

近年の熱帯循環の変化におよぼす非常に深い 陸上の対流活動の役割について

小寺邦彦 (気象研・気候)、江口菜穂 (九大・応力研)、
Rei Ueyama (NASA/AMES)、小林ちあき (気象研・気候)、黒田友二 (気大)

1 はじめに

温暖化の影響で熱帯の対流活動がどの様に変化するか、熱帯収束帯の移動、ハドレー循環の拡大などに関連して多くの調査研究がなされている(e.g., Schneider, 2017; Byrne et al., 2018; Staten et al., 2018)。しかし、ここで示す様に、近年の北半球夏季に観測される対流活動の変化は、収束帯の移動等の水平構造の変化よりは、むしろ鉛直構造の変化が顕著である。

2 結果

2.1 海・陸半球での対流活動

図 1a に 2000 年から 2017 年の夏季(ここでは 7, 8, 9 月)平均 OLR の標準化偏差を示す。対流活動は東経 160 度以西のアジア・アフリカ大陸半球で活発化している。また、この領域では太平洋・大西洋を含む東経 160 度以東の海洋半球と比較して非常に背の高い対流が発達する事が知られている (Liu and Zipser, 2005)。図 1b に雲頂高度が 17km より高い対流雲の 7-9 月の発生頻度の気候値を示す。また、図 1c には、150hPa の気圧座標系鉛直流の気候値を示す。これらと図 1a の OLR の変化と比較すると、近年の変化は主に非常に背の高い対流域で発生しているのが分かる。実際、アフリカのサヘル域では雲頂気温が摂氏-70 度より低い、つまり、150hPa を越えるような、非常に深いメソ対流系の発生頻度が 1982 年以降 3 倍以上増加している (Taylor et al., 2017)。

大陸半球と海洋半球でそれぞれ平均した OLR 偏差の緯度-時間断面を図 2a に示す。また図 2b と図 2c には、図 2a と同じく、100hPa と 925hPa の水平発散の緯度-時間断面を示す。大陸半球では、背の高い対流が活発であるのに対応して、対流圏界面付近での発散が大きい、これに反して海洋半球では対流活動は海

洋上の熱帯収束帯で活発であるが、対流の雲頂高度は低く圏界面まで到達する対流はまれで、100hPa の発散場は弱い。2000 年以降の OLR に見られる対流活動の強化に対応して陸半球の 100hPa の発散場は増加を示している。しかし、海洋半球では顕著な変化は見られない。この事から、最近の熱帯の対流活動の変化は、主に大陸半球での対流圏界面まで達するような非常に背の高い対流の活発化に伴って生じていることが示唆される。

2.2 ハドレー循環との関連

上で見た対流活動の変化が熱帯のハドレー循環の構造の変化をどの様に関連しているかを次に見る。ハドレー循環の上昇域の鉛直構造の変化をより良く捕らえる為に、気圧座標系鉛直流(ω)とその鉛直微分($\partial\omega/\partial p$)にあたる水平発散の標準化共分散行列を用いて特異値分解解析を行った。図 3a, 3b には異質相関マップ、図 3c には時系列を示す。また、ハドレー循環との対応を見る為に、図 3a の分散成分のマップには残差子午面循環の質量流線関数の気候値(Kobayashi and Iwasaki, 2016)を合わせて示してある。ただし、質量流線関数の対流圏で閉じている部分については SVD1、成層圏に繋がっている部分については SVD2 に分けて描いてある。SVD1 の時系列のピークはエルニーニョ現象の発生と対応しており、この成分は ENSO に伴う対流活動と関連している事が想像される。実際、図 3c の時系列と OLR との相互相関係数を計算してみると、図 3d の様に赤道太平洋で対流活動が強まり海洋大陸、インド洋で対流が抑制されるという ENSO 特有のパターンが得られる。

一方、SVD2 の時系列は、明瞭な増加傾向を示している。SVD2 の鉛直流の相関マップは北緯 15 度付近の熱帯対流圏界面遷移層

(TTL)で上昇流が発達し、対流圏界面付近で分散が増加する事を示している。この事から、近年の対流活動の変化としてハドレー循環の TTL での上昇流の強化が特徴的といえる。

