

X線による天体観測で見えてくる宇宙

2006年12月6日

宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部・教授 石田 學

1 X線とは

光は、電気と磁気がお互いに助け合いながら、真空中を秒速30万kmの速さで進む波動であり、電磁波とも呼ばれます(図1)。図2に示すように、光には、波長(図1)の長い方から順に、電波、赤外線、可視光、紫外線、X線、 γ 線という名前がつけられています。X線は、この図からわかるように、波長がおおよそ0.01 nm ~ 1 nm (nm = ナノメートル = 10億分の1 m)の光です。

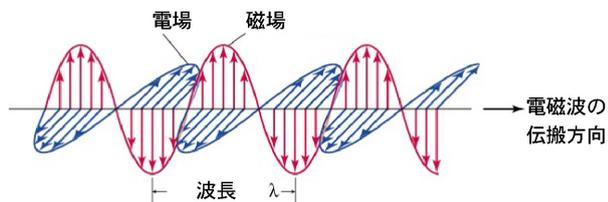


図1: 電磁波の模式図

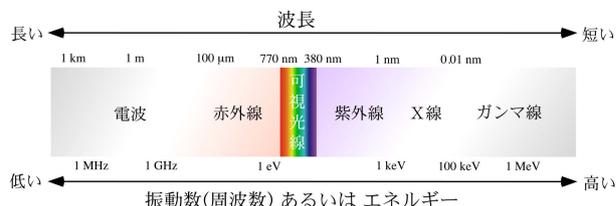


図2: 波長による電磁波の分類

2 X線で宇宙を観測するには

図3に、宇宙からやってくる光が到達できる地上からの高度を示します。この図によれば、宇宙からの光のうち地上まで到達できるのは、可視光、可視光に近い一部の赤外線と紫外線、それに電波だけであることがわかります。この宇宙へ開かれた窓を利用して、可視光に続いて1940年代に、電波による天文観測が始められました。

これに対してX線は大気で大きく吸収されてしまうため、X線で宇宙を観測するには、気球、ロケット、人工衛星といった飛翔体を用いて観測装置を大気圏の外に運び出す必要があります。このため、人類は長い間、宇宙からX線が来ていることを知りませんでした。X線天文学は1962年のロケット実験で、太陽と月以外の最初のX線天体が偶然に発見されたことで幕を開けました。

X線天文学に対する日本の貢献は群を抜いています。

図4に、日本が打ち上げた歴代のX線天文衛星をまとめます。1979年の「はくちょう」を皮切りに、ほぼ5~10

年に一機のペースで、その時代の最先端の観測機器を打ち上げてきました。たとえば「ぎんが」の大面积比例計数管(LAC)は、大量の光子を集積することで高い統計精度の観測を実現し、銀河系内外の明るい天体の詳細なスペクトル、時間変動観測を可能にしました。その優れた基本思想はその後、米国の「RXTE」衛星(現在も活躍中)に受け継がれています。また「あすか」衛星には、史上初めて10keVまでのX線を集光できるX線望遠鏡とCCDカメラが搭載されました。現在軌道上にある米国の「チャンドラ」衛星、欧州の「XMM-Newton」衛星はこの流れを汲むものです。2005年に打ち上げられた「すざく」衛星にはこれに加えて10-700keVのX線を世界最高感度で捉えることのできる硬X線検出器も搭載されており、CCDの観測システムと併せて広いエネルギー帯域での観測を実現しています。

