

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H01915

研究課題名(和文) 銀河中心ガンマ線の最高解像度観測を実現する大口径エマルジョン望遠鏡の開発

研究課題名(英文) Development of large-aperture emulsion gamma-ray telescopes for high-angular resolution observation of the galactic center

研究代表者

六條 宏紀 (Rokujo, Hiroki)

名古屋大学・未来材料・システム研究所・特任助教

研究者番号：00725814

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では次期気球実験(コロナによる2年延期、2023年春実施予定)に向け、原子核乾板からなる世界最高解像度のガンマ線望遠鏡の口径面積拡張を実現する以下の開発を行った。1) 量産型原子核乳剤製造装置の開発と名大への新設・導入。2) ロールtoロール原子核乾板塗布装置の開発と名大への新設・導入。3) 乗鞍山頂での大気ガンマ線観測リハーサルを通じた性能実証。4) 電子対生成事象の精密測定手法開発。5) 新ファシリティ連続安定稼働による原子核乾板の量産と大口径コンバーターの作成。6) 全長5mと圧容器ゴンドラの開発。7) 溶解物理現象手法の開発と実験への導入。8) 豪州気球実験の最終準備完了。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2008年より観測を続けるフェルミ線宇宙望遠鏡が提供する高統計観測データは線天文学を大きく前進させた。一方で銀河中心で特異な超過が報告されるなど未解決課題も浮かび上がっている。今後は観測データの質的改善が求められる。本研究開発により実現する原子核乾板を用いた線望遠鏡によってフェルミ望遠鏡の角度分解能を約1桁更新する線天体精密観測を可能にする。2023年に実施する気球実験により銀河中心領域1GeV帯域の世界最高解像度でのイメージングデータ提示が期待される。

研究成果の概要(英文)：For the next balloon experiment (postponed two years due to COVID-19, to be conducted in spring 2023), the following R&Ds were conducted to realize the aperture area expansion of the world's highest angular-resolution gamma-ray telescope consisting of nuclear emulsion. 1) Construction and installation of a new large-scale nuclear emulsion gel production system at Nagoya University. 2) New construction and installation of roll-to-roll nuclear emulsion film coating system at Nagoya University. 3) Demonstration of the performance of the new nuclear emulsion through rehearsal of atmospheric gamma-ray observation at Mt. Norikura. 4) Mass production of nuclear emulsion and assembling large-aperture converters through continuous and stable operation of the new facilities. 5) Development of 5-m-long balloon-style pressure vessel gondolas. 6) Development and introduction of solution physical development method. 7) Completion of final preparations for Australian balloon experiment (GRAINE 2023).

研究分野：宇宙線物理学

キーワード：ガンマ線天文学 宇宙線 暗黒物質 高エネルギー天文学 イメージング 気球実験 原子核乾板 飛跡検出器

1. 研究開始当初の背景

宇宙 γ 線の観測は、ブラックホール、パルサー、超新星残骸といった天体(宇宙に存在する天然の巨大粒子加速器)で起こる高エネルギー現象を探る有効な手段である。2008年以降観測を続けるフェルミ望遠鏡は5000を超える γ 線天体の検出、超新星残骸での宇宙線陽子加速の発見等、 γ 線天文学におけるブレイクスルーとなる様々な成果を上げている。

一方、天体観測において重要な要素である空間分解能(角度分解能)に目を向けると、 γ 線帯域は他波長と比べて圧倒的に不足している。構造が複雑な銀河面/中心や、広がった超新星残骸の理解にはより詳細なデータが必要であり、高解像観測実現は γ 線天文学の次なるステップに向けた突破すべき課題である。

