

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23340075

研究課題名(和文) 突発X線・ガンマ天体の検出に特化した新しい光学系の開発

研究課題名(英文) The Development of a New X-Ray Optical System Optimized for X-Ray/Gamma-Ray Transients

研究代表者

小谷 太郎 (Kotani, Taro)

早稲田大学・重点領域研究機構・招聘研究員

研究者番号：80291920

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,800,000円、(間接経費) 3,540,000円

研究成果の概要(和文)：ホール・マスクとX線CCDカメラを用いる、突発X線天体検出に特化した広視野カメラのプロトタイプを製作し、銅箔マスクについて性能評価実験を行なった。厚さ25 μm の銅箔にピコ秒レーザーなどを用いて最小35 μm のホール・パターンを加工し、銅箔マスクを製作した。プロトタイプ・カメラを真空チェンバー内に設置し、X線を照射し、性能評価実験を行なった。撮像データをFITS形式で取得するシステムを構築し、ホール像を再現した。また実体顕微鏡システムを用いる、マスクの検査とアライメントのための設備を設置した。成果を国内学会・国際学会で発表し、科学成果を広く知らしめる一般向け科学解説書を執筆・発行した。

研究成果の概要(英文)：Prototypes of the wide-field X-ray imaging camera utilizing a hole mask and X-ray CCD camera have been developed and tested. The hole mask consists of a Cu foil with a hole pattern with a minimum pixel size of 35 micrometer processed with a picosecond laser. The prototypes are put in a vacuum chamber and illuminated with X-rays from radio isotopes. The FITS format are used to store image data. The results are published in popular science books as well as in conferences and meetings.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：粒子測定技術

1. 研究開始当初の背景

1997年2月28日、イタリアの衛星 BeppoSAX の広視野カメラがガンマ線バースト GRB970228 をとらえ、その位置を高精度で求めた (Costa et al. 1997, IAUC 6572)。この報を受け、さまざまな波長用の望遠鏡がその位置に向けられた。そこには未知の天体が発見されており、徐々に暗くなっていった。ガンマ線バーストがガンマ線放射の止んだ後も X 線や可視光で輝く現象「残光」の発見である。

この歴史的な成功により、

1. ガンマ線バーストはガンマ線放射の後もほかの波長で残光を示す (ことがある)
2. ガンマ線バーストの正確な位置が即座に通報されれば、その残光が検出できる
3. 残光を観測すると、距離、エネルギーなど、長らく謎だったガンマ線バーストの性質がわかることが実証された。

実際、その後 (BeppoSAX と) ガンマ線バースト速報衛星 HETE-2 によっていくつかのバーストが速報され、ガンマ線バースト研究は急速な進展をみせた。1997 年以前は銀河系内の現象か系外現象かすらわかっていなかったガンマ線バーストは、宇宙論的遠方における大規模な爆発現象だと判明した。そして大型の超新星 (極超新星) の相対論的衝撃波からの放射モデルは、ガンマ線バーストの性質をある程度説明することに成功している。

ガンマ線バーストについての知識が蓄積する一方で、いくつかの謎はむしろますます深まっている。極超新星は全てのガンマ線バーストを説明するのだろうか。我々の中性子星の理解が正しければ、遠方銀河ではある率で中性子星どうしの衝突が起きているはずであり、それはガンマ線バーストとして観測されるはずである。ショート・バーストと呼ばれる種類のガンマ線バーストは中性子星の衝突によるのだろうか。また、X 線フラッシュと呼ばれる X 線過剰なガンマ線バーストの正体はなんだろうか。残光のないバーストとあるバーストのちがいは何だろうか。

こうした問題の解明のためには、空の広い範囲を監視して突発天体現象を検出する大面積のカメラが必要である。現在主流の、符合化マスクを用いる光学系は、大量生産と大面積化が難しい。また、イメージを復元するのに複雑な演算を要する。こうした欠点を克服する、新しい原理の光学系の開発が望まれる。

2. 研究の目的

本研究ではランダム・ホールとコリメータを組合わせた新しい光学系を開発する。天体からの X 線はピンホールを通して CCD 上に像を作り、これより天体の位置が得られる。有効面積を大きくするため複数のピンホー

