

平成 26 年 4 月 11 日現在

機関番号：13902

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23740353

研究課題名(和文)エルニーニョ・南方振動に伴う準二年周期振動の変調と力学

研究課題名(英文) Modulation and dynamics of the Quasi-Biennial Oscillation associated with El Nino/Southern Oscillation

研究代表者

田口 正和 (Taguchi, Masakazu)

愛知教育大学・教育学部・准教授

研究者番号：50397527

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円、(間接経費) 690,000円

研究成果の概要(和文)：大気再解析データ及び大気海洋結合モデル比較実験(CMIP5)データ等を用いて、赤道成層圏準二年周期振動(QBO)の変調と力学を調査した。特に、再解析データの力学診断では、季節変化・エルニーニョ/南方振動(ENSO)に伴う変調が、大規模場では説明できないことが分かった。CMIP5データの解析では、一部のモデルがQBO的振動を示すが、詳細は、現実とは異なることが分かった。これらは、小規模波動(重力波)の役割を示唆する。

さらに、長期再解析データから、成層圏突然昇温の頻度が、QBO/ENSOとともに非線型的に変化することなどを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Using atmospheric reanalysis and CMIP5 datasets, this study investigated modulation and dynamics of the Quasi-Biennial Oscillation (QBO) in the equatorial stratosphere. In particular, we found that in the reanalysis data, the QBO modulation associated with the mean seasonal cycle and El Nino/Southern Oscillation (ENSO) is not explained by large-scale fields. It was also found that QBO-like oscillations, simulated in a few CMIP5 models, have notable differences in structure and behavior from the real world. These suggest that small-scale waves (gravity waves) are important in the modulation. We further revealed nonlinear changes in frequency of major stratospheric sudden warmings with QBO and ENSO using a long reanalysis dataset.

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：準二年周期振動 季節同期 エルニーニョ・南方振動 成層圏突然昇温

1. 研究開始当初の背景

近年の地球の気候変動において、対流圏成層圏結合の重要性が強く認識されていた。結合の端的な例として、熱帯成層圏の準二年周期振動 (QBO) がある。本課題申請前に、研究代表者は、ラジオゾンデ (気球観測) データを用いて、QBO の季節同期成分を確認するとともに、エルニーニョ・南方振動 (ENSO) に伴う QBO の変調を世界で初めて示した。

QBO は、平均東西風と種々の赤道波の相互作用 (東西風偏差を引き下げないように、波が散逸し、加速を起こす) に基づく力学現象であると今では理解されている。熱帯成層圏の赤道波は、熱帯対流圏における対流活動によって励起され、上方伝播したものである。QBO のこのような力学から、QBO の変調結果は、波駆動の変調を示唆していた。

さらに、QBO は、中高緯度大気に影響する要因のひとつであることが認識されていた。例えば、QBO が西風位相のときは、冬季北半球成層圏は、低温になる傾向がある一方、東風位相のときは、高温になる傾向がある。しかし、その他の要因 (ENSO など) との兼ね合いは、特に変動部分 (成層圏突然昇温の発現など) については、十分には理解されていなかった。

2. 研究の目的

気球観測データに基づく前述の結果を踏まえ、本研究は、再解析データと大気大循環モデル (GCM) データを用いて、平均的季節変化及び ENSO に伴う QBO の変調と力学を調査し、上下結合の新側面を論証することを主な目的とした。

当初の作業仮説は、“季節変化・ENSO に伴う QBO の変調は波駆動の変調によって生じる”とし、対象データにおいて波駆動を含む力学診断を行うことにより仮説検証を試みることとした。

さらに、熱帯大気・海洋の主変動である、QBO と ENSO が、冬季北半球成層圏の年々変動に与える影響も対象とした。

3. 研究の方法

(1) 再解析・GCM データを収集・整備し、季節変化及び ENSO に伴う QBO の変調と力学を調査した。再解析データとしては、現在利用できる全ての基本力学量を整備対象とし、そのうちいくつかのデータについて特に詳細に解析した。GCM データとしては、気象研究所化学気候モデルデータに加え、大気・海洋結合モデル比較実験 (CMIP5) データを対象とした。

