

## 「すぎく」による大質量星と中性子星との連星系 4U 1700–37 の解析

室田 優紀、笹野 理、中澤 知洋、牧島 一夫 (東京大学大学院 理学系研究科)

### Abstract

「すぎく」を用いて大質量星と中性子星 (NS) との連星系 4U 1700–37 を解析し、NS の磁場強度/NS 近傍での降着物質の分布を調べた。「すぎく」はこの天体を 2006 年 9 月 13-14 日に 80 ks 観測し、1 ~ 150 keV での平均フラックスが  $9.0 \times 10^{-9} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  と極めて高く、統計の良いデータが得られた。解析の結果、~ 56 keV にサイクロトロン吸収構造の兆候があり、そこから推定される磁場の値は  $\sim 5 \times 10^{12} \text{ G}$  である。さらに時間変動を用いて、鉄輝線の等価幅 (EW) と吸収の水素柱密度 ( $N_{\text{H}}$ ) との相関をみることで、周辺ガスが非等方的に分布し、典型的な大質量星 NS 連星である Vela X-1 と類似していることがわかった。これらの結果は 4U 1700–37 が  $\sim 5 \times 10^{12} \text{ G}$  をもつ大質量星と強磁場 NS との連星系であることを示唆する。

## 1 Introduction

大質量星 ( $> 10M_{\odot}$ ) と NS との連星系は、大質量星からの星風が降着物質の起源であることから、その非一様性を反映して、短時間での激しい変動を示すものが多い。このとき、NS の軟 X 線スペクトルは、星風で強い光電吸収を受け、あわせて 6.4 keV に鉄輝線を放射する。また、大質量星と連星をなす NS の多くは強い磁場 ( $\sim 10^{12} \text{ G}$ ) を持ち、磁極に絞られて物質が降着する。降着物質は磁極付近で重力エネルギーを解放して高温となり、強い X 線を放射するため、NS の自転に伴い X 線パルスが観測される。この X 線光子は、強磁場中の電子によるサイクロトロン共鳴散乱を受け、磁場強度に対応したエネルギーのスペクトル帯域 ( $E_{\text{cyclotron}} = 11.6 \times \frac{B}{10^{12} \text{ G}}$ ) にも吸収構造が現れる (Makishima et al. (1999))。

4U 1700–37 は、主星である超大質量星 HD 153919 からの星風捕獲によって X 線で明るく光っている。さらにスペクトルは非常に硬く、べき関数型の連続成分と強い鉄輝線、吸収で理解され、その X 線強度は短時間で激しくランダムに変動することが知られており、NS 連星系の性質を持つことが知られている (Reynolds et al. (1999))。しかし長年の探査にも関わらず未だにパルス周期が検出されておらず、はっきりとした磁場強度も報告されていない。

そこで今回は硬 X 線帯域でのサイクロトロン共鳴吸収構造を探すことで磁場強度を測定し、強く見られる鉄輝線と吸収の相関を調べることで NS 近傍での

物質分布を調べることを試みた。そのためにはひじょうに広い帯域での観測および軟 X 線帯域での高エネルギー分解能をもつ、「すぎく」が最適である。

## 2 Observation and Data reduction

「すぎく」衛星は XIS(X-ray Imaging Spectrometer)、HXD(Hard X-ray Detector) という検出器を搭載しており、これによって 0.5-150 keV までの広帯域同時観測を行うことができる。今回 4U 1700-37 の公開データを解析した。2006 年 9 月に 80 ks 観測したデータで、XIS は 1/4 ウィンドウ、1 秒バーストモードで運用され、HXD は通常と同じ条件で観測された。本解析では、XIS-0,2,3 の三台、HXD-PING と HXD-GSO を使って解析を行った。また HXD のバックグラウンドには公開されている「tuned」バックグラウンドを用いた。

## 3 Results

### 3.1 ライトカーブ

図 1 のように XIS、HXD PIN、HXD GSO すべての検出器で激しい時間変動が観測された。その変動の概形は似ているが、強度の変動率は図 1 の Hardness から、PIN や GSO では XIS と異なる変動をしてい

ることがわかる。このことから強度だけでなく、吸収の寄与する 10 keV 以下 (XIS) で、スペクトルの形が変動している証拠である。今回得られたライトカーブの特徴は、典型的な大質量星と中性子星連星に似たものである。

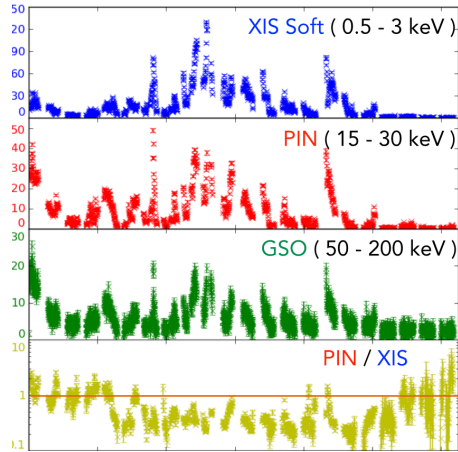


図 1: ライトカーブ

### 3.2 スペクトル

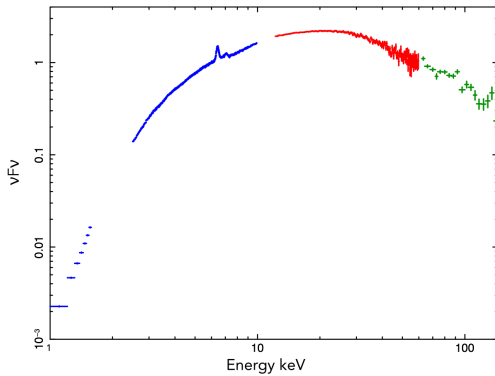


図 2: 「すぎく」による全時間平均スペクトル

図 2 に今回の解析で得られた 1-150 keV のベキ 2 とのモデルと比をとった X 線スペクトルを示した。3 keV 以下で強く吸収されており、6.4 keV に Fe K  $\alpha$ 、7.05 keV に K  $\beta$  輝線がはっきりと検出された。さらに低エネルギーではひじょうに硬いベキを示している。