対流活動で誘起される鉛直流の高度分布の違いが、ハドレー循環にどの様に反映されているかを調べる為に、100hPa, 北緯 15 度付近および 200hPa, 7.5 度付近の水平発散の時系列と、OLR および気圧座標系鉛直流との相関を計算した(図 4)。ちなみに、選択した 2 地点はそれぞれ SVD2 と SVD1 の発散の中心にほぼ対応している。100hPa, 北緯 15 度付近のものは、北緯 15 度付近の上昇流の強化と関連する他、南緯 30 度、北緯 30 度付近の下降流の強化にも関連している。これに関連して、OLR でも 15 度付近の負相関と共に、亜熱帯にも正相関が帯状的に分布している。

一方、200hPa 付近の分散との相関図では、やはり北半球赤道付近の上昇流に増加に対して、下降域でも下降流の強化が見られるが、関連する子午面循環は 100hPa 付近の場合と比較して、鉛直方向のみならず、水平方向でも規模が小さい。

3. 結論

近年の熱帯循環の変化に関しては、収束帯の移動、ハドレー循環の拡大、熱帯の拡大など水平構造の変化に関する議論が多いが、ここ数十年規模の、北半球夏季の変化としては、鉛直構造の変化が大である。

また、図 4 で見る様に、大陸の非常に深い対流に関連した鉛直規模の大きい子午面循環は、海洋のより低い高度の対流が誘起する子午面循環と比較して、水平構造も大きい。

以上から、熱帯循環の変化の原因を調査するには水平構造だけでなく鉛直構造の変化も同時に調べる必要がある。また、短期周期変動について成層圏循環の変化による熱帯下部成層圏の低温化が熱帯の TTL に達する非常に背の高い対流を誘起する事が示されている (Eguchi et al., 2015; Kodera et al., 2015)。この事から、数十年規模の変化についても成層圏の低温化が非常に背の高い対流の変化を

通して熱帯循環に影響する可能性についても調べる必要がある。

謝辞

本研究の解析、作図にあたり、気象庁気候情報課で開発された ITACS を利用させていただきました。

参考文献

- Byrne, M.P., Pendergrass, A.G., Rapp, A.D., Wodzicki, K.R.: Response of the intertropical convergence zone to climate change: Location, width, and strength, *Curr. Clim. Change Rep.*, doi.org/10.1007/s40641-018-0110-5, 2018.
- Eguchi, N., Kodera K., Nasuno, T.: A global non-hydrostatic model study of a downward coupling through the tropical tropopause layer during a stratospheric sudden warming, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 297–304, 2015.
- Kobayashi, C., and T. Iwasaki: Brewer-Dobson circulation diagnosed from JRA-55, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, doi:10.1002/2015JD023476, 2016.
- Kodera, K., Funatsu, B.M., Claud, C., Eguchi, N.: The role of convective overshooting clouds in tropical stratosphere–troposphere dynamical coupling *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 6767–6774, doi:10.5194/acp-15-6767-2015.
- Kuroda, Y., An effective SVD calculation method for climate analysis, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 76, 647–655, 1998.
- Nitta, T.: Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the northern hemisphere summer circulation. *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 65, 373–390, 1987.
- Liu, C. and Zipser, E.J.: Global distribution of convection penetrating the tropical tropopause, *J. Geophys. Res.*, 110, D23104, doi:10.1029/2005JD006063, 2005.
- Schneider, T.: Feedback of atmosphere - ocean coupling on shifts of the Intertropical Convergence Zone, *Geophys. Res. Lett.*, 44, 11644–11, 653, doi:10.1002/2017GL 075817, 2017.
- Staten P.W., Lu J., Grise K.M., Davis S.M, and Birner T.: Re-examining tropical expansion, *Nature climate change*, 8, 768–775, DOI:10.1038/s41558-018-0246-2, 2018.
- Taylor, C.M., Belušić, D., Guichard, F., Parker, D.J., Vischel, T., Bock, O., Harris, P.P., Janicot, S., Klein, C., Panthou, G.: Frequency of extreme Sahelian storms tripled since 1982 in satellite observations. *Nature*, 544, 475–478, doi:/10.1038/nature22069, 2017.

