

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2006～2008

課題番号：18540228

研究課題名（和文） 広帯域 X 線観測による銀河面 X 線放射の研究

研究課題名（英文） Broad-Band X-Ray Observations of the Galactic Diffuse X-Ray Emission

研究代表者

山内 茂雄 (YAMAUCHI SHIGEO)

岩手大学・人文社会科学部・准教授

研究者番号：60260410

研究成果の概要： X 線天文衛星により取得した観測データの解析により、銀河面 X 線放射に電離の進んでいない鉄からの輝線を発見し、数千万度の温度の希薄な高温プラズマガスからの放射に加えて非熱的放射が存在することを明らかにした。鉄輝線を中心に、X 線スペクトルの特徴より起源について考察を行った。また、銀河中心、銀河円盤領域の観測中に見つかったトランジェント天体、銀河面 X 線放射との関連が深いと考えられる超新星残骸の解析も行い、これらの特徴、性質を明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	500,000	0	500,000
2007年度	500,000	150,000	650,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,500,000	300,000	1,800,000

研究分野：数物系科学

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

我々の銀河系内には、銀河円盤に沿って個々の点源に分解することができない拡がった X 線放射（以下、銀河面 X 線放射と呼ぶ）が存在していることが、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、発見以来さまざまな観測が行われてきた。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、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。しかし、この高温ガスの持つエネルギーは銀河

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。数千万度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が、未だ解決されていない。

2. 研究の目的

本研究では X 線天文衛星を用いて銀河円盤、銀河中心、銀河バルジ領域の観測を行い、銀河面 X 線放射、および関連天体のスペクトルの性質を詳しく調べ、その起源に迫ることを

目的とする。

3. 研究の方法

「すざく」衛星に搭載された X 線 CCD カメラは、他の衛星に搭載されている検出器に比べ 1keV 以下の低エネルギー領域で優れたエネルギー分解能と、鉄からの K 輝線のあるエネルギー領域で優れた感度を持ち、さらに低バックグラウンド化を実現した検出器である。特に銀河面 X 線放射の起源のモデルとして提案されているものは、鉄輝線のプロファイルに特徴があるので、鉄輝線の詳細観測が起源解明の手がかりとなる。また、X 線 CCD カメラに加えて 10-600keV の広いエネルギー領域をカバーした硬 X 線検出器も搭載されており、本研究に最適である。そこで、X 線天文衛星「すざく」によって得られた銀河面 X 線放射の観測データの解析を行った。

また、私たちは銀河面 X 線放射の研究のため、「ぎんが」、「あすか」衛星を用いて銀河系のサーベイ観測を行っており、これらの蓄積もある。これらのデータの解析も行った。

4. 研究成果

(1) 銀河面 X 線放射の研究

① 盾座領域で観測された鉄輝線スペクトルの解析

すざく衛星はその初期観測期間中に 100ks の時間を銀河面上の盾座領域の観測にあて、詳細観測を行った。これにより、これまでにない光子統計のよい銀河面 X 線放射のスペクトルの取得に成功した (図 1)。このスペクトルの解析から、鉄輝線は電離の進んでいない鉄、ヘリウム様までに電離した鉄、および水素様まで電離した鉄からの 3 本の輝線からなること、これらの輝線には有意な広がりが見いだせないことを明らかにした。これらの特徴から電離非平衡状態にあるプラズマガスからの放射である可能性、高速で飛来する宇宙線中の鉄イオンが銀河円盤領域に存在する水素との間で電荷交換することにより鉄輝線を放射するという可能性はいずれも低いと考えられる。

② 銀河円盤領域の鉄輝線スペクトルの解析

銀河面 X 線放射の全体像を明らかにするためには、盾座領域のみではなく、それ以外の領域の放射成分との比較を行い、銀河系全体の性質を明らかにすることが必要である。そこで X 線スペクトルの違い、特に鉄輝線に注目した調査を行った。銀河面上の様々な領域で観測した拡散成分のスペクトルについて解析を行い、いずれの領域でも鉄輝線は電離の進んでいない鉄、ヘリウム様にまで電離した鉄、水素様まで電離した鉄からの 3 本の輝線が存在すること、これらの輝線には有意な広がりが見いだせないこと、ヘリウム様、水

