

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：15401

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24840031

研究課題名(和文) 太陽フレアにおける長時間ガンマ線放射の起源と陽子加速機構の解明

研究課題名(英文) Gamma-ray emission and particle acceleration mechanisms of solar flares

研究代表者

田中 康之 (Tanaka, Yasuyuki)

広島大学・宇宙科学センター・特任助教

研究者番号：90633941

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円、(間接経費) 690,000円

研究成果の概要(和文)：フェルミ衛星は太陽フレアからのMeV/GeVガンマ線を10例以上検出しており、主としてその解析を行った。ガンマ線スペクトルは数100 MeVで折れ曲がりを示し、パイオン崩壊によるガンマ線放射を強くサポートする結果を得た。また、ガンマ線放射領域は活動領域とほぼ一致していることを見出した。これは陽子が活動領域の近傍で加速されていることを示しており、乱流加速が有力な候補である。

太陽フレアだけでなく、活動銀河核ジェットのパルサーデータの解析も行い、赤方変位1.1のブレーザーからの超高エネルギーガンマ線を検出していることを見出した。理論的に予測されていた可視赤外線背景放射の強度に観測的裏付けを与えた。

研究成果の概要(英文)：Since the launch in 2008, Fermi-LAT has detected a lot of solar flare gamma-rays over several tens of events. The MeV/GeV gamma-ray spectra showed clear and significant turnover at several hundreds of MeV, indicating that the gamma-rays are produced via pion-decay process. The large photon statistics allowed us to pin-down the location of the emission region and we found that the gamma-ray emission site is around the Active Region on the solar surface. This implies that high-energy protons are produced at the Active region and that turbulent acceleration would be the most plausible option.

Fermi data analysis for Active Galactic Nuclei (AGN) were also performed. In particular, 2 very-high-energy gamma-ray photons were detected from the close vicinity of the $z=1.1$ blazar PKS 0426-380.

研究分野：高エネルギー宇宙物理学

科研費の分科・細目：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：太陽フレア ガンマ線 粒子加速

1. 研究開始当初の背景

太陽フレアにおける陽子加速の研究は、ガンマ線観測の感度が充分でなかったために、未解明な点が多く残されているフロンティアである。フェルミ衛星は太陽フレアに付随するガンマ線放射を10例以上検出しており、そのデータ解析から、陽子加速の情報が引き出せる貴重なデータとなっていた。

2. 研究の目的

フェルミガンマ線衛星は、太陽フレアに付随してガンマ線放射 ($E > 100$ MeV) が数時間も継続するイベントを多数検出している。本研究の目的は、ガンマ線放射が長時間継続するメカニズムを明らかにすること、高エネルギー陽子が、どのようなメカニズムで加速されるのかを明らかにすることである。

3. 研究の方法

フェルミガンマ線宇宙望遠鏡のデータ解析を行った。フェルミ衛星は、100 MeV から 300 GeV のエネルギー範囲において、3時間に1度の頻度で全天サーベイ観測を行っている衛星である。

4. 研究成果

フェルミ衛星の打ち上げから2012年8月までに検出された全ての太陽フレアの解析を行った。スペクトルは、数100 MeVのエネルギー帯域に、パイオン崩壊起源と思われるバンブ構造が検出され、ガンマ線放射機構を決定することができた。ガンマ線放射位置は活動領域にほぼ一致することを見出した。これは、加速機構として、活動領域近傍での乱流加速を強く支持するものである。

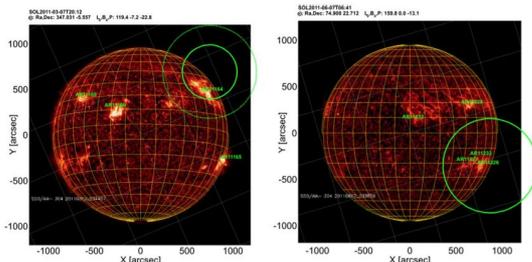


図1. ガンマ線放射位置を太陽イメージの上に重ねたもの。左は2011/3/7のイベントで、右は2011/6/7のイベント。両者ともガンマ線放射位置は活動領域と一致している。

