

令和 6 年 6 月 27 日現在

機関番号：13901

研究種目：学術変革領域研究(B)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H05084

研究課題名（和文）素粒子現象から巨大構造物までを透視するマルチスケールミュオンイメージングの創成

研究課題名（英文）Formation of the Multiscale Muon Imaging for Particles and Huge Structures

研究代表者

森島 邦博 (Morishima, Kunihiro)

名古屋大学・理学研究科・准教授

研究者番号：30377915

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究領域では、素粒子物理学、土木工学、加速器科学の専門家が集結し、ミュオン検出技術および加速技術を高度化し、可視化対象を拡張することで、基礎から応用研究、将来の社会実装までを目指したマルチスケールミュオンイメージング（MSMI）を創発した。総括班では、領域会議を開催し、計画研究の進展を把握・連携を強化し、各計画研究の着実な進展に加えて融合研究も進めた。また、研究活動や成果を広く社会に発信するために日本物理学会でのシンポジウム講演、記者向けのサロンを企画・開催した。また、領域外の研究者を招待したセミナーを開催し、MSMIの更なる発展のための課題や展望を議論し、領域としての活動を総括した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、基礎研究における学理探究から応用研究にまで広がりを見せ、今後のMSMIの発展の基盤となるものである。具体的には、原子核乾板やガス検出器を用いたミュオン検出技術の高度化により、クフ王ピラミッド内部の新空間やヒッグス粒子による質量起源の兆候を検知した。また、宇宙線に代わるミュオンイメージング源としてのミュオン加速器の小型化技術の実証にも成功した。さらに、4つの計画研究間の連携によるミュオン計測技術と土木工学分野の融合研究により、堤防の宇宙線ミュオンイメージングの実証に加え、堤防の新しい科学的安全管理手法の礎を築いたことは、持続可能で安全な社会の実現に貢献するものである。

研究成果の概要（英文）：In this research area, experts in particle physics, civil engineering, and accelerator science have collaborated to enhance muon detection and acceleration technologies, and expand visualization targets. This effort has led to the development of Multiscale Muon Imaging (MSMI), which aims to advance from basic research to applied research and ultimately to societal implementation. The Coordination Team organized meetings to monitor the progress of the planned research projects, strengthen collaborations, and promote both individual project advancements and interdisciplinary research. Additionally, to widely disseminate the research activities and outcomes to society, symposium lectures at the Japan Physical Society and media-oriented salons were organized. Seminars were also held with invited external researchers to discuss challenges and prospects for the further development of MSMI, thereby summarizing the activities of the research area.

研究分野：素粒子宇宙物理学

キーワード：ミュオン 素粒子 河川堤防 ピラミッド 火山 加速器 宇宙線

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

素粒子の1種であるミュオンは、エネルギーに応じて物質を透過する力が異なる。宇宙線中に含まれるミュオン(宇宙線ミュオン)は、1平方メートルあたり毎分1万個が地表に降り注ぎ、最大数 km の岩盤を透過する。その透過確率は通過する物質の密度と距離の積に依存するため、宇宙線ミュオンを用いて物体の内部構造を可視化できる。一方、加速器による粒子衝突実験により発生させる素粒子反応は、終状態で生成されるミュオンを用いて精査でき、ヒッグス粒子の精密測定など素粒子物理学の重要課題に挑むことができる。また、人工的にミュオンを生成・制御する加速器ミュオンビームが実現すれば、宇宙線ミュオンに変わる将来のミュオンイメージングのための新たなミュオン源とすることも可能となる。ミュオンイメージングは、上記の例に限定されず、様々な学問分野で切望されてきた現象などの可視化を可能とするため、基礎研究の発展から社会的な課題の解決にわたり幅広い貢献が期待されている。そこで、本研究領域では、従来は独自に発展してきた異分野に位置付けられる理学や工学の学問分野の融合により、アトメートルからキロメートルに及ぶ幅広いスケールの対象とそれらを可視化する「マルチスケールミュオンイメージング (MSMI)」の創発を目指した。

### 2. 研究の目的

本研究領域の目的は、素粒子物理学、土木工学、加速器科学の専門家が集結し、ミュオン検出技術およびミュオン加速技術を高度化するとともに、可視化対象を拡張することで、基礎研究から応用研究、将来の社会実装までを目指したマルチスケールミュオンイメージング (MSMI) を創発することである。総括班では、本領域を構成する計画研究の進展状況を把握し、各研究の方向付けや計画研究間の技術的な連携および融合による新しい研究の開拓を支援する。また、外部評価委員会を設置し、評価や助言を受ける体制を整える。研究活動や成果を研究コミュニティや一般社会に発信するために、学会でのシンポジウム講演やホームページを介した広報、アウトリーチ活動を進める。これらと並行して領域会議を開催し、領域外の研究者も交えたセミナー等で議論を深め、MSMI の発展の礎を築く。

