

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K13562

研究課題名(和文) エマルション望遠鏡によるガンマ線天体高解像観測の実現

研究課題名(英文) Development of emulsion telescope for precise gamma-ray observation

研究代表者

六條 宏紀 (Rokujo, Hiroki)

名古屋大学・理学研究科・研究員

研究者番号：00725814

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、subGeV-GeV 線に対して高い角度分解能を有する原子核乾板を用いた新たな 線望遠鏡を開発し、気球実験による宇宙 線精密観測の実現を目的とする。2018年4月、豪州アリススプリングスにて口径面積0.38平米の望遠鏡を放球し、気球の飛翔、測定器の安定運用を達成した。回収した原子核乾板から飛跡データを収集し、気球高度での観測性能評価・校正を順次行った。解析の結果、高輝度天体Velaパルサーから統計的に有意な 線信号を検出した。本実験の目標として掲げていた気球搭載原子核乾板による天体の初検出および100MeVエネルギー帯域で世界最高解像度でのイメージングに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

宇宙観測分野では望遠鏡の性能が向上するごとに新たな発見がなされて来たが、宇宙 線観測において今後推し進めるべき指針はイメージの高画質化である。他波長に比べて 線天体の画像は桁違いに粗く、どの天体も月の大きさ程度にボケてしまう。本研究において、現状のGeV 線観測装置と比べ、約1桁優れた撮像性能を持つエマルション望遠鏡での天体観測が実証された。今後、口径面積・観測時間の拡大を図り、科学観測を推し進めることで、高エネルギー宇宙の新たな姿が明らかになるだろう。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to develop a next-generation balloon-borne gamma-ray telescope using nuclear emulsion technology and enable precise observation of cosmic gamma-rays in the sub-GeV/GeV energy region. In April 2018, a 0.4-m emulsion gamma ray telescope was launched from Alice Springs, Australia. The desired balloon flight and stable operation of the detector were achieved. Following data acquisition from recovered emulsion films, we completed the evaluation and calibration of in-flight performance. As the result, gamma-ray signals from Vela pulsar region were significantly detected. We succeeded in the first detection from celestial gamma-ray source using emulsion telescope and the world's highest angular resolution in the 100-MeV energy region.

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 気球実験 イメージング 原子核乾板

## 1. 研究開始当初の背景

ガンマ線は原子核や素粒子の反応・崩壊に伴って発生する電磁波(光)であり、宇宙起源のガンマ線を観測することで、粒子(宇宙線)の加速機構やそれらが星間ガス・磁場と引き起こす物理を研究することができる。また宇宙に分布する暗黒物質をはじめとした新粒子や新現象を探索するプローブとしても極めて重要な役割を担っている。'70年代以降、測定技術の発達と共に宇宙ガンマ線観測は継続的に進歩し、最新の(サブGeV-GeV帯)ガンマ線観測器であるフェルミ衛星は打ち上げから10年全天観測を続け、かつてない高統計のガンマ線データを提供している。フェルミ衛星は5000を超えるガンマ線天体の検出、超新星残骸における宇宙線陽子加速の発見等、ブレイクスルーとなる様々な成果を上げた。

宇宙観測分野において、望遠鏡の性能が向上するごとに新たな発見がなされて来たが、ガンマ線観測において今後推し進めるべき指針はイメージの高画質化である。他の波長に比べてガンマ線天体の画像は桁違いに粗く、最新鋭の望遠鏡によるデータでさえどの天体も月の大きさ程度にボケてしまう。構造が複雑な銀河面/中心の天体密集域や、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、高解像観測がガンマ線天文学の次なるステップへの突破すべき課題となっている。

