

令和 5 年 5 月 19 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K03961

研究課題名(和文) 極域オゾンと中高緯度渦熱フラックスとの線形関係の理論的解明

研究課題名(英文) Investigation of the linear relationship between the midlatitude eddy heat flux and fall-to-spring polar ozone buildup

研究代表者

長谷部 文雄 (Hasebe, Fumio)

北海道大学・地球環境科学研究所・名誉教授

研究者番号：00261735

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：秋から春にかけて極域成層圏に蓄積されるオゾン量と冬季中緯度の極向き渦熱フラックスとが南北半球に共通の比例関係を示すという経験的性質の理論的根拠を明らかにするために、化学気候モデルによるオゾン変動シミュレーションの結果を解析した。極向きオゾン輸送の年々変動が上部成層圏における輸送量に支配されることに注目し、その輸送量と極向き渦熱フラックスとを結びつけるC-EPフラックスという物理量を定義することにより、両者の比例関係の力学的根拠を明らかにした。本研究の結果は、南北半球間における化学的オゾン破壊の大きな相違のため、一つの比例式による両半球の統合的表現には無理があることを示唆している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

主に熱帯成層圏で生成されるオゾンは、秋から春にかけて成層圏内を極向きに輸送され、高緯度地方に蓄積して春に極大となる。この蓄積量と冬季の中緯度で大気中の波動により極向きに輸送される熱との対応をグラフに表すと、南北半球を区別することなく、一直線上に乗ることが経験的に知られている。この研究では、化学気候モデルによるシミュレーション結果を解析することにより、なぜ、そのような直線関係が成立するのかを明らかにした。得られた結果は、化学的オゾン破壊量の違いが南北半球間で無視できないために、両半球を区別することなく一直線上に乗るという理解には無理のあることを示している。

研究成果の概要(英文)：Stratospheric ozone variations simulated by a chemistry-climate model are investigated for the purpose of clarifying the theoretical foundation of the globally-unified linear relationship between the fall-to-spring ozone accumulation in the polar stratosphere and the winter-time eddy heat flux in midlatitudes. Under the recognition that the interannual variations of the poleward ozone transport are controlled by those in the upper stratosphere, the dynamical foundation of the linear relationship is identified by defining a quantity C-EP flux that combines the stratospheric ozone transport with the poleward eddy heat flux. Because of the large inter-hemispheric difference in the chemical ozone depletion, the attempt to express the linear relationship in the globally-unified form should be treated with caution.

研究分野：大気科学

キーワード：極域オゾン全量 渦熱フラックス 線形性 オゾン輸送 オゾン光化学 アンサンブル実験

1. 研究開始当初の背景

生成域の熱帯から大気大循環により高緯度へ輸送され春季極大を形成するという成層圏オゾンの時空間変動は、成層圏水蒸気の定量的記述などとともに、成層圏大気大循環像の形成に貢献した。しかし、1970年代半ばに大気大循環モデルによるオゾンシミュレーションが可能になると、観測の蓄積により築かれてきたこの古典的描像とモデルで得られた平均子午面循環との整合性が疑われる事態に陥った。この混乱は、輸送場を記述する手法の違いに起因する見かけ上の矛盾として解消されるとともに、直感と大きく乖離する描像をもたらす Euler 的平均子午面循環は、変換オイラー平均 (TEM) に置き換えられることとなった。

南極オゾンホールとして発見された春季極域オゾン破壊を理解する鍵は、極度に低温化する極夜成層圏において生成する極成層圏雲の表面上で進行する異相反応の存在にあり、オゾンホール発達に関する南極・北極間の非対称性は、対流圏から伝播する惑星波の活動度に依存する極渦の発達の仕方とその安定性に関する違いにより理解される。

