

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：62611

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H00206

研究課題名（和文）高精度海水情報取得のためのマイクロ波放射伝達モデルの開発

研究課題名（英文）Development of a microwave radiative transfer model for acquiring highly accurate sea ice information

研究代表者

榎本 浩之（Enomoto, Hiroyuki）

国立極地研究所・先端研究推進系・教授

研究者番号：00213562

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 29,050,000円

研究成果の概要（和文）：マイクロ波による海水推定式の精度向上のため、国内に設置した屋外水槽を用いて海水生成・融解実験を行なった。融解期についても区別して海水厚推定式の開発を行った。また、カナダ砕氷船にて北極海での船上海水観測と氷上で積雪や海水コアのサンプリングを行い、衛星搭載マイクロ波放射計や合成開口レーダのデータと比較解析を実施した。

さらに、サロマ湖の湖氷上、ウトロの流氷上でマルチコプターおよびドローンを用いた表面起伏の測量と海水厚観測を実施した。ドリルによる氷厚実測とコアサンプルの取得を行ってフリーボードから海水厚に変換し、海水厚分布を作成し、陸上レーダや高分解能の衛星画像と比較を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

気候変動や海洋生態系に対する海水の影響は大きい。海水は、海洋と大気間の水蒸気や熱の交換を抑え、雪氷圏のアイス・アルベドフィードバックにより気候変化を加速する特徴がある。IPCC海洋・雪氷圏特別報告書では、将来の海水域面積の減少予測が報告されている。海水は、近年急激に変動している注意すべき気候変動の指標である。また海水は気候変動を起こす原因でもある。このような海水の観測においては面積だけでなく、海水厚と海水成長を制御する氷上の積雪の観測が必要とされている。

一方、海水域は水産業や北極海航路の海運などの産業の場である。北極海の航行の関心が高まり、衛星による海水情報提供が強く要望されている。

研究成果の概要（英文）：The accuracy of the sea ice estimation formula was verified by comparing and analyzing the data obtained by the satellite-mounted microwave radiometer and the synthetic aperture radar. We considered a formula for estimating sea ice thickness during the melting period in addition to the freezing period. We carried out visual and camera observations in the Arctic Ocean, shipboard ice observations using EM ice thickness gauges, and sampling of snow cover and sea ice cores on the ice during Arctic observation by a Canadian icebreaker.

We focused on the surface modulation by survey using multi-copter and drone on the lake ice of Lake Saroma and the drift ice of Utoro, and we observed sea ice thickness. A drill and core samples measured ice thickness were taken on the ice and converted from freeboard to sea ice thickness. We created the sea ice thickness map in Lake Saroma and compared it with terrestrial radar and high-resolution satellite images.

研究分野：雪氷気候学

キーワード：海水 マイクロ波 リモートセンシング 極域

1. 研究開始当初の背景

(1) 広域かつ連続的な海水分布の観測には衛星リモートセンシングの利用が不可欠である。すべての物体からは温度に比例したマイクロ波が放射されており、ミリ波センチ波の領域のマイクロ波放射観測では、高緯度域特有の極夜や雲に覆われた状態でも地表観測が可能である。これまで空間分解能が数 km のマイクロ波多波長放射計 (Multi-frequency Microwave Radiometer: MMR) と数十 m の合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar: SAR) の両方が利用されている。SAR は数 ~ 数 10 m 程度の空間分解能であることから、MMR のフットプリント内の海水分布を観測することが可能である。一方で、SAR の時間分解能は高くない。海水は刻々と変化するため、観測頻度の高い MMR の解釈に SAR を相補的に利用することが効果的である。

気候変動や海洋生態系に対する海水の影響は大きい。海水の生成量は海水成分や海洋構造を通じて、海洋生態系に影響を与える。海水は、海洋と大気間の水蒸気や熱の交換を抑え、雪氷圏の日射反射率を制御するアイス・アルベドフィードバックにより気候変化を加速する特徴がある。IPCC 海洋・雪氷圏特別報告書では、将来の海水域面積の減少予測が報告されている。海水は、近年急激に変動している注意すべき気候変動の指標である。また海水は気候変動を起こす原因でもある。このような海水の観測においては面積だけでなく、海水厚と海水成長を制御する海水上の積雪の観測が必要とされている。

一方、海水域は水産業や北極海航路の海運などの産業の場である。我が国でも 2018 年 3 月より砕氷型 LNG 船による北極海航路を利用した海運が始まり、衛星リモートセンシングによる海水厚の情報提供が強く要望されている。国立極地研究所が運営する北極域データアーカイブにおいて、研究代表者及び研究分担者らが開発した海水厚データセットが試験的に公開されている。MMR の海水情報は短期 ~ 中期 (1 週間から 1 か月程度) の運行計画への利用に適しており、SAR の海水情報は現場でのリアルタイム (24 時間以内) のアイスナビゲーションに最適である。

(2) 海水は風や波浪、氷自身の応力を受けて変形し、複雑な形態を示す。さらに海水上には積雪があり、断熱率の高い積雪の存在によって海水成長が抑えられる。さらに海水上の積雪により海水の温度や塩分の鉛直分布に変化がもたらされ、逆に積雪自体の内部温度や塩分、含水率にも影響を及ぼしている。このように海水は複雑な様相を呈し、また季節変化が起こることで海水の電磁波放射特性に複雑な変化を与えている。最新の気候モデルでは数種類の厚さの異なる海水を想定したモデルが使用されているものの、単純なパラメタリゼーションをもとにしたアルベド値等が用いられており、海水の種類・厚さ等によって変化する値が考慮されていない等の課題がある。また、衛星リモートセンシングにおいても海水の成長や融解などの季節変化に対応したパラメータの対応が必要である。

