

# **XRISM衛星による初期成果と 光赤外線望遠鏡との協調観測**

**2024年12月10日**

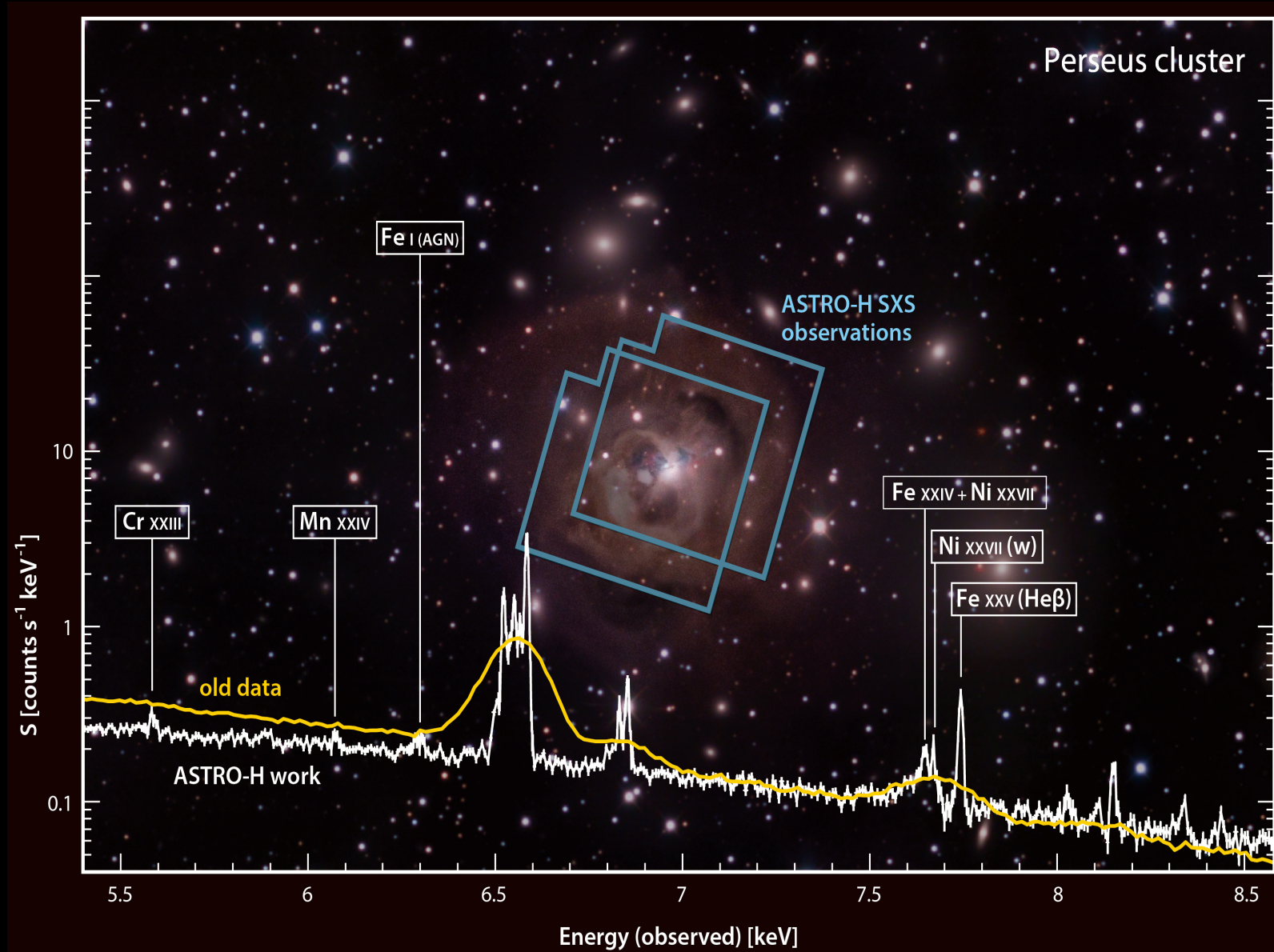
**東北大学 天文学教室**

**野田 博文**



# X線天文衛星「ひとみ」で実現された精密X線分光

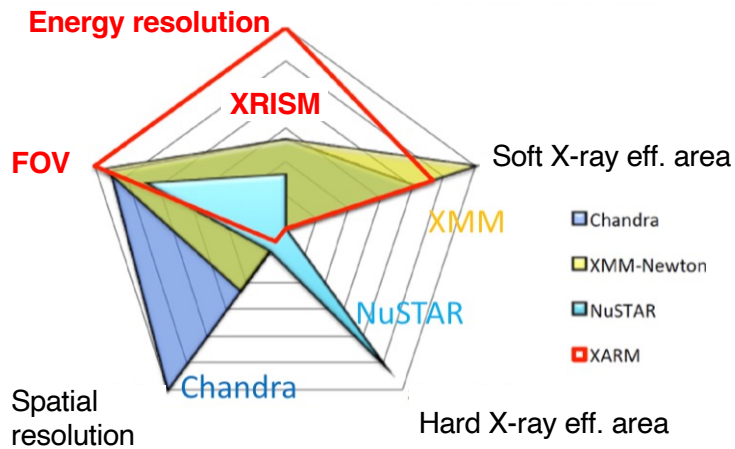
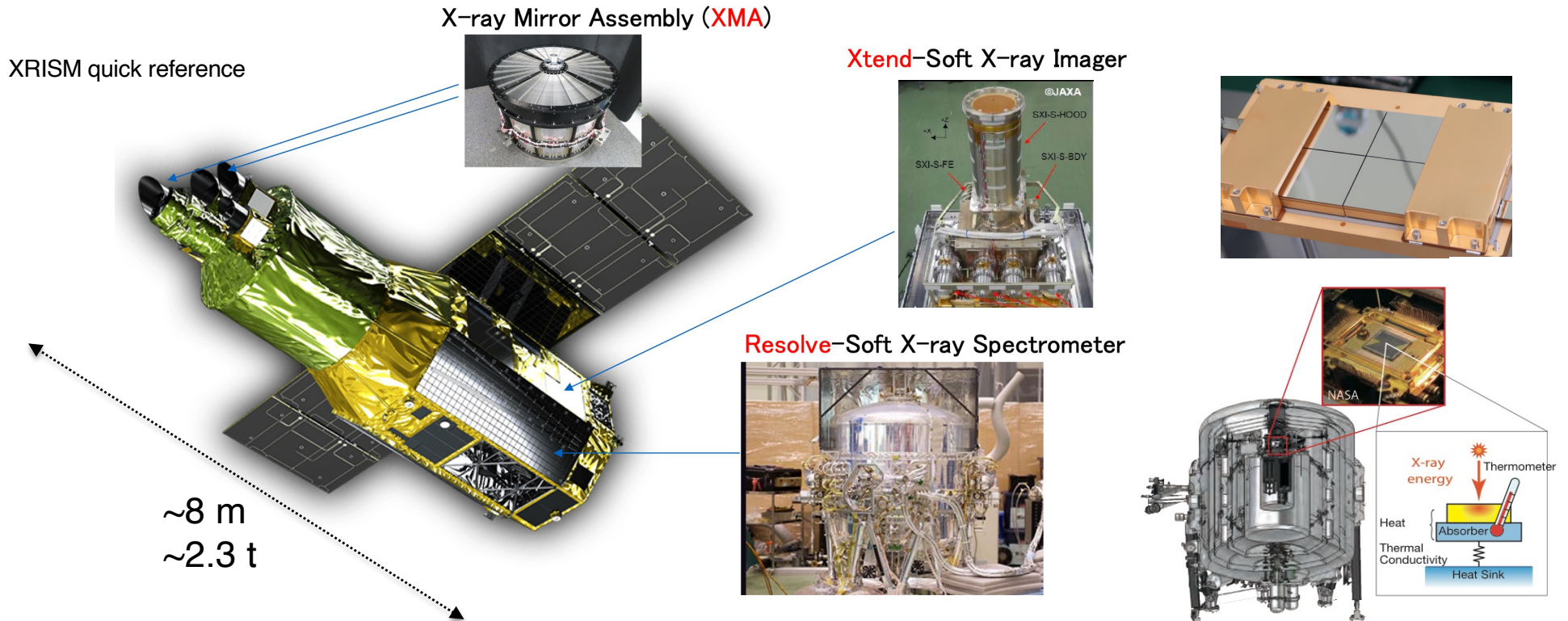
Hitomi collaboration (2016, 2018), Credit: JAXA/Ken Crawford (Rancho Del Sol Observatory)



しかし、打上から約一ヶ月後に姿勢系のトラブル。運用終了となった...

