

## 2019 年南半球成層圏突然昇温後の対流圏における負の南極振動

小林ちあき（気象研究所）， 前田修平（気象庁）

### 1. はじめに

2019 年 9 月初めに、17 年ぶりに南半球で成層圏突然昇温(SSW)が発生し、その後、対流圏では負位相の南極振動(AAO)が 10 月半ばから 12 月末まで卓越・持続した。本研究では、対流圏内における負位相の南極振動の持続と成層圏突然昇温との関係を、波 - 平均流相互作用の観点から調べ、負位相が維持しやすい波活動偏差が形成されていたことを示す。また、気象庁現業季節予測システム CPS2 を用い季節予報の時間スケールでの予測可能性を調べ、負位相の南極振動の持続が季節予測可能であったが、インド洋熱帯域海面水温(SST)偏差がこの予測可能性にあまり影響していないことを示す。

### 2. 利用データと予測実験の設定

実況解析に用いた大気データは、気象庁長期再解析データ JRA-55(Kobayashi et al., 2015)である。1981-2010 年の 30 年平年値からの平年偏差を用いて解析した。予測データは現業季節予測モデル(全球大気海洋結合モデル CPS2, Takaya et al., 2018)による 2019 年 9 月 13、28 日を初期値とするアンサンブル 6 か月予測実験の結果を用いた。季節予測では、1981-2010 年の 9 月 13、28 日を初期値とするハインドキャストから予測時間依存するモデル気候値を作成し、それからのずれを偏差としている。子午面循環の解析には、これらのデータに等温位面上の質量重み付き平均法(MIM, Iwasaki 1989, 1992)を適用し波活動偏差の解析を行った。

### 3. 2019 年南半球 SSW の対流圏への影響

南半球の SSW に伴う成層圏から対流圏にかけての極渦の強弱の時間変化を、南緯 60~90 度で平均した帯状平均高度場の規格化偏差の時間高度断面図で図 1a に示す。9 月初めの SSW 以後、極渦の弱い状態が成層圏上部で持続し、偏差

の中心は 10 月半ば以降に成層圏下部に下降した。この様子は季節予測実験でもよく予測された(図 2a)。300hPa 高度偏差の時間緯度断面図(図 1b)でも、上述の 10 月半ばからの対流圏の極渦の弱体化と対応して、南緯 60 度以南の高緯度で高度場が正偏差、南緯 35~60 度の中緯度で負偏差を示し、負の AAO が 2 か月半ほど持続したことがわかる。この様子も季節予測実験で適切に予測された(図 2b)。

負の AAO の持続に対応する期間の帯状平均場について、波 - 平均流相互作用の観点から確認する。2019 年 10 月から 12 月の東西風(図 1c)では気候値(図 1d)に見られる成層圏の極夜ジェットが存在していない。対応して、波の屈折率(図 1g)は、南緯 60 度の圏界面付近で、波束伝搬不可の領域があり、対流圏からのプラネタリー波が平年より鉛直伝播しにくい状態となっていた。対流圏でジェット気流は低緯度側にずれ、対応して E-P フラックスの南北分布も低緯度側にずれ、E-P フラックス偏差は南緯 40 度を中心に上向き、50 度の対流圏上層で極向き、60 度付近で下向きとなっており、対流圏中上層の 50~70 度にかけて E-P フラックスの収束が強い。これらの特徴は季節予測実験でもある程度予測された(図 2c-e)。E-P フラックスの収束発散偏差の空間構造から診断されるように、対流圏中緯度の直接循環は強化偏差を示し(図 1f)、これによる対流圏下層での中緯度への寒気流出偏差を示唆している。この子午面循環偏差も季節予測実験で予測された(図 2f)。

### 4. インド洋熱帯域海面水温(SST)偏差の影響

南半球で負の AAO が持続していた 2019 年 10 月から 12 月にかけて、インド洋熱帯域では SST 偏差が西側で高く東側で低いインド洋ダイポール現象 (IOD) がピークを迎えており、インド洋

熱帯域全域でも高温偏差が見られていた。大気に比べ、ゆっくりと変動する SST 偏差は、前節で示した AAO の持続やその季節予測可能性に影響を与えている可能性がある。これを確かめるため、予測実験の大気海洋結合モデルでインド洋熱帯域(20S-20N)の SST をモデル気候値にナッジングするよう変更し、インド洋の SST 偏差の大気影響の効果を推定する SST 感度実験を行った。

