

X線分光撮像衛星(XRISM)

2023-07-21 XRISM 記者説明会

XRISM project PM 前島 弘則

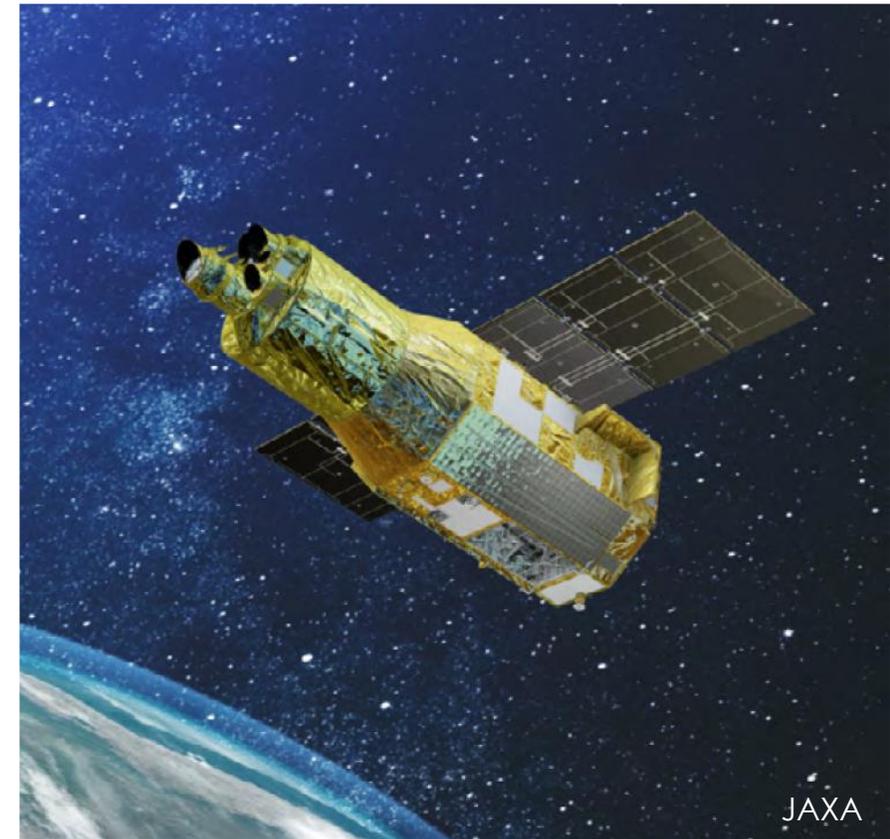
XRISM project PI 田代 信

- XRISMのミッション
Project Manager 前島 弘則
- XRISMのめざすもの
Principal Investigator 田代 信

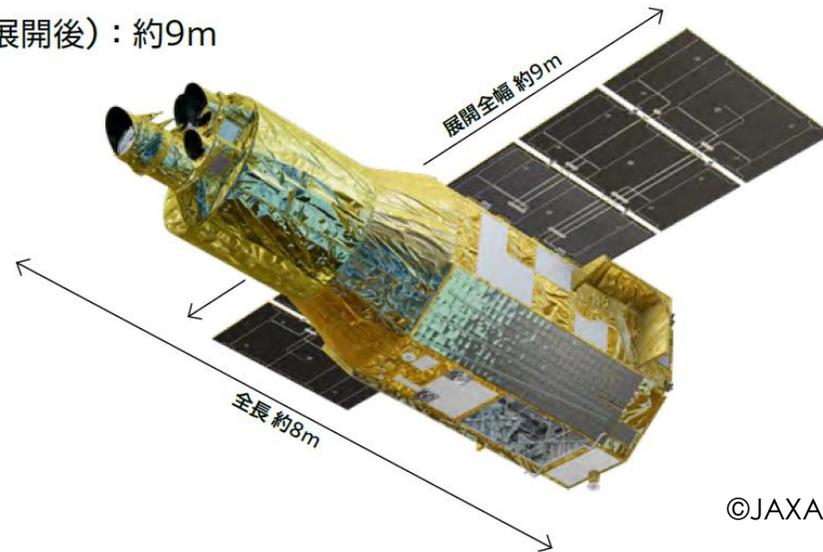
XRISMのミッション

2023-07-21 XRISM 記者説明会
XRISM project PM 前島 弘則

- X線天文学はまだ60年に満たない新しい学問です。しかし、ブラックホールや中性子星、銀河間高温プラズマなどを観測し、新しい宇宙の姿を世界に提供してきた分野です。
- XRISMのミッションは、2016年に運用を停止したX線天文衛星ASTRO-Hが担っていたサイエンスである「超高分解能X線分光による宇宙物理の課題の解明」を早期にかつ確実に回復することです。ASTRO-Hの開発成果を最大限活用し、NASA、ESA、国内外の大学等研究機関と協力して、最先端のサイエンスを高い信頼性をもって達成することを目指します。
- 定常運用時にはXRISMは世界に開かれた汎用X線天文台となります。そして、「宇宙の構造形成と銀河団の進化」、「宇宙の物質循環の歴史」、「宇宙のエネルギー輸送と循環」を研究するとともに、「超高分解能X線分光による新しいサイエンス」の開拓を目指し、さまざまな分野にわたる宇宙物理をさらに推し進め、2020年代の物理学の広範な発展の一翼を担います。



構造	寸法	<p>全長：約8m</p> <p>幅（太陽電池パドル展開後）：約9m</p> <p>奥行き：約3m</p>
	質量	約2.3t (推進薬含む)
軌道	高度	550 +/- 50 km
	傾斜角	31 度
	種類	円軌道
	周期	約96分



H-IIAロケットで小型月着陸実証機(SLIM)と相乗り打上げ予定

開発経緯

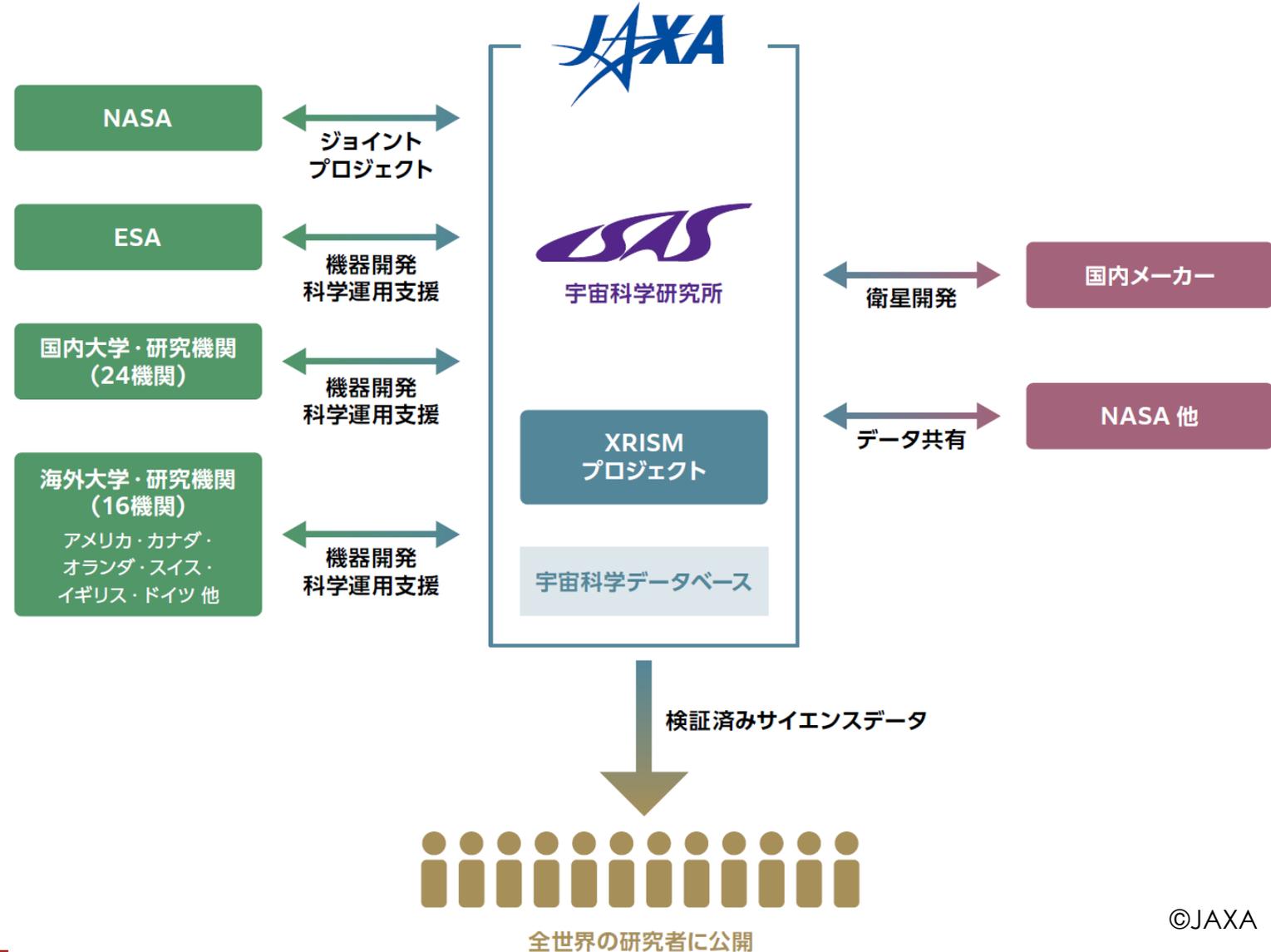
年度	マイルストーン
2017	ミッション定義審査(MDR) システム要求審査(SRR)
2018	システム定義審査(SDR) プロジェクトチーム設置
2019	基本設計審査(PDR)
2020	詳細設計審査(CDR)
2023	開発完了審査



