

|                                                                                  |        |                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------|
|  | 研究代表者  | 高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・特別教授<br>下村 浩一郎（しもむら こういちろう）<br>研究者番号：60242103 |
|                                                                                  | 研究課題情報 | 課題番号：26A205<br>研究期間：2026年度～2030年度<br>キーワード：負ミューオン、非破壊元素分析、ミューオン誘起核変換  |

## 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

この研究は、負ミューオンという素粒子を主役にして、物理・化学・地学・医学から考古学までを繋ぐ「負ミューオン融合科学」という新しい学問分野を創り出すプロジェクトである。ミューオンの無限の可能性を社会に役立てるため、分野の垣根を超え次世代を担う若手から経験豊富なベテランまで優れた研究者が集まった。

日本は性質の異なる2つのミューオン生成施設を持つ、世界でも類を見ない国際的なミューオン科学研究拠点である。宇宙線として自然に降り注ぐミューオンを待つのではなく、これらの施設で人工的に作り出した強力なミューオンを活用し世界に先駆けて独創的な研究に挑戦する。

ミューオンは電子によく似た性質を持つが、重さが電子の約200倍ある。「重い電子」ともえる負ミューオンが物質にぶつくと、普通の電子とは全く違う動きを見せる。その中で、主に負ミューオンの2つの現象に注目している。

- ①非破壊分析：負ミューオンが原子に捕まったときに特殊なX線を使い物質を壊さずに内部を透視する
- ②選択的核変換：原子核そのものを別の種類に変えてしまう「核変換」をミューオンに应用し、狙った種類の原子核に作り変える。

これらの現象をコントロールする基盤技術を固め、物質・宇宙・人類という大きなテーマに应用し、多分野の知を融合させることで、これまでの科学の常識を塗り替えることを目指す。



図1 研究の全体像と最先端の研究事例

### ●非破壊分析

負ミューオンを用いた「非破壊分析」は、物質を傷つけることなく内部の元素組成を調べる画期的な手法である。

電子によるX線とは異なり、物質に対する透過力が非常に高く、これまで困難であった厚い金属の内側や物質深部の情報を調査できる。

さらに、どんな元素も測定可能であるという特徴を生かし、貴重な文化財や小惑星などからの帰還試料の分析を行う。

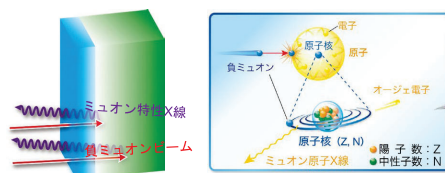


図2 ミューオンの透過性（左）とその特殊なX線を放出する仕組み（右）

### ●選択的核変換

負ミューオンが原子核に捕獲されると、陽子を中性子に変える「ミューオン捕獲反応」が起こる。この反応により、原子番号が1つ小さい別の核種へと「変身」させることができる。従来の原子核衝突による方法に比べ、狙った核種をピンポイントで生成できることが最大の特徴である。

この原理を応用し、がんの診断や治療に役立つ新しい「医療用核種(RI)」の効率的な製造に挑戦する。

また、この技術を用いて宇宙から反物質が消えた謎に迫る素粒子実験や、半導体の誤作動（ソフトエラー）対策など人類社会の課題解決にも向けた基盤を築くことを目指す。

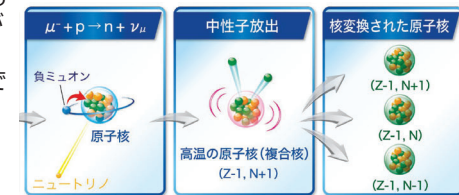


図3 選択的核変換のイメージ図

## 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

### ●研究のゴール

この研究のゴールは、負ミューオン特有の現象を解明し、社会や科学の難題解決に役立てることである。最終的には、目に見えない小さな素粒子の研究から、がん治療や歴史の解明といった私たちの生活に直結する分野まで、負ミューオンの力で「どこまで高度な分析や制御ができるか」の限界に挑戦する。

### ●基盤と物質

ミューオンが原子核とどう反応するかをデータ化し、世界初のデータベースを構築する。併せて負ミューオンビームの高度化を図る。また、負ミューオンを用いることで初めて可能になる原子核研究を進め、宇宙線ミューオンが原因で起こるスマホやサーバーの計算ミス（ソフトエラー）の仕組みを解明し、次世代デバイスの誤作動を防ぐ。

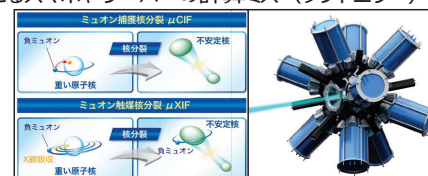


図4 ミューオンによる核分裂とデータを効率的に収集する検出器。

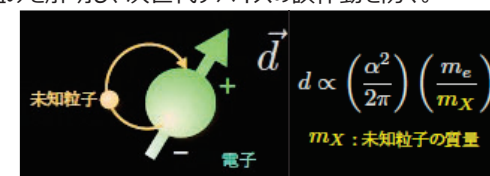


図5 量子センシングという日本発のアイデアで宇宙の謎に迫る。

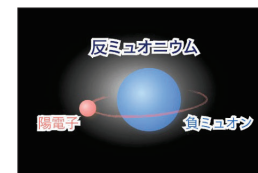


図6 生成を目指している反ミュオニウム。



図7 宇宙線ミューオンが原因となるシステムエラー。

### ●宇宙の謎

負ミューオンを使って、通常の核反応では作れなかった多彩な放射性同位体を作り出し、宇宙から「反物質」が消えた謎や、太陽系がどのように進化したかを探る。さらに非破壊分析法を駆使することで小惑星や衛星の元素組成を調べ太陽系の歴史解明に貢献する。



図8 惑星や衛星探査計画。

### ●人類と社会

がん治療に役立つ新しい医療用RIの製造法の開発や、貴重な文化財を壊さずに（非破壊で）内部の組成や成分の分析を行う。

また世界の文化財に非破壊分析を適用し、人類全体の科学技術の進歩や伝播を明らかにする。

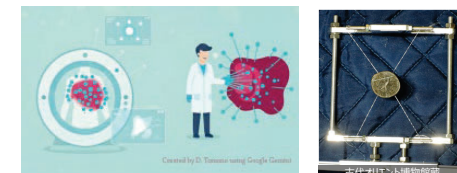


図9 医療用RIを用いた診断・治療（左）と文理融合研究（右）