



# P-005「ひとみ」搭載 軟X線帯観測装置の軌道上性能

満田和久 (宇宙航空研究開発機構)、R.L. Kelley、P.J. Serlemitsos、岡島崇 (NASA/GSFC)、常深博 (大阪大)、澤田真理 (青山学院大)、飯塚亮、石川久美、石田学、岩井将親、上田周太郎、岡本篤、小川美奈、尾崎正伸、小山志勇、佐藤洋一、篠崎慶亮、杉田寛之、竹井洋、辻本匡弘、堂谷忠靖、富田洋、夏苺権、前田良知、山崎典子 (宇宙航空研究開発機構)、栗木久光、黄木景二 (愛媛大)、中嶋大、林田清 (大阪大)、宮澤拓也 (沖縄科学技術大学院大)、藤本龍一 (金沢大)、平賀純子 (関西学院大)、伊予本直子 (九大)、内田裕之、田中孝明、鶴剛 (京大)、田代 信、寺田幸功 (埼玉大)、石崎欣尚、江副祐一郎、大橋隆哉、瀬田裕美、山田真也 (首都大)、村上正秀 (筑波大)、馬場彩 (東大)、杉田聡司、谷津陽一 (東工大)、幸村孝由、佐藤浩介 (東理大)、野田博文 (東北大)、村上弘志 (東北学院大)、石橋和紀、國枝秀世、立花健二、田村啓輔、田原譲、林多佳由、三石郁之 (名大)、信川正順 (奈良教育大)、太田直美、信川久美子 (奈良女大)、古澤彰浩 (藤田保健衛生大)、西岡祐介、廿日出勇、森浩二、山内誠 (宮崎大)、玉川徹、(理研)、北本俊二、星野晶夫 (立教大)、S.Paltani (Geneva 大)、G.V. Brown (LLNL)、K.R. Boyce、M.P. Chiao、M.E. Eckart、C.A. Kilbourne、M.A. Leutenegger、森英之、F.S. Porter、酒井和広、Y. Soong (NASA/GSFC)、J. Doty (Noqsi Aerospace)、赤松弘規、E. Costantini、J.-W. den Herder、C. de Vries、D. Haas (SRON)、D. McCammon (Wisconsin 大)、A. Szymkowiak (Yale 大)、他「ひとみ」SXS/SXT/SXI チーム

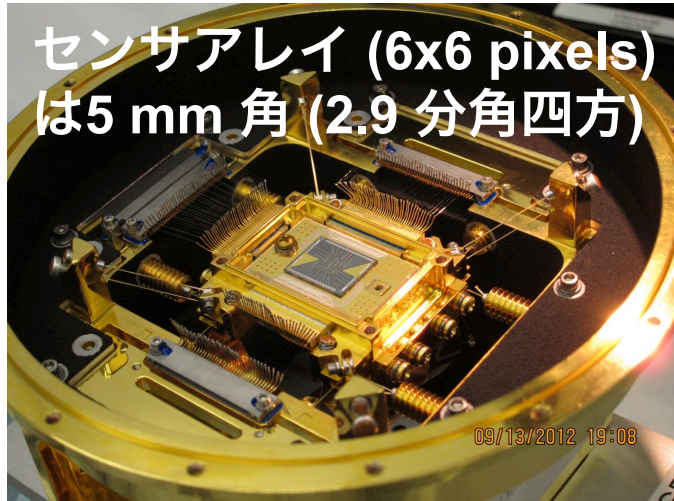
## 1. 概要

2016 年 2 月 17 日に打ち上げられた「ひとみ」衛星には、軟 X 線分光検出器 SXS (Soft X-ray Spectrometer) と軟 X 線撮像検出器 SXI (Soft X-ray Imager) の2 種類の軟 X 線帯の観測装置が搭載されている。両者とも軟 X 線望遠鏡 SXT (Soft X-ray Telescope) で集光された X 線を検出する。SXS はマイクロカロリメータの技術を使用した精密分光システムであり、優れた X 線分光性能を誇る検出器である。SXI は大型の X 線 CCD を 4 台並べ 38 分角という広い視野を持つ X 線カメラである。軌道上において観測機器の立ち上げが行われ、衛星との通信が途絶えるまでの間、科学観測を行った。軌道上で、SXS は 6 keV で 4.94 eV の分光性能を達成し精密分光観測を実施した。SXI は 38' 角の広い視野を活かし、187 eV (at 6 keV) の分光性能で撮像分光観測を行った。SXT の結像性能は SXT-S が 1.2'、SXT-I が 1.3' であり、地上較正で得られた性能が軌道上でも得られた。

