

# XRISM プリズマキット

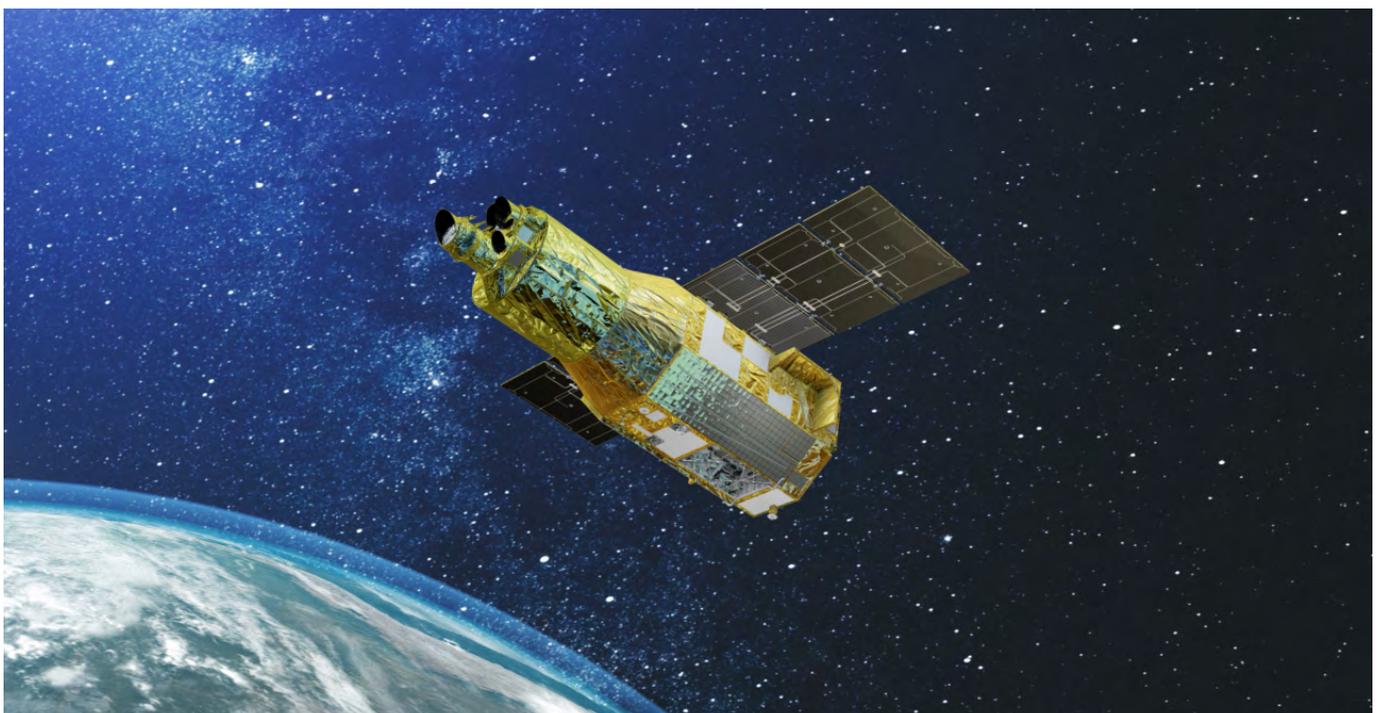


# イントロダクション

数千年の長い歴史をもつ天文学の中で、X線天文学はまだ60年程度の歴史しかもたない新しい学問です。しかしその短い歴史の中でも、ブラックホールや中性子星といったこれまで知られていなかった天体の観測をおこなったり、銀河間高温プラズマを見つけたり、常に新しい宇宙の姿を世界に提示してきた分野です。その発展の原動力となってきたのは新しい観測技術でした。XRISMが搭載するX線マイクロカロリメータ Resolve もまた、X線天文学の未来を切り拓くための装置です。

XRISMの目的は、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の開発を通じ、従来の30倍のエネルギー分解能を有する分光計などの高度な技術が軌道上実証されています。我々はASTRO-Hの開発成果を最大限活用し、一方で受け継いだ教訓を確実に実行し、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。



# 目次

|                              |    |
|------------------------------|----|
| イントロダクション                    | 02 |
| XRISMについての情報                 | 04 |
| XRISM概要                      |    |
| サイエンス目標                      | 05 |
| 衛星諸元                         | 06 |
| 軌道                           | 07 |
| ミッション機器紹介                    | 08 |
| 運用体制                         | 09 |
| 予定・計画                        | 10 |
| 汎用天文台としてのXRISM               | 11 |
| 世界の中のXRISM                   | 13 |
| サイエンス目標                      |    |
| なぜX線で宇宙を観測するのか?              | 15 |
| 銀河団の設計図                      | 16 |
| 宇宙のレシピを読み解く【化学進化】            | 17 |
| 時空のはて【極限環境を理解する】             | 18 |
| 衛星                           |    |
| アーキテクチャ                      | 19 |
| バス機器                         | 20 |
| ミッション機器                      |    |
| 効率よくX線を集める望遠鏡：XMA            | 21 |
| 超精密にエネルギーを測る軟X線分光装置：Resolve  | 23 |
| 広いエネルギー帯域で画像を撮る軟X線撮像装置：Xtend | 25 |
| 運用                           |    |
| 科学成果創出にむけて：科学運用              | 27 |
| 衛星運用・地上システム                  | 29 |
| 体制                           | 30 |

## 表紙画像

Crab Nebula ©X-ray: NASA/CXC/SAO/F.Seward; Optical: NASA/ESA/ASU/J.Hester & A.Loll; Infrared: NASA/JPL-Caltech/Univ. Minn./R.Gehrz  
MACS J0416 ©X-ray: NASA/CXC/SAO/G.Ogrea et al.; Optical: NASA/STScI; Radio: NRAO/AUI/NSF  
M87 ©X-ray: NASA/CXC/Villanova University/J. Neilsen  
black-hole driven outflows and jets at the centre of a galaxy ©ESA/AOES Medialab  
Tycho's Supernova ©X-ray: NASA/CXC/RIKEN & GSFC/T. Sato et al; Optical: DSS

---

# XRISM についての情報

JAXA メディア関係者の方向けウェブページ

---

[https://www.jaxa.jp/media\\_j.html](https://www.jaxa.jp/media_j.html)

JAXA YouTube チャンネル

---

<https://www.youtube.com/c/JAXA-PR/playlists>

JAXA デジタルアーカイブス XRISM の写真や映像素材など

---



<https://jda.jaxa.jp/>

XRISM 公式ウェブサイト

---



<https://xrism.isas.jaxa.jp>

XRISM 公式 Twitter

---



[https://twitter.com/XRISM\\_jp](https://twitter.com/XRISM_jp)

XRISM 公式 note

---



<https://note.com/xrism>

読む ISAS XRISM 連載「銀河を吹き渡る風をみる」

---

<https://www.isas.jaxa.jp/feature/xrism/>

# XRISM 概要 — サイエンス目標

X線分光撮像衛星 XRISM（プリズム、X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission）は、日本で7番目のX線天文台です。2023年度に鹿児島県の種子島宇宙センターからH-IIAロケットで打ち上げられます。

XRISMは宇宙にある数百から数千万度の高温ガスを観測します。そして、ブラックホールからのジェット、光速の99%以上の速さで運動する超高エネルギー粒子など、宇宙で起こっている熱く激しい活動や天体を調べます。XRISMはX線の「色」をより鮮明に測定できるセンサー Resolveと、満月1個分の空の範囲を一度に観測できるカメラ Xtend を搭載しています。XRISMの一番の特長は、この「色」を見分ける力です。そして、特に銀河団や超新星残骸などの広がった天体の天体物理学的な分析に適しています。

XRISMでは搭載観測装置の特徴に基づき、**XRISMで取り組む探求テーマを4つ**掲げています。

## 1. 宇宙の構造形成と銀河団の進化



X-ray: NASA/CXC/ITA/INAF/J.Merten et al, Lensing: NASA/STScI; NAOJ/Subaru; ESO/VLT, Optical: NASA/STScI/R.Dupke

銀河団では、ダークマターを除く“普通の”物質の90%以上は数百万度の高温ガスです。宇宙の構造がどのように進化するかを理解するためには、高温ガスの観測が不可欠です。

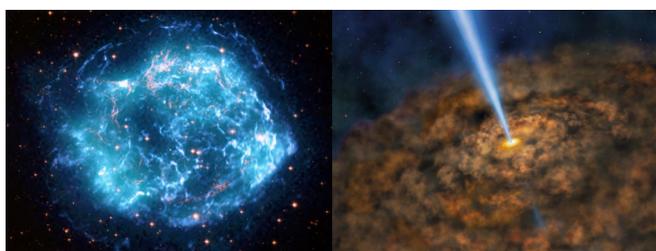
## 2. 宇宙の物質循環の歴史



X-ray: NASA/CXC/Penn State Univ./L. Townsley et al.; IR: NASA/ESA/CSA/STScI/JWST ERO Production Team

星間ガスから星の誕生、そして星の進化や大質量星の死である超新星爆発などを通じて、宇宙で物質が循環します。高温ガスの運動を調べることで、物質がどのように星間空間に広がっていくのかを調べることができます。

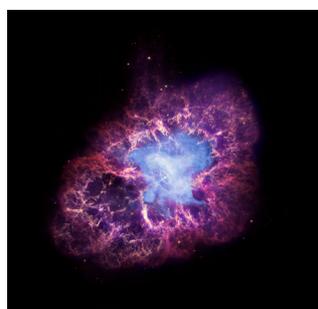
## 3. 宇宙におけるエネルギーの輸送と循環の解明



X-ray: Chandra: NASA/CXC/SAO, IXPE: NASA/MSFC/J. Vink et al.; NASA  
Optical: NASA/STScI

超新星爆発や活動銀河核などによって、物質とエネルギーは星間空間や銀河間空間へと輸送されます。高温ガスによってトレースできる、このような熱く激しい現象をX線で分光することで、エネルギーの輸送過程を理解することができます。

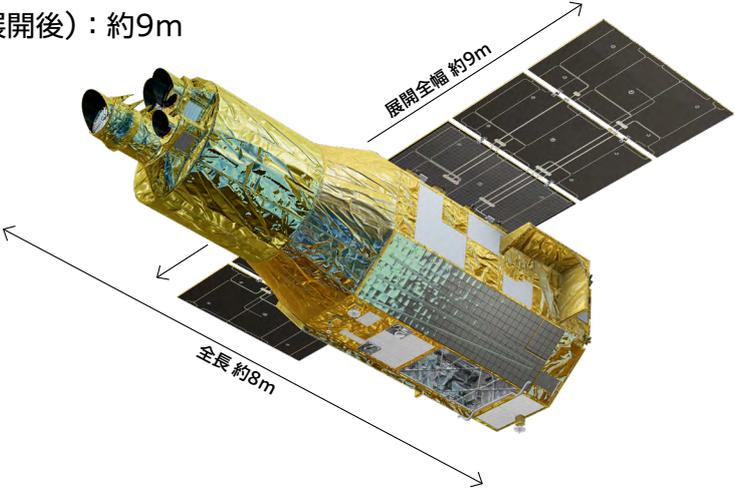
## 4. 精密分光によるニューサイエンス



X-ray: NASA/CXC/SAO/F.Seward; Optical: NASA/ESA/ASU/J. Hester & A. Loll; Infrared: NASA/JPL-Caltech/Univ. Minn./R. Gehrz

