

令和 2 年 5 月 22 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H04715

研究課題名(和文) 極域雪氷の融解現象が海洋表層の二酸化炭素濃度と大気との気体交換過程に与える影響

研究課題名(英文) Effects of snow and ice melting on surface ocean CO₂ concentration and air-sea gas flux

研究代表者

野村 大樹 (Nomura, Daiki)

北海道大学・水産科学研究院・助教

研究者番号：70550739

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 19,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、極域における氷河や海水の融解現象が海洋表層の二酸化炭素濃度と大気-海洋間の二酸化炭素交換過程に与える影響を評価するため、南極、北極、オホーツク海での野外観測と室内実験を実施した。その結果、氷河や海水の融解水は、海水に対して二酸化炭素濃度が低いために、海洋表層に融解水が流入した際、二酸化炭素濃度は希釈効果によって大幅に減少することがわかった。また、この希釈効果によって、海洋表層の二酸化炭素濃度は大気に対して大幅に低くなるために、大気から海洋に大量の二酸化炭素が吸収されることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、氷河や海水の融解によって海洋表層に供給された融解水が、海洋表層の二酸化炭素濃度および大気から海洋への二酸化炭素吸収に与える影響を観測および室内実験をもとに定量的に評価した。現在、極域では、氷河や海水などの雪氷の融解が急速に進行しており、本研究結果は、劇的な環境変化をもたらす雪氷の融解が、極域の淡水・炭素収支に与える影響の解明につながる。そして、全球規模での水・物質循環の将来予測研究に貢献する。

研究成果の概要(英文)：In order to understand the effect of glacier and sea ice meltwater supply on the surface water CO₂ concentration and air-sea CO₂ flux, we have examined field observations in the coast of Antarctica and Greenland, and Sea of Okhotsk and the sea ice tank experiment. Results indicated that CO₂ concentration of the glacier and the sea ice meltwater was low as compared to that of the seawater. Therefore, meltwaters dilute and decrease the surface water CO₂ concentration with respect to the atmosphere, leading the increase the absorption of the atmospheric CO₂ to the ocean.

研究分野：海洋海水生物地球化学

キーワード：極域 二酸化炭素 海水 気体交換過程 融解

1. 研究開始当初の背景

極域では、雪氷の融解が急速に進行している。この融解現象は、固体から液体への相変化を通じて、体積変化、温度上昇、淡水・含有物の流出など、極域の環境に劇的な変化を招く。北極域においては、海を覆っていた氷（海氷）は急激に減少し（Overland and Wang, 2013）、グリーンランドの大陸氷床・氷河は年々後退している（Stokes et al., 2016）。また、南極域では、海洋からの熱供給により棚氷の底面融解が進行している（Rignot et al., 2013）。これら雪氷の融解現象は、海面上昇、大気海洋循環、生物生産等、地球規模の環境変動に影響し、結果として農業や水産業など、我々の生活に直接関わるため、早急な理解が必要である。

大気中の二酸化炭素（CO₂）の吸収源として海洋の果たす役割は大きい。特に極域の海は、海水温が低いため、海水中に気体を溜め込む能力（溶解度）が高い。そのため大気中 CO₂ 増加を軽減する上で、極域の海は、重要な海域である。しかし、温暖化による海水温の上昇のため、極域の海による大気中 CO₂ 吸収能が減少している（Le Quere et al., 2007）。一方で、雪氷融解により「真水のみ」が海洋に供給される場合、海洋中の CO₂（炭酸系）は希釈され、濃度は減少する。よって、海洋による大気 CO₂ 吸収能は増加する。しかし、雪氷に含まれる大量の陸源物質や生物の遺骸が、海洋表層に供給される場合、無機的な溶解、バクテリアによる分解、植物プランクトンへの取り込みなど、多くの過程を複雑に経由する。そして、その過程ごとに CO₂（炭酸系）が変化する。よって、海洋 CO₂（炭酸系）変動や大気との CO₂ 交換量を予測することは極めて困難である。この問題の解決には、現場での実測に基づくデータ蓄積が必要とされるが、観測に限られるため解決に至っていない。

