

# 金星雲層を想定した鉛直対流の数値計算

\* 杉山 耕一朗 (宇宙研), 川畑 拓也 (北大・理), 小高 正嗣 (北大・理),  
中島 健介 (九大・理), 石渡 正樹 (北大・理)

## 1. はじめに

金星の高度 45–70 km には厚い濃硫酸の雲層が存在している。雲層上端の 70 km 付近では、探査機の紫外線撮像によって、典型的には 100–200 km, 最小で数十 km のセル状の様子が観測されている。探査機のプローブやバルーンによる観測によって、雲層下部の高度 47–55 km は中立成層していること、その高度で 1–3 m/s の鉛直流が存在すること、が知られている。これらの観測的証拠から、雲層下部では対流運動が生じていると考えられている。

これまで、金星雲層の対流構造を調べる数値的研究が数例行われてきたが (Baker et al., 1998, 2000, Imamura et al., 2014), 彼らは水平鉛直 2 次元の対流モデルを用いていた。対流に伴う 3 次元的な流れの構造については調べられていない。そこで本研究では、金星雲層内における対流の 3 次元的な構造を明らかにすることを目指し、先行研究である Baker et al. (1998) の設定を与えた 3 次元モデル計算を行い、統計的平衡状態における流れ場と温度分布を調べる。

## 2. 計算設定

数値モデルとして、我々の開発してきた雲解像モデル (Sugiyama et al., 2009) を用いるが、凝結や化学反応は考慮しない。乱流拡散係数は Baker et al. (1998) の設定に従って、全領域で一定値 ( $K_m = 155 \text{ m}^2/\text{s}$ ) を与える。放射伝達は陽には計算しない。Baker et al. (1998) と同様に、観測された太陽放射加熱率を模した加熱を高度の関数として与え、さらに、この加熱量と釣り合うような一定の熱フラックスを上下境界に与える。

計算領域は水平方向に 120 km とする。鉛直領域は Baker et al. (1998) と同様に、雲層下部の高度 40 km から高度 60 km とする。解像度は水平方向と鉛直方向共に 150 m とする。初期に与える温度の鉛直分布は、Baker et al. (1998) の与えた静的安定度の鉛直分布に基づいて与えた。静的安定度の分布は、高度 47–55 km に中立層、その上下に安定層、を持つものとなっている。初期では大気は静止しており、対流運動を駆動するための種として中立層下部に最大振幅 3 K の温度擾乱を与える。

## 3. 結果

計算開始後 48 時間の結果を示す。この積分時間は Baker et al. (1998) の数値積分時間の約 2 倍に相当

し、運動エネルギーはほぼ定常状態に達している。

図 1 に鉛直速度と温度の水平平均からの偏差を示す。鉛直方向の流れ場は、狭くて強い下降流と広くて弱い上昇流によって特徴付けられる。下降流の速度は最大で 10 m/s 程度である; 計算領域全体で平均すると鉛直速度は 3 m/s 程度である。下降流は、上部境界で与えた熱フラックスによる冷却が乱流拡散によって中立層上端に及ぶことによって駆動される。これらの流れ場と温度分布の定性的特徴は Baker et al. (1998) の 2 次元計算の結果においても見られる。

中立層上端での鉛直速度と温度の水平平均からの偏差を図 2 に示す。対流セルのパターンは中心部に上昇域、セル境界に下降域を持つクロードセル型である。計算された対流セルの水平スケールはおおよそ 20 km であり、Baker et al. (1998) の 2 次元計算の結果 (15–30 km) と整合的である。本実験は雲層下部に計算領域を限定しているため、計算結果を雲層上部で観測されたセル状の様子の水平スケールと直接比較することは難しい。鉛直領域を拡大した数値実験を行うことは今後の課題である。

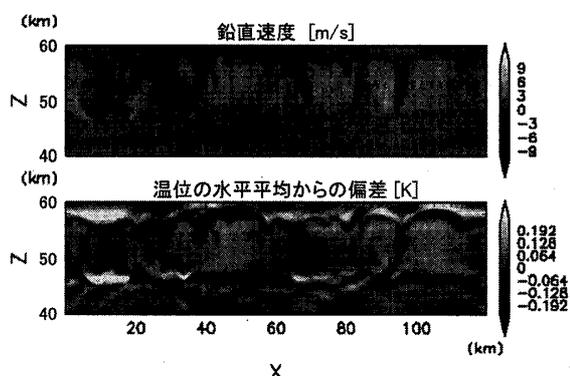


Figure 1: 鉛直速度と温度の水平平均からの偏差。

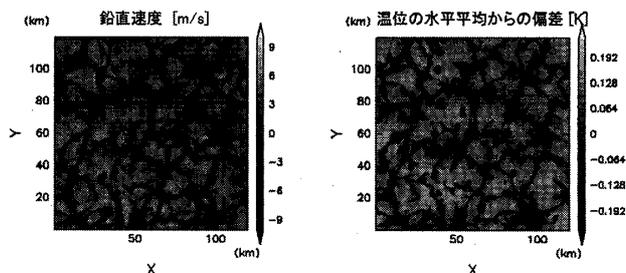


Figure 2: 雲層上部  $z = 55 \text{ km}$  における鉛直速度と温度の水平平均からの偏差。