

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：32658

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580282

研究課題名(和文)海氷生成による生物生産への影響とその機構解明

研究課題名(英文)Influence on biological production by the sea ice and the elucidation of the mechanism

研究代表者

西野 康人(Yasuto, Nishino)

東京農業大学・生物産業学部・准教授

研究者番号：50424677

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では定着氷に着目し、道東オホーツク沿岸域にある能取湖で2013～2015年の結氷期に調査を実施した。本研究の結果、結氷期にも水柱では高濃度のクロロフィルaが分布すること、そして、その分布動態は年により大きく変動することが明らかとなった。また海氷中のアイスアルジーも積算値では水柱より少ないものの、下部に集まることで、効率良く一次消費者に一次生産物を伝える機能を有することが推察された。すなわち、海氷は一次生産を活性化させる機能を有することが示唆された。

研究成果の概要(英文)：We conducted an investigation focus attention to fast ice in Lagoon Notoro-ko from 2013 to 2015 during ice-covered season. As a result of this study, it were shown that high concentration of chlorophyll a was distributed in the water column during ice-covered season and the distribution pattern varied by a year. Although the total amount of chlorophyll a content in the sea-ice is relatively low, it is locally concentrated in and around the sea-ice. This suggests that the zone beneath the bottom layer of the sea-ice provides a suitable feeding environment for primary consumers inhabiting the water column, where ice algae is distributed in locally and densely as a food source. Namely, it was suggested that the sea ice makes primary production activate.

研究分野：生物海洋学

キーワード：海氷 アイスアルジー プランクトン クロロフィル セディメントトラップ

## 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。この豊かさの背景には、それを支える高い一次生産者の存在がある。そしてこの事は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。しかしこれまで、オホーツク海の生産性の高さを支える機構に関する研究は、進んでいない実態があった。しかし、北大グループが中心となって行なわれてきたアムール・オホーツクプロジェクトで、オホーツク海の姿が、徐々に明らかにされつつある。そのなかで、栄養塩供給機構にオホーツク海の海氷が大きく関わっていることが認識されるようになってきた。しかし、海氷と生物生産の関わりという側面では、研究が進んでいないのが実状であった。その要因のひとつに、オホーツク海の海氷は流水であるということがあげられる。冬季、オホーツク海を埋めつくす流水の中での調査研究は困難であること、そして履歴の把握ができないため、得られたデータの持つ意味を判断できないこと等の理由がある。しかし、オホーツク海の生態系および生物生産の評価を行なう上で、海氷が生物生産にもたらす意味の解明は必要不可欠である。

## 2. 研究の目的

海氷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、海氷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行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を調査研究行なえる場所が、極めて限定されていることがあげられる。

そこで、定着氷に着目した。定着氷にて海氷が生成され、成長し、融解・崩壊していく過程を調査研究することで、海水が凍結することにより生物生産にいかなる影響がもたらされているかを明らかにすることを目的とする。

## 3. 研究の方法

定着氷という視点による海氷調査を行なうため、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行なわれる。そのため塩分は 33 psu 前後であり、湖内の水は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) 調査地点

能取湖の湖央部にある最深部に氷上観測の定点を設置。この定点はオホーツク海からの潮汐変動の影響を直接受ける場所にある。

### (2) 環境データ

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。また光量のメモリーセンサーも設置し、氷下の光量の連続的変動のデータを取得した。氷上調査では、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。

### (3) 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。

### (4) 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、層別に採集を行ない、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。

### (5) 分析・測定

栄養塩は層別採水したものをオートアナライザーにより測定する。クロロフィルはサイズ分画し、DMF抽出したサンプルをターナー蛍光光度計により測定。

水柱の生産力の測定は現場で各層より採水した試水を培養瓶に封入し海中で培養する現場法によりおこなう。測定方法は酸素法により測定。

観測地点にセディメントトラップを設置し、短周期での海氷からのアイスアルジー等のフラックス量を測定。

## 4. 研究成果

### (1) 水温・塩分の動態

2013年の結氷期間中の水温はほぼ全層でマイナスの水温にあった。2月下旬、表層で-2.4℃と過冷却状態にあり、このときは底層付近まで-1.6℃ときわめて低い水温であった。このとき表層の塩分は33 psu以上であり、オホーツク海中冷水と似た特性の水塊の流入がみられた。2月中の塩分はほぼ全層で32 psu以下であり、東樺太海流の影響を受けた水塊が流入していたと考えられた。一方、3月にはいると底層から塩分が高くなる傾向がみられた。水温も3月下旬には底層でプラ

