

すざく衛星とフェルミ衛星によるガンマ線連星 LSI+61 303 の解析

X-ray and Gamma-ray study of the Gamma-ray binary LS I+61 303 with Suzaku and Fermi

宇宙情報解析研究室 P08031 岡野 圭祐

指導教員：久保田 あや 准教授

1 はじめに

重力崩壊によって生じる高密度星と恒星から成る近接連星系では、恒星の外層大気が高密度星に降着することによる X 線放射を特徴とする。こうした連星系において、はくちょう座 X-1[1]、PSR B1259-63[2]、LS I+61 303、LS5039[3] の 4 つの天体は TeV(=10¹² eV) の高エネルギーのガンマ線放射が観測された特異な天体であり、ガンマ線天体とも呼ばれる。これらのガンマ線天体の中で、はくちょう座 X-1 および PSR B1259-63 は、それぞれブラックホールおよびパルサーを伴うことが知られているが、LS I+61 303 と LS5039 については、現在までのところ高密度星の正体は明らかでない。本研究では、正体の未確定なガンマ線天体 LS I+61 303 について、すざく衛星、フェルミ衛星の観測データを用いた解析を行い、この連星の正体を考察する。

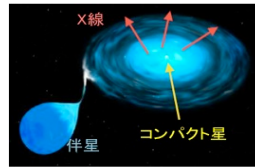


図 1: 連星の様子

2 LS I+61 303 のすざくによる観測

2.1 観測の概要

LS I+61 303 は地球から 6500 光年の距離に存在する、ガンマ線連星である。コンパクト星の周期は 26.5 日であることが分かっている [4]。

「すざく」は 2005 年 7 月 10 日に打ち上げられた日本で 5 番目の X 線天文衛星で [5]、LS I+61 303 は 2009 年 1 月 22 日から 2 月 10 日にかけて 3 回観測をしている。「すざく」は、0.2-12 keV で観測可能な軟 X 線検出器 (XIS[6]) と 10-300 keV で観測可能な硬 X 線検出器 (HXD[7]) が搭載されており、これら 2 種類の検出器によって、広帯域のエネルギー領域での観測が可能である。HXD は、PIN 型半導体検出器 (PIN)[10-7-keV] とシンチレーション検出器 (GSO)[40-300keV] から成る。本研究では XIS と HXD の PIN 型半導体検出器のデータを用いている。

2.2 XIS のデータリダクション

解析には heasoft¹を用いる。NASA および ISAS/JAXA で提供される観測データには、磁気異常領域 (SAA) などの時間帯があらかじめ除去された cleaned event というデータがあり、解析にはこれを用いる。この cleaned event について、目的の天体の中心付近の領域のみ取り出すデータリダクションを行い最終的にスペクトルを抽出する。

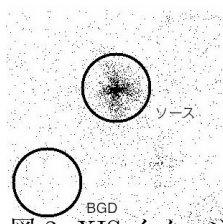


図 2: XIS イメージ

具体的には、目的の天体 (ソース) の領域を切り取り、背景放射や検出器の雑音を取り除くために、天体を含まない領域 (BGD) も切り取り、それを差し引くことで目的の天体の X 線のみを抽出する。

図 2 は XIS 検出器が観測した LS I+61 303 のイメージ画像である。

2.3 HXD のデータリダクション

HXD は XIS とは違い、画像を取得できない。したがって、検出器チームから提供されるバックグラウンドシミュレーションに基づいて、バックグラウンドスペクトルを作成し、それを観測データから差し引いて天体のスペクトルを得る。また、不感時間を考慮したデッドタイム補正などを行う必要がある。

2.4 スペクトル解析

作成したスペクトルを xspec という X 線スペクトル解析ソフトを用いてどのような放射モデルで再現できるか解析を行った。モデルの妥当性は χ^2 検定で評価する。今回は典型的な X 線放射モデルであるベ

