

準平行伝播 Alfvén 波のパラメトリック不安定性のヴラスフシミュレーション：波動の長時間発展と粒子加速

神代 天 [1]; 羽田 亨 [2]; 成行 泰裕 [3]; 梅田 隆行 [4]
[1] 九大・総理工・大海; [2] 九大総理工; [3] 高知高専・電気; [4] 名大 STE 研

Vlasov-Hall-MHD simulation of parametric instabilities of quasi-parallel Alfvén waves : long time evolution and ion acceleration

Takashi Kumashiro[1]; Tohru Hada[2]; Yasuhiro Nariyuki[3]; Takayuki Umeda[4]
[1] ESST, Kyushu Univ.; [2] ESST, Kyushu Univ.; [3] KNCT; [4] STEL, Nagoya Univ.

<http://www.esst.kyushu-u.ac.jp/~space/>

Since the solar wind is a high beta plasma, ion kinetic effects in general cannot be neglected in discussions of magnetohydrodynamic (MHD) waves. Until now, hybrid code (super-particle ions + electron fluid) is the most commonly used simulation method to numerically study the kinetic effects of the solar wind MHD waves. However, the presence of numerical noise originated from the use of finite number of super-particles, which may influence the results of long time evolution of MHD waves in an intrinsic way, cannot be avoided as long as one sticks to the use of any PIC type of simulation methods. In order to overcome this difficulty, we have recently developed a Vlasov-Hall-MHD code, in which the Vlasov equation is solved along the main (longitudinal) axis, while the Hall MHD equations are solved for the transverse directions.

Our main research interest is in the solar wind quasi-parallel Alfvén waves. They are typically robust for linear ion-cyclotron damping (due to their small wave frequencies) and for linear Landau damping (due to their small propagation angle to the background magnetic field), parametric instabilities are believed to play important roles in dissipation of such quasi-parallel Alfvén waves.

We examine long time consequences of parametric instabilities of solar wind Alfvén waves using the Vlasov-Hall-MHD simulations, and discuss different features of the system evolution when the polarization and the wave amplitude of the parent Alfvén wave are varied. Also, we report nonthermal ion acceleration due to steepened MHD structures, which are generated during the course of the decay instability.

太陽風プラズマは高 β であるため、運動論的に取り扱う必要がある。これまで太陽風中の磁気流体波の運動論的シミュレーションにはいわゆる Hybrid コード（超粒子イオン + 流体電子）が用いられることが多かったが、この方法では有限個の超粒子を用いることに起因する数値ノイズを避けることができず、磁気流体波の長時間発展を正確に捉えているか定かではない。そこで我々は、主軸方向にはイオンの Vlasov 方程式を、垂直方向には 2 流体方程式を解く、新しい Vlasov-Hall-MHD コードを開発した。

主な研究対象とする太陽風中の大振幅準平行伝播 Alfvén 波は、エネルギーや運動量などのマクロ物理量を長距離伝搬する重要な担い手である。これらのマクロ量を最終的に太陽風プラズマに受け渡すためには波動が消滅することが必要であるが、イオンサイクロトロン減衰等の線形無衝突減衰過程は小さいため、波動のパラメトリック不安定性が重要と考えられている。前回の SGEPS 春学会では、パラメトリック不安定性の中でも特に崩壊不安定性に着目し、Vlasov-Hall-MHD コードを用いた Alfvén 波のシミュレーションを行って、得られた結果が Hybrid コードによる計算と良く一致することを報告した。

本講演ではこれまでの議論をさらに発展させ、Vlasov-Hall-MHD コードを用いて Alfvén 波の高精度シミュレーションを行い、波動の非線形長時間発展の親波偏波および振幅依存性について解析したこれまでの結果を包括的に述べるとともに、不安定性に伴って見られた非熱的粒子加速について詳しく報告する。Alfvén 波の崩壊不安定性により親波と順方向に伝播する縦波（イオン音波）が励起される。これに捕捉されたイオンによって位相空間内での不均一な分布構造が形成され、同時に急峻化した電場・磁場構造が形成される。この MHD 構造はシミュレーションの中で比較的長時間にわたり保持され、非熱的イオンを生成するものと考えられる。我々は実際にこの構造付近で親波と逆方向に加速されているイオンの存在を確認した。この MHD 構造と加速イオンとの関わり、および現実の太陽風プラズマとの関わりについて紹介する予定である。