

学 位 審 査 報 告 書

| | |
|---|-------------------------------------|
| （ふりがな） 氏 名 | むらせ こうた 村瀬 孔大 |
| 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 22 年 1 月 15 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 物理学第二分野 専攻 |
| （学位論文題目） High-Energy Phenomena in Extreme Astrophysical Objects and the Origin of High-Energy Cosmic Rays (極限天体における高エネルギー現象と高エネルギー宇宙線の起源) | |
| 論文調査委員 | （主査） 長瀧重博 准教授 柴田 大 教授 国広悌二 教授 |

(続紙 1)

| | | | |
|---|--|----|-------|
| 京都大学 | 博士 (理 学) | 氏名 | 村瀬 孔大 |
| 論文題目 | High-Energy Phenomena in Extreme Astrophysical Objects and the Origin of High-Energy Cosmic Rays | | |
| (論文内容の要旨) | | | |
| <p>宇宙には 10^{20}eV にも達するような巨大エネルギーを持つ粒子が存在していることが観測的に知られており、最高エネルギー宇宙線と呼ばれている。このように非常に大きなエネルギーを持つ粒子が、どこでどのように生成されているのかは未だ決定的な証拠がなく、最高エネルギー宇宙線の起源問題は現代の宇宙物理学において最も注目されている問題の一つとなっている。近年エアershowerを用いた世界最大の最高エネルギー宇宙線検出器、Augerによって、エアershowerの発達の様子から、最高エネルギー宇宙線の組成は主に陽子や鉄などの原子核であることが明らかになってきた。しかし、この観測結果は、最高エネルギー宇宙線起源の特定のためにはあまり嬉しくないものであると認識されている。何故なら、宇宙を満たしている磁場によって最高エネルギー宇宙線はローレンツ力を受けてしまい、最高エネルギー宇宙線は起源と地球の間を真っすぐには伝搬しないためである。これにより、たとえ最高エネルギー宇宙線の地球への入射角度を実験的に正確に求めても、その入射方向は一般に起源方向を示していないのである。宇宙に存在する磁場は、更に起源特定に対して困難を与える。それは上記ローレンツ力によって最高エネルギー宇宙線の走る距離は、地球と起源を結ぶ直線距離より長くなり、結果として長時間かけて地球に到達するためである。この効果のために、最高エネルギー宇宙線が巨大フレアを伴う現象（活動銀河核のフレアアップやガンマ線バーストなど）の中で生成されたとしたならば、そのフレア現象自体は起源と地球の間を真っすぐ進んでやってくる光子として検出されるために、そのフレア現象から大きく遅れて（一般にフレアがとっくに終わり、数千年程経過した後に）、最高エネルギー宇宙線が地球に到達することになる。これでは到底、そのフレア現象と最高エネルギー宇宙線の関連性を観測的に証明することは出来ない。</p> <p>ところで理論的には、宇宙最大規模爆発であるガンマ線バーストは、最高エネルギー宇宙線の起源天体として有力視されている。これはフェルミ加速理論を適用した時に、ガンマ線バーストでは最高エネルギー宇宙線が生成可能であることが示されること、及びガンマ線バーストが宇宙空間に供給するエネルギー注入量は最高エネルギー宇宙線のエネルギー密度を説明するのに十分であること、およびこれらの条件を満たす他の天体はあまりないことなどの根拠が挙げられている（活動銀河核、銀河団、強磁場中性子星などが他の候補として挙げられている）。ガンマ線バーストは秒スケールの爆発現象なので、もしガンマ線バーストが最高エネルギー宇宙線の起源天体であった場合には、上記説明により、たとえ最高エネルギー宇宙線を検出してその起源に対する強力な証明にはならないことになる。</p> | | | |

