

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：62611

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H04327

研究課題名（和文）両極の氷床コアと全球気候植生モデルによる過去1万年のメタン濃度の変動要因の解明

研究課題名（英文）Atmospheric methane variability during the Holocene reconstructed from the Greenland and Antarctic ice cores

研究代表者

大藪 幾美 (Oyabu, Ikumi)

国立極地研究所・共同研究推進系・助教

研究者番号：20758396

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,740,000円

研究成果の概要（和文）：完新世のメタン濃度は約5千年前から上昇し始めたが、その原因が人間活動であるか否かについて論争が続いている。この問題解決のために、グリーンランドと南極氷床コアを高精度・高解像度で分析して南北半球間のメタン濃度差を調べ、ボックスモデルを構築してメタンの放出量を推定した。その結果、北半球からのメタン放出量は完新世ではほぼ一定であったのに対し、熱帯からの放出量は約8千年前から5千年前にかけて減少し、3千年前から産業革命期前にかけて増加したことが分かった。したがって完新世後半のメタン濃度の増加は、人間活動（北半球中緯度を放出源）ではなく、自然起源の変動（南半球中低緯度を放出源）が主要因であると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在の大気中のメタン濃度は、産業革命前の約2.5倍に増加し地球温暖化に寄与している。メタンの放出源には人為起源と自然起源があり、多種にわたり複雑に分布するため、放出源ごとのメタン放出量の推定誤差が大きい。本研究は、グリーンランドと南極の氷床コアから、過去1万年間のメタン濃度を高精度で分析し、南北半球間のメタン濃度差を復元した。さらに、北半球中高緯度と熱帯地域からのメタンの放出量を推定し、過去1万年間のメタン濃度の変動要因を明らかにした。この成果は、産業革命以前のメタン濃度増加に対する人間活動の影響の有無や程度について新たな知見を提供し、メタン濃度や気候変動の将来予測の進展へ貢献するものである。

研究成果の概要（英文）：Methane (CH₄) concentration during the Holocene started to increase around 5000 years ago, and there is ongoing debate about whether this increase was due to human activities. To answer the question, we precisely measured CH₄ concentration in the Greenland and Antarctic ice cores and analyzed the inter-polar difference. We also constructed a three-box model to estimate the CH₄ emissions. We found that the CH₄ emissions from the Northern Hemisphere remained nearly constant during the Holocene, whereas emissions from the tropics decreased from about 8000 to 5000 years ago and increased from 3000 years ago to the pre-industrial era. This result suggests that the increase in CH₄ concentration during the latter half of the Holocene is due to an increase in the emission from tropical sources, supporting the hypothesis that the natural emissions led to the increase in the atmospheric CH₄ concentration for the last 5000 years.

研究分野：古気候学

キーワード：メタン 氷床コア 南極 グリーンランド 完新世

1. 研究開始当初の背景

現在の大气中のメタン濃度は、産業革命前の約 2.5 倍に増加している。その影響は、産業革命以降の放射強制力の増分の約 2 割に相当し、二酸化炭素に次ぐ人為起源の温室効果ガスとして地球温暖化に寄与している。メタンの放出源には人為起源(水田、家畜、化石燃料、焼畑など)のほか自然起源(湿地、森林火災、反芻動物、シロアリ、メタンハイドレートなど)があり、多種にわたり複雑に分布するため、放出源ごとのメタン放出量の推定誤差が大きい。自然起源で最大である湿地からの放出が、今後の温暖化と降水増加によって強まる懸念もあることから、メタン濃度や気候変動の将来予測の進展には、過去の自然起源放出の変動とその気候変動との関係を正確に把握し理解する必要がある。

極域の氷床を掘削して得られる氷床コアには過去の大气が保存されているため、その分析により過去のメタン濃度を復元できる。日本の南極ドームふじ氷床コアから過去 72 万年のメタン濃度が復元され、過去の間氷期では北半球の夏期日射量の低下に同調してメタン濃度も低下したことが明らかとなっている。ところが、完新世(約 1 万年前から現在まで続く間氷期)においては、北半球の夏期日射量が低下しているにも関わらず、約 5000 年前からメタン濃度は上昇した。この例外的とも思われるメタン濃度変動の原因として「北半球中緯度(東アジア)の稲作農業の拡大により人為起源のメタン放出が増加した」とする人為起源説(Ruddiman, 2003)と、「南半球中低緯度の夏期日射量の増大により、南半球の大陸上の降水が増加して湿地が拡大し、メタン放出が増加した」とする自然起源説(Singarayer et al., 2011)の二つの仮説が対立し、未だ決着はついていない。

