

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23740363

研究課題名(和文)地球温暖化に伴う大気重力波活動と赤道準2年振動・半年振動の変化に関する研究

研究課題名(英文)Changes of atmospheric gravity waves, equatorial quasi-biennial oscillation and semi annual oscillation associated with global warming climate

研究代表者

河谷 芳雄(Kawatani, Yoshio)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・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) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：気候モデルを用いて赤道準2年振動及び成層圏の地球規模の流れの変化に対する二酸化炭素濃度と海面水温変化の影響を個別に評価した。地球温暖化に伴ってBD循環に伴う赤道域上昇流が強まると、下部成層圏でQBOの振幅が弱くなる事が分かった事を踏まえて1953-2012年の東西風観測データを解析した。その結果、この60年間で下部成層圏のQBO振幅が30%以上減少している事を世界で初めて発見した。更にIPCC第5次評価報告書に使用される最新の気候モデルデータを解析し、温暖化に伴いQBOが弱まり赤道上昇流が強まっている事を確認した。この結果はNatureに筆頭著者として発表した。

研究成果の概要(英文)：The effects of sea surface temperature (SST) and carbon dioxide (CO₂) on future changes in the quasi-biennial oscillation (QBO) are investigated using a climate model. Idealized model experiment using the future SST with the present CO₂ and the present SST with the future CO₂ are conducted. We found that increasing SST mainly plays roles in decreasing the amplitude of the QBO in the lower stratosphere here.

Next, we analyzed near-equatorial radiosonde observations for 1953-2012 and reveal a long-term trend of weakening amplitude in the zonal wind QBO in the tropical lower stratosphere. The trend is particularly notable at 70 hPa, where the QBO amplitudes dropped by roughly 30% over the period. This trend is also apparent in the global warming simulations of the four models in the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) that realistically simulate the QBO.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・気象・海洋物理・陸水学

キーワード：地球温暖化 赤道準2年振動 半年振動 重力波

1. 研究開始当初の背景

大気大循環や気候変動にとって対流圏 - 成層圏相互作用を考えるのは必要不可欠であり、重力波はそれに大きく関与している。重力波の運動量の鉛直輸送は大規模な温度場・風系場の決定に重要であることは広く知られている。

大規模循環場と重力波の相互作用に関する有名な現象として、赤道準2年振動(QBO)がある。QBOとは赤道域成層圏の東風と西風が約2年周期で交代している現象で、主に重力波による運動量輸送によって駆動されている。さらにその上空には東西風が半年周期で振動する現象(SAO)が存在している。QBOは赤道成層圏の現象であるが、その影響は赤道域から極域、対流圏から成層圏・中間圏へと広範囲に及んでいる。具体的にはQBOは中緯度プラネタリー波の伝播特性を変化させ、成層圏の極渦強度・中高緯度の地表面の気圧配置にも影響を及ぼす。またQBOは波を選択的にフィルタリングし、その上空へ伝播する波動の特性を変化させる。更にQBOに伴う2次循環がオゾン・水蒸気・メタン等の化学組成にも影響を与える。故にQBOは重要な気象現象の1つとして認識されている。

ところでIPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル)第4次成果報告書の中には、地球温暖化時の対流圏変動を研究した論文は数多くあるが、温暖化に伴う重力波活動とQBOの変化に関する論文は無かった。この事はQBOを自発的に再現可能なモデルが世界的に見て数少ない事と深く関連している。

このような現状を踏まえて、本研究代表者QBOが再現可能な気候モデルを長期積分し、地球温暖化に伴う重力波活動とQBOの変化を世界に先駆けて報告した(Kawatani et al. 2011)。その結果、温暖化に伴ってQBOの周期は伸び、振幅は弱まり、位相が下部成層圏まで下り難くなる事が判明した。この実験では海面水温と二酸化炭素濃度を変化させて行った為、どちらが支配的であるのかは不明であった。またこのような地球温暖化に伴うQBOの変化が、現実大気で起きているのか、また世界の他のモデルでも同様な結果が得られるのか、という課題も生じた。

