

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2013

課題番号：22540315

研究課題名(和文) フェルミガンマ線宇宙望遠鏡データを用いた銀河系内天体の高エネルギー放射機構の解明

研究課題名(英文) Exploration of high-energy emission mechanism of the Galactic objects with Fermi Gamma-ray Space Telescope Data

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) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：天体ガンマ線が放射されるメカニズムの解明を目指し、フェルミガンマ線宇宙望遠鏡LAT検出器の観測データを用いて、高エネルギー天体のうち、X線連星・超新星残骸・パルサー星雲など、銀河系内高エネルギー天体に着目して解析を行った。X線連星かつパルサー星雲であるPSR1259-63/SS2883に対し2010年12月の近星点通過後に有意なガンマ線信号をとらえ、また7個のX線連星天体についてはガンマ線信号は見つからなかったが、これまで報告されているより厳しい上限値を与えた。これ以外の天体についても解析を続けている。

研究成果の概要(英文)：In order to clarify the mechanism of high-energy gamma-ray emission from celestial active objects, we analyzed the gamma-ray data observed by the LAT detector onboard the Fermi Gamma-ray Space Telescope. Especially Galactic objects, like X-ray binaries, supernova remnants and pulsar nebula are the main targets of this study. We detected the gamma-ray signal from an X-ray binary and a pulsar nebula, PSR1259-63/SS2883, when it passed the periastron in 2010 December. We also gave upper limits on gamma-ray emission from seven X-ray binaries. Other objects are under analysis.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：ガンマ線天文学 X線連星 超新星残骸 パルサー星雲 粒子加速

1. 研究開始当初の背景

地球に降り注ぐ高エネルギー粒子、宇宙線は10の20乗 eV に及び超高エネルギーまで加速されているが、どこで作られ、どうやって熱平衡をはるかに超え、人工粒子加速器をも超えるこのような高いエネルギーまで加速されるのか、という宇宙線の起源の問題は、その発見から90年以上経つ今も未解決の謎として残されている。宇宙線を生み出す高エネルギー天体で加速された粒子は、周囲の物質や放射との相互作用によってガンマ線も生成する。銀河磁場などによって方向が変わる荷電宇宙線に比べ、ガンマ線は磁場の影響を受けず、放出する天体から直進して地球に到達する。したがって、天体からのガンマ線は、宇宙線の起源を探るのに最適な探針である。

2008年6月に日米欧の協力により打ち上げられたフェルミ(Fermi)ガンマ線宇宙望遠鏡は、GeV領域天体ガンマ線の観測を継続的に行っており、最初の数カ月の観測から、ガンマ線データのみを用いて新しいパルサーを次々に発見するなどの多くの成果を挙げている。その観測データは2009年9月から解析ソフトウェアとともに公開されており、衛星チーム以外の研究者でも自由にデータの解析を行えるようになっている。

2. 研究の目的

本研究では、2009年9月から解析ソフトウェアとともに公開されている Fermi 衛星 LAT 検出器の観測データを用いて、高エネルギー天体のうち、X線連星・超新星残骸・パルサー星雲など、銀河系内高エネルギー天体に着目して解析を行うとともに、電波からX線、及びTeVガンマ線に至る観測データを総合し、ガンマ線を生成する放射メカニズムの解明を目指し、粒子が高エネルギーまで加速される条件と環境を探る。

3. 研究の方法

X線連星・超新星残骸・パルサー星雲をリストアップし、Fermi衛星LAT検出器の公開データを天体ごとに取得し、解析ツールを利用してガンマ線信号を解析し、広域放射エネルギー分布(SED)を作成し、理論モデル計算と比較し、加速粒子や加速環境などについての情報を得て、天体における粒子加速の条件や環境を統計的に明らかにしていく。

Fermi衛星データの解析環境を整備するとともに、X線連星・超新星残骸・パルサー星雲をリストアップし、LAT検出器の公開データを Fermi Science Support Center から天体ごとに取得し、解析ツールを利用してガンマ線信号の有意度あるいは上限値と、有意な場合はエネルギースペクトルを算出する。必要な場合はガンマ線源の拡がりも考慮し

