

# 【新学術領域研究（研究領域提案型）】 理工系



## 研究領域名 宇宙観測検出器と量子ビームの出会い。新たな応用への架け橋。

東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・教授

たかはし ただゆき  
高橋 忠幸

研究課題番号：18H05457 研究者番号：50183851

### 【本領域の目的】

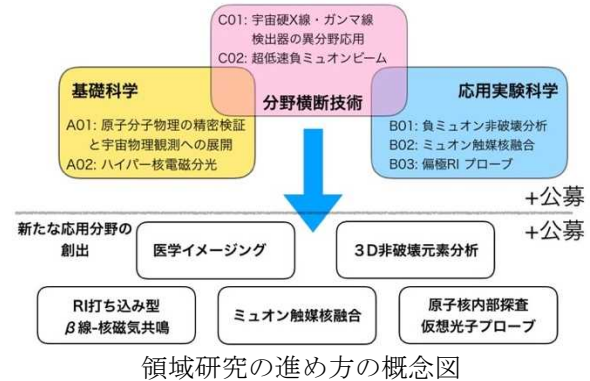
近年、加速器を用いて様々な高輝度量子ビームが作り出され、多彩な基礎科学研究が生み出されている。ところが、これらの研究は孤立して進められ、他の分野で高度に進んでいる理論研究や技術の進展に気付くことなく行われていることが多い。本領域では、宇宙 X 線・ガンマ線観測のために開発された最先端検出器技術と、負ミュオンビーム、高エネルギー光子ビーム、偏極を付加した放射性同位元素 (RI) ビームという、日本が国際的に極めて優位な位置にある三つの「エキゾチック」な量子ビームの研究を結び付け、新たな視点や手法による研究を共同で行う。これにより、それぞれの基礎科学分野の研究を深化させるばかりではなく、元素分析から医学に至る異分野融合による応用研究において新しい展開を行うことを目的とする。

### 【本領域の内容】

本領域では、宇宙観測から生まれた極限性能を持つ先端的宇宙 X 線・ガンマ線観測技術を発展させ、高強度のエキゾチック量子ビームを用いた研究への展開を図るとともに、検出器技術をがん研究などの異分野に展開する。

基礎科学、応用実験科学、分野横断技術開発の三つの研究分野を設け、その中に合計七つの計画研究を立てる。基礎科学分野では、超高分解能 X 線分光装置やテルル化カドミウム (CdTe) 半導体センサーを用いて、ミュオン特性 X 線の広帯域にわたる精密分光計測を行う。また、少数多体系理論を共通の枠組みとして、高エネルギー電子ビームから生じる仮想光子を用いたラムダハイパー核の精密電磁分光を行い、 $\Delta N$  相互作用の荷電対称性の破れ、中重ハイパー核のアイソスピン依存性など、バリオン力の研究を進める。応用実験科学では、負ミュオン特性 X 線によるバルクな試料に対する非破壊 3D イメージング元素分析法を確立し、地球外試料や考古物などを対象とした研究を実施する。高強度負ミュオンビームを用い、新たに提唱する反応に基づくミュオン触媒核融合の学術的研究を進める。元素依存性のない高偏極 RI ビームを生成し、RI を物質中の原子核と置換することで、 $\mu$ SR に対する  $\beta$  線検出型超高感度 NMR 法による物質科学研究を創出する。分野横断技術開発分野においては、領域発展に必要な先端的検出器、負ミュオン超低速マイクロビームの開発などを行う。さらに、がん幹細胞を標的とした医学研究のために CdTe 半導体素子を応用した小動物用生体内 3D ガンマ線イメージング装置の開発

を行うなど、医学・薬学の研究者との異分野共同研究を開始する。



### 【期待される成果と意義】

本研究で対象とする原子核や原子分子反応などの基礎科学研究、ミュオン触媒核融合研究などにおいて、過去成し得なかったレベルの超精密科学研究が実現するとともに、少数多体系理論を発展させ、共通する理論的な枠組みの構築が期待される。ビームの高度化、高度な検出器の導入により、負ミュオンを「プローブ」として用いるエキゾチック原子研究が飛躍的に進み、超高感度の非破壊元素分析手段としてのミュオン特性 X 線応用が実用化される。CdTe 半導体センサー技術を発展させた、小動物のための高感度生体内ガンマ線 3D イメージング装置の開発により、腫瘍内のがん細胞の性質や多様性の研究が発展する。多彩な分野の研究者を、領域にまとめあげ、頭脳循環を図ることで、「新たな価値創出を容易とするプラットフォーム」が実現する。

### 【キーワード】

**負ミュオン**：電子と同じ性質を持つが 200 倍重い素粒子。電子と同様に原子核に束縛されて原子を形成するが電子に比べて 200 倍原子核に近い軌道を持つ。  
**テルル化カドミウム (CdTe)**：100 keV のガンマ線に対してシリコンに比べて 100 倍もの検出効率を持つ化合物半導体。

