

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：82109

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K12142

研究課題名(和文) 大気-積雪-海水系放射伝達モデルの開発と気候モデル用海水アルベドスキームの高度化

研究課題名(英文) Development of radiative transfer model of atmosphere-snow/sea ice system and upgrading of the sea-ice surface albedo scheme in climate models

研究代表者

谷川 朋範 (Tanikawa, Tomonori)

気象庁気象研究所・気象予報研究部・主任研究官

研究者番号：20509989

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：気候モデルによる海水予測精度の改善を目的として、海水アルベドを精度よく算出するための海水放射スキーム(海水アルベド算出スキーム)の高度化を行った。現在の気候モデルで用いられている海水放射スキームは、大半が現在気候における経験的なパラメタリゼーションが採用されている。そのため、海水アルベドに影響を及ぼす積雪・海水物理量が十分考慮されておらず、海水アルベドの不確実性が指摘されていた。そこで本研究では、放射伝達理論に基づく大気・積雪・海水系の放射伝達モデルを開発し、海水アルベドを決定する物理過程を考慮した新たな海水放射スキームの開発・高度化を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在の気候モデルでは近年の北極海の急激な海水減少傾向を十分に再現できておらず、モデルの改善が必要とされていた。本研究は海水の放射スキームに焦点を当てて、放射伝達モデルを開発し、物理に基づく海水放射スキームの高度化を行った。その結果、物理に基づく高度な考察が可能となり、気候変動に対する海水物理量の関係を詳細に捉えることが可能となった。本研究成果は、季節アンサンブル予報システム等による長期予測にとっても有益であるため、今後、当モデルの適用が期待される。

研究成果の概要(英文)：In order to improve the accuracy of sea ice prediction by climate models, we upgraded the sea ice radiation scheme (i.e. calculations of sea ice albedo) to represent the shortwave radiation entering the sea ice with high accuracy. The current sea ice radiation scheme is based on empirical parameterizations that were not fully taken into account the snow and sea ice parameters affecting the sea ice albedo. The uncertainties of the sea ice albedo employed in the climate model have been reported. We develop the radiative transfer model of atmosphere-snow-sea ice system based on the radiative transfer theory and then upgrade a new sea ice radiation scheme that incorporated the physical processes to determine the sea ice albedo.

研究分野：大気・雪氷放射学

キーワード：海水放射スキーム 海水アルベド 放射伝達 海水 積雪 気候モデル 海洋モデル

1. 研究開始当初の背景

北極海の海水面積は近年の北極域の顕著な温暖化傾向と連動して如実に減少しており、北極域の気温上昇と密接に関係していることが明らかになってきた。この温暖化傾向に伴う雪氷圏の振る舞いは、大きな気候変動・環境変動への要因になると考えられている。このため、海水面積の変動が気候にどのような影響を及ぼすのか、また将来、予想以上に海水面積の減少が進む場合、どのような事が起こりうるのか、気候シミュレーションによって大気・海洋状態を調べることは重要である。

海水面積の気候に与える影響を評価するためには、大気と海洋モデルを結合した気候モデルを用いた研究が有効である。海水の変動が季節予報に及ぼす影響が明らかになるなど、多くの成果が上がっている。しかしながら、近年の急激な海水面積の減少に対して十分には予測できておらず、様々な要因が指摘されている中、特に薄氷に対する海水面アルベドの再現性を改善する必要性が指摘されてきた。現在の気候モデルでは、海水面のアルベドは現在気候における経験的なパラメタリゼーションが採用されており、海水上積雪深と海氷厚、そして海水温度の3つのパラメータで表現されている。しかし、実際には、海水上積雪深のほかにブラックカーボンやダストなど積雪中に含まれる光吸収性不純物濃度と積雪粒径、海氷については、氷厚のほかに氷に含まれる気泡やブライン(塩水胞)、さらに海氷底部に付着するアイスアルジ(ice algae: 海氷藻類)と呼ばれる光合成生物が、海水面のアルベドをコントロールする。このように、現在の海水面のアルベドを求める放射スキームは非常に簡略化されており、積雪や海氷を構成する物理量や、ほかに大気状態、太陽天頂角など外的要因によって変化する効果が十分表現されていないことを考慮すると、この海氷放射スキームの改善・高度化は喫緊の課題である。

