

# データ同化手法による LHD プラズマの統合輸送シミュレーション

森下侑哉<sup>1</sup>, 村上定義<sup>1</sup>, 横山雅之<sup>2</sup>, 上野玄太<sup>3</sup>

京大院工<sup>1</sup>, 核融合研<sup>2</sup>, 統計数理研<sup>3</sup>

現在、気象分野や海洋分野などの様々な分野において、実際の観測値を用いてシミュレーションモデルを最適化し、モデルの持つ不完全性を補うデータ同化の研究が活発に行われている。データ同化手法を用いることにより、近い未来を高い精度で予測することが可能となる。また、観測値をより精度高く再現するようなモデルを推定することができる。このデータ同化の手法を核融合プラズマの統合輸送シミュレーションに取り入れることで、プラズマの温度・密度分布を高精度で予測することが本研究の目的である。そのために統合輸送シミュレーションコード TASK3D ([1]) を用いた、データ同化シミュレーションの研究を行っている。

一般的なシミュレーションにおいて、初期値や数式内の定数は一つに決めなければならない。データ同化では初期値や定数、またはモデルによる結果自体に確率分布を持たせることで、観測データによるシミュレーションモデルの最適化を可能にする。そのため、解を確率分布とし、状態の時間発展等を行うシステムモデルと、観測データとシミュレーション変量との差異を埋めるための観測モデルの2つのモデルを考える。これら2つで状態空間モデルを形成する。データ同化の方法として、様々な方法が研究開発されているが、本研究ではアンサンブルカルマンフィルタを用いる。カルマンフィルタとは、状態の確率分布をガウス分布と仮定し、線形な時間発展に対して逐次的に状態を最適化する方法である。確率分布をアンサンブル近似することにより、カルマンフィルタを非線形な時間発展に対応できるようにしたのがアンサンブルカルマンフィルタである。

本研究では、システムモデルのベースに TASK3D を用い、状態変数として温度、密度、乱流輸送モデルにおける定数、NBI による加熱分布を取る。これらは、それぞれ電子とイオンについて存在するため、計8変数を状態変数として取っている。システムモデルと観測モデルに与える確率分布の分散値（ノイズ強度）の最適値は、尤度を最大化するような値と推測される（最尤法）。下にアンサンブルメンバー数 1000 にて、0.04 秒おきにデータ（ショット番号 114053）を同化した場合の様子を示す。図 1 は、0.50sec 時点の予想と観測値の径方向分布である。アンサンブルカルマンフィルタによるデータ同化の様子が分かる。また、図 2 は最適化された乱流輸送モデルにおける定数 ([2] において 9.07 で時空間的に一様) である。今回は、尤度を指標にして最適なノイズ強度の推定を行い、その値を用いて実際にデータ同化によるシミュレーションを行った。

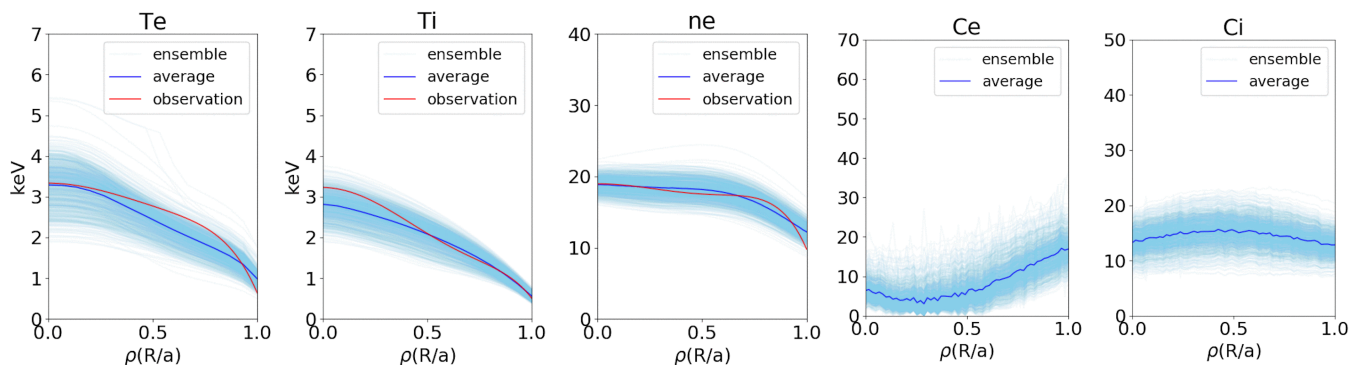


図 1: 温度と密度の予測分布

図 2: 乱流モデル係数の径方向分布

[1] S. Murakami, et al., Plasma Phys. Control. Fusion **57**, 054009 (2015).

[2] H. Yamaguchi, et al., JPS Conf. Proc. **1**, 015045 (2014).