

COSMIC 衛星観測データをもちいた 対流圏界面付近にみられる 赤道ケルビン波活動度の時空間変動

¹鈴木順子、²西憲敬、¹城岡竜一、¹吉崎正憲

1: 海洋研究開発機構 地球環境観測研究センター、2: 京都大学 理学研究科

1. はじめに

熱帯域には、顕著な周期変動がいくつか存在する。なかでも赤道ケルビン波は、対流圏界面領域にみられる変動では最も振幅が大きい擾乱の一つであり、背景東西風の影響を受け、圏界面付近では東風域の東半球、上部対流圏では西風域の西半球において、東西風振幅 2 乗値でみたその活動度は大きい(Suzuki and Shiotani, 2008)。最近、GPS 電波掩蔽法により、ラジオゾンデデータ並み($\sim 100\text{m}$) に優れた高度分解能の温度データが取得できるようになり、鉛直波数の小さい重力波や赤道波の解析にもちいられている。このうち Alexander et al. (2008) は、COSMIC による衛星観測データをもちいて、対流圏界面～下部成層圏領域における赤道ケルビン波活動度(温度振幅 2 乗値)の分布を示し、月ごと、および東西半球間における差は、成層圏で卓越する準二年周期振動(QBO)の活動位相による差よりも顕著であることを示唆した。

本研究では、COSMIC 衛星観測データの鉛直分解能を活かし、これまで困難だった熱帯対流圏界面付近における大気安定度の構造を把握する。さらに Alexander et al. (2008) を発展させ、ポテンシャルエネルギーと同様に扱える、大気安定度を考慮した温度活動度の分布を明らかにする。最後に、赤道ケルビン波の運動エネルギー分布をみるために、東西風でみた活動度をもちい、温度活動度分布との比較をおこなう。

2. データと解析手法

GPS 掩蔽法による温度データは、京大生存圏研究所が提供している COSMIC 衛星観測の解析値のうち、比較的観測が密におこなわれ始めた 2006 年 7 月から、2007 年 12 月までの 1 年半分を使用した。鉛直方向には 100 m ごとに線形内挿し、水平グリッド間隔は $5^\circ \times 5^\circ$ にしてもちいた。赤道ケルビン波成分の抽出時に欠損値のないデータをもちいる必要があるため、Liebmann et al. (1996) にならって時空間の線形補間をおこなった。

東西風の解析のために、ECMWF による客観解析データを同期間分もちいた。このデータの水平分解能は $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ であり、200, 150, 100, 70, 50 hPa の各高度面についてもちいた。なお、COSMIC データの解析高度範囲と重なるため、ECMWF の温度場データについても解析し、COSMIC データの結果との比較をおこなった。

赤道ケルビン波成分をとりだすために、各データについてフィルタをほどこし、波数 1~10、周期 4~23 day、等価深度 8~240 m の周波数・波数領域を抽出した。

3. 解析結果

図 1 は、COSMIC による大気安定度 N^2 の 2007 年 6 月の経度-高度断面図である。成層圏における安定度としてしばしばもちいられる $6.0 \times 10^{-4}(\text{s}^{-2})$ の値は、17- 18 km 付近に分布している。対流圏界面領域、とくに 16 km をはさんだ上下~1 km の層では N^2 の値の高度方向の変化が大きく、15 km 付近ではだいたい $1.2 \times 10^{-4}(\text{s}^{-2})$ であるのに対し、16 km では $2.4 \times 10^{-4}(\text{s}^{-2})$ 、17 km では $4.8 \times 10^{-4}(\text{s}^{-2})$ と、1~2 km の間に 2~4 倍の値へと変化している。ところで波のポテンシャルエネルギーは $1/2 (g^2/N^2) (T'/T_{\text{ave}})^2$ であらわす。ここで g は重力加速度、 T' は温度の振幅、 T_{ave} は平均温度を示す。鉛直方向の N^2 の変動が大きい対流圏界面領域において、温度擾乱の活動性は振幅だけではなく、 N^2 を考慮したポテンシャルエネルギー量をもちいて評価する必要がある。

