

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	大気・加速器ニュートリノ振動の同時解析によるCP対称性の破れとニュートリノ質量順序への制限
Title(English)	Constraints on CP violation and neutrino mass ordering with a joint analysis of accelerator and atmospheric neutrino oscillations
著者(和文)	ベルンスルカス
Author(English)	Lukas Berns
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11692号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:久世 正弘,慈道 大介,陣内 修,藤岡 宏之,谷津 陽一
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11692号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	BERNS LUKAS		
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名
	主査	久世 正弘	教授	審査員	谷津 陽一	准教授
	審査員	慈道 大介	教授			
		陣内 修	教授			
		藤岡 宏之	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

ニュートリノ振動の発見によりニュートリノが質量を持っていることが分かっただけでなく、この質量が他のフェルミオンと異なる機構により生じ、宇宙における物質・反物質の非対称性と関係しているという面白い可能性が生まれた。これらに関連した二つのニュートリノ振動パラメータ、すなわちレプトン CP 破れ角及びニュートリノ質量順序に対する制限を強めるため、加速器ニュートリノを用いた T2K 実験と大気ニュートリノを用いたスーパーカミオカンデ (SK) 実験のデータの同時解析を行なったのが本論文の内容である。大気ニュートリノは地球内での物質効果により質量順序に感度を持ち、加速器ニュートリノはモード切り替えのできる高純度 μ ニュートリノビームの使用により CP 破れ角により強い感度をもつ。これらのパラメータ間にある縮退の解消や各種系統誤差の制限の強化という相乗効果が同時解析より得られると期待されている。

今まで行われてきた同時解析は実験外部の研究者による公開データを用いた解析であったため、これらの実験データ間に存在する系統誤差の相関をうまく考慮することが出来ていなかった。本論文は SK 及び T2K 実験の全面的な協力のもとで行われる初めての合同解析である。論文では各実験の公式な解析を基礎とし、共通のエネルギー領域においては同じニュートリノ相互作用モデルを使用、T2K の前置検出器で直接制限されていない自由度に関しては新しい系統誤差を導入してモデルを拡張した。大気ニュートリノ振動確率に関しては計算効率の向上のための新しい計算法の開発及び地球の密度分布による振動確率への計算をより高次まで取り入れた。高い計算コストを伴う同時解析の実現のための統計解析の最適化や、飛躍的に計算効率が向上する新しい計算手法などを導入した点も新しい試みである。結果として同時解析による感度向上の可能性をシミュレーションにより詳しく調べた上で実験データにおいて期待通り振動パラメータに対するより強い制限を得た。

系統誤差の相関を正しく評価した同時解析によって得られた結果は従来の (相関が考慮されていない) 同時解析結果の解釈にも役立つ他、各種技術開発によるそれぞれの実験の単独解析への貢献や、桁違いの統計量を実現する将来のハイパーカミオカンデ実験における CP 破れ角とニュートリノ質量順序の究極の観測成功に向けた極めて重要な研究成果である。

本論文は “Constraints on CP violation and neutrino mass ordering with a joint analysis of accelerator and atmospheric neutrino oscillations” と題し、9 つの章から構成される。第 1 章ではニュートリノに関する理論と各種実験事実をまとめている。第 2 章では今回の合同解析が行われた二つの実験を紹介している。第 3 章ではニュートリノのフラックス、相互作用、検出器応答それぞれのシミュレーション及び事象再構成について説明している。第 4 章では本解析のモデル構築、すなわちそれぞれの実験にかかる系統誤差とそれらの相関についての扱い、及びパイ中間子の運動量に関する新しい系統誤差の開発について述べている。第 5 章では特に大気ニュートリノの振動確率計算の方法について新しい計算法の開発や実装及びこれからの振動パラメータへの影響について記している。第 6 章では解析モデルの実装と統計解析手法の効率化・開発・検証について記している。第 7 章ではシミュレーションを用いた実験感度の解析を行なっている。第 8 章では実データにて両実験の適合度を検証した上で同時解析の結果、すなわち振動パラメータへの制限を示している。第 9 章では結論と今後の展望を述べている。

本論文での研究は、素粒子物理学において最重要な研究課題の一つであるニュートリノ振動において、現在の中心的な目標である CP 対称性の破れの位相角およびニュートリノの質量順序に迫るため、最先端を走っている T2K および SK 両実験のデータ解析を実験グループの公式共同解析として行った初の試みである。長年にわたり蓄積された大量のデータを解析するにあたり、複数実験の系統誤差を詳細に検討し (特にニュートリノ検出器としてスーパーカミオカンデという同一の検出器を用いていることが特徴である)、統計処理に多大な計算時間を要する部分は新しい数学的手法を用いて処理時間の短縮を図ることで、信頼できる解析手法を確立することに成功した。片方の実験では制限しきれないパラメータ空間をお互いに補い合うことを示すことができ、この共同解析の手法が有効であることが示された。現時点では事象数の統計誤差に支配されているが、ハイパーカミオカンデ等の将来プロジェクトにおいてこの手法を適用することの妥当性が明らかになったことの素粒子物理学への意義は大きい。以上述べたように、本論文は申請者の優れた研究能力を示すとともに、この分野への大きな貢献をもたらすものであり、博士 (理学) の学位論文として高い価値があるものと認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。