第8章　まとめ

800GeV 陽子をダンプして作ったニュートリノ (ν_μ、ν_e、ν_τ) を使って、原子核乾板ターゲットに約 1100 例のニュートリノ反応を蓄積し、そのうち 499 反応について原子核乾板ターゲットに反応点の検出を試み、262 反応の検出に成功した。262 反応のうちの 203 反応についてタウニュートリノ反応の証拠となる短い寿命で崩壊するタウ粒子を探索した。タウ粒子の飛跡がある場合 (long flight 崩壊) と崩壊後の娘粒子の飛跡のみがある場合 (short flight 崩壊) の 2 つの場合に分けて解析を行い、long flight 崩壊候補 4 例、short flight 崩壊候補 1 例を検出した。

これに対するバックグラウンドはチャーム生成反応とハドロンの二次衝突が考えられ long と short に対して 0.43、0.21 反応と見積られる。、全ての候補がバックグラウンドである確率はポアソン分布から 1.9×10^{-4} であり、確かにタウニュートリノを検出したと言える。

全ニュートリノ反応に対するタウニュートリノの含有率は、タングステン標的で生成するチャーム粒子に D_s が含まれる割合と $D_s \to \tau\nu_\tau$ の崩壊率が直に関係する。このうち崩壊率 (B($D_s \to \tau\nu_\tau$)) の値は過去の 6 つの実験値で 3%から 15%と大きな幅をもっている (Appendix)。DONUT のプロポーザルで入力した値 5.3%から見積もられるタウニュートリノの含有率は 5%で、このときタウ粒子の検出効率を考慮すると 203 例のニュートリノ反応中に期待されるタウ粒子の数は long flight 崩壊に 4.1 個、short flight 崩壊に 0.8 個となり、実際に検出された個数と一致している。今後タウ粒子の統計数を増やすことで逆に $D_s \to \tau\nu_\tau$ の崩壊率を決定することができる。

DONUT 実験は原子核乾板ターゲット (ECC) がタウニュートリノを直接検出できる検出器であることを証明した。名古屋大学を中心とする日本のグループは CERN の加速器を使った $\nu_\mu \to \nu_\tau$ ニュートリノ振動直接検出実験計画 OPERA[22] を推進している。この計画は CERN の加速器で作るミューニュートリノを 730km 離れたイタリアの Gran Sasso 地下研究所に向けて照射し、原子核乾板ターゲット (ECC) で直接検出しようとする実験である。Super Kamiokande のだしたニュートリノ振動の存否に明快な答えを出すであろう。今回の DONUT の成果はこの OPERA 実験の基礎を固めたといえる。

今後ニュートリノ反応を原子核乾板内に検出することに失敗した約 450 反応 (=698-262) について解析を進め、またトリガーされた事象からの選び出し (現在 698 反応) についても増す可能性が残されている。最終的には 10 例のタウニュートリノ反応が検出されるであろう。

謝辞

この研究を進めるにあたって、名古屋大学 F 研の丹羽公雄教授、星野香助教授、中村光廣先生からは多くの助言と御指導をいただきました。原子核乾板の解析は、中野敏行氏の開発した自動飛跡読み取り装置 (UTS) なしには考えられません。佐藤修氏を初めとする F 研の方々には、毎週の研究室会議で多くの助言を頂きました。名古屋大学物理金工室の河合利秀氏、松岡博氏、装置開発室の方々、現在広島大学の吉田勝一氏、Fermilab の Byron Lundberg 氏を初めとするアメリカの共同研究者、技官の方々に大変お世話になりました。神戸大学の青木茂樹助教授、愛知教育大学の児玉康一助教授、小松雅宏氏、野中直樹氏には解析の仕事をすすめる上で具体的な助言をいただきました。また加藤朝子様他名古屋大学理学部 CD 館事務室の皆様には、実験の遂行に伴う様々な事務において大変お世話になりました。

最後に、両親と妻の裕美には全ての面で暖かく支えて頂きました。深く感謝いたします。