2. 研究の目的

極域における雪氷の融解現象が、海洋表層の CO₂ と大気—海洋間の CO₂ 交換過程に与える影響を、野外観測と室内実験の両面から解明することを目的とした。

3. 研究の方法

南北両極域、オホーツク海を研究対象とした野外観測では、海氷や氷河の融解過程、海洋表層の炭酸系、大気との CO₂ 交換量を実測した。また、大型低温施設での海氷実験では、室温をマイナスおよびプラスに変え、海水の物理・化学特性の変化に対する海氷—大気間の CO₂ 交換の影響を評価した。

野外観測は、南極域、北極域、オホーツク海で実施した。海洋調査では、船舶もしくは海氷上に開けた穴から、鉛直採水・CTD 観測（温度・塩分）を実施した。また、海氷調査では、アイスコープラーで海氷試料を採取した。氷上では CO₂ チャンバーで海氷—大気間の CO₂ 交換量を測定した。各観測で採取した試料は、各分析項目（全炭酸: DIC、アルカリ度: TA、塩分、溶存酸素: DO、酸素安定同位体: $\delta^{18}\text{O}$ 、栄養塩、溶存有機物、クロロフィル a: chl.a、顕微鏡観察用試料など）に合わせ、融解・濾過・試薬添加などの処理し、冷凍・冷蔵・常温で持ち帰り、分析を実施した。

室内実験は、イギリス・イーストアングリア大学の海氷タンクで実施した。実験中、海氷—大気間の CO₂ 交換量を測定した。また、海氷下海水中の CO₂ 濃度を連続測定した。さらに、海氷も採取し、上記と同様な処理および分析を実施した。

4. 研究成果

南極域（南極海沿岸・しらせ氷河近傍）での海洋観測

2017年1月22日から2月15日、2018年1月24日から2月15日の夏季に、定着氷で覆われた東南極リュツォホルム湾（LHB）のしらせ氷河（SGT）付近（68–70°S、37–40°E）において（図1左）、砕氷艦しらせによる海洋観測を実施した。

LHBでは、表層から亜表層（20–400 m）に低温・低塩分・高 DO 濃度の冬季形成水が存在し、亜表層以深に高温・高塩分・低 DO 濃度の mCDW（高温・高塩分で特徴付けられる沖合起源の周極深層水）が存在した。また、SGT のアイスフロント付近における表層の水温、塩分は、他の観測点と比較して高く、棚氷の底面へ流入した mCDW の表層への流入が見られた。DIC 濃度や TA は水塊の分布と良く対応しており、mCDW が存在する亜表層以深で高く、表層のみで比較すると、SGT のアイスフロントに近いほど高い傾向が見られた。また、SGT の底面融解水の希釈効

果による DIC 濃度と TA の変化を除く（植物プランクトンの基礎生産による変化のみを考慮する）ために塩分（34.25 psu）で規格化した nDIC および nTA（ $nDIC = 34.25 \cdot DIC / \text{Salinity}$, $nTA = 34.25 \cdot TA / \text{Salinity}$ ）は、20–400 m において一定であった（nDIC: $2204 \pm 7 \mu\text{mol kg}^{-1}$, nTA: $2318 \pm 2 \mu\text{mol kg}^{-1}$ ）。このことから、LHB の 20 m 以深では、植物プランクトンの基礎生産が DIC や TA に与える影響は小さく、SGT の底面融解水による希釈効果や mCDW の流入の影響を強く受けていることが示唆された。

