

京都大学	博士（理学）	氏名	中村 克朗
論文題目	Longitudinal Double-Spin Asymmetry of Electrons from Heavy Flavor Decays in Polarized $p+p$ Collisions at $\sqrt{s}=200$ GeV		
（論文内容の要旨） 陽子のスピン構造を理解する上で現在重要となっているのが、陽子中のグルーオン偏極度の理解である。特に、このグルーオン偏極度は運動学変数 Bjorken x の小さい領域 ($x \sim 0.01$) における分布に対する測定が無く、このためこの領域での分布が正確に定まっていないのが現状である。これまで最も小さい Bjorken x 領域のグルーオン偏極度分布に制限を与えている実験は中性パイ中間子の二重スピン非対称度の測定であるが、摂動量子色力学 (pQCD) 計算を用いるという要請から横運動量 (p_T) 2.0 GeV/c 以上のパイ中間子のみしかグルーオン偏極度の導出に用いることができず、これが到達可能な Bjorken x の下限を決めている。この小さな Bjorken x 領域での不定性が合計のグルーオン偏極度への不定性を生み出している。そのため、グルーオン偏極度の理解には $x \sim 0.01$ 領域でのグルーオン偏極度分布の測定が重要な課題となっていた。 そこで本研究では米国・ブルックヘブン国立研究所 RHIC PHENIX 実験で行われている重心エネルギー 200 GeV での偏極陽子-陽子衝突における重クォーク生成の二重スピン非対称度測定に着目した。グルーオン偏極度の決定において、この重クォーク生成測定には以下のような利点がある。まず、重クォークは主にグルーオン・グルーオン相互作用によって生成される。これにより、重クォーク生成の二重非対称度がグルーオン偏極度に高い感度を持つ。次に、その重い質量のために重クォーク生成では pQCD 計算が十分適用可能となる大きな重心エネルギーを持つ。そのため、これまでの測定での Bjorken x の下限よりさらに小さい Bjorken x の領域 ($x \sim 1.4 \times 10^{-2}$) でのグルーオン偏極度を測定することが可能となる。PHENIX 実験ではこの重クォーク生成の測定を、その準レプトン崩壊からの電子 (単電子) を検出することにより行ってきた。 PHENIX 実験での単電子測定で大きなバックグラウンドとなるのが、物質中での光子転換、及び中性パイ中間子やエータ中間子の Dalitz 崩壊からの電子対事象である。また、低い横運動量領域で大きなバックグラウンドとなるのが K 中間子の準レプトン崩壊による電子生成である。これらのバックグラウンドは測定した非対称度の統計誤差を増大させ、さらにバックグラウンドのスピン非対称度の不定性からくる大きな系統誤差を与える。そこで本研究では新たに導入されたハドロン粒子不感型検出器 (HBD) を用いたバックグラウンド除去の解析を試みた。本研究では、HBD のクラスター電荷分布を用いた新たな解析手法を考案し、これを用いて単電子の収量の測定に成功した。この結果、信号純度として約 1.5 倍の改善が得られた。さらに HBD の導入により K 中間子崩壊からのバックグラウンドを約 0.4 倍に抑制することにも成功した。また、単電子生成の断面積を測定し過去の結果と比較することで、この新たな解析手法の正当性を立証した。 以上の改善されたバックグラウンド環境下において、本研究では $0.5 < p_T < 3.0$ GeV/c での単電子生成の二重スピン非対称度測定に世界で初めて成功した。その結果、約 1% の精度で有意なスピン非対称度がないことを実験的に確認することができた。加えて、この結果から与えられるグルーオン偏極度への制限を最低次 pQCD 計算と PYTHIA 計算に基づくシミュレーションにより導出した。その結果、$\log_{10} x = -1.6^{+0.5}_{-0.4}$、エネルギースケール $\mu = 1.4$ GeV において、$\Delta g/g(x, \mu) ^2 < 3.0 \times 10^{-2}$ (1σ) というグルーオン偏極度への制限を得た。これによりこれまで未到達であった小さな Bjorken x 領域でのグルーオン偏極度の測定に世界で初めて成功した。			

(論文審査の結果の要旨)

陽子の持つスピンを、陽子を構成するクォークとグルーオンにより理解しようというのが本研究の着目するところである。もともとクォークが担うとされていたスピンへの寄与が3割程度しかないという実験事実が確定していく中で、グルーオンの寄与が大きく注目されるようになってきた。ところが、先行する偏極陽子・陽子衝突における中性パイ中間子生成などの二重スピン非対称度の測定では、グルーオンのスピン偏極の度合いについても小さな値を示唆するものとなっている。しかし、現状では、測定できる運動学変数 Bjorken x の下限に制限があり、これに起因する不定性が大きいために、全体のグルーオン偏極度に大きな誤差が生じてしまっている。特に Bjorken x が 0.01 付近での振る舞いがほとんどわからないのが現状であった。

そこで、本研究では、偏極陽子・陽子衝突反応における重クォーク（チャームやボトムクォーク）生成という新しいプローブにより、今までに測定されていない小さな Bjorken x 領域でのグルーオン偏極度を測定することとした。実験は、米国ブルックヘブン国立研究所の RHIC 加速器において PHENIX 検出装置を用いて行なわれた。重心エネルギー 200 GeV で偏極陽子どうしを衝突させ、主としてグルーオン・グルーオン相互作用によって生成される重クォーク生成反応を検出する。その検出には、重クォークによって生じる横運動量 0.5-3.0 GeV/c 領域の単電子を識別することによって行った。衝突時の偏極陽子のスピンの向きを制御することにより二重スピン非対称度を測定したものである。

この測定の最も難しいところは、重クォークからの単電子を、多くのバックグラウンド事象から選別する点にある。本研究では、新たに導入されたハドロン粒子不感型検出器を用いることにより、これらのバックグラウンド事象の抑制を行った。この検出器は、位置敏感型のガス・チェレンコフ検出器である。バックグラウンドとして問題となるのは、中性パイ中間子やエータ中間子の崩壊によって生じる電子対や、光子と検出器物質との相互作用によって生成される電子対である。また、K 中間子の準レプトン崩壊による電子生成も特定の運動量領域では問題となる。本研究では、ハドロン粒子不感型検出器で検出された電荷分布の違いを利用するという新たな解析手法を確立することにより、単電子の信号純度を従来のハドロン粒子不感型検出器を用いない解析に比べて約 1.5 倍改善することに成功した。測定された単電子生成の断面積は、従来の解析結果と良く一致していることが確認され、新たな解析手法の正当性を示すことができた。

その上で、横運動量 0.5-3.0 GeV/c 領域の単電子生成の二重スピン非対称度を測定することに世界で初めて成功した。得られた非対称度は非常に小さな値となっている。この結果を用いて、陽子中のグルーオン偏極度 $\Delta g(x, \mu)$ に対して、 $|\Delta g/g(x, \mu)|^2 < 3.0 \times 10^{-2}$ (1σ) という制限を与えることに成功した。エネルギースケール μ は 1.4 GeV であり、測定された Bjorken x の範囲は、 $\log_{10} x = -1.6^{+0.5}_{-0.4}$ という、これまでに未測定の小さな Bjorken x 領域に対応するものとなっている。この結果は、陽子のスピンに対するグルーオン全体の寄与を決定する上で重要な実験結果であり、他の反応を含めた包括的な理論解析に大いに貢献することが期待される。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 25 年 1 月 21 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った。その結果合格と認めた。