

乱流抑制配位創成に向けた 機械学習による乱流輸送モデルの効率的な最適化

Optimization of turbulent transport model by machine learning for creation of the next generation stellarator

沼波政倫^{1,2}、登田慎一郎^{1,2}、仲田資季^{1,2}、新配位創成研究チーム¹
Masanori NUNAMI^{1,2}, Shinichiro TODA^{1,2}, Motoki NAKATA^{1,2}, NGS team¹

¹核融合研、²総研大
¹NIFS, ²SOKENDAI

プラズマ乱流輸送を最大限に抑制し得る磁場配位の創成を目指した取り組みが精力的に進められている。特に、乱流輸送の源となる微視的不安定性や、輸送抑制に寄与するゾーナルフローの効果を考慮した簡約的な乱流輸送モデル[1,2]による輸送予測は、乱流抑制配位創成に向けた解析では欠くことができない。

しかし、簡約輸送モデルは多くの数値計算結果を元に構築されており、必然的に予測誤差を含む。特に、実験で実現されるプラズマの多くは、不安定性を駆動するプラズマ勾配分布が臨界点に非常に近く、数%の勾配の変化に対して数十%の輸送係数が変化する程、乱流輸送は温度密度分布に敏感に反応する。乱流抑制配位においても同様の状況が強く予想され、輸送モデルにおける誤差は、輸送予測に多大な影響を及ぼす可能性がある。精度の高い輸送予測を行うには、モデルによる輸送予測ではなく、膨大な計算量を伴う第一原理乱流シミュレーションを分布ごとに実行することが必要になり、計算時間と計算資源の双方において、現実的な予測が困難になる。

そこで本研究では、機械学習と乱流輸送モデルの手法を組み合わせることで、必要最小限の第一原理計算を実行することにより、ショット毎に応じた最適な乱流輸送モデルを効率的に決定する手法について議論した。本手法では、下記の流れで輸送予測を行う。

①これまでの乱流輸送モデルから、フラックスマッチングの手法を適用し、プラズマ温度・密度の勾配分布の暫定値を求める。②得られた勾配値を入力パラメータとして、ジャイロ運動

論に基づく第一原理計算を実行する。③第一原理計算の結果を実現するように乱流輸送モデルを機械学習により修正する。④修正された輸送モデルを用いて、実際の輸送予測を行う。

本手法により、例えばイオン温度勾配(ITG)乱流の場合、径方向位置毎に1回の第一原理計算で予測値が収束し(下図b)、多くの回数の第一原理計算を実行した場合と同程度の輸送係数分布を得ることができる(下図a)。講演では、この修正モデルを用いた輸送解析結果についても報告する。

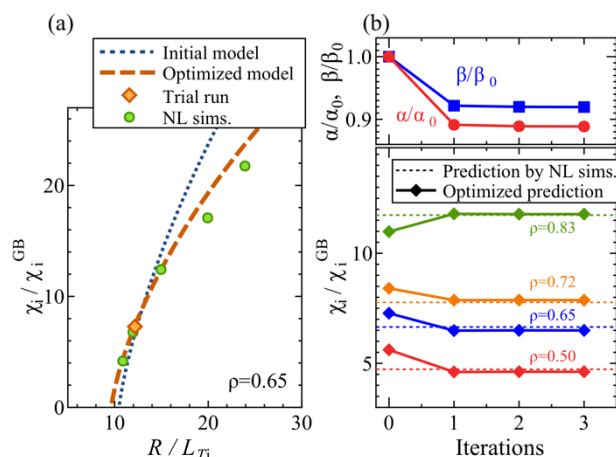


図: (a)イオン熱輸送係数に対する初期輸送モデル(点線)と修正輸送モデル(破線)による予測結果。多数の第一原理計算による予測結果(●)を修正モデルが良く再現している。(b)第一原理計算の実行回数に対するモデルパラメータの変化。

[1] M. Nunami *et al.*, PoP **20**, 092307 (2013).
[2] S. Toda *et al.*, JPCS **561**, 012020 (2014).