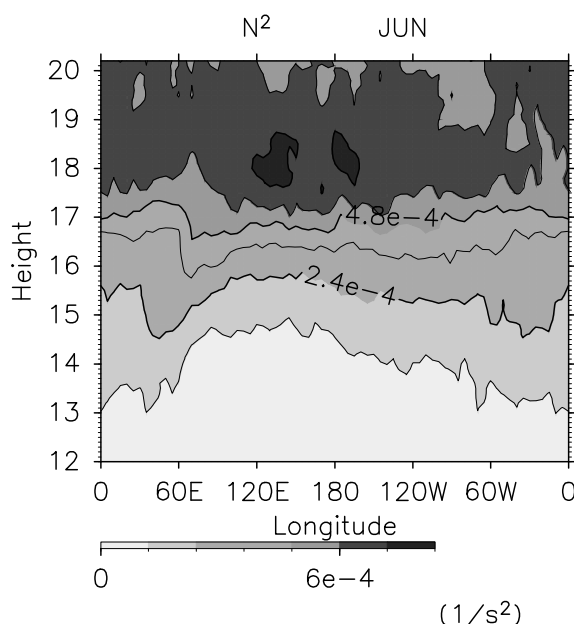


図 1: COSMIC による大気安定度 N^2 の 2007 年 6 月の経度-鉛直断面図。

図 2 は、赤道ケルビン波の活動度(振幅 2 乗値)とエネルギーの鉛直プロファイルである。値ごとの高度・経度・時間平均値をもちいて、各値とも正規化してある。温度振

幅 2 乗値の東西平均の鉛直プロファイルは、とくに 100 hPa(～16.6 km) より下の層において、ECMWF(T_E^2) と COSMIC(T_C^2) ではよく対応している。150hPa (～14.4 km) から 70 hPa(～18.0km) の対流圏界面領域では、高度にともなう値の増加がみられ、温度擾乱は対流圏界面領域内で増幅している可能性がある。

温度振幅 2 乗値を N^2 で割ると、ポテンシャルエネルギーと同様に高度間の値の比較が可能である。ここでは擬ポテンシャルエネルギー(E_P) とよぶ。COSMIC をもちいて計算した E_P の高度方向の変動幅は、 T_C^2 に比べて小さい。前述したように、 E_P の導出には N^2 をもちいており、図 1 にみられる対流圏界面領域での N^2 の変動による温度の振幅変調の影響を除去していることから、 E_P と T_C^2 の鉛直分布に差が生じたと考えられる。しかし、対流圏界面領域での E_P の増大は T_C^2 と同様にみられ、17 km と 18.5 km 付近にピークがある。

いっぽう赤道ケルビン波の運動エネルギーは東西風の振幅 2 乗値に比例するため、ここでは東西風振幅の 2 乗値を擬運動エネルギー(E_K) とよぶ。ECMWF データによる E_K は、150- 100 hPa を中心とした領域に大きい。そもそも線形的な構造をもった波動は、 E_K と E_P の比は等しくなることが予想できる。しかし今回、 E_K は E_P より 2、3 km 下方にピークが存在しており、対流圏界面領域にみられる赤道ケルビン波の構造は東西風と温度の振幅最大域が高度方向にずれている、もしくは鉛直波長の異なる赤道ケルビン波が出現したことを示唆する。

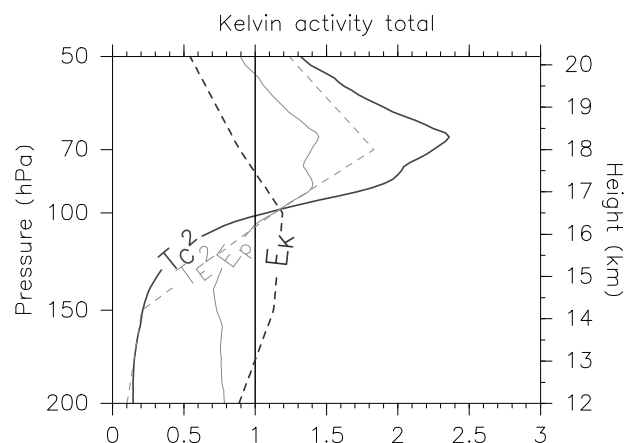


図 2: 赤道ケルビン波の活動度の鉛直プロファイル。実線は COSMIC、点線は ECMWF のデータによる。 T_C^2 は COSMIC 温度振幅の 2 乗値、 T_E^2 は ECMWF 温度振幅の 2 乗値、 E_P は擬ポテンシャルエネルギー、 E_K は擬運動エネルギー。各値とも高度・経度・時間平均値で正規化してある。

