

令和 元年 6 月 21 日現在

機関番号：82706

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間：2016～2018

課題番号：15KK0178

研究課題名（和文）気候変動に伴う赤道準2年振動の変化メカニズムの解明（国際共同研究強化）

研究課題名（英文）The modulation of the Quasi-biennial Oscillation associated with climate change (Fostering Joint International Research)

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・統合的気候変動予測研究分野・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） 7,300,000円

渡航期間： 8ヶ月

研究成果の概要（和文）：QBO比較国際プロジェクト(QBOi)を通して、世界中のQBOを再現する気候モデルの比較を行った。全てのモデルで気候変動に伴い下部成層圏のQBO振幅が弱くなった。一方QBO周期の変化はモデル間のばらつきが大きかった。QBO季節予報精度は、高度20hPa付近や西風位相では良いが、下部成層圏や東風位相時には悪くなり、QBO位相や高度に依ることが分かった。QBOの再現性が高いモデルほど、予報精度も高くなる傾向にあった。さらに成層圏が対流圏の気候に与える影響を調べた。成層圏を十分に解像するモデルほど、対流圏循環場、地表面気圧および降水の分布が良いことを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国際プロジェクトを通して多数の気候モデルデータを解析し、気候変動に伴うQBOの変化について堅固な結果を得られたことは、今後の気候変動予測に有益な知見を与え、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)にも貢献する。またQBOの季節予報精度に関する研究は、今後の季節予報スキル向上に役立つ知見を提供し、社会にも還元できる成果である。成層圏が対流圏の気候に与える影響について詳細に調べた成果は、気候モデルに成層圏を含む必要があることを指摘するものであり、今後の気候モデルコミュニティに有益な知見を与えるものである。

研究成果の概要（英文）：Through Quasi-Biennial Oscillation initiative (QBOi) international project, we investigate the reproductivity of the QBO, QBO modulation associated with climate change and seasonal predictability of the QBO by analyzing multi-model data sets. All models project weaker amplitude of the QBO in the lower stratosphere. On the other hand, QBO periods changes differ significantly among the models. Seasonal predictability of the QBO is relatively well at 20 hPa and during westerly phases but it becomes worse in the lower stratosphere and during easterly phases. We also investigate the roles of the stratosphere in tropospheric climate. Models with well-resolved stratosphere tend to simulate better representation for tropospheric circulations, surface pressure and precipitations.

研究分野：中層大気科学

キーワード：赤道準2年振動 成層圏対流圏結合

### 1. 研究開始当初の背景

赤道準2年振動(QBO)とは赤道域成層圏の東風と西風が2年強の周期で交代している現象で、対流圏-成層圏結合を引き起こし、広範囲の力学・化学過程に影響を及ぼしている。また成層圏には紫外線を防ぐオゾンや、気候変動と関連する水蒸気・メタンなどの大気微量成分を全球的に運び、極めて重要な地球規模の循環(BD循環)が存在する。最新の研究から、QBOとBD循環が数年~数十年スケールで互いに連動して変化することが分かってきたが、その変動の詳細やメカニズムは殆ど理解されていない。本研究、国際共同研究加速基金(国際共同研究強化)の基課題(基盤研究(B):気候変動に伴う赤道準2年振動の変化メカニズムの解明)では、観測、再解析(観測データを数値予報モデルに同化して作成した全球気象データ)、気候モデル(長期積分を目的とした全球数値モデル)及び全球雲解像モデルを有機的に組み合わせ、気候変動に伴う中長期的なQBO・BD循環の変動とそのメカニズムを明らかにしてきた。

QBOの西風・東風位相の変化は、大気波動の伝播特性を変え、成層圏極渦(極域に形成される大規模な西風の渦)の変調を引き起こす。極渦の変化はBD循環、対流圏ジェット、中高緯度の地表面気圧配置にまで影響を与え、ストームトラック(低気圧の通り道)の分布を変化させる。故にQBOは季節予報にとっても重要な気象現象であるが、全球モデルによるこれらの遠隔相関(テレコネクション)の精度は良くない。

