

## 全天 X 線監視装置 MAXI GSC のデータを用いた X 線短時間変動解析 Enhanced power spectrum analysis of short-term X-ray variability using MAXI/GSC data

○川瀬智史<sup>1</sup>, 根來均<sup>2</sup>\*Tomofumi Kawase<sup>1</sup>, Hitoshi Negoro<sup>2</sup>

Abstract: Power spectral densities (PSDs) of such as bright black hole candidates (BHCs) provide the information about, for instance, state transitions of the accretion disk. Although the Gas Slit Camera (GSC) of Monitor of All-sky X-ray Image (MAXI) has a small effective area for a point source, GSC data still have superiorities that GSC can observe almost the whole sky and do not occur detector saturation even for a bright source. The scan observation with GSC results in a triangular window function of the effective area, and affects the light curves of individual sources. Suzuki (2015) established the method of evaluating resultant PSDs correctly. We modified his programs to analyze data more efficiently. Using data as long as possible, we could more correctly evaluate knee frequencies in the PSDs of BHCs in the hard state. We also improved S/N ratios of PSDs for not-so-bright sources by cutting the edges of the window function. We evaluated its effects on the PSDs analytically, and confirmed them by simulations.

### 1. 序

ブラックホール候補天体 (BHC) などの X 線天体の X 線強度変動の 0.01-10 Hz の帯域のパワースペクトル (PSD) から X 線天体の状態を判別することができる。我々はこの解析を国際宇宙ステーション (ISS) に搭載された全天 X 線監視装置 MAXI の検出器 GSC のデータを用いて行っている。

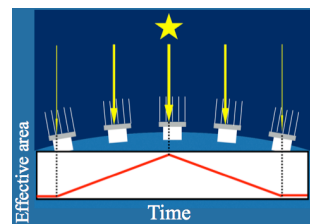
GSC 検出器の点源に対する有効面積は小さいため、一般には短時間変動解析に向かない。しかし MAXI は約 92 分かけて全天をスキャン観測していることから、多くの天体を継続的に観測できる。このため X 線天体の状態の遷移を捉えやすく、各状態における PSD の変遷を調査することができる。また、MAXI の GSC は X 線を集光する鏡を持たないため、他の観測器では検出器が飽和してしまうような非常に明るい天体でも観測できる。

MAXI のデータによるパワースペクトル解析は、鈴木によって数百 mCrab<sup>3</sup> 程度の明るさの天体に有効であることが示された [7]。そこで我々は、さらに暗い天体に対応するための改良を行った。

### 2. MAXI における PSD

MAXI の点源に対するスキャン毎の観測時間は、ISS の進行方向に対する天体の位置に依存し、40-200 秒である。また GSC の時間分解能は 50  $\mu$  秒だが、ここでは統計を良くするために 0.01 秒ビンにまとめて解析を行う。これらにより GSC データを用いた PSD の周波数帯域は最大で 0.005-50 Hz となる。これは BHC などの X 線天体の状態を探るために十分な帯域である。

GSC は光源の位置同定にコリメータを用いているため、スキャン中に点源に対する有効面積が三角形の形に時間変化する (Fig. 1)。この影響を受け、スキャンごとの PSD には三角形の窓関数の影響が現れる。鈴木は三角形の窓関数の影響を考慮し、スキャンごとの PSD を正しく評価することを可能にした [7]。



**Figure 1.** The movement of GSC in a scan observation and the time change of the effective area for a point source. When the source is in front of GSC, the effective area reaches the maximum value.

### 3. SN 比の改善と窓関数の関係

明るい天体と暗い天体の 1 スキャンのライトカーブを比較すると、明るい天体の場合はスキャン全体に天体からの光子のカウントが三角形の形で存在するが、暗い天体の場合は三角形の窓関数の影響を受けないバックグラウンドにより、光源からのカウントは埋もれてしまう。この暗い天体のデータについて SN 比を上げるため、光源のカウントに対してバックグラウンドが多い、スキャンの初めと終わりの部分を取り除いて解析を行うことにした。しかしこの時、ライトカーブを切ることで窓関数の形が変わることに注意する必要がある。

