

火星大気大循環モデルで用いる CO₂ 15 μ m 帯放射モデルの再構築と循環への影響

高橋 芳幸 [1]; 光田 千紘 [1]; 小高 正嗣 [2]; 林 祥介 [1]
[1] 北大・理・地球惑星; [2] 北大・理・宇宙理学

Reconstruction of CO₂ 15 micron band radiation model used in Mars General Circulation Model and impact of it on circulation

Yoshiyuki O. Takahashi[1]; Chihiro Mitsuda[1]; Masatsugu Odaka[2]; Yoshi-Yuki Hayashi[1]
[1] Earth and Planetary Sci., Hokkaido Univ.; [2] Department of CosmoSciences, Hokkaido Univ.

We have been investigating circulation structures in the Martian atmosphere by developing a Mars General Circulation Model (GCM). Because of the appearance of a large amount of observational data provided by recent spacecraft missions to Mars, it has become possible to validate Mars GCMs into more details than before. Our Mars GCM is also now being verified by observational data; it largely reproduces major characteristics of circulation structures in the Martian atmosphere, however, there are non-negligible differences between our GCM simulations and observations. One of such differences is that the temperature at 1.5 m height at the Mars Pathfinder (MPF) landing site in our GCM is lower than observed one by about 10 K. On top of those comparisons with observational data, the international intercomparison project of Mars GCMs performed from the end of the last year to early this year revealed that atmospheric temperature below about 10-20 km predicted by our GCM is lower than those by other GCMs. Since the performance of radiation model of our GCM had not been checked enough for those problems, the causes of those differences could not be identified either in the radiation process or in the dynamics and the turbulent mixing processes of our GCM. In this study, we reconstruct a radiation model of our Mars GCM with focusing our attention on CO₂ 15 micron band, and examine its impact on the circulation fields.

In the reconstructed radiation model, we neglect the effect of scattering, and calculate transmittance by using the correlated k-distribution method. We construct a line-by-line (LBL) model that is used to calculate high resolution absorption coefficient and provide reference solutions for verification of the reconstructed radiation model for GCM. The radiation model for GCM is constructed by the use of correlated k-distribution method with those high resolution absorption coefficients. The accuracy of the radiation model for GCM is validated by comparing the results with those by the LBL model.

The impact of the reconstructed radiation model on circulation field is examined by implementing it in our Mars GCM. The Mars GCM used in this study was developed by combining the dynamical core of the AFES (Atmospheric GCM for the Earth Simulator; Ohfuchi et al., 2004) and the physical routines of the Mars GCM that had been developed in our group (Takahashi et al., 2003, 2006). The AFES is a GCM that is based on the CCSR/NIES AGCM ver. 5.4.02 and has been optimized to the Earth Simulator.

Two experiments are performed with a resolution of T39L48 (3 degrees horizontal grid, and 48 vertical layers) and two dust conditions: 1) an uniformly distributed low dust condition, 2) a dust condition similar to MPF observational period. The impacts of reconstruction of the radiation model are examined by comparing zonal mean fields for the experiment (1), and near surface temperature profiles at the MPF landing site for the experiment (2), respectively. The result of the experiment (1) shows that the zonal mean temperature of the GCM with the reconstructed radiation model differs from that from the GCM with the old radiation model by about 1-3 K below about 30-40 km. However, the large-scale distribution patterns of temperature and zonal wind are not different largely. The result of the experiment (2) shows that near surface temperature at the MPF landing site from the GCM with the reconstructed radiation model is almost the same as that from the GCM with the old radiation model, and both are lower than observed one.

These results may support our suspicion that we need to reconsider the turbulent heat and momentum mixing processes in the Martian atmosphere, where the dry convection is dominant. To date, inaccuracy and uncertainty of the evaluations of these amounts in the Martian atmosphere have not been well examined. It is necessary to reconsider these processes.

