

熱い宇宙の中を観る X線天文衛星「ASTRO-H」打ち上げ



宇宙は冷たく静穏に見えますが、X線を用いると、爆発・衝突・突発現象など、激動に満ちた熱い姿が見えてきます。こうしたX線での宇宙観測を飛躍的に進めるべく、日本がNASAや世界各国の協力をえて開発した新世代のX線天文衛星が「ASTRO-H」です。

X線天文衛星「ASTRO-H」は、2016年2月にH-IIAロケット30号機により、JAXA種子島宇宙センターから打ち上げられる予定です。

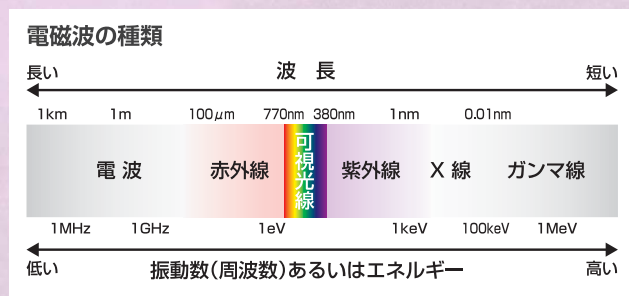
Space

資料提供: 

X線でなければ観えない宇宙

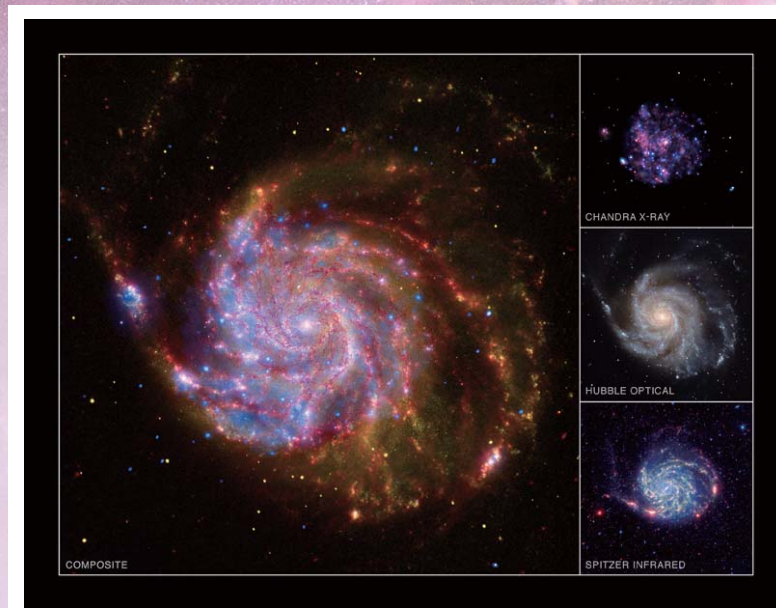
■いろいろな光で宇宙を観る

人間が肉眼で見ることのできる光は全体のごく一部でしかありません。下図の中央の七色の部分が「可視光」つまり、人間が肉眼で見ることができる領域です。いかに私たちが普段限られたものしかみていないかが分かるのではないのでしょうか。星の世界で起きているいろいろな現象を他の波長で調べると、より詳しいことがわかってきます。それらの現象を観測するためにはそれぞれの現象に適した波長の光で宇宙を見なければなりません。X線もそのひとつです。



■透過力が強いX線

X線は、私達が普段見ている光(可視光線)の仲間、電波や赤外線、紫外線と同じ電磁波の一種です。ただ、私達が普段見ている光よりもずっと波長が短く、もちろん肉眼で捉えることはできません。X線の波長は1nm(ナノメートル)から0.01nm、可視光線の1000分の1から10万分の1です。波長が短いということは、可視光線に比べて「屈折しにくい」「透過力が高い」「エネルギー



銀河101。天文学では異なる波長で宇宙を観測する。右上からX線。可視光。電波で見た画像。左はその3種類の合成画像。

提供: X-ray: NASA/CXC/JHU/K.Kuntz et al.; Optical: NASA/ESA/STScI/JHU/K. Kuntz et al; IR: NASA/JPL-Caltech/STScI/K. Gordon

