

## X線望遠鏡 NICER のデータを用いた X線新星 MAXI J1810-222 の正体解明

## Revealing the nature of the X-ray nova MAXI J1810-222 using NICER data

○高城龍平<sup>1</sup>, 根來均<sup>2</sup>\*Ryohei Takagi<sup>1</sup>, Hitoshi Negoro<sup>2</sup>

Abstract: The X-ray nova MAXI J1810-222 was discovered by Monitor of All-sky X-ray Image (MAXI) on December 1, 2018. We analyzed X-ray data from February 11, 2019 to May 1, 2020 obtained by the X-ray telescope NICER to clarify its identity. From September 10 to 24, 2019 and from February 8 to May 1, 2020, the energy spectrum can be represented by a power-law with a photon index of about 1.7, and the power spectrum shows a flat-top spectrum with a power of about 0.1 and a knee at about 0.1 Hz. These features are consistent with those in the typical hard state of a black hole binary, suggesting that MAXI J1810-222 is a black hole binary.

## 1. 序

典型的なブラックホールのソフト状態のエネルギースペクトルは、光学的に厚く、幾何学的に薄い円盤黒体放射モデルと光子指数  $\Gamma = 2.2-2.8$  の冪関数モデルの和で表される。またハード状態のエネルギースペクトルは、光子指数  $\Gamma = 1.5-1.9$  の冪関数モデル1成分で表される<sup>[1]</sup>。

円盤黒体放射モデルにより、観測から得られる降着円盤内縁の温度とその強度から最も温度が高くなる最内縁付近の領域の面積がわかり、それより円盤の最内縁半径を求めることができる。また冪関数モデルについては、高温プラズマからのシンクロトロン放射やコンプトン散乱のような非熱的放射であると考えられている<sup>[2]</sup>。

X線新星 MAXI J1810-222 は、2018年12月1日に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 によって発見された<sup>[3, 4]</sup>。発見後、NuSTAR と Swift 衛星による追観測が行われ、それぞれのエネルギースペクトルは円盤黒体放射モデル disk blackbody と冪関数 power-law の和で表された。そのスペクトルの特徴は、他のブラックホール連星の典型的なソフト状態のものと似ているが、冪関数の光子指数  $\Gamma \sim 3.6$  と大変急で、その正体は依然不明である<sup>[5]</sup>。

そこで我々は、その正体を解明するため、ISS に搭載されたX線望遠鏡 NICER の観測によって 0.5-8 keV のX線領域で得られた 2019年2月11日から2020年5月1日までの公開データを用いて、エネルギースペクトル解析とパワースペクトル解析を行った<sup>[6]</sup>。

## 2. 観測データ

Fig. 1 に、今回、観測されたX線強度のエネルギー毎 (0.5-8 keV と 0.5-2 keV と 2-8 keV) の時間変化を示

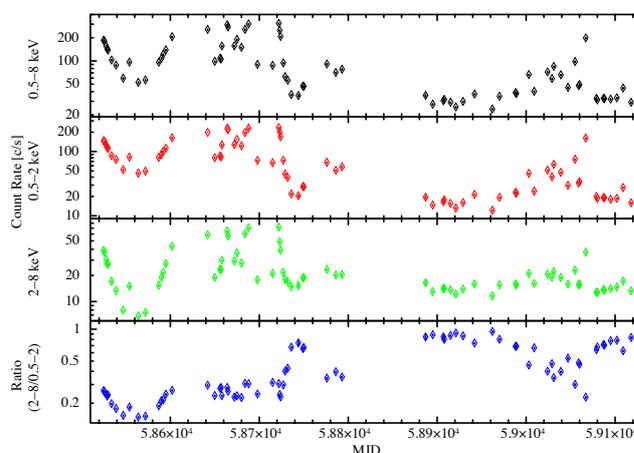


Figure 1. X-ray count rates obtained from NICER observations and those count ratios are shown.

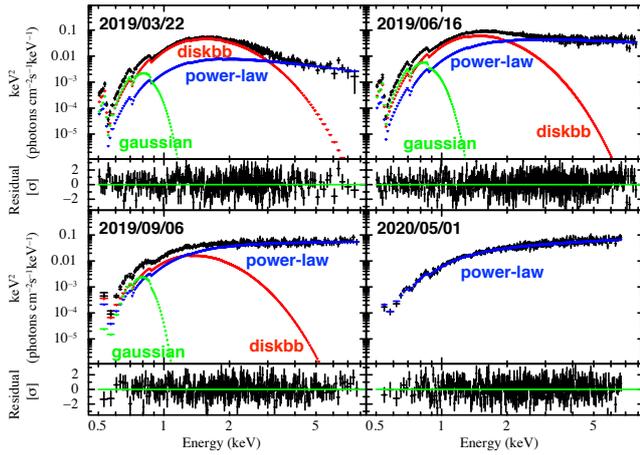
す。また、最下段に硬X線と軟X線の強度の比 (2-8 keV / 0.5-2 keV) も示した。

