

再解析で表現される BrewerDobson 循環 ——データ同化システムの全球モデル変更の影響——

小林ちあき（気象研究所）， 岩崎俊樹（東北大学）

1. はじめに

Brewer-Dobson 循環 (BD 循環) の強度は、対流圏・成層圏質量交換率の指標であり、各種観測データの蓄積に伴い、長期の経年変化傾向に関心がもたれている。これまで、再解析データに表現される BD 循環は、気候値として季節性や南北半球の非対称性が再解析間で共通にみられるが構造や強度に差があること (Iwasaki et al, 2009)、長期変化傾向が再解析ごとに異なり JRA-55 は増加傾向、ERA-Interim は減少傾向であること (Abalos et al., 2015, Kobayashi and Iwasaki, 2016) などが知られている。気象庁では新たに第 3 次長期再解析 JRA-3Q を実施しており、JRA-3Q で表現される BD 循環は、JRA-55 と同様、経年変化として増加傾向を示すこと、気候値としては JRA-55 と比べて強度が一貫して 80%程度となっていることが確認されている (小林と岩崎, 2021, 2022)。この気候値の強度差の原因についてデータ同化システム内のモデル変更の影響の観点からの調査を行った。

2. 方法

JRA-3Q (Kosaka et al, 2024) は 2018 年 12 月時点の気象庁現業数値予報システムをもとにデータ同化システムが構築されている。2009 年 12 月時点の現業システムに基づいた JRA-55 (Kobayashi et al., 2015) と比べ、データ同化に利用する観測データの取り扱いをはじめ、利用する SST などの境界条件の変更、使用している全球大気モデルの各種物理過程の変更など、数多くの改変がおこなわれた同化システムが使用されている。システム改良は重層的で不可逆的なため、システム改変時に確認されていない BD 循環強度のような量の再解析データ間の差が何の変更によってもたらされたのか、を特定する

ことは大変困難になっている。

今回、再解析の BD 循環強度に影響を与える可能性のある全球大気モデルの変更のうち、非断熱加熱率の違いと、非地形性重力波スキームの導入に着目し、気象研究所の計算機システムに構築された全球データ同化システム (MRI-NAPEX H014) を用いたデータ同化実験を行った。この同化システムはモデルの水平解像度が高いことを除き JRA-3Q と同等の同化システムである。デフォルトの設定で同化計算した結果を基準実験の結果とし、2018 年 12 月の実験を行った。

JRA-55 の非断熱加熱率は熱帯対流圏上部で過剰であることが知られており、JRA-3Q ではそれが抑制されるように改良されている (Kosaka et al, 2024)。そこで、JRA-55 と JRA-3Q の 2018 年 12 月の月平均非断熱加熱の差の分布を、データ同化システムの予測モデル内で摂動として付加するデータ同化実験 (感度実験 1 (DIAB_ALL)) を行い、基準実験との差を調べた。

また、JRA-3Q では非地形性重力波スキームが導入されたが、JRA-55 では 50hPa よりも上層にレイリー摩擦を適用されていた。このスキームの導入の BD 循環強度への影響を調べるため、データ同化システムの予測モデル内で非地形性重力波スキームを使用しない実験 (感度実験 2 (NORGWD-off)) も行い、基準実験との差を調べた。

3. 結果

図 1 に、JRA-3Q の DJF 平均の質量流線関数気候値 (1991 年から 2020 年平均) と、JRA-55、ERA5 (Hersbach et al., 2020) との差を示す。JRA-3Q の平均子午面循環は、JRA-55 とおおむね同様な構造を示すが、熱帯対流圏で比較的差が大きい。JRA-3Q のハドレー循環は JRA-55 よりも弱く、下部成層圏の BD 循環の浅い分枝も

弱い。一方、ERA5 との差は対流圏で複雑な構造を示す。対流圏上部から下部成層圏においては JRA-3Q の平均子午面循環は ERA5 よりも弱く、対流圏下部では逆に JRA-3Q の平均子午面循環は ERA5 よりも強い。

