

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 9 月 12 日現在

機関番号：82101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H01977

研究課題名（和文）高解像度モデルによる水蒸気とオゾン層破壊物質の下部成層圏への輸送プロセスの解明

研究課題名（英文）A study of transport processes of water vapor and ozone depleting substances to the lower stratosphere by high-resolution models

研究代表者

秋吉 英治（Akiyoshi, Hideharu）

国立研究開発法人国立環境研究所・地球システム領域・シニア研究員

研究者番号：80211697

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）：成層圏の水蒸気量・オゾン量の季節変動や、数十年にわたる長期変動を再現しその要因を明らかにするため、高解像度化学気候モデルの開発を行った。化学気候モデルはオゾン層の将来予測モデルという使命もあるため、その高解像度化に関しては、オゾン分布が観測値から大きく外れてしまわないよう、最新の注意を払ってモデルの開発を行った。MIROCやNICAMをベースにした化学気候モデルを高解像度化することによって、従来の低解像度モデルで問題であった下部成層圏、特に亜熱帯ジェット付近の水蒸気量の過多が解消した。化学気候モデルを高解像度化することによって、より信頼性のある気候予測が可能であることが本研究からも確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

成層圏の水蒸気量やオゾン量は気候に影響を及ぼすことが知られており、特に下部成層圏における影響は大きい。しかしながら低空間解像度のモデルでは下部成層圏で水蒸気の過多バイアスが報告されている。本研究では、力学の基本設計が異なる2種の大気大循環モデル（MIROC、NICAM）をベースにした高解像度の化学気候モデルを開発し、このバイアスを解消し、大気微量成分変動と連動したより正確な気候変動を再現する礎を築くことができた。また、ベースモデルの違いによるバイアスの違いも見出し、パラメタリゼーションの違いの影響を示唆した。モデルのさらなる高解像度化が容易なNICAM化学気候モデルを開発できた意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：We developed a high-resolution chemical climate model to reproduce seasonal and long-term variations over several decades in the amount of ozone and water vapor in the stratosphere and to clarify the causes. The chemical climate model also has the mission of being a model for predicting the future of the ozone layer, so when developing the model, we paid close attention to its high resolution so that the ozone distribution would not deviate significantly from observed values. By increasing the resolution of chemical climate models based on MIROC and NICAM, the problem of excessive water vapor in the lower stratosphere, especially near the subtropical jet, which was a problem with conventional low-resolution models, was resolved. This study confirmed that more reliable climate predictions are possible by increasing the resolution of chemical climate models.

研究分野：大気物理学

キーワード：化学気候モデル 高解像度モデル MIROC6 NICAM オゾン オゾン層破壊物質 水蒸気 成層圏対流圏交換

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

成層圏の水蒸気量は、対流圏の水蒸気量に比べると極端に少ない(地表付近では約 10000 ppmv、対流圏中部の高度 5km 付近で約 1000 ppmv、成層圏内では 3~5 ppmv)。しかしながら成層圏の水蒸気は、その赤外放射によって成層圏のみならず地表気温の長期トレンドにも影響する(Solomon et al., 2010, *Science*)。また、極域の冬季下部成層圏では、極成層圏雲(PSC)を生成してオゾンホールに見られるような極端なオゾン層破壊を起こす。さらに、オゾンホールが生成されることによって南極渦が強化され、その影響が対流圏にも及び(Son et al., 2008, *Science*)。

成層圏の水蒸気量とその変動に関しては、Brewer(1949, *Q. J. R. Met. Soc.*)による説明、すなわち、対流圏から成層圏へ最も空気が侵入しやすい熱帯の上昇流域における低い気温(圏界面付近の気温)によって、対流圏から成層圏へ輸送される空気中に含まれる大量の水蒸気が除去され、その結果乾燥した空気が成層圏内へ運ばれて成層圏では水蒸気量が非常に少なくなっているという説明が一般的に受け入れられている。Mote et al.(1996, *J. Geophys. Res.*)が衛星観測データによって示した熱帯成層圏の水蒸気量の時間-高度断面は、熱帯圏界面の気温が最も低くなる北半球の冬に成層圏の水蒸気量が少なくなり、その少ない水蒸気量が上部成層圏へ伝搬してゆく様子が見事に捉えられており、Brewerによる説明を立証している。