$\delta^{18}\text{O}$ と塩分から算出された LHB の水塊に占める SGT の底面融解水の割合 (F_{mw}) は、SGT のアイスフロントに近い観測点ほど大きくなった。SGT に最も近い観測点における F_{mw} は、表層 20 m で約 2.0%、亜表層 300 m で約 1.0% であった。観測値から得られた DIC–Salinity と TA–Salinity の関係を用いて算出された表層 20 m における SGT の底面融解水の希釈効果による DIC と TA の減少量は、それぞれ $60 \mu\text{mol kg}^{-1}$ と $51 \mu\text{mol kg}^{-1}$ であった。さらに、この DIC と TA の変化量は $44 \mu\text{atm}$ の CO_2 分圧 ($p\text{CO}_2$) の減少分に相当した（図 1 右）。SGT の底面へ流入する mCDW の $p\text{CO}_2$ は約 $431 \mu\text{atm}$ 、大気中 $p\text{CO}_2$ は約 $390 \mu\text{atm}$ であることから、mCDW の $p\text{CO}_2$ は SGT の底面融解水の影響を受けて、大気中 $p\text{CO}_2$ に対して小さくなった。つまり、LHB において、SGT の底面融解は、海洋を CO_2 の放出源から吸収源に変える重要な役割を担っていることが示唆された。一方、LHB の海洋表面における nDIC は、20–400 m の nDIC の平均値に対して低く、nDIC、nTA は $nDIC : nTA = 106 : 16$ に沿って変化していた。加えて、海洋表面の Chl.a 濃度が非常に高く（ $\sim 31.9 \mu\text{g L}^{-1}$ ）、LHB の海洋表面では、DIC と TA は植物プランクトンの基礎生産による影響を強く受けていることが示唆された。

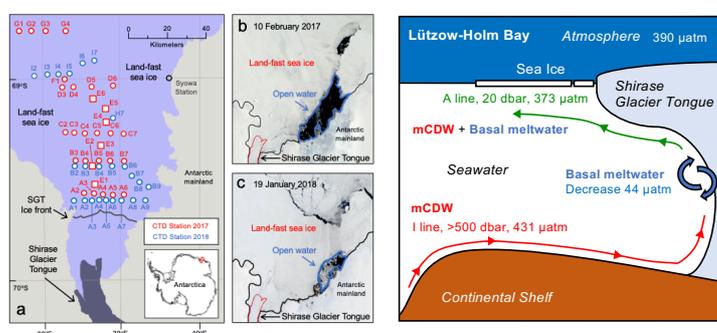


図 1. 東南極リュツォホルム湾のしらせ氷河付近における観測点と海氷の衛星写真（左）およびリュツォホルム湾の海洋循環と二酸化炭素分圧の変化の様子（右）

北極域（グリーンランド沿岸・ボードイン氷河近傍）での氷河および海洋観測

2018 年 6 月 8 日から 8 月 1 日の夏季に、グリーンランド北西部のカービング氷河（ボードイン氷河）および氷河が流入する入り海（フィヨルド）で（図 2 右）、小型船舶を利用した海洋観測機器による環境測定や採水などの観測を実施した。また、2017 年の同時期に採取した海水の分析・解析作業も実施した。

ボードイン氷河の底面から流入する融解水が、フィヨルドの深さ 200 m から栄養塩や DIC を汲み上げるポンプとして機能することが明らかになった。氷河近傍から舌状に張り出した高濁度のプルームが、フィヨルドの 10–50 m 深で確認された。また、この高濁度水の栄養塩や DIC 濃度は、海面に対して数倍（とくに硝酸塩では約百倍）高かった。このプルームは、氷河底面（ボードイン氷河は水深 200 m に接地）から排水された高濁度の融解水と、栄養塩や DIC に富んだ 200 m 深の海水との混合・湧昇によって形成されたものであると考えられる。プルームによって水平的に運ばれた栄養塩や DIC は、高濁度層の直上で植物プランクトンに利用されることが考えられる。このように、ボードイン氷河およびフィヨルドでは流入する融解水は夏季の基礎生産を生み出す起点になることが示唆された。一方、10 m より浅い所では、氷河末端が陸上にある部分から河川を通して流入した氷河融解水の影響により低塩分層が存在した。塩分 6.5 psu から 30.5 psu で分布し、フィヨルド奥の氷河付近において最も低塩分となった。また、DIC や TA も塩分同様にフィヨルド奥の氷河付近において最も低濃度となった（例えば、 $539 \mu\text{mol kg}^{-1}$: DIC、 $505 \mu\text{mol kg}^{-1}$: TA）。また、塩分と DIC および TA の関係を評価した所、高い相関関係となった（図 2 右）。これは、表層の DIC および TA は、氷河融解水による希釈効果によって決まることを意味する。また、DIC および TA より $p\text{CO}_2$ を計算した結果、 $p\text{CO}_2$ は $100 \mu\text{atm}$ 以下となり大気（約 $400 \mu\text{atm}$ ）に対して極端に低くなった。そして、大気から海洋への CO_2 吸収量は最大 $-66 \text{ g-C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ となった。このように、フィヨルド内の海水が氷河融解水によって希釈されることで