このように、成層圏オゾンは秋季から春季に至る成層圏内輸送過程と春季極域の力学場に影響された化学過程の双方に支配されるが、Weber et al. (2011) は、中緯度 100 hPa における冬季の渦熱フラックスと極域オゾン全量の「春/秋」比との間に南北半球を統一的に記述する線形関係が成立することを示した。TEM 系による記述に基づけば、冬季の渦熱フラックスとオゾン輸送量との間に対応があるのは理解できるが、化学的消失量に大きな差がある南北半球について統一的に成立するという線形関係の理論的根拠は解明されてこなかった。

2. 研究の目的

本研究では、Weber et al. (2011) が経験的に見出した線形関係の理論的根拠を明らかにするとともに、オゾン破壊物質 (ODS) の成層圏負荷量の人為的変動が成層圏オゾン量、とりわけ、春季極域オゾン破壊に大きな影響を与えてきたことに注目し、上記線形関係の ODS 負荷量依存性を明らかにすることを目的とする。より具体的には、100 hPa という単一の気圧面上で評価される渦熱フラックスが、なぜ極域全体で積算されるオゾン蓄積量と高い相関を持つのか、また、化学過程に大きな相違のある南北半球間で、なぜ統合された線形関係が成り立つのかを明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

力学過程と化学過程との相互作用が本質的に重要な成層圏の研究において、化学気候モデル (CCM) を用いた数値シミュレーションは極めて有効である。Weber et al. (2011) も CCM を使った解析結果を示しているが、彼らはオゾン破壊物質 (ハロゲン) 量を現実大気に合わせて時間発展させ、解析期間を低負荷量期 (1960-1985 年)、最大負荷量期 (1985-2010 年)、負荷量減少期 (2010-2050 年) に分割して解析している。しかし、このようなシナリオ実験は内部変動や下部境界条件の変動などが現象の本質を見えにくくしてしまう危険性がある。本研究では、温室効果ガス濃度を 2000 年レベルに、ODS 負荷量を 1960 年と 2000 年の 2 つのレベルに固定した各 510 年間の連続積分を行い、それぞれ最初の 10 年を除いた 500 年の各年を 500 個のメンバーとみなしたアンサンブル実験の結果を解析する。使用した CCM は、温暖化予測に使われた大気大循環モデルをベースに開発された MIROC3.2 化学気候モデル (Akiyoshi et al., 2016, 秋吉ほか 2018) である。シミュレーションによって得られた気候学的オゾン分布は、ヨーロッパ中期予報センターによる再解析データ (ERA-Interim) の示す特徴を概ね正確に再現し、本研究の目的に利用するのに十分であることを確認した。

4. 研究成果

Weber et al. (2011) の定義に基づいて計算した中緯度冬季の渦熱フラックスと極域オゾン全量の「春/秋」比の散布図を図 1 に示す。上段は彼らと同じ解析期間について ERA-Interim で計算した結果、中段と下段は ODS 負荷量がそれぞれ 1960 年の場合 (ODS1960) と 2000 年の場合 (ODS2000) の CCM 実験による散布図で、黒の×印が北半球、赤の○が南半球を表し、両半球を区別せずに引いた回帰直線を青線で示す。上段の結果は Weber et al. (2011) の結果を概ね正確に再現できているが、各散布図のそれぞれにおいて北半球、南半球を区別した回帰直線 (黒線と赤線) を引いてみると、両半球を区別せずに引いた回帰直線より傾きが小さく、縦軸の切片が両半球で一致しない。この不一致は ODS2000 の場合により顕著で、ODS 負荷量に依存するオゾン消失が極域オゾン全量の「春/秋」比に影響を与えていることを示唆する。

中緯度の単一気圧面上で評価される冬季の渦熱フラックスが秋から春にかけて極域成層圏に蓄積されるオゾン量と高い相関を持つ理論的根拠を解明するために、オゾン混合比の時間発展を記述する方程式を考察する。高度 z_p より上方を成層圏と定義し、フラックス形で表現したオゾンの連続方程式を高度 z_p より上方かつ緯度 φ_m から極まで積分すると、緯度 φ_m より極側の成層圏オゾン量の局所時間変化は、残差循環により高度 z_p より上方で緯度 φ_m を通過して極域へ水平輸送されるオゾン量、緯度 φ_m より高緯度側で高度 z_p を横切って鉛直輸送される量、化学的生

