

なぜ宇宙研は XRISM をやらなければならないのか

2023 年 3 月 13 日

宇宙物理学研究系・XRISM プロジェクト

山口 弘悦

X線天文衛星 XRISM（図1）の打上げが、いよいよ目前に迫っている。本ミッションは、正式には "X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission" という名で、その頭文字を取って "XRISM" と呼ばれる。Imaging は「撮像」、つまり天体の画像取得を意味する。その意義は説明するまでもないだろう。高解像度の撮像を得意とするハッブル宇宙望遠鏡 (HST) やジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) が捉えた神秘的な銀河や星雲の姿は、人々を魅了してやまない。一方の Spectroscopy は「分光」と訳され、光の色分けを意味する。こちらはちょっとわかりにくいので、本稿でその意義を解説する。XRISM に限らず、大抵の天文ミッションは撮像と分光の両方を行う。なので、XRISM の正式名称からは、イマイチその特徴が伝わりにくい。そこで最初に言い切ってしまうと、XRISM のメインは「分光」である。特に、波長 0.1-1 nm のX線帯域において史上最高の分光性能を有することが、本ミッション最大の特色となる。XRISM という略称の響きが、分光のための光学素子「プリズム (prism)」になんとなく似ていることにも、一応はそのニュアンスが込められている。

X線がどのようなもので、なぜ重要かについては後述するとして、まずはX線に限らず分光観測が何をもたらしかについて簡単に述べたい。光は電磁場の横波であり、その色は波の1周期分の長さ (= 波長) によって決まる。白色光をプリズムに通すと虹の七色に分かれる現象は、物質の屈折率が光の波長によって異なるために生じる。逆に言うと、この原理を利用することで白色光を色分け、つまり分光できる。同様の手法（プリズムに限らず様々な道具を用いる）を天体観測に応用するのが、分光天文学である。HST や JWST のように高解像度の画像を撮ることに比べたら、

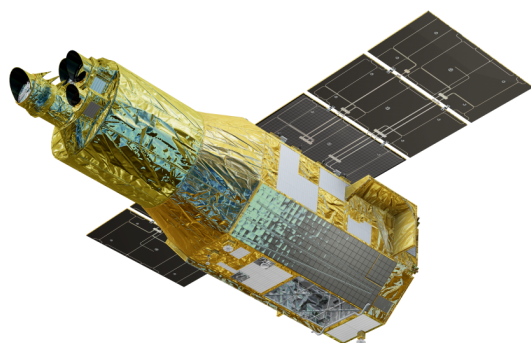


図1：（左）X線天文衛星 XRISM の外観（イラスト）

（右）筑波宇宙センター環境試験棟で実施された熱真空試験の様子 [Credit: JAXA]

地味な学問に思われるかもしれない。しかし、これまで天文学が人類にもたらした宇宙観の進歩は、分光観測に依るところが大きい。例えば、宇宙の膨張を示す「ハッブル・ルメートルの法則」や、暗黒物質の存在を決定づけた「銀河の回転速度異常」は、銀河の分光観測を通して発見されたものがある。他にも、暗黒エネルギーによる宇宙膨張の加速、超新星元素合成、系外惑星など、現代宇宙観の主要な概念・構成要素の発見に分光観測が深く関わっている。これらがなぜ可能になったかと言うと、分光観測を行うことで、撮像データからは得られない物理情報を「定量的に」引き出せるためだ。例えば、天体の温度や密度、運動速度、化学組成、磁場強度、あるいは宇宙論的赤方偏移の大きさなどが分光によって測定できる。また、それら物理量の決定精度は、分光性能が高いほど向上する。だから私たちは、宇宙の精密分光観測を行わなければならない。

さて、XRISM が「色分け」したいX線は、可視光よりも波長が 100～10000 倍ほど短い光である。当然そのような光は肉眼では見えないので、観測には特殊なセンサーが必要となる。また、波長の短い光は、光子 1 つあたりが持つエネルギーが大きい。したがって、その放射源もまた、大きなエネルギーを持つ必要がある。具体的には、100 万度から 1 億度に及ぶ高温の天体が、主要な X 線源となる。太陽の表面（光球）温度が約 6000 度なので、その数百から数万倍の高温ということになる。意外に思われるかもしれないが、実は宇宙を構成するバリオン（陽子や原子核など通常の物質を指し、暗黒物質は含まない）の 9 割以上は、そのような高温状態にあると考えられている。例えば太陽の中心だって 1500 万度だし、宇宙最大の構造として知られる銀河団も数千万度の高温プラズマ（電離気体）を伴う。以下で紹介するように、XRISM は銀河団を初めとする様々な高温プラズマ天体を観測する。

