

令和 6 年 5 月 29 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H01966

研究課題名（和文）同位体比を用いた大気中メタンの全球的変動原因の解明

研究課題名（英文）On the causes of global variations of atmospheric methane using carbon and hydrogen isotopes

研究代表者

森本 真司（Morimoto, Shinji）

東北大学・理学研究科・教授

研究者番号：30270424

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）：本研究では、北太平洋域、西太平洋域、南極昭和基地、そして北半球高緯度域で定期的に採取されている大気試料を分析し、大気中のCH₄濃度とCH₄放出源に関する情報を持つCH₄の炭素・水素同位体比の高精度時系列データを得た。広域での観測結果から、CH₄放出源の分布を反映したCH₄濃度・同位体比の緯度・経度方向の変化と季節変化及び経年変化を明らかにした。さらに大気輸送モデルを用いて、観測されたCH₄の炭素・水素同位体比を再現するように従来のCH₄放出量推定値を調整したところ、2013年以降のCH₄濃度増加は微生物起源のCH₄放出量増加が主要因であることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大気中のメタン(CH₄)は二酸化炭素に次いで重要な温室効果気体であり、より確実なCH₄濃度の将来予測を行うためには、その変動メカニズムの解明が急務である。しかしCH₄の生成消滅過程が非常に複雑であることから、大気中のCH₄濃度の変動要因は未だ十分に理解されていない。本研究では、CH₄の炭素・水素同位体比がCH₄放出源カテゴリ（微生物起源、化石燃料起源、および火災起源）ごとに異なる値を示すことに着目し、広域のCH₄濃度及び同位体比の系統的観測を展開することにより、CH₄濃度の変動原因に関する知見を得た点に学術的・社会的意義があるがある。

研究成果の概要（英文）：In this study, we analyzed atmospheric CH₄ mixing ratio and its carbon/hydrogen isotope ratio using air samples regularly collected in the North Pacific, Western Pacific, Syowa Station in Antarctica, and the high latitudes of the Northern Hemisphere. The isotope data contain information about CH₄ sources that contribute to atmospheric CH₄ variations. The observation results over a wide area revealed spatiotemporal variations in the CH₄ mixing ratio and isotope ratios that reflected the distribution and variations of CH₄ sources. Furthermore, by adjusting the conventional CH₄ emission estimates to reproduce the observed carbon-hydrogen isotope ratio of CH₄ using an atmospheric transport model, it was found that the increase in CH₄ mixing ratio since 2013 was primarily due to the increase in CH₄ emission of microbial origin.

研究分野：大気科学

キーワード：メタン 同位体比 温室効果気体 物質循環

1. 研究開始当初の背景

将来の大気中CH₄濃度の精度の良い予測を実現し、それに基づいた適応策を検討するためには、まず現在の大気中のCH₄濃度の変動原因を定量的に明らかにし、さらに近い将来の気候変化に対するCH₄収支の応答に関する知見を得る必要がある。

1980年代から全球で拡充されてきた大気中のCH₄濃度観測によって、CH₄濃度は単調増加ではなく複雑な変動を示すことが明らかになっている。すなわち、1980年代は年率約10 ppbの濃度増加が観測されていたが、その後増加率が徐々に減少し、2000年代前半には濃度増加がほぼ停止した。しかし2006年に再び濃度増加が始まり、2018年には年率約9 ppbで増加している。このような2000年代からのCH₄濃度増加率の変動について、人為起源気体放出量の統計データ解析や、大気中CH₄濃度の逆解析(インバージョン)、陸域生態系モデル、CH₄の地上フラックス観測結果の解析など、様々な手法で原因追及が行われたが、前述の通り放出源が多岐にわたること、CH₄消滅量を直接観測出来ないこと、そして大気中のCH₄濃度観測のみからは放出源変動の原因を特定できないこと、などから、未だ十分な理解には至っていない。そのため、大気中のCH₄濃度の変化傾向を系統的にかつ長期にわたって監視し、その変動原因を明らかにすることは急務である。

