

ハドレー循環の惑星半径依存性: 大気大循環モデルを用いた数値実験

高橋 芳幸 [1]; 林 祥介 [2]; 石渡 正樹 [3]; 中島 健介 [4]; 森川 靖大 [5]; 小高 正嗣 [3]

[1] 神戸大・理・地球惑星; [2] 神戸大・理・地惑; [3] 北大・理・宇宙; [4] 九大・理・地惑; [5] 情報通信研究機構

Dependence of planetary radius on Hadley circulation: Numerical experiments with an atmospheric general circulation model

Yoshiyuki O. Takahashi[1]; Yoshi-Yuki Hayashi[2]; Masaki Ishiwatari[3]; Kensuke Nakajima[4]; Yasuhiro Morikawa[5]; Masatsugu Odaka[3]

[1] Department of Earth and Planetary Sciences, Kobe Univ.; [2] Earth and Planetary Sciences, Kobe University; [3] CosmoSciences, Hokkaido University; [4] Earth and Planetary Sciences, Kyushu University; [5] NICT

The circulation structures of atmospheres of the terrestrial planets in the solar system are very different. We have focused on the Earth and Mars, and have been performed numerical experiments of atmospheric general circulation of these planets by using a general circulation model (GCM) to obtain clues to important processes characterizing the general circulations of these planetary atmospheres. Now, we perform GCM experiments by changing planetary radius by focusing on the effects of difference in planetary radius on Hadley circulation.

The model used in this study is an atmospheric GCM dcpam (<http://www.gfd-dennou.org/library/dcpam/>) that has been developed in our group. This model is a spectral model based on the primitive equation system, and incorporates radiation, turbulent mixing, a cumulus convection parameterization, a simple land model, and a bucket model. By using this model, numerical experiments have been performed with three values of planetary radius, the Earth's value, the Mars' value, and 1/4 of the Earth's value. In these experiments, the planet does not have the ocean and the planetary surface is land without topography. The values of the planetary rotation rate, the solar declination angle, the gravitational acceleration, and the atmospheric constituents in the experiments are the same as these of the Earth and the Earth's atmosphere, respectively. Under these conditions, the model is integrated for 20 Earth years from an initial condition of isothermal atmosphere at rest with the resolution of T42L16 that is equivalent to about 2.8 degree longitude-latitude grid and includes 16 vertical layers. The result during last 10 years is analyzed.

The results of three experiments show that the latitudinal width of Hadley circulation measured in degree at northern summer increases by decreasing planetary radius. At the same time, the zonal mean temperature difference between the equator and the summer pole decreases by decreasing planetary radius. As a result, the zonal mean temperature distribution in summer hemisphere in the case with small planetary radius is more uniform than that in the case with large planetary radius. The small zonal mean temperature difference between the equator and the summer pole obtained in the case with small planetary radius qualitatively resembles that on Mars.

A dependence of latitudinal width of Hadley circulation on planetary radius may be qualitatively interpreted by considering the fact that the ratio of the deformation radius to planetary size increases by decreasing the planetary radius. However, the latitudinal width of Hadley circulation does not change so large compared to the change of ratio of the deformation radius to planetary size, which changes factor of about 4 with the assumption of the same stability in all cases. The surface temperature distribution which would be strongly constrained by radiation on the land planet and wave activity may play important roles to determine the structure of Hadley circulation.

The additional experiments of planets which have the ocean on the surface are ongoing. The results of the experiments and the effects of moist processes on dependence of Hadley circulation on planetary radius will be presented.

太陽系内の地球型惑星の大気の大循環構造は大きく異なる。我々は、これら地球型惑星のうち地球と火星に注目し、それらの大気の大循環を特徴づける重要な過程の手掛かりを得ることを目指して、これまでに大気大循環モデル (general circulation model, GCM) を用いて数値実験を行ってきた。現在は、惑星半径の違いのハドレー循環に対する影響に焦点を当て、惑星半径を変えた GCM 実験を行っている。

用いたモデルは、我々が構築を進めている GCM である dcpam (<http://www.gfd-dennou.org/library/dcpam/>) である。このモデルは、プリミティブ方程式系に基づくスペクトルモデルであり、放射過程、乱流混合、積雲対流パラメタリゼーション、簡単な地面モデルとバケツモデルを含んでいる。このモデルを用いて、3つの惑星半径の値を与えて数値実験を行った。与えた惑星半径の値は、地球の半径、火星の半径、そして地球の半径の1/4である。これらの3つの実験では、惑星には海がなく、惑星表面は陸であり地形の起伏はないとした。また、惑星自転速度、赤道傾斜角、重力加速度、大気組成は、地球の値とした。計算に用いた解像度は T42L16 (水平格子点間隔約 2.8 度、鉛直 16 層) であり、等温静止の初期条件から 20 地球年間計算した。計算結果のうち、後半の 10 年の結果を解析に用いた。

3つの実験の結果、惑星半径が小さくなるほど、北半球の夏における、緯度で測ったハドレー循環の幅は大きくなること示された。同時に、赤道と夏極の東西平均温度の差は、惑星半径が小さくなるに従って小さくなる。結果として、夏半球の東西平均温度分布は水平方向に一樣に近くなっていた。赤道と夏極の東西平均温度差の小さな分布は、定性的には火星に似ている。

ハドレー循環の緯度幅の惑星半径に対する依存性は、惑星半径を小さくした場合に、惑星半径に対する変形半径の比が大きくなることを考えることで、定性的には解釈できる可能性がある。しかし、すべての場合で安定度があまり変わらない

と考えた場合に、惑星半径に対する変形半径の比が約 4 倍変化することに比べると、計算から得られたハドレー循環の緯度幅はあまり大きく変わっていない。ハドレー循環の緯度幅の決定においては、放射過程によって強い制約を受けていると考えられる惑星表面温度の分布や、大気波動の活動が重要な役割を果たしている可能性がある。

これらの可能性を調べるため、現在、惑星表面に海のある場合の追加実験を行っている。それらの実験の結果と、ハドレー循環の惑星半径依存性における湿潤過程の影響についても議論する予定である。