

平成21年 5月29日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2006～2008

課題番号：18740111

研究課題名 (和文) 銀河、銀河団の酸素質量光度比の研究

研究課題名 (英文) Oxygen-mass-to-light ratios from galaxies to clusters of galaxies

研究代表者

松下 恭子 (MATSUSHITA KYOKO)

東京理科大学・理学部・准教授

研究者番号：50366423

研究成果の概要：銀河団のバリオンの大部分は数千万度の高温ガスとして存在し、大量の重元素を含んでいる。このうち酸素の量は過去のII型超新星の数を反映する。銀河団では中心部以外、銀河団ガス全体に含まれる酸素の分布についてはほとんどわかっていなかった。「すざく」衛星により、はじめて銀河団ガスの重元素分布の全体像が見え始めた。さらに、重元素の供給源である、渦巻銀河、S0銀河、楕円銀河の高温ガスの酸素の組成も求まった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,200,000	0	1,200,000
2007年度	1,100,000	0	1,100,000
2008年度	1,100,000	300,000	1,400,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	300,000	3,700,000

研究分野：X線天文学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：X線天文学、銀河、銀河団、高温プラズマ、化学進化

## 1. 研究開始当初の背景

重元素の半分は酸素であるから、宇宙の化学進化とは、ほぼ酸素の合成史といえる。酸素は、主に巨星に進化した段階での核融合によって合成され、II型超新星により星間空間に供給される。酸素の総質量は、かつて形成された重質量星の数を反映する。現在の銀河の光度と比較することにより、寿命の短い軽質量星との数の比、すなわち、星の初期質量関数に制限を与えることができる。

銀河団には銀河の質量の数倍の数千万度の高温ガスが存在し、X線を放射している。銀河団ガスに含まれる鉄の量は、銀河団中

の銀河の星に含まれている鉄の量に匹敵する。よって、銀河団中の銀河が合成した酸素、鉄など重元素量を知るためには、銀河団ガスの観測が不可欠である。重元素のうち、鉄や珪素などは、あすか衛星などにより調べられ、この2つの元素の比をもとに、過去のIa型、II型超新星の重元素合成が研究されていた。しかし、もっとも重要な元素である酸素についてはほとんどわかっていなかった。

早期型銀河では、晩期型星から質量放出されたガスが星の運動によって数百万度まで加熱され、X線を放射している。このガスは、Ia型超新星により合成された重元素

により汚染されているが、酸素は Ia 型超新星からはほとんど合成されない。従って、ガスの酸素の組成比は星の酸素の組成比と同一である。星の重元素量は、その星の形成時の時点での重元素の合成史、つまり重質量星の形成史を反映する。

## 2. 研究の目的

銀河団の高温ガスの酸素の質量を調べ、かつて合成された酸素の量、そして、過去の大質量星の形成史を調べることである。

さらに、銀河の高温ガスの重元素組成比から求まる銀河の星の組成から、銀河の星形成史を探る。

## 3. 研究の方法

2005 年に打ち上げられた日本の X 線天文衛星すざくに搭載されている CCD 検出器は、酸素のエネルギー帯で優れたエネルギー分解能を持っている。低いバックグラウンド特性とあわせることにより、銀河団や銀河の高温ガスに含まれる酸素の量を求めることができる。我々はすざく衛星によって、銀河団、銀河群あわせて 10 個近くを観測し、銀河団のビリアル半径の 0.3-0.4 倍までの酸素、マグネシウム、ケイ素、硫黄、鉄の重元素組成を求めた。中心から離れた低輝度な領域では、我々の銀河系からの放射が酸素の強度に不定性を与える。よって、マグネシウムの輝線強度から酸素と同様に大質量星で形成されるマグネシウムの量が重要になる。求めた重元素組成からは、Ia 型超新星爆発、II 型超新星爆発の寄与を求めることができた。さらにこれらの重元素の量を 2 ミクロン全天サーベイによる近赤外線での銀河の光度と比較することにより、過去の大質量星の量と、これまでに作られた小質量星の量を比較することができた。銀河団の大きさと、重元素質量、銀河光度の比からは、銀河団の重元素合成とガスの加熱史をも調べることができる。

また、楕円銀河、S0 銀河の高温ガスの酸素の組成から、星の酸素の組成を求めた。普通の渦巻銀河の高温ガスの組成を求めることにより、星間ガスの組成を調べることができた。

