

回転球殻内での MHD ダイナモシミュレーション

Numerical simulation of MHD dynamos in a rotating spherical shell

高橋 太[1], 松島 政貴[2], 本蔵 義守[3]

Futoshi Takahashi[1], Masaki Matsushima[2], Yoshimori Honkura[3]

[1] 東工大・理・地球惑星, [2] 東工大・地球惑星, [3] 東工大・理工・地球惑星

[1] Earth and Planetary Sci, Tokyo Institute of Technology, [2] Dept. Earth Planet. Sci., Tokyo Inst. Tech., [3] Earth and Planetary Sci., Tokyo Institute of Technology

<http://www.geo.titech.ac.jp/honkuralab/futoshi/>

地球深部の流体核内でのダイナモ作用のダイナミクスを調べるために幾つかの 3 次元セルフコンシスタントな数値シミュレーションを行った。地球深部を回転球殻と考え、内核、外核における MHD の方程式をブシネスク近似のもとで解くわけである。また、本研究では内核を導体として取り扱う。熱対流を考え、核内部に一様に分布した熱源(又は熱浴)を対流及びダイナモの駆動源と考えた。

数値計算方法には、磁場と流れ場をトロイダル ポロイダル分解し、各スカラー関数を角度方向に対しては球面調和関数によるスペクトル展開、動径方向には差分法を用いた。非線形項の計算には実空間とスペクトル空間にまたがって計算を行う擬スペクトル法を用いた。球面調和関数の展開次数は 52 または 62 とし、動径方向の格子点配置にチェビシェフの選点を用い、外核を 100 分割、内核を 35 分割した。

無次元パラメーターとして、プラントル数 (Pr), 磁気プラントル数 (Pm), エクマン数 (Ek), レイリー数 (Ra), 内外核の半径比 (r_i/r_o) を用いた。パラメーターの値として, Pr , r_i/r_o はそれぞれ 1, 0.35 に固定し, Ek を $5 \times 10^{-4} \sim 10^{-4}$, Ra を臨界値の 5 ~ 9 倍程度, $Pm \sim O(1)$ 程度を用いた。境界条件として、流れ場は CMB で滑り無し, ICB では内核の回転に一致するようにする。ここでは内核の角速度は ICB における粘性と電磁氣的トルクによってダイナミックに決定される。温度場については CMB では熱フラックス一定, ICB では温度一定の境界条件を与えた。磁場については CMB では外部ポテンシャル場との連続性を, ICB では磁場 3 成分と、電場の接線成分の連続性を与える。また、中心ではゼロとした。

低レイリー数のシミュレーションにおいては、流れはタンジェントシリンダー(回転軸に平行で内核と赤道で接するような仮想的な円筒)外部では概ねコラム状の対流セルによって表される。タンジェントシリンダー内部においては活発な対流は起こらず流れは穏やかである。磁場は複雑な構造を示すが時間変化は穏やかな振舞を示しながら平衡状態へゆっくりと向かっているように見える。この穏やかな時間変化は小さな磁気プラントル数による結果と思われる。構造としてはコラム状の流れによる影響を強く受けている。CMB において、磁場のフラックスが中高緯度でブロードな沈み込む流れを持つ領域に集まっている現象が確認された。また低緯度では中高緯度と反極性の成分が見られた。これはコラム状の対流によって生成されたものであると考えられる(効果)。子午面内での東西方向の流れはタンジェントシリンダー内部の ICB 付近では東向き, CMB 付近では西向きを示すのに対し、タンジェントシリンダー外では概ね西向きで中高緯度で東向きをしめた。磁場のトロイダル成分は赤道付近の低緯度に集中し、タンジェントシリンダー付近と CMB 付近が強い分布を示す。CMB 付近でのトロイダル場はコラム状対流によって生成されたものであると考えられる。比較的高レイリー数のシミュレーションではタンジェントシリンダー内部により活発な上昇流、下降流が確認された。また、全てのシミュレーションにおいて、流れ場と磁場のいずれもが赤道面に対し強い対称性を示し、ダイポラーな磁場構造が確認された。

しかしながら、いずれのシミュレーション結果も現時点では磁場が平衡状態に達しておらず、遷移状態を見ている可能性があるため、更に時間発展を追う必要がある。