

フェルミ衛星がとらえた X 線連星からの ガンマ線放射

田 中 孝 明

〈Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology, Stanford University, 382 Via Pueblo Mall, MC 4060, Stanford, CA 94305, U.S.A.〉

e-mail: Taka.Tanaka@stanford.edu

河 合 誠 之

〈東京工業大学理工学研究科基礎物理学専攻 〒152-8551 東京都目黒区大岡山 2-12-1〉

e-mail: nkawai@phys.titech.ac.jp

高 橋 弘 充

〈広島大学宇宙科学センター 〒739-8526 広島県東広島市鏡山 1-3-1〉

e-mail: hirotaka@hep01.hepl.hiroshima-u.ac.jp

内 山 泰 伸

〈Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology, SLAC National Accelerator Laboratory, 2575 Sand Hill Road, M/S 29, Menlo Park, CA 94025, U.S.A.〉

e-mail: uchiyama@slac.stanford.edu

on Behalf of the Fermi LAT Collaboration

フェルミ衛星によって LS 5039, LS I+61°303, Cyg X-3 という三つの X 線連星から GeV ガンマ線が検出されました。LS 5039 と LS I+61°303 については、TeV ガンマ線放射が検出されていましたが、筆者らの観測により、GeV ガンマ線が TeV ガンマ線と同様に軌道周期に同期した変動を示すこと、そして、GeV ガンマ線と TeV ガンマ線のフラックス変動がほぼ反相関することがわかりました。Cyg X-3 については、軌道周期と同期するフラックス変動をとらえることにより、この連星がガンマ線源であることを示すことができました。今後、これらの結果を他の波長の観測結果と併せて研究することで、X 線連星における粒子加速やガンマ線放射の機構の理解が進むと期待されます。

1. フェルミ衛星以前の X 線連星の ガンマ線観測

X 線連星とは、質量供給する普通の恒星（以下、恒星と略記）と、中性子星やブラックホールといったコンパクト星からなる連星系です。多くの

場合、恒星からの物質がコンパクト星に降着する際に重力エネルギーを解放し、X 線で明るく輝くことが知られています。このような連星系は、1960 年代に始まった X 線天文において、その黎明期からの主要観測対象であり、実際、最初に発見された宇宙 X 線源¹⁾である、さそり座 X-1 は、

中性子星をもつ X 線連星です。

1970 年代から 1980 年代の前半にかけて、X 線連星から、X 線よりもさらにエネルギーの高い（波長の短い）ガンマ線が検出されたという報告がなされています。その中でも、白鳥座 X-3（以後 Cyg X-3）については、MeV（ $=10^6$ 電子ボルト）、TeV（ $=10^{12}$ 電子ボルト）、そして PeV（ $=10^{15}$ 電子ボルト）にまで至る広いエネルギー帯域で 10 を超える検出の報告がなされ、X 線連星が、地球に降り注ぐ宇宙線を加速する「加速器」の候補として一躍注目されることになりました²⁾。

しかしながら、これらのガンマ線検出は、1980 年代後半から 1990 年代にかけて得られた新たな観測結果により、疑問視されることとなります。この時代の Whipple や HEGRA といった地上 TeV ガンマ線望遠鏡は、それまでの望遠鏡と比較してシグナルとバックグラウンドを見分ける能力が高く、より良い感度を有したのですが、Cyg X-3 をはじめとする X 線連星からの TeV ガンマ線放射を検出することができません³⁾。また、地上チェレンコフ望遠鏡よりもエネルギーの低い GeV（ $=10^9$ 電子ボルト）ガンマ線を観測するコンプトン (CGRO) 衛星 (1991 年打ち上げ) の

EGRET 検出器によって、LS 5039, LS I+61°303, Cyg X-3 など、いくつかの X 線連星と一致する方向からガンマ線が検出されたものの^{4), 5)}、位置決定精度が不十分であることや、他波長あるいは軌道周期と同期した時間変動などの決定的な証拠が見つからなかったことにより、発見されたガンマ線源を X 線連星と確実に同定するには至りませんでした。