ルを、周期性を避けてランダムにあける。光子統計を稼いで突発天体のスペクトラムや光度曲線を得るため、視野をコリメータで制限した CCD を併置し、有効面積を大きくする。視野内の定常 X 線源がバックグラウンド源となりうるが、これは突発天体発生前後のデータを発生中のデータから差し引くことによって除去できる。

この光学系は符合化マスクなどほかのマスク光学系と比較し、次のような特徴を持つ。

広視野: $1 \text{ sr} = 60^\circ \times 60^\circ$ 程度の広い視野の空を監視する。

大面積: コリメータ部に CCD を並べるだけで広い有効面積を確保できる。10 枚以上並べることで 100 cm^2 以上の有効面積が容易に得られる。

大量生産: 高精度のアライメントが必要なく、大量のカメラユニットを早く生産できる。

高速計算: イメージの復調が単純で、高速計算が可能。CCD の高速読み出しモードを利用すればさらに高速検出が期待できる。

符合化マスクと CCD を用いる突発天体カメラとしては HETE-2 の SXC がある。これは $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ 程度のマスクを精度 $10 \mu\text{m}$ 程度の高精度でアラインする必要がある。これには時間と労力が必要で、歩留まりがよくない。本研究の動機は、高精度のアライメントが必要ないデザインで大面積の CCD 広視野カメラを実現したい、というものである。

3. 研究の方法

ランダムホールと CCD を組み合わせた広視野カメラを製作する。視野内の定常 X 線や変動 X 線源の影響を最小限にし、かつガンマ線バーストや突発 X 線現象への感度を最大にするにはどのようなデザインが最適か、最大の S/N を得るためには視野を何分割すべきか、決定する。モンテカルロ・シミュレーションの手法でランダムホールのパターンを選択する。

試作品が完成したら、可視光と X 線を用いて性能を評価する。

試作品と性能評価実験から、ランダムホールと CCD のパラメータを最適化し、最終的なマスク・パターンをデザインする。

4. 研究成果

ホール・マスクと X 線 CCD カメラを用いる、突発 X 線天体検出に特化した広視野カメラのプロトタイプを製作し、銅箔マスクについて性能評価実験を行なった。厚さ $25 \mu\text{m}$ の銅箔にピコ秒レーザなどを用いて最小 $35 \mu\text{m}$ のホール・パターンを加工し、銅箔マスクを製作した。加工はコバヤシ精密工業と協力して行

なった。真空チェンバー内に設置し、-40
まで CCD を冷却し、⁵⁵Fe 等の密封線源を真空
チェンバーのベリリウム窓の外、プロトタイ
プ・カメラの視野内に設置して、X 線を照射
し、性能評価実験を行なった。撮像データを
FITS 形式で取得するシステムを構築し、ホー
ル像を再現した。また実体顕微鏡システムを
用いる、マスクの検査とアライメントのため
の設備を設置した。

成果を国内学会・国際学会で発表し、科学
成果を広く知らしめる一般向け科学解説書
を執筆・発行した。現在稼働中の広視野 X 線
天体モニタ・ミッションである MAXI によっ
て観測した系内 X 線天体の論文を発表した。

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 4 件)

Morii, M., H. Tomida, M. Kimura, F. Suwa,
H. Negoro, M. Serino, J. A. Kennea, K. L.
Page, P. A. Curran, F. M. Walter, N. P. M.
Kuin, T. Pritchard, S. Nakahira, K. Hiroi,
R. Usui, N. Kawai, J. P. Osborne, T. Mihara,
M. Sugizaki, N. Gehrels, M. Kohama, T.
Kotani, M. Matsuoka, M. Nakajima, P. W. A.
Roming, T. Sakamoto, K. Sugimori, Y.
Tsuboi, H. Tsunemi, Y. Ueda, S. Ueno, & A.
Yoshida, Extraordinary Luminous Soft
X-Ray Transient MAXI J0158-744 as an
Ignition of a Nova on a Very Massive O-Ne
White Dwarf, *The Astrophysical Journal*,
779, 2013, 118-