研究代表者及び研究分担者らは海水の厚さや融解の有無、積雪の多寡に伴う電磁波の応答に関する知見を蓄積し、統計的手法に基づく海水厚と積雪深を定量的に推定するアルゴリズムを開発してきたが、簡素なパラメータを用いている既存のマイクロ波の放射伝達モデルではこれらのアルゴリズムによって海水や積雪の量を推定できることが説明できていない。このため、実際の複雑な海水に対応できる海水の物理構造を十分考慮した新たな放射伝達モデルの構築が必要である。国内外の衛星リモートセンシングデータを飛躍的に高度化させるために、現段階において必要なのは理論的な裏付けを向上させる実験観測的な取り組みであるという背景があった。

2. 研究の目的

(1) 本研究は MMR と SAR へ適用できる雪氷現地観測データを整備し、電磁的特徴の基礎情報と応用解析、モデル計算の実施のための理論をまとめ、地球環境における雪氷圏の変動の把握と、北極海航路等の社会利用可能な応用研究にも拡大することを目指した。

海水成長に伴う物理過程として、海水の冷却から結氷、海水厚増加が基本であるが、実際は海水上の積雪が断熱材として海水成長を抑制する。一方で、積雪への海水の上方向の浸み上がりや凍結などで氷厚を増加させる。これらの積雪の海水厚に与える影響の変化は海水中のブライン (海水内部に含有される塩水胞) 構造や氷温と塩分の鉛直分布、積雪中に含まれる水分 (含水率)、表面の粗度 (ラフネス) 等の物理量に関係している。現在の放射伝達モデルではこれらの要素やその季節に対しての変化を表現する要素が取り込まれていない状態である。本研究の目的は、この問題にマイクロ波帯の輝度温度と後方散乱係数を決定づけている海水の表面および内部の物理構造ならびにそれらの季節変化を詳細に明らかにし、放射伝達モデルに必要な新たなパラメータを得ることである。このような季節性や積雪を考慮した理論的アプローチは独自性の高いものであり、これまで観測データに基づいた経験的な手法に依存していた MMR と SAR からの氷厚推定に対し、物理構造に基づいた高度な考察が行え、氷厚推定の理論モデルにおける不確実性を解消することができる。

(2) これまでの MMR を用いた海水密度の推定では、氷種を多年氷と一年氷の 2 種類と仮定し推定している。北極海ではかつては数年にわたって維持される多年氷が多かったが、近年の温暖化により単年度のうちに結氷・融解する一年氷が卓越するようになってきた。実際の海水域には

成長段階に対し多様な厚さの氷があり、さらに海氷上には積雪が存在する。本研究により、様々な厚さ毎の海水分布を算出することができるようになる。これは気候研究の課題になっている海水量と成長予測の推定につながる画期的な成果である、様々な気候解析、海洋への影響調査、氷海工学の発展につながる創造性を持つ研究活動と言える。

3. 研究の方法

(1) 本研究では、気候変動機構を理解する上で重要な海水変化の正確な把握を行うために、まず現在欠けている現場観測による海水情報の系統的取得を目指した。そしてその各構成物質の電磁波放射を検証して整合性のあるマイクロ波放射・散乱の理論モデルを構築することを目指した。さらに、このモデルを MMR 及び SAR の衛星データへ適用し、海氷上の積雪、海水厚、表面ラフネスの推定性能の検証へと作業を進めた。

海氷表面及び内部温度、ブライン体積の違いに敏感な MMR の周波数と偏波を組み合わせるパラメータ化による氷厚の推定を進展させ、推定に影響の大きい海氷上の積雪を含めた観測実験を行う。このとき、海氷表面の誘電率が氷厚に伴い変化することに着目し、海水厚の変化を及ぼす海氷成長過程での結氷や塩分の排出と変形の履歴を追跡しながら、海氷の表面散乱を誘電率とラフネスの関数とした物理散乱モデルから氷厚推定と関連図けることを計画した。さらに海氷上の積雪の違いによる多波長のマイクロ波放射の違いを観測し、積雪深の影響をけんとうする。

(2) マイクロ波センサによる海水厚・積雪深推定には海氷と積雪の物理構造とそれらの相互作用の把握が重要である。SAR データを用いた物理散乱モデル(表面散乱モデル)では、主な地表物理量は誘電率とラフネスであることから、特に表面ラフネスとブライン体積と温度の鉛直分布を再現することが重要であり、このことは MMR データを用いた放射伝達モデルにおいても同様である。これらをパラメータ化するために、北見工業大学構内に実験プールを作成し、海水厚 10cm までのブライン体積と温度の鉛直分布を測定する。同時に、研究分担者らが所有する携帯型 MMR およびベクトルネットワークアナライザ(VNA)を用いて厚さや内部構造の違いともなうマイクロ波帯の誘電特性を現場で直接測定し、両者の関係を明らかにする。

厚さ 10cm 以上の海氷に関しては、北極海における砕氷船観測、北海道東部のサロマ湖での氷上観測を行い、異なる厚さの海氷と積雪深を測定し、表面ラフネスの測定も実施した。アイスコーラーを用いて海水サンプルの温度と塩分の鉛直分布を現場で測定する。

