

## 【特別推進研究】

### 理工系（数物系科学）



#### 研究課題名 革新的質量分光器を用いた重元素の起源の研究

高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授

わだ みちはる  
和田 道治

研究課題番号： 17H06090 研究者番号：50240560

研究分野： 原子核物理学

キーワード： 質量測定、 $r$ 過程、超重元素、MRTOF、イオントラップ

#### 【研究の背景・目的】

原子の質量はその構成要素である陽子・中性子・電子の総和に比べて極僅か軽い。この「質量欠損」は原子の全結合エネルギーに相当し、原子核研究において最も重要な原子の特性である。系統的な質量値の比較は、原子核の崩壊様式、変形、殻効果等の核構造研究に加えて、重元素の起源の解明に繋がる。

今日の原子核物理学の重要課題の一つは白金やウランなどの重元素の起源である。Fowler らによる「速い中性子捕獲過程 ( $r$ 過程)」によって爆発的天体現象で生成されたという仮説が有力であるが、この過程に関与する原子核は安定線から遠く離れた中性子過剰核であり、質量・半減期等の実験データは極めて乏しく、その拡充が強く求められている。

$r$ 過程の終端でもある超重元素領域では、最近 Nh( $Z=113$ )から Og( $Z=118$ )まで新元素が命名されたが、熱い融合反応による新元素はより確実な原子番号と質量数の同定が求められている。精密質量は原子核にユニークな指紋であり、質量値から確実な同定が可能であると同時に、現在の超重元素の先にあると予測される「安定の島」へ到達する里標を築くものである。

本研究では、新しく開発した高能率・高精度・高確度の質量分光器を、現在世界一多種類の原子核を生成できる施設に複数台展開して、超重元素から中重核に至る広い範囲の多数の原子核の質量を系統的に精密測定して元素の起源の研究を圧倒的に進歩させる計画である。

#### 【研究の方法】

理化学研究所の加速器施設 RI ビームファクトリには、超重元素生成に適した GARIS、中性子過剰核生成に特化した KISS、満遍なく広範囲の短寿命核を生成する BigRIPS+SLOWRI という3箇所の短寿命核を提供する施設がある。この施設で得られる様々なエネルギーの短寿命核ビームは、高周波イオンガイドガスをを用いてイオントラップに捕集され、多重反射型飛行時間測定式質量分光器(MRTOF-MS)によって質量分析される。

MRTOF-MS は、一對の静電ミラーからなる飛行管からなる単純な構造の測定器で、イオントラップで冷却されたイオンバンチをパルス入射し、百回程度往復させた数 ms の飛行時間後引き出して検出し、この総飛行時間から質量を決定する。静電ミラーを

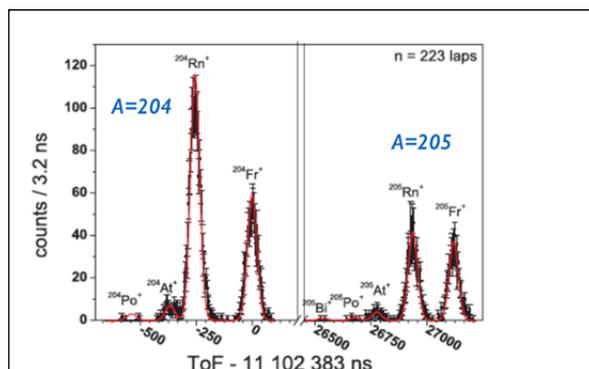


図1 質量数 204, 205 同重体の ToF スペクトル

用いることで多少の初期エネルギー広がりによらずに質量分解能 200,000 が達成できる。この質量分光器は、同重体と近傍の質量数核の同時測定が可能な高能率な測定器であり、常に同重体を参照（校正）イオンにする独自の方法（特許出願中）により長時間の測定でも高精度・高確度を維持できる。さらに半減期 10ms の短寿命核でも特段の損失無く  $10^{-7}$  の高精度で測定できる唯一の直接質量測定法である。

#### 【期待される成果と意義】

重元素の起源研究には超重元素から中重核まで数百核種の精密質量測定が必要であるが、あらゆる元素の短寿命核をイオントラップする技術と高能率・高精度・高確度の質量分光器を組み合わせる事で、それが達成できる予定である。さらに超重元素の精密質量測定が可能な唯一の装置として、原子核物理学の夢の一つである安定の島への道筋を示すことが期待される。

#### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- P. Schury et al., Phys. Rev. C95 (2017) 11305(R)
- S. Kimura et al., arXiv:1706.00186 (2017)
- M. Wada, Nucl. Inst. Meth. B317 (2014) 450

#### 【研究期間と研究経費】

平成 29 年度－33 年度 427,100 千円

#### 【ホームページ等】

<http://research.kek.jp/group/wnsc/>  
[michiharu.wada@kek.jp](mailto:michiharu.wada@kek.jp)