

粘性と変動フィードバックを考慮した拡張ディスクダイナモモデルの分岐解析 Bifurcation analysis of an extended disk dynamo model incorporating effects of viscosity and variable mutual inductance

榎本 悠^{1*}, 高橋 太¹, 清水 久芳², 綱川 秀夫¹

MASUMOTO, Yu^{1*}, TAKAHASHI, Futoshi¹, SHIMIZU, Hisayoshi², TSUNAKAWA, Hideo¹

¹ 東京工業大学 地球惑星科学専攻, ² 東京大学 地震研究所

¹Tokyo Institute of Technology, ²ERI, Univ. of Tokyo

近年, ダイナモシミュレーションによって, 回転球殻における MHD ダイナモにはサブクリティカル領域が存在することが明らかになってきた [1]. サブクリティカルダイナモでは, ダイナモ作用を維持するために必要なエネルギー (レイリー数) が強磁場の効果によってダイナモ作用を励起する場合に必要なエネルギーよりも小さくなる. サブクリティカルダイナモは惑星の核のダイナミクス及びその熱的進化過程を明らかにする上で重要であるが, サブクリティカルダイナモが発生する要因はまだよく理解されていない. MHD ダイナモの挙動は複雑であり, サブクリティカルダイナモを生み出す素過程を抽出することは難しい. そこで, 本研究ではより簡単なモデルである Bullard のディスクダイナモ [2] に拡張を加えたモデルを用いて, サブクリティカルダイナモ発生の変因を調べた.

以下の二つの効果を加えることでディスクダイナモの拡張を行った. 第一に Bullard のディスクダイナモには粘性項がないので, 円板の角速度に比例する粘性項を運動方程式に加えた. もう一点は, 磁場による速度場のモード変更による効果である. MHD ダイナモは流体なので速度場のモードが変わりうるが, ディスクダイナモは速度場のモードが一つに固定されている. MHD ダイナモでは磁場によって速度場のモードが変更されることで, ダイナモ作用の効率が良くなると考えられる. この効果をディスクダイナモに組み込むために, 電流に依存して相互インダクタンスが増加する変動フィードバック効果を表す項を運動方程式及びダイナモの方程式に加えた. これらの拡張を加えたディスクダイナモの基礎方程式を無次元化し, 無次元化された基礎方程式で表される力学系について解析した.

解析方法には非線形系の分岐現象の解析に用いられる分岐理論と数値シミュレーションを用いた. その結果, 粘性を加えたディスクダイナモではダイナモ作用が維持される平衡点は常に安定であり, 磁場の大きさは一定値へ収束することがわかった. これは, Bullard のディスクダイナモに見られるような角速度の振動が粘性があることによって抑制され, ダイナモ作用が安定化しているためと考えられる. また, この場合には, 粘性係数を表すパラメータと抵抗を表すパラメータの積が $1/2$ 以上となる領域では導体が回転していてもダイナモ作用が維持されないことがわかった. これは粘性が大きいとダイナモ作用を成長させるのに十分な角速度を得られず, また, 抵抗が大きいと電流が流れにくいためにダイナモ作用が維持できなくなると考えられる. さらに, 粘性と変動フィードバックを考慮したディスクダイナモにはサブクリティカルダイナモとなる領域が存在することが分かった. また, 相互インダクタンスの増加率を表すパラメータを 10 と 120 でそれぞれ固定して数値シミュレーションを用いて 2 パラメータ分岐図を作成したところ, 相互インダクタンスの増加率が大きい方がサブクリティカルダイナモとなる領域が広いことが分かった. これらの結果から, MHD ダイナモにおける対流が起きていてダイナモ作用が維持されないパラメータ領域が存在する要因は粘性力によるものと類推される. さらに, サブクリティカルダイナモ発生の変因は粘性及び磁場による速度場のモード変更によるものと類推される.

参考文献

[1] Kuang, W.; W. Jiang; and T. Wang. (2008), Sudden termination of Martian dynamo?: Implications from subcritical dynamo simulations. *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L14204.

[2] Bullard, E. C. (1955), The stability of the homopolar dynamo. *Proc. Camb. Phil. Soc.*, **51**, p. 744-760.

キーワード: ダイナモ理論, 惑星磁場, サブクリティカルダイナモ, ディスクダイナモ

Keywords: Dynamo theory, planetary magnetism, subcritical dynamo, disk dynamo