

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：32686

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18H03722

研究課題名(和文) H.E.S.S.望遠鏡とフェルミ衛星による宇宙線加速機構の解明

研究課題名(英文) Understanding cosmic-ray acceleration processes through gamma-ray observations with H.E.S.S. and Fermi

研究代表者

内山 泰伸 (Uchiyama, Yasunobu)

立教大学・人工知能科学研究科・教授

研究者番号：00435801

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,400,000円

研究成果の概要(和文)：宇宙線を加速する天体が放出する超高エネルギーガンマ線を、地上望遠鏡(H.E.S.S. 大気チェレンコフ望遠鏡群)を用いて観測した。チャンドラX線衛星およびフェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡による宇宙からのX線・ガンマ線観測を組み合わせ、宇宙線を加速する天体の多波長観測を行った。パルサー星雲からのガンマ線フレアの検出、超新星残骸からのガンマ線放射の空間構造の詳細測定などの観測的成果を得た。また、超新星爆発の運動学に関する研究成果の他、ガンマ線バーストの残光におけるX線と超高エネルギーガンマ線の間での時間変動の類似性についての先駆的な成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

パルサー星雲およびパルサー星雲を内包する超新星残骸のガンマ線観測から、宇宙線物理学における重要問題となっている宇宙線陽電子の起源解明の手がかりを与える成果が得られた。そして、本研究チームのメンバーが主要な役割を果たしたガンマ線バースト残光における超高エネルギーガンマ線の検出成功は、宇宙ガンマ線観測の歴史において一つのマイルストーンになったと関連研究者に認識されている。また、欧州諸国を中心とする13カ国が協力し、ナミビア共和国に設置された望遠鏡を用いた大規模な国際共同研究を展開していることは、アフリカの科学振興に寄与している。

研究成果の概要(英文)：A ground-based telescope system (H.E.S.S. Imaging Atmospheric Cherenkov Telescopes) was used to observe very-high-energy gamma rays emitted by celestial bodies that accelerate cosmic rays. Combining X-ray and gamma-ray observations from space with the Chandra X-ray Satellite and the Fermi Gamma-ray Space Telescope, we performed multi-wavelength observations of cosmic-ray accelerators.

We have obtained observational results such as the detection of small gamma-ray flares from the Crab Nebula and detailed measurements of the spatial structure of gamma-ray emissions from supernova remnants. In addition to research results on the kinetics of supernova explosions, we have also obtained results on similarities in temporal variations between X-rays and very-high-energy gamma-rays in the afterglow of a gamma-ray burst.

研究分野：高エネルギー天文学

キーワード：宇宙線 粒子加速 ガンマ線 X線 超新星残骸 パルサー星雲 ガンマ線バースト

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

宇宙線の加速機構の解明は、宇宙物理学における重要課題であり、近年のガンマ線観測技術の著しい進歩によって天文学の主要領域の1つとなったガンマ線天文学における中心的な研究課題である。

フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡による宇宙からの高エネルギーガンマ線観測や撮像型大気チェレンコフ望遠鏡による超高エネルギーガンマ線観測が大規模な国際共同研究として進められ、銀河系内、銀河系外の様々な天体における粒子加速現象の理解が大きく進展した。

宇宙線加速に関する諸問題の中でも、地球で観測される宇宙線陽電子が約 40 GeV 以上のエネルギーで宇宙線 2 次電子の推定量を超過することが注目度の高い問題となっている。暗黒物質の崩壊により生成された陽電子であるとする説に関する研究が数多くある一方、パルサー等の個別の通常天体を起源とする説についても様々な議論がなされている。

宇宙線陽電子過剰のパルサー起源説を検証する上で興味深い観測結果として、HAWC 天文台によるゲミングおよび PSR B0656+14 の周辺領域からの大きく広がった TeV ガンマ線源の発見 (HAWC Collaboration, Science 2017) があげられる。パルサー近傍の星間空間における宇宙線電子・陽電子の伝播過程は、ガンマ線天文学における重要課題として認識されるようになっていく。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、宇宙線電子・陽電子の加速源として注目されるパルサー星雲、銀河宇宙線の起源として有力視されている超新星残骸、そして超高エネルギー宇宙線加速源の候補となるガンマ線バースト、などの宇宙線加速天体の観測的・理論的研究により、宇宙線の起源の解明を進めることである。

