

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：82109

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H03582

研究課題名（和文）グリーンランド氷床雪氷質量変動に対する北極温暖化増幅の影響解明

研究課題名（英文）Quantifying the effects of polar amplification on the Greenland ice sheet mass balance

研究代表者

庭野 匡思（Niwano, Masashi）

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：10515026

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：グリーンランド氷床の雪氷表面物理状態に対する北極温暖化増幅の影響を明らかにすることを目的として、詳細な極域気候モデルNHM-SMAPの高度化と解析を実施した。従来、NHM-SMAPは気象庁の再解析データJRA-55のみで駆動されていたが、本研究の遂行により欧州中期予報センターによる最新の再解析データERA5を用いて駆動することが可能となった。グリーンランド氷床をターゲットとする国際モデル相互比較では、ERAを用いることが事実上のスタンダードとなりつつあるため、本取り組みは今後の研究の推進にとって非常に有意義である。また、グリーンランド氷床上降雨が近年有意に増加していることも明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題で開発を推進している極域気候モデルNHM-SMAPをベースとする大気-雪氷系モデルシステムのコアパートが気象庁の解析積雪深・降雪短時間予報業務で正式採用された（社会実装）。大気-雪氷相互作用のモデリングの観点で考えると、グリーンランド氷床は大部分の地表面が雪氷で覆われているために、モデルの問題点の洗い出しや高度化に非常に適した場所である。そこで鍛えられたモデルを、より複雑な地表面を持つ日本に適用して正常に動作させることに成功したことは、今後のモデル開発のアプローチを考える上で有益な示唆を与える。なお、この点は当初の研究計画で目指していたことではなく、想定以上の成果と言える。

研究成果の概要（英文）：We updated the polar regional climate model NHM-SMAP and analyzed its simulation results to clarify the effects of the Arctic Amplification of global warming on the Greenland ice sheet surface snow and ice physical conditions. Originally, the model was driven by only the Japanese reanalysis JRA-55; however, through this study, the model can be driven by the latest ECMWF reanalysis called ERA5. Recent international model inter-comparisons focusing on the Greenland ice sheet frequently require using ERA to drive regional climate models or nudge global climate models. Therefore, the above-mentioned attempt enables us to perform more international collaborative studies on the Greenland ice sheet. In addition, we unveiled for the first time that the rainfall on the present-day ice sheet has been increasing significantly since 1980.

研究分野：雪氷学、気象学

キーワード：グリーンランド氷床 氷床質量変動 温暖化 表面質量収支 北極温暖化増幅 雪氷物理状態 極域気候モデル 氷床上降雨

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

グリーンランド氷床 (Greenland Ice Sheet; GrIS) では、2000 年代に入って以降、北極温暖化増幅 (気温上昇) によって、急速な雪氷融解に起因する質量損失が加速している。融解水の一部は、氷床内部を浸透して基盤地形に到達し、潤滑剤の役割を果たすことで氷体の流動を加速していることも認められている。生成された大量の融解水と流動する氷体の一部は海洋に流出することから、全球の海面水位変動に大きな影響を与えているのみならず、海洋循環を変化させて全球規模の気候変動変調の一因となっている。更に近年では、気温上昇に伴って降水 (降雪+降雨) 中の雨雪比が変化することにより降雨が増加することで、GrIS に液体の水が融解を経ずに直接添加され、その結果として雪氷面アルベドが劇的に低下する可能性に注目が集まっている。実際、我々は、北西 GrIS 上の標高 1500m に位置する SIGMA-A サイトにおける 2012 年 7 月集中観測において、4 日間の積算降雨量が 100 mm を超える強雨事例を観測している (Niwano et al., 2015)。また、融解水と降雨が氷床上積雪に浸透して再凍結すると、潜熱解放が起きることから雪氷内部温度が上昇する。更に、再凍結は積雪内部の空隙を減らすため、将来、液体水が積雪内部に浸透出来なくなる可能性がある。その場合、液体水は即時的に氷床周辺の海洋に流出することになるため、それがトリガーとなって近い将来において氷床質量減少のティッピング・ポイントを迎える可能性があると考えられている。

