

MHDダイナモシミュレーションにおける磁場の生成領域と対流のダイナミクスの検討

*松井 宏晃 [1], 大家 寛 [1]

東北大学大学院 理学研究科 地球物理学専攻[1]

Investigation of generation regions of the magnetic field and related dynamics of the convection in the MHD dynamo simulation

*Hiroaki Matsui[1], Hiroshi Oya [1]

Department of Geophysics, Graduate school of Science, Tohoku University[1]

For understanding the generation processes of the earth's magnetic field, the MHD simulation has been made for the conducting fluid in the rotating spherical shell with thermal convection. Rigid boundary condition for velocity fields is applied; and the magnetic fields are connected to the potential magnetic fields in the outside region of the shell. The results show that the magnetic energy (M.E.) in the shell grows to the level which is understood as being controlled by the balance of Lorentz and Coriolis forces.

Intense axial dipole fields are generated; and in the cross section at $z=0.31$ (z is in direction of rotation axis), the magnetic fields in the rotation axis are generated in the anti-cyclonic columns. In level at $z=0.79$, M.E. is generated between all of the convection columns.

1. 序

本研究では、地球磁場成因であるダイナモプロセスを明らかにするため、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のMHDダイナモに対し、速度場について固定境界を適用し、球殻の外部を絶縁体とした境界条件においてシミュレーションを実施した。その結果、球殻内の全磁場エネルギーが対流エネルギーを大きく上回り、強いAxial Dipole成分が生成される結果が得られた。

2. シミュレーションの内容

内側境界の半径が $2/3$ 、外側境界の半径が $5/3$ の回転球殻モデルに対し、熱対流によるMHDシミュレーションを実施したが、その手法は、角度方向には球面調和関数展開、動径方向は2次精度の中心差分を適用し、拡散項にはCrank-Nicholson法、その他の項にはAdams-Bashforth法を適用した。解像度は、球面調和関数の打ち切り次数を18次とし、半径方向には等間隔に63分割とした。境界条件として、

速度場に対して固定境界条件、磁場に関しては球殻の外部を絶縁体とみなし、外部のポテンシャル場に接続する条件を与えた。

3. シミュレーションの結果

* 球殻内の磁場エネルギー

球殻内の全磁場エネルギーと対流エネルギーの比は、 $Ta=90000$ の場合には対流エネルギーの約4倍程度、 $Ta=250000$ の場合には約12倍程度まで成長した。このときの球殻内のローレンツ力とコリオリ力のスケールの比はどちらの場合にも0.6程度であった。このことは、後述する対流の空間構造と共に、対流がMagnetogeostrophic flowとなっていることを反映していると考えられる。

* 空間構造

磁場が弱い段階と比較すると、 $z=0.31$ の断面において、対流の構造は高気圧性の渦構造が強く見られる。また、平均して自転軸方向成分の渦度の大きさは変化が小さい一方、自転軸方向の速度が小さくなっている。また、高気圧性対流のカラムの中心部が、渦度、速度場ともに小さくなる特徴が見られる。磁場の生成は、高気圧性のカラムの内部で渦度が小さい領域に強く自転軸方向の磁場成分が出現し、低気圧性の渦度を持つ領域では、対流に平行にトロイダル成分を持つ磁場が形成される。この結果、高気圧性の対流カラムの中心部では、磁気圧が大きくなり、それをとりまく渦度が大きい領域でコリオリ力とローレンツ力が釣り合っている。

* 磁場エネルギーの生成領域

磁場エネルギーは、 $z=0.31$ の断面においては高気圧性の対流カラムに対応して、磁場エネルギーの生成が見られる。このカラムの中心部の速度が小さくなっているのは、速度場が北向きであるのに対してローレンツ力が南向きに働き、運動エネルギーから磁場エネルギーを生成しているためであると考えられる。一方、カラムが球殻に接する $z=0.79$ の断面においては、すべてのカラム内に z 軸方向成分の磁場が見られ、磁場エネルギーは対流カラムの境界の領域において生成されていることが判明する。また、球殻の境界には、磁場エネルギーの生成が負となる領域が存在している。この領域は、ローレンツ力と摩擦力が釣り合う境界層に対応し、磁場エネルギーが摩擦力を介して拡散していると考えられる。