特に、パルサー星雲における宇宙線電子・陽電子の加速機構と逃走機構を研究し、宇宙線陽電子の起源を解明することを主要な目的としている。上述のように、約 40 GeV 以上のエネルギーの宇宙線陽電子は、星間空間で生成された 2 次陽電子ではなく、天体で直接的に加速された成分か、あるいは暗黒物質起源の陽電子である可能性が示唆される。本研究では、近傍のパルサー風終端衝撃波での陽電子の加速および超新星残骸内での再加速機構が、観測されている宇宙線陽電子超過の起源であることを検証することを目指す。

### 3. 研究の方法

本研究では、宇宙線の起源、特に宇宙線陽電子の起源の解明に迫るため、フェルミ衛星による 10 年以上の超長時間 GeV ガンマ線観測と、H.E.S.S. 望遠鏡による TeV ガンマ線観測を組み合わせ、パルサー星雲、超新星残骸、ガンマ線バースト等の天体を観測した。フェルミ衛星と H.E.S.S. により、100 MeV から 100 TeV まで 6 桁という超広帯域にわたる十分な高感度ガンマ線観測を行うことで、国際ガンマ線天文台 Cherenkov Telescope Array Observatory (CTAO) による TeV ガンマ線観測の「完成期」、そして大型空気シャワー観測装置 LHASSO による PeV ガンマ線観測の「黎明期」に向けたパスファインダーとしての役割も担う。

また、銀河宇宙線の起源として有力な超新星残骸については、チャンドラ X 線衛星による X 線観測によって、超新星残骸の力学進化の研究を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) パルサー星雲における宇宙線陽電子の加速

フェルミ衛星による長期間のガンマ線観測データを用いて、かに星雲からの GeV ガンマ線フレアを多数発見することに成功し、フレア領域の物理状態(磁場など)を推定した。(Arakawa M., Hayashida, M., Khangulyan, D., Uchiyama, Y., The Astrophysical Journal, 2020; Khangulyan, D., Arakawa, M., Aharonian, F. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 2020)

放射損失で電子加速が制限される環境におけるシンクロトロン放射についての理論的研究により、パルサー星雲の GeV ガンマ線フレアを説明する理論モデルを構築した。(Khangulyan D., et al. The Astrophysical Journal 2021)

パルサー星雲を内包する近傍の超新星残骸であるヴェラ超新星残骸のフェルミ衛星による超長時間観測データの解析を行った。ヴェラ超新星残骸から空間的に広がったガンマ線の検出に成功し、ガンマ線放射の空間構造を詳細に測定することができた。特筆すべき結果として、TeV 領域に迫る約 100GeV という超高エネルギーガンマ線も観測された。パルサー星雲 Vela X から逃げ出した高エネルギー電子・陽電子による逆コンプトン散乱と解釈でき、パルサー星雲による宇宙線陽電子の供給を支持する新しい結果となった。(Higurashi, R., Uchiyama, Y., Hayashida, M., *The Astrophysical Journal*, submitted)

## ( 2 ) 超新星残骸の X 線観測

超新星残骸における超高エネルギー粒子の加速を研究する上で重要な天体である超新星残骸 RXJ1713.7-3946 のチャンドラ X 線衛星による追観測を行った。コンパクトなシンクロトロン X 線源が北西領域に分布していることを発見し、二次電子によるシンクロトロン X 線である可能性について検討した。(Higurashi, R., Tsuji, N., Uchiyama, Y., *The Astrophysical Journal*, 2020)

若い超新星残骸の X 線観測データを系統的に解析し、TeV 領域における電子加速の効率の進化モデルを検証した。(Tsuji, N., Uchiyama, Y., Aharonian, F., *The Astrophysical Journal* 2021)

超新星残骸 G350.1-0.3 のチャンドラ衛星・すざく衛星による X 線観測データを用いて、X 線ラインのドップラーシフトやイメージ解析による移動速度の測定を行い、非対称な爆発をしたと推定される超新星のイジェクタ運動学を詳細に研究した。(Tsuchioka, T., Uchiyama, Y., Higurashi, R., Iwasaki, H., Otsuka, S., Yamada, S., Sato, T. *The Astrophysical Journal* 2021)

