

令和 4 年 6 月 29 日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01119

研究課題名(和文) 南極氷床に刻みこまれた銀河系内超新星爆発と太陽活動の歴史の解明

研究課題名(英文) Verifying signatures of solar activity and galactic supernovae embedded in an Antarctic ice core

研究代表者

望月 優子 (Motizuki, Yuko)

国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器科学研究センター・室長

研究者番号：90332246

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,000,000円

研究成果の概要(和文)：太陽活動と銀河系内超新星爆発の歴史を解明するため、世界初の「氷床コアレーザー溶融サンプリング装置」を開発した。これにより、2-3ミリの超高分解能かつ離散的な試料の自動採取が初めて可能となり、従来のレーザー蒸発法では原理的に不可能であった、天文現象の探知にも適した分子型イオンや同位体が分析可能となった。又、既存の硝酸イオン濃度データの時系列解析から、太陽活動周期としてよく知られる11年、22年、約90年の3周期を同時検出し、南極ドームふじ氷床コア中の硝酸イオン濃度が過去の太陽活動の指標となることを確立した。これは、同コアが銀河系内超新星の痕跡シグナルをも蓄積している可能性を否定してはいない。

研究成果の学術的意義や社会的意義

氷床コア中の硫酸イオン(火山噴火指標)や硝酸イオン(太陽活動指標)等のイオンや水同位体比(気温指標)について、2-3mmから4-5cmの自動試料分取が可能になったことは、氷床コア分野全般に貢献する。これまで数年をかけた-30℃の低温下での手作業による過去2000年分の1年分解能試料採取(と分析)が約30作業日と大幅に短縮できる見通しとなった。又、硝酸イオン濃度が太陽11年周期の指標と確立できたことで、新装置を用いれば、原理的に過去数十万年まで遡って太陽活動を研究できる可能性を拓いた。さらに、本課題により太陽活動と水同位体比変動との関係性を見出しているため、気候変動への今後の応用も期待できる。

研究成果の概要(英文)：In order to elucidate the history of solar activity and galactic supernova explosions, we developed the world's first "ice core laser-melting sampling device". This made it possible for the first time to automatically collect ultra-high-resolution and discrete samples of 2-3 mm, and it became possible to analyze molecular ions and stable water isotopes suitable for detecting astronomical phenomena, which was impossible in principle with conventional laser-evaporation method. In addition, from the time series analysis of nitrate ion concentration record, three periods of 11 years, 22 years, and about 90 years, which may correspond to well known as solar activity cycles, were detected simultaneously, and it was established that the nitrate ion concentrations in the Antarctic Dome-Fuji ice core serve as a proxy of past solar activity.

研究分野：宇宙物理学、天文学

キーワード：装置開発 氷床コア レーザー溶融 太陽活動

1. 研究開始当初の背景

現代物理学において大きな謎の一つとされている、鉄からウランにいたるまでの「rプロセス元素」と呼ばれる鉄より重い元素の起源を解明するためには、この元素合成が起きる天体サイトの候補とされる(重力崩壊型)超新星爆発と連星中性子星合体時の環境下における原子核反応過程の解明が第一義に必要な課題であるが、合成された重元素の絶対量を検証するには、これらの天体現象が我々の天の川銀河で起きてきた頻度を観測によって求めておく必要がある。超新星爆発については、 γ 線天文衛星INTEGRALによる放射線 ^{26}Al (半減期 7×10^5 年)の銀河系内分布を観測することにより頻度が推定されている[1]。

報告者らは、南極の日本のドームふじ基地で掘削された氷床コア中の硝酸イオン(NO_3^-)の濃度変動に、過去の太陽活動と歴史上の銀河系内超新星爆発の痕跡候補とが刻まれている可能性を初期の研究で見出ししていた。氷床コアとは、南極大陸や北極グリーンランドの氷床から鉛直に掘削される円柱状の氷柱で、過去の地球大気の情報を取り込んでおり、気候変動や環境変動の研究に用いられている。氷床コアの深度は年代に対応しており、深いほどより過去に遡る。これは、研究代表者が南極点氷床コア中の超新星の痕跡に関するネイチャー誌の論文[2]と、国立極地研究所(極地研)が発表した過去の気温変動に関する氷床コア研究とを結びつけて着想した分野横断的研究である。

国立極地研を中心とする日本南極地域観測隊は、2007年にドームふじ基地にて過去72万年にわたる氷床コアの掘削に成功し、現在、80-150万年前までに達することを旨とした深層氷床コア掘削計画が進行中である。これら長尺の氷床コアに含有されている、 NO_3^- 、 H_2O 中の酸素同位体比 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ (気温指標)、硫酸イオン(SO_4^{2-} :火山噴火の指標)等のイオンや同位体比を、高精度・高分解能で分析できれば、このスケールの過去の太陽活動と銀河系内超新星爆発の歴史を明らかにできる可能性がある。さらに、太陽活動強度と気温変動との一対一対応の関係を調べることも可能なため、天文学のみならず、太陽地球系科学や気候変動研究にも貢献できる。