1. 宇宙の構造形成

銀河団とは、読んで字の如く「銀河の集団」を意味する。その具体例として、銀河団 SMACS J0723.3-7327 の赤外線写真を図 2 に示す。冒頭でも言及した JWST の初期観測によるものだ。黄色く見える天体がこの銀河団に所属するメンバー銀河であり、画像中央付近の明るい楕円銀河が銀河団の力学中心に相当する。一方、赤く見える天体は、この銀河団よりもさらに遠くにある背景銀河で、どれも形がひしゃげていることに気がつく。この特徴は、背景銀河の真の形状ではなく、手前の銀河団が作る重力によって周囲の空間が歪み、背後から来る光がその歪みに沿って曲線的に伝搬することに起因する（図 2 右）。これを「重力レンズ効果」と呼び、アインシュタインが提唱した一般相対性理論から導かれる。観測された重力レンズ効果は、重力の元となる質量を反映する。したがって背景銀河の歪み方から銀河団全体の質量を概算でき、太陽質量の約 100 兆倍と求まる。一方、メンバー銀河の質量はその明るさから概算できる。メンバー銀河を全て足し合わせると、太陽質量の約 1 兆倍と

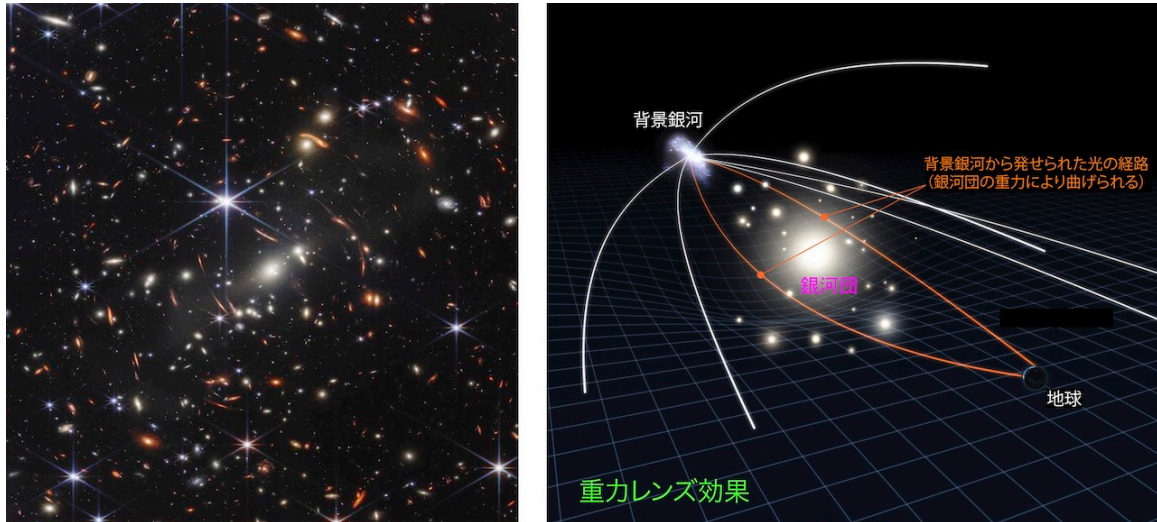


図2：（左）NASAの旗艦ミッションであるジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡（JWST）が観測した、銀河団 SMACS J0723.3-7327 の赤外線画像。JWSTの初期観測成果として2022年7月に公開された。ご覧の通りの驚異的な画質もさることながら、成果初公開のプレスカンファレンスにバイデン大統領が登場したことでも話題を呼んだ。黄色で示された天体の多くが銀河団に属するメンバー銀河で、およそ46億年前に発せられた光に相当する。一方、赤で示された天体は、この銀河団よりもはるかに遠方にある。これらの像は、重力レンズ効果（右図）を受けて円弧状に歪んでいる。この事実は、銀河団 SMACS J0723.3-7327 が巨大な質量を持ち、その重力によって周囲の空間が曲げられていることを意味する。

[Credit: 左: NASA/ESA/CSA/STScI; 右: NASA/ESA/L. Calçada 一部改変]

なる。どちらも莫大な数字だが、両者の間には2桁もの開きがある。他の銀河団においても、概ね同程度の乖離が見られる。つまり、銀河団には何らかの「見えない質量」が存在することになる。その大部分が、真に光を出さない「暗黒物質」とであると信じられている。この状況を概念的に示したのが、図3である。銀河団の本質は暗黒物質が作る重力ポテンシャルの深い井戸であり、メンバー銀河たちはその井戸に向かって落下してきた天体だと言える。決して銀河自身の重力で引き寄せられているわけではないのだ。

