

# MAXI とすざく衛星による共生 X 線連星の研究

Study of symbiotic x-ray binaries with *MAXI* and *Suzaku*

宇宙情報解析研究室：P08151 吉澤 祐貴

指導教員：久保田 あや 准教授、三原 建弘 (理研)

## 1 共生 X 線連星の進化

共生 X 線連星とは可視光スペクトルにおいて、低温の M 型巨星の特徴である吸収線と、高温星の特徴である強い輝線の両方が見られる星のことである。

2つの矛盾する特徴は、連星をなす2つの星に由来すると考えられる。つまり、活発な質量放出を行う低温の M 型巨星（主星）と、白色矮星や中性子星等の高温のコンパクトな天体（伴星）との連星である。そこでは、低温の主星から高温の伴星に星風が流れ込み、伴星の周りに降着円盤を作る。流れ込んだガスの一部が高温の星によって光電離され、非常に強い可視光の輝線群を形成する。そのため共生 X 線連星を観測すると、低温の M 型巨星の特徴を示す吸収線と、強い輝線スペクトルの両方が重なって現れる [1][2]。

X 線連星は、大質量 X 線連星 (HMXB) と低質量 X 線連星 (LMXB) の2つに大別される。HMXB は、ガスの供給元の恒星の質量が太陽の10倍以上の連星系で、寿命が短い。LMXB は恒星の質量が太陽の数倍以下の連星系で、寿命が長い。共生 X 線連星の主星は、質量が両者の中間程度で、進化の進んだ低温の赤色巨星である。

共生 X 線連星の赤色巨星の外層は今後、質量放出により宇宙空間にばらまかれるとともにコンパクト星に吸い込まれ、主星は軽くなっていき LMXB になるというシナリオも考えられる。

## 2 研究目的

現在、9個の共生 X 線連星が知られているが、X 線放射の特徴的スペクトルなどの系統的な研究はあまり行われていない。本研究では、典型的なパルサー天体で非常に明るい GX 1+4 及び、正体不明の天体 4U 1700+24 の2天体を、MAXI とすざく衛星による観測データを解析し、X 線の強度変動の様子や、X 線スペクトルを調査する。これにより、HMXB と LMXB の進化の中間段階である共生 X 線連星の X 線放射の特徴を明らかにすることを目的とする。

## 3 MAXI とすざく衛星による共生 X 線連星の観測

### 3.1 観測天体

恒常的に明るい GX 1+4 と、強度変動する天体である 4U 1700+24 の解析を行った。国際宇宙ステーションの「きぼう」に搭載された全天 X 線監視装置 (MAXI) で得られた GX 1+4 の光度曲線を図 1 に、4U 1700+24 の光度曲線を図 2 に示す。

この2年間で GX 1+4 は5回のフレアをしていることがわかる。各フレアはピーク強度が  $60[\text{mCrab}]^1$  程度で、約5日間続いている。天体の距離は  $3 \sim 5[\text{kpc}]$ 、相手は M5III 型の赤色巨星である。4U 1700+24 は平均  $16[\text{mCrab}]$  程度と暗いが、2回のフレアが見える。天体の距離は  $0.42[\text{kpc}]$ 、相手は M2III 型の赤色巨星である。

### 3.2 観測装置

MAXI は、92分で地球を一周し全天をスキャン観測する。X 線エネルギー帯域が  $2 \sim 30 [\text{keV}]$  である GSC 比例計数管と、X 線エネルギー帯域が  $0.5 \sim 10 [\text{keV}]$  である X 線 CCD カメラを搭載している。

一方すざく衛星 [3] は指向観測を行う X 線天文衛星であり、X 線望遠鏡の焦点面上に、X 線エネルギー帯域が  $0.5 \sim 12 [\text{keV}]$  である4台の X 線 CCD カメラ (XIS) [4] と、X 線エネルギー帯域は  $10 \sim 700 [\text{keV}]$  である1台の硬 X 線検出器 (HXD) [5] が搭載されている。

