

金星スーパーローテーションに対する Thompson メカニズムの球面上での検証

Interpretation of Thompson's Mechanism for Venus' Atmospheric Super-Rotation and its Extension to the Spherical Geometry.

高木 征弘[1], 松田 佳久[2]

Masahiro Takagi[1], Yoshihisa Matsuda[2]

[1] 東大・理・地球惑星物理, [2] 東大・理・地惑

[1] Earth and Planetary Phys, Tokyo Univ, [2] Earth and Planetary Physics, Tokyo Univ

1. 序

金星のような自転が遅い惑星の大気中では、昼側で上昇し夜側で下降する夜昼間対流が生じるものと考えられていたが、その後の観測により、金星大気中には自転速度の 60 倍も速い高速東西流が存在することが明らかになった。この高速東西流の成因を説明する試みは、夜昼間対流に着目したもの (Schubert and Whitehead, 1967; Thompson, 1970) と、子午面循環に着目したもの (Gierasch, 1975) の二種に大別できる。本研究では、夜昼間対流の不安定性によって平均東西流が生成される可能性を示した Thompson (1970) の数値実験を再検討し、球面上でも同様のメカニズムが働くかどうかを調べた。

2. 二次元の Thompson メカニズム

Thompson (1970) は二次元の数値モデルを用いて、赤道面内の夜昼間対流が鉛直シアを持った平均流に対して不安定であり、その結果、平均流が卓越することを示した。この不安定に対する Thompson 自身の解釈は次のように要約できる。夜昼間対流を基本場とし、鉛直シアを持った弱い平均流を擾乱として考えると、平均流による移流により対流がシアの方向に傾く。この傾きにより対流の水平速度と鉛直速度に正の相関が生じ、水平運動量がシアを強める方向に鉛直輸送される。この正のフィードバックにより平均流が成長していく。

対流と平均流の間の力学的作用によるこのような不安定は *tilting instability* と呼ばれ、Thompson (1970) の数値実験もこのメカニズムで理解できると考えられてきた (Soloviev et al., 1996)。しかし Soloviev et al. (1996) 自身も示しているように、*tilting instability* が働くためには基本場が縦長の対流であることが必要である。Thompson (1970) の定式化では、流体層の厚さは水平スケールに比べて十分に薄いと仮定されており、そこで示された不安定を *tilting instability* と解釈するのは不適切である。

一方、夜昼間対流と平均流の相互作用を、対流を維持している温度場まで含めて考えると、次のようなメカニズムが考えられる。温度場が鉛直シアを持った平均流によって移流されシアの方向に傾く。傾いた温度場によって傾いた対流が生じ、その結果、水平運動量が元のシアを強めるように輸送される。この推論は少数モードからなる切断系で確かめることができ、切断波数を緩めた場合でも Thompson の数値実験とよく対応する結果が得られる。これが Thompson の数値実験に対する解釈としては適当であろう。

3. 球面上の Thompson メカニズム

球面上の夜昼間対流にも二次元の場合と同様のメカニズムが働き、東西平均流が生成されると考えられてきた。しかし、自転と公転を無視した場合、夜昼間対流は太陽直下点とその対蹠点を結ぶ軸に対して対称になるので、二次元モデルを用いて示された Thompson メカニズムは赤道上の二次元面内にしか適用できない。球面上の夜昼間対流にも Thompson メカニズムによる不安定が存在し、東西平均流が生成されるかどうかは自明ではない。この点を明らかにするため、球面上の三次元モデルを作成し夜昼間対流の安定性を調べた。

基礎方程式は Boussinesq 近似を用いた渦度方程式と熱力学の式である。与えられた加熱分布に対して夜昼間対流を表現する定常解を求め、これを基本場として固有値問題を解くことで、対流の安定性を決定することができる。実際の計算では波数 10 の三角切断を用い、鉛直方向には Thompson (1970) と同じ 5 層で差分化した。

4. 結果

4.1 自転なしの場合

得られた基本場は、水平流・鉛直流ともに軸対称な構造をしていた。上層の水平風分布では、昼側の上昇流に伴う発散域に比べて、夜側の下降流に伴う収束域の方が狭くなっている。また、中層の温度場では波数 2 の構造が卓越している。これらの特徴は、二次元の Thompson の数値実験で得られた夜昼間対流とよく一致している。

しかし、この基本場は安定であった。Thompson の数値実験に対応するようなパラメータ領域で基本場を求めその安定性を調べたが、基本場はすべて安定であり、平均流を生成するような不安定は存在しなかった。詳しくは Takagi and Matsuda (JMSJ, 1999) を参照されたい。

4.2 自転を考慮した場合

球面上の夜昼間対流が二次元の場合と大きく異なるのは、平均東西流に対して垂直な南北方向の速度成分があるため、二次元面内の議論が適用できなくなると思われることである。自転を考慮した場合には、コリオリ力の効果で循環が赤道付近に集中し南北方向の運動が抑制される (Gill, 1980) ので、二次元モデルの場合と同様に Thompson メカニズムが働く可能性が考えられる。

そこでコリオリ力を考慮した場合についても基本場を求め安定性を調べた。赤道付近で南北方向の流速が弱まることは確かめられたが、基本場はすべて安定であった。この場合についての詳細は Takagi and Matsuda (JMSJ, 2000) を参照されたい。