しかしながら、中・高緯度域の水蒸気量は必ずしも熱帯圏界面の気温のみで説明できるものではなく、例えば、Rosenlof et al.(2001, *Geophys. Res. Lett.*)は、北半球中緯度の成層圏(高度 20 hPa)の水蒸気量の 1954~2000年の期間の増加傾向を示したが、その後成層圏の水蒸気量は急減し、大きな年々変動を示しながら現在まであまり長期的な傾向が見られない様相を示している(WMO 2018、図1参照)。水蒸気はメタンの酸化によっても生成され、成層圏の水蒸気量はその影響を受ける。また、積雲対流のオーバーシュートリングの影響(Ueyama et al., 2014, *J. Geophys. Res.*)、エルニーニョ・ラニーニャによる海面水温の影響(Garfinkel et al., 2018, *Atmos. Chem. Phys.*)、モンスーン域からの流入の影響(Randel et al., 2015, *J. Geophys. Res. Atmos.*)も受ける。空間スケールが数千 km~数 km くらいまでのものまで様々なスケールの減少の影響を受けていると考えられる。

このような複雑なプロセスが絡んだ成層圏の水蒸気量の変動をグローバルモデルで再現し、定量的に理解することは現状では困難である。理由の一つとしては、グローバルモデルの空間分解能の制約から大部分のモデルで積雲対流のパラメタリゼーションが使われており、それが海面温度の変化や対流圏の気温の変化に対して、成層圏への物質輸送を正しく表現しているかどうかは不明だからである。また、圏界面付近の大気鉛直方向の微細な構造が従来のモデルでは十分に再現されていないことも考えられる。

同様な問題は、オゾン層破壊物質、とりわけ成層圏の反応性臭素量(Bry)についてもあてはまる。現在の下部成層圏のBry量は、既知の地表からのBry放出源(ハロン類や臭化メチル等)となる物質の濃度を足し上げた量より約 5pptv ほど多くなっている(WMO 2018)。その理由として、Very Short-Lived Substances (VSLs, CH₂Br₂, CHBr₃等、モントリオール議定書で規制されていない物質)による寄与が考えられている。近年、このような物質の成層圏への輸送過程の理解が進んでいる。SGI(Source Gas Injection)として直接成層圏へ入ってくるものと、放出後、海塩粒子、雲粒、氷晶などによる不均一反応を受けてPGI(Product Gas Injection)として成層圏へ入ってくるものがあることがわかってきた。このプロセスの定量化と理解は、観測(ATTREX, CONTRASTなど)と中解像度モデル(水平解像度 150km~300km)により行われているが、将来的には積雲対流等を表現できる程度の空間分解能の化学モデルでシミュレーションを行い、物質毎に輸送量を正確に計算して確定する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、日本で独自に開発され高解像度化が容易な気象モデルNICAMをベースにした高解像度の化学モデルを開発し、これまで困難であった 100km 程度以下の水平空間分解能で、対流圏と成層圏間の水蒸気、オゾン層破壊物質、オゾンの輸送のプロセスとその定量的な把握を試みる。将来的には、様々な化学反応が導入された高解像度の化学モデルが必要になると考えられるが、本提案課題はその最初のステップとして、複雑な化学反応をあまり伴わない水蒸気やオゾン層破壊物質に焦点を当て、その成層圏への輸送過程、および単純化された化学反応によって再現されたオゾンの成層圏から対流圏への輸送を明らかにすることを目的とする。本課題で提案されたモデルの開発が進み、それによっていくつかの物質の成層圏-対流圏間輸送プロセスを明らかにすることによって、また、将来のコンピュータの性能向上を見込めば、成層圏・中間圏などの中層大気および大気微量成分との相互作用を含む総合的な高解像度気候モデルの開発へとつながる。それによって、冒頭で述べた成層圏の水蒸気の問題、オゾン層破壊物質の成層圏への輸送の問題、オゾンの成層圏-対流圏交換、など現在定量的に不確定性の大きい問題を一気に解決できるとともに、オゾン層等の物質分布との相互作用を取り入れた高精度の温暖化予測が可能になる。

