

X線新星 MAXI J1631-479 のアウトバーストの最大強度付近で初めて確認された軟X線成分

A soft X-ray component newly found near the outburst peak of the X-ray nova MAXI J1631-479

○小林 浩平¹, 根来 均²*Kohei Kobayashi¹, Hitoshi Negoro²

Abstract: During black hole outbursts, X-ray energy spectra often change through the state transitions of the accretion disks. We analyzed energy spectra of the newly discovered black hole candidate MAXI J1631-479. The energy spectra of the hard and soft states are represented by a power-law model and a sum of a disk-blackbody plus power-law model, respectively. On the other hand, in the energy spectra of the intermediate state, in addition to known thermal and non-thermal components, we found an unexpected soft X-ray component below 3 keV.

1. 序

ブラックホール連星（およびその候補天体）は、伴星からのガスの流入により降着円盤を形成する。ガスの流入量（質量降着率）の変化によって状態遷移を起こし、観測されるエネルギースペクトルは変化する。ブラックホール連星のスペクトルには、ハード状態（low/hard state）とソフト状態（high/soft state）がある。ハード状態のスペクトルは、ベキ関数で近似的に表せる^[1]。ソフト状態のスペクトルは、光学的に厚い降着円盤からの放射を表す円盤黒体放射（disk-blackbody, DBB）^[2] モデルとベキ関数の和で表せる。ソフト状態とハード状態の間の状態（中間状態, intermediate state）のスペクトルは、ソフト状態に似たようなモデルもしくはベキがハード状態よりも急なベキ関数で表せる。

X線新星 MAXI J1631-479 (MAXI J1631) は、2018年12月に全天X線監視装置 MAXI によって発見された^[3, 4]。本研究では、MAXI によって得られた同天体のX線スペクトルの解析を行い、天体の特徴を詳細に調べた。

2. 観測

MAXI J1631 のすぐ近くに2つのX線天体、ブラックホール天体 4U 1630-472 (4U 1630) と低質量X線連星 4U 1624-490 (4U 1624) がある。検出器による天体の像の広がりにより、MAXI J1631 のアウトバースト中は、それらの天体を容易に区別することができない。そこで、個々の天体の光度曲線を可能な限り正確に取得するイメージフィット解析手法^[5]を用いて、周辺天体の光度曲線を作成した。その結果、4U 1630 の強度は、MAXI J1631 のアウトバースト中、MAXI の検出限界以下であったが、4U 1624 の強度は、ほぼ一定であることが分かった。これより、4U 1624 の強度とスペクトル

の形状は一定と仮定し、後述のエネルギースペクトル解析では各スペクトルにその形状を入れた。

3. 解析

3.1. 光度曲線と状態遷移

Fig. 1 に、MAXI J1631 の光度曲線を示す。2018年12月18日 ($T=0$ [day]) に MAXI J1631 が発見された後、急激に増光した。発見から数日後 4-10 keV と 2-4 keV の強度の比, hardness ratios (HRs) が減少し始め、ハード状態からソフト状態へ徐々に遷移したことが示唆される。2019年1月の初め ($T=22$) に強度が 2-10 keV でピークとなり、その後、徐々に減少した。1月の中旬 ($T=30$) から、15-50 keV の強度が徐々に増加して HRs も少し高くなり ($T=36$)、再びハードな中間状態へ徐々に遷移した^[6]。3月 ($T=80$) から 15-50 keV の強度が急激に減少して HRs も徐々に減少し、ソフト状態へ遷移した。6月の中旬 ($T=178$) にソフト状態のまま、強度が MAXI の検出限界以下になった。

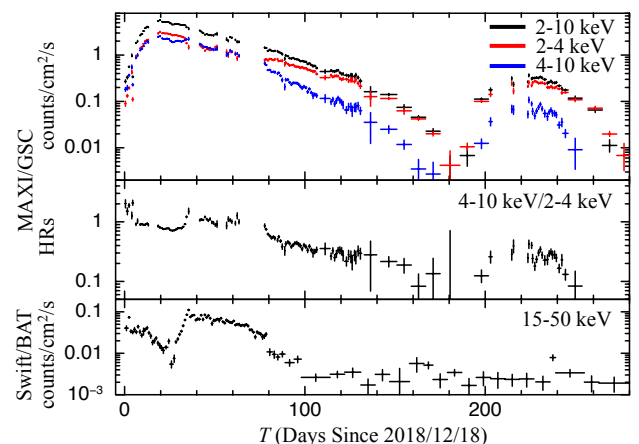


Figure 1. From the top to the bottom: MAXI/GSC light curves of MAXI J1631, hardness ratios, and a Swift/BAT light curve.

2019年6月の終わり ($T \sim 191$) に, 同天体はソフト状態のまま再増光し, 8月 ($T \sim 233$) に 2-10 keV の強度が 150 mCrab に達した. その後, 強度は徐々に減少した. 9月 ($T \sim 280$) に再びソフト状態のまま, 強度が MAXI の検出限界以下になった.

