

円筒型磁化プラズマにおける回転駆動乱流による螺旋構造の形成 Formation of spiral structures of turbulence driven by a strong rotation in magnetized cylindrical plasmas

佐々木真^{1,2}, ESCARGUEL Alexander³, CAMENEN Yann³, 稲垣滋^{1,2},
伊藤公孝^{2,4,5}, 糟谷直宏^{1,2}, 小林達哉⁵
SASAKI Makoto^{1,2}, ESCARGUEL Alexander³, CAMENEN Yann³, INAGAKI Shigeru^{1,2},
ITOH Kimitaka^{2,4,5}, KASUYA Naohiro^{1,2}, KOBAYASHI Tatsuya⁵

¹九大応力研, ²九大極限プラズマ研究連携セ,
³PIIMエクスマルセイユ大, ⁴中部大総工研, ⁵NIFS
¹RIAM Kyushu Univ., ²Research Center for Plasma Turbulence, Kyushu Univ.,
³PIIM Axi-Marsellie Univ., ⁴ISTR Chubu Univ., ⁵NIFS

流れを伴うプラズマは自然界に多く存在し、特に核融合プラズマにおける改善閉じ込め状態や太陽風プラズマ、地球磁気圏近傍等に見ることができる[1]。流れの空間不均一性が強いとケルビンヘルムホルツ型不安定性 (KH) や交換型不安定が駆動される[2]。このような流れ場が駆動する乱流の非線形素過程の理解が重要である。特に、流れ駆動乱流による粒子・運動量輸送を理解し、背景プラズマへの影響を明らかにすることが必要である。

本研究では、磁場と垂直方向の流れに起因するKH不安定性の非線形ダイナミクスを理解するため、簡約流体方程式に基づく3次元乱流シミュレーションを行った。用いたモデルは、拡張した長谷川・若谷モデルであり、密度・電位ポテンシャル・電子の磁場方向速度場を解く[3]。背景流れは、渦度ソースを与えることで模擬する。プラズマパラメタは比較的低温の直線プラズマ実験を想定した[4]。抵抗性ドリフト波が安定な密度分布に対し、背景流れを導入することで、KH不安定性の非線形飽和状態を得た。

渦度ソースの強度をパラメタとして振ったところ、ソースの小さい場合は定常的飽和状態、ソース強度の大きな場合は、揺動エネルギーにリミットサイクル的振動が現れた。渦度ソースが小さく、定常的飽和状態が得られた場合では、KH揺動は、背景流れの空間不均一性を緩和させるように運動量輸送を駆動すると同時に外向き粒子束によって背景密度勾配を平坦化させる。リミットサイクルを示す場合は、揺動エネルギーの増減時に、図1に示すような螺旋構造の生成消滅を伴う。螺旋構造は、揺動の位相の径方向構造 (波数) の変化を反映している。

径方向波数は、粒子・運動量輸送と密接に関わる。波数の増加は粒子・運動量輸送の変化をもたらす。すなわち、揺動の位相構造のダイナミックな変化は、輸送を介して、背景プラズマ分布と強く結合している。揺動エネルギーが増加している間は、運動量輸送により背景流れの緩和が起こる。一方、揺動エネルギー減少時には、波数の増加に伴い運動量輸送によって背景流れの急峻化が起こる。急峻化した背景流れによって揺動エネルギーが増加に転じる。このように自律的にリミットサイクルが維持されている。以上のように、KH揺動の非線形飽和状態に対して、位相構造のダイナミックな変化を通じた揺動と背景プラズマとの結合状態を明らかにした。

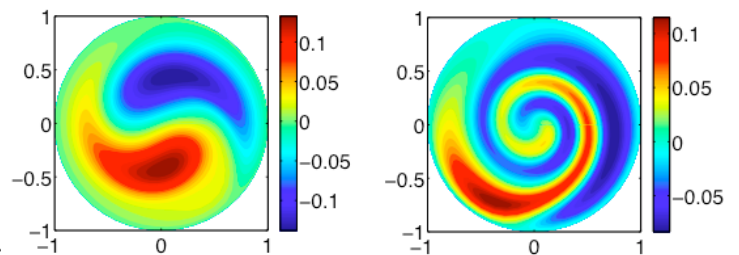


図 1: 密度揺動の空間構造。非線形飽和状態において左右の図の構造の間をダイナミックに行き来する。

- [1] H. Hasegawa, et. al., Nature 430, 755 (2004).
[2] A. Popovich, et. al., Phys. Plasmas, 17, 102107 (2010).
[3] M. Sasaki, et. al., Nucl Fusion, 54, 114009 (2014).
[4] T. Pierre, Phys. Plasmas, 23, 042110 (2016).