図 2 に、基準実験と感度実験 1 で作成された解析値から求めた月平均質量流線関数(2018 年 12 月)を示す。基準実験と感度実験 1 の質量流線関数分布の差は、JRA-3Q と JRA-55 の差の分布とよく似ていることがわかる。70hPa 高度における比較でみると、基準実験は JRA-3Q の分布を再現しており、感度実験 1 は JRA-55 の分布をほぼ再現していることがわかる。質量流線関数の最大値と最小値の差として定義した BD 循環強度についても、基準実験は JRA-3Q を再現し、感度実験 1 は JRA-55 を再現している。さらに、非断熱加熱率を凝結熱成分と放射成分に分けて付加した実験も行い(図略)、凝結熱成分が主に質量流線関数の差を説明することが分かった。このことは、JRA-3Q の BD 循環強度が JRA-55 より弱いことの要因が、データ同化に利用する全球モデルが改訂され、凝結熱による加熱が抑制されたためであることを示唆している。

図 3a は基準実験の質量流線関数から感度実験 2 を引いた差の図であり、非地形性重力波スキーム導入の BD 循環への影響を示している。基準実験のほうが熱帯域の対流圏上部から下部成層圏の循環が強く、BD 循環強度が強いことがわかる。これは非地形性重力波抵抗スキームの導入が、解析場で表現される子午面循環の強度を強めることを示しており、JRA-3Q の BD 循環が JRA-55 よりも弱いことの理由が、非地形性重力波抵抗スキームの導入によるものではないことを示している。

4. まとめ

再解析で表現される BD 循環の強さには、非断熱加熱に伴う南北気圧傾度力による亜熱帯からの“押し”や、中緯度の Extratropical Pumping による中緯度からの“引き”、同化モデルの気候ドリフトによる気候値への緩和など、様々な要

因が関係する。JRA-3Q で表現される BD 循環は JRA-55 より弱く、その理由について調査を行った。多くのシステム変更の中で、全球モデルの非断熱加熱率分布、特に、凝結熱による加熱が抑制されたことが BD 循環強度の抑制に主に影響していると推定される。また、非地形性重力波抵抗スキームの導入は BD 循環を強める効果はあるが、JRA-3Q の BD 循環が弱くなる理由ではないことが分かった。一方、ここでは示さなかったが、ERA5 との相違については、非断熱加熱の差の構造が複雑で、BD 循環へ与えるインパクトは小さく、モデルの非断熱加熱の差では説明できず、他の要因を考える必要がある。

参考文献

- Abalos, M., Legras, B., Ploeger, F., and Randel, W. J.: Evaluating the advective Brewer-Dobson circulation in three reanalyses for the period 1979-2012, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 120, 7534-7554, <https://doi.org/10.1002/2015JD023182>, 2015.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., De Chiara, G., Dahlgren, P., Dee, D., Diamantakis, M., Dragani, R., Flemming, J., Forbes, R., Fuentes, M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hogan, R. J., Hólm, E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., de Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S., and Thépaut, J.-N.: The ERA5 Global Reanalysis, *Q. J. Roy.*

Meteor. Soc., 146, 1999-2049,
<https://doi.org/10.1002/qj.3803>, 2020.

Iwasaki, T., H. Hamada, and K. Miyazaki
 (2009), Comparisons of Brewer-Dobson
 circulations diagnosed from reanalyses,
 J. Meteorol. Soc. Jpn., 87, 997-1006,
 doi:10.2151/jmsj.87.997.

Kobayashi, C., and T. Iwasaki, 2016:
 Brewer-Dobson circulation diagnosed from
 JRA-55. J. Geophys. Res. Atmos., 121,
 doi:10.1002/2015JD023476.

Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A.
 Ebata, M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H.
 Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K.
 Miyaoka, and K. Takahashi, 2015: The
 JRA-55 Reanalysis: General
 specifications and basic

characteristics. J. Meteor. Soc. Japan,
 93, 5-48, doi:10.2151/jmsj.2015-001.

