

分散分析を用いた PHITS における系統誤差の評価法

Estimation of Systematic Uncertainties in PHITS results by ANOVA

*橋本 慎太郎¹, 佐藤 達彦¹

¹原子力機構

粒子・重イオン輸送計算コード PHITS において、核反応モデルの不確かさを起源とする系統誤差を統計学の分散分析に基づいて評価することにより、評価結果のヒストリ数にかかる収束状況の分析を可能とした。

キーワード：PHITS、粒子輸送計算コード、系統誤差、分散分析

1. 緒言

加速器施設の遮へい計算等に利用されている PHITS[1]は、モンテカルロ法に基づいており、結果の信頼性は統計誤差で確認する。ただし、PHITS の核反応モデルには数 10%の不確かさが含まれる場合があるため、この不確かさが結果に与える影響も系統誤差として評価する必要がある。我々は、Total Monte Carlo 法[2]を基に、核反応モデル等の不確かさを起源とする系統誤差を評価してきた。しかし、この手法は統計誤差が小さいことを条件としており、統計量が不足する時に得られた値の収束状況は分析できなかった。

2. 計算手法

そこで、分散分析(ANalysis Of VAriance; ANOVA)を導入し、ヒストリ数に対する収束状況を分析可能とした。分散分析は、計算値の分布が系統的な要因と統計的な要因によって変動するとし、各要因を分析する手法である[3]。図 1 に分散分析による評価の流れを示す。本研究では反応断面積の不確かさが系統的な要因となるため、断面積を変動させながら（条件を変動させながら）、ヒストリ数 I の輸送計算を繰り返すことで、平均値の分散から全体の平均値と系統誤差を導出する。条件変動回数 J は 50 程度で十分であるが、1 条件あたりのヒストリ数 I が小さいと、系統誤差は有意な値をとらない。しかし、我々は評価値の収束性が 2 種類の誤差の比に依存することを見出し、それを基に収束の判定機能を開発した。

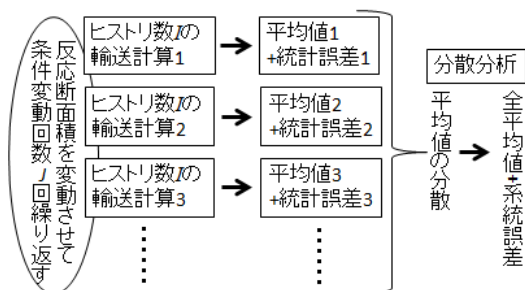


図 1. 分散分析による評価の流れ。

3. 結果・考察

図 2 に、PHITS で計算した 100MeV 中性子を 10cm 厚の鉄材に照射した場合の中性子フルエンスとヒストリ数 I の関係を示す。深さが 1,5,9cm における全平均値をそれぞれ赤青緑で示しており、誤差棒は全誤差(統計誤差+系統誤差)である。本計算では中性子断面積に 30%幅の不確かさがあるとして断面積を変動させ、 $J=50$ とした。全平均値と全誤差は I の増加に伴い一定に収束しており、誤差は最終的に系統誤差のみとなる。赤と緑の線上にある○($I=2 \times 10^3$ の時)と青線上の○($I=2 \times 10^4$ の時)は統計誤差が無視でき全誤差が収束した位置で、これより大きい I は計算が無駄となる基準値である。図より誤差が相対的に小さい青の方が収束に多くの I を必要としていることがわかる。この傾向は他の計算条件でも同様で一般的な基準値を設定できることがわかった。この基準値を参照することで、ある I の全誤差の収束を判定できる。

参考文献

- [1] T. Sato et al., J. Nucl. Sci. Technol., in press (2018).
- [2] A.J. Koning and D. Rochman, Ann. Nucl. Energy 35, 2024-2030 (2008).
- [3] G. Casella, “Statistical design”, Springer, (2008).

*Shintaro Hashimoto¹ and Tatsuhiko Sato¹

¹JAEA

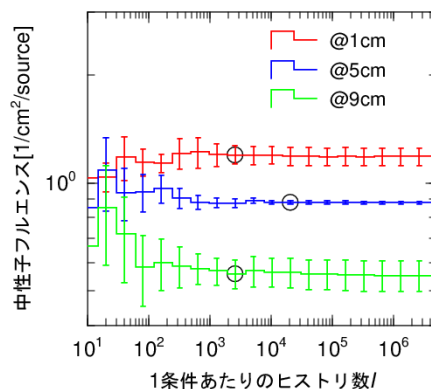


図 2. 深さ 1,5,9cm における中性子フルエンスの全平均値と全誤差。