近年、我々は、GrIS における大気-雪氷相互作用の理解の深化を目的として、関係する物理過程を詳細に考慮した領域気候モデル NHM-SMAP (Niwano et al., 2018) を開発し、GrIS 雪氷表面質量収支計算モデル国際相互比較プロジェクト GrSMBMIP (Fettweis et al., 2020) に参画した。そこに提出された NHM-SMAP の計算結果では、近年の融解量増加の一方で、降雪量及び降雨量の増加が認められた。Bintanja and Selten (2014) は、当時の全球気候モデルの将来予測結果を解析し、温暖化が進むと大気中で保持出来る水蒸気量が増加し、同時に海水減少によって海面からの蒸発量が増加することで、降水量が増加すると指摘しているが、我々の結果はその主張に沿うものと考えられる。一方で、GrSMBMIP に参加した全 4 つの領域気候モデルの内、NHM-SMAP を除く 3 つのモデルは同期間における降水量の減少トレンドを示していた (Fettweis et al., 2020)。この降水量のトレンドの差は、GrIS 上空の雲量の差にも対応すると考えられるため、涵養量のみならず、下向き短波放射量、雲底面からの下向き長波加熱、及び雪氷面アルベドの変化を通じて、融解量の推定にも影響をもたらしていると考えられる。そのため、これらのモデル間の差異は、GrIS における雲・降水系の変化とそれに起因する氷床質量変動が依然として不透明であることを示唆している。そこで、我々は、近年の北極温暖化増幅によって GrIS の雲・降水・融雪・(更にその帰結としての) 質量収支がどのように、かつ、どの程度変化しているのか? という問いを設定する。

また、領域気候モデルを駆動する大気再解析データの極域における品質は、当該エリアにおける観測データの少なさゆえに、中緯度と比べて大きく劣ることが知られている。そのため、再解析データ間の品質の差異が上述の領域気候モデル間の傾向の差の一因となっている可能性がある。そこで、我々は、再解析データの品質の差異が北極温暖化増幅の影響評価に与える影響の解明も問いに含める。

2. 研究の目的

我々は、本研究課題において、気象庁の再解析データ JRA-55 に加えて、欧州中期予報センター (ECMWF) の最新の再解析データ ERA5 を用いて NHM-SMAP を駆動し、複数のモデルシミュレーションプロダクトを作成する。これらのプロダクトを比較して、雲・降水系の変化とそれに起因する融解・質量損失の実態を GrIS 全域のみならず流域毎に評価する。更に、雲・降水系に関するモデル感度実験を実施し、氷床質量変動に及ぼす雲・降水系の影響を定量化する。

近年の北極温暖化増幅が GrIS に与える影響については、主に雪氷融解と質量損失の観点で、世界的に研究が大いに進展してきている。しかし、温暖化が GrIS の降水増加を引き起こす可能性については、Bintanja and Selten (2014) による予想がなされて以降、未だ詳細な検証はなされていない。その予想の検証に世界で初めて本格的に取り組む点に本応募研究課題の学術的独自性がある。また、従来の (NHM-SMAP を除く) 領域気候モデルの時間解像度は 6 時間~1 日程度であり、また、水平解像度は 10 km 以上である。本応募研究課題では、時間解像度 1 時間・水平解像度 5 km のモデルシミュレーションデータのセット (1980 年~現在) を、モデルを駆動する再解析データ毎に作成する。このプロセスは、全球再解析データの (時空間的な) 力学的ダウンスケーリングであることから、作成されるプロダクトは、GrIS における詳細な日変化~気候変化を現実的に表現していると期待される。そのようなプロダクトは現状存在しないため、本応募研究課題の推進のみならず、世界の研究コミュニティにとって非常に有用であると考えられることから、大いなる学術的創造性を持つ。

現在、GrIS の大気-雪氷相互作用に関わる数値シミュレーションを実行可能なモデルには、全球モデルから (主に計算コスト削減のために) 物理過程を徹底的に簡略化した経験的なモデルまで様々なタイプが存在する (Fettweis et al., 2020) が、現状で最も計算精度が高いと考えられて

いるモデルのタイプは領域気候モデル（NHM-SMAP も本タイプに該当）である。しかし、その数は上述の通り 4 個と少ないので、本応募研究課題が設定する問いに挑むことが出来る研究グループは、非常に限られている。更に、この 4 つの領域気候モデルの中で、雲・降水の微物理過程を詳細に取り扱うことが可能な非静力学方程式系を大気モデルにおいて採用しているのは、NHM-SMAP のみである。