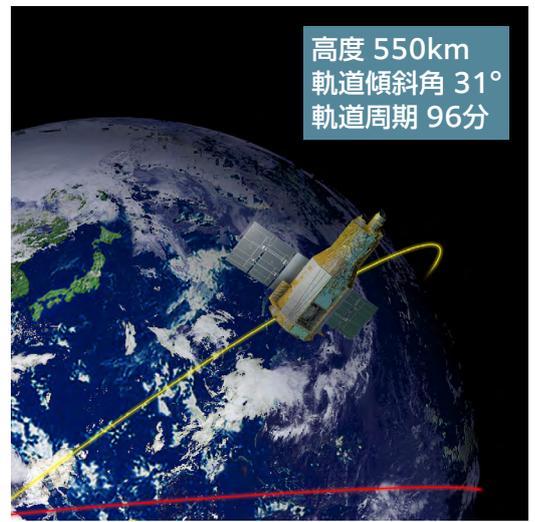
宇宙にある非常に強い重力場や極めて希薄で高温なプラズマは、地上では実現できない物理実験の環境です。XRISMの精密分光によって、極限状況にある天体の理解だけでなく、高温プラズマの振る舞いについての新たな理解が得られると期待されます。

# XRISM 概要 — 衛星諸元

|          |   |  |
|----------|---|--|
| 名称       | XRISM (クリズム、X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission)   |  |
| 開発の目的と役割 | <p>[ASTRO-H] のミッションを引き継ぎ、宇宙の高温プラズマにおける物質循環・エネルギー輸送過程と天体の進化の解明を進める。</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 宇宙の構造形成と銀河団の進化</li><li>2. 宇宙の物質循環の歴史</li><li>3. 宇宙のエネルギー輸送と循環の研究</li><li>4. 超高分解能 X 線分光による新しいサイエンスを開拓</li></ol> |  |
| 打上げ      | 日時  | 2023年8月26日 (予定)  |
|          | 場所  | 種子島宇宙センター  |
|          | ロケット  | H-IIA ロケット   |
| 構造       | 寸法  | <p>全長：約8m<br/>幅 (太陽電池パドル展開後)：約9m<br/>奥行き：約3m</p>  A 3D perspective diagram of the XRISM satellite. The satellite is gold-colored with a complex structure. It has two large solar panel arrays extending from the sides. Dimension lines with arrows indicate: '全長約8m' (Total length approx 8m) along the main body, '展開全幅約9m' (Deployed total width approx 9m) across the solar panels, and '奥行き約3m' (Depth approx 3m) for the main body. <p>全長約8m</p> <p>展開全幅約9m</p> |
|          | 質量  | 約2.3t  |
| 軌道       | 高度  | 550 +/- 50 km  |
|          | 傾斜角   | 31 度   |
|          | 種類  | 円軌道  |
|          | 周期  | 約96分   |
| ミッション機器  | 軟X線撮像装置 Xtend、軟X線分光装置 Resolve   |  |

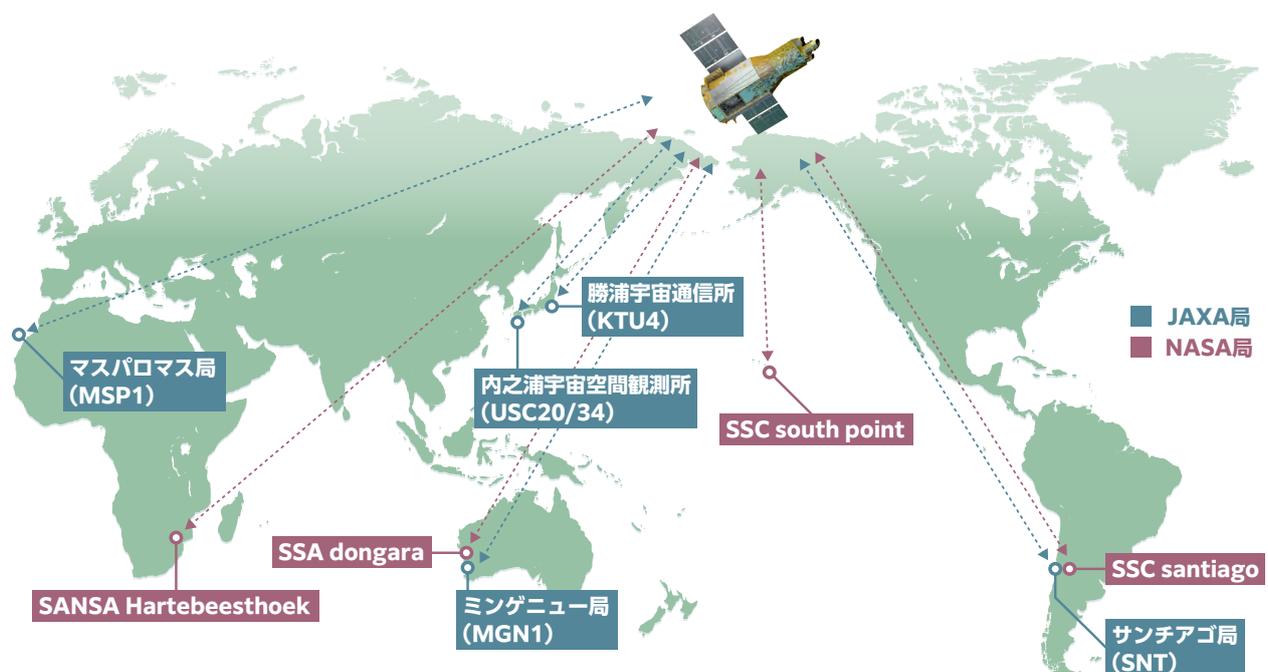
# XRISM 概要 — 軌道

XRISMは約550km上空を傾斜角31度の円軌道で地球を周回します。地球を一周する時間は約96分です。そして、一定の時間、一つの天体を観測します。観測時には約17秒角の精度でXRISMの姿勢を制御します。この際、恒星センサー（STT, Star Tracker）と呼ばれるカメラで点光源である恒星を捉え、その画像から衛星の姿勢を決定します。そして、リアクションホイール（RW, Reaction Wheel）により、XRISMの姿勢を維持もしくは変更します。ある天体の観測が完了すると、事前に準備した計画に従い、次の目標天体に望遠鏡を向けます。



XRISMの軌道

軌道上のXRISMとの通信には、主に鹿児島県の内之浦宇宙空間観測所（USC）にある34m/20mアンテナ、及び千葉県の上野原宇宙通信所にある20mアンテナを用います。また、海外局も用いて、衛星状態を確実に監視します。衛星との通信の際には、S帯（2GHz帯）とX帯（8GHz帯）の二つの周波数帯を使い分けます。S帯は安定性が高く、衛星制御コマンドの送信やハウスキーピング情報（電力・温度・姿勢など）の受信に用います。X帯はS帯と比べてより高速の通信が可能のため、サイズの大きい科学観測データの受信に用います。



衛星運用時に使用する地上局

# XRISM 概要 — ミッション機器紹介

XRISMには、超精密にエネルギーを測る Resolveと広い視野で撮像する Xtendが搭載されています。そしてこれらの観測装置のセンサー部へと効率よくX線を集めるX線望遠鏡がXMA(X-ray Mirror Assembly)です。



## XMA

表面を金でコーティングし、表面の凹凸が数百万分の1mm以下という高い精度で滑らかに成形された円筒形の鏡をバームクーヘンのように同心円上に並べてX線を集めます。非常に滑らかな金属にごく浅い角度で入ったX線が、全反射を起こしてわずかに進行方向を変えることを利用した望遠鏡です。

## Xtend

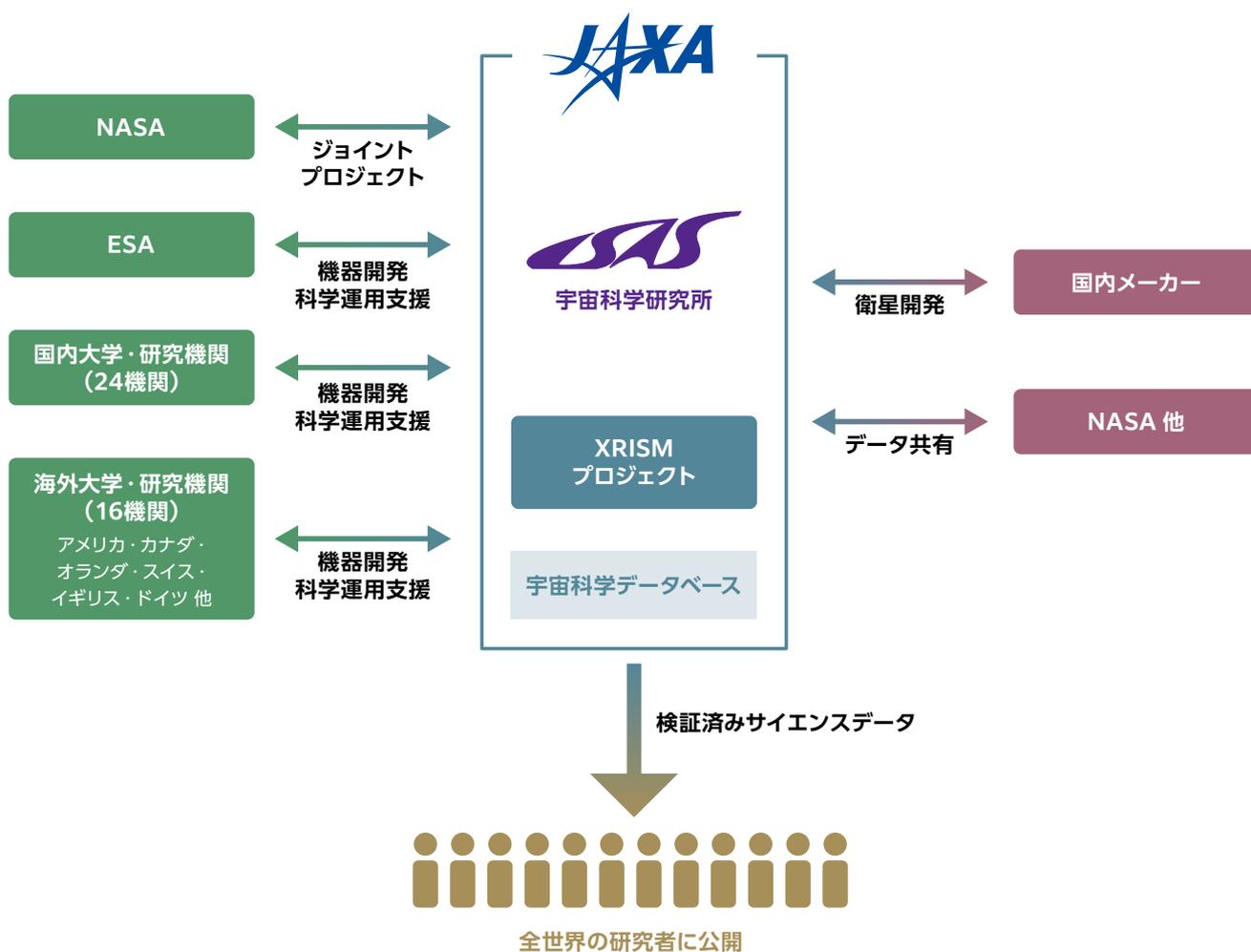
天体からやってくるX線を捉えて画像を撮影することができます。Xtendで使われているCCDは、X線に対する感度を上げる工夫が施されていることを除けば、原理はごく普通のデジカメとあまり変わりません。半導体に入ったX線が電子に変換され、電気信号に変わることによって画像を得ます。