SST 感度実験で予測された帯状平均高度場の規格化偏差の時間高度断面図および 300hPa 高度偏差の時間緯度断面図を図 3ab に示す。この感度実験の結果は、前節の季節予測実験と同様に、成層圏突然昇温シグナルの下降や 10 月半ば以降の対流圏での AAO の持続が予測されていた。また、帯状平均の波活動状況である EP フラックスの偏差(図 3c)も、季節予測実験(図 2c)とほぼ同じ特徴を示している。このことは、インド洋熱帯 SST 偏差が無くても負の AAO の予測が再現されることを示している。すなわち、インド洋熱帯 SST 偏差は負の AAO の持続にあまり影響を与えていないことを示唆している。

#### 4. まとめと今後の課題

2019 年 9 月初めに南半球 SSW が 17 年ぶりに発生した。そのシグナルは、成層圏内を下降し、10 月中旬に対流圏に到達した。その後、対流圏では負位相の AAO が 2 か月半程度持続した。この負の AAO の持続は中高緯度域の平均子午面循環の強化偏差を伴っており、対流圏内の波活動偏差分布がこの循環偏差の形成と関連している。このような負の AAO が持続する様子は、9 月 13、28 日を初期値とする季節予測実験で良く再現された。

この季節予測実験システムを用い、インド洋熱帯域の SST 偏差が負位相の AAO の持続に影響するか、SST 感度実験を行った。その結果、インド洋熱帯 SST の偏差をなくしても、成層圏突然昇温シグナルの下降や 10 月半ば以降の対流圏での AAO の持続が見られ、中緯度子午面

循環の強化偏差や波活動の偏差も再現されていた。このことから、2019 年 10 月から 12 月の負の AAO 位相の発生や持続にインド洋熱帯 SST の影響が少なかったことが示唆された。

インド洋熱帯域で発生していた IOD は、“スーパーIOD”と呼ばれるように振幅が大きい現象であり、その後 2020 年にかけてインド洋は高温状態が続いた。このため、インド洋周辺諸国で発生した災害や、2020 夏季のアジアモンスーンへのインド洋熱帯 SST の影響が指摘され、研究が進んでいる(例えば、Doi et al. 2020, Takaya et al. 2020)。今回着目した AAO の負位相の持続に関して、実験結果の解釈からはインド洋熱帯域の南半球 AAO への影響はあまり無いことが示唆されたが、今後、何が AAO の負位相の持続に寄与したのか、何が季節予測可能性の源であったのか、解析を進めたい。また、対流圏の負の AAO は 10 月半ば過ぎから卓越したが、その時期を季節予測実験でも予測できていたことも興味深い。今後、予測できた理由を調べることで、成層圏 - 対流圏結合の理解を深めたい。

#### 参考文献

- Doi, T., Behera, S. K., & Yamagata, T. (2020). Predictability of the super IOD event in 2019 and its link with El Niño Modoki. *Geophysical Research Letters*, 47, e2019GL086713. <https://doi.org/10.1029/2019GL086713>
- Iwasaki, T. (1989), A diagnostic formulation for wave-mean flow interaction and Lagrangian-mean circulation with a hybrid vertical coordinate of pressure and isentropes, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 67, 293-312.
- Iwasaki, T. (1992), General circulation diagnosis in the pressure-isentrope

hybrid vertical coordinate, J. Meteorol. Soc. Jpn., 70, 673-687.

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. Meteorol. Soc. Jpn., 93, 5-48, doi:10.2151/jmsj.2015-001.

Takaya, Y., Ishikawa, I., Kobayashi, C., Endo, H., & Ose, T. (2020). Enhanced Meiyu-Baiu rainfall in early summer 2020: Aftermath of the 2019 super IOD event. Geophysical Research Letters, 47,

e2020GL090671.  
<https://doi.org/10.1029/2020GL090671>

Takaya, Y., S. Hirahara, T. Yasuda, S. Matsueda, T. Toyoda, Y. Fujii, H. Sugimoto, C. Matsukawa, I. Ishikawa, H. Mori, R. Nagasawa, Y. Kubo, N. Adachi, G. Yamanaka, and T. Kuragano, 2018: Japan Meteorological Agency/Meteorological Research Institute-Coupled Prediction System version 2 (JMA/MRI-CPS2): Atmosphere-land-ocean-sea ice coupled prediction system for operational seasonal forecasting. Climate Dyn., 50, 751-765, doi:10.1007/s00382-017-3638-5.

