

# Study of heavy quark pair production in high energy proton-nucleus collisions within the Color Glass Condensate framework

その他のタイトル	カラーグラス凝縮の枠組みに基づく高エネルギー陽子原子核衝突における重クォーク対生成の研究
学位授与年月日	2014-03-24
URL	<a href="http://doi.org/10.15083/00006596">http://doi.org/10.15083/00006596</a>

## 論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 渡邊和宏

本論文は英文で書かれ、本文3部9章 (section) と補足4節 (appendices) から構成される、193 ページに及ぶ力作である。第1部は4章からなり、この研究の基礎知識のレビューに当てられている。第1章は序論で、この研究の動機となる理論的・実験的背景と、その中で陽子原子核衝突における重いクォークの対生成を研究する意義とこの論文で採用した方法について概観している。第2章では、この論文の研究方法を与える、高エネルギーハドロン反応のパートン模型とカラーグラス凝縮 (CGC) の方法についての基礎知識のレビューを行っている。第3章では、CGC 描像による高エネルギーハドロン衝突におけるクォーク対生成の計算方法を、第4章では、本論文の研究対象となる重いクォーク対の束縛状態 (クォークonium) とそのハドロン衝突による生成過程について、CGC 描像による計算方法についてまとめられている。第2部は3章からなり、この論文のオリジナルな研究成果がまとめられている。第5章は前章で求められたグルーオンの分布関数を用いて、RHIC や LHC での陽子原子核衝突実験におけるクォークonium生成の断面積が蒸発模型 (Evaporation Model) によって計算され、実験結果との詳細な比較が行われている。第6章では、重いクォークを1つ含む重いハドロンの生成断面積の計算結果が詳細に報告されている。第7章では、特に衝突パラメータ依存性がCGC描像からどのように現れるか、ここでやった計算結果をもとに詳細に議論している。第3部は2章からなり、現在進行中の研究の中間報告とこの論文全体のまとめが行われている。第8章は非相対論的 QCD (NRQCD) の因子化法によって、クォークoniumの生成過程の記述に束縛状態の波動関数の情報を取り入れる方法が検討されている。第9章はこの博士論文の全体のまとめにあてられている。補足A節は本論文で使う記号の定義や数学的定理の説明がまとめられ、B節では第8章の計算に用いられた表式の詳細な計算結果が与えられ、C節では非相対論的なポテンシャル記述に依って得られる束縛状態の波動関数を用いて相対論的なベーテ・サルピーター (BS) 振幅を導く方法が述べられ、D節では双極子模型による計算で現れる4重極振幅のガウス近似による計算方法が述べられている。

序論で述べられているように、現在、米国ブルックヘブン国立研究所 (BNL) やスイスの欧州原子核研究機構 (CERN) で超高エネルギーにおける原子核衝突実験が行われているが、その際、原子核衝突によって一時的に生成されると考えられているクォーク・グルーオンプラズマのプロブとして、重いクォーク対の束縛状態であるクォークoniumや非束縛状態からできる重いハドロン対の生成が注目されてきた。本研究では、重い原子核衝突におけるこれらのプロブの有効性を確かめるため、同じエネルギー領域で同時に行われている陽子原子核衝突実験の解析を、反応

の初期状態を「カラーガラス凝縮 (CGC)」と呼ばれるグルーオン間の非線形相互作用の効果を取り込む方法によって詳しく調べている。

この描像によると、高エネルギーの陽子原子核衝突によって重いクォーク対を生成するグルーオンの初期分布は、単純な核子のパートン分布関数の重ね合わせではなく、QCD に特徴的なグルーオン間の非線形相互作用によって、高エネルギーではグルーオンの分岐によるカスケード的増殖とグルーオンの再結合によって変化し、いずれ後者の効果によって位相空間でのグルーオン密度が飽和することが予想されている。このような効果を取り入れてグルーオンから作られるクォーク対振幅のラピディティー依存性を記述する発展方程式の一つは Balitsky-Kovchegov 方程式 (BK 方程式) と呼ばれているが、位相空間での一種の拡散方程式に類似した偏微分方程式の形をしている。著達は、QCD の結合係数に運動量依存性を取り入れた BK 方程式の近似的数値解を用いて、新たにクォークoniumや重いハドロン対の生成確率を計算し、最近の実験結果と詳しく比較した。この計算は、グルーオンから生成される重いクォーク対の核内グルーオン場による多重散乱の効果を取り入れて、これまで別のアプローチで評価されて来た核物質によるクォークonium吸収効果を CGC 描像で再評価したと考えることもできる。

筆者が特に注目したのは、BK 方程式の解に特徴的なクォーク対の横方向運動量分布がクォーク対のラピディティーの増加とともに高運動量領域に広がっていく傾向で、このような傾向は陽子陽子衝突の場合と比較して陽子原子核衝突では更に顕著となる。筆者の得た結果は BNL の RHIC で行われたチャーモニウム生成のラピディティー分布の実験結果は良く再現できるが、最近公開された CERN の LHC での更に高いエネルギーでの実験結果と比較すると、この計算から予言されるエネルギー依存性は強く出すぎるということがわかった。この計算ではクォークoniumの生成過程は蒸発模型によってクォークoniumの内部状態への依存性を無視した方法で記述しているが、筆者は本論文の最後に、計算の改善方向として非相対論的 QCD の因子化法によってクォークoniumの内部量子数への生成確率の依存性を取り込む方法について検討している。

本研究の内容は、現在精力的に行われている高エネルギーでの原子核実験に強く関係した時宜を得たものであり、その成果は実験結果の物理的解釈への寄与として意義があり、著者の発表した成果は実験家からも注目されている。

この論文でまとめられている主な成果は本研究科の藤井宏次助教との共同研究に基づいているが、本人の寄与が十分あり、博士号を授与するのに十分な内容であると審査員一致で判定した。