

平成21年 5月25日現在

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2006-2008

課題番号：18204015

研究課題名(和文) 銀河中心活動と最高エネルギー粒子加速の解明

研究課題名(英文) Study for the Galactic Center Activity and Origin of the Highest Energy Cosmic Rays

研究代表者

小山勝二 (KOYAMA, Katsuji)

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号 10092206

研究成果の概要：銀河中心領域からの FeI, FeXXV, Fe XXVI の $K\alpha$ 線を分離し、その空間分布を正確にもとめた。その結果、銀河中心は 7000 万度のプラズマがほぼ 1×2 度の範囲を満たしていること、また FeI の $K\alpha$ 線は銀河中心にある巨大ブラックホールが約 300 年前に強い X 線を放射し、それが蛍光、反射した結果 (X 線反射星雲) であることを確認した。このような X 線反射星雲の候補をいくつも発見した。SCI 時の CTE 補正法、および、その補正パラメータの決定法を開発した。こうして全ての「すざく」XIS の観測は SCI を使うに至った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	8,300,000	2,490,000	10,790,000
2007 年度	7,700,000	2,310,000	10,010,000
2008 年度	6,600,000	1,980,000	8,580,000
年度			
年度			
総計	22,600,000	6,780,000	29,380,000

研究分野：数理系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：X 線 γ 線天文学

1. 研究開始当初の背景

(1) 多くの殻型超新星残骸 (SNR) からシンクロトロン X 線が発見され約 10^{15} eV までの宇宙線起源は系内 SNR (フェルミ加速) である可能性が強くなった。しかし宇宙の最高エネルギー ($>10^{20}$ eV) にはまだ遠い。一方銀河中心から多くの特異な活動性が報告されている。分子雲に付随した中性鉄輝線 (6.4 keV) の発見した (X 線反射星雲; Koyama et al. 1996)。さらに X 線の高階電離鉄輝線 (6.7 keV) の観測から、銀河系の中心を対称に、約 1 億度の高温プラズマが“パンケーキ状” (直径約 2.5 度=1000 光年、厚さ約 1 度=400 光年) に分布していることを明らかにした。また多くの SNR 候補天体も発見されてきた。

これら銀河中心の豊富な高エネルギー現象は近過去の連鎖的超新星爆発と銀河中心のフレアを物語る。しかし、これら極限現象を超高エネルギー粒子加速へと発展させる研究と実りは少なかった。その理由は、(a) X 線撮像分光観測が貧困だったため極限諸現象の物理的描像や相互関係が明らかにできなかった、(b) 銀河中心現象の観測と宇宙線起源の解明という天文学的課題と物理学的課題を統合する研究視点が欠けていたことによる。

(a) に関しては X 線反射星雲という新天体を用いて、銀河中心の活動の起源と歴史を解明する。さらに銀河中心の非熱的 X 線放射を熱的放射から分離観測し、それを定量的に決

定し、粒子加速機構と到達最高エネルギーを解明する。

(b) では、既に銀河中心の高エネルギー諸現象の発見(天文学的課題)と SNR での宇宙線加速の実証(物理学的課題)の両面でブレークスルー的成果をあげてきた。一見何の関係もない2研究課題を宇宙最高エネルギー粒子線加速という視点で統合できる。

予想される成果は銀河中心を「実験室(雛形)」として宇宙最高エネルギー粒子の起源と加速機構の解明、即ち宇宙線研究における最重要課題への巨大なステップとなる。銀河中心の天文学的観測と SNR での宇宙線加速という物理学的研究とその成果は申請者によって開拓、強力に押し進められてきたもので、国際的評価も一線級である。事実、すぎく衛星では特別プロジェクトとして扱われる。