(2) これらのデータの一部について、QBO/ENSO に伴う北半球冬季成層圏の年々変動 (冬季平均の極渦の様子、成層圏突然昇温の発現) についても調査を広げた。さらに、成層圏突然昇温が中高緯度で発現した際、それに伴う冷却・上昇流シグナルの緯度構造についても調査した。

4. 研究成果

(1) JRA-25 再解析データを用いて、QBO の変調とその力学を調査した。JRA-25 データの QBO が、現実大気 (気球観測) の QBO を良く再現することを確認した。季節変化・ENSO に伴う変調について変形オイラー平均の東西運動方程式に基づいて力学診断を行った。その結果、これらの QBO 変調に伴う東西風加速は、JRA-25 データが陽に表現する大規模場では説明できない (大きな残差が存在する) ことが分かった (図 1)。すなわち、このことは、QBO 変調に対して、データが表現できない小規模な波動 (重力波) が重要な役割を果たしていることを示唆する。

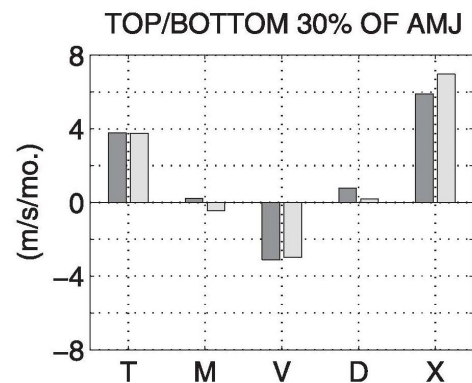


図 1 : JRA-25 再解析データにおける、QBO の季節同期に関する力学診断の結果。ここで、季節同期とは、QBO の位相逆転が特定の季節 (北半球の春から初夏、4~6 月) に起きやすいこととしてとらえ、図は、その季節に東西風の加速 T が大きいとき (濃い陰影は正の加速が大きいとき、薄い陰影は負の加速が大きいとき。後者の符号は反転させている) について、変形オイラー平均の東西運動方程式における収支を示す。M : 南北移流、V : 鉛直移流、D : 陽に表現される波駆動、X : 残差。

(2) 対象の全再解析データにおける QBO の再現性などを概観した。最新世代のものでは再現性がより高いことが分かった。平均東西風における再現性が高い場合でも、残差の問題は依然存在することが示唆された。

(3) 気象研究所で開発された化学気候モデルデータにおける QBO の様子を検討し、さらに東西運動方程式に基づく同様の力学診断を行った。このモデルは、QBO の大まかな特徴 (鉛直位相伝播、周期、振幅の分布等) を再現するものの、季節変化・ENSO に伴う変調をあまり再現しないことが分かった。力学診断の結果から、このことは、再解析データと比較してこのモデルでは、小規模波動に対応する寄与の季節変化が小さいことと対応する (図 2)。さらに、この特徴は、このモデルが、時間的に一定の重力波ソースを仮定していることに対応する。この結果は、QBO 変調における小規模波動の重要性を示す (1) と整合的である。