この状況は、2000 年代に入り、H. E. S. S., MAGIC, VERITAS という、さらに高い感度をもつ地上 TeV ガンマ線望遠鏡の活躍によって打開されます。H.E.S.S. 望遠鏡は、LS 5039 と PSR B 1259-63 からガンマ線を検出し^{7), 8)}、さらに、LS 5039 からは連星系の軌道周期である 3.9 日と同期したフラックスの変動を検出しました⁹⁾ (図 1)。MAGIC と VERITAS の両望遠鏡も、LS I+61°303 からガンマ線の検出に成功するとともにフラックスが時間変動することを示しました^{10), 11)}。この天体は、LS 5039 と同様に、26.5 日の軌道周期と同期した TeV ガンマ線フラックスの変動があることも報告されています¹²⁾。また、MAGIC グループは、有名なブラックホール連星である白鳥座 X-1 から、X 線のフレアと同期した

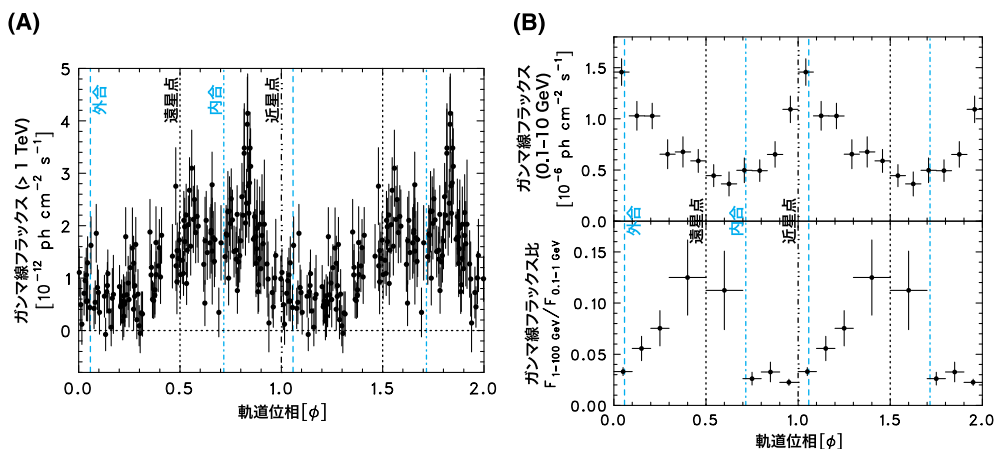


図 1 (A): H.E.S.S. 望遠鏡で得られた LS 5039 の TeV ガンマ線フラックス (>1 TeV) と軌道位相の関係⁹⁾。 (B): LAT 検出器で得られた 0.1-10 GeV のガンマ線フラックスと軌道位相の関係 (上) と軌道位相と LAT 検出器の高エネルギー側と低エネルギー側のフラックス比の関係 (下)²²⁾。軌道位相によってスペクトルの形も変化していることがわかる。

約 80 分の間だけ、ガンマ線を検出したと発表しています¹³⁾。現在では、以上四つの X 線連星が TeV ガンマ線源として認知されています。加えて、H.E.S.S. 望遠鏡により銀河面上に発見された未同定天体のうちの一つ、HESS J0632+057 についても、その後行われた X 線や可視光による観測結果から、X 線連星ではないかと言われていまず¹⁴⁾。今では、ガンマ線を放射する X 線連星は、しばしば、「ガンマ線連星 (gamma-ray binary)」と呼ばれ、X 線連星の中の一つのカテゴリーとして認知され始めています。