2. 研究の目的

CH₄を構成する炭素・水素の安定同位体比($\delta^{13}\text{C}$ 、 δD と表記する)は、CH₄放出源によって特徴的な値を示すことが知られており(図1)同位体比からみるとCH₄放出源を微生物起源(湿地、水田、家畜)、化石燃料起源(石炭、石油、天然ガス)そしてバイオマス燃焼起源の3つのグループに分けられる。そのため、大気中のCH₄濃度と $\delta^{13}\text{C}$ 、 δD を高精度で観測し、大気中のCH₄、¹³CH₄(炭素原子が質量数13の同位体)、CH₃D(水素原子の一つが質量数2の同位体)それぞれの収支式を考えることで、観測されたCH₄濃度変動に対する各放出源グループの寄与を導くことができる。大気中CH₄濃度の観測のみからは、各放出源の寄与を分離して評価できないが、CH₄同位体比の観測から拘束条件を追加することで、CH₄変動への各放出源の寄与に関する情報を引き出すことが可能となる。本研究では、北半球高緯度域、南極昭和基地、そして北太平洋・西太平洋域における系統的なCH₄濃度観測と、CH₄放出源に関する情報を持つ $\delta^{13}\text{C}$ 、 δD の高精度観測を実施・強化し、両極域から赤道域を含む全球の濃度・同位体比精密観測データを取得する。さらに、得られた広域観測データを解析し、それらの動態を明らかにした上で、CH₄濃度の変動原因についての知見を得ることを目的とする。

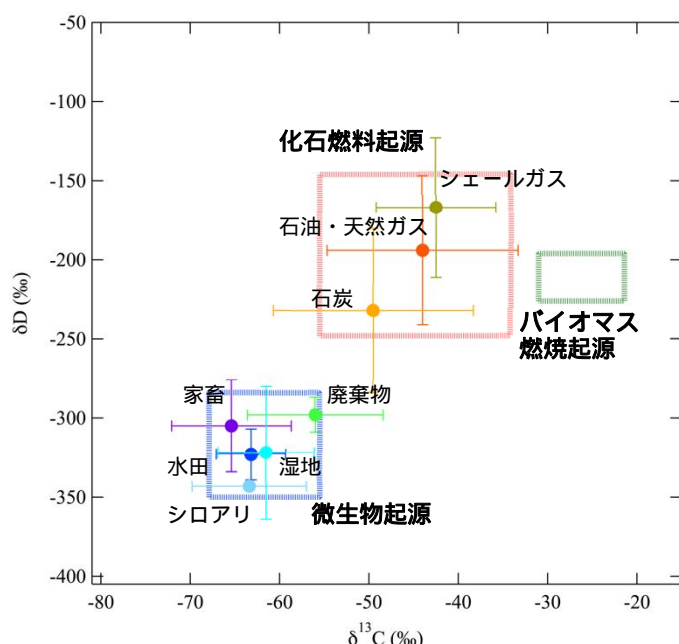


図1 CH₄放出源毎の $\delta^{13}\text{C}$ と δD 。
(Sherwood et al., 2017を改変)

3. 研究の方法

本研究では、まず現有のCH₄炭素・水素同位体比($\delta^{13}\text{C}$ 、 δD)分析システムの高度化を行い、これまで手動で行っていた試料交換や試料容器バルブの開閉、分析開始信号の入力などを自動化することにより、大量の大気試料のCH₄同位体比分析を可能にした。そして、スバルバル諸島ニールスン(北緯79度)、カナダ・ヌナブート州チャーチル(北緯58度)、日本北米及び日本オセアニア間に就航している定期貨物船(北緯45-55度、及び北緯33度-南緯38度)そして南極昭和基地(南緯69度)で系統的に採取された大気試料を分析し、広域の大気中CH₄濃度およびCH₄の $\delta^{13}\text{C}$ 、 δD の時空間変動を明らかにした。さらに、CH₄同位体比を計算可能な3次元大気輸送モデルを用いて、大気中のCH₄濃度と同位体比を再現可能な各放出源セクターのCH₄放出量を推定した。