スの温度となった(図1)。

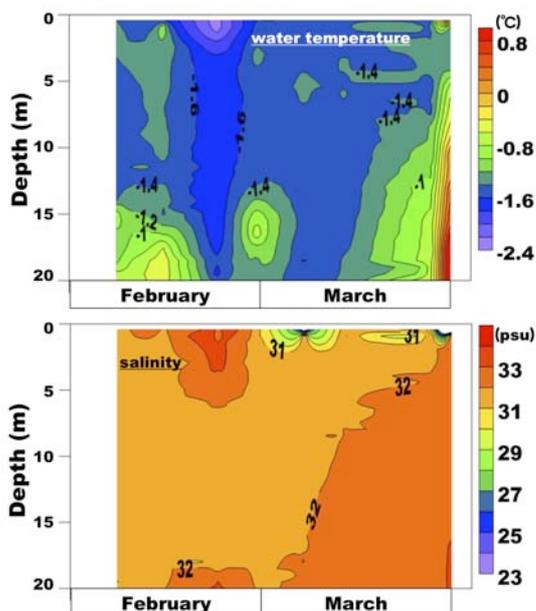


図1 2013年の結氷期の水温(上段)と塩分(下段)の動態

2014年の結氷期間中の水温はほぼ全層でマイナスの水温にあった。2013年と同様の傾向がみられた。ただし、2013年に確認された過冷却減少はみられなかった。一方、塩分は異なる動態がみられた。2月中旬表層10 m以浅で23-30 psuの低塩分が確認された。2013年は33 psu以上の高塩分が確認されたことと対照的な減少であった。このとき水温は全層でほぼ-1.4°Cであり、深さによる違いはみられなかった。

## (2)クロロフィルaの動態

植物プランクトンの指標となるクロロフィルaの水柱における動態は、2013年には結氷初期の2月中旬に、水深5-10 m付近に顕

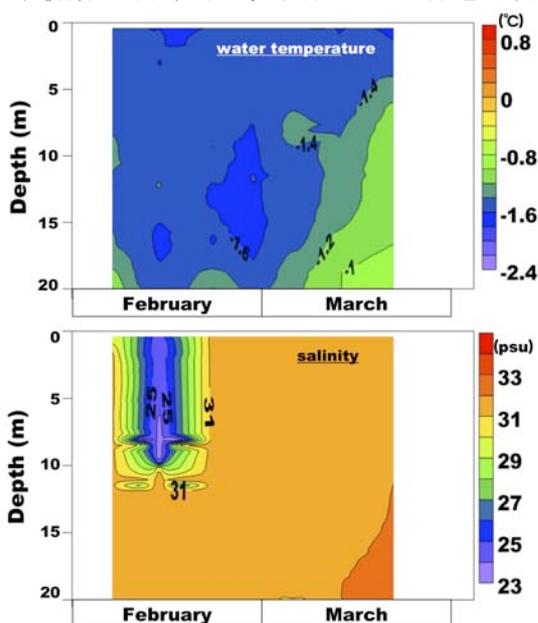


図2 2014年の結氷期の水温(上段)と塩分(下段)の動態

著なクロロフィル極大が観測された。この層での最大濃度は約 $8 \mu\text{g/L}^{-1}$ であった。この濃度は、能取湖での非結氷期のスプリングブルーム時に観測されたデータにも匹敵するような高濃度である。一方、スプリングブルーム時は、底層付近でクロロフィル極大が観測されることが通例であるが、結氷期は水深5-10 mの表層から中層にかけて観測され、異なる分布を示した(図3)。2月下旬から3月中旬にかけては、水柱クロロフィルa濃度は $1 \mu\text{g/L}^{-1}$ を下回り、そして3月下旬にかけて、増加する傾向を示した。このときクロロフィルa濃度は底層で高い傾向を示し、約 $6 \mu\text{g/L}^{-1}$ と高い値を示した。

