

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：62611

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K20050

研究課題名(和文)南極海における海水の生態学的意義 マイクロハビタット発現に関する実験的研究 -

研究課題名(英文) Ecological significance of the Antarctic sea ice -Experimental study on occurrence of micro habitats-

研究代表者

小達 恒夫 (Odate, Tsuneo)

国立極地研究所・研究教育系・教授

研究者番号：60224250

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：南極海で海水が生成される主要な場所は、大陸氷床から吹く極めて寒冷な風(カタバ風)にさらされる大陸沿岸海域と考えられている。カタバ風の強度は、沿岸海洋における混合強度に影響を与える。本研究では、混合強度を変えて、海水生成実験を行った。なお、実験に用いた海水には南極海季節海水域で優占する植物プランクトン株を添加した。生成された海水中のクロロフィルa濃度を測定したところ、混合強度が強いほど海水中に取り込まれる植物プランクトン量が高くなる傾向があった。この結果は、南極海の現場においても、カタバ風の強い海域ほど大量の植物プランクトンが生成される海水に取り込まれている可能性を示唆する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、今後の南極海における炭素循環や食物連鎖の研究に新たな道筋を提案することができた。冬季に南極大陸沿岸で生成した海水は、数か月かけて沖合の低緯度側へ運ばれ、夏を迎えると融解する。そこで海水内のマイクロハビタットは崩壊し、生物相は海洋表層へ放出されることになる。一般に海洋生態系における一次有機物は、現場の植物プランクトンの光合成によって生産されると考えられている。南極海季節海水域においては、現場の一次生産に加え、海水によって輸送される有機物の放出が、食物連鎖に加わっているものと推察される。今後の研究では、こうした別経路の有機物供給の貢献度を明らかにする必要がある。

研究成果の概要(英文)： The main place where sea ice is produced in the Antarctic Ocean is considered to be the continental coastal area exposed to the extremely cold wind (katabatic wind) that blows over the continental ice sheet. The intensity of the katabatic wind affects the mixing intensity in the coastal ocean. In this study, sea ice production experiments were conducted by changing the mixing intensity. Phytoplankton strain dominated in the seasonal sea ice zone of the Antarctic Ocean was added to the filtered seawater used in the experiments. After the experiments, the concentrations of chlorophyll a in the produced sea ice were measured. The higher the amount of phytoplankton incorporated into the sea ice were observed under the higher the mixing intensity. This result suggests that even in the Antarctic field, a larger amount of phytoplankton may be incorporated into sea ice in a sea area with a stronger katabatic wind.

研究分野：生物海洋学

キーワード：海洋生態 Antarctic Ocean Sea ice biota Micro habitats Alternative pathway

1．研究開始当初の背景

冬期の南極大陸沿岸海域では、大陸から吹き降ろす寒冷な滑降風(カタバ風, katabatic wind)により海表面が冷却され、海水生成が進む。海水生成は南極底層水の形成と密接に関連することから、地球規模の気候変化との関連解明を目指し、海水・南極底層水生成の研究は精力的に進められている。しかしながら、海水中には特徴的な微小生物相(Sea ice biota)が存在しているにもかかわらず、生態学的観点からの研究はほとんど進んでいない。

2．研究の目的

海水が発達するに伴い、高塩分の海水(ブライン)が排出される経路(ブラインチャンネル)が複雑に形成される。ブラインチャンネルは、自由空間である海水環境とは異なり、海水で囲まれた狭い海水内環境(マイクロハビタット)となる。本研究では、海水の生態学的意義を解明する研究の出発点となる、海水生成初期に焦点を当て、主に室内実験を通して、マイクロハビタット出現過程を明らかにすることを目的とした。

3．研究の方法

本研究では、海水生成装置を製作し、ろ過海水に南極海季節海水域で優占する植物プランクトン株を添加し、研究代表者の所属する情報・システム研究機構国立極地研究所内の低温実験室内で海水生成実験を行った。海水生成装置の原理は、アクリル製の水槽の底面及び側面を断熱材で覆うことにより、底面・側面からの冷却効果を取り除き、上面からのみ冷却されることが出来る。また、攪拌子を設置し、冷却中、海水が混合される仕組みとし、鉛直混合過程を再現させた。

4．研究成果

平成29年度の計画では、海水生成装置を試作し、海水生成実験の条件を確立することを目指し、海水生成に要する時間、設定温度、生成される海水の厚さ等の海水生成実験の条件を確立することを目指した。試作した海水生成装置を用いると、室温-15℃に設定した当研究所の低温実験室では、おおよそ2日間で5cmの海水が生成されることが分かり(写真1)、平成29年度の当初目標は達成できた。

