

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01286

研究課題名(和文)エルニーニョ・南方振動に伴う重力波及び成層圏準2年振動の変調

研究課題名(英文)The Quasi-biennial Oscillation and Gravity Wave Modulation by the El Nino Southern Oscillation

研究代表者

河谷 芳雄 (Kawatani, Yoshio)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(環境変動予測研究センター)・主任研究員

研究者番号：00392960

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：重力波パラメタリゼーションを組み込まない気候モデルを用いてエルニーニョ南方振動(ENSO)-赤道準2年振動(QBO)実験を行い、各種観測データ・再解析データを相補的に組み合わせ、ENSOに伴うQBOの変調メカニズムを調べた。重力波がエルニーニョ期に多く励起され、特に下部成層圏QBO位相の下降速度を早めていた。エルニーニョ期ではラニーニャ期に比べ、QBO下降を妨げる赤道上昇流が大きいものの、重力波の効果がより大きいため、周期が短くなることが分かった。重力波パラメタリゼーションを組み込んだモデルでは、重力波活動の変化が考慮されないため、上述したQBO変調は見られなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

QBOを再現する気候モデル群と各種観測結果を融合させた、ENSOに伴う重力波とQBO変調の系統的解析は国際的に見ても初の試みであった。更に気象学で頻繁に使われる再解析データを精査し、再解析間での類似・相違点と、それを引き起こす要因を明確にすることで再解析コミュニティにも貢献するものである。本研究で得たENSO-QBOの新たな知見は、世界の気象数値予報モデルにおけるエルニーニョ/ラニーニャ期のQBO季節予報に役立ち、QBOと連動するMJOや中緯度天気予報精度向上にも繋がる。加えて気候モデルを改良する為の有益な情報提供、次期IPCC第6次評価報告書の科学的知見の収集にも役立つ。

研究成果の概要(英文)：El Nino Southern Oscillation (ENSO)-equatorial biennial oscillation (QBO) experiments were conducted using a climate model in which gravity wave parameterization is not included, and various observational and reanalysis data were analyzed to investigate QBO modulation mechanism by ENSO. More gravity waves were excited during the El Nino period, which accelerate the downward speed of the lower stratospheric QBO. Although the equatorial upwelling that prevents the downward propagation of the QBO was larger during the El Nino than La Nina, effects of gravity wave was larger during El Nino, resulting in a shorter period. Models which include gravity wave parameterization did not show such QBO modulation due to unchanged gravity wave sources assumed in the parameterization.

研究分野：中層大気科学

キーワード：赤道準2年振動 エルニーニョ南方振動

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

赤道域の成層圏では、東風と西風が平均 28 ヶ月の周期で交代している準 2 年振動 (QBO: Quasi-Biennial Oscillation) と呼ばれる大規模な大気循環が存在する。赤道域の活発な積雲対流によって励起された東進・西進する重力波が QBO を駆動している。また成層圏ではブリューワー・ドブソン循環 (BD 循環) と呼ばれる、赤道域で上昇し、南北両半球に広がり、高緯度で下降する地球規模の循環が存在する。BD 循環に伴う赤道上昇流は、QBO が上層から下層に下りるのを妨げる働きをする。一般的に重力波作用が大きく (小さく) になると QBO 周期は短く (長く) BD 循環が強 (弱) まると QBO 周期は長く (短く) なる。QBO は対流圏 - 成層圏結合を引き起こし、赤道 ~ 極域、地表 ~ 高度 100km に及ぶ広範囲の力学・化学過程に影響を及ぼし、気象予報精度とも関連する、極めて重要な現象である。

QBO の駆動源である重力波の時空間スケールは小さく、通常の気候モデルでは重力波を十分に解像できない為、世界のほぼ全ての研究機関で重力波パラメタリゼーションをモデルに組み込むことで QBO を再現している。現実大気では対流圏循環場、対流活動、重力波が時空間に連動して変動する為、重力波パラメタリゼーションで使われている様々な仮定は気候モデルの不確実性を引き起こす主要因の 1 つになっている。

ところで赤道東太平洋の海面水温は数年のサイクルで変動し、高温期はエルニーニョ、低温期はラニーニャと呼ばれる。この現象は低緯度の気圧の東西振動と関連し、両者を合わせて、エルニーニョ・南方振動 (ENSO: El Niño Southern Oscillation) とも呼ばれ、世界中の天候に影響を与えている。近年の観測的研究から ENSO と QBO が連動し、エルニーニョ期ではラニーニャ期に比べ QBO 周期が 7 ヶ月程度短くなることが発見された (Taguchi 2010)。しかし ENSO に伴う対流圏・成層圏循環、熱帯対流、重力波活動の変動が、どのようなプロセスを経て QBO 変調を引き起こすかについては殆ど理解されていない。このメカニズムを解き明かせないか、更に気候モデルの不確実性を引き起こす重力波パラメタリゼーションの新たな検討手段として、ENSO - QBO の関係を応用できないか、と考えたのが本研究開始当初の背景である。

2. 研究の目的

重力波パラメタリゼーションを組み込まない高解像度気候モデルを用いた ENSO - QBO 実験 (モデルで表現される降水・対流圏循環・重力波と QBO が陽に連動する為、同パラメタリゼーションによる不確実性が無) と、各種観測データ・再解析データを有機的・相補的に組み合わせ、ENSO に伴う QBO の変調メカニズムを明らかにすることを目的とする。同時に重力波パラメタリゼーションを組み込んだ中解像度気候モデル群による実験から、ENSO と連動する同パラメタリゼーションの挙動を検証する。