4. 研究成果

海氷の厚さとマイクロ波放射の測定に関しては、2021 年から 2023 年の冬の間、北見工業大学キャンパス内に設置された氷タンクとポータブル受動的マイクロ波放射計を用いて、海氷の物性と輝度温度を観測した。厚さ 0~0.31m の範囲で凍結実験と融解実験を実施した(図 1)。



図 1 2021 年から 2023 年の冬季に、氷タンクを用いて、海水の成長・融解に対する観測周波数 6、18、36GHz のポータブル受動マイクロ波放射計(PMR)の放射変化を測定する実験を実施した。海水厚の増加に伴う海水と海水の温度・塩分の変化と、それに伴うマイクロ波輝度温度・赤外温度の変化を測定した。

マイクロ波放射計による観測とともに、気温、氷、水温を、冬期にサーミスターチェーンによって記録し、海水厚さも記録した(図 2)。

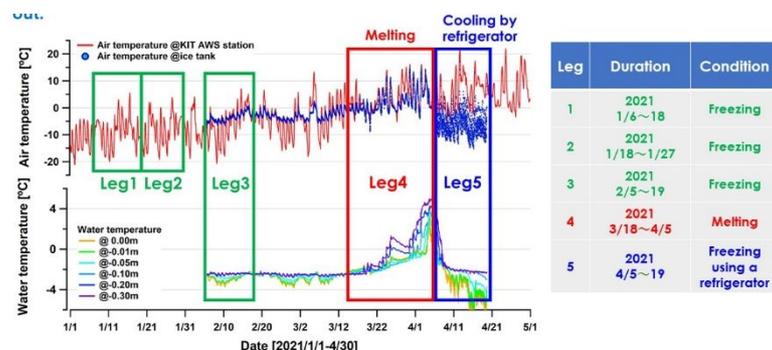


図 2 受動マイクロ波放射計(PMR)とサーミスターチェーンを用いた氷タンクを用いて、海水の成長・融解実験を実施した。図は、タンク実験中の気温と海水温度海氷温度の記録である。

繰り返し行った凍結実験と融解実験により、従来の海水状況路マイクロ波放射の対応関係は、各海水状態が混在のまま計測されていたが、本実験では、結氷期と融解期を分離して計測を行い、両者の違いを明らかにしている。

マイクロ波輝度温度と放射率は、外海から約 0.05~0.10 m の新たに形成された海水まで急速に増加した。最大値は周波数によって異なる。その後、海水の厚くなるにつれて輝度温度と放射率は徐々に低下する傾向を示した。海水の厚さと海水の塩分の変化について、結氷期と融解期で異なることを確認し、それらに対するマイクロ波放射率の変化を確認できた(図3)。

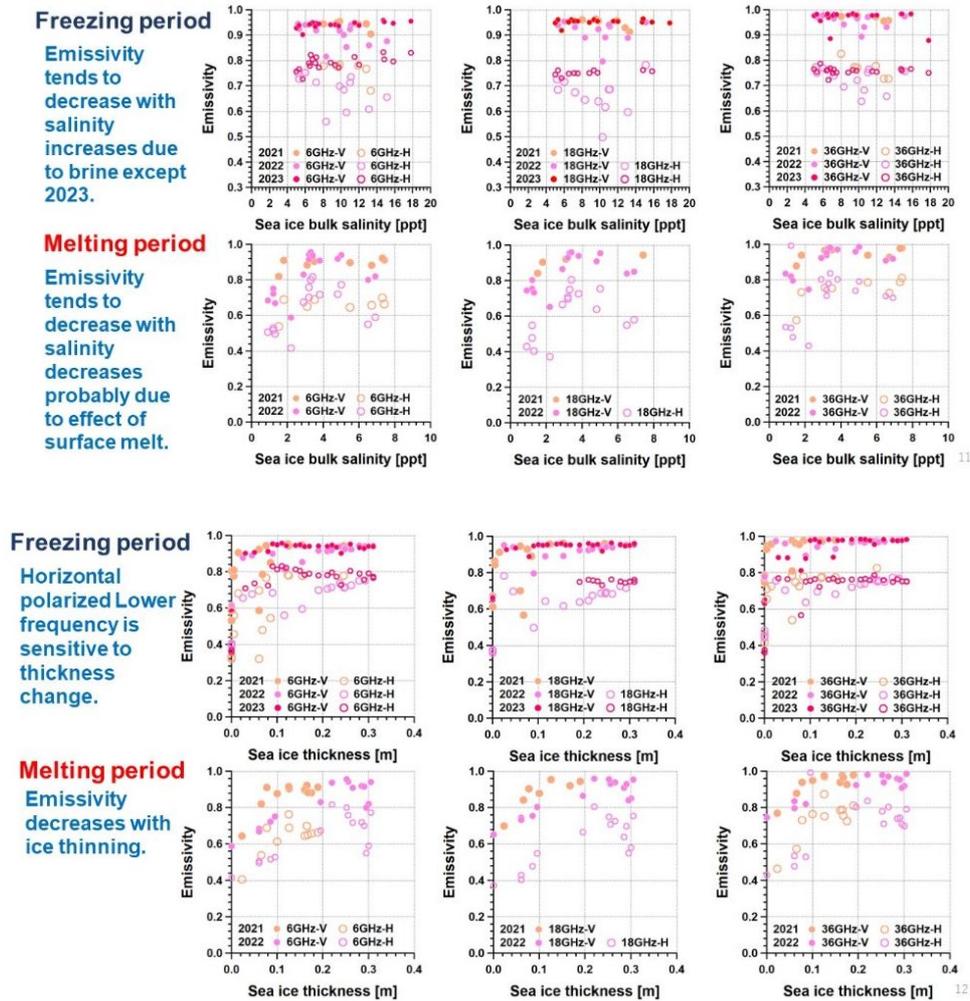


図3 海水の塩分とマイクロ波放射率の関係(上)および海水の厚さとマイクロ波放射率の関係(下)。海水厚と海水の塩分の関係を読み取ることで、海水厚とマイクロ波放射を関連づけている。

