

放射線工学部会セッション

レーザーを活用した分析計測・制御システムの研究と原子力工学への展開
Researches on analysis and control systems using lasers and their applications to nuclear
engineering

レーザーによる同位体レベルでの運動制御による展開

Development of controllability of isotopic motional states with lasers

*長谷川 秀一¹¹ 東京大学

1. 背景

光と物質の相互作用において、光は2つの性質を持っている。1つ目はエネルギーであり、もう1つは運動量である。次の2式でそれぞれ表すことができる。

$$E = \frac{hc}{\lambda}, \quad p = \frac{h}{\lambda}$$

通常、相互作用において、光は物質にエネルギーを付与する形となる。レーザー分光の優れている点は、光のもつエネルギーをきわめて精密に制御することが可能であることを利用して、物質との相互作用をエネルギー選択的に「きれいに」誘起することで、その構造を高精度で明らかにできることである。これにより、原子・分子を同位体レベルの精度で選択的に励起することが可能であり、広くレーザー分光分析¹⁾として応用が進んでいる。

一方、光にはもう1つの性質として、運動量がある。放射線でのコンプトン効果など量子力学の発展においても、大きな役割を果たした。レーザー光の波長領域では、この運動量は極めて小さいことから、その利用については、原子ビーム偏向²⁾など提案としても限られていたが、レーザー冷却の実現により、今や原子・イオンだけでなく、分子へも広がりを見せている。ここでは、レーザー冷却を用いた同位体分析を中心に紹介する。

2. レーザー冷却を利用した同位体分析

同位体分析に用途を絞った場合、原子を対象にしたレーザー冷却の原理（磁気光学トラップ：Magneto-Optical Trap）を用いて、希ガスを対象にした ATTA（Atom Trap Trace Analysis）³⁾がすでに実用化の域に達している。近年ではさらに、⁴¹Ca を対象とした極微量同位体分析⁴⁾にも成功しており、その範囲を広げている。

これに対して、我々のグループではイオンを対象にしたレーザー冷却を検出部分に利用することで同様に極微量同位体分析への応用⁵⁾を目指している。中性原子と比較して、イオンの場合は電磁場による制御を利用できることから優位性があると考えているが、逆にイオンは外場に対して非常に敏感であることから、電磁場の設定が非常に重要である。

本講演では、我々の研究室で行っているイオンのレーザー冷却を用いた研究について紹介する。

参考文献：

- 1) 長谷川 秀一, レーザー共鳴励起を利用した同位体制御による極微量同位体分析手法の開発 RADIOISOTOPES **72**, 197 (2023)
- 2) Nellessen, J., et al., Large-angle beam deflection of a laser cooled sodium beam, J. Opt. Soc. Am., B **6**, 2149 (1989)
- 3) Chen, C. Y., et al., Ultrasensitive isotope trace analyses with magneto-optical trap, Science, **286**, 1139 (1999)
- 4) T.-Y. Xia, et al., Atom-trap trace analysis of ⁴¹Ca/Ca down to the 10⁻¹⁷ level, Nature Phys. **19**, 904 (2023)
- 5) Jung, K., et al., Laser cooling and imaging of individual radioactive ⁹⁰Sr⁺ ions, Phys. Rev. A, **96**, 043424 (2017)

*Shuichi Hasegawa¹¹Utokyo