3. 研究の方法

再解析データ：JRA-55 と ERA5 を用いて NHM-SMAP を駆動し、新しい複数のデータプロダクトを生成する。シミュレーション期間は 1980 年～現在までとする。これらのデータプロダクトを、Niwano et al. (2018) が行ったのと同様に、入手可能な各種現地観測データと衛星データを用いて地上気象場や雲分布の再現性の検証を行う。更に、それらのプロダクトによる地上気温や地上における下向き放射量の気候状態を調べ、先行研究で報告されている定性的知見と照合する。

以上のプロダクト評価を行った上で、GrIS 表面の雪氷質量収支に重要な影響を与える融解量・降雨（及びそれに起因するアルベド低下）・融解水流出量を解析する。上述の GrSMBMIP の結果によると、これらの物理量は、現状、参加した 13 個のアンサンブル平均値が最も現実的な結果を示すことから、それを参照情報として結果の信頼性を示す。その他、NHM-SMAP モデルの高度化に資する様々な技術検討を行う。

4. 研究成果

以下に、各年における取組と成果を記す。

■2021 年度（R3 年度）

領域気候モデル NHM-SMAP を駆動する再解析データの違いによる計算結果の不確定性を調べるために、ECMWF による最新の再解析データ ERA5 を初期値境界値としてモデルを実行する環境を整備した。グリーンランド氷床に適用された NHM-SMAP の性能評価を行うための観測データ収集の一環として、MODIS 衛星データから 1 km 毎の氷床上標高域における積雪粒径の月別平均値を求め、2000-2020 年における経年変化を調べたところ、積雪粒径の標高依存性と明瞭な季節変化が確認された。気象庁の再解析データ JRA-55 によって駆動された NHM-SMAP によって計算された過去 40 年間の氷床上降雨を解析したところ、統計的に有意に増加しており、かつ、降雨増加が最も顕著なホットスポットが北西部であることが分かった (Niwano et al., 2022)。NHM-SMAP の大気パートを用いて、2021 年 5 月から 6 月にかけて南東氷床上で実施された集中観測期間の気象再現実験を行った。その計算結果を用いて同期中に観測された強風のメカニズムを検討したところ、南東海上を進む低気圧に伴い、南東風が氷床斜面を滑昇することで内部重力波が生じていたことが分かった。NHM-SMAP による長期計算結果をより長期の気候変動の中に位置づけることを目指して、気象研究所地球システムモデル MRI-ESM2 (Yukimoto et al., 2021) による歴史実験計算を行い、北極域での地上気温の再現性を検証するとともに、北極域で観測された 20 世紀後半の寒冷化の主要因が同時期の人為起源エアロゾルの増大と内部変動であることを明らかにした。NHM-SMAP の更なる高度化を目指して、氷河氷床の消耗域に形成されるクリオコナイトホールの深さ変化を表現する数値計算モデルの開発を進め、2014 年に北西部カナック氷帽消耗域にて観測されたクリオコナイトホールの深さ変化を表現することに成功した。

■2022 年度（R4 年度）

本課題で開発している領域気候モデル NHM-SMAP の駆動データとして、これまで用いていた気象庁の JRA-55 に加えて ECMWF による最新の再解析データ ERA5 を用い、計算結果に対する再解析データの違いの影響を調査する試みを開始した。また、気象庁の最新の再解析データ JRA-3Q を用いてモデルを駆動する環境を整備した。NHM-SMAP をベースにして開発された日本域領域大気-積雪モデル LFM-SMAP (Niwano et al., 2022) のコアパートが 2022 年 10 月より我が国の雪に起因する災害を予測するために活用されることとなった。予測情報は、気象庁 HP の「今後の雪」コーナー (<https://www.jma.go.jp/bosai/snow/>) で閲覧可能である。冬季グリーンランド北西部で漁業被害につながる海氷流出を引き起こす強風の発生条件を NHM-SMAP の大気パート NHM (Saito et al., 2006) などを用いて統計的に調べた結果、総観規模の気圧パターンを参照することで強風の発生リスクを評価できることが分かった。グリーンランド氷床に存在する裸氷の暗色化を促進する可能性のあるクリオコナイトホールの発達と崩壊を NHM-SMAP において表現することを目指して数値モデルの開発をおこなった。そのモデル開発においては、裸氷中を透過する日射の広波長帯域透過率モデルのパラメタリゼーション手法を考案し、モデルに実装した。グリーンランド氷床の裸氷の経年変動を把握して NHM-SMAP と比較するために、表面のアルベド変動を衛星リモートセンシングにより調べた。本課題における領域気候モデルによる研究対象期間（1980 年以降）よりも長期の北極温暖化増幅を調べるために、MRI-ESM2 による歴史実験計算と北極域でのアイスコア観測との比較を行い、モデルの再現性を確認した。