凍結期間と融解期間の両方が、放射率と海水の厚さとの間に相関関係を示した。これらの結果は、マイクロ波放射計を用いた海水厚さ推定の可能性を示唆している。

サロマ湖の湖氷上、ウトロの流氷上でマルチコプターおよびVTOL型のドローンを用いた表面起伏の測量を行い、海水厚観測を実施した。氷上でドリルによる氷厚実測とコアサンプルの取得を行ってフリーボードから海水厚に変換し、広範囲な3次元の海水厚分布を作成し、陸上レーダや高分解能の衛星画像と比較を行った。マイクロ波合成開口レーダ(SAR)は、薄い一年氷からの後方散乱が、氷表面の塩濃度とラフネス(粗度)の寄与に支配される。氷表面の塩濃度の変化に対応して誘電率が変化するため、誘電率の変化を知ることにより氷厚を間接的に計測することが可能であり、その検討を進めた。

一方で、氷表面ラフネスは、氷厚と直接的な関係を持たないことから、SARで観測された後方散乱から氷厚を計測する上で、氷表面ラフネスの取り扱いが重要になる。これまで、氷表面ラフネスを考慮する上で、その表面相関関数を最も厳しい条件となるガウス分布を仮定して表面散

乱モデルに適用されてきた。ここで、表面相関関数の条件を指数関数のように緩和することにより、表面散乱モデルの適用条件を緩和することが可能となり、SAR による氷厚計測範囲を拡張することが可能となることを示した。

北極海の海水情報取得のため、カナダ砕氷船ルイ S サンローランに乗船し、カナダ海盆において目視やカメラ、EM 氷厚計による船上海氷観測と、氷上で積雪や海水コアのサンプリングを行った。衛星搭載マイクロ波放射計や合成開口レーダのデータと比較解析し、海水推定式の精度検証を行った。図 4 に乗船したカナダ砕氷船での観測の様子を示す。



図 4 カナダ砕氷船ルイ S サンローランによる北極海の海水観測航海。海水厚と海水温度、塩分などの観測データが収集され、マイクロ観測衛星の観測結果と比較、検証に使用した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計24件（うち査読付論文 13件／うち国際共著 6件／うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Nose, T., J. Rabault, T. Waseda, T. Kodaira, Y. Fujiwara, T. Katsuno, N. Kanna, K. Tateyama, J. Voermans, T. Aleekseva	4. 巻 1
2. 論文標題 A comparison of an operational wave-ice model product and drifting wave buoy observation in the central Arctic Ocean: investigating the effect of sea ice forcing in thin ice cover	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 arXiv	6. 最初と最後の頁 1-34
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.48550/arXiv.2302.02820	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 大内 優希, 館山 一孝, 渡邊 達也	4. 巻 41
2. 論文標題 雪氷面の特徴が与えるUAV-SfM 測量への影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 北海道の雪氷	6. 最初と最後の頁 43-46
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 吉田悠嗣, 佐藤和敏, 館山一孝	4. 巻 41
2. 論文標題 南極圏における各季節の水蒸気量の長期変動とその影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 北海道の雪氷	6. 最初と最後の頁 59-62
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 Kazuki Nakamura, Shigeru Aoki, Tsutomu Yamanokuchi, Takeshi Tamura and Koichiro Doi	4. 巻 15
2. 論文標題 Validation for ice flow velocity variations of Shirase Glacier derived from PALSAR-2 offset tracking	5. 発行年 2022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 3269-3281
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JSTARS.2022.3165581	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 Nakamura Kazuki, Aoki Shigeru, Yamanokuchi Tsutomu, Tamura Takeshi	4. 巻 6
2. 論文標題 Interactive movements of outlet glacier tongue and landfast sea ice in Lutzow-Holm Bay, East Antarctica, detected by ALOS-2/PALSAR-2 imagery	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science of Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 100064 ~ 100064
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.srs.2022.100064	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 Satake Yurina, Nakamura Kazuki	4. 巻 15
2. 論文標題 Temporal Variations in Ice Thickness of the Shirase Glacier Derived from Cryosat-2/SIRAL Data	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 1205 ~ 1205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs15051205	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 Tanikawa Tomonori	4. 巻 8
2. 論文標題 Spectropolarimetry of Snow and Ice Surfaces: Measurements and Radiative Transfer Calculation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Springer Series in Light Scattering	6. 最初と最後の頁 87 ~ 124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-10298-1_3	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 Jawak Shridhar D., Pohjola Veijo, Kaab Andreas, Andersen Bo N., Malgorzata Blaszczyk, Salzano Roberto, Bartomiej Luks, Enomoto Hiroyuki, Hogda Kjell Arild, Moholdt Geir, Dinessen Frode, Fjaeraa Ann Mari	4. 巻 15
2. 論文標題 Status of Earth Observation and Remote Sensing Applications in Svalbard	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 513 ~ 513
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs15020513	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 木村宏海, 八久保晶弘, 館山一孝, 谷川朋範, 小嶋真輔	4. 巻 83
2. 論文標題 塩を含む積雪の含水率測定法	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 雪氷	6. 最初と最後の頁 579-590
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 Watanabe, Y., K. Tateyama, N. Shoji and K. Sato	4. 巻 -
2. 論文標題 Microwave remote sensing of first year ice with snow cover	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2021 International Workshop on Modern Science and Technology	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 -