メタンの大气中での寿命は約 10 年と短いことと、主要な放出源が陸上に存在することから、基本的に北半球のメタン濃度が南半球より高い。しかし南北の濃度差は常に一定ではなく、メタン放出源の緯度分布に応じて変化する。過去 5000 年間のメタン濃度増加を説明する二つの仮説の重要な相違は、それぞれが主張するメタン放出源の緯度分布にあり、人為起源説が正しければ北半球の放出が、自然起源説が正しければ南半球の放出がメタン増加の主要因であったはずである。したがって、完新世のメタン濃度の南北差を精密に復元できれば、それらの仮説が検証できる。グリーンランドと南極氷床から採取された氷床コアは、このような過去のメタン濃度の南北差を復元するのに最適な媒体であるが、先行研究のメタン濃度の南北差の復元は年代決定精度や分析精度が十分でなく、仮説の検証に足る高質のデータは未だ存在しなかった。

2. 研究の目的

本研究の学術的な問いは、「完新世後半に起こったメタン濃度の増加は人為起源か否か」である。そのため、高精度でグリーンランドと南極のメタン濃度を復元し、ボックスモデルを用いてデータと整合的な南北のメタン放出量を推定することで、完新世におけるメタン濃度変動の要因を解明することを本研究の目的とした。

3. 研究の方法

- (1) グリーンランド氷床で掘削された NEEM (North Greenland Eemian Ice Drilling) コアおよび南極内陸で掘削されたドームふじコアを用い、過去 1 万年間のメタン濃度を含む大気組成データを、Oyabu et al. (2020) による分析手法で取得した。
- (2) メタン濃度の南北差を正確に計算するため、両極コアの年代軸を、完新世の年代が最も正確である西南極で掘削された WAIS (West Antarctic Ice Sheet) Divide コアに統合する作業を行った。南極内陸は涵養量が小さいため、ドームふじコアの気泡に封じられる空気は WAIS Divide コアのそれよりも大きな年代幅を持つ。そのため、先行研究で求められたドームふじコアの気泡の年代分布を用いて、WAIS Divide コアのメタン濃度を平滑化し、ドームふじコアのメタン濃度と同程度の解像度にした。このデータセットを用いて、メタン濃度の特徴的な変化を対比し、年代同期を行った。NEEM コアの気泡の年代分布は WAIS Divide コアのそれと同程度であるため、取得したデータそのものを用いて年代を同期させた。
- (3) ドームふじの気泡の年代分布を用いて NEEM コアのメタン濃度を平滑化し、ドームふじコアのメタン濃度と同程度の解像度にし、メタン濃度の南北差を計算した。
- (4) 南北半球間のメタン収支を調べるため、先行研究で構築されたボックスモデル(Rosen, 2014)を参考に、北緯 30-90 度、北緯 30-南緯 30 度、南緯 30-90 度の 3 つの緯度に区切ったボックスモデルを構築し、モデルのパラメータ(輸送時間、メタン寿命、南半球からの放出量)を最適化させた。(3) で得られたメタン濃度の南北差のデータを、構築したボックスモデルに入力し、北半球と熱帯のメタン収支を計算した。

4. 研究成果

NEEM コアでは、氷の質が極めて悪い試料(ブリットルゾーン)が散見されたが、セラミックナイフを用いて丁寧にクラックを除去したり、真空引き時間を海外の研究機関の6倍の長さにするなどの工夫を凝らすことで、汚染の影響を低減した質の高いメタン濃度の測定に成功した。NEEM コアとドームふじコアから、過去1万年間において約50年間隔のCH₄濃度、N₂O濃度、CO₂濃度、¹⁵N-N₂、¹⁸O-O₂、O₂/N₂、Ar/N₂、空気含有量のデータを取得した(図1a)。取得したデータを用いて(2)の方法で年代決定を行った。ドームふじコアについてはその年代とメタン濃度を Quaternary Science Reviews で公開した(Oyabu et al., 2022)。

共通の年代軸を用いた NEEM コアとドームふじコアのメタンデータについて、(3)の方法で両者の濃度差(南北差)を計算した。その結果、先行研究と整合的な南北差を得た(図1b)。具体的には、5000年前の南北差が最も大きく、完新世後期に向かって南北差は小さくなったことが分かった。

得られたメタン濃度の南北差のデータを、方法(4)で構築したボックスモデルに入力し、北半球中高緯度と熱帯地域のメタン収支を計算した。その結果、北半球からのメタン放出量は完新世ではほぼ一定であったのに対し、熱帯からの放出量は約8000年前から5000年前にかけて減少し、3000年前から産業革命期前にかけて増加したことが明らかとなった(図1c)。このことから、完新世後半のメタン濃度の増加は、北半球中緯度を放出源とする人間活動によるものではなく、南半球中低緯度を放出源とする自然起源の変動が主要因であると考えられる。

さらに本研究結果から、先行研究では見出すことのできなかった南北差の数百年スケールの変動についても、特徴的な変動が見えている可能性があることが分かった。特に、メタン濃度が急激に低下した8200年前(8.2ka イベント; ローレンタイド氷床が崩壊して北大西洋に流入し、急激に寒冷化したとされている)は、メタン濃度の南北差も大きく低下し、北半球からの放出量が減少したことを示唆する結果が得られた。ただし、この結果は年代対比のわずかなズレやメタン濃度データに施したスムージングの度合いによって変わる可能性があり、解釈には注意が必要である。

