

惑星大気計算のための大循環モデルならびに雲解像モデルの構築

高橋 芳幸 [1]; 杉山 耕一朗 [2]; 小高 正嗣 [3]; 石渡 正樹 [3]; 佐々木 洋平 [4]; 西澤 誠也 [5]; 中島 健介 [6]; 竹広 真一 [7];
林 祥介 [8]

[1] 神戸大・理・地球惑星; [2] 北大・低温研; [3] 北大・理・宇宙; [4] 京大・数学; [5] 神戸大・C P S; [6] 九大・理・地惑;
[7] 京大・数理研; [8] 神戸大・理・地惑

Development of a set of general circulation model and cloud resolving model for planetary atmospheres

Yoshiyuki O. Takahashi[1]; Ko-ichiro Sugiyama[2]; Masatsugu Odaka[3]; Masaki Ishiwatari[3]; Youhei Sasaki[4]; Seiya Nishizawa[5]; Kensuke Nakajima[6]; Shin-ichi Takehiro[7]; Yoshi-Yuki Hayashi[8]

[1] Department of Earth and Planetary Sciences, Kobe Univ.; [2] ILTS, Hokkaido Univ.; [3] CosmoSciences, Hokkaido University; [4] Dept. Mathematics, Kyoto Univ.; [5] CPS, Kobe Univ.; [6] Earth and Planetary Sciences, Kyushu University; [7] Research Inst. Math. Sci., Kyoto Univ.; [8] Earth and Planetary Sciences, Kobe University

In order to investigate various atmospheric circulation whose horizontal scale ranges from that of individual convection to planetary scale, a planetary atmosphere general circulation model, dcpam, and a cloud resolving model, deepconv, have been developed. In a planetary atmosphere, many kinds of atmospheric circulation and disturbances which have various horizontal scales are generated and evolve with interacting each other. General circulation of planetary atmosphere is maintained as a result of such interaction. However, it is difficult to perform model simulations which can represent all of such circulation and disturbances by the use of current computer power. On the study on the Earth's atmosphere, the nature of individual atmospheric circulation or disturbance is known to some extent, and model simulations of each circulation component or disturbance are performed with an implicit assumption about the interaction of circulation or disturbances. However, on the study on a planetary atmosphere, even the nature of individual atmospheric disturbances is not well understood and we cannot assume anything about effects of interaction accurately, since enough data have not been obtained for planetary atmospheres. Therefore, one of promising methods to understand circulation and disturbances in planetary atmospheres is to perform experiments with a general circulation model as well as cloud resolving model, and to analyze and discuss based on the intercomparison of results of those models.

On the one hand, toward the understanding of physical mechanisms of atmospheric circulation and disturbances, calculations with one- and two-dimensional models as well as three-dimensional model are valuable. At the same time, a lot of parameter experiments with changing several important parameters used in a model may also provide important insights into the understanding of the phenomena. In performing a lot of parameter experiments, one- and two-dimensional calculations are useful compared to the costly three-dimensional calculations. Therefore, the development of models which can be used to perform one- and two-dimensional calculations with the settings same as three-dimensional ones are important.

In the followings, the status and the recent updates of a planetary atmosphere general circulation model, dcpam, and a cloud resolving model, deepconv, are described. Up to now, by the use of dcpam, aqua-planet experiments and experiments of synchronously rotating planets that were one type of plausible exoplanets were performed by using simple physical processes. As a next step, models for realistic radiation processes for the Earth's and Martian atmospheres have recently been implemented and land processes has been updated to perform realistic simulations of the Earth's and Martian atmospheres. In addition, Newtonian cooling and Rayleigh friction for Venus atmosphere have been implemented following Yamamoto and Takahashi (2003). Further, this general circulation model has been designed to be used for vertical one-dimensional calculation and axisymmetric two-dimensional calculation. Therefore, calculations for the Earth's, Martian, and Venus atmospheres can be performed in the one-, two-, and three-dimensional configurations by the use of dcpam.

By the use of the cloud resolving model, the two-dimensional experiments for the Earth's, Martian, and Jupiter atmospheres were performed so far. As a next step, the model has been updated to three-dimensional configuration. In addition, the model code has been reconstructed significantly, since the previous ad hoc coding makes the model complicated. As a result, the code of cloud resolving model has structure and code style similar to dcpam.