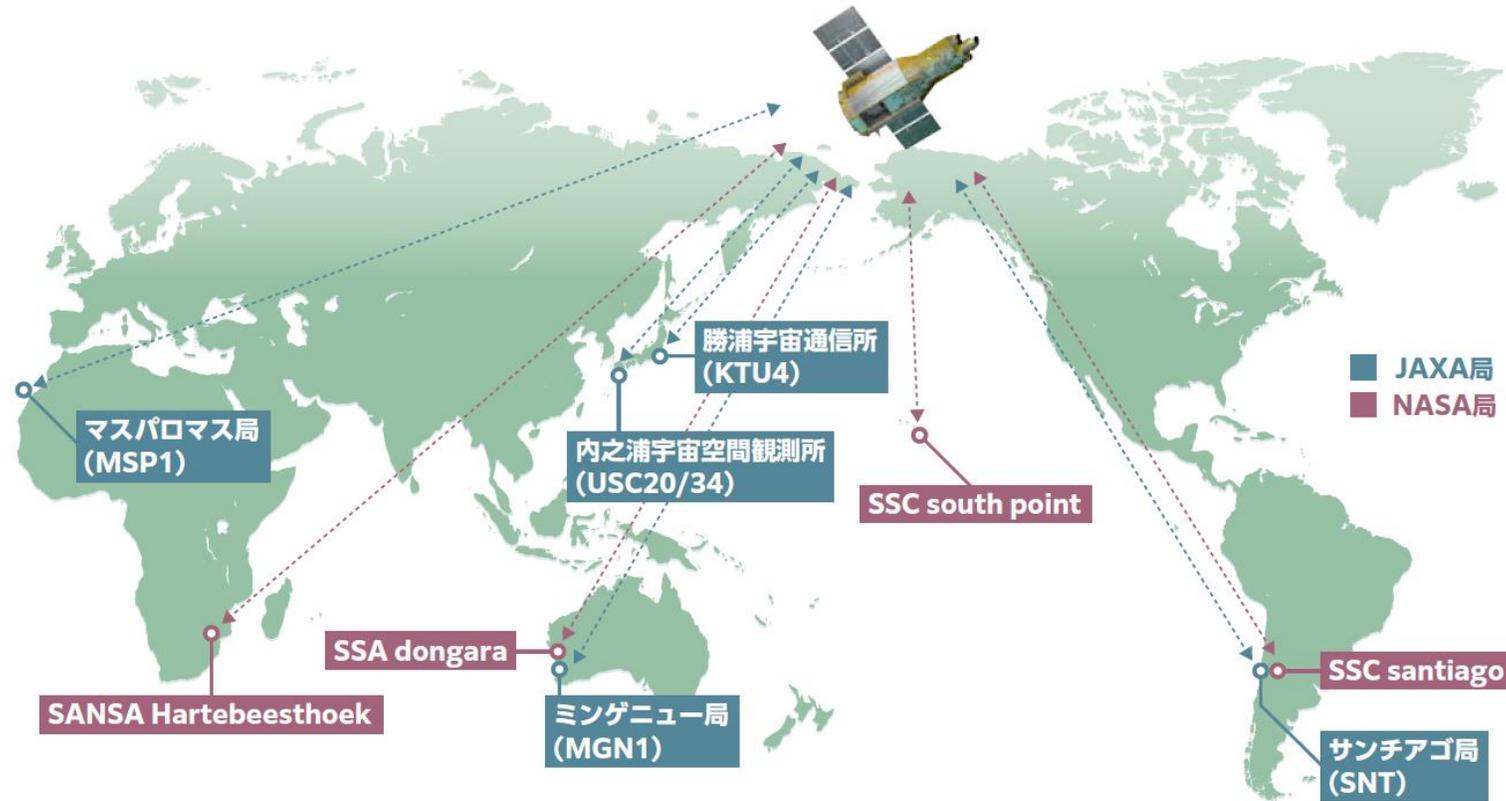
©JAXA

- X線を効率よくセンサ部に集めるX線望遠鏡(XMA)
- 超精密にエネルギーを測る軟X線分光装置(Resolve)
- 広い視野で撮像する軟X線撮像装置(Xtend)

- JAXAが米国航空宇宙局(NASA)、欧州宇宙機関(ESA)と覚書を結んで進めている国際共同プロジェクトです。特にNASAとは、ジョイントプロジェクトとして位置づけられ、プロジェクト全般にわたって密接に協力しながら進めています。
- 3つの宇宙機関だけでなく、日米欧それぞれの大学、研究機関、企業から、衛星開発、観測装置やデータ処理ソフトウェアの開発、さらには科学的な観測計画の策定のために100名を超える宇宙物理学学者、技術者が参画しています。
- 観測データはNASA他と共に検証・処理され、検証済みサイエンスデータとして研究者に公開されます。



地上局ネットワーク



JAXA局に加えNASA局を使用して衛星の状態監視を強化

©JAXA

【構造設計】

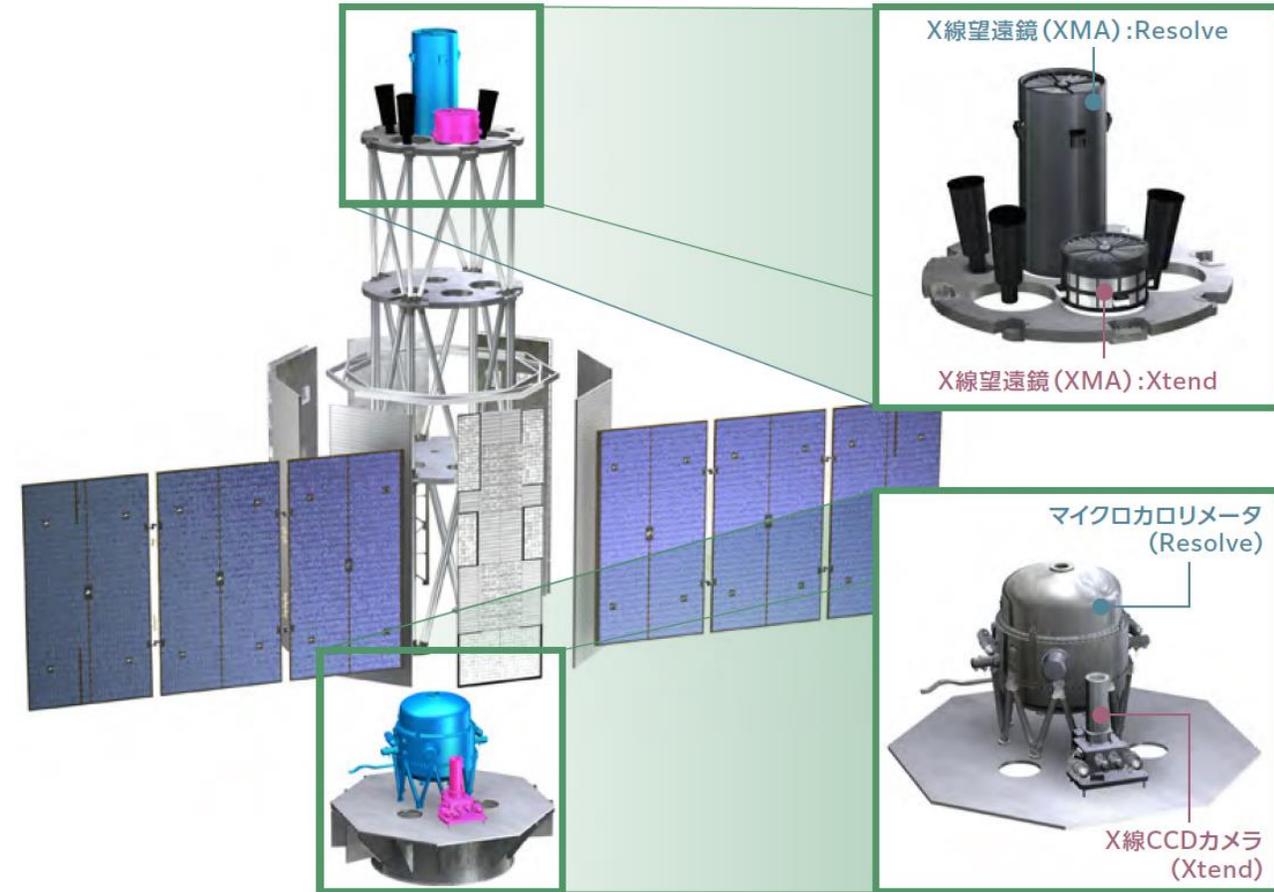
- ・精度良く目標天体に指向させるため、低熱歪の構造材料を使用し、軌道上での環境変化に対して高い形状安定性を実現する光学ベンチ上にX線望遠鏡を搭載。
- ・ミッション機器はベースパネルに搭載。

