

## O-17

MAXI で観測した低質量 X 線連星パルサー 4U 1626-67 のパルス周期とその変化率  
 Pulse period and change rate of period of Low Mass X-ray Binary Pulsar 4U 1626-67  
 observed by MAXI.

○高木 利紘<sup>1</sup>, 三原 建弘<sup>2</sup>, 杉崎 睦<sup>2</sup>, 森井 幹雄<sup>2</sup>, 藤井 紫麻見<sup>3</sup>  
 \*Takagi Toshihiro<sup>1</sup>, Tatehiro Mihara<sup>2</sup>, Mutsumi Sugizaki<sup>2</sup>, Mikio Morii<sup>2</sup>, Shiomi Fujii<sup>3</sup>

**Abstract:** We researched the pulse period and change rate of the pulse period of Low Mass X-ray Binary Pulsar 4U 1626-67 which has a pulse period of 7.6 seconds. Flux of 4U 1626-67 is about 30 mCrab which is almost constant. The data from MJD 55110 up to 56249 was integrated in every 60 days in order to increase photon statistics. A rapid change of pulse-derivative can be explained by an increase of luminosity.

## 1 はじめに

### 1.1 低質量 X 線連星パルサー

低質量 X 線連星は主星が中性子星で、伴星が太陽質量の 2 倍以下の恒星からなる連星系である。恒星のガスが中性子星に落ち込み X 線が発生する。低質量 X 線連星の中性子星は一般に磁場が弱い ( $10^9$  G) が、例外的に磁場の強い ( $10^{12}$  G) 中性子星を持っていることがある。このような場合には、ガスが磁極に落ち込み、回転に伴い X 線パルスを示し、低質量 X 線連星パルサーと呼ばれる。

### 1.2 4U 1626-67

4U 1626-67 は *Uhuru* 衛星によって発見された 7.6 秒のパルス周期 ( $P$ ) を持つ低質量 X 線連星パルサーである。パルス周期の軌道モジュレーション (中性子星の公転によるドップラー効果でのパルス周期の変化) は観測されていないことから、伴星の質量は 0.04 太陽質量以下と非常に軽いと考えられている。天体までの距離は 5-13 kpc と推定されている。明るさは 30 mCrab (かにパルサーの強度を 1 Crab とする単位) と暗いが定常的に輝いている。パルス周期が短くなっていく Spin-up 期間と長くなっていく Spin-down 期間を繰り返している。現在は Spin-up 期間である [1](Figure 1)。同様の特徴を示す低質量 X 線連星パルサーには GX 1+4 があるが、4U 1626-67 は GX 1+4 よりもパルス周期の変化率 ( $\dot{P}$ ) が極端に小さい。

### 1.3 全天 X 線監視装置 MAXI

全天 X 線監視装置 MAXI は、国際宇宙ステーションの日本の実験棟「きぼう」に搭載されている全天サーベイ型の X 線監視装置である。GSC (Gas Slit Camera) と SSC (Solid-state Slit Camera) の 2 つの検出器が搭載されており、それぞれ 2-20keV と 0.7-10keV のエネルギー帯を観測している。約 92 分で地球を一周することで全天を 1 回スキャンする。1 天体あたりのスキャン時間は約 60 秒間である。常に全天を観測しているため、突発天体の発見や長期変動の観測などに適している。MAXI は 20 個余りの X 線連星パルサーを監視している (<http://maxi.riken.jp>)。

## 1.4 目的

パルサーの系統的な研究には、MAXI で観測している X 線連星パルサーのパルス周期を求める方法を確立することが重要である。今回は MAXI/GSC のデータを用いて、MAXI のスキャン時間よりも十分に短いパルス周期を持つ 4U 1626-67 のパルス周期とその変化率を求め、MAXI の観測期間中のパルス周期とその変化率の経年変化を得ることを目的とする。

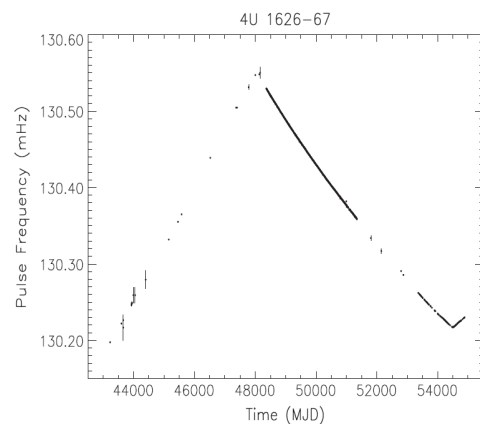


Figure 1: Pulse period of 4U 1626-67. [1]

## 2 パルス周期とその変化率の求め方

### 2.1 求める方法

4U 1626-67 は暗い為、60 日分のデータをまとめて統計を上げ、以下の手順で周期解析を行った。

- 1: 60 日分の GSC の X 線イベントデータを抽出し、Barycentric 補正 (太陽系重心での時刻に直す) を行う。
- 2:  $P$  と  $\dot{P}$  (60 日間で一定と仮定) の値を共に変化させて folding 解析を行う。
- 3: パルス検出の有意度が最大になる  $P$  と  $\dot{P}$  を求める。

### 2.2 最適なエネルギー帯

MAXI が観測している 2-20 keV のエネルギー帯を 2-4, 2-10, 2-20, 4-10, 10-20 keV に分け、その中でパルス検出の有意度 ( $\chi^2$ ) が最大となるエネルギー帯を探した。各エネ

ギー帯での  $\chi^2$  の値は table 1 に示した. 探査の結果, 2-10 keV が一番大きくなるのがわかった. 以降 2-10 keV のエネルギー帯を用いて探査を行った. Figure 2 に 2-10 keV での  $\chi^2$  のコントラスト図と folding したパルス波形を示す.

