

## 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 3月31日現在

機関番号：14602

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21540234

研究課題名（和文） スペクトル観測に基づく銀河面 X 線放射の研究

研究課題名（英文） Spectral Study of the Galactic Diffuse X-Ray Emission

研究代表者 山内 茂雄 (YAMAUCHI SHIGEO)

奈良女子大学・理学部・教授

研究者番号：60260410

研究成果の概要（和文）：「すざく」衛星を用いて観測した銀河中心、銀河円盤領域、銀河バルジ領域のデータを解析し、鉄輝線の特徴を調査した。6.97/6.7keV 輝線強度比は系統的に銀河中心領域、銀河バルジ領域で高く、銀河円盤領域で低くなること等を示した。スペクトルは晩期型星連星系と白色矮星連星系のスペクトルに比べて鉄輝線の強度が強いこと等がわかった。銀河円盤領域に位置する新天体、関連する超新星残骸等の研究も行った。

研究成果の概要（英文）：Using the Suzaku data observed in the Galactic center, Galactic plane, and Galactic bulge regions, I studied properties of Fe-K emission lines of the Galactic diffuse X-ray emission. The ratios of 6.97keV/6.7 keV in the Galactic center and the Galactic bulge regions are systematically larger than that of the Galactic plane. The observed Fe emission line cannot be reproduced by a spectral model for active star binaries and white dwarf binaries. We also studied newly discovered X-ray sources and supernova remnants.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,600,000	480,000	2,080,000

研究分野：天文学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：X線、X線スペクトル、銀河面 X 線放射

## 1. 研究開始当初の背景

銀河円盤に沿って存在する銀河面 X 線放射は、アメリカの HEAO-1 衛星によって発見された。その起源を探るべく、さまざまな観測が行われてきたが、日本の「てんま」衛星による観測で、銀河面 X 線放射のスペクトルに高電離した鉄からの強い輝線スペクトルが発見されるにいたって、銀河面 X 線放射が数千万度の温度の高温プラズマガスからの放

射であることが明らかになった。数千万度もの温度をもつ熱的放射成分の存在とその起源は、星間物質の進化や銀河系のダイナミクスにも関わる重要な問題である。この高温ガスが真に拡がった放射であるとする、そのエネルギーは銀河系内全体で超新星爆発  $10^4$ - $10^5$  個分にも相当する大きなものである上、温度は銀河系の重力で閉じ込めておくことはできないほど高い。これに対して、暗い

天体がたくさん存在していて、広がった放射として見えているという点源説も考えられている。しかし、拡散放射成分説、点源説とも、観測事実のすべてを説明することができず、起源は未だ解決されていない。

## 2. 研究の目的

銀河面 X 線放射の正体はいったい何か。白色矮星を含む連星系やアクティブ晩期型星連星系が多数集まって広がった放射として見えているという点源起源説が正しいのか、それとも真に広がった放射であるのか。Diffuse 起源であるならば、それはどのように生成されたのか。銀河面 X 線放射の研究は、銀河系中心、銀河系の活動性にも関わる重要な課題であり、その起源の解明を目指す。

## 3. 研究の方法

「すざく」衛星は広いエネルギー範囲をカバーし、1keV 以下のエネルギー範囲のエネルギー分解能と鉄輝線のエネルギー範囲を含む 6keV 以上の感度が軌道上にある他の X 線天文衛星に優る検出器を搭載している。これまでの研究から、鉄など重元素の放射する輝線スペクトルの詳細観測が起源解明の手がかりとなることが分かってきたが、観測領域はまだ限られており、銀河系の広い領域の観測データで系統的に調査を行うことが重要である。そこで本研究では「すざく」衛星を用いて、銀河中心、銀河円盤領域、銀河バルジ領域に存在する銀河面 X 線放射の詳細なスペクトル観測を系統的に行う。

## 4. 研究成果

### (1) 銀河面 X 線放射の観測

#### ①鉄輝線強度分布

本研究では、銀河中心近傍、銀河円盤領域、銀河バルジ領域で得られた 30 点のデータを用いた。観測視野内に見られる天体を除き、拡散成分のみのスペクトルを作成した。その結果、先の研究で示されていたように 3 本の輝線はどの領域にも見られることを確認した。スペクトルに対してモデルフィットを行い、輝線強度を求めた。

