

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：82645

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K19955

研究課題名（和文）陸域モデルを用いた北極圏の赤雪発生およびその雪氷融解効果の推定

研究課題名（英文）Estimation of snow melting including the effect of red snow blooming in arctic region using a land surface model

研究代表者

大沼 友貴彦（Onuma, Yukihiko）

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・第一宇宙技術部門・宇宙航空プロジェクト研究員

研究者番号：30800833

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）：本研究開始時は下記の課題を掲げ、想定以上の成果が3年間で得られた。
・氷河観測に基づく赤雪の予測モデル開発と、陸域モデルを利用した赤雪による北極圏の雪氷融解への寄与推定
研究期間全体の特筆すべき成果として、世界初の全球の赤雪発生を予測する全球積雪藻類モデルBio-MATSIROの開発に成功し、全球規模で赤雪による雪氷融解への寄与が推定できるようになった。研究期間の後半では、研究対象を赤雪藻類以外の雪氷生物にも広げ、氷河水床面を暗色化させる緑藻の増殖モデルやクリオコナイトホール
の崩壊モデルの開発に成功し、Bio-MATSIROの拡張が期待される。これらの成果は国際誌に論文として出版されている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発したBio-MATSIROを用いることで、雪氷微生物活動によるアルベド低下効果（バイオアルベド効果）を計算し、近年の雪氷融解加速の微生物活動による寄与を全球規模で評価できるようになった。バイオアルベド効果はIPCC第6次評価報告書で初めて取り上げられた新しい現象で、その効果を明らかにすることは学術的意義がある。本研究成果は、今後さらに発展させることでIPCC次期評価報告書に記載される可能性があり、国際社会への貢献も期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, the results more than expected toward the following issues were obtained for three years.

- Development of a numerical model to predict red snow phenomena based on field observations and estimation of the contribution of red snow to snow melting using a land surface model.
One of the most notable achievements for the entire research period was to develop global snow algae model Bio-MATSIRO, which enable us to estimate the contribution of red snow phenomena to snow melting in alpinies and glaciers worldwide. In the latter half of the research period, numerical models to reproduce growth of glacier algae and vertical dynamics of cryoconite holes were established. These models will be incorporated into Bio-MATSIRO to evaluate snow and ice albedo reduction caused by the microbial activities. These model results have been published as peer reviewed papers on international journals.

研究分野：雪氷生物学

キーワード：雪氷学 雪氷微生物 数値モデリング 陸面モデル 赤雪 氷河暗色化 数理生物学

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

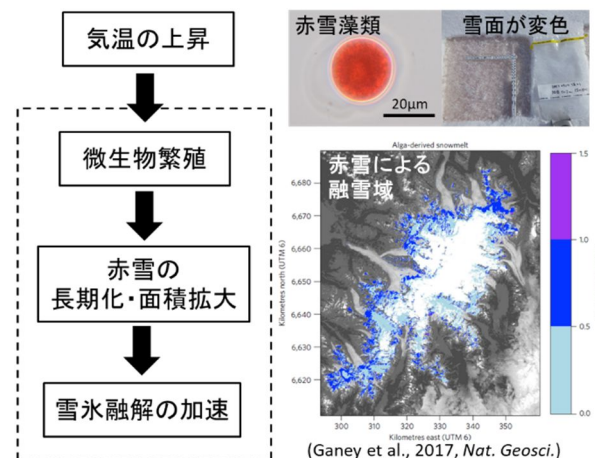
1. 研究開始当初の背景

現在、北極圏では氷河や氷床の著しい質量損失が確認されており、その損失速度は近年さらに加速している。氷河や氷床は、全球の水循環において淡水の貯蔵庫としての役割を持ち、その質量損失は海水準の上昇や、淡水流入による海洋深層循環の低下をもたらし、全球の気候に大きく影響する。氷河や氷床の質量損失を加速させている主な原因の一つに、全球規模の気温上昇である地球温暖化が挙げられる。

