

宇宙の果てに暗黒銀河団？

我々は、宇宙科学研究所の X 線天文衛星「あすか」とドイツの X 線天文衛星「ローサット」を用い重力レンズ効果を受けたクェーサー MG 2016+112 を観測し、その手前に可視光では見えなかった銀河団を発見した。この銀河団 (AX J2019+1127) は、MG 2016+112 の重力レンズ効果を引き起こしている天体と考えられ、これまで知られている X 線銀河団の中で最も遠い (90 億光年) ものである。暗くて見えない銀河の集団か、あるいは、銀河を殆ど含まない新種の天体「暗黒銀河団」か、いずれにしても銀河、銀河団の形成、進化に対する今までの描像に根本からの変更を迫りうる結果である。

「暗黒銀河団」、この言葉が新聞を飾ったのは 1997 年 7 月 10 日。同日発行の Nature 誌に、元基礎科学特別研究員の服部 誠を中心とした若手グループによる「暗黒銀河団の発見」の論文が掲載されたのである¹⁾。

銀河団とは、銀河が数千個集まった宇宙の大規模な構造である。例えば有名な「乙女座銀河団」は我々の銀河に一番近い銀河団で、5 千万光年の距離にあり、大きさは 7 百万光年、したがってその見かけの直径は 8 度と極めて大きい。腕を伸ばした時のコブシの大きさの中に数千個の銀河が群れているありさまを想像して頂きたい。銀河団は、もちろん可視光の望遠鏡で発見されたも

ので、現在では遠く約 100 億光年に至るまで約一万個の銀河団が知られている。

しかし、銀河団は銀河だけでできているのではない。個々の銀河の運動を調べると、銀河を全部合わせたよりも 10 倍以上重い物質による重力を受けて運動している事がわかっている。また、銀河団は強い X 線源である事が 1970 年頃発見された。強い重力によって銀河間ガスが落下・加熱され、数千万度の温度になり X 線を発しているのである。

X 線を放射しているガスは、高温かつ希薄であるため可視光では見えない。しかしその総質量は、銀河の総質量以上にもなる。X 線ガスの温度から重力の大きさがわかるが、銀河と X 線ガスを合わせたよりも 10 倍近い質量が必要であった。可視光も X 線も出さず重力のみを及ぼす物質 (ダークマター) が、銀河団に存在することが、こうして明らかになった。銀河団は大雑把に言って、5 % の銀河、15 % の X 線ガス、80 % のダークマターで出来ている。

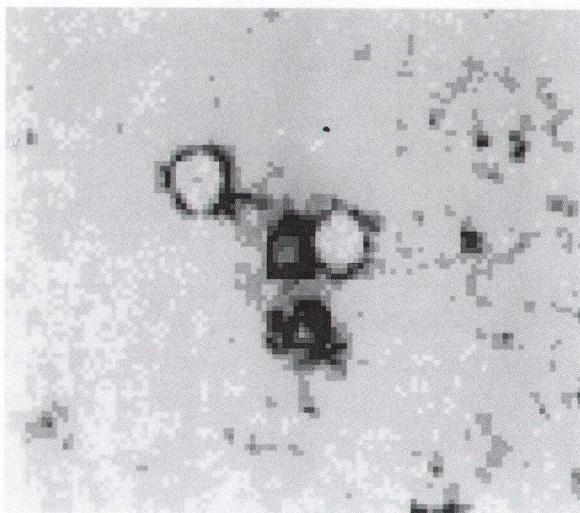


図 1 : MG2016+112 の可視光像(疑似カラー) 2つの白い丸がレンズされたクェーサー。3.4 秒角離れている。右の白丸のすぐ左にある黒い天体が、赤方偏移 $z=1$ にあるレンズ銀河。この銀河と同じ z の所に X 線銀河団が発見された。下の黒い天体は偶然手前にある銀河。クェーサーの 3 つめの像は、その銀河と重なっている。

(http://vela.astro.ulg.ac.be/grav_lens/grav_lens.html より引用)

銀河団の重力はさらなるイタズラをする。銀河団の向こうにたまたま別の天体（銀河やクエーサー）があると、その強い重力により、光の進路が曲がり、天体の像を二つも三つも、時には変形させて見せることもある（重力レンズ効果）。今回観測した MG 2016+112 というクエーサーも、こうした重力レンズ効果を受け可視光像が3つに分裂している天体であった（図1）。理論計算によれば、距離 120 億光年にある MG 2016+112 は、90 億光年のところにある銀河団程度の質量をもつ天体の重力を受けて、重力レンズ効果を起こしていると予言されていた。ところが可視光観測では、そこには通常の銀河団の中心に座する程度の cD 銀河 1 個と小さな銀河が 1 個しか発見されなかったのである。

そこで我々は、銀河団のもう一つの観測手段である X 線で、未知の銀河団の発見に挑んだ。X 線は大気を通過しないので、観測は宇宙科学研究所の X 線天文衛星「あすか」とドイツの X 線天文衛星「ローサット」を用いて行なわれた。そして MG 2016+112 の方向から、「可視光では見えない（暗黒）銀河団」からの X 線を、見事、検出したのである。

AX J2019+1127 と命名されたこの銀河団までの距離は、エネルギー分解能に優れた「あすか」衛星で求められた*¹。観測された X 線スペクトルに見られる約 1 億度の高温ガスから出る鉄原子の輝線が、エネルギーの小さい方にずれている（赤方偏移）ことが発見されたのである（図2）。

ハッブルの法則を用いて赤方偏移量から距離を

求めると、この X 線源は 90 億光年の彼方にあることが突き止められた*²。さらに空間分解能の良い「ローサット」衛星で X 線源の空間的な広がりを検出したことで（図3）光学望遠鏡では見えなかった銀河団の存在を決定付けることができた*³。今回発見された銀河団の距離や質量は、理論か

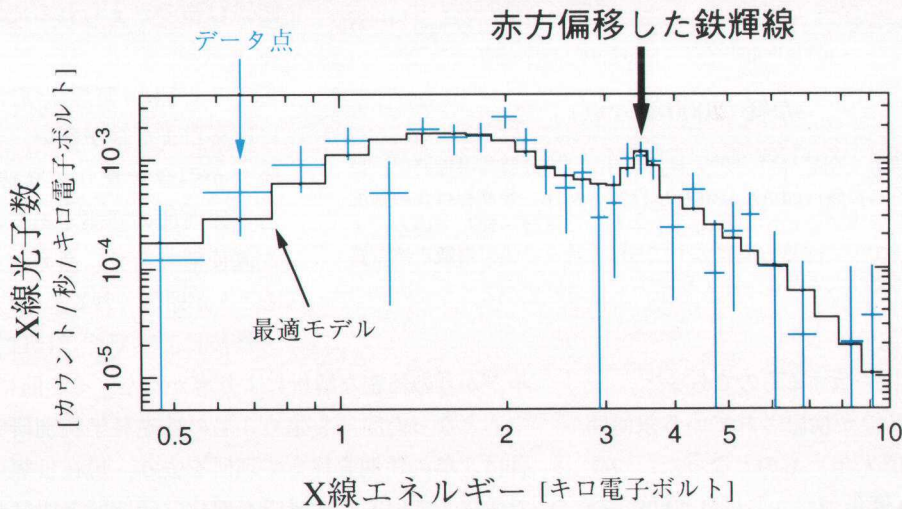


図2：「あすか」の GIS 検出器(位置検出型ガス蛍光比例計数管)によって観測された銀河団 AX J2019+1127 の X 線スペクトル。温度 1 億度(10⁸K)のほぼ太陽組成のプラズマからの熱 X 線放射モデルで良く合っている。この温度から、この銀河団の重力質量は、我々の銀河の数千倍と考えられる。太矢印は赤方偏移した鉄原子の輝線。静止系でのエネルギーは 6.7 キロ電子ボルトと 6.9 キロ電子ボルトである。これより赤方偏移量 z が求められ、それは、重力レンズ効果から予測されていたもの ($z=1$) にほぼ一致する。

* 1 「あすか」衛星による観測は、1994 年 10 月 24 日から 2 日間行なわれた。
 * 2 ここでは年齢の計算に、 $\Omega_0 = 1$ (臨界密度にある平坦な宇宙)、ハッブル定数として $H_0 = 50 \text{ km/s/Mpc}$ を使った。すると宇宙年齢は 133 億年 (約 130 億年)、赤方偏移 $z = 1$ は、86 億年前 (今から約 90 億年前、ビッグバンから約 40 億年後) になる。
 * 3 「ローサット」衛星による観測は、1995 年 11 月 15 日、1996 年 4 月 19 日、1996 年 10 月 22 日に行なわれた。

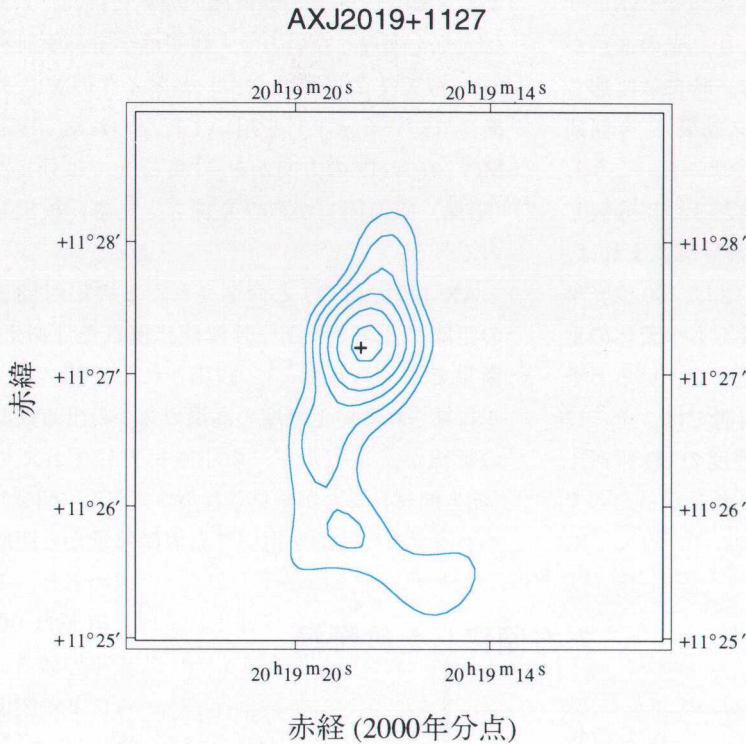


図3：ドイツのX線天文衛星「ローサット」のHRI（高分解能撮像装置）によって観測された銀河団 AX J2019+1127 のX線像。等高線はX線強度を表す。強度最大の点は中心銀河（十字点）とほぼ一致している。X線像は広がっていて、赤方偏移 $z=1$ における我々の銀河の数千倍の質量を持つ銀河団の大きさとも一致する。

ら予想されたものとはほぼ一致するものであった。

AX J2019+1127 はX線が検出されている銀河団の中で最も遠い（90億光年）ものとなった。つまりビッグバン（約130億年前）からほぼ40億年後に、すでに現在と同じ銀河団が形成されていたわけである。現在の標準宇宙論モデル（ $\Omega_0=1$ モデル）によれば、このような大規模な銀河団の形成はビッグバンから100億年以降であり、この銀河団の発見は標準宇宙論モデルに見直しを迫る重要な結果である。

さらに「暗黒銀河団」が存在していること自体、常識を覆すものであった。鉄原子の輝線の強さから鉄の総量を計算すると、銀河団 AXJ 2019+1127

にも我々近傍の銀河団と同程度の鉄が存在していることがわかったのだ。鉄原子は、銀河の中の星の超新星爆発により作られたと考えられている。それでは、銀河の少ない「暗黒銀河団」ではどうやって鉄原子が生成されたのであろうか？また、このような可視光では見えにくい銀河団は今まで観測者の目を逃れていた可能性がある。宇宙初期には「暗黒銀河団」が大量に存在していたことになれば、我々の初期宇宙に対する認識は塗りかえられるであろう。

このように「暗黒銀河団」にはまだまだ謎が多い。本研究が引金となり、今後、遠方銀河団の観測があらゆる波長帯で活発に進められることが期待される。

最後に、本研究はほぼ2年がかりの綿密な解析により導かれた。その間に、中心となった服部を始め3名の基礎科学特別研究員は3年の任期を終えて理研を去り、現在世界中で活躍している。本研究も理化学研究所と服部の転出先のマックスプランク研究所（独）を舞台に国際的に行なわれた。

服部 誠（東北大・理）、池辺 靖（独・マックスプランク研究所）、三原建弘（理研・宇宙放射線）

参考文献

- 1) Hattori, M., et al. 1997, Nature 388, 146