

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2020

課題番号：16K05382

研究課題名（和文）CALETによる暗黒物質探索と天体ガンマ線観測

研究課題名（英文）Search for dark matter and observation of cosmic gamma-rays by CALET

研究代表者

森 正樹（Mori, Masaki）

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：80210136

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：約5年間のCALET検出器によるデータ(>10 GeV)を解析し、暗黒物質の対消滅や崩壊から放出されることが期待されている単色エネルギーのラインガンマ線の探索を行った。暗黒物質ハローの密度分布のモデルを4通り仮定し、それぞれに対応する銀河中心周りの解析領域を設定し、エネルギースペクトルを求め、このスペクトルにラインガンマ線信号が含まれていた場合のフラックスの上限値を算出した。この上限値と、解析領域から期待されるガンマ線量を比較し、暗黒物質のパラメータ（対消滅の場合は消滅断面積×相対速度、崩壊の場合は寿命）の制限を求めた。この結果は、国際会議で報告し、また論文として発表する予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ビッグバンで始まった宇宙で、銀河が形成される際の主役は未知の暗黒物質であるとされ、宇宙の質量の大部分を占めると考えられているが、その正体はわかっていない。暗黒物質が未知の重い素粒子であった場合、対消滅や崩壊を起こして、特徴的な単色のガンマ線（ラインガンマ線）を放出することが予想されている。国際宇宙ステーションに設置された宇宙線検出器CALETの約5年分の観測データを用いて、ラインガンマ線の信号を探索したが、そのような徴候は観測されず、暗黒物質の性質についての制限を与える結果を得た。これは、暗黒物質の正体を解明する上での手掛かりを与える重要な結果といえる。

研究成果の概要（英文）：We analyzed 5-year data acquired with the CALET detector on board the International Space Station and obtained gamma-ray candidates above 10 GeV. We searched for monochromatic (line) gamma-ray signals in the data expected to originate from pair annihilation or decay of dark matter particles.

Assuming four regions of interest in the Galactic center region corresponding to four Galactic halo density profile models, we obtained energy spectra of gamma-ray candidates excluding point source regions. These spectra are consistent with a power-law form with single index. Thus we derived upper limits on fluxes of line gamma-ray signals from the observed spectra. Compared with the expected flux of signal assuming that the Galactic halo consists of dark matter, we calculated limits on the annihilation cross section times the relative velocity for the pair annihilation case and on the lifetime for the decay case. These results will be reported in international conferences and in academic journals.

研究分野：高エネルギー天体物理学

キーワード：天体ガンマ線 暗黒物質

1. 研究開始当初の背景

銀河や銀河団には星の光などとして見える物質より「見えない」物質が多く存在することは **1930** 年代から知られており、暗黒物質と呼ばれているが、その正体は依然謎に包まれており、現代宇宙論の中心的課題の一つとなっている。暗黒物質は通常天体を構成する物質と異なる性質を持つと考えられており、通常物質とは弱い相互作用しか起こさない重い未知の粒子(**WIMPs**)であるとする説が有力視されている。**WIMPs** は重力相互作用により銀河の中心など質量密度の高い領域に集中し、自身が反粒子でもあるため高い密度で分布すると対消滅を起こし、様々な粒子・反粒子対を放出する。特に、二体崩壊からガンマ線が放出される場合には、**WIMPs** の質量と同じエネルギーを持ったガンマ線が放出される。**WIMPs** が集中すると考えられている天の川銀河の中心や、矮小銀河からこのような特徴的なラインガンマ線が観測されれば、暗黒物質が **WIMPs** であることの決定的な証拠となる。加速器実験でこれまで観測されていないことから、**WIMPs** の質量は重く、数 **100 GeV** 以上であると考えられており、また現在の残存量が暗黒物質を説明するためには約 **1 TeV** 以下である必要性があり、放出されるガンマ線のエネルギーもこの程度になる。このような高いエネルギーのガンマ線の観測は、大気チェレンコフ望遠鏡や **Fermi** 衛星などによって行われてきたが、これまで決定的な結果は得られていない。前者は空気シャワー現象を通じた間接的観測であるため原理的にエネルギー分解能が制限されており、後者は装置のサイズによりこのエネルギー領域ではエネルギー分解能が不足していることなどもあり、**WIMPs** からのラインガンマ線に対する感度は十分ではなかった。