### 3. 研究の方法

#### 1年目

各計画研究の進展を把握して支援する体制を整える。

外部評価委員会を設置して、年に1回開催する予定の領域会議において評価や助言を受ける体制を整える。

研究活動や得られた成果を社会に発信するためのホームページや SNS を用意して広報やアウトリーチ活動を行う体制を構築する。

#### 2年目

領域会議を開催し、各計画班での研究の進展の共有および融合課題の検討を進める。また、アドバイザーの参加により評価や助言を受ける。

研究活動や得られた成果を社会に発信するためのホームページの更新や SNS を通じた広報およびアウトリーチ活動を進める。

可視化対象の多彩化のために、領域外研究者との意見交換を目的としたセミナーを開催する。

#### 3年目

領域会議を開催し、各計画班での研究の進展の共有および融合課題の検討を進める。また、アドバイザーの参加により評価や助言を受ける。

研究活動や得られた成果を社会に発信するためのホームページの更新や SNS を通じた広報およびアウトリーチ活動を進める。

物理学会におけるシンポジウム講演や記者を対象とした研究紹介を企画・開催し、研究コミュニティや一般社会への情報発信を進める。

本領域で得られた成果や融合研究への発展についてまとめ、本領域の一層の発展を目指す。

## 4. 研究成果

### 1年目

総括班では、毎月1回の総括班会議をオンラインで開催し、本領域を構成する計画研究の進展状況を把握しながら、各研究の方向付けや計画研究間の技術的な連携および融合による新しい研究の開拓の支援を開始した。具体的には、計画研究 A01 (堀井泰之、名古屋大学、ガス検出器を用いたリアルタイムミュオン検出による素粒子現象の探求)、計画研究 A02 (森島邦博、名古屋大学、原子核乾板によるピラミッド・火山の三次元ミュオンイメージングと対象の多彩化)、計画研究 A03 (福元豊、長岡技術科学大学、河川堤防のミュオンイメージング: 非破壊探査方法の革新と水 土の力学の深化)、計画研究 A04 (大谷将士、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、ミュオン加速で切り拓くミュオンイメージングの新時代)の進展の把握と連携を支援した。外部評価委員会を設置して評価や助言を受ける体制を整えた。研究活動や成果を社会に発信するための領域ホームページ (<https://msmi.jp/>) を構築し、次年度の領域会議の準備体制を整えた。

### 2年目

計画研究の進展状況を把握しながら、技術的な連携および融合による新しい研究の開拓を支援した。研究活動や成果を社会に発信するためのホームページの更新を進めた。

名古屋大学で2022年9月に領域会議を開催し、研究計画の進展を領域メンバーおよび評価や助言を受ける外部評価委員会メンバーで共有し、外部評価委員による評価を受けた。

東京大学で2023年1月に第二回領域会議を開催し、計測対象およびスケールの拡張の可能性について関連する研究者および研究グループからの4件の招待講演を設定し、本領域との情報交換および新たな連携研究によるMSMIの発展の可能性について議論した。

### 3年目

計画研究の進展状況を把握しながら、技術的な連携および融合による新しい研究の開拓を支援した。特に、河川堤防のイメージングを対象に、計画研究 A02 と A03 間での技術面の連携に加えて、A01 で開発しているガス検出器の技術および A04 で実現を目指す加速器の将来の適用可能性について支援した。研究活動や成果を社会に発信するためのホームページの更新を進めた。

2023年5月にJ-PARCセンターで開催した記者サロンでは、ミュオンを用いたイメージングとその応用について講演を行った。報道関係者約15名が参加し、活発な議論が交わされた。

2023年9月に開催された日本物理学会第78回年次大会で、領域の活動を紹介するシンポジウム「素粒子現象から巨大構造物までを透視するマルチスケールミュオンイメージングの創成と発展」を企画・実施し、約70名の研究者が参加した。

2023年10月に開催されたJAAS年次大会2023「会いに行ける科学者フェス」において、一般の来場者との交流を通して本領域の研究を紹介した。

2023年11月に新潟で開催された「土木科学シンポジウム」において、本領域の研究を紹介し、堤防の新しい科学的安全管理に関する活発な意見交換を行った。

2023年11月に新潟で第三回領域会議を開催し、研究計画の進展を領域メンバーおよび外部評価委員会メンバーで共有した。さらに、ミュオン計測技術と計測対象、スケールの拡張によるMSMIの今後の更なる発展と学術変革領域研究(A)の申請に向けた新しい研究体制の議論を深め、本研究領域としての活動を総括した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 堀井泰之
2. 発表標題 ミュオンで探る物質と宇宙の起源
3. 学会等名 日本物理学会 第78回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森島邦博
2. 発表標題 原子核乾板による宇宙線ミュオンイメージングと対象の多彩化
3. 学会等名 日本物理学会 第78回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大谷将士
2. 発表標題 ミュオン加速技術の実証と進化
3. 学会等名 日本物理学会 第78回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

素粒子現象から巨大構造物までを透視するマルチスケールミュオンイメージングの創成 ホームページ  
<https://msmi.jp/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	堀井 泰之  (Horii Yasuyuki)  (80616839)	名古屋大学・素粒子宇宙起源研究所・准教授    (13901)	
研究分担者	福元 豊  (Fukumoto Yutaka)  (60757350)	長岡技術科学大学・工学研究科・准教授    (13102)	
研究分担者	大谷 将士  (Otani Masashi)  (90636416)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器研究施設・助教    (82118)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------