グリーンランドをはじめとした北極圏の氷河氷床の質量損失加速は、気温の上昇が直接的な原因だと考えられていたが、雪氷表面の色が変化して起こるアルベド低下による日射量の吸収増加も一因であると近年報告されている (Box et al., 2012, *The Cryosphere*)。積雪のアルベド低下を引き起こすのは、積雪内に混入した吸光性不純物であり、鉱物ダスト (Mineral Dust; 以下 Dust と略) と黒色炭素 (Black Carbon; 以下 BC と略) が主な不純物であると考えられていた (Wiscombe and Warren, 1980, *J. Atmos. Sci.*)。しかしながら、積雪表面では赤い色素を含んだ雪氷藻類 (以下、赤雪藻類と略) という微生物が大繁殖する現象 (赤雪) が起こり (下図)、積雪アルベドを低下させていることが近年指摘されている。例えば、グリーンランド、アイスランド、スバルバル、スウェーデンの氷河観測では、赤雪によってアルベドが **0.1-0.2** 程低下したことが報告されている (Lutz et al., 2016, *Nat. Commun.*)。また、アラスカでは、氷原上で赤雪が面積 **700km²** の広範囲で発生していることが衛星画像から確認され (右図)、**赤雪が氷原の融解を加速**させていることが示唆されている (Ganey et al., 2017, *Nat. Geosci.*)。

これまで申請者は、氷河や積雪上での長期間の時系列観測から雪氷藻類の繁殖要因と雪氷融解への寄与を研究してきた。例えば、日本の山岳域にある季節性の積雪で、雪氷藻類の定量分析、化学成分分析、気象観測、積雪物理測定を行い、雪氷藻類が積雪の融解期間に指数関数的に増加していることを示し、その時間変化を増加速度が現存量に比例するという微分方程式を基にした数理モデルで再現した (Onuma et al., 2016, *B. Glaciol. Res.*)。その後、グリーンランド北西部で氷河調査を行い、先述した数理モデルを氷河上で適用可能な**赤雪藻類の繁殖モデル**へと発展させた (Onuma et al., 2018, *The Cryosphere*)。このモデルでは、氷河上の越年性の積雪を考慮し、積雪の栄養塩濃度で決まる細胞の繁殖上限を新たに加えた。さらに、赤雪藻類細胞を Dust と BC に加えた不純物として積雪アルベド物理モデルに導入し、先述した繁殖モデルと組み合わせて放射伝達過程に基づいて計算したところ、グリーンランドの気温が **1-1.5** 度上昇した場合、藻類繁殖の長期化により赤雪が発生し、藻類による吸光増加で積雪アルベドが **0.1** さらに低下する可能性があることを明らかにした (Onuma et al., 2020, *The Cryosphere*)。

このように赤雪藻類は、融雪を加速させて氷河氷床の質量損失に寄与するだけでなく、**気温の上昇で赤雪現象の長期化や面積拡大**が起こり得るため、さらに雪氷融解が加速する可能性がある。そのため、赤雪藻類繁殖の主要因を明らかにし、赤雪の出現期間や地域分布を推定することは雪氷微生物の生態の理解および雪氷融解の正確な見積りをするために重要である。しかしながら、雪氷藻類の時間変化を定量化する繁殖モデルは、上述したモデル (Onuma et al., 2018, *The Cryosphere*) しか現存せず、北極圏全域の赤雪にこの繁殖モデルが適用できるかは検証の余地がある。そこで、本研究課題の核心をなす学術的「問い」は、**北極圏の氷河や氷床において、赤雪はいつ、どの地域で発生し、将来その規模がどのように変化するのか？**そして、**その赤雪が雪氷融解にどの程度寄与している、あるいは将来寄与し得るのか？**である。



