

直線プラズマドリフト波乱流中の非線形力 Nonlinear Force in Drift-Wave Turbulence in Linear Plasmas

永島芳彦^{1,2}, 伊藤早苗^{1,2}, 稲垣滋^{1,2}, 鎌滝晋礼^{2,3}, 荒川弘之⁴, 糟谷直宏^{1,2}, 矢木雅敏^{2,4},
藤澤彰英^{1,2}, 伊藤公孝^{2,5}

Y. Nagashima, S. –I. Itoh, S. Inagaki, K. Kamataki, H. Arakawa, N. Kasuya, M. Yagi,
A. Fujisawa, and K. Itoh

¹九大応力研, ²九大伊藤極限セ, ³九大基幹教育院, ⁴原子力機構, ⁵核融合研
¹RIAM Kyushu Univ., ²IRCPT Kyushu Univ., ³FAS Kyushu Univ., ⁴JAEA, and ⁵NIFS

ドリフト波乱流中の揺動の飽和機構を実験的に解明し、乱流輸送の理解に資するためには、線形不安定性に加えて乱流非線形力の各モードに対する寄与を定量的に観測する必要がある。特に、近年は帯状流やストリーマーなどの流感スケール構造への非線形力を通じたエネルギー伝達が重要視されているが、定量的な研究は少ない。それら以外にも、乱流で現れる連続スペクトルの起源として、非線形力は重要な役割担うと考えられる。

直線プラズマLMD (Large Mirror Device)およびLMD-U (Large Mirror Device – Upgrade)では、運動量輸送の対角・非対角成分を測定するためのReynolds応力プローブ (RSプローブ) が設置され、これまでのところ、フーリエ解析を基としたバイスペクトル解析や、非線形力の確率密度関数・大偏差統計について知見が得られている。特に、LMD-Uでは、RSプローブは方位角方向に16つ設置され、それぞれ径方向スキャン可能であり、空間測定の自由度が高い。しかし、RS自体は各方位角方向で1点ずつのみ観測可能であるため、RSの高次の空間微分は難しい。

非線形力を定量的に推定するには、渦度方程式に現れるRSなどのパラメータに対する高次の空間微分を考慮する必要がある。同時観測で得られるデータが限定的である場合、定常性を仮定して揺動場のマッピングを行うことが空間微分を推定する有力な手段となる。そのマッピングの手法として、相関法が便利である。しかし、同時観測でない場合には、非線形力の定量的な見積もりには複数の困難が予想される。

相関法は、相互相関関数の時間遅れやクロススペクトル解析の位相差を利用して、揺動の空間パターンを再構成する手法である。固定プローブと空間スキャンプローブの2種類用意すれば、径方向の空間パターンが再構成できる。さらに固定プローブを方位角方向に複数設置す

ることにより、径方向の空間パターンの方角方向の位相関係が判明し、2次元のマッピングが可能となる。一方、振幅として相関関数の強度を用いる代わりに空間スキャンプローブの振幅信号を用いることで、固定プローブとスキャンプローブが離れることにより相関が小さくなる影響を除去できる。注意すべき点は、ある物理量をマッピングする場合、固定プローブ及び空間スキャンプローブで選択する信号の種類によってマッピングの結果が異なることである。例えば、静電ポテンシャル揺動と密度揺動では、方位角モード数0が現れる物理過程が異なると考えられる（例えば帯状流）ため、相関解析の物理量の選択で結果が異なると考えられる。実際、空間スキャンプローブ信号をポテンシャルにし、固定プローブ信号をポテンシャル揺動にした場合とレイノルズ応力揺動にした場合とでは、ポテンシャル揺動の空間マッピングの結果に相違がみられた。これは、ポテンシャル揺動の実態として、非線形力によって駆動される成分とそれらとは独立に駆動されている成分とが区別されたと推定される。

次に、先に述べたように、Reynolds応力等を測定した後にそれを非線形力に翻訳するには、空間微分を必要とする。微分処理には複数の空間データを用いるため、アンサンブル平均処理のためのデータが不足する。データの橋の部分を重ね合わせるオーバーラッピング技術は見かけ上データを増やすことが出来るが、アンサンブル平均後の信号/ノイズ比の見積には注意が必要である。

本講演では、RSプローブのデータを利用し、直線プラズマのドリフト波乱流中の非線形力のマッピングに際してその解析手法などに対する依存性や、空間微分を考慮した非線形力の見積についてなど、解析技術を中心に発表する。