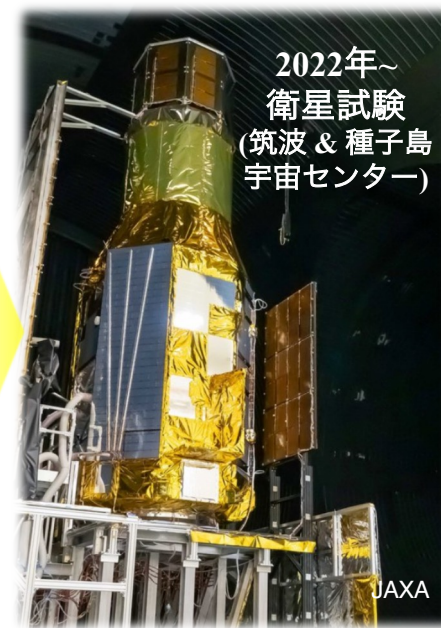
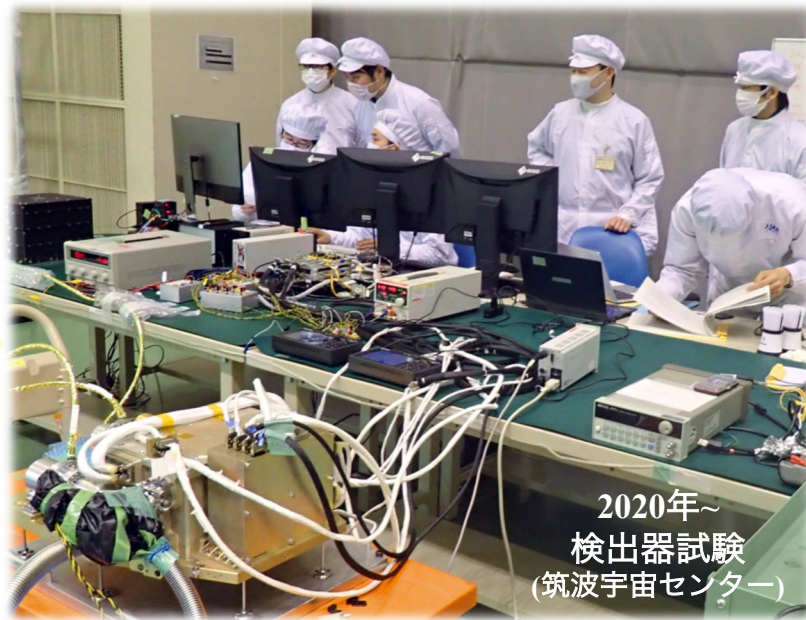
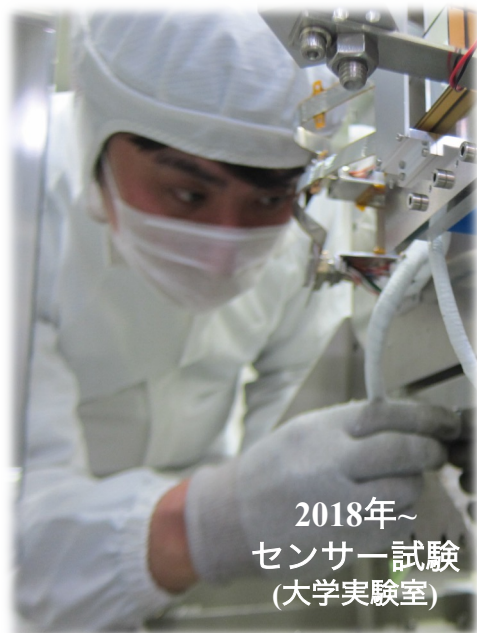
# X線天文衛星XRISM

2016年2月17日に打ち上げられ、~1ヶ月で運用できなくなった「ひとみ」(ASTRO-H)のリカバリーミッション



Instrument	FOV/pix	$\Delta E$ (FWHM at 6 keV)	$E$ band
Resolve (X線ミラーアセンブリ + X線マイクロカロリメータ)	2.9' $\square$ / 6 $\times$ 6 pix	7 eV (goal 5 eV)	0.3–12 keV
Xtend (X線ミラーアセンブリ + X線CCDカメラ)	38' $\square$ / 1280 $\times$ 12 80 pix	< 200 eV (BOL)	0.4–13 keV

# XRISMの開発

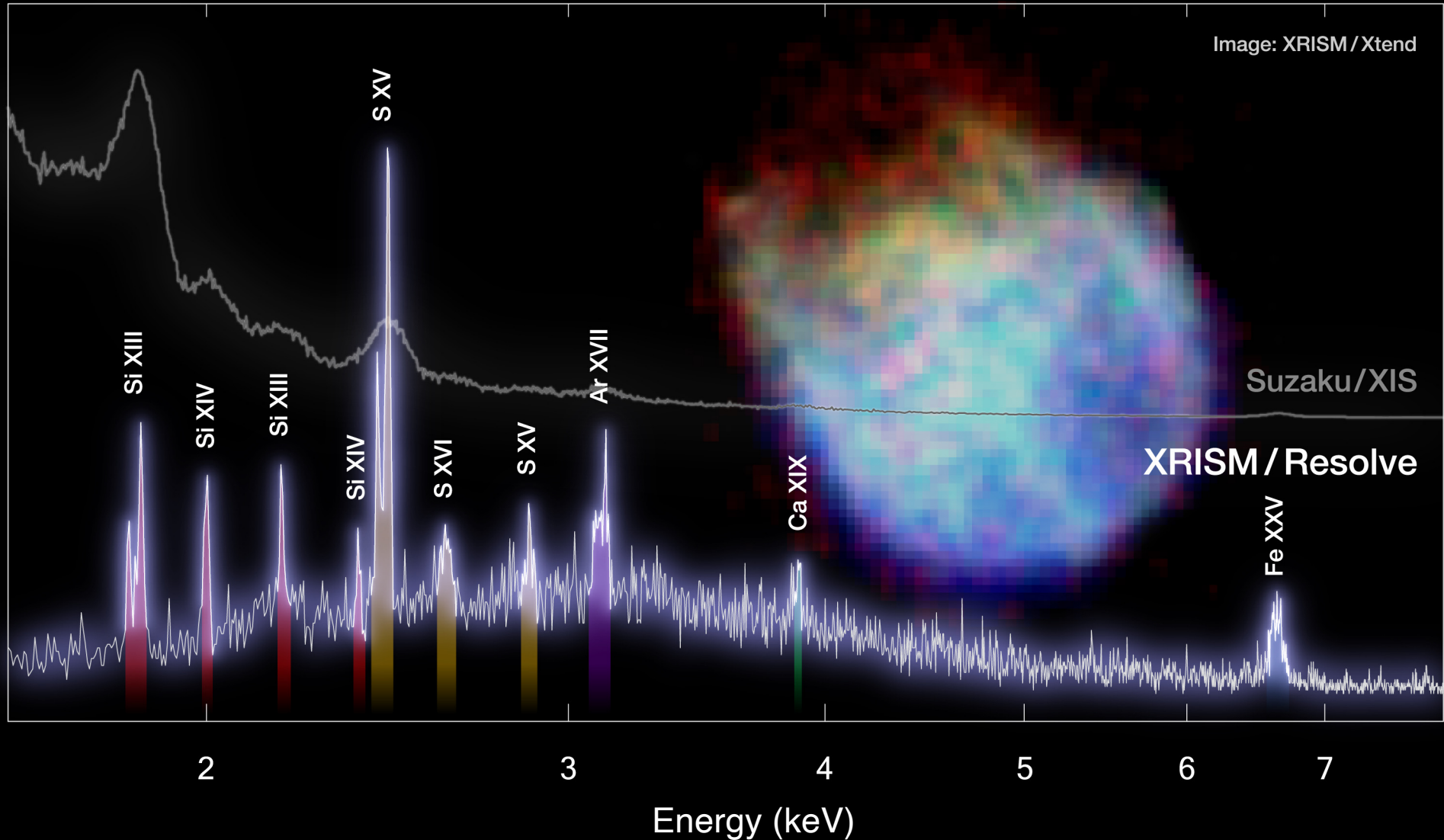


Year	Month	Phase
2023	9	Commissioning
	10	
	11	
	12	
2024	1	Performance Verification (PV期)
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
	8	
	9	Guest Observation (call per 1 year)

