【学術変革領域研究（A）】

マルチスケールミューオンイメージングで「視る」：兆候から解明へ

研究代表者	名古屋大学・理学研究科・准教授 森島　邦博（もりしま　くにひろ）　研究者番号：30377915
研究課題情報	課題番号：25A205　研究期間：2025年度～2029年度 キーワード：ミューオン、イメージング、素粒子、宇宙線、加速器

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

光子や電子に続く第三の素粒子である「ミューオン」に関する研究は、我が国が長年にわたり国際的にリードしてきた分野であり、近年では、宇宙空間を飛び交う宇宙線と地球大気との衝突により生成される宇宙線ミューオンの利用や、加速器による人工的なミューオンの生成・加速の研究が進んだことで、イメージングにおける新たな量子プローブとして、学術分野のみならず産業界からも注目を集めている。ミューオンはエネルギーに応じて物質に対する透過力が異なり、宇宙線に含まれるミューオンの一部は、数キロメートルの山体を透過できるほどのエネルギーを有している。このような特性により、ミューオンは光（可視光、X線、ガンマ線）や電子、中性子などの他の素粒子・原子核と比べ、空間的により深部まで到達でき、非侵襲かつ遠隔から深部の状態を計測するプローブとして機能する。

本研究領域の目的は、素粒子「ミューオン」が有する卓越した透過力を活用し、多彩なミューオン計測技術と情報科学を融合・発展させることで、アトメートル（10^{-18}m）から数億光年（10^{26}m）にわたる幅広いスケールの事象の可視化を実現するマルチスケールミューオンイメージング（MSMI）の学理と技術基盤を確立することである（図1）。計画研究A01～04では、革新的なミューオン計測技術の開発を通じて、多様な事象を新たに『視る』手法を追求する。計画研究B01では、加速器を活用した新しい『視る』手段を実証する。計画研究C01では、AおよびBで得られた計測技術と数理情報処理技術との融合を通じて、可視化の精度と有用性をさらに高めることで、『視る』手法と手段を洗練する。これらの戦略に基づき、異なる技術と研究対象を専門とする研究グループの協働により幅広いスケールの事象の可視化を一体的に進めることで、技術開発の速度と質を飛躍的に向上させるとともに、 ミューオンイメージングの高解像度化・高感度化・高速化・三次元化・四次元化などを進め、学術分野における知の深化と変革を促進する。MSMIを確立することで、素粒子の「現象」、材料の「機能」、堤防・ピラミッド・火山の「内部」、さらには気象・宇宙の「環境」に至るまでの可視化を実現し、従来は兆候の観測にとどまっていた事象の可視化と解明を可能にする。こうした学術的・技術的進展を通じて、学術および産業を支えるイメージング技術にパラダイムシフトをもたらし、文理工を横断する幅広い分野を革新し、豊かな未来社会の実現に貢献することを目指す。

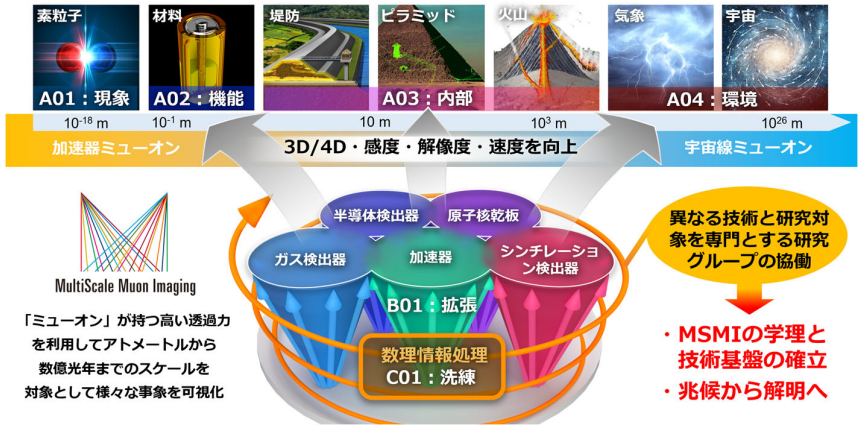

図1　本研究領域の全体像

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

●マルチスケールミューオンイメージング（MSMI）の学理と技術基盤の構築

本研究領域では、各計画研究（A01～A04,B01,C01）が有する計測技術（ガス検出器、半導体検出器、原子核乾板、シンチレーション検出器）や加速器技術、数理情報処理技術を相互に活用し、性能の向上および補完をしながら研究を推進することで各々の学術的目標を達成する（図2）。こうした融合研究を通して、MSMIの統一的な学理を確立し、これまでは兆候を捉えるにとどまっていた各々の事象を解明するに至る革新的なイメージング技術基盤（MSMI技術プラットフォーム）を構築する。

A01（現象を「視る」：ミューオンの即時検出技術で切り拓く素粒子現象の探求と応用）

加速器による粒子衝突で発生する素粒子反応から生じるミューオンを大量のノイズの中から即時に検出・識別する技術を、ガス検出器を用いて開発し、ごくまれに生成されるヒッグス粒子の性質解明を目指す。さらに、開発したミューオン計測技術を宇宙線ミューオンを用いた大規模構造物のイメージングへと応用する。

A02（機能を「視る」：機能可視化をめざすミューオン3D＋1イメージングの実現と応用）

加速器ミューオンを用いて、燃料電池の内部状態とその機能を解明するために、半導体検出器を用いた新たなミューオン３D＋１イメージング技術の開発を行い、低炭素社会に向けた新デバイスへ展開する。

A03（内部を「視る」：堤防・ピラミッド・火山の宇宙線ミューオンイメージングの深化と多彩化）

宇宙線ミューオンを用いて、堤防・ピラミッド・火山などの人工構造物や自然構造物を、原子核乾板により多地点から同時に計測することで、内部の三次元構造を明らかにし、ピラミッド建造の謎の解明や新しい防災技術へ展開すると共にイメージングの対象を多彩化する。

A04（環境を「視る」：宇宙線ミューオンを用いた宇宙・地球環境の可視化）

宇宙線空気シャワー中のミューオンを、シンチレーション検出器およびガス検出器を用いて計測することで、超高エネルギー宇宙線の起源や銀河系内外の磁場構造、雷雲などの気象現象の解明を目指す。

B01（「視る」を拡張：宇宙線イメージングから加速ミューオンイメージングへの加速器技術革新）

宇宙線ミューオンイメージングよりも迅速かつ高精細にイメージを得るための加速ミューオンイメージングの実現を目指し、ミューオン加速器の可搬化に向けた小型化技術を実証する。

C01（「視る」を洗練：計測指向モデリングによるミューオンイメージングデータ解析）

計測に特徴的な先験的情報を元にして、計測データから真の物理情報の分離・抽出・復元を可能とする解析手法やミューオンの制御・計測方法を、数理モデリングを駆使して構築し、従来の計測限界を超える新しい解析法を開発する。

●社会的波及効果

これらの研究により、MSMIは、大きな社会的波及効果をもたらす。「機能」のイメージングは、低炭素社会の実現や新デバイスの開発に貢献し、「内部」や「環境」のイメージングは、防災技術に革新をもたらし、安心安全な社会の実現に貢献する。イメージングの「拡張」や「洗練」は、医療分野における加速器の小型化や画像解析への応用などが期待される。本研究領域では、このような未来の社会実装を見据えた研究にも積極的に取り組む。

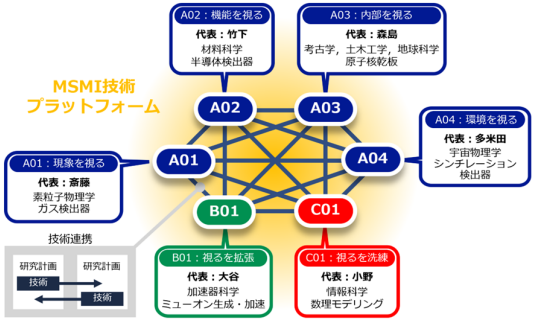

図2　本研究領域の推進体制

ホームページ等	https://msmi.jp/