

機関番号：15401

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20340044

研究課題名（和文） GeVガンマ線観測を機軸としたブラックホール天体のジェット放出機構の研究

研究課題名（英文） Study of Jet emission mechanisms of black hole objects based on the Fermi Gamma-ray Space Telescope

研究代表者

深沢 泰司 (Yasushi Fukazawa)

広島大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：60272457

研究成果の概要（和文）：

我々が開発に貢献してきたフェルミ・ガンマ線観測衛星が 2008 年 6 月に打ち上がり、巨大ブラックホールのジェットからのガンマ線放射を連続的にモニターできるようになり、広島大学かなた望遠鏡で可視光で同時観測を実行してきた。その結果、これまで見えていなかった電波銀河ジェット・ローブからのガンマ線放射の発見、ガンマ線と可視偏光の相関の発見などにより、ジェットの構造に新たな知見を与えた。これらは、記者会見や投稿論文として発表した。

研究成果の概要（英文）：

Fermi Gamma-ray Space Telescope which we have contributed to its development launched in June, 2008, and it enables us to monitor the gamma-ray emission from jets of supermassive black holes continuously. We have also observed with KANATA optical telescope in Hiroshima University simultaneously with Fermi. As a result, we discovered the gamma-ray emission from jets or lobes of radio galaxies and the correlation time variability between the gamma-ray flux and optical polarization. These gave us new insights into jet structures. We published these results with press conferences and papers.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	8,000,000	2,400,000	10,400,000
2009年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2010年度	2,200,000	660,000	2,860,000
年度			
年度			
総計	14,600,000	4,380,000	18,980,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：X線γ線天文学

1. 研究開始当初の背景

宇宙には、ブラックホールやガンマ線バーストのように、光速に近い超高速プラズマ流を放出している高エネルギー天体が存在し、最近注目を浴びている。銀河中心の巨大ブラックホールからは、しばしばジェットが出てお

り、特にジェットをほぼ正面から見ていると考えられる天体は **BLAZAR** と呼ばれる。ジェットがどのように光速近くまで加速されるのか、なぜ細く絞られるのかなどジェットの放出機構は現在の宇宙物理において最大の謎の1つとされており、多数の研究者が多方面から研究している。ブラックホール天体

からのジェット放出機構が謎である要因として、ジェットそのものの内部の構成要素や構造がどうなっているのか不明であること、また、ジェットが放出される前後を精度良く観測した例が稀であることなどが挙げられる。こうした状況を打破する強力な観測衛星が、日米伊仏などの国際共同開発プロジェクト GLAST ガンマ線観測衛星である。この衛星は、20MeV-300GeV までの GeV ガンマ線領域で、これまでの数 10 倍の感度で全天の天体を毎日数年間連続的に観測することができ、しかも競合する相手がいない。これまで日本は、我々のグループが中心となって、GLAST 衛星の主検出部であるシリコントリップセンサーの設計、製造を行なっており、大きな貢献をしてきた。是非とも GLAST のデータを生かして、提起した問題に取り組みたいと考えている。

2. 研究の目的

ブラックホール天体の状態とジェット放出が密接に関係していることに着目し、GLAST 衛星の長期連続モニター機能を生かして、フレア時のジェット放出の瞬間を多波長で捉える体制を整えた。具体的には、広島大学可視光・近赤外かなた望遠鏡による多色偏光測定、および、すざく衛星による X 線軟ガンマ線観測のモニター観測の実現を進めてきた。GLAST 衛星で観測できる GeV ガンマ線領域は、ジェットの構成要素（電子、陽子、陽電子）それぞれの割合が敏感に放射スペクトルに反映される放射領域であること、可視偏光では磁場情報を引き出せること、数 100keV 付近の軟ガンマ線領域のモニターは 511keV ラインの探査により陽電子に関する情報を得ることから、これら 3 波長域で毎日連続的にモニターすることによりジェットの放出の前後を確実に捉えて、変動を追跡する。さらに、将来ガンマ線観測装置の基礎開発を同時に進め、10MeV-1GeV 付近で GLAST よりも位置決定精度の良い検出器の開発を目指す。