【熱設計】

- ・機器の発熱は熱歪を嫌う光学ベンチ及びベースパネルに流さず、側面パネルのラジエータから排熱。熱輸送のためヒートパイプを採用。

【ロバスト性設計】

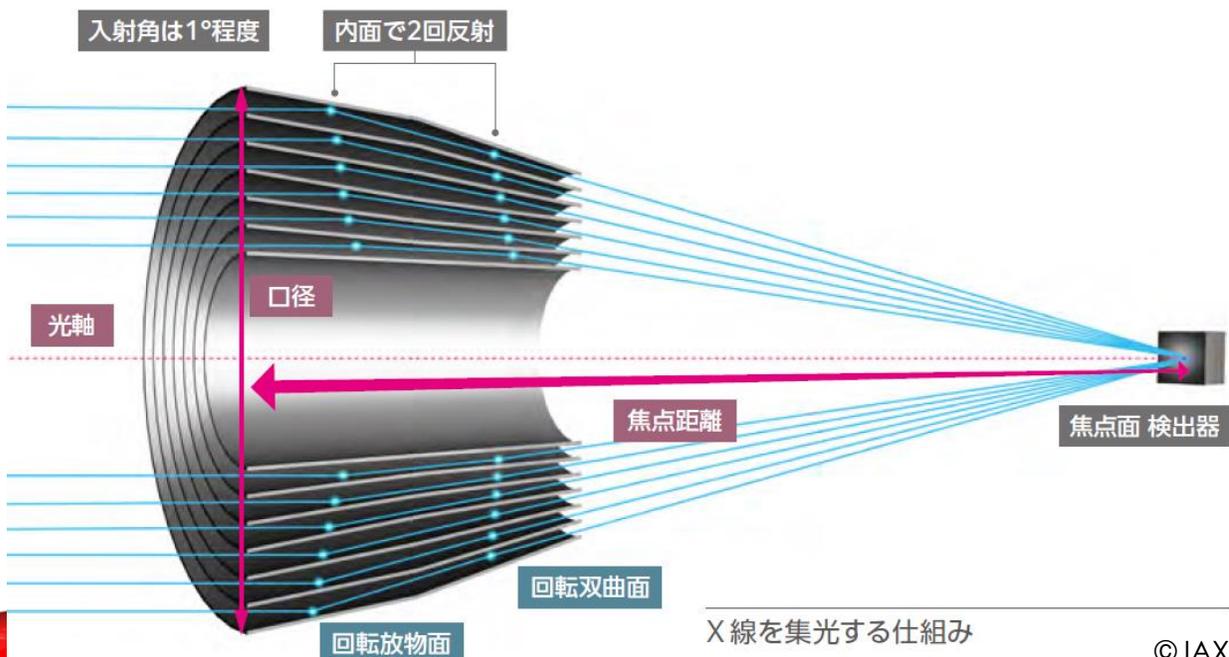
- ・ASTRO-Hからスラスト噴射異常対策機能を追加するなどロバスト性を向上。



©JAXA

X線望遠鏡(XMA)

- X線望遠鏡(XMA)は、天体からのX線を集光する機能を有し、Resolve用とXtend用に2台搭載されている。
- X線は、滑らかな物質表面に 1° 以下で入ってきた場合のみ反射し、わずかに進行方向を変える性質を有している。これを利用してX線を1点に集める。
- 203枚の薄い反射鏡シェルを同軸上に入れ子に配置し、口径45cm、焦点距離5.6mの望遠鏡を構成している。



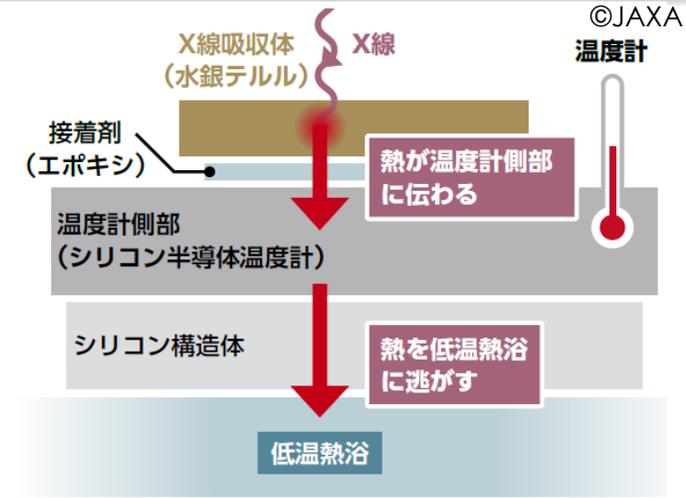
X線を集光する仕組み

©JAXA

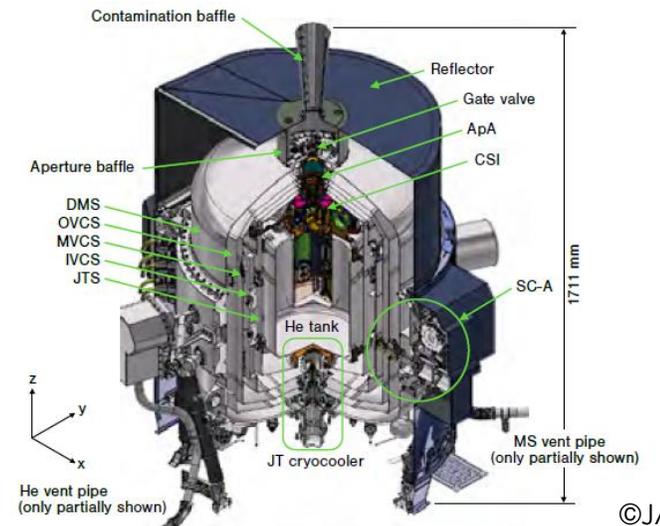


軟X線分光装置(RESOLVE)

- X線望遠鏡(XMA)の焦点に6x6画素のX線マイクロカロリメータアレイを搭載した精密分光器。
- これまでにないエネルギー分解能を0.3-12keVの広い観測帯域で実現する。
- マイクロカロリメータは検出器に入射したX線光子1個1個のエネルギーを素子の温度上昇として測定する。断熱消磁冷凍機、超流動ヘリウム、機械式冷凍機、それらを格納する真空断熱容器により検出器を-273.1°C(絶対温度0.05度)に冷却することで高分解能分光を実現する。
- 日米欧の共同開発。



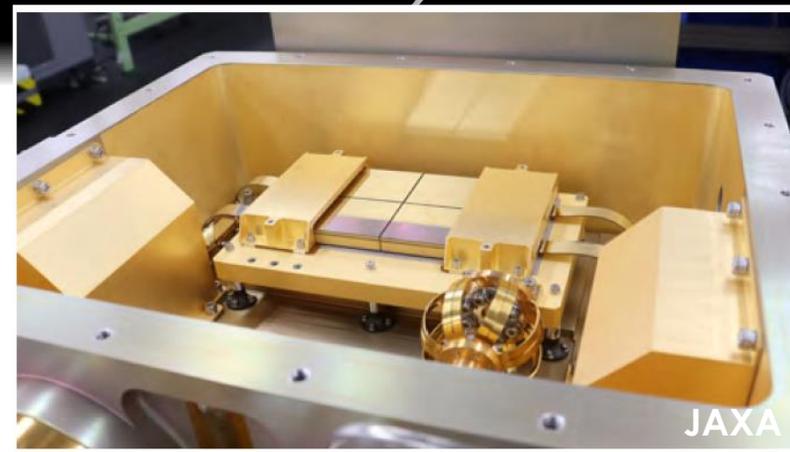
エネルギー測定の仕組み。図は検出器の1画素に相当。



冷却システム。デュワの多層シールドと多段冷凍機・超流動ヘリウムで検出器(CSI内)を絶対温度0.05度に冷却。

軟X線撮像装置(XTEND)

- Xtendの検出器は純国産のX線CCDカメラで、軟X線(0.4-13keV)帯で撮像、分光を同時に行う。
- 厚い空乏層、裏面照射型CCDを採用し、従来のX線CCDより高いエネルギーのX線検出、低エネルギーX線に対する高い量子効率を達成した。
- X線望遠鏡としては史上最大の38分角四方の視野をもち満月より広い視野を一度に観測可能。
- 大きく広がった天体の観測で力を発揮する他、Resolve視野外の天体を捉えることでResolveの観測をサポートする。



