

衝撃波静止系による垂直衝撃波の2次元粒子シミュレーション

Two-dimensional particle simulation of a perpendicular shock in a shock rest frame

山尾 政博 [1]; 梅田 隆行 [1]; 山崎 了 [2]; 荻野 竜樹 [3]

Masahiro Yamao[1]; Takayuki Umeda[1]; Ryo Yamazaki[2]; Tatsuki Ogino[3]

[1] 名大・STEL; [2] 広大・理・物理; [3] 名大 STE 研

[1] STEL, Nagoya Univ.; [2] none; [3] STEL, Nagoya Univ.

無衝突衝撃波では非熱的な粒子が生成されるとされているが、そのメカニズムは未だに解明されていない。衝撃波で起きるとされる粒子の加速に対しては複数のモデルが提唱されてはいるが、それらはまだ検証されていない。また、衝撃波の構造や衝撃波における散逸、プラズマ波動の励起過程は非常に複雑であり、計算機シミュレーションによる衝撃波の研究が行われている。

無衝突衝撃波を生成する手法は様々なものが考案されているが、そのほとんどは衝撃波が伝播するため、衝撃波の時間発展を長期にわたって観察することは困難である。しかし非熱的な粒子が生成されるためには、粒子が長時間に渡り衝撃波にトラップされる必要があると考えられており、長時間のシミュレーションに耐えうるコードが不可欠である。また、3次元位相空間における粒子の散逸を捉えるためには実空間を2次元以上にとる必要があるが、多次元シミュレーションのためには非常に大きな計算コストが必要になる。この問題を解決する手段としては衝撃波静止系でのシミュレーションを行うことが挙げられる。衝撃波が伝播しなければ、多次元モデルでの長時間シミュレーションが比較的容易となる。

本研究では Relaxation method を用いて衝撃波静止系を実現し、Alfvén マッハ数 10、ベータ値 0.125 の垂直衝撃波のシミュレーションを行った。シミュレーション領域は X 軸 × Y 軸 = 64 × 10240 グリッドの 2 次元平面で、磁場は Y 方向に平行にとった。プラズマと磁場は X 軸正方向に向かって流れるとする。初期条件として $X=8192$ に不連続面をおいた。質量比 $m_i/m_e=25$ 、上流の熱比 $T_i/T_e=1.0$ として上流の初期値を与え、下流の熱比 $T_i/T_e=8.0$ として下流の初期値をランキン - ユゴニコの式を解いて与えている。境界条件は吸収端で、上流側の境界からプラズマが流入し下流側境界から放出される。

1次元では磁場に平行な方向への散逸が皆無であったのに対して、2次元では電子が磁場に沿って散逸されることを確認した。また、イオンが衝撃波で反射される際、1次元に比べて反射イオンが位相空間で不安定にならないことを確認した。電磁界の変動成分が、特に衝撃波面で Y 軸方向に不均一に分布し、その値は上流の初期磁場と同等にまで成長する時もあることが分かった。しかし、これが粒子の位相空間や衝撃波の構造に影響を与えている様子は確認できなかった。一方、主要な磁場は Y 軸方向に対してほぼ均一に分布し、その時間発展には 1次元との違いがほとんど表れなかった。電子、イオン双方の磁場に対して垂直方向の位相空間における加熱の様子も大きな変化は見られず、また衝撃波再形成の周期にも変化はなかった。これらは、今回のシミュレーション領域がほぼ 1次元とみなすことができるためであると考えられる。