

金星大気における熱潮汐波と運動量輸送

Thermal Tide and its Momentum Transport in Venus' Atmosphere

高木 征弘[1], 松田 佳久[2]

Masahiro Takagi[1], Yoshihisa Matsuda[2]

[1] 東大・理・地球惑星物理, [2] 東大・理・地惑

[1] Earth and Planetary Phys, Tokyo Univ, [2] Earth and Planetary Physics, Tokyo Univ

1. 序

金星大気中の熱潮汐波に関しては、運動量輸送によるスーパーローテーションへの寄与や、基本場の違いによる空間構造の変化といった観点から、いくつかの研究が行われている。Baker and Leovy (1989) や Newman and Leovy (1992) は、擾乱成分として東西波数 1 と 2 を含む方程式を用い、擾乱による運動量輸送とハドレー循環による運動量輸送のバランスで、スーパーローテーションの構造が維持されることを示そうとした。この研究では方程式を時間積分しているため、運動量輸送に対する熱潮汐波の寄与の程度は不明である。Hou, Fels and Goody (1990) は、熱潮汐波の計算とその運動量輸送による平均流の時間変化の計算を分離することによって、半日潮だけの寄与を求めた。その結果、高度 70 km 付近で最大風速 60 m/s 程度のスーパーローテーションが得られたが、下端 (高度 45 km) で 50 m/s の剛体回転流を境界条件として与えていることを考えると、熱潮汐波による運動量輸送だけで現実のスーパーローテーションを説明することは難しいようである。

そもそもこれらの研究では、モデルの下端の境界条件として剛体回転流を仮定し、高さ方向に風速の様な基本場を初期値として時間発展を計算している。Shen and Zhang (1990) は基本場の空間構造が熱潮汐波の性質に強く影響することを指摘しており、このような非現実的な問題設定で得られた結果を、実際の金星大気に直接適用することは困難である。また、時間発展の結果が、現実のスーパーローテーションとはかなり異なったものになってしまうのも重大な問題のひとつであろう。

そこで本研究では、観測によって得られている現実的な基本場に対して熱潮汐波を計算し、それによる運動量や熱の輸送を詳しく検討したい。また、観測などから推定されたハドレー循環による運動量輸送と比較し、スーパーローテーション維持に必要な運動量が熱潮汐波だけで輸送できるのか、あるいは別のメカニズムがどの程度輸送すべきなのかといった定量的な議論を行うことも目標とする。

2. モデル

球面上のプリミティブ方程式を基礎方程式とし、これを鉛直シアを持った剛体回転流の周りで線型化する。cyclostrophic バランスと静力学平衡を仮定すると、基本場はすべて剛体回転流から決定することができる。未知変数と太陽加熱の関数を、赤道対称性を仮定した球面調和関数で展開し、鉛直方向には差分化する。球面調和関数の 15 モードで展開し収束性は十分であった。鉛直方向の領域は地表から高度 100 km までとし 250 層を取った。

太陽加熱の鉛直分布は Tomasko et al. (1980a) の放射フラックスから求め、水平分布は Shen and Zhang (1990) を参考にした。スーパーローテーションとプラント - バイサラ振動数の鉛直分布は Smith, Gierasch and Schinder (1993) を参考にしたが、Pioneer Venus や Venera 10, 11, 12 の観測データとも整合的である。スーパーローテーションは高度 0 km から 70 km 程度の範囲で風速が高さに対してほぼ線型に増加し、最大風速は 100 m/s 程度に達し、大きな鉛直シアを持っている。プラント - バイサラ振動数に関しては、雲層付近の太陽光吸収に伴い高度 50 km から 60 km 付近に安定度の小さい領域があることが特徴である。ただし水平方向にはプラント - バイサラ振動数は一様とした。

3 結果

3.1 鉛直構造

加熱領域から上の領域での鉛直波長は、一日潮が約 5 km、半日潮が約 10 km で、Pechmann and Ingersoll (1984) の結果とよく一致している。波に伴う水平風速は 10 m/s 程度であった。一日潮の振幅が加熱領域だけに集中しているのに対して、半日潮はかなり上層まで鉛直伝播し、そこでは一日潮よりも大きな振幅を持つ。このことから、スーパーローテーションに対する寄与は、一日潮よりも半日潮の方が大きいことが示唆される。

雲層内部の中立成層領域より下方には、一日潮・半日潮ともほとんど伝播しなかった。これは中立成層領域を狭めた場合も同様で、雲層付近で励起される熱潮汐波は雲層より下の平均流加速にほとんど影響しないと考えられる。

3.2 水平構造

中立成層領域では、スーパーローテーションによる温度偏差の東西移流と加熱がバランスする。それより上層の安定成層領域では、波に伴う鉛直流と加熱の位相があうようになり、重力波的な構造をしていると考えられる。

3.3 平均流加速

高度 60 km 付近の高緯度側から、高度 70 km 付近の赤道側にかけて、強い減速領域がみられた。これは中立成層の存在や、波の水平・鉛直方向への伝播特性に関連した現象と考えられるが、力学的な解釈はまだできていない。様々な静的安定度やスーパーローテーションの分布について、現在計算を進めているところである。