

磁場トポロジーと乱流輸送の結合に関する研究

自然科学研究機構 核融合科学研究所 教授

居田 克巳

(お問い合わせ先) E-MAIL : ida@nifs.ac.jp



研究の背景

核融合発電を目指して、環状の磁場に閉じ込められた高温プラズマの安定性と閉じ込めに関する基礎研究が世界中で行われています。高温プラズマの安定性と閉じ込めを悪化させる要因として、磁力線とサイクロトロン運動をしているプラズマとの相互作用による磁気流体力学的 (magnetohydrodynamics ; MHD) 不安定性と、プラズマ中に発生した電位変動とプラズマとの相互作用による静電乱流 (electrostatic turbulence) があります。このMHD不安定性に関する研究と静電乱流に関する研究は、それぞれ数十年の間に大きく進展してきましたが、その結合に関する研究はほとんどなされてきませんでした。特に、従来のMHD不安定性理論では扱えない突発的なプラズマの局在的な変形と、それに伴う磁場トポロジーの変化と突発的乱流の発生は観測すら報告されてきませんでした。

研究の成果

環状プラズマに舌状のプラズマ変形が発生する可能性は1960年代から指摘されていましたが、現象が突発的で短時間なので、観測されたとの報告はありませんでした。今回、大型ヘリカル装置 (Large Helical Device : LHD) で生成したプラズマに大量の高エネルギー粒子を入射して、舌状のプラズマの局在的な変形 (タンク) が突発的に出現する現象を観測しました (図1)。

そして、高エネルギー粒子の放出を伴うタンクの崩壊が「磁場トポロジーの変化を伴うMHD振動の発生」と「イオン速度空間におけるマックスエル・ボルツマン分布からの歪み (図2)」と「静電乱流の塊のプラズマからの吐き出し (図3)」を引き起こすことを、初めて見出しました。その観測結果は、環状プラズマで起こる様々な現象の理解の基盤を与える重要な知見として、サイエントフィック・レポートに掲載されました[1]。

今後の展望

従来考えられていた不安定性成長 (数百マイクロ秒～

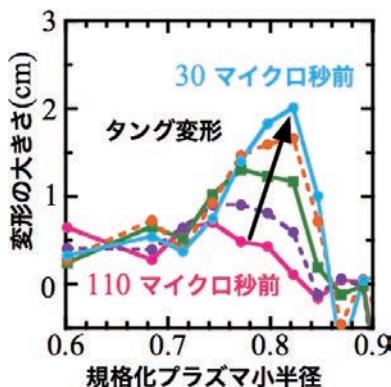


図1 大型ヘリカル装置で観測された舌状のプラズマの局在的な変形。高エネルギー粒子の崩壊が起こる110マイクロ秒前から成長をはじめ、直前 (30マイクロ秒前) でプラズマ変形が最大に達しています。

1ミリ秒) の10分の1以下 (数十マイクロ秒) のタイムスケールでプラズマを観測したところ、初めて突発現象が同定できました。これは、イベントを引き起こすためには、不安定性の駆動源となる自由エネルギーの蓄積は必要条件ではあるが十分条件ではなく、蓄積に必要な時間に比べてはるかに短い時間で起こるトリガー現象が極めて重要であることを示しています。このことは、いつ起こるか予想できない地震や太陽フレアなどのトリガー機構を探求する研究への波及効果が期待できます。

参考文献 [1] K. Ida et. al., Sci. Rep. 6 (2016) 36217.

関連する科研費

2006-2009年度 基盤研究 (A) 「高速荷電交換分光によるイオンの動的熱輸送解析」

2011-2014年度 基盤研究 (A) 「指向性をもつビーム放射分光法によるメソスケール乱流の二次元空間構造の研究」

2015-2019年度 基盤研究 (A) 「磁場トポロジーと乱流輸送との結合に関する研究」

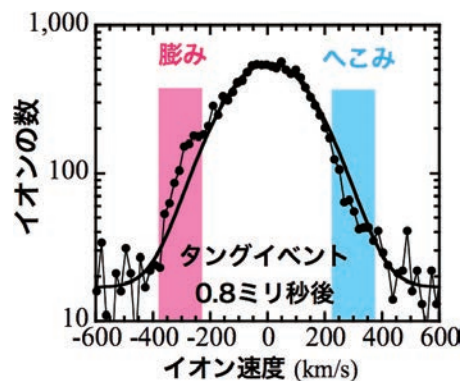


図2 高速荷電交換分光法を使って観測したイオンの速度空間分布。タンクの崩壊後にマックスエル・ボルツマン分布からの歪み (速度空間のプラス側にへこみ、マイナス側にふくらむ) が現れています。

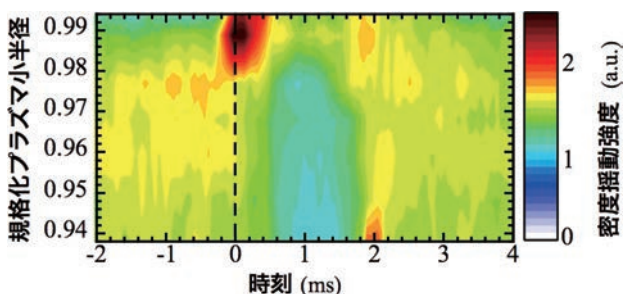


図3 プラズマの境界 (～1) 付近の密度揺動の時空間変動。タンクの崩壊と同時にプラズマの内部から外側に向かって吐き出された静電乱流に伴う密度揺動の塊 (赤い部分) が観測されました。