(2) 加えて、観測の質と信頼性を向上させるため、実験室で検出器の評価と検証を観測解析と有機的に結合して進め、天文学と物理学の研究手法を融合させる。軌道上での放射線損傷により CCD 素子の電荷転送効率(CTE)が低下するにつれて、これらの性能は劣化していく。CTE の低下を食い止めるため、「すぎく」XIS は Spaced-row Charge Injection (SCI) を世界で初めて軌道上で行っている。SCI とは観測中に CCD 撮像領域最上部のレジスタから一定間隔転送行毎に電荷を注入する機能である。CTE 低下の原因は、放射線損傷によるシリコン結晶の格子欠陥に転送中の電荷がトラップされるためである。SCI により前もって十分な電荷を人工的に流し、トラップを埋めることで CTE を回復する。SCI は「すぎく」以前には軌道上での動作の実証は行われておらず、SCI 時に必要な CTE 補正法・較正法も確立されていなかった。

2. 研究の目的

(1) 銀河中心拡散 X 線(GCDX)が真に低密度プラズマ起源とすると、内包する熱エネルギーは超新星(SN)が 100-1000 個で解放するエネルギーに相当する。この超高温プラズマは銀河系の重力では束縛しきれず、冷却時間よりも早い時間で系外に散逸してしまう。その時間スケールは 10 万年である。この時間内に前述の巨大なエネルギーを注入しなくてはならない。そのインパクトが大きすぎるがゆえに、GCDX は拡散成分ではなく、Point sources の集まりとする説もある。この謎(拡散成分か Point source 起源か)を明らかにする。

(2) 中性の鉄(FeI)からの $K\alpha$ 線の起源が外部 X 線か粒子線照射かを明らかにする。

(3) 銀河系中心分子雲帯(CMZ)の3次元構造を決定する。その結果を元に、銀河中心ブラックホールと周辺の相互作用による活動性の定量的研究を行う。

(4) 上記観測の精度を保障するため XIS 検出器の SCI 機能を動作させ、軌道上での動作の実証を行う。SCI 時に必要な CTE 補正法・較正法も確立し、解析プロセスに組み入れる。

3. 研究の方法

(1) X 線衛星「すぎく」を用いて GCDX 中のヘリウム状と水素状の鉄(FeXXV, FeXXVI)から $K\alpha$ 線、6.7 keV と 6.97 keV 輝線、を分離しその強度比と空間分布が点源のそれらと一致するか否かを検定する。強度比からまた GCDX のプラズマ温度を決定し、空間分布から総エネルギーを決める。

(2) 中性の鉄(FeI)の $K\alpha$ 線も分離観測し、そのスペクトルから、起源が外部 X 線か電子かを明らかにする。同時に非熱的成分も分離する。

(3) 銀河中心領域での中性の鉄(FeI)からの $K\alpha$ 線のクランプからのスペクトルと(1)のプラズマからの X 線の相関から銀河系中心分子雲帯(CMZ)の3次元構造を決定し、照射源が銀河中心ブラックホールか否かを同定する。3次元分布上の等強度放物面から、銀河中心ブラックホールの過去の活動の歴史を解明する。

(4) 定期的な校正 X 線天体の観測を実行し、XIS に内蔵した校正線源の結果を用いて、SCI による CTE 補正パラメータとその時間変化をモニターする。

4. 研究成果

(1) 6.7 keV と 6.9 keV のライン強度比から、超高温プラズマの温度は 7000 万度の大規模な超高温プラズマであることが結論された。

6.7 keV line の銀経方向の強度分布は図1のようになった。一方銀緯方向の強度分布は図2のようになる。星の分布とは明らかに異なるので、多数の点源(星)の集まりではない。真に希薄なプラズマからの放射である。

