

惑星大気における非静力学数値モデリング

小高正嗣・杉山耕一郎・山下達也・石渡正樹（北大・宇宙理学）・高橋芳幸（神戸大・惑星科学セ）
○中島健介（九大・理）・林祥介（神戸大・惑星科学セ）

1. はじめに

近年の惑星探査の進展、および、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・雲、木星・土星・タイタンの積雲対流が挙げられる。地球大気の雲対流と惑星大気のそれを比較した場合、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と比較すると、以下のように整理できる。

- **火星**：大気主成分 (CO_2) が凝結・昇華する。有意な過飽和凝結閾値の可能性。
- **木星・土星**；雲となる物質が複数 ($\text{H}_2\text{O}, \text{NH}_3, \text{NH}_4\text{SH}$) ある。相変化でなく化学変化で生成する雲 ($\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{NH}_4\text{SH}$) が存在。液体の雲が混合物 ($\text{H}_2\text{O} + \text{NH}_3$) になり得る。大気が「底なし」。
- **タイタン**：凝結成分 (CH_4) の混合比は地球と同程度。凝結物が混合物 (CH_4 と N_2) になり得る。地表の液相が混合物 (CH_4 と C_2H_6)。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。

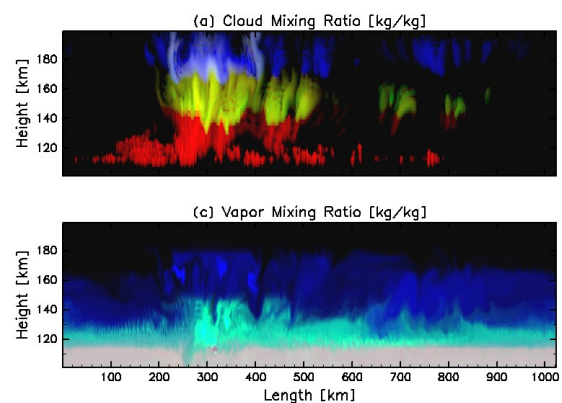
3. 開発中のモデル

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. 現状と今後の課題

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。火星の主成分凝結を伴う対流のモデル (山下ほか, 2008 年気象学会秋季大会) 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。当日はこれらの点について、各惑星についての計算とともに議論する。



木星の2次元雲対流計算の結果：(上) モデル中の雲の分布。赤が H_2O 、青が NH_3 、緑が NH_4SH 雲を示す。(下) 凝結成分気体の分布。赤が H_2O 、青が NH_3 、緑が H_2S の混合比を示す。詳細は当日解説する。

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/>