確率テーブルの統計誤差計算手法の開発

Statistical error calculation method for probability table generation

*多田 健一[1]，遠藤 知弘[2]

[1]JAEA，[2]名大

非分離共鳴領域の自己遮蔽効果を取り扱う確率テーブルの統計誤差計算手法を開発した。本機能を核データ処理コード FRENDY に実装し、許容誤差を入力値とした確率テーブルの作成を実現した。

キーワード：FRENDY，確率テーブル，統計誤差，Bootstrap 法，Jackknife 法

1. 緒言

非分離共鳴領域の自己遮蔽効果を取り扱う手法として、NJOY の PURR に代表される確率テーブルが広く利用されている。この確率テーブルの作成には、非分離共鳴領域の平均共鳴パラメータと乱数を用いて疑似的な共鳴構造を何度も作成する必要がある。従来の確率テーブルの作成では、この疑似的な共鳴構造の作成回数であるラダー数を入力値として用いていた。しかし、以前の研究で核種によって最適なラダー数が異なることが分かった[1)]。そこで確率テーブルの統計誤差計算手法を開発し、FRENDY[2)]に実装した。許容誤差を入力値とすることで、十分に統計誤差を低減した確率テーブルの効率的な作成を実現した。

2. 統計誤差計算手法

以前の研究結果より、ラダー数 i、確率ビン j の確率テーブル$\mathrm{P}_{i,j}$とその平均全断面積$\Sigma_{t,i,j}$の積$(\mathrm{P}_{i,j}\Sigma_{t,i,j})$を用いて確率テーブルの統計誤差を計算した。各ラダーにおける$\mathrm{P}_{i,j}\Sigma_{t,i,j}$を保存しておき、ラダー間の$\mathrm{P}_{i,j}\Sigma_{t,i,j}$のばらつきを、統計誤差計算手法を用いて計算する。本研究では、この統計誤差計算手法として、中心極限定理、Bootstrap 法、Jackknife 法の 3 つの手法を採用し、各手法で得られた統計誤差を比較した。比較には、前回の検討でラダー数を変えた場合の確率テーブルの差異が大きかった JENDL-4.0 の Sr-090 を用いた。初期乱数を 1,000 ケース変更し、各初期乱数において 50～1,000 個の疑似共鳴を作成した。各初期乱数での平均値$\overline{\mathrm{P}_j\Sigma_{t,j}}$を計算し、初期乱数を変えた 1,000 ケースの不偏分散の平方根を統計誤差の参照解とした。なお、各確率ビン境界の断面積は初期乱数が変わっても変化しないようにしている。中心極限定理、Bootstrap 法、Jackknife 法の 3 手法を用いて、各初期乱数のケースにおいて、50～1,000 個のラダーの$\mathrm{P}_{i,j}\Sigma_{t,i,j}$から統計誤差を計算した。得られた 1,000 ケースの統計誤差の平均値と参照解の比(平均値/参照値)を比較した。表 1 に示すように、E=6keV の場合のように統計誤差が大きいケースでは参照値より統計誤差を過大評価する傾向があるものの、それ以外のケースでは概ね参照解と一致することが分かった。また、$\overline{\mathrm{P}_j\Sigma_{t,j}}$の歪度を調べたところ、ラダー数を増やしていくと、正規分布に近づくことが分かった。各統計誤差計算手法を比較すると、統計誤差手法による違いは見られなかった。中心極限定理が最も計算時間が短いことから、確率テーブルの統計誤差の計算には、中心極限定理を用いればよいことが分かった。

表1 初期乱数を変えた場合の統計誤差と、各初期乱数において各手法で計算した統計誤差の平均値との比
(Sr-090, 293.6 K, JENDL-4.0)

	ラダー数	統計誤差	歪度	中心極限定理	Bootstrap	Jacknife
E=6 keV, j=4	50	5.67%	0.79	1.63	1.61	1.65
	100	3.86%	0.46	1.72	1.72	1.73
	200	2.84%	0.42	1.67	1.66	1.67
	300	2.27%	0.35	1.71	1.71	1.71
	500	1.72%	0.30	1.75	1.74	1.75
	1,000	1.22%	0.11	1.75	1.75	1.75
E=1 MeV, j=13	50	0.90%	0.07	1.03	1.02	1.04
	100	0.65%	0.16	1.02	1.01	1.02
	200	0.45%	0.07	1.02	1.02	1.03
	300	0.37%	-0.04	1.02	1.02	1.02
	500	0.29%	0.02	1.00	1.00	1.01
	1,000	0.20%	-0.02	1.04	1.04	1.04

謝辞：本研究は JSPS 科研費(18K05002)の助成による。

参考文献

[1] K. Tada, “Investigation of Appropriate Ladder Number on Probability Table Generation,” *Proc. PHYSOR2020* (2020). [2] K. Tada, et al., "Development and verification of a new nuclear data processing system FRENDY," *J. Nucl. Sci. Technol.*, **54**, pp.806-817 (2017).

*Kenichi Tada[1] and Tomohiro Endo[2]　[1]JAEA, [2]Nagoya Univ.