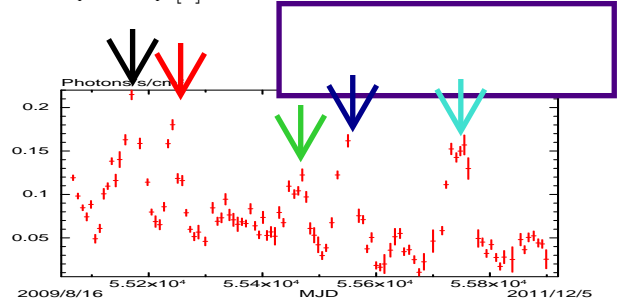


図 1: MAXI による GX 1+4 の光度曲線。縦軸は 2-20 [keV] の X 線強度。0.1 が  $80[\text{mCrab}]$  に相当する。

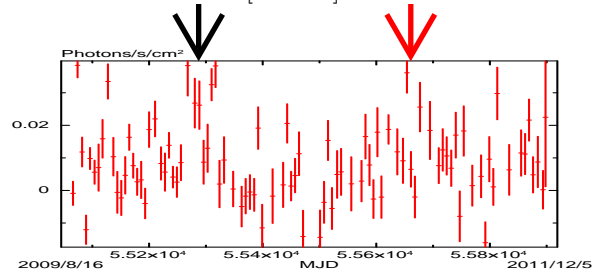


図 2: MAXI による 4U 1700+24 の光度曲線。縦軸は 2-20 [keV] の X 線強度。

## 4 GX 1+4

### 4.1 スペクトル解析

GX 1+4 は X 線連星パルサーである。すざく衛星は、2010年10月2日のデータを用いたスペクトル (図 3) を逆コンプトン散乱を近似する NPEX (Negative and Positive power-law EXponential) に星間吸収 (wabs) をかけた放射モデルで評価した。

MAXI は、2010年1月29日～2010年3月20日の50日間のデータを用いたスペクトル (図 4) を、ベキ関数 (power-law) に星間吸収 (wabs) をかけた放射モデルで評価した。また各衛星のベストフィットパラメータを表 1 に示す。

NPEX モデルでフィットした結果を見ると、Positive power-law の光子指数 ( $\Gamma$ ) の値が  $-0.62$  であった。この値が  $-2.0$  のとき、逆コンプトン散乱のスペクトルは黒体放射のスペクトルに一致する。しかし、この値を  $-2.0$  に固定してモデルフィットを行ったが合わなかった。黒体放射までは至らなかったことから、降り積もったガスでできたプラズマ層は、黒体放射と比べて散乱が効いた状態と言える。温度は  $kT_e = 15.4 [\text{keV}]$  で、典型的なパルサー天体の  $5 \sim 20 [\text{keV}]$  に収まっている。

2つの光子指数から、合成された逆コンプトン散乱スペクトルが図 5 のように現れ、プラズマ層の厚さが一様ではない可能性も考えられる。つまり、GX 1+4 での逆コンプトン散乱の様子は図 6 のように、高温状態で、複数の散乱が放射されていると言える。MAXI のデータでは星間吸収量を表す水素柱密度、 $N_H$  がすざく衛星に比べて小さく、天体と地球との間のガスは少ないことを示している。銀河赤道に近いほどガスは多いことが知られているので、銀河

<sup>1</sup>Crab はカニ星雲の強度を基準とする単位。

赤道に比較的近いGX 1+4は星間吸収は多いはずである。MAXIの観測で、2010年4月14日から50日間のデータを用いて同様の解析を行うと、 $N_H = 16 \times 10^{22} [\text{cm}^{-2}]$ となった。1999年では $13 \sim 28 \times 10^{22} [\text{cm}^{-2}]$ [6]であり、その頃から比べると吸収は減少していた。

