

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：82109

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03977

研究課題名（和文）巻雲を介した熱帯成層圏対流圏結合と気候変動影響の解明

研究課題名（英文）Tropical stratosphere-troposphere coupling through cirrus and its role in climate change

研究代表者

吉田 康平（Yoshida, Kohei）

気象庁気象研究所・全球大気海洋研究部・主任研究官

研究者番号：10636038

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：熱帯対流圏界層領域での巻雲に伴う雲放射効果はこの領域を暖め、対流圏への熱的影響も見られ、地球温暖化時にこれらの働きは強まる。同時に成層圏準二年周期振動（QBO）の下部における振幅を変調させている。鉛直高解像度化、物理過程を修正した実験で、QBO東風と西風位相の差において、特に北半球冬季の赤道付近、海洋大陸からインド洋にかけて、対流指標と関連する循環指標で有意な差が見られた。同設定で対流圏上部の雲放射を除外した実験では、QBOの下層振幅が大きくなる一方で、対流指標等で有意な差が現れなかった。この違いは、鉛直高解像度化のみでは見られず、巻雲の雲放射過程が影響を及ぼしている可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

巻雲の重要性が示されたことで、気候モデルについて巻雲とその雲放射効果の再現性という観点で再考されるべき、というパラダイムシフトが期待される。さらに光学的な薄さから観測が難しい巻雲や氷晶核となるエアロゾルの詳細な分布と構造を調べる必要性が再認識され、観測のさらなる充実と数値モデル研究の進展との好循環が期待される。また気候モデルにおける物理過程の扱いの難しさや、成層圏対流圏結合の解析におけるサンプル数確保の重要性を示せたことも研究領域におけるパラダイムシフトの一助になったと考えられる。

研究成果の概要（英文）：The cloud radiation effects associated with the cirrus clouds in the tropical tropopause layer warm this region and also have thermal effects on the troposphere, and these effects are intensified during global warming. They modulate the amplitude of the lower stratospheric quasi-biennial oscillation (QBO). Experiments with higher vertical resolution and modified physical processes show significant differences in the QBO easterly and westerly wind phase differences, especially in convective and related circulation indices near the equator in the Northern Hemisphere winter, from the maritime continents to the Indian Ocean. In the experiment with the same settings but excluding cloud radiation in the upper troposphere, the lower QBO amplitudes were larger, but no significant differences appeared in convective and other indices. This difference was not detected by the higher vertical resolution alone, indicating that the cloud radiation process of the cirrus clouds may be influential.

研究分野：大気科学

キーワード：熱帯成層圏対流圏結合 巻雲 雲放射効果 気候モデリング 気候変動

1. 研究開始当初の背景

巻雲は大気上層にできる氷雲であり、その薄さから、太陽からの短波放射の反射は小さいが、地球からの長波放射を効率的に吸収・射出するため、地表を暖める正の放射強制力を持ち、地球の放射収支を考える上で重要な役割を果たしている。その一方で巻雲は厚さや粒径、数密度等によって短波放射と長波放射に対する反射・吸収・射出などの振舞い(雲放射効果)が異なり、不確定性も大きい。巻雲が重要な役割を果たす可能性があり、解明されていないものの一つに、熱帯での成層圏対流圏結合がある。成層圏から対流圏への影響の定量的なメカニズム解明は主要な成層圏変動(例えば成層圏準二年周期振動(QBO)や成層圏突然昇温(SSW))の時間スケールが1週間~数年と長いため、気象・気候予測精度を高め予測技術を次の段階に進めるための喫緊の課題である。しかし、多くの研究で熱帯成層圏対流圏結合の事例やそのメカニズムが議論されているにも関わらず、雲放射効果という直接・遠隔の熱強制を持つ巻雲の熱帯成層圏対流圏結合への影響は、未だ解明されていない。巻雲は熱帯成層圏対流圏結合を増幅する効果が期待され、この効果の詳細なメカニズムを定量的に解明する必要がある。また地球温暖化に伴う成層圏、対流圏、巻雲の変化はこの結合関係を変える可能性がある。

一方で、熱帯成層圏対流圏相互作用について、熱帯対流圏は変動が激しく、現実の観測的事例はサンプル数も少ない。したがって、成層圏のシグナルを熱帯の自然変動と区別するためには、大規模なサンプルを用いた研究が必要である。先行研究でも、熱帯成層圏が対流圏に与える影響について、観測的事例研究によって信頼性の高い結論を導くことの難しさを指摘している。

