plan/content/text_0d951737-9e52-4fa7-8785-e1e395cf97d6/1449663174756/engelsk_kings_bay_strategi_ferdig.pdf, p12.

1.2 日本のニーオルスン基地



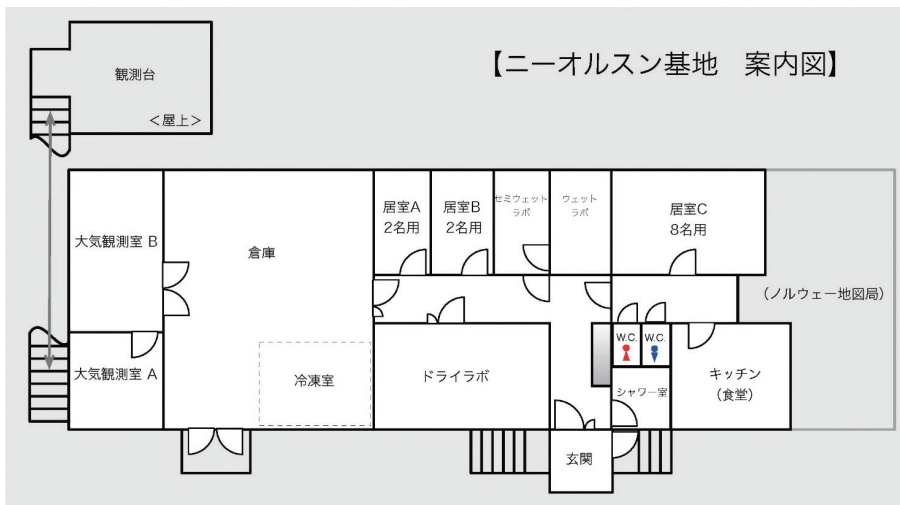
ニーオルスン基地、愛称は「ラベン」。(写真：塩原)

基地の設備・観測装置（居住空間と観測装置）

国立極地研究所がKBより借用している日本の観測基地は、ニーオルスンの西に位置し、滑走路のすぐ近くにある。このあたりは丘になっており、日本の基地は丘の上というノルウェー語から「ラベン(RABBEN)」と呼ばれることがある。建物の表札にも掲げているが「ラベン」はあくまでも愛称で、現在、正式には「ニーオルスン基地」と呼ぶ。

建物の床面積は276m²。建物内には観測室、実験室、倉庫のほかキッチン、ベッドルーム、洗面所、トイレ、シャワー等がある。基地の電源は公称220V(実測230V)単相、および380V(実測400V・三相)、50Hzである。100Vを利用する場合は、電圧変換器を持ち込むことによって100Vに変換して使用する。建物内には電話、FAXがあり、インターネット回線も使用できる。野外観測時はライフルの携帯が義務付けられているが、KBでのレンタルや操作訓練のサービスが受けられる。

ニーオルスン全域で、電波利用制限があるため、無線LANは使用できない。ニーオルスンの外での



活動時の通信用トランシーバー、イリジウムは利用可能である。なお、レーダーなど電波を出す観測機器を利用する場合は、使用申請して許可を得て使用することになる。

実験施設の使用

基地内では、観測・実験目的に応じてスペースを使い分けている。基地における大型の観測・研究機材を長期間設置する場合には、国際北極環境研究センターに事前に届け、場合によってはセンターに加え、ニーオルスン観測調整会議の承認を受ける必要がある。基地観測・実験スペースには、ドライラボ、セミウェットラボ、ウェットラボ、大気観測室、屋上観測台がある。

- a. ドライラボ：基本的にドライ環境で使用する観測機器、実験機器を使用するスペースである。多量の液体を扱う実験、試料・装備の長期保存には使用できない。暖房設備がある。
- b. セミウェットラボ：セミドライ（若干の液体試料等を扱う）環境の観測室である。研究試料用冷蔵庫が設置されており、暗冷所での実験操作に主に使用している。なお、暖房設備はない。
- c. ウェットラボ：床面に防水加工が施されており、多量の水を取り扱う実験に適している。また、純水製造装置が備えてある。
- d. 大気観測室 (A、B)：ドライ環境の観測室で、現在気象等の連続観測に使用している。
- e. 倉庫・作業室：野外観測機材、工具類、実験機材の保管、機材の整備、加工などに使用する。
- f. 屋上観測台：屋上観測台には測器が置いてあり、観測を行なっている。

自動車・スノーモービルの使用

ニーオルスン基地には観測者が利用できる車両（7人乗りワゴン）がある。スノーモービルはKBからレンタル可能である。（榎本）



大気観測室（写真：榎本）



屋上の観測機器類（写真：塩原）



ラウンジ（写真：榎本）



寝室（写真：寺村）



7人乗りワゴン車（写真：熊谷）

第2章

25年間の歩み

2.1 研究活動の変遷

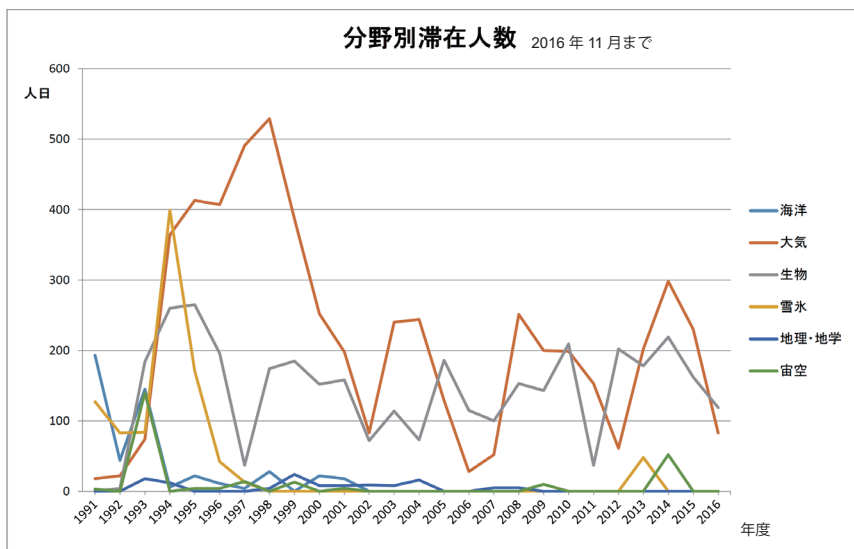
1991年のニーオルスン基地開設以来、ラベンではこれまで多くの研究活動が行われてきた。この25年間の研究活動を分野別にまとめて、その活動期間を時系列的に示したのが下図の「分野別滞在人数」グラフである。このグラフから各分野の活動時期とその変遷を見ることができる。

すなわち、海洋、地理、地学、雪氷、宙空、大気、生物の各分野で、基地を利用した研究活動が盛んに行われた。次ページの「利用者・来訪者人数」グラフを見ても同じように、開設時から最初の10年間はこの25年の歴史の中で最も活発な時期であったといえる。大気分野が突出して見えるが、フィールドではなく室内設置の観測機器によるモニタリング中心に一年を通して行われているため、滞在人数としてみた場合、年間を通しての訪問回数が多いことから滞在日数も他の分野に比べ多くなっている。初期の頃には各分野が一斉に活動を開始し、それに伴って基地の利用者数や滞在日数が大きく増加した様子は次ページの「利用者・来訪者人数」グラフにも表れている。

特に、この初期の特筆すべき活動としては雪氷分野の水河調査があり、次章「研究活動と成果」の「3.2 雪氷・氷河観測」で詳しく述べられている。大気分野では、「3.4 大気中の温室効果気体観測」にあるとおり、基地開設当初から今日まで維持されてきた温室効果気体の連続観測が主要な研究活動として挙げられるが、その他、初期のエアロゾル観測については、「3.5 雲・エアロゾル・降水観測」の項で、極成層圏雲やオゾンの観測については「3.6 オゾン観測」の項で、それぞれ活動の詳細をみることができる。(塩原、上曾)



ラベンを訪れた人を記録し続けたノート
(写真：上曾)



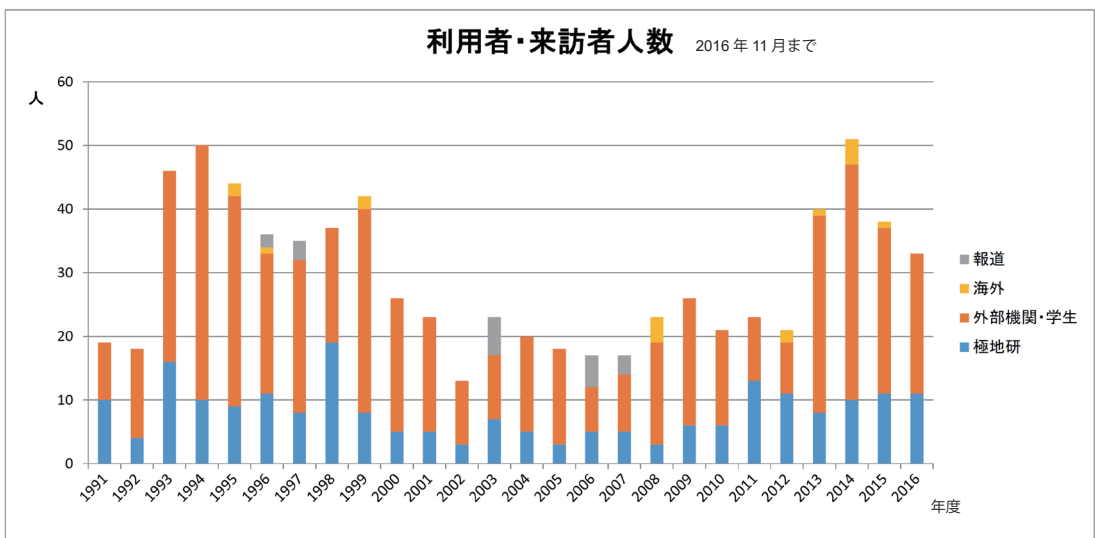
2.2 研究者の利用状況

2000年代以降、相対的に大気分野の滞在人数が少ないのはそれまでの大きなプロジェクトが終了したためであるが、2011年に始まったGRENE北極気候変動研究事業とそれに続くArCSプロジェクトが立ち上がったこともあり、大気分野では今後さらに利用者増が見込まれる。実際、GRENE北極気候変動研究事業のもとで雲と放射の強化観測が行われた2014年には過去最高の「利用者・来訪者人数」を記録した。

生物分野の活動は基地開設以来、比較的定常的に行われ、基地が有効に利用されていることが後から出てくる「分野別観測項目変遷分布」一覧からも分かる。それらの活動の様子は「3.7 陸域生態系観測」と「3.8 海洋生態系観測」の項で述べられている。海洋観測は「3.3 海洋物理観測」の項で述べられた観測も含めて近年活動が減少しているものの、陸上生態系の野外調査は毎年7～8月を中心に継続的に行われていて、夏の間は生物分野が基地の主要な利用者となっている。(塩原、上曾)



ノートに記された数々のメッセージ
(写真：上曾)



2.3 分野別の変遷

25年を通してみると、大気分野と生物分野での基地利用が多いことがわかる。下のグラフは「分野別観測項目変遷分布」をまとめたものであり、ここでは各分野における研究対象の変遷が見て取れる。なお、このグラフはあくまでも基地滞在利用申込みの目的から算出した数字を元にしているため、自動モニタリング観測や個別の詳細な項目については反映されていないことを最初にご了承いただきたい。

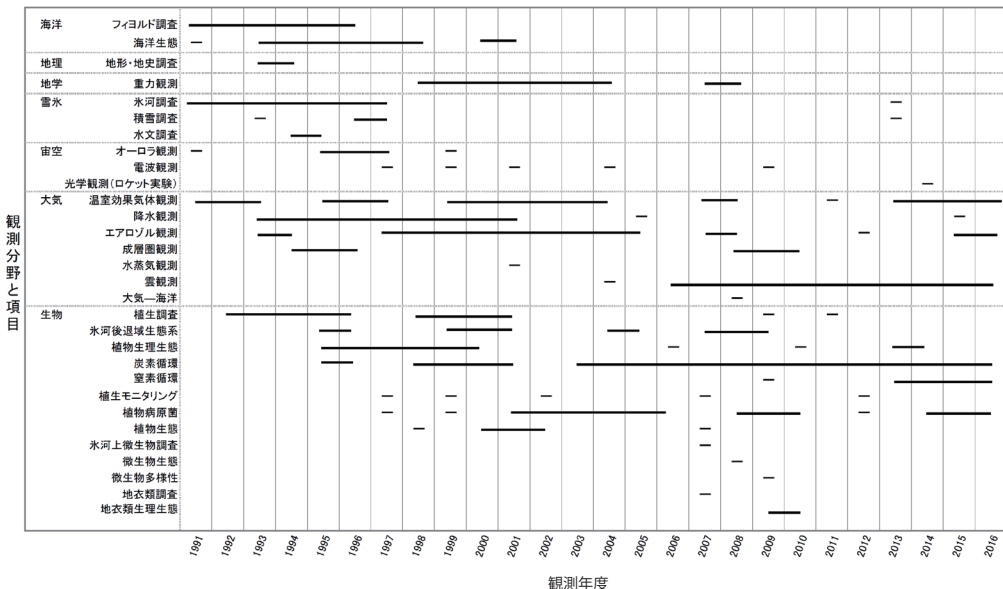
初期には、フィヨルドや海洋生態を対象とした海洋研究が継続的に行われていた。しかし、2000年代に入ってから活動が途絶えている。また、同じように当初盛んだった雪氷観測も継続的な利用がなくなった。これらはフィールドを変え、活動の中心がニーオルスンから移っていることが伺える。宙空分野では単発的に活動が見られるが、キャンペーンなどが実施されてきた。

大気分野では温室効果気体観測とエアロゾル・降水観測の長期モニタリングが行われているが、近年では特に雲の観測が目立っている。基地内に観測装置を設置して観測を行うことが多いため、この25年の間に、屋上テラスやそれに続く階段の設置、観測室の増設など、大気観測のために基地の改修も行われた。成層圏雲のライダー観測やエアロゾル、雲、降水の観測のために専用のコンテナが敷地内に設置され、長期的な観測の維持に利用されてきた。近年ニーオルスン基地だけではなく AWIPEV 大気観測所やツェッペリン観測所、Gruvebadet 大気観測所を利用した研究活動も行われるようになってきた。

一方、生物分野では野外調査が主である。植生調査に始まり、植物生理生態、炭素循環、植物病原菌調査などは長期にわたって行われている。準備や採取試料の処理、分析作業のために基地が利用される。そのため、基地内にはウェットラボとセミウェットラボが作られ、クリーンルームや生化学分析装置が設置されている。野外調査ではライフル銃の携帯も必要となるため、銃の安全保管庫も整備された。

基地利用の仕方は研究分野によって異なっているが、ニーオルスン基地は老朽化が進んでいる。改修はされてはいるものの、極地研が基地として使い始めてから25年間、内外装は基本的に変わっていない。そのため、実験室としての水回りや空調の設備も十分ではない。最近では、冬の間、滞在できないことも多くなった。私たちの研究活動を支え、十分貢献してきたが、今後、さらに発展が期待される北極研究の基盤施設として、多くの研究者にとって魅力のある充実した新基地の開設が望まれる。(塩原、上曾)

分野別観測項目変遷分布 2016年11月まで



第3章 研究活動と成果

3.1 北極研究プロジェクトの変遷

我が国の研究者による北極域での最初の観測は、北海道大学の中谷宇吉郎教授によるグリーンランドでのアイスコア研究であろう。1957年から1960年のことである。その後、同大学の研究者による北極海の T-3 や ARLIS と呼ばれる氷島での海洋・雪氷・気象研究が続くが、いずれも米国のプロジェクトに参加する形で行われた。1960年代の後半からは、日本の研究プロジェクトが相次いで動き出した。名古屋大学による日本上空からアラスカへの氷晶核の追跡観測、北海道大学のシベリアやアラスカでの永久凍土調査や氷河調査などである。

極地研による北極圏での観測は、1976年の超高層物理学研究分野が国際磁気圏観測計画 (IMS) 期間中に行ったノルウェー北部におけるフランスとの共同観測や、1977年のアイスランドでの地磁気共役点観測を皮切りに始まった。その後、1985年には陸上生物グループが、また、1987年には雪氷グループが、それぞれスバル諸島で観測を開始した。海洋生物グループは、アラスカ大学との共同観測を1988年から3年間実施した。こうした観測は、科学研究費補助金の海外学術調査として進められた。

1980年代末から1990年初頭にかけて、北極を取り巻く環境は激変した。1987年、旧ソ連のゴルバチョフ書記長が北極圏の玄関口で行ったムルマンスク演説での北極開放政策が提案されたのを契機に、1990年には北極圏諸国8カ国による「国際北極科学委員会 (IASC)」が設立され、北極研究の機運が盛り上がった。

日本では1990年、文部省が極地研に北極圏環境研究センターを設置するとともに、極地研に国際共同研究事業費「北極圏地球環境共同研究」(1990～1994年度)を措置した。この研究計画が5カ年計画で始めると、大気、雪氷、生物、海洋などの分野で、北極環境研究が本格化した(国立極地研究所北極圏環境研究センター, 1993)。また同年、科学技術庁は、科学技術振興事業「北極圏における気圏・水圏・生物圏の変動及びそれらの相互作用に関する国際共同研究」を立ち上げ、海洋科学技術センター、防災科学技術研究所、気象庁気象研究所などが参加する北極研究を開始した。文部省と科学技術庁のこうした北極プロジェクトは、我が国として初めての北極の大型研究プロジェクトであった。

1989年には、日本の北極域の学術研究と観測を推進するため、文部省の肝いりで極地研に北極科学研究推進特別委員会が設置されたが、科学技術庁所管の北極プロジェクトについては情報交換程度で、主に、極地研のプロジェクト「北極圏地球環境共同研究」の運営について議論された。この特別委員会は、2003年12月まで続けられた。

極地研は名古屋大学の協力を得て、1991年にノルウェー極地研究所 (NP) との協定の下、スバル諸島スピッツベルゲン島のニーオルスンに観測基地を設置し、温室効果気体の通年観測を開始するとともに、オゾンホール関連観測(ライダー観測)やツンドラ植生、雪氷の観測などの拠点として利用を始めた(岩坂, 2000)。

1995年度からは、文部省国際共同研究事業費による北極プロジェクト第2弾として、国際共同研究「北極圏環境観測」(1995～1998年度、4カ年計画—当初は5カ年計画)が始まった。大気、雪氷、陸上生物、海洋・海氷分野が、スバル諸島及びその周辺のグリーンランド海、バレンツ海や、グリーンランド、シベリア、北極カナダなど広範囲な地域で観測を展開した(Aoki et al., 1996; 国立極地研究所北極圏環境研究センター, 2000; Nakaoka et al., 2006; Yamanouchi et al., 1996)。1998年には、大気科学グループが、日本からカムチャツカ、アラスカ経由で北極海を横断しスピッツベルゲン島に至るルートで北極圏航空機大気観測(AAMP 98)を実施した(国立極地研究所, 2002)。

極地研の北極プロジェクトの第3弾は、科学研究費補助金特定領域研究「北極域における気候・環

境変動の研究」(1999～2004年度)で、6カ年計画で実施された。北極域対流圏・成層圏物質の変動と気候影響、環北極雪氷掘削コアによる比較環境変動研究、北極域海洋動態と生態系変動の研究、北極域ツンドラ環境変動の研究、北極域における中層大気・熱圏の力学的結合の5研究班と総括班から構成された国内外の共同研究計画であった(藤井, 2005)。この中でも、ニーオルスン基地の地上観測を補う上空の大気を観測すべく、ドイツのAWIと共同で、AWI所有の航空機(ドルニエ 228)を使った「北極対流圏エアロゾル放射総合観測」ASTAR 2000を2000年春に(Yamanouchi et al., 2005)、再び日本から飛行するAAMP 02を2002年春に(Yamanouchi et al., 2003)、そしてASTAR 04を2004年に実施した。また、国際北極ポリニア研究計画に参画し、ノースウオーターポリニア(NOW)観測を1999年から3カ年実施し、2002～2004年は続くCASES(Canadian Arctic Shelf Exchange Study)計画に参加した。

その後しばらくの間、北極研究は科学研究費補助金の海外学術調査などの競争的研究資金を得て、分野や課題ごとに実施された。しかし、分野別、機関毎の小規模な計画が多く、日本全体としての力量、国際的なプレゼンスを示すことができないことから、より大規模な分野横断、観測とモデルの連携した総合的研究計画が待望された。ようやく2011年度から5カ年計画で、文部科学省「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、「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」が、極地研を代表機関、海洋研究開発機構を参画機関として、全国40機関、360名以上の研究者が集結した大規模なプロジェクトとして始まった。このGRENE北極気候変動研究事業でも、ニーオルスン基地は陸域生態、大気科学(温室効果気体・雲・エアロゾル・放射・ブラックカーボン)を中心に、観測が実施された。2013年には、雲の内部構造や鉛直運動を明らかにできる雲レーダーが、ニーオルスン基地に設置されている(国立極地研究所, 2016)。

2015年後半、文部科学省の環境技術等研究開発推進事業費補助金を得て、「北極域研究推進プロジェクト」(ArCS)が、極地研を代表機関、海洋研究開発機構と北海道大学を副代表機関とし、この他18の大学等研究機関が参加して開始された。このプロジェクトは、急変する北極域の気候変動の解明と環境変化、社会への影響を明らかにし、内外のステークホルダーが持続可能な北極の利用等諸課題について適切な判断を可能とする精度の高い将来予測や環境影響評価等を行うことを目的としている。このプロジェクトでは、自然科学に加えてデータアーカイブや人文社会科学を含めた8テーマによる国際共同研究のほか、国際連携拠点の整備の一環として、引き続きニーオルスン観測拠点の基盤整備と有効活用や、新しくカナダやロシアでの観測拠点整備が進められている。(藤井、山内)

引用文献

- Aoki, S., Morimoto, S., Ushio, S., Ito, H., Nakazawa, T., Yamanouchi, T., Ono, N., Vinje, T., 1996. Carbon dioxide variations in the Greenland Sea. Proc. Int. Symp. Environmental Research in the Arctic, 19–21 July 1995, NIPR, Tokyo. Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, 51, 299–306.
- 藤井理行, 2005. 北極域における気候・環境変動の研究. 平成11年度～16年度科学研究費補助金(特定領域研究)研究成果報告書, 1004p.
- 岩坂泰信, 2000. 北極圏の大気科学. 名古屋大学出版会, 239p.
- 国立極地研究所北極圏環境研究センター, 1993. 国際共同研究「北極圏地球環境共同研究」中間研究成果報告書, 252p.
- 国立極地研究所北極圏環境研究センター, 2000. 北極圏における気候・環境変化. 平成7～10年度国際共同研究事業「北極圏環境観測」研究成果報告書, 214p.
- 国立極地研究所, 2002. 北極圏航空機観測(AAMP 98)成果特集. 南極資料, 46, 91–286.
- 国立極地研究所, 2016. 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, GRENE北極気候変動事業2011–2016成果報告書, 269p. <http://www.nipr.ac.jp/grene/>.
- Nakaoka, S., Aoki, S., Nakazawa, T., Hashida, G., Morimoto, S., Yamanouchi, T., Inoue, H. Y., 2006. Temporal and spatial variations of oceanic pCO₂ and air-sea CO₂ flux in the Greenland Sea and the Barents Sea. Tellus, 58B, 148–161.
- Yamanouchi, T., Aoki, S., Morimoto, S., Wada, M., 1996. Report on atmospheric science observations at Ny-Ålesund, Svarbard. Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, 51, 153–163.

北極関係のプロジェクト

プロジェクト名と研究テーマ	代表者
1990～1994 文部省国際共同研究「北極圏地球環境共同研究」 1) 北極域の気候変動に関する大気環境の研究 2) 北極海ポリニア域での生物生産とエネルギー移動の研究 3) 北極海の海水および海洋環境としての変動に関する研究	小野延雄
1995～1998 文部省国際共同研究「北極圏環境観測」 1) 北極圏における地球規模大気環境変動の研究 2) 環北極圏雪氷コアによる環境変動の研究 3) 北極圏におけるツンドラ生態系観測と陸域環境特性の研究 4) 北極海ポリニア航海計画	渡邊興亞 / 藤井理行
1999～2004 文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「北極域における気候・環境変動の研究」 総括班 北極域における環境変動機構に関する研究 計画研究班 A01 北極域対流圏・成層圏物質の変動と気候影響 計画研究班 A02 環北極雪氷掘削コアによる比較環境変動研究 計画研究班 A03 北極域海洋動態と生態系変動の研究 計画研究班 A04 北極域ツンドラ環境変動の研究 計画研究班 A05 北極域における中層大気・熱圏の力学的結合	藤井理行 藤井理行 山内恭 神山孝吉 福地光男 神田啓史 麻生武彦
2011～2015 文部科学省グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス事業北極気候変動分野 「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」(GRENE 北極) 戦略研究目標 1 北極域における温暖化増幅メカニズムの解明 戦略研究目標 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 戦略研究目標 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 戦略研究目標 4 北極海航路の利用可能性評価につながる海水分布の将来予測 研究課題 1 北極気候再現性検証および北極気候変動・変化のメカニズム解析に基づく 全球気候モデルの高度化・精緻化 研究課題 2 環北極陸域システムの変動と気候への影響 研究課題 3 北極温暖化のメカニズムと全球気候への影響：大気プロセスの包括的研究 研究課題 4 地球温暖化における北極圏の積雪・氷河・氷床の役割 研究課題 5 北極域における温室効果気体の循環とその気候応答の解明 研究課題 6 北極海環境変動研究：海水減少と海洋生態系の変化 研究課題 7 北極海航路の利用可能性評価につながる海水分布の将来予測	山内恭 野沢徹 杉本敦子 浮田甚郎・菊地隆 島田浩二 野沢徹 杉本敦子 浮田甚郎 榎本浩之 青木周司 菊地隆 島田浩二
2015～2019 文部科学省環境技術等研究開発推進事業費補助金北極域研究推進プロジェクト (ArCS) テーマ 1 気象・海水・波浪予測研究と北極航路支援情報の統合 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 3 北極気候に関わる大気物質 テーマ 4 北極海洋環境観測研究 テーマ 5 北極気候変動予測研究 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 テーマ 7 北極の人間と社会：持続的発展の可能性 テーマ 8 北極域データアーカイブシステム 国際連携拠点の整備 AC 等北極関連学会への専門家の派遣 若手研究者派遣による人材育成及び国際連携	深澤理郎 猪上淳 東久美子 小池真 菊地隆 羽角博康 平譚享 田畑伸一郎 矢吹裕伯 榎本浩之 榎本浩之 齊藤誠一

Yamanouchi, T., Wada, M., Shiobara, M., Morimoto, S., Asuma, Y., Yamagata, S., others, 2003. Preliminary report of the "Arctic Airborne Measurement Program 2002" (AAMP 02). *Polar Meteorol. Glaciol.*, 17, 103–115.

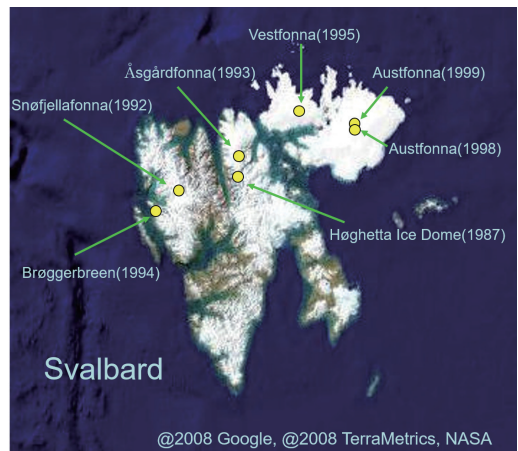
Yamanouchi, T., Treffeisen, R., Herber, A., Shiobara, M., Yamagata, S., Hara, K., Sato, K., Yabuki, M., Tomikawa, Y., Rinke, A., Neuber, R., Schumacher, R., Kriews, M., Strom, J., Schrems, O., Gernandt, H., 2005. Arctic Study of Tropospheric Aerosol and Radiation (ASTAR) 2000: Arctic haze case study. *Tellus*, 57B, 141–152.

3.2 雪氷・氷河観測

はじめに

北極圏における過去数 100 年間の気候・環境変動を明らかにする目的で、1987 年から 1999 年までスバルバル諸島のスピッツベルゲン島や北東島の氷河にて多数のアイスコア掘削を実施した。同時に、堆積環境の地域特性を明らかにするために、掘削地点にて積雪ピット観測を行った。北極圏のさまざまな氷河から採取したアイスコアの研究から温暖化と環境変動について研究を進めた。1987 年や 1991 年当時は氷河調査も行った（高橋修平、他）が、北東島掘削に重点を置くようになった。近年になって再び積雪サンプリングが行われている。

1987 年から 1999 年にかけてスバルバル諸島の 7 地点の氷河でアイスコア掘削と雪氷観測を実施した。表に掘削情報、地図に掘削地点を示す。1994 年まではスピッツベルゲンの氷河、1995 年からは北東島の氷河を対象とした。フィールドオペレーションの概要は、Watanabe and Fujii (1988)、Takahashi et al. (1993)、Kamiyama et al. (2001)、Watanabe et al. (2000)、Motoyama et al. (2001) として報告されている。ページの都合で研究結果を一つだけ示す。



スバルバル諸島の氷河掘削地点

スバルバル諸島で日本が中心になって実施した氷河掘削

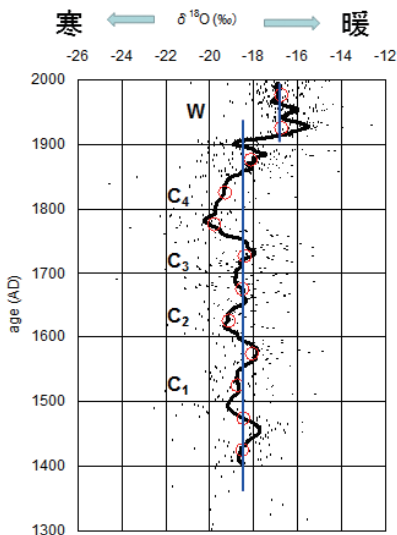
Date	Drilling Sites	Latitude, Longitude	Altitude (m a.s.l.)	Drilling depth (m)	10 m ice temperature(°C)	Ice density (kg/m ³)	
						0-10m	10-20m
Apr.-May 1999	Austfonna	79°50'N, 24°00'E	750	289	-2.8	649	840
Mar.-Apr. 1998	Austfonna	79°48'N, 24°00'E	750	118.6	-1.0	601	876
May-Jun. 1995	Vestfonna	79°58'N, 21°01'E	600	210	-3.7	639	839
Sep. 1994	Brøggerbreen	78°52'N, 11°55'E	550	10	0.0	812	
Jun.-Jul. 1993	Åsgårdfonna	79°27'N, 16°43'E	1140	185.3, 49	-6.8	808	881
Jul.-Aug. 1992	Snøfjella	79°08'N, 13°18'E	1190	83.9	-2.8	565	775
		79°08'N, 13°19'E	1160	24.4			
May-Jun. 1987	Høghetta Ice Dome	79°17'N, 16°50'E	1200	85.6 (bedrock)	-11.0	(ice)	(ice)

小氷期と温暖期

北東島の Austfonna 頂上である Austdomen(79°50.0'N, 24°00.2'E, 750 m a.s.l.)にて1999年に掘削した289m深のアイスコアから研究成果の一つを以下に紹介する(Watanabe et al., 2001)。

アイスコアの酸素や水素同位体組成は、気温変動の指標となることが知られている。スバルバル北東島においては降水量の酸素同位体組成($\delta^{18}\text{O}$)と気温の関係は地域的変動・二次的堆積過程のため明らかではない。しかし相対的な気温変動は見る事が出来る。

スバルバル北東島の気候変動を復元するため、コア年代と50年の移動平均をかけた酸素同位体組成の関係を下図に示す。赤丸は酸素同位体組成の50年間平均値である。1400年から1900年までの平均値は -18.7% で1900年以降急激な気温の上昇が見られ酸素同位体組成は平均で -16.7% と大きい。



復元された過去600年の気候・環境変動
 ・小氷期中の気候変動(寒冷期)
 C1: 1475~1554, C2: 1596~1652,
 C3: 1676~1721, C4: 1752~1859.
 ・小氷期後の温暖期 W: 1920~1999.

Austfonna1999 コアで見られる気温変動によると、最近の小氷期と呼ばれる寒冷期は1900年で終了し、1920年頃からの温暖期につながる。小氷期と20世紀の酸素同位体組成の差は2‰と大きい。1900年より以前の小氷期にも気温変動があり、次の寒冷な時期が顕著である; 1475~1554 (C1)、1596~1652 (C2)、1676~1721 (C3)、1752~1859 (C4)。これらは Schove (1961) によって報告されているヨーロッパの寒冷期(1541~1680, 1741~1770, 1801~1890)とは正確には一致していない。寒冷期C4は、グリーンランド Site-J の氷コア解析から見出されている1835~1870の寒冷期(Kameda et al., 1995)と一致しているが、スバルバル北東島の方が長期間低温になっている。これら小氷期中の寒冷期はグリーンランド Dye-3 氷コアからも支持される(Dansgaard et al., 1975)。(本山)

引用文献

- Dansgaard, W., Johnsen, S. J., Reeh, N., Gundestrup, N., Clausen, H. B., Hammer, C. U., 1975. Climatic changes, Norsemen and modern man. *Nature*, 255, 24-28.
- Kameda, T., Narita, H., Shoji, H., Nishio, F., Fujii, Y., Watanabe, O., 1995. Melt features in ice cores from Site J, southern Greenland: some implications for summer climate since AD1550. *Annals of Glaciology*, 21, 213-218.
- Kamiyama, K., Motoyama, H., Watanabe, O., 2001. Field observations of the Japanese Arctic Glaciological Expeditions in Svalbard from 1993 to 1995. *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, 54, 243-251.
- Motoyama, H., Watanabe, O., Goto-Azuma, K., Igarashi, M., Miyahara, M., Nagasaki, T., Karlof, L., Isaksson, E., 2001. Activities of the Japanese Arctic Glaciological Expedition in 1999 (JAGE 1999). *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, 54, 253-260.
- Takahashi, S., Kobayashi, S., Watanabe, O., 1993. Field activity of the Japanese Arctic Glaciological Expedition to western Spitsbergen in 1991 and 1992 (JAGE 1991-1992). *Bulletin of Glacier Research*, 11, 23-31.
- Schove, D. J., 1961. Solar cycles and the spectrum of time since 200 B.C. *Ann. N. Y. Acad. Sci., Art.*, 1., 107-123.
- Watanabe, O., Fujii, Y., 1988. Outline of the Japanese Arctic Glaciological Expedition in 1987. *Bulletin of Glacier Research*, 6, 47-50.
- Watanabe, O., Kamiyama, K., Kameda, T., Takahashi, S., Isaksson, E., 2000. Activities of the Japanese Arctic Glaciological Expedition in 1998 (JAGE 1998). *Bulletin of Glaciological Research*, 17, 31-35.
- Watanabe, O., Motoyama, H., Igarashi, M., Kamiyama, K., Matoba, S., Goto-Azuma, K., Narita, H., Kameda, T., 2001. Studies on climatic and environmental changes during the last few hundred years using ice cores from various sites in Nordaustlandet, Svalbard. *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, 54, 227-242.

3.3 海洋物理観測

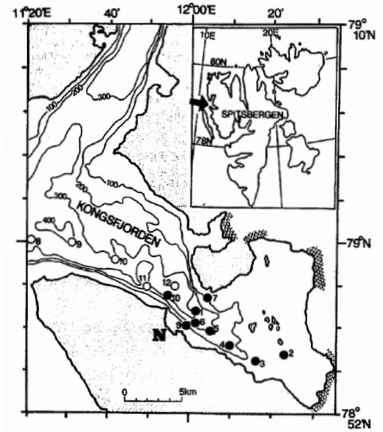
研究の意義

北極海と北大西洋を結ぶフラム海峡は南北間の熱・物質交換を担い、北極圏の気候・環境変化に重要な役割を果たす高緯度海域として注目されてきた。フラム海峡の海洋環境の変化はスピッツベルゲン島のフィヨルド域へも影響すると考えられ、海洋物理分野としても国際共同研究「北極圏地球環境共同研究」のもとで、ニーオルスン基地を拠点にコングスフィヨルドの調査を1990年代前半に実施した。外洋のフラム海峡との海水交換や周辺陸域の雪氷融解水流入など、フィヨルドの海洋構造の形成に寄与する諸過程との関連を理解するため、夏季を中心とした限定的な期間ではあるが、現地観測による実態把握を主眼とした。

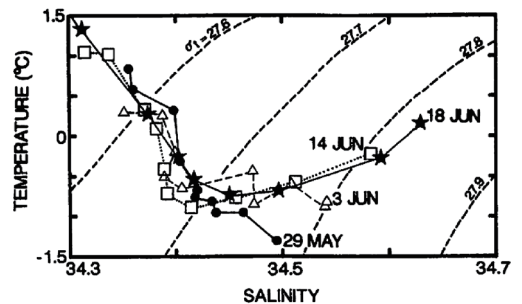
観測成果

コングスフィヨルドはスピッツベルゲン島北西部に位置し、長さ約25 km、幅約10 kmの大きさで、中央の半島沖で水深は350 m以上あり、西側でフラム海峡とつながっている。フィヨルドの海域には三つの氷河の末端が達し、夏季には多数の冰山片が浮遊しているが、冬季でも全面結氷しないことがある。1991年から1993年の間、計5回の海洋観測を行った。観測時期は5～9月で、フィヨルドを縦断する北西-南東方向と、横断する北東-南西方向の測線上に約1～3 km間隔で観測点を設置し(図:コングスフィヨルドの観測海域)、CTDによる水温・塩分鉛直プロファイルデータまたはXBTによる水温データを取得した。観測はニーオルスン基地を拠点に小型ボートを使用して実施したほか、1992年と1993年にはノルウェーの観測船や沿岸定期船もプラットフォームとした。

フィヨルド表層はその周辺で生じた活発な融雪の影響で低塩分化していること、中層には冬季の対流混合で形成された低温水の名残の存在を夏季の海洋構造の一般的な特徴として捉えた。また、観測データの時間変化から、表層は日射吸収と雪氷融解水流入による高温・低塩・低密度化が、底層(200～250 m深)では外洋起源の高密度水がフラム海峡からフィヨルド内へ流入したことによる高温・高塩分化の進行が見出された(右図)。これらの観測結果によって、陸域雪氷から融解水の流入や、フラム海峡からの大西洋起源の高密度水の滞留が海洋構造の特徴形成に寄与していることがわかった(牛尾他, 1995)。一連の海洋観測による水温・塩分データ(標準層)はデータレポート(Ushio et al., 1998)として公表している。



コングスフィヨルドの観測海域。
○印が1992年9月、●印が1993年6月の観測地点を示す。



フィヨルドのほぼ中央における水温-塩分曲線の時間変化。1993年5月29日から6月18日までの4回の観測結果で、それぞれデータポイントの左上10m深から250m深まで深度順に結んだもの。太い破線は等密度線を示す。

フィヨルド観測から外洋の広域観測への発展

フィヨルドの現地観測を数年にわたって継続したことは、ノルウェーとの北極圏海洋の共同研究を進展させる上でも貢献した。それは我が国の観測拠点がニーオルスンに恒常的に設置、運営されていることが、スバルバル諸島周辺海域で計画された国際共同観測への参加の途を開いたもので、グリーンランド海 (Ito et al., 1994; Ushio et al., 1994) およびバレンツ海の航海観測に参加する機会を得たことにつながった。また、これらの海洋観測のいくつかには国内の大学院学生も参加し (Ushio et al., 1994; 牛尾他, 1995; Ushio et al., 1998)、さらに大気-海洋間二酸化炭素交換の観測 (Aoki et al., 1996) も共同で実施したことは学際的研究の端緒となった。(牛尾)

引用文献

- Aoki, S., Morimoto, S., Ushio, S., Ito, H., Nakazawa, T., Yamanouchi, T., Ono, N., Vinje, T., 1996. Carbon dioxide variations in the Greenland Sea. Mem. Natl. Inst. of Polar Res., 51, 299-306.
- Ito, H., Østerhus, S., Ushio, S., 1994. Temperature profiles of the Greenland Sea in the summer of 1993: Report of the oceanographic observation on the R/V LANCE cruise. Antarctic Record (南極資料), 38, 68-71.
- Ushio, S., Honda, M., Ito, H., 1994. Temperature profiles of the Greenland Sea in the summer of 1992: Report of the oceanographic observation on the R/V LANCE cruise. Antarctic Record (南極資料), 38, 63-67.
- 牛尾収輝, 伊藤一, 小野延雄, 1995. スピッツベルゲン島コングスフィヨルド海洋調査: 海洋構造の観測 (1991-1993年). 南極資料, 39, 147-155.
- Ushio, S., Ito, H., Ono, N., 1998. Oceanographic data in the Greenland Sea and around Svalbard in 1991-1993. NIPR Arctic Data Reports, No.3, 46p.

