

乱流磁場増幅の一般的定式化について

No. 392 望月星那(理論)

宇宙初期の磁場は極端に弱かったが、現在の宇宙は強く磁化されている。初期宇宙で初代星が形成されたころには磁場はなかったと考えられていた。しかし、初代星が生まれるミニハロー(10^5 から 10^6 太陽質量の小さな銀河)でスモールスケールダイナモによって磁場が急速に増幅される可能性がある。スモールスケールダイナモとは乱流の運動エネルギーが磁場のエネルギーにかわる現象である。ミニハローのガスが重力収縮して、さらに小さい構造が降り積もることによって乱流が生まれると考えられる。この乱流の最も小さいスケールは粘性でエネルギーが散逸するスケールである。それは非常に小さいスケールで、数密度 1cm^{-3} で Jeans 長の 10^{-4} 、数密度 10^4cm^{-3} で 10^{-6} 、数密度 10^{10}cm^{-3} で 10^{-8} であるため、eddy time が自由落下時間と比べて非常に短く、急速に磁場を増幅させることができる。スモールスケールダイナモを直接コンピュータでシミュレーションしようとする、粘性でエネルギーが散逸するスケールと Jeans 長の比の 3 乗に比例してメッシュを細かくしなければならないため、そこまで分解して解くことは不可能である。そこで、解析的に解くことを考えられてきた。解析的に解く方法としてカザンツェフ方程式がある。カザンツェフ方程式とは誘導方程式を用いて導かれる乱流磁場の 2 点相関関数の時間発展を記述する方程式である。2 点相関関数とはあるベクトル場の成分の異なる 2 点でのかけ算のアンサンブル平均である。2 点相関関数は 2 点の位置に依存するが、一様であれば 2 点間のベクトル距離にのみ依存し、さらに等方であれば 2 点間の距離にのみ依存する。乱流の相関関数と磁場の相関関数は縦成分と横成分とヘリシティの線形結合の形で書ける。非圧縮のもとでは、ヘリシティと両極子拡散項が入ったカザンツェフ方程式が知られている。しかし、圧縮性のもとでは、ヘリシティなし、両極子拡散項なしのカザンツェフ方程式しか知られていない。しかし、初代星が生まれる環境ではこの一般的な形が必要である。そこで、ヘリシティと両極子拡散項の効果を含む圧縮性のカザンツェフ方程式を導出した。今後、初代星が生まれる環境に適用し数値的に解く予定である。