2015年頃から季節予報におけるQBOの重要性が認識され始め、中期気象予報で世界No.1の精度を誇るヨーロッパ中期予報センター(ECMWF)で、QBOの再予報テスト(ハインドキャスト:過去の事例をモデルで予測し、系統誤差の補正等を通じて予報精度向上に繋げる試み)が行われ始めた。成層圏の鉛直解像度を上げ且つQBOを表現させる為の精密な成層圏力学・物理過程を取り入れたモデルを用いると、予報成績が格段に上がると報告されている。しかし計算開始後1-2ヵ月を過ぎたあたりから観測結果との誤差が顕著になっている。

### 2. 研究の目的

QBOは赤道を挟んだ緯度 $\pm 20$ 度、高度18kmから50kmの範囲に存在するが、どの領域がどの程度中高緯度の気象現象へ影響を与えているか、その定量的理解は確立されていない。故に気候モデルで再現されるQBOの精度(各高度でのQBO振幅など)と、それが他の気象現象へ与える影響の理解が必須である。最初にQBOが引き起こす他の気象現象の変化を定量化するための指標を作成する。指標作成の際は、再解析データを用いて、対象とする現象の再解析間の類似点・相違点を把握する。

本研究は温暖化QBO研究の発展にも繋げる。研究代表者の気候モデル研究から、地球温暖化に伴うBD循環の強化が下部成層圏QBOの振幅弱화를もたらすことが示され(Kawtani et al. 2011, 2012)、その変化は60年間の観測データ解析からも立証された(Kawatani and Hamilton 2013)。地球温暖化に伴う下部成層圏のQBO振幅の弱화가、上述した遠隔相関を変調させる可能性が考えられる。本研究の主目的は、気候モデルによるQBOの予測可能性を定量的に把握し、季節予報におけるQBOの役割を解き明かすことで、基課題のQBO変化メカニズム解明研究から、より実用性に繋がる季節予報研究にまで大きく発展させることである。

QBOは小規模な重力波によって駆動されており、世界の殆どの研究機関で重力波パラメタリゼーション(理論・経験則に基づいて重力波を数式化。多くの不確実性を含む)をモデルに組み込むことでQBOを再現している。本研究では同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QBO予報の限界を定量的に把握する。不確実性を伴う重力波パラメタリゼーションを用いない申請者による唯一の気候モデル実験は、国内外の状況を鑑みても独創的・先駆的な研究になる。

### 3. 研究の方法

研究代表者が現在まで利用してきたMIROC気候モデル(東京大学、国立環境研究所、海洋研究開発機構で共同開発)を、本研究目的に合わせた仕様に構築する。QBOは主に小規模な大気重力波によって駆動されており、気候モデルで再現させるのが最も難しい気象現象の1つである。世界の殆どの研究機関で重力波パラメタリゼーション(理論・経験則に基づいて重力波を数式化。重力波活動の季節変化や地理分布を考慮しない等、様々な仮定を含む)をモデルに組み込むことでQBOを再現しており、大きな不確実性を引き起こす主要因となっている。申請者は同パラメタリゼーションを用いず、複数の解像度でQBOの再現に成功している為、QBO予報における不確実性の軽減に関する考察も可能となる。

QBOの予報精度を精査する為には、異なるQBO位相・季節の状態から実験を行う必要がある。再解析データの信頼性が高い1979年以降2009年までの期間で、高度30hPaでQBO位相が西風から東風、及び東風から西風に変わる、任意の季節を含む計30個の初期値をECMWFの再解析データ(ERA-I)から作成する。積分期間は12ヵ月とする。得られたデータを用いてQBO予報の限界を把握する。不確実性を伴う重力波パラメタリゼーションを用いない申請者による唯一の気候モデル実験は、国内外の状況を鑑みても独創的・先駆的な研究になる。更に再解析データから作成したQBOと他の気象現象の関係を定量化した指標を、温暖化気候実験結果に適用することで、地球温暖化に伴うQBO振幅の変化が、将来気候における気象現象に与える影響を考察でき、知見の拡大に繋がる。