2. 研究の目的

気候モデルを用いて、地球温暖化に伴う積雲対流と重力波の変動特性、及び重力波による運動量輸送を介した中層大気長周期振動の変化を明らかにする。特に温暖化に伴う重力波の励起・伝播特性・平均流加速の気候学的な変化を調べる。また観測データを解析し、モデルで見られた温暖化に伴う変化が、現実大気で既に現れているのかどうか調べる。また世界の他のモデルデータを集めて解析し、異なるモデル間で統一した結果が得られるか調査する。

3. 研究の方法

本研究を遂行可能な地表から中間圏界面までをカバーした気候モデルを構築し、現在気候実験において現実的なQBOおよび半年振動(SAO)を再現させる。温暖化実験の際には、計算資源の節約の為、注目する現象に特化した気候モデルを用いる。例えばQBOのみを対象とする研究では、モデル上端は成層圏界面までとし、積分期間を長くする。またIPCC第5次評価報告書に使われる、世界中の気候モデルデータを集めて同様な解析を行う。各種観測データの解析も実施する。

4. 研究成果

(1)非定常な重力波パラメタリゼーションを組み込まなくともQBOとSAOが再現可能で、且つ長期積分にも耐えうるモデルを構築した。水平解像度120kmで、上部対流圏から成層圏の鉛直解像度を500mにし、モデル上端を95kmと50kmにした2つのモデルで実験を行った(それぞれT106L72及びT106L168)。積分期間はそれぞれ100年と50年である。モデルはQBOとSAOを良く再現していた。T106L168モデルでは、更に成層圏突然昇温(SSW)の再現性も確認した。最新の衛星観測により、高度50km付近の昇温の発生に先行して90km付近の中間圏界面付近に東風が出現し下降する現象が新たに発見されているが、T106L168実験では類似した特徴が再現できる事が確認された。

(2)Kawatani et al. (2011)は、QBOを再現可能な気候モデルを用いて温暖化に伴うQBO変化を調べ、現在気候実験に比べ温暖化気候実験ではQBOの周期が長く、振幅は弱くなり、位相が下部成層圏まで下り難くなる事を示した。ところで、将来の二酸化炭素濃度が実際にどの程度増加するかは不明であり、また将来の海面水温変化は使用する大気海洋結合モデルに強く依存する。従ってQBOの将来変化に対する二酸化炭素濃度と海面水温の役割を個別に評価する必要がある。

そこで新たに現在の二酸化炭素濃度+将来の海面水温(FS実験)及び将来の二酸化炭素濃度+現在の海面水温(FC実験)の理想実験を行い、出力データを詳細に解析した。将来の海面水温変化はQBOの周期を1-3か月、二酸化炭素濃度変化は1か月長くする効果があった。FS実験においては、温暖化実験と同様に赤道域の降水量が増え、重力波がより多く励起される。赤道域上昇流は下部成層圏で増加するが、中部成層圏では温暖化実験ほど増加しない。FC実験では重力波フラックス変化は殆ど無い。温暖化実験と異なり、低緯度上部対流圏では東風偏差が形成され、中緯度下部成層圏において西風加速偏差が形成される。その結果80hPa付近の上昇流は弱まり、QBOは成層圏最下層まで下りやすくなる。一方で70hPaより上では安定度が弱まる事と対応して上昇流が全体的に強まり、QBOの周

期は長くなる事が分かった (Kawatani et al. 2012)。

(3) 成層圏では、赤道域で上昇し、そこから南北両半球に広がり、北緯・南緯 60 度付近で下降するブリューワー・ドブソン (BD) 循環と呼ばれる大規模な循環が存在する。現在、世界中の主要な気候モデルのほぼ全てが、地球温暖化に伴って BD 循環が強まる事を予測している。地球温暖化は既に始まっており、実際に BD 循環が強まっているかどうかを各種観測データ解析から検証する試みが行われてきた。しかしながら、BD 循環に伴う赤道域上昇流は 0.3 mm s^{-1} 程度と非常に弱く、現在の観測技術ではその直接観測は不可能である。したがって、BD 循環が強まっている事を明示する実証的な観測データは無く、気候モデルの予測が正しいかどうかは確認されていない状況であった。