成・消失量、オゾンの渦フラックスによる発散量の和で表される。CCM 実験に基づき子午面内の基準点 $P_{ref}(\varphi_m, z_p)$ において各項の気候学的季節変動を評価したところ、極域成層圏オゾンの季節変動が、残差循環により点 $P_{ref}(\varphi_m, z_p)$ の上方を極域へ水平輸送されるオゾン量と概ね対応することが示された。

残差水平流によるこの極向き輸送量を渦熱フラックスと対応させるために、TEM 系で記述した運動方程式を考察する。運動方程式には、残差水平流がコリオリトルク項に、渦熱フラックスが EP フラックスの鉛直成分 $F^{(z)}$ の主要な項として含まれるので、運動方程式を残差水平流について解き、大気密度と帯状平均オゾン混合比をかけることにより、残差水平流による極向き輸送量を渦熱フラックスで表すことができる。この式を点 $P_{ref}(\varphi_m, z_p)$ において高度 z_p から大気上端まで積分すれば極域成層圏オゾンの時間発展を渦熱フラックスで記述することができるが、コリオリトルクは EP フラックスではなく、その発散により駆動されるため、残差水平流による極向き輸送量の鉛直積分は、渦熱フラックスの鉛直微分に帯状平均オゾン混合比を掛けた式の鉛直積分で表されることになる。したがって、高度 z_p より上方の水平流による極向き輸送量を渦熱フラックスで表すには部分積分が必要で、その結果、渦熱フラックスにオゾンの鉛直勾配を掛けた式の鉛直積分が付加項として残ってしまう。

この不都合を回避するために、本研究では EP フラックスに帯状平均オゾン混合比を掛けた物理量として定義される C-EP フラックスを導入する。これを用いて書き換えた運動方程式を残差水平流について解き、大気密度とオゾン混合比を掛けて鉛直積分すれば、点 $P_{ref}(\varphi_m, z_p)$ より上方を通過する水平流による極向きオゾン輸送量が点 P_{ref} における渦熱フラックスに比例する項を含む式で表される。この項が卓越項であれば、極域成層圏オゾンの季節変動が点 $P_{ref}(\varphi_m, z_p)$ より上方を極向きに輸送されるオゾン量と概ね対応するという前述の結果と組み合わせることにより、Weber et al. (2011) が経験的に得た線形関係の力学的根拠が得られたことになる。しかし、上記の変形により得られた式の各項の季節変動を解析したところ渦熱フラックス項は卓越項ではなく、C-EP フラックスの導入に際して残差項として処理した項の方がむしろ大きな値を持つことがわかった。この事実は、部分積分の適用に際して現れた付加項の鉛直積分が無視できない値として残ったことと対応する。

C-EP フラックスの導入により定式化された極向きオゾン輸送の性質を明らかにするために、 $P_{ref}(\varphi_m, z_p)$ より上方を極向きに輸送されるオゾン量を構成する各項の時間-高度断面を考察した。その結果、渦熱フラックスに対応する C-EP フラックスの鉛直収束は、上部成層圏では極向きであるが下部成層圏では赤道向きであることがわかった。これは、オゾン混合比の鉛直勾配が下部成層圏で正、上部成層圏で負であることと対応し、C-EP フラックスの鉛直収束による極向きオゾン輸送の近似が上部成層圏でしか成り立たないことを示している。この事実は、 z_p を 100 hPa より高高度の 50 hPa などと取ることにより、Weber et al. (2011) の得た線形性が向上する可能性を示唆する。

