

# X線天文衛星「すざく」による ケンタウルス座銀河団の重元素分布の決定

東京理科大学 松下研究室 修士課程 1年  
佐久間 絵理

j1210617@ed.kagu.tus.ac.jp

## Abstract

銀河団は数百個から数千個の銀河が重力的に束縛されている宇宙最大の系である。その質量の約15%を占める銀河団ガスは高温でX線を放射しており、熱制動放射による連続X線とともに元素の特性X線が観測される。観測したX線のスペクトル解析から銀河団ガスに含まれる重元素量を決定することによって、銀河団の化学進化の手がかりを得ることができる。しかし、銀河団中心にはcD銀河と呼ばれる巨大楕円銀河が存在することが多く、中心領域ではcD銀河で起こった最近の超新星爆発によってつくられる重元素の影響が大きいため、銀河団ガスの重元素量を測定するためにはcD銀河による影響が少ない外側領域の観測が必要である。

すざく衛星はバックグラウンドが小さく、酸素輝線付近でのエネルギー分解能が良い。そのため銀河団の中心領域以外での酸素やマグネシウムの検出に威力を発揮する。本研究では、すざく衛星で観測したケンタウルス座銀河団( $z = 0.0104$ )のデータを解析し、酸素・マグネシウム・鉄をはじめとする7種類の元素についての重元素量を、X線強度中心から半径約300kpcというこの銀河団について今までで一番広範囲にわたって求めた。

## 1 Introduction

人間の生活に欠かせない酸素や鉄などの重元素はもともと恒星の内部で合成されたものである。現在それぞれの元素がどれだけ存在するのかを知ることによって、宇宙が始まって以来星がどのように元素を合成してきたのかを調べることができる。星で生成された重元素は銀河内だけではなく銀河外の宇宙空間まで広がっていて、重力的に束縛されている宇宙最大の系である銀河団はこれまでに生成された重元素をほとんど閉じ込めていると考えられるため、銀河団の重元素組成を調べることは宇宙の元素合成史を解明する手掛かりになる。X線で銀河団の高温ガスを観測すると高階電離した元素の輝線をみることができ、そこからガスに含まれる重元素の量を調べることができる。

重元素は恒星の内部や星の最期の爆発である超新星爆発時に合成される。合成された重元素は超新星爆発によって星間空間に撒き散らされ、その一部が銀河間空間に供給される。超新星爆発は大きく分けて2種類あり、一つは太陽の8倍以上の質量を持つ恒星が重力崩壊して爆発するII型超新星、もう一つは連星系をなす白色矮星が伴星からガスを剥ぎ取ることにより臨界質量に達し、中心部の核反応が暴走して爆発するIa型超新星である。酸素とマグネシウムはほぼII型超新星からのみ合成されるが、鉄やケイ素はIa型超新星とII型超新星両方から合成される。よっ

て酸素とマグネシウムの量を測定することで、元素合成における II 型超新星の寄与を考えることができる。

対象天体であるケンタウルス座銀河団 ( $z = 0.0104$ ) は、明るい近傍銀河団であるため空間分布が見やすく、銀河団ガスの温度が  $4\text{keV}$  程度のため様々な元素の輝線が見られる。またこの銀河団は cD 銀河 NGC4696 をもつ。この銀河団の重元素分布は XMM-Newton 衛星や Chandra 衛星を用いて既に調べられているが (Matushita et al.2007,Sandars et al.2006)、これらは最大で X 線強度中心から半径  $150\text{kpc}$  の中心領域の観測であり、また XMM-Newton 衛星はマグネシウム輝線付近でのバックグラウンドが高いためマグネシウムの量の不定性が大きかった。

## 2 Analysis

すざく衛星の XIS 検出器のデータを用い、図 1 左のように X 線強度中心から 6 つの円環に領域を区切って解析を行った。銀河団からの熱制動放射と元素の輝線放射の代表的なモデルである VAPEC モデルのフィッティングから酸素・マグネシウム・ケイ素・硫黄・アルゴン・カルシウム・鉄の計 7 種類の元素について重元素量を求めた。このとき、銀河団中心部では cD 銀河の影響もあり単一温度成分では不十分なため、複数の VAPEC 成分を用いてフィッティングを行った。各領域で用いた温度成分は、中心から 2 分角以内で 3 温度、2 分角から 6 分角の範囲で 2 温度、6 分角より外側では 1 温度成分である。また、用いたアバングステーブルは Lodders,K.2003 を用いた。