3. 研究の方法

GLAST 衛星が観測を開始すれば、これまでにない貴重なデータを人類に提供することは間違いないが、それを最大限に生かして研究成果を出すには、以下の 2 つが必要である。1 つめは、これまでの GLAST の地上検出器性能試験を生かして、より効率の良い解析手法や方針を確立することである。2 つめは、ガンマ線と同時に多波長観測を行うことである。我々のグループの所有する広島大学可視光・近赤外線 1.5m かなた望遠鏡および X 線観測衛星「すざく」を用いる。GLAST 衛星の

弱い低エネルギー側に特化した設計をすれば、GLAST よりもガンマ線像を改善できる余地があるため、シリコン検出器についてコンバーターも含めた最適化を図る。

4. 研究成果

(1) はじめに

本研究の要であり、我々が開発に大きく貢献してきた GLAST ガンマ線観測衛星は、2008 年 6 月に打ち上がり、フェルミ衛星と名付けられ、期待通りの性能を発揮して観測を現在も続けている。その結果、巨大ブラックホールのジェットからのガンマ線放射が卓越したブレーザー天体を実際に連続的にモニターできるようになった。そして、当初の予定通り、広島大学かなた望遠鏡により、フェルミ衛星で検出されたブレーザー天体を可視光で同時観測を実行してきた。また、フェルミの優れた感度により、今まで見ていなかった電波銀河と呼ばれる巨大ブラックホール天体も新種のガンマ線天体であることがわかってきた。以下で、得られた主な成果について述べていく。

(2) 電波銀河からのガンマ線放射の発見

フェルミ衛星の優れた感度により、これまでジェットが視線方向からそれて相対論的効果が小さいために暗かった電波銀河からもガンマ線が一般的に放射されていることがわかってきた。最も明るかったのがペルセウス座 A であり、過去の明るさの上限値と比較すると明るさが時間変動していることから、ジェットからの放射であることが決定的となった（論文 1、記者会見、プレスリリース）。次に明るかったのがケンタウルス座 A であり、過去の観測では検出報告はあるが有意度が低かったのが、フェルミ衛星により高い有意度で、位置決定精度も格段に向上して（図 1）、ジェットからの放射であることがわかった（論文 2）。これらを含めて、最初の 1 年で 10 個の電波銀河がフェルミ衛星で検出された（論文 3）。従来ガンマ線で見つかっていたブレーザー天体は、ジェットをほぼ正面から見えており、ジェットに沿った速度成分を持つ場所の放射が強調されて見えているのに対し、ジェットを少し斜めから見ている電波銀河では、ジェットの中を少し斜め走っている場所が見え、さらに巨大ブラックホール周辺の降着円盤の成分も X 線などで見えるため、ジェットの構造や降着円盤とジェットの関係を探るために、重要な天体であり、今後の観測の発展が期待される。これらに対して X 線観測を実行し、X 線領域でもジェット成分が見つからないかを探り始めた。ケンタウルス座 A からの X 線放射は、従来は降

着円盤かジェットか論文があったが、我々の「すぎく」衛星による従来に比べて精度の良い広帯域X線観測により、降着円盤からの放射が支配的であるが、それとは別にジェット成分も存在する可能性が出てきて、高エネルギー側ほど割合が大きく、それをガンマ線帯域まで伸ばすと、フェルミ衛星で検出された放射とつながることがわかった（論文4、図2）。

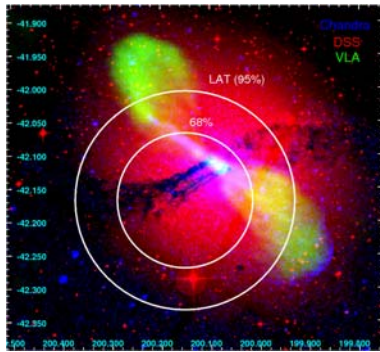


図1：フェルミ衛星によるケンタウルス座Aからのガンマ線放射領域の制限の様子。背景は電波可視X線の合成写真。

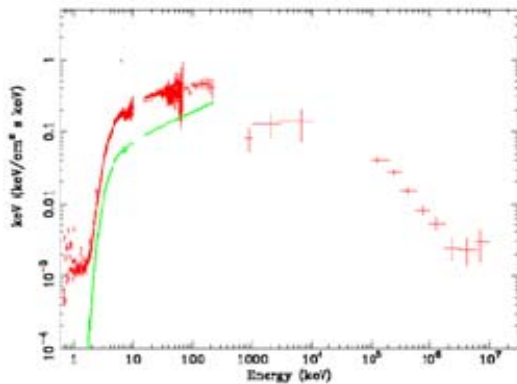


図2：ケンタウルス座AのX線からガンマ線にかけての放射スペクトル。X線領域で実線で示したのが、示唆されるジェット放射であり、ガンマ線のジェット放射とつながっているように見える。