4. 研究成果

- (1) 北半球では夏季(6月~8月)にCH₄濃度の極小値、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 δD の極大値を、冬季(11月~2月)にCH₄濃度の極大値、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 δD の極小値が観測された。一方南半球のCH₄濃度、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 δD の季節変化は北半球と逆位相であり、南半球の夏季(1月~2月)にCH₄濃度の極小値、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 δD の極大値が、冬季(8月~9月)にはCH₄濃度の極大値と $\delta^{13}\text{C}$ 、 δD の極小値が観測された。CH₄濃度と $\delta^{13}\text{C}$ 、 δD の季節変化に関する解析から、西太平洋域10°N-20°N、25°N-33°N、15°S-25°Sの緯度帯におけるCH₄濃度の季節変化は、OHラジカルとの消滅反応の寄与が大きいことが示された。一方で30°S-38°S及び昭和基地では、OHに加えてCl原子との消滅反応も寄与していることが示唆された。西太平洋域、北太平洋域、スバル諸島、ニューオールスン、および昭和基地におけるCH₄濃度、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 δD 観測値を用いて、全球の大気を90°N-30°N、30°N-EQ、EQ-30°S、30°S-90°Sのよく混合された4つの大気ボックスと見なし(4ボックスモデル)、それぞれのボックスでのCH₄、¹³CH₄およびCH₃Dの収支式を解くことによって、各ボックスにおける放出源と消滅源の寄与を推定した。その結果、北半球(90°N-30°N、30°N-EQ)では夏季の湿地起源CH₄の放出と、同じく夏季に最大になるOHとの反応による消滅の重ねあわせによって季節変化が引き起こされていることが示唆された。南半球(EQ-30°S、30°S-90°S)では南半球夏季にOHによる消滅が最大になる一方で、3-5月に生物活動起源CH₄放出の弱いピークを示すものの、北半球と比較してピークが小さい。このことから、南半球におけるCH₄の季節変化はOHとの反応による消滅量の季節変化がほぼ決定しており、放出源の季節変化の影響はないことが示された。さらに、放出源や消滅源の寄与がほとんど変化しない赤道域においてもCH₄濃度の季節変化が観測された。これは、熱帯収束帯の位置が季節変化するために、季節によって北半球大気または南半球大気が赤道域で観測されるためと考えられる。
- (2) 西太平洋域ではCH₄濃度、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 δD の明瞭な緯度勾配が観測され、CH₄濃度は1年を通して南半球から北半球に向かって高く、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 δD は低くなる。これは、北半球に同位体的に軽いCH₄放出源が多く存在していることを示唆している。また、OHが北半球で極大、南半球で極小になる6~8月にはCH₄濃度、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 δD の緯度勾配が最小になり、OHが北半球で極小、南半球で極大になる12~2月には緯度勾配が最大になる季節変化を示すことが明らかになった。
西太平洋域で観測されたCH₄濃度、 $\delta^{13}\text{C}$ の緯度勾配を、アメリカ大気海洋庁(NOAA/GMD)による太平洋・大西洋中央部や大陸内部など放出源から遠く離れている観測地点(NOAAサイト)での観測値と比較した。南半球の西太平洋域では、CH₄濃度がNOAAサイトよりも高い傾向を示したことから、陸域の放出源の影響を強く受けている可能性が示唆された。また北半球夏季に、西太平洋北半球域はNOAAサイトと比べてCH₄濃度が低く、 $\delta^{13}\text{C}$ は高い傾向を示した。これは西太平洋域でOHラジカルとの消滅反応の影響を強く受けている可能性を示唆している。一方で北半球冬季は西太平洋でNOAAサイトよりもCH₄濃度が高くなる傾向を示した。その要因として、西太平洋域では夏季はよく混合された海洋大気が観測されるが、冬季には西風が卓越するために陸域のCH₄放出源の影響を強く受けた大気を観測していることが考えられる。
本研究で観測されたCH₄濃度の北極から南極までの緯度勾配(南北の濃度差)について考察した。その結果、1990年頃は一時的に南北勾配が小さくなり、2000年代には再び勾配が大きくなる変化を示していた、これは、1990年にはソビエト連邦からの化石燃料放出が減少したこと、2000年代には中国の化石燃料生産が増加したことを反映している可能性がある。
- (3) 西太平洋域、昭和基地、ニューオールスンで観測されたCH₄濃度、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 δD は長期的にみると2006年以降にCH₄濃度の増加傾向、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 δD の減少傾向を示した。また、CH₄濃度の上昇傾向と $\delta^{13}\text{C}$ 減少傾向はNOAAサイトでも観測された。このような長期的なCH₄変動の原因を調べるために、4ボックスモデルおよび1ボックスモデルを用いた解析を行った。OHラジカルとの反応によるCH₄消滅率を固定した場合には、観測値を再現するために2006年以降全ての緯度帯でのCH₄放出量の増加、2007年以降ほとんどの緯度帯で放出源の $\delta^{13}\text{C}$ 、 δD が減少が必要であった。CH₄放出量が増加した際に $\delta^{13}\text{C}$ 、 δD を減少させるのは微生物起源のCH₄放出のみであることから、2006年以降に微生物活動起源のCH₄放出量が増加した可能性が示された。次に、Turner et al. (2017)によって推定されたOH濃度の変動のみで近年のCH₄濃度とCH₄同位体比の変動を説明可能かどうか調べるために、1ボックスモデルを用いた解析を行った。その結果、OH濃度の変動のみでは近年のCH₄同位体比の変動を再現できないことが明らかになった。
- (4) 全球のCH₄総放出量に対する微生物起源、化石燃料起源、バイオマス燃焼起源のCH₄放出量を評価するために、国立環境研究所で開発された3次元大気輸送モデル(NIES-TM)を用いて大気中のCH₄濃度、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 δD のシミュレーションを行った。全球CH₄放出量は、先行研究によるインバージョン解析に基づいて、様々な統計量から推定されたCH₄総放出量先験値を大気中CH₄濃度の観測値に適合するようスケールリングした後、昭和基地で観測された $\delta^{13}\text{C}$ 、 δD の長期トレンドを再現するように調整した。この調整により、先験値と比較して化石燃料起

