

令和元年6月14日現在

機関番号：32658

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07829

研究課題名(和文) オホーツク沿岸能取湖における海水生成と海洋環境動態による低次生産層の応答解析

研究課題名(英文) Response analysis of the lower trophic levels by the sea ice production marine environment change in Lagoon Notoro-ko coastal Okhotsk Sea

研究代表者

西野 康人(NISHINO, Yasuto)

東京農業大学・生物産業学部・教授

研究者番号：50424677

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では海水のうち、定着海水に着目した。調査は、北海道沿岸に位置し、オホーツク海に開口した能取湖で実施し、結氷期の一次生産者(植物プランクトン、アイスアルジー)の動態を把握するとともに、海水下水柱の一次生産力の測定をおこなった。海水下の植物プランクトンによる一次生産力の測定は、メモリー式溶存酸素計を用いて溶存酸素濃度の動態を調べ、その経時変化より一次生産力と呼吸速度の評価をおこなった。その結果、結氷期初期は植物プランクトンの一次生産力は低い、結氷後期に向けて高くなる傾向を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球温暖化の影響で、さまざまな生態系への影響が危惧されている。特に氷海生態系では、その影響が顕著であることが推察されている。本研究課題では、氷海生態系の基盤である低次生産層に焦点をあて、ここでの一次生産者の動態と一次生産力を海水の成長段階ごとに調査し、低次生産層生物群と海水との関係性の把握をおこなった。本研究は、これまでほとんど測定されていない氷海生態系での一次生産力の測定を、海水生成状況に合わせておこなっており、今後、温暖化の影響を評価する上での基礎的な知見として貢献するものである。

研究成果の概要(英文)：In this research, we focused our attention on fast ice produced by sea ice. We carry out the research in the Lagoon Notoro-ko which is located in the east Hokkaido and opened in Okhotsk Sea. We conducted the understanding of the change of biomass of the primary producer (phytoplankton and ice-algae) and the measurement of the primary productivity in the water column during the ice covered season. The estimation of the primary productivity and the respiration rate is conducted by measuring a change of the dissolved oxygen concentration using the memory-type dissolved oxygen meter. As a result, the primary productivity of the phytoplankton is low in the early period of sea ice product and showed the tendency which rose up for the ice melting period.

研究分野：生物海洋学

キーワード：海水 アイスアルジー 植物プランクトン 動物プランクトン 一次生産力

1. 研究開始当初の背景

オホーツク海は世界でも有数の漁業資源の豊かな海である。この豊かさは、それを支える一次生産者の存在がある。すなわち、一次生産者が生産できる表層への栄養塩の供給機構がオホーツク海には存在することを示唆している。この栄養塩供給機構を含め、海水が生物生産に多大な影響をおよぼしていることは、北海道大学を中心としたアムール・オホーツクプロジェクト研究で明らかとなってきた。一方、近年、海氷の減少、海水温の上昇など、気候変動の影響ともいわれる変化が顕在化してきている。海氷の減少はプランクの沈み込みを弱め、アイスアルジーならびに植物プランクトンによる一次生産、さらには低次生産層における生物生産に、多大な影響をおよぼすことが推測される。低次生産層で起こった現象は、やがてオホーツク海における生態系そして人類が利用している資源生物へと影響をおよぼすことになる。今後、持続的にオホーツク海から漁業資源の恵みを受けるためにも、海氷が生物生産におよぼす影響を明らかにすることは危急の課題といえる。

その一方で、オホーツク海をはじめとする氷海における海氷と生物生産の関わりという側面での研究は進んでいない実態がある。そこには、氷海における海氷の多くは流水であることによる、データ取得の難しさ、履歴を把握することの困難さ、それにとまなうデータの解釈の難しさがある。

2. 研究の目的

海水が生物生産に多大なる影響をおよぼすことは南極・北極等の極域での研究により示されてきたが、海水生成から融解までの全過程を含めた生物生産に関する調査研究はほとんどおこなわれていないのが実状である。その要因として、海氷の生成から融解までの一連の過程に合わせた調査研究をおこなえる場所が、極めて限定されていることがあげられる。本申請課題では、海水生成から崩壊・融解までの一連の過程を調査することができる定着海氷に着目し、通年にわたり海洋環境・一次生産・一次消費者の相互関係を把握することで、海水が低次生産層にもたらす影響を明らかにすることを目的とする。特にこれまで知見の少ない結氷期の一次生産力の評価をおこなうことで、低次生産層におよぼす海氷の影響を明らかにする。

