

# 摂動バウンス粒子軌道共鳴による新古典トロイダル粘性 The neoclassical toroidal viscosity caused by perturbed bounce harmonic resonance

松岡清吉, 井戸村泰宏, 佐竹真介<sup>1,2</sup>

Seikichi MATSUOKA, Yasuhiro IDOMURA, Shinsuke SATAKE<sup>1,2</sup>

原子力機構, 核融合研<sup>1</sup>, 総研大<sup>2</sup>

JAEA, NIFS<sup>1</sup>, SOKENDAI<sup>2</sup>

非軸対称摂動磁場によって軸対称トカマクプラズマ中に駆動される新古典トロイダル粘性 (NTV) は運動量輸送を通じてプラズマ回転分布・閉じ込め性能等に影響を与えるため、その正確な評価や物理モデルの確立が重要となっている。これまで、NTV は、局所近似を用いて捕捉粒子軌道に沿って平均化したドリフト運動論方程式 (バウンス平均モデル) に基いて解析が行われてきた [1]。しかし、最近の研究において、FORTEC-3D コードを用いたドリフト運動論方程式の大域的シミュレーションにより、Superbanana-Plateau (SBP) 領域と呼ばれる低衝突周波数領域において NTV の衝突周波数 ( $\nu_b^*$ ) 依存性が従来のバウンス平均モデルによる予測と一致しないという結果が示され [2]、その原因となる物理機構の解明が大きな課題となっている。

本研究では、大域的シミュレーションを用いた NTV 評価の妥当性を検証し、局所バウンス平均モデルとの差異について調べることを目的として、二つの全く異なる大域的シミュレーションコード GT5D と FORTEC-3D を用いて研究を行った。Figure 1 に GT5D, FORTEC-3D 及び SBP 領域におけるバウンス平均モデルのそれぞれで得られた NTV の  $\nu_b^*$  依存性を示す。ここで、SBP 領域における NTV は  $\nu_b^*$  に依存しない所謂プラトー領域を形成している。図から、GT5D と FORTEC-3D による NTV の  $\nu_b^*$  依存性がよく一致しており、一方で、SBP 領域におけるバウンス平均モデルによる予測とは一致しない。この結果は、FORTEC-3D で得られる NTV が  $\nu_b^*$  依存性を示すという文献 [2] の結果が、大域的シミュレーションに共通のものであることを示している。次に、バウンス平均モデルとの差異について検討するため、粒子分布関数の非軸対称成分 ( $\tilde{f}$ ) についてその速度空間分布を調べた。SBP 領域におけるバウンス平均モデルでは、捕捉粒子の歳差ドリフト周波数の共鳴によって NTV が決定される。Figure. 2 に  $\nu_b^* \simeq 0.12$  の GT5D で観測された  $\tilde{f}$  の速度空間分布を示す。この図から、大域的シミュレーションにおいては、バウンス平均モデルが予測する捕捉-非捕捉境界におけるピークした共鳴分布は見られないことが分かった。発表では、粒子軌道追跡によって新たに分かったこととして、有限の軌道幅を持つ捕捉粒子軌道に沿ったモード構造の変化が大域的シミュレーションにおける共鳴分布消失の原因となっていることを示し、さらに、そのモード構造の位相混合による微細構造形成の結果、大域的シミュレーションにおける NTV の衝突周波数依存性が生じていることについて議論する。

[1] K. C. Shaing *et al.*, Plasma Phys. Control. Fusion **51**, 035009 (2009).

[2] S. Satake *et al.*, Phys. Rev. Lett. **107**, 055001 (2011).

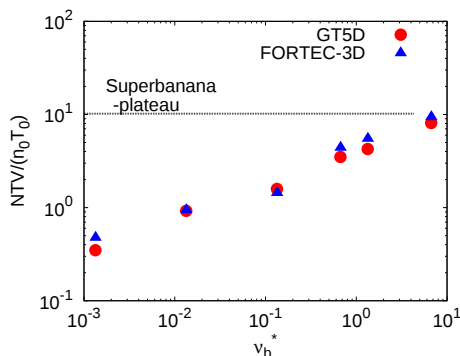


図 1: 新古典粘性の衝突周波数依存性

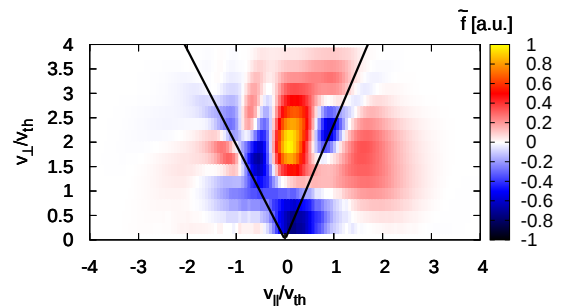


図 2: 粒子分布関数の非軸対称成分についての速度空間分布 (破線は捕捉・非捕捉粒子境界)