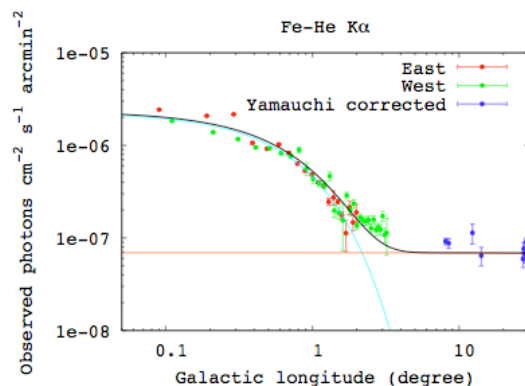


図1: 銀河面にそって銀経方向の 6.7 keV line 強度分布。半径約1度まで広がっている。

図1と2から、その分布は 2×1 度ほどで

あり、熱エネルギーは 10^{53-54} erg であることを確認した。

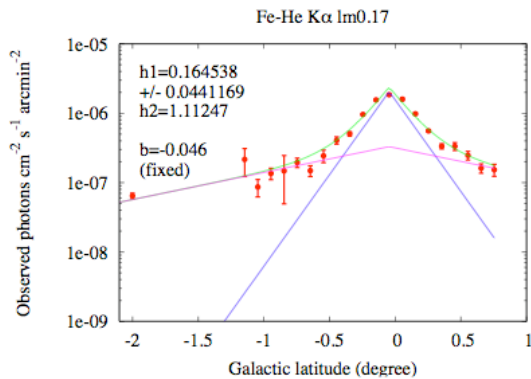


図2：銀河面垂直方向の 6.7 keV line 強度分布。半径約 0.5 度まで広がっている。

高電離元素の特性 X 線の銀河中心付近の分布を初めて明らかにした。多くの超新星残骸は大量の重元素を含むので、これは予想もなかった若い超新星残骸 (G0.61+0.01) の発見や確認につながった。SXV の $K\alpha$ 線 (2.45 keV) の探査では SNR 候補がいくつも見つかった。とくに重要な新発見は巨大なループ構造の発見である。銀河中心付近にスーパーバブルが存在していることを確認した初めての成果である。

(2) 6.4 keV 輝線放出に関しては、背景となる連続 X 線がトムソン散乱 (X 線照射) か制動放射 (電子線照射) によって強度が異なるので、等価幅に違いがでる。その値は 1-2 keV (X 線照射)、0.3-0.6 keV (電子照射) である。「すざく」が取得した Sgr B2 分子雲のスペクトルの等価幅は 1.1 keV となり、他の分子雲でも 1-2 keV ほどだった。X 線の内郭電離の最大断面は 7.1 keV edge にあり、 N_H 換算では 10^{24} H cm^{-2} になる。スペクトル解析の値と一致した。これらは X 線照射の説を支持する。

(3) X 線の全放射は、分子雲自身の成分と高温プラズマ成分に分けられる。高温プラズマ成分は分子雲より手前と背後の成分に分けられる。分子雲の背後にある高温プラズマ成分だけが吸収される。手前と背後の両成分の強度比が分子雲の奥行き位置になる (図 3 を参照)。

さらにこの描像を数式でモデル化し、0.5-10.0 keV の広バンド X 線スペクトルの解析を行った。これより、(a) 射手座 B の個々の分子雲からの放射と高温プラズマ放射を定量分離することに成功した。そして、(b) 射手座 B の分子雲は、銀河系中心より 50-250 光年の手前に分布し、銀径方向から 15-25 度傾く棒 (棒) の上で連続的に並んでいることが分かった (図 3)。このように、射手座 B 領域の分子雲群の 3 次元分布を世界初めて定量的に解明した。

この 3 次元分布の上で等放物面での強度は「あすか」(1994 年) と「すざく」(2005) にかけて約半分に減少したことを発見した。Sgr B2 のサイズは 10 光年以上ある。このような巨大な天体が 10 年間で強度変動するには光の速度で相互作用が伝わらねばならない。X 線照射でしかありえない。すなわち銀河中心ブラックホールは約 300 年前に X 線フレアをおこし、その後 10 年ほどのタイムスケールで X 線強度が減少したことが判明した。

