

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：62611

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2015

課題番号：24651016

研究課題名(和文)無人観測システムによる南極大陸沿岸域の海水変動機構の解明

研究課題名(英文)Studies on landfast ice variability with unmanned observation system in the Antarctic

研究代表者

牛尾 収輝(Ushio, Shuki)

国立極地研究所・研究教育系・准教授

研究者番号：50211769

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：海水の無人観測システムを試作し、将来の観測展開に向けて改良点を見出すと共に、南極沿岸域における多年性海水の変動特性の把握と変動機構に関する考察を連携研究者および研究協力者と進めた。現地観測データをもとに海水成長・融解過程を把握するための観測システム開発に当たって、氷厚、積雪深計測の他に、海水および積雪層内部の鉛直温度分布を安定的に連続計測する手法の改良も進めた。また、南極リュツォ・ホルム湾を対象として、既存データを用いて過去30数年間における海水変動特性を抽出した。

研究成果の概要(英文)：A prototype unmanned observation system of sea ice, along with finding the improvements for the future deployment, and discussion for studies on variability mechanism of multi-year landfast ice, in cooperation with research collaborators. For the development of the observation system to understand the sea ice growth/melt processes on the basis of the local observation data, ice thickness in addition to the snow depth measurements, continuous measurement of the temperature profiles in the ice and snow layer, measurement technique has been also improved. In addition, as the target of the Lutzow-Holm Bay, Antarctic, characteristics of coastal sea ice variation has been revealed for the past three decades using the previous data.

研究分野：極域海洋学

キーワード：海洋科学 環境変動 極地 南極 海水

1. 研究開始当初の背景

南極海水域の季節・年々変動については、沖合に広がる流水域(夏季に融ける一年氷が大半を占める)を対象とした衛星リモートセンシングデータ解析、モデリングによる先行研究が数多い。しかし、南極大陸沿岸では、夏季でも融け切らない多年性の定着氷が形成され、その変動については広域かつ長期におよぶ大規模な崩壊・流出現象が頻発しているにもかかわらず、現地観測や研究例は少ない。この理由として、現地観測が極めて困難であることに加えて、衛星観測に関しても大陸氷縁の影響を受けるために、海水状態の把握が沖合流水域に比べて立ち遅れていることにあると考えられる。沿岸海水は南極海の高緯度域と大陸氷床末端との接点に存在して、海洋-氷床間、さらには大気環境とも相互に関連し合っただ変動していることから、実態把握と将来の変動予測は地球科学研究上の重要な課題の一つと言える。

申請者は、昭和基地周辺を含む東南極域のリュツォ・ホルム湾の海水域に着目して、衛星画像、気象データおよび砕氷船航行記録にもとづいて過去30数年間にわたる海水変動の実態把握を進めてきた。その結果、同湾内海水(定着氷)の崩壊・流出が繰り返される不安定な時期と、定着氷が長期間崩壊しない安定な時期とが出現する各期間が、数年~10年程度の周期性をもつ傾向が示された。また、海水変動と地上風系・気温・海水積雪深の推移や沖合流水の消長との間にも相関関係を見出し、現象の定性的な理解に至った(文献①)。そこで、さらに長期間にわたって生じている海水変動の物理機構の定量的解明へ研究を進展させる上でも、大陸沿岸海水の現地観測データ取得が極めて重要になってきた。衛星観測データの検証やモデリングによる研究にも有益な知見を得る目的で、また南極観測船(砕氷船)の砕氷航行に際して、海水状態とその変動に関する参考情報を提供することによって、科学研究から南極観測を支援する視点をも併せ持たせて、昭和基地付近の海水現地観測の発展に向けて本研究を計画した。

2. 研究の目的

南極大陸沿岸の海水変動機構を理解する上で不可欠な、海水成長・融解に関するデータを現地で取得するため、海水上で連続稼働する無人観測システムを作製し、南極の現場へ導入する。特に衛星観測では捉えることが困難な海水の力学的特性を反映する物理データの取得に重点を置く。海水融解が進行したり割れたりしてアクセス困難となり、フィールドワークが制限される春から夏季を含めた通年観測を可能とする機器によるデータ収録システムを構築する。このような無人観測システムによって、広範囲にわたって生じる沿岸海水の崩壊・流出現象の物理的要因を捉え、大規模変化の前兆把握に発展させる。

