

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 30 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22540256

研究課題名（和文） バリオンの熱史と化学進化を探る

研究課題名（英文） Study of thermal and chemical history of baryon

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（和文）：我々は多数の銀河団の銀河団ガス中の重元素の分布を系統的に調べることににより、重元素の多くは宇宙初期銀河団形成期に合成されたことをつきとめた。さらに、はじめて、銀河団全体の鉄の量を測定することに成功した。星の質量との比を調べることににより、銀河団全体の星の初期質量関数や過去のIa型超新星の発生率に制限を与えることができた。また、中規模な銀河団でははじめて、銀河団全体のバリオンの熱的狀態を調べることができた。その結果、銀河団の規模にはよらず、理論的予測に比べて、銀河団の外縁部ではおなじようにガスの加熱が少ないことがわかってきた。重力レンズによる質量測定との比較から、銀河団の成長により解放された重力エネルギーは直接ガスの内部エネルギーに変換されるのではなく、一部は、ガスの大規模運動や対流のエネルギーとなっていることが推定される。

研究成果の概要（英文）：We studied distribution of metals in intracluster medium of clusters of galaxies, and found that metals synthesized early phase in cluster formation. In addition, we derived total Fe mass in the intracluster medium out to the virial radius for the first time. Comparing the Fe mass and stellar mass, we constrained the initial mass function of stars in cluster galaxies, and supernova Ia rate in the past.

We also studied thermal properties in the intracluster medium of cluster outskirts out to the virial radius. Especially, we found that the entropy profiles of the intracluster medium do not depend on the system mass, when scaled with average temperature of the intracluster medium. Beyond a half of the virial radius, the entropies of the ICM are systematically lower than the predicted values assuming pure gravitational heating. We also found that the hydrostatic mass is smaller than the gravitational mass derived from gravitational lens observations. This result indicates that the intracluster medium in the cluster outskirts deviates from the hydrostatic equilibrium. Infalling matter may have retained some of its kinetic energy in the form of bulk motions or turbulence.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：数物系

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

## 1. 研究開始当初の背景

冷たい暗黒物質の重力により、宇宙の銀河、銀河団、大規模構造は階層的に形成されたと考えられている。一方、バリオンは、冷却、星形成、活動銀河核や超新星爆発からのエネルギーの供給などの複雑な進化をとげる。銀河団では、バリオンのほとんどは、数千万度の高温プラズマとして、銀河団を満たしている。そのため、銀河団はバリオンが主要な役割をはたす熱的、化学的進化の実験室ともいえる。

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S0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。

## 2. 研究の目的

天文学の重要な目的の一つは、星、銀河や銀河群、銀河団がどのように形成されて、進化したかを調べることである。本研究では、銀河団や銀河群、銀河の高温ガスの重元素、温度、エントロピーの分布を調べる。その結果、重元素合成史やバリオンの熱史の研究に新しい視点を与えることができる。早期型銀河の星の初期質量関数の傾きは我々の太陽系近傍と同じであろうか。また、銀河団はどのように形成されてきたのであろうか。

## 3. 研究の方法

銀河団の力学的半径であるヴィリアル半径は、大規模構造と銀河団の境界ともいえる。よって、ヴィリアル半径に近い領域では、最近の銀河団進化の情報を保持しているはずである。そもそも、銀河団のほとんどの暗黒物質と銀河団ガスは銀河団の外縁部に存在している。我々は、銀河団の全体像を捉えるために、すざく衛星を用いてヴィリアル半径までの銀河団の高温ガスの熱的力学的状態や重元素の分布を調べた。すざく衛星は、2005年に打ち上げられた日本のX線天文衛星低く安定したバックグラウンドを誇る。現在活躍中のアメリカやヨーロッパのX線天文衛星であるChandra衛星やXMM-Newton衛星では、高く不安定なバックグラウンドのために、せいぜいヴィリアル半径の1/3～半分までしか高温ガスの物理量を求めることができない。

