

成層圏準二年周期振動が熱帯積雲におよぼす影響について

*西本絵梨子、余田成男
京都大学大学院理学研究科

1. はじめに

成層圏準二年周期振動 (QBO) は赤道下部成層圏で顕著な経年変動で、約 2 年の周期で東西風の向きが交代する現象である。QBO は下部成層圏、上部対流圏における東西一様な大気場の変調をもたらす。とくに、熱帯対流圏界面付近における、東西風の鉛直シア、鉛直流、気温、静的安定度、対流圏界面高度といった物理量の変化は、積雲対流の強さなどへ影響を及ぼす可能性がある。

実際、QBO が季節平均以上の時間スケールで平均した熱帯積雲の強さや水平分布に影響を及ぼすことについて衛星観測データなどにより明らかにされてきた (Collimore et al. 2003; Liess and Geller 2012)。最近、50hPa における QBO の位相が東風するとき (E-QBO) には西風するとき (W-QBO) よりも、南半球夏季におけるマッデン・ジュリアン振動 (MJO) の強度が有意に強くなることが示された (Yoo and Son 2016)。また、E-QBO 時には W-QBO 時よりも、MJO の予測可能期間が約 8 日間長くなることも指摘されている (Marshall et al. 2016)。

本研究では、さまざまな観測データ、再解析データを用いて、QBO が南半球夏季における MJO におよぼす影響について統計的有意性をふまえながら明らかにする。その際、二種類の異なる解析を各 QBO の位相で行なう。まず、特定の MJO フェーズに着目した合成図解析により、MJO の日平均時間発展を調べる。つぎに、MJO の強さや位相とは関係なく、日々の最も活発な対流活動に着目した条件付標本解析を行なう。

2. データ

1979 年から 2013 年までの 35 年間に於いて、Nino3.4 領域 (5°S — 5°N , 170°W — 120°W) の海面水温偏差が $\pm 1.0(\text{K})$ 以内であるエルニーニョ・ラニーニャ現象の出現が弱い期間 (ENSO 平年) に限定して解析を行なう。

QBO の指標として ERA-Interim 再解析データの月平均 50hPa 帯状平均東西風 (10°S — 10°N 平均) U_{50} を用いる。時間平均値を $[U_{50}]$ 、標準偏差を σ として、 $U_{50} \leq [U_{50}] - 0.5\sigma$ の期間を QBO 東風位相 (E-QBO)、 $U_{50} \geq [U_{50}] + 0.5\sigma$ の期間を QBO 西風位相 (W-QBO)、それ以外の期間 ($[U_{50}] - 0.5\sigma < U_{50} < [U_{50}] + 0.5\sigma$) を QBO 中立位相 (N-QBO) とする。また、MJO の指標には、大規模積乱雲群の活動度を示す OLR-based MJO index (OMI) を用いる。

積雲活動の指標として NOAA/OLR を用いる。気温、東西・鉛直風、水平発散、比湿は ERA-Interim 再解析データを用いる。また、TRMM 衛星データから推定された降水データも使用する。TRMM データの期間は 1998 年から 2013 年である。

3. 結果

3.1. MJO インデックスの季節変化

図 1 は日平均 OMI の振幅 $A(t)$ の時系列変化を示す。QBO の位相によらず一般的に、OMI の振幅は 12 月から 3 月に大きい。QBO の位相による振幅の違いは 12 月から 1 月 (DJF)

の季節において顕著で、E-QBO 時には他の QBO 位相時に比べて比較的振幅が大きく、W-QBO 時には小さい。ほかの季節においては、QBO の位相による OMI 振幅の違いは顕著ではない。

3.2. 日平均合成図解析

QBO の位相による MJO の時間発展の違いを調べるために、積雲活動が海洋大陸で活発である MJO phase 4 において OMI の振幅 $A(t)$ が大きい ($A(t) \geq 1$) イベントを DJF の季節で抽出し、QBO 位相毎に合成図解析を行なった。OLR の経度-時間断面 (図 2) より、E-QBO 時の MJO に伴う積雲活動は W-QBO 時のものに比べて統計的に強く、東進速度も遅く、活発な期間が長いことがわかる。このような QBO 位相による MJO 東方伝播の特徴は、MJO の力学的・熱力学的構造と関係した他の物理量 (上部・下部対流圏における水平風の発散収束、中部対流圏における鉛直流や比湿) においても力学的整合性をもってみられ、E-QBO 時と W-QBO 時の差は統計的に有意である。QBO 位相間の MJO 活動の有意な差は TRMM 降水データや対流圏界面付近の気温分布においても見られる。

3.3. 条件付標本解析

つぎに、MJO の振幅や位相に関係なく、日々において最も活発な対流活動に着目した条件付標本解析を行なう。活発な対流活動域の中心を「熱帯域 ($10^{\circ}\text{S} - 10^{\circ}\text{N}$, $0^{\circ}\text{E} - 360^{\circ}\text{E}$) において OLR の値が最小 (OLR_{\min}) となる場所」という条件の下、ENSO 平年の DJF の期間において日々探す。これらの最も対流が活発な領域における条件付標本の解析結果には、MJO 以外のメソスケール積雲システムやそれに伴う対流結合波動を含む可能性がある。 OLR_{\min} の値や抽出された経度、緯度の分布は E-QBO 時と W-QBO 時で異なっており、E-QBO 時における OLR_{\min} の平均値は W-QBO 時よりも小さく、90%有意水準を満す。

