

木星型惑星を想定した雲対流の数値計算

* 杉山 耕一朗 (宇宙研), 小高 正嗣 (北大・理), 中島 健介 (九大・理),
倉本 圭 (北大・理), 林 祥介 (神戸大・理, CPS)

1. はじめに

木星型惑星には活発な積雲が存在することが知られている。木星型惑星の雲対流は、地球大気の場合と同様に、大気の成層構造と物質分布の決定に重要な役割を担っていると考えられている。しかし、厚い雲に覆われた木星型惑星の雲層を遠隔観測するのは困難であり、木星型惑星における雲対流と平均的大気構造との関係については未だ明らかとなっていない点が多い。

この問題に対し我々は、複数成分の凝結および化学反応を考慮した雲解像モデルを開発し、木星大気条件において、雲の生成消滅が繰り返された結果として決まる統計的平衡状態での大気構造を調べてきた (Sugiyama *et al.*, 2009, 2011, 2014)。本発表では、土星と天王星を想定した同様の 2 次元数値計算を実行し、雲対流と平均的大気構造との関係を議論する。

2. 計算設定

モデル方程式として準圧縮系方程式 (Klemp and Wilhelmson, 1978) を用いる。雲微物理過程は Nakajima *et al.* (2000) と同様に、地球で良く利用されている単純な雲微物理パラメタリゼーション (Kessler, 1969) を用いて定式化した。放射過程は陽に計算せず、水平一様かつ時間変化しない熱強制で代用する。土星・天王星では雲層における正味の放射加熱・冷却の鉛直プロファイルが観測されていないため、木星の観測結果に基づき 2 bar 高度から対流圏界面 (0.1 bar) の間を冷却することにした。統計的平衡状態に至るまでの計算時間を短縮するため、熱強制の値は木星大気における観測値より 2 桁大きい -1 k/day とする。

計算領域は水平方向に 7680 km とする。鉛直計算領域の大きさは各惑星の重力加速度の大きさに基づき、土星条件で 480 km、天王星条件で 650 km とする。解像度は水平方向と鉛直方向共に 2 km とする。下部境界での温度圧力は熱平衡計算 (Sugiyama *et al.*, 2006) に基づいて決定した。下部境界から界面までは断熱的とし、その上部は温度一定とする。下部境界での凝結性成分気体の存在度は太陽組成と同じとする。

3. 結果

土星条件と天王星条件の計算結果は、メタンの雲の有無を除き定性的に似ているため、以下では土星条件の結果を示す。

土星条件の計算結果の大きな特徴は、湿潤対流層

($0.1 < p < 10 \text{ bar}$) の上部に強い下降流が多数見られることである (図 1)。その大きさは 50 m/s 程度である。湿潤対流層では H_2O 雲の雲底付近と対流圏界面付近を除く広い範囲で鉛直速度の歪度が負となっていることから、湿潤対流層上部において下降流が卓越することは明らかである (図 2a,b)。強い下降流が存在するという特徴は、狭くて強い上昇域と広くて弱い下降域によって特徴づけられた木星条件の計算結果と対照的である。

土星条件において下降流が卓越するのは以下の 2 つの理由による。1 つは対流運動が対流圏界面付近の冷却層 ($0.1 < p < 2 \text{ bar}$) によって駆動されるためである。もう 1 つの理由は、対流圏上部の温度は木星大気よりも土星大気の方が低温だからである。土星大気では H_2O の凝結がより下層 (高圧) で始まる。木星大気の H_2O 凝結高度は約 4 bar であるのに対して、土星大気での H_2O 凝結高度は約 10 bar である。湿潤対流層の上部では H_2O 混合比がほぼゼロとなるため (図 2c)、その高度領域では H_2O の凝結潜熱の寄与が小さくなり、狭くて強い上昇域と広くて弱い下降域という湿潤対流の特徴が失われる。

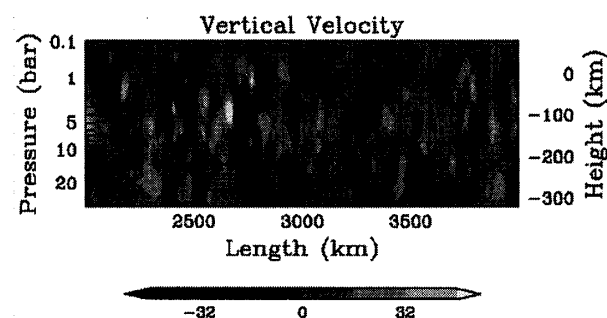


図 1: 土星条件で得られた鉛直速度の拡大図

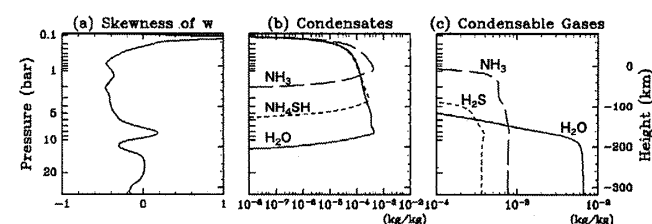


図 2: 土星条件で得られた水平・時間平均した (a) 鉛直速度の歪度, (b) 凝結物の混合比, (c) 凝結性成分気体の混合比の鉛直分布。