



AGU 青山学院大学 NEWSLETTER

2016年7月22日

報道機関 各位

「意外に静かだったペルセウス座銀河団中心の高温ガス」

青山学院大学理工学部物理・数理学科の澤田真理助教，吉田篤正教授は，X線天文衛星 ASTRO-H「ひとみ」の国際研究チームに参加してきました。「ひとみ」によって得られたペルセウス座銀河団の観測成果について報告します。

国際研究チームは，X線天文衛星 ASTRO-H「ひとみ」打ち上げの約一週間後から開始した観測装置立ち上げ段階で，主観測装置である軟X線分光システム（Soft X-ray Spectrometer: SXS）によって，ペルセウス座銀河団を合計23万秒間観測しました。取得されたデータから，SXS は打ち上げ前に見積もっていた以上に優れたエネルギー分解能を達成し，これまでの20倍以上の精度でX線エネルギーを測定できることを軌道上で実証しました。SXSによる分光観測で，銀河団中心部の高温ガスの運動をはじめで測定することに成功しました。観測の結果，銀河団中心部で，巨大ブラックホールから吹き出すジェットは高温ガスとぶつかってこれを押し回しているものの，その結果作り出されるはずのガスの乱れた運動は意外に小さいことがわかりました。すなわち高速ジェットが影響を及ぼしているにも関わらず，銀河団中心部の高温ガスは意外に静かであるといえます。

「ひとみ」は JAXA 宇宙科学研究所 (ISAS) を中心として開発されました。澤田助教は，本成果を挙げた「ひとみ」SXS のハードウェア開発・較正に参加してきたとともに，SXS の観測データ処理系の日本側責任者としても大きく貢献してきました。加えて，ペルセウス座銀河団のデータ解析にも直接寄与しています。

本研究成果は，7月6日付（世界時）英国科学誌「Nature」のオンライン版に掲載されました。研究の詳細は別紙をご参照ください。

【研究に関する問い合わせ先】

澤田 真理（サワダ マコト） 青山学院大学理工学部 物理・数理学科 助教

吉田 篤正（ヨシダ アツマサ） 青山学院大学理工学部 物理・数理学科 教授

〒252-5258 相模原市中央区淵野辺 5-10-1

Email: sawada@phys.aoyama.ac.jp / Tel: 042-759-6276 / Fax: 042-759-6542

【取材に関する問い合わせ先】

青山学院大学入学広報部入学広報課

〒150-8366 渋谷区渋谷 4-4-25 Tel: 03-3409-4159 / Fax: 03-3407-4068

【研究背景】

宇宙最大の天体である銀河団。100以上の銀河が集まった系で、大量のダークマターの重力により5000万度以上という高温ガスが捉えられています。また銀河団中心に位置する銀河は、宇宙ジェット（※1）を噴き出すなど活発に活動する巨大ブラックホールを擁することも少なくありません。ブラックホールによるジェットは周囲の高温ガスを押しつけて広がっているため、高温ガスはかき混ぜられて乱流運動（※2）の状態にあるのではないかという予測もありました。

太陽系から約2.5億光年遠方にあるペルセウス座銀河団は、X線で最も明るい銀河団です。これまでの多くのX線データが取得されており、「標準天体」（※3）とも呼べる銀河団です。その中心には、巨大なブラックホールをもつ電波銀河（NGC1275）があり、宇宙ジェットを噴出しています。過去の観測で、銀河団中心近くにある高温ガスがジェットによって押しつけられている形跡が明らかになっていました。そのためジェットが周囲の銀河団ガスに及ぼす影響の研究が続けられていました。

【研究手法】

巨大ブラックホールやそのジェットがどのように周囲に影響を及ぼし、どれほどのエネルギーを供給しているかを調べるためには、ガスの運動を直接捉える必要があります。「ひとみ」の主観測装置である軟X線分光システム（Soft X-ray Spectrometer: SXS, 図1）は、50 mK という極低温で動作し（※4）、X線のエネルギーを、先代のX線天文衛星「すざく」の20倍以上の細かさという高精度で測定します。銀河団の高温ガスは、各元素に固有のエネルギーでX線を出します（特性X線）。高温ガスが運動すると、ドップラー効果のために特性X線のエネルギーが変化します（※5）。SXS によってはじめて、銀河団のような大規模な高温ガス天体の運動を直接調べることができるようになりました。