3.4 大気中の温室効果気体観測

はじめに

北極域は周囲を温室効果気体の重要な放出・吸収域であるユーラシア大陸や北米大陸に囲まれており、人間活動や陸上生物圏・土壤環境変動の影響を強く受ける場所である。一方で、ごく近傍に温室効果気体の大きな放出源・吸収源が存在しないニーオルスンは、北極域のバックランド大気を監視する上で非常に適した場所であると言える。このような観点から、我々は1991年のニーオルスン基地(当時は観測拠点)開設時に温室効果気体及び関連気体の系統的な観測を開始し現在まで維持してきた。本稿では、最初に観測方法を簡単に述べた後、重要な温室効果気体である二酸化炭素(CO₂)とメタン(CH₄)について、そして関連気体の一例として酸素(O₂)について、ニーオルスンにおける観測とその解析結果の一部を報告する。

観測方法

温室効果気体の分析に用いる大気試料は、1週間に一度の頻度で、ニーオルスン基地屋上に設置した空気取り込み口から基地内気象観測室に設置したポンプで吸引し、あらかじめ加熱真空引きされた容積800 mlのステンレス製容器に加圧充填される。大気採取作業はノルウェー極地研究所 Sverdrup 基地の技術スタッフに依頼しており、8週間分の大気試料が約2カ月に一度、日本の国立極地研究所に輸送される。国立極地研究所では、CO₂濃度、CH₄濃度、そしてCH₄炭素同位体比をそれぞれ非分散

型赤外分析計 (NDIR)、ガスクロマトグラフ (GC/FID) 及びガスクロマトグラフー燃焼炉ー質量分析計 (GC-C-IRMS) で分析し、その後東北大学において N_2O 濃度と SF_6 濃度、 O_2 濃度 (O_2/N_2 比) と CO_2 同位体比、 CH_4 水素同位体比を、ガスクロマトグラフ (GC/ECD)、質量分析計 (IRMS)、ガスクロマトグラフー熱分解炉ー質量分析計 (GC-P-IRMS) を用いて決定した (Aoki et al., 1992; Ishijima et al., 2001; Ishidoya et al., 2003; Morimoto et al., 2009; Umezawa et al., 2009)。

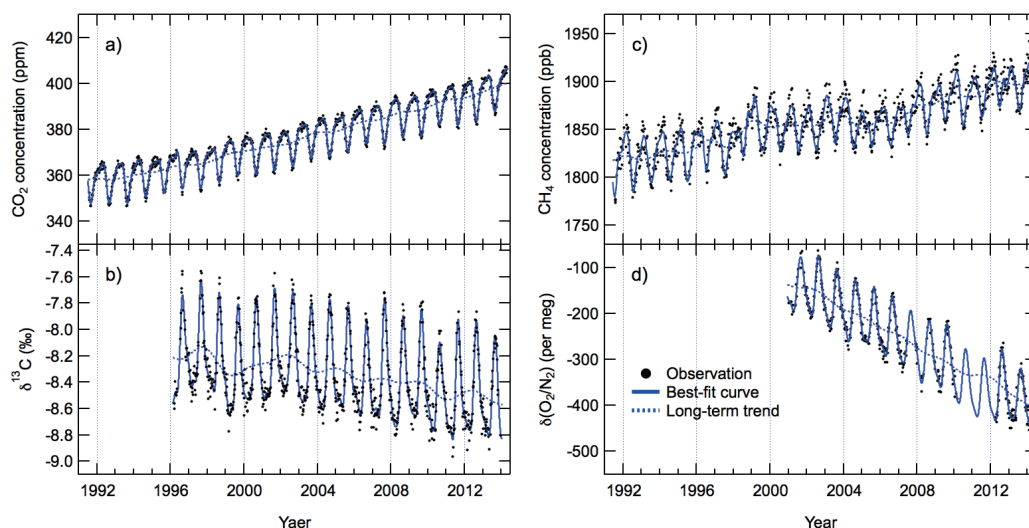
二酸化炭素の変動

二酸化炭素 (CO_2) は最も重要な人為起源の温室効果気体であり、主に化石燃料消費とセメント製造、森林破壊によって、産業革命以降大気中濃度が徐々に増加し、その増加率が時代と共に増大してきた。現在、1年間に約 10 GtC (1Gt = 1×10^{15} g; 炭素換算) の人為起源 CO_2 が大気に加えられていると推定されており (Le Quéré et al., 2016)、平均してその約半分が大気中に残留していることが大気中 CO_2 濃度の観測から分かっている。将来の濃度予測をより高精度化するためには、残りの半分がどのような割合で海洋と陸上生物圏に吸収されているかを明らかにしなければならない。

大気中 CO_2 の炭素安定同位体比 ($^{13}C/^{12}C$ 比、 $\delta^{13}C$ で表記される) は、大気ー陸上生物圏間で CO_2 が交換される際には比較的大きな変動を示す一方で、大気ー海洋間の CO_2 交換の際に生ずる $\delta^{13}C$ の変動は大気ー陸上生物圏間の交換と比較して一桁小さいことが知られている。そのため、大気中の CO_2 濃度と $\delta^{13}C$ を精密に観測することによって、 CO_2 の放出源・吸収源に関する情報を得ることができる。

図 a), b) に、ニーオルスンで観測された大気中の CO_2 濃度や $\delta^{13}C$ の変動と、2次フーリエ級数とスプライン関数を用いて計算したフィッティング曲線および経年変化成分を示す (Nakazawa et al., 1997)。これらの図から明らかなように、大気中の CO_2 濃度は明瞭な季節変化を示しながら人為起源 CO_2 (化石燃料、森林破壊) の放出によって経年的に増加している。一方の $\delta^{13}C$ は、 CO_2 濃度とは負の相関を示す明瞭な季節変化と、人為起源の同位体的に軽い ($^{12}CO_2$ が相対的に多い) CO_2 の放出による経年減少傾向が観測されている。

ニーオルスンで観測された CO_2 濃度と $\delta^{13}C$ はそれぞれ 3 ~ 5 月に極大・極小値、8 月末に極小・極大値を示し、季節変化の平均的振幅 (peak-to-peak) は 17 ppm、0.8 ‰ であった。両者を量的に比較



ニーオルスンで観測された大気中の CO_2 濃度 (a)、 CO_2 の炭素同位体比 $\delta^{13}C$ (b)、 CH_4 濃度 (c) 及び $\delta(O_2/N_2)$ (d) の変動

することにより、ニーオルスンにおける CO_2 濃度の季節変化は大気-陸上生物圏間の CO_2 交換量の変動に起因することが報告されている (Morimoto et al., 2001)。一方、 CO_2 濃度と $\delta^{13}\text{C}$ の経年変化観測データを用いて大気中の CO_2 及び $^{13}\text{CO}_2$ (CO_2 濃度と $\delta^{13}\text{C}$ から計算される) の収支式を解くことにより、陸上生物圏と海洋による正味 CO_2 吸収量を推定することができる。ニーオルスンにおける CO_2 濃度と $\delta^{13}\text{C}$ 観測値を用いると、2001 ~ 2013 年平均として陸上生物圏と海洋による CO_2 吸収量はそれぞれ 1.3 ± 0.6 、 $2.6 \pm 0.4 \text{ GtC yr}^{-1}$ (GtC: 炭素換算 10^{12} kg) と推定された (Goto et al., in preparation, 2017)。図 a)、b) に示されているとおりニーオルスンで観測された CO_2 濃度と $\delta^{13}\text{C}$ には大きな年々変動が見られる。特に、エルニーニョが発生した 2002 ~ 2003 年に観測された 4 ppm yr^{-1} に及ぶ濃度の急増は、他の北半球高緯度の観測点でも同様に観測されており、ヨーロッパ域での干ばつと異常高温によって陸上生物圏による正味の CO_2 固定量が減少したことが原因であるとする推定がなされている (Ciais et al., 2005)。ニーオルスンにおける CO_2 濃度と $\delta^{13}\text{C}$ 観測値から推定した陸上生物圏による CO_2 吸収量は 2002 ~ 2003 年にほぼゼロまで低下しており、Ciais らの主張を支持するものである。

メタンの変動

メタン (CH_4) は CO_2 に次ぐ温室効果気体であり、対流圏および成層圏の大気化学上でも重要な役割を果たしている (Ciais et al., 2013)。人為的な放出源の増加にともなって産業化以後の大気中 CH_4 濃度は急増し (Nakazawa et al., 1993)、現在は全球平均で約 1840 ppb に達している。 CH_4 の放出源は、湿地、反芻動物、水田など嫌気性環境下での微生物による生成 (微生物起源)、石炭や天然ガスの採掘・輸送時の漏出 (化石燃料起源)、森林火災、焼き畑、植物燃料の不完全燃焼による生成 (バイオマス燃焼起源) の三つに大別される。一方、 CH_4 の消滅源は対流圏内での OH ラジカルとの反応が全体の 9 割弱を占める。その他、成層圏での OH、Cl、O (^1D) との化学反応や、土壌表面での微生物による酸化が残りの消滅源となっている。

図 c) に、ニーオルスンで観測された大気中の CH_4 濃度とフィッティング曲線、経年変化成分を示す。この図から、 CH_4 は明瞭な季節変化を示しながら特徴的な年々変動を示していることが分かる。ニーオルスンにおける CH_4 濃度の増加率は、1991 年の観測開始以降 2000 年までは平均 4.5 ppb yr^{-1} であったが、2000 年 ~ 2006 年の期間には濃度増加がほぼ停滞し (増加率 0.3 ppb yr^{-1})、2006 年以降再度濃度増加が再開した。このような CH_4 濃度の変化傾向は、アメリカ大気海洋庁等の全球観測ネットワークからも報告されており (Dlugokencky et al., 2009)、全球的な現象であることが分かっている。ニーオルスンと昭和基地の CH_4 濃度差の経年変化を調べると、1991 年 ~ 2006 年までの 15 年間に $12 \pm 9 \text{ ppbv}$ (95% の信頼区間) 減少していることから、北半球で CH_4 放出量が減少したこと、あるいは CH_4 消滅量が増加したことが 2000 年代前半の濃度増加停滞の原因の一つとして考えられる。 CH_4 濃度の再増加が観測された 2006 年以降については、2006 ~ 2009 年には一時的に両極間の濃度差が増大したがその後はそれほど顕著な変化は見られない。このことは、2006 年以降の CH_4 濃度再増加は北半球のみが原因ではないことを示唆している。しかし、前述の通り放出源が非常に多岐にわたり、かつ消滅量も直接観測できないことから、 CH_4 濃度の長期変動の原因についてまだ定まった結論は得られていない。今後、引き続き大気中の CH_4 の動態を注意深く監視すると共に、 CH_4 放出源の情報を持つ炭素・水素同位体比の観測データを併せて解析し、大気中 CH_4 濃度変動に関するそれぞれの放出源の寄与とその変動を明らかにする必要がある。(Morimoto et al., 2006)

酸素の変動

大気中の酸素 (O_2) 濃度は、ある標準試料中の酸素・窒素比からの偏差 ($\delta(O_2/N_2)$) として次式で定義される。

$$\delta(O_2/N_2) = \left(\frac{\delta(O_2/N_2)_{\text{sample}}}{\delta(O_2/N_2)_{\text{standard}}} - 1 \right) \times 10^6 \quad (\text{per meg}) \quad (1)$$

ここで、sample は大気試料、standard は標準試料であり、 $\delta(O_2/N_2)$ の 4.8 per meg の変化がモル分率の 1 ppm の変化に対応する。 $\delta(O_2/N_2)$ は有機物の燃焼と陸上植物活動によって二酸化炭素 (CO_2) 濃度とほぼ 1 対 1 の関係で逆方向に変化し、海洋への取り込み時には CO_2 濃度とは独立に変化する。このような O_2 と CO_2 の変動傾向の違いを利用することにより、 $\delta(O_2/N_2)$ と CO_2 濃度の同時高精度観測から、 CO_2 濃度、 O_2 濃度変動それぞれの原因推定や全球 CO_2 収支の見積もりが可能である (例えば Manning and Keeling, 2007)。ニーオルスンにおける $\delta(O_2/N_2)$ 用大気試料の採取と東北大学での $\delta(O_2/N_2)$ の高精度分析は 2001 年 1 月に開始し、現在まで継続している (Ishidoya et al., 2012)。

図 d) に、ニーオルスンにおける $\delta(O_2/N_2)$ の変動とベストフィットカーブ、経年変化成分を示す。2010 ~ 2011 年の期間は、ニーオルスンでの大気採取時に除湿が不十分であったことが原因で $\delta(O_2/N_2)$ 値を正確に決定できなかったため、欠測としている。図 d) に示すとおり、ニーオルスンにおける $\delta(O_2/N_2)$ は明瞭な季節変化を伴いながら経年的に減少しており、その位相は CO_2 濃度と負相関の関係にあって夏に極大値を、冬から春にかけて極小値を示している。 CO_2 濃度の季節変化は主に大気-陸上生物圏間の CO_2 交換量の季節変化によって引き起こされるが、 O_2 濃度の季節変化には大気-陸上生物圏間の O_2 交換 (光合成・呼吸) に加えて、大気-海洋間の O_2 交換量の変動、すなわち表層海洋での海洋生物による O_2 生産・消費と海水温変化に伴う O_2 溶解度の変動、中深層からの低 O_2 水湧昇の影響を受けることが知られている (Keeling and Shertz, 1992)。陸上生物圏の光合成・呼吸活動に伴う O_2 と CO_2 の交換比 (-1.1 : 1) を考慮して、 CO_2 、 $\delta(O_2/N_2)$ の季節変化成分を解析すると、ニーオルスンで観測された $\delta(O_2/N_2)$ の季節変化の約半分が、大気-海洋間の O_2 交換量の季節変化によって生じていることが明らかになった。

次に、 $\delta(O_2/N_2)$ の経年変化について述べる。上で述べたとおり、大気中の CO_2 濃度、 $\delta(O_2/N_2)$ の変動と化石燃料消費量が既知の場合、それぞれの収支式を連立させて解くことによって、陸上生物圏と海洋それぞれの正味 CO_2 吸収量を求めることができる (ただし、海洋からの正味 O_2 放出量を別に与える必要がある)。ニーオルスンで観測された CO_2 濃度、 $\delta(O_2/N_2)$ の観測値から求めた 2001 ~ 2013 年における陸上生物圏及び海洋による CO_2 吸収量 (平均値) は、それぞれ 1.6、2.3 GtC yr⁻¹ であった。これは、 CO_2 濃度と $\delta^{13}C$ から求めた値と非常に良く一致しており、これら二つの手法の有効性を示している。

まとめ

1991 年にニーオルスン基地での大気採取による CO_2 、 CH_4 濃度観測を開始後、順次観測項目が拡充され、現在では重要な温室効果気体およびその関連気体全ての高精度時系列観測が継続実施されている。本稿では記述していないが、現在ニーオルスン基地において CO_2 、 CH_4 、 CO 、 O_2/N_2 の高精度連続観測装置が常時稼働しており、北極大気中温室効果気体及び関連気体の高時間分解能観測が実現している。これら温室効果気体とその関連気体の長期変動を明らかにし、その変動原因と気候・環境変化との関係

に関する知見を得るために、今後も高精度観測を継続する必要がある。

ニーオルスン基地において定期的な大気試料採取や観測装置の維持にご協力頂いたノルウェー極地研究所の現地技術スタッフに、深甚な謝意を表したい。また長期間にわたって大気採取容器の前処理、容器・試料の輸入手続き、大気試料の分析、データ整理を担って頂いた国立極地研究所の長元裕子氏にお礼を申し上げたい。ニーオルスンにおける温室効果気体観測は、文部科学省国際共同研究、科学研究費補助金特定領域研究・国際学術研究・基盤研究、国立極地研究所研究プロジェクト P-3・KP-3・KP-15、GRENE 課題 5、ArCS テーマ 3 によって実施された。(森本、青木、後藤)

引用文献

- Aoki, S., Nakazawa, T., Murayama, S., Kawaguchi, S., 1992. Measurements of atmospheric methane at the Japanese Antarctic Station, Syowa. *Tellus*, 44B, 273–281. doi:10.1034/j.1600-0889.1992.t01-3-00005.x.
- Ciais, P., Reichstein, M., Viovy, N., Granter, A., Ogee, J., Allard, V., Alibinet, M., Buchmann, N., Bernhofer, C., Carrara, A., Chevallier, F., De Noblet, N., Friend, A. D., Friedlingstein, P., Grünwald, T., Heinesch, B., Keronen, P., Knohl, A., Krinner, G., Loustau, D., Manca, G., Matteucci, G., Miglietta, F., Ourcival, J. M., Papale, D., Pilegaard, K., Rambal, S., Seufert, G., Soussana, J. F., Sanz, M. J., Schuze, E. D., Vesala, T., Valentini, R., 2005. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, 437, 529–533.
- Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., Chhabra, A., DeFries, R., Galloway, J., Heimann, M., Jomnes, C., Le Quéré, C., Myneni, R. B., Piao, S., Thompson, P., 2013. Carbon and other biogeochemical cycles, in *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge Univ. Press. Cambridge, UK. and New York, USA.
- Dlugokencky, E. J., et al., 2009. Observational constraints on recent increases in the atmospheric CH₄ burden. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L18803. doi:10.1029/2009GL039780.
- Ishidoya, S., Aoki, S., Nakazawa, T., 2003. High Precision Measurements of the Atmospheric O₂/N₂ Ratio on a Mass Spectrometer. *J. Meteorol. Soc. Japan*, 81, 127–140.
- Ishidoya, S., Morimoto, S., Aoki, S., Taguchi, S., Goto, D., Murayama, S., Nakazawa, T., 2012. Oceanic and terrestrial biospheric CO₂ uptake estimated from atmospheric potential oxygen observed at Ny-Ålesund, Svalbard, and Syowa, Antarctica. *Tellus*, 64B, 64, 18924. <http://dx.doi.org/10.3402/tellusb.v64i0.18924>
- Ishijima, K., Nakazawa, T., Sugawara, S., Aoki, S., Saeki, T., 2001. Concentration variations of tropospheric nitrous oxide over Japan. *Geophys. Res. Lett.*, 28, 171–174. doi:10.1029/2000GL011465.
- Keeling, R. F., Shertz, S. R., 1992. Seasonal and interannual variations in atmospheric oxygen and implications for the global carbon cycle. *Nature*, 358, 723–727.
- Manning, A. C., Keeling, R. F., 2007. Global oceanic and land biotic carbon sinks from the Scripps atmospheric oxygen flask sampling network. *Tellus*, 58B, 95–116.
- Morimoto, S., Aoki, S., Yamanouchi, T., 2001. Temporal variations of atmospheric CO₂ concentration and carbon isotope ratio in Ny-Ålesund, Svalbard. *Mem. Natl. Polar Res., Spec. Issue*, 54, 71–79.
- Morimoto, S., Aoki, S., Nakazawa, T., Yamanouchi, T., 2006. Temporal variations of the carbon isotopic ratio of atmospheric methane observed at Ny-Ålesund, Svalbard from 1996 to 2004. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L01807. doi:10.1029/2005GL024648.
- Morimoto, S., Aoki, S., Nakazawa, T., 2009. High precision measurements of carbon isotopic ratio of atmospheric methane using a continuous flow mass spectrometer. *Antarctic Record*, 53, 1–8.
- Nakazawa, T., Machida, T., Tanaka, M., Fujii, Y., Aoki, S., Watanabe, O., 1993. Differences of the atmospheric CH₄ concentration between the Arctic and Antarctic regions in pre-industrial/pre-agricultural era. *Geophys. Res. Lett.*, 20, 943–946. doi:10.1029/93GL00776.
- Nakazawa, T., Ishizawa, M., Higuchi, K., Trivett, N., 1997. Two curve fitting methods applied to CO₂ flask data. *Environmetrics*, 8, 197–218.
- Umezawa, T., Aoki, S., Nakazawa, T., Morimoto, S., 2009. A High-precision Measurement System for Carbon and Hydrogen Isotopic Ratios of Atmospheric Methane and Its Application to Air Samples Collected in the Western Pacific Region. *J. Meteorol. Soc. Japan*, 87, 365–379. doi:10.2151/jmsj.87.365.

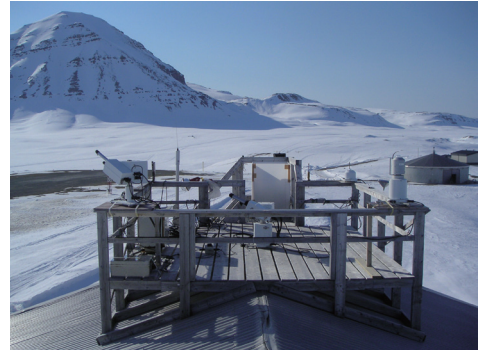
3.5 雲・エアロゾル・降水観測

ニーオルスンでは1990年代初めからストックホルム大学やノルウェー大気研究所のグループを中心にツェッペリン観測所でエアロゾル観測が行われてきた。ニーオルスンの日本基地でも開設後まもなく1990年代半ばにはエアロゾル観測が行われるようになった。1998年および2002年に実施されたAAMP計画(Arctic Airborne Measurement Program)は北極海を横断する航空機観測がメインであったが(国立極地研究所, 2002; Yamanouchi et al., 2003)、ニーオルスンにおける地上でのエアロゾル観測も強化された。エアロゾル観測専用のコンテナがラベンの敷地内に持ち込まれ、内部に光学式エアロゾル測定装置(OPC)、粒径別粒子数濃度測定装置(SMPS)を設置し、外部から取り入れた大気中エアロゾルの連続観測と成分分析用のフィルターサンプリングを行った。さらに、2000年~2006年にかけて実施されたASTAR計画(Arctic Study of Tropospheric Aerosol, Clouds and Radiation)ではドイツのAWIグループとの共同研究によりエアロゾル観測を行った(Hara et al., 2002, 2003; Treffeisen et al., 2004, 2005, 2006; Yamanouchi et al., 2005)。その間、レーダーによる降水観測も行われた(Yamanouchi et al., 1996)。

2000年代に入り、リモートセンシングによるエアロゾル・雲の観測として、スカイラジオメータ、マイクロパルスライダ、全天カメラが導入配備され、以降、長期的モニタリングの位置づけにより現在まで観測を維持してきた。スカイラジオメータ(Prede, POM-01/02)は太陽光および天空光の分光観測からエアロゾルの光学特性を調べるための装置で、これまでの長期観測からエアロゾルの光学的厚さの季節変化や年々変動、それに春季に到来することの多い北極ヘイズ等、ニーオルスン上空のエアロゾルの特徴を得ることができた(Shiobara et al., 2008; 青木他, 2010; 塩原他, 2010)。

マイクロパルスライダ(SES Inc., MPL)は波長523nmのレーザー光を用いた能動型リモートセンシング機器の一つで、雲やエアロゾルの鉛直構造とその時間変化を高分解能で調べることができる(Shiobara et al., 2003; Shiobara et al., 2006)。MPLの運用開始当初はトラブルも多く安定した測定にいたるまで時間を要したが、2001年にNASAにおいて改良を加え、2003年に設置場所をラベンからAWIPEVの大気観測所に移動してからは今日に至るまで順調に24時間連続観測を継続している。このMPLはNASAが展開するMPLNETに参加し、貴重な極域サイトとしてニーオルスンでの観測データを提供している。そのため、MPLの観測データは海外の研究者にも数多く利用されている(Campbell and Shiobara, 2008; Hoffmann et al., 2009; Lampert et al., 2010; Myhre et al., 2007; Shupe et al., 2011; Stohl et al., 2007)。

ASTAR以降しばらく、エアロゾル・雲・降水に関する大規模プロジェクトは行われなかったが、2011年にGRENE北極気候変動研究事業を開始するにあたり、観測基盤整備計画の一環として、千葉大学の開発による雲レーダーが導入され、2013年9月にニーオルスンでの連続観測を開始した。2014年、2015年には雲レーダー・偏光MPLによる地上リモートセンシング観測の他に、ツェッペリン観測所での直接観測、係留気球による雲粒子測定を含めた雲とエアロゾルの総合観測A-CARE(Arctic Cloud, Aerosol and Radiation Experiment)がGRENE北極気候変動研究事業の一環として実施された(国立極地研究所, 2016)。(塩原)



ラベン屋上に設置された機器類
2004年ASTARより(写真:塩原)

引用文献

- 青木一真, 矢吹正教, 塩原匡貴, 2010. スカイラジオメーターを使ったニーオルスンにおけるエアロゾルの光学的特性の長期観測. 南極資料, 54, 882–889.
- Campbell, J. R., Shiobara, M., 2008. Glaciation of a mixed-phase boundary layer cloud at a coastal arctic site as depicted in continuous lidar measurements. *Polar Science*, 2, 121–127. doi: 10.1016/j.polar.2008.04.004.
- Hara, K., Osada, K., Nishita, C., Yamagata, S., Yamanouchi, T., Herber, A., Matsunaga, K., Iwasaka, Y., Nagatani, M., Nakada, H., 2002. Vertical variations of sea-salt modification in the boundary layer of spring Arctic during the ASTAR 2000 campaign. *Tellus*, 54B, 361–376.
- Hara, K., Yamagata, S., Yamanouchi, T., Sato, K., Herber, A., Iwasaka, Y., Nagatani, M., Nakata H., 2003. Mixing states of individual aerosol particles in spring Arctic troposphere during ASTAR 2000 campaign. *J. Geophys. Res.*, 108 (D7), 4209. doi:10.1029/2002JD002513.
- Hoffmann, A., Ritter, C., Stock, M., Shiobara, M., Lampert, A., Maturilli, M., Orgis, T., Neuber, R., Herber, A., 2009. Ground-based lidar measurements from Ny-Ålesund during ASTAR 2007. *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 9059–9081.
- 国立極地研究所, 2002. 北極圏航空機観測 (AAMP 98) 成果特集. 南極資料, 46, 91–286.
- 国立極地研究所, 2016. 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, GRENE 北極気候変動事業 2011–2016 成果報告書, 269p. <http://www.nipr.ac.jp/grene/>.
- Lampert, A., Ritter, C., Hoffmann, A., Gayet, J-F, Mioche, G., Ehrlich, A., Doernbrack, A., Wendisch, M., Shiobara, M., 2010. Lidar characterization of the Arctic atmosphere during ASTAR 2007: four cases studies of boundary layer, mixed-phase and multi-layer clouds. *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 2847–2866.
- Myhre, C. L., Toledano, C., Myhre, G., Stebel, K., Yttri, K. E., Aaltonen, V., Johnsrud, M., Frioud, M., Cachorro, V., Frutos, A. de., Lihavainen, H., Campbell, J. R., Chaikovsky, A. P., Shiobara, M., Welton, E. J., Tørseth, K., 2007. Regional aerosol optical properties and radiative impact of the extreme smoke event in the European Arctic in spring 2006. *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 5899–5915.
- Shiobara, M., Yabuki, M., Kobayashi, H., 2003. A polar cloud analysis based on Micro-pulse Lidar measurements at Ny-Ålesund, Svalbard and Syowa, Antarctica. *Physics and Chemistry of the Earth*, 28, 1205–1212.
- Shiobara, M., Yabuki, M., Neuber, R., Spinhirne, J. D., Welton, E. J., Campbell, J. R., Hart, W. D., Berkoff, T. A., 2006. Arctic experiment for ICESat/GLAS ground validation with a Micro-Pulse Lidar at Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Meteorol. Glaciol.*, 20, 28–39.
- Shiobara, M., Yamano, M., Kobayashi, H., Aoki, K., Yabuki, M., 2008. Sky-radiometer measurement for monitoring column aerosol optical properties in Ny-Ålesund – Recent results from the spring 2006–2007 measurements. *Polarnet Technical Report PTR-1/2008: 8th Ny-Ålesund Seminar, 16–17 October 2007, Cambridge, UK, Ed. R. Azzolini, CNR Earth and Environment Department, Italy, 32–35.*
- 塩原匡貴, 矢吹正教, 山野牧, 青木一真, 小林拓, 2010. ニーオルスンでのスカイラジオメータ観測に基づく 2006 年および 2007 年の春季エアロゾルの光学特性. 南極資料, 54, 890–898.
- Shupe, M. D., Walden, V. P., Eloranta, E., Uttal, T., Campbell, J. R., Starkweather, S. M., Shiobara, M., 2011. Clouds at arctic atmospheric observatories. Part I: Occurrence and macrophysical properties. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 50, 626–644.
- Stohl, A., Berg, T., Burkhart, J. F., Fjaeraa, A. M., Forster, C., Herber, A., Hov, Oe., Lunder, C., McMillan, W. W., Oltmans, S., Shiobara, M., Simpson, D., Solberg, S., Stebel, K., Strom, J., Tørseth, K., Treffeisen, R., Virkkunen, K., Yttri, K. E., 2007. Arctic smoke – record high air pollution levels in the European Arctic due to agricultural fires in Eastern Europe in spring 2006. *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 511–534.
- Treffeisen, R., Herber, A., Strom, J., Shiobara, M., Yamanouchi, T., Yamagata, S., Holmen, K., Kriews, M., Schrems, O., 2004. Interpretation of Arctic aerosol properties using cluster analysis applied to observations in the Svalbard area. *Tellus*, 56B, 457–476.
- Treffeisen, R., Rinke, A., Fortmann, M., Dethloff, K., Herber, A., Yamanouchi, T., 2005. An estimation on the radiative effects of Arctic aerosols using two different aerosol data sets: A case study for March 2000. *Atmospheric Environment*, 39 (5), 899–911.
- Treffeisen, R. E., Thomason, L. W., Strom, J., Herber, A., Burton, S. P., Yamanouchi, T., 2006. Stratospheric Aerosol and Gas Experiment (SAGE) II and III aerosol extinction measurements in the Arctic middle and upper troposphere. *J. Geophys. Res.*, 111, D17203. doi: 10.1029/2005JD006271.
- Yamanouchi, T., Aoki, S., Morimoto, S., Wada, M., 1996. Report on atmospheric science observations at Ny-Ålesund, Svalbard. *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, 51, 153–163.
- Yamanouchi, T., Wada, M., Shiobara, M., Morimoto, S., Asuma, Y., Yamagata, S., others, 2003. Preliminary report of the “Arctic Airborne Measurement Program 2002” (AAMP 02). *Polar Meteorol. Glaciol.*, 17, 103–115.
- Yamanouchi, T., Treffeisen, R., Herber, A., Shiobara, M., Yamagata, S., Hara, K., Sato, K., Yabuki, M., Tomikawa, Y., Rinke, A., Neuber, R., Schumacher, R., Kriews, M., Stroem, J., Gernandt, H., 2005. Arctic Study of Tropospheric Aerosol and Radiation (ASTAR) 2000: Arctic haze case study. *Tellus*, 57B, 141–152.

3.5.1 地表付近のエアロゾル

名古屋大学の岩坂グループでは、ライダーによる成層圏エアロゾルの観測に合わせて地表付近の粒径別エアロゾル粒子と先駆ガスについても観測していた。冬期北極圏の地表大気エアロゾルについては、人為的な大気汚染の影響を強く受けていることなど、先行研究が多数あったので、それらの先行研究とはひと味違う視点で研究するために、粒径別の成分分析と個別粒子解析、先駆ガス濃度の測定を組み合わせた研究をおこなった。系統的な連続サンプリングは1994年12月から1995年3月にかけての冬期シーズンからである。エアロゾルの採取には、「軽い・簡単・長続き」をモットーに、同グループの林（現・福岡大学）が考案した導電性プラスチックのサンプラーを用いた（岩坂，2000）。2段カスケードインパクターで粒径別エアロゾルを採取し、得られた試料について電子顕微鏡やレーザーマイクロプロブ質量分析計を用いて個別粒子を観察・分析するとともに、同時に採取した粒径別エアロゾルのイオン成分分析も行った。さらに、ニトロン薄膜法を用いて、個別粒子中に存在する硝酸塩の有無を調べた。

ニーオルスン基地は海洋性大気の影響を強く受けているので、海塩粒子濃度が高い。初期解析の結果、硝酸塩により変質した海塩粒子が頻繁に見つかった。そこで、海塩粒子の変質をもたらす酸性ガスの採取も、アルカリ含浸ろ紙法を用いて1995～1996年の冬期シーズンから開始した（Hara et al., 1997）。これらの解析の結果、硝酸塩による海塩粒子の変質は、海塩粒子の粒径分布の変化（エイジング）と密接な関係にあることがわかった（Hara et al., 1999）。また、海塩粒子に含まれる臭化物イオンや塩化物イオンの変質に関する論文や（Hara et al., 2002a）、シュウ酸イオンの粒径別季節変化に関する研究（Hara et al., 2002b）もまとめられた。一方、極夜のニーオルスンで、硫酸を中和するアンモニアがどの程度存在するのかわかるために、1996～1997年のシーズンからシュウ酸含浸ろ紙法によるアンモニアの捕集も行われた。これらの観測は、1999～2000年のシーズン終了まで継続された。また、2000年には極地研の和田らが持ち込んだSMPSを用いてエアロゾル粒径分布の観測を行い、先駆ガス濃度等との関係について考察した（Nishita et al., 2001）。このほか、海塩粒子の変質や大気を介した物質輸送に関連して、海塩粒子の乾性沈着や降雪も含めた観測も行った。海水の生成に伴う海塩粒子の組成変化やすす粒子の混合状態、硫酸塩を含む個別粒子の中和度の検討など、もう少し踏み込めたいと思うテーマもあったが、グループとしての方向性の変化によりニーオルスンでの観測は2000年の春が最後となった。

なお、ニーオルスン基地での他グループによるエアロゾル観測としては、放射性鉛同位体の測定や（Suzuki et al., 1996）、雲・降雪とエアロゾルを調べた報告（Wada and Igarashi, 1998）、ASTAR2004実施時の地上観測（Yamagata et al., 2009）がある。（長田）

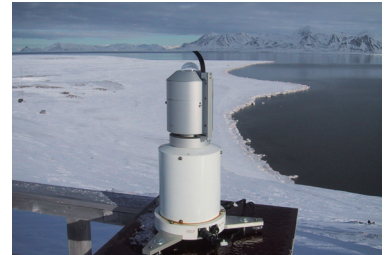
引用文献

- Hara, K., Osada, K., Hayashi, M., Matsunaga, Iwasaka, Y., 1997. Variations of concentrations of sulfate, methanesulfonate and sulfur dioxide at Ny-Ålesund in 1995/96 winter. Proc. NIPR Symp. Polar Metrol. Glaciol., 11, 127-137.
- Hara, K., Osada, K., Hayashi, M., Matsunaga, K., Sakai, T., Iwasaka, Y., Furuya, K., 1999. Fractionation of Inorganic Nitrates in Winter Arctic Troposphere—Coarse Aerosol Particles Containing Inorganic Nitrates—. J. Geophys. Res., 104, 23671-23679.
- Hara, K., Osada, K., Matsunaga, K., Iwasaka, Y., Shibata, T., Furuya, K., 2002a. Inorganic chlorine and bromine species in winter Arctic troposphere. J. Geophys. Res., 107(D18), 4361. doi:10.1029/2001JD001008.
- Hara, K., Osada, K., Matsunaga, K., Iwasaka, Y., Sakai, T., Furuya, T., 2002b. Concentration trends and mixing states of particulate oxalate in Arctic boundary layer in winter/spring. J. Geophys. Res., 107(D19), 4399. doi:10.1029/2001JD001584.
- 岩坂泰信 編, 2000. 北極圏の大気科学. 名古屋大学出版会, 239p.
- Nishita, C., Osada, K., Hara, K., Kido, M., Wada, M., Shibata, T., Iwasaka, Y., 2001. Number-Size Distributions of Atmospheric Aerosol Particles (10<Dp<365nm) at Ny-Ålesund, Norwegian Arctic: Their Relationship with Air Mass History. Polar Meteorol. Glaciol., 15, 67-77.

- Suzuki, T., Nakayama, N., Igarashi, M., Kamiyama, K., Watanabe, O., 1996. Concentrations of ^{210}Pb and ^{210}Po in the atmosphere of Ny-Ålesund, Svalbard (scientific paper). Mem. Natl Inst. of Polar Res., Spec. Issue, 51, 233–237.
- Wada, M., 1998. Atmospheric observations of liquid water in cloud and of chemical species in aerosols and gases near the ground and in fallen snow at Svalbard. Atmos. Res., 46, 383–389.
- Yamagata, S., Kobayashi, D., Ohta, S., Murao, N., Shiobara, M., Wada, M., Yabuki, M., Konishi, H., Yamanouchi, T., 2009. Properties of aerosols and their wet deposition in the arctic spring during ASTAR2004 at Ny-Ålesund, Svalbard. Atmos. Chem. Phys., 9, 261–270.

3.5.2 ニーオルスンで観測された雲量

地球の気候に対して、雲は太陽放射を反射する事により寒冷化に働く一方で、地球放射を吸収・射出する事により温暖化に働くという相反する影響を及ぼす。そこで、国際極年 (International Polar Year: IPY) 2007-2008 を含む 2005 年から 2008 年において、北極ニーオルスンで観測された雲量とその経年変動について



全天カメラ (写真: 塩原)

調べた。解析に用いた観測データは全天カメラ、マイクロパルスライダー (MPL)、目視の三種類である。

まず全天カメラは、デジタルカメラと魚眼レンズを用いて、天空全体を撮影するものである。今回の解析には 1 時間毎の JPEG 画像データを用いた。Yabuki et al. (2014) により、天空画像から雲を識別する。そして天空全体における雲の割合を雲量とした。

また、MPL は波長 523.5 nm のマイクロパルスレーザー光を鉛直に大気中に発射し、浮遊する大気分子やエアロゾルによって後方散乱されてくる光をフィルターで分光観測し、鉛直分布を得ることができる。高度分解能は 30 m であり、高度 60 km までの観測が可能である。Yabuki et al. (2014) により、雲底高度を推定する。観測は 1 分毎に行われているが、今回の解析では 3 分間の雲底高度の平均値を使用した。解析期間において、雲底が識別された鉛直分布の割合、すなわち雲が観測された頻度を雲量とした。

そして目視は人間の目による観測である。観測時刻は協定世界時 (UTC) 0:00、6:00、12:00、及び 18:00 の 1 日 4 回である。天空全体における雲の占める割合を雲量とした。

上記、三種類の雲量を、雲が全く観測されていない状態 (0%) から全部雲が観測された状態 (100%) にそれぞれ規格化した。このようにして推定された 4 年間の雲量の統計を表に示す。これより、三種類の雲量はおおよそ整合的であることがわかった。(久慈)

	2005	2006	2007	2008	全期間
全天カメラ	74±37 (3369)	79±32 (3698)	74±36 (2942)	80±32 (2916)	77±35 (12925)
MPL	71±45 (174383)	70±46 (156908)	76±42 (174828)	70±46 (175079)	72±45 (681198)
目視	64±35 (1016)	71±32 (1050)	65±35 (879)	68±34 (1062)	67±34 (4007)

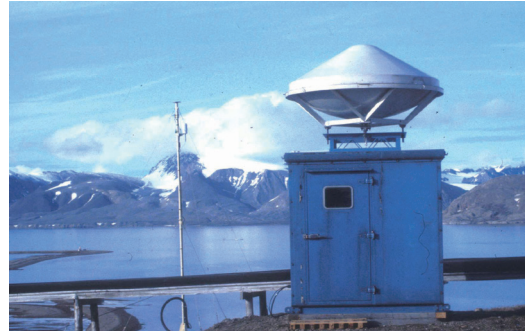
全天カメラ、マイクロパルスライダー (MPL)、目視によって、ニーオルスンで 2005 年から 2008 年にかけて観測された雲量 (%) の統計値: 平均値 ± 標準偏差。括弧の中は解析に用いたデータ数。全天カメラは日照のある春から秋の間の観測である。

引用文献

- Yabuki, M., Shiobara, M., Nishinaka, K., Kuji, M., 2014. Development of a cloud detection method from whole-sky color images. Polar Science, 8, 315–326.

