

## 核破碎反応による核種生成断面積に対する核反応モデルの予測精度の調査

Investigation of prediction accuracy of spallation models for nuclide-production cross-sections in spallation reactions

\*岩元 大樹<sup>1</sup>, 明午 伸一郎<sup>1</sup>, 松田 洋樹<sup>1</sup>

<sup>1</sup>日本原子力研究開発機構・J-PARC センター

核破碎生成断面積に関する実験データを用いて、粒子輸送計算コード PHITS, MCNP6 及び GEANT4 で使用される最新の核反応モデルの陽子入射核破碎反応による核種生成断面積に対する予測精度の調査を行った。

キーワード：核破碎反応，核破碎生成物，核破碎反応モデル，PHITS，核内カスケード，脱励起過程

### 1. 緒言

モンテカルロ粒子輸送計算コード PHITS は、加速器駆動核変換システム(ADS)及び J-PARC 等の高エネルギー陽子加速器・大強度中性子源施設の遮蔽設計で重要な役割を演じるが、PHITS に組み込まれている核反応モデルは高度化の余地が残されている。本研究は、被ばく線量評価・放射能評価で重要な核破碎生成物の核種生成断面積に関する実験データ及び他のモンテカルロ粒子輸送計算コード (MCNP6 及び GEANT4) で使用される最新の核反応モデルによる解析結果と比較することで、現状の PHITS 核反応モデルの予測精度を把握し、さらなる高度化に向けた課題を抽出することを目的とした。

### 2. 研究内容

本研究で比較対象とする PHITS の核反応モデルのうち、直接過程及び前平衡過程を記述するモデルに、現推奨モデル「INCL4.6」と「Bertini INC」及び「JQMD」を用い、脱励起（統計崩壊）過程を記述するモデルに、PHITS に内蔵されている「GEM」及び降旗氏が開発した当時の脱励起モデル「Furihata GEM」も比較対象とした。他の核反応モデルとして、GEANT4 推奨モデル「INCL++(ver.6)/ABLA07」及び「INCL++(ver.6)/GEMINI++」、MCNP6 推奨モデル「CEM03.03」を用いた。実験値との比較では、ADS 及び核破碎中性子源施設で重要な 400 MeV から 1 GeV の陽子入射エネルギー領域及び重標的核種に関する実験値を対象とし、ドイツ GSI で測定された逆運動学による実験データ及び J-PARC で測定された最新の結果を含む放射化法による実験データを使用した。

### 3. 結果・考察

図 1 に、本研究結果の例として  $p(1 \text{ GeV}) + {}^{208}\text{Pb}$  反応による核破碎生成物に対する、核反応モデル計算値に対する実験値との差異を質量数及び原子番号の 2 次元プロットで示す。PHITS 推奨の核反応モデル INCL4.6/GEM は、核分裂生成物を過小評価し、蒸発残留核種について、同一元素に対して中性子過剰に評価する傾向を示すことが分かった。さらに、実験データが少ない中重核(IMF)領域 ( $A = 10 - 40$ ) 及び核分裂生成核種と蒸発残留核種との領域 ( $A = 120 - 160$ ) で、モデル間の差異が顕著であることが分かった。

### 4. 結言

本発表では、各々の核反応モデルの現状の予測精度と課題について示すとともに、その不一致の傾向及び高度化の方策について議論する。

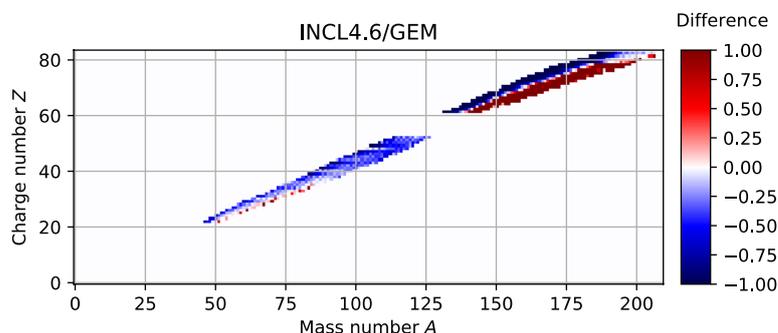


図 1  ${}^{208}\text{Pb}(p,x)$  反応による核破碎生成物に対する核反応モデル(INCL4.6/GEM)計算値の実験値(GSI)に対する差異 (図中の赤色 (正) 及び青色 (負) は、それぞれ過大及び過小評価を示す)

\*Hiroki Iwamoto<sup>1</sup>, Shin-ichiro Meigo<sup>1</sup> and Hiroki Matsuda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>J-PARC Center, Japan Atomic Energy Agency