

一般財団法人 WNI 気象文化創造センター 御中

## 研究・活動成果報告書

「長期予報精度の向上のための熱帯成層圏の準2年振動が熱帯の対流活動を通じて中高緯度の気候に及ぼす影響に関する研究」

(助成対象期間) 令和元年6月8日から令和2年6月7日まで

令和2年 6月11日  
北海道大学地球環境科学研究所  
山崎 孝治

・ 研究成果の概要	---	p.1
・ 研究発表・活動	---	p.6

## 研究成果の概要

### 1 研究の背景

赤道成層圏では約2年（およそ26ヶ月）周期で西風と東風を繰り返す赤道成層圏準2年振動（Quasi-biennial oscillation; 略してQBO）が卓越することが知られている。一方、北極域成層圏では冬季に寒冷となり極渦という低気圧循環が形成される。QBOと極渦の間には関係があり、QBOが東風位相（赤道成層圏下部で東風）の時に極渦が弱くなる傾向にあることも古くから知られている（Holton and Tan, 1980; 以下HT関係）。この関係は赤道QBOの位相により成層圏中緯度での惑星波の鉛直・水平伝播が変調されるからと考えられている（例えば、Anstey and Shepherd, 2014）。つまり、HT関係は赤道と北極域の成層圏過程によって起こると考えられる。さらに北極の極渦の強弱は対流圏の北極振動に影響する。そのため、QBOの東風位相の冬は極東で寒冬になりやすい。ここでは、このような成層圏過程の他に対流圏を通した過程があるという私の仮説を検証する。

この仮説は以下のとおりである。最近の研究により、QBOは対流圏界面付近の気温変動を通して熱帯の対流活動に影響を与えることがわかってきた。QBOが東風位相の時には、対流圏界面の気温が低く、最も対流高度が高い熱帯西太平洋で対流活動が活発になる。この対流がロスビー波を励起して中高緯度対流圏に伝播する。伝播した波は気候場の波と同位相で惑星波を強める。この結果、元々気圧の谷に位置する東アジア・北太平洋ではより気圧の谷が深くなる。さらに対流圏で強まった惑星波が成層圏へ伝播し極渦を弱めるという過程である。

### 2 データ、解析方法とモデル

大気データには1979-2016年のERA-interim再解析データ（欧州中期予報センターの再解析データ）およびOLR（外向き赤外放射量：熱帯では対流活動の指標）を使用した。QBOの位相は50-hPaの赤道域の冬(DJF)の帯状平均東西風から決定した。QBOが東風位相と西風位相の差（以下、QBOシグナル）の合成図解析を行った。気象庁の定義によるEl NinoとLa Ninaを除外した解析も行い共通の特徴を抽出した。

数値実験にはAFES-AGCM (T79L56)を使用した。気候値のSST（海面水温）や海水を用いた60年間の基準実験に対して、熱帯西太平洋域(150°E, 5°N)を中心に正の対流加熱を与えた実験(CONV1)及びさらにインド洋域(70°E, 5°N)を中心に負の対流加熱を与えた実験(CONV2)を60年行い、基準実験との差を見た。

### 3 解析結果

QBOの位相で極渦に差がでるのは11月から1月である。極渦の偏差が生成される時期として10,11,12月のOLRの差(E-QBO—W-QBO)を図1に示す。熱帯西太平

洋域で OLR が負、即ち、E-QBO のときに対流活動が活発になる。インド洋では不活発になる。これらは ENSO 年を除外しても見られる特徴である。一方、中東部赤道太平洋での対流不活発域は ENSO 年を除外すると消える。熱帯西太平洋は対流圏界面付近で最も冷たいところであり (図 1b)、SST は高く大気不安定な場所であるので、この地域で対流が活発化する。E-QBO の時は赤道で 100-hPa 気温が帯状に寒冷化すると同時に対流活動の影響により熱帯西太平洋で特に寒冷化する (図 1c)。

