

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2017～2021

課題番号：17H06131

研究課題名(和文)CTA 大口径望遠鏡アレイによる極限宇宙の研究

研究課題名(英文)Study of the Extreme Universe with the CTA Large Size Telescopes

研究代表者

手嶋 政廣 (TESHIMA, MASAHIRO)

東京大学・宇宙線研究所・教授

研究者番号：40197778

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 157,100,000円

研究成果の概要(和文)：2020年より、CTA大口径望遠鏡 LST1 の科学運用を開始し重要な成果をあげてきた。より高感度な観測をめざし、MAGIC望遠鏡とのステレオ観測もすすめている。LST2-4の建設許可が現地政府より認可され、2026年には4基での高感度な観測体制に入ることができる。科学的成果のハイライトとしては、MAGIC望遠鏡によるTeV GRB GRB190114C の初観測、LST1によるカニパルサー、ゲミンガパルサーからのガンマ線パルス放射の詳細観測、新星RS Ophiuchi からのガンマ線放射の初観測があげられる。また、複数の活動銀河の観測に成功しているが、BL Lac の巨大フレアを観測した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

CTA大口径望遠鏡は、激しく変動する宇宙、極限的な宇宙の姿を明らかにしていくものであり、我々の宇宙に関する理解を大きく広げるものである。ガンマ線バースト(誕生直後のブラックホール)、再帰新星(白色矮星上に降り積もった物質の熱核反応による爆発的燃焼)、超巨大ブラックホール等からの高エネルギーガンマ線放射の研究はこれらの激しく変動する天体でおこる物理現象を明らかにする。特にCTA大口径望遠鏡はこれらの観測を宇宙初期まで広げるものであり、これらの激しく変動する天体の観測を通してビッグバンから現在の宇宙への進化を明らかにしていく。

研究成果の概要(英文)：The scientific observation of LST1 started in January 2020, and several significant results have been delivered. The stereoscopic observation with MAGIC is used for some specific sources with higher sensitivity. The construction of LST2-4 started in 2022 after the release of permission from the local government, and the completion of the array of four LSTs is scheduled for 2026. We can report the scientific highlights during this program. 1) The first observation of TeV GRB, GRB190114C with the MAGIC telescopes, 2) High precision measurements of Crab Pulsar and Geminga Pulsar, 3) The first observation of the recurrent nova, RS Ophiuchi outburst, in VHE energy range, and 4) The observation of giant flare from BL Lacetae.

研究分野：高エネルギーガンマ線天文学

キーワード：ガンマ線 高エネルギーガンマ線 チェレンコフ望遠鏡 ブラックホール パルサー 宇宙線 暗黒物質

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

高エネルギーガンマ線による宇宙の研究は、過去20年にわたり、現在稼働中のチェレンコフ望遠鏡 HESS, MAGIC, VERITAS により大きく進展してきた。さらに、次世代の世界で唯一となる高性能チェレンコフ望遠鏡 CTA により飛躍的な発展が期待される。我々日本グループは、CTA北サイトであるスペイン・ラパルマに、23m 口径チェレンコフ望遠鏡(CTA大口径望遠鏡) 4基を特別推進研究、概算要求施設整備費で建設を進めている。本研究計画では、CTA建設・コミッショニング段階の初期から、運用されるこれら4基の大口径望遠鏡アレイを利用し、可能な限り多くのサイエンスを生み出す。

近年、地上でチェレンコフ望遠鏡を使い TeV 領域ガンマ線を観測する技術が確立し、現行のチェレンコフ望遠鏡HESS, MAGIC, VERITASによりこの分野は新たな天文学の一つとなった。多種、多様な高エネルギーガンマ線源が銀河系内、銀河系外に約200天体発見され、宇宙線の起源、宇宙での非熱的過程、ブラックホールの相対論的ジェット、銀河間空間を満たす可視・赤外領域背景放射等の問題等が徐々に解き明かされつつある。

高エネルギー宇宙観測は、超高密度物質、ブラックホールなどの極限時空、暗黒物質粒子の対消滅ガンマ線の探索など、宇宙論や基礎物理学の発展に重大な貢献をもたらす。こうした重要な科学的課題に切り込むため、我々はさらに高感度・高性能な従来にない大規模な観測装置 CTA(Cherenkov Telescope Array)を建設している。