ドームふじ氷床コアの優位性は、その特別な立地環境に起因すると推定される。太陽宇宙線や紫外線、銀河系内超新星爆発からの γ 線は、地球の成層圏及び中間圏(高度約8-75 km)の大気と相互作用し、その化学成分に影響を与える。南極ドームふじ氷床コアは、この成層圏の成分を南北両極の氷床コアで最も反映していることが過去の研究から明らかになっている。その根拠のひとつとして、文献[3]において明らかになったように、南極大陸の年代基準となった米国の代表的な氷床コア(West Antarctic Ice Sheet [WAIS] Divide 氷床コア)中の SO_4^{2-} 濃度に比べて、東南極の内陸に位置するドームふじ基地や近傍の氷床コア中の SO_4^{2-} 濃度は、約10倍も高かったことから裏付けられている。つまり、天文現象の研究は、数ある氷床コアのうち、ドームふじ氷床コアが有利と考えられる。

報告者らの過去2000年分の分析では、人海戦術(-30°C 及び -50°C の低温下での200人・日を要する手作業の前処理と1200人・日に及ぶ丸3年の分析作業)で氷床コアを年代順に切断して不純物を除去した後、サンプルを溶解し分析するという方法をとった。このメリットは、時間分解能が上がることであるが、試料採取と分析に、労力と時間とがかかりすぎる。又、報告者は、これまで関連するすべての低温下でのサンプリング作業を経験し、手作業では、約2.5-3cm長のサンプルを作る(約1年単位相当の)連続分析が限界であると感じた。分析の自動化が不可欠であるが、これまでの氷床コア自動融解装置(例えば[4])は、氷床コアの底部をヒーターで温めて溶かし、融解水を連続的に分析するというタイプである。この場合、融解水が年代的に多少混ざり合うので、時間分解能がさほどは上がらないという特徴がある。

そこで、報告者らは、「位置選択的レーザー溶融法」という新規の手法を考案した。この手法では、分解能が格段に上がり、2-3mmの分解能で氷床コアを分析できる。これは比較的浅いドームふじ氷床コアでは1ヶ月程度の時間分解能に相当し、イオン分析から太陽周期や超新星の痕跡候補探索のみならず、過去の巨大太陽プロトン現象の探究も可能になる。分解能は、自由に幅を持ってコンピュータ制御できるようにする。溶融条件を最適化することによって、高速サンプリングも可能になる。

[1] R. Diehl, *et al.*, 2006, Nature 439, 45.

[2] R. T. Rood *et al.*, 1979, Nature 282, 701.

[3] M. Sigl, Y. Motizuki, *et al.*, 2014, Nature Climate Change 4, 693.

[4] M. Severi *et al.*, 2015, Anal. Chem. 87, 11441.

2. 研究の目的

南極大陸のドームふじ基地で掘削された氷床コアは、紫外線とγ線の望遠鏡で過去数十万年間観測したのと同様な太陽活動と我々の銀河系内の超新星爆発の情報を提供し得る。このスケールの太陽活動の歴史と銀河系内超新星爆発の痕跡の解明を目指して、天文学、レーザー工学の分野等が連携し、世界初の「氷床コア自動レーザー溶融装置」を開発する。あわせて、ドームふじ氷床コアの既得済みのデータの解析から、過去の太陽活動の周期(特に 11 年周期)が引き出せるかどうか結論する。太陽活動と気温指標との相関や、銀河系内超新星爆発の痕跡がドームふじ氷床コアから得られる可能性について、解析を進める。

3. 研究の方法

「南極氷床コア自動レーザー溶融装置」のため、水と氷の光吸収係数を検討し、近赤外～中赤外域で 1.5 μm レーザーが実質的に有効であると選定した。当該レーザー発生装置及び、低温プレハブ冷凍庫(低温室; -30℃～-5℃設定可変、コア保管室と実験室の二室構造)を本課題予算にて措置し、低温実験室を理化学研究所(理研)に整備した。既に南極大陸で活用され、-30℃下でも動作に問題ないことがわかっていた光ファイバーを同低温室内のレーザー伝送に用いることとし、業者を含め、共同研究者全員で設計及び試行実験、氷レーザー溶融の数値実験、トラブル克服のための検討会合を頻繁に持ち、最終設計に至った。初期のテスト運用の段階で、「戻り光」を扱う二重光ファイバー構造を、融解中の気泡発生や運用上の理由でとりやめ、シンプルな構造に設計変更した。また、レーザー光を発生するノズル(後述)を静止させレーザーをダミー氷に照射した場合、氷の融解孔が径・深さともに定常状態に達することを、実験的に、また理論シミュレーションによって確認するなど、基礎的実験から理解を深めた。当初3年の予定でプロトタイプ機の開発の予定であったが、新型コロナ対応で2年間の延長を余儀なくされ、研究期間は5年となった。

