

【課程博士用】

学 位 審 査 報 告 書

(ふりがな) 氏 名	うえの かずき 上野 一樹
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学位授与の日付	平成 年 月 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 a Wide Band MeV Gamma-Ray Telescope Based on a Gaseous Time Projection Chamber and a Scintillation Camera (ガス電子飛跡検出器とシンチレーションカメラを用いた広領 域 MeV ガンマ線望遠鏡の開発)	
論 文 調 査 委 員	(主査) 谷 森 達 教授 中 家 剛 教授 鶴 剛 准教授

理 学 研 究 科

(続紙 1)

京都大学	博士（理学）	氏名	上野 一樹
論文題目	Development of a Wide Band MeV Gamma-Ray Telescope Based on a Gaseous Time Projection Chamber and a Scintillation Camera		
（論文内容の要旨） 未開拓領域である MeV ガンマ線天文学を推進するため、新たな手法を用いたガス飛跡検出器とシンチレーションカメラ（SC）から成る電子飛跡検出型ガンマ線望遠鏡を開発、その性能評価を行いまとめた。この論文は以下の 11 章からなる。 1. MeV gamma-ray astronomy：MeV ガンマ線の発生機構、これまでに行われた MeV ガンマ線観測の概観およびこの領域の天体現象について簡潔にまとめた。 2. Instruments for MeV gamma-ray astronomy：ガンマ線と物質の相互作用およびそれを利用した MeV ガンマ線の検出、イメージングの原理について簡潔にまとめた。 3. Future of a Compton and Pair tracking Telescope：MeV ガンマ線領域では、現存の望遠鏡では検出感度・角度分解能が他の波長領域と比べて 1 桁以上悪いものであった。この問題点を解決するにはガス飛跡検出型コンプトンカメラ（ETCC）が有効であり、それを用いた望遠鏡の開発と気球実験を進めており、それらについて簡潔にまとめた。また、望遠鏡の検出効率や角度分解能に関する考察およびモンテカルロシミュレーション（MC）を行った。 4. Telescope with Compton mode for a next balloon experiment：コンプトン散乱を用いたプロトタイプ望遠鏡は既に完成しており、一度気球実験が行われ、宇宙・大気拡散ガンマ線の観測に成功した。次期気球実験では個々の明るい天体の観測を目的としており、有効面積の拡大が必須であった。そこでプロトタイプの 20 倍のサイズの大規模化望遠鏡の開発を行い、ガンマ線源を用いたイメージングに成功し、性能評価を行った。 5. Low power consumption readout system for scintillation camera：有効面積の拡大に伴って、上空での実験では読み出し回路の省電力化が必須となる。そのため ASIC を用いた SC の読み出しシステムの開発、性能評価を行った。 6. Prototype telescope with pair creation mode：観測領域を MeV から数 10MeV 領域に拡大するために、この ETCC はコンプトン散乱と同じく高エネルギーガンマ線の電子陽電子対生成を高精度に測定できる可能性に着目し、その原理実証を行うべく改良を加えた ECC を基に陽電子対生成測定用実験器を開発し、その性能評価を行った。 7. Beam experiment：産業技術総合研究所にて逆コンプトンガンマ線ビームを用いた対生成事象取得の原理実証試験を行った。それについてまとめた。 8. Event reconstruction：対生成事象を判別するための新しい飛跡再構成アルゴリズムの構築を行い、MC によりその妥当性を確かめた。 9. Results：上記解析を実施し、ガス飛跡検出器を用いた世界で初めての 10MeV 領域ガンマ線イメージングに成功した。また、その性能評価を行い、角度分解能は調べ、10 MeV ガンマ線領域で世界最高値を得た。検出効率も含め、まだ改善の余地があり、MC と合わせ、改善方法および改善後の予想性能を示した。 10. Discussion：今回開発を行った望遠鏡の検出感度、角度分解能を最終目標値に達成させるための改善方法を提示し、それらの予想曲線を作成した。 11. Conclusion：コンプトン散乱を利用した望遠鏡に関しては大型化、イメージングに成功した。さらに要求を満たす省電力読み出し回路の開発にも成功した。また、対生成を利用した望遠鏡に関しては、ビームを用いた原理実証試験を行い、ガンマ線イメージングに成功し、将来の可能性を見出した。そして両方のモードを合わせた将来の観測に向けた改善点を提示し、この望遠鏡の可能性を示した。			