3. 研究の方法

定着氷という視点による海氷調査をおこなうため、能取湖を調査地と定めた。能取湖はオホーツク沿岸に位置する海跡湖で、オホーツク海に開口し、大きな流入河川がないことから、陸水の影響が少なく、潮汐変動により湖内の水の交換がおこなわれる。湖内水の塩分は 33 前後であり、オホーツク海の水と同質であると言える。そして、冬季に湖面は結氷する。結氷した氷は海水であり、湖内で結氷し、湖内で融解していく、定着氷である。ここで、海氷および海水試料の定期的採集を実施した。

(1) 調査定点

能取湖の湖中央部にある最深部に氷上観測の定点を設置した (Fig. 1)。ここは非結氷期には船上調査での定点となる。オホーツク海と能取湖の海流交流量を評価するため、能取湖湖口にもうひとつ定点を設けた。

(2) 採氷・採水

海氷はアイスオーガによりコア状に採集し、層別に分割し、採取した。分割採取した海氷サンプルは、融解後、塩分を測定し、サイズ別クロロフィル濃度測定ならびに栄養塩測定用試水とした。海水サンプルは、層別に採集をおこない、海氷サンプルと同様に、サイズ別クロロフィル濃度と栄養塩測定に供した。

(3) 環境データ

湖中央部にある観測定点に設置された観測ブイによる水温・塩分の連続的データを取得した。各調査では、CTD 観測 (水温・塩分・蛍光値等の鉛直プロファイル) ならびに光量子計による光環境の鉛直プロファイルの測定をおこなった。結氷期には光量のメモリーセンサーを設置し、氷下の深度別光量と氷上光量の経時的データを取得した。また、一次生産量測定調査時には水柱と陸上光量の経時データを取得した。

(4) 生物データ

海氷中の採集層別のアイスアルジー、水中の層別の植物プランクトンの種組成の動態解析、セディメントトラップによる採集物の分析およびネット動物プランクトンの動態解析を実施した。