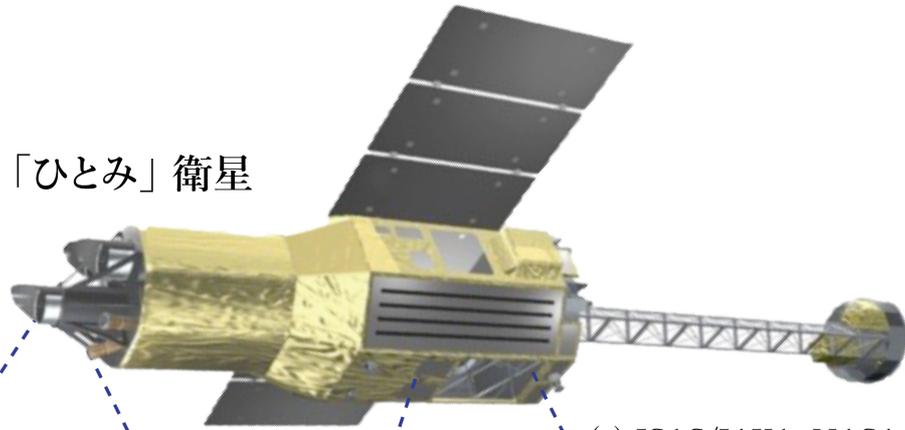
【研究成果】

国際研究チームは（※6）、観測装置の立ち上げ段階において SXS をもちいてペルセウス座銀河団を約一週間かけて観測しました（図2）。打ち上げ前に見積もっていた以上に優れたエネルギー分解能を達成し、これまでの20倍以上の精度でX線エネルギーを測定できることを軌道上で実証しました（図3）。この観測で、銀河団中心からの距離10万から20万光年の範囲では、高温ガスの乱流運動の大きさが毎秒 164 ± 10 km（視線方向の成分）であると見積もりました（図4）。この運動が生じる圧力は熱的な圧力の4%に過ぎず、予想を下回る低い値であることを明らかにしました。

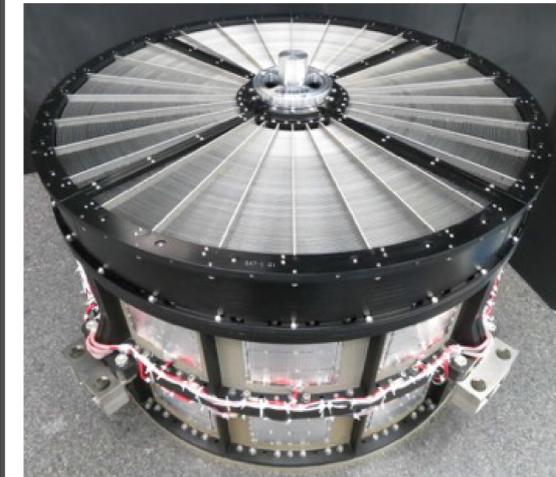
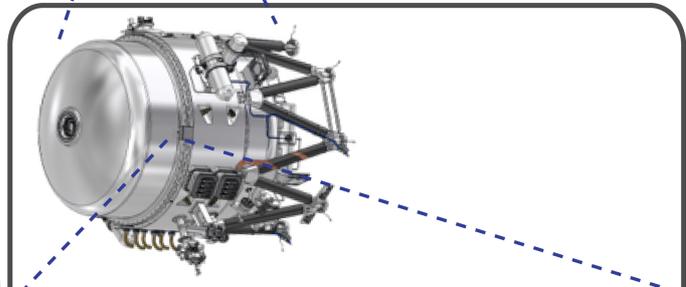
【青山学院大学の貢献】

澤田助教、吉田教授はともに国際研究チームメンバーとして打ち上げ前から科学成果検討に参加し、本成果にも貢献しました。澤田助教は、さらに、SXS の開発メンバーおよび SXS 観測データ処理系の日本側責任者としても貢献するとともに、本成果のもととなったデータ解析にも寄与しました。

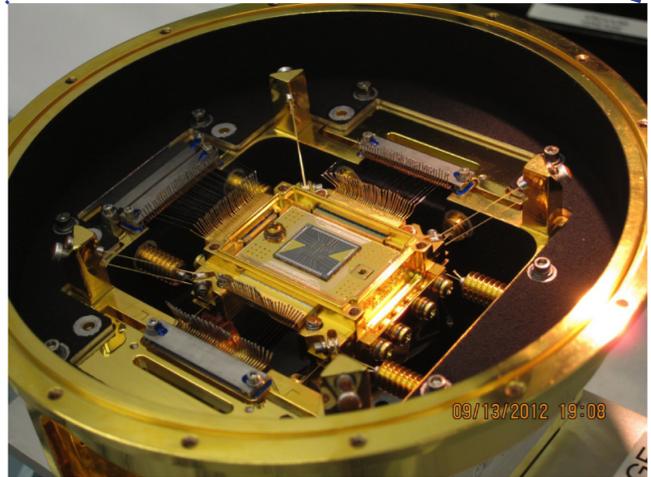
「ひとみ」衛星



(c) ISAS/JAXA, NASA/GSFC



「軟X線望遠鏡 (SXT-S)」



「軟X線分光検出器 (SXS-XCS)」

「軟X線分光システム (SXS)」

図1：「ひとみ」に搭載された軟X線分光システム SXS の構成。

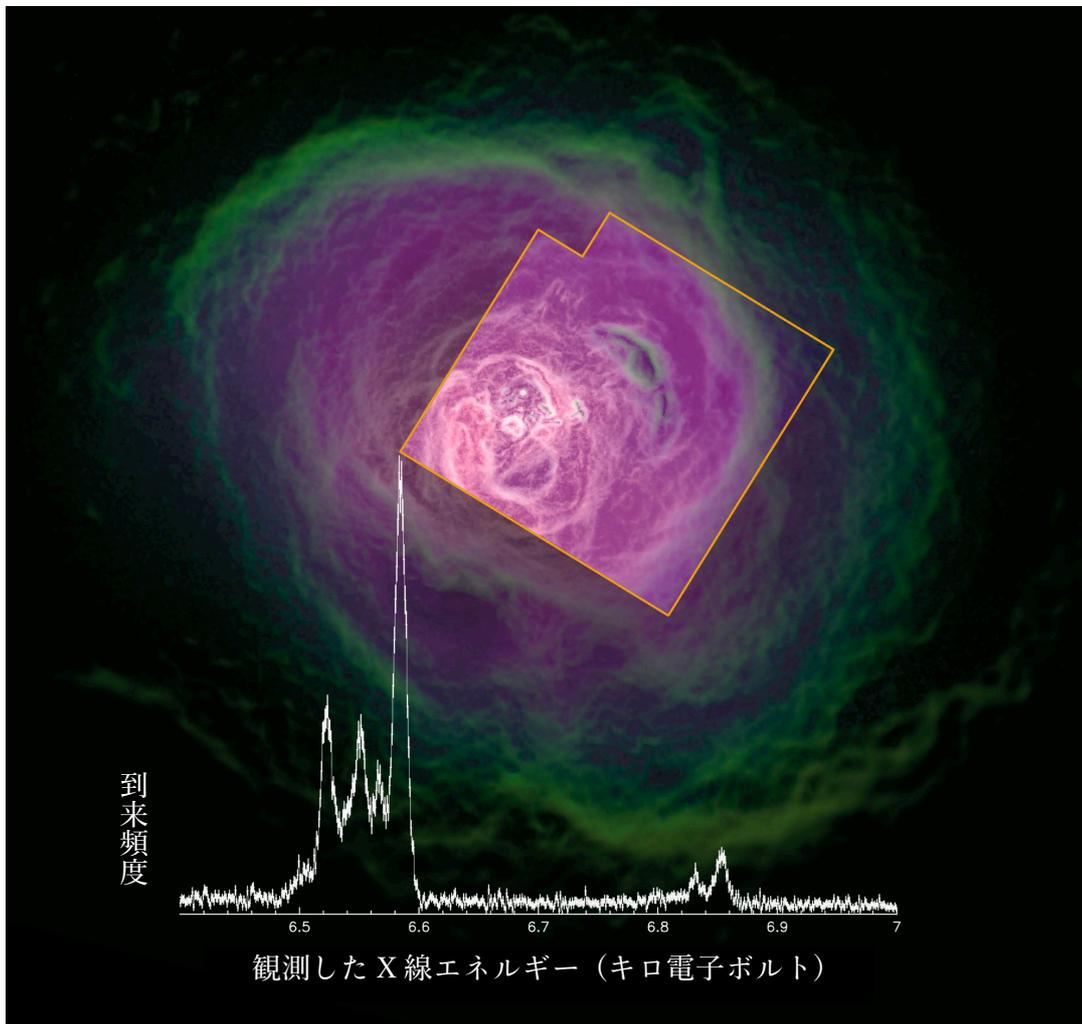


図 2：チャンドラ衛星によるペルセウス座銀河団の X 線画像（図中央，カラー）と「ひとみ」軟 X 線分光システム SXS で得たエネルギースペクトル（図下部，白データ点）。SXS の観測範囲は黄色枠内であり，銀河団中心付近のさしわたし約 20 万光年の領域。