また ENSO-QBO 研究を進めるにあたり、再解析データも使用する。近年、再解析データの種類が増えており、再解析間の類似・相違性を理解しておく必要がある。成層圏再解析比較国際プロジェクト (S-RIP) の活動を通して、再解析データ比較も行う。また現実大気の対流活動特性も精査する。さらに、気候モデルはモデル上端を任意に設定できるが、モデル上端や鉛直解像度の違いが、対流圏・成層圏循環にどのような影響を及ぼすのかも合わせて調査する。

3. 研究の方法

最初に各種観測データを用いて、ENSO に伴う降水強度・空間パターン、熱帯域の対流圏循環場 (経度方向に風向きが変化。図 2 参照) QBO の変化を定量的に理解する。次に重力波パラメタリゼーションを用いずとも QBO が再現可能な MIROC-AGCM モデルを用いて、成層圏 BD 循環、重力波励起、重力波の 3 次元伝播特性の変化を調べ、それぞれが QBO 変調に果たす相対的な役割を評価し、メカニズムを解き明かす。次に重力波パラメタリゼーションを用いた気候モデル MIROC-ESM による実験を行い、ENSO に伴う同パラメタリゼーションの挙動、QBO 変調の再現性を精査し、MIROC-AGCM 結果と比較する。両実験の下部境界条件として、観測データからエルニーニョ、ラニーニャの海面水温分布を作成したものを与えて実験を行った。

モデル上端を変える実験では MIROC-AGCM 用いて、同一の物理過程・パラメータ、水平解像度に設定し、モデルトップの高度や成層圏解像度を変えた 4 種類の実験を行った。具体的には水平解像度は T106 で、モデル上端と鉛直総数をそれぞれ (a) 28km, L34, (b) 48km, L42, (c) 48km, L72, (d) 95km, L168 に設定したモデルを 100 年間積分した。対流圏の鉛直解像度は全て同じである。成層圏の鉛直解像度は (b) では 1-3km であるが、(c) と (d) で 550m に設定している。(a) と (b) の比較から成層圏、(b) と (c) の比較から成層圏解像度、(c) と (d) の比較から中間圏が対流圏循環形成に与える影響を調べた。

4. 研究成果

MIROC-AGCM ではラニーニャ期に比べてエルニーニョ期で QBO 周期が有意に短くなる観測と整合的な結果が得られた。モデルで表現されるエルニーニョ時とラニーニャ時の基本的な物理量の差異を検証する為、全球降水データ、再解析データの解析も行った。ラニーニャ期に比べて、エルニーニョ期では熱帯対流圏ウォーカー循環に伴う東西風の鉛直シアが弱いこと、赤道上での帯状平均降水量が 15% 程度多いこと、対流圏から成層圏の中緯度で西風が強いことなど、モ

デルと観測に基づくデータの整合性を確認した。高解像度衛星観測データに瞬間的な時空間スケクトルを計算可能とするウェーブレット解析から、ラニーニャ時に比べてエルニーニョ時には位相速度の遅い対流雲活動が活発であることを観測データから発見した。MIROC-AGCM 気候モデルでも同様な特徴が再現されており、位相速度の遅い重力波がエルニーニョ期に多く励起され、特に下部成層圏 QBO 位相の下降速度を速めていることが分かった。エルニーニョ期ではラニーニャ期に比べ、QBO 下降を妨げる赤道上昇流が大きいものの、重力波の効果がより大きいことを運動量収支解析から明らかにした。得られた結果の模式図を図 1 に示す。

一方で、MIROC-ESM では両実験で QBO 周期に有意な差は得られなかった。重力波パラメタリゼーションを組み込んだ MIROC-ESM モデル実験では、パラメタライズされた重力波ソースを時間・空間方向に一様に取り扱っており、世界的に見ても標準的なものである。このパラメタリゼーションでは ENSO による重力波活動の時空間変化が表現されないため、QBO 変調を引き起こすだけの波の力が足りないことが分かり、仮定されている重力波の物理過程の問題点を示した。これらの成果は論文として発表した (Kawatani et al. 2019a)。

QBO 気候モデル比較国際プロジェクト(QBOi)で同様な QBO-ENS 実験を主導した。初期結果としてデータ提出済みの 6 機関のデータの初期解析を行った。各モデルで ENSO に伴う QBO 周期の変調に大きなバラツキがあることが分かった。各モデルで異なる重力波パラメタリゼーションを使っている為だと思われるが、詳細な解析は今後の課題である。