(5) オホーツク海沿岸水と能取湖湖内水の海流交流調査

能取湖に流入するオホーツク海沿岸水の流入状況を把握するため、能取湖湖口で24時間観測を実施し、水塊の動態にあわせてCTD観測、採水、ネット採集を実施した。

(6) 一次生産力の測定

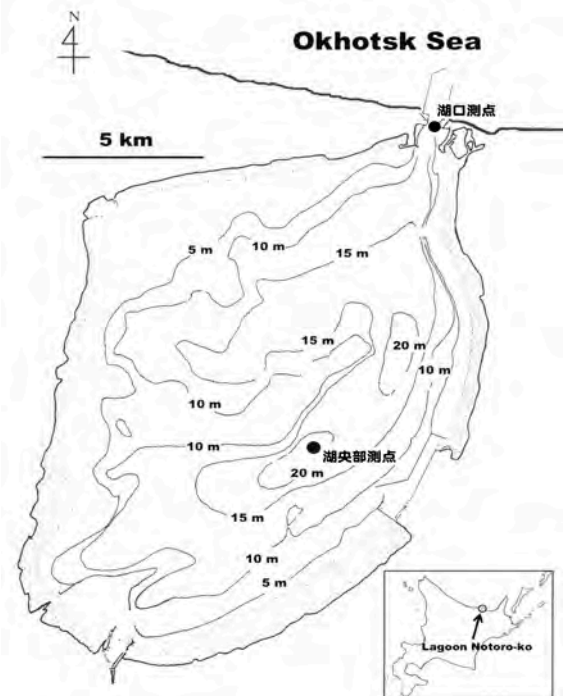


Fig. 1 能取湖湖口の観測定点

一次生産力の測定は、酸素法により測定した。実施は一般的に用いられている明暗瓶法と新たに開発した溶存酸素計による連続測定による一次生産力測定との2つである。

明暗瓶法は、一定量の試水が入った透明な明瓶と遮光した暗瓶を現場環境と同じ条件に設置し、溶存酸素濃度の差より一次生産量を測定するものである。具体的には、バンドーン採水器を用いて採水した試水を2Lポリカーボネート容器(2本)に入れ、採水時の溶存酸素濃度を測定する。その後、フタをし、密閉状態とする。このうち1本は遮光シートで覆い、暗瓶とする。この2本を1セットとして、採水深度に係留し、24時間後にそれぞれの溶存酸素濃度を測定した。一方、連続測定法は、現場海水を入れた透明タンクにメモリー式溶存酸素計を設置し、溶存酸素濃度を経時的に測定し、その動態より一次生産量を測定する手法である。連続測定による一次生産力の測定は、試水を満たした透明の容器にメモリー式の溶存酸素計をセットし、得られた溶存酸素濃度の経時変化から一次生産力を算出する方法である。本研究では、採水した試水を透明のポリカーボネートタンク(9L)に入れ、小型メモリー溶存酸素計(RINKO I, JFEアドバンテック)をタンク内にセットした後、採水水深に24時間係留した。小型メモリー酸素計を回収後、溶存酸素濃度の動態より、見かけの光合成速度と呼吸速度を算出した。明暗瓶法と連続測定法を実施する際には、現場の光量も同時に測定した。

4. 研究成果

(1) 一次生産力

海水が生成し、安定した状態にある結氷中期(2019年3月4-5日)に、湖央部で測定した溶存酸素連続測定法による溶存酸素の動態をFig.2に示す。実験期間中の溶存酸素濃度は、5mでは15.309-15.574 mg/L、10mでは15.716-16.277 mg/L、の濃度範囲にあった。実験開始時から終了時に向けて、減少する傾向を示した。すなわち、光合成による生産はほとんどおこなわれていない状況であった。このときの光量の動態をFig.3に示す。陸上光量は、日中は1000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{S}$ の値を示していたが、海水下の水深5mでは、最大でも12.1 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{S}$ 、水深10mでは、最大で6.8 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{S}$ であった。それぞれの平均透過率は水深5mで0.77%、水深10mで0.45%であった。一般的に有光層は光透過率が1%以上と言われており、海水下の透過率はその値を下回るものであった。このことより、光が律速となり、一次生産速度は制限されたものと推察される。

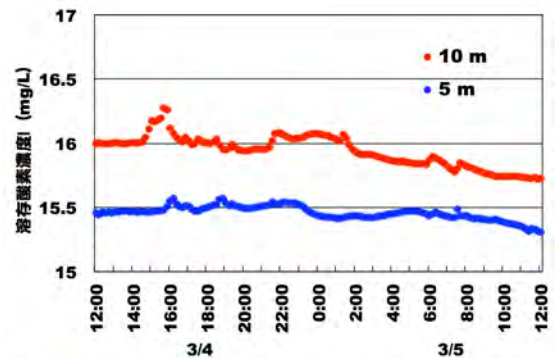


Fig.2 溶存酸素連続測定法による結氷期、海水下の溶存酸素濃度の動態

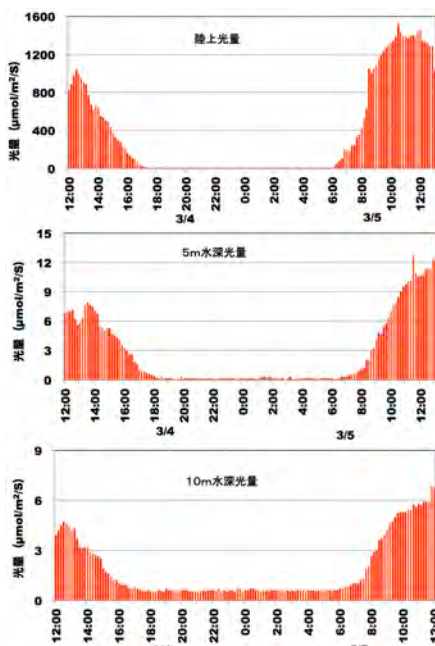


Fig.3 実験期間中の光量の動態

海水中のブラインポケットが拡大してきている融氷期(2019年3月18-21日)に、湖央部の定点で測定した溶存酸素連続測定法による溶存酸素の動態をFig.4に示す。一次生産力測定を実施した水深は5m、10m、15mの3層である。得られたデータより、3月19日の22時あたりに氷上から係留していたものが、トラブルにより海底まで沈降していたことが判明した。そのためデータ解析は実験開始した3月18日の13時から3月19日の日没後18時までのデータを用いておこなった。