素様の鉄からの輝線の強度比は、2000 万度から 8000 万度の温度で電離平衡状態にある高温ガスから放射されたものと一致すること等を明らかにした。また、鉄からの輝線強度の空間分布は、ぎんが、あすか衛星によって得られた結果と本質的に同じであることを確認した。さらに、電離の進んでいない鉄、ヘリウム様、水素様の鉄からの輝線の強度比が、銀河円盤領域、銀河中心近傍とで系統的に異なっていることがわかった (図 2)。

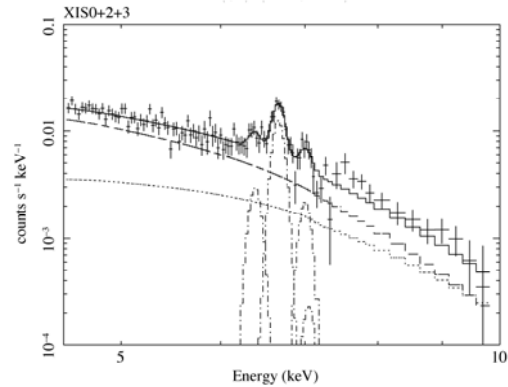


図 1 盾座領域の X 線スペクトル (Ebisawa et al. 2008, Yamauchi et al. 2009)

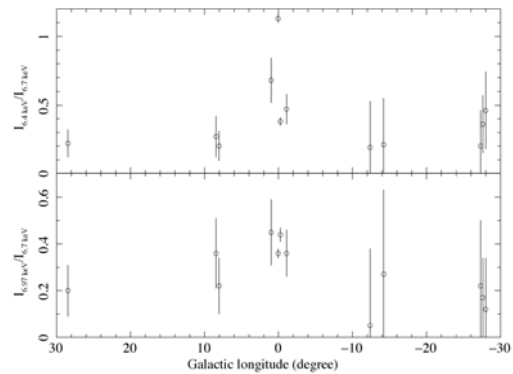


図 2 中性鉄、ヘリウム様鉄、水素様鉄からの輝線強度の比の銀経分布 (Yamauchi et al. 2009)

X 線スペクトルの特徴から、その起源について考察を行った。X 線点源の中で電離の進んでいない鉄元素からの輝線を含む 3 本の鉄輝線を示すものは白色矮星連星系以外には見当たらないこと、電離の進んでいない鉄元素からの輝線の等価幅 (連続成分に対する輝線の強度比) が白色矮星連星系のものと同様であることから、点源集合説を考えるならば、白色矮星を含む連星系がその多くを

担っていなければならないことになる。そこで観測された輝線強度から、必要とされる白色矮星連星系の空間密度を見積もった結果、白色矮星連星系で銀河面 X 線放射のすべてを説明するには、これまでに観測されている空間密度よりも 1 桁以上高い値が必要となることがわかった。また、もし点源集合説であるならば、非常に多くの微弱天体が担うことになるので、様々な場所で観測される X 線スペクトルは非常に似通ったものになると期待される。しかし、図 2 に示すように鉄輝線の強度比に違いが見られるということより、すべてを点源で説明することは難しいのではないかと考えている。一方、真に広がった高温プラズマガスからの放射であるならば、領域によってガスの温度が異なっているということを示しているのかもしれない。

このように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わかってきたが、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を用いて空間分布や輝線比の空間構造を系統的に調査することが重要であると考えている。今後観測を行っていく予定である。

