

機関番号：33910

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20540299

研究課題名（和文）コンパススペクトロメータによるドレル・ヤン反応測定のための偏極標的の改造

研究課題名（英文）The Development of the Polarized Target of COMPASS Spectrometer for the Measurement of Drell-Yan Reaction

研究代表者

堀川 直顕（HORIKAWA NAOAKI）

中部大学・総合学術研究院・客員教授

研究者番号：70022697

研究成果の概要（和文）：CERN における Drell-Yan(DY)反応測定のため、2008-2010 年にわたり、CERN での偏極ミュオンビームと偏極標的の衝突実験、ハドロンビームでの分光実験に参加すると共に、両ビームを使った DY 実験のための予備実験を行い、実験の可能性を確かめた。また、偏極標的ホルダーを製作し、本実験に備えた。これらの準備の結果、2013-2015 年にわたり CERN から実験実施が承認された。

研究成果の概要（英文）：We performed the preliminary experiments at CERN for the Drell-Yan experiment to reveal the contribution of the quark-gluon angular momentum to the nucleon spin. The preliminary experiments consist of two parts. One is to check the decrease of the target polarization by heat caused by beam. Another is to check the background events using pion beam. Both tests assured the Drell-Yan experiment without decreasing the target polarization and with less background using the shorter length of the target and hadron absorber. We made the target holder which will be used for the Drell-Yan experiment. Looking those preliminary results, CERN decided to share the measuring time to COMPASS for Drell-Yan experiment during 2013-2015.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究代表者の専門分野：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：核子スピン、Drell-Yan、スピン偏極標的、クォークスピン、COMPASS 実験

1. 研究開始当初の背景

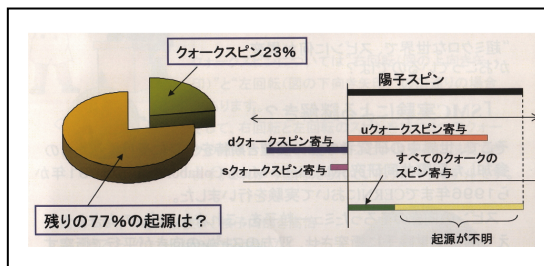
核子スピンを形作るものは何か、との問い

には (1) クォークスピン、(2) グルーオンスピン、そして、クォーク・グルーオンの軌道回転にともなう角運動量であろう、というのが研究者の一般認識である。式で書くと、 $1/2$ (核子) = $1/2 \Delta\Sigma$ (クォーク) + ΔG (グルーオン) + Lz (軌道角運動量) (1)

と表され、もしも、 ΔG (グルーオン成分) = 0、 Lz (クォーク・グルーオン軌道角運動量) = 0 であれば、目度く全てのスピンはクォークによって担われている、との結論になる。

(1) クォークスピンの寄与

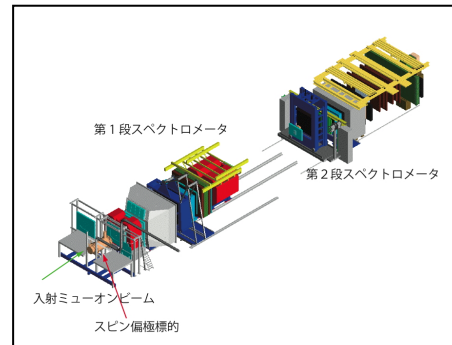
核子のスピン構造に関する研究は、1988 年 EMC グループが発表した「クォークスピンは核子スピンにほとんど寄与していないらしい」との実験結果に端を発している。この発表後、CERN においては 1989 年 SMC(Spin Muon Collaboration) グループが結成され、EMC 以上に 詳細で精度の良い実験が計画された。また、アメリカの SLAC においても同様な実験が計画された。私たち日本グループは当初から SMC グループに参加し、1998 年までに下図の様に(20-30)%であることを明らかにした。