■2023 年度（R5 年度）

極域気候モデル NHM-SMAP を用いて、グリーンランド氷床上降水の国際相互比較に参加・貢

献した (Box et al., 2023)。参画した領域気候モデル全3つの精度は、ほぼ同等であった。それ以外にも、世界気候計画 (WCRP) によってサポートされている Polar CORDEX (Coordinated Regional Downscaling Experiment - Arctic and Antarctic Domains) プロジェクトが主導している北極域モデル国際相互比較プロジェクト2件に参画して、計算結果を提出した。また、NHM-SMAP を ERA5 で駆動するシステムを完成させ、本格的な長期計算を実現することが出来た。裸氷上に形成されるクリオコナイトホールの深さ変化を表現するモデルを開発した。本モデル計算結果を検証・解析したところ、クリオコナイトホールが崩壊すると、内部の汚れ物質が表面に拡散し、アルベドを低下させ、融解を加速する可能性があることがわかった (Onuma et al., 2023)。グリーンランド北西部のシオラパルク村で 2021-2022 年冬季に観測された複数の降雪イベントにおいて、観測結果と NHM-SMAP の大気パートによる数値シミュレーション結果を比較し、降雪粒子の再現性能を確認した。グリーンランド氷床表面における積雪粒径の衛星リモートセンシング結果を検証するため、分光器による波長別アルベド観測データの全ての波長における観測値を用いて積雪粒径を求めるアルゴリズムを開発した。本観測データは将来の更なるモデル高度化に貢献できると期待される。NHM-SMAP による長期計算結果をより長期の気候変動の中に位置づけることを目指して、MRI-ESM2 など複数の第6次結合モデル相互比較プロジェクト (CMIP6) モデルによる計算データの解析を行い、北極域降水量の 1980 年代から増加傾向は、温室効果ガスによる強制力の継続的な強まりと、それ以前まで増加していたエアロゾルによる強制力が横ばいになることの組み合わせによるものであることを明らかにした。

