

## Buneman 不安定性の非線形発展と衝撃波電子サーフィン加速

# 天野 孝伸 [1]; 星野 真弘 [2]

[1] 東大・理・地球惑星; [2] 東大・理・地球物理

### Nonlinear Evolution of Buneman Instability and Electron Shock Surfing Acceleration

# Takanobu Amano[1]; Masahiro Hoshino[2]

[1] Earth and Planetary Sci., Univ. of Tokyo; [2] Earth and Planetary Sci., Univ of Tokyo

Although we often observe non-thermal particles in many space environments, our understanding of the generation mechanism of these energetic particles is not yet established. One of the most important candidates producing energetic particles are collisionless shocks. We know that many plasma instabilities are excited in the shock transition region, where non-adiabatic particle heating and acceleration occur. The Buneman instability, which occurs in very high Mach number regime, is thought to be important for production of energetic electrons in connection with electron shock surfing acceleration.

Here, we report two-dimensional simulation results of the Buneman instability. We found that spatially isolated potential structures are produced in the nonlinear stage of this instability, which can be qualitatively explained by linear theory. Since electron shock surfing requires a one-dimensional potential structure, one might think that the isolated potential structures found in our simulations make it impossible for electron shock surfing to operate efficiently. However, we found energetic electrons accelerated by interacting with multiple isolated potentials and gain their energy for each interaction. This means that the spatial extent of the potential structure does not matter. Instead, the spectrum and the amplitude of the wave will be crucial for the acceleration efficiency.

We discuss a saturation level of the electric field as well as the saturation mechanism. The acceleration efficiency of electron shock surfing in the turbulent potential structure will also be discussed.

宇宙空間プラズマでは熱的粒子と非熱的粒子(高エネルギー粒子)が共存している場合がしばしば見られるが、これら非熱的粒子の生成機構はプラズマ物理学における大きな問題として今も残されている。この問題に関して無衝突衝撃波は非熱的粒子の生成源の有力な候補として古くから盛んに研究されてきた。本講演では高マッハ数の衝撃波遷移層で見られる Buneman 不安定性の非線形発展を議論する。

衝撃波遷移層における Buneman 不安定は上流の電子と反射イオンの相互作用によって励起される静電的不安定であり、これに伴う電子サーフィン加速は特に注入問題と呼ばれる衝撃波粒子加速の基本的問題の解決に重要な役割を果たすことが示唆されている。加えて Buneman 不安定は磁気リコネクションの散逸領域においても重要な役割を果たすことも考えられ、この不安定性の理解は非常に重要である。

そこで我々は2次元の粒子シミュレーションを用いて Buneman 不安定の非線形発展と、それに伴うサーフィン加速の効率を調べた。2次元の Buneman 不安定の場合には1次元的な静電ポテンシャルではなく2次元的に孤立したポテンシャル構造が生成されるが、これは線形理論から理解することができる。今ビーム方向を  $x$  とし、シミュレーション平面を  $x$ - $y$  平面とすると  $x$  方向の波数  $k_x$  が Buneman 不安定の条件を満たせばそれに垂直な方向の波数  $k_y$  の値によらず不安定の条件を満たすため、ビームに並行伝搬でも斜め伝搬でも同程度の成長率を持つ。ただし実際には電子のランダウ減衰が効いて非線形段階では  $x$  方向と  $y$  方向が同程度のスケールを持つ孤立したポテンシャル構造が形成される。

オリジナルの電子サーフィン加速は一次元的なポテンシャル構造を仮定したものであり、このような孤立したポテンシャル構造中では加速効率が悪いと考えられるが、シミュレーション結果は複数個のポテンシャル構造を横切りながら加速される粒子があることを示している。つまり空間的に孤立したポテンシャルであっても強い電場強度さえ保つことができればサーフィン加速は効率的に働く可能性がある。しかし、それと同時に2次元の場合では1次元よりも不安定の飽和レベルが低いことが分かってきた。

講演では飽和時の電場強度の推定と飽和メカニズムについて1次元と2次元の結果を比較しながら議論する。またこれを用いて電子サーフィン加速の効率についても議論したい。