

**Title: Unusual Pulsed X-Ray Emission From The Young, High Magnetic Field Pulsar
PSR J1119-6127**

Authors: M.E. Gonzalez, V.M. Kapsi, F. Camiro, B.M. Gaensler, and M.J. Pivovarov

Abstract

We present *XMM-Newton* observations of the radio pulsar PSR J1119-6127, which has an inferred age of 1,700 yr and surface dipole magnetic field strength of 4.1×10^{13} G. We report the first detection of pulsed X-ray emission from PSR J1119-6127. In the 0.5–2.0 keV range, the pulse profile shows a narrow peak with a very high pulsed fraction of $(74 \pm 14)\%$. In the 2.0–10.0 keV range, the upper limit for the pulsed fraction is 28% (99% confidence). The pulsed emission is well described by a thermal blackbody model with a temperature of $T^\infty = 2.4_{-0.2}^{+0.3} \times 10^6$ K and emitting radius of $3.4_{-0.3}^{+1.5}$ km (at a distance of 8.4 kpc). Atmospheric models result in problematic estimates for the distance/emitting area. PSR J1119-6127 is now the radio pulsar with smallest characteristic age from which thermal X-ray emission has been detected. The combined temporal and spectral characteristics of this emission are unlike those of other radio pulsars detected at X-ray energies and challenge current models of thermal emission from neutron stars.

Subject headings: ISM: individual (G292.2-0.5) — pulsars: individual (PSR J1119-6127) — supernova remnants — X-rays: ISM

内容：XMM-Newton による PSR J1119-6127 からのパルス X 線放射を初めて観測

観測結果：通常の radio pulsar からのパルス X 線放射とは全く異なる性質を持つことが判明

- ① 0.5-2.0keV のバンドだけで pulsation が観測。シングル峰の細いピークを示す(Fig2)。
 - ② 0.5-2.0keV でのパルスプロファイルのパルス比が非常に高い(Fig2)。
 - ③ パルス X 線放射のスペクトルは高温の **blackbody** ($T \sim 2.4\text{MK}$, $R_{\text{emit}} \sim 3.4\text{km}$) で良く記述できる(Fig3)。しかし black body だとすると色々な問題が出てくる。
- ⇒ **soft component** を記述する為には従来とは異なる放射機構を考える必要がある。

メモ: PSR J1119-6127

(スピン周期： $P = 0.408 \text{ sec} \equiv 1/\nu$, $P = 4.1 \times 10^{-12}$, 年齢 $\sim 1700\text{yr}$, (**young pulsar**))

表面双極磁場 (radio pulsar としては非常に強い)： $B = 4.1 \times 10^{13} \text{ gauss}$ 、距離 $\sim 8.4\text{kpc}$ 、)

- ・ SNR G292.2-0.5 の中心付近に存在。HI の吸収線から見積もった残骸までの距離は $8.4 \pm 0.4\text{kpc}$ 。
- ・ Fig1 の中心付近にある光源が PSR J1119-6127。X 線と電波で座標が一致。

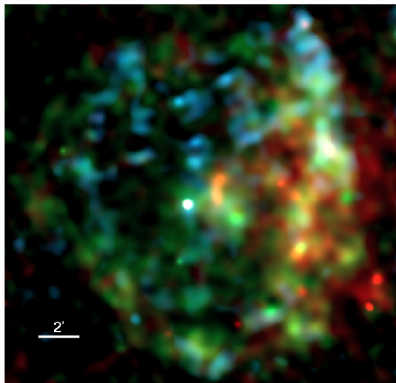


Fig1: Combined MOS image of the system

($19' \times 19'$ field)

