

火星大気子午面循環の季節変化

高橋 芳幸 [1]; 林 祥介 [2]; 小高 正嗣 [2]
[1] 神戸大・理; [2] 北大・理・宇宙理学

Seasonal variation of meridional circulation in the Martian atmosphere

Yoshiyuki O. Takahashi[1]; Yoshi-Yuki Hayashi[2]; Masatsugu Odaka[2]

[1] Dept. of Earth & Planetary Sciences, Kobe Univ.; [2] Department of CosmoSciences, Hokkaido Univ.

The meridional circulation in the Martian atmosphere has been investigated in various ways by using Mars general circulation models (GCM). For example, Zurek et al. (1992), Haberle et al. (1993), and Forget et al. (1999) showed the structures of zonal mean circulation, its thermal and momentum balances at each seasonal period. On the other hand, Takahashi et al. (2003) investigated the meridional circulation at equinoxes in detail, and concluded that the meridional circulation at equinoxes is asymmetric with respect to the equator because of the north-south elevation difference in Martian topography. However, the previous studies focused on the time-mean structure of meridional circulation at each seasonal period only. In this study, we focus our attention on the seasonal transition of meridional circulation, and investigate its characteristics by using Mars GCM.

The model used in this study consists of the dynamical core of AFES (Atmospheric GCM for the Earth Simulator), which is based on the CCSR/NIES AGCM 5.4.02, and the physical processes introduced from the Mars GCM which has been developed by our group so far. As for the physical processes, the radiative, the turbulent mixing, and the surface process are introduced from our Mars GCM. By the use of this GCM, we performed a simulation with a resolution of T39L48, which is equivalent to about 180 km grid and has 48 vertical layers. In this study, we assume a temporarily fixed dust distribution. The dust distribution is horizontally uniform and its vertical profile follows from Conrath (1975). The dust amount is that for a typical dust condition, in which the visible dust optical depth is 0.2.

As has been reported by previous studies, cross-equatorial one-cell circulation forms at solstices, while two-cell circulation forms at equinoxes. However, the circulation structures near the surface at exact equinoxes are asymmetric with respect to the equator, and the upward flow of circulation located at about 10-20S. The equatorial asymmetric circulations at equinoxes are qualitatively similar to that reported by Takahashi et al. (2003) for dust free condition.

The seasonal transition of meridional circulation shows that the summer/winter-type cross-equatorial one-cell circulation dominates over a Martian year, and the spring/fall-type two-cell circulation appears only during short periods around equinoxes. The characteristics can be observed in the seasonal transition of meridional circulation in the Earth's atmosphere (e.g., Oort and Rasmusson, 1970).

Here, the transition of meridional circulation from northern winter to summer is examined in detail. It is found that the meridional circulation above about 15 km altitude changes at different time of the year from that below the altitude. During winter, a cross-equatorial one-cell circulation forms. In the spring, two-cell circulation forms below about 15 km altitude firstly. The change below about 15 km altitude is followed by the circulation change above about 15 km altitude, and two-cell circulation establish in all altitude regions. From northern spring equinox to summer, the circulation above about 15 km altitude changes in advance of that below that altitude, unlike the case from winter to spring. The basic features of circulation change from northern summer to winter are qualitatively similar to that described above.

The difference in timing of transition between below and above about 15 km altitude would be caused by the difference in major driving mechanisms of meridional circulation in those altitude regions. The meridional circulation near the surface is caused by the local convective heating, while that in high altitude would be mainly caused by wave-mean flow interaction.

火星大気の子午面循環については、これまでに大気大循環モデル (General Circulation Model; GCM) を用いて様々に研究が行われてきた。例えば、Zurek et al. (1992), Haberle et al. (1993), Forget et al. (1999) は各季節における子午面循環の構造や熱・運動量収支を示している。また、Takahashi et al. (2003) は春分、秋分における子午面循環について詳しく調べ、火星地形の南北半球の高低差が原因となってその時期の子午面循環が南北非対称となることを示している。しかし、これまでの研究では、主に各季節における平均的な子午面循環が調べられたのみであり、各季節間の変化についてはほとんど調べられていない。ここでは、子午面循環の季節間の変化に注目し、GCM を用いた計算によってその特徴を調べることにする。

本研究で用いたモデルは、地球大気大循環モデル AFES (Atmospheric GCM for the Earth Simulator) の力学過程に、我々がこれまでに開発してきた火星大気大循環モデルの物理過程を導入したものである。AFES は東京大学気候システム研究センターと国立環境研究所で開発された大気大循環モデル AGCM 5.4.02 を基に最適化されたモデルである。物理過程としては、放射過程、乱流過程、地表面過程を導入した。この GCM を用いて、T39L48 (水平格子間隔約 180 km, 鉛直総数 48) の解像度で計算を行った。本研究で行った計算では、大気中のダストの分布は時間的に一定とし、水平方向には一様で、鉛直方向には Conrath (1975) の分布を与えた。可視光におけるダストの光学的厚さは 0.2 とした。

計算された各季節における平均的な子午面循環は、既に知られていたように、夏や冬の時期には赤道を横切る 1 セルの循環が卓越し、春や秋の時期には 2 セルの循環が形成される。ただし、正確な春分や秋分における高度 15 km 以下の循環構造は赤道非対称で、南北半球の循環の境界はおおよそ南緯 10-20 度付近に位置する。春分と秋分における赤道非対称循環の原因は、Takahashi et al. (2003) がダストがない条件において示したのと同様に、南北半球間の高低差であると考えられる。

子午面循環の季節間の変化に注目すると、1 年の大半の期間で夏、冬型の赤道を横切る 1 セルの循環が卓越しており、春、

秋型の2セルの循環は夏(冬)型から冬(夏)型の循環に変化する過程のごく短い期間にしか表れない。このような特徴は地球における子午面循環にも見られ(例えば Oort and Rasmusson, 1970), ハドレー循環の構造が熱源の緯度に対して非常に敏感であること(Lindzen and Hou, 1980)に起因していると考えられる。

北半球の冬から夏への子午面循環の変化を詳しく調べると、高度約 15 km を境にして変化のタイミングが異なることがわかった。冬の時期には、1セルの循環が形成されている。春が近付くと、まず高度約 15 km 以下の低高度において2セルの循環となり、次いで高度約 15 km 以上における循環が変化し、全高度領域で2セルの循環となる。春分から夏にかけては、冬型の循環から春型の循環への変化とは逆に高度約 15 km 以上における循環が先に変化し、最終的に夏型の1セルの循環が形成される。この子午面循環の遷移の様子は、北半球の夏から冬の場合にもほぼ同様である。

高度 15 km 付近を境にして循環の季節間の変化に時間的な差が生じるのは、それぞれの高度で循環の駆動機構が異なるためであろうと考えられる。地表面付近の循環は局所的な対流に伴う加熱によって駆動されるのに対し、高高度の循環は大気波動と平均流との相互作用によって駆動されることが考えられる。本講演では、子午面循環を駆動している波動平均流相互作用の効果について言及するとともに、循環の季節間の変化に対する大気中のダスト量の影響についても述べる予定である。