By using the updated two models, we will perform numerical experiments for the same targets, such as small scale vortices in the Martian atmosphere, which have been examined in our group so far.

太陽系内惑星や、考えられる太陽系外惑星の大気循環に関して、雲対流スケールから惑星スケールまで様々なスケールでの数値計算を実行することを目指して、惑星大気大循環モデル, dcpam, と雲解像モデル, deepconv, の構築を進めている。惑星大気中では、個々の対流から惑星規模循環までの様々な空間スケールの大気擾乱・循環が生成され、それらが相互に影響を及ぼしつつ時間発展する。そしてそれら相互作用の結果として、惑星大気循環は維持される。現在の計算機能力では、これら幅広い空間スケールに渡るすべての現象を同時に表現することのできるモデル計算は難しい。地球大気においては、それぞれの気象擾乱・循環の性質に関する情報がある程度観測により得られており、これらの情報に基づき擾乱と大規模循環が相互に及ぼす影響を考慮して研究が行われている。しかし、観測結果が十分に蓄積されていない惑星大気の研究においては、擾乱・循環個々の特性すら明らかでなく、相互の影響を仮定することもできない。このため、惑星大気循環の包括的な理解のためのひとつの方法は、それぞれの空間スケールの個々の擾乱・循環のモデル計算に加えて、それら

複数のモデルの結果を相互に参照して解析・考察を行うことであろう。

また、現象の物理的理解に向けては、現実的な3次元モデルを用いた計算だけでなく、1次元、2次元モデルでの計算結果との比較が有益な情報を提供することがある。他方、モデルで用いる様々なパラメタを変更した多数のパラメタ計算もまた、物理的な解釈に役立つことがある。多数のパラメタ計算の実施には、計算コストの高い3次元計算でなく、1, 2次元計算が有用である。このため、同じモデル設定で、3次元計算だけでなく1, 2次元の計算が可能となるようなモデルを持つことが重要となる。

我々は、雲対流スケールから全球スケールまでの様々なスケールでの数値計算、及び1次元から3次元までの数値計算を包括的に実行することを目指して、大気大循環モデル、dcpam、と雲解像モデル、deepconv、を共通のプログラムスタイルで構築することを進めてきた。今回は、dcpam と deepconv の最近の更新状況を報告し、さらに、それらのモデルを用いて行ってきた計算例を紹介したい。

大気大循環モデルに関しては、これまでに地球大気の過程を模した簡単な物理過程・強制を用いた水惑星大気の計算や、系外惑星を想定した自転と公転が同期した惑星の計算を実施してきた。今回は、現実的な地球、火星の大気の計算に向けて、放射過程を導入し、地表面過程を更新した。平行して、これまでに複数の研究者によって行われてきた金星を想定した惑星の計算を実施する環境を備えるために、Yamamoto and Takahashi (2003) を参考に、

金星大気の計算のためのニュートン冷却、レイリー摩擦を導入した。また、この大気大循環モデルは、コンパイル時の指定と計算実行時の設定により、鉛直1次元、軸対称2次元計算も可能となるように設計している。これらにより、現在では、地球、火星、および金星を模した惑星の、1, 2, 3次元計算が可能となってきた。

雲解像モデルに関しては、これまで簡単な強制を与えた、地球、火星、木星を想定した2次元の数値実験を行ってきた。今回は、3次元計算が可能となるようにモデルを拡張し、さらに計算設定の変更によって2次元計算と3次元計算を切り替えることができるようにした。また、これまで場当たりに各惑星大気を扱えるよう拡張してきたために煩雑になったソースコードを再構成した。これにより、コードを大循環モデルと同様の構造とし、例えば放射モデルなどの物理過程に関して共通のコードを用いることができるような構造となるように試みている。

今後、例えばこれまでに我々のグループで進めてきた火星大気計算において見られた小規模渦のような現象について、二つのモデルを用いた計算の実施を予定している。その結果の解析・相互比較を進めることで、現象の物理機構に関して、一つのモデルの計算ではわからない詳細に迫りたいと考えている。