

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 30 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25800142

研究課題名(和文)宇宙線エマルションチェンバーのノンバイアス・大統計解析手法の開発

研究課題名(英文)Development of the large statistical analysis method of cosmic-ray emulsion chamber

研究代表者

森島 邦博(Morishima, Kunihiro)

名古屋大学・未来材料・システム研究所・助教

研究者番号：30377915

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：宇宙線エマルションチェンバーのノンバイアス・大統計解析のための技術開発を進めた。過去に行われた気球チェンバー(RUNJOB、JACEEなど)を自動読み取り装置で読み取り、飛跡のデジタルデータ化を行うためのグリセリン膨潤処理を確立した。更に、最新の読み取り装置HTSを用いて飛跡読み取りからデータ解析までの一連の流れ確立し、陽子とそれ以上の重粒子の識別が可能である事を示した。また、過去に行われた宇宙線チェンバーのみならず、最新の原子核乳剤を用いた地上宇宙線測定におけるミュオンフラックスの測定へと適用した。

研究成果の概要(英文)：I developed the large statistical analysis method of cosmic-ray emulsion chamber to analyze the balloon chambers (RUNJOB, JACEE), which was conducted a few years ago. These chambers recorded a huge amount of cosmic ray particles. I established the method of re-glycerine process of these emulsions to read out these films by using latest scanning system. And also, I established the analyzing method and validated the separation between proton and other heavy particles. In addition, I applied this method to measure cosmic-ray muon flux by using new emulsion chamber on the ground.

研究分野：宇宙線物理

キーワード：宇宙線 原子核乾板 エマルションチェンバー 自動解析

1. 研究開始当初の背景

宇宙線エマルションチェンバーは、地上、山頂や気球高度等に打ち上げられた原子核乾板と鉛板などを交互に積層した ECC 構造の 3 次元素粒子検出器である。これは、宇宙から飛来する素粒子や原子核などを高精度に捕える事で、新しい粒子や物理現象を捕える事を目的としている。しかし、当時の解析手法は光学顕微鏡の目視観察に頼った解析であるため、膨大な飛跡情報を記録している原子核乾板の中でも、これまでに解析された飛跡情報は極わずかであり、ほとんどの飛跡は分析されていない。

私は、これまで OPERA 実験におけるニュートリノ反応点探索のための自動読み取り解析技術の開発を進めて来た。開発した技術は、原子核乾板に記録された飛跡情報を全面に渡り 0.5 ミクロンの位置精度でとらえ、更に隣接したプレート間を 3 次元的に接続する事で、飛跡情報を再構成するというものである。

先に述べたようにエマルションチェンバー中には膨大な飛跡情報を蓄積しているにもかかわらずほとんど解析されていないが、このような解析技術を用いる事で、蓄積されている未解析の飛跡群を対象にした再解析が可能であると考えた。そのためには、まず、過去に行われた実験のエマルションチェンバーのフィルムを再解析するための問題点を克服し、更に新しい実験へと適用する技術開発が必要である。

2. 研究の目的

大気上空へ打ち上げられた宇宙線エマルションチェンバー（原子核乾板）中には 1 ミクロン以下の解像力で記録された膨大な一次宇宙線の飛跡が記録されている。しかし、実験が行われた当時、全ての飛跡を読み出す解析能力はなく、主に X 線フィルムなどのトリガーによる高エネルギー反応の解析に用いられてきた。

本研究では、最新のエマルション解析技術を更に発展させることで、一次宇宙線の全飛跡情報のノンバイアスな再構成を行いシステムティックな解析手法を開発することで、エマルションのトラッキング検出器としての性能を最大限発揮した解析手法の開発を目指す。

このような技術の開発により、ECC 構造による電磁散乱量(運動量)と電離損失 (dE/dx) の解析により、例えば、重い原子核であるストレンジマターや電子検出器のトリガーから漏れてしまう様な超低速粒子などのエキゾチック粒子に対する探索が

可能になると考えられる。

更に、このような過去の原子核乾板の読み取り技術開発を通じた基盤技術の確立により、現在進めている、または、今後計画している最先端の原子核乾板による宇宙線実験への適用（原子核乳剤や検出器構造に合わせた最適化）を目指す。

3. 研究の方法

過去に行われた原子核乾板の厚さ測定、及びグリセリン処理による厚さ調整パラメータの導出を行う。また、その結果からグリセリン処理の手法の確立を行う。グリセリン調整後のフィルムの乳剤厚と測定値、および自動読み取りによるデータ解析の結果との比較を行い、グリセリン膨潤パラメータの最適化を行う。

次に、得られたデータのうち飛跡の濃さ（銀粒子の並びの密度）として出力される情報（パルスハイト）の分析を行う。その結果から粒子の電離損失推定を行い、粒子種識別がどの程度可能であるかの基礎データを得る。また、その結果と、最新の原子核乾板から得られたデータの整合性の確認を行う。また、原子核乳剤中に記録された飛跡がプラスチックベースを貫通する際に粒子がどの程度方向が変わっているかを判定する事で、グリセリン処理における伸び率、及び乳剤層の歪み量の定量評価を行う。その結果を、グリセリン膨潤処理の条件（水洗中の伸び率、グリセリン溶液の濃度、グリセリン溶液の液温、液浸時間）と比較して、最適な条件を探索する。