ーが高い」といった特徴があることを意味しています。X線は屈折率が低いため、普通のガラスのレンズで集めることができませんし、鏡で反射させることも困難です。その高い透過力を活かして、人間の体の内部を撮影するレントゲン写真に利用されています。

■X線で宇宙を観るには

しかし、地球から宇宙のX線を観測することは、ほとんどできません。星から発せられる電磁波は、可視光領域と赤外

線の一部、そして電波の領域以外、空气中で吸収されてしまって地表にはあまり届かないのです。X線も地上にはほとんど届くことはありません。X線で宇宙を見るためには、宇宙へ行かなければならないのです。

■硬X線と軟X線

X線と言っても、その波長によって振る舞いが違います。レントゲンや空港の手荷物検査などで使うX線の波長は0.01nmぐらい。これは硬X線と呼ばれる領域で、エネルギーが高いため透過力が強く、人間の体も突き抜けてしまいます。逆に1nmあたりのX線は軟X線と呼ばれ、エネルギーが低いため、透過力はさほど高くなく、アルミホイール程度で遮蔽できてしまいます。

硬X線は透過力が強いと書きましたが、言い換えると硬X線を使えば、天体が多少隠されていても透かして見ることができるといことになります。宇宙にはガスに覆われて正体を隠している天体がたくさんあるのですが、そういった天体を観測するには、透過力の強い硬X線が有効な手段の一つとなります。

X線天文衛星「ASTRO-H」の科学目的

X線天文衛星「ASTRO-H」は、ブラックホール、超新星残骸、銀河団など、X線やガンマ線を放射する高温・高エネルギーの天体の研究を通じて、宇宙の成り立ちを調べ、熱く激しい宇宙に潜む物理現象を解明することを目的としています。

■宇宙の成り立ちを調べる

宇宙最大の天体である銀河団において、暗黒物質(ダークマター)の重力に閉じ込められた高温プラズマ(電離気体)がもつ乱流、衝突、衝撃波などの運動エネルギーを測定し、銀河団の成長過程とエネルギー収支を解明する。さらに背後にある暗黒物質や暗黒エネルギーの性質を推定する。

星の大集団である銀河と共に生まれて進化する、銀河中心の巨大ブラックホールを、近傍から遠方まで観測し、

巨大ブラックホールが銀河の進化に果たした役割を解明する。

銀河団の高温プラズマに含まれる各種元素の量をレアメタルまで含め測定し、いかにして宇宙が現在の元素量や元素組成をもつに至ったかを明らかにする。



可視光で見た銀河団の想像図。暗黒物質の作る重力により数百個の銀河が集まり、そこにはX線を出す高温プラズマ(この図では見えない)も充満している。

■極限状態での物理法則を検証・解明する

中性子星やブラックホールの観測により、地上では実現できない超高温、超強重力、超強磁場、超高密度などに特有な物理現象を検知し、相対論的な時空の歪みなど、背後にある物理法則を検証・探求する。

パルサー、超新星残骸、

ブラックホール、銀河団などで荷電粒子が加速され、光速に近い速度をもつ超高エネルギー粒子(宇宙線)となる現場を特定し、そこでの物理過程を究明する。



物質を吸い込むブラックホールの想像図。物質はX線を出しつつ吸い込まれるが、その際、物質の一部は高速で噴き出し、そこからX線などが放射される。

熱い宇宙の中を観る X線天文衛星「ASTRO-H」

「ASTRO-H」は新世代のX線天文衛星です。質量2.7t、全長14mと日本が打ち上げてきた天文衛星の中でも最大規模を誇ります。

そこに搭載される最先端の装置「X線マイクロカロリメータ」は、宇宙からのX線を世界最高の分光性能で観測します。また同時に搭載される3種類の検出器は、軟X線から軟ガンマ線までの広い波長帯域で、高感度を実現します。「ASTRO-H」はこれらの新機能を駆使し、暗黒エネルギーや暗黒物質(ダークマター)の支配のもとで「見える物質」が宇宙最大の天体である銀河団を作ってきた過程や、多数の銀河の中心に君臨する巨大ブラックホールの生い立ちに切り込み、また中性子星やブラックホールにおける極限状態での物理法則を探ります。