た解析を適用する。

解析は一般に次のようなステップで行う。

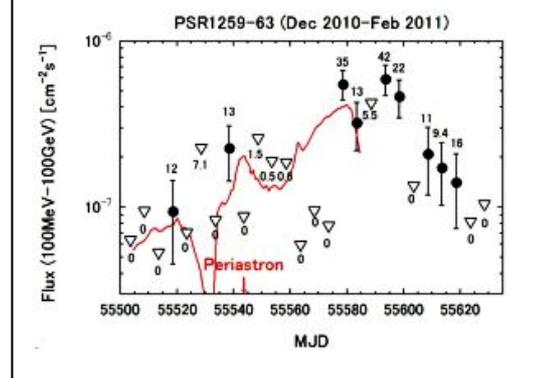
- (1) Fermi 衛星ガンマ線データと衛星姿勢制御データの取得
- (2) データのスクリーニングおよび姿勢制御データとの関連付け
- (3) ガンマ線天体の抽出と信号有意度・エネルギースペクトルの算出
- (4) データの観測領域における一貫性チェック(問題がある場合は(3)に戻ってスペクトルモデルやバックグラウンドモデルなどを修正して再度算出)

これらの解析を行うためのツール類は Fermi Science Support Center から供給されているが、必要に応じ改良を施して目的に合った解析を行う。

4. 研究成果

平成22年度はフェルミ衛星の解析環境を整えるとともに、大学院生などの協力も得て、X線連星、スターバースト銀河やガンマ線バースト、活動銀河核、超新星残骸、新星、木星などについて解析を行った。特に、本年度の本研究の主題であるX線連星については、PSR1259-63/SS2883 に対し2010年12月の近星点通過後に有意なガンマ線信号をとらえ、また4個の天体については上限値を与えた。これらを含むいくつかの結果については、日本物理学会と日本天文学会の年次大会、および2011年のFermi Symposiumと宇宙線国際会議で発表した[学会発表 ⑳㉑㉒㉓]、また、活動銀河核の光度分布の進化に関する研究を論文として発表した[論文]。

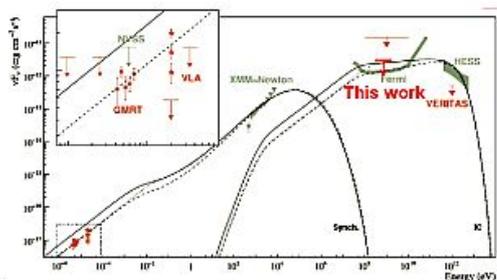
PSR1259-53/SS2883 からのガンマ線信号の光度曲線 [学会発表]



平成23年度は大学院生などの協力も得て、マイクロクエーサーや超新星残骸、パルサー、ガンマ線バースト、活動銀河核、超大光度X線源などについて解析を行った。特に、本年度の研究の主題としたパルサー星雲については、前年度に解析したPSR1259-63/SS2883 に対し2010年12月の近星点通過後に有意なガンマ線信号についての結果を取り入れ、論

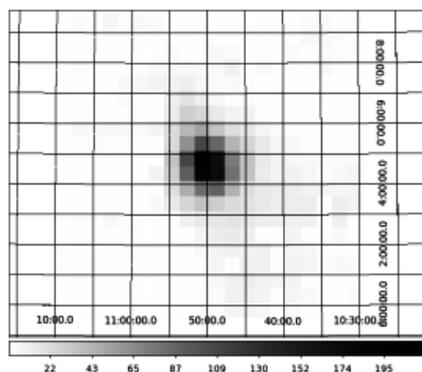
文として発表した [論文] また、超新星 1987A からのガンマ線信号を探索し、爆発後 12~14 年後の高エネルギー放射について制限を与えるなどの結果を得た。これらを含むいくつかの結果については、日本物理学会と日本天文学会の年次大会、および 2011 年の Fermi Symposium と宇宙線国際会議で発表し、一部は論文として発表した [学会発表]。

HESSJ0632+057 のスペクトルエネルギー分布と得られた上限値 [学会発表]



平成 24 年度は大学院生や卒業研究学生などの協力も得て、X 線連星、ガンマ線パルサー、銀河系内ブラックホール天体、T Tauri 型星、渦巻銀河、活動銀河核、スターバースト銀河、などについて解析を行った。本年度の研究の主題は超新星残骸を想定していたが、X 線連星の解析に予想よりも時間を要し、結果を得るまでには至らなかった。X 線連星と超大光度 X 線源の結果については、日本物理学会の年次大会、および 2012 年の High-Energy Gamma-ray Astronomy Symposium 及び Fermi Symposium で発表した [学会発表] また、活動銀河核 Mrk 501 と Mrk 421 のガンマ線フラックスの一日ごとの時間変動を調べ、銀河間磁場に制限を与える結果を得て論文として発表した [論文]。

未同定天体 J1049.7+0435 の天球上の有意度マップ [論文]



