

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03470

研究課題名（和文）原子核乾板による宇宙線ミュオントモグラフィ技術の開発

研究課題名（英文）Development of cosmic-ray muon tomography with nuclear emulsion

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） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：物質に対する高い透過力を持つ宇宙線ミュオンを用いることでピラミッドなどの巨大な人工構造物や火山などの自然物の内部をX線レントゲン撮影のように可視化できる。本研究では、エジプトのクフ王のピラミッドの内部に発見した空間の多点同時観測および解析などを通して、従来の二次元的な可視化ではなく三次元的に解析することで空間の立体的な位置や形状を推定する手法「宇宙線ミュオントモグラフィ」の基盤技術を開発した。本開発の結果、クフ王のピラミッドの北面にあるシェブロンと呼ばれる切妻構造背後に発見した通路状の空間の位置と形状を10cm以下の精度で推定することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した技術は、宇宙線ミュオンを用いた大型構造物や自然物のイメージングにおいて普遍的な技術である。特に、空洞の位置や形状等の評価に適しており、クフ王のピラミッドに限らず、道路陥没事故の原因となる地下空洞探査などへの適用も可能であることから社会の安全や安心に寄与する防災技術へと波及するものである。クフ王のピラミッド内部に発見した空間の位置と形状の高精度な推定は、空間の考古学的な解釈や将来の発掘調査にも大きな影響を与えるものであり、本技術を核とした新しい文理融合研究である宇宙線イメージング考古学の創発においても大きな意義を持つ。

研究成果の概要（英文）：By using cosmic ray muons, which have high penetrating power to materials, it is possible to visualize the interior of huge artificial structures such as pyramids and natural objects such as volcanoes as seen with X-ray radiography. In this study, we developed the basic technology of "cosmic ray muon tomography," a method to estimate the three-dimensional position and shape of a void by analyzing it three-dimensionally instead of the conventional two-dimensional visualization, through simultaneous observation and analysis at multiple points using nuclear emulsion plates of the void discovered inside the Khufu Pyramid in Egypt. As a result of this development, the location and shape of a corridor-like void discovered behind a gabled structure called Chevrons on the north face of the Khufu Pyramid was successfully estimated with an accuracy of less than 10 cm.

研究分野：素粒子宇宙物理学

キーワード：宇宙線 ミュオン ピラミッド 原子核乾板 トモグラフィ イメージング 地下遺跡 神殿ピラミッド

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

宇宙線ミュオンイメージング(宇宙線ミュオンラジオグラフィやミュオグラフィとも呼ぶ)は、宇宙線中に含まれる極めて高い透過力を持つ素粒子「ミュオン」を用いる事で X 線レントゲン撮影と同様の原理でピラミッドなどの厚い人工構造物や火山などの自然物の内部を非破壊で可視化する技術である。我々は、写真フィルム型の三次元飛跡検出器「原子核乾板」による宇宙線ミュオンラジオグラフィ技術の開発を推進してきた。これまでに、2011年3月11日に起きた東日本大震災における福島第一原子力発電所の2号機の炉心溶融の可視化やエジプトのピラミッド内部の未知の空間を探索する目的で立ち上げた国際共同研究 ScanPyramids において2016年および2017年にクフ王のピラミッドの内部に2つの空間を発見するなどの成果を挙げた。炉心溶融の可視化では、2号機の炉心が70%以上の溶けて落ちていることを遠隔非破壊で確認し、後に、原子炉内部の調査により確かに炉心溶融が起きていたことが直接確認された。クフ王のピラミッドの探索では、2016年にピラミッド北側斜面のシェブロンと呼ばれる切妻構造の背後に通路状の空間を発見し、2017年に大回廊の上部に巨大空間を発見した。これらの空間は、2016年の調査では下降通路内部の1箇所からの測定であり、2017年の調査では女王の間の2箇所からの測定であることからそれらの三次元的な形状は明らかではない。このような状況の中、クフ王のピラミッドの宇宙線ミュオンイメージングにおける課題は、発見した空間の三次元的な位置と形状を推定することである。空間の位置と形状を正確に推定できれば、それらの空間の考古学的な解釈に繋がる。さらに、将来的には、それらの空間を直接確認するために必要な最小限の発掘調査の工程の立案に大きく寄与する。これらはクフ王のピラミッドに発見した空間に限られる課題であるが、宇宙線ミュオンイメージングの対象は多岐にわたり、例えば、橋梁の床版の内部構造の可視化や陥没事故の原因となる地下空洞の可視化などでも三次元的な位置や形状の特定は極めて重要である。このように、従来の二次元的な宇宙線ミュオンイメージングから三次元的な解析を行う「宇宙線ミュオントモグラフィ」の技術は、宇宙線ミュオンイメージングの基盤技術となるものである。