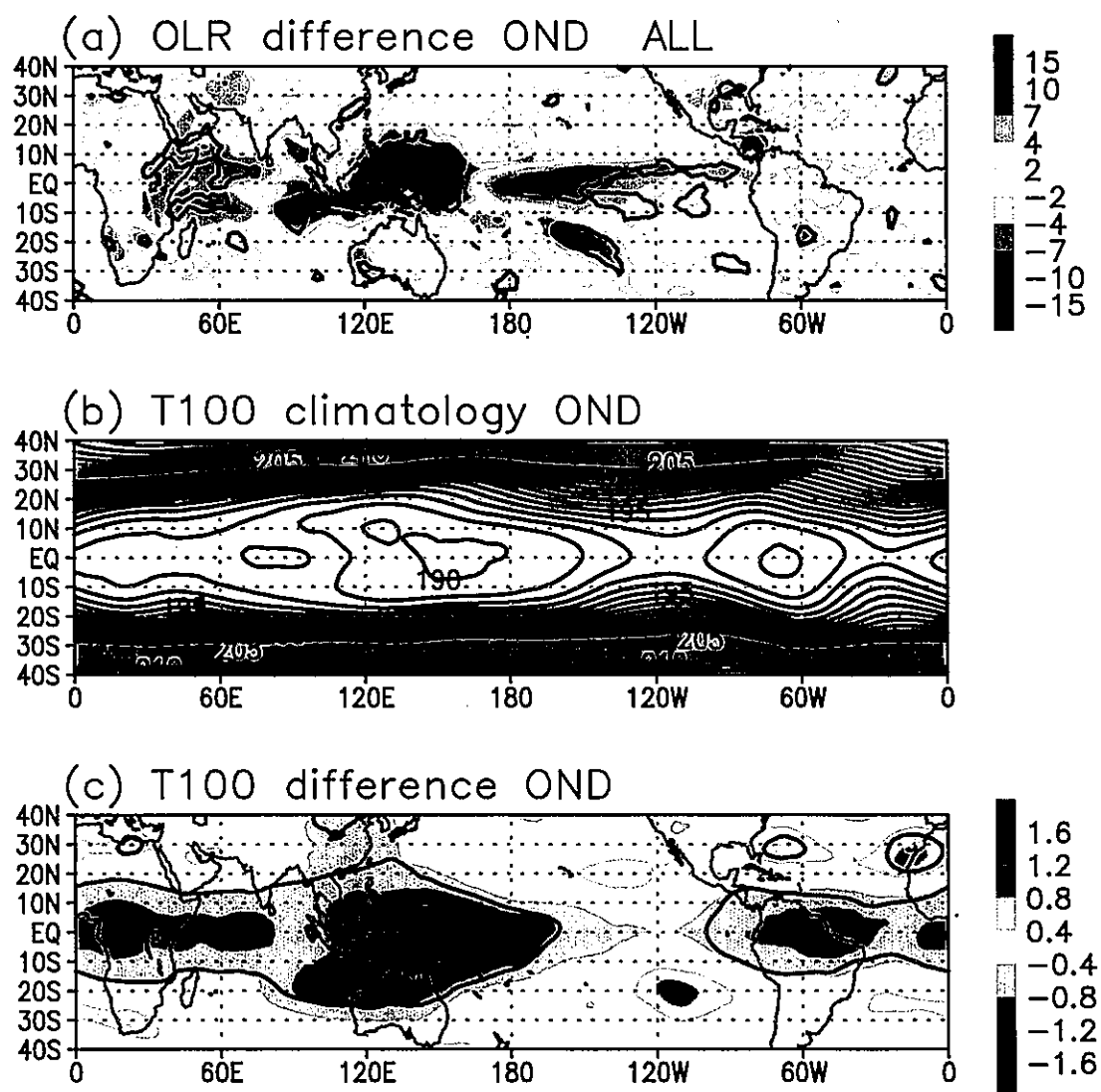


図1 (a) E-QBO と W-QBO の外向き赤外放射(OLR) の差の合成図(ENSO 年も含む)。10,11,12月の平均。有意水準 95%の値に緑線。(b) 100 hPa 気温の気候値。(c) E-QBO と W-QBO の 100 hPa の気温差。有意水準 95%の値に緑線。