超新星残骸カシオペア A のチャンドラ衛星による X 線観測データを用いて、南東領域の爆発噴出物逆転層の起源についての研究を行った。X 線ライン放射のドップラーシフトとイメージ解析による移動速度の測定を組み合わせ、Si/O リッチ・イジェクタが Fe リッチ・イジェクタに比べて速度が小さいことを示した。これは、爆発噴出物の逆転が超新星爆発の初期あるいは爆発時に起きたことを示唆し、重力崩壊型超新星爆発の中心領域の強い活動性を支持する結果となった。また、カシオペア A の北東ジェットから安定チタンからの K-X 線を発見した。ジェット領域から観測された元素組成は、不完全ケイ素燃焼によって説明可能であり、爆発時のジェットのパワーは弱く、超新星爆発の運動学の観点ではジェットは大きな役割を果たしていない可能性が考えられる結果となった。(Ikeda, T., Uchiyama, Y., Sato, T., Higurashi, R., Tsuchioka, T., Yamada, S. *The Astrophysical Journal* 2022; Tsuchioka, T., Sato, T., Yamada, S., Uchiyama, Y., *The Astrophysical Journal* 2022)

## ( 3 ) ガンマ線バースト残光の超高エネルギーガンマ線観測

ガンマ線バーストにおける相対論的ジェットからのガンマ線放射の探査を行い、ガンマ線残光からの超高エネルギーガンマ線放射の検出に成功した。本研究グループの D. Khangulyan (立教大) が理論検討を担当した。(H.E.S.S. Collaboration, *Nature* 2019)

赤方偏移  $z=0.0785$  という非常に近傍で発生したガンマ線バースト GRB190829A の残光からの超高エネルギーガンマ線放射の検出に成功し、X 線と超高エネルギーガンマ線の時間変動に顕著な類似性が見られることを示した (H.E.S.S. Collaboration, *Science* 2021)。本研究成果はガンマ線バーストの相対論的ジェットにおける粒子加速現象に新たな謎を提示する結果となり、H.E.S.S. コラボレーションからプレスリリースを発売した。本研究グループの D. Khangulyan (立教大) が理論検討を担当した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計33件（うち査読付論文 33件 / うち国際共著 26件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Khangulyan Dmitry, Aharonian Felix, Romoli Carlo, Taylor Andrew	4. 巻 914
2. 論文標題 Extension of the Synchrotron Radiation of Electrons to Very High Energies in Clumpy Environments	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 76 ~ 76
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abfcbf	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 該当する
1. 著者名 H.E.S.S. Collaboration, Abdalla H., Aharonian F., Ait Benkhali F., et al.	4. 巻 372
2. 論文標題 Revealing x-ray and gamma ray temporal and spectral similarities in the GRB 190829A afterglow	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 1081 ~ 1085
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.abe8560	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 該当する
1. 著者名 Khangulyan D., Barkov Maxim V., Popov S. B.	4. 巻 927
2. 論文標題 Fast Radio Bursts by High-frequency Synchrotron Maser Emission Generated at the Reverse Shock of a Powerful Magnetar Flare	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 2 ~ 2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac4bdf	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 該当する
1. 著者名 Tsuchioka Tomoya, Uchiyama Yasunobu, Higurashi Ryota, Iwasaki Hiroyoshi, Otsuka Shumpei, Yamada Shinya, Sato Toshiki	4. 巻 912
2. 論文標題 On the Origin of the Asymmetry of the Ejecta Structure and Explosion of G350.1-0.3	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 131 ~ 131
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abf2bd	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 該当する

1. 著者名 H.E.S.S. Collaboration	4. 巻 -
2. 論文標題 Striking similarity in X-rays and Very-High-Energy gamma rays in a Gamma-ray Burst Afterglow	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 -
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tsuchioka, T., Uchiyama, Y., Higurashi, R., Iwasaki, H., Otsuka, S., Yamada, S., Sato, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 On the origin of the asymmetry of the ejecta structure and explosion of G350.1-0.3	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 -
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 Ishikawa Shin-nosuke, Matsumura Hideaki, Uchiyama Yasunobu, Glesener Lindsay	4. 巻 296
2. 論文標題 Automatic Detection of Occulted Hard X-Ray Flares Using Deep-Learning Methods	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Solar Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11207-021-01780-x	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 該当する

1. 著者名 Tsuji Naomi, Uchiyama Yasunobu, Khangulyan Dmitry, Aharonian Felix	4. 巻 907
2. 論文標題 Systematic Study of Acceleration Efficiency in Young Supernova Remnants with Nonthermal X-Ray Observations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 117 ~ 117
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abce65	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 該当する

1. 著者名 H.E.S.S. Collaboration、 Abdalla H.、 Adam R.、 Aharonian F. et al.	4. 巻 644
2. 論文標題 An extreme particle accelerator in the Galactic plane: HESS J1826-130	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A112 ~ A112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202038851	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 該当する