2. 研究の目的

本研究では、放射伝達理論に基づく大気・積雪・海氷系の放射伝達モデルの開発を行い、物理過程に基づく気候モデルに特化した新しい海氷放射スキームの開発に取り組む。そして、この海氷放射スキームを気候モデルに導入し、気候シミュレーションによる気候変動に対する海氷の影響評価を行い、とくに急激な海水面積の減少に対するメカニズムを明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、まず海水面のアルベドをコントロールする海氷と海水上積雪の物理・光学特性を明らかにするため、北海道東部サロマ湖海氷上にて海氷観測を実施する。海氷を構成する気泡、ブラインの粒径分布、海氷密度、またアイスアルジ群集の光合成色素であるクロロフィル a 濃度の測定を行う。特に、海氷に含まれる気泡やブラインは散乱体として働くため、海氷のアルベドに作用する重要な物理量であるが、それらの体積分率については測定値があるものの、光散乱に重要な粒径分布に関する情報は非常に限られたものであった。そのため、本研究では上記の物理量のほかに海氷中に含まれる気泡やブラインの粒径分布の測定を試みた。

次に、大気・積雪・海氷系の放射伝達モデルと海氷放射スキームの開発を行う。放射伝達モデルは大気・積雪系の放射伝達モデルを海氷に拡張する形で進める。海氷放射スキームは、前述の(波長別)放射伝達モデルの計算結果を用いて、広帯域の海水面アルベドをモデル化する。具体的には、海水面アルベドを積雪、海氷に関する内的要因と大気等による外的要因として分けて考慮し、内的要因として積雪深、海氷厚のほか、積雪粒径、積雪不純物濃度、海氷中に含まれる気泡、ブライン、アイスアルジ、海氷温度、外的要因として太陽天頂角、直達・散乱比を関数としてモデル化する。

最後に、海氷放射スキームの気候モデルへの実装を行い、気候モデルを用いた極域気候への影響評価を行う。既存のシミュレーション結果や観測データの比較を通じて、積雪深や海氷厚へのインパクトを調査する。さらに近年の北極海の海水減少に対して、海氷アルベドの変動やアイス・アルベド・フィードバックがどのように寄与しているかについて、定量的な評価を行う。

4. 研究成果

(1) 現場観測(気泡、ブラインの粒径分布)

海水面のアルベドをコントロールする海氷と積雪の物理・光学特性を明らかにするため、北海道サロマ湖海氷上にて海氷観測を実施した。海氷厚、積雪深の異なる海水面の波長別アルベド・透過率を測定し、あわせて海氷を構成する気泡、ブラインの粒径分布、海氷密度、アイスアルジ群集の光合成色素であるクロロフィル a 濃度等を測定した。ここでは気泡とブラインに関する結果について示す。

気泡とブラインの粒径分布は、海水の薄片試料(厚さ 1mm)を作成し画像解析によって求めた。図 1 に 2019 年 2 月に取得したサロマ湖海水サンプルに含まれる気泡とブラインの粒径分布を示す。気泡、ブラインの粒径分布はともに対数正規分布をしており、気泡に関しては、海水表面付近ほど幅広い分布をしていた。他の年のサンプルも同様に対数正規分布をしており、分布に関して再現性を確認することができた。この結果は、Salomon et al. (2022)らによるマイクロ X 線 CT 装置を用いた気泡、ブラインの詳細な粒径分布を測定した結果とほぼ整合的であることが確認された。しかしながら、本研究で求めた粒径分布は目視によるものであるため、気泡とブラインの識別が難しく、それぞれの粒径分布にやや不確実性が残る。そのため、次年度以降、我々研究グループも(別課題において)マイクロ X 線 CT 装置を用いた詳細な分析を進める計画である。