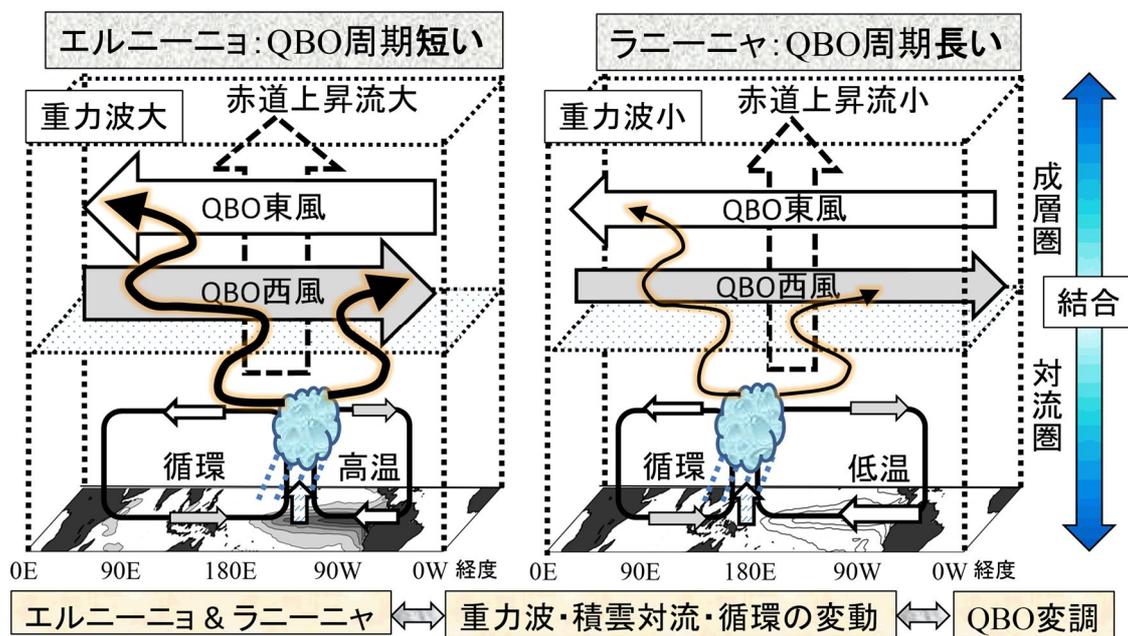


図 1 . エルニーニョ期とラニーニャ期における QBO の模式図。両者で QBO 周期、重力波活動、赤道上昇流、対流圏循環場、海面水温が異なる様子を示す。

次にモデル上端が対流圏 成層圏循環の再現性に与える影響について述べる。対流圏の上層に位置する成層圏をフルカバーするモデルを用いると、対流圏循環の再現性が向上し、日々の天気予測スキルも改善することが経験的に知られている。対流圏から成層圏への影響と比べ、成層圏から対流圏へ影響を及ぼす現象の理解は格段に困難である。これを調べる手段として、世界中の CMIP 気候モデル群を、ハイトップ (成層圏をフルカバーする) とロートップ (成層圏をフルカバーしない) モデルに分けて、両者の違いを見出す方法がある。しかし各モデルで物理法則を記述する過程や解像度が異なる影響の方が大きく、同手法では成層圏が対流圏へ与える影響を定量的に理解するのは難しいことが分かった。

大気大循環モデル MIROC-AGCM 用いて、同一の物理過程・パラメータ、水平解像度に設定し、モデルトップの高度や成層圏解像度を変えた 4 種類の実験 (L34, L42, L72, L168) 結果の比較を行った。図 2 に再解析 (ERA-1) データと比較した帯状平均温度及び東西風の Taylor diagram を示す。高緯度の 1000-85hPa では、特に東西風で成層圏を含まない L34 のみが ERA-1 と外れたスコアになっており、成層圏の有無が対流圏気候値循環場の再現性を変え得ることを示している。70-10hPa の Taylor diagram を見ると、成層圏の解像度が高い L72 () の方が低い L42 () より、温度及び東西風のスコアが良くなっている。更にモデルトップを中間層界面まで上げた L168 () のスコアが特に冬～春にかけて一番良くなっている。同様に地表面気圧と降水分布を調べたところ、成層圏を含むモデル (L34, L72, L168) が含まないモデル (L34) より一般的にスコアが良くなっていた (図略)。

図 3 に L34 と L42 の比較 (L34 - L42) から得られた、成層圏の有無が対流圏に与える影響の模式図を示す。成層圏を十分に表現できないロートップモデルでは、赤道から高緯度へ向かう成層圏の循環 (Brewer-Dobson 循環) が弱くなる。その結果、極域での下降流が弱くなり、断熱

圧縮も弱まるため温度が下がる。温度風の関係から 対流圏～成層圏の西風ジェットが強まり、付随して対流圏の傾圧波活動が極側へシフトする。その影響が地表付近まで及び、地表付近の西風が強まり、気圧は低緯度側で高く、高緯度側で低くなる。すなわち、高緯度で低気圧偏差、中緯度で高気圧偏差になり、降水は高緯度で増え、中緯度で減る。成層圏の有無が対流圏下層にまで影響を与えることが明らかになった。更に中間圏界面までモデル上端を上げると、気象現象の再現性が改良されることも示された。これらの成果は論文として発表した (Kawatani et al. 2019b)。