- Red: 0.3-1.5 keV
- Green: 1.5-3.0 keV
- Blue: 3.0-10.0 keV

: remnant の形状が X 線で判明

: 低エネルギーバンドの非対称性は東側に分子雲が存在することに起因

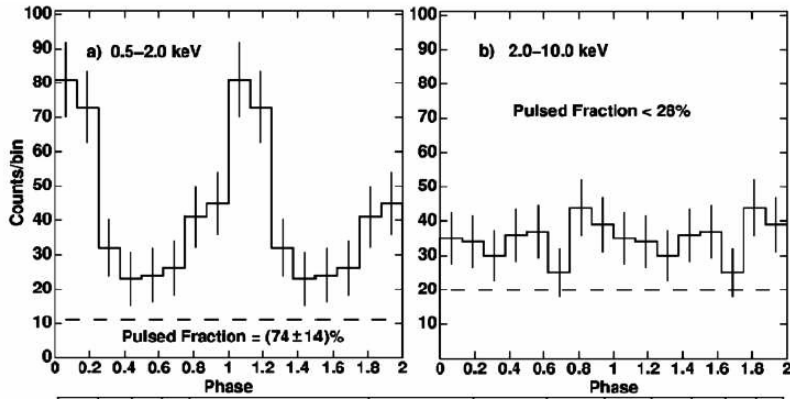


Fig2. Timing analysis

左図:0.5-2.0 keV

右図:2.0-10.0 keV

点線は周囲からの寄与

横軸 : phase

縦軸 : counts / bin

(25 秒角の領域を抽出)

- 0.5-2.0keV のプロファイルはシングル峰の細いピークを示す。パルス比が非常に大きい ($74\% \pm 14\%$)。
- 2.0-10.0keV の範囲でははっきりしたピークは無い。パルス比の上限を決定 : $< 28\%$ 。
- 1.4GHz での radio pulse のピークと X-ray pulse のピークがほぼ同位相で観測

TABLE 1
FITS TO THE XMM-Newton PHASE-AVERAGED SPECTRUM OF PSR J1119-6127

Parameter	PL + PL ($\pm 1\sigma$)	BB + PL ($\pm 1\sigma$)	Atm ^a + PL ($\pm 1\sigma$)
N_H (10^{22} cm^{-2})	$2.3^{+0.4}_{-0.3}$	$1.6^{+0.4}_{-0.3}$	$1.9^{+0.5}_{-0.3}$
$\chi^2(\text{dof})$	79(66)	78(66)	78(66)
Γ or T^∞	6.5 ± 0.9	$2.4^{+0.3}_{-0.2}$ MK	0.9 ± 0.2 MK
R^∞ (km)	...	$3.4^{+1.8}_{-0.3}$	12 (fixed)
d (kpc)	8.4 (fixed)	8.4 (fixed)	$1.6^{+0.2}_{-0.9}$
f_{abs}^b (10^{-14})	$2.1^{+2.3}_{-0.9}$	$1.5^{+1.8}_{-0.2}$	$1.7^{+7.0}_{-0.4}$
f_{unabs}^b (10^{-13})	63^{+33}_{-27}	$2.4^{+3.0}_{-0.5}$	$7.2^{+3.1}_{-1.6}$
L_X^b (10^{33})	53^{+60}_{-27}	$2.0^{+2.5}_{-0.4}$	$0.22^{+0.88}_{-0.05}$
Γ	$1.3^{+0.5}_{-0.2}$	$1.5^{+0.3}_{-0.2}$	$1.5^{+0.2}_{-0.3}$
f_{abs}^b (10^{-14})	$7.1^{+10}_{-1.5}$	$7.4^{+3.6}_{-1.0}$	$7.3^{+4.7}_{-2.7}$
f_{unabs}^b (10^{-13})	$1.0^{+1.6}_{-0.2}$	$1.1^{+0.6}_{-0.2}$	$1.1^{+0.8}_{-0.3}$
L_X^b (10^{33})	$0.8^{+1.3}_{-0.2}$	$0.9^{+0.5}_{-0.1}$	0.04 ± 0.02

^a The atmospheric model was computed with $B=10^{13}$ G and pure hydrogen composition. The local values for the temperature, T , and radius, $R = 10$ km, of the star have been redshifted to infinity according to $T^\infty = T(1-2GM/Rc^2)^{1/2}$ and $R^\infty = R(1-2GM/Rc^2)^{-1/2}$, with $M = 1.4 M_\odot$.

^b The 0.5–10.0 keV absorbed and unabsorbed fluxes, f_{abs} and f_{unabs} , have units of $\text{ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$. The 0.5–10.0 keV X-ray luminosity, L_X , at the distance d , is in units of ergs s^{-1} .

