

「自国砕氷船を利用した極域海洋研究」

開催日時：2015年3月21日（土）10:30～18:30

会場：東京海洋大学 講義棟 4階 42番講義室

主催：日本海洋学会、ブレイクスルー研究会

コンビーナー：田村岳史（極地研）、渡邊英嗣（JAMSTEC）、溝端浩平（海洋大）、三瓶真（広島大）、山本正伸（北大）

趣旨：

現在、極域海洋は「急激に変わりゆく北極海」、「確実に変わりゆく南極海」と、近年にたく注目されている。両極域では、GRENE、JAREといった大型研究プロジェクトが遂行され、日本の極域研究への注目度はかつてない高まりを見せている。今後の極域研究において、海氷域の調査研究が重要になる事は疑いない。海氷域の研究には学術砕氷船が必要不可欠であるが、独自の学術砕氷船を持たない事が我が国の極域海洋研究推進上、大きなネックになっているとの意見があり、将来の研究の方向性を考える上で避けて通れない検討課題となっている。このような状況の中で、砕氷船を使用するとできる事、さらに自国で砕氷船を持つとできるようになる事を整理し、検討する必要があると考えられる。

本シンポジウムでは、両極の海洋研究者による学術砕氷船を用いた研究の紹介をベースに、学術砕氷船の必要性和極域海洋研究におけるインパクトについて議論し、学術砕氷船の導入が研究推進のための突破口になりうるかについて討論する。さらに、建造後を想定した砕氷船運用計画と、そのベースとなる研究・観測プランについても議論を行い、独自の学術砕氷船があった場合に、国際的運用も含めてどのように活用されるのかについても議論を行う。講演者は、学術砕氷船があれば今までできなかったこんな事ができて、このようなサイエンスに貢献する事ができるのだという将来プランを紹介する。さらに、他研究分野との融合という形での、砕氷船の有効利用を目指した議論も行う。本シンポジウムを、学術砕氷船を活用する事の重要性について、海洋学会員の理解を得る為の第一歩としたい。

一方で、最近では学術砕氷船の建造に関する検討が行われ始めている。砕氷船の建造に関しては、現在極域研究を行っている研究者だけではなく、海洋学コミュニティ全体で受け止めて議論する必要があると考えられる。将来の砕氷船の利用は極域の海に留まらず、地球規模のあらゆる自然科学に利用し展開できる可能性もある。海洋学コミュニティ全体で砕氷船の位置付けを認識するためにも、海洋学会に参加される多くの方に、本シンポジウムにご参加を頂きたい。

プログラム

第一部：10:30～12:30（座長：溝端浩平）

- ・「趣旨説明」：田村岳史（極地研）
- ・「学術砕氷船によって拓がる極域海洋地質学の進展」：池原実（高知大）
- ・「北極海における古環境研究の現状」：山本正伸（北大環境科学）
- ・「地球化学で挑む極域海洋研究」：渡邊豊（北大環境科学）
- ・「北極域の固体地球科学：分かっていること知りたいこと」：佐藤暢（専修大）
- ・「極域海洋の地球物理観測が明らかにする海洋底拡大の初期プロセス」：佐藤太一（産総研）

（昼食：12:30～13:30）

第二部：13:30～15:10（座長：渡邊英嗣）

- ・「極域予測研究のための高層気象観測」：猪上淳（極地研）
- ・「北極圏において海洋低次生態研究を行う意義」：三瓶真（広島大）
- ・「北極海における海氷変動のメカニズム解明に向けた大気-海氷-海洋間の熱収支観測」：溝端浩平（海洋大）
- ・「北極海における砕氷船を用いた海洋生物研究」：松野孝平（北大水産）
- ・「海氷予測のためのモデルと観測」：小野純（JAMSTEC）

（休憩：15:10～15:30）

第三部：15:30～17:10（座長：三瓶真）

- ・「南極沿岸海洋における日本の物理観測の近未来」：青木茂（北大低温研）
- ・「砕氷船を活用した大気・エアロゾル観測案」：原圭一郎（福岡大）
- ・「氷の下の鉛直混合と全球子午面循環の関係」：勝又勝郎（JAMSTEC）
- ・「南極海氷域に生きるプランクトンとその変動」：飯田高大（極地研）
- ・「砕氷船を用いた冬季沿岸ポリニヤ観測」：平野大輔（極地研）

（休憩：17:10～17:30）

第四部：17:30～18:30（座長：田村岳史）

- ・「砕氷船建造に向けての動き」：北川弘光（海洋政策研究財団）
- ・総合討論

日本海洋学会2015年春季大会 砕氷船シンポジウム議事録

【本シンポジウムで指摘された重要なポイント】

- 大きなプロジェクトでは各自の専門分野だけでなく、学際的に共同研究者を増やすことが大事。今回のシンポジウムのように固体地球と大気・海洋の研究者が交流する場は貴重。
- 日本に直接の利益をもたらさなくても国際的な責務としてやるべきことはある。欧米諸国にまかせておけば良いという立場では世界情勢に取り残される可能性もある。
- 海洋化学でも極域での値が考慮されていないマジックナンバーがいくつか残っている。データ空白域でもある両極での観測は普遍性を確認する上でも重要。
- 海洋生物サンプリングは近年北極沿岸国のクリアランスを通すのが困難になりつつある。各国の政策の変化にも注視しながら適宜対応できるように準備しておくべき。
- モニタリングは観測を継続する理由にもなる一方で、プロジェクト観測の妨げになる場合もある。本当に長期的に必要なモニタリングかどうか始める前に良く吟味しておくべき。
- 人工衛星ミッションなどもどのような経緯で実施・継続に至っているかの参考になる。他国の事情や「防災」が1つのキーワードになっている。世の中的には100年後の温暖化より3日後のゲリラ豪雨の方が大事だと考える人が多い。

【各発表に対する質疑応答】 ※発表者の敬称略

<池原 実>

Q: 地質の分野で例えば熱帯域の海洋学者も参画できるような体制を構築できるか？

A: 自分自身、黒潮域の研究もやってきており、対象とするタイムスケールが重なれば、海域間比較などの観点から良い連携ができると考えている。

Q: 白鳳丸でも共同観測できたとのことなので、船自体に大掛かりな装備は必要ない？

A: マルチチャンネル・ストリーマーケーブルを船尾から延ばせれば測定可能だが、海氷域でも同様に実施可能かは良く吟味する必要がある。

<山本 正伸>

Q: 北極海中央部で以前実施されたIODP 観測ではどのような船を用いた？

A: 耐氷能力のある船を海底掘削可能な仕様に改造していた。

Q: 古環境研究にとっては船舶観測より氷上ステーションの方が都合良い？

A: 深部まで掘削することに意義があるのでやはり船舶観測の方が望ましい。

<渡邊 豊> ※発表者が質問して聴衆者が回答

Q: 砕氷船の凍り漬け観測時の人員交代は？

A: カナダ砕氷船の場合は海氷上に滑走路を整備して6週間毎に航空機輸送.

Q: 砕氷船の建造費(数百億円)は人工衛星1機分に相当するが、なぜ衛星には予算が付くのか？

A: 例えば、マイクロ波センサーは米国が継続しない恐れがあるので、日本が継続するのは国際的責務

<佐藤 暢>

Q: 岩石が海底に露出している場所を事前調査する必要がある？

A: 中央海嶺など堆積物が少ない崖の側面を狙って採掘している.

Q: 海底設置型ドリルは有効？

A: 500m以上掘るのは困難なので、IODPのような船舶での大型掘削が望ましい.

Q: ストリーマーの長さはどのくらい必要？

A: 200~1000mくらい延ばせば良い.

Q: AMORE2001のプロジェクト観測に要したシップタイムは？

A: 約60日.

Q: ガッセル海嶺以外での調査はどのくらい実施されている？

A: 北極海の他の海嶺はまだ殆ど調査されていない.

<佐藤 太一>

Q: 北極海の海底地形は既にかなり調べられているのでは？

A: まだ空白域が存在し、IBCAOの海底水深データでも不確定性が残っている.

Q: AUVでの測定がうまくいかなかったのは海氷のせい？

A: 海氷よりも測器そのものにさらなる改良が必要であった.

Q: 海底の水平移動だけでなく、上下移動も調べられているのか？

A: 上下移動についてはまだ情報がない.

Q: 海底移動のタイムスケールだと北極海の形も変わっており、海流や物質循環も今と異なるのでは？

A: 地形学以外の分野とも連携して学際的な研究ができると良い.

