

レーザー生成プラズマとインフォマティクス

佐々木明

量子科学技術研究開発機構・関西光科学研究所

われわれは EUV リソグラフィなどを目的にレーザー生成プラズマに興味を持ち、Sn、Xe から希土類、W に至るプラズマの原子過程の研究を行ってきた。HULLAC や fac コードで計算したエネルギー準位や輻射遷移確率などの大量のデータを活用し、プラズマからの発光スペクトルの解析、評価を行ってきた [1]。本報告では、このようなインフォマティクスの活用による、レーザー生成プラズマのシミュレーション解析について議論する。

レーザー生成プラズマの特性の解析には、プラズマ流体力学と原子過程、輻射輸送をカップルした輻射流体力学モデルが用いられる。複雑な多価イオンの原子過程（衝突輻射モデル）の計算はしばしば長時間を必要とする。われわれはモンテカルロ法（MCMC: Markov-Chain Monte-Carlo 法）を用いると、プラズマの特性の評価のために重要な原子状態の定常状態および時間依存のポピュレーションを効率的に求めることができることを示した [2]。しかし、レーザー生成プラズマはしばしば密度勾配、空間的な不均一性を持ち、その多次元的な特性を求めるために、輻射輸送の波長、方向性を考慮すると計算はさらに長時間を必要とするようになる。一方、多価イオンのスペクトルは複雑であるが、しばしば卓越した UTA（Unresolved Transition Array）と連続成分から構成されることに注目すると、原子構造を数個のエネルギー準位で、輻射輸送を数本のラインスペクトルとプランク輻射成分とで表すことができると考えられる。このようなモデルの粗視化によって計算を効率化する可能性について議論する。

輻射流体力学モデルはレーザー核融合プラズマでもきわめて重要である。米国 Livermore 研で行われている、NIF(National Ignition Facility)のターゲットの爆縮を駆動する X 線の分布を再現する研究、機械学習を活用してシミュレーションと実験の結果を比較して妥当なモデルを構築する研究[3]についても紹介を試みる。

参考文献

- [1] A. Sasaki, et al. J. Appl. Phys. 107, 113303 (2010).
- [2] A. Sasaki, et al. High Energy Density Phys. 32, 1 (2019).
- [3] B. Spears, “Learning-based predictive models: a new approach to integrating large-scale simulations and experiments”, paper presented at SPIE LASE 2019, San Francisco, CA, USA.