北極圏の赤雪はいつどこで繁殖して、将来どのように変化し、雪氷融解に寄与するのか？

2. 研究の目的

本研究では、北極圏の氷河上で観測を行い、気象条件、積雪物理量、積雪化学成分、雪氷藻類濃度を定量化し、現地観測データに基づいて赤雪発生の主要因を調査し、北極圏で適用可能な赤雪推定モデルを開発することを試みる。近年、急激な雪氷融解による気候変動への影響を定量評価することに関心が集まっているが、赤雪藻類をはじめとしたさまざまな雪氷藻類の繁殖量やそのアルベド低下効果について、北半球スケールでの時系列変化や空間分布を明らかにした研究はない。

そこで申請者は、これまで開発した赤雪藻類繁殖モデルを北極圏で適用可能なモデルへと発

【1 研究目的、研究方法など(つづき)】

展させ、陸域モデルを用いて北極圏の赤雪藻類濃度の時空間変化およびアルベド低下効果を計算し、現在から将来の赤雪による雪氷融解への影響を推定する。赤雪の空間分布とその雪氷融解への寄与に関する研究は衛星観測では実施されているが、全球気候モデルで赤雪藻類繁殖を計算し、北極圏の雪氷融解への寄与を定量評価するという試みは、申請者が世界に先んじて注目したものであり、本研究の最も学術的独自性の強い面である。陸域モデルでは、将来気候シナリオを用いれば予測実験も可能なため、今後の地球温暖化で雪氷藻類の繁殖分布が北極圏でどのように変化し雪氷融解に寄与し得るのかも議論できる。気候モデルに対して新しい概念として雪氷微生物過程を取り入れ、北極圏の急激な雪氷融解に対する微生物の寄与を将来まで推定するという点が本研究の創造性である。

3. 研究の方法

本研究では、1. 氷河観測に基づく赤雪藻類の繁殖要因解明と赤雪推定モデル開発、2. 陸域モデルによる北極圏の赤雪による雪氷融解への寄与推定、を目標としている。これらの目標は、雪氷上で繁殖する様々な藻類種のうち積雪の優占種である赤雪藻類を対象に絞ることで、3年間で達成可能であると考えている。具体的な方法は下記のとおりである。

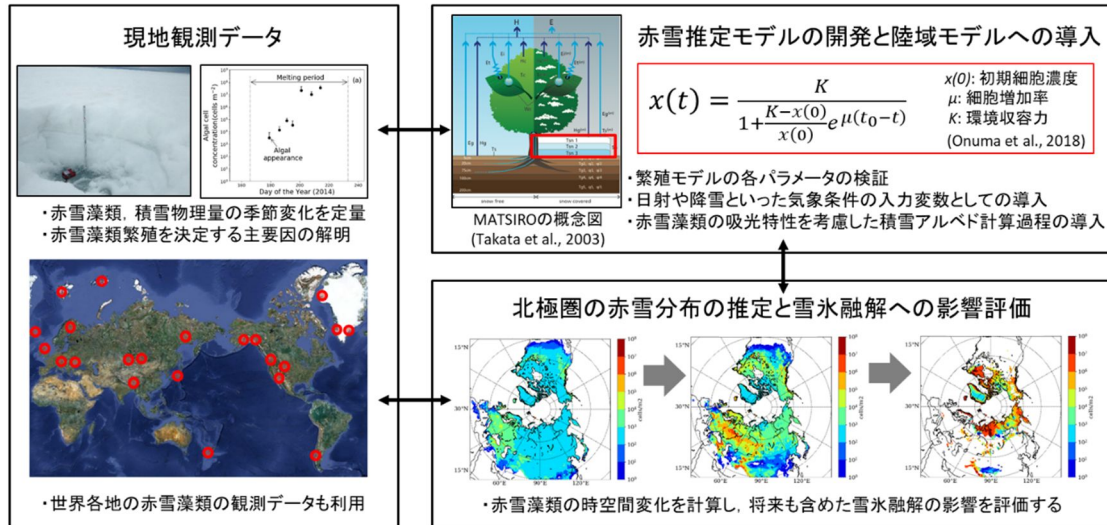
(3-1) 氷河観測に基づく赤雪藻類の繁殖要因解明と赤雪推定モデル開発(1, 2年目)

