

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

氏 名 中塚 裕司

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

### 論文審査担当者

主 査	名古屋大学 エコトピア科学研究所	教 授	理学博士	中村 光廣
委 員	名古屋大学 大学院理学研究科	教 授	博士(理学)	清水 裕彦
委 員	名古屋大学 基礎理論研究センター	教 授	博士(理学)	棚橋 誠治
委 員	名古屋大学 太陽地球環境研究所	教 授	博士(理学)	伊藤 好孝
委 員	名古屋大学 教養教育院	准教授	博士(理学)	小松 雅宏

## 論文審査の結果の要旨

別紙 1 - 2

ニュートリノ振動現象は、標準理論では質量を持たないとされるニュートリノが質量を持つ場合に起こる現象であり、名古屋大学の牧・中川・坂田博士により理論的にその存在が予言されていた。実験的には、特定種のニュートリノの減少として、これまでその兆候がとらえられてきたが、振動で現れる異種のニュートリノをとらえ、ニュートリノ質量の有無に明快な答えを与えることが不可欠であった。

OPERA実験は、タウニュートリノ ( $\nu_\tau$ ) 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、ミューニュートリノ ( $\nu_\mu$ ) から振動して現れる  $\nu_\tau$  の反応をとらえ、ニュートリノ振動現象の有無に直接的な証拠を与える国際共同実験である。原子核乾板と1mm厚の鉛板を交互に重ねたEmulsion Cloud Chamber (ECC)を使用し、 $\nu_\tau$ 反応から出る短寿命の $\tau$ 粒子の崩壊を原子核乾板の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うことにより  $\nu_\tau$  反応の同定を行う。

申請者は、 $\nu_\tau$ 事象同定にとって重要な運動力学的解析に関する研究を行った。運動力学的解析では、反応点から $\tau$ 粒子以外のレプトンが発生していないことの確認、崩壊の横向き運動量の測定、崩壊点への $\gamma$ 線の付随の有無の確認を行い $\tau$ 粒子崩壊であることを同定する。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の検出による電子・ $\gamma$ 線同定を、複数のECCをつなげて行うことが必要であった。OPERAは、宇宙線の少ない地下で行う実験であるため、ECC間の位置合わせに用いることができる貫通飛跡が存在せず、過去の原子核乾板を用いたニュートリノ実験と比べて新しい手法の開発であった。申請者は、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間の位置ずれ・角度ずれなどの定量的な評価を行い、接続のパラメーターの許容範囲を決定した。また重要な反応を解析するために地下で現像されたECCへの接続に関しても研究を行い、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ないその接続効率を向上させた。

OPERA実験は、2014年12月末までに約4600事象の反応点をECC中に検出、この中に4例の $\nu_\tau$ 反応を運動力学的解析により同定し、 $4.2\sigma$ の統計的有意性で $\nu_\mu$ から $\nu_\tau$ へのニュートリノ振動が存在することに確証を与えた。申請者の開発した手法は、このうち第4事象の同定において重要な働きをし、ニュートリノ反応点から発生した一次粒子の飛跡群を、20個のECC、フィルム約600枚にわたって丹念に追跡することにより、ハドロンであると確定し、この事象が $\nu_\tau$ 事象であることを確定した。また申請者の手法は、 $\nu_\tau$ 事象の最大の背景事象であるチャーム事象の混入の約40%を削減し、統計的有意性の向上に大きな寄与をした。

以上の研究成果は、ニュートリノ振動の研究を進展させる研究として高く評価できる。また参考論文は、申請者が貢献してきたOPERA実験における第1例、第2例、第3例の $\nu_\tau$ 反応検出を報告したものであり、いずれも価値あるものである。よって申請者は博士（理学）の学位を授与されるにふさわしいと認められる。