## Resolve

X線が素子に当たった時にごくわずかに温度が上がることを利用して、エネルギーの大きさを測る装置です。日米欧が共同で開発しました。Resolveは素子に当たった一つ一つのX線光子のエネルギーの大きさをとても正確に測ることができます。これにより、観測対象の温度や組成などを非常に精密に計測することができます。また、運動する物体が出す光の波長がずれて見える「ドップラー効果」を利用して、高温ガスの動きを知ることができます。

# XRISM 概要 — 運用体制

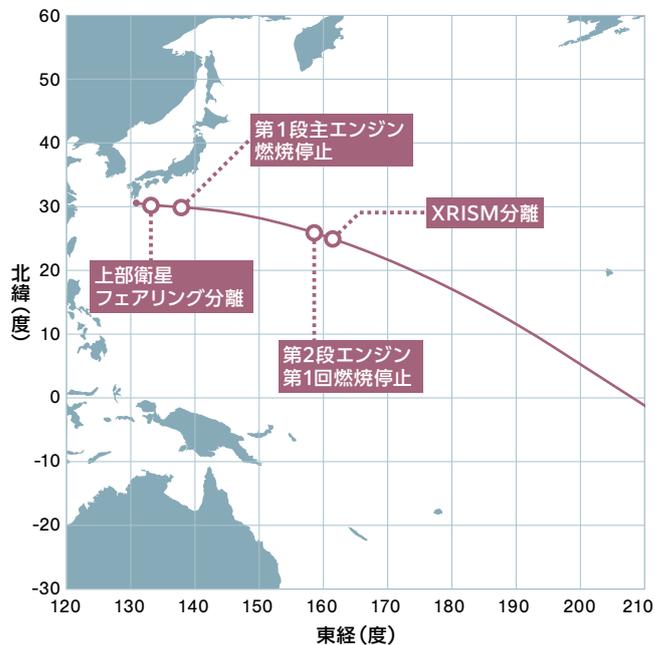
XRISMは、JAXAが米国航空宇宙局(NASA)、欧州宇宙機関(ESA)と覚書を結んで進めている国際共同プロジェクトです。特にNASAとは、プロジェクト全般にわたって密接に協力しながら進めています。3つの宇宙機関だけでなく、日米欧それぞれの大学・研究機関から、衛星開発、観測装置やデータ処理ソフトウェアの開発、さらには科学的な観測計画の策定のために100名を超える宇宙物理学者、技術者が参画しています。



# XRISM 概要 — 予定・計画

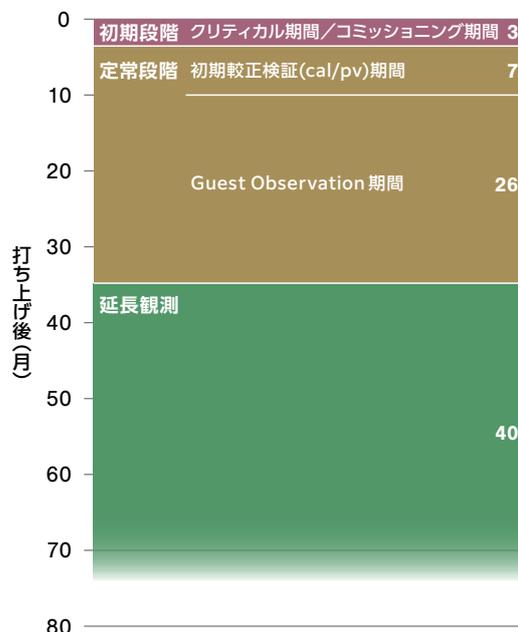
## XRISM 打ち上げシーケンス

XRISMは、「H-IIA ロケット」にて小型月着陸実証機「SLIM」と相乗りで打ち上げ予定です。右図はXRISM打ち上げ後の予定軌道です。



## 打ち上げから観測開始までの予定表

軌道投入後、3ヶ月ほどの初期運用期間 (Initial phase) があります。Initial phaseは、衛星が姿勢を保つことができるかどうかなど、衛星の生死にかかわる基本機能を確認するクリティカル運用期間と、搭載装置の動作試験を行うコミッショニング期間とに大別されます。Initial phaseの後、検出器性能評価のための較正と天体観測期間 (Performance Verification phase; PV phase) を合わせて7ヶ月程度予定しています。Initial phase、PV phaseが終わると、世界中の研究者からの観測提案に基づいて天体観測を行います (Guest observation期間)。約2年強の公募観測の後、審査により延長観測 (Late phase) を行うかどうか判断されます。



# XRISM 概要 — 汎用天文台としてのXRISM

## 国際公募観測

XRISMは、打上げから約10ヶ月後から、世界に公開された天文台として、国際公募観測を行います。専門家から提出された観測提案書を審査し、採択された観測提案に観測時間が配分されます。取得された全てのデータは、一定の占有期間の後、世界共有の財産として公開され、解析ソフトウェアと共に誰でもアクセスできるようになります。このようにすることで、データを余すところなく利用し、最大の科学成果を得ることを目指します。



第1回 XRISM Core-to-Core Science Workshopの様子 © 埼玉大学

## 解析ソフトウェア

XRISMでは、ソフトウェア開発チームと検出器チームが協力して解析ソフトウェアを制作してきました。この開発方法により、解析ソフトウェアは搭載機器の特性や個性などの較正情報を最大限に活かすつくりとなっています。公開天文台として、XRISMの観測データを広く利用してもらうために、NASAの世界標準フォーマットを採用し、使い方を習得した人は誰でも科学成果を得られるように工夫しました。この解析ソフトウェアは無償で公開されます。

## 世界の公開天文台として

XRISMは、画期的な性能で宇宙X線を観測する公開天文台です。その性能を十分に使いこなし、取得したデータを余すところなく利用し、科学成果を最大化するために組織されたのがユーザーサポートチームです。このチームの役割は、観測希望者と公開データの解析者、つまりXRISMユーザーをサポートすることです。ユーザーサポートチームは、次の三つの役割を担います。(1) 観測希望者にXRISMの特徴や、搭載観測装置の性能の高さとその限界を正しく伝えること、(2) XRISMのデータ解析の仕方を伝えること、(3) 論文として発表されたXRISMの成果を、世界の科学者や宇宙物理に興味を持つ人々に提示すること。

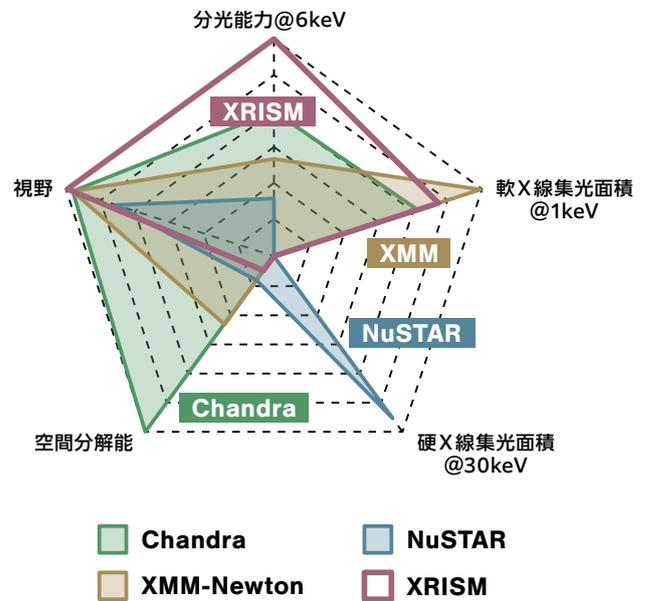
多くの科学者がXRISMの性能を享受し、多くの科学成果が創出される仕組みを整えています。



# 世界の中のXRISM

## 国際協力によるXRISM

20世紀末から21世紀にかけて、様々な特長を持つX線天文衛星が打ち上げられ、世界のX線天文学は大発展期を迎えています。公募観測を行っている汎用X線天文台に限っても、1999年には、画期的な高精度撮像をおこえる米国のChandra衛星と史上最大の集光面積をもつX線反射鏡を搭載した欧州のXMM-Newton衛星が打ち上げられました。それぞれX線CCDカメラの他に、撮像には適さないものの低エネルギー帯域で優れた分光性能をもつ分散分光計を搭載しています。打ち上げ後20年以上を経たいまも、世界のX線天文学の主力望遠鏡として活躍しています。2012年には、米国のNuSTAR衛星が登場し、硬X線の撮像が可能になりました。最近では2021年に、米国のIXPE衛星がX線偏光の世界を切り拓いています。



運用中のX線天文衛星の得意分野の比較

それぞれ異なる特長をもった衛星が活躍するいま、ASTRO-Hが垣間見せた高精度X線スペクトル観測の復活が待たれています。X線CCDカメラとXRISMのX線マイクロカロリメータの分光能力の違いは、世界を100色足らずで表現するか、2000色以上で描くかの違いに相当します。この高精度の測定によって、宇宙空間にある物質の大半を占める希薄かつ高温のガス（プラズマ）の温度、電離状態、速度が明らかになります。それは、宇宙物理の様々な謎を解くために、世界の宇宙物理学者たちがどうしても手に入れたかった新しい手がかりを与えてくれます。

世界の天文学者の支持をえて、XRISMは、JAXA-NASAの共同ミッションとしてスタートしました。さらに、ESAの協力も得て、日米欧宇宙3機関によって開発が進められてきました。打上げ後の初期観測のために、日米欧から150人以上の天文学者が参画し、プロジェクト開始当時から綿密に観測計画を練っています。この7ヶ月の初期観測の後には、汎用X線天文台として、広く公募観測に供され、XRISMの拓く高精度X線スペクトルの世界は、世界の研究者に開放されます。

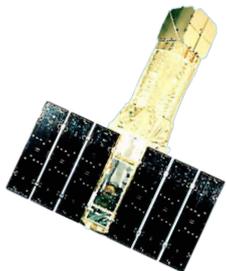
## 日本における歴代のX線天文衛星

日本は過去40年にわたって、X線天文衛星を打ち上げ、世界のX線天文学に継続的に貢献してきました。これまでに運用した6機の衛星には、いずれも、その時々を技術の粋をつくした観測装置が搭載され、新しい宇宙の姿を世界に届けてきました。



【打上げ 1983年／運用停止 1988年】

新開発のガス蛍光比例計数管によりエネルギー分解能を2倍以上に向上させ、X線天体の本格的な分光観測の道を拓きました。銀河系の銀河面に沿って存在する超高温度プラズマからのX線放射（銀河リッジ放射）を発見するなど、スペクトル観測で、日本のX線天文学の柱のひとつを築いた衛星です。



【打上げ 1993年／運用停止 2001年】

日本で初めての本格的X線望遠鏡や世界初のX線CCDカメラや撮像型蛍光比例計数管を搭載したことにより、感度を飛躍的に向上させた衛星です。国際公募観測も実施し、データは世界中の研究者に公開・利用され、非常に多くの論文を生み出しました。



【打上げ 2016年2月／運用停止 2016年3月】

改良されたX線マイクロカロリメータと、X線CCDカメラ、新開発の硬X線撮像分光器、さらに軟ガンマ線検出器を搭載、X線天文学に新たな歴史を拓くことを期待されました。衛星姿勢制御の事故のため、観測はひと月で中断されましたが、この間に得られた高精度のX線スペクトルは画期的で、その後のXRISMにつながりました。

