

## 近接・衝突する二つの斜め衝撃波：衝撃波構造、粒子加速 Colliding Two Oblique Shocks: Shock Structures and Particle Acceleration

中野谷 賢<sup>1\*</sup>; 松清 修一<sup>1</sup>; 羽田 亨<sup>1</sup>  
NAKANOTANI, Masaru<sup>1\*</sup>; MATSUKIYO, Shuichi<sup>1</sup>; HADA, Tohru<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 九大総理工

<sup>1</sup> ESST, Kyushu univ.

プラズマ中に発生する無衝突衝撃波（以下、衝撃波）は高エネルギー粒子を効率よく生成すると考えられている。その加速機構を明らかにするために多くの研究がなされてきたが、従来の議論はどれも単一の衝撃波を仮定しており、複数の衝撃波による加速はほとんど考えられてこなかった。実際、宇宙には衝撃波が普遍的に存在しており、衝撃波同士が接近・衝突することは頻繁に起こる。例えば、コロナ質量放出により生じた衝撃波が地球の磁気圏衝撃波に衝突したり [H. Hietala et al., 2011]、惑星間空間衝撃波が太陽圏終端衝撃波を横切ることが観測されている [J. Y. Lu et al., 1999]。これらの現象において、衝撃波構造の変化や粒子の加速・加熱などの物理過程は未解明である。

衝撃波同士の衝突過程を議論したプラズマ運動論的数値実験としては、過去にハイブリッド計算による例があり [Cargill et al., 1986]、超臨界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。

そこで、本研究では、1次元 Full-Particle-in-Cell シミュレーションを用いて二つの衝撃波の近接・衝突過程を模擬する。特に、斜め衝撃波同士の衝突において次の3点の結果に注目する。

1. シミュレーションでは、接近しつつある2つの斜め衝撃波上流域で高エネルギー電子が加速された。これらは、二つの衝撃波による反射を繰り返して効率的に加速（フェルミ加速）されており、被加速粒子の一部は、衝撃波衝突時に増幅される磁場や衝突後の衝撃波によってさらに加速されることが分かった。

2. 衝突前において、上流に染み出した電子によって大振幅波動が励起されることが分かった。この波動の励起機構、粒子の伝播や衝撃波構造への影響を議論する。

3. 衝撃波衝突後の下流域でのプラズマの密度や圧力が磁気流体力学 (MHD) により求められる値よりも低いことが分かった。その原因としては高エネルギーの電子が上流に流出したためであると考えられる。また、磁気流体力学で求められる衝突後の衝撃波の物理量（磁場の大きさ、衝撃波の速度 etc.）と PIC シミュレーションの結果との比較を行い、運動論的効果の影響を議論する。

キーワード: 無衝突衝撃波, 複数衝撃波, 粒子加速, 数値実験

Keywords: collisionless shock, multi-shock waves, particle acceleration, numerical simulation