

宇宙線変成衝撃波の構造安定性について Stability of structure of cosmic ray modified shocks

齋藤 達彦^{1*}, 星野 真弘²

SAITO, Tatsuhiko^{1*}, HOSHINO, Masahiro²

¹ 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻, ² 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻

¹EPS, the University of Tokyo, ²Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo

銀河系内部で生成される銀河宇宙線の加速起源は超新星残骸中の衝撃波であると一般に考えられている。天体衝撃波における非熱的粒子の加速においては1次のフェルミ加速と呼ばれる統計的な加速理論が標準なものとなっている。一方で、最近の超新星残骸の詳細な観測によって、衝撃波下流の熱的プラズマの温度が理論値よりも低く、宇宙線のエネルギーが卓越したことがあることが報告されている。こうした状況では、宇宙線が衝撃波に陽に影響を与え、その構造を変化させる、宇宙線の反作用効果が起こると考えられる。このように非線形に発展した衝撃波は「宇宙線変成衝撃波」と呼ばれ、近年その存在の可能性が議論されている。

本研究では流体スケールでの宇宙線変成衝撃波の安定構造の理解のために、背景の熱的プラズマと宇宙線をともに流体的に取り扱った「MHD2 流体モデル」を基に議論した。このモデルにおいては、宇宙線変成衝撃波のランキン-ユゴニオ関係が多価的になり、1つの上流状態に対して、下流での宇宙線の生成量が異なる3つの状態をとることが可能であることが知られている。この3種の解析的定常解に対して1次元シミュレーションによる時間発展を行った結果、下流で宇宙線を最も生成する場合と最も生成しない場合の2つの構造が安定的に実現されることが分かった。また、両者の中間的な構造は不安定で他2つの安定構造へと遷移することも分かった。そして、この構造の安定性は上流の衝撃波角に依らないことも分かった。

さらに、定常解とは異なる初期状態として、上流にのみ宇宙線が存在するケースと下流にのみ宇宙線が存在するケースを設定してシミュレーションによる時間発展を追った。その結果、解析的定常解の衝撃波構造が非定常においても安定的に実現されることを確認した。

キーワード: 宇宙線, 衝撃波, 非線形発展, 構造安定性

Keywords: cosmic rays, shock, nonlinear evolution, stability of structure