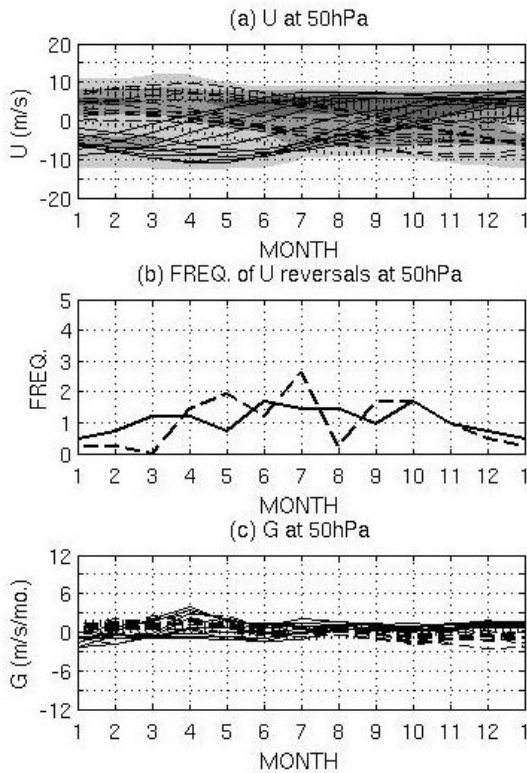


図 2 : (a) 気象研究所化学気候モデルにおける赤道成層圏の東西風偏差(m/s)の様子。陰影は頻度(10%以上の値)を示す。陰影が濃くなるごとに、頻度はさらに10%増加する。(b)各月における東西風逆転の頻度。実線は西風への逆転を示し、破線は東風への逆転を示す。(c)東西風加速に対する重力波ドラッグの寄与。

(4)CMIP5 多数モデルの現在気候再現実験等のデータを用いて QBO の再現性を検討し、一部のモデルが熱帯成層圏で QBO 的特徴を再現することを確認した。これらのモデルの QBO でも、詳細な点(鉛直位相伝播、周期、振幅の分布)では現実の QBO と異なる点が依然存在する。このことは、QBO の詳細な特徴を決める過程を特定し、それらがモデルでどのように再現されているかを、さらに調査する必要性を示唆する。

(5)NCEP/NCAR 長期再解析データを用いて、QBO/ENSO に伴う北半球冬季成層圏の年々変動について調査した。その結果、これらの要因が、冬季平均した極渦の様子や、成層圏突然昇温の発現に、非線型の影響を及ぼすことを明らかにした。すなわち、QBO が西風位相のときは、突然昇温の発現確率は、ENSO の海面水温指数とともに増加する。一方、QBO が東風位相のときは、突然昇温の発現確率は、ENSO が負の状態のときに非常に高いことが分かった(図3)。これらの突然昇温は、効率的に生じている(より強い東風を示す)。このような特徴は、対流圏における東西波数1の惑星波の強弱と密接に関係しており、惑星波の様子は対流活動・平均東西風分布との関係が示唆される。

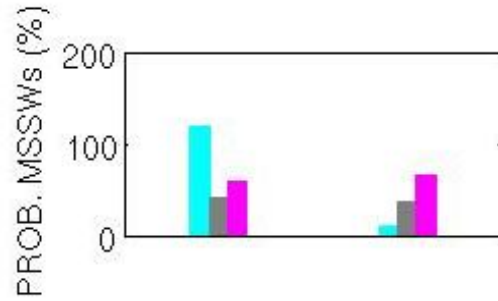


図 3 : QBO/ENSO に伴う成層圏突然昇温(1957/58~2012/13年における12~2月の大昇温)の発現確率(%)の変化。左のセットはQBOの東風位相年、右のセットはQBOの西風位相年を表す。各セットにおいて、3本のバーの左(水色)はラニーニャ年、中央(灰色)は中立年、右(赤色)はエルニーニョ年を表す。QBOの位相は、赤道上空50hPaにおける冬季平均の東西風の符号に基づく。すなわち、東西風が0以上のときは西風位相、そうでないときは東風位相である。ENSOの位相は、冬季平均のNINO3.4指数の大小に基づく。すなわち、対象期間において、NINO3.4指数が上位25%のときはエルニーニョ年、下位25%のときはラニーニャ年、それ以外が中立年である。