<猪上 淳>

Q: 大気再解析データに対する漂流ブイの貢献度は？

A: 対流圏下層には影響するが、高層の場には陸上沿岸でのラジオゾンデ観測の貢献が大きい。

<三瓶 真>

Q: 海氷域での生態系観測は日本が主導しなければならないのか？

A: 日本単独で主導するというより、諸外国と連携しながら共同で主導する立場を取るべき。北極海の生態系は地理的変動が非常に大きいので、複数の砕氷船による同時観測が必要になる。そのためには主導する各国がそれぞれ砕氷船を出し合う必要がある。特に水産国家である日本は将来的な北極海漁業におけるプレゼンスを高めるためにも主導して生態系観測を行うことが重要。

Q: 海氷の後退に伴い、沿岸湧昇が起こりやすくなることで本当に基礎生産量が増加するのか？

A: 基礎生産量の増加に関しては、非常に高いポテンシャルを有しているが、今後の観測およびモデルに基づく予測などを駆使して確かめる必要がある。

<溝端 浩平>

Q: 西部北極海での定点観測を提案しているが、大西洋側は良いのか？

A: 海氷融解がより顕著な海域で行うことに意義がある。

Q: 北極海観測はよその庭に入る意識を持ってしまいが、公海はどのくらいなのか？

A: 決して小さくはない。

米国・カナダは沿岸警備が主務であり、少なくとも海盆地に関してはよその庭とは言えない。

<松野 孝平>

Q: 南極のオキアミなどと比べて、北極タラのバイオマスはどのくらいか？

どのような意味で北極タラを鍵種と言っているのか？

A: 具体的な数値での比較はしていないが、北極海内の魚類群集の中で優占しており、動物プランクトンとアザラシなどを繋ぐ役割を担っているという意味で鍵種だと考えている。

Q: プランクトンネットなどは最近米国のクリアランスを通すのが難しくなっている。

観測が公海に限られるとしても行う意義があるか？

A: 生物的には陸棚域で調査を行うことが一番意義があるが、陸棚域と海盆地では生態系構造が全く異なるので、海盆地において海氷融解による生態系への影響を評価することも重要である。

<小野 純>

Q: 海氷観測は砕氷船とヘリコプターのどちらをメインで行うのか？

A: ヘリコプターの方が効率良いかもしれない.

Q: パーフェクトモデルで海氷面積の予測可能な年数は初期摂動の大きさに依存するのではないか？

A: ここで示しているのは APPOSITE プロジェクトで定められている摂動幅に応じた年数.

<青木 茂>

Q: 南極観測重点課題に採択されると研究予算もつくのか？

A: 観測機材の購入費はつすが, 人件費や研究発表旅費等には使用できない.

Q: コミュニティの総意が感じられるプロポーザルの方が通りやすい？

A: 様々な分野の人が入っていた方が通りやすいと思うし, コミュニティの拡充にもつながる.

<原 圭一郎>

<勝又 勝郎>

Q: 南極底層水形成のこの見積もりはグローバルな鉛直拡散係数にも依存するのか？

A: 今回の見積もりでは, グローバルな鉛直拡散係数の値は変えていない.

Q: 海面付近の混合も重要か？

A: 子午面循環にとっては海底付近の混合の方が大事だというのが今回の話.

Q: どのくらいの期間観測するべきか？

A: 最低でも1年間で, 深層水形成量が年々変動することを考えると, 数年以上継続するべき.

<飯田 高大>

Q: 鉛直曳きだと動物プランクトンはやはり逃げてしまうか？

A: 逃げてしまうので水平曳きか, 音響観測とも組み合わせた観測体制が望ましい.

<平野 大輔>

Q: ポリニヤ域でも係留系では海面付近まで測れないのでは？

A: 海洋表層は AUV, ROV を組み合わせるなどして工夫する.

北極・南極域における古海洋研究

山本正伸（北海道大学大学院地球環境科学研究院），池原実（高知大学海洋コア総合研究センター）

1. 目的

北極海および南大洋の海底地形の調査，堆積物の採取を行い，北極・南極における古環境変動を復元する．過去から現在に至る気候変動に対して極域がどのように応答したかを明らかにし，全球気候変動において極域大気海洋雪氷が果たした役割を明らかにする．

2. 海域と季節

北極海全海氷域 8 月から 10 月．南大洋全海氷域 12 月から 2 月

3. 内容

- 1) 北極海，南大洋において多数地点で堆積物コアを採取し，その物性，化学成分，微化石の分析を行うことにより，過去の海氷分布を復元する．
- 2) 北極海および南大洋の海底地形の調査，堆積物の採取を行い，海底地形がいつどのような作用により形成されたかを明らかにすることにより，両極の氷床の消長を復元する．南極大陸周辺の大陸棚におけるマルチビーム海底地形探査により，南極氷床が拡大・流動した際に形成されるメガフルート（大規模氷河性線上構造）やドラムリンなどの特徴的な地形の分布と形態を明らかにすることによって，南極氷床変遷史の解明を試みる．西部北極海の大陸棚および海台において同様の調査を行い現在は水没した地域に発達した氷床・氷河の変遷史の解明を試みる．
- 3) 北極海，南大洋において堆積物コアを採取し，その鉱物組成・化学組成を分析することにより，過去における海流系の変動，深層水循環の変動を復元する．
- 4) 南大洋において堆積物コアを採取し，その鉱物組成・化学組成を分析することにより，過去における深層水循環の変動および溶存炭酸濃度を復元し，炭素サイクルと過去の気候変動との関係を検討する．
- 5) ベーリング海峡において堆積物コアを採取し，氷期におけるベーリンギアの植生を復元し，ベーリング海峡の開閉の歴史を明らかにする．
- 6) 西部北極海および南大洋において海底地質構造調査と堆積物採取を行い，深海掘削を行うための事前資料を作成する．

4. 期待される科学的成果

- ・過去における北極海と南大洋の海氷分布と海流系を明らかにすることにより，北極海海氷分布の規制因子を理解する手がかりが得られる．
- ・氷期間氷期変動において両極の氷床が海面変動に対してどのような割合で寄与したかを明らかにすることにより，地球温暖化にともなう海面上昇の予測を精密化することができる．
- ・南大洋における炭素サイクルを明らかにすることにより，氷期になぜ大気二酸化炭素濃度が低かったのかを理解する手がかりが得られる．
- ・ベーリング海峡の地史を明らかにすることにより，ベーリング海峡通過流の気候に及ぼす影響を理解し，また北米大陸への人類の移動の歴史の背景を明らかにすることができる．

- ・西部北極海は地質学における最後のフロンティアである。西部北極海がいつどのように形成されたのか謎である。当海域において調査を進め、さらに深海掘削を行うことにより西部北極海の形成プロセスを明らかにすることができる。

5. 必要な観測資源

- ・マルチビーム音響測深装置
- ・サブボトムプロファイラー (3.5kHz)
- ・XBT (水温補正用)
- ・マルチチャンネル反射法地震探査 (MCS : Multi-Channel Seismic survey) 用具一式 (エアガン、ストリーマーケーブル、ハイドロフォン)
- ・MCS用のエアガンコンプレッサー
- ・ジャンボピストンコア用クレーンおよびウインチ
- ・ピストンコア用ウインチ (径 17mm x 6000m ケーブル搭載) および A フレーム
- ・海底着座式ボーリングシステム
- ・ウェットラボ (船外直接配管の泥をながせるシンク付き)
- ・堆積物試料保管庫 (4°C) (コア 200m 分保管可能なスペース)
- ・可能であればムーンプールの設置が望ましい。
- ・同階層に実験室を持つ低・広・長の上方開放型観測舷
- ・長尺大口径ピストンコアラー
- ・重力計、プロトン磁力計

北極域のテクトニクス

佐藤暢（専修大学）、佐藤太一（産総研）、野木義史（極地研）

1. 目的

大陸分裂による海洋の形成や超大陸の形成といった、数億年から数十億年スケールの地球表層部の大陸と海洋の配置の変化は、海洋循環や大気循環等の変化をもたらし、表層環境を大きく変動させた。北極域では、プレート境界である中央海嶺における現在での活動から、大陸の成長・離散・集合といった数十億年スケールの現象まで、様々な時間空間での固体地球と表層環境変動の相互作用を理解する上での重要なフィールドである。

現在活動的な中央海嶺であるガッケル海嶺によって形成されたユーラシア海盆の発達史は、海底の年代同定に用いられる地磁気異常の縞模様などから比較的良好にわかっているが、それ以外の海盆（アメラシア海盆）や海嶺（アルファ海嶺・メンデレーフ海嶺）などの成因については様々な説がある状況である。アメラシア海盆とユーラシア海盆の間、北極海中央部に発達するロモノソフ海嶺で実施された IODP Leg302 により、5500 万年前にさかのぼる堆積物コアが採取され、北極域も南極域に同調して、中期始新世には寒冷化が始まっていたことが明らかになっている。北極海の発達過程に伴う、海洋循環の変遷や大陸氷床の発達との関係を解明し、北極域における環境変動を明らかにするためにも、北極域のテクトニクスの解明は重要である。

現在活動的な中央海嶺であるガッケル海嶺は、拡大速度が著しく遅く、超低速拡大海嶺に分類され、現在の地球の中央海嶺系の中でもユニークなエンドメンバーである。ガッケル海嶺ではこれまでも観測船、航空機、潜水艦による調査が行われており、海嶺軸上に多数の熱水活動が高密度に分布していることが推定されている（Edmonds et al., 2003）。一般的に、拡大速度の小さい中央海嶺では、マグマ活動も活発でなく、熱放出も小さいために、熱水活動は活発的ではないと考えられる。ガッケル海嶺で推定される熱水域の密度は、同様の拡大速度である南西インド洋海嶺よりも高く、より拡大速度の大きい大西洋中央海嶺よりも高密度である。このような熱水活動をもたらすメカニズムは明らかになっておらず、実際に熱水噴出孔を見だし、その周辺の地質構造・岩相と併せて検討することが必要である。