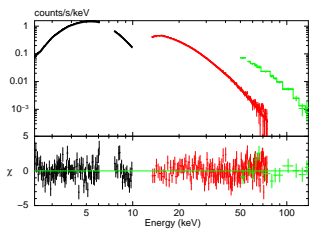


図 3: すざく衛星による GX 1+4 のスペクトル

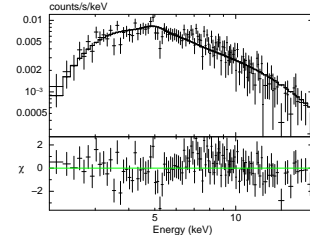


図 4: MAXI による GX 1+4 のスペクトル

表 1: GX 1+4 のパラメータ

パラメータ	単位	値 (すざく)	値 (MAXI)
$N_H$	$[10^{22}/\text{m}^2]$	$14.8^{+0.30}_{-0.36}$	$6.4^{+1.6}_{-1.4}$
power-law $\Gamma$	-	-	$1.61^{+0.15}_{-0.14}$
pcfabs $N_H$	$[10^{22}/\text{m}^2]$	$24.1^{+5.9}_{-5.6}$	-
CvrFract	[%]	$27.9^{+3.6}_{-2.7}$	-
NPEX $\Gamma 1$	-	$-0.62^{+0.25}_{-0.20}$	-
$\Gamma 2$	-	$1.14^{+0.13}_{-0.09}$	-
$kT$	[keV]	$15.4^{+0.61}_{-0.20}$	-
$\chi^2/\text{d.o.f.}$	-	347/277	119/108
Flux <sub>2-20keV</sub>	$[\text{J}/\text{m}^2/\text{s}]$	$1.61 \times 10^{-12}$	$1.58 \times 10^{-12}$
Lumi <sub>2-20keV</sub>	$[\text{J}/\text{s}]$	$3.90 \times 10^{29}$	$3.83 \times 10^{29}$
Flux <sub>2-150keV</sub>	$[\text{J}/\text{m}^2/\text{s}]$	$3.98 \times 10^{-12}$	-
Lumi <sub>2-150keV</sub>	$[\text{J}/\text{s}]$	$9.64 \times 10^{29}$	-

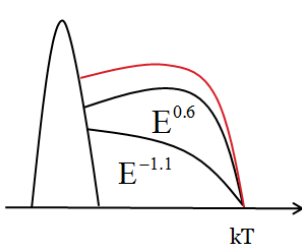


図 5: 逆コンプトン散乱のスペクトル

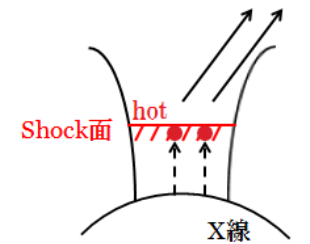


図 6: 逆コンプトン散乱の概念図

## 4.2 周期解析

GX 1+4のパワースペクトルを図7に示す。およそ $6.25 \times 10^{-3} [\text{Hz}]$ の強度にピークが見られる。この周波数から周期をおよその値で求め、畳み込み解析でより詳細な周期を調べたところ、回転周期は $160^{+1}_{-2} [\text{s}]$ であることが分かった。この周期で畳み込んだGX 1+4のパルス波形を図8に示す。1997年では、GX 1+4の回転周期は $150 [\text{s}]$ だった[7]。それから13年ほどで、回転周期は $10 [\text{s}]$ ほど遅くなっている。

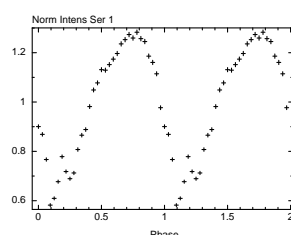
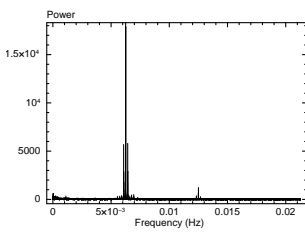


図 7: GX 1+4 のパワースペクトル。横軸が周波数 [Hz]

図 8: GX 1+4 のパルス波形

## 5 4U 1700+24

### 5.1 スペクトル解析

すざく衛星は、2007年8月22日のデータを用いたスペクトル(図9)を、降着円盤の黒体放射(diskBB)と黒体放射の逆コンプトン散乱(compBB)の放射モデルで評価した。