製作した観測システムを南極域へ持込み、実測データの連続収録に向けて安定稼働させることを目指す。本研究で得られる成果は国際的な南極沿岸海水観測ネットワーク(Antarctic Fast-Ice Network)の一翼を担うものであり(文献②)、気候変動に果たす海水の役割解明に貢献する。また、既存データを含めた解析を継続し、海水変動機構の理解と将来の変動予測に向けて、今後の現地観測や科学研究において有効な手法を検討し、提案する。

3. 研究の方法

本研究採択以前から着手していた、衛星観測・地上気象観測データを用いた、南極大陸沿岸の海水変動特性の解析を最新のデータ・情報も活用して継続した。この解析では昭和基地周辺のリュツォ・ホルム湾を主な対象として、数年~10年スケールの変動、特に海水の崩壊・流出現象の発生有無に着目した。

解析結果にもとづいて、大陸沿岸海水の変動機構を理解する上で不可欠な現地観測を将来展開する上で、通年観測データとして重要かつ解析に有効となるデータ項目を抽出し、南極海水上で無人で稼働する観測システムを製作することを本研究の中心課題とした。製作したシステムを南極昭和基地付近の海水(定着氷)上に設置してデータ取得に向けて諸準備を進めた。このシステムで得られるデータおよび他の衛星・現地観測で取得されるデータ・情報と共に海水変動に関する解析を行う。無人観測システムや海水変動監視全般に関わる改良点を明らかにして研究総括する。

以下に各年度に分けて研究方法を記述する。

(1)平成24年度

第一目標とした観測システムの設計・製作が完了した。また、既存の海水・気象観測データの解析結果や観測システム設計方針の検討過程において、海水積雪深データの継続的取得の重要性を再認識した。そこで、観測システムの一部改良について年度後半に検討した。

既存データや海水試料の解析による知見を加えて、過去に10年スケールで発現している沿岸海水の変動特性(多年性定着氷の崩壊・流出発生有無)とその物理過程を考察した。さらに、毎年、昭和基地方面に向かう観測船「しらせ」の砕氷航行支援のための資料作成にも取り組んだ。この研究は研究代表者所属機関のプロジェクト研究と連携させて、海水科学のみならず、衛星リモートセンシングや船舶海洋工学等、複数の研究分野の視点からも研究を効果的に進めた。

(2)平成25年度

製作した観測システムを第55次南極地域観測計画に持ち込むための準備を進めた。シ

システム構成を再度確認した後、機器の梱包、輸送作業を年度の半ばから後半にかけて行った。年度終盤には、到着した南極の現地において、観測システム設置地点候補選定のための海水（定着氷）観測を行った。この現地観測においては、第 55 次観測隊に同行者として大学院学生を派遣し、本研究課題の下では研究協力者として共同で観測・研究に取り組んだ。この年の夏季（2013/14 年）に取得した現地・衛星データも加えて、沿岸海水の年々変化の特徴抽出を行った。

また、この年も「しらせ」砕氷航行支援のための資料を作成し、研究代表者所属機関のプロジェクト研究と連携させて、効果的に研究を進めた。

(3)平成 26 年度

研究代表者が南極の現地において越冬観測期間中、観測システムの設定、稼働を試みた。観測システムのセンサ部は計測上の問題点は無く良好であった。しかし、データ収録部分の動作確認ができないことから、最終的にはシステムの現地海水上への設置は断念した。室内で動作不良の原因を調査、確認した。なお、積雪深計に関わる点については、作成した雪尺の径が大きいことが、自然状態の積雪深計測に影響を及ぼす可能性を認めため、陸上の積雪面で雪尺周囲の様子の変化を観察した。

前年度終わりにシステム設置地点候補として絞り込んでいた領域の海水状態の変化を日々監視し、またすぐ傍に設置されていた積雪深観測によって得られる積雪データも参考にして、積雪が海水成長に及ぼす物理的な効果を調べた。また、既存データの解析を継続して、年々変化の特徴を抽出した。

