

ジャイロ運動論シミュレーションの時系列データにおける乱流揺動、帯状流、輸送係数のパラメータ空間上の構造

Structure of time-series data in gyrokinetic simulations in the parameter space of turbulent fluctuation, zonal flow, and transport coefficient

藤井洗太郎¹, 沼波政倫^{1,2}

K. Fujii¹, M. Nunami^{1,2}

名古屋大学¹, 核融合科学研究所²

Nagoya University¹, National Institute for Fusion Science²

乱流, ゴーナルフロー, 輸送の関係を明らかにすることはプラズマの輸送を評価する上で重要である。一般に, 乱流により生成されたゴーナルフローがプラズマの熱や粒子の輸送を抑制する。また, ジャイロ運動論シミュレーションに基づき, 輸送係数の乱流振幅, ゴーナルフロー依存性を簡単な関係式で表現することが試みられ, 非線形シミュレーションの結果を高い精度で再現できることが確認されている [1]。そこでは非線形計算によって求められたそれぞれ物理量の時間平均を用いて議論されていた。

本研究では GKV コード [2] を用いたジャイロ運動論シミュレーションにおける乱流振幅, ゴーナルフロー振幅, 輸送係数が張るパラメータ空間上の時系列データの構造について考察した。時系列データを当該のパラメータ空間に表示すると, 各温度勾配毎に特定の部分空間に束縛されていることが分かった (Fig. 1)。そこで, 各温度勾配の条件毎に部分空間を構成する関係式を求め, 従来に時間平均された物理量に基づく輸送モデルの改良に取り組んだ。

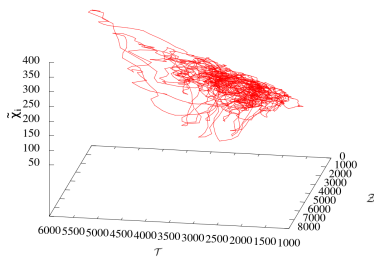


Fig. 1: パラメータ空間におけるリサーチ図。

従来の研究 [1] で輸送係数 χ_i は, 乱流振幅 \mathcal{T} , ゴーナルフロー振幅 \mathcal{Z} を用いて以下のような関係式で与え

られた。

$$\langle \tilde{\chi}_i^{Model} \rangle = \frac{C_1 \langle \mathcal{T} \rangle^\alpha}{1 + C_2 \langle \mathcal{Z} \rangle^{1/2} / \langle \mathcal{T} \rangle}. \quad (1)$$

ここで, (C_1, C_2, α) は非線形フィッティングにより決定される。また, $\langle \dots \rangle$ は時間平均を表している。

本研究では輸送係数, 乱流振幅, ゴーナルフロー振幅の時系列データを用いて関係式を拡張した。

$$\tilde{\chi}_i^{Model}(t) = \frac{C_1 \mathcal{T}(t)^\alpha}{1 + C_2 \mathcal{Z}(t)^{1/2} / \mathcal{T}(t)}. \quad (2)$$

今, (C_1, C_2, α) は温度勾配の関数である。

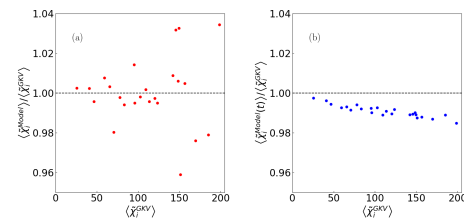


Fig. 2: 非線形計算から得られた輸送係数 $\langle \tilde{\chi}_i^{GKV} \rangle$ と $\langle \tilde{\chi}_i^{Model} \rangle$ (a), $\tilde{\chi}_i^{Model}(t)$ (b) の比較。

σ_1 と σ_2 を $(\langle \tilde{\chi}_i^{Model} \rangle / \langle \tilde{\chi}_i^{GKV} \rangle - 1)$ と $(\tilde{\chi}_i^{Model}(t) / \tilde{\chi}_i^{GKV} - 1)$ の二乗平均平方根だと定義すると, それぞれの相対誤差は $\sigma_1 = 0.017, \sigma_2 = 0.010$ であった (Fig. 2)。我々は更に乱流振幅 $\mathcal{T}(t)$, ゴーナルフロー振幅 $\mathcal{Z}(t)$ の位相差を考慮することで, より精度の高い部分空間の抽出を試みた。

References

- [1] M. Nunami, *et al.*, Phys. Plasmas **20**, 092307 (2013).
- [2] T. -H. Watanabe and H. Sugama, Nucl. Fusion **46**, 24 (2006).