

# 修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission:1/8/2018

専攻名 (専門分野) Department	物理学及 応用物理学専攻	氏名 Name	米山 昌樹	指導員 Advisor	片岡 淳 印 Seal
研究指導名 Research guidance	放射線応用物理学 研究	学籍番号 Student ID number	5317A075-1		
研究題目 Title	チェレンコフ光検出型 MeV ガンマ線偏光計の提案と実証				

## 1. はじめに

現在の X 線・ガンマ線天文学では、天体の空間構造を撮影する撮像、エネルギースペクトル特性を得る分光、放射強度の時間変動を探る測定の 3 つの確立された手法で解析され、様々な高エネルギー現象が解明されてきた。しかし、この 3 つの解析手法では、天体の放射機構に関する様々な縮退を解くことができない。そのため、電場の偏りを観測する偏光観測は、放射モデルを識別するための新たなプローブとして期待されている。可視光や電波等の天体観測では、偏光観測も含めた 4 つの解析手法で行われている。一方、X 線・ガンマ線では、ほとんど観測例が無く、特に MeV ガンマ線では皆無となっている。これは、検出器開発の難しさや観測時のバックグラウンドが大きい等の理由である。

本研究では、MeV 領域で支配的なコンプトン散乱に着目し、反跳電子が放出するチェレンコフ光の異方性検出を提案する。さらに、これを実証するためチェレンコフ光偏光計を開発し、実験による評価を行なった。

## 2. チェレンコフ光偏光計の開発

MeV 領域で支配的なコンプトン散乱で生じる散乱光子や反跳電子は、入射偏光ガンマ線の偏光ベクトルに対して、垂直に散乱・反跳しやすいという異方性をもつ(図 1)。したがって、それらの方位角分布を調べることで、入射ガンマ線の偏光方向を知ることが可能である。従来の偏光計では、コンプトン散乱光子を捉える研究・検出器開発が行われてきたが、本研究では反跳電子の方向依存性に着目した。コンプトン散乱によって生じた反跳電子は、物質中で光速を超えるとチェレンコフ光を発生させる。 $\cos \theta = 1/n \beta$  ( $n$ :物質の屈折率、 $\beta = v/c$ )の関係から、数 MeV の電子では進行方向に対して、チェレンコフ光が約  $40^\circ$  の方向に放射される。このチェレンコフ光は、コンプトン散乱の異方性に依存した電子により放出されるため、異方性が現れることが期待できる。そのため、チェレンコフ光の異方性を測定することで偏光を検出することを目指した。

開発した偏光計について、図 2 にその構成を示す。一辺 2 cm、厚さ 1 cm の六角形ガラス(SiO<sub>2</sub>)の各側面に、6 mm 角 MPPC を接着した。ガラスの中でのコンプトン散乱で生じた反跳電子により、発生するチェレンコフ光は正面方向に検出されやすい。これにより、偏光強度と偏光方向を測定することができる。

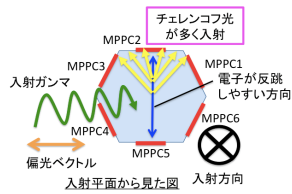
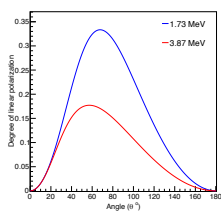


図 1. コンプトン散乱の偏光依存性 図 2. チェレンコフ光の異方性

## 3. 実験方法と結果

チェレンコフ光偏光計に準単色偏光ガンマ線を照射し、偏光計の評価を行なった。兵庫県立大学 ニュースパル放射光施設の BL01 において、1.73 MeV と 3.87 MeV の直線偏光ガンマ線を照射し、入射ガンマ線の偏光方向は固定したまま、 $30^\circ$  ずつ偏光計を回転させて、データを取得した。

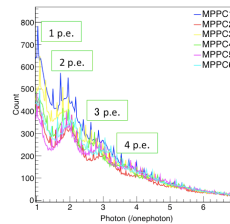


図 3. 円偏光ガンマ線照射時に得られたスペクトル

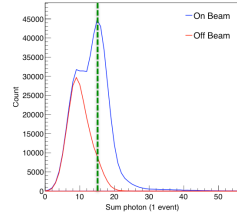


図 4. 重心演算の閾値

図 3 に示されるように、偏光ガンマ線照射時の各 MPPC のスペクトルを偏光計で取得した。図 4 では、6 つの MPPC の合計光量についてビーム照射時、非照射時に得られたスペクトルを示している。図 4 において閾値(緑の点線)を設定することで、チェレンコフ光のイベントのみを切り出して、6 つの MPPC でそれぞれ検出したチェレンコフ光子数を重心演算することにより、偏光強度と偏光方向について解析を行なった。円偏光照射時のデータを偏光計自身のモジュレーションとし、 $30^\circ$  ずつ回転させて取得した直線偏光ガンマ線照射時の測定データの重心演算に対する補正に用いた。

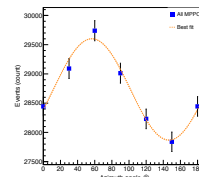


図 5. 1.73 MeV 偏光ガンマ線によるモジュレーションカーブ

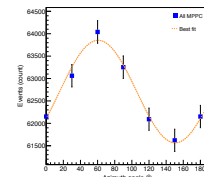


図 6. 3.87 MeV 偏光ガンマ線によるモジュレーションカーブ

解析結果をプロットしたものを図 5 と図 6 に示す。入射ガンマ線の偏光方向に依存したチェレンコフ光の異方性を検出することに成功した。図 5 と図 6 のモジュレーションカーブから、モジュレーションファクターを計算すると、1.73 MeV で約  $3.0 \pm 0.2\%$  (有意度  $15\sigma$ )、3.87 MeV で約  $1.8 \pm 0.2\%$  (有意度  $9\sigma$ ) となった。この結果は、Geant4 でのシミュレーションと不定性の範囲内で一致している。また、それぞれのエネルギーで正しい偏光方向を正確に決定できることが示された。

## 4. まとめ

直線偏光ガンマ線照射による評価実験から、1.73 MeV と 3.87 MeV の偏光ガンマ線の偏光検出に成功した。また、偏光方向についても正しく測定ができている。これにより、今までは困難とされていた MeV ガンマ線での偏光観測において、新たに開発したチェレンコフ光偏光計を使用できる可能性を見出した。

今後はより感度良く偏光を検出できるように、偏光計のさらなる改良を進めていく。また、今回のチェレンコフ光偏光計の利点である小型・軽量化の観点からも、最適化を進めていくことが求められる。

### 【研究業績】

- (1) [論文] M. Yoneyama et al., JINST 13 (2018) P02023.
- (2) [講演] 米山 昌樹 他、「衛星搭載を目指した GAGG シンチレータの評価」応用物理学会春季年会 2017, 横浜
- (3) [講演] 米山 昌樹 他、「チェレンコフ光検出型偏光計の提案と実証」応用物理学会春季年会 2019, 大岡山