

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 5月 31 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21540235

研究課題名（和文）硬 X 線偏光度検出器 PHENEX を用いたカニ星雲の偏光観測

研究課題名（英文）Polarization Observation for the Crab Nebula in use of hard X-ray polarimeter PHENEX

研究代表者

郡司 修一 (GUNJI SHUICHI)

山形大学・理学部・教授

研究者番号：70241685

研究成果の概要（和文）：硬 X 線領域で高い感度を持った偏光度検出器を開発し、北海道大樹町から 2009 年にその検出器を気球で打ち上げた。主たる目的は上空での検出器の安定動作を確認する事であり、さらにカニ星雲の観測を行い、その偏光情報を得る事であった。残念ながら当日は風の状態が悪く長期間の観測が不可能であり、気球の方向制御もうまく行えなかったために、カニ星雲の観測は行えなかったが、検出器が安定に動作することは確認できた。この実験により、開発してきた検出器を衛星に搭載する道が大きく開けてきた。

研究成果の概要（英文）：We have developed hard X-ray polarimeter with high sensitivity. In 2009, we have launched it with balloon from Taiki Station in Hokkaido. There are two aims for this experiment. The first one is to confirm the stable operation of the detector. The other one is to observe polarization of hard X-rays from the Crab Nebula. Unfortunately, the wind condition was bad and the attitude control did not work correctly. Therefore the observation for the Crab Nebula had not been carried out. However, we have accomplished the first aim. From this experiment, we can open the way to develop the polarimeter installed on a satellite.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	200,000	60,000	260,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

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、ガンマ線、偏光、検出器

1. 研究開始当初の背景

カニ星雲は高エネルギー天文学で最もよく研究されている天体である。そのエネルギースペクトルやパルサーの周期及び周期変動率が様々な波長領域ですでに測定されており、X線よりも低いエネルギー領域では、すでに詳細な画像データも得られている。し

かしながら、現在でも解明できていない問題が沢山存在する。その一つがカニ星雲の中心付近での磁場構造である。中心付近の磁場構造を詳細に解明できれば、パルサー風や粒子加速のメカニズムを詳細に研究する事が可能となる。中心付近を調べる場合には、透過力の強い X 線以上のエネルギーでの観測が必

須であり、さらに磁場構造を調べるには偏光観測が必要である。しかしながら X 線以上では、偏光検出感度の高い検出器が未だに開発できなかったため、中心付近の磁場構造の研究が遅れていた。

しかし 2008 年に、この磁場構造に対して非常に重要な実験的研究が発表された。それは INTEGRAL 衛星が Science 誌に投稿した論文である。この論文で INTEGRAL グループは、カニ星雲の偏光を 100keV 以上の γ 線領域で観測し、その偏光方向が 123 度、偏光度が 44% であると発表した。しかし、過去の X 線領域での偏光観測では、カニ星雲の偏光方向と偏光度は、152 度と 20% であることが知られている。この様な一見矛盾する結果が得られたことから、2008 年の 10 月に急速この問題に特化したワークショップが開かれることになった。この一見矛盾する現象の解釈として、現在以下の様な見方が一般的である。Chandra 衛星 (X 線望遠鏡) で取得されたカニ星雲の画像を見る限り、X 線の放射領域はおよそ数分角に広がっている。そして中心のパルサーを取り囲む様に何重ものリングが存在し、そのリングに対して垂直方向にパルサーからジェットが吹き出しているのが見える。X 線領域ではこのイメージ全体の偏光が観測されている事になる。つまりこの数分角の広がりをもった領域の平均的な偏光方向を観測している事になる。一方ガンマ線でカニ星雲が何分角に広がっているのかは現在不明であるが、電子が加速された領域のすぐ近くからしかガンマ線は放射されないと考えられる。なぜならば、シンクロトロン放射でガンマ線を放出する高エネルギーの電子は、ガンマ線を放射すると急速にエネルギーを失い、ガンマ線を放出できなくなるからである。もし電子が加速されている領域がパルサーに近い中心付近であるとすれば、 γ 線領域での偏光はパルサーに近い領域での偏光方向を反映している事になる。つまり X 線とガンマ線では放射領域が違うために、偏光方向が違っているという解釈が成り立つ。またパルサー近傍の領域では可視光領域での偏光観測が行われており、可視光での偏光方向とガンマ線の偏光方向が一致しているという事実もこの解釈が妥当である事をサポートしている。

しかし一方で、以前に取得されたカニ星雲の硬 X 線領域での画像データからは、パルサー近傍の中心付近よりも、パルサーを囲んでいるリング上の領域から強い放射が観測されていた (このデータは 30 年以上前に気球実験によって取得されたデータであり、その画素も非常に粗いため、細かい構造までは判別しにくい)。もしこのデータが正しいのであれば、ガンマ線もリング上の領域から放射されている可能性が強く、先ほどの解釈と矛盾

