

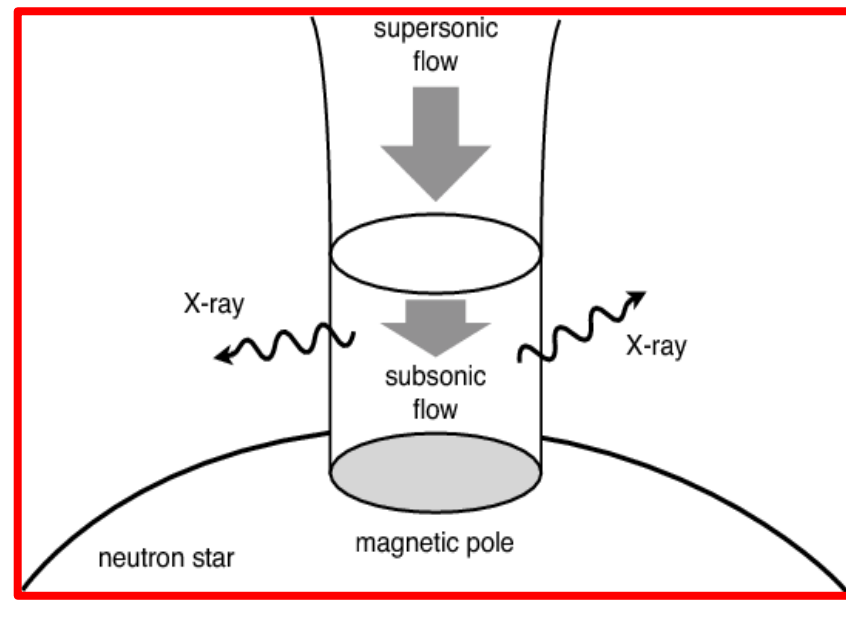
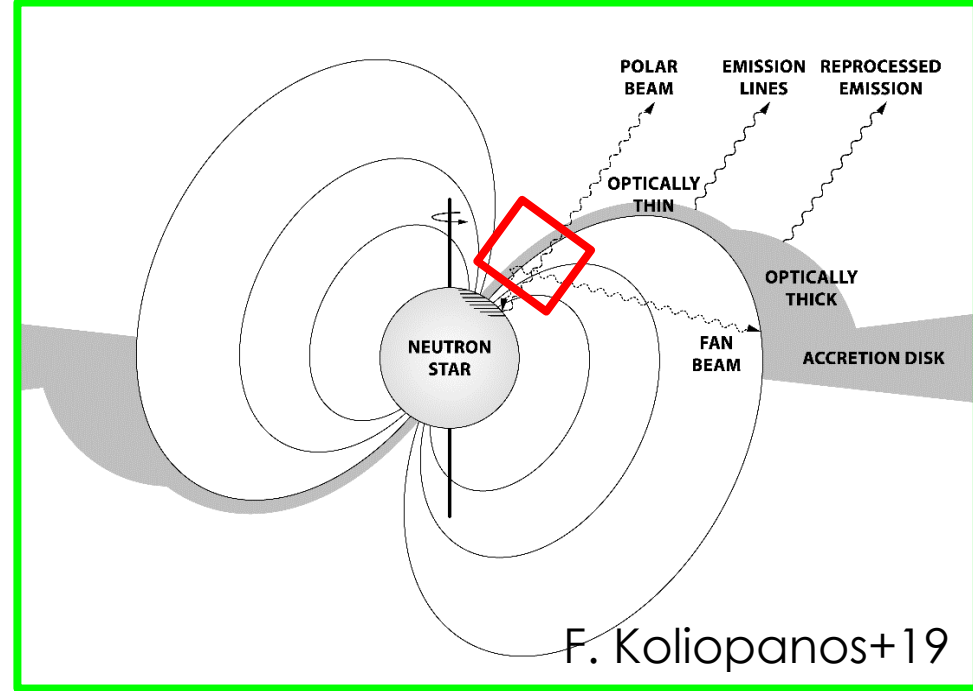
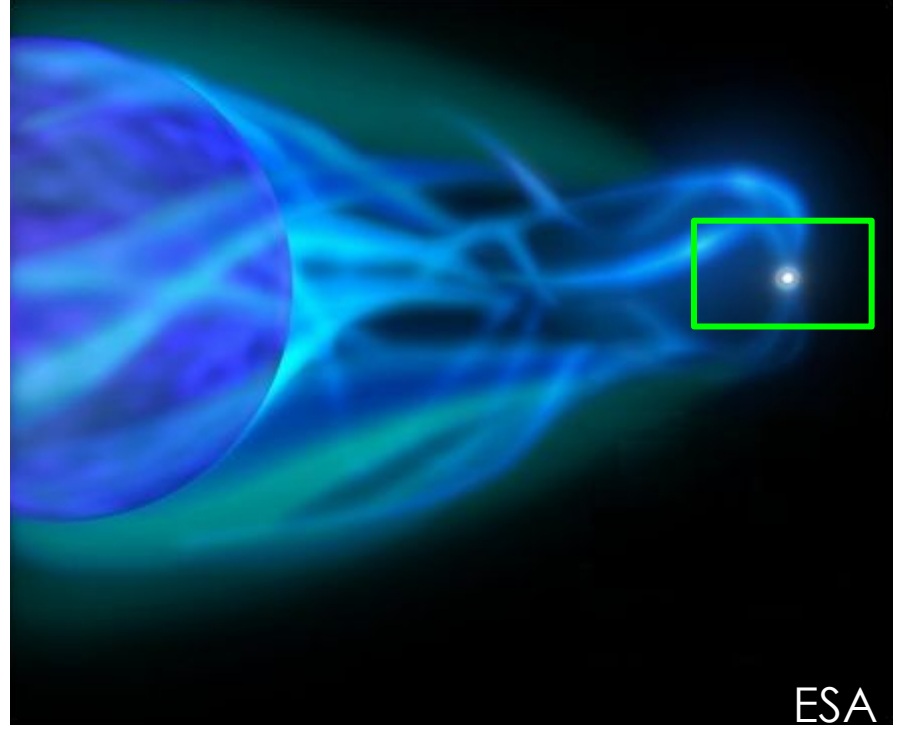
# 光度が $10^{34}$ erg/sと暗い大質量X線連星: IGR J00370+6122 における中性子星のスピンアップ