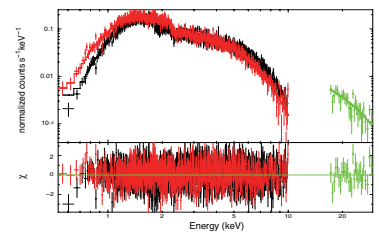


図 3: XIS, HXD 同時フィット

キ関数 (power-law) モデルに、星間吸収 (wabs) をかけたモデルで評価したところ、図 3 のような結果が得られた。自由度 1702 のもと χ^2_ν は 1.01581 と 1 に近くなりデータをよく再現した。フィットした結果、power-law の光子指数は 1.62、星間吸収の水素の柱密度 N_H は $6.8 \times 10^{-21} [\text{cm}^{-2}]$ となった。flux から光度を求めると XIS では $7.46 \times 10^{26} [\text{J/s}]$ 、HXD では $6.12 \times 10^{26} [\text{J/s}]$ だった。この値は高密度星が太陽質量の 10 倍ほどの質量を持つ BH のエディントン限界光度の 0.0006% ほどであり、非常に暗い状態である。

3 フェルミガンマ線宇宙望遠鏡による観測

3.1 観測の概要

フェルミ衛星は日本を含む 6 カ国の共同開発により 2008 年 6 月に打ち上げられた、ガンマ線観測用の国際天文衛星である [8]。1000 万 eV 以上の高エネルギーガンマ線を観測対象としている。ガンマ線バーストはいつどこで起きるか予測不可能なため、フェルミ衛星は常に全天を観測している。

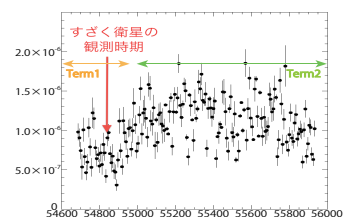


図 4: フェルミ衛星による強度変動

¹<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/lheasoft/>

従って LS I+61 303 の解析には、衛星の運用が開始された 2009 年 8 月から、データを取得した 2011 年 11 月までの観測データを使用している。図 4 は フェルミ衛星が観測した LS I+61 303 の 20MeV–300GeV の強度変動である。

今回の解析では、光度の高い期間と低い期間で分けて解析して比較を行うことにした。修正ユリウス日 (MJD)55000 日以前とそれ以後で分けそれぞれ term1 と term2 としている。

3.2 フェルミ衛星観測データの解析

解析には Fermi Science Tools を用いる。いくつかの解析パターンがあるが、今回行ったのは Count Map、スペクトル等を解析し出力する Likelihood Analysis と、光度曲線を出力する LAT Aperture Photometry Analysis である。図 5 と図 6 は Likelihood Analysis により得られた Count Map と Exposer Map で、例として両方 term2 のものである。Count Map は天体を識別するための天体マップで、これでソースの確認をすることで基本レベルの間違いを防ぐ。Exposer Map は天体の関心領域で積分した露光マップである。

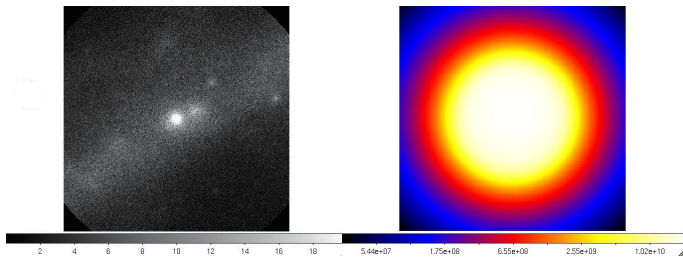


図 5: Count Map

図 6: Exposer Map

図 7 と図 8 は LAT Aperture Photometry Analysis できるライトカーブである。横軸の MET とは Mission Elapsed Time (ミッションの経過時間) のことで、この場合 2001 年 1 月 1 日 0 時 0 分からの経過時間である。

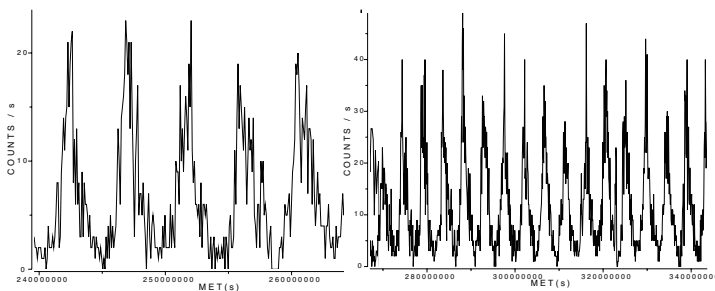


図 7: term1 ライトカーブ

図 8: term2 ライトカーブ

図 9 と図 10 が天体のスペクトルである。両方 power-law モデルでフィットしている。ポイントがデータ、ラインがモデルで、それぞれ赤が天体モデル、緑が銀河拡散モデル、青がそれ以外の背景放射のモデル、黒がそれらの足し合わせを示す。フィット後、表 1 のパラメータが得られた。(Flux は 100MeV–300GeV)

	term1	term2
Γ (PhotonIndex)	2.37	2.33
F_X ($\times 10^{-6} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$)	0.99	1.23
Normalization	0.0000315	0.0000196