1. 著者名 渡邊達也, 館山一孝	4. 巻 83
2. 論文標題 UAV-SfM測量による海水フリーボード計測の試み	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 雪氷	6. 最初と最後の頁 155-168
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 渡辺由梨加, 館山一孝, 東海林尚登	4. 巻 40
2. 論文標題 積雪の影響を考慮した海水厚推定アルゴリズムの改良	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 北海道の雪氷	6. 最初と最後の頁 23-26
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 Tateyama K., A. Timofeeva, N. Kanna, T. Waseda and H. Enomoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Sea ice observation using a portable and satelliteborne passive microwave radiometers in 2021 NABOS expedition	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 36th International Symposium on Okhotsk Sea & Polar Oceans	6. 最初と最後の頁 18-21
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 Kawamura, K. and K. Tateyama	4. 巻 -
2. 論文標題 Improvement of sea ice thickness measurement method using the shipborne Electro-Magnetic Inductive device	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 36th International Symposium on Okhotsk Sea & Polar Oceans	6. 最初と最後の頁 69-70
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 Waseda, T., T. Matsuzawa, K. Tateyama, T. Kodaira, Y. Fujiwara, T. Katsuno, T. Nose, K. Nishizawa, K. Sato and R. Uchiyama	4. 巻 -
2. 論文標題 Radar observation of sea-ice and waves in a controlled laboratory environment	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 36th International Symposium on Okhotsk Sea & Polar Oceans	6. 最初と最後の頁 3-4
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 Tateyama, T., Watanabe, N. Shoji, A. Konno, G. Sagawa, K. Izumiyama, S. Hoshino, S. Kubo, T. Hashimoto, and K. Kawamura	4. 巻 -
2. 論文標題 Comparison of sea ice thickness estimated from GCOM-W/AMSR2 and SMOS/MIRAS	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 36th International Symposium on Okhotsk Sea & Polar Oceans	6. 最初と最後の頁 63-64
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 Watanabe, Y., K. Tateyama, N. Shoji, A. Konno, G. Sagawa, K. Izumiyama, S. Hoshino, S. Kubo, T. Hashimoto, and K. Kawamura	4. 巻 -
2. 論文標題 Improvement of estimating sea ice thickness using AMSR2 data for Arctic first-year ice	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 36th International Symposium on Okhotsk Sea & Polar Oceans	6. 最初と最後の頁 65-68
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 Nose, T., J. Rabault, T. Waseda, T. Kodaira, T. Katsuno, N. Kanna, K. Tateyama, J. Voermans, and T. Alekseeva	4. 巻 -
2. 論文標題 Observation and model comparison of surface ocean waves in the Laptev Sea	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 36th International Symposium on Okhotsk Sea & Polar Oceans	6. 最初と最後の頁 16-17
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 Timofeeva, A., K. Tateyama, and N. Kanna	4. 巻 -
2. 論文標題 The results of the specialized ice observations in the Arctic Basin during autumn season in 2021	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 36th International Symposium on Okhotsk Sea & Polar Oceans	6. 最初と最後の頁 28-31
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 Kazuki Nakamura, Shigeru Aoki, Tsutomu Yamanokuchi, Takeshi Tamura and Koichiro Doi	4. 巻 -
2. 論文標題 Validation for ice flow velocity of Shirase Glacier derived from PALSAR-2 image correlation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2021 (IGARSS 2021)	6. 最初と最後の頁 5603-5606
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 Hoshino Seita, Tateyama Kazutaka, Izumiyama Koh	4. 巻 12
2. 論文標題 Classification of Ice in Lutzow-Holm Bay, East Antarctica, Using Data from ASCAT and AMSR2	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 3179 ~ 3179
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs12193179	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 Kimura Noriaki, Tateyama Kazutaka, Sato Kazutoshi, Krishfield Richard A., Yamaguchi Hajime	4. 巻 39
2. 論文標題 Unusual drift behaviour of multi-year sea ice in the Beaufort Sea during summer 2018	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polar Research	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) 10.33265/polar.v39.3617	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 Tanikawa Tomonori, Masuda Kazuhiko, Ishimoto Hiroshi, Aoki Teruo, Hori Masahiro, Niwano Masashi, Hachikubo Akihiro, Matoba Sumito, Sugiura Konosuke, Toyota Takenobu, Ohkawara Nozomu, Stamnes Knut	4. 巻 273
2. 論文標題 Spectral degree of linear polarization and neutral points of polarization in snow and ice surfaces	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer	6. 最初と最後の頁 107845 ~ 107845
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jqsrt.2021.107845	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 Alimasi Nuerasimuguli, Enomoto Hiroyuki, Hirasawa Naohiko	4. 巻 25
2. 論文標題 Spatiotemporal variation of ice sheet melting in the Antarctic coastal marginal zone and the influence of ice lenses and rain using satellite microwave observation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 100561 ~ 100561
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polar.2020.100561	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 -