大気と比較すると常に未飽和な状態になるため、大気から海洋へと CO₂ が吸収されるという結果となった。

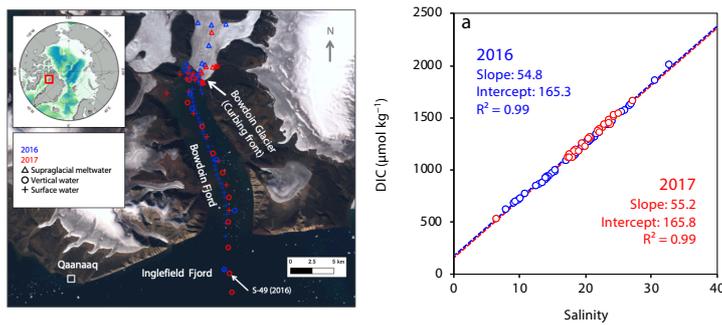


図 2. グリーンランド北西部のボードイン氷河およびフィヨルドにおける観測点 (左) および溶存無機炭素と塩分の関係 (右)

オホーツク海 (北海道沿岸・サロマ湖) での海氷および海洋観測

2019年2月23日から27日に海氷融解期のオホーツク海北海道沿岸に位置するサロマ湖 (図3左) において海氷および海洋観測を行った。観測では、開水面を作成し、大気—海洋間の CO₂ 交換量を CO₂ チャンバーにて直接測定した。チャンバーにはフロートを装着し、水面でも使用できるような工夫した (図3右)。その結果、交換量の値は負となった (負の値は大気から海氷への CO₂ 吸収を意味する)。これは、サロマ湖の海水が大気の CO₂ 濃度に対して負であるためである。また、このチャンバーを海氷の上に設置し、大気—海氷間の CO₂ 交換量を測定した。CO₂ 交換量は、開水面に対してゼロに近くなった。これは、海氷内部の CO₂ 濃度が大気に近いこと、気体交換が行われるブラインチャンネルは開水面に対して小さいため気体交換速度が遅いためであると考えられる。

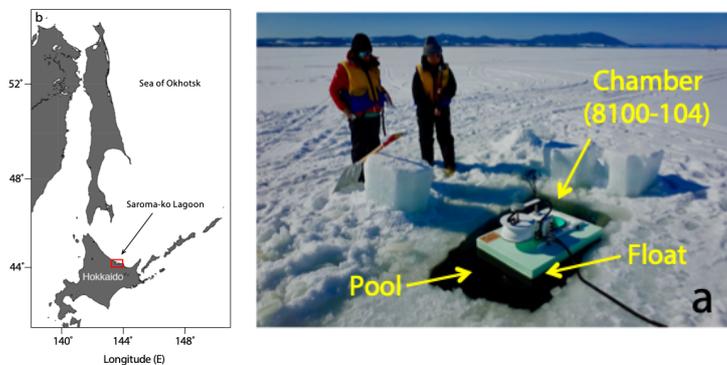


図 3. オホーツク海サロマ湖の位置 (左) および氷上開水面におけるフロートチャンバーを利用した大気—海洋間の CO₂ 交換量測定の様子 (右) (野村撮影)。