平成 25 年度は卒業研究学生の協力も得て、X 線連星 Cyg X-1, LMC X-1, LMC X-3 からのガンマ線フラックスの上限値を求め、また、太陽フレアガンマ線の解析、FSRQ からのガンマ線信号探索、活動銀河核からのガンマ線信号の短時間変動の解析を行った。この最後の結果については論文として発表した [論文] また、解析の途中段階で Fermi 未同定天体を発見し、日本物理学会で発表し、投稿論文として発表した [学会発表、論文] CALET のガンマ線観測性能について、宇宙線国際会議で発表した [学会発表]

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

"Fermi LAT detection of two high Galactic latitude gamma-ray sources, Fermi J1049.7+0435 and J1103.2+1145", Masaki Nishimichi, Takeshi Okuda, Masaki Mori, Philip G. Edwards and Jamie Stevens, *Astrophysical Journal*, 査読有, 783, 94 (4pp) (2014)

[doi: 10.1088/0004-637X/783/2/94]

"Time series analysis of gamma-ray blazars and implications for the central black-hole mass", Kenji Nakagawa and Masaki Mori, *Astrophysical Journal*, 査読有, 773, 177 (6pp) (2013)

[doi: 10.1088/0004-637X/773/2/177]

"Lower Bounds on Magnetic Fields in Intergalactic Voids from Long-Term GeV-TeV Light Curves of the Blazar Mrk 421", Keitaro Takahashi, Masaki Mori, Kiyotomo Ichiki, and Susumu Inoue, Hajime Takami, *Astrophysical Journal Letters*, 査読有, 771, L42 (6pp) (2013)

[doi: 10.1088/2041-8205/771/2/L42]

"Modeling high-energy light curves of the PSR B1259-63/LS 2883 binary based on 3-D SPH simulations", J. Takata, A.T. Okazaki, S. Nagataki, T. Naito, A. Kawachi, S.-H. Lee, M. Mori, K. Hayasaki, M. S. Yamaguchi, and S.P. Owocki, *Astrophysical Journal*, 査読有, 750, 70 (10pp) (2012)

[doi:10.1088/0004-637X/750/1/70]

"Lower Bounds on Intergalactic Magnetic Fields from Simultaneously Observed GeV-TeV Light Curves of the Blazar Mkn 501", Keitaro Takahashi, Masaki Mori, Kiyotomo Ichiki, and Susumu Inoue, *Astrophysical Journal Letters*, 査読有, 744, L7 (4pp) (2012)

[doi:10.1088/2041-8205/744/1/L7]

"Prospects for Very High Energy Blazar

Survey by the Next Generation Cherenkov Telescopes", Yoshiyuki Inoue, Tomonori Totani, Masaki Mori, Publications of the Astronomical Society of Japan, 査読有, 62, 1005-1016 (2010)
[doi:10.1093/pasj/62.4.1005]

[学会発表](計 23 件)

西道昌貴、奥田剛司、森正樹 「Fermi-LAT による未同定ガンマ線天体 Fermi J1049.7+0435 と J1103.2+1145 の発見」、日本物理学会 2013 年秋季大会(2013 年 9 月 21 日、高知大学朝倉キャンパス、高知県)

Masaki Mori for the CALET collaboration, "Expected Performance of CALET as a High Energy Gamma Ray Observatory", 33rd International Cosmic Ray Conference, Rio de Janeiro, Brazil, July 7, 2013

森勇輝、森正樹、他 CALET チーム 「CALET によるガンマ線の観測」、日本物理学会 第 68 回年次大会(2013 年 3 月 29 日、広島大学東広島キャンパス、広島県)

Masaki Mori, Akiko Kawachi, Shigehiro Nagataki, and Tsuguya Naito, "Fermi-LAT study of two gamma-ray binaries, HESS J0631+057 and AGL J2241+4454" [poster], Fourth International Fermi Symposium, Monterey, California, USA, October 28-November 2, 2012

中川兼治、森正樹 「活動銀河核からの GeV ガンマ線放射」、日本天文学会 2012 年秋季年会(2012 年 09 月 20 日、大分大学旦野原キャンパス、大分県)

森正樹、河内明子、長滝重博、内藤統也 「Fermi-LAT によるガンマ線連星の観測」、日本物理学会 2012 年秋季大会(2012 年 9 月 14 日、京都産業大学、京都府)

Masaki Mori, for the CALET collaboration, "CALET: High Energy Cosmic Ray Observatory on International Space Station" [poster], 5th International Symposium on Gamma-Ray Astronomy, Heidelberg, Germany, July 9-13, 2012

Masaki Mori, Yoshihiro Umeda, and Kenji Nakagawa, "Search for GeV gamma-ray emission from ultraluminous X-ray sources" [poster], 5th International Symposium on Gamma-Ray Astronomy, Heidelberg, Germany, July 9-13, 2012

梅田佳宏、中川兼治、森正樹 「ULX からの GeV ガンマ線の探索」、日本物理学会 第 67 回年次大会(2012 年 3 月 25 日、関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス、兵庫

県)
森勇輝、森正樹 「超新星残骸からの高エネルギーガンマ線放射の探索」、日本天文学会 2011 年秋季年会(2011 年 09 月 20 日、鹿児島大学郡元キャンパス、鹿児島県)

石本 毅、森正樹 「新星からの高エネルギーガンマ線の探索」、日本天文学会 2011 年秋季年会(2011 年 09 月 19 日、鹿児島大学郡元キャンパス、鹿児島県)

八橋大輔、森正樹 「木星磁気圏からの高エネルギーガンマ線の探索」、日本天文学会 2011 年秋季年会(2011 年 09 月 19 日、鹿児島大学郡元キャンパス、鹿児島県)

森正樹、高田順平、長滝重博、岡崎敦男、河内明子 「連星系 PSR1259-63/SS2883 からの 2010 年 12 月の近星点前後の GeV ガンマ線放射」、日本物理学会 2011 年秋季大会(2011 年 9 月 18 日、弘前大学文京町キャンパス、青森県)

中川兼治、梅田佳宏、森正樹 「活動銀河核からの GeV ガンマ線放射の時間変動の解析」、日本物理学会 2011 年秋季大会(2011 年 9 月 18 日、弘前大学文京町キャンパス、青森県)

Masaki Mori, Yoshihiro Umeda, Kenji Nakagawa, and Taku Ohmori, "Search for GeV Gamma-ray Emission from X-ray Binaries" [poster], 32nd International Cosmic Ray Conference, Beijing, China, August 11-18, 2011

Kenji Nakagawa, Yoshihiro Umeda and Masaki Mori, "Time Correlation and Variability of GeV Gamma-ray and X-ray emission from Active Galactic Nuclei", [poster] 2011 Fermi Symposium, Aura

Magna of University of Rome "La Sapienza", Rome, Italy, May 9-12, 2011
Masaki Mori, Akiko Kawachi, Shigehiro Nagataki, and Jumpei Takata, "GeV gamma-ray emission from the binary PSR B1259-63/SS2883 during the 2010 periastron passage", [poster] 2011 Fermi Symposium, Aura Magna of University of Rome "La Sapienza", Rome, Italy, May 9-12, 2011

森正樹、梅田佳宏、中川兼治 「X 線連星からの GeV ガンマ線放射」、日本物理学会 第 66 回年次大会(2011 年 3 月 26 日、新潟大学新潟キャンパス、新潟県：地震で開催中止だが内容は公開)

梅田佳宏、中川兼治、森正樹 「活動銀河核からの GeV ガンマ線放射と X 線放射の時間相関」、日本物理学会 第 66 回年次大会(2011 年 3 月 26 日、新潟大学新潟キャンパス、新潟県：地震で開催中止だが内容は公開)

梅田佳宏、中川兼治、森正樹 「スターバースト銀河からのガンマ線の観測と解

- 析」、日本物理学会 2010 年秋季大会
(2010 年 9 月 11 日、九州工業大学戸畑
キャンパス、福岡県)
- 21 中川兼治、梅田佳宏、森正樹 「ガンマ
線バーストを用いた相対性理論の検証」、
日本物理学会 2010 年秋季大会(2010 年
9 月 11 日、九州工業大学戸畑キャンパス、
福岡県)
- 22 森正樹 「TeV 領域で観測された銀河団
からの GeV ガンマ線の探索」、日本天文学
会 2010 年春季年会(2010 年 3 月 24-27
日、広島大学東広島キャンパス、広島県)
- 23 森正樹 「TeV 領域で観測された銀河団
からの GeV ガンマ線の探索」、日本物理学
会 第 65 回年次大会(2010 年 3 月 20-23
日、岡山大学津島キャンパス、岡山県)

〔図書〕(計 1 件)

高橋忠幸、森正樹(第 17 巻第 2 章) 日本
評論社、「天文学辞典」(共著) シリーズ
現代の天文学 別巻(岡村定矩 他編)
2012 年、総ページ数：268(第 2 章 55)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

[http://www.ritsumeai.ac.jp/se/rp/physics
/lab/astro/](http://www.ritsumeai.ac.jp/se/rp/physics/lab/astro/)

6. 研究組織

(1) 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