

## 2016年の QBO 異常に伴う力学場と大気微量成分の変動

加藤諒一、廣岡俊彦（九大院・理）、江口菜穂（九大・応力研）

### 1. はじめに

成層圏準2年周期振動（Quasi-Biennial Oscillation: QBO）は1950年代後半に発見された、赤道域下部成層圏において東西風が約28ヶ月周期で変動する現象で、赤道域対流圏から伝播する東進性・西進性の波動による、「波と平均流の相互作用」を通して駆動される。また、QBOに伴って東西風の鉛直シアが形成され、温度風の関係を保つように二次的な子午面循環が形成される。この子午面循環により、 $O_3$ など、化学的に安定な大気微量成分が変動することが知られている。

QBOは周期的に発生する現象のため数ヶ月先の挙動を予想しやすいとされているが、2016年初頭にQBOが異常な時間発展をしたことが報告された（Newman et al. 2016; Osprey et al., 2016）。そこで本研究では、力学場、大気微量成分の変動からこのQBOの異常に伴う2次循環を確認し、さらにその2次循環を定量的に解析することを目的とする。

### 2. 使用データと解析手法

本研究では、大気微量成分として Aura EOS/MLS Version 4.2 Level 2の $O_3 \cdot HCl \cdot N_2O \cdot H_2O$ の体積混合比データを使用した。また、力学場として、JRA-55とMERRA-2の気温・東西風・南北風・鉛直風のデータを使用した。解析期間は全て2005年1月～2016年12月である。

MLSのデータは衛星軌道に沿って与えられている。3日間の観測データから緯度経度 $5^\circ \times 5^\circ$ の格子点データを作成し、中央の日付の値として解析に用いた。

解析期間中の各データ（ $O_3$ 混合比、 $HCl$ 混合比、 $N_2O$ 混合比、 $H_2O$ 混合比、東西風、残差平均子午面循環（ $\bar{w}^*$ ））から気候値データを作成

後、日々の偏差を求めた。

### 3. 結果1：力学場の変動

まず図1に、JRA-55とMERRA-2の、南緯 $5^\circ$ から北緯 $5^\circ$ で領域平均した帯状平均東西風の時間発展を示す。MERRA-2では、2016年初頭の40hPa付近に東風が現れて、それまでの西風フェーズが崩れている。Newman et al. (2016)、Osprey et al. (2016)では、QBO異常は40hPa面における北半球からの東風運動量の輸送によるものであり、QBOメカニズムそのものの異常ではないことを報告しており、その後は通常のQBOメカニズムに従った変動をしている。また、2016年初頭の40hPaから始まる東風出現は、JRA-55では明瞭でない。

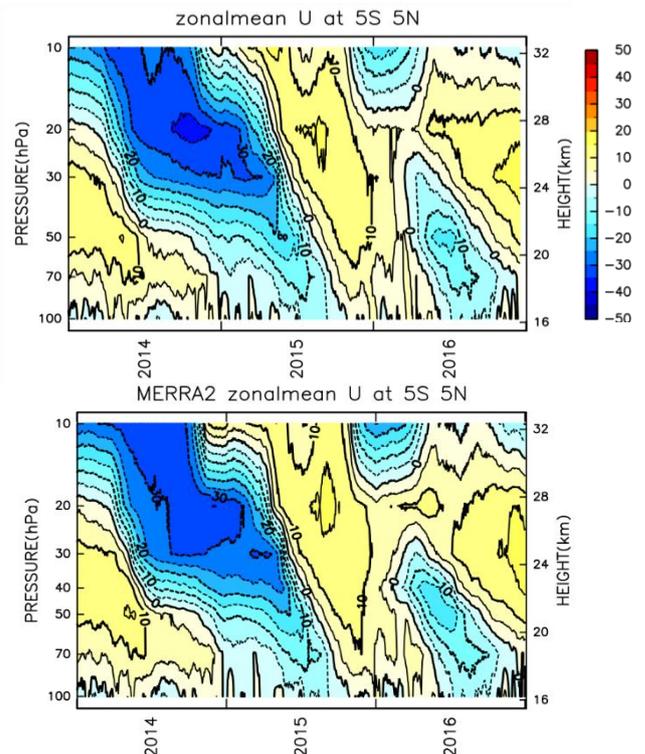


図1: 2014年から2016年までの南緯 $5^\circ$ から北緯 $5^\circ$ で領域平均した帯状平均東西風 [ $m s^{-1}$ ] の時間発展（上 JRA-55、下 MERRA-2）。等値線間隔は $10 m s^{-1}$ 。

次に、(Andrews and McIntyre, 1976)によって示された変形オイラー平均方程式系(TEM: transformed Eulerian-mean)で定義される残差平均子午循環、

$$\bar{w}^* = \bar{w} + \frac{1}{a \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} (\cos \phi \overline{v' \theta'} / \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z})$$

