

# 論文内容の要旨

## 論文題目

Production of charm and bottom quarks in p+p collisions  
at 200GeV

(200GeV 陽子陽子衝突におけるチャームクォークとボトムクォークの生成)

氏名：森野雄平

本論文は、ブルックヘブン国立研究所のRHIC加速器を用いた重心系エネルギー200GeVの陽子陽子衝突における重いクォーク（チャームクォーク、ボトムクォーク）の生成についての、PHENIXにおける実験的研究、それを踏まえてRHICの重イオン衝突で生成された高温高密度クォーク物質の物性研究を記述したものである。

量子色力学(QCD)はクォークとグルオンを基本構成要素とする強い相互作用を記述するゲージ理論である。運動量移行が大きい場合は、摂動論的手法によってQCDの計算を行なう事が可能である。核子核子衝突での重いクォークの生成には大きな運動量移行が必要なため、RHICにおける陽子陽子衝突における重いクォークの測定によって、摂動論的QCDの検証を行なう事ができる。

また、運動量移行の小さい領域に対しては、現象論的手法や、有力な手法として格子計算が用いられる。格子QCD計算は、エネルギー密度約 $1\text{GeV}/\text{fm}^3$ 以上、温度では170MeV以上という高温高密度状態ではクォークの閉じ込めが破れ、クォークとグルオンの自由度で相互作用を行なうクォークグルオンプラズマ(QGP)と呼ばれる状態への相転移を予想している。このクォークとグルオンの多体系であるQGPの性質の実験的な解明は、閉じ込めの破れの検証だけでなく、多体系QCDの性質というQCDの根本的な理解に重要である。

実験室において、QGPを実現しその性質を研究するためには、高エネルギー重イオン衝突が現在唯一の方法であり、それがRHIC加速器の主題である。重イオン衝突実験の特徴は、衝突によって生成された高温高密度物質は時間発展を行い、その時間発展の各段階で生成した粒子は、その後最終的なハ

ドロン相を通過するまで相互作用を行なう事である。検出される粒子は相互作用の総和を反映しているため、粒子の生成された段階を知る事が重要である。

RHIC における重いクォークの測定は、摂動論 QCD の検証のみならず、重イオン衝突実験において重要な役割を持っている。重いクォークは、低い運動量であってもその重い質量の為に、衝突初期の運動量移行の大きな衝突(hard process)でしか生成されない。すなわち、重いクォークの初期状態は陽子陽子衝突での測定によって良く決定する事が可能である。そして、その後の高温高密度中を通過する。そのために、重イオン衝突と陽子陽子衝突での重いクォークの測定結果の比較により、高温高密度物質の情報が得られると期待されるからである。

PHENIX 実験は、主に中心ラピディティ付近での電子、光子の測定に重点の置かれた検出器群によって RHIC 加速器による衝突の測定を行なっている。

PHENIX 実験において重いクォークの測定は、D Bハドロン半レプトニック崩壊によって生じる電子(単電子)の測定を通じて行なわれてきた。この測定はチャームクォーク由来の単電子とボトムクォーク由来の単電子を識別できないという欠点はあるが、約 10%程度という比較的大きな D,B ハドロンの半レプトニック崩壊への分岐比と少ないバックグラウンドの為に、PHENIX 実験においては有効な手段である。これまでに、摂動論的 QCD はその不定性の範囲内で、陽子陽子衝突で測定された単電子の横運動量分布を再現している事、また金金衝突では、陽子陽子衝突に比べて高横運動量の単電子の収量が大きく抑制されている事、単電子の収量は反応平面からの角度に強く依存する事が確認されている。これらの発見から、より詳細な議論を行うために最も重要なのは、単電子中にどれだけボトムクォークからの寄与があるかを定量的に知る事である。陽子陽子衝突におけるボトムクォークの測定は、その大きな質量のために、チャームクォークの測定よりも正確な摂動論 QCD の検証となる。特に横運動量分布での実験と理論の比較を行なう事は、破砕過程の理論的手法の検証ともなる。また、高温物質中でのチャームクォークとボトムクォークの振る舞いは、その質量の違いの為に大きく異なる事が期待されている。そのため単電子の測定結果を解釈する上では、ボトムクォークの寄与を定量的に知らなくてはならない。

以上の目的のために、本研究では重心系エネルギー 200 GeV の陽子陽子衝突において単電子の横運動量分布を測定し、その上で、 $D \rightarrow e+K \cdot X$  崩壊の部分再構成を応用した新しい解析手法の開発を行い、単電子中のボトムクォークの寄与の決定を行なった。

本研究では、まずカクテル法とコンバーター法という二つの独立した方法によって、重心エネルギー 200 GeV での陽子陽子衝突において生成された重いクォークの半レプトニック崩壊からの単電子の横運動量分布が得られる。この二つの独立した方法で互いに一致した結果を得られた。これは金金衝突での単電子の振る舞いを議論する際の基礎を与える物である。次に PHENIX 実験において初の試みである、チャームクォーク由来の単電子の収量とボトムクォーク由来の単電子の収量の比の測定を陽子陽子衝突において行なった。この測定の根本は  $D \rightarrow e+K \cdot X$  崩壊における  $e+K \cdot$  の部分再構成である。具体的には、 $D^0$  崩壊からの  $e+K \cdot$  間の強い相関に着目し、単電子と反対に荷電したハドロンをが測定される確率を評価する事によって、全体の単電子に対するチャームクォーク由来の単電子の割合を決定している。この測定により、RHIC において初めてチャームクォーク由来の単電子、ボトムクォーク由来の単電子

の横運動量分布が得られた。その結果を図1に示す。収量分布において、実験結果と摂動論 QCD の比はチャームクォークで約2、ボトムクォークで約1である。この値は Tevatron における重いクォークの測定結果と摂動論 QCD の比と一致している。この横運動量分布から重心エネルギー200GeVでの陽子陽子衝突におけるボトムクォークの生成断面積が得られた。摂動論 QCDを用いたボトムクォークの生成断面積の計算結果は、得られた実験結果と矛盾しない事が判明した。これにより、ボトムクォークの生成について、摂動論 QCD、及び破砕過程の理論手法の有用性が確認された。

次に、得られたチャームクォーク由来の単電子の収量とボトムクォークの単電子の収量の比に基づいて、金金衝突で生成される高温物質中での重いクォークの振る舞いに対する理解が試みられた。前述のように、金金衝突においても、重いクォークは初期の核子衝突でのみ生成されるので、陽子陽子衝突で得られた結果を元に議論する事が可能である。本研究において決定されたボトムクォークの寄与を考慮すると、チャームクォークだけでなく、ボトムクォークが高温物質中でそのエネルギーを損失している事が判明した。また、測定されたボトムクォークの寄与を考慮した上で、金金衝突実験での単電子の測定結果を再現する Langevin 方程式に基づいた現象論的な理論模型の結果は、金金衝突において測定

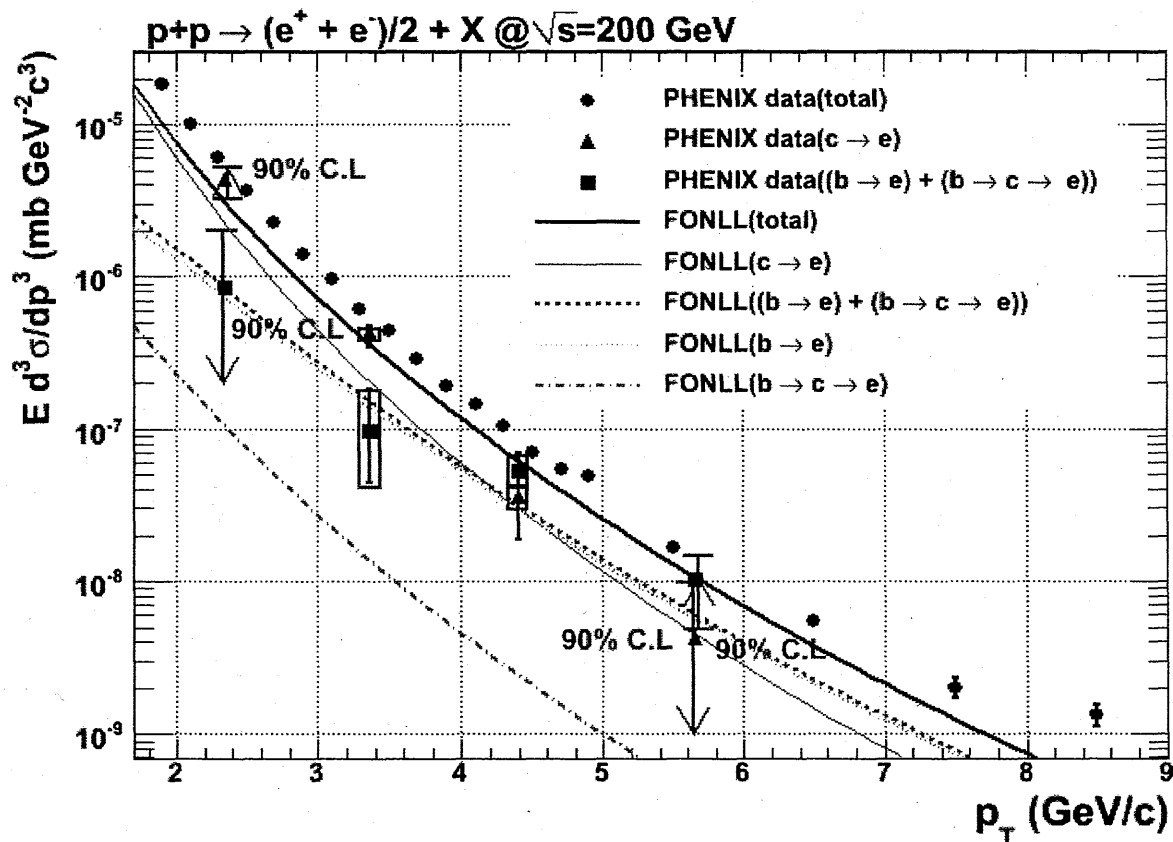


図1、チャームクォーク (▲)、ボトムクォーク (■) 由来の単電子の横運動量分布  
 される単電子は横運動量 3GeV/c 以上ではボトム由来が主になる事を示している。これは 3GeV/c 以上の横運動量を持つ単電子の収量の反応平面依存性から、ボトムクォークの物質中での運動の研究が可能である事を意味し、本研究はそのための基礎を提供した。