2015 年 **8** 月に **JAXA** の **HTV5** 号機により打ち上げられ、国際宇宙ステーション(**ISS**)の日本実験棟「きぼう」曝露部に設置された宇宙線観測装置 **CALET** のプロジェクト¹⁾は、日本を中心に米・伊との国際共同研究チームが製作と運用を担っているが、**2015** 年 **10** 月初旬現在、順調に初期運用を続けており、通常データ取得がまもなく開始される。この装置の主な目的は、高エネルギー(>**10 GeV**)の電子や宇宙線(陽子・原子核)の精密測定であるが、その電荷識別能力を利用して、ガンマ線の観測も可能である。ガンマ線に関する **CALET** の有効面積は、**2008** 年に **NASA** により打ち上げられたガンマ線観測衛星 **Fermi** の大面積検出器 **LAT** に比べ数分の **1** であるが、**CALET** は検出器の物質量の厚みが大いため、高エネルギー領域(**10 GeV ~ 10 TeV**)において **LAT** を大きく上回るエネルギー分解能を持つ。したがって、**WIMPs** からのラインガンマ線に対しこれまでで最高の感度を持つことが期待され、暗黒物質の性質によっては信号として検出される可能性がある。天体ガンマ線の研究においても、**CALET** は数 **100 GeV** 以上で **Fermi/LAT** より高いエネルギー分解能を持ち、この領域でのエネルギースペクトルを精密に測定することができる。これは天体における粒子加速の限界を調べ、宇宙線エネルギースペクトルに見られる **10¹⁵ eV** 付近の「**Knee**(膝)」と呼ばれる構造を理解する上で重要であり、ガンマ線データを蓄積して各天体の広領域エネルギースペクトルを精度よく測定し、理論モデルと比較検討することが必要である。

2. 研究の目的

CALET のガンマ線観測性能については加速器ビームテストの結果に基づきシミュレーションを用いて詳細な検討がなされており、**WIMPs** の残存量が暗黒物質を説明するのに必要とされる質量に対応する数 **100 GeV** 領域において、既存の装置に比べ高い観測性能を発揮する。**2015** 年 **8** 月から **2** 年間(**5** 年間まで延長あり)の観測期間は、本研究の期間とほぼ一致しており、観測データから結果を引き出す上でこの上ないチャンスといえる。ただし、暗黒物質の対消滅ガンマ線の信号の観測可能性は、有効面積(約 **1200cm²**)で制限され、また理論モデルに大きく左右される。たとえば、**Universal Extra Dimension** 理論における **Kaluza-Klein** 暗黒物質に対して予想されるガンマ線信号の場合、銀河中心に集積される暗黒物質質量が典型的な値の **100 ~ 1000** 倍程度であれば **1** 年間の観測で検出が可能である²⁾。暗黒物質の占める割合が高いとされる矮小銀河に対しては、**CALET** の感度は個々に対しては十分あるとはいえないが、複数個の観測を重ね合わせるスタッキング解析などの工夫により感度を上げることを試みる。また、天体ガンマ線に対しては、**Fermi/LAT** の **1FHL** カタログ³⁾から見積もると **1** 年間の観測で **5** 事象以上のガンマ線が期待できる天体は **10** 個程度であり、エネルギースペクトルを決定するには数年間のデータの蓄積が必要である。

3. 研究の方法

CALET で取得したデータからガンマ線を選別し、天の川銀河中心方向など、暗黒物質対消滅からの

¹ Torii, S. for the CALET Collaboration, Proc. 34th ICRC (The Hague, The Netherlands, 2015), PoS (ICRC2015) 581

² Satoshi Tsuchida and Masaki Mori, 5th Fermi Symposium Proceedings, Nagoya, Japan, October 20-24 (2014) pp.142-147

³ M. Ackermann et al 2013 Astrophys. J. Suppl. 209, 34 (2013)

ガンマ線信号が期待される天体方向のエネルギースペクトルを数 **100 GeV** ~ 数 **TeV** 領域に対し作成し、信号が含まれていないかを統計的に検定する。ガンマ線信号は仮定する **WIMPs** の性質に依存するので、ライン成分や連続成分などにできる限り分類して解析する。もし有意な信号が得られれば大発見であるが、有意でない場合も上限値が得られ、これは暗黒物質としての **WIMPs** の性質に制限を与える重要な結果となる。また、こうして蓄積したガンマ線データは **Fermi/LAT** の観測結果などと合わせて天体毎に解析し、**10 GeV** 以上に対しエネルギースペクトルを求め、各種天体における粒子加速機構についての情報を得ていく。