の結果を示す。これは大気微量成分輸送をもたらす鉛直成分である。図2に $\bar{w}^*$ の時間発展(上)と気候値からの偏差(下)の時間発展を示す。赤道域はブリューワー・ドブソン循環による上昇流が1年を通して卓越している(上)。MERRA-2の結果では、70hPa付近に弱い下降流が確認できるが、気候値からの偏差(下)をとると、JRA-55、MERRA-2共に、QBO成分が卓越していることが分かる。QBOによって形成された東西風の鉛直シアーによって形成された上昇流偏差(東風シアーと対応)と下降流偏差(西風シアーと対応)が確認できる。今年のQBO異常に対応して、40hPa付近で上昇流偏差、30hPa付近で下降流偏差が形成されている。 $\bar{w}^*$ に従って大気微量成分が変動することが予想されるが、JRA-55からの結果では上昇流・下降流偏差が非常に入り混じっており、大気微量成分との対応はMERRA-2の方が良いと考えられる。

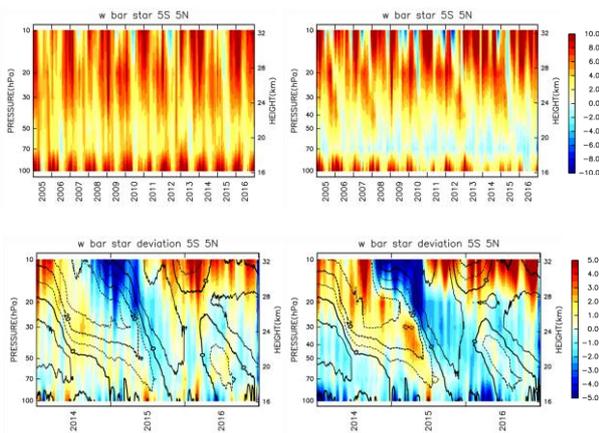


図2: 南緯5°から北緯5°で領域平均した $\bar{w}^*$ の時間高度断面図(上)と気候値からの偏差(下) 単位は $[ms^{-1}] \times 10^{-4}$ 。(上 JRA-55、下 MERRA-2)。

#### 4. 結果2: 大気微量成分の変動

図3では赤道域における $O_3$ 体積混合比の時間発展(上)と気候値からの偏差の時間発展(下)を示す。QBOによって形成される東西風の鉛直シアー域に対応して、準2年周期で変動している。 $O_3$ はQBOが卓越する高度域においては、高度とともに混合比が大きくなるため、下降流偏差の領域で $O_3$ 正偏差、上昇流偏差の領域で $O_3$ 負偏差が見られ、それぞれ西風シアー域、東風シアー域に対応している。また、2016年初頭、40hPa付近(高度約26km)で正の偏差が現れ、それが時間とともに下降しており、報告されたQBO異常と対応している。

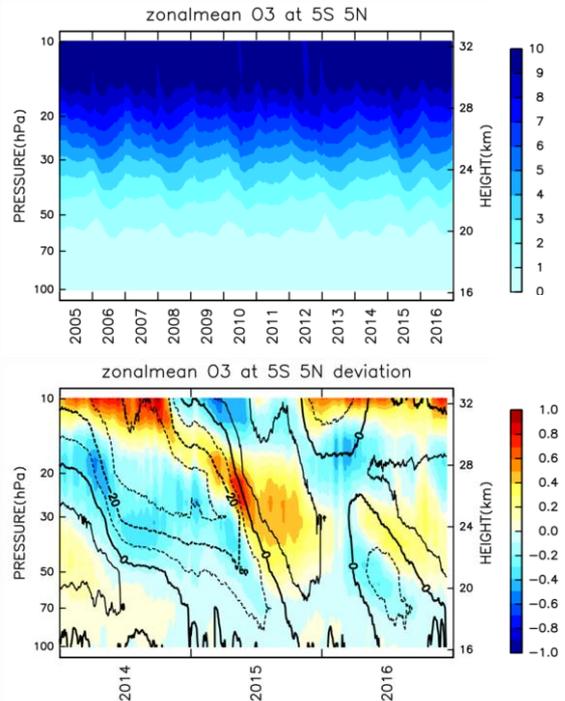


図3: 南緯5°から北緯5°で領域平均した $O_3$ 混合比[ppmv]の時間高度断面図(上)と気候値からの偏差(下)。等値線で東西風を示している。等値線間隔は $10ms^{-1}$ 。

次に図4で、38hPaにおける月平均した $O_3$ 混合比の緯度経度分布を示す。どちらの月もQBOによる西風シアー、下降流偏差、 $O_3$ 混合比正偏差の時期に対応する。 $O_3$ 混合比は太平洋付近で小さく、その後東西一様の分布へと

