

## MRTOF 質量分析器による超ウラン核種精密質量測定のための同 $A/q$ 質量参照イオンの開発

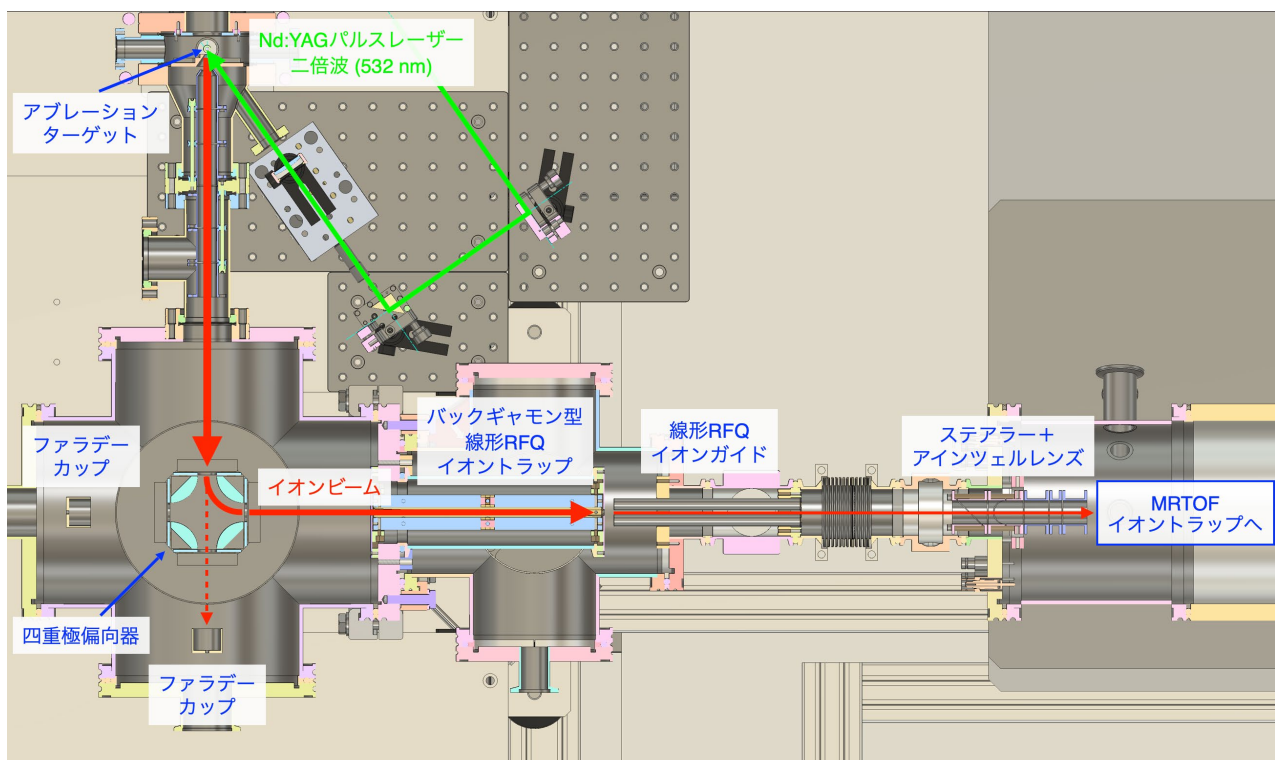
氏名 笹沼 初音 (原子過程科学教室)

原子核の質量は、構成する核子の全結合エネルギーを反映し、原子核の安定性を決定付ける最も重要な物理量の 1 つである。陽子、中性子数が異なる広範囲の核種に対して質量を系統的に評価することは、核構造の進化や安定性の起源を実験的に解明する鍵となる。特に超ウラン元素領域 ( $Z > 92$ ) において、安定性の増大により半減期 100 年以上ともされる原子核の領域「安定の島」の存在が予言されている。安定の島の存在領域や最適な生成核反応の予測精度向上のため、原子核の安定性を直接反映した物理量である質量の当該領域における系統的な精密測定が必須である。

現在、多重反射型飛行時間測定式質量分析器 (Multi-Reflection Time-Of-Flight Mass Spectrograph: MRTOF-MS) を用いた超ウラン核の精密質量測定が進められている。質量決定には質量既知核の参照イオンが不可欠で、高精度・高確度の質量決定のためにはこれらイオンの  $m/q$  差は小さい方が望ましく、したがって同  $A/q$  イオンが理想的である。また、安定の島近傍の核種は生成断面積が極めて小さいため、限られた生成収量の中で複数核種の質量測定を通じて、より詳細な核構造の議論を進めるためには、一核種ごとの測定ではなく、質量数の異なるすべての対象核種を同時に MRTOF に入射、測定する高度な測定法が望まれる。

