

磁化プラズマにおけるイオン速度分布関数のベイズ推定
Bayesian inference of ion velocity distribution function in magnetized plasmas

徳田悟¹⁾、河内裕一²⁾、佐々木真³⁾、荒川弘之⁴⁾、山崎広太郎⁵⁾、寺坂健一郎²⁾、稲垣滋⁶⁾
 Satoru Tokuda¹⁾, Yuichi Kawachi²⁾, Makoto Sasaki³⁾, Hiroyuki Arakawa⁴⁾, Kotaro Yamasaki⁵⁾,
 Kenichiro Terasaka²⁾, Shigeru Inagaki⁶⁾

¹⁾九大情報基盤センター、²⁾九大院総理工、³⁾日大生産工、⁴⁾島大院理工、⁵⁾広大院先進理工、
⁶⁾九大応用力学研

¹⁾RIIT, Kyushu Univ., ²⁾IGSES, Kyushu Univ., ³⁾CIT, Nihon Univ., ⁴⁾IFSE, Shimane Univ.,
⁵⁾GSASE, Hiroshima Univ., ⁶⁾RIAM, Kyushu Univ.

速度分布関数を実験的に決定することは系を理解する上で重要である。マクスウェル分布は最も基本的な速度分布関数であり、熱平衡状態の系において成立する。しかし、磁化プラズマにおけるイオンはしばしば非平衡状態であり、その速度分布関数は様々な要因によって変わる。また、どの要因が支配的か/無視できるか、は常に自明ではない。つまり、対応する速度分布関数の解析的な表現も常に自明ではない。さらに、ゼーマン効果やシュタルク効果などの内部自由度に関する変化は、分光法による速度分布関数の決定をより難しくする。そこで、本研究ではベイズ統計に基づき、候補となる速度分布関数の解析的な表現の中から、分光法によって系を計測したデータに対して統計的に妥当なものを選択する新たなアプローチを提案する。イオン速度分布関数のベイズ推定を定式化し、直線磁化プラズマ実験装置におけるArイオンをレーザー誘起蛍光(LIF)によって計測した定常状態のデータ(図1上)に適用した。今回は速度分布関数の候補を3つ(対象イオンなし、マクスウェル分布、slowing-down分布)とし、さらにゼーマン効果の有無により周波数領域の関数形を5つに分類した。ベイズ推定によるモデル選択の結果、対象イオンの速度分布関数がマクスウェル分布であるとするのが統計的に妥当であり、ゼーマン効果を考慮すべきことが示された(図1下)。この結果は今回の系において局所熱平衡が成立していることをサポートし、物理的な描像に無矛盾である。

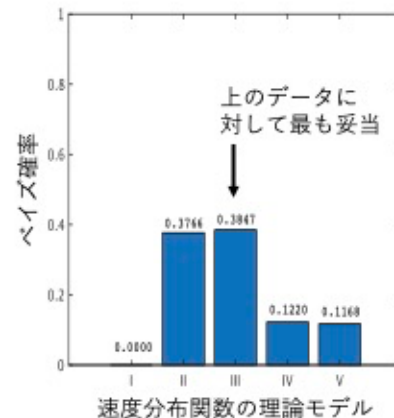
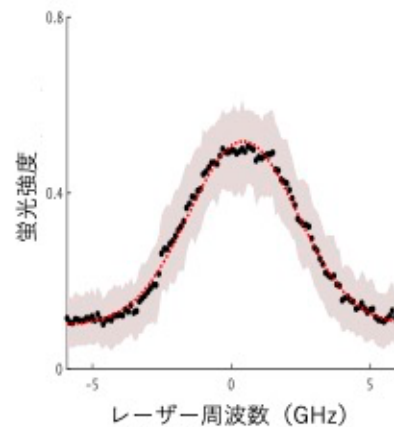


図1：(上) ArイオンのLIFスペクトル。
 (下) 各速度分布関数の事後確率
 [I. 対象イオンなし、II. マクスウェル分布かつゼーマン効果無、III. マクスウェル分布かつゼーマン効果有、IV. slowing-down分布かつゼーマン効果無、V. slowing-down分布かつゼーマン効果有]。

1. S. Tokuda, et al., "Bayesian inference of ion velocity distribution function from laser-induced fluorescence spectra", Scientific Reports, 11, 20810 (2021).