Table 1:  $\chi^2$  of each energy band

Energy band [keV]	2-4	2-10	2-20	4-10	10-20
$\chi^2$	70	130	100	110	80

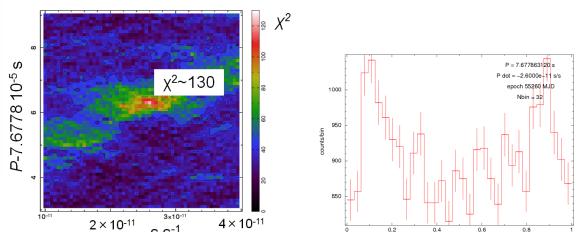


Figure 2: Contour of  $P$  and  $\dot{P}$  with MAXI (2-10 keV). Pulse profile of 4U 1626-67 with MAXI (2-10 keV).

### 3 解析結果

MAXI が観測を行った MJD 55110 (2009 年 10 月 6 日) から 56249 (2012 年 11 月 18 日) までを 60 日間ごとに分け解析を行った結果, 19 点の  $P$  と  $\dot{P}$  を求めることができた. 求めたパルス周期を *Fermi* 衛星 GBM 検出器で得られている値と比較したところ, 両者は一致した (Figure 3).

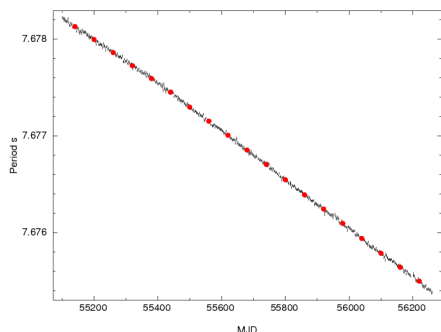


Figure 3: Pulse period of 4U 1626-67 with MAXI and GBM.

### 4 パルス周期の変化率の変化の解釈

観測された  $\dot{P}$  を時系列順に並べたところ, MJD 55400 付近で  $\dot{P}$  が階段状に変化した (Figure 4).  $\dot{P}$  は  $-2.55 \times 10^{-11}$  s $^{-1}$  から  $-2.85 \times 10^{-11}$  s $^{-1}$  まで絶対値が 12% 増加した. MAXI の光度曲線 (1bin が 60 日) を見ると,  $\dot{P}$  の変化を境にわずかに光度の増加があった (Figure 5). 変化が見られた MJD 55410 を境にして期間を分け, スペクトルから光度を求めたところ, 後半の方が 3% 増光していた. 光度と  $\dot{P}$  の関係式である Ghosh and Lamb[2] の式 (1) に得られた光度を代入し,  $\dot{P}$  の急激な変化を説明できるかを確かめた.

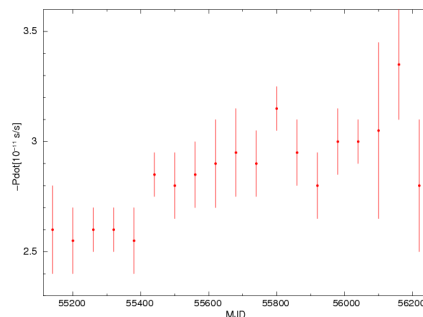


Figure 4: Change rate of pulse period of 4U 1626-67 with MAXI.

$$-\dot{P}_{\text{GL}} = 1.6 \times 10^{-12} \mu_{30}^{\frac{2}{3}} n(\omega_S) S_1(M) P^2 L_{37}^{\frac{6}{7}} \text{ s s}^{-1} \quad (1)$$

ここで  $\mu_{30}$  は磁気双極子モーメント ( $10^{30}$  G cm $^3$ ),  $n(\omega_S)$  は磁気堅牢性のパラメータ ( $\omega_S$ ) に依存した関数,  $S_1(M)$  は中性子星質量に依存した構造関数,  $P$  は中性子星のパルス周期 (s),  $L_{37}$  は光度 ( $10^{37}$  erg s $^{-1}$  cm $^{-2}$ ) である.

天体の距離を 11 kpc と仮定して光度を計算すると, 式 (1) で得られた  $\dot{P}_{\text{GL}}$  は観測から得られた  $\dot{P}$  と一致し, 光度の変化で  $\dot{P}$  の階段状の変化が説明できることがわかった.

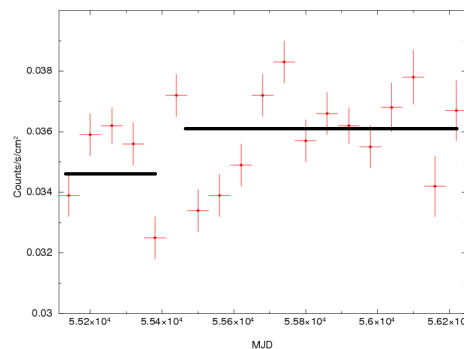


Figure 5: Light curve of 4U 1626-67 with MAXI.

### 5 まとめ

MAXI のデータを用いて, 暗いが定常的に輝いている低質量 X 線連星パルサー 4U 1626-67 のパルス周期 ( $P$ ) とその変化率 ( $\dot{P}$ ) を 60 日間のデータを積分することで求めることに成功した.  $\dot{P}$  の階段状の変化も, 光度の増光で説明することができた. 今後は, 他の X 線連星パルサーにおいてもパルス周期とその変化率を求め, 統計的な研究を行う.

### 6 参考文献

[1] Camero-Arranz et al., ApJ, 708, 1500-1506, (2010)  
 [2] Ghosh and Lamb., ApJ, 234, 296, (1979)