「ASTRO-H」は、2016年2月12日、H-IIAロケット30号機により種子島宇宙センターから打ち上げられる予定です。

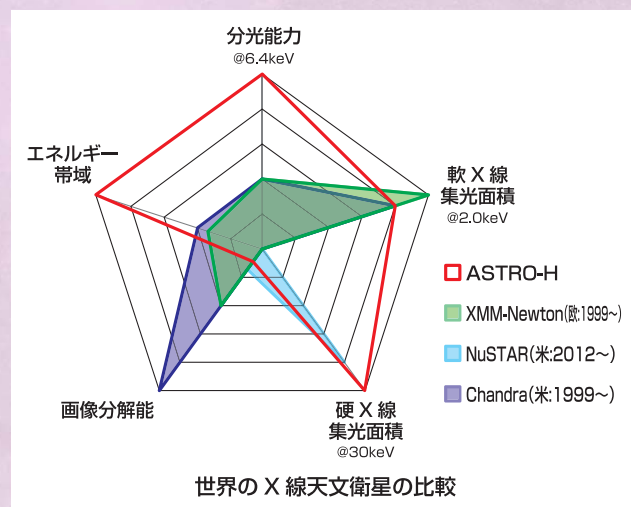


■ASTRO-H主要諸元

全	長	約14m(観測時)
質	量	2.7t
電	力	3500W
目 標 寿 命		3年
軌 道	種 類	円軌道
	高 度	約575km
	傾斜角	31度
	周 期	96分
テレメトリ		8Mbps(X-band) 2Mbps(S-band)
記 憶 容 量		12Gbits
搭 載 機 器		軟X線分光検出器(SXS) 軟X線撮像検出器(SXI) 硬X線撮像検出器(HXI) 軟ガンマ線検出器(SGD) 軟X線望遠鏡(SXT) 硬X線望遠鏡(HXT)

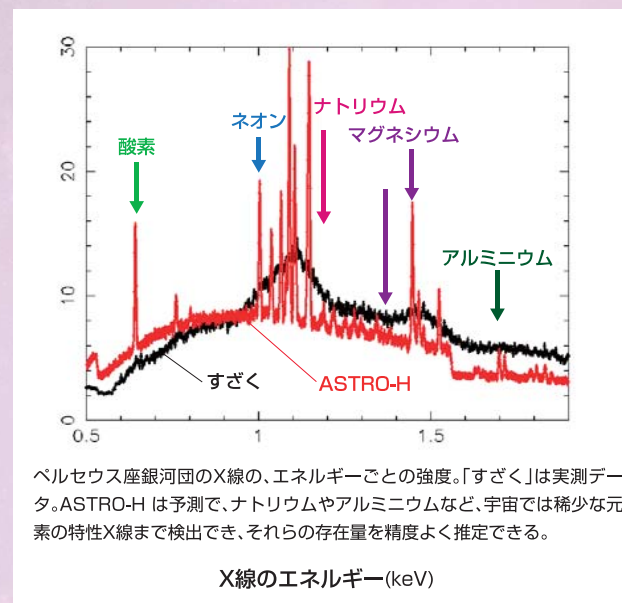
X線天文衛星「ASTRO-H」の特徴

下図は世界の主なX線天文衛星の特徴を比較したものです。X線天文衛星「ASTRO-H」は、画像の解像度では他の衛星に譲りますが、マイクロカロリメータによりX線光子のエネルギーを超高精度で測定する能力、および複数の検出器を組み合わせた幅広いエネルギー帯域を同時に観測する能力に、特に重点を置いて設計されました。