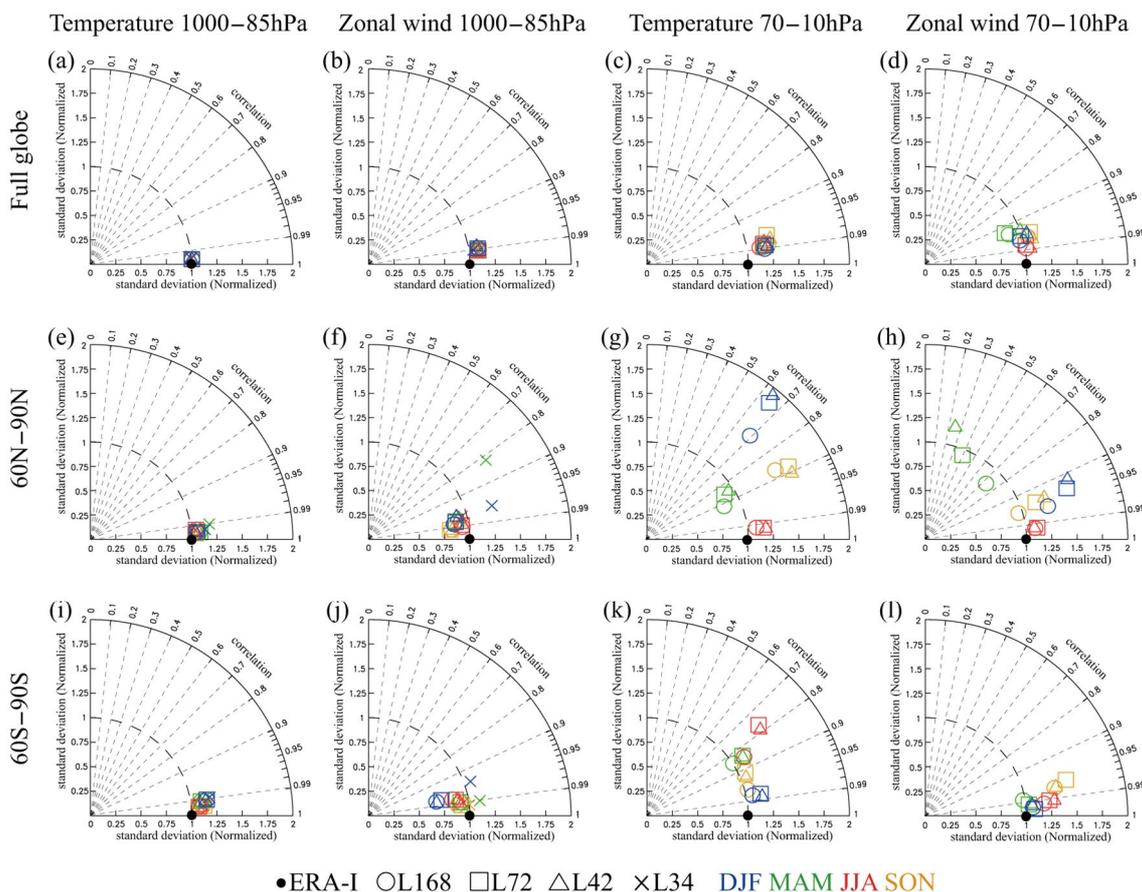


図 2 . ERA-I (黒丸)と比較した帯状平均温度及び東西風の Taylor diagram。上段が全球平均、中段が 60°N-90°N 平均、下段が 60°S-90°S 平均。左 2 列が高度 1000-85hPa、右 2 列が高度 70-10hPa 平均。図中の ○, □, △, × はそれぞれ L168, L72, L42, L34 を、青・緑・赤・黄色は DJF, MAM, JJA, SON を表す。

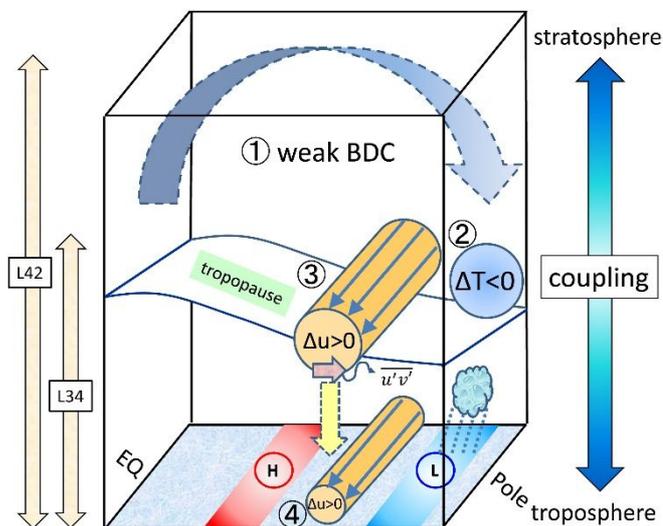


図 3 . 成層圏の有無が対流圏に与える影響の模式図 (L34 - L42)。成層圏を十分に表現できないロートップモデルでは、赤道から高緯度へ向かう成層圏の循環 (Brewer-Dobson 循環) が弱くなり、極域での下降流が弱くなり温度が下がる。対流圏～成層圏の西風ジェット及び傾圧波

活動が極側へシフトする。その影響が地表付近まで及び、地表付近の西風が強まり、気圧は低緯度側で高く、高緯度側で低くなる。高緯度で低気圧偏差、中緯度で高気圧偏差になり、降水分布が変化。

