

トカマクプラズマにおける ITG 乱流と帯状流・GAM 間の相互作用

原子力機構 宮戸直亮

トカマク中の帯状流

トカマクプラズマにおける異常輸送抑制と輸送障壁形成のメカニズムの解明は経済的な核融合発電の実現にとって重要である。この輸送障壁形成にはイオン温度勾配駆動 (ITG) 乱流などのドリフト波乱流と、その乱流から非線形的に生成される帯状流が関係していると考えられている。トカマクなどのトーラスプラズマにおいては二種類の帯状流が存在可能である。ひとつは時間変動しない静的な帯状流で、もうひとつは Geodesic Acoustic Mode (GAM) と呼ばれる時間的に振動する帯状流である。帯状流には乱流抑制効果があるが、ITG 乱流の時間スケールは GAM のそれと近いいため、GAM による ITG 乱流の抑制は静的帯状流によるものに比べて弱い。乱流抑制には静的帯状流が特に重要であるが、この静的帯状流は安全係数 (q) が小さなところで生成されやすいことがわかっている。一方で、高 q では GAM が支配的となる。

反転磁気シアトカマクにおけるシミュレーション

JT-60U 装置をはじめとして反転磁気シアトカマクプラズマ実験において、 q が最小となる面付近で内部輸送障壁の形成が観測されている。帯状流の振舞いの観点から言えば、この最小 q 面付近では静的な帯状流が生成されやすい。したがって、最小 q 面付近で静的帯状流が、それ以外では GAM が支配的となれば、最小 q 面付近において局所的に乱流輸送がよく抑制されると予想される。このアイデアを確かめるために、グローバルランダウ流体コードを用いて、反転磁気シアトカマク中の ITG 乱流シミュレーションを行い、安全係数分布が帯状流の性質と乱流輸送に及ぼす影響を調べた。その結果、最小 q 面の近傍、正確に言えば、 $(m, n) = (1, 0)$ (m, n はそれぞれポロイダルモード数、トロイダルモード数) の磁力線に平行なイオン音波の周波数が最大となる面付近において、乱流輸送が大きく減少することが明らかになった。これは、 $(1, 0)$ のイオン音波の周波数が最大のところでは、静的帯状流が最も生成されやすいからである。通常の高い温度分布においては、この $(1, 0)$ イオン音波周波数最大面は最小 q 面よりもやや内側になる。このような帯状流の性質の違いが引き起こす乱流輸送の差が内部輸送障壁形成の引き金を引いている可能性がある。