# Commissioning & PV期に 得られた初期観測 結果の紹介



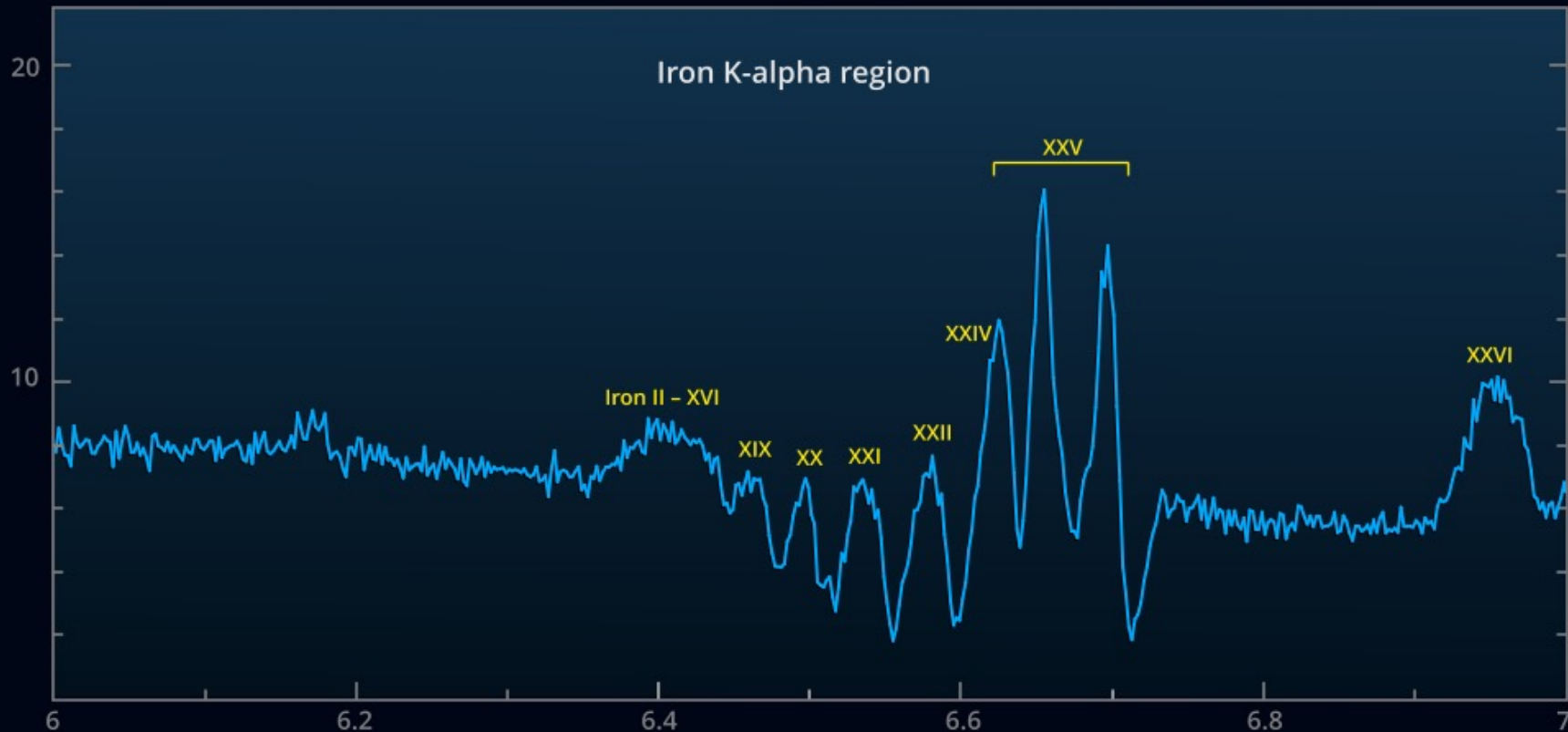
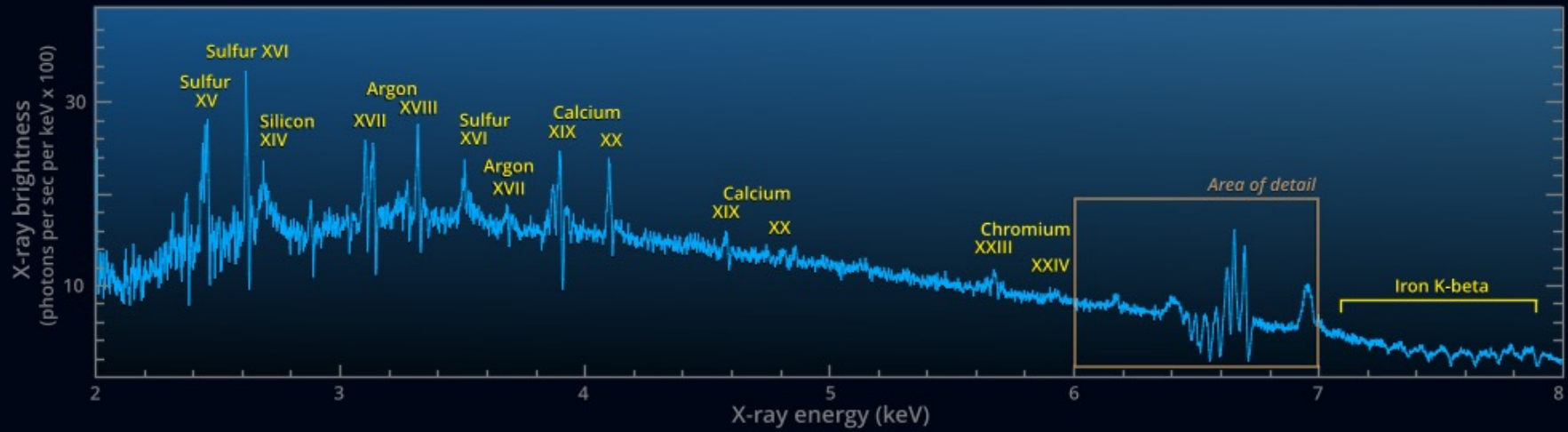
# X-ray Spectrum of Supernova Remnant N132D Measured by **XRISM Resolve**



(credit) JAXA

XRISM collaboration (2024), PASJ, in press

# XRISM Resolve Spectrum of Cygnus X-3

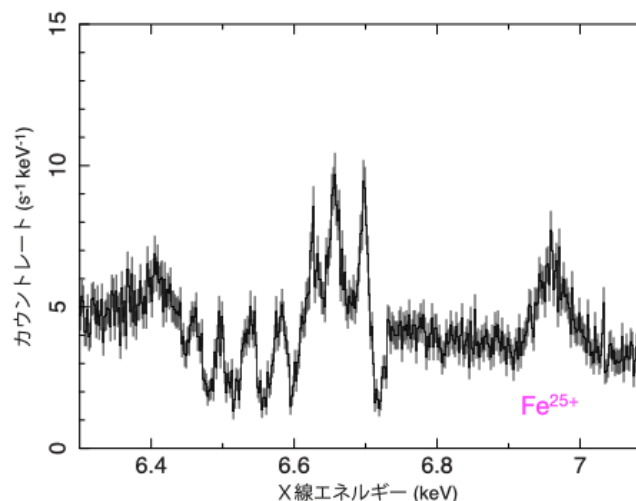
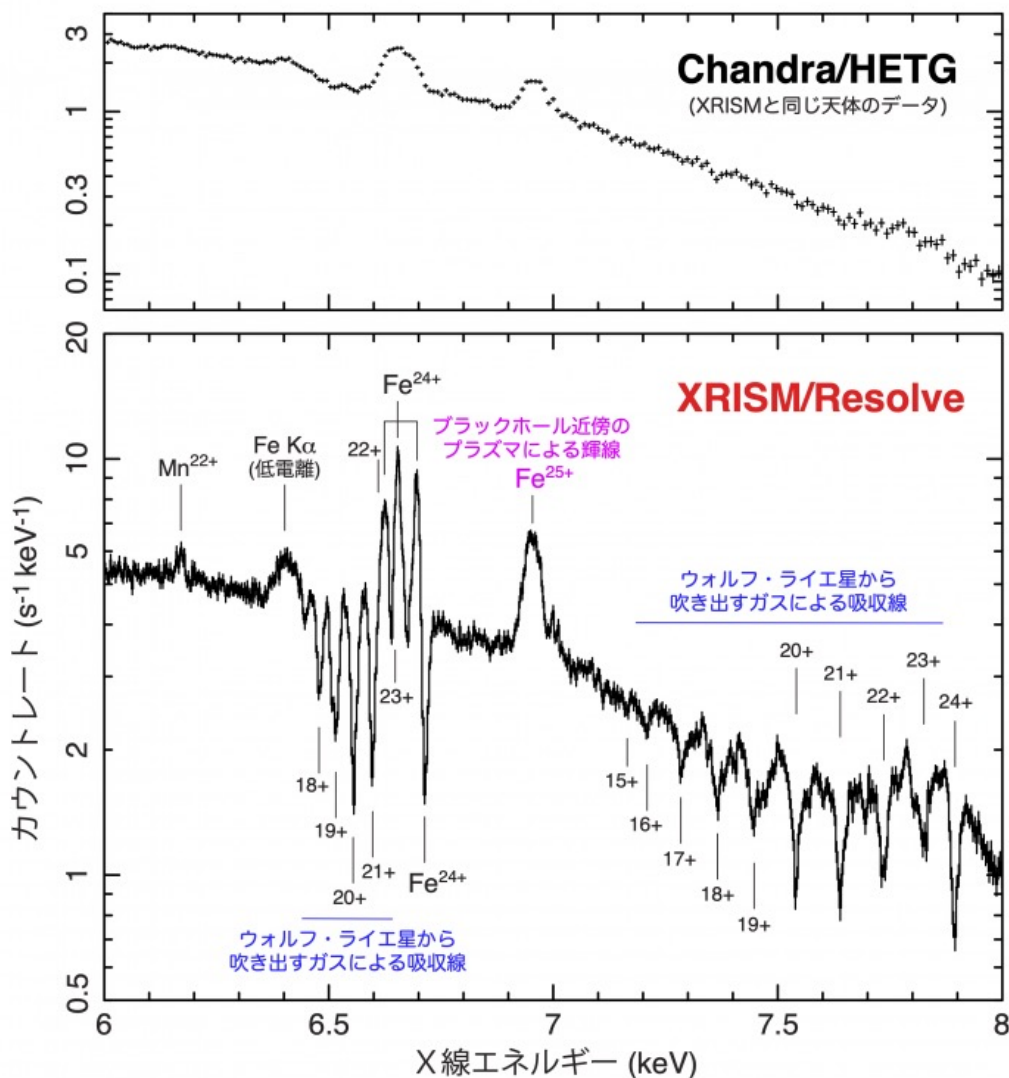