S-RIP プロジェクトでは、分担者の藤原が co-leads として、代表者の河谷が contributor として参加した。S-RIP の中で本研究課題と関連する研究としては、QBO を駆動する各種赤道波の再現性について詳しく調べた研究 (Kim et al. 2019)、大規模火山噴火に伴う地表気温の応答を比較調査した研究 (Fujiwara et al., 2020) がある。また成層圏循環の分析に利用される変形オイラー平均 (TEM) 運動方程式の各項について、季節変動、ENSO、QBO、太陽 11 年周期変動等それぞれに伴うシグナルを抽出し引き続き調べるとともに、大規模火山噴火に伴う成層圏循環の応答について引き続き調査した。また、TEM 熱力学方程式の各項についても同様に調査した。S-RIP の最終報告書は WCRP/SPARC の Reportseries のひとつとして、2022 年 1 月に出版された。

観測データを用いて、大気重力波の励起源でもある対流活動の調査も行った。TRMM 降雨レーダ観測により、赤道域の対流と結合した Kelvin 波と Rossby 波に伴う降水の特徴の相違を解析した。Kelvin 波に伴う降水は、対流性の降水から層状性の多い降水への位相変化がみられるのに対し、Rossby 波に伴う降水は、全体に層状性降水が多いという、降水特性の違いが示された。衛星搭載降雨レーダ観測を用いた対流潜熱加熱推定値を初めて定量的に利用し、波 対流活動の結合過程において、赤道 Rossby 波は Moisture mode、赤道 Kelvin 波は Gravity wave mode が主要メカニズムであることを示した。また、降雨の 3 次元観測データを用いて、それぞれの波における対流活動のライフサイクルの違いを初めて直接的に明らかにした。

< 引用文献 >

- Taguchi, M., 2010: Observed connection of the stratospheric quasi-biennial oscillation with El Niño-Southern Oscillation in radiosonde data, *J. Geophys. Res.*, 115, D18120, <https://doi.org/10.1029/2010JD014325>
- Kawatani, Y., K. Hamilton, K. Sato, T. J. Dunkerton, S. Watanabe and K. Kikuchi: ENSO modulation of the QBO: Results from MIROC models with and without non-orographic gravity wave parameterization, *J. Atmos. Sci.*, 76, 3893-3917, <https://doi.org/10.1175/JAS-D-19-0163.1>, 2019a
- Kawatani, Y., K. Hamilton, L. J. Gray, S. M. Osprey, S. Watanabe and Y. Yamashita: The effects of a well-resolved stratosphere on the simulated boreal winter circulation in a climate model, *J. Atmos. Sci.*, 76, 1203-1226, <https://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/JAS-D-18-0206.1>, 2019b
- Kim, Y.-H., G. N. Kiladis, J. R. Albers, J. Dias, M. Fujiwara, J. A. Anstey, I.-S. Song, C. J. Wright, Y. Kawatani, F. Lott, and C. Yoo: Comparison of equatorial wave activity in the tropical tropopause layer and stratosphere represented in reanalyses, *Atmos. Chem. Phys.*, 19, 10027-10050, doi: 10.5194/acp-19-10027-2019, 2019.
- Fujiwara, M., P. Martineau, and J. S. Wright: Surface temperature response to the major volcanic eruptions in multiple reanalysis data sets, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20, 345-374, doi: 10.5194/acp-20-345-2020, 2020

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 14件/うち国際共著 14件/うちオープンアクセス 14件）

| | |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名 Kawatani Yoshio, Hirooka Toshihiko, Hamilton Kevin, Smith Anne K., Fujiwara Masatomo | 4. 巻 20 |
| 2. 論文標題 Representation of the equatorial stratopause semiannual oscillation in global atmospheric reanalyses | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics | 6. 最初と最後の頁 9115 ~ 9133 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/acp-20-9115-2020 | 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 Stockdale, T. N., Kim Y. H., J. A. Anstey, F. M. Palmeiro, N. Butchart, A. Scaife, Martin A., A. C. Bushell, M. Dobrynin, J.S. Garcia, K. Hamilton, Y. Kawatani, F. Lott, C. McLandress, H. Naoe, S. Osprey, H. Pohlmann, J. Scinocca, S. Watanabe, K. Yoshida, S. Yukimoto | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Prediction of the quasi biennial oscillation with a multi model ensemble of resolving models QBO | 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 - |
| 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 Laura H. A., F. Lott, R. Garcia, G. Kiladis, Y-M. Cheng, J. Anstey, P. Braesicke, A. Bushell, N. Butchart, C. Cagnazzo, C-C. Chen, H-Y. Chun, Y. Kawatani, T. Kerzenmacher, Y-H. Kim, C. McLandress, H. Naoe, S. Osprey, J. Richter, A. Scaife, J. Scinocca, F. Serva, S. Versick, S. Watanabe, K. Yoshida, S. Yukimoto | 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 - |
| 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 Kawatani, Y., K. Hamilton, K. Sato, T. J. Dunkerton, S. Watanabe and K. Kikuchi | 4. 巻 76 |
| 2. 論文標題 ENSO modulation of the QBO: Results from MIROC models with and without non-orographic gravity wave parameterization | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Atmospheric Sciences | 6. 最初と最後の頁 3893-3917 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/JAS-D-19-0163.1 | 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 該当する |