表 1: フェルミによるパラメータ

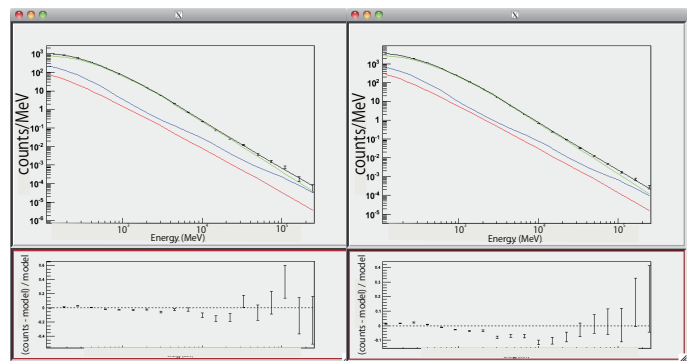


図 9: term1 スペクトル

図 10: term2 スペクトル

4 解析結果と考察

解析の結果から、図 11 にすぎくの 1~3 回目のスペクトルモデル、およびフェルミの Term1,2 のスペクトルモデルを同時に表示した広帯域スペクトルで、縦軸はエネルギーの大きさを示す。硬 X 線のエネルギー帯域で最も効率よくエネルギー放出が行われていることがわかる。

高密度星について考察をする。BH だとすると光度が $8 \times 10^{26} [\text{J/s}]$ で quiescent state と考えて矛盾ない。これまで quiescent state のガンマ線までの X 線スペクトルは得られていないので今回の観測を直接比べることはできない。そこで、quiescent state より少し明るい low state ではスペクトルは 100keV 程度で熱的に折れ曲がる power-law であり、ガンマ線までのびることは考えにくい。しかし、光度が低いため電子が熱化せずに非熱的電子の分布が実現しているという可能性もある。図 11 からガンマ線のスペクトルは降着円盤とは別の機構である可能性が高い。例えば、相対論的ジェットの可能性が考えられる。

パルサーの場合、ガンマ線まで非熱的にのびているスペクトルから中性子星 LMXB の可能性は考えにくい。パルサーでも quiescent state で $10^{25} \sim 10^{26} [\text{J/s}]$ の下限光度を持つものがあるので、光度から NS と BH を区別することはできない。

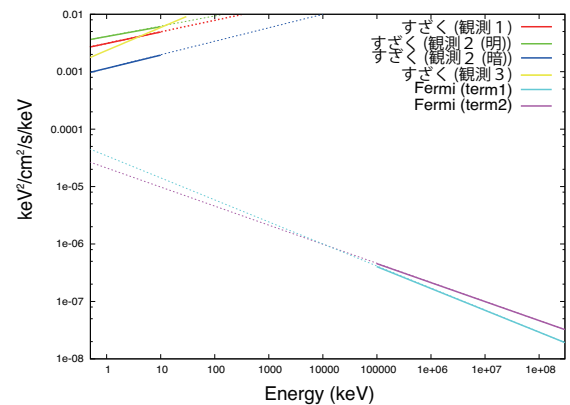


図 11: すざくとフェルミの同時表示

参考文献

- [1] Albert et al. 2007, ApJ, 665, 1
- [2] Aharonian et al. 2005b, A&A, 442, 1
- [3] Aharonian et al. 2005a, Science, 309, 5735
Aharonian et al. 2006, A&A, 460, 3
- [4] Albart et al. 2006, Science, 312, 5781
- [5] Mitsuda, K. et al. 2007, PASJ, 59, 1
- [6] Koyama, K. et al. 2007, PASJ, 59, 23
- [7] Takahashi, T. et al. 2007, PASJ, 59, 35
- [8] 日本 Fermi 衛星グループ
<http://www-heaf.hepl.hiroshima-u.ac.jp/glast/glast-j.html>