MAXIは、2010年3月25日~2010年5月12日の48日間のデータを用いたスペクトル(図10)を、compBBの放射モデルで評価した。すざく衛星のスペクトルでは、エネルギーが2 [keV]以上の成分は、compBBだけであり、MAXIのエネルギー帯域は2~20 [keV]なので、diskBBでの評価は行わない。各衛星のパラメータは表2に示す。

すざく衛星とMAXIでは観測時期が2年半異なり、2010年のMAXIの観測では2007年のすざく衛星の約70倍程度の光度となった。表2のcompBBの温度 $kT$ を見ると、温度は同じである。逆コンプトン散乱の黒体放射成分から円形の放射領域を求めると、半径が42 [m] (すざく衛星) 368 [m] (MAXI)となった。放射領域の円の面積は、MAXIの観測の方がすざく衛星の約80倍になる。したがって70倍の光度差は、温度は一定で放射面積が70倍前後に増大したためと考えられる。

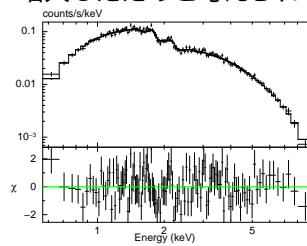


図 9: すざく衛星による 4U 1700+24 のスペクトル

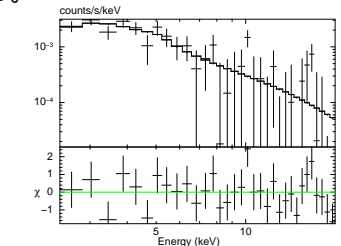


図 10: MAXI による 4U 1700+24 のスペクトル

表 2: 4U 1700+24 のパラメータ

パラメータ	単位	値 (すざく)	値 (MAXI)
diskBB $T_{in}$	-	$0.25^{+0.07}_{-0.05}$	-
compBB $kT_{bb}$	[keV]	$0.76^{+0.03}_{-0.02}$	$0.76^{+1.01}_{-0.3}$
$kT_e$	[keV]	50 (固定)	50 (固定)
$\tau$	-	$0.56^{+0.07}_{-0.07}$	$1.03^{+0.55}_{-0.72}$
$\chi^2/\text{dof}$	-	134/116	29/30
Flux <sub>2-10keV</sub>	$[\text{J}/\text{m}^2/\text{s}]$	$2.01 \times 10^{-15}$	$1.44 \times 10^{-13}$
Luminosity	$[\text{J}/\text{s}]$	$4.24 \times 10^{24}$	$3.04 \times 10^{26}$

### 5.2 周期解析

4U 1700+24は $16.6[\text{s}] \sim 250[\text{s}]$ の範囲で周期探索したが、特徴的なピークは現れず、周期は定まらなかった。磁極で局所的に降着が起きていると考え、パルスがない理由はパルサーの自転軸と視線方向が一致しているか、パルサーの自転軸と磁軸が一致しているためと考えられる。

## 6 まとめ

GX 1+4は回転速度が少しずつ遅くなっているが、明るさは大きく変動している。共生X線連星の進化過程から見ると、ガスが大量に流れ込むフェーズを経るため、今後もガスの量や周期解析が必要である。

4U 1700+24は2年半で温度は一定だが放射領域は増大している。光度曲線を見ると、大きなフレアはないが周期があるように見える。今後大きなフレアが起これば、モデルの見直しや、天体の正体も明らかになるだろう。

## 参考文献

- [1] N. Masett et al., 2007, A&A, 464, 277
- [2] R. Corbet et al., 2008, ApJ, 675, 1424
- [3] Mitsuda, K. et al., 2007, PASJ, 59, 1
- [4] Koyama, K. et al., 2007, PASJ, 59, 23
- [5] Takahashi, T. et al., 2007, PASJ, 59, 35
- [6] J. G. Greenhill et al., 1999, PASA, 16, 240
- [7] D. Chakrabarty and P. Roche, 1997, ApJ, 489, 254