ガンマ線が放射されているということは、その天体に、ガンマ線のエネルギー以上のエネルギーをもった粒子（電子や陽子など）が存在することを示唆します。したがって、ガンマ線連星では、何らかの機構によって、それらの粒子が高いエネルギーにまで加速されていることとなります。ガンマ線連星での粒子加速については、二つの有力な説があります¹⁵⁾。一つは、活動銀河核と同様に、降着円盤付近から吹き出すジェットにおいて加速されているというものです。X 線連星のうちジェットがあるものをマイクロ・クエーサーと呼ぶので、この説はマイクロ・クエーサー説と呼ばれています。もう一つの説はパルサー説と呼ばれるものです。この説では、コンパクト星がパルサーで、パルサー風と相手の星からの恒星風との相互作用により形成された衝撃波で、粒子が加速されているというものです。次節で紹介する三つの X 線連星を含めて複数のガンマ線連星から電波でジェットが検出されたという報告があり、これは前者の説を支持します⁴⁾。PSR B1259-63 はコンパクト星が電波パルサーであることから、後者の説が有力です^{16), 17)}。また、LS 5039 や LS I + 61°303 など他のガンマ線連星についても、パルサー説で TeV ガンマ線の時間変動をうまく説明できるという報告もあります^{18), 19)}。LS 5039 については、軌道周期と同期した X 線変動が、過去 10 年近くにわたって非常に安定していることもわ

かっており²⁰⁾、この結果も、パルサー説のほうでうまく説明されます。しかし、二つの説のどちらが正しいか、決定的な証拠は見つかっておらず、決着はついていません。

2. フェルミ衛星による観測

地上 TeV ガンマ線望遠鏡により X 線連星がガンマ線源として確立してきたなか、2008 年に GeV 帯域のガンマ線を観測するフェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡（フェルミ衛星）が打ち上げられました。フェルミ衛星の主検出器である Large Area Telescope (LAT) は 1990 年代に活躍した CGRO 衛星 EGRET 検出器と比較して約 6 倍の有効面積、広い視野（全天の 1/5）、および優れた角度分解能をもち、20 MeV から 300 GeV 以上の幅広いエネルギー帯域で全天サーベイを行います²¹⁾。これにより、今までにない精度で同エネルギー帯域のガンマ線源の位置を決定できるだけでなく、常にあらゆる天体をモニターできるので、ガンマ線フレアや軌道周期と同期したフラックス変動を効率よくとらえることができるようになりました。上で述べたように、EGRET やそれ以前の検出器で、いくつかの X 線連星の方向にガンマ線源を検出していたにもかかわらず、同定するには至らなかったのは、他の波長と同期した時間変動、あるいは既知の軌道周期に関連した時間変動の検出といった決定打を欠いたためでもあります。フェルミ衛星 LAT 検出器の観測は、その決定打を実現し、X 線連星の研究が飛躍的に進むと期待されていました。その期待に違わず、筆者らは LAT 検出器の全天観測開始後、1 年半の間に、X 線連星に関する 3 本の論文を発表することができました²²⁾⁻²⁴⁾。以下では、各論文で報告された LS 5039, LS I + 61°303, そして Cyg X-3 に関する観測結果を紹介します。

2.1 LS 5039

LS 5039 は O 型星とコンパクト星からなる X 線連星で、そのコンパクト星が、ブラックホール

であるか中性子星であるかまだわかっていません。この X 線連星は、TeV ガンマ線放射で軌道周期と同期した変動が観測されていたこともあり、筆者らがフェルミ衛星の打ち上げ前から、最も注目していた天体の一つです。

図 1 は、LAT 検出器で得られた LS 5039 からのフラックスを軌道位相に対してプロットしたものです。この図にあるように、GeV ガンマ線も軌道周期と同期して変動することがわかりました。この変動の検出によって、EGRET 検出器によって発見されていた GeV ガンマ線源が X 線連星 LS 5039 であるのだと、初めて決着がついたと言えます。図 1 に示した LAT 検出器による光度曲線と H.E.S.S. 望遠鏡による光度曲線を比べると面白いことに気づきます。GeV ガンマ線と TeV ガンマ線のフラックスがほぼ反相関しているのです。

