

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 24 年 5 月 20 日現在

機関番号：82645

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008 年度 ～ 2011 年度

課題番号：20340068

研究課題名（和文） 宇宙の化学進化の解明にむけた非抵抗型マイクロカロリメータの開発

研究課題名（英文） Development of non-resistive micro-calorimeters to understand the chemical evolution of the Universe

研究代表者

山崎 典子 (YAMASAKI NORIKO)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・准教授

研究者番号：20254146

研究成果の概要（和文）：宇宙の化学進化を探るには、バリオンの大部分を占める高温ガス中の重元素の量、分布を知ることが重要である。我々は既存の X 線天文衛星を用いた観測により、銀河から銀河団、超銀河団の高温ガスを観測し、銀河ハローの重元素が II 型超新星起源であることを定量的に示した。また、さらに感度を高めていくために、非抵抗型のカロリメータアレイの開発を進めている。誘電体 STO の極低温化での温度特性を測定し、低温で使える超伝導帯による GHz 伝送線を作成し、誘電体温度計を用いたカロリメータの可能性を示した。

研究成果の概要（英文）：Investigation of the chemical evolution of the Universe requires quantitative measurements of heavy elements in the hot plasma, which is the most major population of baryons. We observed our Galaxy, external galaxies, clusters of galaxies, and supercluster structure by present X-ray observatories, and found that the gas around galaxies are type II supernovae origin. In order to improve sensitivities, we developed non-resistive micro-calorimeter array. We firstly measured dielectric characteristics of STO, and made coplanar waveguide for GHz band by superconductive materials. It shows possibility of novel calorimeter array sensor using dielectric thermometers.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	4700000	1410000	6110000
2009 年度	3000000	900000	3900000
2010 年度	2900000	870000	3770000
2011 年度	3200000	960000	4160000
年度			
総計	13800000	4140000	17940000

研究分野：宇宙物理学

科研費の分科・細目：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：X 線天文学、宇宙の化学進化、X 線精密分光、マイクロカロリメータ

1. 研究開始当初の背景

(1) 銀河、銀河団の X 線放射スペクトルから、鉄の蛍光輝線を検出し、「重元素」の量や分布を議論することは広く行われていたが、鉄以外の重元素、例えばシリコン、マグネシウム、酸素などについては誤差も大きく、元素

による違いから起源について探るようなことは殆ど行われていなかった。2005 年に打ち上げられた「すざく」衛星の X 線 CCD カメラはこれまでのよりも特に低エネルギー側で切れ味のよい輝線検出ができるために、酸素、マグネシウムなどの輝線について定量

的な評価が可能になり始めていた。

(2)一方、X線 CCD を越える新たな撮像型(回折格子ではない)分光検出器としては、超伝導遷移端検出器が有望視され、エネルギー分解能としては 2eV 程度を達成していた。この分解能はフォノンノイズとジョンソンノイズでほぼ決定されている。また、撮像のための大規模アレイの開発が検討されていたが、実際には単素子でのエネルギー分解能探求が主であった。

2. 研究の目的

宇宙における化学進化、特に銀河内で生成された鉄だけでなく酸素、ネオン、マグネシウム、シリコン等の重元素がどのようにして銀河から銀河間空間に流出していくか、の過程を観測し、定量的に評価する。既存のX線天文衛星等での観測を続けるとともに、将来の感度向上のために、X線領域での $E/\Delta E > 2000$ かつ画素数の多い撮像分光素子を開発することを目指す。

3. 研究の方法

(1)「すざく」衛星また、Chandra, XMM-Newton 等のX線天文衛星による観測的研究により、銀河や銀河団における鉄以外の重元素の分布を調べ、その生成と流出過程を調べる。

(2)開発的研究として、現在主流となっている超伝導遷移端検出器では、最終的にはジョンソンノイズを越えられず、また 1000 画素程度以上に大きなアレイを作り、読み出す方策が定まっていない。そこでジョンソンノイズに寄らないものとして、抵抗を用いない、非抵抗型マイクロカロリメータの開発を行う。具体的な候補としては、誘電体温度計を用いることを考える。これはジョンソンノイズが無いだけでなく、GHz 帯での LC 共振回路を用いることで大規模アレイの読み出しが可能となるためである。

4. 研究成果

(1)観測的研究においては、我々の銀河系、海外銀河、銀河間ガスの3種に対し、それぞれ知見を得た。我々の銀河系内の高温ガスについて、酸素輝線および吸収線を用いて、温度、密度、奥行き方向の長さを定量的に求めた。その結果、100 万度以上のガスが銀河系近傍数 kpc の範囲に存在することを複数の方向で確認した。NGC4631, NGC253 のような系外銀河において、銀河円盤の外側に広がる、同じく数 kpc スケールのハローガス(図1)の重元素量を定量的に測定し、II型超新星と一致することを確認した(図2)。銀河間空間特に超銀河団に付随する高温ガスの存在については、表面輝度が低いために観測例はほとんどない。今回我々は「すざく」を用いて、