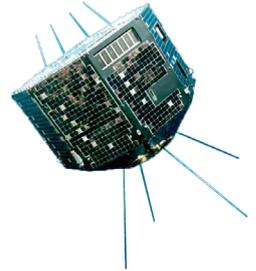
1979

### はくちょう

【打上げ 1979年／運用停止 1985年】

ブラックホール天体「白鳥座X-1」にちなんで命名された、日本初のX線天文衛星です。「すだれコリメータ」

の搭載により、X線天体の天空上の位置を高精度で決定し、多くのX線バースト源を発見して国際的に高い評価を受けました。



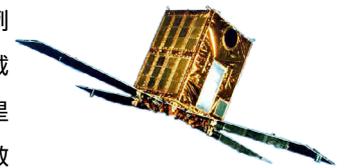
1987

### ぎんが

【打上げ 1987年／運用停止 1991年】

当時最大級の受光面積を持つ比例計数管を英国と共同開発して搭載しました。観測開始直後の超新星1987AのX線検出成功や、多数

のブラックホール候補天体の発見など、日本のX線天文学のもうひとつの柱である硬X線観測の端緒となりました。また、この衛星から海外研究者との国際協力が本格的にはじまりました。



2005

### すざく

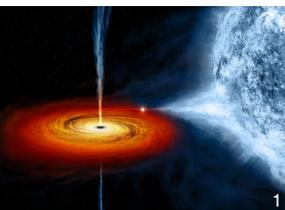
【打上げ 2005年／科学観測終了 2015年】

日米による高感度観測装置で広帯域をカバーした衛星です。主な成果は、超新星残骸中の特異な電離非平衡プラズマの検出、衝撃波による宇宙線加速機構の研究、厚いガスに埋も

れたブラックホールの発見、銀河団外縁部での重元素分布の観測による銀河団の進化の解明などです。国際天文台として世界中の研究者に観測の門戸を開き、2023年5月までに、査読付き論文1300件以上が発表されるなど多くの成果創出に貢献しています。



# サイエンス目標 — なぜX線で宇宙を観測するのか？



1

宇宙にある100万度以上の物質、高温プラズマを観測するためです。高温プラズマを観測することで、ブラックホールや中性子星、白色矮星、超新星残骸、銀河や銀河の大集団の銀河団を調べることができます。



2

波長が短い電磁波ほど、発生には高い温度あるいは高いエネルギーが必要になります。可視光や紫外線より波長の短いX線は、恒星表面より熱い、100万度から1億度程度の物質が放射の主役です。こんな高温の物質は、電離したガスである「プラズマ」状態になります。なかでもX線を出すような高温プラズマは、非常な速さで広がっていかうとするので、それを引き留める強い重力などが必要です。個別の天体なら、白色矮星や中性子星、ブラックホールといった非常に小さく重い天体が、高温プラズマを引きつけてX線を放射します。銀河や銀河団も全体として強い重力源となりますので、X線を放射する高温プラズマを持っています。高温プラズマを調べるには、X線のスペクトルを観測します。そこには、プラズマに含まれる元素に固有の特性X線があらわれます。これを用いて、プラズマの元素組成や電離状態を分析することができます。



3

**XRISM**は、X線スペクトル観測と撮像を同時に行うX線天文衛星です。そのために、ResolveとXtendと名付けられた2種類のX線望遠鏡を搭載しています。いずれもX線反射鏡を装備し撮像ができる装置ですが、Resolveは焦点面にX線マイクロカロリメータを装備し、XtendはX線CCDを装備しています。



4

**Resolve**は、視野は3分角四方と狭く画像を分解するピクセル数も36ピクセルと少ないのですが、一つ一つのX線光子のエネルギーを測定する精度がこれまでの装置の30倍以上と、画期的な性能を持っています。これによって、高温プラズマに含まれる微量元素の発見や、プラズマの運動や重力場によるドップラーシフトをこれまでになく精度で測定することができます。



5

もう一つの**Xtend**の波長測定精度は、これまでの装置と同程度ですが、視野がResolveの160倍もあり、大きく広がった天体や、周辺の天体の様子を大局的に捉えることができます。また新しい形式でかつ繊細な検出器であるResolveと異なり、30年近くの観測の実績がある形式の装置ですので、軌道上での特性も良くわかっています。XRISMは、異なった特長を持つ装置を同時に使うことで、新しくかつ確かな観測結果を得ます。



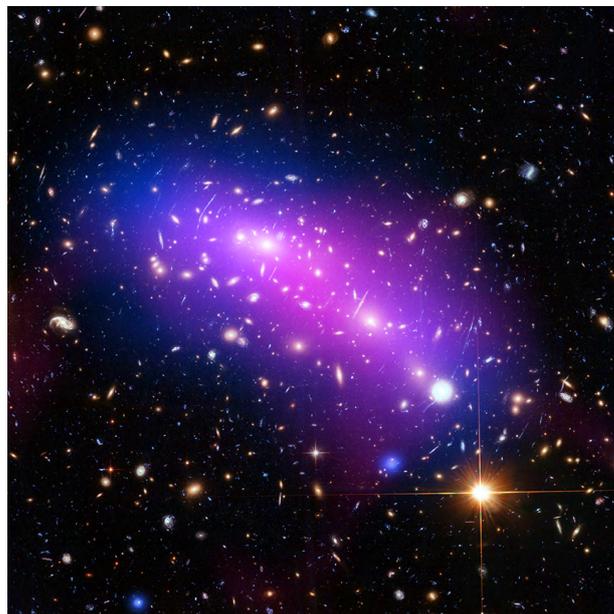
6

1.NASA/CXC/M.Weiss 2.NASA/CXC/M. Weiss 3. X-ray: NASA/CXC/RIT/SAO/J.Kastner; Optical: NASA/ESA/AURA/STScI/Univ. Washington, B.Balick  
4.X-ray: NASA/CXC/RIKEN/T. Sato et al.; Optical: NASA/STScI 5.X-ray: NASA/CXC/SAO; UV: NASA/JPL-Caltech; Optical: NASA/STScI; IR: NASA/JPL-Caltech  
6.X-ray: NASA/CXC/Univ. of Chicago, I. Zhuravleva et al, Optical: SDSS

# サイエンス目標 — 銀河団の設計図

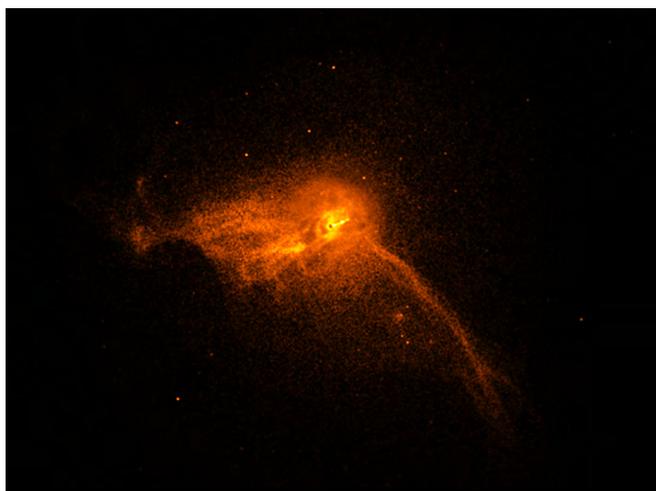
宇宙の天体はどのように形成されてきたのでしょうか？直接観測することができない不思議な物質、暗黒物質が宇宙を満たしており、その重力により天の川をはじめとする銀河などの天体が形成されたと考えられています。暗黒物質の重力により衝突合体が繰り返され、より巨大な天体が形成されます。その最大の天体が現在も成長を続けている銀河団です。

銀河団の質量は太陽質量の1000兆倍にもなり、8割以上が暗黒物質です。銀河団では水素などの普通の物質のほとんどは数千万度の超高温の銀河団ガスとして銀河団を満たしているのです。恒星の集団である銀河の質量は銀河団全体の数%以下にすぎません。



様々な観測結果から得られた銀河団 MACS J0416のイメージ  
X-ray: NASA/CXC/SAO/G.Ogreaen et al.; Optical: NASA/STScI;  
Radio: NRAO/AUI/NSF

XRISMはこの銀河団ガスからのX線を観測することにより、銀河団ガスの速度をはじめ精密に測定することができます。その結果、暗黒物質の重力により引き起こされる高温ガスの運動を調べることができるのです。高温ガスがぶつかりあうことによりガスの温度が上昇します。暗黒物質が加熱源ともいえます。XRISMにより宇宙最大の天体の成長過程を直接みることができるのです。



M87中心部にあるブラックホール周辺のプラズマの様子  
X-ray: NASA/CXC/Villanova University/J. Neilsen

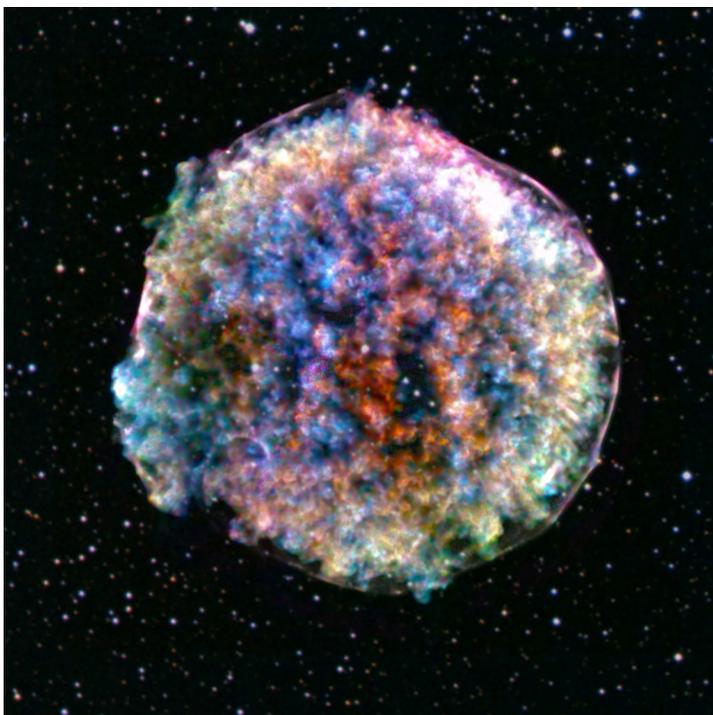
銀河団の中心部などでは銀河団ガスの加熱源は暗黒物質だけでは足りません。銀河の中心には太陽質量の何十億倍にもなる超巨大ブラックホールが存在しています。そのブラックホールにガスが落ち込むと解放された重力エネルギーの一部が周囲の銀河団ガスの加熱に使われるのかもしれませんが、ブラックホールはただ物質を飲み込むだけではなく、周囲の空間へのエネルギーの供給源となるのです。XRISMでは銀河団中心の銀河の中心の超巨大ブラックホールから吹き出す風の速度の測定を目指します。

# サイエンス目標 — 宇宙のレシピを読み解く【化学進化】

宇宙開闢<sup>かいびやく</sup>当時、水素とヘリウム、そしてごく少量のリチウムしか存在しなかった宇宙は現在、酸素や炭素、ケイ素、鉄など多くの元素に彩られた多様な世界になっています。現在の宇宙に至るまでの化学的進化をもたらした「宇宙のレシピ」はどのようなものだったのでしょうか。XRISMの解くべき謎の一つです。

恒星は、その寿命中に核融合で重い元素をゆっくりと合成していきます。また、恒星が寿命の最後に大爆発を起こす「超新星爆発」の瞬間にも重元素が合成されることが分かってきています。合成された元素は超新星爆発で宇宙空間にばらまかれ、宇宙は少しずつ化学的豊饒さを増してきたのです。

