

機関番号：15401

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009 ～ 2010

課題番号：21740186

研究課題名 (和文) 中性子に高感度な結晶シンチレータ検出器の宇宙利用へ向けた開発

研究課題名 (英文) Development of high-sensitive neutron detectors composed of solid scintillators for the space usage

研究代表者

高橋 弘充 (TAKAHASHI HIROMITSU)

広島大学・宇宙科学センター・特任助教

研究者番号：10536775

研究成果の概要 (和文) :

電荷を持たない中性子は効率的に検出・除去することが難しいため、硬X線・軟ガンマ線による宇宙観測においてはバックグラウンドとして寄与してくる。そこで本研究では、新規に開発された LiCaAlF₆ 結晶シンチレータを用いて、中性子のみを高感度に検出できる検出器の開発を行った。この検出器は、地上で中性子線源を用いた性能評価を成功裏に終えたのち、現在は2011年に放球予定の PoGOLite 気球実験に搭載されており、主検出器である硬X線検出器のバックグラウンドと相関を持つと考えられている大気中性子のフラックスをリアルタイムで計測する計画である。

研究成果の概要 (英文) :

Neutrons become background of hard X-ray / soft gamma-ray detectors observing celestial sources from the universe, since they are charge-less and relatively hard to be detected or rejected. In this research, we have developed a neutron detector consisting of the newly developed LiCaAlF₆ crystal scintillator, to detect only neutrons efficiently. The detector performance was verified at ground measurements, and it is now onboard the PoGOLite balloon experiment launched in 2011. The neutron detector measures the flux of atmospheric neutrons, which are thought to proportion to the background of the PoGOLite detector, in real time.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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：宇宙物理、宇宙線、中性子、シンチレータ結晶、地球大気

1. 研究開始当初の背景

本研究では、～10cmサイズの大型化が可能であり中性子を高確率で検出できる新規開発の無機シンチレータ結晶LiCaAlF₆を利用して、宇宙観測用の硬X線・軟ガンマ線検出器のバックグラウンドとなる中性子を効率よく検出す

ることで、検出器バックグラウンドをより高精度に推定することを目的としていた。

人工衛星や気球による中性子観測はそれ自体が、太陽での高エネルギー加速現象や宇宙線の起源、国際宇宙ステーションや航空機における人体への被曝量などを研究する上

で、ひじょうに重要である。加えて我々が携わってきた最新の宇宙硬X線・軟ガンマ線観測（稼働中の「すざく」衛星や次世代のASTRO-H衛星、気球実験PoGOLiteなど）では、荷電粒子や視野外からのガンマ線を徹底的に除去した低バックグラウンド環境が実現できるようになった結果、これまでは影響を無視してきた中性子が検出器の主要なバックグラウンド源となり、測定したい光子イベントから中性子イベントをいかに除去するかが最新の宇宙硬X線・軟ガンマ線検出器の感度向上の鍵を握るようになってきた。

こうした状況にも関わらず、硬X線・軟ガンマ線の観測と同時に、リアルタイムで中性子の観測が行われた例はこれまでにほとんどなかった。またこの研究の開始当初に宇宙用として動作実績のあった中性子検出器は気体か液体であり、真空や極低温となる宇宙環境では厳しい利用制限が課せられていた。

2. 研究の目的

上記のような状況下で本研究では、中性子のみを感度良く検出する固体の検出器の開発し、その検出器を硬X線偏光観測実験PoGOLite気球へ搭載し、その性能を実証することを目指した。

PoGOLite検出器では、主検出部が中性子との散乱断面積が大きいこと、中性子をシールドしないと硬X線の検出感度が1桁も悪くなってしまうと予想されており、中性子を止めるために15cm厚（総重量～200kg）もの大量のポリエチレンをパッシブな遮蔽材として周囲に配置する。しかし、これだけの厚みでも中性子は完全に除去し切ることができないことから、全検出器バックグラウンドのうち中性子に起因した成分が9割も占める主要成分と予想されている。そこで本研究で搭載する中性子検出器により、大気中性子のフラックスをリアルタイムに計測することができれば、それに比例すると考えられる検出器バックグラウンドをより精度よく再現できると考えられる。

