

感度係数行列を用いた線形近似に基づく モンテカルロ計算代理モデルの妥当性検証

Verification on a surrogate model for Monte-Carlo based on the linear approximation
using a sensitivity coefficient matrix

*山口 響¹, 福井 悠平¹, 遠藤 知弘¹, 山本 章夫¹

¹名古屋大学

核データを摂動させた連続エネルギーモンテカルロ計算により得られた参照解と、感度係数を用いた線形近似に基づく代理モデルによる予測計算結果を比較することで、代理モデルの妥当性について検討した。

キーワード：代理モデル，摂動論，感度係数，線形近似

1. 緒言 摂動論によって評価された感度係数行列を用いた線形近似により、実効増倍率など炉心核特性の代理モデルを構築することができる。代理モデルを用いることで、核データ変動に対する核特性変化を低計算コストで予測できるが、その妥当性については十分な検証がなされていない。そこで本研究では、核データを共分散行列に基づき無作為に摂動させた連続エネルギーモンテカルロ(MC)計算により得られた参照解と、感度係数に基づく代理モデルによる予測計算結果を比較することで、代理モデルの妥当性について検証した。

2. 検証方法 検証体系は Godiva 臨界実験体系とした。実効増倍率 k_{eff} 及び、 ^{235}U の核分裂反応率に対する各種反応率比(^{234}U , ^{235}U , ^{238}U 核分裂反応率あるいは吸収反応率)を評価対象として、SCALE6.2.4/TSUNAMI-1Dにより中性子エネルギー56群の相対感度係数ベクトル $\vec{S}_{R,i} = (\sigma_i/R) \cdot (\partial R / \partial \sigma_i)$ を評価した(ベクトル要素数：エネルギー群数×核データ数)。相対感度係数ベクトル $\vec{S}_R$ 及び核データの相対変化量ベクトル $\delta\vec{T}_i = \delta\sigma_i/\sigma_i$ を用いて、(1)式に示す線形近似により核データ相対変化 $\delta\vec{T}$ に対する核特性の相対変化 $\delta R/R$ を予測する代理モデルを構築した。

$$\frac{\delta R}{R} \approx \vec{S}_R \cdot \delta\vec{T} = \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_i}{R} \frac{\partial R}{\partial \sigma_i} \cdot \frac{\delta\sigma_i}{\sigma_i} \quad (1)$$

^{235}U の核分裂反応および捕獲反応の SCALE 共分散行列に基づき、ランダムサンプリング法により 224 セットの $\delta\vec{T}$ を生成した。各 $\delta\vec{T}$ に対して(1)式の代理モデルにより核特性の相対変化 $\delta R/R$ を予測した。これらの参照解を得るため、FRENDY 付属の断面積摂動ツールを用いて、各 $\delta\vec{T}$ より摂動後 ACE ファイルを作成し、224 セットの摂動後 ACE ファイルそれぞれに対して MCNP6.2 による MC 計算を実施した。以上の手順により、代理モデルによる予測結果と MC 計算結果を比較することで、(1)式による代理モデルの妥当性について検証した。

4. 結果 一例として、 ^{235}U の核分裂反応率に対する ^{238}U の吸収反応率比のランダムサンプリング結果について、感度係数に基づく代理モデルによる予測計算結果と MC 計算結果の比較を図 1 に示す。

図 1 において各サンプルは対角線上に分布していることから、本検討の場合には(1)式による線形近似が妥当であり、感度係数を用いた代理モデルによって MC 計算結果を概ね再現できることが確認できた。

謝辞 本研究は JSPS 科研費(21K04940)の助成による。

*Hibiki Yamaguchi¹, Yuhei Fukui¹, Tomohiro Endo¹ and Akio Yamamoto¹

¹Nagoya Univ.

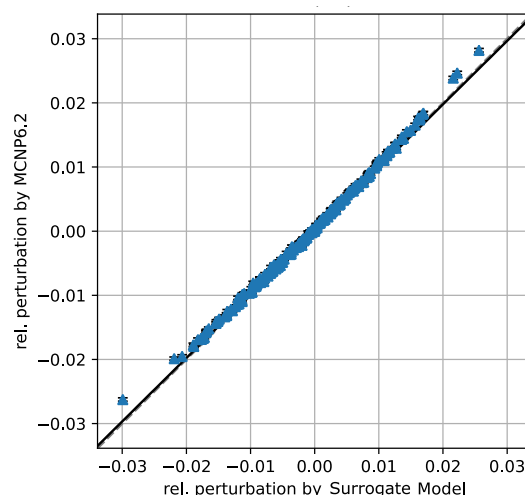


図 1 感度係数による代理モデルと MC 計算結果の比較(^{238}U 吸収反応率比、 ^{235}U 核分裂反応率比)