それでは、この反相関はどのように説明されるのでしょうか？ GeV ガンマ線も TeV ガンマ線も連星系の中で加速された電子が恒星からの可視・紫外光子を逆コンプトン散乱で叩き上げることによる放射だと考えるのが最も有力な説です。ガンマ線放射の種となる恒星からの光子は、発生したガンマ線と反応して電子・陽電子対を作るので、ガンマ線を逆に吸収することもできます。LS 5039 の場合、コンパクト星が恒星から 0.1 天文単位から 0.2 天文単位と近いところを回っているので、恒星からの可視・紫外光子の密度が高く、この対生成による吸収が強く効きます。これらの物理過程と図 2 に示した LS 5039 の軌道を考えると、H.E.S.S. の光度曲線をうまく説明することができます。近星点に近く、かつ、コンパクト星がわれわれから見て恒星の後ろにきたときは、ガンマ線が、可視・紫外光子の密度の高いところを通過してこなければならないので、対生成による吸収が強くなり、TeV ガンマ線のフラックスが小さくなると説明されます。逆に、遠星点に近く、かつ、コンパクト星が恒星の手前にあるときに、

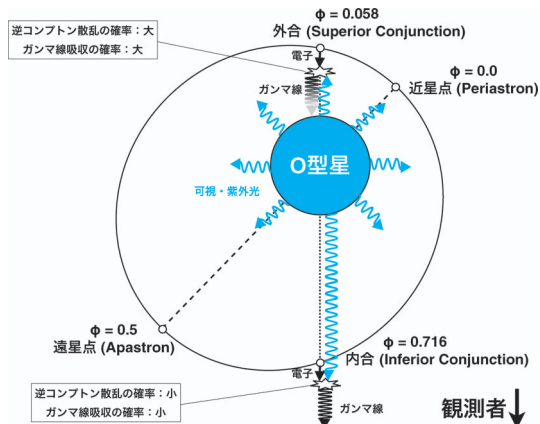


図 2 LS 5039 の軌道の模式図²⁵⁾。

TeV ガンマ線のフラックスが高くなるというわけです。

一方、LAT 検出器が観測する GeV 帯域では、この吸収の効果は無視できます。相対論的運動学を考えると、エネルギー E_γ のガンマ線と E_* の可視・紫外光子が電子・陽電子対 (質量 $= m_e c^2 = 0.511 \text{ MeV}$) を作るには $E_\gamma E_* > (m_e c^2)^2$ でなければなりません。この式に $E_* \sim 10 \text{ eV}$ を代入すると、ガンマ線のエネルギー E_γ が約 30 GeV 以上でなければ、電子・陽電子対が生成されない、すなわち、ガンマ線が吸収されないことになります。したがって、LAT 検出器の光度曲線はもともとの逆コンプトン放射の増減を見ていることとなります。逆コンプトン散乱による放射は、叩き上げられる可視・紫外光子の密度が高いと、当然、散乱の起こる確率が高くなり、明るくなります。さらに、光子が電子によって追突されるより、正面衝突するほうが、コンプトン散乱する確率が高いという性質もあります²⁶⁾。LAT 検出器による光度曲線は、近星点の近く、かつ、われわれから見たときにコンパクト星が恒星の後ろ、すなわち可視・紫外光子とガンマ線光子が多く正面衝突するときにフラックスが高くなっており、これらの性質でうまく説明できます。

時間変動については、逆コンプトン散乱と対生成によるガンマ線の吸収という物理過程を考える

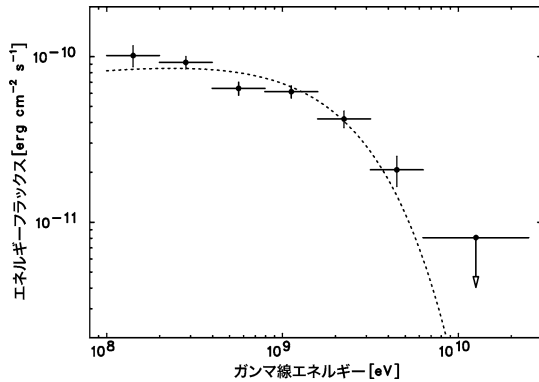


図3 LAT 検出器による LS 5039 のスペクトル²²⁾. 点線はフィットによって求めたべき関数+カットオフの曲線.

