

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 ニュートリノ振動実験 OPERA における $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ 振動解析

氏 名 北川 暢子

論 文 内 容 の 要 旨

標準理論におけるニュートリノは質量を持たない基本粒子とされているが、坂田昌一らによるニュートリノの世代混合の概念では質量を持つ粒子とされ、標準理論の拡張の必要性を予言していた。これまでの多くの実験では、特定種のニュートリノの減少による振動現象の兆候が観測されていた。しかし、振動により出現する異種のニュートリノを捉えることで、ニュートリノ振動の有無について決着がつけられることが待ち望まれていた。

出現による $\nu_\mu (\bar{\nu}_\mu) \rightarrow \nu_e (\bar{\nu}_e)$ のニュートリノ振動については、1995 年に LSND 実験がニュートリノの質量固有状態の質量差 $\Delta m^2 \sim 0.1 - 100 (\text{eV}^2)$ の領域で振動を観測したと報告したことから始まる。しかし、この結果に関しては、KARMEN 実験等は部分的に否定し MiniBooNE 実験は肯定するといった膠着状態のままである。現在標準とされる 3 フレーバーの枠組みにおいては、2012 年に T2K 実験が質量固有状態 3 と 1 の質量差 $\Delta m_{31}^2 \approx \Delta m_{23}^2 = 2.4 \times 10^{-3} (\text{eV}^2)$ 、混合角 $\theta_{23} = \pi/4$ を仮定した場合における振動の証拠を得たという報告をした。

OPERA 実験は $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ の振動によって出現する ν_τ を直接検出し、ニュートリノ振動現象を検証する実験である。サブミクロンの位置分解能をもつ原子核乾板 57 枚と鉛板 56 枚を積層した検出器 Emulsion Cloud Chamber (ECC) を標的として、短寿命の τ 粒子を捕らえる。2008 年から本格的なニュートリノ照射を始め、2012 年末までに累積 17.97×10^{19} POT 相当のニュートリノ反応を蓄積した。2013 年 3 月末までに 5844 事象の反応点を ECC 中で検出し、3 事象の ν_τ 反応を同定した。

主検出器である ECC は、極めて低いバックグラウンド下で ν_e 反応の検出が可能である。1 個当たり 10 放射長分の質量を持ち、かつ鉛板一枚は 0.18 放射長と細かなセグメンテーションである。このため、電磁シャワーの発達から終息までの 3 次元再構成が出来、電子と荷電ハドロンとの識別が可能である。更に、シャワーの発生点の飛跡を確認することで、電子と γ 線起因の電子対とを明確に識別出来る。

ν_τ 反応解析に特化したニュートリノ反応点付近のデータは限られた領域のため、 ν_e の荷電カレント反応により反応点から発生した電子の同定には不十分である。そこで、私は ECC の最後方に装着した原子核乾板 2 枚を重ねた検出器で捉えた飛跡情報の中から、反応点から発生した電子の電磁シャワーの飛跡を検出することが ν_e 反応検出に繋がると考え、ECC 中で再構成されたニュートリノ反応による二次粒子の飛跡情

報と組み合わせて、 ν_e 反応の候補となるイベントを効率的に選び出す手法を提案した。2008 年、2009 年のニュートリノ照射 (5.25×10^{19} POT) でトリガーされた 5255 イベントの中から、ECC 中で反応点を特定した μ 粒子が同定されていない 505 イベントに対し探索を行い、選ばれた 87 イベントの中から詳細解析により 17 イベントの ν_e 反応を同定した。さらに、実データを用いて、 ν_e 反応の主要バックグラウンドである π^0 崩壊からの γ 線の電子対生成が反応点から発生した電子と誤認する数を実測し、 ν_e 反応数に対して 100 分の 1 以下の極めて低い混入率であることを確認した。

2008 年、2009 年の統計で、上記の 17 イベントと反応点探索時に電子同定した 2 イベント、計 19 イベントを用いて $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ の振動解析を行った。3 フレーバーの枠組みでは、CP の破れを表す位相 $\delta = 0$ かつ 3 種類のニュートリノの質量については Normal Hierarchy ($m_1^2 < m_2^2 < m_3^2$) の条件下で、 Δm_{31}^2 の high mass ($> 10^{-2} \text{ eV}^2$) の領域及び $\Delta m_{31}^2 = 2.32 \times 10^{-3} (\text{eV}^2)$ において $\sin^2(2\theta_{13}) > 0.44$ の領域を 90% の信頼性 (C.L.) で排除した。これは、T2K 実験や原子炉実験と矛盾のない結果である。また、LSND 実験の観測結果については、単純な 2 フレーバー間の振動を仮定して解析を行い、 $\sin^2(2\theta)$ の上限値は 7.2×10^{-3} (90% C.L.) であった。この結果により、LSND 実験や MiniBooNE 実験が共に振動を許容している領域の多くを排除した。