

### 3P033

## 八極子線形イオントラップ内の不均一なイオン分布の実測と解析

(コンボン研<sup>1</sup>・豊田工大<sup>2</sup>・東理大<sup>3</sup>)

○間嶋拓也<sup>1\*</sup>, 寺寄亨<sup>2</sup>, Santambrogio Gabriele<sup>1</sup>, 笠井千晴<sup>1,3</sup>, 近藤保<sup>2</sup>

【序】 イオントラップは、従来のイオンビーム実験と比較して圧倒的に高いイオン密度を持つなどの理由から、新しい実験技術として分子科学分野でも多く利用されるようになってきた。その中でも特に、多重極の線形高周波 (RF) イオントラップは、線形状であるため蓄積可能なイオン総量が多く、また緩衝ガスとの衝突によって内部温度制御が可能など、多くの利点を持つ。最近、我々のグループでは、サイズ選別した金属クラスターの光吸収分光を行うため、八極子線形イオントラップを用いた新しい実験装置を開発した [1-4]。これまでに、マンガン原子イオン  $Mn^+$  による光吸収の直接測定や磁気光学効果の測定に成功し [1]、さらに円偏光を用いた実験で蓄積した  $Mn^+$  のスピン偏極にも成功している [2]。

しかしこれらの測定において、空間電荷制限までイオンを蓄積した条件では、光吸収強度が平均イオン密度から期待される量を大きく下回るという問題が明らかになった。クラスターイオン標的に対する予備実験でも同様の傾向が確認され、光吸収量は雑音レベルにとどまっていた。したがって本研究では、蓄積イオンの局所的なイオン密度を得るために、イオントラップ内のイオン分布を実測し、それが空間電荷制限において強い不均一性を持つことを初めて明らかにした。その詳細を報告する

【実験方法】 トラップ周辺部などの概念図を図 1 に示す。マグネトロン型クラスターイオン源で生成した銀 2 量体イオン  $Ag_2^+$  を四重極質量選別器で選別した後、八極子イオントラップに蓄積した。蓄積イオン量は、約  $4 \times 10^7$  個から  $1 \times 10^9$  個の間で変化させた。ここに、イオントラップ内径直径 11 mm よりも十分に小さな直径約 2 mm を持つレーザー光を入射した。レーザー波長は、光解離を伴うことが知られている 415 nm に合わせた。生成した解離イオン  $Ag^+$  を下流の四重極質量分析器で選別して、その量を測定しながらレーザー入射位置を 0.5 mm 幅で走査した。光解離イオン強度は、レーザーとの相互作用領域におけるイオン密度に比例するため、これによってイオン柱密度の動径方向分布が得られる。レーザーパルス毎の強度のばらつきを補正するために、真空槽入口および出口部分でその強度をモニターした。

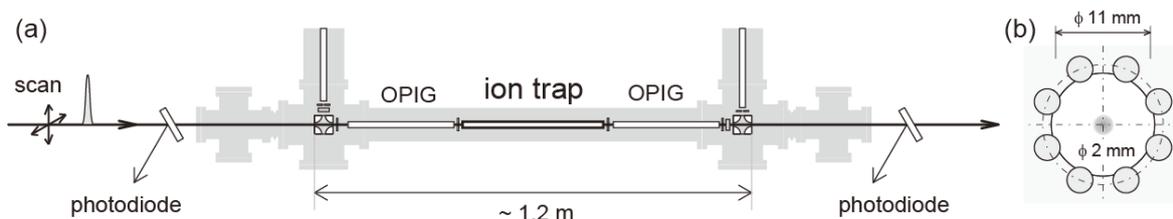


図 1. (a) イオントラップ周辺部とレーザー光学系の概念図。 (b) トラップ断面図

【結果と考察】 蓄積イオン数を変化させて測定した結果、イオン数が少ない条件（約  $4 \times 10^7$  個）では主に中心軸付近に捕捉されるが、さらに蓄積イオン数を増加させても中心部の密度はほとんど増加せず、外側に蓄積されていくことが分かった。図 2 に、最大蓄積条件（約  $10^9$  個）における二次元走査の結果を示す。図のように、空間電荷制限の条件では多くのイオンがトラップの外縁部に集中しており、中心部の密度が非常に低いことが分かった。