本研究では、 $^{238}\text{U}$ – $^{294}\text{Og}$  などの超ウラン核種の 2 価イオン ( $A/q = 119$ – $147$ ) に対応する同  $A/q$  質量参照イオンを効率的かつ同時に複数生成するレーザーアブレーションイオン源を開発した。固体の合金ターゲットをレーザーアブレーションすることで、広い質量範囲の質量参照イオンを同時に複数発生させることを確認した。また、イオン源下流のバックギャモン型線形 RFQ イオントラップでは、生成したイオンを捕獲・冷却しつつ、トラップ内の電場勾配によりバンチ化することで、MRTOF への輸送の効率化を図った。

MRTOF に接続したオフラインの質量測定実証実験では、実際に MRTOF を用いて質量参照イオン源で生成したイオンの質量測定に成功した。異なる  $A/q$  質量参照イオンについて効率よくかつ同時に MRTOF へ生成・供給を実現しており、開発した質量参照イオン源の有用性を確認した。



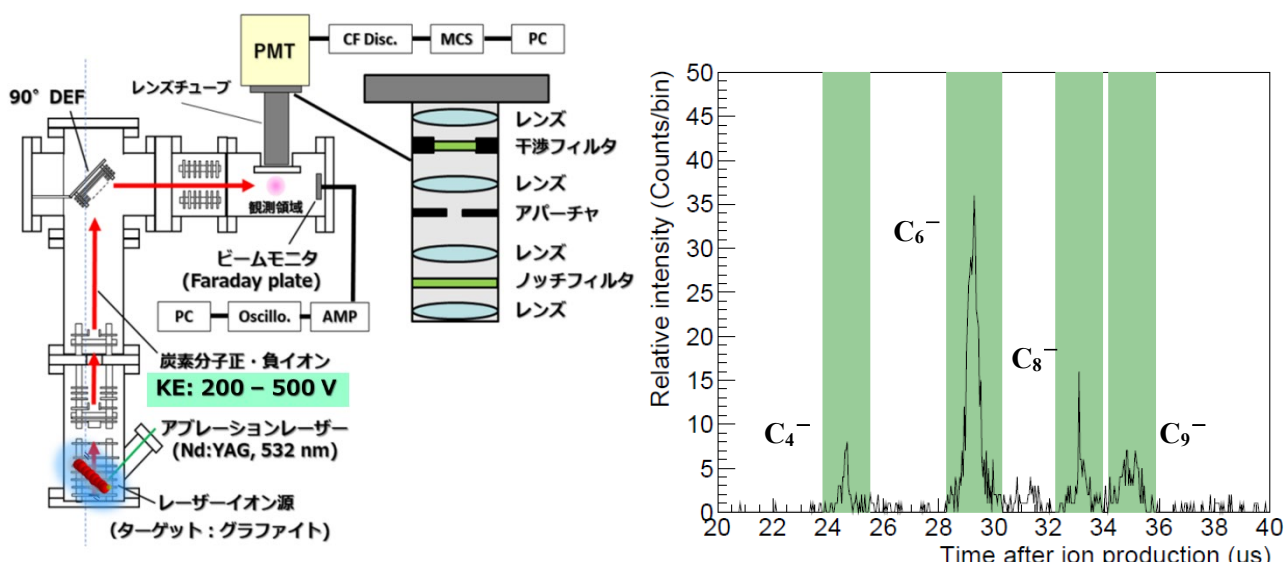
## 炭素分子負イオンが放つ再帰蛍光の時間減衰測定

氏名 篠原 小雪 (原子過程科学教室)

真空中のような孤立環境において、原子分子衝突などで生成された高温な分子の冷却過程は、宇宙空間での分子合成進化など多くの分野に関係する事象である。主要な冷却過程と考えられてきた振動輻射冷却 (ms-s オーダーの時定数)に加え、近年に反応速度定数が大きい( $\mu\text{s}$  オーダーの時定数)ため分子がより速く冷えて安定化することが可能な再帰蛍光過程が近年に確認された。この過程では、電子励起状態にある分子が高振動励起状態に内部転換した後、高振動励起状態から電子励起状態に逆内部転換し、続けて蛍光を放出することで冷却が進む。これまで炭素鎖分子負イオン  $\text{C}_4^-$ 、 $\text{C}_6^-$  および芳香族炭化水素ナフタレン、アントラセン正イオン ( $\text{C}_{10}\text{H}_8^+$ 、 $\text{C}_{14}\text{H}_{10}^+$ ) から再帰蛍光が直接観測されており、また昨年には我々の研究グループで炭素分子正負イオン約 20 種から再帰蛍光放出が確認され、再帰蛍光は分子一般に起こりうる過程と示唆され再帰蛍光のより詳細な理解が望まれている。