4. 研究成果

早稲田大学やルイジアナ州立大学、**NASA** ゴダード宇宙飛行センターの共同研究者とともに **CALET** カロリメータの観測データを用いたガンマ線の解析方法を確立し、フライトデータから銀河系拡散ガンマ線や **Crab, Vela, Geminga** などの天体を解析し、フェルミ衛星で得られていた結果と矛盾のない結果を得た。この方法を用いて、**CALET** の天体ガンマ線の観測性能を検証する論文[9]と、重力波イベントのガンマ線対応天体を探索して上限値を求めた論文を学術誌で発表した [1]。また、ガンマ線の解析方法をさらに改良し、国際宇宙ステーションの可動構造物による二次ガンマ線の影響を取り除き、有効観測面積を大幅に増やすことができた。この結果をまとめた論文と、**LIGO/VIRGO** で報告された重力波イベントに対し、ガンマ線対応天体を探索して上限値を求めた結果について、宇宙線国際会議や日本物理学会などで講演を行った[14-18, 20-23, 26, 29]。

上記の進展をもとに、**2015 年 10 月**から**2020 年 9 月**までの約 **5 年間**の **CALET** によるデータ(高エネルギートリガーモード、**>10 GeV**)を解析し、暗黒物質の対消滅や崩壊から放出されることが期待されている単色エネルギーのラインガンマ線の探索を行った。暗黒物質ハローの密度分布のモデルを **4** 通り仮定し、それぞれ銀河中心周りから **3 度**以内、**16 度**以内、**41 度**以内、**90 度**以内(銀河円盤領域を除く)の解析領域を設定し、ガンマ線点源を除いてエネルギースペクトルを求めたが、いずれも単一指数のべき乗型として矛盾しなかった。そこで、このスペクトルにラインガンマ線信号が含まれていた場合のフラックスの上限値を算出した。この上限値と、解析領域から期待されるガンマ線量を比較し、暗黒物質のパラメータ(対消滅の場合は消滅断面積×相対速度、崩壊の場合は寿命)の制限を求めた(図 1、図 2)。この結果は、**2021 年夏**の宇宙線国際会議(オンライン開催)で報告し、また論文として公表する予定である。

また、**CALET** の主目的である宇宙線電子は、荷電を持つ以外ガンマ線と同様の電磁相互作用による粒子シャワーとして観測されるため、解析方法には共通点が多い。宇宙線電子の **3.5 TeV** までのエネルギースペクトルを求めた論文[5]、および観測期間を延ばして **4.8 TeV** までのエネルギースペクトルを延長して求めた論文[8]に貢献した。さらに、**CALET** で観測される粒子で最も多い割合を占める、宇宙線陽子の **50 GeV** から **10 TeV** までのエネルギースペクトルを報告した論文[10]、炭素及び酸素原子核の **2.2 TeV/n** までのエネルギースペクトルを報告した論文[12]に貢献した。単一の検出器により、陽