気象研究所では大気、海洋、エアロゾルと大気化学を結合させた地球システムモデルMRI-ESM2を開発し[Yukimoto et al., JMSJ, 2019]、最新の第6次結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP6)に参加する。MRI-ESM2は高い気候再現性があり、特にQBOを含む成層圏循環の再現性が高く、成層圏対流圏結合を取り扱うのに適している。雲物理に関しても水雲、氷雲の質量と数密度を陽に解く気候予測モデルで最先端の機能を持つ。

2. 研究の目的

地球システムモデルMRI-ESM2の巻雲表現をモデルの鉛直高解像度化と積雲・雲物理過程の調整により高度化して、気候再現性がどのように変化するかを調査し、熱帯成層圏対流圏結合のメカニズムを定量的に解明し巻雲が果たす役割についても明らかにする。鉛直高解像度化した実験とそこから積雲・雲の物理過程を調整した実験、巻雲部分の雲放射効果を除去した実験を行う。温暖化実験も並行して行う。温暖化実験は地球温暖化に伴い巻雲の役割がどう変化するかを明らかにする。これらの実験は不確実性を減らすため、海面水温の気候値を与え、エルニーニョ南方振動等の影響を排除し、比較的少ないサンプルでもシグナルが抽出しやすいよう工夫する。

加えて、成層圏対流圏結合の巻雲の役割を理解するにあたり、その前提となるより広範な成層圏対流圏結合の確度の高いシグナル抽出を行う。これにはサンプル数が十分確保されたデータが必要となる。1000年以上のサンプルがある大規模アンサンプル気候シミュレーションデータセットを用いて、データセット間の違いに着目したモデル不確実性の議論も行う。

3. 研究の方法

巻雲表現を改善するために、気象研究所地球システムモデルMRI-ESM2の高度化を行う。モデル高度化は雲量に加え、雲放射効果の再現性に重要な巻雲の厚さと雲粒特性を含めて現実的にすることに主な焦点を置き、熱帯対流圏界面層を中心に鉛直方向に高解像度化し、鉛直層間隔を100~200 m程度にした鉛直150層を用いる。加えて雲物理過程で対流圏界面付近の薄い巻雲を表現可能になるよう、氷雲の細かい粒径や数密度を許容し、薄い巻雲とその雲頂・雲底での適切な放射過程の再現を図る。

行う実験は、上記の鉛直高解像度化・物理過程を修正した実験に加え、圏界面付近の雲の放射効果を人為的に除去する実験、物理過程を変更しない実験を行う。現在気候および温暖化実験設定についてはQBOi(Quasi-Biennial Oscillation initiative)実験のプロトコルに則り1xCO₂(現在気候二酸化炭素濃度)、2xCO₂(二酸化炭素濃度2倍等)、4xCO₂(二酸化炭素濃度4倍等)実験を行う(詳細はButchart et al., 2018)。これらは海面水温や温室効果ガス濃度など境界条件が年変動しないため少ないサンプルで影響評価が可能になる。この条件でそれぞれ100年のシミュレーションを行う。QBO位相に伴う対流圏影響の違いを抽出するため、QBOの鉛直構造を加味した8位相分割(いわゆるdeep QBO)に基づきコンボジット解析を行う。ここでは対流圏界面に近いQBO位相が重要になるため、30 hPaと70 hPaの東西風からQBO位相を判定する。両要素を加味し標準偏差1以上の事例を用いる。

大規模アンサンプル実験解析には、1000年以上のサンプルがある大規模アンサンプル気候シミュレーションデータセットd4PDF(Mizuta et al., 2017)とMRI-ESM2のアンサンプル気候シミュレーションを用いて、大量のサンプルを確保する。d4PDFは60年×100メンバー海面水温を外部境界として与えている、MRI-ESM2は海洋結合しているが、海洋を観測で同化しているため、現実即した海面水温となる。SSWの抽出には従来よく使われる指標である成層圏極渦の西風逆

転を基準にしたもの (MSSW) と熱帯影響に特化した、低緯度側の成層圏で波活動の大きいイベントに着目した SSW (LSSW) の両方でシグナル抽出を行う (詳細は Yoshida & Mizuta, 2021)。QBO についてはエルニーニョ南方振動 (ENSO) による影響及びシグナル混濁が考えられるため、両方の要素を加味して解析する。