Table1. EPIC-PN spectrum : phase-averaged spectrum

- 三種類の2成分モデルでフィッティング。**High energy 領域は $\Gamma \sim 1.5$ の非熱的 power law** で良く合う。
- Low energy 領域を三種類のモデルでフィット。Atmosphere model で Low energy スペクトルをフィットすると、PSR までの距離が $1.6 \text{ kpc} \neq 8.4 \text{ kpc}$ になる。観測との不一致(\times)。

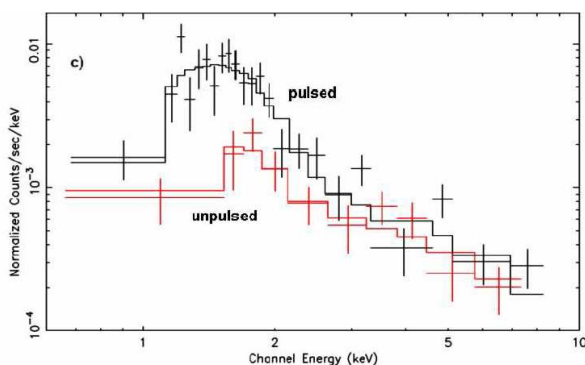


Fig3. Energy spectra (EPIC-PN)

- 位相が 0.3-0.7 にある unpulsed profile と位相が 0.7-1.3 にある pulsed profile を抽出。それぞれのスペクトルを導出

FIG. 2.— Top: X-ray pulse profiles of PSR J1119-6127 in the 0.5–2.0 keV (left) and 2.0–10.0 keV (right) ranges. Errors bars are 1σ and two cycles are shown. The peak of the radio pulse is at phase 0. The dashed lines represent our estimates for the contribution from the pulsar's surroundings (see §5.1). Bottom: EPIC-PN spectra obtained for the pulsed (black) and unpulsed (red) regions of the pulse profile with their respective best-fit blackbody plus power-law model (solid curves). [See the electronic version of the Journal for a color version of this figure.]

- Table1 にまとめた 2 成分モデルと良く合う。例えば **BB + power law** モデルの場合、
T \sim 2.8MK, **$\Gamma\sim 1.4$** 。二つのスペクトルの違いはモデル成分の相対的な寄与から生じる。
- pulsed spectrum は **2keV** 以下で **soft component** が支配的
- unpulsed spectrum は **2keV** 以下でも **hard, power law component** が支配的
- **2keV** 以上の高エネルギー領域では両方とも **power law** と良く一致

議論

Chandra のアーカイブ (高分解能) から、今回観測した領域での放射に対するパルサー本体以外(SNR+PWN)の寄与を見積もると、 $\Gamma\sim 1.8$ の **power law** と一致し、0.5-10.0keV での unabsorbed flux $\sim 0.9\times 10^{-13}$ erg/sec/cm² になる。これらの値は Table 1 の **hard, power law component** と良く一致している。

⇒ 観測された **soft component** は PSR J1119-6127 起源の成分であることを示唆。つまりソフトスペクトルを持つパルス X 線放射が PSR J1119-6127 から生じている。

- ・ 非熱的な放射 (radio pulsar の非熱的な X 線、シンクロトロン放射) ×
- ・ 熱的 black body (T=2.4MK, R_{bb}=3.4km) で良く記述できる。○

問題点

- ① BB 放射をしている他の young pulsar と比べると black body 温度が異常に高い。
 - ② 他の radio pulsar と比較するとパルス比が異常に大きい上に、ピーク幅が細すぎる。
(通常 radio pulsar は低エネルギー領域では broad pulsations)
 - ③ BB 以外の従来の熱的放射モデルでも説明不可 (polar cap model ×, initial cooling ×)
- ☆ 大きなパルス比の放射は highly magnetized atmosphere のホットスポットで生じる放射で説明可能。これを記述できる放射モデルが無い。
- ※ 従来考えられていた機構以外の放射機構が存在する可能性がある。

(補足)

- クォーク星・・・表面での電子対生成が放射源だが、emission は BB とかけ離れている。
- マグネター・・・高いパルス比とパルスプロファイルは、AXPs と同様にマグネターモデルと矛盾しない。このモデルもパルス比がエネルギーに依存することを示唆。しかしマグネターはスペクトルが **power law** になる上、X 線光度が回転エネルギーよりも大きいので、radio emission を示さない。

Title: Post-glitch variability in the Anomalous X-ray Pulsar 1RXS J170849.0-400910

Authors: N. Rea, T.Oosterbroek, S. Zane, R. Turolla, M.Mendez, G.L. Israel, L. Stella

