

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H01961

研究課題名（和文）冬季の海水厚変動から見た北極海太平洋側海域における夏季の海水量減少

研究課題名（英文）Sea-ice reduction in the Pacific Arctic during summer from the variability of sea-ice thickness during winter

研究代表者

深町 康（FUKAMACHI, Yasushi）

北海道大学・北極域研究センター・教授

研究者番号：20250508

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：北極海の太平洋側海域は海水減少が最も顕著である海域であるが、その海域のバロー沖において、2009年から2021年まで12年間の連続した、海水厚、海水漂流、海洋流速、海水温、塩分データを係留系観測から取得した。他にはない長期連続データは、衛星海水データと合わせて解析することで、海水減少の要因解明に資することができる。これらのデータからはバロー沖沿岸ポリニヤの年々変動やフラジルアイス・動物プランクトンの年々変動も示すことができる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球温暖化の影響が最も進んでいる海域において今までにない海水・海洋データが取得できたことで、温暖化の影響評価と将来予測に資するデータを得ることができた。加えて、急速な気候変動期にアラスカ沿岸地域社会が求める科学的な基礎情報としても資するものである。

研究成果の概要（英文）：In the Pacific Arctic Ocean, where sea ice loss is most pronounced, sea ice thickness, sea ice drift, ocean current, water temperature, and salinity data were obtained from the mooring observations off Barrow for 12 consecutive years from 2009 to 2021. This long-term continuous data, combined with satellite sea ice data, can be used to elucidate the causes of rapid sea ice reduction in this area. These data can also show interannual variabilities of the coastal polynya off Barrow and year-to-year variations in occurrence of frazil ice and zooplankton.

研究分野：海洋物理学

キーワード：海水 北極海 海水厚 係留観測 衛星観測

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

北極海の環境変動は、近年になって非常に顕著となっている。特に、海氷域については 2012 年に夏季の面積が観測史上最小となり、今世紀半ばには消滅することも予測されており、様々な気候変動の中でも最も象徴的な現象の 1 つである。2000 年以降の海氷域の減少は北極海の太平洋側海域において特に顕著であり、そこでの変動が北極海全域の減少傾向と年々変動を強く支配している。しかし、その要因については未だに良く解明されていない。その理由の一つは人工衛星データから正確に把握できる海氷の面積に較べて、その厚さの実態把握が不十分なことである。

2. 研究の目的

本研究では北極海の太平洋側海域における 10 年以上の長期に渡る海氷・海洋の現場観測による海氷厚などのデータと衛星マイクロ波放射計データから見積られる海氷生産量のデータなどを用いて、海氷の力学過程(海氷同士の衝突と重なりによる氷厚の増加)と熱力学過程から決まる冬季の海氷厚分布の実態を明らかにし、それが夏季の海氷分布とどのように関係しているかを調べ、この海氷減少の要因を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 今まで、当グループにより 8 年間北極チュクチ海バロー沖で行っていた係留系による海氷・海洋観測を継続し、2021 年までの合わせて 12 年間の、高精度海氷・海洋データを取得する。海氷に関しては、超音波氷厚計により時間分解能が非常に高い海氷厚を、ADCP からは海氷漂流データを取得する。北極海の太平洋側海域において、このような長期間連続して高精度の海氷・海洋データを取得している例は他にない。

(2) これまでの観測と本研究によってチュクチ海沿岸域で蓄積される 12 年間のデータを用いて、この海域における海氷厚の季節・経年変動とその要因を明らかにする。

(3) 夏季には海氷が消滅する季節海氷域と一年中海氷が存在する多年氷域の境界となっているカナダ海盆のデータを主に用いて、冬季の海氷成長過程の実態を調べ、その後の輸送・融解過程も考慮して、冬季の海氷厚分布が夏季の海氷分布とどのように関係しているかを明らかにする。

(4) バロー沿岸ポリニヤにおいて、海氷厚と同時に係留系により取得された水温・塩分・海流データと衛星観測による海氷生産量データから、結氷開始時期、海氷生産量、冬季水生成といった冬季プロセスに関連する海洋コンディションとその近年の変化を明らかにする。