複数枚のフィルムに対してこれらの処理を行い、自動読み取り装置により飛跡情報のデジタルデータ化を行う。取得した飛跡の 3 次元情報を再構成する解析環境を整え、飛跡の接続を効率的かつ合理的に行うパラメータの試行、及びアルゴリズムの検討・開発を行う。過去の宇宙線チェンバーのフィルム（RUNJOB）及び最新の原子核乾板に宇宙線を照射したものを、対象にして行う。

4. 研究成果

宇宙線エマルションチェンバーのノンバイアス・大統計解析を行うための技術開発を進めた。過去に行われた気球実験のエマルションチェンバー（JACEE、RUNJOB など）へ適用するため、RUNJOB の原子核乾板を対象として技術開発を進めた。以降に述べる自動読み取りには、現在開発中の最新の原子核乾板読み取り装置 HTS (Hyper Track Selector) を導入した。

原子核乾板の乳剤層を読み取り装置 HTS の

被写界深度に適した厚さへと調整するために、RUNJOBの原子核乾板を一定時間水に浸けて膨潤させてからグリセリン水溶液に浸ける事で乾燥後の膜厚を膨潤する処理の条件出しを実施した。この試行において、製造当時の厚さむら（塗布時の厚さにばらつきがある）の影響により、グリセリン処理後の厚さがばらつく事が問題となり、解決法として、厚さの下限値を設定し、その厚さを越えるような膜厚へ調整する方法を確立した。実際には、グリセリン処理直前に水中での膨潤膜厚を測定し、その厚さに応じてグリセリン濃度を決定し、乾燥を行う。これにより、厚さむらが大きい乾板に対しても、自動解析が可能である事を示した。

グリセリン処理後の原子核乾板の乳剤層の歪みについても評価を行い、解析上は問題とならない量に抑えられている事が分かった。一方で、厚さむらがある事が原因で膨潤率が2倍程度となるような領域も出来てしまう。そのような領域ごとに大きく厚さが異なる場合のパラメータ調整は今後の課題である。

隣接する2枚のプレート間のアライメントを行い、その2枚を貫通するような飛跡集団を選び出す事で、パルスハイトの分析を行った。このような選び出しにより、気球高度で記録された原子核乾板中の飛跡を選別する事が出来る。このような分析のために、HTSによる原子核乾板の読み取り条件の試行を行い、読み出した飛跡情報のパルスハイト分布の分析から、陽子成分とヘリウム以上の重粒子成分との分離が可能である事を明らかにした。このようなデータ解析から、原子核乾板に垂直に入射している高い電離損失（高い銀粒子密度）の飛跡については、認識効率が低い事が明らかとなった。

更に、過去の宇宙線チェンバーのみならず、最新の原子核乾板を用いた地上での宇宙線観測実験へ本研究により開発した解析技術を適用した。

使用した最新の原子核乾板は、名古屋大学で塗布から製造までを一貫して行っており、宇宙線観測による大型建造物の非破壊検査技術である宇宙線ラジオグラフィやガンマ線望遠鏡 GRAINE 実験や JPARC や CERN で計画されているニュートリノ実験などに用いられているものである。このような原子核乾板に対しても同様のグリセリン膨潤処理が適用可能である事を示した。

また、解析処理についても適用性評価を行った。その結果、地上での宇宙線観測においては、ミュオンなどの最小電離粒子と陽子等の電離損失が大きな成分の分離が可能である事を示した。更に、地上の宇宙線ミュ-

オンフラックスの測定により得られたデータと、宇宙線ミュオンの角度分布およびフラックスの絶対量の見積もりとの比較を行い、その整合性を確認した。

更に、この解析システムを宇宙線ラジオグラフィの解析に実際に投入し、対象となる物質を通過したミュオンの減衰量の測定から積算密度を導出するアルゴリズムに組み込んで使用している。

このように、過去に行われた RUNJOB や JACEE などの再解析や、新たに行われる大規模な宇宙線実験への適用、及び宇宙線ラジオグラフィなどで使用される宇宙線エマルジョンチェンバーへの適用が可能な解析技術を開発した。

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 0 件)

〔学会発表〕(計 4 件)

K. Morishima, "Cosmic-ray radiography with nuclear emulsion", ISETS '15, 27-29, Nov, 2015, Nagoya, Japan

K. Morishima, "Nuclear Emulsion Technologies for Muography", MUOGRAPHERS, 10, June, 2015, Tokyo Prince Hotel, Tokyo, Japan

第62回応用物理学会春季学術講演会「原子核乾板自動解析技術の開発とその応用」（放射線分科内招待講演）森島邦博、2015年3月11日～14日（13日発表）、東海大学 湘南キャンパス

K. Morishima, "Latest Developments in Nuclear Emulsion Technology", 26th International Conference on Nuclear Tracks in Solids, 15-19, September, 2014, Kobe, Japan

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森島 邦博 (MORISHIMA, Kunihiro)
名古屋大学・高等研究院・特任助教

研究者番号：30377915

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()