

球面軸対称循環に関するパラメータスイープ実験: ハドレー循環とスーパーローテーション

A parameter sweep experiment on axisymmetric circulations with an idealized simple model : Hadley circulation and super-rotation

山本 博基 [1]; 余田 成男 [2]; 石岡 圭一 [3]

Hiroki Yamamoto[1]; Shigeo Yoden[2]; Keiichi Ishioka[3]

[1] 京大院・理・地惑; [2] 京大・理・地球物理; [3] 京大・理・地惑

[1] Div. of Earth and Planetary Sci., Grad. School of Sci., Kyoto Univ.; [2] Dept. of Geophysics, Kyoto Univ.; [3] Div. Earth and Planetary Sci., Grad. School of Sci., Kyoto Univ.

<http://www-mete.kugi.kyoto-u.ac.jp/>

地球のハドレー循環のメカニズムは Held & Hou (1980) により解析され、以後 Held & Hou モデルとして広く認識されている。一方、金星のスーパーローテーションのメカニズムとしては、Gierasch (1975) により、強い水平拡散がある下での子午面循環によって維持されていると提唱されており、Matsuda (1980) ではこの Gierasch メカニズムをブシネスク流体で研究している。

この Held & Hou モデルと Matsuda (1980) の研究とは、球面・自転軸対称・赤道対称・ブシネスク流体のプリミティブ方程式系・ニュートン加熱冷却による流れの駆動、という多くの共通点を持つ。一方、両者の違いは Held & Hou モデルでは水平粘性がゼロなのに対して、Gierasch メカニズムでは無限大の水平粘性を仮定している点である。我々は、上記の点に着目し、外部熱ロスビー数 R_T (放射対流平衡温度場の温度風バランスによる風速を代表的風速としたときのロスビー数、すなわち、外部重力波の位相速度と自転速度との比の 2 乗と、放射対流平衡温度場の極赤道間の温度差と平均温度との比との積)・鉛直エクマン数 E_V ・水平エクマン数 E_H という、3つの無次元外部パラメータ空間でのパラメータスイープ実験を行い、Held & Hou 型ハドレー循環解と Gierasch メカニズムの解とのつながりについて調べた。

数値計算には、軸対称の球面スペクトル法(東西波数は 0 のみ)を用いた。切断波数は T85、鉛直 32 層、初期条件を等温位の静止大気として、定常状態に達するまで時間発展を行った。計算の結果、パラメータ空間で E_V と E_H が小さく、 R_T が大きいときには対称不安定が生じ、定常にならない場合もあった。

我々は、計算された解を特徴づける指標を 3 つ導入した。1 つ目は、最上層の東西風の赤道から極までの平均 U を、惑星半径と自転角速度で割った値で定義したスーパーローテーション強度 S である。2 つ目は、 U を最上層の南北風の赤道から極までの平均 V で割ったもので定義した直接循環の指標 γ である。 γ が小さいほど、傾度風バランスよりも直接循環が卓越していることを意味する。そして 3 つ目は、最上層の東西風の運動エネルギーに対する剛体回転成分による寄与の割合 R_g である。 R_g が 1 に近いほど東西風速場が剛体回転に近いことを意味する。

S は傾度風バランスが成り立つときには、その大きさを見積もることができ、 $R_T < 1$ のときは $S \sim R_T$ となり、 $R_T > 1$ のときは $S \sim R_T^{1/2}$ となる。前者の場合は地衡流平衡が卓越し、後者は旋行風平衡が卓越することを意味する。数値解から求めた S は E_V が小さく、 E_H が大きい場合に、先程の見積りに近くなっていた。

Matsuda (1980) は E_V が大きいときに直接循環が卓越すると述べている。すなわち、 E_V が大きいときは γ が小さくなるということだ。計算結果も同様の傾向を示したが、今回のスイープ領域では $\gamma < 1$ にはならなかった。

R_g は R_T と E_V を固定して E_H を大きくしていったときに、ある E_H のときから増加し始め、やがて 1 に収束する。これは Held & Hou モデルで説明される場から、剛体回転の場への遷移を表している。Held & Hou モデルの解を用いれば、東西風の運動方程式で鉛直粘性項と水平粘性項の大きさが同程度になるときの E_H を見積もることができ、それは $E_H \sim E_V * S$ となる。こうして見積もった E_H のときの数値計算による解は、Held & Hou 型ハドレー循環解と剛体回転の解との中間的な解を示した。 R_g で見たときにも、見積もった E_H は Held & Hou 型ハドレー循環解から剛体回転の場への遷移領域を示している。

以上のようにして、Held & Hou モデルの解から Gierasch メカニズムの解へは連続的に変化することを確かめた。その領域の位置は E_V と R_T との 2 つのパラメータの大きさに依存しており、それらは式の上からの見積りとも一致した。