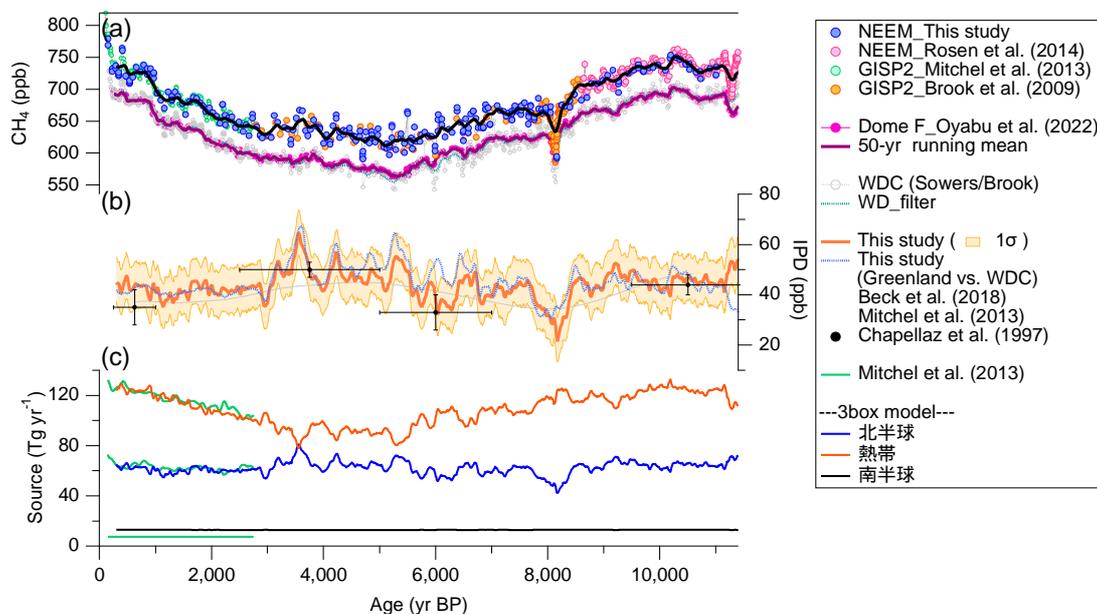


図1:(a)グリーンランドと南極のメタン濃度。(b)メタン濃度の南北差(Inter Polar Difference)、(c) 3 ボックスモデルで推定した各緯度帯からのメタン放出量。

< 引用文献 >

- Ruddiman, W.F., 2003. The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago. *Climatic Change* **61**, 261–293.
- Singarayer, J.S. et al., 2011. Late Holocene methane rise caused by orbitally controlled increase in tropical sources. *Nature* **470**, 82–85.
- Rosen, J.L., 2014. Augmenting and interpreting ice core greenhouse gas records (Dissertation). Oregon State University.
- Oyabu, I. et al., 2020. New technique for high-precision, simultaneous measurements of CH₄, N₂O and CO₂ concentrations; isotopic and elemental ratios of N₂, O₂ and Ar; and total air content in ice cores by wet extraction. *Atmospheric Measurement Techniques* **13**, 6703–6731.
- Oyabu, I., et al., 2022. The Dome Fuji ice core DF2021 chronology (0-207 kyr BP). *Quaternary Science Reviews* **294**, 107754.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件／うち国際共著 14件／うちオープンアクセス 15件）

