

令和 6 年 5 月 20 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H04320

研究課題名（和文）植物起源VOCs発生量の全球高精度推定とその大気化学・気候学的インパクト

研究課題名（英文）High-Precision Estimation of Global Plant-Derived VOCs Emissions and Their Impacts on Atmospheric Chemistry and Climate

研究代表者

須藤 健悟（Sudo, Kengo）

名古屋大学・環境学研究科・教授

研究者番号：40371744

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、まず陸域植生から大気への植物起源有機化合物（BVOC）放出量分布について、地上・衛星観測を最大限に活用して、陸域生態系・微量ガス交換モデル VISITや化学気候モデルCHASERによる計算の全球的な検証をおこなった。この結果、VISIT等のモデルで推定されているエミッション分布・強度を最適化・改良することができた。つぎに、精緻化されたVISIT・CHASER実験により、BVOC、およびこれらの酸化反応で生成されるエアロゾル（植物起源二次有機エアロゾル、BSOA）や大気酸化能力・対流圏オゾンへの影響を通じて大気放射・気候に与える影響を定量化した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題においては、不確定性の高い植物起源有機化合物（BVOC）に着目し、発生量の全球分布から気候影響まで、推定精度の向上に資する研究を一貫して遂行することができた。本成果は、現状でも大きな不確定性が残存するIPCC/CMIP等の気候モデル実験に対して重要なインプットとなり、BVOCの精緻化の重要性を提示することができた。本研究成果を土台に、最新のHCHO衛星観測を用いた逐次的検証を継続し、長期のBVOCs放出変動の推定・再現精度の向上やSOAを中心とした気候影響の評価精度の向上を行っていくことで、地球温暖化のメカニズムの理解および予測精度の向上に貢献する。

研究成果の概要（英文）：In this study, we examined the distribution of plant-derived organic compounds (BVOCs) released from terrestrial vegetation to the atmosphere by making the maximal usage of ground-based and satellite observations. Simulations using the terrestrial ecosystem and trace gas emission model VISIT and the chemical-climate model CHASER were validated globally. As a result, we were able to optimize and improve the emission distribution and intensity as estimated by the VISIT and other general models. In addition, we quantified the effects on atmospheric radiation and climate through BVOCs and aerosols (secondary organic aerosols of plant origin, BSOAs) produced by the oxidation of BVOC, atmospheric oxidation capacity, and tropospheric ozone using the above-optimized VISIT-CHASER experiments.

研究分野：大気化学

キーワード：BVOC 化学気候モデル 陸域生態系モデル イソプレン 大気酸化能

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

BVOCsの特徴と大気化学・気候学的インパクト

陸域生態系・植物から大気に放出される揮発性有機化合物 (BVOCs: Biogenic Volatile Organic Compounds) は、全球総量で年間 1000TgC/yr 以上にも及び、溶剤・塗料など人為起源も含めた全 VOCs 放出量の 90% を占めると推計されている (Guenther et al., 2012)。さらに、この BVOCs の放出量は、陸域生態系が大気から正味で吸収する二酸化炭素量 ~ 2600TgC/yr の約 40% に相当し (IPCC 第 5 次報告書: WG1, 2013)、BVOCs が炭素循環の一端を担っている可能性もある。BVOCs の主要成分はイソプレン (C_5H_8) やモノテルペン類 ($C_{10}H_{16}$) などであるが、その内訳はよくわかっていない。イソプレンやモノテルペン類は、化学反応性が非常に高く、大気中のオゾン (O_3)、水酸基ラジカル (OH)、および NO_3 との反応により、一般的に数分~数時間のオーダーで素早く酸化・分解される (Lelieveld et al., 2008)。このような酸化・分解反応からは、ホルムアルデヒド ($HCHO$) やグリオキサール ($CHOCHO$) などのアルデヒド類や過酸化ラジカル (RO_2) が生成され、これらは対流圏大気中におけるオゾンや OH ラジカルの生成に深く関与している (Trainer et al., 1987)。さらに、BVOCs の酸化からは揮発性の低い化合物も生成され、これらの粒子化によって二次有機エアロゾル (SOA: Secondary Organic Aerosol) を形成することが知られており (Claeys et al., 2004)、半球~全球規模でエアロゾル量への寄与が高いことも指摘されている (Jimenez et al., 2009)。対流圏のオゾンは強力な温室効果気体であり気候への影響が大きい一方、地表付近では光化学オキシダントとして人体や植生・農作物にダメージを与える。二次有機エアロゾル (SOA) も、太陽光の散乱・反射を通じ、また雲凝結核として雲の生成・動態を変化させることで気候に大きく影響する可能性がある。さらに、対流圏中の OH ラジカルは大気酸化能力 (自浄作用) を担う重要物質であり、大気中のメタン (CH_4)、VOCs、 CO 、 NO_x 、 SO_2 など、様々な物質の濃度変動を支配している。このため、BVOCs の放出およびその変動は、大気環境や気候の変動にとって極めて重要な意味を持つと考えられ、BVOCs の発生量や大気中での動態をできるだけ正確に把握することが求められている。