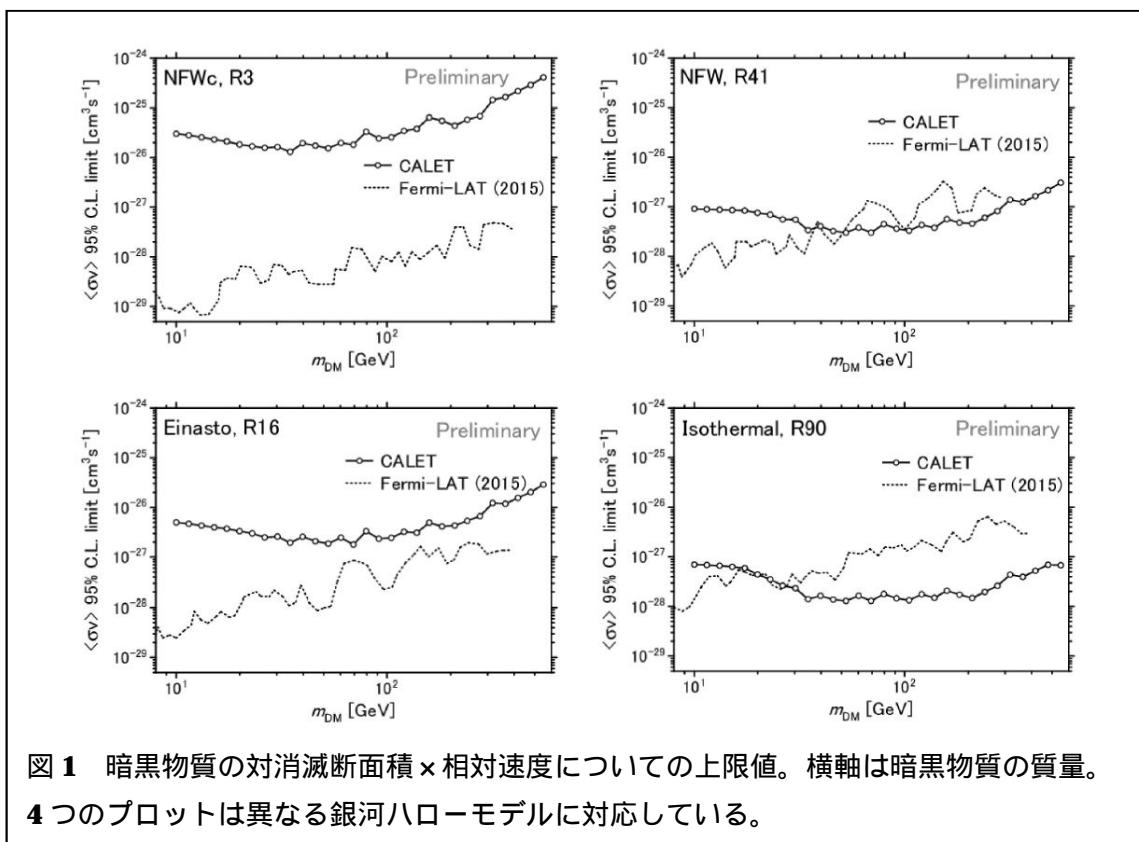


図 1 暗黒物質の対消滅断面積×相対速度についての上限值。横軸は暗黒物質の質量。4つのプロットは異なる銀河ハローモデルに対応している。

子では **500 GeV** 付近、炭素・酸素では **200 GeV/n** 付近でべき乗指数が硬化する変化を明確に示す重要な結果を得た。

ルイジアナ州立大学や青山学院大学の共同研究者とともに、**CALET** に搭載されているガンマ線バーストモニターによる熱的成分の観測の論文にも貢献した[6]。

データ解析と平行して行っていた、カルーツァ・クライン理論の予言する粒子が暗黒物質となっている場合に、宇宙線電子スペクトルに現れる影響や、銀河中心からのガンマ線スペクトルに現れる信号の可能性を理論的に検討し、国際会議で報告するとともに[24, 27]、論文を学術誌に発表した[2, 4]。レーザー干渉計における暗黒物質探索の可能性についても発表した[11]。

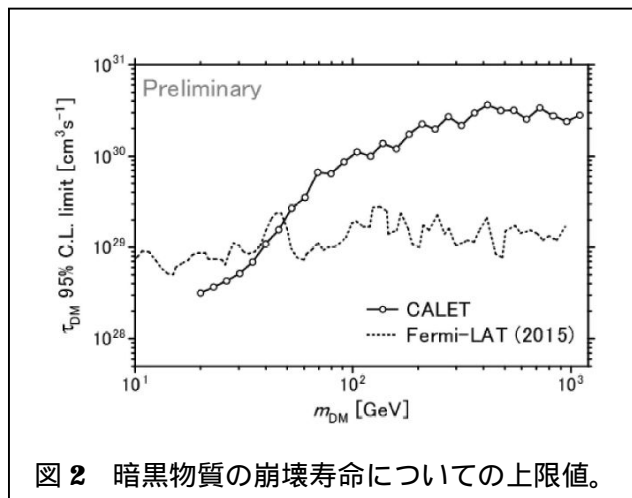


図 2 暗黒物質の崩壊寿命についての上限值。

【発表論文(査読あり)】

[1] “CALET Upper Limits on X-ray and Gamma-ray Counterparts of GW 151226”, *Astrophys. J. Lett.*, **829**, L20 (5pp) (2016) [doi: 10.3847/2041-8205/829/1/L20], O. Adriani, M. Mori, et al.

[2] “The electron plus positron spectrum from annihilation of Kaluza-Klein dark matter in the Galaxy”, *International Journal of Modern Physics D*, **26**, 1750095 (2017) [doi: 10.1142/S021827181750095X] Satoshi Tsuchida and Masaki Mori

[3] “Energy Calibration of CALET Onboard the International Space Station”, *Astroparticle Physics*, **91**, 1--10 (2017) [doi: 10.1016/j.astropartphys.2017.03.002] Y. Asaoka, M. Mori, et al.