平成30年度には、平成29年度に得られた植物プランクトンの培養株を加えた海水試料を調整し、海水生成実験を行った(初期クロロフィル*a*濃度は $3.0\mu\text{g L}^{-1}$)。その結果、生成された海水中のクロロフィル*a*濃度は $26.2\mu\text{g L}^{-1}$ に達していることが分かった。このことは、植物プランクトンが氷の結晶核となり海水生成とともに濃縮されたことを示していると考えられた。なお、この実験では海水生成過程をビデオ撮影していたため、光を当てた状態で行った。そのためか海水下の海水でもクロロフィル*a*濃度が $4.6\mu\text{g L}^{-1}$ に増加していた。



写真1．海水生成実験の例．

海水生成過程のビデオ映像を詳細観察にしたところ、試作した装置では攪拌子の上部と下部で発生させた乱流場に偏りが生じることが分かり、現場における海水の混合状態を再現していないという問題点が判明した。これは、同装置の攪拌子は上面のみ羽を付けたことに起因すると想定された。この問題を解決するため、上下両面に羽をつけた攪拌子に変更することとした。その他、微細な変更を加えた改良型海水生成装置を計6基作製し、次年度の海水生成実験に備えた。

平成30年度に行った海水生成過程のビデオ映像解析から、本研究課題初年度(平成29年度)に試作した装置では攪拌子の上部と下部で発生させた乱流場に偏りが生じることが分かり、現

場における海水の混合状態を再現していないという問題点が判明した。平成 30 年度には、この問題を解決するため、上下両面に羽をつけた攪拌子に変更を加えた改良型海水生成装置を計 6 基作製した。令和元年度に行った海水生成実験では、乱流場に偏りがほぼ解消され、現場における海水の混合状態を再現しているものと考えられた。

南極海で海水が生成される主要な場所は、大陸氷床から吹く極めて寒冷なカタバ風にさらされる大陸沿岸海域と考えられている。カタバ風の強度は、沿岸海洋における混合強度に影響を与える。そこで、令和元年度には、混合強度を変えるため攪拌子の回転速度を 100、200、300、400、500 及び 600rpm に設定し、低温実験室内で同時に海水生成実験を行った。なお、添加した植物プランクトンは、平成 29 年度に採集した南極海季節海水域で優占する植物プランクトン株を用いた。生成された海水中のクロロフィル *a* 濃度を測定したところ、混合強度が強いほど海水中に取り込まれる植物プランクトン量が高くなる傾向があった(図 1)。この結果は、南極海の現場においても、カタバ風の強い海域ほど大量の植物プランクトンが生成される海水に取り込まれている可能性を示唆する。

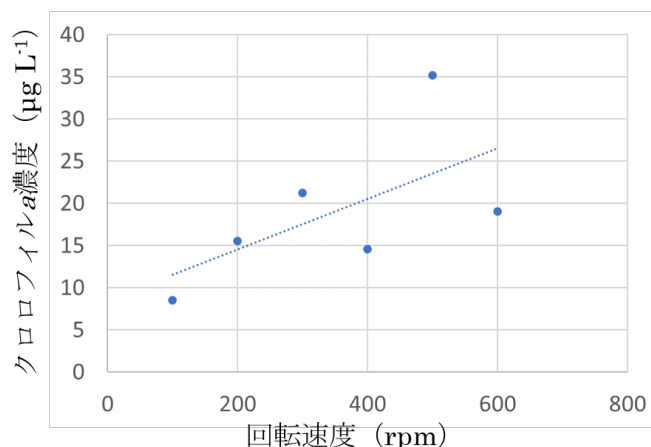


図 1 . 回転速度と生成された海水中のクロロフィル *a* 濃度 .