図 1 は銀河円盤方向の輝線強度の分布である。銀河中心に近づくほど強度が増加し、銀河中心領域に集中した成分があることが確認できる。銀河中心では 6.4 keV 輝線が際立って強い領域があるが、それ以外の領域では 3 本の輝線の分布はほぼ似通っている。

銀河バルジ領域の特徴を調べるため、銀経 0 度の線に沿って、銀河中心から離れる方向の強度分布を調べた。その結果を図 2 に示す。銀河中心、銀河円盤に付随する成分は過去の観測より 1 度程度の厚みで広がっていることがわかっている。本結果により、少なくとも 2 度付近まで 3 本の鉄輝線ははっきりと検

出されており、銀河バルジ領域にも銀河面と同様の成分が存在していることが確認できた。この成分がどこまで広がっているかは、今後の観測で明らかにする必要がある。

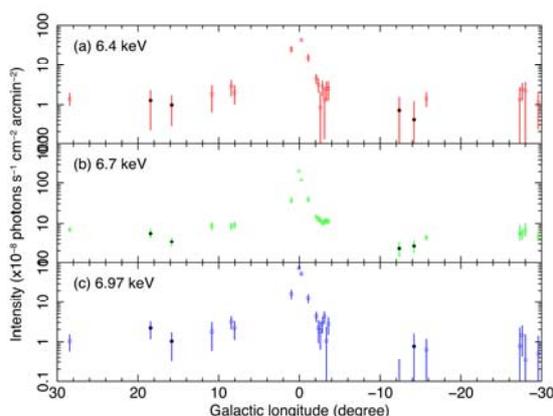


図 1 鉄輝線強度の銀経方向の分布。黒丸は銀河面からの離角が 0.5 度以上の点を表す。

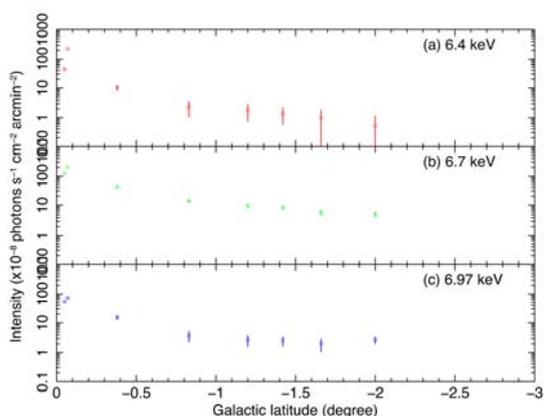


図 2 銀河バルジ領域の輝線強度分布。1 度くらいを境に分布の様子が変わっていて、高緯度の領域まで広がっていることがわかる。

#### ②鉄輝線の等価幅

連続成分に対する輝線強度の相対強度比である等価幅の平均値は次の通りである。

	6.4keV/6.7keV/6.97keV
銀河中心領域	303±5/449±7/184±5
銀河バルジ領域	68±21/470±29/176±29
銀河円盤領域	101±13/463±19/106±15

単位は eV、系統誤差は含まない。

この結果より、6.7 keV 輝線の等価幅はどの領域も誤差の範囲内で一致するが、6.4 keV 輝線の場合は銀河バルジ領域で低い、6.97 keV は銀河円盤領域で低いという傾向が見ら

れることがわかった。

### ③鉄輝線強度比

6.7 keV と 6.97 keV の輝線は高階電離した鉄イオンからの K 輝線で、どちらも高温ガス起源である。この輝線の強度比はガスの温度に依存するため、温度の指標となる。6.97 keV と 6.7 keV 輝線の強度比の平均値を求めると、銀河中心領域では  $0.38 \pm 0.01$  と高く、銀河円盤領域では  $0.20 \pm 0.03$  と低くなることを確認した。このことは先の研究でも示唆されていたが、観測点を増やした本研究により、その差異がはっきりした。高温ガスの温度に変換するとそれぞれ 7 keV と 5 keV 程度になる。