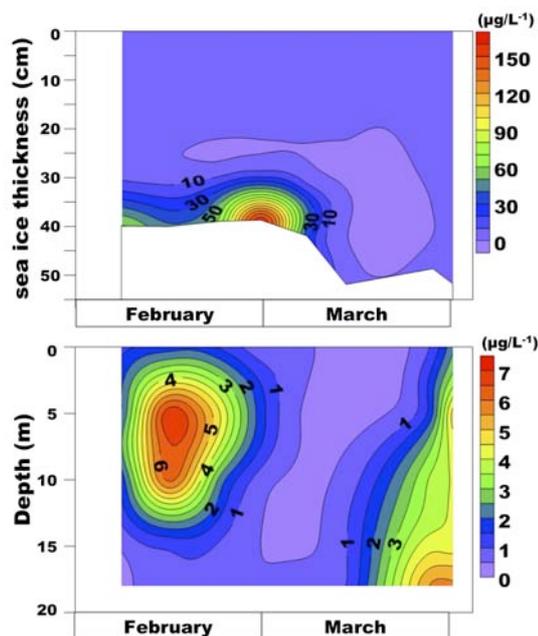


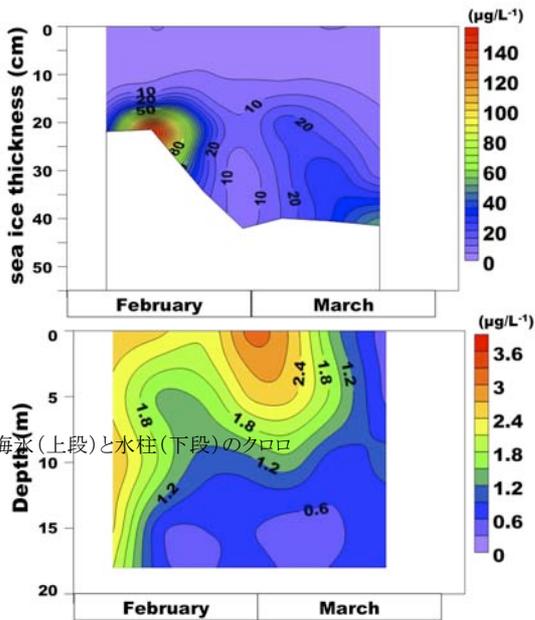
図3 2013年の結氷期の海氷(上段)と水柱(下段)のクロロフィルaの動態

一方、2014年の水柱のクロロフィルaの動態は、2013年とは異なり、2月上旬には全層で約 $2 \mu\text{g/L}^{-1}$ の濃度を示し、その後、3月上旬に表層で約 $3 \mu\text{g/L}^{-1}$ の値を示した。その後、光条件がよくなっていくにもかかわらず、水柱のクロロフィルa濃度は低下する傾向を示した。また、2月中旬以降、底層では $1 \mu\text{g/L}^{-1}$ 以下の低濃度を示し、3月中旬以降も底層でクロロフィルa濃度が増加することはなかった。

海氷中のクロロフィルaは、2013年は調査期間中を通して、海氷上部で少なく、下部で多い傾向を示した。その濃度の動態は、調査開始時に、海氷下部で $50 \mu\text{g/L}^{-1}$ 前後の値を示し、2月下旬には $200 \mu\text{g/L}^{-1}$ 以上のきわめて高濃度のクロロフィルaが海氷下部に存在した。しかし、3月上旬には $10 \mu\text{g/L}^{-1}$ 以下と激減した。その後も海氷は厚くなったものの、海氷中のクロロフィルa濃度は減少傾向を示した。一方、海氷の中上部のクロロ

フィルa濃度は10  $\mu\text{g/L}^{-1}$ 以下であった。

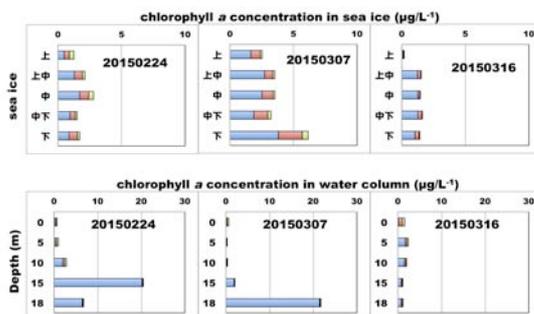
一方、2014年のクロロフィルaの動態は、海氷上部で少なく、下部で多い傾向は2013年度と同様であったが、下部における動態は異なるものであった。すなわち、2014年度は2月中旬に海氷下部でクロロフィル極大が観測され、ここでのクロロフィルa濃度は200  $\mu\text{g/L}^{-1}$ 以上であった。その後、2月下旬にかけて、約20  $\mu\text{g/L}^{-1}$ と急激に減少がみられ、3月にやや増加する傾向はみられたものの、濃度は低いままであった(図4)。



