

重力波陽解像モデルによる赤道成層圏準二年周期振動の乱調イベントの予測実験

課題責任者

渡辺 真吾

海洋研究開発機構 地球環境部門 環境変動予測研究センター

著者

野口 峻佑^{*1,2}, 渡辺 真吾^{*1}

*1 海洋研究開発機構 地球環境部門 環境変動予測研究センター, *2 九州大学 大学院理学研究院 地球惑星科学部門

キーワード：大気重力波，準二年周期振動（QBO），季節予報，高解像度大気大循環モデル

1. はじめに

本課題「中層大気の内季節～季節スケール予測」では、地表から中層大気全域を含む広範囲における大気変動を対象とした高解像度予測シミュレーションを行い、現象のより忠実な再現を通じた予測成績向上の有無を確認することを目標の1つとしている。特に、中層大気の循環駆動において重要な役割を果たす大気重力波の作用を、パラメタリゼーションを用いずに、（水平・鉛直の格子間隔や積分の際の時間刻み幅を細かく設定して）陽的に表現することで、極端現象生起時の様相が大きく変化することを、これまでに報告してきた。

成層圏赤道域における準二年周期振動（QBO）は、上記の大気重力波を含む各種波動と平均流との相互作用により駆動される、西風と東風の交互出現変動である。その規則性・持続性から、QBOは、しばしば季節予測にあたっての赤道上空大気側の側面境界条件と見なされ、実際に中高緯度冬季の極渦変動（ひいては環状モード変動の下方伝播と絡んだ地表気候変動）に対して大きな影響を与えている。近年では、更にその直下の熱帯対流圏における対流活動への影響も指摘される等、QBOは、季節内～季節スケールの予測において、大きな役割を担っていると考えられている。

その中で、予期せぬタイミングで東風が現れて規則性を狂わせる、QBOの乱調（Disruption）イベントが発生したことは、境界に大きな衝撃を与え、そのメカニズム理解やモデルによる再現性に関する課題提起となった。2015/2016年に生じた観測史上初のQBO Disruptionに対し、本課題で用いている高解像度中層大気大循環モデルJAGUAR（Watanabe and Miyahara 2009）は、その高い鉛直解像度設定によって、東風の出現を世界に先駆けて再現することに成功した（Watanabe et al. 2018）。しかし、長期の予測においては課題を残し、イベント全期間を通じての予測特性は不明である。また、近年、2019/2020年にもQBO Disruptionが発生したが、その挙動や原因は2015/2016年とは若干異なると考えられており（e.g., Anstey et al. 2021）、同様の再現ができる保証はない。

そこで本年度は、2度目のQBO Disruptionを対象に、その再現性を把握するために、JAGUARによる季節予測実験を行った。特に、生起から回復までのイベント期間全体

に対して予測特性を概観するために、多数の開始日から長期の予測を実施した。その後、顕著な特徴がみられた開始日について、アンサンブル予測および境界条件を変更した感度実験を行った。本稿では、その初期解析結果について、主に前半部分を記述する。

2. 実験設定

JAGUARを、重力波パラメタリゼーションを用いずにQBOを表現できる、T213L190（水平約60 km、成層圏では鉛直約300 m）、時間刻み幅30秒の解像度設定で走らせた。これは、前回（Watanabe et al. 2018）と同様の解像度設定であるが、計算負荷の軽減のために、中間圏以高については鉛直解像度を落とす等の改変を加えている。下部境界（海面水温・海氷）にはOISST v2.1を用いた。

初期値化にあたっては、あらかじめ再解析MERRA-2に対して大規模場（全波数21成分まで）をスペクトルナッジングで拘束した連続積分を、2019年7月以降に対して実施し、モデルと馴染んだ解析場を作成した。そして、この解析場からのリスタートにより予測積分を実施した。

まず、下部成層圏における東風出現から西風回復までを余裕を持って含む、2019年9月から2020年10月までの期間において、各月1日からの3か月予測積分を実施した。ついで、2020年5月1日開始の予測について、予測開始の直前3日間の拘束積分の際の拘束時定数を変更することで、20メンバーのアンサンブル予測を実施した。最後に、上記と同様だが、予測開始直後から10日程で海面水温が気候値へと遷移する積分を実施し、予測結果に対する海面水温規定の影響を確認した。

3. 結果

イベント全期間を通じての予測特性概観の把握結果を図1に示す。ここでは、JAGUARによる予測結果と対比するために、ヨーロッパ中期予報センター（ECMWF）による現業予測結果を合わせて示す。東風出現期、東風最盛期、西風回復期のそれぞれで、予測特性は変化していた。

まず、JAGUAR予測、現業予測ともに、2019年末の東風出現（すなわちDisruptionの生起）については、よく再現できていた。細かくみると、現業予測ではより早いタイミングでの東風出現がみられるが、この期間については

解析間での差異も大きく、その評価には注意を要する。

続く2020年前半の東風最盛期にかけては、両者で大きく結果が別れた。JAGUAR 予測では解析場よりも強い東風が表現された。その一方で、現業予測では初期には強い東風加速がみられるがすぐにその傾向が止まり、解析場よりも弱い東風が表現された。なお、東風の過少バイアスは、他の多くのQBOを(パラメタリゼーションにより)表現するモデルにおいても指摘されている(e.g., Stockdale et al., 2022)が、このQBO Disruption時においても同様に当てはめて良いかは定かではない。