重力の井戸へと落下するのは、銀河だけではない。宇宙には、星になれなかったガスが大量に存在する。その主成分は、ビッグバンの時に作られた水素やヘリウムである。暗黒物質に引き寄せられたガスは、やがて重力の井戸を満たす（図3）。その際、ガスは高いところから低いところへと流れ落ちるので、位置エネルギーを解放して運動エネルギーを獲得する。さらに運動エネルギーは熱エネルギーへと変換され、ガスは熱くなる。結果的に、銀河団はXRISMが観測できる「高温プラズマ天体」となる。先述の通り、その温度は数千万度に達する。また、1つの銀河団における高温プラズマの総質量は、その銀河団に属する全てのメンバー銀河の質量を足し合わせたものよりも5倍以上大きい。つまり、銀河団の構成要素は、重力への寄与が大きい順に、暗黒物質、高温プラズマ、銀河、となる。

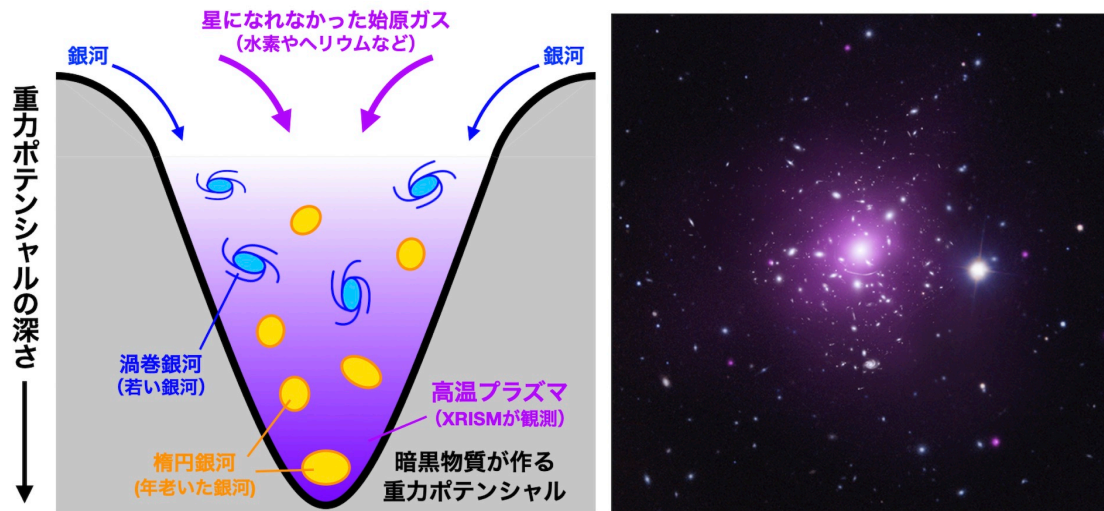


図3：（左）銀河団の力学構造の概念図。メンバー銀河や高温プラズマは、それら自身の重力ではなく、多量の暗黒物質が作る重力によって一箇所に引き寄せられている。（右）銀河団 Abell 383 の可視光・X線合成画像。紫色で示された高温プラズマからのX線放射は、メンバー銀河の間を満たすように広く分布する。その大きさは、直径約1千万光年に及ぶ。

[Credit: X-ray: NASA/CXC/Caltech/A.Newman et al./Tel Aviv/ A.Morandi & M.Limousin;
Optical: NASA/STScI, ESO/VLT, SDSS]

ところで、銀河やプラズマの受け皿となる重力の井戸は、初めからそこにあったわけではない。宇宙が誕生してから 138 億年の歳月をかけて、多量の暗黒物質が互いを引き寄せ合い、大きな塊へと成長してきたのである。この塊は今なお成長を続けており、数十億年後の未来にはさらに大質量の天体となることが予想される。つまり銀河団は、宇宙開闢から現在に至るまでの力学プロセスをフルに反映する天体であり、宇宙全体の力学から切り離されて進化する星や銀河とは本質的に異なる性格を持つ。言い換えれば、銀河団の調査によって、宇宙の構造形成史を紐解くことができる。

この課題に挑戦するのが XRISM だ。それにはまず、銀河団の力学構造、すなわち暗黒物質の質量分布を明らかにしなければならない。但し暗黒物質は直接観測できない。そこで XRISM は、得意の精密分光を駆使して高温プラズマの圧力を測り、それに釣り合う重力の大きさを算出する。重力はその場所よりも内側の質量を反映するので、圧力の分布がわかれば、暗黒物質の質量分布もわかるというわけだ。ここで XRISM が測定すべき圧力は、プラズマ中の粒子の熱運動に起因する熱的な成分と、プラズマの乱流運動に起因する非熱的な成分に区別される。XRISM の特色は、その両方を正確に決定できる点にある。詳細については、図4の説明をご覧いただきたい。特に後者の非熱的な圧力は、従来のX線観測では全く測定できなかったものであり、XRISM が行う精密X線分光によって初めて明らかになる。なお、この圧力を作るプラズマ乱流は、過去に起こった暗黒物質の塊同士の合体など、銀河団の成長の記憶として残されるものでもある。したがって、乱流運動の大きさをくまなく調