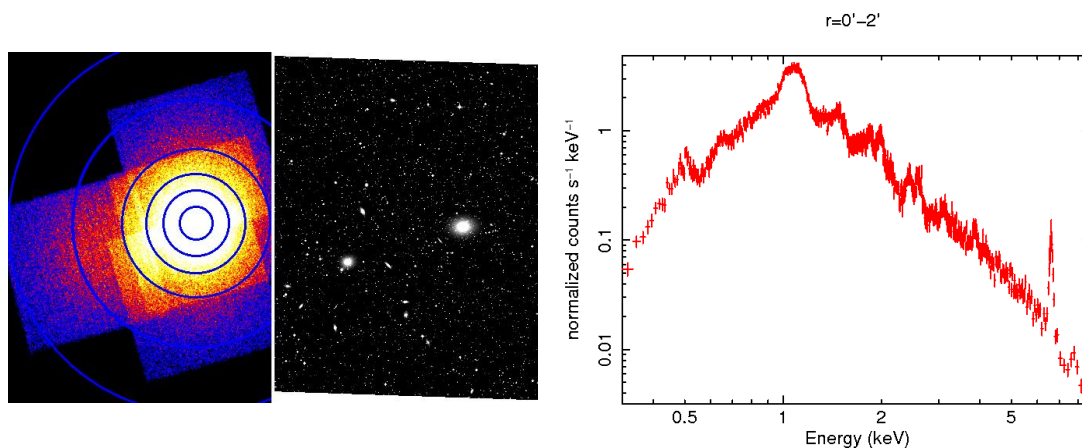


図 1: ケンタウルス座銀河団の画像 (左) と半径 2 分角以内の領域でのスペクトル (右)。画像の左側は X 線、右側は可視光のものである。スペクトルは中心から半径 2 分角以内の円領域のものである。

### 3 Result

#### 3.1 重元素量の半径分布

各重元素量のグラフを図 2 に示した。酸素やマグネシウムは中心から 6 分角あたりまでは少し減少傾向がみられるが、全体的に 1 以下の値で推移していた。また鉄をはじめとするその他の元素については、中心付近で酸素やマグネシウムに比べて 1.5 倍から 2 倍多く存在し、中心から 6 分角より外側ではほぼ一定の値をとっていた。

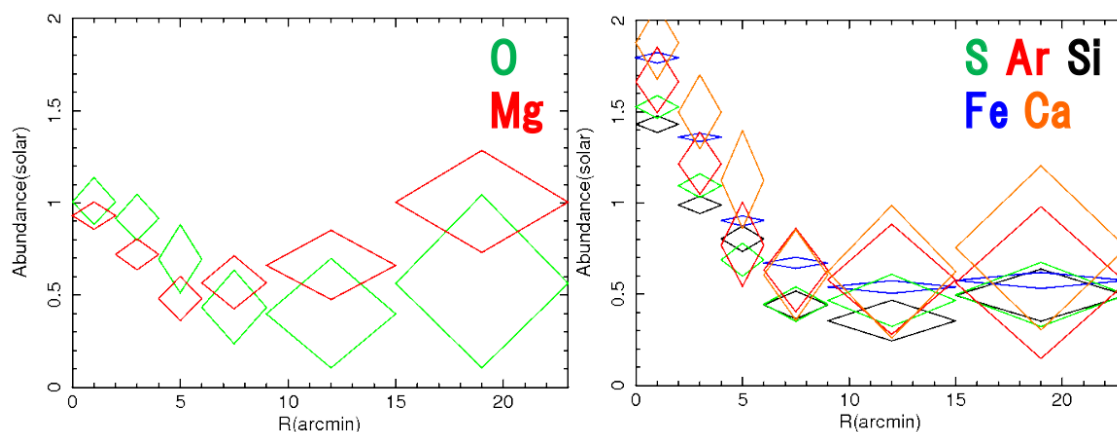


図 2: 各重元素量の半径分布。太陽における重元素量 (Lodders et al.2003) を基準にしている。左図は酸素 (緑) とマグネシウム (赤) のグラフ右図は硫黄 (緑)、アルゴン (赤)、ケイ素 (黒)、鉄 (青)、カルシウム (オレンジ) である。

#### 3.2 各重元素量と超新星モデルとの比較

求めた各重元素量を鉄に対する個数比で表し、中心から半径 2 分角以内を中心領域、半径 15 分角から 23 分角を外側領域として各重元素における値を比較した。それと同時に、II 型超新星, Ia 型超新星で生成される重元素量の理論モデル、また太陽における重元素量の観測値とも比較を行った。結果を図 3 に示す。その結果、外側領域での値は中心領域の値に比べて II 型超新星寄りの値をとっていた。特にマグネシウムの値に顕著な差がみられた。また、外側領域の値はほぼ太陽の観測値と一致したことから、中心領域では重元素分布は最近の cD 銀河中の Ia 型超新星による重元素供給の影響を受けていることが考えられ、一方外側領域ではこの銀河団の銀河団ガスの重元素分布をみていると考えられる。

