

ひとみ衛星によるペルセウス座銀河団の観測

松下 恭子

〈東京理科大学理学部第一部 〒162-8601 東京都新宿区神楽坂 1-3〉

e-mail: matusita@rs.kagu.tus.ac.jp

ひとみ衛星は全天でもっともX線で明るい銀河団であるペルセウス座銀河団の中心領域の観測を行い、軟X線分光検出器 (SXS) により精密なスペクトルを取得した。銀河団中心領域では活動銀河核との相互作用など極めて複雑な空間構造が発見されてきたが、ひとみ衛星で得られたペルセウス座銀河団中心部のスペクトルから得られたガスの速度構造や温度構造、重元素組成比などは極めてシンプルなものであった。

ひとみ衛星は、まずはペルセウス座銀河団の方向にその望遠鏡を向けた。まだ、検出器も冷却途中でであり、Be窓も閉じた状態であったものの、軟X線分光検出器 (SXS) により銀河団ガスからの精密なスペクトルを得ることができた (図1)。圧倒的な情報量であった。X線天文学者が夢見ていたスペクトルがそこにあった。

銀河団は宇宙で最大の重力的に束縛された天体であり、数千万度の高温のプラズマ (銀河団ガス) が銀河間空間を満たしている。ペルセウス座銀河団は巨大銀河団としてはもっとも我々に近く、X線帯域でのフラックスは全天でもっとも明るい。特に銀河団中心領域は極めて明るく、放射による冷却時間は宇宙年齢よりはるかに短い。し

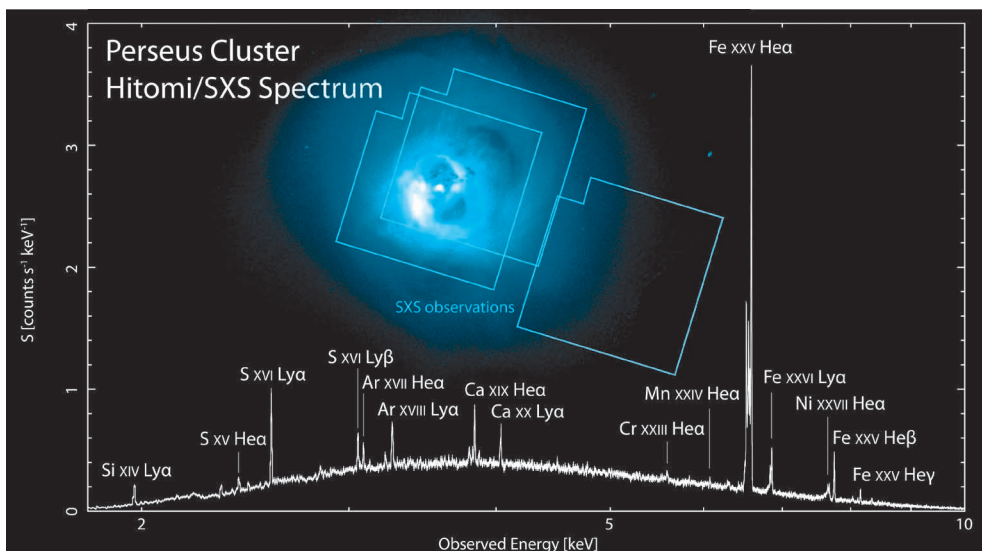


図1 ひとみ衛星により観測されたペルセウス座銀河団中心領域のスペクトル。Chandra衛星によるX線画像 (青) とSXS検出器の視野も示す。PASJ, Vol. 70, No. 2表紙画像より。

かし、冷えたガスはほとんど観測できず、周辺に比べやや温度の低いクールコア領域となっている。クールコアを維持するためには何らかの加熱源が必要であり、あすか衛星時代より議論が続いている。加熱源の候補の一つが活動銀河核の引き起こす銀河団ガスの乱流であった。ペルセウス座銀河団の中心には巨大楕円銀河 NGC 1275 があり、さらにその中心の活動銀河核から吹き出した相対論的プラズマが満たす電波ローブが銀河団ガスを押しつけているように見える (図1中心部の暗いひょうたん型の領域)。

まだ姿勢系も立ち上げ途中であったものの、最初に望遠鏡をペルセウス座銀河団の中心から少し離れた領域に向けることができた。次に衛星を銀河団中心に向けようとして、銀河団中心を SXS 検出器の視野3分角に収めることができた。最後にちょうど銀河団中心を検出器の中心にとらえた。その結果、クールコアの中心からその端まで連続的に観測することができ、電波ローブ領域とその周辺とを分けて測定することができた。X線望遠鏡の角度分解能を考えると理想的な方向を観測できたといえる。

銀河団ガスから放射された鉄のヘリウム状イオン輝線群は有意に検出器のエネルギー分解能より広がっており、ガスの速度分散に換算すると、150-200 km/s で、音速 (1000 km/s) よりはるかに遅い数値が得られた。ところが、そこにひとみ衛星との通信が途絶えたとのニュースが飛び込んできた。衛星の復活に希望を残しながらも、ともかくにも銀河団ガスの速度構造についての論文を Nature に投稿することになった。この Nature 論文の結論では、銀河団ガスの速度分散は“驚くほど”小さいとまとめている¹⁾。もちろん、この結果は自分の理論の予想通りであり驚くべき結果ではないと満足した研究者もいる。銀河団のように広がった光源の精密分光は、極低温の非分散型分光器でのみ実現できる最高難度の宇宙実験でもある。1995年のロケット実験でたった5分間の観測