ところで、Kawatani et al. (2011, 2012) の研究成果から QBO と BD 循環に伴う赤道域上昇流は密接に関連し合っている事が分かった。BD 循環に伴う赤道域上昇流は、QBO の西風・東風が上から下に下りようとするのを妨げる働きをする。地球温暖化に伴って赤道域上昇流が強まると、QBO が下まで十分に下りる事が出来なくなり、高度 19km 付近の QBO は弱くなる事が解明された。これによって、東西風の観測データを用いて QBO を解析する事で、赤道域上昇流の変化を考察する事が可能になった。

そこで 1953 年から 2012 年までの 60 年分の東西風観測データを解析し、QBO の強さの変化を調べた。図 1a に、観測データから計算された高度 19km 付近における QBO の強さの時間変化を示す。この図から 60 年間で QBO の強さは約 30%以上減少している事が見出された。さらに、同じ解析手法を用いて IPCC の第 5 次評価報告書に使用される、最新の気候モデルデータ (CMIP5) について、地球温暖化に伴う QBO と赤道域上昇流の変化を解析しました。QBO を再現する事に成功しているドイツ、イギリス、日本の気候モデル全てで、20 世紀から 21 世紀にかけて、QBO が弱まり (図 1b-d)、赤道上昇流が強まっている事が確認された (図 2b-d)。また、温暖化を伴わない気候モデル実験では、このような変化は見られず、QBO と赤道上昇流の変化は地球温暖化によるものであると裏付けた (図略)。

本研究は、観測データを用いて地球温暖化のシグナルが QBO という現象に現れている事を示すとともに、今まで気候モデルで予測されていた BD 循環の強化について、観測データから世界で初めて立証した成果である。ところでオゾン層は主に赤道域成層圏で多く生成され、BD 循環の流れに沿って南北両半球の中高緯度へ運ばれているので、BD 循環の強化は、オゾンホールを回復される要因の 1 つとして働く。BD 循環の強化と QBO の弱化が、全球の大気微量成分や気候に与える影響につ

