

X線新星 MAXI J1727-203 の解析結果と解析領域の取り方

Energy spectrum analysis of the X-ray transient MAXI J1727-203 using optimized MAXI spectral data

○青木 真凜¹, 根来 均²

*Marin Aoki¹, Hitoshi Negoro²

Abstract: MAXI J1727-203 was discovered on June 5, 2018 by MAXI. MAXI/GSC data show that the X-ray flux peaked after 4-5 days from the discovery, and then had exponentially decreased. GSC energy spectra indicate that the source underwent a soft-to-hard state transition, closely related with a reflare event. With the flux decreasing, it becomes difficult to distinguish the source flux from the background flux. We, therefore, examine the size of the source region to extract an energy spectrum to obtain the best S/N ratio.

1. 序

全天X線監視装置 (MAXI) は国際宇宙ステーションのきぼう船外実験プラットフォームに搭載されており、全天をおよそ92分かけてスキャン観測している^[1].

2018年6月5日に発見されたX線新星 MAXI J1727-203^[2] の特徴を調べるため、MAXIの観測データを解析した。そして、天体が暗い時のデータも用いるために、スペクトルデータを得るための最良の天体領域の取り方をSN比から調べた。

2. MAXI J1727-203 の特徴

2.1. 光度曲線

MAXI J1727-203 からの X 線強度は発見後 4, 5 日でピーク強度に達した。その後、20-22 日後にリフレアと呼ばれる再増光を示し、再増光の前後で指数関数的に減少した (Fig. 1)。

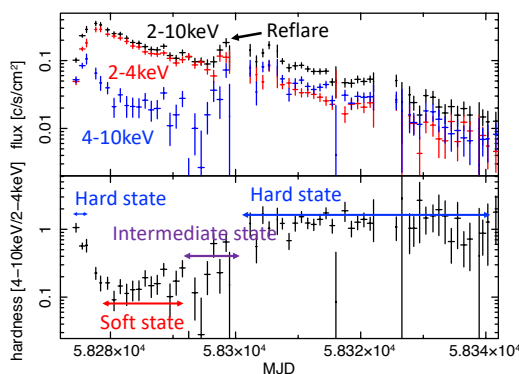


Figure 1. X-ray light curves and count ratios in different energy bands of MAXI J1727-203.

2.2. エネルギースペクトル解析

スペクトル解析の結果、主に多温度黒体放射モデル^[3] で表されるソフト状態とべき関数で表されるハード状態の時期があることがわかり (Fig. 2), ハード-ソフト-ハードの状態遷移が確認された。また、

リフレアはべき関数成分の増光によるものであることがわかった。

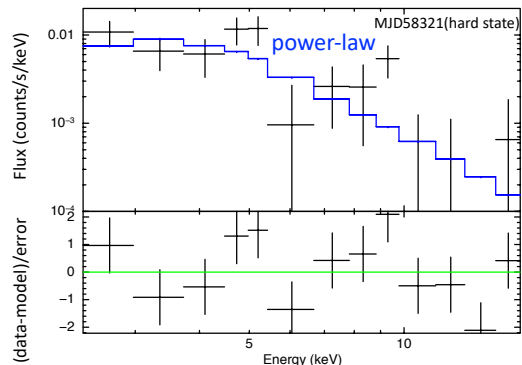
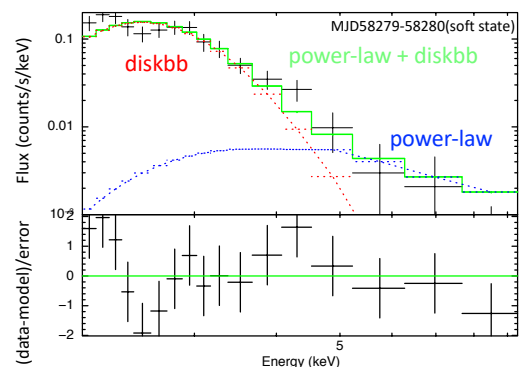


Figure 2. Energy spectra of MAXI J1727-203 in the soft (upper panel) and hard (lower) states.

2.3. 質量と距離

ブラックホール (BH) 周辺からの放射圧が BH による重力を上回るとガスは吹き飛ばされてしまう。この時の光度はエディントン光度 L_E と呼ばれ、次式で表される。

$$L_E = \frac{4\pi c G m_H M}{\sigma_T} \quad (1)$$

ただし、 σ_T, m_H, c, M, G はそれぞれトムソン散乱断面積、陽子の質量、真空中の光速、BHの質量、万有引力定数である。また、光度とフラックス f の関

1 : 日大理工・院(前)・物理、2 : 日大理工・教員・物理

係は観測地点と天体の距離を r とすると、 $f = L/4\pi r^2$ で表される。

今回のソフト-ハード遷移時の0.1-100 keVでのフラックスは、 1.32×10^{-8} [erg/cm²/s]であった。ただし、2-20 keVを超えるフラックスはフィッティングモデルから擬似レスポンスを用いて算出した。ここで、BHの質量を10太陽質量と仮定すると、 $L_E = 1.25 \times 10^{39}$ [erg/s]となる。さらに、遷移時の光度 L とエディントン光度 L_E の比 n を2%とすると^[4]、天体までの距離 r は次式のように約4 kpcとなる。

$$r \approx 4 \left(\frac{n}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{M}{10M_{\odot}} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{f}{1.32 \times 10^{-8}} \right)^{\frac{1}{2}} \text{ [kpc]} \quad (2)$$

