

学位審査報告書

（ふりがな） 氏 名	からつ けんいち 唐津 謙一
学位（専攻分野）	博 士 （ 理 学 ）
学位記番号	理 博 第 号
学位授与の日付	平成 年 月 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	理学研究科 物理学・宇宙物理学 専攻
（学位論文題目） Measurement of Cross Section and Single Spin Asymmetries of $W^{+/-}$ Boson Production in Polarized pp Collisions at $\sqrt{s} = 500$ GeV （偏極陽子陽子衝突エネルギー500GeV における $W^{+/-}$ ボソン粒子の生成断面積と生成縦偏極非対称度の測定）	
論文調査委員	（主査） 永江 知文 教授 中家 剛 教授 國廣 悌二 教授

理 学 研 究 科

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	唐津 謙一
論文題目	Measurement of Cross Section and Single Spin Asymmetries of $W^{+/-}$ Boson Production in Polarized pp Collisions at $\sqrt{s} = 500$ GeV		

(論文内容の要旨)

本論文は、偏極陽子・陽子衝突実験においてWボソン粒子の生成事象を検出し、その結果得られた生成断面積と生成縦偏極非対称度 (A_L) の測定について報告したものである。

陽子をはじめとする核子は3つの価クォークからできているハドロンであるため、単純に考えると核子の持つスピンもクォークスピンの足し合わせによって説明できるはずである。しかし、核子内部を支配する量子色力学 QCD (Quantum Chromo Dynamics) の効果によって核子中で生成されている海クォークが核子とは逆方向のスピンを持ち、価クォークの核子スピンへの寄与を相殺していることが、深非弾性散乱等これまでの実験から示唆されてきている。この効果をより詳しく調べることは、核子スピン構造及び QCD の理解を深める上で重要な命題である。

これまで、海クォークのスピンはハドロン生成を用いる準非弾性散乱によって測定されているが、これは破砕関数のモデル依存性を含んだ間接的な測定であるため決定精度が十分でない。そこで提案されたのが、Wボソン粒子のレプトン崩壊過程を通じた生成縦偏極非対称度 A_L の測定である。W粒子は左巻きクォークと右巻き反クォークとのみ結合し、しかも反応するクォークのフレーバーがほぼ決まっている。そのため、衝突陽子のスピンを逆向きにしたときのW粒子の A_L を測定することによって、陽子内(海)クォークのスピンをフレーバー毎に分離し、直接抽出することが可能である。この測定は、海クォークのスピンを従来よりも高精度に決定することができ、クォークスピンの核子スピンへの寄与に対して大きな制限を与えることができる。

実験データは、米国ブルックヘブン国立研究所にある偏極陽子衝突型加速器RHICにおいて初めて行われた衝突エネルギー500GeVラン (2009年3~4月) において、RHICの衝突点の1つに位置するPHENIX検出器を用いて取得された。Wボソン生成事象は、その崩壊から生じる高横運動量 (p_T) 電子・陽電子をPHENIX検出器の中央ラピディティ方向 ($|\eta| < 0.35$) にある電磁カロリメーター、ドリフトチェンバー及びパッドチェンバーを用いて検出することによって同定された。

その結果、横運動量 $30 < p_T < 50 \text{ GeV}/c$ の電子・陽電子に対して、 W^+ の生成断面積が $\sigma(pp \rightarrow W^+X) \cdot \text{BR}(W^+ \rightarrow e^+ \nu) = 146.3 \pm 21.0 (\text{stat.})^{+3.5}_{-10.5} (\text{sys.}) \pm 23.3 (\text{norm.}) \text{ pb}$, W^- の生成断面積が $\sigma(pp \rightarrow W^-X) \cdot \text{BR}(W^- \rightarrow e^- \nu) = 34.2 \pm 13.1 (\text{stat.})^{+7.4}_{-8.8} (\text{sys.}) \pm 5.6 (\text{norm.}) \text{ pb}$ 及び、それぞれの生成非対称度 $A_L^{e^+} = -0.88^{+0.27}_{-0.12}$, $A_L^{e^-} = 0.91^{+0.09}_{-0.71}$ という測定値が得られた。これは陽子・陽子衝突実験における初のW粒子生成断面積の測定であり、その値はNLO (Next-to-Leading Order) 及びNNLO (Next Next-to-Leading Order) 摂動論的QCD計算と矛盾の無いものであった。 A_L についても、これまでの海クォークスピンの測定から予測される、NLO計算に基づいた理論計算と無矛盾であった。