べることで、宇宙の構造形成の歴史を把握することにも繋がる。XRISM は、この他にも銀河団の力学的・熱力学的進化にまつわる様々な課題に挑戦する。ここで全てを紹介することは控えるが、例えば[エリザベス・タスカー氏による解説記事](#)があるので、そちらも合わせてご参照されたい。

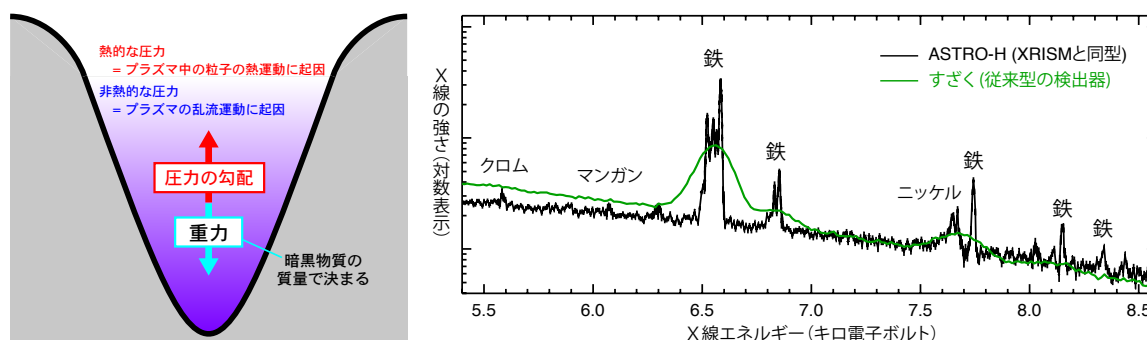


図4：（左）銀河団の高温プラズマにおける力学平衡。各所において、暗黒物質から受ける内向き（図では下向き）の重力と、高温プラズマの圧力勾配（外向きの圧力と内向きの圧力の差）が釣り合う。したがってプラズマの全圧（熱的成分と非熱的成分の和）を測定することで、重力源である暗黒物質の質量を推定できる。（右）XRISM と同型の検出器を搭載したASTRO-H衛星によるペルセウス座銀河団のX線スペクトル。ASTRO-Hについては4章で改めて触れる。プラズマの熱的な圧力は鉄イオンの輝線強度比とスペクトル全体のX線強度から、非熱的な圧力は輝線スペクトルの幅から、それぞれ高精度で測定できる。緑色のデータは、従来型のX線検出器を搭載した「すざく」による同一天体のスペクトル。分光性能が低いため、弱い輝線の検出や輝線幅の測定が困難だった。 [Credit: Hitomi Collaboration]

2. 宇宙の化学進化

前章で述べたように、銀河団プラズマの主成分は水素とヘリウムである。これらは「軽元素」と呼ばれ、138 億年前に起きたビッグバンによって作られたことが知られる。一方、図4に示した銀河団のX線スペクトルには、鉄をはじめとする様々な「重元素」の特性X線が見られる。先ほどの例では、それらを圧力測定の道具として利用したに過ぎなかったが、実はこうした特性X線の存在自体が、宇宙物理学的に重要な意味を持つ。なぜなら、鉄などの重元素は宇宙開闢の直後から存在したわけではなく、星の進化や爆発(超新星)に伴う核融合反応を経て、徐々にその数を増やしてきたからだ。その重元素が、銀河団という差し渡し1千万光年に及ぶ巨大な天体の中に溜め込まれている。これほど大きな天体は他にないので、銀河団プラズマの重元素の質量比は、その時代の全宇宙の化学組成を代表すると考えて良い。つまりXRISMが行う銀河団の観測は、宇宙の力学的な進化だけでなく、化学的な進化も同時に解き明かす。さらに、銀河団から得た知見を太陽、地球、隕石、小惑星などの元素組成と比べることで、太陽系の形成過程を知る手がかりも得られる。言

