

揺らいだ衝撃波面におけるドリフト加速

天野 孝伸 [1]

[1] 名大・理

Shock Drift Acceleration in Rippled Shock Surface Structures

Takanobu Amano[1]

[1] Dept. Phys., Nagoya Univ.

Particle acceleration in collisionless shocks has been a issue of great interest in space and astro physics. Diffusive shock acceleration (DSA) model has been the most widely accepted theory since late 1970s. However, several issues in this theory still remain unresolved. The injection problem is the most crucial one, particularly for electrons due to their light mass.

We have so far demonstrated that the injection of electron becomes possible by considering plasma instabilities in the shock transition region. One of important ingredients in our electron injection model is the so-called shock drift acceleration (SDA). The SDA is a magnetic mirror reflection process by the compressed magnetic field at the shock. Since the typical length scale of collisionless shocks is the ion inertial length, the electron dynamics is well approximated by adiabatic theory. On the other hand, observations and some numerical experiments suggest that the simple adiabatic prediction may not be valid. Therefore, additional processes should be taken into account.

In the present study, we investigate the effect of rippling of shock surface structures, which is likely due to plasma instabilities driven by ion temperature anisotropies. It is argued that the electrons interacting with a shock may resonate with the rippling and the resonance affect the efficiency of SDA.

無衝突プラズマ中に発生する衝撃波は高エネルギー粒子の加速源として最も有力な候補であり、これまでも衝撃波における粒子加速は盛んに議論されてきた。最も広く受け入れられている標準的な衝撃波粒子加速機構としては1970年代後半に確立されたDiffusive Shock Acceleration (DSA) モデルが挙げられるが、この機構にはいくつかの未解決問題が残されている。注入問題はその中でも最も重要なものであり、特に電子については理論的な困難が指摘されていた。一方で計算機能力の向上に伴い、衝撃波のマイクロな過程まで自己無撞着に扱う数値シミュレーションが可能になったことから、近年では電子の加熱や加速の理解が大きく進展してきた。

これまでに我々は粒子シミュレーションと理論的考察から電子の注入問題が解決可能であることを示してきたが、この電子注入過程において衝撃波ドリフト加速と呼ばれる機構が重要な役割を果たす。この加速過程は電子が衝撃波の圧縮された磁場構造によって磁気ミラー反射を受けることによって起こる。電子のジャイロ半径は衝撃波の特徴的なスケールに対して十分小さいため、この加速過程は断熱的なものと考えられているが、一方でバウショック上流で観測される高エネルギー電子フラックスからは非断熱的な加速過程の存在が示唆されている。また最近ではBurgess (2006, *Astrophys. J.*) が衝撃波面に揺らぎが存在する時には電子のドリフト加速の効率が良くなることを指摘したが、その物理的機構についてはよく理解されていない。

このような背景を基に、我々は揺らいだ衝撃波面における電子のドリフト加速について理論的に調べている。衝撃波の揺らぎはイオンの温度非等方性を自由エネルギーとしたプラズマ不安定性によって作られると考えられ、数値シミュレーションの結果からイオン慣性長程度の波長を持ち、その位相速度は局所的なAlfven速度程度であることが分かっている。一方でドリフト加速(ミラー反射)する電子が衝撃波と相互作用する時間スケールはイオンのジャイロ周期程度であるため、この揺らぎの周波数と同程度である。従って電子と衝撃波面の揺らぎが「共鳴」する可能性が考えられ、この共鳴が起こると一部の電子は平坦な衝撃波との相互作用よりも大きなエネルギーを得られる可能性がある。我々はこのことを指摘し、また電子と衝撃波面の揺らぎの共鳴条件を理論的に導出する。さらに揺らいだ衝撃波構造をモデル化し、そのような場における電子の軌道を解析し、共鳴による電子の加速効率の変化について考察する。また衝撃波面の揺らぎが反射効率(反射電子密度)に与える影響についても調べ、可能であれば電子の注入効率についても定量的に評価する。