

捕捉電子モードと電子温度勾配駆動モードの競合過程に関する ジャイロ運動論的シミュレーション研究

朝比祐一、石澤明宏¹、渡邊智彦²、洲鎌英雄¹、筒井広明、飯尾俊二
東京工業大学、核融合科学研究所¹、名古屋大学²

電子温度勾配(ETG)駆動乱流に対するジャイロ運動論的シミュレーション研究は、イオン温度勾配(ITG)乱流の研究と比べ理解が進んでおらず、ETG乱流の非線形飽和機構はまだ十分に解明されていない。従来のETG乱流シミュレーションでは、イオン断熱近似が仮定され、このモデルによる計算からETG乱流ではイオン温度勾配(ITG)乱流の場合と比べゾナルフローが弱いことが示されている。そのためETG乱流においては、ITG乱流の場合と異なり、ゾナルフローによる非線形飽和機構は働きにくいと考えられてきた。

本研究では、イオン断熱近似を用いる場合と、近似を用いない運動論的イオンモデルとの比較計算を行い、ETG乱流における捕捉電子モード(TEM)の役割を調べた。これによって、以下に示すようにTEMが駆動するゾナルフローによってETG乱流が抑制される場合があることを明らかにした [1]。

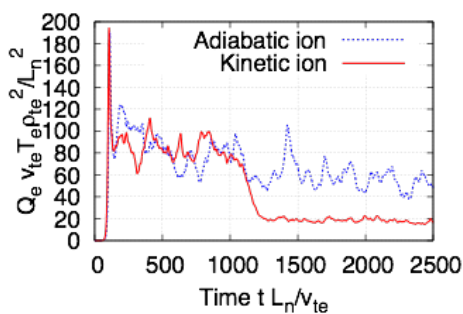


図1 エネルギー束の時間発展

図1は、非線形シミュレーションによって評価したエネルギー束の時間発展を示す。断熱的イオンモデルの場合は、エネルギー束は高いレベルに維持されている(青線)。これに対し、運動論的イオンモデルの場合、 $t=1000$ 付近で

輸送が低減される(赤線)。この抑制機構を明らかにするために、静電ポテンシャルの各成分の時間発展を調べた。その結果、運動論的イオンモデルでは、ETG乱流が支配的な状態で、線形不安定な捕捉電子モードが成長し、その後ゾナルフローが形成されることが明らかとなった。これによりETG乱流が抑制される。

さらに捕捉電子モードとETGモードの非線形相互作用を詳細に解析するために、モード間のエントロピーのやり取りを分析し非線形相互作用の可視化を行った。これによって図1の $t=1000$ において、捕捉電子モードからゾナルフローへとエントロピーが移送されること、すなわち捕捉電子モードがゾナルフローを駆動することを確認した。また、ゾナルフローが卓越した後(図1 $t > 1500$)には、低い径方向波数を持つETGモードから高い径方向波数を持つETGモードへとエントロピーが連続的に移送されることを確認した。このプロセスは、ITG駆動のゾナルフローがITG乱流を抑制する過程と類似しており、異なる不安定性間においてもゾナルフローを介した乱流の抑制効果が働く場合があることを明らかとした。これによってETG乱流の飽和レベルを決定する新たな機構が明らかとなった。

発表では、これらの観点に加えてゾナルフローを効率的に生成する捕捉電子モードのパラメータ依存性を示し、電子温度勾配乱流の抑制および制御可能性について議論を行う。

Reference

[1] Y. Asahi, et. al., "Regulation of electron temperature gradient turbulence by zonal flows driven by trapped electron modes"(2013), submitted