

革新的SCRIT電子散乱法の高度化によるSn不安定同位体の電荷密度分布精密測定

	研究代表者	京都大学・化学研究所・教授
		若杉 昌徳 (わかすぎ まさのり)
研究課題情報	課題番号: 23H05436	研究期間: 2023年度~2027年度
	キーワード: 不安定核、電子散乱、陽子分布、電荷密度分布	

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

我々は、自然界に存在せず人工的に生成する不安定な原子核（RI）の姿形を直接測定する方法を世界で初めて開発した。これをSCRIT電子散乱システムと呼ぶ。電子加速器を用いて生成したRIを、即座に電子蓄積リングを周回する電子ビーム軌道にトラップすることで、自然に発生する電子散乱事象を観測して、RIの陽子分布（陽子の波動関数）を精密に測定する。

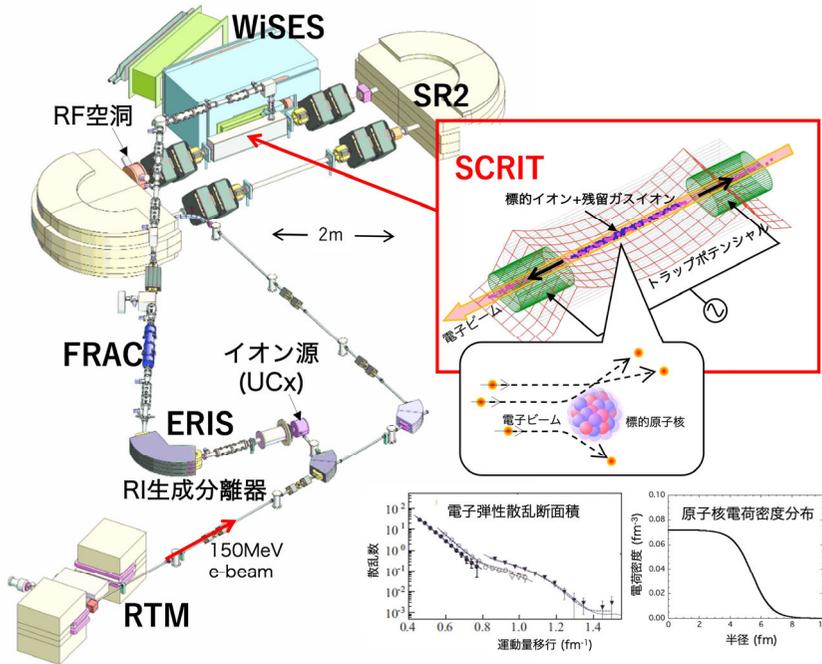


図1 SCRIT電子散乱実験のイメージ図

●不安定原子核における陽子分布と中性子分布

原子核内における陽子分布と中性子分布は核構造研究上、それぞれの波動関数を反映する最も基本的な物理量である。特にそれらの分布の違いは、核物質の状態方程式に現れる未だ未解明の対称エネルギー項を決める重要な観測量であり、さらに原子核のみならず中性子星の構造や大きさ、さらに中性子星合体という宇宙の大イベントでの元素合成の秘密を解明する鍵である。特に陽子と中性子の分布がアンバランスとなる不安定原子核に対する陽子と中性子分布の精密測定は、宇宙物理学や天文学など幅広い領域を含めた物理学上重大な課題である。陽子分布を精密に測定できる唯一の方法が電子散乱であるが、RIに対してはこれまで全く不可能であったが、我々が開発したSCRIT電子散乱法はそのブレイクスルーとなった。

●本研究でのSCRIT電子散乱法の高度化

SCRITはSelf-Confining RI Ion Targetの略であり、極少数しか生成できないRIに対して、これまで不可能だった電子散乱実験を行うために開発した革新的標的生成手法である。電子散乱という反応は極めて稀にしか発生しないので、多くの電子ビームと多くの標的原子核が必要である。しかしRIは極少数しか生成できないことがこの研究を不可能にしていた。我々は、電子蓄積リングを用いて大電流電子ビームを用意して、電子ビーム自身によってRIイオンを捕獲させる方法を開発し、効果的に厚いRI標的を形成することに成功した。これにより高い頻度で電子をRI原子核に衝突させることができるが、物理的に意味ある議論をするには衝突頻度をさらに一桁向上させる必要がある。そのため本研究では、図1に示したSCRIT電子散乱システムを高度化する。第一の高度化は、電子ビームを高度安定化である。RF空洞が宿命的に持つHigher-Order Mode (HOM)により、電子ビームはわずかに振動する。これが衝突頻度を損なっている。そのため本研究ではHOM減衰空洞を開発して電子ビームの安定化を図る。第二の高度化は、バックグラウンドの劇的な低減である。主たるバックグラウンドは、RIイオンと同時に捕獲される残留ガスイオンである。SCRIT中でのイオン運動が質量によって異なることに着目して、捕獲のための井戸型ポテンシャルに対して、残留ガスイオンだけに共鳴する高周波をかけ残留ガスだけを排除して標的の純度を向上させる。これは測定データの誤差を縮小して断面積の精度を向上させる。これらの高度化により精密な陽子分布を決定できる。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●中性子過剰Sn同位体の電荷密度分布測定

本研究では、電荷密度分布測定の高精度化を実現して、同時に非弾性散乱や準弾性散乱研究への発展のための技術基盤を確立する。向上した性能を持って中性子過剰Sn同位体（図2の緑帯で示した）の電荷密度分布を精密に決定する。古典的だが理想的なプローブでRI構造研究を実現するため、我々は長い時間をかけてSCRIT法を開発してきた。その過程における¹³²Xeを標的としたパイロット実験など図2に示した原子核の弾性散乱断面積の測定をしてきた。これらはRI電子弾性散乱の可能性を示し、最近オンライン生成した不安定核（¹³⁷Cs）の弾性散乱角度分布の測定に初めて成功した。現状RI生成能力が不足しているため測定は低運動量移行領域にとどまっているが、これは世界で最初のRI電子散乱実験である。RI生成能力を100倍に増強してRIに対してXeと同等の測定をするための施策はすでに手配されており、さらに上記の高度化を実施することで、RI電子散乱実験を本格稼働させる。

●学術的ブレイクスルー

本研究には不安定核研究における二つの重要な学術的ブレイクスルーがある。

- (1) レプトンをプローブとした不安定核研究の幕開け。
- (2) 不安定原子核を静止標的とする研究手法の始まり。

これまでの不安定核反応研究は、RIの生成量が少ないためプローブとなるべき核を標的とした逆運動学が利用されてきた。この手法では精密化が困難であった。本研究の二つのブレイクスルーは、純粋な電磁プローブによる反応プロセスに不定性のない研究と、高品質で大強度なプローブビームを用いた準運動学による研究を可能にすることで、稀少RIでも精密な核反応研究ができる手法を提供する。

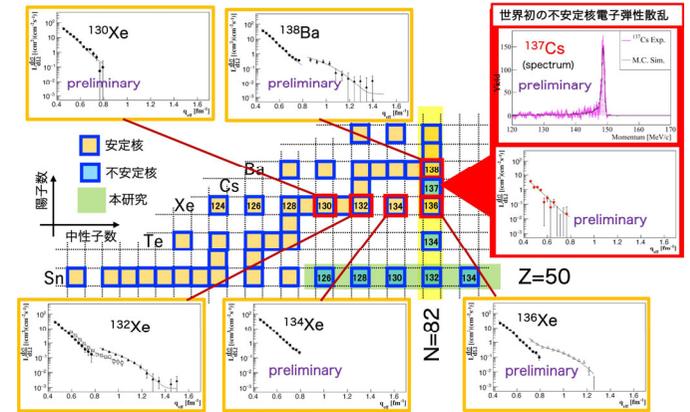


図2 SCRIT電子散乱による散乱断面積測定