

氏 名 泉田賢一

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 1141 号

学位授与の日付 平成 20 年 3 月 19 日

学位授与の要件 高エネルギー加速器科学研究科 素粒子原子核専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 Physics potential of Tokai-to-Kamioka-and-Korea
neutrino oscillation experiment

論文審査委員	主査	教授	野尻	美保子
		教授	岡田	安弘
		教授	熊野	俊三
		准教授	井岡	邦仁
		教授	萩原	薫
		准教授	佐藤	丈(埼玉大学)

論文内容の要旨

The Tokai-to-Kamioka (T2K) neutrino oscillation experiment will start in 2009. In T2K, the center of the neutrino beam from J-PARC at Tokai will go through underground beneath Super-Kamiokande (SK), reach the sea level in the Japan (east) sea near Korean shore. When the beam center is 2.5° (3.0°) downward SK, the neutrino beam with an off-axis angle greater than 1.0° (0.5°) can be observed in Korea. We study the physics potential of the Tokai-to-Kamioka-and-Korea (T2KK) experiment when an additional 100 kt-level Water Čerenkov detector is placed in Korea during the T2K experimental period. We find that the matter effect, which arises from the coherent interaction of ν_e (or $\bar{\nu}_e$) off the electrons in the earth matter, is a powerful tool to determine the sign of $(m_3^2 - m_1^2)$, and the CP phase, δ_{MNS} , of the lepton flavor mixing matrix. The best combination of the off-axis angles at each detector and the length for the Tokai-to-Korea baseline is found to be 3.0° at SK ($L = 295\text{km}$) and 0.5° at $L = 1000\text{km}$. If we choose this combination, and if the densities along the baselines are 2.8 g/cm^3 for Tokai-to-Kamioka baseline and 3 g/cm^3 for Tokai-to-Korea baseline with 3% uncertainties, the mass hierarchy pattern can be determined at $3\text{-}\sigma$ level for $\sin^2 2\theta_{\text{RCT}} \gtrsim 0.09$, and the CP phase can be constrained with $\pm 30^\circ$ error for $\sin^2 2\theta_{\text{RCT}} \gtrsim 0.06$, after 5 years of running (5×10^{21} POT). When we combine the result of the future reactor neutrino experiments, such as Double-CHOOZ, RENO, DAYA-BAY, the capability of determining the mass hierarchy pattern in T2KK is enhanced, and the hierarchy pattern can be constrained at $3\text{-}\sigma$ level for $\sin^2 2\theta_{\text{RCT}} \gtrsim 0.055$. Because of the importance of the matter effect, we study the matter profile along the baselines of the T2KK experiment by using the recent geophysical measurements. The average matter density along the Tokai-to-Korea baselines is found to be 2.96, 3.01, and 3.03 g/cm^3 for the baseline length of $L = 1000, 1100,$ and 1200 km , respectively, with about 6% uncertainty. Only the real part of the first Fourier mode gives non-negligible but very small contribution to the $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ oscillation probability. We find that, even if we enhance the the error of the average matter density from 3% to 6%, the capability of determining the neutrino mass hierarchy pattern in T2KK does not deteriorate significantly because the measurement error is dominated by statistics.

論文の審査結果の要旨

泉田賢一君の博士論文の内容は、2009年に開始されるJPARCから神岡への長基線ニュートリノ振動実験(T2K)の次の将来計画として検討されている、T2KK実験の物理的発見能力を理論的に検討したものである。

ニュートリノが質量を持つことは、1998年にスーパーカミオカンデによる大気ニュートリノ振動の発見で明らかになり、その後太陽ニュートリノの振動がSNOとカムランドで確認され、大気ニュートリノ振動も加速器によるニュートリノビームを用いた世界初の長基線ニュートリノ振動実験、高エネルギー加速器研究機構から神岡へのK2K実験と、続いて米国フェルミ国立研究所からミネソタ鉱山へのMINOS実験で検証された。一方、3種類以上のニュートリノの存在を示唆していたロスアラモス研究所のLSND実験結果は、フェルミ研究所での検証実験MiniBOONEによって否定され、現在までに観測された全てのニュートリノ振動現象は、電子、ミューオン、タウの3フレーバー混合で説明可能である。3種類のニュートリノを仮定すると、ニュートリノ振動実験の今後の課題は、ニュートリノ質量の大きさの順位(階層性)を決定すること、今の所上限値しか得られていない3番目の混合角を測定すること、そして牧、中川、坂田の先駆的業績に準拠してMNS行列と呼ばれるレプトンフレーバー混合行列のCP非保存位相を測定して、クォークセクターの小林・益川機構に対応する、レプトンセクターのCP非保存の可否を明らかにすることである。

泉田君の博士論文では、T2K実験のニュートリノビーム中心が、神岡では検出器の下方約13kmの地中を通り、日本海の韓国東海上で地表に達することに注目し、韓国内に2台目の検出器を建設して、1ビーム2検出器実験を実施することの、物理的意義を検討した。この将来計画は、東海村からのビームを神岡と韓国で観測することから、T2KK(Tokai-to-Kamioka-Korea)実験と名付けられ、世界的な注目を集めている。

泉田君はまず、ビーム中心の可動範囲内で、韓国内で観測可能なビームスペクトラムと基線長の組み合わせを系統的に調べあげ、ニュートリノ質量の階層性を決定する能力がビームの向きと韓国側検出器の設置位置とに強く依存することを明らかにした。更に、最も望ましい組み合わせとして、韓国の東海岸付近に100ktレベルの水チェレンコフ検出器を建設し、ビーム中心を神岡検出器の3度下方に設定した場合に、ニュートリノ質量の階層性の決定と3番目の混合角とCP位相の測定とがどの程度の精度で可能になるかを、簡易化した計算で評価した。現在は、日韓間の基線に沿った物質密度の分布、原子核による束縛と核子共鳴の効果、中性カレントからのバックグラウンド、反ニュートリノビームを使用することの効果等について、より現実的な計算を進めている。

泉田賢一君の研究は、韓国内の検出器の設置場所と神岡及び韓国側で測定可能なJPARCからのニュートリノビームの形状とを系統的に調べあげることで、1ビーム2検出器実験としてのT2KK実験の物理的発見能力がいかに改良されうるかを理論的に明らかにし、その費用対効果を飛躍的に高める可能性を提示した。この研究によって、T2KK実

験が、加速器を用いた長基線ニュートリノ振動実験として現在最も注目される将来計画となったと言って良い。

これまでの研究成果が Physics Letters B と Physical Review D 誌に掲載されており、現在、物質密度分布の評価と効果についての投稿論文を執筆中である。

以上の所見から、本論文は、高エネルギー加速器科学研究科、素粒子原子核専攻の博士学位論文として十分な内容を持つと判断し、審査委員全員一致で合格とした。