

# 2019 年南半球成層圏突然昇温の熱帯対流圏への影響

小寺邦彦 (気象研)

## 1. はじめに

これまでに、成層圏突然昇温の冬半球での発生に伴って熱帯、特に夏半球で対流活動が活発化する現象について示してきた (Eguchi et al., 2015; Kodera et al., 2015, etc.). さらに、この深い対流活動の活発化は陸上では洪水、海上では熱帯低気圧の発達とも関係することが示唆された。

2019 年 6 -9 月は南半球惑星波の活動が活発で、極渦の分裂こそ生じなかったが、2002 年の突然昇温 (Sudden stratospheric Warming; SSW) をしのぐほどの規模であった。ここでは、この南半球の球惑星波の活動が北半球夏季の熱帯対流圏に与えた影響に関して、気象庁再解析データ JRA-55 や衛星データ等を用いて調べた結果を示す。

## 2 結果

### 2.1 季節進行

熱帯成層圏 - 対流圏結合に関連する変数の変化を 2019 年 3 月 1 日から 12 月 1 日の期間について図 1 に示す。南半球中高緯度 (45°N-75°N) 100hPa の渦熱輸送 (図 1a) の変化から分かる様に、この夏 (特に指定しなければ、北半球の季節を示す) 5 月末から 9 月にかけて惑星波の活動が顕著であった。

惑星波の活動にはおよそ 1 ヶ月間隔の周期的変動が見られるが、それに対応した熱帯下部成層圏の気温低下が見られる (図 1b)。また成層圏の気温低下に対応して上部対流圏では気温の上昇が見られる。これに関しては、外向き長波放射 (OLR) (図 1c) で示される北緯 10~20 度帯の対流活動の強化との関連が示唆される。対流圏下層 925hPa の赤道上の南北風 (図 1d) には熱帯北半球 (北緯 10~20 度) の対流活動に対応した変化が見られる。ところで、赤道付近の帯状平均海面水温 (SST) (図 1e) は、先立つエルニーニョの発生で 3-5 月までは高温偏差になっていた。しかし、赤道上の南風が強くなる 6 月頃から赤道南半球で低温化が進み、秋にはほぼ平年

並みになった。ちなみに気象庁、他の期間の予報でも、5 月以前の予報では、エルニーニョ状態は秋まで継続するとされていた。

### 2.2 季節平均場

2019 年北半球夏季の循環場の特徴を 7~9 月の 3 ヶ月平均の標準化偏差として図 2 に示す。季節平均場においても南半球極域成層圏の昇温に対して熱帯成層圏の降温が明瞭にみられる (図 2a)。この気温変化は、一夏を通じて活発な惑星波の活動によって誘起された子午面循環の強化の結果と考えられる。活発な惑星波活動はオイラー平均の鉛直流の場には極域における上昇、下降のシーソーとして図 2b に明瞭に現れている。また、熱帯成層圏の上昇流の強化は夏半球のハドレー循環の上昇域である北緯 15 度付近では成層圏のみならず対流圏まで及んでいる。熱帯対流圏界面遷移層 (TTL) では上昇流の強化は北緯 15 度に沿って帯状的に発生している (図 2c)。これは、図 1c の OLR で見た対流活動の北偏に対応している。

また、図 1d に示した春から夏にかけての熱帯 SST の低下は、特定の海域ではなく、東インド洋、東太平洋、大西洋の各海域で見られる (図 2d, 2e)。

2019 年の春から秋の期間における熱帯 SST (15°S-15°N) の卓越変動パターンを見る為に 3 月 1 日から 12 月 1 日の期間について 5 日平均 SST の主成分分析 (ここでは、Empirical Orthogonal Function (EOF) 解析) を行った (図 3)。2019 年は、インド洋における SST の東西のシーソーである、インド洋ダイポールモードの強い正のモードの出現が目された。EOF 解析ではこの変動は 9 月中旬から 11 月にかけて発達する EOF 2 として表現されている。一方、インド洋の赤道の南の低温は、それより早く 6 月から 9 月にかけて太平洋、大西洋の低温と同期して発達した EOF 1 として表現されている。