4. 研究成果

南極ドームふじ氷床コアのように、雪の堆積率の低い氷床コアでは、高分解能の分析が困難になることがしばしば起きる。この問題を解決するため、レーザー溶解法を採用した革新的な「氷床コアレーザー溶融サンプリング装置」を開発した(図 1)。これにより、2-3 ミリの超高分解能・離散的・連続的な試料の自動採取が初めて可能となり、従来のレーザー蒸発法では原理的に不可能であった、分子型イオンや水同位体の超詳細分析も可能となった(文献 [5]参照; Motizuki *et al.*, 再投稿準備中)。

このシステムでは、氷床コアへのレーザー光の照射により、沸点よりかなり低い温度で氷を加熱して

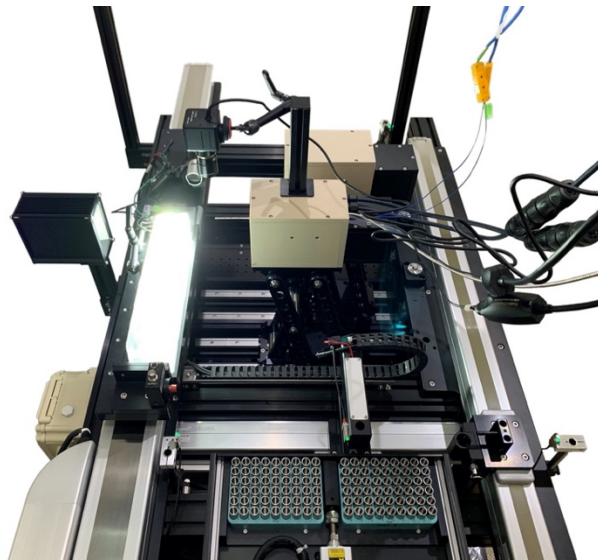


図 1. 新規開発した氷床コアレーザー融解サンプリング装置の写真.

直径 3mm 程度の孔を融解し、照射レーザーファイバーを内に保持する直径 2mm の可動式吸水ノズルで熔融水を同時に吸い上げる仕組みとなっている。レーザー熔融法を使用する第一の利点は、分子型イオンおよび安定水同位体比(気温指標)が測定可能になることである。これらは、従来のレーザーアブレーション(蒸発)法によるコアのサンプリング装置では、測定対象が破碎されてしまうため、測定自体が原理的に不可能であった。第二の利点は、レーザー熔融法では、3 mm 程度の超高分解能で、離散的に連続サンプルを採取できることである。

分解能は、分析の目的に応じてより長いサンプル幅、例えばドームふじ氷床コアの浅層コアの典型的な1年分解能である 25-40mm 程度に設定することも可能なようにソフトウェアで制御できるようになっている。これにより、例えば、過去のイオン変動を 1 年分解能で連続的・サーベイ的に分析し、もし極端事象が観測されれば、その深度の当該シグナルの一つの年層内の構造をさらに超高分解能で調べる、といった使い方も可能になる。

融解条件としては、1) レーザーの出力エネルギー、2)ノズルの氷床コアへの侵入スピード、3) 融解水をポンプで吸い上げるスピード を最適化して運用する。装置内部ラインからの汚染や、連続採取試料間のクロスコンタミネーション(交差汚染、メモリー効果)はないことが、確認されている。

理研の低温プレハブ冷凍庫内におけるサンプリング実験動画の例を、[6]で見ることができる。図 2 は、この動画からのスナップショットである。新装置によるレーザー熔融を、実際の南極ドームふじ浅層氷床コア(DFS10 コア、深度 90m 付近)に適用している。水平(コアの深度)方向にはレーザー照射は 3 ミリピッチであり、垂直方向(コアの水平面方向)には 2.5 ミリピッチである。氷は「櫛」状に融解されており、3 ミリピッチでは離散的に試料分取でき、2.5 ミリピッチでは連続して氷が溶けていることが見てとれる。

上述したように、報告者らは、過去 2000 年に相当する 2 本の氷床コアの手作業による 1 年分解能(4-2.5cm)のサンプリング作業を国立極地研の -30°C 及び -50°C の低温室で、数年にわたって行い、理研においてイオン分析及び水の酸素同位体比・水素同位体比等の測定を行ってきた。扱った試料は数千個を超える。過去 2000 年分・時間分解能 1 年の分析に、今までは極地研低温下での 200 人・日を要する手作業の前処理と、1200 人・日に及ぶ丸 3 年の理研での分析作業がかかっていたが、本装置を用いれば、ボトルネックになっていた水同位体比分析について 2 台の分析装置を使う体制で、約 30 作業

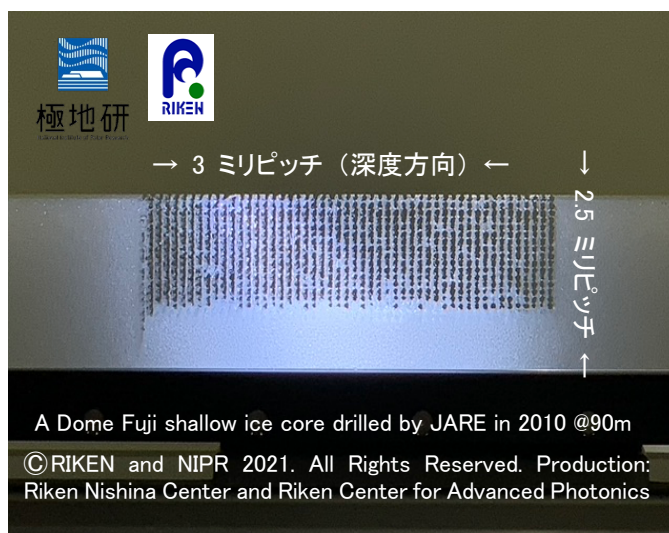


図 2. レーザー融解サンプリングしたドームふじ氷床コアの写真。

日で終了見込みとなり、大幅に時間が短縮できる見通しとなった。

本装置は、従来の方法と異なり、貴重な研究試料である氷床コアは横置きされ、くずれやすい浅層のいわゆるフィルンコアについても、融解中に破損する可能性はほとんどないという利点がある。サンプリングの位置間隔やサンプリング量を制御できるというフレキシビリティをあわせ持つことも、従来型の自動融解装置にはない大きな特徴である。

その他のデータ解析について

既存の硝酸イオン濃度データの西暦 1610-1904 年に相当する時系列解析から、太陽活動周期としてよく知られる 11 年、22 年、約 90 年の 3 周期を同時検出し、南極ドームふじ氷床コア中の硝酸イオン濃度が過去の太陽活動の指標となることを確立した。氷中の硝酸イオンの生成過程に関する考察から、11 年周期が見られない氷床コアには、その 11 年周期変動の上に重なってくる、理論的に 1 年程度の持続時間のスパイクとなることが予想される銀河系内超新星の痕跡シグナルも見られないであろうことがわかっている。又、1750-1950 年の年代期間について、太陽黒点変動と気温指標である水の酸素同位体比変動の相関を検討し、特に太陽活動が強い時期に両者の顕著な相関が見られることを見出した。

同じドームふじ氷床コアから太陽活動の歴史を理解する一環として、宇宙線生成核種の ^{10}Be の変動において超巨大太陽プロトン現象と考えられているイベントの解析のため、新たに必要なイオン(元素)濃度を測定し、また既存データや火山噴火年代を提供するなどして研究協力した。

[5] Y. Motizuki, Y. Nakai, K. Takahashi, J. Hirose, Y. V. Sahoo, Y. Yano, M. Yumoto, M. Maruyama, M. Sakasita, K. Kase, and S. Wada: “A novel high-resolution laser-melting sampler for discrete analyses of ion concentrations and stable water isotopic compositions in firn and ice cores”, RIKEN Accel. Prog. Rep. 54, 73, 2021.
<https://www.nishina.riken.jp/researcher/APR/APR054/pdf/73.pdf>

[6] 超高分解能ドームふじアイスコア自動レーザー溶融サンプリングムービー(1分) @理研仁科チャンネル(公式)
<https://www.youtube.com/watch?v=OsloyTjs598>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 14件）

1. 著者名 Kazuya Takahashi, Yu Vin Sahoo, Yoichi Nakai, Hideaki Motoyama, Yuko Motizuki	4. 巻 127
2. 論文標題 Annually resolved profiles of ^{34}S and sulfate in shallow ice core DF01 (Dome Fuji, Antarctica) spanning the nineteenth century and their geochemical implications	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research - Atmospheres	6. 最初と最後の頁 e2021JD036137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021JD036137	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 Y. Motizuki, Y. Nakai, K. Takahashi, J. Hirose, Y. V. Sahoo, Y. Yano, M. Yumoto, M. Maruyama, M. Sakasita, K. Kase and S. Wada	4. 巻 54
2. 論文標題 A novel high-resolution laser-melting sampler for discrete analyses of ion concentrations and stable water isotopic compositions in firn and ice cores	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 RIKEN Accelerator Progress Report (紀要)	6. 最初と最後の頁 73-73
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 -

1. 著者名 Y. V. Sahoo, Y. Motizuki, Y. Nakai, and K. Takahashi	4. 巻 54
2. 論文標題 Annually resolved d-excess record from a shallow ice core (DFS10) near Dome Fuji, East Antarctica	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 RIKEN Accelerator Progress Report (紀要)	6. 最初と最後の頁 74-74
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 -

1. 著者名 K. Kanzawa, F. Miyake, K. Horiuchi, K. Sasa, K. Takano, M. Matsumura, T. Takahashi, Y. Motizuki, K. Takahashi, Y. Nakai, K. Ohtani, Y. Tada, Y. Ochiai, H. Motoyama, H. Matsuzaki, A. Yamazaki, Y. Muramatsu, and T. Yamagata	4. 巻 126
2. 論文標題 High-Resolution ^{10}Be and ^{36}Cl Data from the Antarctic Dome Fuji Ice Core (~100 years around 5480 BCE): An Unusual Grand Solar Minimum Occurrence?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research - Space Physics	6. 最初と最後の頁 e2021JA029378
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021JA029378	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 Y. Motizuki, Y. Nakai, M. Yumoto, M. Maruyama, K. Takahashi, K. Kase, S. Wada, J. Hirose, and Y. Yano	4. 巻 53
2. 論文標題 Commissioning of a prototype novel laser-melting sampler for analyzing ice cores with high depth resolution and high throughput	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 RIKEN Accelerator Progress Report (紀要)	6. 最初と最後の頁 90-90
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 -

1. 著者名 K. Takahashi, Y. Motizuki and Y. Nakai	4. 巻 52
2. 論文標題 High-sensitivity sulfur isotopic measurements for Antarctic ice core analyses	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RIKEN Accelerator Progress Report (紀要)	6. 最初と最後の頁 101-101
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 -

1. 著者名 F. Miyake, K. Horiuchi, Y. Motizuki, Y. Nakai, K. Takahashi, K. Masuda, H. Motoyama, H. Matsuzaki	4. 巻 46
2. 論文標題 10Be signature of the cosmic ray event in the 10th century CE in both hemispheres, as confirmed by quasi-annual 10Be data from the Antarctic Dome Fuji ice core	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 11-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018GL080475	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 Kazuya Takahashi, Yoichi Nakai, Yuko Motizuki, Toshiyuki Ino, Shigeru Ito, Satoru B. Ohkubo, Takeshi Minami, Yuichi Takaku, Yoshitaka Yamaguchi, Miho Tanaka, and Hideaki Motoyama	4. 巻 32
2. 論文標題 High-sensitivity sulfur isotopic measurements for Antarctic ice core analyses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Rapid Communications in Mass Spectrometry	6. 最初と最後の頁 1991-1998
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/rcm.8275	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 M. Maruyama, M. Yumoto, K. Kase, K. Takahashi, Y. Nakai, S. Wada, Y. Yano and Y. Motizuki	4. 巻 51
2. 論文標題 A prototype novel laser-melting sampler for analyzing ice cores with high depth resolution and high throughput	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 RIKEN Accelerator Progress Report (紀要) HIGHT LIGHT OF THE YEAR	6. 最初と最後の頁 16-16
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 -

1. 著者名 Kenji Tanabe and Yuko Motizuki	4. 巻 PoS (GOLDEN 2017)
2. 論文標題 R Aquarii and Gamma Ray Astronomy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of Science	6. 最初と最後の頁 5 pages
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 -

1. 著者名 Y. Motizuki, H. Motoyama, Y. Nakai, K. Suzuki, Y. Iizuka and K. Takahashi	4. 巻 51
2. 論文標題 Overview of the chemical composition and characteristics of Na+ and Cl- distributions in shallow samples from Antarctic ice core DF01 (Dome Fuji) drilled in 2001	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Geochemical J.	6. 最初と最後の頁 293-298
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2343/geochemj.2.0458	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 Y. Motizuki, H. Motoyama, Y. Nakai, K. Suzuki, Y. Iizuka and K. Takahashi	4. 巻 50
2. 論文標題 Characteristics of Na+ and Cl- distributions in shallow samples from an Antarctic ice core DF01 (Dome Fuji) drilled in 2001: Result of strong atmospheric high-pressure blocking events?	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 RIKEN Accelerator Progress Report (紀要)	6. 最初と最後の頁 144-144
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 -

1. 著者名 Y. Nakai, Y. Motizuki, M. Maruyama, Y. Hasebe, H. Akiyoshi, T. Imamura	4. 巻 50
2. 論文標題 Box-model simulation for influence of solar proton events on the middle atmosphere	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 RIKEN Accelerator Progress Report (紀要)	6. 最初と最後の頁 143-143
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 -

1. 著者名 Yuko Motizuki	4. 巻 50
2. 論文標題 Six Years of cross-disciplinary studies at the Astro-Glaciology Research Unit: Astronomical signatures in polar ice cores	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 RIKEN Accelerator Progress Report (紀要)	6. 最初と最後の頁 s80-s81
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46件 (うち招待講演 22件 / うち国際学会 17件)

1. 発表者名 Yuko Motizuki
2. 発表標題 Verifying footprints of solar cycles and supernovae in polar ice cores
3. 学会等名 International conference on Astrophysics with Radioactive Isotopes (AwRI) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 望月優子
2. 発表標題 アイスコアから探る過去の太陽活動
3. 学会等名 宇核連-RCNP研究会「宇宙核物理の展開」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 望月優子
2. 発表標題 地球アーカイブからさぐる、宇宙と地球の歴史
3. 学会等名 朝日カルチャーセンター中之島教室「宇宙と地球と元素」シリーズ講座（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 望月優子、中井陽一、高橋和也、今村隆史、本山秀明
2. 発表標題 南極ドームふじアイスコアを用いた10年スケール太陽周期の同時検出
3. 学会等名 日本天文学会2022年春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuko Motizuki, Yoichi Nakai, Kazuya Takahashi, Junya Hirose, Yu Vin Sahoo, Yasushige Yano, Masaki Yumoto, Masayuki Maruyama, Michio Sakasita, Kiwamu Kase, Satoshi Wada, and Hideaki Motoyama
2. 発表標題 A novel, ultra-high-resolution laser-melting sampler with resolution controllability for discrete analyses of ion concentrations and stable water isotopic compositions in ice cores (An iPoster paper)
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuko Motizuki, Yoichi Nakai, Kazuya Takahashi, Takashi Imamura, Hideaki Motoyama
2. 発表標題 A proxy for decadal solar cycles from AD 1600 to 1900 based on nitrate concentrations in a Dome Fuji (Antarctica) ice core
3. 学会等名 The 6th Workshop of the Astronomy & Astrophysics from Antarctica (SCAR AAA 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 望月優子
2. 発表標題 A new-type, innovative automated ice-core sampler using laser melting method, Online seminar "How to Give an Impressive Pitch Presentation in Global Situation"
3. 学会等名 JST世界で活躍できる研究者育成プログラム総合支援事業（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Motizuki, Y. Nakai, K. Takahashi, J. Hirose, Y. V. Sahoo, Y. Yano, M. Yumoto, M. Maruyama, M. Sakasita, K. Kase, S. Wada, and H. Motoyama
2. 発表標題 A novel high-resolution laser-melting sampler for discrete analyses of ion concentrations and stable water isotopic compositions in firn and ice cores
3. 学会等名 virtual EGU General Assembly 2021 (vEGU21) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuko Motizuki
2. 発表標題 Astro-Glaciology sciences using Antarctic ice cores - A key project of RNC for the origin of elements and climate change
3. 学会等名 Workshop3 on Climate Change and Geoscience, OIST-RIKEN Joint Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 望月優子
2. 発表標題 南極の氷からひもとく宇宙と地球の歴史
3. 学会等名 早稲田大学高等学院 理工学特論（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuko Motizuki, Yoichi Nakai, Kazuya Takahashi, Junya Hirose, Yu Vin Sahoo, Yasushige Yano, Masaki Yumoto, Masayuki Maruyama, Michio Sakasita, Kiwamu Kase, and Satoshi Wada
2. 発表標題 A novel laser-melting ice-core sampler with high depth resolution and high throughput for discrete ice core analyses (A poster paper)
3. 学会等名 The 11th International Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋和也、中井陽一、本山秀明、望月優子
2. 発表標題 高感度硫黄同位体比分析法を用いた南極ドームふじ基地氷床コアから得られた試料の分析
3. 学会等名 日本分析化学会第69回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅澤佳世、三宅美沙、多田悠馬、堀内一穂、大谷昴、笹公和、高橋努、松村万寿美、落合悠太、高野健太、望月優子、高橋和也、中井陽一、本山秀明、松崎浩之
2. 発表標題 約100年分のドームふじアイスコア中 ^{10}Be と ^{36}Cl の高分解能測定によるBC5480年宇宙線イベントの調査
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 望月優子、高橋和也、中井陽一、Yu Vin Sahoo、本山秀明、小寺邦彦
2. 発表標題 南極ドームふじアイスコアからさぐる気温変動と太陽活動との相関
3. 学会等名 日本天文学会2020年春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅澤佳世、三宅美沙、多田悠馬、堀内一穂、大谷昴、笹公和、高橋努、松村真寿美、落合悠太、望月優子、高橋和也、中井陽一、本山秀明、松崎浩之
2. 発表標題 BC5480 年宇宙線イベントにおけるドームふじアイスコア中の ^{10}Be と ^{36}Cl 濃度の変動
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三宅美沙、堀内一穂、櫻井敬久、望月優子、中井陽一、高橋和也、本山秀明、松崎浩之
2. 発表標題 宇宙線生成核種を用いた紀元前660年頃の宇宙線イベント調査
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuko Motizuki
2. 発表標題 The oxygen isotopic variations in a Dome Fuji (Antarctica) ice core - Relationships of the temperature proxy with solar activity and oceanic variations
3. 学会等名 WCRP/SPARC SATIO-TCS joint workshop on Stratosphere-Troposphere Dynamical Coupling in the Tropics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hideharu Akiyoshi, Yoichi Nakai, Yuko Motizuki, Takashi Imamura and Yosuke Yamashita
2. 発表標題 Ozone change simulations of Halloween event and Carrington event using MIROC3.2 chemistry-climate model", WCRP/SPARC SATIO-TCS joint workshop on Stratosphere-Troposphere Dynamical Coupling in the Tropics
3. 学会等名 WCRP/SPARC SATIO-TCS joint workshop on Stratosphere-Troposphere Dynamical Coupling in the Tropics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 望月優子
2. 発表標題 南極氷中の核種存在比から過去の気候変動をさぐる - 宇宙との関連を視野に
3. 学会等名 埼玉大学理学部物理量子力学特別講義（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuko Motizuki
2. 発表標題 Relationship between temperature proxy and solar activity studied with a Dome Fuji (Antarctica) shallow ice core
3. 学会等名 PSTEP A04 International Workshop: Impact of solar activity variations on surface climate via several pathways（招待講演） （国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅澤佳世、三宅美沙、堀内一穂、笹公和、望月優子、高橋和也、中井陽一、本山秀明、松崎浩之
2. 発表標題 ドームふじアイスコア中 ^{10}Be と ^{36}Cl の高分解能測定によるBC5480年宇宙線イベントの調査
3. 学会等名 ドームふじアイスコアコンソーシアム年次研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三宅美沙、堀内一穂、望月優子、中井陽一、高橋和也、増田公明、本山秀明、松崎浩之
2. 発表標題 約単年分解能 ^{10}Be データを用いた994年宇宙線イベントの調査
3. 学会等名 ドームふじアイスコアコンソーシアム年次研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yu Vin Sahoo, Kazuya Takahashi, Yoichi Nakai, Yuko Motizuki, and Hideaki Motoyama
2. 発表標題 Annually-resolved water isotope measurements in a shallow ice core (DFS10) for 60 meters depth (A poster paper)
3. 学会等名 The Tenth Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kayo Kanzawa, Fusa Miyake, Yuma Tada, Kazuho Horiuchi, Subaru Otani, Kimikazu Sasa, Yuko Motizuki, Kazuya Takahashi, Yoichi Nakai, Hideaki Motoyama and Hiroyuki Matsuzaki
2. 発表標題 Variation of cosmogenic ^{10}Be for cosmic ray event in ~5480 BC from Antarctic Dome Fuji ice core
3. 学会等名 The 8th East Asia Accelerator Mass Spectrometry Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuko Motizuki
2. 発表標題 Historical supernova signatures in polar ice cores
3. 学会等名 International workshop on "Historical supernovae, novae and other transient events" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 望月優子
2. 発表標題 ドームふじアイスコアから探る気候変動と太陽活動との関係
3. 学会等名 東京大学大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻 佐藤研究室セミナー (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅澤佳世、三宅美沙、多田悠馬、堀内一穂、大谷昴、笹公和、望月優子、高橋和也、中井陽一、本山秀明、松崎浩之
2. 発表標題 ドームふじアイスコア中10Beと36Cl濃度の測定によるBC5480年宇宙線イベントの調査
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 望月優子
2. 発表標題 南極の氷からひもとく宇宙と地球の歴史と研究環境を皆で整えていくことの大切さ
3. 学会等名 高松第一高等学校(香川県)理研団体見学(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 望月優子
2. 発表標題 南極の氷からひもとく宇宙と地球の歴史
3. 学会等名 公益財団法人山田長満奨学会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 望月優子
2. 発表標題 南極の氷からひもとく宇宙と地球の歴史
3. 学会等名 KEK-TYLスクール理系女子キャンプ2019(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 望月優子
2. 発表標題 テラ・アストロノミー - 宇宙と地球を結ぶ物理科学 -
3. 学会等名 埼玉大学理学部物理量子力学特別講義（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋和也、望月優子、中井陽一
2. 発表標題 アイスコア詳細解析を見据えた硫黄同位体比分析の高感度化の試み
3. 学会等名 国立極地研究所研究集会「南極ドームふじ氷床深層アイスコアの解析による気候・環境変動の研究の新展開」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋和也、中井陽一、望月優子、井野敏行、伊藤茂、大久保智、高久雄一、山口義尊、田中美穂、本山秀明
2. 発表標題 南極氷床コアの詳細解析を見据えた硫黄同位体比分析の高感度化の試み
3. 学会等名 日本分析化学会第67回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuko Motizuki, Kazuya Takahashi, Yoichi Nakai, Satoshi Wada, Kazuho Horiuchi, Fusa Miyake, Hideaki Motoyama, Hideharu Akiyoshi, Takashi Imamura, and Kunihiko Kodera
2. 発表標題 Terra-Astronomy: Multi-disciplinary studies with Antarctic ice cores and numerical simulations (A poster paper)
3. 学会等名 The 9th International Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuko Motizuki, Kazuya Takahashi, Yoichi Nakai, Hideaki Motoyama, Kunihiko Kodera
2. 発表標題 New annually-resolved water isotope data of the past 2000 years from a Dome-Fuji shallow ice core
3. 学会等名 CLIVASH2k workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 望月優子
2. 発表標題 南極の水からひもとく宇宙と地球の歴史
3. 学会等名 仁科記念講演会「アイソトープで探る宇宙」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 秋吉英治、中井陽一、望月優子、今村隆史、山下陽介
2. 発表標題 化学気候モデルを用いた太陽プロトンイベントのオゾンと気候に及ぼす影響に関する研究 - 化学ボックスモデル+3次元化学輸送モデルによるシミュレーション -
3. 学会等名 PSTEP報告会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三宅美沙、堀内一穂、櫻井敬久、増田公明、本山秀明、松崎浩之、望月優子、高橋和也、中井陽一
2. 発表標題 ドームふじアイスコアの ^{10}Be 分析による単年宇宙線イベントの調査II
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三宅美沙、堀内一穂、望月優子、中井陽一、高橋和也、増田公明、本山秀明、松崎浩之
2. 発表標題 ドームふじアイスコアの一年分解能 ^{10}Be データにみられるAD993/994宇宙イベント
3. 学会等名 第21回AMSシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 望月優子
2. 発表標題 アイスコアからさぐる天文・宇宙のサイエンス - 過去の超新星爆発と太陽活動、地球への影響 -
3. 学会等名 埼玉大学理学部物理量子力学特別講義（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuko Motizuki
2. 発表標題 Supernova signatures in polar ice cores
3. 学会等名 International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies 2017 (OMEG 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenji Tanabe and Yuko Motizuki
2. 発表標題 Symbiotic Binary R Aquarii and Gamma-ray Astronomy
3. 学会等名 PALERMO WORKSHOP 2017 "The Golden Age of Cataclysmic Variables and Related Objects IV" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H. Akiyoshi, Y. Nakai, Y. Motizuki, T. Imamura, Y. Yamashita
2. 発表標題 A preliminary result of NOx and ozone change simulation for a solar proton event using a nudged CCM and box chemistry model
3. 学会等名 Int. Workshop on Solar Cycle Activity and Impact on Climate for The 2nt. Wnd PSTEP International symposium (PSTEP-2) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 望月優子
2. 発表標題 南極アイスコアからひもとく私たちの宇宙と地球の歴史
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会公開講演会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 望月優子、中井陽一、高橋和也、ほかドームふじ氷床コア解析チーム
2. 発表標題 南極氷床コアに刻まれた超新星カシオペアA の爆発年代
3. 学会等名 日本天文学会春季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 望月優子
2. 発表標題 宇宙と生命とのつながり～生命と元素、星、宇宙のリズム～
3. 学会等名 理化学研究所 和光地区一般公開サイエンスレクチャー (招待講演)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 望月優子	4. 発行年 2021年
2. 出版社 日本評論社	5. 総ページ数 384
3. 書名 シリーズ現代の天文学第1巻 人類の住む宇宙第2版 (第3刷 新規業績)、pp. 147-149 (「第4章 太陽系 4.1.2 節 太陽の現在」)	

