

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20740280

研究課題名(和文) 対流圏の変動に伴う重力波と成層圏準 2 年振動に関する研究

研究課題名(英文) Gravity wave and the Quasi-biennial oscillation associated with tropospheric variability

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・研究員

研究者番号：00392960

研究成果の概要(和文)：

大気大循環モデルを用いて対流圏の積雲対流から励起される赤道波・重力波に関する研究を行った。最初にモデルで再現された赤道波・重力波の全球分布を最新の衛星観測結果と比較し、東西非一様な赤道波・重力波分布のメカニズムを解明した。次に赤道準 2 年振動(QBO)の駆動に対して、赤道波と慣性内部重力波の役割分担について明らかにした。最後に温暖化時の QBO について考察を行った。温暖化に伴って QBO の周期は長く、振幅は弱く、下端高度が上がる特徴が見られた。以上を 4 本の論文としてまとめた。

研究成果の概要(英文)：

Equatorial trapped waves (EQWs) and internal gravity waves (GWs) generated by cumulus convections in the troposphere are investigated using an atmospheric general circulation model (AGCM). First, the mechanism of zonally non-uniform distribution of GWs and EQWs was clarified. Next, the roles of EQWs and GWs in driving the quasi-biennial oscillation (QBO) are analyzed. Finally, the QBO in a global warming climate is investigated. These results are published in Journals.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

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：中層大気力学、重力波、赤道波、赤道準 2 年振動

1. 研究開始当初の背景

近年の中層大気の観測手段の多様化と質的向上により、重力波の特徴・伝播方向等が随分と分かるようになった。しかし観測のみでは重力波の熱・運動量輸送を広範囲に亘って調べることは不可能に近い。故に観測とモデルを組み合わせて研究を進めることが必須である。

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 とは赤道成層圏(高度約 17km から 50km)で東風と西風が約 2 年周期で交代している大規模振動現象で、大気中の様々な波動(プラネタリー波、赤道波、重力波等)による運動量輸送によって駆動されていると考えられているが、QBO 駆動に対する赤道波と重力波の相対的な役割は十分に分かっていない。

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（地表～高度約 85 km）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、成層圏の極渦強度や中高緯度の地表面の気圧配置にも影響を及ぼす。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 は大気—海洋を含めた気候変動を考えるうえでも重要な気象現象の 1 つとして認識されている。ところで IPCC（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、温暖化に伴う大気波動活動と QBO の変化に関する研究は無かった。非地形性重力波パラメタリゼーション（熱帯積雲対流活動から励起される重力波等、山岳起源以外の重力波）を組み込まない気候モデルで QBO を再現可能なモデルは、我々のグループを含めても世界的に数個しかなく、地球温暖化時に QBO がどのように変化するかは、殆ど理解されていない。

2. 研究の目的

非定常重力波パラメタリゼーションを用いずとも QBO を再現可能なモデルを用いて、QBO 駆動に対する赤道波と重力波の相対的な役割を解明する。また地球温暖化時の QBO の変化について明らかにする。

3. 研究の方法

研究代表者が現在まで利用してきた大気大循環モデル（AGCM: 東京大学大気海洋研究所、国立環境研究所、海洋研究開発機構で共同開発されたモデル）を用いて、本研究を遂行可能な仕様に改造する。QBO 駆動に対する赤道波と重力波の研究に関しては、T213L256（水平解像度約 60km、鉛直解像度約 300m、モデル上端 85 km）のモデルを用いて、3 年間積分を行う。海面水温・海氷分布などの境界条件は観測された気候値を用いる。

地球温暖化時の QBO の研究に関しては、T106L72（水平解像度約 120km、鉛直解像度約 550m、モデル上端 50 km）のモデルを用いる。非定常重力波抵抗パラメタリゼーションは組み込まない。標準実験を開始する前に、モデルのチューニングを行う。具体的には熱帯域の対流システムの現実的な組織化、重力波運動量フラックスの強度が過去の観測的研究と同等である事、QBO の周期が 2 年程度になる事、に着目して積雲対流スキームのパラメータ調整及び拡散の強度を決定する。構築した大気大循環モデルを用いて、気候値の境界条件（海面水温や海氷等）を用いた標準実験を行う。スピンアップを終えた初期値データを使用し、積分期間は 90 年間とする。地球温暖化時の海面水温や海氷などの境界条件は、世界中の大気海洋結合モデルで予測さ

れた結果を反映したデータを用いる。大気中の二酸化炭素濃度は 2 倍に設定する。初期値は標準実験と同じデータを用い、90 年間積分する。本研究の最大の利点は非定常重力波抵抗パラメタリゼーションを用いていないところにある。すなわち標準実験と比較する事により、温暖化に伴う熱帯域上昇流の変化、重力波の運動量フラックス・東西風加速の 3 次元分布や伝播特性の違いを陽に解析・比較することが可能である。