太陽フレア以外にも、活動銀河核のフェルミデータの解析を行った。その中でも重要な結果として、赤方変位1.1に位置する遠方ブレイザーPKS 0426-380から超高エネルギーガンマ線が到来していることを見出した。ガンマ線観測は、直接測定が極めて困難な可視赤外背景放射の強度の推定にもたびたび用いられる。本結果は、理論的に推定されていた強度と合致しており、星形成史などにもインパクトを与えるものである。

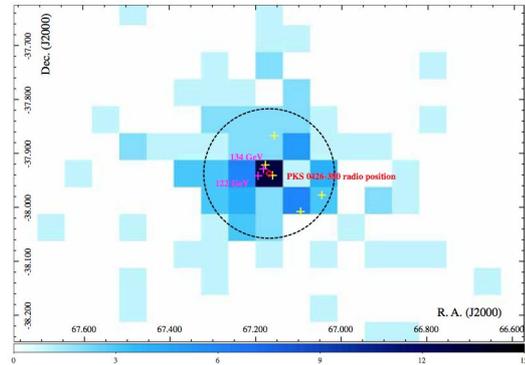


図2. 遠方ブレイザーPKS 0426-380の位置(赤)と超高エネルギーガンマ線2イベントの位置(マゼンタ)。黄色のクロスは50-100 GeV イベントの検出された位置を示す。

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16件)

1. H. Odaka, D. Khangulyan, Y. T. Tanaka, S. Watanabe, T. Takahashi, K. Makishima, Short-term Variability of X-Rays from Accreting Neutron Star Vela X-1. II. Monte Carlo Modeling, *Astrophysical Journal*, 781, 38-49, 2014.

10.1088/0004-637X/780/1/38, 査読あり

2. Y. Inoue, Y. T. Tanaka, G. Madejski, A. Dominguez, Upper Bound on the First Star Formation History, *Astrophysical Journal Letters*, 781, L35-L39, 2014.

10.1088/2041-8205/781/2/L35, 査読あり

3. K. V. Sokolovsky, F. K. Schizel, Y. T. Tanaka, P. K. Abolmasov, E. Angelakis, A. Bulgarelli, L. Carrasco, S. B. Cenko, C. C. Cheung, K. I. Clubb, F. D'Ammando, L. Escande, S. J. Fegan, A. V. Filippenko, J. D. Finke, L. Fuhrmann, Y. Fukazawa, E. Hays, S. E. Healey, Y. Ikejiri, and 32 co-authors, Two active states of the narrow-line gamma-ray-loud AGN GB 1310+487, *Astronomy & Astrophysics*, 565, 26-43, 2014.

10.1051/0004-6361/201220703, 査読あり

4. M. Ackermann, M. Ajello, A. Albert, A. Allafort, L. Baldini, G. Barbiellini, D. Bastieri, K. Bechtol, R. Bellazzini, E. Bissaldi, E. Bonamente, E. Bottacini, and 150 co-authors (including Y. Tanaka) (Corresponding authors: Y. Tanaka, A. Allafort, N. Giglietto, N. Omodei, V.

Petrosian), High- Energy Gamma- Ray Emission From Solar Flares: Summary of Fermi LAT Detections and Analysis of Two M- Class Flares, *Astrophysical Journal*, in press. , 査読あり

5. Katsuta, J.; [Tanaka, Y. T.](#); Stawarz, L.; O'Sullivan, S. P.; Cheung, C. C.; Kataoka, J.; Funk, S.; Yuasa, T.; Odaka, H.; Takahashi, T.; Svoboda, J., *Fermi-LAT and Suzaku observations of the radio galaxy Centaurus B*, *Astronomy & Astrophysics*, 550, 66-76, 2013.

10.1051/0004-6361/201220270, 査読あり

6. Itoh, Ryosuke et al. (including [Yasuyuki Tanaka](#)), A Study of the Long-Term Spectral Variations of 3C 66A Observed with the Fermi and Kanata Telescopes, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 65, 18-26, 2013.

[10.1093/pasj/65.1.18](#), 査読あり

7. Stawarz, L.; [Tanaka, Y. T.](#); Madejski, G.; O'Sullivan, S. P.; Cheung, C. C.; Feain, I. J.; Fukazawa, Y.; Gandhi, P.; Hardcastle, M. J.; Kataoka, J.; Ostrowski, M. et al., Giant Lobes of Centaurus A Radio Galaxy Observed with the Suzaku X-Ray Satellite, *Astrophysical Journal*, 766, 48-66, 2013.