2. 研究の目的

本研究では、まず、陸域植生から大気への BVOCs 放出量の時空間分布を全球規模で高精度推定する。その上で、過去~現在~将来の BVOCs 全球変動の再現・予測を行うことで、気候や大気環境における BVOCs の役割を定量的観点から見直し、気候変動・大気環境変動の定量的理解や予測精度の向上に繋げる。まず、研究代表者 (須藤) と分担者 (伊藤) がそれぞれ独自に開発を行ってきた大気化学・気候モデル CHASER (MIROC-ESM) および陸域生態系微量ガス交換モデル VISIT を軸として、地上 BVOCs フラックス・濃度観測データに加え、ホルムアルデヒド ($HCHO$) 等の BVOCs 酸化の中間生成物の衛星・地上リモートセンシング観測、および CHASER による大気化学データ同化システム (TCR) など、本研究の分担者・協力者 (入江、宮崎) がそれぞれリードしてきた手法・観測をフルに活用し、現状の BVOCs 放出量のモデル推定を最大限に高精度化 (最適化) する。その後、最適化された VISIT モデルにより過去~現在~将来の全球 BVOCs 放出変動計算を実施し、CHASER モデルによる大気化学気候シミュレーションとリンクさせることで、BVOCs 変動が大気環境・気候に与える影響について定量化・評価を行う。

3. 研究の方法

[地上・衛星観測による検証]: まず、世界各地で観測・報告されているイソプレン、モノテルペン類などの BVOCs のフラックス・濃度のデータを収集・活用し、VISIT で計算される BVOCs 放出量、およびこの放出量を入力して CHASER で計算される BVOCs 濃度を検証し、領域ごとに傾向を整理する。また、研究協力者 (谷) の展開している BVOCs フラックス観測の知見からも、VISIT 計算の修正・改良を試みる。次に、VISIT の BVOCs 放出量を入力しながら CHASER で BVOCs の酸化計算を行い、中間生成物であるホルムアルデヒド ($HCHO$) の全球分布を衛星観測 (OMI、TROPOMI) データと比較することで、BVOCs の放出量分布を領域ごとに検証する。また、 $HCHO$ 衛星観測については、分担者 (入江) が展開している地上 MAX-DOAS 観測も併せ、多重的にモデル検証を行う。

[BVOCs 放出量推定の最適化]: 上の検証情報を総合的に整理し、VISIT における、放出量計算方法や放出係数の調整・修正を行う。修正された VISIT の BVOCs 放出量について、およびの再検証を行い、このプロセスの繰り返しにより VISIT の最適化を行う。

[大気環境・気候へのインパクトの評価]: ~ で最適化された BVOCs 放出量およびその変動の推定を CHASER による過去~現在~将来の大気化学・エアロゾル・気候の再現・予測実験に導入し、大気環境や気候の変動における、BVOCs 変動の役割・インパクトを評価する。

4. 研究成果

4.1 VISIT モデルによる BVOCs 推定の最適化

まず直接地上タワー観測により、モデル中のイソプレン濃度の検証を行い、VISIT モデルの修正・最適化を試みた。熱帯地域の BVOCs 排出量は全球の約半分を占める可能性があり (Guenther et al., 2006)、BVOCs 排出量の地上観測データは主にアマゾンやアフリカに集中している。本研究では、熱帯域観測データに加え、ヨーロッパ、北米、および東南アジア (Langford et al., 2010)における観測データを併せ、可能な限り全球規模で BVOCs のエミッション推定の検証を行った。熱帯域は南米 (アマゾン)、東南アジア (マレーシア)、アフリカ、温帯域はヨーロッパ、北米 (アメリカ) として、5 地域の地上観測データとして整理し、現状モデルの計算結果を検証した。