(credit) NASA/JAXA

XRISM collaboration (2024), ApJ, in press

# 大質量X線連星 Cygnus X-3

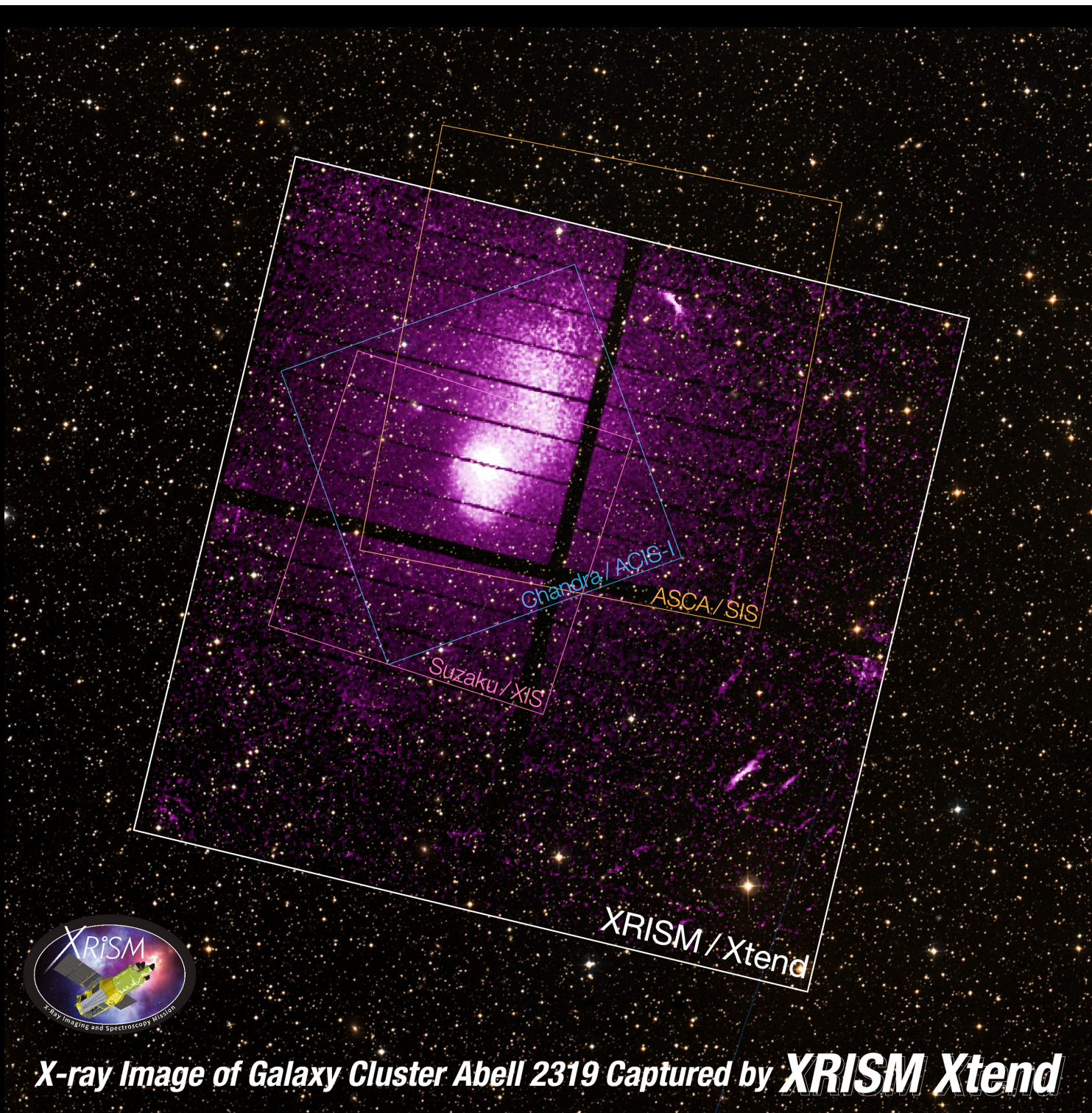
(credit) JAXA



- ☆ 伴星 (Wolf-Tayet) の星風による高階電離の Fe 輝線・吸収線を精密に分解
- ☆ BH 近傍のプラズマによる Fe XXV の軌道位相変化を捉えることに成功

➔ 速度・密度変化から構造へ

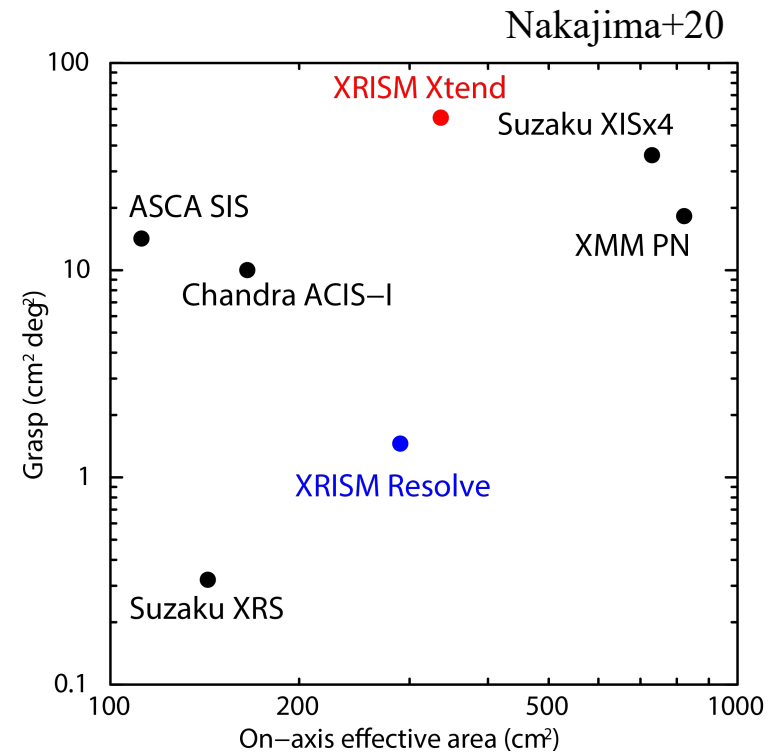
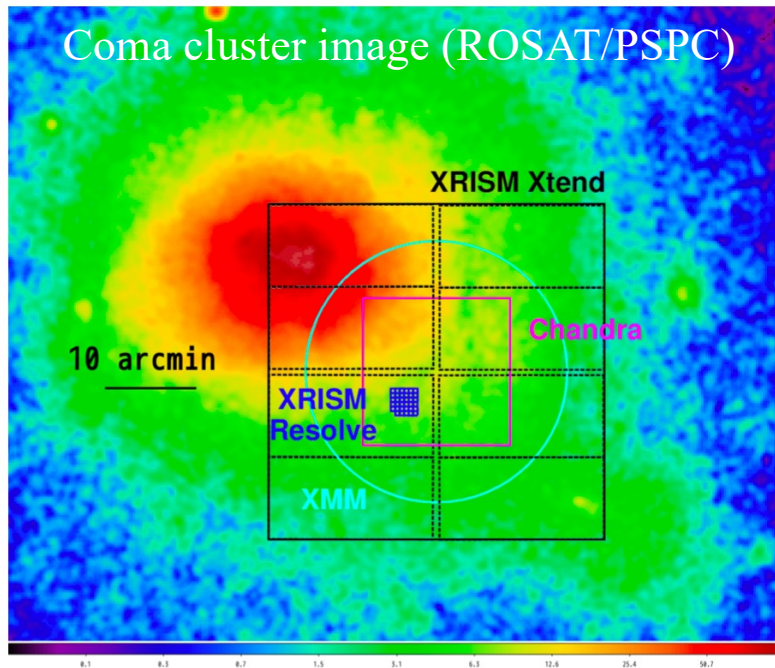