4. 研究成果

最初に QBO 駆動に対する赤道波と重力波の研究に関する成果について記述する。対流と結合した赤道波は、下部成層圏の赤道波分布と深く関連していた。図 1 に帯状平均東西風と EP-flux 収束の時間—高度断面図及び 30hPa における各波動の forcing 強度の時間変化を示す。シミュレートされた QBO の西風加速には東進赤道波（ケルビン波等）が 25-50% 効くのにに対して、東風加速には西進赤道波（ロスビー重力波、 $n=1$ 西進重力波等）は 10% 程度しか効かない。 $n=1$ の西進重力波の役割が小さい点は、過去の研究と異なる。東風加速を引き起こす主要な波は、東西スケールが 1000km 以下の内部重力波であり、本モデルによる QBO 東風位相の現実的な下端高度の再現性と関連する。

更に wave forcing の 3 次元分布を調べた。赤道波は QBO に伴う風の鉛直シアが存在するところで、EP-flux の南北成分が顕著になる。この結果は例えばケルビン波の forcing を見積もる際に、 $u'w'$ だけでは不十分である事を示唆するものである。一方重力波に伴う EP-flux 収束は、鉛直成分で殆ど説明される。このことは、少なくとも QBO をシミュレートする為の重力波抵抗パラメタリゼーションは、鉛直伝播のみ考慮されたもので大きな問題は無い事を示唆する。

最後に重力波とケルビン波に伴う wave forcing の東西分布を重力波に適用可能な 3 次元 wave flux を用いて調べた。成層圏での wave forcing の東西分布は、(1) 対流圏でのソース分布、(2) ウォーカー循環に伴う東西風の鉛直シア、(3) QBO 位相、によって決定されている事が分かった。wave forcing は西風シア一時で東西非一様性が大きい、東風シア一時には東西にほぼ一様で、forcing を引き起こす波の位相速度が関連することが新たに分かった。また熱帯対流圏界面では対地位相速度の小さな波（鉛直波長の小さな波）が卓越し、それらが引き起こす wave forcing にも東西非一様性が大きい事も新たに分かった。

シンガポールでの観測結果等から、ケルビン波と重力波にともなう西風運動量は同程度である事が示唆されている。しかし本モデ

ル結果から、シンガポールは他の経度帯に比べ運動量及び wave forcing が大きい事、またケルビン波の主要な励起源はインド洋であるが、成層圏でのケルビン波に伴う wave forcing は東太平洋上でも形成されている事等が示された。現実大気の QBO に効く波を推定するには、更なる多くの経度帯の観測が必要である。

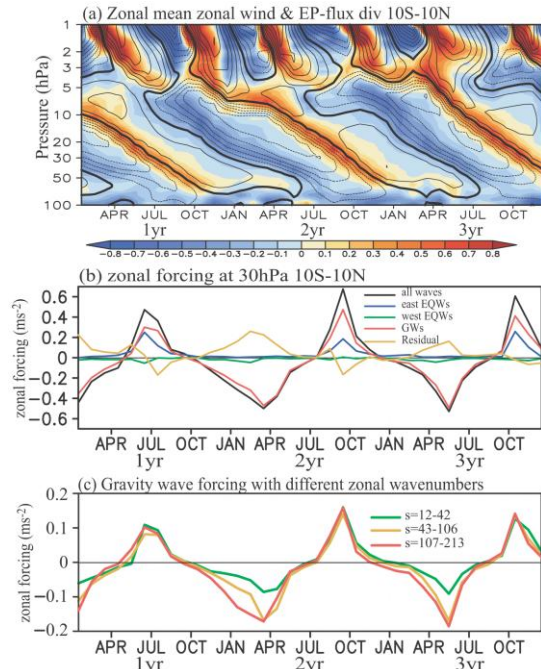


図 1 (a) 帯状平均東西風（コンター）と EP-flux 収束（色）の時間一高度断面図（10S-10N 平均）。実線が西風で破線が東風を示す。赤（正）が西風加速、青（負）が東風加速。(b) 30hPa における EP-flux 収束の時間変化図。全波道成分(all wave)、東進赤道波(east EQWs)、西進赤道波(west EQWs)、慣性内部重力波(GW)。(c) 慣性内部重力波の東西波数帯毎（東西波数 12-42、43-106、107-213）の EP-flux 収束。

