

# 磁場閉じ込め核融合プラズマの大域的乱流輸送シミュレーション

今寺 賢志

京都大学大学院 エネルギー科学研究科 プラズマ・核融合基礎学分野

E-mail: imadera@energy.kyoto-u.ac.jp

核融合プラズマでは一般に、急峻な温度勾配を自由エネルギー源としてイオン温度勾配 (ITG)モードや捕捉電子モード(TEM)といった微視的不安定性が駆動される。そのような不安定性は乱流を形成し、径方向に粒子/熱輸送を引き起こすことで閉じ込めを悪化させることから、その物理メカニズムの理解と制御方法の開拓は、高性能な磁場閉じ込めプラズマを達成する上で重要な鍵を握っている。

そのような微視的不安定性や乱流輸送過程を解析する有効な手段の一つが、ジャイロ運動論<sup>[1]</sup>に準拠した乱流輸送シミュレーション<sup>[2]</sup>である。ジャイロ運動論は、有限ジャイロ半径による場の平均化効果や波と粒子の共鳴効果といった運動論的現象を適切に考慮していることから、乱流輸送研究に広く用いられており、そのシミュレーションモデルは二つに大別される。一つは、乱流の時間スケールと比較して背景分布の時間変化は十分緩やかであるとの近似の基、局所的な乱流の時間発展を追跡する「局所モデル」であり、もう一つが大域的な乱流と背景分布の時間発展を同時に追跡する「大域的モデル」である。前者は、スケール分離によって計算量が低減されることから、既に実験解析や電磁乱流、マルチスケール乱流への応用が展開されている<sup>[3]</sup>一方、後者は計算量が膨大であるものの、局所モデルでは直接的な解析が難しいプラズマサイズに対する乱流輸送係数のスケージング解析<sup>[4]</sup>や、内部輸送障壁(ITB)に代表される分布形成過程の解析<sup>[5]</sup>(図 1)などに適用され、実験解析への適用も現在、進められている。

本講演では、大域的乱流輸送シミュレーションで用いられている理論モデル、数値計算/並列化手法について概説したのち、我々のグループが得た近年の成果として、(1)大域的 ITG 乱流に対する背景径電場効果、(2)熱源駆動型 ITG 乱流における運動量入射による ITB 形成、(3)大域的 TEM 不安定性に対する背景径電場、および磁気シア効果について紹介する。

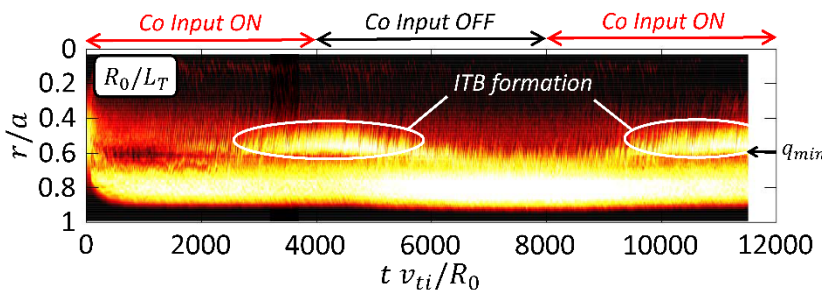


図 1: 熱源駆動型 ITG 乱流輸送シミュレーションで運動量入射の変調実験を行った際のイオン温度勾配の空間・時間発展。運動量入射したのち一定時間経過後に  $q_{min}$  内側で ITB が形成されている。

[1] A. J. Brizard and T. S. Hahm, Rev. Mod. Phys. **79**, 421 (2007).

[2] X. Garbet *et al.*, Nucl. Fusion **50**, 043002 (2010).

[3] 仲田 資季, 「燃焼プラズマを見据えた大規模乱流輸送シミュレーション研究」, 第 22 回若手科学者によるプラズマ研究会, 那珂市 (2019).

[4] Y. Idomura and M. Nakata, Phys. Plasmas **21**, 020706 (2014).

[5] K. Imadera *et al.*, 26th International Conference on Fusion Energy, TH/P3-3 (2016).