3. 研究の方法

上述の目的達成のため、本研究では NICAM(Satoh et al., 2008, *J. Comput. Phys.*; Tomita and Satoh, 2004, *Fluid. Dyn. Res.*) をベースにした、数種類の気象微量成分の対流圏・成層圏における分布を計算することができる化学モデルの開発を行う。また、すでに高度領域が成層圏・中間圏まで拡張され、成層圏および対流圏の化学過程の導入がある程度進んでいる MIROC6 をベースにした化学気候モデル(水平解像度 T85 (約 140km) 鉛直 81 層 (0.5km ~ 1km)) を、新開発の NICAM ベースの化学モデルの結果の参照モデルとして使用するとともに、このモデル自体の精緻化を進める。

将来的には、NICAM モデルをベースにした中層大気とそれに関連した多くの化学反応を含んだ高解像度化学気候モデルの開発を目標にしているが、成層圏の力学・放射過程の検証や特に紫外外部の太陽放射スペクトルが高度によって大きく変化する成層圏中での光化学反応の導入・コード化・検証にかなりの時間を要するので、4 年の期間内にこの目的を達成することは困難と思われる。そこで、本提案課題では、MIROC6 をベースにした中解像度化学気候モデルを参照モデルとして位置づけ、NICAM ベースの高解像度化学モデルとこの参照モデルとを用いて、主に対流圏から成層圏への水蒸気や対流圏起源のオゾン層破壊に関わるいくつかの微量成分の流入プロセス(流入の空間分布やそのスケール、季節依存性、気温や光化学反応の時間スケールとの関係など) について両モデルの結果を比較しながら、モデルの高分解能化によって成層圏と対流圏の間の物質輸送に関して改善される点を見だし、その放射強制力やオゾン層破壊の評価に及ぼす影響について考察する。

4. 研究成果

4.1 高解像度 MIROC6 ベース化学気候モデル(T85L81)の開発

国立環境研究所は MIROC3.2 ベースの水平解像度 T42 (~ 300km) 鉛直 34 層 (層厚 1 ~ 3km)) の化学気候モデルを使って、これまで UNEP/WMO オゾンアセスメントや SPARC 傘下の国際プロジェクト CCMVal, CCM1 の中で、オゾン層と気候の将来予測実験を行ってきた。一方で、本課題に関連して参加した国際共同研究では (Charlesworth et al. (2023)) 現在の化学気候モデルのほとんどが、下部成層圏において水蒸気量過多となっており、その気候への影響の大きさは気候変動の大きさに匹敵する場合があります。この研究結果に基づき、MIROC ベースの化学気候モデルを高解像度化した場合に水蒸気分布がどのように変化するかを明らかにするため、新たに開発を行った高解像度の MIROC6 化学気候モデル (水平分解能 T85 (~ 140km) 鉛直分解能 L81 (0.5 ~ 1km)) と、従来使用していた低解像度の MIROC3.2 化学気候モデル (水平分解能 T42 (~ 280km) 鉛直分解能 L34 (1km ~ 3km)) について、大気微量成分分布の比較を行った。

図 1 に、1980 年の経度平均オゾン全量の緯度・時間分布を示す。左から順に、TOMS による観測値、MIROC3.2 化学気候モデル (T42L34) による計算値、MIROC6 化学気候モデル (T85L81) による計算値を示す。新しく開発した高解像度モデル (MIROC6) で、オゾン全量の緯度分布や時間変化がよく再現されていることがわかる。

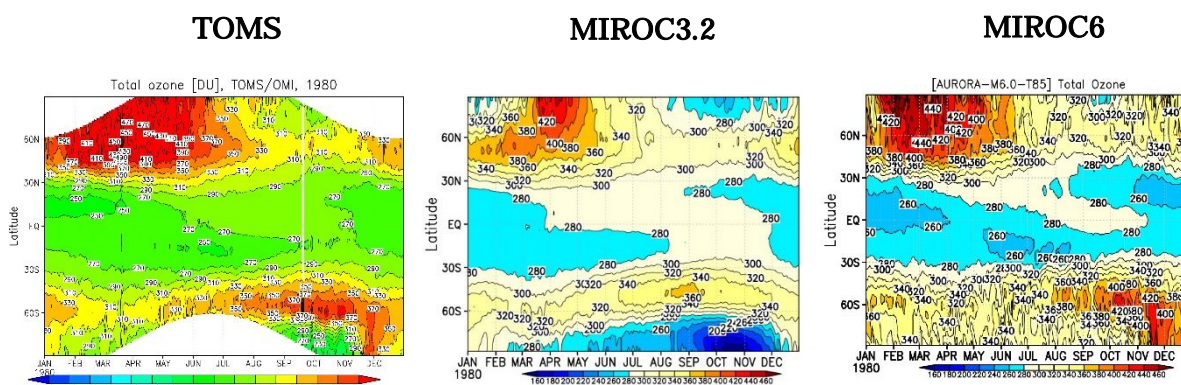


図 1 オゾン全量経度平均値の時間緯度断面。縦軸は緯度、横軸は月を表す。(左)TOMS による 1980 年の観測値、(中央)1980 年のオゾン破壊物質濃度、温室効果ガス濃度、海面水温を設定した MIROC3.2 化学気候モデル (T42L34) による計算結果、(右)同じ設定による MIROC6 化学気候モデル (T85L81) による計算結果。等値線の間隔は 20 ドブソンユニット (DU)。

次に、両化学気候モデル間で水蒸気分布の比較を行った。その結果、低解像度の MIROC3.2 化学気候モデルの上部対流圏～下部成層圏 (UTLS 領域) において、高解像度の MIROC6 モデルよりも水蒸気が過多となっていることがわかった (図 2) 。特に、亜熱帯ジェット周辺で違いが大きい。一方、成層圏の中・上部の違いは小さかった。この結果は、Charlesworth et al. (2023, *Nature Communications*) の結果と整合的であり、UTLS 領域の水蒸気分布の再現には高解像度モデルが必要であることがわかった。

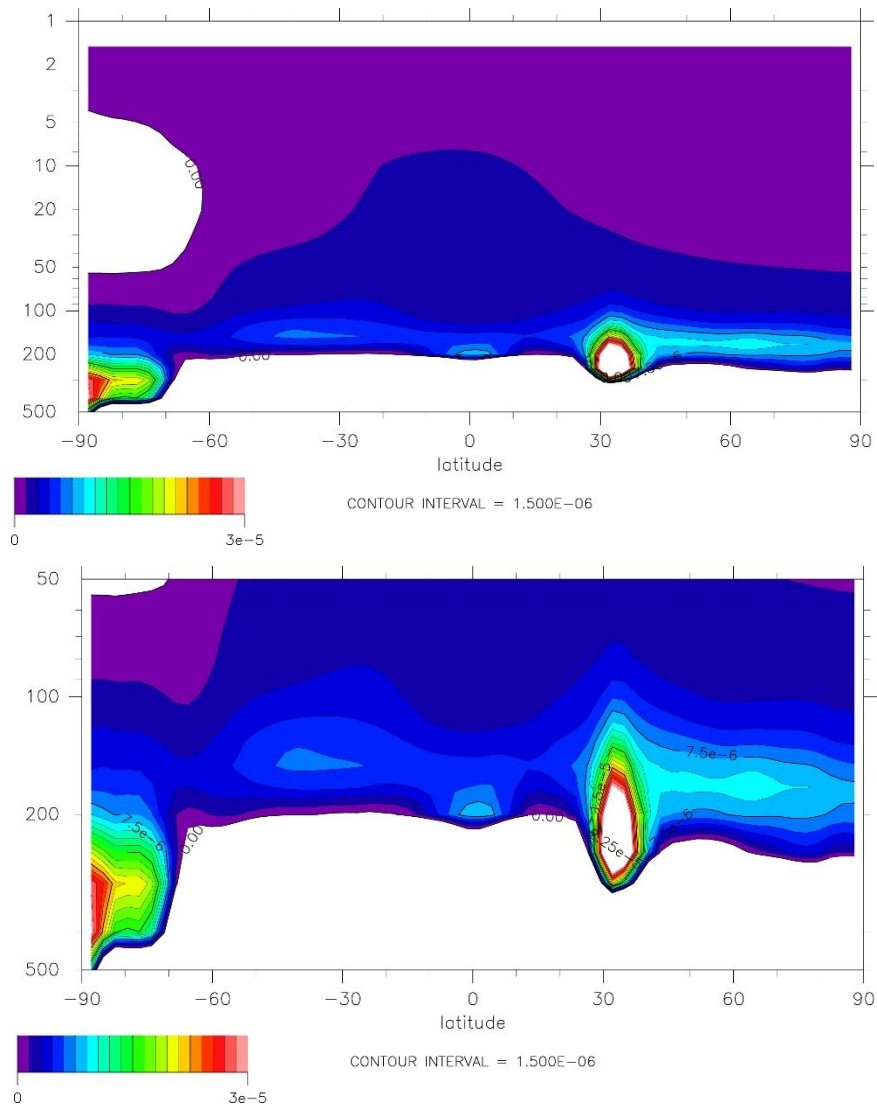
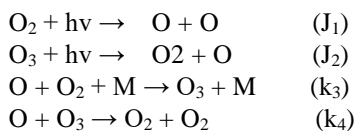