ABSTRACT

Here we report on the first *XMM-Newton* observation of the Anomalous X-ray Pulsar 1RXS J170849.0-400910. The source was observed in 2003 August and was found at a flux level a factor of about two lower than previous observations. Moreover, a significant spectral evolution appears to be present, the source exhibiting a much softer spectrum than in the past. Comparison of the present properties of 1RXS J170849.0-400910 with those from archival data shows a clear correlation between the X-ray flux and the spectral hardness. In particular, the flux and the spectral hardness reached a maximum level close to the two glitches the source experienced in 1999 and in 2001, and successively decreased. Although the excellent *XMM-Newton* spectral resolution should in principle allow us to detect the absorption line reported in a phase-resolved spectrum with *BeppoSAX*, and interpreted as a cyclotron feature, we found no absorption features, neither in the phase averaged spectrum nor in the phase resolved spectra. We discuss in detail both the possibilities that the feature in the *BeppoSAX* data may have resulted from a spurious detection or that it is real and intrinsically variable. We then discuss a possible explanation for the glitches and for the softening of the source emission which followed the flux decrease, in the framework of the magnetar model.

内容：XMM-Newton を使って AXP 1RXS J170849.0-400910 を観測。BeppoSAX を使って行われた過去 2 回の同一天体の観測と比較

観測結果：AXP のスペクトルが glitch の前後で長期的に変動していることを発見

- ① BeppoSAX で観測した時(2001 年)より X 線フラックスが減少、スペクトルが軟化
- ② X 線フラックスとスペクトルの硬さの間に明らかな時間的相関が存在
- ③ 以前の観測で見られたサイクロトロン吸収線が消滅

結論：X-ray flux とスペクトル硬度の増加が glitch の発生と関係付けられる可能性がある

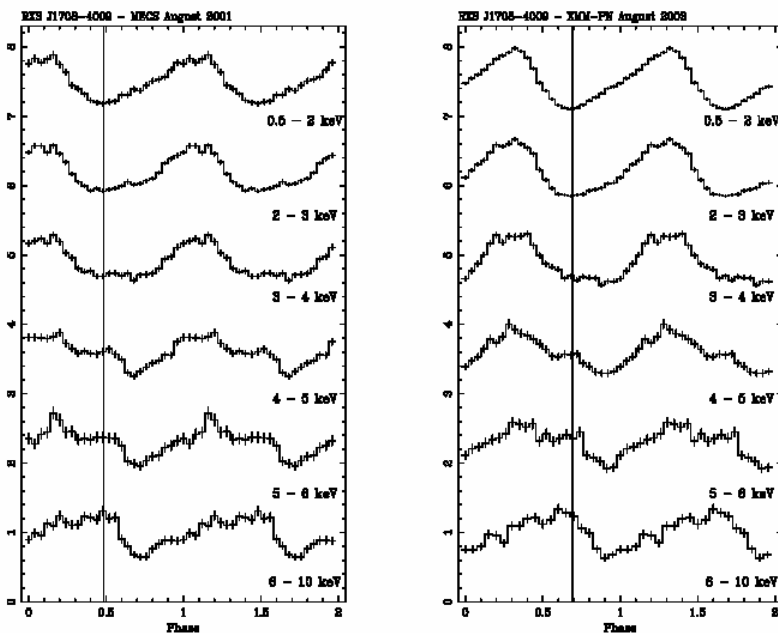


図 1. Comparison of the folded lightcurves (左: BeppoSAX、右: XMM-Newton)

距離 \sim 5kpc, 周期 \sim 11sec,

solid line : 0.5-1keV での pulse の最小値

- X 線シグナルのパルス比のエネルギー依存性 : 39%(0.5-2keV) \Rightarrow 29%(6keV-10keV)
- これは glitch 前の BeppoSAX 観測と一致。しかし glitch 後の観測より大きい。
- 位相のエネルギーバンドに対する依存性を再確認

Figure 1. Comparison of the folded lightcurves of 1RXS J170849.0-400910 as a function of energy for the *BeppoSAX* (Rea et al. 2003, left) and *XMM-Newton* EPIC-PN (this paper, right) observations. Note that due to the time elapsed between the two observations, the pulse profiles are not phase connected. The solid lines indicate the minimum of the 0.5-1 keV pulse and is superimposed to the pictures in order to better show the shift in phase of the two sets of folded lightcurves at different energies. Units on the y-axis are counts per seconds with an arbitrary normalization.