以上、本論文は、陽子・陽子衝突実験における世界初のW粒子生成断面積の測定結果を報告したものである。また、統計的な制約から海クォークスピンを精度良く決定するには至らなかったが、W粒子生成を用いて海クォークスピンを直接抽出するという手法を実験的に確立した点で、核子スピン構造の研究に新たな境地を切り開いたと言える。

(論文審査の結果の要旨)

陽子のもつスピン量子数は基本的物理量であり、陽子を構成しているクォークとグルーオンによって、これを説明できるかどうかは、クォークとグルーオンの世界の力学を記述する量子色力学(Quantum Chromo Dynamics: QCD)の重要な課題の一つとなっている。陽子を3個の価クォークで説明していた非相対論的クォーク模型においては、3個のクォークのもつスピン量子数の足し合わせによって陽子のもつスピンの寄与が理解されていた。しかし、深非弾性散乱等を用いた摂動的QCD理論による解析では、陽子スピンに対するクォーク・スピンの寄与は、2-3割程度しかないことが分かってきた。このことは、価クォークのスピンの寄与を、QCDによってダイナミカルに生成される海クォークのスピンの寄与が打ち消すことによって起きているのではないかと示唆されている。

このことを実験的に探る有力な方法として、偏極陽子・陽子衝突反応におけるWボソン生成反応が着目された。Wボソンが媒介する弱い相互作用の性質により、W粒子は、左巻きクォークと右巻き反クォークとの結合により生成される。その崩壊を、電子/陽電子とニュートリノへの崩壊モードで検出することにより、陽子内の海クォークのスピンの寄与を、クォークの種類毎に分離して測定することが可能となる。

測定は、米国ブルックヘブン国立研究所の偏極陽子衝突加速器RHICを利用して、PHENIX検出器によって行われた。衝突エネルギーを500 GeVに増強することによりWボソンの十分な生成が可能となった。その検出には、PHENIX検出器の電磁カロリメーター系と飛跡検出器系を用いて、30 GeV/c以上の大きな横運動量を持って放出される電子/陽電子を検出することにより成功した。この測定は、陽子・陽子衝突反応におけるWボソン生成の世界初の測定となった。測定された生成断面積は、正電荷の W^+ 粒子に対して $\sigma(pp \rightarrow W^+X) \cdot BR(W^+ \rightarrow e^+ \nu) = 146.3 \pm 21.0(\text{stat.})^{+3.5}_{-10.5}(\text{sys.}) \pm 23.3(\text{norm.})$ pbであり、負電荷の W^- 粒子に対して $\sigma(pp \rightarrow W^-X) \cdot BR(W^- \rightarrow e^- \nu) = 34.2 \pm 13.1(\text{stat.})^{+7.4}_{-8.8}(\text{sys.}) \pm 5.6(\text{norm.})$ pbという値が得られた。これは、QCD摂動論のNLO (Next-to-Leading Order) 及びNNLO (Next Next-to-Leading Order) レベル計算によってよく再現できることが判明した。また、生成非対称度の測定により、 $A_L^{e^+} = -0.88^{+0.27}_{-0.12}$, $A_L^{e^-} = 0.91^{+0.09}_{-0.71}$ という測定値が得られた。統計精度の観点から、海クォーク・スピンの寄与に関して、現在提唱されているいくつかのモデルを選別するまでの精度は得られなかったものの、得られた中心値は正負の大きな値をもち、理論計算に近い値を示している。このことは、期待通りにWボソン生成の偏極非対称度の測定が、陽子内の海クォークのスピンの寄与を測定することに非常に有効であることを実証するものであり、その方法論を確立した意義は大きい。これは、今後の測定において、陽子のスピン構造の研究に新たな展開を期待させるものである。

なお、この実験は国際共同チームによるものだが、エネルギー増強に対応するための検出器系の調整や、Wボソン検出のための解析プログラムの開発等、データ解析のみならず、申請者の実験への寄与は大きなものが認められる。

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23年3月23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。

要旨公開可能日： 年 月 日以降