

木星大気における対流圏界面高度の決定と雲頂の形成メカニズム Control mechanisms of the tropopause level and cloud top in Jovian atmosphere.

高橋 康人^{1*}, はしもと じょーじ², 大西 将徳³, 倉本 圭¹

Yasuto TAKAHASHI^{1*}, George HASHIMOTO², Masanori Onishi³, Kiyoshi Kuramoto¹

¹北海道大学, ²岡山大学, ³神戸大学

¹Hokkaido Univ, ²Okayama Univ, ³Kobe Univ

対流圏界面は下層の対流領域と上層の安定成層領域の境界として定義される。しかし一般には、時間平均的な鉛直気温プロファイルにおいて、地表に最も近い温度極小の高度を指して対流圏界面と呼ぶことが多い。この定義は対流領域と安定成層領域で鉛直温度勾配の符号が逆転することを利用した一種の近似である。対流圏界面高度付近での温度減率の変化が急激な地球大気においては、この近似は本来の定義で決まる高度との差が小さく有効であるが、他の惑星の大気においても同様の近似が成り立つかは明らかではない。

木星大気については、ガリレオやヴォイジャーの観測から温度極小点が0.1bar付近にあることがわかっている。木星大気を対象とした主要な平衡雲凝結モデル (Weidenschilling and Lewies 1973) や雲対流モデル (Sugiyama et al. 2011) では、この高度より下層で対流が生じていると仮定している。しかしこの仮定については、先に述べたとおり注意深く考察する必要がある。実際、木星大気の放射対流平衡モデル (Appleby and Hogan 1984) では、たしかに温度の極小は0.1 bar付近に存在するが、放射卓越層と対流卓越層の境界はより深い0.5-0.75 barに位置する。このことは「対流によって形成されたNH₃雲が雲頂を成している」という従来の描像が、実際には成り立っていないことを示唆する。なぜならこのような深い領域においては、NH₃がほとんど凝結しない可能性があるためである。

我々は木星大気において対流圏界面がどのように決まるのか、最新の気体吸収モデルと大気組成に関するデータを取り込んだ独自開発の放射対流平衡数値モデルを用いて調べてきた。このモデルでは平行平板大気を仮定し、下部境界 (10 bar) 温度をガリレオプローブの観測結果に基づいて与え、0-10,000 cm⁻¹の長波放射による熱輸送を解く。凝結性分子 (H₂O, CH₄, NH₃) の線吸収については HITRAN2008 データベース (Rothman et al. 2009) を用い、また H₂-H₂ および H₂-He 衝突による連続吸収については Borysov (1989, 2002) を用いて吸収係数を与える。放射計算によって各大気層の放射加熱率あるいは冷却率を求めて気温の時間変化を計算し、対流不安定層に対しては対流調節を適用する。温度変化が十分に小さくなるまで逐次計算を行うことで、放射対流平衡状態を求める。

予備的な数値実験の結果から、本来の定義に基づく対流圏界面の高度が、凝結性分子の混合比に関係なく0.5bar付近に現れることが確認できた。ただし、本計算では太陽放射を無視しているため、ほとんどの場合で高度とともに温度が単調減少している。太陽放射を導入すると、成層圏温度が上昇するため対流圏界面はより深くなると予想される。また、得られた温度プロファイルをNH₃の凝縮曲線と比較すると、NH₃の濃度が観測的に推定された値かそれ以下 (1 barでの混合比を全層に与える) の場合には、対流圏においてはほとんどNH₃凝結が起こらないことも分かった。一方でNH₃が凝結可能な気層は、対流圏界面より上部に現れる。このことから、木星大気の雲頂は対流雲ではなく、おもに成層圏雲や圏界面を貫く上昇流に伴う対流雲から構成されることが示唆される。雲頂は惑星アルベドを決めるのに重要な役割を果たしているため、木星大気における放射エネルギー収支を理解するためには成層圏における雲形成のモデル化が不可欠かもしれない。

キーワード: 木星, 大気, 雲, 対流圏界面, 放射輸送

Keywords: Jupiter, Atmosphere, Cloud, Tropopause, Radiative transfer