内田和海、高橋弘充 (広島大学)

本研究では、大質量X線連星(HMXB):IGR J00370+6122の周期・スペクトル解析を行った。先行研究から軌道周期は16日、中性子星のスピン周期は $346 \pm 6$ 秒(2005年)、光度が $\sim 10^{34}$  erg/sと暗い天体である。今回我々が2008年のXMM-Newtonデータの解析を行ったところ、スピン周期は337秒であった。このスピンアップレートから降着量を計算すると、Eddington Limit( $\sim 10^{18}$  g/s)に近い値となり、プロペラ効果を仮定すると磁場が弱いことになる。一方、Ghosh & Lamb+79から、トルク平衡を仮定して中性子星磁場を計算すると $\sim 10^{14}$  G程度の磁場となり、HMXBの中性子星としては、かなり磁場の強い部類となる。しかし、天体が暗く、過去に取られたデータのスピン周期の不定性が大きいので、NICERで現在のスピン周期を正確に求めることを検討している。

## 1. 大質量X線連星: HMXB

- ・早期型星(OB型星)と中性子星、またはブラックホールの連星系
- ・OB型星の星風の一部を重力的に捕獲、降着によりX線で輝く。
- ・一般に、(低質量X線連星に比べて)若い系が多く、主星が中性子星の場合には強い磁場を持つ。



- ☆本研究では、中性子星を主星に持つHMXBを目標天体とする。
- ・主星が中性子星の場合、その磁場により、降着物は磁力線に沿って磁極へ落下。降着柱を形成する。
- ・地球上では実現できない、強磁場・重力場・高密度空間が存在。
- ・星の進化においても重要な意味を持つ天体。(天体間での質量交換)

中性子星の多様性を系統的に調べるために、解析を行っている。

## 2. 大質量X線連星 IGR J00370+6122

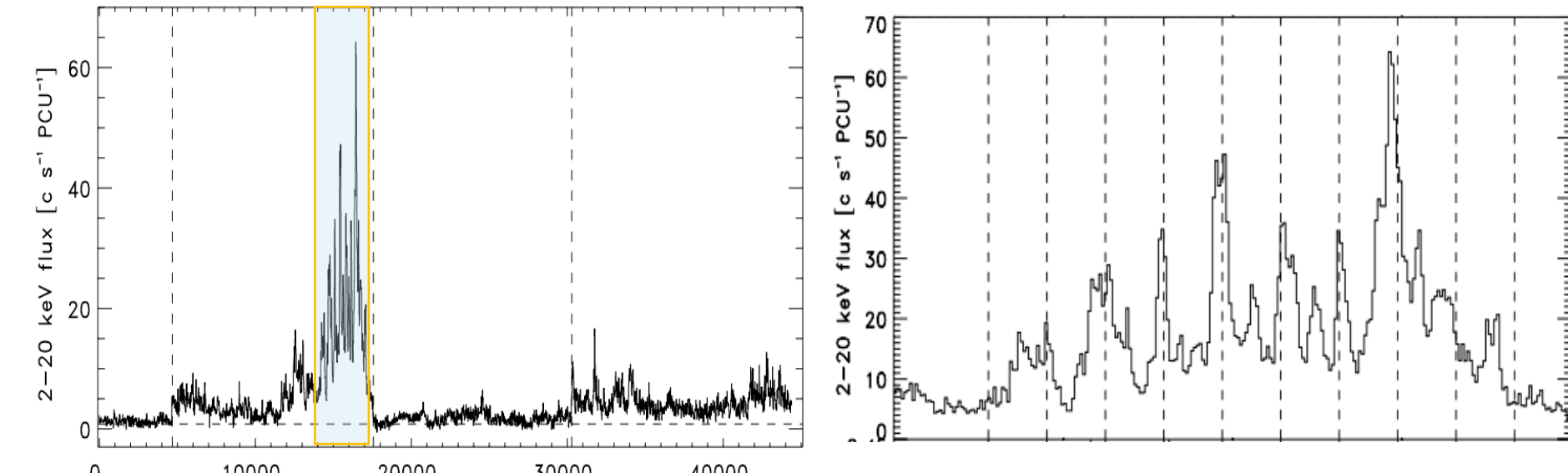
☆現在、X-CaliburやIXPEなどの、HMXBを集中的に偏光観測し、HMXBの幾何構造の解明を目指す計画が進んでいる。

☆将来の偏光観測ミッションのためにも、現時点で実施できるライトカーブ・スペクトル・イメージ解析を進めておくことが重要。

→NS-HMXBでまだ解析が行われていない、IGR J00370+6122の解析を行う。

### ☆IGR J00370+6122

- ・パルサーとB1-Ib星の連星
  - ・軌道周期:  $15.665 \pm 0.006$  日
  - ・スピン周期:  $346 \pm 6$  秒
  - ・距離:  $\sim 3.1$  kpc
  - ・平均して0.1 mCrab(2-12 keV)程度。フレア時の平均は $\sim 3.3$  mCrab。→暗い
  - ・近星点通過後、 $\sim 1.1$ 日後にX線で明るくなる。
- 濃い星風の存在? (J. H. Grunhut+14)  
軌道要素や質量、降着円盤の存在など未解決な点が多い。