本研究では、以前グリーンランド北西部の氷河上積雪での時系列観測に基づき開発した赤雪藻類繁殖モデル(Onuma et al., 2018, *The Cryosphere*)を、北半球全域に適用可能な赤雪推定モデルへと発展させる。そのために、研究初年度と翌年度に赤雪の発生する積雪上で、雪氷藻類の繁殖に関わる積雪物理量、積雪化学成分、雪氷藻類濃度の時系列観測を実施する。加えて、赤雪藻類の繁殖の律速要因を特定するための環境制限実験(日射、栄養塩制限実験)も実施する。これまでの申請者の研究では、赤雪藻類の初期細胞濃度(初期値)、細胞増加率、環境収容力(細胞濃度上限)の三つのパラメータをグリーンランド北西部での観測から得て、繁殖モデルに用いていた。この繁殖モデルで用いられる生物学的プロセスやモデルパラメータは、申請者の研究でしかまだ明らかになっておらず、他の地域でも同様に適用できるのか疑問が残る。そこで本研究では、大規模な赤雪現象が報告されているアラスカのハーディング氷原で数週間の時系列観測を複数回実施し、北極圏を対象とした赤雪藻類繁殖モデルの構築を試みる。まず、既存の赤雪藻類繁殖モデルがアラスカでも適用可能であるかを調べ、繁殖モデルに必要な生物学的プロセスとパラメータを明らかにする。加えて、現地での環境制限実験に基づいて、細胞増加率といった主なモデルパラメータを制限する要因を調査する。これらの観測結果と申請者によるグリーンランドや日本での赤雪藻類の過去の観測結果をまとめ、地域ごとに異なる気象、積雪物理、積雪化学状態を考慮したより一般化した赤雪藻類繁殖モデルの構築を目指す。ハーディング氷原は2013年に赤雪が700km²の範囲で発生した地域で、毎年赤雪が発生している(Ganey et al., 2017, *Nat. Geosci.*)。調査地までのアクセスが良いため氷原上に長期滞在して観測する必要もなく、氷原上に設置された測器により気象観測もされていることから、調査対象地として選定した。同氷原での調査および微生物解析を行うにあたっては、竹内望教授(雪氷生物学、千葉大学)およびDr. Dial(生態学、Alaska Pacific Univ., USA)の研究グループと共同実施することに同意している。同氷原では赤雪藻類の時系列観測はほとんど実施されておらず、観測結果や推定された繁殖モデルのパラメータ(細胞増加率など)のみでも貴重な成果として学術論文になると期待される。

(3-2) 陸域モデルによる北極圏の赤雪による雪氷融解への寄与推定(3年目)

開発した雪氷藻類繁殖モデルを陸域モデルに導入して、北半球の雪氷藻類繁殖量および藻類による積雪融解量の計算を行う。本研究で使用する陸域モデルは、東京大学が開発に携わっている全球気候モデルMIROCの陸域モデルMATSIROである。MATSIROは気象外力データを入力として用いることで、陸域モデルとして単独運用が可能である。計算空間解像度が気象外力データに依存して変更可能であること、複雑な大気の物理計算を排しているため陸域の物理過程および雪氷藻類の繁殖過程により着目してモデル検証が行えること、積雪融解による流出量への影響などを定量評価ができるという利点から、本研究では赤雪藻類繁殖モデルの導入先のモデルとしてMATSIROを採用した。赤雪藻類繁殖モデルの導入は、MATSIROの積雪物理過程に新しいスキームとして加えることで行う。MATSIROは現在、安成哲平助教(雪氷気象学、北海道大学)らが放射伝達過程に基づいた積雪アルベド計算スキームの導入を進めている。また、申請者は赤雪藻類の細胞粒径および細胞内色素に基づいた赤雪の波長別質量吸収係数を青木輝夫特任教授(雪氷物理学、国立極地研究所)と開発した(Onuma et al., *The Cryosphere*)。本研究でMATSIROがすでに考慮しているDustとBCに加えて繁殖モデルで計算した赤雪藻類濃度を入力し、放射伝達過程に基づいて赤雪による積雪アルベド低下を計算する。赤雪藻類繁殖と積雪アルベドのモデル検証には、先行研究と1.の観測結果を用いて行う。

【1 研究目的、研究方法など(つづき)】



4. 研究成果

2020 年度は雪氷藻類の繁殖を再現する数値モデル(Snow Algae Model)の開発を実施し、従来のモデルに合成による増殖過程と降雪被覆による繁殖抑制効果を追加した。コロナウイルス感染拡大防止の観点から、当初予定していた海外氷河調査は実施できなかったものの、文献調査を進め全球 15 地域の雪氷藻類の細胞濃度の現地観測データを入手し、Snow Algae Model の妥当性を検証した。検証の結果、アップデートされたモデルは、数日から 10 日ほどの誤差があるものの、北極から南極までの全球の赤雪発生日を概ね妥当に再現できることが示唆された。この計算誤差は、夏季に降雪の発生するヒマラヤ地域で特に大きいことが明らかになった。Snow Algae Model は陸面過程モデルの最新版である MATSIRO6 に導入され、全球積雪藻類モデル Bio-MATSIRO を構築した。この成果は論文としてまとめられ、国際誌に投稿された。加えて、雪氷藻類繁殖による積雪アルベド低下を計算する放射伝達過程を考慮した積雪アルベド物理モデルを国際論文として発表した (Onuma et al., 2020)。この論文では、北極圏グリーンランドの赤雪発生により、積雪アルベドが最大 0.15 ほど低下することが示唆された。そして、Snow Algae Model と組み合わせた数値シミュレーションにより、グリーンランド北西部の積雪の融解期間が 5 日間延長すると、雪氷藻類繁殖によってアルベドが 0.03 ほど低下する可能性があることがわかった。また、雪氷藻類の数値モデル開発の現状をまとめた総説論文を日本の学会誌にて発表した (大沼と竹内, 2021)。

2021 年度は昨年度に続いて、雪氷藻類の繁殖を再現する数値モデル(Snow Algae Model)の開発と検証を継続し、関連する成果の報告を行った。積雪域では、開発した全球積雪藻類モデル Bio-MATSIRO による全球赤雪シミュレーションによって、当初計画していた赤雪によるアルベド低下効果を北極域のみならず南極を含めた全球で定量評価できるようになった。この全球雪氷藻類モデルによるシミュレーションでは、赤雪の発生には積雪の融解期間が重要であり、全球の赤雪発生は気候変動に敏感であることが初めて示唆された。この成果は国際誌に出版され、国内新聞をはじめとした各種メディアにも取り上げられた (Onuma et al., 2022b)。また、裸氷域では、氷河水床上の藻類増殖を再現する 2 つの数値モデル (Glacier Algae Model と Filamentous Cyanobacteria Model) を構築し、現地観測データを用いて検証した。コロナ禍で本年度の現地観測は中止となったため、検証用の現地観測データは、申請者の研究グループがこれまで集めた観測データで代用した。この裸氷域の数値モデルの開発検証論文は国際誌に投稿された。加えて、氷河水床上のクリオコナイトホール (生物由来の暗色物質クリオコナイトの吸熱によって形成される円柱形の穴) の動態を地表大気情報に基づいて再現する数値モデル開発に成功した。

研究最終年度である 2022 年度は、昨年度に引き続き氷河暗色化を引き起こす氷河藻類の増殖を再現するモデル (Glacier Algae Model と Filamentous Cyanobacteria Model) の検証を行った。また、クリオコナイトホールの動態を地表大気情報に基づいて再現する数値モデル (Cryoconite Hole Model) の開発検証も進めた。前者の氷河藻類モデルの開発検証論文は国際誌にて出版され (Onuma et al., 2022a)、後者のクリオコナイトホールモデルの開発検証論文は国際誌に投稿しプレプリントが公開された (Onuma et al., 2023)。