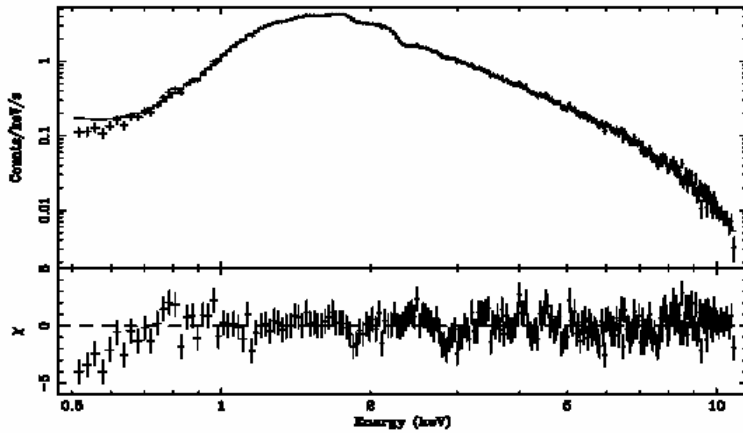


図 2. Phase-averaged energy spectrum (EPIC-PN)

- 他の AXPs 同様、black body+ power law でよく合う。
- photon index Γ と blackbody radius R_{bb} 以外は BeppoSAX の結果とほぼ一致。
- 軟 X 線フラックスの減少に伴うスペクトルの軟化

The best fitting parameters are: hydrogen column density $N_H = (1.48 \pm 0.04) \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$, blackbody temperature $kT_{bb} = 0.456 \pm 0.009 \text{ keV}$ (with a blackbody radius of $R_{bb} = 2.7 \pm 0.2 \text{ km}$ at a distance of 5 kpc) and photon index $\Gamma = 2.83 \pm 0.08$ (all errors are at the 90% confidence level)¹. The unabsorbed flux in the 0.5–10 keV range is $9.1 \times 10^{-11} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ corresponding to a luminosity of $2.7 \times 10^{35} \text{ erg s}^{-1}$ (again for a 5 kpc distance). In the 0.5–10 keV band, the blackbody component accounts for $\sim 14.9\%$ of the total unabsorbed flux. We found some deviations from

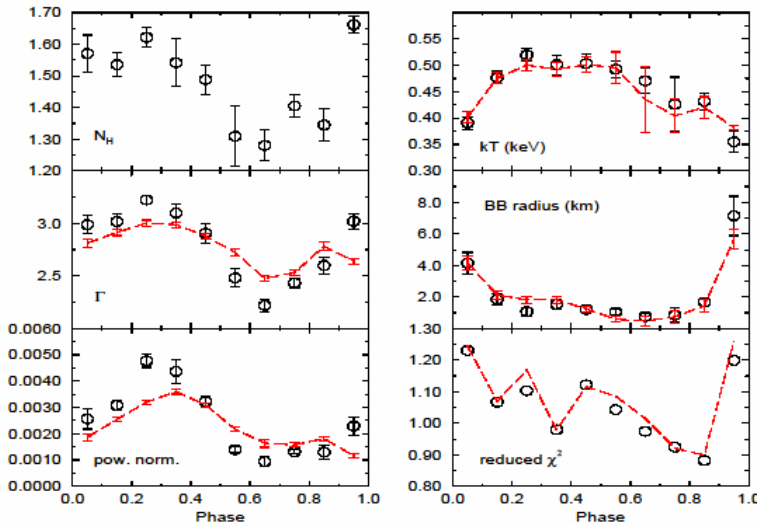


図 3. Spectral parameters as a function of phase

- Black body flux が最小の時 χ^2 が最小
→ single black body だけでは本当は駄目
- single black body を disk black body で置換
→ phase resolved spectrum の χ^2 が 0.06 まで減少
- thermal emission は single black body より複雑

Figure 3. Spectral parameters as a function of phase. The open circles represent the fits with N_H as a free parameter, while the dashed lines indicate the phase-resolved spectral parameters with N_H fixed at the phase-average value.