(credit) JAXA

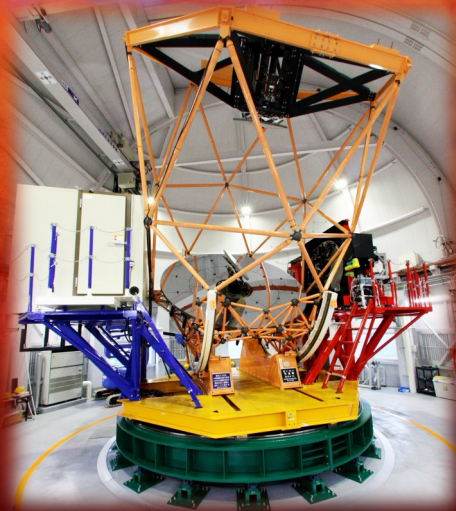
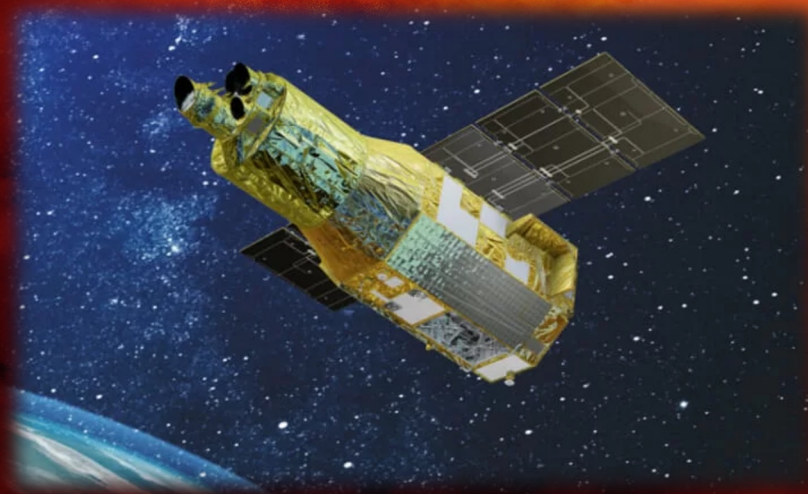
*X-ray Image of Galaxy Cluster Abell 2319 Captured by **XRISM Xtend***

# Xtend Transient Search



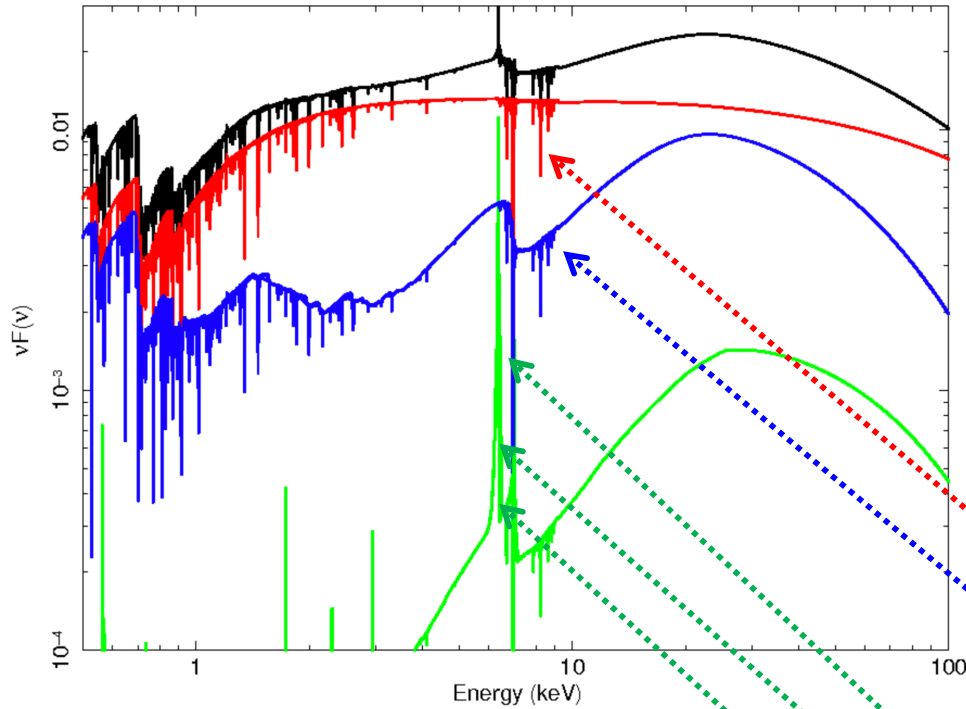
- ☆ Xtend (X線CCDカメラ) は大きな grasp (= 有効面積 × FOV)。Xtend Transient Search (XTS) チームが ATEL にアラートを出す体制を確立
- ☆ Xtend FOV で MAXI より ~3桁高い感度 (CCDフレーム時間は4秒。1回のポインティングは一日以上継続することが多い)
- ☆ 「すざく」の結果から、一年あたり~10個のX線突発天体が期待  
→ 光赤外線望遠鏡とのシナジー、時間軸・MM天文学に貢献

# XRISM & 光赤外線望遠鏡の協調観測による AGN 広輝線領域・ダストトーラスの研究



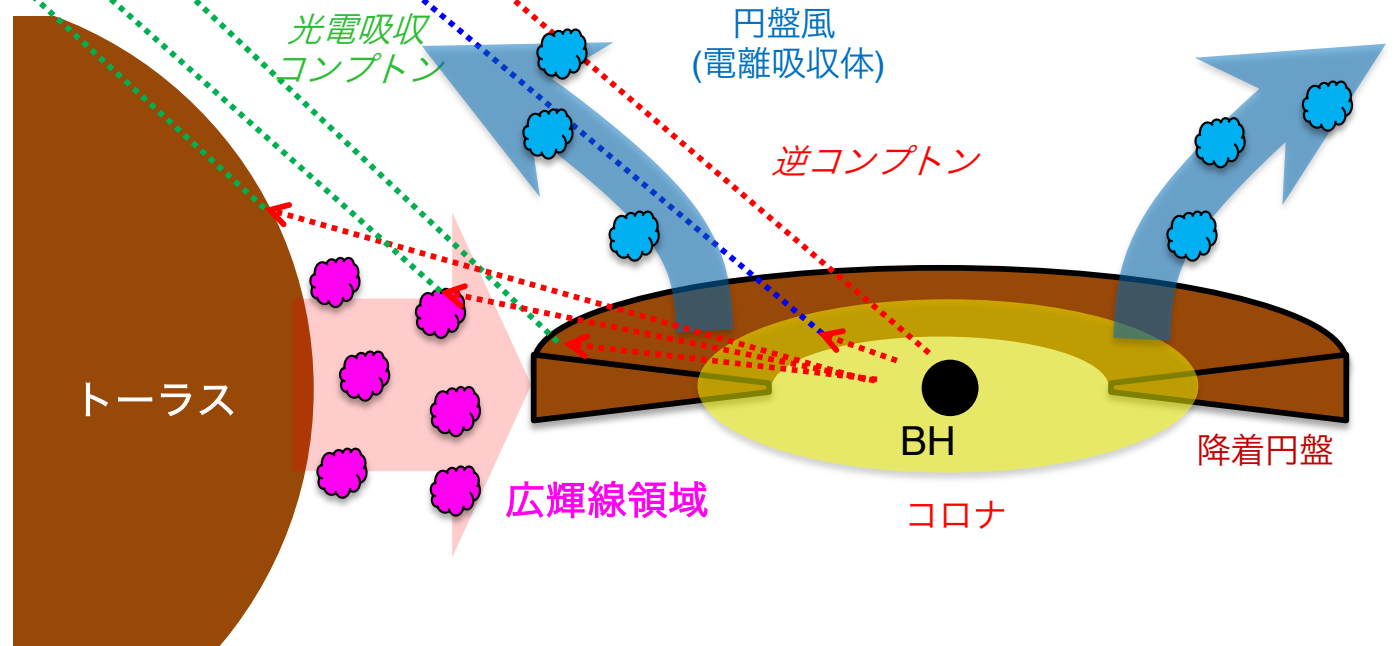
# AGN の X線スペクトル構成成分

AGN の X線スペクトルの例 (Reynolds 15)



- ☆ 連続X線はブラックホール (BH) 近傍のコロナによる逆コンプトン散乱過程で生じる
  - ☆ 連続X線は周囲の降着円盤 (AGNならば広輝線領域、ダストトーラス) などの物質で光電吸収・コンプトン散乱
- 物理状態を反映した輝線・吸収線

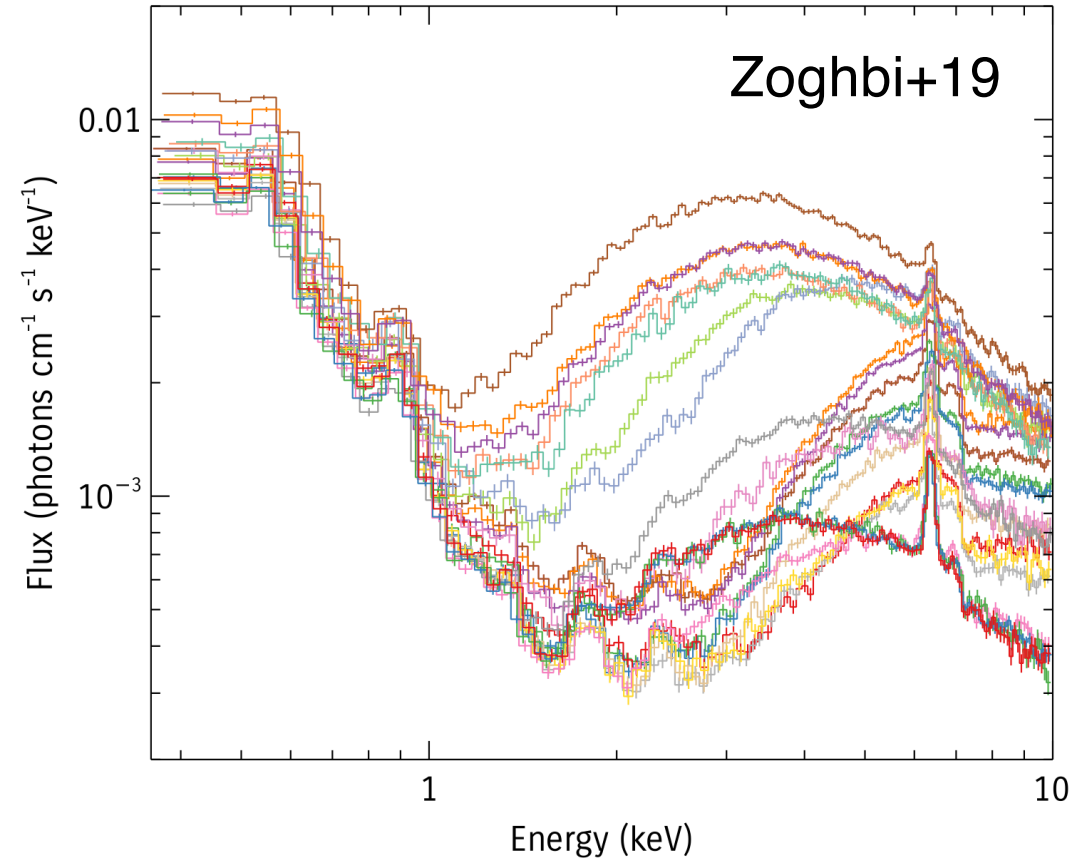
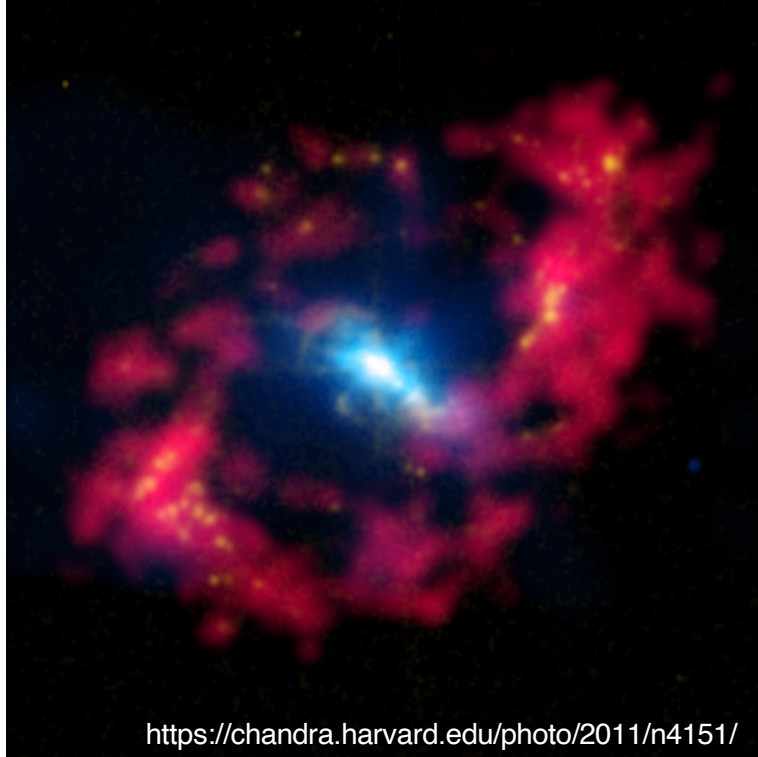
## AGNにおけるBH近傍の描像



XRISMは 2 keV以上のラインの研究に最適

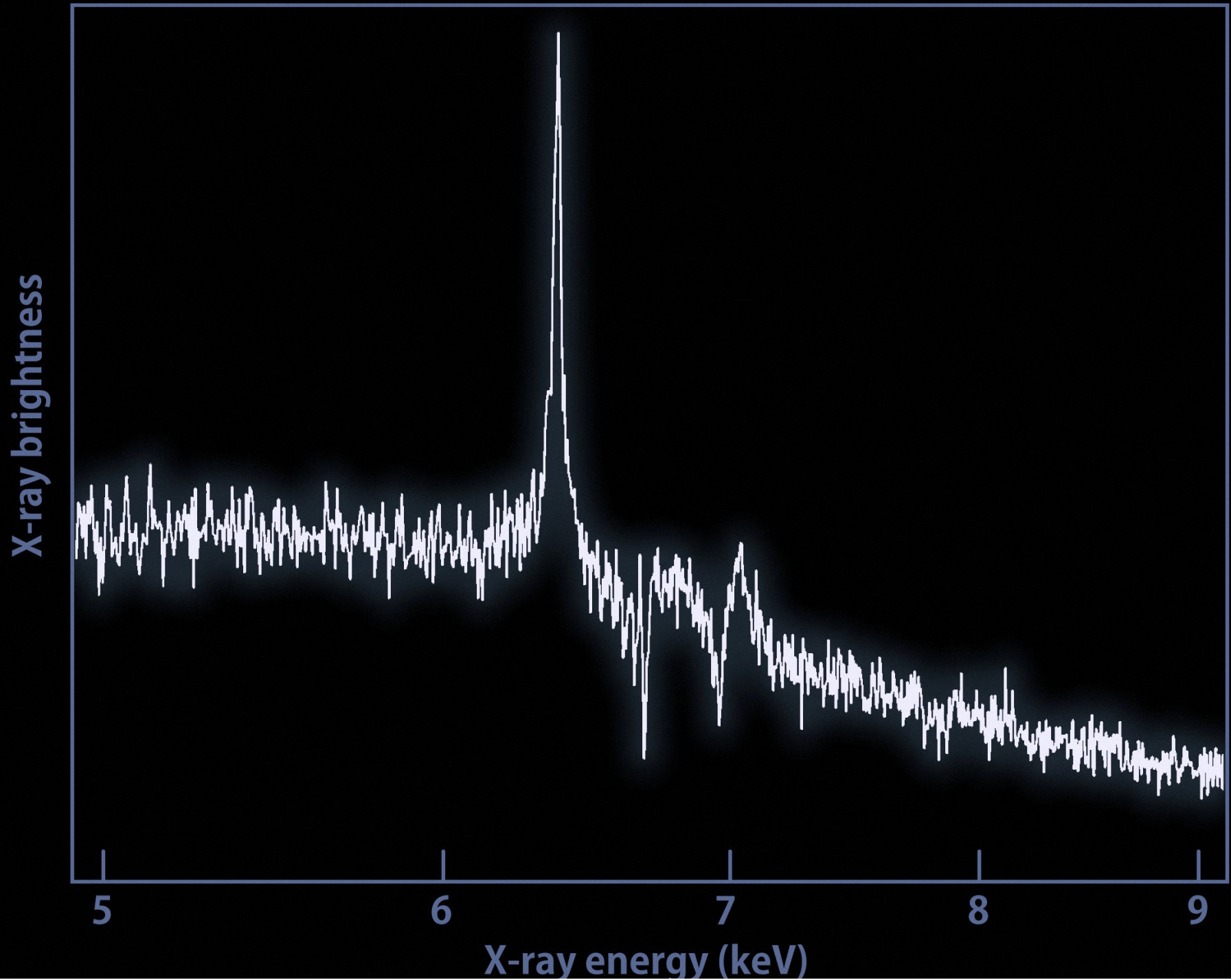
- 中性 (に近い) 物質によるFe-K $\alpha$ 輝線
- 電離された物質による Fe XXV & XXVI 輝線・吸収線

# 明るいAGN NGC 4151



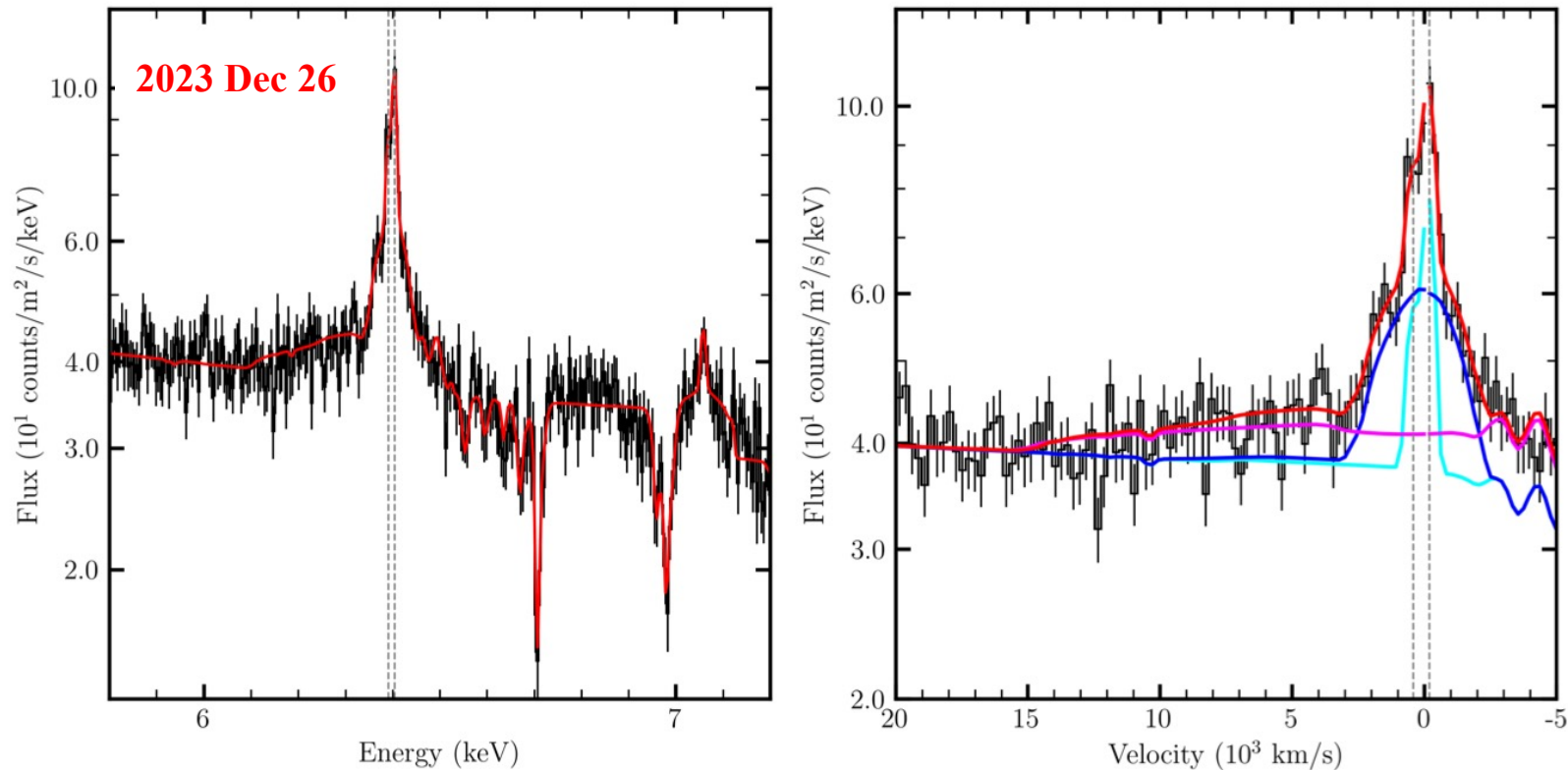
- ☆ 近傍の1.5型セイファート ( $D = 15.8 \text{ Mpc}$ ,  $z = 0.0033$ )
- ☆ ブラックホール質量  $M_{\text{BH}} \sim 3.3 \times 10^7 M_{\odot}$  (Bentz+15)
- ☆ X線で明るく軟X線で高い変動性、6.4 keV の Fe-K $\alpha$  輝線も強い

# XRISM Resolve Spectrum of NGC 4151



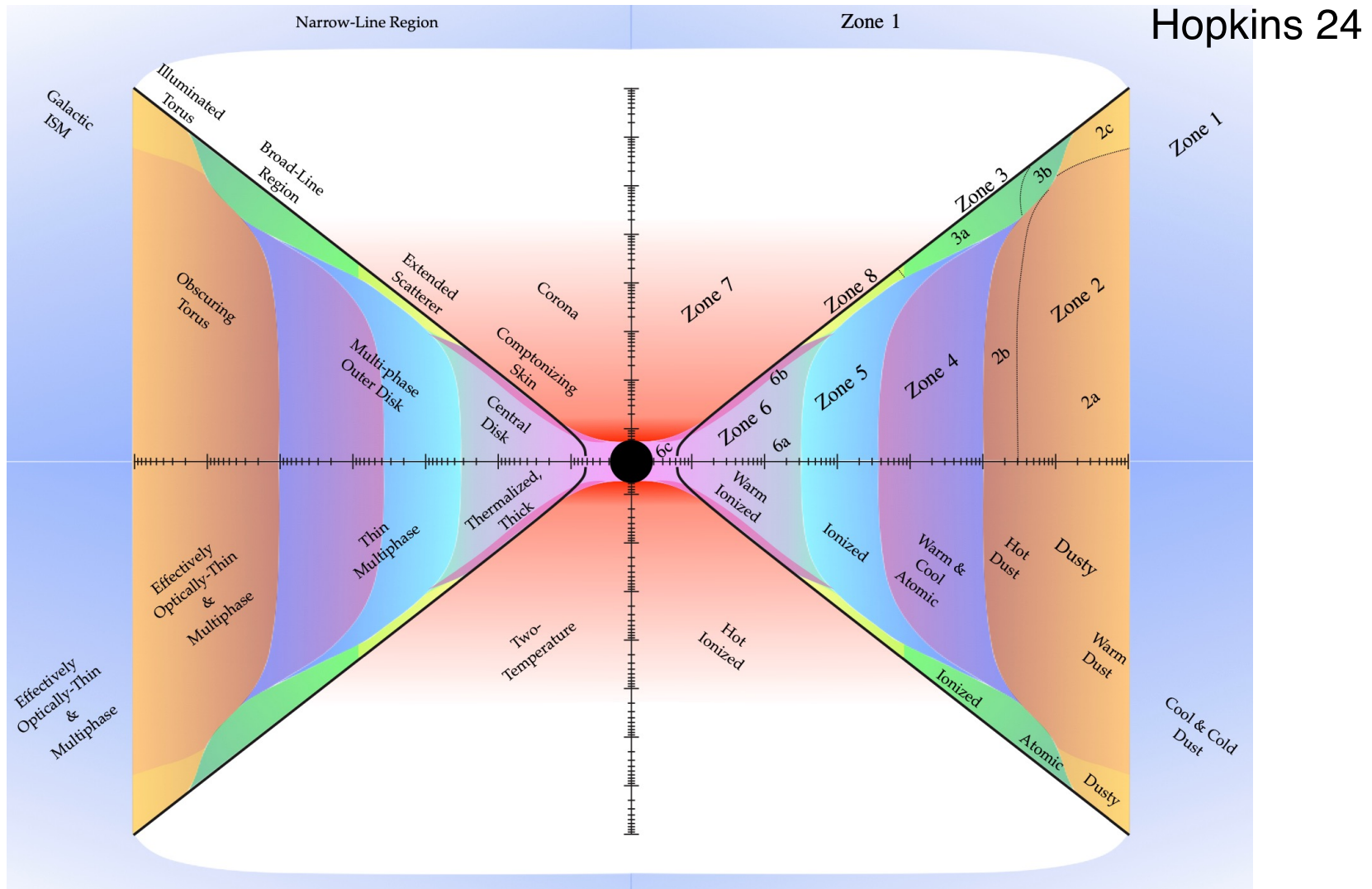
# Resolveスペクトル解析の結果

XRISM Collaboration 24



- ☆ 細かい Fe-K $\alpha$ , K $\beta$  輝線や Fe XXV/XXVI 吸収線を有意に検出
- ☆ 細かい Fe-K $\alpha$  は初めて、少なくとも3成分から構成されることが判明
  - **Broad** → 降着円盤? (~ 100 R<sub>g</sub>)
  - **Intermediate** → 広輝線領域 (~3000 R<sub>g</sub>)
  - **narrow** → ダストトールラス (~10000 R<sub>g</sub>)

