

大気大循環モデルを用いた木星型惑星大気の数値実験

高橋 芳幸 [1]; 竹広 真一 [2]; 林 祥介 [3]

[1] 神戸大・理・地球惑星; [2] 京大・数理研; [3] 神戸大・理・地惑

Numerical experiments of Jovian-like atmosphere by use of a general circulation model

Yoshiyuki O. Takahashi[1]; Shin-ichi Takehiro[2]; Yoshi-Yuki Hayashi[3]

[1] Department of Earth and Planetary Sciences, Kobe Univ.; [2] Research Inst. Math. Sci., Kyoto Univ.; [3] Earth and Planetary Sciences, Kobe University

A circulation in a surface layer of Jovian atmosphere shows zonal band structure. About 30 zonal jets form and are maintained for a long time. A lot of studies were performed to reveal generation mechanisms of these zonal flows. Those studies can be classified into two categories. One of those is "deep model" and the other is "shallow model". In the studies based on "shallow model", studies with barotropic models and shallow water models on a sphere have been used to study the zonal structures because of limitation of computer resources. However, numerical experiments with three dimensional models have been performed in recent years (e.g., Schneider and Liu, 2009, hereafter referred to as SL09; Lian and Showman, 2010, hereafter referred to as LS10). In this study, numerical experiments of a Jovian-like atmosphere are performed on the basis of previous studies by use of an atmospheric general circulation model (GCM), which has been developed in our group.

The model used in this study is a planetary atmosphere GCM, dcpam (<http://www.gfd-dennou.org/library/dcpam/>), which has been developed by authors and their collaborators of GFD Dennou Club. The model is composed of dynamical core based on the primitive equation system and some physical processes, such as radiation, turbulent mixing, condensation processes, and so on. In this study, we use this GCM with simple physical processes. Radiation is represented as gray atmosphere in each of shortwave and longwave ranges, which is same as that used by SL09. The turbulent mixing is not considered in this study, but a dry convective adjustment is used. As for moist processes, large scale condensation is used. It is assumed that the raindrop instantaneously fall out of the lower boundary, and the cloud effects are not considered in the model.

By use of the model, an experiment of Jovian-like atmosphere is performed. Model vertical domain extends from 30 bars to 0.03 bars, and heat flux of 5.7 Wm^{-2} is imposed on lower boundary. In addition, at lower boundary, constant specific humidity of solar composition is imposed, and water vapor is transported into the model domain diffusively. No momentum forcing is imposed on both upper and lower boundaries. The horizontal resolutions used in the experiment are T21-T85, which are equivalent to about 1.4-5.6 degrees longitude-latitude grid, and number of vertical layers are 30. In order to perform long integration easily, the model is integrated with lower resolution models from radiative-(dry)convective equilibrium. First, model is integrated for 10000 days with the horizontal resolution of T21 from a radiative-(dry)convective equilibrium. Then the model is integrated for another 10000 days with T42 resolution from the final state of T21 experiment. Finally, the model is integrated for 10000 days with T85 resolution from the final state of T42 experiment.

The experimental result show zonal band structures. The zonal wind structure is almost barotropic. However, the zonal wind on the equator in our experiment is easterly of about 100 m/s, although those observed in the real Jovian atmosphere and shown by SL09 are westerly.

SL09 shows equatorial westerly in their experiments. However, their experiments are performed without moist processes. Therefore, we have performed another experiment by setting a specific humidity to be zero at lower boundary to examine the importance of moist processes. A result of the experiment show equatorial easterly. This indicates that the moist processes included in our model do not play essential roles to determine a direction of equatorial zonal wind. On the other hand, LS10 also shows equatorial westerly in their experiments. However, it is not easy to compare our results with those of LS10, because they use meridionally constant thermal forcing. We will perform further experiments, for example, with globally uniform insolation, to have insights into effects of thermal forcing.

