

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 CHOI Koun

論 文 題 目

Study of capture and annihilation of a few GeV WIMPs inside the Sun
by using an underground neutrino detector

(地下ニュートリノ検出器を用いた

太陽による数 GeV 質量 WIMP の捕獲と対消滅の研究)

論文審査担当者

主 査

名古屋大学太陽地球環境研究所 教授 博士 (理学) 伊藤好孝

委 員

名古屋大学太陽地球環境研究所	教授	理学博士	田島宏康
名古屋大学大学院理学研究科	教授	理学博士	杉山 直
名古屋大学大学院理学研究科	教授	博士 (理学)	久野純治
東京大学宇宙線研究所	教授	博士 (理学)	塩澤真人

論文審査の結果の要旨

別紙 1 - 2

暗黒物質は、宇宙の質量の7割以上を占める光を出さない物質である。その候補として、相互作用が弱く中性の重い未知の素粒子 WIMP が有力となっている。WIMP が検出器中の原子核と散乱した際に残す微弱な信号を探す WIMP 直接探索実験が世界各国で行なわれている。一方、WIMP は太陽によって散乱しその重力場に捕獲されて中心に集積し、やがて対消滅を起こしてニュートリノを生成する事により、地下ニュートリノ観測に信号を残す可能性がある。このようなニュートリノ検出器による太陽 WIMP 間接探索は、通常物質との散乱断面積、特に陽子との散乱断面積に寄与するスピン依存型相互作用に優れた感度がある。神岡鉱山地下の水チェレンコフ検出器スーパーカミオカンデは、数 GeV 領域のニュートリノに高い感度を持つため、軽い $10\text{GeV}/c^2$ 程度の WIMP 探索に有利である。この軽い質量では、先行する他の直接探索実験で昨今信号があったとされる領域になる。ただし、太陽による捕獲過程は銀河ハローモデルなど天文学的な仮定に依存するため、その感度や直接探索実験との比較には不定性の詳細な検討が必要であった。

申請者は、ダークディスクモデルを含む様々な銀河ハローモデルを検討し、特に WIMP の速度分布に関わる不定性と太陽捕獲率との関係を調べ、太陽 WIMP 間接探索に関わる天文学的な不定性を初めて明らかにした。その中で申請者は、太陽の軌道速度、暗黒物質のハロー脱出速度、暗黒物質速度分布、さらにダークディスクの存在、の4種類の影響について調べ、軽い WIMP については太陽捕獲確率の不定性は24%程度と、あまり大きくない事を明らかにした。これは、WIMP 速度分布の幅広い領域に対して捕獲が起こるためと考えられる。

申請者は、さらに軽い WIMP 対消滅が生成するニュートリノ観測に適したスーパーカミオカンデを用いて実際に探索を行なった。従来探索に用いられてきた上向きミューオン事象に加えて、contained 事象を導入し、質量が数 GeV/c^2 から数 $10\text{GeV}/c^2$ の WIMP に対する検出効率をこれまでの約40倍に改善した。スーパーカミオカンデ 3903 日のデータに対して、大気ニュートリノのバックグラウンド事象と区別するため、太陽方向に対する角度分布に加え、エネルギー、フレーバーすべての観測量を用いた新たな解析手法による探索を行なった。その結果、太陽からの有為な超過は見つからず、WIMP と核子との弾性散乱断面積に対する上限値として、 $1.32 \times 10^{-40} \text{cm}^2$ 以下 (90%信頼度、ただし質量 $10\text{GeV}/c^2$ 、タウ粒子対への崩壊モードの場合) を得た。この結果は、質量 $200\text{GeV}/c^2$ 以下の WIMP のスピン依存型散乱断面積に対する最も厳しい制限であり、さらに質量 $6\text{GeV}/c^2$ 以下のスピン非依存型散乱断面積に対する初めての制限も与え、いくつかの直接探索実験が示唆する散乱断面積の一部を排除した。また、得られた散乱断面積の上限値について、先に考察したハローモデルなどの仮定に起因する不定性を考察し、天文学的不定性の影響を初めて取り入れた制限を示した。

以上の結果は、スーパーカミオカンデの太陽方向ニュートリノ観測を用いた軽い WIMP に対するスピン依存型散乱断面積の世界で最も厳しい制限であり、さらに天文学的不定性を定量的に考慮した新しい結果として、博士 (理学) 授与に値する業績と考えられる。