

宇宙線修正衝撃波の安定性問題 Stability problem of cosmic ray modified shock

齋藤 達彦^{1*}, 星野 真弘¹

Tatsuhiko Saito^{1*}, Masahiro Hoshino¹

¹ 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻

¹EPS, The University of Tokyo

エネルギーが $10^{15.5}$ eV までの宇宙線は主に銀河系内で起きた超新星爆発が起源と考えられている。爆発時に発生する衝撃波が宇宙空間を伝播していく過程で高エネルギー粒子が生成される。こうした衝撃波における粒子加速理論として一般的なのが Bell (1978)、Blandford & Ostriker (1978) 等によって提唱された、Diffusive Shock Acceleration (DSA) 理論である。しかしながら、DSA 理論によって実現可能な最大加速エネルギーは、 10^{14} eV にとどまり、観測結果とオーダーで1桁のギャップが存在するため、DSA 理論のみでは、宇宙線の加速問題を十分には説明できず、これは、未だ解決されていない問題である。

この問題に対して、1つの知見を与えるのが、Drury & Volk (1981) らによって提唱された、「宇宙線修正衝撃波」である。この系では、衝撃波近傍で加速された宇宙線が衝撃波に対して反作用を及ぼし、衝撃波の圧縮率をより高めて、さらに高エネルギーな粒子を生成できるようになる。近年の超新星残骸の観測からも、このメカニズムが働いていることで、下流の熱的プラズマの温度が Rankine-Hugoniot 関係から与えられる値よりも低くなっていることが示唆されており (Hughes 2000, Helder et al. 2009)、衝撃波での粒子加速において非線形修正加速が十分に考慮される可能性がある。

本研究では、Drury & Volk によって提案された「2流体モデル」を用いて、この機構を議論した。背景プラズマと宇宙線からなる系では、Rankine-Hugoniot 関係を満たす衝撃波解が複数存在する場合がある。この時、それぞれの解を数値計算によって時間発展させると、それぞれの解の間で、衝撃波構造の遷移が見られ、安定解と不安定解が存在することが分かり、宇宙線は圧力が最大または最小になるように変化していく。さらに、不安定解においては衝撃波の構造遷移過程で衝撃波波面が波打つ波形不安定がおきることが、Mond & Drury 1998 によって理論的に予測されているが、本研究では2流体モデルの2次元シミュレーションを行い、この不安定性について調べた。

キーワード: 宇宙線, 衝撃波加速, 安定性

Keywords: cosmic rays, shock acceleration, stability