## 2. 研究の目的

フェルミ衛星の観測開始から10年が経過し、「高解像」に着目した新たな望遠鏡が世界中で提案されているが、これらはいずれも衛星計画であり莫大な費用と準備期間が必要で観測開始は2030年以降である。我々は世界に先駆けて、原子核乾板(エマルジョンフィルム)技術によって高角度分解能と大口径を両立するガンマ線望遠鏡の開発、及び気球による観測実験「GRAINE計画(Gamma-Ray Astro-Imager with Nuclear Emulsion)」を推進してきた。低通過物質量( $\sim 10^{-3}X_0$ )かつサブミクロンの空間分解能を実現する原子核乾板は、 $\gamma \rightarrow e^+ + e^-$ 反応点直下の飛跡を精密に測定することができるガンマ線の方向測定に最適の検出器であり、フェルミ衛星の角度分解能を約1桁改善した高解像精密観測を実現しうる。加えて、電子・陽電子対の放出面のアジマス角を有意に測定する事が可能であり、ガンマ線の直線偏光に対する感度を持つ。GRAINE計画は、10平米級の大面積エマルジョン望遠鏡を気球に搭載し数日~1週間程度のフライトを繰り返す事で、Fermi-LAT等の衛星年間観測規模に匹敵するexposureを獲得し、ガンマ線天体の精密観測を目指す。

## 3. 研究の方法

本研究では、口径面積0.4平米の小型エマルジョン望遠鏡テスト機を開発し、原子核乾板を用いたガンマ線望遠鏡として初めてとなるガンマ線天体検出を目的とした気球実験を実施し、その性能の総合実証を行う。

GRAINEの気球搭載観測装置は、主にエマルジョン望遠鏡、姿勢モニター、与圧容器ゴンドラから構成される。名古屋大学グループは、エマルジョン望遠鏡主検出器であるガンマ線コンバーターおよび与圧容器ゴンドラを担当しており、これらの開発、性能評価、フライトデータの解析を行った。2018年4月に実施した気球実験のために開発したコンバーターは、名古屋大学で製造した原子核乾板(1枚の乾板は180 $\mu$ m厚ポリスチレンフィルムとその表裏に塗布された75 $\mu$ m厚の乳剤層から構成される)を100枚積層した構造を持つ。貫通するガンマ線の約33%が $\gamma \rightarrow e^+ + e^-$ 反応を起こし、飛跡対が乳剤層中に記録される。原子核乾板のサイズは37.8 cm  $\times$  25 cm であり、ゴンドラには同構造のユニットを4つ並べて搭載することで、口径面積0.38平米のコンバーターを実験に使用した(原子核乾板の総面積は約40平米)。

また、次期実験では面積を拡大し、科学観測開始を目指す。実験に使用するより高品質な原子核乾板を適時・適量・安定して入手する体制を研究室内に構築するための基礎研究にも着手した。

## 4. 研究成果

### (1) GRAINE2018気球実験の実施、観測装置の安定運用の達成

GRAINE2018実験は、JAXA国際大気球実験(実験番号: B18-03)としてオーストラリア・アリスプリングス気球放球基地にて実施した。2018年4月26日午前6時33分(現地時刻)に放球された気球は約2時間後に高度38kmに達し、水平飛行を開始した。エマルジョン望遠鏡、姿勢モニター、与圧容器ゴンドラは観測終了時刻(午後10時19分)まで安定した動作を続けた。本実験の観測目標天体であるVelaパルサーは午後3時から10時にかけて望遠鏡の視野内を横切り、予定していた気球フライト、観測に成功した。観測器は午後11時17分に切り離され、ロングリーチから南西250km地点にて着地した。翌明朝、ヘリコプターを用いた上空からの観測器の探索・回収を行った。午前9時頃、ヘリコプターはペイロード着地点に着陸し、破損箇所も少ない状態で発見された。極めて迅速に回収作業は進み、28日未明には全ての原子核乾板を小型冷蔵庫を搭載したトラックに積みこみ、シドニーへ向けて発送することができた。原子核乾板は29日午後シドニー大学に到着し、5月13日までに現像作業が完了した。本実験において、気球の飛翔、測定器の安定運用、観測データを含む観測器の健全な回収に成功した。

### (2)風船式与圧容器ゴンドラの開発

与圧容器ゴンドラは、真空パック(パック内の圧力約5hPa)によって剛性を持たせたコンバーターの形状を保ち、気球高度において望遠鏡の結像性能を維持する役割を果たす。観測中、容器内部の圧力は100hPa以上に保持することが要求される。容器の大部分には、太陽工業(株)が製作した膜材料を用いており、本実験のためにポリエステル繊維織物にポリウレタンをコーティングしたSHL-300を新規に開発した。破断強度は3440 N/3cmであり、与圧容器に300hPaの差圧をかけた際に生じる張力の期待値(約800N/3cm)に対して十分な母材及び溶着の強度である。

