

日本学術振興会二国間交流事業共同研究  
「放射線治療及び核医学検査で重要な核データの測定及び評価  
研究」

JSPS Bilateral Joint Research Project  
“Measurement and Evaluation of Important Nuclear Data for  
Diagnosis and Therapy Treatments”

北海道大学大学院理学研究院  
合川 正幸

AIKAWA Masayuki  
Faculty of Science, Hokkaido University

**Abstract**

We report on the first year's activity of a JSPS Bilateral Joint Research Project, “Measurement and Evaluation of Important Nuclear Data for Diagnosis and Therapy Treatments”. The project is a collaborative research with the Institute of Nuclear Research (ATOMKI) of the Hungarian Academy of Sciences. Under the project, we performed several experiments to obtain cross section data for medical radioisotopes.

## 1 はじめに

放射線治療や核医学検査などの医療分野において、放射性元素生成や放射線照射時に起こる原子核反応に関する情報（核データ）は必要不可欠である。しかし、その基本となる反応断面積に関しても、いまだ測定されていないデータが多く存在する。さらには、過去に測定され、現在利用されている核データについても、より誤差の小さい、信頼性の高いデータが必要になっている。加速器や検出器など、原子核反応実験に係わる技術が大きく進展している現在、既存の核データをより精密に測定することが可能になった。

北海道大学大学院理学研究院附属原子核反応データベース研究開発センター（JCPRG）では、実験核反応データのデータベース化とともに、核反応の理論解析（評価）を行っている。近年、核医学や放射線治療の技術が大きく進展しており、医療用核データの取得及び評価研究はJCPRGの研究テーマの一つである。そこで、医療用核データ取得で実績のあるハンガリー原子核研究所（ATOMKI）の研究者と共同で、日本学術振興会二国間交流事業に共同研究を提案し、採択された。この共同研究「放射線治療及び核医学検査で重要な核データの測定及び評価研究」（2014～2015年度）では、欠落あるいは更新が必要な医療関連の核データを取得・評価し、医療分野へ貢献する。

実験は当初 ATOMKI のサイクロトロン加速器及び北海道大学の陽子線加速器で実施する計画だったが、後者については調整が遅れたこともあり、放射化実験で実績のある理化学研究所で実施することになった。また、評価については日本原子力研究開発機構の研究者を中心に、核反応計算コード CCONE を利用した理論解析を実施した。

ここでは、2014 年度の活動内容について報告する。

## 2 活動概要

$^{99m}\text{Tc}$  は核医学検査薬として広く利用されているものの、生産場所となっている原子炉の廃炉等により、近く供給不足が起こる懸念がある。そこで近年、加速器を用いた  $^{99m}\text{Tc}$  の供給が検討されている。その有力な生成反応の一つである  $^{100}\text{Mo}(p,2n)^{99m}\text{Tc}$  の断面積は、これまでに多くの実験がなされてきたものの、誤差が大きく、精度の高いデータが必要不可欠となっている。

そこで、まず 4 月には、ATOMKI で  $^{100}\text{Mo}(p,2n)^{99m}\text{Tc}$  の断面積を測定する実験を行った。ATOMKI にあるサイクロトロンを用いて加速した 16 MeV の陽子ビームを、天然存在比を持つ Mo 箔と、モニターとする Ti 箔を重ねた標的に照射した。約 1 時間の照射後、生成された  $^{99m}\text{Tc}$  が崩壊する際に放出する  $\gamma$  線をゲルマニウム検出器で測定した。

陽子ビーム照射によって、 $^{100}\text{Mo}(p,2n)^{99m}\text{Tc}$  ( $T_{1/2} = 6.01$  h) 反応だけでなく、 $^{100}\text{Mo}(p,pn)^{99}\text{Mo}$  ( $T_{1/2} = 66$  h) 反応も同時に起こる。ここで、 $^{99}\text{Mo}$  は崩壊後に  $^{99m}\text{Tc}$  となるため、 $^{100}\text{Mo}(p,2n)^{99m}\text{Tc}$  反応による  $^{99m}\text{Tc}$  の生成量測定に大きな影響を与える。そのため、照射後、 $^{99}\text{Mo}$  の崩壊があまり起らない短時間に、 $^{99m}\text{Tc}$  が基底状態に遷移する際に放出する 140 keV の  $\gamma$  線を測定することで、 $^{99m}\text{Tc}$  の生成量がより正確に見積もれる。また、 $^{99}\text{Mo}$  の半減期程度経過後に同様の測定をすることで、 $^{99m}\text{Tc}$  は当初の 0.1% 以下となり、今度は  $^{99}\text{Mo}$  が崩壊する量を見積もることが可能となる。このようにして  $^{99}\text{Mo}$  の影響を除いた  $^{99m}\text{Tc}$  の生成量を測定することが可能となり、 $^{100}\text{Mo}(p,2n)^{99m}\text{Tc}$  の生成断面積をより正確に求めることができた (図 1)。この結果は学術雑誌に掲載された [1]。

7 月には、Takács 氏を客員教授として北海道大学に招へいした。理学院原子核理論研究室においてセミナーを開催することで、理論物理学を専門とする大学院生に対して原子核反応実験の概要を紹介した。また、Takács 氏の滞在中に、羽場氏と小森氏 (理化学研究所) と共同研究内容の打ち合わせを実施した。その結果、2015 年 1 月に理化学研究所で、同 2 月には ATOMKI で実験を実施すること、入射粒子として  $\alpha$  粒子を用いることが決定した。 $\alpha$  粒子を用いた実験は、陽子や重陽子に比べ比較的少なく、この事業で実施することになった。

2015 年 1 月には、前述の計画どおり、Takács 氏及び Ditroi 氏 (ATOMKI) とともに理化学研究所で実験を行った。 $^{nat}\text{Ge}(\alpha,X)$ 、 $^{nat}\text{Cd}(\alpha,X)$ 、 $^{116}\text{Cd}(\alpha,X)$  実験を実施した。これにより、医療用 RI である  $^{117m}\text{Sn}$  の生成断面積などを導出できる。結果については現在解析中である。この期間中に、ワークショップを開催し、共同研究者間で議論を行った。

2 月には、筆者と羽場氏 (理化学研究所) が ATOMKI を訪問し、実験に参加した。理化学研究所で行った実験と同じ  $^{nat}\text{Ge}(\alpha,X)$  反応を再度実施し、相互の結果を比較することで信頼度を高めることが目的の一つである。また、 $^{nat}\text{Mo}(p,2n)^{99m}\text{Tc}$  反応で、厚い標的核に入射した場合の生成量を測定した。一方で、4 月に得た生成断面積をエネルギーで積分することで、同一の物理量を導くことができ、異なる手法で得られた値を比較することで相互の実験をチェックすることが可能になる。

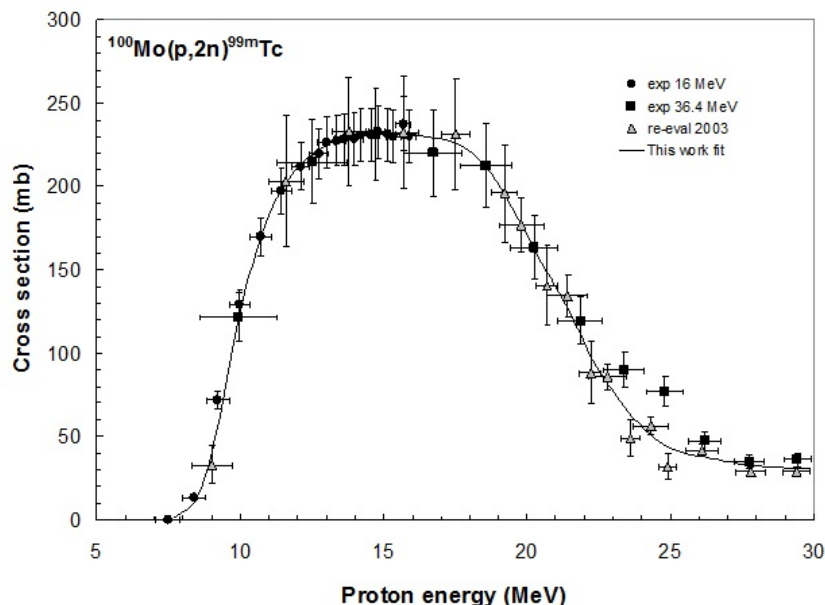


図 1:  $^{100}\text{Mo}(p,2n)^{99m}\text{Tc}$  断面積。●は ATOMKI、■はベルギーでの実験を示している。また、△は 2003 年の実験結果を最新の核データで再評価したものである。それぞれ異なる時期、場所で行った実験であるにもかかわらず、ほぼ同一曲線上に分布していることが分かる。

### 3 まとめ

このように、日本学術振興会二国間交流事業「放射線治療及び核医学検査で重要な核データの測定及び評価研究」のもと、ATOMKI と共同で医療用放射性同位元素の生成断面積測定を実施した。ATOMKI 及び理化学研究所での実験は順調に進み、医療用 RI である  $^{99m}\text{Tc}$  の有力な生成反応と考えられる  $^{100}\text{Mo}(p,2n)^{99m}\text{Tc}$  反応について、信頼性の高い断面積を得ることができた。そのほか、比較的实验が少ない  $\alpha$  粒子を用いて  $^{\text{nat}}\text{Cd}(\alpha,X)^{117m}\text{Sn}$  反応などの断面積を測定した。これらの結果として論文 1 編を発表するとともに、残りの実験結果についても解析中である。

2 年目となる 2015 年度も本事業で実験を実施するとともに、解析中の結果を学術雑誌に投稿する予定である。

### 謝辞

本研究は、独立行政法人日本学術振興会とハンガリー科学アカデミーとの二国間交流事業共同研究による補助を受けた。

### 参考文献

- [1] S. Takács, A. Hermanne, F. Ditrói, F. Tárkányi, M. Aikawa, “Reexamination of cross sections of the  $^{100}\text{Mo}(p,2n)^{99m}\text{Tc}$  reaction”, Nucl. Instrum. Methods in Phys. Res. B347 (2015) 26