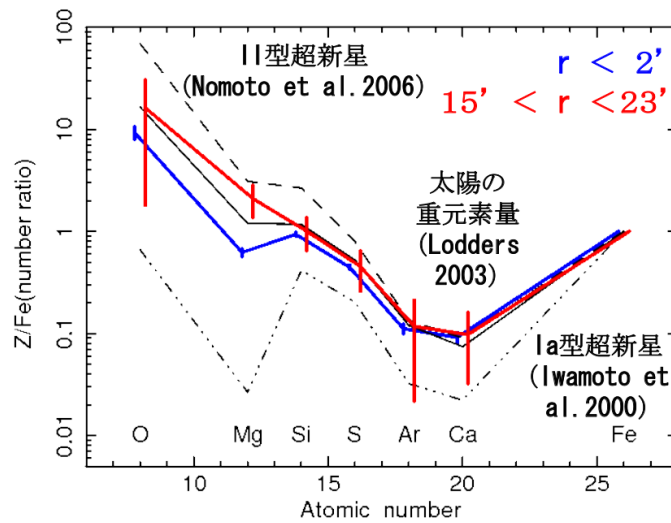


図 3: 各重元素量の鉄に対する個数比。青線が半径 2 分角以内の中心領域の結果、赤線が半径 15 分角から 23 分角の外側領域の結果である。また黒の点線が II 型超新星の理論モデルの値、実線が太陽の観測値、三点鎖線が Ia 型超新星の理論モデルの値である。

### 3.3 他天体との比較

求めた重元素量を銀河団のガス質量を用いて質量に変換し、可視光バンドでの銀河光度の値で割った値を質量光度比と呼ぶ。これは単位銀河あたりでつくる重元素の量の指標となる。今回の解析では酸素、マグネシウム、鉄について  $0.1r_{180}$  での質量光度比を求め、他銀河団の値と比較した。このときケンタウルス座銀河団のガス質量は ASCA 衛星の結果 (Ikebe et al. 1999) を参照した。結果を図 4 に示す。

図 4 から、ケンタウルス座銀河団の結果は、同じくらいのガス温度を持つ銀河団とほぼ同じ値をもつことがわかった。これは、それらの銀河団で単位銀河あたりにつくる重元素の量が似ていることを表す。

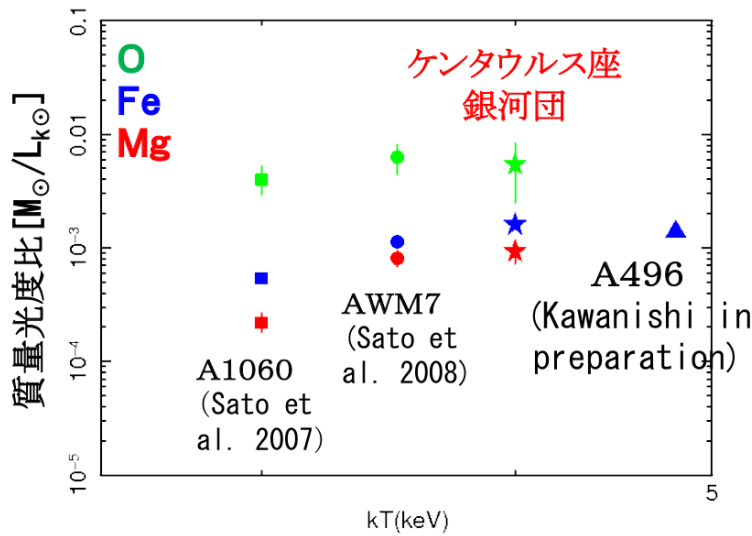


図 4: 酸素、鉄、マグネシウムの質量光度比。ケンタウルス座銀河団の解析結果とともに A1060、AWM7、A496 の結果も併記した。

## 4 Discussion and Conclusion

今回、ケンタウルス座銀河団の重元素分布を、X 線強度中心から半径 300kpc というこの銀河団について今までで一番広範囲で求めた。求めた各重元素量と超新星モデルの比較から、内側ほど Ia 型超新星寄りの分布をしていることがわかった。これは、この銀河団の中心領域では最近の cD 銀河で起こった Ia 型超新星のつくる重元素の影響が大きいことを表す。一方、外側領域での重元素量は太陽の観測値とほぼ一致し、これは銀河団ガスそのものの重元素分布を見ていると考えられる。また、他銀河団との質量光度比の比較から、ケンタウルス座銀河団の単位銀河あたりにつくる重元素量は、似たガス温度を持つ銀河団と同等であった。

## 参考文献

- [1] Kyoko Matsushita, Hans Böhringer, Isao Takahashi, Yasushi Ikebe, 2007, A&A, 462, 953
- [2] J.S.Sanders and A.C.Fabian, 2006, MNRAS, 371, 1483
- [3] Lodders, K, 2003, ApJ 591, 1220
- [4] Ken'ichi Nomoto, Nozomu Tominaga, Hideyuki Umeda, Chiaki Kobayashi, Keiichi Maeda, 2006, NuPhA, 777, 424
- [5] Kouichi Iwamoto, Franziska Brachwitz, Ken'ichi Nomoto, Nobuhiro Kishimoto, Hideyuki Umeda, W. Raphael Hix, Friedrich-K. Thilemann, 1999, ApJS, 125, 439

- [6] Yasushi Ikebe, Kazuo Makishima, Yasushi Fukazawa, Takayuki Tamura, Haiguang Xu, Takaya Ohashi, Kyoko Matsushita, 1999, ApJ, 525, 58
- [7] Sato et al.,2007,PASJ,59,299S
- [8] Sato et al.,2008,PASJ,60S,333S