

連続エネルギーモンテカルロ計算に基づく予測モデルを用いた Bayesian Monte-Carlo 法による次元削減核データ調整法の検討

名古屋大学工学部エネルギー理工学科 山本章夫研究室 福井悠平

1. 緒言

核計算では核反応断面積を始めとする核データを用いることで、量子効果など原子核の複雑なふるまいを厳密に計算することなく解析対象をモデル化し、その核特性値を計算する。そのため、正確な核データを用いることは正確な核特性値の計算につながる。微分実験によって測定された核データの不確かさに起因する核特性値の不確かさは、積分実験で測定される核特性値の不確かさよりも大きい場合があり、核データには精度向上の余地がある。計算値が積分実験値と一致するように、核データを不確かさの範囲で推定し、その不確かさを低減することを核データ調整と呼ぶ。既存の核データ調整法には、事前・事後分布に対して多変量正規分布を仮定している問題点がある。そこでロバストなデータ同化手法である Bayesian Monte-Carlo(BMC)法に注目した。BMC は乱数に基づいて解を推定する手法であるため、入出力の次元数が大きい体系では推定に膨大なサンプル数を必要とする。先行研究[1]では、核データの低ランク近似(次元削減)の有効性が示されていることから、BMC 法に核データの次元削減を取り入れることで、より少ないサンプル数での核データ調整が可能か試行する。

2. 解析手法

エネルギー56群の相対共分散データに基づき、 ^{235}U の弾性散乱、非弾性散乱及び核分裂断面積をランダムに摂動させた仮想的な核データセットを用意した。ICSBEPに収録されている Godiva 実験体系において、作成した核データセットに対する核特性値を連続エネルギーモンテカルロ計算コード MCNP6.2 で解析し、仮想的な測定値とした。この仮想的な測定値を与えることで BMC 法に基づく次元削減核データ調整を行い、入力として用いた核データ摂動率ベクトル \vec{p}_{ref} を逆推定できるか試行した。

3. 結果・考察

評価指標 $\chi^2 = \sum_i \left(\frac{p_{post,i} - p_{ref,i}}{\sigma_{p_i}} \right)^2$ により、調整

後の推定核データ摂動量 $p_{post,i}$ と仮想的な真値 $p_{ref,i}$ の差異を調べた。添え字 i はベクトル中の i 番目の要素であり、 σ_{p_i} は推定値 $p_{post,i}$ の不確かさである。 χ^2 値が小さいほど、参照解 \vec{p}_{ref} を再現していることを示している。①次元削減しない場合(Normal)、②核データ基底による次元削減を用いた場合(次元数 80)、③核特性値基底による次元削減を用いた場合(次元数 18)について BMC を適用し、 χ^2 値を調べた。図 1 より、②または③の次元削減を用いることで、本手法により少ない BMC サンプル数でも核データ調整を実施できることが確認できた。

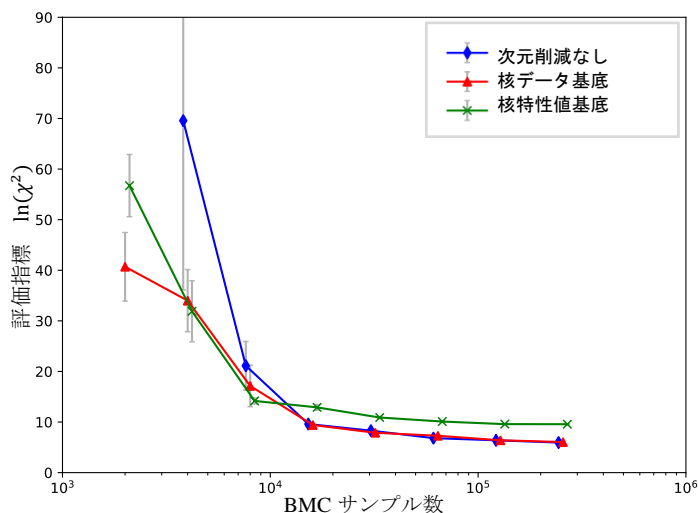


図 1 BMC サンプル数に対する調整解の収束性

参考文献

[1] K. Yokoyama, A. Yamamoto T. Kitada, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **55**[3], 319-334, (2018).

口頭発表:

[1] 福井悠平, 遠藤知弘, 山本章夫, 第 52 回日本原子力学会中部支部研究発表会, 名古屋大学, 12 月 17-18 日 (2020).

[2] 福井悠平, 遠藤知弘, 山本章夫, 日本原子力学会 2021 年春の大会, オンライン, 3 月 17-19 日 (2021).(発表予定)