XtendのCCD素子。銀色の部分が受光面。



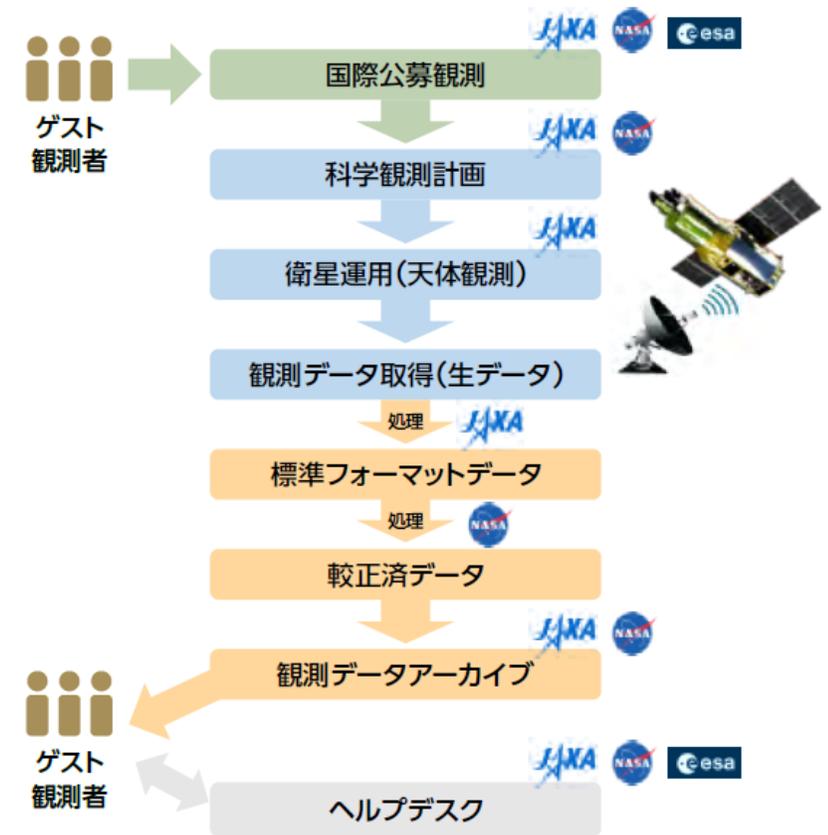
衛星搭載前の検査に臨む Xtend。

【ミッション運用】

- JAXA内之浦宇宙空間観測所を主局として衛星状態の確認、記録データの再生、衛星制御コマンド送信などを行う。
- NASA局も使用して衛星監視を強化する。
- 衛星自動監視システムを導入し、衛星の異常の早期発見に役立つ。

【科学運用】

- JAXA/NASA/ESAが公募、採択した観測提案を1つにまとめ、JAXAにて日々の運用計画として詳細化する。
- 観測されたデータは、JAXAにて天文学標準のデータ形式に変換され、NASAにて較正処理が施され、日米で配布、保管される。



XRISM 科学運用チーム

- JAXA Science Operations Center
- NASA Science Data Center
- ESA European Space Astronomy Centre

計画参加機関

計画参加機関

宇宙航空研究開発機構 (JAXA), 米国航空宇宙局 (NASA),

欧州宇宙機関 (ESA), 東京都立大学, 金沢大学, 関東学院大学, 宮崎大学, 埼玉大学,

SRON (Neetherlands Institute for Space Research), University of Geneva, Canadian Space Agency,

中央大学, 愛媛大学, 福岡大学, 藤田医科大学, 広島大学, 鹿児島大学, 近畿大学, 関西学院大学, 甲南大学, 京都大学, 名古屋大学, 奈良教育大学, 奈良女子大学, 日本福祉大学, 大阪大学, 理化学研究所, 立教大学, 芝浦工業大学, 静岡大学, 東北学院大学, 東京大学, 東京理科大学, 早稲田大学, 福岡教育大学, 熊本学園大学, 明治大学, Gravitation AstroParticle Physics Amsterdam, Canadian Light Source Inc., University of Chicago, University of Durham, European Southern Observatory, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, Lawrence Livermore National Laboratory, Leiden University, University of Maryland, Massachusetts Institute of Technology, University of Maryland, University of Michigan, Saint Mary's University, University of Waterloo, University of Wisconsin, Yale University



衛星組立試験



JAXA 衛星音響試験



JAXA XMA組付け



JAXA Resolve単体試験



JAXA Xtend単体試験

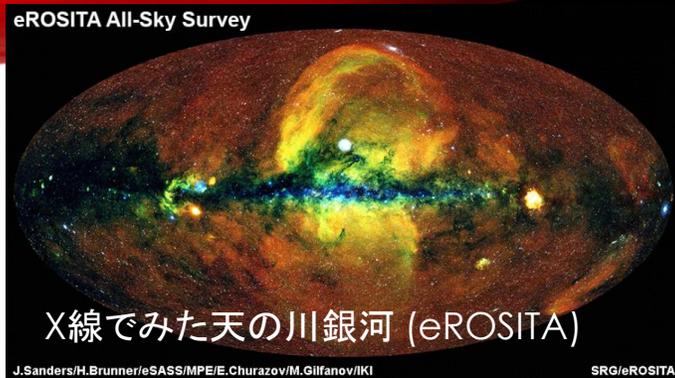
- 射場整備作業
 - 推薬充填、ロケット結合など
- 打上げ
- 初期段階(3ヶ月)
 - クリティカル期間
 - 姿勢、電力、通信など衛星の基幹機能の確立
 - 軟X線分光装置Resolve冷凍機の定常運転
 - コミッショニング期間
 - 衛星の基本機能性能確認
- 定常段階(33ヶ月)
 - 初期較正検証期間(7ヶ月)
 - ミッション機器の較正、性能検証
 - Guest Observations期間(26ヶ月)
 - 定常観測

XRISMのめざすもの

2023-07-21 XRISM 記者説明会

XRISM project PI 田代 信

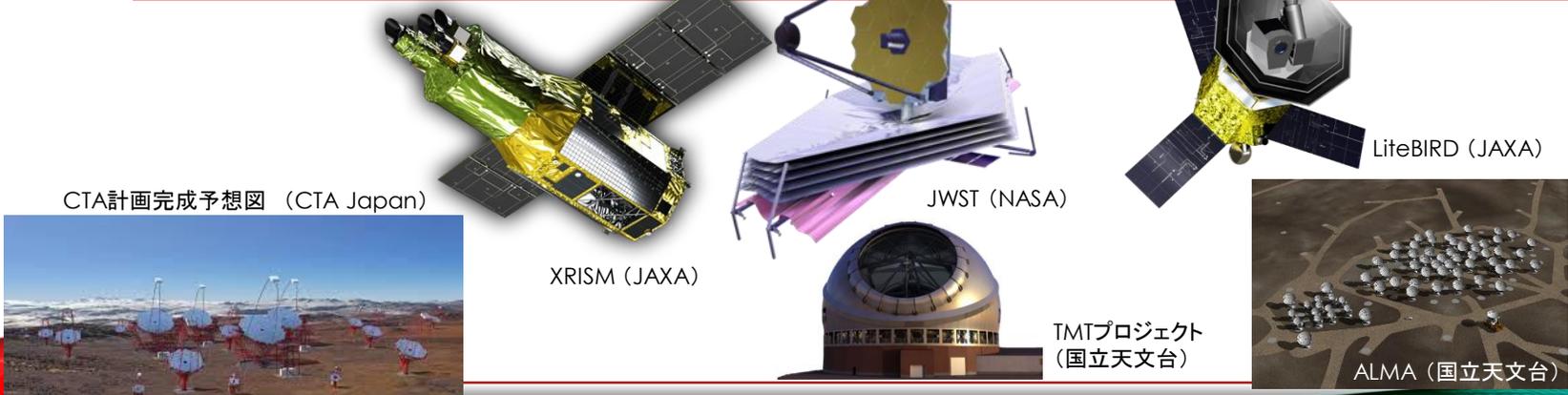
X線でみる宇宙とは XRISM X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission



天文観測に使われる電磁波の中でX線は短波長=高エネルギーの電磁波

- 強い重力場に付随する高温プラズマ
- 加速された荷電粒子から放射される。

波長(m)	10^{-12}	10^{-10}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	1	10^2	10^4
名称	γ線	X線	光		電			波	
			紫外	可視	赤外線	マイクロ波	超短波	短波	中波 長波 超長波
用途	材料検査	レントゲン	[Colorful spectrum bar]		電子レンジ	衛星放送	TV, FM,	AM	
温度(K)	10^9	10^7	10^5	10^3	1	10^{-3}			



ただし大気を透過しないので、人工衛星をつかった観測が必要

XRISM-精密分光でプラズマの元素と速度を測定

Instrument

FOV/pix

光子エネルギー
決定精度

感度帯域

(C),N,O, F Ne, ...Fe, Ni 特性K-X線をカバー

Resolve
(XMA +
X線マイクロカロリメータ)

2.9分角四方
6 x 6 ピクセル

光子エネルギー
決定精度
(FWHM @6 keV)
7 eV
1/1000
の精度
(goal 5 eV)

0.3 - 12
keV

Periodic table showing elements covered by the instrument's energy range (0.3-12 keV). Elements from Boron (B) to Nickel (Ni) are highlighted in yellow, indicating they are covered by the instrument's energy range.

