Bootstrap 法を用いた三次中性子相関法による未臨界度測定

Subcriticality Measurement using Third Order Neutron-correlation Technique with Bootstrap Method

*遠藤 知弘 [1]，山本 章夫 [1]
[1] 名古屋大学

三次中性子相関法による未臨界度測定手法に対して bootstrap 法を活用することで、1 回の時系列データ測定から三次中性子相関法の統計誤差推定が可能かどうか、仮想数値実験により検証した。

キーワード： 三次中性子相関法、bootstrap 法、未臨界度測定、炉雑音

1. 緒言

三次中性子相関法とは炉雑音解析に基づいた未臨界度絶対値測定手法である。三次中性子相関法では、検出時間幅Tの間に検出された中性子検出数の時系列データC_iを測定し、その統計量(平均・分散・三次モーメント)より二次相関量$Y(T)$、三次相関量$X(T)$を評価する。こうして評価された$Y(T)$、$X(T)$の飽和値$\lim_{T\to\infty} X/Y^2$ が 3 からどれだけずれているかを調べることで、未臨界度の絶対値を測定することができる。ただし、三次中性子相関法の課題として、1 回の時系列データ測定から得られた未臨界度の統計誤差、すなわち測定値X/Y^2の統計誤差の推定方法が課題となっていた。そこで本研究では、二次相関量$Y(T)$の統計誤差推定法として適用が検討された bootstrap 法に注目し[1]、bootstrap 法による三次中性子相関法の統計誤差の推定を試みた。

2. 三次中性子相関法に対する bootstrap 法の適用方法

十分大きな検出時間幅Tに対して、ある一連の中性子検出数の時系列データ$C_i(i = 1\sim n)$を測定する。次にC_iに対して乱数を用いて復元抽出を行うことで、データ列C_i^{*b}の bootstrap 標本を B 個得る$(b = 1\sim B)$。各C_i^{*b}に対して二次・三次相関量Y^{*b}, X^{*b}を求め、$X^{*b}/(Y^{*b})^2$を得る。bootstrap 標本数Bを十分多くした上で、$X^{*b}/(Y^{*b})^2$の標準偏差および信頼区間を求めることにより、元の時系列データC_iから得られるX/Y^2値および未臨界度$(-\rho) \approx f \times (X/Y^2 - 3)$の統計誤差を推定する($f$は換算係数)。

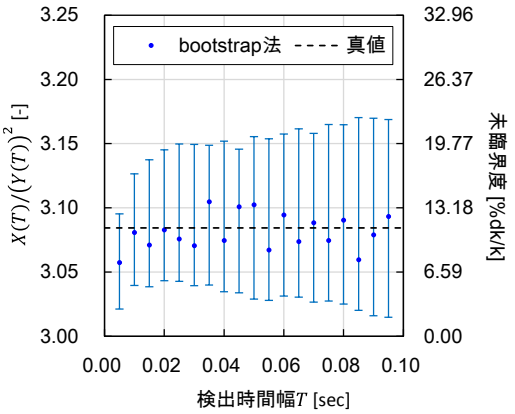

図 1 bootstrap 法による信頼区間推定結果

3. 検証結果

bootstrap 法により推定された統計誤差の妥当性を確認するため、三次中性子相関法実験を模擬した中性子輸送モンテカルロシミュレーションを実施した。計算体系の未臨界度は 11.11 [%*dk/k*]、即発中性子減衰定数は 2379 [1/sec]である。測定時間 10000 [sec]の条件で時系列データを求め、提案手法によりX/Y^2値の 95%信頼区間を推定した(図 1)。初期乱数を 1000 回変えることで、信頼区間の中に飽和値$\lim_{T\to\infty} X/Y^2$ の真値が含まれる被覆確率を調べた(図 2)。図 2 より、検出時間幅Tが十分に大きくX/Y^2値が飽和している条件であれば、本手法により求められた信頼区間の被覆確率は理論値 95%に近く、本手法の妥当性が確認できた。

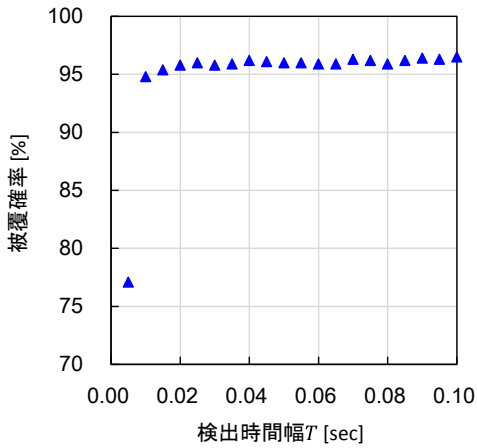

図 2 信頼区間の被覆確率

謝辞 本研究成果は科研費(15K18317)の助成による。

参考文献

[1] Endo T, et al. Statistical error estimation of the Feynman-α method. J Nucl Sci Technol. 2015 (to be published)

*Tomohiro Endo[1], Akio Yamamoto[1]
[1]Nagoya Univ.