2つの超銀河団、Sculptor, Shapley について放射の上限を定めた。

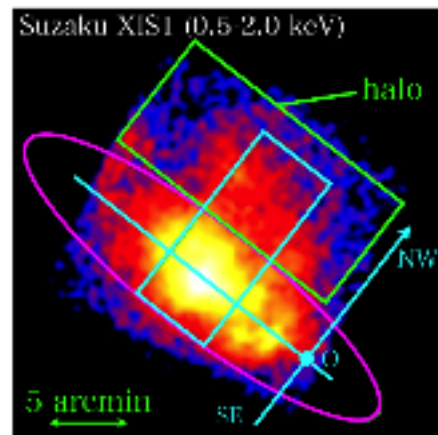


図 1:系外銀河 NGC253 のすざくによる X線画像

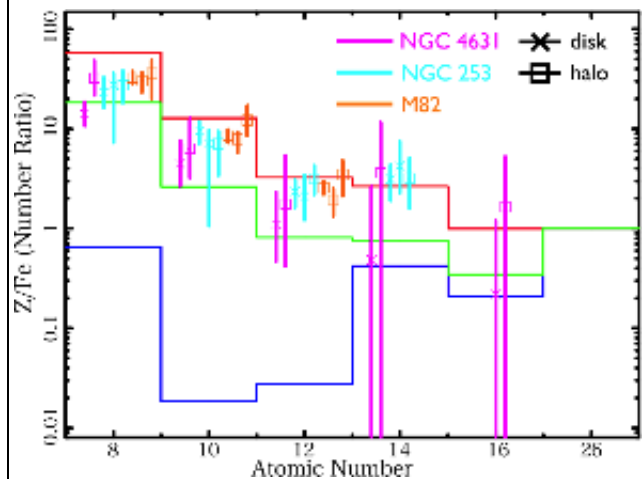


図 2:系外銀河のハロー中の重元素パターンと超新星による生成物のパターンの比較。

(2)非抵抗型カロリメータの開発においては、特に誘電体 STO に着目し、18 酸素置換体についてヘリウム温度以下での誘電率の温度依存性を始めて測定し、カロリメータとなりうる感度を持っていることを示した。その他の誘電体についても評価システムを構築した。また、極低温下で GHz 回路系を組むために必要な、超伝導体によるコプレーナ導波路を作成、低温下での評価を行い、使用に耐えることを確認した。

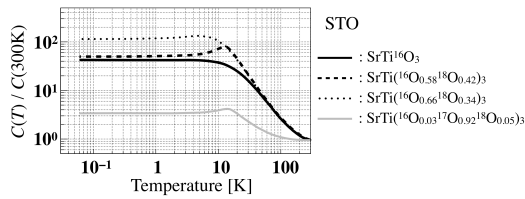


図3 STO の極低温での誘電率の変化

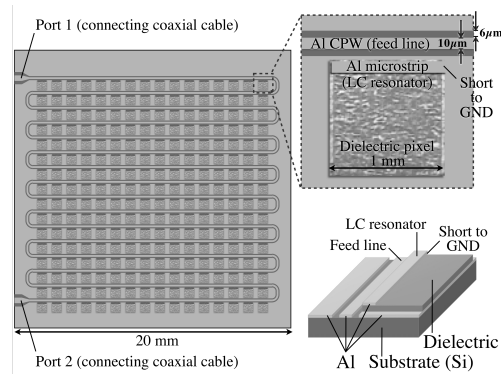


図4 誘電体カロリメータアレイの概念図

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 Ikuyuki Mitsuishi, Anjali Gupta, Noriko Y. Yamasaki, Yoh Takei, Takaya Ohashi, Kosuke Sato, Massimiliano Galeazzi, J. Patrick Henry, and Richard L. Kelley, Search for X-Ray Emission Associated with the Shapley Supercluster with Suzaku, Publications of Astronomical Society of Japan, 64, 2012, 18 (査読有) <http://pasj.asj.or.jp/v64/n1/640018/64018-frame.html>

② N. Sekiya, N. Y. Yamasaki, K. Mitsuda, S. Kawasaki, Y. Takei, H. Yoshitake, K. Sakai, K. Sato, K. Maehata, H. Takashima, Development of dielectric X-ray microcalorimeter, Journal of Low Temperature Physics, 167, 2012, 435-441, (査読有) DOI10.1007/s10909-012-0563-1

③ Ikuyuki Mitsuishi, Noriko Y. Yamasaki, and Yoh Takei, Fe K line complex in the nuclear region of NGC 253, Astrophysical Journal Letters, 741, 2011, L31, (査読有) DOI10.1088/2041-8205/742/2/L31

④ T. Hagihara, N. Y. Yamasaki, K. Mitsuda, Y. Takei, K. Sakai, Y. Yao, Q. D. Wang, and D. McCammon, An X-Ray Spectroscopic Study of the Hot Interstellar Medium toward the Galactic Bulge, Publications of Astronomical Society of Japan, 63, 2011, S889-S901 (査読有) <http://pasj.asj.or.jp/v63/sp3/63s334/63s334-frame.html>

