

## 大阪大学 RCNP-MuSIC におけるミュオン特性 X 線による 非破壊分析実験の現状

二宮和彦<sup>1</sup>、寺田健太郎<sup>1</sup>、佐藤朗<sup>1</sup>、河井洋輔<sup>1</sup>、稲垣誠<sup>1</sup>、吉田剛<sup>1</sup>、篠原厚<sup>1</sup>、  
久保謙哉<sup>2</sup>、大澤崇人<sup>3</sup>、橘省吾<sup>4</sup>  
大阪大学<sup>1</sup>、国際基督教大学<sup>2</sup>、国際基督教大学<sup>3</sup>、国際基督教大学<sup>4</sup>

負電荷を持つ素粒子であるミュオンは、ミュオンが電子の代わりに一つ導入された原子系である、ミュオン原子を物質中で形成する。ミュオンは電子の 200 倍の質量を持っているために、その原子軌道の束縛エネルギーは電子のもの 200 倍である。ミュオン原子が形成し、その後に放出される高エネルギーのミュオン特性 X 線を利用することで、非破壊かつ位置選択的な元素分析が可能である[1-3]。

ミュオンの発生には高エネルギーの加速器が必要であり、ミュオンが利用できる環境は限られている。国内では、2008 年から J-PARC（大強度陽子加速器施設）が稼動し始め、様々なミュオン利用の研究が進められている。最近になって、RCNP（大阪大学核物理研究センター）において、新しいコンセプトでのミュオン利用施設の建設、整備が進み、ミュオンビームの利用が可能となった[4]。本研究グループは、RCNP ミュオン施設、MuSIC において、銅板を試料として初めてミュオン特性 X 線測定に成功した。さらにミュオン特性 X 線測定による元素分析のデモンストレーションとして、JbiletWinselwan 隕石に対するミュオン照射実験を行った。

図 1 に銅板にミュオンを照射したときの実験セットアップを示す。ビームダクトより空气中に放出されたミュオンは、アルミニウムの減速材でエネルギーを落とし、試料である 1 mm の銅板で停止する。このとき放出されるミュオン特性 X 線を、ゲルマニウム半導体検出器で測定した。MuSIC においてミュオンは連続ビームとして得られるため、試料に入射するミュオンを、試料の上流に配置したプラスチックシンチレーター（入射カウンター）で一つ一つ検出した。また試料の下流側にも別のプラスチックシンチレーター（停止カウンター）を配置し、ミュオンが試料を突き抜けるイベントについても検出した。これによりミュオンが試料に停止したイベントのみを、回路系により取り出し、これをゲルマニウム半導体検出器のトリガーシグナルとすることで、程バックグラウンドのミュオン特性 X 線スペクトルを得ることができる。実際に 84 分間のミュオン照射実験で得られた、ミュオン特性 X 線スペクトルを図 2 示す。スペクトルより、ミ



図 1：実験セットアップ

ミュオン銅原子から放出されたミュオン特性 X 線を定量することができた。またこのスペクトルにおいて検出されている、炭素由来のミュオン特性 X 線は、ミュオンが入射カウンターに停止したイベントに由来している。

類似のセットアップのもと、JbiletWinselwan 隕石に対してミュオンの照射を行ったところ、隕石に含まれる炭素（含有量 ~2 wt.%）由来のミュオン特性 X 線ピークが明瞭に観察された。このほかにも、隕石構成元素である鉄、マグネシウム、ケイ素、酸素（空気由来のバックグラウンドを含む）といった元素に由来するミュオン特性 X 線を定量することができた。今後検出器の増設や遮蔽の強化によるバックグラウンドの改善により、さらに高精度の元素分析が可能になると期待される。

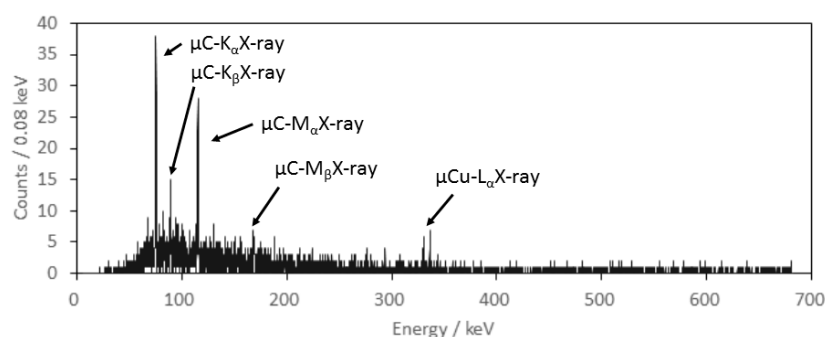


図 2 : 図 1 のセットアップのもと、銅板に 84 分間のミュオン照射実験により得られたスペクトル

#### 参考文献

- [1] H. Daniel, Nuclear-Medizin 4 (1969) 311
- [2] L. Rosen, Science 173 (1971) 490
- [3] K. Ninomiya, M. K. Kubo, T. Nagatomo, W. Higemoto, T. U. Ito, N. Kawamura, P. Strasser, K. Shimomura, Y. Miyake, T. Suzuki, Y. Kobayashi, S. Sakamoto, A. Shinohara, T. Saito, Anal. Chem. 87, (2015) 4597
- [4] 大阪大学核物理研究センター大強度 DC ミューオンビーム施設 <http://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/RCNPhome/music/>