

# 金星大気の放射対流平衡

政石晃秀 (東京学芸大・自然科学系), 高木征弘 (東大・理学系研究科),  
松田佳久 (東京学芸大・自然科学系)

## 1 はじめに

金星の吸収する太陽光は約  $143 \text{ W/m}^2$  で地球よりも少ない。しかも、入射した太陽光の大部分は高度  $45\text{--}70 \text{ km}$  に存在する雲層で吸収されるため、地上に到達する太陽光は  $17 \text{ W/m}^2$  に過ぎない。しかしながら、雲層以下の金星大気は大変高温に保たれており、大気下端での気温は  $730 \text{ K}$  にも達する。この金星下層大気の高温は、膨大な量の二酸化炭素による強力な温室効果が原因とされている (Matsuda and Matsuno, 1978; Pollack et al., 1980)。本研究では太陽光の吸収高度・雲の赤外線吸収・鉛直対流といった要因が、金星大気の温室効果・温度構造に与える影響を、灰色大気モデルを用いて考察する。

## 2 モデル

気体分子による光の吸収は波数・圧力・温度に対する強い依存性を持っているが、本研究では吸収係数を波数に関して平均化し、吸収係数は波数に依らず一定とする (灰色大気近似)。ただし、高さ方向への依存性はあってよいものとする。

灰色大気近似と2方向近似を用いると基礎方程式は次のようになる。

$$\frac{\partial F^\uparrow}{\partial w} = F^\uparrow - B \quad (1)$$

$$\frac{\partial F^\downarrow}{\partial w} = -F^\downarrow + B \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{1}{C_p \bar{\rho}} \frac{\partial (F^\uparrow - F^\downarrow)}{\partial z} + \frac{Q}{C_p \bar{\rho}} \quad (3)$$

ここで  $F^\uparrow$  は上向きの放射フラックス、 $F^\downarrow$  は下向きの放射フラックス、 $T$  は絶対温度、 $t$  は時間、 $z$  は高さ、 $\bar{\rho}$  は空気全体の密度、 $C_p$  はその定圧比熱、 $B = \sigma T^4$  ( $\sigma$  はステファン・ボルツマン定数)、 $Q$  は高さ  $z$  における単位時間・単位体積当たりの太陽光の吸収エネルギーである。 $w$  は大気の上端から計った光学的厚さの  $1.44$  倍であり、 $k$  を吸収係数として、

$$w(z) = 1.44 \int_z^\infty k(z') \rho(z') dz' \quad (4)$$

のように書ける。ここで  $\rho$  は赤外線吸収気体の密度である。

Curtis matrix の手法を用いて大気層 ( $0\text{--}92 \times 10^5 \text{ Pa}$ ) を約  $3300$  層に分割し、各層の境界での放射フラックスを求めることによって、各層の温度の時間 (変化) を平衡に達するまで計算した。

### 3 結果

#### 3.1 太陽光吸収高度の効果

太陽光が吸収される高度の違いが温室効果に与える影響を、次の場合について調べた。

ケース	A1	A2	A3	A4
大気上端への入射	143.0	143.0	143.0	143.0
雲層での吸収	143.0	125.7	0.0	0.0
下層大気での吸収	0.0	0.0	0.0	0.0
地表面での吸収	0.0	17.3	17.3	143.0
地表面温度 (K)	345.1	708.5	735.3	1186.1