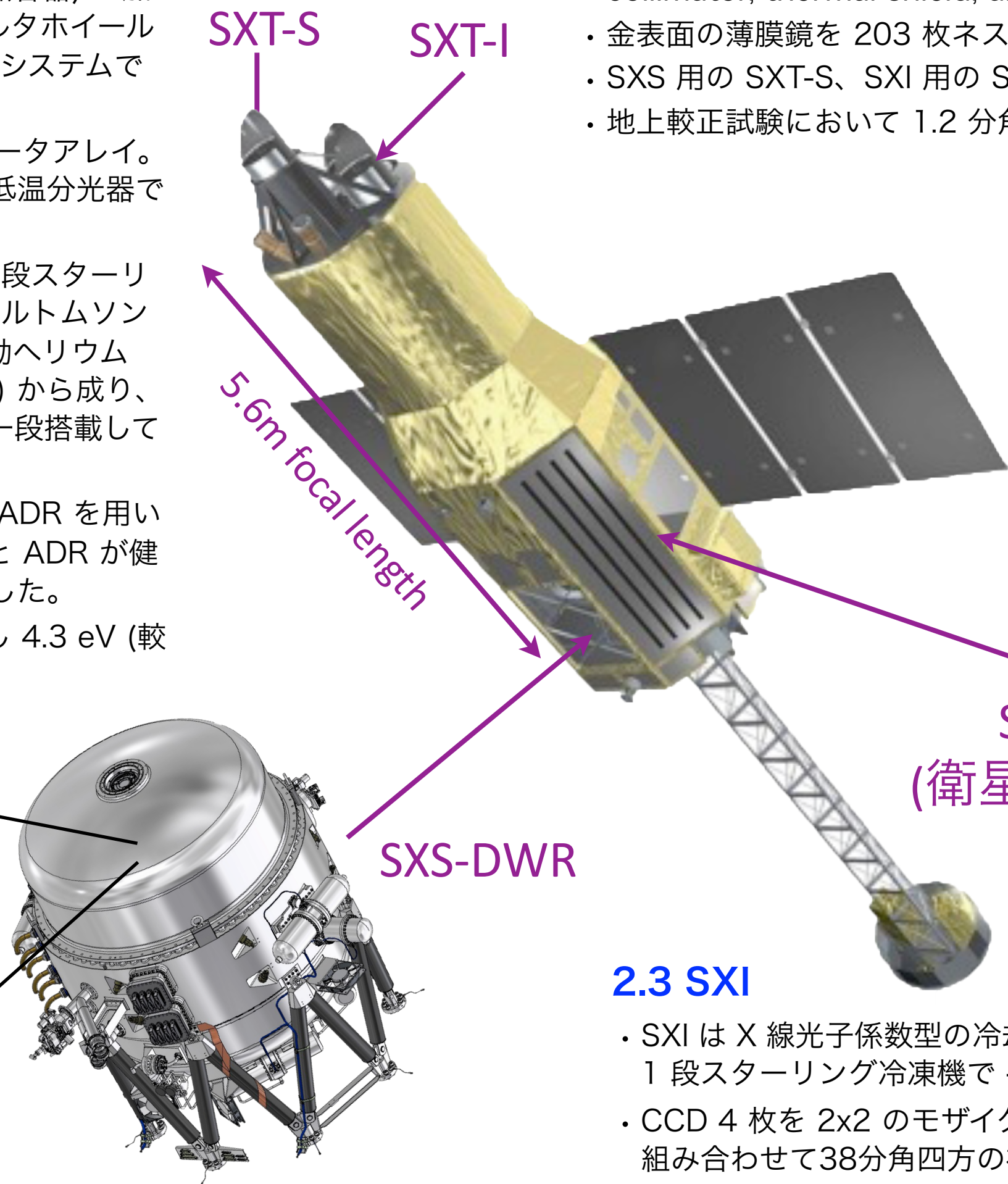
## 2. 「ひとみ」搭載軟 X 線帯観測装置の設計

### 2.1 SXS

- SXS はセンサを搭載・冷却する DWR (真空断熱容器) に加えて、冷凍機の駆動回路、信号処理回路、フィルタホイールと較正用 X 線発生器などを使用する巨大なサブシステムである。
- SXS センサは 6x6 ピクセルのマイクロカロリメータアレイ。X 線のエネルギーを温度上昇として読み出す極低温分光器であり、50 mK で動作する。
- 50 mK を実現するための cooling chain は、2段スターリング冷凍機 (2ST) 2 台 (~20 K)、4.5 K ジュールトムソン冷凍機 (JT) 1 台 (+ 2 台の予冷用 2ST)、超流動ヘリウム (~1.2 K)、2段式断熱消磁冷凍機 (ADR; 50 mK) から成り、さらに、無冷媒観測を行うための ADR をもう一段搭載している。
- 液体ヘリウムの寿命期待値は 3 年であり、3rd ADR を用いることで、液体ヘリウム喪失後も機械式冷凍機と ADR が健全である限り科学観測を続けられるように設計した。
- 打ち上げ前の性能試験で 5.9 keV の X 線に対し 4.3 eV (較正ピクセル) の性能を得た。