今回開発した中性子検出器の材質には、共同研究先の東北大学多元物質科学研究所の吉川グループが最近になって開発に成功した新規材料である無機シンチレータ結晶 LiCaAlF_6 を用いることを考えた。 LiCaAlF_6 結晶はレーザー素子が元になっているため透明度がひじょうに高く、潮解性・へき解性もないことから、～10cmの大型サイズを世界で初めて容易に作成することも可能であった。

3. 研究の方法

本研究では、2年度の間以下4項目の研究を行った。

(1) 吉川グループから借り受けられる数種類の LiCaAlF_6 シンチレータのサンプル（サイ

ズ mm^3 角）について、宇宙用の検出器として重要な光量や蛍光の減衰時定数の温度依存性などの基礎測定を行った。



本研究のために5cmサイズに育成された大型 LiCaAlF_6 シンチレータ。

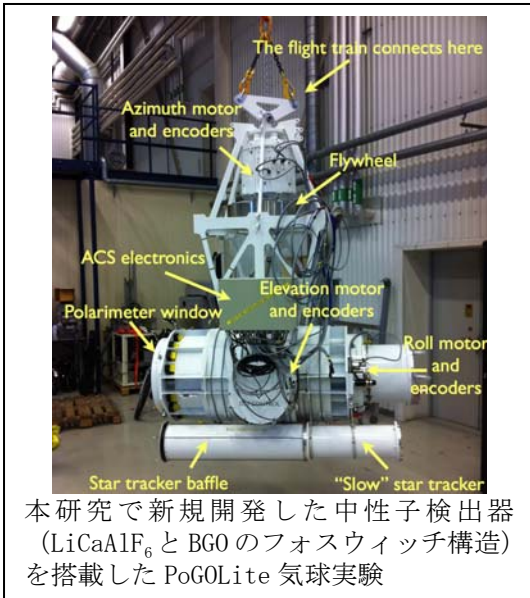
(2) 実際の検出器と同程度の数cm角の大型 LiCaAlF_6 シンチレータに対し、中性子への応答を実測した。硬X線・軟ガンマ線観測のバックグラウンドとなる中性子の反応過程は、熱中性子が原子核に捕獲された際に放射するガンマ線と、keV～GeVのエネルギーをもつ高速中性子による原子核の散乱の2種類である。 LiCaAlF_6 に含まれる ${}^6\text{Li}$ と熱中性子との反応断面積は約1000 barnもあり、この中性子捕獲反応(${}^6\text{Li}+n\rightarrow{}^3\text{H}+{}^4\text{He}$)では荷電粒子しか生成されないため、 LiCaAlF_6 結晶では熱中性子に起因するバックグラウンドをほぼ完全に除去できる。また熱中性子フラックスを計測することができる。

(3) 中性子を高感度で検出できる検出器を目指して、 LiCaAlF_6 とBGOの両シンチレータを光学的に接着し、1つの光検出器で読み出せるか（フォスウィッチ構造）を検討した。フォスウィッチ検出器は蛍光の減衰時定数の違いを利用するもので、実現すれば装置の信号線を少なくすることができ、スペースや電力の限られる宇宙用の検出器にはひじょうに有益となる。

原子番号の大きいBGOシンチレータは、ガンマ線・荷電粒子には、高い反応確率をもつが、中性子とはほとんど反応しない。そのためこのフォスウィッチ検出器は、 LiCaAlF_6 のみで反応した信号は中性子に起因したイベント、BGO（と同時に LiCaAlF_6 ）が反応した場合にはガンマ線か荷電粒子によるイベント、と判断することができ、荷電粒子・ガンマ線・中性子のどの粒子にも高い感度を持たせることができる。