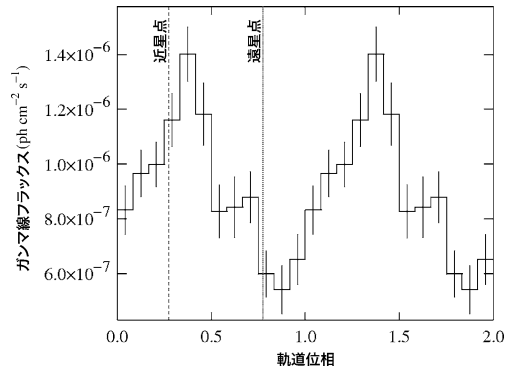


図4 LS I+61°303 の軌道位相と LAT 検出器で検出されたガンマ線フラックス (0.1-20 GeV) の関係²³⁾.

ことによって、うまく説明することができたのですが、スペクトルについてはどうでしょうか？ 図3はLAT 検出器によるLS 5039のガンマ線スペクトルです。数 GeV 以上でガンマ線強度が減衰している（カットオフ）ことが見て取れます。確かに、フェルミ衛星による観測結果が発表される前から、対生成によるカットオフが現れると予測されていました。しかし、先に述べたように、対生成はガンマ線のエネルギーが約 30 GeV 以上でないと起こりません。したがって、観測されたスペクトルに見られる数 GeV のカットオフを、対生成では説明することはできません。何らかの別の過程によってカットオフが作られているようです。ガンマ線パルサーのスペクトルは、図3のスペクトルと同様に数 GeV のところにカットオフがあることが知られています²⁷⁾。このことから、LS 5039 のコンパクト星がパルサーで、筆者らが検出したガンマ線は、そのパルサー自身からの放射ではないかという説も考えられます。しかし、このシナリオでは、軌道周期と同期したガンマ線の強度変化を簡単には説明できません。時間変動とスペクトルの両方をいかに矛盾なく説明することができるかが、今後の大きな課題であると言えるでしょう。

2.2 LS I+61°303

LS I+61°303 は TeV ガンマ線で軌道周期と同期した時間変動が見えているという点で LS 5039 とよく似た天体と言えます。コンパクト星については LS 5039 と同様に、今のところ、ブラックホールか中性子星か決着がついていません。相手の恒星は Be 星で、軌道周期は 26.5 日と比較的長いです。今までの視野の狭い検出器による観測では、1 カ月近くかかる LS I+61°303 の軌道 1 周をくまなく観測することが難しかったのですが、視野の広い LAT 検出器によって、このような天体をモニターし続けることが可能になりました。

LS I+61°303 について LAT 検出器で得られた結果は、LS 5039 の結果とよく似ています。まず、図4に示した光度曲線にあるように、軌道周期と同期した変動が検出されています。さらに、TeV ガンマ線は、軌道位相 0.6 から 0.7 辺りで最も高いフラックスが観測されているのに対し、GeV ガンマ線は近星点にあたる軌道位相 0.3 周辺でフラックスが最も高くなっており、LS 5039 と同様、GeV ガンマ線と TeV ガンマ線のフラックスがほぼ反相関していることがわかりました。スペクトルについても、LS 5039 と非常によく似ていて、数 GeV から上のエネルギーでガンマ線フラックスが急激に小さくなっているカットオフがあるこ

とがわかりました。

今のところ、LS I+61°303 に関する結果についても、時間変動とスペクトルの両方を同時にうまく説明することはできておらず、その鍵となるヒントを見つけるべく、引き続き、データ解析が行われています。その中で、ガンマ線の光度曲線が LS I+61°303 の軌道1周ごとに異なるという兆候が見えているなど、さらなる興味深い結果が出てきています。

2.3 白鳥座 X-3 (Cyg X-3)

