

# 熱帯対流圏界面付近における東西非一様な温度構造の特性について

西本 絵梨子, 塩谷 雅人

京都大学 生存圏研究所

## 1. はじめに

熱帯域は積雲対流活動が活発であり、積雲対流からの潜熱加熱を励起源として大規模な大気構造が形成される。Gill (1980)は浅水系モデルを用いた数値実験によって熱源応答により形成される特徴的な大気構造(Matsuno-Gillパターン)を示した。これはロスビー波とケルビン波を重ね合わせた馬蹄形状の構造をしている。実際に対流圏界面付近における8年間のヨーロッパ中期予報センター解析データの風の場合をもちいたDunkerton (1995)による解析によって、北半球夏季にアジアモンスーン域でMatsuno-Gillパターンとして理解される特徴のある循環構造が対流圏界面付近で見られ、さらに下部成層圏まで入り込んでいることがわかっている。またこの循環構造は、Park et al. (2007)のAura/MLSの衛星データを用いた解析からオゾンなどの大気微量物質の上部対流圏・下部成層圏での分布に関係していると考えられている。北半球冬季には下部成層圏水蒸気濃度を説明できるぐらいに低温となる馬蹄形状の領域が西太平洋域において定在的に分布している(e.g., Newell and Gould-Stewart 1981)。Hatsushika and Yamazaki (2003)は流線解析モデルを用いた実験によって、この低温域を通過する空気塊が脱水をされることで下部成層圏の水蒸気濃度が決定されることが示された。このように対流圏界面付近でみられる馬蹄形構造の理解は成層圏対流圏物質交換の観点から重要であるが、その時間特性については季節単位で持続する準定在的な現象としての理解や、季節内周期振動に伴う比較的短期間での現象として理解(Eguchi and Shiotani 2004)まで、様々な理解が存在している。本発表では、対流圏界面付近の馬蹄形温度構造の時空間特性と、その対流活動との関係に注目して解析した結果について報告する。

## 2. データ

対流圏界面付近の温度データとして100hPaにおけるヨーロッパ中期予報センター再解析データ(ERA-40)を、対流活動の指標としてNOAA/OLRデータを用いた。それぞれ1979年1月から2002年8月の期間における日平均データを使用した。また、対流活動はエルニーニョ・南方振動(ENSO)の影響を受けて年々変動していると考えられるので、ENSOの指標として南方振動指数を用いた。

## 3. 解析結果

### 3.1. 熱帯対流圏界面付近での水平温度構造

図1に2, 5, 8, 11月における熱帯対流圏界面付近(100hPa)での23年平均した温度の水平分布と対流活動(OLR)の分布を示す。東西平均温度は熱帯域が冷温偏差で高緯度に向かって高温偏差となっているが、全ての季節においてインド洋から中部太平洋にかけて東西非一様な温度分布をしていて、赤道上の低温がその西に位置する相対的な高温偏差を南北に取り囲むように伸びた馬蹄形状となっている。この馬蹄形状の温度構造は北半球夏季と北半球冬季にあたる8月と2月に特に顕著に見られる。またインド洋から西太平洋域において5月と11月は赤道付近で対流活動が活発なのに対して、8月には赤道よりも北半球寄りのアジアモンスーン域、2月には南半球寄りの西太平洋域で対流活動が活発である。以上のことからこれら馬蹄形温度構造はGill (1980)で示されたMatsuno-Gillパターンであり、5月と11月は非断熱熱源が赤道対称に配置された場合、2月と8月は赤道非対称に配置された場合の形状であると考えられる。

