

木星赤道帯状流における対流の数値計算 2

Thermal convections in the Jovian equatorial zonal wind, 2

竹内 覚[1], 重松 貴史[2]

Satoru Takeuchi[1], Takashi Shigematsu[2]

[1] 福大理地球圏, [2] 福大・理・地球圏

[1] Earth System, Fukuoka Univ, [2] Earth System Sci, Fukuoka Univ

木星赤道域には特徴的な構造として、Hot spot/festoon/plume 複合体が存在する。これは大規模かつ複雑な対流状の構造である。Hot spot は強い下降流域と考えられていて、そのサイズは数百～1000km に及び、寿命も長いものでは数年に及ぶ。Hot spot から南西方向に festoon と呼ばれるヒゲ状の構造が、赤道に向かって伸びている。festoon もまた下降流域と考えられている。一方これらの西端側には、強い上昇流域が存在し、plume と呼ばれている。これらの構造は、木星の赤道帯(EZ)と北赤道縞(NEB)の境界に、全周で常時 10 数個程度周期的に存在している。Galileo Probe の突入以来(1995 年 12 月)、この領域の大気構造に関する議論が起きている。測定された水やアンモニアなどの凝結物質の存在量を Hot spot の大気構造の観点から説明しようと、いろいろ議論されているが、まだ充分納得できる説が現れていない。

そこで我々は、赤道帯状流の 3 次元熱対流の数値計算を行ない、Hot spot/festoon/plume 構造の再現を試みた。Hasegawa(1989)は、帯状流の鉛直シアアの効果により、2 次元(東西=鉛直)熱対流の形状、特に対流の上昇/下降流の位置が plume/festoon のそれと類似することを示した。しかし 2 次元計算のため、構造の 3 次元性に関して色々説明できない問題が残っていた。そこで今回は、基本帯状流の 3 次元性まで考慮して、熱対流計算を行なった。計算は、木星赤道帯を切り出したような、東西方向が周期的なチャンネル状領域で行なわれる。流体はブジネスク流体を仮定する。これは、対流構造の深さが不明なので、状態方程式を正確に指定することができないからで、計算のためには流体系を簡略化する必要があるからである。同様に、木星では未知のパラメータが多いため、方程式系は無次元化して取り扱う。基本帯状流も簡単化のため、鉛直/水平シアアは共に一定とする(風速は線形的に変化する)。赤道付近の現象なので、まずは自転の効果は考慮しない。

いくつかのパラメータで計算したところ、発生する対流のパターンには 2 通りあることがわかった。東西方向に構造を持たない(対流の軸が東西方向を向いている)ロール状対流と、東西方向に周期的なセル状対流(対流の軸が南北水平/鉛直のどちらかでもシアアの影響が強い場合にはロール状対流に、方向を向いている)である。この計算結果と木星の Hot spot/festoon/plume 構造と比較してみると、セル状対流が木星の構造と良く似ている。割合狭くて強い上昇流域が、計算領域の北側に周期的に現れ、これは plume に対応する。下降流域は、これらを取り囲むように上昇流域の東側から南側に現れる。これは、plume の東から南東に位置する festoon と位置・形状が一致する。しかし Hot spot に対応するような強い下降流域は現れなかった。

次に、何故上昇流の中心が領域の北側に現れるのか考察するために、帯状流のシアアが鉛直方向のみの場合、および水平方向のみの場合について、それぞれ数値計算を行った。まず鉛直シアアのみの場合だが、これについては既に Asai (1970), Lipps (1973), Hasegawa (1989) など研究されているが、我々もこれらと同様の結果を得た。つまりセル状の対流パターンの中、鉛直シアアの渦度(y 成分)と同じ向きの渦度を持つセルは x 方向の幅を広げ、逆向きの対流セルは幅を縮める。このため上昇流域から下降流域までの距離は、基本帯状流の上流側では短くなり、下流側では長くなる。これは実際に木星で見られる、plume と hotspot の位置関係と対応する。一方水平シアアの効果だが、これは従来ほとんど研究されてこなかったテーマである。水平シアアの影響によりセル状対流は、その軸が東西方向に少しずつ位置した 2 つのセル状対流に分離する。また渦度は北側のセルでは正の領域が、南側のセルでは負の領域が強まることがわかった。両者のシアアの効果により、北側では正の渦度が上層で強まり、南側では負の領域が下層で強まる。このため北側では上層に強い上昇流域が、南側では下層に下降流域が発生することがわかった。