まず、熱帯域・温帯域に分けて、検証したところ、モデルは熱帯域で過大評価の傾向を示しているが、温帯域では逆に顕著な過小評価となっていることがわかった。より細かい領域ごとの解析結果では、マレーシア領域でモデルは観測に比べ約 10 倍の過大評価、アマゾン領域・アフリカ領域では約 2 倍の過大評価を示している一方で、ヨーロッパ領域では約 9 倍の過小評価、北米領域では約 13 倍の過小評価となっている実態が明らかとなった。これにより、現状の VISIT によるイソプレンエミッション推定値に対する最適化ファクター (F1) はマレーシア域 ~0.1、アマゾン・アフリカ域 ~0.5、ヨーロッパ域 ~9、北米域 ~13 となった (図 1)。しかしながら、北米、ヨーロッパについては、このファクターを用いた場合、ホルムアルデヒドの衛星観測を顕著に過大評価することが判明した。温帯域 (ヨーロッパ、北米) の観測データ数が少なく、植生分布等の不確定性も大きいため、温帯域の修正ファクターは過大評価されている可能性が高い。このため、温帯域の修正ファクターを下方修正し、2~3 とし、最終的な修正ファクター (F2) は、マレーシア域 ~0.1、アマゾン・アフリカ域 ~0.5、ヨーロッパ域 ~3、北米域 ~2 とした。ヨーロッパ域については、イソプレンの放出速度 (flux) との測定値 (Davison et al., 2009; Laffineur et al., 2011) と比較しても、ファクターで 3 以上の過小評価であることが確認されたため、上述の F2 のファクターによる修正は妥当であると考えられる。

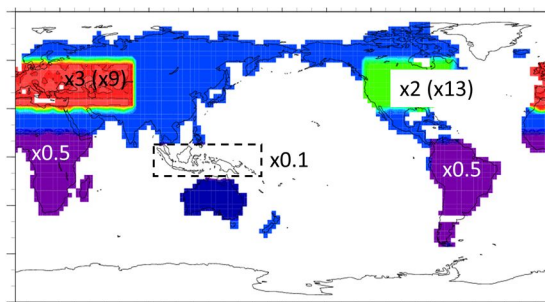


図 1. VISIT によるイソプレン放出量推定に対する地域ごとの修正・最適化ファクター。かっこ内は、衛星観測データによる比較を反映した値 (F2)。

4.2 衛星観測による多重検証

上述の修正ファクターにより最適化された VISIT エミッションデータを CHASER モデルへ入力し、その妥当性を HCHO 衛星観測データにより検証した。まず、CHASER および VISIT による標準計算による HCHO を OMI 衛星観測と比較したところ、BVOCs の寄与が及ばないと考えられる太平洋中央域において、顕著な過大評価が露呈した。このため、CHASER のイソプレン酸化反応からの HCHO の収率 (正しくは、イソプレン酸化で生成される RO₂ 種の収率) を 50% に低減させ、この設定の実験を標準とした。図 2a-c は、CHASER 計算において VISIT の標準計算データ、および上述の修正ファクター (F2) を適用したデータをそれぞれ使用した実験と、OMI 衛星観測との比較を示す。まず、VISIT 標準データを用いた実験結果と OMI の衛星観測を比較すると、太平洋上などリモート域では一定程度の整合性がみられるものの、南米・アフリカ・東南アジアなどの BVOC の主要ソース域においては顕著な過大評価となっていることがわかる。これに対し、VISIT に修正ファクターを適用したデータを用いた実験結果では、上述の領域を含め全球的な整合性が確認できる。さらに、東南アジア・タイにおける MAX-DOAS 観測データとの比較においても、修正ファクター込みの CHASER 計算結果の高い再現性がみられる。

4.3 BVOC がおよぼす気候影響の評価

図 3 は、上述のスキームで計算された SOA による各種放射パラメータを示す。光学的厚さ (AOD) については、中央アフリカ、南米、北米、東南アジアなど、イソプレン放出が特に大きい領域で大きな値 (>0.2) が確認できる。放射強制力も同様であり、上記領域では、雲プロセスによる SOA 生成の寄与も大きいことがわかる。

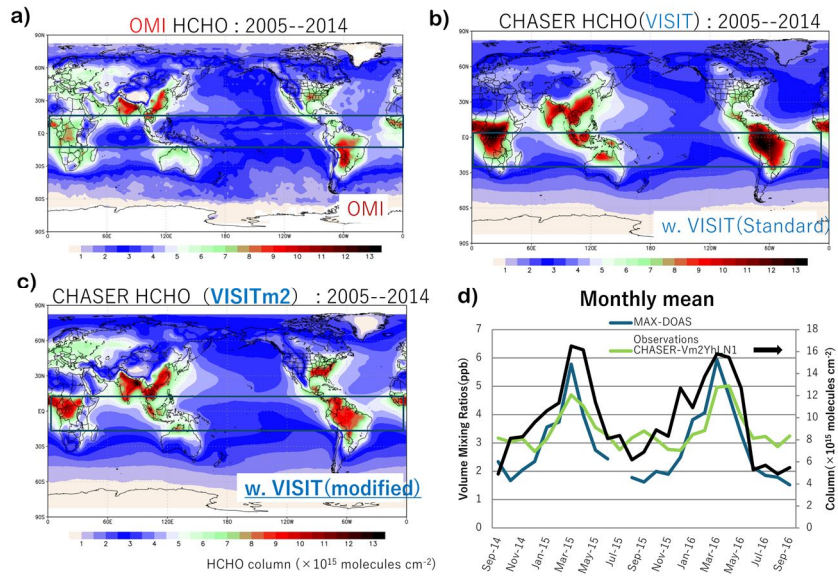


図2. CHASER-VISIT により計算された HCHO 分布の観測 (衛星 OMI、地上 MAX-DOAS)、a) OMI 衛星観測によるカラム積算濃度、b) VISIT 標準データによる CHASER 計算、c) 修正ファクター(F2)により最適化された VISIT データによる CHASER 計算、d) タイ・ビマイにおける地上 MAX-DOAS 観測データと CHASER 計算の比較。

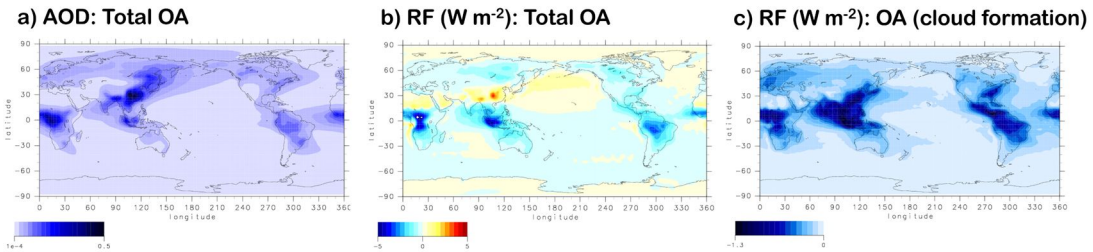


図3. CHASER-VISIT により計算された植物起源有機炭素 (BOA) の a) 光学的厚さ、b) 放射強制力、および c) 放射強制力のうち、放射雲中の酸化過程により生成された BOA の寄与分。

4.4 BVOC 変動による大気化学的影響の評価

VISIT による過去の再現実験では、イソプレン放出量の全球的な増加傾向が計算されている。これは、主に 20 世紀中の CO_2 濃度上昇により葉量 (バイオマス) の増加を反映したものであり、IPCC/CMIP6 の他の地球システムモデルでの計算も概ね同様の傾向を示すことがわかっている。とくに、20 世紀後半～2000 年以降の増加が顕著であり、1950～2012 年で、全球のイソプレン放出量は、400 から 500 Tg yr^{-1} 以上に増加している。このようなイソプレン増加に対する大気化学的影響を評価したところ、まず地表オゾンに対する影響が顕著であることがわかった。また、窒素酸化物 (NO_x) が多く存在する汚染域 (北米やユーラシア大陸) では、3ppbv 以上の地表オゾン増加となる一方、 NO_x 量に乏しい熱帯雨林域では、逆にオゾン減少となった。これは、 NO_x が存在する汚染域では、イソプレン酸化から生成される RO_2 ラジカルが NO_x によるオゾン生成反応を促進する一方、 NO_x が少ない清浄域では、イソプレン自体がオゾンと反応することによりオゾン破壊を引き起こすためである。また同様に、イソプレン増加は、地表での SOA 生成を強化し、夏季 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度の上昇にもつながる可能性も示唆された。さらに、大気酸化能力を担う OH ラジカルについては、低緯度域を中心に、イソプレン増加が OH 消費を促進するため、OH 減少が確認された。イソプレン酸化による RO_2 ラジカルは NO_x と結合し PAN などの硝酸塩の形で長距離に輸送され、遠隔地に NO_x を供給する役割があるため、高緯度域では、イソプレン増加に伴い NO_x 濃度上昇による OH 増加となった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計6件) すべて査読有

1. Ha, P. T. M., Kanaya, Y., Taketani, F., Hernández, M. D. A., Schreiner, B., Pfeilsticker, K., and Sudo, K.: Implementation of HONO into the chemistry-climate model CHASER (V4.0): roles in tropospheric chemistry, *Geosci Model Dev*, 16, 927-960, 10.5194/gmd-16-927-2023, 2023.
2. He, Y. F., and Sudo, K.: Historical (1960-2014) lightning and LNO trends and their controlling factors in a chemistry-climate model, *Atmos Chem Phys*, 23, 13061-13085, 10.5194/acp-23-13061-2023, 2023.
3. Hoque, H. M. S., Sudo, K., Irie, H., Damiani, A., Naja, M., and Fatmi, A.: Multi-axis differential optical absorption spectroscopy (MAX-DOAS) observations of formaldehyde and nitrogen dioxide at three sites in Asia and comparison with the global chemistry transport model CHASER, *Atmos Chem Phys*, 22, 12559-12589, 10.5194/acp-22-12559-2022, 2022.
4. Irie, H., Yonekawa, D., Damiani, A., Hoque, H. M. S., Sudo, K., and Itahashi, S.: Continuous multi-component MAX-DOAS observations for the planetary boundary layer ozone variation analysis at Chiba and Tsukuba, Japan, from 2013 to 2019, *Prog Earth Planet Sc*, 8, ARTN 31, 10.1186/s40645-021-00424-9, 2021.
5. Miyazaki, K., Bowman, K., Sekiya, T., Takigawa, M., Neu, J. L., Sudo, K., Osterman, G., and Eskes, H.: Global tropospheric ozone responses to reduced NO emissions linked to the COVID-19 worldwide lockdowns, *Sci Adv*, 7, ARTN eabf7460, 10.1126/sciadv.abf7460, 2021.
6. Satake, A., Hagiwara, T., Nagano, A. J., Yamaguchi, N., Sekimoto, K., Shiojiri, K., and Sudo, K.: Plant Molecular Phenology and Climate Feedbacks Mediated by BVOCs, *Annu Rev Plant Biol*, 10.1146/annurev-arplant-060223-032108, 2024.

[学会発表] (計4件)

1. 須藤健悟, Wang Jinling, Impacts of the Chinese SLCFs emission changes during 2010s on East Asian and global climate, JpGU 2023 annual meeting, 2023.
2. 関谷高志 羽島知洋 須藤健悟 金谷有剛 河宮未知夫, Potential impacts of climate-biogeochemical feedback on future methane projection, 第28回大気化学討論会, 2023.
3. 須藤健悟, 伊藤昭彦, 中田裕太, 2000-2020年のメタン変動要因の推定: CHASER/VISITによる全球シミュレーション, JpGU annua meeting 2022, 2022.
4. Hoque, H. M. S., K. Sudo, H. Irie, and T. Sekiya, Evaluation of the global chemistry transport model CHASER utilizing TROPOMI formaldehyde measurements, 日本地球惑星科学連合大会, 2021.

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 入江 仁士

ローマ字氏名: IRIE Hitoshi

所属研究機関名: 千葉大学

部局名: 環境リモートセンシング研究センター

職名: 教授

研究者番号(8桁): 40392956

研究分担者氏名: 伊藤 昭彦

ローマ字氏名: ITO Akihiko

所属研究機関名: 東京大学

部局名: 大学院農学生命科学研究科(農学部)

職名: 教授

研究者番号(8桁): 70344273

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 宮崎 和幸 ローマ字氏名: MIYAZAKI, Kazuyuki

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 15件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Anita Wahida Musarrat, Uttajug Athicha, Seposo Xerxes Tesoro, Sudo Kengo, Nakata Makiko, Takemura Toshihiko, Takano Hirohisa, Fujiwara Taku, Ueda Kayo	4. 巻 248
2. 論文標題 Interplay of Climate Change and Air Pollution- Projection of the under-5 mortality attributable to ambient particulate matter (PM2.5) in South Asia	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Environmental Research	6. 最初と最後の頁 118292 ~ 118292
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.envres.2024.118292	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 Ha Phuc Thi Minh, Kanaya Yugo, Taketani Fumikazu, Andr?s Hern?ndez Maria Dolores, Schreiner Benjamin, Pfeilsticker Klaus, Sudo Kengo	4. 巻 16
2. 論文標題 Implementation of HONO into the chemistry?climate model CHASER (V4.0): roles in tropospheric chemistry	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Geoscientific Model Development	6. 最初と最後の頁 927 ~ 960
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/gmd-16-927-2023	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 He Yanfeng, Sudo Kengo	4. 巻 23
2. 論文標題 Historical (1960?2014) lightning and LNO_x trends and their controlling factors in a chemistry?climate model	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 13061 ~ 13085
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/acp-23-13061-2023	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 -
1. 著者名 Satake Akiko, Hagiwara Tomika, Nagano Atsushi J., Yamaguchi Nobutoshi, Sekimoto Kanako, Shiojiri Kaori, Sudo Kengo	4. 巻 75
2. 論文標題 Plant Molecular Phenology and Climate Feedbacks Mediated by BVOCs	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Annual Review of Plant Biology	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) 10.1146/annurev-arplant-060223-032108	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 Sekiya Takashi, Miyazaki Kazuyuki, Eskes Henk, Bowman Kevin, Sudo Kengo, Kanaya Yugo, Takigawa Masayuki	4. 巻 9
2. 論文標題 The worldwide COVID-19 lockdown impacts on global secondary inorganic aerosols and radiative budget	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Science Advances	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) 10.1126/sciadv.adh2688	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 Ha Phuc Thi Minh, Kanaya Yugo, Taketani Fumikazu, Maria Dolores Andres Hernandez,, Schreiner Benjamin, Pfeilsticker Klaus, Sudo Kengo	4. 巻 16
2. 論文標題 Implementation of HONO into the chemistry-climate model CHASER (V4.0): roles in tropospheric chemistry	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Geoscientific Model Development	6. 最初と最後の頁 927 ~ 960
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/gmd-16-927-2023	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 Hoque Hossain Mohammed Syedul, Sudo Kengo, Irie Hitoshi, Damiani Alessandro, Naja Manish, Fatmi Al Mashroor	4. 巻 22
2. 論文標題 Multi-axis differential optical absorption spectroscopy (MAX-DOAS) observations of formaldehyde and nitrogen dioxide at three sites in Asia and comparison with the global chemistry transport model CHASER	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 12559 ~ 12589
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/acp-22-12559-2022	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 He Yanfeng, Hoque Hossain Mohammed Syedul, Sudo Kengo	4. 巻 15
2. 論文標題 Introducing new lightning schemes into the CHASER (MIROC) chemistry-climate model	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geoscientific Model Development	6. 最初と最後の頁 5627 ~ 5650
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/gmd-15-5627-2022	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 Sekiya Takashi, Miyazaki Kazuyuki, Eskes Henk, Sudo Kengo, Takigawa Masayuki, Kanaya Yugo	4. 巻 15
2. 論文標題 A comparison of the impact of TROPOMI and OMI tropospheric NO2 on global chemical data assimilation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Atmospheric Measurement Techniques	6. 最初と最後の頁 1703 ~ 1728