### 【研究期間と研究経費】

平成 30 年度－34 年度  
1,093,000 千円

### 【ホームページ等】

[https://member.ipmu.jp/SpaceTech\\_to\\_QuantumBeam](https://member.ipmu.jp/SpaceTech_to_QuantumBeam)



**Title of Project : Toward new frontiers : Encounter and synergy of state-of-the-art astronomical detectors and exotic quantum beams**

Tadayuki Takahashi  
(The University of Tokyo, Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe, Professor)

Research Project Number : 18H05457 Researcher Number : 50183851

**【Purpose of the Research Project】**

In recent years, a variety of fundamental scientific research fields have been established due to the production of various high-intensity quantum beams created by accelerators. However, these studies have been carried out independently and not enough effort has been made to share theoretical progresses and technological advances to other research fields. Based on the World-renowned advanced detector technology developed in Japan for space X-ray and gamma-ray observations, we will establish common theoretical frameworks and technological platforms and combine them with exotic quantum beams, namely negative muons, virtual photons and polarized RI beams. This will enable us to perform cooperative works in different research fields and develop novel methods. Furthermore, this will not only contribute to the area of fundamental sciences, but also towards new applications such as non-destructive 3D element analysis and medical applications.

**【Content of the Research Project】**

We aim to advance X-ray and  $\gamma$ -ray imaging technologies and apply them to different research fields of quantum-beam experiments and to various other applications such as non-destructive analysis and medical imaging.

(1) Precise spectroscopic measurements will be performed by detecting muonic X-rays combined with ultra-high resolution X-ray spectrometer and cadmium telluride (CdTe) semiconductor sensors. In addition, using the common framework of few-body theory combined with precise electromagnetic spectroscopy of  $\Lambda$  hypernuclei utilizing real and virtual photons, hypernuclei in wide mass region will be studied to clarify the baryonic force and solve the puzzle of heavy neutron stars.  
(2) A nondestructive 3D imaging element analysis method will be established using muonic atom characteristic X-rays for bulk samples, and studies will be conducted on extraterrestrial

samples and archeology artifacts. Scientific research on muon catalyzed fusion will also be promoted based on a newly proposed reaction using high-intensity negative muon beam. Furthermore, by creating highly polarized RI beam without element dependence and replacing RI with atomic nucleus in a substance, material science research will be advanced by using the ultra-sensitive beta-radiation detected NMR method similar to  $\mu$ SR.

(3) Advanced detector system required for expanding the field as well as ultra-slow negative muon beam development will be carried out. Collaborative research with scientists in medicine and pharmacy will be initiated to develop in vivo 3D  $\gamma$ -ray imaging device for small animals by applying CdTe semiconductor sensors to medical research on cancer stem cells.

**【Expected Research Achievements and Scientific Significance】**

Unprecedented precision experiments with newly developed detectors and exotic quantum beams will be realized in this program. A common theoretical framework of few-body systems will be established based on these experimental results. Especially, a research on exotic atoms using negative muons as "probes" has dramatically progressed, and application of muonic characteristic X-rays as ultra-sensitive non-destructive element analysis can finally be realized.

Highly-sensitive in vivo  $\gamma$ -ray 3D imaging device with CdTe semi-conductor sensor technology will initiate studies of the properties and diversity of cancer cells in a tumor. Gathering researchers from various fields of expertise and generating ideas through brainstorming creates a "platform that facilitates the creation of new concepts".

**【Key Words】**

**Negative muon:** An elementary particle with similar properties as an electron but is 200 times heavier in mass.

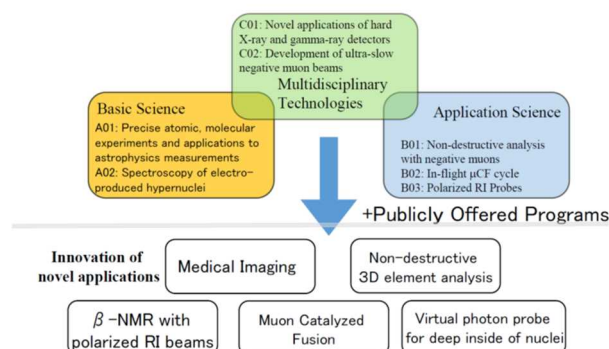
**Cadmium telluride (CdTe):** For 100-keV  $\gamma$ -rays, it has 100 times higher detection efficiency than Si.

**【Term of Project】** FY2018-2022

**【Budget Allocation】** 1,093,000 Thousand Yen

**【Homepage Address and Other Contact Information】**

[https://member.ipmu.jp/SpaceTech\\_to\\_Quantum Beam](https://member.ipmu.jp/SpaceTech_to_Quantum_Beam)



Organization of the Project