

固定源輸送計算を利用したデータ駆動型 POD 固有値計算手法に関する検討

Study on data-driven POD eigenvalue calculation method using fixed source transport calculations

*寺谷 俊哉¹, 辻田 浩介², 遠藤 知弘¹, 山本 章夫¹

¹名大, ²原子力エンジ

固有直交分解(POD)した基底を中性子源項に与えた固定源輸送計算の結果を利用したデータ駆動型の方法により、PODに基づく k_{eff} 固有値計算を実施する手法を新たに考案した。TWIGL ベンチマーク体系を対象とした k_{eff} 固有値計算により、本手法の有効性について検証した。

キーワード：固有直交分解、中性子輸送計算、データ駆動型、固有値計算、固定源計算

1. 緒言 固有直交分解(Proper Orthogonal Decomposition, POD)を利用すると、解くべき未知数を全中性子束 $\vec{\phi}_g \in \mathbb{R}^{NR}$ から展開係数 $\vec{\varphi}_g = \mathbf{U}_g^T \vec{\phi}_g \in \mathbb{R}^r$ まで削減できる。先行研究では、複数回の固有値輸送計算で得られた中性子源と中性子束の展開係数に基づいて、中性子輸送計算の漏洩項圧縮行列を推定する方法を考案した。しかし、先行研究の手法では複数回の固有値輸送計算が必要であったため計算コストが大きかった。そこで本研究では、より計算コストの小さな固定源輸送計算を利用した漏洩項圧縮行列推定方法を検討した。

2. 提案手法 圧縮後の固定源輸送計算は $(\tilde{\mathbf{L}}_g + \tilde{\mathbf{\Sigma}}_{t,g})\vec{\varphi}_g = \vec{q}_g \cdots (1)$ と形式的に表現できる。 $\vec{\varphi}_g$ と \vec{q}_g は中性子束と中性子源の展開係数ベクトル、 $\tilde{\mathbf{L}}_g$ と $\tilde{\mathbf{\Sigma}}_{t,g}$ は漏洩項と全断面積項の圧縮行列をそれぞれ意味する。全断面積=吸収断面積、散乱マトリクスと生成断面積をゼロとし、中性子源の教師データを特異値分解して求めた POD 基底を外部中性子源として与えた固定源輸送計算を基底数 r 回実施する。得られた中性子束と中性子源の展開係数 $\vec{f}_{g,i}$, $\vec{q}_{g,i}$ をそれぞれ並べ、データ行列 \mathbf{F}_g , \mathbf{Q}_g を準備する。ここで $\tilde{\mathbf{L}}_g \mathbf{F}_g = \mathbf{Q}_g - \tilde{\mathbf{\Sigma}}_{t,g} \mathbf{F}_g$ の関係を満たすため、漏洩項の圧縮行列 $\tilde{\mathbf{L}}_g$ は一般化逆行列 \mathbf{F}_g^\dagger を用いて $\tilde{\mathbf{L}}_g = (\mathbf{Q}_g - \tilde{\mathbf{\Sigma}}_{t,g} \mathbf{F}_g) \mathbf{F}_g^\dagger$ により推定できる。計算対象と類似の全断面積分布において $\tilde{\mathbf{L}}_g$ を事前に求め、式(1)を解けば中性子束の展開係数ベクトル $\vec{\varphi}_g$ が得られ、 $\vec{\phi}_g = \mathbf{U}_g \vec{\varphi}_g$ により中性子束が再構成できる。

3. 適用結果 計算体系は、TWIGL ベンチマーク問題を利用した。まず、TWIGL ベンチマーク問題における全断面積の摂動範囲を 8 等分した各ケースに対して k_{eff} 固有値計算を実施することで、POD 基底を推定するための教師データを求めた。次に、POD 評価時とは異なる全断面積の条件に対して、提案手法により圧縮行列 $\tilde{\mathbf{L}}_g$ を推定し、POD- k_{eff} 固有値計算を実施した。参照解(MOC 輸送計算)との実効増倍率誤差および中性子束の相対平均二乗誤差(rRMSE)を表 1 に示す。また一例として、基底数が4個の場合の中性子束の相対誤差分布を図 1、漏洩項推定のために要した計算時間を表 2 にそれぞれ示す。結果として、提案手法で計算精度を保ちつつ計算時間を短くしたデータ駆動型 POD- k_{eff} 固有値計算を実現できる見込みを得ることができた。

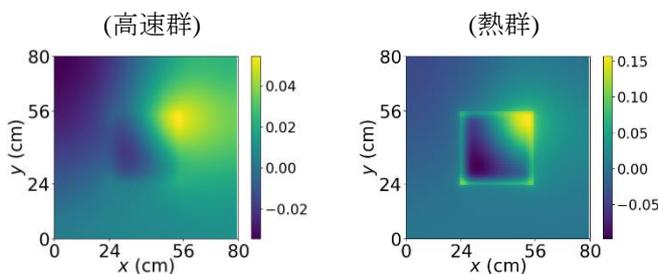


図 1 POD 輸送計算と参照解の中性子束相対誤差分布(%)

表 1 実効増倍率誤差(pcm)と中性子 rRMSE(%)

参照解 $k_{\text{eff}} = 0.885$	利用基底数			
	1	2	3	4
rRMSE (%)	27.1	1.8	0.4	0.0
$k_{\text{eff_err}}$ (pcm)	-425.9	27.1	6.0	-0.3

表 1 漏洩項圧縮行列推定にかかる計算時間

	合計計算時間 (s)
先行研究	28.68
提案手法	4.32

*Shunya Teratani¹, Kosuke Tsujita², Tomohiro Endo¹ and Akio Yamamoto¹

¹Nagoya Univ., ²NEL