Xtend
(XMA + X線CCD)

38分角四方
1280 x 1280
ピクセル

< 250 eV at EOL
(< 200 eV at BOL)

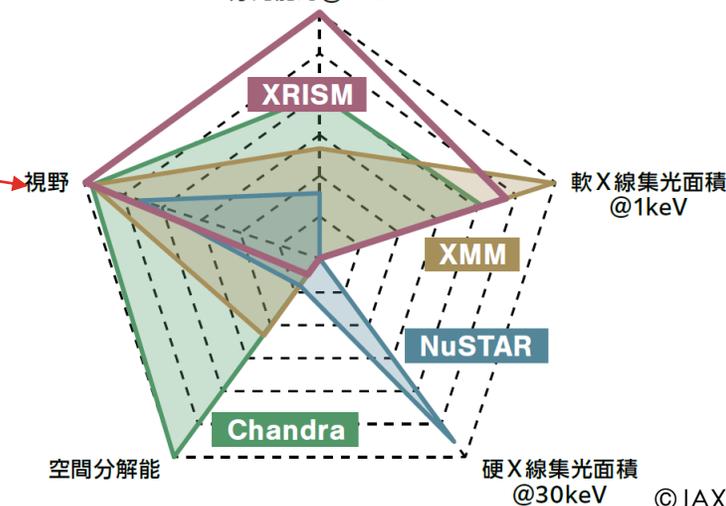
0.4 - 13
keV

分光能力@6keV

満月を収める視野

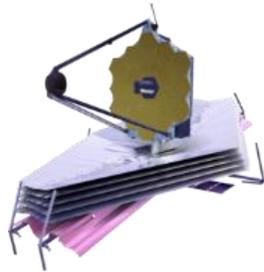
XRISMは

- 米欧の大型X線天文台と比較して、重要な鉄輝線が観測できる帯域でのエネルギー決定精度に優れている(Resolve)
- 汎用天文台として、大きな視野で撮像(Xtend)





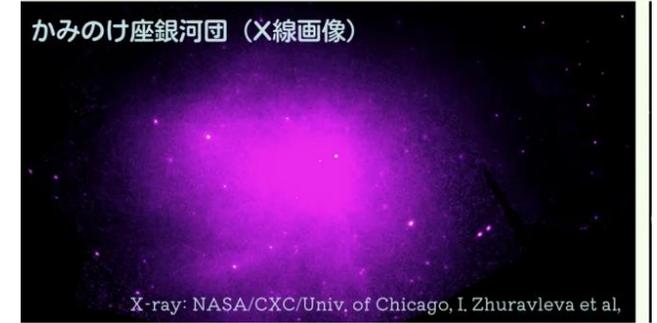
◀ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡(JWST)が撮影した銀河団「SMACS 0723-73」
(Credit: NASA, ESA, CSA, STScI)



かみのけ座銀河団 (可視光画像)

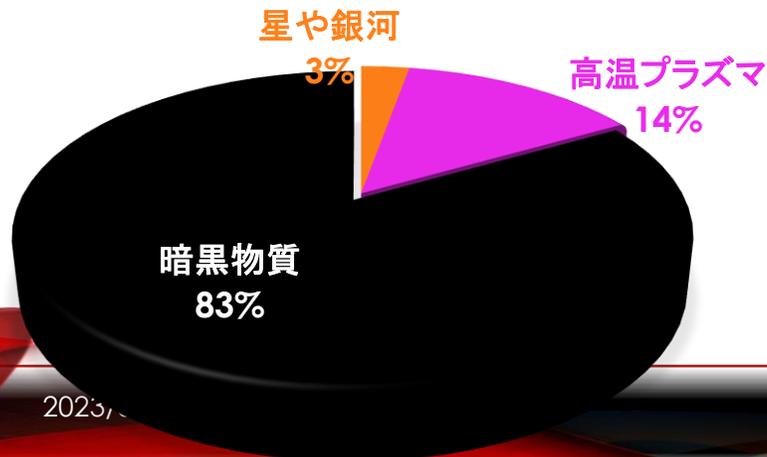


かみのけ座銀河団 (X線画像)

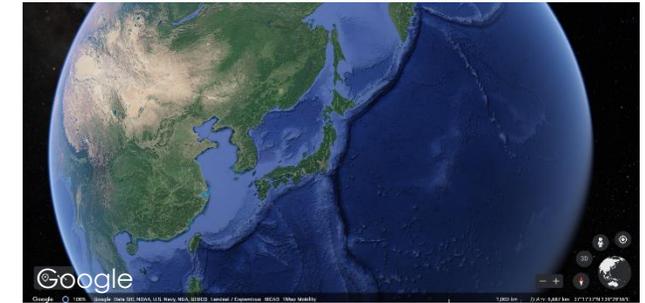


可視光: 恒星の輝きが見える → 地上や宇宙の大望遠鏡で銀河、銀河の集団を観測
X線: 重力場にとらえられた高温プラズマ(ガス)が見える → 暗黒物質の分布を反映
高温プラズマの分布や運動をみることで、暗黒物質の分布や動きを探る

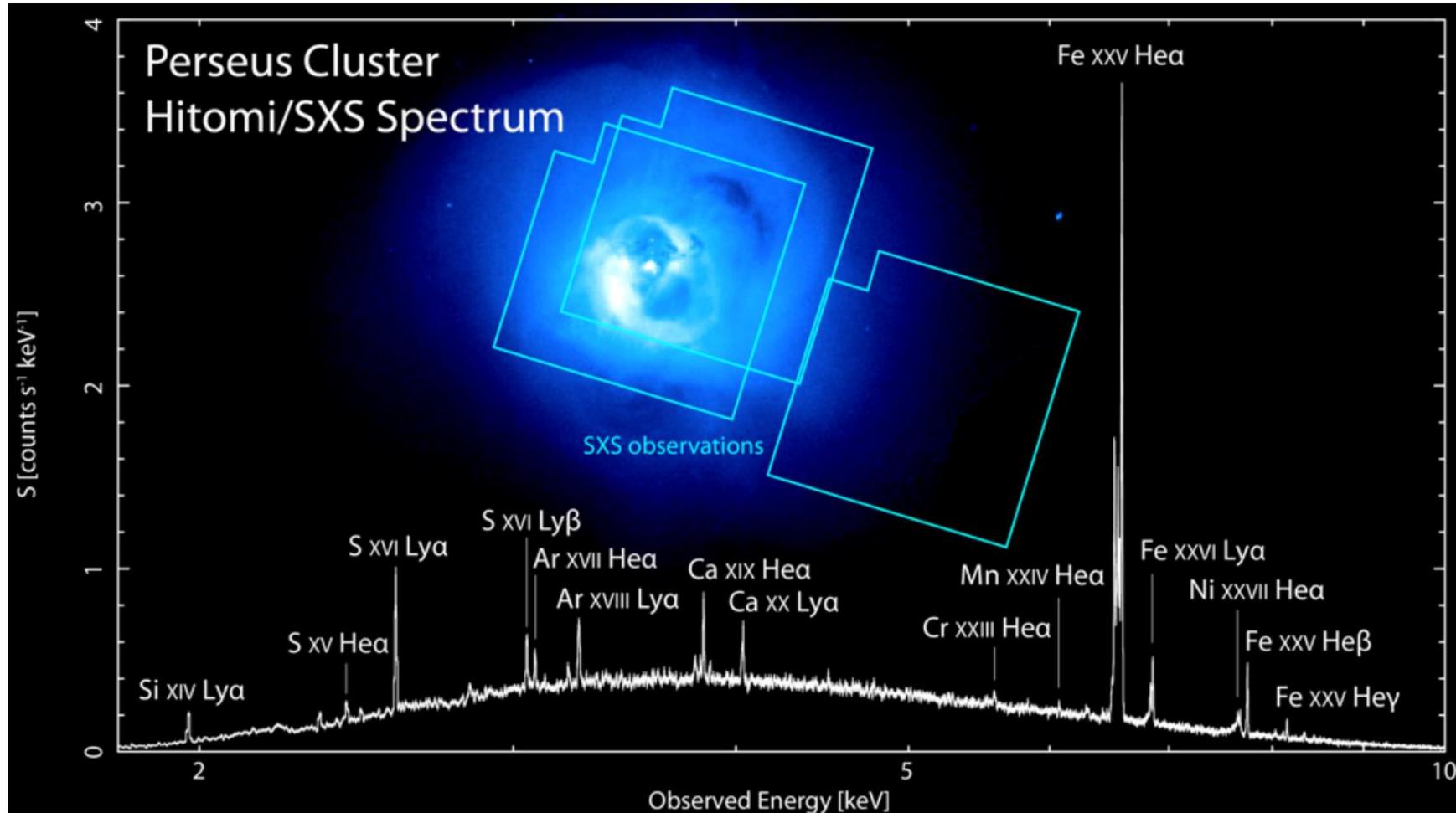
きらびやかな銀河の集団である銀河団の「形」を決める最大の要素は「暗黒物質」
この重力に対抗するエネルギーはどこから？