1. 著者名 Sudoh Takahiro、 Khangulyan Dmitry、 Inoue Yoshiyuki	4. 巻 901
2. 論文標題 Physical Conditions and Particle Acceleration in the Kiloparsec Jet of Centaurus A	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L27 ~ L27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/abb3fa	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 Yoneda H.、 Makishima K.、 Enoto T.、 Khangulyan D.、 Matsumoto T.、 Takahashi T.	4. 巻 125
2. 論文標題 Sign of Hard-X-Ray Pulsation from the $\gamma$ -Ray Binary System LS 5039	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.125.111103	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 H.E.S.S. Collaboration、 Abdalla H.、 Adam R.、 Aharonian F. et al.	4. 巻 102
2. 論文標題 Search for dark matter signals towards a selection of recently detected DES dwarf galaxy satellites of the Milky Way with H.E.S.S.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.102.062001	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 該当する

1. 著者名 Higurashi Ryota, Tsuji Naomi, Uchiyama Yasunobu	4. 巻 899
2. 論文標題 X-Ray Hotspots in the Northwest Shell of the Supernova Remnant RX J1713.7-3946	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 102 ~ 102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab9945	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 Arakawa Masanori, Hayashida Masaaki, Khangulyan Dmitry, Uchiyama Yasunobu	4. 巻 897
2. 論文標題 Detection of Small Flares from the Crab Nebula with Fermi-LAT	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 33 ~ 33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab9368	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 Barkov Maxim V, Lyutikov Maxim, Khangulyan Dmitry	4. 巻 497
2. 論文標題 Fast-moving pulsars as probes of interstellar medium	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 2605 ~ 2615
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa1601	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 該当する

1. 著者名 H.E.S.S. Collaboration	4. 巻 582
2. 論文標題 Resolving acceleration to very high energies along the jet of Centaurus A	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 356 ~ 359
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-020-2354-1	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 該当する

1. 著者名 Arakawa M., Hayashida, M., Khangulyan, D., Uchiyama, Y.	4. 巻 -
2. 論文標題 Detection of Small Flares from the Crab Nebula with Fermi-LAT	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 -
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Okuno Tomoyuki, Tanaka Takaaki, Uchida Hiroyuki, Aharonian Felix A., Uchiyama Yasunobu, Tsuru Takeshi Go, Matsuda Masamune	4. 巻 894
2. 論文標題 Time Variability of Nonthermal X-Ray Stripes in Tycho 's Supernova Remnant with Chandra	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 50 ~ 50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab837e	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 該当する

1. 著者名 Khangulyan Dmitry, Arakawa Masanori, Aharonian Felix	4. 巻 491
2. 論文標題 Detection of ultra-high-energy gamma rays from the Crab Nebula: physical implications	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 3217 ~ 3224
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz3261	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 該当する

1. 著者名 H.E.S.S. Collaboration, Abdalla H., Adam R., Aharonian F., Ait Benkhali F., Angner E. O., Arakawa M. et al.	4. 巻 575
2. 論文標題 A very-high-energy component deep in the $\gamma$ -ray burst afterglow	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 464 ~ 467
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-019-1743-9	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 該当する



1. 著者名 Iwasaki Hiroyoshi, Ichinohe Yuto, Uchiyama Yasunobu	4. 巻 488
2. 論文標題 X-ray study of spatial structures in Tycho 's supernova remnant using unsupervised deep learning	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4106 ~ 4116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz1990	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 Tsuji Naomi, Uchiyama Yasunobu, Aharonian Felix, Berge David, Higurashi Ryota, Krivonos Roman, Tanaka Takaaki	4. 巻 877
2. 論文標題 NuSTAR Observations of the Supernova Remnant RX J1713.7-3946	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 96 ~ 96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab1b29	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 該当する

1. 著者名 Tsuji N., Uchiyama Y., Aharonian F., Berge D., Higurashi R., Krivonos R., Tanaka, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 NuSTAR observations of the supernova remnant RX J1713.7-3946	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 -
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 H.E.S.S. Collaboration, Abdalla H, Aharonian F, Arakawa M, Tsuji N, Uchiyama Y, Takahashi, T. 他	4. 巻 486
2. 論文標題 H.E.S.S. observations of the flaring gravitationally lensed galaxy PKS1830-211	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 3886-3891
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz1031	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 該当する