2. 研究の目的

観測対象内部の三次元可視化を可能とする宇宙線ミュオントモグラフィの基盤技術の開発を行う。具体的には、複数の宇宙線検出器を観測対象物の周囲または内部の複数地点に設置して同時に宇宙線ミュオンの観測を行い、得られるデータを複合的に解析する技術の開発とその実証を進める。宇宙線ミュオンを検出する装置(検出器)として用いる原子核乾板技術を高度化し、原子核乾板の設置方法を確立し、三次元解析手法の開発を進める。本研究で開発する原子核乾板による宇宙線ミュオントモグラフィ技術をエジプトのクフ王のピラミッドの内部に発見した空間の三次元形状推定のための多地点同時観測、マヤ文明の遺跡であるホンジュラスのコパン遺跡内部の王墓探索、イタリア・ナポリ市街地の地下に眠るギリシャ時代の埋葬室探索、さらには、橋梁内部の三次元空洞把握に用いることで、実際の観測データを用いた技術開発およびその実証を進め、さらには、各対象における学理に迫る文理融合研究へと発展させる。特に、エジプトのクフ王のピラミッドの北側斜面のシェブロンと呼ばれる切妻構造の背後に発見した通路状の空間は、ピラミッド表面付近に位置する可能性が高く、直接内部を観察するための調査を実施できる可能性が高い。この調査を実現するために必要な10センチ以下の精度での空間の三次元位置と形状の推定を目指す。

3. 研究の方法

宇宙線ミュオントモグラフィは、多地点からの同時観測により得られる観測データである二次元ミュオンイメージを複合的に解析することで三次元的な解析を行い、結果を導出する。本手法では、1つの観測対象に対して、その周辺の複数の位置に検出器を設置することが必要不可欠である。我々は、サブミクロンの高い位置分解能およびサブミリラジアンの高い角度分解能を有し、電源不要、軽量、コンパクトであるという優れた性能を持つ写真フィルムの一種である原子核乾板を検出器として用いる。原子核乾板は、これらの性能のみならず、高い生産性があることから複数の原子核乾板を製造して同時に用いることで、可視化対象に対する複数地点からの観測を容易に実現できる。さらに、狭い場所などにも設置できることから設置場所を選ばず可能な範囲で可視化対象の周囲を取り囲むことができる。

このような宇宙線ミュオントモグラフィにおいて優れた性能を有する原子核乾板の基本性能を向上させるために、原子核乾板としては従来にない新しいタイプの検出器の開発を進める。具体的には、500ミクロン以下の透明なガラス支持体の両面に原子核乳剤を塗布した両面ガラス塗布原子核乾板を開発する。開発課題は、ガラス材料の選別および原子核乳剤とガラス表面に十分な接着性を持たせることである。さらに、ガラスは大面積化には不向きであるため、新しいプラスチック材料であるCOP(シクロオリフェンポリマー)を用いた新しい原子核乾板の開発も進