その後の2020年6-7月の西風回復期では、JAGUARと現業予測とで、顕著な予測成績の差がみられた。JAGUARは東風の終息および西風の出現をよく追っていた一方で、現業予測は東風状態がそのまま継続して西風の回復が大きく遅れた。ただし、回復後の西風が解析場と比べて小さくなってしまふのは、両予測で共通していた。

紙面の都合上省略するが、上記概観で顕著な成績の差がみられた、2020年5月開始のJAGUAR予測(東風最盛期に開始し、西風出現が期待される予測)について、アンサ

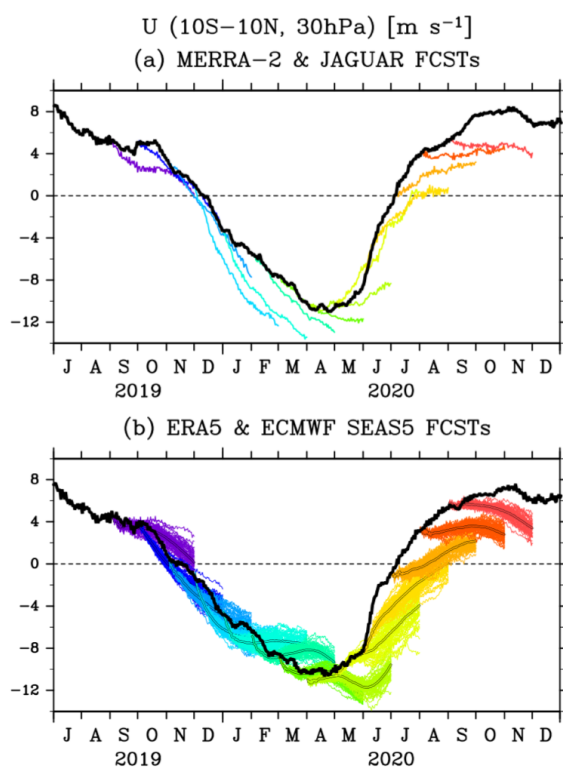


図1: 赤道域(南緯10度-北緯10度)30 hPaにおける帯状平均東西風の時系列。(a) JAGUARによる3か月予測結果と基準とした解析データ(MERRA-2)。解析を黒線で表し、予測は開始日毎に寒色から暖色へと色を変えている。(b)上記との比較のために用意したECMWFによる現業季節予測結果。解析データとしては同機関によるERA5を使用。JAGUARによる予測と揃え、3か月分のみ表示。各メンバーの予測値を細線、そのアンサンブル平均を黒枠付の線で示す。

ンプル化した結果を確認したところ、上記JAGUARの優れた予測特性はアンサンブル平均としても有意にみられることがわかった(図略)。さらに、海面水温を気候値へ緩和させた実験結果もみたところ、海洋状態による上記への影響は小さく、この特性は大気大循環モデルの特性によるものである可能性が高いことが確認できた(図略)。

4. おわりに

2019/2020年に発生した2度目のQBO Disruptionに対して、JAGUAR(2015/2016年に発生した1度目のQBO Disruptionの再現において成功を収めたモデル)を用いた季節予測実験を行い、その再現性を確認した。今回対象とした2度目のDisruptionは、1度目と比較して東風の出現がゆっくりとしており、また西風の急速な回復に特徴がみられた。QBO Disruptionにも多様性があり、予測特性は変化すると考えられる。今回のJAGUARによる予測結果は、特に後者の東風から西風への回復過程において、現業と比べても優れた成績を示した。この東風から西風への回復過程は、本実験に先立って行った別の低解像度設定のモデルによる予備実験においても再現が困難であることが把握できていたが、今回の実験結果はJAGUARによる予測の特異性を際立たせるものとなった。この要因については、現在分析中であるが、例えば、QBO東風位相中での、陽的に解像された重力波とケルビン波との相互作用の影響などが候補として考えられる。今後の実験においても、詳細を明らかにしていくことが望まれる。

謝辞

作図およびデータ加工には地球流体電脳ライブラリおよびGTOOLを用いた。一部の計算や予備実験には、JAMSTECの地球シミュレータに加え、DAシステムを用いた。

文献

- [1] Watanabe, S., and Miyahara, S., "Quantification of the gravity wave forcing of the migrating diurnal tide in a gravity wave-resolving general circulation model", *J. Geophys. Res.*, 114, D07110, 2009.
- [2] Watanabe, S., Hamilton, K., Osprey, S., Kawatani, Y., and Nishimoto, E., "First successful hindcasts of the 2016 disruption of the stratospheric quasi-biennial oscillation", *Geophys. Res. Lett.*, 45, 1602-1610, 2018.
- [3] Anstey, J. A., Banyard, T. P., Butchart, N., Coy, L., Newman, P. A., Osprey, S., and Wright, C. J., "Prospect of increased disruption to the QBO in a changing climate", *Geophys. Res. Lett.*, 48, e2021GL093058, 2021.
- [4] Stockdale, T. N., Kim, Y-H., Anstey, J. A., et al., "Prediction of the quasi-biennial oscillation with a multi-model ensemble of QBO-resolving models", *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 148(744), 1519-1540, 2022.