開発した与圧容器ゴンドラは内部にエマルジョン望遠鏡、外部に姿勢モニターを搭載し、GRAINE2018実験において使用された(図1)。気球の放球と同時に差圧弁の働きによって内外の圧力差を300hPaに保ちながら高度を上げ、レベル高度(37km)に達すると差厚弁が閉じ、観測終了まで容器内圧100hPa以上を保ち続け、ねらい通りの運用を達成した。



図1: GRAINE2018気球実験のために開発した与圧容器ゴンドラのフライト準備完了時の様子。内部にエマルジョン望遠鏡を搭載し300 hPa程度の差圧を保持している。外部には姿勢モニター・スターカメラ3台を設置している。

### (3)気球飛行時におけるガンマ線コンバーター観測性能の評価

コンバーターフライトデータ解析については、前回実験(GRAINE2015)で確立したデータ収集方法及びイベントセレクション方法を踏襲し、搭載した原子核乾板の98%について問題なく処理を進め、 $7 \times 10^6$ 事象のガンマ線反応を選出した。

望遠鏡の観測時のガンマ線観測性能を評価するために、コンバーターのフライトデータ中に含まれる一次宇宙線起因のハドロン反応と発生した二次ガンマ線を利用した解析を行った。ガンマ線の角度分解能は、ハドロン反応点と電子対生成反応点の三次元位置座標を同士を結んだ角度を真として、電子対飛跡から求めたガンマ線の角度との差を調べることで分析できる。100-300MeVのガンマ線について本実験の要求性能である1度以内の角度分解能を満たしていることを確認した(図2)。さらに将来実験を見据えて、700MeVまでのより高エネルギー事象の評価も行った。シミュレーションにより求めた角度分解能と同程度の値となっており、フライトデータを用いて期待される性能を発揮していることを確認した。ガンマ線のエネルギー決定精度は、データ中に含まれる $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ 反応を再構成し、2本のガンマ線のエネルギーと角度から $\pi^0$ 中間子の不変質量を求めることで評価することができる。不変質量分布上の135MeV付近に優位な信号が検出され、信号の分布の広がりからエネルギー決定精度は40%と評価した(図3)。

エマルジョン望遠鏡を搭載した与圧容器ゴンドラと科学観測用大気球は放球プレートと呼ばれる金属板(アルミニウム ~4.6kg、ステンレス ~6.2kg、1度程度の大きさを持つ)を介して繋がっており、観測中も常に検出器の約4m上方に存在している。このプレートに一次宇宙線陽子などが入射すると $\pi^0$ 起因ガンマ線を生成するため、検出器外部のガンマ線校正源として利用できる。フライト時のデータから放球プレートからの信号が期待数に矛盾なく検出され、ガンマ線像の広がりを評価した結果、 $1.1 \pm 0.1$ 度となり、外部のガンマ線源に対して1度以下の結像性能を有していることが確認された。

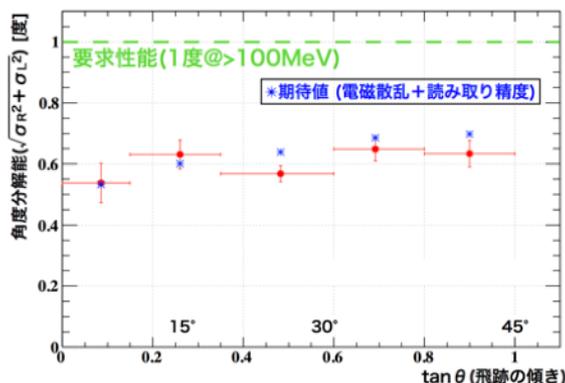


図2: コンバーターに記録されたハドロン反応起因のガンマ線を用いて評価したフライト時の角度分解能。

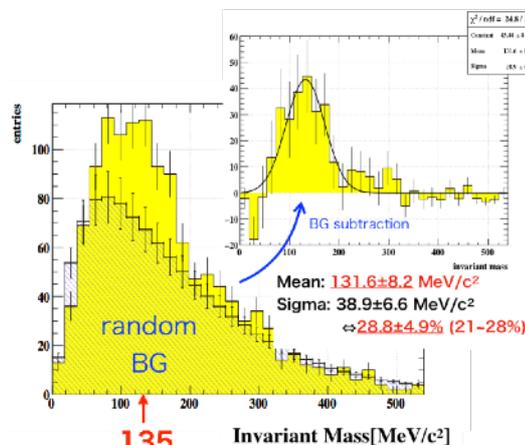


図3:  $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ 再構成による $\pi^0$ 中間子不変質量分布。ガンマ線エネルギー決定精度の妥当性をフライトデータを用いて検証できた。

