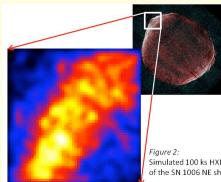


○ 超新星残骸からの硬X線：人類未踏の最高エネルギー加速器

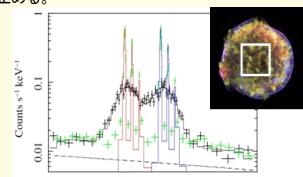
宇宙には、我々人類の持つ巨大加速器でも到底作り得ない超高エネルギーにまで加速された粒子が飛び交っている。「宇宙線」と呼ばれるこれらの粒子は、今も我々の指先に毎秒1粒子程度降り注いでいるほど多く、我々の宇宙の基本構成要素と言っても過言ではない。しかし、宇宙のどこで、どのように宇宙線を加速しているのかは、発見以来100年経った現在も大きな謎のままになっている。宇宙線は星間磁場中でジャイロ運動するため方向が変わり、宇宙線の到来方向を調べてもどの天体が加速源なのか分からぬからだ。一方、宇宙線が磁場や背景光子と相互作用した時に放出される光子は宇宙空間を直進するため、宇宙線加速源を直接とらえることができる。



上) ASTRO-H衛星HXIでみたSN1006衝撃波部分の予想図。超新星残骸のどの部分で粒子が加速されているかは、はっきりと決めることができる。

○ 超新星爆発の膨張機構の解明

ASTRO-H SXSによる超高エネルギー分解能によって、超新星残骸の元素組成をかつてない精度で決定することができる。これは超新星爆発をおこした天体の周辺環境の探査において強力な武器となるとともに、超新星の爆発機構に強い制限をつけることにつながる。さらに、SXSによって爆発物質および吹き飛ばされた星間物質や星周物質の膨張速度を精密に測定することで、超新星残骸の成長史に迫ることができると期待される。

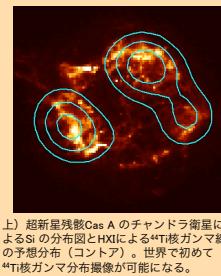


上) ASTRO-H衛星 SXS の 100 ks の観測でわかるTycho超新星残骸の鉄の α 線の構造。温度が 3×10^{10} Kの場合(黒)と熱運動が無視できる場合(緑)を示す。膨張ガスのシルバーフィットを用いて測定することができる。

○ 宇宙から生命の進化をとらえる～宇宙化学～

我々の素である酸素・炭素・鉄といった元素は、宇宙創成以後に作られた。しかし、どこで、どのように元素が作られたかは、はっきりとは分かっていない。つまり、我々の起源はまだ謎である。

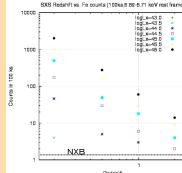
ASTRO-H衛星は、これまで検出が困難であった重元素をはじめてはっきりとらえる。重元素不安定核は、より安定な核への崩壊時に、核 γ 線光子を、硬X線から軟 γ 線で放射する。この γ 線強度は、重元素の存在するプラズマ温度や電離状態にほとんど依らない。従って、核 γ 線の測定強度から直接元素存在量を決定できる。この帶域での観測は難しく、今までに報告された検出例は極少数である。ASTRO-H衛星は世界最高感度を誇り、若い超新星残骸などから重元素の起源を発見すると予想される。



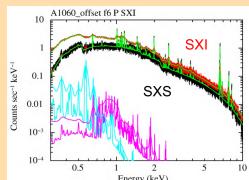
上) 超新星残骸 Cas A のチャンダラ衛星による Si の分布図と HXR による ^{44}Ti 核ガンマ線の予想分布(コントア)。世界で初めて ^{44}Ti 核ガンマ分布撮像が可能になる。

