

## 木星型惑星大気の熱力学計算

### A thermodynamic calculation for jovian planetary atmospheres

# 杉山 耕一郎[1], 小高 正嗣[2], 倉本 圭[1], 林 祥介[1]

# Ko-ichiro SUGIYAMA[1], Masatsugu Odaka[2], Kiyoshi Kuramoto[3], Yoshi-Yuki Hayashi[3]

[1] 北大・理・地球惑星, [2] 東大・数理科学

[1] Earth and Planetary Sci., Hokkaido Univ, [2] Mathematical Sciences, Univ. Tokyo, [3] Earth and Planetary Sci., Hokkaido Univ.

木星型惑星大気の温度と凝結物質量の鉛直分布を求めるための平衡熱力学計算手法を新たに開発した。用いた方法は、熱力学関数を最小化して相平衡をさぐる手法であり、その特徴は関与する反応式を考えずに済むことにある。大気成分気体や凝縮成分を理想気体、理想溶液の法則に従うと仮定することにより最小化計算は大幅に簡略化され、大気組成を簡単に変更することができるようになる。

この方法を用いて木星大気の鉛直温度・物質分布を計算し、過去の研究と一致することを確かめた。本計算手法により、木星型惑星に対する断熱温度減率と凝縮物質の鉛直分布が容易に得られるようになった。

#### 1. はじめに

木星型惑星の大気対流シミュレーションを行うためには、大気の断熱温度減率と凝結物質の鉛直分布とを把握することが重要である。過去の木星型惑星大気の断熱温度減率と凝結物質の鉛直分布を計算した例として Atreya and Romani (1985) がある。彼らはエントロピー  $S$  の保存式を、理想気体の状態方程式と潜熱・反応熱を用いて温度・圧力・組成の関数として定式化した。この定式化では空気塊において生じる全ての化学反応を知る必要がある。しかし木星型惑星大気における化学反応の全容は明らかになっていない。組成の違う大気を考える場合には、生じる化学反応が変わるので、数値コードを書き換える必要がある。そもそも平衡状態を仮定しているので、化学反応に関する情報がなくとも断熱温度減率と凝結物質の鉛直分布は計算できるはずである。

そこで本研究では大気中で生じる反応式を考えずに済み、さらに大気組成を簡単に変更することのできる熱力学計算手法を検討する。そしてその手法を用いて大気の断熱温度減率と凝縮物質の鉛直分布を計算する。

#### 2. 計算手法

(1)大気の平衡状態の記述: 熱力学変数として温度・圧力・物質存在量を選択する。このとき大気の状態を与える適切なエントロピー  $S$  ではなくギブス自由エネルギー  $G$  である。大気の平衡状態は、ギブス自由エネルギー  $G$  が最小化された状態であるとする。温度・圧力を与えると、 $G$  は化学ポテンシャルと物質存在量の積の全物質に関する総和として表現される。ギブス自由エネルギー  $G$  の最小値は元素組成を固定した条件下において、各化学種の存在量を逐次近似的に最適化させることによって求めることができる。大気の状態を  $G$  によって記述したので、潜熱・反応熱の代わりに化学ポテンシャルのリストを与えればよい。化学ポテンシャルは既存の物性データから求めることができる。

(2)大気の断熱変化の記述: 大気の断熱変化はエントロピー  $S$  の保存として記述することができる。 $S$  はギブス自由エネルギー  $G$  を温度に関して偏微分したもとして与えられる。温度・圧力空間で  $dS = 0$  の曲線の通る軌跡を順にたどれば、断熱温度減率と凝結物質の存在量を求めることができる。

#### 3. 計算結果

大気成分気体やその凝結成分を理想気体、理想溶液の法則に従うと仮定し、上記の計算手法に則って木星大気における凝結物質の鉛直分布を計算した。大気組成はボイジャーの観測結果から予想されるものとした。本計算から得られた凝結物質の種類と各凝結物質量が最大となる圧力面高度は、Atreya and Romani (1985) の結果に整合的である。したがって本研究によって開発された計算手法を用いることによって、他の木星型惑星に対しても妥当な断熱温度減率と凝結物質の鉛直分布が得られると期待される。

#### 4. 参考文献

Atreya, S.K., Romani, P.N., 1985: In: Hunt. G.E. (Ed.), Planetary Meteorology. Cambridge University Press, pp. 17--68.