うまでもなく、小惑星の化学組成は、宇宙研の探査機が持ち帰った試料の分析によって詳しく調べられている。宇宙物理学と惑星科学は、密接な関係にあるのだ。

さて、宇宙の化学進化を理解するためには、銀河団や太陽系などの「元素を受け取る側」だけではなく、「元素を供給する側」のことも詳しく知る必要がある。そこで XRISM は、爆発した星の欠片である「超新星残骸」を観測する。先述の通り、星は進化の過程で核融合反応を起こし、様々な重元素を作る。やがて寿命が尽きると一部の星は超新星爆発を起こし、自らが作った重元素を宇宙空間に放出する。その際の拡散速度は、秒速 1 万 km 以上にも達する。この値は典型的な星間空間の音速（数 km/s）を遥かに上回るため、拡散する物質の周囲に強い衝撃波が形成される。この衝撃波によって、超新星由来の重元素が加熱されてプラズマになる。これが超新星残骸だ。

我々が暮らす天の川銀河の中には、現時点で知られているものだけでも 300 個以上の超新星残骸が存在する。その中には、爆発時の記録が歴史書等に残されているものもある。例えば、藤原定家の「明月記」に記載された西暦 1006 年の超新星が有名だ。その約千年後の姿が、図 5 左である。定家と言え、昨年放送された某大河ドラマでは残念ながら名前しか登場しなかったが、ちょうどあの時代に生きた人物である。つまり定家自身は超新星を目撃していない。西暦 1006 年は、定家存命の約 200 年前、来年の大河の主人公が某長編泥沼物語を執筆していた時期に当たる。いずれにせよ、中世日本の偉人が残してくれた天文現象の記録が現代の科学にも繋がっているとは、何とも感慨深い。さらに時代が進んで 1572 年と 1604 年には、ティコ・ブラーエとヨハネス・ケプラーが、それぞれ図 5 中および右の起源となった超新星を記録している。これらは日本からも観測できたはずだが、何故か記録に残っていない。どうやら今年の大河の登場人物たちは、天文現象に興味がなかったようである。図 5 の 3 天体をはじめ、天の川銀河や隣のマゼラン雲にある超新星残骸た

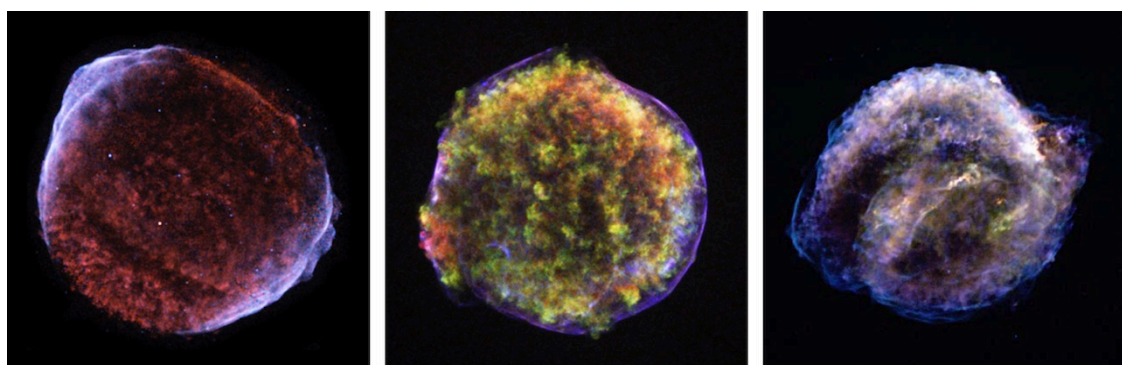


図 5：左から順に、1006 年、1572 年、1604 年に地球から観測された超新星爆発の残骸。それぞれ、SN 1006, Tycho, Kepler と呼ばれる。いずれも、米国の X 線天文衛星 Chandra による X 線画像。[Credit: 左: NASA/CXC/Rutgers/J.Hughes et al.; 中: NASA/CXC/Rutgers/J.Warren & J.Hughes et al.; 右: NASA/CXC/NCSU/S.Reynolds et al.]