超新星爆発でばらまかれた噴出物は、秒速数千 km という超音速で宇宙空間に衝撃波を形成し、「超新星残骸」と呼ばれる数百万度のプラズマ球となって膨張を続けながら、X線で明るく輝きます。まるで宇宙の花火です。XRISMは優れた分解能で超新星残骸をX線分光することで、これまで見過ごされてきた微量の元素の割合やそれらの拡散の様子を、これまでにない精度で測定し、どのような恒星がどのような元素を宇宙空間に供給するのかを調べます。



超新星残骸 SN1572  
X-ray: NASA/CXC/RIKEN & GSFC/T. Sato et al; Optical: DSS

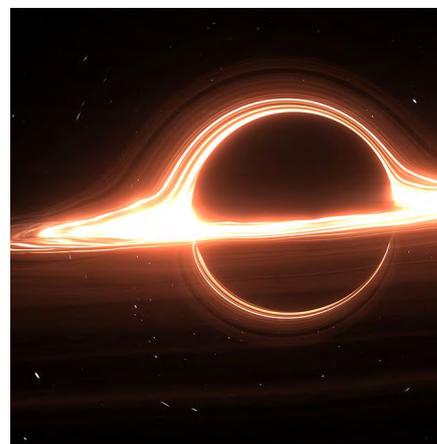
超新星残骸でばらまかれた重元素は星間空間にゆっくり拡がり、新たな恒星や惑星の材料として再利用されます。地球や我々生命も、過去の星から出来た「星の子」たちです。また、重元素は銀河間空間に染み出していき、銀河団を覆う高温プラズマに拡散します。恒星や超新星の種類によって、作られる元素の組成パターンは異なるので、それぞれの残した組成パターンを詳しく調べることで、数十億年にわたる元素合成の歴史と、それを生み出した恒星や超新星の歴史を知ることが出来ます。

# サイエンス目標 — 時空のはて【極限環境を理解する】

太陽のように核融合反応により自ら輝く星が、燃料となるガスを燃やし尽くし死を迎えた後には、ブラックホールや中性子星、白色矮星と呼ばれる、非常に高密度で強い重力を持つ天体が残されます。また、銀河の中心には太陽の数百万倍を超える超巨大ブラックホールが存在します。これらの「コンパクト天体」の中には、強い重力により周囲のガスを引き寄せ、莫大な重力エネルギーを解放してX線を放つものがあります。そのX線を観測することで、地上では実現できない超強重力の環境で起こる現象や、物質の状態・運動の様子を調べることができ、コンパクト天体そのものの性質を知る手がかりも得られます。

## ブラックホールの自転の測定・時空の構造を解き明かす

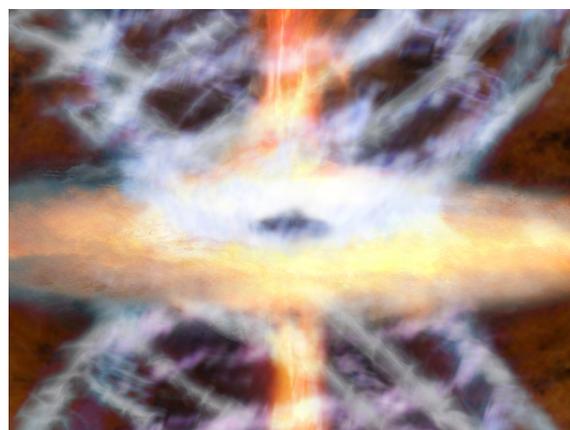
ブラックホールのごく近傍から出たX線のエネルギーは、ブラックホールの強い重力による時空のゆがみにより変化します。またそのX線エネルギーの変化は、ブラックホールの自転の速さによって変わります。ブラックホールに落ちこむ直前のガスからのX線のエネルギーをXRISMで精密に測定し、時空の構造を調べることで、ブラックホールの自転の大きさを推定でき、また一般相対性理論の検証にもつながります。



ブラックホールの想像図

## コンパクト天体からのガス噴出のしくみを解き明かす

ガスを飲みこんで輝くブラックホールや中性子星では、細く絞られ光の速度（秒速約30万km）に近いスピードで双方向に噴き出す「ジェット」や、毎秒数百～数万kmもの速度で噴き出す「ウィンド」（風）がしばしば観測されます。強い重力で周囲のものを何もかも吸いよせてしまうはずのコンパクト天体から、どうして高速でガスが噴き出すのでしょうか？そのしくみはいまだ解明されていません。ジェットやウィンドに含まれる元素は、ある特定のエネルギーのX線を吸収あるいは放射します。そのような吸収線や輝線の強さやエネルギーを精密に測定することで、噴出するガスの量や速度がわかります。この情報をもとに、ガス噴出のメカニズム解明に挑みます。



銀河中心の超巨大ブラックホールのイメージ図  
©ESA/AOES Medialab

# 衛星 — アーキテクチャ

XRISMには、最先端のX線観測装置とそれを実現する衛星技術が詰まっています。XRISMの設計はASTRO-Hの設計を踏襲していますが、その上でASTRO-Hの運用停止を踏まえ、故障検知・分離・再構成機能（FDIR）を強化し、スラスタ噴射異常対策機能を追加するなど、ロバスト性が向上しています。

## 構造設計

1分角を切る精度で長大な衛星を目標天体に向けてするために、以下の様に構造が分かれています。

- X線望遠鏡が搭載される光学ベンチ（FOB）
- 各種機器を搭載している8枚の側面パネル
- 2種類の検出器を搭載し光学ベンチと側面パネルをつなぐベースパネルと、衛星をロケットと結合するリングを下端にもつラスチューブからなる下部構造

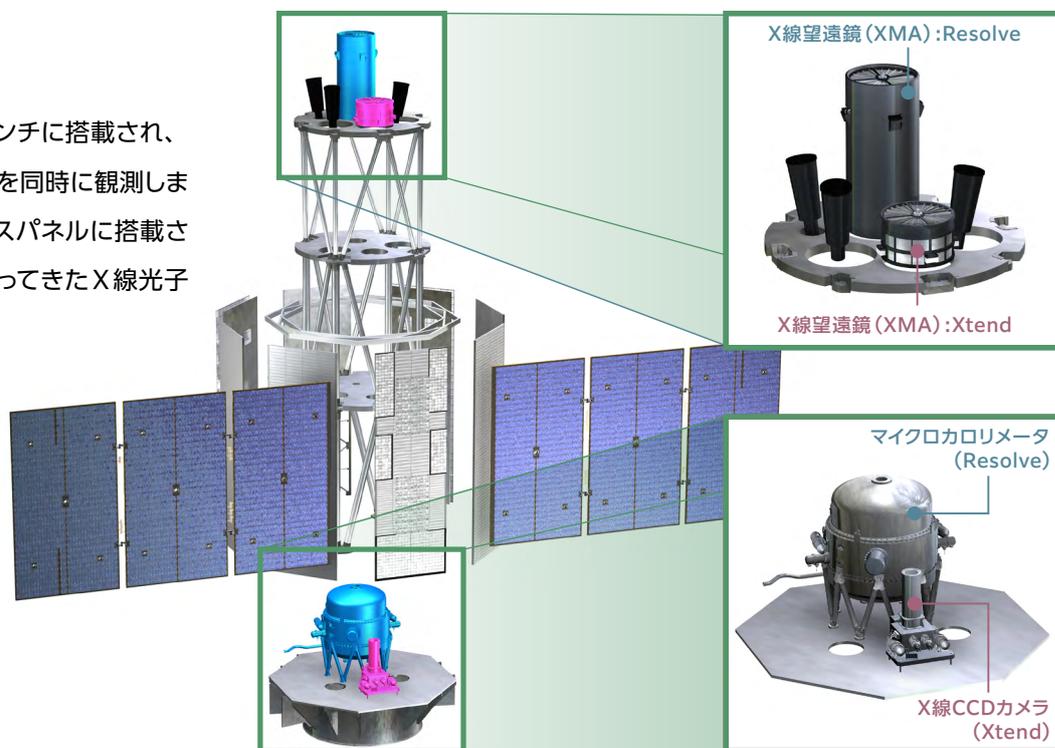
光学ベンチは、熱ひずみの小さい構造材料を採用し、軌道上での環境変化に対して高い形状安定性を実現する設計となっています。

## 熱設計

機器の発熱は、極力、熱歪みを嫌う光学ベンチやベースパネルには流さず、側面パネルに搭載のラジエータから排熱します。また、検出器の発熱の熱輸送のために数多くのヒートパイプが搭載されています。低熱歪要求を満たした上で、各機器の発熱を排熱し、各機器が要求温度範囲に収まるように工夫されています。

## 観測装置の搭載位置

2台のX線望遠鏡は光学ベンチに搭載され、同じ方向を向き、同一天体を同時に観測します。2種類の検出器はベースパネルに搭載され、いずれも、天体からやってきたX線光子を1つずつ検出します。



XRISMのアーキテクチャ

# 衛星 — バス機器

## 主要衛星システム構成

### 1. データ処理系 (DHS)

各機器間の通信処理、テレメトリの記録・再生処理、衛星の自動自律運用、衛星を安全な状態に保つための様々な処理を行います。またGPS信号を受信し、時刻・位置・速度の決定を行い、時刻を衛星内に配信します。

### 2. 通信系 (RF)

Sバンド及びXバンドの通信機器から構成され、衛星システムの運用に必要なテレメトリ、コマンドおよびレンジング信号の通信を実現します。Sバンドは主に衛星管制を行うテレメトリ・コマンド回線、Xバンドは観測機器のデータを地上へ伝送するテレメトリ回線です。