イギリス・イーストアングリア大学の海氷タンク実験

2020年1月18日から29日にイギリス・イーストアングリア大学の海氷タンク (The Roland von Glasow air—sea ice chamber) を利用した海氷実験を実施した (図4)。本研究施設は、海水中およびタンク上の空気内部の温室効果ガスを連続的に測定することができる仕様となっている。また、LED ライトにより様々な光環境を再現することができ、光による雪氷内部での光化学反応に関する研究も実施することが可能となる。本実験では、天然海水約 2500 L を準備し、室温を -15 度に保ち、約 4 日間かけて海氷成長させた。また、その後、室温を +2 度にし、融解を再現した。実験期間中は、海氷の上に CO₂ チャンバーを設置し、海氷—大気間の CO₂ 交換量を測定した (図4右)。また、海氷内部の温度をサミスターで連続測定した。さらに、海氷下海水中の CO₂ 濃度を連続測定した。また、海氷内部 CO₂ 濃度測定用の海氷サンプルの採取も行った。現在、コロナの影響により実験後、データの整理・解析、サンプル輸送など滞っているが、今後、状況を見つつ分析・解析作業を進める予定である。

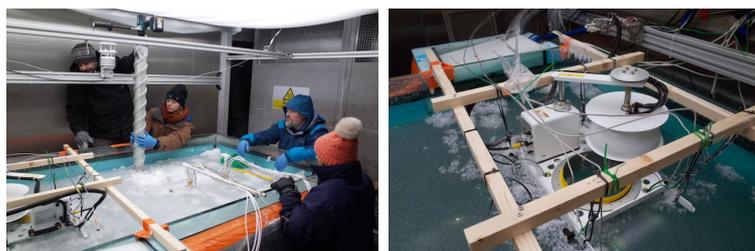


図 4. イギリス・イーストアングリア大学の海水タンクでの実験の様子。アイスコアラーによる海氷採取の様子（左）、海氷上に設置した CO₂ チャンバー（野村撮影）。

<引用文献>

Le Quéré, C., et al. (2007), Saturation of the Southern Ocean CO₂ sink due to recent climate change, *Science*, 316, 1735–1738, doi:10.1126/science.1136188.

Overland, J. E., and M. Wang (2013), When will the summer Arctic be nearly sea ice free?, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 2097–2101, doi:10.1002/grl.50316.

Rignot, E., Jacobs, S., Mouginot, J., Scheuchl, B. (2013), Ice-shelf melting around Antarctica. *Science*, 341, 266–270.

Stokes, C.R., Margold, M., Clark, C.D., Tarasov, L. (2016). Ice stream activity scaled to ice sheet volume during Laurentide ice sheet deglaciation. *Nature*, 530, 322–326.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Nomura Daiki, Aoki Shigeru, Simizu Daisuke, Iida Takahiro	4. 巻 123
2. 論文標題 Influence of Sea Ice Crack Formation on the Spatial Distribution of Nutrients and Microalgae in Flooded Antarctic Multiyear Ice	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Oceans	6. 最初と最後の頁 939 ~ 951
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/2017JC012941	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 -
1. 著者名 Kanna Naoya, Sugiyama Shin, Ohashi Yoshihiko, Sakakibara Daiki, Fukamachi Yasushi, Nomura Daiki	4. 巻 123
2. 論文標題 Upwelling of Macronutrients and Dissolved Inorganic Carbon by a Subglacial Freshwater Driven Plume in Bowdoin Fjord, Northwestern Greenland	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Biogeosciences	6. 最初と最後の頁 1666 ~ 1682
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2017JG004248	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 -
1. 著者名 Nomura Daiki, Granskog Mats A., Fransson Agneta, Chierici Melissa, Silyakova Anna, Ohshima Kay I., Cohen Lana, Delille Bruno, Hudson Stephen R., Dieckmann Gerhard S.	4. 巻 15
2. 論文標題 CO2 flux over young and snow-covered Arctic pack ice in winter and spring	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biogeosciences	6. 最初と最後の頁 3331 ~ 3343
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/bg-15-3331-2018	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 Nomura Daiki	4. 巻 38
2. 論文標題 Effects of sea ice freezing and melting on air-sea CO2 exchange	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Archives of Atmospheric Chemistry Research	6. 最初と最後の頁 1 ~ 6
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 -