⑤ Kosuke Sato, Richard L. Kelley, Yoh Takei, Takayuki Tamura, Noriko Y. Yamasaki, Takaya Ohashi, Anjali Gupta, Massimiliano Galeazzi, Study of the Intracluster and Intergalactic Medium in the Sculptor Supercluster Observed with Suzaku, Publications of Astronomical Society of Japan, 62, 2010, 1423-1433 (査読有) <http://pasj.asj.or.jp/v62/n6/620617/620617-frame.html>

⑥ T. Hagihara, Y. Yao, N. Y. Yamasaki, K. Mitsuda, Q. D. Wang, Y. Takei, T. Yoshino, D. McCammon, X-Ray Spectroscopy of Galactic Hot Gas along the PKS 2155-304 Sight Line, Publications of Astronomical Society of Japan, 62, 2010, 723-733 (査読有) <http://pasj.asj.or.jp/v62/n3/620317/620317-frame.html>

⑦ Takei Y., Yamasaki, NY, Hirakoso W., Kimura S., Mitsuda, K., SQUID multiplexing using baseband feedback for space application of transition-edge sensor microcalorimeters, Superconductor Science & Technology, 22(11), 2009, 11408, (査読有) doi:10.1088/0953-2048/22/11/114008

⑧ T. Yoshino, K. Mitsuda, N. Y. Yamasaki, Y. Takei, T. Hagihara, K. Masui, M. Bauer, D. McCammon, R. Fujimoto, Q. D. Wang, and Y. Yao, Energy Spectra of the Soft X-ray Diffuse Emission in Fourteen Fields Observed with Suzaku, Publications of Astronomical Society of Japan, 61, 2009, 805-823 (査読有) <http://pasj.asj.or.jp/v61/n4/610425/610425-frame.html>

⑨ Kosuke Sato, Kyoko Matsushita, Yoshitaka Ishisaki, Noriko Y. Yamasaki, Manabu Ishida, Takaya Ohashi, Suzaku Observation of Group of Galaxies 507: Temperature and Metal Distributions in the Intra-Cluster Medium, Publications of Astronomical Society of Japan, 61, 2009,

S353-363 (査読有)
http://pasj.asj.or.jp/v61/sp1/61s134/61s134-frame.html

⑩ Noriko Y. Yamasaki, Kosuke Sato, Ikuyuki Mitsuishi, Takaya Ohashi, X-ray Halo Around the Spiral Galaxy NGC 4631 Observed with Suzaku, Publications of Astronomical Society of Japan, 61, 2009, S291-298 (査読有)
http://pasj.asj.or.jp/v61/sp1/61s129/61s129-frame.html

⑪ Y. Yao, Q. D. Wang, T. Hagihara, K. Mitsuda, D. McCammon, N. Y. Yamasaki, X-Ray and Ultraviolet Spectroscopy of Galactic Diffuse Hot Gas Along the Large Magellanic Cloud X-3 Sight Line, Astrophysical Journal, 690, 2009, 143-153 (査読有)
DOI:10.1088/0004-637X/690/1/143

[学会発表] (計6件)

① N. Sekiya, N. Y. Yamasaki, K. Mitsuda, S. Kawasaki, Y. Takei, K. Sakai, K. Sato, K. Maehata and H. Takashima, Development of dielectric X-ray microcalorimeter, 24th International Cryogenic Engineering Conference, 17th May 2012, Fukuoka, Japan

② 関谷典央、山崎典子、川崎繁男、竹井洋、吉武宏、酒井和宏、前畑京介、佐藤浩介、高島浩、誘電体X線マイクロカロリメータの開発、日本応用物理学会、2011年8月31日、山形大

③ 関谷典央、山崎典子、満田和久、竹井洋、吉武宏、酒井和広、高島浩、量子強誘電体 STO を用いたキャパシタンス温度計の開発、日本低温工学・超電導学会、2011年5月18日、つくば

④ N. Sekiya, N. Yamasaki, K. Mitsuda, S. Kawasaki, Y. Takei, H. Yoshitake, K. Sakai, K. Sato, K. Maehata, H. Takashima, Development of dielectric X-ray microcalorimeter, 14th International Workshop on Low Temperature Detectors, 2nd August 2011, Heidelberg, Germany

⑤ 関谷典央、山崎典子、川崎繁男、満田和久、吉武宏、竹井洋、佐藤浩介、前畑京介、高島浩、誘電体X線マイクロカロリメータの開発、日本天文学会春季年会、2010年3月25日、広島大学

⑥ 佐藤浩介、土屋彰広、大島泰、山崎典子、

師岡利光、マグネティックカロリメータ実用化に向けた超伝導量子干渉計の開発、日本天文学会秋季年会、2008年9月12日、岡山理科大学

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山崎 典子 (YAMASAKI NORIKO)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・准教授
研究者番号：20254146

(2) 研究分担者

竹井 洋 (TAKEI YOH)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・助教
研究者番号：30509857

(3) 連携研究者

()

研究者番号：