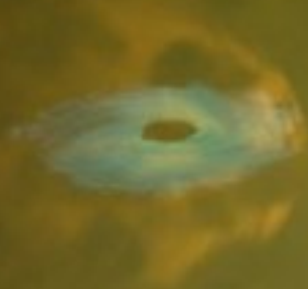


Glimpse of the highly obscured HMXB IGR J16318-4848 with Hitomi



H. Nakajima (Osaka Univ. → Kanto Gakuin Univ.),
K. Hayashida, T. Kallman, T. Miyazawa, H. Takahashi,
M. Guainazzi on behalf of IGR16318 team

第17回高宇連研究会 2018. 3. 8

Introduction

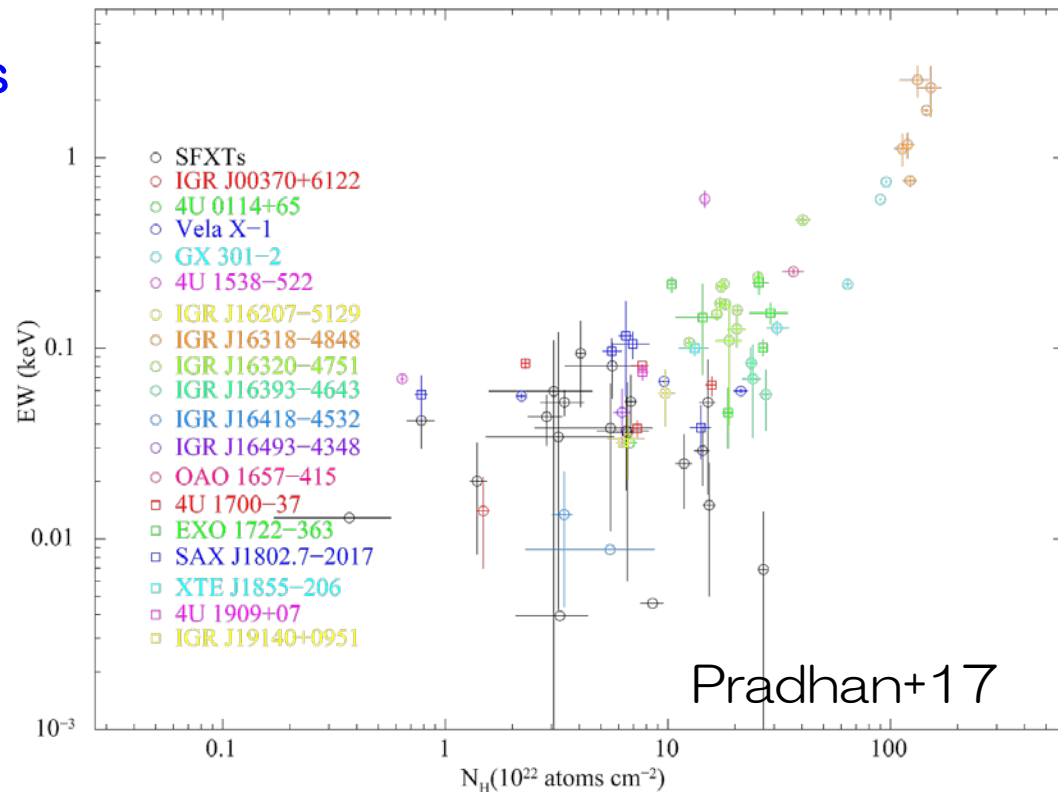
HMXBs

- “classical” sg HMXBs
- Be/X-ray binaries
- SFXT
(Supergiant Fast
X-ray Transients)

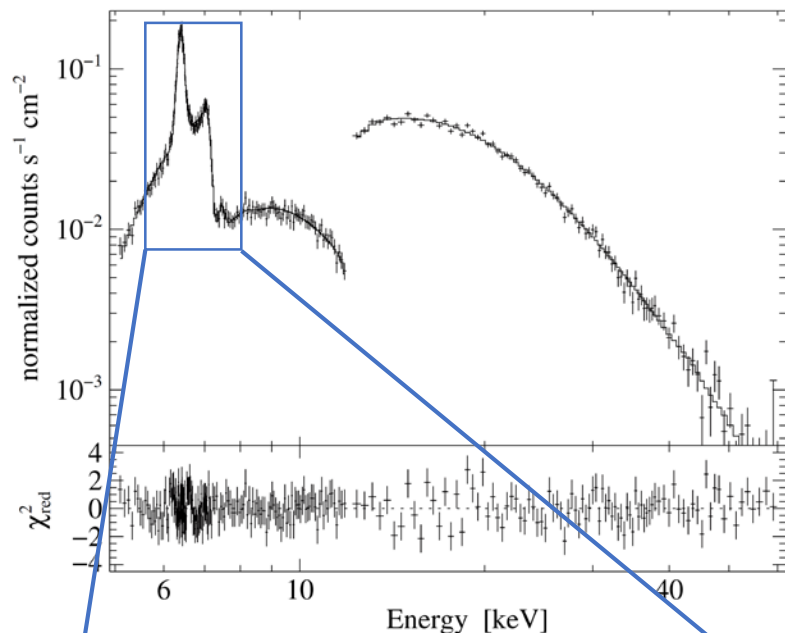
stochastic な時間変動
⇒clump状星風の降着

IGR16318–4848

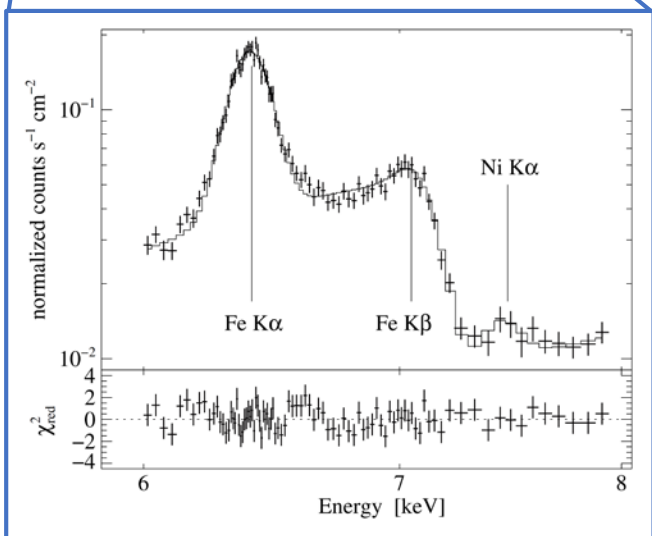
- INTEGRAL 衛星により発見
- Heavily obscured ($N_H \sim 10^{24} \text{ cm}^{-2}$) (Courvoisier+03).
- 伴星は B[e] 型超巨星 (Filliatre&Chaty 04)
- 約80日の軌道周期 (Jain+09)
- 複数回X線観測、常に吸収が強い