### 3. 電源系 (EPS)

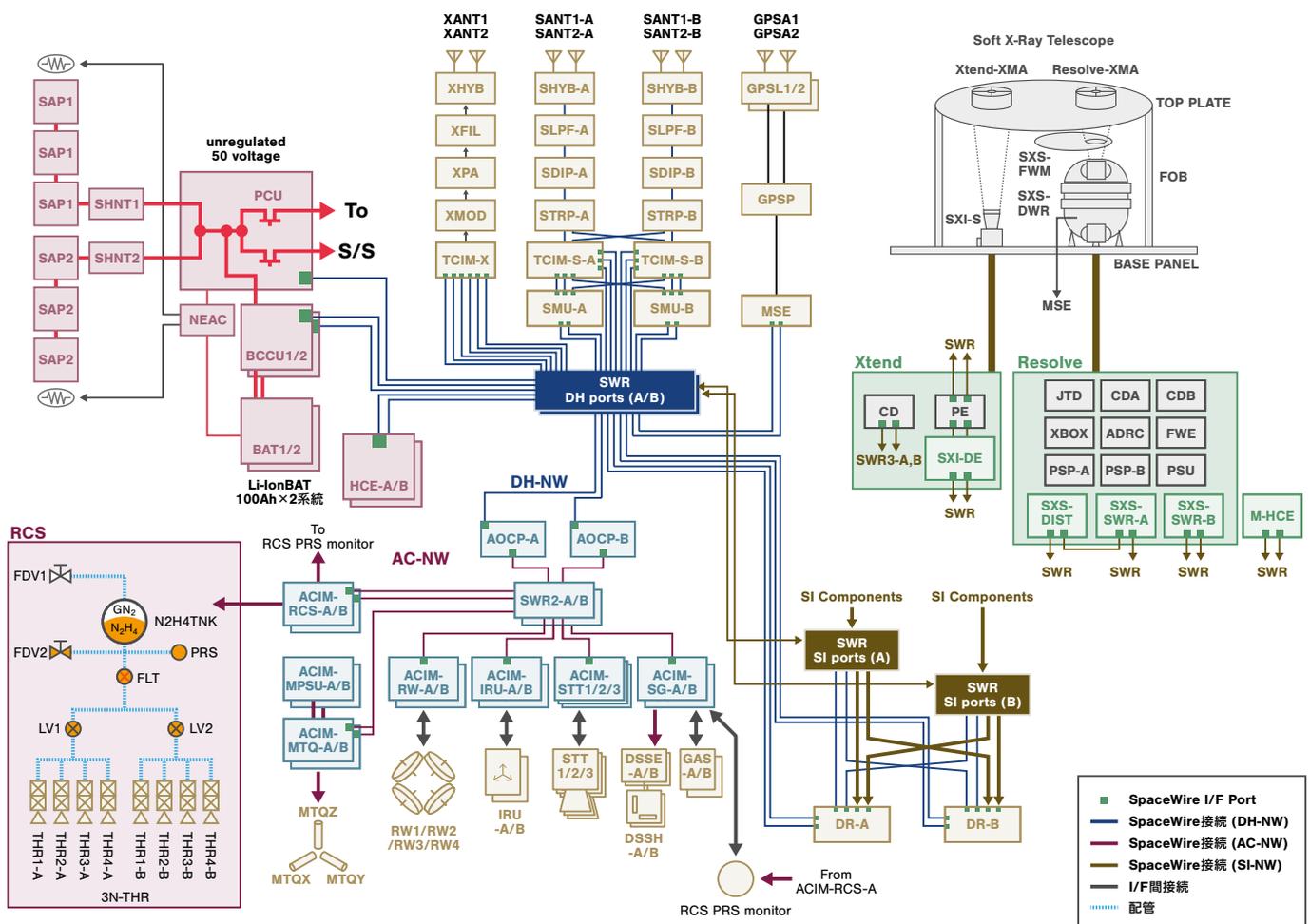
日照および日陰時の衛星運用に必要な電力の供給を実現します。

### 4. 姿勢軌道制御系 (AOCS)

姿勢決定を行い、観測機器が必要とする姿勢精度にて、コマンドで指定された天体を指向する三軸姿勢制御、および指向方向を変更する姿勢変更マヌーバを行います。また、デブリ衝突回避のための軌道制御も行います。

## システムブロック図

バス系・ミッション系とも機器間のデータ通信にはSpaceWireが採用されています。



システムブロックダイアグラム

# ミッション機器

## — 効率よくX線を集める望遠鏡：XMA

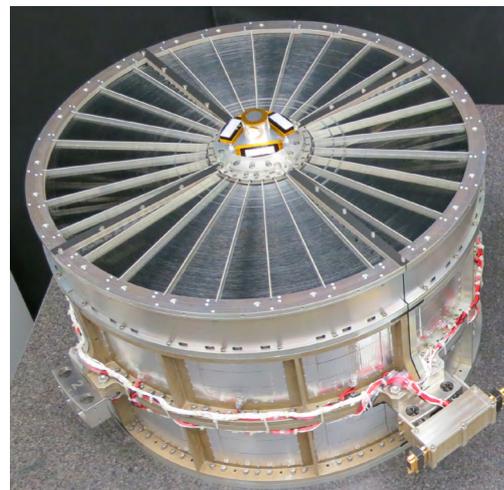
### 基本事項

X線望遠鏡XMA (X-ray Mirror Assembly) は、天体からのX線を集光し、画像を得るための望遠鏡です。XRISMには、同じXMAが2台搭載されています。1つはResolve用、もう1つはXtend用です。

XMAはNASAのゴダード宇宙飛行センター (GSFC) で開発されました。203層の薄い反射鏡シェルが同軸上に入れ子になっています。

### 技術紹介

反射鏡のアルミニウム基板は152、229、305 $\mu\text{m}$ の3種類の厚さのものを使用し、外側のシェルで厚い方の基板を使用しています。これは、外側の基板の歪みを抑えて優れたイメージング品質を実現するための工夫です。視野外の天体から混入してくるX線は、各反射鏡の上に配置された円筒形のアルミブレードからなる迷光バップル (プレコリメータ) で低減されます。プレコリメータの前面には、XMAの熱環境を安定化させるための熱シールドが取り付けられています。熱シールドは、低エネルギー帯で大きな有効面積を確保するため、厚さ僅か0.22ミクロンのポリイミドフィルムで作られています。

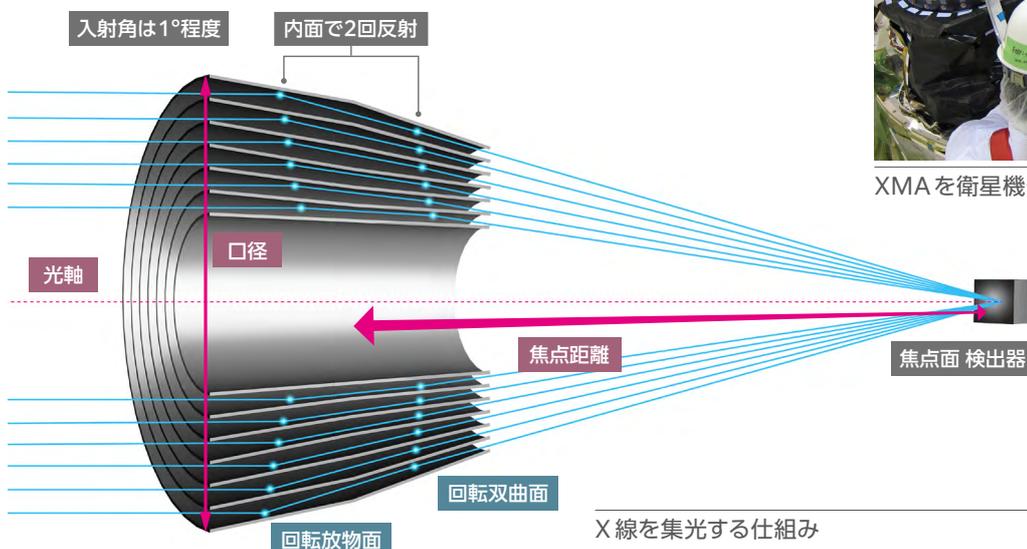


NASA

| 焦点距離 (m) | 直径 (cm) | シェルの数 |
|----------|---------|-------|
| 5.6      | 45      | 203   |



XMAを衛星機体に取り付ける作業の様子。



# ミッション機器

## — 効率よくX線を集める望遠鏡：XMA



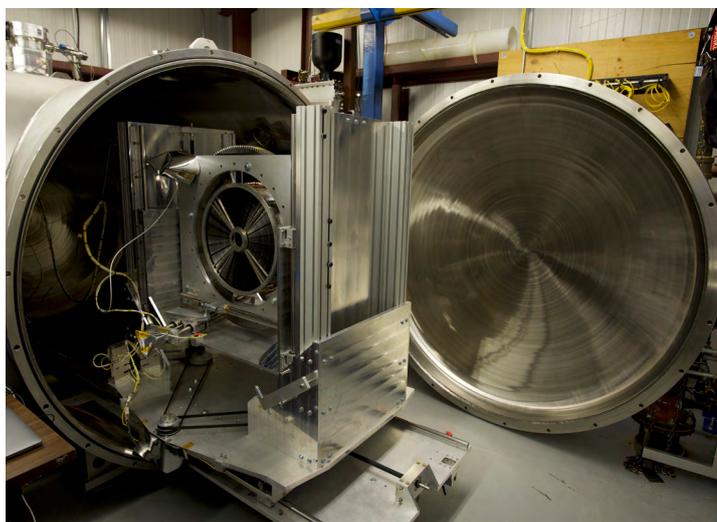
NASA

XMAの反射鏡は、円周を4分割して作られるため、1台あたり1,624枚が必要になります。全部で5,000枚以上の反射鏡（2台分+予備）を5人の技術者が製作するのに約1年半かかりました。反射鏡は、エポキシレプリカ法で製作されました。この方法では、安価で、かつX線を反射できるほど滑らかなガラスチューブの表面に成膜された金を、エポキシ接着剤を塗布したアルミ基板で剥がし取って反射鏡とします。研磨の工程を除くことで、製作コストを極端に下げています。写真は、表面に金が成膜されたガラスチューブが並んでいるところです。



NASA

反射鏡は、櫛の歯のような構造をもつ梁によってXMAハウジングの中で保持されます。反射鏡は、1枚ずつ手作業で櫛の歯の溝に挿入されます（写真左）。全ての反射鏡が挿入された後に、梁の位置を半径方向に調整して、反射鏡の位置を設計した場所に合わせました。この調整は数 $\mu\text{m}$ の精度で行いました。8つのハウジングでこの作業を独立に行い、最後に、調整済みの8つのハウジングを組み上げてXMAとして完成させました（写真右）。この組み上げ作業も全て手作業ですが、ハウジングを、正しい位置から100 $\mu\text{m}$ 以内に調整することができました。



NASA

完成したXMAの上にプレコリメータと熱シールド、周りにヒーターを搭載して、XMAの完成です（熱シールドだけは衛星への引渡し直前に搭載）。その後、熱サイクル試験、振動試験といった環境試験を行い、さらに、数ヶ月におよぶX線照射試験を行なって、XMAの出荷準備が整います。写真は、X線照射試験のために、NASAゴダード宇宙飛行センターの100m X線ビームラインの真空チェンバー内にXMAを設置する様子です。真空チェンバーのドアの直径は2mあります。較正試験で得られたデータは、天体観測で得られるデータの解釈に使われます。

# ミッション機器

## — 超精密にエネルギーを測る軟X線分光装置：Resolve

### 基本事項

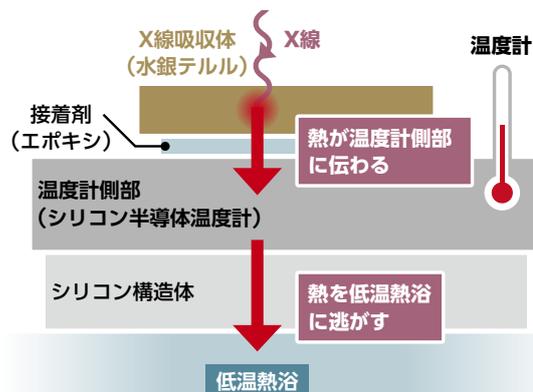
ResolveはX線望遠鏡（XMA）の焦点に6×6画素のX線マイクロカロリメータアレイを搭載した精密分光器です。これまでにないエネルギー分解能（ $\Delta E \leq 7\text{eV}$  at 6keV）を0.3-12keVの広い観測帯域で実現します。また、点光源（中性子星など）に加え面光源（銀河団や超新星残骸など）も精密分光できる、非分散型の分光器であることも特長です。

### 技術紹介

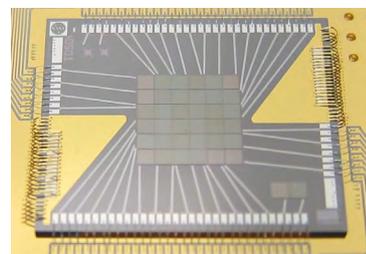
**検出器：**X線光子の入射による微小な温度上昇を検出するX線マイクロカロリメータ検出器です。水銀テルル（HgTe）製のX線吸収体とシリコン半導体温度計からなり、 $-273.1^\circ\text{C}$ （絶対温度0.05度）に冷却することで高分解能分光を実現します。また、シリコン構造体の下に配置された反同時計数半導体検出器により非X線事象を特定・除去します。

**冷却システム：**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・搭載する真空断熱容器（デュフ）から構成され、検出器の動作温度（絶対温度0.05度）を達成します。ASTRO-Hの冷却システムに比べX線マイクロカロリメータが受ける冷凍機からの微小振動を除去する性能が向上しました。超流動ヘリウムは軌道上で徐々に消費されますが、その枯渇後も無冷媒運転により科学観測を継続できます。