表 1: 計算に用いた条件。 は観測値にあわせたことを示す。地表面温度は平衡状態で得られた温度である。

放射平衡状態での温度分布を図 1 に示す。太陽光が雲層ですべて吸収される場合 (A1)、雲

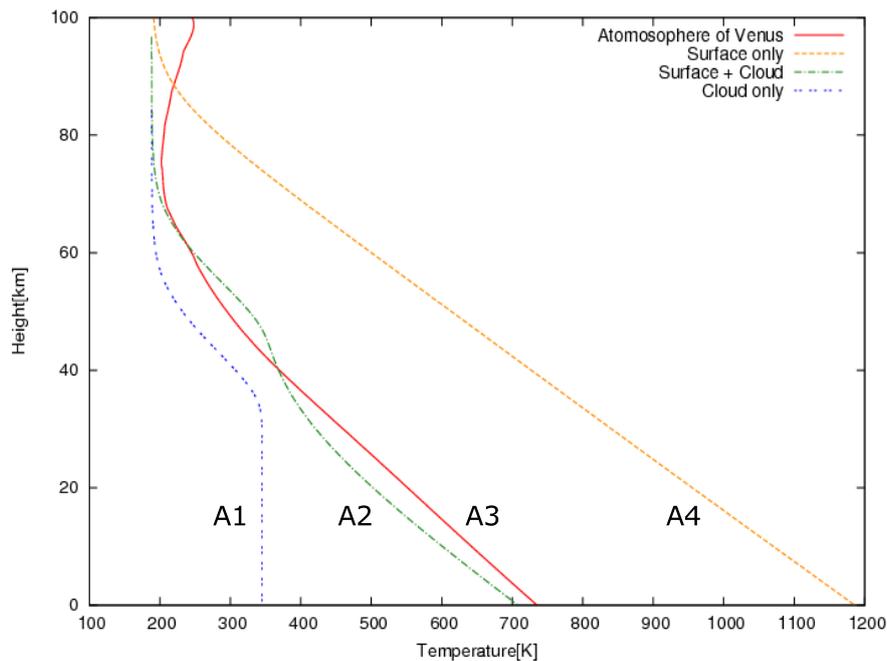


図 1: 太陽光吸収分布の違いによる温度分布の比較

層以下の温度分布は等温的になり、地表面温度は 345.1 K にしかない。一方、地表面に  $17.3 \text{ W/m}^2$  の太陽光が到達し、残りが雲層で吸収される場合 (A2)、地表面温度は 708.5 K となる。この結果は、地表面に到達する (わずかな) 太陽光が金星大気の温室効果に対して重要であることを示している。また、A2 と A3 の比較から、雲層以下の下層大気における太陽光吸収は下層大気に 30 K 程度の昇温をもたらしていることがわかった。入射する太陽光がすべて地表面で吸収される場合 (A4)、地表面温度は 1186.1 K となった。

### 3.2 雲の光学的厚さの効果

次に、赤外放射に対する雲の光学的厚さの効果調べた。雲の全光学的厚さは 0, 5, 10, 20 とし、太陽光吸収の分布には観測に基づいたものを用いた。放射平衡状態での温度分布を図 2 に示す。雲の赤外線吸収は雲層高度付近の大気を昇温させる効果があり、光学的厚

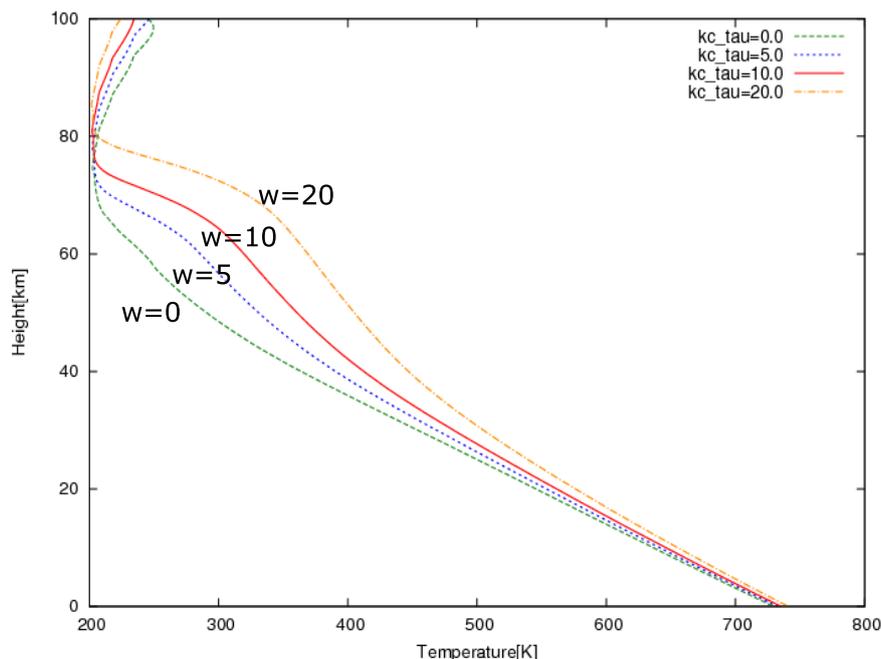


図 2: 雲の光学的厚さの効果

さ 10–20 で 100–150 K 程度である。しかしながら、その効果は雲層付近に限られ、雲層より下層の大気や地表面付近の温度にはあまり影響しないことがわかった。

## 4 まとめと今後

温室効果 (大気下端の気温) は太陽光吸収の高度分布によって強く影響されることが示された。太陽光の吸収量が同じときは、太陽光吸収高度が下にあるほど、大気下端の温度が高くなる。

雲の赤外線吸収は雲層付近の大気を昇温させるが、その効果は雲層付近に限られ、下層大気 (0–40 km) の温度分布にはあまり影響しない。

吸収係数は強い波数依存性を持つため、灰色大気の近似は正しくない。今後は、一本一本の吸収線情報から吸収係数分布を決定することにより、吸収係数の波数・圧力・温度依存性を考慮した正確な放射モデルを作成し、金星大気の温度構造や大気大循環を考察する予定である。