(4) (1)～(3)で宇宙用の中性子検出器としての良好な結果を確かめた後、PoGOLite検出器に、今回開発した LiCaAlF_6 シンチレータを

BGO とのフォスウィッチ検出器として搭載した。フォスウィッチ構造は、PoGOLite 検出器の主検出部でもともと利用されていることから、この中性子検出器でも同じ読み出し回路を利用することができた。2011 年の PoGOLite 気球のテストフライトでは、大気中性子のフラックスを計測する。



本研究で新規開発した中性子検出器 (LiCaAlF₆ と BGO のフォスウィッチ構造) を搭載した PoGOLite 気球実験

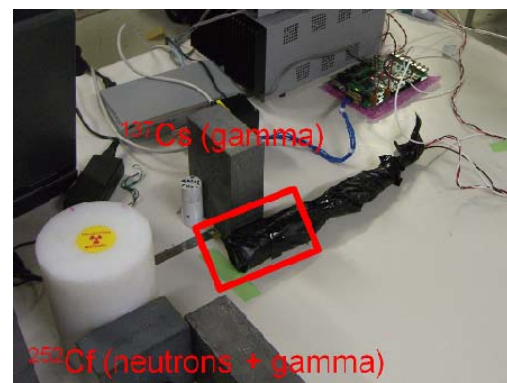
4. 研究成果

本研究では、当初予定していた内容のうち、(1)～(4)の前半（開発した中性子検出器を PoGOLite 気球に搭載する）までを成功裏に達成することができた。(4)の後半（大気中性子のフラックスを計測する）ができなかったのは、当初の予定では2010年8月に PoGOLite がスウェーデンから放球される予定であったものが、オーストラリアで起こったNASAの放球の失敗事故を受けて、放球システムの点検のため全世界的にフライトが1年延期されることになってしまったためである。(なおオーストラリアの事故の原因は、我々の PoGOLite 気球実験とはまったく関係がない。)

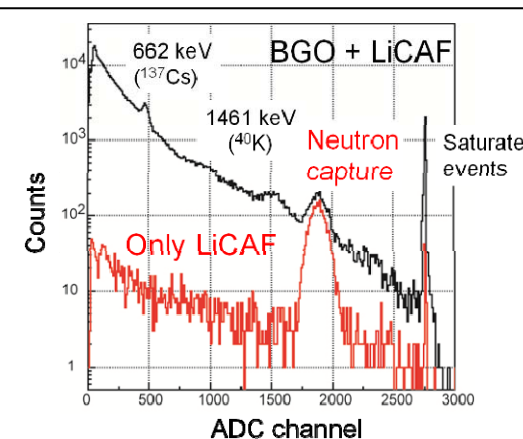
(1)で数種類のシンチレータの基礎測定を踏まえ、(2)として5cm大サイズのEuとCeをドープしたLiCaAlF₆結晶を育成した。(3)どちらの結晶もBGOとは蛍光時定数が大きく異なるため、BGOとのフォスウィッチ構造にすることが可能であることを明らかにすることができた。最終的には光量がより大きいことから LiCaAlF₆(Eu) + BGOのフォスウィッチ検出器を製作した。



開発した中性子検出器。地上で動作検証した後、PoGOLite 気球に搭載済み。



中性子照射実験。赤枠に上記の開発した中性子検出器が置かれている。



上記の地上実験で取得された中性子検出器のスペクトル。黒 (BGO が反応した信号) を除去し、赤 (LiCaAlF₆ のみが反応した信号) のみを選別することで、中性子イベントがピークとしてよりはっきり検出されることを実証できた。

(4)こうして本研究で新規開発した中性子検出器は PoGOLite 検出器に無事に搭載を済ませている。PoGOLite 気球が2011年の今度こそ無事に放球に成功すれば、主検出器である

