

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

氏 名 藤原 素子

論 文 題 目 Electroweakly Interacting Spin-1 Dark Matter and  
Its Phenomenology (電弱相互作用するスピン1暗黒物質の現象論)

### 論文審査担当者

主 査 名古屋大学素粒子宇宙起源研究所 教授 博士(理学) 久野 純治  
委 員 名古屋大学大学院理学研究科 教授 理学博士 野尻 伸一  
委 員 名古屋大学宇宙地球環境研究所 教授 博士(理学) 伊藤 好孝  
委 員 名古屋大学素粒子宇宙起源研究所 准教授 博士(理学) 前川 展祐  
委 員 名古屋大学素粒子宇宙起源研究所 准教授 博士(理学) 市來 淨與

## 論文審査の結果の要旨

## 別紙 1 - 2

暗黒物質は宇宙に存在する物質の全質量のうち 85%を占め、銀河などの宇宙の構造の形成において重要な役割を果たしたことがわかっているが、その正体は謎である。宇宙初期熱浴中に存在し現在まで残った未知の安定な素粒子は、WIMP (Weakly Interacting Massive Particle の略)と呼ばれ、暗黒物質の有力候補である。予言される WIMP の残存量は WIMP 対消滅断面積の逆数に比例し、観測との比較から WIMP の質量は  $10^{(2-3)} \text{ GeV}/c^2$  程度であると期待される。そのため、 $10^2 \text{ GeV}/c^2$  程度以下の素粒子現象を説明する素粒子標準模型を超える物理との整合性から「WIMP の奇跡」と呼ばれている。

LHC 加速器による暗黒物質の直接生成実験や暗黒物質を直接探索する地下実験から WIMP の多くの模型は制限を受けるが、電弱相互作用を持つ WIMP は  $10^3 \text{ GeV}/c^2$  程度の質量を持つことでそれらの制限を自然に逃れる。先行研究において申請者は電弱相互作用を持つスピン 1 の WIMP を予言するくりこみ可能な素粒子模型の提案を行った。この模型は、電弱相互作用を持つ WIMP を予言する余剰次元模型の特徴を捉えたものになっている。

電弱相互作用を持つ WIMP が  $10^3 \text{ GeV}/c^2$  を超える質量を持つ時、非相対論的な WIMP の対消滅過程において電弱相互作用は長距離力として働く。その結果 Sommerfeld 効果と呼ばれる非摂動効果によりその対消滅断面積は摂動計算の結果から大きくずれる。本博士論文において、申請者は、先行研究で構築した WIMP 模型を用い、Sommerfeld 効果を考慮に入れて、電弱相互作用を持つスピン 1 の WIMP の対消滅過程の研究を行なった。

申請者は、はじめに、スピン 1 の WIMP 二体状態の有効理論を導き、Sommerfeld 効果の評価方法を明らかにした。次に、二つの光子（または光子と Z 粒子）を終状態とする WIMP 対消滅断面積を評価、WIMP 起源の銀河中心からの単色  $\gamma$  線の流量の予言を導き、これまでの観測から導かれる制限および将来の観測の模型に対する感度を導いた。また、申請者の模型は不安定な中性のスピン 1 の粒子 (Z'粒子) の存在を予言し、WIMP が光子と Z'粒子に対消滅するパラメータ領域があり、その過程に由来する単色  $\gamma$  線は二つの光子（または光子と Z 粒子）への対消滅過程とは異なるエネルギーを持つ予言することを明らかにした。

さらに、WIMP の対消滅過程に加え、電弱対称性の下での WIMP のパートナーの関わる対消滅過程の Sommerfeld 効果を評価し、その効果を考慮して宇宙初期 WIMP が熱浴から脱結合する過程で WIMP が残る量を評価した。その結果、観測から導かれる WIMP の質量の下限が摂動計算の  $3.0 \text{ TeV}/c^2$  から修正され、 $3.4 \text{ TeV}/c^2$  になることを示した。

これらの成果は近々行われる  $\gamma$  線観測による WIMP の実験的検証に必要なもので、高く評価される。参考論文は、暗黒物質の直接探索実験からの制限を回避する偽スカラー媒介暗黒物質模型の研究、CP 対称性の破れを伴うフレーバー遷移過程に起因する電子の電気双極子能率の評価などであり、それらも価値があるものである。以上の理由により、申請者は博士 (理学) の学位を与えるに相応しいと認められる。