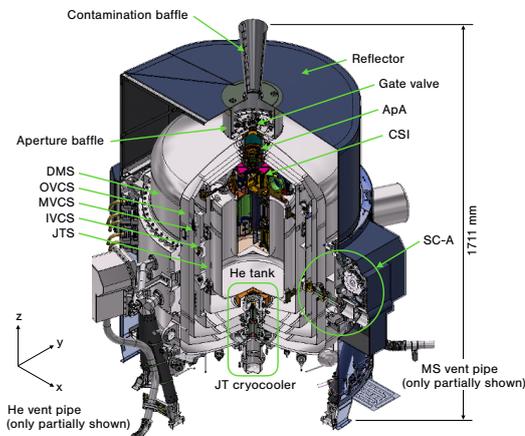
**フィルタホイール：**明るい天体の観測を可能にする3種類のX線減衰フィルタを搭載します。また、軌道上でのエネルギー較正に使用する、放射性同位体（Fe-55）や変調X線源MXS（modulated X-ray sources）も搭載します。



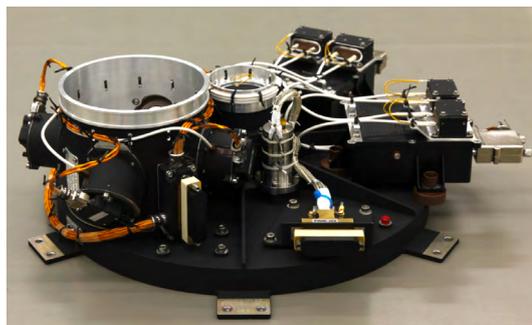
エネルギー測定の仕事。図は検出器の1画素に相当。



検出器の写真。中央の6×6画素のサイズは5mm×5mm。



冷却システム。デュフ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。



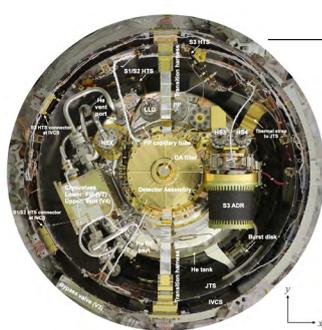
フィルタホイール。左側リング側面の4箇所それぞれMXS1台を配置。

# ミッション機器

## — 超精密にエネルギーを測る軟X線分光装置：Resolve

### 国際協力のもと段階的に製造・試験を行い、確実に開発を実施

国際協力のもと開発している Resolve は、海外機器と段階的に組み合わせていきます。海外機器には、欧州（ESA/SRON）が開発したフィルタホイールなどのように衛星構体に取り付けるものもありますが、米国（NASA）開発機器のうち、検出器部（CSI）やX線入射部は、日本（JAXA）が開発したデュワの内部に直接組み込みます。これらは、デュワを閉じたあとは二度と触れなくなるため、慎重に確認しつつ搭載しました。また、衛星搭載前に行った Resolve サブシステム試験では、日米欧の機器を組み合わせ、機能・性能評価、較正、衛星・周辺機器との干渉の検証、射場作業模擬試験と、さまざまな試験を行いました。さらに、軌道上での運用を最適化するために必要なデータも取得しました。



NASAの開発した検出器部(CSI)は2019年11月に住友重機械工業(SHI)新居浜工場でデュワに組み込みました。左の写真はNASAとSHIの技術者が協働してCSIをデュワ内に搭載している場面です。その右は搭載後の様子です。



デュワに搭載している超流動ヘリウムは温度が高い方向にフィルム状に壁を伝って移動する性質があります。軌道上の無重力下であっても超流動ヘリウムをタンク内に保持する必要があるため、フィルムフローキラーシステムという装置を搭載しています。左の写真のように約80°までデュワを傾けて無重力環境を模擬した上で、フィルムフローキラーシステムが正常にはたらき超流動ヘリウムを保持できること、およびヘリウムタンクへの熱浸入が設計通りであることを確認しました。フィルムフローキラーシステムの一部であるナイフエッジデバイスは日本の科学者が開発しており、JAXA宇宙科学研究所のクリーンルームにおいて、シリコン基板を微細加工して製作しました。



Resolveサブシステム試験の一コマ。検出器部を組み込んだデュワの上に地上試験用のX線源をおき、エネルギー較正を行いました。これは入射X線に対する検出器の信号のゲインスケールやエネルギー分解能といった応答をモデル化する作業で、Resolveの分光性能を実現するために必須です。軌道上ではこの応答が若干変動するので、衛星搭載のX線源を用いて補正します。そのためのMXSの運用方法やデータ補正手法も実証しました。

# ミッション機器

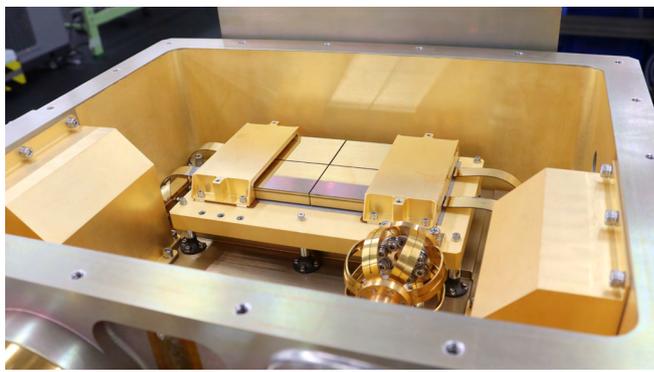
## — 広いエネルギー帯域で画像を撮る軟X線撮像装置：Xtend

### 基本事項

Xtendの検出器は純国産のX線CCDカメラ（SXI）で、軟X線（0.4-13keV）帯で撮像、分光を同時に行います。X線望遠鏡としては史上最大となる38分角四方の視野を持ち、満月よりも広い視野を一度に観測できます。大きく広がった天体の観測で力を発揮するほか、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こともできます。

### 技術紹介

**CCD**：Xtendに搭載するCCDは、厚い空乏層を達成することで、従来のX線CCDより高いエネルギーのX線を検出できます。また完全空乏化した裏面照射型素子のため、低エネルギーのX線に対して高い量子効率を持つとともに、転送電極面が外部に露出していないので、機能障害を引き起こす可能性がある微小隕石の衝突や放射線損傷に対して高い耐性を持ちます。



XtendのCCD素子。銀色の部分が受光面。

**冷凍機**：XtendのCCDは一段式スターリング冷凍機を用いて-110℃まで冷却します。これにより、暗電流を抑えるだけでなく、放射線損傷による性能劣化の影響を低減します。

**ASIC**：Xtendには、大学が10年以上の歳月をかけて開発した専用ASIC（Application Specific Integrated Circuit）を搭載しています。これにより、CCDの出力信号を効率よく、少ない消費電力で読み出します。

**ASTRO-Hからの改良点**：XtendのCCDは、ASTRO-H搭載品とほぼ同じ設計ですが、2つの改良を行いました。1つは、CCD内部の電位構造を改良することで、より高い電荷転送効率を実現し、放射線耐性を向上させました。もう1つは可視光の遮光性能の向上です。これにより軌道上で太陽光由来の偽信号の発生を抑制します。



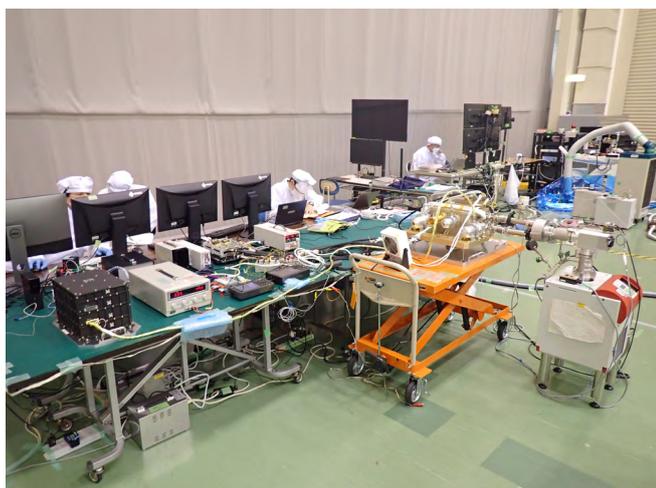
衛星搭載前の検査に臨む Xtend。

# ミッション機器

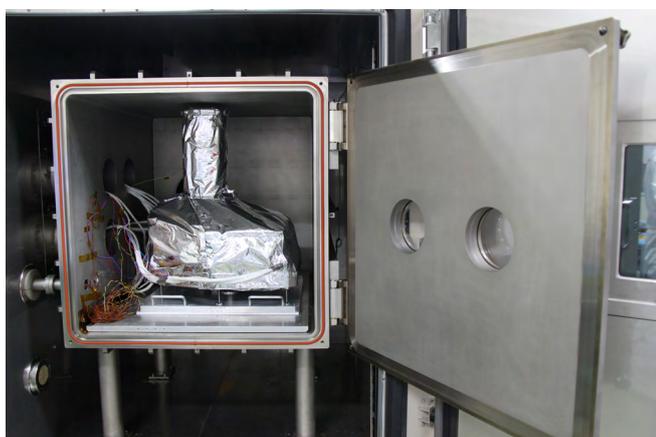
## — 広いエネルギー帯域で画像を撮る軟X線撮像装置：Xtend



XRISMの科学的価値を高めるためにも、衛星に搭載するCCD素子には少しでも性能の良いものを選びたいところです。そのために、多数の候補素子の中から最も優れた個体を選び出すスクリーニング試験を行いました。この試験では、エネルギー分解能や雑音特性など、さまざまな評価軸を点数化することで、フライト品として最適なCCD素子を4つ選定しました。多岐にわたる試験項目を逐行しつつ、性能評価のためのデータ解析を同時進行させるために、全国の研究者だけでなく多数の所属学生が一丸となって取り組みました。



選定した素子をフライト品の筐体・電子機器・冷凍機に組み込み、次に撮像系全体としての噛み合わせ・性能評価試験を行いました。X線CCDカメラを駆動するには、熱雑音を低く抑えるため素子を $-100^{\circ}\text{C}$ 以下に冷却し、結露を防ぐためカメラ筐体を真空に保つ必要があります。24時間運転で行うため、停電などの不測の事態に備えて常時数名が試験を監視することになります。折り悪しくCOVID-19で国内の行動制限が非常に厳しい時期でしたが、動ける人員が最優先で試験に臨むことで、所定の期間内に全工程を終えることができました。



Xtendを衛星に搭載するためには、打上げ時の振動や過酷な宇宙環境でも所定の撮像性能を維持できることを保証するために、事前に機械環境試験を行う必要があります。完成したフライト品カメラに対して、軌道上の温度環境を模擬した熱真空試験や、打ち上げを模擬した音響・振動試験などを課して、試験の前後で性能が変わらないことを確認しました。一連の試験はJAXAの相模原キャンパス及び筑波宇宙センター内の実験施設で行い、ここでも若手研究者や多数の学生が活躍しました。こうして万全の状態 Xtendを衛星システムに引き渡すことができました。

