

原子核の崩壊による原子数密度変動に対する低次元モデルの構築

(3) 漸近解に対する差分への低次元モデルの適用

Low-order model for time behavior of atomic number densities with radioactive decay

(3) Reduced order model for the difference to the asymptotic solutions

*千葉 豪¹, 吉藤 悠¹, 辻田 浩介², 三輪 周平²

¹北大, ²原子力エンジ

瞬時核分裂後の核分裂生成物の崩壊過程における原子数密度変動を対象とした低次元モデルの構築の一環として、数密度の時間漸近解に対する差分に着目した検討を行った。

キーワード : Bateman 方程式、特異値分解、低次元モデル

1. 背景・目的 燃焼中の核燃料には 1,000 を超える核種が含まれ、それら全ての数密度の時間変動を数値計算において追跡することは、全炉心燃焼計算のような大規模計算では現実的ではない。多数の核種の数密度の時間追跡計算をより効率的に行うことを目的として、snapshot POD と Galerkin projection (GP) に基づく方法の検討を行ってきた[1,2]。その結果、燃焼方程式を POD 基底に射影して得られる低次元モデルにおいて、POD モードの時間変化を記述する行列（遷移行列）が正の固有値を持つ場合があり、低次元モデルの解が発散する可能性があることが分かった。そこで本研究では、核種数密度そのものではなく、無限時間経過後の核種数密度の漸近解に対する差分に着目することにより、この問題点を克服することを試みた。

2. 数密度の時間漸近解に対する差分の低次元モデル 本検討では、はじめに燃焼方程式を数値的に解き、数密度ベクトルについてのいくつかの時点での snapshot を収集する。そこから数密度ベクトルの POD 基底を特異値分解により作成し、燃焼方程式を POD 基底に射影して低次元モデルを作成する。この際、対象とする核種数を N 、snapshot の総数を M としたとき、 $M > N$ とする。 N 個の POD 基底に射影した場合、低次元モデルにおける遷移行列と燃焼行列は相似となり両者の固有値は一致する。一方、射影に用いる基底の個数を N より小さくした場合には、遷移行列と燃焼行列の固有値に差異が生じ、遷移行列において正の固有値が生じる場合がある[2]。安定核の数密度は無限時間経過後に一定値に漸近するため、時間に対して数密度が増加する核種があり、このことが正の固有値を生じさせる原因と考えた。そこで、 $\mathbf{n}(t)$ そのものではなく $\mathbf{n}(\infty)$ に対する差分 $\mathbf{m}(t) = \mathbf{n}(t) - \mathbf{n}(\infty)$ に対して低次元モデルを構築することで、正の固有値の発生の抑制を試みた。

3. 結果・考察 15 核種からなる簡易的な核種崩壊・変換問題を設定し、これら核種数密度の時間変化について snapshot POD と GP を用いて低次元モデルを作成し、行列指数法で数値的に解いた。ここで、 $\mathbf{n}(t)$ と $\mathbf{m}(t)$ に着目した 2 ケースの計算を行った。考慮する POD 基底の個数を変化させたときの数密度の絶対誤差の最大値と RMS を図 1 に示す。この問題に対しては、 $\mathbf{m}(t)$ に着目することでより効果的に低次元化が行えることが分かった。

参考文献 [1] 吉藤、他、2021 年秋の大会、[2] 吉藤、他、2022 年春の年会

* Go Chiba¹, Yu Yoshifuji¹, Kosuke Tsujita², Shuhei Miwa²

¹ Hokkaido University, ² Nuclear Engineering, Ltd

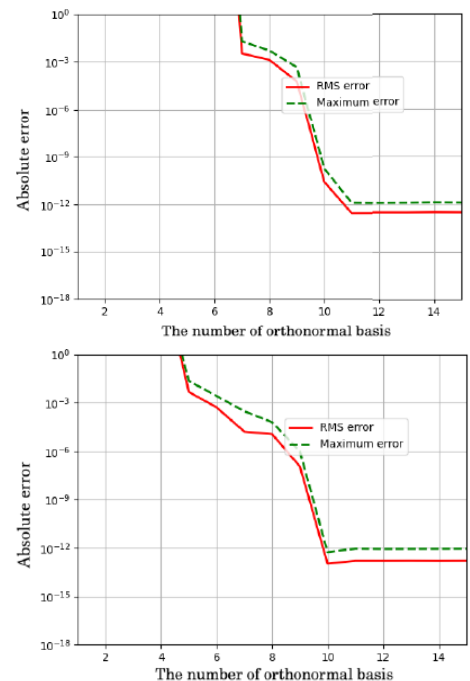


図 1 数密度の絶対誤差の最大値と RMS (上: $\mathbf{n}(t)$ 、下: $\mathbf{m}(t)$)