

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2009～2012

課題番号：21244028

研究課題名（和文） FNALドレル・ヤン実験E906による陽子のクォーク・反クォーク構造の研究

研究課題名（英文） Study of Quark-Antiquark Structure of the Proton by FNAL Drell-Yan Experiment E906

研究代表者

柴田 利明 (SHIBATA TOSHIAKI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：80251601

研究成果の概要（和文）：

アメリカ・フェルミ国立加速器研究所の120 GeV 陽子ビームを用いて行う SeaQuest (E906) 実験のために、陽子および中性子の中にある反クォークをドレル・ヤン過程を用いて測定するミュオン対スペクトロメータを製作して完成させた。特に、ドリフト・チェンバーを日本で製作してアメリカに空輸した。平成24年にテストビームタイムを得て、その性能を確認した。これにより平成25-27年の本実験の準備の主要部分が完成した。

研究成果の概要（英文）：

We built a muon-pair spectrometer for the measurement of anti-quark in the proton and neutron for SeaQuest(E906) experiment at Fermilab in USA. In particular, we fabricated a drift chamber in Japan and transported it by airplane to USA. We had a test beamtime in 2012 and confirmed the performance of the muon-pair spectrometer. We completed the preparation of the major parts of the spectrometer for the physics run which takes place in 2013-2015.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	30,400,000	9,120,000	39,520,000
2010年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2011年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2012年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			0
総計	36,400,000	10,920,000	47,320,000

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：原子核（実験）

1. 研究開始当初の背景

本研究は、アメリカ・フェルミ国立加速器研究所の120 GeV 陽子ビームを用いて、ドレル・ヤン過程を用いて核子の中の反クォーク

の測定をするものである。日本・アメリカ・台湾の国際共同研究で、実験提案はすでに採択されている。世界で最もルミノシティが高いドレル・ヤン実験である。この実験は SeaQuest(E906) という名前である。

以前の FNAL における実験はテバトロンの 800 GeV 陽子ビームを用いたものであったが、本研究では FNAL Main Injector からの 120 GeV 陽子ビームを初めて使うので、反応断面積が格段に大きくなった。更に、本研究では Bjorken x の大きな値の領域に達するように測定器を設計した。

ミュオン対を測定するので、そのための磁気スペクトロメータを建設するのがまず始めのステップであった。日本グループはこれまでの技術の蓄積から考えて、ドリフト・チェンバーの製作を担当することにし、その詳細な設計・シミュレーションをして製作することになった。

2. 研究の目的

研究の目的は、(1) 核子の中の反クォークの分布、特に反 u クォークと反 d クォークの存在の非対称性の起源を解明することと、(2) 核子の中のクォークのスピンと軌道運動の相関を測定することである。

前者は、陽子標的と重陽子標的を用いてそのドレル・ヤン過程の断面積の比から導出される。後者は、ドレル・ヤン過程の方位角依存性の測定から導出される。1980 年代の EMC 実験によって、陽子スピンに対するクォークスピンの寄与はわずかであることがわかったが、核子内のクォークのスピンと軌道運動の相関は、クォークの横方向の運動に起因するものであり、陽子のスピンの問題を 3 次元的な立場に発展させた立場からの研究であるといえる。

宇宙初期には物質と反物質はほぼ等量あったと考えられるが、その後わずかに優勢な物質が残る現在の宇宙になっている。しかし物質優勢の現在の宇宙においても、星や地球や人体の中にある核子の中に反粒子は存在する。核子の中の反クォークは、ドレル・ヤン過程で最も明確に検出することができる。

核子の質量は主にクォーク 3 個によるものだと考えられるが、元々質量がゼロのクォークがヒッグス場との相互作用によって得る質量は数 MeV のみであり、残りの 98% は強い相互作用、つまりグルーオンの場による質量である。グルーオンが反クォーク・クォーク対に乖離するので海クォークが発生している。この反クォークを測定することがクォークの質量の起源を解明するために重要である。