いて、今後、より詳細な調査が必要である。

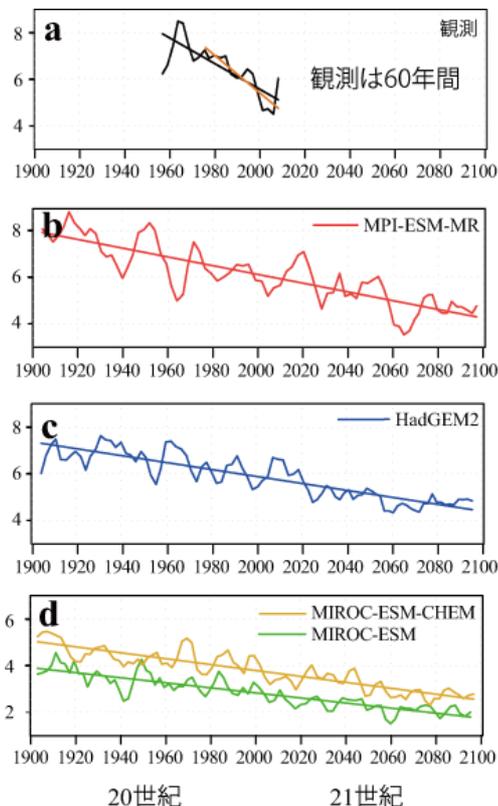


図 1. 高度約 19km における QBO 振幅の変化。(a)が観測データ、(b)はドイツ、(c)はイギリス、(d)は日本の気候モデル結果。

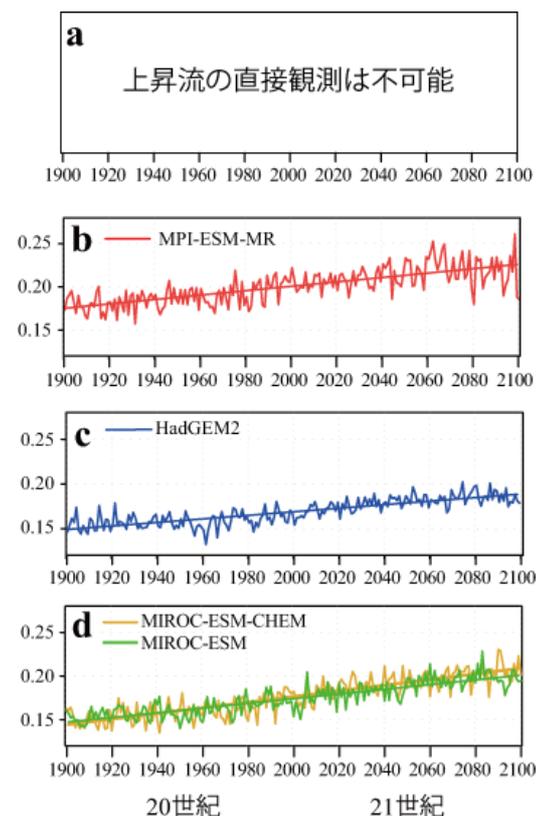


図 2. 図 1 と同様。ただし赤道上昇流。上昇流の直接観測は不可能な為、(a)のグラフは無い事に注意。

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 7件)

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

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. 査読有

Watanabe, S., and Y. Kawatani, 2012: Sensitivity of the QBO to mean tropical upwelling under a changing climate simulated by an Earth system model, *J. Meteor. Soc. Japan.*, 90A, 351-360. 査読有

Rao, N.V., T. Tsuda and Y. Kawatani, 2012: A remarkable correlation between short period gravity waves and semi-annual oscillation of the zonal wind in the equatorial mesopause region, *Annales Geophysicae.*, 30, 703-710, DOI: 10.5194/angeo-30-703-2012. 査読有

[学会発表](計 15件)

河谷芳雄, Interannual variations of stratospheric water vapor in MLS observations and climate model simulations, PANSY meeting, 2014年3月11日, Tokyo, Japan

河谷芳雄, Weakening stratospheric quasi-biennial oscillation and trends in tropical mean upwelling, SPARC 2014 General Assembly, 2014年1月16日, Queenstown, New Zealand

河谷芳雄, Quasi-biennial oscillation and tropical mean upwelling changes in observation and CMIP5 models, International workshop on CMIP5 model intercomparisons for future projections of precipitation and climate in Asia, 2013年3月26日, Tsukuba, Japan

河谷芳雄, 種々のデータに現れた赤道準2年振動の変化, 研究集会「週間及び1か月予報における顕著現象の予測可能性」, 2012年11月21日, 京都大学宇治キャンパス, 宇治

河谷芳雄, Kevin Hamilton, 野田彰, 赤道準2年振動の将来変化に対する二酸化炭素濃度と海面水温の役割, 日本気象学会 2011年

度秋季大会, 2011年11月17日, 名古屋大学, 名古屋

河谷芳雄, 気候モデルによる中間圏半年振動の再現性, 2011年度中間圏・熱圏・電離圏(MTI)研究会, 2011年8月30日, 九州大学, 福岡

河谷芳雄, Kawatani, Y., K. Hamilton and S. Watanabe: The Quasi-biennial oscillation in a double CO2 climate, IUGG2011, 2011年7月5日, Melbourne, Australia

[その他]

ホームページ等

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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河谷 芳雄 (Kawatani, Yoshio)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・主任研究員

研究者番号: 00392960