

Q18a 宇宙線を考慮した磁気流体方程式の新たな数値解法

工藤祐己, 花輪知幸, 松元亮治 (千葉大学)

星間ガスにおいて、宇宙線は磁場と同程度のエネルギー密度であるため、宇宙線の圧力として磁気流体のダイナミクスに及ぼす影響を考慮することは重要である。宇宙線を考慮した(磁気)流体シミュレーションでは、宇宙線圧の時間発展方程式は流体近似によって記述された移流拡散方程式が用いられている。しかしこれまでは、宇宙線圧の方程式によって衝撃波面や宇宙線圧とガス圧の比が変化する領域から発生する不自然な振動が見られた。我々はこの振動を取り除くため、衝撃波の Rankine-Hugoniot 関係式と Riemann 解を求め、これらを元に新しい数値解法を開発した。

まず我々は磁気流体方程式と宇宙線方程式を保存形へ書き改めた。従来の方程式は宇宙線エネルギーの保存を記していたが、新しい方程式は宇宙線粒子数 $\rho_{cr} \equiv P_{cr}^{1/\gamma_{cr}}$ の保存を記す。この形ではガスと宇宙線の数密度の比が衝撃波面前後で等しいことが明らかとなり、Rankine-Hugoniot 関係式が導かれる。また従来の方程式系に残っていた移流項がないため、Roe の近似 Riemann 解を用いて数値流束を求めると衝撃波面から発生していた振動が消える。しかし宇宙線圧とガス圧の和が一定でその比だけが変化する圧力平衡モード (Webb et al. 1995) からはまだ不自然な振動が発生する。これは宇宙線が粒子数を保ちながら数値拡散すると宇宙線のエネルギーが減少するからである。圧力平衡モードに関しては、宇宙線粒子数保存ではなくエネルギー保存を解くことにより、この振動が消える。Fast 波や Slow 波に現れる音速が宇宙線により速くなる効果も取り込まれる。Alfvén 波と接触不連続面には宇宙線の影響は表れない。具体的な計算手順と 1 次元衝撃波管テストの結果は講演で発表する。