

論文内容の要旨

Study of Neutrino Oscillation in the Long Baseline Neutrino Experiment

(長基線ニュートリノ実験によるニュートリノ振動の研究)

山田 秀衛

ニュートリノ振動とは、ニュートリノに質量の異なる固有状態が二つ以上存在し、質量の固有状態とフレーバーの固有状態が混合していることによってフレーバーが変化する現象である。素粒子の標準模型においてニュートリノは質量を持たないとされている。ニュートリノ振動の存在は標準模型を超えた現象であり、振動パラメタを測定することには大きな意義がある。1998年にスーパーカミオカンデ実験(SK)によって大気ニュートリノの振動が確認され、ミューオンニュートリノからタウニュートリノへの振動が強く示唆された。

KEK-神岡間長基線ニュートリノ振動実験(K2K)は、高エネルギー加速器研究機構(KEK)の加速器によって人工的に作られたニュートリノを250km離れたSKで観測し、ニュートリノ振動を検証することを目的とする。加速器からのニュートリノは平均エネルギーが1.3GeVでその98%がミューオンニュートリノであるので、大気ニュートリノが示唆する振動パラメタ領域でミューオンニュートリノからタウニュートリノへの振動を探索する事が可能である。本実験は1999年から稼働した。

本論文では、1999年6月から2001年7月までにとられたデータを用い、ニュートリノ振動によるミューオンニュートリノ事象の欠損とニュートリノのエネルギースペクトルの歪みを観測する事でミューオンニュートリノからタウニュートリノへの振動を検証する事を目的とする。

ビームはスピル毎に一次ビームモニタ、二次ビームモニタで観測し、ビームを制御した。ニュートリノビームのスペクトルと方向が実験の全期間を通じて安定だった事をKEK内に設置されたMRD検出器による測定で確認した。前置検出器とSKで期待されるニュートリノのスペクトルを予測するため、ニュートリノへ崩壊する直前のパイオンの運動量と角度分布を測定した。

SKで期待されるニュートリノ事象数はKEK内の1kt水チェレンコフ検出器において観測されたニュートリノ事象数から外挿して予測した。その結果、期待される事象数は $80.6 \pm 0.3(stat.)_{-4.7}^{+4.7}(syst.)$ であった。

本実験ではGPSを用いてSKとKEKの時刻を同期させることによりSKでのニュートリノビーム事象を選別した。両地点は200ナノ秒以内で同期している事を原子時計によって確認した。選別の結果、 ± 500 マイクロ秒の時間窓のうち1.5マイクロ秒の幅を持つビーム到達時刻のみにニュートリノ事象が観測された。観測された全ニュートリノビーム事象数は56であった。SKにおける観測値と期待値の比較からニュートリノ振動が存在しない可能性を検討したところ、これを99%以上の信頼水準で棄却する事が出来た。

また、SKで観測されたニュートリノ事象のうち1リングミュオンニュートリノ事象を用いてニュートリノスペクトルを再構成した。再構成されたスペクトルは期待されたものから歪んでおり、ミュオンニュートリノからタウニュートリノへの振動を仮定して振動パラメタの当てはめを行った。最適値は $(\sin^2 2\theta, \Delta m^2) = (1.00, 2.7 \times 10^{-3} \text{eV}^2)$ で、大気ニュートリノ観測が示唆するパラメタ領域と矛盾しない結果が得られた。