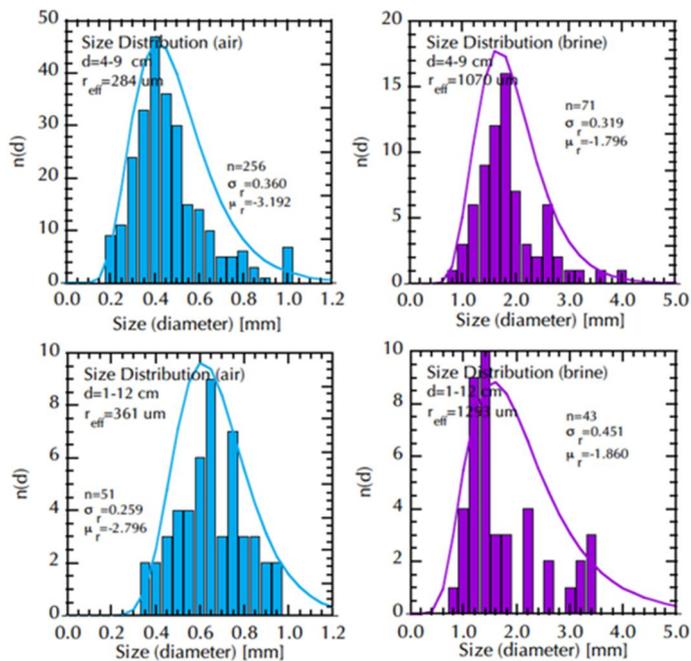


図 1 気泡(左)とブライン(右)の粒径分布。

(2) 大気 積雪 海水系の放射伝達モデル

海水上の積雪や海水を構成する気泡、ブライン、アイスアルジーの光学特性を考慮した大気 積雪 海水系の波長別放射伝達モデルを開発した(図 2)。気泡、ブラインの数密度は海水厚、温度と密度の関数として与え、一次散乱過程は Mie 理論を適用し、アイスアルジーの光学特性は、植物プランクトンとその一次生産やバクテリア分解で生成される腐食物質を仮定した。多重散乱過程は加算増法を用いた。放射計算において、海水面の反射・透過行列を精度良く求めることが重要である。一般に海水面は鏡面ではなくラフネス(凹凸)があるため、入射光は乱反射や乱屈折して、積雪(大気)や海水中に伝搬する。そのため、海水面の反射・透過行列には海水表面のラフネスを考慮した。その他、現場測定で得られた海水・積雪情報をもとに、実際に測定される分光特性をうまく再現する高度な光散乱粒子モデル(Tanikawa et al., 2020)を採用した。具体的に積雪粒子には 3 次元ボロノイ構造をもつ非球形粒子モデル、積雪不純物には大気中の光吸収性エアロゾルが積雪に取り込まれる際の物理過程を考慮したモデルを適用した。

図 3(次頁)に 2019 年 2 月に北海道サロマ湖海水上での分光観測の様子と、取得した海水の波長別アルベドの例を示す。波長別アルベドはそのスペクトルの形から、海水積雪の有無をよく反映しており、可視域のアルベドは主に積雪とその下の海水の放射特性を、近赤外～短波長赤外域は海水積雪の放射特性を示した。放射伝達モデルを用いて波長別アルベドを計算したところ、観測結果とよく一致し、特に可視域はアイスアルジーの吸収が関与していること、また、近赤外域については積雪の効果が顕著であり、積雪深だけでなく積雪粒径の影響が大きいことが確認された。この結果は、海水放射スキームにこれらの物理量を陽に考慮する必要があることを示している。以上の観測結果の一部は Tanikawa et al. (2021), Tanikawa (2022)に発表した。