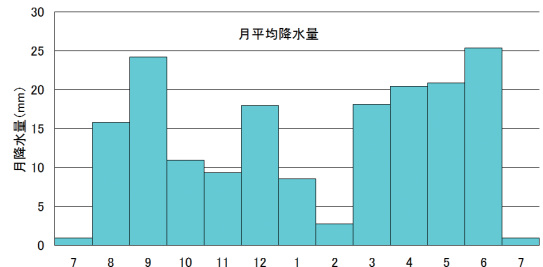
3.5.3 降水レーダー観測

ニーオルスン基地で垂直レーダーやマイクロ波放射計などを用いた「雲と降水」の観測を1992年に始めた。レーダーは鉛直分解能50m、高度6.4kmまでのエコー強度を10秒毎に記録し、エコー頂高度、雲底高度、降水量などを推定し、マイクロ波放射計や放射温度計で、雲の検出が行われた(Wada et al., 1996)。垂直レーダーの外観を写真に示す。



1992年8月に基地横に設置された垂直レーダー
(写真：小西)

これらの結果の中で、1997年12月から2004年6月上旬までのデータを用いて、スバルバル上空の雲と降水の季節変化について小西(2005)が報告している。降水エコーの出現率の一年間の変化は、冬季の2月と夏季の7月が15%、5%と極端に少ないほかは、各月共約25%と大きな差はないのに対して、雲量は、真夏の6月～8月は70%を越えて多く、逆に、真冬の2月は40%程度と最も少なく、夏に多く冬に少ないという気温と同様の季節変化を示した。これは降水エコーをもたらす水蒸気の流入の原因が、相対的に暖かい低緯度から近づいた低気



1997年12月から2004年6月までの垂直レーダーのデータを用いて推定した月平均降水量。

圧がもたらす雲であることが多いことを示した Wada and Konishi (1998) の結果と一致している。したがって、夏季は雲ができる割に降水をもたらすような発達した雲が相対的に少なく、降水効率が低いことになる。また、レーダーから推定した年平均降水量は205mmで、月平均降水量の季節変化を見ると(グラフ参照)6月、9月に極大、2月、7月に極小であり、1992年8月から1995年3月のデータを用いて Wada and Konishi (1996) が示した1月と6月に降水量の極小月がある季節変化とは異なる結果を示している。極小極大の時期が観測年によって異なるのは、降水量の年々変動が大きいことを示していると考えられる。

AAMPの航空機観測と同期した地上観測を行った1997年12月から1998年3月までの冬季観測結果から小西他(2002)は、冬季の降水エコーの平均出現頻度は23%であったが、気温が高い12月や3月の出現頻度は50%近くと高いのに対し、気温が低い2月には10%以下に低くなることもあることを示した。また、降水エコーの時間変化から層状性と対流性のタイプ分けを行い、層状性の降水エコーが全体の64%を占め、気温が低下するところの割合が大きくなり、平均気温が -20°C より低くなった2月には層状性の割合が80%を越えたことを示した。(小西)

引用文献

- 小西啓之, 和田誠, 塩原匡貴, 2002. AAMP 観測期間中のレーダー観測. 南極資料, 46(1A), 280-286.
小西啓之, 2005. 北極域対流圏・成層圏物質循環の変動と気候影響: 雲と降水. 北極域における気候・環境変動の研究(科学研究費補助金成果報告書. 研究代表者: 藤井理行), 70-73.
Wada, M., Konishi, H., Yamanouchi, T., 1996. Variation of monthly precipitation and frequency of radar echo existence at some altitudes in Ny-Ålesund, Svalbard. Arctic. Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, 51, 239-246.
Wada, M., Konishi, H., 1998. A study of precipitating clouds close to fronts using microwave radiometry and radar in Svalbard. Arctic. Atmos. Res., 49, 253-265.

3.6 オゾン観測

3.6.1 フーリエ変換赤外分光器（FTIR）とオゾンゾンデによる成層圏オゾンの観測

1980年代半ばに南極オゾンホールが発見された後、成層圏オゾン破壊問題は世界的に脚光を浴びてきた。その中で、北極域でのオゾン破壊現象も大気化学研究者の中で注目を浴び、1990年代頃からいろいろな観測キャンペーンが行われてきた。大陸分布の違いにより、北極上空の成層圏は南極に比べて気温が十数度高いため、南極ほど大規模なオゾン破壊は起きないが、それでも1996年や2000年、2011年といった寒冷な年には大規模な北極オゾン破壊が観測されてきた（中島，2012）。我々は、これら北極におけるオゾン破壊とそれに関わる極成層圏雲（Polar Stratospheric Clouds：PSC）の挙動を調べる目的で科研費を得て、2008年～2011年の3シーズンにわたり、ニーオルスン基地及びロシア・サレハルドにおいて、FTIR、OPC、ライダー及びオゾンゾンデ観測を実施した。これらの基地は北極渦の中心に位置することが多く、グリーンランドの山岳波の影響でPSCも多く観測され、オゾン破壊を観測するには最適の場所に位置している。

ニーオルスンは夏には100人以上の研究者が滞在するが、冬季の基地はキングスベイのスタッフを入れても30名程度ととてもひっそりしている。が、その分みんなの交流は密で、本場北欧のクリスマスパーティー（写真左）、新年会、Sun Come Back Festival（写真右）、週末の氷の洞窟ツアーや付近の山小屋へのスノーモービル小旅行と、まるで南極観測隊のように密な交流が繰り返された。

日本の基地は、町の中心からは離れた滑走路脇に位置するが、毎日の食事時には基地のメイン建物（Messa）に車やスノーモービルで訪れていた。ここは緯度が北緯79度と、南極昭和基地より10度ほど高緯度に位置するので、冬至前後の冬の期間は本当に真っ暗で正午でも薄明るくもならない。でも、暖流のメキシコ湾流のおかげで、気温は最低でも -20°C 程度と比較的暖かかった。また昭和基地との違いは、冬期間でも週に2便の航空機やヘリコプターによるアクセスが可能なことと、高速インターネット回線が利用できることである。その点では「文明的な観測基地」という印象だった。ただし、ある冬はこのネット回線が故障したため、丸1週間世間から隔離されたホワイトクリスマスを経験することもできたが。また、シロクマが時々現れるが、「冬の期間は真っ暗だからもし近くにいても判らないよ！」



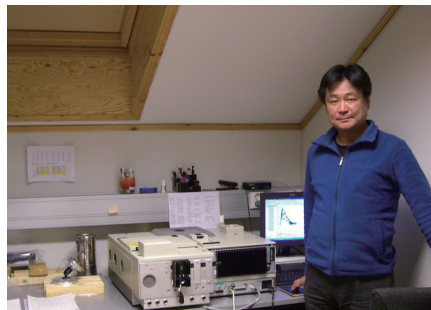
クリスマスディナーでは、皆さん正装に着替え、本場北欧の伝統的クリスマス料理を楽しんだ。この後サンタさんが現れ、皆にプレゼントを配ってくれた。（写真：中島）



Sun Come Back Festivalの時のパーティーの集合写真。この年のテーマは「映画」で、みな何がしかの映画の登場人物に扮した。私は現地のミシンでカーテンの布を縫い合わせて浴衣を作り、侍に扮した。左から2人目が執筆者。（写真：中島）

という冗談とも本気とも判らないアドバイスを基地の人からいただいたりもした。

我々は、私の他に、村田(東北大)、白石(福岡大)、富川(極地研)、長浜(環境研)や、それぞれの研究室に所属する大学院生さんたちが約3週間交代でオゾン破壊の起こる冬(12月末)~初春(3月上旬)に現地に滞在し、FTIR(写真右)やOPC、ライダー観測、オゾンゾンデ観測を行った。おかげで、最終年度にあたる2011年には、北極では史上最大となるオゾン破壊に遭遇し、その発見の一翼を担うことが出来た(Manne et al., 2011)。今後温室効果ガスの増加に伴って成層圏の寒冷化が予測されており、北極域でのオゾン層の動向は、今後もしばらく注視していく必要がありそうである。(中島)



PSCからの放射スペクトルを観測し、PSCのタイプを判別する小型FTIR装置。この他に、九州大学がライダー観測を行い、オゾン破壊のメカニズム解明を行った。(写真:中島)

引用文献

中島英彰, 2012. 観測史上初の2011年北極オゾンホール, Japan Geoscience Letters, 8, 7-9.

Manney, G. L., Santee, M. L., Rex, M., Livesey, N. J., Pitts, M. C., Veefkind, P., Nash, E. R., Wohltmann, I., Lehmann, R., Froidevaux, L., Poole, L. R., Schoeberl, M. R., Haffner, D. P., Davies, J., Dorokhov, V., Gernandt, H., Johnson, B., Kivi, R., Kyrö, E., Larsen, N., Levelt, P. F., Makshtas, A., McElroy, C. T., Nakajima, H., Parrondo, M. C., Tarasick, D. W., Gathen, P. von der, Walker, K. A., Zinoviev, N. S., 2011. Unprecedented Arctic ozone loss in 2011. Nature, 478, 469-475. doi:10.1038/nature10556.

3.6.2 ライダーによる極成層圏雲観測

北極の成層圏極渦は南極のように大きく発達せず、極渦内の温度が氷雲の生成する温度まで低下することもまれである。1989年1~2月、NASA、DC-8により初めて冬季北極成層圏のライダー観測が

実施された際には、実際、氷の雲は検出されなかったが、一方エアロゾルの著しい増加が見いだされた。これは、バックグラウンド硫酸エアロゾル粒子が、北極極渦内の温度低下に伴い、硝酸や水分子を取り込んで成長した結果によると推測された(Browell et al., 1990)。極域成層圏で発生した氷雲および低温で成長したエアロゾルは極成層圏雲(PSC)と呼ばれる。

名古屋大学と福岡大学のグループは北極PSCのより詳細な測定のため、1993年の

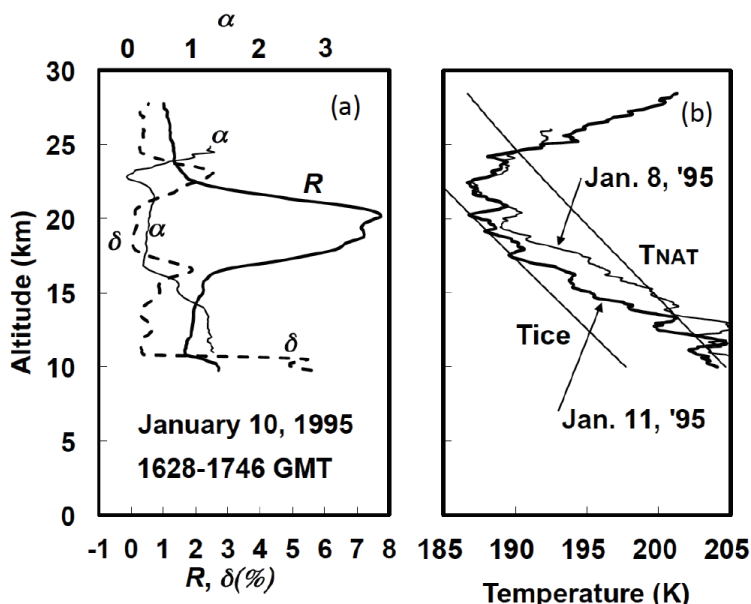


図1. (a) PSC観測結果、(b) 温度の高度分布。

夏、ニーオルスンにライダーを設置し、2010年まで冬季のライダー観測を実施した。また、2014年春以降は、対流圏観測のために通年の連続ライダー観測を実施しているが、このライダーはPSCの検出も可能である。20年間におよぶライダー観測の中で、特に1990年代後半は極渦の活動が盛んで、しかも渦の中心が頻繁にニーオルスン付近にあったため、多くのPSC発生イベントを捉えた。

図1(a)はニーオルスンに設置したライダーで観測されたPSCの典型例で、太い実線は後方散乱比R(Rから1を引いた値が粒子の混合比にほぼ比例。バックグランドエアロゾルでR=1.1程度)、細い実線は後方散乱係数(観測波長、532nmと1064nm)のオングストローム指数 α (粒径に反比例。バックグランド粒子は1程度、成長した粒子は0程度)、点線は粒子の偏光解消度 δ (均一球形粒子or液滴粒子で0、固体粒子で数%以上の値)をそれぞれ表す。高度20km付近の粒子は、混合比がバックグランドに比べて約70倍増加し、観測波長程度より大きく成長した液体であることを示している。

R、 δ 、 α として得られた粒子の特性の高度分布は温度とよく対応している。図1(b)はライダー観測日に近い日の成層圏の温度(T)と氷(Tice)と硝酸三水和物(TNAT)の臨界温度(成分分子の飽和蒸気圧と分圧が等しくなる温度)を示している。Rの極大は図のように温度がTiceに近い高度付近にある。TがTiceより2~3度高く、TNATより2~3度低いような高度(高度17kmと23km付近)ではR~2で混合比はバックグランドに比べ約10倍増加しており、 δ ~2%、 α ~0で観測波長程度以上に成長した固体粒子が存在することを示す。

成層圏温度と北極PSCの特徴の時間的な変化も同様の対応を示している。北極PSCは、冬季の季節進行にともない温度がTNATから2~3度低下したところで、まずR、 δ の増加、 α の減少(固体粒子の出現と成長)として見出だされる。その後、温度がTice付近まで低下するとRはさらに増加し、 δ と α は~0となる(液体粒子への変化とさらなる成長)(Adachi et al., 2001; Shibata et al., 1997; Shibata et al., 1999a)。

以上の観測結果は、温度低下に伴い、まず固体粒子が発生し、続いて液体粒子が現れる、という、一見不可解な変化を示している。しかしこれは図2に示すように、粒子の状態の変化として理解することができる。バックグランドエアロゾル粒子(図2(a))は温度低下に伴い、まずごく一部の粒子から均一核生成により固体の硝酸水和物粒子を生成する(図2(b))。しかしこの核生成率は小さいため、大部分の粒子はさらなる温度低下に伴って液体のまま成長し、平衡状態の変化によって特にTice付近で急激に成長する(図2(c))。以上は溶液中の固体粒子の核生成率や、温度低下に伴う硫酸、硝酸、水の三成分系粒子の物理化学的な特性の変化として説明することができ、ライダー観測結果もこのような微物

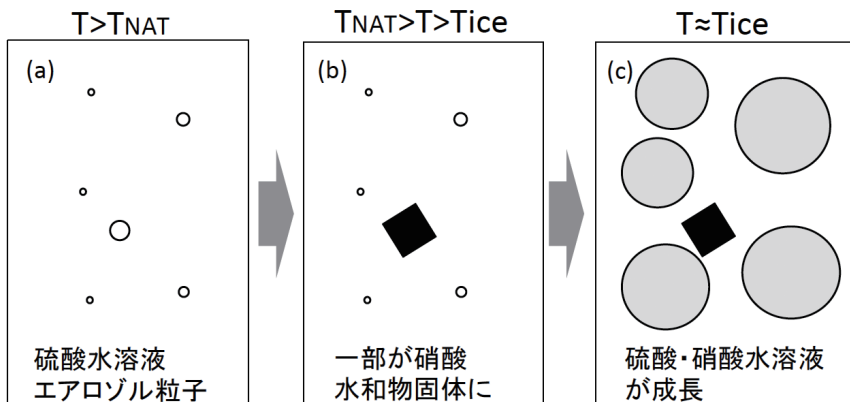


図2. PSC粒子の温度変化の模式図。

理過程で数値的に再現できる (Shibata, 1999)。なお、南極における観測では、氷の雲は Tice よりさらに数度低下したところで発生する (Shibata et al., 2003)。

北極 PSC の微物理的な特性が明らかになり、北極成層圏のオゾン減少をモデル予測することが可能となった。が、いずれにしろ北極 PSC の生成とそれに伴うオゾン破壊は、本稿冒頭に述べた理由で、南極に比べればその程度は小さい。しかし現在、温暖化に伴う成層圏温度の低下が予想されているが、2016 年 1～2 月、ニーオルスン上空で氷雲の特徴を示す大規模な PSC の存在が観測されており、今後も継続的かつ注意深い北極 PSC の観察が必要であろう。(柴田)

引用文献

- Adachi, H., Shibata, T., Iwasaka, Y., Fujiwara, M., 2001. Calibration method for the lidar observed stratospheric depolarization ratio in the presence of liquid aerosol particles. *Applied Optics*, Vol. 40, 6587–6595. <https://doi.org/10.1364/AO.40.006587>.
- Browell, E. V., Butler, C. F., Ismail, S., Robinette, P. A., Carter, A. F., Higdson, N. S., Toon, O. B., Schoeberl, M. R., Tuck, A. F., 1990. Airborne lidar observations in the wintertime Arctic stratosphere: Polar stratospheric clouds. *Geophys. Res. Lett.*, 17, 385–388. <http://dx.doi.org/10.1029/GL017i004p00385>.
- Shibata, T., Iwasaka, Y., Fujiwara, M., Hayashi, M., Nagatani, M., Shiraiishi, K., Adachi, H., Sakai, T., Susumu, K., Nakura, Y., 1997. Polar stratospheric clouds observed by lidar over Spitsbergen in the winter of 1994/1995: Liquid particles and vertical “sandwich” structure. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 102, 10829–10840. <http://dx.doi.org/10.1029/97JD00418>.
- Shibata, T., Shiraiishi, K., Adachi, H., Iwasaka, Y., Fujiwara, M., 1999. On the lidar observed sandwich structure of polar stratospheric clouds, I, implications for the mixing state of the PSC particles. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 104, 21603–21611. <http://dx.doi.org/10.1029/1999JD900331>.
- Shibata, T., 1999. On the lidar observed sandwich structure of polar stratospheric clouds, II, numerical simulations of externally mixed PSC particles. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 104, 21613–21619. <http://dx.doi.org/10.1029/1999JD900333>.
- Shibata, T., Sato, K., Kobayashi, H., Yabuki, M., Shiobara, M., 2003. The Antarctic polar stratospheric clouds under the temperature perturbation by non-orographic inertia gravity waves observed by micro pulse lidar at Syowa Station. *J. Geophys. Res.*, 108(D3), 4105. doi:10.1029/2002JD002713. <http://dx.doi.org/10.1029/2002JD002713>.

3.6.3 ニーオルスンでの気球搭載光学オゾンゾンデ観測

我々は 1990 年代半ばの南極でのオゾンホールが注目を集めていたときに、では北極域ではどうなのかという疑問を動機にニーオルスンでの観測を始めた。当時 AWI におられた Hartwig Genrandt 博士が来日された際に、我々が開発を進めていた気球搭載光学オゾンゾンデのアイデアを話し合ったところ、是非 AWI が基地 (Koldewey Station) をもつニーオルスンで共同観測をしようということになり 1994 年から 3 年間連続でニーオルスンでの観測を行うこととなった。当時の光学オゾンゾンデは、オゾンによる吸収を受ける波長と受けない波長の 2 チャンネルの光学干渉フィルターを通過する光を同時に検出する光学センサーであり、測定原理は気球上昇に伴うオゾン吸収を受ける波長の信号増加を、受けない波長で補正しながら、オゾン量の高度変化を導くものである。ここでは初回 1994 年の観測時のエピソードを紹介することとする。

今となってはもはや時効で紹介してもよいと思うが、実は最初の放球で重大なトラブルがあった。ニーオルスンのアムンセン銅像の近くから放球した気球が順調に高度を上げずに高度 10km 付近で漂流を始めたのである。観測のお目付け役であったノルウェー極地研究所の Jon Orbaek が私に「このまま漂流を続けるとグリーンランド領空に入ってしまう恐れがある、すぐにデンマークに通報するか、それとも公海上に落下するのを予想して黙っているか、すぐに決めろ」と迫られたのである。この気球実験には故山上隆正さんをはじめとする当時の宇宙科学研究所気球グループの 3 人のかたがたが気球トラッキングの装置持参で参加いただいていた。私は山上さんに気球航跡を尋ねて、「徐々に高度は落ちつつある」という情報を得たので、「大丈夫、気球は公海上に落下して誰にも危害を与える恐れはないので

デンマーク政府に通告はしない、黙っていよう」という判断を伝えた。しかしスバルバル周辺では旅客機の往来が頻繁であり、翌日のニュースを見るまでは心配で、心配でならなかったのをいまは懐かしく思い出す。

光学オゾンゾンデを用いた気球観測によるオゾン観測は国内では当時の宇宙科学研究所三陸気球観測所でも続けられ、ニーオルスンにも同行した東北大院生・岡林昌宏は「A Study on Balloon-borne Optical Sensors for Ozone Measurements in the Upper Stratosphere」の博士学位論文により1997年に学位を取得している。またニーオルスンでの観測結果は、Okano et al. (1996)に纏められている。

その後、光学オゾンゾンデによる観測は三陸町から大樹町へと移って継続されており、装置もGPSや小型分光器の搭載など改良されて今日に至っている。(岡野、村田)

引用文献

Okano, S., Okabayashi, M., Gernandt, H., 1996. Observations of ozone profiles in the upper stratosphere using a light-weight high-altitude balloon. *Memoirs of National Institute of Polar Research, Spec. Issue*, 51, 225–231.



ニーオルスンでの放球 (写真：岡野)

3.7 陸域生態系観測

はじめに

北極域で起きている急速な温暖化は、陸域生態系にも大きな影響を与えていると予想される。ニーオルスン基地では、開設から間もない1992年に概査が行われ、翌93年から植生調査、94年からは植物生理生態、微生物生態、物質循環など、さまざまな分野の研究者が滞在し、生態系の構造・機能とそれに対する気候変動の影響について研究を行ってきた。高緯度北極において、これだけ長期かつ多岐にわたって調査研究が行われた例は海外を含めてもほとんどなく、もっとも情報の蓄積された場所として知られている。研究成果は40報を超える原著論文のほか、総説や書籍として報告され、新聞等のマスメディアにも紹介されている。ここではその概要を紹介する。



ムラサキユキノシタ (上) とキョクチャナギ (下)
(写真: 内田)

氷河後退域の植生と生態系の発達

日本のニーオルスン基地はブレッガー半島に位置し、北側はコングスフィヨルド、南側は東ブレッガー氷河や西ブレッガー氷河に囲まれている。この付近の詳細な氷河の後退時期は不明であるが、1万年以上に生息していたと考えられる海棲の貝化石が発見されることから、1万年以上に氷河が後退し、その後隆起して陸になった部分もあると考えられる。いずれにしても、僅か数キロメートルの間に、氷河が後退して裸地が出現したばかりの場所から、氷河が後退もしくは海底が隆起して1万年以上経過し、維管束植物に加え、蘚苔類や地衣類が豊富に分布している場所が存在しているため、植生や生態系が時間の経過と共にどのように変化していったのかを知るには、魅力的な場所である。そのため、1990年代には植生に関する調査が積極的に行われ、地形や土壌と維管束植物や蘚苔類との関係 (Minami et al., 1996, 1997; Okitsu et al., 1998) やチョウノスケソウ *Dryas octopetala* (Wada, 1998, 1999)、ムカゴトラノオ *Polygonum viviparum* 等の生態などに関する研究が行われた。また、1990年代後半には、植生モニタリングのためのプロットも設定され、現在も種数と被度が定期的に観察されている (Kojima, 2002, 2004)。

東ブレッガー氷河は、年間15～20mの速度で後退している (Nakatsubo et al., 2010)。このような急速な変化が生態系の構造と機能にどのような影響を与えるのかという問題は、研究開始時からの中心テーマの一つであった。氷河後退は、生物が定着できる新たな立地を作り出し、新たな遷移の出発点となる。東ブレッガー氷河の後退域では、氷河後退直後に侵入する維管束植物は多年生の草本ムラサキユキノシタ *Saxifraga oppositifolia* で、本種は不安定な立地に最初に定着できる繁殖特性を有している (Kume et al., 1999)。一方、氷河末端から離れた場所には矮性の木本キョクチャナギ *Salix polaris* が蘚苔類と混生群落を形成している。ムラサキユキノシタよりキョクチャナギの方がはるかに高い生産力をもつため、前者から後者への移り変わりは、生態系の炭素蓄積速度に大きく影響する (Muraoka et al., 2008)。研究の結果、この変化は、低緯度地域でみられるような土壌発達などの環境変化にともなった遷移現象

ではなく、両種の実生の定着速度の差によるものと推測された (Nakatsubo et al., 2010)。また、キョクチャナギは菌根菌と共生するが、氷河後退直後の土壌には菌根菌の感染源が少ないため、そのことが定着を妨げている可能性もある (Fujiyoshi et al., 2011)。いずれにしろ、キョクチャナギの定着速度は、現在の氷河後退速度より遅いため、氷河後退後には植生のまばらな生産力の低い生態系しか成立しないと予想される。

氷河の末端域では植生発達も土壌炭素の蓄積も少ないのに対し、氾濫原をはさんで北側 (氷河末端から遠い側) には、比較的大量の土壌炭素が蓄積している (Yoshitake et al., 2011)。この氾濫原を挟んでの変化は非連続的で、研究の結果、後者には隆起海岸堆積物由来の古い炭素が存在することが明らかになった (Nakatsubo et al., 2008)。興味深いことに、この炭素を含む層にも生きている微生物の存在が確認された。これらの微生物が化石炭素を利用している可能性もあり、今後の研究が待たれるところである。

氷河後退域の炭素循環

植物が生産した有機物は、土壌中で微生物によって分解され、再び CO_2 に戻る。土壌有機物の動態は、生態系に蓄積される炭素量を左右するとともに、土壌生成、栄養塩動態を介して、生態系の構造にも大きく影響するため、有機物生産速度、分解速度に対する気候変動の影響を知ることが重要となる (Nakatsubo et al., 2005)。このため、氷河後退域の主要な維管束植物 (Muraoka et al., 2008)、コケ植物 (Uchida et al., 2002)、地衣類 (Uchida et al., 2006)、土壌クラスト (土壌表面に形成される皮膜状の微生物群集) (Yoshitake et al., 2010)、土壌の分解性微生物 (Bekku et al., 2004) などに対する環境要因の影響が調査されてきた。

生態系レベルの変化を予測するためには、個別の炭素フローの情報だけではなく、それらを統合したモデル (プロセスベースの炭素循環モデル) が必要である。内田らは、将来の気候変動が生態系の炭素蓄積にどのような影響を及ぼすかを調べるモデルを作成した (Uchida et al., 2016)。このモデルは遷移後期に優占するキョクチャナギとコケからなる群落から得られた測定結果をもとに、温度、光、降水のデータからの生態系の主要な炭素フローを予測するものである。シミュレーションの結果、温度上昇自体は生態系呼吸を増加させることにより炭素固定量を減少させるが、温暖化にともなってヤナギの着葉期間が長くなれば、増加に作用すると予想された。一方、コケの生育期間を延長することは、炭素固定量を減少させるという結果となった。これは、生育期間の終わりになると日射が弱くなり、呼吸速度が光合成速度を上回るため、野外での測定結果もこの予測を支持している (Uchida et al., 2010)。温暖化影響の将来予測には不確実な部分が多々あるが、温暖化が必ずしも炭素固定量を増加させるわけではないことを示した点は重要である。

コケツンドラの炭素循環

コケツンドラはその名のとおりにコケ植物が優占するツンドラ植生であるが、厚いピートの蓄積があるのが特徴である。ニーオルスンが位置するブレッガー半島において、コケツンドラの占める割合は大きくはないが、炭素蓄積量は氷河後退域とくらべ各段に大きいと予想されるので、地域レベルの炭素循環に大きな影響を及ぼしている可能性がある。このため 2011 年から、ニーオルスン基地から西約 5km に位置する Stuphallet において、コケツンドラの炭素動態をターゲットにした一連の調査が行われてきた。本調査地のピートの厚さは 1m にもおよぶが (Rozema et al., 2006)、活動層 (コケの褐色部とピートを含む) の厚さは 8 月初旬で 28cm 程度であった。ピートのコアサンプルの ^{14}C 年代測定から推定さ

れた活動層最下部の年代は 81-701 cal yr BP で、これらの値と活動層の炭素蓄積量から求めた見かけの炭素蓄積速度は $9.0\text{-}19.2 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ となった。この値は、本地域の他の植生タイプについて報告されている生態系純生産量、純一次生産量と同レベルかそれ以上であり、コケツンドラがこの地域の炭素蓄積に重要な役割を果たしていることが示された (Nakatsubo et al., 2015)。同調査地における調査は現在も継続中で、メタンを含む温室効果ガスの放出、流水による有機炭素の流失などに関する新たな知見が得られつつある。

植物病原菌

ニーオルスンでは、植物病原菌についても調査が進んでいる。北極における植物病原菌の情報は著しく少ないが、ニーオルスンでは日本人研究者の継続的な研究が行われてきた。雪腐れ病菌 *Pythium* spp. については、感染したコケ群落を枯らすことによって他の植物が侵入可能となること (Hoshino et al., 2001)、南極との種間比較や交配の可能なタイプが存在する (Tojo et al., 2012) など非常に興味深い成果が得られている。他にも、一般的に維管束植物を宿主とする病原菌は、自然生態系では宿主を殺すことはないが、ムカゴトラノオに寄生する菌の中には宿主を死に至らしめる種が存在することなどもわかってきている (Tojo and Nishitani 2005)。さらに、ヤナギに寄生する黒紋病菌 *Rhizisma polare* については、新種であることを発見 (Masumoto et al., 2014) するだけでなく、炭素循環研究グループとの共同研究により、ヤナギの物質生産に与える影響についても解明されてきている。

今後の展望

スバルバル諸島では、氷河後退域後の時間や地形、水分条件などにより、狭い範囲に多様な植生タイプが存在している。炭素蓄積量、有機物生産と分解速度、それに対する環境要因の影響は、植生タイプによって大きく異なるため、フィールドでの研究は、特定の植生を対象とした比較的狭い範囲での調査にならざるをえない。このようなプロットレベルの調査は、個々の生物の生理生態的応答を詳細に検討できるというメリットがある反面、地理的スケールへの拡大につなげるのが難しいという問題がある。この点、ニーオルスンでは、氷河後退域からコケツンドラを含む主要な植生についての情報が蓄積されているため、複数の植生タイプを統合して、よりスケールアップした評価が可能である。たとえば、リモートセンシング手法を用いた植生分布のデータを利用すれば、ニーオルスンを含むブレッガー半島全域の炭素蓄積と炭素動態を予測推定することも可能である。このような生態系プロセスをベースとした広域評価はあまり例がなく、生物の生理生態と地理的スケールでの研究をつなぐものとして大きな意義がある。

さらに、この 20 年以上の調査の過程で、ニーオルスンやそれ以外に観測拠点をもつノルウェー、ドイツ、チェコ、オランダ、韓国などの研究者とネットワークができてつつある。このネットワークを利用することにより、スバルバル諸島全体を対象とした調査研究プロジェクトや若手研究者の育成を目的とした教育プログラムを実施することも可能になるであろう。(中坪、内田)

引用文献

- Bekku, Y. S., Nakatsubo, T., Kume, A., Koizumi, H., 2004. Soil microbial biomass, respiration rate, and temperature dependence on a successional glacier foreland in Ny-Ålesund, Svalbard. *Arct. Antarct. Alp. Res.*, 36, 395–399.
- Fujiyoshi, M., Yoshitake, S., Watanabe, K., Murota, K., Tsuchiya, Y., Uchida, M., Nakatsubo T., 2011. Successional changes in ectomycorrhizal fungi associated with the polar willow *Salix polaris* in a deglaciated area in the High Arctic, Svalbard. *Polar Biol.*, 34, 667–673.
- Hoshino, T., Tojo, M., Kanda, H., Tronsmo, A. M., 2001. Ecological role of fungal infections of moss carpet in Svalbard. *Mem. Natl.*

- Inst. Polar Res. Spec. Issue 54, 507–513.
- Kojima, S., 2002. A two-year change of arctic vegetation as observed in a permanent plot established in Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar bioscience*, 15, 123–128.
- Kojima, S., 2004. Three-year vegetation change in the Arctic environment as observed in a permanent plot in Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Biosci.*, 123–127.
- Kume, A., Nakatsubo, T., Bekku, Y., Masuzawa, T., 1999. Ecological Significance of Different Growth Forms of Purple Saxifrage, *Saxifraga oppositifolia* L. in the High Arctic, Ny-Ålesund, Svalbard. *Arct. Antarct. Alpine Res.* 31, 27–33.
- Masumoto, S., Tojo, M., Uchida, M., Imura, S., 2014. *Rhytisma polare*: morphological and molecular characterization of a new species from Spitsbergen Island, Norway. *Fungal Biol.*, 13, 181–188.
- Minami, Y., Kanda, H., Masuzawa, T., 1996. The relationship between distribution of bryophytes and soil condition. *Proceedings of NIPR Symposium on Polar Biol.*, 9, 307–312.
- Minami, Y., Okitsu, S., Kanda, H., 1997. Relationship between plant community and topographic factor on the moraine at deglaciated Arctic Terrain in Ny-Ålesund, Svalbard. *Bulletin of the Faculty of Agriculture, Tamagawa University*, 37, 21–30.
- Muraoka, H., Noda, H., Uchida, M., Ohtsuka, T., Koizumi, H., Nakatsubo, T., 2008. Photosynthetic characteristics and biomass distribution of the dominant vascular plant species in a high Arctic tundra ecosystem Ny-Ålesund, Svalbard: implications for their role in ecosystem carbon gain. *J. Plant Res.*, 121, 137–145.
- Nakatsubo, T., Bekku, Y. S., Uchida, M., Muraoka, H., Kume, A., Ohtsuka, T., Masuzawa, T., Kanda, H., Koizumi, H., 2005. Ecosystem development and carbon cycle on a glacier foreland in the high Arctic, Ny-Ålesund, Svalbard. *J. Plant Res.*, 118, 173–179.
- Nakatsubo, T., Yoshitake, S., Uchida, M., Uchida, M., Shibata, Y., Koizumi, H., 2008. Organic carbon and microbial biomass in a raised beach deposit under terrestrial vegetation in the High Arctic, Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Res.*, 27, 23–27.
- Nakatsubo, T., Fujiyoshi, M., Yoshitake, S., Koizumi, H., Uchida, M., 2010. Colonization of the polar willow *Salix polaris* on the early stage of succession after glacier retreat in the High Arctic, Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Res.*, 29, 385–390.
- Nakatsubo, T., Uchida, M., Sasaki, A., Kondo, M., Yoshitake, S., Kanda, H., 2015. Carbon accumulation rate of peatland in the High Arctic, Svalbard: Implications for carbon sequestration. *Polar Sci.*, 9, 267–275.
- Okitsu, S., Minami, Y., Kanda, H., 1998. Relationship between plant occurrences and surface conditions on recently deglaciated moraine at Ny-Ålesund, Svalbard, Arctic Norway. *Proceedings of NIPR Symposium on Polar Biology*, 11, 119–127.
- Rozema, J., Boelen, P., Doorenbosch, M., Bohncke, S., Blokker, P., Boekel, C., Broekman, R. A., Konert, M., 2006. A vegetation, climate and environment reconstruction based on palynological analyses of high arctic tundra peat cores (5000–6000 years BP) from Svalbard. *Plant Ecol.*, 182, 155–173.
- Tojo, M., Nishitani, S., 2005. The effects of the smut fungus *Microbotryum histortarum* on survival and growth of *Polygonum viviparum* in Svalbard, Norway. *Canadian J. Bot.*, 83, 1513–1517.
- Tojo, M., West, P. V., Hoshino, T., Kida, K., Fujii, H., Hakoda, A., Kawaguchi, Y., Mühlhauser, H. A., Van Den Berg, A. H., Küpper, F. C., Herrero, M. L., Klemsdal, S. S., Tronsmo, A. M., Kanda, H., 2012. *Pythium polare*, a new heterothallic oomycete causing brown discoloration of *Sanionia uncinata* in the Arctic and Antarctic. *Fungal Biol.*, 116, 756–768.
- Uchida, M., Muraoka, H., Nakatsubo, T., Bekku, Y., Ueno, T., Kanda, H., Koizumi, H., 2002. Net photosynthesis, respiration, and production of the moss *Sanionia uncinata* on a glacier foreland in the High Arctic, Ny-Ålesund, Svalbard. *Arct. Antarct. Alp. Res.*, 34, 287–292.
- Uchida, M., Nakatsubo, T., Kanda, H., Koizumi, H., 2006. Estimation of the annual primary production of the lichen *Cetrariella delisei* in a glacier foreland in the High Arctic, Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Res.*, 25, 39–49.
- Uchida, M., Kishimoto, A. (Mo, W.), Muraoka, H., Nakatsubo, T., Kanda, H., Koizumi, H., 2010. Seasonal shift in factors controlling net ecosystem production in a high Arctic terrestrial ecosystem. *J. Plant Res.*, 123, 79–85.
- Uchida, M., Muraoka, H., Nakatsubo, T., 2016. Sensitivity analysis of ecosystem CO₂ exchange to climate change in a High Arctic tundra using an ecological process-based model. *Polar Biol.*, 39, 251–265.
- Wada, N., 1998. Sun-tracking flower movement and seed production of mountain avens *Dryas octopetala* L. in the High Arctic Ny-Ålesund, Svalbard. *Proceedings of the NIPR Symposium on Polar Biology*, 11, 137–146.
- Wada, N., 1999. Factors affecting the seed-setting success of *Dryas octopetala* L. in front of the Brøggerbreen (Brøgger Glacier) in the high Arctic, Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Res.*, 18, 261–268.
- Yoshitake, S., Uchida, M., Koizumi, H., Kanda, H., Nakatsubo, T., 2010. Production of biological soil crusts in the early stage of primary succession on a High Arctic glacier foreland. *New Phytol.*, 186, 451–460.
- Yoshitake, S., Uchida, M., Ohtsuka, T., Kanda, H., Koizumi, H., Nakatsubo, T., 2011. Vegetation development and carbon storage on a glacier foreland in the High Arctic, Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Sci.*, 5, 391–397.