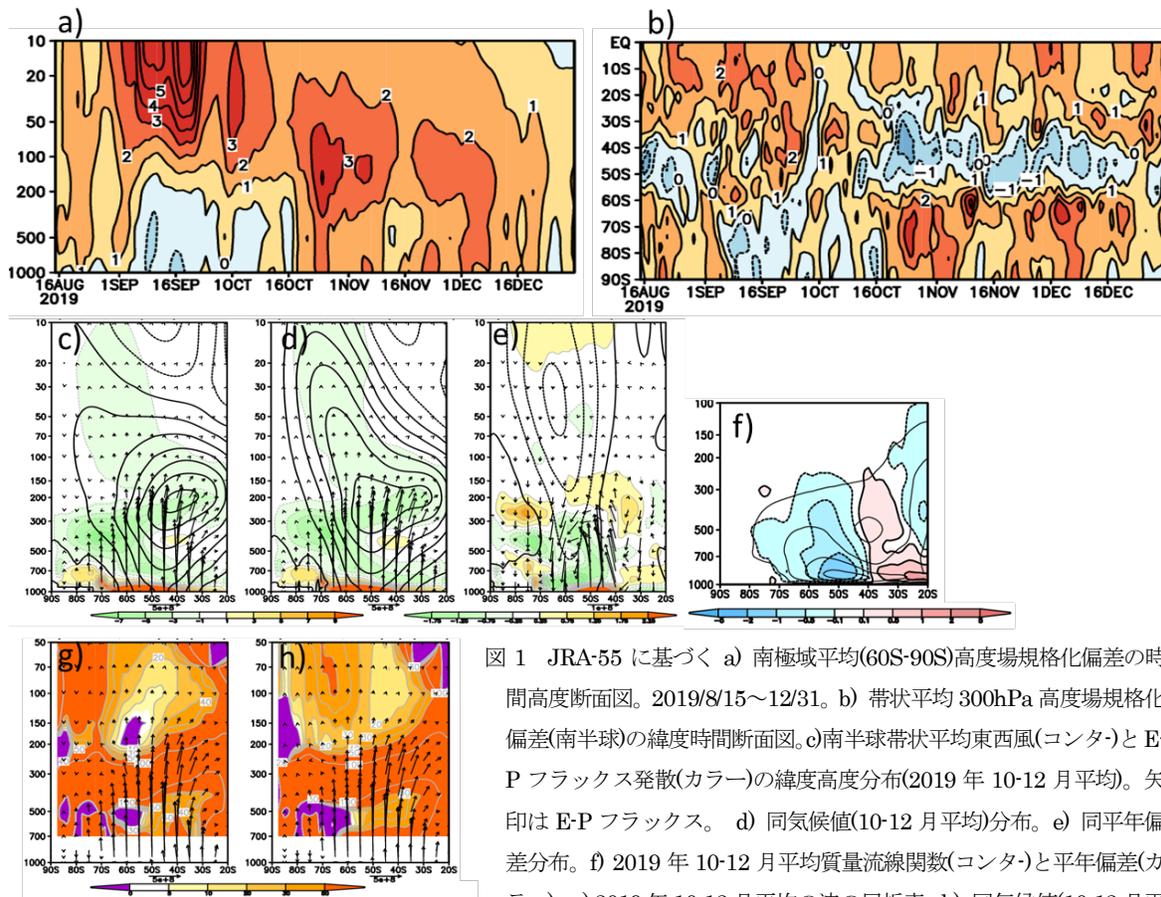


図1 JRA-55に基づく a) 南極域平均(60S-90S)高度場規格化偏差の時間高度断面図。2019/8/15~12/31。b) 帯状平均 300hPa 高度場規格化偏差(南半球の緯度時間断面図)。c) 南半球帯状平均東西風(コンタ)とE-P フラックス発散(カラー)の緯度高度分布(2019年10-12月平均)。矢印はE-P フラックス。d) 同気候値(10-12月平均)分布。e) 同年偏差分布。f) 2019年10-12月平均質量流線関数(コンタ)と年偏差(カラー)。g) 2019年10-12月平均の波の屈折率。h) 同気候値(10-12月平均)分布。

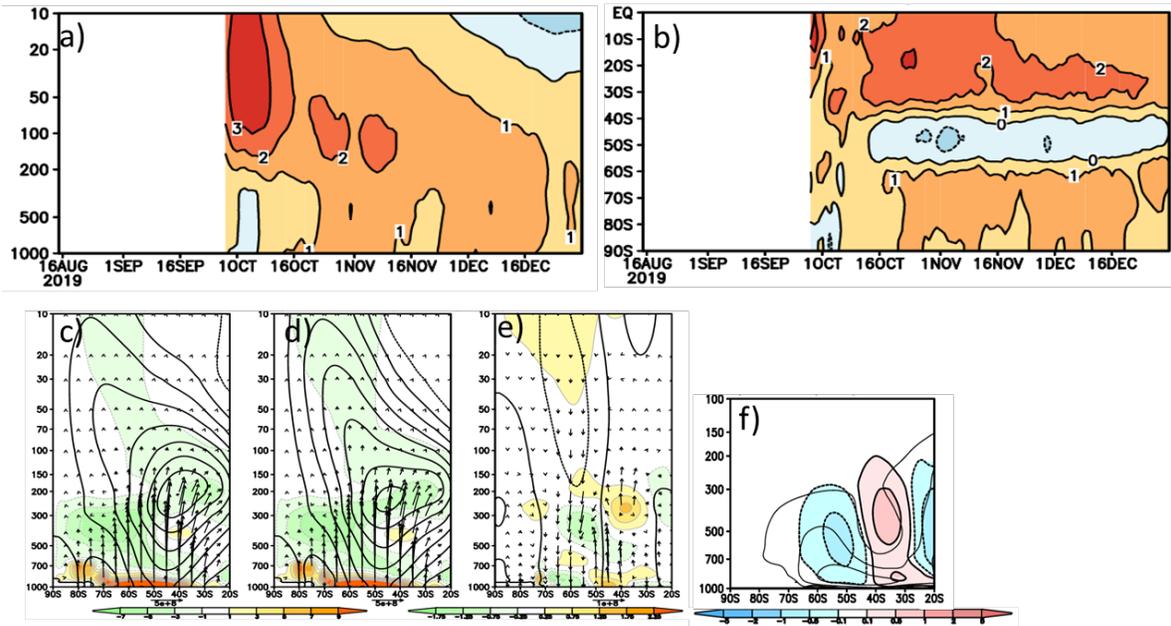


図2 図1(a)-(f)と同じ。ただし、2019年9月13、28日を初期値とする季節予測実験のアンサンブル平均の結果。ハイ  
 ンドキャスト実験によるモデル気候値からの差を偏差とした。

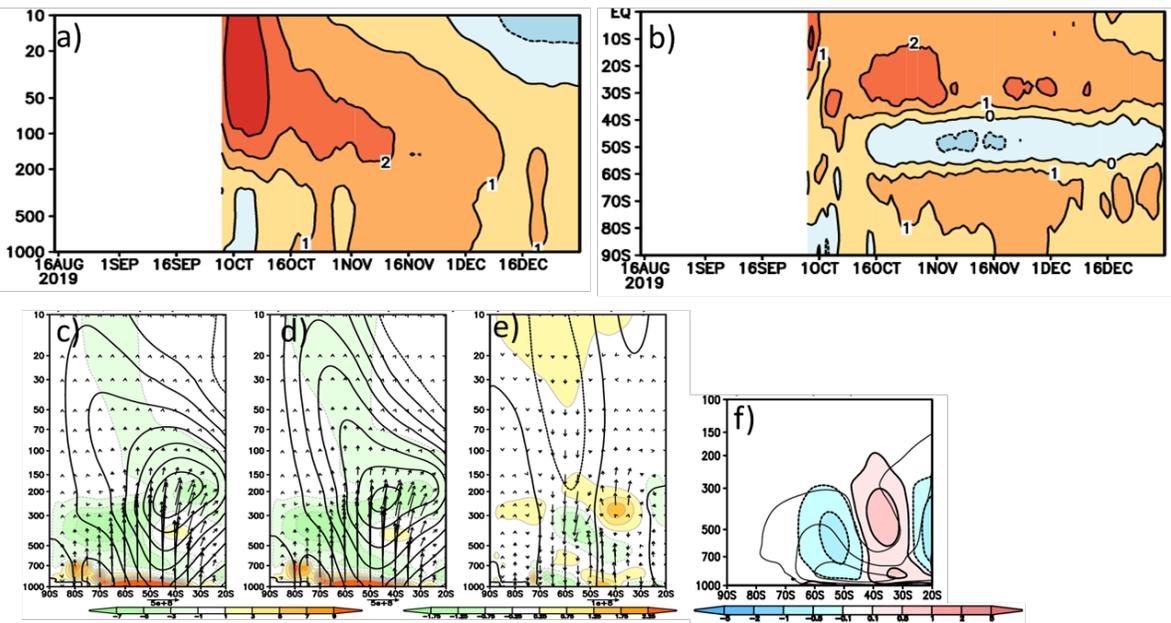


図3 図2と同じ。ただし、インド洋熱帯域 SST を気候値にナッジングした SST 感度実験のアンサンブル平均の結果。