### 2.3 SSWに伴う変動

2019年8月末から9月にかけては南半球SSWに伴う特に強い惑星波の上方伝播が見られた。ここではこの期間における帯状平均気温、鉛直流の変化を調べた。図2の季節平均場と同様に、熱帯下部成層圏で気温が低下し、北半球15度付近の緯度帯で上昇流が増加している。図4に3日平均した北緯10~20度平均の気温偏差と熱帯北半球のOLRを、8月28日(上)と9月4日(下)について示す。なお気温偏差とともに上昇流域(気圧座標系鉛直流 $<0$ )を等値線で示してある。SSWが発生する8月末から9月にかけて、下部成層圏の気温がほぼ全経度帯で低下する。

一方、TTL、上部対流圏では上昇流の強化が広い経度帯に拡大する。OLRについても、8月末には海洋大陸付近に集中していた低OLR域が9月には小さな低OLR領域がより帯状的に分布している。この空間的に小さな領域は弱い対流活動ではなく、むしろ熱帯低気圧や、メソスケール対流システム(MCS)に関連する非常に深い強い対流であり、3日平均OLRでは捕らえにくい。

図5にMODIS-Terra衛星の夜間観測による雲頂気圧を200hPaより高い高度の雲について、SSW現象の開始する8月末から9月初めにかけて、3日おきに示す。8月28日には深い対流は海洋大陸付近に集中しているが、9月に入ると、北緯15度付近に帯状に拡大する。9月3日には韓国、日本、ベトナムを襲った台風13号(LINGLING)、14号(KAJIKI)、15号(FAXAI)と共に、カリブ海、東太平洋でも、予報進路が問題となったDorianを始めハリケーンが見られる。またこの時期には非常に深い対流の発達に伴う豪雨で、アフリカ、インドでは洪水が発生している。

### 3. まとめと議論

2019年9月には南半球で非常に強い成層圏突然昇温(SSW)が発生した。このSSWを含む北半球夏季における熱帯の循環場の変化を特に対流活動について調べた。

既に報告した2009、2010年1月の北半球の突然昇温の場合(Eguchi et al., 2015; Kodera et al., 2015)と同じく冬半球の高緯度のSSW現象の発生に伴い熱帯成層圏で気温の低下が発生した。さらに、それに付随

する熱帯低気圧や豪雨を伴う非常に背の高い対流活動の活発化も見られた。特に2009年の南半球の惑星波は北半球夏季6月から9月の長期間にわたり活発であり、この期間の北半球ハドレー循環上昇域の強化と北偏の要因の一つと考えられよう。また、同時に見られた赤道越え気流の強化は、熱帯対流圏の南北循環の変化の影響と考えられる。さらに、赤道越え気流の強化と関連して南半球各海域で赤道SSTの低下が見られた。

対流活動域の北偏、赤道南のSST低下を含め2019年の夏季にみられた熱帯の一連の現象は2019年のみならず2000年以降の北半球夏季における熱帯のトレンド、あるいは近年の数十年規模の長期変化(Kodera et al., 2019)と対応している可能性が考えられる。この事からも2019年の事例のより詳しい解析は最近の気候変化を考える上でも重要であろう。

### 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。また、渦熱輸送、MODIS衛星データはNASA/GSFCによる解析結果を利用しています。

### 参考文献

- 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.
- Kodera, K., Funatsu, B. M., Claud, C., and Eguchi, N. (2015), 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
- Kodera, K., Eguchi, N., Ueyama, R., Kuroda, Y., Kobayashi, C. Kobayashi, B.M. Funatsu, C. Claud (2019), Implication of tropical lower stratospheric cooling in recent trends in tropical circulation and deep convective activity, *Atmos. Chem. Phys.*, 19, 2655-2669, doi:10.5194/acp-19-2655-2019