2. 海域と季節

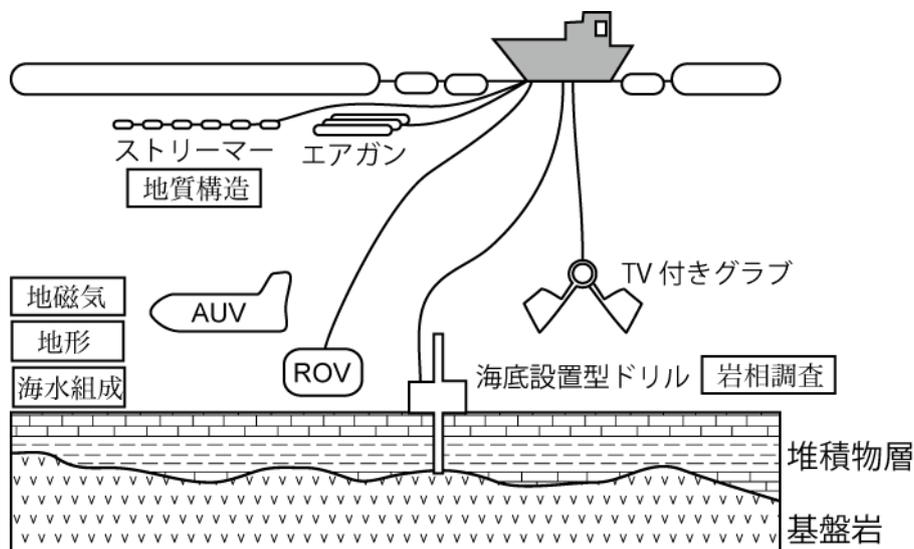
海底下の固体地球観測であるので、季節は問わないが、広域な地形調査や地球物理観測、試料採取を行うことを考えると、海氷の少ない時期が望ましい。

3. 内容

これまで世界中の海域で実施されている観測・試料採取を実施するが、海氷域であるという点が大きな制約となる。まず基本的な地球物理データである海底地形・地磁気・重力の観測を行う。海底地形・地磁気は自立型海中ロボット（AUV: Autonomous Underwater Vehicle）を用いて、広範囲に行く。AUV に海水センサを取り付けることで、中央海嶺拡大軸付近では熱水活動域を捉えることも可能となる。熱水活動域の観測には無人探査機（ROV: Remotely operated vehicle）を用い、光学カメラなどでの直接観察を行う。

基盤岩に重なる堆積物の地質構造やより深部の地殻構造は反射法および屈折法地震波探査によって明らかにする。

基盤岩の採取は、現在活動的な中央海嶺拡大軸部以外の場所では海底設置型のマリンドリルでの採取が有効である。同軸ケーブルで砕氷船と結ぶことで、ビデオ付きのものであれば、海底の状況を確認しながら設置することが可能となる。中央海嶺拡大軸部では TV 付きグラブなどで表面を観察しながら試料採取を行う。



砕氷船を用いた北極域の固体地球観測の概要。ゴチックが観測装置、明朝が観測項目を示す。

4. 期待される科学的成果

砕氷船の利用により、これまでほとんど調査の行われていなかった北極域での観測が行われることで、北極域の地球物理観測、海底地質構造、基盤岩の岩相、熱水活動についての詳細が明らかとなる。これにより北極域のテクトニクスを理解することで、環境変動との関連をより詳細に検討することが可能となる。

5. 必要な観測資源

- ・ ROV/AUV などの海中ロボットの投入・回収を行うための構造。通常の観測船では後部甲板から行うが、必ずしもそれにこだわる必要はない。また、ROV/AUV そのものも必要となる。
- ・ 海底地形・重力・磁力観測装置の搭載。いずれも船上で観測する項目である。マルチビーム測深機、重力計、三成分磁力計を搭載する。
- ・ 屈折法・反射法地震波探査のためのストリーマーカーケーブル、エアガン装置を展開できるデッキおよびストリーマーカーケーブル装置を搭載できる場所が後部甲板に必要となる。
- ・ 基盤岩の採取のための海底設置型ドリル・TV 付きグラブの投入・回収を行うための構造。またそれらを接続できる同軸ケーブルが必要である。

極域予測研究のための高層気象観測

猪上 淳 (国立極地研究所)

1. 目的

北極海や南大洋では気象観測データが極めて限られるため、大気再解析データや気象予報における大気循環の再現性は、数値モデルと初期値に大きく依存する。高層気象観測ネットワークは、大気の3次元構造を把握するのに最も有効な観測データ源の一つであるが、極域では現業気象観測が乏しいため、不確実性の根源ともなっている。中緯度での異常寒波に代表される極端現象が近年頻発していることを鑑みると、観測データの拡充に伴う極域予測のさらなる精緻化は社会活動に対して大きく貢献するであろう。また、北極海航路上の高・低気圧に伴う強風予測など、気象サービスの向上という点からも、良質な観測データが必要不可欠である。極域予測研究の発展と国益のためにも、砕氷船を用いた長期あるいは定期的な高層気象観測の実現が望まれる。

2. 海域と季節

大気再解析データや気象予報における北極海上の高層気象観測データの影響の現れ方は、上空の極渦の大きさに依存する。砕氷船を使用した特別観測は少なくとも以下の2つの季節に注目する必要がある。

- 1) 夏季：極渦が小さいため北極海ローカルの予測可能性研究に着目（北極海航路等）
- 2) 冬季：極渦が大きいため北極観測データの遠隔効果狙った気象予報研究に着目（中緯度異常気象等）
場所は大西洋側北極海が望ましいが、高緯度（北緯70度以北）であれば場所は問わない。

3. 内容

ラジオゾンデ観測を最低1日1回（船員等が実施する場合）、多数出来る場合は1日4回（研究者が乗船する場合）をできるだけ高緯度で実施する。定点や漂流観測が理想であるが、他のミッションも考慮すると航行形態は問わない。研究者が乗船しなくても乗組員のルーチン業務として位置づけるのが理想である（ドイツ砕氷船と同様）。また取得したデータは、気象庁経由でGTS（全球通信システム）へ通報することが、極域予測向上における最低ラインの義務である。観測終了後、データ同化システムによって、観測データを取り除いた場合の影響評価を行い、顕著現象の予測可能性研究に役立てる。

4. 期待される科学的成果

風の予報が向上すれば海氷予測モデルで使用する大気データの初期場が改善されるので、北極海航路上の数日スケールの海氷予報の向上が期待される。また、異常気象等の早期警戒にも貢献すると考えられる。定量的な影響評価により、ルーチンで実施するべき最適な観測頻度、季節などを提案し、国際協力のもと極域高層気象観測網を拡充する。この方向性はWMO（世界気象機関）の推進するPPP（極域予測プロジェクト）と合致し、国際貢献にもつながる。

5. 必要な観測資源

常設機器：ラジオゾンデ自動放球装置、ラジオゾンデ受信機一式、手放球用ランチャー、

観測データ通報に関する装置一式

消耗品：ラジオゾンデセンサ、バルーン、ヘリウムガス

冬・春・初夏にかけた大陸棚斜面域における低次海洋生態系の解明

三瓶真（広島大学大学院生物圏科学研究科）

1. 目的

温暖化が進むにつれて生物生産が高くなると予想される大陸棚斜面付近の海域において、生物生産に特に重要でかつ知見が著しく知見が不足している春・初夏および冬期の低次生態系および物質循環過程を解明する。

2. 海域と季節

季節：主に冬から春・初夏にかけて（可能ならば、夏・秋も加えて通年）

海域：大陸棚斜面周辺（可能ならば、大陸棚域、海盆域においても）

3. 内容

砕氷船（観測期間）および係留系（周年に渡って）を併用して観測を実行する。また、人口衛星を用いたリモートセンシング観測も行い調査海域周辺の海氷状況や植物プランクトンの現存量の把握等も合わせて観測を行う。

砕氷船では、油圧式クレーンやウインチが必要な大型の CTD・ロゼット採水器やプランクトンネット等を用いて、海水、植物・動物プランクトン、稚魚、バクテリアなどの試料や水文データの採集を行う。さらに ROV 等を用いた海氷直下（数センチから数十センチ）の採水やネット採集も行う。採集した試料は、直ちに船上における栄養塩類濃度分析や生物の培養・飼育実験等に供されると共に、保存用試料として固定処理される。

係留系では、高頻度での時系列データ（流行・流速や動物プランクトンや稚魚類の鉛直分布等）や沈降粒子試料の採集を行う。採集された試料は元素（CHN）分析や顕微鏡観察に供せられる。

これらの観測から得られたデータの解析を行い、生物の増殖期およびその準備時期として重要な時期であるにも関わらず、これまでに著しく知見が不足している冬期から春・初夏にかけて低次海洋生態系および物質循環過程の解明を行う。特に、**pelagic-benthic coupling** や植物のブルームと従属栄養生物による有機物利用の時間的なずれに着目して解析を遂行する。

4. 期待される科学的成果

これまでにその時期的な重要性が指摘されているが、著しく知見が不足して時期の従属栄養生物の活動を理解することにより、北極圏における低次生態系および物質循環の解明に大きく貢献する。これらの知見は、地球環境変化に伴う北極海域の生態系や物質循環過程の変化が起こる前のベースラインデータとなるので、生態系や物質循環過程の変化の予測を行うためのモデルの精度向上にも貢献する。

対象とする海域は海氷の減少に伴って生物生産が高くなると予測されている。さらに、最近の研究では、北極圏海域への有用魚種の移入も報告されている。これらのことから、調査対象海域は、将来的に良い漁場となる可能性が高く、その生態系と物質循環を解明することは、水産国家である日本の国益につながる。

5. 必要な観測資源

砕氷船、スノーモービル（可能なら雪上車も）、ゾディアック、水陸（氷上）両用ボート、CTD・ロゼット採水システム、プランクトンネット、ターナー式蛍光強度計、顕微鏡、栄養塩類測定用オートアナライザー、係留観測機材（セディメントトラップ、流速計、係留用音響観測機器、動物プランクトンプロファイラー、蛍光強度計、係留型 CTD）、高解像度ビデオカメラ