<引用文献>

- Bintanja, R., and Selten, F., 2014: Future increases in Arctic precipitation linked to local evaporation and sea-ice retreat, *Nature*, 509, 479–482, <https://doi.org/10.1038/nature13259>.
- Box, J. E., Nielsen, K. P., Yang, X., **Niwano, M.**, Wehrlé, A., van As, D., Fettweis, X., Køltzow, Morten A. Ø., Palmason, B., Fausto, R. S., van den Broeke, M. R., Huai, B., Ahlstrøm, A. P., Langley, K., Dachauer, A., and Noël, B., 2023: Greenland ice sheet rainfall climatology, extremes and atmospheric river rapids, *Meteorol. Appl.*, 30(4), e2134, <https://doi.org/10.1002/met.2134>.
- Fettweis, X., Hofer, S., Krebs-Kanzow, U., Amory, C., Aoki, T., Berends, C. J., Born, A., Box, J. E., Delhasse, A., Fujita, K., Gierz, P., Goelzer, H., Hanna, E., Hashimoto, A., Huybrechts, P., Kapsch, M.-L., King, M. D., Kittel, C., Lang, C., Langen, P. L., Lenaerts, J. T. M., Liston, G. E., Lohmann, G., Mernild, S. H., Mikolajewicz, U., Modali, K., Mottram, R. H., **Niwano, M.**, Noël, B., Ryan, J. C., Smith, A., Streffing, J., Tedesco, M., van de Berg, W. J., van den Broeke, M., van de Wal, R. S. W., van Kampenhout, L., Wilton, D., Wouters, B., Ziemen, F., and Zolles, T., 2020: GrSMBMIP: intercomparison of the modelled 1980–2012 surface mass balance over the Greenland Ice Sheet, *The Cryosphere*, 14, 3935–3958, <https://doi.org/10.5194/tc-14-3935-2020>.
- Niwano, M.**, T. Aoki, S. Matoba, S. Yamaguchi, T. Tanikawa, K. Kuchiki, and H. Motoyama, 2015: Numerical simulation of extreme snowmelt observed at the SIGMA-A site, northwest Greenland, during summer 2012, *The Cryosphere*, 9, 971–988, <https://doi.org/10.5194/tc-9-971-2015>.
- Niwano, M.**, Aoki, T., Hashimoto, A., Matoba, S., Yamaguchi, S., Tanikawa, T., Fujita, K., Tsushima, A., Iizuka, Y., Shimada, R., and Hori, M., 2018: NHM-SMAP: spatially and temporally high-resolution nonhydrostatic atmospheric model coupled with detailed snow process model for Greenland Ice Sheet, *The Cryosphere*, 12, 635–655, <https://doi.org/10.5194/tc-12-635-2018>.
- Niwano, M.**, Box, J. E., Wehrlé, A., Vandecrux, B., Colgan, W. T., and Cappelen, J., 2021: Rainfall on the Greenland ice sheet: present-day climatology from a high-resolution non-hydrostatic polar regional climate model, *Geophys. Res. Lett.*, 48, e2021GL092942, <https://doi.org/10.1029/2021GL092942>.
- Niwano, M.**, Suya, M., Nagaya, K., Yamaguchi, S., Matoba, S., Harada, I., and Ohkawara, N., 2022: Estimation of seasonal snow mass balance all over Japan using a high-resolution atmosphere-snow model chain, *SOLA*, 18, 193–198, <https://doi.org/10.2151/sola.2022-031>.
- Onuma, Y., Fujita, K., Takeuchi, N., **Niwano, M.**, and Aoki, T., 2023: Modelling the development and decay of cryoconite holes in northwestern Greenland, *The Cryosphere*, 17, 3309–3328, <https://doi.org/10.5194/tc-17-3309-2023>.
- Saito, K., Fujita, T., Yamada, Y., Ishida, J., Kumagai, Y., Aranami, K., Ohmori, S., Nagasawa, R., Kumagai, S., Muroi, C., Kato, T., Eito, H., and Yamazaki, Y., 2006: The operational JMA nonhydrostatic mesoscale model, *Mon. Weather Rev.*, 134, 1266–1298, <https://doi.org/10.1175/MWR3120.1>.
- Yukimoto, S., Kawai, H., Koshiro, T., Oshima, N., Yoshida, K., Urakawa, S., et al., 2019: The meteorological research institute earth system model version 2.0, MRI-ESM2.0: Description and basic evaluation of the physical component, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 97, 931–965, <https://doi.org/10.2151/jmsj.2019-051>.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計24件（うち査読付論文 23件/うち国際共著 10件/うちオープンアクセス 20件）