南極海における海水は、カタバ風の強い沿岸域が主要な生成海域と言われており、ポリニア海域として知られている。ここで生成された海水は、カタバ風により沖合(低緯度側)に運ばれる。従って、本研究結果は海水生成とともに有機物の水平輸送が起こり、その有機物量はカタバ風の強度に依存することを意味する。今後の南極海における炭素循環や食物連鎖の研究に新たな道筋を提案するものとなった。

本研究では、今後の南極海における炭素循環や食物連鎖の研究に新たな道筋を提案することができた。冬季の南極大陸沿岸域のポリニアで生成された海水は、現場の植物プランクトンを取り込み沖合(低緯度側)海域へ輸送されると考えられる。本研究と平行して実施した、南極海で採集された海水中の生物相を調べる実験では、植物プランクトンだけではなく多様な従属栄養生物が含まれていることが分かった。平成 30 年度に行った実験では、光を当てながら海水を生成させると、海水中および海水中でも植物プランクトンが増殖する可能性が示唆された。こうした結果は、海水中というマイクロハビタット内において食物連鎖が構成されていることを示唆する。冬季に生成した海水は、数か月かけて低緯度側へ運ばれ、夏を迎えると融解する。そこで海水内のマイクロハビタットは崩壊し、海水内生物相は海洋表層へ放出されることになる。一般に海洋生態系における一次生産有機物は、現場の植物プランクトンの光合成によってもたらされると考えられている。南極海季節海水域においては、現場の一次生産に加え、海水によって輸送される有機物の放出が、食物連鎖に加わっているものと推察される。今後の研究では、こうした別経路の有機物供給の貢献度を明らかにする必要がある。

3 年間の本研究期間中に、海水生成時に植物プランクトンが海水に取り込まれる量的な議論を中心に行った。クロロフィル *a* 濃度測定用試料を採集する際、同時に顕微鏡観察用試料も収集した。今後、顕微鏡観察を通じて海水に取り込まれやすい植物プランクトンの種・サイズ・形態の特徴を明らかにし、南極海で採集された海水域中で優占する藻類群集組成と比較し、定性的な知見を収集する必要がある。

謝辞

本研究を進行するにあたり、南極海季節海水域で優占する植物プランクトン株の採集・培養並びに海水生成実験の準備に、国立極地研究所研究教育系助教・高橋邦夫氏、同助教・真壁竜介氏、同元助教(現、国立環境研究所地球環境研究センター研究員)・高尾信太郎氏、同特任研究員・佐野雅美氏、総合研究大学院大学複合科学研究科極域科学専攻・影沢歩友子氏、同専攻・高橋啓伍氏の協力を得た。ここに感謝の意を表す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Moteki M, Odate T, Hosie GW, Takahashi KT, Swadling KM & Atsushi Tanimura A	4. 巻 12
2. 論文標題 Ecosystem studies in the Indian Ocean sector of the Southern Ocean undertaken by the training vessel Umitaka-maru	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.polar.2017.04.002	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 Ojima M, Takahashi KT, Iida T, Moteki M, Miyazaki N, Tanimura A & Odate T	4. 巻 12
2. 論文標題 Variability of the fauna within drifting sea ice floes in the seasonal ice zone of the Southern Ocean during the austral summer	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 19-24
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.polar.2017.02.005	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 Takahashi KT, Makabe R & Odate T	4. 巻 3
2. 論文標題 Zooplankton monitoring using a twin NORPAC net during the 58th Japanese Antarctic Research Expedition in austral summer 2016-2017	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polar Data Journal	6. 最初と最後の頁 12-21
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.20575/00000007	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 Makabe R, Takao S & Odate T	4. 巻 3
2. 論文標題 Chlorophyll a and macro-nutrient concentrations and photosynthetically active radiation during the training vessel Umitaka-maru cruises of the 58th Japanese Antarctic Research Expedition in January 2017	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polar Data Journal	6. 最初と最後の頁 46-58
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.20575/00000009	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 Shimada K, Makabe R, Takao S & Odate T	4. 巻 4
2. 論文標題 Physical and chemical oceanographic data during Umitaka-maru cruise of the 58th Japanese Antarctic Research Expedition in January 2017	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polar Data Journal	6. 最初と最後の頁 1-29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.20575/00000010	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 櫻井久恵, 佐野雅美, 小達恒夫	4. 巻 63
2. 論文標題 極域で採集された動物プランクトンネット試料を用いた樹脂封入標本の試作報告	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 南極資料	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Sakurai H, Moteki M Shimada K, Nosaka A, Yamamoto A, Matsushita J, Takahashi K, Hasegawa T, Nirazuka S, Tachibana A, Kobayashi M, Kagesawa A, Sano M, Takahashi KT, Makabe R & Odate T	4. 巻 365
2. 論文標題 Plankton samplings by the training vessel Umitaka-maru in the Indian Sector of the Southern Ocean in the austral summer of 2019	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JARE DATA REPORTS	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Sakurai H, Sano M, Takahashi KT, Makabe R & Odate T	4. 巻 67
2. 論文標題 New series of animal specimens from polar regions: resin-embedded specimens of marine plankton for the promotion of marine education	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bulletin of the Plankton Society of Japan	6. 最初と最後の頁 19-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