(4)平成 27 年度

当初、本研究課題は平成 24 年度から 26 年度までの間、3 か年の計画であった。しかし、平成 26 年度まで得た、システム開発・改良の上で参考となる情報や現場の自然環境に関するデータをもとに、南極から帰国する研究代表者と連携研究者他と研究に関して直接議論して、以降の研究に発展させることが望ましいと判断し、研究期間の延長を申請し、認められた。既存データの解析結果も参考にして、将来の無人海水観測システムの開発に向けて会合して、議論した。

4. 研究成果

本課題の下で無人海水観測システムを製作した。また、既存データに加えて、本研究期間中に新規取得した現地海水観測データ及び衛星画像を活用して、南極大陸沿岸域の海水変動特性を抽出した。これらの知見にもとづいて、無人観測によるデータ蓄積に向けて、次の段階の研究計画へ発展させる素地を整えることができた。以下に主な成果を項目別に記述する。

(1)無人海水観測システムの製作

観測システムを製作する一連の過程で、連携研究者や国内の企業の技術者と会合し、メール、電話で随時連絡を保ち情報共有しつつ、設計、製作に当たった。特に過酷な自然環境条件下で稼働させることを要件とすることから、海水変動研究の上で有益な計測データを厳選して、安定的に取得できることを重視したシステム構成・設計方針とした。

平成 26 年度の南極の現場観測ではシステム設置、データ取得に至らなかったが、将来の観測システム構築に向けて、改良点を明らかにした。氷厚センサ部分（図 1）の強度を増すこと、積雪深計の太さ（ポール直径）を小さくすること、データ収録部の安定した稼働や無線によるデータ伝送などが主な改良点である。今回作成したシステムの一部である積雪深計の計測ポールを図 2 に示す。太さが大きいことから、強風の下ではポールが積雪状態を空間的に乱すことがわかった。細くすると同時に、低温、強風の条件下でも破損しない材質や形状を具体的に検討する必要がある。

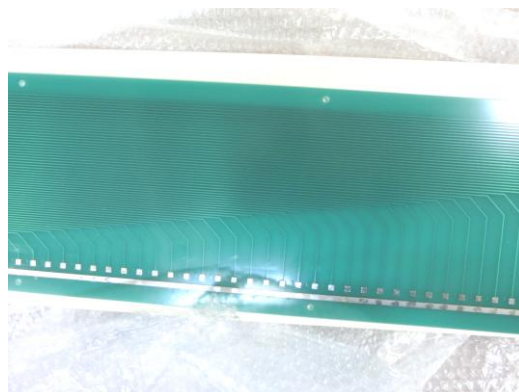


図 1. 無人観測システムに組み込んでいる海水厚センサ。



図 2. 無人観測システムの一部である、積雪深計測用ポール。

なお、データ収録部は保温箱に収納することで（図 3）、システムの動作温度環境を維持することに役立つが、南極海水上の厳冬期（8 月～9 月）には、一時的に -40°C 以下となる場合もあり、今回のものよりさらに保温性を増した収納箱を用意する必要がある。

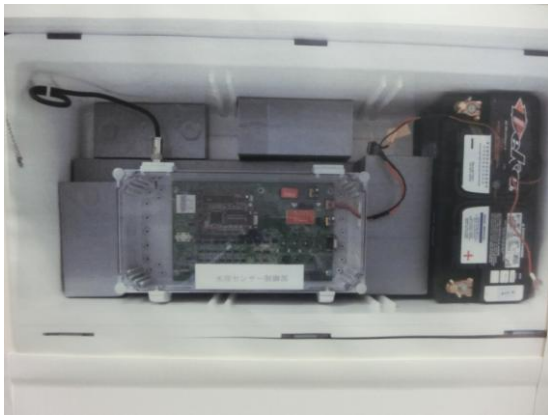


図 3. データ収録部とバッテリーを収納した保温箱。

また、海氷や積雪層の内部の温度鉛直分布データを安定的に得るために、データロガー機能を有した温度センサを無人観測システムに組み込むことによって、データ取得における予備的な機能を持たせることに有用性を認めた。これは、システムの電源や制御部など、一部で不具合を起こしても、解析に役立つ最小限のデータを取得する一種のバックアップの役割を果たす。小型で十分な性能を持つ既製品の組み合わせによって、海氷および積雪、海氷下海水の温度分布とその時間変化が計測、記録可能である。