木星の表層に見られる循環構造は縞状構造をしていることが知られている。約 30 本ほどの平均東西風が交互に形成されており、長期間維持されている。このような循環構造の成因については古くから研究が行われており、大きく分けて二つのモデルが提唱されている。一つは「深いモデル」であり、もう一つは「浅いモデル」である。「深いモデル」は、東西風の成因を惑星半径に対して無視できないほど厚い球殻内での対流に求めるものであり、「浅いモデル」は惑星半径に対して無視できるほど薄い表層の運動に求めるモデルである。「浅いモデル」の研究は、計算機能力の制限のため従来は球面上の順圧モデルや浅水系のモデルを用いて行われてきたが、近年は三次元モデルを用いた研究も行われるようになってきた (e.g., Schneider and Liu, 2009, 以後 SL09; Lian and Showman, 2010, 以後 LS10)。そこで本研究では、これらの専攻研究を参考にして、我々が開発している惑星大気大循環モデルを用いて木星型惑星を想定した実験を行い、系内の水の量や熱強制の与え方に対する平均東西風分布の依存性について何らかの示唆を得ることを目指す。

実験に用いた大気大循環モデルは、地球流体電脳倶楽部有志で構築を進めている惑星大気大循環モデル (dcpam; <http://www.gfd-dennou.org/library/dcpam/>) である。dcpam は、プリミティブ方程式 (静力学近似と薄い大気近似) に基づく力学過程に、放射過程、乱流混合過程、凝結過程といった物理過程を組み合わせたものである。今回の実験では、物理過程は以下のような単純なもののみを用いている。放射過程は、SL09 と同様の短波と長波それぞれで灰色の放射を仮定している。今回の計算では乱流混合は考慮しないが、乾燥対流調節は使用しており、超断熱の温度分布は中立に戻される。また、凝結過程としては

大規模凝結のみ用い、積雲対流パラメタリゼーションは使用しない。凝結した水は瞬時に落下し、下部境界から系外に出ていくと仮定している。

このようなモデルを用いて、木星大気を想定した実験を行った。鉛直計算領域は 30 bar から 0.03 bar まで取り、下部境界からは全球一様に 5.7 Wm^{-2} の熱フラックスを与えている。また、下部境界では比湿を固定し、拡散的に系内に入ってくると仮定する。仮定した下部境界の比湿は太陽組成値 ($6.3e-3$) である。下部境界、上部境界共に摩擦は与えない。実験に用いた解像度は、水平格子点間隔約 1.4-5.6 度 (T21-T85)、鉛直 30 層である。実験は、放射(乾燥)対流平衡の初期条件から、まず水平格子点間隔 5.6 度 (T21) の低解像度のモデルで 10000 日積分し、その最終状態を初期値として水平格子点間隔 2.8 度 (T42) の中解像度で 10000 日積分した。そしてその最終状態を初期値として水平格子点間隔 1.4 度 (T85) で 100000 日積分した。

実験結果は、縞状構造の平均東西風を示していた。これら東西風はほぼ鉛直に一様な構造をしている。しかし、実際の木星および SL09 の実験結果は赤道で西風となっているのに対して、本研究の結果は $\sim 100 \text{ m/s}$ の東風となっている。

SL09 では、乾燥大気の数値実験により赤道で西風となる結果を得ている。そこで、湿潤過程に対する感度を調べるために、乾燥大気の実験を行った。実験設定は、下部境界で与える比湿量をゼロにする以外は最初の実験と同じである。その実験の結果は、赤道で東風を示していた。したがって、今回考慮した湿潤過程そのものが赤道の東西風の向きを決める本質的な要因ではないと考えられる。LS10 の結果でも赤道で西風となっているが、彼らの計算では南北一様な熱強制を与えており、今回の実験と直接的に比較することはできない。LS10 の結果との比較によって結果を吟味するためにも熱強制分布を変えた実験などを行う予定である。