源およびバイオマス燃焼起源 CH_4 放出量の割合が増加し、生物起源放出量の割合が減少した。その結果、2008年から2017年までの全球 CH_4 総放出量に対する微生物起源、化石燃料起源、バイオマス燃焼起源のそれぞれの寄与は、 $7.5 (\pm 2) \% : 31.6 (\pm 5) \% : 60.9 (\pm 3) \%$ と推定された。各放出源からの CH_4 放出量の変動に関しては、2000年代前半の微生物起源放出量の減少と化石燃料起源放出量の増加が CH_4 増加率停滞の原因であり、2006/2007年以降の微生物起源放出の増加が大気中 CH_4 再増加の原因と推定された。 CH_4 増加率がさらに上昇した2013-2017年の年平均 CH_4 総放出量は、2000-2006年と比較して $42.6 \pm 15.2 \text{ TgCH}_4 \text{ yr}^{-1}$ だけ増加しており、この CH_4 放出の増加量に対して微生物起源が78%、バイオマス燃焼起源が22%を占めた。また、2006年以降の化石燃料起源 CH_4 放出量増加率の推定値は、EDGARv6-7による見積もりが過大評価である可能性を示唆する。

大気中 CH_4 濃度は現在も上昇を続けており、その将来予測や削減策の検討は、最も重要な問題の一つである。そのため、全球スケールで CH_4 濃度、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 δD の同時観測を継続することで、 CH_4 変動の実態を明らかにすることが重要な意義を持つ。特に δD は、熱帯域に限らず全球的に観測例が非常に限られているため、今後 CH_4 の循環を解明するために δD の観測点を増やし、 CH_4 濃度の変動要因推定の不確実性を小さくする必要がある。さらに CH_4 濃度、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 δD は、放出源、消滅源、大気輸送など様々な要因が複雑に重なりあって変動しているため、全球での放出源・消滅源の分布と変動や大気輸送を表現可能な3次元大気輸送モデルを用いた解析が有効である。3次元大気輸送モデルによる CH_4 濃度変動の解析をより信頼度の高いものにするためには、OHの長期トレンドや他の CH_4 消滅源の検討（例えば対流圏CIなど）、さらに放出源の CH_4 同位体比の地理的分布の考慮などが必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Basu, S., X. Lan, E. Dlugokencky, S. Michel, S. Schwietzke, J. B. Miller, L. Bruhwiler, Y. Oh, P. Tans, F. Apadula, L. V. Gatti, A. Jordan, J. Necki, M. Sasakawa, S. Morimoto, T. D. Iorio, H. Lee, J. Arduini, and G. Manca	4. 巻 22
2. 論文標題 Estimating emissions of methane consistent with atmospheric measurements of methane and d13C of methane	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Atmos. Phys. Chem.	6. 最初と最後の頁 15351-15377
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/acp-22-15351-2022	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 Chandra, N., P. K. Patra, J. S. H. Bisht, A. Ito, T. Umezawa, N. Saigusa, S. Morimoto, S. Aoki, G. Janssens-Maenhout, R. Fujita, M. Takigawa, S. Watanabe, N. Saitoh, J. G. Canadell	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 J. Meteorol. Soc. Japan	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) 10.2151/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 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 CH4 emissions for 1995-2013 derived from atmospheric CH4, 13C CH4, and D CH4 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 -
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 Tohjima Yasunori, Zeng Jiye, Shirai Tomoko, Niwa Yosuke, Ishidoya Shigeyuki, Taketani Fumikazu, Sasano Daisuke, Kosugi Naohiro, Kameyama Sohiko, Takashima Hisahiro, Nara Hideki, Morimoto Shinji	4. 巻 27
2. 論文標題 Estimation of CH4 emissions from the East Siberian Arctic Shelf based on atmospheric observations aboard the R/V Mirai during fall cruises from 2012 to 2017	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 100571 ~ 100571
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polar.2020.100571	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 Ward, R. H., C. Sweeney, J. B. Millar, M. Goeckede, T. Laurila, J. Hatakka, V. Ivakov, M. Sasakawa, T. Machida, S. Morimoto, D. Goto, A. L. Ganesan	4. 巻 -
2. 論文標題 Increasing methane emissions and widespread cold-season release from high-Arctic regions detected through atmospheric measurements	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	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) 10.1029/2024JD040766	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12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 森本真司, 保田真人, 藤田遼, 梅澤拓, 青木周司
2. 発表標題 西太平洋域及び極域での大気中CH4濃度とその炭素・水素同位体比の変動