一方、銀河団ガスには大量の重元素が存在し、銀河団ガスの中にある。重元素は超新星爆発によって合成されるため、重元素の存在量を知ることで、超新星を起こす星の過去の存在量、つまり、宇宙の星形成史を解明できる。銀河団ガス中の鉄の量の進化を観測すれば、それを直接調べることが可能で、SXS装置では鉄の輝線強度を赤方偏移 $z = 1$ まで求めることができる。

また、さくら衛星において、最も明るい超新星残骸や銀河団から、Cr, Mnなどの微量な元素からの輝線が検出された。ASTRO-Hでは、このような微量な元素の量を精密に求めることができが可能になり、星、超新星による元素合成史の新たな手がかりを得ることができる。



上) SXII で遠方銀河を観測した時の He-like 鉄輝線のカウント数と赤方偏移の関係



上) A1060銀河団のオフセット領域を ASTRO-H で観測した予想スペクトル。銀河系内の放射と区別することが可能。

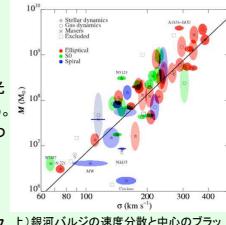
○ 隠されたブラックホールと銀河形成史

銀河の中心には、最大で太陽質量の十億倍にも達する巨大ブラックホールが存在する。降着ガスが解放する重エネルギーで、ブラックホールは 10^{44} erg/s もの明るさを持つX線と、細くしばらく光速に近い速度を持つ相対論的ジェットを放出す。ブラックホール質量と銀河ハリスの速度分散についての相関が観測され、ブラックホールと銀河が共進化するような機構が必要であることが明らかになった。つまり、ブラックホールは単に何でも呑み込む黒い穴ではなく、銀河の成長にフィードバックをかける役割をもつことがわかつた。

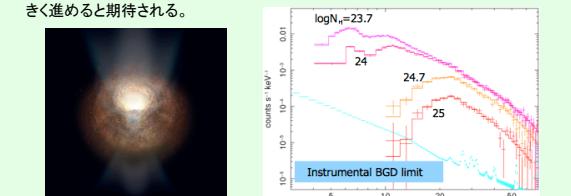
さらに、最近の観測によって濃いガスと塵に囲まれ、隠された超巨大ブラックホールをもつ活動銀河核が多く存在することがわかつた。これらのうちいくつかは、分厚いトーラスに深く埋もれており、軟X線や可視光で全く観測できず、「新種」の活動銀河核とよばれる。このような濃いガスと塵に覆われた活動銀河核は、ブラックホールと銀河が成長期にあると考えられ、この「新種」の活動銀河核の観測はブラックホールと銀河の共進化を探る上で鍵となる。ASTRO-H HXIは隠されたブラックホールを含め大量のブラックホールを発見し、銀河形成史の理解を大きく進めると期待される。



上) 「さくら」の発見した「ニュータイプ」ブラックホール Swift J0601.9-6636 の想像図。分厚いトーラスに深く埋もれており、10 keV 以上の硬X線により初めて発見することができた。



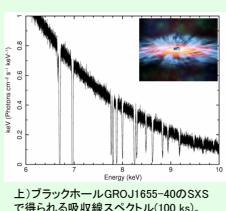
上) 銀河ハリスの速度分散と中心のブラックホール質量の相関関係(Gultekin 2009)。



上) ASTRO-H HXIの100ksの観測で得られる強吸収をうけた活動銀河核のスペクトル。連続放射はSwift J0601.9-6636の観測に基づき、光子指数1.9、2-10 keVのX線強度 $1 \times 10^{-11} \text{ erg/cm}^2/\text{s}$ を仮定。

○ ブラックホールの吸収線探査と質量放出機構の解明

X線で観測される吸収線はブラックホール降着円盤風によって大量のガスが宇宙空間に放出されていることの証拠である。円盤風による質量放出率は質量降着率にも匹敵するものであり、その駆動機構の解明はブラックホール降着流を理解する上で欠かせない。SXSによる超高分解能観測は複雑な吸収線を精密に分解し、円盤風の形成領域の特定し、生成機構の解明にメスをいれるだろう。