図 4. Residuals of the fits of the phase-resolved spectrum

- 8.1keV 付近に以前報告された吸収線の兆候無し
- 7.0keV 付近に吸収線らしきもの
→ 統計的な有意性が無い (2σ 以下)
→ ほとんど系統的、機械的な deviation

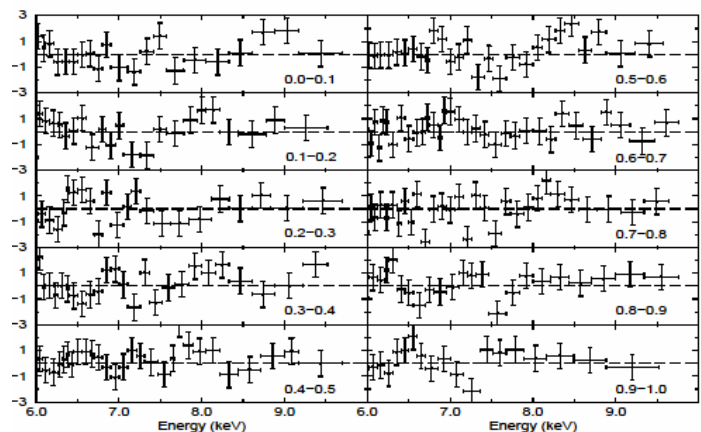


Figure 4. Residuals (σ) of the fits to the phase-resolved spectrum of 1RXSJ170849.0-400910. Phase intervals are indicated in the lower-right of each panel. This figure shows the absence of any significant feature during the whole pulse period.

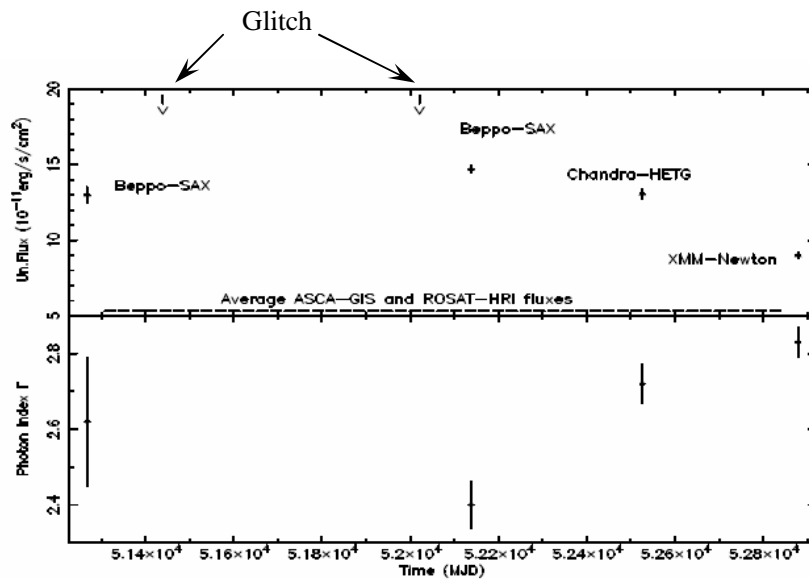


Figure 6. Correlated photon index and X-ray flux changes with time. Dashed line represents the average source flux measured by previous ASCA (Israel et al. 1999) and ROSAT (Sugizaki et al. 1997) observations. The two arrows indicate the two glitch epochs. All fluxes are unabsorbed and calculated in the 0.5-10 keV energy band. The Chandra-HETG point (here we report the first order) comes from the analysis of an unpublished observation available in the Chandra archive (ObsID 2757).

図 6. The long-term evolution of the source flux and the spectral hardness (spanning nearly five years).

- 上下二つの図から photon index と source luminosity に相関があるのは明らか
- 2回の glitch に対応して、フラックスが増幅（減衰）するにつれスペクトルが硬化（軟化）
- glitch の原因となる機構がフラックスの増幅とスペクトルの硬化を伴うというシナリオを示唆

結論

- **1RXS J170849.0-400910** は約 **5年**の期間に渡って **X線**で変化することが判明
 - **AXPs** が従来の様な定常な放射源ではなく、変動を伴う放射源である証拠を発見
- フラックスとスペクトル硬度の間に明らかな相関が存在することを発見
- **X線**フラックスとスペクトル硬度の増加が **glitch** の発生と関係付けられる可能性がある
- 今回観測されたスペクトルの長期的進化の際に現れる性質はマグネターモデルの枠組みで説明可能