#### (4)観測高度における大気ガンマ線スペクトルの実測

観測の主要なバックグラウンドは大気ガンマ線であり、その理解が重要である。気球高度におけるsubGeV大気ガンマ線の実測は70年前後の気球実験以降、ほとんど行われていなかった。本実験の観測データから0.1-1GeV帯域の大気ガンマ線スペクトルの導出を行なった(図4)。

大気ガンマ線量の実測値は気球高度での $\pi^0$ 中間子生成量の推定にも利用できる。大気ニュートリノ生成の計算で用いられるHKKMモデルを用いて得られる大気ガンマ線フラックス計算を宇宙線研本田氏に提供していただき、比較を行った。GRAINE2018の測定値は、過去の測定値とは異なる傾向を示しているが、最新のHKKMモデルによる計算値や00年前後の>GeV帯域の測定とスムーズに接続する傾向を示している。

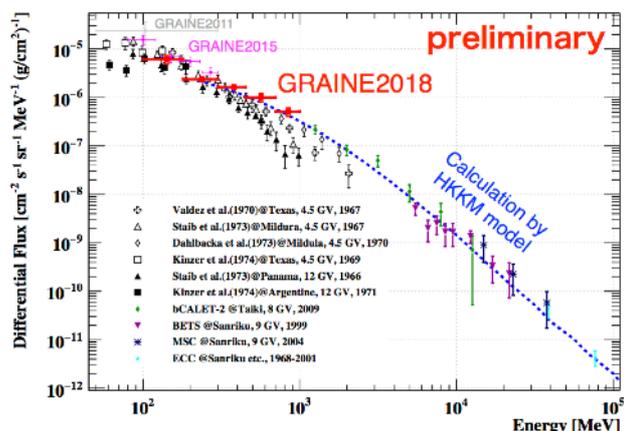


図4: 気球高度における大気ガンマ線スペクトル測定結果。

#### (5)高輝度ガンマ線天体Velaパルサーの検出に成功

コンバーターで選出・角度・エネルギー決定したガンマ線事象をタイムスタンパーに接続することで到来時刻を決定し、さらに姿勢モニター情報から天球に対する到来方向を決定する処理を進めた。図5にVelaパルサー周辺の到来方向分布を示す。Velaパルサーの位置において5シグマを超えるの有意なガンマ線の超過を検出した。ガンマ線像の広がり約1度で、エマルジョン望遠鏡の性能とコンシステンとである。

我々はGRAINE 2018実験の目標として掲げていたVelaパルサーの検出に成功し、気球搭載原子核乾板を使用して初の天体検出の実績となった。また、100 MeVエネルギー領域で世界最高解像度での天体イメージングを達成した。現在、より詳細な分析が進行中で、シグナル/ノイズ比の改善、結像性能の詳細理解、フラックスの実測を行なっていく。