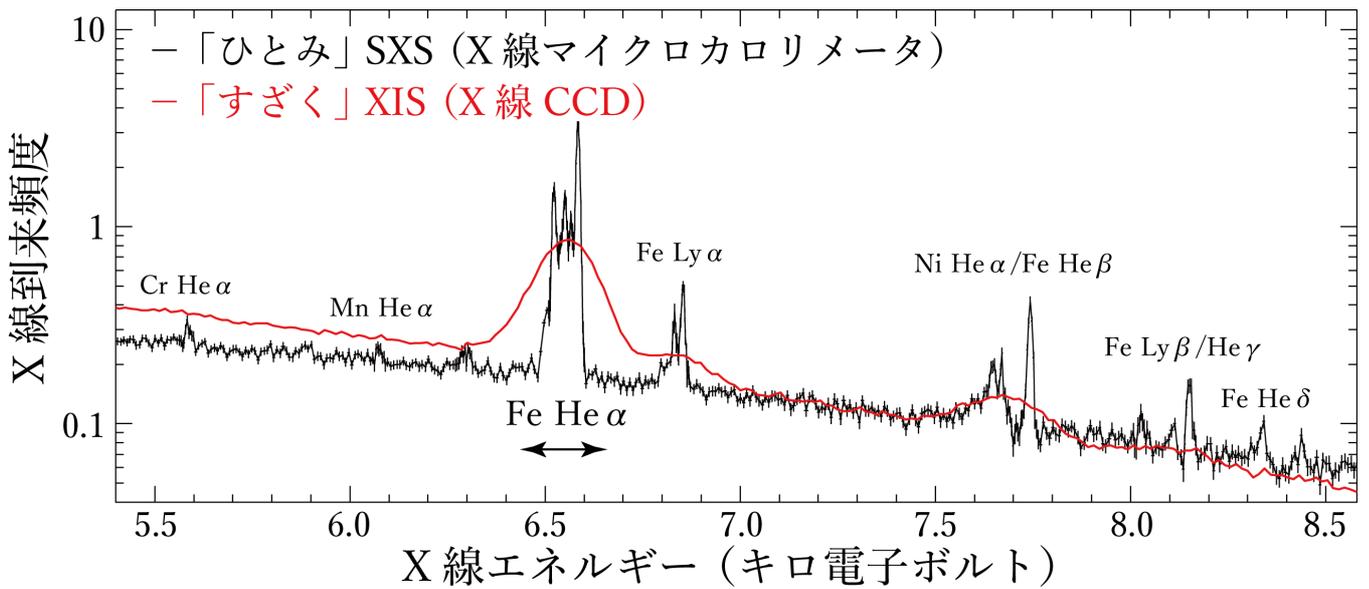


図3：「ひとみ」SXSと「すざく」XISでのペルセウス座銀河団のX線スペクトルの比較。
本論文 Extended data Figure 1 を改訂して掲載。

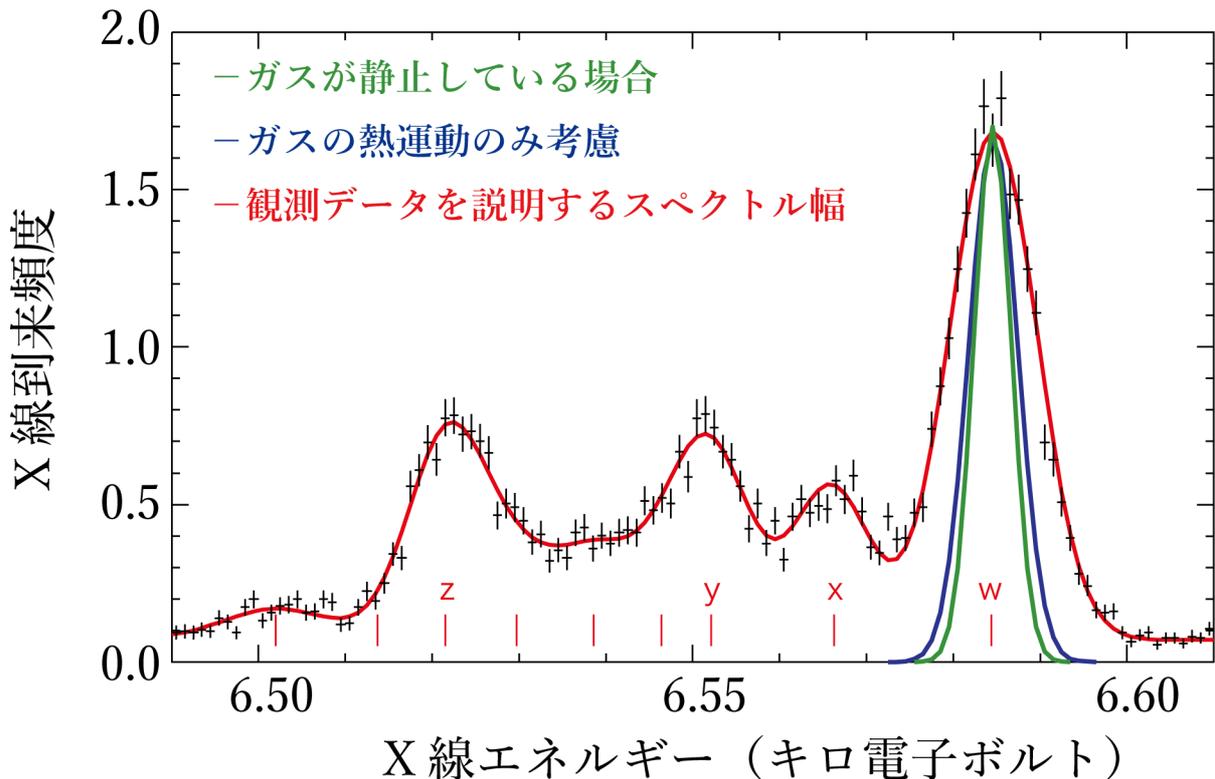


図4：SXS スペクトルによるペルセウス座銀河団の高温ガスの乱流運動の測定。
エネルギー範囲は図3のうち Fe He α の帯域を拡大して表示（矢印部分）。
特性X線の幅は、ガスが運動していると装置由来の幅（緑）よりも太くなる。
熱運動のみを考慮した場合（青）では、観測された幅（赤）を説明できない。
赤と青のちがいが小さいほど、銀河団ガスの乱流の度合いが小さいことを示す。
本論文 Figure 2 を改訂して掲載。

【用語解説】

※1) **宇宙ジェット**：高エネルギー粒子の束が、ある方向に集中して筋状に噴き出す現象。

※2) **乱流運動**：ガス全体がおなじような方向・大きさの速度でまとまって動くのではなく、部分ごとにさまざまに異なる方向・大きさの速度をもって乱れて流れている状態。

※3) **標準天体**：これまでに多数回観測されて素性がある程度あきらかになっており、またその天体種のなかでは比較的典型的な性質をもっていると思われるような天体。新しく打ち上げた観測装置では、通常はまずこのような天体を観測して性能確認や動作パラメータの調整をおこなう（較正作業）。「ひとみ」SXS のように、装置の性能が従来にくらべて飛躍的に向上した場合には、標準天体の観測からさえも大きな科学成果を得られることがあり、本成果はまさにその好例といえる。