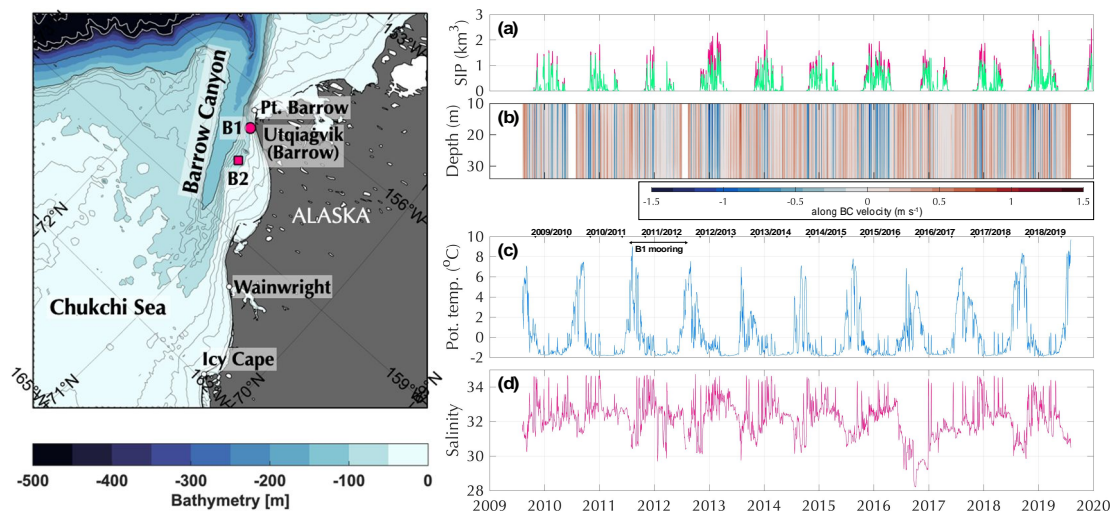
4. 研究成果

海氷厚の解析は進んでいないので、本成果報告書では、方法(1)と(4)による成果について報告する。

(1): 2019 年夏季に、研究代表者を中心とする北海道大学のグループがアラスカバローに出向き、チュクチ海北東部の沿岸域に 2017 年夏季に設置していた超音波氷厚計を含む 2 系の係留系を回収し、良好なデータの取得に成功した。2020 年~2022 年はコロナ禍により現地バローに赴けなかったが、アラスカ大学フェアバンクス校の研究協力者によって、2019 年に設置した係留系は 2021 年夏季に無事回収された。2023 年 10 月に現地バロー及びアラスカ大学に赴き、全てのデータをダウンロードした。以上により、東部チュクチ海アラスカバロー沖において、2009 年より連続して 12 年間に及び、海氷厚、海氷漂流、海洋流速、海水温、塩分のデータセットを取得することができた。北極チュクチ海では、このような高精度の海氷・海洋同時観測データを連続して 12 年間取得した例はなく、貴重なデータを得ることができた。超音波氷厚計の生データからの海氷厚の導出は非常に手間と時間がかかる作業であるが、2015~19 年に本海域において取得したデータについて、この作業を実施した。

12 年間の ADCP の後方散乱強度データの導出と解析を行った。ADCP 散乱強度からは、フラジルアイス、海底堆積物の巻き上がり、動物プランクトン活動を捉えることができる。動物プランクトンに関しては、ポーフォート高気圧の変動に対応するような特徴的な変動を抽出することができた。これらのデータと海氷厚・海氷漂流データを比較することで、海氷変動と物質循環・生物活動との関係解明につながることを考える。ADCP 散乱強度によるフラジルアイスに関しては、春季に取得した海氷のコアサンプルデータと合わせて、海氷初期に生成されるフラジルアイスが、巻き上げられた海底堆積物と接触することを示し、海底堆積物が海氷内部に取り込まれるプロセスが発生していることを示した。このことは、海氷の生成域と融解域が異なる場合の海氷による物質循環の役割を示唆している (Ito, et al., 2019, Journal of Geophysical Research)。