| | |
|--|--------------------|
| 1. 著者名 A.K. Smith, L.A. Holt, R.R. Garcia, J.A. Anstey, F. Serva, N. Butchart, S.M. 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, 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 河谷芳雄 | 4. 巻 16 |
| 2. 論文標題 地球温暖化で成層圏大気の流れが変化 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Japan Geoscience Letters | 6. 最初と最後の頁 9-11 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 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 Richter, J. H., N. Butchart, Y. Kawatani, A. C. Bushell, L. Holt, F. Serva, J. Anstey, I. R. Simpson, S. M. Osprey, K. Hamilton, P. Braesicke, C. Cagnazzo, C.-C. Chen, R. R. Garcia, L. J. Gray, T. Kerzenmacher, F. Lott, S. Watanabe, 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 Butchart Neal, Anstey James, Kawatani Yoshio, Osprey Scott, Richter Yadwiga, Wu Tongwen | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 QBO changes in CMIP6 climate projections | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS | 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) 10.1029/2019GL086903 | 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 Bushell AC, Anstey JA, Butchart N, Kawatani Y, Osprey SM, Richter JH, Serva F, Braesicke P, Cagnazzo C, Chen C-C, Chun H-Y, Garcia RR, Gray LJ, Hamilton K, Kerzenmacher T, Kim Y-H, Lott F, McLandress C, Naoe H, Scinocca J, Smith AK, Stockdale TN, Versick S, Watanabe S, Yoshida K, Yukimoto S | 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 Richter Yadwiga, Anstey James, Butchart Neal, Yoshio Kawatani, Gerald A. Meehl, Scott Osprey, Isla R. Simpson | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Progress in simulating the Quasi-biennial Oscillation in CMIP 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) 10.1029/2019JD032362 | 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 Young-Ha Kim, George Kiladis, John Albers, Juliana Dias, Masatomo Fujiwara, James Anstey, In-Sun Song, Corwin Wright, Yoshio Kawatani, Francois Lott, Changhyun Yoo | 4. 巻 19 |
| 2. 論文標題 Comparison of equatorial wave activity in the tropical tropopause layer and stratosphere represented in reanalyses | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS | 6. 最初と最後の頁 10027-10050 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/acp-19-10027-2019 | 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 Tatebe, H., Ogura, T., Nitta, T., Komuro, Y., Ogochi, K., Takemura, T., Sudo, K., Sekiguchi, M., Abe, M., Saito, F., Chikira, M., Watanabe, S., Mori, M., Hirota, N., Kawatani, Y., Mochizuki, T., Yoshimura, K., Takata, K., O'ishi, R., Yamazaki, D., Suzuki, T., Kurogi, M., Kataoka, T., Watanabe, M., and Kimoto, M. | 4. 巻 12 |
| 2. 論文標題 Description and basic evaluation of simulated mean state, internal variability, and climate sensitivity in MIROC6 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Geoscientific Model Development | 6. 最初と最後の頁 2727-2765 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/gmd-12-2727-2019 | 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 - |

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 Kawatani, Y., T. Hirooka, K. Hamilton, A. K. Smith and M. Fujiwara | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Representation of the Equatorial Stratopause Semiannual Oscillation in Global Atmospheric Reanalyses | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS DISCUSSION | 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) 10.5194/acp-2020-73 | 査読の有無 無 |
| 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 Fujiwara Masatomo, Martineau Patrick, Wright Jonathon S. | 4. 巻 20 |
| 2. 論文標題 Surface temperature response to the major volcanic eruptions in multiple reanalysis data sets | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics | 6. 最初と最後の頁 345 ~ 374 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/acp-20-345-2020 | 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 Kawatani Yoshio, Hamilton Kevin, Gray Lesley J., Osprey Scott M., Watanabe Shingo, Yamashita Yousuke | 4. 巻 76 |
| 2. 論文標題 The Effects of a Well-Resolved Stratosphere on the Simulated Boreal Winter Circulation in a Climate Model | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Atmospheric Sciences | 6. 最初と最後の頁 1203 ~ 1226 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/JAS-D-18-0206.1 | 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 該当する |

| | |
|---|----------------------|
| 1. 著者名 Kim Young-Ha, Kiladis George N., Albers John R., Dias Juliana, Fujiwara Masatomo, Anstey James A., Song In-Sun, Wright Corwin J., Kawatani Yoshio, Lott Francois, Yoo Changhyun | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Comparison of equatorial wave activity in the tropical tropopause layer and stratosphere represented in reanalyses | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics Discussions | 6. 最初と最後の頁 1 ~ 36 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/acp-2019-110 | 査読の有無 無 |
| 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 T. Hiroaki, T. Ogura, T. Nitta, Y. Komuro, K. Ogochi, T. Takemura, K. Sudo, M. Sekiguchi, M. Abe, F. Saito, M. Chikira, S. Watanabe, M. Mori, N. Hirota, Y. Kawatani, T. Mochizuki, K. Yoshimura, K. Takata, R. Oichi, D. Yamazaki, T. Suzuki, M. Kurogi, T. Kataoka, M. Watanabe, M. Kimoto | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Description and basic evaluation of simulated mean state, internal variability, and climate sensitivity in MIROC6 | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Geoscientific Model Development Discussions | 6. 最初と最後の頁 1~92 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/gmd-2018-155 | 査読の有無 無 |
| 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 - |

