

研究種目:基盤研究(A)  
 研究期間:2006—2008年度  
 課題番号:18204022  
 研究課題名(和文)加速器実験における短寿命粒子の原子核乾板による検出研究

研究課題名(英文)Study of short lived particles by nuclear emulsion

研究代表者 丹羽 公雄(Niwa Kimio)  
 名古屋大学・大学院理学研究科 教授  
 研究者番号:60113445

研究成果の概要:

1. OPERA実験の解析に向けた、原子核乾板超高速自動飛跡読取装置の開発・実用化を行ない、OPERA実験解析の準備を行なった。
2. ニュートリノ実験以外の用途（ダークマターの直接検出、ミュー粒子を用いた火山、溶鉱炉の透視、ガンマー線望遠鏡など）への応用研究などを行い、原子核乾板を用いた手法の有効性を示した。  
 これらの開発により、現在主力の OPERA のみならず原子核乾板を用いた将来の基礎研究、応用研究へ広げてゆくための基礎を構築できた。

交付額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	20,200,000	6,060,000	26,260,000
2007年度	12,600,000	3,780,000	16,380,000
2008年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
総計	37,400,000	11,220,000	48,620,000

研究分野:数物系科学

科研費の分科・細目:物理学 素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード:素粒子(実験)

1. 研究開始当初の背景

原子核乾板(通称エマルジョン)は放射線の位置の計測で他のいかなる検出器よりも高い空間分解能を持ち、当研究グループの飛跡読取装置の開発の成功で、飛躍的に活躍の場が広がってきた。

従来の高エネルギー加速器実験のほかに、ダークマターの検出器や火山内部の検査装置、さらには宇宙線 $\mu$ 粒子を活用した非破壊検査に活躍の場が広がりつつある。

この状況は過去30年以上にわたって当グループが開発してきたエマルジョン技術の成果である。

2. 研究の目的

本研究はエマルジョンを使ったニュートリノ振動実験 OPERA の解析能力の強化を主眼にしつつ、電子ニュートリノの断面積の測定(米国 FNAL での PEANUT 実験)、1 GeV 領域の宇宙 $\gamma$ 線の点源探索望遠鏡や宇宙の暗黒物質の方向性検出などに使えるようなエマルジョン技術を目指して、飛跡読取装置の更なる性能向上とエマルジョンフィルムの最適化を目指した。

3. 研究の方法

超高速の読取装置の開発と実用化、それを実際の解析へ応用するための解析ソフトの

開発、実際のデータを用いた最適化を中心として、OPERAをはじめとする各研究分野で実際のデータを用いて解析プログラムなどの練成をおこなった。

#### 4. 研究成果

(1) ニュートリノ振動の有無の最終検証を行なうニュートリノ振動実験 OPERA の解析の準備を行なった。

① 原子核乾板超高速自動飛跡読取装置 (SUTS) の実用化。

SUTS は読み取り速度毎時 100 平方センチメートルを達成した。これはヨーロッパグループが開発した最新鋭機の 5 倍の速さであり、世界最高速の性能である。

② ニュートリノ反応点検出のための解析の流れの確立。

2007 年、2008 年と実際のニュートリノビームを用いて OPERA 実験の解析ストリームの検証を行い、実験提案書どおり働くことを確認した。

③ タウニュートリノ反応同定のための解析ツールの開発・実用化。

同じく実際のニュートリノ反応を検出し、ニュートリノ反応点近傍での  $\tau$  粒子の崩壊探索アルゴリズムがもくろみどおり働くことをチャーム粒子の崩壊を検出することで確認した。

(2) これらの原子核乾板技術の、ニュートリノ実験以外の用途への応用研究を行い、原子核乾板を用いた手法が有効であることを示した。

① 火山や溶鉱炉などを、宇宙線  $\mu$  粒子を用いて透視する  $\mu$  粒子ラジオグラフィへの応用。

② 高角度精度の宇宙  $\gamma$  線望遠鏡のための基礎的な性能確認。

③ 中性子の飛来方向検出による中性子ラジオグラフィへの応用。

④ 宇宙の暗黒物質を検出するための飛跡の引き延ばしなどの基礎技術開発。

これらの開発により、現在主力の OPERA のみならず原子核乾板を用いた将来の基礎研究、応用研究へ広げてゆくための基礎を構築できた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

① “Study of the effects induced by lead on the emulsion films of the OPERA experiment.”

By OPERA Collaboration (A. Anokhina, K. Niwa, T. Nakano, K. Morishima 他 179 名). JINST 3:P07002, 2008. (査読有り)

② “Emulsion sheet doublets as interface trackers for the OPERA experiment.”

By OPERA Collaboration (A. Anokhina, K. Niwa, T. Nakano, K. Morishima 他 179 名). JINST 3:P07005, 2008. (査読有り)

③ Development of emulsion track expansion techniques for optical- microscopy- observation of low-velocity ion tracks with ranges beyond optical resolution limit.

T. Naka, M. Natsume, K. Niwa, K. Hoshino, M. Nakamura, T. Nakano, O. Sato (Nagoya U.) . Nucl. Instrum. Meth. A581:761-764, 2007.