1. 著者名 Meiners K. M., Vancoppenolle M., Carnat G., Castellani G., Delille B., Delille D., Dieckmann G. S., Flores H., Fripiat F., Grotti M., Lange B. A., Lannuzel D., Martin A., McMinn A., Nomura D. et al	4. 巻 123
2. 論文標題 Chlorophyll-a in Antarctic Landfast Sea Ice: A First Synthesis of Historical Ice Core Data	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Oceans	6. 最初と最後の頁 8444 ~ 8459
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018JC014245	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 Roukaerts Arnout, Nomura Daiki, Deman Florian, Hattori Hiroshi, Dehairs Frank, Fripiat François	4. 巻 42
2. 論文標題 The effect of melting treatments on the assessment of biomass and nutrients in sea ice (Saroma-ko lagoon, Hokkaido, Japan)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polar Biology	6. 最初と最後の頁 347 ~ 356
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00300-018-2426-y	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 Kataoka Takafumi, Ooki Atsushi, Nomura Daiki	4. 巻 34
2. 論文標題 Production of Dibromomethane and Changes in the Bacterial Community in Bromoform-Enriched Seawater	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Microbes and Environments	6. 最初と最後の頁 215 ~ 218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1264/jsme2.ME18027	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 -

1. 著者名 Fripiat Francois, Meiners Klaus M., Vancoppenolle Martin, Nomura Daiki et al	4. 巻 5
2. 論文標題 Macro-nutrient concentrations in Antarctic pack ice: Overall patterns and overlooked processes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Elem Sci Anth	6. 最初と最後の頁 13 ~ 13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://doi.org/10.1525/elementa.217	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 Tison J. L., Schwegmann S., Dieckmann G., Rintala J. M., Meyer H., Moreau S., Vancoppenolle M., Nomura D., Engberg S., Blomster L. J., Hendricks S., Uhlig C., Luhtanen A. M., de Jong J., Janssens J., Carnat G., Zhou J., Delille B.	4. 巻 122
2. 論文標題 Biogeochemical Impact of Snow Cover and Cyclonic Intrusions on the Winter Weddell Sea Ice Pack	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Oceans	6. 最初と最後の頁 9548 ~ 9571
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1002/2017JC013288	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 野村 大樹、漢那 直也、大木 淳之	4. 巻 53
2. 論文標題 氷河と海水の融解現象が北極海表層の物質循環過程に与える影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 地球化学	6. 最初と最後の頁 149 ~ 158
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.14934/chikyukagaku.53.149	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 -

1. 著者名 Ooki Atsushi, Shida Ryuta, Otsu Masashi, Onishi Hiroji, Kobayashi Naoto, Iida Takahiro, Nomura Daiki, Suzuki Kota, Yamaoka Hideyoshi, Takatsu Tetsuya	4. 巻 75
2. 論文標題 Isoprene production in seawater of Funka Bay, Hokkaido, Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Oceanography	6. 最初と最後の頁 485 ~ 501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/s10872-019-00517-6	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 -

1. 著者名 亀山 宗彦、大木 淳之、野村 大樹	4. 巻 53
2. 論文標題 北極域における臭素および有機硫黄化合物の生物地球化学	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 地球化学	6. 最初と最後の頁 159 ~ 171
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.14934/chikyukagaku.53.159	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 -