以上、本課題で製作したシステムを基本として、安定して稼働するシステムの設計、試作に向けて準備を整えることができた。既に次の段階の研究・開発に着手している。

(2) 大陸沿岸海氷の年々変動

リュツォ・ホルム湾の定着氷は、広域に崩壊・流出する不安定な状態とその反対に顕著な崩壊現象が認められない安定な状態を示し、それぞれの安定／不安定期間が数年から10年くらい継続しつつ、交互に変わっていることを見出した。これは1980年以降2015年までのデータ解析の結果で、未だ30数年の期間ではあるが、準周期的に変動していると言える。このような沿岸海氷、特に夏でも融け切らない海氷が形成されている海域として、昭和基地付近の海氷変動が示す大きな特徴の一つである。今後、他海域との比較研究を行う上でも貴重なデータセットとなり得る。

(3) 多年氷の成長・維持に及ぼす積雪の効果

2015年以前の過去5年間は、僅かではあるが定着氷域に不安定な領域が現れていることを見出した。しかし、広域な崩壊、流出には至らなかった。この期間は特に多雪傾向が顕著であったことから、積雪層の融解、または多雪による海氷の押し沈めによって海水がシミ上がって、雪と水（融解水か海水のいずれか、または両方）の混ざったものが、その後の秋から冬の気候冷却で再凍結して起

こった、雪から氷への転化が定着氷を厚い状態で長期間維持した要因となったと考えられる。多雪をもたらす広域の気候環境の変動特性を理解することも不可欠であり、気候科学分野と共同研究を推進する重要性を再認識した。

(4) 大陸沿岸における海氷変動監視

本研究を軸とした一連のデータ解析の結果、大陸沿岸に位置する昭和基地の定着氷域は従来通り監視を継続すると共に、基地北方の沖合、および基地南方（リュツォ・ホルム湾奥の大陸近傍）にも定常的な観測地点を設けることの有用性を見出した。前者は沖合流水の消長と定着氷動態との関連から、また後者は氷河流動と定着氷との相互作用における海洋-氷床システムの実態とその変動の観点から重要である。

(5) 観測船の砕氷航行支援における情報提供

毎年、昭和基地へ向かう砕氷船「しらせ」は、夏季でも厳しい海氷状況のために、難航を極めつつも前進しなければならない年がこれまでも何度かあった。現在は人工衛星観測によって海氷分布状態を広域に把握することができるが、大陸付近に形成されている多年性の海氷、つまり厚い定着氷の状況を詳細に把握することには限界がある。海氷厚や積雪深の他、夏季に生じ得る内部融解の有無などの情報は現地観測によって得られる。そこで、昭和基地周辺を含むリュツォ・ホルム湾の海氷状況について、既存データをもとに、砕氷船が航行する時期をターゲットとして、海氷状況の把握を試みた。衛星データには表れない特徴の一つとして、積雪深の増減が海氷成長に及ぼす効果に着目して、参考情報をまとめ、観測隊関係者に提供した。

依然として現地観測が十分とは言えないことから、例えば、座礁・凍結した氷山の風下に形成されている海氷の状態を把握する場合などは、現地観測隊によって観測、観察されたデータや詳しい観察記録が、国内研究チームによる衛星データ判読上で有益な情報となることがわかった。このことから、衛星観測技術が発展しつつある現在であっても、現地と国内の双方が連携して、海氷状況の把握と変化の要因理解を進める重要性が増していることを指摘する。

(6) 大学院学生の南極観測

大学院生1名を本研究課題における研究協力者とし、平成25年度実施の第55次南極地域観測隊に同行者として参加させた。出発準備の段階から現地観測に至るまで、意欲的に取り組み、観測終了後、帰国してからもデータ解析を積極的に行い、国内学会発表を数回行った。その発表内容を軸として、学術雑誌を目標として投稿準備を進め、その過程における議論も通して、極域海氷研究の次世代を担う若手研究者養成の面でも貢献した。

