

## 論文審査の結果の要旨

氏名 須 田 祐 介

本論文は、素粒子の大統一理論によって予想される陽子崩壊を、スーパーカミオカンデ実験の最新データを用いて、これまでより改善した解析手法によって探索したものである。

電磁相互作用、弱い相互作用、強い相互作用はどれもゲージ相互作用であり、より大きなゲージ対称性を用いることによって、それらすべてを一つのゲージ相互作用として記述する大統一理論の可能性が以前より議論されてきた。もし大統一理論が成立すれば、クォークとレプトンは統一的に記述され、陽子と電子の電荷の大きさが正確に一致している謎が自然に理解できるようになる。一方で大統一理論は、安定だと考えられてきた陽子が崩壊することを预言する。スーパーカミオカンデ実験は、この大統一理論の決定的な証拠となる陽子崩壊現象を発見する能力を持つ、現在唯一の実験である。本論文では、多くの大統一理論のモデルにおいて主要な崩壊モードであり、かつスーパーカミオカンデ実験にとって探索感度が最も高い、陽子が陽電子と中性パイ中間子に崩壊するモード ( $e^+\pi^0$  モード) に注目して研究を行っている。

第一章において研究の背景を簡単に紹介した後、第二章で素粒子の標準模型の問題点から大統一理論を解説して、本研究の学術的意義について述べている。第三章ではスーパーカミオカンデ実験について説明した後、これまでに取得したデータと測定器の較正方法についてまとめている。新たに解析するデータ (SK-IV データ) は全データの約半分の量に相当する。第四章では、陽子崩壊事象とそのバックグラウンドとなる大気ニュートリノ事象のシミュレーションについて解説している。極めて稀な現象を探索するため、非常に大量のバックグラウンド事象を調べる必要があり、大気ニュートリノのフラックスやニュートリノの相互作用などについて正確なシミュレーションが要求される。続いて第五章では、取得したデータから陽子崩壊探索の基となる FC 事象 (fully contained events) の選別方法がまとめられている。論文提出者は共同研究グループの中で責任者として、データ品質管理に責任を持って FC 事象の選別と管理を行った。

第六章では、本論文におけるデータ解析の肝となる、事象の再構成方法について議論している。実験開始以来 20 年間使われてきた再構成アルゴリズムに比べ、本論文で新しく採用したアルゴリズム (**fitQun**) は、最尤法を用いてより多くの情報を同時フィットすることにより、運動量分解能や、電子とミュオン粒子の識別能力、さらに複数チェレンコフリング事象の選択効率が特に優れていることが示された。最尤フィットには膨大な計算が必要であり、近年の計算能力の大幅な向上がこれを可能とした。**fitQun** による再構成を用いて、光電子増倍管のゲイン較正や水透過率変動の補正など、物理解析に必要なデータ較正が論文提出者によってなされた。また主要な系統誤差となるエネルギースケールの誤差も様々な較正データを使って見積もられた。

第七章で実際に陽子崩壊事象 ( $e^+\pi^0$  モード) を探索してその結果をまとめている。分解能の向上により総質量のカットを厳しくしてバックグラウンドを減らした一方、壁際での事象再構成の改善により解析に用いる有効体積を約 1 割拡大することに成功した。また新しく導入したデータ取得電子回路によって、新しいデータ (**SK-IV**) では、遅延ガンマ線を捉えて中性子を同定することが可能となり、バックグラウンドとなる大気ニュートリノ事象を約半分まで削減することができた。残念ながら陽子崩壊事象は観測されず、以前のデータ (**SK-I** ~ **SK-III**) の結果と合わせて、陽子崩壊 ( $e^+\pi^0$  モード) の寿命に 90%信頼度で  $1.88 \times 10^{34}$  年の上限値をつけた。これは様々な大統一理論モデルに厳しい制限をつけるものであり、続く第八章でその影響と、ハイパーカミオカンデ計画を含む今後の陽子崩壊探索の展望について議論し、最後の第九章で結論をまとめている。

なお、本論文の内容はスーパーカミオカンデコラボレーションによる共同研究であるが、論文提出者が新しい再構成アルゴリズムを陽子崩壊探索に適用して、様々なデータ較正、物理データ解析や系統誤差の検討など、主体的に行ってこの重要な物理結果に至ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士 (理学) の学位を授与できると認める。