

ヌクレオチド固体から放出される二次イオンの入射エネルギー依存性

本郷瑞起、手塚智哉、中川創平、今井誠、間嶋拓也、齊藤学¹、土田秀次¹

京都大学大学院工学研究科原子核工学専攻

¹ 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

1. 研究背景

荷電粒子による生体の放射線損傷は重粒子線治療の利用などにより、研究が盛んに行われている。生体に対する放射線の及ぼす影響は、主に細胞内の DNA の損傷を介して生じる。荷電粒子による生体分子の損傷過程は大きく二つに分けることができ、直接効果と間接効果がある。直接効果は、文字通り、放射線のエネルギーが生体分子に直接与えられることによる効果で、一方、間接効果は周辺に存在する他の分子（主に水分子）の分解によって生じたラジカル等によって生じる効果である。本研究では、直接効果に注目しており、DNA の構成分子を模擬して、ヌクレオチドの一種であるウリジン-リン酸のナトリウム塩(UMP) に対して、様々なエネルギーの重イオンビームを照射し、UMP が分解して生じた二次イオンについて、二次イオン種ごとの収量の入射エネルギー依存性から、DNA 損傷過程について議論する。

2. 実験

実験は、京都大学工学研究科附属量子理工学教育研究センターの 2.0 MV タンデム型ペレットロン加速器を用いて行った。用いたイオンビームは 1.0–6.0 MeV の酸素イオンビームである。図 1 に実験装置の図を示す。標的には、ヌクレオチドの一種であるウリジン 5'-リン酸のナトリウム塩

(UMP) を用いた。シリコン

基板上に UMP 水溶液を滴下し、自然乾燥させることで基板上に析出させたものを標的として用いた。加速器からのイオンビームをビームライン上の静電ディフレクターでパルス化し、照射した。標的にイオンビームが照射され、UMP 固体表面から二次イオンが放出されると、電場によってチャンネルトロンまで引き寄せられ、検出される。ビームのパルス化信号をスタート、チャンネルトロンでの検出信号をストップとして、飛行時間型質量分析計によって二次イオンの質量電荷比を決定した。また、ターゲットの下流にあるファラデーカ

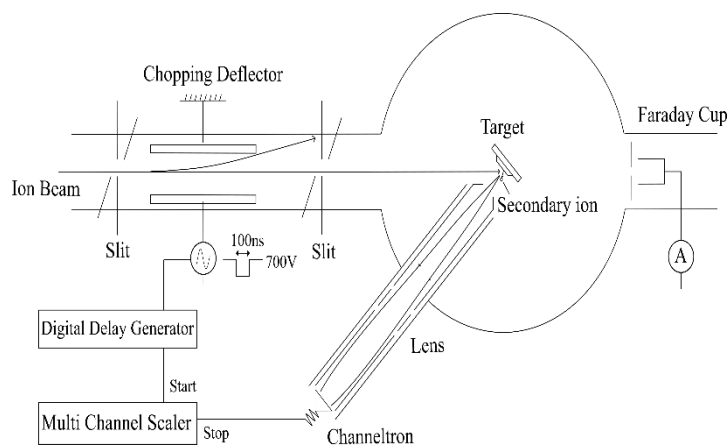


図 1 実験装置の概略図

ップで測定前後のビーム量を測定し、その平均を照射中のビーム量とした。

3. 結果と考察

図2に3MeV O^{2+} ビーム照射によって、UMP固体から放出された、正、負の二次イオンの質量スペクトルを示す。正イオンにおいて顕著に見られたリン酸基、リボース部位、ウラシル部位由来の二次イオンピークはそれぞれ、 $PO_2^+(m/q=63)$ 、 $C_4H_8O_2^+(m/q=88)$ 、 $C_2H_2NO_2^+(m/q=72)$ であった。負イオンにおいては無傷のリン酸基 $Na_2PO_4^-(m/q=141)$ 、リボース部位 $C_5H_9O_3^-(m/q=117)$ 、ウラシル部位 $C_4H_3N_2O_2^-(m/q=111)$ 、のピークが顕著に見られた。これらの二次イオン収量を入射粒子量で規格化した量の、入射エネルギー依存性を図3に示す。正イオンにおいては、3MeV付近で最大値をとり、入射エネルギー依存性はUMPの部分構造ごとの違いは見られなかった。負イオンにおいては2MeV付近で最大値を取り、それ以降のエネルギーでリン酸基、ウラシル部位のイオンに対してはほぼ一定であるが、一方、リボース部位のイオンに対しては僅かに減少している。発表では、これらのエネルギー依存性の違いを生じさせる、原因についての考察を述べる。

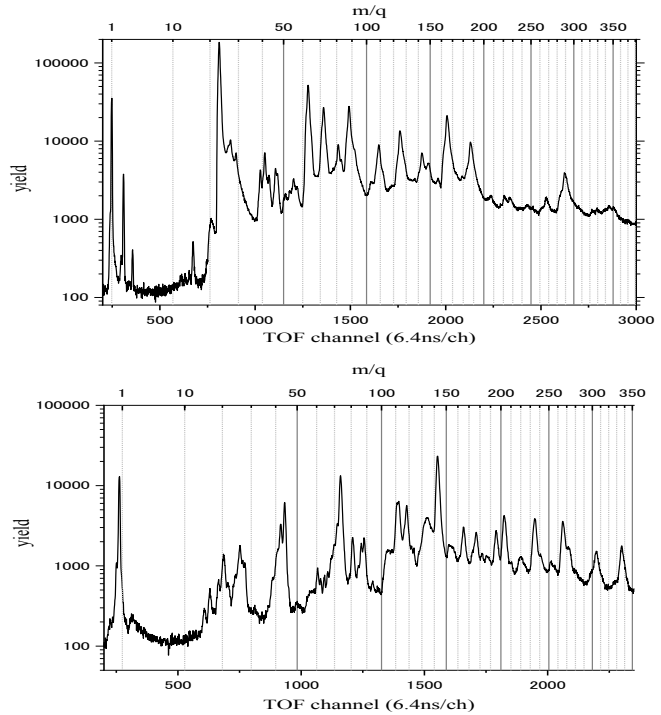


図2 二次イオン質量スペクトル、上図が正イオン、下図が負イオンの測定結果。

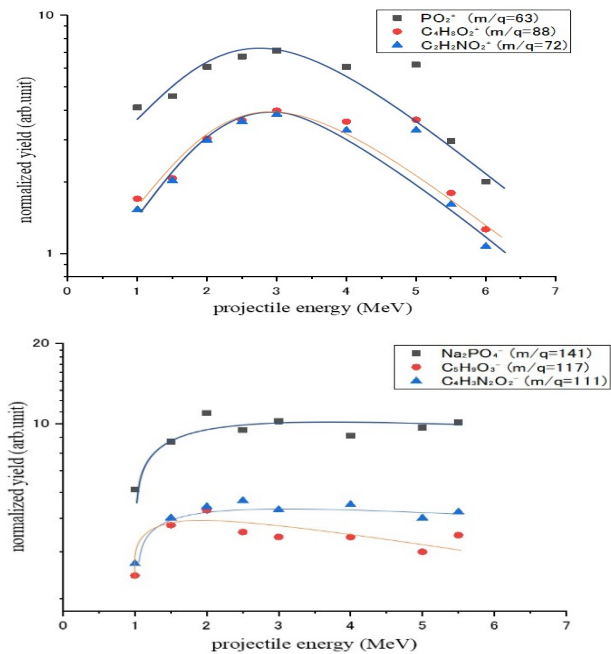


図3 二次イオン収量の入射エネルギー依存性、上図が正イオン、下図が負イオンの測定結果。