に成功²⁾した後、ASTRO-EIの軌道投入失敗、ASTRO-EIIでの冷却材不具合と言った苦い経験を味わい、悲願の銀河団の観測に辿り着くまで、想像を遥かに超える困難な道のりがあった。詳細は後続の記事を参照して頂きたい。

最初の論文の投稿後、ひとみ衛星で得られたペルセウス座銀河団、超新星残骸などのデータを解析して出版するべく、改めてひとみチーム全体から複数の解析チームが組織された。その結果、若干離れた分野の研究者と議論できたことは、非常に有意義であった。研究成果の詳細についてはそれぞれの記事を参照されたい。X線スペクトルを解析する際には、与えられた温度や密度、元素組成比に対して、原子物理データをもとにプラズマからの放射を計算するプログラム (プラズマコード) の結果と観測データを比較することになる。このコードさえも、ひとみ衛星のデータを受けて改訂が行われた。図2はペルセウス座銀河団の中心部のヘリウム状鉄イオンの輝線群のスペクトルである¹⁾。もっとも強い共鳴線、次に強い禁制線のほかにも複数の輝線構造が見える。図2には、2種のプラズマコードのひとみ衛星打ち上げ当時の最新版による予想スペクトルも示す。観測スペクトルとコードの予測にはかなり食い違いがあった。一つの要因として共鳴線が共鳴散乱により強度が抑えられている可能性が指摘されたが³⁾、コード

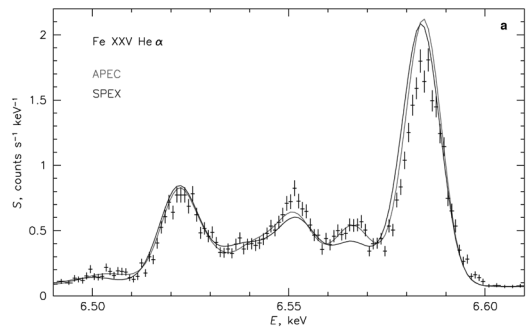


図2 ペルセウス座銀河団中心領域のヘリウム状鉄輝線群¹⁾。2本の実線は2種類のX線放射スペクトルのコードによる予測。

自体も改訂されることとなった⁴⁾。

Chandra衛星の観測により、銀河団中心部では、活動銀河核との相互作用など極めて複雑な構造が発見されてきた。ニュートン衛星の観測により、銀河団ガスの重元素組成比は太陽、つまり渦巻銀河である天の川銀河とは異なるという報告も得られていた。それらに比べ、ひとみ衛星で得られたペルセウス座銀河団の描像は極めてシンプルなものであった。ガスの速度分布は音速よりもはるかに遅く^{1), 5)}、温度分布は単純であり⁶⁾、重元素組成比は太陽と同一であった^{7), 8)}。「右巻き」ニュートリノからのX線も検出されなかった⁹⁾。ただし、これらの結果は2 keV以上のエネルギー帯域でのみ得られたものである。クールコア内より温度の低いガスを観測し、その速度構造や温度分布、酸素やネオンなど今回観測できなかった元素の組成比を調べるためには2 keV以下の帯域が必要不可欠である。さまざまな方々のご尽力によりXRISM計画がすすんでいる。ひとみ衛星によってはじめた超高分解能X線分光を手段として、XRISM衛星により銀河団だけではなく、多様な天体に対して新しいサイエンスを切り開くことにより、天文関係の皆様のご支援に応えたいと願っている。

参考文献

- 1) Hitomi Collaboration, 2016, *Nature*, 535, 117
- 2) https://link.springer.com/chapter/10.1007/10933596_8 (2019.2.11)
- 3) Hitomi Collaboration, et al., 2018, *PASJ*, 70, 12
- 4) Hitomi Collaboration, et al., 2018, *PASJ*, 70, 10
- 5) Hitomi Collaboration, et al., 2018, *PASJ*, 70, 9
- 6) Hitomi Collaboration, et al., 2018, *PASJ*, 70, 11
- 7) Hitomi Collaboration, 2017, *Nature*, 551, 478
- 8) Simionescu, A., et al., 2019, *MNRAS*, 483, 1701
- 9) Aharonian, F. A., et al., 2017, *ApJ*, 837, L15

Hitomi observations of the Perseus cluster Kyoko MATSUSHITA

*Tokyo University of Science, Department of
Physics, 1-3 Kagurazaka, Shinjuku,
Tokyo 162-8601, Japan*

Abstract: The Hitomi satellite observed the Perseus cluster before its loss. The Perseus cluster is the X-ray brightest galaxy cluster in the sky, with a luminous cool core. Hitomi's superior energy resolution opened a new window to understand the universe.