

大気大循環モデルを用いた陸と海のある惑星の大気大循環計算

高橋 芳幸 [1]; 林 祥介 [1]; 石渡 正樹 [2]; 森川 靖大 [3]
[1] 神戸大・理・地球惑星; [2] 北大・理・宇宙理学; [3] 情報通信研究機構

Numerical simulations of atmospheric general circulations of planets with land and the ocean

Yoshiyuki O. Takahashi[1]; Yoshi-Yuki Hayashi[1]; Masaki Ishiwatari[2]; Yasuhiro MORIKAWA[3]

[1] Department of Earth and Planetary Sciences, Kobe Univ.; [2] Department of Cosmo sciences, Hokkaido Univ.; [3] NICT

The near surface environment and the circulation structures of the terrestrial planets in the solar system are very different. In this study, in order to obtain clues to important processes characterizing the general circulations of the atmospheres of the Earth and the Mars, numerical simulations of atmospheric general circulations of planets with land and the ocean, and without the ocean are performed.

The model used in this study is an atmospheric general circulation model 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 parameterizations for turbulence and cumulus convection that cannot be resolved in the model explicitly. In this study, a simple land model and a bucket model are incorporated to simulate the atmospheric circulation of planets with land and the ocean. By using this model, numerical simulations have been performed under the three conditions: (I) a planet with land and the ocean whose radius is Earth's value, (II) the same as (I) but only with dry land (land planet), and (III) a dry land planet whose radius is Mars' value. In these three simulations, the values of the planetary rotation rate, the solar declination angle, the gravitational acceleration, and the atmospheric constituents 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 because the model atmosphere spins up within first several years.

The results of simulation (I), a planet with land and the ocean, show a meridional circulation whose characteristics are similar to those of the Earth's atmosphere. During the spring and autumn, the meridional circulation shows the two cell pattern and the over-all structure is equatorially symmetric. During the summer and winter, the circulation is equatorially asymmetric and the cell in the winter hemisphere, which appears as a cross equatorial cell, is stronger than that in the summer hemisphere. In this case, the cross-equatorial cell extends from 10 degree latitude in the summer hemisphere to 20 degree latitude in the winter hemisphere. In addition, the circulation cells extend vertically in this condition. The results of simulation (II), a planet only with dry land, show that the cross equatorial cell extends to 20 degree latitude in the summer hemisphere during the summer and winter. Further, one of the important characteristics of the circulation is that the cell does not extend vertically, but the mean upward flow inclines equatorward. Similar structure can be observed in the Martian atmosphere. The results of simulation (III), a dry land planet whose radius is Mars' value, show that the cross equatorial cell extends from 25 degree latitude in the summer hemisphere to 30-40 degree latitude in winter hemisphere during summer and winter. The structure of meridional circulation become close to that in the Martian atmosphere by decreasing the planetary radius. The formation of such a meridional circulation with large latitudinal extent would be qualitatively consistent with the fact that the ratio of the deformation radius to planetary size increases by decreasing the planetary radius. Further analyses and the additional simulations will be performed to examine the role of moist processes and effect of atmospheric mass and composition on the circulation structure.

太陽系内の地球型惑星, 地球, 火星, 金星, の表層環境と循環構造は大きく異なる. 例えば, 地球の対流圏の東西平均東西風は, 南北半球の中緯度に西風, 低緯度に東風もしくは弱い西風となっている. 火星は, 夏や冬には冬半球では西風, 夏半球では東風といった, 非常に大きな南北非対称性を示す. さらに, 金星においては, 「スーパーローテーション」として知られる自転方向の高速風が, すべての緯度で卓越している. 我々は, 様々な惑星の大気循環と表層環境の相違を統一的に理解することを目指して, 大気大循環モデルの構築とそれを用いた数値計算を行っている. 今回は, 火星と地球の大気循環を特徴付けている過程の手掛かりを得ることを目指して, 海と陸のある惑星と海のない惑星の大気循環の計算を実施した.

用いたモデルは, 我々が構築を進めている大気大循環モデル 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, モデルの格子点間隔では陽に表現できない乱流や積雲過程を取り入れるためのパラメタリゼーションや簡単な放射過程を含んでいる. また, このモデルでは海を想定して惑星表面温度 (海表面温度) を与えて計算することも, 惑星表面に任意の比熱を持つ層を考え, その層の熱収支から惑星表面温度の時間発展を計算することも可能である. 本研究ではまず, 海と陸のある惑星を計算するために, 簡単な地面モデルとバケツモデルを導入した. 地面モデルでは地表面における熱収支の式と地下の土壌中の熱伝導方程式を数値的に解くことで, 地表面温度を計算する. また, バケツモデルの導入により, 陸地における水循環の計算が可能になった. このモデルを用いて, 次の3つの条件で計算を行った: (I) 地球の半径を持った海と陸のある惑星, (II) 地球の半径を持った乾燥した陸しかない惑星, (III) 火星の半径を持った乾燥した陸しかない惑星. これらすべての計算において, 地球の自転角速度, 赤道傾斜角, 重力加速度, 大気組成の値を用いた. 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. モデル大気は数年ほどでスピニアップするため, 後半の 10 年の結果を解析した.

(I) 海と陸のある惑星の計算では、地球と同様の特徴をもった子午面循環が得られた。春や秋には2セルの循環が形成され、全体として赤道に対してほぼ対称な構造となる。夏や冬には赤道非対称な循環が形成され、赤道を横切る形で形成される冬側の循環は夏半球側のそれよりも強い。このとき、赤道を横切る循環は夏半球の緯度10度から冬半球の緯度20度までの幅を持つ。またこのとき、それぞれの循環セルは鉛直方向にまっすぐに伸びた構造をしている。(II) 乾燥した陸しかない惑星の計算から得られた子午面循環は、海がある場合よりも大きな南北非対称性を示す。夏や冬の赤道を横切る循環は、夏半球側が緯度20度付近まで拡大する。一方で、循環セルが達する高さは海がある場合に比べて低い。また、この場合の循環構造の大きな特徴の一つは、セルの上昇流側が鉛直方向にまっすぐ伸びておらず、赤道側に傾いていることである。このような上昇流側が傾いた循環構造は、火星大気の子午面循環にも見られ、乾燥した惑星大気の特徴であることが示唆される。次に、(III) 火星の半径を持った乾燥した陸しかない惑星の計算では、夏や冬の子午面循環は、地球半径の場合よりもさらに赤道非対称性が大きい。夏や冬には、赤道を横切る循環は夏半球の緯度25°から冬半球の緯度30°に達し、火星の循環構造にさらに近付いている。このような緯度幅の広い子午面循環が形成されることは、定性的には惑星半径が小さくなったために相対的に変形半径が大きくなったことと整合的である。今後、さらなる解析や追加計算を行うことで、循環構造に対する湿潤過程の役割や大気質量・組成の影響を調べる予定である。