■X線光子のエネルギーを超高精度で測定する能力
マイクロカロリメータは、個々のX線光子のエネルギー(ないし波長)を、従来の約30倍の精度で測定できるため、以下のような豊富な情報をもたらすと期待されます。

元素組成 下図のように、微弱な特性X線まで測定できるため、酸素や鉄などの主要元素に加え、宇宙ではより微量なアルミニウムやナトリウム、さらにはレアメタルまで検出可能となり、天体の元素の情報が飛躍的に豊富になります。



運動 放射源が視線方向に運動していると、X線光子のエネルギーが、ドップラー効果により変わります。マイクロカロリメータでは、従来より微小なエネルギーのずれまで計測できるので、超新星残骸の膨張速度、銀河団同士の衝突速度、衝突によりプラズマ中に発生する

衝撃波や乱流の速度などが、初めて測定可能となり、天体がもつ運動エネルギーを推定できるようになります。

強い重力 ブラックホール近傍では強い重力により、吸い込まれる物質が出すX線のエネルギーに、「重力赤方偏移」が生じます。その測定により、ブラックホール周辺の時空の歪みを知ることができます。

■広いエネルギー域を同時に観測する能力
「ASTRO-H」に搭載される複数の検出器は、同じ天体を観測するので、それらの協調により、0.3~600 keVという3桁を超える広いエネルギー帯域で同時にデータが取得できます。その結果、従来は測定できなかった超高温プラズマの温度を測定し、厚いガスに囲まれた銀河中心の巨大ブラックホールを検出し、超新星残骸や高速で自転する中性子星の近傍で粒子が加速される様子を調べるなど、格段に進んだ研究が可能となると期待されます。さらに中性子星やブラックホールの周辺で、陽電子(電子の反粒子)が生成される証拠もつかめるかもしれません。

X線天文衛星「ASTRO-H」の観測装置

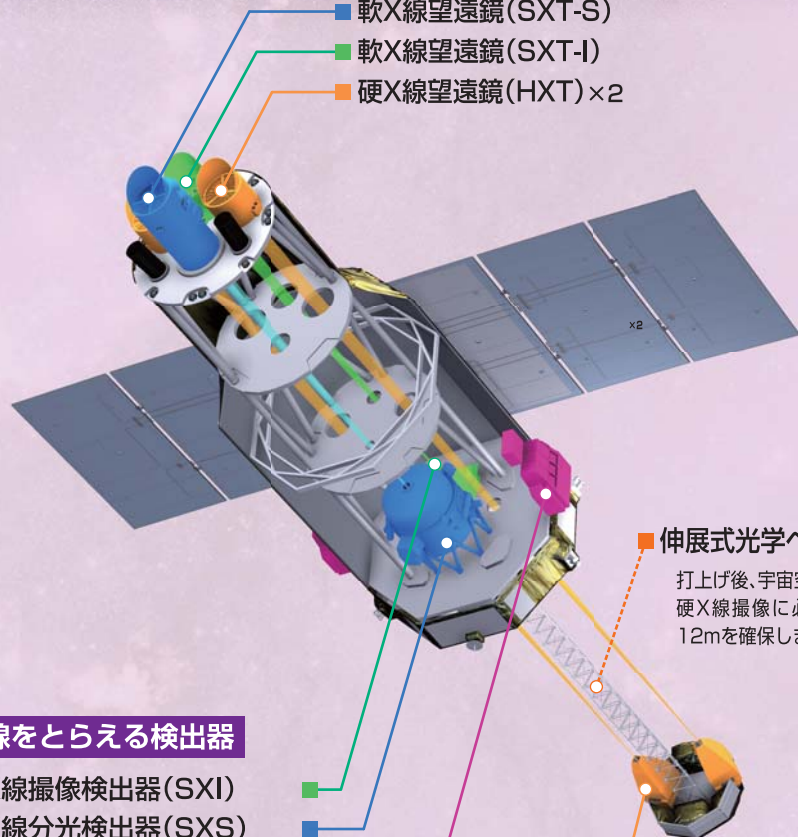


観測装置の搭載位置

4台の望遠鏡と2台の軟ガンマ線検出器は、同じ方向を向き、同一天体を同時に観測します。4種類(6台)の検出器はいずれも、天体からやってきたX線光子を1つずつ検出します。