4. 研究成果

高解像度大規模アンサンブル気候シミュレーションデータ d4PDF を用いて、低緯度側に強い成層圏波動強制力を持つ北半球冬の SSW (LSSW) が熱帯対流圏と対流活動に与える影響を調べた。5,000 年規模のシミュレーションにより、1,601 回の LSSW イベントが検出された。熱帯成層圏から対流圏に渡る大きな上昇流と同時に、熱帯の対流活動が有意に促進された。気候値平均の北半球冬期 (12-3 月) に比べ、熱帯低気圧の発生頻度と強度は 5%、ACE は 9% 増加した (図 1)。また、ACE の上位 10% 程度の発生確率の事象は約 30% 増加した。また、過去の研究で対流活動への影響が指摘されている赤道向きの対流圏波活動度は、LSSW イベントと強く同期してはいないことが確認された (Yoshida & Mizuta, 2021)。したがって、サンプルサイズが十分大きければ、対流活動への影響は相殺される。一方で熱帯域の対流圏の応答に関するシミュレーションは、実際の大気には定量的に当てはまらない可能性もある。d4PDF で使用したモデル MRI-AGCM3.2H は、熱帯低気圧の数は現実的であるが、強度を弱く再現する傾向がある。もし、強い対流や熱帯低気圧が SSW の影響を受けやすいとすれば、前述のモデルの特徴は SSW の影響を過小評価することにつながるだろう。したがって、さらなる定量的評価のためには、高精度な気候モデルによる大規模アンサンブルシミュレーションが必要である。

d4PDF 及び MRI-ESM2 の大規模アンサンブル気候シミュレーションを用いて、ENSO と QBO が北半球冬季の成層圏対流圏結合に与える影響について調べた。両モデルとも、北半球の成層圏極渦と SSW 頻度は、ENSO の影響を明らかに受けている。その影響は非線形で、エルニーニョの時には極渦が弱まり SSW 頻度が増加し、中立とラニーニャの時には変化が小さい。対流圏 ENSO テレコネクションの再現性の違いから d4PDF では変化が大きくなっている。北極振動 (AO) 指数はエルニーニョとラニーニャの間で線形的に変化する傾向があり、これは上記の成層圏変動影響に加え、対流圏 ENSO テレコネクションの AO への直接的寄与が影響している可能性がある。QBO の影響は、成層圏極渦が QBO 東風時に弱まり (SSW 頻度が増加) QBO 西風時に強まる (頻度が減少) 傾向がある。MRI-ESM2.0 による QBO の影響の振幅は再解析より小さいが、再解析のサンプル年数が少ないため、その差は不確実性の範囲内である。ENSO と QBO の複合影響は互いに干渉しない傾向があり、強いエルニーニョと QBO 東風により極渦の弱化と AO の負が生じる。

図 2 に MRI-ESM2.0 における QBO についての成層圏極渦の回帰係数の持つサンプル数に応じた不確実性の範囲を示す。サンプル数が少ないと QBO 影響の不確実性がいかに大きいかわかり、再解析と同じ 59 年だと 99 パーセントイルの範囲では回帰係数 ± 3 m/s 以上 90 パーセントイルだと ± 2 m/s 以上の不確実性が生じる。全体での回帰係数が 2 m/s よりも小さいので有意な値とみなすには再解析より多くのサンプルが必要になる。JRA55 の回帰係数を用いた補正の場合、シグナルが大きくなるので少ないサンプルで有意にはなるが、不確実性の幅はほぼ変わらない。QBO 影響をより定量的に議論しようとするこの回帰係数の不確実性の幅を小さくしなくてはならないが、 ± 1 m/s 程度にするのに 300 年、 ± 0.5 m/s 程度にするのに 1200 年のデータが必要になる。このため多少、観測記録が延びても再解析から QBO に成層圏対流圏結合の量的影響を詳細に定めるのは困難であるのがわかる。