[4] “The gamma-ray spectral feature from Kaluza-Klein dark matter annihilation and its observability”, *International Journal of Modern Physics D*, **27**, 1750187 (2017) [doi: 10.1142/S0218271817501875] Satoshi Tsuchida and Masaki Mori

[5] “Energy Spectrum of Cosmic-ray Electron + Positron from 10 GeV to 3 TeV Observed with the Calorimetric Electron Telescope on the International Space Station”, *Physical Review Letters*, **119**, 181101 (2017) [doi: 10.1103/PhysRevLett.119.181101] O. Adriani, M. Mori, et al.

[6] “Detection of the thermal component in GRB 160107A”, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, **70**, 6 (1--10) (2018) [doi: 10.1093/pasj/psx152] Yuta Kawakubo, Masaki Mori, et al.

[7] “On-orbit Operations and Offline Data Processing of CALET onboard the ISS”, *Astroparticle Physics*, **100**, 29--37 (2018) [doi: 10.1016/j.astropartphys.2018.02.010] Y. Asaoka, M. Mori, et al.

[8] “Extended measurement of cosmic-ray electron and positron spectrum from 11 GeV to 4.8 TeV with the calorimetric electron telescope on the International Space Station”, *Physical Review Letters*, **120**, 261102 (2018) [doi: 10.1103/PhysRevLett.120.261102] O. Adriani, M. Mori, et al.

[8] “Search for GeV gamma-ray counterparts of gravitational wave events by CALET”, *Astrophysical Journal*, **863**, 160 (9pp) (2018) [doi: 10.3847/1538-4357/aad18f] O. Adriani, M. Mori, et al.

[9] “Characteristics and Performance of the Calorimetric Electron Telescope (CALET) Calorimeter for Gamma-ray Observation”, *Astrophysical Journal Supplement*, **238**, 5 (16pp) (2018) [doi: 10.3847/1538-4365/aad6a3] N. Cannady, M. Mori, et al.

[10] “Direct Measurement of the Cosmic-Ray Proton Spectrum from 50 GeV to 10 TeV with the Calorimetric Electron Telescope on the International Space Station”, *Physical Review Letters*, **122**, 181102 (2019) [doi: 10.1103/PhysRevLett.122.181102] O. Adriani, M. Mori, et al.

[11] “Dark Matter Signals on a Laser Interferometer”, *Physical Review D*, **101**, 023005 (2020) [doi: 10.1103/PhysRevD.101.023005] Satoshi Tsuchida, Nobuyuki Kanda, Yousuke Itoh, and Masaki Mori

[12] “Direct Measurement of the Cosmic-Ray Carbon and Oxygen spectra from 10 GeV/n to 2.2 TeV/n with the Calorimetric Electron Telescope on the International Space Station”, *Physical Review Letters*, **125**, 251102 (2020) [doi: 10.1103/PhysRevLett.125.251102] O. Adriani, M. Mori, et al.

【国内会議発表】

[13] 宇宙線・宇宙物理学領域シンポジウム「宇宙線直接観測の成果と展望」趣旨説明, 日本物理学会 第 72 回年次大会(大阪大学豊中キャンパス)、2017 年 3 月 19 日, 森 正樹