〔学会発表〕 計32件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 18件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yoshio Kawatani |
| 2. 発表標題 Stratospheric circulation changes associated with global warming |
| 3. 学会等名 JpGU-AGU joint Meeting 2020 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yoshio Kawatani |
| 2. 発表標題 ENSO modulation of the Quasi-Biennial Oscillation |
| 3. 学会等名 Biweekly Webinar Series on Extreme Weather in Changing Climate in The Maritime Continent under JSPS (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yoshio Kawatani, Toshihiko Hirooka, Kevin Hamilton, Anne Smith, Masatomo Fujiwara |
| 2. 発表標題 Representation of the stratospheric semiannual oscillation in global reanalyses |
| 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 Kawatani Yoshio, Horinouchi Takeshi, Sato Naoki |
| 2. 発表標題 Impact of the upper troposphere and stratosphere on the climate change around Japan |
| 3. 学会等名 International workshop 2021 of Drawing Storylines of Extraordinal Weather Phenomena around Japan for an Impact Assessment of the Climate Change (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Masatomo Fujiwara, Gloria L. Manney, Lesley J. Gray, Jonathon S. Wright, James Anstey, Thomas Birner, Sean Davis, Edwin P. Gerber, V.Lynn Harvey, Michaela I. Hegglin, Cameron R. Homeyer, John A. Knox, Kirstin Krger, Alyn Lambert, Craig S. Long, Patrick Martineau(他12名) |
| 2. 発表標題 Overview of the SPARC Reanalysis Intercomparison Project (S-RIP) during 2013-2020 |
| 3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Shibuya, R., Takayabu, Y. and ,Kamahori, H. |
| 2. 発表標題 A statistical study of large-scale environment associated with extreme precipitation using AMeDAS and JRA55/ERA5 data |
| 3. 学会等名 JpGU-AGU joint Meeting (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 釜堀弘隆, 高薮縁, 横山千恵, 辻宏樹, 澁谷亮輔 |
| 2. 発表標題 様々な時間スケールのアメダス極端降水量の季節・長期変動 — ENSOへの応答 |
| 3. 学会等名 2020年度日本気象学会秋季大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 澁谷亮輔, 高藪縁, 釜堀弘隆 |
| 2. 発表標題 西日本域の広域極端豪雨現象に伴う大規模循環場の統計的解析 |
| 3. 学会等名 異常気象研究会2020 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yukari N. Takayabu, Wataru Kaneko, and Hiroki Tsuji |
| 2. 発表標題 Effects of the Atmospheric Rivers on Rainfall Characteristics and Their Implications for a Long-term Trend of Heavy Rainfalls |
| 3. 学会等名 34th Conference on Climate Variability and Change, AMS 101 Annual Meeting (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yoshio Kawatani, Hamilton Kevin, Gray Lesley J., Osprey Scott M., Shingo Watanabe, Yosuke Yamashita |
| 2. 発表標題 The Effects of a Well-Resolved Stratosphere on the Simulated Boreal Winter Circulation in a Climate Model |
| 3. 学会等名 27th International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) General Assembly (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yoshio Kawatani, Hamilton Kevin, Gray Lesley J., Osprey Scott M., Shingo Watanabe, Yosuke Yamashita |
| 2. 発表標題 The effects of a well-resolved stratosphere on the simulated boreal winter circulation in a climate model |
| 3. 学会等名 RCAST special symposium on climate science with Prof. Hoskins (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yoshio Kawatani, Hirooka Toshihiko, Hamilton Kevin, Smith Anne, Masatomo Fujiwara |
| 2. 発表標題 Representation of the Semiannual Oscillation in Global Atmospheric Reanalyses |
| 3. 学会等名 WCRP/SPARC SATIO-TCS joint workshop (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yoshio Kawatani, Toshihiko Hirooka, Hamilton Kevin, Smith Anne K., Fujiwara Masatomo |
| 2. 発表標題 Representation of the Equatorial Stratopause Semiannual Oscillation in Global Atmospheric Reanalyses |
| 3. 学会等名 2019年度PANSY研究集会 (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yoshio Kawatani, Kevin Hamilton, Lesley J. Gray, Scott M. Osprey, Shingo Watanabe, Yosuke Yamashita |
| 2. 発表標題 気候モデルを用いた成層圏・中間圏が対流圏循環場に及ぼす影響の考察 |
| 3. 学会等名 日本気象学会2019年度春季大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yoshio Kawatani, Hamilton Kevin, Gray Lesley J., Osprey Scott M., Shingo Watanabe, Yosuke Yamashita |
| 2. 発表標題 The Effects of a Well-Resolved Stratosphere on the Simulated Boreal Winter Circulation in a Climate Model |
| 3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yoshio Kawatani, Kevin Hamilton, Kaoru Sato, Timothy J. Dunkerton, Shingo Watanabe, Kazuyoshi Kikuchi |
| 2. 発表標題 ENSO modulation of the QBO: Results from MIROC models with and without non-orographic gravity wave parameterization |
| 3. 学会等名 WCRP/SPARC SATIO-TCS joint workshop (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Shingo Watanabe, Kevin Hamilton, Scott Osprey, Yoshio Kawatani, Eriko Nishimoto |
| 2. 発表標題 Hindcasts of the 2016 Disruption of the Stratospheric QBO |