北極海における海氷変動のメカニズム解明に向けた 大気-海氷-海洋間の熱収支観測

溝端浩平（東京海洋大学）・平野大輔（国立極地研究所）

1. 目的

極域において海氷の役割は、大気-海洋間の熱交換の妨げである。しかしながら、季節海氷域へと変貌しつつある北極海では、開放水面の拡大化・長期化・海氷量の減少だけでなく、海洋に蓄えられた熱量、海洋循環場の変動もすでに観測されている。これらの現象は今後の海氷量だけでなく、大気場・海洋生態系へも影響すると予想される。そこで本研究では、1,990年代の場とは大きく変わった北極海、特に冬期北極海において、今一度、大気-海氷-海洋間の熱収支を明らかにする必要がある。

2. 海域と季節

・海域：太平洋側北極海および氷縁域

海洋循環および熱量に顕著な変動があり、ほぼ季節海氷域化している太平洋側北極海に着目する。

また最も大気-海洋間の熱収支に変化が現れる氷縁域にも焦点を当てる。

・時期：通年

3. 内容

砕氷船を用いて、太平洋側北極海において現場観測・有人観測ステーションの展開を行い、結氷期の大気-海氷-海洋間の熱収支を広域で捉える。また大定点を海氷減少域に設定し、砕氷船越冬観測による大気-海氷-海洋間の熱収支観測を実施する。春季～結氷期前については既存耐氷船で同様の観測を行う。

以上の観測から、海氷運動・海洋潮汐・大気擾乱による海洋から大気・海氷への熱輸送、およびそれらの結氷・融解過程への寄与、これらに伴う海洋混合層・混合層内貯熱量の時間変化を定量的に明らかにする。

4. 期待される科学的成果

これまで夏～結氷初期までの観測値で推定していた冬季の場が明らかになり、大気・海洋にある熱が海氷変動に与える寄与率を明確にすることができる。また観測の不十分な冬季北極海での取得データは、衛星観測・モデル再現結果の検証に加えて、数値モデルの初期条件・境界条件の改善・データ同化に貢献するもので、気象予測や北極海航路予測の精度向上が期待される。

5. 必要な観測資源

CTD、ADCP、TurboMAP、EM、AUV、ITP、ラジオゾンデ、マルチビームソナー

海氷融解および結氷に伴う動物プランクトン群集の応答

松野孝平（国立極地研究所）

1. 目的

近年、西部北極海において急激に海氷が衰退していることが報告されている。海氷分布の変化は海洋循環や躍層深度に変化をもたらし、それに伴い一次生産量が変化する。この海氷衰退に始まるボトムアップ効果が動物プランクトン群集にも影響を与えると予想されるが、詳細は不明である。具体的には、春季の海氷融解と秋季の結氷における海洋環境変化による動物プランクトン群集の応答に着目する。北極海に分布する多くの動物プランクトンは海氷と密接に関連した生活史を持っているため、今後の北極海において融解および結氷のタイミングが変化することは動物プランクトンの生活史タイミングに影響を与えると予想される。本研究では、海氷融解および結氷タイミングの変化が動物プランクトンの生活史（空間分布、生理活性）に与える影響を評価する。

2. 海域と季節

海氷衰退が進行している西部北極海において海氷融解の始まる前の春季と結氷が開始する秋季に集中的に観測を行う。

3. 内容

春季と秋季に西部北極海の水平移流の影響の少ない海域（海盆地）にて定点観測を行う。それぞれの季節で1か月ずつ行う。定点観測を始める前に海盆地の広域観測を行い、海氷が融解する可能性の高い海域に定点を設ける。定点での観測は、水深1000 mまでのCTD観測、VMPSによる0-1000 m間の動物プランクトン鉛直多段採集、リングネットによる実験用生鮮試料採集を1セットとして1日4回行う。VMPS採集試料を用いることにより、動物プランクトンの時空間的な変動が評価できる。リングネット試料によって、動物プランクトンの生理的な経時変化を評価できる。具体的には、船上での摂餌実験、産卵実験、呼吸実験、消化管色素量測定、陸上実験室にて各重量（湿重量、乾重量、有機物含有量、CHN）測定、油球組成分析を行う。

4. 期待される科学的成果

海氷衰退が著しい西部北極海において海氷と動物プランクトンの関係を正確に評価することにより、海氷融解および結氷に始まる海洋環境変化がボトムアップ的に動物プランクトンへ影響を与えるプロセスの解明が期待できる。それにより、今後、北極海の開放水面期間が増大したときの動物プランクトン群集の応答を予測でき、さらに高次の海洋生態系への影響評価にもつながる。

鉛直的な物質循環の側面から考えると、動物プランクトンによって排泄された糞粒や死骸は深層への重要な炭素フラックスである。表層における動物プランクトンの生理活性（摂餌速度、排泄速度）を研究することは、開放水面期間が長くなり、植物プランクトン量が増加した際の物質循環変化の評価に資する知見となる。

また、動物プランクトン生態学的には、未だ解明されていない謎（春季に鉛直移動を開始する要因）に迫る解を船上実験により得られる可能性がある。

5. 必要な観測資源

CTD、VMPS、A フレーム、ムーンプール（海氷の中でも深層までの CTD および VMPS 観測ができる必要がある）。

海氷予測のためのモデルと観測

小野 純（海洋研究開発機構）

1. 目的

極域海洋特有の海氷とその変動は、地球規模での気候変化のみならず物質循環や海洋生態系に影響を及ぼす要因の一つである。とりわけ近年の夏季北極海では急激な海氷減少が進み、日本を含む中緯度気候への影響や北極航路の利用という観点から、科学的・社会的関心を集めている。今後予想される海氷変動とそれともなう気候変化や北極航路上の海氷分布に対応するためには、信頼性の高い海氷予測情報が必要となる。先行研究によると北極海の海氷面積は数ヶ月の予測スキルを持っているが、より長期間にわたる海氷予測の精度を高めるためには、観測が不十分な海氷厚や海洋亜表層のデータ取得・解析とそれに基づいた物理過程を取り入れたモデル構築・改良が必要である。本提案では、海氷に焦点を当てた砕氷船観測案について述べる。

2. 海域と季節

海域：北極海の季節海氷域・多年氷域

季節：通年、結氷期から融解期にかけて

3. 内容

雪・海氷の厚さ・内部応力など（海氷上の気象、海氷下の水温・塩分の鉛直プロファイル）を自動で取得・送信可能な観測装置を季節海氷域と多年氷域に数点設置し、ラグランジュ的な通年観測を実施する。これに加えて観測航海中に、ヘリコプター搭載型 EM による海氷厚観測をできる限り広域にわたって実施する。また、着目した海氷域の氷上において、小規模スケールで局所的に起こっているリッジング・ラフティングの割合、内部応力、メルトポンド、アルベド、雪・海氷の厚さを観測する。得られた海氷厚データは同化手法を用いてモデルの初期値に利用し、各種観測データは海氷の変形・移流・融解・成長過程のパラメタリゼーションの開発・改良に役立てる。

4. 期待される科学的成果

これまで理解が不十分であった海氷過程が明らかとなり、その知見に基づいた海氷モデルの改良が可能となる。改良された海氷モデルを海洋海氷結合モデルあるいは大気海洋結合気候モデルに実装し、海氷のデータ同化手法と組み合わせることにより、数日スケールの短期および季節から十年スケールの中長期にまたがるシームレスな海氷予測の精度向上が期待される。これにより、北極航路利用のための計画立案に加えて、世界気候研究計画の気候モデル間相互比較プロジェクトおよび IPCC 第六次評価報告書の作成に貢献し、気候研究コミュニティにおける日本の存在感を示すことにもなる。また、海氷厚データはモデル開発・改良のみならず、日本が得意とする衛星リモートセンシング観測の技術と合わせることで海氷厚アルゴリズムの開発・改良にも役立つ。

5. 必要な観測資源

- ・海氷設置型の海氷大気海洋観測装置（ITP、Mass Balance Buoy、Seasonal IMB Buoy のようなもの）
- ・ヘリコプター
- ・電磁誘導式氷厚計（EM）
- ・レーザー高度計
- ・光学式ひずみゲージ
- ・アルベド測定装置

南極沿岸域における海洋—海氷—氷床相互作用

青木茂（北海道大学低温科学研究所）、田村岳史（国立極地研究所）

1. 目的

南極の氷河氷床、海氷、海洋をはじめとする気候システムは、地球規模の海水位、海洋深層循環、気候形成に重要な役割を果たしている。西南極域においては、氷床の潜在的な不安定性がとくに指摘されており、現在の氷床流出加速における海洋の役割が注目されている。一方、東南極域は活発な海氷生産とリンクした南極底層水の起源域を有する重要な海域であるが、場所による相互作用システムの相違や、システム全体における十年規模以上の長期的変動の存在が明らかになりつつある。本研究では、現場観測により、東西南極における気候サブシステム間相互作用の海域間差異の解明と十年規模変動の実態把握、変動モニタリングアレイの確立を目指す。

2. 海域と季節

南極海沿岸域（大陸棚上～大陸棚斜面）・夏期

3. 内容

海洋 - 海氷 - 氷床観測の基礎的手法の進展の上に、遠隔操作無人探査機(ROV)や自律航走探査機(AUV)をはじめとする無人観測装置および測地学的手法を活用した新たな分野横断的観測を加えることで、南極沿岸域を中心とした総合的な観測を実施する。