そこで村瀬孔大氏が着目した点は、最高エネルギー宇宙線がガンマ線バーストで生成された場合、その最高エネルギー宇宙線の一部はガンマ線バーストのガンマ線と相互作用し、超高エネルギーガンマ線を生成される点である。この超高エネルギーガンマ線は photo-pion 相互作用による中性パイオンの崩壊から生まれ、親粒子の約 10 パーセントのエネルギーを持っている。従ってこのガンマ線を地球で検出すれば、ガンマ線ではその 10 倍の宇宙線が生成されていたことを強く示唆することになる。また、この超高エネルギーガンマ線は中性粒子であるため、宇宙磁場によるローレンツ力を受けない。従って、この超高エネルギーガンマ線は、ガンマ線バーストと同時刻に、同方向で地球に入射してくることが期待される訳である。従って、地球上で同時刻、同方向からガンマ線バーストと超高エネルギーガンマ線を観測可能性がある訳である。このような観測が実際に行われれば、ガンマ線バーストがこの超高エネルギーガンマ線を、更にその親粒子である最高エネルギー宇宙線を生成したことが強力に示されることになる訳である。

超高エネルギーガンマ線の大きな特徴として、エネルギーが高くなればなる程、平均自由行程が長くなるという利点がある。これは宇宙マイクロ波背景放射との相互作用で電子陽電子を作るプロセスが、超高エネルギーガンマ線のエネルギーが高くなる程効かなくなることから理解される。特に 10^{20}eV 程度の超高エネルギーガンマ線になると、そのエネルギーロス距離は 100Mpc 程度にも長くなり、最高エネルギー宇宙線のエネルギーロス距離とほぼ同程度にまで長くなれるのである。よって、超高エネルギーガンマ線によって、最高エネルギー宇宙線起源天体を探る可能性は十分にあると言える。事実、村瀬孔大氏は、現在世界最大の最高エネルギー宇宙線検出器 Auger や、将来の最高エネルギー宇宙線検出器 JEM-EUSO で超高エネルギー宇宙線が検出される可能性があると評価した。

尚、村瀬孔大氏は論文の参考資料として、200 ページ近い資料を報告しており、その中では自身が関わった 20 数編の査読論文にも触れながら、この分野全体の現状が十分にレビューしている。特筆すべきは、超高エネルギーガンマ線のみならず、超高エネルギーニュートリノも photo-pion 相互作用によって生成され、光子と同様、ニュートリノも宇宙磁場からのローレンツ力を受けないために最高エネルギー宇宙線起源天体特定に強力なツールとなることを指摘している。村瀬孔大氏は世界の中でも最も定量的にガンマ線バーストからの超高エネルギーニュートリノのスペクトルを評価しており、世界で最も先端をいく高エネルギーニュートリノ検出器 AMANDA/IceCube でのテンプレートとして採用されている。

注)「論文内容の要旨」と「論文審査の結果の要旨」は、1 頁を 38 字×36 行で作成し、合わせて、3,000 字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 words で作成し、審査結果の要旨は日本語 500～2,000 字程度で作成すること。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

論文の内容自体は新規性があり、重要性も高い。この分野の研究としては世界的に見ても評価されるべき研究であったと言える。査読論文としては Physical Review Letters に掲載されている。形式 1 として審査したが、参考資料として 200 ページ近い資料を報告しており、その中では自身が関わった 20 数編の査読論文にも触れながら、この分野全体の現状が十分にレビューされていた。また参考資料を含め、論文の英語は良く書けている。

またこの論文内容と関連した口答試問を行った。そこでは上記レビューと、本論文についての説明が行われ、審査員との質疑応答が行われた。上記の通り、内容自体には見るべきものがあり、博士(理学)の学位論文としては十分に価値があるものと認められた。ただし、プレゼンテーションについては、要を得ておらず、分かりにくいという指摘が多く審査員からあった。この点については博士(理学)の学位論文としての価値を揺らがせるものではないが、村瀬孔大氏の今後の課題として残されている。

以上をまとめると、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 22 年 1 月 15 日論文内容とそれに関連した口答試問を行った。その結果合格と認めた。プレゼンテーションについては今後の課題として残されているが、それ自体はこの論文が博士(理学)の学位論文としての価値を揺らがせるものではない。

以上。

注 1) 「論文審査の結果の要旨」の結句には、学位論文の審査についての認定を明記すること。更に、試問の結果の要旨に(例えば「平成 年 月 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った。その結果合格と認めた。」)を付け加えること。

注 2) 「論文内容の要旨」及び「論文審査の結果の要旨」は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公開する。
特許申請、雑誌掲載等の関係により、学位授与後、Web での即日公開を希望しない場合は、以下に公開可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 22 年 1 月 15 日以降