※4) **50 mK**：ケルビン (K) は絶対温度の単位。日常使うセルシウス温度とは原点のみ異なる。0 Kは -273.15°C 。セルシウス温度が水の凝固点を原点とするのに対し、絶対温度は物質の熱運動に比例するので、0 Kはそれを下回ることのできない限界（絶対零度）。SXS が動作する 50 mK とは、この絶対零度すれすれ、わずか20分の1度だけ上の極限環境。これを衛星軌道上で実現するために、2種類5台の機械式冷凍機と、液体ヘリウム、断熱消磁冷凍機を使用する。また、単にこの温度まで冷やせばよいわけではなく、その時間的なふらつきをわずか数マイクロケルビン (50 mK のさらに10000分の1程度) 以下に抑える必要もあるため、最先端のさまざまな制御技術がもちいられている。

※5) **ドップラー効果**：X線を出すガスがわれわれに対して近づくときにX線エネルギーが高くなり、遠ざかると低くなる。ガスが大きく乱れた運動をしている場合には、いろいろな向き・大きさの運動による効果が重ねあわさって、乱流運動の大きさの分だけ特性X線の幅が余分に太って観測される。

※6) **国際研究チーム**：正式には Hitomi collaboration とよばれ、ASTRO-Hプロジェクトのメンバーである約250名の研究者からなる。JAXA 宇宙科学研究所、米国 NASA、欧州 ESA、オランダ SRON をはじめとする宇宙研究機関や、国内外の多数の大学・研究所が参加している。

【発表媒体】

雑誌名：Nature (2016.7.6付)

論文タイトル：The Quiet Intracluster Medium in the Core of the Perseus Cluster

著者：Hitomi collaboration