次に地球温暖化時の QBO 研究について記述する。図 2 に赤道上における帯状平均東西風の時間一高度断面図を示す。温暖化に伴って QBO の周期は長く、振幅は弱く、下端高度が上がる特徴が見られる。帯状平均東西風の緯度一高度分布を見ると、温暖化に伴う帯状平均温度場の変化と対応して、上部対流圏から成層圏に掛けて中緯度西風ジェットが強化され、且つ風速 0 ms^{-1} ラインが赤道寄りになる。この背景東西風の変化が、中緯度ロスビー波および山岳起源重力波による東風加速領域の位置を変え、結果として赤道から中緯度へ向かう残差子午面循環を強化させ、赤道域の上昇流が増加する。

IPCC 報告書で知られているように、本実験でも温暖化時に赤道上的平均降水量は増加した。結果として重力波がより多く励起され、

上部対流圏から下部成層圏では、重力波に伴う運動量フラックスは 10-15%増加していた。しかしながら下部成層圏での大気波動に伴う運動量フラックスは、東西位相速度の絶対値が大きな領域では温暖化に伴って増加しているが、QBO 駆動に効果的な比較的小さな位相速度領域では殆ど増加していなかった。熱帯域の波動ソースである雨のスペクトルを調べると同様な特徴が見られた。温暖化に伴って周期の短い雨の強度が増える傾向にあり、QBO より上空の東西風が変わりうる事を示唆していた。温暖化に伴って励起される大気波動と赤道域の上昇流は共に増えるが、QBO が存在する高度では上昇流の効果が上回るため、図 1 に見られる変化が引き起こされる、というのが結論である。

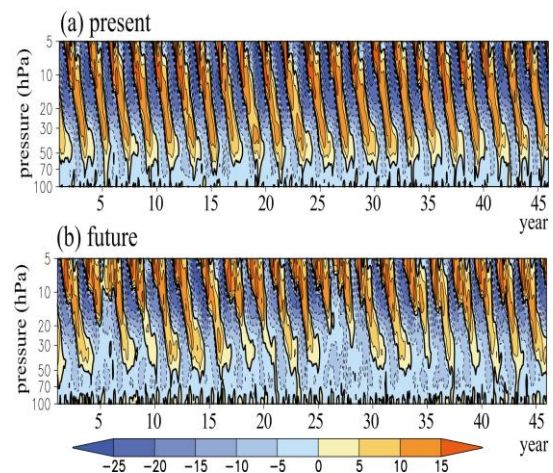


図 2：赤道上における帯状平均東西風の時間一高度断面図。赤色が西風、青色が東風。(a) 現在気候、(b) 二酸化炭素倍増時

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 4 件）

① Kawatani, Y., K. Sato, T. J. Dunkerton, S. Watanabe, S. Miyahara, and M. Takahashi, 2010: The roles of equatorial trapped waves and internal inertia-gravity waves in driving the quasi-biennial oscillation. Part I: Zonal mean wave forcing, J. Atmos. Sci., 査読有, 67, 963-980.

② Kawatani, Y., K. Sato, T. J. Dunkerton, S. Watanabe, S. Miyahara, and M. Takahashi, 2010: The roles of equatorial trapped waves and internal inertia-gravity waves in driving the quasi-biennial oscillation. Part II: Three-dimensional distribution of wave forcing, J. Atmos. Sci, 査読有, 67, 981-997

③ Kawatani, Y., K. Hamilton and S. Watanabe, 2010: The quasi-biennial oscillation in a double CO2 climate, J. Atmos. Sci., 査読有, 68, 265-283.

④ Kawatani, Y., M. Takahashi, K. Sato, S. P. Alexander, and T. Tsuda, 2009: Global distribution of atmospheric waves in the equatorial upper troposphere and lower stratosphere: AGCM simulation of sources and propagation, J. Geophys. Res, 査読有, 114, D01102, doi:10.1029/2008JD010374.

[学会発表] (計 24 件)

① 河谷 芳雄, The quasi-biennial oscillation in a double CO2 climate, AGU Chapman Conference on Atmospheric Gravity Waves and Their Effects on General Circulation and Climate, 2011年3月2日, Honolulu, USA

② 河谷 芳雄, The roles of 3-dimensional propagating gravity waves and equatorial trapped gravity waves on driving the Quasi Biennial Oscillation: A study of high resolution atmospheric general circulation model, 17th Conference on Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics and 15th Conference on Middle Atmosphere, 2009年6月10日, Stowe, USA

③ 河谷 芳雄, The roles of 3-dimensional propagating gravity waves and equatorial trapped gravity waves on driving the Quasi Biennial Oscillation, 4th SPARC General Assembly, 2008年9月1日, 2008, Bologna, Italy

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・研究員

研究者番号：00392960