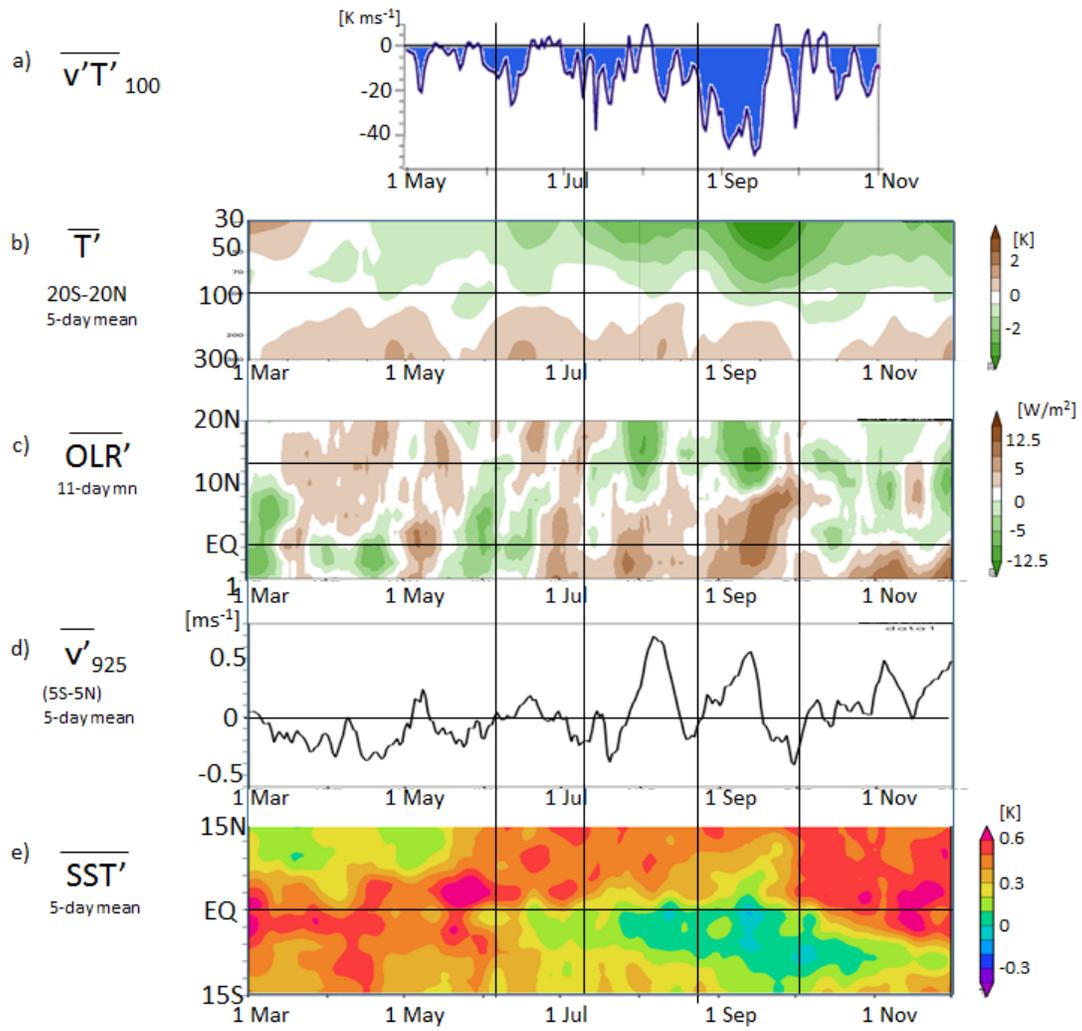


图 1 (a)南半球 100hPa 涡热输送. (b)带状平均气温偏差. (c) OLR 偏差. (d)赤道带状平均南北风. (e)带状平均面水温偏差. 气候值:1981—2010 年平均.