熱帯対流圏界層領域での巻雲に伴う雲放射効果は平均的にはこの領域を暖める働きをしており、対流圏への熱的影響も見られ、地球温暖化時にこれらの働きは強まる。同時に成層圏準二年周期振動の下部における振幅を変調させ、それによっても熱帯成層圏対流圏結合を変調させている可能性がある。鉛直高解像度化し、物理過程を修正した実験では、70 hPa における QBO 東風と西風位相に相当する差において、特に北半球冬季の赤道付近、海洋大陸からインド洋にかけて、外向き長波放射 (OLR) 等の対流指標と関連する循環指標で有意な差が見られた (図 3)。一方、同設定で 150 hPa 以上の雲放射を除外した実験では、QBO の下層振幅が大きくなる一方で、同様の対流指標等で有意な差が現れなかった。このような差は、鉛直高解像度化のみでは見られず、想定していた雲放射過程が影響を及ぼしていることが考えられる。一方で、この差が異なる気候モデル、異なる物理過程・解像度設定でも同様とは限らず、より一般性のある理解に向けて、さらなる調査が必要となる。

地球システムモデルにおいて雲物理過程などの物理パラメータは下限値など微細な変化がモデルの振舞に大きく影響することが明らかになった (Kawai et al., 2022)。これは異なるパラメータの実験間で気候再現性が大きく変化し熱帯成層圏対流圏結合シグナルの量的な違いを議論するのが困難であることを意味する。地球システムモデルの高解像度化、巻雲表現の高精度化に関して、巻雲の視点からは高精度化できると思われた変更でも、元のモデルが持っていた気候再現性が損なわれ、特に高解像度時に熱帯低気圧が南半球で過剰に発生するなどが起き、成層圏対流圏結合を議論するのに適さない結果となった。そのため、水平解像度は MRI-ESM2 の標準的な水平 100km 程度にとどまった。この点においてはモデルパラメータを変更せずに同化などによる感度実験によって影響評価を行うことが、有益となりうる。同化手法を用いた巻雲の違いによる成層圏対流圏結合影響の調査は今後の課題となる。

引用文献

Yukimoto, S., H. Kawai, K. Yoshida, et al., 2019: The Meteorological Research Institute Earth System Model version 2.0, MRI-ESM2.0: Description and basic evaluation of the physical component. J. Meteor. Soc. Japan, 97, 931–965, doi:10.2151/jmsj.2019-051.

Mizuta, R., Yoshida, K., et al., 2017: Over 5,000 Years of Ensemble Future Climate Simulations by 60-km Global and 20-km Regional Atmospheric Models. Bull. Amer. Meteor. Soc., 98, 1383–1398, https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0099.1.

Yoshida, K., & Mizuta, R., 2021: Do sudden stratospheric warmings boost convective activity in the tropics? Geophysical Research Letters, 48, e2021GL093688. https://doi.org/10.1029/2021GL093688.

Kawai, H., Yoshida, K., et al., 2022: Importance of minor-looking treatments in global climate models. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 14, e2022MS003128. https://doi.org/10.1029/2022MS003128

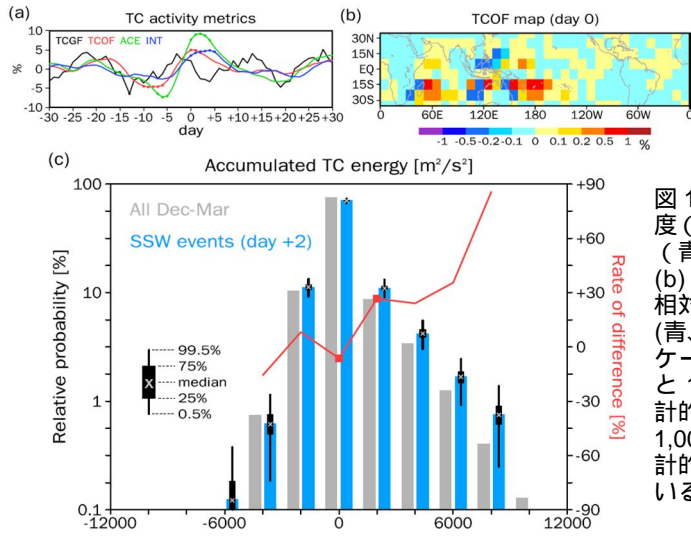


図 1. (a) 熱帯低気圧の発生頻度 (黒) 存在頻度 (赤) 積算エネルギー (緑) 及び強度偏差 (青) の時系列 (12~3 月の気候で標準化)。 (b) day 0 の存在頻度マップ。 (c) ACE 偏差の相対確率について (灰色、左軸) 12-3 月全日と (青、左軸) day +2 の LSSW イベントを対数スケールで示す。 (赤線、右軸) LSSW の相対確率と 12-3 月全日の相対確率の変化率。 (c) の統計的有意性は、ブートストラップ法で抽出した 1,000 アンサンブルから計算。信頼度 99% で統計的に有意な値は、(a, c) マークで示されている。 Yoshida & Mizuta (2021) より引用。

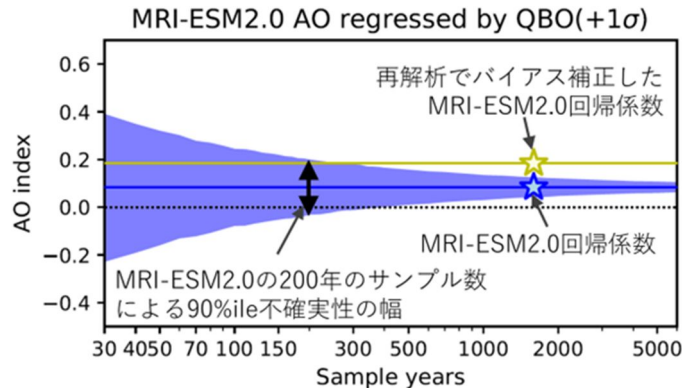


図 2. QBO に回帰した北半球中高緯度海面再生気圧の主要変動モード、北極振動 (AO) 指数のサンプル年数ごとの不確実性。0.1~0.2 程度の AO index の定量的評価には ±0.1 以下 (200 年以上のサンプル) の不確実性が必要。

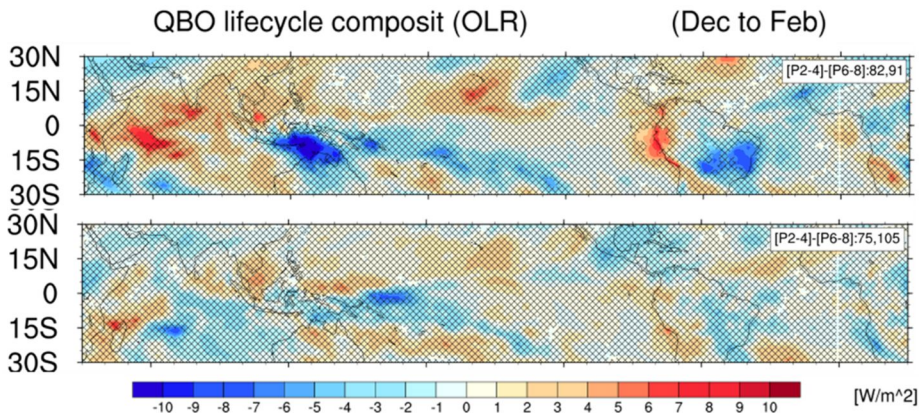


図 3. 北半球冬季の OLR に関する 70 hPa 赤道東西風の東風 (QBOE) と西風 (QBOW) 位相の差。(上) 鉛直 150 層、物理過程修正版 (下) 同設定だが 150 hPa より上方の雲放射を除去した設定。ハッチは 90% 信頼度区間で統計的に有意でない領域。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計27件（うち査読付論文 25件 / うち国際共著 13件 / うちオープンアクセス 18件）

