

データ同化を用いた統合輸送シミュレーションの高速化

Data Assimilation System Based on Integrated Transport Simulation Applying a Reduced Model of Neutral Beam Injection Heating

森下侑哉¹, 村上定義¹, 横山雅之^{2,4}, 上野玄太^{3,4,5}Yuya Morishita¹, Sadayoshi Murakami¹, Masayuki Yokoyama^{2,4}, Genta Ueno^{3,4,5}京都大学¹, NIFS², 総研大³, 統計数理研究所⁴, データサイエンス共同利用基盤施設⁵
Kyoto University¹, NIFS², SOKENDAI³, The Institute of Statistical Mathematics⁴, The Joint Support-Center for Data Science Research⁵

現在、核融合プラズマ全体の挙動を解析、予測、制御するため様々な統合シミュレーションコードが開発されている。京都大学でもヘリカルプラズマに対する統合輸送コード、TASK3Dを開発している。しかしながら、核融合プラズマの挙動を完全に再現できるようなモデルは、事実上存在しないと言わざるを得ず、時間発展を追うごとに計算結果の持つ不確実性は増大する。また、大きな不確実性をもつモジュールがあると、モジュール間で相互作用し、計算結果全体が大きな不確実性を持つことになる。このような不確実性の問題に対して、データ同化の手法を TASK3D による統合輸送シミュレーションに導入した、データ同化システム ASTI[1]を開発している。

データ同化とは、観測値を用いてシミュレーションモデルを逐次的に最適化するシミュレーション手法である。本研究の目的は、データ同化システムを用いて高速かつ正確に核融合プラズマの挙動を予測・制御することである。本データ同化システムでは、データ同化による予測手法としてアンサンブルカルマンフィルタ (EnKF)[2]を用いる。

リアルタイム予測に向けて、現在のデータ同化システムが持つ大きな課題の1つは、TASK3Dによる予測にかかる計算時間である。最もコストの高い計算として、加熱分布の計算がある。NBI加熱に対する従来の第一原理主義に基づく計算手法では、高精度であるが、1秒間の加熱を計算するのに1時間程度を要する。こうした加熱分布の計算をリアルタイム予測に用いるのは不可能である。そこで、計算コストの高い加熱分布の計算を簡約化し、モデルパラメータを状態ベクトルに含めることで、データ同化による逐次最適化を行えるようにした。モデルの簡約化に伴う不確実性の増大をデータ同化により補うことで、予測精度を保ったま

ま、加熱計算の計算コスト削減を実現した。

本研究では、状態ベクトル (その系の状態を定義する変数の集まりであり、最適化の対象) として、温度、密度、乱流モデル内の定数、簡約化 NBI 加熱モデルのパラメータをとる。そこに NBI 加熱時の温度、密度データを 80msec おきに同化した。その結果、簡約化加熱モデルを用いた ASTI による予測が観測データを高精度で再現できることを確認した。Fig. 1 は、その際に簡約化モデルにより計算された電子とイオンの加熱分布の時間発展である。予測及びスモータによる推定が高コストモデルによる計算結果 (赤実線) をよく再現しているのが分かる。また、乱流熱拡散モデル内の定数 C が時空間分布を持つ場合に対しても検証を行い、予測が高精度で観測データを再現することを確認した。

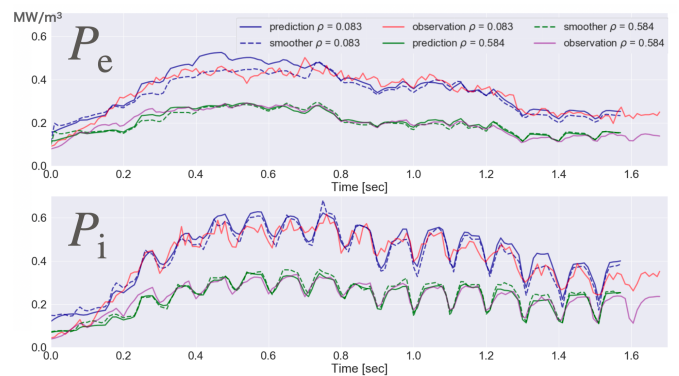


Fig. 1: 簡約化加熱モデルを用いた ASTI による加熱分布の推定結果

参考文献

- [1] Y. Morishita *et al.*, Nucl. Fusion **60**, 056001 (2020).
- [2] G. Evensen, Ocean Dyn. **53**, 343 (2003).