

Transport processes of drift wave turbulence in the presence of inhomogeneous particle sources

佐々木真¹⁾, 糟谷直宏²⁾³⁾, 西澤敬之²⁾³⁾, 河内裕一⁴⁾, 山田琢磨³⁾⁵⁾, 藤澤彰英²⁾³⁾
M.Sasaki¹⁾, N. Kasuya²⁾³⁾, T. Nishizawa²⁾³⁾, Y. Kawachi⁴⁾, T. Yamada³⁾⁵⁾, A. Fujisawa²⁾³⁾

⁽¹⁾日大生産工, ⁽²⁾九大応力研, ⁽³⁾九大極限プラズマ研究連携セ, ⁽⁴⁾核融合研, ⁽⁵⁾九大基幹教育院
⁽¹⁾CIT Nihon Univ., ⁽²⁾RIAM Kyushu Univ., ⁽³⁾RCPT Kyushu Univ., ⁽⁴⁾NIFS, ⁽⁵⁾FAS Kyushu Univ.

磁場閉じ込めプラズマには粒子源や加熱源が普遍的に存在し、それらの空間分布は通常磁気面関数から大きく外れている。例えば、中性粒子ビーム入射ポートはプラズマのトロイダル対称性を、波動加熱では共鳴構造がポロイダル対称性を崩す。例えば、LHDで観測されているタング現象[1]は、NBI入射ポート付近に局在した揺動であり、これが乱流や高エネルギー粒子輸送に直接的に影響を及ぼす。また、粒子ソースが直接乱流と結合するという機構も提案されている[2]。このように、プラズマソース源は定常的・非定常的にプラズマの空間対称性を破り、乱流やプラズマの構造形成に大きな影響を持つ可能性がある。空間対称性が破れたプラズマ乱流の非線形素過程の理解が求められる。

そこで本研究では、直線磁化プラズマを対象として、定常的に周方向対称性を破る粒子ソースを導入し、ドリフト波乱流の非線形過程について調査を行なった。Numerical Linear Device mode (NLD)を用いて、3場の簡約流体モデルに基づき、電子密度、静電ポテンシャル、イオン磁場方向流れを扱う[3, 4]。粒子ソースに周方向均一な成分に加え、周方向不均一性を持つ成分を導入し、フラックス駆動シミュレーションを実施した。不均一構造は、基礎プラズマ実験で観測された $m=1$ 成分を持つよう設定し[5]、その振幅を不均一強度パラメータとして、複数のシミュレーションを行った。

不均一強度を変化させた時の乱流構造形成の変化を調べた。不均一性を導入していない場合、ドリフト波はストリーマを形成する条件を選んだ。不均一強度を増加させていくと、ストリーマが消失し帯状流が増加する現象を得た。この様子をFig. 1に示す。上部パネルは空間対称

な粒子ソースの場合、下部パネルは空間対称性の破れを導入した場合であり、密度揺動の周方向構造の時間発展を示している。空間対称な場合は、周方向にバンチした揺動構造がドリフト波の伝播と逆方向に伝播しているが、空間非対称性を導入すると、この構造が消失する。この際、ストリーマ消失に伴い、閉じ込め粒子数も増加に転じることが分かった。さらに、乱流が2次元構造を持つ定常的背景場に与える影響について、背景場へのエネルギー移送を評価することで調査した。乱流粒子輸送は、2次元構造を持つ密度勾配を緩和すると同時に、磁場に垂直・平行方向の流れを駆動することを示した。その結果、周方向不均一性を持つ流れ構造が定常的に駆動されることを示した。

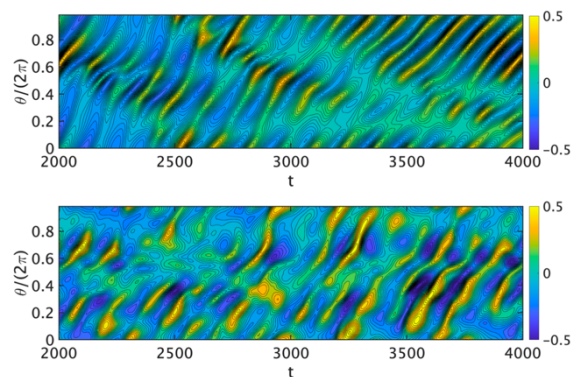


Fig. 1: 空間対称性を破る粒子ソースの有無における乱流時空間発展。上部パネルは空間対称ソース、下部パネルは空間対称性が破れている場合。

参考文献

- [1] K. Ida, et. al., Sci. Rep., 6, 36217 (2016).
- [2] K. Itoh, et. al., Nuclear Fusion, 57, 056031 (2017).
- [3] N. Kasuya, et. al., Phys. Plasmas, 15, 052302 (2008).
- [4] M. Sasaki, et. al., Phys. Plasmas, 24, 112103 (2017).
- [5] C. Moon, et. a., Sci. Rep., 11, 1-9 (2021).