

ヘリカルプラズマにおける運動論的電子を用いたジャイロ運動論解析による簡約化輸送モデル構築

Construction of reduced transport model by gyro-kinetic simulation with kinetic electrons in helical plasmas

登田慎一郎、仲田資季、沼波政倫、石澤 明宏¹、渡邊智彦²、洲鎌英雄

TODA Shinichiro, NAKATA Motoki, NUNAMI Masanori, ISHIZAWA Akihiro¹, WATANABE Tomo-Hiko², SUGAMA Hideo

核融合研、京大エネ科¹、名大理²

NIFS, Graduate School of Energy Science, Kyoto Uni.¹, Graduate School of Science, Nagoya Uni.²

電子の運動について断熱近似を用いたジャイロ運動論解析の際に、線形成長率と帯状流レベルによる簡約化輸送モデルが提唱されている [1]。イオン温度勾配 (ITG) 不安定性モードが励起されていると考えられる LHD 高イオン温度モードを対象としてイオン熱拡散係数がモデル化されている。しかしながら、電子についてもジャイロ運動論解析を行った解析では、断熱近似を行った解析と比べて、数倍のイオンエネルギー束が予測されている [2]。本発表では、運動動的電子を用いたジャイロ運動論解析による、イオン熱拡散係数に対する簡約化輸送モデルの導出を行う。ITG モードが不安定化している短ポロイダル波数領域を考察する。

LHD 高イオン温度モード #88343 の時刻 $t = 2.23\text{s}$ のプラズマを対象とする。GKV コードによる、運動論的電子を用いたジャイロ運動論解析を行った。径方向での領域 $0.46 \leq \rho \leq 0.80$ で非線形解析結果を考察した。ITG モードが励起していると考えられるポロイダル波数領域 $0.0 \leq k_y \leq 0.5$ についてシミュレーションを行った。イオンエネルギー流束の時間発展は非線形飽和する。断熱近似を行った解析と運動論的電子を用いた解析での、イオン熱拡散係数分布を比較した。運動論的電子を用いた解析結果は断熱近似を行った解析と比べて、数倍程度の大きさになる。イオンエネルギー流束における電磁揺動による寄与は数パーセントである。そして文献 [1] における、イオン熱拡散係数に対する簡約化モデルの導出方法を用いる。非線形シミュレーションから得られたイオン熱拡散係数の値を、静電ポテンシャル揺動振幅の 2 乗 $\mathcal{T} \equiv \sum_{k_x, k_y \neq 0} \langle |\tilde{\phi}_{k_x, k_y}|^2 \rangle / 2$ と帯状流ポテンシャルの 2 乗 $\mathcal{Z} \equiv \sum_{k_x} \langle |\tilde{\phi}_{k_x, k_y=0}|^2 \rangle / 2$ の時間平均により再現する。静電ポテンシャル揺動振幅の 2 乗と帯状流ポテンシャルの 2 乗を時間平均したもの $\bar{\mathcal{T}}$ 、 $\bar{\mathcal{Z}}$ による輸送モデル $\chi_i^M / \chi_i^{GB} = C_1 \bar{\mathcal{T}}^\alpha / (C_2 + \bar{\mathcal{Z}}^{1/2} / \bar{\mathcal{T}})$ を使用する。係数 C_1 、 C_2 、べき数 α を用いて非線形解析による熱拡散係数の値 $\bar{\chi}_i^{NL} / \chi_i^{GB}$ に近似させる。その結果、 $C_1 = 0.11$ 、 $C_2 = 1.8 \times 10^{-3}$ と $\alpha = 0.24$ が求められた。さらに、 $\bar{\mathcal{T}}$ の値を混合長概算の値 $\mathcal{L} (\equiv \int (\tilde{\gamma}_{\tilde{k}_y} / \tilde{k}_y^2) d\tilde{k}_y)$ で、また $\bar{\mathcal{Z}}$ を帯状流崩壊時間 $\tilde{\tau}_{ZF}$ で近似する。これらの近似を用いて、線形ジャイロ運動論計算から導かれる物理量の関数として、簡約化輸送モデルを構築する。今後、文献 [3] で示されているさらなるモデル化により、ダイナミクスを追う輸送コードに導入することを予定している。

[1] M. Nunami et. al., Phys. Plasmas **20**, 092307 (2013)

[2] A. Ishizawa et. al., Nucl. Fusion **55**, 043024 (2015)

[3] S. Toda et al., J. Phys.: Conf. Ser. **561**, 012020 (2014)

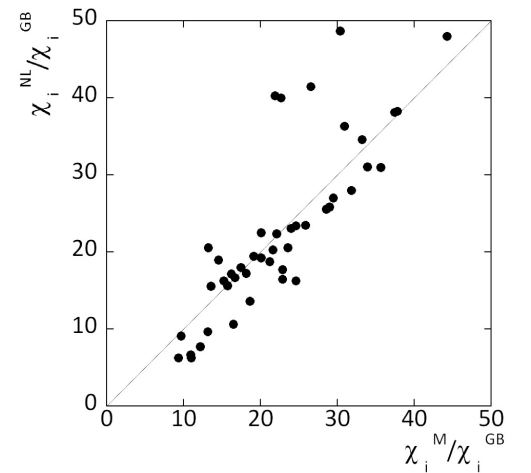


図 1: 非線形解析から得られた熱拡散係数の値と輸送モデルによる値の比較