さらに、ケンタウルス座Aに付随する巨大電波ローブから初めて4度ほどに広がったガンマ線が検出された（図3）。これは、ガンマ線で見つかった天体の中で、最も大きな天体である。ガンマ線を放射する電子は、巨大ブラックホール近くから来るうちにエネルギーを失う可能性が高いため、電子は銀河から遠く離れた電波ローブ内で加速さ

れた可能性が高く、ジェットとは異なる粒子加速機構の可能性が示唆された（論文5）。

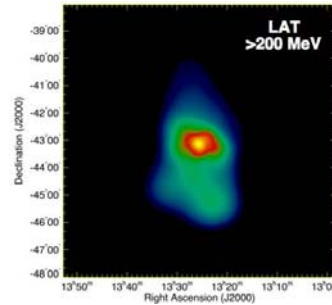


図3：ケンタウルス座Aに付随する巨大電波ローブからのガンマ線放射の画像。上下に伸びているのがわかる。

(3) ブレーザー天体のガンマ線と可視光での同時モニター観測

ブレーザーからの放射は、ガンマ線で最も明るい場合が多いが、電磁スペクトルは電波からガンマ線まで多波長に渡る。中でもガンマ線を逆コンプトン散乱などで放射している電子は、可視光においてもシンクロトロン放射しているので、可視光とガンマ線で同時に観測することはジェットの情報を引き出すために非常に重要である。そこで、我々はフェルミ衛星の打ち上げ前から広島大学かなた可視光望遠鏡においてブレーザー天体の可視光モニター観測体制を築いてきた。かなた望遠鏡を使う大きなメリットは、観測時間の大半を我々のブレーザー観測に使えること、また、可視偏光観測という世界的にも少数の機能をもつことであり、本研究機関内において40個近いブレーザー天体について、可視偏光モニター観測を行い、世界的にも稀な質と量のデータを得ることができた。そして、初めてブレーザーの可視偏光の系統的な特徴を得ることができた（論文6）。さらに、フェルミ衛星との同時観測により、ブレーザー天体の1つである3C279のガンマ線フレア時に可視偏光角度が回転する現象を捉えることに成功した。これにより、ジェットが曲がっているのではないかという新たな描像を得ることができた（論文7、プレスリリース、図4）。

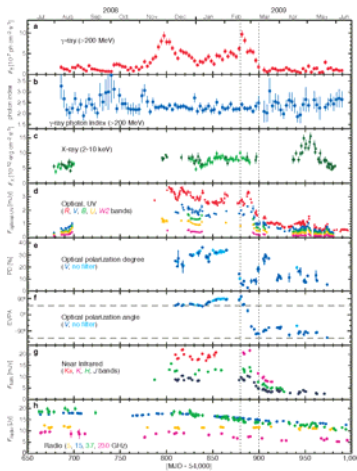


図4：3C279のガンマ線と可視偏光角の時間変化の様子。縦点線のところで可視偏光角が回転している。

(4) 将来に向けたガンマ線検出器基礎実験 GLAST の低エネルギー側で感度を向上させるためには、ノイズの影響を小さくして電子陽電子の飛跡を測定する必要がある。そのため、両面シリコンストリップセンサーを低ノイズで読みだすために、X線用 CdTe 検出器で低ノイズのために用いられている多チャンネル LSI を使用して、実際に性能を測定してみた。その結果、シリコンセンサーとしては最大限の性能を発揮することがわかった。現在は、LSI をいかに低電力化して低ノイズを達成するかに取り組んでいる。

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 39 件)

