

すざく衛星による銀河団ガスの重元素組成比の決定

佐藤拓也、川西恭平、薙野綾、佐久間絵理、松下恭子（東京理科大学）、
太田直美（奈良女子大学）、「すざく」銀河団観測チーム



概要

すざく衛星の優れたエネルギー分解能を活かし、銀河団ガス中の酸素・マグネシウム・鉄・ニッケルの量を求める事ができた。

(1) 巨大銀河団であるかみのけ座銀河団の銀河団ガスのニッケルと鉄の数の比は太陽と同程度であることがわかった。銀河団でも、我々の銀河団と同じようにニッケルが合成されていると考えられる。

(2) 中心領域がとてもしばや明るい銀河団であるAbell496銀河団とケンタウルス座銀河団の約0.2 r_{180} (ピリアル半径)まで銀河団ガスの、酸素・マグネシウム・珪素・硫黄・アルゴン・カルシウム・鉄の組成と、重元素質量と銀河の近赤外光度の比を求めた。

中心銀河周辺(クーリングコア領域)では、特にケンタウルス座銀河団では、中心銀河でのIa型超新星の寄与が大きいことが分かった。中心銀河領域の外側(0.1 r_{180} より外側)でマグネシウムと鉄の比が中心領域よりも高く、また鉄の量と銀河の光度の比はどの銀河団でも似た値となった。

はじめに

銀河団は、数百から数千の銀河が束縛された宇宙最大の自己重力系である。銀河団に含まれるバリオンの約8割は、銀河間空間に数千万度の高温プラズマとして存在し、X線を放射する。さらに、銀河の中で起こる超新星爆発によって重元素汚染される。よって、X線スペクトルからガスに含まれる重元素の量を調べることで銀河団の化学進化の歴史に迫ることができる。

元素合成理論では、鉄・ニッケルはIa型超新星とII型超新星の両方から生成される。一方、酸素・マグネシウムはII型超新星からのみ合成されるため、これらの重元素量は過去のII型超新星の数を反映する。過去にXMM-Newton衛星でも酸素・マグネシウム・珪素・鉄の重元素量が報告されているが、高バックグラウンドのため不定性が大きく、酸素・マグネシウムに関しては明るい銀河団の中心のみであった。それに対して、すざく衛星搭載のXIS検出器は、高感度と優れたエネルギー分解能を持つため、特に銀河団中心領域以外での酸素・マグネシウムの検出に威力を発揮する。さらに、過去最高の精度で鉄・ニッケルを検出できる。また、重元素の質量と銀河団中の光度を比較することで、星の質量に対する銀河団ガス中の重元素質量の割合を調べる事ができ、銀河団中の星がどのくらい重元素を銀河団ガス中に供給しているかを知ることができる。

解析結果

(1) かみのけ座銀河団のニッケルと鉄の存在量の比

かみのけ座銀河団($z=0.0231$)は、明るい銀河を中心に2つ持ち、ガスの温度が平均で8 keVを超える巨大銀河団である。広がった電波ハローが検出されており、硬X線放射の報告もないとされる。今回の解析で、Abell496銀河団は、すざく衛星により精度の良い、鉄やマグネシウムの重元素組成比を中規模の銀河団で初めて検出し、他の銀河団の重元素合成とを比較するサンプルの増加につながった。ケンタウルス座銀河団は今回の解析で先行研究(Matsushita et al. 2007a)で求められなかったマグネシウムを精度よく求め、今までで一番外側($\sim 0.17r_{180}$)まで重元素組成比を求めた。

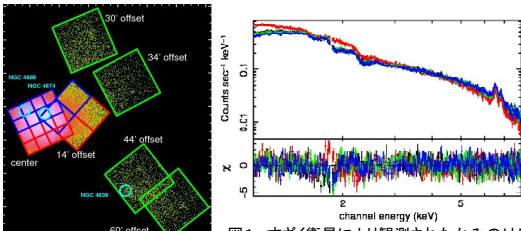


図1: すざく衛星により観測されたかみのけ座銀河団の画像とスペクトル

A496やケンタウルス座銀河団のようなクーリングフロー銀河団では、鉄の重元素量は中心で高くなる。今回の解析から、かみのけ座銀河団の鉄の分布は、中心ではほぼ一定で、外側で緩やかに減少していることがわかり、衝突によりガスがよく混ざっていると考えられる(図3)。

我々の銀河系の星では、ニッケルと鉄の比は太陽と同程度であるが、すざく衛星以外の銀河団の観測では、太陽と同程度か、2-3倍程度という結果が報告されていた(図4)。今回、すざく衛星により観測されたかみのけ座銀河団を解析したところ、ニッケルと鉄の比は太陽と同程度であった。従って、ニッケルと鉄の起源は、銀河団と我々の銀河系で同じであると考えられる。

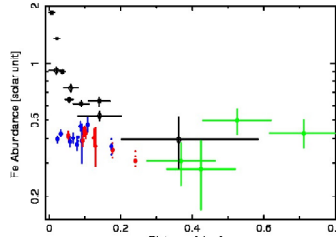


図2: すざく衛星により求められたかみのけ座銀河団の鉄の分布。色は図1の各領域に対応。ダイヤ及びボックスは、クーリングフロー銀河団であるA496銀河団、ケンタウルス座銀河団。

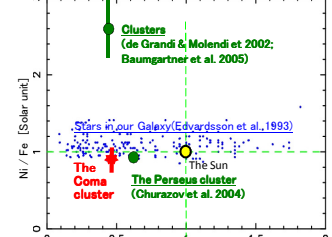


図3: すざく衛星により求められたかみのけ座銀河団と、すざく衛星以外の観測、我々の銀河系の星および太陽におけるニッケルと鉄の存在量の比較。

(2) Abell496銀河団とケンタウルス座銀河団の元素合成史

Abell496銀河団($z=0.0329$)とケンタウルス座銀河団($z=0.0104$)は、比較的私から近く、中心に明るく大きな銀河があり、中心付近で放射超過が起こっていると考えられる天体である。また、X線放射は球対称で、銀河団内で銀河同士の衝突などの大規模な現象はおこっていないとされる。今回の解析で、Abell496銀河団は、すざく衛星により精度の良い、鉄やマグネシウムの重元素組成比を中規模の銀河団で初めて検出し、他の銀河団の重元素合成とを比較するサンプルの増加につながった。ケンタウルス座銀河団は今回の解析で先行研究(Matsushita et al. 2007a)で求められなかったマグネシウムを精度よく求め、今までで一番外側($\sim 0.17r_{180}$)まで重元素組成比を求めた。

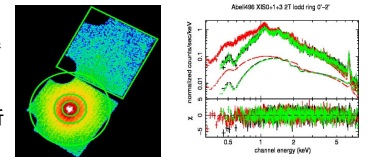


図4: すざく衛星により観測されたAbell496銀河団の画像とスペクトル

高温銀河団ガスの重元素組成比

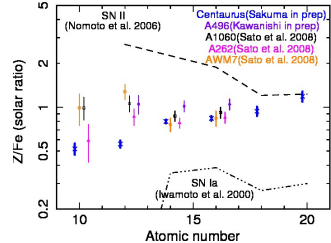


図5: すざく衛星により求められた中心銀河周辺($< 0.1r_{180}$)での重元素組成比(単位はLodders (2003)によりまとめられたあたらしい太陽組成)。

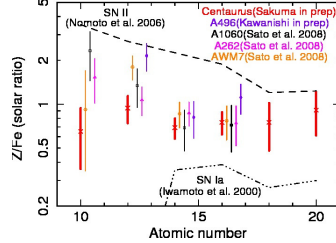


図6: すざく衛星により求められた中心銀河領域より外側($> 0.1r_{180}$)での重元素組成比(単位は図5と同)。

高温銀河団ガス中の重元素の質量 / 近赤外光度

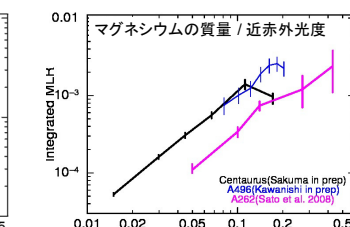
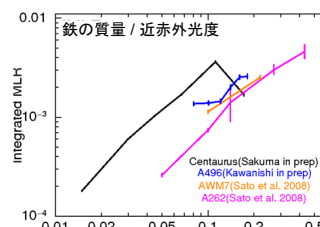


図7: すざく衛星により求められた銀河団重元素の質量・近赤外光度比

	銀河団ガスの重元素組成比 (中心銀河周辺のクーリングフロー領域)	銀河団ガスの重元素組成比 (中心銀河領域より外側)	重元素の質量/近赤外光度
Abell496銀河団	他の銀河団と同程度 (~太陽組成)	他の銀河団と同程度 (~太陽組成)	鉄は他の銀河団と同程度、マグネシウムは他の銀河団に比べて大きな値
ケンタウルス座銀河団	酸素・マグネシウムは他の銀河団よりも小さい値 (~太陽組成の0.5倍)	他の銀河団と同程度 (~太陽組成)	鉄は内側で他の銀河団より大きな値、マグネシウムはAbell1銀河団と同程度の値

Abell496銀河団の重元素組成比は、他の銀河団と同程度の値をとっており、規模の同じ程度で、銀河団内の環境が似たもの(衝突が起こっておらず、X線放射が球対称)だと、同じ程度の重元素が含まれていることがわかる。

ケンタウルス座銀河団は中心銀河周辺のクーリングフロー領域で酸素・マグネシウムの重元素組成比が小さい。また、重元素の質量と近赤外光度の比は鉄・マグネシウムともに他の銀河団に比べて大きな値をとった。これは鉄の値が他銀河団に比べて多いことが反映されており(図2)、これらの結果よりケンタウルス座銀河団は他銀河団に比べて中心部でIa型超新星起源の重元素をため込んでいると考えられる。

Reference

Edvardsson et al., A&A, 102, 603, 1993
de Grandi & Molendi, ASP, 253, 3, 2002
Baumgartner et al., ApJ, 620, 680, 2005
Churazov et al., MNRAS, 347, 29, 2004
Lodders, ApJ, 591, 1220, 2003
Durret et al., A&A, 815, 826, 2000
Matsushita et al., A&A, 462, 953, 2007
Ikebe et al., ApJ, 525, 58, 1999
Nomoto et al., NuPhA, 777, 424, 2006
Iwamoto et al., ApJS, 125, 439
Sato et al., PASJ, 59, 299, 2007a
Sato et al., PASJ, 60, 333, 2008
Sato et al., PASJ, 61, S365, 2009b