本研究開始時は下記の課題を掲げ、想定以上の成果が 3 年間で得られた。

- ・氷河観測に基づく赤雪の予測モデル開発と、陸域モデルを利用した赤雪による北極圏の雪氷融解への寄与推定

【1 研究目的、研究方法など(つづき)】

研究期間全体の特筆すべき成果として、世界初の全球の赤雪発生を予測する全球積雪藻類モデル Bio-MATSIRO の開発に成功し、全球規模で赤雪による雪氷融解への寄与が推定できるようになった。研究期間の後半では、研究対象を赤雪藻類以外の雪氷生物にも広げ、氷河氷床面を暗色化させる緑藻の増殖モデルやクリオコナイトホールの崩壊モデルの開発に成功し、**Bio-MATSIRO** のさらなる拡張が期待できる。近年、雪氷微生物活動によるアルベド低下効果(バイオアルベド効果)による雪氷面の暗色化が世界各地で報告されている。このバイオアルベド効果は **IPCC 第 6 次評価報告書**で初めて取り上げられた新しい現象で、その効果を明らかにすることは学術的意義がある。そのため、今後は本研究で開発した **Bio-MATSIRO** を用いることで学術貢献をしていく。加えて、本研究成果は今後さらに発展させることで **IPCC 次期評価報告書**に記載される可能性があり、国際社会への貢献も期待できる。