一方、銀河バルジ領域では、 $0.32 \pm 0.06$  という値となり、銀河円盤領域よりも高く、銀河中心領域の値に近いことがわかった。銀河バルジ領域にも比較的高温の成分が存在していることになる。

### ④微弱 X 線天体のスペクトルとの比較

「Chandra」衛星を用いた銀河バルジ領域の長時間観測で、銀河面 X 線放射の 80% 程度が点源に分解されたという結果が 2009 年に報告され、点源の寄与が大きいことが示された。この観測結果に基づき、銀河面 X 線放射を担っているのは、白色矮星を含む連星系よりももっと微弱な晩期型星連星系が主に担っているというシナリオが提案されている。そこで、銀河面 X 線放射が点源の重ね合わせのスペクトルとして再現できるかを調べるため、観測時間が長く、統計の良いスペクトルが得られた地点の観測データに対して、RS CVn 型の星のスペクトルと白色矮星連星系のスペクトルの合成モデルを仮定して解析を行った。図 3 にスペクトルの例を示す。

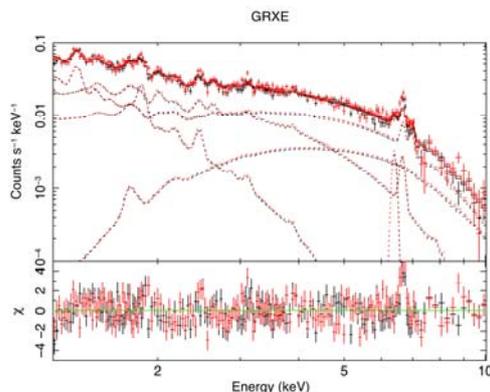


図 3 銀河面 X 線放射のスペクトルを晩期型星連星系と白色矮星連星系の典型的なスペクトルで再現した結果。鉄輝線の強度がうまく再現できていないことがわかる。

この結果より、連続成分スペクトルはこのモデルでおおむね説明できるが、鉄輝線を含む 4keV 以上のバンドでは晩期型星連星系ではなく、白色矮星連星系のスペクトルがその大部分を担っていることがわかった。また、この合成モデルでは鉄輝線の強度を再現することが難しいことが分かった。このことは、銀河面 X 線放射が点源の重ね合わせであるならば、晩期型星連星系ではなく、白色矮星連星系のような硬い連続放射スペクトルを持ち、強い鉄輝線を合わせ持つ微弱な天体でなければならないことを示す。

### ⑤今後の課題

銀河面 X 線放射がたくさん点源の集合であるならば、そのスペクトルは多くの点源の平均スペクトルとなり、スペクトルの特徴はどの領域でもほぼ同じ形状になると期待できる。しかし、輝線強度比、等価幅等の観測値が領域によって異なっているということは、点源起源の場合、スペクトルの特徴の異なる天体がそれぞれの領域に分かれて分布していることを示唆する。また、その天体は硬い連続放射スペクトルに加えて強い鉄輝線を持つ天体でなくてはならないが、そのような特徴を持つ天体は見つかっていない。点源起源説に立てば、これがどのような天体であるのか、領域ごとのスペクトルの違いはなぜおこっているのか、を解明することが課題である。

銀河面 X 線放射に見られる 6.4 keV 輝線が、銀河中心で観測されたような X 線照射によって光電離された中性鉄元素によるものならば、星間ガスの多い銀河面、銀河中心領域で強く、銀河面から離れるにしたがって減少することが期待される。実際、銀河バルジ領域では、銀河円盤領域よりも等価幅が小さくなっている。銀河バルジ領域だけでなく、銀河円盤領域においても高緯度の観測データで調べる必要がある。同様に、6.7 keV と 6.97 keV 輝線が高緯度方向に向かってどのように減少していくか、その強度と強度比の分布を調べ、点源の空間分布、スペクトルとの比較が必要と考えている。