変動していた。これより、QBOによる2次循環の強度あるいは形成時期に東西非一様性があることが示唆される。

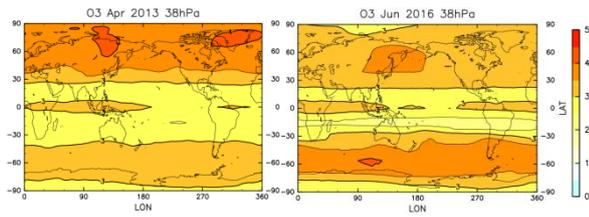


図4: 38hPaにおける月平均した $O_3$ 混合比[ppmv]の緯度経度分布(上2016年6月、下2013年4月)

図5ではHClについての図3と同様の結果を示す。HClは $O_3$ と同様、高度とともに混合比が大きくなる。したがって、下降流偏差の領域でHCl正偏差、上昇流偏差の領域でHCl負偏差が見られ、それぞれ西風シア領域、東風シア領域に対応する。しかし、HClは混合比の鉛直勾配がQBO高度域では相対的に小さく、特にQBO異常に対応する変動は $O_3$ と比べると不明瞭であった。

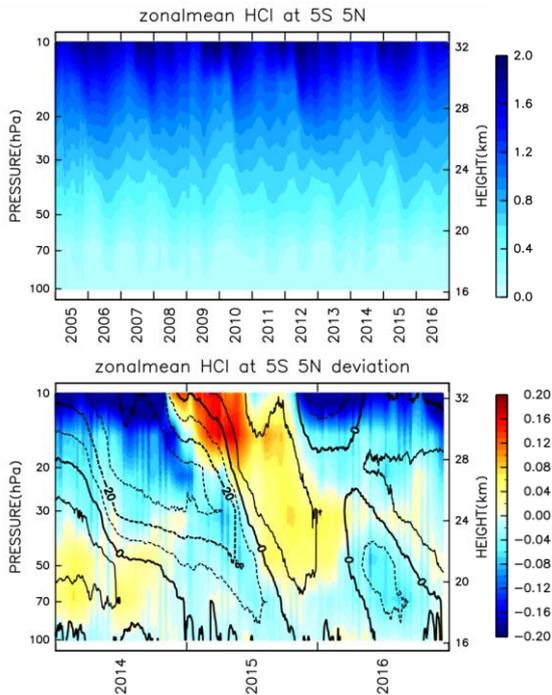


図5: 南緯 $5^\circ$ から北緯 $5^\circ$ で領域平均したHCl混合比[ppbv]の時間高度断面図(上)と気

候値からの偏差(下)。等値線で東西風を示している。等値線間隔は $10\text{ms}^{-1}$ 。

図6では $N_2O$ についての図3と同様の結果を示す。 $N_2O$ は高度とともに混合比が小さくなるため、 $O_3$ 、HClと正負逆の偏差が確認できる。 $N_2O$ についても混合比の鉛直勾配がQBO高度域では相対的に小さく、特にQBO異常に対応する変動は $O_3$ と比べると不明瞭であった。

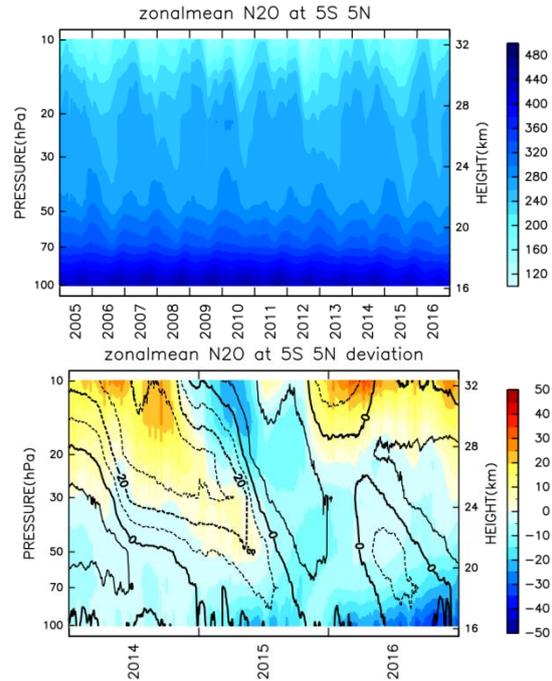


図6: 南緯 $5^\circ$ から北緯 $5^\circ$ で領域平均した $N_2O$ 混合比[ppbv]の時間高度断面図(上)と気候値からの偏差(下)。等値線で東西風を示している。等値線間隔は $10\text{ms}^{-1}$

