

プラズマ密度とプラズマ電位間のマイクロ乱流の相関構造に関する検証

Testing for correlation structures in micro-turbulences of plasma density and plasma potential

中村 知道¹

Tomomichi Nakamura¹

兵庫県立大学大学院 シミュレーション学研究科¹

Graduate School of Simulation Studies, University of Hyogo¹

1 本文

核融合発電の実現を目指して、高温のプラズマを磁場で閉じ込める研究が行われている。この研究の重要課題の1つが、プラズマ内で発生する乱流の理解と制御である。なぜなら、乱流が駆動する輸送が、高温プラズマの維持を阻害するためである。プラズマ乱流の中で、輸送への寄与が大きいのは、微視的スケール（イオンのジャイロ半径程度）の構造であるマイクロ乱流であると考えられている。しかし、核融合プラズマを用いたマイクロ乱流の詳細な実験観測と分析は、現在のところ、ほとんど行われていない。

帯状流やストリーマと呼ばれる中規模（メソスケール）構造は、2次不安定性で励起され、マイクロ乱流を抑制したり強めたりする。この相互作用のため、メソスケール構造は乱流に大きな影響を及ぼすと考えられている。そのため、メソスケール構造は、近年、注目されている。メソスケールの時空間構造の振る舞いは、コヒーレント性が高いことが知られている。コヒーレントな振る舞いは、離散フーリエ変換によるスペクトル推定によって特徴的な周波数（波数）を正確に検出することが可能である。そのため、プラズマ乱流のスペクトルを離散フーリエ変換によって推定することで、メソスケール構造の基本的かつ本質的な特徴を理解することが出来る。

一方で、マイクロ乱流の振る舞いは、短期的（高周波）で不規則（インコヒーレント）で小さな変動であると考えられている。一般的に、このような振る舞いは特徴的な周波数が存在しない。そのため、プラズマ乱流のスペクトルを用いて、マイクロ乱流をメソスケール構造のように理解することは難しい。

プラズマ乱流を理解するためのアプローチの1つに、end-plate biasing 実験がある [1]。電圧が印加されることで荷電粒子が加速されることから、異なる電圧を印加することで、様々な状態のプラズマの状態を作ることが出来る。我々は、この実験において測定さ

れたプラズマ密度とプラズマ電位を用いる。既に、メソスケール構造はプラズマ密度よりプラズマ電位の方に強く現れることが分かっている。マイクロ乱流はプラズマ密度とプラズマ電位の両方に現れることは分かっているが、どのような特徴を持っているのかは、まだまだ不明な点が多い。

そこで本研究では、プラズマ密度とプラズマ電位に高周波な結合があるかどうかを調べ（言い換えれば、プラズマ密度とプラズマ電位の短期的で不規則な変動の間に相関構造の有無を調べ）、両者のマイクロ乱流の間に関係性が有るかどうかについて調査を行う。しかしながら、プラズマ乱流からマイクロ乱流のみを抽出することは困難である。プラズマ乱流は、マイクロ、メソ、マクロなスケールの揺動が共存する系である。つまり、プラズマ乱流は、マイクロ乱流の立場に立って見たとき、短期的（高周波）で不規則な変動であるマイクロ乱流が、中・長期的なトレンドに modulate された振る舞いであると言える。従って、マイクロ乱流の特徴を調べるためには、中・長期的なトレンドがあったとしても、短期的で不規則な変動の特徴を調べられる方法が必要となる。そこで我々は、the small-shuffle surrogate 法を用いて決定論的力学系の視点で調べることにした [2]。その結果、印加電圧が低いときも高いときも、プラズマ密度とプラズマ電位の間には、高周波な結合が存在すると示唆される結果が得られた。そのため、印加電圧が低いときも高いときも、両者のマイクロ乱流の間には関係性があると考えられる。

References

- [1] F. Kin, T. Yamada, S. Inagaki *et al.*, *Plasma and Fusion Research*, 10 (2015) 3401043.
- [2] T. Nakamura, Y. Hirata and M. Small, *Phys. Rev. E* 74 (2006) 041114.