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/amt-15-1703-2022	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 Irie Hitoshi, Yonekawa Daichi, Damiani Alessandro, Hoque Hossain Mohammed Syedul, Sudo Kengo, Itahashi Syuichi	4. 巻 8
2. 論文標題 Continuous multi-component MAX-DOAS observations for the planetary boundary layer ozone variation analysis at Chiba and Tsukuba, Japan, from 2013 to 2019	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 1~14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-021-00424-9	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 Miyazaki Kazuyuki, Bowman Kevin, Sekiya Takashi, Takigawa Masayuki, Neu Jessica L., Sudo Kengo, Osterman Greg, Eskes Henk	4. 巻 7
2. 論文標題 Global tropospheric ozone responses to reduced NOx emissions linked to the COVID-19 worldwide lockdowns	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 3813~3841
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abf7460	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 Ha Phuc T. M., Matsuda Ryoki, Kanaya Yugo, Taketani Fumikazu, Sudo Kengo	4. 巻 14
2. 論文標題 Effects of heterogeneous reactions on tropospheric chemistry: a global simulation with the chemistry?climate model CHASER V4.0	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geoscientific Model Development	6. 最初と最後の頁 3813 ~ 3841
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/gmd-14-3813-2021	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 Zhao Na, Dong Xinyi, Huang Kan, Fu Joshua S., Lund Marianne Tronstad, Sudo Kengo, Henze Daven, Kucsera Tom, Lam Yun Fat, Chin Mian, Tilmes Simone	4. 巻 21
2. 論文標題 Responses of Arctic black carbon and surface temperature to multi-region emission reductions: a Hemispheric Transport of Air Pollution Phase 2 (HTAP2) ensemble modeling study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 8637 ~ 8654
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/acp-21-8637-2021	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 DeLang Marissa N., Becker Jacob S., Chang Kai-Lan, Serre Marc L., Cooper Owen R., Schultz Martin G., K. Sudo, et al.	4. 巻 55
2. 論文標題 Mapping Yearly Fine Resolution Global Surface Ozone through the Bayesian Maximum Entropy Data Fusion of Observations and Model Output for 1990?2017	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Environmental Science & Technology	6. 最初と最後の頁 4389 ~ 4398
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.est.0c07742	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 Zhang Yuqiang, West J. Jason, Emmons Louisa K., Flemming Johannes, Jonson Jan Eiof, Lund Marianne T., Sekiya Takashi, Sudo Kengo, Gaudel Audrey, Chang Kai Lan, N?d?lec Philippe, Thouret Val?rie	4. 巻 48
2. 論文標題 Contributions of World Regions to the Global Tropospheric Ozone Burden Change From 1980 to 2010	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	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) 10.1029/2020GL089184	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 Sekiya Takashi, Kanaya Yugo, Sudo Kengo, Taketani Fumikazu, Iwamoto Yoko, Aita Maki N., Yamamoto Akitomo, Kawamoto Katsuhiro	4. 巻 16
2. 論文標題 Global Bromine- and Iodine-Mediated Tropospheric Ozone Loss Estimated Using the CHASER Chemical Transport Model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 SOLA	6. 最初と最後の頁 220 ~ 227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/sola.2020-037	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 Miyazaki Kazuyuki, Bowman Kevin, Sekiya Takashi, Eskes Henk, Boersma Folkert, Worden Helen, Livesey Nathaniel, Payne Vivienne H., Sudo Kengo, Kanaya Yugo, Takigawa Masayuki, Ogochi Koji	4. 巻 12
2. 論文標題 Updated tropospheric chemistry reanalysis and emission estimates, TCR-2, for 2005?2018	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Earth System Science Data	6. 最初と最後の頁 2223 ~ 2259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/essd-12-2223-2020	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 Nakajima Teruyuki, Ohara Toshimasa, Masui Toshihiko, Takemura Toshihiko, Yoshimura Kei, Goto Daisuke, Hanaoka Tatsuya, Itahashi Syuichi, Kurata Gakuji, Kurokawa Jun-ichi, Maki Takashi, Masutomi Yuji, Nakata Makiko, Seposo Xerxes, Sudo Kengo, et al.,	4. 巻 7