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 Oyabu Ikumi, Kawamura Kenji, Buizert Christo, Parrenin Frederic, Orsi Anais, Kitamura Kyotaro, Aoki Shuji, Nakazawa Takakiyo	4. 巻 294
2. 論文標題 The Dome Fuji ice core DF2021 chronology (0-207 kyr BP)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Quaternary Science Reviews	6. 最初と最後の頁 107754 ~ 107754
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.quascirev.2022.107754	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 Lee Giyoon, Ahn Jinho, Ju Hyeontae, Ritterbusch Florian, Oyabu Ikumi, Buizert Christo, Kim Songyi, Moon Jangil, Ghosh Sambit, Kawamura Kenji, Lu Zheng-Tian, Hong Sangbum, Han Chang Hee, Hur Soon Do, Jiang Wei, Yang Guo-Min	4. 巻 16
2. 論文標題 Chronostratigraphy of the Larsen blue-ice area in northern Victoria Land, East Antarctica, and its implications for paleoclimate	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Cryosphere	6. 最初と最後の頁 2301 ~ 2324
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/tc-16-2301-2022	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 Umezawa Taku, Sugawara Satoshi, Kawamura Kenji, Oyabu Ikumi, Andrews Stephen J., Saito Takuya, Aoki Shuji, Nakazawa Takakiyo	4. 巻 22
2. 論文標題 Towards reconstructing the Arctic atmospheric methane history over the 20th century: measurement and modelling results for the North Greenland Ice Core Project firn	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 6899 ~ 6917
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/acp-22-6899-2022	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 Buizert, C., Shackleton, S., Severinghaus, J.P., Roberts, W.H.G., Seltzer, A., Bereiter, B., Kawamura, K., Baggenstos, D., Orsi, A.J., Oyabu, I., Birner, B., Morgan, J.D., Brook, E.J., Etheridge, D.M., Thornton, D., Bertler, N., Pyne, R.L., Mulvaney, R., Mosley-Thompson, E., Neff, P.D., Petrenko, V.V.	4. 巻 19
2. 論文標題 The new Kr-86 excess ice core proxy for synoptic activity: West Antarctic storminess possibly linked to Intertropical Convergence Zone (ITCZ) movement through the last deglaciation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Climate of the Past	6. 最初と最後の頁 579 ~ 606
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/cp-19-579-2023	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 Buizert, C., Kawamura, K. (9/40番目), Oyabu, I. (10/40番目), Aoki, S. (24/40番目) et al.	4. 巻 372
2. 論文標題 Antarctic surface temperature and elevation during the Last Glacial Maximum	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 1097 ~ 1101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.abd2897	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 Kenji Kawamura, Taku Umezawa, Satoshi Sugawara, Shigeyuki Ishidoya, Kentaro Ishijima, Takuya Saito, Ikumi Oyabu, Shohei Murayama, Shinji Morimoto, Shuji Aoki, Takakiyo Nakazawa	4. 巻 5
2. 論文標題 Composition of firn air at the North Greenland Ice Core Project (NGRIP) site	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polar Data Journal	6. 最初と最後の頁 89 ~ 98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20575/00000030	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 Oyabu Ikumi, Kawamura Kenji, Uchida Tsutomu, Fujita Shuji, Kitamura Kyotaro, Hirabayashi Motohiro, Aoki Shuji, Morimoto Shinji, Nakazawa Takakiyo, Severinghaus Jeffrey P., Morgan Jacob D.	4. 巻 15
2. 論文標題 Fractionation of O ₂ /N ₂ and Ar/N ₂ in the Antarctic ice sheet during bubble formation and bubble clathrate hydrate transition from precise gas measurements of the Dome Fuji ice core	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Cryosphere	6. 最初と最後の頁 5529 ~ 5555
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/tc-15-5529-2021	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 該当する

1. 著者名 Uchida Tsutomu, Shigeyama Wataru, Oyabu Ikumi, Goto-Azuma Kumiko, Nakazawa Fumio, Homma Tomoyuki, Kawamura Kenji, Dahl-Jensen Dorthe	4. 巻 68
2. 論文標題 Discovery of argon in air-hydrate crystals in a deep ice core using scanning electron microscopy and energy-dispersive X-ray spectroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Glaciology	6. 最初と最後の頁 547 ~ 556
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/jog.2021.115	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 Morimoto Shinji, Takebayashi Shuichiro, Goto Daisuke, Hashida Gen, Aoki Shuji	4. 巻 29
2. 論文標題 Shipboard observations of atmospheric oxygen in the Southern Ocean during the 2017-2018 austral summer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 100691 ~ 100691
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polar.2021.100691	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 CHANDRA Naveen, PATRA Prabir K., BISHT Jagat S. H., ITO Akihiko, UMEZAWA Taku, SAIGUSA Nobuko, MORIMOTO Shinji, AOKI Shuji, JANSSENS-MAENHOUT Greet, FUJITA Ryo, TAKIGAWA Masayuki, WATANABE Shingo, SAITOH Naoko, CANADELL Josep G.	4. 巻 99
2. 論文標題 Emissions from the Oil and Gas Sectors, Coal Mining and Ruminant Farming Drive Methane Growth over the Past Three Decades	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II	6. 最初と最後の頁 309 ~ 337
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/jmsj.2021-015	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 Aoki Nobuyuki, Ishidoya Shigeyuki, Tohjima Yasunori, Morimoto Shinji, Keeling Ralph F., Cox Adam, Takebayashi Shuichiro, Murayama Shohei	4. 巻 14
2. 論文標題 Intercomparison of O ₂ /N ₂ ratio scales among AIST, NIES, TU, and SIO based on a round-robin exercise using gravimetric standard mixtures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Atmospheric Measurement Techniques	6. 最初と最後の頁 6181 ~ 6193
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/amt-14-6181-2021	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 該当する

1. 著者名 Oyabu Ikumi, Kawamura Kenji, Kitamura Kyotaro, Dallmayr Remi, Kitamura Akihiro, Sawada Chikako, Severinghaus Jeffrey P., Beaudette Ross, Orsi Anais, Sugawara Satoshi, Ishidoya Shigeyuki, Dahl-Jensen Dorte, Goto-Azuma Kumiko, Aoki Shuji, Nakazawa Takakiyo	4. 巻 13
2. 論文標題 New technique for high-precision, simultaneous measurements of CH ₄ , N ₂ O and CO ₂ concentrations; isotopic and elemental ratios of N ₂ , O ₂ , and Ar; and total air content in ice cores by wet extraction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Atmospheric Measurement Techniques	6. 最初と最後の頁 6703 ~ 6731
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/amt-13-6703-2020	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 該当する

