

次期宇宙X線天文衛星ASTRO-H

JAXA宇宙科学研究所(ISAS)

高橋忠幸、満田和久

NASA/GSFC

Rich Kelley

他ASTRO-H チーム

2013/Jan



X線で探る宇宙 (X線天文発祥50年, ちなみに宇宙線は100年)



宇宙望遠鏡を用いたX線観測は、人類が予想もしていなかった、宇宙が数千万度、数億度という超高温の現象の宝庫であることをあきらかにした。そして、宇宙が静的なものではなく、動的な、ダイナミックなものであることを明らかにして、人類の宇宙観を変えたといえる。



◆100万度から1億度の高温ガス

◆超新星残骸

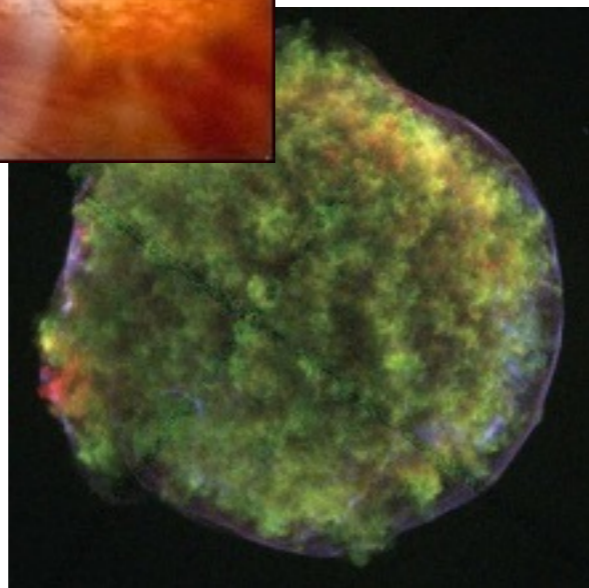
◆ブラックホールや中性子星に落ち込む物質

◆星のコロナ

◆磁場中で加速された電子からの放射 ($\sim 10^{12} - 10^{14}$ Gauss)



中性子星



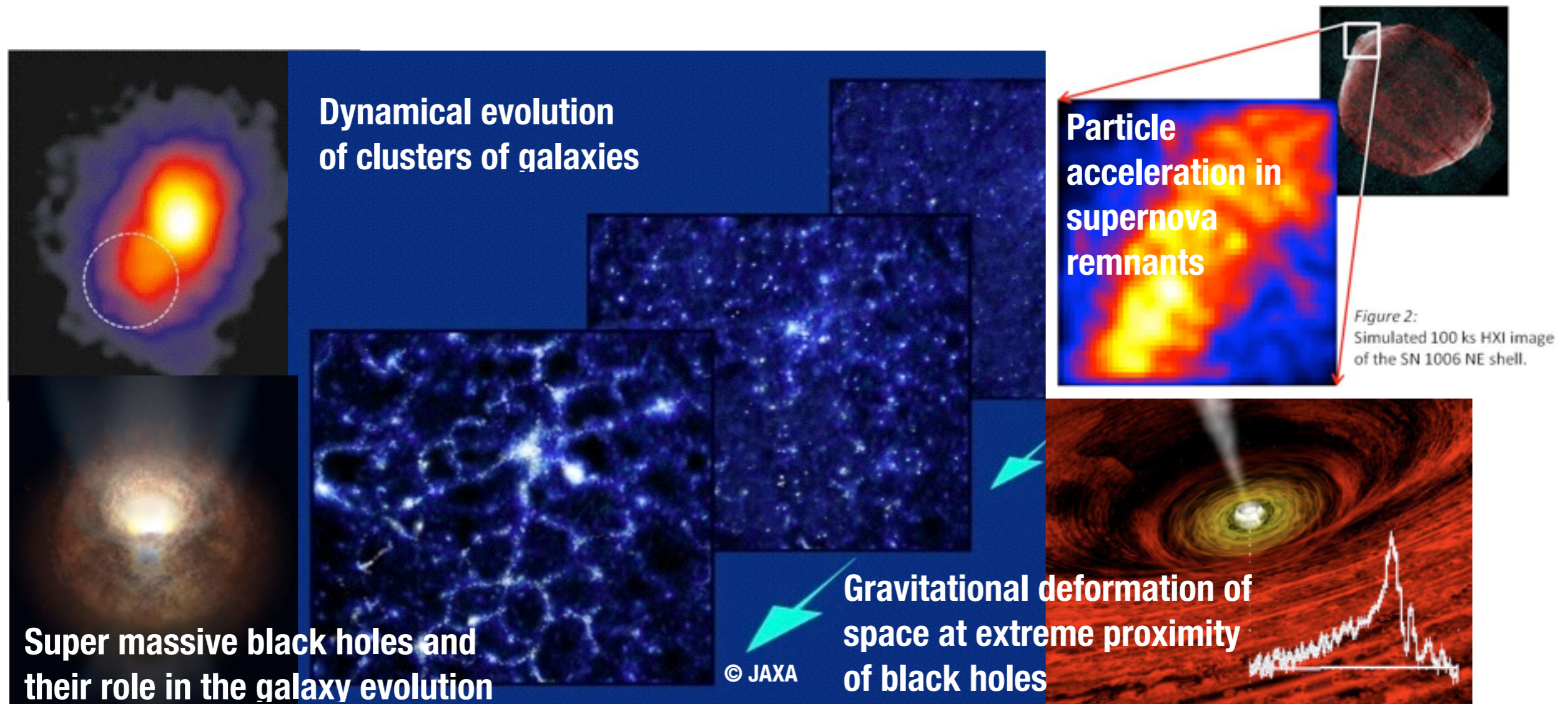
宇宙で我々が観測できる物質の80パーセントはX線でしか観測できない高温状態にあるとされている

(Fukugita & Peebles 2004, Read & Trentham 2005)。

宇宙の全貌を知る上で、X線観測は地上からの光学・電波観測などと並び不可欠の手段である。

硬X線は最も透過力の高い電磁波であり、塵やガスに隠されたブラックホールなど、これまで手の届かなかった未知の天体を探ることもできる。ASTRO-Hの観測により、X線天文学が飛躍的に発展し、宇宙物理学に大きなインパクトを与えることができる。

- 1) 高分解能のX線分光により、高温ガスの運動を100 km/sの精度で捉え、超新星・ブラックホール・銀河団の衝撃波・ジェットなどのガスの運動を測定する。
- 2) 10-80keVでの高精度の撮像分光、0.3-600 keVでの広帯域スペクトル観測を新たに行い、天体からのエネルギー解放過程を包括的に調べる。



次期X線天文衛星ASTRO-H

ブラックホールの周囲や星が爆発したあとに残る高温プラズマ、銀河団を満たす膨大な量の高温ガスなどから放出される「X線」および「ガンマ線」を過去最高感度で測定し、高エネルギー現象に満ちた宇宙の構造やその進化を探る。

ASTRO-H Member Agencies and Countries

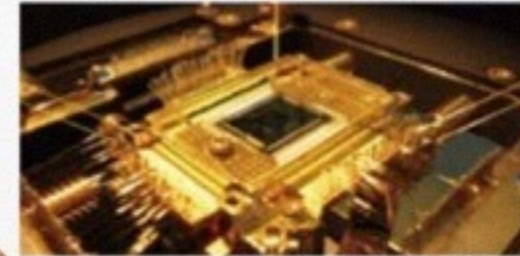


世界最先端の観測装置たち

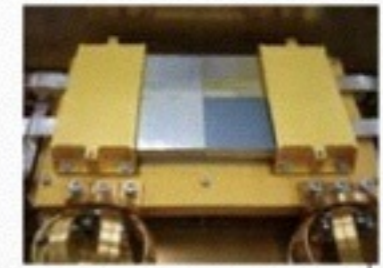


望遠鏡開口部の拡大写真
X線反射望遠鏡 (SXT/HXT)
天体からのX線を、観測装置に集める装置。可視光の望遠鏡でよく利用されるレンズや鏡とは異なり、X線を反射するアルミ板を同心円状に1000枚以上並べた構造をしています。

軟X線分光検出器 (SXS)
特殊な検出素子を、何台もの冷凍機をつかって絶対零度(摂氏-273度!)近くまで冷却し、その素子にX線があたったときの温度上昇を計測することで、入射したX線のエネルギーをこれまでにない高い精度で測定します。世界中の研究者が期待をよせる、ASTRO-Hの目玉の観測装置です。



検出素子の中心部(NASA/GSFC提供)



軟X線撮像検出器 (SXI)
大型のX線CCDを4個並べた、広視野のX線カメラ。0.5キロ電子ボルトから12キロ電子ボルトのエネルギーのX線帯域で、天体のX線撮像と分光観測を同時に行います。衛星本体内部に設置されます。