最も対流が活発な領域での条件付標本データを QBO 位相毎に合成解析を行なったところ、E-QBO 時には W-QBO 時に比べて統計的に、対流圏界面付近の気温と静的安定度が低いことがわかった (図 3)。この特徴は、条件をつけない熱帯域での標本 (灰色線) と比べて、対流活発域 (黒線) でより顕著で、統計的に有意な差がより低い高度まで見える。このことは、対流活動活発域の対流圏界面の状態が、E-QBO 時にはより強い対流が発達しやすい状態であることを示す。さらに、最も対流活動が活発な領域を中心に合成した東西風、鉛直流、気温の経度・高度断面図は、MJO と関連した大規模対流システムとよく似た構造を示し、対流圏界面付近では対流加熱により励起された鉛直伝播するケルビン応答の構造が確認できる。これらは E-QBO 時には W-QBO 時に比べて統計的に強い。

4. まとめ

南半球夏季において、成層圏 QBO が MJO の力学的・熱力学的構造とその時間発展に対して、統計的に有意に影響を及ぼすことが明らかになった。また、日々において最も対流活動が活発な領域に着目した解析により、E-QBO 時には W-QBO 時に比べて、対流活動活発域の対流圏界面付近の気温と静的安定度は低く、強い対流が発達しやすい状態にあることがわかった。合成解析からは対流圏界面付近の大気場と対流システムとの関係についての

原因結果を議論することは難しいが、この対流圏界面付近での変動は、対流加熱により励起された鉛直伝播するケルビン応答によりもたらされていると考えられる。本研究の詳細については、Nishimoto and Yoden (2017)を参照されたい。

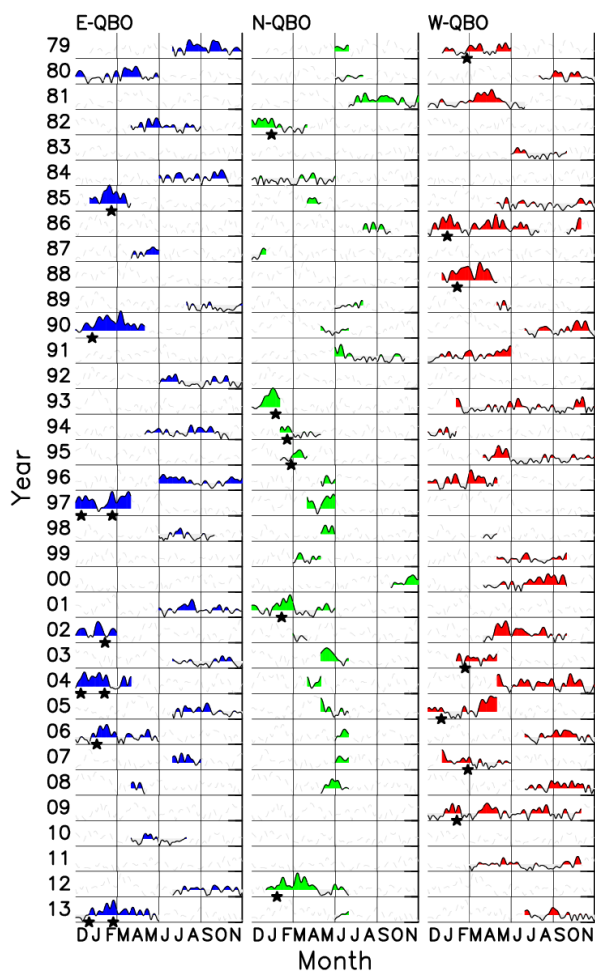


図 1: ENSO 平年における日平均 OMI の振幅 $A(t)$ の時系列。(左) E-QBO、(中央) N-QBO、(右) W-QBO の期間を示す。1 以上の振幅 ($A(t) \geq 1$) を塗りつぶしている。星印は MJO イベントの key day を示す。

