平成 21 年度国立天文台天文シミュレーションプロジェクト成果報告書

木星大気雲対流構造のパラメタ依存性に関する数値実験

杉山耕一朗 (北海道大学低温科学研究所)

利用カテゴリ　XT4B

木星表面の雲層の下を遠隔観測で調べることは困難なため, 木星大気の平均的な大気構造と流れ場の様相およびそれらと雲対流との関係は未だによくわかっていない問題である. この問題に対して我々は, 木星大気で生じると考えられている H_2O, NH_3 の凝結と NH_4SH の生成反応を考慮した水平鉛直 2 次元の雲対流モデルを開発し (Sugiyama et al., 2009), 雲の生成消滅が繰り返された結果として決まる雲対流構造を調べて来た. その結果, 対流の強度と構造が準周期的に変動し, その周期に合わせて存在する雲の種類と雲底高度が変化することが示された. しかしながら, 計算された雲対流の時空間構造の robustness の調査や間欠性の原因に関する議論は十分でない. そこで, 雲物理パラメタの変更に対する対流構造の応答を調べると共に, 2008 年度に行った凝結成分存在度に関するパラメタ実験の結果も踏まえつつ間欠性の原因に対する議論を行った.

雲微物理パラメタに対する依存性:

これまで雲物理パラメタとして, 基本的に地球大気での値で代替えして計算を実施してきたが, その正当性は不明である. そこで, 最も不確定性の大きい雲微物理過程の雲から雨への変換の時定数を 2 桁変えた数値実験を行ったところ, 雲対流の時空間構造は定性的には変わらず, 雲活動周期も 2 倍程度変化しただけであった.

雲対流構造の間欠性に対する議論:

間欠性の原因は, 雲対流活動に伴う潜熱解放による加熱率が放射による冷却率よりも十分大きいためであり, その周期は, 潜熱による温度上昇幅を放射冷却で緩和するために必要な時間として見積もれることがわかった. 図 1 (a) は水平平均した雲混合比の高度時間断面, 図 1 (b) は H_2O 凝結高度付近での潜熱加熱率の時間変化を示したものである. 明らかに H_2O 凝結を伴う活発な雲対流の発生に伴って潜熱加熱率が増大し, その大きさは放射冷却率 (-0.01 K/day) に比べて数十倍大きい. 間欠性に伴う温度上昇幅は大気深部の凝結性成分の量におおよそ比例しているので, 間欠性の周期は H_2O 蒸気の存在量に概ね比例する. この比例関係は, 観測的に雲対流活動の様相を捉えることができるならば, 木星大気深部の H_2O 存在度に一定の制約を与える可能性を示唆するものである.

活発な雲対流が始まるための条件は, H_2O 凝結高度より上空がほぼ中立成層となることであった. 図 1 (c) は水平平均した仮温位の高度時間断面を示したものである. 放射の直接働かない高度 140 km から H_2O 凝結高度 ($z \approx 120$ km) は, 対流圏上層で凝結する NH_3 や NH_4SH の雨の蒸発に伴うプリュームと拡散によって冷却されており, 対流活動が弱い時期においては, NH_3 雨の蒸発で生まれた冷たいプリュームは NH_4SH 凝結高度の安定層で降下を阻止され, この高度の直上を集中的に冷却する. なぜならば, NH_4SH 生成高度 ($z \approx 145$ km) で仮温位の勾配は正であり, その高度は成層しているからである. 結果として, 活発期の直前では, H_2O 凝結高度から対流圏界面の仮温位勾配は小さくなり, その高度領域の大気はほぼ中立となる. 活発期では, 対流圏上層から下降するプリュームが H_2O 凝結高度付近まで達し, その付近の H_2O を多量に含む気塊を押し上げて H_2O の雲対流を開始させている.

活発な雲対流が終了するための条件は, 浮力による仕事を鉛直積分した量であるところの雲仕事関数 A (Arakawa and Schbert, 1974) の値がゼロとなることである (図 1 d). 活発な雲対流が生じている時間帯においても H_2O 凝結高度付近において上昇する気塊に働く浮力は負であり, それにもかかわらず相対的に密度の大きい気塊が対流圏界面まで上昇することが可能であるのは, H_2O 凝結高度より上空に十分大きな正の浮力偏差が存在しているからである. 言い換えれば, 浮力による仕事を鉛直積分した量であるところの雲仕事関数の値がゼロとなれば, 気塊に働く正の浮力と負の浮力は釣り合うことになり, H_2O 凝結高度付近の気塊は対流圏界面まで上昇できなくなり, 対流は停止する.

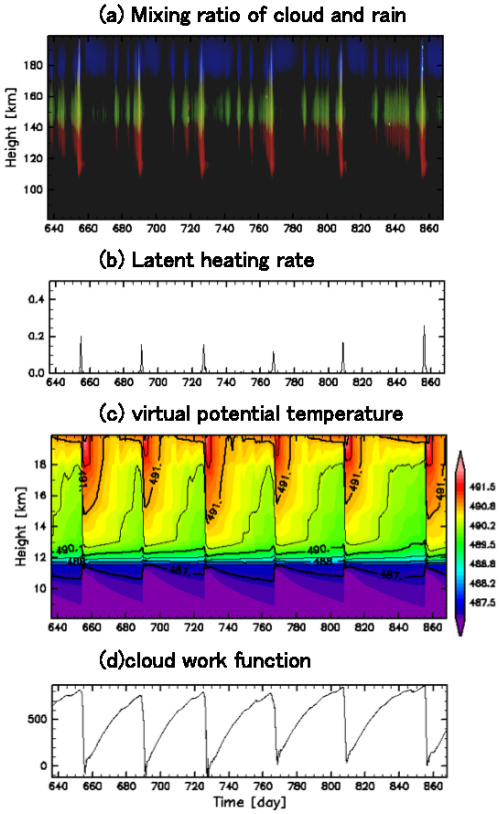

図 1: 水平平均した雲の混合比 (a), H_2O 凝結高度付近での潜熱加熱率 (b), 水平平均した仮温位 (c), 雲仕事関数 (d) の時間変化. 雲の混合比は 5×10^{-3} kg/kg から 1×10^{-8} kg/kg の範囲を色の濃淡で示す. 但し, H_2O の雲を赤色, NH_4SH の雲を緑色, NH_3 の雲を青色で表し, それらを RGB 合成した; 黄色は H2O の雲と NH4SH の雲が存在する領域, 白色は全ての雲が存在する領域を意味する. また, 仮温位は凝結成分を含む気塊を乾燥断熱過程に従って標準気圧 (本計算では 30 bar) まで下降させた時の温度であり, 断熱不変量である.