(2)： 東部チュクチ海アラスカバロー沖における海水・海洋の時系列データから、Hirano et al. (2022, Progress in Oceanography)では、そのうち10年間(2009~2019年)にわたる海洋の長期係留観測データと衛星観測から導出した海水生産量および大気再解析データセットを統合して解析を行った。具体的には、冬季チュクチ海北東陸棚域に形成されるバロー沿岸ポリニヤ(以後、BCP: Barrow Coastal Polynya)が同一の北東風に起因したハイブリッドの潜熱・顕熱ポリニヤ(Hirano et al. 2016)であることを確認し、結氷開始時期、海水生産量、冬季水生成といった冬季プロセスに関連する海洋コンディションとその近年の変化について調べた。その結果、北東風の連吹に起因したハイブリッドBCPは10年間を通して毎年繰り返し生じているが、BCPイベント(海水生産および高温の大西洋水湧昇による海水生産抑制)の発生頻度は年々の変動が大きく、顕著な長期トレンドは認められないことを示した。また、高温の大西洋水の湧昇は海水生産を抑制するだけでなく結氷開始時期を遅延させる場合もあり、太平洋水・大西洋起源水の双方が当該海域での水塊形成や海水生産等の冬季プロセスに影響を及ぼすことがわかった。さらに結氷開始前の海洋側のプレコンディションに着目すると、近年(特に2016年以降)では夏から秋にかけての水温上昇が顕著であり、陸棚上に暖水が存在する期間が長期化することで結氷開始の遅延や北極海盆域への熱輸送を強化し得ることも示唆された。10年間の長期係留記録は、ベーリング海からチュクチ海・北極海盆域にかけての遠隔・局所的なコネクションおよび近年の顕著な海洋温暖化の観測的証拠を提示しており、太平洋側北極域の現在および将来の状態に影響する海洋変化の理解向上に貢献する。加えて、これは急速な気候変動期にアラスカ沿岸地域社会が求める科学的な基礎情報としても資するものである。