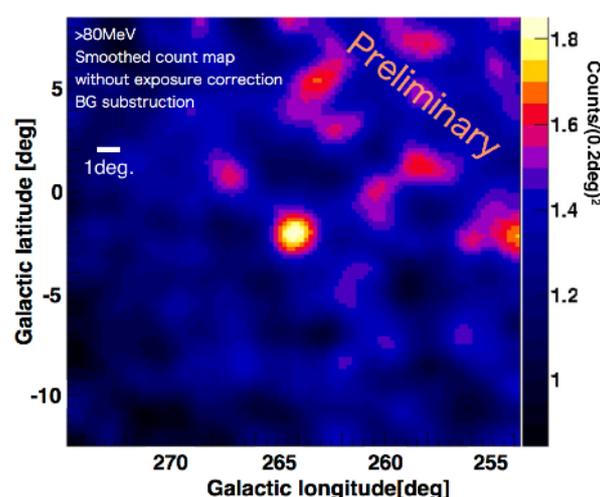


図5: GRAINE2018実験におけるVelaパルサー周辺領域のガンマ線カウントマップ。図の中央がVelaパルサーの位置に相当しており、有意な信号を検出した。

#### (6)科学観測用大面積望遠鏡の実現に向けた検出器開発

##### ①次期与圧容器ゴンドラの開発

名大の装置開発室の技術職員とは綿密な協力体制が得られており、これまでにGRAINE2015年/2018年実験のゴンドラの設計・開発を共同で行ってきた。次期気球実験用の与圧容器ゴンドラについても、大型化かつ軽量化についてデザイン検討・強度検討を行い、実現可能なフライトモデルの設計を2019年末までに完了させた。圧力を保持する膜材料についても太陽工業(株)の協力のもと十分な強度を保ちつつ面密度を30%減らした軽量素材を開発した。2018年実験と比べて6.6倍の口径面積となる2.5平米の望遠鏡が搭載可能な次期与圧容器ゴンドラを製作し、2019年3月から組み上げを開始しており、地上での試験、性能評価を進めている(図6)。

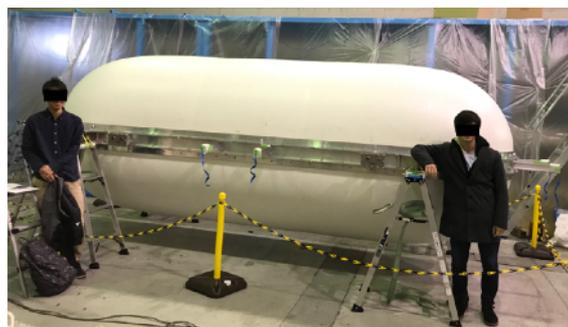


図6:次期気球実験のための与圧容器ゴンドラ

## ②原子核乾板量産のためのフィルム塗布装置開発

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り、名古屋大学の原子核乾板インフラ設備のアップグレードを進めた。原子核乾板はこれまで1枚1枚手塗りでの製作であったが、ロール状に巻かれたフィルムを引き出し、オンラインでフィルム表面親水化(コロナ放電処理)→乳剤コーティング→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」へと置き換えを図り、原子核乳剤のゼラチンの見直し、増粘剤を添加することで自動塗布に特化した改良を進めた。またコーターメーカーにてテストを繰り返し、装置の選定を行なった。2019年10月、学内へ本装置の導入を完了した。現在、大学院生らとともに運用体制を構築中であり、2020年度からの乾板製造の開始を目指して運転パラメーターの調整を進めている。

## ③原子核乾板スキャンデータの高品質化に向けた新たなノイズ成分の評価研究

GRAINE2018実験で使用した約400枚の原子核乾板から得られたスキャンデータは、わずかながらノイズ成分にばらつきが見られ、フィルム毎にデータ取得パラメーターの微調整が必要であった。原因を調べるべく、より高い解像度の落射式顕微鏡を用いて原子核乾板画像を観察すると、これまで詳細に調べられていなかった tiny fog と呼ばれる小さい現像銀粒子の数密度がフィルム毎に大きく違い、スキャンデータのノイズばらつきの原因となっていることが明らかになった。このtiny fogを電子顕微鏡でさらに詳細に観察すると、通常のグレインとは異なる球形の銀粒子であることが分かり、現像の段階で生成されている可能性を見出した。今後、原子核乾板データのより高品質化に向けて、tiny fogの発生を抑制する現像方法の検討を進める。