## 4. 研究成果

銀河団全体の銀河団ガスと星に含まれる酸素、ケイ素の質量と銀河光度の比は、初期質量関数の強い関数である。初期質量関数の傾きが1異なると、これらの比は20倍違うと推定されている。我々はXMM衛星によるPerseus clusterの0.5ヴィリアル半径までの観測データを解析したところ、ケイ素と鉄の比は場所によらず一定であり、ほぼ太陽組成比となった。さらに、すざく衛星による同銀河団の東方向、北西方向のヴィリアル半径までの観測から求められた銀河団ガスの密度、鉄のアバundance分布をもとに、銀河団全体の銀河団ガスのケイ素の量を推定した。ここで、0.5ヴィリアル半径より外側で、ケイ素のアバundanceが増加しないこと、Ia型超新星の合成物がII型超新星の合成物より広がっていることはないかと仮定した。その結果、ヴィリアル半径までの銀河団ガス中のケイ素の質量は銀河団中の星の中のケイ素の質量の数倍となった。銀河団ガス中と星の中のケイ素の質量の和と銀河光度の比は、太陽近傍の初期質量関数を仮定した場合の予測に比べの2-3倍となった。この差は初期質量関数の傾きにして0.2程度の差に対応する。

銀河団ガスに含まれるケイ素や酸素との量の比から、鉄のほとんどは炭素爆燃型超新星により合成されたことがわかった。我々は2つの銀河団の鉄の量と銀河光度の比をヴィリアル半径まで求めることができた。鉄の分布は、銀河の分布よりはるかに広がっており、鉄の量と銀河光度の比は銀河団の中心から離れるほど増加していることもわかった。銀河団が形成してから鉄を合成したとすると、鉄の量と銀河の分布の比は一定になるはずである。さらに、現在の炭素爆燃型超新星の爆発率を宇宙年齢かけて積分しても、銀河団ガスに含まれる鉄の量の1割にもならない。これらの結果から、現在に比べ昔は炭素爆燃型超新星爆発率はるかに大きかったことと結論した。

我々はすざく衛星の観測により、Hydra A銀河団について、中規模な銀河団でははじめて、ヴィリアル半径までのバリオンの熱的状態を調べることができた。その結果、銀河団の外縁部では、銀河団の規模によらず、同じように銀河団ガスのエントロピーが理論的予測より低いこと、がわかってきた。また巨大な銀河団、Abell 1835について、すざく衛星により測定された銀河団ガスの

熱的圧力が、重力レンズの観測から測定された重力分布と釣り合うには足りないことを発見した。この結果は、銀河団の成長により解放された重力エネルギーは直接ガスの内部エネルギーに変換されるのではなく、一部は、ガスの大規模運動や対流のエネルギーとなっていることを意味する。これらの観測により、宇宙最大の構造である銀河団の形成の現場が明らかになってきた。

#### 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 12 件)

- ① Ichikawa, K., K. Matsushita, et al. Suzaku Observations of the Outskirts of A1835: Deviation from Hydrostatic Equilibrium The Astrophysical Journal 10.1088/0004-637X/766/2/90 v766 p90 (2013)
- ② Matsushita, K., T. Sato, E. Sakuma, & K. Sato Distribution of Si, Fe, and Ni in the Intracluster Medium of the Coma Cluster Publications of the Astronomical Society of Japan v65 p10 (2013)
- ③ Matsushita, K., E. Sakuma, T. Sasaki, K. Sato, & A. Simionescu Metal-mass-to-light Ratios of the Perseus Cluster Out to the Virial Radius The Astrophysical Journal 10.1088/0004-637X/764/2/147 v764 p147 (2013)
- ④ Konami, S., K. Matsushita, P. Gandhi, & T. Tamagawa Spatial Distribution of Abundance Patterns in the Starburst Galaxy NGC 3079 Revealed with Chandra and Suzaku Publications of the Astronomical Society of Japan v64 p117 (2012)
- ⑤ Sato, T., T. Sasaki, K. Matsushita, et al. Suzaku Observations of the Hydra A Cluster out to the Virial Radius Publications of the Astronomical Society of Japan v64 p95 (2012)
- ⑥ Sato, T., K. Matsushita, N. Ota, K. Sato, K. Nakazawa, & C. L. Sarazin Suzaku Observations of Iron K-Lines from the Intracluster Medium of the Coma Cluster Publications of the Astronomical Society of Japan v63 p991(2011)
- ⑦ Sakuma, E., N. Ota, K. Sato, T. Sato, & K. Matsushita Suzaku Observations of Metal Distributions in the Intracluster Medium of the Centaurus Cluster Publications of the Astronomical Society of Japan v63 p979 (2011)
- ⑧ Murakami, H., M. Komiyama, K. Matsushita, R. Nagino, T. Sato, K. Sato, M.

