

成層圏突然昇温の熱帯低気圧に及ぼす影響

(暫定結果)

小寺 邦彦 (名大 STE ; 三重大) ・ 江口 菜穂 (九大・応力研)

はじめに

成層圏突然昇温現象 (SSW) に伴い成層圏子午面循環が強化され、熱帯下部成層圏の上昇流が増加に伴い対流圏界面付近の気温の低下が生じる。この影響により熱帯の積雲対流活動が変化する事をこれまでの研究から示してきた (Kodera, 2006; Eguchi and Kodera, 2010)。次いで行った 2009 年 1 月、2010 年 1 月の SSW 現象の解析では SSW 現象の影響により夏半球である南半球の熱帯低気圧が発達する事が見いだされた (Eguchi and Kodera, 2015; Kodera et al., 2014)。

熱帯低気圧の発達要因として過去の研究においては主に対流圏、海面水温の影響が論じられてきた。近年、対流圏が温暖化する一方で、成層圏は寒冷化する傾向が顕著になってきた。この為、海面水温の上昇に加え、成層圏界面の気温低下が熱帯低気圧の発達に及ぼす影響についての研究がなされるようになって来た (Emanuel, 2013; Ramsay, 2013; Wang et al., 2014)。また、放射強制力の変化ではなく成層圏子午面循環の変化も対流圏の対流活動に影響を及ぼしうる事がモデル実験により示唆されている (Thuburn and Craig, 2000)。

ここでは、成層圏循環の変化に伴う熱帯低気圧の発生、発達について調べる。まず最初は、2010 年の北半球 SSW に伴う熱帯低気圧の発達を観測とモデル結果の比較を通して調べ、次いで 2014 年 9~10 月の南半球 SSW に伴う北半球における熱帯低気圧の発達について述べる。

データ

2014 年の解析には気象庁の再解析データ (JRA55) をもちいた。また、解析には気象庁気候情報課で開発された ITACS を用いた。熱帯低気圧については UNISYS 編纂のリスト (<http://weather.unisys.com/hurricane/>)、

台風の中心気圧については国立情報学研究所のデジタル台風 (<http://agora.ex.nii.ac.jp/digitaltyphoon/year>) を参照した。

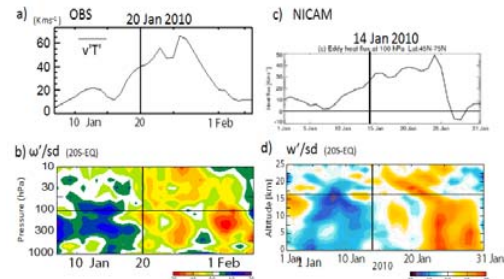


図 1. (上) 45N-75N 平均 100hPa 渦熱輸送の時系列 (下) 20S-EQ 平均標準化鉛直流の高度一時間断面。左：観測、右：NICAM モデル。なお観測は気圧座標系鉛直流。モデル結果は Eguchi et al. (2015) より。

解析結果

2010 年 1 月

2010 年の SSW の影響については Eguchi and Kodera (2015) 並びに Kodera et al. (2014) で報告したが、ここでは熱帯低気圧の発達に関連する部分を述べる。北半球の冬期においては、熱帯成層圏の鉛直流の増加に対応して熱帯対流圏では赤道付近と夏半球の南緯 15 度付近で積雲対流が活発化し上昇流の増加が生じる。

図 1 の左側は観測、右側にはそれに対応する全球雲解像モデル (NICAM) による 2010 年のシミュレーション結果が示してある。図の上段は北半球のプラネタリー波の活動の指標としての 100hPa の渦熱輸送の時系列、下段は南緯 20 度から赤道の緯度帯で平均した鉛直流の高度一時間断面を示している (観測は気圧座標鉛直流)。モデルでは惑星波の増幅は現実より早く発生している。また、それに対応して熱帯成層圏の上昇流の増加も観測より約 6 日早く 1 月 14 日頃に発生し、対流圏の上昇流の増加の時期その分だけ早まっている。