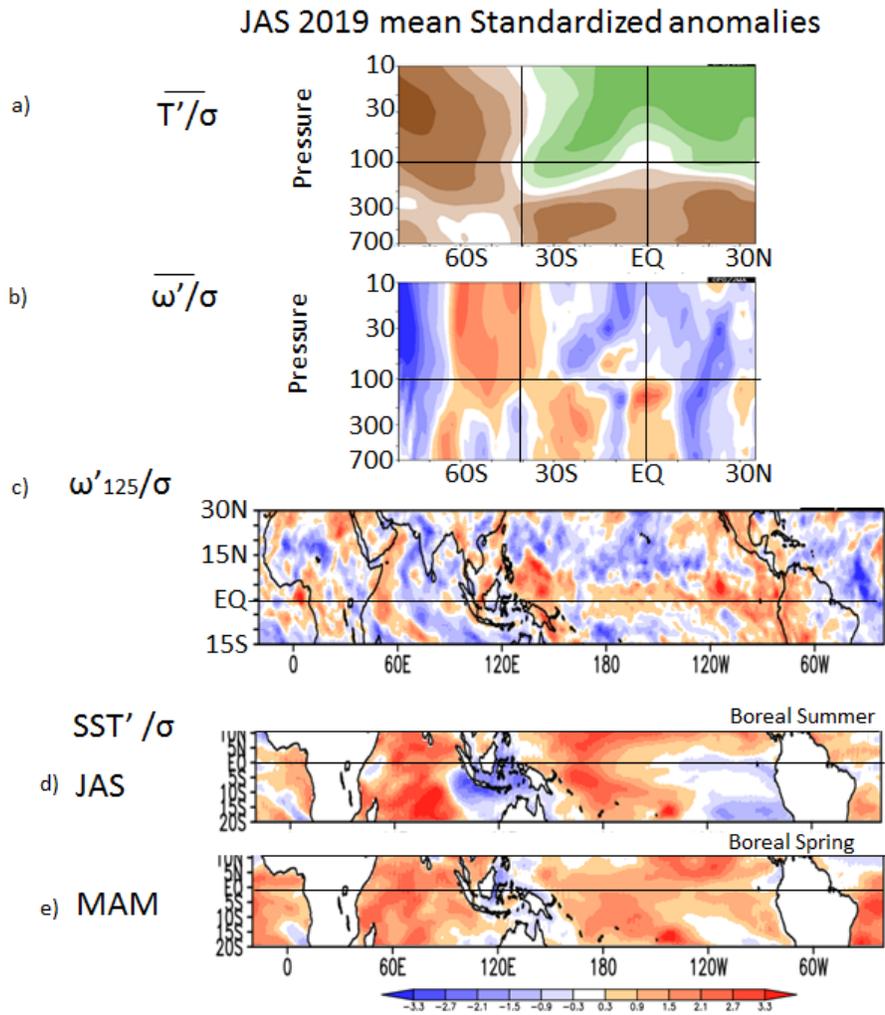


図2 (a)夏季(7, 8, 9月)帯状平均気温の標準化偏差。(b)(a)と同様、ただし気圧座標系鉛直流。(c)(a)と同様、ただしOLR偏差の緯度-時間断面図(d)同じく7, 8, 9月平均SST標準化偏差。(e)(d)と同じ、ただし3, 4, 5月平均SST偏差。