Kosaka, Y., S. Kobayashi, Y. Harada, C.
 Kobayashi, H. Naoe, K. Yoshimoto, M.
 Harada, N. Goto, J. Chiba, K. Miyaoka,
 R. Sekiguchi, M. Deushi, H. Kamahori, T.
 Nakaegawa; T. Y. Tanaka, T. Tokuhiro, Y.
 Sato, Y. Matsushita, and K. Onogi, 2024:
 The JRA-3Q reanalysis. J. Meteor. Soc.
 Japan, 102,
<https://doi.org/10.2151/jmsj.2024-004>.

小林ちあき、岩崎俊樹、2021 JRA-3Q で表現さ
 れた平均子午面循環の特徴, 日本気象学会
 2021 年度春季大会

小林ちあき、岩崎俊樹、2022 再解析で表現され
 る平均子午面循環の強度差の要因, 日本気象
 学会 2022 年度春季大会

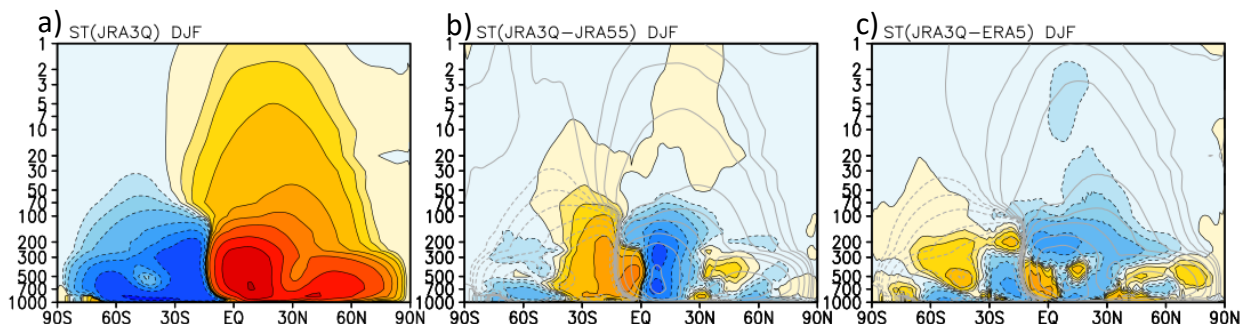


図1 a) JRA-3Q の DJF 平均質量流線関数気候値 (1991 年から 2020 年平均) と、b) JRA-55 との差 (JRA-3Q-JRA55)、c) ERA5 との差(JRA-3Q-ERA5)

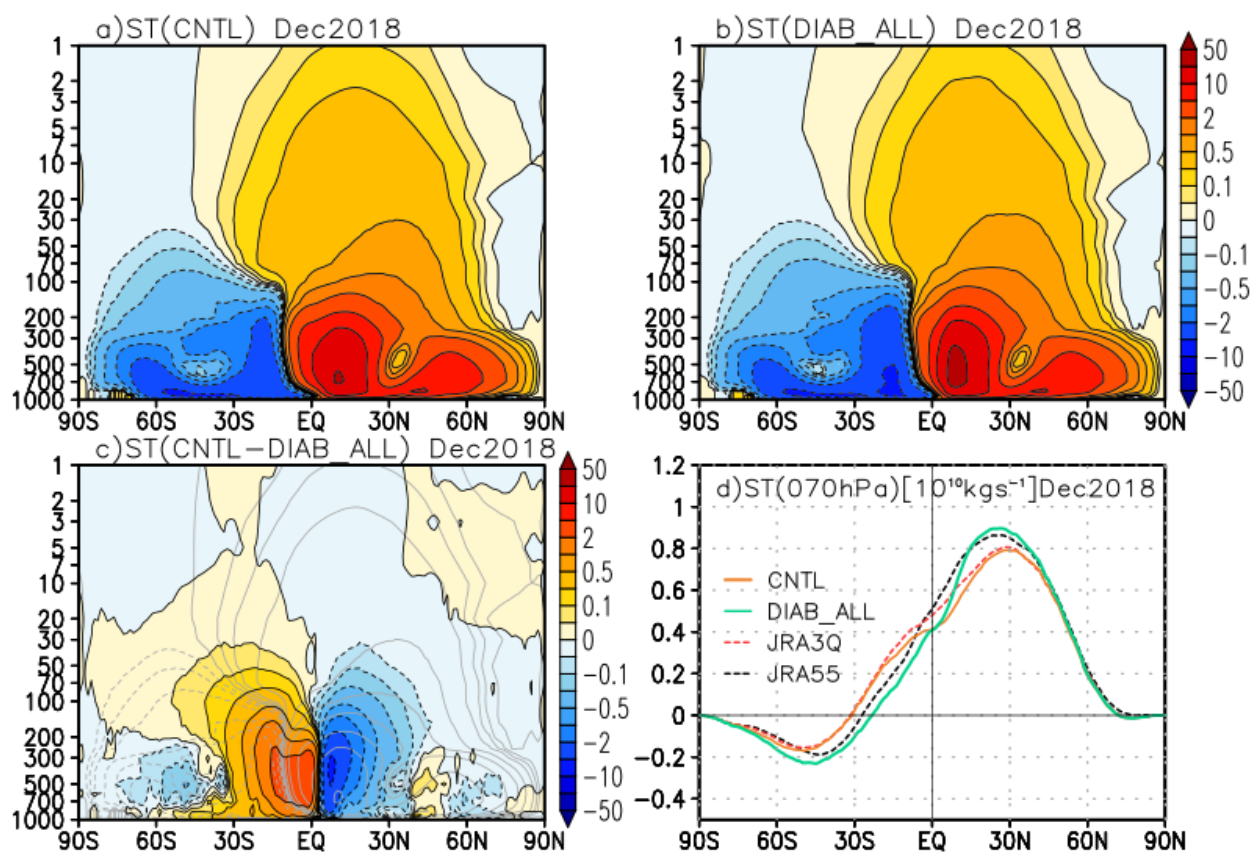


図2 a) 基準実験(CNTL)とb) 感度実験1 (DIAB_ALL)の月平均質量流線関数(2018年12月)、c) a)とb)の差(基準実験-感度実験1)、d) 70 hPa の月平均質量流線関数。

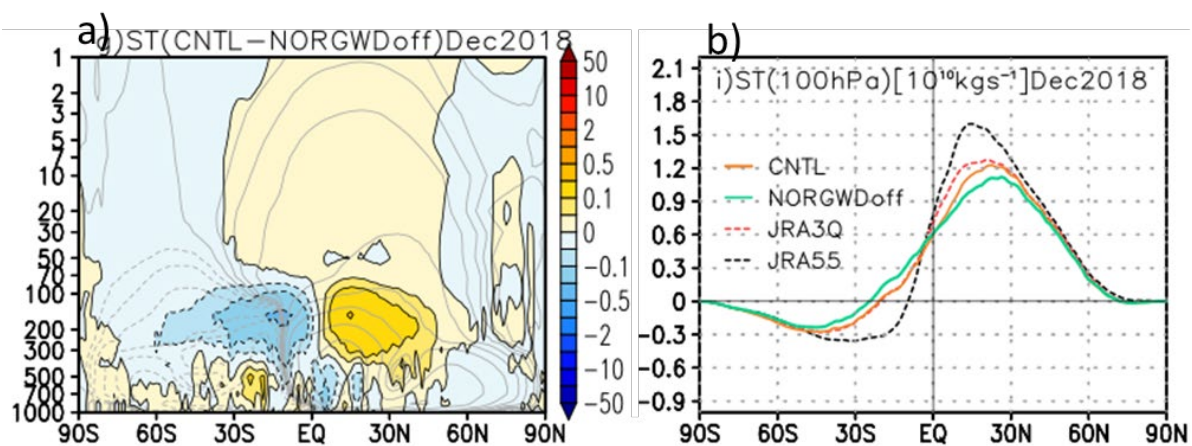


図3 a) 基準実験(CNTL)と感度実験2 (NORGWDOff)の月平均質量流線関数の差(基準実験-感度実験2)、b) 100 hPa の月平均質量流線関数。