我々のグループでは、火星大気大循環モデル (General Circulation Model; GCM) を構築し、それを用いた数値実験により火星大気の循環構造を調べることを行ってきた。近年、様々な火星探査計画によって大量の観測データが提供されるようになり、これまでよりも詳細に火星 GCM を検証することができるようになってきている。我々の火星 GCM についても観測との比較を現在行いつつあり、我々の計算は観測で知られる火星大気の特徴的な循環構造を大まかには再現しているが、計算結果には無視できない差異もあることがわかってきた。その一つとして、Mars Pathfinder (MPF) 着陸地点における、地表 1.5 m の日中の温度が、観測結果に比べて 10 K 程度低いことがある。一方、昨年末から今年初旬に行われた、火星 GCM の国際相互比較の結果、我々のグループのモデルから得られる温度が、高度約 10-20 km 以下において他のモデルから得られる温度よりも低いことが示されていた。これらの問題に対して、これまで我々は放射モデルの精度の検討を十分に行ってこなかったため、その原因が放射モデルの精度不足なのか、それとも、力学過程や乱流過程モデルの不十分さにあるのか、特定できずにいた。以下では、CO₂ 15 μ m 帯の放射過程に着目し、放射モデルを再構築し、計算結果への影響を調べた結果を報告する。

再構築する GCM 用放射モデルでは散乱を無視し、透過率の評価には相関 k 分布法を用いた。まず、GCM 用放射モデルの参照解を提供し、高分解能吸収係数を計算する line-by-line (LBL) モデルを構築した。この高分解能吸収係数を用いて相関 k 分布法に基づく GCM 用放射モデルを構築した。構築した GCM 用放射モデルの精度は、LBL モデルと比較すること

で検証した。LBL モデルを用いた吸収係数の計算は、火星 GCM で扱う高度範囲と火星において想定される温度範囲を考慮し、 1.53×10^{-5} - 50 hPa 間の気圧 151 点、100-300 K 間の温度 11 点において行った。このようにして計算された 151×11 種類の気圧、温度条件のそれぞれについて、吸収係数の波数分布から積算確率分布を求めた。積算確率に関する数値積分の求積点数は、火星の特徴的な温度プロファイルにおいてフラックスと加熱率の誤差があまり大きくなるように決定した。

再構築した放射モデルを火星 GCM に実装して数値実験を行い、放射モデルの変更に伴う循環への影響を調べた。用いたモデルは、AFES (Atmospheric GCM for the Earth Simulator; Ohfuchi et al., 2004) 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 (Takahashi et al., 2003, 2006) の物理過程を導入したものである。AFES は CCSR/NIES AGCM ver. 5.4.02 を基に、地球シミュレータ向けに最適化されたモデルである。我々の火星大気大循環モデルから導入した物理過程は、放射過程、乱流過程、地表面過程、CO₂ の凝結/昇華過程である。解像度は T39L48 (水平格子間隔約 3 度、鉛直 48 層) とし、1) 典型的な量のダストが一様に分布している場合、2) MPF の観測期間に対応したダスト条件の場合、の 2 つの条件で実験を行った。実験 (1) では東西平均構造を比較し、実験 (2) では地表面付近の温度の日変化を比較することにより、放射モデルの再構築の影響を調べた。実験 (1) の結果では、高度約 30-40 km 以下では、温度がほぼ一様に約 1-3 K 程度変化したものの、惑星規模の温度分布や東西風分布にはあまり違いは見られなかった。実験 (2) の結果では、再構築された放射モデルを用いた場合の温度は、これまでの放射過程を用いた場合の温度とあまり変わらず、日中の温度は観測よりも低くなった。

我々は、乾燥対流が支配する火星大気においては乱流による熱と運動量の輸送の再検討が必要になる可能性があると考えてきたが、今回の結果は、この想像を裏付けるものとなっている。これまで、地表面からの乱流フラックスや乱流混合の評価における不正確性・不確定性に関する考察はあまりなされておらず、今後これらの再検討を行う必要がある。