本研究では、レーザーアブレーションイオン源にて生成された高温な炭素分子負イオンが放つ再帰蛍光について、分子種、蛍光波長ごとにその時間減衰を測定した。具体的には、生成イオンに印加する加速電圧を調整してイオン生成から蛍光観測領域に到達するまでの飛行時間 (25-65  $\mu\text{s}$ ) を変えながら蛍光強度をインフライト測定し、蛍光の減衰曲線を導出する。観測する蛍光の波長は光検出器 (光電子増倍管, PMT) 直前に設置された干渉フィルター (透過中心波長 600-900 nm) で選別し、イオン強度は観測領域下流に設置したイオンビームモニターにて電流として読み出した。観測した蛍光強度を測定したイオン強度および蛍光観測領域の通過にかかる時間で規格化しイオン生成からの時間ごとに相対的な蛍光強度を求めることで再帰蛍光の減衰を求めた。

得られた再帰蛍光の時間減衰は分子種ごとに違いが見えずどれも似通った減衰が確認された分子種ごとに違いが得られなかったのは、ちょうど観測領域通過中に最も強く蛍光を放つような反応速度定数となる内部エネルギーの分子を選択的に観測したことを意味する また波長ごとに違いが見えなかったのは同じ内部エネルギーでも様々な電子励起状態に逆内部転換しそれぞれの電子励起準位から対応した波長の再帰蛍光放出したことが原因と考えられる このように一般の蛍光とは大きく異なる再帰蛍光の特徴を本研究で初めて確認することに成功した。



炭素分子負イオン  $C_{10}^-$  の構造異性体分離に向けた TIMS の開発

氏名 佐藤 颯太 (原子過程科学教室)

2010 年に、宇宙空間で  $C_{60}$  フラーレンが発見され、『ぼやけた星間線』や『拡張赤色放射』など、未解明な星間光吸収・輻射反応との関連が示唆されている。また、宇宙空間における  $C_{60}$  のような巨大分子の発見は、宇宙空間にてほかにも様々な巨大分子が存在して分子の合成進化シナリオに関わっている可能性が示唆され、星間  $C_{60}$  に多くの注目が集まっている。しかし、宇宙空間における  $C_{60}$  フラーレンはその生成過程も未だ明確にわかっていない。現在提唱されている星間フラレン生成過程モデルでは、複数の構造異性体を有する炭素分子負イオンの中でも、直鎖構造とその構造異性体である単環状構造の両方の構造の存在が競合する最小の分子負イオンである  $C_{10}^-$  の構造異性化がフラレン生成に重要な寄与を示すことが示唆されている。 $C_{10}^-$  は直鎖構造と単環状構造の間で異性化障壁が高い一方、生成直後は高い内部エネルギーを有した高励起状態にあり、その後内部エネルギーは振動輻射や再帰蛍光放出によって散逸されてゆく。各構造間の異性化は冷却過程によって決まるため、構造ごとの冷却過程を明らかにすることで構造異性化について理解が深まると考えられる。

本研究では、 $C_{10}^-$  の星間空間における冷却過程や生成効率など、構造異性体間の性質差異を調査することを目標に直鎖構造と単環状構造の分離を目指す。イオン源での生成収量が少ない  $C_{10}^-$  を効率よく分離し測定系へと供給するため、イオンを蓄積しながら構造異性体分離が可能なトラップ型イオン移動能法 (Trapped Ion Mobility Spectrometry : TIMS) に着目した。TIMS はガス流と対向する電場勾配を利用して、衝突断面積が異なるイオン種ごとに異なる位置にトラップする装置である。TIMS の性能評価用のイオン源には、簡便かつ多くのイオンを生成可能なエレクトロスプレーイオン化 (ElectroSpray Ionization : ESI) 法を採用し、実験を行った。

まず実際に TIMS の設計・製作を行い、同時にイオン光学設計ソフト SIMION によるイオン光学シミュレーションを行い、TIMS 内におけるイオン輸送、衝突断面積ごとのイオン種分離の実現可能性を検討した。TIMS 設計・製作に関しては構造分離に成功している先行研究と同じ実験条件を達成した。また、シミュレーションでは開発した装置の実験条件でイオン種ごと TIMS 内の異なる位置に蓄積されることを確認した。ESI 源を用いてのエタノール正イオンを TIMS 内に導入し、ガス流で TIMS 下流にイオン輸送が成されていること、さらに TIMS への電場印加でイオン輸送を止められることが確認された。異性体分離に向けて TIMS 装置の製作に成功したと言える。