3.8 海洋生態系観測

3.8.1 ニーオルスン・コングスフィヨルドでの海洋観測の立ち上げ

北極圏環境研究センター（以下、北極センター）が極地研内に開設され、そのスタッフの一人として着任した当初、私はカナダ（ラバル大）との北極圏—サロマ湖季節海水域での共同研究に取り組む一方で、北極センターに着任したスタッフとともにスピッツベルゲン島に発足した研究者村ニーオルスンが面しているフィヨルドを対象に、季節海水の発達する高緯度北極海洋の特性を生かした研究の場とする試行努力を開始した。

1991年には北極域での安全行動上必須の猟銃の取り扱い講習や小型船舶免許取得などの準備を経て、船外機付きゴムボート（ゾディアック）を借り上げて、可搬型の観測機器を持ち込んでのフィヨルド海洋観測を行った。当時は木造のニーオルスンの棧橋から、耐水服を着込んで流水漂うフィヨルドに小型塩分水温観測装置（STD, AST1000 M, Alec Electronics Co.）を深海用釣り竿と大型電動リールに装着して漕ぎ出した。急峻に深くなるフィヨルドでの海洋構造に関する基本情報を、「どの程度」獲得できるのか、やってみたのである。フィヨルドは四方を山に囲まれた比較的狭く細長い地形だからか、天候さえよければ湖のように凪いで穏やかな海に見えていた。が、風が吹き出すと白波がたち、小舟での観測は不可能となってしまい、観測実施には天候調整が必須と実感した。フィヨルドの海洋環境をこうした現場観測に加えて、長期連続的に観測すべく、スタッフはフィヨルド内へ係留式の塩分水温チェーン式観測ブイを設置したり、フィヨルド内の小島の一つに自動気象観測装置を設置したりして、フィヨルドの海洋特性の把握に努めた。その後、数夏期間を要して小型ボートでの観測、夏期間に運行される民間客船やノルウェー極地研究所の観測船へ乗船しての観測を繰り返し、コングスフィヨルドの海洋環境特性をとらえようとした（Ito and Kudoh, 2007）。

コングスフィヨルドは北緯 79 度という極めて高緯度に位置しながら、海水が発達しにくい海域の一つでもあり、周年海水で覆われているわけではない。おおむね 4 月から 6 月までの間には海水が消失し、海面が半年ほど露呈する、と言われていた。また、フィヨルド周辺にはいくつかの氷河があり、夏期間にはこうした周辺の集水域から融解水がフィヨルド内へと流入する。海水の消長は海洋中への日射の透過性を 10 倍以上変動させる要因であり、また、融解水は塩分濃度が著しく低いために、海洋表層を覆う密度差のある層を発達させることになる。このような海洋環境の著しい季節変動は、おそらく海洋生態系での生物生産活動に多大な影響を及ぼしていると想像されるが、その実態は不明であった。手探りで、何とか海洋構造の鉛直観測と海水の採集ぐらいはできそうだ、という感触を掴んだ翌年、大学院生たちと、フィヨルド内の海水の消長と生物、特に海水試料で実感観測ができそうな海洋微生物群集を対象とした調査活動を 2 シーズン実施してみた。

2 名の他大学の大学院生を指導すべく調査に向かった 1993 年初夏、例年なら「海明け」シーズンとなっているはずのフィヨルドにはしっかりと海水が張ったままであり、先んじて送付したはずの研究資材を搭載した船はいまだにニーオルスンに接岸できず、という状態での現場観測を開始せざるを得なかった。できる仕事は何か、その場で真剣に考え、現地にあった道具類を活用しながら海水下の試料採集を行ってみた。海水下の植物プランクトンを採集し、海水消失を模して直射日光を照射し、紫外線の影響を検討してみた。また、微生物の増殖がどのようなメンバーで、いつ、どのようなタイミングで開始されるのか、時系列的に試料を採集する努力をしてみた。これらは二人の院生の修士課程の研究成果の一部として貢献できたはずである。また、その後、極域科学専攻の第一期生とともに、微生物増殖を分裂画像

で推定する手法をフィヨルドから採集した試料で検討し、海水消失直後の植物プランクトン増加と同期して増減する様子を描写し出してみた (Ito and Kudoh, 1996)。

フィヨルドに発達した定着氷上から寝そべっているアザラシを脇に見ながら海水試料を採集していた際、不意にロシアの砕氷船がフィヨルド内に侵入してきたこともあった。このとき、船が入港することはニーオルスン内の連絡網ではあらかじめ知らされていなかったのだ。ともかく試料を取り終えてスノーモービルで村内へと戻って事なきを得たのであったが、事情を問い合わせたら、フィヨルド内の小島で繁殖する鳥の調査をしているノルウェーの研究者が、ホッキョクギツネの小島への侵入と食害を防ぐべく、フィヨルド内の海水を分断して

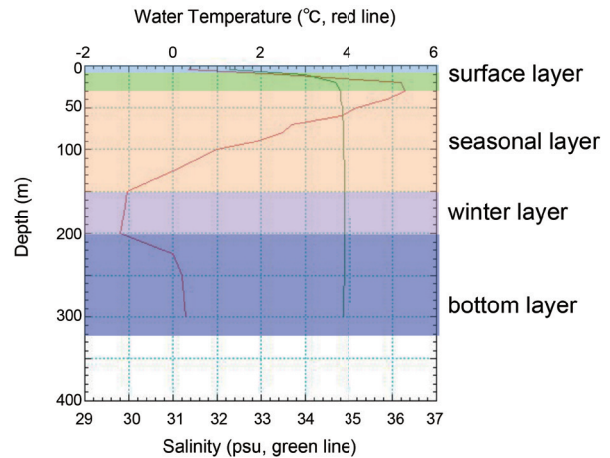
もらうため、沖合の砕氷船に依頼した、とのこと。砕氷船侵入に気づかずに調査を続けていたら、我々も小島側の氷海上に取り残され、村内に戻れない事態になっていたかもしれない。研究者村の立ち上がり当時、我々も、そして諸外国の研究者も、「試行錯誤、手あたり次第」できることを見つけながら、ニーオルスンでの研究活動を探っていた時代のエピソード。(工藤)

引用文献

- Ito, H., Kudoh, S., 1996. Marine ecological research of NIPR in Kongsfjorden. Proc. Scientific Seminar, Ecosystem Studies in the Ny-Ålesund Area. Cambridge, UK, 28 Feb.–1 Mar, 1996.
- Ito, H., Kudoh, S., 1997. Characteristics of water in Kongsfjorden, Svalbard. Proc. NIPR Symp. Molar Meteorol. Glaciol., 11, 211–232.

3.8.2 バイオロギング

海洋動物に小型記録計を装着して行動・生態を調べるバイオロギング技術は、南極域のペンギンを研究対象として1980年代から極地研を中心に技術開発が進められてきた。1990年代に記録計が大幅に小型化されたことで、北極域に生息する比較的小型の海鳥類についても研究の機運が高まった。1998年にその当時世界で最小の潜水深度記録計(重さ14g)を使って、北極域を代表する海鳥ハシブトウミガラスの潜水行動の調査が実施された(Watanuki et al., 2001)。調査は日本とノルウェーの国際共同研究として実施され、日本側研究者は極地研のニーオルスン基地に滞在しながら、毎日コングスフィヨルドの湾奥にある繁殖地までボートに乗って通いながら鳥への深度計の装着回収を実施した。調査は成功裏に終わり、ハシブトウミガラスが最大で136mの深度まで、時には0°Cを下回る水温の中をおよそ3分近く潜水していることなどが明らかになった(Mehlum et al., 2001; Mori et al., 2002)。これはペンギンに遜色がないほどの高い潜水能力である。ペンギンと違って空を飛翔する能力も備えたハシブトウミガラスが冷たい北極の海でこれほど深く長く潜水できる理由はどこにあるのだろうか。2001～2002



夏季に観測されたコングスフィヨルドの水温・塩分構造の典型例。氷雪の融解水が表層を覆い、その下部10～50m付近に最大水温となる季節層が発達する。水深100～200mにはしばしば最低水温を記録する低温層があり、それよりも深部にはやや暖かな水塊がある場合が多い。Ito and Kudoh (1997) 中の Fig.8 を基に改編。

年にかけて当時最新の加速度記録計や小型の体温記録計などを用いた調査が実施され、その理由の一端が明らかにされた。

加速度記録計から潜水中の翼の羽ばたきパターンを解析した結果、潜水中の浮力の変化に合わせてウミガラスが羽ばたき頻度や強さを調節し、水中を効率的に推進していることが明らかになった (Watanuki et al., 2003)。また、外科的手術をして体内に埋め込んだ体温記録計のデータの解析から、潜水中のウミガラスが体の中心部に血液を集め(血流調節)、冷たい海水に体熱が奪われるのを避けているらしいことが明らかになった (Niizuma et al., 2007)。

こうした海鳥類研究の流れとは独立して、アザラシ類に関する日本・ノルウェーの国際共同研究もコングスフィヨルドにおいて実施され(2006～2007年)、加速度記録計を用いてアゴヒゲアザラシの幼獣の潜水行動が発達していく過程などが調べられた (Watanabe et al., 2009)。

これらニーオルスン基地で行われたバイオロギングによる海洋大型動物の研究は、その後日本の研究者が英国スコットランド、米国アラスカなどでさまざまな国際共同研究を展開していく上での基礎となった。(高橋)



ハシブトウミガラスの調査風景
海鳥が繁殖している崖の上から記録計の装着に適した個体を探す。(写真：高橋)

引用文献

- Mehlum, F., Watanuki, Y., Takahashi, A., 2001. Diving behaviour and foraging habitats of Brunnich's guillemots *Uria lomvia* breeding in the High-Arctic. *Journal of Zoology, London*, 255, 413–423.
- Mori, Y., Takahashi, A., Watanuki, Mehlum F., 2002. An application of optimal diving models to diving behaviour of Brunnich's guillemots. *Animal Behaviour*, 64, 739–745.
- Niizuma, Y., Gabrielsen, G. W., Sato, K., Watanuki, Y., Naito, Y., 2007. Brunnich's guillemots (*Uria lomvia*) maintain high temperature in the body core during dives. *Comparative Biochemistry and Physiology A* 147, 438–444.
- Watanabe, Y., Lydersen, C., Sato, K., Naito, Y., Miyazaki, N., Kovacs, K. M., 2009. Diving behavior and swimming style of nursing bearded seal pups. *Marine Ecology Progress Series*, 380, 287–294.
- Watanuki, Y., Mehlum F., Takahashi, A., 2001. Water temperature sampling by foraging Brunnich's Guillemots with bird-borne data loggers. *Journal of Avian Biology*, 32, 189–193.
- Watanuki, Y., Niizuma, Y., Gabrielsen, G. W., Sato, K., Naito, Y., 2003. Stroke and glide of wing-propelled divers: deep diving seabirds adjust surge frequency to buoyancy change with depth. *Proceedings of Royal Society B* 270, 483–488.

3.9 電離圏観測

3.9.1 VLF/LF 帯標準電波を用いた放射線帯電子 大気降下現象の観測

ニーオルスンを訪れた2010年3月は、居住区に太陽光が差し始めることを祝う太陽祭が開かれる頃である。我々が設置した低周波電波観測装置は、VLF/LF帯電波の伝搬を利用して、高エネルギー電子が放射線帯から大気へ消失する現場を観測するものである。地表と電離圏下部の間の空間は低周波電波が効率よく伝搬する導波管であることを利用し、時刻情報を広域配信する標準電波送信局などが世界各国で運用されている。

電波の受信信号強度・位相は、伝搬経路上の電離圏擾乱により変化するため、電離圏下端に電離をもたらす高エネルギー電子の降下現象の検出に利用されてきた (Kikuchi et al., 1983)。今日でも高エネルギー電子の降り込み (Miyoshi et al., 2015) や落雷に伴う電離現象を観測する有効な手段である。ジオスペース探査衛星を始めとする内部磁気圏衛星の打ち上げと、オーロラ帯に沿った光学観測、磁場、電波観測の展開により、宙空領域の観測的研究はこれまでになく充実しつつある。受信点を広域展開した標準電波観測網は、電子の降り込み領域を把握する役割が期待されており、磁気嵐時に消失する放射線帯外帯電子の行方や、大気への降り込みによる中間圏・熱圏への影響の解明に貢献する。世界の複数の研究グループがそれぞれ特徴ある標準電波観測ネットワークを構築しており、我々はニーオルスンの他、カナダ、アラスカ、アジア域に受信点を設置し、観測網の空白域として残るロシアへの設置も予定している。

ニーオルスンは観測環境の保全に努力が払われているのに加え、極冠域に位置することから、サブオーロラ帯を横切って高緯度に伝搬する標準電波の観測に適しており、観測網の重要な拠点である。EISCAT-3D が完成すれば、降り込み電子のスペクトルとその空間分布の情報が得られる事が期待されており、標準電波の広域観測と組み合わせ、高エネルギー電子の損失現象とその大気への影響の解明に寄与できるだろう。2010年の太陽祭では、Tourist をテーマに仮装大会が行われ、国立環境研究所の中島英彰さんの観測チームに参加した学生2名による日本チーム（東北大・後藤さん、筑波大・大矢さん）が昔の日本の旅人に扮して見事優勝した。日本が各国と協力し活躍できる場としてニーオルスンの役割に今後も期待している。（土屋）

引用文献

- Kikuchi, T., Evanse, D. S., 1983. Quantitative Study of Substorm-Associated VLF Phase Anomalies and Precipitating Energetic Electrons on November 13, 1979 (1983). *J. Geophys. Res.*, 88, A2, 871–880.
- Miyoshi, Y., Oyama, S., Saito, S., Kurita, S., Fujiwara, H., Kataoka, R., Ebihara, Y., Kletzing, C., Reeves, G., Santolik, O., Clilverd, M., Rodger, C. J., Turunen, E., Tsuchiya, F., 2015. Energetic electron precipitation associated with pulsating aurora: EISCAT and Van Allen Probe observations. *J. Geophys. Res. Space Physics*, 120, 2754–2766. doi:10.1002/2014JA020690.



ラベン基地に設置された低周波電波観測装置・モノポールアンテナ（写真：土屋）

3.9.2 ニーオルスンにおけるイメージングリオメータ観測

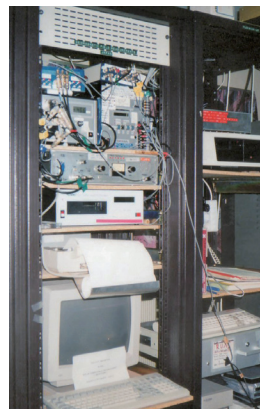
ニーオルスン基地（北緯約 79 度）は磁気圏カस्प領域の根元に位置しているため、太陽風粒子が直接電離圏まで侵入して発生する昼間側のオーロラ現象を観測できる特異な地域である。しかし、オーロラの光学観測が昼間で可能な期間は冬季に限られ、天候にも影響されるため、常時観測可能なイメージングリオメータ (IRIS) を用いた電波観測を光学観測と相補的に実施すればカस्प領域のオーロラ研究の進展に非常に有用である。

1989 年から 2 年間の予備観測を実施した後、1991 年の夏季に 2 次元 (8 × 8 個のダイポール) 位相合成アレーアンテナ (周波数 38.2 MHz) を観測フィールドに建設し (写真左)、64 チャンネルの銀河電波強度の信号を観測棟内の PC98 を用いたデータ収集装置に取り込み、MO (光磁気ディスク) に連続記録するシステムである (写真右)。その後、観測を継続しながら、アレーアンテナの維持 (ステー展張等) のため、毎年夏季に基地に訪問した。ノルウェー極地研究所に MO データの郵送を依頼して、研究所で電離層電波吸収現象 (CNA) のデータ解析を行った。

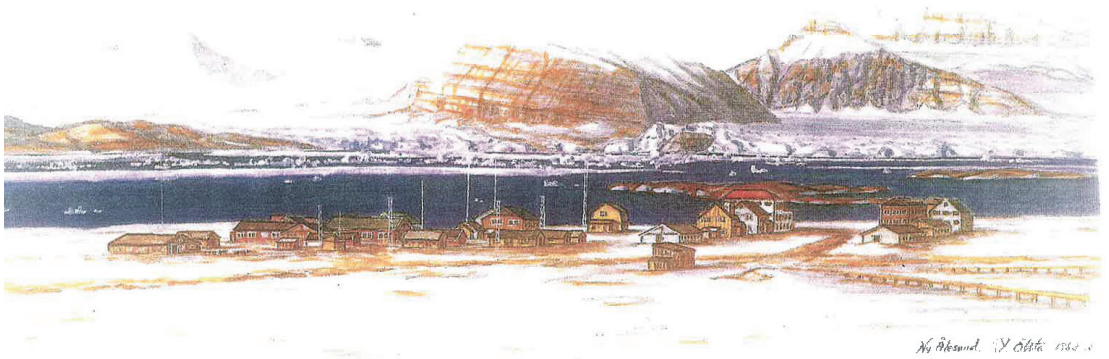
本研究の成果は、ニーオルスンの IRIS 単独のみならず、デンマーク気象研究所が展開するグリーンランドやスピッツベルゲンの IRIS データを共有して解析し、研究業績をあげることができた。さらに 1997 年には、ニーオルスンと地磁気共役である南極の中国中山基地に訪問して IRIS を設置し、以後、共役観測による昼間側磁気圏境界のダイナミクスの研究に進展した。ニーオルスンにおける IRIS を用いたカスポーロラ現象の研究はオスロ大学、ノルウェー極地研究所、東京大学、及び国立極地研究所との共同研究として実施した。(西野)



IRIS アレーアンテナ (写真: 西野)



IRIS データ解析 (写真: 西野)



コニャックのラベルとして使われたスケッチ（画：太田昌秀）

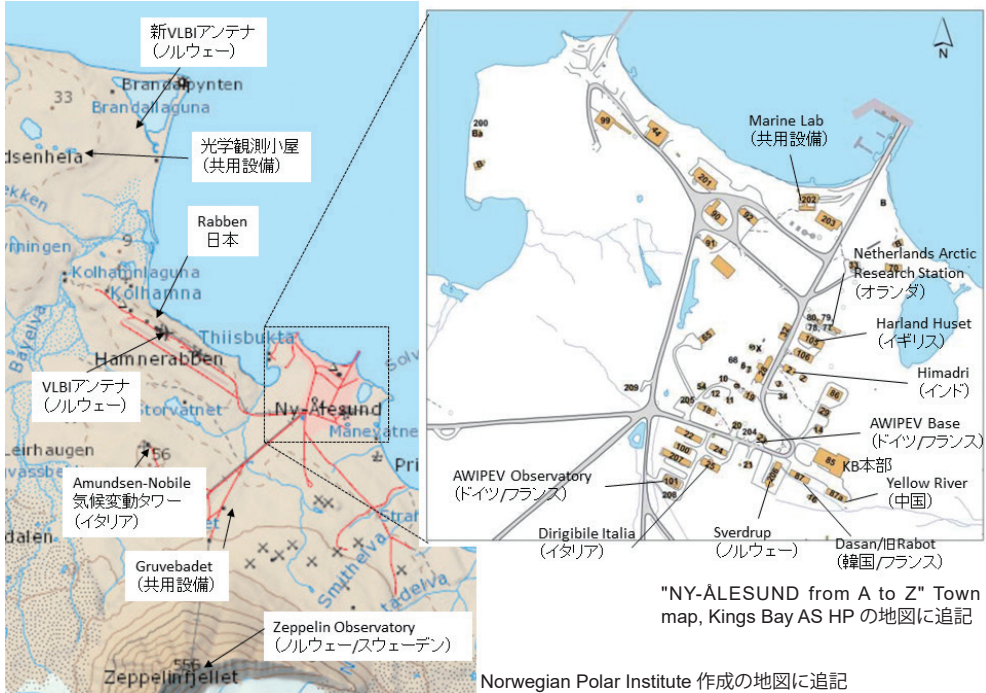
第4章

国際共同・連携体制・教育 / 社会貢献

4.1 ニーオルスン国際観測拠点の研究観測設備

ニーオルスン国際観測拠点では Kings Bay 社が各種研究施設を管理運営しており、地図および表に示したように、現在 11 カ国がニーオルスン国際観測拠点に基地や設備を構えている。本項では、これら研究観測設備および各国基地の現況を紹介する。(後藤)

ニーオルスン観測拠点の地図



ニーオルスンの基地／施設一覧 (2016年12月現在)

基地／施設名	管理運営機関	国名	開設年
Sverdrup	NPI	ノルウェー	1968
Zeppelin Observatory	NPI, NILU, SU	ノルウェー、スウェーデン	1988
旧 Koldewey	AWI	ドイツ	1991
Harland Huset	NERC/BAS	イギリス	1991
Rabben	NIPR	日本	1991
VLBI アンテナ基地	NMA	ノルウェー	1992
Netherlands Arctic Research Station	UiG	オランダ	1995
Dirigibile Italia	CNR	イタリア	1997
旧 Rabot	IPEV	フランス	1999
Dasan	KOPRI	韓国	2002
AWIPEV Base	AWI, IPEV	ドイツ、フランス	2003
Yellow River	CAA	中国	2004
Himadri	NCAOR	インド	2008

4.1.1 Kings Bay 社が管理する研究観測設備

マリンラボ Marine Laboratory

2005年6月1日開設の世界最北の海洋生態・生理・生化学、および海洋物理学、海洋地質学等の実験施設でありニーオルスンにおける最初の共有設備である。海水用タンクや低温室、実験や試料保管用の冷凍庫(-20°Cと-80°C)、セミナー室(最大30名)、オートクレーブ、ドライアイス製造機、顕微鏡等、実験・観測活動のための多種多様な設備を備え、各国の研究者に有償で貸し出しをしている。(後藤)



(写真：末吉)

海洋観測船 MS Teisten

MS Teisten は全長 31 フィートの小型作業船である。コングスフィヨルド調査のための観測機器、安全装備(ライフジャケットやライフベルト、サバイバルスーツなど)も備え、船長を含め最大 6 名が乗船可能。MS Teisten がコングスフィヨルド内を航行できるのは 5 月～10 月に限られる。(後藤)



(写真：末吉)

Gruvebadet 大気観測所 Atmosphere Laboratory

中心から 1 km ほど離れた大気観測施設である。より良い研究観測活動の環境を整備すべく 2013 年に改修された。建物の屋根には幾つかのインレットが設置され、現在イタリア(CNR)とインド(NCAOR)のグループが大気観測やエアロゾル観測機器を設置している。ここにアクセスする際には、ガソリン車の使用は禁止されており、電気自動車を使用しなければならず、大気観測に対する配慮がなされている。(後藤)



(写真：末吉)

光学観測小屋 Light Sensitive Cabin

光学観測小屋はニーオルスン中心部から約 2.5 km 離れた場所に位置し、光による干渉を最低限に抑える必要がある測器のために最近建設された。小屋では高速インターネット接続も利用でき、内部温度は結氷温度よりも高く維持されている。4つのドームを屋根に備えており、うち一つはCNRの全天カメラ(Rabot 基地から移設)に、一つはKOPRIのファブリー・ペロー干渉計に使用されている。(後藤)



(写真：Kings Bay)

4.1.2 各国の研究観測設備の現況

スウェーデン（Zeppelin Observatory 利用）

スウェーデンのストックホルム大学は、1988年のツェッペリン観測所の設立に Norwegian Institute of Air Research(ノルウェー名：Norsk Institutt for Luftforskning, NILU) およびノルウェー極地研究所(Norwegian Polar Institute, NPI。ノルウェー語標記の場合 NP と略されることもある)と共に中心的な役割を果たした。以来、同観測所で CO₂をはじめとした大気中の温室効果気体、雲・エアロゾルを中心とした長期観測を実施している。2011年からは温室効果気体の観測は NILU へと引き継がれ、現在も各観測が維持されている。ツェッペリン観測所には常駐するスタッフはおらず、必要な時にロープウェイを使用してアクセスする。ロープウェイには、運転者を含め一度に最大4名までが乗車可能である。

(後藤)



(写真：榎本)

ノルウェー（Sverdrup Station）

NPI は 1968 年からニーオルスンに基地を維持して研究活動を実施してきたが、現在の Sverdrup 基地は 1999 年に建設された。基地には年間を通じて 5 名のスタッフが常駐している。NPI はノルウェー国内の研究機関に各種研究設備を提供している他、ニーオルスンに設備を持っていない国々の研究プロジェクトのホストとしての機能も果たしており、ポートやスノーモービル、テントや防寒着の貸し出しなど、設営系サポートも行っている。各国が実施している一部のモニタリング観測などは、NPI のエンジニア達によって日々の機器チェックやメンテナンスなども行なわれている。日本が実施している大気モニタリング観測についても定期的なチェックおよびメンテナンスを依頼しており、ニーオルスンにおける日本の研究観測活動を実施する上で不可欠な存在である。

主な研究活動は、トナカイやホッキョクグマ、ホッキョククマ、海鳥、海洋生物といった生物分野の研究である。ニーオルスンの氷河の質量収支モニタリングも主要な活動の一つとして実施されており、最も古いもので 1967 年から続けられている。1969 年からは Sverdrup 基地で気象観測を実施している。2003 年からはコングスフィヨルドの定着氷モニタリングを開始したほか、ツェッペリン山 (Mt. Zeppelin) にも観測所 (Zeppelin Observatory) を維持しており、エアロゾル、放射、大気微量成分などのモニタリング観測が NILU やストックホルム大学、日本などのグループにより実施されている。(後藤)



Sverdrup 基地 (写真：塩原)

ドイツ (AWIPEV Base/Observatory、フランスと共同管理)

ドイツの Alfred Wegener Institute (AWI) は 1991 年に Koldewey 基地を開設したが、2003 年にフランスの French Polar Institute Paul Emile Victor (IPEV) の Rabot 基地と統合する形で AWIPEV 基地を設立した。同基地は、寝室などの居住スペース、デスクワークスペースを備え、フランスと共同で 3 名のスタッフが常駐している。Koldewey 基地の名は、ドイツの探検家 Carl Christian Koldewey (1837–1908) の名にちなんでつけられた。

現在、AWI は生物、地学、大気物理学を中心とした研究活動を実施し、特に AWIPEV 基地では対流圏や成層圏の大気科学分野の長期観測を続けている。雲、エアロゾル、ゾンデ観測等、大気科学分野では日本と連携した観測、研究活動を多く実施しており、日本と最も関係の深い国の一つである。

(後藤)



AWIPEV Base (旧 Koldewey) (写真: 末吉)



AWIPEV Observatory (写真: 榎本)

フランス (AWIPEV Base、ドイツと共同管理)

フランスの French Polar Institute Paul Emile Victor (IPEV) は 1999 年に Rabot 基地を設立したが、2003 年にドイツの AWI と統合する形で AWIPEV 基地を設立した。IPEV は主に大気科学と生命科学に関連する研究を実施している。この他に、ニーオルスンの中心から南東へ約 5km に位置する Corbel 基地も維持している。Corbel 基地には 8 名の滞在が可能で、夏季のみ稼働する。地域的な汚染源から隔離された場所として、大気物理、大気化学、雪氷学、地質学に関する観測が行われる。(後藤)



Corbel 基地 (写真: Dominique Fleury / IPEV)

イギリス (Harland Huset)

イギリスの National Environment Research Council (NERC) は 1991 年、UK Arctic Research Station を開設した。基地の運営は NERC に所属する British Antarctic Survey (BAS) が行っている。

イギリス基地では、コングスフィヨルドのさまざまなエリアにアクセスすることができる小型ボート (全長 5.6m、定員 10 名、最大積載量 1000 kg) を所有し、研究室、実験室、オフィス、倉庫などの設備や、ライフ、防寒服、顕微鏡などさまざまな備品も備えている。基地は主に春から夏に稼働し、年間で 10 ~ 15 の陸域生態系、海洋生物学、地質学、雪氷学、水文学に関連した研究プロジェクトを支援、30 ~ 40 名の研究者に利用されている。博士課程の学生のフィールド活動技術教育の場にもなっている。(後藤)



(写真: 塩原)

ノルウェー地図局 (Norwegian Mapping Authority)

ノルウェー地図局は1992年よりニーオルスンの滑走路の側に拠点を置き、VLBIアンテナを運用している。このアンテナはVLBIアンテナ全球ネットワークの一部で、地球の自転速度に関する情報を提供しており、境界層の決定、地震や津波の予測に役立っている。

現在、二つの新しいアンテナを Brandalspynten 岬に建設中で、2022年に完成・本格運用を目指している。基地には4名のスタッフが常駐している。(後藤)



現 VLBI アンテナ (写真: 末吉)



建設中の新アンテナ基地 (写真: 榎本)

オランダ (Netherlands Arctic Research Station)

オランダ・グローニンゲン大学 (University of Groningen, UiG) の北極センター (Arctic Centre) は1995年にニーオルスンに基地を開設した。UiGは広範な科学研究をカバーする学際的な研究を推進しているが、生態学、とりわけカオジロガンの生態について焦点をあてて研究を進めている。これらの研究活動は、基地開設前の1990年から続けられてきた。基地に常駐するスタッフはなく、冬季には無人となる。(後藤)



(写真: 塩原)

イタリア (Dirigibile Italia)

イタリアのDirigibile Italia基地は、1997年に設立された。基地名は1928年のUmberto Nobileの飛行船調査隊の名にちなんでいる (Dirigibileはイタリア語で飛行船の意味)。基地はThe National Research Council of Italy (CNR)によって運営されており、研究室やオフィスを備え、最大7人が宿泊することができる。

研究活動は主に雪氷や海洋堆積物の環境気候学、大気-生物圏-水圏-地圏の相互作用にフォーカスしている。近年、夏季に学生育成プログラムを実施し、極域研究者の育成にも力を入れている。2009年4月30日よりAmundsen-Nobile気候変動タワー (Climate Change Tower, CCT)を開設し、大気境界層の気象観測を行っている。CCTの利用は、必要に応じて他機関・他分野の研究者も利用可能な設備である。

(後藤)



(写真: 末吉)

韓国 (Dasan Station)

韓国の極地研究所である The Korean Polar Research Institute (KOPRI) は、2002年の4月29日に、Dasan 基地を開設。基地名は韓国の学者 Dasan Jeong Yag-Yong(1762-1836) にちなんで付けられた。現在、環境、雪氷学、水文学、大気化学を中心の研究活動が実施されている。基地に常駐する研究者はいないが、年間で50名ほどの研究者が利用している。主な研究分野は、陸域生態系、衛星による海洋観測、超高層物理学、大気科学である。近年、気候変動予測能力の発展を目的としたプロジェクトを立ち上げ、ニーオルスンで雲、エアロゾル、大気境界層、それらの相互作用に関係した観測を強化しており、研究活動が活発化している国の一つである。建物はフランスと共用。(後藤)



左半分が Dasan 基地 (写真:塩原)

中国 (Yellow River Station)

中国の国家海洋局極地研究所 (Chinese Arctic and Antarctic Administration, CAA) は、2004年7月に黄河基地 (Yellow River Station) を設立した。二階建ての基地には、研究室、ロビー、宿舎、倉庫を備え、20～25名の滞在が可能である。屋上には超高層物理学観測用の測器が設置されている。気象、エアロゾル、宙空観測、雪氷学、海洋生態学、北極の環境など、その研究分野は多岐にわたり、スタッフが常駐している基地ではないが、一年の大半の時期に研究者が滞在している。特に近年は基地の利用者が年々増大しており、研究活動が活発に行なわれている。(後藤)



(写真:山内)

インド (Himadri Station)

インドの National Centre for Antarctic & Ocean Research (NCAOR) は、Himadri 基地を2008年7月1日に開設した。基地には生物学、化学の実験室や海洋観測設備、エアロゾルを中心とした観測装置を備え、物理学、生物地球化学、大気科学、大気汚染、地質学、雪氷学にフォーカスした研究を実施している。ニーオルスン内の共用設備である Gruvebadet にて、黒色炭素の観測も実施している。(後藤)



(写真:塩原)

4.2 国際ネットワーク

4.2.1 NySMAC (Ny-Ålesund Science Managers Committee) の成立と議長の役割

ニーオルスン観測調整会議 (NySMAC) は特定の地域に限定して協議を行う国際的集団であり、いかなる上部機構にも属さない、という2点において南極条約国会議 (ATCM) に対比できる。領域や規模には雲泥の差があるが、これ以外に NySMAC のメンバーは国家でなく機関であるという相違点がある。

NySMAC 設立の経緯を述べる。ノルウェー極地研究所 (NPI) は国際地球観測年の際に設けたニーオルスンの観測拠点を活用して、所内外の研究者に観測の便宜を図ってきた。利用者の中にはノルウェー以外の研究者も居たが、あくまで個人としての活動であった。1990年ごろ、NPI はニーオルスンを国際的な北極観測村にしようという企画を立て、各国の研究機関に、独自の設備を設けて継続的に調査を実施するよう呼びかけた。

1994年夏の時点までに、呼びかけに応じたのは、英国・自然環境研究委員会 (NERC)、ドイツ・アルフレッド・ウェゲナー極地海洋研究所 (AWI)、ノルウェー地図局 (NMA)、ノルウェー大気科学研究所 (NILU)、日本・国立極地研究所であり、NPI をあわせて6機関に上った。これだけの数になると、各機関がそれぞれ独自に観測活動を実施しているのは、重複や障害が生じかねない。北極研究の健全な振興のためには調整の場が必要になる。また対外的に交渉をする際にも、個々の機関ではなく、ニーオルスン全体を代表する窓口が有ると便利である。

1994年の準備委員会でこのようなことが話され、1995年に NySMAC が誕生した。以来、年間2回の会議が開かれてきた。時折ニーオルスンで開催されることもあるが、有志メンバーが選んだ中緯度が会議場選ばれることが多い。年1回、つまり会議一つおきにニーオルスン科学セミナーという名称のシンポジウムが併催される。

議長の仕事は、このような会議で議事を進行させることにある。ただ、半年ごとの会議にたよっているだけでは、日々発生し続ける大小の諸問題を遅延なく処理できない。必要な都度メール会議が開催されるが、ここにおいても議長が交通整理をする。会議の結論に基づいて、代表者として対外交渉をするのも議長の役目である。議長は会議において選出され、2年間の任期があり、再任は1回だけ可能である。

初代議長には NPI の Pal Prestrud が選ばれ (1995 ~ 1997)、同時に伊藤一 (極地研) が副議長となった。ニーオルスンはノルウェーの行政下にあるため、立ち上げ当初の諸手続きに、ノルウェー人であることが役に立った。次にスウェーデン・ストックホルム大学・気象研究室 (MISU) の Kim Holmén が議長の任につき、自身の高い学識に基づき、日常的な雑事の協議に終始しがちな会議に学術的な風味を加えた (1997 ~ 2001)。第3代には、イタリア・学術会議 (CNR) の Guido di Prisco が選出され、NySMAC の国際的な知名度を高めた (2001 ~ 2005)。続いて、伊藤が議長を務め (2005 ~ 2009)、NILU の Paal Berg に引き継いだ (2009 ~ 2013)。2013年からはイギリスの BAS/NERC の Nicolas Cox が議長、内田雅己 (極地研) が副議長を務めた。なお、ニーオルスンで科学的な活動をするために NySMAC 加盟は必須条件ではないことを付記しておく。(伊藤)

4.2.2 NySMAC の現況

2016年現在、NySMAC の議長は Nicolas Cox 氏が、副議長は韓国 KOPRI の Yang Jun Yoon 氏が

務め、本ページの加盟機関一覧表に示した 11 カ国 18 機関が参加している。NySMAC 誕生以来、春と秋の年 2 回開催されてきた NySMAC 会議は、現在も同じ頻度で開催されている。これまでに開催された NySMAC 会議の開催場所を開催地一覧にまとめた。会議では、各機関の活動報告や活動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、ニーオルスンをはじめ、スバルバルで研究観測活動を実施する上で必要な

NySMAC 加盟機関一覧 (2016 年 12 月現在、アルファベット順)

加盟機関	国名	代表者
Alfred Wegener Institute (AWI)	ドイツ	Roland Neuber
Chinese Arctic and Antarctic Administration (CAA)	中国	Wang Yong
Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR)	イタリア	Vito Vitale
GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ)	ドイツ	Carsten Falck
Institut Polaire Francais, Paul Emile Victor (IPEV)	フランス	Dominque Fleury
Korea Polar Research Institute (KOPRI)	韓国	Young Jun Yoon(副議長)
National Centre for Antarctic and Ocean Research (NCAOR)	インド	K. P. Krishnan
National Institute of Polar Research (NIPR)	日本	後藤大輔
Natural Environment Research Council (NERC)	イギリス	Nic Cox(議長)
Northern Research Institute Tromsø (NORUT)	ノルウェー	Kjell A. Høgda
Norwegian Institute for Air Research (NILU)	ノルウェー	Kjersti Tørnkvist
Norwegian Mapping Authority (NMA)	ノルウェー	Frode Koppang
Norwegian Polar Institute (NPI)	ノルウェー	Christina A. Pedersen
Norwegian Space Centre (NSC)	ノルウェー	Kjell Bøen
Stockholm University (SU)	スウェーデン	Radovan Krejci
The University Centre in Svalbard (UNIS)	ノルウェー	Frank Nilsen
University of Groningen (UoG)	オランダ	Maarten Loonen
University of Tromsø The Arctic University of Norway (UiT)	ノルウェー	Geir Rudolfsen

これまでの NySMAC 開催地一覧 (2016 年 12 月現在)

開催年	開催地	開催年	開催地
1. 1994 年 7 月	Ny-Ålesund, Svalbard	24. 2006 年 3 月	Potsdam, Germany
2. 1995 年 5 月	Potsdam, Germany	25. 2006 年 10 月	Kjeller, Norway
3. 1995 年 8 月	Ny-Ålesund, Svalbard	26. 2007 年 3 月	Hanover, Germany
4. 1996 年 2 月	Cambridge, UK	27. 2007 年 10 月	Cambridge, UK
5. 1996 年 8 月	Ny-Ålesund, Svalbard	28. 2008 年 3 月	Kjeller, Norway
6. 1997 年 4 月	Kjeller, Norway	29. 2008 年 11 月	Brest, France
7. 1997 年 8 月	Ny-Ålesund, Svalbard	30. 2009 年 3 月	Bergen, Norway
8. 1998 年 3 月	Ravello, Italy	31. 2009 年 11 月	Seoul, South Korea
9. 1998 年 9 月	Stockholm, Sweden	32. 2010 年 4 月	Copenhagen, Denmark
10. 1999 年 2 月	Corsica, France	33. 2010 年 9 月	Ny-Ålesund, Svalbard
11. 1999 年 10 月	Ny-Ålesund, Svalbard	34. 2011 年 3 月	Seoul, South Korea
12. 2000 年 2 月	東京	35. 2011 年 10 月	Kjeller, Norway
13. 2000 年 11 月	Copenhagen, Denmark	36. 2012 年 3 月	Stockholm, Sweden
14. 2001 年 5 月	Ny-Ålesund, Svalbard	37. 2012 年 11 月	Groningen, Netherlands
15. 2001 年 9 月	Potsdam, Germany	38. 2013 年 4 月	Krakow, Poland
16. 2002 年 4 月	Groningen, Netherlands	39. 2013 年 10 月	Rome, Italy
17. 2002 年 10 月	Tromsø, Norway	40. 2014 年 4 月	Helsinki, Finland
18. 2003 年 3 ~ 4 月	Kiruna, Sweden	41. 2014 年 11 月	Goa, India
19. 2003 年 11 月	Rome, Italy	42. 2015 年 4 月	富山
20. 2004 年 4 月	Reykjavik, Iceland	43. 2015 年 9 月	Tromsø, Norway
21. 2004 年 11 月	Paris, France	44. 2016 年 4 月	Stockholm, Sweden
22. 2005 年 4 月	昆明(Kunming)、中国	45. 2016 年 10 月	厦門(Xiamen)、中国
23. 2005 年 10 月	Andøya, Norway		

情報を共有し合う場にもなっている。

NySMAC の近年の重要な動向として、「Ny-Ålesund Flagship Programmes」が挙げられる。ニーオルスンにおける研究分野は「大気観測」、「陸域生態系」、「コングスフィヨルド・システム」、「雪氷観測」の4分野に大別できるが、Ny-Ålesund Flagship Programmes はこれらニーオルスンにおける4分野の研究について特に重要な研究トピックを宣言し、各分野のさらなる発展と北極域研究への貢献を目指している。大気観測フラグシップは2008年、陸域生態系は2009年、コングスフィヨルド・システムについては2008年、雪氷観測については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議論や改定が続けられている。現フラグシッププログラムの詳細は「5.1 NySMAC の Ny-Ålesund Flagship Programmes」で紹介する。

もう一つの大きな動きとして、「PID Forum (Ny-Ålesund Project Information Discussion Forum)」がある。近年、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た。そこで、NySMAC により PID Forum というシステムが構築された。PID Forum は web ベースのフォーラムである。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こととなった。例えば、自然試料(土壌や植物など)を採取する場合、動物を扱う実験・観測を行う場合、フィールドにおいて薬品を使用する場合、UAV(unmanned aerial vehicle)を利用した観測を実施する場合などは PID Forum に投稿する必要がある。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。PID Forum は2015年12月に運用が開始された。

ニーオルスンにおける研究活動は我が国に限らず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になっている。(後藤)

4.2.3 SSF (Svalbard Science Forum)

スバルバル・サイエンス・フォーラム (SSF) はスバルバル地域で研究活動を行う研究者に研究施設、研究計画、観測データ等に関する情報交換の場を提供し、参加各国の研究者や研究機関による国際共同研究を推進することを目的として、2011年に設立された。SSF はノルウェー研究評議会 (RCN) の下に、ニーオルスン、ロングイヤービン、ホーンスン、バレンツブルグに活動拠点を有する、NPI、UNIS、KB、NySMAC、ロングイヤービン科学・教育フォーラム (LYSEF)、ポーランド・ホーンスン基地、ロシア・バレンツブルグ観測所の各機関代表で構成され、ロングイヤービンに事務局が置かれている。

SSF は共同研究推進事業の一環として、RCN より提供されるスバルバル戦略的研究費 (SSG: Svalbard Strategic Grant) の管理を委託され、NySMAC により策定されたニーオルスン重点研究計画 (Ny-Ålesund Flagship Programmes) の活動支援費や研究費の配分を行っている。

SSF が管理運営する Research-in-Svalbard (RiS) データベースにはニーオルスンで行われるすべて

の研究活動が登録され、登録された研究計画（プロジェクト）を誰でも閲覧することができる。ニーオルスンで研究活動を行うためには RiS データベース (www.researchinsvalbard.no) に予め登録する必要があり、そこで与えられるプロジェクト ID ですべての研究活動が管理される。現在では、ニーオルスン滞在のための宿泊予約や現地入りのチャーター便予約についても、この RiS データベースのウェブサイト上で行うようになっている。（塩原）