図3は E_K と E_P の経度・高度分布図である。 E_P の分布をみると、東半球には13、17、18.5 km付近にそれぞれピークがある。 E_K は100 hPa(～16.5 km)のみにピークがみられるが、その経度は60°E付近であり E_P とよく対応している。なお E_P にみられた13、18.5 kmのピークがみられないのは、 E_K の鉛直分解能が低いこと(200- 50 hPaに5層のみ)による可能性がある。

いっぽう西半球をみると、 E_P は18.5 km付近の対流圏界面～下部成層圏にピークがみられるのに対し、 E_K は200 hPaを中心とした上部対流圏において値が大きい。ただし、ピークの位置は E_P 、 E_K とも120°Wと対応している。これは温度と東西風の振幅が最大となる領域は N^2 を考慮しても違いがあり、西半球にみられる赤道ケルビン波は非線形的構造をもつことを示唆する。

以上のように、60°Eを中心とした東半球と120°Wを中心とした西半球にみられるケルビン波は鉛直構造に違いがあることが示唆され、また西半球にみられるケルビン波は東西風と温度偏差が最大になる高度が違うことから、線形波ではない可能性がある。さらに、60°Eと120°Wに出現するケルビン波の鉛直方向の構造とエネルギーフラックスを調べ、波の変形や背景場との対応関係について調べる必要がある。

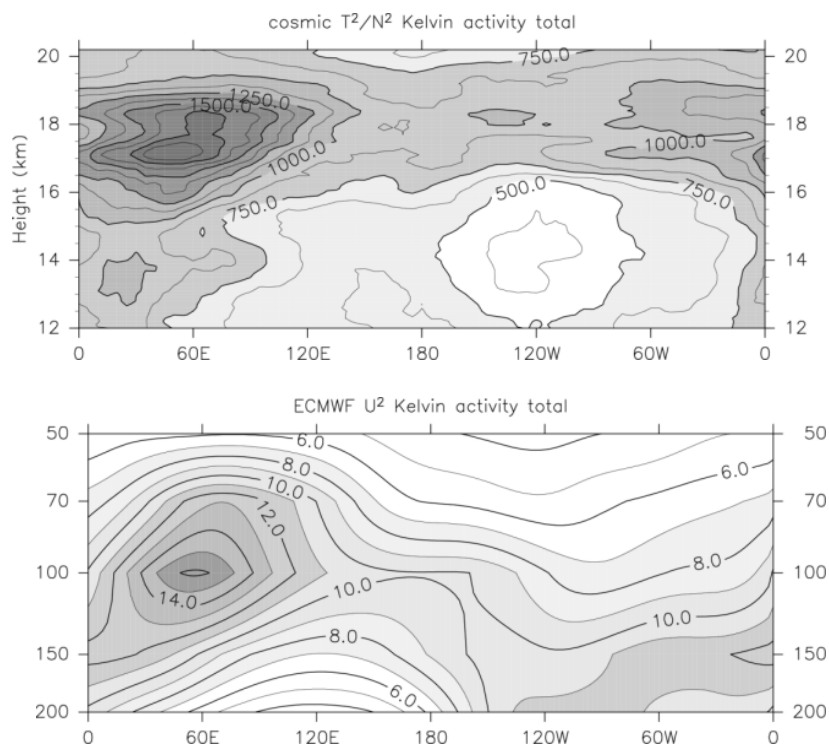


図3: COSMICによる擬ポテンシャルエネルギー(上)とECMWFによる擬運動エネルギー(下)の経度-高度断面図。

4. 参考文献

Alexander, S.P., T. Tsuda, Y. Kawatani, and M. Takahashi, 2008: Global distribution of atmospheric waves in the equatorial upper troposphere and lower stratosphere: COSMIC observations of wave mean flow interactions, *J. Geophys. Res.*, **113**, D24115, doi:10.1029/2008JD010039.

Liebmann, B., and C.A. Smith, 1996: Description of a Complete (Interpolated) Outgoing Longwave Radiation Dataset: *Bulletin of the American Meteorological Society*, **77**, 1275-1277.

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, doi:10.1029/2007JD009456.