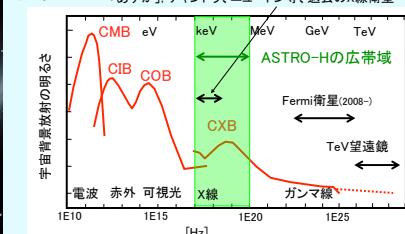
上) ブラックホール GROJ1655-40のSXSで得られる吸収線スペクトル(100 ks)。

「ASTRO-H」のサイエンス

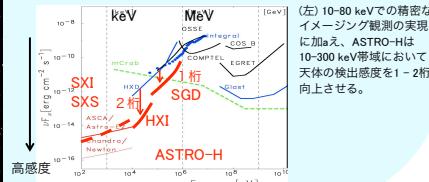
ASTRO-H衛星サイエンスオフィス

Extremely Wide Energy Band

ASTRO-Hは、0.3-300 keV以上という3桁にわたる帯域を力ぱし、「さくら」衛星の特徴を引き継いでいる。しかもその感度は一段と向上し、特に10-80 keVでは2桁以上、80-300 keVでは1桁の感度向上が図られている。ASTRO-Hは、未開拓の硬X線バンドで最高レベルの感度を備え、新時代の電波、赤外、可視光、 γ 線の天文台とともに、宇宙の謎に迫る新しい「窓」となる。

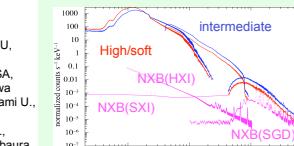


(上) 多波長の宇宙背景放射と比較したASTRO-Hの観測帯域。高温ガスの信号に加え、そこから生まれる非熱的な粒子の信号をも同時にとらえる広帯域を持つ。



○ 銀河系内ブラックホールの広帯域スペクトル

ASTRO-H衛星により、3桁にわたる広帯域スペクトルを同時に観測することができる。これは隣接円盤からの熱的な放射とMeV領域までのびる非熱的硬X線放射を特徴とする。ブラックホールの放射機構を解く上で強力な武器となる。ブラックホール近傍の隣接円盤の構造、それをとりまく高エネルギークロナの熱的電子と非熱的電子の分布、コロナの生成機構、ジェットの加速機構などに迫ることが期待される。



左) ブラックホール Cyg X-1 の high/soft 状態(赤)と intermediate 状態(青)の ASTRO-Hシミュレーション(100 ks)。NXBレベルをマゼンタで示す。0.4-600 keVまで精度の良い観測が期待できる。

X線精密分光、硬X線撮像分光、軟 γ 線までの広帯域観測を手段として、動的な宇宙と非熱的な宇宙の形成プロセスを明らかにし、宇宙の根本問題に迫る

On behalf of the ASTRO-H Collaboration

JAXA, NASA, Aoyama Gakuen U., Cambridge U., CEA/DSM/IRFU, CfA/Harvard, Chiba U., Chuo U., Columbia U., Dublin Institute for Advanced Studies, Durham U., Ehime U., ESO, Gumi Astronomical Observatory, Hiroshima U., JHU, Kanazawa U., Kochi U. of Tech., Kobe U., Kogakuin U., Kyoto U., LNL, Miami U., Michigan U., MIT, Miyazaki U., Nagoya U., Nara Women's U., Nihon Fukushi U., Nihon U., NIMS, Osaka U., RIKEN, Rikkyo U., Rutgers U., Saint Mary's U., Saltama U., Shibusawa Inst., Tech., SRON, Stanford U./KIPAC, STScI, Tohoku U., Tokyo Inst., Tech., Tokyo Metropolitan U., Tokyo Science U., Tsukuba U., U. Geneva, U. Maryland, U. of Tokyo, Waseda U., Wisconsin U., Yale U.