# 運用 — 科学成果創出にむけて：科学運用

## 基本事項

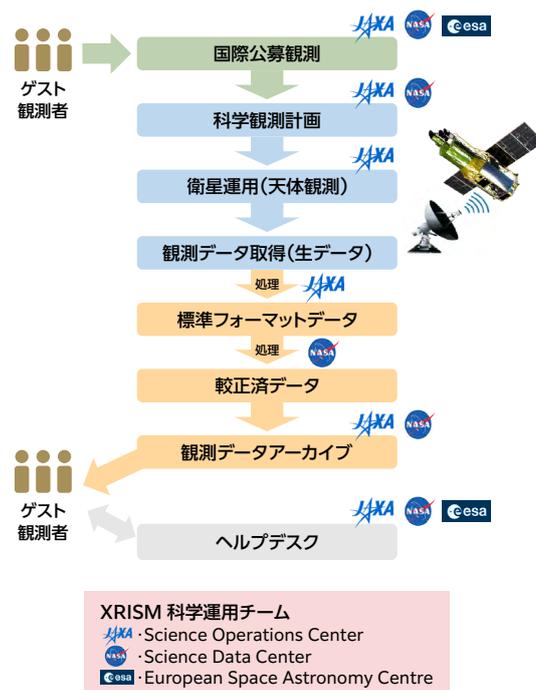
XRISMは、初期運用とPerformance Verification期の科学観測の後、世界に公開された天文台として、ひろく国際公募観測を行います。衛星開発メンバーに限らず、いろいろな背景を持つ科学者に利用いただくことが、XRISMの科学成果を最大化する上で重要です。ゲスト観測者からの観測提案は専門家が競争的に審査し、採択された天体がXRISMで観測されます。得られた観測データは扱いやすい較正済みデータに変換した上で、提案者に配布されます。このデータは1年の保有期間が過ぎれば公開され、提案者だけでなく誰でも利用できるようになります。XRISM科学運用では、公募観測提案や科学観測計画のサポート、観測データのフォーマットの標準化や較正処理、ヘルプデスクなどの業務を実施します。これら科学運用の品質がXRISMの科学成果創出の質につながるのです。

## 体制や技術の紹介

XRISM科学運用は、JAXA/NASA/ESAにあるデータセンターの協力のもと実施します。3つの宇宙機関で公募、採択された観測提案は1つにまとめられ、衛星運用の現場であるJAXAにて日々の運用計画として詳細化されます。その後、XRISMで観測されたデータは、まず日本で天文学標準のデータ形式に変換され、米国に送信されて較正処理が施されます。こうして観測者が扱いやすいように加工されたデータが、日米で配布・保管（アーカイブ）されます。観測データや解析ツールに、衛星開発者が持つ専門的な知識や知見を全て反映できているか、また、これらが如何に扱いやすいか、が鍵となります。

搭載機器の軌道上の特性をよく把握する作業は較正（キャリブレーション）と呼ばれ、分光撮像能力の精度を向上させる上で極めて重要な作業です。これは科学運用チームとResolveやXtendの開発チームが協力して実施し、ゲスト観測者が使える形にして公開します。また、解析に必要な情報を文書にまとめ、研究者向けのウェブサイト運営します。ゲスト観測者にデータを提供した後も、日米欧のヘルプデスクがその解析作業をサポートします。

さらにXRISMでは、日本学術振興会の国際研究交流拠点事業のサポートを得て、国際協力体制を活かした科学成果創出を強化し、次世代の若手を育成する事業を展開しています。日米欧で国際シンポジウムを開催し、他波長や理論の研究者との交流を進めていきます。



# 運用 — 科学成果創出にむけて：科学運用

## 開発概要

XRISM科学運用は、「あすか」「すざく」「ASTRO-H」衛星での科学運用の良い点を活かし、反省点を改善する形で方針を決め、これに沿うべく複数のサブチームと調整を繰り返し、計画を練り上げました。運用ツールは、「ASTRO-H」の資産を活かしつつメンテナンス性を高める新規開発を行ったり、搭載機器の開発で得た知見を活かす最適化をしたり、より正確な解析のための改良を行うなど、打ち上げ後に行う科学運用を準備してきました。



## 科学運用チーム結成

2018年5月に奈良で開催されたXRISMチーム会議にて、XRISM科学運用チームを結成しました。JAXAと日本の大学スタッフが所属する日本メンバーと、NASAを中心とする米国メンバーでスタートしました。その後、日米間は週一度の電話会議で情報共有しつつ、互いに準備を進めてきました。時差が13～14時間もあるので大変な国際協力です。今は、2023年時点で、日本側だけで30名近くの大きなグループとなりました。



## 科学運用準備ブートキャンプ

科学運用ツールの開発は、コロナ禍の中、オンラインで開発者が集まり、議論を重ね、デバッグや検証を実施してきました。ただコミュニケーションをよりスムーズに行うべく、開発や検証のマイルストーン毎、年に一度から二度は、ブートキャンプと称してJAXA宇宙科学研究所に集まり議論や作業を行ってきました。写真は2022年9月のキャンプの様子です。



## 総合運用性試験

科学運用準備の最終段階、科学運用のツールや手順書が完成した後は、実際の運用を模擬したりハースルが必要です。写真は2022年11月に実施された総合運用性試験の様子です。衛星運用の担当者と科学運用の担当者が共同で作業を行っています。こうしたリハーサルやトレーニングを繰り返し、XRISM稼働後の科学運用がより確実なものとなるように準備を進めてきました。

# 運用 — 衛星運用・地上システム

## 運用

XRISMは、内之浦宇宙空間観測所にあるアンテナ（USC局）を主局とした運用を実施します。1回あたりの通信時間は10分間程度しかありませんが、USC局を用いて、XRISMと1日4-5回程度通信することで、衛星状態の確認、記録データの再生、衛星制御コマンドの送信などを行います。

また、XRISMでは、ASTRO-Hの運用中に異常事象を起こした教訓として、衛星の監視体制を強化することとしました。JAXAが保有する地上局だけでなく、NASAが保有する地上局も用いて可能な限り衛星を監視します。これにより、3-4時間に1回程度、10分間を監視をし続けます。



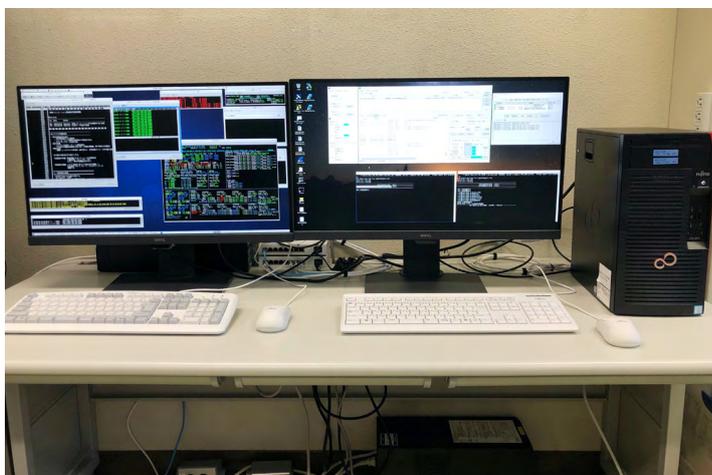
地上システムの試験の様子。

## 開発

XRISMでは、ASTRO-H衛星の運用中に異常事象を起こした教訓として、安全、確実な運用を行えるように、地上の運用システムにいくつかの機能を導入しました。

1つは衛星シミュレータです。この衛星シミュレータは、衛星搭載計算機である、データ処理系と姿勢軌道制御系の計算機を模擬し、同じソフトウェアが動くようにしたものです。初期のクリティカル運用のリハーサルに活用するとともに、運用成立性の確認、訓練に使用します。

もう1つは、衛星自動監視システムです。衛星の異常を即座に判定できるものです。JAXA宇宙科学研究所の衛星に共通のソフトウェアとして、すでに現行の衛星にも使用されていますが、XRISM用に監視ルールを整備し、地上試験でブラッシュアップしながら、監視ルールを構築します。



衛星シミュレータ。左は衛星シミュレータにコマンドを送信する端末。右は衛星シミュレータ本体。

# 体制

## 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, 関東学院大学, 宮崎大学, 埼玉大学,

SRON (Neitherlands 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, 金沢大学, 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, Durham University, 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

## 開発チーム責任者

|                          |                     |                 |
|--------------------------|---------------------|-----------------|
| Project Manager          | 前島 弘則               | JAXA/ISAS       |
| Principal Investigator   | 田代 信                | JAXA/ISAS, 埼玉大学 |
| Project Engineer         | 戸田 謙一               | JAXA/ISAS       |
| Project Scientist        | 松下 恭子               | 東京理科大学          |
| deputy Project Scientist | 山口 弘悦               | JAXA/ISAS       |
| Project Manager          | Lillian Reichenthal | NASA/GSFC       |
| co-PI                    | Richard Kelley      | NASA/GSFC       |
| Mission Systems Engineer | Leslie Hartz        | NASA/GSFC       |
| Mission Scientist        | Robert Petre        | NASA/GSFC       |
| Project Scientist        | Brian Williams      | NASA/GSFC       |
| Project Scientist        | Matteo Guainazzi    | ESA             |
| deputy Project Scientist | Elisa Costantini    | SRON            |

### Resolve

|   |                     |                   |
|---|---------------------|-------------------|
| Instrument Manager (JAXA)               | 竹井 洋                | JAXA/ISAS         |
| Instrument PI (JAXA)                    | 石崎 欣尚               | 東京都立大学, JAXA/ISAS |
| Instrument sub-PI (JAXA)                | 藤本 龍一               | JAXA/ISAS         |
| Instrument sub-PI (JAXA)                | 辻本 匡弘               | JAXA/ISAS         |
| Instrument Manager (NASA)               | Lillian Reichenthal | NASA/GSFC         |
| Instrument PI (NASA)                    | Richard Kelley      | NASA/GSFC         |
| Lead Instrument Systems Engineer (NASA) | Gary Sneiderman     | NASA/GSFC         |

### Xtend

|                      |      |                   |
|----------------------|------|-------------------|
| Instrument Manager   | 冨田 洋 | JAXA/ISAS         |
| Instrument PI        | 森 浩二 | 宮崎大学, JAXA/ISAS   |
| Instrument sub-PI    | 中嶋 大 | 関東学院大学, JAXA/ISAS |
| Former Instrument PI | 林田 清 | (大阪大学)            |

### Science/Mission Operations

|                                      |              |                 |
|--------------------------------------|--------------|-----------------|
| Science Operation Center Lead (JAXA) | 寺田 幸功        | 埼玉大学, JAXA/ISAS |
| Science Data Center Lead (NASA)      | Matt Holland | NASA/GSFC       |
| Mission Operations Lead              | 渡辺 伸         | JAXA/ISAS       |

### In Flight Calibration Planning

|         |             |      |
|---------|-------------|------|
| Lead    | Eric Miller | MIT  |
| co-Lead | 澤田真理        | 立教大学 |

### Laboratory Astrophysics

|            |                 |           |
|------------|-----------------|-----------|
| Chair      | Timothy Kallman | NASA/GSFC |
| Vice Chair | Jelle Kaastra   | SRON      |

### Science target category

|                                 |                  |                         |
|---------------------------------|------------------|-------------------------|
| Galactic Compact chair          | Chris Done       | Durham University       |
| Galactic Compact co-chair       | 榎戸 輝揚            | 京都大学                    |
| Galactic Diffuse chair          | 馬場 彩             | 東京大学                    |
| Galactic Diffuse co-chair       | Paul Plucinsky   | Harvard-Smithsonian CfA |
| Extra-Galactic Compact chair    | 上田 佳宏            | 京都大学                    |
| Extra-Galactic Compact co-chair | Erin Kara        | MIT                     |
| Extra-Galactic Diffuse chair    | Irina Zhuravleva | University of Chicago   |
| Extra-Galactic Diffuse co-chair | 藤田 裕             | 都立大学                    |

(2023年6月現在)