

磁化プラズマにおけるドリフト波およびアルヴェン波不安定性の数値シミュレーション

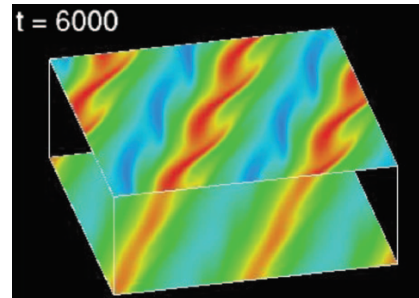
名古屋大学大学院理学研究科

渡邊智彦

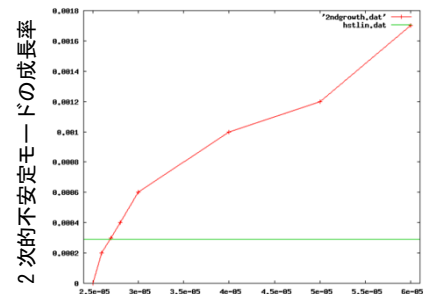
はじめに 磁化プラズマにおける乱流は、磁場閉じ込め核融合プラズマの閉じ込め性能を左右する異常輸送や、太陽風における磁気乱流、オーロラ爆発に伴う乱流など、実験室から宇宙プラズマに至る様々な現象に関連している。その中でも本課題では、オーロラの自発的構造形成に関わる磁気圏-電離圏結合系におけるアルヴェン波不安定性と、核融合プラズマにおけるドリフト波不安定性に関連し、以下のテーマについて研究を進めた。

オーロラ発達に関わる 2 次的不安定性の解析 電離度の大きく異なるプラズマが接する磁気圏-電離圏結合系では、磁気圏プラズマの対流電場をエネルギー源として、アルヴェン波と電離層密度波の共鳴を介して不安定性が成長する。このフィードバック不安定性がオーロラに伴う密度や電流の 1 次構造を作ると考えられるが、これが大きく成長すると 2 次的不安定性を誘起することがこれまでの研究から示唆されてきた(右上図)。本課題では、摂動展開した簡略化磁気流体方程式を用いて、この 2 次的不安定性の安定性を調べた。右中図は、得られた 2 次的不安定性の成長率(赤線)を、1 次不安定モードの振幅に対してプロットしたものである。1 次モードの振幅がある閾値を超えると、その線形成長率(緑線)より数倍高い成長率を持った 2 次的不安定性が励起されることが確認できた。また、この 2 次的モードの構造をみると、1 次モードの速度シアによる Kelvin-Helmholtz 不安定性との関連が窺える。

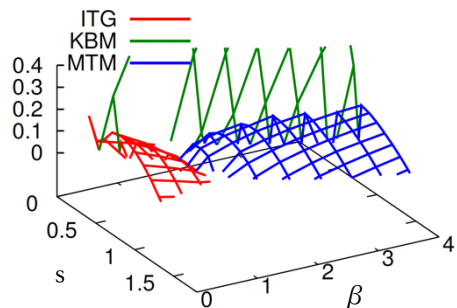
核融合プラズマの微視的ティアリングモード 核融合プラズマのイオン熱輸送を支配する乱流は温度や圧力勾配に駆動されるドリフト波乱流(いわゆる ITG モードや KBM モード)と考えられる。一方、プラズマ圧力の上昇につれ、電子熱輸送においては別種の不安定性、すなわち微視的ティアリングモード(MTM)が重要になるとの指摘がなされてきた。MTM は電子スケールの非常に鋭い電流構造を持ちながら、その成長には電子反磁性ドリフト効果も重要になる。一方、その安定性は磁気シアや衝突周波数へも依存性をもつことが指摘されている。本課題では、この MTM の安定性をジャイロ運動論的シミュレーションによって解析した。右下図は、磁気シア(s)とプラズマ圧力(β)の値を振って成長率を調べた結果である。プラズマ圧力が上昇するにつれ、支配的なモードが ITG モードから MTM へと遷移する様子が確かめられた。



フィードバック不安定性の初期非線形段階で見られた温度構造[Watanabe, Phys. Plasmas 17, 022904(2010)]



1 次不安定モードの振幅
簡略化磁気流体理論による 2 次的不安定性の摂動論的解析結果



微視的ティアリングモードの線形成長率