

自己評価報告書

平成 23 年 4 月 22 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008~2012

課題番号：20612019

研究課題名 (和文) 生体分子イオンビーム貯蔵リングによる分子-電子・光子衝突過程の研究

研究課題名 (英文) STUDY OF ELECTRONIC AND PHOTONIC COLLISIONS WITH MOLECULES USING A STORAGE RING FOR BIOMOLECULAR IONS

研究代表者

田辺 徹美 (TANABE TETSUMI)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・ 名誉教授

研究者番号：20013394

研究分野：時限

科研費の分科・細目：量子ビーム科学

キーワード：加速器、静電型イオン貯蔵リング、原子・分子物理、電子・イオン衝突、電子捕獲解離、光吸収、生体分子、気相

1. 研究計画の概要

(1) 静電型イオン貯蔵リングを用いて各種生体分子イオンビームと電子ビームの衝突過程を研究する。生体分子イオン (正、負、多価イオン) と電子の衝突においては電子捕獲、脱離、分子の解離などが起こるが、その反応のメカニズムを解明する。実験方法は、エレクトロスプレーイオン源で生体分子イオンを生成し、質量分析装置で電荷と質量を正確に選別し目的とするイオンのみを静電リングに入射する。電子とイオンの衝突実験では、リング内を周回するイオンに電子ビームを合流させ、衝突によって生成される中性粒子を MCP (micro-channel-plate) で検出する。電子のエネルギーを細かく変えて励起関数を測定する。正イオンの場合は電子捕獲解離過程を経て分子結合の切断によって放出される中性分子を検出することになる。この過程は生体の放射線損傷等とも密接に関連している。

(2) さらに、レーザーをリングに導入することによって生体分子イオンによる光の吸収、分解過程を研究する。YAG および 波長可変 OPO レーザー (215-2550 nm) を用いて、可視光領域の光を静電リングに導入し、静電リングを周回するイオンビームに照射する。レーザー照射によって生成される中性粒子を MCP で測定する。レーザーの波長をスキャンすることによって吸収スペクトルを測定する。これらの研究によって生体分子イオンと光子の衝突機構を原子レベルで解き明かす。

2. 研究の進捗状況

(1) 電子-生体分子イオンの衝突

① DNA にプロトンまたは Na^+ を付加することによって生成される 2 量体 DNA 一価正イオンによる電子捕獲解離過程を研究した。いずれの場合も 4-5 eV の電子エネルギーで共鳴状の中性粒子放出が起る。共鳴の強さは DNA の塩基の種類と配列によって変わる。また、プロトン付加と Na^+ の付加では大きな差がある。さらに、 Na^+ 付加の場合は付加する Na の数によって変り、Na の数と共に共鳴の強さが増大する。これらの共鳴は理論計算との比較で塩基同士のスタッキングと関連があり、塩基同士が重なっている場合の方が共鳴が強くなることが判明した。

② S-S (S は硫黄) ボンドはタンパク質構成上の重要な分子結合である。S-S 結合を持つペプチド陽イオンに電子が衝突し、吸収される場合に S-S 結合が切断される。この現象は衝突エネルギーがゼロ付近で起ることが知られていたが、新たに 6 eV 付近でも起ることを発見した。このような切断は S-S 結合を持つ全てのペプチドで起るのでなく、硫黄を含むアミノ酸残基 Cys の隣に Tyr などのパイ電子を含むアミノ酸残基が存在する場合に強く起ることがわかった。

(2) 生体分子イオンの光吸収

① 生体分子が光を吸収し分解する現象はイオン貯蔵リングを用いれば気相で、高感度で測定できる。従来、イオン貯蔵リングの研究ではパルスレーザーの発光間隔 100 ms に同期させてイオンを入射していた。一方、分子イオンはイオン源で生成された時点では多

くの回転、振動励起状態を含んでいる。このような励起イオンも長い間貯蔵することによって励起状態を緩和させることができる。本研究では、緑色蛍光タンパク質 (GFP) 発色団 (chromophore) 負イオンを秒オーダーに及ぶ長い時間貯蔵することによって、光吸収後の励起イオンの寿命がのび、光吸収スペクトルが変る現象を発見した。このことによって、より精密な吸収スペクトルが観測されることになりその意義は大きい。

3. 現在までの達成度

② おおむね順調に進展している。
(理由)

研究計画の概要でのべたように2つの研究テーマ、すなわち、電子と生体分子イオンの衝突および生体分子イオンによる光吸収、のいずれも研究が進展し、その成果は論文として発表することができた。したがって上記の達成度評価は妥当と考えられる。

4. 今後の研究の推進方策

(1) 3月11日に起った東日本大震災によって本研究装置も被害を受けた。幸い、装置の真空槽が破れることはなかったが、停電などで劣化した真空を回復するために真空槽のベーキングを行う必要である。その後、ビーム輸送、周回試験を行い、真空槽内部の電極が破損したり位置精度が落ちたりしてないことを確認する必要がある。このように先ずは装置の復旧につとめる。

(2) 装置が正常に稼働することを確認した後、電子-生体分子イオンの衝突研究を開始する。これまでは電子エネルギーが1 eV以上の領域を研究してきたが、新たに1 eV以下の領域の研究を試みる。低エネルギーで有意の電子ビーム強度を得ることは容易でないかもしれないが、電子捕獲解離の断面積が増大する領域であり興味深い。

(3) 生体分子イオンの光吸収の研究では、これまでは主にイオンをイオントラップに貯蔵してからリングに入射してきたが、ビーム入射後貯蔵リングに貯えることによって励起イオンを冷却し、より精度の高い光吸収の研究を行う。このことによって分子の相互転換 (interconversion) などの新たな現象が見えることが期待できる。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

① Tetsumi Tanabe, Manabu Saito, Koji Noda,
Relaxation of green fluorescent protein chromophore anion observed by

photodissociation in an electrostatic storage ring,

The European Physical Journal D

DOI:10.1140/epjd/e2011-10648-8 (2011) 査読有

② Tetsumi Tanabe, Koji Noda, Satoshi, Miyagi, Noriyuki Kurita, Shigenori Tanaka, Julia Setzler, Wolfgang Wenzel, Evgeni B. Starikov, Gianauelio Cuniberti,

Resonant neutral particle emission in collisions of electrons with protonated peptides with disulfide bonds at high energies

Chemical Physics Letters 504, 83-87 (2011) 査読有

③ Tetsumi Tanabe, Evgeni B. Starikov, Koji Noda,

Resonant neutral-particle emission in collisions of electrons with protonated and sodiated nucleotide monocations in a storage ring

Journal of Physics: Conference Series 194, 0120291-6 (2009) 査読有

④ Tetsumi Tanabe, Evgeni B. Starikov, Koji Noda,

Resonant neutral-particle emission correlated with base-base interactions in collisions of electrons with protonated and sodiated dinucleotide monocations

Chemical Physics Letters 467, 154-158 (2008) 査読有

[学会発表] (計4件)

① 田辺徹美、静電リングによる生体分子イオンの光吸収実験、日本物理学会第66回年次大会、平成23年3月27日、新潟大学五十嵐キャンパス

② 田辺徹美、静電リングに貯えられた生体分子イオンの光吸収、日本物理学会第65回年次大会、平成22年3月23日、岡山大学津島キャンパス

③ Tetsumi Tanabe,
Resonant neutral-particle emission in collisions of electrons with protonated and sodiated nucleotide monocations in a storage ring, XXVI International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions (ICPEAC2009), 平成21年7月23日, Kalamazoo, Michigan, U.S.A.

④ 田辺徹美、生体分子イオンビームと電子ビームの衝突：電子のエネルギーに共鳴してこわれる生体分子、日本物理学会第64回年次大会、平成21年3月30日、立教大学池袋キャンパス