砕氷船をプラットフォームとして、南極沿岸陸棚斜面および大陸棚上における海洋観測を実施する。陸棚斜面および大陸棚上をクロスする観測セクションについて通常の船舶 CTD/採水海洋観測を実施する。氷河・棚氷の近傍セクションでは、ROV・AUV を用いた海洋、海氷下、棚氷下における海洋観測および海底地形観測を実施し、氷河融解水の分布特性を調査する。陸棚、陸棚斜面上やポリニヤ域に海底係留式自動浮沈水温塩分測定ブイ等を設置し、通年観測を行う。また、大陸上には無人気象観測装置 AWS を設置し、気象データを取得する。

砕氷船によっても直接アクセスの困難な氷海域においては、ROV・AUV や無人観測装置を利用した海洋観測および海底地形調査を実施する。ROV の導入により、白瀬氷河等、氷海域における海底地形の情報を取得するとともに、水温、塩分、ビデオカメラ観測を実施することで、近傍海域の基礎的な海洋情報を取得し、冰山・定着氷氷塊底面の情報から氷塊の形成過程について調査する。AUV を展開することにより、氷河下を含む広域で3次元的水温・塩分プロファイルを取得する。また自動水温塩分測定ブイは定着氷下の水温・塩分の鉛直分布を自動的に観測するブイシステムであり、二年程度の時系列運用が可能な係留測器である。観測データは人工衛星により送受信を行う。ヘリコプターなどの機動力を活かし、氷河上への測地観測機器の展開、および氷河下の観測を行うプラットフォームの作成を同時に推進する。



観測の概念図

4. 期待される科学的成果

本研究の実施は、海洋の構造や変化の把握や南極気候システムにおける相互作用メカニズムの理解に貢献するのみならず、分野横断的な異なるアプローチの融合を加速する。海洋と雪氷、測地といった分野を融合した現場観測の実施により、現場観測レベルでの協同のみならず、人工衛星観測へグラウンドトゥールズを提供し、棚氷を組み込んだ気候モデルなど現在発展しつつある数値実験手法の検証、パラメタリゼーションにも資する。また、氷河下の生態系の把握や、古気候学、積雪をはじめとする大気科学へも知見を提供する。本研究の実施は、特に無人観測をはじめとする新たな機器開発および研究展開を促進する。こうした測器をベースにした、より機動力の高い観測機器の開発につながる。これにより、従来では不可能な観測密度を実現できると同時に、夏季観測のみで通年観測の多くを実施できることから、人的資源への観測負荷の低減につながる。また無人観測装置の開発により、国際的な広域観測網の構築という研究展開へつながる発展性がある。

本研究の実施は、ロジスティクスの面における効率化および機動力向上へつながる。海氷域の変動メカニズムの把握は、長期的な海氷状況の予測への道を開き、より効率的・長期的な観測事業プランニングに貢献し得る。

5. 必要な観測資源

- 5000m アーマードケーブル・ウィンチ
- ムーンプール
- CTD/RMS
- AUV/ROV
- サイドスキャンソナー
- ヘリコプター

砕氷船を活用した大気・エアロゾル観測案

原 圭一郎（福岡大）、南極エアロゾル研究会

1. 目的

夏季極域では海氷の融解により海洋（開水）域が広がり、開水域から海塩粒子や海洋生物活動起源のエアロゾル前駆ガス成分が大気へ放出される。エアロゾル前駆物質は、新粒子生成・粒子成長を経て、エアロゾルとしての系を維持させる役割を果たす。冬～春季では、季節海氷域からの海塩粒子の放出に加え、ガス状の高反応性ハロゲン化合物も放出される。極域で一次放出あるいは大気中で二次的に生成するエアロゾルに加え、人為起源物質、BC(ブラックカーボン)、ダストなどが中緯度域から長距離輸送により供給される。エアロゾルは大気中の放射収支に直接的に影響するだけではなく、雲を介して間接的に影響を及ぼしえる。また、BC やダストなどの吸収性エアロゾルの乾性・湿性沈着により、雪氷圏（海氷面含む）の表面アルベド変化も大気放射収支影響を与えるだけではなく、海氷・積雪の融解につながる可能性も指摘されている。また、エアロゾル粒子およびエアロゾル上の不均一反応により生成する高反応性ガスは、大気化学過程においても重要な役割を果たす。これらの素過程を理解し、その影響を定量的に評価するためには、大気中の物質循環過程や空間分布を捉えることが重要となる。極地での大気観測はこれまでも進められてきてはいるものの、海氷域での観測が非常に限定的であり、観測的知見が著しく不足しているのが現状である。ここでは、砕氷船を活用した海氷域の大気・エアロゾルの観測案を紹介する。

2. 海域と季節

観測対象とする領域は、北極海および南極海の開水域～季節海氷域～定着表域で、同一海域で各季節の観測を実施するのが理想的である。南極域に関しては、昭和基地沖で実施に砕氷船を移動し、船周辺と昭和基地の同期観測を行うのが望ましい。

3. 内容

船上でエアロゾルなどの大気微量成分の直接観測を連続的に行ない、海洋（開水）域～季節海氷域～定着表域上の成分濃度や物理特性（数濃度・粒径分布・光学特性など）の水平分布を捉える。海氷状況次第ではあるが、海氷上に降り、海氷上のフロストフラワー・ブラインのサンプリングや、海氷表面・積雪⇄大気間の交換過程の直接観測を行う。さらに、海洋域や海氷域で、大気微量成分や雲の空間分布、大気鉛直構造を捉えるために、飛翔体（自由気球・係留気球・ヘリコプター・無人機など）を利用した直接観測、砕氷船に設置した測器によるリモートセンシング観測を行う。また、定期的に砕氷船による航行が現実となれば、砕氷船で観測を行えない期間の観測を補完するために、定着氷上に無人観測機器の設置や定期保守も検討する。人員・物資輸送にはヘリコプターの活用も想定する。

砕氷船に搭載が想定される観測機器を下記に列挙する。

直接観測：OPC (Optical Particle Counter), SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer), CPC (Condensation Particle Counter), Aethalometer, Nephelometer, AMS (Aerosol Mass Spectrometer), アルベドモニター、消散係数モニター、エアロゾルサンプラー、水蒸気同位体観測装置、PTR 質量分析計、ゾンデ放球装置、ゾンデ受信機・アンテナ、冷凍庫、クリーンベンチ、超純水製造機など

リモートセンシング：LIDAR, Sky radiometer, MAX-DOAS, マイクロ波放射計、全天カメラ、雲レー

ダー、シーロメータなど

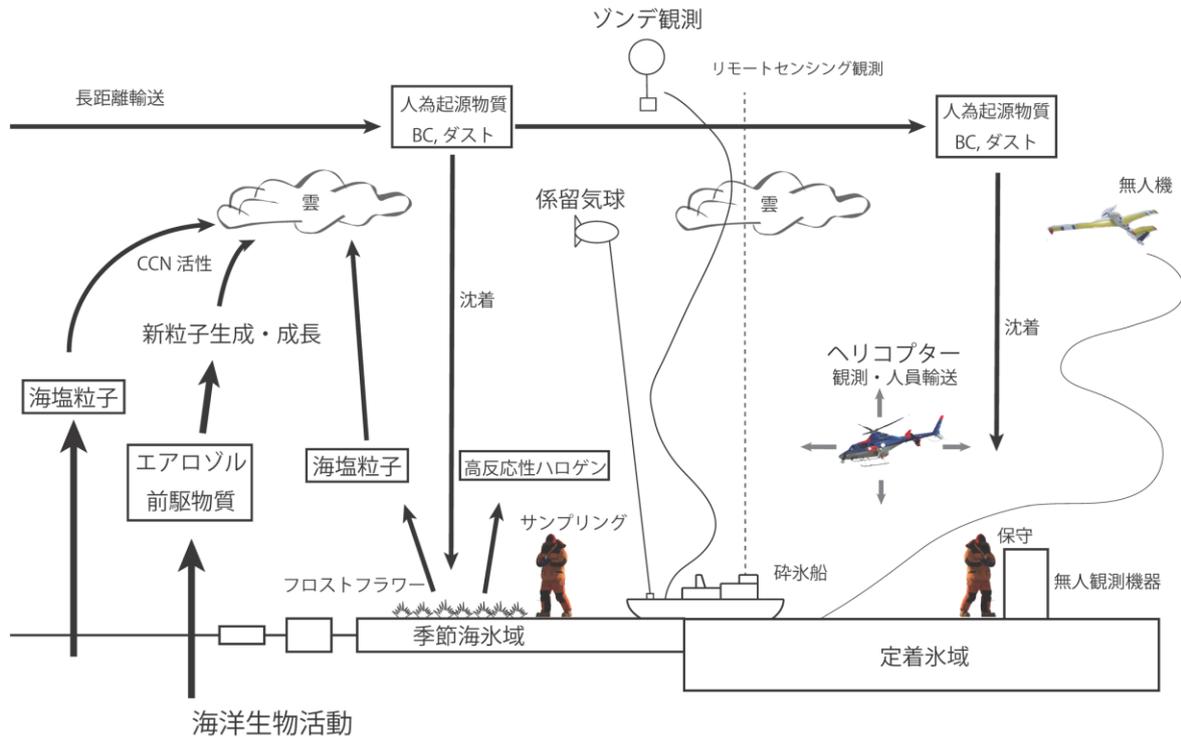


図1 砕氷船を活用した大気・エアロゾル観測の概要

4. 期待される科学的成果

砕氷船の利用により、これまでに直接観測データが得られていなかった海氷域（特に冬季）での観測データを入手することにより、大気微量成分の物質循環過程、微量成分が関連する大気過程（化学・雲など）、大気放射収支の理解を深化させることが可能となる。また、これらを取り扱うモデル解析のための重要な検証データとして活用することも可能となる。