1. 著者名 Niwano Masashi, Suya Masami, Nagaya Koichi, Yamaguchi Satoru, Matoba Sumito, Harada Ikuo, Ohkawara Nozomu	4. 巻 18
2. 論文標題 Estimation of Seasonal Snow Mass Balance all over Japan Using a High-Resolution Atmosphere-Snow Model Chain	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 SOLA	6. 最初と最後の頁 193 ~ 198
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/sola.2022-031	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, Uetake Jun, Niwano Masashi, Tanaka Sota, Nagatsuka Naoko, Aoki Teruo	4. 巻 -
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 1 ~ 13
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 Orr Andrew, Deb Pranab, Clem Kyle R., Gilbert Ella, Bromwich David H., Boberg Fredrik, Colwell Steve, Hansen Nicolaj, Lazzara Matthew A., Mooney Priscilla A., Mottram Ruth, Niwano Masashi, Phillips Tony, Pishniak Denys, Reijmer Carleen H., van de Berg Willem Jan, Webster Stuart, Zou Xun	4. 巻 36
2. 論文標題 Characteristics of Surface "Melt Potential" over Antarctic Ice Shelves based on Regional Atmospheric Model Simulations of Summer Air Temperature Extremes from 1979/80 to 2018/19	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Climate	6. 最初と最後の頁 3357 ~ 3383
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/JCLI-D-22-0386.1	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 Oyabu Ikumi, Kawamura Kenji, Fujita Shuji, Inoue Ryo, Motoyama Hideaki, Fukui Kotaro, Hirabayashi Motohiro, Hoshina Yu, Kurita Naoyuki, Nakazawa Fumio, Ohno Hiroshi, Sugiura Konosuke, Suzuki Toshitaka, Tsutaki Shun, Abe-Ouchi Ayako, Niwano Masashi, Parrenin Frederic, Saito Fuyuki, Yoshimori Masakazu	4. 巻 19
2. 論文標題 Temporal variations of surface mass balance over the last 5000 years around Dome Fuji, Dronning Maud Land, East Antarctica	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Climate of the Past	6. 最初と最後の頁 293 ~ 321
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/cp-19-293-2023	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 Kokhanovsky A., Shimada R., Aoki T., Hori M.	4. 巻 287
2. 論文標題 The determination of snow parameters using SGLI/GCOM-C spaceborne top-of-atmosphere spectral reflectance measurements over Antarctica	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer	6. 最初と最後の頁 108226 ~ 108226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jqsrt.2022.108226	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 Kawakami Kaoru, Iizuka Yoshinori, Matoba Sumito, Aoki Teruo, Ando Takuto	4. 巻 -
2. 論文標題 Inclusions in ice layers formed by melting and refreezing processes in a Greenland ice core	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Glaciology	6. 最初と最後の頁 1 ~ 13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jog.2022.101	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 Yutaka, Matoba Sumito, Iizuka Yoshinori, Fujita Koji, Shimada Rigen	4. 巻 3
2. 論文標題 Increased oceanic dimethyl sulfide emissions in areas of sea ice retreat inferred from a Greenland ice core	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Communications Earth and Environment	6. 最初と最後の頁 327
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s43247-022-00661-w	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 Iizuka Y., Uemura R., Matsui H., Oshima N., Kawakami K., Hattori S., Ohno H., Matoba S.	4. 巻 127
2. 論文標題 High Flux of Small Sulfate Aerosols During the 1970s Reconstructed From the SE Dome Ice Core in Greenland	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 e2022JD036880
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022JD036880	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 大島 長	4. 巻 37
2. 論文標題 気候システムでエアロゾルがもたらす便益と不利益	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 エアロゾル研究	6. 最初と最後の頁 189 ~ 200
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11203/jar.37.189	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 Niwano M., Box J. E., Wehrle A., Vandecrux B., Colgan W. T., Cappelen J.	4. 巻 48
2. 論文標題 Rainfall on the Greenland Ice Sheet: Present Day Climatology From a High Resolution Non Hydrostatic Polar Regional Climate Model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	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) 10.1029/2021GL092942	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 Niwano M., Kajino M., Kajikawa T., Aoki T., Kodama Y., Tanikawa T., Matoba S.	4. 巻 48
2. 論文標題 Quantifying Relative Contributions of Light Absorbing Particles From Domestic and Foreign Sources on Snow Melt at Sapporo, Japan During the 2011-2012 Winter	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	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) 10.1029/2021GL093940	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 Vandecrux Baptiste, Box Jason E., Wehrle Adrien, Kokhanovsky Alexander A., Picard Ghislain, Niwano Masashi, Horhold Maria, Faber Anne-Katrine, Steen-Larsen Hans Christian	4. 巻 14
2. 論文標題 The Determination of the Snow Optical Grain Diameter and Snowmelt Area on the Greenland Ice Sheet Using Spaceborne Optical Observations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 932 ~ 932