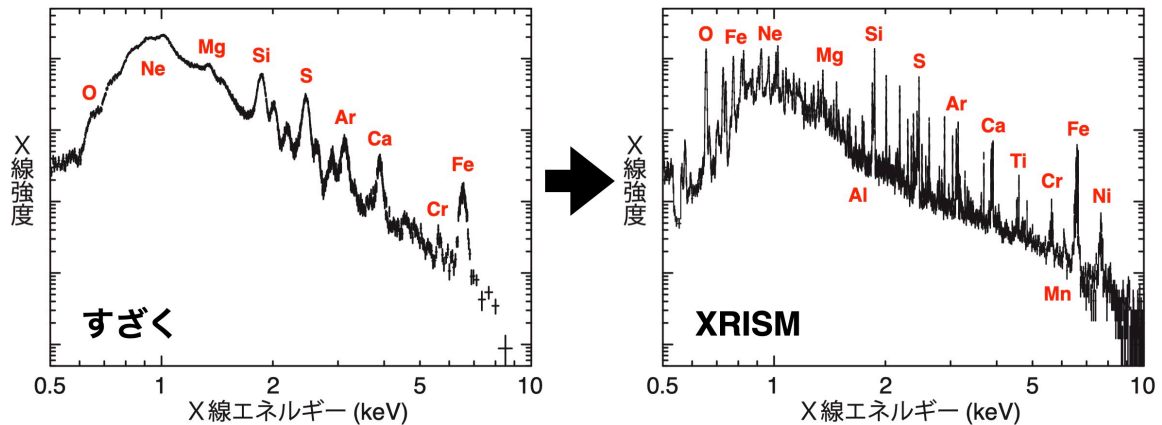


図6：典型的な超新星残骸のX線スペクトル。左は「すざく」の観測による実データで、右はそれに基づくXRISMの予想スペクトル。XRISMの高い分光能力により、様々な重元素の輝線が検出されることが期待される。

ちが、XRISMの観測ターゲットだ。予想される分光データの一例を図6に示した。従来のX線衛星では検出自体が難しかったものを含めて多種多様な重元素の存在量が正確にわかるだけでなく、元素の運動速度や密度分布なども測定できる。それらは元の星の質量や爆発メカニズム等に強く依存する。したがって、XRISMが行う精密分光観測によって、どのような星がどのように爆発し、どれだけの元素を宇宙に供給したのかが明らかになる。

XRISMは、よりダイレクトに「元素の生成現場」を観測することもあるだろう。例えば、近傍の宇宙で新たに発生する超新星や、中性子星合体などだ。これらの突発現象は、他の波長の光や、ニュートリノ、重力波などの観測と合わせて理解することが重要となる。そのためXRISMは、世界中の様々な天文台との連携も進めている。また、超新星爆発によって宇宙空間にばら撒かれた元素は、やがて凝縮して次の世代の星を作るか、あるいは銀河の重力を振り切って銀河団プラズマの一部となる。こうした物質循環の仕組みを包括的に理解するため、XRISMは惑星系の種となる星間塵や、大質量ブラックホールを伴う銀河の中心領域から吹き出すプラズマ風など、幅広い階層の天体を観測する。

3. 精密分光を支える技術

以上で紹介した精密X線分光によるサイエンスは、XRISMが搭載するX線マイクロカロリメータ（図7）によって実現する。この装置は「Resolve」と名付けられた。X線の色を分解(resolve)し、宇宙物理学の重要課題を解決(resolve)する、という意味が込められてのことである。X線マイクロカロリメータは、検出したX線光子のエネルギーを熱に変換し、それによる素子の温度上昇を測定することで、光子のエネ

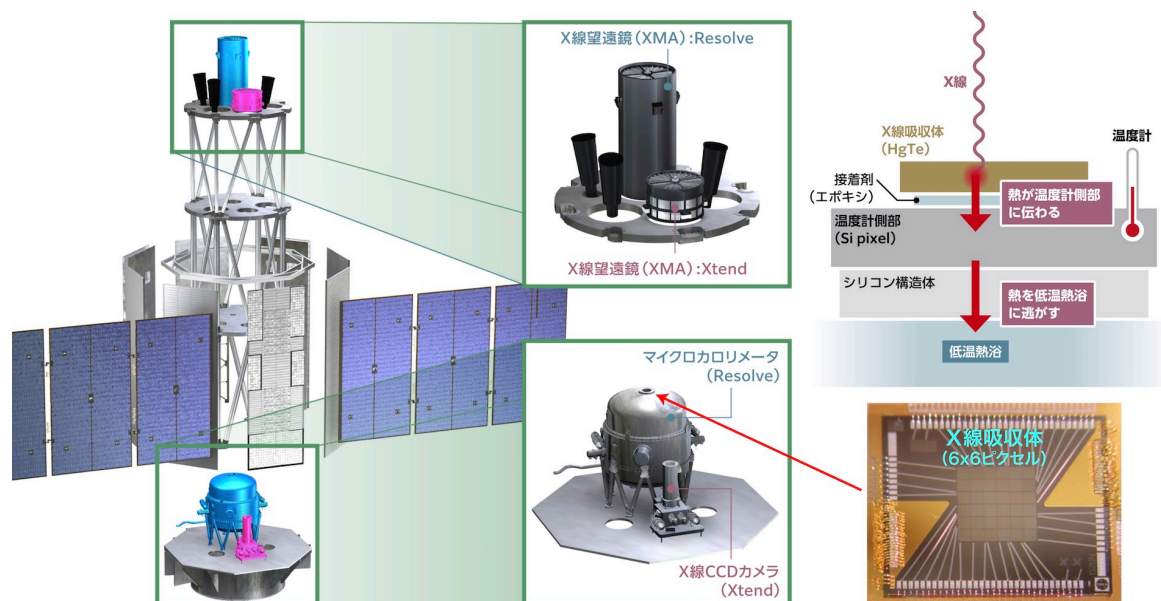


図7：（左）XRISM が搭載する観測機器と、その配置。衛星の先端部には2台のX線望遠鏡が搭載され、それぞれの焦点面にX線検出器の Resolve と Xtend が配置される。このうち前者が高い分光性能を持つ。（右上）Resolve によるX線検出およびエネルギー測定の実理。

（右下）Resolve のX線検出素子部。低温で動作させる必要があるため、左図に示されたデューワーの内部に設置される。[Credit: (左・右上) JAXA; (右下) NASA/XRISM/Caroline Kilbourne]

ルギー（波長に反比例する）を調べる。赤外線の観測などに用いられるボロメータと基本的には同じ原理だが、ボロメータが多数の光子の総エネルギーを積算して測定するのに対し、マイクロカロリメータは光子1つ1つのエネルギーを測定する。それゆえ、図4や図6のような分光データ（スペクトル）が描けるのである。また、プリズムや回折格子などの光学素子とは異なり、マイクロカロリメータは光を分散させることなくエネルギーを測定できる。したがって、銀河団や超新星残骸のような空間的に広がった天体でも、スリットを通すことなく分光観測を行える。言い換えると、撮像 (imaging) と分光 (spectroscopy) が一度に行えるのである。余談になるが、たまに見かける「XRISMによる高分散分光で～」という表現は正しくない。XRISMが行うのは「非分散の精密分光」であり、高分散分光と精密分光は同義ではないことに注意いただきたい。

マイクロカロリメータの性能を引き出す上で重要となるのが、極低温技術である。というのも、1個のX線光子を吸収することで上昇する温度は1ミリケルビン程度に過ぎず、室温で動作させても全く検知できない。さらに、分光能力自体も絶対温度の1.5~2.5乗程度に比例する。したがって絶対零度にいかに近づけるか、が重要となる。そこで Resolve は、多段の機械式冷凍機と液体ヘリウム、さらには断熱消磁冷凍機を用いて、素子の温度を50ミリケルビン（摂氏マイナス273.1度）にまで冷却する。そのために、Resolve は直径1メートルほどの巨大な魔法瓶のようなシステムを構成する。なお、液体ヘリウムの充填量は、約3年間の観測での使用量に相当す

るが、Resolve はこれを消費しきった後も、残りの冷凍機のみで分光性能を維持できる仕様となっている。

そんな Resolve にも弱点がある。それは、視野が狭いことだ。例えば、現在も活躍する米国の X 線天文衛星 Chandra は、一度の観測で約 $17' \times 17' (+\alpha)$ の天空領域をカバーできる。それに対して、Resolve の視野は $3' \times 3'$ に過ぎない。そこで XRISM は、広視野 CCD カメラ Xtend を併せて搭載する。視野を拡張(extend)し、宇宙に関する知見を広げる(extend)、という意味を込めてそのように名付けられた。Xtend は分光能力こそ Resolve に劣るが、 $38' \times 38'$ という広い視野を持つことで、Resolve の弱点を補うだけでなく、視野内で偶然発生する突発天体を検出することもできる。

4. なぜ XRISM をやらなければならないか

この章では、プロジェクトの代表としてではなく、一研究者としての個人的な見解を述べさせていただくことを、最初におことわりしておきたい。ご存知の方も多いと思うが、XRISM は、2016 年に打ち上げられた後、運用事故により短期間で喪失した [ASTRO-H](#) の再挑戦ミッションである。事実、XRISM が搭載する Resolve と Xtend は、それぞれ ASTRO-H の SXS および SXI とほぼ同等の装置である。今思い返しても、ASTRO-H の喪失は多くの人にとって悲惨なものであった。私は当時、NASA ゴダードスペースフライトセンター(GSFC)に在籍し、ASTRO-H の科学観測データを解析するためのソフトウェアを開発していた。打ち上げ後は、ソフトウェアの維持・改良、校正データベースの整備、ユーザーサポート等に従事しながら、自らも ASTRO-H のデータを使って成果を挙げようと意気込んでいた。この衛星の開発に関わった誰もが、似たような思いでいたことだろう。その矢先の事故だった。同僚の何人かが職場を去った。そんな中、ASTRO-H の成果を公表するための議論が始まった。打ち上げから約 1 ヶ月の短い期間ではあったが、ASTRO-H は数天体の観測を行い、貴重な科学データを遺してくれていたのである。その一つが、銀河団としては全天 X 線で明るいことが知られる「ペルセウス座銀河団」だった。図 4 のスペクトルは、この観測から得られたものである。わずかながらもこのような実データが遺されたことは、私個人にとっても、世界の天文学にとっても、不幸中の幸いだったことは間違いない。私はこのスペクトルを見た瞬間、精密 X 線分光のポテンシャルの高さを確信した。そして、その成果に基づく論文の一つを、私が任されることになった。

「なぜ XRISM をやらなければならないか」 それは、ASTRO-H を失ったからではなく、マイクロカロリメータによる精密 X 線分光が、必ず新しい宇宙観をもたらすからだと、私は考えている。確かに、XRISM というプロジェクトの発足には、ASTRO-H の失敗が大きく関わっている。次こそは必ず成功させなければならない責務もある。しかし、喪失したミッションのリカバリそのものが XRISM の目的ではないはずだ。

現在、[XRISMの公式ウェブサイト](#)には、次のような文言がある。「ASTRO-Hが目指していた科学成果を早期に回復し、世界に届けることを目指しています。」 --- 私はこの表現が好きではない。何とも卑屈で消極的な目標ではないか。我々XRISMサイエンスチームが目指すのは、ASTRO-H時代の計画とはもはや無関係の、「現時点でベストな科学成果」である。天文学を取り巻く状況は、当時とは全く異なる。それらを十分に考慮して、XRISMの科学観測を計画したつもりだ。また、XRISMの弱点（例えば空間分解能が低いことなど）を補い、科学成果を最大化するために、欧米の天文衛星との協調観測もアレンジした。ASTRO-H時代にはなかった試みである。そして何より、XRISMサイエンスチームのメンバー、特に若者たちには、これが最初の精密X線分光ミッションだと思って、堂々と、存分に楽しんでもらいたい。我々自身が科学を楽しみ、元気になることなくして、優れた成果が世界に届くことはないのだから。

5. XRISM から未来へ

宇宙研に着任して以来、「日本の強み」を問われる機会が増えた。背景には、当研究所が進める「[技術のフロントローディング](#)」の取り組みがある。つまり、ここで言う「強み」は、主に技術的な強みが想定される。その意味でXRISMに関わるものとしては、3章で触れた極低温技術が真っ先にあげられる。中でも、国産のジュール・トムソン型機械式冷凍機は、世界随一の性能を誇る。「XRISMで培われたこの技術をさらに発展させ、同じく極低温を必要とするJAXAの将来計画LiteBIRDや、欧州主導の大型国際ミッションAthenaに活かす。」これが、現在宇宙研が掲げる技術開発の将来ビジョンである。これ自体に全く異論はない。しかし私は、XRISMの開発を通して我々が得たもう一つの「強み」があることも強調したい。それは、冷凍機のようなわかりやすい単語では表せない「無形技術」だ。例えばResolveは、米国製の検出器を日米共同製作の冷凍機システムで冷やし、さらに欧州製のX線発生装置を搭載して検出器の校正を行う。この複雑なシステムを構築して要求通りに動作させるだけでも高度な技術を要するが、試験中に想定外のトラブルが起こったらその原因を突き止めて解消しなければならないし、装置の性能を最大限に引き出すために無数のパラメータの中から最適な組み合わせを見つけださなければならない。こうした決して単純ではない作業においては、日本の若手研究者や大学院生が大活躍している。Resolveチームだけでなく、XtendやX線ミラー、ソフトウェアの開発チームにおいても同様だ。彼らが身につけた経験とノウハウこそが、XRISMよりも先のミッションにも繋がる最高の「強み」ではないかと私は考える。

また、日本と欧米の研究者の間には、強固な信頼関係がある。これはXRISMよりもずっと前から続く国際協力を通じて築き上げられたものであり、ASTRO-Hが失敗した時にも崩れることはなかった。その絆は、XRISMの開発を通じてさらに強くな

ったと信じる。もちろん、参加メンバーにはそれぞれの思惑があり、意見が一致しないことも多い。しかし、粘り強くコミュニケーションを取り、時には喧嘩もすることで、初めて相手の考えの背景が見えてくることもある。チーム会議等で集まった際に、一緒に食事に行くことも大切だ。ここ数年はコロナのせいでオンライン会議が続いたが、幸いにして昨年 12 月には対面での会議を再開できた。次の対面会議は、打上げ後となる。XRISM の素晴らしいデータを眺め、お互いの努力を讃え合いながら、未来の国際協力ミッションにも思いを馳せたいものだ。

最後に、本記事では紹介しきれなかったが、XRISM は他にも様々な科学目的を掲げる。[プロジェクトのオフィシャル note](#) に、参加メンバーが執筆したサイエンス紹介があるので、そちらをご覧ください。また何より、打上げ後の成果報告にもご期待いただきたい。