3. SN比が最良となる天体領域の導出

天体がより暗い観測データも解析で用いるため、天体強度のSN比が最良となる天体領域の取り方を調べた。イメージフィット解析^[5]により得られた天体とバックグラウンドのカウントレートを S_i , B_i とおく。スキャン方向を θ 、垂直方向を ϕ とすると、ある天体領域 $S(\theta, \phi)$ の天体とバックグラウンドのカウント数 C_s, C_b は後述する C_d と S_{exp} を用いて次のように表される。

$$C_s = S_i \iint C_d S_{\text{exp}} \Delta t \, d\theta d\phi \quad (3a)$$

$$C_b = B_i \iint \Delta t \, d\theta d\phi \quad (3b)$$

また領域 $S(\theta, \phi)$ のSN比は、次式で表せる。

$$S/N = C_s / \sqrt{\delta(C_s + C_b)^2 + \delta C_b^2} \quad (4)$$

3.1. 露光時間

MAXIには2方向にGSCカメラがある。各方向には視野が 80×3 度のGSCカメラが中心を40度ずらして配置され、160度の視野を持っている(Fig. 1)。中央カメラの正面($\beta=0$, Fig. 3)の視野に天体が入っている時間は $\Delta t_0 = 45$ [s]、角度 β の時は $\Delta t = \Delta t_0 / \cos\beta$ である。

3.2. スキャンに垂直な芯線方向のカウント数分布 C_d

GSCカメラのカウンタ内部で起こる電子の増幅^[1]により、芯線方向に天体からのカウント数は広がり、その分布 C_d は、像の中心からの角度を ϕ として、次式の正規分布で近似される。

$$C_d(\phi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{\phi^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5)$$

3.3. 露光面積のスキャン方向の角度依存性

各カメラには平面コリメータが間隔 d_{slat} で並んでいる。露光面積 S_{exp} は、スキャン進行方向の角度 θ 及びカメラの角度 ϕ_{angle} に依存し、次式で表される。

$$S_{\text{exp}}(\theta, \phi) = \frac{d_{\text{slat}} - L|\theta|}{d_{\text{slat}}} \cos\phi_{\text{angle}} \quad (\theta \leq d_{\text{slat}}/L) \quad (6)$$

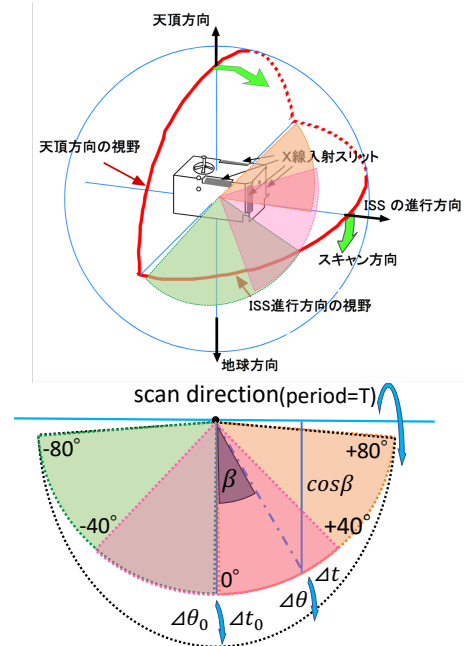


Figure 3. Fields of views of 3 GSC cameras, the scan direction^[1], and the definition of the β angle.

3.4. 結果

明るさが10 mCrabのMJD 58296のデータについて(4)式を適用した結果、 $\theta \approx \pm 1.5^\circ$, $\phi \approx \pm 2.0^\circ$ で領域を取るとS/Nが最も良くなることがわかった。各日についても同様に明るさに依存したS/Nが得られた。

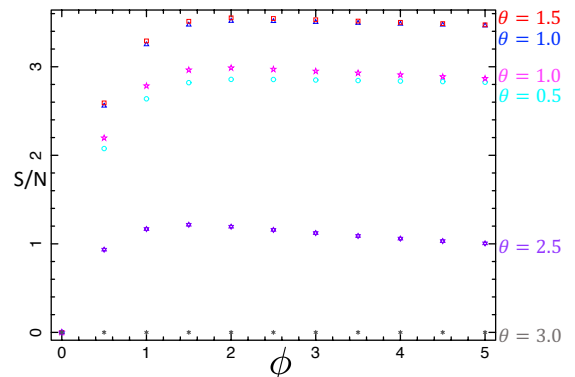


Figure 4. S/N ratios of different sizes of the source region when the source flux is about 10 mCrab.

4. 参考文献

- [1] 全天 X 線監視装置開発チーム, 全天 X 線監視装置中間報告書
- [2] T. Yoneyama et al., ATel, 2018
- [3] K. Mitsuda et al., PASJ, 36, 741M, 1984
- [4] T. J. Maccarone, A&A, 409, 697, 2003
- [5] M. Morii et al., PASJ, 68S, 11M, 2016