# 線形結合法による即発中性子減衰定数の推定に関する検討

A research for the estimation of a prompt neutron decay constant using linear combination method.

*方野 量太[1], 辻本 和文[1]

[1] 日本原子力研究開発機構

パルス中性子法における即発中性子減衰定数の推定について、中性子計数率の時間変化に関する複数の検出器での測定結果を活用し、その線形結合により高次モードの影響を低減する新たな推定法を提案する。また、本推定法の妥当性を、簡易なモンテカルロ計算を通じて確認した。

**キーワード**：パルス中性子源法、即発中性子減衰定数、線形結合

## 1. 緒言

パルス中性子源法では、未臨界体系にパルス中性子を打込み後の中性子計数率の時間変化を式(1)でフィッティングして即発中性子減衰定数$\alpha_0$を測定する。実際には、パルス入射直後は多数の高次モード成分を含んでいるため、高次モード成分が十分に減衰した後にフィッティングを行う必要がある。一方で、高次モードの影響は検出器の位置によって異なっており、高次モードの減衰が遅く時間的減衰が期待できない検出器のデータでは、$\alpha_0$の測定値に誤差が生じる。通常、高次モードの影響が小さい位置で測定を行うのが理想的であるが、測定上の制約から必ずしもそれが可能ではない場合がある。そこで本研究では、高次モードの影響の異なる複数の検出器で得られた測定値を線形結合させることによって、高次モードの影響を低減させた$\alpha_0$の推定手法について検討した。

$$C(t) = B\exp(-\alpha_0 t) + D \quad (1)$$

$$c_i(t) = \sum_{j=0} b_{ij}\exp(-\alpha_j t) + d_i \quad (2)$$

$$\sum_i w_i b_{ij} = 0 (j \geq 1) \quad (3)$$

$$\exp(-\alpha_0^{(k)} t) = \sum_i w_i^{(k)} c_i(t) + f^{(k)} \quad (4)$$

$$\sum_i w_i^{(k)} c_i(t) + f^{(k)} = p^{(k+1)} \cdot \exp(-a_0^{(k+1)}) \quad (5)$$

## 2. 線形結合法

高次モードを考慮すると、検出器$i$における中性子計数率$c_i(t)$は式(2)のように複数の指数関数の線形結合で与えられる。したがって、式(3)を満たす(高次モード成分が0となる)ように結合係数$w_i$を決定し、$c_i(t)$の線形結合を取れば、線形結合結果は基本モード成分のみで与えられるため、これをフィッティングすることで高次モードの影響を低減した$\alpha_0$の推定が可能となる。しかし、$b_{ij}$は未知の値であるため、式(3)を満たす$w_i$を直接決定することは難しい。そこで次の反復法によって$\alpha_0$を決定する。単一の指数関数のみ取り出すため、$\alpha_0$の近似値$\alpha_0^{(k)}$が得られているとし、式(4)が成り立つように最小二乗法によって結合係数$w_i^{(k)}$と定数$f^{(k)}$ (定常成分に対応)を決定する。$\alpha_0^{(k)}$は近似値であるものの、式(4)による線形結合結果はより単一の指数関数に近く、高次モードの影響が低減されると期待できる。次に式(5)によって、線形結合された中性子計数率を指数関数でフィッティングすれば、高次モードの影響がより小さい$\alpha_0^{(k+1)}$を求めることができる。これを反復し収束させることで、高次モードの影響が低減された$\alpha_0$の測定が可能となる。

## 3. 数値計算

1次元1群1領域の未臨界体系(図1)で、時間依存固定源計算により線形結合法の適用性について検討した。平板厚さはλモード固有値のドミナンス比が0.95となるように設定し、生成断面積は平板の実効増倍率が0.97となるように調整し、実効増倍率から換算される$\alpha_0$ = 1015.22 [1/sec]を参照値とした。平板内の3領域(#11~13 図1)の中性子束の時間変化に対して、3領域それぞれ独立に式(1)を用いた場合と線形結合法を用いた場合の$\alpha_0$の推定を行った。図2にフィッティング開始時間を0.0 ~ 5.0×$10^{-3}$秒に変化させた場合の参照値との相対差異を示す。従来法では高次モードの減衰が十分ではない時間領域で、差異が大きく検出器間のばらつきも大きい。一方で、線形結合法では、パルス入射直後を除いて参照値とよく一致した安定した$\alpha_0$が得られることを確認し、線形結合法の妥当性を確認した。

中性子源 ↓ (6)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 真空 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | **11** | **12** | **13** | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 真空 |

図1 計算体系

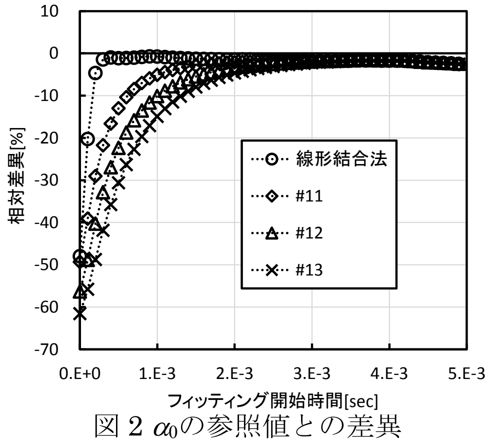


図2 $\alpha_0$の参照値との差異

## 4. 結論

複数の検出器における中性子計数率の線形結合を取ることによって高次モードの影響が低減された即発中性子減衰定数の推定法を提案し、簡単な数値計算を通じて妥当性を確認した。今後の課題として、統計誤差評価や検出器の数え落としの効果について検討を行う。

*Ryota Katano[1], Kazufumi Tsujimoto[1]

[1]JAEA