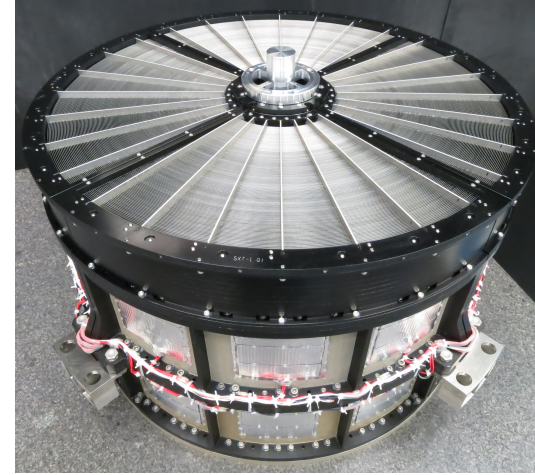
SXS センサ部写真



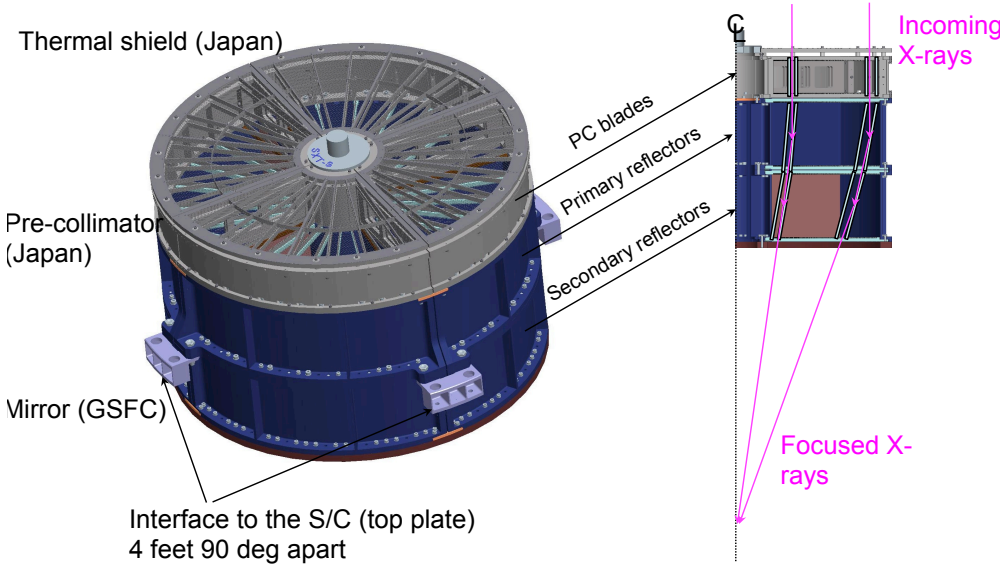
SXT-S SXT-I

SXS-DWR

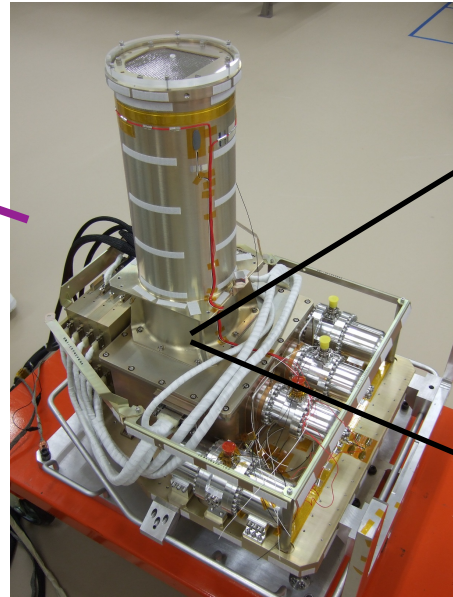
SXI (衛星内部)



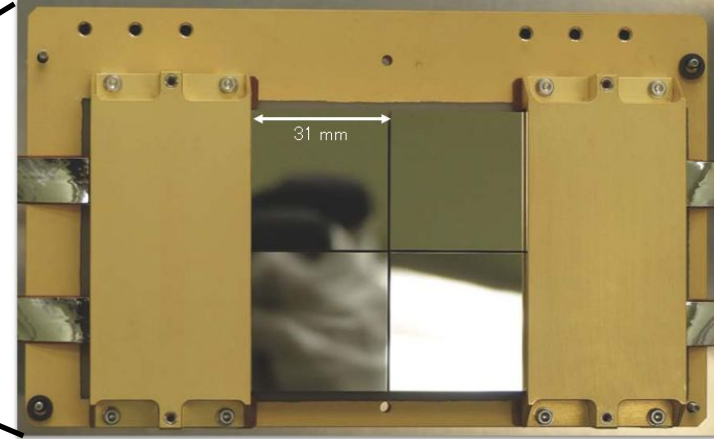
SXT-S 写真



SXT の構成要素と集光の模式図



SXI 写真



SXI センサ部写真

### 2.2 SXT

- SXT は直径 45 cm、焦点距離 5.6 m の多重薄板型望遠鏡であり、X 線鏡 (mirror)、迷光除けの pre-collimator, thermal shield, alignment cube を主要構成要素とする。
- 金表面の薄膜鏡を 203 枚ネストし、合計 1624 枚の薄板鏡で Wolter 1 型の光学系を構成している。
- SXS 用の SXT-S、SXI 用の SXT-I の同設計の 2 台が搭載されている。
- 地上較正試験において 1.2 分角の結像性能を達成した。

### 2.3 SXI

- SXI は X 線光子係数型の冷却 CCD カメラである。国産 (浜松ホトニクス社製) の CCD 素子を搭載し、1 段スターリング冷凍機で -110 度に冷却して使用する。
- CCD 4 枚を 2x2 のモザイク状に並べることで、62 mm x 62 mm の有効撮像領域を持ち、SXT-I と組み合わせて38分角四方の視野を実現する。
- 完全空乏化した厚型 (200 μm) の裏面照射型素子を用いており、0.4-12 keV のエネルギー範囲の分光観測が可能である。