軟ガンマ線検出器 (SGD)
半導体検出器を積層して感度を高めたガンマ線分光装置。密度の濃いガスで覆われた天体などで、X線よりも透過性の高いガンマ線で天体の性質を調べる時などに活躍します。



硬X線撮像検出器 (HXI)
シリコン半導体とテルル化カドミウム半導体を用いて、5キロ電子ボルト以上の「硬X線」と呼ばれる光を検出して天体のイメージを撮影。硬X線望遠鏡の焦点距離が1.2mもあるため、HXIは軌道上で伸びるブーム(腕)の先に設置されます。

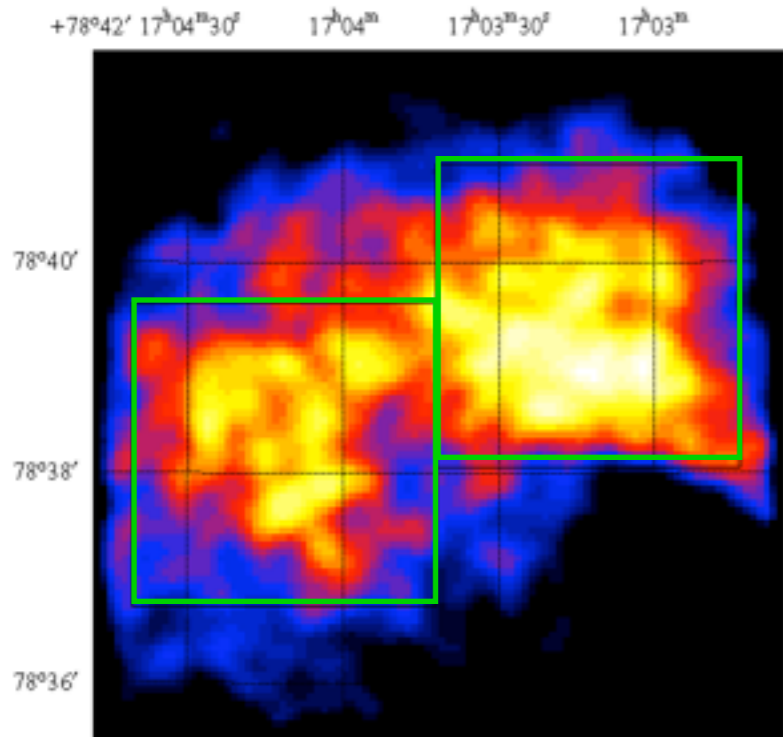
超広角
コンプトンカメラの
要素技術

重量 約 2.7 トン
全長 14 メートル

ASTRO-H Science : 衝突する銀河団

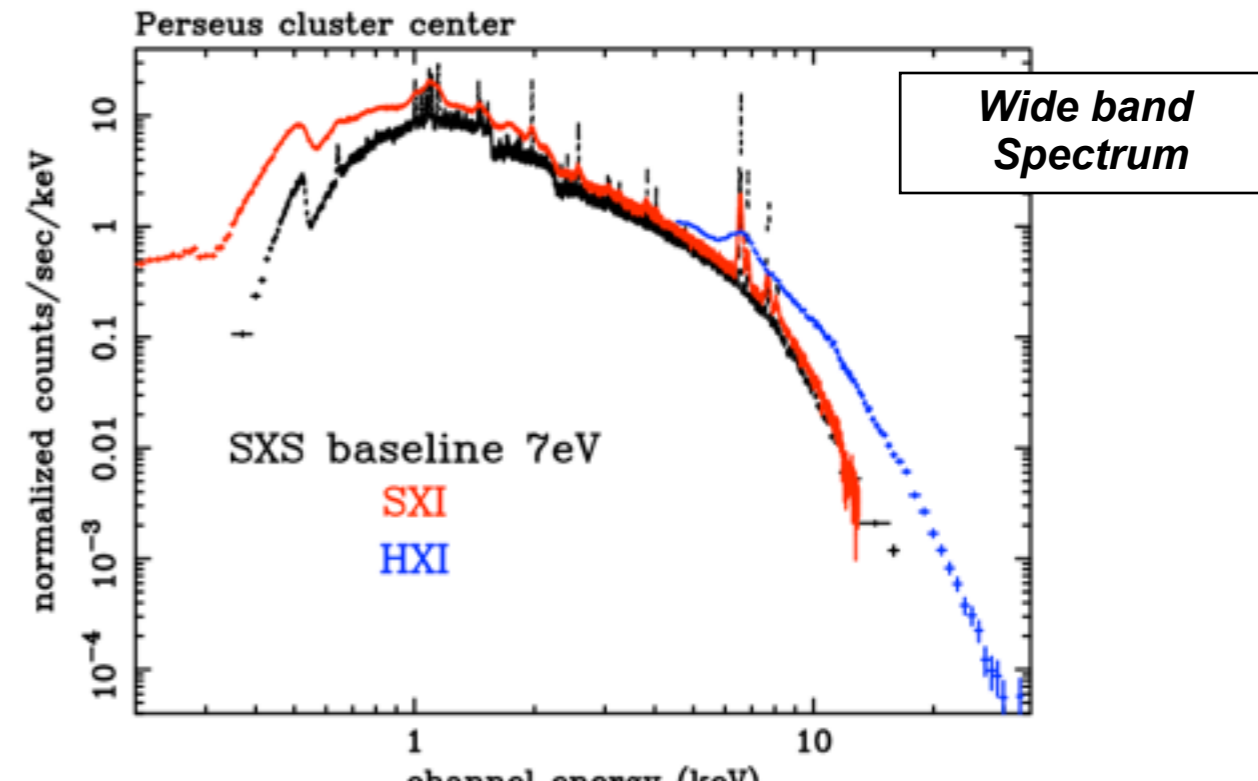
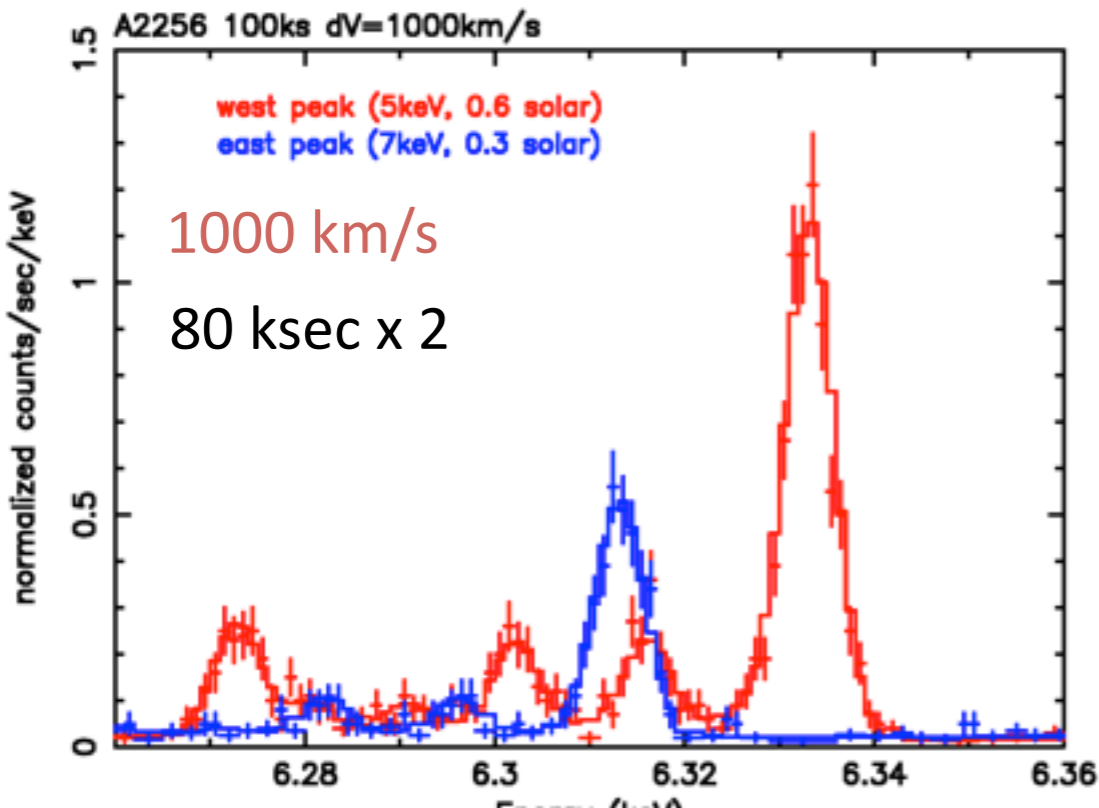
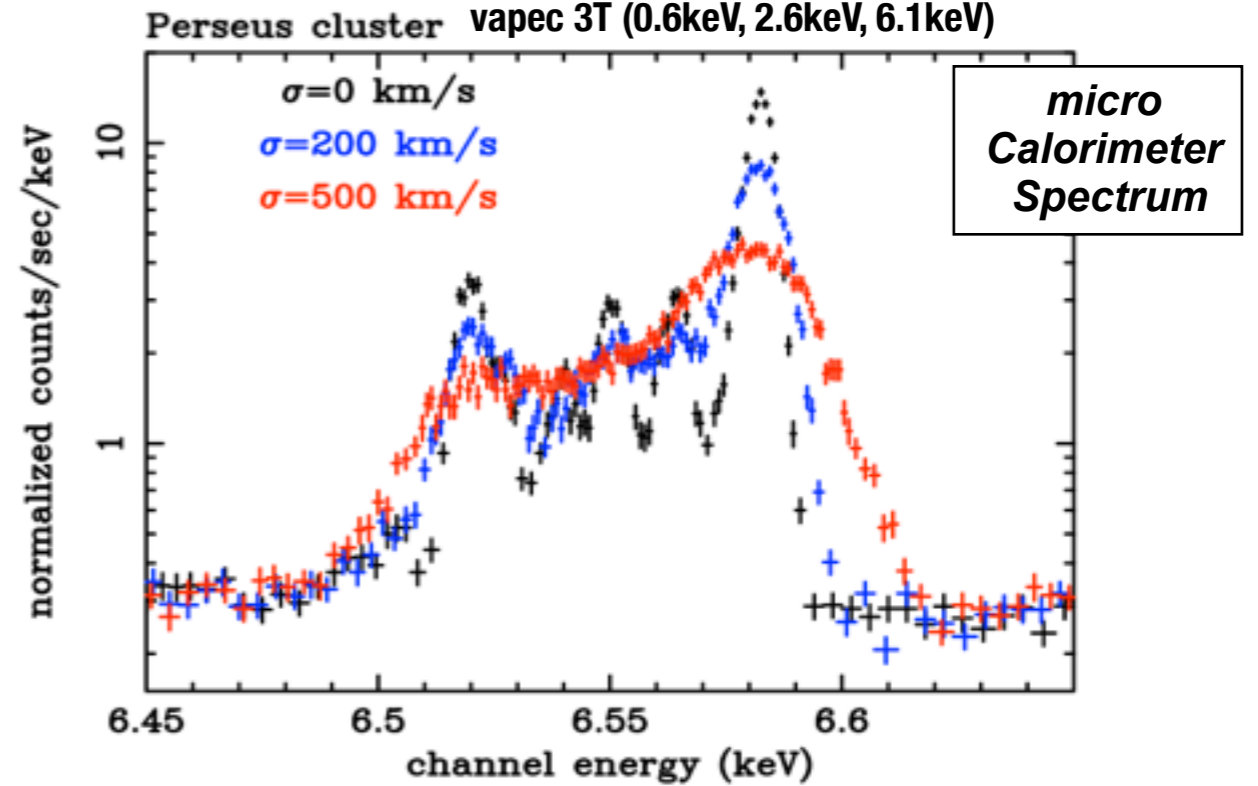