1. 著者名 Thomas Jennie L., Stutz Jochen, Frey Markus M., Bartels-Rausch Thorsten, Altieri Katye, Baladima Foteini, Browse Jo, Dall 'Osto Manuel, Marelle Louis, Mougnot Jeremie, Murphy Jennifer G., Nomura Daiki et al	4. 巻 7
2. 論文標題 Fostering multidisciplinary research on interactions between chemistry, biology, and physics within the coupled cryosphere-atmosphere system	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Elem Sci Anth	6. 最初と最後の頁 58 ~ 58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://doi.org/10.1525/elementa.396	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 NOMURA Daiki, WONGPAN Pat, TOYOTA Takenobu, et al	4. 巻 38
2. 論文標題 Saroma-ko Lagoon Observations for sea ice Physico-chemistry and Ecosystems 2019 (SLOPE2019)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bulletin of Glaciological Research	6. 最初と最後の頁 1 ~ 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.5331/bgr.19R02	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 Nandan Vishnu, Scharien Randall K., Geldsetzer Torsten, Kwok Ronald, Yackel John J., Mahmud Mallik S., Rosel Anja, Tonboe Rasmus, Granskog Mats, Willatt Rosemary, Stroeve Julienne, Nomura Daiki, Frey Markus	4. 巻 13
2. 論文標題 Snow Property Controls on Modeled Ku-Band Altimeter Estimates of First-Year Sea Ice Thickness: Case Studies From the Canadian and Norwegian Arctic	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 1082 ~ 1096
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSTARS.2020.2966432	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 Tison J.L, Maksym T, Fraser A.D, Corkill M, Kimura N, Nosaka Y, Nomura D, Vancoppenolle M, Ackley S, Stammerjohn S, Wauthy S, Van der Linden F, Carnat G, Sapart C, de Jong J, Fripiat F, Delille B.	4. 巻 -
2. 論文標題 Physical and Biological Properties of Early Winter Antarctic Sea Ice in the Ross Sea.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Annals of Glaciology, Accepted	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) 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 該当する

〔学会発表〕 計18件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 12件）

1. 発表者名 Daiki Nomura, Atsushi Ooki, Ellen Damm, Gerhard S. Dieckmann, Bruno Delille, Markus M. Frey, Mats A. Granskog, Klaus M. Meiners, Anna Silyakova, Takeshi Tamura, Jean-Louis Tison, Takenobu Toyota, Youhei Yamashita.
2. 発表標題 Production of bromoform at the sea ice surface layer and emission to the atmosphere
3. 学会等名 EGU annual meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daiki Nomura, Bruno Delille, Jean-Louis Tison, Gerhard S. Dieckmann
2. 発表標題 Inter-comparison between chambers for CO2 flux measurements over sea ice
3. 学会等名 Polar 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daiki Nomura, Atsushi Ooki, Ellen Damm, Gerhard S. Dieckmann, Bruno Delille, Markus M. Frey, Mats A. Granskog, Klaus M. Meiners, Anna Silyakova, Takeshi Tamura, Jean-Louis Tison, Takenobu Toyota, Youhei Yamashita.
2. 発表標題 Production of bromoform at the sea ice surface layer and emission to the atmosphere
3. 学会等名 IGAC science conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daiki Nomura
2. 発表標題 Gas exchange process in the ice covered oceans
3. 学会等名 SOLAS OSC 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名	Thomas, J., J. Murphy, T. Bartels-Rausch, M. Frey, F. McNeill, P. Shepson, K. Pratt, T. Douglas, M. Willis, J. Abbatt, A. Jones, C. Anastasio, P. Matrai, D. Nomura, K. Kim, and M. L. Melamed.
2. 発表標題	Coordinating interdisciplinary and international research through CATCH (The Cryosphere and Atmospheric Chemistry).
3. 学会等名	European Geosciences Union General Assembly 2017 (国際学会)
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	Pratt, K., Thomas, J., J. Murphy, T. Bartels-Rausch, M. Frey, F. McNeill, P. Shepson, T. Douglas, M. Willis, J. Abbatt, A. Jones, C. Anastasio, P. Matrai, D. Nomura, K. Kim, and M. L. Melamed.
2. 発表標題	Coordinating interdisciplinary and international research through CATCH (The Cryosphere and Atmospheric Chemistry).
3. 学会等名	2017 PACES Workshop (国際学会)
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	野村大樹、内政彰、村上寛、田村岳史、清水大輔、小野数也、野口智英、平野大輔、橋田元、青木茂
2. 発表標題	JARE58_LH湾_海洋化学観測
3. 学会等名	ROBOTICA研究集会
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	Ushio, S., T. Toyota, D. Nomura, K. Nakamura
2. 発表標題	Quasi-periodic breakups of multi-year landfast sea ice and associated change of a floating glacier tongue in Lutzow-Holm Bay, East Antarctica since 1980
3. 学会等名	International Symposium on Polar Ice, Polar Climate, Polar Change (国際学会)
4. 発表年	2017年

1. 発表者名 野村大樹、中島遥香
2. 発表標題 海氷内部でのイカイト結晶の生成条件の検討
3. 学会等名 日本海洋学会秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Fukamachi Y., N. Kanna, S. Sugiyama, Y. Ohashi, D. Sakakibara, D. Nomura.
2. 発表標題 Mooring measurement in Bowdoin Fjord in northwestern Greenland
3. 学会等名 The Eighth Symposium on Polar Science
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nomura D., H. Nakajima
2. 発表標題 Mechanism of CaCO ₃ (ikaite) precipitation in sea ice
3. 学会等名 The Eighth Symposium on Polar Science
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kataoka T., A. Ooki, D. Nomura
2. 発表標題 Enrichment culturing of organic-gas producing bacteria from cold seawater
3. 学会等名 The Eighth Symposium on Polar Science
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 Kan Murakami, Daiki Nomura, Gen Hashida, Shin-ichiro Nakaoka, Yujiro Kitade, Daisuke Hirano, Kay, I. Ohshima
2 . 発表標題 Carbon transport by Dense Shelf Water formation in the Cape Darnley Polynya, East Antarctica
3 . 学会等名 The Eighth Symposium on Polar Science
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Nomura D., E. Damm, B. Loose, B. Delille, A. Fransson, M. Chierici, M.A. Granskog, J. Inoue
2 . 発表標題 Year-round surveys for air-sea ice gas flux in the Arctic Ocean
3 . 学会等名 Fifth International Symposium on Arctic Research (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Kanna N., S. Sugiyama, D. Sakakibara, Y. Fukamachi, D. Nomura, S. Yamasaki, S. Fukumoto, E. Podolskiy
2 . 発表標題 Glacier-ocean interaction: oceanographic observations in fjord near a calving front of Bowdoin Glacier, northwest Greenland
3 . 学会等名 Fifth International Symposium on Arctic Research (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Nomura D., F. Fripiat, B. Else, B. Delille, M. Fernandez-Mendez, L. Miller, I. Peeken, J-M. Rintala, M.A. van Leeuwe, F. Zhang, K. Abrahamsson, J. Bowman, J. France, A. Fransson, D. Lannuzel, B. Loose, K. Meiners, C.J. Mundy, H.C. Shin, J.-L. Tison, M. Vichi
2 . 発表標題 ECV-Ice: Measuring Essential Climate Variables in Sea Ice: SCOR Working Group 152
3 . 学会等名 Fifth International Symposium on Arctic Research (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 Silyakova A., M. Kotovitch, B. Delille, D. Nomura, A. Fransson, M. Chierici, M. Granskog
2. 発表標題 Methane chemistry in the ice covered Arctic Ocean from winter to summer time
3. 学会等名 2018 Ocean Sciences meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoya Kanna, Shin Sugiyama, Daiki Sakakibara, Yasushi Fukamachi, Daiki Nomura, Sungo Fukumoto, Shintaro Yamasaki, Evgeniy Podolski, Atsushi Yamaguchi
2. 発表標題 Physical and Biogeochemical ocean studies at the boundary region of Bowdoin Glacier and its Fjord, Northwestern Greenland
3. 学会等名 Workshop on the Dynamics and Mass Budget of Arctic Glaciers & the IASC Network on Arctic Glaciology Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 海に魅せられた北大の研究者たち (8章、野村大樹)	4. 発行年 2018年
2. 出版社 海文堂出版	5. 総ページ数 127
3. 書名 海をまるごとサイエンス : 水産科学の世界へようこそ	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>Daiki Nomura: Sea Ice Biogeochemistry https://sites.google.com/view/daikinomura/home</p> <p>ECV-Ice https://sites.google.com/view/ecv-ice/%E3%83%9B%E3%83%BC%E3%83%A0</p>

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
--	---------------------------	-----------------------	----