

高速イオン高速粒子による低域混成波不安定性の非線形発展とイオン加速に関する粒子シミュレーション：高速粒子注入の効果

PIC simulation on non-linear development of lower hybrid wave instabilities driven by energetic ions and ion acceleration: effects of energetic-ion injection

小谷翼¹, 樋田美栄子², 森高外征雄², 田口聡¹

Tsubasa Kotani¹, Mieko Toida², Toseo Moritaka², Satoshi Taguchi¹,

京都大学理学研究科¹, 核融合科学研究所²

Graduate School of Science, Kyoto University¹, National Institute for Fusion Science²

1 本文

リング状の速度分布を持つ高速イオンは、核融合プラズマや宇宙プラズマの様々な領域で観測されており、不安定性を引き起こすことが知られている。例えば地球磁気圏では、リング状の速度分布を持つ高速イオンによって励起された低域混成波が、イオンや電子を加熱していると考えられている。[1] またオーロラ帯では低域混成波が酸素イオンを加速させることで、地球大気からの流出に寄与していると考えられている。[2]

低域混成波不安定性に関するシミュレーションは多くなされているが、そのほとんどが初期にのみ高速イオンを配置する初期値問題を解いている。しかし、実際に低域混成波が観測されている場所では、高速イオンは注入され続けていると考えられる。そこで、本研究ではその影響を明らかにするため、高速イオンを注入し続けるモデルを用いて、低域混成波不安定性の長期間に渡る非線形発展を調べている。

磁場は十分に強く ($\Omega_e > \omega_{pe}$)、高速イオンの速度がアルヴェーン速度よりも十分小さい場合について一次元 PIC シミュレーションを行った。初期値問題では速度分布の緩和後、低域混成波は全波数帯で減衰する。一方、注入モデルでは、波数によって振る舞いが異なり、(a) 振幅維持 (b) 減衰 (c) 遅れて成長、の三つのパターンが存在することがわかった (図 1)。これらの違いを以下の理論式

$$\epsilon_h = \frac{\omega_{ph}^2}{k_{\perp}^2} \int dv_{\perp} 2\pi v_{\perp} \left(\frac{n\Omega_i}{v_{\perp}} \right) \frac{\partial f_{h\perp}}{\partial v_{\perp}} \frac{J_n^2(k_{\perp} v_{\perp} / \Omega_i)}{\omega - n\Omega_i} \quad (1)$$

に基づいて考察した。ここで、 ϵ_h は誘電率の高速イオン項である。注入効果によって速度分布の勾配 $\partial f_{h\perp} / \partial v_{\perp}$ が維持されることと、波数 k_{\perp} によって

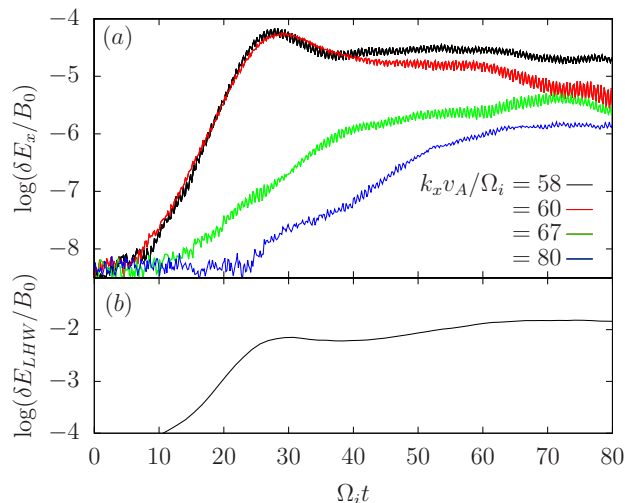


Fig. 1: 3つの波数における電場揺動及び低域混成波の強度の時間発展図

ベッセル関数 $J_n(k_{\perp} v_{\perp} / \Omega_i)$ の振る舞いが異なるため、図 1 の (a), (b), (c) のように波数による差が現れる。そして、(a) および (c) のパターンの存在によって電場の振幅が維持され、低域混成波による背景イオンの加速が促進されることが明らかになった。[3]

本講演では、これら非線形発展の詳細に加えて、不安定性の高速イオン注入速度に対する依存性についても報告する。

References

- [1] N. P. Meredith, R. B. Horne, and R. R. Anderson. *J. Geophys. Res.*, 113(A6), 2008.
- [2] M. André, P. Norqvist, L. Andersson, L. Eliasson, A. I. Eriksson, L. Blomberg, R. E. Erlandson, and J. Waldemark. *J. Geophys. Res.*, 103:4199, 1998.
- [3] T. Kotani, M. Toida, T. Moritaka, and S. Taguchi. *J. Phys. Soc. Jpn.*, 90(12), 2021.