## 4. 研究成果

我々はすざく衛星により、銀河周辺部だけではなく銀河団ガスにも大量の酸素が存在していることをはじめてつきとめた (図 1)。中心に巨大楕円銀河が存在している銀河団、銀河群ではマグネシウム、ケイ素、硫黄、鉄は外側に向かって減少していった。これらの元素に比べ、酸素はやや外側での減少がすくない傾向がみられた。

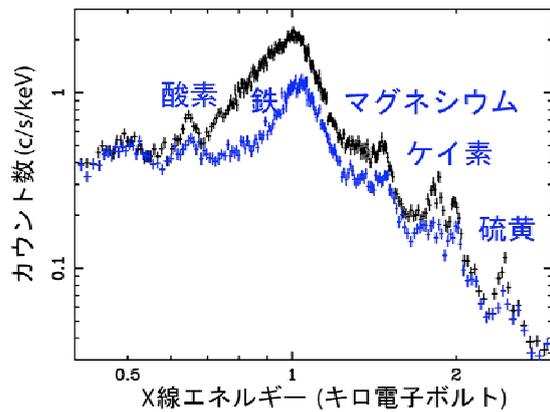


図 1 すざく衛星で観測されたろ座銀河団の X 線スペクトル。黒は銀河団中心にある cD 銀河周辺、青は銀河団ガス

ビリアル半径の 0.1 倍より内側の領域では、求められた重元素の組成比は観測されたすべての銀河群、銀河団で似たようなパターンが得られた。このパターンは最新の太陽組成に一致していた。この結果は、我々と同じような星の初期質量関数を持ち、ほとんどの超新星がすでに爆発してしまったと考えたと説明できる。また、重元素パターンから超新星の個数比を計算すると、II 型超新星が Ia 型超新星の 4 倍ほど爆発していたことになった (図 2)。鉄の 8 割は Ia 型超新星から、またケイ素、硫黄の半分と、酸素、マグネシウムのほとんどは、II 型超新星から合成されたことになる。

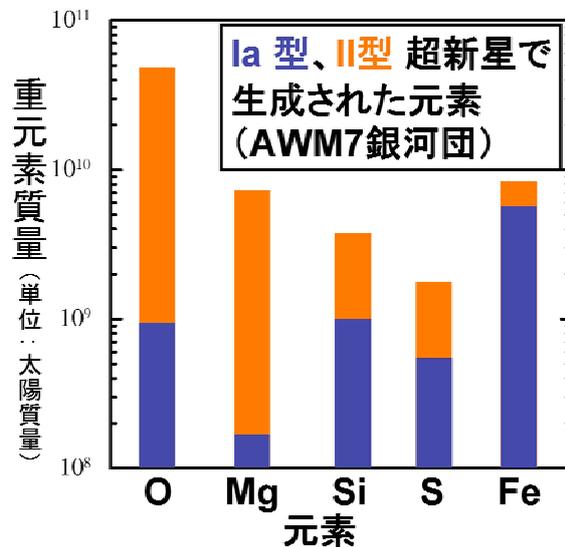


図 2 AWM7 銀河団で観測された酸素(O)、マグネシウム(Mg)、ケイ素(Si)、硫黄(S)、鉄(Fe)の存在量と Ia 型、II 型超新星爆発起原の内訳。

銀河団、銀河の酸素、マグネシウム、鉄の質量と銀河の光度の比は、重力ポテンシャルの深い銀河団ほど、大きな値を持つ傾向があった。しかも、酸素と銀河光度の比のほうが、鉄と銀河光度の比よりも差が大きかった。(図3)