夜の地球: **照明**が見える → 人間の活動のさかんな領域を見つけやすい
昼の地球: **陸地**と海が見える → 人間の活動の土台となる陸地が見える
陸地をみることで、地下や海に隠された地殻の構造や動きを推測する



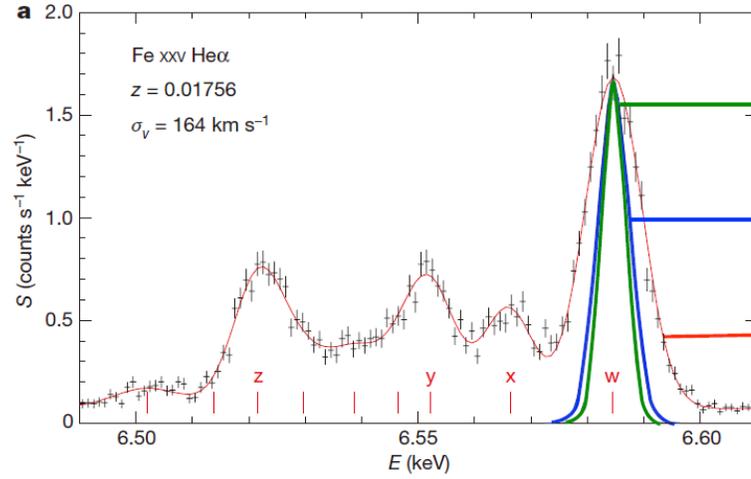
先代のASTRO-HのX線マイクロカロリメータが得た 画期的なスペクトルの例



- 画期的な分解能→ケイ素から鉄までの多数の元素検出 & 精密な速度測定

プラズマの速度測定 → 暗黒物質の重力に対する圧力の起源を探る

- ASTRO-Hは、ペルセウス座銀河団中心部の高温プラズマの「乱流」を計測
- 秒速数千キロメートルで運動する銀河と中心銀河にある巨大質量ブラックホールから噴出するジェットをとりまいている銀河団プラズマが、予想に反して非常に静かであることを発見。
- 暗黒物質の重力に対抗して構造を保っている銀河団のエネルギー源について宿題を残した
- 多様な銀河団の比較がカギ → XRISMの重要な課題

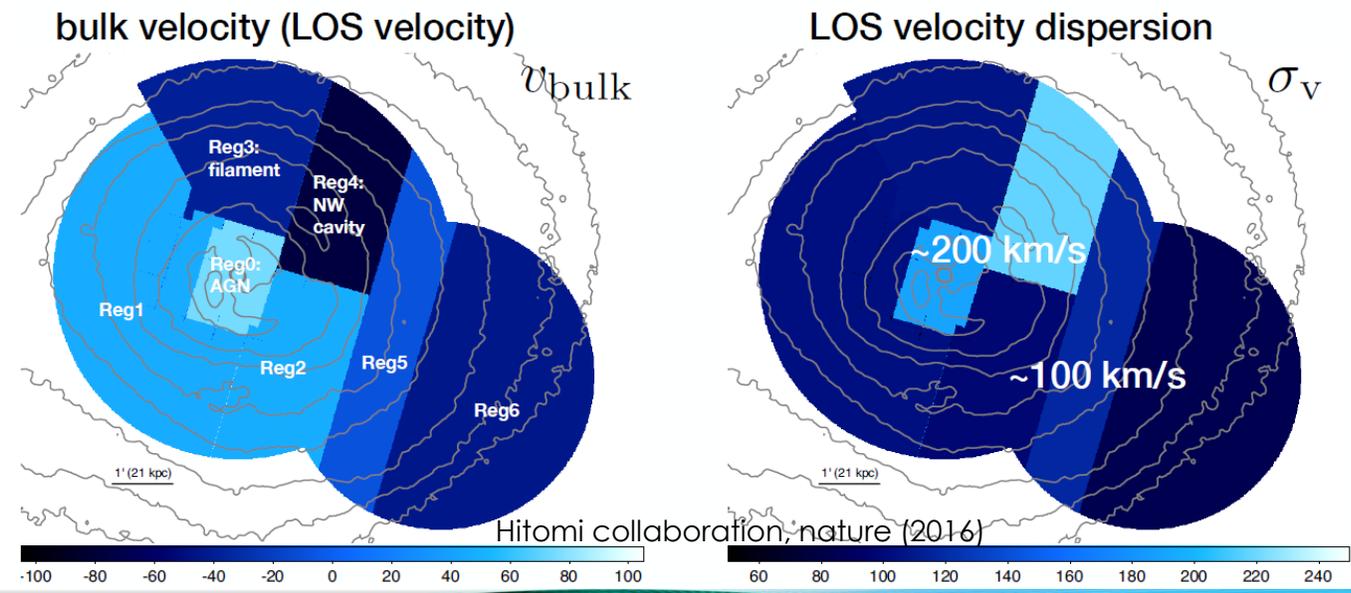


装置の分光能力限界
Instrumental resolution ~ 5eV

熱運動による広がり
Thermal broadening ~ 1eV ~ 80 km/s

プラズマの乱流による広がり
Observed broadening ~ 4 eV ~ 160 km/s

Hitomi collaboration, nature (2016)



---銀河を吹きわたる^{高温プラズマ}風が物質とエネルギーを運ぶ

物質は、高温プラズマになって、

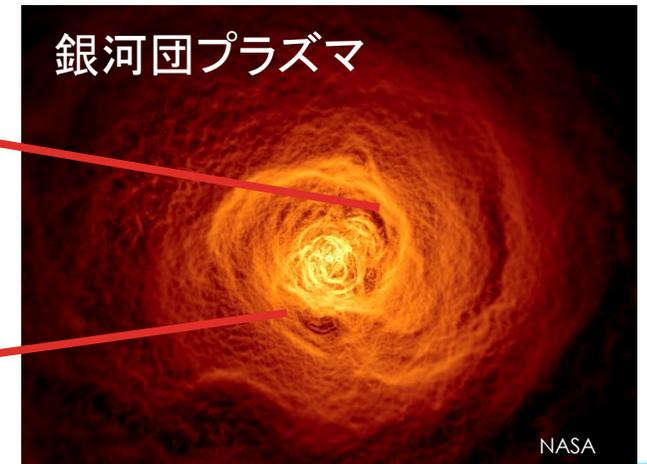
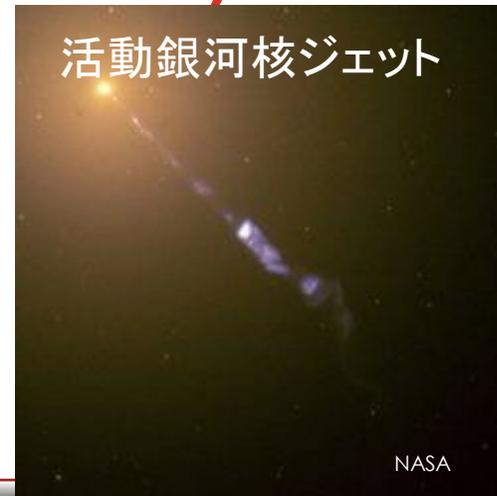
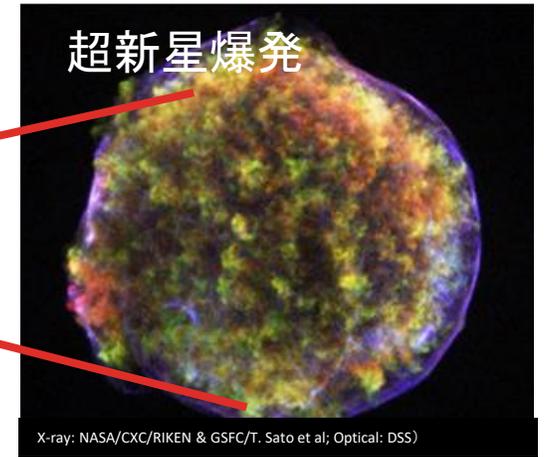
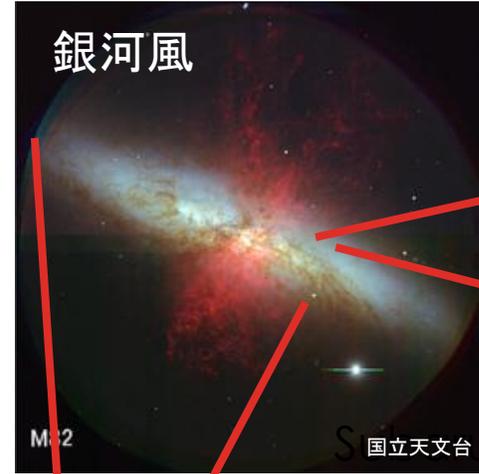
星間空間・銀河間空間を渡る

- 恒星の中で合成された元素は、恒星風や超新星爆発で星間空間へ広がる(一部は再び恒星に)
- さらに、銀河風や巨大質量ブラックホール(活動銀河核)ジェットによって、百万光年をへて銀河間空間へ
- 宇宙初期からある銀河団プラズマとぶつかり混じり合う