11月の北半球大気循環のQBOシグナルを図2に示す。E-QBOの年はW-QBOの年に比べて250hPa高度がシベリアで低く、ウラル・バレンツ海で高い。高度が低い場所では地上気温も低い(図略)。全体的に北極域で高度が高く、中緯度で低い。これは負の北極振動に対応する。シグナルを波数分解すると、波数1、2の応答は気候場の波数1、2を強めていることがわかった。強くなった惑星波が成層圏へ伝播して極渦を弱めると考えられる。予想通り東西平均西風シグナルは、対流圏から成層圏にかけて60°Nを中心に負になる(図2b)。これはHT関係を示している。

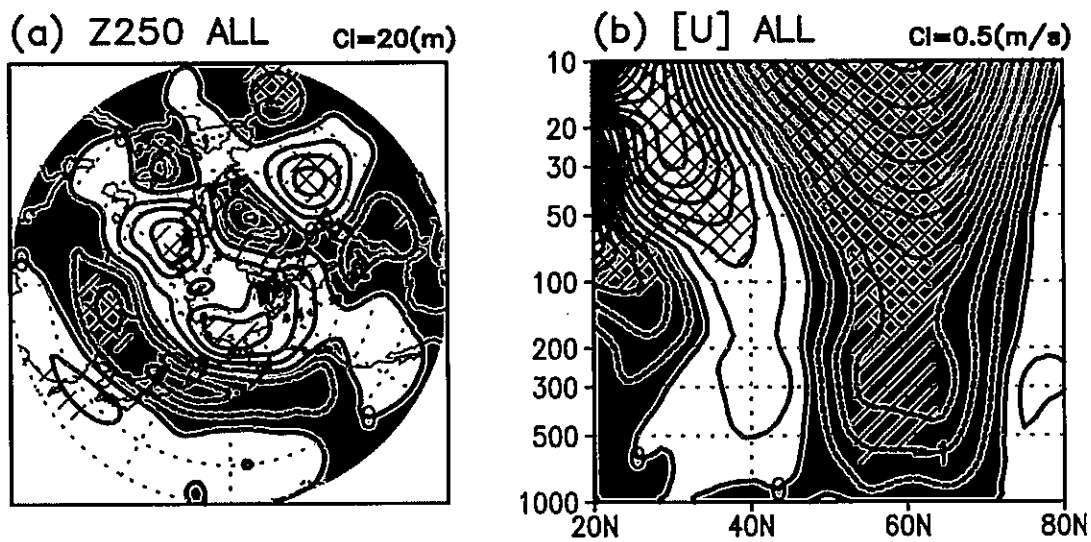


図2 11月のQBOシグナル(E-QBO-W-QBO)。(a)250hPa高度。等値線間隔は20m。(b)帯状平均東西風。等値線間隔は0.5m/s。負の領域に影。90,95%で有意な値に/及び×。

#### 4 線形傾圧モデル実験

前節の観測結果がQBOの熱帯対流変動でどれくらい説明できるのだろうか。そのために線形傾圧モデル(Watanabe and Kimoto, 2000)を用いて、熱帯の対流活動に対する中高緯度大気の線形応答を見た。結果は観測と大まかには符合するものであったが、応答の大きさは観測に比べて1桁小さかった(図略)。

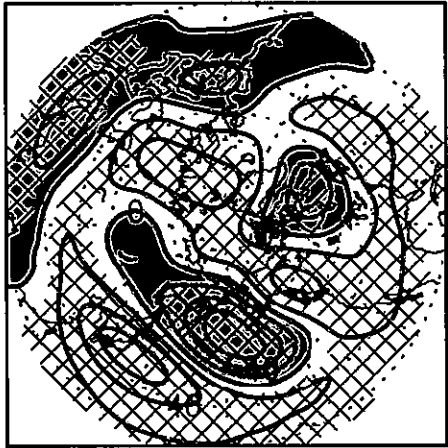
#### 5 AGCM実験

非線形過程も含むAGCM実験を行った(2節参照)。OLRのQBOシグナルを模した対流加熱を熱帯に与えて応答を見た。11月のCONV1の応答は北太平洋域で負の高度偏差で気候値のトラフを強め、極渦は弱くなる(図3)。偏差の大きさも観測されるQBO

