

# 高速重イオン衝突により気相水分子から生成するイオンの測定

高須理世音<sup>1</sup>, 間嶋拓也<sup>1</sup>, 上野公希<sup>1</sup>, 土田秀次<sup>1,2</sup>, 斉藤学<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>京都大学大学院工学研究科原子核工学専攻

<sup>2</sup>京都大学大学院工学研究科附属量子理工学教育研究センター

R. Takasu<sup>1</sup>, T. Majima<sup>1</sup>, K. Ueno<sup>1</sup>, H. Tsuchida<sup>1,2</sup>, and M. Saito<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Department of Nuclear Engineering

<sup>2</sup>Quantum Science and Engineering Center

我々は 0.4-2.4MeV の C<sup>+</sup>を気相の水分子に衝突させ、生成した正負イオンを検出する実験を行った。本研究では、正負イオン生成断面積の入射エネルギー依存性を測定した。また、H<sup>-</sup>が生成する際の中間イオンの電荷状態について、その特徴を調べた。

## 1. 研究背景

高速重イオン衝突によって孤立分子が電離、励起され解離に至るとき、生成するイオンは主に正イオンである。これは、解離前の中間状態の電荷が正または中性だからである。したがって、これまでの研究も正イオンを対象とするものがほとんど大半であった。しかし、最近当研究室で行われた実験において、高速重イオン衝突によって気相分子から負イオンが生成されることが発見され、さらに生成する負イオンが小さなものに限られることがわかった。そこで、負イオンの生成機構を解明するため我々は正負イオンの同時測定システムを開発した[1]。前回、我々は高速重イオン衝突によって気相エタノール分子から放出される正負イオンの生成断面積の入射エネルギー依存性を報告した[2]。本研究では、標的として三原子分子である水を採用し、ひとつの水分子から生成したイオンをすべて検出することで負イオン生成の特徴を調べた。また、正負イオンの生成断面積を測定した。さらに、正負イオンのコインシデンス情報から、解離前の中間イオンの電荷状態についても調べた。

## 2. 実験

実験は京都大学大学院工学研究科附属量子理工学教育研究センター(QSEC)の 1.7 MV コッククロフト・ウォルトン型タンデム加速器を用いて行った。実験セットアップの概略を図 1 に示す。加速器から導いた 0.4-2.4 MeV の C<sup>+</sup>ビームを実験チャンバーの中心で気体標的に衝突させた。生成した正負イオンを、ビーム軸と垂直方向かつ互いに逆方向に静電場で引き出し、MCP で検出した。検出したイオン種の同定には飛行時間型質量分析法を用いた。二次イ

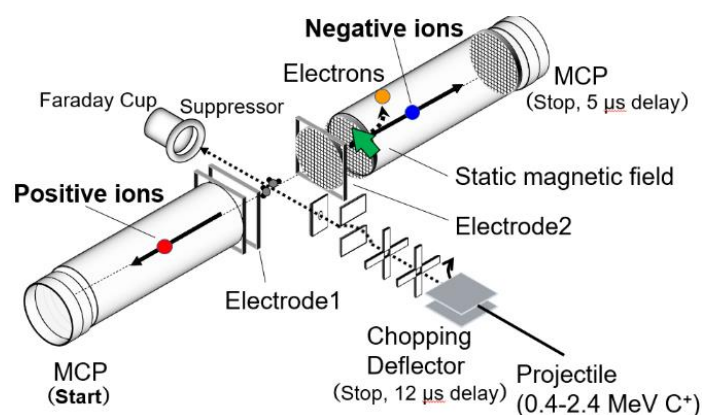


図 1. 実験概略図

オンによるバックグラウンドは、負イオン側のドリフトチューブに弱い静磁場をかけることで除去した。標的気体は実験チャンバー内に充満させ、真空ゲージを用いて標的密度を決定した。また、入射粒子数は、実験チャンバー下流のファラデーカップでビーム電流から算出した。測定はすべてリストモードで行い、イベントごとに記録した。

