

高温ミラープラズマ中の高エネルギーイオン輸送に含まれる統計情報の抽出 Extraction of statistical signature included in a high-energy ion transport in a hot mirror plasma

池添 竜也¹、ジャン ソウォン²、泉 昂希²、市村 真²、平田 真史²、恩地 拓己¹
R. Ikezoe¹, S. Jang², K. Izumi², M. Ichimura², M. Hirata², T. Onchi¹

¹九大応力研、²筑波大プラ研

¹RIAM, Kyushu Univ., ²PRC, Univ. Tsukuba

イオンサイクロトロン周波数帯(ICRF)の波動を用いたイオン加熱により、磁力線に垂直方向のイオン温度が数keVの無衝突プラズマがGAMMA 10/PDXにおいて生成される。速度空間上の損失錐に散乱された高エネルギーイオンは、散乱時の情報を持ったまま開放端部に設置された数種類のイオン検出器により直接測定される。これら特徴により、GAMMA 10/PDXで生成される高温ミラープラズマは、速度空間における波動とイオンとの相互作用の基礎研究に対して優れた実験環境を提供でき得る。

イオンの強い温度非等方性に起因してアルベンイオンサイクロトロン (AIC) 波動が複数の離散的な周波数において自発的に励起される。このAIC波動の励起と共に高エネルギーイオンの磁力線方向輸送量の上昇が観測されており、波動による高エネルギーイオンのピッチ角散乱を通じた、イオンエネルギーの磁力線に垂直方向から水平方向への輸送と解釈されている。輸送された高エネルギーイオン束の時間変化は、完全に定常ではなく、つまりランダムなクーロン衝突に支配されておらず、間欠的に大きく変動している。その周期が複数のAIC波動間の差周波数であり、またその差周波波動が閉じ込め領域の径方向内側領域において、非線形波動結合により励起されていることがこれまでに明らかになっている。従って、高エネルギーイオンの磁力線方向輸送に、この比較的low周波数 (< 200 kHz) の差周波波動が直接寄与している可能性がある。この差周波波動の分布と合致するように、径方向外側と比較して内側で高エネルギーイオン輸送に含まれる周期的輸送量も多いことが新しく装置端部に設置したイオン検出器により最近明らかになっている。

本研究では、上記高エネルギーイオン束の時系列データの解析手法を高度化し、内在するイオンと波動との相互作用の物理機構の解明、さらにはより一般的に磁化プラズマ中のイオン

ダイナミクスの複雑性の解明を目指している。まず始めに、最近10年程度で広く普及した順列エントロピー H_s とJensen-Shannonコンプレキシティ C_{js} を用いたCHマップを適用し、GAMMA 10/PDXにおける磁力線方向高エネルギーイオン輸送の特徴を調べた。図1に示すように、時間的にAIC波動および差周波波動が出現する前後で C_{js} がほとんど変化しない一方で、 H_s が0.1ほど有意義に低下する関係性が見出された。CHマップによる高エネルギーイオン信号の統計的性質の分類が可能であることが示された一方、物理機構の解明に至るまでには、各種模擬データの解析結果との比較、他の信号との比較、他の手法の適用等をさらに進める必要がある。これら研究の進展状況について報告する。

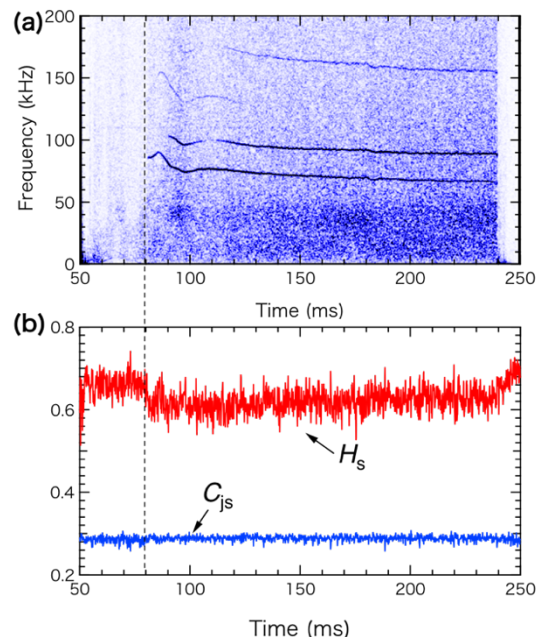


図1. GAMMA 10/PDX端部で測定された磁力線方向高エネルギーイオン輸送の振る舞い。(a)含まれる周期性と(b)順列エントロピー、統計的複雑性。本研究は、JSPS科研費(18K03574)、およびNIFS双方向型共同研究 (NIFS14KUGM086, NIFS17KUGM132)の助成を受けたものです。