③ 広帯域データによる X 線スペクトルの解析
盾座領域で得られた 0.5-10 keV のバンドのスペクトルを解析した結果、数千万度の温度のガスからの放射に加えて、800 万度程度の温度のガスからの放射が存在することを確認した。さらに 0.5 keV 以下のバンドにはこの 2 成分モデルでは説明できない X 線放射が残るようである。また、銀河中心領域では、すざく衛星に搭載されている HXD 検出器により、10 keV 以上で卓越する放射成分が存在することもわかった。広帯域スペクトルの解析を今後も進めていく予定である。

(2) 超新星残骸の研究

超新星残骸は銀河系内におけるエネルギー源であり、また、高温プラズマガスからの X 線放射が観測されていることから、銀河面 X 線放射との関わりが大きいと考えられる天体である。超新星爆発の後に残される超新星残骸は、これまで主に電波の波長域のサーベイ観測により発見され、200 を超える数超新星残骸がカタログされている。そのうち、X 線放射の詳細な観測が行われているものは半数にも満たない。また、電波観測では銀河円盤領域のバックグラウンド強度が強く、銀河系全体を見透して観測することができないため、多数の超新星残骸が未発見である可能性も高い。近年、超新星残骸から高エネルギー電子による非熱的放射が発見される等、超新星残骸の持つ新しい性質も明らかにされつつある。そこで、超新星残骸の観測デー

タの解析も行った。

① あすか衛星による銀河面サーベイ観測により検出した超新星残骸の解析

あすか衛星を用いて行った銀河面サーベイ観測では電波観測で発見されている約 30 の超新星残骸から X 線を検出した。そのうち、この観測で初めて X 線放射の検出に成功したものは 15 天体である。この中で、まだ詳細な解析の行われていなかった 5 天体 (G12.0-0.1, G346.6-0.2, G348.5+0.1, G345.7+0.3, G355.6-0.0) について解析を進め、その X 線放射の構造、X 線スペクトルの性質より、その X 線の放射メカニズムについて検討を行った。サーベイ観測のデータでは観測時間が短く、光子統計が十分ではないので、追観測等を行って、詳しく調べる必要がある。

② すざく衛星による G344.7-0.1 の観測

あすか衛星による銀河面サーベイで初めて X 線放射の存在を発見した超新星残骸 G344.7-0.1 に対して、すざく衛星を用いて行った観測データの解析を行った。「あすか」衛星による観測結果では、電離していない中性の鉄からの輝線の可能性も考えられたが、「すざく」衛星による輝線エネルギーの測定結果から中性の鉄ではなく、いくらか電離が進んだ鉄からの輝線であること、鉄は硅素、硫黄等の元素に比べて電離が進んでいないことがわかった。このことは超新星残骸中で作られた高エネルギー電子が星間ガス中の鉄元素と衝突して励起・電離し、輝線を放射するというプロセスでは説明できないことを示し、1000 万度程度の高温ガスに加えて、それよりも電離が進んでいない若いプラズマ成分が存在していることを示唆する。

(3) 銀河面上の個別天体の研究

① 盾座領域のトランジェント天体

すざく衛星を用いて銀河面 X 線放射の研究を目的として行った盾座方向の領域の観測中に、トランジェント天体を発見した。この天体の位置を求め、過去の観測結果と比較した。位置決定誤差内にチャンドラ衛星で発見した X 線天体が 4 つ存在することがわかった。また、時間変動、X 線スペクトルの解析を行い、フレア的な強度変動を示すこと、スペクトルには鉄イオンからの輝線が存在し、高温プラズマガスからの放射のモデルでよく説明できることを明らかにした。これらの特徴から、この天体が RS CVn タイプの連星系、生まれて間もない前主系列星、白色矮星を含む連星系のいずれかであると考えられる。

② 銀河中心領域のトランジェント天体

銀河中心領域は活動的な領域であり、また

多くの X 線天体が存在している。このような天体は、時折フレアを起こして明るくなることがある。ぎんが衛星は 1987 年に銀河中心領域を観測中、トランジェント天体を発見した。この観測データの再解析を行い、天体の位置を決定し直した。その結果、候補として考えられていた 2 つの位置を 1 つに絞り込むことに成功した。また、X 線スペクトルの特徴から、この天体が小質量星と中性子星との連星系である可能性が高いと結論した。

