

平成 30 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：スーパーカミオカンデを用いた宇宙素粒子研究

英文：Astroparticle physics using the Super-Kamiokande detector

研究代表者 東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設・教授・中畑雅行

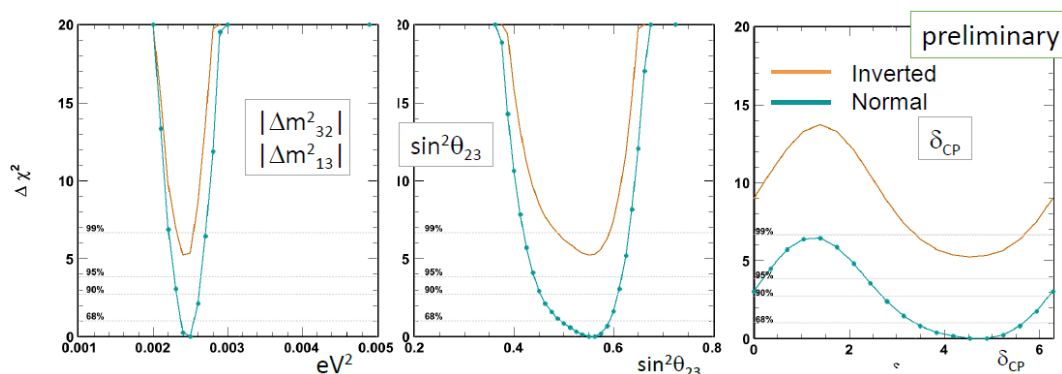
参加研究者 以下の大学・研究機関から総勢 169 名（本研究の申請時）

KEK、神戸大学、京都大学、岡山大学、東京大学、東京工業大学、名古屋大学、東海大学、宮城教育大学、岐阜大学、大阪大学、横浜国立大学、東京理科大学、福岡工業大学、静岡福祉大学、カリフォルニア大学アーバイン校/デービス校、ボストン大学、ストーニーブルック大学、デューク大学、ハワイ大学、カリフォルニア州立大学、ソウル大学校、全南大学校、光州科学技術院、成均館大学、National Center for Nuclear Research、トライアンプ研究所、ブリティッシュコロンビア大学、トロント大学、清華大学、マドリッド自治大学、インペリアル・カレッジ・ロンドン、クィーンメリー大学、リバプール大学、オックスフォード大学、シェフィールド大学、ラザフォード・アップルトン・ラボラトリー、INFN パドバ大学、INFN ナポリ大学、INFN ローマ支部、INFN バリ支部、エコールポリテクニック

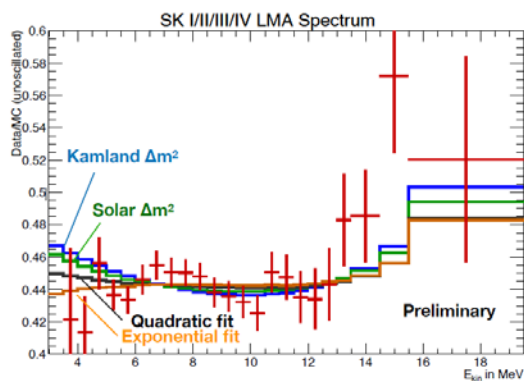
研究成果概要

本研究では、スーパーカミオカンデ（以下、SK）が観測する大気・太陽ニュートリノデータを用いて精密なニュートリノ振動研究をおこなうとともに、超新星ニュートリノの観測等を通して天体物理学の研究もおこなった。また、陽子崩壊事象の探索をおこない、未知なる大統一理論の解明を目指す研究もおこなった。

大気ニュートリノデータ解析においては、これまでの全 SK 期間（5,326 日）に取得された 54,779 事象の大気ニュートリノデータを用いて 3 世代ニュートリノ振動解析を行い、T2K 実験からの制限（特に Δm^2_{32} の制限が有効）を加えて、質量階層性、CP フェーズに関して下図のような結果を得た。Normal Hierarchy (NH) の方が Inverted Hierarchy (IH) よりも良い χ^2 の値を与え、この違いは 91.5%から 94.5%の信頼度で NH を好むことを示している。また、CP フェーズについて、既にフェーズの一部を排除する結果を得ている。また、 ν_μ が振動して生まれている ν_τ を積極的に使い、 ν_τ の反応断面積を測定する解析も行い、標準モデルからの予想と比べて 1.5σ の範囲内で一致するという結果を得た。



