

台風の発達過程への成層圏力学場の影響

江口菜穂（九大・応力研） 那須野智江（JAMSTEC） 小寺邦彦（気象研）

1 はじめに

筆者らはこれまで、成層圏の短期現象である突然昇温現象 (Stratospheric Sudden Warming; SSW) に着目し、成層圏と対流圏の力学的結合過程を調べてきた [Eguchi and Kadera, 2007; 2010; Kadera et al., 2011; 2015; Eguchi et al., 2015; 2016]。

Eguchi et al. [2015] (以後 E15) は、積雲対流パラメタリゼーションを用いない全球非静力学モデル Non-hydrostatic global model (NICAM) [Satoh et al., 2014] の出力値を用いて、SSW 時の特に TTL 内の力学過程に着目して解析した結果、SSW 時に成層圏の南北 (Brewer- Dobson; BD) 循環の上昇流強化による下部成層圏および熱帯対流圏界面遷移層 (Tropical Tropopause Layer; TTL 高度 14~20 km) の断熱的な降温と、それによる静的安定度の弱まりが、徐々に下降している様子を捉えた。この上昇流偏差の下降が、TTL 下端に到達した際、対流圏の上昇流 (積雲対流) の活発域と結びつき、結果的に対流圏の積雲対流活動域を SSW 開始前よりも活発化させていた。しかしながら、詳細な積雲対流の発達メカニズムはいまだ明らかにされていない。そこで本稿では、E15 で着目した 1 月の SSW 時期にインド洋南西部で発達した台風および積雲対流活動について調べた結果を報告する。

2 データ

解析には NICAM で計算された、2009 年 12 月 20 日から 2010 年 2 月 14 日の 3 時間間隔の瞬間値 (2 次元データは 1 時間間隔の平均値) を利用した (計算条件の詳細は表 1 を参照)。水平解像度は 14 km を 1 度グリッドデータに変換した。鉛直方向には 40 層 (0~38km; stretching grid) で、TTL 付近 (10~20 km) は約 9 層 (約 120 m 間隔) 存在する。使用した物理量は、3 次元データの気温、鉛直風、東西風、南北風、比湿、雲水量、雲氷量 (雪、霰を含む)、非断熱加熱率 (雲物理と放射寄与の両方)、また 2 次元データ (1 時間値) の雲量、降水量、可降水量、蒸発量、大気上端での長・短波放射輝度を用いた。非断熱加熱率、降水量データのみ一日積算量を解

析に用いた。なお、E15 において、NICAM 内で発生した 2010 年 1 月の SSW は現実と比べ昇温が約 5 日早く発生し、これに対応して熱帯域の降温も現実大気より早く開始している。また昇温の継続期間も数日長い。熱帯の対流活動の変化傾向やインド洋における台風の発達事例も、タイミングの違いはあるものの概ね再現されている (E15)。本稿ではシミュレーション結果について図示する。

3 結果

図 1 に 1 月 7 日から 12 日におけるアフリカ大陸からインド洋における降水、積雲対流活動および鉛直流を示す。1 月 8 から 9 日にかけてアフリカ大陸上で深い対流が活発化している (図 1 (a,b,c))。その後、インド洋上南緯 10 度付近に積雲対流の列がみられる。これらはアフリカ大陸上からインド洋上に東に移動しているようにも見受けられる。

図 1 (c) から、TTL (気圧面 150~50hPa) において、1 月 9 日から 12 日かけて、東に傾きを持った上昇流域がアフリカ大陸からインド洋西部を通り、海洋大陸域まで東進している様子が見られる。同様の特徴が図 1 (d) の TTL 内の高度 18 km における気温の鉛直勾配偏差 ($\partial T/\partial z$) でも見られ、低温偏差域がインド洋上を東進している様子が見られる。またこの低温偏差域は赤道対象の構造を持っている。図 2 のから、この低温偏差の起源はアフリカ大陸上であることがわかる。また、1 月 8 日頃からアフリカ大陸、海洋大陸域、南米大陸で気温の低下がみられる。これは対流圏から成層圏への波の伝播の指標である 100 hPa、北緯 45~75 度平均した熱フラックス ($v'T'$) が上昇を開始する時期に対応している (Fig.3 (a))。

海洋大陸から西部太平洋上では、高度 15.5 km において気温の鉛直勾配偏差 ($\partial T/\partial z$) が負偏差となり、アフリカ大陸からインド洋上よりも低高度で負偏差となり、また最低値は 1 月 15 日頃であった (図省略)。アフリカ大陸およびインド洋と比べて、海洋大陸から西部太平洋上は圏界面高度が 1.5 km ほど低かった。NICAM の TTL 内の鉛直解像度というと、1 層分の違いである。

図 1 (e) にインド洋上の可降水量と水蒸

気フラックスを示す。8 日から南緯 10 度付近に降水帯が形成され始め、11 日頃にその降水帯の中、東経 55 度付近に台風が発生し、その後発達して南下している。

図 3 (b) にアフリカ大陸上での気温の時間変化率 $\partial T/\partial t$ と静的安定度 $g/\theta \cdot \partial \theta/\partial z$ 、鉛直流の時間高度断面の期間平均からの偏差を示す (T は気温、 θ は温位、 g は重力加速度)。1 月 5 日頃から、高度 22 km から静的不安定領域が下降し、8 日頃に高度 15 km に到達している。その頃、アフリカ大陸上で積雲対流が活発となっていた (図 1 (a,b,c))。また台風上空でも同様に静的不安定領域が下部成層圏から下降している様子がみられる (図 3 (c))。但し、5 日頃高度 22 km から下降してくるシグナルと、それ以前から低い高度をゆっくりと下降してくるシグナルの二つがみられる。前者は下部成層圏の上昇流に伴うシグナルで、後者は赤道波によるものと考えられる。但し、その同定にはさらなる解析が必要である。

4 まとめと考察

今回得られた結果をまとめた 2010 年 1 月の成層圏突然昇温イベント時の低緯度域での積雲対流と波の活動に関する概念図を図 4 に示す。

- ① SSW イベントによって Brewer-Dobson 循環が強化され、低緯度で上昇流が卓越する。また TTL 内に気温低下に伴う静的不安定領域が形成される。
- ② アフリカ大陸上で積雲対流活動が活発になる。1 月 8 日頃
- ③ 積雲対流と結合した赤道ケルビン波が TTL 内の低温域を伴って東進する。
- ④ 東進と同時に南緯 10 度付近に降水帯が形成される。1 月 9~12 日また ④' 台風が形成される。1 月 11 日頃
- ⑤ 海洋大陸上および西部太平洋上で積雲対流活動が活発になる。1 月 15~20 日頃

今回の解析から、アフリカ大陸上と海洋大陸及び西部太平洋域で成層圏の上昇流に伴う力学的な効果に時間差が生じていたことが明らかとなった。これは、アフリカ大陸上の積雲対流は孤立していて背が高い一方で、海洋大陸上では組織的に積雲対流が構成されており、ここの積雲の雲頂高度が異なることが、成層圏の影響に時間差を生じさせていたと考えられる。すなわち、アフリカ大陸上

の方が積雲対流の雲頂高度が高いために、より早く上部の成層圏の影響を捉えることが可能であることを示唆している。

またこれ以外にも、アフリカ大陸上で励起もしくは発達した赤道ケルビン波が、インド洋を東進し、海洋大陸に到達したタイミングで海洋大陸上で積雲対流活動活発化していることも時間差の要因と考えられる。

謝辞

本研究は、基盤 (C) (#18K03743) の補助を受けている。NICAM の数値実験は、地球シミュレータ (海洋研究開発機構) を用いて行った。

参考文献

- Eguchi, N. and K. Kodera (2007) *GRL*, 34, L05819, doi:10.1029/2006GL028744.
- Eguchi, N. and K. Kodera (2010) *SOLA*, 6, 137-140, doi:10.2151/sola.2010-035.
- Eguchi, N. et al. (2015) *ACP*, 15, 297-304, doi:10.5194/acp-15-297-2015.
- Eguchi, N. et al. (2016) *SOLA*, 12A, 13-17, <http://doi.org/10.2151/sola.12A-003>.
- Kodera, K., et al. (2011) *JMSJ*, 89, 283-290, DOI:10.2151/jmsj.2011-308.
- Kodera, K. et al. (2015) *ACP*, 15, 6767-6774, doi:10.5194/acp-15-6767-2015.
- Satoh et al. (2014), *Progress in Earth and Planetary Science*, 1, 18. doi:10.1186/s40645-014-0018-1.

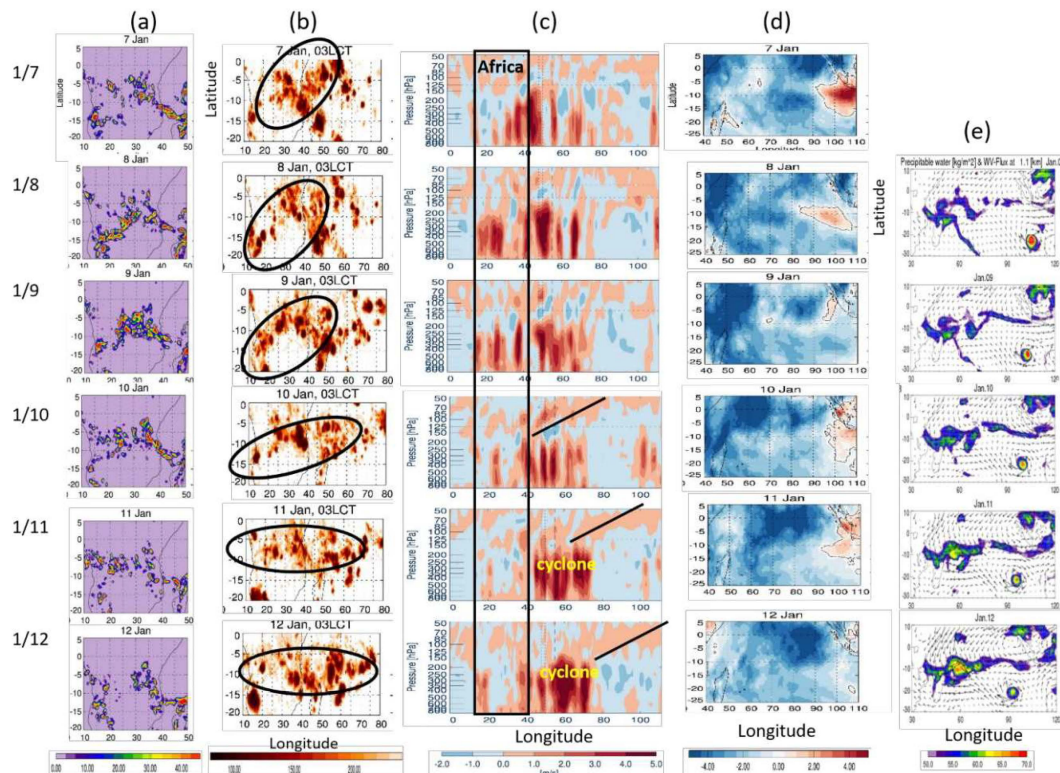


図 1 : シミュレートされた 1 月 7~12 日の (a) アフリカ大陸上の日降水量の水平マップ (b) アフリカ大陸からインド洋中部までの OLR [W/m^2] (各日 03 地方時) (c) アフリカ大陸からインド洋における鉛直流 [m/s] の経度高度断面 (緯度 $14^\circ \text{S} \sim 8^\circ \text{S}$ 平均)。黒枠はアフリカ大陸。 (d) 高度 17.7 km における気温の鉛直勾配 dT/dz [K/km] (e) 可降水量と水蒸気フラックス (高度 1 km) の水平分布。1 月 8 日から 13 日までの一日平均値。

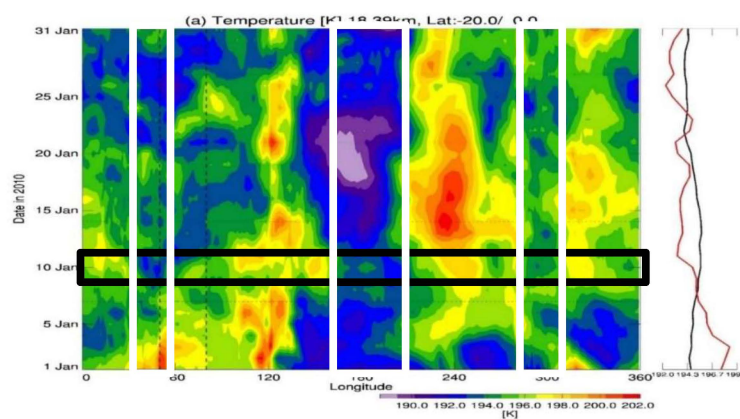


図 2 : シミュレートされた高度 18km における南緯 20 度から赤道で平均した気温の経度時間断面。右側に経度平均 (黒線) およびインド洋西部上 (赤線) で平均した気温の時系列を示す。

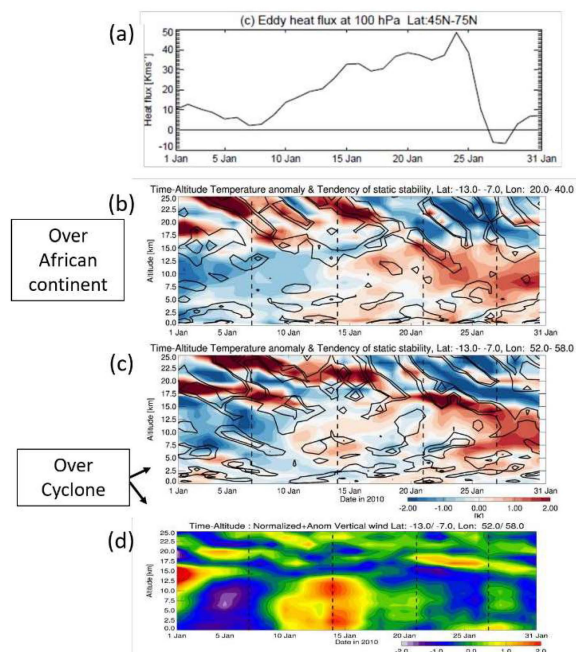


図 3 : (a) 熱フラックス ($\overline{v'T'}$) の時系列。気圧面 100 hPa、北緯 45 から 75 度の平均値。(b) アフリカ大陸上での気温の時間変化率 [K/day] の期間平均からの偏差 (カラー)、および静的安定度 static stability の期間平均からの偏差 (コンター)。コンター間隔は -1.0 、 -0.6 [10^{-4} s²/day]。領域は南緯 13 度から南緯 7 度、東経 20 度から東経 40 度の平均値。(c)(b)と同じ。但し、台風上 (南緯 13 度から南緯 7 度、東経 52 度から東経 58 度)。(d)(c)と同じ。但し、各高度の標準偏差で規格化した鉛直流の時間高度断面。

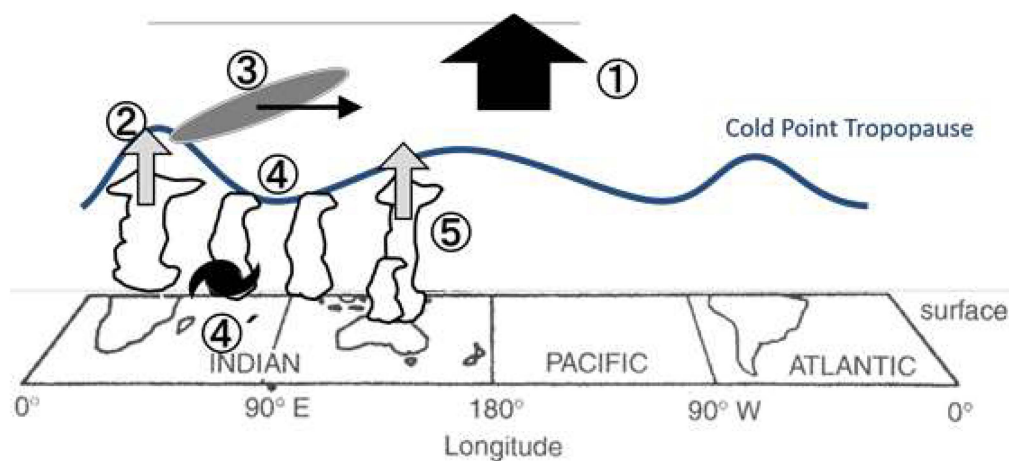


図 4 : 2010 年 1 月の成層圏突然昇温イベント時の低緯度域での積雲対流と波の活動に関する概念図