左図：チュクチ海北東陸棚域における係留地点周辺の海底地形図。ピンクのシンボルはBCP係留点(B1およびB2サイト)の位置を示す。右図：2009~2019年の10年間における(a)BCPでの海水生産量(緑)と海水生産抑制量(ピンク)、(b)バロー峡谷沿いの流速(正の値は峡谷下降流)、(c)ポテンシャル温度、および(d)塩分の時系列記録。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 10件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Ito, M., K. I. Ohshima, Y. Fukamachi, D. Hirano, A. R. Mahoney, J. Jones, T. Takatsuka, and H. Eicken	4. 巻 124
2. 論文標題 Favorable conditions for suspension freezing in an Arctic coastal polynya	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Oceans	6. 最初と最後の頁 8701-8719
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019JC015536	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Dammann, D. O., L. E. B. Eriksson, J. M. Jones, A. R. Mahoney, R. Rosmeiser, F. J. Meyer, H. Eicken, and Y. Fukamachi	4. 巻 13
2. 論文標題 Instantaneous sea ice drift speed from TanDEM-X interferometry	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Cryosphere	6. 最初と最後の頁 1395-1408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/tc-13-1395-2019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Kashiwase, H., K. I. Ohshima, Y. Fukamachi, S. Nihashi, and T. Tamura	4. 巻 36
2. 論文標題 Evaluation of AMSR-E Thin Ice Thickness Algorithm from a Mooring-Based Observation: How Can the Satellite Observe a Sea Ice Field with Nonuniform Thickness Distribution?	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Atmospheric and Oceanic Technology	6. 最初と最後の頁 1623-1641
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/JTECH-D-18-0218.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Kikuchi Takashi, Nishino Shigeto, Fujiwara Amane, Onodera Jonaotaro, Yamamoto-Kawai Michiyo, Mizobata Kohei, Fukamachi Yasushi, Watanabe Eiji	4. 巻 27
2. 論文標題 Status and trends of Arctic Ocean environmental change and its impacts on marine biogeochemistry: Findings from the ArCS project	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 100639-100639
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polar.2021.100639	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sugiyama Shin, Kanna Naoya, Sakakibara Daiki, Ando Takuto, Asaji Izumi, Kondo Ken, Wang Yefan, Fujishi Yoshiki, Fukumoto Shungo, Podolskiy Evgeniy, Fukamachi Yasushi (他25名)	4. 巻 27
2. 論文標題 Rapidly changing glaciers, ocean and coastal environments, and their impact on human society in the Qaanaaq region, northwestern Greenland	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 100632-100632
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polar.2020.100632	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Waga, H., H. Eicken, T. Hirawake, and Y. Fukamachi	4. 巻 16(12)
2. 論文標題 Variability in spring phytoplankton blooms associated with ice retreat timing in the Pacific Arctic from 2003?2019	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0261418
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0261418	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hirano, D., Y. Fukamachi, K. I. Ohshima, M. Ito, T. Tamura, D. Simizu, T. Takatsuka, A. R. Mahoney, J. Jones, C. George, B. Adams, and H. Eicken	4. 巻 203
2. 論文標題 Oceanographic conditions in the Barrow Coastal Polynya revealed by a 10-year mooring time series	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Progress in Oceanography	6. 最初と最後の頁 102781-102781
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pocean.2022.102781	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Waga, H., H. Eicken, B. Light, and Y. Fukamachi	4. 巻 270
2. 論文標題 A neural network-based method for satellite-based mapping of sediment-laden sea ice in the Arctic	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Remote Sensing of Environment	6. 最初と最後の頁 112861-112861
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.rse.2021.112861	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kuga, M., K. I. Ohshima, N. Kimura, K. Nakata, Y. Fukamachi	4. 巻 79
2. 論文標題 Particle-tracking experiments of coastal-origin sea ice that could induce high biological productivity in the Sea of Okhotsk	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Oceanography	6. 最初と最後の頁 145-159
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10872-022-00670-5	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Peigen Lin, Robert S. Pickart, Harry Heorton, Michel Tsamados, Motoyo Itoh, Takashi Kikuchi	4. 巻 16
2. 論文標題 Recent state transition of the Arctic Ocean's Beaufort Gyre	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Geoscience	6. 最初と最後の頁 485-491
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41561-023-01184-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Peigen Lin, Robert S. Pickart, Thomas J. Weingartner, Harper L. Simmons, Motoyo Itoh, Takashi Kikuchi	4. 巻 216
2. 論文標題 Formation and circulation of newly ventilated winter water in the western Beaufort Sea	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PROGRESS IN OCEANOGRAPHY	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pocean.2023.103068	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Shigeto Nishino, Jinyoung Jung, Kyoung-Ho Cho, William J. Williams, Amane Fujiwara, Akihiko Murata, Motoyo Itoh, Eiji Watanabe, Michio Aoyama, Michiyo Yamamoto-Kawai, Takashi Kikuchi, Eun Jin Yang, Sung-Ho Kang	4. 巻 14
2. 論文標題 Atlantic-origin water extension into the Pacific Arctic induced an anomalous biogeochemical event	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-023-41960-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計32件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Fukamachi, Y.
2. 発表標題 Mooring measurement of sea ice and ocean in the northeastern coastal Chukchi Sea, Chosen International Symposium on Transboundary Pollution at North-South Transect at Marginal Sea in western Pacific Ocean
3. 学会等名 Joint International Symposium on Sustainable Development and Environmental issues (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kawaguchi, Y., M. Itoh, Y. Fukamachi, E. Moriya, J. Onodera, T. Kikuchi, and N. Harada
2. 発表標題 Year-round observations of sea-ice drift and near-inertial internal waves in the Northwind Abyssal Plain, Arctic Ocean
3. 学会等名 The Tenth Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kawaguchi, Y., M. Itoh, Y. Fukamachi, J. Onodera, E. Moriya, T. Kikuchi, and N. Harada
2. 発表標題 Interactions between sea-ice drift and near-inertial internal waves in the Northwind Abyssal Plain, Arctic Ocean: year-round mooring observations
3. 学会等名 EGU General Assembly 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kanna, N., S. Sugiyama, Y. Fukamachi, D. Nomura and J. Nishioka
2. 発表標題 Iron and nutrients supply to a fjord from glacier-induced pumping in northwestern Greenland
3. 学会等名 The 11th Symposium on Polar Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ueno, T., H. Ueno, M. Itoh, E. Watanabe, J. Onodera, Y. Kawaguchi, S. Fujio, E. Moriya, Y. Fukamachi, and N. Harada
2. 発表標題 Seasonal variations of sea-ice thickness in the Northwind Abyssal Plain of the Arctic Ocean: Data analysis of moored ice-profiling sonar
3. 学会等名 Seventh International Symposium on Arctic Research (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Motoyo Itoh, Shigeto Nishino and Takashi Kikuchi
2. 発表標題 Increased heat transport through Barrow Canyon and its impact on subsurface warming in the western Arctic Ocean
3. 学会等名 2024 Ocean Sciences Meeting
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 伊東 素代, 青木 輝夫, 朝日 博史, 阿部 彩子, 阿部 佑平, Irene Alabia (他160名)	4. 発行年 2024年
2. 出版社 海文堂出版	5. 総ページ数 480
3. 書名 北極域の研究 その現状と将来構想	

〔産業財産権〕

〔その他〕

外部資金 http://wwwoa.ees.hokudai.ac.jp/~yasuf/ext_fund.html

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	大島 慶一郎 (OHSHIMA Keiichiro) (30185251)	北海道大学・低温科学研究所・教授 (10101)	
研究分担者	二橋 創平 (NIHASHI Sohey) (50396321)	苫小牧工業高等専門学校・創造工学科・教授 (50102)	
研究分担者	伊東 素代 (ITO H Motoyo) (60373453)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(北極環境変動総合研究センター)・副主任研究員 (82706)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	University of Alaska Fairbanks	University of Miami	University of Washington	
スウェーデン	Chalmers University of Technology			