第1節で述べた歴史的経緯にあるとおり、このウォルフ・ライエ星とコンパクト星（この天体についても、コンパクト星の正体はわかっていません。）からなる連星系は、ガンマ線天文の分野において、いわば曰く付きの天体であると言えるでしょう。筆者らは、LAT 検出器による観測によって、ついに、Cyg X-3 からのガンマ線放射を確実に捕まえることができました。

Cyg X-3 のある白鳥座の領域には分子雲が多く見つかっています。そのため、Cyg X-3 付近では、個々のガンマ線源についての解析を行ううえでバックグラウンドとなる銀河面からのガンマ線放射²⁸⁾が比較的明るいことが知られています。加えて、この領域では、パルサーをはじめとする数多くのガンマ線源が検出されており、これらからの放射も、Cyg X-3 からの放射を見ようとする際に、バックグラウンドとなります。LAT 検出器の角度分解能は 1 GeV のガンマ線に対し 1° を切る程度ですが、Cyg X-3 から最も近いパルサーは約 30 分角しか離れていません。したがって、Cyg X-3 の位置にガンマ線源があるかどうかを調べるだけでも、注意深いデータ解析が必要になります。筆者らは、Cyg X-3 から最も近いパルサーの影響を除去するため、このパルサーが放射を出さないパルス位相に対応した時間帯のデータだけを抜き出すなどの工夫をし、その結果、Cyg X-3 の位置に確実にガンマ線源があるということを実証しました。

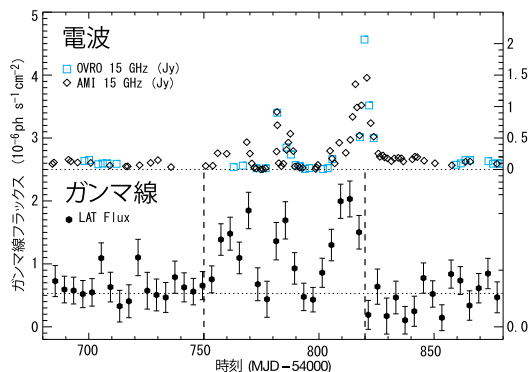


図5 Cyg X-3 の電波とガンマ線 (>0.1 GeV) の光度曲線²⁴⁾。

問題は、見つかったガンマ線放射が、本当に Cyg X-3 からきているかどうかです。図5は、このガンマ線源の2008年8月から2009年2月までの光度曲線を示したものです。図中の破線で挟まれた約2カ月の間、このガンマ線源から何回かのフレアが観測されています。同じ図に一緒に示してあるのが、Cyg X-3 から観測された、主にジェットからと考えられる電波の光度曲線です。二つの光度曲線を見比べると、このガンマ線源からフレアが観測されている時期に、ちょうど Cyg X-3 からの電波放射にもフレアが観測されていることがわかります。LAT 検出器は、2009年の6月から8月にかけても同様のフレアを検出していますが、その時期も Cyg X-3 からの電波放射がフレアしていることがわかりました。このことから、このガンマ線源が Cyg X-3 ではないかということが示唆されました。

そして、さらに確実な証拠が見つかりました。ガンマ線源からフレアが見られている期間のデータだけを抜き出し、周期性をもった信号が見えていないか調べてみたところ、図6に示したように、Cyg X-3 の4.8時間の軌道周期に応じた変動が見つかったのです。このように、LAT 検出器の観測により、Cyg X-3 からガンマ線が放射されていると証明することに成功しました。

Cyg X-3 と本稿で紹介した他の二つの X 線連

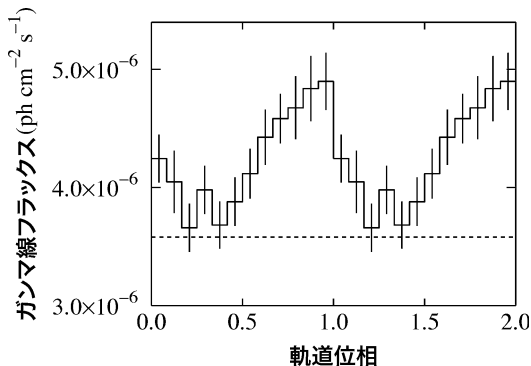


図6 Cyg X-3の軌道位相とガンマ線フラックス (>0.1 GeV)の関係²⁴⁾。

星は、X線で見えた性質が大きく異なります。LS 5039やLS I+61°303からのX線スペクトルは光子指数1.5程度のべき関数で表される（おそらく連星系で加速された超高エネルギー電子からのシンクロトロン放射）のに対し^{29), 30)}、Cyg X-3からは、他の多くのX線連星と同様、降着円盤からの黒体放射と、降着円盤の周辺に形成された高温コロナからの放射と思われる成分が見えています。X線の性質が異なるのと同様、ガンマ線の放射機構も、LS 5039やLS I+61°303とCyg X-3で異なる可能性もあるでしょう。

そのX線放射との比較から、Cyg X-3について興味深いことも見え始めています。Cyg X-3からのガンマ線放射が活発にフレアを起こしている時期は、降着円盤からのX線放射が卓越する「ソフト状態」と呼ばれる時間帯と一致しているようです。イタリアのガンマ線観測衛星AGILEは、LAT検出器がガンマ線フレアを検出した時期に加えて2008年4月にも、Cyg X-3の方向からのガンマ線フレアを検出したと報告していますが、これもCyg X-3が「ソフト状態」にある時期でした³¹⁾。このことは、ガンマ線の放射とコンパクト星への質量降着の間に何らかの関連性があることを示唆します。今後、ジェットからと考えられる電波放射、降着円盤付近からのX線、そしてガンマ線放射の関係をより詳しく調べることによ

り、ガンマ線放射の背景にある物理の理解が進んでいくと期待されます。

3. まとめ

以上のように、フェルミ衛星LAT検出器は、打ち上げ後1年の間に三つのX線連星からガンマ線を検出することに成功しました。Cyg X-3については、今まで長い間疑問視されていたガンマ線放射をついに確認することができましたし、以前からTeVガンマ線源として知られていたLS 5039とLS I+61°303についても、観測されたGeVガンマ線の振舞いがTeVガンマ線とは異なることから、新たな情報を得ることができました。

しかしながら、まだ解決すべき多くの問題も残っています。例えば、ガンマ線を放射している高エネルギー粒子がどのように加速されているのか、マイクロ・クエーサー説が正しいのか、パルサー説が正しいのか、どちらでもないのか、わかっていません。また、その高エネルギー粒子は電子だけなのか、あるいは陽子も加速されているのではないかという問題もわかっていません。今のところ、ガンマ線が検出されているX線連星はすべて恒星が大質量星の「大質量X線連星」だけですが、「低質量X線連星」はガンマ線を放射するのかどうかとも興味深いところです。もし、「大質量X線連星」だけからガンマ線が放射されるとしたら、例えばパルサー説で考えられているように、大質量星からの強い恒星風が粒子を高エネルギーにまで加速するところで重要な役割を果たしているのかもしれない。

このような疑問を解決していくには、今までにガンマ線が検出されている天体をより深く研究することはもちろんのこと、さまざまなX線連星のデータを系統的に調べていくことも重要になります。フェルミ衛星LATチーム内では、数十の銀河系内のX線連星の領域を自動的に解析する枠組みができており、ガンマ線が検出されているか、突発的なフラックスの増加がないか、あるい

は、周期性をもった時間変動がないか、を随時モニターしています。

また、多波長との連携も重要です。ガンマ線で検出された X 線連星を電波・可視光・X 線などで追観測することも必要不可欠ですし、他の波長で X 線連星が突発的に明るくなった時間帯について、フェルミ衛星のデータを注意深く解析し、ガンマ線が検出されていないか調べるといったことも重要です。こういった解析が新たな「ガンマ線連星」の発見につながります。フェルミ衛星と同様、全天をモニターする日本の X 線観測装置 MAXI などが、このような解析で大切な役割を担うかもしれません。