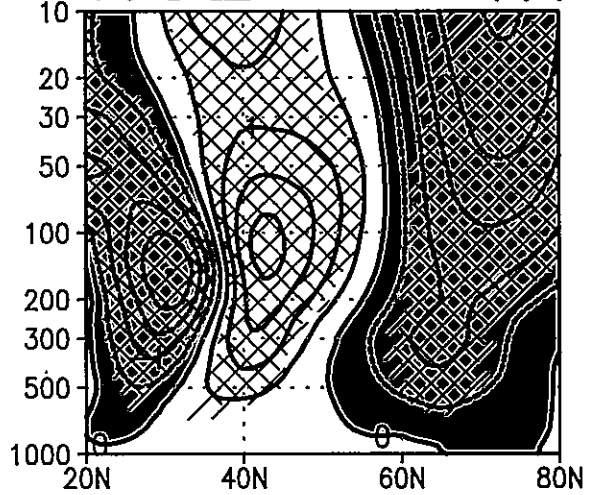
シグナルとほぼ同じ大きさとなった。CONV2もほぼ同様であった。また、月ごとに見ると、11月は観測と匹敵する応答であるが12月はかなり弱かった。

dZ250 & d[U] Nov AFES 60yr

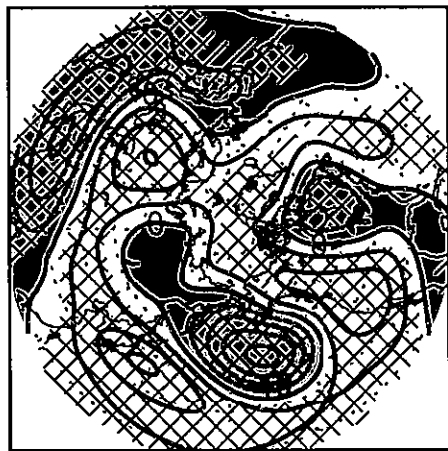
(a) Z250\_CONV1<sub>cl=20(m)</sub>



(b) [U]\_CONV1<sub>cl=0.5(m/s)</sub>



(c) Z250\_CONV2



(d) [U]\_CONV2

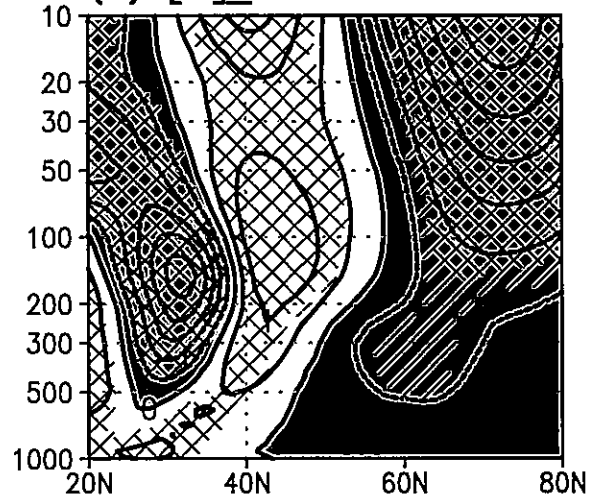


図3 (a) 熱帯西太平洋に正の対流加熱を与えたときの11月の250 hPa高度の応答。(b) 東西平均西風 ([U]) の応答。(c) 熱帯西太平洋に正の対流加熱、インド洋に負の対流加熱を与えたときの11月の250 hPa高度の応答。(d) (c)と同じ加熱の[U]の応答。250 hPa高度の等値線間隔は20 m。[U]の等値線間隔は0.5 m/s。負の領域に影。90,95%で有意な値に / 及び ×。