### 2. 研究の目的

本研究計画の研究目的は、1) CTA-LST 23m 大口径チェレンコフ望遠鏡4基の建設を欧州グループとすすめ、2) 地上ガンマ線望遠鏡でのガンマ線バーストの観測、3) 超大質量ブラックホール周辺での高エネルギー現象の解明、4) 銀河中心領域、矮小楕円銀河の暗黒物質の高感度探索を行うことである。CTA 大口径チェレンコフ望遠鏡(20GeV-10TeV)とFermi ガンマ線衛星(100MeV-100GeV)を使い、5桁にわたる広帯域(100MeV-10TeV)で、銀河系内外の多くの極限的な天体を観測し、宇宙線加速、ガンマ線放射の現場を今までに無い精度で捉え、宇宙線起源のグローバルピクチャーを得る。

現在、日本グループは、CTA-LST 23m大口径チェレンコフ望遠鏡4基を欧州グループと共同で建設中であり、順次稼働を開始する。この大口径望遠鏡アレイは高エネルギーガンマ線による観測領域を宇宙初期( $z < 4$ )まで広げ、活動銀河核(巨大ブラックホール)、ガンマ線バースト(宇宙で一番明るい電磁波爆発)等により多くの高エネルギー天体を広いエネルギー帯域で観測し、これら天体でおこる高エネルギー物理過程を解明する。また、今までにない最高感度で暗黒物質探索を行う。

### 3. 研究の方法

23m 口径CTA 大口径望遠鏡4基をスペイン・ラパルマのロケ・デ・ロス・ムチャチョス天文台構内に建設し、大口径望遠鏡アレイとして運用し、20GeVから10TeV領域で、ガンマ線バースト、活動銀河核の観測を行う。望遠鏡の高感度化、低エネルギー閾値により、高エネルギー

ガンマ線による観測を宇宙初期 $z < 4$  まで延ばし、高エネルギーガンマ線天文学を飛躍的に進める。

2018年末に、大口径望遠鏡1号基(LST1)の建設を完了した、その後装置の調整を行い、2020年1月より、LST1 のコミッショニングを行い、近傍の明るいガンマ線天体を観測し、望遠鏡のトラッキング精度、光学性能、カメラ、チェレンコフ望遠鏡としての性能評価を行う。LST1号基でのモノ観測では、感度に限界があるので、MAGIC 望遠鏡2基と同時に運用し、3基のステレオアレイで観測運用をおこなう。

2020年には、LST2-LST4 の建設許可申請を提出したが、国立公園内での大規模な建設事業であり、環境への影響が大きいと認識され、最終的に地方政府からの承認がなされたのは2022年9月であった。また、2020年には Covid-19 により、また、2021年には天文台から 20km の距離にあるクンブレ・ピエハ山の噴火活動により、スペイン・ラパルマのロケ・デ・ロス・ムチャチョス天文台が一時的に閉鎖され、環境的には、波乱にみちた研究期間となったが、これらの諸問題は全て解決され、2026年の完成を目指して研究をすすめている。

#### 4. 研究成果

研究成果としては、1) LST1 commissioning により、LST1 がデザイン仕様を十分満たす性能を持っていることを証明したこと、2) MAGIC による TeV-GRB の初観測、3) Crab Pulsar、Geminga Pulsar からのパルス放射の精密観測、4) 再帰新星 RS-Ophiuchi アウトバーストに伴う高エネルギーガンマ線の観測、5) BL-Lacetae からの巨大フレアーの観測などがあげられる。