Introduction



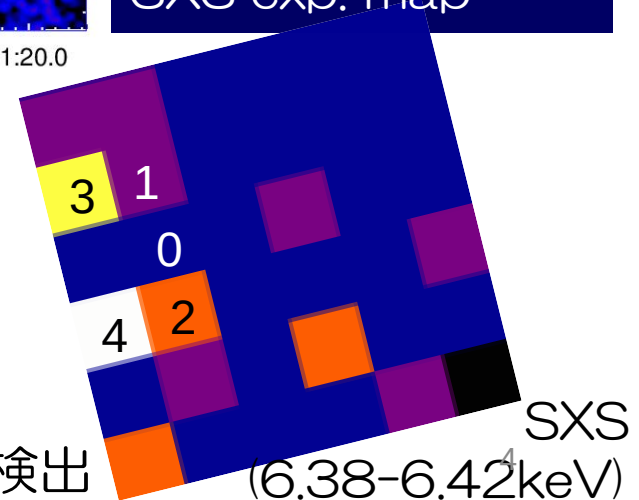
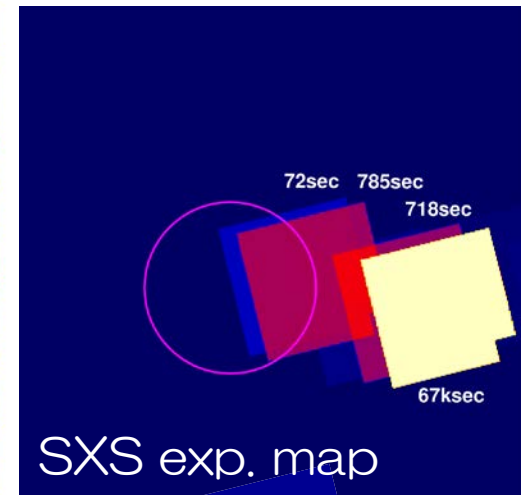
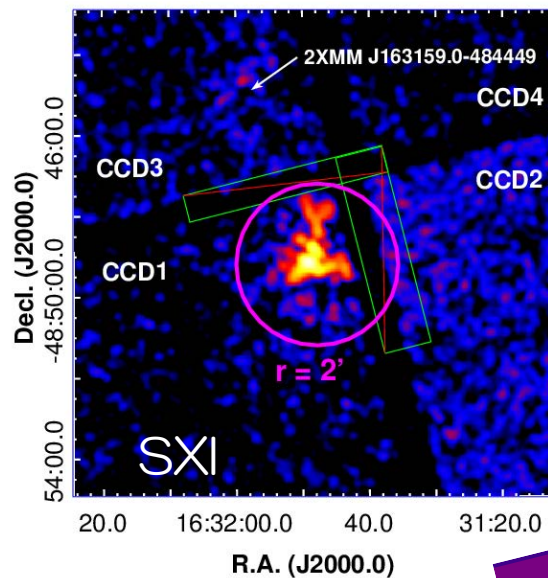
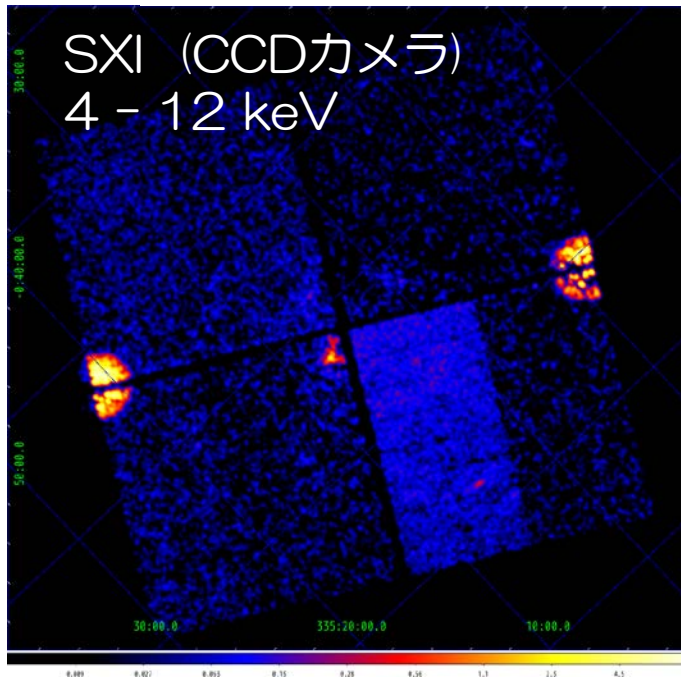
- 「すざく」 (Barragan+09)
 - Fe $K\alpha$ / $K\beta$ 、Ni $K\alpha$ と連続放射
 - コンプトンショルダーが見えない (鉄輝線放射物質は非等方)
 - 輝線中心値からは
中性or低階電離か区別できず
(系統誤差が大きいいため中性と仮定)
 - パルス周期は検出されず



- 「ひとみ」 観測目的
- コンパクト天体を取り囲む
鉄輝線放射物質 (reprocessor) の
geometrical & physical な理解

「ひとみ」による観測

Sequence ID	Start time	STT	effective exposure (ks)		
			SXI	SXS	HXI1
1000430{1-3}0	2016-03-10 22:28:20	STT1	102.7	—	—
100043040	2016-03-13 17:58:05	STT2	39.4	68.9	39.4



- ✓ SXI の広視野では捉えたものの、SXS (マイクロカロリメータ) の視野外
- ✓ 一時的に PSF の裾野が視野内に入り、鉄 $K\alpha$ 輝線エネルギー (6.4 keV) で 19 events 検出

High resolution spectrum

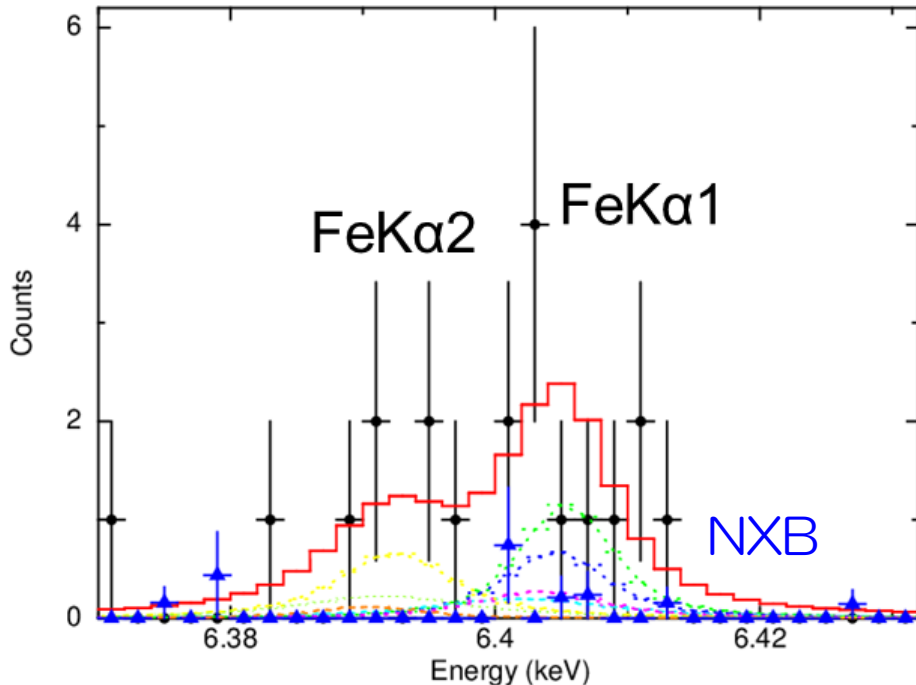


Table 1. Best-fit parameters for the SXS spectrum.