## 3. 軌道上で得られた性能

### 3.1 主要な要求と実績の比較

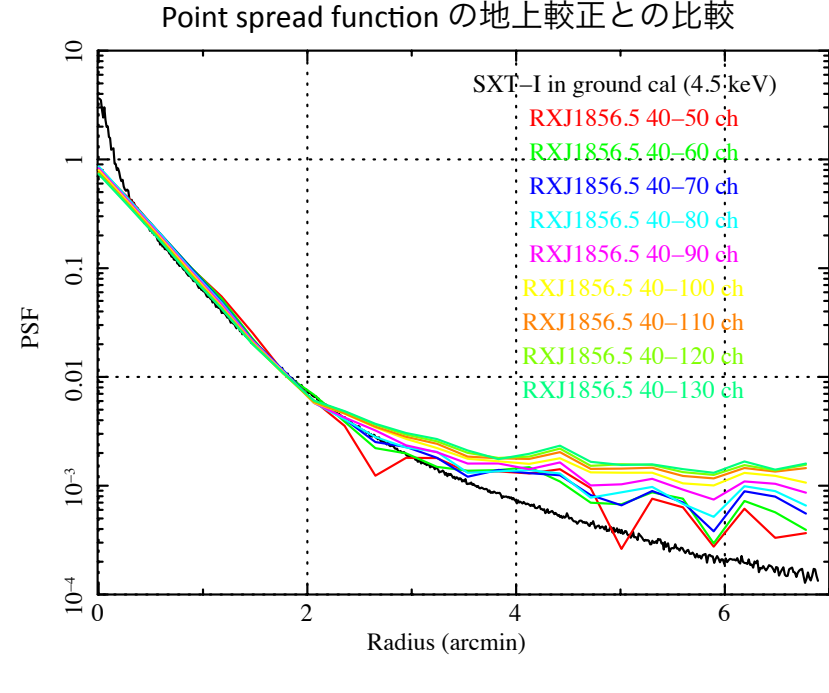
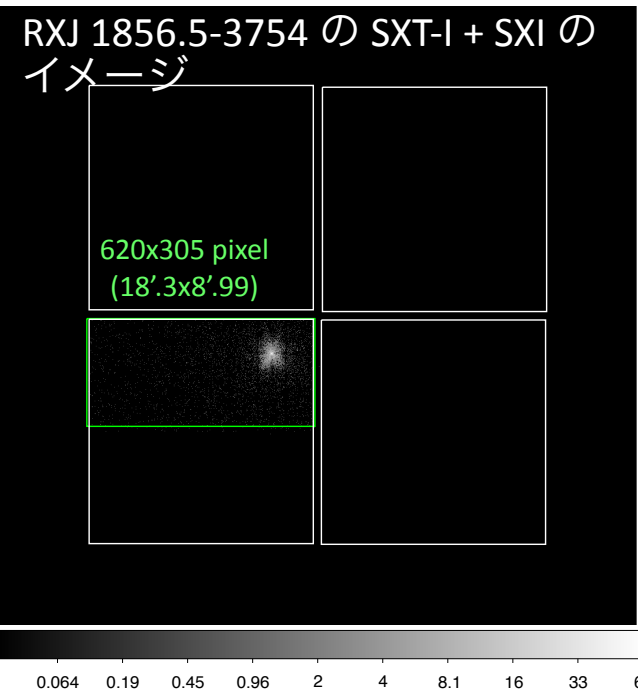
- SXS は軌道上精密分光観測を実施し、要求の 7 eV を超える 4.94 eV の分光性能を達成した。ただし、SXS は、軌道上でのゲートバルブを開ける運用を行っていないため、<2 keV の X 線は観測できていない。
- SXI は軌道上で天体の撮像分光観測を行った。可視光の迷光や宇宙線の影響が観測されたが、それらを除いたあとのイメージ、分光性能は地上試験から期待される性能が達成された。
- SXT は地上較正から期待される角度分解能を軌道上で達成した。

		要求値	達成値
SXT-S + SXS	エネルギー分解能	7 eV	4.97 eV
	エネルギー範囲	0.3-12 keV	2-30 keV
	視野	2.9' x 2.9'	2.9' x 2.9'
	角度分解能	<1.7'	1.2'
	6 keV の有効面積	210 cm <sup>2</sup>	160 cm <sup>2</sup> *1
	カウントレート	150 counts/s	155 counts/s
SXT-I + SXI	液体ヘリウム寿命	3 年	3.9 年 *2
	視野	18' x 18'	38' x 38'
	6 keV の有効面積	> 360 cm <sup>2</sup>	~360 cm <sup>2</sup>
	角度分解能	< 1.7'	1.3'
	6 keV の検出効率	>0.87	>0.92
	6 keV のエネルギー分解能		187 eV

\*1: 軌道上で開ける予定だったゲートバルブ越しの観測。そのため、有効面積は設計値より小さい。  
\*2: 衛星の運用が続いていた場合の推測値。液体ヘリウムの蒸発レートより計算。

