

今更聞けない!? 磁場閉じ込めプラズマの 微視的不安定性

Re-Learning Micro-Instabilities in Magnetically Confined Plasmas

1. はじめに

渡邊 智彦

WATANABE Tomo-Hiko

名古屋大学大学院理学研究科

(原稿受付: 2023年5月1日)

1.1 背景

磁気核融合プラズマの閉じ込め特性は、多くの場合、乱流による異常輸送に支配されている。電磁場揺動をともなう高温プラズマ中の乱流は、イオンの軌道運動効果を含むいわゆる微視的乱流であり、その理論的取り扱いには、速度分布関数を用いた運動論が必要となる。近年では、Vlasov方程式を電子やイオンのジャイロ運動について平均化することで導かれるジャイロ運動論[1]を用いた大規模シミュレーションによる研究が進んでおり、実験解析にも広く活用されている。一方、異常輸送に関わるプラズマ乱流を引き起こす微視的不安定性は、その駆動源や磁場配位、プラズマの条件に依存して多岐にわたるため、初学者は取り付き難さを感じるかもしれない。

異常輸送をもたらす微視的乱流の多くは、プラズマ密度や温度の不均一性に起因したドリフト波不安定性に関連している。歴史的には、ソビエト連邦において理論研究が盛んに進められてきた[2, 3]。これらは流体方程式や直線磁場を用いた簡単な系から始まり、磁気シアを導入するなど段階的に研究が進展してきた。トーラスプラズマにおけるドリフト波に対して運動論を用いた理論解析は、文献[4]にまとめられている。このように1970年代にかけてドリフト波不安定性の理論研究が発展したが、過去の多くの文献ではジャイロ運動論を用いた定式化が明示的かつ系統的になされていないようである。また、プラズマ物理の教科書では多くが直線磁場の下での解析にとどまっており、微視的不安定性に関する最近の理論やシミュレーション研究の解説としてはやや不十分である。

1.2 講座の目的

上記のような事情から、ジャイロ運動論に基づいた微視的不安定性の解説が望まれており、本学会誌においてもいくつかの記事が掲載されてきた[5]。その一方で、さまざまな不安定性について、初学者向けに見通しの良い解説があると有意義ではないかと考え、今回の講座を

企画することとなった。本講座では、初学者向けに、ジャイロ運動論に基づいた統一的な記述を用いて、プラズマ乱流を駆動する微視的不安定性の線形分散関係を導出することを共通の目標としている。この点は、優れた関連記事が数ある中でも、本企画を進める意義の一つであろう。ただし、目標とした点がどこまで達成できているかについては、読者諸賢のご批判を待ちたい。

各章の構成は以下の通りである(括弧内は執筆予定者)。

1. はじめに(渡邊智彦)
2. 微視的不安定性を記述する基礎方程式(渡邊智彦, 前山伸也)
3. イオンおよび電子温度勾配不安定性(沼波政倫, 仲田資季)
4. 捕捉電子不安定性(洲鎌英雄)
5. 電磁的イオン温度勾配不安定性と運動論的ブルーニング不安定性(石澤明宏)
6. 微視的テアリング不安定性(沼田龍介, 柳生光義, 前山伸也)
7. おわりに(前山伸也)

また、必要に応じて、式の導出を補完したノートを学会ホームページに掲載予定であるので、こちらも合わせてご参照いただければ幸いである。

参考文献

- [1] 洲鎌英雄: プラズマ・核融合学会誌 **79**, 107 (2003).
- [2] A.B. Mikhailovskii, *Theory of Plasma Instabilities Volume 2: Instabilities of an Inhomogeneous Plasma* (Consultants Bureau, New York, 1974).
- [3] B.B. Kadomtsev and O.P. Pogutse, *Review of Plasma Physics 5* (Consultants Bureau, New York, 1975) 249.
- [4] W. M. Tang, *Nucl. Fusion* **18**, 1089 (1978).
- [5] 洲鎌英雄, 矢木雅敏: プラズマ・核融合学会誌 **76**, 1007 (2000).

Department of Physics, Nagoya University, Nagoya, AICHI 464-8602, Japan

author's e-mail: watanabe.tomohiko@nag