

原子核写真乾板における自動飛跡認識技術の高度化研究

○福田努
東邦大学理学部

Development of advanced automatic tracking techniques in nuclear photographic emulsion

Tsutomu Fukuda

1. 緒言

原子核乾板は優れた空間分解能を持つ3次元飛跡検出器である。古くは π 中間子・チャーム粒子の発見[1][2]、近年では世界初の ν_τ の直接観測[3]、ニュートリノ振動による ν_τ 出現の直接検出[4]等、素粒子物理学における重要な成果を上げてきた。特に近年の学術成果は原子核乾板の高速自動飛跡読み取り装置の開発[5][6][7]により、解析速度が飛躍的に向上したことによる。

一方で蓄積型の検出器であることから長期間の使用においては環境放射線等による大量の低エネルギー電子のノイズ飛跡混入が避けられない。史上最大の原子核乾板実験：ニュートリノ振動実験 OPERA[4]では、自動取得した飛跡の S/N 分離の最終判定に膨大な肉眼観察が残り、現実的な時間で解析遂行が危うい状態に陥った。著者はこの課題を克服するべく、本研究に取り組んだ。

2. 高精度自動飛跡認識技術の開発

大量の肉眼判定処理を削減するためには、自動飛跡認識処理の「高速化」という従来の開発方針では解決出来ない。そこで著者は自動飛跡認識処理の「高精度化」(高 S/N 化)を提案した。即ち、自動取得された飛跡データの直線性と濃さの情報を各々の確率密度分布に基づく尤度比を用いて総合的に評価して“シグナル飛跡らしさ”を算出し、S/N を分離する手法 (Track Ranking 法) を確立した[8][9]。この新手法により、自動飛跡認識処理の S/N 比が 100 倍向上し、肉眼判定処理の劇的な削減(自動化)を実現した。Track Ranking 法は OPERA 実験のほぼ全てのニュートリノ反応解析に適用され、解析の実質的高速化を達成し、 ν_τ 出現検出に不可欠な要素となった。

また、さらなる高精度化を目指し、新型の自動飛跡認識装置 Fine Track Selector (FTS) を開発した。FTS では飛跡再構成に従来の2倍の画像情報を使用するとともに、新しい S/N 選別パラメータとして、飛跡を構成する ① 銀粒子の直線性、② 銀粒子間距離、及び ③ 飛跡周囲の銀粒子数を画像解析により抽出した。現在、FTS で再測定し、新パラメータを Track Ranking に加えることで、さらに 20 倍の S/N 比向上を達成している[10]。

3. 大角度自動飛跡認識技術の開発

次に、FTS を大角度飛跡の自動認識にも適用した。GPU 技術を駆使した高速自動飛跡認識を行い、立体角にして従来の5倍($|\tan \theta| = 3.5$)まで高い検出効率($\geq 95\%$)での自動飛跡認識を初めて実用化した[11][12][13]。本技術を OPERA 実験の ν_τ 反応解析に適用し、大角度飛跡を伴う背景事象を低減する新しい解析手法を確立した。これにより検出した ν_τ 反応の信頼性が大幅に向上した。

4. 結論と展望

本研究では、原子核乾板における高度な自動飛跡認識技術(「高精度化」及び「大角度化」)を開発した。新技術は OPERA 実験にて実用され、素粒子物理学における重要な学術成果に直結した。

また、新技術は汎用的で、原子核乾板を用いた将来の様々な研究に適用できる。特に現在開発が進んでいる、高感度原子核乳剤[14]や超高速自動飛跡読み取り装置 HTS[15]と組み合わせて使うことで、より高い波及効果が得られるだろう。

5. 謝辞

本研究は、東邦大学基礎物理学教室・名古屋大学 F 研の多大なる協力の下に行われました。また、科学研究費助成事業 [08J07061], [23740184], [25707019]によって支援して頂きました。最後に OPERA 実験の実現に不可欠である OPERA film [16]を開発・製造して頂いた富士フイルム社(株)とその技術者の方々に深く感謝の意を表します。

6. 参考文献等

- [1] C. F. Powell et al., Nature 159 (1947) 694.
- [2] K. Niu et al., Prog. Theor. Phys. 46 (1971) 1644.
- [3] K. Niwa et al., Phys. Lett. B 504 (2001) 218.
- [4] K. Niwa et al., Phys. Rev. D 89, 051102(R) (2014).
- [5] K. Niwa et al., Proc. of International Cosmic Ray Sympo. on High Energy Phenomena, Tokyo (1974) 149.
- [6] S. Aoki et al., Nucl. Instrum. Meth. B 51 (1990) 466.
- [7] T. Nakano et al., JINST 5:P04011,(2010).
- [8] T. Fukuda et al., JINST 5:P04009, (2010).
- [9] 福田努 他, 日本写真学会誌, 第 75 巻 5, p441 (2012).
- [10] 福田努 他, 日本写真学会誌, 第 76 巻 5, p403 (2013).
- [11] 福田努 他, 2011 年度日本写真学会秋季研究会講演要旨集 p18.
- [12] T. Fukuda et al., JINST 8:P01023, (2013).
- [13] 福田努 他, 日本写真学会誌, 第 76 巻 2, p155 (2013).
- [14] 長縄直崇 他, 日本写真学会誌, 第 74 巻別冊, p74 (2011).
- [15] 中野敏行 他, 2010 年度日本写真学会秋季研究会講演要旨集 p20.
- [16] T. Nakamura et al., Nucl. Instrum. Meth. A 556 (2006) 80.