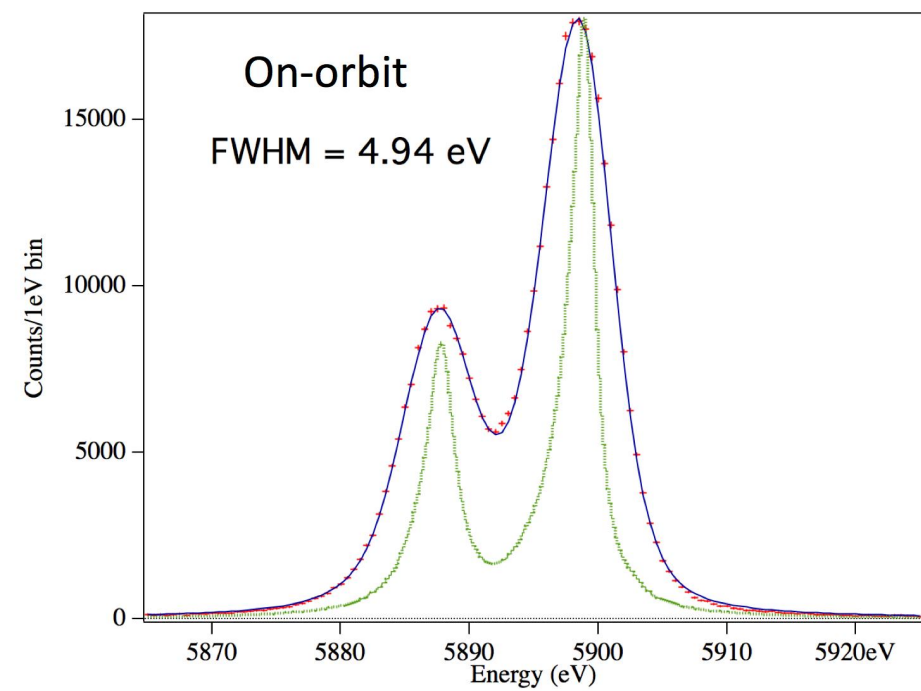
### 3.2 SXT-I + SXI の結像性能

- 下図に RXJ 1856.5-3754 の観測からもとめた SXT-I + SXI のイメージと point spread function を示す。地上較正と同等の 1.3 分角の角度分解能 (half-power diameter) が確認された。

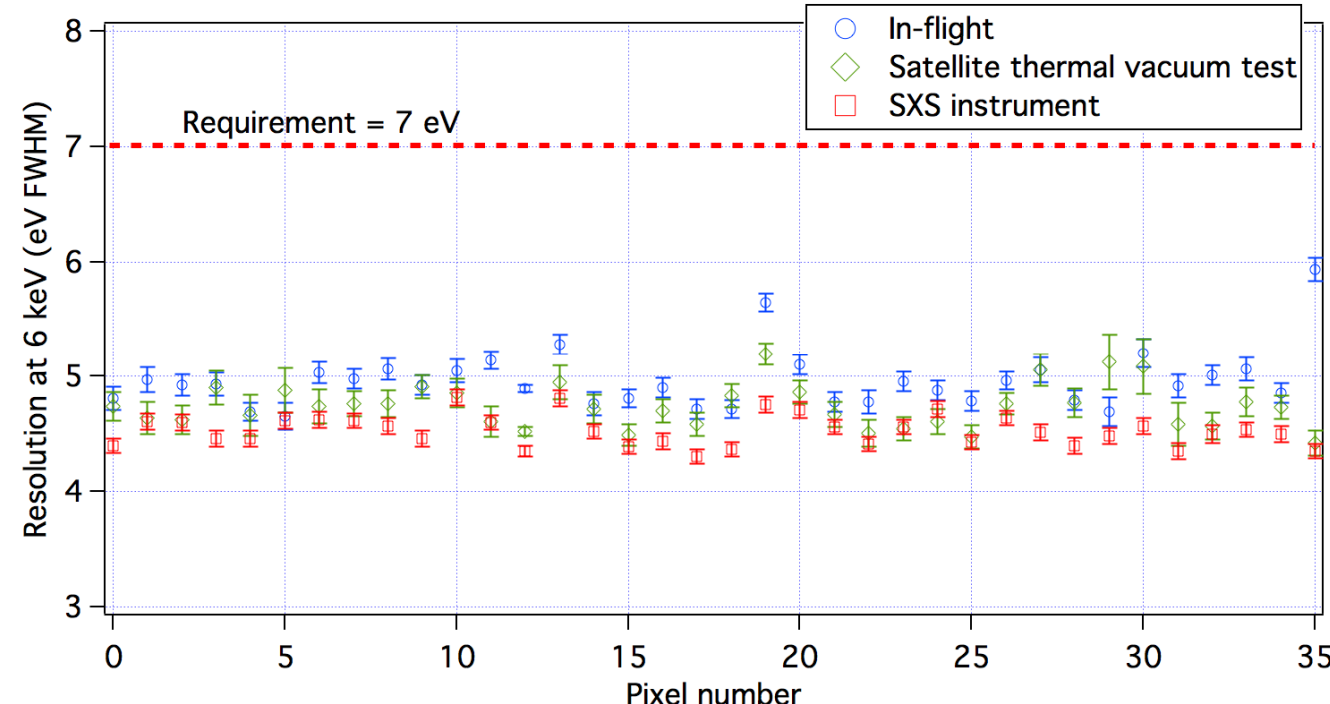


### 3.3 SXS 分光性能

- 軌道上で得られた SXS のスペクトルを下図に示す。
- SXT-S の視野にある 35 ピクセルおよび較正ピクセル 1 ピクセル全てが要求の 7 eV を達成した。

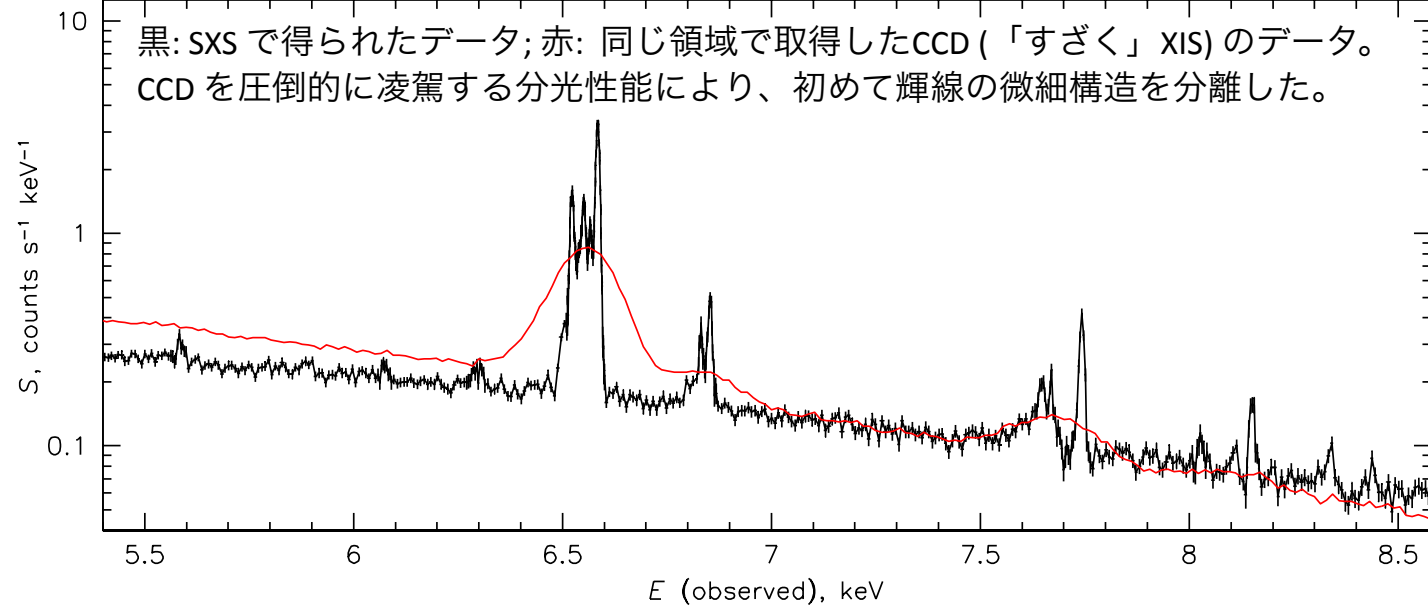
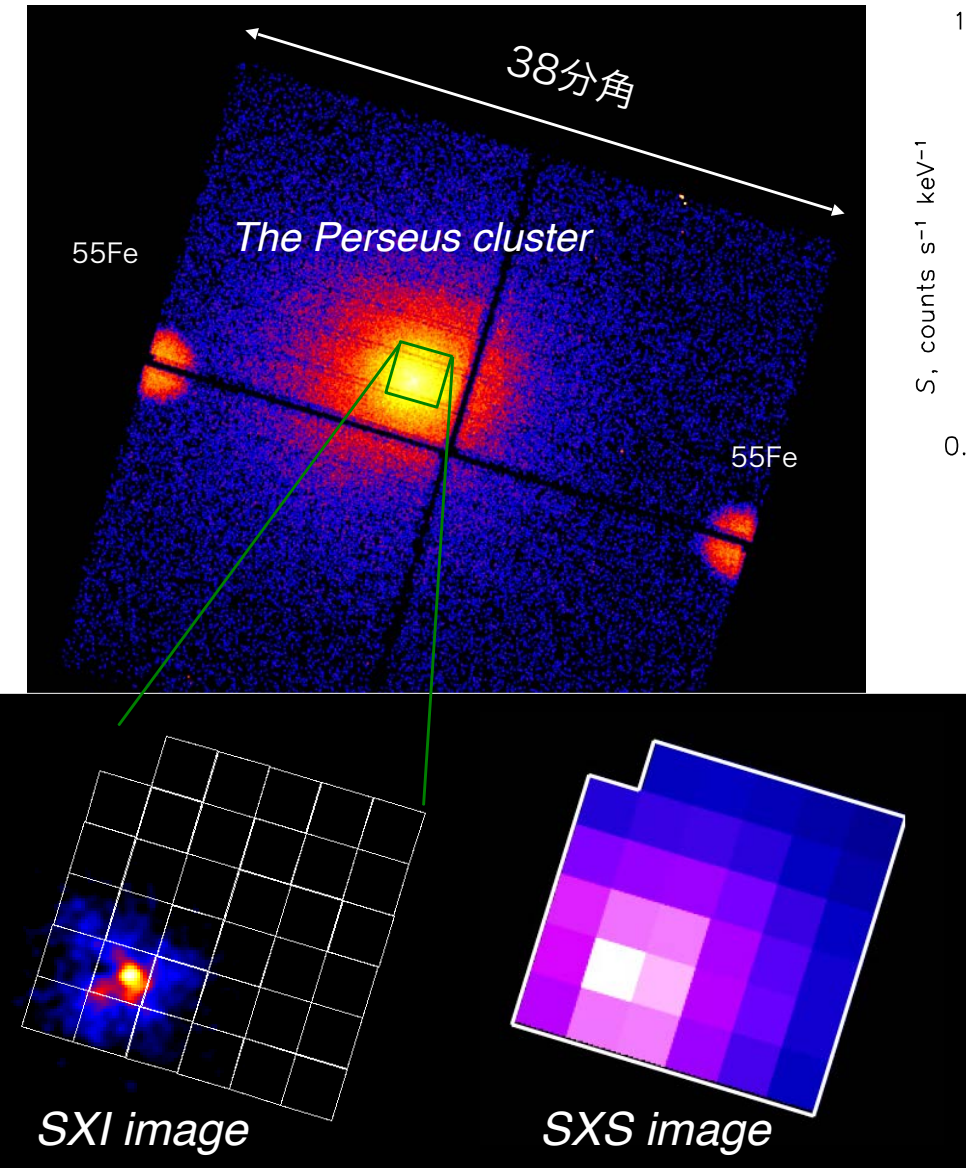


較正ピクセルによる Fe-55 のスペクトル



SXS 各ピクセルの Fe-55 の分光性能

### 3.4 軟 X 線帯観測装置によるペルセウス座銀河団の観測



- 軌道上で取得したペルセウス座銀河団の画像を左に、SXS のスペクトルを上を示す。
- SXI は 38 分角四方の広い視野による撮像を実施した。
- SXS の観測からは銀河団ガスの乱流速度を測定し、乱流による圧力が熱的圧力に比べて 4% であることを示した (Nature 18627; Hitomi collaboration 2016, Nature 535, 117)