以上の成果のうち、(1)～(5)関連の内容について、国内の学会やシンポジウムで発表した。

<引用文献>

- ① Ushio, S. (2006): Factors affecting fast-ice break-up frequency in Lützow-Holm Bay, Antarctica. *Ann. Glaciol.*, 44, 177-182.
- ② Heil, P., S. Gerland, and M. A. Granskog (2011): An Antarctic monitoring initiative for fast ice and comparison with the Arctic. *The Cryosphere Discuss.*, 5, 2437-2463.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

- ① Sugimoto, F., T. Tamura, H. Shimoda, S. Uto, D. Shimizu, K. Tateyama, S. Hoshino, T. Ozeki, Y. Fukamachi, S. Ushio, and K. I. Ohshima (2016): Interannual variability in sea-ice thickness in the pack-ice zone off Lützow-Holm Bay, East Antarctica. *Polar Science*, 10, 43-51. DOI:10.1016/j.polar.2015.10003 査読有
- ② Massom R, Reid P, Stammerjohn S, Raymond B, Fraser A, and Ushio S. (2013): Change and Variability in East Antarctic Sea Ice Seasonality, 1979/80-2009/10: PLoSONE, 8(5) e64756. DOI:10.1371/journal.pone.0064756. 査読有
- ③ 牛尾収輝 (2013) : 2011/12 シーズン「しらせ」前進を阻んだ南極リュツォ・ホルム湾の海水. 極地, 49, 10-15. 査読無

[学会発表] (計9件)

- ① Ushio, S. (2015): A mechanism for the quasi-periodic breakup of multi-year landfast ice caused by limitation of thickening under heavy snow condition. The Sixth Symposium on Polar Science, 2015年11月16-19日, 国立極地研究所(東京都・立川市).
- ② 牛尾収輝: 多雪域の多年氷の成長限界に起因する定着氷の準周期的崩壊. 雪氷研究大会(2015・松本), 2015年9月13-15日, 信州大学理学部(長野県・松本市).
- ③ 星野聖太, 舘山一孝, 田村岳史, 牛尾収輝: 南極海における衛星データを用いた海水厚推定アルゴリズムの開発. 雪氷研究大会(2015・松本), 2015年9月13-15日, 信州大学理学部(長野県・松本市).
- ④ 杉本風子, 大島慶一郎, 田村岳史, 宇都正太郎, 下田春人, 清水大輔, 舘山一孝, 星野聖太, 深町康, 尾関俊浩, 牛尾収輝: リュツォ・ホルム湾定着氷域での海水厚分布と変動. 2015年度日本海洋学会春季大会. 2015年3月24日, 東京海洋大学(東

京都・港区).

- ⑤ 星野聖太, 舘山一孝, 牛尾収輝, 田村岳史: JARE55における南極リュツォ・ホルム湾の海水観測報告. 雪氷研究大会(2014・八戸), 2014年9月21日, 八戸工業大学(青森県・八戸市).
- ⑥ 星野聖太, 舘山一孝, 牛尾収輝, 田村岳史: 2000年～2013年のリュツォ・ホルム湾周辺定着氷の氷況. 雪氷研究大会(2013・北見), 2013年9月17～21日, 北見工業大学(北海道・北見市).
- ⑦ 舘山一孝, 星野聖太, 牛尾収輝, 田村岳史: 衛星および現場観測によるリュツォ・ホルム湾定着氷の面積と氷厚の変動解析. 第4回極域科学シンポジウム, 2013年11月12～15日, 国立極地研究所(東京都・立川市).
- ⑧ 牛尾収輝: 2011/12年夏期, 南極リュツォ・ホルム湾周辺の海水状況—砕氷難航の要因解析—. 雪氷研究大会(2012・福山), 2012年9月26日, 福山市立大学(広島県・福山市).
- ⑨ 牛尾収輝, 海水変動解析プロジェクトチーム: 2011/12シーズン「しらせ」砕氷航行を阻んだ南極リュツォ・ホルム湾の海水状況—極めて厚く成長した積雪起源の海水—. 第3回極域科学シンポジウム, 2012年11月29日, 国立極地研究所(東京都・立川市).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

牛尾 収輝 (USHIO, Shuki)

国立極地研究所・研究教育系・准教授

研究者番号: 50211769

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

舘山 一孝 (TATEYAMA, Kazutaka)

北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号: 30374789

(4) 研究協力者

星野 聖太 (HOSHINO, Seita)