

超相対論的無衝突衝撃波のPICシミュレーション

大平豊 (高エネルギー加速器研究機構)

利用カテゴリ XT4B

無衝突衝撃波で生じる散逸機構、粒子加速機構は無衝突プラズマの不安定性によって生じた電磁場を利用するものと思われるが、それらの物理機構は未解明である。とりわけ、ガンマ線バーストや活動銀河核ジェットなどの宇宙プラズマ中に存在する相対論的衝撃波に関しては、その場観測がないため、その解明には大規模数値計算が必須である。相対論的衝撃波では、プラズマ不安定の成長時間スケールや、衝撃波粒子加速の時間スケールが、非相対論的な場合に比べて短いので、無衝突衝撃波の物理を調べるのに適している。我々は、長時間の計算に絶大な威力を発揮する計算手法を相対論的衝撃波に適応し、生じるプラズマ不安定性、プラズマ加熱、粒子加速の解明を試みる。

これまでの無衝突衝撃波のシミュレーションは、プラズマ流を壁に当てることによって衝撃波を形成していた。そのため、シミュレーション系は下流静止系となり、衝撃波は上流へと移動し、長時間の伝搬を解くために広い計算領域を必要とした。名古屋大梅田助教が開発した衝撃波静止系の計算コードでは、衝撃波が静止した系であるため、長時間の発展を、従来の方法より狭い領域で計算が可能となる。この長時間の計算を効率に行える衝撃波静止系での2次元プラズマ粒子シミュレーションコードを、相対論的衝撃波でも高精度に解けるコードに拡張し、相対論的衝撃波の散逸、粒子加速の物理現象を明らかにする。また、領域分割法を実装することでさらなる効率化を試みる。

いままでの結果として、まず領域分割による効率化に成功した。また、相対論的なプラズマ流に伴う非物理的な数値的チェレンコフ放射について、様々な方法を比べて、その性質を調べた。これまでの方法を使って、ローレンツファクターが7程度までの一様な流れについては、数値的チェレンコフ放射を避けて解くことが出来るようになった。このコードを用いて、非常に小さい背景磁場（衝撃波の運動エネルギー密度の0.1%の垂直磁場）、電子陽電子プラズマ、衝撃波速度0.9cの無衝突衝撃波のシミュレーションを行った。その結果、非常に効率のよい衝撃波中の粒子加速を観測した。衝撃波付近の構造はWeibel不安定性によってできる構造とよく似たものである。粒子加速機構としては、スタンダードな衝撃波統計加速とは異なる性質を持つことが分かってきた。

ガンマ線バーストやパルサー風での終端衝撃波ではローレンツファクターが1000を超えるような衝撃波も存在すると考えられている。これらの系では、Weibel不安定性による衝撃波散逸とは異なる衝撃波構造が現れることが線形解析から期待される。このような超相対論的な衝撃波の場合でも、数値チェレンコフ放射を取り除く方法を開発中である。