フェルミ望遠鏡が蓄積した大統計データを解析した複数のグループが天の川銀河の中心で γ 線の超過があることを指摘している。銀河中心領域は多数の天体の密集域であることに加えて、拡散 γ 線(星間媒質と宇宙線が相互作用することで発生する成分。分布モデルに大きな不定性が含まれる。)が複雑な空間構造を持って分布しており、角度分解能が不足しているフェルミ望遠鏡の観測では、これらバックグラウンドの混入が避けられない。一方で、観測されたエクセスは暗黒物質対消滅の信号として解釈も可能であり、銀河中心の高エネルギー現象の理解は混沌とした状況である。より高解像度の観測を実現することで新たな展開が期待される。現在、世界の複数の研究グループが「角度分解能」を改善したフェルミの次のステップとなるミッションの提案を始めている。

研究代表者・分担者・連携研究者らは大面積エマルジョン望遠鏡による長時間気球フライトを繰り返すことで、 γ 線天体精密観測を目指す「GRAINE計画」を立ち上げ段階から推進してきた。地上での基礎技術開発を経たのち、JAXAが提供する大気球実験を国内外で3度実施し(2011年@北海道、2015/2018年@豪州)、測定器開発・観測・データ解析を徐々にスケールを拡大させてきた。2018年気球実験の解析結果として、口径面積0.4m²エマルジョン望遠鏡により高輝度 γ 線天体Velaパルサーを世界最高解像度(1°@0.1GeV帯域)での撮像に成功した。

2. 研究の目的

GRAINE実験はこれまでの性能実証からフェーズを移行し、科学観測開始に向けて気球実験・検出器拡張をさらに推進していく。次期気球実験は2023年春(コロナ禍の影響により2年延期)に予定しており、これに向け観測規模を13倍(0.38m²→2.5m²x2機)に拡張し、豪州アリスプリングス気球放球基地から約24時間のフライトを実施する。前回の2018年実験では光子統計の有利な0.1GeV帯域(角度分解能1度)でのVelaパルサー検出にとどまったが、口径面積拡大により1GeV帯域での撮像も可能になり、0.1度の角度精度でCrab, Geminga, 銀河中心について科学観測開始を目指す。特に注目度が高い銀河中心は、豪州では天頂角ほぼ0度(望遠鏡の真上)にまで南中するため、好条件で観測が行える。

3. 研究の方法

sub-GeV/GeV領域の γ 線由来の電子・陽電子対は物質中で電磁散乱を受け、得られる角度の不定性が大きくなってしまいが、原子核乾板は、低通過物質質量(~10⁻³X₀)かつサブミクロンの空間分解能を実現する、 γ 線の方向測定に最適の検出器である。エマルジョン望遠鏡は全ての要素が原子核乾板から構成されるため、軽量、コンパクト、低消費電力、さらに分解能を悪化させることなく検出器面積を拡大できる。名古屋大学で開発・稼働する原子核乾板読取装置(年間1000平米級データ処理が可能)と組み合わせることで、世界最大口径(~10m²)の気球搭載 γ 線望遠鏡を実現できる。

次期気球実験で搭載する観測装置(図1)は大型化した風船式与圧容器 gondola、3方向に設置するスターカメラ、エマルジョン望遠鏡ユニットからなる。エマルジョン望遠鏡(図2)は、口径面積1.25平米を単位とするユニット化を行い、ペイロード1機に2ユニット搭載する。最上流のコンバーター部は、アルミハニカムに固定した100枚積層の原子核乾板であり、 γ 線の電子対反応を検出し、到来方向とエネルギー測定を行う。多段シフター機構からなるタイムスタンパーは、ローラー駆動式へ変更し軽量化・長時間化・高分解化の改良を行う。

研究代表者・分担者は、主検出器コンバーター及び gondola 兼与圧容器について、これまでの研究実績をもとに開発・実験運用・データ解析を主

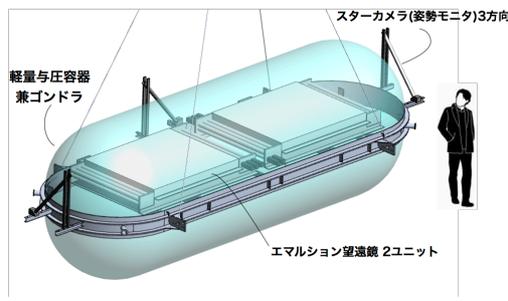


図1: GRAINE次期豪州実験ペイロード全体像

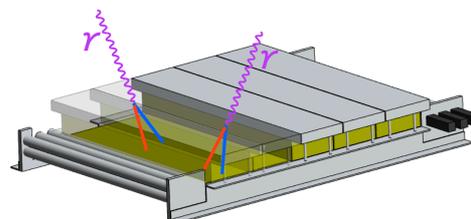


図2: 口径1.25平米エマルジョン望遠鏡1ユニット。黄色い部分は原子核乾板を表している。

4. 研究成果

(1) 量産型原子核乳剤製造装置の導入

望遠鏡の主要部であるコンバーターの開発には、均質な性能の原子核乾板を大量に製造する必要がある。原子核乾板の元となる「原子核乳剤」は主原料のゼラチン、硝酸銀、臭化ナトリウム等を化学反応させ、荷電粒子のセンサーとなるAgBr結晶(半導体)を形成し、脱塩、増感工程を経て製造する。量産型原子核乳剤製造装置(1回の運転で約8m²の乾板に相当する原子核乳剤が生産可能)を名古屋大学に新設した。図3は新装置で製造した臭化銀(AgBr)結晶の電子顕微鏡画像である。標準的な原子核乾板に使用される直径約200nmの結晶の形成に成功し、続く脱塩、増感工程についても安定して行える設備・体制を構築した。図4は、原子核乳剤を少量塗布し、約10MeVの電子ビームを照射したサンプルの光学顕微鏡画像である。最小電離粒子の飛跡がはっきりと観察でき、GRAINE実験に使用可能な粒子密度が得られていることを確認した。

原子核乳剤に幾つかの環境耐性を改善する薬品を添加し、潜像退行の軽減効果が得られることを確認した。これにより前回気球実験で使用した原子核乾板に比べて実験後の回収猶予期間を2倍に引き伸ばせることを見出した。

(2) ロールtoロール原子核乾板塗布装置の導入

これまで原子核乾板はプラスチックフィルムに手塗りで1枚1枚を製作していたが、研究代表者はロール状に巻かれたプラスチックフィルムを引き出し→オンラインで乳剤の均質様なコーティング→乾燥を連続的に行い→終端でフィルムを巻き取る「ロールtoロール自動塗布」へと置き換えに成功した(図5)。世界で唯一の原子核乾板専用の塗布装置となり、これにより現行手塗り塗布の10倍の製造速度を達成している。GRAINE実験他、加速器ニュートリノ実験、ミュオンラジオグラフィ計測等への原子核乾板の安定供給を可能にした。

(3) 新型原子核乾板での大気ガンマ線観測の実証

名古屋大学の新しいファシリティで製作した原子核乾板の性能を確かめるため、コンバーター(25x50cm²の原子核乾板50枚積層)を試作し、乗鞍山頂へと運び大気ガンマ線を観測するリハーサル実験を履行した。回収後の原子核乾板は本番のリハーサルを兼ねて岐阜大学ダブルハイパー核実験棟の大規模現像設備を用いて現像を行なった。現像後の原子核乾板を自動飛跡読取装置によって飛跡データを取得・評価し、実験要求を満たす高い検出効率(95%以上)を確認した。

前回気球実験の電子対生成反応選出処理を用いて約30000事象の電子対生成反応を検出し、反応位置、入射角度、エネルギーを決定した。乗鞍山頂での大気ガンマ線フラックスを導出し、シミュレーション(EXPACS)との良い一致を確認し(図6)、次期実験に使用する原子核乾板がガンマ線測定器として正常に機能することをリハーサル+解析を通じて実証した。

(4) ガンマ線反応の精密測定手法開発

電子対飛跡の精密測定システム開発を行なった。電子対生成反応点直下の銀粒子の座標を高解像カメラによって高精度に測定し、ガンマ線の角度を原理限界に迫る精度で決定する。2018年実験のフライト乾板を用いて原理実証を行なった論文はPTEP誌に受理され、EDITOR'S CHOICEおよび日本物理学会Hot Topics に選出・掲載された。

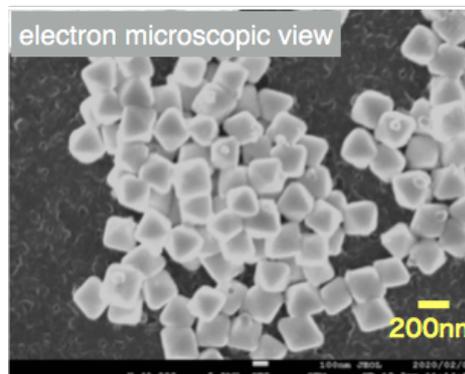


図3: 名古屋大学に新設した量産型原子核乳剤製造装置で作られた臭化銀結晶の電子顕微鏡画像。それぞれの結晶が直径約200nmの半導体位置センサーとして機能し、原理的な分解能は~50nm。

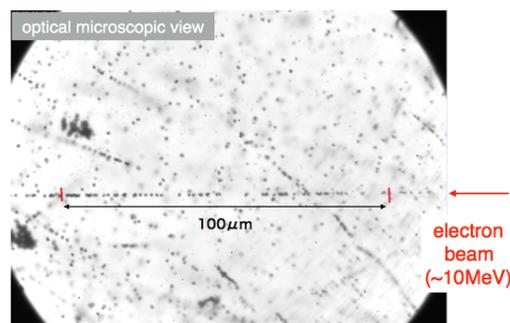


図4: 名古屋大学に新設した量産型原子核乳剤製造装置で作られた乾板の顕微鏡画像。最小電離粒子(~10MeV電子線)のクリアな飛跡像が確認できる。

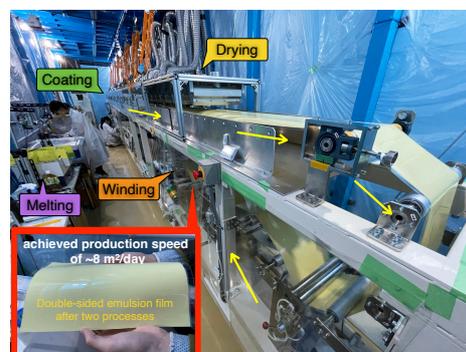


図5: 名古屋大学に新設した世界で唯一の原子核乾板専用ロールtoロール塗布装置。基材の引き出し、乳剤のコーティング、乾燥、巻き取りを連続して行う。

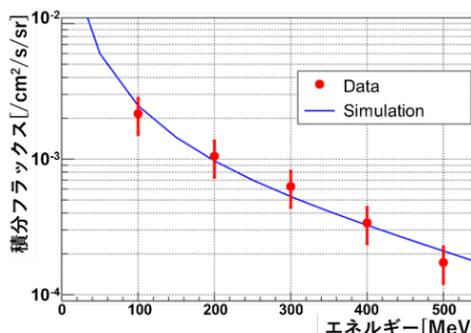


図6: 新装置群で生産した原子核乾板を用いて行った乗鞍山頂での大気ガンマ線観測テストでのフラックス測定結果。

(5) 原子核乾板の量産、コンバーター作成

新規立ち上げを行ってきた量産型原子核乳剤製造装置とロールtoロール原子核乾板塗布装置をフル稼働させ、2022年6月から11月にかけて本番用原子核乾板約750平米(原子核乳剤1670kg)の製造を完遂した(図7)。量産した乾板は全バッチをサンプリングして感度、ノイズの評価を行い、grain density 40以上、fog density ~2の実験要求を満たす安定した性能を確かめた。

2022年10月からは原子核乾板の前処理、パッキングを行い、コンバーターの作成を2023年1月末までに完了した。

(6) 風船式与圧容器ゴンドラの開発

大面積エマルジョン望遠鏡を周囲の圧力を0.1atm以上に保持し高度35kmへ運ぶ全長5m与圧容器ゴンドラの開発を行なった(図8)。アルミフレームの設計/強度検討、シェルに使用する膜材料の新規開発、トラス構造撤廃などの様々な工夫により、前回実験モデルに比べ75%削減となる大幅な軽量化を実現した。フライトモデル1機目を製作し、常温環境で要求圧力を40時間以上保持する性能を確認した。

加えて与圧容器ゴンドラの極低温環境試験を実施した。静岡県焼津市にある日本で唯一マイナス60度に急速冷却が可能な冷凍マグロコンテナを会社のご厚意でお借りした。加圧状態の与圧容器ゴンドラは-60度環境(気球実験深夜帯の環境に相当)においても常温時と遜色のない圧力保持性能を持つことを示し、24時間以上の長時間フライトが可能なる与圧容器ゴンドラを確立した。

(7) 溶解物理現象手法の開発

飛跡読取高速化のための現像銀粒子のサイズ拡大を、溶解物理現象を用いた現像手法の改良により実現し、高コントラストな現像銀の画像撮影手法を見出した。新現像レシピにより位置分解能を劣化させずに、自動飛跡読取装置の認識効率を改善を確認した。これは精密測定かつ大面積観測を目指すGRAINEに求められている開発指針であり、次期気球実験で用いる原子核乾板への適用を想定し、現像液の大規模調合に適した濃縮型現像液のレシピを開発した。2023年気球実験での本番現像では本研究で開発した新たな現像手法を導入する予定である。

(8) 豪州気球実験の最終準備完了

与圧容器ゴンドラは1号機の開発実績をもとに2号機の製作を行なった。1号機、2号機共に原子核乾板以外の全ての搭載機器の取り付け確認を名古屋大学で実施し、加圧試験、吊り下げ試験を経て、日本での実験準備を完了した。豪州アリススプリングス気球放球基地へ全ての機器を発送する4日前に、ヘリウムガスの高騰による調達不足が発生したことがJAXA大気球実験室から連絡があり、2機2フライトによる実験計画が1機1フライトとなることが決定した。1機分のエマルジョン望遠鏡システムと原子核乾板を実験場へと発送した。

2023年2月中旬から、アリススプリングス気球放球基地にて検出器の取り付け・最終動作確認を行った。3月末までに気球放球体制を整えた(図9)。

4月以降は天候条件を見計らい気球フライトを実施する。気球着地点にヘリコプター等で向かい、原子核乾板およびデータストレージ機器を健全な状態で回収する。原子核乾板は迅速に日本に冷蔵輸送で持ち帰り、帰国後に現像し、データ解析を開始する。

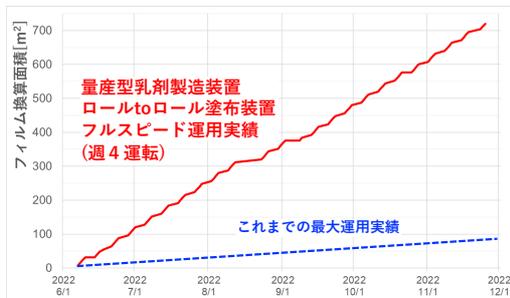


図7:新装置群を連続稼働させた原子核乾板製造実績。従来装置と比べて約8倍の生産速度を達成。



図8: 風船式与圧容器ゴンドラ。望遠鏡を搭載するアルミフレームと圧力を封じ込めるシェル(軽膜材料により製作)等から構成される。球形状(2015年実験)、短シリンダー形状(2018年実験)の開発実績を経て、全長5mシリンダー形状モデルを開発した。