これらの物理の動機の基に、SeaQuest(E906)は計画され、研究がスタートした。

3. 研究の方法

研究の方法としては、アメリカ・フェルミ国立加速器研究所の 120 GeV 陽子ビームと陽子標的および重陽子標的のドレル・ヤン反応

を用いる。日本・アメリカ・台湾の国際共同研究グループ SeaQuest (E906) を形成しており、ビームタイムも採択されている。

本研究におけるドレル・ヤン過程とは、陽子ビームの中のクォークと核子標的の中の反クォークが対消滅して仮想光子になり、それがミュオン対に崩壊する過程である。このミュオン対を測定する。そのためのミュオン対スペクトロメータを建設した。ミュオン対スペクトロメータは全長が約 30m の磁気スペクトロメータである。2 段階の 2 重極磁石と、4 段階の粒子トラッキングのための測定器ステーションからなっている。当研究グループはミュオンの通過位置検出のためのドリフト・チェンバーの設計・製作をまず担当し、日本で製作して空輸してミュオン対スペクトロメータに組み込んだ。これは面積が 5 m x 3 m の大型なものである。

物理のデータ取得のためのビームタイムは平成 25 年から約 3 年間である。

4. 研究成果

初年度である平成 21 年度には、上記のドリフト・チェンバーの設計を行い、日本で実際に製作した。日本で基本動作の確認を行った後、翌平成 22 年度にアメリカへ空輸してミュオン対スペクトロメータに組み込んだ。その後、信号の読み出し用の回路を取り付け、所定のガスを循環させて運転を行った。平成 23 年度の終わりから平成 24 年度の始めにかけて、テストビームタイムを得て、ミュオン対スペクトロメータの性能を確認した。テストビームのデータ解析では、 J/ψ の崩壊からのミュオン対を用いて、ミュオン対スペクトロメータの運転の最適条件を決定した。

このように、ミュオン対スペクトロメータの製作を完成させ、その性能を確認したことが大きな研究成果である。実験の準備は完了し、物理のデータ取得のために予定されている平成 25 年-27 年のビームタイムへ順調に移れることになった。

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 3 件)

1. S. Obata, K. Nagai, S. Miyasaka, K. Nakano, T.-A. Shibata, Construction of Drift Chambers for Drell-Yan Experiment by Sea Quest at FNAL, JSPS Supplements, 査読有り, 2013, in press.
2. 柴田利明, 陽子と中性子のスピン構造, 日本物理学会誌, 査読有り, 67(2012) 738-745.

3. K. Nakano and T.-A. Shibata, Drell-Yan Experiment: Studying Anti-Quarks in the Proton, 査読有り, J. Phys. Conf. Ser. 302 (2011)012055, doi:10.1088/1742-6596/302/1/012055

[学会発表] (計 16 件)

1. 宮坂翔, 柴田利明, 中野健一, 永井慧, 小畑滋希, Florian Sanftl, 後藤雄二, 澤田真也, 宮地義之「フェルミ研ドレール・ヤン実験 SeaQuest の実験計画」日本物理学会、広島大学、2013 年 3 月 26 日.
2. 永井慧, 柴田利明, 中野健一, 宮坂翔, 小畑滋希, Florian Sanftl, 後藤雄二, 澤田真也, 宮地義之「フェルミ研ドレール・ヤン実験 SeaQuest のためのドリフト・チェンバーの製作とテスト」日本物理学会、広島大学、2013 年 3 月 26 日.
3. T.-A. Shibata, 3 dimensional parton structure of the proton, KEK Theory Center Workshop on Hadron Structure Physics and Related Topics, 2013, March 18, Tokai, Japan.
4. K. Nakano, Status of Fermilab Drell-Yan Experiment ‘SeaQuest’, KEK Theory Center Workshop on Hadron Structure Physics and Related Topics, 2013, March 18, Tokai, Japan.
5. F. Sanftl, The Di-Muon spectrometer for a Drell-Yan Experiment by SeaQuest at FNAL, International Symposium on Nano-Science and Quantum Physics, Tokyo, Japan, 2012, Dec. 18.
6. 柴田利明, 中野健一, 宮坂翔, Florian Sanftl, 後藤雄二, 澤田真也, 宮地義之「フェルミ研ドレール・ヤン実験 SeaQuest のテストラン結果」日本物理学会、京都産業大学、2012 年 9 月 14 日.
7. Florian Sanftl, 柴田利明, 中野健一, 宮坂翔, 後藤雄二, 澤田真也, 宮地義之「The E906/SeaQuest Drell-Yan Experiment at Fermilab: Physics Motivation, Commissioning Status and Outlook」日本物理学会、2012 年 3 月 27 日、関西学院大学.
8. Florian Sanftl, 柴田利明, 中野健一, 宮坂翔, 竹内信太郎, 後藤雄二, 澤田真

也, 宮地義之, 「Commissioning Status of the Drift Chamber for a Di-Muon Spectrometer at the E906/SeaQuest Experiment at Fermilab」日本物理学会、2011 年 9 月 17 日、弘前大学.

9. 中野健一「ドレール・ヤン反応」日本物理学会、2011 年 9 月 16 日、弘前大学.
10. 竹内信太郎, 柴田利明, 中野健一, Florian Sanftl, 宮坂翔, 竹谷篤, 後藤雄二, 澤田真也, 宮地義之「FNAL ドレール・ヤン実験 SeaQuest の為のミュオン対スペクトロメータ」日本物理学会、2011 年 3 月 25 日、新潟大学.
11. 宮坂翔, 柴田利明, 中野健一, Florian Sanftl, 竹内信太郎, 竹谷篤, 後藤雄二, 澤田真也, 宮地義之「FNAL ドレール・ヤン実験 SeaQuest の為のドリフトチェンバーの性能テスト」日本物理学会、2011 年 3 月 25 日、新潟大学.
12. 竹内信太郎, 柴田利明, 中野健一, Florian Sanftl, 宮坂翔, 竹谷篤, 後藤雄二, 澤田真也, 宮地義之「フェルミ研ドレール・ヤン実験のためのミュオンスペクトロメータの性能」日本物理学会、2010 年 9 月 12 日、九州工業大学.
13. 中野健一「フェルミ研ドレール・ヤン実験で探る陽子中の反クォークの振る舞い」日本物理学会、2010 年 3 月 22 日、岡山大学.
14. 宮坂翔, 柴田利明, 中野健一, 宮坂翔, 竹内信太郎, 後藤雄二, 澤田真也, 宮地義之「フェルミ研ドレール・ヤン実験のためのドリフトチェンバー製作と性能テスト」日本物理学会、2010 年 3 月 22 日、岡山大学.
15. Y. Miyachi, Design and Kinematical Coverage of FNAL-E906 Spectrometer for Drell-Yan Measurement with 120-GeV Proton Beam, Third Joint Meeting of APS DNP and JPS, 2009. Oct.15, Hawaii, USA.
16. Y. Miyachi, Drell-Yan Process and Transversity, Third Joint Meeting of APS DNP and JPS, 2009. Oct. 13, Hawaii, USA.

[その他]

ホームページ等

<http://www.nucl.phys.titech.ac.jp/e906/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柴田 利明 (SHIBATA TOSHIAKI)
東京工業大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号：80251601

(2) 研究分担者

中野 健一 (NAKANO KENICHI)
東京工業大学・理工学研究科・助教
研究者番号：20525779

後藤 雄二 (GOTO YUJI)
独立行政法人理化学研究所・仁科加速器研
究センター・研究員
研究者番号：00360545

宮地 義之 (MIYACHI YOSHIYUKI)
山形大学・理学部・准教授
研究者番号：50334511

澤田 真也 (SAWADA SHINYA)
大学共同利用機関法人高エネルギー加速
器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授
研究者番号：70311123

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

Sanftl, Florian
東京工業大学・大学院理工学研究科・大学
院学生

宮坂 翔 (MIYASAKA SHYO)
東京工業大学・大学院理工学研究科・大学
院学生

竹内 信太郎 (TAKEUCHI SHINTAROU)
東京工業大学・大学院理工学研究科・大学
院学生

永井 慧 (NAGAI KEI)
東京工業大学・大学院理工学研究科・大学
院学生

小畑 滋希 (OBATA SHIGEKI)
東京工業大学・大学院理工学研究科・大学
院学生