最近の宇宙X線望遠鏡は、銀河団という 10^{64} erg もの巨大エネルギーをもつ「超高温プラズマ球」が衝突と合体を繰り返し、より巨大な銀河団に進化するダイナミックな姿を明らかにしつつある。



A2256
($z = 0.058$)

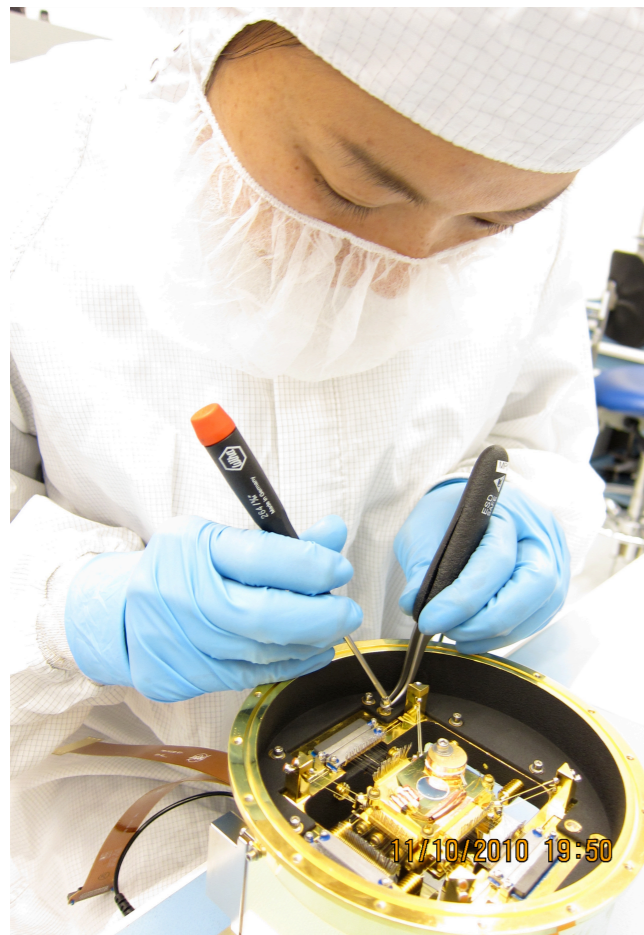
Perseus cluster ($r < 2'$, 100ks)



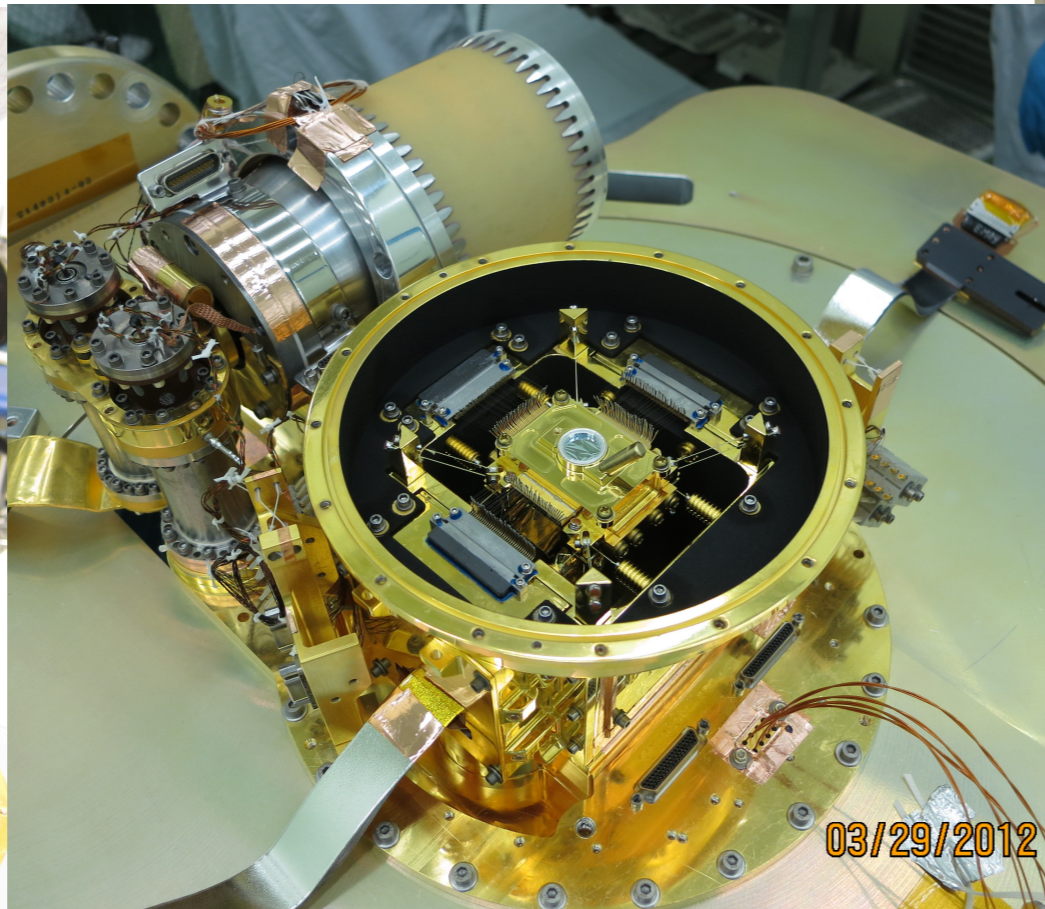
Micro Calorimeter System (SXS)



- X-ray micro-calorimeter spectrometer with energy resolution better than 7 eV (FWHM)
- 6 x 6 array with 3' x 3' field of view
- Operated at 50 mK
 - Nominal expected liquid He lifetime 3.3 years



