

別紙 4

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

主 論 文 の 要 旨

論文題目:ニュートリノ振動実験 OPERA における崩壊探索手法の研究
による $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\tau}$ 振動の検証

氏 名:石黒勝己

論 文 内 容 の 要 旨

OPERA 実験はニュートリノ振動の有無に決着を着ける事を目的として設計された。ニュートリノ振動とは、ニュートリノの種類 ($\nu_e, \nu_{\mu}, \nu_{\tau}$) が時間と共に混ざり合い、別の種類のニュートリノとして検出される現象である。OPERA実験以前に行われた様々な実験がニュートリノの消失を観測しており、その理由をニュートリノ振動と解釈した。OPERA 実験は、加速器で生成した ν_{μ} 中に ν_{τ} の出現を1反応ずつ確実に同定することでニュートリノ振動の明確な検証をねらう実験である。実験ではニュートリノ反応の検出に原子核乾板を用いる。原子核乾板を1mm厚の鉛と交互に配置し、それを900万枚積み上げてニュートリノ反応に必要な質量を稼ぎつつ、ニュートリノ反応の再構築を行う。反応点を位置精度数 μm で再構成し、現在までに日欧合わせて6698反応、日本で3062反応の反応点検出に成功している。

その中からタウニュートリノ反応によるものを探し出す工程を崩壊探索という。タウニュートリノ反応から生成されるタウ粒子は約 1mm 飛んだ後崩壊し、崩壊娘の1次反応点への最接近距離は約 $100\mu\text{m}$ となる。1次粒子の最接近距離精度は約 $4\mu\text{m}$ なので、それ以上の値を持った飛跡を探すことで崩壊娘探索が可能である。崩壊飛程によって、 τ の飛跡が乾板に写る long decay と1枚の鉛中で崩壊まで起こる short decay があり、タウニュートリノ反応と同定されるものの約9割が long decay である。崩壊様式は35%がレプトニック崩壊で、その半分がミューオンへの崩壊である。崩壊探索の問題点として娘トラック発見効率が低いことがあった。主にコンプトン電子によるノイズ数との兼ね合いから、探索する7フィルム中3フィルムで飛跡認識に成功していることを娘の選出に求めているが、この要求により long decay の娘発見効率が約42%に低下していた。私はECC中の飛跡のつながり具合の確からしさを尤度評価することで、要求する飛跡認識成功フィルム枚数を3枚から2枚に減少させた。これによって τ の娘トラック発見効率を42%から55%(1.3倍)に向上させた。これを日本側サンプルの崩壊探索に適用し、 $\tau^{-} \rightarrow \mu^{-}$ イベント(第三イベント)の崩壊娘ミューオンを2フィルムの飛跡で発見。親の

タウ粒子も発見し崩壊点をプラスチックベース中に発見した。さらに詳細解析も私が行い、確かにタウニュートリノ反応であると同定した。この反応は元々背景事象の少ないミュオン崩壊モードであるが、 decay Pt (崩壊時に受ける横向き運動量) の値も $690\text{MeV}/c$ と大きく、背景事象はチャーム背景事象を除くと全く無視できるものであった。さらにこの反応では娘ミュオンの電荷が 5.6σ の確実さで負と計測した。(チャーム背景事象に伴うミュオンの電荷は正である。) さらに、1次粒子をハドロン反応点まで追い下げることで、1次粒子がハドロンであり、1次反応点にミュオンが付いていないことを特定。これらからチャーム背景事象についても否定することができた。また、この反応によってニュートリノ振動が正ミュオンニュートリノから正タウニュートリノに振動したことを初めて測ることが出来た。

同様に $\tau \rightarrow 3h$ イベント(第二イベント)でも崩壊娘のうちの1本を2フィルムの飛跡で発見し、解析の結果タウニュートリノ反応と同定した。従来の崩壊探索で検出した第二 $\tau \rightarrow h$ イベント(第四イベント)および第一 $\tau \rightarrow h$ イベント(第一イベント)も加えて計4反応のタウニュートリノを検出し、 4.2σ の優位性で $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ 振動存在の検証に成功した。また、 ν_τ アピアランスにより δm_{23}^2 をFeldman-Cousins統計手法で $[1.8, 5.0] \times 10^{-3} \text{ eV}^2$ (90%CL)にあると求めた。