研究期間中の主な成果

1. **Onuma, Y., Takeuchi, N., Tanaka, S., Nagatsuka, N., Niwano, M. and Aoki, T. (2020), Physically based model of the contribution of red snow algal cells to temporal changes in albedo in northwest Greenland. *The Cryosphere*, 14, 2087-2101, doi:10.5194/tc-14-2087-2020.**
2. **Onuma, Y., Takeuchi, N., Uetake, J., Niwano, M., Tanaka, S., Nagatsuka, N. and Aoki, T. (2022a) Modeling seasonal growth of phototrophs on bare ice on the Qaanaaq Ice Cap, northwestern Greenland, *Journal of Glaciology*, 1–13, doi: 10.1017/jog.2022.76.**
3. **Onuma, Y., Yoshimura, K. and Takeuchi, N. (2022b), Global simulation of snow algal blooming by coupling a land surface and newly developed snow algae models, *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 127 (2), e2021JG006339, doi: 10.1029/2021JG006339.**
4. **Onuma, Y., Fujita, K., Takeuchi, N., Niwano, M. and Aoki, T. (2023), Modelling the development and decay of cryoconite holes in Northwest Greenland. *The Cryosphere Discussions*, doi:10.5194/egusphere-2023-54 (2023)**
5. 大沼友貴彦, 竹内望 (2021), 北極圏の氷河および氷床の融解を加速させるバイオアルベド効果とそのモデル化研究, *雪氷*, 83 (1).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Nagatsuka Naoko, Goto-Azuma Kumiko, Tsushima Akane, Fujita Koji, Matoba Sumito, Onuma Yukihiko, Dallmayr Remi, Kadota Moe, Hirabayashi Motohiro, Ogata Jun, Ogawa-Tsukagawa Yoshimi, Kitamura Kyotaro, Minowa Masahiro, Komuro Yuki, Motoyama Hideaki, Aoki Teruo	4. 巻 17
2. 論文標題 Variations in mineralogy of dust in an ice core obtained from northwestern Greenland over the past 100 years	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Climate of the Past	6. 最初と最後の頁 1341 ~ 1362
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/cp-17-1341-2021	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 Onuma Y., Yoshimura K., Takeuchi N.	4. 巻 127
2. 論文標題 Global Simulation of Snow Algal Blooming by Coupling a Land Surface and Newly Developed Snow Algae Models	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Biogeosciences	6. 最初と最後の頁 1-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021JG006339	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 Onuma Yukihiko, Takeuchi Nozomu, Tanaka Sota, Nagatsuka Naoko, Niwano Masashi, Aoki Teruo	4. 巻 14
2. 論文標題 Physically based model of the contribution of red snow algal cells to temporal changes in albedo in northwest Greenland	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Cryosphere	6. 最初と最後の頁 2087 ~ 2101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/tc-14-2087-2020	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 Onuma Yukihiko, Yoshimura Kei, Takeuchi Nozomu	4. 巻 2020-146
2. 論文標題 Developing a Snow Algae Model to Reconstruct Blooming at the Global Scale Using a Land Surface Model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Earth and Space Science Open Archive	6. 最初と最後の頁 1-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/essoar.10506587.1	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 Nagatsuka Naoko, Goto-Azuma Kumiko, Tsushima Akane, Fujita Koji, Matoba Sumito, Onuma Yukihiko, Kadota Moe, Minowa Masahiro, Komuro Yuki, Motoyama Hideaki, Aoki Teruo	4. 巻 0
2. 論文標題 Variations in mineralogy of dust in an ice core obtained from northwestern Greenland over the past 100 years	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Climate of the Past Discussions	6. 最初と最後の頁 1-31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/cp-2020-146	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 大沼友貴彦、竹内望	4. 巻 83(1)
2. 論文標題 北極圏の氷河および氷床の融解を加速させる バイオアルベド効果とそのモデル化研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 雪氷	6. 最初と最後の頁 51-66
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 庭野匡思、青木輝夫、橋本明弘、大島長、梶野瑞王、大沼友貴彦、藤田耕史、山口悟、島田利元、竹内望、津滝俊、本山秀明、石井正好、杉山慎、平沢尚彦、阿部彩子	4. 巻 83(1)
2. 論文標題 氷床表面質量収支の実態とそのモデリングの試み：2020年夏最新版	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 雪氷	6. 最初と最後の頁 27-50
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 青木輝夫、的場澄人、庭野匡思、朽木勝幸、谷川朋範、竹内望、山口悟、本山秀明、藤田耕史、山崎哲秀、飯塚芳徳、堀雅裕、島田利元、植竹淳、永塚尚子、大沼友貴彦、橋本明弘、石元裕史、田中泰宙、大島長、梶野瑞王、足立光司、黒崎豊、杉山慎、津滝俊、東久美子、八久保晶弘、川上薫、木名瀬健	4. 巻 83(2)
2. 論文標題 SIGMA及び関連プロジェクトによるグリーンランド氷床上の大気・雪氷・雪氷微生物研究 ArCS IIプロジェクトへのつながり	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 雪氷	6. 最初と最後の頁 169-191