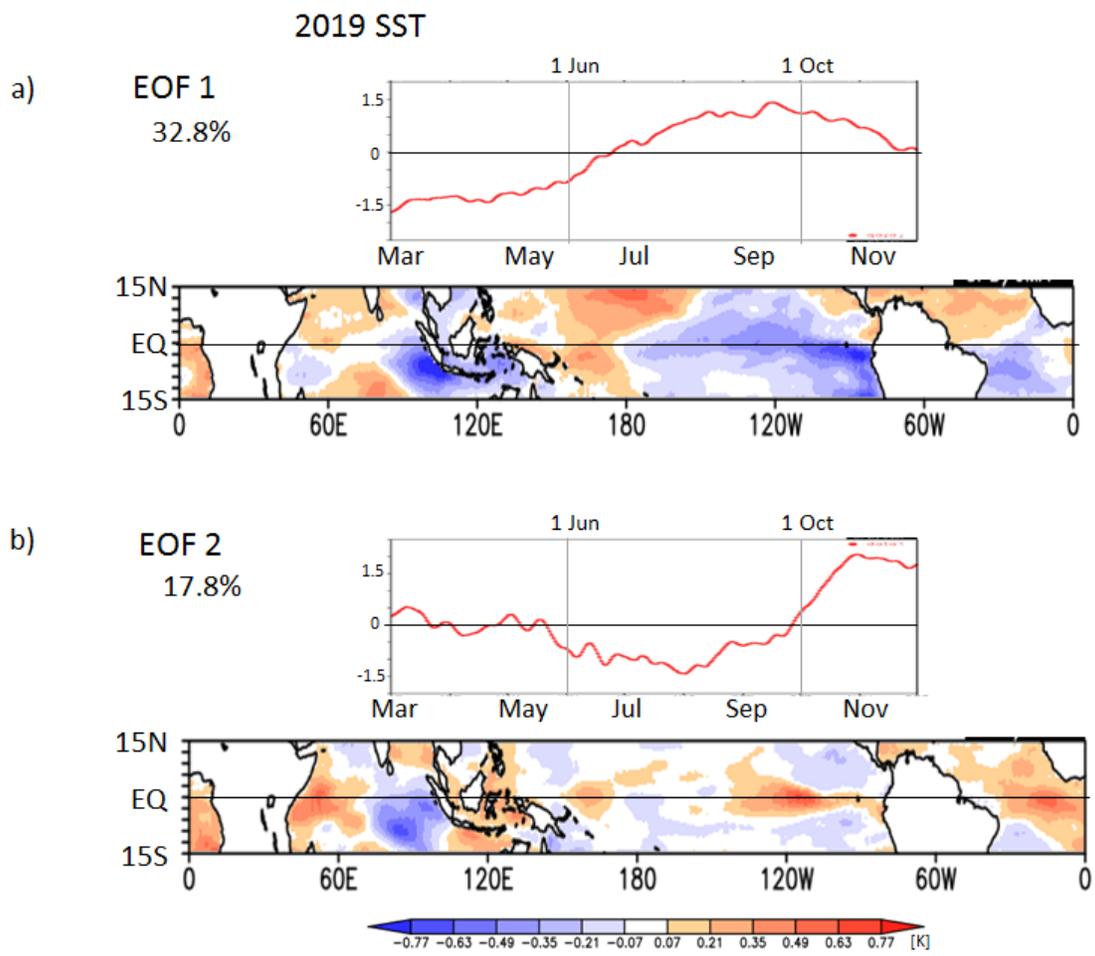


図3 2009年3月1日～12月1日の9ヶ月間の5日平均熱帯海面水温偏差のEOF解析。(a) EOF 1のスコア(上段)並びに空間パターン(下段)。(b) (a)と同様、ただしEOF 2。

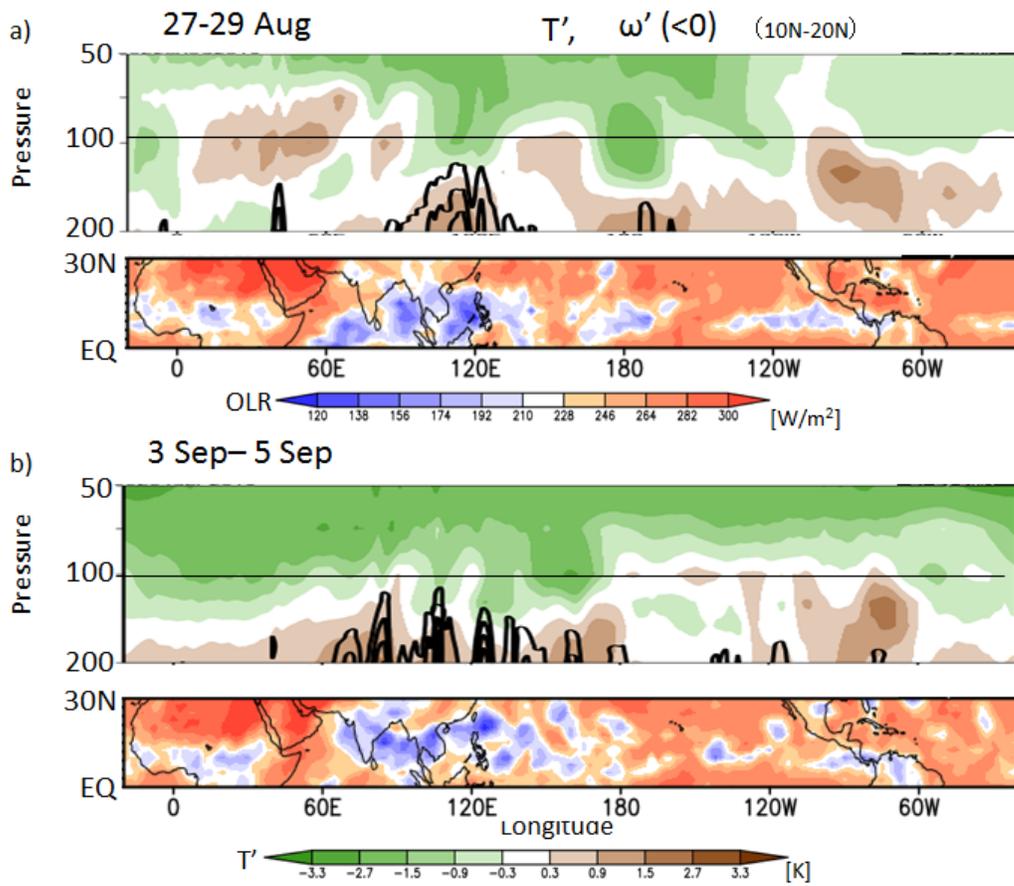


図4 (a) 2019年8月27-29日平均偏差：(上段)北緯10~20度平均気温の高度-経度断面，(下段)OLR偏差の水平マップ．(b) (a)と同様、ただし9月3-5日平均．

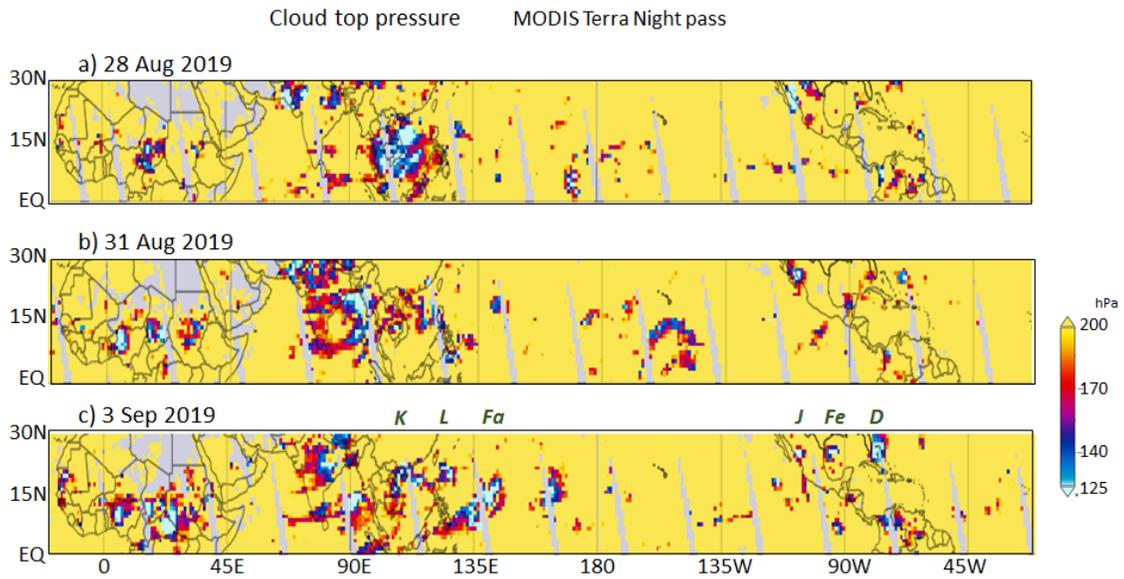


図5 MODIS TERRA night passによる雲頂気圧 (< 200hPa) : 2019年(a) 8月28日, (b) 8月31日, (c) 9月3日. イニシャルは熱帯低気圧 (*Kajiki*, *Lingling*, *Faxai*, *Juliette*, *Fernand*, *Dorian*) に関する雲域を示す。