

無衝突衝撃波における電子注入の臨界マッハ数

A critical Mach number for electron injection in collisionless shocks

天野 孝伸^{1*}, 星野 真弘²

Takanobu Amano^{1*}, Masahiro Hoshino²

¹名古屋大学理学研究科, ²東京大学理学系研究科

¹Nagoya University, ²University of Tokyo

無衝突衝撃波は荷電粒子を加速する自然の加速器の役割を果たすことが知られており、古くから高エネルギー宇宙線の起源だと思われてきた。理論的には1次Fermi加速によって観測されるようなベキ型のエネルギー分布が作られることが知られている。ところが、Fermi加速は低エネルギー粒子に対しては効率が悪いいため、Fermi加速の種粒子を作るためには熱的粒子をあらかじめ中間エネルギーまで加速するなんらかのメカニズムが必要となる。これが注入問題として知られる衝撃波粒子加速理論における最も重要な未解決問題であった。特に電子に関しては理論的に注入が困難なことが知られていたが、その一方で高エネルギー天体からの非熱的放射の観測から電子の加速が効率的であることが分かっていた。

本研究では衝撃波近傍におけるプラズマ波動によって低エネルギー電子の注入が達成され得ることを示す。衝撃波では磁場の圧縮によって一部の粒子がミラー反射されることが知られているが、このミラー反射された電子ビームの不安定性解析からAlfvenマッハ数がある臨界値を越えると高周波のホイッスラー波が励起されることが分かった。このホイッスラー波は電子の散乱を効率的に起こすことができるため、Fermi加速に必要な条件を満たすことができる。さらに地球のバウショックの観測と理論解析との比較を行い、両者が非常に良く一致することを確かめた。この臨界マッハ数のパラメータ依存性から、若い超新星残骸衝撃波においては電子注入が効率的に起こることが分かった。

キーワード: 衝撃波, 粒子加速, 宇宙線

Keywords: shock wave, particle acceleration, cosmic ray