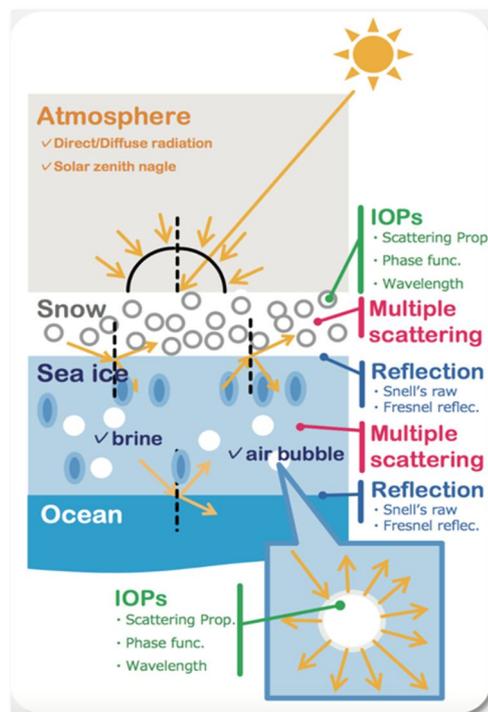


図 2 大気-積雪-海水系放射伝達モデルの概要。

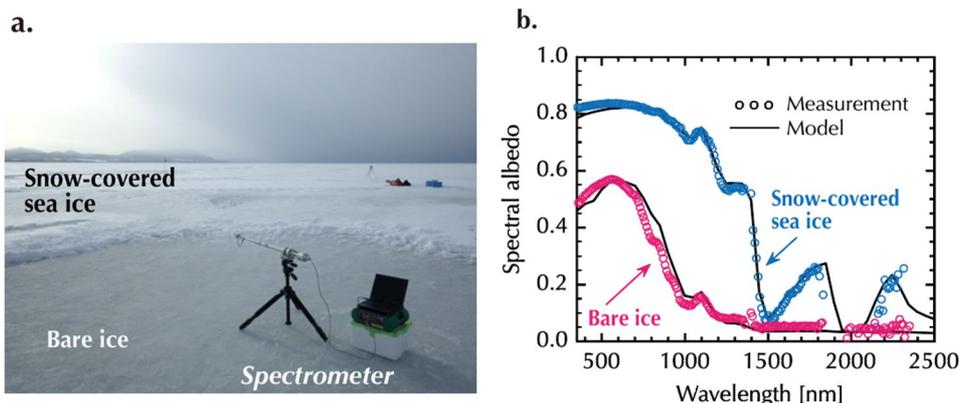


図3 (a)北海道サロマ湖海氷上での分光観測の様子(海氷厚32cm, 積雪深3cm), (b)海氷の波長別アルベドの測定結果(丸印)と計算結果(実線). 2つのスペクトルデータは海氷上積雪の有無の違いを示す.

(3) 海氷放射スキームの開発

次にこの放射伝達モデルを用いて, 気候モデルに特化した海氷放射スキームの開発を行った. 汎用性を持たせるため広帯域のアルベドを, 短波長域 (SW: 波長 300-3000 nm), 可視域 (VIS: 波長 300-700 nm), 近赤外域 (NIR: 700-3000 nm) に分けてそれぞれ計算し, 海氷, 積雪物理量の関数としてルックアップテーブルを作成した.

図4(次頁)は海氷厚と積雪深, 積雪粒径, 積雪中に含まれる光吸収性不純物濃度に対する海氷面の広帯域アルベドの計算結果である. 海氷厚, 積雪深への依存性は主に可視域で大きい. また積雪中に含まれる光吸収性不純物, 積雪粒径の依存性もあり, 前者は可視域, 後者は近赤外域で顕著である. 特筆すべきは太陽天頂角によって海氷アルベドが変化することである. 太陽天頂角が大きくなるとアルベドは高くなり, 特に 70° 以降その効果は顕著に現れる. 経験的なパラメタリゼーションではこの効果は考慮されておらず, とくに高緯度地方では太陽天頂角が高いことから, 今回開発した海氷放射スキームは海氷予測の不確実性を低減するものと期待される.