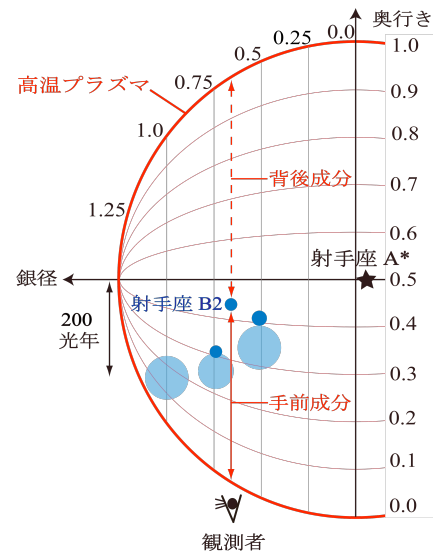


図3：銀河円盤の真上から見た射手座 B 領域の断面。高温プラズマ領域は大きな赤円で示す。各分子雲は小さい青円で示す。その濃淡は密度の高低を表す。下側の観測者からみて、分子雲の背後にある高温プラズマからの放射成分 (赤点線) のみが分子雲による吸収を受けることを利用して求めた分子雲 3 次元分布。

(4) SCI の軌道上動作試験を行い、劣化したエネルギー分解能を打ち上げ直後のレベルまでに改善させた。

SCI 時には CTE が電荷注入した行との間隔に依存し、特別な CTE の補正法が必要となることを軌道上データから明らかにした。そして SCI 時の CTE 補正法、および、その補正パラメータの決定法を開発した。こうして全ての「すざく」XIS の観測は SCI を使うに至った。この補正法は全世界の「すざく」ユーザーが使用する地上データプロセスで使用されている。また、観測期間が 2 年以上にわたるデータを用いた研究において、SCI とこの補正法を使うことで、XIS の経年変化による系統誤差を最小限に抑えた質の高い解析を実現した。

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 19 件) (全て査読あり)

