

學位審查報告書

(ふりがな)	さはらりょう
氏名	佐原 諒
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)	Photon Structure Functions and Heavy Parton Mass Effects (光子構造関数と重パートン質量効果)
論 文 調 査 委 員	(主査) 植松 恒夫 教授 青山 秀明 教授 小林 達夫 准教授

理 学 研 究 科

(続紙 1)

京都大学	博士 (理 学)	氏名	佐原 諒
論文題目	Photon Structure Functions and Heavy Parton Mass Effects (光子構造関数と重パートン質量効果)		
(論文内容の要旨) 自然界の四つの基本相互作用のうち、強い力は量子色力学 (QCD) と呼ばれるゲージ理論で記述される。陽子や中性子すなわち核子がクォークやグルーオンからどのように構成されているかを明らかにするのはQCDに基づくハドロン物理での重要な課題である。これまで世界の主要な加速器を使って、核子の構造関数や核子を構成するクォークやグルーオンの運動量の分布すなわちBjorken変数xについての分布関数の研究が行われてきた。一方、電子・陽電子の衝突実験において高エネルギーでは1光子過程よりも2光子が関与してハドロンが生成される過程が大きく寄与する。この2光子過程で終状態の電子と陽電子のエネルギーと散乱角を測定することにより仮想光子を標的とした構造関数を調べることが可能である。実際、仮想光子構造関数はこれまで、摂動論的QCDの高次の計算がクォークの質量がゼロの場合については光子構造関数F_2のNNLOのオーダーまで行われている。 本申請論文は上で述べた仮想光子の構造関数について、重いクォークや超対称粒子などの重パートンの質量を考慮した分布関数と構造関数の振る舞いをQCDとSQCDの摂動論で調べたものである。これまで演算子積展開の手法で計算された質量効果をパートン分布に対する発展方程式で計算する。まず初めに、チャームクォークやボトムクォークなどの重クォークが存在する場合の光子構造関数をDGLAP方程式のLeading Order (LO) 近似で計算し、重クォークの分布関数に対する境界条件を課すことで、方程式を解いて質量効果を導きその対数項までが演算子積展開の手法で求めた結果に一致することを示した。また重クォークの質量効果を取り入れたパートン分布関数のモーメントの解の表式を与えた。 本学位論文は次にQCDを超対称性の有る理論に拡張した超対称QCD (SQCD) の場合について、光子構造関数を調べる。これは将来の電子・陽電子リニアコライダー (ILC) での実験での検証を目標に置いている。SQCDでは基本構成要素はクォークとグルーオンの外に、クォークの超対称性の相棒であるスカラー粒子のスクォーク (squark) とグルーオンの相棒であるグルイノ (gluino) が存在する。SQCDの輻射補正を議論する前に、スクォークが仮想光子構造関数にいかなる寄与を与えるかを、probeの仮想光子と標的の仮想光子の前方散乱振幅を質量のあるスクォークの1ループで計算し、その虚数部分をとることで、仮想光子の構造テンソルが得られ、それから8つの独立した構造関数を求めた。それらの一次結合をとることで、通常のF_2やF_L、またg_1やg_2が得られる。これらの構造関数はCauchy-Schwarzの不等式から導かれる3つの正定値条件を一般に満足するが、スクォークについてはそのうちの二つは等式になることが示された。 申請論文は最後に、SQCDの輻射補正の効果を含めた仮想光子構造関数をLOのオーダーでDGLAP方程式を1ループの超対称なSplitting関数を適用して、境界条件でトップクォークとスクォークおよびグルイノの質量のところでそれぞれの分布関数が消える条件を設定することで、重パートンの質量効果を求め、光子の構造関数F_2を逆Mellin変換でBjorken変数xの関数として求めた。			

(論文審査の結果の要旨)

素粒子の標準模型において基本構成要素のクォークとグルーオンの間の強い相互作用を記述するのが $SU(3)$ のカラー (色) をゲージ化した量子色力学 (QCD) である。近年、高エネルギーのレプトン・核子深非弾性散乱実験で核子の中のクォークやグルーオンのパートン分布関数が摂動論的 QCD を用いて調べられてきた。最近では重クォークの質量の効果を取り入れた解析が行われているが、その処方はずしも一意的ではない。核子の構造関数が非摂動論的な因子を含むのに対し、電子・陽電子衝突実験での 2 光子過程で測定される仮想光子の構造関数は標的となる仮想光子の質量が QCD のスケール・パラメータに比べて十分大きくまた探索光子の質量に比べて十分小さい運動学的領域では、摂動論で計算が可能である。

本学位申請論文はクォークの質量をゼロとして扱った従来の計算を改良することを目標とし、重クォークや超対称粒子の質量の効果を取り入れた光子構造関数の計算を QCD や超対称 QCD (SQCD) の理論で遂行したものである。従来の演算子積展開の手法で行った質量効果をパートン分布に対する発展方程式を用いて計算する。まず QCD の場合についてはチャームやボトムなどの重クォークの分布関数の境界条件を探索光子の質量が重クォークの質量に一致するときにゼロになるものと設定する。それから標的質量スケールでの初期条件を導き、DGLAP 方程式を解くことで質量効果を求めた。その結果、対数項までが演算子積展開の手法で求めた結果に等しいことが示された。

さらに本申請論文は超対称性のある SQCD について光子構造関数を調べ、将来の電子・陽電子線形加速器 (ILC) の実験での検証を目指している。SQCD ではクォークとグルーオンの外にスピンゼロのスクォークとスピン $1/2$ のグルイノが登場する。申請者は SQCD の輻射補正を論じる前に、電磁的な相互作用でのスクォークの光子構造関数への寄与を求めた。仮想光子では 8 つ、また実光子では 4 つの構造関数が存在するがこれら全てをスクォークの 1 ループが寄与する光子・光子前方散乱振幅の虚数部分をとることにより数式処理のプログラムを用いて解析的な表式として一般的に計算した。さらにこれらの構造関数の満たす等式と不等式を求めた。これはスクォークの仮想光子構造関数への寄与の計算としては最初のものである。

以上の計算手法に基づき申請者は SQCD の輻射効果を含めた仮想光子構造関数を L_0 のオーダーすなわち 1 ループの SQCD の Splitting 関数を用いて DGLAP 発展方程式で計算することを行った。QCD の場合に対応する境界条件をトップクォーク、スクォークおよびグルイノの重パートンそれぞれに設定し、これらの質量効果を取り入れた光子構造関数 F_2 を逆 Mellin 変換の手法で Bjorken 変数 x の関数として求めた。結果は QCD と SQCD では small x ではあまり違いが出ないのに対して、large x ではかなり差が出ることが示された。

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 24 年 1 月 19 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。