(4) 海氷放射スキームの気候モデルへの実装

極域気候への影響評価を行うため, 海氷放射スキームの気候モデル(MRI.COM)へ実装に着手した. 海氷放射スキームのデータセット作成に時間を要したため, やや遅れが生じている. 現在, 経験的なパラメタリゼーションから物理に基づく海氷放射スキームへの変更に伴う海氷密接度, 海氷厚, 海氷上積雪深のインパクトを調査しているところである. なお, 海氷上の積雪アルベドに対する改良については, Toyoda et al. (2020)にて報告済みである.

今後の予定として, 既存のシミュレーション結果や観測データの比較を通じて, 積雪深や海氷厚へのインパクトを調査する. さらに近年の北極海の海氷減少に対して, 海氷アルベドの変動やアイス・アルベド・フィードバックがどのように寄与しているか, 定量的な評価を行う. また, 現在の気候モデルには, 海氷上積雪に含まれる光吸収性不純物の影響が考慮されていない. 光吸収性不純物は可視域のアルベドを低下させるため, 海氷融解を促進させる働きがある. 今後はエアロゾル輸送モデルとの結合を行い, 極域気候への影響を調べる予定である.

引用文献:

- Salomon et al. (2022): J. Glaciol., doi:10.1017/jog.2021.119
 Tanikawa et al. (2020): J. Geophys. Res., doi:10.1029/2019JD031858
 Tanikawa et al. (2021): J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf., doi:10.1016/j.jqsrt.2021.107845
 Tanikawa (2022): Springer series in Light Scattering 8, doi:10.1007/978-3-031-10298-1_3
 Toyoda et al. (2020): Polar Sci., doi:10.1016/j.polar.2020.10052

