

帯状流及び大規模構造に支配された乱流の特性

原子力機構 プラズマ理論シミュレーショングループ 松本太郎

高温トカマクプラズマにおける乱流状態では、様々な時定数及び特徴的長さを持つ渦構造が生成と消滅を繰り返すと共に、温度及び磁場構造の空間分布等のパラメータに依存して副次的に大規模な渦構造等を生成し、これらが相互作用して輸送過程を支配している。本研究では、このような時空間スケールが異なる揺らぎが混在しているトカマクプラズマの輸送機構の解明を目的として、先進プラズマ研究開発ユニットで推進している数値トカマク(NEXT)研究の一環として電子温度駆動型乱流のジャイロ流体シミュレーションを行い、乱流揺動、帯状流、及び大規模渦構造が混在する系の温度依存性を明らかにすると共に、そこで計測される乱流揺動の統計的性質を系統的に解析した。

図 1 は電子系の温度勾配駆動 (ETG) 不安定性が作り出した静電ポテンシャル構造について、帯状流成分を除いた揺動成分を表示した図である。半径方向に依存して交互に存在する帯状流が ETG 乱流にもたらすドップラー効果は、帯状流の流れの向きに依存するため、揺動成分は短い波長及び速い周波数を持つ領域 (A) と、長い波長及び遅い周波数を持つ領域 (B) を交互に持つ構造となる。この揺動成分による熱流束は、圧力揺動とポロイダル電場の積により生成されるが、領域 (A) では両者のコヒーレンスが、帯状流が形成されていない「等方乱流」の場合と比較して大きく減少していることが明らかとなった (図 2)。これは、圧力と電場が低い相関で振動することを意味し、この結果として正味の熱流束が大きく減少する。また、領域 (B) ではコヒーレンスは減少しないが、両者の位相差が広い周波数帯に渡って、正味の熱流束を生み出さない位相 ($-\pi/2$) に同調することが判明した (図 3)。

これらの結果は、帯状流に支配される乱流プラズマでは、異なる二つの素過程により系の熱輸送が低減されることを示しており、内部輸送障壁形成時の物理機構の一端を担っているとして注目される。

図 1 : ポテンシャルの揺動成分

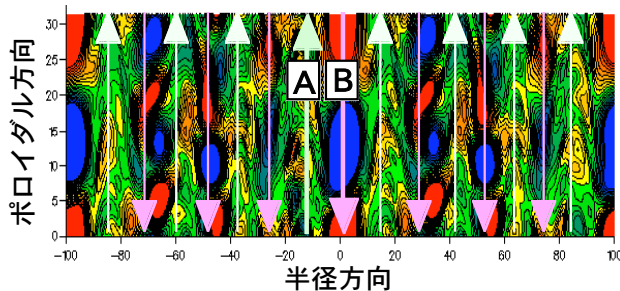


図 2 : 領域 A の圧力揺動とポロイダル電場のコヒーレンス

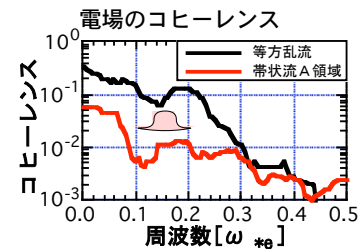


図 3 : 領域 B の圧力揺動とポロイダル電場の位相差