3.2. エネルギースペクトル解析

スペクトル解析は, NASA が提供している解析ソフトウェア XSPEC を用いた. Fig. 2 に MAXI J1631 のエネルギースペクトルを後述のモデルでフィットしたときのパラメータの時間変化を示す. $T=0-5$ では, スペクトルを星間吸収を考慮したベキ関数で表すと, ベキ Γ が 1.5 から 2.0 に変化した. 典型的なハード状態のブラックホールでは, ベキ Γ は約 1.7 であることから, この期間はハード状態であったと考えられる.

$T=7$ 以降では, ベキ関数成分の他に, 低エネルギー側に熱的成分が必要になり, DBB モデルを加えた. 天体の強度がピークになった直後, DBB とベキ関数成分の他に新たに軟X線成分が必要になり, 黒体放射モデルを加えた (Fig. 3). $T=47$ 以降では, 黒体放射成分はなくなり, DBB モデルとベキ関数モデルの和で表せることが分かった.

$T=80$ 以降では, 円盤の最内縁温度 T_{in} が変化しているが, 最内縁半径 r_{in} は一定である. この結果は, 典型的なソフト状態におけるブラックホールの振る舞いと一致する. しかし, MAXI J1631 の強度が MAXI の検出限界程度の期間 ($T=165-178$, $T=270-280$) では, 最内縁半径 r_{in} が徐々に増加している傾向がある.

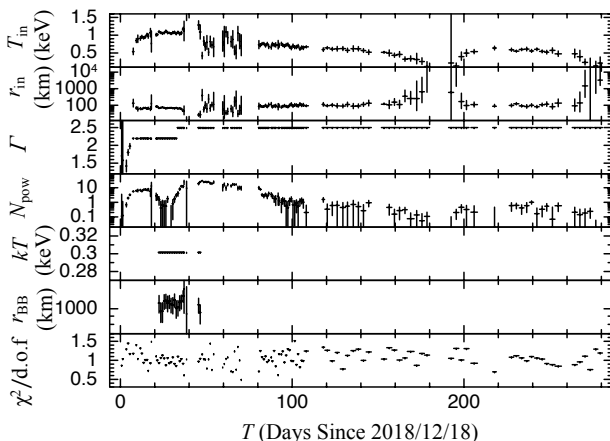


Figure 2. Best-fit parameters of the spectral models. From the top to the bottom: the innermost temperature T_{in} and the radius r_{in} of the disk-blackbody model, the photon index Γ and the normalization N_{pow} of the power-law model, the temperature kT and the source radius r_{BB} of the blackbody model, and reduced χ^2 .

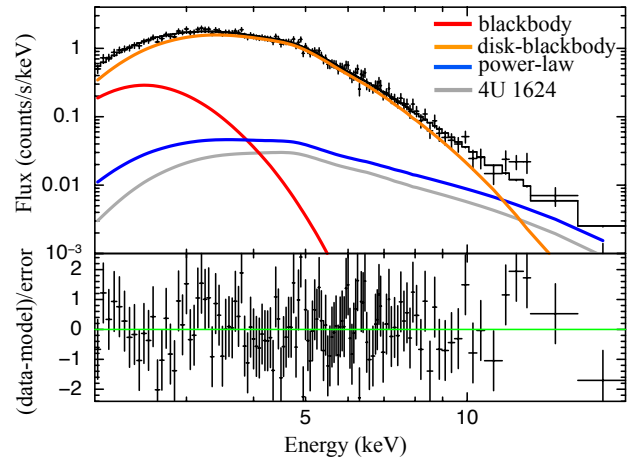


Figure 3. An example of a MAXI J1631 spectrum in the intermediate state ($T=22$).

4. 議論と課題

ピーク強度付近で観測された黒体放射している光源の放射領域を球形と仮定すると, 半径 (r_{BB}) 約 1100 km の領域から放射していることが分かった (Fig. 2). 降着円盤の最内縁半径 r_{in} よりも約 10 倍大きいため, 光学的に厚いジェット (もしくは何らかのアウトフロー) からの放射の可能性がある.

一方, 天体から放射された光子は, 星間吸収の他にダストによって散乱される. 散乱される光子は 2 keV をピークに低エネルギー側で多い. よって, 観測された軟X線成分には散乱された光子が含まれる可能性もある. 今後, その量を見積もり, 評価する.

5. 参考文献

- [1] McClintock, J. E. & Remillard, R. A.: “Black Hole Binaries”, in Compact Stellar X-ray Sources, pp157-213, 2006.
- [2] Mitsuda, K. et al.: “Energy spectra of low-mass binary X-ray sources observed from Tenma”, PASJ, Vol.36, pp741-759, 1984.
- [3] Kobayashi, K. et al.: “MAXI/GSC detection of a bright hard X-ray outburst probably from AX J1631.9-4752”, Astron. Telegram, 12320, 2018.
- [4] Miyasaka, H. et al.: “MAXI J1631-479 is a new X-ray transient”, Astron. Telegram, 12340, 2018.
- [5] Morii, M. et al.: “Search for soft X-ray flashes at the fireball phase of classical/recurrent novae using MAXI/GSC data”, PASJ, Vol.68, ppS11, 2016.
- [6] Negoro, H. et al.: “MAXI/GSC detection of a soft-to-hard state transition of MAXI J1631-479”, Astron. Telegram, 12421, 2019.