- [14] 「CALET」による銀河拡散ガンマ線及びガンマ線点源の観測, 日本物理学会 2017 年秋季大会(宇都宮大学峰キャンパス)、2017 年 9 月 13 日, 森 正樹, 浅岡陽一, 佐藤郁也, 鳥居祥二, N. Cannady, M.L. Cherry, 他 CALET チーム
- [15] 「CALET」によるトランジェントガンマ線源の観測, 日本物理学会 第 73 回年次大会(東京理科大学野田キャンパス)、2018 年 3 月 25 日, 森 正樹, 浅岡陽一, 鳥居祥二, 佐藤郁也, 田中瑞樹, N. Cannady, M.L. Cherry, 他 CALET チーム
- [16] 「CALET」による重力波イベントのガンマ線対応天体探索, マルチメッセンジャー研究会 2018 (千葉大学大学院理学研究院附属ハドロン宇宙国際研究センター), 2018 年 3 月 27 日, 森 正樹 for the CALET collaboration
- [17] 「CALET」による高エネルギーガンマ線の観測と解析, 日本物理学会 第 74 回年次大会(九州大学伊都キャンパス)、2019 年 3 月 15 日, 森 正樹, 浅岡陽一, 鳥居祥二, 小澤俊介, 藤田峻, 吉川康太, N. Cannady, M.L. Cherry, 他 CALET チーム
- [18] 「CALET」による高エネルギーガンマ線の観測と解析 II, 日本物理学会 2019 年秋季大会(山形大学小白川キャンパス)、2019 年 9 月 17 日, 森 正樹, 銭田大亮, 浅岡陽一, 鳥居祥二, 川久保雄太, N. Cannady, M.L. Cherry, 他 CALET チーム
- [19] 「ガンマ線・重力波対応天体」, CALET 研究成果報告会(早稲田大学国際会議場、早稲田大学早稲田キャンパス)、2019 年 12 月 15 日, 森 正樹, 他 CALET チーム
- [20] 「CALET」による高エネルギーガンマ線観測, 第 19 回高エネルギー宇宙物理連絡会研究会「高宇連博士論文発表会・研究会」, (オンライン開催)、2020 年 3 月 02~03 日, 森 正樹 for the CALET collaboration
- [21] 「CALET」による高エネルギーガンマ線の最新成果, 日本物理学会 2020 年秋季大会(オンライン開催)、2020 年 9 月 15 日, 森 正樹, 銭田大亮, 浅岡陽一, 鳥居祥二, 川久保雄太, N. Cannady, M.L. Cherry, 他 CALET チーム
- [22] 「CALET」による高エネルギーガンマ線の最新結果(ポスター発表), 第 21 回宇宙科学シンポジウム(オンライン開催)、2021 年 1 月 6 日~7 日, 森 正樹, 銭田大亮, 浅岡陽一, 鳥居祥二, 坂本貴紀, 川久保雄太, N. Cannady, M.L. Cherry, 他 CALET チーム
- [23] 「CALET」による高エネルギーガンマ線の最新結果, 日本物理学会 第 76 回年次大会(オンライン開催)、2021 年 3 月 14 日, 森 正樹, 銭田大亮, 浅岡陽一, 鳥居祥二, N. Cannady, 川久保雄太, M.L. Cherry, 他 CALET チーム
[国際会議発表]
- [24] “Observability of gamma-ray spectral feature from Kaluza-Klein dark matter” (poster, with Satoshi Tsuchida), 6th International Symposium on High-Energy Gamma-Ray Astronomy (Gamma 2016), Heidelberg, Germany, 11--15 July, 2016 (Published: AIP Conf. Proc. 1792 (2017) no.1, 060011)
- [25] “Current status of the CALET mission” (poster, for the CALET collaboration), 6th International Symposium on High-Energy Gamma-Ray Astronomy (Gamma 2016), Heidelberg, Germany, 11--15 July, 2016 (Published: AIP Conf. Proc. 1792 (2017) no.1, 070014)
- [26] “Search for gamma-ray emission from electromagnetic counterparts of gravitational wave sources with the CALET calorimeter” (poster, with Yoichi Asaoka, for the CALET collaboration), 35th International Cosmic Ray Conference, Busan, Korea, July 13--20, 2017 (Published [online]: Proceedings of Science, PoS (ICRC2017) 637)
- [27] “Concentration of Kaluza-Klein dark matter in the Galactic center: constraints from gamma-ray signals” (poster, with Satoshi Tsuchida), 35th International Cosmic Ray Conference, Busan, Korea, July 13--20, 2017, (Published [online]: Proceedings of Science, PoS (ICRC2017) 932)
- [28] “Search for GeV gamma-ray counterparts of gravitational wave events by CALET” (oral talk, for the CALET collaboration), 42nd COSPAR Assembly, Pasadena, CA, USA, July 14--22, 2018
- [29] “High-Energy Gamma-ray Observations Using the CALorimetric Electron Telescope (CALET) on the ISS” (oral, with Yoichi Asaoka, for the CALET collaboration), 36th International Cosmic Ray Conference, Madison, Wisconsin, USA, July 24--August 1, 2019 (Published [online]: Proceedings of Science, PoS (ICRC2019) 586)
- [著書]
- [30] 「宇宙物理学ハンドブック」(朝倉書店、2020 年 2 月)[ISBN 978-4-254-13127-7] 高原文郎・家正則・児玉英雄・高橋忠幸編(分担執筆 森正樹)
- [31] 「天体物理学 - Astrophysics for Physicists」(森北出版、2019 年 5 月)[ISBN 978-4-627-27511-9] Arnab Choudhuri 著, 森正樹 訳
- [32] 「天文学辞典」(共著)、インターネット版(岡村定矩 他編、2018 年 4 月)(高エネルギー天文関連、森正樹)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件／うち国際共著 12件／うちオープンアクセス 15件）