4.2.4 SIOS (Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System)

スバルバル統合観測システム計画

SIOS (Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System) は、ニーオルスン基地があるスバルバル諸島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、高緯度北極圏において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、ノルウェーが主導して進めている国際共同研究計画である。ノルウェー研究評議会 (Research Council of Norway) の Karin Refsnes、Georg Hansen、Jon Børre Ørbæk によるイニシアティブの下、SIOS 計画は 2008 年に欧州大型研究施設整備計画 (ESFRI) に採択された。

2010～2014 年には、欧州枠組み計画 FP7 (Framework Program-7) として欧州委員会 (EC) の予算を得て SIOS-Preparatory Phase (準備計画) を開始した。国立極地研究所には、2009 年 3 月にベルゲン (ノルウェー) で開催された北極科学サミット週間 (ASSW) 中に開催された SIOS ワークショップに参加した神田啓史教授より SIOS 計画の概要と各国の参加状況に関する情報が初めてもたらされた。その後、2009 年 6 月より神田教授を中心にノルウェー研究評議会と日本の参加に関するメール協議を開始し、最終的に 2009 年 12 月、堀田凱樹情報・システム研究機構長を代表とする SIOS-Preparatory Phase 参加登録手続きが完了した。

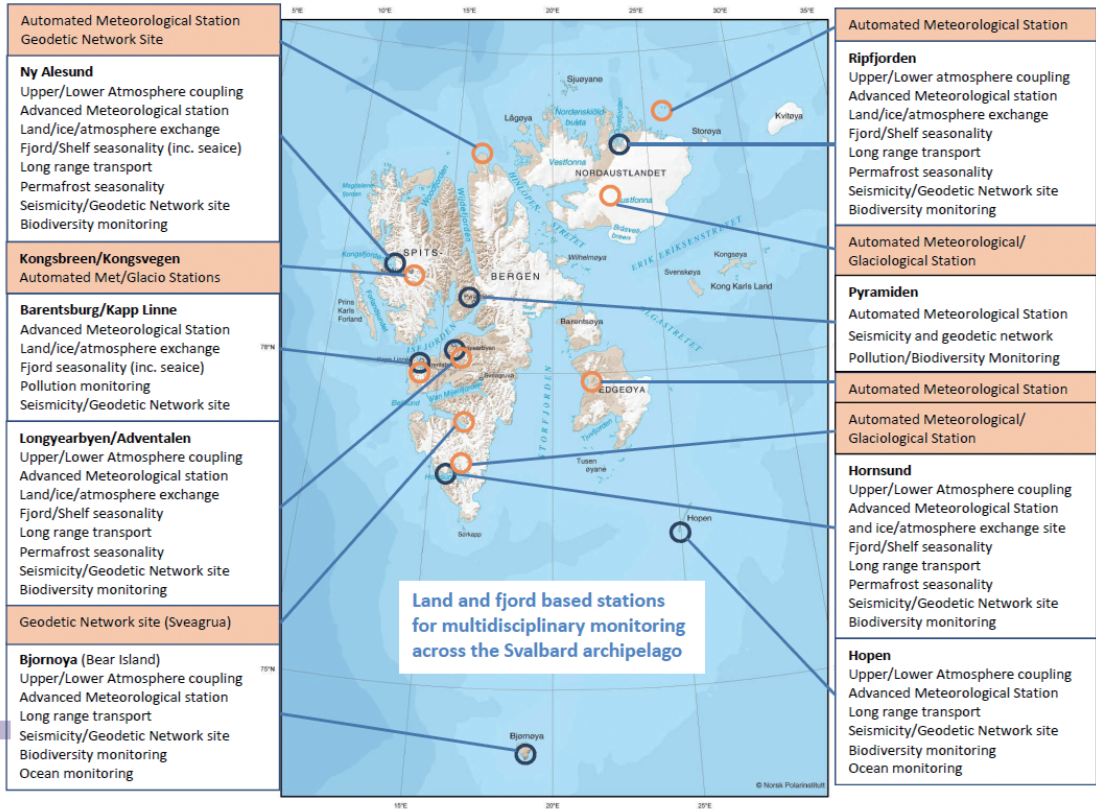
Preparatory Phase には最終的に、国立極地研究所を含む計 14 カ国 26 機関が参加し、各機関が運用する研究用施設・設備の一覧作成をはじめ、各分野における研究課題の進捗度の分析に基づき、スバルバル地域において今後優先的に推進すべき研究課題とそれに必要な研究設備を集約した。

国立極地研究所は、2014 年 12 月に Letter of Commitment により SIOS Operational Phase への参加の意向を正式に表明し、SIOS-Interim Phase の運営会議メンバーとして定期協議に参加し、2018 年より開始予定の SIOS Operational Phase の実施体制や財務計画を規定した SIOS 協定案の詳細検討を進めている。SIOS-Interim Phase (ディレクター：Ole Jørgen Lønne) ではノルウェー政府の出資により、2015 年にスバルバル大学 (UNIS) 内に設立された SIOS-KC (Knowledge Centre) を中心に、SIOS 計画で実現する次の実施メニューを組織的に進めている。

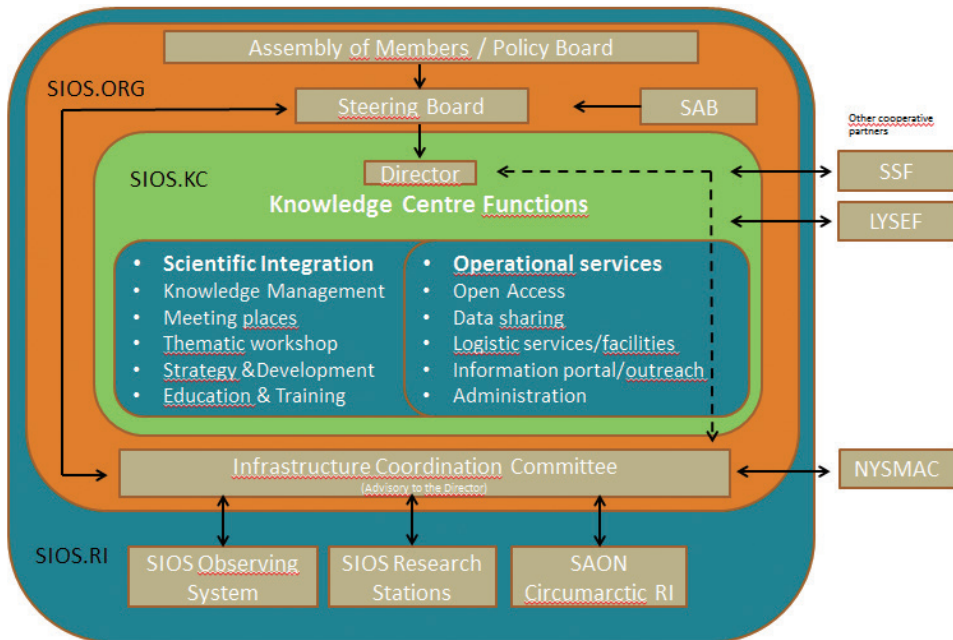
- (1) スバルバルにおける観測システムの統合化および最適化
- (2) 各国研究設備・プラットフォームの相互利用促進
- (3) データマネージメント
- (4) 衛星リモートセンシングデータの利用促進
- (5) 設営支援サービス
- (6) 訓練および教育プログラム

このうち、国立極地研究所においては、ニーオルスン基地設備の国際共同利用（上限 20% 程度）、国立極地研究所の ADS (Arctic Data archive System) と SIOS-SDMS (Science Data Management

System) とのリンクによるデータベース相互利用の促進、ADS による JAXA 衛星リモートセンシングデータの提供・利用促進など in-kind の貢献を中心に SIOS 計画への参加・貢献を検討している。(宮岡)



SIOS 計画で統合、協力連携する研究施設・設備一覧



SIOS-KC (Knowledge Centre) を中核とした SIOS 計画実施体制

4.3 北極研究国際会合

4.3.1 ニーオルスンと国際北極科学委員会 (IASC)

北極域での調査・観測は北極圏諸国のフィールドを使うということでは国内や南極域などと大きく異なる。スバル諸島、ニーオルスン基地周辺での調査・観測を進める上で、国際北極科学委員会 (IASC: International Arctic Science Committee) の基本的な理念、設立の経緯を知ることは重要である。

設置の背景・経緯

国際的な枠組みの中で北極域の調査・観測が出来るようになったのは、1987年、ゴルバチョフ書記長の北極開放政策の演説からである。南極域関連では既に、非政府組織としての南極研究科学委員会 (SCAR: Scientific Committee on Antarctic Research) が1961年に発足していた。1986年、米国のサンディエゴにおいて開催された第19回 SCAR の会合において、北極にも SCAR のような組織を作る必要があるという意見が多く出た。その後、1988年夏頃から IASC 設立定款の起草委員会の動きがあった。同年の12月12日～15日、「北極圏研究協力に関する北極圏・北極域諸国会議」が当時のレーニングラードで開催され、日本からも参加があり、情報が収集された。その後、北極研究の国際組織設立に関する合意が得られるようになり、1990年に IASC が設立になった。日本が加盟することになると国内体制が必要であるため、国立極地研究所では北極研究者間の情報交換と研究活動に対する相互理解のために、1989年に「北極科学研究推進特別委員会」を発足させた。この委員会では国際的、国内的に北極圏研究活動に関する情報の収集と交換についての協議が行われた。

設置と役割

<IASC 評議会の設立>

1990年8月28日、カナダ、レゾリュートの会合で北極圏の8カ国の代表が参加して IASC 設立調印が行われた。この時には日本はフランス、ドイツ、ポーランド、イギリスなどとともにオブザーバーで招待されていた。

第1回 IASC 評議会は1991年1月21日～23日、ノルウェーのオスロで開催された。初代委員長 (President) は E.F. Roots 氏 (カナダ環境局) が就任した。事務局はオスロのノルウェー極地研究所に置かれ、事務局長はノルウェー極地研究所の O. Rogne 所長が担った。IASC の根幹となる最終決定機関は加盟国の代表1名で構成する IASC 評議会 (IASC Council) である。日本はフランス、ドイツ、ポーランド、イギリスと共に委員会への加入が認められ、最初の IASC 評議会は13カ国でスタートした。IASC 評議会は設立当時の定款にも示されているように、広く加盟国以外の国の科学者、国際的な科学組織との交流の場となる北極科学会議 (Arctic Science Conference) を組織することが役割の一つである。これを受けて、1995年12月に第1回国際北極研究計画会議 (ICARP-I) として北極科学会議が米国ニューハンプシャー州ハノーバー市のダートマスカレッジで開催されることになった。IASC と他の非政府的国際学術組織との著しい相違点は、北極圏諸国8カ国で構成される IASC 地域委員会 (IASC Regional Board) を持っていたことである。ただし、この地域委員会は1996年に「北極評議会」 (Arctic Council) が設置されたことと時代の流れで、2008年の第18回 IASC 評議会で廃止となった。

IASC の定款によると、IASC の役割は北極研究に従事しているすべての国に対して、北極地域のすべての領域について、北極研究のすべての面で、便宜をはかり、奨励することである。しかしながら、

IASCによって勧告され、推薦される国際的科学的プログラムは、北極あるいは地球環境に関する高いプライオリティーをもつものでなければならない。IASCが設置されてから15年を経過した2007年の第17回IASC評議会ではIASCが新組織の体制を取ることが提案され、定款の見直しが行われた。IASC事務局は現在、国際科学会議(ICSU)の構成委員会、北極評議会のオブザーバーである。現在までに、IASCはICSUの加盟団体(body)にはなっていないが、ICSUの傘下(associate)団体である。2016年10月現在で23カ国が加盟している。今日まで第26回IASC評議会を開催している。2015年4月には富山市富山国際会議場で北極科学サミット週間ASSW2015が開催され、会期中に行われた第25回IASC評議会ではIASC設立の25周年にあたり記念事業を行った。

<国内対応>

1991年、オスロで開催の第1回IASC評議会で日本が正式にIASC参加が認められた。その当時の日本国内体制は日本学術会議南極研究連絡委員会(南研連)の傘下に北極研究小委員会を設置して、国際対応をとってきた。その後、15年を経過して、日本学術会議体制の見直しがあり、2006年度より新たに地球惑星科学委員会国際対応分科会の国際北極科学委員会(IASC)対応小委員会として設置することが承認され、今日に至っている。(神田)

4.3.2 ニーオルスンと国際北極研究計画会議(ICARP)

スバルバル諸島、ニーオルスン基地周辺の調査・観測は世界における北極研究の潮流の中で実施することが必要である。8カ国の北極圏諸国内で観測を実施することは、国際共同、協力という前提が発生するからである。現在、IASCの中で、国際北極研究計画会議(ICARP)がプロジェクトの評価・議論を経て、プライオリティ、方向性を決定する仕組みになっている。以下に、ICARPの設立の経緯と活動の概要を示す。

国際北極研究計画会議設立の経緯

1990年8月28日、カナダのレゾリュートの会合で北極圏の8カ国の代表が参加してIASC設立調印が行われた当時、「北極科学会議」(Arctic Science Conference)を開催することが委員会の設立定款に明記されていた。1994年5月2～6日にグリーンランドのイルリサットで開催された第4回IASC評議会で「地球規模での環境変化における北極地域の役割」の研究計画書が提出された。本来は1997年に「北極科学会議」の開催が予定されていたが、米国は繰り上げて開催することを主張した。その結果、1995年12月に「北極科学会議」は「国際北極研究計画会議(ICARP: International Conference on Arctic Research Planning)」という名称のもとで開催が決まった。

第1回国際北極研究計画会議(ICARP-I)

1995年12月5～9日、米国ニューハンプシャー州ハノーバー市のダートマスカレッジで開催された。IASC独自の推進プロジェクトの研究課題を議論した。IASC加盟の15カ国に加えて加盟申請中の中国、ベルギーが参加して総数260名になった。日本からは3名が参加して検討に加わり、情報を収集した。一般の講演発表のような形式はとらず、今後の5年、10年の長期的、かつ推進する意義のある北極科学研究課題を策定する会議であった。翌年のIASC評議会の審査で、陸上生態系と気候変化へのフィードバック(FATE)、北極氷河氷床の質量収支(MAGICS)、紫外線の影響、ロシア北極陸地海洋相互作用

(LOIRA)、バレンツ海・ベーリング海影響研究 (BASIS・BESIS) が選定された。

第 2 回国際北極研究計画会議 (ICARP-II)

2005 年 11 月 10～12 日の 3 日間、デンマークのコペンハーゲンにおいて開催された。ICARP-II の主たる目的は北極の環境変動に対応するために、新しい研究に労力を傾けるロードマップを提供することであり、すでに実施している国内外の研究計画を補足し、国際極年 (IPY 2007-2008) の研究計画を含む今後の 10 年以上の包括的な計画を策定していくために、国際共同研究等を提案し、推進し、イニシアチブを取っていくことであった。参加者は約 480 人、中でも米国から約 100 名、カナダから 70 名の他、ヨーロッパの北極に隣接する国からそれぞれ数十名の参加であった。翌年の第 16 回 IASC 評議会の審査で、北極海岸生物多様性 (ACBio)、北極海岸ダイナミクス (ADC)、周北極陸上生物多様性 (CAT-B)、ツンドラ・タイガ相互関係 (TTI) が IPY に関連して選定された。

第 3 回国際北極研究計画会議 (ICARP-III)

2015 年 4 月 27～30 日の 4 日間、富山市の富山国際会議場で開催された。IASC 設立の 25 周年記念イベントとして、IASC の History Panel があり、元 IASC プレジデントを含む 7 名のパネリストによるディスカッションが行われた。ICARP-III が 10 セッションで口頭発表とポスター発表があり、活発な議論が行われた。ICARP-III がこれまでの ICARP-I、ICARP-II と大きく異なることは、国際北極科学委員会作業部会 (IASC WGs) の活動が反映されていたことである。すなわち 2009 年にノルウェー、ベルゲンで開催された第 19 回 IASC 評議会において、5 つの作業部会 (大気、海洋、陸域、雪氷、社会と人間) の設置が提案され、2011 年 1 月 12～14 日にドイツ、ポツダムで科学作業部会の会合が開催された。それ以来、毎年、加盟約 20 カ国から、各国計 10 名 (各グループ 2 名) の研究者が集い、議論してきた経緯があるからである。最終的に、ICARP-III では優先する課題として、1) 地球システムにおける北極の役割、2) 気候ダイナミクスの将来予測と生態系応答、3) 北極環境と社会の脆弱性と回復の理解の改善が選出された。(神田)

4.3.3 ニーオルスンと国際北極研究シンポジウム (ISAR)

スバル諸島、ニーオルスン基地周辺の調査、観測の成果は国内外の学会やシンポジウムで発表されている。また、国立極地研究所では長期にわたって極域科学シンポジウム (2010 年より従来の分野別シンポジウムが統合された) を毎年、開催し、北極域に関する発表が多くなっていったが、日本発信の国際的な北極シンポジウムとして位置づけられるシンポジウムはなかった。2006 年頃からアドホックな「北極域研究検討委員会」が立ち上がり、2008 年にオールジャパンの国際シンポジウムとして位置づけられる国際北極研究シンポジウム (ISAR : International Symposium on Arctic Research) が設立された。主催は日本学術会議地球惑星科学委員会の国際対応分科会 IASC 対応小委員会である。これまでに 1998 年より 2015 年まで、隔年で 4 回実施している。2018 年に予定されている第 5 回国際北極研究シンポジウム (ISAR-5) は北極環境研究コンソーシアム (JCAR) が主催となる予定である。本稿では国際北極研究シンポジウム設立の経緯と概要について取りまとめた。

1) 国際北極研究シンポジウム設立までの経緯

ISARの前までは、北極圏に関する国際シンポジウムは国立極地研究所主催の北極圏環境研究国際シンポジウム(International Symposium on Environmental Research in the Arctic)、アラスカ大学の国際北極圏研究センター(IARC: International Arctic Research Center)が日本国内の大学関係者と共同で開催してきた和達国際会議(Wadachi Conference)、北極域の温暖化を扱った北極地球変動国際会議(GCCA: International Conference on Global Change: Connection to the Arctic)等が開催されていた。

国立極地研究所を中心とした国際シンポジウム

国立極地研究所は1990年に北極圏環境研究センターを設置した。日本がIASCに加盟した時の国内体制を整えるために前年に設置されていた北極科学研究推進特別委員会は1990年5月12日に北極シンポジウム「北極圏、日本にとって身近なその自然を考える」を東京・虎ノ門、発明会館ホールで開催した。そして、翌年の1991年にスバルバル諸島、ニーオルスンに日本の観測拠点を設置した。このような背景のもとで、国立極地研究所主催のシンポジウムではスバルバル諸島、ニーオルスン基地周辺に関連している研究発表は全体の30～40%を占めていた。

1991年12月10、11日に国立極地研究所において「北極科学研究会」が開催された。43件の発表があり、10件はスバルバルに関係している。翌年、1992年12月17日、国立極地研究所において第2回目の「北極科学研究会」が開催され、25件の発表があり、8件(全体の32%)がスバルバルに関係したものである。

第1回北極環境研究国際シンポジウムは日本がIASCに加盟してから5年目にあたる1995年7月19～21日、東京の九段会館と国立極地研究所で開催された。このシンポジウムは国立極地研究所が主催し、5年毎に開催することが決まっていた。講演者はIASC事務局長O.Rogne(ノルウェー極地研究所)、IASC初代委員長のE.F. Roots(カナダ環境局)、ワーキンググループ委員長のG. Weller(米国、アラスカ大学)、シベリア大陸棚研究のS. Pryamikov(ロシア北極南極研究所)、氷床掘削研究のC.C. Langway Jr.(米国、ニューヨーク州立大学)、星合孝男国立極地研究所長、小野延雄同北極圏環境研究センター長の講演があった。第2部は極地研において一般講演会が行われ、口頭発表33件、ポスター発表48件の発表があった。30件(全体の37%)がスバルバルに関係した発表であった。

第2回北極環境研究国際シンポジウムは2000年2月23～25日、国立極地研究所で開催された。国内から105名、国外から61名、計18カ国166名の参加があった。口頭発表66件、ポスター発表63件の計129件が発表された。このシンポジウムは第5回ニーオルスン科学セミナーとジョイントで実施されたため、45件(全体の約35%)がスバルバルに関係していた。

第3回北極環境研究国際シンポジウムは2005年2月22～24日、東京都北区の「北とぴあ」で開催された。初日は公開講演で国外研究者5名、国内5名の10件の講演があった。その後、2日間は一般講演会であった。9つの口頭発表セッションとポスターセッションを行った。参加者は137名、国外から11カ国41名の参加があった。発表は9つの口頭セッションとポスターセッションがあり、92件の発表があった。前回と同様に、このシンポジウムは第7回ニーオルスン科学セミナーとジョイントであったため、37件(全体の約40%)がスバルバルに関係していた。

和達国際会議

第1回和達国際会議は1995年11月7日～10日、つくば市の科学技術庁研究交流センターで行なわれ、日本と欧米を中心とする世界8カ国から約100名の参加者が集まった。第2回和達国際会議は2001年3月7日～9日に、つくば市のエポカルつくば国際会議場で行われ、欧米を中心とする多くの

参加者が集まった。和達国際会議はアラスカ大学にあった「和達講座」が核となっていた。会議委員長は A. Proshutinsky 教授と松野太郎教授（地球フロンティア）が務めた。

北極地球変動国際会議（GCCA）

1997 年、アラスカ大学に国際北極圏研究センターの設置が決まり、建物が完成した 2000 年にこのセンターが中心となり、かつ日本、米国の大学コンソーシアムが連携しつつ、北極地球変動国際会議（GCCA: International Conference on Global Change: Connection to the Arctic）を旗揚げした。日本の各地で 5 回とアラスカで 2 回のシンポジウムを実施した。

国際北極研究シンポジウム

2006 年あたりから、前述した国立極地研究所、和達国際会議、GCCA のシンポジウムに関連してきた大学や研究所の研究者が集まって、アドホックな「北極域研究検討委員会」を立ち上げ、日本発信の国際シンポジウムはどうあるべきかなどの議論を進めてきた。その成果の一つが 2007 年 5 月の日本地球惑星科学連合大会でユニオンセッション「北極域の科学」を企画し、約 100 名の参加者を集めたことであった。翌年の 2008 年より同連合大会のレギュラーセッション「北極域の科学」として位置づけられ、今日までこのセッションが続いている。

第 1 回国際北極研究シンポジウム（ISAR-1）を 2008 年 11 月 4～6 日、東京の日本科学未来館で開催した。テーマは「地球温暖化の急激な変化」であった。主催は日本学術会議地球惑星科学委員会の国際対応分科会 IASC 対応小委員会、WCRP/IGBP 合同分科会 CliC 小委員会、及び北極域研究検討委員会を中心とした開催実行委員会であった。共催機関として、国立極地研究所、海洋研究開発機構、宇宙航空研究開発機構、アラスカ大学国際北極圏研究センター、名古屋大学太陽地球環境研究所、及び筑波大学計算科学研究センターであった。参加者は 12 カ国、188 名であった。

第 2 回国際北極研究シンポジウム（ISAR-2）は 2010 年 12 月 7～9 日、東京の一橋記念講堂で開催された。参加者は 14 カ国、230 名であった。テーマは「変動する地球における北極システム」であった。初日は市民を対象にした一般講演会「北極の温暖化はどうなっているのか？」を開催し、130 名の参加があった。第 2 回国際北極研究シンポジウムが終了してからは、これまでのアドホックな「北極域研究検討委員会」の活動は日本学術会議地球惑星科学委員会の国際対応分科会 IASC 対応小委員会の活動として位置づけられるようになり、新たにシンポジウムを動かす母体、事務局、北極コンソーシアム等についての議論が始まった。2011 年より「北極域研究検討委員会」は北極環境研究コンソーシアム（JCAR）に発展的解消した。コンソーシアムは現在、約 420 人の研究者が登録されている。現在の ISAR はこのコンソーシアム運営委員会で開催決定などの運営を行っている。

第 3 回国際北極研究シンポジウム（ISAR-3）は 2013 年 1 月 14 日～17 日、日本科学未来館において開催された。テーマは「北極システムにおける変動の検出とグローバルな影響評価」であった。また、進行中の GRENE 北極気候変動研究事業の成果も発表された。

第 4 回国際北極研究シンポジウム（ISAR-4）は 2015 年 4 月 27 日～30 日までの 4 日間、富山市の富山国際会議場で北極科学サミット週間（ASSW）の会期中に開催され、世界 26 の国と地域から 700 名を超す参加があった。ここでは GRENE 北極気候変動研究事業の成果が 35 件発表された。また、人文社会科学系のセッションが設けられたことも特徴であった。Conference Statement では北極域の急激な変化とその影響について理解を深め、さまざまな分野が連携してとり組み、また科学者と住民、政府や産業界との連携の重要性が述べられた。（神田）

4.4 教育への利用

1991年にニーオルスン基地を設立してから2016年11月までに延べ750名近い人々が基地を利用してきた。各分野の研究活動は第3章を中心に述べられているが、この地での研究が学位取得に結びついているものも多い。この25年間で学位を取得したものは、わかっている範囲では表の通りで、博士17名、修士33名、学士21名の計71名である。今回情報を寄せていただけたリストを巻末の参考資料に掲載しているのであわせてご覧いただきたい。

学位取得論文リストのタイトルから分かることとして、分野別では雲、オゾン、電離圏観測、陸域生態の研究が多い。その他に温室効果気体や地理分野での取得者がいた。表からは博士号取得者が近年減少している一方、修士や学士取得者は増えていることがわかる。特に2012年～16年にかけて集中的に数字が増えているのは、GRENE北極気候変動研究事業による新型の雲レーダーの開発と設置に関わった学生が多数いたことや野外調査活動等が盛んに実施されたことによるものである。

博士号取得がすべてではないので、これらの学生が研究だけでなく、それぞれが進んだ各分野において活躍してくれることを期待してやまない。(上曾)

学位取得年代別分布

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
博士				1	1	3		1		1	2	2
修士	1		2	4	1	1	1	1		1	1	1
学士												

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
博士		1			1		2		1	1		
修士		1	1		2	1	1	1	1	4	4	3
学士	1		2			1	1	2	3	1	5	5

4.5 社会貢献—アウトリーチ

これまでニーオルスンでの研究活動に関心が高い取材活動や視察を受け入れてきた。また、一般向けイベントでは現地から情報発信を行ったり、中高生対象のコンテストの受賞提案について北極で実験を行ってきている。

取材

ニーオルスンの研究はたびたびテレビや新聞などで紹介されてきたが、過去にNHK(1995、2003、2007)、日本経済新聞社、北海道テレビ(1997)、共同通信社(2000)、朝日新聞(2006、2016)、フジテレビ(2012)などの報道関係者が基地に滞在したり、訪問して取材を行っている。ニーオルスンに入るには必ずどこかの基地の承認手続きを得なければならない。近年は取材を希望するメディアが多く、その行動範囲や振る舞いが環境を脅かす恐れがあるとして取材は厳しくなっている。

視察

旧文部省の視察に始まり外務省、内閣官房、文部科学省など国内の官公庁関係者がニーオルスン基地を訪れているが、2006年には駐ノルウェー日本国大使の齋賀富美子氏が訪問された。また2016年9月6日～9日に行われたニーオルスン基地開設25周年記念式典に、「北極のフロンティアを考える議員連盟」会長・鈴木俊一衆議院議員と同幹事長・上川陽子衆議院議員、外務省の白石和子北極担当大使のほか文部科学省や外務省、在ノルウェー日本国大使館、情報・システム研究機構の藤井良一理事らが参加、日本基地をはじめ各国基地や観測施設などを訪れ、各国の北極研究者との交流も深めた。

一般公開での三元中継

国立極地研究所が毎年夏に実施している一般公開では、ニーオルスン基地と南極・昭和基地、そして立川の研究所をリアルタイムで結んだ三元現場中継をこれまでに4回(2010年7月24日、2012年8月4日、2013年8月3日、2014年8月2日)実施した。極地研スタッフのニーオルスン基地滞在と公開日のスケジュールがあれば中継を行うため、毎年、この公開日に中継できるとは限らない点が残念であるが、立川を挟んで南極と同時に繋ぐと、北極は夏の白夜、南極は冬の極夜の時期となり、その対比が面白いものである。極地研ならではのイベントといえる。

中高生南極北極科学コンテスト—中学生・高校生の提案を南極・北極へ—

国立極地研究所では中学生・高校生が極地で実施したい観測や実験の提案を募集し、優秀な提案は南極観測隊や北極の観測チームが実験を実施している。2004年の“「中高生南極北極オープンフォーラム—中学生・高校生の提案を南極北極へ」コンテスト”に始まり、研究最前線(研究所)、とフィールド、そして学校が連携した、ユニークなコンテストの先駆けとなっている。審査後には「南極北極ジュニアフォーラム」を開催して、受賞提案の表彰と、提案者による発表を行っている。2009年からは北極での提案にふさわしいものも意識した賞が設置された。(上曾)

北極で実験をした提案(実験は受賞後の翌年度に行われフォーラムで報告される)

年 (応募数)	名称	賞	提案タイトル	提案者 学校名
2009 (128)	第6回中高生南極北極科学コンテスト—中学生・高校生の提案を南極・北極へ—/ 南極北極ジュニアフォーラム2009 —中学生・高校生の提案を南極・北極へ—	北極・南極科学賞	南極では日時計の影はどのような軌跡を描くか	PROJECT SWUN 南極グループ (代表:岩佐 映美) 大多喜町立大多喜中学校
2010 (115)	第7回同コンテスト/同フォーラム2010	北極科学賞	白夜のひまわりはどこを向くか?	チーム・フローラ・フォトニクス (代表:日沢亜美) 青森県立久井農業高等学校
2011 (350)	第8回同コンテスト/同フォーラム2011	南極・北極科学賞	極低温下での虹	チーム M-ART (代表:有馬 萌衣) 前橋市立荒砥中学校
2012 (412)	第9回同コンテスト/同フォーラム2012	北極科学賞	北極と日本での流星の見え方の違い:北極と南極で流星群の見え方	是永 京子 長野県屋代高等学校附属中学校
2013 (776)	第10回同コンテスト/同フォーラム2013	北極科学賞	極地で磁石を作ってみる	野崎 萌 山崎学園富士見中学校
2014 (372)	第11回同コンテスト/同フォーラム2014	優秀賞・北極科学賞	極地におけるソーラークッカーの性能	藤原 一樹 静岡県立沼津東高等学校
2015 (254)	第12回同コンテスト/同フォーラム2015	優秀賞・南極北極科学賞	北極・南極の水質調査	越前 翔 科学技術学園高等学校
2016 (436)	第13回同コンテスト/同フォーラム2016	優秀賞・北極科学賞	極地の花にネクターガイドはあるか?	TEAM FLORA PHOTONICS (代表:福田 将大) 青森県立久井農業高等学校



ニーオルスンの風景（画：太田昌秀）

第5章

ニーオルスン基地と北極研究の将来展望

5.1 NySMAC の Ny-Ålesund Flagship Programmes

NySMAC の主導により、ニーオルスンにおける重点研究計画として、Ny-Ålesund Flagship Programmes (NFP) が 2008～2009 年に策定された。NFP は、コングスフィヨルド・システム、陸域生態、大気観測、雪氷観測の四つの研究分野で構成され、各分野のさらなる発展とともに分野間の連携を通して北極研究全体への貢献を目指すものである。

コングスフィヨルド・システム

コングスフィヨルド域は大西洋海流の影響を直接的に受け、北極域の気候変化に敏感に応答すると考えられる。また、北極域でもっとも包括的かつ貴重な環境モニタリング地点の一つであることから、コングスフィヨルド域を対象とする研究者間の協力や共同研究が必須である。コングスフィヨルド・システムの研究の方向性として次の四つのテーマが定められた。

- ・コングスフィヨルドの生態学的プロセス
- ・コングスフィヨルドの環境変化
- ・コングスフィヨルドと海洋生物への人為的影響
- ・海洋環境と大気に関するコングスフィヨルド・システムの長期的モニタリング

陸域生態

北極域における陸域生態系の研究にとって、ニーオルスンはその地理的条件やこれまでの研究の蓄積により重要な研究拠点となっている。そのため、ニーオルスン一帯は北極域の陸域生態系の詳細な研究を進めるうえで極めて貴重な場所である。将来の優先課題として次の研究テーマがある。

- ・極地の陸域生態系における環境変化とその応答
- ・多様な時間空間スケールにおける寒冷圏生物圏相互作用
- ・海洋－陸域結合系における汚染物質やエネルギーの交換
- ・生物多様性とスバルバルにおける陸域植生の変遷

大気観測

下層から電離圏にいたる大気分野の研究において、ニーオルスンは北極域における数少ない観測サイトとして、これまで重要な役割を果たしてきた。今後さらに、ニーオルスンの地理的特殊性と国際的な協力体制を生かした研究を推進するために、大気分野では今後の優先課題として次の研究テーマを挙げている。

- ・気候変化に関する重要な気象要素の長期的観測
- ・大気境界層の研究
- ・雲、降水、エアロゾルとその気候影響
- ・大気汚染物質の長距離輸送の監視
- ・北極オゾン層と紫外線に関する研究
- ・電離圏磁気圏物理
- ・衛星観測の検証とデータ解析

雪氷観測

ニーオルスンは雪氷研究にとって理想的な地域である。ニーオルスンの二つの氷河 (Midtre Lovenbreen および Austre Broggerbreen) の質量収支については北極では最も長期にわたる観測記録が存在し、関連する観測データも利用可能となっている。その他、ニーオルスン周辺には多様な氷河が存在するため、それぞれに適したさまざまな観測研究が行われている。雪氷分野の優先研究課題は次の通りである。

- ・氷河の水文学、力学、質量収支
- ・氷河の生物地球化学
- ・積雪層の年変動
- ・大気-雪氷相互作用
- ・アイスコア研究

(塩原)

参考文献

- Atmospheric research in Ny-Ålesund – a flagship programme, Brief Report Series nr 22, Norsk Polarinstitutt, 2011.
Ny-Ålesund Glaciology Flagship Programme – future opportunities and constraints, Workshop Report, Svalbard Science Forum, Report No. 2/2012.
NySMAC ホームページ <http://nysmac.npolar.no/research/flagships/>
Terrestrial Ecosystems – a flagship programme for Ny-Ålesund, Brief Report Series nr 20, Norsk Polarinstitutt, 2010.
The Kongsfjorden System – a flagship programme for Ny-Ålesund, Brief Report Series nr 11, Norsk Polarinstitutt, 2009.

5.2 北極域研究推進プロジェクト (ArCS)

我が国の北極域研究の基幹的なプロジェクトとして、2015年9月より、北極域研究推進プロジェクト (Arctic Challenge for Sustainability: ArCS) が実施されている。ArCSは、文部科学省の補助事業として、国立極地研究所が代表機関、海洋研究開発機構及び北海道大学が副代表機関となっており、国内18の研究機関が加わり、約200人の研究者の参加によって行われている5カ年のプロジェクトである。

ArCSでは、急変する北極域の気候変動の解明と環境変化、社会への影響を明らかにすること、そしてそれを内外のステークホルダーに届け、持続可能な北極の利用等諸課題について適切な判断を可能とする精度の高い将来予測や環境影響評価等を行えるようにすることを目的としている。

そのための活動として、気候・気象・海洋環境変動、短寿命大気汚染物質などの物質循環、及び生態系と生物多様性に関する研究を総合的に推進し、それらの包括的な研究から科学的な知見を統合し、データマネジメントや人文・社会科学観点からの検討を加えた上で、北極評議会 (Arctic Council: AC) などの国際機関や関連会合、国内外の政策決定者、産業界あるいは先住民コミュニティ等のステークホルダーにとって有効かつ重要な情報を提供する。

事業の活動は、国際共同研究、国際連携拠点の整備、若手研究者派遣事業を含む人材育成プログラム、AC等北極関連会合への専門家派遣からなる。国際共同研究では、以下の8つの研究テーマがある。

- 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
- 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3：北極気候に関わる大気物質

テーマ4：北極海洋環境観測研究

テーマ5：北極気候変動予測研究

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

テーマ7：北極の人間と社会：持続的発展の可能性

テーマ8：北極域データアーカイブシステム

ニーオルスン基地及び周辺の観測施設において、テーマ1、テーマ3の調査研究活動が行われている。国際共同研究とともに、国際連携拠点の整備、若手研究者派遣事業を含む人材育成プログラム、AC等北極関連会合への専門家派遣を実施し、国際連携や若手人材の育成を推進している。これらの拠点や派遣先として、ニーオルスン基地やUNISは重要な役割を担う。25年前、ニーオルスン単独で始まった北極観測は、アラスカやグリーンランドでの活動域が加わり、今、カナダ、ロシアでの活動拠点を整備することで環北極観測網の実現に近づいた。これらの環北極観測情報を組み立てるうえでも、ニーオルスン基地の役割は大きい。(榎本)

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

海氷の減少や北極圏の雪氷変動が一要因として考えられている大陸上の異常寒波形成などは、社会・経済的にも影響が大きく、北極域の高精度の気象・海氷・波浪予測情報のニーズは、北極海のローカルな活動に限らず中緯度域でも高まってきている。ところが、予報に反映される北極海上の気象観測データは限定的であることから、予報の不確実性が大きいことが国際的に問題となっている。ニーオルスンでは、ラジオゾンデを使用した高層気象観測が Alfred Wegener Institute (AWI) によって1日1回実施されている。当該研究テーマではそのラジオゾンデ観測の頻度が十分かどうかを、AWIと協力しながら調査を開始した。

2013年や2014年には、「みらい」北極航海に同期してニーオルスン等で観測頻度を増やす特別観測を実施した。データ同化を用いて、これらの観測データが夏季の大気循環予測へどのように影響するかを調べたところ、特別観測を取り込んだ方が北極海航路上の風の予測やそれに伴う海水分布の予測が向上することが示されている (Inoue et al., 2015)。

一方、冬季の北極圏のラジオゾンデデータは、偏西風の蛇行に伴って観測シグナルが中緯度にまで南下が可能で、中緯度における寒波予測にも有用であることが明らかにされた (Sato et al., 2017)。そこで、2016年12月にはニーオルスン等で1日4回の頻度で集中観測を行い、中緯度の異常寒波・豪雪の予測に資する研究を開始した。折しも、2016年12月は札幌で50年ぶりの大雪に見舞われ、鉄道・空路とも大幅に乱れた。このような極端気象の予測に対して、ニーオルスンの観測データがどの程度効果的なのか、今後の解析が科学的にも社会的にも求められており、ArCSプロジェクトの担う役割は一段と増している。(猪上)

引用文献

- Inoue, J., Yamazaki, A., Ono, J., Dethloff, K., Maturilli, M., Neuber, R., Edwards, P., Yamaguchi, H., 2015. Additional Arctic observations improve weather and sea-ice forecasts for the Northern Sea Route. *Sci. Rep.*, 5, 16868.
- Sato, K., Inoue, J., Yamazaki, A., Kim, J.-H., Maturilli, M., Dethloff, K., Hudson, S. R., Granskog, M. A., 2017. Improved forecasts of winter weather extremes over midlatitudes with extra Arctic observations. *J. Geophys. Res.*, 122, 10.1002/2016JC012197.