要である。

次に帯状平均温度、東西風、残差子午面循環、EPフラックス、2m温度、地表面気圧、降水について、各モデル間の違いを調べた。成層圏を含む・含まないモデルの差(L34 - L42)についてまとめた模式図を図1に示す。成層圏解像度の違い(L42 - L72)及び中間圏の有無(L72 - L168)にも、対流圏循環場に有意な差が見られた(Kawatani et al. 2019)。

#### <引用文献>

Kawatani, Y., K. Hamilton and S. Watanabe, 2011: The Quasi-biennial oscillation in a double CO2 climate, *J. Atmos. Sci.*, 68, 265-283., <https://doi.org/10.1175/2010JAS3623.1>

Kawatani, Y., K. Hamilton and A. Noda, 2012: The effects of changes in sea surface temperature and CO2 concentration on the quasi-biennial oscillation, *J. Atmos. Sci.*, 69, 1734-1749., <https://doi.org/10.1175/JAS-D-11-0265.1>

Kawatani, Y. and K. Hamilton, 2013: Weakened stratospheric Quasibiennial Oscillation driven by increased tropical mean upwelling, *Nature*, 497, 478-481, doi:10.1038/nature12140

Butchart, N. et al. 2018: Overview of experiment design and comparison of models participating in the SPARC Quasi-Biennial Oscillation initiative (QBOi), *Geosci. Model. Dev.*, 11, 1009-1032, <https://doi.org/10.5194/gmd-11-1009-2018>

Gray, L. J., Anstey, J. A., Kawatani, Y., Lu, H., Osprey, S., and Schenzinger, V., 2018: Surface impacts of the Quasi Biennial Oscillation, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 8227-8247, <https://doi.org/10.5194/acp-18-8227-2018>

Kawatani, Y., K. Hamilton, L. J. Gray, S. M. Osprey, S. Watanabe and Y. Yamashita, 2019: The effects of a well-resolved stratosphere on the simulated boreal winter circulation in a climate model, *J. Atmos. Sci.*, in press.

#### 5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 6件) 全て査読有

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.*, in press.

Gray, L. J., Anstey, J. A., Kawatani, Y., Lu, H., Osprey, S., and Schenzinger, V., 2018: Surface impacts of the Quasi Biennial Oscillation, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 8227-8247, <https://doi.org/10.5194/acp-18-8227-2018>, 2018

Hirota, N., H. Shiogama, H. Akiyoshi, T. Ogura, M. Takahashi, Y. Kawatani, M. Kimoto and M. Mori, 2018: The influences of El Nino and Arctic sea-ice on the QBO disruption in February 2016, *npj Climate and Atmospheric Science*, 1, 10(2018), doi:10.1038/s41612-018-0020-1.

Butchart, N., Anstey, J., Hamilton, K. Osprey, S., McLandress, C, Bushell, A., Kawatani, Y., Kim Y-H, Lott, F., Scinocca, J., Stokdale, T., Bellprat, O., Braesicke, P., Cingozzo, B., Chen, C-C., Chun, H-Y., Dobrynin, M., Garcia, R., Garcia-Serrano, J., Gray, L., Holt, L., Kerzenmacher, T., Naoe, H., Pohlmann, H., Ritscher, J., Scaife, A., Schenzinger, V., Serva, F., Versick S., Watanabe, S. Yoshida, K. and Yukimoto, S., 2018: Overview of experiment design and comparison of models participating in the SPARC Quasi-Biennial Oscillation initiative (QBOi), *Geosci. Model Dev.*, <https://doi.org/10.5194/gmd-2017-187>.

Watanabe, S., K. Hamilton, S. Osprey, Y. Kawatani and E. Nishimoto, 2018: First Successful Hindcasts of the 2016 Disruption of the Stratospheric Quasibiennial Oscillation, *Geophys. Res. Lett.*, 45, 1602-1610, <https://doi.org/10.1002/2017GL076406>.