[学会発表] 計61件(うち招待講演 3件/うち国際学会 37件)

1. 発表者名 Kanna, N., K. Tateyama, T. Waseda, A. Timofeeva, M. Papadimitraki, L. Whitmore, H. Obata, H. Ogawa, D. Nomura, I. Polyakov.
2. 発表標題 Spatial distribution of manganese in surface waters in the East Siberian Arctic Seas
3. 学会等名 The Seventh International Symposium on Arctic Research (ISAR-7) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kawamura, K., and K. Tateyama
2. 発表標題 Improvement of sea ice thickness measurement method using the shipborne Electro-Magnetic Inductive device
3. 学会等名 The 13th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kawamura, K., and K. Tateyama
2. 発表標題 Improvement of sea ice thickness measurement method using the shipborne Electro-Magnetic inductive device by sea water conductivity
3. 学会等名 The 37th International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 大内 優希, 館山 一孝, 渡邊 達也
2. 発表標題 雪氷面の特徴が与えるUAV-SfM 測量への影響
3. 学会等名 日本雪氷学会北海道支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ouchi, Y. K. Tateyama, T. Watanabe, K. Sato, T. Waseda, T. Kodaira, R. Uchiyama,
2. 発表標題 Sea ice thickness measurement using UAV-SfM
3. 学会等名 The 13th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ouchi, K. Tateyama, T. Watanabe, K. Sato, T. Waseda, T. Kodaira, R. Uchiyama,
2. 発表標題 Estimation of sea ice thickness using UAV-SfM in Utoro, Hokkaido on the shores of the Sea of Okhotsk
3. 学会等名 The Seventh International Symposium on Arctic Research (ISAR-7) (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 佐藤功坪, 館山一孝, 渡邊達也, 谷川朋範
2. 発表標題 UAV-SfM測量を用いた沿岸域における海水厚の推定
3. 学会等名 雪氷研究大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tateyama, K., H. Enomoto, K. Akiu, M. Nakayama
2. 発表標題 Radiation characteristics of thin sea ice in the ice tank experiments during freezing and melting periods using multifrequency passive microwave radiometers
3. 学会等名 The Seventh International Symposium on Arctic Research (ISAR-7) (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 吉田悠嗣, 佐藤和敏, 館山一孝
2. 発表標題 南極圏における各季節の水蒸気量の長期変動とその影響
3. 学会等名 日本雪氷学会北海道支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉田悠嗣, 佐藤和敏, 館山一孝
2. 発表標題 南極圏における各季節の水蒸気量の長期変動とその影響
3. 学会等名 日本気象学会秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柳沼将太・中村和樹:
2. 発表標題 ALOS-2/PALSAR-2による白瀬氷河の流動速度と氷河を取り囲む定着氷の関係,
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会第73回学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐竹祐里奈・中村和樹
2. 発表標題 CryoSat-2/SIRAL データを用いた白瀬氷河の氷厚推定
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会第73回学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大川翔太郎, 土井浩一郎, 中村和樹, 青山雄一, 永井裕人
2. 発表標題 白瀬氷河流動速度の季節変動に及ぼす周辺定着氷の厚さの影響について
3. 学会等名 雪氷研究大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shotaro Ohkawa, Koichiro Doi, Kazuki Nakamura, Yuichi Aoyama and Hiroto Nagai
2. 発表標題 The flow velocity changes of the Antarctic Shirase Glacier in 2018-2021 observed by Sentinel-1
3. 学会等名 The 10th SCAR Open Science Conference of 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yurina Satake and Kazuki Nakamura
2. 発表標題 Ice thickness estimation of Shirase Glacier derived from Cryosat-2/SIRAL data
3. 学会等名 International Symposium on Remote Sensing (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷川朋範, 増田一彦, 石元裕史, 大河原望, 中山雅茂
2. 発表標題 海氷の放射計算に必要な海氷面ラフネスの推定
3. 学会等名 雪氷研究大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Riona Kasakawa, Hiroyuki Enomoto
2. 発表標題 20-years polar snow monitoring through satellite microwave observations,
3. 学会等名 The 13th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Alimasi, N., H. Enomoto
2. 発表標題 Rikubetsu and Polar snow monitoring through satellite microwave observations,
3. 学会等名 JpGU (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Istomina Larysa, Heygster Georg, Enomoto Hiroyuki, Ushio Shuki, Tamura Takeshi, Haas Christian
2. 発表標題 Remote Sensing Observations of Melt Ponds on Top of Antarctic SEA ICE Using Sentinel-3 Data
3. 学会等名 IGARSS 2022 - 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡辺由梨加, 館山一孝, 東海林尚登
2. 発表標題 積雪の影響を考慮した海水厚推定アルゴリズムの改良
3. 学会等名 日本雪氷学会北海道支部 研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tateyama, K., H. Enomoto, M. Nakayama, N. Shoji, Y. Watanabe, S. Ohira, and K. Sato
2. 発表標題 Radiation characteristics of thin sea ice in the ice tank experiment using multifrequency passive microwave radiometers
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村宏海, 八久保晶弘, 館山一孝, 谷川朋範, 小嶋真輔
2. 発表標題 海氷上における塩を含む積雪の含水率測定
3. 学会等名 雪氷研究大会 (2021-オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤功坪, 館山一孝, 渡邊達也
2. 発表標題 UAV-SfM測量による湖水フリーボードの広域計測
3. 学会等名 雪氷研究大会 (2021-オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kawamura, K., K. Tateyama, S. Hoshino, and K. Sato
