

# 金星大気における内部重力波の鉛直波数スペクトル

安藤紘基（東大・理）、今村剛（ISAS/JAXA）

## 1. 背景

地球成層圏や中間圏では、鉛直伝搬する重力波が対流不安定やシアー不安定を通じて砕波して、それに伴う乱流拡散が砕波後の重力波の振幅を一定の値に制限する、いわゆる、飽和が生じる事が知られている。そして飽和した重力波の鉛直波数スペクトルの傾きが、高波数側で-3になることが Dewan and Good (1986) や Smith et al. (1987) によって理論的に示唆され、その後、ラジオゾンデや GPS 電波掩蔽観測により、それが観測結果と整合的である事が示されている(e.g. Tsuda et al., 1989; Tsuda and Hocke, 2002)。

一方、地球以外の惑星大気における重力波が、このような飽和理論に従うか否かについては、まだ調べられた事がない。そこで我々は、Venus Express 電波掩蔽観測によって得られた鉛直温度分布から小規模の重力波（鉛直波長は 1.5-15 km)を検出し、その鉛直波数スペクトルを計算し、さらに地球気象で構築されてきた飽和重力波の鉛直波数スペクトルと比較する事で、金星大気でも重力波が飽和するかどうか調べた。

## 2. 解析手順

まず得られた温度分布に対して高度 65-80 km の範囲で3次関数をフィッティングする (図 1)。これを背景場の温度場  $T_0$  と見なし、元の温度分布からの残差を  $T'$  とする (図 2)。そして  $T'/T_0$  を高度方向にフーリエ変換する事により、 $T'/T_0$  の鉛直波数スペクトルを得ることができる。さらにこれらを赤道域(0°-20°)、中緯度 (20°-50°)、高緯度 (50°-80°)、極域 (80°-90°) の 4 つの緯度帯に分類し、Tsuda and Hocke (2002) で与えられるような飽和理論スペクトルとそれぞれの緯度帯でのスペクトルを比較する。

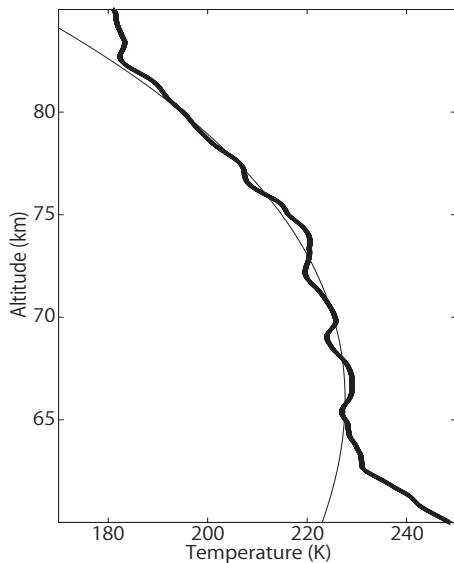


図 1 得られた温度分布（太い実線）に 3 次関数（細い実線）を高度 65-80 km にてフィッティングした例。

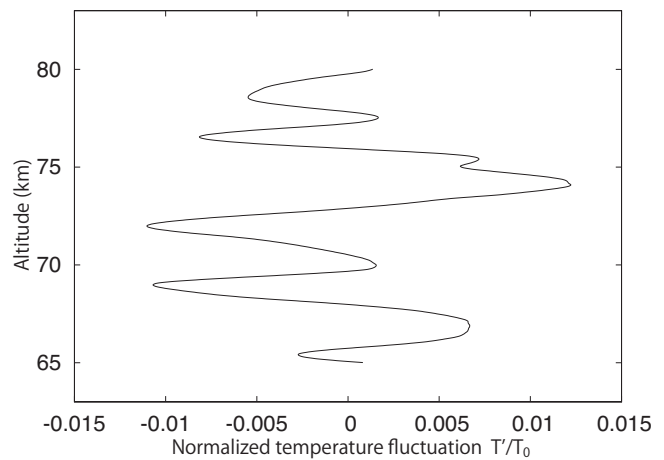


図 2 得られた温度擾乱  $T'$  を背景場の温度分布  $T_0$  で規格化したものの高度分布。

### 3. 結果と考察

結果を図 3 に示す。まず全体的な特徴を述べると、低波数側では傾きは平たく、高波数側では右肩下がりという、地球成層圏や中間圏で見られるような形状が見られる。さらにどの緯度帯のスペクトルも、飽和理論値を上回っていない。