X線で、高温プラズマに含まれる

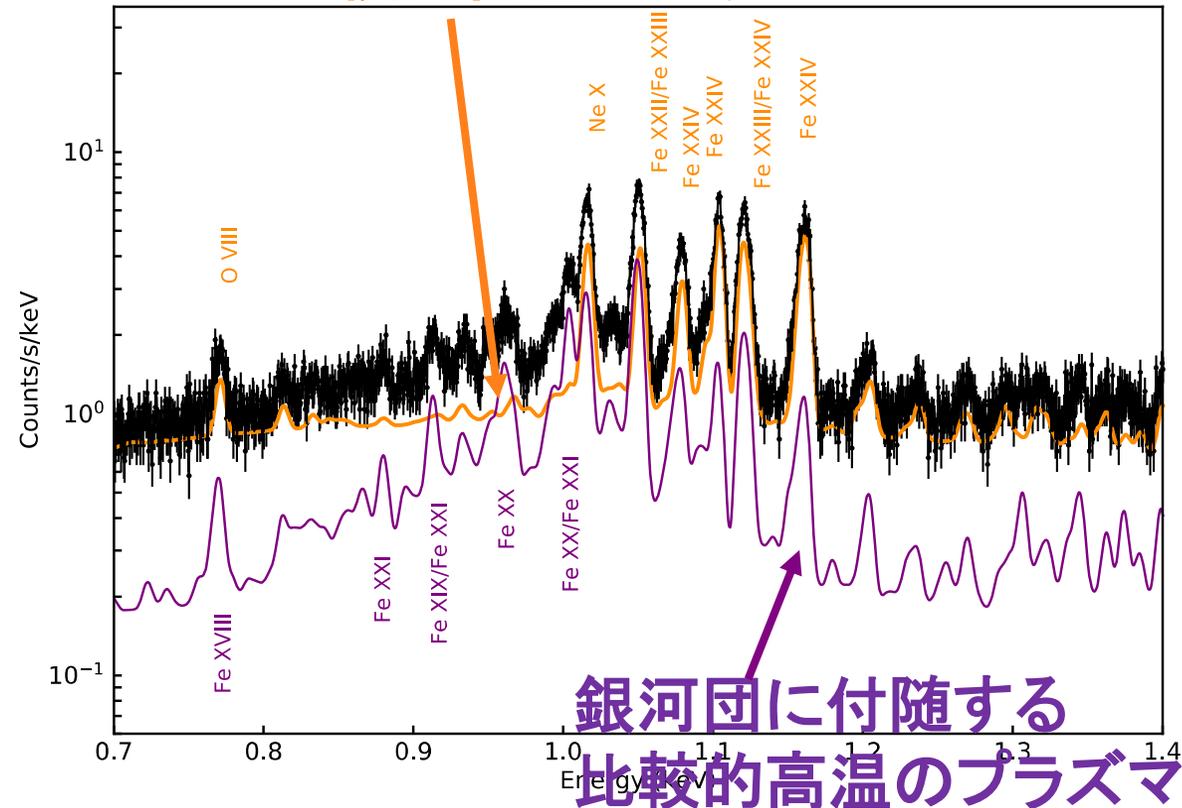
物質と速度を測定し、

宇宙の物質・エネルギー循環を観測

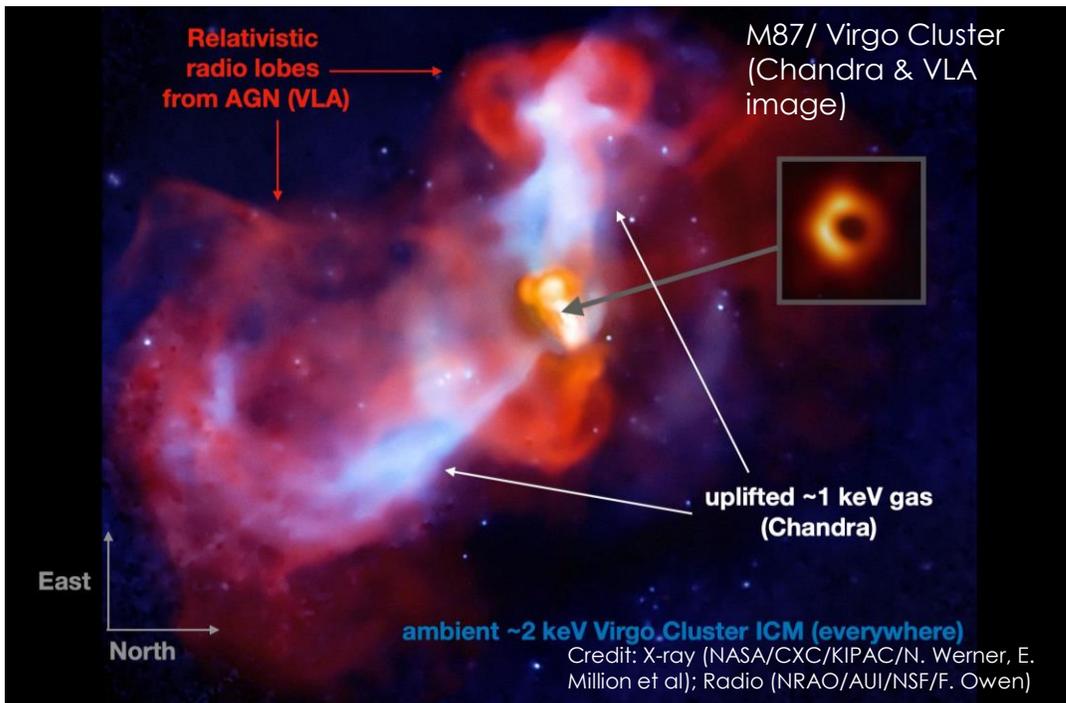


- M87/おとめ座銀河団
- XRISMの精密な分光で、「**銀河由来**」と「**銀河団由来**」を区別
- 両者の分布と速度→物質とエネルギー循環

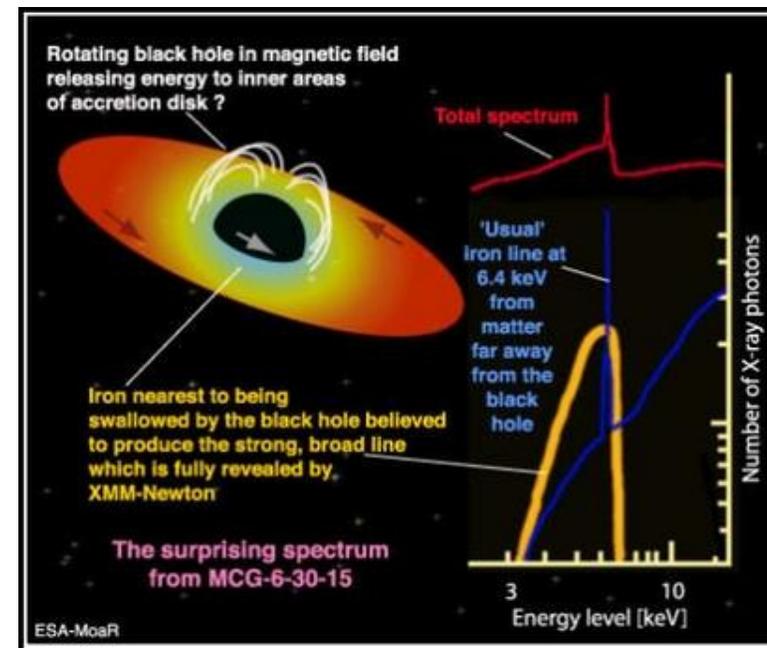
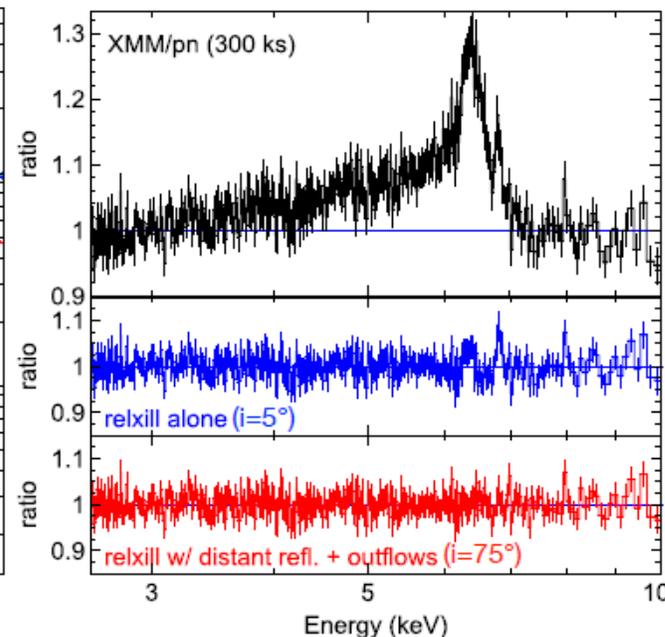
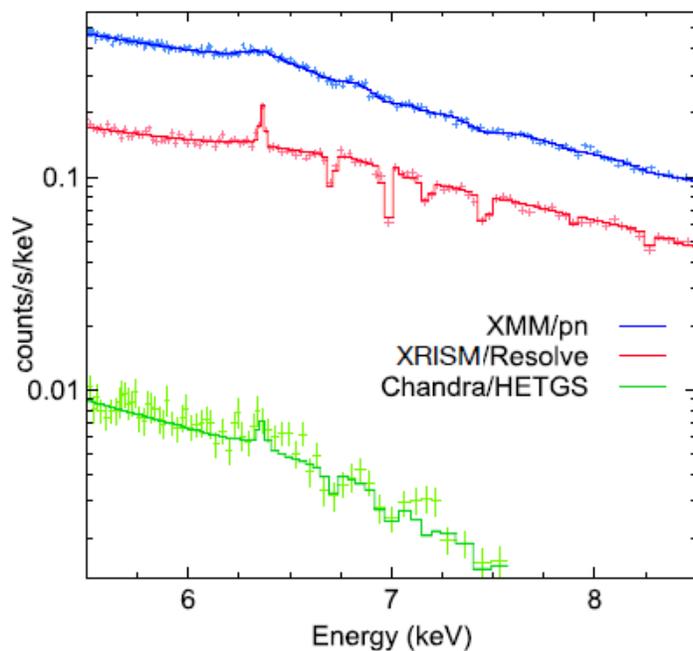
中心銀河の巨大質量ブラックホールからの比較的低温のプラズマ