Kawaharada, K. Nakazawa, T. Ohashi, & Y. Takei Suzaku and XMM-Newton Observations of the Fornax Cluster: Temperature and Metallicity Distribution Publications of the Astronomical Society of Japan v63 p963 (2011)

- ⑨ Konami, S., K. Matsushita, T. G. Tsuru, P. Gandhi, & T. Tamagawa Suzaku Metal Abundance Patterns in the Outflow Region of M82 and the Importance of Charge Exchange Publications of the Astronomical Society of Japan v63 p913 (2011)
- ⑩ Matsushita, K. Radial profiles of Fe abundance in the intracluster medium of nearby clusters observed with XMM-Newton Astronomy and Astrophysics 10.1051/0004-6361/200913432 v527 pA134 (2011)
- ⑪ Sato, K., M. Kawaharada, K. Nakazawa, K. Matsushita, Y. Ishisaki, N. Y. Yamasaki, & T. Ohashi Metallicity of the Fossil Group NGC 1550 Observed with Suzaku Publications of the Astronomical Society of Japan v62 p1445 (2010)
- ⑫ Konami, S., K. Matsushita, R. Nagino, M. S. Tashiro, T. Tamagawa, & K. Makishima Abundance Patterns in the Interstellar Medium of the S0 Galaxy NGC 1316 (Fornax A) Revealed with Suzaku Publications of the Astronomical Society of Japan v62 p1435 (2010)

[学会発表] (計 8 件)

- ① "Metals in clusters of galaxies observed with Suzaku and XMM-Newton", "Galaxy Clusters as Giant Cosmic Laboratories", "Madrid, Spain", "Kyoko Matsushita", 2012,
- ② "The oxygen abundance from X-rays : methods and prospects", "Mapping Oxygen in the Universe", "Tenerife, Spain", "Kyoko Matsushita", 2012,
- ③ "ASTRO-H で探る銀河、銀河団の化学進化", "日本天文学会 2012 年春季年会", "龍谷大学", "松下恭子", 2012,
- ④ "Metals in clusters of galaxies", "Chemical Evolution of the Universe 2011", "Tokyo Metropolitan University", "Kyoko Matsushita", 2011,
- ⑤ "ケンタウルス座銀河団中心領域からの Cr, Mn 輝線の検出と Ia 型超新星による重元素合成", "日本天文学会 2011 年秋季年会", "鹿児島大学", "松下恭子

- ”, 2011,
- ⑥ “Suzaku and XMM observations of distribution of metals in the intracluster medium”, “Galaxy clusters: observations, physics and cosmology”, “MPE/Garching”, “Kyoko Matsushita”, 2010,
  - ⑦ “Metal abundances in the intracluster medium observed with XMM and Suzaku”, “CL J2010+0628: from Massive Galaxy Formation to Dark Energy”, “IPMU/Kashiwa, University of Tokyo”, “Kyoko Matsushita”, 2010,
  - ⑧ “Abundance Measurements in Clusters”, “Cosmic Chemical Evolution Workshop”, “St. Michael’s conference center”, “Kyoko Matsushita”, 2010,

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他] 特になし  
ホームページ等

## 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 ( )

研究者番号:

### (3) 連携研究者 なし ( )

研究者番号: