

## 無衝突プラズマ中での、選択的粒子の「エネルギー非散逸加速」

"Acceleration without energy dissipation" of preferential particles in collisionless plasmas

# 水田 孝信[1], 星野 真弘[2]

# Takanobu Mizuta[1], Masahiro Hoshino[2]

[1] 東大・理・地球惑星, [2] 東大・理・地球物理

[1] Earth and Planetary Sci., Graduate School, Tokyo Univ., [2] Earth and Planetary Phys., Univ of Tokyo

<http://stp-www.geoph.s.u-tokyo.ac.jp/~mizuta/>

無衝突プラズマの非線形現象として、波動-粒子相互作用がある。今回我々は、電子・陽子に加え、アルファ粒子を加えた三成分プラズマ中に複数の波が存在する系での、波動-粒子相互作用を研究した。その結果、波動によって決まる共鳴速度領域に存在するアルファ粒子は、ランダムウォークをすることなく、つまりエネルギー散逸されずに、選択的かつ秩序的に加速されることが分かった。我々は数値計算に加えて、選択された全ての粒子の運動を記述する理論式を導いた。このような非線形作用が多数集まり複雑に絡み合った系で、選択粒子がエネルギー散逸を起こさずに秩序的に加速されるのは興味深い。

無衝突プラズマの非線形現象として、波動-粒子相互作用がある。この作用は、衝撃波や乱流場での粒子の加熱・加速に、また、太陽風中でのアルファ粒子やコロナホールでの酸素イオン粒子の選択的加熱・加速に、大きな役割を果たしていると考えられている。

電子・陽子からなる、二成分プラズマ中で電磁流体波動が複数存在するとき、波動-粒子間相互作用により、個々の粒子はランダムウォークをする。その為、粒子はエネルギー散逸を起こしながら、散乱される。この非線形現象は準線形理論などにより多く議論されてきた。今回我々は、電子・陽子に加え、アルファ粒子を加えた三成分プラズマ中に複数の波が存在する系での、波動-粒子相互作用を研究した。三成分プラズマ中には、代表的な電磁流体波動速度であるアルペン速度よりも位相速度が非常に速く、逆に群速度が非常に遅い波動(Lp-mode)が存在する。このLp-modeと通常の電磁流体波動中での粒子の振る舞いをテスト粒子シミュレーションで調べた。その結果、波動によって決まる共鳴速度領域に存在するアルファ粒子は、ランダムウォークをすることなく、つまりエネルギー散逸されずに、選択的かつ秩序的に加速されることが分かった。さらに、選択された全ての粒子の秩序的運動を理論的に記述できることも分かった。選択アルファ粒子の背景磁力線方向の速度は振動し、垂直方向の速度の絶対値は線形に増加するが、これは位相速度の速い波動によって電場擾乱と磁場擾乱が分離され、これらが別々に粒子と作用したためである。このような非線形作用が多数集まり複雑に絡み合った系で、選択粒子がエネルギー散逸を起こさずに秩序的に加速されるのは興味深い。選択粒子のエネルギー非散逸加速が起こる条件は、

- 1, アルペン速度より十分速い位相速度をもつ波動が存在する。
- 2, その波動以外の擾乱の空間スケールがその波の波長より十分小さい。
- 3, その波動以外の磁場擾乱はその波動の磁場擾乱より強く、逆に電場擾乱は弱い。

であることが分かった。

そして、このような波が、どのようなとき励起されるかを調べた。我々は、磁力線方向に伝搬する波に対して、ビーム不安定の線形解析を行った。1と3を同時に満たすことは容易に出来たが、2を満たすことは難しいことが分かった。磁力線に斜めに伝搬する波動も考慮したビーム不安定や、モード間非線形結合不安定は、このような波を作る可能性があり、検討すべき課題である。テスト粒子シミュレーションでは、秩序だって動いた粒子が場を変化させる効果が無視されていた。この効果も考慮できるハイブリッドシミュレーションを行い、その結果も発表する。