

平成17年度学術創成研究費 事後評価結果

研究課題名	素粒子標準理論の検証に関する日欧国際共同研究	
研究代表者名	丹羽 公雄	
所属機関・職名	名古屋大学・大学院理学研究科・教授	
研究期間	平成12年度 ~ 平成16年度	
研究経費 (直接経費)	平成12年度	125,000千円
	平成13年度	170,000千円
	平成14年度	300,000千円
	平成15年度	300,000千円
	平成16年度	250,000千円
	総計	1,145,000千円

研究目的

本研究は素粒子を構成する基本粒子クォーク・レプトンの中の電荷を持たないニュートリノ族の質量の有無の検証を目的としている。レプトン族は3組からなり、電子と対になる電子ニュートリノ、 μ 粒子と対になるミューニュートリノ、そしてタウ粒子の対であるタウニュートリノの3種類が存在するが、ニュートリノ族は素粒子標準理論では質量ゼロとされている。

ニュートリノ族は自らが質量を持てば時間の経過につれて自らの性質であるニュートリノの種類が変わる可能性を坂田、牧、中川(いずれも故人)が1962年に指摘した。このことをニュートリノ振動と呼ぶが、1994年になってカミオカンデは宇宙線の作るニュートリノを観測してニュートリノ振動を強く示唆する実験結果を世界で初めて得た。その後、スーパーカミオカンデ、K2K、KamLand、MACRO、SNOなどの実験もニュートリノ振動が存在するとして矛盾のない実験結果を出した。しかし、いずれの実験もニュートリノが消滅したと解釈される結果であり、振動して出現するニュートリノを検出したのではない。そのために僅かながらニュートリノ振動以外の解釈の余地を残し、ニュートリノ族が質量を持つ粒子であるとは未だ確証が持てていない。

この研究は加速器で作る明快なミューニュートリノがニュートリノ振動によって出現するタウニュートリノを**タウ粒子を直接検出して**捉えることを狙いとしている。日本で準備が進んでいるJ-PARKで作るニュートリノをスーパーカミオカンデで捉えるT2Kなどの精密な消滅実験とは相補的な関係にある。ニュートリノ振動の存在が検証されれば、ニュートリノ族の質量の存在が確定し標準理論は変更を迫られることになる。

研究計画、目的の達成度

ミューニュートリノから振動して出現するタウニュートリノを直接捉えるには、タウニュートリノが質量1.7GeVのタウ粒子を生成するのに十分なエネルギー(3.5GeV以上)を持ち、かつミューニュートリノがタウニュートリノに振動するのに十分な飛行距離を確保した場所にタウニュートリノの反応の識別可能な検出器を置く必要がある。本研究のためにイタリア、フランス、ドイツ、ベルギーなどとの国際共同研究チーム OPERA が組織された。スイスのCERNの加速器SPSで作る平均エネルギー17GeVのミューニュートリノを730km離れたイタリアのローマ郊外のGran-Sassoに向けて放射し、Gran-Sassoの地下実験場に重量1.8キロトンのOPERA検出器を設置する。検出器は特殊な写真乾板と厚さ1mmの鉛板とを交互にサンドイッチした構造のECC(Emulsion Cloud Chamber)である。このECCはタウニュートリノ反応の検出に世界で初めて成功したDONUT実験で使ったECCをベースにして、鉄板を鉛板に変え、乾板は「リフレッシュ技術」でバックグランド飛跡の密度を極めて低く抑え、かつ厚みのバラツキも極めて小さく抑えている。そのためにDONUT実験よりも能率的にタウニュート

リノ反応を識別できるはずである。検出器は重さ 8 kg の ECC ブリック(10 ×12 ×6 cm³)を 7 m * 7 mの大きさのパネルに敷き詰め、パネル枚数 68 枚で総重量 1.8 キロトンである。ECC ブリックの総数は 20 万個、乾板は 1200 万枚が必要である。パネルとパネルの間には飛跡検出用カウンターが入り、ニュートリノ反応を起こしたブリックはカウンターで即座に識別して、対応する ECC ブリックを取り出す構造である。OPERA 検出器の乾板以外の部分、 μ 粒子スペクトロメーターはイタリアとドイツ、シンチレーター飛跡検出器はイタリア、フランス、ベルギーの分担であり、鉛板はドイツの分担である。ECC ブリックをパネルに入れたり出したりする操作システムはフランスで開発され 2005 年 7 月に完成した。2006 年夏のニュートリノの照射の開始に向けて、検出器の建設の突貫作業が続いている。日本が分担している乾板の生産は 78%が完了し、リフレッシュ作業も極めて順調に進んでいるが、残りの乾板購入の予算のメドはたっていない。無事、検出器が完成すれば、初年度に数事象のタウニュートリノ反応を捕らえ、DONUT の経験に照らして、極めて明快なタウニュートリノ事象が 1 例は捉えられるだろう。5 年間の照射で数万事象のニュートリノ反応を捉えて 10 例程の明快なタウニュートリノ反応が検出されると期待できる。

これまでの成果

乾板は製造直後から自然放射能、宇宙線などの飛跡の蓄積を始める。ニュートリノ反応の解析の障害になるこれらの飛跡群を極力少なくするために、「リフレッシュ技術」を開発した。この技術は乳剤中の飛跡の潜像が時間経過に伴って退行する現象を逆手にとって、乾板を使用する直前に**温度と湿度を**上げて潜像を退行させる技術である。リフレッシュ処理した乾板の性能に変化はない。

長い歴史を持つ飛跡検出用の乾板は全て手塗り方式で造られてきた。今回、機械塗布装置を使ってフィルム両面に乳剤を 43 μ m の厚さに均一に塗布した乾板を作った。極めて平面性の高い ECC ブリックに仕上げる事ができる乾板である。

ニュートリノ反応の検出はシンチレーター飛跡検出器が捉えた飛跡を ECC の最下流面の乾板で探索することから始まる。乾板(10cm * 12cm)を 1 時間で探索できる超高速の飛跡読み取り装置を開発した。TV カメラは 3000 画面/秒で解像力 512*512 の白黒 CCD チップを使い、対物レンズの焦点面の上下の駆動をピエゾ素子によって最大 150Hz の速さで駆動できる。乾板を載せた精密な顕微鏡ステージはラスタースキャンを想定して開発した。16 層の断層映像から素粒子飛跡を識別する専用のプロセッサを FPGA を並列に並べて画像の取り込みと平行したリアルタイム処理を達成した。

見つけ出した飛跡から ECC ブリック内のニュートリノ反応点に向けて 56 枚積層された乾板を上流側に向かって追跡する。この作業に必要な乾板の交換の自動化を、透明なフィルムに 56 枚の乾板を貼り付けてテープ状に加工し、映写機の要領で飛躍的に高速で行える装置を開発した。

過去に行った DONUT 実験の乾板を使って、OPERA の解析を想定したタウニュートリノ反応の検出と解析の信頼性の向上を求めた開発を進め、運動量測定精度と電子識別能力の改良を行い、新たに 3 例(合計 10 例)のタウニュートリノ反応を得た。(4 例はパブリッシュ済み)

成果の公表の実績

学術雑誌掲載論文、レフェリー付きの欧文 20 編、和文論文 11 編

2000 年 - 2004 年までの間に出版した英語論文 20 編の総サイテーション数 = 195、

サイテーション ベスト 5 74 回、33 回、15 回、14 回、14 回

代表的な論文は

Observation of tau neutrino interactions. 74 cited

Physics Letters B 504(2001)218-224

New results from a search for ν/μ ν/τ and ν/e ν/τ oscillation. 33 cited
Phys.Lett.B 497(2001)8-22

この間の 修士論文 13、博士論文 3 いずれも名古屋大学理学研究科
学会発表は、国際的な場で 54回、国内 26回

受賞

2001年度 日本物理学会 論文賞

丹羽公雄、星野香、中村光廣 他 53名の共同受賞

「Direct observation of Sequential Weak Decay of a Double Hypernucleus」

2004年12月6日 丹羽公雄 仁科記念賞

「原子核乾板全自動走査機によるタウニュートリノの発見」

2005年5月19日 日本写真学会 学術賞

丹羽公雄 他 6名との共同受賞

その他

当該研究室に来た海外の研究者数

2000年 38名、2001年 33名、2002年 72名、2003年 28名、2004年 40名。

名古屋大学で過去5年間に6回の国際会議(workshop等)を開催した。

名古屋大学の高等教育院の教授(H14-H16)に任命された。

SSH 高校生、市民向けの啓蒙活動の協力

岐阜県のサイエンスワールドに[タウニュートリノの発見]に使った検出器を寄贈して、宇宙線の観測、中
学・高校生の啓蒙に活用。

新聞報道多数あり

学術創成部会による事後評価結果

研究課題の総合的な評価

期待したほどではなかったが、一応の進展があった。

1 研究計画、目的の達成度について

当初の研究計画、目的を達成したかどうか。

予定どおり達成した。

検出器の開発そのものは予定通り達成できたと判断するが、相手側の事情によるとはいえ、当初予定
された2005年度中にデータを出せないのは残念である。

2 これまでの成果について

(1) 革新的又は学際的な学問領域の創造、共通基盤科学技術の開拓、国際協同研究の推進の観点から高く評
価できるか。

エマルジョン検出器は、日本の得意とする分野であり、それを生かした国際共同研究推進の意義は高
い。

(2) 当該学問分野及び関連学問分野への波及効果は、どのような状況であるか。

2006 年以降の OPERA 計画の実験結果がどうなるかによって、波及効果が決まる。

(3) 研究成果の積極的な公表に努めているか。

努力は認めるが、開発されたエマルジョンフィルムを使った実験結果が未だ出ていないので、発表論文数は少なめである。