図7では $H_2O$ についての図3と同様の結果を示す。赤道域の $H_2O$ の変動は1年周期成分が強いことがまず確認できる。北半球冬季の時期は、南半球冬季の時期と比べ、基本となるブリューワー・ドブソン循環の上昇流が強いため、圏界面がより冷えており、 $H_2O$ は比較的少量のみが成層圏へ運ばれる。圏界面温度が境界条件となって決定した $H_2O$ 混合比がそのままブリューワー・ドブソン循環の上昇流によって運ばれる、いわゆる、tropical tape recorderと呼ばれる変動が確認できる。

気候値からの偏差をとると、これまでの大気微量成分とは異なった変動を見せており、QBOによる東西風の鉛直シアーに対応した混合比の変動は見られない。QBOによって対流圏界面付近の $\bar{w}^*$ が強められている時期（2014年後半）では $H_2O$ 負偏差、逆に対流圏界面付近の $\bar{w}^*$ が弱められている時期（2015年後半）では $H_2O$ 正偏差となっている。そしてその偏差が成層圏へ運ばれている。

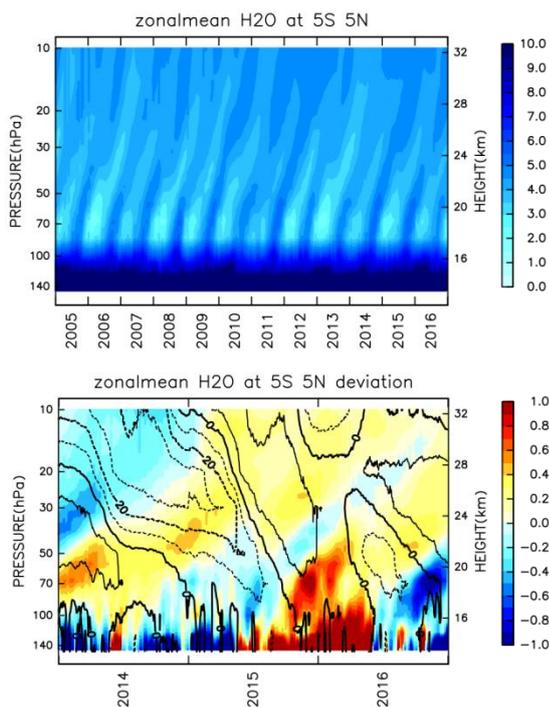


図 7: 南緯 5° から北緯 5° で領域平均した  $H_2O$  混合比 [ppbv] の時間高度断面図 (上) と気候値からの偏差 (下)。等値線で東西風を示している。等値線間隔は  $10\text{ms}^{-1}$

## 5. まとめ

本研究では、2016 年の QBO の異常に伴って形成された 2 次循環を力学場、大気微量成分から解析することを目的とした。

まず、JRA-55 と MERRA-2 の東西風の時間発展において、40hPa での東風出現を MERRA-2 の方が明瞭であった。さらに  $\bar{w}^*$  の結果においても、MERRA-2 の方が QBO 異常に伴う変動が明瞭であった。

大気微量成分、 $O_3 \cdot HCl \cdot N_2O$  混合比は、QBO による 2 次循環に対応して変動していた。QBO 異常に対応する変動については  $O_3$  が最も対応がいい変動を示していた。 $H_2O$  混合比については、対流圏界面の温度を境界条件として混合比が決まり、それがそのまま成層圏へ運ばれていた。

また、 $O_3$  変動の経度緯度分布では、西風シアーの時期に  $O_3$  混合比が太平洋付近で小さいという、東西非一様性が確認できた。

## 6. 今後の課題

確認された  $O_3$  混合比変動の東西非一様性に対応して、2 次循環の強度や形成時期など力学場についても東西非一様性がないか解析を行う必要がある。また、2016 年の QBO 異常を明瞭に示すため、力学場、大気微量成分共にコンジット解析を行っていく予定である。

## 参考文献

[1] Andrews, D. G., and M. E. McIntyre, 1976: Planetary waves in horizontal and vertical shear: The generalized Eliassen-Palm relation and the mean zonal acceleration. *J. Atmos. Sci.*, 33, 2031-2048.

[2] Newman, P. A., L. Coy, S. Pawson, and L. R. Lait, 2016: The anomalous change in the QBO in 2015–2016. *Geophys. Res. Lett.*, 43, 8791–8797,

doi:<https://doi.org/10.1002/2016GL070373>.

Crossref

[3] Osprey, S. M., N. Butchart, J. R. Knight, A. A. Scaife, K. Hamilton, J. A. Anstey, V. Schenzinger, and C. Zhang, 2016: An unexpected disruption of the atmospheric quasi-biennial oscillation. *Science*, 353, 1424–1427,

doi:<https://doi.org/10.1126/science.aah4156>.

Crossref