1. 著者名 Adriani O., Mori M., 他81名 (CALET collaboration)	4. 巻 125
2. 論文標題 Direct Measurement of the Cosmic-Ray Carbon and Oxygen spectra from 10 GeV/n to 2.2 TeV/n with the Calorimetric Electron Telescope on the International Space Station	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 251102(7pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.125.251102	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 Tsuchida Satoshi, Kanda Nobuyuki, Itoh Yousuke, Mori Masaki	4. 巻 101
2. 論文標題 Dark matter signals on a laser interferometer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 023005(8pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.023005	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 Adriani O., Mori M., 他81名 (CALET collaboration)	4. 巻 122
2. 論文標題 Direct Measurement of the Cosmic-Ray Proton Spectrum from 50 GeV to 10 TeV with the Calorimetric Electron Telescope on the International Space Station	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 181102(8pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.122.181102	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 Asaoka Y., Mori M., 他87名 (CALET collaboration)	4. 巻 100
2. 論文標題 On-orbit operations and offline data processing of CALET onboard the ISS	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 29-37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.astropartphys.2018.02.010	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 Adriani O., Mori M., 他89名 (CALET collaboration)	4. 巻 120
2. 論文標題 Extended Measurement of the Cosmic-Ray Electron and Positron Spectrum from 11 GeV to 4.8 TeV with the Calorimetric Electron Telescope on the International Space Station	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 261102(7pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.120.261102	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 Adriani O., Mori M., 他89名 (CALET collaboration)	4. 巻 863
2. 論文標題 Search for GeV Gamma-Ray Counterparts of Gravitational Wave Events by CALET	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 160(9pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aad18f	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 Cannady N., Mori M., 他91名 (CALET collaboration)	4. 巻 238
2. 論文標題 Characteristics and Performance of the CALorimetric Electron Telescope (CALET) Calorimeter for Gamma-Ray Observations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 5(16pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/aad6a3	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 Satoshi Tsuchida and Masaki Mori	4. 巻 27
2. 論文標題 The gamma-ray spectral feature from Kaluza-Klein dark matter annihilation and its observability	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Modern Physics D	6. 最初と最後の頁 1750187(14pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0218271817501875	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 O. Adriani, M. Mori et al.	4. 巻 119
2. 論文標題 Energy Spectrum of Cosmic-ray Electron + Positron from 10 GeV to 3 TeV Observed with the Calorimetric Electron Telescope on the International Space Station	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 181011
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.119.181101	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 Yuta Kawakubo, Masaki Mori et al.	4. 巻 70
2. 論文標題 Detection of the thermal component in GRB 160107A	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 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psx152	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 Y. Asaoka, M. Mori et al.	4. 巻 100
2. 論文標題 On-orbit Operations and Offline Data Processing of CALET onboard the ISS	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 29-37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.astropartphys.2018.02.010	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 Ryuho Kataoka, Yoichi Asaoka, Shoji Torii, Toshio Terasawa, Shunsuke Ozawa, Tadahisa Tamura, Yuki Shimizu, Yosui Akaike, and Masaki Mori	4. 巻 43
2. 論文標題 Relativistic electron precipitation at International Space Station: Space weather monitoring by Calorimetric Electron Telescope	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 4119-4125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/2016GL068930	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 O. Adriani, M. Mori et al.	4. 巻 829
2. 論文標題 CALET Upper Limits on X-ray and Gamma-ray Counterparts of GW 151226	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L20 (5pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8205/829/1/L20	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 Satoshi Tsuchida and Masaki Mori	4. 巻 2017
2. 論文標題 The electron plus positron spectrum from annihilation of Kaluza-Klein dark matter in the Galaxy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Modern Physics D	6. 最初と最後の頁 1750095(13pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S021827181750095X	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. Asaoka, M. Mori et al.	4. 巻 91
2. 論文標題 Energy Calibration of CALET Onboard the International Space Station	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.astropartphys.2017.03.002	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