1. AdSpR, 43, 1045-1048, (2009)

- Nobukawa Masayoshi, Sawada Makoto, Matsumoto Hironori, Tsuru Takeshi Go, Koyama Katsuji
X-ray emission from the Sagittarius D region
2. PASJ, 61S, 255–262, (2009)
Koyama, K., Takikawa, Y., Hyodo, Y., Inui, T., Nobukawa, M., Matsumoto, H., Tsuru, T. G.
Spatial Distribution of the Galactic Center Diffuse X-Rays and the Spectra of the Brightest 6.4keV Clumps
3. PASJ, 61S, 241–253, (2009)
Inui, T., Koyama, K., Matsumoto, H., Tsuru, T. G.
Time Variability of the Neutral Iron Lines from the Sagittarius B2 Region and Its Implication of a Past Outburst of Sagittarius A
4. PASJ, 61S, 233–240, (2009)
Nakajima, H., Tsuru, T. G., Nobukawa, M., Matsumoto, H., Koyama, K., Murakami, H., Senda, A., Yamauchi, S.,
X-Ray Reflection Nebulae with Large Equivalent Widths of the Neutral Iron $K\alpha$ Line in the Sagittarius C Region
5. PASJ, 61S, 219–223, (2009)
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
6. PASJ, 61S, 209–218, (2009)
Sawada, M., Tsujimoto, M., Koyama, K., Law, C. J., Tsuru, T. G., Hyodo, Y.,
X-Ray Observations of the Sagittarius D HII Region toward the Galactic Center with Suzaku
7. PASJ, 61S, 9–15, (2009)
Uchiyama, H., Ozawa, M., Matsumoto, H., Tsuru, T. G., Koyama, K., Kimura, M., Uchida, H., Nakajima, H., Hayashida, K., Tsunemi, H., and 11 coauthors
New CTI Correction Method for Spaced-Row Charge Injection of the Suzaku X-Ray Imaging Spectrometer
8. PASJ, 61S, 1–7, (2009)
Ozawa, M., Uchiyama, H., Matsumoto, H., Nakajima, H., Koyama, K., Tsuru, T. G., Uchino, M., Uchida, H., Hayashida, K., Tsunemi, H., and 12 coauthors
Energy-Scale Calibration of the Suzaku X-Ray Imaging Spectrometer Using the Checker Flag Charge-Injection Technique in Orbit
9. PASJ, 60S, 207–221, (2008)
Yuasa, T., Tamura, K., Nakazawa, K., Kokubun, M., Makishima, K., Bamba, A., Maeda, Y., Takahashi, T., Ebisawa, K., Senda, A., and 5 coauthors
Suzaku Detection of Extended/Diffuse Hard X-Ray Emission from the Galactic Center
10. PASJ, 60S, 201–205, (2008)
Koyama, K., Inui, T., Matsumoto, H., Tsuru, T. G.,
A Time-VARIABLE X-Ray Echo: Indications of a Past Flare of the Galactic-Center Black Hole
11. PASJ, 60S, 191–199, (2008)
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 SgrB1 Region
12. PASJ, 60S, 183–190, (2008)
Mori, H., Tsuru, T. G., Hyodo, Y., Koyama, K., Senda, A.,
Suzaku Observation of G359, 79–0, 26, a New Supernova Remnant Candidate in the Galactic Center
13. PASJ, 60S, 1–9, (2008)
Nakajima, H., Yamaguchi, H., Matsumoto, H., Tsuru, T. G., Koyama, K., Tsunemi, H., Hayashida, K., Torii, K., Namiki, M., Katsuda, S., and 10 coauthors
Performance of the Charge-Injection Capability of Suzaku XIS
14. PASJ, 59S, 245–255, (2007)
Koyama, Katsuji, Hyodo, Yoshiaki, Inui, Tatsuya, Nakajima, Hiroshi, Matsumoto, Hironori, Tsuru, Takeshi Go, Takahashi, Tadayuki, Maeda, Yoshitomo, Yamazaki, Noriko Y., Murakami, Hiroshi, and 7 coauthors
Iron and Nickel Line Diagnostics for the Galactic Center Diffuse Emission
15. PASJ, 59S, 237–243, (2007)
Koyama, Katsuji, Uchiyama, Hideki, Hyodo, Yoshiaki, Matsumoto, Hironori, Tsuru, Takeshi Go, Ozaki, Masanobu, Maeda, Yoshitomo, Murakami, Hiroshi
X-Ray Spectrum of Sagittarius A East
16. PASJ, 59S, 229–235, (2007)
Tsujimoto, Masahiro, Hyodo, Yoshiaki, Koyama, Katsuji
Suzaku Spectroscopic Study of Hard X-Ray Emission in the Arches Cluster
17. PASJ, 59S, 221–227, (2007)
Koyama, Katsuji, Inui, Tatsuya, Hyodo, Yoshiaki, Matsumoto, Hironori, Tsuru, Takeshi Go, Maeda, Yoshitomo, Murakami, Hiroshi, Yamauchi, Shigeo, Kissel, Steven E., Chan, Kai-Wing, Soong, Yang

Discoveries of Diffuse Iron Line Sources from the Sgr B Region

18. PASJ, 59S, 23-33, (2007)

Koyama, Katsuji, Tsunemi, Hiroshi, Dotani, Tadayasu, Bautz, Mark W, Hayashida, Kiyoshi, Tsuru, Takeshi Go, Matsumoto, Hironori, Ogawara, Yoshiaki, Ricker, George R, Doty, John, and 36 coauthors
X-Ray Imaging Spectrometer (XIS) on Board Suzaku

19. PASJ, 59S, 1-7, (2007)

Mitsuda, Kazuhisa, Bautz, Mark, Inoue, Hajime, Kelley, Richard L, Koyama, Katsuji, Kunieda, Hideyo, Makishima, Kazuo, Ogawara, Yoshiaki, Petre, Robert, Takahashi, Tadayuki, and 133 coauthors
The X-Ray Observatory Suzaku

[学会発表] (計 23 件)

1. SPIE. 7011E, 65, (2008)

Ozawa, Midori, Uchiyama, Hideki, Nakajima, Hiroshi, Mori, Hideyuki, Matsumoto, Hironori, Tsuru, Takeshi Go, Koyama, Katsuji, Uchino, Masahiro, Hayashida, Kiyoshi, Tsunemi, Hiroshi, and 7 coauthors
Flight calibration of the Suzaku XIS using the charge injection technique

2. AIPC. 1016, 361 (2008) (Origin of Matter and Evolution of Galaxies - From the Dawn of Universe to the Formation of Solar System)

Koyama, Katsuji
Suzaku Results of SN 1006: Chemical Abundances of the ``youngest'' Galactic Type Ia Supernova Remnant

3. mng.conf, 156 (2008)
Hyodo, Yoshiaki, Koyama, Katsuji
Suzaku Observations of the Galactic Center: The Origin of Highly Ionized Iron Lines

4. cosp, .37. 2755 (2008)
Sawada, Makoto, Tsujimoto, Masahiro, Koyama, Katsuji
X-ray observation of the Sagittarius D HII region toward the Galactic Center with Suzaku

5. cosp, .37. 2243 (2008)
Nobukawa, Masayoshi, Koyama, Katsuji, Tsuru, Takeshi, Sawada, Makoto
X-ray emission from the Sagittarius D SNR region with Suzaku

6. SPIE. 6686E, 23 (2007)
Bautz, M. W., LaMarr, B. J., Miller, E. D., Kissel, S. E., Prigozhin, G. Y., Burke, B. E., Gregory, J. A., Uchiyama, H., Hyodo, Y., Yamaguchi, H., and 13 coauthors

Mitigating CCD radiation damage with charge injection: first flight results from Suzaku

7. SPIE. 6686E, 22 (2007)

Uchiyama, Hideki, Hyodo, Yoshiaki, Yamaguchi, Hiroya, Nakajima, Hiroshi, Mori, Hideyuki, Tsuru, Takeshi Go, Matsumoto, Hironori, Koyama, Katsuji, Torii, Ken'ichi, Katsuda, Satoru, and 10 coauthors
The onboard calibration for the spaced-row charge injection of the Suzaku XIS

8. SPIE. 6686E, 21 (2007)

Mori, Hideyuki, Tsuru, Takeshi Go, Matsumoto, Hironori, Uchiyama, Hideki, Ozawa, Midori, Takikawa, Yohjiro, Nobukawa, Masayoshi, Koyama, Katsuji, Torii, Ken'ichi, Tawa, Noriaki, and 3 coauthors
Ground bakeout experiment of the optical blocking filter (OBF) for the Suzaku XIS

9. AstHe. 100, 438 (2007)
Koyama, Katsuji
Suzaku Solved a Mystery of the Galactic Center X-rays

10. AAS, .210. 8610 (2007)
Miller, Eric D., Bautz, M. W., Hayashida, K., Torii, K., Tsunemi, H., Dotani, T., Tsuru, T., Matsumoto, H., Koyama, K., Suzaku Team
Tracking Contamination on the Suzaku X-Ray Imaging Spectrometer

11. PThPS. 169, 316 (2007)
Hayashida, K., Torii, K., Namiki, M., Anabuki, N., Katsuda, S., Tawa, N., Miyauchi, T., Hasuike, K., Nagai, M., Tsunemi, H., and 26 coauthors
Orbital Calibration of the XIS

12. PThPS. 169, 170 (2007)
Tsujimoto, M., Hyodo, Y., Koyama, K.
A Joint Suzaku and Chandra Spectroscopy Study of Hard X-Ray Emission from the Arches Cluster