実験期間中の溶存酸素の動態は、水深15mでは実験開始時から終了時まで減少傾向を示した。水深5mと10mでは、実験開始時から日出までの時間帯は溶存酸素は減少傾向を示し、日出後は溶存酸素が増加する傾向を示した。これら溶存酸素濃度の動態データを用い、夜間の溶存酸素濃度の減少の傾きより呼吸速度を算出し、日中の溶存酸素濃度の動態より見かけの一次生産量を算出した。さらに見かけの一次生産量に呼吸量を加算することで総一次生産量を算出した(Table 1)。呼吸速度は、水深5mで0.012mg/L/h、水深

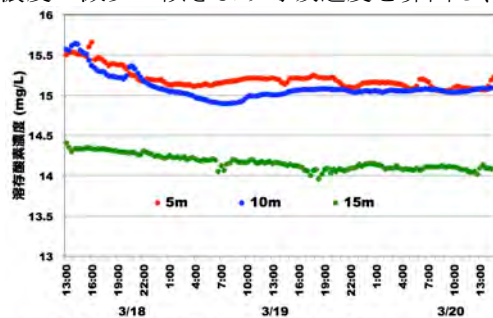


Fig.4 溶存酸素連続測定法による結氷期、海水下の溶存酸素濃度の動態

10mで0.009mg/L/h、水深15mで0.004mg/L/hとなった。この値より算出した日中の呼吸による酸素消費量は水深5mで0.14mg/L/12h、水深10mで0.11mg/L/12h、水深15mで0.05mg/L/12hとなった。見かけの光合成量(酸素濃度増加量)は水深5mで0.12mg/L/12h、水深10mで0.18mg/L/12h、水深15mで-0.14mg/L/12hとなった。ここから日中の総光合成量(総酸素生成量)を算出すると、水深5mで0.26mg/L/12h、水深10mで0.29mg/L/12h、水深15mで-0.09mg/L/12hとなっ

Table 1 溶存酸素濃度から算出した光合成量と呼吸量

		5m	10m	15m
日中 (6:00-18:00)	見かけの光合成量mg/L	0.12	0.18	-0.14
	呼吸量mg/L	0.14	0.11	0.05
	総光合成量mg/L	0.26	0.29	-0.09
1日 (24時間)	呼吸量mg/L/day	0.28	0.22	0.10
	見かけの光合成量mg/L/day	-0.02	0.07	-0.19

た。このことより、日中の一次生産量は水深 5m と 10m ではプラス、水深 15m ではマイナスとなっていることが示された。さらに 1 日 (24 時間) あたりの呼吸量を算出し、1 日あたりの総光合成量は日中の総光合成量と同等と仮定することで、1 日あたりの純光合成量 (純酸素生成量) を算出した。その結果、水深 5m で -0.02mg/L/day 、水深 10m で 0.07mg/L/day 、水深 15m で -0.19mg/L/day となった。この結果より、1 日あたりの純一次生産量は、水深 5m ではわずかにマイナス、水深 10m ではプラス、水深 15m ではマイナスの生産となっていた。実験期間中の光環境は、Fig.5 に示す。陸上光量に対する深度別光透過率は、水深 5m で約 1%、水深 10m で約 0.7%、水深 15m で約 0.3% であった。光環境としては水深 5m が水深 10m よりもよいことになる。一方、クロロフィル a 濃度をみると水深 5m で約 $1.5\mu\text{g/L}$ 、水深 10m で約 $2.0\mu\text{g/L}$ となっており、水深 10m の方がクロロフィル a 濃度が高い値を示していた。呼吸速度は水深が深くなるほど低い値となっており、浅い水深の方が動物も含めた生物量が多かったことが推察される。