1. 著者名 望月優子, 佐藤勝彦	4. 発行年 2021年
2. 出版社 日本評論社	5. 総ページ数 384
3. 書名 シリーズ現代の天文学第1巻 人類の住む宇宙第2版 (第3刷改訂)、pp. 99-144 (「第3章 元素の起源」)	

1. 著者名 望月優子, 佐藤勝彦	4. 発行年 2020年
2. 出版社 日本評論社	5. 総ページ数 384
3. 書名 シリーズ現代の天文学第1巻 人類の住む宇宙 第2版 (第2刷改訂)、pp. 99-144 (「第3章 元素の起源」)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

望月優子(個別取材受): 「サイエンスView: 地球最古の氷 掘削せよ」 読売新聞記事、2019年5月26日。 プレスリリース: Kazuya Takahashi and Yuko Motizuki: "Sticky tape: A key ingredient for mapping artifact origins", Mar. 9, 2020. https://www.riken.jp/en/news_pubs/research_news/pr/2019/20191126_2/ プレスリリース: 高橋和也、望月優子、南武志: 「超微量硫黄同位体比分析を考古学に応用する - 京田遺跡の出土品から赤色顔料を精密分析 - 」、2019年11月26日。 https://www.riken.jp/press/2019/20191126_2/ プレスリリース: "Detecting Traces of Sulfur in Ice Cores" (従来の100倍高感度な硫黄同位体比分析法の開発と南極ドームふじアイスコア試料への適用) 2019年3月1日RIKEN Research発表 https://www.riken.jp/en/news_pubs/pubs/riken_research/2019/ プレスリリース: 「南極ドームふじアイスコアを1年刻みで化学組成分析 - 浅層部分から成層圏由来成分の存在や大規模気象擾乱の痕跡を発見 - 」(2017年3月6日) Kazuya Takahashi: "Detecting traces of sulfur in ice cores - An advanced isotope-measuring system can reveal insights about past environments in shorter time frames", RIKEN research summer 2019, 11. http://www.riken.jp/en/research/rikenresearch/highlights/20190301_FY20180055 (Mar. 1, 2019)

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	中井 陽一 (Nakai Yoichi) (30260194)	国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器科学研究センター・専任研究員 (82401)	
研究分担者	高橋 和也 (Takahashi Kazuya) (70221356)	国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器科学研究センター・専任研究員 (82401)	
研究分担者	和田 智之 (Wada Tomoyuki) (90261164)	国立研究開発法人理化学研究所・光子工学研究センター・チーフリーダー (82401)	
研究分担者	矢野 安重 (Yano Yasushige) (10774721)	国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器科学研究センター・客員主管研究員 (82401)	
研究分担者	加瀬 究 (Kase Kiwamu) (70270600)	国立研究開発法人理化学研究所・光子工学研究センター・前任研究員 (82401)	
研究分担者	湯本 正樹 (Yumoto Masaki) (60585157)	国立研究開発法人理化学研究所・光子工学研究センター・研究員 (82401)	
研究分担者	丸山 真幸 (Maruyama Masayuki) (10588304)	国立研究開発法人理化学研究所・光子工学研究センター・研究員 (82401)	

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