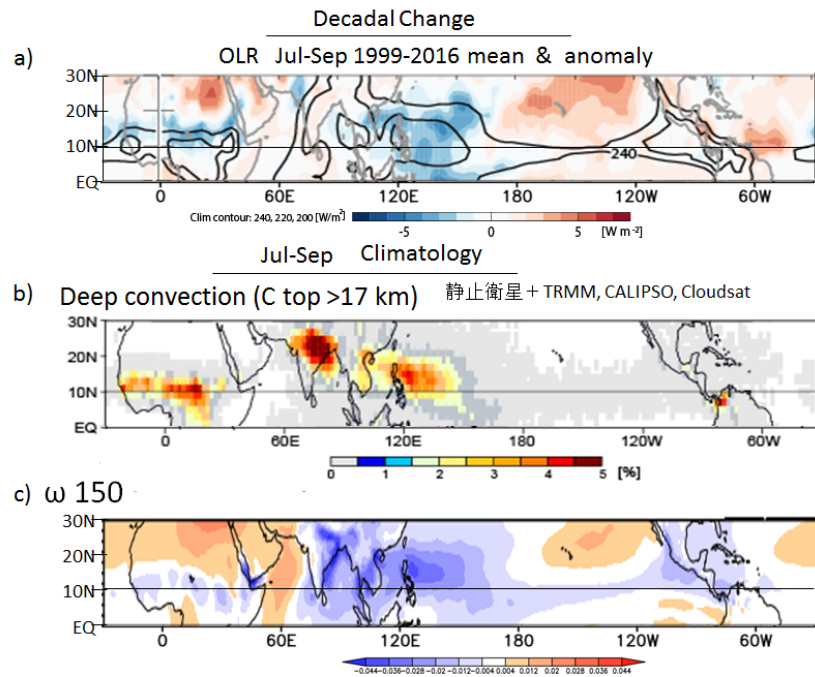


図1 (a)北半球夏期 2000–2017 年平均 OLR 偏差 (彩色) と同気候値 (1981–2010 年平均). (b) 雲頂高度 17km 以上の対流雲の出現頻度の夏季気候値 (2005–2016 年平均). (c)150hPa の気圧座標系鉛直流の夏季気候値.

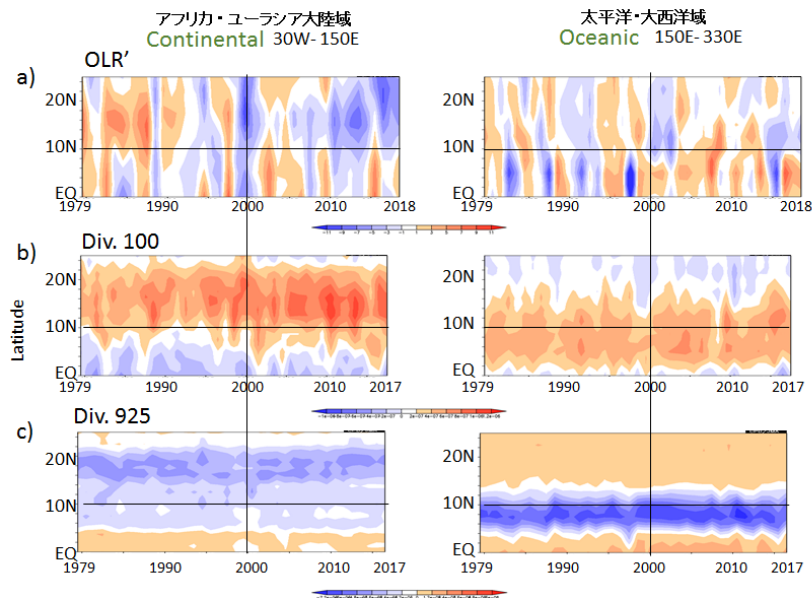


図2 大陸半球と海洋半球(a) OLR 偏差の緯度-時間断面図. (b) (a)と同じ、ただし 100hPa における水平発散. (c) (b)と同じ、ただし 925hPa の発散.

