

惑星大気における雲対流の数値モデリング

中島 健介 [1]; 杉山 耕一郎 [2]; 山下 達也 [2]; 小高 正嗣 [2]; 石渡 正樹 [2]; 高橋 芳幸 [3]; 林 祥介 [3]
[1] 九大・理院・地惑; [2] 北大・理・宇宙理学; [3] 神戸大・理・地球惑星

Numerical modeling of cloud convection in planetary atmospheres

Kensuke Nakajima[1]; Ko-ichiro SUGIYAMA[2]; Tatsuya Yamashita[2]; Masatsugu Odaka[2]; Masaki Ishiwatari[2];
Yoshiyuki O. Takahashi[3]; Yoshi-Yuki Hayashi[3]

[1] Dept. of Earth & Planetary Sci., Faculty of Sci., Kyushu Univ.; [2] Department of CosmoSciences, Hokkaido Univ.; [3]
Department of Earth and Planetary Sciences, Kobe Univ.

<http://www.gfd-dennou.org/library/deepconv/>

1. Introduction

Recent advancement of planetary exploration as well as rapid development of research on the structure and evolution of planetary atmospheres implies the needs of research on various kinds of phenomena in planetary atmospheres that can not be attacked without a non-hydrostatic numerical models. Representative examples are dust devils, valey winds, and carbon dioxide cloud convection on mars, and moist convective clouds in jovian planets and the thick atmosphere of Titan. Comparing the cloud convections in the earth's atmoaphere and those in planetary atmospheres, a number of distinct difference can be named, as will be listed below. Nevertheless, numerical modeling of the planetary cloud convection as ""relatives"" of that in the earth's atmospheres shall be useful for understanding them referring to the accumulated knowledge on the earth's cloud dynamics. With these situation in mind, we, the members of GFD-Dennou Club are developping a new non-hydrostatic model, ""deepconv"".

2. Distinct characters of cloud convection in planetary atmospheres

In the earth's atmospheric convection, the number of condensible composition is only one, water, and it is a minor component in the atmoephere. Comared to this situation on the earth, the cloud convection in each planetary body has distinct characters that can be summerized below.

(a) Mars: Major component (CO₂) condenses/sublimates with possibly significant degree of supersaturation.

(b) Jupiter and Saturn: More than one components (H₂O, NH₃, NH₄SH) forms clouds, one of which is created not by condensation but by chemical reaction (NH₃+H₂S = NH₄SH). The atmosphere has virtually no bottom.

(c) Titan: The mixing ratio of condensible component (CH₄) is comparable to that of H₂O in the earth's atmosprhere. The condensate may be a mixture (NH₄ and N₂). Possible liquid on the surface is also a mixture (CH₄ and C₂H₅), Significant degree of super saturation may be required to form cloud.

Ideally, a numerical model of cloud convection in planetary atmospheres should treat all of clouds with these various characters.

3. The numerical model under development

The numerical model we are developping, ""deepconv"", is based on the quasi-compressible system of Klemp and Wilhelmson(1978). The cloud processess is not ""all purpose"" that can cover all the planetary clouds, but a set of cloud physics packages, each of which is designed for each planetary clouds and is easy to be plugged-in to the common dynamical core. For save computational time, some degree of approximations are introduced in quilibrium thermodynamic calutation. However, it is cheked, if necessary, reffering to more precise calculation using a thermodynamical package ""oboro"" (Sugiyama et al, 2006) we developped. Program codes are written with a set of style desinged for the ease of readability and modification, such as the plugging-in/out of the cloud package.

4. Present status and future plans

At present, a version for Jovian cloud convection with three condensible componets (Ph.D Thesis by Sugiyama, 2006) and a version of dry convection for Mars (Odaka et al, 2008) are working. Another version for Martian cloud with the condensation of major component (Yamashita et al, 2009, JPGU meeting) is under development. In the last case, a careful treatment of advection is found to be required in the case with a large degree of supersaturation is considered. At the conference, we will present some of the recent results and discuss the future directions.

References:

GFD-Dennou-Club ""deepconv"" project, <http://www.gfd-dennou.org/library/deepconv/>
Thermodynamic core ""oboro"" , <http://www.gfd-dennou.org/library/oboro/>

1. はじめに

近年の惑星探査の進展と惑星大気の構造・進化に関する問題意識の展開に伴い、地球以外の惑星の大気においても、

その研究に非静力学数値モデルを必要とする現象がクローズアップされる様になった。代表例としては、火星の竜巻・山谷風・ドライアイス雲、木星・土星・タイタンの積雲対流が挙げられる。地球大気と惑星大気の雲対流を比較した場合、後にあげる様に留意すべき相違点が幾つかある。それでも、地球用のモデルの枠組みを延長して惑星の対流を計算することは、地球の雲の知識を基盤としてこれらを理解するために有効である。そこで我々は、様々に条件が異なる惑星大気（地球を含む）の雲対流を統一的な枠組みで扱うことを目指して、新たな非静力学モデル「地球流体電脳倶楽部 deepconv」の開発を行っている。

2. 惑星大気の雲対流の特徴

各惑星の雲対流の特徴を地球のもの（凝結成分は一つであり、主成分と比較して微量である）と比較すると、以下のように整理できる。

- (a) 火星：大気主成分（CO₂）が凝結・昇華する。有意な過飽和凝結閾値の可能性。
- (b) 木星・土星；雲となる物質が複数（H₂O, NH₃, NH₄SH）ある。相変化でなく化学変化で生成する雲（NH₃+H₂S NH₄SH）が存在。液体の雲が混合物（H₂O+NH₃）になり得る。大気が「底なし」。
- (c) タイタン：凝結成分（CH₄）の混合比は地球と同程度。凝結物が混合物（CH₄ と N₂）になり得る。地表の液相が混合物（CH₄ と C₂H₅）。有意な過飽和凝結閾値の可能性。

惑星大気用の雲対流モデルは、理想的には、これらの全てを扱える必要がある。

3. 開発中のモデル

現在、開発中のモデル deepconv の基本的な枠組みは klemp and Wilhelmson(1978) の準圧縮方程式系である。雲に関連するプロセスは、先に列挙した全ての惑星に必要な全てを一度に取りこむのではなく、それぞれの惑星の状況に応じた雲物理パッケージを作成し、これを力学部分と着脱する。凝結などの平衡熱力学計算は非静力学モデル中では計算速度を重視した近似式を使用するが、その検証には我々が開発した熱力学計算コード oboro (Sugiyama ほか, 2006) を使用している。雲プロセスの着脱を容易にするために、可変性を重視したプログラム構造と可読性を重視したコーディングスタイルを採用する。

4. 現状と今後

現在のところ、複数凝結成分を含む木星の雲対流用のモデル（杉山、2006 北大博士論文）と、火星の対流モデル（小高ほか、2008 年気象学会秋季大会）が実動している。また、火星の主成分凝結を伴う対流のモデル（山下ほか、2009 年連合大会）も開発中であるが、凝結の閾値の大きい場合は、雲物質の移流スキームなどに慎重な配慮が必要であることがわかっている。当日は各惑星についての計算を例を示すとともに、今後の展望について議論する。

References:

地球流体電脳倶楽部 deepconv プロジェクト <http://www.gfd-dennou.org/library/deepconv/>
熱力学計算コード oboro <http://www.gfd-dennou.org/library/oboro/>