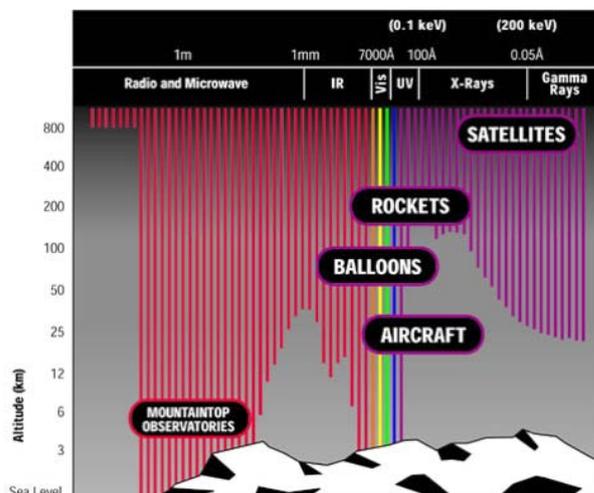


図3: 宇宙からの光が到達できる光度

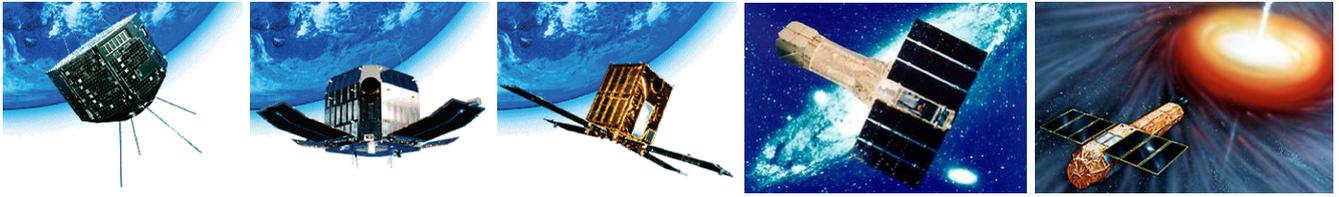


図 4: 日本のX線天文衛星。左から「はくちょう」(1979–1985)、「てんま」(1983–1985)、「ぎんが」(1987–1991)、「あすか」(1993–2000)、「すざく」(2005–)

3 X線が描き出す宇宙

光の波長(図1参照)と、その光を放出する物質の温度の間には反比例の関係があります。太陽は表面の絶対温度が約6,000 Kで、主に可視光(波長=380 nm ~ 770 nm)を放射しています。X線は、その波長が可視光に比べて500~50,000倍ほど短いので、絶対温度がおよそ100万K~10億Kの物質から放射されることになります。このような高温は、太陽の10倍以上の質量を持つ星が進化の最後に起こす超新星爆発や、爆発後に残されるブラックホール、中性子星を始めとする高密度天体の周囲で実現されます。X線は、こうした極限的な環境にある物質の観測に極めて適した波長域であり、他波長における天文学では伺い知ることのできなかつた高エネルギー宇宙の姿を暴き出してきました。

図5に「すざく」が観測したブラックホール連星系「はくちょう座 X-1」のスペクトルを示します。「はくちょう座 X-1」は太陽の12倍の質量を持つブラックホールと、太陽の30倍の質量を持つ青い主系列星の連星系です。可視光で観測しても青い星からの光しか見えません。しかしX線で観測すると、青い星からブラックホールへむかって流れ出した物質がブラックホールの回りに形成する降着円盤(accretion disk)からの放射、それがブラックホールに近づくにつれて、絶対温度で約10億度にまで加熱されて高温プラズマ(Hot plasma)を形成している様子、さらにはそのプラズマからの放射が降着円盤で照り返して、円盤中の鉄から特性X線(エネルギー6.4keV)を放射させている様子など、ブラックホールの回りでダイナミックな現象を捉えることができます。降着円盤の大きさから、ブラックホールの質量が太陽の12倍であることを教えてくれたのもX線観測です。このようにX線観測は、ブラックホールに落ち込んで行くガスが引き起こす現象を捉え、それを通してブラックホールの性質を探るのに最適な手段であると言えます。

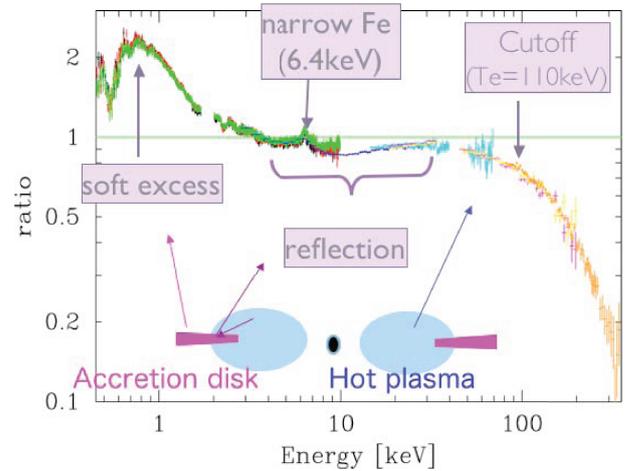


図 5: 「すざく」による「はくちょう座 X-1」のX線スペクトル。

図6に、「おとめ座銀河団」の可視光の画像(左)と、同じ領域をX線で撮影した画像(右)を示します。銀河団は、10個~1000個ほどの銀河が、お互いの重力によって、差し渡し1000万光年ほどの領域に集中した、宇宙で最大の構造です。可視光で見ると個々の銀河が星の光で輝いています(図左)。しかしこれをX線で観測すると様子が一変します。同じ領域をX線で撮影した右の図では、個々の銀河よりも、銀河同士を横断して広がる放射が卓越していることが一目瞭然です。この放射は、銀河団の重力に捉えられて絶対温度一千万度から一億度にまで加熱され、プラズマ状態となったガスからの放射です。詳しい観測により、このガスは、宇宙ができたばかりの頃のガスに、超新星爆発によって個々の銀河から流れ出たガスが混ざったものであることが分かってきました。また注目すべき事実として、このプラズマ状態のガスが、可視光で見える銀河の総質量の、実に5倍もの質量を持っていること、更にこのガスの運動から、光を出さない「見えない物質」(ダークマター)が、X線を放出しているガスの更に5倍以上もあることが分かってきました。

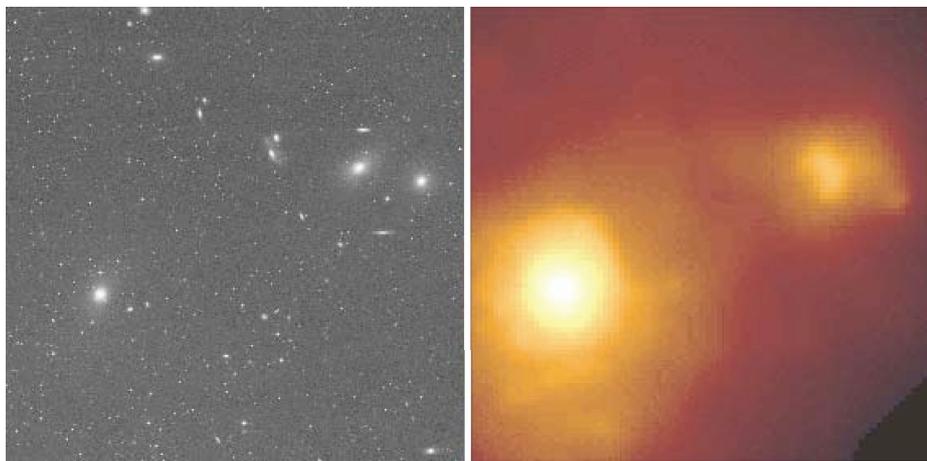


図 6: 可視光で観測した「おとめ座銀河団」(左) と、同じ視野を X 線で観測したもの図の一边は約 300 万光年。

これらのことから、人間の目に見える可視光だけでは、宇宙のほんのわずかな一面しか知ることができないことがわかります。1940 年代以降、人類は電波から γ 線に至るあらゆる波長帯で天文観測を行い、宇宙で起きている現象の全貌を捉えようとしています。X 線はその中で、宇宙の高エネルギー現象を捉えるのに必要不可欠な役割を果たしています。