#### LST1 の建設、LST2-4 の建設開始

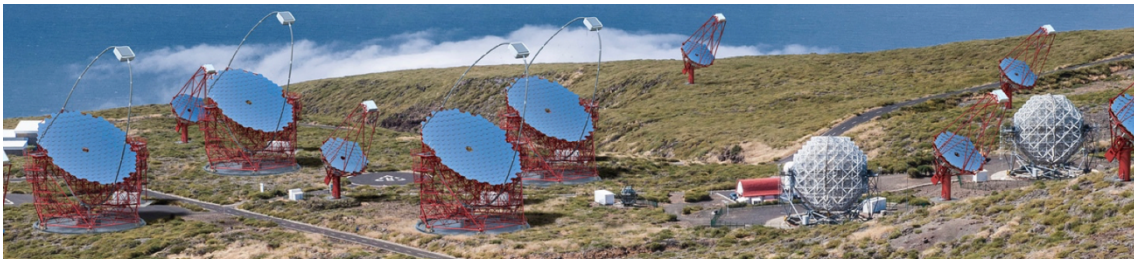


図1、上図：Computer Graphicsにより合成されたCTAアレイ完成時の想像図。23m大口径チェレンコフ望遠鏡4基が左側に見える。そのうち、右手前が建設完了したLST1であり、右側に見える白いスペースフレームの望遠鏡はMAGIC-I、MAGIC-IIである。下図：大口径チェレンコフ望遠鏡1号機。2020年より科学観測を行う。

## TeV GRB GRB190114C の初観測

MAGIC 望遠鏡により、TeV-GRB GRB190114C を初観測した。SWIFT の X 線データ、フェルミ LAT のデータと多波長解析エネルギースペクトルには 2 バンプ構造がはっきりと見える。一方、MAGIC のライトカーブは X 線のライトカーブとほぼ平行して冪函数で変化しており、その起源が同一であることを示唆している。SSC モデルにより、スペクトルは 2 バンプ構造と平行して冪函数で変化するライトカーブが説明できる。MAGIC で観測した TeV 領域まで伸びる成分は、高エネルギー電子による Inverse Compton 散乱成分であることがわかる。

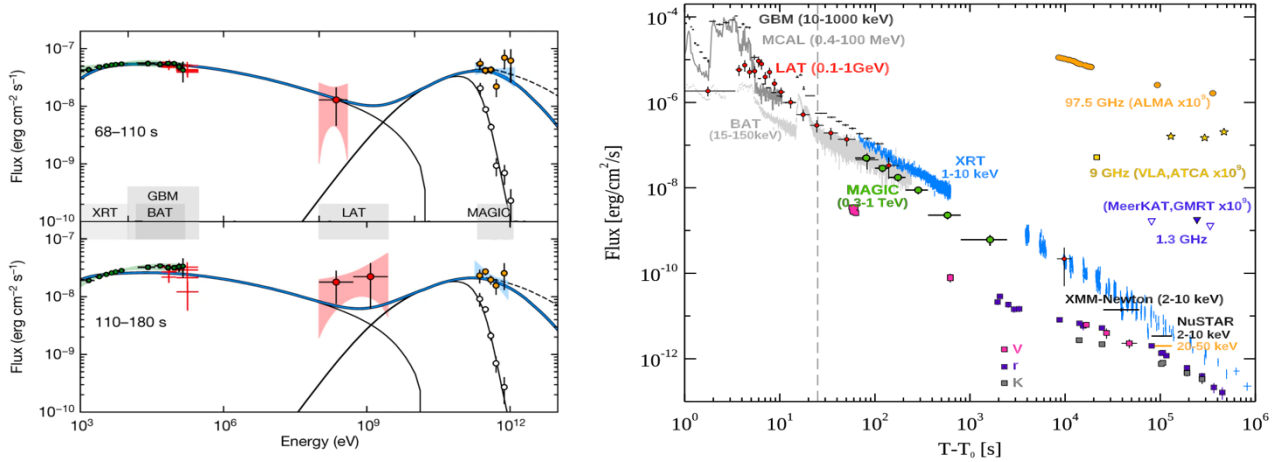


図 2、左図：TeV GRB GRB190114C の多波長エネルギースペクトル。MAGIC での観測により TeV を超えて伸びる成分が存在することがわかった。右図：多波長観測によるライトカーブ。TeV 成分と X 線成分がほぼ平行して減衰していることがわかる。