### 3. 結果

気相水分子から生成された正イオンの TOF スペクトルを図 2 に示す。得られたスペクトルから、正イオンとして  $H^+$ 、 $O^+$ 、 $OH^+$ 、 $H_2O^+$  などの一価のイオンだけでなく、 $O^{2+}$  や  $O^{3+}$  などの多価イオンも、高速重イオン衝突によって生成されることが確認された。一方で、負イオンとしては、 $H^-$  や  $O^-$  が確認された。図 3 に正負イオン生成断面積 ( $\sigma^+$  と  $\sigma^-$ ) の入射エネルギー依存性を示す。全正イオン生成断面積  $\sigma^+$  は入射エネルギー 0.5 MeV 付近で極大値を持ち、これはエタノール分子を標的としたときの  $\sigma^+[2]$  と同様の傾向を示している。全負イオン生成断面積  $\sigma^-$  は本研究のエネルギー範囲では、入射エネルギーが大きくなるにつれて小さくなることが確認され、0.4 MeV 付近で極大値を持つエタノール分子の  $\sigma^- [2]$  とは異なる傾向を示した。また、正負イオンの相関測定により、ある水分子から生成した解離片をすべて特定することで解離前の分子の電荷状態を分析した。その結果、 $H^-$  イオンは中性の水分子  $H_2O$  からより、 $H_2O^+$  イオンからより多く生成されていることがわかった。

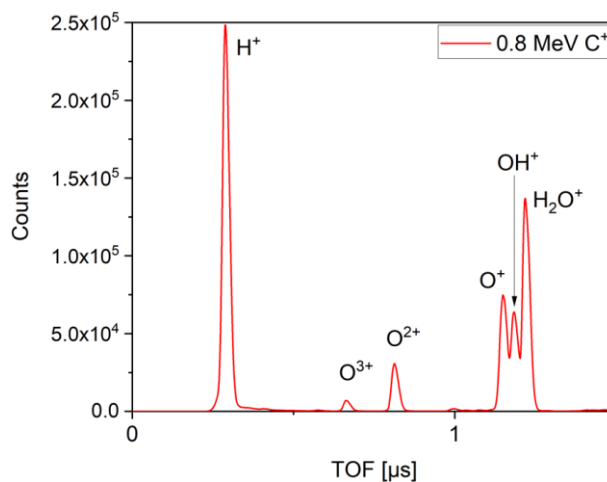


図 2 正イオンの TOF スペクトル

### 4. まとめ

我々は高速重イオン衝突によって気相分子から生成される正負イオンの同時測定を行った。結果から、正負イオンの生成断面積の依存性が得られ、正イオン生成は 0.5 MeV 付近で極大となり、負イオン生成断面積は 0.4-2.4 MeV の範囲で高エネルギーほど小さくなる傾向が見られた。また、 $H^-$  イオンは中性の水分子からより、一価の水分子イオンから多く生成されていた。

#### 参考文献

- [1] 磯部真志 京都大学大学院工学研究科 原子核工学専攻 修士論文 (2020)
- [2] 上野公希ほか, 量子理工学教育研究センター第 21 回公開シンポジウム (2020)

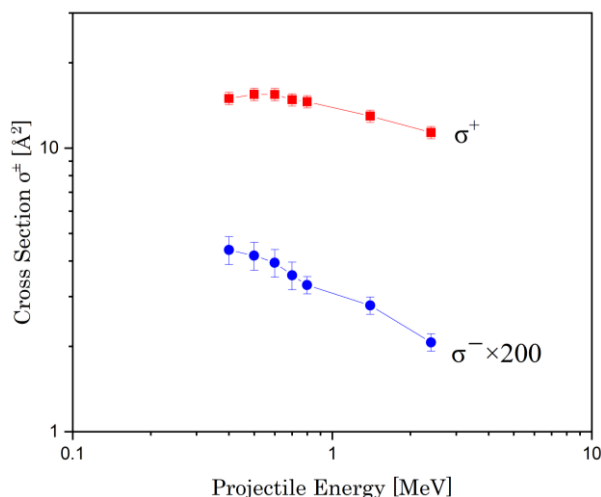


図 3 正負イオン生成断面積のエネルギー依存性 ( $\sigma^+$ ,  $\sigma^-$ )