### (2)超新星残骸の観測

超新星残骸は銀河系内の加熱源、粒子加速源である。また、銀河系内のエネルギー源としても重要な天体であり、銀河面 X 線放射を形成するエネルギー源となっている可能性がある。「あすか」衛星は銀河円盤領域に位置する暗い超新星残骸から X 線を検出した。このような超新星残骸の特徴を明らかにするため、「すざく」衛星で取得したデータを用いて X 線スペクトル、および空間構造を調べた。

①G12.0-0.1

「あすか」衛星では電波シェルに付随するような広がった構造が見えていたが、「すざく」衛星による観測で、コンパクトな天体が北側のシェルに存在することが明らかになった。スペクトルには輝線構造は見られず、非熱的放射であり、パルサー星雲の可能性が考えられる。

②G346.6-0.2

電波シェルの内側に熱的X線放射が広がっていることがわかった。このことより超新星残骸は mixed-morphology 型に分類される。また、X線スペクトルは電離平衡状態、電離非平衡状態にあるプラズマからの放射モデルではうまく再現できず、電子温度が300万度程度まで冷却した再結合優勢プラズマモデルを用いるとうまく説明できることがわかった。再結合優勢プラズマを持つ超新星残骸の6番目のサンプルとなった。

③G355.6-0.0

電波シェルの内側に熱的X線放射が広がっており、この超新星残骸は mixed-morphology 型に分類されることがわかった。スペクトルは電離平衡に達していない温度が1千万度程度の ionizing plasma からの放射としてよく再現でき、元素組成比が太陽組成比に比べて若干高いことがわかった。この超新星残骸では再結合優勢プラズマを示唆する結果は得られなかった。

(3) 新天体の観測

銀河円盤領域に広がった構造を持つ天体を発見した。そのスペクトルには強い輝線が存在し、その中心エネルギーは既知の特性X線のエネルギーとは異なっていた。この輝線は赤方偏移した鉄輝線と考えられ、連続成分の温度、光度の特徴から、銀河団であると結論した。天の川に存在する天体からの光にじやまされるため、銀河面に近い領域に存在する系外天体の検出は難しかったが、透過力の高いX線観測がこのような天体の発見にも有効な手段であること、この天体を使って銀河系内の星間吸収量を測定できることを示した。

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3件)

- ① Yamauchi, S., Bamba, A., Koyama, K., A New Candidate of an X-Ray Luminous Cluster of Galaxies Behind the Galactic Plane, Publ. Astron. Soc. Japan, 63, S957-S961 (2011), 査読有り

- ② Morii, M., Kitamoto, S., Shibasaki, N., Kawai, N., Arimoto, M., Ueno, M., Kohmura, T., Terada, Y., Yamauchi, S., Takahashi, H., Suzaku Observations of the Anomalous X-Ray Pulsar 1E 1841-045 Publ. Astron. Soc. Japan, 62, 1249-1259 (2010), 査読有り

- ③ Yamauchi, S., Ueno, M., Bamba, A., Koyama, K., A New Candidate of a Cluster of Galaxies, 2XMM J045637.2+522411, Publ. Astron. Soc. Japan, 62, 219-224 (2010), 査読有り

[学会発表] (計5件)

- ① 山内茂雄, Galactic diffuse X-ray emission の鉄輝線について、日本天文学会春季年会 2012年3月19-22日、京都市・龍谷大学
- ② 南沙里、太田直美、山内茂雄、小山勝二、すざく衛星による超新星残骸 G355.6-0.0 の高温プラズマの観測、日本天文学会春季年会 2012年3月22日、京都市・龍谷大学
- ③ 山内茂雄、馬場彩、小山勝二、すざく衛星による天の川銀河の背後に潜む銀河団の発見、日本天文学会秋季年会 2011年9月19-22日、鹿児島市・鹿児島大学
- ④ 山内茂雄、植野優、馬場彩、小山勝二、XMM-Newton 衛星とすざく衛星による銀河団候補天体の発見、日本天文学会春季年会 2010年3月24-27日、東広島市・広島大学
- ⑤ 山内茂雄、すざく衛星による超新星残骸 G12.0-0.1 の観測、日本天文学会秋季年会 2009年9月14-16日、山口市・山口大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山内 茂雄 (YAMAUCHI SHIGEO)  
研究者番号：60260410

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし