

すざく衛星による銀河団ガスの重元素分布

松下恭子, 佐々木亨, 佐藤浩介, 佐久間絵里, 横田佳奈, 阿部雄介 (東京理科大学), A. Simionescu (JAXA)



概要: 銀河団では、バリオンのはほとんどは数千万度の高温ガス(銀河団ガス)として、銀河団を満たしている。銀河団ガスにはさまざまな重元素が含まれており、その量は銀河団中の銀河の星に含まれる重元素の全質量よりも多い。すざく衛星の低いバックグラウンドにより、銀河団外縁部の重元素の組成を求めることが可能になった。我々は、すざく衛星を用いて、複数の銀河団の外縁部の鉄の量を求めた。銀河光度と比較することにより、鉄がかなり古い時期に形成されたこと、さらに、ケイ素の量と銀河光度の比から、銀河団全体の星の初期質量関数を渦巻銀河である我々の銀河系とあまり変わらないことが推定される。

研究の背景: 銀河の形態は環境に依存し、銀河密度が高い銀河団中心領域では楕円銀河やSO銀河など早期型銀河が多く、銀河団の外部のフィールド領域では、渦巻銀河が多い。さらに、銀河団中の早期型銀河は最近ほとんど星形成率を起こしておらず、フィールドに比べて早期に星形成が終わっている。では、宇宙初期の銀河団の早期型銀河では、渦巻銀河と同じように星形成を起こしていたのだろうか。星の初期質量関数やバリオンの星になる割合は、環境に依存するのであろうか。銀河団では、バリオンのほとんどは数千万度の高温ガス(銀河団ガス)として、銀河団を満たしている。銀河団ガスにはさまざまな重元素が含まれており、その量は銀河団中の銀河の星に含まれる重元素の全質量よりも多い。つまり、銀河の星の合成する元素の総量を調べるためには、銀河団ガスに含まれる重元素の量を求めることが不可欠である。すざく衛星の低いバックグラウンドにより、我々は銀河団の端であるとも言えるヴィリアル半径までの全鉄の量を求めることが可能となった。

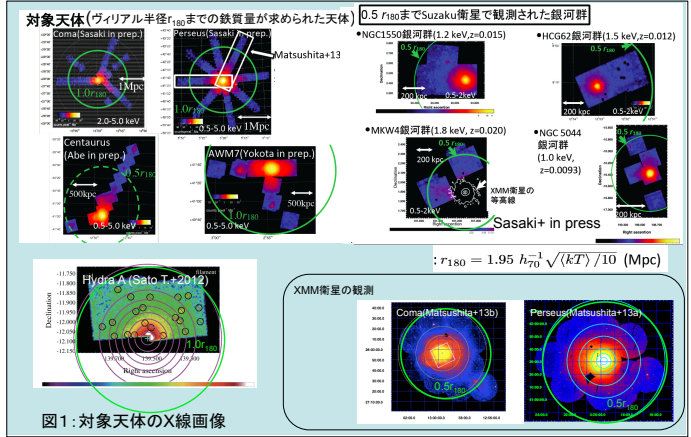


図1: 対象天体のX線画像

銀河団、銀河群の高温ガスのケイ素鉄比 (Matsushita+13a, 13b, Sasaki+ in press, Sato, K.+08)

炭素より重い元素のほとんどは恒星の内部の核融合や超新星爆発により合成され、星間空間にばらまかれる。酸素、マグネシウム、ケイ素などの α 元素は、星形成直後に起こる重力崩壊型超新星(主にSN II)により多く合成される。一方、比較的寿命が長いと考えられている白色矮星が限界質量を超えた時に起こる炭素爆発型超新星(SN Ia)では主に鉄が合成される。

図2のように、ケイ素の測定限界である $0.5r_{180}$ までのケイ素、鉄比が太陽の値に近いことがわかる。我々の銀河系でも銀河団、銀河群でも、同じ初期質量関数を星を形成し、超新星爆発のほとんどはすでに起こり、合成された元素は我々の銀河系では恒星に、銀河団、銀河群では主に銀河団ガスに閉じ込められていると考え、どこでも同じケイ素鉄比になることになる。

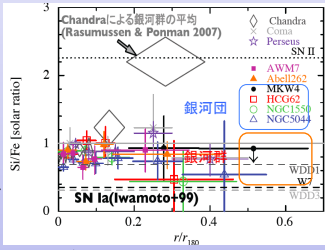


図2: すざく衛星、XMM衛星により求められた銀河団、銀河群の高温ガス中のケイ素、鉄比の空間分布。

ペルセウス座銀河団のケイ素-銀河光度比と星の初期質量関数 (Matsushita+13a)

ケイ素と酸素のほとんどは重力崩壊型超新星によって合成されるため、その総量は過去の大量星による超新星数に反映する。

現在の銀河団の銀河の恒星のほとんどは寿命の長い小質量星である。すなわち、銀河団全体に含まれるケイ素と酸素の質量の総量と銀河の光度の比は、大質量星と小質量星の数の比、つまり、星の初期質量関数を反映することになる。初期質量関数の傾きが異なる、ケイ素と酸素の質量/銀河光度比は20倍違うと推定されている(Renzini 2005)。