2. 論文標題 A development of reduction scenarios of the short-lived climate pollutants (SLCPs) for mitigating global warming and environmental problems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 1~24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-020-00351-1	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 Amos Matt, Young Paul J., Hosking J. Scott, Lamarque Jean-Fran?ois, Abraham N. Luke, Akiyoshi Hideharu, Archibald Alexander T., Bekki Slimane, Deushi Makoto, J?ckel Patrick, Kinnison Douglas, Kirner Ole, Kunze Markus, Marchand Marion, Plummer David A., Saint-Martin David, Sudo Kengo, Tilmes Simone, Yamashita Yousuke	4. 巻 20
2. 論文標題 Projecting ozone hole recovery using an ensemble of chemistry?climate models weighted by model performance and independence	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 9961 ~ 9977
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/acp-20-9961-2020	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 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Sudo Kengo
2. 発表標題 Global simulation of SO2 and sulfate aerosol from the Hunga-Tonga eruption: Potential impacts on atmospheric chemistry and climate
3. 学会等名 JpGU 2022 annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 須藤健悟、伊藤昭彦、中田裕太
2. 発表標題 2000-2020年のメタン変動要因の推定：CHASER/VISITによる全球シミュレーション
3. 学会等名 JpGU 2022 annual meeting
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鎌田友美、須藤健悟
2. 発表標題 台風が大気微量成分の分布に及ぼす影響
3. 学会等名 日本気象学会2022年度秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 4) 水野光一郎、須藤健悟
2. 発表標題 代替フロン (HFC-134a・HFC-152a) の全球分布と経年変動：化学気候モデルによる評価
3. 学会等名 日本気象学会2022年度秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sudo, K., Ha T. M. P., Lola Andrs Hernndez, Schreiner Benjamin
2. 発表標題 Simulating HONO chemistry in a chemistry climate/transport model CHASER (MIROC)
3. 学会等名 EMeRGe zoom Workshop TEAM-5
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sudo K., H. Shiratsuchi, T. Onishi, S. Iizuka,
2. 発表標題 Can a global chemistry climate model reproduce interannual variabilities and trends of depositions of sulfate, nitrate, and ammonium preserved in the Southeastern Greenland Dome ice core?
3. 学会等名 the 16th IGAC Conference, Atmospheric Chemistry at a Distance: Real Progress through Virtual Interaction,
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sudo K., R. Matsuda
2. 発表標題 A Modeling Study on the Roles of Cloud Distribution in Global Ozone Chemistry
3. 学会等名 Quadrennial Ozone Symposium 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 He, Y., K. Sudo, H.M.S. Hoque
2. 発表標題 Introducing New Lightning Schemes To A Chemistry Climate Model CHASER (MIROC)
3. 学会等名 Ozone Chemistry, Quadrennial Ozone Symposium 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hoque, H. M. S., K. Sudo, H. Irie, and T. Sekiya
2. 発表標題 Evaluation of the global chemistry transport model CHASER utilizing TROPOMI formaldehyde measurements
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 何彦峰, 須藤健悟
2. 発表標題 Introducing new lightning schemes to a chemistry climate model CHASER (MIROC)
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 Nakata, Y., A. Ito, K. Sudo
2. 発表標題 Global simulation of atmospheric methane by coupling the terrestrial ecosystem model VISIT and the global chemistry model CHASER
3. 学会等名 iLEAPS-Japan 研究集会2021「大気 - 陸域プロセス研究の進展：観測とモデルによる統合的理解」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 須藤 健悟, 白土 日那子, 大西 貴都, 飯塚 芳徳
2. 発表標題 北極域における無機イオン沈着の経年変動：化学気候モデル実験とグリーンランドSE-Dome氷床コアデータの比較
3. 学会等名 第25回大気化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松田 涼樹, 須藤 健悟
2. 発表標題 CHASER(MIROC-ESM)における雲の対流圏光化学場への影響
3. 学会等名 第25回大気化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sudo Kengo, Hinako Shiratsuti, Yoshinori Iizuka
2. 発表標題 Can a global chemistry climate model reproduce interannual variabilities and trends of depositions of sulfate, nitrate, and ammonium preserved in the Southeastern Greenland Dome 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 Matsuda Ryoki, Kengo Sudo
2. 発表標題 A modeling study on the roles of cloud distribution in global tropospheric chemistry: detailed evaluation of clouds in a chemistry climate model (MIROC-CHASER)
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020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	入江 仁士 (Irie Hitoshi) (40392956)	千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・教授 (12501)	
研究分担者	伊藤 昭彦 (Ito Akihiko) (70344273)	東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・教授 (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	宮崎 和幸 (Miyazaki Kazuyuki)		

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