Parameter	Value
$E_{\alpha 11}^*$ (eV)	6405.4 [†]
$\sigma_{\alpha 11}$ (FWHM in eV)	3.5 [†]
$I_{\alpha 11}$ ($10^{-4} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	2.4
Γ	0 (fixed)
A ($10^{-3} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	1.6
C-stat (d.o.f.)	131.7 (234)

*Energy at the maximum of the primary Lorentzian (α_{11} in table II in Hölzer et al. 1997).

[†]See text for a discussion of the probability distributions for $E_{\alpha 11}$ and $\sigma_{\alpha 11}$.

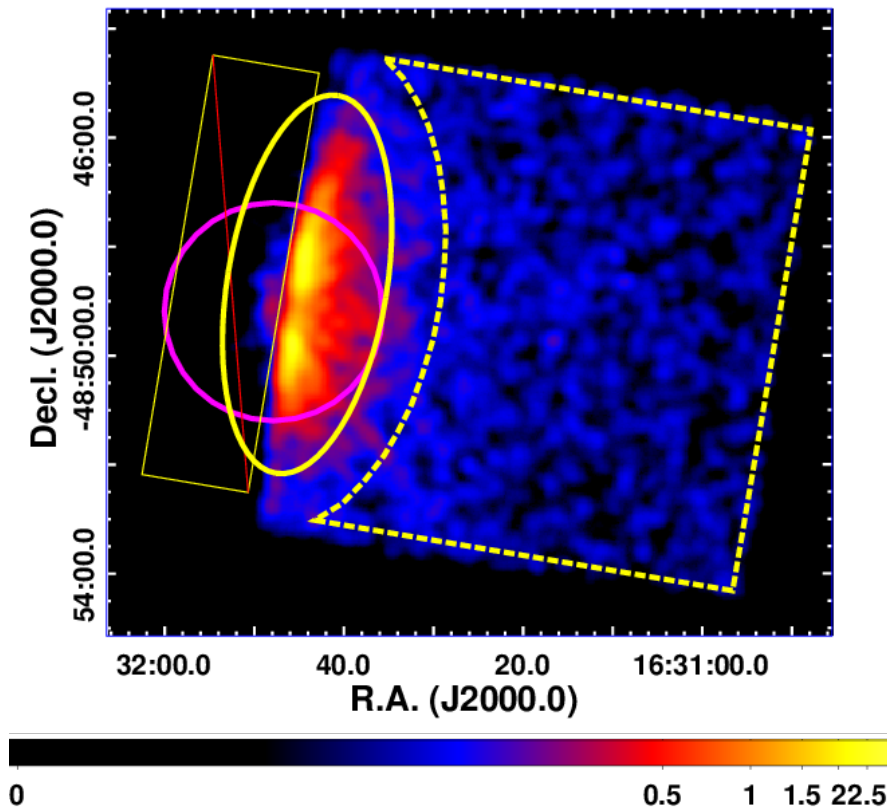
7 Lorentzian functions
measured with neutral Fe
(Holzer 1997)

