

「核融合プラズマにおける構造形成の役割と起源」

京都大学大学院エネルギー科学研究科
岸本泰明

近年の核融合プラズマでは、磁場方式では高ベータ化とともに定常性能に優れたプラズマの実現が可能になり、またレーザー方式でも高速点火に代表される超高強度レーザーによる爆縮プラズマの高効率加熱など、共に燃焼プラズマを視野に入れた研究が展開されている。また、宇宙・天体現象の解明や医療応用を目指した粒子加速研究などにおいても様々な成果を挙げられている。これらの目覚ましいプラズマ研究の進展の背景には、線形構造や局所的なダイナミクスに基づくプラズマ概念から、非線形構造や非局所なダイナミクスに基づくプラズマ概念へのパラダイムシフトが重要な役割を果たしており、開発・応用研究においても、プラズマの非線形性や非局所性を積極的に活用する考え方が取られつつある[1]。

例えば、磁場核融合では、温度勾配が自由エネルギー源となってプラズマは乱流状態となり、閉じ込め性能は大きく低下する(異常輸送と呼ばれる[2])。これが磁場核融合が容易に達成されない要因の一つである。これに対し、磁場配置を若干変更して、自由エネルギーの観点からは線形的にはむしろ不安定な配置を選択してやると、一度はマイクロな乱流が強く励起されるものの、そのような乱流から帯状流と呼ばれるマクロな層流が自発的に生成され、逆に閉じ込めが改善することがある。乱流から層流が形成される過程はプラズマの非線形性に由来するものであり、狭い空間に大きなエネルギーを投入する際にプラズマが示す自己維持機能ととらえることもできる。同様のことがレーザー核融合においても存在する。近年注目を集めている高速点火方式では、ペタワット領域の超高強度レーザーで生成された大電流の相対論的電子ビームが、一度はプラズマ不安定性によって多数の電流線に分裂するが、それらはプラズマの有する非線形効果によって再び巨視的な電流ビームへと構造変化(自己治癒)を起こし、その結果、コアを効率的に加熱することができる。共に、非線形性に準拠した路線である。また、基礎プラズマ分野においても、放電・雷過程などマイクロな原子過程や緩和過程が本質的に関与したマクロな構造形成やダイナミクスなどの研究も進展している[3]。

このようなプラズマ現象は、時空間スケールの異なる様々な物理過程の相互作用や複合効果が主要な役割を演じる「多階層・複合系」として位置付けられ、自然現象の理解とも密接に関連している[4]。このようなプラズマの特性を理解するとともに、それらを記述する理論やシミュレーションの枠組みを構築することはプラズマ研究の重要な役割である。講演では、これらの視点に立ち、プラズマの乱流輸送を中心に、プラズマが内在的に有する非線形性や非局所性の起源について概説するとともに、プラズマの構造形成や自己組織化についての最近の理論・シミュレーション研究の現状について議論する。

参考文献

- [1] プラズマ・核融合学会誌 : 小特集「プラズマの非局所輸送現象と様々な構造形成」 Vol.67, No.9, pp.857-912 (2002)
- [2] プラズマ・核融合学会誌 : 小特集「異常輸送」 Vol.76, No.12, pp.1280-1308 (2000)
- [3] プラズマ・核融合学会誌 : 小特集「原子・分子過程によって支配されるプラズマの複雑性と構造形成」 Vol.84, (No.6, pp.333-375), (No.7 pp.405-428), (No.8, pp.477-497) (2008)
- [4] プラズマ・核融合学会誌 : 小特集「異なった時空間スケールが関与する多階層プラズマシミュレーション研究 —現状からの展望—」 Vol.79, No.5, pp.460-517 (2003)