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 15 件)

- ① Tsuru, T., G., Nobukawa, M., Nakajima, H., Matsumoto, H., Koyama, K., Yamauchi, S., A New Supernova Remnant Candidate and an Associated Outflow in the Sagittarius C Region, Publications of the Astronomical Society of Japan, 61, S219-S223 (2009), 査読有り
- ② Yamauchi, S., Ebisawa, K., Tanaka, Y., Koyama, K., Matsumoto, H., Yamasaki, N. Y., Takahashi, H., Ezoe, Y., Iron Emission Lines on the Galactic Ridge Observed with Suzaku, Publications of the Astronomical Society of Japan, 61, S225-S232 (2009), 査読有り
- ③ Nakajima, H., Tsuru, T., G., Nobukawa, M., Matsumoto, H., Koyama, K., Murakami, H., Senda, A., Yamauchi, S., X-Ray Reflection Nebula with Large Equivalent Widths of the Neutral Iron $K\alpha$ Line in the Sagittarius C Region, Publications of the Astronomical Society of Japan, 61, S233-S240 (2009), 査読有り
- ④ Furuzawa, A., Ueno, D., Hayato, A., Ozawa, M., Tamagawa, T., Bamba, A., Hughes, J. P., Kunieda, H., Makishima, K., Holt, S. S., Hwang, U., Kinugasa, K., Petre, R., Tamura, K., Tsunemi, H., Yamauchi, S., Doppler-Broadened Iron X-Ray Lines from Tycho's Supernova Remnant, Astrophysical Journal, 693, L61-L65 (2009), 査読有り
- ⑤ Miura, J., Tsujimoto, M., Tsuboi, Y., Maeda, Y., Sugawara, Y., Koyama, K., Yamauchi, S., Suzaku Detection of an Intense X-Ray Flare from an A-Type Star, HD161084, Publications of the Astronomical Society of Japan, 60, S49-S56 (2008), 査読有り
- ⑥ Nobukawa, M., Tsuru, T. G., Takikawa, Y., Hyodo, Y., Inui, T., Nakajima, H., Matsumoto, H., Koyama, K., Murakami, H., Yamauchi, S., Suzaku Spectroscopy of an X-Ray Reflection Nebula and a New Supernova Remnant Candidate in the Sgr B1 region, Publications of the Astronomical Society of Japan, 60, S191-S199 (2008), 査読有り
- ⑦ Yuasa, T., Tamura, K., Nakazawa, K., Kokubun, M., Makishima, K., Bamba, A., Maeda, Y., Takahashi, T., Ebisawa, K., Senda, A., Hyodo, Y., Tsuru, T. G., Koyama, K., Yamauchi, S., Takahashi, H., Suzaku Detection of Extended/Diffuse Hard X-Ray Emission from the Galactic Center, Publications of the Astronomical Society of Japan, 60, S207-S221 (2008), 査読有り
- ⑧ Ebisawa, K., Yamauchi, S., Tanaka, Y., Koyama, K., Ezoe, Y., Bamba, A., Kokubun, M., Hyodo, Y., Tsujimoto, M., Takahashi, H., Spectral Study of the Galactic Ridge X-Ray Emission with Suzaku, Publications of the Astronomical Society of Japan, 60, S223-S229 (2008), 査読有り
- ⑨ Yamauchi, S., Ueno, M., Koyama, K., Bamba, A., X-Ray Emission from Supernova Remnants Observed in the ASCA Galactic Plane Survey, Publications of the Astronomical Society of Japan, 60, 1143-1150 (2008), 査読有り
- ⑩ Matsumoto, H., Ueno, M., Bamba, A., Hyodo, Y., Mori, H., Uchiyama, H., Tsuru, T. G., Koyama, K., Kataoka, J., Katagiri, H., Takahashi, T., Hiraga, J., Yamauchi, S., Hughes, J. P., Senda, A., Kokubun, M., Kohmura, T. P., F. S., Suzaku Observations of HESS J1616-508: Evidence for a Dark Particle Accelerator, Publications of the Astronomical Society of Japan, 59, S199-S208 (2007), 査読有り
- ⑪ Bamba, A., Koyama, K., Hiraga, J. S., Hughes, J. P., Kohmura, T., Kokubun, M., Maeda, Y., Matsumoto, H., Senda, A., Takahashi, T., Tsuboi, Y., Yamauchi, S., Yuasa, T., Discovery of a Possible X-Ray Counterpart to HESS J1804-216, Publications of the Astronomical Society of Japan, 59, S209-S214 (2007), 査読有り
- ⑫ Yamauchi, S., Ebisawa, K., Bamba, A., Ishida, M., Iwasawa, K., Tanaka, Y., Kokubun, M., Koyama, K., Takahashi, H., Tsuboi, Y., Discovery of a New X-Ray Transient Source in the Scutum Region with Suzaku, Publications of the Astronomical Society of Japan, 59, S215-S220 (2007), 査読有り
- ⑬ Koyama, K., Inui, T., Hyodo, Y., Matsumoto,