図9:豪州・アリススプリングス気球実験場で原子核乾板をゴンドラへ搭載した際の様子(写真左)。与圧容器を組み上げた状態での嘸み合わせ・電波感度試験の様子(写真右)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8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 8件）

1. 著者名 白田育矢 他	4. 巻 isas22-sbs
2. 論文標題 GRAINE計画：次期気球実験に向けたエマルジョンコンバーターの準備状況	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 大気球シンポジウム：2022年度	6. 最初と最後の頁 19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 中村友亮 他	4. 巻 isas22-sbs-
2. 論文標題 GRAINE計画：次期気球実験に向けた 与圧容器ゴンドラ および 飛跡角度較正機構の開発	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 大気球シンポジウム：2022年度	6. 最初と最後の頁 21
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 中野 昇、六條 宏紀	4. 巻 84
2. 論文標題 原子核乾板における飛跡認識効率向上のための溶解物理現像法の開発	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本写真学会誌	6. 最初と最後の頁 204～210
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11454/photogrst.84.204	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Hiroki Rokujo, et al.	4. 巻 395
2. 論文標題 Observation of sub-GeV atmospheric gamma rays on GRAINE 2018 balloon experiment and comparison with HKKM calculation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of Science	6. 最初と最後の頁 638
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.22323/1.395.0638	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Satoru Takahash, et al.	4. 巻 395
2. 論文標題 GRAINE precise γ -ray observations: latest results on 2018 balloon-borne experiment and prospects on next/future scientific experiments	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of Science	6. 最初と最後の頁)654
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0654	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Atsushi lyono, et al.	4. 巻 395
2. 論文標題 Application of Desensitized Nuclear Emulsion films for Chemical Composition Study of Cosmic-ray Nuclei in GRAINE 2018 balloon-borne experiment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of Science	6. 最初と最後の頁 75
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.395.0075	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yuya Nakamura, et al.	4. 巻 2021
2. 論文標題 Performance of an emulsion telescope for gamma-ray observations in the GRAINE2018 balloon-borne experiment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 123H02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptab148	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 六條宏紀 他	4. 巻 isas20
2. 論文標題 GRAINE計画: 次期気球実験に向けた大面積エマルジョン望遠鏡の開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 大気球シンポジウム: 2020年度	6. 最初と最後の頁 sbs-004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計39件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Hiroki Rokujo and Toshiyuki Nakano
2. 発表標題 Overview on emulsion detector technique
3. 学会等名 The XXX International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics (Neutrino 2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 六條宏紀
2. 発表標題 大面積・高解像 原子核乾板ガンマ線望遠鏡 実現のための研究開発
3. 学会等名 2022 年度 日本写真学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 南英幸
2. 発表標題 次世代原子核乾板高速読取装置HTS2によるスキャンデータの応答評価
3. 学会等名 2022 年度 日本写真学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 志水凱
2. 発表標題 名古屋大機械塗布乾板へのプロテクションコートの導入
3. 学会等名 2022 年度 日本写真学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村友亮
2. 発表標題 大面積高解像ガンマ線観測のための原子核乾板飛跡角度較正機構の開発
3. 学会等名 2022 年度 日本写真学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 臼田育矢
2. 発表標題 原子核乾板のリフレッシュによる飛跡の消去速度の研究
3. 学会等名 2022 年度 日本写真学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本紗矢
2. 発表標題 原子核乾板における高コントラスト現像の開発
3. 学会等名 2022 年度 日本写真学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroki Rokujo
2. 発表標題 Prospects of Emulsion Film Production for FASERnu2
3. 学会等名 5th Forward Physics Facility Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 臼田育矢
2. 発表標題 GRAINE計画：次期気球実験に向けたエマルジョンコンバーター準備状況
3. 学会等名 2022年 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村友亮
2. 発表標題 大面積高解像ガンマ線観測のための飛跡角度較正機構の開発
3. 学会等名 2022年 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 南英幸
2. 発表標題 原子核乾板によるガンマ線観測へ向けた次世代超高速読取装置HTS2の開発
3. 学会等名 2022年 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuya Nakamura
2. 発表標題 GRAINE project: balloon-borne sub-GeV/GeV gamma ray telescope with nuclear emulsion
3. 学会等名 The 21st International Symposium on Very High Energy Cosmic Ray Interactions (ISVHECRI 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村友亮
2. 発表標題 GRAINE計画:次期気球実験に向けた 与圧容器ゴンドラおよび飛跡角度較正機構の開発
3. 学会等名 2022年度 大気球シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 臼田育矢
2. 発表標題 GRAINE計画:次期気球実験に向けた エマルションコンバーターの準備状況
3. 学会等名 2022年度 大気球シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 六條宏紀
2. 発表標題 次期原子核乾板実験のための自動フィルム塗布装置の開発現状(2)
3. 学会等名 2021年 日本写真学会 年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroki Rokujo
2. 発表標題 Observation of sub-GeV atmospheric gamma rays on GRAINE 2018 balloon experiment and comparison with HKKM calculation
3. 学会等名 37th International Cosmic Ray Conference (ICRC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村悠哉
2. 発表標題 ガンマ線観測性能向上を目的とした新たな原子核乾板の読み取り手法開発
3. 学会等名 2021年 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 臼田育矢
2. 発表標題 GRAINE計画：次期気球実験に向けた大口径エマルジョン望遠鏡の準備状況
3. 学会等名 2021年 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村悠哉
2. 発表標題 宇宙ガンマ線観測性能の向上を目的とした新たな原子核乾板の読み取り手法開発
3. 学会等名 2022年 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村友亮
2. 発表標題 GRAINE計画：次期気球実験に向けた飛跡角度較正機構の開発
3. 学会等名 2022年 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村悠哉
2. 発表標題 GRAINE計画：次期気球実験に向けたエマルションコンバーターフィルムの性能評価
3. 学会等名 2022年 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 六條宏紀
2. 発表標題 大統計原子核乾板実験を実現する自動フィルム塗布装置の開発
3. 学会等名 2022年 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiiroki Rokujo
2. 発表標題 Status of Emulsion Production Facility
3. 学会等名 新学術領域「ニュートリノで拓く素粒子と宇宙」研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村悠哉
2. 発表標題 エマルション望遠鏡によるガンマ線天体の高解像度撮像
3. 学会等名 第21回高宇連研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroki Rokujo
2. 発表標題 Nuclear Emulsion Production Facilities in Tokai National Higher Education and Research System for Large-scale Emulsion Experiments
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2021 (ICMaSS2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 臼田育矢
2. 発表標題 GRAINE計画: 次期気球実験に向けた原子核乾板 量産体制の構築と環境耐性試験
3. 学会等名 2021年度 大気球シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 六條宏紀
2. 発表標題 GRAINE2018気球実験におけるsub-GeV 大気ガンマ線スペクトル測定
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 六條宏紀
2. 発表標題 次期原子核乾板実験のための自動フィルム塗布装置の開発現状
3. 学会等名 2020年度日本写真学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村悠哉
2. 発表標題 GRAINE計画: 2018年気球実験フライトデータでのガンマ線観測性能評価
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 中村悠哉
2. 発表標題 GRAINE2018年気球実験におけるエマルション望遠鏡のガンマ線観測性能評価
3. 学会等名 物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 六條宏紀
2. 発表標題 GRAINE計画: 次期気球実験に向けた大面積エマルション望遠鏡の開発現状
3. 学会等名 物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 六條宏紀
2. 発表標題 GRAINE計画: 次期気球実験に向けた大面積エマルション望遠鏡の開発
3. 学会等名 2020年度 大気球シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 六條宏紀
2. 発表標題 Status of New Emulsion Facilities which will enable the next emulsion experiments
3. 学会等名 新学術領域「ニュートリノで拓く素粒子と宇宙」研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中野昇
2. 発表標題 原子核乾板における現像銀粒子像の詳細測定
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 杉村昂
2. 発表標題 次期原子核乾板実験のための自動塗布装置の開発
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 Yuya Nakamura
2. 発表標題 GRAINE PROJECT, FLIGHT DATA ANALYSIS ON 2018 BALLOON-BORNE EXPERIMENT FOR PRECISELY COSMIC GAMMA RAY OBSERVATION
3. 学会等名 43rd COSPAR Scientific Assembly (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉村 昂
2. 発表標題 原子核乾板連続塗布設備の構築(4)
3. 学会等名 物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中野 昇
2. 発表標題 現像銀粒子拡大を目的とした現像手法の改善
3. 学会等名 2020 年度 日本写真学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉村 昂
2. 発表標題 名古屋大学における原子核乾板自動塗布設備の構築に向けた研究(4)
3. 学会等名 2020 年度 日本写真学会秋季大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	伊代野 淳 (Atsushi Iyono) (10211757)	岡山理科大学・理学部・教授 (35302)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	臼田 育矢 (Usuda Ikuya)	名古屋大学・理学研究科・大学院生 (13901)	
研究協力者	中村 友亮 (Nakamura T0moaki)	名古屋大学・理学研究科・大学院生 (13901)	
研究協力者	南 英幸 (Minami Hideyuki)	名古屋大学・理学研究科・大学院生 (13901)	
研究協力者	志水 凱 (Shimizu Kai)	名古屋大学・理学研究科・大学院生 (13901)	
研究協力者	中野 昇 (Nakno Noboru)	名古屋大学・理学研究科・大学院生 (13901)	
研究協力者	杉村 昂 (Sugimura Kou)	名古屋大学・理学研究科・大学院生 (13901)	
研究協力者	石塚 唯和 (Ishizuka Tadakazu)	名古屋大学・理学研究科・大学院生 (13901)	
研究協力者	諫山 雄大 (Isayama Yudai)	岡山理科大学・理学部・学生 (35302)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	村上 郁哉 (Murakami Ikuya)	岡山理科大学・理学研究科・大学院生 (35302)	
研究協力者	秋田 将利 (Akita Shoto)	岡山理科大学・理学部・学生 (35302)	
研究協力者	柳田 恭吾 (Yanagida Kyogo)	岡山理科大学・理学部・学生 (35302)	
研究協力者	工藤 哲也 (Kudo Tetsuya)	名古屋大学・全学技術センター・技術職員 (13901)	
研究協力者	西村 良太 (Nishimura Ryota)	名古屋大学・全学技術センター・技術職員 (13901)	
研究協力者	菅浪 亜門 (Suganami Amon)	名古屋大学・理学部・学生 (13901)	
連携研究者	中村 悠哉 (Nakamura Yuya) (30964457)	名古屋大学・未来材料・システム研究所・研究員 (13901)	
連携研究者	山本 紗矢 (Yamamoto Saya) (50974573)	名古屋大学・未来材料・システム研究所・研究員 (13901)	

6. 研究組織（つづき）

	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
連携研究者	中野 敏行 (Nakano Toshiyuki) (50345849)	名古屋大学・理学研究科・准教授 (13901)	
連携研究者	中村 光廣 (Nakamura Mitsuhiro) (90183889)	名古屋大学・未来材料・システム研究所・教授 (13901)	
連携研究者	青木 茂樹 (Aoki Shigeki) (80211689)	神戸大学・人間発達環境学研究所・教授 (14501)	
連携研究者	高橋 寛 (Takahashi Satoru) (40402432)	神戸大学・人間発達環境学研究所・特命助教 (14501)	
連携研究者	仲澤 和馬 (Nakazawa Kazuma) (60198059)	岐阜大学・教育学部・教授 (13701)	
連携研究者	吉本 雅浩 (Yoshimoto Masahiro) (40854964)	岐阜大学・教育学部・研究員 (13701)	

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
---------	---------