テーマ3：北極気候に関わる大気物質

大気課題の本テーマでは二酸化炭素・メタン等の温室効果気体、エアロゾル (BC)、雲が重要な大気物質として取り上げられている。

温室効果気体

地球温暖化の影響が最も強く現れると考えられる北極域には、メタン (CH₄) や二酸化炭素 (CO₂) をはじめとする温室効果気体の全球規模循環に影響する重要な放出源や吸収源が存在する。温室効果気体濃度の将来予測を高い精度で行うためには、現在の北極域における温室効果気体収支の定量化と、気候と温室効果気体収支との間に働くフィードバック機構の解明が不可欠である。従来から、気温上昇に伴う湿地・永久凍土層からの CH₄ や CO₂ 放出量増加、北極海などからの CH₄ 放出量の増加、および海氷減少による CO₂ 収支の変化が予想されてきたが、観測データが限られていたことからそれらの定量的な評価は不十分であった。

2011～2015年に実施された GRENE 北極気候変動研究事業では、主に北極域における大気・海洋中の温室効果気体観測と氷床コア分析による過去数百年間の温室効果気体濃度の復元、そして大気化学輸送モデルによるインバージョン計算・ボックスモデルを用いた収支解析により、いわゆるトップダウン手法によって北極域における温室効果気体変動の解明を目指してきた。GRENE 北極気候変動研究事業によって現在の北極域における温室効果気体収支について示唆を得ることができたが、喫緊の課題である将来濃度予測の高精度化には、トップダウン手法に加えて、陸域での CH₄・CO₂ フラックス直接観測によるそれらの放出量と環境・水文条件の関係解明と、それを用いた陸域物質循環モデル・水生態モデルの高度化が必要になった。

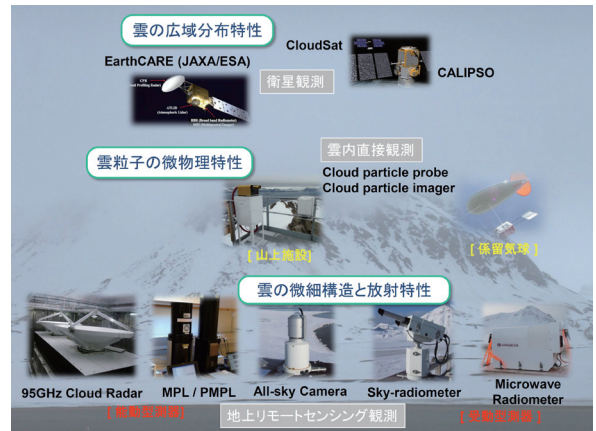
そこで ArCS プロジェクトでは、現在の北極域における領域別 CH₄・CO₂ 収支について、トップダウン法（大気中で観測される濃度を説明できる放出・吸収量を数値モデルにより求める方法）とボトムアップ法（放出・吸収量を代表的な場所で観測し、その結果から広域の放出・吸収量を求める方法）を統合し、両面から定量的に明らかにする研究を実施している。さらに、得られた知見をもとにして、気候変化に対する北極域のメタン・温室効果気体循環の応答の解明や、将来の放出量変化の予測を目指している。このようにして得られる北極域における将来気候下での CH₄・CO₂ 放出量に関する情報は、広く社会に発信し、ステークホルダーに提供することで、気候変動予測と温暖化対策立案への貢献が期待される。（後藤）

ブラックカーボン、雲・エアロゾル・放射

これまで北極域のエアロゾルについては、北極ヘイズ (Arctic Haze) に代表されるような人為起源の大気微粒子として硫酸性エアロゾルに着目した研究が多くなされてきた経緯があるが、近年、黒色炭素粒子 (ブラックカーボン。以下 BC) の気候影響が大きく注目されている。エアロゾルは、直接的な気候影響として大気を冷却する効果が大きく、主に地球寒冷化に働くと考えられている。しかし、その効果はエアロゾルの粒径分布や屈折率等の物理化学特性に強く依存するため、どのようなエアロゾルがどのくらいどこに存在するのか、その輸送・変質過程を含めた実態把握が急務とされる。基本的に人間活動の少ない北極域で観測される人為起源エアロゾルは中低緯度に発生源を持つものが主である。とりわけ、工業生産活動や農業活動・森林火災等に伴って発生する BC は日射エネルギーを吸収して大気を温める働き、すなわち温暖化への寄与が大きいため、詳細な観測と実態把握が必要である。BC はまた、大気中での直接効果だけでなく、雪氷表面に沈着することで地表面反射率 (アルベド) を低下させるこ

とにより雪氷面の融解を促進するなど、大気-地表面過程における間接的なフィードバック効果への寄与も大きい。さらに、BCは氷晶核としても働くため、氷雲や混相雲が卓越する極域では雲の生成・消滅過程においても重要な役割を果たすと考えられる。

ニーオルスンは極域の現場観測サイトとして重要な位置にあり、ニーオルスンに基地を持つドイツ、イタリア、フランス、ノルウェー、スウェーデン、韓国との国際共同研究も進められている。2017年3月にはニーオルスンの Rabben、Gruvebadet、Zeppelin の三つの観測施設を利用した国際共同観測として「雲エアロゾル放射総合観測 (ArcticCARE2017)」が実施される。日本の基地 Rabben には雲レーダー、偏光 MPL、スカイラジオメータ、全天カメラ等のリモートセンシング機器、Gruvebadet 大気観測所には光学式エアロゾルカウンター等のエアロゾル直接観測装置、Zeppelin 観測所にはフォグモニターを含む雲粒子測定装置が設置され、エアロゾル・雲の集中観測がほぼ1カ月間実施される予定である。その間、ドイツのウィンドライダーやラジオゾンデ観測、イタリアのエアロゾル係留気球観測、フランス・スウェーデンの雲粒子観測、韓国の雲核観測も計画され、これらの機関との共同研究は ArcticCARE の成功に大きく貢献することが期待される。(塩原)



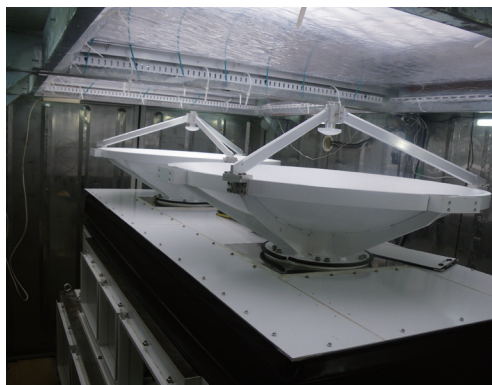
リモートセンシングと現場観測による雲の総合観測

5.3 地球観測衛星の地上検証観測サイトとして

宇宙航空研究開発機構 (JAXA)、情報通信研究機構 (NICT) および欧州宇宙機関 (ESA) の共同開発による雲エアロゾル放射ミッション衛星 EarthCARE (Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer) の打ち上げが 2018 年に予定されている。雲とエアロゾルを観測対象とするこの極軌道衛星には W バンド (94GHz) を用いたドップラーレーダー (CPR) と、波長 355nm のレーザーを用いた大気ライダー (ATLID) が搭載される。これまでの受動型センサーに比べ、CPR や ATLID 等の能動型センサーを用いた衛星リモートセンシングは、空間的にも時間的にも変動の大きい雲やエアロゾルを対象とする観測ではとりわけ威力を発揮し、特に受動型センサーでは識別が難しかった雪氷域と雲が混在する極域では極めて有効な手段となる。とはいえ、衛星観測では、リモートセンシングデータから物理量を求める過程で、そのアルゴリズムの信頼性を確認するための地上検証観測が必須である。ニーオルスンで稼働中の雲レーダー (FALCON-A) や偏光マイクロパルスライダー (PMPL) は、EarthCARE 搭載機器に対応する地上観測装置である。これらの装置の他に、エアロゾルや雲粒子の直接観測装置が Gruvebadet 大気観測所や Zeppelin 観測所に設置され連続観測を行っているため、ニーオルスンは数少ない極域のスー

パーサイトとして重要な役割を担うことが期待される。

その他、すでに運用中の全球降水観測衛星 (GPM) や水循環変動観測衛星 (GCOM-W: しずく)、それに今年度打ち上げ予定の気候変動観測衛星 (GCOM-C) 等の地球観測衛星群はいずれも気候変動機構の解明、あるいは気候変動予測の精度向上に資することを目的としていて、特に、海氷・降水降雪・水循環変動など極域の気象・気候が全球規模の気候変動に与える影響の評価が注目される。そのため、極域サイトでの地上検証観測は、今後一層重要性を増すものと思われる。(塩原)



雲レーダー/FALCON-A (写真: 鷹野)

5.4 ロケット観測と EISCAT・地上連携観測

スバルバルは、昼側の地球磁場 (磁気圏) が太陽風により夜側に向かって引き延ばされた開いた磁力線と低緯度側で閉じた磁力線の境界域にあたる「カスプ領域」の真下に位置する。このため、太陽風プラズマが磁力線に沿って直接上層大気に流入することにより生成されるカスプオーロラをはじめ、電離圏から宇宙空間への大気流出現象などの特異現象を直接総合観測できる地球上でほぼ唯一の場所となっている。このため、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) では、1990 年より国立極地研究所をはじめ、国内外の大学・研究機関と協力してノルウェーのアンドーヤおよびニーオルスンのロケット発射場からこれまでに計 8 回、観測ロケットを打ち上げ、北欧やスバルバルに設置された EISCAT レーダーや地上光学観測との連携観測を成功裏に実施し、多くの科学的成果を得てきた (p.101 ~ 102 参照)。

来年度以降にも電離圏大気の加速・流出現象の解明を目指した SS520-3 号機によるロケット実験がニーオルスンにおいて計画されている。(宮岡)

JAXA による北欧ロケット実験一覧

年月	号機	実験目的	発射場
1990 年 2 月	S-520-12	パルセーティングオーロラ	アンドーヤ
1991 年 2 月	S-520-14	同上	アンドーヤ
1994 年 2 月	S-310-22	NO- オゾン化学	アンドーヤ
1994 年 11 月	S-310-23	同上	アンドーヤ
1994 年 12 月	S-520-21	ディスクリートオーロラ	アンドーヤ
2000 年 12 月	SS-520-2	カスプイオン流出	ニーオルスン
2004 年 12 月	S-310-35	下部熱圏ダイナミクス	アンドーヤ
2009 年 1 月	S-310-39	下部熱圏ダイナミクス	アンドーヤ

5.5 日本の新基地構想

経緯

ニーオルスン基地における研究活動において、我が国は数多くの高い水準の研究成果をあげ、国際的にも評価されてきた。他方で、1991年以来の長年にわたる利用により、近年、基地施設は老朽化が進んでおり、冬季に暖房や水道などが使用できなくなり滞在に支障が出るなどの問題が出ている。また、利用する研究者の増加と観測活動の多様化に伴い施設の狭隘化も課題となっている。観測機器の自動化やWEBカメラによる監視など無人モニタリング設備を整備し、通年の連続観測などを確保しているが、安定した観測のためには施設の改善が必要となっている。

また、ニーオルスンを管理するキングスベイ社(KB)では、国際観測体制の方針として、各国が行う観測の重複を避け、各国の予算を有効に使うために、各国で共通に使える観測施設の整備を進めてきている。このような新たなニーオルスンの国際観測体制への移行、基地の老朽化への対策、これらに対応するものとして中心部への移転提案が2011年にKBより伝えられた。

極地研内では、基地の今後についての検討を開始し、極地研内外の利用者のニーズを把握するためのアンケートを実施するなどして、新基地に関する日本側の要望を整理し、併せてKBと新基地の建設候補地や建設までの手続き等について相談した。KBからは新基地の建設候補地として、ニーオルスンの中心部が打診され、候補地については合意した。これらの段階を経て、極地研では新基地の規格・間取り等についての要望を取りまとめ、本格的に協議を開始した。2015年には、極地研所長からKBへの書簡により、新基地建設についての要望を正式に行った。これを受けてKBは、ノルウェー政府に新基地建設のための予算を申請している。

新基地構想

これまでのノルウェー側との協議の結果、新基地の概略は以下のように構想されている。

- ・新基地は、国際観測拠点の中心部に整備する(地図参照)
- ・新基地の建屋は二階建てとする(現在の基地は平屋建て)
- ・新基地には日本の専有スペースの他に共用スペース、すなわち各国の研究者が共通に使用できるスペースを設ける(具体的には、ベッドルーム、会議室等を共用とする)

新基地施設の間取りとしては、現在の基地と同様、観測室やドライラボ、ウェットラボ、セミウェットラボ等の研究施設と居住スペースを設ける方向で検討されている。また、上記の構想にある、建設予定地を観測村の中心部とすること、二階建てとすることについては、利便性の向上などが図られるものであり、また、もう一点の共用スペースを設けることについては、ニーオルスンにおける国際化を一層強化し、各国の連携協力を推進していくべきというノルウェー側の方針に基づくものであることから、極地研としてもこれらの構想に沿って新基地整備に向けた検討を進めてきた。

新基地に設置する観測設備等の詳細については、極地研では今後の研究観測計画などを踏まえて、新基地に設ける観測室やラボ、観測のための屋上スペースや天窓などをノルウェー側に要望している。ノルウェー側では、新基地が観測村の中心部に整備予定であることから、ラボについては近隣の共用施設の利用も可能とするなど、さらに協議が重ねられている(2017年2月現在)。

なお、新基地が国際観測拠点の中心部に整備される予定であることから、各国の基地との共同観測など国際的な連携が一層進展することが期待される一方で、中心部であるために照明や排気ガスなど観測データに影響するノイズが増えることが懸念されている。このため、新基地への移転は、早期に一斉に

実施するのではなく、現在の基地でこれまで実施してきたモニタリング観測などについては新基地整備後も当面の間は現在の基地で引き続き継続し、移転は段階的に取り進める、また、ニーオルスンの郊外にある KB の共用施設等も利用するなど、移転に伴う研究観測への影響を最小限に留めるための慎重かつ柔軟な対応も必要である。

このように新基地の整備に向けては、今後の観測計画を見据えて、日本の観測活動がこれまで以上に促進され将来において高い成果をあげていくことを方向付けるものとなるべきであるとともに、これまでの研究観測の継続性等も勘案して、新基地における観測体制へと円滑に移行していくための配慮も必要である。このため基地施設の規格・間取り等の検討に加えて、具体的な移転計画の検討も課題となっており、さらにこれまでは実現していないが、観測活動をサポートするスタッフを基地に常駐させることも懸案となっている。

極地研ではこれらの課題を考慮しながら、引き続き、所内外の関係者及びノルウェー側と協力して、早期かつ最適なかたちでの新基地の実現に向けて取り組んでいくこととしている。（柿本、榎本）

新基地の建設予定地



5.6 座談会 ニーオルスン基地の今後の利用と北極研究の将来展望

開催：2016年11月21日 於：国際北極環境研究センター長室

参加者：榎本浩之（センター長）、宮岡宏（副センター長）、山内恭（元副所長）、塩原匡貴（ニーオルスン担当）、後藤大輔（ニーオルスン担当）、内田雅己（ニーオルスン担当）、柿本晃治郎（事務局・マネージャー）、吉岡博（事務局）、上曽由紀江（事務局）

これまでの活動—ニーオルスンだからこそできたこと、続けたいこと—

本誌作成に当たり、ニーオルスンでの25年間の研究活動として、基地の必要性から設置に至る経緯、そこで行われてきた研究活動や国際協力の体制など建設までさまざまな観点から見直すことができた。座談会では、これまでの活動を簡単に振り返り、今後の利用と北極研究の展望を話し合った。そこで出された意見を以下にまとめる。

ニーオルスン基地の置かれた地理的背景と研究活動の開始

ニーオルスンは北緯79度と大変な高緯度にある。その緯度、大陸からの遠い環境にあること、北極海に面していることはさまざまな調査研究活動を可能にした。ニーオルスンは、超高層大気研究、極域気象学の研究、陸域生態系、雪氷研究などの研究に対する地理的な優位性がある。また高緯度という遠隔にありながらも、北欧を経由してのアクセス方法が完備されていることも好条件であった。日本が活動を開始した時期は、欧州の研究グループのみが活動している場であったが、日本の研究者はノルウェーとの交流はもとより、欧州研究グループとの交流も早くから始めることができた。

まず、超高層大気については、極域は全球の中でも磁力線が集まる所で、オーロラの研究などは高緯度でなければできない。そのようなことから日本のニーオルスンでの研究活動は、70年代後半にオーロラと地磁気の観測という超高層大気分野から始まっている。超高層分野では初期の頃から人工衛星と地上からの共同観測を外国の研究者と行ってきた。そして今後も宇宙科学分野と連携して地球大気を見る研究が続く。

成層圏から対流圏の領域を見る大気科学分野では、産業活動からの影響によるアークティック・ヘイズと関係したエアロゾルの研究を1980年代に始め、1990年代にオゾンホールの研究が、そして2000年代にはリモートセンシング光学による雲の観測などが盛んになってきた。当初は自分たちだけの独自のテーマによる研究だったが、北極対流圏エアロゾル放射総合研究(ASTAR)以後、ドイツやノルウェーとの共同研究が続いている。ニーオルスンはいろいろな国が集まっているのがメリットで、各国は自分たちが得意な測定を行い、その情報を提供し合って共通のテーマで研究交流を行うという理想的な環境となっている。

気象学的にもスバルバルは注目すべき場と言える。大西洋側からの大気中の水蒸気の入口ともなり、また、ぐるりと北極を巡って出口ともなる要に位置している。この海洋性大気と北極からの大気の流れの両方の動きが見られる場所に観測基地があるというのは大きな利点である。変化が多いため観測が大変難しい面もあるが、うまくいけばとても興味深い動きが見られることになる。

ニーオルスンの大気観測は短期間のキャンペーンから始まり、その後長期的なモニタリング観測に移行した例が多い。温室効果気体観測ではまさにモニタリングによる長期変動を捉えており、社会的な営みから隔絶された地を利用した二酸化炭素に始まる日本の温室効果気体観測は精度が高く、他国の追随

を許さない状況である。

一方、ニーオルスンでの活動が盛んな分野の一つに陸域生態系の極砂漠での物質循環の研究がある。温暖化による影響が氷河後退域の生物活動や土壌呼吸においてどのような変化を見せるのかを観察してきた。ニーオルスは、周囲からの外的・人為的活動の影響を受けず、そのようなフィールドのすぐ近くに基地があり、拠点としていつでも使えるという点が大きなメリットとなっている。このような研究の積み重ねから最近ではモニタリングも始めている。

初期のニーオルスンでの活動として欠かせないものに氷河・氷帽等を対象とした雪氷観測がある。ニーオルスは氷河へのアクセスがよく、クレバスもほとんど無い。近年、日本はこの地で氷河観測を行っていないが、日本の現在の雪氷研究分野で活躍している人達の多くが 1990 年代にここを訪れていた。訪問が困難な南極に対し、北緯 79 度という高緯度までアクセスが容易で、学生でも来られるというメリットがあった。その他、フィヨルドの海洋観測も行われてきた。

ニーオルスンでの研究は、時代とともに変わってきている部分もあるが、大気や温室効果気体観測のモニタリング活動など基地開設当時から続いており、25 年経ってデータの蓄積が貴重な財産となっているといえる。これを基に今後もデータを積み重ねていくことは長期変動を見るうえで欠かせないものである。

スバルバル全体もフィールド範囲として考えると、ニーオルスンと条件が似ているが、気温が違うフィールドが近くにある。これらのデータを比較すると気温が上昇した場合の比較をしやすいというメリットがあり、特に生態系観測では温暖化への変化を見るうえで格好の立地条件となっている。これらの活動から見られるように、ニーオルスンに基地があるので、そこを拠点にモニタリングやフィールド調査ができることは、安定した調査を続けられるということになる。

極地での調査研究の希望に対し、南極とは違った北極へのアクセスのメリットは、若手の参加も容易にしている。基地という活動・滞在の拠点には、さまざまな観測者の交流や研究成果が集約された新しい科学活動がはじまる起点としての機能がある。この役割は、基地開設から 25 年たった現在、変化が早い北極の環境やそれを取り巻く社会の中で、さらに強化されるべきものである。

これから期待される北極研究の姿

2011 年に GRENE 北極気候変動研究事業が始まった頃から、政府間レベルの会合や国際会議への参加が活発化してきた。これらの会合では、短期プロジェクトによる新たな知見の取得から、今後、継続した観測が維持できる長期的な観測活動の構築への意見が頻出している。広域な北極を個別の研究者や機関、プロジェクトでカバーすることは難しく、国際的レベルでの観測網体制の構築や継続が期待されてきている。例えば SAON(Sustaining Arctic Observing Networks) では、各国ごとのリサーチでは地域や時期、手法がばらばらに行われることが多いため、抜けている地域を埋めようという話題がよく出てくる。また、スバルバル統合観測システム (SIOS) では、スバルバルにおいてどの分野の観測が不足しているのか、観測や分析、情報流通のためのインフラは何かが必要かが議論された。そして、今後どのように維持していくのか、長期観測に向けての形づくりを目指している。これまで各国がさまざまな観測を行ってきたが、将来は共同で何をやるべきなのかがポイントとされている。

このように国際共同的なオペレーションへの動きにシフトしてきているなか、各国で共通で使える基盤の整備などが提案されるが、ニーオルスン観測調整会議 (NySMAC) は元々そのような考えに立ってやってきている。ニーオルスンで行われてきた活動が、これからの国際的な北極研究協力の手本となると考えられる。

一方で、日本は2013年より北極評議会(AC)のオブザーバー国となったが、オブザーバー国には、北極研究と北極とそれとをとりまく将来への科学的成果の貢献が求められている。オブザーバー国は、すでにさまざまな取り組みを行なって自国のプレゼンスを高めている国から、後発の国までさまざまである。日本の活動もその貢献を強く打ち出しているが、特にニーオルスンで行ってきた長期かつ精度の高いモニタリングや調査・観測の実績への評価、今後の協力に向けた方向性に対し、北極評議会関連会合からの信頼性は高いと言える。

また、温暖化による環境の変化の中で、最近、新たな課題が浮上してきている。まず一つ目として、北極域の地域では大雨やなだれなど、近年に発生している災害への防災意識の高まり、それへの対策についての動きが入ってきた。具体的な例としてUNISでは、冬季の積雪上への降雨である“Rain on Snow”を意識した防災工学のプログラムが実施されるようになった。自然科学分野の研究からも都市計画の見直しや防災への貢献が求められていくと思われる。冬季の降雨は、積雪表面に氷板を作り、トナカイなどの採餌を困難にするため、生態系にもダメージを与える。

もう一つは、北極海をめぐる経済活動の活発化に伴い、海難事故の危惧が出てきていることである。スピッツベルゲン島周辺が“Search and Rescue”の拠点となる動きが出てきている。これらの動きからもわかるように気象や気候、そして災害や環境ダメージに係る調査活動が今後重要になってくると思われる。

これから期待される北極研究に対し、さらに付け加えると、スバルバルのインフラ整備という面でも新たな動きがみられる。ここはもともと炭鉱産業の開発に対するインフラ整備が中心となって居住環境が整備された地域であった。その後、衛星観測など宇宙観測分野のインフラの充実が図られており、今後もこのようなインフラ整備活動が一層重きをなしていくに違いない。

日本の北極研究はどこへ向かうのか

北極域で活動していると「なぜ日本が北極研究をやっているのか」とよく聞かれるが、グローバルな視点から見ると、気候変動や気象現象における北極の役割は大変重要な地位を占めている。日本の気象もダイレクトに北極の影響を受けていることが分かっており、間接的・直接的作用の解明が重要である。温室効果気体観測やブラックカーボン測定をはじめ、日本の高精度観測の信頼の高さは海外から認められており、気候変動の解明に向けて大いに貢献できる。また、これから期待される分野としてUAV(無人航空機)やAUV(自律型無人潜水機)を使った調査活動は各国からの関心も高いものである。

北極各地にむけて、さまざまな交通手段が存在し、その利用によりアクセスが可能であるため、研究だけをみれば科研費でも十分活動できる地域と言える。しかし、科研費での研究は個人ベースとなってしまう、研究活動の幅は小さく、困難が伴うことが多い。これからの研究では、科研費のような短期間のキャンペーンやプロジェクトをベースとするものと、長期トレンドをみるモニタリング・国際的なオペレーションが考えられる。この時に必要なものは各国間に入って調整できる機関が存在するかどうかではないだろうか。ここに極地研の役割が見えてくる。極地研は個人レベルでは入っていくことのできない各国間との協力構築の大きな傘となることが望まれており、その傘の下で各国の機関と共同研究をしやすい方向へ導いてくれることが大きな役目となってくる。

新基地の設備

ニーオルスンでは、キングスベイとノルウェー政府の交渉を通じて、日本の新基地設立の構想が進んでいる。新たな基地はニーオルスンの中心部に建設が予定されている。現在の日本の基地がある場所は、

各国の基地が集まっている中心部から 1.5 km ほど離れたところである。中心部から離れた丘の上にあるための利点もあるが、移転によるメリットも大きい。

具体的には、ライダー等のリモートセンシング機器の新基地移転が有効であり、24 時間連続観測体制を整備することで、他国との相互補完的な役割を一層強化できるものと考えている。また、ラベンでは老朽化が激しいため活動スペース、水回り、倉庫の使いやすさを求めている。新基地は中心部に位置するためキングスベイ社による建物の維持管理が格段に向上すると思われる。個々の研究活動が分散していた姿から、観測態勢の不足を補完し、また重複を避け、共同研究体制を進める姿が、北極研究で推進されつつある。その先駆的な活動であるニーオルスンでの観測研究についても、さらに進化していく時期にある。そのなかで、新しい日本の基地がどのような形のもとに実現されるか、新たな時代に向けた意見交換が続いている。

人材育成

極域科学全体の話となるが、若手研究者の育成は急務となっている。大学のカリキュラムが変わり、観測のベストシーズンとなる 7～8 月の出張が厳しくなってフィールドに出られる教員が減っていることもある。GRENE 北極気候変動研究事業ではオールジャパン体制で観測活動も行われて盛り上がったが、そのようなアクティビティを今後も続けられるかどうか不安がある。北極研究が盛り上がるのが人材を輩出する大きな鍵であることは言うまでもない。

スバルには 1990 年代から UNIS が設置されている。スウェーデンやアラスカでも若手用の短期プログラムも実施されている。受入側のプログラムの整備は進められており、また、旅費支援も増えてきた。そのような、恵まれているように見える環境のなかに、学生がなかなか飛び込んでいけない現状がある。人材育成は、若手の側に立って、希望や不安に応える必要がある。解決策を見つけるのは難しいかもしれないが、国際的な若手組織 APECS や IASC 若手メンバーの活動など参考となる若手育成活動が、北極研究を舞台に行われている。人材育成について、北極研究活動から学ぶところも多い。

ニーオルスン基地が開設された当時、若手支援システムの無い中で、指導教員について北極に向かった学生たちは今、育てる側に回っている。今後は、さらに押し出す側の活躍に期待したい。

設立の期待とこれからの時代

この基地の設立に関わられた渡邊先生、岩坂先生の報告からは、基地の設立までのいきさつや、交渉の努力が述べられているが、その原動力となる将来への大きな期待があったことがわかる。設立されたばかりの国際北極科学委員会への素早い参加、その国内拠点としての北極圏環境研究センターの設置、翌年には日本初の北極基地を設立し、具体的な研究活動の場を持った。25 年前、いち早くその場に入り込んでいった機動力に感心する。多くの準備や交渉から達成できた北極での観測基地の設立の目的を再確認し、将来に向けて発展させていく必要がある。

日本は、最新の機器や研究者の技術で、高い精度の観測結果を出すこと、それを継続させることを行うなど、個人の活動に依るものも大きい。25 年を振り返り、それぞれの時期に活動した人と成果を見ることができた。今後、この調査観測活動を、さらに大きな枠組みで支え、また、その活動を効果的に国際社会に発信することが望まれる。科学の専門分野だけに留まらず、北極をめぐる国際社会のなかでも活動を見せていくことが、これからの時代に求められている。継続的な人材育成と研究資金の確保を両輪として、長期的な視点で戦略的な研究課題を常に意識することがますます重要となる。(監修・榎本)

第 6 章
参考資料

6.1 ニーオルスンでの観測・研究による日本の業績リスト

今回の記念誌発行に寄せられた研究業績の報告は277件。分野ごとに記録した。

【大気】

1. 研究論文 68件

- Aoki, S., Morimoto, S., Ushio, S., Ito, H., Nakazawa, T., Yamanouchi, T., Ono, N., Vinje, T., 1996. Carbon dioxide variations in the Greenland Sea. Proc. Int. Symp. Environmental Research in the Arctic, 19–21 July 1995, NIPR, Tokyo. Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, 51, 299–306.
- Adachi, H., Shibata, T., Iwasaka, Y., Fujiwara, M., 2001. Calibration method for the lidar observed stratospheric depolarization ratio in the presence of liquid aerosol particles. Applied Optics, Vol.40, 6587–6595. <https://doi.org/10.1364/AO.40.006587>
- 遊馬芳雄, 福田陽子, 菊地勝弘, 塩原匡貴, 和田誠, Moore, G. W. K., 2002. ノルウェー海上のポーラーローの航空機観測. 南極資料, 46, 243–260.
- Campbell, J. R., Shiobara, M., 2008. Glaciation of a mixed-phase boundary layer cloud at a coastal arctic site as depicted in continuous lidar measurements. Polar Science, 2, 121–127. doi:10.1016/j.polar.2008.04.004.
- Daneva, D., Shibata, T., 2001. Behavior of externally mixed, liquid and solid polar stratospheric particles in a numerical box model under temperature decrease, Polar Meteorology and Glaciology, No.15, 32–42.
- Daneva, D., Shibata, T., Iwasaka, Y., Nagatani, M., Shiraiishi, K., Hayashi, M., Fujiwara, M., 2003. The mixing state of Polar Stratospheric clouds particles in "sandwich structure" observed by lidar: 1. Determination of the mixing state of PSC particles. Journal of Meteorological Society of Japan, Vol.81, 747–757. <http://doi.org/10.2151/jmsj.81.747>.
- Daneva, D., Shibata, T., 2003. The mixing state of Polar Stratospheric clouds particles in "sandwich structure" observed by lidar: 2. Numerical simulations of the optical properties of the liquid and solid particles with external mixture of STS and NAT particles. Journal of Meteorological Society of Japan, Vol.81, 759–777. <http://doi.org/10.2151/jmsj.81.759>.
- Dorokhov, V., Yushkov, V., Makshtas, A., Ivlev, G., Tereb, N., Savinykh, V., Shepelev, D., Nakajima, H., McElroy, T., Tarasick, D., Goutail, F., Pommereau, J.-P., Pazmino, A., 2013. Brewer, SAOZ and ozonesonde observations in Siberia. Atmosphere-Ocean, 51. doi:10.1080/07055900.2013.830078.
- Dorokhov, V., Tsvetkova, N., Yushkov, V., Nakajima, H., Ivlev, G.A., 2014. Ozone monitoring in Salekhard and Tomsk, western Siberia. International J. of Remote Sensing, 35, 5598–5608. doi:10.1080/01431161.2014.945012.
- Endoh, T., Takahashi, T., Hayashi, T., Noguchi, I., Koga, S., Kurita, N., Tanaka, N., Wada, M., 2004. Polar night investigation of chemical components in fresh snow particles and aerosol/gas in the atmosphere at Ny-Ålesund. Proceedings of 14th ICCP, 1, 440–443.
- Goto, D., Morimoto, S., Aoki, S., Nakazawa, T., 2013. High precision continuous measurement system for the atmospheric O_2/N_2 ratio at Ny-Ålesund, Svalbard and preliminary observational results. Nankyoku Shiryo (Antarct. Rec.), 57(1), 17–27.
- Hara, K., Osada, K., Hayashi, M., Matsunaga, K., Iwasaka, Y., 1997. Variations of concentrations of sulfate, methanesulfonate and sulfur dioxide at Ny-Ålesund in 1995/96 winter. Proc. NIPR Symp. Polar Metrol. Glaciol., 11, 127–137.
- Hara, K., Osada, K., Hayashi, M., Matsunaga, K., Shibata, T., Iwasaka, Y., Furuya, K., 1999. Fractionation of Inorganic Nitrates in Winter Arctic Troposphere — Coarse Aerosol Particles Containing Inorganic Nitrates —. J. Geophys. Res., 104, 23671–23679. <http://dx.doi.org/10.1029/1999JD900348>
- Hara, K., Osada, K., Matsunaga, K., Iwasaka, Y., Shibata, T., Furuya, K., 2002. Atmospheric Inorganic chlorine and bromine species in winter Arctic troposphere. J. Geophys. Res., 107(D18), 4361. doi:10.1029/2001JD001008.
- Hara, K., Osada, K., Matsunaga, K., Iwasaka, Y., Sakai, T., Furuya, K., 2002. Concentration trends and mixing states of particulate oxalate in Arctic boundary layer in winter/spring. J. Geophys. Res., 107(D19), 4399. doi:10.1029/2001JD001584.
- Hara, K., Osada, K., Nishita, C., Yamagata, S., Yamanouchi, T., Herber, A., Matsunaga, K., Iwasaka, Y., Nagatani, M., Nakada, H., 2002. Vertical variations of sea-salt modification in the boundary layer of spring Arctic during the ASTAR 2000 campaign. Tellus, 54B, 361–376.
- Hara, K., Yamagata, S., Yamanouchi, T., Sato, K., Herber, A., Iwasaka, Y., Nagatani, M., Nakata, H., 2003. Mixing states of individual aerosol particles in spring Arctic troposphere during ASTAR 2000 campaign. J. Geophys. Res., 108 (D7), 4209. doi:10.1029/2002JD002513.
- Hayashi, M., Iwasaka, Y., Watanabe, M., Shibata, T., Fujiwara, M., Adachi, H., Sakai, T., Nagatani, M., Tsuchiya, M., 1998. Size and number concentration of liquid PSCs: balloon-borne measurements at Ny-Ålesund, Norway in winter of 1994/1995. Journal of Meteorological Society of Japan, Vol.76, 549–560.
- Hoffmann, A., Ritter, C., Stock, M., Shiobara, M., Lampert, A., Maturilli, M., Orgis, T., Neuber, R., Herber, A., 2009. Ground-based lidar measurements from Ny-Ålesund during ASTAR 2007. Atmos. Chem. Phys., 9, 9059–9081.
- Inomata, Y., Iwasaka, Y., Morimoto, S., Shiobara, M., Machida, T., Sugawara, S., 2003. Carbonyl Sulfide Concentration in the Arctic Lowermost Stratosphere and Stratosphere-troposphere Transport. Journal of Meteorological Society of Japan, Vol.81, 1471–1484. <http://doi.org/10.2151/jmsj.81.1471>.
- Ishidoya, S., Morimoto, S., Sugawara, S., Watai, T., Machida, T., Aoki, S., Nakazawa, T., Yamanouchi, T., 2008. Gravitational separation suggested by O_2/N_2 , $\delta^{15}N$ of N_2 , $\delta^{18}O$ of O_2 , Ar/ N_2 observed in the lowermost part of the stratosphere at northern middle and high latitudes in the early spring of 2002. Geophys. Res. Lett., 35, L03812. doi:10.1029/2007GL031526.
- Ishidoya, S., Morimoto, S., Aoki, S., Taguchi, S., Goto, D., Murayama, S., Nakazawa, T., 2012. Oceanic and terrestrial biospheric

- CO₂ uptake estimated from atmospheric potential oxygen observed at Ny-Ålesund, Svalbard and Syowa, Antarctica. *Tellus, B* 2012, 64, 18924. <http://dx.doi.org/10.3402/tellusb.v64i0.18924>.
- Kohlhepp, R., Ruhnke, R., Chipperfield, M. P., De Mazière, M., Notholt, J., Barthlott, S., Batchelor, R. L., Blatherwick, R. D., Blumenstock, Th., Coffey, M. T., Demoulin, P., Fast, H., Feng, W., Goldman, A., Griffith, D. W. T., Hamann, K., Hannigan, J. W., Hase, F., Jones, N. B., Kagawa, A., Kaiser, I., Kasai, Y., Kirner, O., Kouker, W., Lindenmaier, R., Mahieu, E., Mittermeier, R. L., Monge-Sanz, B., Morino, I., Murata, I., Nakajima, H., Palm, M., Paton-Walsh, C., Raffalski, U., Reddmann, Th., Rettinger, M., Rinsland, C. P., Rozanov, E., Schneider, M., Senten, C., Sinnhuber, B.-M., Smale, D., Strong, K., Sussmann, R., Taylor, J. R., Vanhaelewyn, G., Warneke, T., Whaley, C., Wiehle, M., Wood, S. W., 2012. Observed and simulated time evolution of HCl, ClONO₂ and HF total column abundances. *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 3527–3557. doi:10.5194/acp-12-3527-2012.
- Lampert, A., Ritter, C., Hoffmann, A., Gayet, J.-F., Mioche, G., Ehrlich, A., Doernbrack, A., Wendisch, M., Shiobara, M., 2010. Lidar characterization of the Arctic atmosphere during ASTAR 2007: four cases studies of boundary layer, mixed-phase and multi-layer clouds. *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 2847–2866.
- Lampert, A., Strom, J., Ritter, C., Neuber, R., Yoon, Y.-J., Chae, N.-Y., Shiobara, M., 2011. Inclined lidar observations of boundary layer aerosol particles above the Kongsfjord, Svalbard. *Acta Geophysica*. doi:10.2478/s11600-011-0067-4.
- Mahieu, E., Chipperfield, M. P., Notholt, J., Reddmann, T., Anderson, J., Bernath, P. F., Blumenstock, T., Coffey, M. T., Dhomse, S., Feng, W., Franco, B., Froidevaux, L., Griffith, D. W. T., Hannigan, J., Hase, F., Hossaini, R., Jones, N. B., Morino, I., Murata, I., Nakajima, H., Palm, M., Paton-Walsh, C., Russell III, J. M., Schneider, M., Servais, C., Smale, D., Walker, K. A., 2014. Recent Northern Hemisphere stratospheric HCl increase due to atmospheric circulation changes. *Nature*, 515, 104–107. doi:10.1038/nature13857.
- Manney, G. L., Santee, M. L., Rex, M., Livesey, N. J., Pitts, M. C., Veefkind, P., Nash, E. R., Wohltmann, I., Lehmann, R., Froidevaux, L., Poole, L. R., Schoeberl, M. R., Haffner, D. P., Davies, J., Dorokhov, V., Gernandt, H., Johnson, B., Kivi, R., Kyrö, E., Larsen, N., Levelt, P. F., Makshtas, A., McElroy, C. T., Nakajima, H., Parrondo, M. C., Tarasick, D. W., Gathen, P. von der, Walker, K. A., Zinoviev, N. S., 2011. Unprecedented Arctic ozone loss in 2011. *Nature*, 478, 469–475. doi:10.1038/nature10556.
- Mazzola, M., Stone, R. S., Herber, A., Tomasi, C., Lupi, A., Vitale, V., Lanconelli, C., Toledano, C., Cachorro, V. E., O'Neill, N. T., Shiobara, M., Aaltonen, V., Stebel, K., Zielinski, T., Petelski, T., Ortiz de Galisteo, J. P., Torres, B., Berjon, A., Goloub, P., Li, Z., Blarel, L., Abboud, I., Cuevas, E., Stock, M., Schulz, K.-H., Virkkula, A., 2012. Evaluation of sun photometer capabilities for retrievals of aerosol optical depth at high latitudes: The POLAR-AOD intercomparison campaigns. *Atmos. Environ.*, 52, 4–17.
- Morimoto, S., Aoki, S., Yamanouchi, T., 2001. Temporal variations of atmospheric CO₂ concentration and carbon isotope ratio in Ny-Ålesund, Svalbard. *Mem. Natl. Polar Res., Spec. Issue*, 54, 71–79.
- Morimoto, S., Watai, T., Machida, T., Wada, M., Yamanouchi, T., 2003. In-situ measurement of the ozone concentration in the Arctic Airborne Measurement Program 2002 (AAMP 02). *Polar Meteorol. Glaciol.*, 17, 81–93.
- Morimoto, S., Aoki, S., Nakazawa, T., Yamanouchi, T., 2006. Temporal variations of the carbon isotopic ratio of atmospheric methane observed at Ny-Ålesund, Svalbard from 1996 to 2004. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L01807. doi:10.1029/2005GL024648.
- Morimoto, S., Ishidoya, S., Ishijima, K., Yashiro, H., Umazawa, T., Hashida, G., Sugawara, S., Aoki, S., Nakazawa, T., Yamanouchi, T., 2010. Temporal variations of atmospheric greenhouse gases and their related gases at Syowa Station, Antarctica and Ny-Ålesund, Svalbard. *Nankyoku Shiryo (Antarct. Rec.)*, 54(0) 374–409.
- Myhre, C. L., Toledano, C., Myhre, G., Stebel, K., Yttri, K. E., Aaltonen, V., Johnsrud, M., Frioud, M., Cachorro, V., de Frutos, A., Lihavainen, H., Campbell, J. R., Chaikovsky, A. P., Shiobara, M., Welton, E. J., Torseth, K., 2007. Regional aerosol optical properties and radiative impact of the extreme smoke event in the European Arctic in spring 2006. *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 5899–5915.
- Nakajima, H., Wohltmann, I., Wegner, T., Takeda, M., Pitts, M.C., Poole, L.R., Lehmann, R., Santee, M.L., Rex, M., 2016. Polar stratospheric cloud evolution and chlorine activation measured by CALIPSO and MLS, and modelled by ATLAS. *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 3311–3325. doi:10.5194/acp-16-3311-2016.
- Nakaoka, S., Aoki, S., Nakazawa, T., Hashida, G., Morimoto, S., Yamanouchi, T., Inoue, H. Y., 2006. Temporal and spatial variations of oceanic pCO₂ and air-sea CO₂ flux in the Greenland Sea and the Barents Sea. *Tellus*, 58B, 148–161.
- Nishita, C., Osada, K., Hara, K., Kido, M., Wada, M., Shibata, T., Iwasaka, Y., 2001. Number-Size Distributions of Atmospheric Aerosol Particles (10<Dp<365nm) at Ny-Ålesund, Norwegian Arctic: Their Relationship with Air Mass History. *Polar Meteorol. Glaciol.*, 15, 67–77.
- Okano, S., Okabayashi, M., Gernandt, H., 1996. Observations of ozone profiles in the upper stratosphere using a light-weight high-altitude balloon. *Memoirs of National Institute of Polar Research, Spec. Issue*, 51, 225–231.
- Pinglot, J. F., Pourchet, M., Lefauconnier, B., Hagen, J. O., Vaikmaa, R., Punning, J. M., Watanabe, O., Takahashi, S., Kameda, T., 1994. Natural and artificial radioactivity in the Svalbard glaciers. *Journal of Environmental Radioactivity*, 25, 161–176.
- Saha, A., O'Neill, N. T., Eloranta, E., Stone, R., Eck, T. F., Zidane, S., Daou, D., Lupu, A., Lesins, G., Shiobara, M., McArthur, L. J. B., 2010. Pan-Arctic sunphotometry during the ARCTAS-A campaign of April 2008. *Geophys. Res. Lett.*, 37, L05803. doi:10.1029/2009GL041375.
- Shibata, T., Iwasaka, Y., Fujiwara, M., Hayashi, M., Shiraiishi, K., Adachi, H., Sakai, T., Susumu, K., Nakura, Y., Watanabe, M., 1996. Lidar observed polar stratospheric clouds over Svalbard in mid-December 1994. *Memoirs of National Institute of Polar Research, Special Issue, No.51*, 217–223.

