

ミニハローにおける磁場の増幅

No.426 柳崎 真詩 (理論)

磁場が初代星形成に与える影響を調べるため、ミニハローにおける磁場の急激な増幅現象について調べた。初代星は宇宙初期に誕生した第一世代の星で、それが形成されるホスト天体をミニハローと呼ぶ。ミニハローは高密度なダークマターの塊で、水素原子やヘリウム原子を重力で集めることで初代星が形成されていく。以前までは宇宙初期の磁場は非常に弱く、初代星形成に磁場の影響はないものと考えられてきた。しかし近年の研究で、非常に弱い磁場を急激に増幅する現象があることが分かっている。この現象は乱流ダイナモと呼ばれ、非常に小さいスケールで乱流の運動エネルギーが磁気エネルギーに変換され、より大きいスケールへ逆カスケードしていく磁気流体力学現象である。ミニハローに乱流ダイナモを適用すると、最小のスケールは分子間の粘性スケール、最大はジーンズスケールとなる。星形成が進み、数密度が高くなるにつれてスケール比は大きくなっていき、その比が6桁程度になると直接数値計算で調べるのは困難となる。そこで、解析的に考える方法として乱流ダイナモを統計的に取り扱う方程式(カザンツェフ方程式)がある。先行研究では、磁気エネルギースペクトルを調べる際に、カザンツェフ方程式を固有値問題と考えることで調べられてきた。しかしカザンツェフ方程式を直接数値積分した研究はなく、オーム散逸や両極性拡散などの磁気拡散の影響についても詳しく調べられてきていない。そこで、磁気拡散を考慮したカザンツェフ方程式を数値計算する方法と、固有値問題として解く方法でミニハローにおける磁気エネルギースペクトルを調べた。

その結果、磁気エネルギースペクトルの P_m 依存性を見つけることが出来た。 P_m は磁気プラントル数を表しており、粘性と磁気拡散係数の比となっている。 $P_m \geq 1$ の時は、簡単化した条件下でMHD計算した先行研究の結果と一致した(Brandenburg et al. 2005)。また $P_m \ll 1$ の時、先行研究では拡散スケール以下で磁気エネルギースペクトルは急激に減少すると考えられていたが(Schober et al. 2015)、本研究で磁気エネルギースペクトルが乱流の運動エネルギースペクトルに沿うように減少していくことがわかった。また、カザンツェフ方程式の固有値は乱流ダイナモの成長率に対応し、波動関数は磁気エネルギースペクトルに対応していることを確かめた。本研究の結果はミニハローにおける乱流ダイナモの振る舞いを理解する上で重要であると考えられる。