1. 著者名 Morimoto Shinji, Goto Daisuke, Murayama Shohei, Fujita Ryo, Tohjima Yasunori, Ishidoya Shigeyuki, Machida Toshinobu, Inai Yoichi, Patra Prabir K., Maksyutov Shamil, Ito Akihiko, Aoki Shuji	4. 巻 27
2. 論文標題 Spatio-temporal variations of the atmospheric greenhouse gases and their sources and sinks in the Arctic region	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 100553 ~ 100553
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polar.2020.100553	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 Fujita Ryo, Morimoto Shinji, Maksyutov Shamil, Kim Heon Sook, Arshinov Mikhail, Brailsford Gordon, Aoki Shuji, Nakazawa Takakiyo	4. 巻 125
2. 論文標題 Global and Regional CH ₄ Emissions for 1995-2013 Derived From Atmospheric CH ₄ , ¹³ C CH ₄ and D CH ₄ Observations and a Chemical Transport Model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 1 ~ 23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JD032903	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	4. 巻 -
2. 論文標題 N ₂ , O ₂ , and Ar in ice cores: Elemental and isotopic compositions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Encyclopedia of Quaternary Science, 3rd Edition	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) 10.1016/B978-0-323-99931-1.00120-3	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 Inoue Ryo, Fujita Shuji, Kawamura Kenji, Oyabu Ikumi, Nakazawa Fumio, Motoyama Hideaki, Aoki Teruo	4. 巻 18
2. 論文標題 Spatial distribution of vertical density and microstructure profiles in near-surface firn around Dome Fuji, Antarctica	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The Cryosphere	6. 最初と最後の頁 425 ~ 449
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/tc-18-425-2024	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 Hattori Shohei, Ishino Sakiko, Suzuki Nozomi, Nakazawa Fumio, Oyabu Ikumi, Tsutaki Shun, Hirabayashi Motohiro, Noro Kazushi, Takenaka Norimichi, Kawamura Kenji, Yoshida Naohiro, Motoyama Hideaki	4. 巻 162
2. 論文標題 Latitudinal difference in sulfate formation from methanesulfonate oxidation in Antarctic snow imprinted on 170-excess signature	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Applied Geochemistry	6. 最初と最後の頁 105901 ~ 105901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apgeochem.2024.105901	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38件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 29件)