## LST1 パフォーマンス (投稿中)

カニ星雲からのガンマ線測定と MC シミュレーションを比較することにより、LST1 の性能評価を行なった。ガンマ線、宇宙線バックグラウンドの識別能力、角度分解能、エネルギー分解能などの諸パラメーター、エネルギースペクトル、ガンマ線への微分感度も MC シミュレーションとよく一致することがわかった。カニ星雲から検出されるガンマ線イベント頻度は 1.09Hz である。

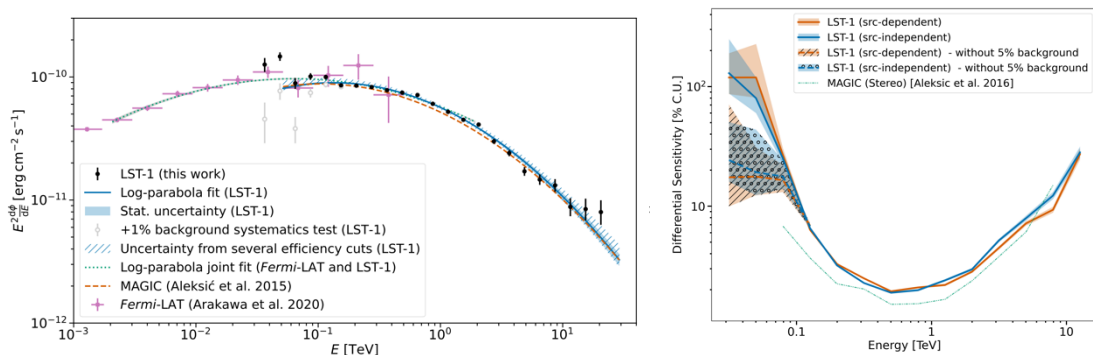


図 2、左図：LST1 による 34 時間の Crab Nebula 観測時のエネルギースペクトル。LST1, Fermi の観測はよく一致している。また、LST1 は MAGIC で得られたスペクトルとエラーの範囲内で一致しており、30GeV 以上から LST1 観測データが示されている。右図：Crab Nebula からの観測データから導かれた LST1 の感度曲線。期待される simulation 結果とよく一致する。100GeV 以下の上側、下側のブランチは 5% systematic error を考慮した場合、考慮しない場合である。

パルサー観測（投稿準備中）

カニパルサー、ゲミンガパルサーからのパルス放射の観測に成功する。20GeV  
 以上でパルス信号が検出される。また、P1、P2 毎のエネルギースペクトルも解析されており Fermi  
 ガンマ線衛星の結果とよくつながる。これらの結果は、パルサー磁気圏の中でガンマ線パルス放  
 射位置を理解する上で興味深い。

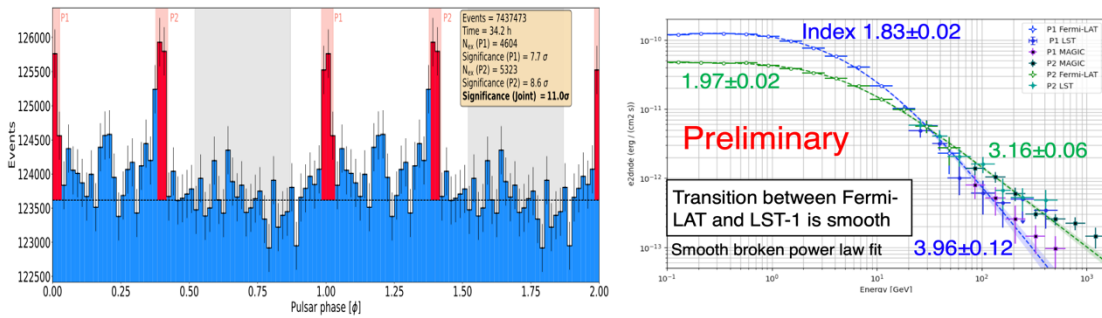


図3、カニパルサーからのパルス放射。P1、P2 がほぼ予測される位置に観測される。フェルミガンマ線衛星のデータと LST1 のデータはスムーズにつながり、それぞれスペクトラルインデックスの異なる冪関数でしめされる。

再帰新星 RS-Ophiuchi（投稿準備中）

RS-Ophiuchi のアウトバースト後、LST1 による数日間の観測において高エネルギーガンマ線が  
 観測される。これは VHE エネルギー領域では初観測であり新しい情報を得ることができる。LST1  
 の結果は MAGIC, HESS の観測結果とよく一致するがエネルギー閾値を 30GeV まで観測エネルギ  
 ー帯をひろげている。フェルミガンマ線衛星との多波長観測は、加速された宇宙線と周辺のガス  
 との衝突により生成された  $\pi^0$  からのガンマ線放射を強く示唆している。

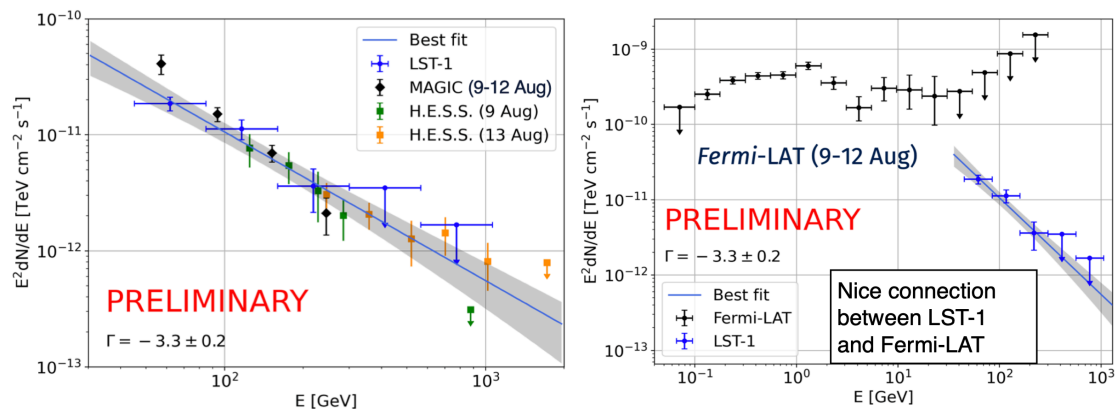


図4、RS-Ophiuchi アウトバースト時の（2021年8月8日）高エネルギーガンマ線エネルギースペクトル。Fermi, LST1, MAGIC, HESS による観測される。



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計35件（うち査読付論文 35件 / うち国際共著 35件 / うちオープンアクセス 28件）

1. 著者名 MAGIC Collaboration: Acciari V. A. et al.	4. 巻 908
2. 論文標題 MAGIC Observations of the Nearby Short Gamma-Ray Burst GRB 160821B	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 90 ~ 90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abd249	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 MAGIC Collaboration: Acciari V. A. et al.	4. 巻 643
2. 論文標題 Detection of the Geminga pulsar with MAGIC hints at a power-law tail emission beyond 15 GeV	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 L14 ~ L14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202039131	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 CTA Consortium, Acharyya A. et al.	4. 巻 2021
2. 論文標題 Sensitivity of the Cherenkov Telescope Array to a dark matter signal from the Galactic centre	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 057 ~ 057
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2021/01/057	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 MAGIC Collaboration, Acciari V.A. et al.	4. 巻 28
2. 論文標題 A search for dark matter in Triangulum II with the MAGIC telescopes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics of the Dark Universe	6. 最初と最後の頁 100529 ~ 100529
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dark.2020.100529	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 MAGIC Collaboration: Acciari V.A.	4. 巻 125
2. 論文標題 Bounds on Lorentz Invariance Violation from MAGIC Observation of GRB 190114C	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 NN-NN
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.125.021301	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 EHT, FERM-LAT, HESS, MAGIC, VERITAS	4. 巻 911
2. 論文標題 Broadband Multi-wavelength Properties of M87 during the 2017 Event Horizon Telescope Campaign	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L11 ~ L11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/abef71	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 MAGIC, and FERMI-LAT Collaborations	4. 巻 647
2. 論文標題 VHE gamma-ray detection of FSRQ QSO B1420+326 and modeling of its enhanced broadband state in 2020	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A163 ~ A163
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202039687	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 MAGIC Collaboration, Acciari V.A et al.	4. 巻 28
2. 論文標題 A search for dark matter in Triangulum II with the MAGIC telescopes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics of the Dark Universe	6. 最初と最後の頁 100529 ~ 100529
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dark.2020.100529	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 該当する