5. 必要な観測資源

大気・エアロゾル観測に必要な船舶側の設備としては、下記の項目があげられる。

- ・観測室は艦橋最上部に設置し、艦橋上部の甲板上 3m 程度の位置から直接観測室へ観測大気を導入する構造にさせる。大気取り込み口は高くなるため、タワーにする。艦橋部以外にも、大気試料の観測・分析用の化学ラボなどがあることが望ましい。
- ・艦橋上部甲板に観測機器・サンプラーなどを設置するためのアンカー用レール・ボルト留め用ねじ穴・電源を数か所に設置する。
- ・露天甲板に設置できないリモートセンシング観測機器のため、観測室上部に天窗を設置する。
- ・艦橋上部では観測が行いにくい大気成分の観測や大型機器を使用した観測のため、甲板上に観測用コンテナを設置できる設備が必要となる。
- ・高頻度のゾンデ観測のための自動放球装置の設置、ポンペを固定できるスペースが必要である。
- ・特殊ゾンデ観測のための空間（概ね 5m 四方の立体空間）が欲しい。
- ・大気微量成分観測のため、煙突（排気部）の位置を調整してもらいたい。
- ・雲レーダーの設置。

南極底層水の混合

勝又 勝郎 (JAMSTEC)

1. 目的

地球システムにおける海洋の重要な役割は熱・物質の子午面輸送である。海洋の子午面循環は南極周辺陸棚域と北西大西洋における表層水の深層への沈み込みのみが下向きの運動量をもつレグであり、それ以外の海域では湧昇をする。近年の理論・数値モデルの研究により、深層水が沈み込む際に周囲の海水を連行する混合量が子午面循環全体におおきな影響を与える可能性が指摘されている。ところが、深層水の沈み込みは冬季の氷下という観測困難な時期・場所で生じるうえに、空間的にきわめて局在していると考えられ実際の観測はほとんどなされていない。

2. 海域と季節

南極大陸周辺のポリニヤ内から大陸斜面を経て深さ 4000 m 程度の斜面下部まで。冬季を中心に通年で観測。

3. 内容

数値モデルなどから予想される深層水の流路に沿って係留乱流系を設置する。それにより鉛直混合の季節変動を含めた時系列を観測する。より詳しい深層重力流の動態の理解の為に、冬季を含め出来るだけの頻度で採水を行う。採水は通常の CTD/O₂ センサを併用し CFC, SF₆, 塩分、酸素などのトレーサの観測を目的とする。冬季の観測には砕氷船が必要。また現在の技術では通年の乱流観測の為に年数回の係留系交換が必要となる。このためにも砕氷船が必要。

4. 期待される科学的成果

海洋の子午面循環の力学の解明。現在、子午面循環を支配する要因としては風・潮汐・海底地形などが挙げられているが唯一定量的な直接観測が出来ていないのが南極海域における深層水の混合量である。このブラインドスポットを解消する事で全球をめぐる子午面循環像を閉じる事ができる。また南極域における鉛直混合量は栄養塩や二酸化炭素の収支を考える際にも必要な量であり、生物海洋学や炭素収支見積もりなどにも有用となろう。

5. 必要な観測資源

係留系設置・回収の為に A フレーム、十分な作業甲板面積、CTD と 36 本掛けロゼッタ採水器を扱えるアンチローリングヒープモーション付きのクレーン、CFC などの微量気体成分は採水後できるだけ早く分析する必要があるため採水場所に近接した化学分析室。

南極海氷域に生きる植物プランクトンの変動機構

飯田高大（極地研）・宮崎奈穂（海洋大）

1. 目的

南極海を象徴する海氷中または氷下には、海氷に依存した生態系が形成されている。その主要な構成者であるナンキョクオキアミは世界で最もバイオマスの多い種の一つであり、南極海の豊かな生態系を支えている。その動物プランクトンの餌となるのは植物プランクトンである。季節的に発達・消失を繰り返す海氷域では、さまざまな種類の藻類種が氷の間隙に分布するか、氷底部に付着して生活している。これらの海氷に依存して生活する微細な藻類の密度は光周期に依存しており、光合成によって生産される物質は、海氷の融氷に伴って水柱や海底に供給される。このように、海氷生態系の物質循環は、氷の中に生きるアイスアルジと浮遊して生活する基礎生産者の種類や大きさ、量に依存している。海氷融解の際に生じる微細藻類の大増殖「氷縁ブルーム」については、衛星リモートセンシングによって鮮明に捉えられる場合もあるが、その形成種や形成機構については未だに謎のままである。その理由のひとつには、本海域へのアクセスが難しいことや、砕氷機能を有する研究船の数が少ないことが挙げられる。本研究では膨大な炭素を固定し、南極海生態系の基礎となる植物プランクトンの形成機構と変動を明らかにすることを目的とする。

2. 海域と季節

南極海季節海氷域、特に世界的にデータが少なく、かつ、日本の強みを出すため、日本が長年のデータやノウハウ、オーストラリアやフランスとも強い関係を有するインド洋区を中心とする。

3. 内容

南極大陸を取り囲む海氷は、海水が冷却される晩夏から秋にかけて、季節的に生成される。生成した氷はどんどん外洋側へと追い出されるため、結氷履歴の古い氷が北側へと伸長する。また、氷の内部では、海水中の水成分のみが凍ることによって生じる高塩分のブラインポケットや高塩分水を氷の外へ排出するブラインチャンネルが発達し、海水中に含まれていた微細な生物は氷の結晶部分に閉じ込められたり、ブライン部に集積したりするとされる。このようにして微生物は越冬し、春季の光の増加に伴って氷内部での生物活性が高まると考えられる。この過程について、通年観測により、結氷期に、いつ植物プランクトンが海氷内に取り込まれるのか、その際の生理活性はどうなのか、越冬中の生存戦略はどうなのか、日射量の増加とともに、いつ生理活性が増加するのか等を測定する。また海水中にセジメントトラップを設置することで、炭素フラックスの測定も同時に行う。

4. 期待される科学的成果

砕氷船を用いた時系列の観測が可能となれば、物理・化学的な環境要因（たとえば、密度や微量栄養素など）と微細藻類種の生息環境や、炭素などの物質循環の把握も可能となる。さらに、ナンキョクオキアミ以外の2次消費者（ハダカイワシやクラゲ類など）や、それを捕食する高次捕食者（ペンギンやアザラシなど）を含めた、南極海の一般的な海氷生態系（オキアミークジラの系は特殊な生態系とする）の全貌が解明されると期待される気候変動との関係が明らかになれば、IPCC レポートなどにも引用されるなど、地球科学全体への波及効果にもつながる。

5. 必要な観測資源

厳冬期でも海氷下にアクセスできるムーンプール、海氷に容易に降りることが出来る低い観測舷、低温実験室（マイナス 20°Cープラス 5°C程度）、海水循環培養装置、大型係留系等を吊り下げ出来る A フレーム、その他一般的な海洋観測機器（CTD 等）

砕氷船を用いた冬季南極沿岸ポリニヤ観測

平野 大輔 (国立極地研究所)、田村 岳史 (国立極地研究所)、嶋田 啓資 (東京海洋大学)

1. 目的

近年、南極海では海氷生産量の激減 (Tamura and Williams et al., 2012)、氷床の崩壊等が報告され、海洋の淡水化が着実に進行している (Kusahara et al., 2011b 等)。南極大陸縁辺海域は、全球海洋の中で最も重い南極底層水が作られる重要な海域である (Orsi, 1999)。この南極底層水の生成量が近年の温暖化に伴い減少し、深層循環の駆動力が弱化している事を示唆する報告は数多い (Rintoul, 2007 等)。しかし、この南極底層水の形成・流出に関する基本的な物理過程については、局所的・定性的にしか明らかになっていない。本提案では、南極底層水の起源水が生成される沿岸ポリニヤ周辺海域で、特に観測データが圧倒的に不足している秋～冬季にかけて集中的に観測を実施することにより、南極底層水の生成量・沈み込みプロセスを定量的に評価し、その形成・変動の物理機構を明らかにすることを目的とする。

2. 海域と季節

海域：東南極沿岸ポリニヤ域 (メルツポリニヤ・ビンセネスポリニヤ・ケープダンレーポリニヤ) 周辺
時期：通年および秋～冬季

3. 内容

ポリニヤ域および高密度陸棚水流出域にて係留系を展開し、通年における高密度水形成・変質プロセスを捉える。これに加え、海氷が最も活発に生産される秋～冬季には、砕氷船によりポリニヤ域と周辺海域における詳細な水塊・流速・乱流場の空間分布を把握する集中観測を行うことで、高密度陸棚水の形成・変質・循環プロセスを明らかにし、一連の南極底層水生成プロセスの定量的な解明に繋げる。

4. 期待される科学的成果

未だ不明な点が多く残されている東南極沿岸ポリニヤにおける南極底層水生成プロセスの定量的詳細な実態把握に資する。これは、領域モデルの再現性を確立するパイロットケースとなりうるだけでなく、気候モデルの再現性・信頼性の向上にも貢献しうる。最終的には、全南極における南極底層水生成プロセスの定量的解明に対して重要な知見となると期待される。