1. 著者名 H.E.S.S. Collaboration、 Abdalla H、 Aharonian F、 Arakawa M、 Tsuji N、 Uchiyama Y、 Takahashi、 T. 他	4. 巻 482
2. 論文標題 VHE gamma-ray discovery and multi-wavelength study of the blazar 1ES 2322-409	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 3011-3022
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty2686	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 該当する

1. 著者名 H.E.S.S. Collaboration、 Abdalla H、 Aharonian F、 Arakawa M、 Tsuji N、 Uchiyama Y、 Takahashi、 T. 他	4. 巻 870
2. 論文標題 The 2014 TeV Gamma-Ray Flare of Mrk 501 Seen with H.E.S.S.: Temporal and Spectral Constraints on Lorentz Invariance Violation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aaf1c4	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 該当する

1. 著者名 H.E.S.S. Collaboration、 Abdalla H、 Aharonian F、 Arakawa M、 Tsuji N、 Uchiyama Y、 Takahashi、 T. 他	4. 巻 621
2. 論文標題 Particle transport within the pulsar wind nebula HESS J1825-137	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201834335	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 該当する

1. 著者名 Katsuragawa Miho、 Nakashima Shinya、 Matsumura Hideaki、 Tanaka Takaaki、 Uchida Hiroyuki、 Lee Shiu-Hang、 Uchiyama Yasunobu、 Arakawa Masanori、 Takahashi Tadayuki	4. 巻 70
2. 論文標題 Suzaku X-ray observations of the mixed-morphology supernova remnant CTB1	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy114	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 Khangulyan Dmitry、Bosch-Ramon Valenti、Uchiyama Yasunobu	4. 巻 481
2. 論文標題 Inverse Compton emission from relativistic jets in binary systems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1455-1468
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty2356	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 該当する

1. 著者名 H.E.S.S. Collaboration、Abdalla H、Aharonian F、Arakawa M、Tsuji N、Uchiyama Y、Takahashi、T、 他	4. 巻 620
2. 論文標題 First ground-based measurement of sub-20 GeV to 100 GeV $\gamma$ -Rays from the Vela pulsar with H.E.S.S. II	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201732153	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 該当する

1. 著者名 H.E.S.S. Collaboration、Abdalla H、Aharonian F、Arakawa M、Tsuji N、Uchiyama Y、Takahashi、T、 他	4. 巻 2018
2. 論文標題 Searches for gamma-ray lines and 'pure WIMP' spectra from Dark Matter annihilations in dwarf galaxies with H.E.S.S.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2018/11/037	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 該当する

1. 著者名 H.E.S.S. Collaboration、Abdalla H、Aharonian F、Arakawa M、Tsuji N、Uchiyama Y、Takahashi、T、 他	4. 巻 619
2. 論文標題 The gamma-ray spectrum of the core of Centaurus A as observed with H.E.S.S. and Fermi-LAT	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201832640	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 該当する

1. 著者名 Tanaka Takaaki, Yamaguchi Hiroya, Wik Daniel R., Aharonian Felix A., Bamba Aya, Castro Daniel, Foster Adam R., Petre Robert, Rho Jeonghee, Smith Randall K., Uchida Hiroyuki, Uchiyama Yasunobu, Williams Brian J.	4. 巻 866
2. 論文標題 NuSTAR Detection of Nonthermal Bremsstrahlung from the Supernova Remnant W49B	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/aae709	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 該当する