Yamaoka, K., R. Allured, P. Kaaret, J.
Kennea, T. Kawaguchi, P. Gandhi, N.
Shaposhnikov, Y. Ueda, S. Nakahira, T.
Kotani, H. Negoro, I. Takahashi, A.
Yoshida, N. Kawai, & S. Sugita, Combined
Spectral and Timing Analysis of the Black
Hole Candidate MAXI J1659-152, Discovered
by MAXI and Swift, *Publications of the
Astronomical Society of Japan*, 64, 2012,
32-

Tsuboi, M., K. Kamegai, A. Miyazaki, K.
Nakanishi, & T. Kotani, Isolated
Millimeter Flares of Cyg X-3,
*Publications of the Astronomical Society
of Japan*, 64, 2012, 10-

Uzawa, A., Y. Tsuboi, M. Morii, K. Yamazaki,
N. Kawai, M. Matsuoka, S. Nakahira, M.
Serino, T. Matsumura, T. Mihara, H. Tomida,
Y. Ueda, M. Sugizaki, S. Ueno, A. Daikyujii,
K. Ebisawa, S. Eguchi, K. Hiroi, M.
Ishikawa, N. Isobe, K. Kawasaki, M. Kimura,
H. Kitayama, M. Kohama, T. Kotani, Y. E.

Nakagawa, M. Nakajima, H. Negoro, H. Ozawa,
M. Shidatsu, T. Sootome, K. Sugimori, F.
Suwa, H. Tsunemi, R. Usui, T. Yamamoto, K.
Yamaoka, & A. Yoshida, A Large X-Ray
Flare from a Single Weak-Lined T Tauri Star
TWA-7 Detected with MAXI GSC,
*Publications of the Astronomical Society
of Japan*, 63, 2011, 713-

〔学会発表〕(計 3 件)

小谷太郎、坂本貴紀、吉田篤正、突発 X 線・
線天体検出用カメラの開発、日本天文学
会春季年会、2014 年

Taro Kotani, Takanori Sakamoto, Atsumasa
Yoshida, Kazutaka Yamaoka, Development
of a New GRB Camera with a Random-Hole
Imager, in *Supernovae and Gamma-Ray
Bursts 2013*, Kyoto, Japan, 2013

Taro Kotani, Atsumasa Yoshida, Takanori
Sakamoto, Development of a New GRB Camera
with a Random-Hole Imager, in *Explosive
Transients: Lighthouses of the Universe*,
Santorini, Greece, 2013

〔図書〕(計 8 件)

小谷太郎, 2014/05, 理系あるある (幻冬舎,
東京)

小谷太郎, 2013/10, 身のまわりの科学の法
則 (中経出版, 東京)

小谷太郎, KAERUKOVA, 2013/09, 科学の世界
のスケール感をつかむ: もしも地球がメロ
ンの大きさだったら (ベレ出版, 東京)

小谷太郎, 2013/03, 私立時計ヶ丘高校タイ
ムトラベル部 (中経出版, 東京)

小谷太郎, 2013/02, サイエンスジョーク 笑
えたあなたは理系脳 (亜紀書房, 東京)

小谷太郎, 2012/04, 物理学、まだこんなに
謎がある (ベレ出版, 東京)

小谷太郎, 2011/08, 科学者たちはなにを考
えてきたか (ベレ出版, 東京)

小谷太郎, 2011/08, 元素のスゴい話アブない話 (青春出版社, 東京)

〔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

小谷太郎 (KOTANI, Taro)
早稲田大学・重点領域研究機構・招聘研究
員
研究者番号：80292920

(2) 研究分担者

吉田篤正 (YOSHIDA, Atsumasa)
青山学院大学・理工学部・教授
研究者番号：80240274

(3) 連携研究者

山岡 和貴 (YAMAOKA, Kazutaka)
名古屋大学・理学系研究科・准教授
研究者番号：00365016

坂本貴紀 (SAKAMOTO, Takanori)
青山学院大学・理工学部・助教