SXS detector assembly



NASA/GSFC

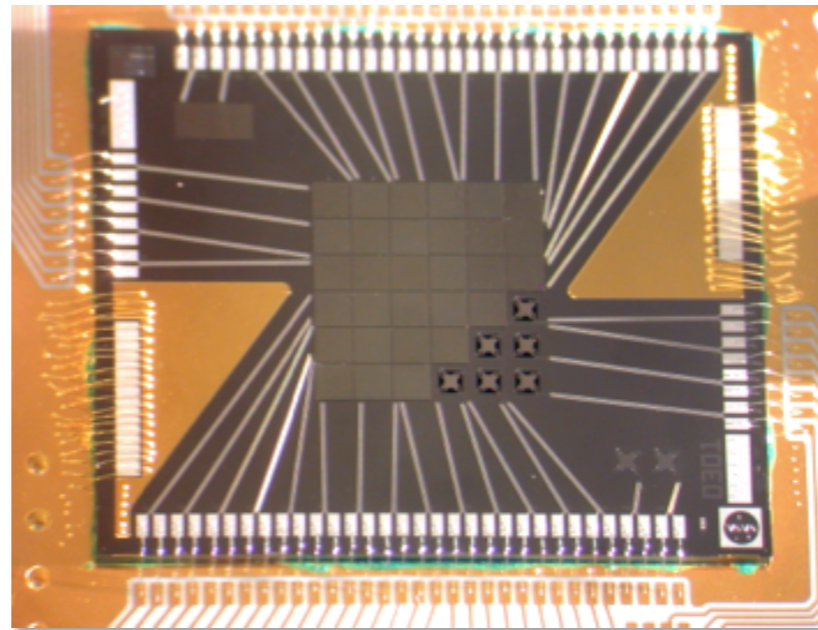
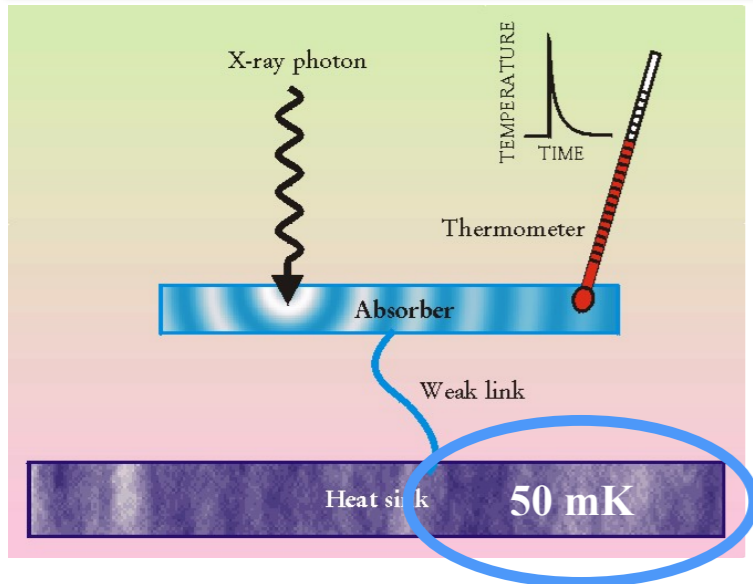


Sumitomo Heavy Industries, Ltd.
SXS dewar **JAXA**

Micro Calorimeter System (SXS)



Thermal Detection of X-Rays

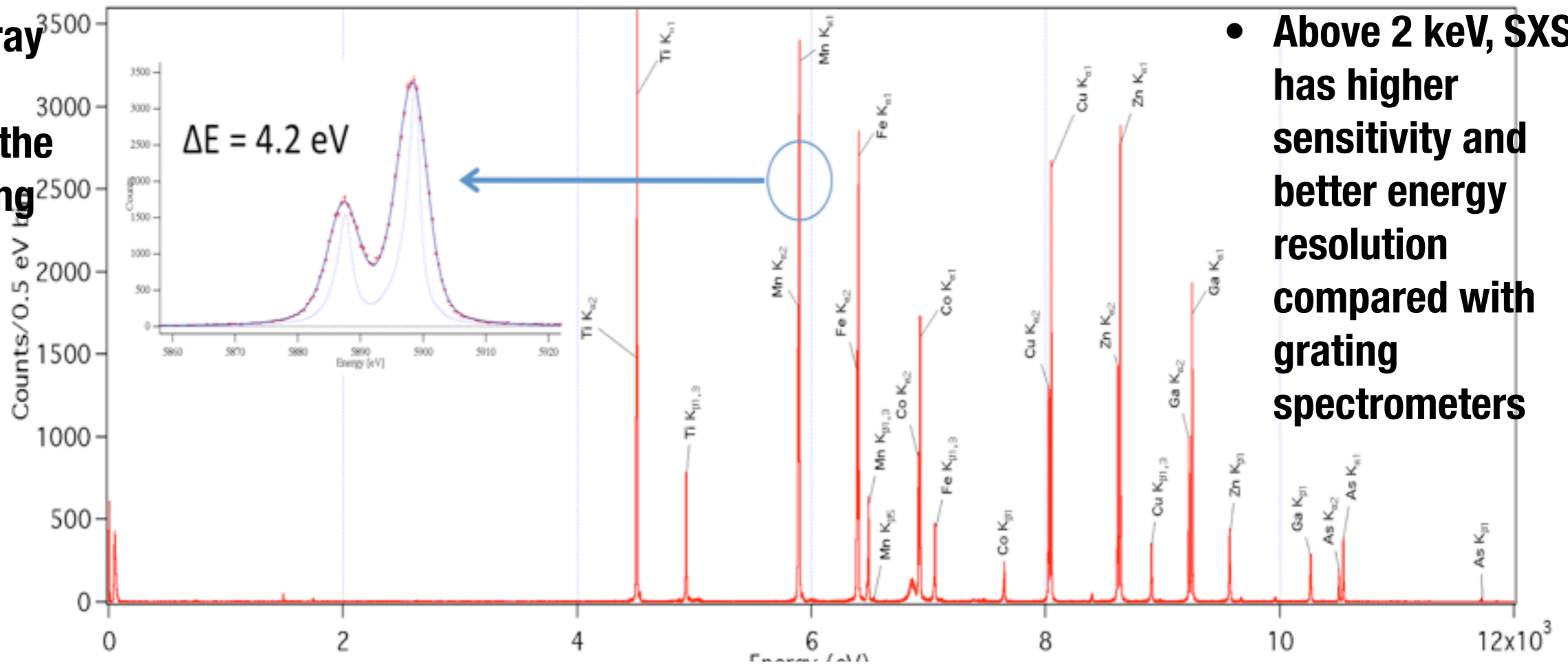


Ion-implanted Si thermometer

**HgTe absorber
(~ 8 microns thick)**

**Pixel size: 824 x 824 microns
(30 x 30 arcsec)**

**Laboratory X-ray spectrum
obtained with the
SXS Engineering
Model**



- Above 2 keV, SXS has higher sensitivity and better energy resolution compared with grating spectrometers**

4 keV

6 keV

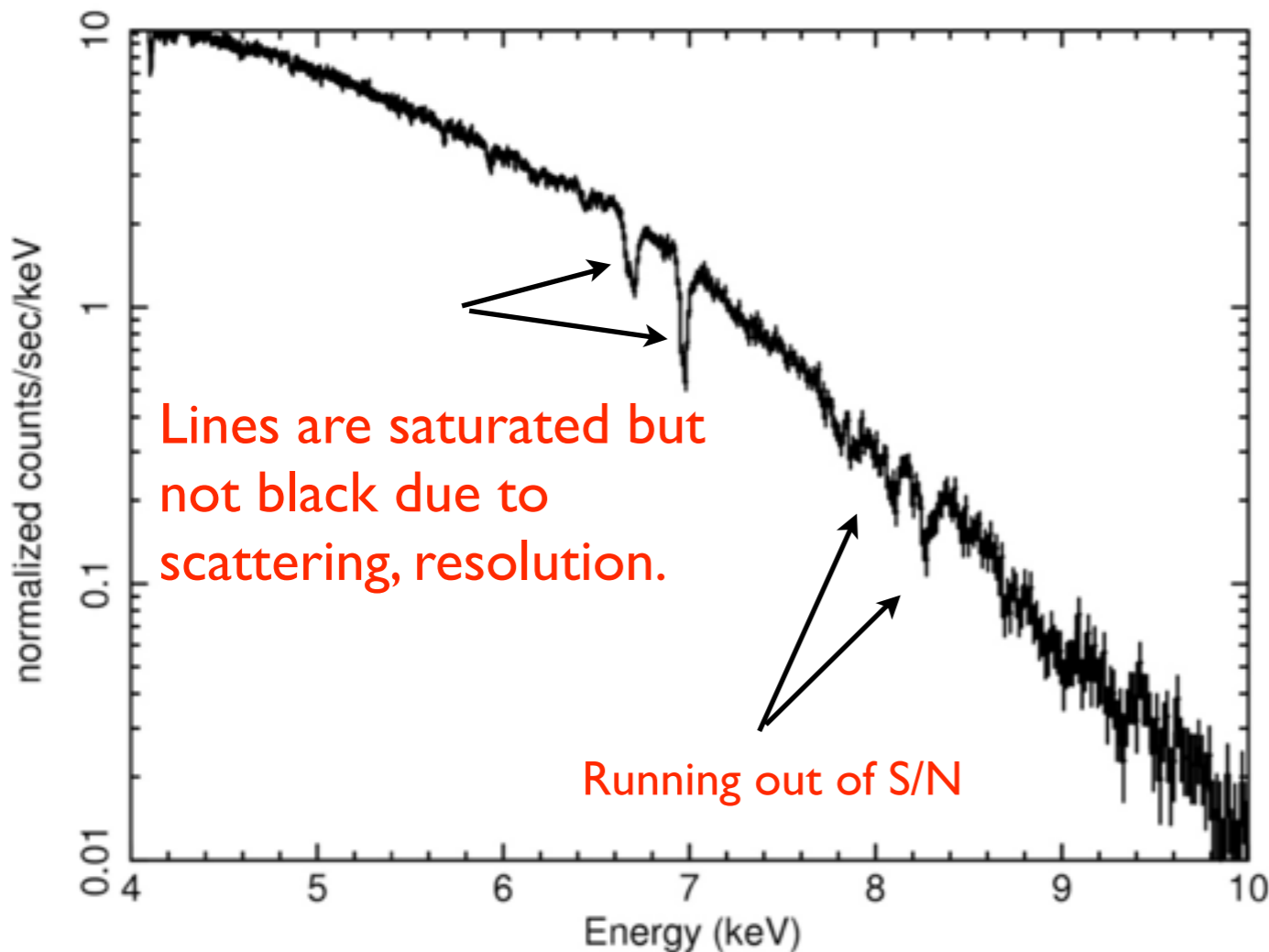
8 keV

GRO J1655-40 (Black Hole)

The superior resolution of SXS in the Fe K band enables the unambiguous detection of weak and narrow lines from a wind.

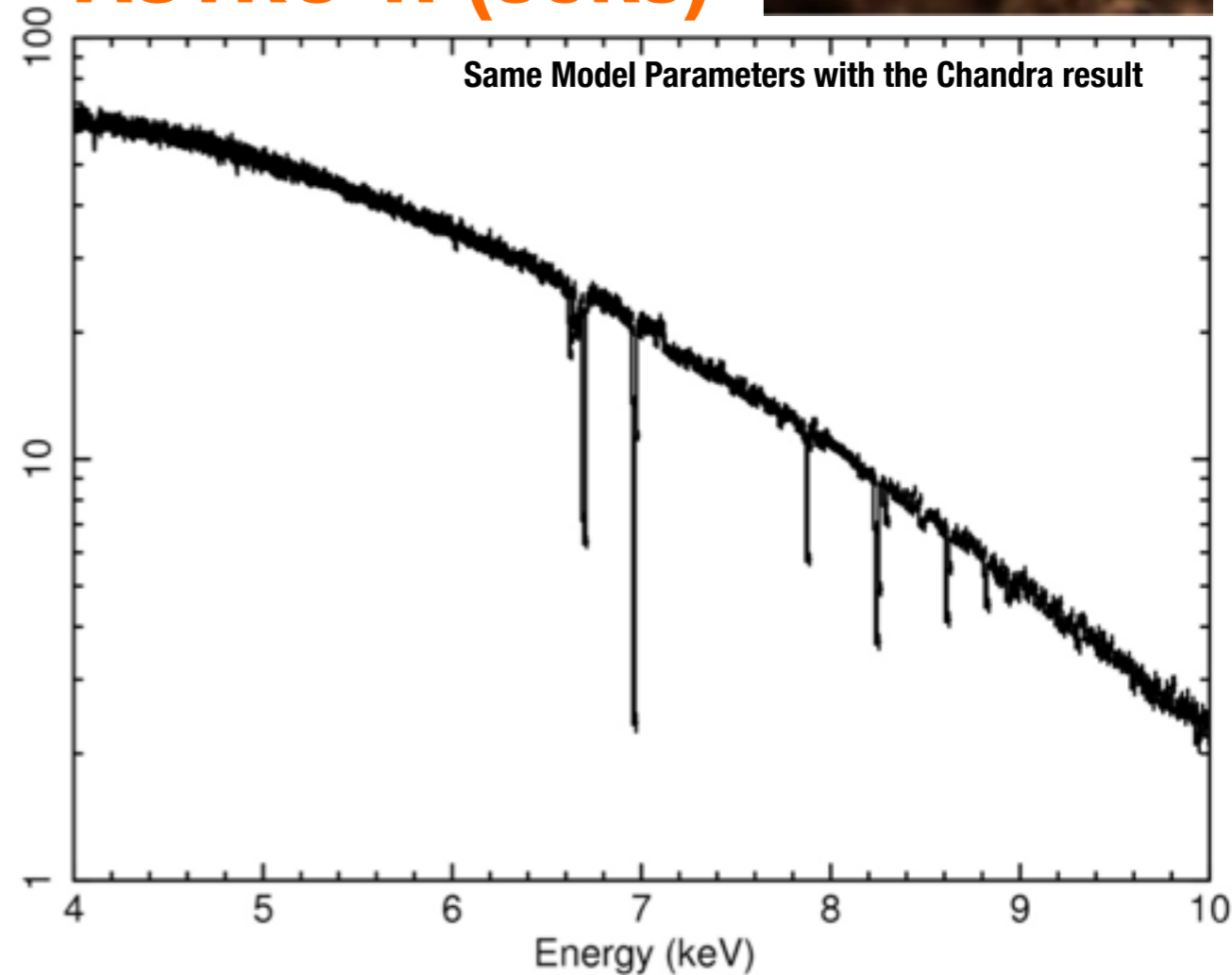


Chandra



(Simulation by J. Miller)

ASTRO-H (50ks)