図2 対流圏上部～成層圏の年平均・経度平均水蒸気混合比の低解像度モデルと高解像度モデルの差。横軸は緯度、縦軸は気圧（高度）。水蒸気混合比の、[MIROC3.2 化学気候モデル（低解像度モデル）] - [MIROC6 化学気候モデル（高解像度）]の値を、0～30ppmv の範囲で色によって表す。白色は値が30ppmv 以上であることを表す。等値線の間隔は1.5ppmv。上が高度範囲1～500hPa の図、下が高度範囲50～500hPa の図。

4.2 高解像度 MIROC6 ベース化学気候モデル(T85L81)の化学簡略化バージョンの開発

3. で述べたとおり、NICAM ベースの化学気候モデルに最初から全部の化学プロセスを導入するのは困難なため、NICAM 化学気候モデルにはまず簡略化した化学反応を放射と相互作用する形で導入する。その NICAM 化学気候モデルとの比較のため、化学反応系を同様に簡略化した MIROC6 ベース化学気候モデルを作成した。オゾン化学反応は修正チャップマン反応（通常のチャップマン反応だがオゾン量が多くなりすぎるため、チャップマン反応の4つの反応、



のうち、最後の反応の反応係数 k_4 の値を大きくすることにより、HO_x や NO_x によるオゾン破壊触媒サイクルによるオゾン破壊の効果を取り入れ、オゾン分布を現実に近づける近似的な反応系。例えば Hartmann (1978, *J. Atmos. Sci.*)を参照のこと。)のみを取り入れた。図3に示すとおり、 k_4 を15倍することにより、オゾン全量、鉛直分布とも、観測値や O_x に加えてそれ以外の成層圏化学反応過程を取り入れた化学気候モデルによる計算結果に近づけることができた。

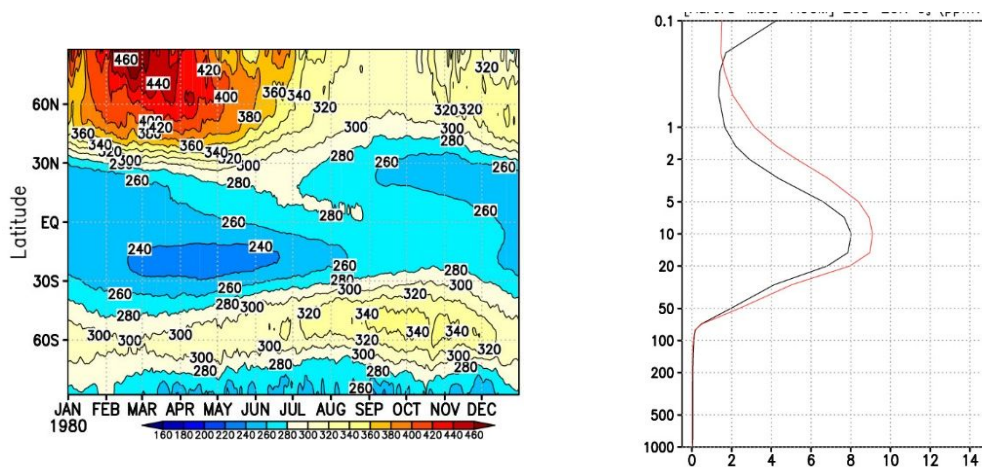


図3 (左) 修正チャップマン反応のみの化学反応を取り入れた MIROC6 化学気候モデルによって計算された経度平均オゾン全量の緯度 - 高度断面 (1980 年)。(右) 年平均、緯度 20S-20N 平均のオゾン混合比の鉛直分布。縦軸は気圧、横軸は混合比。黒線は修正チャップマン反応のみを取り入れた化学気候モデルによって計算されたオゾン分布、赤線は成層圏化学反応過程をすべて取り入れた化学気候モデルによって計算されたオゾン分布。

4.3 NICAM ベースの化学気候モデルの開発

4.2 節で述べた、MIROC6 に導入した簡略化したオゾン化学反応、水蒸気、および CFC11 や CFC12 等のオゾン層破壊物質 (ODS) を NICAM モデルに導入し、NICAM ベースの化学気候モデルの開発を行った。このモデルも MIROC3.2 や MIROC6 と同様全球モデルであり、高度領域は地表から上部成層圏 (~ 高度 50km) までをカバーする。MIROC6 高解像度モデルとの比較が意味を持つように、MIROC6 化学気候モデルと同程度の空間解像度を設定した。水平解像度は 140km 程度、鉛直解像度は 1km ~ 0.5km である。この化学気候モデルを 2 ヶ月程度走らせることができた。オゾン量は MIROC6 化学気候モデルより多少大きめの値となったが、鉛直分布の形状は両者よく似たものが得られた。また、上部対流圏 ~ 成層圏の水蒸気量を MIROC6 化学気候モデルと比較したところ、両モデルの空間解像度は同程度にもかかわらず UTLS 領域で違いが認められた。その原因としては、両モデルに用いられているパラメタリゼーションの違いが挙げられる。

4.4 研究成果のまとめ

成層圏の水蒸気量の季節変動や数十年にわたる長期変動を再現しその要因を明らかにするために、高解像度化学気候モデルの開発を行った。MIROC6 ベースの化学気候モデルの空間分解能は水平分解能 T85 (~ 140km)、鉛直分解能 L81 (0.5 ~ 1km)) であり、従来使用してきた MIROC3.2 ベースの化学気候モデルの空間分解能 (水平分解能 T42 (~ 280km)、鉛直分解能 L34 (1km ~ 3km)) に比べると大幅に解像度が上げられた。また、この課題で開発した NICAM ベースの化学気候モデルの水平解像度は 140km 程度、鉛直解像度は 0.5km ~ 1km であり、MIROC6 化学気候モデルとはほぼ同等となっている。化学気候モデルはオゾン層の将来予測モデルという使命もあるため、その高解像度化に関しては、オゾン分布が観測値から大きく外れてしまわないよう、最新の注意を払ってモデルの開発を行った。本課題で開発を行った MIROC6 化学気候モデルの下部成層圏の水蒸気分布は、従来の低解像度の MIROC3.2 化学気候モデルに比べると少なくなっており、より観測に近くなった。低解像度化学気候モデルでは、下部成層圏、特に亜熱帯ジェット周辺で湿位面が対流圏海面を横切るようなところで水蒸気量が過多となっていた。このような場所で水蒸気量が過多であると、化学気候モデルによる気候予測に影響を及ぼすことが指摘されており、問題である。化学気候モデルを高解像度化することによって、より信頼性のある気候予測が可能であることが本研究からも確認できた。

MIROC6 と同程度の解像度をもつ NICAM ベースの化学気候モデルの開発も行った。本課題中に 2 ヶ月程度の時間積分しかできなかったが、MIROC6 の下部成層圏の水蒸気量分布とは少し異なる分布が得られた。今後は、高解像度化を容易に行える NICAM ベースの化学気候モデルをさらに高解像度化して、高解像度化とともに下部成層圏の水蒸気量がどのように異なってくるか、観測値に近づくか、等について精査していく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Yamashita Yousuke, Akiyoshi Hideharu, Inoue Makoto	4. 巻 19B
2. 論文標題 The Role of Sea-Surface Conditions in Southern-Hemisphere Polar Vortex Strength and Associated Wave Forcing Revealed by a Multi-member Ensemble Simulation with the Chemistry?Climate Model	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 SOLA	6. 最初と最後の頁 9~15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/sola.19B-002	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 Friedel Marina, Chiodo Gabriel, Sukhodolov Timofei, Keeble James, Peter Thomas, Seeber Svenja, Stenke Andrea, Akiyoshi Hideharu, Rozanov Eugene, Plummer David, Jockel Patrick, Zeng Guang, Morgenstern Olaf, Josse Beatrice	4. 巻 23
2. 論文標題 Weakening of springtime Arctic ozone depletion with climate change	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 10235~10254
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/acp-23-10235-2023	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 Charlesworth Edward, Ploger Felix, Birner Thomas, Baikhadzhaev Rasul, Abalos Marta, Abraham Nathan Luke, Akiyoshi Hideharu, Bekki Slimane, Dennison Fraser, Jockel Patrick, Keeble James, Kinnison Doug, Morgenstern Olaf, Plummer David, Rozanov Eugene, Strode Sarah, Zeng Guang, Egorova Tatiana, Riese Martin	4. 巻 14
2. 論文標題 Stratospheric water vapor affecting atmospheric circulation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-023-39559-2	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 Akiyoshi, H., M. Kadowaki, Y. Yamashita, T. Nagatomo	4. 巻 13
2. 論文標題 Dependence of column ozone on future ODSs and GHGs in the variability of 500-ensemble members	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 320(1-12)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-023-27635-y	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 Hasebe, F., S. Kodera, H. Akiyoshi	4. 巻 80
2. 論文標題 Theoretical foundation of the linear relationship between the midlatitude eddy heat flux and fall-to-spring polar ozone buildup	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Atmospheric Sciences	6. 最初と最後の頁 889-908
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/JAS-D-22-0023.1	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 -

1. 著者名 Yamashita Yousuke, Akiyoshi Hideharu, Takahashi Masaaki	4. 巻 12
2. 論文標題 Analysis of Arctic Spring Ozone Anomaly in the Phases of QBO and 11-Year Solar Cycle for 1979-2017	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Atmosphere	6. 最初と最後の頁 582 ~ 582
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/atmos12050582	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 Ikeda Kohei, Tanimoto Hiroshi, Sugita Takafumi, Akiyoshi Hideharu, Clerbaux Cathy, Coheur Pierre Fran?ois	4. 巻 126
2. 論文標題 Model and Satellite Analysis of Transport of Asian Anthropogenic Pollution to the Arctic: Siberian and Pacific Pathways and Their Meteorological Controls	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JD033459	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 Dupuy Eric, Akiyoshi Hideharu, Yamashita Yousuke	4. 巻 126
2. 論文標題 Impact of Unmitigated HFC Emissions on Stratospheric Ozone at the End of the 21st Century as Simulated by Chemistry Climate Models	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 e2021JD035307
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021JD035307	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-François, Abraham N. Luke, Akiyoshi Hideharu, Archibald Alexander T., Bekki Slimane, Deushi Makoto, Jöckel 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 Archibald A. T., Neu J. L., Elshorbany Y. F., Cooper O. R., Young P. J., Akiyoshi H., Cox R. A., Coyle M., Derwent R. G., Deushi M. et al.	4. 巻 8
2. 論文標題 Tropospheric Ozone Assessment Report	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Elementa: Science of the Anthropocene	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) 10.1525/elementa.2020.034	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