硬X線偏光検出器と同時に中性子検出器が動作することで、主検出器のバックグラウンドとなる大気中性子フラックスをリアルタイムで計測することができる。このデータは、検出器バックグラウンド推定の精度向上に役立つため、PoGOLite チーム内で期待が寄せられている。また気球高度の上空40 kmにおいて、北極圏の中性子フラックスを詳細に計測したデータはこれまでほとんどなく、地球惑星の分野でも科学的な価値が高い。

本研究で開発したこの中性子検出器は、検出器自体も固体で扱いやすくかつ大型で高感度であることから世界的にも注目度が高く、IEEE国際会議において2年連続で口頭講演に選ばれている。

人工衛星や気球による中性子観測はいまだ未開拓な分野である。今後は検出器のさらなる大型化や新規材料の開発により、今回のような中性子計測をさらに高精度に行うとともに、主検出部にとってのシールド検出器として配置することで反応した中性子をバックグラウンドとして除去しより高感度な硬X線・軟ガンマ線検出器の開発を目指したい。

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106件、主要なもの5件)

1. M. Ackermann, …, H. Takahashi (170 番目 199 人中), … et al., “Detection of a Spectral Break in the Extra Hard Component of GRB 090926A” The Astrophysical Journal, Vol. 729, (2011), P 114-125 (査読あり)

2. A. Abdo, …, H. Takahashi (144 番目 168 人中), … et al., “Fermi Large Area Telescope Observation of a Gamma-ray Source at the Position of Eta Carinae” The Astrophysical Journal, Vol. 723, (2011), P 649-657 (査読あり)

3. H. Takahashi et al., “A Thermal-Neutron Detector with a Phoswich System of LiCaAlF₆ and BGO Crystal Scintillators onboard PoGOLite”, Nuclear Science Symposium Conference Record 2010 IEEE (2010), in press (査読なし)

4. H. Takahashi et al., “The Polarized Gamma-Ray Observer, PoGOLite” Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 8, No. ists27 (2010) Pm 1-Pm 5 (査読あり)

5. H. Takahashi et al., “Study on a Phoswich Detector Consisting of Li-Composed Crystal Scintillator and BGO for Neutron Measurement”, Nuclear Science Symposium Conference Record 2009 IEEE (2009), P 2105-2107 (査読なし)

[学会発表] (計13件、主要なもの5件)

1. 高橋弘充他、”硬X線偏光検出器 PoGOLite 気球実験”、宇宙科学シンポジウム、2011/1/5~7、JAXA/ISAS (相模原)

2. 高橋弘充他、”A Thermal-Neutron Detector with a Phoswich System of LiCaAlF₆ and BGO Crystal Scintillators Onboard PoGOLite”、2010 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference、2010/11/1、アメリカ

3. 高橋弘充他、”PoGOLite 気球実験のパスファインダーフライト (1): 大気中性子モニター”、日本物理学会 2010 年秋季年会、2010/9/11、九州工業大学

4. 高橋弘充他、”エータカリーナの位置に発見されたガンマ線天体のフェルミ衛星による解析”、日本天文学会 2009 年秋季年会、2009/9/15、山口大学

5. 高橋弘充他、”The Polarized Gamma-ray Observer, PoGOLite”、27th International Symposium on Space Technology and Science、2009/7/9、つくば

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

1. 名称: 放射線検出器

発明者: 高橋弘充他

権利者: 広島大学他

種類: 特許

番号: 特願 2010-164360

出願年月日: 平成 22 年 7 月 21 日

国内外の別: 国内

2. 名称: ホスウィッチ型熱中性子検出器

発明者: 高橋弘充他

権利者: 広島大学他

種類: 特許

番号: 特願 2010-164392

出願年月日: 平成 22 年 7 月 21 日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

[http://sc-smn.jst.go.jp/sciencenews/wmv
_meta/vM100003-012.asx](http://sc-smn.jst.go.jp/sciencenews/wmv_meta/vM100003-012.asx)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 弘充 (TAKAHASHI HIROMITSU)
広島大学・宇宙科学センター・特任助教
研究者番号：10536775

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし