

ゾーナルフロー効果を含んだ連成大域輸送シミュレーション

Coupled global transport simulation including zonal flow effects

中山智成¹, 仲田資季², 本多充³, 沼波政倫², 松岡清吉²NAKAYAMA Tomonari¹, NAKATA Motoki², HONDA Mitsuru³, NUNAMI Masanori²,
MATSUOKA Seikichi²東海大学大学院¹, 核融合科学研究所², 量子科学技術研究開発機構³Grad. Sch. Tokai Univ.¹, NIFS², QST³

1 背景・目的

核融合プラズマにおける乱流輸送はゾーナルフローにより抑制されることが知られているため、ゾーナルフローの効果を含んだ輸送および分布形成の大域的な評価・理解・予測が必要である。本研究はジャイロ運動論的連成大域輸送シミュレーションコード TRESS+GKV[1] の熱輸送モデルを拡張し、ゾーナルフロー効果を含んだ熱輸送および温度分布形成過程の解析を実現することを目的とする。

2 TRESS+GKV

TRESS+GKV は、1次元大域輸送コード TRESS と、5次元局所的ジャイロ運動論コード GKV を組み合わせ、乱流輸送と分布形成を同時に取り扱うことが可能な連成大域輸送シミュレーションコードである (Fig.1)。プラズマ小半径方向の格子点上におけるフラックスチューブを考え、GKV による各々の乱流輸送フラックスを評価する。それらの結果は TRESS に引き渡され、定常パワーバランスに至るまでの大域的な分布発展が計算される。

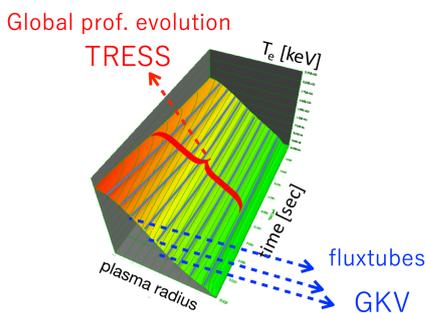


Fig. 1: TRESS+GKV 概略図 [1]

現在の TRESS+GKV は、トカマク型磁場配位での準線形熱輸送解析に限定されている。非線形計算との直接的な連成計算は多くの計算資源を要してしまうため、ゾーナルフローのような乱流の非線形効果を含む簡約的な乱流熱輸送モデルを導入する必要がある。

また、TRESS+GKV は大域的かつ様々な温度勾配を取り扱うため、熱輸送モデルは広汎な半径領域や温度勾配値で妥当なモデルであることが要求される。

3 熱輸送モデルの拡張

ゾーナルフロー効果を含んだ熱輸送モデルは

$$\frac{\chi_i^{model}}{\chi_i^{GB}} = \frac{C_1 \bar{T}^\alpha}{C_2 + \bar{Z}^\beta / \bar{T}} \quad (1)$$

である [2]。 \bar{T}, \bar{Z} はそれぞれ静電揺動エネルギーの乱流成分 ($k_y \neq 0$) とゾーナルフロー成分 ($k_y = 0$) の時間平均値を示している。また、フィッティングパラメータ (C_1, C_2, α, β) は GKV の非線形計算の結果を用いて決定する。

本研究では、トカマク実平衡における乱流輸送に対して適切なフィッティングパラメータを同定するため、GKV による非線形 ITG 乱流計算を実行し、 $\rho = 0.5, 0.75$ の複数点におけるイオン温度勾配 ($R_0/L_{Ti} = 4, 5, 6, 6.98, 8, 9$) 依存性の解析を行なった。その結果、ここでのトカマクプラズマに対しては、 $C_1 = 4.58 \times 10^{-2}, C_2 = 4.137 \times 10^{-3}, \alpha = 0.346, \beta = 0.582$ と見出された。ここで構築されたモデルは非線形計算の結果をよく再現している (Fig.2)。現在、拡張された熱輸送モデルを TRESS+GKV へと実装している。

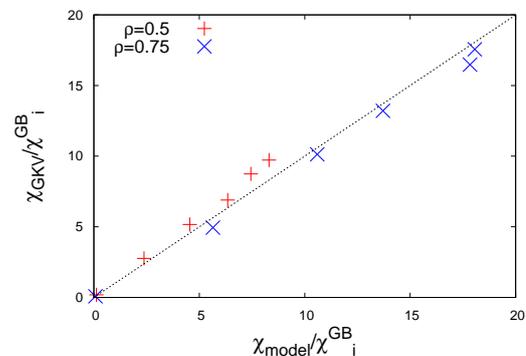


Fig. 2: 熱輸送モデルと非線形計算での熱輸送係数

[1]M.Nakata et al. Plasma Conference 2017

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