



http://astro-h.isas.jaxa.jp

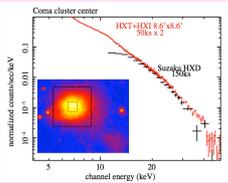
はじめに

ASTRO-H衛星は、ダイナミックに進化する宇宙の姿をはじめて明らかにする。高分解能のX線分光により、高温ガスの速度を100 km/sの精度で捉え、超新星・ブラックホール・銀河団の衝撃波・ジェットなどにみられるガスの運動を測定する。この運動は、高温ガスを加熱する一方で、粒子加速などにより非熱的なエネルギーの集中を引き起こす。これを解明するために、10-80 keVでの高精度の撮像分光、そして0.3-600 keVでの広帯域スペクトル観測を新たに行い、天体現象におけるエネルギー開放過程を包括的に調べる。10-80 keVの硬X線は最も透過力の高い電磁波であり、ASTRO-Hは塵やガスに隠されたブラックホールなど、これまで手の届かなかった未知の天体を探ることもできる。ASTRO-Hは高エネルギー現象を引き起こす物理過程に迫り、極限的な宇宙の状態を調べるとともに、宇宙論パラメータの測定や一般相対性理論の検証への道を切り開く。

○ 硬X線で探る高温銀河団

ASTRO-H衛星は、これまで集光系がなかった 10-70 keV のエネルギー帯域で初めてのX線望遠鏡を搭載する。同帯域での撮像能力と大幅な感度の向上は、discovery space を開拓する大きな武器となる。

「かみのけ座銀河団」などの高温銀河団のX線画像と70keVまでのスペクトルを取得して、数億度の超高温ガスや非熱的放射を高感度で捉える。電波放射との比較から、磁場や粒子密度を決定できる。また、高分散分光器で得られる輝線構造から乱流の状態や衝撃波の構造を明らかにし、硬X線放射の分布や重力レンズの情報も合わせて、銀河団ガスが加熱されるプロセスを明らかにする。

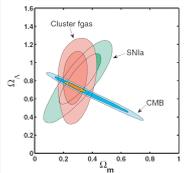


上) かみのけ座銀河団のASTRO-H HXI のスペクトル (シミュレーション)

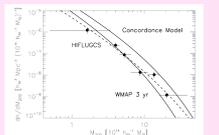
○ 構造形成と宇宙論

宇宙最大の天体である銀河団の進化は、宇宙の密度ゆらぎの成長と結び付いているため、宇宙論パラメータの決定に大きな役割を果たす。これまでにROSAT衛星などにより、WMAPの結果と矛盾ないことが報告されている。しかし、ダークマターやダークエネルギーの性質に迫るためには、より精度の高い銀河団質量測定が不可欠である。

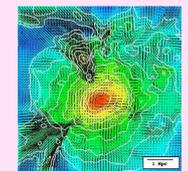
銀河団は現在もなお衝突合体により成長を続けているダイナミックな系であり、数値シミュレーションからも、銀河団中に含まれる高温ガスの乱流運動に伴う非熱的効果が質量測定における系統誤差を生むことが指摘されている。ASTRO-Hは鉄輝線のX線精密分光から銀河団ガスの運動速度を実測し、マイクロ波背景放射の観測とは独立に宇宙の構造進化やダークエネルギーの性質に迫る。



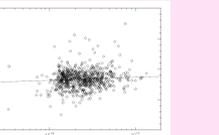
左) 様々な手法による宇宙論パラメータの決定。今後は、全く異なる測定方法に含まれる系統的な精度の評価がカギを握る (Allen et al. 2007)。赤: 銀河団ガス質量比、緑: SNIIa、青: CMB、黄色: 上記3つを同時に用いたもの。



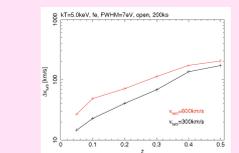
上) ROSAT X線サーベイによる銀河団質量測定とWMAPによる宇宙論パラメータでの予想との比較 (Reiprich 2006)。



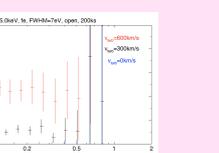
左) 衝突銀河団のシミュレーション。銀河団高温ガスの大規模運動を予想している (Norman & Bryan 1999)。ASTRO-Hは分光により運動を分離できる。



上) 銀河団質量推定の系統誤差の現状 (Jeltema et al. 2007)。系統誤差を抑えるためには、ASTRO-H衛星の高精度分光が鍵となる。



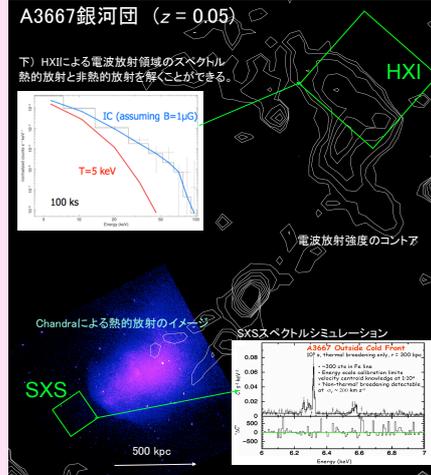
上) ASTRO-H衛星SXS装置による乱流速度の決定精度の予想。温度5 keV、X線光度10⁴⁴ erg/sの銀河団高温ガスが乱流速度300 km/s(黒)、500 km/s(赤)を持つ場合を想定。赤方偏移0.5程度まで乱流測定ができるかと期待される。



上) 銀河団質量推定における非熱的影響。左図と同様のSXS観測シミュレーションに基づいて、ガスの乱流運動による非熱的な圧力を熱的な圧力に対する比で表したものを示す。

○ 銀河団のガスダイナミクスと粒子加速

銀河団は、300万年のスケールに数千の銀河が集まる宇宙最大の天体である。全質量の8割をダークマターが占め、その重力で大量の高温プラズマを閉じ込めてX線で明るく輝く。宇宙大規模構造の「節」であり、現在も衝突、合体を繰り返しているが、あまりにも巨大なためその成長の様子を見るのは難しい。



合体のときに解放されるエネルギーは10⁵⁷ Jに達し、プラズマを激しくかき乱して加熱や大規模な乱流を起こす。このように銀河団は**宇宙最大の加熱源**であるとともに、その中でGeVを超える高エネルギー粒子を大量に生成する**宇宙最大の加速器**でもある。

「すざく」衛星やNewton衛星が捉えた複雑な温度構造や、銀河団中に大きく広がる相対論的電子からの電波放射は、これら銀河団の活発な活動の証拠である。

左に示すのは近傍の衝突銀河団A3667の中心部の熱的X線放射の分布、および電波放射の分布である。低輝度の領域をSXSで観測することにより、乱流の速度分布をマッハ数M = 0.2程度の精度で初めて明らかにする。また電波領域をHXIで観測することで、銀河団ガスの熱的放射と、非熱的電子による逆コンプトン散乱の割合を決めることができる。これにより、宇宙線のエネルギー総量と銀河団磁場の測定が初めて可能となる。ASTRO-Hによって、宇宙最大の天体の成長の様子を明確に捉えることができる。

宇宙科学シンポジウム 2011.1.5-7

次期X線国際天文衛星

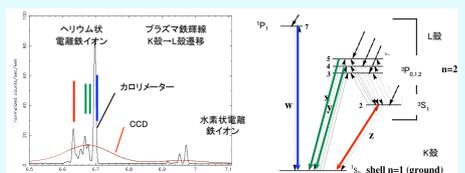
High-precision X-ray Spectroscopy

ASTRO-HのX線カラーメーター検出器は、 $\Delta E = 7\text{eV}$ (FWHM) 以下という驚異的な分光能力 ($6\text{ keV} \leq E/\Delta E \leq 900$) を持つ。非分散分光装置なので、広がった天体に対しても高分光能力を発揮できる。ASTRO-Hは、従来の衛星がなし得なかった超精密分光観測を初めて実現する。

～主量子数から量子力学微細構造へ～
従来のX線CCD検出器は、原子の主量子数遷移で生じるスペクトル構造の分離に留まっていた。ASTRO-Hは、軌道角運動量・スピン角運動量遷移による微細構造を分離し、X線放射に関わる物理相互作用を直接に知る。これにより例えばX線放射物質の温度・密度、吸収物質の結晶構造などの物理状態を知ることができる。

～X線プラズマの衝撃波をはじめて分解～
広がったX線放射の分光による速度計測は、これまで1000 km/sが限界であった。ASTRO-Hは500 km/sより高い精度を実現し、X線プラズマの音速による広がり(数100 km/s相当)や、衝撃波の速度(1000-2000 km/s)を、はじめて輝線ドップラーで検出する。

～輝度の低い広がった輝線天体の発見～
X線CCDでは検出不可能な弱い輝線の測定が可能となる。輝線だけ輝く天体や暗く広がった天体の発見に威力を発揮する。

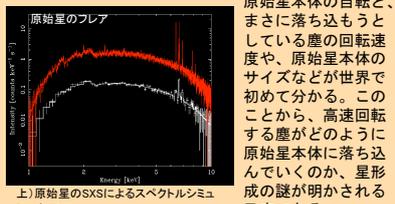


上) CCD(赤)およびカラーメーター(黒)で得た、プラズマからの電離鉄輝線スペクトル。輝線の青、緑、赤の印は右の各微細構造の遷移に対応する。

上) ヘリウム状電離鉄輝線の遷移図。K殻(n=1)とL殻(n=2)の各電子軌道が示されている。

○ 原始星の巨大フレアと原始惑星系円盤

原始星とは、塵とガスが中心部の一点に落ち込んで、一つの星を形成しつつある天体である。塵に埋もれているため、中心に潜む「星の種」(原始星本体)を観測できるのは、全ての電磁波の中で透過力の強いX線のみである。ASTRO-H衛星では、この原始星本体からのX線と、それが一旦周囲の塵によって吸収され、再放射されるX線のエネルギーを精度良く決定する。これによって、



上) 原始星のSXSによるスペクトルシミュレーション。

ASTRO-H衛星は、「すざく」衛星の技術と経験を活かし、かつ全く新しい技術を取り込むことで、これまでのX線天文衛星とは大きく異なる、次世代の観測装置を実現する。同方向を向いた4種5台の観測装置が搭載される。

- 硬X線撮像システム(硬X線望遠鏡)(HXI+HXT) x2台
 - 有効面積 300cm² (30 keV)
 - エネルギー帯域 5-80 keV
 - 空間分解能 1.7分角(HPD)
 - エネルギー分解能 < 2 keV (FWHM, 60keV)
- 軟X線撮像システム(軟X線望遠鏡)(SXI+SXT-I) x1台
 - 有効面積 360 cm² (6 keV)
 - エネルギー帯域 0.4-12 keV
 - 空間分解能 1.3分角(HPD)
 - エネルギー分解能 150 eV (6 keV)
- 軟X線精密分光撮像システム(軟X線望遠鏡)(SXS+SXT-S) x1台
 - 有効面積 225 cm² (6 keV)
 - 空間分解能 1.3分角(HPD)
 - エネルギー帯域 0.3-12 keV
 - エネルギー分解能 < 7 eV
- 軟ガンマ線検出器(同方向に視野制限): SGD x1台
 - 有効面積 150 cm² (30keV, 光電吸収モード)
 - 20 cm² (100keV, コンプトンモード)
 - 開口角 0.55度² (< 150 keV)
 - 10度² (> 150 keV)
 - バックグラウンド 10⁻⁷/10⁻⁵ cts/s/keV/FOV (100/600keV)