X線を集める望遠鏡

- 軟X線望遠鏡(SXT-S)
- 軟X線望遠鏡(SXT-I)
- 硬X線望遠鏡(HXT)×2



伸展式光学ベンチ(EOB)

打上げ後、宇宙空間で伸ばして、硬X線撮像に必要な焦点距離12mを確保します。

X線をとらえる検出器

- 軟X線撮像検出器(SXI)
- 軟X線分光検出器(SXS)
- 軟ガンマ線検出器(SGD)×2
- 硬X線撮像検出器(HXI)×2

2種類の望遠鏡と4種類の検出器

「ASTRO-H」には2種類の望遠鏡と4種類の検出器が搭載されており、それぞれ特徴があります。

軟X線望遠鏡(SXT-S)

軟X線望遠鏡(SXT-I)



可視光の望遠鏡のレンズに対応するX線望遠鏡。ただし可視光の場合とは違い、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。口径は45cm、焦点距離は5.6mです。

硬X線望遠鏡(HXT)×2



軟X線望遠鏡と同様の構造になっていますが、国産ナノ技術を駆使し、80 keVまでの硬X線を撮像集光できます。口径は45cm、焦点距離は12mです。

軟X線

硬X線

光学系

検出器

軟X線分光検出器(SXS)



マイクロカロリメータと呼ばれる技術を用います。何段もの冷凍機を用いて、センサーを絶対零度(-273.15度)近くまで冷却し、センサーにX線が入射したときの微小な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」の目玉の装置です。

軟X線撮像検出器(SXI)



大型のX線CCDを4個並べることで、38分角という広い視野を持つX線カメラ。軟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。衛星本体内部で、SXT-Iの焦点面に設置されます。

硬X線撮像検出器(HXI)×2



シリコン半導体とテルル化カドミウム半導体を用いて、5keV以上の「硬X線」と呼ばれる光で天体を観測するカメラ。焦点距離12mをもつHXTの焦点に置かれるため、軌道上で伸びる伸展式光学ベンチの先に設置されます。

軟ガンマ線検出器(SGD)×2



半導体検出器を積層し、コンプトンカメラの原理で感度を高めたガンマ線検出器。望遠鏡は使わないので天体の細かい撮像はできませんが、X線より高いエネルギーの軟ガンマ線を捉えることにより、高エネルギー現象の解明に活躍します。

「ASTRO-H」はこれらの観測装置を組み合わせることで、0.3~600 keVという、3桁にもわたる幅広いエネルギー帯域で同時に観測することができます。これらの検出器の感度は、「すざく」の10倍から100倍にも達します。



世界をリードする日本のX線天文学



X線天文学は、実は比較的新しい学問です。1962年、リカルト・ジャッコーニ、ブルーノ・ロッシらが行った観測ロケットによる実験によって、太陽からのX線が捉えられたのが始まりでした。観測が本格化したのはX線観測装置を積んだ科学衛星が打ち上げられるようになった1970年代に入ってからのことです。日本はX線天文学の黎明期からこの分野に取り組み、世界をリードしてきました。1979年の「はくちょう」にはじまり、「てんま」「ぎんが」「あすか」「すざく」と、日本はこれまで5機のX線天文衛星を打ち上げ、数多くの業績を上げています。

はくちょう



打ち上げ年月日	1979年2月21日
場所	鹿児島宇宙空間観測所
ロケット	M-3Cロケット4号機
質量	96kg
運用停止	1985年4月15日

搭載したすだれコリメータによって、新たに8つのX線バースト天体を発見するとともに、X線バーストの可視光同時観測から、可視光放射がX線による降着円盤の加熱によることを解明するなど、X線バースト(中性子星表面での熱核反応の暴走現象)の研究では国際的に高い評価を受けた。また、X線パルサーと呼ばれる強磁場中性子星の自転周期のふらつきや、ブラックホールである白鳥座X-1のソフト状態の観測など、X線天体の多様な時間変動の観測を行った。