1. 著者名 MAGIC Collaboration and Fermi Collaboration	4. 巻 486
2. 論文標題 Measurement of the extragalactic background light using MAGIC and Fermi-LAT gamma-ray observations of blazars up to $z = 1$	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 4233 ~ 4251
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz943	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 該当する

1. 著者名 MAGIC Collaboration	4. 巻 635
2. 論文標題 MAGIC very large zenith angle observations of the Crab Nebula up to 100 TeV	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A158 ~ A158
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201936899	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 該当する

1. 著者名 MAGIC Collaboration	4. 巻 575
2. 論文標題 Observation of inverse Compton emission from a long $\gamma$ -ray burst	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 459 ~ 463
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-019-1754-6	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 該当する

1. 著者名 MAGIC Collaboration	4. 巻 575
2. 論文標題 Teraelectronvolt emission from the $\gamma$ -ray burst GRB 190114C	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 455 ~ 458
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-019-1750-x	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 該当する



1. 著者名 MAGIC Collaboration (V.A. Acciari et al.)	4. 巻 486
2. 論文標題 Measurement of the Extragalactic Background Light using MAGIC and Fermi-LAT gamma-ray observations of blazars up to $z = 1$	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notice Royal Astronomy Society	6. 最初と最後の頁 4233 - 4251
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz943	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 該当する

1. 著者名 Razmik Mirzoyan, Ievgen Vovk, Masahiro Teshima	4. 巻 online 22
2. 論文標題 Extending the observation limits of Imaging Air Cherenkov Telescopes toward horizon	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nuclear Instrument and Method A	6. 最初と最後の頁 N.A.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2018.11.046	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 該当する

1. 著者名 MAGIC Collaboration (V.A. Acciari et al.)	4. 巻 484
2. 論文標題 Deep observations of the globular cluster M15 with the MAGIC telescopes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notice Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 2876 - 2885
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz179	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 該当する

1. 著者名 MAGIC Collaboration (M.L. Ahnen et al.)	4. 巻 485
2. 論文標題 MAGIC and Fermi-LAT gamma-ray results on unassociated HAWC sources	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notice Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 356 - 366
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz089	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 該当する

1. 著者名 MAGIC Collaboration (V.A. Acciari et al.)	4. 巻 623
2. 論文標題 A Fast Very High Energy gamma-ray Flare from BL Lacertae during a Period of Multiwavelength activity in June 2015	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Astronomy and Astrophysics	6. 最初と最後の頁 N.A.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201834010	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 該当する

1. 著者名 A. Hahn, A.Detlaf, D.Fink, D.Mazin, R.Mirzoyan, and M. Teshima	4. 巻 912
2. 論文標題 Development of three silicon photomultiplier detector modules for the MAGIC telescopes for a performance comparison to PMTs	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods A	6. 最初と最後の頁 259 - 263
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2017.11.071	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 該当する

1. 著者名 MAGIC Collaboration (V.A. Acciari et al.)	4. 巻 483
2. 論文標題 Discovery of TeV gamma-ray emission from the neighbourhood of the supernova remnant G24.7+0.6 by MAGIC	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notice Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4578 - 4585
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty3387	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 該当する

1. 著者名 VERITAS and MAGIC collaborations (A.U. Abeysekara et al.)	4. 巻 867
2. 論文標題 Periastron Observations of TeV Gamma-Ray Emission from a Binary System with a 50-year Period	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astrophys. J. Letter	6. 最初と最後の頁 Number 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/aae70e	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 該当する

1. 著者名 MAGIC Collaboration (V.A. Acciari et al.)	4. 巻 481
2. 論文標題 Constraining very-high-energy and optical emission from FRB 121102 with the MAGIC telescopes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notice Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 2479 - 2486
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty2422	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 該当する

