

## MHD ダイナモシミュレーションにおける対流のダイナミクス及び対流と磁場の時間変動の検討

### Investigation of the dynamics and time evolutions of the convection and magnetic field in the MHD dynamo simulation

# 松井 宏晃[1], 大家 寛[2]

# Hiroaki Matsui[1], Hiroshi Oya[2]

[1] 東北大・理・地球物理, [2] 東北大・理・地球物理学

[1] Dept. of Geophysics, Tohoku Univ., [2] Geophysical Ist. Tohoku Univ.

地球磁場成因の基礎過程であるダイナモプロセスを解明するため、外核をモデル化した回転球殻において MHD ダイナモシミュレーションを実施し、球殻内の磁場エネルギーが対流エネルギーの10倍程度まで生成、維持される場合について対流のダイナミクス及び時間変動の解析を実施した。その結果、高気圧性の渦の内部において自転軸に平行な磁場成分が強く生成され、また、磁場が強く誘導されたカラムは西向き移動速度が小さくなる事が明らかとなった。さらに、磁場が成長するとともに対流カラムの個数が3組まで減少するが、その後、高気圧性カラムが崩れるとともに、カラムの個数が増加し、同時に磁場強度が減少する結果が得られた。

#### 1. はじめに

我々は、地球磁場成因であるダイナモプロセスの基礎過程を解明するため、外核をモデル化した回転球殻において熱対流の条件下で MHD ダイナモシミュレーションを実施している。シミュレーションの結果、球殻内の磁場エネルギーが対流エネルギーの10倍程度まで生成、維持される結果が得られた。本研究では、強く磁場が生成、維持された状態における対流のダイナミクス及び時間変動に着目して解析を実施した。

#### 2. シミュレーションの手法

内側、及び外側境界の半径がそれぞれ  $2/3$ ,  $5/3$  の回転球殻内の電磁流体に対し、Boussinesq 近似のもとで熱対流による MHD シミュレーションを実施した。手法として、角度方向に球面調和関数展開、半径方向に2次精度中心差分法を適用し、時間発展には拡散項に対して Crank-Nicolson 法、その他の項に Adams-Bashforth 法を用いた。解像度については、球面調和関数展開は18次までとした。半径方向には均等に63分割した。

境界条件は、温度場は各境界で一様とし、速度場には固定境界条件、磁場に関しては球殻の外部のポテンシャル場に接続する条件を与えた。

シミュレーションに際して基礎方程式に関する無次元数は、 $Pr = 1$ ,  $Ta = 250000$ ,  $Ra = 15000$  そして  $Pm = 15$  を適用した。

#### 3. シミュレーションの結果

シミュレーションは磁気拡散時間の8倍 ( $t=120.0$ ) まで追跡した。その結果磁場は充分成長し、 $t=30$ 以降において、磁場エネルギーが対流のエネルギーの5~20倍の大きさを保ち続けた。また、Axial dipole 成分が強く生成、維持される結果が得られた。

##### 3.1 対流及び磁場の空間構造の特徴

1) 低緯度においては反時計回り(高気圧性)の渦構造はその強度を保つ一方、時計回り(低気圧性)の渦は強度が小さくなる。同時に、高気圧性の渦の内部に強い自転軸方向成分の磁場が生成、維持される。

3) 自転軸に対し垂直な面内で高気圧性カラムでは、渦の中心へ向かうコリオリ力と渦の外側へと働くローレンツ力が釣り合う。また、自転軸方向には赤道方向に働くローレンツ力と極方向に働く圧力傾度力が釣り合うことによって、ヘリカルな柱状対流が維持されている。

4) 磁場エネルギーが生成されている領域は北半球においてヘリシティ(渦度と速度の内積)が負となる領域とよく一致する。このことは、高気圧性カラムにおけるヘリカルな対流によって磁場が生成されていることを示している

##### 3.2 対流及び磁場構造に関する時間変動の特徴

1) 対流構造は基本的に西向きに移動をしているが、強い磁場を持つ高気圧性カラムはその移動速度が小さく

なる

2) 高気圧性カラムは、正規化時間 0.5 から 3 程度の周期でその 1 つが崩壊、生成を繰り返している。高気圧性カラム内において自転軸方向成分の磁場が生成、維持されているため、対流カラムが安定している期間は球殻内の全磁場エネルギーが増加し、一方、カラムが崩壊する時刻は、全磁場エネルギー及び axial dipole 成分が減少する時刻に対応している。

3) 時間とともに対流カラムの個数は 5 組から 3 組へと減少していく。それとともに双極子成分の強度は大きくなる。しかし、対流カラムの個数が 3 組より少なくなると対流構造が不安定となり、再びカラムの個数は 5 組あるいは 6 組へと増加する。これと同時に、球殻内の磁場エネルギーも大きく減少する。