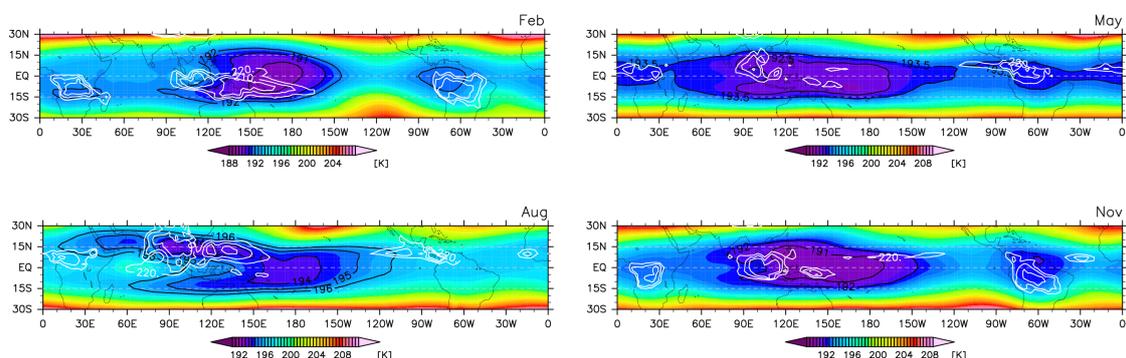


図1: 23年平均した100hPaにおける水平温度分布(K, カラートーンと黒色コンター)とOLRの分布(W/m<sup>2</sup>, 白色コンター。ただし220W/m<sup>2</sup>以下のみを描いている)。(左上)2月, (右上)5月, (左下)8月, (右下)11月。

### 3.2. 指標値の定義

馬蹄形温度構造の特徴を踏まえて、指標値HorseShoe Index (HSI)とZonal gradient of Temperature index (Tgrad)を定義する。HSIは赤道域と中緯度の間の南北温度差に着目した指標値であり、負の値をとる時Matsuno-Gillパターンの特にロスビー波応答部分の強度を示唆していると考えられ、以下の式で定義する。ここで、 $\lambda$ は経度を示し、 $T(10N-15N)$ または $T(10S-15S)$ は北緯10°から北緯15°または南緯10°から南緯15°での緯度平均温度を示し、 $T_{eq}$ は赤道での温度を示す。

$$HSI(\lambda) = \frac{T(10N-15N) + T(10S-15S)}{2} - T_{eq}$$

Tgradは赤道上での東西温度差に着目した指標値であり、特にケルビン波応答部分の強度を示唆していると考えられ、以下の式で定義する。

$$Tgrad(\lambda) = Teq(\lambda + 10) - Teq(\lambda - 10)$$

これら二つの指標値はすべての経度で定義される。HSI が負の値をとる経度域と Tgrad が負の値をとる経度域が近傍にあるとき、冷温偏差の水平分布は馬蹄形であると考えられる。

また、ある期間における指標値の代表値として、HSI の経度最小値を HSI の代表値、HSI 代表値の経度から、それよりも西に 10° 東に 30° の範囲での Tgrad の最小値を Tgrad の代表値とする。また、馬蹄形温度構造と対流活動との関係を探るために、OLR の代表値を HSI 代表値の経度からそれよりも西に 10° 東に 60° の範囲で、北緯 20° から南緯 20° で緯度平均した OLR の最小値として定義する。

### 3.3. 季節変動

HSI と Tgrad の季節変化について経度-時間断面のグラフ(図 2)を示す。両指標値共に北半球夏季と冬季に、それぞれ活発な対流活動がみられるインド洋付近と西太平洋付近で顕著な極小値を取ることがわかる。これは図 1 でみた特徴とも一致している。HSI については北半球夏季のほうが北半球冬季よりも負の値をとる経度幅が広く、極小値の絶対値も大きい。Tgrad の極小値の大きさは両季節ともほぼ同じである。季節内で Tgrad が極小値をとるのは北半球夏季は 7 月、北半球冬季は 12 月であるが、HSI は Tgrad よりも数ヶ月遅く、それぞれ 8 月と 2 月である。

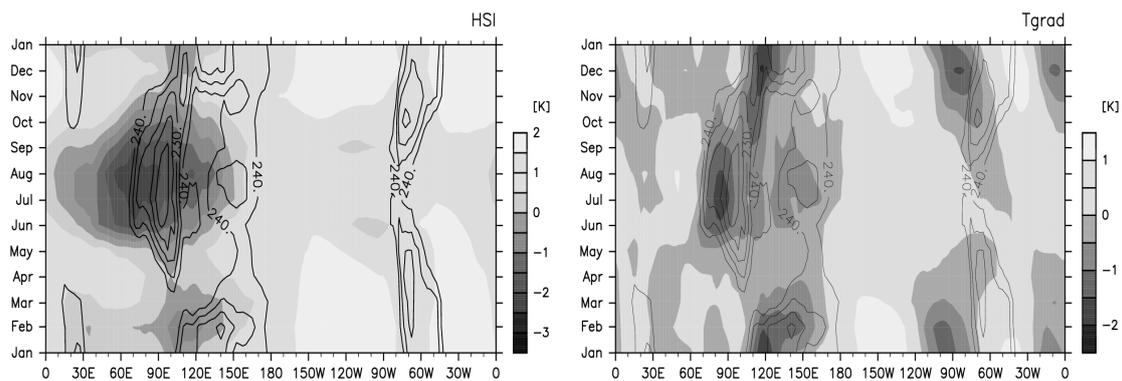


図 2: 23 年平均した(左)HSI (K), (右)Tgrad (K) の経度時間断面. 等値線は 240W/m<sup>2</sup> 以下の OLR を示す.

### 3.4. 移動性擾乱・年々変動

ケルビン波と季節内周期振動(IntraSeasonal Oscillation; ISO)は熱帯対流圏界面において大きな振幅をもち、しばしば対流活動をともなっている(Suzuki and Shiotani 2005). このことからこれらの移動性擾乱が馬蹄形温度構造に影響を与えられらるため、これらの成分を取り出すために各データにフィルタをほどこした。赤道ケルビン波成分として周期 10~20 日の東進波領域を、ISO 成分として周期 20~80 日の東進波

領域を抽出した。また、ENSOに代表されるような年々変動成分を抽出するために365日のローパスフィルターをほどこした。

まず、馬蹄形温度構造の変動についていつどの時間スケールの成分が寄与しているか調べるために、ケルビン波、ISO、年々変動、それぞれの成分で取り出した日平均データ23年分を用いて各月におけるHSIの代表値とTgradの代表値の相関係数を計算した(図3)。またその変動への対流活動の寄与を調べるために、OLRの代表値とHSIの代表値の相関係数についても同様に計算した(図4)。HSIとTgradの間にはどの時間スケールにおいても相関関係が見られるが、年々変動成分については特に北半球冬季に寄与が大きく北半球夏季に弱まることがわかる。OLRとHSIとの間には北半球夏季にはどの時間スケールにおいても相関係数が低いが、北半球冬季はISOと年々変動の成分で相関関係が見られる。このISO成分での変動には、北半球冬季に顕著に見られる約40~60日周期で対流活動を伴って東進するマッデン・ジュリアン振動(Madden and Julian 1972)が寄与していると考えられる。また年々変動にはENSOが関与していると考えられる。そこでSOIとHSIの12~4月における各年の5ヶ月平均データの代表値との相関係数を計算すると、相関係数-0.66と相関関係が見られた。このことから、ENSOに伴う対流活動の変動が馬蹄形温度構造の変動に寄与していると考えられる。

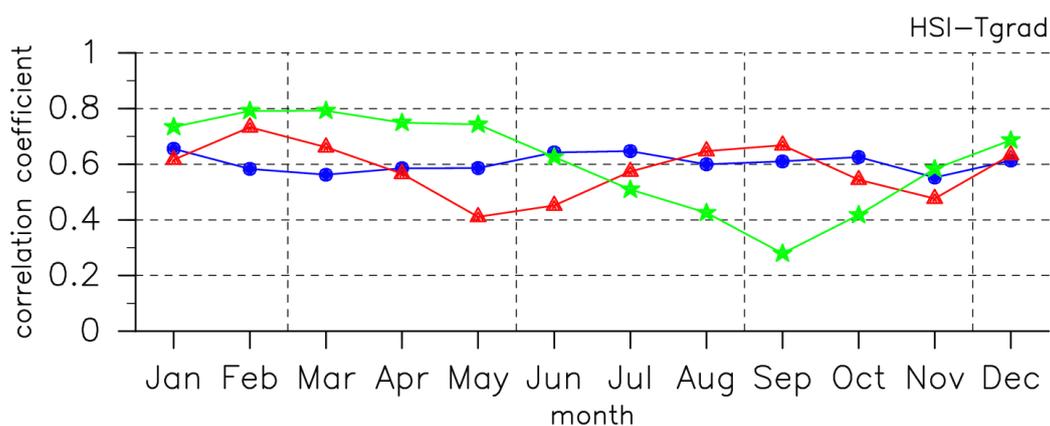


図3: 23年分の日平均データから計算した各月におけるHSIとTgradの相関係数。縦軸は相関係数、横軸は月を示す。星印、三角印、丸印はそれぞれ年々変動、ケルビン波、季節内周期振動の成分での値を示す。

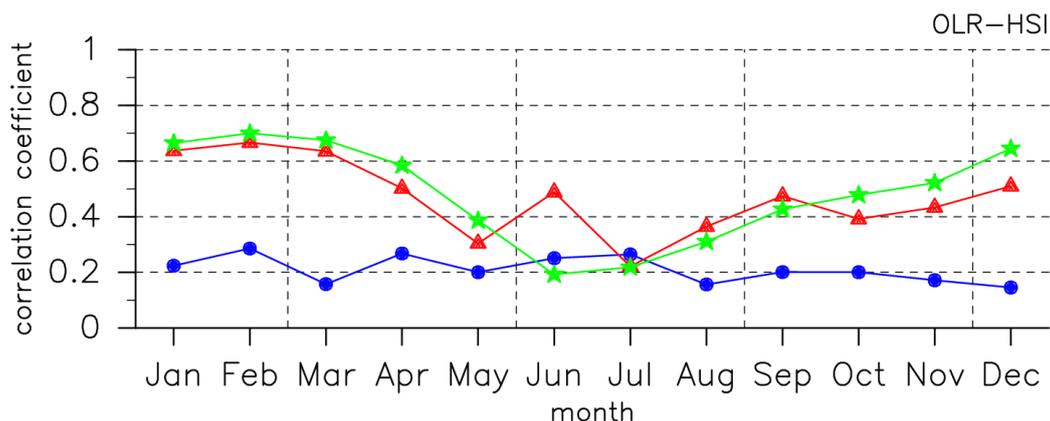


図 4 : 図 3 に同じ。ただし、OLR と HSI についての相関係数を示す。

#### 4. まとめ

熱帯対流圏界面付近において、北半球夏季と北半球冬季にインド洋から中部太平洋にわたって馬蹄形をした温度構造が卓越して見られる。ケルビン波、季節内周期振動、年々変動の時間スケールに分けて、この馬蹄形温度構造の時間特性について調べた。北半球夏季にはケルビン波と季節内周期振動での時間スケールが主な変動要因であり、この変動には必ず対流活動を伴うとは限らないことがわかった。北半球冬季には対流活動を伴う季節内周期振動とエルニーニョ・南方振動の影響を受けた対流活動が主な変動要因であることがわかった。

#### 5. 参考文献

- Dunkerton, T. J., 1995: Evidence of meridional motion in the summer lower stratosphere adjacent to monsoon regions, *J. Geophys. Res.*, **100**, 16, 675-16, 688.
- Eguchi, N. and M. Shiotani, 2004: Intraseasonal variations of water vapor and cirrus clouds in the tropical upper troposphere, *J. Geophys. Res.*, **109**, D12106.
- Gill, A. E., 1980: Some simple solutions for heat-induced tropical circulation, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **106**, 447-462.
- Hatsushika, H. and K. Yamazaki, 2003: Stratospheric drain over Indonesia and dehydration within the tropical tropopause layer diagnosed by air parcel trajectories, *J. Geophys. Res.*, **108**, D19, 4610.
- Madden, R. A., and P. R. Julian, 1972: Description of global-scale circulation scales in the tropics with a 40-50 day period, *J. Atmos. Sci.*, **29**, 1109-1123.

- Mijeong Park, W. J. Randel, A. Gettelman, S. T. Massie, and Jonathan H. Jiang, 2007: Transport above the Asian summer monsoon anticyclone inferred from Aura Microwave Limb Sounder tracers, *J. Geophys. Res.*, **112**, D16309.
- Newell, R., and S. Gould-Stewart, 1981: A stratospheric fountain?, *J. Atmos. Sci.*, **38**, 2789- 2796.
- Suzuki, J., and M. Shiotani, 2008: Space-time variability of equatorial Kelvin waves and intraseasonal oscillations around the tropical tropopause, *J. Geophys. Res.*, **113**, D16110.