13. PThPS. 169, 109 (2007)
Kokubun, M., Yuasa, T., Tamura, K., Makishima, K., Takahashi, T., Nakazawa, K., Yamasaki, N. Y., Murakami, H., Maeda, Y., Ebisawa, K., and 10 coauthors
Hard X-Ray Investigation of the Galactic Center Region with Suzaku

14. PThPS. 169, 103 (2007)
Koyama, K.
X-Ray Observations of the Galactic Center with Suzaku

15. XMM-Newton: The Next Decade Madrid, Spain (2007)

K. Koyama
Spectroscopic Study of the Galactic Center
X-rays with Suzaku
16. The Suzaku X-ray Universe, San Diego,
USA (2007)

K. Koyama
Spatial Distribution of the Galactic
Diffuse X-Rays and the Spectral/Timing
Study of the 6.4-keV Clumps
17. SPIE.6266E.121 (2006)

Yamaguchi, H., Nakajima, H., Koyama, K.,
Tsuru, T. G., Matsumoto, H., Tawa, N.,
Tsunemi, H., Hayashida, K., Torii, K.,
Namiki, M., and 5 coauthors

The background properties of Suzaku/XIS
18. SPIE.6266E.120 (2006)

Matsumoto, Hironori, Nakajima, Hiroshi,
Yamaguchi, Hiroya, Tsuru, Takeshi G.,
Koyama, Katsuji, Hayashida, Kiyoshi,
Torii, Ken'ichi, Namiki, Masaaki, Tsunemi,
Hiroshi, Murakami, Hiroshi, and 5
coauthors

Energy response of the x-ray imaging
spectrometer (XIS) on Suzaku
19. ESASP.604,949 (2006)

Yamaguchi, H., Nakajima, H., Koyama, K.,
Tsuru, T. G., Matsumoto, H., Tsunemi, H.,
Hayashida, K., Torii, K., Namiki, M.,
Katsuda, S., and 2 coauthors

The Ground Calibration of the Back-Side
Illuminated CCD camera of X-ray Imaging
Spectrometer (XIS) onboard Astro-E2
(Suzaku)

20. IAUS, 230, 379 (2006)

Koyama, Katsuji, Senda, Atsushi, Takagi,
Shin-Ichiro

X-ray perspective on young stellar
populations in objects with nuclear
activity - the case of our Galactic Center-
near the Galactic Center with Chandra

21. cosp., 36. 2811 (2006)

Senda, A., Koyama, K., Murakami, H.,
Suzaku GC-Team

Suzaku observation of Radio Arc region
22. Galactic Center Workshop (2006)
"From the Center of the Milky Way to Nearby
Low-Luminosity Galactic Nuclei", (2006)

Koyama, K.

New X-ray views observed with Suzaku

23. International Symposium on "The
Extreme Universe in the Suzaku Era" (2006)

K. Koyama

The Galactic Center Observed with Suzaku

[図書] (計 4 件)

1. 天の川の真実 (共著 奥田治之、祖父江
義明) 誠文堂新光社 初版 2006

2. 量子の世界 (共著、川合光) 京都大学学
術出版会 2006

3. ブラックホールと高エネルギー現象 (編集
嶺重慎) 日本評論社 初版 2007

4. 高エネルギー天文学 (編集 高橋忠幸
他) 日本評論社 初版 2008

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他] Web による公開

報道関係

[http://www-cr.scphys.kyoto-u.ac.jp/memb
er/koyama/press.html](http://www-cr.scphys.kyoto-u.ac.jp/member/koyama/press.html)

講演、和文解説書など

[http://www-cr.scphys.kyoto-u.ac.jp/memb
er/koyama/koen.html](http://www-cr.scphys.kyoto-u.ac.jp/member/koyama/koen.html)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小山 勝二 (Koyama Katsuji)

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号: 10092206

(2) 研究分担者

鶴 剛 (Tsuru Takeshi)

京都大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号: 10243007

松本 浩典 (Matsumoto Hironori)

京都大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号: 90311365

(3) 連携研究者