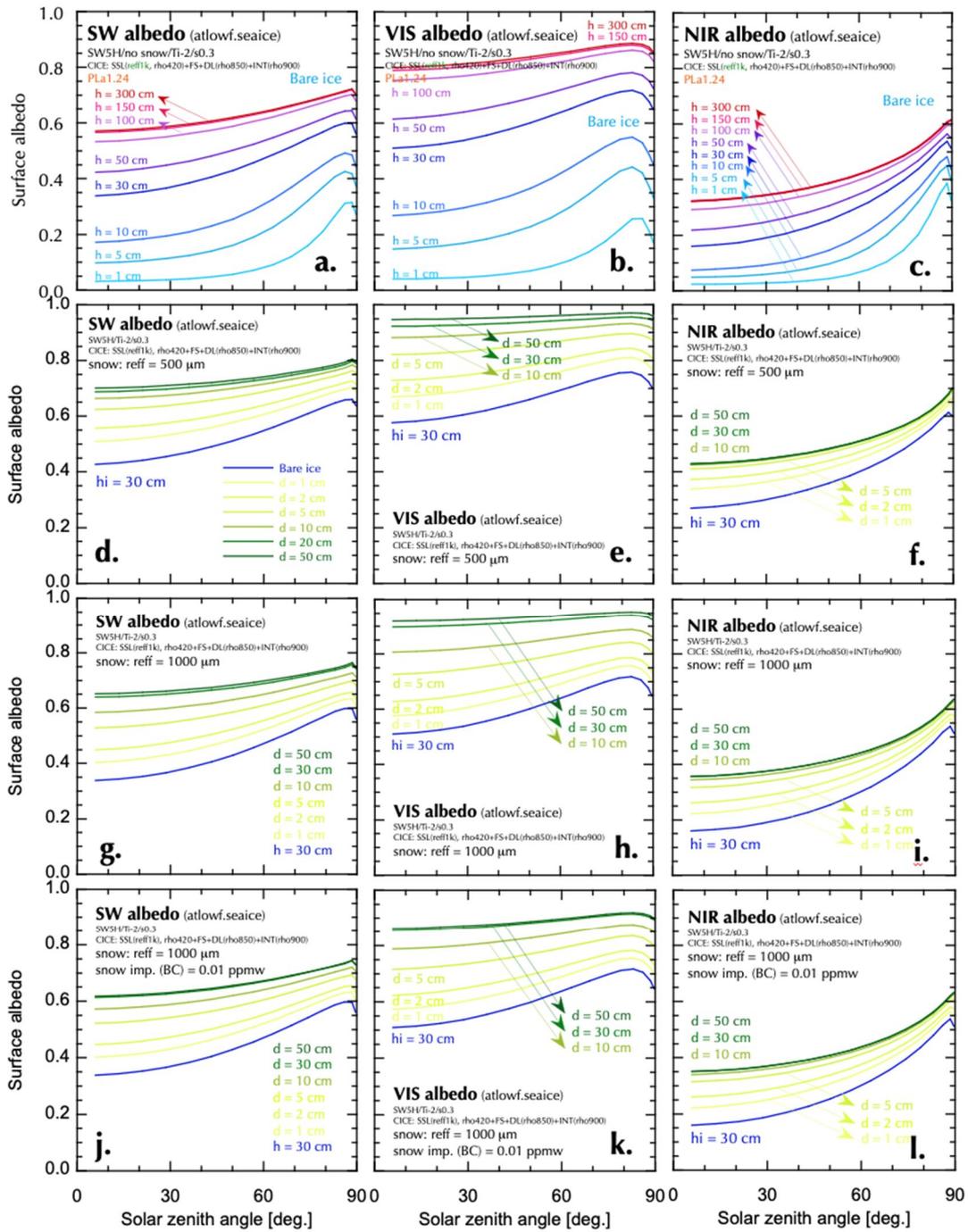


図4 海氷面の広帯域(SW,VIS,NIR)アルベドの太陽天頂角依存性。上段(a-c)は海氷厚 h_i に対するアルベドの変化を示す($h_i=1, 5, 10, \dots, 300$ cm)。中二段(d-i)は積雪深 d に対するアルベドの変化を示す($h_i=30$ cm, $d=0, 1, 2, \dots, 50$ cm), ただし, 図 d-f は積雪粒径 $500 \mu\text{m}$, 図 g-i は積雪粒径 $1000 \mu\text{m}$. 下段(j-l)は積雪粒径 $1000 \mu\text{m}$ の積雪に, 光吸収性不純物(ここでは BC を仮定)を含む(重量濃度 0.01 ppmw) .

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 10件）

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 Toyoda Takahiro, Kitamura Yoshiteru, Okada Ryohei, Matsumura Kanichiro, Komatsu Kensuke K, Sakamoto Kei, Urakawa L Shogo, Nakano Hideyuki	4. 巻 6
2. 論文標題 Sea ice variability along the Okhotsk coast of Hokkaido based on long-term JMA meteorological observatory data	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Okhotsk Sea and Polar Oceans Research	6. 最初と最後の頁 27 ~ 35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.57287/ospor.6.27	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 NOMURA Daiki, IKAWA Hiroki, KAWAGUCHI Yusuke, KANNA Naoya, KAWAKAMI Tatsuya, NOSAKA Yuichi 他	4. 巻 40
2. 論文標題 Atmosphere-sea ice-ocean interaction study in Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, Japan 2021	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bulletin of Glaciological Research	6. 最初と最後の頁 1 ~ 17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5331/bgr.21R02	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 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) 10.5331/seppyo.83.6_579	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 谷川 朋範、青木 輝夫、堀 雅裕、八久保 晶弘、庭野 匡思、杉浦 幸之助、的場 澄人、島田 利元	4. 巻 41
2. 論文標題 光学リモートセンシングによる雪氷プロダクトの地上検証観測	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本リモートセンシング学会誌	6. 最初と最後の頁 582 ~ 594
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11440/rssj.41.582	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 Tanikawa T., Kuchiki K., Aoki T., Ishimoto H., Hachikubo A., Niwano M., Hosaka M., Matoba S., Kodama Y., Iwata Y. and Stannes K.	4. 巻 125
2. 論文標題 Effects of Snow Grain Shape and Mixing State of Snow Impurity on Retrieval of Snow Physical Parameters From Ground Based Optical Instrument	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 e2019JD031858
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019jd031858	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 Wongpan P., Nomura D., Toyota T., Tanikawa T., Meiners K. M., Ishino T., Tamura T. P., Tozawa M., Nosaka Y., Hirawake T., Ooki A. and Aoki S.	4. 巻 na
2. 論文標題 Using under-ice hyperspectral transmittance to determine land-fast sea-ice algal biomass in Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Annals of Glaciology	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/aog.2020.69	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 Toyota T., Ono T., Tanikawa T., Wongpan P. and Nomura D.	4. 巻 na
2. 論文標題 Solidification effects of snowfall on sea-ice freeze-up: results from an onsite experimental study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Annals of Glaciology	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/aog.2020.49	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 Kurosaki Y., Matoba S., Iizuka Y., Niwano M., Tanikawa T., Ando T., Hori A., Miyamoto A., Fujita S. and Aoki T.	4. 巻 125
2. 論文標題 Reconstruction of Sea Ice Concentration in Northern Baffin Bay Using Deuterium Excess in a Coastal Ice Core From the Northwestern Greenland Ice Sheet	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 e2019JD031668
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019jd031668	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 豊田隆寛, 坂本圭, 豊田威信, 辻野博之, 浦川昇吾, 川上雄真, 山上晃央, 小松謙介, 山中吾郎, 谷川朋範, 中野英之	4. 巻 55
2. 論文標題 気象研海洋モデルにおける海水熱力学過程の改良について	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 月刊海洋	6. 最初と最後の頁 197-202
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 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件)

