

平成 21 年 5 月 14 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19840043
 研究課題名（和文） 銀河団の化学進化の解明を目指したX線マイクロカロリメータの開発
 研究課題名（英文） Development of X-ray microcalorimeter for the study of the chemical evolution of cluster of galaxies
 研究代表者
 佐藤 浩介（SATO KOSUKE）
 金沢大学・数物科学系・博士研究員
 研究者番号：50453840

研究成果の概要：私は銀河団の化学進化の解明を目的にX線天文衛星「すざく」をもちいて銀河団の酸素や鉄などの重元素組成の研究を行った。重元素の多くは超新星爆発で生成されるがIa/II型で生成される重元素組成は異なるので、私は今回の観測結果と理論モデルを組み合わせ、これまでに起こったIa/II型超新星爆発の比を決定した。その結果、比は1:3.5となり現在銀河団ではあまり起こらないII型が過去に大量に重元素を生成したことを発見した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,310,000	0	1,310,000
2008年度	1,350,000	405,000	1,755,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,660,000	405,000	3,065,000

研究分野：天文学

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：X線、銀河団、化学進化、マイクロカロリメータ

1. 研究開始当初の背景

日本のX線天文衛星「すざく」以前の銀河群・銀河団の重元素研究は、鉄やケイ素、硫黄など比較的観測しやすい元素が中心であり、酸素やマグネシウムなどの主にII型超新星爆発で生成される元素の研究は、銀河団中心部の明るい領域のみしか決定することができなかった。また、「すざく」衛星はこれまでの衛星に比べてバックグラウンドレベルが低く安定しており、かつ軟X線領域での輝線感度が高いため、銀河団外縁部の輝度の低い領域まで各重元素を精度よく決定することができるようになった。実験的研究においては、X線マイクロカロリ

メータを衛星搭載用として実用化するための開発をおこなった。現在主流であるCCD検出器では、エネルギー分解能が十分でないために、重元素研究において重要な酸素の輝線についても我々の銀河系からの放射と区別することが難しい。しかし、超高エネルギー分解能を実現するカロリメータならば、赤方偏移により輝線を分離できるので、重元素の決定精度が飛躍的に向上するため、これらの問題について大きなブレイクスルーをもたらす。カロリメータを衛星搭載用として実用化するためには、大面積化が必要であるが、素子を多く並べる多画素化はカロリメータには必ずしも適当な方法とはいえないもの

であるため、他の方法が議論されはじめている。

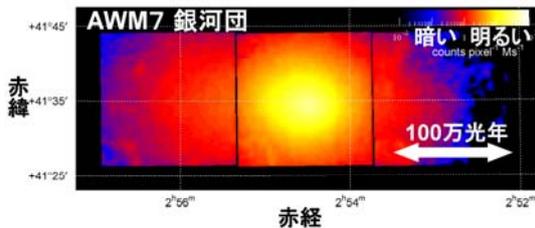
2. 研究の目的

私は銀河群・銀河団の化学的進化解明するために、銀河群・銀河団の重元素量とその分布を明らかにする。また、「すざく」によって、Ia/II型超新星爆発で生成される重元素を観測することができるようになったので、Ia/II型が現在の重元素にどのように寄与してきたかを調査する。

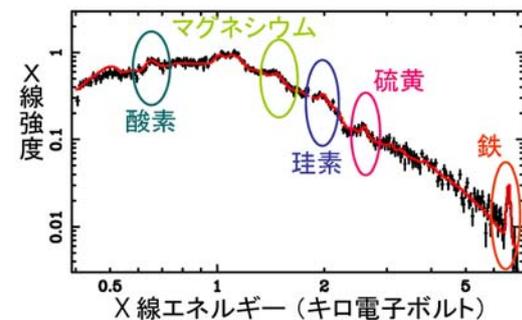
一方、カロリメータの多画素化のための基礎研究として一つの大きな吸収体で得た信号を複数のカロリメータで読み出す位置検出方式の基礎実験を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

「すざく」衛星を用いて複数の銀河群・銀河団の観測されたスペクトルデータを詳細に解析した。下図は「すざく」によって観測された AWM7 銀河団の X 線イメージである。イメージからもわかるように、銀河団中心からはなれた領域まで観測が可能となったことがわかる。

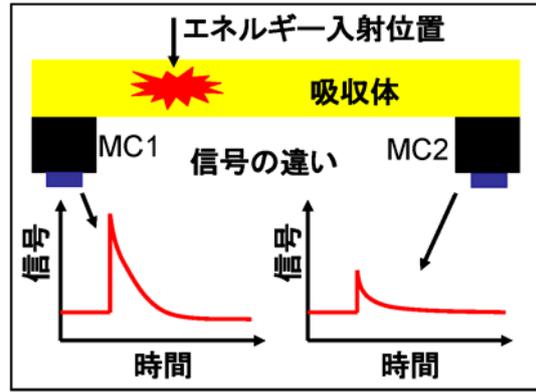


「すざく」で観測されたスペクトルは下図に示すように、酸素から鉄に至る輝線をはっきりと読み取ることができる。



これらの各元素の輝線から銀河群・銀河団中を満たす高温ガスに含まれる重元素量を導いた。この時に、バックグラウンドとして検出器由来の成分や我々の銀河系からの放射などの要素まで加えて銀河群・銀河団の重元素アバundanceを決定した。