このように、C-EP フラックスによる定式化の限界が明らかになったが、Weber et al. (2011) が得た線形関係は、冬季の中緯度渦熱フラックスと極域成層圏オゾンの春季蓄積量の経年変動に関する特徴で、上記の解析で得られた季節変動に関する性質がそのまま経年変動に適用できるとは限らない。そこで、 $P_{ref}(\varphi_m, z_p)$ より上方を極向きに輸送されるオゾン量を C-EP フラックス系で分解し、主要な過程を表す項の経年変動の散布図を求めた (図 2)。各パネルは ODS1960 条件下で実施された CCM 実験に基づく結果 (黒が北半球、赤が南半球) で、C-EP フラックスの緯度・高度依存性を念頭に、 $P_{ref} = (50^\circ, 100 \text{ hPa}), (50^\circ, 50 \text{ hPa}), (60^\circ, 50 \text{ hPa})$ ととった結果を上段、中段、下段に示している。その結果は以下のようにまとめられる。C-EP フラックスの水平収束項 (パネル a1-a3) は赤道向き輸送に寄与する顕著な負の値を示すが、 P_{ref} より上方の極向き輸送との相関は小さい。渦熱フラックスと対応する C-EP フラックスの鉛直収束項 (パネル b1-b3) は正の値をもち極向きオゾン輸送とよい線形性を示す。この項の大きさは P_{ref} の緯度・高度が増すにつれて大きくなる。オゾンの鉛直勾配と $F^{(z)}$ との積からなる項 (パネル c1-c3) も正の値を示すが極向きオゾン輸送量との相関は C-EP フラックスの鉛直収束項ほど高くない。

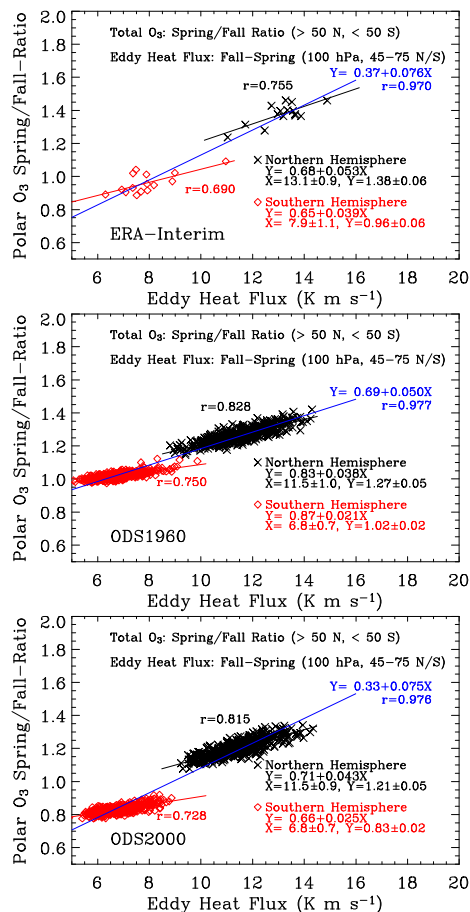


図 1: 冬季中緯度 100 hPa における渦熱フラックスと極域オゾン全量の「春/秋」比との散布図と回帰直線。図の構成の詳細は本文参照。

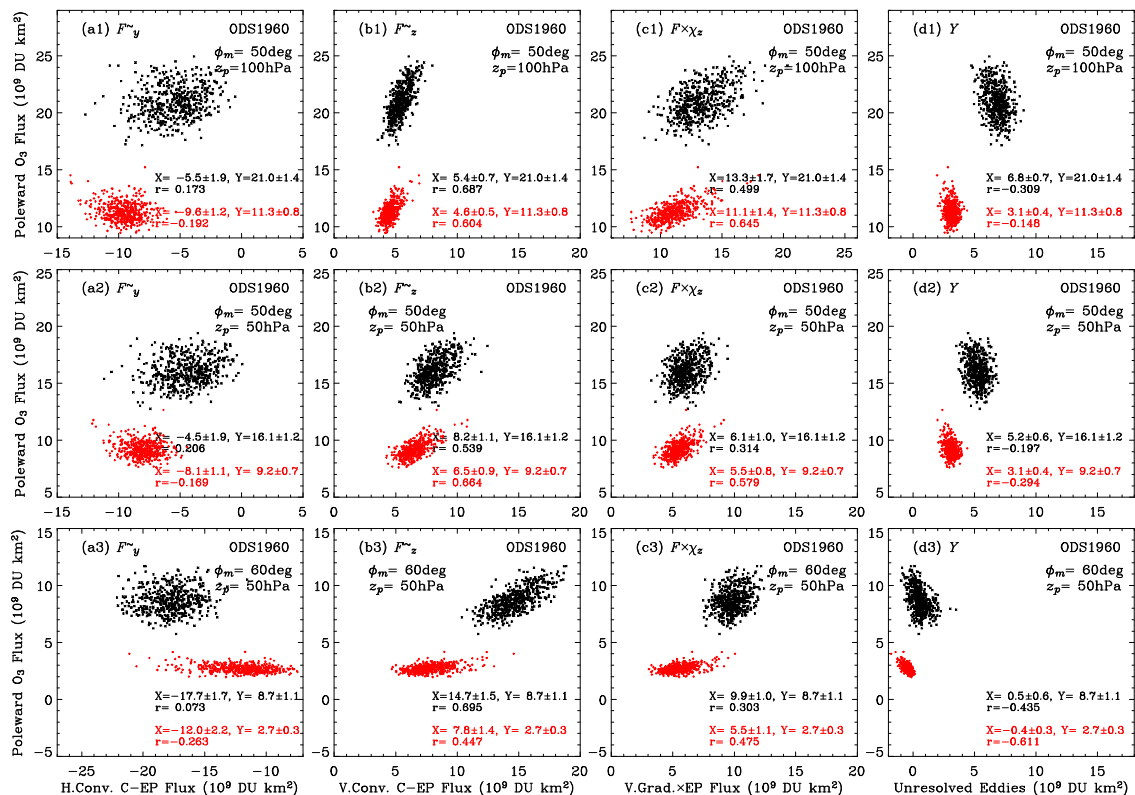


図 2: 子午面内の点 $P_{\text{ref}}(\phi_m, z_p)$ より上方を極向きに輸送されるオゾン量 (縦軸) を、それを駆動する 4 つの過程 (パネル a, b, c, d) に分解し、各過程の寄与の経年変動を示した散布図。黒点は北半球、赤点は南半球で、ODS1960 条件における CCM のシミュレーションの結果の解析。各過程については本文参照。

C-EP フラックスの導入に伴って生じる残差項 (パネル d1-d3) は極向きオゾン輸送と正の相関を示さない。その大きさは $P_{\text{ref}}(50^\circ, 100 \text{ hPa})$ の場合に C-EP フラックスの鉛直収束項と同等であるが、 $P_{\text{ref}}(50^\circ, 50 \text{ hPa})$ 、 $P_{\text{ref}}(60^\circ, 50 \text{ hPa})$ と変化させるにつれて小さくなる。このように、C-EP フラックス系による記述の結果は、中緯度渦熱フラックスと極域成層圏オゾンの春季蓄積量との間の線形関係の成立に複数の過程が統合的に関与していることを示している。Weber et al. (2011) の得た線形関係は図 2 に示された項の内、C-EP フラックスの鉛直収束項 (パネル b1-b3) のみに注目した近似であり、その近似が可能なのは、成層圏オゾンの春季極大をもたらす輸送過程の経年変動が主として上部成層圏における惑星波の碎波の年々変動で駆動され、その変動を C-EP フラックスの鉛直収束が的確に捉えられるからであると考えられる。

本研究で導入された C-EP フラックスは、通常の EP フラックスに微量成分 (オゾン) の帯状平均混合比を掛けただけの物理量であるが、Weber et al. (2011) の得た線形関係の解釈に数学的根拠を与える枠組みとして有用である。また、適用可能な微量成分はオゾンに限らない。混合比 χ_i をもつ微量成分 i について、TEM 系運動方程式に χ_i の帯状平均値を掛けた式を C-EP フラックス使って書き下し、成分 i に関するこれら全ての式について和をとれば、通常の TEM 系運動方程式に帰着する。したがって、TEM 系運動方程式に微量成分 i の帯状平均混合比を掛けた式は、TEM 系運動方程式の微量成分 i への配分量であると解釈することができる。さらに、残差子午面循環が EP フラックスの収束によって駆動されるのと同様に、微量成分 i の子午面輸送が成分 i に関する C-EP フラックスの収束によって駆動されるという新しい解釈も可能である。詳細については、Hasebe et al. (2023) を参照。

参考文献

Akiyoshi et al. (2016): A nudged chemistry-climate model simulation of chemical constituent distribution at northern high-latitude stratosphere observed by SMILES and MLS during the 2009/2010 stratospheric sudden warming. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 1361-1380, <https://doi.org/10.1002/2015JD023334>.

秋吉ほか (2018): 北半球中高緯度で低いオゾン全量を示す領域面積の温室効果ガス濃度依存性, 日本気象学会 2018 年秋季大会講演予稿集, P381.

Hasebe et al. (2023): Theoretical Foundation of the Linear Relationship between the

Midlatitude Eddy Heat Flux and Fall-to-Spring Polar Ozone Buildup. *J. Atmos. Sci.*, 80, 889-908, <https://doi.org/10.1175/JAS-D-22-0023.1>.

Weber et al. (2011): The Brewer-Dobson circulation and total ozone from seasonal to decadal time scales. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 11221-11235, <https://doi.org/10.5194/acp-11-11221-2011>.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Yamashita, Y., H. Akiyoshi, and M. Takahashi	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(1-26)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/atmos.12050582	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, E., H. Akiyoshi, and Y. Yamashita	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, M., P. J. Young, J. S. Hosking, J.-F. Lamarque, N. L. Abraham, H. Akiyoshi, A. T. Archibald, S. Bekki, M. Deushi, P. Joeckel, D. Kinnison, O. Kirner, M. Kunze, M. Marchand, D. A. Plummer, D. Saint-Martin, K. Sudo, S. Tilmes, and Y. Yamashita	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 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, and 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 the 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 -

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 9件)

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 JpGU Meeting 2021 (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 Nakamura, H., T. Hirooka, H. Akiyoshi, T. Sugita, A. Mizuno
2. 発表標題 A CCM forecast experiments of the ozone reduction event over the southern tip of south America in November 2009 using ozone assimilated initial data
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, and 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 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yamahsita, 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 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 Akiyoshi, H., M. Kadowaki, Y. Yamashita, E. Dupuy, T. Nagatomo
2. 発表標題 ODS and GHG dependence of total ozone at mid- and high latitudes indicated by multi-ensemble simulations using MIROC3.2 and MIROC5 chemistry-climate models
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020、Virtual meeting (オンライン開催) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秋吉英治, 門脇正尚, 山下陽介, 長友正晴
2. 発表標題 500アンサンブル実験による低中高緯度オゾン全量のODS・GHG濃度依存性
3. 学会等名 日本気象学会 2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷部文雄、小寺沙也加、秋吉英治
2. 発表標題 極域オゾンと中高緯度渦熱フラックスの線形関係に関する考察 (2)
3. 学会等名 日本気象学会 2022 年秋季大会
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

〔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	秋吉 英治 (Akiyoshi Hideharu) (80211697)	国立研究開発法人国立環境研究所・地球環境研究センター・ シニア研究員 (82101)	

	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	小寺 沙也加 (Kodera Sayaka)		

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