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 Onuma Yukihiko, Takeuchi Nozomu, Uetake Jun, Niwano Masashi, Tanaka Sota, Nagatsuka Naoko, Aoki Teruo	4. 巻 69
2. 論文標題 Modeling seasonal growth of phototrophs on bare ice on the Qaanaaq Ice Cap, northwestern Greenland	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Glaciology	6. 最初と最後の頁 487 ~ 499
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jog.2022.76	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 Onuma Yukihiko, Fujita Koji, Takeuchi Nozomu, Niwano Masashi, Aoki Teruo	4. 巻 -
2. 論文標題 Modelling the development and decay of cryoconite holes in Northwest Greenland	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Cryosphere Discussions	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) 10.5194/egusphere-2023-54	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 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 竹内望, 渡辺茜, 石渡晃起, 大沼友貴彦
2. 発表標題 グリーンランド北西部カナック氷河消耗域の雪氷溶存化学成分
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 大沼友貴彦, 芳村圭, 竹内望
2. 発表標題 全球雪氷藻類モデルの開発と赤雪現象再現の試み
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 大沼友貴彦, 芳村圭, 竹内望
2. 発表標題 陸面過程モデルを使用した雪氷藻類繁殖の全球計算
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 永塚尚子, 東久美子, 對馬あかね, 藤田耕史, 的場澄人, 大沼友貴彦, Remi Dallmayr, 門田萌, 平林幹啓, 尾形純, 塚川佳美, 北村享太郎, 箕輪昌紘, 小室悠紀, 本山秀明, 青木輝夫, 中澤文男, Trevor James Popp, Dorthe Dahl-Jensen
2. 発表標題 グリーンランドで掘削されたアイスコア中の過去100年間の鉱物組成変動
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 Ryouta O'ishi, Fuyuki Saito, Ayako Abe-Ouchi, Takashi Obase, Yukihiro Onuma and Masashi Niwano
2. 発表標題 Estimation of Greenland surface mass balance using positive degree-days method and energy balance model
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 大沼友貴彦, 芳村圭, 竹内望
2. 発表標題 陸面過程モデルを使用した雪氷藻類繁殖の全球計算
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Onuma, M. Niwano, R. Shimada, N. Takeuchi
2. 発表標題 Numerical modeling of biological processes on snow and glacier surfaces in the Arctic region
3. 学会等名 Seventh International Symposium on Arctic Research (ISAR-7) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 N. Nagatsuka, K. Goto-Azuma, A. Tsushima, K. Fujita, S. Matoba, Y. Onuma, Y. Komuro, M. Hirabayashi, J. Ogata, Y. Ogawa-Tsukagawa, K. Kitamura, T. Aoki, T. J. Pop, D. Dahl-Jensen
2. 発表標題 Variations in mineralogy of dust in ice cores obtained from Greenland over the past 100 years
3. 学会等名 Seventh International Symposium on Arctic Research (ISAR-7) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 M. Ono, J. Uetake, A. Tsushima, Y. Onuma, K. Kobayashi, D. Seto, S. Usuba, F. Konishi, N. Takeuchi
2. 発表標題 Spatiotemporal changes in communities of snow-ice microbes living on Gulkana Glacier, Alaska
3. 学会等名 Seventh International Symposium on Arctic Research (ISAR-7) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 永塚 尚子, 東 久美子, 對馬 あかね, 藤田 耕史, 的場 澄人, 大沼 友貴彦, 小室 悠紀, 平林 幹啓, 尾形 純, 塚川 佳美, 北村 享太郎, 青木 輝夫, Popp Trevor James, Dahl-Jensen Dorthe
2. 発表標題 アイスコアを用いたグリーンランド氷床北部における過去100年間の鉱物組成変動の空間分布
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 大沼友貴彦, 藤田耕史, 竹内望, 庭野匡思, 青木輝夫
2. 発表標題 グリーンランド北西部氷河上で発生するクリオコナイトホール崩壊現象の数値モデル開発
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 グリーンランドアイスコアから復元する過去100年の 鉱物ダスト起源とその変動要因の解明
2. 発表標題 永塚尚子, 東久美子, 對馬あかね, 藤田耕史, 的場澄人, 大沼友貴彦, 青木輝夫
3. 学会等名 2022年度 日本地球化学会 第69回年会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Guo, Q. Kino, K. Li, S. Nitta, T. Takeshima, A. Onuma, Y. Satoh, Y. Suzuki, T. Takata, K. Yoshida, N. Yoshimura, K. MATSIR06 Document Writing Team	4. 発行年 2021年
2. 出版社 CCSR Report No. 66, Division of Climate System Research, Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo	5. 総ページ数 96
3. 書名 Description of MATSIR06 (Manual book)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

researchmap https://researchmap.jp/yonuma/ Snow Algae Model v1.0 (v1.0) https://doi.org/10.5281/zenodo.6258671 Data set used in glacier algae model https://doi.org/10.5281/zenodo.6955513 Codes and data set for Cryoconite hole model https://doi.org/10.5281/zenodo.7539526 Dataset used in snow algae model (Version v3.0) https://doi.org/10.5281/zenodo.5794868

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

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			
デンマーク	オーフス大学			