2014年の結氷期の海氷(上段)と水柱(下段)のクロロフィルaの動態

2015年のクロロフィルaの動態を図5に示す。この年は、能取湖における結氷が遅れ、氷上調査が実施できたのは、2月24日であった。また、融氷も早く、氷上調査は3回であった。2013, 2014年とくらべ、海氷中のクロロフィルa濃度はきわめて低く、もっとも濃度が高かった3月7日の下部でも6.1  $\mu\text{g/L}^{-1}$ であった。結氷期間が短かったためアイスアルジーの増殖期間が限られたことが一因と考えられる。また、例年にない暴風雪にみまわれ、氷上の積雪がおおかったことに起因する光環境の悪化もアイスアルジーの増殖を阻害したと推察される。一方、水柱のクロロフィルaの鉛直分布は2月24日の15m

2015年の結氷期の海氷上段の増殖期間が限られたことが一因と鉛直分布



で20.5  $\mu\text{g/L}^{-1}$ 、3月7日の18 mで21.8  $\mu\text{g/L}^{-1}$ と、非結氷期の春季大増殖時にみられるクロロフィルa濃度に匹敵するほどのきわめて高いクロロフィル極大がみられた。2015年の水柱の水温は-1°C前後の値でほぼ鉛直的に均一の状態にあった。塩分も全層で32 psu前後の値を示し、水温同様の傾向を示した。したがって、クロロフィル極大がみられた底層で特徴的な水塊はみられなかった。

### (3)まとめ

これまでの海氷研究より、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、3カ年わたる能取湖の結氷期における調査研究より、結氷期の水柱でも非結氷期と同等のクロロフィルa濃度が確認された。ただし、年による違いが顕著であった。また、海氷中のアイスアルジーの分布パターンも、海水と接する海氷下部にクロロフィル極大がみられたのは、既存の研究結果と同様であったが、調査期間中の海氷におけるクロロフィル極大の出現時期は、年により異なった。特に結氷期間が短かった2015年はアイスアルジーの現存量は、過去2カ年とくらべ10分の1程度と、顕著に少なかった。このように年による違いはきわだっていたものの、いずれの年もクロロフィルaの積算量では、水柱が海氷中を圧倒していた。しかし、海氷は厚さ数十センチにクロロフィルが分布し、しかも海水に接する下部でその極大は観測された。すなわち、海氷は少ないクロロフィルを効率的に一次消費者に伝える機能を有することが明らかとなった。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- ① Nakagawa, Y., Ichikawa, H., Kitamura, M., Nishino, Y., Taniguchi, A., Copepod community succession during warm season in Lagoon Notoro-ko, northeastern Hokkaido, Japan, *Polar Science*, 査読有, 2014, Vol.9, issu.2, 249-257.  
doi:10.1016/j.polar.2015.02.001
- ② 西野康人, 佐藤智希, 谷口 旭, オホーツク沿岸能取湖の2008年結氷期における海洋環境とクロロフィルaの動態、*農学集報*, 査読有, 2014, Vol. 59(3), pp. 177-183
- ③ 西野康人, 中川至純, 北村充彰, 西野康人, 中川至純, 結氷期、オホーツク沿岸海跡湖における一次生産動態 -海氷生成とアイ