める。開発課題は、原子核乳剤と COP 表面に十分な接着性を持たせることである。これらの原子核乾板の性能を実証するために、原子核乾板を複数枚積層して作製する ECC (Emulsion Cloud Chamber) 検出器を用いて宇宙線を測定し、原子核乾板の平面的な歪み、位置精度および角度精度などの基本性能を評価する。COP 型原子核乾板については、クフ王のピラミッドの内部での宇宙線測定に用いることで、実際の観測における測定精度および使用環境に対する耐性を評価する。

原子核乾板を用いた複数地点からの同時観測手法の開発については、クフ王のピラミッド、イタリア・ナポリ市街地の地下遺跡、ホンジュラスのコパン遺跡にあるマヤ文明の神殿ピラミッド、名古屋大学に設置されている実物大の橋梁であるニューブリッジを対象に進める。それぞれの観測現場において原子核乾板を一定期間、複数地点に設置することで原子核乾板に到達する宇宙線を観測し、現像後に自動飛跡読み取り装置 (HTS) を用いて解析を行う。

宇宙線ミュオントモグラフィの解析手法の開発は、2016 年にエジプトのクフ王のピラミッドの北側斜面にあるシェブロンと呼ばれる切妻構造の背後に発見した通路状の空間を対象に行う。クフ王のピラミッドの切妻構造の直下には、下降通路の入り口がある。下降通路の内部に原子核乾板を設置することで、発見した空間を真下から観測することができるため、複数の原子核乾板を下降通路の内部の複数地点に設置する。この測定から、高い解像度で通路状の空間の北側の開始位置および南側の終了位置、断面形状などの空間の位置および形状に関する情報を得ることができる。また、発見した空間を斜め下の位置から計測するために現在は観光客の通路として使われているアルマムーンの通路の側面の小さな洞穴の複数地点に原子核乾板を設置することで西側からの観測を行う。この測定から、通路状の空間の傾き、北側の開始位置および南側の終了位置の情報を得ることができる。これらのデータを複合的に分析することで、空間の形状を高精度に推定する方法の開発を行う。

4. 研究成果

高い位置精度と角度精度を達成するガラス支持体を用いた両面塗布乾板の開発および新しいプラスチック基材として COP (シクロオリフェンポリマー) を用いた原子核乾板の開発を行った。まず、ガラスおよび COP の表面と原子核乳剤との接着のために、コロナ放電のパラメータの探求を行い、原子核乾板の調湿、現像、乾燥の全工程において十分な接着が得られる条件を見出した。従来のベース材料である PS (ポリスチレン) を用いた原子核乾板を評価の比較対象として用いて、各原子核乾板の平面的な歪み、位置精度および角度精度の性能の評価を行った。本評価は、原子核乾板を複数枚面的に積層した ECC に宇宙線を照射することで行った。各原子核乾板のベースの厚さは、ガラスおよび COP は 500 ミクロン、PS は 170 ミクロンである。これらの評価から異なるベースを用いることで、原子核乾板の絶対角度のベース材料の屈折率依存性、ベースの厚さ依存性および読み取り装置の光学系に由来する屈折率の影響を明らかにした。さらに、ガラスおよび COP の 500 ミクロンのベースを用いることで、従来の PS の 170 ミクロンのベースを用いた原子核乾板よりも高い角度分解能を達成した。また、ガラスを用いた原子核乾板では、二次元平面の歪みを抑えられることを確認し、従来よりも相対的に高い位置精度の原子核乾板の開発に成功した。これらの開発は、原子核乾板による多地点同時観測における角度分解能の向上につながる。また、ガラス両面塗布乾板による位置精度の向上は、運動量の正確な測定に繋がることから宇宙線ミュオンイメージングの画質改善にも寄与する。本研究により開発した COP 原子核乾板をクフ王のピラミッドの内部空間の観測に用いることで実際の観測環境下での耐性を確認し、従来の PS 原子核乾板よりも高い角度精度での宇宙線ミュオンイメージの取得に成功した。特に、下降通路およびアルマムーンの通路から同時に観測したシェブロン背後の通路状の空間の解析においては、10 センチ以下の精度での位置決定を可能とした。これらの要素技術開発の成果を中心とした新しい原子核乾板の性能と改善についてまとめた論文を発表した (NIMA (2020, 2021, 2022))。