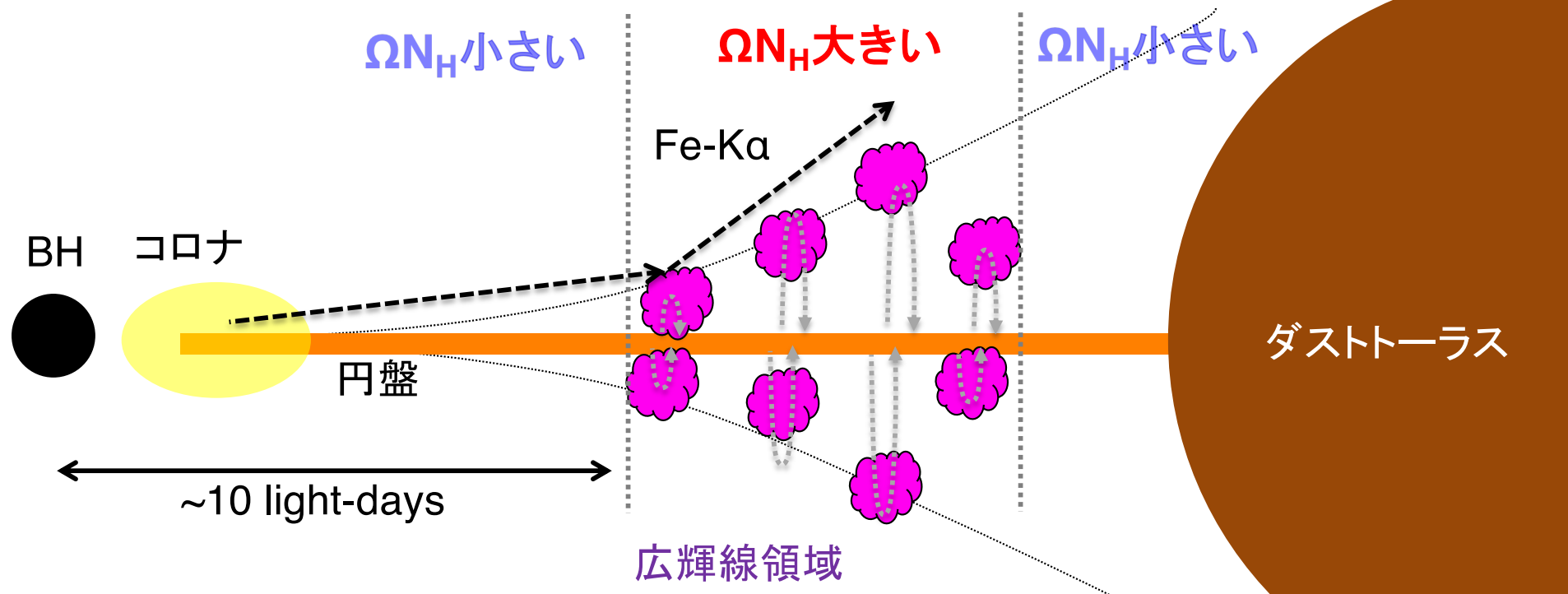
# 連続的な物質分布では説明不可



トーラスから BH 近傍まで連続的に物質が分布し、電離状態が変化すると解釈するモデルも → Fe-K $\alpha$  が分かれることと不整合



# 広輝線領域の分布と形成メカニズム



☆ Fe-Kα より、広輝線領域の内縁 & 外縁が存在 → 何が境界を決める？

☆ 内縁部は Fe-Kα 速度幅 ~ 5000 km/s (FWHM) →  $R \sim 1 \times 10^{16}$  cm

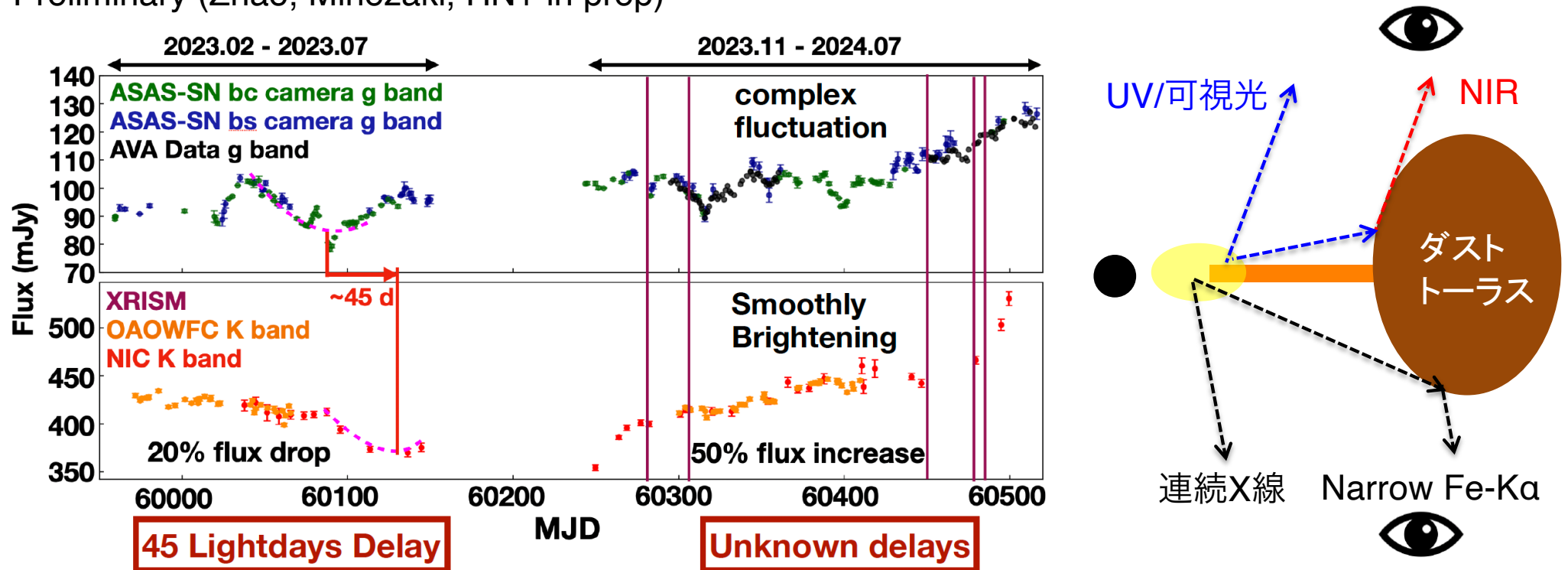
$$\begin{array}{ccc} \text{円盤温度} & & \text{光度} \\ \sigma T^4 = \frac{3GM\dot{M}}{8\pi R^3} & \& & L = \frac{GM\dot{M}}{2R_{\text{in}}} \end{array} \rightarrow T = \left( \frac{3LR_{\text{in}}}{4\pi R^3 \sigma} \right)^{\frac{1}{4}} \sim 1000 \text{ K } (\sim T_{\text{dust}})$$

☆ 広輝線領域の内縁半径は、円盤におけるダスト昇華半径に対応

→ 広輝線領域は dusty disk wind 起源? (Czerny & Hryniewicz 2011)

# ダスト反響とFe-K $\alpha$ 分光の比較で迫るトーラス構造

Preliminary (Zhao, Minezaki, HN+ in prep)



☆ NIR の UV/可視光に対する遅延はダスト昇華半径 ~ トーラス内縁半径  
OAOWFC や Nayuta/NIC で NIR をモニタ観測 → NIR 遅延 ~ 45日

☆ 内縁で期待される Fe-K $\alpha$  速度幅 ~1700 km/s > 観測値 ~600 km/s (FWHM)  
→ Fe-K $\alpha$  放射源はトーラス内縁部ではない? 現在、構造を議論中

# まとめ

- ☆ 2023年9月7日にX線天文衛星 XRISM の打ち上げに成功。精密X線分光を軌道上で実現。
- ☆ Commissioning & Performance verification 期間に超新星残骸、X線連星、銀河団、そして活動銀河核など様々な天体の観測に成功。現在 Guest Observationが進む。
- ☆ 活動銀河核 NGC 4151 では、XRISM と Seimei/KOOLS-IFU、Nayuta/MALLS etc で多波長同時観測。広輝線領域とトーラスの構造や起源について、これまでにない理解。
- ☆ Xtend によるX線突発天体探査や活動銀河核の長期モニタ etc で、XRISM と (中小口径) 光赤外線望遠鏡による大きなシナジーに期待。