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 Hirooka, T., H. Nakamura, H. Akiyoshi
2. 発表標題 Predictability of dynamical and ozone fields during the Stratospheric ozone reduction event over the southern tip of South America in November 2009
3. 学会等名 AGU 23 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yamashita, Y., H. Akiyoshi, M. Inoue
2. 発表標題 The role of sea-surface conditions in Antarctic polar-vortex and associated wave forcing with a multi-member ensemble simulation of the CCSR/NIES-MIROC3.2 CCM
3. 学会等名 CCMI 2023 Science Workshop (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Akiyoshi, H., M. Kadowaki, Y. Yamashita, T. Nagatomo
2. 発表標題 Dependence of column ozone on future ODSs and GHGs in the variability of 500-ensemble members
3. 学会等名 CMI 2023 Science Workshop (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 秋吉英治
2. 発表標題 化学気候モデルを用いた最近の研究から
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Charlesworth, E., Ploger, F., Birner, T., Baikhadzhaev, R., Abalos, M., Abraham, L., Akiyoshi, H., Bekki, S., Dennison, F., Jockel, P., Keeble, J., Kinnison, D., Morgenstern, O., Plummer, D., Rozanov, E., Strode, S., Zeng, G., Riese, M.
2. 発表標題 Stratospheric water vapor affecting atmospheric circulation
3. 学会等名 EGU General Assembly 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 秋吉英治、門脇正尚、山下陽介、長友利晴
2. 発表標題 中高緯度オゾン全量・極気温・極夜ジェットのODS・GHG濃度依存性の500アンサンブル実験
3. 学会等名 日本気象学会2022春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 秋吉英治、Eric Dupuy、山下陽介
2. 発表標題 Impact of unmitigated HFC emissions on stratospheric ozone at the end of the 21st century as simulated by chemistry-climate models
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 水野亮、長浜智生、江口菜穂、秋吉英治、斉藤拓也、杉田考史、山下陽介、坂崎貴俊
2. 発表標題 大気化学の将来構想：成層圏・中間圏の大気化学の諸問題
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akiyoshi, H., E. Dupuy, Y. Yamashita
2. 発表標題 Impact of unmitigated HFC emissions on stratospheric ozone at the end of the 21st century as simulated by chemistry-climate models
3. 学会等名 7th SPARC General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tourpali, K., H. Akiyoshi, F. Dennison, A. Pfeiffer, B. Josse, F. Cheroux, D. Kinnison, P. Colarco, D. Plummer, E. Rozanov, O. Morgenstern, G. Zeng, J. Keeble, I. Petropavlovskikh, S. Godin-Beekmann, N. Azouz, V. Sofieva
2. 発表標題 CCMI-2022 Ref-D1 stratospheric ozone profiles: trends, natural variability and comparisons to observations and CCMI-1 Ref-C2
3. 学会等名 7th SPARC General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Plummer, D., H. Akiyoshi, F. Dennisson, S. Frith, B. Josse, J. Keeble, D. Kinnison, M. Marchand, O. Morgenstern, A. Pfeiffer, E. Rozanov
2. 発表標題 Assessment of transport in the latest chemistry climate model initiative (CCMI-2022) simulations
3. 学会等名 7th SPARC General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yamashita, Y., *H. Akiyoshi, M. Takahashi
2. 発表標題 Analysis of Arctic spring ozone anomaly in the phases of QBO and 11-year solar cycle for 1979-2011
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Dupuy, E., *H. Akiyoshi, Y. Yamashita
2. 発表標題 Impact of unmitigated HFC emissions on stratospheric ozone at the end of the 21st century as simulated by chemistry-climate models
3. 学会等名 Quadrennial Ozone Symposium 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yamashita, Y., *H. Akiyoshi, M. Takahashi
2. 発表標題 Analysis of Arctic spring ozone anomaly in the phases of QBO and 11-Year solar cycle for 1979-2017
3. 学会等名 Quadrennial Ozone Symposium 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hasebe, F., S. Kodera, H. Akiyoshi
2. 発表標題 Insights into the linear relationship between extratropical eddy heat flux and polar ozone build-up
3. 学会等名 Quadrennial Ozone Symposium 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akiyoshi, H., E. Dupuy, Y. Yamashita
2. 発表標題 Impact of HFCs on stratospheric ozone and temperature as simulated by chemistry-climate models
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 Murata, I., Y. Tomikawa, I. Morino, H. Nakajima, H. Akiyoshi
2. 発表標題 Short-term variations of HCl and HF trends observed with FTIR at Tsukuba
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	谷本 浩志 (Tanimoto Hiroshi) (30342736)	国立研究開発法人国立環境研究所・地球システム領域・副領域長 (82101)	

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	塩竈 秀夫 (Shiogama Hideo) (30391113)	国立研究開発法人国立環境研究所・地球システム領域・室長 (82101)	
研究分担者	山下 陽介 (Yamashita Yousuke) (40637766)	国立研究開発法人国立環境研究所・地球システム領域・主任 研究員 (82101)	
研究分担者	池田 恒平 (Ikeda Kouhei) (60726868)	国立研究開発法人国立環境研究所・地球システム領域・主任 研究員 (82101)	

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			
スイス	IAC ETH Zurich			
ニュージーランド	NIWA			
英国	University of Cambridge	Lancaster University	University of Bristol	
米国	Jet Propulsion Laboratory	NCAR	NOAA	他2機関
オーストラリア	University of Wollongong	CSIRO Oceans and Atmosphere		
フランス	CNRS	Institut Pierre Simon Laplace		
ドイツ	Institut fur Physik der Atmosphere	IMK-IFU	Freie Universitat Berlin	他1機関
スペイン	Universidad Complutense de Madrid	Spanish National Research Council (CSIC)		
イタリア	Universita` Cattolica del S.C.			
インド	Aryabhata Research Institute	Jawaharlal Nehru University		

共同研究相手国	相手方研究機関			
カナダ	Environment and Climate Change Canada			
中国	The Hong Kong Polytechnic University			