

## 論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	土田 怜 (つちだ さとし)
○学位の種類	博士 (理学)
○授与番号	甲 第 1091 号
○授与年月日	2016 年 3 月 31 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	<b>Indirect signature of Kaluza-Klein dark matter</b> (カルツァ・クライン暗黒物質由来の間接的信号)
○審査委員	(主査) 森 正樹 (立命館大学理工学部教授) 菅原 祐二 (立命館大学理工学部教授) 藤田 裕 (大阪大学大学院准教授)

### <論文の内容の要旨>

本論文は 8 章からなり、第 1 章は研究内容の概説であり、第 2 章では宇宙の質量の大半を占めているとされる冷たい暗黒物質の残存量について概括し、第 3 章では暗黒物質の探索の現状について述べ、第 4 章では余剰次元理論について説明し、第 5 章では余剰次元理論から予言されるカルツァ・クライン粒子と呼ばれる暗黒物質候補が銀河ハローで対消滅した際に生じるガンマ線信号とその検出可能性について論じ、第 6 章では同様に生じる電子・陽電子信号について論じ、第 7 章ではガンマ線信号と電子・陽電子信号の関連について論じ、第 8 章で結論を述べている。

宇宙暗黒物質の正体の解明は現代の天体物理学における主要な課題の一つであり、様々な仮説が提案されているが、その検証のためには直接的・間接的な多くの実験的・観測的証拠を積み上げていく必要がある。本論文は、素粒子物理学を統一しようとする理論の一つである余剰次元理論を取り上げ、そこから予言されるカルツァ・クライン粒子が銀河ハローで対消滅した際に生じるガンマ線や電子・陽電子が、地球近傍でどのような特徴を持つ信号として観測されるかを理論的モデルに基づき予想することを主眼としている。これらの信号の検出には、高エネルギー天体現象で生じるバックグラウンド事象と識別する必要がある、本論文では統計理論を用いて具体的な方法を論じている。これまでの銀河中心からのガンマ線や電子・陽電子比の観測結果を用いて、理論や観測の不定性に由来するパラメータがどのように制限されているかを導き、さらに近い将来に観測でどのような発展が見られるかについても予測している。

#### <論文審査の結果の要旨>

本論文は、銀河ハローにおいて宇宙暗黒物質が対消滅した際に生じるガンマ線や電子・陽電子信号について、詳細な理論的計算を行い、さらにその観測可能性について具体的に論じていることを特徴としている。具体的な手法について述べると、対消滅から直接生成されるガンマ線や電子・陽電子だけでなく、これらが二次的に生成される過程も詳細に扱い、電子・陽電子の場合は銀河ハローから地球近傍への伝播過程も取り扱って、地球近傍の観測で期待される信号のエネルギースペクトルを、検出される際のエネルギー分解能も考慮して計算し、実験結果と直接比較できる形で算出している。これは同様の先行研究に比べても最も詳細なものであるといえる。また、これまでの観測結果から得られる理論のパラメータに対する制限を統計的な手法に基づき検討し、さらに将来の観測でこれらの制限がどう改善される見込みであるかも統計的に扱い予測を行っている。これは観測結果の検討を行う際に非常に有用な予測となることが期待される。さらに、これらの予測をより重い暗黒物質の場合について拡張することを期待する。

以上本論文は、宇宙暗黒物質の検出可能性について具体的・実地的な計算を行って詳細な検討を行い、これまでの観測結果から得られる制限について評価するとともに、将来の観測への展望を与えるものであり、天体物理学において重要な貢献をもたらすものであるといえる。なお、本論文第 5-7 章の主要部分は森正樹との共同研究であるが、いずれも論文提出者が主体となって研究を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。以上、公聴会と論文審査の議論により、審査委員会は本論文が博士学位を授与するに相応しい水準に達しているという判断で一致した。

本論文の審査に関して、2016年2月8日（月）に公聴会を開催した。

#### <試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、学位申請者と本学大学院理工学研究科基礎理工学専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じ、日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

本論文の審査に関して、2016年2月8日（月）15時00分～16時20分ウエストウイング7階数学物理系会議室2において公聴会を開催し、学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者土田怜に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、銀河の回転曲線の観測結果とN体計算による中心部の暗黒物質密度の整合性について、ガンマ線信号と電子・陽電子信号は銀河ハローで生成される場所が異なることが結果に与えることの影響について、天の川銀河以外からの信号の可能性について、検出器の実際のエネルギー分解能について、より高次元の余剰次元理論の場合について、などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。学

位申請者は、本学学位規程第 18 条第 1 項該当者であり、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していると確認した。

以上の諸点を総合し、学位申請者に対し、本学学位規程第 18 条第 1 項に基づいて、「博士（理学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。