(2) まとめ

本研究では、一次生産力の測定法として、メモリー式の溶存酸素計を用いて溶存酸素の動態を把握することで、呼吸量や光合成量を評価する新たな手法を開発した。この手法により、これまで始点と終点の差により評価してきた一次生産量や呼吸量をより精細に評価することが可能となった。この手法により、氷海の水柱における一次生産力を測定した結果、結氷初期にはマイナスの生産であったものが、融氷期はプラスの生産になっていることが示された。これまで海氷中にはアイスアルジーが分布するものの、水柱は海氷の影響により植物プランクトンの分布は制限されると考えられてきた。しかし、本研究の結果、水柱でもプラスの生産になることが明らかとなった。本研究の結果は、今後、氷海での一次生産力測定をおこなう上での指標のひとつを示したと言える。また、本研究で開発された一次生産力の測定法は、これまでブラックボックスとなっていた一次生産量の動態を可視化することを可能とした。日中の光環境の動態、クロロフィル a 濃度等の情報より一次生産力を評価する簡易的な手法への発展の可能性を示唆するものでもある。

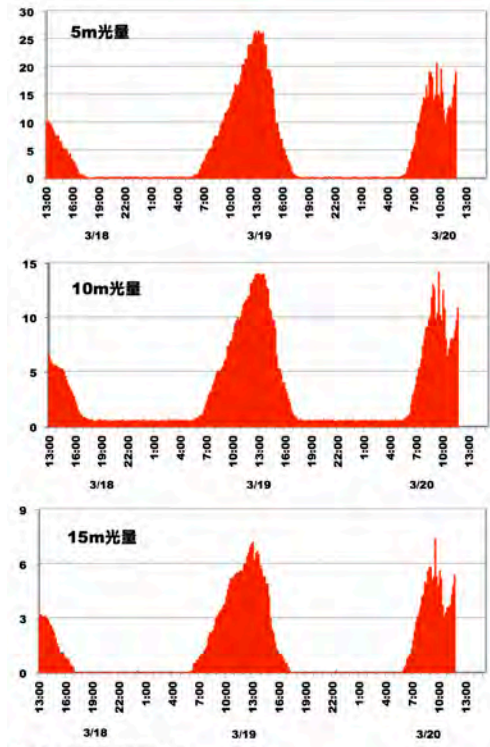


Fig.5 実験期間中の光量の動態

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計3件)

①Ichinomiya, M., Yamada, K., Nakagawa, Y., Nishino, Y., Kasai, H., Kuwata, A., Parmales abundance and species composition in the waters surrounding Hokkaido, North Japan, *Polar Science*, 査読有, 19, 2019, 130-136

②Kitamura, M., Nakagawa, Y., Nishino, Y., Segawa, S., Shiomoto, A., Comparison of the seasonal variability in abundance of the copepod *Pseudocalanus newmani* in Lagoon Notoro-ko and a coastal area of the southwestern Okhotsk Sea., *Polar Science*, 査読有, 15, 2018, 62-74

③Nakagawa, Y., Kitamura, M., Shiomoto, Feeding rates of dominant copepods on phytoplankton in the coastal area of the southwestern Okhotsk Sea., *Transactions on Science and Technology*, 査読有, 3, 2016, 439-443

〔学会発表〕 (計18件)

①Nakagawa, Y., Sano, M., Segawa, S., Effect of water temperature on specific gravity of North Pacific giant octopus *Enteroctopus dofleini* paralarvae., *International Conference on Marine Science & Aquaculture 2019*, 2019

②中川至純、原 匡史、園田 武、西野康人、瀬川 進、濤沸湖におけるマイクロプランクトン群集の時空間変動、平成30年度日本水産学会春季大会、2018

③北村充彰、中川至純、西野康人、瀬川 進、塩本明弘、北海道オホーツク沿岸海跡湖能取湖におけるカイアシ類群集の年変動、平成30年度日本水産学会春季大会、2018

④西野康人、木部皓太、中川至純、瀬川 進、秋季、能取湖湖口付近での終日観測から見いだされた水塊の日周動態、2018生態工学会年次大会、2018

⑤Nakagawa, Y., Kitamura, M., Nishino, Y., Segawa, S., Interannual variability of zooplankton abundance in Lagoon Notoro-ko during 2010-2015., *The Eighth Symposium on Polar Science.*, 2017