(論文審査の結果の要旨)

MeV ガンマ線天文学は他波長と比べ観測が極端に少なく、天文学では唯一に近い未開拓領域である。しかしこのエネルギー領域は重元素合成、ブラックホール、ガンマ線バーストなど最新の天文学の重要問題が多い領域であり、大きな飛躍が期待されながら、イメージング手法が未熟なためなかなか発展が困難であった。我々はガス飛跡検出器とシンチレーションカメラ (SC) から成る電子飛跡検出型ガンマ線望遠鏡を開発し、コンプトン散乱の電子飛跡方向を測定することで従来のコンプトン法では不可能であった到来方向のガンマ線方向の一意的決定、雑音除去などを可能にすることを示し、この MeV ガンマ線検出感度の改善の可能性を示してきた。申請者は、小型 ETCC を用いたプロトタイプ望遠鏡で行われた気球による宇宙・大気拡散ガンマ線の観測の成果を発展させ、次期気球実験では個々の明るい天体の観測を目的とし、有効面積を拡大した中型 ETCC の開発を行った。まずモンテカルロシミュレーション (MC) を開発し、この中型 ETCC の概念設計と予想される角度分解能、感度などの性能評価を行った。さらにその MC に基づきプロトタイプ器を開発し、実際に RI を用いたイメージング試験を行い、実際の性能評価を行い、改善点の指摘、改善方法について議論を進めた。特に気球で必要な読み出し回路の省電力化を計った。そのため ASIC を用いた SC の読み出しシステムの開発、性能評価を行った。

また申請者は ETC の観測領域を MeV から数 10MeV 領域に拡大するために、ETCC のコンプトン散乱と同じく高エネルギーガンマ線の電子陽電子対生成を高精度に測定できる可能性に着目した。その原理実証を行うために、実際に小型 ETCC を基に陽電子対生成 3 次元測定用実験器を開発し、産業技術総合研究所にある逆コンプトンガンマ線ビームを用いて、対生成事象の到来方向決定の原理実証試験を行った。この解析においても新しい飛跡再構成アルゴリズムを導入し、ガス飛跡検出器を用いた世界で初めての 10MeV 領域ガンマ線イメージングに成功し、10 MeV ガンマ線領域で世界最高値を得た。角度分解能決定や検出効率決定の物理的要因をシミュレーションを用いて解明し、改善方法および改善後の予想性能を示した。最後にこれらの観測結果に基づき、望遠鏡の検出感度、角度分解能を最終目標値に達成させるための改善方法を提示し、それらの予想曲線を作成した。

このように申請者は開拓がなかなか進まない MEV ガンマ線天体観測を一期に推進できる可能性のある ETCC の天体観測実証実験の実現性を示すことに成功し、現在、宇宙線研究室ではその設計に基づいた気球用 ETCC を製作し、2 年後の実験に向かっている。また最近、全く観測データが存在しない 10-100MeV 領域のガンマ線観測の必要性が注目されだしてきた。この ETCC のようなガスによる精密な陽電子・電子対測定が唯一の観測可能性であり、その先駆的な研究を先駆けて行った意義は大変大きい。このようにこの論文は天文学の最後の未開拓領域にチャレンジし、その観測可能性を飛躍させたものである。

このように本論文は博士 (理学) の学位論文として価値のあるものと認める。また平成 23 年 1 月 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果、合格と認めた。