してしまう。以上のように全てのデータを矛盾無く説明する事ができない状態になっている。

X 線とガンマ線で偏光方向が違う事実をどのように理解すればよいのかを正確に調べるためには、2つのアプローチが存在する。一つは、イメージング可能なガンマ線偏光検出器や X 線偏光検出器で再度カニ星雲の偏光観測を行うことである。しかし、現在の技術を駆使しても、一分角程度の角度分解能を持ったガンマ線イメージング偏光検出器の開発は不可能である。そのため、この方法では完全な検証を行う事はできない。もう一つのアプローチは、X 線とガンマ線の間である硬 X 線領域でカニ星雲の偏光観測を行うことである。もし硬 X 線領域で、X 線とガンマ線の間中間的な偏光方向と偏光度が得られたならば、X 線、硬 X 線、ガンマ線とエネルギーが上がるに従って、放射領域が単純に狭くなるという解釈が妥当だと思われる。

以上の理由から、硬 X 線の偏光観測が物理的な鍵を握っていると考えた。そこで開発を行ってきた PHENEX と呼ばれる気球搭載用の硬 X 線偏光度検出器を用いて、カニ星雲の偏光を精度良く測定することを計画した。

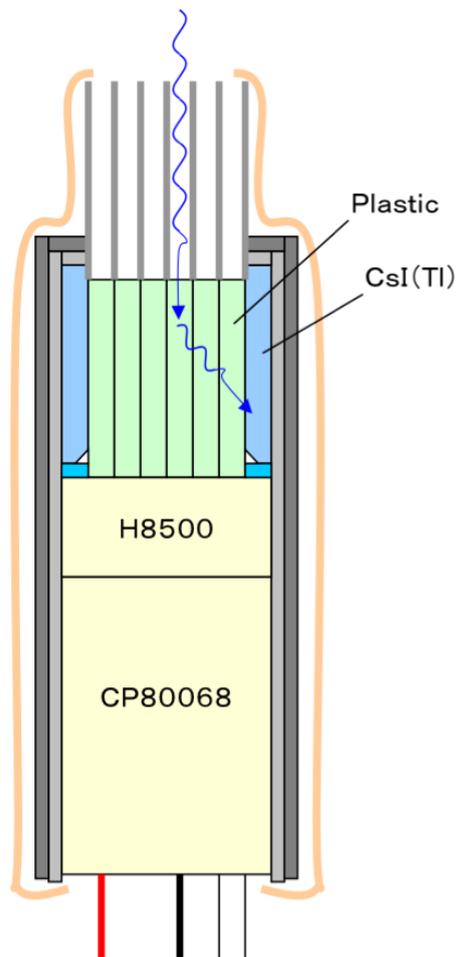
2. 研究の目的

本研究の目的は主に 2 つある。一つは我々が開発した硬 X 線偏光度検出器 PHENEX が上空で安定に動作するかを調べる事であり、もう一つが PHENEX を使ってカニ星雲の偏光観測を行うことである。まず前者に対してであるが、我々は 2006 年から硬 X 線偏光度検出器 PHENEX を開発しており、2006 年にはすでに岩手県三陸町から放球を行っている。この実験ですでに PHENEX の安定な動作が確認されている。しかし、2006 年の実験に比べ、今回の 2009 年の実験では検出器の有効面積が 2 倍に増えて、取得データ量も 2 倍になると予想された。そのため、データ収集系などで大きな改良を行っている。さらに、2006 年の実験を最後に三陸の気球放球場が閉鎖されて、北海道の大樹町に移動した。大樹町での放球は初めてであり、安定した放球が行えるのかという事も実験を遂行する上で大きな課題となっている。以上のように安定して実験を遂行できるのか、そして検出器が上空で安定に動作するの事を確かめる事がまず一番の研究の目的となった。最初の目的がクリアされた段階で、次の目的となるのが、カニ星雲の偏光観測である。以前の X 線領域での観測結果と INTEGRAL 衛星での観測結果を説明するためには、我々は硬 X 線領域で大きくとも 10 度程度の誤差で偏光方向を決定する必要がある。この程度の誤差で偏光を決定するためには、PHENEX 検出器で 6 時間程度の観測が最低

限必要である。もし6時間以上の観測が行えた場合には、データ解析を行い、硬 X 線領域での偏光方向を決定する予定であった。またこのデータからカニ星雲の磁場構造に関しての統一的な解釈を行う事を最終目的としていた。

3. 研究の方法

まず我々は PHENEX 検出器の改良を行うことから始めた。PHENEX 検出器はユニットカウンタと呼ばれる検出器を単位としており、このユニットカウンタを多数並べた構造を取っている。従って PHENEX 検出器の有効面積を増やしたい場合には、ユニットカウンタを単に増やせばよい。以下にユニットカウンタとユニットカウンタを組み上げた図を示す。