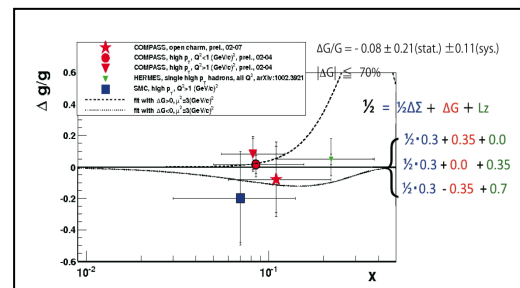
(2) グルーオンスピンの寄与

クォークスピンで足りない部分をグルーオンが担うのではないか、との推論から、CERN では新しくグルーオンスピン成分を測定する COMPASS グループが 1997 年に結成された。私たち日本グループは、COMPASS 計画の中核として研究推進の牽引車の役割を果たした。グルーオンと光子の衝突確率は低く、かつ、生成した D0 中間子からチャーム粒子対への崩壊確率も低いため、SMC 装置から以下の大幅な改良を行った。(1)偏極ミュオンビームの強度の増強、(2)反応事象を可能な限り多く取り込む、(3)データ収集のスピードアップ、(4)粒子弁別チェレンコフ検出器の製作、(5)粒子エネルギー測定のためのカロリメータの増強などである。日本グループは(2)の課題を満たすべ

く、開口角の大きな偏極標的の製作を担当した。COMPASS 実験は 2002 年に測定を開始し、「核子スピン」を課題にした測定と「ハドロン分光学」を課題にした測定を交互に繰り返して、今日に至っている。その測定器系 (スペクトロメータ) は SMC と似てはいるが、多くの改良・新しい測定器が追加され、図の様に構成されている。



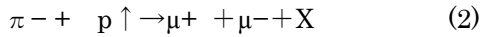
COMPASS 実験は $-70 < \Delta G < 70$ (%) 示しているが確定的でない。次ぎは、第3の候補、「クォーク・グルーオンの軌道角運動量成分」の測定に進むことになる。



2. 研究の目的

これまでの研究から、核子スピンの構造を知るためにはクォークの軌道回転をも含めた描象が必要となった。この観点から COMPASS では、偏極ドレル・ヤンプログラムと GPD プログラムの 2 つを 2011 年以降に行うことを計画し CERN 当局の承認を得た。偏極ドレル・ヤンプログラムでは、図に示すようなドレル・ヤン (DY) 過程を通してクォークの軌道運動に関わる横運動量依存 (TMD) パarton 分布関数や Transversity パラメータに関係づけて、クォーク・パートンの軌道角運動量成分を抽出する。実験から得られるスピン非対称度は、TMD パarton 分布関数とハドロン破砕関数を掛け合わせ

たものとして現れてくる。ハドロン破碎関数は、直接測定ができないため、他の実験からのデータを利用するしかないため、得られる分布関数の精度に限界がある。一方、ハドロン化が関与しないDY反応では、より直接的にTMD分布関数にアプローチできる。COMPASSでは、パイ中間子を偏極核子に入射し、DY反応



のスピンの依存性（核子スピンに対するレプトン対の方位角分布）を調べ、Sivers分布関数 $f_{\perp 1T}$, DY を抽出する。これは偏極DY反応の研究として、世界最初の試みとなる。そして、Collins[PLB, 532(2002)43]が指摘する、「 $f_{\perp 1T}$, DY はハドロンを伴う Deep Inelastic Scattering(これをSIDISと呼ぶ)のSivers関数 $f_{\perp 1T}$, SIDIS、と逆符合になる」との予測をチェックする。さらに、Transversity との比較、 π 中間子入射によるBoer-Mulderの予言するクォーク・パートン分布関数の情報も得て、総合的に軌道角運動量成分を導出することを試みる。そのための予備実験を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

本実験では、高エネルギーパイオンビームを偏極標的に衝突させ、発生した事象の中から、終状態にミューオン対が見出されるDY反応 ($\pi^- + p \uparrow \rightarrow \mu^+ + \mu^- + X$)を確認しておく必要がある。そのため、COMPASS実験スペクトロメータを使って次の2項目を調べる。(1) 水素核(陽子)を含むポリエチレンを標的として発生事象の性質を調べる。(2)実際に偏極標的実験をしているときに、衝突で熱を発生しやすいパイオンを入射して、どれくらいのビーム強度なら偏極実験が可能か、の目処をつける。(3)偏極標的試料(アンモニア、LiD)を収納するターゲットホルダーを製作する。そのホルダー材料は、ネット状で液体ヘリウムを良く通し、バックグラウンドを発生させないように薄くできて、かつ、偏極度測定に邪魔になる水素原子を含まない材料を選択し、ホルダーをつくることである。

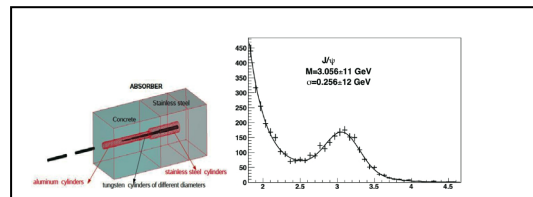
4. 研究成果

(1) DY 反応抽出の予備実験

偏極DYプログラムでは、入射ビームに π 中間子ビームを使用する。このため、シミュレーションによりビーム強度と標的温度的

関数を求めた上で、以下の予備的ビーム実験を行うことにより、偏極標的の性能を十分に発揮できることを確認した。

- ① 2007: 偏極標的に π 中間子ビームを照射し、温度上昇を観測した。偏極標的の厚さを制限することで温度上昇・発生事象数を両立させることができることを確認した。
- ② 2008.10.3-4: ポリエチレン標的に π 中間子ビームを照射し、発生したハドロンに対するアブソーバーなしで発生事象数テストを行った。アブソーバーの必要性を確認した。
- ③ 2009.11.19-23: CH₂ 標的 (40cm×40cm) に 190GeV パイ中間子ビーム (7~9) × 10⁷ppp を照射し、アブソーバーを設置することで、 J/ψ 粒子や不変質量Mが $M > 4\text{GeV}$ 以上の事象を、シミュレーション通りに発生させ収集することができた。 J/ψ はバックグラウンドとなるが測定器系の較正に使い、DY事象は $M > 4\text{GeV}$ の事象から抽出する方針を確立した。

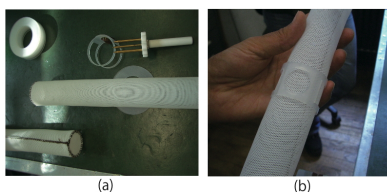


予備実験で使ったアブソーバー。 J/ψ のピークが抽出できる精度で測定できることを示したデータ。

(2) 偏極標的試料用ホルダーの製作

偏極標的はパイオン入射ビームに対しては、ミューオンビームの場合より短く、かつ、直径を細くする必要がある。それは、バックグラウンドを抑え、発熱を抑えるためである。そのため、COMPASS冷却機の混合器(130cm長)を使うとき、1個の標的ホルダーの長さを短く(40cm長)し、それを一対として2個備えるとき、50cmの余分な空間はヘリウム混合液が入ってバックグラウンド源にならない様に、真空容器を挿入する。以下の図に、水素を含まない様に加工されたテフロン繊維で作られたメッシュ状の布を編み上げて作ったターゲットホルダーを示す。

上記、(1)、(2)の準備研究により、本番のDY実験を実施する目処をつけることができた。これらの基礎的予備研究から、本実験は、2013-2015年にかけてCOMPASSスペクトロメータを使って実施することが、2010年9月CERN当局によって承認された。



(a)ホルダー部品、(b)標的ホルダー

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 7 件)

- ① M.G.Alekseev, N.Doshita, T.Hasegawa, N.Horikawa, S.Ishimoto, T.Iwata, K.Kondo, T.Matsuda, T.Michigami and other COMPASS members、Quark Helicity Distributions from Longitudinal Spin Asymmetries in Muon-Proton and Muon-Deuteron Scattering、PLB 693 (2010) 227-235、査読有
- ② M.G.Alekseev, N.Doshita, T.Hasegawa, N.Horikawa, S.Ishimoto, T.Iwata, K.Kondo, T.Matsuda, T.Michigami and other COMPASS members、Azimuthal asymmetries of charged hadrons produced by high energy muons off longitudinally polarized deuterons、EPJC 70 (2010) 39-49、査読有
- ③ M.G.Alekseev, N.Doshita, T.Hasegawa, N.Horikawa, S.Ishimoto, T.Iwata, K.Kondo, T.Matsuda, T.Michigami and other COMPASS members、Measurement of the Collins and Sivers asymmetries on transversely polarised protons、PLB 692 (2010) 240-246、査読有
- ④ M.G.Alekseev, N.Doshita, T.Hasegawa, N.Horikawa, S.Ishimoto, T.Iwata, K.Kondo, T.Matsuda, T.Michigami and other COMPASS members、The spin-dependent structure function of the proton g_{1p} and a Test of the Bjorken Sum Rule、PLB 690 (2010) 466-472、査読有
- ⑤ M.G.Alekseev, N.Doshita, T.Hasegawa, N.Horikawa, S.Ishimoto, T.Iwata, K.Kondo, T.Matsuda, T.Michigami and other COMPASS members、Observation of a $J^{PC} = 1^{-+}$ exotic resonance in diffractive dissociation of 190 GeV/c π^{-} into $\pi^{-}\pi^{-}\pi^{+}$ 、PRL 104 (2010) 241803、査読有
- ⑥ M.G.Alekseev, N.Doshita, T.Hasegawa, N.Horikawa, S.Ishimoto, T.Iwata, K.Kondo, T.Matsuda, T.Michigami and other COMPASS members、Measurement of the Longitudinal Spin Transfer to Λ and Λ -bar Hyperons in Polarized Muon DIS、EPJC 64 (2009) 171-179、査読有
- ⑦ M.G.Alekseev, N.Doshita, T.Hasegawa, N.Horikawa, S.Ishimoto, T.Iwata, K.Kondo, T.Matsuda, T.Michigami and other COMPASS members、Flavour Separation of Helicity Distributions from Deep Inelastic Muon-Deuteron Scattering、PLB 680 (2009) 217-224、査読有
- ⑧ M.G.Alekseev, N.Doshita, T.Hasegawa, N.Horikawa, S.Ishimoto, T.Iwata, K.Kondo, T.Matsuda, T.Michigami and other COMPASS members、Gluon Polarisation in the Nucleon and Longitudinal Double Spin Asymmetries from Open Charm Muoproduction、PLB 676 (2009) 31-38、査読有
- ⑨ M.G.Alekseev, N.Doshita, T.Hasegawa, N.Horikawa, S.Horikawa, S.Ishimoto, T.Iwata, K.Kondo, T.Matsuda and other COMPASS members、Collins and Sivers asymmetries for pions and kaons in muon-deuteron DIS、PLB 673 (2009) 127-135、査読有
- ⑩ M.G.Alekseev, N.Doshita, T.Hasegawa, N.Horikawa, S.Ishimoto, T.Iwata, K.Kondo, T.Matsuda, T.Michigami and other COMPASS TARGET members、The COMPASS polarized target in 2006 and 2007、AIP Conf.Proc.980(2008)307-311、査読有
- ⑪ M.G.Alekseev, N.Doshita, T.Hasegawa, N.Horikawa, S.Horikawa, S.Ishimoto, T.Iwata, K.Kondo, T.Matsuda and other COMPASS members、The Polarised Valence Quark Distribution from semi-inclusive DIS、PLB 660 (2008) 458-465(34)、査読有

[学会発表] (計 1 3 件)

- ①松田洋樹、COMPASS 偏極標的マイクロ波系のための耐高出力減衰器の開発 2、日本物理学会、2011年3月25日、新潟大学(震災により中止、発表は成立)
- ②岩田高広、COMPASS 横偏極陽子標的実験での最新成果、日本物理学会、2011年3月25日、新潟大学(震災により中止、発表は成立)
- ③堂下典弘、COMPASSII における偏極ドレル・ヤンプログラムの準備状況、日本物理学会、2011年3月25日、新潟大学(震災により中止、発表は成立)
- ④ 道上琢磨、COMPASS でのミューオン核子散乱での Φ 生成に関する2重スピン非対称度の解析、日本物理学会、2010年9月11日、九州工業大学
- ⑤ 堂下 典弘、COMPASS での偏極ドレルヤン測定のためのビームテストの結果、日本物理学会、2010年3月26日、岡山大学
- ⑥ 松田 達郎、COMPASS における陽子に対する偏極構造関数 g_{1p} の測定、日本物理学会、2010年3月26日、岡山大学
- ⑦ 近藤 薫、2010-2011 ランのための COMPASS 偏極標的アップグレード、日本物理学会、2010年3月26日、岡山大学
- ⑧ 松田達郎、COMPASS での SIDIS 反応による偏極クォーク分布の研究、日本物理学会、2009年3月30日、立教大学
- ⑨ 岩田高広、COMPASS での核子内グルーオン偏極の研究、日本物理学会、2009年3月30日、立教大学
- ⑩ 道上琢磨、COMPAS 実験におけるアンモニア標的の偏極度解析、日本物理学会、2008年9月23日、山形大学
- ⑪近藤 薫、COMPASS 偏極標的 2007-2008、日本物理学会、2008年9月23日、山形大学
- ⑫ 堂下典弘、縦偏極した偏極標的を用いた COMPASS の最近の結果、日本物理学会、2008年9月23日、山形大学
- ⑬松田達郎、横偏極標的を用いた COMPASS の最近の結果、日本物理学会、2008年9月23日、山形大学

[図書] (計1件)

- ① 堀川直顕、自費出版、物質の究極の姿はどのようにして確かめられるか?、2009年9月、69頁

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堀川 直顕 (HORIKAWA NAOAKI)
 中部大学・総合学術研究院・客員教授
 研究者番号：70022697

(2) 研究分担者

無し

(3) 連携研究者

無し