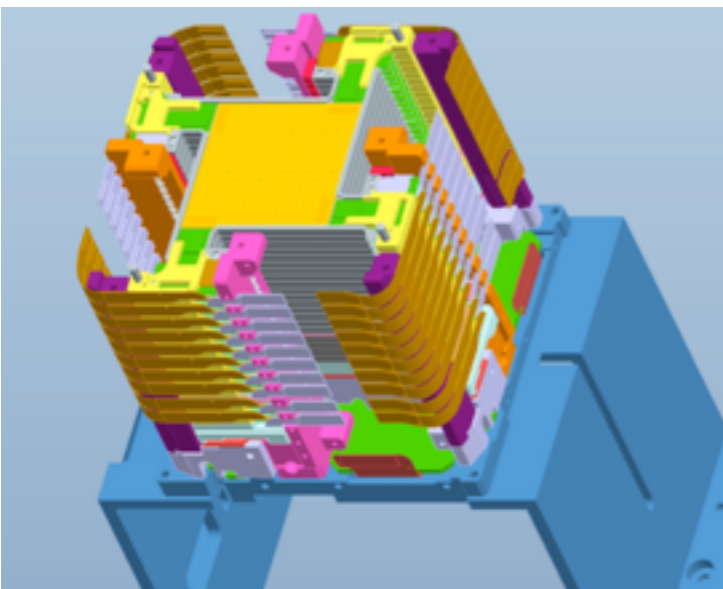
ASTRO-H SXS can handle 250 cts/s

ASTRO-H Features --- 硬X線、サブMeVガンマ線観測---

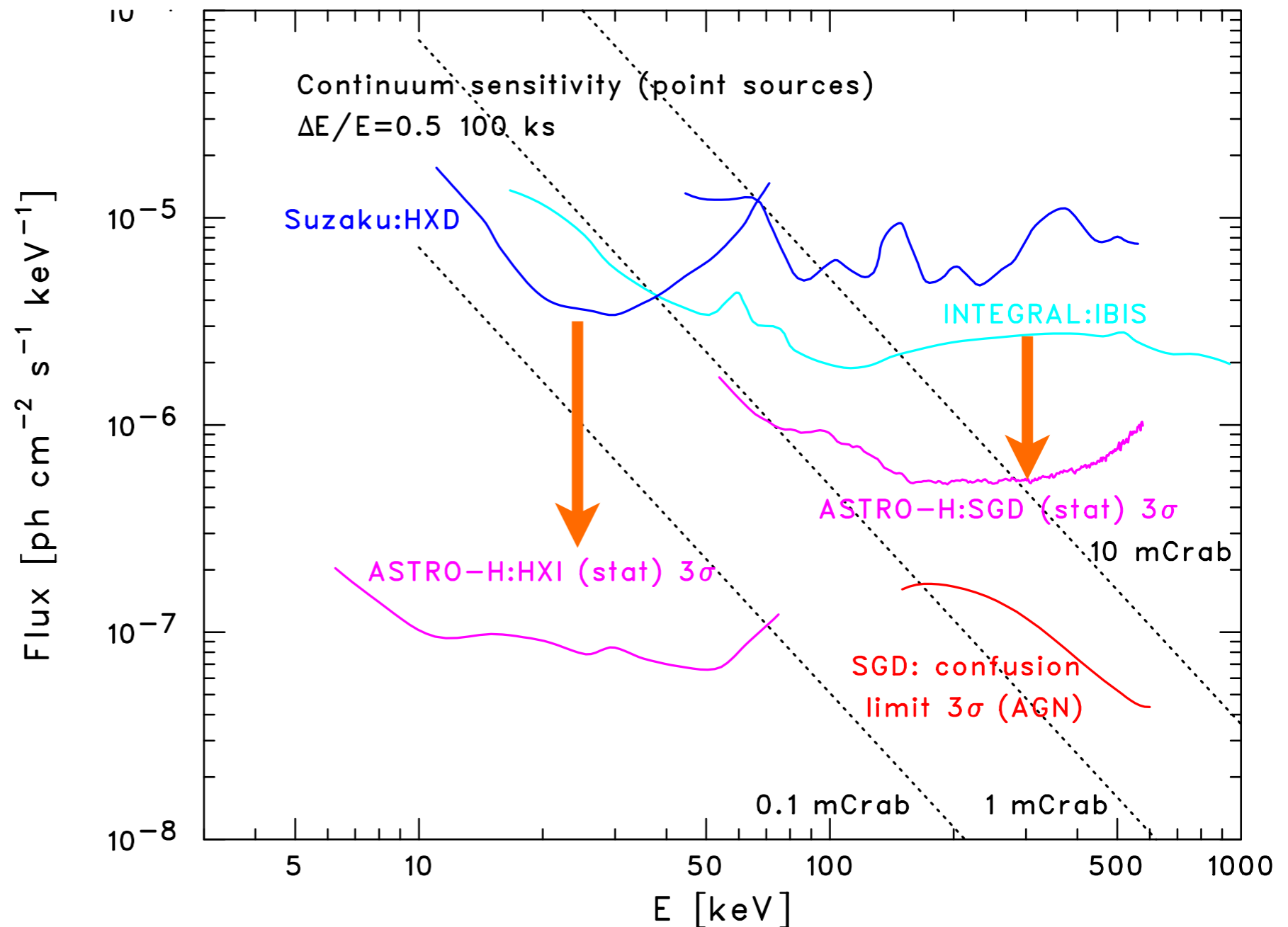
- Pt/C depth-graded multilayer Hard X-ray telescope + Imager



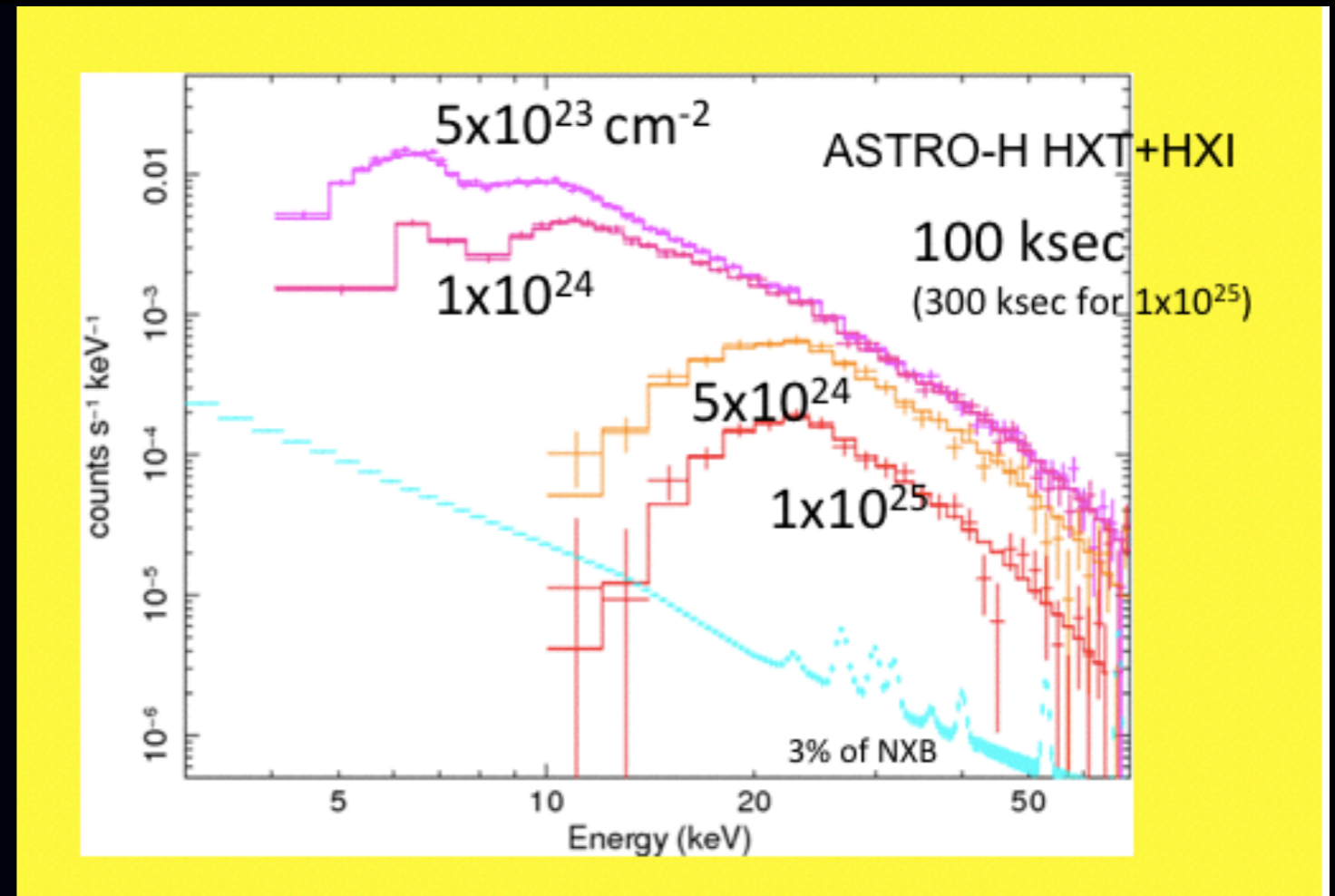
- Si/CdTe Compton Camera (upto 0.6 MeV)



Vast Improvements of the sensitivity in the energy window from 10 keV to 600 keV



巨大ブラックホールは、銀河と共に成長している気配が見え始めている。それを可能にする「物理」は何なのか。遠方の銀河の中心に隠された巨大ブラックホールを見つけだし、ブラックホールから銀河に送り込まれるエネルギーの正体を研究する。



Find Hidden Blackholes
with the unprecedented sensitivity

世界中の科学者を「巻き込んだ」開発



システムCDR1を終了(2012年2月)

ベースプレート、固定光学ベンチ、サイドパネル等の構造体にPFMを使用した供試体 を用い

1)熱ひずみ試験(2012年4~6月)

2)システムTTM(熱試験モデル)による熱バランス試験(2012年6月~8月)

3)望遠鏡を設置するトッププレートと、光学伸展ベンチ(EOB)のソーラー光照射試験(2012年8月~9月)を終了。

ASTRO-Hの高い指向性能要求を確保する上で、懸念であった熱構造設計について、その妥当性を検証中。現時点では大きな問題は見つかっていない。

搭載機器のEM(エンジニアリングモデル)を使った試験と共に、FM製造がはじまっている。EMで見つかった課題を解決し、それをFMに反映させる作業を遅延なく行う必要がある。

今後、擾乱試験、システムMTM試験とつづき、6月より1次噛み合わせ試験。

2014年度中に衛星を完成予定。様々な周辺状況から、打ち上げは2015年度になる公算である。

ケンブリッジ大学での

ASTRO-Hサイエンス会議 (2012年7月)





表3 計測系

名称	台数	型番等
レーザー変位計(LD)	最大 12 台	キーエンス LK-H155 直線性: ±0.02% of 80mm 計測レンジ: ±40mm
オートコリメータ(AC)	最大 6 台	Nikon インストルメンツ 6D 面の傾斜角(2軸)を秒角精 度で計測可能。画像処理ソ フトAD-4改により1秒毎の連 続計測・記録が可能。
長距離間の高精度面 内変位計測装置 (レーザー光源及び PSD)	最大 2 台	新規開発品 ⁽⁶⁾
カメラシステム (望遠レンズ搭載の CCDカメラ、マーカー)	最大 2 台	新規開発品。 画像解析により長距離間の 高精度な面内変位計測を実 現。上述のレーザー光源を 利用した新規開発品と機能 的には同等



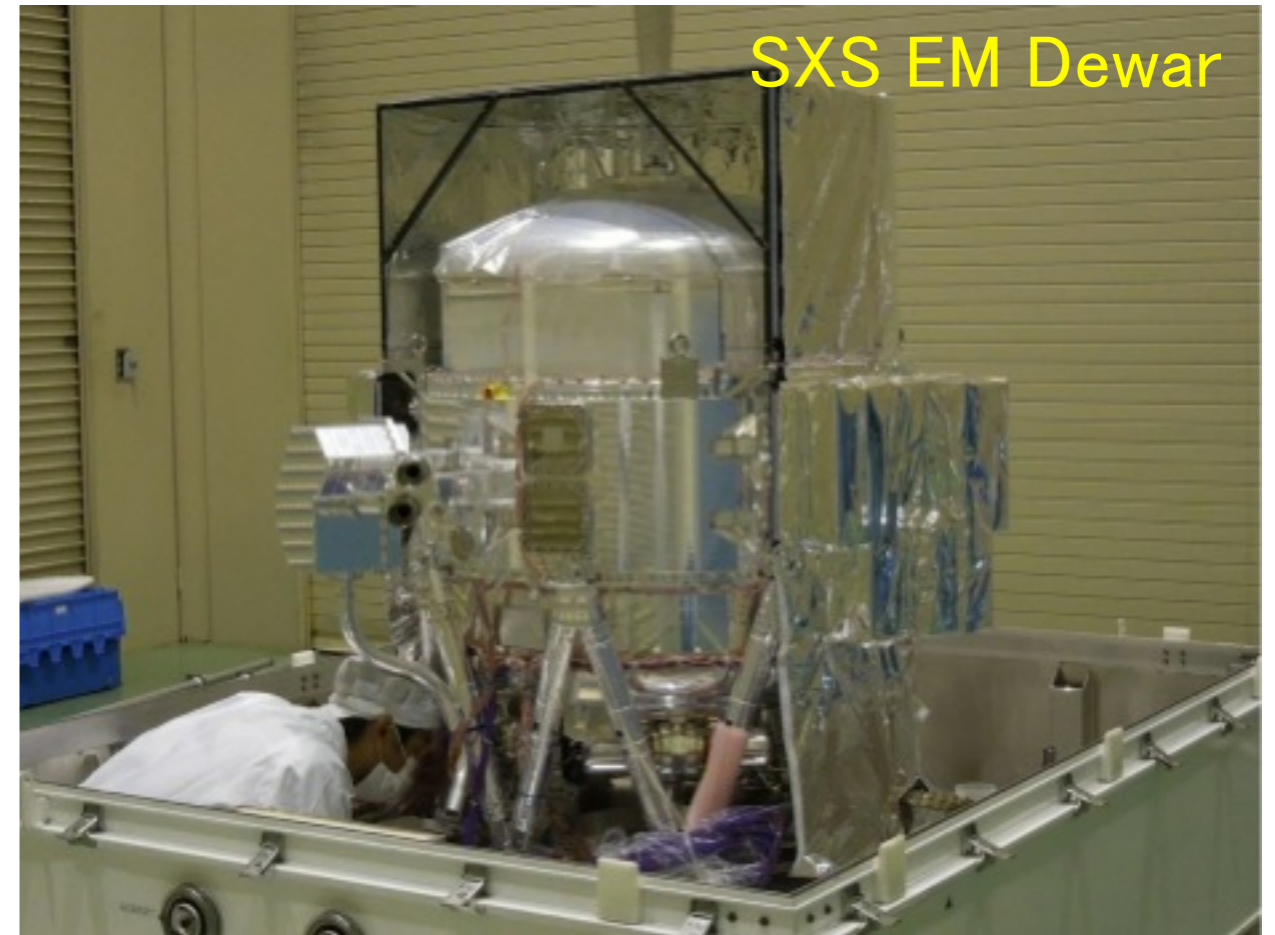
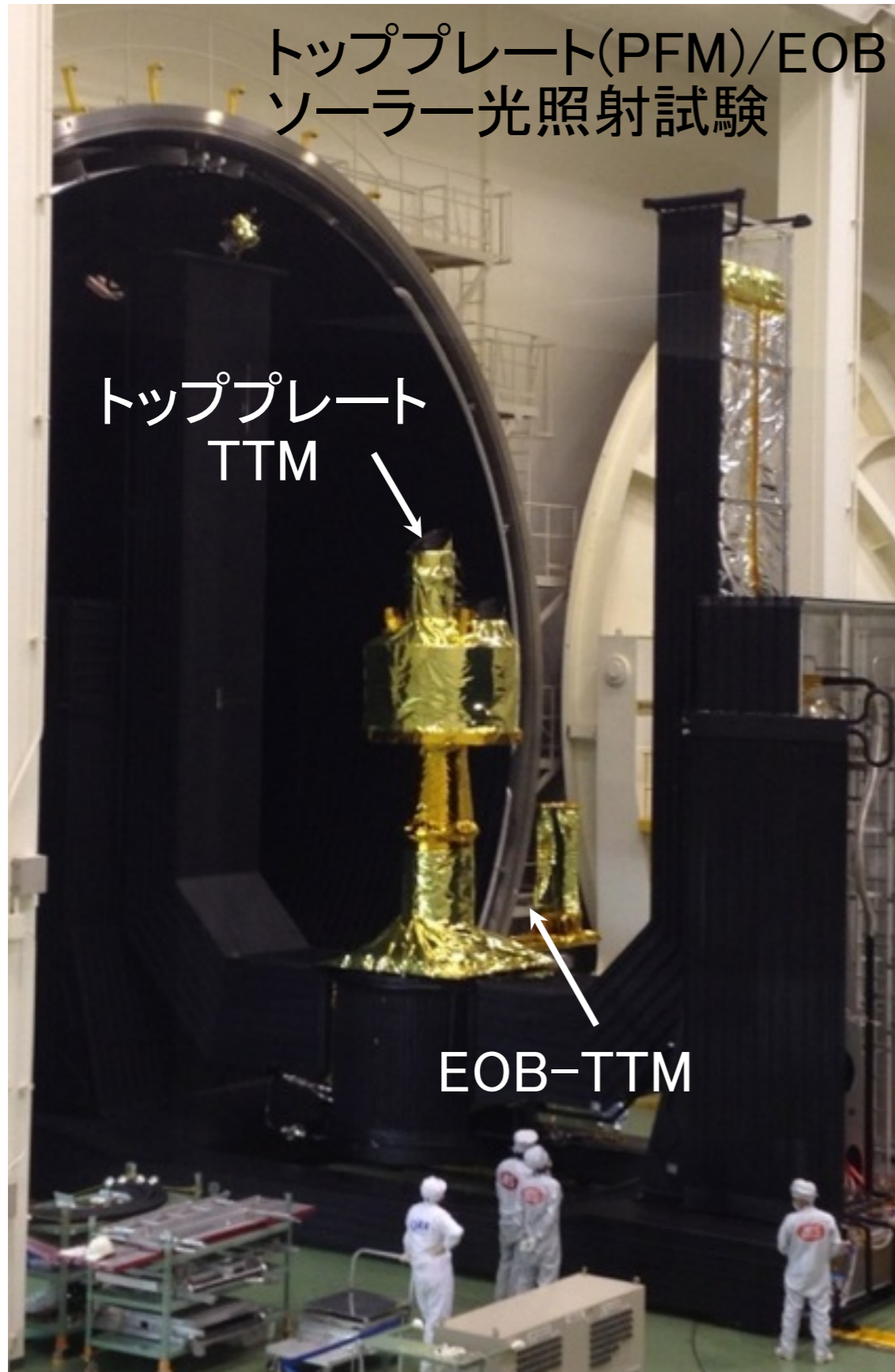
System TTM (Thermal Test Model) test (Aug-Sep, 2012)



ASTRO-H in JAXA's 13 m thermal-vacuum chamber

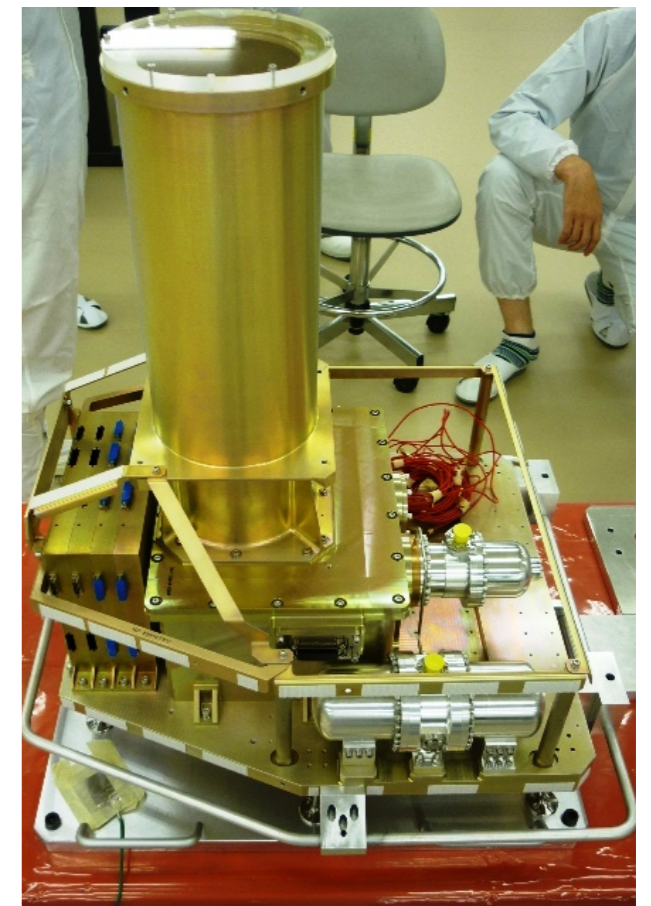
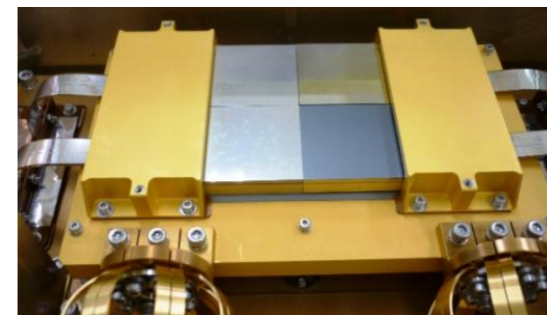
ASTRO-H衛星の進捗

(2012/Sep)



SXI EM

SXI X線CCD

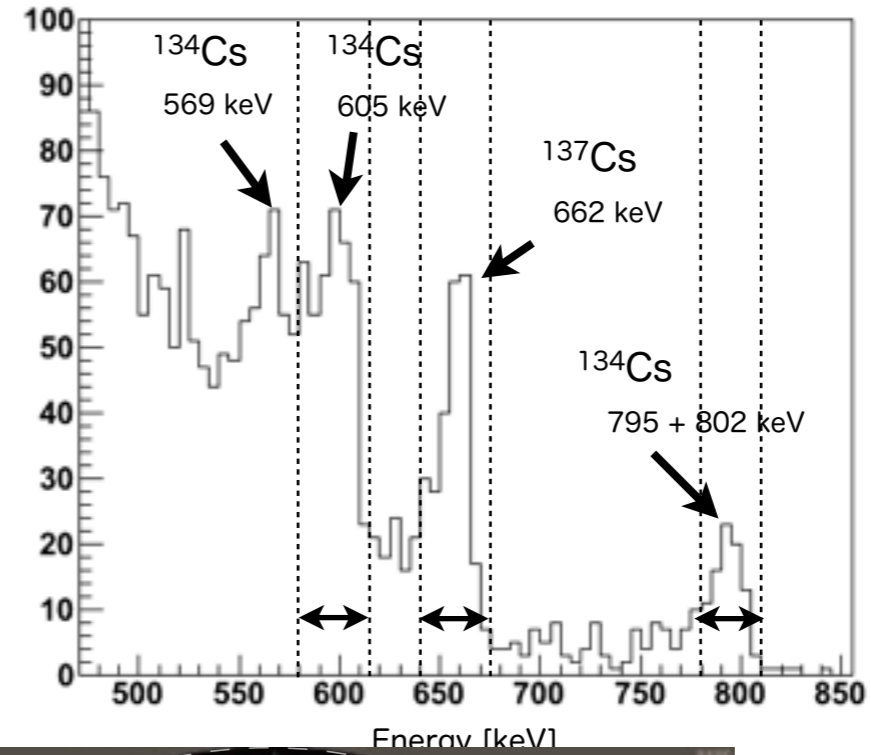


ASTRO-Hの社会貢献：福島における放射線分布測定試験(2月)

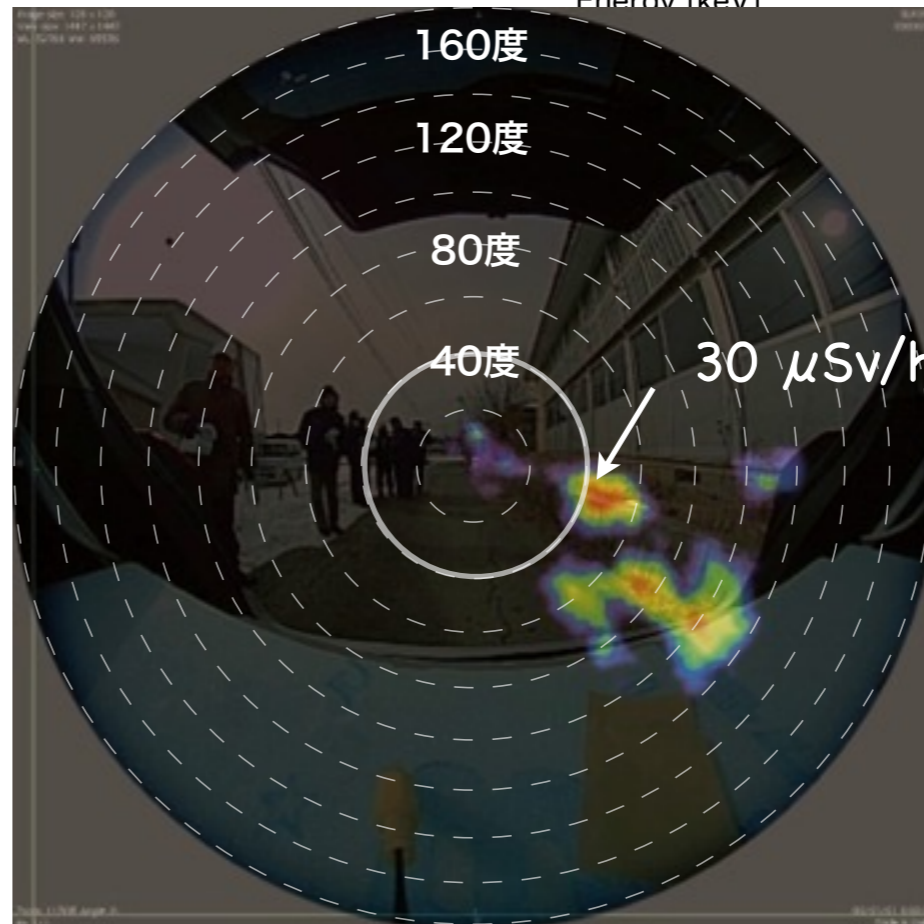
「超広角コンプトンカメラ」による測定・撮像

(ASTRO-Hのために開発した技術の応用) JAXA プレスリリース(H24/3/29)

超広角コンプトンカメラ
実証モデルユニット



2012年2月



左は魚眼レンズを付けたカメラ、右は超広角コンプトンカメラで撮影した画像。セシウム134,137から直接放出される605, 662, 795, 802キロ電子ボルトのガンマ線の強度(フラックス)分布、赤が強度が高く、青が強度が低い。

<まとめ>

- 現在の宇宙物理学では、電波からガンマ線までの全ての電磁波を用いて総合的に現在の姿、進化の歴史を捉えることが必要。可視光・サブミリ波がより遠方での天体探査に適しているのに対し、**X線は非常に高温(100万度以上)の環境、極限重力環境を探るのに適している。**
- 超新星残骸や銀河団中の高温ガスの運動、遠方銀河団のダイナミックな進化、ガスに包まれた巨大ブラックホールの形成と銀河形成の関連などの研究では**ASTRO-Hによる超高分解能分光や広い波長域にわたるX線観測が必須である。**
- このような新しい観測結果により、**X線天文学が飛躍的に発展し、**宇宙物理学に大きなインパクトを与えることができる。
- 2012年7月 SPIE ASTRO-Hセッション
2012年7月 ヨーロッパ天文学会、ASTRO-H特別セッション
2013年3月20日天文学会 ASTRO-H 特別セッション



ASTRO-Hチーム