H., Tsuru, T. G., Maeda, Y., Murakami, H., Yamauchi, S., Kissel, S. E., Chan, K. W., Soong, Y., Discoveries of Diffuse Iron Line Sources from the Sgr B Region, Publications of the Astronomical Society of Japan, 59, S221-S227 (2007), 査読有り

- ⑭ Koyama, K., Hyodo, Y., Inui, T., Nakajima, H., Matsumoto, H., Tsuru, T. G., Takahashi, T., Maeda, Y., Yamasaki, N. Y., Murakami, H., Yamauchi, S., Tsuboi, Y., Senda, A., Kataoka, J., Takahashi, H., Holt, S. S., Brown, G. V., Iron and Nickel Line Diagnostics for the Galactic Center Diffuse Emission, Publications of the Astronomical Society of Japan, 59, S245-S255 (2007), 査読有り
- ⑮ Yamauchi, S., Nakagawa, Y., Sudoh, K., Kitamoto, S., A Bright Transient X-Ray Source Near the Galactic Center Found in Archival Ginga Data from 1987, Publications of the Astronomical Society of Japan, 59, 1141-1151 (2007), 査読有り

〔学会発表〕(計 5件)

- ① 山内茂雄、すざく衛星による超新星残骸G344.7-0.1の観測(II)、日本天文学会秋季年会2008年9月11-13日、岡山市・岡山理科大学
- ② 山内茂雄、植野優、すざく衛星による超新星残骸G344.7-0.1の観測、日本天文学会春季年会2008年3月24-27日、東京都渋谷区・国立オリンピック記念青少年総合センター
- ③ 山内茂雄、海老沢研、田中靖郎、小山勝二、すざくチーム、すざく衛星による銀河面X線放射の観測、日本天文学会春季年会2007年3月28-30日、平塚市・東海大学
- ④ 山内茂雄、中川善雄、須藤敬輔、北本俊二、「ぎんが」衛星データアーカイブスによる銀河中心方向に位置するトランジェント天体の発見、日本天文学会秋季年会2007年9月26-28日、岐阜市・岐阜大学
- ⑤ 山内茂雄、海老沢研、馬場彩、岩澤一司、田中靖郎、石田学、国分紀秀、小山勝二、高橋弘充、坪井陽子、すざくチーム、すざく衛星による銀河面領域観測時に発見されたトランジェント天体、日本天文学会秋季年会2006年9月19-21日、北九州市・九州国際大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山内 茂雄(YAMAUCHI SHIGEO)

岩手大学・人文社会科学部・准教授

研究者番号：60260410

(2) 研究分担者
なし

(3) 連携研究者
なし