

全天X線監視装置 MAXI のアーカイブデータを用いた
突発天体の系統的調査と光度曲線解析システムの改良

Systematic survey of transient objects with the archive data of Monitor of All-sky X-ray Image (MAXI)
and Improvement of a light curve analysis system

○工藤優乃¹, 根來均², 森井幹雄³

*Yuno Kudo¹, Hitoshi Negoro², Mikio Morii³

Abstract: Monitor of All-sky X-ray Image (MAXI) has discovered 35 new X-ray transients since 2009. Sources in source-crowded regions such as the Galactic center and ridge regions, however, have not been investigated intensively because of relatively low spatial resolution (~ 1 deg) X-ray cameras. We are therefore trying to discover X-ray novae and other transient objects by creating light curves at regions around the Galactic center at equal intervals. We use an image fit method to create light curves. In the method, we confirmed that, if a source with a flux of less than about 15 mCrab presents, it doesn't affect curves of its surroundings within 0.2 deg. However, for a source with a flux of more than about 100 Crab, it affects them even about 1 deg apart. Then, we introduce a new function into the fitting. As a result, light curves in the 4-10 keV band are improved, and 10-20 keV light curves can be also obtained.

1. 序

全天X線監視装置 MAXI (Monitor of All-sky X-ray Image) はこれまで 35 のX線新星を発見してきた。しかし、天体が混み合った銀河中心領域では十分な調査がなされていない。そこで、MAXI の運用当初から15年以上にわたるデータを利用して、1 orbit (約1時間半)ビン、6時間ビン、1日ビンのタイムスケールで、銀河中心付近で等間隔の座標点ごとに光度曲線を作成し、未検出のX線新星などの突発天体の発見を試みている。

2. 全天X線監視装置 MAXI

MAXI は国際宇宙ステーション (ISS: International Space Station) に搭載されたX線観測装置である。比例計数管を用いた GSC (Gas Slit Camera) を搭載し、ISS が地球を1周する約1時間半で、全天を1度か2度、2-20 keV のエネルギー領域でスキャン観測を行なっている。1.5° (FWHM)×80° (全幅) の細長い視野を持ち、0.1° の位置分解能を持つ。

3. 光度曲線の作成

光度曲線の生成には、画像フィット方式を用いた、森井幹雄によるイメージフィットプログラム^[1]を鈴木和彦 (2014 年度修了) と増満隆洋 (2016 年度修了) によってスクリプト化されたものを使用する。

4. 周辺天体の影響

昨年、光度曲線を作成する適切な座標点間隔を調べるために、周辺天体の影響を評価した。

まず、同時に画像フィットされた周辺天体の光度曲線を一度に表示して、周辺天体の影響を評価できるようにした。その結果、ある天体 (MAXI J1631-479) に増光があっても、その天体から約 0.6 度以上離れた周囲の天体の光度曲線に影響しないことがわかった。

次に、増光している天体から±0.5 度の範囲内で、約 0.1 度間隔で等間隔に光度曲線を作成したところ、天体から 0.2 度以上離れたある方向ではその影響は認められなかったが、その逆方向では 0.3 度以上離れた箇所でも影響を受けていることがわかった。

5. 新たなフィッティング関数の導入

4 節に記した非対称性がみられる原因の候補として、検出器の芯線方向の PSF (Point Spread Function) のフィッティングが正しくないことが挙げられる。これまで、芯線方向の PSF のプロファイルがガウス関数で近似してフィッティングを行なっていた。しかし実際は、X線光子のコリメーターへの入射角が大きく、また、そのエネルギーが高いほど、その形状は Fig.1 のように芯線方向に尾を引いたような形状になる。

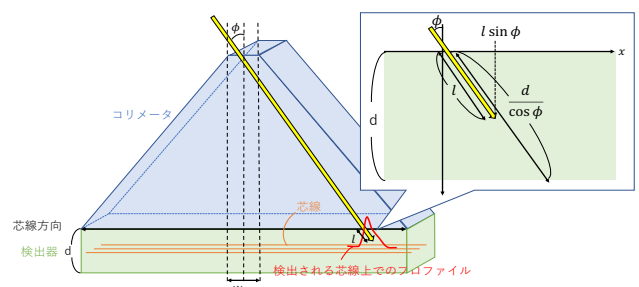


Figure 1. Collimator and detector of one GSC unit, and an expected PSF of an anode direction for high energy X-rays.

1 : 日大理工・院 (前)・物理 2 : 日大理工・教員・物理 3 : JAXA/DATUM STUDIO

そこで、検出器への入射角 ϕ と X 線光子の平均自由行程 τ のエネルギー依存性を考慮した PSF 関数 $H(x)$ を新たに導入した。入射した X 線光子が深さ l で光電吸収され、検出器の深さを d 、スリット幅を w とする

(図 1). 深さ l で吸収される確率は $P(l) = \frac{e^{-l/\tau}}{\tau}$ で表され、そのような X 線光子により、 $x = l \sin \phi$ にピークを持つガウス型のプロファイルが芯線上に形成される。これより、任意の位置 x での強度の期待値は以下の式で求められる。

$$G(x) = \int_0^{\frac{d}{\cos \phi}} P(l) \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(x - l \sin \phi)^2}{2\sigma^2} \right\} dl \quad (1)$$

この $G(x)$ をスリット幅の分だけ重ね合わせる。 $-\frac{w}{2} < x < \frac{w}{2}$ で積分をして 1 になることを考慮し、 $G(x)$ にたたま込む関数 $k(x)$ を定義した。

$$k(x) = \begin{cases} \frac{1}{w} & \left(-\frac{w}{2} < x < \frac{w}{2} \right) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (2)$$

$k(x)$ と $G(x)$ を畳み込み積分した $H(x)$ は以下の計算をすれば求めることができる。

$$H(x) = \int_{-\infty}^{\infty} k(x') G(x - x') dx' \quad (3)$$

(3) 式は解析的に解くことができ、不明なパラメータは τ と σ である。そこで、最も明るい天体 Sco X-1 の実データを使い、2-4 keV, 4-10 keV, 10-20 keV のエネルギーバンドで、フィッティングを行い、エネルギーバンドごとにそれぞれのパラメータを決定した。Fig.2 に Sco X-1 の 4-10 keV の芯線方向のプロファイルを新旧のモデルでフィッティングしたときの例を示す。

新たな PSF 関数を用いることにより、4-10 keV ではフィッティングに改善が見られた (Fig.2)。また、10-20 keV でもフィッティングができるようになり (Fig.3)、これまで生成されなかった同バンドでの光度曲線が得られるようになった。一方、2-4 keV ではパラメータが決定できていない。現在、その原因を調査中である。

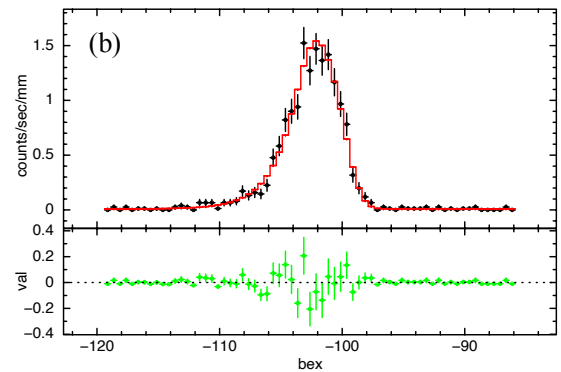
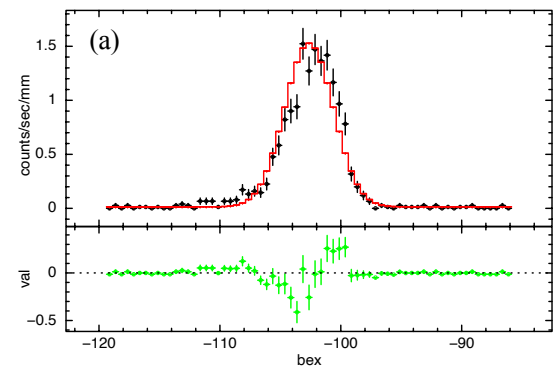


Figure 2. (upper) an anode direction profile of Sco X-1 in 4-10 keV (black) fitted with (a) an old and (b) a new model function (red). ($\phi = 32.7$ degrees, MJD = 60352) (lower) difference between the data and the model.

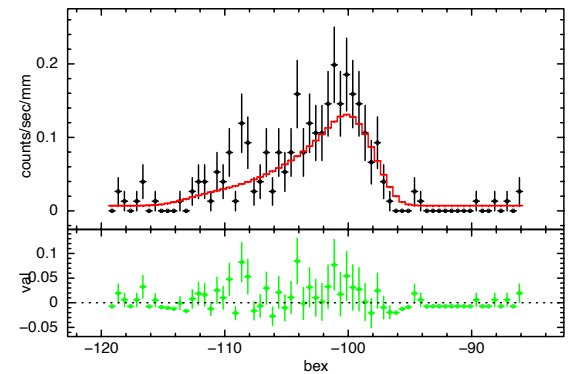


Figure 3. An anode direction profile of Sco X-1 fitted with the new model function (10-20 keV).

6. 今後の課題

2-4 keV でのプロファイルのフィッティングが改善されない原因を追求し、新関数を用いて、再度、光度曲線を評価する。そして、突発天体の無バイアス探索を行う。

7. 参考文献

[1] Morii, M., et al., 2016, PASJ, 68, S11