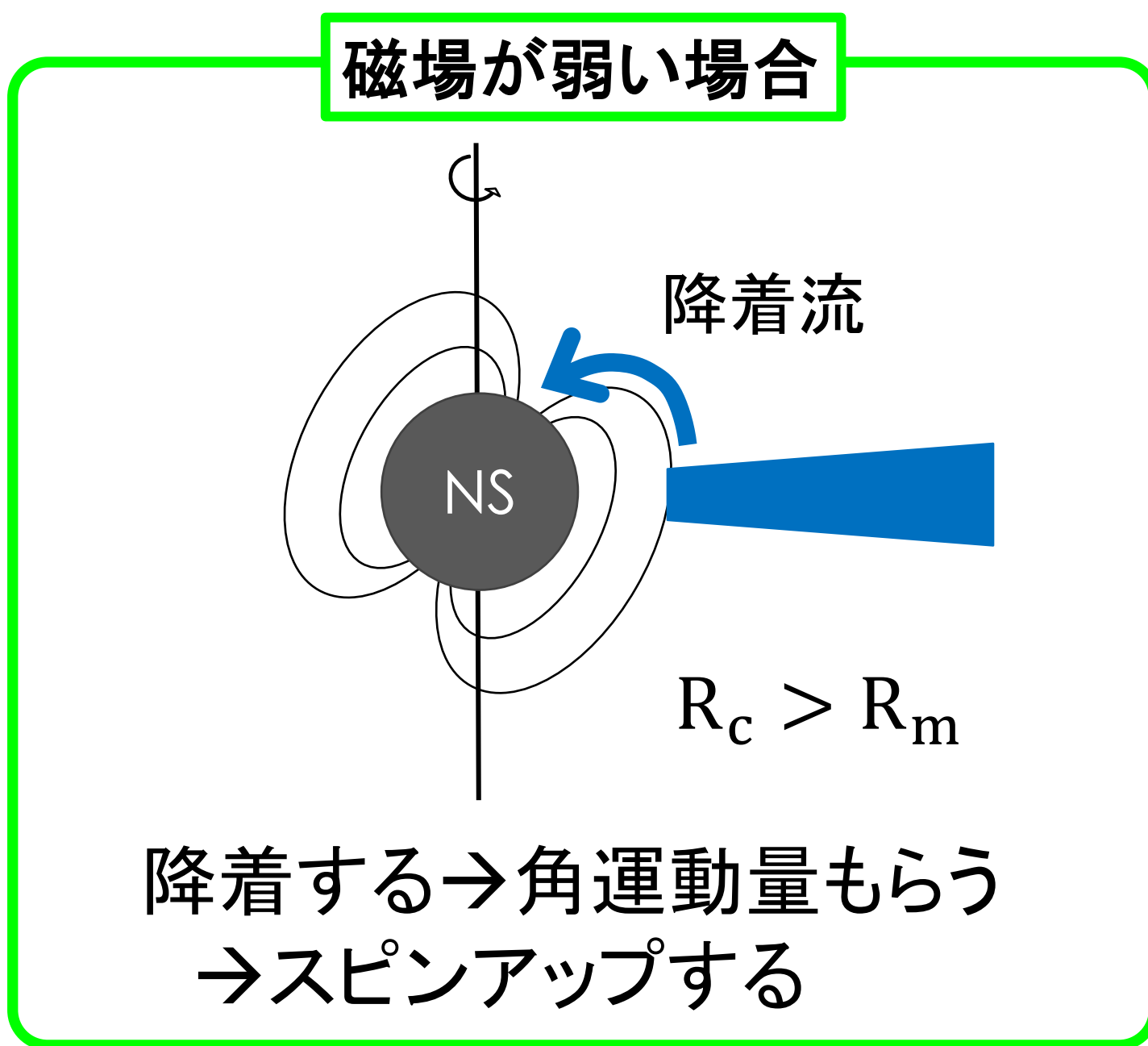
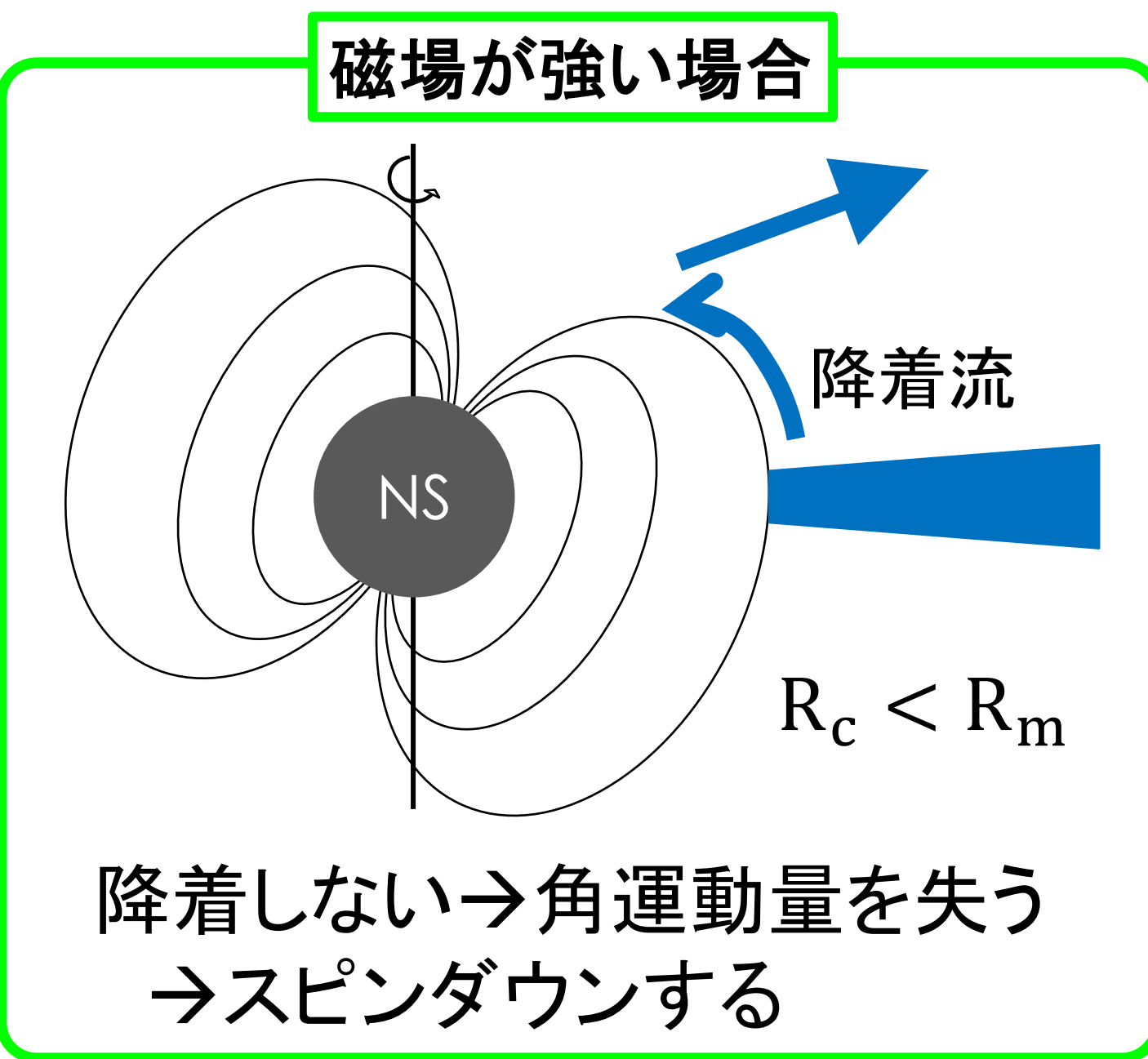
RXTE/PCAで得られた、IGR J00370+6122のライトカーブ(左図)と、フレア部分(左図の水色部分)の拡大(右図)。J. J. M. in't Zand+07