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs14040932	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 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 Fujita Koji, Matoba Sumito, Iizuka Yoshinori, Takeuchi Nozomu, Tsushima Akane, Kurosaki Yutaka, Aoki Teruo	4. 巻 8
2. 論文標題 Physically Based Summer Temperature Reconstruction From Melt Layers in Ice Cores	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth and Space Science	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) 10.1029/2020EA001590	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 IIZUKA Yoshinori, MATOBA Sumito, MINOWA Masahiro, YAMASAKI Tetsuhide, KAWAKAMI Kaoru, KAKUGO Ayako, MIYAHARA Morihiro, HASHIMOTO Akihiro, NIWANO Masashi, TANIKAWA Tomonori, FUJITA Koji, AOKI Teruo	4. 巻 39
2. 論文標題 Ice Core Drilling and the Related Observations at SE-Dome site, southeastern Greenland Ice Sheet	5. 発行年 2021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) 10.5331/bgr.21R01	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 Kokhanovsky A., Shimada R., Aoki T., Hori M.	4. 巻 287
2. 論文標題 The determination of snow parameters using SGLI/GCOM-C spaceborne top-of-atmosphere spectral reflectance measurements over Antarctica	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer	6. 最初と最後の頁 108226 ~ 108226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jqsrt.2022.108226	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 Aizawa Takuro, Ishii Masayoshi, Oshima Naga, Yukimoto Seiji, Hasumi Hiroyasu	4. 巻 48
2. 論文標題 Arctic Warming and Associated Sea Ice Reduction in the Early 20th Century Induced by Natural Forcings in MRI ESM2.0 Climate Simulations and Multimodel Analyses	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	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) 10.1029/2020GL092336	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 Jones Chris D., Hickman Jonathan E., Rumbold Steven T., Walton Jeremy, Lamboll Robin D., Skeie Ragnhild B., Fiedler Stephanie, Forster Piers M., Rogelj Joeri, Abe Manabu, Botzet Michael, Calvin Katherine, Cassou Christophe, Cole Jason N.S., Davini Paolo, Deushi Makoto, (略)、Oshima Naga, et al.	4. 巻 48
2. 論文標題 The Climate Response to Emissions Reductions Due to COVID 19: Initial Results From CovidMIP	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	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) 10.1029/2020GL091883	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 Kajino Mizuo, Deushi Makoto, Sekiyama Tsuyoshi Thomas, Oshima Naga, Yumimoto Keiya, Tanaka Taichu Yasumichi, Ching Joseph, Hashimoto Akihiro, Yamamoto Tetsuya, Ikegami Masaaki, Kamada Akane, Miyashita Makoto, Inomata Yayoi, Shima Shin-ichiro, Khatri Pradeep, Shimizu Atsushi, Irie Hitoshi, Adachi Kouji, et al.	4. 巻 14
2. 論文標題 Comparison of three aerosol representations of NHM-Chem (v1.0) for the simulations of air quality and climate-relevant variables	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geoscientific Model Development	6. 最初と最後の頁 2235 ~ 2264
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/gmd-14-2235-2021	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 Aizawa Takuro, Oshima Naga, Yukimoto Seiji	4. 巻 49
2. 論文標題 Contributions of Anthropogenic Aerosol Forcing and Multidecadal Internal Variability to Mid 20th Century Arctic Cooling?CMIP6/DAMIP Multimodel Analysis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	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) 10.1029/2021GL097093	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 Amino Tomomi, Iizuka Yoshinori, Matoba Sumito, Shimada Rigen, Oshima Naga, Suzuki Toshitaka, Ando Takuto, Aoki Teruo, Fujita Koji	4. 巻 27
2. 論文標題 Increasing dust emission from ice free terrain in southeastern Greenland since 2000	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 100599 ~ 100599
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polar.2020.100599	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 Edwards Tamsin L., Nowicki Sophie, Marzeion Ben, Hock Regine, Goelzer Heiko, Seroussi Helene, Jourdain Nicolas C., Slater Donald A., Turner Fiona E., Smith Christopher J., McKenna Christine M., et al.	4. 巻 593
2. 論文標題 Projected land ice contributions to twenty-first-century sea level rise	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 74 ~ 82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-021-03302-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 Zhai Shuting, Wang Xuan, McConnell Joseph R., Geng Lei, Cole Dai Jihong, Sigl Michael, Chellman Nathan, Sherwen Tomas, Pound Ryan, Fujita Koji, Hattori Shohei, Moch Jonathan M., Zhu Lei, Evans Mat, Legrand Michel, Liu Pengfei, Pasteris Daniel, Chan Yuk Chun, Murray Lee T., Alexander Becky	4. 巻 48
2. 論文標題 Anthropogenic Impacts on Tropospheric Reactive Chlorine Since the Preindustrial	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	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) 10.1029/2021GL093808	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15件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 11件）