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 (2021・千葉-オンライン)
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・千葉-オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Toyoda Takahiro, Kitamura Yoshiteru, Okada Ryohei, Matsumura Kanichiro, Komatsu Kensuke K, Sakamoto Kei, Urakawa L Shogo, Nakano Hideyuki
2. 発表標題 Sea ice variability along the Okhotsk coast of Hokkaido based on long-term JMA meteorological observatory data
3. 学会等名 The 36th International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷川 朋範
2. 発表標題 積雪の光学特性と衛星リモートセンシング
3. 学会等名 日本雪氷学会東北支部大会 特別講演 (招待講演)
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 (2022・札幌)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷川 朋範
2. 発表標題 積雪－裸氷放射伝達モデルの開発
3. 学会等名 ISEE2022氷河融解を加速する光吸収性不純物に関する研究集会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomonori Tanikawa, Nozomi Ohkawara, Teruo Aoki
2. 発表標題 Monitoring of snow physical parameters by spectral radiation measurements using ground-based optical instrument in Ny-Alesund, Svalbard
3. 学会等名 ISAR7 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中山雅茂, 直木和弘, 谷川朋範, 長幸平
2. 発表標題 成長速度の異なる薄氷のマイクロ波輝度温度の測定
3. 学会等名 雪氷研究大会 (2022・札幌)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中山雅茂, 直木和弘, 谷川朋範, 長幸平
2. 発表標題 野外プールを使った海水成長過程観測システムの開発
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 直木和弘, 中山雅茂, 谷川朋範, 長幸平
2. 発表標題 海氷の厚さと3周波数帯のマイクロ波輝度温度の関係
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年度秋季大会
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 雪が結氷初期の海水成長に及ぼす影響について
3. 学会等名 雪氷研究大会(2020・オンライン)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Tanikawa Tomonori	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 197
3. 書名 Springer series in light scattering 8 (分担執筆: Spectropolarimetry of snow and ice surfaces: measurements and radiative transfer calculations)	

1. 著者名 日本リモートセンシング学会 編	4. 発行年 2022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(分担執筆: 海水のアルベドと分類)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

research map
https://researchmap.jp/tomonori.tanikawa

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	豊田 威信 (Toyota Takenobu) (80312411)	北海道大学・低温科学研究所・助教 (10101)	
研究分担者	豊田 隆寛 (Toyoda Takahiro) (90450775)	気象庁気象研究所・全球大気海洋研究部・主任研究官 (82109)	

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		
米国	Stevens Institute of Technology		