1. 発表者名 Ikumi Oyabu, Kenji Kawamura, Christo Buizert, Frederic Parrenin and Ryu Uemura
2. 発表標題 Surface temperature at Dome Fuji during the last interglacial period
3. 学会等名 6th PAGES Open Science Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ikumi Oyabu, Kenji Kawamura, Christo Buizert, Frederic Parrenin, Anais Orsi, Kyotato Kitamura, Shuji Aoki, Takakiyo Nakazawa
2. 発表標題 The Dome Fuji ice core DF2021 chronology (0 -200 kyr BP)
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 Taku Umezawa, Satoshi Sugawara, Kenji Kawamura, Ikumi Oyabu, Stephen Andrews, Takuya Saito, Shuji Aoki, Takakiyo Nakazawa
2 . 発表標題 Towards reconstructing the Arctic atmospheric methane history over the 20th century: measurement and modeling results for the NGRIP firn
3 . 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Ikumi Oyabu, Kenji Kawamura, Christo Buizert, Frederic Parrenin, Anais Orsi, Kyotato Kitamura, Shuji Aoki, Takakiyo Nakazawa
2 . 発表標題 The Dome Fuji ice core DF2021 chronology (0-207 kyr BP)
3 . 学会等名 IPICS 3rd Open Science Conference (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Kenji Kawamura, Ayaka Yonekura, Ikumi Oyabu, Kyotaro Kitamura, Remi Dallmayr, Rachael Rhodes, Jun Ogata, Motohiro Hirabayashi, Kaori Fukuda, Kumiko Goto-Azuma, Hideaki Motoyama
2 . 発表標題 Methane concentration in the Dome Fuji ice core measured by a continuous flow analysis system: method and initial results from the LGM to Holocene
3 . 学会等名 IPICS 3rd Open Science Conference (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 F. Parrenin, L. Bazin, C. Buizert, E. Capron, J. Chowdhry-Beeman, E. Corrick, R. Drysdale, K. Kawamura, A. Landais, R. Mulvaney, I. Oyabu, S. Rasmussen
2 . 発表標題 The Paleochrono probabilistic model to derive a consistent chronology for several paleoclimatic sites
3 . 学会等名 IPICS 3rd Open Science Conference (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 Giyeon Lee, Jinho Ahn, Hyeontae Ju, Florian Ritterbusch, Ikumi Oyabu, Songyi Kim, Kenji Kawamura, Zheng-Tian Lu, Sangyoung Han, Sambit Ghosh, Yeongcheol Han, Sangbum Hong, Changhee Han, Soon Do Hur, Wei Jiang, Guo-min Yang
2. 発表標題 Chronostratigraphy of Larsen blue ice area, and a reconstruction of surface temperature and accumulation rate during the last glacial termination
3. 学会等名 IPICS 3rd Open Science Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ikumi Oyabu, Kenji Kawamura, Tsutomu Uchida, Shuji Fujita, Kyotaro Kitamura, Motohiro Hirabayashi, Shuji Aoki, Shinji Morimoto, Takakiyo Nakazawa, Jeffrey P. Severinghaus, Jacob Morgan
2. 発表標題 Fractionation of O ₂ /N ₂ and Ar/N ₂ in the Antarctic ice sheet during bubble formation and bubble-clathrate hydrate transition from precise gas measurements of the Dome Fuji ice core
3. 学会等名 IPICS 3rd Open Science Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大藪幾美、川村賢二、Christo Buizert、Frederic Parrenin、Anais Orsi、北村享太郎、青木周司、中澤高清
2. 発表標題 ドームふじ氷床コアの新しい年代モデル (DF2021) の紹介
3. 学会等名 地球環境史学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ikumi Oyabu, Kenji Kawamura, Christo Buizert, Frederic Parrenin, Anais Orsi, Kyotaro Kitamura, Shuji Aoki and Takakiyo Nakazawa
2. 発表標題 The Dome Fuji ice core DF2021 chronology (0 -207 kyr BP)
3. 学会等名 第13回極域科学シンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ikumi Oyabu, Kenji Kawamura, Kyotaro Kitamura, Shinji Morimoto, Shuji Aoki, Kumiko Goto-Azuma and Thomas Blunier
2. 発表標題 Atmospheric CH ₄ concentration during the Holocene reconstructed from the NEEM (Greenland) and Dome Fuji (East Antarctica) ice cores
3. 学会等名 ISAR-7 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kumiko Goto-Azuma, N. Moteki, Jun Ogata, Kaori Fukuda, Motohiro Hirabayashi, Yuki Komuro, Ikumi Oyabu, Kyotaro Kitamura, Shuji Fujita, Yoshimi Ogawa-Tsukagawa, T. Mori, S. Ohata, Y. Kondo, M. Koike, Kenji Kawamura, S. O. Rasmussen, D. Dahl-Jensen
2. 発表標題 Abrupt shifts in terrestrial aerosol deposition in Greenland during Dansgaard-Oeschger events 9-13
3. 学会等名 ISAR-7 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ikumi Oyabu, Kenji Kawamura, Kyotaro Kitamura, Anais Orsi, Frederic Parrenin, Christo Buizert
2. 発表標題 Climatic and atmospheric changes over the last three Terminations from O ₂ /N ₂ , d18O _{atm} and CH ₄ records of the Dome Fuji ice core
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ayaka Yonekura, Kenji Kawamura, Ikumi Oyabu, Kyotaro Kitamura, Jun Ogata, Motohiro Hirabayashi, Kaori Fukuda, Yoshimi Tsukagawa, Tomotaka Saruya, Fumio Nakazawa, Shuji Fujita, Kumiko Goto-Azuma, Hideaki Motoyama
2. 発表標題 Methane concentration in Dome Fuji ice core measured with a continuous flow analysis system
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ikumi Oyabu, Kenji Kawamura, Tsutomu Uchida, Shuji Fujita, Kyotaro Kitamura, Motohiro Hirabayashi, Shuji Aoki, Shinji Morimoto, Takakiyo Nakazawa, Jeffrey P. Severinghaus, Jacob Morgan
2. 発表標題 Fractionation of O ₂ /N ₂ and Ar/N ₂ in polar ice cores during bubble formation, bubble-clathrate hydrate transition, and gas loss during storage from precise gas measurements of the Dome Fuji ice core, Antarctica
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 米倉綾香, 川村賢二, 大藪幾美, 北村享太郎, 尾形純, 平林幹啓, 福田かおり, 塚川佳美, 猿谷友孝, 中澤文男, 藤田秀二, 東久美子, 本山秀明
2. 発表標題 ドームふじアイスコアの連続分析により得られた約15 万年前の水期におけるメタン濃度変動
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 大藪幾美, 川村賢二, 飯塚芳徳, 北村享太郎, Margareta Hansson, Eric Wolff, Mirko Severi, 大垣内るみ, 阿部彩子, Remi Dallmayr, 北村 明弘, 沢田近子, Jeffrey P. Severinghaus, Ross Beaudette, Anais Orsi, 菅原敏, 石戸谷重之, Dorthe Dahl-Jensen, 東久美子, 青木周司, 中澤高清
2. 発表標題 アイスコアの気体や微粒子の解析に基づく気候変動の研究