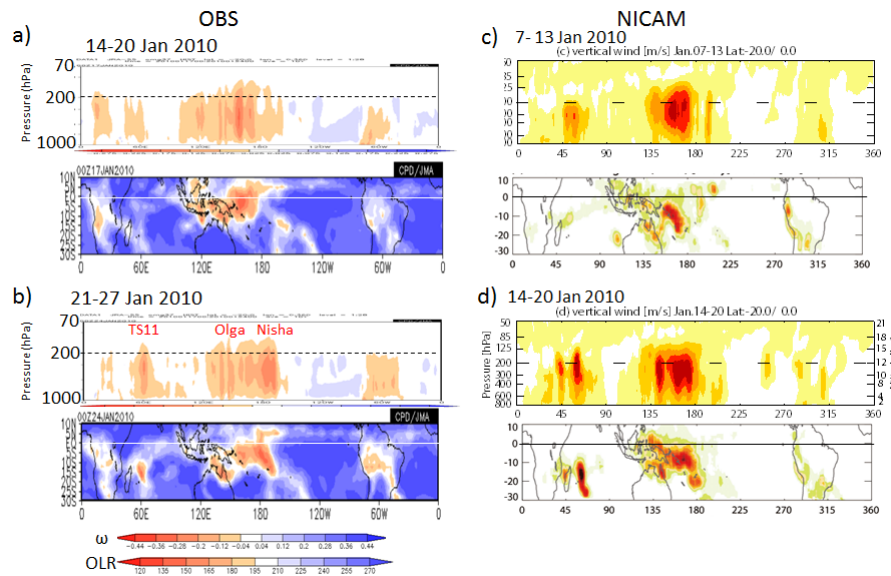


図 2. 左側は観測、右側はモデル。(a, c) は熱帯成層圏で上昇流が増加する以前、(b, d) はそれ以後。各組パネル：(上) 20S-EQ 平均鉛直流の高度-経度断面、(下) 観測は OLR、モデルは非断熱加熱の緯度-経度分布。モデル結果は Eguchi et al. (2015) より。

成層圏の変化に対応して対流活動がどのように変化するかを調べる為に熱帯成層圏で鉛直流の増加が顕著になった日（観測：1月20日、モデル：1月14日）前後の期間について南緯20度～赤道で平均した気圧座標鉛直流の高度-経度断面を示す。各図の下段には、観測の場合は外向き長波放射(OLR)、モデルの場合は非断熱加熱の水平分布を示してある。

初期には赤道海洋大陸付近で活発であった対流活動は、成層圏の上昇流の増加に伴い、対流活動は南緯15度を中心とした緯度帯の西インド洋、オーストラリア、南米の広い経度帯で強化している。また、これら海上の対流活動は熱帯低気圧(TS11, Olga, Nisha)の発達を伴って発生しており、世界各地ではほぼ同時に熱帯低気圧の発達が見られる。モデルの場合にもこれに対応した、南西インド洋、オーストラリア、南西太平洋で熱帯低気圧と見られる強い対流活動が発生している。南米大陸では、上昇流の強度の増加は見られないが、対流の高度が増加している。以上の結果から、熱帯成層圏の上昇流の強化により、南緯15度付近（ハドレー循環の上昇域）の

緯度帯で熱帯低気圧の活動が活発化することが示唆される。

2014年9、10月

以上は北半球のSSWに伴う南半球の熱帯低気圧の発達についての解析であったが、同様な現象が北半球の熱帯低気圧活動にも見られるかどうか、2014年9、10月について事例解析を行った。9、10月は秋分の時期ではあるが対流圏一下部成層圏の上昇流の中心は未だ北半球側にある。図3の上、下段に、南半球中高緯度平均（南緯30～90度）EPフラックスの鉛直成分、並びに赤道～北緯20度平均気圧座標鉛直流の高度-時間断面を示す。9月と10月に2回に渡り惑星波の鉛直伝播が発生している。北半球の場合（図1）と同じく、南半球の惑星波の活動の増加に伴い熱帯対流圏の上昇流が増加する。

熱帯成層圏の上昇流に増加が顕著になってくるi)9月12日、ii)10月7日のそれぞれ時期の前後で5日平均を取り、その比較を行う（図5）：各図とも上段は北緯10～20度平均鉛直流の高度-経度断面、下段はOLRの水平分布を示している。図にはまた関連する熱帯低気圧の名前を記した。