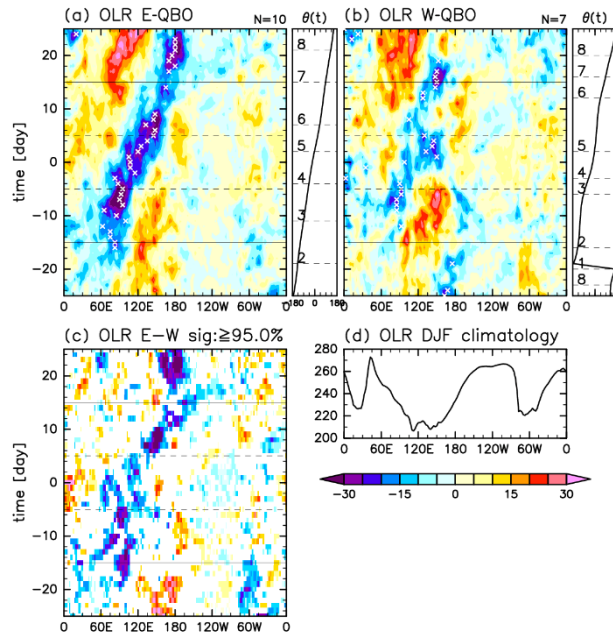


図 2 : OLR 偏差(W/m^2)の経度-時間断面合成図。(a) E-QBO、(b) W-QBO、(c) E-QBO と W-QBO の差。値は $10S-10N$ 平均で、気候値 (図 d) からの差。図 c では 95%以上有意な値のみ示す。図 a,b に積雲中心を x で示す。OMI の位相角 $\theta(t)$ と MJO の phase 番号を図 a,b の右に示す。

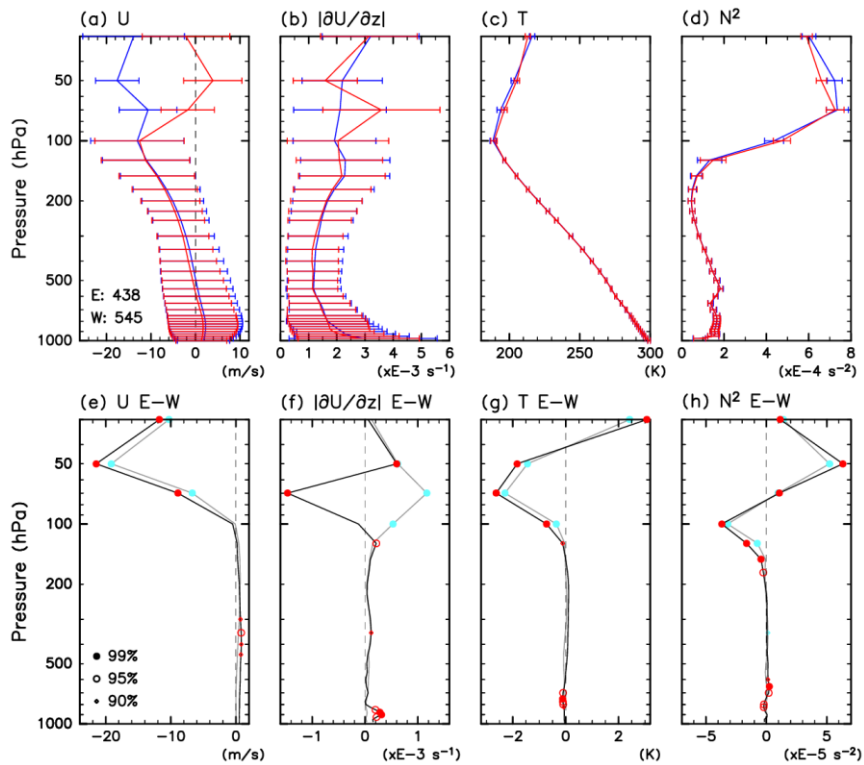


図 3: (上段) 条件付標本データの *E-QBO* 時 (青線) と *W-QBO* 時 (赤線) の合成図。 (下段) 条件付標本における *E-QBO* 時と *W-QBO* 時の差 (黒線、赤丸) と条件なしでの差 (灰色線、青丸)。 (a,e) 東西風(m/s)、 (b,f) 東西風の鉛直シアアの絶対値(s^{-1})、 (c,g) 気温(K)、 (d,h) 静的安定度(s^{-2})。標準偏差の大きさをエラーバーで示す。統計的有意性はマークの種類で示す。

参考文献

- Collimore, C. C., D. W. Martin, M. H. Hitchman, A. Huesmann, and D. E. Waliser, 2003: On The Relationship between the QBO and Tropical Deep Convection. *J. Clim.*, 16, 2552–2568, doi:10.1175/1520-0442(2003)016<2552:OTRBTQ>2.0.CO;2.
- Liess, S., and M. A. Geller, 2012: On the relationship between QBO and distribution of tropical deep convection. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 117, doi:10.1029/2011JD016317.
- Marshall, A. G., H. H. Hendon, S.-W. Son, and Y. Lim, 2016: Impact of the quasi-biennial oscillation on predictability of the Madden–Julian oscillation. *Clim. Dyn.*, doi:10.1007/s00382-016-3392-0.
- Nishimoto, E., and S. Yoden, 2017: Influence of the stratospheric Quasi-Biennial Oscillation on the Madden-Julian Oscillation during austral summer. *J. Atmos. Sci.*, JAS-D-16-0205.1, doi:10.1175/JAS-D-16-0205.1.
- Yoo, C., and S.-W. Son, 2016: Modulation of the boreal wintertime Madden–Julian oscillation by the stratospheric quasi-biennial oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, 43, 1392–1398, doi:10.1002/2016GL067762.