[学会発表] 計13件(うち招待講演 0件/うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Kurosawa N, Nakamura E, Takahashi K, Makabe R, Takao S, Odate T & Moteki M
2. 発表標題 Diversity and community structure of protists in the floating sea ice of Southern Ocean revealed by 18S rDNA amplicon sequencing
3. 学会等名 Marine Ecosystem Assessment of the Southern Ocean Conference (MEASO2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hasegawa T, Makabe R, Takao S, Moteki M & Odate T
2. 発表標題 Ice-associated copepods in sea ice floes and the water column in the Antarctic seasonal ice zone in summer
3. 学会等名 Marine Ecosystem Assessment of the Southern Ocean Conference (MEASO2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahashi K, Makabe R, Takao S, Miyazaki N, Moteki M & Odate T
2. 発表標題 Increased ice algae in the water column after melting of sea ice off Vincennes Bay, East Antarctica, during the austral summer
3. 学会等名 Marine Ecosystem Assessment of the Southern Ocean Conference (MEASO2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahashi, K., R. Makabe, S. Takao, N. Miyazaki, M. Moteki, T. Odate
2. 発表標題 Release of microalgae from annual sea ice into the water column during the austral summer off Vincennes Bay (Indian sector, Southern Ocean)
3. 学会等名 The 8th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hasegawa, T., R. Makabe, S. Takao, M. Moteki, T. Odate
2. 発表標題 Variability of sea ice fauna in the sea ice floes and water column in the Antarctic seasonal ice zone
3. 学会等名 The 8th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Makabe, R., S. Takao, K. Mizobata, M. Moteki, T. Odate
2. 発表標題 Drifter experiment to observe the pelagic ecosystem and material flow during sea ice melting season
3. 学会等名 The 8th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長谷川拓海, 真壁竜介, 高尾信太郎, 茂木正人, 小達恒夫
2. 発表標題 東南極海水縁域における浮氷中および周辺水柱中の動物群集組成
3. 学会等名 日本海洋学会2017年度秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐野雅美, 真壁竜介, 山本あゆ, 黒沢則夫, 茂木正人, 小達恒夫
2. 発表標題 Effects of lugol 's fixtation on preservation of samples for carbon and nitrogen stable isotope and molecular analyses
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 影沢歩友子, 佐野雅美, 高尾信太郎, 真壁竜介, 溝端浩平, 黒沢則夫, 茂木正人, 小達恒夫
2. 発表標題 南大洋の季節海水域における亜表層クロロフィル極大の時系列観測
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Okano S, Kagesawa A, Takao S, Makabe R, Moteki M, Odate T & Kurosawa N
2. 発表標題 Eukaryotic community structure in sinking particles in the seasonal sea ice zone of the Southern Ocean
3. 学会等名 The 10th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kagesawa A, Takao S, Makabe R, Kurosawa N, Moteki M & Odate T
2. 発表標題 Temporal changes in export flux and physicochemical factors during sea ice melting season
3. 学会等名 The 10th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahashi KT, Umeda H & Odate T
2. 発表標題 The annual variability in abundance and shell size of the pteropods <i>Limacina</i> spp. in the seasonal ice zone of the Southern Ocean
3. 学会等名 The 10th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sugioka R, Matsuno K, Makabe R, Takahashi K, Moteki M, Odate T & Yamaguchi A
2. 発表標題 Meridional changes of zooplankton community and copepods population along 110°E transect in the Indian sector of the Southern Ocean during austral summer
3. 学会等名 The 10th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究協力者	高橋 邦夫 (Takahashi Kunio) (50413919)	国立極地研究所・研究教育系・助教 (62611)	
研究協力者	真壁 竜介 (Makabe Ryosuke) (40469599)	国立極地研究所・研究教育系・助教 (62611)	
研究協力者	高尾 信太郎 (Takao Shintaro) (80767955)	国立環境研究所・地球環境研究センター・研究員 (82101)	
研究協力者	佐野 雅美 (Sano Masayoshi) (00814732)	国立極地研究所・研究教育系・研究員 (62611)	
研究協力者	影沢 歩友子 (Kagesawa Ayuko)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力 者	高橋 啓伍 (Takahashi Keigo)		