## (7)2021年実験の採択

GRAINE計画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。GRAINE2018気球実験で得られた成果を高く評価され、次期計画がJAXA国際大気球実験に採択された。次期気球実験は2021年春に予定しており、アリス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。GRAINE2018年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、Crab, Geminga, 銀河中心についても有意な検出が期待される。この帯域での高解像フロンティアとなる観測データを世界に先駆けての提示を目指し、研究開発を進める。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 H. Rokujo, et al.	4. 巻 14
2. 論文標題 Development of a balloon-style pressure vessel gondola for balloon-borne emulsion gamma-ray telescopes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 P09009 ~ P09009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/14/09/P09009	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 H. Rokujo, et al.	4. 巻 2018
2. 論文標題 First demonstration of gamma-ray imaging using a balloon-borne emulsion telescope	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 063H01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/pty056	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 208
2. 論文標題 GRAINE project: precise gamma-ray observations with balloon-borne emulsion telescope	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 14003 ~ 14003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1051/epjconf/201920814003">https://doi.org/10.1051/epjconf/201920814003</a>	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 Y. Nakamura, et al.	4. 巻 KMI2019
2. 論文標題 GRAINE 2018 experiment: Performance evaluation of gamma-ray telescope utilizing nuclear emulsion	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Science	6. 最初と最後の頁 39
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 Hiroki Rokujo, et al.	4. 巻 ICRC2019
2. 論文標題 Gamma-ray Imaging Performance of Nuclear Emulsion Telescope in GRAINE-2018 Balloon Experiment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Science	6. 最初と最後の頁 596
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 Aoki Shigeki, Takahashi Satoru, Rokujo Hiroki	4. 巻 68
2. 論文標題 GRAINE Project, Precise Observations of High-energy Cosmic Gamma-rays with Balloon-borne Emulsion Telescope	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RADIOISOTOPES	6. 最初と最後の頁 877 ~ 891
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3769/radioisotopes.68.877	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 長縄 直崇, 福田 努, 北川 暢子, 小松 雅宏, 森島 邦博, 中 竜大, 中野 敏行, 西尾 晃, 六條 宏紀, 佐藤 修, 木村 充宏, 歳藤 利行	4. 巻 107
2. 論文標題 原子核乾板技術の進化と展開~デジカメ時代を生き抜くアナログフィルム~	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 放射線化学	6. 最初と最後の頁 35 ~ 48
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 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 -

〔学会発表〕 計38件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Hiroki Rokujo
2. 発表標題 GRAINE project: precise gamma-ray observation with balloon-borne emulsion telescope
3. 学会等名 The 20th International Symposium on Very High Energy Cosmic Ray Interactions (ISVHECRI 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 六條宏紀
2. 発表標題 気球搭載 線望遠鏡のための膜材料を用いた風船式与圧容器ゴンドラの開発
3. 学会等名 第5回ブイアント航空講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 六條宏紀
2. 発表標題 GRAINE計画 2018年豪州気球実験: 線事象解析
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村悠哉
2. 発表標題 GRAINE計画: 2018年豪州気球実験コンバーターフィルム性能評価
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小宮山将広
2. 発表標題 GRAINE2018年豪州気球実験における与圧容器ゴンドラの開発とフライト結果
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 六條宏紀
2. 発表標題 原子核乾板による高解像 線イメージング
3. 学会等名 第1回「量子線イメージング研究会」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 六條宏紀
2. 発表標題 GRAINE2018: 線事象解析
3. 学会等名 大気球シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村悠哉
2. 発表標題 GRAINE2018: コンバーターフィルム性能評価
3. 学会等名 大気球シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小宮山将広
2. 発表標題 GRAINE2018: 与圧容器ゴンドラの開発とフライト結果
3. 学会等名 大気球シンポジウム
4. 発表年 2018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
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 Hiroki Rokujo
2. 発表標題 GRAINE 2018 Experiment high-angular resolution gamma-ray telescope with nuclear emulsion
3. 学会等名 The 4th KMI International Symposium (KMI2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuya Nakamura
2. 発表標題 GRAINE 2018 experiment; performance evaluation for gamma-ray telescope utilizing nuclear emulsion
3. 学会等名 The 4th KMI International Symposium (KMI2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 六條 宏紀
2. 発表標題 GRAINE計画: 2018年豪州気球実験コンバーター部における 線観測初期結果
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 Hiroki Rokujo
2. 発表標題 GRAINE: cosmic-ray measurement by emulsion on a ballon
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

