

論文審査の結果の要旨

氏名 内 田 悠 介

本論文は 9 章からなる。第 1 章は序論であり、本論文の動機と構成を示している。第 2 章では本論文の背景である天体における偏光放射と、X 線またはガンマ線偏光の観測技術について概観している。第 3 章では本論文の主題であるコンプトンカメラの測定原理を示し、さらに本論文で使用した Si/CdTe 半導体コンプトンカメラのデザインについて述べている。第 4 章では上記半導体コンプトンカメラからなり、X 線天文衛星「ひとみ」に搭載された軟ガンマ線検出器 (Soft Gamma-ray Detector: SGD) について詳細を述べている。第 5 章では地上および「ひとみ」打ち上げ後の SGD の較正について方法と結果を示している。第 6 章では SGD の偏光計としての性能を調べるために行った放射光施設での実験について詳細を述べ、その結果を示している。第 7 章では SGD で観測した「かに」星雲のデータから軟ガンマ線放射の偏光度を検出し、第 8 章では「かに」星雲における X 線またはガンマ線偏光の解析的モデルを構築して観測された偏光度の解釈を試みている。最後に第 9 章で結論を述べている。

コンプトンカメラは入射したガンマ線を検出器内でコンプトン散乱し、散乱前後の飛跡を再構成することで検出する装置である。コンプトン散乱の確率が卓越する 1 MeV 近辺の天体観測で用いられるが、他の反応を用いる前後のエネルギー領域の観測装置と比べると、現状では観測感度が低い。この状況を飛躍的に改善することを目指したのが SGD であり、半導体検出器の高い位置分解能およびエネルギー分解能を利用して飛跡を正確に求め、高いバックグラウンド除去能を得るよう設計されている。コンプトン散乱の方位角は入射ガンマ線の偏向角に依存するため、SGD の高い飛跡分解能は同時に、ガンマ線偏光に感度を有することをも意味する。本論文は SGD の基本的な性能を地上および「ひとみ」の軌道上における各種較正で確認すると同時に、その高い偏光測定能力の実証を試みたものである。

論文提出者はまず「ひとみ」打ち上げ前の地上実験において、SGD の約 8 万

チャンネルにおよぶ半導体素子のエネルギー較正を行った。コンプトン再構成では検出器内で散乱あるいは吸収されたエネルギーを用いるため、その測定精度は装置全体の性能を決める重要な要素である。注意深い解析の結果、半導体素子のエネルギー測定精度が、目標としていた 2 % より高いレベルに達していることを確認した。また、得られた高い飛跡分解能とシールドの効果により、SGD がこれまでにない高いレベルのバックグラウンド除去能を有することも確認した。さらに論文提出者は SGD の偏光測定性能を調べるため、放射光施設 SPring-8 の 100 % 直線偏光ビームを利用した実験を行った。その結果、偏光測定性能を表すモジュレーションファクターが偏向角によらず高い値となっていることを得、SGD の偏光計としての性能を実証した。以上のように、論文提出者は SGD の性能を把握する地上実験において主要な貢献を果たしている。

論文提出者はさらに、「ひとみ」打ち上げ後に SGD の軌道上での較正を行った後、「かに」星雲の初期観測データから軟ガンマ線信号の偏光度の検出を試みた。「ひとみ」は初期観測の後に運用不可能となってしまったため、使用したデータは約 5000 秒という短いものであるが、注意深い解析により 60–600 keV のエネルギー帯域において 22.1 % という偏光度の検出に成功した。この値の信頼度は 99.3 % と必ずしも高いものではないが、観測時間が先行研究の約 1/20 以下であることを考慮すると、この結果は SGD が X 線またはガンマ線の偏光計として過去最高の性能を有していたということを示している。

「かに」星雲の偏光測定の結果を解釈するため、論文提出者は独自の解析的偏光モデルを構築した。本モデルでは新たに、「かに」星雲がトーラス状であること、磁場と流体速度の動径方向の変化、電子の冷却の効果等を考慮した。その結果は、これらを考慮していない先行研究の予測よりも偏光度の計算値が観測結果から乖離することになり、完全な解釈には至らなかった。しかしこのことは、本モデルで考慮されていない乱流の効果等を取り入れる必要があることを意味しており、今後の理論的研究に示唆を与えるものと評価できる。

以上本論文は、「ひとみ」搭載 SGD の精密較正に基づき、「かに」星雲の偏光

測定からその偏光計としての高い性能を実証したものであり、高エネルギー天体物理学において重要な貢献をもたらしている。

なお、本論文第 7 章の主要部分は、大橋隆哉他、Hitomi Collaboration との共同研究であるが、論文提出者が主体となって解析および検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

従って、博士（理学）の学位を授与できると認める。