2. 発表標題 Estimated liquid water content in the near-infrared region using snow monitoring sensor
3. 学会等名 IWMST 2021 (International Workshop on Modern Science and Technology) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 Watanabe, Y., K. Tateyama, N. Shoji and K. Sato
2 . 発表標題 Microwave remote sensing of first year ice with snow cover
3 . 学会等名 IWMST 2021 (International Workshop on Modern Science and Technology) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Tateyama, K., N. Kanna, T. Waseda, H. Enomoto
2 . 発表標題 Observation of sea ice using portable passive microwave radiometers in NABOS 2021 expedition
3 . 学会等名 The 12th Symposium on Polar Science, online (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Nose, T., J. Rabault, T. Waseda, T. Kodaira, T. Katsuno, N. Kanna, K. Tateyama, J. Voermans
2 . 発表標題 Ocean wave observation in the Arctic Ocean north of the Laptev Sea
3 . 学会等名 The 12th Symposium on Polar Science, online (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Sato, K., K. Tateyama, T. Watanabe
2 . 発表標題 Observation of Total Ice Thickness Using UAV-SfM in the Saroma-ko Lagoon
3 . 学会等名 The 12th Symposium on Polar Science, online (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Tateyama, T., Watanabe, N. Shoji, A. Konno, G. Sagawa, K. Izumiyama, S. Hoshino, S. Kubo, T. Hashimoto, and K. Kawamura
2 . 発表標題 Comparison of sea ice thickness estimated from GCOM-W/AMSR2 and SMOS/MIRAS
3 . 学会等名 The Okhotsk Sea and Polar Oceans Research Association (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Nose, T., J. Rabault, T. Waseda, T. Kodaira, T. Katsuno, N. Kanna, K. Tateyama, J. Voermans, and T. Alekseeva
2 . 発表標題 Observation and model comparison of surface ocean waves in the Laptev Sea
3 . 学会等名 The Okhotsk Sea and Polar Oceans Research Association (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Waseda, T., T. Matsuzawa, K. Tateyama , T. Kodaira, Y. Fujiwara, T. Katsuno, T. Nose, K. Nishizawa, K. Sato and R. Uchiyama
2 . 発表標題 Radar observation of sea-ice and waves in a controlled laboratory environment
3 . 学会等名 The Okhotsk Sea and Polar Oceans Research Association (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Timofeeva, A., K.Tateyama, and N. Kanna
2 . 発表標題 The results of the specialized ice observations in the Arctic Basin during autumn season in 2021
3 . 学会等名 The Okhotsk Sea and Polar Oceans Research Association (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Tateyama K., A. Timofeeva, N. Kanna, T. Waseda and H. Enomoto
2 . 発表標題 Sea ice observation using a portable and satelliteborne passive microwave radiometers in 2021 NABOS expedition
3 . 学会等名 The Okhotsk Sea and Polar Oceans Research Association (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Kawamura, K. and K. Tateyama
2 . 発表標題 Improvement of sea ice thickness measurement method using the shipborne Electro-Magnetic Inductive device
3 . 学会等名 The Okhotsk Sea and Polar Oceans Research Association (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Watanabe, Y., K. Tateyama, N. Shoji, A. Konno, G. Sagawa, K. Izumiyama, S. Hoshino, S. Kubo, T. Hashimoto, and K. Kawamura
2 . 発表標題 Improvement of estimating sea ice thickness using AMSR2 data for Arctic first-year ice
3 . 学会等名 The Okhotsk Sea and Polar Oceans Research Association (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Shotaro Ohkawa, Koichiro Doi, Kazuki Nakamura and Hiroto Nagai
2 . 発表標題 Flow velocity and thinning rate of Shirase Glacier using satellite data
3 . 学会等名 The 28th International Symposium on Remote Sensing (ISRS 2021) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 柳沼将太, 中村和樹
2. 発表標題 白瀬氷河の流動速度推定における画像相関法の偏波特性
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会第71回学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuki Nakamura, Shigeru Aoki, Tsutomu Yamanokuchi, Takeshi Tamura and Koichiro Doi
2. 発表標題 Validation for ice flow velocity of Shirase Glacier derived from PALSAR-2 image correlation,
3. 学会等名 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2021 (IGARSS 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shotaro Ohkawa, Koichiro Doi, Kazuki Nakamura, and Hiroto Nagai
2. 発表標題 Estimation of Shirase Glacier flow velocity from 2018 to 2021 using Sentinel-1 data,
3. 学会等名 The 12th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 谷川朋範, 増田一彦, 石元裕史, 青木輝夫
2. 発表標題 放射伝達理論に基づく積雪の波長別偏光特性
3. 学会等名 雪氷研究大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 谷川朋範, 増田一彦, 石元裕史, 大河原望, 中山雅茂
2. 発表標題 海氷の放射計算に必要な海氷面ラフネスの推定
3. 学会等名 雪氷研究大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 アリマス ヌアスムグリ, 榎本 浩之
2. 発表標題 衛星マイクロ波放射計による極域の雪氷モニタリング
3. 学会等名 JpGU (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroyuki Enomoto, Nuerasimuguli Alimas, Noriaki Kimura, Tomonori Tanikawa, Misako Kachi
2. 発表標題 Prospects for collaboration with SIOS RS/E0 to promote research in the Arctic
3. 学会等名 SIOS Online Conference on E0 and RS applications in Svalbard (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 ヌアスムグリ アリマス, 榎本浩之, シュリダー ジャワク
2. 発表標題 極域の雪氷の融解・凍結および積雪被覆の変化に関するモニタリング観測
3. 学会等名 雪氷研究大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Istomina, L., G. Heygster, H. Enomoto, S. Ushio, T. Takeshi, C. Haas
2. 発表標題 Retrieval of Antarctic sea ice surface melt using Sentinel-3 satellite data
3. 学会等名 AGU Fall meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村宏海, 八久保晶弘, 舘山一孝, 谷川朋範
2. 発表標題 サロマ湖海氷上の積雪含水率の測定
3. 学会等名 雪氷研究大会 (2020・オンライン)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤功坪, 舘山一孝, 渡邊達也
2. 発表標題 サロマ湖におけるUAVを用いた湖水フリーボードの推定
3. 学会等名 雪氷研究大会 (2020・オンライン)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 舘山一孝
2. 発表標題 北極海カナダ海盆における海水厚の変動 - 2010年~2019年の船舶搭載型電磁誘導式氷厚計による現場観測から -
3. 学会等名 雪氷研究大会 (2020・オンライン)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sato, K., K. Tateyama, T. Watanabe
2. 発表標題 Mapping Lake Ice Thickness Distribution Using UAV in the Saroma-ko Lagoon
3. 学会等名 The 11th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Watanabe, Y., K. Tateyama, K. Izumiyama, S. Hoshino
2. 発表標題 Monitoring of Sea Ice Thickness around Yamal Peninsula using AMSR2
3. 学会等名 The 11th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tateyama, K. and H. Ohno
2. 発表標題 Development and Installation of Network Connected Meteorological Sensors in the Shiretoko World Natural Heritage region ,
3. 学会等名 The 11th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村和樹, 青木茂, 山之口勤, 田村岳史, 土井浩一郎
2. 発表標題 PALSAR-2による白瀬氷河の流動速度の検証
3. 学会等名 雪氷研究大会 (2020・オンライン)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shotaro Ohkawa, Koichiro Doi, Kazuki Nakamura, Hiroto Nagai
2. 発表標題 Approaches for integrated awareness of flow velocity, outflux, and thinning rate of Shirase Glacier using satellite data
3. 学会等名 The 11th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柳沼将太, 中村和樹
2. 発表標題 白瀬氷河の流動速度推定における画像相関法の偏波特性
3. 学会等名 令和2年度情報処理学会東北支部研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 谷川朋範, 青木輝夫, 石元裕史, 増田一彦, 庭野匡思, 堀雅裕, 八久保晶弘, 的場澄人, 杉浦幸之助, 島田利元, 大河原望,
2. 発表標題 積雪と海水の波長別偏光特性
3. 学会等名 雪氷研究大会 (2020・オンライン)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 豊田威信, 小野貴司, 谷川朋範, Pat Wongpan, 野村大樹
2. 発表標題 降雪が結氷初期の海水凍結過程に及ぼす影響について
3. 学会等名 日本海洋学会2020秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nuerasimuguli Alimasi, Hiroyuki Enomoto
2. 発表標題 Development of microwave observation techniques of melting of the snow-covered area and Rain-on-Snow in polar regions
3. 学会等名 SIOS Online Conference on EO, RS and GI application in Svalbard (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Noriaki KIMURA, Hiroyasu HASUMI, Hiroyuki Enomoto
2. 発表標題 A new way to derive the sea ice thickness from satellite observation data of AMSR
3. 学会等名 SIOS Online Conference on EO, RS and GI application in Svalbard (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nuerasimuguli Alimasi, Hiroyuki Enomoto, Naohiko Hirasawa
2. 発表標題 Temporal and spatial variations of melting and Rain-On-Snow event on the sheets detected by Microwave observation
3. 学会等名 JPGU (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 ヌアスムグリアリマス, 榎本浩之, 平沢尚彦
2. 発表標題 極域の雪氷・凍土の融解・凍結および積雪被覆の変化を検知する観測
3. 学会等名 雪氷研究大会 (2020・オンライン)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nuerasimuguli Alimasi, Hiroyuki Enomoto, Naohiko Hirasawa
2. 発表標題 Microwave observation of snow melting, Rain-On-Snow and ice lens formation in polar regions
3. 学会等名 The 11th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 日本リモートセンシング学会	4. 発行年 2023年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 758
3. 書名 リモートセンシング事典	

1. 著者名 山川 修治、江口 卓、高橋 日出男、常盤 勝美、平井 史生、松本 淳、山口 隆子、山下 脩二、渡来 靖、 気候影響・利用研究会	4. 発行年 2022年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 430
3. 書名 図説 世界の気候事典	

〔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
研究分担者	谷川 朋範 (Tanikawa Tomonori) (20509989)	気象庁気象研究所・気象予報研究部・主任研究官 (82109)	

6. 研究組織（つづき）

	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	館山 一孝 (Tateyama Kazutaka) (30374789)	北見工業大学・工学部・准教授 (10106)	
研究分担者	中村 和樹 (Nakamura Kazuki) (60435500)	日本大学・工学部・准教授 (32665)	
研究分担者	瀧澤 由美 (Takizawa Yumi) (90280528)	統計数理研究所・モデリング研究系・准教授 (62603)	

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			
カナダ	海洋研究所			
米国	ウッズホール海洋研究所	国際北極圏研究センター		
ロシア連邦	北極南極研究所			