図3のようにペルセウス座銀河団の高温ガス中のケイ素質量は、銀河の恒星中のケイ素質量(緑)よりもかなり高い。理論予測と比べることにより、太陽系近傍の初期質量関数(Salpeter)の結果よりはやや多いものの、初期質量関数のべきとしては大きく矛盾はない。

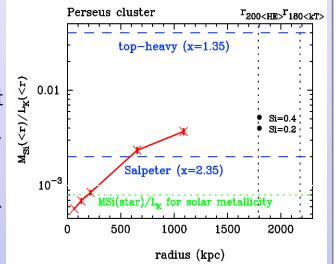


図3: ペルセウス座銀河団の銀河団ガス中のケイ素質量と銀河光度の比(赤)の半径分布。すざく衛星によるヴィリアル半径までの密度、鉄の分布からケイ素の質量に制限をつけると、黒の2つの●の範囲となる。

銀河団のヴィリアル半径までの鉄質量-銀河光度比 (Sato, T.+12, Matsushita+13a, Sasaki+ in prep, Yokota+ in prep, Abe+ in prep)

鉄の輝線はスペクトル中で目立つため、銀河団ガスの鉄の分布を最も精度よく調べることができる。銀河団ガスのケイ素と鉄の比が太陽組成に近いことから、鉄のほとんどはIa型超新星で合成されることになる。

図4のように、どの銀河団でも $0.5r_{180}$ までは、鉄質量-銀河光度比から鉄が銀河より広がっていることがわかる。宇宙初期に多くの鉄が合成されたことを示唆する。この結果は、Ia型超新星の爆発時期はその起源にも制限をつけることになる。 $0.5r_{180}$ より外ではほぼ一定となり、銀河団の近年の成長を反映していることになる。

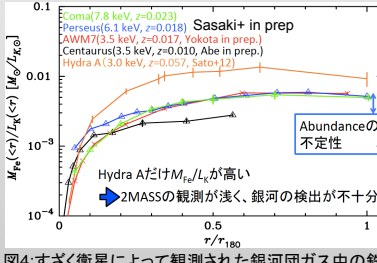


図4: すざく衛星によって観測された銀河団ガス中の鉄の質量と銀河光度の比(鉄質量-銀河光度比)の半径分布。組成比の不定性などによる系統誤差は2倍程度

銀河群の鉄質量-銀河光度比と元素合成史 (Sasaki+ in press)

小さい銀河団とも言える銀河群は銀河団に比べ、銀河団ガスの鉄質量-銀河光度比が小さく(Makishima et al.2001)、エントロピーが理論予測に比べ超過し(Ponnan et al. 1999)、ガスの質量が星の質量に比べ小さい(図5など)。我々は銀河群ガスのエントロピー超過と鉄質量-銀河光度比の相関を発見した(図6)。これまで議論されてきたように、銀河群ではバリオンから星が多く形成されたのであれば、鉄質量-銀河光度比は銀河団とかわらなく、エントロピー超過との相関は、バリオンからの星形成率には差がなく、銀河群の熱的力学的な歴史に差があることを示唆している。

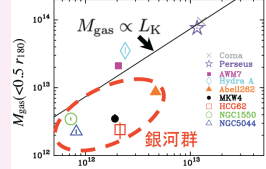


図5: すざく衛星によって観測された $0.5r_{180}$ 以内の銀河団、銀河群ガスの質量と r_{180} 以内の銀河光度

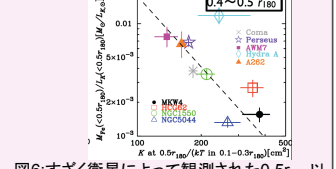


図6: すざく衛星によって観測された $0.5r_{180}$ 以内の銀河団、銀河群ガスの鉄質量-銀河光度比と $0.5r_{180}$ でのエントロピーと温度の光

まとめ

すざく衛星の低いバックグラウンドにより、銀河団のヴィリアル半径までの鉄やケイ素の質量と銀河光度を求めることが可能になった。その結果、鉄を含む元素の多くは宇宙初期に合成されたこと、どの銀河団銀河群でも同じように星や元素が合成されてきたことが明らかになってきた。

Reference

Makishima, K., Ezawa, H., Fukuzawa, Y., et al. 2001, PASJ, 53, 401
Matsushita, K., Sakuma, E., Sasaki, T., Sato, K., & Simionescu, A. 2013a, ApJ, 764, 147
Matsushita, K., Sato, T., Sakuma, E., & Sato, K. 2013b, PASJ, 65, 10
Ponnan, T. J., Cannon, D. B., & Navarro, J. F. 1999, Natur, 397, 135
Renzini, A., Ciotti, L., D'Ercole, A., & Pellegrini, S. 1993, ApJ, 419, 52
Sasaki, T., Matsushita, K., Sato, K., ApJ in press (arXiv 1311.4636)
Sato, K., Matsushita, K., Ishisaki, Y., et al. 2008, PASJ, 60, 333
Sato, T., Sasaki, T., Matsushita, K., et al. 2012, PASJ, 64, 95