A. Simionescu (XRISM WP)



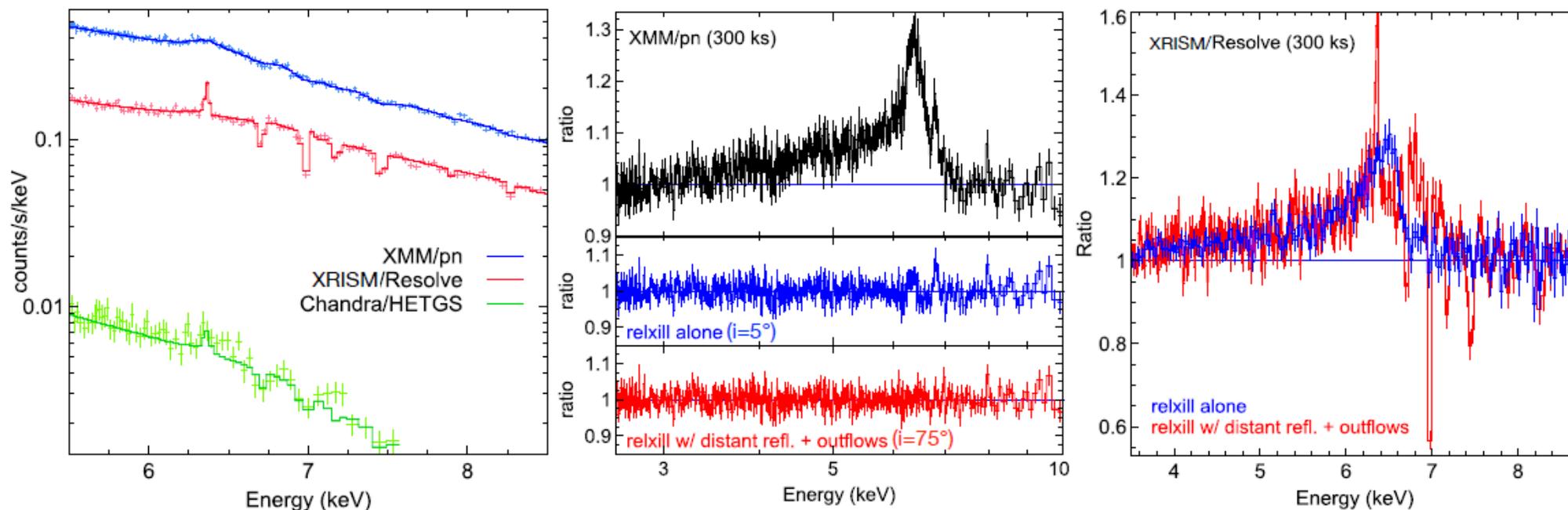
プラズマで、極限環境の物理現象を見る ---ブラックホールによる重力赤方偏移の観測



XRISM team "Science with XRISM"

- 多くの銀河の中心には、太陽の100万倍から1億倍の質量をもったブラックホールがある。
- 高温プラズマが吸い込まれるときに、元素輝線が強い重力で「赤方偏移」する。
- これまでの観測では、「赤方偏移」した成分と、していない成分の区別が曖昧だった。

プラズマで、極限環境の物理現象を見る ---ブラックホールによる重力赤方偏移の観測

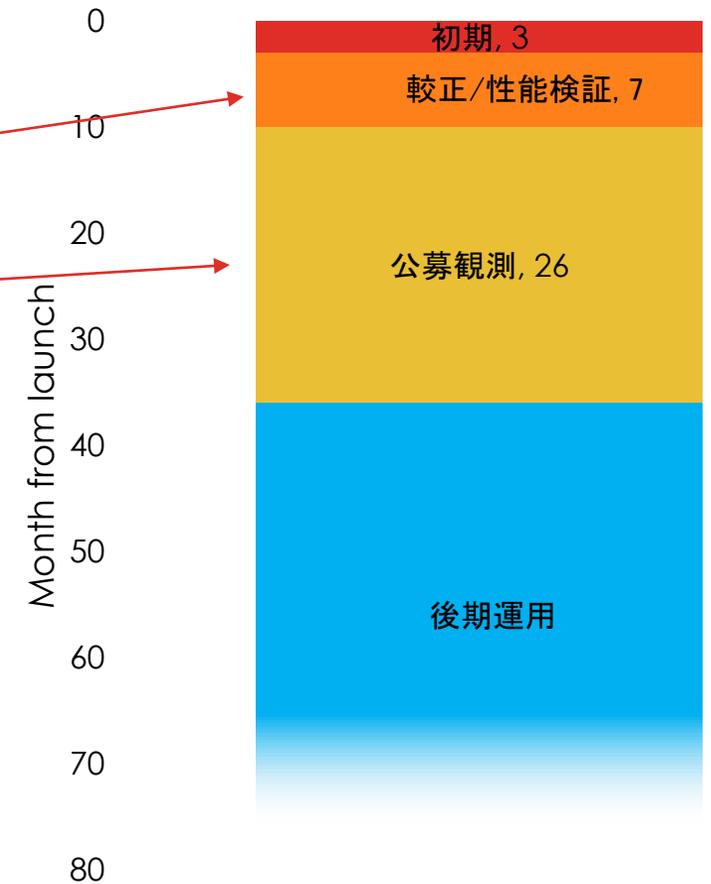


XRISM team "Science with XRISM"

- 多くの銀河の中心には、太陽の100万倍から1億倍の質量をもったブラックホールがある。
- 高温プラズマが吸い込まれるときに、元素輝線が強い重力で「赤方偏移」する。
- XRISMで、ブラックホール近傍の「赤方偏移」した部分と、遠方からの輝線を精密に区別して、ブラックホール周辺のプラズマの形を見極め、降着と噴出のメカニズムに迫る。

- **銀河団の構造はどのように形成されたのか？**
 - 何が暗黒物質による崩壊を防いでいるのか？
 - 熱的圧力, 動的圧力(乱流) のエネルギー密度と分布
- **宇宙の階層構造のなかでどのように元素は進化してきたか？**
 - 超新星の種族、超新星残骸にふくまれる元素
 - 星間空間・銀河間空間への散逸
 - 巨大質量ブラックホール(活動銀河核)や銀河からのプラズマの吹き出しと銀河間物質との相互作用
 - 超新星残骸中の元素組成と拡散速度の直接測定
- **画期的な装置(X線マイクロカロリメータ)が拓く新しい観測手法と宇宙物理**
 - ALMA, LiteBIRD, JWST, Subaru/TMT, XMM-Newton, Chandra, NuSTAR, Fermi, CTA, IceCube, LIGO, KAGRA など世界のマルチメッセンジャー天文台の一翼として
 - 2030年代の超大型X線天文台Athena (ESA, NASA, JAXA)の水先案内人として

- 初期運用段階 (打ち上げ後3か月)
 - クリティカル運用 (約 1 週間)
 - 立ち上げ運用 (約 12 週間)
- 定常運用段階(打ち上げ後3年まで)
 - 初期較正観測 (約1か月)
 - 初期性能確認観測(6 か月)
 - 観測提案にもとづくゲスト観測
 - JAXA, NASA, ESA それぞれが、観測提案の公募を行い、選考によって採択された観測を行う。
 - 予め定めた時間配分の範囲で、世界中の研究者に観測の機会を提供
- 後期運用段階(ミッション完了審査・延長審査を経て)



待望のX線天文衛星復活へ



©JAXA



XRISM Science Team meeting 2022.12.12-15 つくば国際会議場

©JAXA