1 : 日大理工・院 (前)・物理 2 : 日大理工・教員・物理 3 : 強度がほぼ一定のかにパルサーを基準とした X 線強度の単位。

## 4. シミュレーションによる検証

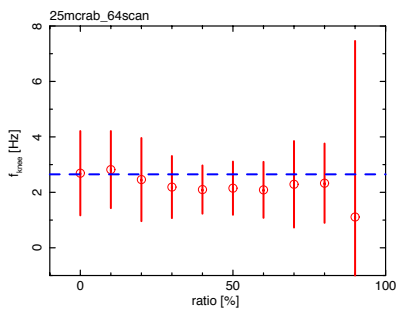
### 4.1. 方法

暗い天体のデータについて、SN 比の良い部分のみを用いることによる PSD の統計精度の向上と、変形する窓関数の評価の正当性を検証した。

強度が急激に立ち上がり、指数関数的に減少するショットの PSD はローレンチアン型の関数となり、これにより BHC のハード状態の PSD を擬似的に再現できる。このようなショットをランダムに発生させたデータに三角窓関数をかけ、さらにポワソン分布を用いて飛来する光子の揺らぎを再現することで、擬似ライトカーブを作成した。そしてこれらの PSD を窓関数の影響を考慮した上でローレンチアンモデルでフィッティングし、肩周波数の精度を比較した。

### 4.2. 結果

我々が検証に用いたライトカーブのうち最も暗い 25 mCrab を再現した PSD において、ライトカーブを切り SN 比を上げることでローレンチアンの肩周波数がより良く求まることがわかった (Fig. 2)。最も良く求めたものはライトカーブを両端から 40% 切り取ったときであり、それ以上ではカウント数が減ることで肩周波数の精度が悪くなってしまう。この結果等から、SN 比の良いデータを用いることで、MAXI の検出限界の 2-3 倍程度の明るさの天体であれば時間変動を MAXI の PSD で解析することができることがわかった。



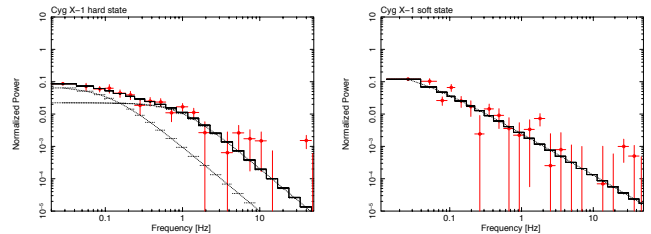
**Figure 2.** The relationship between cutting ratios of light curves and knee frequencies obtained from their PSDs for a source with the flux of 25 mCrab. 64 scan data used here correspond to the amount of data for 2 days. The dash line shows the expected knee frequency.

## 5. 実データ解析

### 5.1. Cyg X-1

実際の MAXI のデータを用いて、BHC である Cyg X-1 の PSD を作成した (Fig. 3)。ハード状態のときの

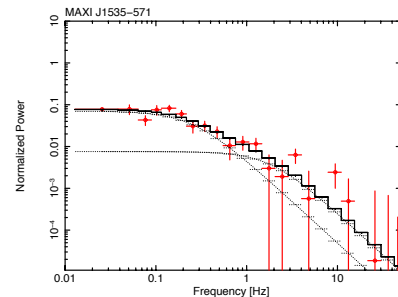
PSD はローレンチアンモデルでよく再現され、ソフト状態のときは冪で落ちていく PSD となる。これらは先行研究 [1] と一致し、MAXI のデータを用いたパワースペクトル解析が X 線天体の状態の判別に有効であることが示された。



**Figure 3.** PSDs of Cyg X-1 in the hard state (Left: 2010/02/10-16, 2-20 keV) and in the soft state (Right: 2010/10/31-11/06, 2-20 keV).

### 5.2. MAXI J1535-571

2017 年 9 月 2 日、MAXI と米英伊の X 線天文衛星 Swift によって新天体 MAXI J1535-571 が独立に発見された [6]。BHC と示唆されるこの天体について MAXI のデータを用いて PSD を作成したところ、ローレンチアン型でよく再現されることからハード状態であることが推測できた (Fig. 4)。



**Figure 4.** PSD of MAXI J1535-571, fitted by the sum of two Lorentzian models (2017/09/04-07, 2-20 keV).

## 6. 参考文献

- [1] Churazov, E., Gilfanov, M., and Revnivtsev, M. 2001, MNRAS, 321, 759-766
- [2] Honda, F. 2016, Master's thesis, Nihon University
- [3] Kawase, T. et al. 2016, in Proc. 7 years of MAXI
- [4] Leahy, D. A. et al. 1983, ApJ 272, 256-258
- [5] Miyamoto, S. et al. 1994, ApJ 435, 398-406
- [6] Negoro, H. et al. 2017, Astronomer's Telegram, 10699
- [7] Suzuki, K. 2015, Master's thesis, Nihon University
- [8] van del Klis, M. 1989, in Timing Neutron star, NATO ASI Series C, Vol. 262, p27-70