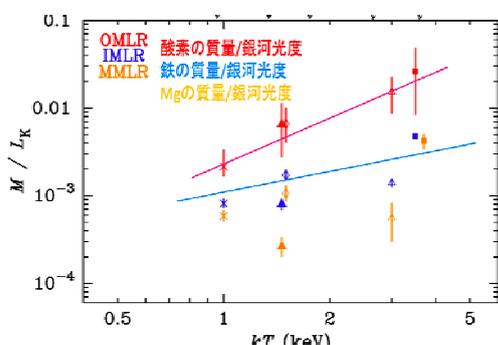


図3 すざく衛星で観測された銀河、銀河団の高温ガス中の酸素、鉄、マグネシウムの質量と銀河光度の比

銀河群では重元素が少ないという結果は、観測された銀河群の中心領域にガスが少ないことも反映している。これらの小規模な系のガスは巨大な銀河団に比べて、密度勾配がゆるやかであり、重力による加熱だけを考えた場合に比べ、エントロピーが大きく超過している (e.g. Ponman et al. 1999)。この超過を説明するためには、ガスが銀河団、銀河群に取り込まれる前にある程度加熱されていけばよい。重元素も同様に銀河団に比べ広がっているために、観測が進んでいない銀河群周辺部に存在するのかもしれない。ガスのアバダンスを調べることは、重元素の供給と加熱や合体などのタイムスケールを比較することでもある。もし、銀河団と銀河群で同じように重元素合成が起こったとする。重元素の供給が銀河群ガスの加熱や合体よりもはやかったとすれば、銀河群ガスのアバダンスは銀河団と同じと期待される。ガスの量は少ないために、銀河光度あたりの重元素質量は少なくなる。逆に、ガスのアバダンスと銀河光度あたりの重元素量がともに、小さいならば、銀河群では、銀河団に比べバリオンあたりの重元素合成が少なかったことを示唆する。

我々は、活動性のみられない楕円銀河、渦巻き銀河の高温星間ガスの重元素組成も調べ酸素、ネオン、マグネシウム、鉄などの組成を調べることができた。重元素組成のパターンは最新の太陽組成とよくにっていた。楕円銀

河の高温ガスの酸素、ネオン、マグネシウムの組成比は、星の組成比を反映している。鉄の組成比からは、楕円銀河の Ia 型超新星爆発率を求めることができた。

活動性の低い渦巻き銀河の高温ガスの組成比が我々の銀河系の値と一致していることは、普通の渦巻き銀河では、重元素合成史に大きな差がないということの意味する。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 11 件)

1. Temperature and Metallicity in the Intra-Cluster Medium of Abell 262 Observed with Suzaku, Sato, K., Matsushita, K., Gastaldello, F., Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol. 61, No. SP1, pp. S365--S376, 2009
2. Suzaku Observation of Group of Galaxies NGC 507: Temperature and Metal Distributions in the Intra-Cluster Medium, Sato, K., Matsushita, K., Ishisaki, Y., Yamasaki, N. Y., Ishida, M., Ohashi, T., Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol. 61, No. SP1, pp. S353--S363, 2009
3. Suzaku Observations of Metallicity Distribution in the Intracluster Medium of the NGC 5044 Group, Komiyama, M., Sato, K., Nagino, R., Ohashi, T., Matsushita, K., Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol. 61, No. SP1, pp. S337--S352, 2009
4. Suzaku Observations of AWM 7 Cluster of Galaxies: Temperatures, Abundances, and Bulk Motions, Sato, K., Matsushita, K., Ishisaki, Y., Yamasaki, N. Y., Ishida, M., Sasaki, S., Ohashi, T., Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol. 60, No. SP1, pp. S333--S342, 2008
5. Suzaku Observation of HCG 62: Temperature, Abundance, and Extended Hard X-Ray Emission Profiles, Tokoi, et al. (17 人中 7 番目) Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol. 60, No. SP1, pp. S317--S332, 2008
6. Suzaku Observation of the Metallicity in the Hot Interstellar Medium of the Isolated Elliptical Galaxy NGC 720, Tawara, Y., Matsumoto, C., Tozuka, M., Fukazawa, Y., Matsushita, K., Anabuki, N., Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol. 60, No. SP1, pp. S307--S316,

2008

7. Suzaku observations of clusters of galaxies, Matsushita, K., Suzaku SWG team, *Astronomische Nachrichten*, Vol. 329, Issue 2, p. 139-142 2008
8. Type Ia and II Supernovae Contributions to Metal Enrichment in the Intracluster Medium Observed with Suzaku, Sato, K., Tokoi, K., Matsushita, K., Ishisaki, Y., Yamasaki, N. Y., Ishida, M., Ohashi, T., *The Astrophysical Journal*, Volume 667, Issue 1, pp. L41-L44., 2007
9. X-Ray Study of Temperature and Abundance Profiles of the Cluster of Galaxies Abell 1060 with Suzaku, Sato, K., et al. (17人中14番目) *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Vol. 59, No. 2, pp. 299-317, 2007
10. The abundance pattern of O, Mg, Si, and Fe in the intracluster medium of the Centaurus cluster observed with XMM-Newton, Matsushita, K., Boehringer, H., Takahashi, I., Ikebe, Y., *Astronomy and Astrophysics*, Volume 462, Issue 3, pp. 953-963, 2007
11. Suzaku Observation of the Metallicity Distribution in the Intracluster Medium of the Fornax Cluster, Matsushita, K., Fukazawa, Y., Hughes, J. P., Kitaguchi, T., Makishima, K., Nakazawa, K., Ohashi, T., Ota, N., Tamura, T., Tozuka, M., Tsuru, T. G., Urata, Y., Yamasaki, N. Y., *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Vol. 59, No. SP1, pp. 327-338, 2007

[学会発表] (計 17 件)

1. "「すざく」衛星による S0 銀河 NGC 4382 の重元素量の観測", "日本天文学会 2009 年春季年会", "大阪府立大学", "薮野 綾", 2009, 3, 27,
2. "「すざく」で観測された S0 銀河 NGC1316 の星間ガスの重元素組成比", "日本天文学会 2009 年春季年会", "大阪府立大学", "小波さおり", 2009, 3, 26
3. "「すざく」で観測された Fossil group NGC1550 の重元素分布", "日本天文学会 2009 年春季年会", "大阪府立大学", "佐藤 浩介", 2009, 3, 26
4. "すざく衛星による Fornax 銀河団のオフセット観測", "日本天文学会 2009 年春季年会", "大阪府立大学", "小宮山 円", 2009, 3, 26,
5. "Metal abundances in the ICM", "Exploring the Hot Universe with IXO", "MPE Garching", "Kyoko

Matsushita", 2008, 9, 18,

6. "すざく衛星による銀河銀河団の観測", "日本天文学会 2008 年秋季年会", "岡山理科大学", "松下 恭子", 2008, 9, 13,
7. "銀河団ガスの重元素の分布", "日本天文学会 2008 年度春季年会", "国立青少年オリンピックセンター", "松下恭子", 2008, 3, 24,
8. "すざく衛星による NGC5044 銀河群の重元素分布の決定", "研究会: マクロでミクロな銀河団", "山形市", "小宮山 円", 2007, 10, 26
9. "銀河団ガスの重元素分布とその起源", "研究会: マクロでミクロな銀河団", "山形市", "松下恭子", 2007, 10, 24,
10. "「すざく」で観測された Ia/II 型超新星爆発による銀河間ガスの重元素への寄与", "研究会: マクロでミクロな銀河団", "山形市", "佐藤 浩介", 2007, 10, 24,
11. "「すざく」で観測された Ia/II 型超新星爆発による銀河間ガスの重元素への寄与", "日本天文学会 2007 年秋季年会", "岐阜大学", "佐藤 浩介", 2007, 9, 26,
12. "すざく衛星による NGC5044 銀河群の重元素の質量-光度比の決定", "日本天文学会 2007 年秋季年会", "岐阜大学", "小宮山 円", 2007, 9, 26,
13. "Suzaku observations of clusters of galaxies", "XMM-Newton: The Next Decade", "ESA, Madrid, Spain", "Kyoko Matsushita", 2007, 6, 4,
14. "すざく衛星による NGC5044 銀河群の観測", "日本天文学会 2007 年春季年会", "東海大学", "小宮山 円", 2007, 3, 28,
15. "銀河からの高温プラズマ放出", "日本物理学会 2007 年春季年会", "首都大学東京", "松下恭子", 2007, 3, 27,
16. "Suzaku Observation of the Metallicity Distribution in the Intracluster Medium of the Fornax Cluster", "The extreme universe in the Suzaku Era", "Kyoto", "KyokoMatsushita", 2006, 12, 4,
17. "すざく衛星による Fornax 座銀河団の観測 -重元素の分布と起源-", "日本天文学会 2006 年秋季年会", "北九州", "松下恭子", 2006, 9, 21,

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松下 恭子 (MATSUSHITA KYOKO)  
東京理科大学・理学部・准教授  
研究者番号: 50366423

### (2) 研究分担者

なし

