

複数の衝撃波による粒子加速の数値実験 Numerical study on particle acceleration in multi-shock system

中野谷 賢^{1*}, 羽田 亨¹, 松清 修一¹
Masaru Nakanotani^{1*}, Tohru Hada¹, Shuichi Matsukiyo¹

¹ 九大総理工
¹ ESST, Kyushu Univ

宇宙線が生成されるメカニズムとして、無衝突衝撃波によるフェルミ加速が有力視されている。いままでに、この加速機構に関する研究は盛んに行われてきたが、そのほとんどは単一の衝撃波による加速を前提としたものである。その一方で、宇宙空間には無数の衝撃波が普遍的に存在しており、状況によっては二つの衝撃波が接近・衝突することもある。太陽圏を例にとれば、地球磁気圏衝撃波や太陽圏終端衝撃波への惑星間空間衝撃波の衝突は珍しくない。本研究では、衝撃波が2つ存在する場合の粒子加速過程を議論する。

まず、簡単なテスト粒子計算によって、衝撃波が2つ存在する場合に衝撃波統計加速がどのように働くのかを調べ、拡散輸送方程式に基づく理論的考察を行った。その結果、粒子のエネルギースペクトルは2つ(以上)のベキを持ち、ベキは高エネルギー側でよりハードになることが分かった。これは、エネルギーの高い粒子は大きな拡散係数を持つので、2つの衝撃波をまたいでより効率的な加速を受けることが可能なためである。通常、衝撃波の圧縮比により決まるベキ指数は、この場合、単一衝撃波での最大圧縮比4を超える圧縮比での値を取りうるということが分かった。

一方、上の議論とは独立に、2つの衝撃波が衝突する場合の粒子加速過程を1次元フル粒子(PIC)計算により調べた。衝撃波同士の衝突過程を議論した数値実験としては、過去にハイブリッド計算による例があり[Cargill et al., 1986]、特に超臨界垂直衝撃波同士の衝突において効率的な粒子(イオン)加速が起こることが報告されている。しかしながら、一般にハイブリッド計算では電子ダイナミクスを解かないため、粒子の初期加速過程に重要な影響を与える可能性のある、衝突前後の衝撃波のマイクロ構造までは正しく再現されない。ここでは、PIC計算によって超臨界垂直衝撃波同士の衝突を再現し、衝突前後の衝撃波の電磁場構造を詳細に調べるとともに、衝突に伴って起こるイオンおよび電子の加速過程を議論する。

キーワード: 複数衝撃波, 粒子加速, 数値実験
Keywords: multi-shock waves, particle acceleration, numerical simulation