×線連星系で初めて $K\alpha 1$ と $K\alpha 2$ を分離観測

$$E(K\alpha_1) = 6405.4 \pm 2.5 \text{ (stat.)} \pm 0.5 \text{ (sys.) eV}$$

過去最も高精度な輝線中心値測定

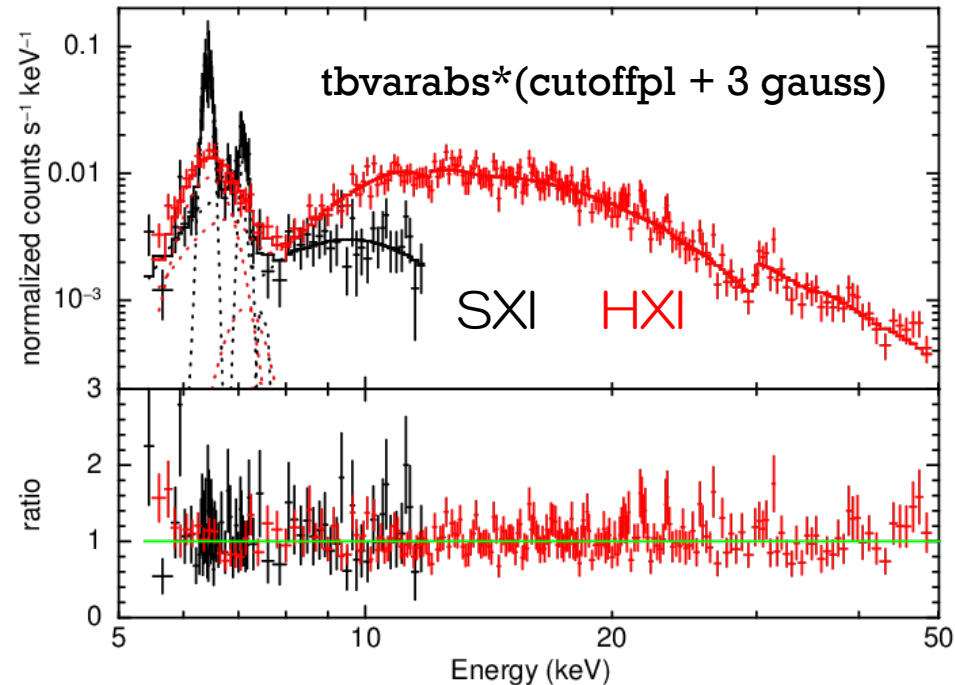
Wide band spectrum



✓ すごく、XMM と同様、強い Fe 輝線 ($EW > 2\text{keV}$) を検出

✓ Fe K 殻吸収端エネルギー

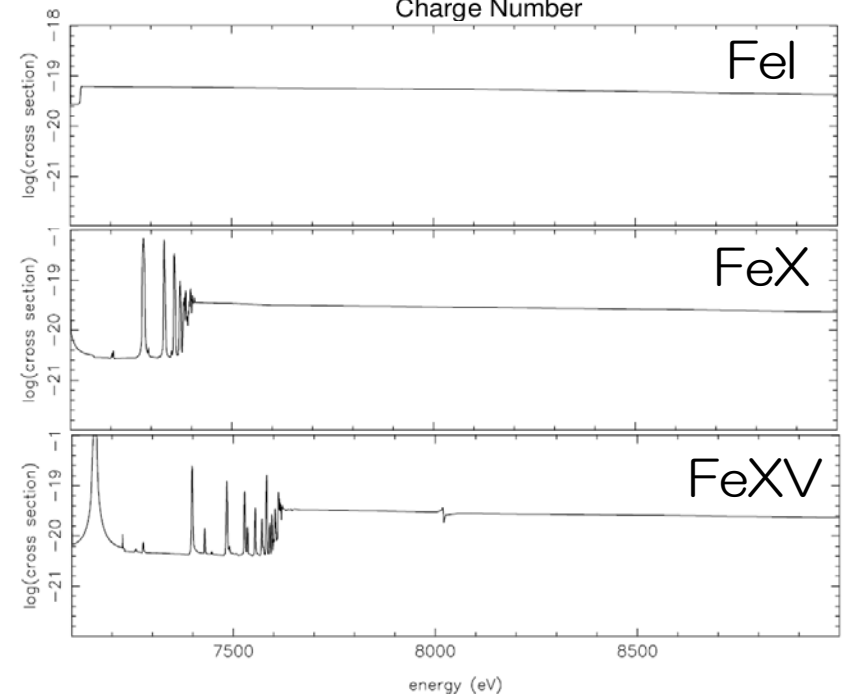
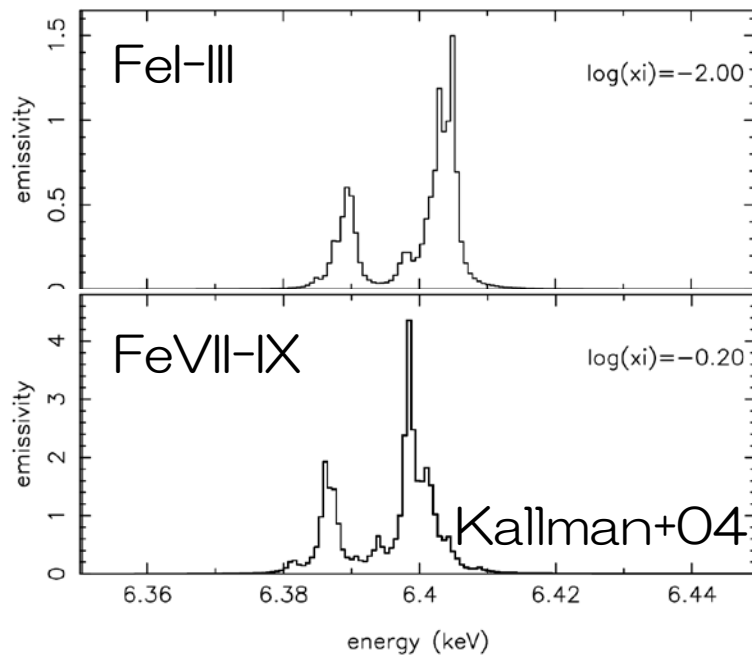
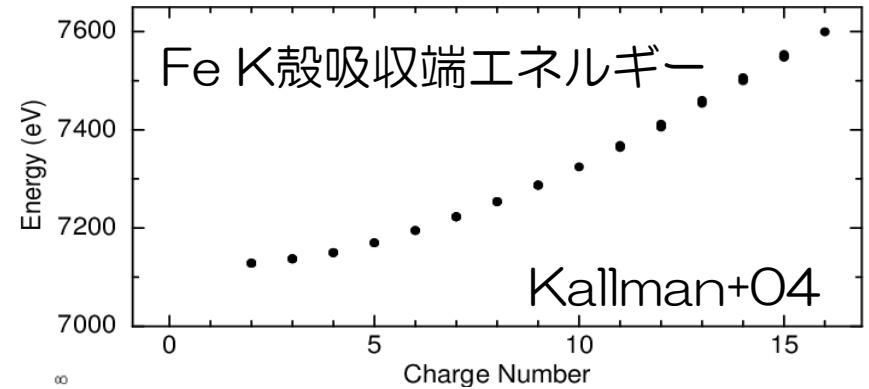
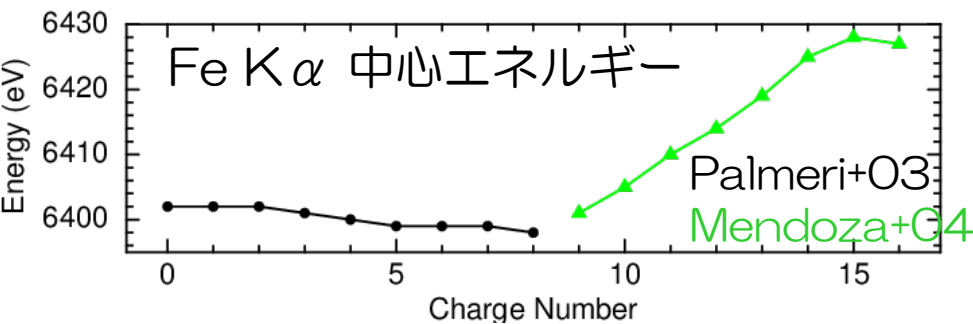
$$E_{\text{edge}} = 7108^{+25}_{-36} (\text{stat.}) \text{eV}$$



Parameter	model A
N_{H} (10^{24} cm^{-2})	$2.06^{+0.21}_{-0.09}$
A_{Fe}	$1.19^{+0.09}_{-0.14}$
Γ	$0.74^{+0.29}_{-0.24}$
E_{C}^* (keV)	$37.8^{+19.3}_{-19.0}$
A ($10^{-3} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	$4.7^{+0.3}_{-3.2}$
$E(\text{Fe K}\alpha)$ (keV)	$6.426^{+0.011}_{-0.010}$
$EW(\text{Fe K}\alpha)$ (keV)	2.15
$I(\text{Fe K}\alpha)$ ($10^{-3} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	$2.2^{+0.8}_{-0.5}$

