国立天文台天文シミュレーションプロジェクト成果報告書

回転球殻 MHD ダイナモにおける初期磁場および境界条件の影響

佐々木洋平 (京都大学理学研究科数学教室)

利用カテゴリ XT4C

天体固有磁場の生成維持機構を調べることを目指した三次元回転球殻内の力学的ダイナモ計算のパラメータ研究では、強い磁場を初期に置く、あるいは外部磁場をかけた状態で磁気対流計算を行なった後に、ダイナモ計算へ切り替える、という手法をとっており、その結果として強磁場ダイナモ解を得ているものが多い. しかしながら、幾つかの研究で指摘されているように、自励的な磁場生成維持が成立するか否かは磁場の初期値に依存している可能性がある.

そこで、本研究では初期磁場の大きさを変えた数値実験を行い、実際に実現する解に違いが出るかを調べた。力学的境界条件として球殻両端が滑り無し条件の場合 (以下、RR) と、球殻下端が滑り無し条件、球殻上端が応力無し条件の場合 (以下、FR) の二通りを考え、熱的境界条件として温度固定境界条件、磁場の境界条件として球殻外部および内核は不導体とした。パラメータ設定は、プランドル数を 1、エクマン数を 10^{-3} 、球殻の内径外径比を 0.35 に固定し、磁気プランドル数を 1-20、レイリー数を臨界値の 1.5-10 倍まで変えた。数値計算は、初期段階で磁場のない熱対流計算を行ない統計的平衡状態を求め、得られた対流場に対して双極子磁場を付与することでダイナモ計算を実行した。付与した双極子磁場は、統計的平衡状態の熱対流の運動エネルギーと付与した双極子磁場の磁気エネルギーを比較して、40 磁気エネルギーに比して二桁大きい場合 41 破気エネルギーが運動エネルギーに比して二桁大きい場合 42 破気エネルギーが運動エネルギーに比して二桁大きい場合 43 通りである。

結果は以下の通りである:

- 1. 力学的境界条件によらず、初期磁場の磁気エネルギーが小さいほどダイナモ解が成立するためには磁気プランドル数をより大きくする必要がある (Fig.1).
- 2. 力学的境界条件が RR の場合には、得られた解は全て α^2 ダイナモである (Fig.2, upper rows).
- 3. 力学的境界条件が FR の場合には、初期磁場の磁気エネルギーが初期場の運動エネルギーとくらべて (a) 大きい場合、あるいは (b) 等しい場合には、 α^2 ダイナモ解が成立するのに対して、(c) 初期磁場が小さい場合には、二層構造のダイナモ解が成立する (Fig.2, lower rows). 両者は共に安定な解であり、少なくとも $\mathrm{Ra/Ra_c} \sim 10$, $\mathrm{Pm} = 5$ のパラメータレンジでは解の bistability を確認した.

参考文献

1. Sasaki et.al., Phys. Earth Planet. Inter. (2011), in press

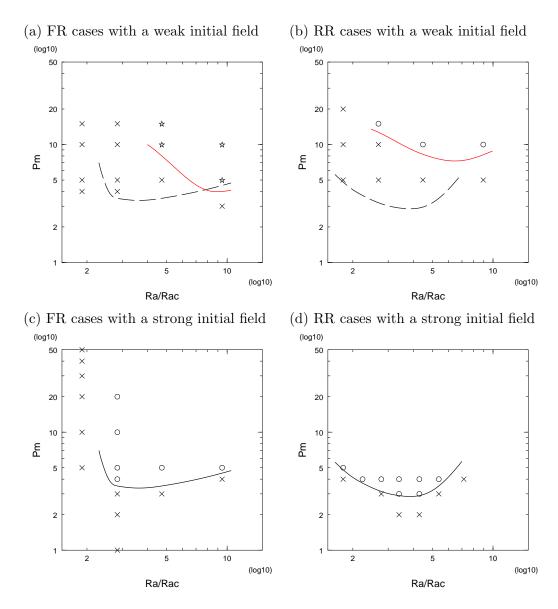


Fig. 1: Diagrams of the experimental results for the MHD dynamo calculations. \times indicates that a self-sustained dynamo solution does not develop. \star indicates that a weak magnetic field dynamo solution develops. \circ indicates that a strong magnetic field dynamo solution develops.

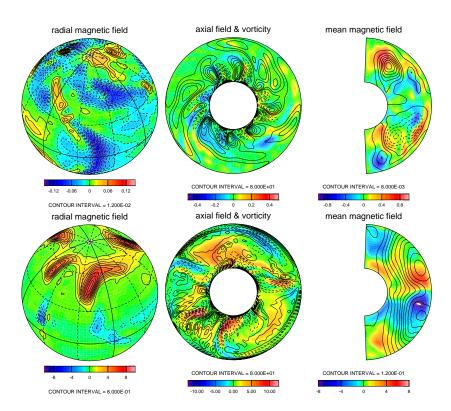


Fig. 2: Snapshots of the spatial structures of dynamo solutions for Ra = 250 and Pm = 10 developing from the weak initial magnetic field. The top- and bottom panels are for the FR and RR cases, respectively. The left panels show the radial component of the magnetic field at the outer surface. The center panels show the axial components of the magnetic fields (tone) and the vorticity fields (contours) in the equatorial cross section. The right panels show the zonal mean toroidal field (tone) and poloidal magnetic field lines (contour).