10.1088/0004-637X/766/1/48, 査読あり

8. Saito, S.; Stawarz, L.; [Tanaka, Y. T.](#); Takahashi, T.; Madejski, G.; D'Ammando, F., Very Rapid High-amplitude Gamma-Ray Variability in Luminous Blazar PKS 1510-089 Studied with Fermi-LAT, *Astrophysical Journal Letters*, 766, L11-L16, 2013.

10.1088/2041-8205/766/1/L11, 査読あり

9. [Y. T. Tanaka](#), C. C. Cheung, Y. Inoue, L. Stawarz, M. Ajello, C. D. Dermer, D. L. Wood, A. Chekhtman, Y. Fukazawa, T. Mizuno, M. Ohno, D. Paneque, D. J. Thompson, Fermi Large Area Telescope Detection of Two Very- High- Energy ($E > 100$ GeV) Gamma- ray Photons from the $z=1.1$ Blazar PKS 0426- 380, *Astrophysical Journal Letters*, 777, L18-L23, 2013.

10.1088/ 2041- 8205/ 777/ 1/ L18, 査読あり

10. R. Itoh, [Y. T. Tanaka](#), Y. Fukazawa, K. S. Kawabata, K. Kawaguchi, Y. Moritani, K. Takaki, I. Ueno, M. Uemura, H. Akitaya, M. Yoshida, T. Ohsugi, H. Hanayama, T. Miyaji, N. Kawai, Minute- scale Rapid Variability of the Optical Polarization in the Narrow-

line Seyfert 1 Galaxy PMN J0948+0022, *Astrophysical Journal Letters*, 775, L26-L31, 2013.

10.1088/ 2041- 8205/ 775/ 1/ L26, 査読あり

11. R. Itoh, Y. Fukazawa, [Y. T. Tanaka](#), Y. Abe, H. Akitaya, A. Arai, M. Hayashi, T. Hori, M. Isogai, H. Izumiura, K. S. Kawabata, N. Kawai, D. Kuroda, R. Miyanoshita, Y. Moritani, T. Morokuma, T. Nagayama, J. Nakamoto, C. Nakata, Y. Oasa, and 18 co- authors, Dense Optical and Near-infrared Monitoring of CTA 102 during High State in 2012 with OISTER: Detection of Intra- night " Orphan Polarized Flux Flare", 768, L24-L28, 2013.

10.1088/ 2041- 8205/ 768/ 2/ L24, 査読あり

12. H. Odaka, D. Khangulyan, [Y. T. Tanaka](#), S. Watanabe, T. Takahashi, K. Makishima, Short- term Variability of X- Rays from Accreting Neutron Star Vela X- 1. I. Suzaku Observations, *Astrophysical Journal*, 767, 70-86, 2013.

10.1088/ 0004- 637X/ 767/ 1/ 70, 査読あり

13. Nickolaenko, A. P.; Kudintseva, I. G.; Pechony, O.; Hayakawa, M.; Hobara, Y.; [Tanaka, Y. T.](#), The effect of a gamma ray flare on Schumann resonances, *Annales Geophysicae*, 30, 1321-1329, 2012.

10.5194/angeo-30-1321-2012, 査読あり

14. Takeuchi, Y.; Kataoka, J.; Stawarz, L.; Takahashi, Y.; Maeda, K.; Nakamori, T.; Cheung, C. C.; Celotti, A.; [Tanaka, Y.](#); Takahashi, T., Suzaku X-Ray Imaging of the Extended Lobe in the Giant Radio Galaxy NGC 6251 Associated with the Fermi-LAT Source 2FGL J1629.4+8236, *Astrophysical Journal*, 749, 66-73, 2012.

10.1088/0004-637X/749/1/66, 査読あり

15. Wang, Zhongxiang; [Tanaka, Yasuyuki T.](#); Zhong, Jing, Subaru Constraint on Circular Polarization in I-Band Emission from the Magnetar 4U 0142+61, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 64, 1-4, 2012.