参考文献

- 1) Giacconi R., Gursky H., Paolini F. R., Rossi, B. B., 1962, Phys. Rev. Lett. 9, 439
- 2) Weekes T. C., 1988, Phys. Rep. 160, 1
- 3) O’Flaherty K. S., et al., 1992, ApJ 396, 674
- 4) Paredes J. M., Martí J., Ribó M., Massi M., 2000, Science 288, 2340
- 5) Kniffen D. A., et al., 1997, ApJ 486, 126
- 6) Mori M., et al., 1997, ApJ 476, 842
- 7) Aharonian F., et al., 2005, Science 309, 746
- 8) Aharonian F., et al., 2005, A&A 442, 1
- 9) Aharonian F., et al., 2006, A&A 460, 743
- 10) Albert J., et al., 2006, Science 312, 1771
- 11) Acciari V. A., et al., 2008, ApJ 679, 1427
- 12) Albert J., et al., 2009, ApJ 693, 303
- 13) Albert J., et al., 2007, ApJ 665, L51
- 14) Hinton J. A., et al., 2009, ApJ 690, L101
- 15) Mirabel I. F., 2006, Science 312, 1759
- 16) Tavani M., Arons J., Kaspi V. M., 1994, ApJ 433, L37
- 17) Kaspi V. M., Tavani M., Nagase F., Hirayama M., Hoshino M., Aoki T., Kawai N., Arons J., 1995, ApJ 453, 424
- 18) Dubus G., Cerutti B., Henri G., 2008, A&A 477, 691
- 19) Sierpowska-Bartosik A., Torres, D. F., 2008, Astroparticle Physics 30, 239
- 20) Kishishita T., Tanaka T., Uchiyama Y., Takahashi T., 2009, ApJ 697, L1
- 21) Atwood W. B., et al., 2009, ApJ 697, 1071
- 22) Abdo A. A., et al., 2009, ApJ 706, L56
- 23) Abdo A. A., et al., 2009, ApJ 701, L123
- 24) Abdo A. A., et al., 2009, Science 326, 1512
- 25) Casares J., Ribó M., Ribas I., Paredes J. M., Martí, J., Herrero A., 2005, MNRAS 364, 899
- 26) Khangulyan D., Aharonian F., Bosch-Ramon V., 2008, MNRAS 383, 467
- 27) 中森健之, 他, 2010, 天文月報, 103, 324
- 28) 水野恒史, 2010, 天文月報, 103, 366.
- 29) Takahashi T., et al., 2009, ApJ 697, 592
- 30) Chernyakova M., Neronov A., Walter R., 2006, MNRAS 372, 1585
- 31) Tavani M., et al., 2009, Nature 462, 620

Gamma-Ray Emission from X-Ray Binaries Observed by the Fermi LAT

Takaaki TANAKA

Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology, Stanford University, 382 Via Pueblo Mall, MC 4060, Stanford, CA 94305, U.S.A.

Nobuyuki KAWAI

Dept. of Physics, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8551, Japan

Hiromitsu TAKAHASHI

Hiroshima Astrophysical Science Center, Hiroshima University, 1-3-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Hiroshima 739-8526, Japan

Yasunobu UCHIYAMA

Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology, SLAC National Accelerator Laboratory, 2575 Sand Hill Road, M/S 29, Menlo Park, CA 94025, U.S.A.

on Behalf of the Fermi LAT Collaboration

Abstract: The LAT data of TeV gamma-ray sources, LS 5039 and LS I+61°303, revealed modulation of GeV gamma rays at their orbital periods and anti-correlation between GeV and TeV gamma-ray fluxes. Also, the LAT detected a source toward the direction of Cyg X-3 with periodic flux variation at its orbital period, which secured the association of the source with Cyg X-3. The LAT data provide a new probe to study particle acceleration and radiation mechanism in X-ray binaries.