てんま



打ち上げ年月日	1983年2月20日
場所	鹿児島宇宙空間観測所
ロケット	M-3Sロケット3号機
質量	216kg
運用停止	1988年12月17日

「蛍光比例計数管」という新開発の装置によって、X線星、X線銀河、ガンマ線バースト、軟X線星雲などの観測を、優れたエネルギー分解能で行った。主な成果は、銀河系の銀河面に沿って存在する、数千万度の高温プラズマを発見。X線天体から放射されるX線のスペクトル分析から、中性子星(超新星爆発の後に残る天体)の強い重力場などを明らかにした。

ぎんが



打ち上げ年月日	1987年2月5日
場所	鹿児島宇宙空間観測所
ロケット	M-3SIIロケット3号機
質量	420kg
運用停止	1991年11月1日

打ち上げ後の2月23日、4世紀ぶりに大マゼラン雲に超新星が出現、8月にこの超新星が出す宇宙X線の観測に成功した。また、超新星残骸、暗黒星雲内部の高温プラズマ、連星で発生したフレア、セイファート銀河中心核の変動、クエーサーのスペクトルなどを観測・発見した。

あすか



打ち上げ年月日	1993年2月20日
場所	鹿児島宇宙空間観測所
ロケット	M-3SIIロケット7号機
質量	約420kg
運用停止	2001年3月2日

X線の撮像とX線天体のスペクトル観測を同時に行うため、X線望遠鏡および世界初のX線CCDと撮像型蛍光比例計数管を搭載し、感度を飛躍的に高めた。ブラックホール、活動銀河核等の観測だけでなく、超新星残骸では宇宙における粒子加速現象、銀河団では暗黒物質の分布と質量など、幅広い物理現象の観測を行った。

すざく



打ち上げ年月日	2005年7月10日
場所	内之浦宇宙空間観測所
ロケット	M-Vロケット6号機
質量	約1700kg
観測終了	2015年8月26日

2005年8月13日のXRT(X線望遠鏡)/XIS(高分解能X線分光器)、8月20日のHXD(硬X線検出器)の初観測以来、様々な観測成果を挙げている。「すざく」は、従来の衛星に比べ広いエネルギー帯域での観測が可能であり、世界最高レベルの感度を達成するなど優れた観測能力を実証し、宇宙の構造形成やブラックホール直近領域の探査等で成果をあげた。

X線天文衛星「ASTRO-H」/H-IIAロケット30号機 打ち上げシーケンス



■打ち上げ情報

打ち上げロケット	H-IIAロケット30号機 H-IIA202型 4m径フェアリング(4S型)
打ち上げ射場	JAXA種子島宇宙センター
打ち上げ予定日	2016年2月12日(金)
打ち上げ予定時間	17時45分~18時30分(日本時間)
打ち上げ予備期間	2016年2月13日(土)~2月29日(月)

■飛行計画

事 象	経過時間 分 秒	高 度 km	慣性速度 km/s
1 リフトオフ	0 0	0	0.4
2 固体ロケットブースタ 燃焼終了	1 39	48	1.5
3 固体ロケットブースタ 分離	1 48	56	1.5
4 衛星フェアリング分離	4 15	170	2.5
5 第1段主エンジン燃焼停止 (MECO)	6 38	311	4.8
6 第1段・第2段分離	6 46	322	4.8
7 第2段エンジン始動 (SEIG)	6 52	330	4.8
8 第2段エンジン燃焼停止 (SECO)	13 24	579	7.6
9 ASTRO-H 分離	14 14	579	7.6
10 小型副衛星分離開始~ 小型副衛星分離終了※	22 34 32 34	575 571	7.6

※小型副衛星は、「ChubuSat-2」、「ChubuSat-3」、「鳳龍四号」の順に分離

■飛行経路