④ “First events from the CNGS neutrino beam detected in the OPERA experiment.”

By OPERA Collaboration (R. Acquafredda, K. Niwa, T. Nakano, K. Morishima 他 215 名). New J. Phys. 8:303, 2006. (査読有り)

⑤ “Final tau-neutrino results from the DONuT experiment.” By DONuT

Collaboration (K. Kodama, K. Niwa, T. Nakano 他 47 名). Phys. Rev. D78:052002, 2008. (査読あり)

⑥ “The OPERA film: New nuclear emulsion for large-scale, high-precision experiments.”

T. Nakamura, K. Niwa, T. Nakano, K. Morishima 他 32 名. Nucl. Instrum. Meth. A556: 80-86, 2006 (査読あり)

⑦ Measurement of nucleon structure functions in neutrino scattering. By

CHORUS Collaboration (G. Onengut, K. Niwa, T. Nakano, K. Morishima 他 91 名). Phys. Lett. B632:65-75, 2006 (査読有り)

[学会発表] (計 17 件)

- ① 佐藤修 「長基線ニュートリノ振動実験 OPERA 現状報告」  
2009 年 3 月 29 日 日本物理学会 立教大学
- ② 酒谷佳紀 「長基線ニュートリノ振動実験 OPERA におけるカウンターから ECC への繋ぎ」  
2009 年 3 月 29 日 日本物理学会 立教大学
- ③ 森島邦博 「長基線ニュートリノ振動実験 OPERA における原子核乾板全自動解析システム」  
2009 年 3 月 29 日 日本物理学会 立教大学
- ④ 吉田純也 「長基線ニュートリノ振動実験 OPERA におけるニュートリノ反応点探索」  
2009 年 3 月 29 日 日本物理学会 立教大学
- ⑤ 濱田 要 「OPERA 実験におけるニュートリノ反応により生成された荷電粒子の分析」  
2009 年 3 月 29 日 日本物理学会 立教大学
- ⑥ 吉岡哲平 「長基線ニュートリノ振動実験 OPERA における崩壊事象の探索」  
2009 年 3 月 29 日 日本物理学会 立教大学
- ⑦ 北川暢子 「加速器ニュートリノ実験 PEANUT における反応解析」  
2008 年 3 月 23 日～26 日 日本物理学会 近畿大学
- ⑧ 有賀昭貴 「長基線ニュートリノ振動実験 OPERA の解析状況」  
2008 年 3 月 23 日～26 日 日本物理学会 近畿大学
- ⑨ 和山正志 「長基線ニュートリノ振動実験 OPERA 現状報告」  
2008 年 3 月 23 日～26 日 日本物理学会 近畿大学
- ⑩ 中村光廣 「OPERA の物理」  
2008 年 3 月 23 日～26 日 日本物理学会 近畿大学
- ⑪ 有賀昭貴 「長基線ニュートリノ振動実験 OPERA の現状」  
2007 年 3 月 25 日～28 日 日本物理学会 首都大学
- ⑫ 福田努 「OPERA 実験・PEANUT 実験での ECC の解析」  
2007 年 3 月 25 日～28 日 日本物理学会 首都大学
- ⑬ 森島邦博 「ニュートリノ振動実験 OPERA における超高速飛跡読取装置 S-UTS によるスキヤニング」  
2007 年 3 月 25 日～28 日 日本物理学会 首都大学
- ⑭ 和山正志 「長基線ニュートリノ振動実験 OPERA における CS 検出器の性能評価」  
2007 年 3 月 25 日～28 日 日本物理学会 首都大学
- ⑮ 野々山芳明 「J-PARC でのニュートリノ実験に向けた原子核乾板によるニュートリノ事象のノンバイアス解析方法の開発」  
2007 年 3 月 25 日～28 日 日本物理学会 首都大学
- ⑯ 中村光廣 「The Status of the OPERA experiment I」  
2007 年 10 月 29 日～11 月 3 日 日本物理学会 ハワイ
- ⑰ 中野敏行 「The Status of the OPERA experiment II」  
2007 年 10 月 29 日～11 月 3 日 日本物理学会 ハワイ

[その他]

① 第 7 回 坂田・早川記念レクチャー 記念講演会主催 (2008/11/23)  
<http://flab.phys.nagoya-u.ac.jp/sakata-hayakawa/>

② International Workshop on Nuclear Emulsion Techniques 主催 (2007/12/01)  
<http://flab.phys.nagoya-u.ac.jp/workshop/2008/index>

③ エマルションワークショップ 2006 (2006/12/06-09) 開催  
<http://flab.phys.nagoya-u.ac.jp/%7esato/EmWorkShop/>  
など

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

丹羽公雄 (Niwa Kimio)  
名古屋大学・大学院理学研究科・教授  
研究者番号 60113445

### (2) 研究分担者

中野敏行 (Nakano Toshiyuki)  
名古屋大学・大学院理学研究科・助教  
研究者番号 50345849

森島邦博 (Morishima Kunihiro)  
名古屋大学・大学院理学研究科・研究員  
研究者番号 30377915