高精度な空間の三次元的な位置および形状の推定に必要なピラミッドの三次元構造モデルを作成する手法を開発した。具体的には、クフ王のピラミッドの内外をレーザーでスキャンすることで三次元構造モデルを構築し、ピラミッドの内部に設置した複数の原子核乾板検出器を同時に撮影することで、ピラミッドの三次元構造モデルの中に原子核乾板検出器を組み込む。その三次元構造モデルの中での原子核乾板の位置を初期値として、観測により得られた宇宙線ミュオンイメージのデータと三次元構造モデルから推定したシミュレーションイメージを比較することで、ピラミッドの三次元構造モデルの内部での原子核乾板の位置を数センチの精度で決定する手法を開発した。

これらの開発を通して、クフ王のピラミッドやホンジュラスのコパン遺跡、イタリア・ナポリの地下遺跡、名古屋大学に設置されている実物大の橋梁の内部空間などの形状を三次元的に推定するためのデータ取得を実施し、問題点を把握、改善することで、原子核乾板の製造から観測現場での設置、回収、現像、自動飛跡読み取り装置 (HTS) による解析に至るまでの一連の原子核乾板による観測技術の基盤を構築した。

クフ王のピラミッドの下降通路およびアルマムーンの通路に設置した PS (ポリスチレン) および COP (シクロオリフェンポリマー) を用いた原子核乾板の解析を行い、宇宙線ミュオンイメージを取得した。対応する宇宙線ミュオンイメージのシミュレーションを行い、観測イメー

ジとの比較による解析手法を開発した。まず、ピラミッド北面のシェブロン背後に発見した通路状の空間の形状を直方体と仮定して、ピラミッドの三次元構造モデルに組み込んだ。空間の三次元的な位置と形状を定義するパラメータは、それぞれ(X,Y,Z)および(H,W,L)の計6パラメータである。これらのパラメータを変更して複数のシミュレーションを行った。各パラメータから得られたシミュレーションイメージと観測により得られた宇宙線ミュオンイメージを比較して、データとシミュレーションが最も良く一致するパラメータを求め、各パラメータを10センチ以下の精度で決定した。パラメータの導出においては、宇宙線フラックスモデルの選定、ピラミッドの密度の評価などを行うことで精度の向上を行った。これらの手法および結果をまとめた論文を発表した(Nature Communications 14,1144 (2023))。

イタリアのナポリの市街地の地下に埋もれたギリシャ時代の地下埋葬室を探索した。具体的には、地下18メートルの空間の複数地点に原子核乾板を設置し、地下10メートルに位置するギリシャ時代の遺跡の層に未知の空洞が存在しているかどうかを探索した。地下18メートルの空間の2地点に設置した原子核乾板から得られた宇宙線ミュオンイメージとシミュレーションイメージを比較した結果、各々のイメージで未知の空洞を発見した。各原子核乾板の設置位置および空洞を検知した方向の情報から三角測量により発見した空間の三次元位置を推定した結果、およそ地下10メートルに位置することが判明した。この空間は、その周囲にすでに見つかっている墓室との位置関係から、ギリシャ時代の墓室であると考えられる。これらの解析および結果をまとめた論文を投稿した(Scientific Reports)。ホンジュラスのコパン遺跡の11号神殿において神殿ピラミッド内部の未知の空洞を探索した。暫定結果ではあるが、2メートル以上の王墓級の空洞の発見には至っていない。原子核乾板を用いたイタリア・ナポリの地下遺跡およびホンジュラスのコパン遺跡、さらにエジプトのクフ王のピラミッドの重量軽減の間の観測に共通する課題として、石材からの放射線によるノイズの増加が問題となった。この問題に対して、原子核乾板の乳剤層(飛跡検出部)のグリセリン膨潤の条件および読み取り装置(HTS)の運転パラメータの最適化による放射線耐性の向上を行い、解析性能の向上に目途をつけた。