多重極イオントラップが作る動径方向の閉じ込めは、 $r^{2n-2}$  ( $r$ : 中心からの距離,  $2n$ : 電極数) に比例する有効ポテンシャル  $\Phi_{\text{eff}}$  によるものとして近似されることが知られている [5]. 蓄積イオンの分布が、この有効ポテンシャルと空間電荷が作るポテンシャル  $\Phi_{\text{sc}}$  の平衡条件 ( $\Phi_{\text{eff}} + \Phi_{\text{sc}} = \text{一定}$ ) によって決まると考えて、その分布を導出した。このモデル計算の結果を実験値と比較するために、総イオン数に依存した最大蓄積半径  $r_{\text{max}}$  の位置までイオンが満たされると仮定して分布の広がりを決定し、さらにレーザービーム幅を想定した半値幅 2 mm のガウス分布で畳み込みを行った。図 3 に最大蓄積条件での比較を示す。両者は良い一致を示しており、他の蓄積条件でもこのモデルで良く再現できることが分かった。このようなリング状の分布は、定性的には次のように説明される。すなわち、八極子の作る有効ポテンシャル形状は  $\Phi_{\text{eff}} \sim r^6$  であり、四重極と比較して中心部が平坦な形状を持つ。このために中心部の閉じ込め能力が低く、ポテンシャルの傾きが急な外縁部に多く捕捉されると言える。

上記の結果を踏まえて、光吸収測定では、光軸をトラップの中心軸から外して高密度部を測定することにより、 $\text{Ag}_9^+$  などの銀クラスターイオンの光吸収スペクトルの測定に初めて成功した。その詳細については [6, 7] にて報告する。

[1] A. Terasaki, T. Majima, and T. Kondow, J. Chem. Phys. (Communication) 127, 231101 (2007).

[2] T. Majima, A. Terasaki, and T. Kondow, Phys. Rev. A 77, 033417 (2008).

[3] 寺寄, 間嶋, 近藤: 原子衝突研究協会誌「しょうとつ」5 (4), 3 (2008).

[4] 寺寄, 間嶋, 江頭, 近藤: 日本物理学会誌 9 月号, 印刷中.

[5] D. Gerlich, Adv. Chem. Phys. 82, 1 (1992).

[6] 寺寄ら: 本討論会 3B10

[7] 笠井ら: 本討論会 3P025.

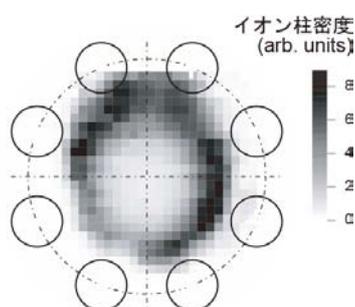


図 2.  $\text{Ag}_2^+$  の光解離イオン測定によって得られたイオントラップ内のイオン柱密度の二次元分布。蓄積イオン数は約  $10^9$  個。白丸は電極の位置を示している。

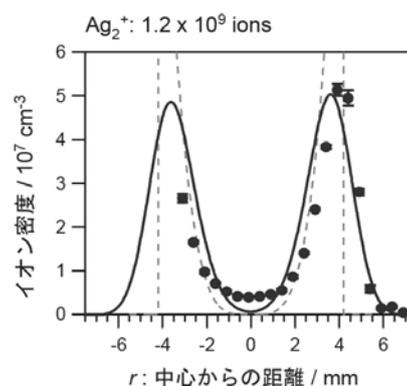


図 3. 中心軸を通る水平方向に一次元走査して得たイオン密度分布の実験値と計算値の比較。柱密度をトラップ長 40 cm で平均化してイオン数密度として表している。点線、実線はそれぞれレーザー幅での畳み込み前と後の計算結果。  $r_{\text{max}}$  は 4.2 mm.