

木星赤道帯状流における対流の数値計算

Thermal convections in the Jovian equatorial zonal wind

竹内 覚[1], 蒲地 武志[1], 重松 貴史[2]

Satoru Takeuchi[1], Takeshi Kamochi[2], Takashi Shigematsu[3]

[1] 福大理地球圏, [2] 福大・理・地球圏

[1] Earth System, Fukuoka Univ, [2] Earth System, Fukuoka Univ, [3] 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。この構造は、plume に上昇流が、hot spot には下降流が存在する対流状のものである。このような大気中の大規模構造について調べるために、今回我々は水平/鉛直の両方のシアを持つ帯状流の中における熱対流の数値計算を行なった。帯状流のシアを単純化のため線形的にして計算したところ、シアの影響が強い場合は東西方向に構造を持たないロール状対流が、シアがそれほど強くない場合には、festoon/plume に良く似た対流構造が現れた。しかし hot spot に対応する下降流域は再現できなかった。また帯状流にピークを持たせた場合の結果についても報告する。

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。この構造は、plume に上昇流が、hot spot には下降流が存在する対流状のものである。

Galileo Probe が Hot spot の一つに突入して以来(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。最大の問題は、測定された水やアンモニアなどの凝結物質の存在量が、それらの凝結高度の下層においても、(予想されていた)太陽存在量を大きく下まわったことである。これらの物質分布を、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。

Hot spot/festoon/plume 複合体は、大規模かつ複雑な構造を示す。Hot spot は強い下降流域と考えられている。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び、Hot spot のから南西方向に、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)と北赤道帯(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。

このような Hot spot(周辺)の大規模かつ周期的構造が、どのように形成・維持されているのか、そのメカニズムがわかれば、Hot spot 内部の構造の解明につながり、Probe の測定結果を解釈する上で重要になるであろう。また、このような研究から、通常は観測できない、木星大気内部の情報を知ることができるかもしれない。

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。Probe 突入以前 Hasegawa(1989)は、plume/festoon の周期構造を、基本帯状流の鉛直シアの影響により説明しようとした。この効果を含めた2次元(東西=鉛直)熱対流の数値計算では、対流の上昇/下降流(plume=festoon に対応する)間距離の東西非対称性が説明できた。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。今回は、基本帯状流の3次元性まで考慮した、熱対流計算を行なった。木星では帯状流は、鉛直方向だけでなく水平方向にも変化している。赤道域では、帯状流はEZとNEBの境界付近で最も速く、赤道では若干遅くなっているので、このような水平シアがあることで、festoon の形状などが再現できるかもしれない。

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。同様にして、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(これでパラメータが減る)。基本帯状流も単純化のため、鉛直/水平シ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。結果、残ったパラメータはRichardson数、Rayleigh数、水平シアと鉛直シアの比、の3つである。Prandtl数は乱流粘性/拡散なので、1とする。

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、東西方向に構造があり、それらが周期的に並ぶ、セル状対流(と呼ぶことにする)である。パラメータや、エネルギー輸送について調べると、水平/鉛直のどちらかでもシアの影響が強い場合にはロール状対流に、両シアがそれほど強くない場合はセル状対流になることがわかった。

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。しかし特に強い下降流は上昇流域の南東側に現れ、これは plume の東側に現れる Hot spot の位置とは対応していない。

また講演時には、帯状流にピークを持たせた場合の結果についても報告する予定である。