

氏 名	おりとれいこ 折戸玲子
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2866 号
学位授与の日付	平成 17 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
学位論文題目	Development of an electron - tracking Compton telescope with a gaseous time projection chamber and a scintillation camera for application to MeV gamma-ray astrophysics (三次元荷電粒子飛跡検出型ガス検出器とシンチレーションカメラを用いた散乱電子飛跡検出型コンプトン望遠鏡の開発及び MeV ガンマ線天文学への応用)
論文調査委員	(主 査) 教 授 谷 森 達 教 授 小 山 勝 二 教 授 今 井 憲 一

論 文 内 容 の 要 旨

MeV ガンマ線天文学は宇宙初期銀河形成、天体内での元素合成・粒子加速を探る上で重要な役割を担っている。しかし、従来の MeV ガンマ線観測技術では画像能力が低く他波長帯と比較して感度が極端に低く、現在まで十分な観測が行われて来なかった。申請者は MeV ガンマ線の新しい高感度観測手法の確立を目的として、微細構造ガス検出器とシンチレーションカメラを用いた新型コンプトンカメラの開発に2000年より取り組んできた。従来のコンプトンカメラは反跳電子の方向を捉えることが出来ない為、ガンマ線の到来方向は1事象では円状に再構成することしか出来ず、雑音除去能力に乏しく感度が制限されていた。申請者の研究する検出器では、到来ガンマ線がコンプトン散乱で叩き出した電子を、微細構造検出器を用いた高精度ガスタイムロジェクションチェンバー (TPC) で捉え、さらに散乱されたガンマ線を TPC 外周に配置したシンチレーションカメラで捉えることにより、到来ガンマ線方向の完全な再構成を可能にする。これにより、従来まで不可能だった電子の方向を含むコンプトン散乱の全パラメーターを精度良く測定する事が出来、到来方向を再構成だけでなく、運動学的カットを用いての更なる雑音除去が可能になる。

申請者はシミュレーションにより、検出器の予想性能を見積もると同時に検出器構成を最適化し、従来の検出器より一桁以上高い感度で観測が可能であることを示した。申請者は原理実証の為、プロトタイプ製作を行った。400 μ m ピッチの電極構造を持つ 10cm 角の微細構造検出器マイクロピクセルチェンバーと、その前段に中間増幅器としてキャピラリープレート挿入することにより、容積 10 $\times$ 10 $\times$ 8cm³の高解像度 TPC を製作し、利得 3 万で二ヶ月以上の安定動作に成功した。また、TPC からの多チャンネル信号を処理するため、ASIC アンプと高速座標変換回路を用いた読み出しシステムを開発し、440 μ m という高位置分解能をもつ TPC を実現した。また、申請者はシンチレーションカメラの開発を中心的に行った。まず 10cm 角の NaI(Tl) シンチレータを25本の 18mm 径光電子増倍管 (PMT) で読み出すアンガーカメラを製作して 662keV ガンマ線に対して位置分解能 7.5mm、エネルギー分解能 7.2% という結果を得た。この結果とシミュレーションにより大型化の際のデザインを決定し、37cm 角の NaI(Tl) シンチレータを 59mm 径角型 PMT 36本を用いた大型アンガーカメラを製作して、位置分解能 11mm、エネルギー分解能 7.4% を得た。また 6mm 角 GSO ピクセルシンチレータとマルチアノード PMT を用いてコンパクトな高解像度シンチレーションカメラの製作を行い、エネルギー分解能 9.8%、位置分解能 6mm 以下を得た。以上の TPC とシンチレーションカメラを用いて、電子飛跡検出型コンプトンカメラの製作を行い、12度程度の角度分解能で到来ガンマ線のイベント毎イメージングに成功し、撮像能力についてまとめた。ガス TPC とシンチレーションカメラを用いたイベント毎のガンマ線再構成法を世界で初めて実証すると同時に、コンプトン散乱の反跳電子の方向を捉える手法により、従来の手法では不可能であった多くの雑音ガンマ線除去能力が得られ、宇宙観測において MeV ガンマ線高感度観測が可能であることを示した。

論文審査の結果の要旨

近年天文学のなかでも高エネルギー宇宙物理学が急速に発展し、X線からTeVガンマ線にいたる9桁以上の広いエネルギー領域の観測が行われている。そのなかでMeVガンマ線天文学は宇宙初期銀河形成、天体内での元素合成・粒子加速を調べる上で重要な役割を担っているが、従来のMeVガンマ線観測技術では画像能力が低く、より高エネルギーの領域と比べても感度が低く、現在まで十分な観測が行われて来なかった。申請者はMeVガンマ線の新しい高感度観測手法の確立を目的として、現行より1桁以上高感度観測が可能な新型コンプトンカメラを開発するという大命題に挑んでいる。従来のコンプトンカメラは反跳電子の方向を捉えることが出来ない為、1事象ではガンマ線の到来方向は円状にしか再構成出来ず、画像能力が低く、しかも雑音除去能力に乏しいため感度が制限されていた。申請者の研究する検出器では、到来ガンマ線がコンプトン散乱で叩き出した電子を、微細構造検出器を用いた高精度ガスタイムロジェクションチェンバー（TPC）で捉え、さらに散乱されたガンマ線をTPC外周に配置したシンチレーションカメラで捉えることにより、到来ガンマ線方向の完全な再構成を可能にする。これにより、従来まで不可能だった電子の方向を含むコンプトン散乱の全パラメーターを精度良く測定する事が出来、到来方向を再構成するだけでなく、運動学的カットを用いての更なる雑音除去が可能になる。

申請者はシミュレーションにより、検出器の予想性能を見積もると同時に検出器構成を最適化し、従来の検出器より一桁以上高い感度で観測が可能であることを示した。さらに原理実証の為に容積 $10\times 10\times 8\text{cm}^3$ の高解像度TPCによるコンプトンカメラを製作し、ガンマ線画像能力、雑音能力測定した。その過程でTPCの利得改良、特に読み出し回路の製作、シンチレーションカメラの開発を中心的行った。装置は小型であるが、微細構造ガス検出器、ASIC製作技術、新型ピクセルシンチレータの開発と最先端の放射線、IC技術を駆使し、この複雑な装置を、設定目標を満たすように開発を確実に遂行した。以上の成果からこの新型電子飛跡検出型コンプトンカメラは確実にコンプトン散乱を完全な形で再構成することを示し、350keV-1100keVのサブMeV領域で12度程度の角度分解能でガンマ線画像を得ること成功した。ガスTPCとシンチレーションカメラを用いたイベント毎のガンマ線再構成法を世界で初めて実証すると同時に、コンプトン散乱の反跳電子の方向を捉える手法により、従来の手法では不可能であった多くの雑音ガンマ線除去能力が得られ、宇宙観測においてMeVガンマ線高感度観測が可能であることを示した。

以上の理由から、本論文は博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認める。また、論文内容およびそれに関連した事項についての試問を行った結果、合格と認めた。