

決定論的サンプリングによる核データ調整法

A Nuclear Data Adjustment Method based on a Deterministic Sampling Method

*福井 悠平¹, 遠藤 知弘¹, 山本 章夫¹

¹名古屋大学

Unscented 変換に基づく決定論的サンプリング法を用いた核データ調整法を開発した。従来の確率論的サンプリングを用いた手法と比較し、少ない計算コストでの核データ調整が実行可能であることを確認した。

キーワード：核データ調整法、データ同化、Unscented Transform、決定論的サンプリング

1. 緒言

従来の核データ調整法では、評価済み核データに対して、一般化摂動論による感度係数もしくは確率論的サンプリングによって、事後核データを推定する。後者の確率論的サンプリングによる核データ調整には、一般化摂動論による感度解析が困難な体系及び非線形性が強い問題への適用性がある一方、計算コストが比較的高い欠点があった。そこで、不確かさ評価の分野で用いられている Unscented Transform に基づく決定論的サンプリングに着目した。本研究では、決定論的サンプリングを用いた核データ調整により、ランダムサンプリングを用いた核データ調整の計算コストを削減可能かどうか検討した。

2. 提案手法の概要

核データセット \vec{T}_0 とその分散共分散行列 \mathbf{M} に対して、Unscented Transform のシグマ点に基づいた決定論的サンプリングにより、少ないサンプル数で \mathbf{M} を極力再現しつつ摂動後核データが正值となるよう、摂動後核データサンプル群 \vec{T}_n とその加重 w_n を生成する。各 \vec{T}_n に対して数値計算を実施し核特性サンプル群 \vec{R}_n を求め、 w_n を用いた加重付き共分散行列 $\text{cov}_w[\vec{T}_n, \vec{R}_n]$, $\text{cov}_w[\vec{R}_n, \vec{R}_n]$ を推定する。核データ調整基礎式における共分散項として $\text{cov}_w[\vec{T}_n, \vec{R}_n]$, $\text{cov}_w[\vec{R}_n, \vec{R}_n]$ を利用することで、調整後核データ $\vec{T}_{\text{adj}}, \mathbf{M}_{\text{adj}}$ を効率よく評価する。

3. 検証方法

検証方法として、確率論的サンプリングによって決定した仮想的な核データ真値 \vec{T}_{ref} を用意することで双子実験を実施した。核データ真値に対して核特性を数値計算した結果を仮想的な測定値とみなし、3通りの核データ調整法(①感度係数を用いた手法(GLLS)、②確率論的サンプリングを用いた手法(RS)、③決定論的サンプリングを用いた手法(UT))を適用した。調整後核データセット $\vec{T}_{\text{adj}}, \mathbf{M}_{\text{adj}}$ についてその尤度を $\chi^2 = [\vec{T}_{\text{adj}} - \vec{T}_{\text{ref}}]^T \mathbf{M}_{\text{adj}}^{-1} [\vec{T}_{\text{adj}} - \vec{T}_{\text{ref}}]$ で評価し、核データ調整法ごとに比較することで提案手法の有効性について検証した。

4. 解析結果

ICSBEP 臨界ベンチマーク体系 Godiva において、²³⁵U の核分裂断面積と放射捕獲断面積(56群)を対象として、GLLS, RS, UT による核データ調整を実施した。核データ調整時の核特性測定値として、実効増倍率 k_{eff} 及び²³⁵U の核分裂反応率に対する反応率比(²³⁴U, ²³⁸U 核分裂反応率あるいは吸収反応率)の合計 5 つを用いた。GLLS で用いる感度係数には SCALE6.2.4/TSUNAMI-1D による解析結果、核特性計算には MCNP6.2 を用いた。それぞれの推定値の評価値 χ^2 を図1に示す。提案手法を用いることで、より少ないサンプル数において尤もらしい核データ調整ができることが確認できた。

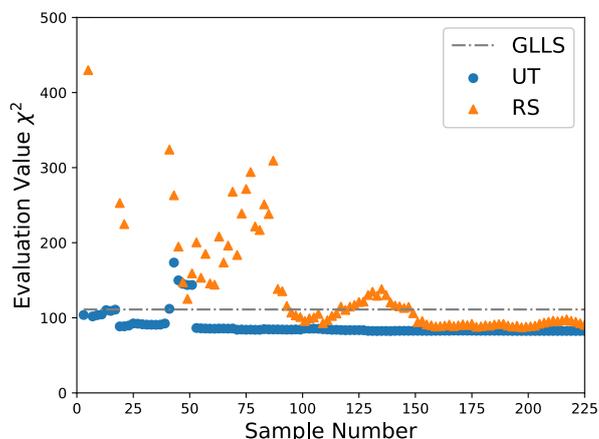


図1 調整後核データの評価値の比較

謝辞 本研究は JSPS 科研費(21K04940)の助成による。

*Yuhei Fukui¹, Tomohiro Endo¹ and Akio Yamamoto¹

¹Nagoya University