これらの多岐にわたる開発と実証を通して、原子核乾板による多地点同時観測により得られる複数の宇宙線ミュオンイメージから三次元解析を行う宇宙線ミュオントモグラフィの技術基盤を確立した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Akira Nishio, Kunihiro Morishima, Ken-ichi Kuwabara, Tetsuo Yoshida, Takeshi Funakubo, Nobuko Kitagawa, Mitsuki Kuno, Yuta Manabe, Mitsuhiro Nakamura	4. 巻 966
2. 論文標題 Nuclear emulsion with excellent long-term stability developed for cosmic-ray imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 163850-163850
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.nima.2020.163850	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tadaaki Tani, Akira Nishio, Takayuki Uchida, Kunihiro Morishima	4. 巻 975
2. 論文標題 Latent image stabilization in nuclear emulsions for cosmic-ray imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 164163-164163
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.nima.2020.164163	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計44件（うち招待講演 8件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 森島 邦博, 西尾 晃, 久野 光慧, 眞部 祐太, 北川 暢子, 干潟 紘太郎, 榊原 亜美
2. 発表標題 原子核乾板による宇宙線イメージング技術の開発の現状
3. 学会等名 2019日本写真学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷 忠昭, 西尾 晃, 内田 孝幸, 森島 邦博
2. 発表標題 光電子分光による原子核乳剤中の添加剤の状態分析と潜像退行抑制効果の考察
3. 学会等名 2019日本写真学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷忠昭、西尾晃、内田孝幸、森島邦博
2. 発表標題 原子核乾板の潜像退行 光電子分光による添加剤の効果の解析
3. 学会等名 画像関連学会連合会第6回秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西尾晃、森島邦博、桑原謙一、吉田哲夫、北川暢子、久野光慧、眞部祐太、干潟紘太郎、榊原亜美、中村光廣
2. 発表標題 長期安定性に優れた次世代原子核乾板検出器
3. 学会等名 画像関連学会連合会第6回秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久野光慧、森島邦博A、西尾晃、眞部祐太、干潟紘太郎、榊原亜美、北川暢子
2. 発表標題 原子核乾板を用いたクフ王のピラミッド内部における宇宙線観測(8)
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森島邦博(名古屋大学)、中村誠一(金沢大学)、市川彰、北川暢子、久野光慧、眞部祐太、干潟紘太郎、榊原亜美、西尾晃(名古屋大学)
2. 発表標題 宇宙線によるマヤの神殿ピラミッドの非破壊イメージング-ホンジュラスのコパン遺跡を対象とした調査研究-
3. 学会等名 第3回国際マヤシンポジウム「異分野融合で見える最先端のマヤ考古学」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mitsuaki Kuno, Kunihiro Morishima, Nobuko Kitagawa, Akira Nishio, Yuta Manabe, Kotaro Hikata and Ami Sakakibara
2. 発表標題 CosmicRay Imaging with Nuclear Emulsion
3. 学会等名 ICMaSS2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Nishio, Kunihiro Morishima, Ken-ichi Kuwabara, Tetsuo Yoshida, Nobuko Kitagawa, Mitsuaki Kuno, Yuta Manabe, Kotaro Higata, Ami Sakakibara and Mitsuhiro Nakamura
2. 発表標題 Next Generation Nuclear Emulsion Detector with excellent long-term stability
3. 学会等名 ICMaSS2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuta Manabe, Kunihiro Morishima, Akira Nishio, Mitsuaki Kuno, Kotaro Higata, Ami Sakakibara and Nobuko Kitagawa
2. 発表標題 Development of High Position Accuracy Nuclear Emulsion
3. 学会等名 ICMaSS2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kunihiro Morishima
2. 発表標題 Nagoya Muography Project
3. 学会等名 MUOGRAPHERS2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 榊原亜美, 森島邦博, 北川暢子, 西尾晃, 久野光慧, 眞部祐太
2. 発表標題 環境放射線耐性の強化に向けた原子核乾板の性能評価 (2)
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 谷 忠昭、西尾 晃、内田 孝幸、森島 邦博
2. 発表標題 原子核乾板中の銀ナノ粒子の安定化による宇宙線Imagingの向上
3. 学会等名 第68回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森島邦博
2. 発表標題 宇宙線ピラミッドイメージング
3. 学会等名 第39回日本医用画像工学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森島邦博
2. 発表標題 宇宙線イメージングによるクフ王ピラミッド内部の新空間の発見と今後の展望
3. 学会等名 日本オリエント学会第 62 回大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村誠一、森島邦博
2. 発表標題 宇宙線ミュオンを使った非破壊的考古学調査法の開拓
3. 学会等名 古代アメリカ学会 第 25 回研究大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森島 邦博、北川 暢子、西尾 晃、久野 光慧、眞部 祐太、榊原 亜美
2. 発表標題 原子核乾板を用いた宇宙線ラジオグラフィシステムの構築
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北川暢子, 森島邦博, 西尾晃, 久野光慧, 眞部祐太, 榊原亜美
2. 発表標題 エマルションチェンバーを用いた宇宙線の地上観測(4)
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森島邦博, 北川暢子, 西尾晃, 久野光慧, 眞部祐太, 榊原亜美
2. 発表標題 原子核乾板を用いた宇宙線ラジオグラフィシステムの構築
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久野光慧, 森島邦博, 西尾晃, 眞部祐太, 榊原亜美, 北川暢子
2. 発表標題 原子核乾板を用いたクフ王のピラミッド内部における宇宙線観測(9)
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 眞部祐太, 森島邦博, 西尾晃, 久野光慧, 榊原亜美, 北川暢子
2. 発表標題 原子核乾板を用いたクフ王のピラミッド内部における宇宙線観測(10)
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 谷 忠昭, 西尾 晃, 内田 孝幸, 森島 邦博
2. 発表標題 宇宙線イメージング用原子核乳剤における潜像の安定化
3. 学会等名 2020年度 日本写真学会オンライン秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 榊原 亜美, 森島 邦博, 北川 暢子, 西尾 晃, 久野 光慧, 眞部 祐太
2. 発表標題 環境放射線耐性の強化に向けた原子核乾板の性能評価
3. 学会等名 2020年度 日本写真学会オンライン秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西尾 晃, 桑原 謙一, 吉田 哲夫, 森島 邦博
2. 発表標題 ハロゲン化銀結晶サイズの異なる原子核乾板の最小電離粒子感度
3. 学会等名 2020年度 日本写真学会オンライン秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 眞部祐太, 森島邦博, 北川暢子, 西尾晃, 久野光慧
2. 発表標題 ガラス支持体を用いた位置精度向上型原子核乾板の開発と実用化
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西尾晃, 森島邦博, 久野光慧, 眞部祐太, 北川暢子, 桑原謙一, 吉田哲夫
2. 発表標題 長期間特性に優れた新型原子核乾板の開発とその実用
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北川暢子, 森島邦博, 西尾晃, 久野光慧, 眞部祐太, 干潟紘太郎
2. 発表標題 エマルションチェンバーを用いた宇宙線の地上観測(3)
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 眞部祐太, 森島邦博, 西尾晃, 久野光慧, 北川暢子, 干潟紘太郎
2. 発表標題 両面塗布ガラス乾板を用いたスペクトロメーターによる荷電粒子の運動量測定
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森島邦博, 西尾晃, 久野光慧, 眞部祐太, 北川暢子
2. 発表標題 原子核乾板のよる宇宙線ミュオンラジオグラフィの現状・課題・展望
3. 学会等名 日本写真学会 2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西尾晃, 森島邦博, 久野光慧, 眞部祐太, 北川暢子, 桑原謙一, 吉田哲夫
2. 発表標題 刃状転移を導入した沃臭化銀結晶を有する原子核乾板の検討
3. 学会等名 日本写真学会 2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 眞部祐太, 森島邦博, 北川暢子, 西尾晃, 久野光慧
2. 発表標題 原子核乾板検出器性能向上のための支持体探索
3. 学会等名 日本写真学会 2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西尾晃, 森島邦博, 桑原謙一, 吉田哲夫, 久野光慧, 眞部祐太, 北川暢子
2. 発表標題 長期間特性に優れた新型原子核乾板の開発とその実用化
3. 学会等名 画像関連学会連合会 第5回秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 干潟紘太郎, 森島邦博, 西尾晃
2. 発表標題 原子核乾板を用いた宇宙線イメージングのためのミュオンフラックス測定
3. 学会等名 画像関連学会連合会 第5回秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森島邦博, 中村光廣, 北川暢子, 西尾晃, 久野光慧, 眞部祐太, 辻建二, 大山正孝
2. 発表標題 原子核乾板を用いた透過型ミュオンラジオグラフィによる浜岡原子力発電所2号機格納容器下部の観測(その7)
3. 学会等名 日本原子力学会 2018年秋の大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森島邦博, 中村光廣, 北川暢子, 西尾晃, 久野光慧, 眞部祐太, 辻建二, 大山正孝
2. 発表標題 原子核乾板を用いた透過型ミュオンラジオグラフィによる浜岡原子力発電所2号機格納容器下部の観測(その8)
3. 学会等名 日本原子力学会 2019年春の年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 眞部祐太, 森島邦博, 北川暢子, 西尾晃, 久野光慧
2. 発表標題 ガラス支持体を用いた位置精度向上型原子核乾板の開発
3. 学会等名 第33回固体飛跡検出器研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K.Morishima
2. 発表標題 SCAN PYRAMID Muography Project
3. 学会等名 Muographers2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森島邦博
2. 発表標題 ミュオン透過法による透視技術、ピラミッドなど 考古学遺跡調査への適用
3. 学会等名 研究会「ミュオンによる非破壊分析の可能性」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K.Morishima
2. 発表標題 Muon Radiography in the Egyptian Pyramids
3. 学会等名 The Workshop on Radiation Monitoring for the International Space Station (WRMISS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森島邦博
2. 発表標題 宇宙線観測によるクフ王ピラミッド内部の巨大空間の発見
3. 学会等名 基研研究会「素粒子物理学の進展2018」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K.Morishima
2. 発表標題 Observation of Cosmic-Ray Muons in Egyptian Pyramids with Nuclear Emulsion and Discovery of New Void in Khufu's Pyramid
3. 学会等名 ISVHECRI 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森島邦博
2. 発表標題 宇宙線イメージングによるクフ王のピラミッド内部における新空間の発見と広がる応用
3. 学会等名 日本熱物性シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森島邦博
2. 発表標題 宇宙線ミュオンによる大型建造物の非破壊イメージング
3. 学会等名 第17回放射線プロセスシンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森島邦博, 川本悠紀子, 北川暢子, 西尾晃, 久野光慧, 眞部祐太
2. 発表標題 ソンマ・ヴェスヴィア ナ遺跡における宇宙線イメージング
3. 学会等名 研究発表会 「火山噴火罹災地の文化・自然環境復元 2017/2018」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K.Morishima
2. 発表標題 Muon measurement by on-ground emulsion detectors
3. 学会等名 Workshop for Atmospheric Neutrino Production in the MeV to PeV range (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

宇宙線ミュオンラジオグラフィ http://flab.phys.nagoya-u.ac.jp/2011/appli/muon/

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

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			
エジプト	カイロ大学	考古省		
フランス	HIP Institute	CEA		
イタリア	ナポリ大学			
ホンジュラス	ホンジュラス国立人類学歴史研究所			