## 6 まとめ

E-QBO の時に対流圏界面の気温が低く熱帯西太平洋で対流が活発になり、その影響が中緯度へ伝播し気候場の惑星波を強化し成層圏の極渦を弱めることが、AGCM 実験で示された。定量的にも観測に匹敵する応答を示した。対流圏過程は 11 月に重要な寄与があり、12 月以降も多少寄与する。真冬は従来考えられていた成層圏過程が HT 関係を作ると考えられる。

## 7 今後の展望

QBO は 2 年程度の周期を持つので、半年以上前から予測が可能である。そのため、HT 関係および当研究で得られた知見は冬季の北半球中高緯度の長期予報にとって有益である。

また、当研究で初冬の QBO が中高緯度の対流圏・成層圏に影響を与えるメカニズムが明らかになったことは今後の長期予報の発展に示唆を与える。現在の多くの全球数値予報モデルや気候モデルでは対流活動を陽に解像するだけの分解能がなく、パラメタリゼーションによっているのが現状である。そのため、QBO による対流圏界面（雲頂かその上）の気温が現実的に対流活動に反映されるか疑問である。モデルの改善の一つの方向を与えると思われる。さらに言えば、QBO 自身を正しく再現できるモデルによる長期数値予報が期待される。

## 参考文献

- Anstey, J. A. and Shepherd, T. G.: High-latitude influence of the quasi-biennial oscillation, *Q. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 140, 1–21, <https://doi.org/10.1002/qj.2132>, 2014.
- Holton, J. R. and Tan, H.-C.: The influence of the equatorial quasi-biennial oscillation on the global circulation at 50 mb, *J. Atmos. Sci.*, 37, 2200–2208, 1980.
- Watanabe, M. and Kimoto, M.: Atmosphere-ocean thermal coupling in the North Atlantic, *Q. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 126, 3343–3369, 2000.

(備考) 研究の詳細は Yamazaki et al.(2020, 次頁の論文発表項目)にある。

## 研究発表・活動

### 論文発表（査読有り）

Yamazaki, K., T. Nakamura, J. Ukita, and K. Hoshi, 2020: A tropospheric pathway of the stratospheric quasi-biennial oscillation (QBO) impact on the boreal winter polar vortex, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20, 5111-5127.

<https://doi.org/10.5194/acp-20-5111-2020>

(submitted 4 Dec 2019, accepted 26 March 2020, published 30 April, 2020).

### 学会発表

山崎孝治・中村哲・浮田甚郎・星一平、2019：対流圏を通じた成層圏準2年振動（QBO）の冬季極渦への影響、日本気象学会北海道支部研究発表会、2019.7.2.、札幌。（口頭発表）

山崎孝治・中村哲・浮田甚郎・星一平、2019：対流圏を通じた成層圏準2年振動（QBO）の冬季極渦への影響、日本気象学会秋季大会、2019.10.28.、福岡。（口頭発表）

山崎孝治・中村哲・浮田甚郎・星一平、2019：成層圏QBOに伴う熱帯の対流活動が極渦に及ぼす影響に関するAGCM実験、日本気象学会北海道支部研究発表会、2019.12.19.、札幌（口頭発表）

Nakamura, T., K. Yamazaki, J. Ukita, and K. Hoshi, 2019: A tropospheric pathway of the stratospheric quasi-biennial oscillation (QBO) impact on the boreal winter polar vortex, American Geophysical Union Fall meeting, 2019.12.12, San Francisco, USA. (poster).

### 学会発表（投稿受理されたが新型コロナウイルスのため開催中止になったもの）

Yamazaki, K., T. Nakamura, J. Ukita, and K. Hoshi, 2020: A tropospheric pathway of the stratospheric quasi-biennial oscillation (QBO) impact on the boreal winter polar vortex, Sixth International Symposium on Arctic Research, 2020.3.1-5, Tokyo.

Yamazaki, K., T. Nakamura, J. Ukita, and K. Hoshi, 2020: A tropospheric pathway of the stratospheric quasi-biennial oscillation (QBO) impact on the boreal winter polar vortex, JpGU-AGU joint meeting 2020, 2020.5., Chiba.

（注）コロナの影響で予定していた学会参加費や旅費が不要になった。

以上