スアルジー・植物プランクトンの関係-、  
2014生態工学会年次大会発表論文集、査読  
無、2014、pp. 103-104

- ④ 北村充彰、中川至純、西野康人、谷口 旭、  
北海道東部の海跡湖能取湖におけるカイ  
アシ類群集の季節変動に及ぼす水塊交替  
の影響、生態工学会誌、査読有、2014、  
Vol. 26, pp. 89-94
- ⑤ 西野康人、佐藤智希、谷口 旭、オホーツ  
ク沿岸海跡湖能取湖における一次生産特  
性 -サイズ別クロフィルaと溶存態無  
機窒素の動態-、農学集報、査読有、2014、  
Vol. 59(1), pp. 11-20
- ⑥ 西野康人、佐藤智希、谷口 旭、北海道東  
部の海跡湖能取湖における海洋環境 -水  
温。塩分。溶存酸素・栄養塩の動態-、生  
態工学会誌、査読有、2014、Vol. 26, pp. 3-9
- ⑦ 西野康人、中川至純、結氷期、オホーツク  
沿岸海跡湖における一次生産動態 -海水  
生成とアイスアルジー・植物プランクトン  
の関係-、2013生態工学会年次大会発表論  
文集、査読無、2013、pp. 103-104
- ⑧ 谷口 旭、北方冷水域の海洋生態系-生態  
系と北方民族文化に対する温暖化の影響  
-、第27回北方民族文化シンポジウム網  
走報告、査読無、0918-7715、2013、pp.1-6

[学会発表] (計 25 件)

- ① Nakagawa, Y., Kitamura, M., Shiimoto, A.,  
Seasonal changes in copepod community  
during warm seasons in the coastal area of  
Okhotsk Sea, eastern Hokkaido, Japan, 2015,  
International Conference on Marine Science  
& Aquaculture, 2015. 3. 17-19, Kota  
Kinabalu, Malaysia
- ② 中川至純、アリ 龍、葛西広海、西野康人、  
2013年6月および9月オホーツク海にお  
けるオキアミ類の分布、2015年1月8日、  
オホーツク海洋生物研究会、札幌
- ③ Kitamura, M., Nakagawa, Y., Nishino, Y.,  
Shiimoto, A., Seasonal variation in the  
copepod community structure in coastal area  
of the northeastern Hokkaido, Japan, 2014. 12.  
2-3, The Fifth Symposium on Polar Science,  
Tokyo
- ④ Nishino, Y., Nakagawa, Y., and Kitamura, M.,  
Temporal changes in chlorophyll a and  
marine environment in Lagoon Notoro-ko  
during ice-covered season, 2014. 12. 2-3, The  
Fifth Symposium on Polar Science, Tokyo
- ⑤ Nakagawa, Y., Takahashi, K., Nakano, S.,  
Kitamura, M., Nishino, Y., Taniguchi, A.  
Seasonal changes in abundance of tintinnids  
in Lagoon Notoro-ko, Hokkaido, Japan, 2014.  
12. 2-3, The Fifth Symposium on Polar  
Science, Tokyo
- ⑥ Nakagawa, Y., Ichikawa, H., Kitamura, M.,  
Nishino, Y., Taniguchi, A. Succession of  
copepod communities during no-ice covered  
season in Lagoon Notoro-ko, northeastern  
Hokkaido, Japan, 2014. 9. 20-21, IAA & CSJ  
Joint International Conference on Crustacea,  
Sapporo
- ⑦ 西野康人、中川至純、北村充彰、海水が一  
次生産におよぼす影響について、2014年9  
月13-17日、日本海洋学会秋季大会、長崎
- ⑧ 北村充彰、中川至純、西野康人、塩本明弘、  
能取湖の非結氷期におけるカイアシ類  
*Pseudocalanus newmani* の個体群動態、2014  
年9月4-7日、2014年度日本プランクト  
ン学会・日本ベントス学会合同大会、広島
- ⑨ 西野康人、中川至純、北村充彰、オホーツ  
ク沿岸海跡湖能取湖における海水生成期  
のクロフィルaの動態、2014年6月27  
-28日、2014生態工学会年次大会、沼津
- ⑩ 中川至純、高橋健司、西野康人、谷口 旭、  
北海道オホーツク沿岸海跡湖能取湖にお  
ける微小動物プランクトン群集の季節変  
化、2014年3月28-30、2014年度日本水産学  
会春季大会、函館
- ⑪ 中川至純、高橋健司、中野 翔、西野康人、  
谷口 旭、2012年能取湖における微小動物  
プランクトン群集の季節変動、2014年1月  
28日、平成25年度北海道立総合研究機構海  
洋グループ会議、余市
- ⑫ Kitamura, M., Nakagawa Y., Nishino, Y. and  
Shiimoto A., Seasonal changes in the copepod  
assemblage during the non-iced season in  
Notoro-ko Lagoon, Hokkaido, Japan, 4<sup>th</sup>  
Symposium on Polar Science, 2013. 11. 12-15,  
National Institute of Polar Research
- ⑬ Nakagawa Y., Kasai H. and Nishino, Y.,  
Structure of the planktonassemblages in the  
southwestern Okhotsk Sea during summer,  
2011, 4<sup>th</sup> Symposium on Polar Science, 2013.  
11. 12-15, National Institute of Polar Research
- ⑭ Nishino, Y. and Nakagawa Y., Lower trophic  
levels of coastal marine ecosystem in Lagoon  
Notoro-ko during freezing over surface, 4<sup>th</sup>