〔学会発表〕 計15件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 森正樹, 銭田大亮, 浅岡陽一, 鳥居祥二, 坂本貴紀, 川久保雄太, N. Cannady, M.L. Cherry, 他CALETチーム
2. 発表標題 CALETによる高エネルギーガンマ線観測の最新結果
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 森正樹, 銭田大亮, 浅岡陽一, 鳥居祥二, 坂本貴紀, 川久保雄太, N. Cannady, M.L. Cherry, 他CALETチーム
2. 発表標題 CALETによる高エネルギーガンマ線観測の最新結果
3. 学会等名 第21回宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森正樹
2. 発表標題 CALETによる高エネルギーガンマ線観測
3. 学会等名 第19回高エネルギー宇宙物理連絡会研究会「高宇連博士論文発表会・研究会」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森正樹, 銭田大亮, 浅岡陽一, 鳥居祥二, 川久保雄太, N. Cannady, M. Cherry, 他CALETチーム
2. 発表標題 CALETによる高エネルギーガンマ線の最新成果
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 Masaki Mori, Yoichi Asaoka, for the CALET collaboration
2. 発表標題 High-Energy Gamma-ray Observations Using the CALorimetric Electron Telescope (CALET) on the ISS
3. 学会等名 36th International Cosmic Ray Conference, Madison, Wisconsin, USA (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森正樹, 銭田大亮, 浅岡陽一, 鳥居祥二, 川久保雄太, N. Cannady, M. Cherry, 他CALETチーム
2. 発表標題 CALETにおける高エネルギーガンマ線の観測と解析II
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 Masaki Mori, Yoichi Asaoka, for the CALET collaboration
2. 発表標題 Search for gamma-ray counterparts of gravitational wave events by CALET
3. 学会等名 42nd COSPAR Assembly, July 14-22, 2018, Pasadena, 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森正樹、CALETチーム
2. 発表標題 国際宇宙ステーション搭載検出器CALETによる宇宙線・ガンマ線の観測
3. 学会等名 東北大学大学院理学研究科セミナー, September 11, 2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森正樹, 浅岡陽一, 鳥居祥二, 小澤俊介, 藤田峻, 吉川康太, N. Cannady, M.L. Cherry, 他CALETチーム
2. 発表標題 CALETによる高エネルギーガンマ線の観測と解析
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会, March 15, 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Mori and Yoichi Asaoka for the CALET collaboration
2. 発表標題 Search for gamma-ray emission from electromagnetic counterparts of gravitational wave sources with the CALET calorimeter
3. 学会等名 35th International Cosmic Ray Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Satoshi Tsuchida and Masaki Mori
2. 発表標題 Concentration of Kaluza-Klein dark matter in the Galactic center: constraints from gamma-ray signals
3. 学会等名 35th International Cosmic Ray Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森正樹, 浅岡陽一, 佐藤郁也, 鳥居祥二, N. Cannady, M.L. Cherry, 他CALETチーム
2. 発表標題 CALETによる銀河拡散ガンマ線及びガンマ線点源の観測
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森正樹, 浅岡陽一, 鳥居祥二, 佐藤郁也, 田中瑞樹, N. Cannady, M.L. Cherry, 他CALETチーム
2. 発表標題 CALETによるトランジェントガンマ線源の観測
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaki Mori for the CALET collaboration
2. 発表標題 Current status of the CALET mission
3. 学会等名 6th International Symposium on High-Energy Gamma-Ray Astronomy (Gamma2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Masaki Mori and Satoshi Tsuchida
2. 発表標題 Observability of gamma-ray spectral feature from Kaluza-Klein dark matter
3. 学会等名 6th International Symposium on High-Energy Gamma-Ray Astronomy (Gamma2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Arnab Rai Choudhuri (著)、森 正樹(訳)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 森北出版	5. 総ページ数 448
3. 書名 天体物理学	

1. 著者名 高原文郎、家正則、小玉英雄、高橋忠幸(編)、森 正樹(分担執筆)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 912
3. 書名 宇宙物理学ハンドブック	

〔産業財産権〕

〔その他〕

立命館大学理工学部物理科学科 森研究室
<http://www.ritsumei.ac.jp/se/rp/physics/lab/astro/>
 CALET - CALorimetric Electron Telescope
<http://calet.jp/>
 CALET-USA - CALorimetric Electron Telescope
<http://calet.phys.lsu.edu/>
 宇宙ステーション・きぼう 広報・情報センター 高エネルギー電子・ガンマ線観測装置 (CALET)
<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/equipment/ef/calet/>

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			
米国	Louisiana State University	NASA/Goddard Space Flight Center	Washington University in St. Louis	他3機関
イタリア	University of Siena and INFN	University of Florence, IFAC and INFN	University of Pisa and INFN	他2機関
日本	早稲田大学	宇宙航空研究開発機構	青山学院大学	他20機関