ユニットカウンタはセグメント化されたプラスチックシンチレーターの周りをセグメント化された CsI(Tl) シンチレーターが囲んだ構造を取っており、それらのシンチレーターからの光はマルチアノード光電子増倍管で読み出される。またマルチアノード光電子増倍管からの信号は CP80068 という専用の回

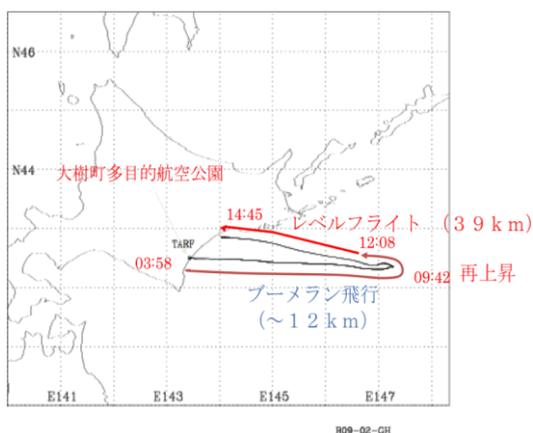


路で処理されて、パルスハイトがデジタル的に出力されるようになっている。また検出器の上には視野を限定するためのコリメーターが設置されており、側面は周りからのバックグラウンドを低減するために、パッシブシールドが配置されている。我々は2006年に製作したユニットカウンタを一度全て分解し、よりパッシブシールドを強化したユニットカウンタを8台作り、これを組み立てた。またカニ星雲からのフラックスを計測するためのフラックスモニター(モニタカウンタと呼ぶ)を取り付けて、上の写真の様な検出器を最終的に製作した。そして、以下の写真に示されている様な荷姿を作って、2009年6月13日に北海道大樹町から放球した。



以下の図は実験当日の気球の流れを示した図である。まず気球を高度12km程度の位置に安定させて、東に吹いている風に乗せて気球を東に流す。そしてパラソルを落とすことで気球を上昇させて、高度39km程度まで上昇させる。この時点から観測を開始するこ

とができる。そして、気球は西への戻り風によって西に流されることになる。しかし、残念ながら、この戻り風があまりにも速すぎたため、3時間も経たない間に陸地に近づいてしまった。日本では海上でのみ検出器を気球から切り離すことができないため、やむを得ない事であった。



4. 研究成果

以上の様に当初予定していた6時間の半分以下の観測しか行えなかったため、カニ星雲の有為な観測は行えなかった。しかし、今回開発した検出器が上空で正常に動作した事は、大きな成果であった。特に我々は本実験を足がかりとして、小型衛星を使った実験を計画している。この小型衛星には、PHENEX検出器と形が非常に似た検出器を搭載する予定であり、PHENEX検出器で培われた技術が応用されている。そのため、将来の衛星実験の大きなステップを踏み出すことが本研究により実現できた。

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 S.Gunji, N.Toukairin, Y.Tanaka, F.Tokanai, H.Sakurai, Y.Kishimoto, T.Mihara, K.Hayashida, N.Anabuki, H.Tsunemi, T.Narita, Y.Saito, S.Kishimoto
 “Basic Performance of a Polarimeter for Gamma-Ray Bursts Using Segmented Scintillators”, IEEE Trans. Nucl. Sci. Vol.58 pp426-433 (2011) 査読有り

[学会発表] (計 8件)

- ① 郡司修一、「硬 X 線偏光度検出器 PHENEX による 2009 年度実験の報告と今後の計画」、大気球シンポジウム、2009 年 10 月 2 日、宇宙科学研究所
- ② 岸本祐二、「硬 X 線偏光度検出器 PHENEX による 2009 年度気球実験」、日本物理学

会、2009 年 9 月 10 日、甲南大学

[図書] (計 1件)

- ① R.Bellazzini 他著、Cambridge 出版、“X-ray Polarimetry : A New Window in Astrophysics”,2010 年、pp350-354

[その他]

ホームページ等

<http://xpolar.kj.yamagata-u.ac.jp/research/polar.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

郡司 修一 (GUNJI SHUICHI)

山形大学・理学部・教授

研究者番号：70241685

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

三原 建弘 (MIHARA TATEHIRO)

理化学研究所・MAXI グループ・前任研究員

研究者番号：20260200

斎藤 芳隆 (SAITO YOSHITAKA)

JAXA・宇宙科学研究本部大気球観測系
 ・准教授

研究者番号：50300702

穴吹 直久 (ANABUKI NAOHISA)

大阪大学・理学研究科・特任研究員

研究者番号：70403102

林田 清 (HAYASHIDA KIYOSHI)

大阪大学・理学研究科・准教授

研究者番号：30222227

