

炉雑音の自己共分散解析による未臨界度推定

名古屋大学大学院 工学研究科
総合エネルギー工学専攻
修士2年 廣田諒我

1. はじめに

この度は、2025年秋の大会で発表した「炉雑音の自己共分散解析による未臨界度推定(3) フィッティング式の改良」に対し、炉物理部会優秀講演賞という名誉ある賞をいただき、大変光栄に思います。本題目は、日本原子力学会英文誌に論文として公表した研究[1]を発展させたものとなっております。本受賞は、指導教員である遠藤知弘准教授および山本章夫教授からの多大なるご指導の賜物であり、深く感謝申し上げます。また、炉物理部会において貴重なご助言をいただいた関係者の皆様に、心より御礼申し上げます。

本研究では、炉雑音の遅発中性子成分に注目し、新たに考案したラグ1自己共分散解析により、測定データのみから未臨界度の絶対値を測定する手法の開発に取り組みました。本稿では研究の概要に加え、着想の経緯および研究過程で印象に残った出来事について紹介いたします。詳細な研究内容については、参考文献[1]をご参照ください。

2. 提案手法の概要と着想

本研究の目的は、炉雑音測定データのみから未臨界定常状態での未臨界度を測定可能な手法の開発です。従来の炉雑音解析手法は、即発中性子減衰定数 α の測定は可能である一方、未臨界度を評価するためには一点炉動特性パラメータを別途与える必要がありました。そのため、事前の数値解析に基づくパラメータの不確かさが大きい場合、未臨界度推定値も大きく影響を受けるという課題がありました。

この課題を解決するため、本研究では検出時間幅 T に対するラグ1自己共分散の変化を分析する新たな炉雑音解析手法を提案し、中性子生成時間 Λ などの事前推定なしに未臨界度の絶対値が測定可能な手法の開発に取り組みました。手法の概略としては、ラグ1自己共分散の測定値に対し、即発中性子成分および遅発中性子成分の減衰定数を用いて表される理論式をフィッティングすることで、反応度方程式に基づき減衰定数を一意に定めるためのドル単位の未臨界度 $-\rho/\beta_{\text{eff}}$ および一点炉動特性パラメータの比 $\beta_{\text{eff}}/\Lambda$ を逆推定するものです。本手法は、ラグ1自己共分散が、Feynman- α 法などの従来手法と比較して、遅発中性子成分の影響を高感度に抽出できるという特徴を利用しています。

本手法の着想は卒業研究で取り組んだ自己相関法において、遅発中性子成分の減衰を観測できないかと考えたことに端を発します。自己相関法は、中性子計数時系列データの自己相関を解析し、ラグに対する指数減衰から即発中性子減衰定数を求める手法です。従来は、検出時間幅を即発中性子寿命のオーダーに設定することで即発中性子減衰定数を捉えてい

ましたが、この時間幅を遅発中性子先行核の崩壊定数に対応する時間スケールまで拡大すると、遅発中性子成分に起因する遅い指数減衰を観測できることが分かりました。そこで、この遅い指数減衰から、遅発中性子成分の減衰定数の測定を試みました。しかし、ラグが大きくなるにつれて統計的不確かさが増大し、遅発中性子減衰定数の分析および未臨界度推定は困難でした。一方で、ラグ 1(隣接計数間)の自己相関は高い統計精度で測定できることを見出しました。そこで発想を転換し、ラグを変化させる代わりにラグを 1 に固定し、計数時間幅を変化させることで、遅発中性子成分の減衰定数を直接分離するのではなく、即発中性子成分と遅発中性子成分の積分量を評価する手法へと発展させました。さらに、検出時間幅に対するラグ 1 自己共分散の理論式を導出し、これを少数のパラメータ($-\rho/\beta_{\text{eff}}$, $\beta_{\text{eff}}/\Lambda$, 比例係数)からなる低次元モデルとして整理して測定値にフィッティングをしました。その結果、 $-\rho/\beta_{\text{eff}}$ や $\beta_{\text{eff}}/\Lambda$ などの複数のパラメータが同時に定まり、本手法の成立を確信した強く印象に残る出来事となりました。

3. 最後に

本研究の成果を日本原子力学会等で公表し、多くのご意見やご質問をいただいたことは、大きな刺激となりました。自分では気付かなかった視点からのご指摘も多く、研究をより深く理解する貴重な機会となりました。また、学会以外の場でも炉物理部会の皆様と直接交流できたことも大変楽しく、研究活動の意義を改めて実感する良い経験となりました。

私は本年度をもって大学院を修了し、来年度からは原子力分野に携わる社会人として新たな一歩を踏み出します。研究を通して培った、現象を丁寧に考え抜く姿勢や議論を通じて理解を深める姿勢は、今後の業務においても大きな支えになると考えております。

本研究で培った知識と経験を活かし、原子力分野の発展に貢献できるよう、これからも一層精進してまいります。

参考文献

- [1] Hirota R, Moribe T, Endo T, et al. Absolute measurement of subcriticality in dollar units based on lag-1 autocovariance of zero-power reactor noise. *J Nucl Sci Technol.* 2025; doi:10.1080/00223131.2025.2530788.