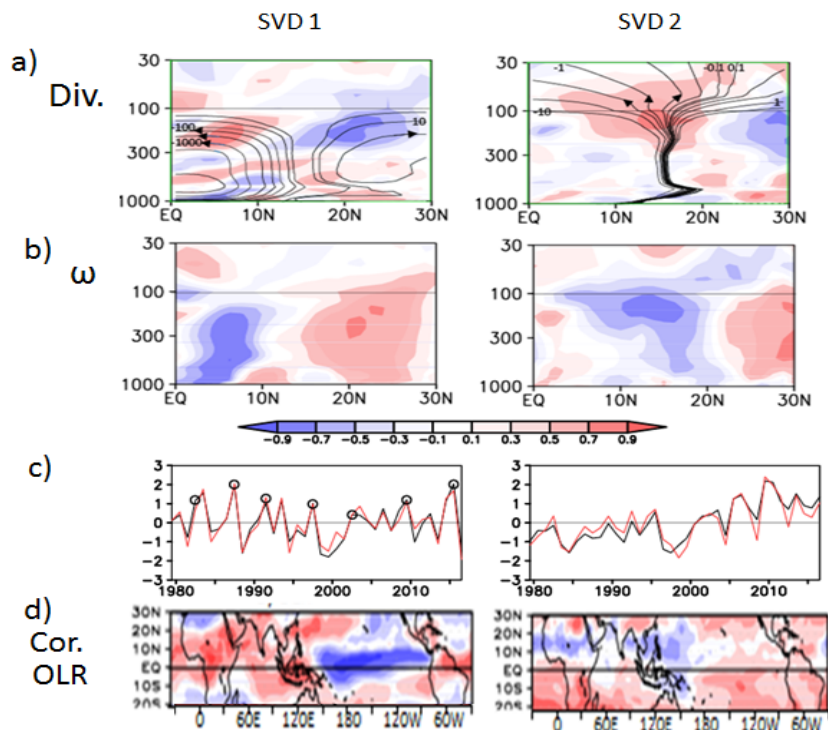


図 3 北半球夏季における気圧座標系鉛直流(ω)と水平発散の標準化共分散行列を用いた特異値分解解析. (a) 水平発散の異質相関マップ、(b) (a)に同じ、ただし気圧座標系鉛直流. (c)時系列.左列は SVD 第 1,右列は第 2 成分. (d) (c)の水平分散の時系列と OLR との相互相関.

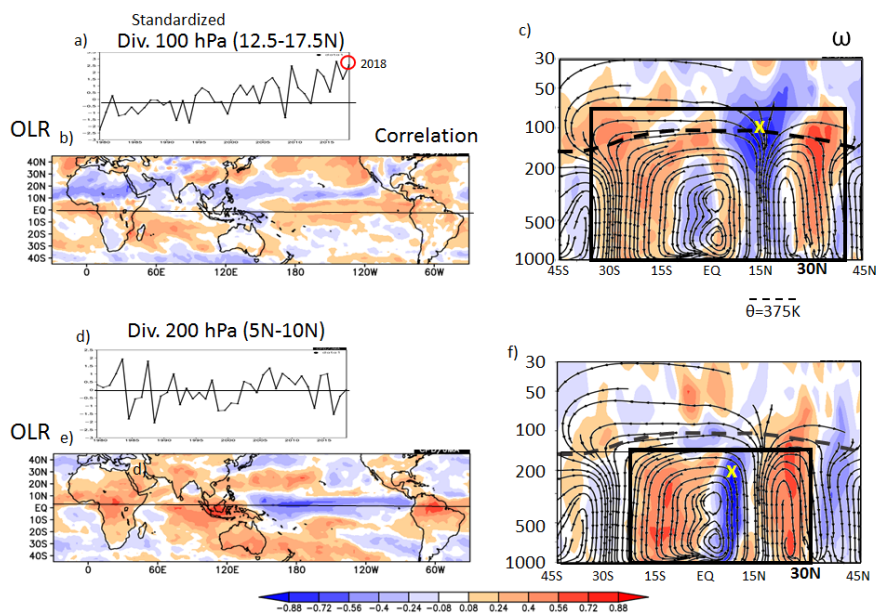


図 4 (a)100hPa,北緯 15 度付近の水平発散の時系列. (b) (a)の時系列と気圧座標系鉛直流の相互相関係数. (c) (b)に同じ、ただし OLR との相互相関係数. (d) (a)に同じ、ただし 200hPa、北緯 7.5 度付近の水平発散. (e, f) (b, c)に同じ、ただし(d)の時系列との相関係数. また図(d, c)の破線は 375K の温位、流線は気候値の南北循環を示している.