3. 学会等名 2021年度日本地球化学会年会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ikumi Oyabu, Kenji Kawamura, Tsutomu Uchida, Shuji Fujita, Kyotaro Kitamura, Motohiro Hirabayashi, Shuji Aoki, Shinji Morimoto, Takakiyo Nakazawa, Jeffrey P. Severinghaus, Jacob Morga
2. 発表標題 Fractionation of O ₂ /N ₂ and Ar/N ₂ in the Antarctic ice sheet from precise gas measurements of the Dome Fuji ice core - Constraining permeabilities of O ₂ , N ₂ and Ar in the ice sheet with a simple diffusion model-
3. 学会等名 第12回極域科学シンポジウム（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ayaka Yonekura, Kenji Kawamura, Ikumi Oyabu, Kyotaro Kitamura, Jun Ogata, Motohiro Hirabayashi, Kaori Fukuda, Yoshimi Tsukagawa, Tomotaka Saruya, Fumio Nakazawa, Shuji Fujita, Kumiko Goto-Azuma, Hideaki Motoyama
2. 発表標題 Reconstruction of methane concentration variations during the penultimate glacial period from a Continuous Flow Analysis of the Dome Fuji ice core"
3. 学会等名 第12回極域科学シンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 F. Parrenin, L. Bazin, C. Buizert, E. Capron, J. Chowdhry-Beeman, E. Corrick, R. Drysdale, K. Kawamura, A. Landais, R. Mulvaney, I. Oyabu, S. Rasmussen
2. 発表標題 The Paleochrono probabilistic model to derive a consistent chronology for several paleoclimatic sites
3. 学会等名 EGU General Assembly 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ikumi Oyabu, Kenji Kawamura, Kyotaro Kitamura, Frederic Parrenin, Anais Orsi, Christo Buizert
2. 発表標題 Revising the Dome Fuji ice core chronology
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kawamura, K. ; Oyabu, I. ; Aoki, S. ; Nakazawa, T. ; Abe-Ouchi, A. ; Saito, F.
2. 発表標題 Accurate chronology and climatic reconstruction around MIS 11 from the Dome Fuji ice core
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 米倉綾香, 川村賢二, 大藪幾美, 北村享太郎, 尾形純, 平林幹啓, 福田かおり, 東久美子, 本山秀明
2. 発表標題 連続融解分析法によるドームふじアイスコア中のメタン濃度の測定 - 最終氷期最寒期から完新世 -
3. 学会等名 雪氷研究大会オンライン
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ikumi Oyabu, Kenji Kawamura, Kyotaro Kitamura, Shuji Fujita, Tsutomu Uchida, Jeffrey P. Severinghaus, Jacob Morgan, Motohiro Hirabayashi
2. 発表標題 Fractionation of O ₂ /N ₂ and Ar/N ₂ in polar ice cores during bubble formation, bubble-clathrate transition, and gas loss during storage from precise gas measurements of the Dome Fuji ice core, Antarctica
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 Ayaka Yonekura, Kenji Kawamura, Ikumi Oyabu, Kyotaro Kitamura, Jun Ogata, Motohiro Hirabayashi, Kaori Fukuda, Kumiko Goto-Azuma, Hieaki Motoyama
2. 発表標題 Continuous methane measurement by a Continuous Flow Analysis system
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 Giyoon Lee, Jinho Ahn, Hyuntae Joo, Florian Ritterbusch, Ikumi Oyabu, Songyi Kim, Kenji Kawamura, Zheng-Tian Lu, Sangyoung Han, Sambit Ghosh, Youngchul Han, Sangbeom Hong, Chang Hee Han, Soon Do Hur
2. 発表標題 Searching for very old ice with continuous stratigraphy at Larsen Blue Ice Area, East Antarctica
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉森正和
2. 発表標題 古気候シミュレーションを活用した気候感度および気候フィードバックのメカニズムに関する研究
3. 学会等名 「2020年度日本気象学会賞」受賞記念 講演, 日本気象学会2020年度秋季大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshimori, M
2. 発表標題 Connecting climates at different time periods through mechanism understanding
3. 学会等名 14th International Conference on Paleoceanography (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉森正和
2. 発表標題 古気候モデリングを通して考える北極域温暖化増幅のメカニズム
3. 学会等名 東京大学大気海洋研究所研究集会「古気候研究におけるプロキシとモデルの融合: 温暖期の気候変動について」
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉森正和
2. 発表標題 古気候モデリングを通して考える気候感度と北極域温暖化増幅
3. 学会等名 CPS-ABCワークショップ「地球型惑星の気候を地球古気候研究から考える」(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大藪 幾美、川村 賢二、Buizert Christo、Parrenin Frederic、Orsi Anais、北村 享太郎、青木 周司、中澤 高清
2. 発表標題 ドームふじ氷床コアの年代構築 (DF2021)
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大藪 幾美、川村 賢二、藤田 秀二、井上 峻、本山 秀明、福井 幸太郎、平林 幹啓、保科優、栗田 直幸、中澤 文男、大野 浩、杉浦 幸之助、鈴木 利孝、津滝 俊、阿部 彩子、庭野匡思、Parrenin Fredrric、齋藤 冬樹、吉森 正和
2. 発表標題 過去5000年間の南極ドームふじ周辺の涵養量
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 東久美子、福田かおり、平林幹啓、尾形純、小室悠紀、中澤文男、大藪幾美、北村享太郎、藤田秀二、茂木信宏、森樹大、大畑祥、近藤豊、小池真、栗田直幸、塚川佳美、川村賢二、Sune O. Rasmussen、Giulia Sinnl、Trevor J. Popp、Dorthe Dahl-Jensen
2. 発表標題 グリーンランド北東部における産業革命以後のブラックカーボンと硫酸塩エアロゾルの経年変動 - アイスコア連続融解分析装置 (CFA) によるEGRIP 浅層アイスコアの高時間分解能分析 -
3. 学会等名 雪氷研究大会 (2023・郡山)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Goto-Azuma, K. Fukuda, J. Ogata, Y. Komuro, M. Hirabayashi, F. Nakazawa, I. Oyabu, K. Kitamura, S. Fujita, N. Moteki, T. Mori, S. Ohata, Y. Kondo, M. Koike, N. Oshima Y. Ogawa-Tsukagawa, K. Kawamura, N. Kurita, S. O. Rasmussen, G. Sinn, T. J. Popp, D. Dahl-Jensen
2. 発表標題 Black carbon deposition in Northeast Greenland over the past 350 years
3. 学会等名 第14回極域科学シンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ikumi Oyabu, Kenji Kawamura, Christo Buizert, Frederic Parrenin, Anais Orsi, Kyotato Kitamura, Shuji Aoki, Takakiyo Nakazawa
2. 発表標題 The Dome Fuji ice core DF2021 chronology (0-207 kyr BP)
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ikumi Oyabu, Kenji Kawamura, Christo Buizert, Frederic Parrenin, Ryu Uemura
2. 発表標題 Surface temperature at Dome Fuji during the last interglacial period
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Chandra, N., P. K. Patra, R. Fujita, L. H. Isaksson, T. Umezawa, D. Goto and S. Morimoto
2. 発表標題 Verifying global fugitive fossil fuel CH ₄ emission trends using atmospheric CH ₄ and ¹³ C-CH ₄ observations
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大藪幾美, 川村賢二, 藤田秀二, 東久美子, 平林幹啓, 本山秀明
2. 発表標題 最終氷期の北半球氷床の大規模崩壊に起因する南極の急激な涵養量の増加
3. 学会等名 雪氷研究大会 (2023・郡山)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 日本古生物学会、西 弘嗣	4. 発行年 2023年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 790
3. 書名 古生物学の百科事典	

1. 著者名 北極環境研究コンソーシアム長期構想編集委員会（大藪、阿部、大石、吉森、川村含）	4. 発行年 2024年
2. 出版社 海文堂出版	5. 総ページ数 480
3. 書名 北極域の研究 その現状と将来構想	

〔産業財産権〕

〔その他〕

氷床に刻まれた地球の歴史 -アイスコアの研究- https://www.youtube.com/channel/UCfz85ZltzqD6q9Nk8MpUwQg アイスコアは気候のタイムカプセル 地球が歩んだ100万年の解明を目指して https://doi.org/10.1241/jstnews.2023.2024.1_16

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	川村 賢二 (Kawamura Kenji) (90431478)	国立極地研究所・先端研究推進系・教授 (62611)	

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	青木 周司 (Aoki Shuji) (00183129)	東北大学・理学研究科・学術研究員 (11301)	
研究分担者	森本 真司 (Shinji Morimoto) (30270424)	東北大学・理学研究科・教授 (11301)	
研究分担者	阿部 彩子 (Abe-Ouchi Ayako) (30272537)	東京大学・大気海洋研究所・教授 (12601)	
研究分担者	吉森 正和 (Yoshimori Masakazu) (20466874)	東京大学・大気海洋研究所・准教授 (12601)	
研究分担者	大石 龍太 (O'ishi Ryouta) (90436600)	東京大学・大気海洋研究所・特任研究員 (12601)	

	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
研究協力者	北村 享太郎 (Kitamura Kyotaro)	国立極地研究所 (62611)	
研究協力者	ブルニエ トーマス (Blunier Thomas)	コペンハーゲン大学・Professor	

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
研究協力者	ブイザート クリスト (Buizert Christo)	オレゴン州立大学・Professor	
研究協力者	ブルック エドワード (Brook Edward)	オレゴン州立大学	
研究協力者	パレナ フレデリック (Parrenin Frederic)	フランス環境地球科学研究所	

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			
韓国	ソウル大学			
フランス	環境地球科学研究所			
米国	オレゴン州立大学			
デンマーク	コペンハーゲン大学			