

上端応力無し条件下端粘着条件を課した回転球殻中に出現する弱磁場ダイナモ

Weak-field dynamo emerging in a rotating spherical shell with stress-free top and no-slip bottom boundaries

佐々木 洋平^{1*}, 竹広 真一², 林 祥介³, 倉本 圭¹

Youhei SASAKI^{1*}, Shin-ichi Takehiro², Yoshi-Yuki Hayashi³, Kiyoshi Kuramoto¹

¹北海道大学大学院理学院宇宙理学専攻, ²京都大学数理解析研究所, ³神戸大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

¹Dept. Cosmospice, Hokkaido Univ., ²Research Inst. Math. Sci., Kyoto Univ.,

³Dept. Earth Planet. Sci., Kobe Univ.

近年の計算機能力の向上によって、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が行なわれるようになった。その計算設定の多くは力学的境界条件として球殻両端で滑り無し条件、もしくは球殻両端で応力無し条件を用いている。しかしながら、巨大ガス惑星の内部構造や、近年日震学により内部構造が観測されるようになった太陽の対流層を考えた場合には、球殻下端の力学的境界条件を滑り無し条件、球殻上端を応力無し条件とするのが適当かもしれない。

そこで本研究では、力学的境界条件として球殻両端が滑り無し条件の場合と、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の二通りについて回転球殻内の力学的ダイナモの数値実験を行なった。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5 - 50、レイリー数を臨界値の1.5 - 10倍まで変えた。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微小な双極子磁場を付与しダイナモ計算を実行した。

球殻両端に滑り無し条件を課した場合には得られたダイナモ解は、いずれもこれまでの研究で良く知られている α^2 ダイナモであった。このダイナモ解では磁気エネルギーが運動エネルギーよりも大きい。これに対して上端に応力無し条件を課した場合の計算では、運動エネルギーに対して磁気エネルギーが非常に小さいダイナモ解が得られた。このダイナモ解は上下二層の空間的構造により特徴づけられる。上層は、強い順行帯状流と動径外向きに広がった螺旋状の対流渦が支配的である。この螺旋渦は自転と同方向に伝播し、あまり組織化されてはいない。その一方で、下層は自転と逆向きに伝播する柱状の乱流対流渦が支配的である。上層の強い帯状流は下層で形成された磁場が球殻表面に現れることを妨げている。

この弱磁場ダイナモ解の磁場生成過程を調べるために、下層と上層それぞれの伝播速度で経度方向に移動する座標系で時間平均をとり、上層と下層それぞれの速度場と磁場の特徴的な構造を抽出することに成功した。さらに、この弱磁場ダイナモ解の運動エネルギーと磁気エネルギーの収支解析を行ない、運動および磁気エネルギーのトロイダル成分とポロイダル成分のエネルギー変換を明確にした。これらの解析を合わせることで運動エネルギーのトロイダル、ポロイダル成分が磁場のトロイダル、ポロイダル成分へと変換される領域を特定した。球殻下層において、対流渦によるトロイダル磁場の磁力線の引き伸ばしによって渦状のポロイダル磁場が生成される。この渦状の磁力線が間欠的に上層に貫入する対流運動によって持ち上げられ、球殻上層の螺旋渦に巻き込まれ引き伸ばされてトロイダル磁場が形成される。このトロイダル磁場が間欠的に下層に落ちてきて内側領域の対流渦に引き込まれ、再び渦状のポロイダル磁場を形成する。これらの過程を繰り返すことで自励的な磁場が生成維持されている。

キーワード: 回転球殻対流, MHDダイナモ, 力学的境界条件

Keywords: Convection in rotating spherical shells, MHD Dynamo, Mechanical Boundary Condition