1. 発表者名 Niwano, M., Box, J. E., Fettweis, X., and Wehrle, A.
2. 発表標題 Bare ice darkening impacts on northwestern Greenland ice sheet runoff
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Niwano, M. and the NHM-SMAP model development team
2. 発表標題 The current state and future directions of the polar regional climate model NHM-SMAP
3. 学会等名 Seventh International Symposium on Arctic Research (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 橋本明弘, 黒崎豊, 的場澄人
2. 発表標題 グリーンランドにおける局地風系と降雪過程に関する数値実験
3. 学会等名 国立極地研究所「南極領域スケール雪氷研究集会」
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 橋本明弘, 的場澄人, 山崎哲秀, 青木輝夫
2. 発表標題 グリーンランド北西部で観測された強風に関する数値実験
3. 学会等名 日本流体力学会年会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Aoki, T., R. Shimada, M. Hori, T. Tanikawa, and M. Niwano
2. 発表標題 Recent albedo variation over the Greenland ice sheet
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年度連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Oshima, N., M. Deushi, T. Aizawa, and S. Yukimoto
2. 発表標題 Impacts of Short-lived Climate Forcers on the Arctic Climate by MRI-ESM2.0 and Multi-model
3. 学会等名 Seventh International Symposium on Arctic Research (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Niwano, M.
2. 発表標題 Rainfall on the Greenland ice sheet: Present-day states estimated from a high-resolution non-hydrostatic polar regional climate model
3. 学会等名 IASC NAG online meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Niwano, M.
2. 発表標題 Challenges to model complex snow-atmosphere interaction processes in the Greenland ice sheet
3. 学会等名 IMAU (Utrecht University) online seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Aoki, T.
2. 発表標題 Effects of snow and ice physical/chemical properties on the changing cryosphere
3. 学会等名 Finland-Japan online joint seminar on Arctic Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Aoki, T., R. Shimada, M. Hori, T. Tanikawa and M. Niwano
2. 発表標題 Is surface darkening occurring over the Greenland Ice Sheet?
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 Hashimoto, A., T. Aoki, T. Yamasaki, S. Matoba, M. Niwano, T. Tanikawa, K. Fujita, and Y. Iizuka
2. 発表標題 Numerical Weather Simulations for the Ice Core Drilling Expedition 2021 at SE-Dome, Southeastern Greenland Ice Sheet
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 Oshima, N., Yukimoto, S., Deushi, M., Koshiro, T., Kawai, H., Tanaka, T. Y., and Yoshida, K
2. 発表標題 Global and Arctic effective radiative forcing of anthropogenic gases and aerosols in MRI-ESM2.0
3. 学会等名 Tri-MIPathlon-3 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大島長
2. 発表標題 アイスコア観測と全球モデル計算との比較
3. 学会等名 グリーンランド南東ドームアイスコアに関する研究集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhai S, Wang X, McConnell JR, Swanson W, Sherwen T, Pound R, Chellman N, Zhu L, Evans MJ, Opel T, Sigl M, Meyer H, Hattori S, Fujita K, Chan YC,
2. 発表標題 Impacts of anthropogenic emissions on tropospheric reactive bromine since the preindustrial.
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nagatsuka N, Goto-Azuma K, Tsushima A, Fujita K, Matoba S, Onuma Y, Dallmayr R, Kadota M, Hirabayashi M, Ogata J, Ogawa-Tsukagawa T,
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 The 12th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔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	林 修吾 (Hayashi Syugo) (20354441)	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	橋本 明弘 (Hashimoto Akihiro) (20462525)	気象庁気象研究所・気象予報研究部・主任研究官 (82109)	
研究分担者	青木 輝夫 (Aoki Teruo) (30354492)	国立極地研究所・国際北極環境研究センター・特任教授 (62611)	
研究分担者	大島 長 (Oshima Naga) (50590064)	気象庁気象研究所・全球大気海洋研究部・主任研究官 (82109)	
研究分担者	藤田 耕史 (FUJITA Koji) (80303593)	名古屋大学・環境学研究科・教授 (13901)	

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