

金星雲層内における対流の数値実験

川畑拓也、小高正嗣(北海道大学大学院理学院/理学研究院)、
杉山耕一郎(宇宙科学研究所)、石渡正樹(北海道大学大学院理学院/理学研究院)

1. はじめに

金星の高度 45 ~ 70 km には厚い濃硫酸の雲を含む層が水平方向に広がっている。Venus Express (以下、VEX) の紫外線撮像観測では、雲頂に水平スケール 20 km 程度のセル状の模様が確認されている。パイオニア・ヴィーナスのプローブ観測により金星の雲層領域の鉛直温度勾配が乾燥断熱減率に近いことが確認されていることから、上記のセル状の模様は対流によるものと考えられている。また、金星雲層内において $1\sim 3\text{ m s}^{-1}$ の鉛直流が観測されており、この結果も対流の存在を支持するものとなっている。

金星雲層における対流の数値実験は Baker et al. (1998) によって試みられている。彼らは 2 次元完全圧縮モデルを用いて金星雲層を想定した数値実験を行った。その数値実験は VEX 観測以前に行われたものであるが、数値実験によって得られた対流セルの水平スケールは VEX の観測と整合的なものとなっていた。しかしながら Baker et al. (1998) の計算における積分時間は 25 時間のみであり、計算終了時点において運動エネルギー密度は時間とともに増加する傾向にあった。したがって Baker et al. (1998) が示した結果は定常状態へと遷移する時点のものである可能性がある。より長い時

間経過の後、エネルギー的に定常に達した場合には、Baker et al. (1998) とは異なる対流構造が現れることも考えられる。本研究では、定常状態における対流構造を求めることを目指して、Baker et al. (1998) よりも長時間の金星雲層を想定した対流の数値計算を行った。

2. モデル

本研究で使用した数値モデルは地球流体電脳倶楽部で開発されている非静力学モデル `deepconv` (杉山ら、2011) である。`deepconv` では 2 次元準圧縮方程式系を採用している。サブグリッドスケールの乱流混合パラメタリゼーションは使わず、Baker et al. (1998) にならい係数一定の乱流拡散を用いた。放射伝達は陽には計算せず、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た。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。境界条件として、水平には周期境界条件を用い、上下境界において鉛直速度を 0 とした。計算領域は水平に 180 km、鉛直に 20 km とり、水平分解能 150 m、鉛直分解能 200 m とした。初期に与える温位分布は、Baker et al. (1998) が与えた静的安定度の分布に基づき高度の関数として与えた。静的安

定度の分布は、計算領域の内部に厚さ 7km の中立層、その上下に安定層を持つものとした。初期温位分布に最大振幅 3 K の温位擾乱を高度 10 km に与えて対流を励起させる。計算時間は Baker et al. (1998) の計算の約 6 倍の 161 時間である。その他計算に必要なパラメータは Baker et al. (1998) にて用いられている値を用いた。

3. 結果

長時間計算の結果、50 時間まで運動エネルギー密度の値は増加するが、その後はほぼ一定となった(図 1)。長時間積分で得られた対流セルの水平スケールは 20km 程度となり、Baker et al. (1998) と同様な結果となった(図 2)。この結果から、Baker et al. (1998) で示された対流の構造は、エネルギー密度がほぼ一定となる状態での構造と同じ特徴を示していることが確認された。更に、対流の速度分布に関しては、鉛直速度の平均的な値は約 4.5 m s^{-1} であり、中立層の中央の高度で最大となることがわかった。運動の構造に関しては、運動エネルギーのワースペクトル解析を行うことにより、対流スケール以外に、それよりも小さい空間スケールを持つ波数成分にもエネルギーピークが現れることがわかった(図 3)。このスケールはプリュームが対流層の上下に存在する安定層に貫入した際に生じる渦のスケールに対応するものと考えられる。

4. 結語

本研究では金星雲層における対流に関する長時間積分をおこなった。その結果、過去の研究で得られていたセル構造は長時間積分を継続しても得られることがわかった。しかしながら、ここで行った計算では、系内の熱エネルギーの総量が時間の経過とともに減少しており、熱に関しては定常状態を求めるまでには至っていない。この原因は移流計算の際に熱エネルギーの保存性が破れる問題があるためと考えられ、今後はこの問題を解決し定常状態を求める必要がある。

引用文献

- Baker, R. D., G. Schubert, P. W. Jones, 1998: Cloud-Level penetrative compressible convection in the Venus atmosphere. *J. Atmos. Sci.*, 55, 3-18
- 杉山耕一郎、小高正嗣、山下達也、中島健介、林祥介、deepconv 開発グループ、2011: 非静力学モデル deepconv, <http://www.gfd-dennou.org/library/deepconv/>, 地球流体電脳倶楽部

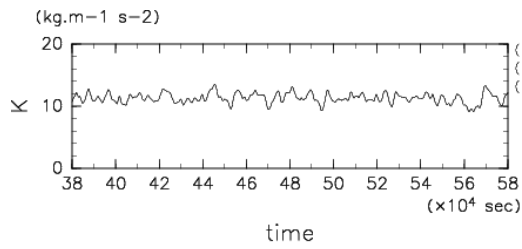


図 1：運動エネルギー密度 $[\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}]$ 時間変化。縦軸は運動エネルギー密度、横軸は時間である。50 時間から 77.7 時間までの結果を示す。

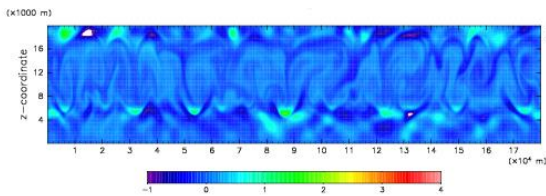


図 2：温位偏差 $[\text{K}]$ のスナップショット。74 時間における結果。

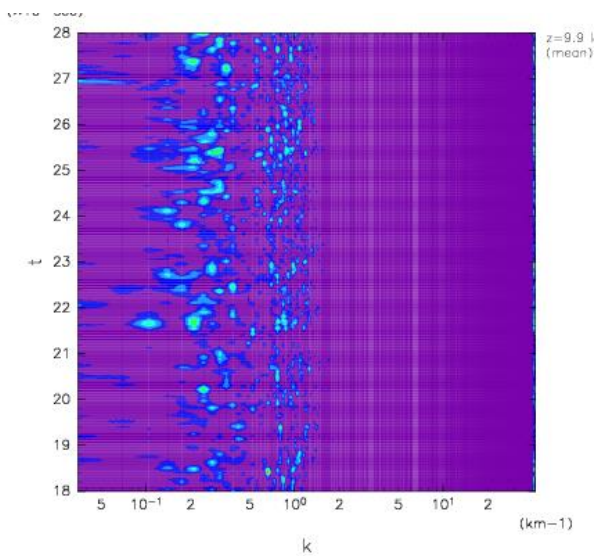


図 3：高度 10km における運動エネルギーのパワースペクトル密度 $[\text{Kg}^2 \text{m}^2 \text{s}^{-4}]$ の時間変化。縦軸は時間、横軸は波数。