## 3. 解析

## 3.1. エネルギースペクトル解析

我々は、NASA が提供しているX線スペクトル解析ソフト “XSPEC” を用いて、スペクトルをモデルフィットした。

Fig. 2 に、今回観測されたエネルギースペクトルのうち、代表的な4つを示す。まず左上に示した1つ目 (2019/03/22 に観測) は、最内縁温度  $kT_{in} \sim 0.33$  keV の円盤黒体放射モデルと光子指数  $\Gamma \sim 3.1$  の冪関数モデルの和で表せ、円盤黒体放射モデルが 0.5-3 keV で支配的な状態。右上の2つ目 (2019/06/16) は、最内縁温度  $kT_{in} \sim 0.32$  keV の円盤黒体放射モデルと光子指数  $\Gamma \sim 2.3$  の冪関数モデルの和で表せ、2 keV 以上で冪関数モデルが支配的になった状態。3つ目 (左下、



**Figure 2.** Typical energy spectra of MAXI J1810-222 in four distinct states, obtained by NICER.

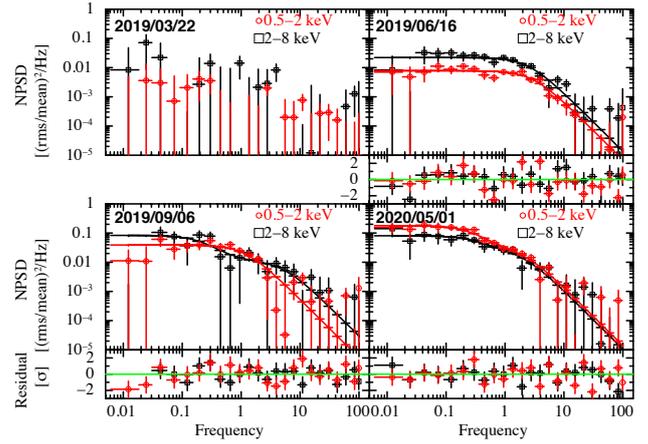
2019/09/06) は、最内縁温度  $kT_{in} \sim 0.25$  keV の円盤黒体放射モデルと光子指数  $\Gamma \sim 2$  の冪関数モデルの和で表せ、円盤黒体放射モデルの強度が減少し、冪関数モデルが支配的な状態。最後の4つ目(2020/05/01)は、光子指数  $\Gamma \sim 1.7$  の冪関数モデル1成分で表せる状態である。

### 3.2. パワースペクトル解析

PSD (power spectral density) は、時系列データをフーリエ変換したフーリエ係数の2乗和で定義され、変動する成分の周波数ごとの大きさを示す。パワースペクトル解析を行うにあたっては、NASA が提供する時系列解析ソフト XRONOS の“POWSPEC”を用いた。

ここでは、PSD は、0.5-2 keV と 2-8 keV のエネルギー領域に分けた時間分解能 5 ミリ秒のデータを用いて、周波数帯域 0.01-100 Hz で調査した。これはブラックホール候補天体などのX線天体の状態を知る上で最適な周波数帯域である。

Fig. 3 に、エネルギースペクトルと同じ日のパワースペクトルを示す。1つ目(左上)は、全周波数において PSD の値が小さく、ほとんど時間変動が検出されない状態。2つ目(右上)は、10 Hz 以下で時間変動が有意に検出され、特に 2 keV 以上での相対的な時間変動の大きさが 2 keV 以下のものより大きくなった状態。このときの 0.5-2 keV と 2-8 keV での PSD は、ローレンチアンモデル一つで表せた。3つ目(左下)は、全周波数帯において時間変動が大きくなり、0.5-2 keV と 2-8 keV で同程度の状態。このときの 0.5-2 keV と 2-8 keV での PSD は、それぞれ、ローレンチアンモデル1つと2つの和で表せた。最後の4つ目は、さらに時間変動が大きくなり、エネルギー依存性が逆転した



**Figure 3.** Normalized power spectral densities using the same NICER data in Fig.2, and fitting curves of one or two Lorentzian models.

状態。このときの 0.5-2 keV と 2-8 keV での PSD は、ともにローレンチアンモデル2つの和で表せた。

典型的なブラックホールのハード状態では、時間変動が激しく、光度曲線にはショットと呼ばれるバースト的な変動が見られる。その時の PSD はローレンチアンモデル2つでよく表され、その時の強度の二乗で規格化された PSD の低周波数側の値 (NPSD) は 0.1 程度である。観測された4つ目の PSD は、このブラックホールのハード状態の PSD の特徴と定量的にも一致する。

### 4. 議論

MAXI J1810-222 は、今回の解析からも、典型的なブラックホール連星系のソフト状態と似た形状のスペクトルが得られたが、定量的には異なっていた。

一方、観測後半に観測されたエネルギースペクトルと PSD は、定量的にもブラックホール連星系のハード状態で見られる特徴と一致していることがわかった。このことから、MAXI J1810-222 はブラックホール連星系である可能性が高まった。

### 5. 参考文献

[1] S. Miyamoto, et al. : “Large hysteretic behavior of stellar black hole candidate X-ray binaries”, The Astrophysical Journal, 442, 1995.  
 [2] 嶺重慎 : 「新天文学ライブラリー第3巻 ブラックホール天文学」, 2016年.  
 [3] H. Negoro, et al. : Astron. Telegram, 12254, 2018  
 [4] W. Maruyama, et al. : Astron. Telegram, 12264, 2018  
 [5] M. Oeda, et al. : Astron. Telegram, 12398, 2019  
 [6] 高城龍平 他, 2020年秋季天文学会 No. W30a