

別紙 4

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

タウニュートリノ事象の運動力学的解析と $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ 振動の検証

氏 名 中塚 裕司

論 文 内 容 の 要 旨

ニュートリノは標準理論では質量を持たないとされる素粒子である。ニュートリノがもし質量を持てばニュートリノ振動という現象が起きることが名古屋大学の牧・中川・坂田博士により理論的に予言されていた。ニュートリノ振動は電子ニュートリノ (ν_e)、ミューニュートリノ (ν_μ)、タウニュートリノ (ν_τ) の 3 種類あるニュートリノが、互いにある確率で移り変わる現象である。実験的にはある種類のニュートリノの消失を調べる消滅法によりニュートリノ振動の兆候をとらえてきた。しかし振動により出現するニュートリノを直接検出する出現法での検証が待ち望まれていた。

私の参加する OPERA 実験は加速器により生成した平均エネルギー 17 GeV の ν_μ ビームを用い、 $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ 振動を直接検出し、ニュートリノ振動の有無に確証を与えることを目的とする国際共同実験である。 ν_τ 反応をとらえた実績を持つ名古屋大学の独自技術：原子核乾板を用いて、CERN からのニュートリノが起こす反応をイタリア・グランサッソに位置する実験場で検出する。はがきサイズの原子核乾板 57 枚と 1mm 厚の鉛板 56 枚を交互に重ねた Emulsion Cloud Chamber (ECC) を総計 15 万個使用し、 ν_τ の荷電カレント反応で発生する短寿命のタウレプトンとその崩壊をサブミクロンの位置分解能で幾何学的にとらえ、ECC の特徴を生かして運動力学的な解析を行い ν_τ 反応の同定を行う。

私は ν_τ 反応の同定に必要な ECC 中での運動力学的解析の研究を行った。運動力学的解析の内容は、反応点からタウ粒子以外の他のレプトン発生していないことの確認、崩壊の横向き運動量の測定やガンマ線が付随していないかどうかの確認等である。このために、運動量測定、ハドロンの二次反応の検出によるハドロン同定ならびに電磁シャワー検出による電子・ γ 線同定を行う。これらの解析にはニュートリノ反応点を含む ECC の情報だけでは限界があり、複数の ECC をつなげて解析を行う必要があった。

また ν_τ の背景事象として最大のものにチャーム崩壊事象があるが、これは ν_μ 荷電カレント反応から発生するミュオンを同定し損なうことによって生じる。ミュオンは電子的検出器により同定されるが、反応点からの一次粒子の飛跡を複数の ECC を接続して追い下げ、運動量と飛程からハドロン/ミュオンの区別をすることにより、このチャーム背景事象を 60%まで低減することができる。

私はこのために飛跡の ECC 間の接続の研究を行った。OPERA は地下実験のために宇宙線量が地上の約 10^{-6} 倍と少なく、ECC 間アライメントに用いることができる貫通飛跡が存在しないため、過去の原子核乾板ニュートリノ実験と比べて新しい手法の開発が必要であった。私は反応点を同定する際に用いられた二つ以上の ECC を貫通した飛跡を用いて、ECC 間のアライメントの評価と接続のためのパラメータの許容範囲を決定した。また接続先 ECC 内での飛跡の探索方法の研究を行い、検出した飛跡に対する位置、角度、濃度への制限の最適化を行って系統的な接続の手法を確立した。

これらの手法を用いて崩壊事象解析に取り組み、これまでに 4 例の ν_τ 事象同定に貢献した。特に第 4 ν_τ 事象においては開発した手法が重要な働きをし、一次粒子の 10ECC にわたる飛跡接続によりハドロン同定を行い、より信頼性を持って ν_τ 事象である事を確定した。2014 年 12 月末までに約 6000 事象の反応点を ECC 中に検出し、崩壊事象探索を行った 4685 事象の内この 4 例の ν_τ 事象検出により $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ 振動の検出を 4.2σ の統計的有意性で立証した。