緯度ごとのスペクトルに着目すると、赤道域のスペクトルは他の緯度帯に比べて一桁程度、スペクトル密度が小さい。これは、重力波の励起源である、金星雲層中の対流層が、低緯度ほど薄いことが要因であると思われる。また中緯度帯のスペクトルの傾きは-4 に近い。中緯度帯には高度 70 km を中心とした強い東風ジェットが存在していることが過去の観測から示唆されており、背景風の鉛直構造に伴って重力波の鉛直波長は高度方向に変化するので、鉛直波数スペクトルの傾きが飽和理論曲線のそれよりも急になるのではないかと推測している。

次に高緯度や極域のスペクトルに着目する。図 3 より、観測している重力波の支配的な鉛直波長は 5 km である。そして観測している高度領域の平均的な大

気安定度は  $0.02 \text{ rad s}^{-1}$  程度である。よって内部位相速度は、 $16 \text{ m s}^{-1}$  程度であると見積もられる。Peralta et al. (2008) の Figure 5a を参考にして、水平波長を推察するとおよそ  $100 \text{ km}$  である。これらを基に重力波が放射減衰に打ち勝つか否かを計算したものを図 4 に示す。これを見ると、今回の観測高度範囲においては、水平波長  $100 \text{ km}$ 、鉛直波長  $5 \text{ km}$  の波は放射減衰に打ち勝って成長出来ることが分かる。よって、対流層が高緯度ほど厚いことも考慮すると、高緯度や極域で重力波が飽和する可能性があることが示唆される。

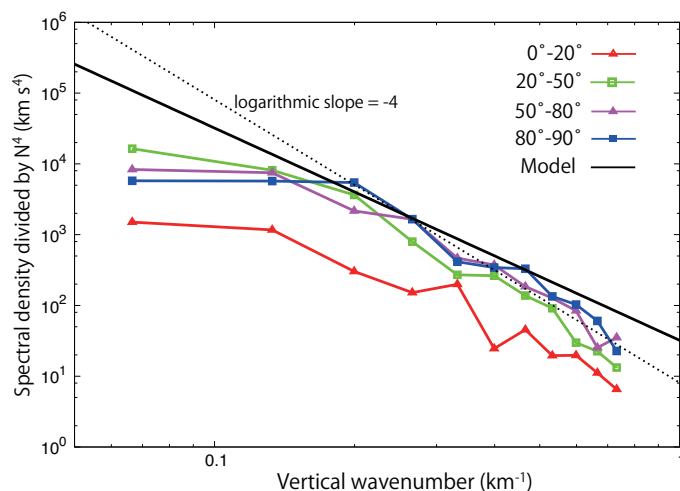


図 3 4つの緯度帯における鉛直波数スペクトル。黒い実線は飽和理論スペクトルを表し、破線は log プロットでの傾きが-4であることを示す。

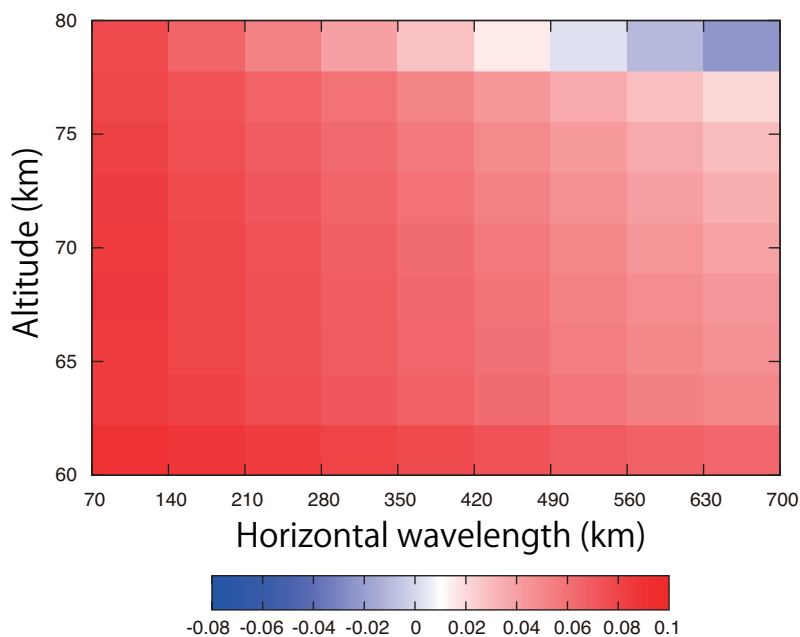


図 4 温度擾乱の高度方向の成長率。

#### 4. まとめ

本研究では、金星大気における重力波の鉛直波数スペクトルを世界で初めて計算し、さらに地球気象で構築されてきた飽和理論と比較することで、重力波が飽和するか否か調べた。その結果、金星の高緯度や極域では重力波が飽和する可能性があることを示唆した。また赤道域や中緯度では重力波は飽和していない。それには、雲層中の対流層の厚さや背景風の鉛直構造が要因として挙げられる。