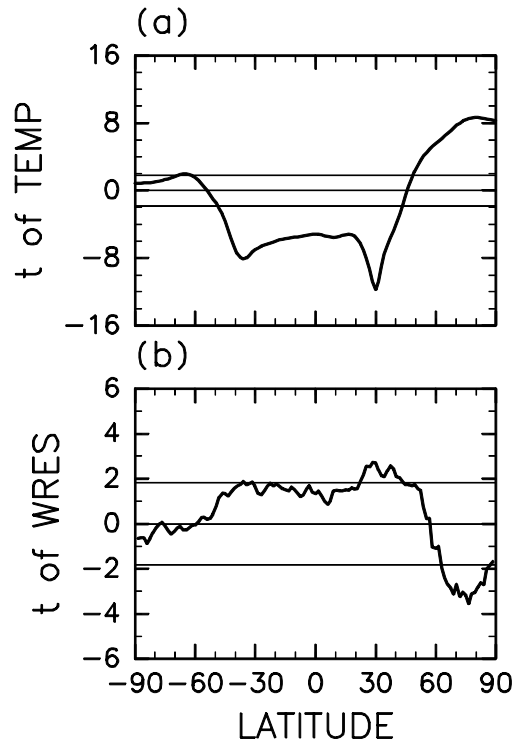


図 4 : ERA-Interim 再解析データにおける成層圏突然昇温発現時の合成解析の結果 : (a) 東西平均気温偏差、(b)東西平均残差循環偏差。どちらも10hPaにおいて、Studentのt値を示す。補助線を越える値が、有意水準95%で統計的に有意なシグナルであると判断される。

(6)JRA-25 及び ERA-Interim 再解析データを用いて、北半球中高緯度成層圏で突然昇温が発現した際、それに伴う冷却・上昇流シグナルがどのような緯度分布について調査し、それらのシグナルが低緯度はもちろん南半球中緯度にまで及ぶことを示した。そのような緯度分布のばらつきは、惑星波の砕波領域（波駆動が生じる領域）と関係があることが分かった。すなわち、砕波がより低緯度で起きる場合ほど、冷却・上昇流シグナルが低緯度（南半球）に及ぶ傾向がある。この砕波の特徴は、例えば、ポテンシャル渦度の水平マップにおける舌状の分布が、中・低緯度に及んでいることに見て取れる。

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 2 件)

Masakazu Taguchi and Kiyotaka Shibata, Diagnosis of annual synchronization of the Quasi-Biennial Oscillation: Results from JRA-25/JCDAS reanalysis and MRI chemistry-climate model data, Journal of the Meteorological Society of Japan, 査読有, 91, 2013, 243-256

Masakazu Taguchi, Latitudinal extension of cooling and upwelling signals associated with stratospheric sudden warmings, Journal of the Meteorological Society of Japan, 査読有, 89, 2011, 571-580

〔学会発表〕(計 7 件)

Masakazu Taguchi, Tropical and extratropical connections associated with QBO and ENSO, SPARC 2014 General Assembly, January, 17, 2014, Queenstown, New Zealand

Masakazu Taguchi, Variability and predictability of the Northern winter stratosphere, Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly DACA-13, July, 11, 2013, Davos, Switzerland

田口 正和, ENSO によって誘起される北半球冬季成層圏変化の再検討、日本地球惑星科学連合会議 2013、2013 年 5 月 20 日、幕張

Masakazu Taguchi, Basic characteristics of stratospheric predictability in 1-month ensemble hindcast experiments for 1979-2009, Joint DynVar/SNAP Workshop, April 26, 2013, Reading, UK

Masakazu Taguchi, ENSO-induced changes in the Northern winter stratosphere revisited: Results from JRA-25/JCDAS reanalysis and JMA hindcast data, SPARC Kyoto workshop 2013, April, 2, 2013, Kyoto

Masakazu Taguchi and Kiyotaka Shibata, Diagnosis of annual synchronization of the Quasi-Biennial Oscillation: Results from

JRA-25/JCDAS reanalysis and MRI CCM data, American Geophysical Union Fall Meeting 2012, December, 3, 2012, San Francisco, USA

田口 正和・柴田 清孝、赤道成層圏準二年周期振動の季節同期に関する診断解析：JRA/JCDAS 再解析データ・MRI CCM データの結果、日本気象学会 2012 年秋季大会、2012 年 10 月 4 日、札幌

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田口 正和 (TAGUCHI, Masakazu)
愛知教育大学・教育学部・准教授
研究者番号：50397527