3. 学会等名 日本気象学会秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 尾崎智乙, 森本真司, 藤田遼, Doug Worthy, 梅澤拓, 後藤大輔
2. 発表標題 カナダ・チャーチルにおける大気中メタン濃度とその炭素・水素同位体比の変動
3. 学会等名 大気化学討論会
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 Ozaki, T., S. Morimoto, R. Fujita, T. Umezawa, D. Worthy and D. Goto
2 . 発表標題 Temporal Variations of the Mole Fraction, Carbon, and Hydrogen Isotope Ratios of Atmospheric Methane observed at Churchill, Canada
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 Sperlich, P., G. Brailsford, R. Moss, T. Bromley, S. Gray, R. Martin, S. Bury, J. Brown, H. Moossen, M. Rothe, H. Geilmann, W. Brand, S. Englund-Michel, T. Umezawa, T. Roeckmann, D. Lowry, J. Schmitt, S. Morimoto, T. Arnold, M. Dyonisius, J. R. Clark
2 . 発表標題 Laboratory comparison and progress on the development of community reference gases for carbon and hydrogen isotope ratios in the atmospheric CH ₄
3 . 学会等名 Greenhouse gases measurement and technology (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Yasuda, M., S. Morimoto, S. Aoki, R. Fujita, T. Umezawa
2 . 発表標題 Temporal variations of the mole fraction, carbon and hydrogen isotope ratios of atmospheric methane in the western Pacific region
3 . 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Sekine, H., S. Morimoto, C. Yamada, D. Goto, M. Minami, T. Nakamura, S. Aoki
2 . 発表標題 Variations of atmospheric carbon dioxide and its radioisotope in the Arctic Region.
3 . 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 梅澤拓、寺尾有希夫、遠嶋康徳、丹羽洋介、伊藤昭彦、森本真司、Naveen Chandra、Prabir K. Patra
2. 発表標題 大気中メタン濃度の変動と現代の同位体測定の課題
3. 学会等名 地球化学会第68回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Michel, S., P. Sperlich, H. Moossen, J. R.Clark, K. S. Rozmiarek, M. Rothe, B. Vaughn, G. Brailsford, R. Fisher, E. Nisbet, T. Roeckmann, S. Morimoto, J. Schmitt
2. 発表標題 Atmospheric d13C(CH ₄): An honest assessment from the closed-toed shoes in the lab
3. 学会等名 The Royal Society (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shinji Morimoto, Daisuke Goto, Shohei Murayama, Ryo Fujita, Yasunori Tohjima, Shigeyuki Ishidoya, Toshinobu Machida, Kazuhiro Tsuboi, Yoichi Inai, Prabir Patra, Shamil Maksyutov, Akihiko Ito, Shuji Aoki
2. 発表標題 Studies on variations of atmospheric greenhouse gases in the ArCS project 2015-2019
3. 学会等名 The Eleventh Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Chandra, N., P. K. Patra, R. Fujita, L. H. Isaksson, T. Umezawa, D. Goto, S. Morimoto, B. H. Vaughn, T. Rockmann
2. 発表標題 Refining methane emission trends (1990-2020) through CH ₄ and ¹³ C-CH ₄ observations
3. 学会等名 AGU 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Umezawa, T., Y. Terao, T. Machida, Y. Niwa, T. Saito, T. Sasakawa, Y. Tohjima, H. Matsueda, K. Tsuboi, K. Ishijima, R. Fujita, N. Chandra, P. Patra, S. Aoki, T. Nakazawa, S. Morimoto
2. 発表標題 Growing emissions and Asian monsoon as dominant factor for atmospheric greenhouse gas variations over Asia
3. 学会等名 5th ACAM workshop (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 CH4 emission trends using atmospheric CH4 and 13C-CH4 observations.
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2023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	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	後藤 大輔 (Goto Daisuke) (10626386)	国立極地研究所・先端研究推進系・助教 (62611)	

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			
ニュージーランド	National Inst. Water and Atmosphere			
米国	University of Colorado, Boulder	NOAA		
カナダ	Environment and Climate Change Canada			