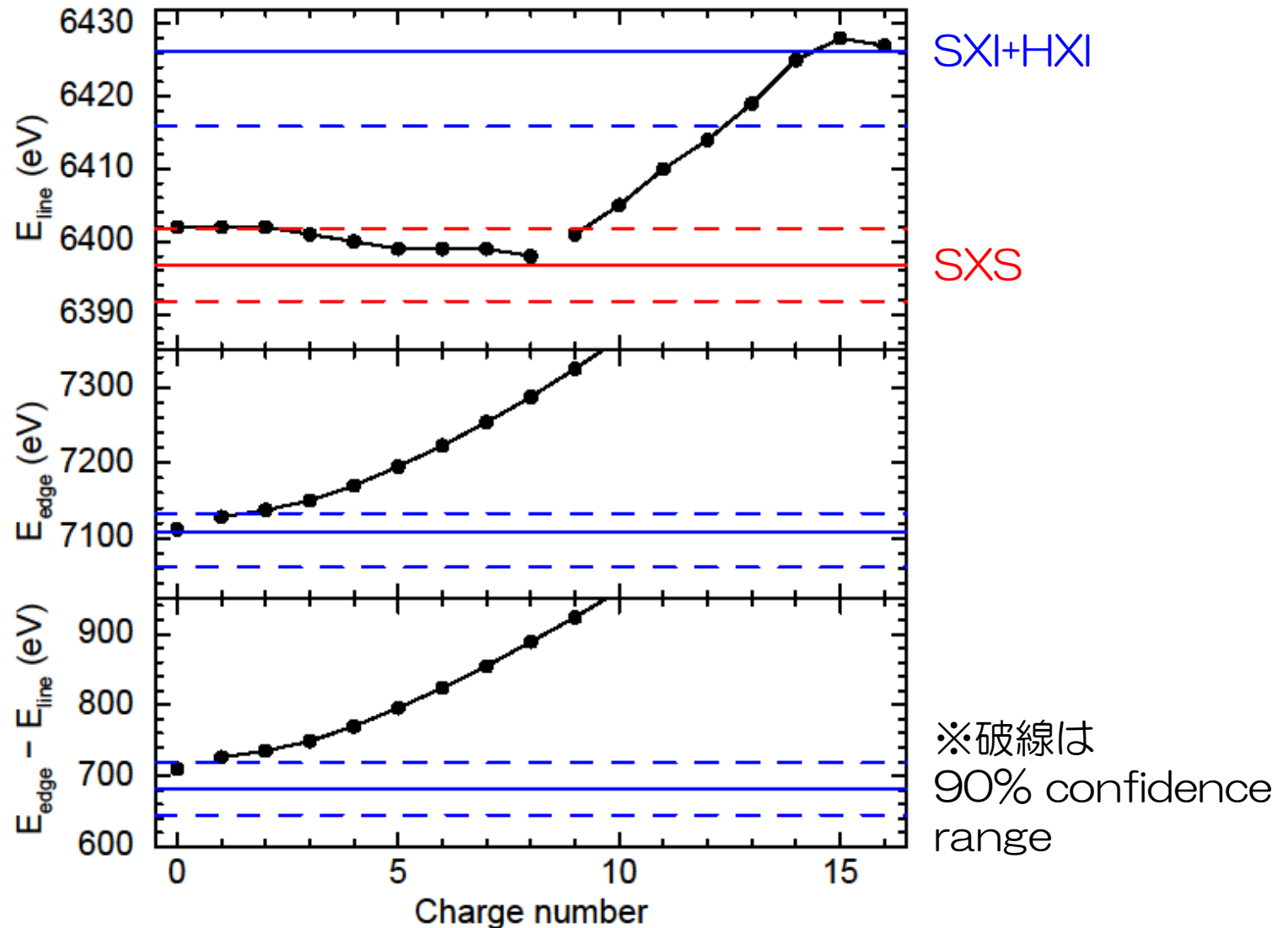
Ionization state of reprocessor

✓ 吸収物質中の Fe がX線により光電離



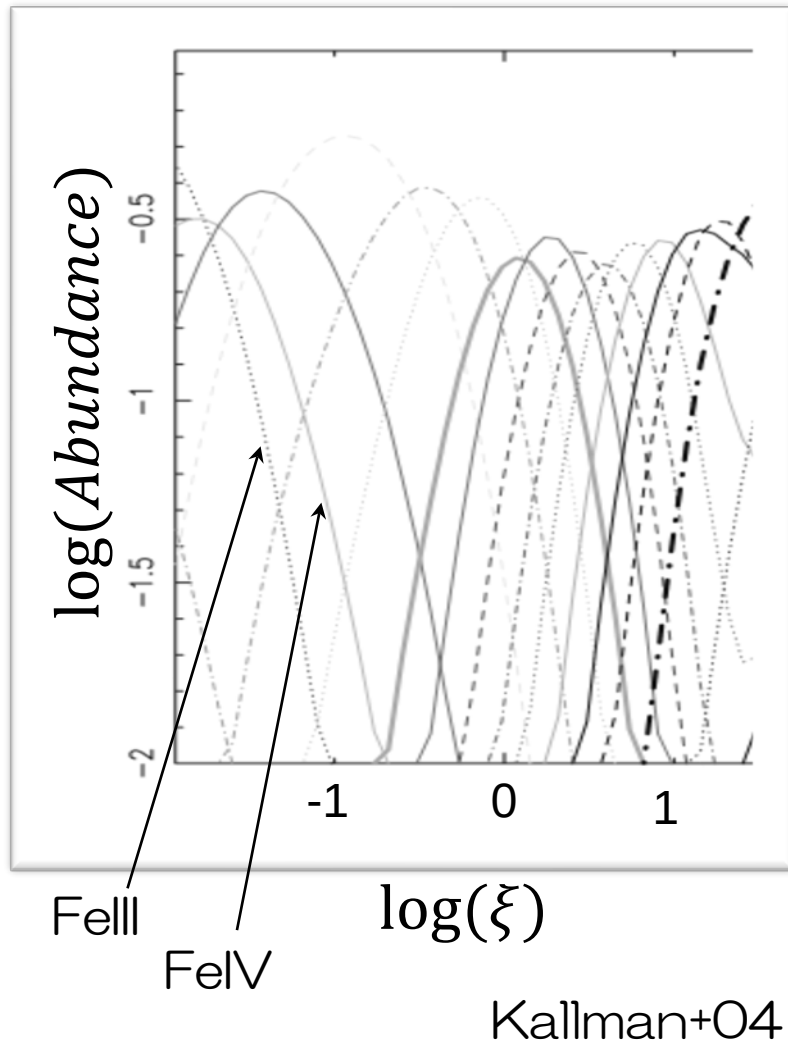
- ✓ Fe K α 輝線中心・K殻吸収端エネルギーは電離状態により変化
- ✓ 精密分光により吸収物質の電離状態を推定可能に