| 3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Shingo Watanabe, Kevin Hamilton, Scott Osprey, Yoshio Kawatani |
| 2. 発表標題 Hindcasts of the 2016 Disruption of the Stratospheric Quasi-biennial Oscillation |
| 3. 学会等名 DynVarMIP workshop on Atmospheric circulation in a changing climate (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Shingo Watanabe, Yoshio Kawatani, Kevin Hamilton, Scott Osprey |
| 2. 発表標題 2015/2016年に生じた赤道成層圏準二年周期振動 (QBO) 崩壊イベント発生時の大気波動の振る舞いについて |
| 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 金子航、高数縁、辻宏樹 |
| 2. 発表標題 太平洋地域のAtmospheric Riverと対流圏上層ジェットの蛇行との関係 |
| 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 W. KANEKO and Y. N. TAKAYABU |
| 2. 発表標題 The Effect of Upper-tropospheric Jet for Atmospheric Rivers and Precipitation in Pacific Region |
| 3. 学会等名 2019 University Allied Workshop on Climate and Extreme Weather, Chiba, Japan |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kawatani, Y., K. Hamilton, K. Sato, T. J. Dunkerton, S. Watanabe, K. Kikuchi |
| 2. 発表標題 The Quasi-biennial Oscillation Modulation by the El Nino Southern Oscillation |
| 3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kawatani, Y., K. Hamilton, K. Sato, T. J. Dunkerton, S. Watanabe, K. Kikuchi |
| 2. 発表標題 The Quasi-biennial Oscillation Modulation by the El Nino Southern Oscillation |
| 3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society 15th Annual Meeting (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Kawatani, Y., K. Hamilton, K. Sato, T. J. Dunkerton, S. Watanabe, K. Kikuchi |
| 2. 発表標題 ENSO modulation of the QBO: Results from MIROC models with and without nonstationary gravity wave parameterization |
| 3. 学会等名 SPARC General Assembly 2018 (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kawatani Yoshio, Hamilton Kevin, Gray Lesley J., Osprey Scott M., Watanabe Shingo, Yamashita Yousuke |
| 2. 発表標題 The Effects of a Well-Resolved Stratosphere on the Simulated Boreal Winter Circulation in a Climate Model |
| 3. 学会等名 AGU fall meeting 2018 (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Kawatani Yoshio, Hamilton Kevin, Gray Lesley J., Osprey Scott M., Watanabe Shingo, Yamashita Yousuke |
| 2. 発表標題 成層圏が対流圏循環に及ぼす影響：MIROC-AGCMモデルを用いた考察 |
| 3. 学会等名 地球流体力学研究集会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 藤原正智, Patrick Martineau, Jonathon Wright |
| 2. 発表標題 過去の大規模火山噴火にともなう全球地表気温の変化 |
| 3. 学会等名 日本気象学会2018年度秋季大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 Fujiwara, M., P. Martineau, J. Wright |
| 2 . 発表標題 Surface temperature response to the major volcanic eruptions in multiple reanalysis data sets |
| 3 . 学会等名 AGU fall meeting 2018 |
| 4 . 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 Shingo Watanabe, Kevin Hamilton, Scott Osprey, Yoshio Kawatani, Eriko Nishimoto |
| 2 . 発表標題 Hindcasts of the 2016 Disruption of the Stratospheric QBO |
| 3 . 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会 |
| 4 . 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 Shingo Watanabe, Kevin Hamilton, Scott Osprey, Yoshio Kawatani, Eriko Nishimoto |
| 2 . 発表標題 Hindcasts of the 2016 Disruption of the Stratospheric QBO |
| 3 . 学会等名 SPARC General Assembly 2018 (国際学会) |
| 4 . 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 Shingo Watanabe, Kevin Hamilton, Scott Osprey, Yoshio Kawatani, Eriko Nishimoto |
| 2 . 発表標題 Hindcasts of the 2016 Disruption of the Stratospheric QBO |
| 3 . 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society 15th Annual Meeting (国際学会) |
| 4 . 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 中村雄飛、高藪縁 |
| 2. 発表標題 対流と結合した赤道Kelvin波・赤道Rossby波の構造と降水特性に関する統計的研究 |
| 3. 学会等名 日本気象学会2018年度秋季大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|---|
| <p>Yoshio Kawatani https://sites.google.com/site/yoshiokawatani/home Masatomo Fujiwara http://wwwoa.ees.hokudai.ac.jp/~fuji/index_jp.html 高藪研究室 http://ccsr.aori.u-tokyo.ac.jp/~takayabu/index-j.html Shingo Watanabe https://www.researchgate.net/profile/Shingo-Watanabe Yoshio Kawatani https://sites.google.com/site/yoshiokawatani/home Masatomo Fujiwara http://wwwoa.ees.hokudai.ac.jp/~fuji/index_jp.html 高藪研究室 http://ccsr.aori.u-tokyo.ac.jp/~takayabu/index-j.html Yoshio Kawatani https://sites.google.com/site/yoshiokawatani/home Masatomo Fujiwara http://wwwoa.ees.hokudai.ac.jp/~fuji/index_jp.html 高藪研究室 http://ccsr.aori.u-tokyo.ac.jp/~takayabu/index-j.html</p> |
|---|

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 | 藤原 正智 (Fujiwara Masatomo) (00360941) | 北海道大学・地球環境科学研究院・准教授 (10101) | |
| 研究分担者 | 高藪 縁 (Takayabu Yukari) (10197212) | 東京大学・大気海洋研究所・教授 (12601) | |
| 研究分担者 | 渡辺 真吾 (Watanabe Shingo) (50371745) | 国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(環境変動予測研究センター)・センター長代理 (82706) | |

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|