- Shibata, T., Iwasaka, Y., Fujiwara, M., Hayashi, M., Nagatani, M., Shiraiishi, K., Adachi, H., Sakai, T., Susumu, K., Nakura, Y., 1997. Polar stratospheric clouds observed by lidar over Spitsbergen in the winter of 1994/1995: Liquid particles and vertical “sandwich” structure. *Journal of Geophysical Research*, Vol.102, 10829–10840. <http://dx.doi.org/10.1029/97JD00418>.
- Shibata, T., 1999. On the lidar observed sandwich structure of polar stratospheric clouds, II, numerical simulations of externally mixed PSC particles. *Journal of Geophysical Research*, Vol.104, 21613–21619. <http://dx.doi.org/10.1029/1999JD900333>.
- Shibata, T., Shiraiishi, K., Adachi, H., Iwasaka, Y., Fujiwara, M., 1999. On the lidar observed sandwich structure of polar stratospheric clouds, I, implications for the mixing state of the PSC particles. *Journal of Geophysical Research*, Vol.104, 21603–21611. <http://dx.doi.org/10.1029/1999JD900331>.
- Shiobara, M., Fujii, Y., Morimoto, S., Asuma, Y., Yamagata, S., Sugawara, S., Inomata, Y., Watanabe, M., Machida, T., 1999. An overview and preliminary results from the Arctic Airborne Measurement Program 1998 Campaign. *Polar Meteorol. Glaciol.*, 13, 99–110.
- Shiobara, M., Yabuki, M., Kobayashi, H., 2003. A polar cloud analysis based on Micro-pulse Lidar measurements at Ny-Ålesund, Svalbard and Syowa, Antarctica. *Physics and Chemistry of the Earth*, 28, 1205–1212.
- Shiobara, M., Yabuki, M., Neuber, R., Spinhirne, J. D., Welton, E. J., Campbell, J. R., Hart, W. D., Berkoff, T. A., 2006. Arctic experiment for ICESat/GLAS ground validation with a Micro-Pulse Lidar at Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Meteorol. Glaciol.*, 20, 28–39.
- Shiraiishi, K., Fujiwara, M., Iwasaka, Y., Shibata, T., Nagatani, M., Adachi, H., Sakai, T., Fujino, K., 1997. Lidar observations above Ny-Ålesund, Svalbard, Norway during winter 1995/1996, Mem. Proceedings of the NIPR Symposium on Polar Meteorology and Glaciology, No.11, 117–126.
- Shiraiishi, K., Fujiwara, M., Shibata, T., Iwasaka, Y., 2003. Lidar observation of polar stratospheric clouds over Ny-Ålesund in the winter of 1994/95–1996/1997: Impact of the temperature and the temperature history on the PSC structure. *Journal of Meteorological Society of Japan*, Vol.81, 1457–1470. <http://doi.org/10.2151/jmsj.81.1457>.
- Shiraiishi, K., Hayashi, M., Fujiwara, M., Shibata, T., Watanabe, M., Iwasaka, Y., Neuber, R., Yamanouchi, T., 2011. Comparative analysis of measurements of stratospheric aerosol by lidar and aerosol sonde above Ny-Ålesund in the winter of 1995 Comparative analysis of lidar and OPC observations. *Polar Science*, 5, 399–410. <http://dx.doi.org/10.1016/j.polar.2011.08.003>.
- Shupe, M. D., Walden, V.P., Eloranta, E., Uttal, T., Campbell, J. R., Starkweather, S. M., Shiobara, M., 2011. Clouds at arctic atmospheric observatories. Part I: Occurrence and macrophysical properties. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 50, 626–644.
- Stohl, A., Berg, T., Burkhardt, J. F., Fjaeraa, A. M., Forster, C., Herber, A., Hov, Oe., Lunder, C., McMillan, W. W., Oltmans, S., Shiobara, M., Simpson, D., Solberg, S., Stebel, K., Strom, J., Torseth, K., Treffeisen, R., Virkkunen, K., Yttri, K. E., 2007. Arctic smoke – record high air pollution levels in the European Arctic due to agricultural fires in Eastern Europe in spring 2006. *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 511–534.
- Suzuki, T., Nakayama, N., Igarashi, M., Kamiyama, K., Watanabe, O., 1996. Concentrations of 210Pb and 210Po in the atmosphere of Ny-Ålesund, Svalbard (scientific paper). *Mem. Natl Inst. of Polar Res., Spec. Issue*, 51, 233–237.
- Thomason, L. W., Herber, A. B., Sato, K., Yamanouchi, T., 2003. Arctic Study on Tropospheric Aerosol and Radiation: Comparison of tropospheric aerosol extinction profiles measured by airborne photometer and SAGE II. *Geophys. Res. Lett.*, 30 (6), 1328, doi: 10.1029/2002 GL016453.
- Treffeisen, R., Herber, A., Strom, J., Shiobara, M., Yamanouchi, T., Yamagata, S., Holmen, K., Kriewen, M., Schrems, O., 2004. Interpretation of Arctic aerosol properties using cluster analysis applied to observations in the Svalbard area. *Tellus*, B56, 457–476.
- Treffeisen, R., Rinke, A., Fortmann, M., Dethloff, K., Herber, A., Yamanouchi, T., 2005. An estimation on the radiative effects of Arctic aerosols using two different aerosol data sets: A case study for March 2000. *Atmospheric Environment*, 39 (5), 899–911.
- Treffeisen, R. E., Thomason, L. W., Strom, J., Herber, A., Burton, S. P., Yamanouchi, T., 2006. Stratospheric Aerosol and Gas Experiment (SAGE) II and III aerosol extinction measurements in the Arctic middle and upper troposphere. *J. Geophys. Res.*, 111, D17203. doi: 10.1029/2005JD006271.
- Uchiyama, A., Yamazaki, A., Shiobara, M., Kobayashi, H., 2014. Case study on microphysical properties of boundary layer mixed-phase cloud observed at Ny-Ålesund, Svalbard: Observed cloud microphysics and calculated optical properties on 9 June 2011. *Polar Science*, 8, 57–72.
- Wada, M., Konishi, H., Yamanouchi, T., 1996. Variation of monthly precipitation and frequency of radar echo existence at some altitudes in Ny-Ålesund, Svalbard, Arctic. *Proc. Int. Symp. Environmental Research in the Arctic*, 19-21 July 1995, NIPR, Tokyo. *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, 51, 239–246.
- Wada, M., Igarashi, M., 1998. Atmospheric observations of liquid water in cloud and of chemical species in aerosols and gases near the ground and in fallen snow at Svalbard. *Atmos. Res.*, 46, 383–389.
- Watanabe, M., Iwasaka, Y., Shibata, T., Hayashi, M., Fujiwara, M., Neuber, R., 2004. The evolution of Pinatubo aerosols in the Arctic stratosphere during 1994–2000. *Atmospheric Research* 69, 199–215. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2003.09.006>.
- Yabuki, M., Shiobara, M., Nishinaka, K., Kuji, M., 2014. Development of a cloud detection method from whole sky color images. *Polar Science*, 8, 315–326.
- Yamagata, S., Kobayashi, D., Ohta, S., Murao, N., Shiobara, M., Wada, M., Yabuki, M., Konishi, H., Yamanouchi, T., 2009. Properties of aerosols and their wet deposition in the arctic spring during ASTAR2004 at Ny-Ålesund, Svalbard. *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 261–270.
- Yamanouchi, T., Orbaek, J. B., 1995. Comparative study of the surface radiation budget at Ny-Ålesund, Svalbard and Syowa

- Station, Antarctica, 1987. Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol., 9, 118–132.
- Yamanouchi, T., Aoki, S., Morimoto, S., Wada, M., 1996. Report on atmospheric science observations at Ny-Ålesund, Svalbard. Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, 51, 153–163.
- 山内恭, 2001. 環北極気候比較におけるスバルバルの気候特性. 南極資料, 45, 329–352.
- Yamanouchi, T., Wada, M., Shiobara, M., Morimoto, S., Asuma, Y., Yamagata, S., others, 2003. Preliminary report of the “Arctic Airborne Measurement Program 2002” (AAMP 02). Polar Meteorol. Glaciol., 17, 103–115.
- Yamanouchi, T., Treffeisen, R., Herber, A., Shiobara, M., Yamagata, S., Hara, K., Sato, K., Yabuki, M., Tomikawa, Y., Rinke, A., Neuber, R., Schumacher, R., Kriews, M., Stroem, J., Gernandt, H., 2005. Arctic Study of Tropospheric Aerosol and Radiation (ASTAR) 2000: Arctic haze case study. Tellus, 57B, 141–152.
- Yamanouchi, T., 2011. Early 20th century warming in the Arctic: A review. Polar Science, 5 (1) 53–71. doi:10.1016/j.polar.2010.10.002.
2. その他の論文・報告 20件
- 青木一真, 矢吹正教, 塩原匡貴, 2010. スカイラジオメーターを使ったニーオルスンにおけるエアロゾルの光学的特性の長期観測. 南極資料, 54, 882–889.
- 小西啓之, 和田誠, 塩原匡貴, 2002. AAMP98 観測期間中のレーダー観測. 南極資料, 46, 280–286.
- Nakajima, H., Saeki, K., Murata, I., Nagahama, T., 2009. Bi-polar Polar Stratospheric Clouds (PSCs) observations related to polar ozone depletion with FTIR spectrometer at Ny-Ålesund, Svalbard. Proc. First Int. Symp. The Arctic Research (ISAR-1), 4–6 November 2008, Tokyo, Japan, 58–61.
- 中島英彰, 佐伯浩介, 矢吹正教, 塩原匡貴, 2010. 南極昭和基地におけるフーリエ変換赤外分光器 (FTIR) を用いた極成層圏雲 (PSC) の特性評価. 南極資料 (特集号) 「極域大気・物質循環研究」, 54, 793–809. <http://ci.nii.ac.jp/naid/110008591708>.
- Ohora, K., Shiobara, M., Kobayashi, H., Kamogawa, M., 24–27 June 2015. Aerosol optical properties obtained by Sky-radiometer measurements at Ny-Ålesund, Svalbard. Abstracts, 9th Asian Aerosol Conference AAC2015, Kanazawa, Japan, P1-058.
- Shibata, T., Shiraiishi, K., Iwasaki, S., Shiobara, M., Takano, T., 24–27 June 2015. Lidar Observations of Arctic Aerosols and Clouds in the Free Troposphere over Svalbard. Abstracts, 9th Asian Aerosol Conference AAC2015, Kanazawa, Japan, P1-039.
- Shiobara, M., Wada, M., Yamanouchi, T., Morimoto, S., Hashida, G., Hirasawa, N., 1998. A Japanese field experiment plan for aerosol-cloud-radiation research in the Arctic. Proc. 7th Atmospheric Radiation Measurement (ARM) Science Team Meeting, March 3-7, 1997, San Antonio, TX, US DOE Conf-970365, 9–10.
- Shiobara, M., 24–26 January 2000. Arctic cloud and aerosol observations using a Micro-pulse Lidar in Svalbard. Proc. 1st Int'l Workshop on Spaceborne Cloud Profiling Radar, Tsukuba, Japan, 179–182.
- Shiobara, M., Yabuki, M., Kobayashi, H., Shibata, T., Yamanouchi, T., 27–29 November 2001. Micro-pulse lidar measurements for cloud and aerosol in the Arctic and Antarctica. Proc. Nagasaki Workshop on Aerosol-Cloud Radiation Interaction and Asian Lidar Network, Nagasaki, Japan, 32–35.
- Shiobara, M., Yabuki, M., Kobayashi, H., 8–10 October 2002. A polar cloud analysis using ground-based Micro-pulse Lidar data. The Changing Physical Environment – Proc. 6th Ny-Ålesund International Scientific Seminar, Tromsø, Norway, 49–52.
- 塩原匡貴, 柴田隆, 2002. AAMP98 観測期間中のニーオルスンでのマイクロパルス・ライダー観測. 南極資料, 46, 269–279.
- Shiobara, M., Yamano, M., Kobayashi, H., Aoki, K., Yabuki, M., 2008. Sky-radiometer measurement for monitoring column aerosol optical properties in Ny-Ålesund – Recent results from the spring 2006–2007 measurements. Polarnet Technical Report PTR-1/2008: 8th Ny-Ålesund Seminar, 16–17 October 2007, Cambridge, UK, Ed. R. Azzolini, CNR Earth and Environment Department, Italy, 32–35.
- 塩原匡貴, 矢吹正教, 山野牧, 青木一真, 小林拓, 2010. ニーオルスンでのスカイラジオメータ観測に基づく 2006 年および 2007 年の春季エアロゾルの光学特性. 南極資料, 54, 890–898.
- Shiobara, M., Uchiyama, A., Yamazaki, A., Kobayashi, H., 25–26 October 2011. In-situ cloud measurements performed at Zeppelin Station in May-June 2011. Abstracts for the 10th Ny-Ålesund Seminar, Kjeller, Norway, p12.
- Shiobara, M., Kuji, M., Yabuki, M., Kobayashi, H., Aoki, K., Takano, T., Okamoto, H., Koike, M., Ukita, J., 9–11 October 2013. Long-term monitoring of clouds and aerosols by ground-based remote sensing instruments operated by NIPR in Ny-Ålesund. Abstracts, 11th Ny-Ålesund Science Managers Committee Seminar, Rome, Italy, p30.
- Wada, M., Asuma, Y., Ogitani, N., 1998. Observation of clouds and precipitation at Ny-Ålesund, Svalbard and recent airborne observation over the Norwegian Sea. "Polar Low Workshop" ed. by G. Heinemann, Copenhagen, EPLWG, 21–24.
- Wada, M., Konishi, H., Morimoto, S., Yamanouchi, T., 2002. Size distributions of aerosol and snow particle in different type airmasses., "The changing physical environment" ed. by J. B. Oerbaek et al., Proc. 6th NySMAC intl. scientific seminar, Tromsø, Norwegian Polar Institute Internrapport, Nr.10, 45–48.
- Wada, M., Konishi, H., Morimoto, S., Yamanouchi, T., 2004. Size distributions of snow and aerosol particles in a continuous precipitation with a change of surface ozone concentration at Ny-Ålesund. Proceedings of 14th ICCP, 3, 1765–1768.
- Welton, E. J., Campbell, J. R., Berkoff, T. A., Spinhirne, J. D., Tsay, S.-C., Holben, B., Shiobara, M., 8–12 July 2002. The Micro-pulse Lidar Network (MPL-Net). Lidar Remote Sensing In Atmospheric and Earth Sciences: Proc. 21st Int. Laser Radar Conference (ILRC21), Quebec City, Canada, 285–288.
- Yabuki, M., Shiobara, M., Yamanouchi, T., Shibata, T., Kuze, H., Takeuchi, N., February 22–23, 2001. Behavior of the tropospheric aerosols in the Arctic region measured by micropulse lidar and sky-radiometer at Ny-Ålesund, Svalbard, during the ASTAR

2000 campaign. Proc. CEReS Intl. Sympos. on Remote Sensing of the Atmosphere and Validation of Satellite Data, Chiba, Japan, 97–100.

3. 書籍等 6件

- Aoki, S., Nakanishi, Y., Wada, M., Yamanouchi, T., 1996. Meteorological Data at Japanese Ny-Ålesund Observatory, Svalbard in 1992 and 1993. NIPR ARCTIC DATA REPORTS NO.1, NATIONAL INSTITUTE OF POLAR RESEARCH.
- Aoki, S., Nakanishi, Y., Wada, M., Yamanouchi, T., 1996. Meteorological Data at Japanese Ny-Ålesund Observatory, Svalbard in 1994 and 1995. NIPR ARCTIC DATA REPORTS NO.2, NATIONAL INSTITUTE OF POLAR RESEARCH.
- 岩坂泰信 編, 2000. 北極圏の大気科学. 名古屋大学出版会, 239p.
- Morimoto, S., Aoki, S., Nakanishi, Y., Wada, M., Yamanouchi, T., 2000. Meteorological Data at Japanese Ny-Ålesund Observatory, Svalbard in 1996 and 1998. NIPR ARCTIC DATA REPORTS NO.4, NATIONAL INSTITUTE OF POLAR RESEARCH.
- Morimoto, S., Aoki, S., Nakanishi, Y., Wada, M., Yamanouchi, T., 2002. Meteorological Data at Japanese Ny-Ålesund Observatory, Svalbard in 1999 and 2000. NIPR ARCTIC DATA REPORTS NO.5, NATIONAL INSTITUTE OF POLAR RESEARCH.
- Morimoto, S., Aoki, S., Wada, M., Yamanouchi, T., 2005. Meteorological Data at Japanese Ny-Ålesund Observatory, Svalbard in 2001 and 2002. NIPR ARCTIC DATA REPORTS NO.6, NATIONAL INSTITUTE OF POLAR RESEARCH.

【雪氷】

1. 研究論文 31件

- Enomoto, H., Takahashi, S., Kobayashi, S., Goto-Azuma, K., Watanabe, O., 1993. Large variations in winter temperature around Svalbard. *Bulletin of Glacier Research*, 11, 17–22.
- Enomoto, H., Takahashi, S., Kobayashi, S., Goto-Azuma, K., Watanabe, O., 1996. Longitudinal variations of temperature, wind and ablation in Brøggerbreen, Svalbard. *Memoir of National Institute of Polar Research, Special Issue*, 51, 355–364.
- Fujii, Y., Kamiyama, K., Kawamura, T., Kameda, T., Izumi, K., Satoh, K., Enomoto, H., Nakamura, T., Hagen, J. O., Gjessing, Y., Watanabe, O., 1990. 6000-year climate records in an ice core from the Høghetta ice dome in northern Spitsbergen. *Annals of Glaciology*, 14, 85–89.
- Fujii, Y., 1991. Reply to Comments on '6000-year climate records in an ice core from the Høghetta ice dome in northern Spitsbergen. *Journal of Glaciology*, 37, 186–188.
- Goto-Azuma, K., Enomoto, H., Takahashi, S., Kobayashi, S., Kameda, T., Watanabe, O., 1993. Leaching of ions from the surface of glaciers in Svalbard. *Bulletin of Glacier Research*, 11, 39–50.
- Goto-Azuma, K., Kohshima, S., Kameda, T., Takahashi, S., Watanabe, O., Fujii, Y., Hagen, J. O., 1995. An ice core chemistry record from Snøfjellaonna, northwestern Spitsbergen. *Annals of Glaciology*, 21, 213–218.
- Igarashi, M., Kamiyama, K., Watanabe, O., 2001. Stable Oxygen isotope ratio observed in the precipitation at Ny-Ålesund, Svalbard. *Memoirs of National Institute of Polar Research, Special Issue, No.54*, 169–182.
- 飯塚芳徳, 五十嵐誠, 渡辺幸一, 神山孝吉, 渡辺興亜, 2000. スパールバル諸島アウストフォンナ氷帽頂上における融解による積雪中化学主成分の流出. *雪氷*, 62(3), 245–254.
- Iizuka, Y., Igarashi, M., Kamiyama, K., Motoyama, H., Watanabe, O., 2002. Ratios of Mg^{2+}/Na^+ in snowpack and an ice core at Austfonna Ice Cap, Svalbard, as an indicator of seasonal melting. *Journal of Glaciology*, 48, 452–460.
- Isaksson, E., Hermanson, M., Hicks, S., Igarashi, M., Kamiyama, K., Moore, J., Motoyama, H., Muir, D., Pohjola, V., Vaikmäe, R., van de Wal, R., Watanabe, O., 2003. Ice cores from Svalbard – useful archives of past climate and pollution history. *Physics and Chemistry of the Earth*, 28, 1217–1228.
- Isaksson, E., Kohler, J., Pohjola, V., Moore, J., Igarashi, M., Karlöf, L., Martma, T., Meijer, H. A. J., Motoyama, H., Vaikmäe, R., van de Wal, R. S. W., 2005. Two ice core $\delta^{18}O$ records from Svalbard illustrating climate and sea ice variability over the last 400 years. *The Holocene*, 15 (4), 501–509.
- Isaksson, E., Divine, D., Kohler, J., Martma, T., Pohjola, V., Motoyama, H., Watanabe, O., 2005. Climate oscillations as recorded in Svalbard ice core $\delta^{18}O$ records between 1200–1997 AD. *Geografiska Annaler*, 87, 203–214.
- Izumi, K., Sato, K., Fujii, Y., Kawaguchi, S., 1988. Meteorological observation at Asgardfonna, Spitsbergen, 1987. *Bulletin of Glacier Research*, 6, 51–55.
- Kameda, T., Kawamura, T., Fujii, Y., Enomoto, H., 1989. Shapes and distribution of air bubbles in an ice core from Asgardfonna, Spitsbergen. *Bulletin of Glacier Research*, 7, 221–226.
- Kameda, T., Takahashi, S., Goto-Azuma, K., Kohshima, S., Watanabe, O., Hagen, J.O., 1993. First report of ice core analyses and borehole temperatures on the highest icefield on western Spitsbergen in 1992. *Bulletin of Glacier Research*, 11, 51–61.
- Kamiyama, K., Fujii, Y., 1989. In-situ measurements of electrical conductivity and pH in core samples of a glacier in Spitsbergen, Arctic. *Journal of Glaciology*, 35, 292–294.
- Kamiyama, K., Motoyama, H., Watanabe, O., 2001. Field observations of the Japanese Arctic Glaciological Expeditions in Svalbard from 1993 to 1995. *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, 54, 243–252.
- Kawamura, T., Kameda, T., Izumi, K., 1991. Preliminary Results of Structural Analyses of an 85.6m Deep Ice Core Retrieved from Høghetta Ice Dome in Northern Spitsbergen, Svalbard. *Bulletin of Glacier Research*, 9, 77–83.
- Kodama, Y., Takeuchi, Y., Nakabayashi, H., Watanabe, O., 1995. Hydrological observations in Bregger glacier basin, Spitsbergen-discharge, temperature and electric conductivity. *Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol.*, 9, 45–53.
- Matoba, S., Narita, H., Motoyama, H., Kamiyama, K., Watanabe, O., 2002. Ice core chemistry of Vestfonna Ice Cap in Svalbard,

Norway. *Journal of Geophysical Research*, 107. 1029/2002JD002205.

- Matoba, S., Motoyama, H., Narita, H., Watanabe, O., 2003. Anthropogenic trace metals in an ice core at Vestfonna, Svalbard, Norway. *Chinese Journal of Polar Science*, 14, 41–47.
- Matsuoka, K., Narita, H., Sugiyama, K., Matoba, S., Motoyama, H., Watanabe, O., 1997. Characteristics of AC-ECM signals obtained by use of the Vestfonna ice core, Svalbard. *Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol.*, 11, 67–75.
- Motoyama, H., Kamiyama, K., Igarashi, M., Nishio, F., Watanabe, O., 2000. Distribution of chemical constituents in superimposed ice from Austre Broggerbreen, Spitsbergen. *Geografiska Annaler*, 82 A, 33–38.
- Motoyama, H., Watanabe, O., Kamiyama, K., Igarashi, M., Goto-Azuma, K., Fujii, Y., Izuka, Y., Matoba, S., Narita, H., Kameda, T., 2001. Regional characteristics of chemical constituents in surface snow, Arctic cryosphere. *Polar Meteorology and Glaciology*, 15, 55–66.
- Shiraiwa, T., Sawagaki, T., 1992. A preliminary report on the air temperature in Reindalen, west Spitsbergen. *Bulletin of Glacier Research*, 10, 91–97.
- Suzuki, T., Fujii, Y., 1991. Vertical profile of 210Pb in an ice core from the Hoghetta ice dome in Spitsbergen. *Proc. NIPR. Symp. Polar Meteorology and Glaciology*, 6, 84–87.
- Suzuki, T., Osada, K., Fujii, Y., 1991. Dating of an ice core from the Hoghetta ice dome in Spitsbergen by 210Pb analysis. *Bulletin of Glacier Research*, 9, 55–58.
- Suzuki, T., Ohta, K., Watanabe, O., 1995. Vertical distribution of 210Pb in the Arctic glacier, Snøfjellafonna, in northwestern Spitsbergen. *Bulletin of Glacier Research*, No.13, 133–136.
- Takahashi, S., Kobayashi, S., Watanabe, O., 1993. Field activity of the Japanese Arctic Glaciological Expedition to western Spitsbergen in 1991 and 1992 (JAGE 1991–1992). *Bulletin of Glacier Research*, 11, 23–31.
- Uchida, T., Kamiyama, K., Fujii, Y., Takahashi, A., Suzuki, T., Yoshimura, Y., Igarashi, M., Watanabe, O., 1996. Ice core analyses and borehole temperature measurements at the drilling site on Åsgårdfonna, Svalbard, in 1993 (scientific paper). *Memoirs of National Institute of Polar Research, Special Issue*, No.51, 365–376.
- Watanabe, O., Motoyama, H., Igarashi, M., Kamiyama, K., Matoba, S., Goto-Azuma, K., Narita, H., Kameda, T., 2001. Studies on climatic and environmental changes during the last few hundred years using ice cores from various sites in Nordaustlandet, Svalbard. *Memoir of National Institute of Polar Research, Special Issue*, 54, 227–242.

2. その他の論文・報告 6件

- Fujii, Y., Kamiyama, K., Motoyama, H., Azuma, K., Igarashi, M., Shoi, H., Kameda, T., Narita, H. and Watanabe, O., 2001. Change in climate and environment signals recorded in Svalbard and Greenland ice cores and their relation to NAO. *Proceedings of the International Symposium on Atmosphere-Ocean-Cryosphere Interaction in the Sea of Okhotsk and the surrounding Environment*. 122–123.
- Motoyama, H., Watanabe, O., Goto-Azuma, K., Igarashi, M., Miyahara, M., Nagasaki, T., Karlöf, L., Isaksson, E., 2001. Activities of the Japanese Arctic Glaciological Expedition in 1999 (JAGE 1999). *Memoir of National Institute of Polar Research, Special Issue*, 54, 253–260.
- Watanabe, O., Fujii, Y., 1988. Outline of the Japanese Arctic Glaciological Expedition in 1987. *Bulletin of Glacier Research*, 6, 47–50.
- Watanabe, O., 1996. Japanese glaciological activities in the arctic region. *Memoirs of National Institute of Polar Research, Special Issue*, No.51, 329–336.
- 渡辺興亜, 1997. 北極雪氷研究の最近の動向, 雪氷, 59巻2号, 111–114.
- Watanabe, O., Kamiyama, K., Kameda, T., Takahashi, S., Isaksson, E., 2000. Activities of the Japanese Arctic Glaciological Expedition in 1998 (JAGE 1998). *Bulletin of Glaciological Research*, 17, 31–35.

3. 書籍等 1件

亀田貴雄, 2015. 日本人による北極雪氷コア研究の事始め. 北極読本, 成山堂, 47–50.

【生物】

1. 研究論文 61件

- Adachi, M., Ohtsuka, T., Nakatsubo, T., Koizumi, H., 2006. The methane flux along topographical gradients on a glacier foreland in the High Arctic, Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Bioscience*, 20, 131–139.
- Bekku, Y., Kume, A., Nakatsubo, T., Masuzawa, T., Kanda, H., Koizumi, H., 1999. Microbial biomass in relation to primary succession on arctic deglaciated moraines. *Polar Bioscience*, 12, 47–53.
- Bekku, Y. S., Nakatsubo, T., Kume, A., Adachi, M., Koizumi, H., 2003. Effect of warming on the temperature dependence of soil respiration rate in arctic, temperate and tropical soils. *Applied Soil Ecology*, 22, 205–210.
- Bekku, Y. S., Nakatsubo, T., Kume, A., Koizumi, H., 2004. Soil microbial biomass, respiration rate, and temperature dependence on a successional glacier foreland in Ny-Ålesund, Svalbard. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 36, 395–399.
- Bekku, Y. S., Kume, A., Masuzawa, T., Kanda, H., Nakatsubo, T., Koizumi, H., 2004. Soil respiration in a high arctic glacier foreland in Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Bioscience*, 17, 36–46.
- Elster, J., Svoboda, J., Kanda, H., 2001. Controlled environmental platform used in temperature manipulation study of a stream periphyton in the Ny-Ålesund, Svalbard. *Nova Hedwigia, Beiheft*, 123, 63–75.

- Fujiyoshi, M., Yoshitake, S., Watanabe, K., Murota, K., Tsuchiya, Y., Uchida, M., Nakatsubo, T., 2011. Successional changes in ectomycorrhizal fungi associated with the polar willow *Salix polaris* in a deglaciated area in the High Arctic, Svalbard. *Polar Biology*, 34, 667–673.
- Hayashi, K., Cooper, E. J., Loonen, M. J. J. E., Kishimoto-Mo, A. W., Motohka, T., Uchida, M., Nakatsubo, T., 2014. Potential of Svalbard reindeer winter droppings for emission/absorption of methane and nitrous oxide during summer. *Polar Science*, 8, 196–206.
- Hayashi, K., Shimomura, Y., Morimoto, S., Uchida, M., Nakatsubo, T., Hayatsu, M., 2016. Characteristics of ammonia oxidation potentials and ammonia oxidizers in mineral soil under *Salix polaris*–moss vegetation in Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Biology*, 39, 725–741.
- Hoshino, T., Tojo, M., Okada, G., Kanda, H., Ohgiya, S., Ishizaki, K., 1999. A filamentous fungus, *Pythium ultimum* Trow. var. *ultimum*, isolated from moribund moss colonies from Svalbard, Northern Islands of Norway. *Polar Bioscience*, 12, 68–75.
- Hoshino, T., Tojo, M., Kanda, H., Tronsmo, A. M., 2001. Ecological role of fungal infections of moss carpet in Svalbard. *Memoirs of National Institute of Polar Research, Special Issue*, 54, 507–513.
- Inoue, T., Kudoh, S., Inoue, M., Uchida, M., Kanda, H., 2011. Three lecideoid lichens new to Svalbard, Norway. *Polar Science*, 4, 588–592.
- Inoue, T., Kudoh, S., Uchida, M., Tanabe, Y., Inoue, M., Kanda, H., 2014. Effects of substrate differences on water availability for Arctic lichens during the snow-free summers in the High Arctic glacier foreland. *Polar Science*, 8, 397–412.
- Kobayashi, K., 1994. A phytosociological study of the vegetation in the Ny-Ålesund area, Spitsbergen. *Nankyoku Shiryo (Antarctic Record)*, 38, 157–177.
- Kojima, S., Wada, N., 1999. Ecological characterization of some selected vascular species in the arctic environment of Ny-Ålesund, Svalbard, in relation to soil moisture conditions. *Polar Bioscience*, 12, 76–86.
- Kojima, S., 2002. A two-year change of arctic vegetation as observed in a permanent plot established in Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Bioscience*, 15, 123–128.
- Kojima, S., 2004. Three-year vegetation change in the Arctic environment as observed in a permanent plot in Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Bioscience*, 17, 123–127.
- Kubeckova, K., Elster, J., Kanda, H., 2001. Periphyton ecology of glacier and snowmelt stream, Ny-Ålesund, Svalbard: presence of mineral particles in water and their erosive activity. *Nova Hedwigia, Beiheft*, 123, 141–172.
- Kudo, G., Molau, U., Wada, N., 2001. Leaf-trait variation of tundra plants along a climatic gradient: an integration of responses in evergreen and deciduous species. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 33, 181–190.
- Kume, A., Nakatsubo, T., Bekku, Y., Masuzawa, T., 1999. Ecological significance of different growth forms of purple Saxifrage, *Saxifraga oppositifolia* L. in the High Arctic, Ny-Ålesund, Svalbard. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 31, 27–33.
- Kume, A., Bekku, Y. S., Hanba, Y. T., Kanda, H., 2003. Carbon isotope discrimination in diverging growth forms of *Saxifraga oppositifolia* in different successional stages in a High Arctic glacier foreland. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 35, 377–383.
- Kume, A., Bekku, Y. S., Hanba, Y. T., Nakano, T., Kanda, H., 2008. Nitrogen concentration within *Saxifraga oppositifolia* in different successional stages on a glacier foreland in the high Arctic. *Polar Science*, 2, 143–147.
- Masumoto, S., Tojo, S., Uchida, M., Imura, S., 2014. *Rhytisma polaris*: Morphological and molecular characterization of a new species from Spitsbergen Island, Norway. *Mycological Progress*, 13, 181–188.
- Mehlum, F., Watanuki, Y., Takahashi, A., 2001. Diving behaviour and foraging habitats of Brunnich's guillemots *Uria lomvia* breeding in the High-Arctic. *Journal of Zoology, London*, 255, 413–423.
- Minami, Y., Kanda, H., 1995. Bryophyte community dynamics on moraine at deglaciated arctic terrain in Ny-Ålesund, Spitsbergen [in Japanese]. *Proceedings of the Bryological Society of Japan*, 6(8), 157–161.
- Minami, Y., Kanda, H., Masuzawa, T., 1996. The relationship between distribution of bryophytes and soil condition. *Proceedings of NIPR Symposium on Polar Biology*, 9, 307–312.
- Minami, Y., Okitsu, S., Kanda, H., 1997. Relationship between plant community and topographic factor on the moraine at deglaciated Arctic Terrain in Ny-Ålesund, Svalbard. *Bulletin of the Faculty of Agriculture, Tamagawa University*, 37, 21–30.
- Mori, Y., Takahashi, A., Mehlum, F., Watanuki, Y., 2002. An application of optimal diving models to diving behaviour of Brunnich's guillemots. *Animal Behaviour*, 64, 739–745.
- Muraoka, H., Uchida, M., Mishio, M., Nakatsubo, T., Kanda, H., Koizumi, H., 2002. Leaf photosynthetic characteristics and net primary production of the polar willow (*Salix polaris*) in a high arctic polar semi-desert, Ny-Ålesund, Svalbard. *Canadian Journal of Botany*, 80, 1193–1202.
- Muraoka, H., Noda, H., Uchida, M., Ohtsuka, T., Koizumi, H., Nakatsubo, T., 2008. Photosynthetic characteristics and biomass distribution of the dominant vascular plant species in a high-arctic tundra ecosystem, Ny-Ålesund, Svalbard: implications to their role in ecosystem carbon gain. *Journal of Plant Research*, 121, 137–145.
- Nakatsubo, T., Bekku, Y., Kume, A., Koizumi, H., 1998. Respiration of the belowground parts of vascular plants: its contribution to total soil respiration on a successional glacier foreland in Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Research*, 17, 53–60.
- Nakatsubo, T., Bekku, Y. S., Uchida, M., Muraoka, H., Kume, A., Ohtsuka, T., Masuzawa, T., Kanda, H., Koizumi, H., 2005. Ecosystem development and carbon cycle on a glacier foreland in the high Arctic, Ny-Ålesund, Svalbard. *Journal of Plant Research*, 118, 173–179.
- Nakatsubo, T., Yoshitake, S., Uchida, M., Uchida, M., Shibata, Y., Koizumi, H., 2008. Organic carbon and microbial biomass in a raised beach deposit under terrestrial vegetation in the High Arctic, Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Research*, 27, 23–27.