## 4. プロペラ効果

磁場が強いHMXB中の中性子星の場合、その磁場強度によって、降着機構に変化

### プロペラ効果

中性子星の重力と遠心力が釣り合う半径:  $R_c$   
降着流のガス圧と磁気圧の釣り合う半径:  $R_m$



## 5. 降着量の計算とGhosh & Lamb+79による磁場算出

☆Eddington限界で降着物( $10^{15}$  kg/s)が、中性子星のスピンの動径方向に光速で落ち込んだ場合、2年半程度で

$$L = mrv \sim 2 \times 10^{35} \text{ [kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$$

一方。

$$\text{回転する球体の角運動量: } L = I\omega = \frac{2}{5} M_{\text{NS}} R^2 \omega$$

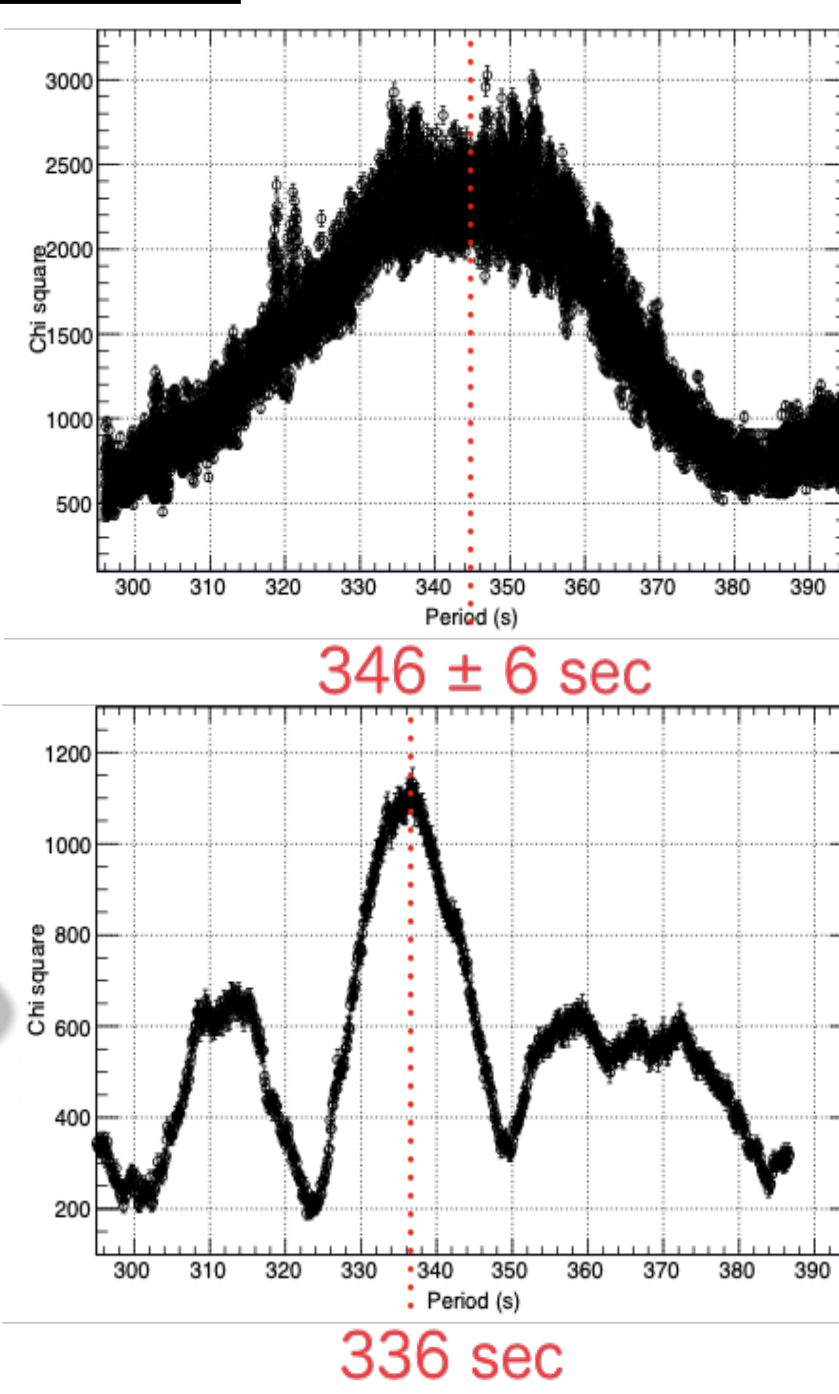
$$\text{スピン周期が } 346 \text{ sec} \rightarrow 336 \text{ sec: } \Delta L \sim 4 \times 10^{34} \text{ [kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$$

だいたいEddington限界で降着→磁場弱く降着多い?