5. 必要な観測資源

CTD、ADCP、IPS、乱流計 (TurboMAP、VMP 等)、AUV、マルチビームソナー

砕氷船を用いた基礎生産者の観測

藤原 周 (極地研)

1. 目的

北極海では海氷の面積、および絶対量が減少していることから、融解メカニズムおよび結氷メカニズムの双方に変化が生じている。その結果、基礎生産者の季節性に変化がもたらされ、春季ブルームのタイミングやブルーム形態（開放水面で起きるのか、海氷下で起きるのか）、秋季ブルームの発生頻度の増加が報告されている。本研究では、海氷の存在と密接に関係する北極海における植物プランクトンの春季および秋季ブルームの発生メカニズムと、高次生物によるブルームの利用方法を明らかにすることを目的とした。

2. 海域と季節

陸棚域（水深 100m 以浅）。海氷融解季（4-6 月）および結氷季(10-11 月)。

3. 内容

CTD ロゼット採水器による採水サンプルの取得

各種採水・分析項目

- ・ 栄養塩濃度
- ・ 植物プランクトン色素組成分析
- ・ 植物プランクトン検鏡分析
- ・ フローサイトメトリー
- ・ 基礎生産力
- ・ 光吸収係数（溶存有機物、粒状物質）

光学観測

- ・ 放射照度分布計測
- ・ 後方散乱計

高次生物試料

- ・ プランクトンネットサンプリング
- ・ 動物プランクトン摂食実験
- ・ ボトムトロール

遠隔観測

- ・ ドリフトブイを用いた海氷下光環境、CTD 観測
- ・ AUV(Autonomous Underwater Vehicle)を用いた CTD 観測および海氷下光環境観測

上記観測項目を、開放水面域と海氷下で起こる 2 種の春季ブルームについて実施し、ブルームのメカニズムの解明とともに、基礎生産者の生物量、群集組成、基礎生産力、生理活性がブルーム発生形態に応じてどう異なるかを解明する。また、高次捕食者は異なるブルーム形態に対してどのように利用するのか、群集組成や活性を調べる。特に、春季ブルームの発生要因には水中の光環境の把握は非常に重要

であるため、ドリフトブイや AUV を用いての海氷下光観測を伴った CTD 観測は貴重な知見をもたらす。一方で、近年発生頻度が増加している秋季ブルームについても、上記項目の一部を実施し、結氷期前にどのようにしてブルームが発生し、越冬前の高次生物にどのように利用されるのかを明らかにする。以上について、広域観測により空間的な一般性を評価し、定点観測により詳細な時間的変化の評価を目指す。目的の達成には他国船との協力体制を整え、経年的な観測が重要である。

4. 期待される科学的成果

北極海の海洋環境変動に伴って起こる生態系の変動により、優勢な生物種のシフトを引き起こす可能性を大いに持つ。特に植物プランクトンのブルームは、それをエネルギー源として利用する動物プランクトンなどの捕食者の成長や再生産に非常に重要であるため、海氷分布と密接に関係して発生する春季ブルームの発生メカニズムやタイミング、ブルーム期間中の基礎生産者の挙動（種組成、生産力）を把握することは不可欠である。基礎生産者が海洋環境に対していかなる応答を示すかは、食物網を介してのエネルギー転送を経て高次捕食者の分布や生物量に確実に影響を及ぼすものであるため、将来北極域の生態系が晒されるリスクの評価や将来予測、人類が生物資源として利用する生物の資源管理のためにも不可欠な知見を提供するであろう。

5. 必要な観測資源

- ・ 海氷ドリフトブイ（放射照度センサー、蛍光光度計、吸収計、可視域カメラ付き）
- ・ AUV（放射照度センサー、吸収計付き）
- ・ 後方散乱計
- ・ 粒径分布測定計

北半球海洋の物質循環・生物生産システムにおける北極海の役割の解明

西岡純（北海道大学 低温科学研究所）

1. 目的

北極海とその周辺海域を含めて、海氷の存在が物質循環や生態系に与える影響を理解することは、海氷減少が及ぼす影響や範囲を精査する点で重要である。また、北極海を自国の領海に持たない我が国にとっても、生物生産や水産資源を通して直接関わる問題を含む可能性があるため、重要な意義がある。このため、北極海とその周辺海域に於いて、海氷の生成や融解に関わる生物地球化学的プロセスを抽出し、北極海が北半球全体の物質循環や生態系システムに与えるインパクトを評価する必要がある。

2. 海域と季節

北極海全域の季節海氷域およびその周辺海域、全季節を通じた(カバーした)観測。

3. 内容

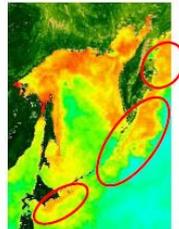
海氷の生成と融解は、北極海で起こる物質循環や生物生産に多大な影響を与えている。また、季節海氷域の拡大は、融解水・DSW・河川水の物質輸送を通して、北極海周辺の海洋の物質循環や生物生産にも大きな変化を与える可能性がある。しかし、海氷が北極海の物質循環や生物生産に果たしている役割は未だ十分に理解されているとは言えない。また、北極海と極域周辺への影響をリンクさせて物質循環を捉えた研究はほとんど行われていない。

北極海の家氷は大陸棚から多量の物質を取り込み、海盆域を含む北極海内部の広範囲に移送している。また、春季に海氷は融解水となり、表層の循環に乗って流れ出し、周辺海域表層の栄養環境に広い範囲で影響する可能性がある。これら周辺海域の影響を考える上でも、北極海内部で、結氷時にどのように物質が海氷にとりこまれ、海氷融解時にどのような化学的特徴をもつ水塊が形成されるのか、またどのような範囲にその水塊が影響を及ぼしているのかを明らかにする事が重要となる。そのためには、北極海の秋季の海氷形成期、冬季海氷結氷期、海氷融解期のすべての季節をカバーした海氷観測および海氷下の生物地球化学的な海洋観測を実施し、海氷の生成と融解が、海洋の水塊構造、栄養塩など化学的水質、また植物プランクトンブルームの分布に与える影響を時空間的な情報を踏まえて把握する必要がある。

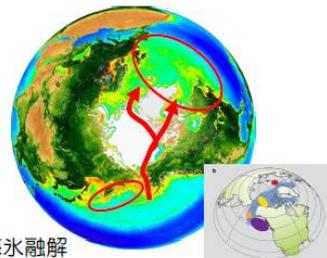
極域と亜寒帯域の相互作用：極域が周辺海域に及ぼす影響に着目した研究のターゲット



★オホーツク海水融解
→ 沿岸親潮・親潮へ



★北極海海水融解
→ 北部大西洋へ
→ 大西洋HNLCにならない理由？



★ベーリング海水融解
→ 東カムチャツカ海流へ

Yamamoto-kawai et al., 2009

➤ 極域・亜極域の海水の融解水が周辺海域の栄養物質環境（鉄・栄養塩）や生物生産に与える影響？

4. 期待される科学的成果

現在激変している極域海洋と亜寒帯域を含む周辺海域とのつながりを考慮し、地球システムの中での北極海の位置づけを再構築することが可能になる。北極海を自国の領海に持たない我が国にも直接関わる極域から亜寒帯域におよぶ栄養物質移送と水産資源への影響予測が可能となる。

5. 必要な観測資源

- ベクトラン製アーマードケーブル+CTD-カローセル式多層試料採取装置(CTD-CMS)24 本掛け(アーマードケーブルウインチは少なくとも2つ)
- CTD格納採水室、船内常設クリーンルーム(常温および低温の両方)
- 恒温化学実験室
- バスケット観測(海氷上にバスケットを吊るした観測)用クレーンなどの設備
- コンテナラボの設置スペース
- クリーン採水可能なCTD採水用ムーンプール

北極海と大気・陸の間の物質交換：その変化と行方

川合美千代（海洋大）・西岡純（北大）・野村大樹（北大）・
大木淳之（北大）・山下洋平（北大）・渡邊豊（北大）

1. 目的

北極海での温暖化や海氷減少は、地球規模の大気や海洋循環等の環境変化を通じて、栄養物質循環、生物生産等に影響を及ぼし、結果として日本周辺の気象・気候、農業・水産業等、我々の生活に大きく関わる問題となりうる。しかし、北極海研究の根幹をなす学術砕氷船を日本が保有していないため、日本への諸影響を評価するのに欠かせない観測情報を独自に得ることができないのが現状である。そのため、北極海における物質循環機構の解明が進まず、北極海の環境変動および日本周辺域への諸影響を予測することができない状況にある。北極海における物質循環過程ならびに変動機構を解明することは、日本国民が豊かに生活する場を将来にわたり確保する点で国益に合致するものであり、早急に取り組まなくてはならない重要研究課題として位置付けるべきである。そこで、北極海の陸・大気・海洋間の物質交換過程とその変動機構を解明するため、自国の学術砕氷船を導入して先端的分析技術を駆使した観測を実施する。これにより、現在進行している温暖化や海氷減少がもたらす環境変化が、全球規模の物質循環、生物生産、気象・気候に与える影響を予測して、日本の国益に還元することを目的とする。

2. 海域と季節

河口域、大陸棚の集中観測、海盆域を含む広域観測、全季節をカバーした観測

3. 内容

本研究では、砕氷船を用いた現場観測を通じて、温暖化と海氷減少に対する北極海と陸・大気間の物質交換過程の応答を定量的に評価する。これは、北極環境研究における喫緊の課題として位置付けられ、日本の国益に合致するものである。

