

宇宙磁気流体シミュレーションにおけるCT法とDivergence Cleaning法の系統的比較

○富田 賢吾¹ 定成 健児エリック² 高棹 真介³ 岩崎 一成⁴ (1.東北大学 2.ENS de Lyon 3.武蔵野美術大学 4.国立天文台)

磁気流体力学(MHD)シミュレーションは今日の宇宙物理学研究に欠かせない基本的なツールになっている。磁場は $\text{div } \mathbf{B} = 0$ の条件を満たさなければならないが、離散化した方程式ではこの条件は必ずしも自動的に満たされない。現代的なMHDコードの多くは、磁場をセル表面で定義しStokesの定理を用いて磁場の時間発展を計算することで離散化された $\text{div } \mathbf{B}$ を保存するConstrained Transport (CT) 法か、発生した $\text{div } \mathbf{B}$ を移流・拡散させることで消去するdivergence cleaning法(特にDedner et al. 2002のGeneralized Lagrange Multiplier(GLM)法)のいずれかまたは両方を実装している。どちらも広く使われている手法であるが、誘導方程式の自然な離散化になっているCT法に対して、後者は方程式系に追加の変数を導入して修正したものであり、その適用範囲や限界領域での挙動は十分に調べられていなかった。本研究では、シンプルなテスト計算を用いてこれらの手法の系統的な比較を行った。その結果、磁場が強く局在した状況や、時間刻みが急激に変化する際にGLM法が非物理的な挙動を示すことを明らかにした。後者の問題はGLM法で使用するパラメータを空間・時間的に一定にすることで抑制できるが、前者の問題はGLM法の原理的な問題である。テストした多くの状況において、CT法の方が安定で信頼できる挙動を示した。Divergence cleaning法の非物理的な挙動は現実的な天体現象のシミュレーションで実際に起こり得る問題であり、使用する場合は結果の解釈に十分な注意を要する。