Kawatani, Y., Hamilton, K., Miyazaki, K., Fujiwara, M., and Anstey, J., 2016: Representation of the tropical stratospheric zonal wind in global atmospheric reanalysis, *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 6681-6699, doi:10.5194/acp-16-6681-2016

[学会発表](計 11件)

Yoshio Kawatani, Kevin Hamilton, Lesley Gray, Scott Osprey, Shingo Watanabe, Yousuke Yamashita, 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，地球流体力学研究集会「地球流体における波動と対流現象の力学」，2019/03/08

Yoshio Kawatani, Kevin Hamilton, Lesley J. Gray, Scott M. Osprey, Shingo Watanabe, Yousuke Yamashita, The effects of a well-resolved stratosphere on the simulated boreal winter circulation in a climate model, AGU Fall meeting, 2018/12/14

Jadwiga RICHTER, Neal Butchart, Yoshio Kawatani, Andrew BUSHWELL, Osprey Scott, Quasi-biennial oscillation in a warming climate, part 1: Overview & metrics, SPARC General Assembly 2018, 2018/10/04

Andrew BUSHELL, Scott OSPREY, ANSTEY James, Neal BUTCHART, HAMILTON Kevin, Yoshio KAWATANI, Jadwiga RICHTER, Coordinated multi-model simulations of the quasi-biennial oscillation, SPARC General Assembly 2018, 2018/10/04

Toshihiko Hirooka, Yoshio Kawatani, Intercomparison of Dynamical Fields in the Middle Atmosphere Revealed in Global Reanalyses, SPARC General Assembly 2018, 2018/10/04

Gray Lesley, Anstey James, Yoshio Kawatani, Young-Ha Kim, Lu Hua, Wright Corwin, Kiladis George, How well do reanalyses represent the Quasi-Biennial Oscillation?. SPARC General Assembly 2018, 2018/10/04

Yoshio Kawatani, Kevin Hamilton, Lesley Gray, Scott Osprey, Shingo Watanabe, Yosuke Yamashita, The effects of well-resolved stratosphere on representations of the Northern winter tropospheric circulations in the MIROC-AGCM simulations, The 3rd International Workshop on “Climate Change and Precipitation in the East Asia”, 2018/02/22

河谷芳雄、Kevin Hamilton、Lesley Gray、Scott Osprey、渡辺真吾、山下陽介、成層圏が対流圏循環に及ぼす影響：MIROC-AGCM を用いた考察、「様々な結合過程がもたらす異常気象の実態とそのメカニズム」に関する研究集会, 2017/11/20

河谷芳雄、渡辺 真吾、Lesley Gray、Scott Osprey、成層圏が対流圏循環に及ぼす影響：MIROC-AGCM を用いた考察、日本気象学会 2017 年度秋季大会, 2017/11/02

河谷芳雄、再解析間比較に基づく赤道域中層大気の東西風観測の重要性、SMILES-2 サイエンスワークショップ, 2017/06/23

Yoshio Kawatani, Hamilton Kevin, Miyazaki Kazuyuki, Fujiwara Masatomo, James Anstey, Representation of the Tropical Stratospheric Zonal Wind in Global Atmospheric Reanalyses, The QBO and its Global impacts - Past, Present & Future, 2016/09/27

〔その他〕

河谷芳雄のホームページ

<https://sites.google.com/site/yoshiokawatani>

## 6 . 研究組織

〔主たる渡航先の主たる海外共同研究者〕

研究協力者氏名：Lesley Gray

所属研究機関名：University of Oxford

部局名：Department of Physics

職名：Professor

〔その他の研究協力者〕

研究協力者氏名：Scott Osprey, Kevin Hamilton, James Anstey, Neal Butchart, Yadga Richter, Andrew Bushell, Laura Holt, Young-Ha Kim

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、研究者個人に帰属されます。