☆「トルク平衡」回転軸と降着円盤がほぼ垂直「パルサーのspin方向と降着円盤の回転方向が一致」を仮定すると、

$$B_d = 1.8 \times 10^8 \zeta^{-7/4} \left( \frac{L_x}{10^{30} [\text{W}]} \right)^{1/2} \left( \frac{P}{1 [\text{sec}]} \right)^{7/6} [\text{T}] \sim 10^{14} \text{ G}$$

RXTEで得られたスピン周期変動の不定性が大きいので、NICER観測を提案予定。



## 3. すざく, Swift, Newtonでの解析

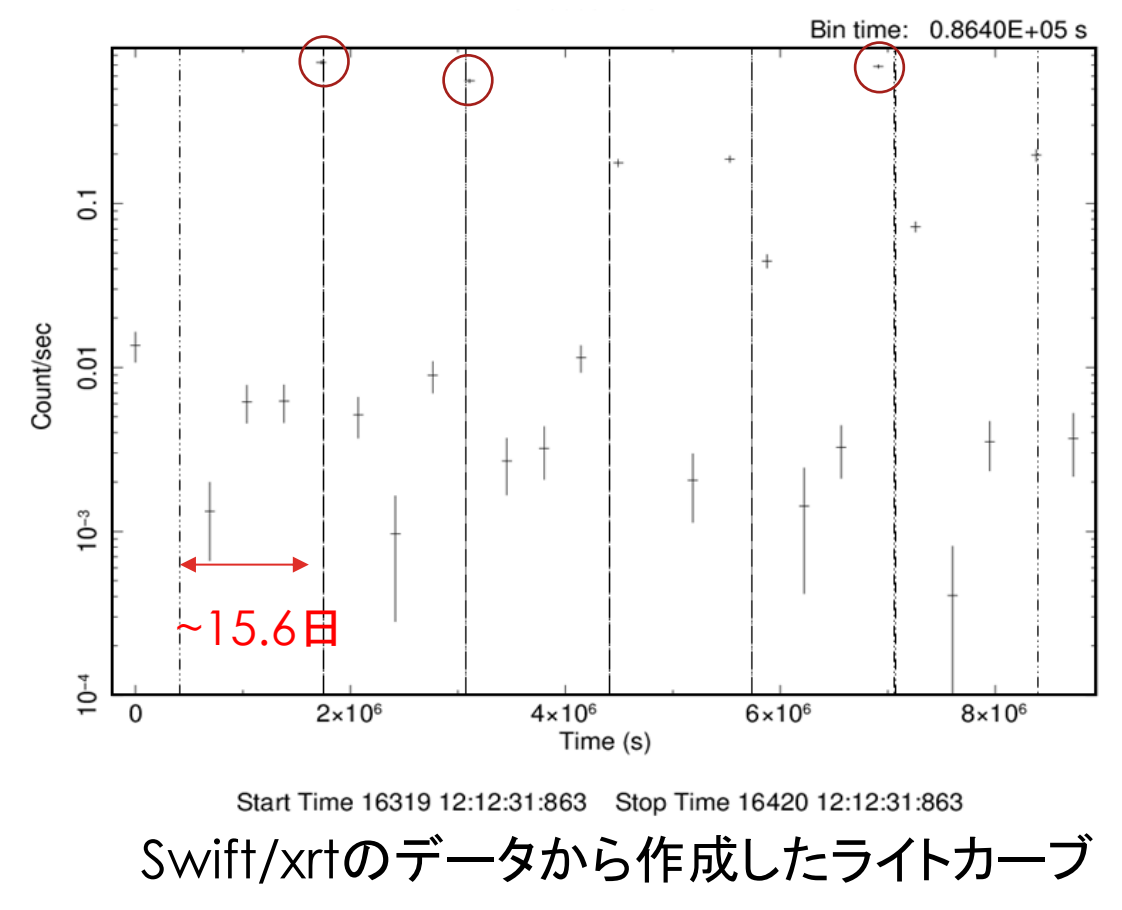