[10.1093/pasj/64.2.L1](#)

, 査読あり

16. Kishishita, Tetsuichi; Bamba, Aya; Uchiyama, Yasunobu; [Tanaka, Yasuyuki](#); Takahashi, Tadayuki, X-Ray Investigation of the Diffuse Emission around Plausible -Ray Emitting Pulsar Wind Nebulae in

Kookaburra Region, Astrophysical Journal, 750, 162-169, 2012.
10.1088/0004-637X/750/2/162, 査読あり

〔学会発表〕(計 13 件)

1. 田中康之, フェルミ衛星による $z = 1.1$ プレーザ- $\text{PKS } 0426-380$ からの超高エネルギーガンマ線 ($E > 100 \text{ GeV}$) の検出, 日本天文学会, 2014 年 03 月 19 日~2014 年 03 月 22 日, 国際基督教大学

2. Yasuyuki T. Tanaka, Fermi Large Area Telescope Detection of Two Very- High-Energy ($E > 100 \text{ GeV}$) Gamma- ray Photons from the $z=1.1$ blazar $\text{PKS } 0426- 380$, 27th International Symposium 2013, 2013 年 12 月 08 日~2013 年 12 月 13 日, Texas, USA.

3. 田中康之, フェルミ衛星による TeV FSRQ 候補 $\text{PMN } J2345-1555$, $\text{PKS } 0507+17$ の観測, 日本天文学会, 2013 年 09 月 10 日~2013 年 09 月 12 日, 東北大学

4. 田中康之, すざく衛星による Centaurus A 電波ロープの X 線観測, 日本物理学会春季年会, 2013 年 03 月 26 日~2013 年 03 月 29 日, 広島大学

5. 田中康之, すざく、フェルミによる Extreme Blazar 候補 $\text{HESS } J1943+213$ の X 線ガンマ線観測, 日本天文学会春季年会, 2013 年 03 月 20 日~2013 年 03 月 23 日, 埼玉大学

6. Yasuyuki T. Tanaka, ELF and VLF observations of ionospheric disturbances caused by extra- terrestrial origin, American Geophysical Union meeting of the Americas(招待講演), 2013 年 05 月 14 日~2013 年 05 月 17 日, Cancun, Mexico.

7. 田中康之, マグネターの可視近赤外線観測, 宇宙線研小研究会「パルサー磁気圏における粒子加速と電磁放射」, 2013 年 03 月 12 日, 東京大学宇宙線研究所

8. 田中康之, フェルミ衛星による MeV/GeV 領域の太陽フレア観測と多波長連携で切り拓くサイエンス, 活動極大期の太陽研究、そして新たな太陽研究への布石(招待講演), 2013 年 02 月 20 日~2013 年 02 月 22 日, 立教大学

9. 田中康之, すざく衛星による Centaurus A 電波ロープの x 線観測:リコネクションによる粒子加速の可能性, 磁気リコネクション研究の現状と展望2, 2013 年 02 月 03 日~2013 年 02 月 05 日, 愛媛大学

10. Y. T. Tanaka et al., Fermi and Suzaku observations of candidate extreme blazar $\text{HESS } J1943+213$, Fermi Symposium 2012, 2012 年 10 月 28 日~2012 年 11 月 02 日, Montreley, USA.

11. Yasuyuki Tanaka on behalf of Fermi-LAT collaboration, Fermi-LAT detection of longlasting MeV/GeV emissions associated with M-class/X-class solar flares, 2012 JSI Workshop Nature's Particle Acceleration, 2012 年 10 月 22 日~2012 年 10 月 25 日, Annapolis, USA

12. 田中康之, Fermi-LAT observation of long-lasting gamma-ray emissions associated with solar flares, ALMA 太陽観測ワークショップ, 2012 年 10 月 03 日~2012 年 10 月 03 日, 京都大学

13. 田中康之, フェルミ衛星による MeV/GeV 領域におけるトランジェント現象の観測, 日本天文学会秋季年会(招待講演), 2012 年 09 月 19 日~2012 年 09 月 21 日, 大分大学

〔その他〕

ホームページ等

1.

<http://www-heaf.hepl.hiroshima-u.ac.jp/glast/120613press/120613press.html>

2.

<http://www-heaf.hepl.hiroshima-u.ac.jp/glast/131015press/131015press.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

田中 康之 (Tanaka Yasuyuki)

広島大学宇宙科学センター、特任助教

研究者番号: 90633941