以下、重要なもののみを列挙。

1. "Suzaku view of X-ray Spectral Variability of the Radio Galaxy Centaurus A: Partial Covering Absorber, Reflector, and Possible Jet Component", Fukazawa, Y., 合計 9 名, ApJ, in press (2011), 査読有り
2. "Fermi Large Area Telescope View of the Core of the Radio Galaxy Centaurus A" Fermi LAT Collaboration, Fukazawa, Y.(Contact Author, 61 番目), 合計 198 名, ApJ, 719, 1433-1444, (2010), 査読有り
3. "Fermi Large Area Telescope Observations of Misaligned Active Galactic Nuclei" Fermi LAT Collaboration, Fukazawa, Y.(56 番目), 合計 175 名, ApJ, 720, 912-922, (2010), 査読有り
4. "Fermi Gamma-Ray Imaging of a Radio Galaxy" Fermi LAT Collaboration, Fukazawa,

Y.(Contact Author, 56 番目), 合計 182 名, Science, 328, 725-729, (2010), 査読有り

5. "A change in the optical polarization associated with a Gamma-ray flare in the blazar 3C279" Fermi LAT Collaboration, Fukazawa, Y.(61 番目), 合計 265 名, Nature, 463, 919-923, (2010), 査読有り

6. "Gamma-ray Spectral Evolution of NGC 1275 Observed with Fermi Large Area Telescope", Kataoka, J., Fukazawa, Y.(8 番目), 合計 10 名, ApJ 715, 554-560 (2010), 査読有り

7. "Multiband Photopolarimetric Monitoring of an Outburst of the Blazar 3C 454.3 in 2007" Sasada M., Fukazawa Y.(3 番目), 合計 14 名, PASJ 62, 645-652 (2010), 査読有り

8. "Hard X-ray and gamma-ray detector for ASTRO-H based on Si and CdTe imaging sensors" Kokubun, M., , Fukazawa, Y.(5 番目), 合計 19 名, NIM-A 623, 425-427 (2010), 査読有り

9. "Fermi Gamma-ray Space Telescope Observations of Gamma-ray Outbursts from 3C 454.3 in 2009 December and 2010 April" Fermi LAT Collaboration, Fukazawa, Y.(49 番目), 合計 156 名, ApJ, 721, 1383-1396, (2010), 査読有り

10. "Fermi Discovery of Gamma-ray Emission from NGC 1275," Abdo, A. A., Fukazawa, Y.(52 番目), 全 172 名, ApJ, 699, 31-39 (2009), 査読有り

11. "Modeling and Reproducibility of Suzaku HXD PIN/GSO Background," Y. Fukazawa, 合計 30 名, PASJ 61, S17-S33 (2009), 査読有り

12. "Early Fermi Gamma-ray Space Telescope Observations of the Quasar 3C 454.3," Abdo, A. A., Fukazawa, Y.(58 番目), 全 181 名, ApJ, 699, 817-823 (2009), 査読有り

13. "Bright Active Galactic Nuclei Source List from the First Three Months of the Fermi Large Area Telescope All-Sky Survey," Abdo, A. A., Fukazawa, Y.(60 番目), 全 193 名, ApJ, 700, 597-622 (2009), 査読有り

[学会発表] (計 28 件)

以下、研究代表者が主著のものだけを列挙。

1. 深沢泰司「電波銀河 Centaurus A の硬 X 線領域におけるジェット由来の成分探査」、天文学会 2010 年 9 月 11-14 日、九州工業大学

2. 深沢泰司、「Fermi ガンマ線望遠鏡による電波銀河 Cen A の Giant Lobe の観測」、天文学会、2010年3月24-27日、広島大学
3. 深沢泰司、「Fermi ガンマ線望遠鏡による電波銀河 Cen A、M87 の観測」、天文学会、2009年9月14-16日、山口大学
4. 深沢泰司、「フェルミとの多波長連携観測」(招待講演)、物理学会、2009年9月10-13日、甲南大学
5. 深沢泰司、「Fermi ガンマ線宇宙望遠鏡の半年間の成果」(特別講演)、天文学会、2009年3月24-27日、大阪府立大学
6. 深沢泰司、「GeV ガンマ線観測衛星 GLAST の初期ステータス」、物理学会、2008年9月20-23日、山形大学

[図書] (計0件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

深沢 泰司 (Yasushi Fukazawa)
広島大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：60272457

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：