成層圏の上昇流の増加に追従して対流圏では北緯 15 度を中心とする緯度帯で局所的な対流活動が活発化する。そして熱帯低気圧の発達に伴う深い対流による熱帯対流圏界面遷移層 (Tropical Tropopause Layer: TTL) での上昇流の増加が見られる。特に、インド洋、西太平洋、大西洋上で熱帯低気圧 (cyclone, typhoon, hurricane) の発達が顕著である。

中でも 10 月に北西太平洋で発生した熱帯低気圧の VONGFONG は 2014 年に発生した熱帯低気圧中で最強の低気圧であった。VONGFONG と、同じ海域でその 4 日前に発生した PHANFONE の中心地上気圧の変化を図 5 下段に示す。さらに図 5 の上、中段には赤道—北緯 20 度平均 50hPa の気圧座標鉛直流の時系列、並びに日平均気温の差として求めた気温の変化傾向の高度—時間断面をそれぞれ示す。VONGFONG の発達が顕著になる 10 月 7 日頃の西太平洋の SST、下層の水蒸気量はその前の PHANFONE の発達した時期と比べて、むしろ下降、減少している。このことから VONGFONG の急激な発達は対流圏下層の条件によるとは考えにくい。一方この時期には成層圏上昇流の強化に伴う TTL—対流圏界面の気温の低下、あるいは静的安定度の減少が見られ、この違いが、二つの期間での熱帯低気圧の発達に影響を及ぼした可能性が示唆される。

4. 議論

これまでに北半球冬期の解析から見出された成層圏循環の変化に伴う南半球、西インド洋、オーストラリア北部、南西太平洋の熱帯低気圧の発達に加え、北半球の熱帯低気圧も同様に南半球の惑星波の活動に応じて変化している事を 2014 年の事例について示した。しかし、観測結果の解析からだけでは個別事例の因果関係の同定は難しく、統計解析の他、数値モデルによる実験を通して調べていく事が是非とも必要であろう。

謝辞

本解析には気象庁気候情報課の開発による「異常気象分析ツール」を利用させていただきました。ここに謝意を表します。

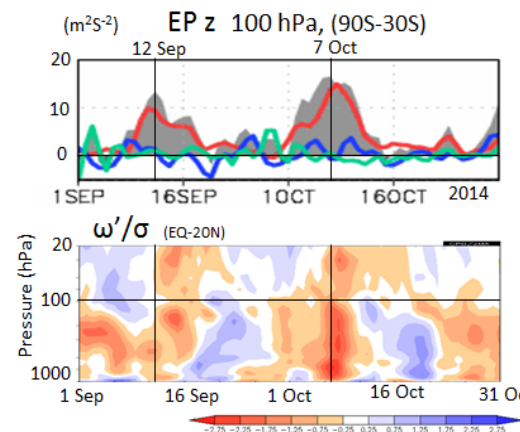


図 3. (上) 南半球中高緯度平均 (南緯 30~90 度) 100hPa EP フラックスの鉛直成分 (JMA 気候情報課)。(下) 赤道~北緯 20 度平均標準化気圧座標鉛直流の高度—時間断面。

参考文献

- Eguchi, N. and K. Kodera and T. Nasuno (2015), A global non-hydrostatic model study of a downward coupling through the tropical tropopause layer during a stratospheric sudden warming, *Atmos. Chem. Phys.*, Accepted.
- Eguchi, N., and K. Kodera: Impacts of stratospheric sudden warming on tropical clouds and moisture fields in the TTL: A case study, *SOLA*, 6, 137–140, 2010.
- Emanuel, K., S. Solomon, D. Folini, S. Davis, and C. Cagnazzo (2013), Influence of tropical tropopause layer cooling on Atlantic hurricane activity. *J. Climate*, 26, 2288–2301.
- Kodera, K.: Influence of stratospheric sudden warming on the equatorial troposphere, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L06804, doi:10.1029/2005GL024510, 2006.
- Kodera, K., B. M. Funatsu, C. Claud, and N. Eguchi (2014), The role of convective overshooting clouds in tropical stratosphere–troposphere dynamical coupling, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 14, 23745–23761.
- Ramsay, H. (2013), The effects of imposed stratospheric cooling on the maximum intensity of tropical cyclones in axisymmetric radiative–convective equilibrium. *J. Climate*, 26, 9977–9985.
- Thuburn, J. and Craig, G. C. (2000), Stratospheric influence on tropopause height: the radiative constraint, *J. Atmos. Sci.*, 57, 17–28.
- Wang, S., S.J. Camargo, A.H. Sobel, and L.M. Polvani (2014), Impact of the tropopause temperature on the intensity of tropical cyclones: An idealized study using a mesoscale model. *J. Atmos. Sci.*, 71, 4333–4348.

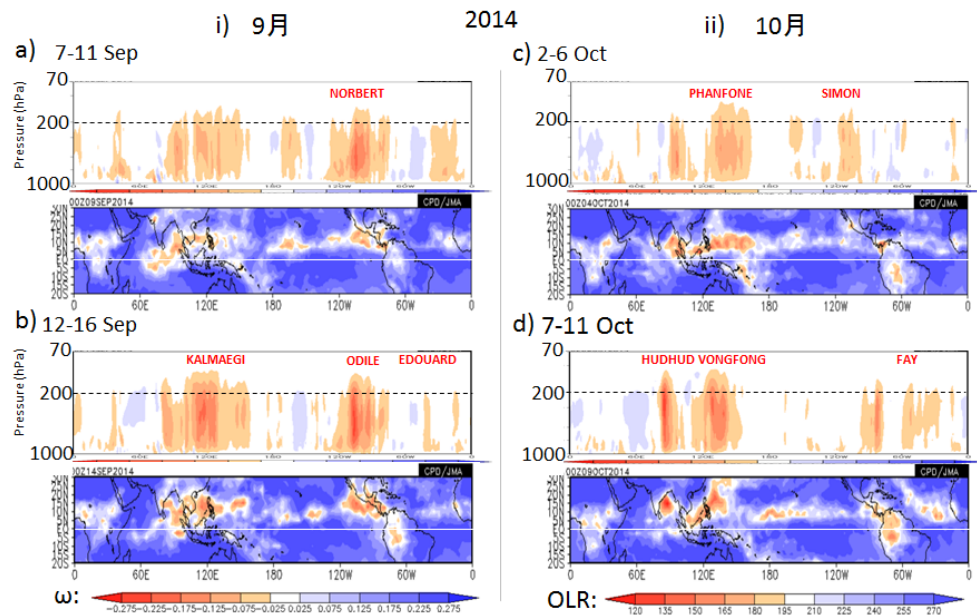


図 4. i) 9 月、ii) 10 月の事例。(a, c) 熱帯成層圏で上昇流が増加する以前、(b, d) それ以後の 5 日平均。各組パネル：(上) 20S-EQ 平均気圧座標鉛直流の高度—経度断面、(下) OLR の緯度—経度分布。パネル上部に熱帯低気圧名。

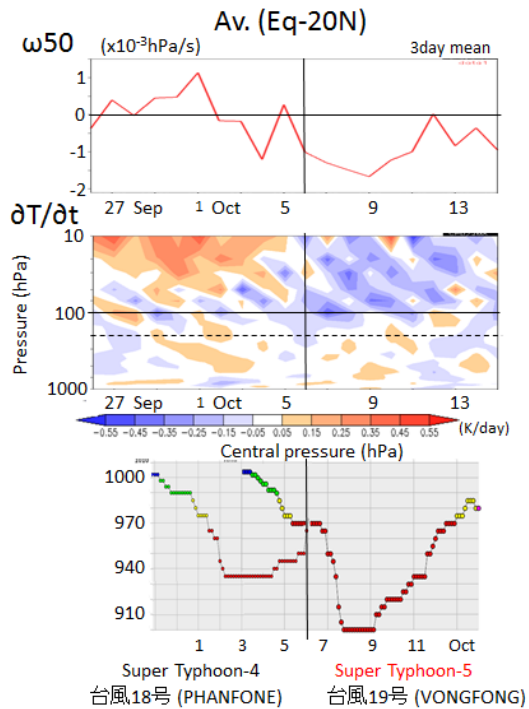


図 5. 2014 年 9 月 27 日から 10 月 15 日における赤道—北緯 20 度平均 (上) 50hPa 気圧座標鉛直流、(中) 気温変化傾向の高度—時間断面。(下) 台風 18 号、19 号の中心気圧 (デジタル台風より)。