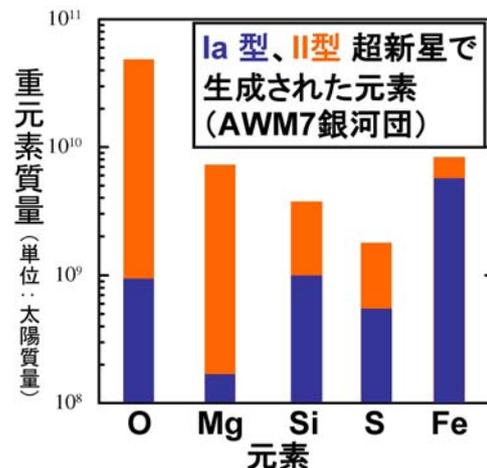
カロリメータの位置検出方式の基礎実験のために、カロリメータを読み出す超伝導量子干渉計の設計と開発、および性能評価をおこなった。位置検出方式とは、下図に示すように1つの大きな吸収体で受けたエネルギー入射による信号を2つ以上のカロリメータ



で読み出すことによって、得られた波形の違いから入射したエネルギーの位置を決定する方法である。私はまず、これらの吸収体を取り付け可能なカロリメータ読み出し系の製作と評価を行った。

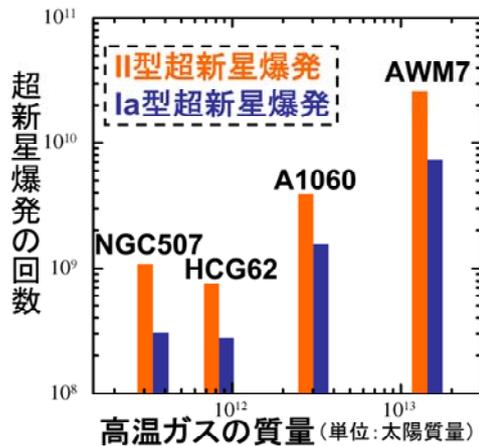
4. 研究成果

私は、「すざく」を用いて、銀河群・銀河団の観測から重元素量と分布をピリアル半径の 0.3 倍の領域まで決定した。また、Ia/II型超新星爆発で生成される重元素量の理論モデルと組み合わせて、宇宙が始まって以来起こった超新星爆発の総数とその比を決定した。Ia/II型超新星爆発の比は 1:3.5 となり、現在銀河団ではあまり起こっていない II 型が過去に大量の重元素を生成したことを明らかにした。下図は例として AWM7 銀河団で観測された酸素、マグネシウム、ケイ素、硫黄、鉄がそれぞれどのくらいの割合で Ia/II 型超新星で生成されたかを示したものである。図からも読み取れるように、酸素やマグネシウムはほとんど II 型で、ケイ素や硫黄、鉄は Ia 型で生成されたことがわかる。

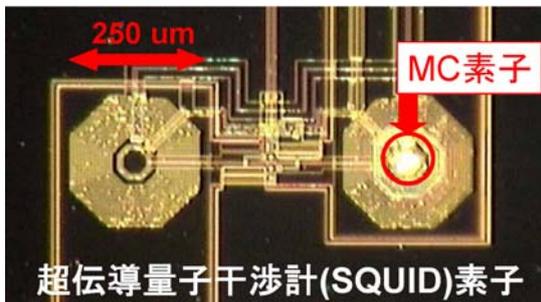


また、これらの結果から宇宙が始まって以来銀河群・銀河団中でこれまでに起こった超新星爆発の総数を求めた。その結果銀河の単位光度あたりの爆発回数は同じとして我々の銀河系で計算してみると、宇宙が始まって以来数億回爆発したことに相当することがわかった。私はこの成果を 2007 年度天文学会

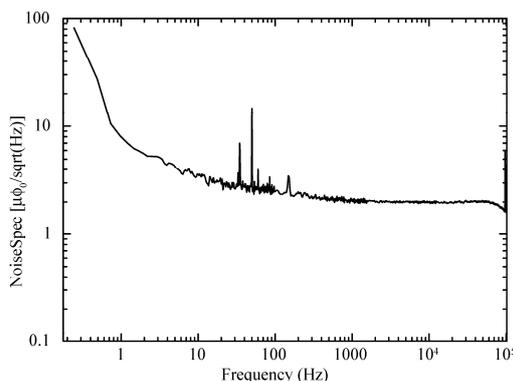
秋季年会で記者発表をおこなった。



また、磁気量子カロリメータの位置検出実験のために、カロリメータ素子を読み出す超伝導量子干渉計の評価を行った。下図が我々が製作した超伝導量子干渉計である。コイルの中心に磁性体素子 (MC素子) であり、この素子の磁化を変化を温度計、つまりカロリメータとして利用する仕組みになっている。今回我々が製作したMC素子を配置するコイル間の距離は 500um となっており、これは位置検出実験をおこなうことが可能である。



我々はこの超伝導量子干渉計素子を絶対温度約 100mK という極低温下でノイズ環境試験を行った。結果が下図である。結果は $\sim 2\mu\Phi/\sqrt{\text{Hz}}$ となり、これまでよりも低ノイズを実現することを確認した。このノイズレベルは将来 1eV@6keV という超高エネルギー分解能を実現するのに十分なノイズレベルと言える。



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 9 件)

① Kosuke Sato, Kyoko Matsushita, Fabio Gastaldello, Temperature and Metallicity in the Intra-cluster Medium of ABELL262 observed with Suzaku, PASJ, 61 巻, 365-376, 2009, 査読有

② Kosuke Sato, Kyoko Matsushita (他 4 名, 1 番目), Suzaku Observation of Group of Galaxies NGC507; Temperature and Metal Distributions in the Intra-cluster Medium, PASJ, 61 巻, 353-363, 2009, 査読有

③ Madoka Komiyama, Kosuke Sato (他 3 名, 2 番目), Suzaku Observations of Metallicity Distribution in the Intra-cluster Medium of the NGC5044 group, PASJ, 61 巻, 337-352, 2009, 査読有

④ N. Y. Yamasaki, Kosuke Sato (他 2 名 2 番目), X-ray Halo Around the Spiral Galaxy NGC4631 Observed with Suzaku, PASJ, 61 巻, 291-298, 2009, 査読有

⑤ Kosuke Sato, (他 4 名, 1 番目), Development of low temperature SQUID gradiometer arrays for magnetic microcalorimeter, Journal of Low Temperature Physics, 151 巻, 345-350, 2009, 査読有

⑥ Kosuke Sato (他 6 名, 1 番目), Suzaku Observations of AWM7 Cluster of Galaxies: Temperature, Abundance and Bulk motions, PASJ, 60 巻, 317-331, 2008, 査読有

⑦ Kazuyo Tokoi, Kosuke Sato (他 15 名, 2 番目), Suzaku Observation of HCG62: Temperature, Abundance, and Extended Hard X-ray Emission Profiles, PASJ, 60 巻, 333-342, 2008, 査読有

⑧ Kosuke Sato (他 5 名, 1 番目), Type Ia and II supernovae contributions to the metal enrichment in intra-cluster medium observed with Suzaku, ApJ Letter, vol.667, 333-342, 2007, 査読有

⑨ Kosuke Sato (他 16 名, 1 番目), X-ray Study of Temperature of Temperature and Abundance Profiles of the Cluster of Galaxies Abell 1060 with Suzaku, PASJ, 59 巻, 299-388, 2007, 査読有

[学会発表] (計 11 件)

① 佐藤浩介, すざくで観測された Fossil group NGC1550 の重元素分布、日本天文学会春季年会、2009年3月26日、大

阪府立大学

② 佐藤浩介、X線カロリメータ動作のための断熱消磁冷凍機の基礎開発(2)、日本天文学会春季年会、2009年3月26日、大阪府立大学

③ 佐藤浩介、すざくが明らかにした重元素量と分布から探る銀河団の化学進化、日本天文学会秋季年会、2008年9月13日、岡山理科大学

④ 佐藤浩介、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

⑤ Kosuke Sato, Metallicity in intra-cluster Medium of clusters and groups of galaxies observed with Suzaku, The X-ray Universe 2008年5月28日、スペイン・グラナダ

⑥ Kosuke Sato, Type Ia and II supernovae contributions to the metal enrichment in intra-cluster medium observed with Suzaku, The Suzaku X-ray Universe, 2007年12月11日、アメリカ・サンディエゴ

⑦ Kosuke Sato, Type Ia and II supernovae contributions to the metal enrichment in intra-cluster medium observed with Suzaku, The 10th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies -From the Dawn of Universe to the Formation of Solar System-, 2007年12月6日、北海道大学

⑧ 佐藤浩介、「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、日本天文学会秋季年会、2007年9月26日、岐阜大学

⑨ 佐藤浩介、「すざく」衛星で観測された銀河間ガスの重元素分布、日本天文学会秋季年会、2007年9月26日、岐阜大学

⑩ Kosuke Sato, Development of low temperature SQUID gradiometer arrays for magnetic microcalorimeter, 12th international workshop on Low Temperature Detectors, 2007年7月24日、フランス・パリ

⑪ Kosuke Sato, Type Ia and II contributions to the metal enrichment in intra-cluster medium of groups and clusters revealed by Suzaku, Tracing

Cosmic Evolution with Clusters of Galaxies: Six Years Later, 2007年6月27日、イタリア・セスト

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 浩介 (SATO KOSUKE)

金沢大学・数物科学系・博士研究員

研究者番号：50453840