Constraint on ionization state



SXS の高エネルギー分解能、SXI/HXI の広帯域分光能力
を活かし、吸収物質の電離状態を推定

Size and density of reprocessor



$$\text{イオン化パラメタ } \xi := \frac{L}{nr^2}$$

$$\text{Fe I-IV} \Rightarrow \log(\xi) \sim -2.0$$

$$L(\text{erg s}^{-1}) : 3.4 \times 10^{34} \text{ ergs/s @ 1.6 kpc}$$

$$r(\text{cm}) : \text{X線放射源と吸収物質の距離}$$

$$10^{13} \text{ cm (Walter+03, This work)}$$

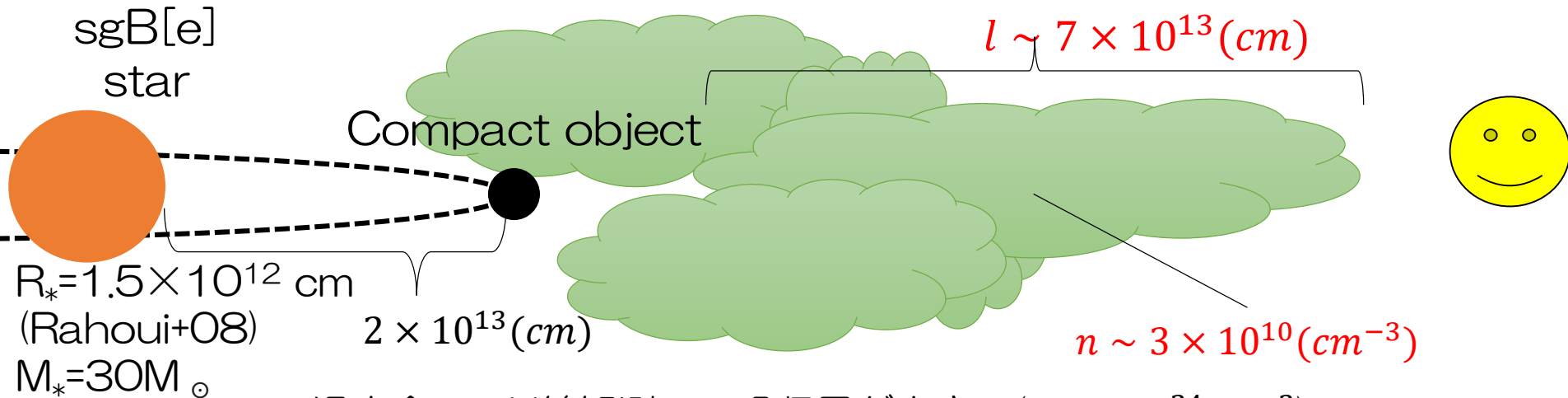
$$n(\text{cm}^{-3}) : \text{吸収物質の密度}$$

$$n = L/r^2 \xi \sim 3 \times 10^{10} (\text{cm}^{-3})$$

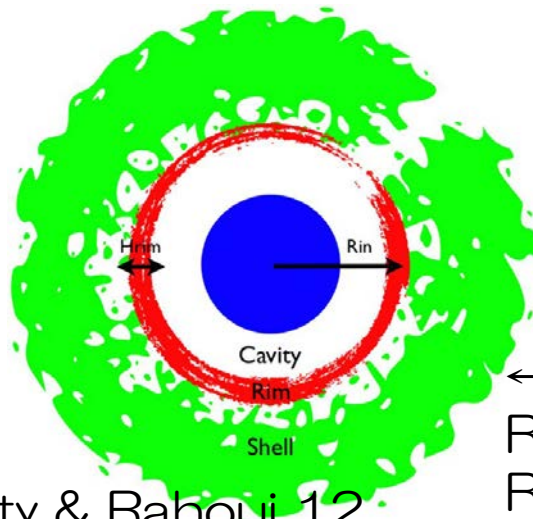
$$\text{吸収物質の視線方向厚み } l(\text{cm})$$

$$l = N_H/n \sim 7 \times 10^{13} (\text{cm})$$

Distribution of reprocessor



- 過去全てのX線観測で、吸収量が大い ($N_H \sim 10^{24} \text{ cm}^{-2}$)
 - Fe 輝線コンプトンショルダー成分が弱い
- ⇒ 吸収物質は小さい立体角で連星系を取り囲むように分布



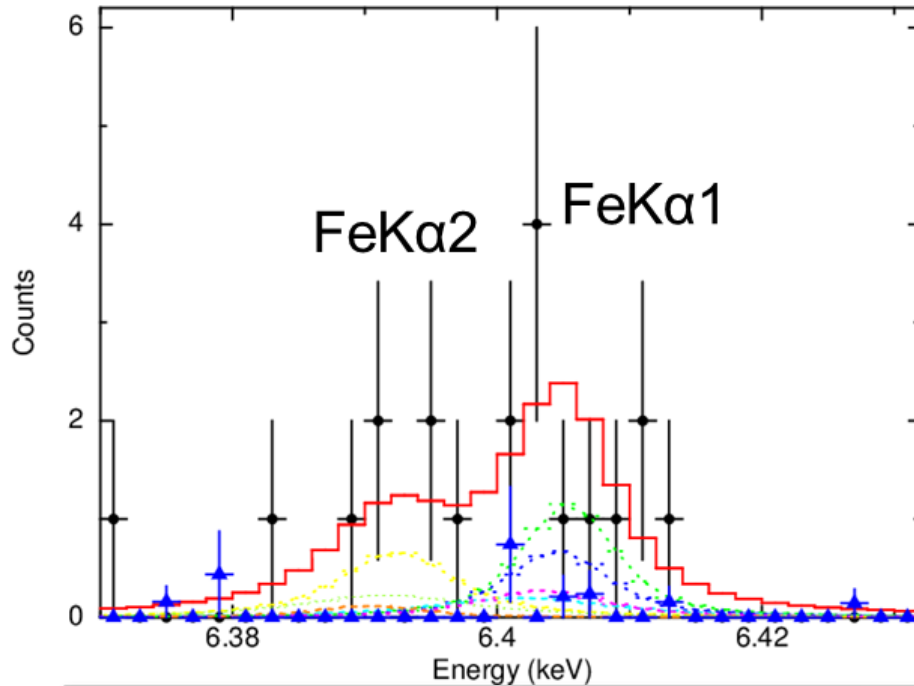
c.f. 近赤外線(Spitzer)の観測により、連星系全体を取り囲む温かいダスト&ガスの存在が示唆
rim があたためられている?

← polar view

$$R_{in} \sim 1 \text{ AU} (1.5 \times 10^{13} \text{ cm}) @ 1 \text{ kpc}$$

$$R_{out} \sim 3 \text{ AU} @ 1 \text{ kpc}$$

Velocity distribution of reprocessor



輝線幅 $3.5^{+6.4}_{-1.6}$ eV

$$160^{+300}_{-70} \text{ km s}^{-1}$$

過去のいずれの観測 (CCD, Grating 含む)
よりも遅い

星風の典型値

$$v_w = v_\infty \left(1 - \frac{R_*}{r} \right)^\beta$$

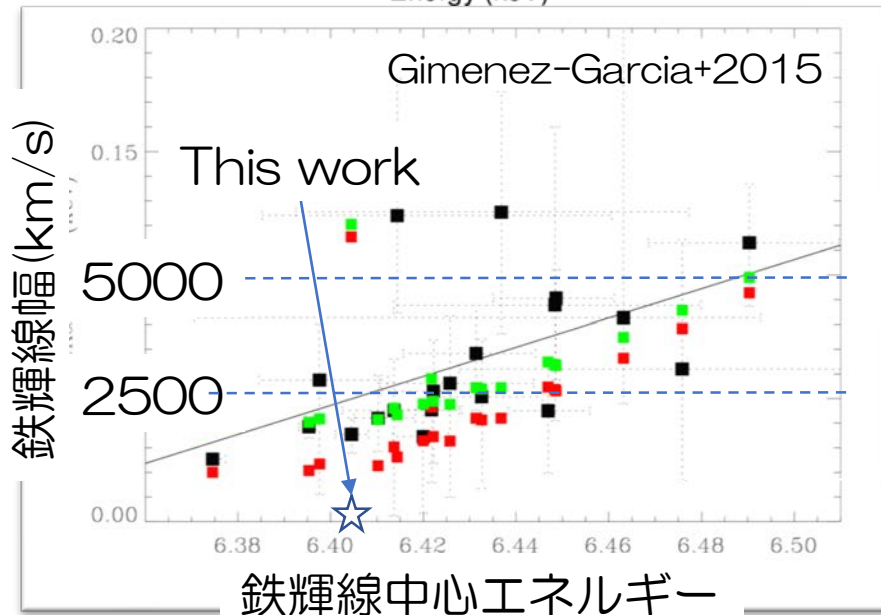
早期型星の典型値 (Abbot 1978)

$$v_\infty \simeq 1500 - 2000 \text{ km/s}$$

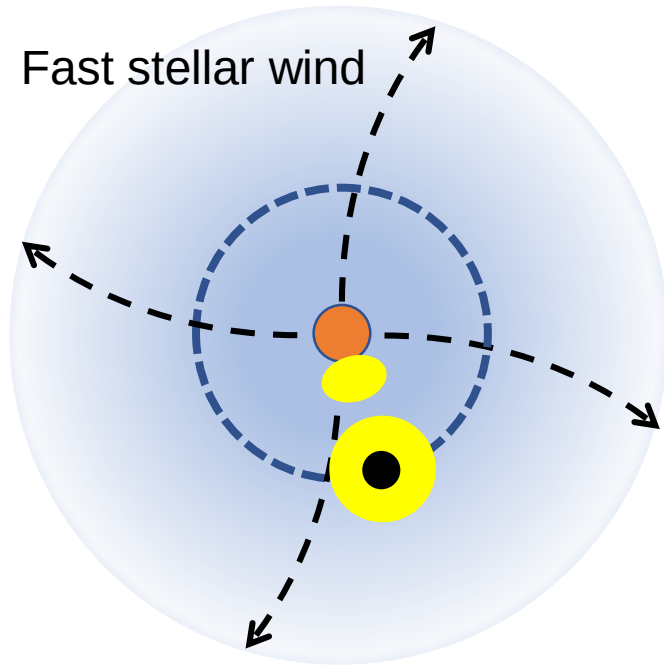
$$\beta = 0.5, r = 2 R_*$$

の場合、

$$v_w \simeq 1050 - 1400 \text{ km/s}$$



Interpretation for narrow Fe K α line

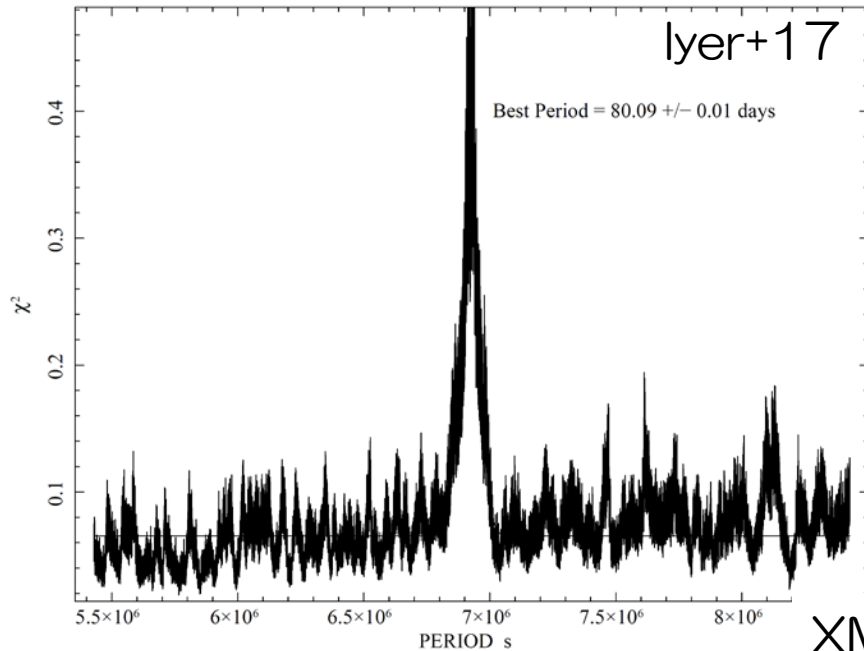


- ✓ コンパクト星のごく近傍のみから放射
- ✓ Orbital phase ~ 0.25 or ~ 0.75 を仮定すると、輝線中心Eと吸収端Eの両方を矛盾なく説明可能

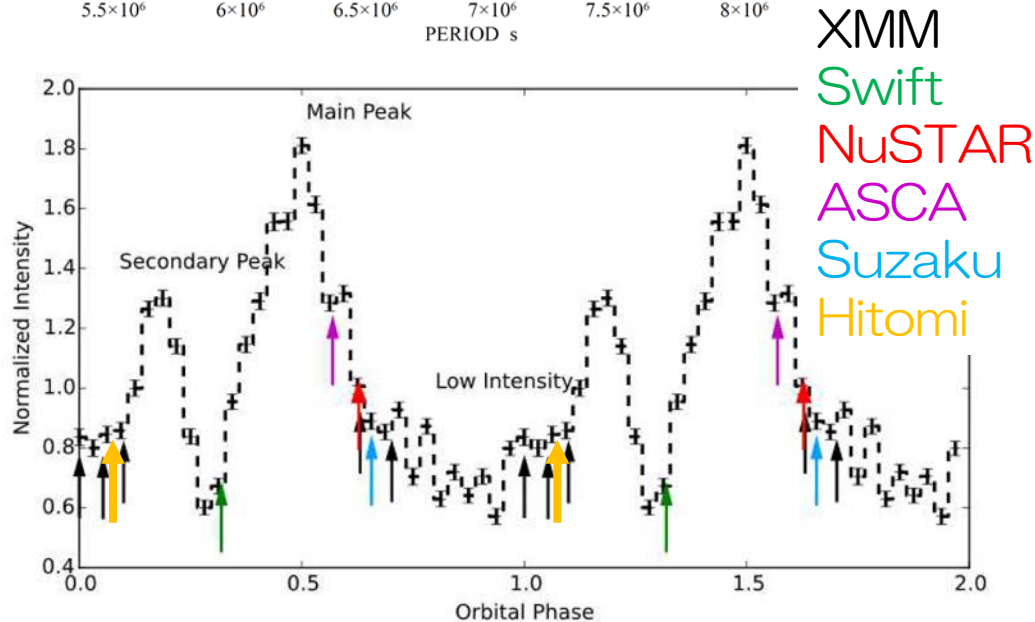


- ✓ あるいは・・・
- ✓ 伴星の光球すぐ外、コンパクト星に面した部分のみから放射 (Torrejon+15)
- ✓ $1.06 R_* \sim 1.10 R_*$ から放射していると仮定すると観測値を説明可能
- ✓ 星風が $\lesssim 1.10 R_*$ でクランプ状になるというシミュレーションも (Sundqvist+13)

Beyond Hitomi observation



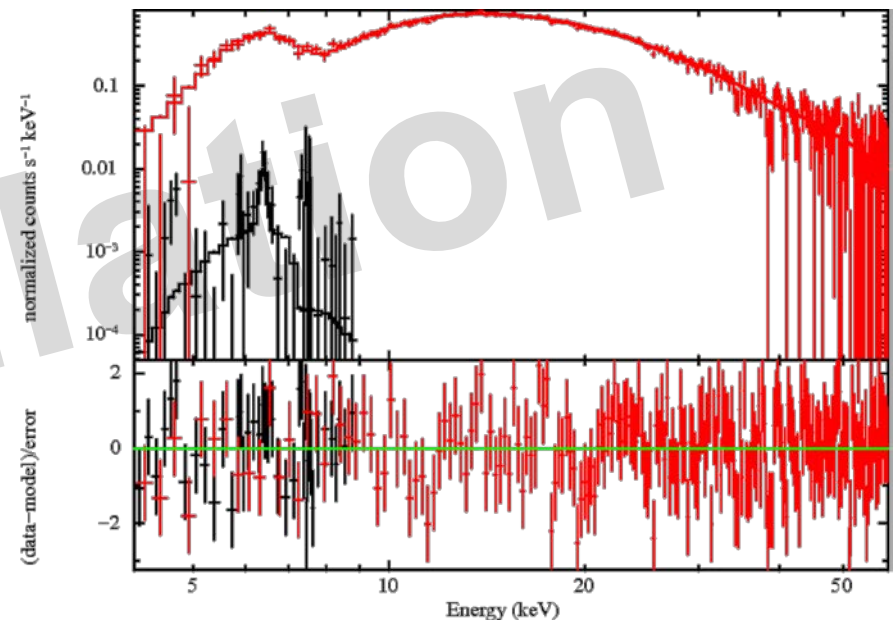
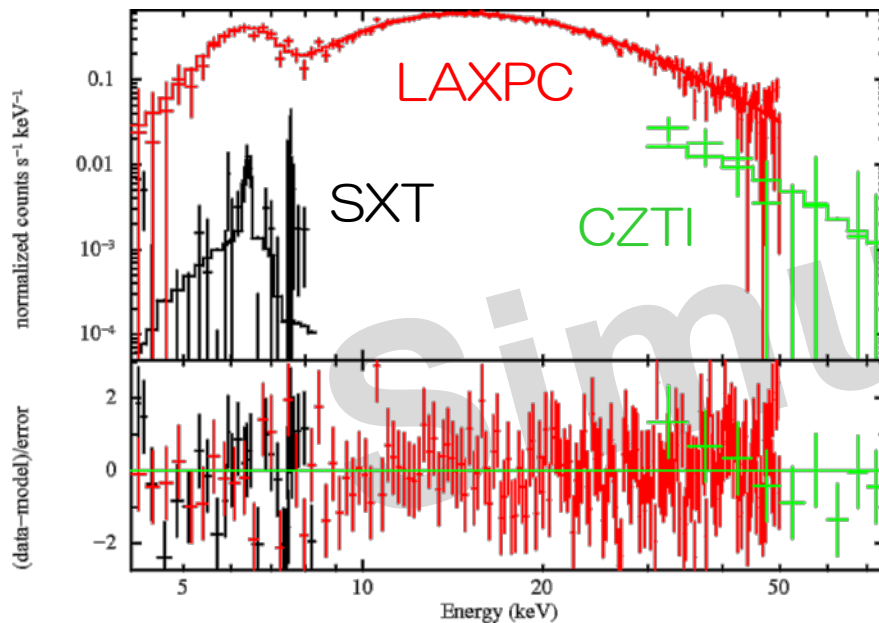
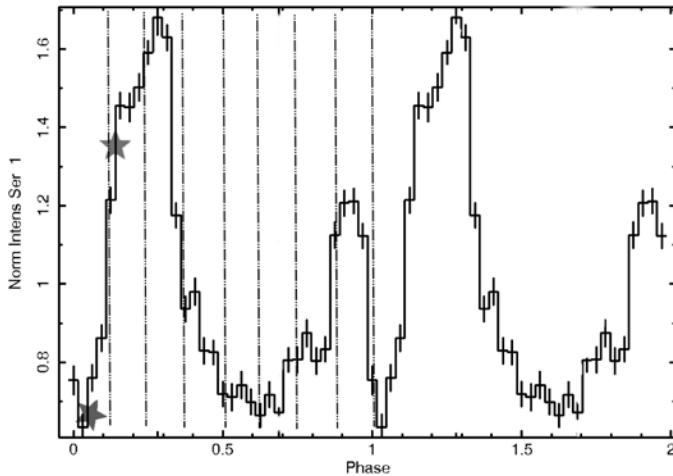
Orbital period of ~ 80 d is now firmly confirmed by 11 yr Swift/BAT lightcurves.



Recent observations only covers relatively low intensity phase of the period.

ASTROSAT observations

8 observations with 10d intervals have been carried out during AO3 of ASTROSAT.



We will monitor N_H , Fe K α line as a function of orbital phase.

まとめ

- “classical” sg HMXB の中でも最も吸収の強い IGR J16318-4848 を「ひとみ」衛星で観測
- SXS のエネルギー分解能、SXI/HXI の広帯域スペクトルにより、吸収物質の電離度 (Fe I ~ Fe IV) と分布に対して初めて制限を与えた
- SXS による Fe K α 輝線幅測定から、reprocessor の速度分布を 160^{+300}_{-74} km/s と制限。特定の orbital phase? 伴星表面付近?
- 「ひとみ」代替機による HMXBs の蛍光X線プロファイルの精密分光で、パルサー降着流のさらなる理解が期待される