具体的な研究課題としては、

- 河川からの物質流入および河口域での除去過程とその季節・経年変化
- 海氷減少による大気・海洋間の物質交換量の変化
- 海氷融解・生成による大気・陸および海洋起源物質の変質および輸送経路の変化とその生物への影響
- 海氷減少に伴う海洋表層での光化学反応の変化
- 海洋起源エアロゾル生成量の変化と大気への影響
- 陸起源有機物・炭酸塩による海洋酸性化への寄与
- 陸・大気由来の栄養物質の北極海での生物生産への寄与
- 陸・大気由来の栄養物質の北極海から大西洋への流出量の変化
- 北極海の水温・塩分の変化に伴う大陸棚堆積物-海水間相互作用（特に栄養物質の循環）の変化などが挙げられる。

本課題の目的達成のためには、学術砕氷船をベースに、海水域を含む海洋・大気の総合的な観測が必

要である。河口域、大陸棚、海盆域を含む北極海の全エリアで、河川水および大気由来物質の分布と移送・除去プロセスを明らかにするための化学・生物・物理観測を行う。海盆域では特に、海氷の有無による大気-海洋間の物質交換への影響、海氷を介した物質の輸送や変質過程に着目した観測を行う。また、海氷の減少にともなう陸・大気由来物質の量・質の変化に対する生物応答を調べるための現場実験をベースにした研究を実施する。陸・大気由来物質の流入には大きな季節変化が予想されるため、通年観測も重要である。さらに、自国の学術砕氷船を持つことにより、これまでに日本の海洋学で培ってきた世界最先端の微量金属、微量気体、同位体比などの化学分析技術を駆使した北極海研究の展開が期待でき、これらの分野で世界をリードすることに繋がる。そして、これまで極域研究では困難であった分析機器の持ち込みや試料の持ち帰りが可能になるため、観測データの飛躍的な増強が可能となる。

4. 期待される科学的成果

本研究は、海洋だけでなく陸や大気を含めた観測を総合的に実施することにより、現在進行しつつある温暖化や海氷減少がもたらす環境変化が、北極海や周辺海域の物質循環、生物生産、気象・気候に与える影響を把握することが可能となる。

5. 必要な観測資源

- ベクトラン製アーマードケーブル+CTD-カラーセル式多層試料採取装置(CTD-CMS)24本掛け
(アーマードケーブルウインチは少なくとも2つ)
- CTD格納採水室、船内常設クリーンルーム(常温および低温の両方)
- 恒温化学実験室
- 低温(冷凍・冷蔵)化学実験室(採取した堆積物コア、海氷コア等の処理をするため)
- バスケット観測(海氷上にバスケットを吊るした観測)用クレーンなどの設備
- コンテナラボの設置スペース
- クリーン採水可能なCTD採水用ムーンプール
- 堆積物コア採取のための設備
- 表層水モニタリングシステム(温度、塩分、二酸化炭素、酸素、クロロフィル等)
- 大気エアロゾル観測・大気サンプル採取するための設備

氷縁ブルーム発生メカニズムの解明

平譯 享 (北海道大学大学院水産科学研究院)

1. 目的

極域における氷縁ブルームは、海氷融解水が海面を覆うことにより成層し、植物プランクトンが光を十分に受けられる表層に留まることが可能となることが成因とされる。しかしながら、ブルームは海氷縁で一様に発生せず、さらに海氷下の現象については知見が少なく、ブルームの成因はより複雑なものと考えられる。本研究では、砕氷船で複数の氷縁付近に長期間留まり、氷縁の物理、化学、生物学的変化を連続的に捉え、氷縁ブルーム発生メカニズムの解明することが目的である。

2. 海域と季節

北極海および南極海、春季-初夏。

3. 内容

海氷縁と直行するように、海氷に覆われた海域から開水面にかけて複数の観測点を設定し、時系列的に（1日-数日毎）CTD および採水、光観測、係留観測等を実施する。また、過去の衛星データを参考に、氷縁ブルームが発生する頻度の高い海域を低い海域の両方に観測点を設置する。

4. 期待される科学的成果

氷縁ブルームによる大量の基礎生産は、夏季に爆発的に増殖する動物プランクトンとそれを利用する高次栄養段階の生物の基盤となっている。そのため、その発生メカニズムの解明は、海氷生態系変動の解明に大きく寄与する。

5. 必要な観測資源

CTD/CMS、ROV または AUV、係留系（セジメントトラップ）、放射計

南極海の結氷現象に関わる物質循環研究：大気―海洋間の気体交換・海洋深層への物質輸送過程の定量評価

野村大樹（北大）・川合美千代（海洋大）・渡邊豊（北大）・西岡純（北大）・
橋田元（極地研）・田村岳史（極地研）・大島慶一郎（北大）

1. 目的

南極海は、海氷生成等の結氷現象に起因した海洋大循環の起点となっており、全球の物質循環を制御する重要な役割を果たしている。物質循環過程に果たす南極海の役割を理解するには、結氷現象に関わる気体交換・物質輸送過程の定量評価が鍵を握っている。また、南極海におけるこれらの過程は、数百年規模の後に日本周辺の気候や産業に影響を与える可能性が大いにあり、解明が急がれる。日本の将来への投資として、これらの研究を日本の国策研究として行う必要がある。日本における南極海での観測研究は、歴代の南極観測船（現在しらせ）、海鷹丸、白鳳丸等を中心として数々の研究がなされてきた。しかし、観測海域、時期、海氷の存在による障害、研究に従事できる砕氷船のシフトタイム等、多くの制約のため、現状として、南極海の物理・生物・化学等の全ての研究分野に関しての観測調査が時空間的にカバーしきれてない。また、日本における海氷形成域での現場観測研究、特に物質循環過程に注目した研究は、学術的な目的で使える砕氷船の絶対的不足が理由等で、世界に遅れを取っていると言わざるを得ない。本研究では、上記制約を回避可能な学術砕氷船を導入し、南極海の高塩分水域（ポリニヤ域も含む）を対象海域として海氷生成過程によって駆動する物質循環過程の定量的解明を目指す。そして、高塩分水域での物質輸送過程を含めた新たな物質循環像を描き出す。

2. 海域と季節

ポリニヤ（高塩分水域に出来る開水面）を含む南極海の高塩分水域および周辺海域、全季節をカバーした（長期漂流も含む）観測

3. 内容

本研究では、学術砕氷船を高塩分水域や高塩分水域に長期漂流し（もしくは各季節に出向く等）、現場海洋観測を実施することにより、結氷現象に関わる気体交換・物質輸送過程を物理分野との協力体制のもと実施する。海洋は、地球温暖化の主要な要因である二酸化炭素（ CO_2 ）を大気から吸収し、海洋の中に蓄えることで、温暖化の進行を抑制している。特に、極域の冷たい海は、溶解度が大きいため（気体を海水中に溶かす能力は、水温が低いほど大きくなる）、大気中の CO_2 を海洋に吸収しやすい。そして、極域海洋における特有の結氷現象によって、高塩分水であるブラインが海氷から海氷下に排出される。その結果生成する高密度水は、大気から海洋表層に吸収された CO_2 とともに海洋深層に沈み込むため、大気中の CO_2 を効率良く海洋深層に輸送・隔離され、数百年規模で北太平洋の日本周辺へと到達すると考えられている。上記過程は、海氷が風や海流によって次々と沖へ運ばれ、常に新しい海氷が多く生産される沿岸ポリニヤで最も効率良く起きると考えられる。近年の日本の研究グループによる衛星観測、長期係留観測によって、新たな南極底層水形成に関する研究はなされつつあるが、物質輸送に関わる定量評価には至っていない。

海水の生成過程は、海洋側への影響だけでなく大気間での炭素や揮発性有機化合物等の物質循環過程においても重要な役割を果たすことが、近年の研究で明らかになりつつある。この物質循環過程は、海

氷が大気―海洋間の障壁として認識され、海氷存在域が大気との物質収支に組み込まれていない現状に一石を投じるものである。一方で、海氷上積雪の影響、海氷内での炭酸塩析出、海氷生成時の海水中物質の取り込み・濃縮過程等、大気―海氷間の物質交換の速度を決定する素過程に注目した研究も重要である。また、これらの過程は、海氷融解期における海洋表層への物質供給・その後の生態系に影響することが予想されるため、今後、学術砕氷船を用いた海氷域での氷上での観測研究をベースとして解明すべき研究である。

4. 期待される科学的成果

本研究は、極域海洋特有の結氷現象に伴う物理場の変化が、大気―海氷間での気体交換過程、海洋表層から深層への物質輸送過程に与える影響を海氷域での実測観測より検証し、明らかにするチャレンジな試みである。本研究は、海洋大循環に関わる広域での物質輸送過程や氷期-間氷期サイクルにおけるCO₂の変動の解明など、過去・将来の全球の気候を決定する最重要コンポーネンツである南極海の理解に繋がることを期待される。

5. 必要な観測資源

- ・ CTD格納採水室
- ・ 恒温化学実験室
- ・ 低温実験室
- ・ 海氷上にアクセス可能な大型（幅の広い）ギャングウェイ
- ・ 大型観測機器収容可能（EMバードやモービルなど）な観測準備部屋
- ・ 大型観測機器（EMバードやモービルなど）が移動可能な幅の広い廊下
- ・ バスケット観測（海氷上にバスケットを吊るした観測）用クレーンなどの設備
- ・ コンテナラボの設置スペース
- ・ 表層水および大気モニタリングシステム