- Nakatsubo, T., Fujiyoshi, M., Yoshitake, S., Koizumi, H., Uchida, M., 2010. Colonization of the polar willow *Salix polaris* on the early stage of succession after glacier retreat in the High Arctic, Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Research*, 29, 385–390.
- Nakatsubo, T., Uchida, M., Sasaki, A., Kondo, M., Yoshitake, S., Kanda, H., 2015. Carbon accumulation rate of peatland in the High Arctic, Svalbard: Implications for carbon sequestration. *Polar Science*, 9, 267–275.
- Niizuma, Y., Gabrielsen, G. W., Sato, K., Watanuki, Y., Naito, Y., 2007. Brünnich's guillemots (*Uria lomvia*) maintain high temperature in the body core during dives. *Comparative Biochemistry and Physiology A*, 147, 438–444.
- 新妻靖章, 2009. ウミガラスの生理生態学: 体温変化と潜水行動の関係を探る. *日本鳥学会誌* 59, 31–37.
- Ohtsuka, T., Adachi, M., Uchida, M., Nakatsubo, T., 2006. Relationship between vegetation types and soil properties along a topographical gradient on the northern coast of the Brøgger Peninsula, Svalbard. *Polar Bioscience*, 19, 63–72.
- Okitsu, S., Minami, Y., Kanda, H., 1998. Relationship between plant occurrences and surface conditions on recently deglaciated moraine at Ny-Ålesund, Svalbard, Arctic Norway. *Proceedings of NIPR Symposium on Polar Biology*, 11, 119–127.
- Tojo, M., Nishitani, S., 2005. The effects of the smut fungus *Microbotryum bistortarum* on survival and growth of *Polygonum viviparum* in Svalbard, Norway. *Canadian Journal of Botany*, 83, 1513–1517.
- Tojo, M., Van West, P., Hoshino, T., Kida, K., Fujii, H., Hakoda, H., Kawaguchi, Y., Mühlhauser, H. A., Van den Berg, A. H., Küpper, F. C., Herrero, M. L., Klemsdal, S. S., Tronsmo, A. M., Kanda, H., 2012. *Pythium polare*, a new heterothallic Oomycete causing brown discoloration of *Sanionia uncinata* in the Arctic and Antarctic. *Fungal Biology*, 116: 756–768.
- Tsuji, M., Uetake, J., Tanabe, Y., 2016. Changes in the fungal community of Austre Brøggerbreen deglaciation area, Ny-Ålesund, Svalbard, High Arctic. *Mycoscience*, 57, 448–451.
- Uchida, M., Muraoka, H., Nakatsubo, T., Bekku, Y., Ueno, T., Kanda, H., Koizumi, H., 2002. Net photosynthesis, respiration, and production of the moss *Sanionia uncinata* on a glacier foreland in the high Arctic, Ny-Ålesund, Svalbard. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 32, 287–292.
- Uchida, M., Nakatsubo, T., Kanda, H., Koizumi, H., 2006. Estimation of the annual primary production of the lichen *Cetrariella delisei* in a glacier foreland in the High Arctic, Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Research*, 25, 39–49.
- Uchida, M., Kishimoto, A., Muraoka, H., Nakatsubo, T., Kanda, H., Koizumi, H., 2010. Seasonal shift in factors controlling net ecosystem production in a high Arctic terrestrial ecosystem. *Journal of Plant Research*, 123, 79–85.
- Uchida, M., Muraoka, H., Nakatsubo, T., 2016. Sensitivity analysis of ecosystem CO₂ exchange to climate change in High Arctic tundra using an ecological process-based model. *Polar Biology*, 39, 251–265. doi:10.1007/s00300-015-1777-x.
- Ueno, T., Imura, S., Kanda, H., 2001. Colony form and shoot morphology of *Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske growing in different water conditions in the high arctic, Spitsbergen, Svalbard. *Bryological Research*, 8(1), 1–6.
- Ueno, T., Bekku, Y., Uchida, M., Kanda, H., 2006. Photosynthetic light responses of a widespread moss, *Sanionia uncinata*, from contrasting water regimes in the high Arctic tundra, Svalbard, Norway. *Journal of Bryology*, 28, 345–349.
- Wada, N., 1998. Sun-tracking flower movement and seed production of mountain avens *Dryas octopetala* L. in the High Arctic Ny-Ålesund, Svalbard. *Proceedings of the NIPR Symposium on Polar Biology*, 11, 137–146.
- Wada, N., 1999. Factors affecting the seed-setting success of *Dryas octopetala* L. in front of the Brøggerbreen (Brøgger Glacier) in the high Arctic, Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Research*, 18, 261–268.
- Wada, N., Kudo, G., Kojima, S., 1999. Gender variation of *Dryas octopetala* along snowmelt and latitudinal gradients in the Subarctic and the High Arctic. *Polar Bioscience*, 12, 87–99.
- Wada, N., Kanda, H., 2000. Notes on floral traits and gender expression of *Dryas octopetala* under a simulated environmental change. *Polar Bioscience*, 13, 147–151.
- 和田直也, 中井祐美, 工藤岳, 2003. 立山におけるチョウノスケソウの個葉特性 — 中緯度高山帯と寒帯・亜寒帯ツンドラとの比較 —. *植物地理・分類研究*, 51, 49–57.
- 和田直也, 2008. 北アルプス立山に遺存するチョウノスケソウの生態: 中緯度高山と極地ツンドラ個体群間の比較. *日本生態学会誌*, 58, 205–212.
- Watanuki, Y., Mehlum, F., Takahashi, A., 2001. Water temperature sampling by foraging Brünnich's Guillemots with bird-borne data loggers. *Journal of Avian Biology*, 32, 189–193.
- Watanuki, Y., Niizuma, Y., Gabrielsen, G. W., Sato, K., Naito, Y., 2003. Stroke and glide of wing-propelled divers: deep diving seabirds adjust surge frequency to buoyancy change with depth. *Proceedings of Royal Society B*, 270, 483–488.
- Watanabe, Y., Lydersen, C., Sato, K., Naito, Y., Miyazaki, N., Kovacs, K. M., 2009. Diving behavior and swimming style of nursing bearded seal pups. *Marine Ecology Progress Series*, 380, 287–294.
- Yamaguchi, Y., Miyahara, T., Matsuda, O., Kudoh, S., 1995. Primary production of phytoplankton in high Arctic Kingsfjorden, Svalbard. *Mem. Nat. Ins. Polar Res., Special Issue*, 51, 143–151.
- Yoshitake, S., Uchida, M., Koizumi, H., Nakatsubo, T., 2007. Carbon and nitrogen limitation of soil microbial respiration on a successional glacier foreland in the High Arctic: Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Research*, 26, 22–30.
- Yoshitake, S., Uchida, M., Koizumi, H., Kanda, H., Nakatsubo, T., 2010. Production of biological soil crusts in the early stage of primary succession on a High Arctic glacier foreland. *New Phytologist*, 186, 451–460.
- Yoshitake, S., Uchida, M., Ohtsuka, T., Kanda, H., Koizumi, H., Nakatsubo, T., 2011. Vegetation development and carbon storage on a glacier foreland in the High Arctic, Ny-Ålesund, Svalbard. *Polar Science*, 5, 391–397.

2. その他の論文・報告 11 件

- Elster, J., Svoboda, J., Ohtani, S., Kanda, H., 2002. Feasibility studies on future phycological research in polar regions. *Polar Bioscience*, 15, 114–122.

- 内田昌男, 内田雅己, 熊田英峰, 高橋善幸, 大塚俊之, 内海真生, 近藤美由紀, 中坪孝之, 柴田康行, 2008. 気候変動と高緯度北極土壌圏—土壌有機炭素リザーバーへの温暖化影響. 総特集北半球高緯度海域における気候変動研究—Ⅲ. 月刊地球, 30, 216–229.
- 内田雅己, 2008. 北極圏の蘚苔類・地衣類. 生物の科学 遺伝, 62, 39–42.
- 内田雅己, 2013. 野外研究サイトから (25) スパールバル諸島・スピッツベルゲン島, ノルウェー. 日本生態学会誌, 63, 369–374.
- 小島寛, 2003. 植生から見たニールスンの陸域生態系の特質. 国立極地研究所北極圏環境研究センターニュースレター, 17, 8–9.
- 小島寛, 2010. 北極域の植生と植物の生態. 北極海季報, 6, 46–57.
- 小島寛, 2015. 私と北極研究の関わり. アークトス, 46, 9–11.
- 小島寛, 2016. 北極域の植生モニタリング. 極地, 52, 11–17.
- 村岡裕由, 内田雅己, 2005. 生態系純一次生産および生態系純生産の生理生態学的測定—北極ツンドラ生態系を例として—. 日本生態学会誌, 55, 151–160.
- 中坪孝之, 内田雅己, 村岡裕由, 野田響, 吉竹晋平, 内田昌男, 2008. 気候変動と高緯度北極陸上生態系—炭素循環過程を中心に—. 総特集北半球高緯度海域における気候変動研究—Ⅲ. 月刊地球, 30, 240–250.
- 綿貫豊, 2003. 海鳥の高い運動能力を解き明かす—海中と空中を飛行するハシブトウミガラスの採食行動. 科学 73 (1), 39–44.

3. 書籍等 10件

- 内田雅己 (一部監修), 2014. ジュニアサイエンス 南極から地球環境を考える 3. 南極と北極のふしぎ Q&A, 丸善出版. 48p. ISBN978-4-621-08869-2.
- 神田啓史, 内田雅己 (編集および分担執筆), 2004. 南極・北極の百科事典. 丸善, 179–180, 199–200, 303–304, 485–488.
- 久米 篤, 工藤 岳 (編集), 2000. 北極域植物の生育型変異と生育環境. 高山植物の自然史—お花畑の生態学—, 北海道大学図書刊行会, 163–175.
- 田邊優貴子, 2013. 素敵な地球の果て. ポプラ社, 236p.
- 田邊優貴子, 2015. 北極と南極—生まれたての地球に息づく生命たち. 文—総合出版, 120p.
- 中坪孝之, 重定南奈子, 露崎史朗編著, 2008. 第13章. 高緯度北極氷河後退域における遷移. 攪乱と遷移の自然史, 北海道出版会, 219–232.
- 西谷里美, 工藤 岳 (編集), 2000. ツンドラ植物の種子繁殖と栄養繁殖. 高山植物の自然史—お花畑の生態学—, 北海道大学図書刊行会, 145–162.
- 星野保, 2015. 菌世界紀行—誰も知らないきのこを追って, 岩波科学ライブラリー. 岩波書店, 144p.
- 増沢武弘, 2002. 極限に生きる植物. 中央公論新社, 125p.
- 南 佳典, 沖津 進 (編集), 沖津進, 安立美奈子, 分担執筆, 2007. 生態学, Basic Master Series. オーム社, 314p.

【海洋】

1. 研究論文 4件

- Ito, H., 1996. Heat budget of Kongsfjorden. Proc. Int. Mem. Natl. Pol. Res., Spec. Issue, No.51, 317–327.
- Ito, H., Kudoh, S., 1996. Marine ecological research of NIPR in Kongsfjorden. Proc. Scientific Seminar, Ecosystem Studies in the Ny-Ålesund Area. Cambridge, UK, 28 Feb.–1 Mar, 1996.
- Ito, H., Kudoh, S., 1997. Characteristics of water in Kongsfjorden, Svalbard. Proceedings of the NIPR Symposium on Polar Meteorology and Glaciology, Tokyo, 211–232.
- 牛尾収輝, 伊藤一, 小野延雄, 1995. スピッツベルゲン島コングスフィヨルド海洋調査: 海洋構造の観測 (1991–1993年). Oceanographic Surveys in the Kongsfjorden, Spitsbergen: Observations of the Water Structure in 1991–1993. 南極資料, 39, 147–155.

2. その他の論文・報告 1件

- Ushio, S., Ito, H., Ono, N., 1998. Oceanographic data in the Greenland Sea and around Svalbard in 1991–1993. NIPR ARCTIC DATA REPORTS, No.3, 46p.

【電離圏】

1. 研究論文 14件

- Kikuchi, T., Evanse, D. S., 1983. Quantitative Study of Substorm-Associated VLF Phase Anomalies and Precipitating Energetic Electrons on November 13, 1979 (1983), J. Geophys. Res., 88, A2, 871–880.
- Miyoshi, Y., Oyama, S., Saito, S., Kurita, S., Fujiwara, H., Kataoka, R., Ebihara, Y., Kletzing, C., Reeves, G., Santolik, O., Chilverd, M., Rodger, C. J., Turunen, E., Tsuchiya, F., 2015. Energetic electron precipitation associated with pulsating aurora: EISCAT and Van Allen Probe observations. J. Geophys. Res. Space Physics, 120, 2754–2766. doi:10.1002/2014JA020690.
- Nishino, M., Tanaka, Y., Oguti, T., Yamagishi, H., Holtet, J. A., 1993. Initial observation results with imaging riometer at Ny-Ålesund (L=16). Proc. NIPR, Upper Atmos. Phys., 6, 47–61.
- Nishino, M., Yamagishi, H., Stauning, P., Rosenberg, T. J., Holtet, J. A., 1997. Location, spatial scale and motion of radio wave absorption in the cusp-latitude ionosphere observed by imaging riometer. J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 59, 4, 903–924.
- Nishino, M., Nozawa, S., Holtet, J. A., 1998. Daytime ionospheric absorptions in the polar cap associated with poleward drifting F-region plasma patches. Earth, Planets and Space, 50, 2, 107–117.
- Nishino, M., Nishitani, N., Sato, N., Yamagishi, H., Lester, M., Holtet, J. A., 1999. A rectified response of daytime radio wave

absorption to southward and northward excursions during northward interplanetary magnetic field: a case study, *Advances in Polar Upper Atmos. Res.*, 13, 139–153.

- Nishino, M., Gorokhov, N., Tanaka, Y., Yamagishi, H., Hansen, T., 1999. Probe experiment characterizing 30 MHz radio wave scatter in the high-latitude ionosphere. *Radio Science*, 34, 4, 883–898.
- Nishino, M., Yamagishi, H., Sato, N., Ruiyuan, L., Honquao, H., Stauning, P., Holtet, J. A., 2000. Conjugate features of daytime absorption associated with specific changes in the solar wind observed by inter-hemispherical high-latitude imaging riometers. *Adv. Polar Upper Atmos. Res.*, 14, 76–92.
- Nishino, M., Yamagishi, H., Sato, N., Murata, Y., Liu, R., Stauning, P., Holtet, J. A., 2001. Conjugate imaging riometer observations at polar cusp/cap stations: A daytime absorption event for a specific change of solar wind conditions. *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, 54, 29–41.
- Nishino, M., Yamagishi, H., Sato, N., Liu, R., 2004. Cusp-latitude conjugate ionospheric absorption associated with increase of solar wind dynamic pressure during strong northward IMF – a case study. *Ad. Polar Atmos. Res.*, 18, 35–52.
- Ohya, H., Tsuchiya, F., Nakata, H., Shiokawa, K., Miyoshi, Y., Yamashita, K., Takahashi, Y., 2012. Reflection height of daytime tweek atmospherics during the solar eclipse of 22 July 2009. *J. Geophys. Res.*, 117, A11310. doi:10.1029/2012ja018151.
- Shiokawa, K., Yokoyama, Y., Ieda, A., Miyoshi, Y., Nomura, R., Lee, S., Sunagawa, N., Miyashita, Y., Ozaki, M., Ishizaka, K., Yagitani, S., Kataoka, R., Tsuchiya, F., Schofield, I., Connors, M., 2014. Ground-based ELF/VLF chorus observations at subauroral latitudes-VLF-CHAIN Campaign. *J. Geophys. Res.*, 119, 9. doi:10.1029/2014JA020161.
- Stauning, P., Yamagishi, H., Nishino, M., Rosenberg, J., 1995. Dynamics of cusp-latitude absorption events observed by imaging riometers. *J. Geomag. Geoelectr.*, 47, 823–846.
- Yamagishi, H., Fujita, Y., Sato, N., Nishino, M., Stauning, P., Lui, R., Saemundsson, T., 2000. Interhemispheric conjugacy of aurora poleward expansion observed by conjugate imaging riometers at ~67 and 75–77 invariant latitude. *Adv. Polar Upper Atmos. Res.*, 14, 12–33.

【ロケット観測】

1. 研究論文 29 件

- Abe, T., Oyama, K.-I., Kadohata, A., 2006. Electron temperature variation associated with the auroral energy input during the DELTA campaign. *Earth Planets Space*, 58, 1139–1146.
- Abe, T., Kurihara, J., Iwagami, N., Nozawa, S., Ogawa, Y., Fujii, R., Hayakawa, H., Oyama, K.-I., 2006. Dynamics and Energetics of the Lower Thermosphere in Aurora (DELTA) -Japanese sounding rocket campaign-. *Earth Planets Space*, 58, 1165–1171.
- Amemiya, H., Nakamura, Y., 1996. Measurement of negative ions in the lower ionosphere (D-Layer) in the polar region. *J. Geomag. Geoelectr.*, 48, 391–401.
- Funke, B., López - Puertas, M., Bermejo - Pantaleón, D., García - Comas, M., Stiller, G. P., Clarmann, T. von., Kiefer, M., Linden, A., 2010. Evidence for dynamical coupling from the lower atmosphere to the thermosphere during a major stratospheric warming. *Geophys. Res. Lett.*, 37, L13803. doi:10.1029/2010GL043619.
- Griffin, E., Kosch, M., Aruliah, A., Kavanagh, A., McWhirter, I., Senior, A., Ford, E., Davis, C., Abe, T., Kurihara, J., Kauristie, K., Ogawa, Y., 2006. Combined ground-based optical support for the aurora (DELTA) sounding rocket campaign. *Earth Planets Space*, 58, 1113–1121.
- Hashimoto, K., Iwai, H., Ueda, Y., Kojima, H., Matsumoto, H., 2003. Software wave receiver for the SS-520-2 rocket experiment, *IEEE Trans. On Geoscience and remote sensing*, 41, No.11, 2638–2647.
- Iwagami, N., Yamamoto, H., Yajima, K., Sekiguchi, H., Watanabe, T., Suzuki, K., Shibasaki, K., Amemiya, H., Yamamoto, M., Ono, T., 1998. Polar thermosphere-stratosphere photochemical coupling experiment: Two rocket measurements in polar winter at 69°N, *Earth. Planets and Space*, 50, 745–753.
- Iwagami, N., Komada, S., Takahashi, T., 2006. Preliminary results of rocket attitude and auroral green line emission rate in the DELTA campaign. *Earth, Planets and Space*, 58, No.9, 1107–1111.
- Kurihara, J., Abe, T., Oyama, K.-I., Griffin, E., Kosch, M., Aruliah, A., Kauristie, K., Ogawa, Y., Komada, S., Iwagami, N., 2006. Observations of the lower thermospheric neutral temperature and density in the DELTA campaign. *Earth Planets Space*, 58, 1123–1130.
- Kurihara, J., Oyama, S., Nozawa, S., Tsuda, T. T., Fujii, R., Ogawa, Y., Miyaoka, H., Iwagami, N., Abe, T., Oyama, K.-I., Kosch, M., Aruliah, A., Griffin, E., Kauristie, K., 2009. Temperature enhancements and vertical winds in the lower thermosphere associated with auroral heating during the Dynamics and Energetics of the Lower Thermosphere in Aurora (DELTA) campaign. *Journal of Geophysical Research*, 114, A12306. doi:10.1029/2009JA014392.
- Kurihara, J., Ogawa, Y., Oyama, S., Nozawa, S., Tsutsumi, M., Hall, C. M., Tomikawa, Y., Fujii, R., 2010. Links between a stratospheric sudden warming and thermal structures and dynamics in the high-latitude mesosphere, lower thermosphere, and ionosphere. *Geophysical Research Letters*, 37, L13806. doi:10.1029/2010GL043643.
- 三宅壮聡, 岡田敏美, 宮川潤, 宮嶋大輔, 石坂圭吾, 小嶋浩嗣, 上田義勝, 松本紘, 2003. SS-520-2 観測ロケットによって観測された極域における DC 電場解析. *電子情報通信学会論文誌*, J86-B, 236–244.
- Miyaoka, H., Ejiri, M., Tsuruda, K., Morioka, A., Fukunishi, H., Sagawa, E., Tohyama, F., 1991. Sounding rocket observation of a pulsating aurora at Andoya rocket range Norway. *The Journal of Space Technology and Science*, 7, No. 2 p. 2_1-2_8.
- Nozawa, S., Ogawa, Y., Brekke, A., Tsuda, T., Hall, C. M., Miyaoka, H., Kurihara, J., Abe, T., Fujii, R., 2006. EISCAT observational results during the DELTA campaign. *Earth Planets Space*, 58, 1183–1191.

- Ogasawara, K., Asamura, K., Mukai, T., Saito, Y., 2005. Avalanche photodiode for measurement of low-energy electrons. *Nucl. Inst. Meth. Phys. A*, 545, 744–752.
- Ogasawara, K., Asamura, K., Takashima, T., Saito, Y., Mukai, T., 2006. Rocket observation of energetic electrons in the low-altitude auroral ionosphere during DELTA campaign. *Earth Planets Space*, 58, 1155–1164.
- Oyama, S., Shiokawa, K., Kurihara, J., Tsuda, T. T., Nozawa, S., Ogawa, Y., Otsuka, Y., Watkins, B. J., 2010. Lower-thermospheric wind fluctuations measured with an FPI during pulsating aurora at Tromsø, Norway. *Ann. Geophys.*, 28, 1847–1857. doi:10.5194/angeo-28-1847-2010.
- Oyama, S., Kurihara, J., Watkins, B. J., Tsuda, T. T., Takahashi, T., 2012. Temporal variations of the ion-neutral collision frequency from EISCAT observations in the polar lower ionosphere during periods of geomagnetic disturbances. *J. Geophys. Res.*, 117, A05308. doi:10.1029/2011JA017159.
- Saito, Y., Machida, S., Hirahara, M., Mukai, T., 1992. Rocket observation of electron fluxes over a pulsating aurora. *Planet. Space Sci.*, 40, No.8, 1043–1054.
- Singer, W., Latteck, R., Friedrich, M., Wakabayashi, M., Rapp, M., 2011. Seasonal and solar activity variability of D-region electron density at 69°N. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 73, 9, 925–935. 10.1016/j.jastp.2010.09.012.
- Takizawa, H., Morioka, A., Misawa, H., Miyaoka, H., 1998. Periodic LF wave radiation associated with pulsating aurora. *Proc. NIPR Symp. Upper Atmos. Phys.*, 11, 61–71.
- Tanaka, H., Saito, Y., Ishii, S., Asamura, K., Mukai, T., 2003. Simultaneous observation of the electron acceleration and ion deceleration in the dayside high-latitude auroral region. *Geophys. Res. Lett.*, 30, No.12, 1615. doi:10.1029/2003GL017071.
- Tanaka, H., Saito, Y., Asamura, K., Ishii, S., Mukai, T., 2005. High time resolution measurement of multiple electron precipitations with energy-time dispersion in high-latitude part of the cusp region. *J. Geophys. Res.*, 110, A07204. doi:10.1029/2004JA010664.
- Tanaka, H., Saito, Y., Asamura, K., Mukai, T., 2005. Numerical modeling of electron energy-time dispersions in the high-latitude part of the cusp region. *J. Geophys. Res.*, 110, A05213. doi:10.1029/2004JA010665.
- 上田 義勝, 小嶋 浩嗣, 岩井 宏徳, 藤原 亮介, 橋本 弘藏, 松本 紘, 長野 勇, 岡田 敏美, 2001. 北極ロケット実験搭載用デジタル制御型プラズマ波動受信機の開発. 電子情報通信学会論文誌, J84-B, 1808–1818.
- Ueda, Y., Kojima, H., Matsumoto, H., Hashimoto, K., Nagano, I., Okada, T., Mukai, T., 2003. Lower hybrid waves observed at the dayside polar region: SS-520-2 rocket experiment, *Radio Sci.*, 38, No.6, 1098. doi:10.1029/2002RS002795.
- Wakabayashi, M., Ono, T., 2006. Electron density measurement under the influence of auroral precipitation and electron beam injection during the DELTA campaign. *Earth Planets Space*, 58, 1147–1154.
- Williams, B. P., Fritts, D. C., Vance, J. D., She, C.-Y., Abe, T., Thrane, E., 2006. Sodium lidar measurements of waves and instabilities near the mesopause during the DELTA rocket campaign. *Earth Planets Space*, 58, 1131–1146.
- Yamazaki, A., Tashiro, S., Nakasaka, Y., Yoshikawa, I., Miyake, W., Nakamura, M., 2002. Sounding-rocket observation of O II 83.4-nm emission over the polar ionosphere. *Geophys. Res. Lett.*, 29, No.21, 2005. doi:10.1029/2002GL014788.

【地理】 1件

吉岡美紀, 伊藤一, 1993. ニーオルスン, BAY川および砂州堆積物の粒径組成. 国立極地研究所北極科学研究会.

【その他】 14件

- 伊藤一, 1998. 北極圏の観測基地ニーオルスンでの生活. 極地, 67.
- 岩坂泰信, 2000. 北極圏の大気科学. 名古屋大学出版会, 239p.
- 国立極地研究所編, 2004. 南極・北極の百科事典, 丸善出版. 534p.
- 国立極地研究所監修, 2006. 南極大図鑑, 小学館.
- 南極OB会編, 2015. 北極読本—歴史から自然科学, 国際関係まで—, 成山堂. 194p.
- Tatsumi, T. (ed), 1990. The Japanese Scientific Expeditions to Svalbard 1983–1988. Kyoikusha.
- <シンポジウム記念誌>
- NIPR, 1996. Proceedings of the International Symposium on Environmental Research in the Arctic. *Mem. Natl Inst. Polar Res.*, Spec. Issue, 51, 398p. ed. by Watanabe, O.
- NIPR, 2001. Environmental Research in the Arctic 2000. *Mem. Natl Inst. Polar Res.*, Spec. Issue, 54, 520p. ed. by Watanabe, O. Yamanouchi, T.
- NIPR, 2006. Environmental Research in the Arctic 2005. *Mem. Natl Inst. Polar Res.*, Spec. Issue, 54, 226p. ed. by Aso, T., Ito, H.
- <プロジェクト報告書>
- 藤井理行, 2005. 北極域における気候・環境変動の研究. 平成11年度～16年度科学研究費補助金(特定領域研究)研究成果報告書, 1004p.
- 国立極地研究所北極圏環境研究センター, 1993. 国際共同研究「北極圏地球環境共同研究」中間研究成果報告書, 252p.
- 国立極地研究所北極圏環境研究センター, 2000. 北極圏における気候・環境変化. 平成7～10年度国際共同研究事業「北極圏環境観測」研究成果報告書, 214p.
- 国立極地研究所, 2002. 北極圏航空機観測(AAMP 98)成果特集. 南極資料, 46, 91–286.
- 国立極地研究所, 2016. 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, GRENE北極気候変動事業 2011–2016 成果報告書, 269p. <http://www.nipr.ac.jp/grene/>.

6.2 ニーオルスンでの研究による学位取得

【博士】 17名

湘南工科大学 . 土屋政義 , 1998. 微粒子計測装置の研究開発 .

総合研究大学院大学 . 五十嵐 誠 , 1996. スパールバル諸島亜極地型氷河における堆積環境示標シグナルの特性に関する研究 .

総合研究大学院大学 . 的場 澄人 , 1998. 氷コア中の微量金属元素の定量法の開発と金属元素から見たスパールバルの環境変動 .

総合研究大学院大学 . 上野 健 , 2002. 北極ツンドラにおけるコケ植物の乾燥ストレス応答に関する生理生態学的研究 .

総合研究大学院大学 . 井上 武史 , 2013. 高緯度北極に生育する地衣類の水利用と光合成活動の解明 .

総合研究大学院大学 . 増本 翔太 , 2014. 高緯度北極・スピッツベルゲン島の *Rhytisma* 属菌に関する生態学的研究 .

東北大学 . 岡林昌宏 , 1997. A Study on Balloon-borne Optical Sensors for Ozone Measurements in the Upper Stratosphere.

東北大学 . 石戸谷重之 , 2003. Development of high precision measurement technique of the atmospheric O_2/N_2 ratio and its application to the global carbon cycle.

東北大学 . 梅澤 拓 , 2009. A Study of Global Methane Cycle Based on Measurements of its Carbon and Hydrogen Isotopes in the Atmosphere.

東北大学 . 後藤大輔 , 2011. Observations of temporal and spatial variations of the atmospheric oxygen concentration and estimation of global carbon budget.

東北大学 . 佐伯浩介 , 2011. フーリエ変換赤外分光計を用いた 2007 年南極オゾンホールと成層圏大気微量成分の季節変動に関する研究 .

名古屋大学 . 林 政彦 , 1998. Studies on evolution of polar stratospheric clouds : variation of size, phase, and number concentration.

名古屋大学 . 原 圭一郎 , 2000. Heterogeneous chemistry on sea-salt particles in winter/spring Arctic troposphere : the roles as the sink of acidic species and the source of reactive halogen species.

名古屋大学 . Diana Prodanova Daneva , 2003. Investigation of the mixing state of polar stratospheric cloud particles by means of lidar observations and numerical simulations.

名古屋大学 . 猪股弥生 , 2004. Spatial and temporal variation of carbonyl sulfide (COS) and carbon disulfide (CS₂) in the lowermost stratosphere and troposphere between East Asia and Arctic in winter/spring : Implications for stratosphere-troposphere transport and mixing under the presence of the Arctic polar vortex.

名古屋大学 . 渡辺征春 , 2004. Studies on the decay processes of volcanic sulfur in the stratosphere with size- and altitude-resolved in-situ aerosol measurements.

福岡大学 . 白石浩一 , 2006. 極成層圏雲の構造に与える温度と温度履歴の影響に関する研究 .

【修士】 33名

大阪府立大学 . 2002. 極地のカギハイゴケに生息する *Pythium* 属菌の形態的類別と病原性調査 .

大阪府立大学 . 2004. 極地のコケに生息する *Pythium* 属菌の同定と分布調査 .

大阪府立大学 . 2007. 北極域と温帯域の積雪下の野生植物に生息する土壤糸状菌の同定と性状調査 .

大阪府立大学 . 2009. 高緯度北極域のコケから分離される *Pythium* 属菌数種の同定と生態調査 .

大阪府立大学 . 2012. Population changes in *Pythium* spp. infecting *Sanionia* moss at a high arctic region from 2003 to 2010.

千葉大学 . 2014. コヒーレント積分による FMCW 雲レーダ FALCON-I ドップラスペクトルの S/N 比の評価 .

千葉大学 . 2014. 北極気候変動観測プロジェクト用 95GHz ミリ波雲レーダー FALCON-A の開発 .

千葉大学 . 2015. 95GHz ミリ波雲レーダ FALCON-I 受動観測による大気輝度温度の算出と検証 .

千葉大学 . 2015. 大気浮遊物採取による雲レーダ FALCON-I の非降水エコー検出性能の評価 .

千葉大学 . 2015. 新型雲レーダ FALCON-A による雲の定量的解析 .

千葉大学 . 2015. 北極気候変動観測用ミリ波雲レーダ FALCON-A の視差測定 .

千葉大学 . 2016. 雲レーダ FALCON-I と CloudSAT/CPR および Aqua/MODIS との千葉県内同時観測 .

千葉大学 . 2016. 1 アンテナ雲レーダ FALCON-X におけるキャンセルシステムの作成とその評価 .

千葉大学 . 2016. ミリ波雲レーダ FALCON-I の走査観測による雲の 2 次元解析 .

筑波大学 . 2011. 地上 FTIR による成層圏オゾンの解析と極成層圏雲がオゾン破壊に与える影響の定量化 .

東北大学 . 2010. フーリエ変換赤外分光器を用いたつくば上空 O₃, HCl, HF の高度分布観測 .

東北大学 . 2014. 北半球高緯度域における大気中メタン濃度とその炭素・水素同位体比の変動 .

- 名古屋大学．1993．イメージングリオメータの性能評価と電離層吸収画像解析の開発．
- 名古屋大学．1996．地磁気擾乱にともなう極域電離層電波吸収現象の統計的性質に関する研究．
- 名古屋大学．1996．混合状態にある極域成層圏雲粒子の存在：ライダーデータの新しい解析法の開発と応用．
- 名古屋大学．1996．極域成層圏エアロゾルの地球硫黄収支に及ぼす影響．
- 奈良女子大．2013．地上観測データ解析による北極域における雲の特徴．
- 奈良女子大．2014．地上観測データを用いた北極域における雲と下向き赤外放射の関係．
- 福岡大学．1995．スバルパール上空における成層圏エアロゾルのライダー観測．
- 福岡大学．1996．スピッツベルゲンにおける極成層圏雲のライダー観測．
- 福岡大学．1997．ライダー及び気球搭載型パーティクルカウンターによる極成層圏雲の観測結果の比較．
- 福岡大学．1998．スバルパールにおける極成層圏雲のライダー観測．
- 福岡大学．1999．Ny-Ålesund における成層圏エアロゾルのライダー観測．
- 福岡大学．2000．北極圏における対流圏エアロゾルのふるまい．
- 福岡大学．2003．ライダーで観測された北極圏域成層圏バックグラウンドエアロゾルの長期変動．
- 福岡大学．2006．北極圏成層圏エアロゾルの経年変動－レーザーライダーによる観測．
- 福岡大学．2009．Ny-Ålesund における極成層圏雲のライダー観測－局所的な温度擾乱がもたらす固相と液相 PSCs の形成について．
- 法政大学．1995．氷河前面の地形形成過程－スピッツベルゲン島バイ川流域－．

【学士】 21名

- 大阪府立大学．2005．極地に生息する糸状菌の同定と性状調査．
- 大阪府立大学．2007．北極のコケに生息する土壌糸状菌の生態調査－ノルウェー領スピッツベルゲン島ニーオルスン日本基地北側斜面のカギハイゴケ群落から2005年の夏期に分離された *Pythium* 属菌の種構成と性状－．
- 大阪府立大学．2007．北極のコケに生息する土壌糸状菌の生態調査－ノルウェー領スピッツベルゲン島ニーオルスン日本基地北側斜面のカギハイゴケ群落から2003年と2004年の夏期に分離された *Pythium* 属菌の種構成と性状－．
- 大阪府立大学．2013．Population changes in *Pythium* spp. infecting *Sanionia* moss at a high arctic region from 2003 to 2012．
- 千葉大学．2012．北極気候変動観測プロジェクト用ミリ波雲レーダー FALCON-III の開発～新観測手法の検討～．
- 千葉大学．2013．ミリ波雲レーダー FALCON-A のシステム設計～素子評価～．
- 千葉大学．2013．北極気候変動観測用雲レーダー FALCON-A の性能評価～雲レーダー FALCON-I とのデータ比較～．
- 千葉大学．2015．雲レーダー FALCON-A と地球観測衛星 CloudSAT の同時観測．
- 千葉大学．2015．大気浮遊物の採取による非降水エコーの強度・高度分布解析．
- 千葉大学．2015．降雨開始時の雨粒のドップラー解析と FALCON-I の性能評価．
- 千葉大学．2015．1 アンテナ方式雲粒観測用 95GHz FM-CW レーダーアンテナ部の開発．
- 千葉大学．2016．ミリ波レーダー FALCON-I と小型気象計 POTEKA による局所的な雲に関する観測．
- 千葉大学．2016．FALCON-I 受動観測とラジオゾンデによる水蒸気の放射輝度温度の算出と検討．
- 千葉大学．2016．雲粒観測用レーダー FALCON-I とライダーによる氷水量の測定．
- 千葉大学．2016．FALCON-A ドップラーデータによる北極での雲とエコーの解析．
- 千葉大学．2016．1 アンテナ式 FM-CW 雲レーダー「FALCON-A」によるキャンセルシステムの校正と制御．
- 奈良女子大．2010．全天カメラ・MPL・目視による雲量の比較解析．
- 奈良女子大．2011．地上観測データを用いた北極域における雲量の動態解析．
- 奈良女子大．2012．北極域における雲と赤外放射の観測データ解析．
- 福岡大学．2014．ライダーで観測された冬季のニーオルスン上空における対流圏エアロゾルの光学特性．
- 福岡大学．2015．ライダーで観測されたニーオルスンにおける成層圏エアロゾルの長期変動．

6.3 年表 我が国の北極研究の流れ

(山内・上曾)

年	事 象
1937	快鳳丸の航海（～1941）
1957	中谷宇吉郎（北大）他によるグリーンランド調査（～1960） IGY（国際地球観測年）1957-1958
1959	中谷宇吉郎（北大）他による T-3(USA) 観測
1960	北大アラスカ第一次水河観測（1963年に第二次調査） ARLIS 氷島観測開始
1966	太田昌秀他によるスバルバル探検隊（ノルウェー隊）、西スピッツベルゲン島岩石学的調査
1968	太田昌秀、西スピッツベルゲン島北西部調査
1972	北大他によるシベリア永久凍土観測
1973	国立極地研究所設立
1979	名大、北大他による GARP/POLEX North 観測（カナダ / ～1980）
1983	オーロラ共役点観測、アイスランドで開始（極地研等）
1987	北極雪氷計画開始（JAGE / ～1999） ソ連ゴルバチョフ書記長、ムルマンスク演説「北極開放」
1989	北極科学研究推進特別委員会（極地研）設置
1990	IASC（国際北極科学委員会）創設 北極圏環境研究センター（極地研）設置 国際共同研究事業「北極圏地球環境共同研究」開始（極地研；～1994） 北極域に関する日加相補性研究（科技厅、文部省） 科学技術振興事業「北極圏における気圏・水圏・生物圏の変動及びそれらの相互作用に関する国際共同研究」（JAMSTEC；～1994）
1991	スバルバル・ニーオルスンに観測所を設置（極地研、ノルウェー共同） 日本、IASC 加盟 シベリア温室効果気体観測開始（国立環境研、ロシア CAO ほかに共同）
1992	IOEB（氷海用自動観測ステーション：JAMSTEC、米 WHOI 協力）
1993	INSROP（国際北極海航路開発計画；～1999）
1994	WCRP/ACSYS（北極域気候システム研究計画）
1995	国際共同研究事業「北極環境観測共同研究」開始（極地研；～1998） 第1回和達国際会議 第1回国際北極研究計画会議（ICARP-I）開催（アメリカ・ダートマスカレッジ）
1996	EISCAT（欧州非干渉散乱レーダー）参加（極地研、名大 STE 研） 北極評議会（Arctic Council:AC 北極圏8カ国）発足 GAME Siberia 開始
1997	NOW（国際ノースウォーターポリニア計画；カナダ他）参加 ロシア：ティクシ、ヤクーツクに観測タワー設置（名大、北大；RAS 共同） SHEBA（北極海表面熱収支観測計画 / ～1998） IOEB-2/SHEBA（JAMSTEC）
1998	AAMP98（北極海横断航空機観測；極地研）
1999	アラスカ大学フェアバンクス校に IARC（国際北極圏研究センター）設立 IARC における北極共同研究（JAXA、JAMSTEC / ～2014） 科研費特定領域研究「北極域における気候・環境変動の研究」（～2004）
2000	ASTAR 2000（北極対流圏エアロゾル放射総合観測；極地研、AWI 共同） GAME Siberia 集中観測（JAMSTEC、ロシア CAO 共同） 第1回 GCCA（北極地球変動国際会議 Global Change：Connection to the Arctic；IARC、大学連合）
2001	文部省と科学技術庁統合、省庁再編により文部科学省発足 第2回和達国際会議 2001
2002	AAMP02（北極海横断航空機大気観測；極地研、AWI 共同） CASES 参加（～2004）
2005	第2回国際北極研究計画会議（ICARP-II）開催（デンマーク・コペンハーゲン）
2007	北極域研究検討委員会（～2011） GCCA-7（アラスカ・フェアバンクス） 日本地球惑星科学連合大会「北極域の科学」セッション開始 IPY（国際極年）2007-2008
2008	第1回国際北極研究シンポジウム（ISAR-1）
2009	シベリアプロジェクト開始（総合地球環境学研究所）
2010	北極研究検討作業部会審議、中間とりまとめ 第2回国際北極研究シンポジウム（ISAR-2）
2011	北極研究戦略小委員会「GRENE 北極気候変動分野運用基本方針」提示 JCAR（北極環境研究コンソーシアム）設立 グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス（GRENE）北極気候変動研究分野開始（極地研、JAMSTEC / ～2016）
2013	日本、北極評議会（Arctic Council：AC）オブザーバ参加が認められる 第3回国際北極研究シンポジウム（ISAR-3）
2015	ASSW 2015（北極科学サミット週間；ISAR-4、ICARP-III）富山で開催 北極研究推進プロジェクト（ArCS）開始（極地研、JAMSTEC、北大）
2016	ニーオルスン基地開設 25 周年記念式典及びスバルバル観測拠点連携推進国際ワークショップ

執筆者・写真提供者・協力者

※所属は最終所属機関を含む

Dominique Fleury French Polar Institute Paul-Emile Victor (IPEV)
Kings Bay AS

青木 周司	東北大学	
東 久美子	情報・システム研究機構国立極地研究所	
伊藤 一	情報・システム研究機構国立極地研究所	
井上 早穂	情報・システム研究機構国立極地研究所	
猪上 淳	情報・システム研究機構国立極地研究所	
伊村 智	情報・システム研究機構国立極地研究所	
岩坂 泰信	名古屋大学	
牛尾 収輝	情報・システム研究機構国立極地研究所	
内田 雅己	情報・システム研究機構国立極地研究所	
上曾 由紀江	情報・システム研究機構国立極地研究所	
榎本 浩之	情報・システム研究機構国立極地研究所	
太田 昌秀	ノルウェー極地研究所	
岡野 章一	東北大学	
小川 泰信	情報・システム研究機構国立極地研究所	
長田 和雄	名古屋大学	
柿本 晃治郎	情報・システム研究機構国立極地研究所	
神田 啓史	情報・システム研究機構国立極地研究所	
久慈 誠	奈良女子大学	
工藤 栄	情報・システム研究機構国立極地研究所	
熊谷 宏靖	情報・システム研究機構国立極地研究所	
兒玉 裕二	情報・システム研究機構国立極地研究所	
後藤 大輔	情報・システム研究機構国立極地研究所	
小西 啓之	大阪教育大学	
塩原 匡貴	情報・システム研究機構国立極地研究所	
柴田 隆	名古屋大学	
白石 和行	情報・システム研究機構国立極地研究所	所長
末吉 哲雄	情報・システム研究機構国立極地研究所	
鷹野 敏明	千葉大学	
高橋 晃周	情報・システム研究機構国立極地研究所	
土屋 史紀	東北大学	
寺村 たから	情報・システム研究機構国立極地研究所	
中島 英彰	国立環境研究所	
中坪 孝之	広島大学	
西野 正徳	名古屋大学	
藤井 理行	情報・システム研究機構国立極地研究所	前所長
宮岡 宏	情報・システム研究機構国立極地研究所	
村田 功	東北大学	
本山 秀明	情報・システム研究機構国立極地研究所	
森本 真司	東北大学	
矢吹 裕伯	情報・システム研究機構国立極地研究所	
山内 恭	情報・システム研究機構国立極地研究所	
吉岡 博	情報・システム研究機構国立極地研究所	
吉岡 美紀	情報・システム研究機構国立極地研究所	
渡邊 興亞	情報・システム研究機構国立極地研究所	元所長

(五十音順)

北極ニーオルスン基地開設 25 周年と将来展望

第 1 版 2017 年 3 月 31 日

第 1.1 版 2018 年 6 月 25 日

編集・発行者 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
国際北極環境研究センター
ニーオルスン基地開設 25 周年記念誌ワーキンググループ
東京都立川市緑町 10-3

印刷 創文印刷工業株式会社
東京都荒川区西尾久 7-12-16



国立極地研究所
大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構