Symposium on Polar Science, 2013. 11. 12-15,  
National Institute of Polar Research

- ⑩ 北村充彰、中川至純、西野康人、谷口 旭、北海道東部の海跡湖能取湖の非結氷期におけるカイアシ類群集の季節変動、日本ベントス学会・日本プランクトン学会 合同大会、2013年9月27-30日、東北大学
- ⑪ 中川至純、豊田 潤、富澤達斗、西野康人、葛西広海、谷口 旭、春季および夏季オホーツク海南西部海域における微小動物プランクトンの現存量、日本ベントス学会・日本プランクトン学会 合同大会、2013年9月27-30日、東北大学
- ⑫ 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一次生産に関する研究 -クロロフィルaからみたアイスアルジーと植物プランクトンの動態-、日本ベントス学会・日本プランクトン学会 合同大会、2013年9月27-30日、東北大学
- ⑬ 西野康人、中川至純、結氷期、オホーツク沿岸海跡湖能取湖における一次生産の動態 ~海氷生成とアイスアルジー・植物プランクトンの関係~、生態工学会、2013年6月29-30日、玉川大学
- ⑭ Taniguchi, A., Why marine mammals are abundant in the northern cold waters? Marine ecological basis of the sustainability of the northern Hunter-Gatherer, 28th International Symposium on Okhotsku Sea & Sea Ice, 2013. 2. 17-21, Montetsu
- ⑮ Ishiai, S., Y. Nishino, Y. Nakagawa and A. Taniguchi., Sea ice and plankton: A case of Notoro-ko Lagoon, Hokkaido, Japan, 28th International Symposium on Okhotsku Sea & Sea Ice, 2013. 2. 17-21, Montetsu
- ⑯ 谷口 旭、最近の海と水産資源に関する考え方、根室市水産業講演会、2013年2月13日、根室
- ⑰ Ishiai, S., Y. Nishino, Y. Nakagawa and A. Taniguchi. Microplankton in and below the seasonal ice in Notoro-ko Lagoon, Hokkaido, Japan in March, 2012. 11. 26-30, 34th Symposium on Polar Biology, 2012, National Institute Polar Research
- ⑱ 西野康人、中川至純、谷口 旭、オホーツク沿岸海跡湖能取湖におけるアイスアルジーと植物プランクトンのクロロフィルa濃度からみた動態、水産海洋学会創立50周年記念大会、2012年11月15-18日、東京
- ⑲ 谷口 旭、北方冷水域の海洋生態系-生態系と北方民族文化に対する温暖化の影響-、第27回北方民族文化シンポジウム、2012年10月13-14日、網走
- ⑳ Nakagawa, Y., Nomura, K., Yamashita, K. J., Nishino, Y., Taniguchi, A., Relationship between oceanographic conditions and zooplankton community in the southwestern Okhotsk Sea during non-iced season, 2012. 8. 6-7, Workshop on the Research Project for a Sustainable Development of Economics and Social Structure Dependent on the Environment of The Eastern Coast of Asia. Chiba

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

西野康人 (NISHINO, Yasuto)  
東京農業大学・生物産業学部・准教授  
研究者番号：50424677

### (2) 研究分担者

中川至純 (NAKAGAWA, Yoshizumi)  
東京農業大学・生物産業学部・助教  
研究者番号：70399111

谷口 旭 (TANIGUCHI, Akira)  
東京農業大学・生物産業学部・教授  
研究者番号：30002091

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：

### (4) 研究協力者

韓 東勲 (HAN Donfun)