☆今回解析に使った衛星データは以下の通り。

- ・Swift/XRT
- ・すざく/XIS0, XIS1, XIS3
- ・Newton/mos1, mos2, pn

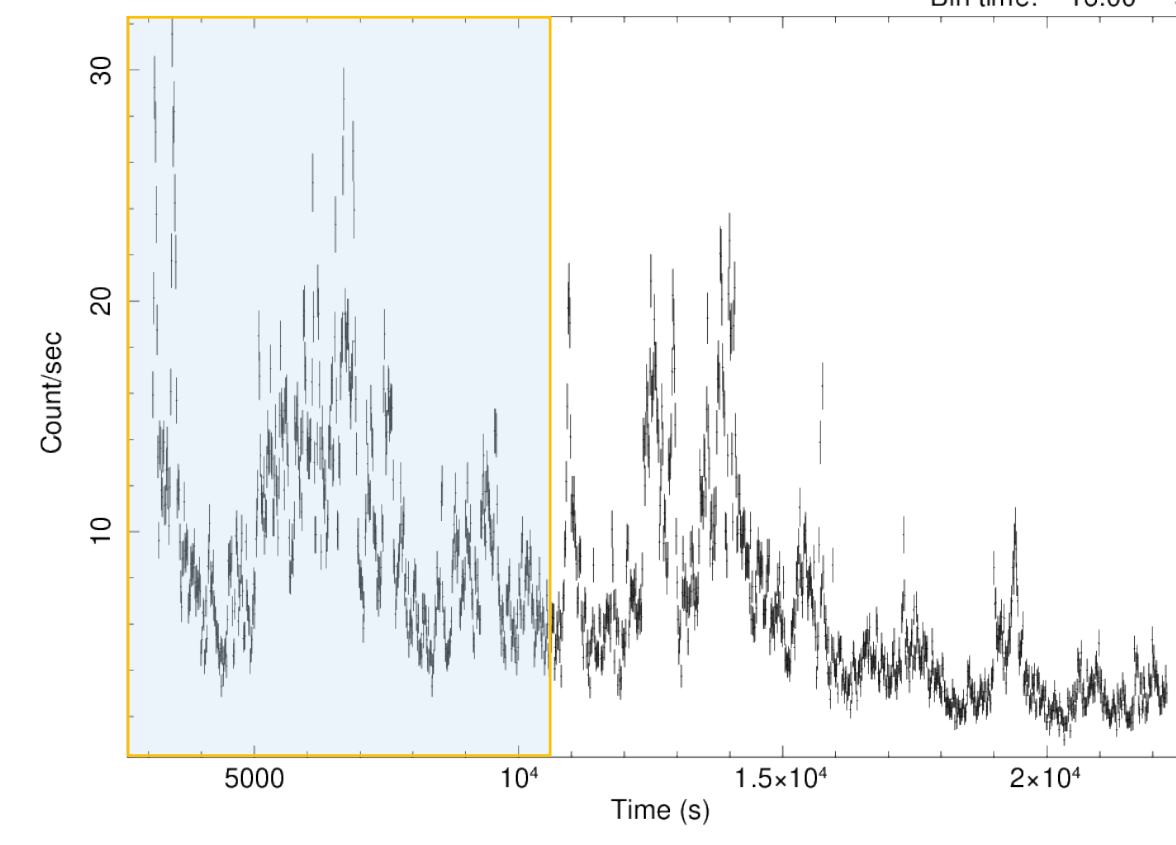
以下、解析は全てheasoft ver. 6.25を用いた

☆Swiftで長期的な変化を追ってみる。  
15.665日の光度変動が見えている?  
2桁におよぶ光度変動

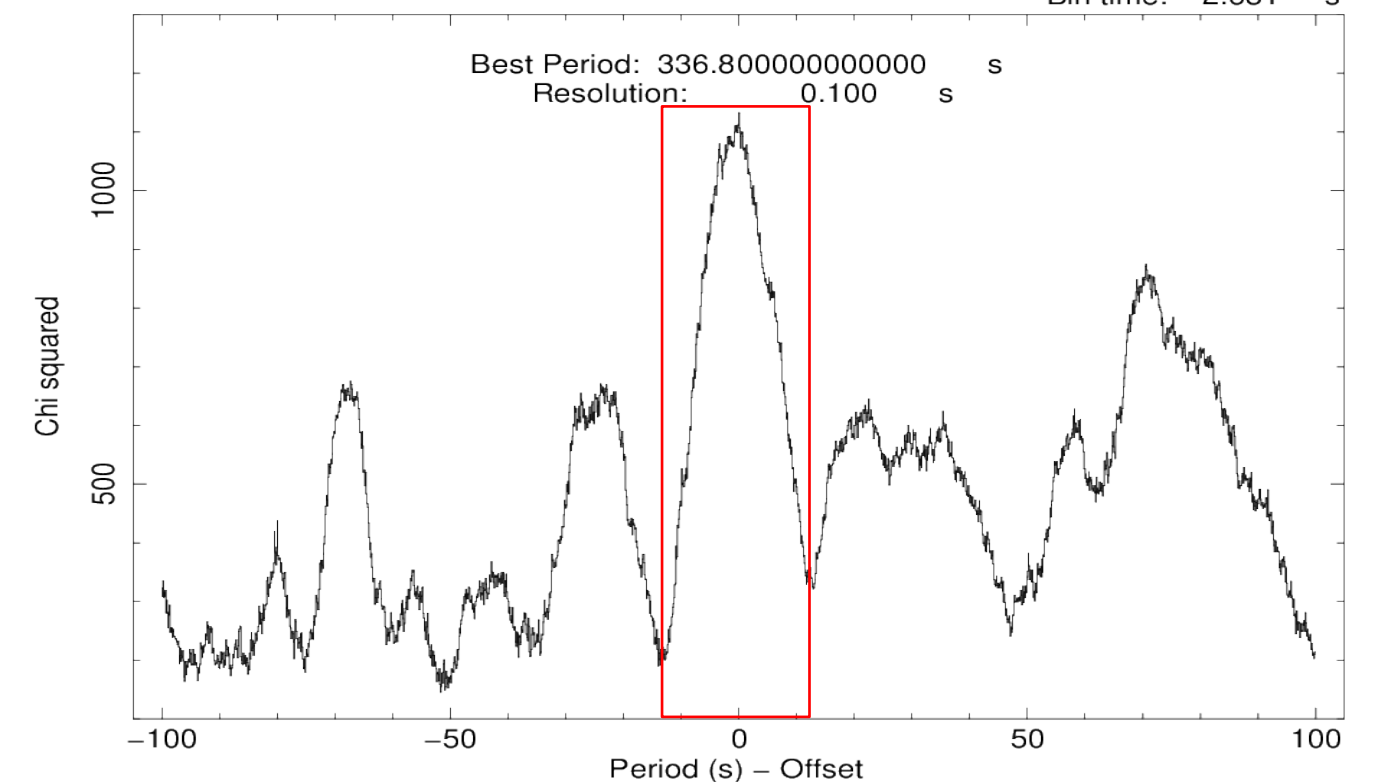
☆Newton/pnのデータから、スピン周期を調べる。



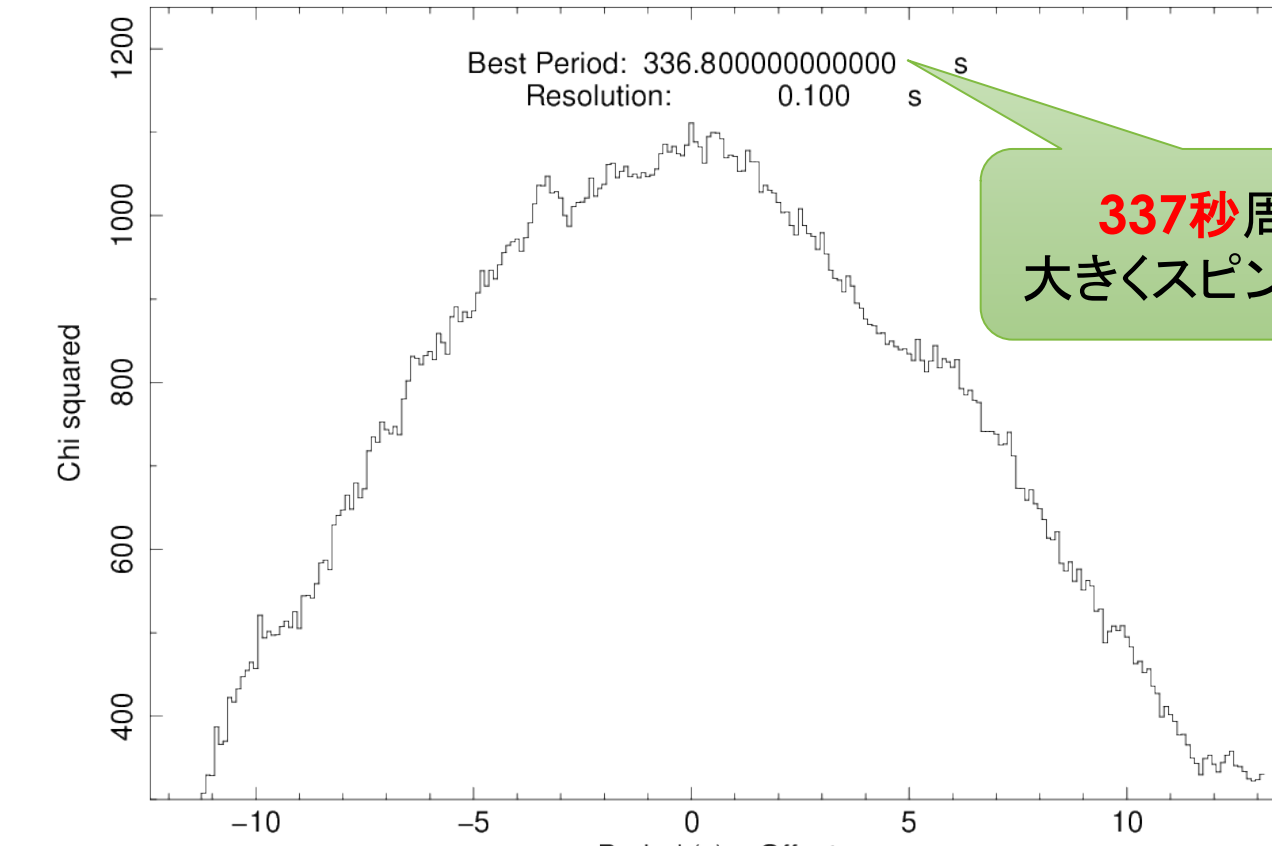