⑥中川至純、折原啓太、北村充彰、西野康人、瀬川 進、能取湖における植物プランクトンに対する微小動物プランクトンの摂食圧、汽水域研究会2017年 (第9回) 大会、2017

- ⑦中川至純、原 匡史、酒井 健、園田 武、西野康人、瀬川 進、藻琴湖および濤沸湖におけるサイズ別クロロフィルa濃度の季節分布、汽水域研究会2017年（第9回）大会、2017
- ⑧中川至純、北村充彰、西野康人、瀬川進、北海道オホーツク沿岸海跡湖能取湖における動物プランクトン群集の経年変動、平成29年度日本水産学会春季大会、2017
- ⑨一宮睦雄、山田和正、中川至純、西野康人、桑田晃、北海道周辺海域におけるパルマ藻群集の現存量および種組成、日本海洋学会海洋生物学研究会 第1回シンポジウム、2017
- ⑩中川至純、原 匡史、酒井 健、園田 武、西野康人、瀬川進、濤沸湖および藻琴湖におけるクロロフィルa濃度の時空間変動、平成29年度日本水産学会春季大会、2017
- ⑪北村充彰、中川至純、西野康人、瀬川進、塩本明弘、秋季および春季の海跡湖能取湖におけるカイアシ類群集の短期変動、2016年度ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会、2016
- ⑫杉野 豪、中川至純、西野康人、瀬川進、塩本明弘、能取湖におけるピコ・ナノプランクトン現存量の季節変動、2016年度ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会、2016
- ⑬東裕人、菅美咲、山田和正、一宮睦雄、中川至純、西野康人、桑田晃、北海道周辺海域におけるパルマ藻群集の現存量、種組成および分布、2016年度ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会、2016
- ⑭Ichinomiya, M., Yamada, K. Nakagawa, Y., Nishino, Y., Kuwata, A., Abundance and species composition of the Parmales community in the surrounding waters of Hokkaido, western North Pacific, The Seventh Symposium on Polar Science, 2016
- ⑮Nakagawa, Y., Sakamoto, T., Tanemura, K., Matsushima, K., Kitamura, M., Kasai, H., Nishino, Y., Segawa, S., Copepod community in the southwestern Okhotsk Sea during spring of 2011-2013, The Seventh Symposium on Polar Science, 2016
- ⑯Sugino, T., Nakagawa, Y., Nishino, Y., Segawa, S., Shiimoto, A., Seasonal variations in biomass of pico- and nano-plankton in Lagoon Notoro-ko, The Seventh Symposium on Polar Science, 2016
- ⑰Kitamura, M., Nakagawa, Y., Nishino, Y., Segawa, S., Shiimoto, A., Seasonal changes in copepod community in the coastal area of the southwestern Okhotsk Sea -Comparison between Lagoon Notoro-ko and coastal water communities-, The Seventh Symposium on Polar Science, 2016
- ⑱Kanda, T., Nakagawa, Y., Nishino, Y., Segawa, Seasonal changes of cladoceran community in Lagoon Notoro-ko, Hokkaido in 2014, The Seventh Symposium on Polar Science, 2016
- ⑲西野康人、中川至純、オホーツク沿岸海跡湖能取湖の結氷期における2008年と2012年のクロロフィルaの動態、2016生態工学会年次大会、2016

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：中川 至純

ローマ字氏名：(NAKAGAWA, Yoshizumi)

所属研究機関名：東京農業大学

部局名：生物産業学部

職名：教授

研究者番号：70399111

(2)研究協力者

研究協力者氏名：韓 東勲

ローマ字氏名：(HAN, Donfun)

研究協力者氏名：瀬川 進

ローマ字氏名：(SEGAWA, Susumu)

研究協力者氏名：鈴木 利一

ローマ字氏名：(SUZUKI, Toshikazu)