太陽ニュートリノの解析においては、今までに取得した全データを統合して次ページの図のようなエネルギースペクトルを得た。太陽ニュートリノと原子炉ニュートリノを統合した振動パラメータから予測されるエネルギースペクトルの χ^2 と任意の2次関数で



フィットした場合の χ^2 とを比べると約2シグマ程度の開きがある。また、昼夜の違いについては、 $(\text{day-night})/0.5(\text{day+night})$ の値として、 $-3.3 \pm 1.0 \pm 0.5\%$ という値を得ており、これは原子炉ニュートリノによる Δm_{12}^2 から予測される値(約-1.7%)に比べて若干大きな違いになっている。これらの結果により、今現在、原子炉ニュートリノと太陽ニュートリノとで Δm_{12}^2 の値が約2シグマ離れている。陽子崩壊においては2核子が関わる崩壊(例えば、 $pp \rightarrow e^+e^+$)について新た

な解析を行い、信号事象の証拠はみつからず、過去の実験探索から1~2桁以上良い寿命の下限值を与えた。

本年度は、SKのタンクを開けて改修工事をおこなった。改修工事の目的は、(1)タンクの水漏れを補修すること、(2)水の循環流量を60ton/hから120ton/hに上げるため太い配管を敷設すること、(3)不具合のある数百本の増倍管を交換することであった。(1),(2)は近い将来、ガドリニウムをタンクに溶かしてニュートリノの観測感度を向上させるための準備であった。作業は2018年5月末に開始し、2019年1月末に完了した。その後、タンクの水漏れ試験を行った結果、有意な水漏れは確認されず、上限値として1日あたり0.017トン以下という結果を得た。この上限値は以前の水漏れ量の1/200に当たり、改修作業の主要な目標は達成できた。次年度以降は、ガドリニウムを含んだ水を循環させる装置の最終調整をおこない、0.01%の濃度でGdを溶かして観測を始める予定である。0.01%のGd濃度でも50%の中性子捕獲効率を持ち、宇宙初期からの超新星爆発によって生まれたニュートリノ(超新星背景ニュートリノ)を反電子ニュートリノと陽子との反応で、陽電子と中性子を生成する反応を中性子の同時計測を行うことによって観測することを目指す。

最近の発表論文

- (1) Atmospheric neutrino oscillation analysis with external constraints in Super-Kamiokande I-IV, K. Abe et al. (Super-Kamiokande collaboration), Phys. Rev. D 97, 072001 (2018).
- (2) Measurement of the tau neutrino cross section in atmospheric neutrino oscillations with Super-Kamiokande, Z. Li et al. (Super-Kamiokande collaboration), Phys. Rev. D 98, 052006 (2018).
- (3) Search for Boosted Dark Matter Interacting With Electrons in Super-Kamiokande, G. Kachulis et al. (Super-Kamiokande collaboration), Phys. Rev. Lett. 120, 221301 (2018).
- (4) Search for Neutrinos in Super-Kamiokande associated with the GW170817 neutron-star merger, K. Abe et al. (Super-Kamiokande collaboration), Astrophys. J. Lett. 857, L4 (2018).
- (5) Dinucleon and nucleon decay to two-body final states with no hadrons in Super-Kamiokande, S. Sussman et al. (Super-Kamiokande collaboration), arXiv:1811.12430 (submitted to PRL).
- (6) Atmospheric Neutrino Oscillation Analysis With Improved Event Reconstruction in Super-Kamiokande IV, M. Jiang et al. (Super-Kamiokande Collaboration), arXiv: 1901.03230
- (7) Measurement of the neutrino-oxygen neutral-current quasielastic cross section using atmospheric neutrinos at Super-Kamiokande, L. Wan et al. (Super-Kamiokande Collaboration), Phys. Rev. D 99, 032005 (2019), arXiv: 1901.05281.