1. 著者名 MAGIC Collaboration (M.L. Ahnen et al.)	4. 巻 620
2. 論文標題 Extreme HBL behavior of Markarian 501 during 2012	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astronomy and Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A181
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201833704	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 該当する

1. 著者名 M.G. Aartsen et al.	4. 巻 361
2. 論文標題 Multimessenger observations of a flaring blazar coincident with high-energy neutrino IceCube-170922A	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 no.6398
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.aat1378	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 該当する

1. 著者名 MAGIC Collaboration(S. Ansoldi et al.)	4. 巻 863
2. 論文標題 The blazar TXS 0506+056 associated with a high-energy neutrino: insights into extragalactic jets and cosmic ray acceleration	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astrophysical Journal Letter	6. 最初と最後の頁 no.1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/aad083	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 該当する

1. 著者名 MAGIC Collaboration(S. Ansoldi et al.)	4. 巻 480
2. 論文標題 The broad-band properties of the intermediate synchrotron peaked BL Lac S2 0109+22 from radio to VHE gamma-rays	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notice Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 879-892
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty1753	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 該当する

1. 著者名 M.N. Ahnen et al.	4. 巻 619
2. 論文標題 Multi-wavelength characterization of the blazar S5 0716+714 during an unprecedented outburst phase	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astronomy and Astrophysics	6. 最初と最後の頁 N.A.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201832677	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 該当する

1. 著者名 MAGIC Collaboration (V.A. Acciari et al.)	4. 巻 22
2. 論文標題 Constraining Dark Matter lifetime with a deep gamma-ray survey of the Perseus Galaxy Cluster with MAGIC	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics of the Dark Universe	6. 最初と最後の頁 38-47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dark.2018.08.002	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 該当する

1. 著者名 MAGIC Collaboration (V.A. Acciari et al.)	4. 巻 619
2. 論文標題 Detection of persistent VHE gamma-ray emission from PKS 1510-089 by the MAGIC telescopes during low states between 2012 and 2017	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astronomy and Astrophysics	6. 最初と最後の頁 N.A.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201833618	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 該当する

1. 著者名 S. Ansoldi et al.	4. 巻 617
2. 論文標題 Gamma-ray flaring activity of NGC1275 in 2016 - 2017 measured by MAGIC	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astronomy and Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A91
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201832895	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 該当する

1. 著者名 M. Takahashi et al.	4. 巻 894
2. 論文標題 A technique for estimating the absolute gain of a photomultiplier tube	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods A	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2018.03.034	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 該当する

1. 著者名 M.L.Ahnen, H.Kubo, M.Teshima et al.	4. 巻 3
2. 論文標題 Indirect dark matter searches in the dwarf satellite galaxy Ursa Major II with the MAGIC telescopes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 article id 009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2018/03/009	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 該当する

1. 著者名 M.L.Ahnen, H.Kubo, M.Teshima et al.	4. 巻 472
2. 論文標題 A cut-off in the TeV gamma-ray spectrum of the SNR Cassiopeia A	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 2956, 2962
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stx2079	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 該当する

1. 著者名 M.L.Ahnen, H.Kubo, M.Teshima et al.	4. 巻 232
2. 論文標題 Constraining Lorentz Invariance Violation Using the Crab Pulsar Emission Observed up to TeV Energies by MAGIC	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Astrophysical Journal Supplement	6. 最初と最後の頁 article id. 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/aa8404	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 該当する

1. 著者名 F.Acero, H.Kubo, M.Teshima, et al.	4. 巻 840
2. 論文標題 Prospects for Cherenkov Telescope Array Observations of the Young Supernova Remnant RX J1713.7-3946	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 article id 74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aa6d67	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 該当する

1. 著者名 M.L.Ahnen, H.Kubo, M.Teshima et al.	4. 巻 601
2. 論文標題 Observations of Sagittarius A* during the pericenter passage of the G2 object with MAGIC	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Astronomy and Astrophysics	6. 最初と最後の頁 id A33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201629355	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 該当する

〔学会発表〕 計20件(うち招待講演 9件/うち国際学会 6件)

1. 発表者名 山本常夏
2. 発表標題 Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画: 全体報告(19)
3. 学会等名 日本天文学会2021春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 窪秀利
2. 発表標題 CTA報告172: 全体報告
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 野田浩司
2. 発表標題 CTA報告165: 全体報告
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 齋藤隆之
2. 発表標題 Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画: 全体報告(18)
3. 学会等名 日本天文学会 2020 秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 窪秀利
2. 発表標題 CTA報告159: 全体報告
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 手嶋政廣
2. 発表標題 CTA報告155: 全体報告
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Teshima
2. 発表標題 All-Sky Observatory CTA
3. 学会等名 日本物理学会シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Teshima
2. 発表標題 High Energy Gamma Ray Astronomy and future prospects
3. 学会等名 Seminar at Rome University (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masahiro Teshima
2. 発表標題 All Sky Observatory
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会 シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 窪秀利
2. 発表標題 CTA報告147: 全体報告
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 手嶋政廣
2. 発表標題 Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画: 全体報告(15)
3. 学会等名 天文学会2018秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 窪秀利
2. 発表標題 CTA報告139: 全体報告
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 Masahiro Teshima
2. 発表標題 High Energy Gamma Ray Astronomy and future
3. 学会等名 COEFIS XII (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Teshima
2. 発表標題 CTA Large Size Telescope
3. 学会等名 Frontiers of Astro-Particle Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Teshima
2. 発表標題 Search for Dark Matter with High Energy Gamma Rays
3. 学会等名 MPG Forum at Berlin (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Teshima
2. 発表標題 Search for Dark Matter with High Energy Gamma Rays
3. 学会等名 Max-Planck-Forum in Berlin
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Teshima for the CTA-Japan Consortium
2. 発表標題 CTA Project Report 130: General Report
3. 学会等名 JPS 2018 Spring Meeting
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masahiro Teshima for the CTA-Japan Consortium
2. 発表標題 CTA Project Report 117: General Report
3. 学会等名 JPS 2017 Spring Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Teshima
2. 発表標題 High Energy Gamma Ray Astronomy and Future Prospect
3. 学会等名 LHAASO Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masahiro Teshima
2. 発表標題 High Energy Gamma Ray Astronomy and Future Prospect
3. 学会等名 Sexten 2017, Summer School (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>The Cherenkov Telescope Array  <a href="http://www.cta-observatory.jp/">http://www.cta-observatory.jp/</a>  <a href="http://www.cta-observatory.jp/">http://www.cta-observatory.jp/</a>  <a href="https://www.cta-observatory.org/">https://www.cta-observatory.org/</a>  <a href="http://magic.scphys.kyoto-u.ac.jp/">http://magic.scphys.kyoto-u.ac.jp/</a>  The Cherenkov Telescope Array (CTA)  <a href="http://www.cta-observatory.jp/">http://www.cta-observatory.jp/</a>  Cherenkov Telescope Array  <a href="https://www.cta-observatory.org/">https://www.cta-observatory.org/</a>  ICRR チェレンコフガンマ線グループ  <a href="http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/~cta/index.html">http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/~cta/index.html</a>  IAC CTA-LST  <a href="http://www.lst1.iac.es/">http://www.lst1.iac.es/</a>  Cherenkov Telescope Array  <a href="https://www.cta-observatory.org/">https://www.cta-observatory.org/</a>  Cherenkov Telescope Array (CTA-Japan)  <a href="http://www.cta-observatory.jp/">http://www.cta-observatory.jp/</a>  The MAGIC Telescopes  <a href="https://magic.mpp.mpg.de/">https://magic.mpp.mpg.de/</a></p>
---

## 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	窪 秀利  (Kubo Hidetoshi)  (40300868)	東京大学・宇宙線研究所・教授   (12601)	
研究分担者	山本 常夏  (Yamamoto Tokonatsu)  (40454722)	甲南大学・理工学部・教授   (34506)	
研究分担者	井岡 邦仁  (Ioka Kunihito)  (80402759)	京都大学・基礎物理学研究所・教授   (14301)	

## 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2件

国際研究集会 Kashiwa Dark Matter Symposium	開催年 2020年～2020年
国際研究集会 CTAO Council Meeting	開催年 2019年～2019年

## 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