Swift/xrtのデータから作成したライトカーブ



生のライトカーブ(前半のフレア部分を解析)



ライトカーブをたたみ込む時間を変え、フラットなライトカーブに対するChi<sup>2</sup>をプロット。



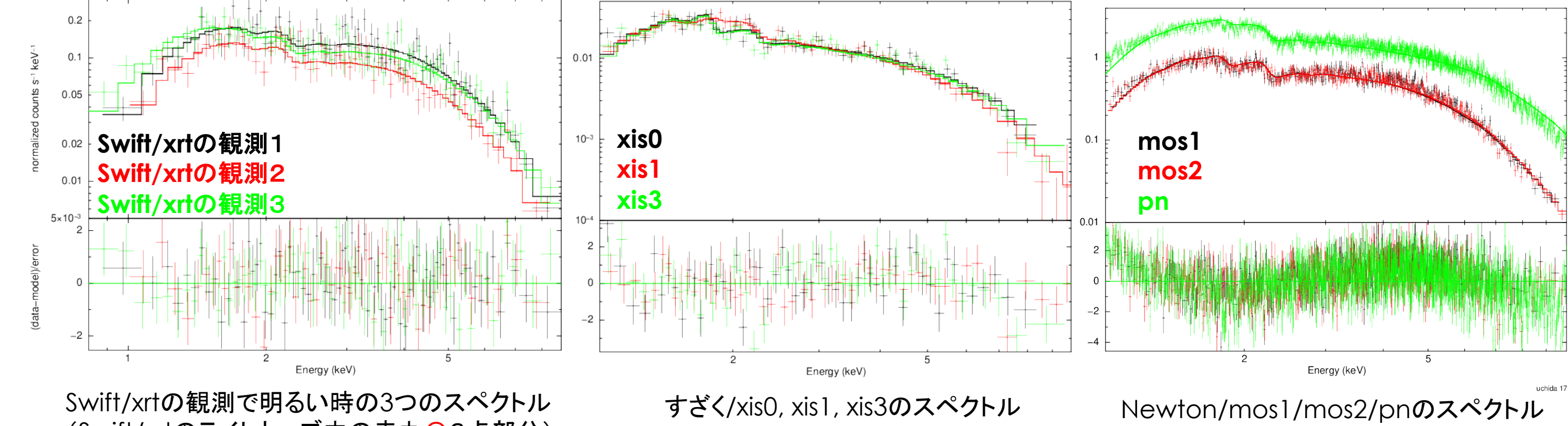
337秒周期  
大きくスピニアップ

右上図の、正しいと思われるピークの拡大。  
336.7秒にピークが確認された。

ライトカーブを336.7秒でたたみ込んだ時に得られたライトカーブ

スピン周期が、2年半ちよつとの間(2005.7.15→2008.2.9)に、-9秒の変化  
これだけ変化が大きい天体は、GX 1+4くらい。→質量抗降着率が大きい→磁場が弱い?

☆すざく/XIS, Newton/pn, Swift/XRTのスペクトルを作成。  
先行研究(P. Pradhan+18)に従って、phabs\*powerlawでフィッティング。

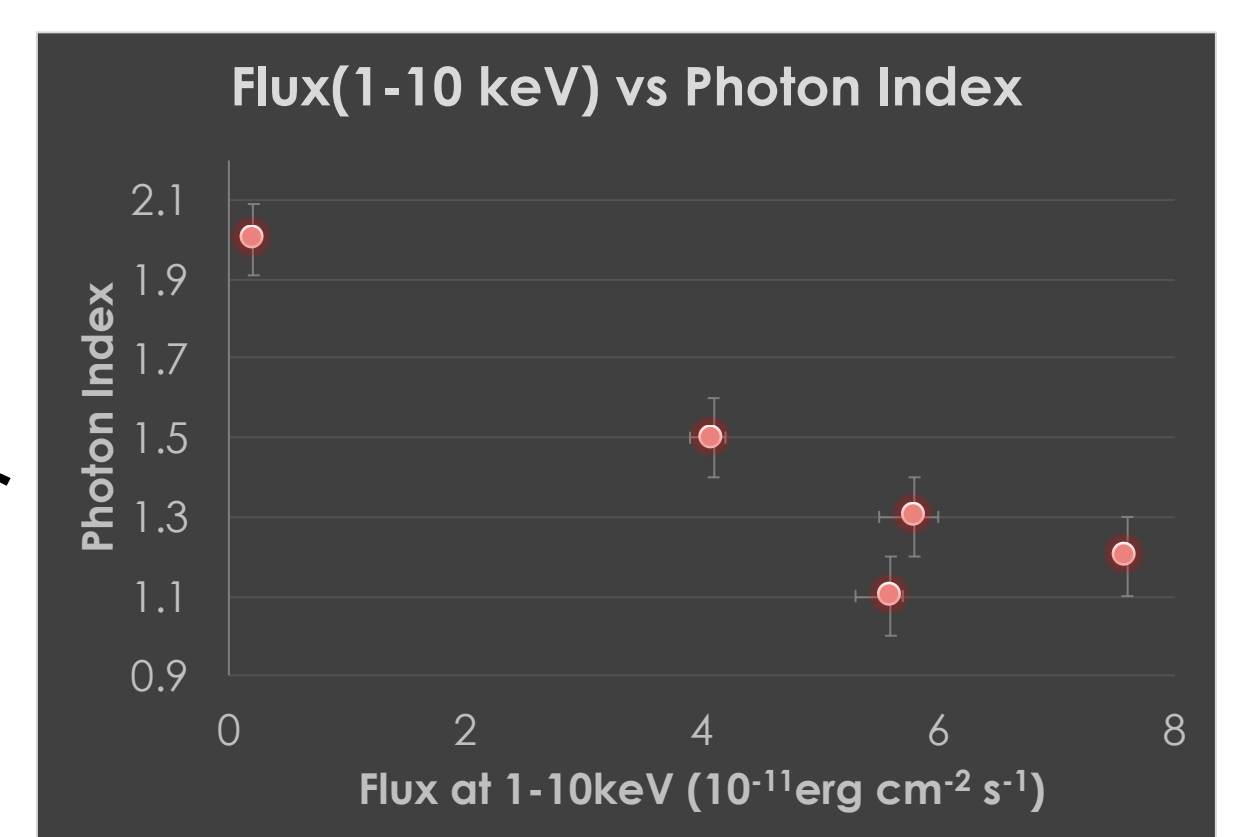


Swift/xrtの観測で明るい時の3つのスペクトル (Swift/xrtのライトカーブ中の赤丸0.3点部分)      すざく/xis0, xis1, xis3のスペクトル      Newton/mos1/mos2/pnのスペクトル

INTEGRAL/BeppoSAX/PXTEのデータは、P. R. den Hermsen+18より引用

	すざく/XIS0	Newton/pn	Swift 観測1	Swift 観測2	Swift 観測3	INTEGRAL	BeppoSAX	RXTE/PCA
エネルギー帯域(keV)	1-10	1-10	1-10	1-10	1-10	20-80	2-20	3-20
flux( $10^{-11}$ erg $\text{cm}^{-2}$ $\text{s}^{-1}$ )	$0.211^{+0.006}_{-0.007}$	$7.60^{+0.03}_{-0.04}$	$5.8^{+0.2}_{-0.3}$	$4.1^{+0.1}_{-0.2}$	$5.6^{+0.1}_{-0.3}$	$4.0^{+0.4}_{-0.4}$	$30^{+7}_{-7}$	$1.84^{+0.13}_{-0.13}$
nH( $10^{22}$ )	$1.2 \pm 0.1$	$1.01 \pm 0.01$	$1.4 \pm 0.1$	$1.4 \pm 0.2$	$0.9 \pm 0.1$	N/A	$13 \pm 6$	$6.9 \pm 1.8$
Photon Index	$2.0 \pm 0.09$	$1.208 \pm 0.1$	$1.3 \pm 0.1$	$1.5 \pm 0.1$	$1.1 \pm 0.1$	$1.9 \pm 0.3$	$2.6 \pm 0.5$	$2.9 \pm 0.2$
chi <sup>2</sup> (dof)	1.5(53)	1.6(1289)	1.0(77)	0.9(61)	0.9(74)	1.62(3)	1.00(21)	0.43(39)

- ・フレア中のSwift/XRTのデータに対しては、物理量に制限を与えることができた。
  - ・今回は単純に、phabs\*powerlawモデルで求めた物理量を比較した。
  - ・明るい時にはべきがハード、暗い時にはソフトになっている可能性がある。
- ※nHの値でも結構変わるので、今後正確に見積もる必要あり



## まとめ

☆NS-HMXBであるIGR J00370+6122の、すざく/Swift/XMM-NewtonのX線データを解析した。

☆周期解析から、中性子星が約2年半の間に-10秒ものスピニアップをしていることが分かった。

☆スピニアップレートから降着率を計算すると、Eddington Limit程度になり、磁場が弱く降着量が多いのではないかと考えられる。

☆ Ghosh & Lamb+79から磁場を計算すると、 $\sim 10^{14}$  GとなりHMXBの中性子星の中で、非常に磁場が強い分類になる。

## 今後の解析・研究予定

☆Newtonの観測データは、明るい時期で高統計なため、パルス周期に応じたスペクトル変動について調べる。

☆NICERの観測プロポーザルの提出(11月)を検討⇒磁気共鳴ライン?

皆様のコメントと、暖かいご支援をお待ちしております。