1. 著者名 Kawai, H., Yoshida, K., Koshiro, T., & Yukimoto, S.	4. 巻 14
2. 論文標題 Importance of minor-looking treatments in global climate models	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Advances in Modeling Earth Systems	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) 10.1029/2022MS003128	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 Morgenstern, O., Kinnison, D., Mills, M., Michou, M., Horowitz, L., Lin, P., Deushi, M., Yoshida, K., O'Connor, F., Tang, Y., Abraham, L., Keeble, J., Dennison, F., Rozanov, E., Egorova, T., Sukhodolov, T., & Zeng, G.	4. 巻 127
2. 論文標題 Comparison of Arctic and Antarctic stratospheric climates in chemistry versus no-chemistry climate models	5. 発行年 2022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) 10.1029/2022JD037123	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 Kuroda, Y., Kodera, K., Yoshida, K., Yukimoto, S., and Gray, L.	4. 巻 127
2. 論文標題 Influence of the solar cycle on the North Atlantic Oscillation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 e2021JD035519
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021JD035519	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 Abalos, M., Calvo, N., Benito-Barca, S., Garny, H., Hardiman, S. C., Lin, P., Andrews, M. B., Butchart, N., Garcia, R., Orbe, C., Saint-Martin, D., Watanabe, S., and Yoshida, K.	4. 巻 21
2. 論文標題 The Brewer-Dobson circulation in CMIP6	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 13571-13591
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/acp-21-13571-2021	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 Yoshida, K., and Mizuta, R.	4. 巻 48
2. 論文標題 Do sudden stratospheric warmings boost convective activity in the tropics?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 e2021GL093688
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021GL093688	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 Anstey, J.A., Simpson, I.R., Richter, J.H., Naoe, H., Taguchi, M., Serva, F., Gray, L.J., Butchart, N., Hamilton, K., Osprey, S., Bellprat, O., Braesicke, P., Bushell, A.C., Cagnazzo, C., Chen, C.-C., Chun, H.-Y., Garcia, R.R., Holt, L., Kawatani, Y., Yoshida, K. et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 Teleconnections of the Quasi-Biennial Oscillation in a multi-model ensemble of QBO-resolving models	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society	6. 最初と最後の頁 1-26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/qj.4048	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 Holt, L.A., Lott, F., Garcia, R.R., Kiladis, G.N., Cheng, Y. M., Anstey, J.A., Braesicke, P., Bushell, A.C., Butchart, N., Cagnazzo, C., Chen, C. C., Chun, H. Y., Kawatani, Y., Kerzenmacher, T., Kim, Y. H., McLandress, C., Naoe, H., Osprey, S., Richter, J.H., Scaife, A.A., Yoshida, K., et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 An evaluation of tropical waves and wave forcing of the QBO in the QBOi models	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society	6. 最初と最後の頁 1-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/qj.3827	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 Oshima, N., Yukimoto, S., Deushi, M., Koshiro, T., Kawai, H., Tanaka, T. Y., and Yoshida, K.	4. 巻 7
2. 論文標題 Global and Arctic effective radiative forcing of anthropogenic gases and aerosols in MRI-ESM2.0	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Prog. Earth. Planet. Sci.	6. 最初と最後の頁 38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-020-00348-w	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 Stockdale, T.N., Kim, Y. H., Anstey, J.A., Palmeiro, F.M., Butchart, N., Scaife, A.A., Andrews, M., Bushell, A.C., Dobrynin, M., Garcia Serrano, J., Hamilton, K., Kawatani, Y., Lott, F., McLandress, C., Naoe, H., Osprey, S., Pohlmann, H., Scinocca, J., Watanabe, S., Yoshida, K. and Yukimoto, S.	4. 巻 -
2. 論文標題 Prediction of the quasi biennial oscillation with a multi model ensemble of QBO resolving models	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society	6. 最初と最後の頁 1-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/qj.3919	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 Garfinkel, C. I., Harari, O., Ziskin Ziv, S., Rao, J., Morgenstern, O., Zeng, G., Tilmes, S., Kinnison, D., O'Connor, F. M., Butchart, N., Deushi, M., Jockel, P., Pozzer, A., and Davis, S.	4. 巻 21
2. 論文標題 Influence of the El Niño/Southern Oscillation on entry stratospheric water vapor in coupled chemistry/ocean CCM1 and CMIP6 models	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Atmos. Chem. Phys.	6. 最初と最後の頁 3725-3740
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/acp-21-3725-2021	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 Yukimoto, S., H. Kawai, T. Koshiro, N. Oshima, K. Yoshida, S. Urakawa, H. Tsujino, M. Deushi, T. Tanaka, M. Hosaka, S. Yabu, H. Yoshimura, E. Shindo, R. Mizuta, A. Obata, Y. Adachi, and M. Ishii	4. 巻 97
2. 論文標題 The Meteorological Research Institute Earth System Model Version 2.0, MRI-ESM2.0: Description and Basic Evaluation of the Physical Component	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II	6. 最初と最後の頁 931-965
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/jmsj.2019-051	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 Lamy, K., M. Deushi, K. Yoshida et al.	4. 巻 19
2. 論文標題 Clear-sky ultraviolet radiation modelling using output from the Chemistry Climate Model Initiative	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 10087-10110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/acp-19-10087-2019	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 Naoe, H. and K. Yoshida	4. 巻 145
2. 論文標題 Influences of quasi-biennial oscillation on the boreal winter extratropical stratosphere in QBOi experiments	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society	6. 最初と最後の頁 2755-2771
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/qj.3591	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 Smith, A. K, L. A. Holt, R. R. Garcia, J. A. Anstey, F. Serva, N. Butchart, S. Osprey, A. C. Bushell, Y. Kawatani, Y. H. Kim, F. Lott, P. Braesicke, C. Cagnazzo, C. C. Chen, H. Y. Chun, L. Gray, T. Kerzenmacher, H. Naoe, J. Richter, S. Versick, V. Schenzinger, S. Watanabe, and K. Yoshida	4. 巻 -
2. 論文標題 The equatorial stratospheric semiannual oscillation and time mean winds in QBOi models	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/qj.3690	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 Richter, J.H., K. Yoshida et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 Response of the Quasi Biennial Oscillation to a warming climate in global climate models	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society	6. 最初と最後の頁 1-29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/qj.3749	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 Bushell, A.C., K. Yoshida et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 Evaluation of the Quasi Biennial Oscillation in global climate models for the SPARC QBO initiative	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society	6. 最初と最後の頁 1-31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/qj.3765	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 Ayarzaguena, B., A. J. Charlton-Perez, A. H. Butler, P. Hitchcock, I. R. Simpson, L. M. Polvani ⁶ , N. Butchart, E. P. Gerber, L. Gray, B. Hassler, P. Lin, F. Lott, E. Manzini, R. Mizuta, C. Orbe, S. Osprey, D. Saint-Martin, M. Sigmond, M. Taguchi, E. M. Volodin, and S. Watanabe	4. 巻 125
2. 論文標題 Uncertainty in the response of sudden stratospheric warmings and stratosphere-troposphere coupling to quadrupled CO ₂ concentrations in CMIP6 models	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) 10.1029/2019JD032345	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52件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 33件)

1. 発表者名 Yoshida, K., Y. Imada, R. Mizuta, and Y. Ushijima
2. 発表標題 Large ensembles unveil quantitative impact of El Niño-Southern Oscillation and Quasi-Biennial Oscillation on Northern Hemisphere stratosphere-troposphere coupling
3. 学会等名 The Role of Atmospheric Dynamics for Climate and Extremes A Joint SPARC DynVar ? SNAP Meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉田康平, 今田由紀子, 水田亮, 牛島悠介
2. 発表標題 大規模気候シミュレーションによる成層圏対流圏結合過程のENSOとQBOとの関係
3. 学会等名 異常気象研究集会「異常気象と長期変動」
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉田康平
2. 発表標題 大規模アンサンブルデータによる北半球冬季成層圏対流圏結合
3. 学会等名 JpGU meeting 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉田康平
2. 発表標題 大規模アンサンブル実験から見える北半球冬季成層圏対流圏結合
3. 学会等名 日本気象学会2023年度春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川合秀明, 吉田康平, 神代剛, 行本誠史
2. 発表標題 全球気候モデルにおけるマイナーに見える取り扱いの重要性 Part 2 雲関係
3. 学会等名 日本気象学会2023年度春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川合秀明, 吉田康平, 神代剛, 行本誠史
2. 発表標題 全球気候モデルにおけるマイナーに見える取り扱いの重要性
3. 学会等名 JpGU meeting 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kawai, H., K. Yoshida, T. Koshiro, and S. Yukimoto
2. 発表標題 Importance of Minor-Looking Treatments for Clouds in GCMs
3. 学会等名 CFMIP Meeting on Clouds, Precipitation, Circulation, and Climate Sensitivity (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kawai, H., K. Yoshida, T. Koshiro, and S. Yukimoto
2. 発表標題 What determines earth system model performance? Physics or ...?
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoshida, K.
2. 発表標題 The polar stratosphere-troposphere coupling variation with El Niño Southern Oscillation and Quasi-Biennial Oscillation in large-ensemble 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 Kawai, H., K. Yoshida, T. Koshiro, and S. Yukimoto
2. 発表標題 Importance of Minor-Looking Treatments in GCMs --- Can satellite observation reduce uncertainty in such treatments?
3. 学会等名 2nd EarthCARE Modeling Workshop (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kawai, H., K. Yoshida, T. Koshiro, and S. Yukimoto
2. 発表標題 Importance of Minor-Looking Treatments in Global Climate Models
3. 学会等名 6th WGNE workshop on systematic errors in weather and climate models (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kawai, H., K. Yoshida, T. Koshiro, and S. Yukimoto
2. 発表標題 Importance of “Minor Treatments” in Global Climate Models
3. 学会等名 The 3rd Pan-GASS meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川合秀明, 吉田康平, 神代剛, 行本誠史
2. 発表標題 モデルのマイナーに見える取り扱いは雲表現にとってどんなに重要か?
3. 学会等名 エアロゾル・雲・降水に関する研究集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川合秀明, 吉田康平, 神代剛, 行本誠史
2. 発表標題 全球気候モデルにおけるマイナーに見える取り扱いの重要性
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 Yoshida, K., and Mizuta, R.
2. 発表標題 Do sudden stratospheric warmings boost convective activity in the tropics?
3. 学会等名 AMS 102nd Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 出牛真
2. 発表標題 成層圏オゾンが季節内から季節スケールで対流圏循環に及ぼす影響について
3. 学会等名 令和3年度日本気象学会長期予報研究連絡会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉田康平, 水田亮
2. 発表標題 成層圏突然昇温は熱帯対流活動を励起するか? ~大規模アンサンブルシミュレーションからの視座~
3. 学会等名 JpGU Meeting 2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshida, K.
2. 発表標題 Do sudden stratospheric warmings boost convective activity in the tropics?
3. 学会等名 WCRP/SPARC SATIO-TCS joint workshop on Stratosphere-Troposphere Dynamical Coupling in the Tropics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshida, K.
2. 発表標題 Do sudden stratospheric warmings boost convective activity in the tropics?
3. 学会等名 Workshop: Stratospheric predictability and impact on the troposphere (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshida, K. and R. Mizuta
2. 発表標題 Sudden Stratospheric Warming Influence on the Tropical Troposphere with High Resolution Large Ensemble Simulations
3. 学会等名 AOGS 16th Annual Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshida, K. and R. Mizuta, 2019
2. 発表標題 Influence of Sudden Stratospheric Warmings on the Tropical Troposphere with High Resolution Large Ensemble Simulations
3. 学会等名 27th IUGG General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田康平
2. 発表標題 成層圏突然昇温は熱帯の対流を促進するか？
3. 学会等名 異常気象研究会2019・第7回観測システム・予測可能性研究連絡会「異常気象の発現メカニズムと大規模大気海洋変動の複合過程」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川合秀明, 行本誠史, 神代剛, 大島長, 田中泰宙, 吉村裕正, 長澤亮二
2. 発表標題 MRI-ESM2の雲表現の改良における様々な苦労
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 Oshima, N.
2. 発表標題 Evaluation of radiative forcing using MRI earth system model
3. 学会等名 AMAP short-lived climate forcers (SLCF) expert group meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Oshima, N.
2. 発表標題 Development of the MRI Earth System Model (MRI-ESM2) and evaluations of radiative effects of black carbon
3. 学会等名 The Workshop on Air Quality and Climate Research Across Scales (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Deushi, M.
2. 発表標題 Subseasonal Hindcast Experiments with Different Treatment on Ozone Chemistry and Radiation Processes after Major Sudden Stratospheric Warming Events
3. 学会等名 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Deushi, M.
2. 発表標題 Possible impacts of stratospheric ozone on circulation changes in the tropical troposphere following a stratospheric sudden warming event
3. 学会等名 JpGU meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 出牛真
2. 発表標題 北半球冬季における成層圏オゾン変動が季節内スケールの対流圏循環に及ぼす影響
3. 学会等名 異常気象研究会2019・第7回観測システム・予測可能性研究連絡会「異常気象の発現メカニズムと大規模大気海洋変動の複合過程」
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Yoden Shigeo, Yoshida Kohei	4. 発行年 2023年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 15
3. 書名 Impacts of Solar Activity Variations on Climate. In: Kusano, K. (eds) Solar-Terrestrial Environmental Prediction	

〔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	川合 秀明 (Kawai Hideaki) (40601688)	気象庁気象研究所・気象予報研究部・主任研究官 (82109)	

	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	水田 亮 (Mizuta Ryo)		
研究協力者	出牛 真 (Deushi Makoto)		

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	大島 長 (Oshima Naga)		
研究協力者	神代 剛 (Koshiro Tsuyoshi)		
研究協力者	小寺 邦彦 (Kodera Kunihiko)		
研究協力者	江口 菜穂 (Eguchi Nawo)		

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