## 4 Discussion

### 4.1 サイクロトン共鳴吸収構造

上記の硬 X 線帯域での構造を調べるため、モデルフィッティングを行った。多くの大質量星 X 線連星で実績のある、NPEX (Negative Positive EXponential cutoff) 成分に、星間物質による吸収と鉄輝線を加え、さらに黒体放射を加えたものを採用した。フィットの結果、 $\text{Red.}\chi^2 = 3.25(628)$  となり、50keV を超えたところにある構造が再現できなかった。この残差がサイクロトン吸収線の影響である可能性を探るために、50 keV 付近に吸収構造を入れてフィットした結果、図 3 のようになり  $\text{Red.}\chi^2 = 1.57(621)$  と大幅にフィットを改善させることができた。このとき得られたモデルのパラメータを、表 1 に示す。吸収構造がサイクロトン吸収線だとすると、NS の磁場は  $\sim 5 \times 10^{12}$  G であることになる。ただし、他のモデルでも説明できる可能性があり、今後、注意深くこの可能性を検証してゆく。

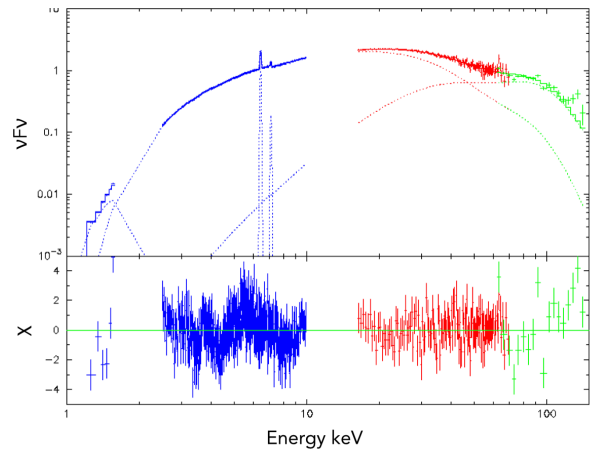


図 3: 「すぎく」スペクトルを、NPEX+サイクロトン吸収+鉄ライン+星間吸収モデルでフィットしたもの。

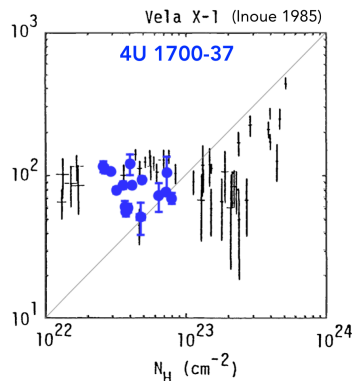
### 4.2 EW と $N_H$ の相関

鉄輝線と吸収を定量的に評価するため、X 線スペクトルから得られる情報として鉄輝線の Equivalent Width (EW) (=ライン強度 / 連続成分) と、吸収の

表 1: フィッティング結果

各パラメータ	値
$N_{\text{H}}(\times 10^{22} \text{ cm}^{-2})$	$4.31 \pm 0.05$
Cutoff Energy (keV)	$13.9 \pm 0.8$
photon index (soft comp.)	$0.54 \pm 0.02$
photon index (hard comp.)	2 (fixed)
吸収構造の Line Energy (keV)	$55.96 \pm 0.96$

柱密度  $N_{\text{H}}$  (=物質の視線方向の積分) がある。観測時間を細かく区切って解析し、それぞれの時間変化を調べた。中性鉄輝線の EW は 55–110 eV、 $N_{\text{H}}$  は  $2.7 - 7.3 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$  の範囲で変動し、さらに  $N_{\text{H}}$  に対する EW の変化はほぼ独立であるという結果を得た。図 4 に代表的な強磁場 NS、Vela X-1 の EW と  $N_{\text{H}}$  の相関 (Inoue. (1985)) に、解析結果を重ねたものを示す。Vela X-1 のデータから、中性子星近傍のガスが等方的に分布する場合には、等価幅は吸収に比例するはずであるが、視線方向の吸収体が減少したとき、吸収の変動に対して EW が  $10^2$  で分布する様子が見られ、4U 1700–37 はそのフェーズでの変動に近い分布を示している。

図 4: EW と  $N_{\text{H}}$  の相関

が他の強磁場 NS に共通している。③~ 56 keV にサイクロトロン共鳴吸収構造の兆候が見られる。④EW と  $N_{\text{H}}$  の相関が代表的な強磁場 NS Vela X-1 と似ている。」という結果を得た。これらの結果から、4U 1700–37 は Vela X-1 に類似の、 $\sim 5 \times 10^{12} \text{ G}$  という磁場を持つ、大質量星と強磁場 NS との連星系であることが示唆される。

## Reference

- Inoue, H. 1985. *Space Sci. Rev.*, **40**, 317
- Makishima, K., Mihara, T., Nagase, F., & Tanaka, Y. 1999, *ApJ*, **525**, 978
- Reynolds, A. P., Owens, A., Kaper, L., Parmar, A. N., & Segreto, A. 1999. *A&A*, **349**, 873

## 5 Conclusion

「すぎく」の公開データを用いて、大質量星と中性子星の連星系 4U 1700–37 を解析し、「①X 線強度に激しい時間変動が見られる。②X 線スペクトルの形