〔学会発表〕 計22件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 土岡智也, 内山泰伸, 日暮凌太, 岩崎啓克, 大塚駿平, 山田真也, 佐藤寿紀
2. 発表標題 重力崩壊型超新星残骸G350.1-0.3のX線観測で迫る爆発の非対称効果
3. 学会等名 日本天文学会 秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 土岡智也, 佐藤寿紀, 山田真也, 内山泰伸
2. 発表標題 X線で探るカシオペア座A南東領域の爆発噴出物逆転層の起源
3. 学会等名 日本天文学会 春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中孝明, Dmitry Khangulyan, 鈴木寛大, 高橋忠幸, 辻直美, 内山泰伸
2. 発表標題 H.E.S.S. 日本チームの活動報告
3. 学会等名 日本物理学会 春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Dmitry Khangulyan
2. 発表標題 H.E.S.S.による新しい過渡的ガンマ線源の研究
3. 学会等名 日本物理学会 春季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Dmitry Khangulyan
2. 発表標題 Highlights of the H.E.S.S. Experiment
3. 学会等名 TeV Particle Astrophysics 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Dmitry Khangulyan
2. 発表標題 GRB 190829A Long afterglow measurement with H.E.S.S.
3. 学会等名 International Cosmic-Ray Conference 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩崎啓克, 一戸悠人, 内山泰伸
2. 発表標題 深層学習VAEによるX線分光観測からの特徴抽出
3. 学会等名 日本天文学会 春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 辻 直美, 内山 泰伸, Dmitry Khangulyan, Felix Aharonian
2. 発表標題 超新星残骸の衝撃波におけるX線の熱的放射と非熱的放射の関係
3. 学会等名 日本天文学会 秋季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 土岡智也、内山泰伸、山田真也、佐藤寿紀
2. 発表標題 超新星残骸G350.1-0.3におけるイジェクタ速度の測定
3. 学会等名 日本天文学会 秋季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Dmitry Khangulyan
2. 発表標題 Gamma-Ray Emission from Compact Binary Systems
3. 学会等名 The 10th International Workshop on Air Shower Detection at High Altitudes (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Dmitry Khangulyan
2. 発表標題 Gamma-ray emission from Pulsar Wind Nebulae
3. 学会等名 Multimessenger High Energy Astrophysics in the era of LHAASO (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Dmitry Khangulyan
2. 発表標題 On the scales of extension of Pulsar Wind Nebula
3. 学会等名 Gamma-Ray Halos around Pulsars (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yasunobu Uchiyama
2. 発表標題 X-ray and Gamma-ray View of Particle Acceleration in Galactic Sources
3. 学会等名 TeVPA 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naomi Tsuji, Yasunobu Uchiyama, Dmitry Khangulyan, Felix Aharonian
2. 発表標題 Particle acceleration in young supernova remnants with nonthermal X-ray and TeV gamma-ray observations
3. 学会等名 TeVPA 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naomi Tsuji, Yasunobu Uchiyama, Dmitry Khangulyan, Felix Aharonian
2. 発表標題 Constraint on diffusion coefficient at SNR shock using nonthermal X-ray and gamma-ray observations
3. 学会等名 Supernova remnants II, Chania (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 日暮凌太、辻直美、内山泰伸
2. 発表標題 超新星残骸 RX J1713.7-3946北西領域の hotspot の解明
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 辻直美、内山泰伸、Dmitry Khangulyan, 日暮凌太
2. 発表標題 超新星残骸の非熱的X線観測を用いた衝撃波近傍の拡散係数の推定
3. 学会等名 日本天文学会春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内山泰伸
2. 発表標題 ガンマ線・宇宙線観測による暗黒物質探査
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naomi Tsuji, Yasunobu Uchiyama, Dmitry Khangulyan, Felix Aharonian
2. 発表標題 Constraint on diffusion coefficient at SNR shock using nonthermal X-ray and gamma-ray observations
3. 学会等名 Supernova Remnants II -an odyssey in space after stellar death- (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Naomi Tsuji, Yasunobu Uchiyama, Dmitry Khangulyan, Ryota Higurashi, David Berge, Felix Aharonian
2. 発表標題 Nonthermal hard X-ray and TeV gamma-ray diagnostics of diffusion coefficient near supernova remnants shocks
3. 学会等名 TeVPA 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 辻直美, 内山 泰伸, Dmitry Khangulyan, 日暮凌太, David Berge, Felix Aharonian
2. 発表標題 超新星残骸の非熱的X線観測を用いた衝撃波近傍の拡散係数の推定
3. 学会等名 日本天文学会 2019年春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 日暮凌太, 辻直美, 内山泰伸
2. 発表標題 Chandra X 線観測衛星を用いた超新星残骸 RX J1713.7-3946 北西領域の hot-spot の解明
3. 学会等名 日本天文学会 2018年秋季年会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

高エネルギー天文学 内山研究室 (立教大学) <a href="https://www2.rikkyo.ac.jp/web/y_uchiyama/">https://www2.rikkyo.ac.jp/web/y_uchiyama/</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
研究分担者	中島 真也  (Nakajima Shinya)  (20737449)	国立研究開発法人理化学研究所・開拓研究本部・基礎科学特別研究員    (82401)	

	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	カングリヤン ドミトリー  (Khanguilyan Dmitry)		
研究協力者	高橋 忠幸  (Takahashi Tadayuki)		
研究協力者	辻 直美  (Tsuji Naomi)		

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