1. 発表者名 Masahiro Komiyama
2. 発表標題 Performance evaluation of gamma ray detectors at observation altitudes for GRAINE experiment in 2018
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2019 (Exploration of Particle Physics and Cosmology with Neutrinos Workshop2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuya Nakamura
2. 発表標題 GRAINE 2018 experiment: performance evaluation workshop 2019 for gamma-ray telescope utilizing nuclear emulsion
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2019 (Exploration of Particle Physics and Cosmology with Neutrinos Workshop2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Rokujo
2. 発表標題 Large-scale Development of Nuclear Emulsion Detector Supporting Neutrino Research
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2019 (Exploration of Particle Physics and Cosmology with Neutrinos Workshop2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中野昇
2. 発表標題 tiny fogの観測
3. 学会等名 2019年度日本写真学会年次大会
4. 発表年 2019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 2
3. 学会等名 2019年度日本写真学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 六條宏紀
2. 発表標題 気球搭載エマルジョン望遠鏡の 線イメージング性能
3. 学会等名 2019年度日本写真学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Rokujo
2. 発表標題 Gamma-ray Imaging Performance of Nuclear Emulsion Telescope in GRAINE-2018 Balloon Experiment
3. 学会等名 36th International Cosmic Ray Conference (ICRC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 六條宏紀
2. 発表標題 GRAINE2018実験での気球高度における大気ガンマ線の測定
3. 学会等名 2019年度日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小宮山将広
2. 発表標題 GRAINE計画：2018年気球実験コンバータ部ガンマ線観測性能
3. 学会等名 2019年度日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2019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ハドロン反応起因のガンマ線を利用したコンバーター性能評価
3. 学会等名 2019年度日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中野昇
2. 発表標題 原子核乾板における新たなノイズ評価手法の開発
3. 学会等名 2019年度日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉村 昂
2. 発表標題 原子核乾板の自動塗布設備構築に向けた研究
3. 学会等名 2019年度日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuya Nakamura
2. 発表標題 GRAINE2018: Performance evaluation by analyzing gamma ray from hadronic interaction
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Komiyama
2. 発表標題 Development of the cylindrical pressurized vessel gondola realizing large observed for GRAINE scientific observation
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Rokujo
2. 発表標題 Status of Next Generation Nuclear Emulsion Film Facility in Nagoya University
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Noboru Nakano
2. 発表標題 Development of a new noise evaluation method for nuclear emulsion
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kou Sugimura
2. 発表標題 Constructing of Emulsion Film Pouring System
3. 学会等名 International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2019 (ICMaSS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小宮山将広
2. 発表標題 GRAINE 大面積科学観測を実現する長筒型与圧容器ゴンドラの開発状況
3. 学会等名 2019年度 大気球シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村悠哉
2. 発表標題 GRAINE 計画:2018年豪州気球実験におけるコンバーター解析報告
3. 学会等名 2019年度 大気球シンポジウム
4. 発表年 2019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(3)
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 小宮山将広
2. 発表標題 GRAINE計画: 2018年豪州気球実験におけるコンバータ部フライトデータ解析
3. 学会等名 第20回宇宙科学シンポジウム
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コンバーター部ガンマ線観測性能評価
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会(web開催)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 六條宏紀
2. 発表標題 GRAINE2018実験での気球高度における大気ガンマ線スペクトル測定
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会(web開催)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石塚唯和
2. 発表標題 次期原子核乾板実験のための大規模原子核乳剤製造装置の立ち上げおよび性能評価
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会(web開催)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

宇宙ガンマ線観測の100倍高解像度化を狙うエマルション望遠鏡の性能検証を実施 <a href="http://www.nagoya-u.ac.jp/about-nu/public-relations/researchinfo/upload_images/20180713_sci_1.pdf">http://www.nagoya-u.ac.jp/about-nu/public-relations/researchinfo/upload_images/20180713_sci_1.pdf</a>
---

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
研究協力者	中村 悠哉  (Nakamura Yuya)	名古屋大学  (13901)	
研究協力者	小宮山 将広  (Komiya Masahiro)	名古屋大学  (13901)	
研究協力者	杉村 昂  (Sugimura Kou)	名古屋大学  (13901)	

## 6. 研究組織（つづき）

	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	中野 昇  (Nakano Noboru)	名古屋大学  (13901)	
研究協力者	石塚 唯和  (Ishizuka Tadakazu)	名古屋大学  (13901)	
研究協力者	伊代野 淳  (Iyono Atsushi)	岡山理科大学  (35302)	
研究協力者	山本 紗矢  (Yamamoto Saya)	岡山理科大学  (35302)	