

氏 名 永井崇寛

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 1144 号

学位授与の日付 平成 20 年 3 月 19 日

学位授与の要件 高エネルギー加速器科学研究科 素粒子原子核専攻  
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 破砕関数と原子核パートン分布関数の決定

|        |     |     |               |
|--------|-----|-----|---------------|
| 論文審査委員 | 主 査 | 准教授 | 森松 治          |
|        |     | 准教授 | 澤田 真也         |
|        |     | 准教授 | 筒井 泉          |
|        |     | 教授  | 萩原 薫          |
|        |     | 教授  | 熊野 俊三         |
|        |     | 教授  | 齋藤 晃一(東京理科大学) |
|        |     |     |               |

## 論文内容の要旨

本研究では、破砕関数と原子核パートン分布関数の解析を行った。高エネルギーのレプトン・核子散乱、陽子・陽子衝突、原子核・原子核衝突におけるハドロン生成の正確な記述は、核子のスピン構造やクォーク・ハドロン物質の性質を研究する上で、最近重要となりつつある。これらのハドロン生成過程の記述に破砕関数は必要不可欠であり、本研究で詳細に研究した。RHICやLHCの重イオン衝突の断面積を計算するためには、原子核のパートン分布関数が必要である。本研究では、様々な高エネルギー原子核反応のデータを包括的に解析することにより、原子核のパートン分布関数を求めた。また、今回の解析で求めた破砕関数と原子核分布関数を計算するプログラムを作成し、他の研究者が利用できるようにインターネット上で公開した。

最初に、破砕関数の研究について述べる。我々は、電子・陽電子対消滅における荷電ハドロン生成データを用いて、強結合定数について最低次 (leading-order, LO) と2次 (next-to-leading order, NLO) の解析を行うことにより、 $\pi$ 中間子、K中間子、陽子の破砕関数とそれらの不定性を求めた。この解析で、これらの破砕関数に対して以下の結果を得た。

- $\pi$ 中間子に関しては、グルーオンと反uクォークの破砕関数が、LOと比較してNLOでより良く決定できていることがわかった。さらに、LOとNLO両方の解析で、cクォークとbクォークの分布は不定性が小さく、フレーバーを識別したcクォークとbクォークのデータより、良く決定できていることがわかった。
- K中間子に関しては、反uクォーク、反sクォーク、uクォークの破砕関数は、NLOの解析でLOと比較して改善が見られた。また、cクォークとbクォークの関数は、LOとNLOの解析両方とも、良く決定できていることがわかった。
- 陽子に関しては、LOとNLO解析両方とも、グルーオンの関数を決定することが困難であった。 $\pi$ 中間子とK中間子に比べてデータの誤差が大きいため、NLO解析の改善は、どのパートンの破砕関数に対しても見られなかった。

この解析で、特にグルーオンと軽いクォークの破砕関数の不定性が非常に大きいことを明らかにした点が重要である。頻繁に用いられるKniesl, Kramer, Potter (KKP) とKretzerの破砕関数には、大きく異なる部分があり、それらの信頼性が問題となっていた。本解析で、2つの関数は我々が求めた不定性の範囲内にあることを示し、それらの解析に矛盾がないことを明らかにした。また、破砕関数を正確に決定するには、Zボソンの質量より小さいエネルギーのBelle等のデータが重要であることを指摘した。

次に、原子核パートン分布関数の最適化研究について述べる。原子核構造関数 $F_2$ とDrell-Yan断面積比のデータを使用し、LOとNLOの解析を行うことにより最適な分布関数を決定し、それぞれの分布関数の不定性を示した。この解析で、重陽子から鉛の原子核に至る多数の原子核の実験を説明することに成功し、それらの原子核のパートン分布関数を提案した。この解析で、各々の分布関数に対して以下の結果を得た。

- 価クォークの原子核補正は、大きい $x$ で構造関数はほぼ価クォーク分布で表せるため、大きい $x$ 領域の $F_2$ のデータより精度良く決定できた。この補正の決定と、バリオン数保存則と電荷保存則の強い制約により、小さい $x$ においても価クォーク分布は精度良く決定できていることがわかった。価クォークの分布は精度良く決定されているため、不定性はLOとNLOで差がほとんどなかった。

- ・ 反クォークの原子核補正は、逆に、小さい $x$ で構造関数はほぼ反クォークで表せるため、小さい $x$ 領域の $F_2$ のデータより精度良く決定できていることがわかった。また、 $x=0.1$ の領域ではDrell-Yanデータの制約により原子核補正はなく、大きい $x$ では実験データが存在しないため、大きい不定性を持っていることを明らかにした。さらに、大きい $x$ の反クォークの原子核補正を決定するためには、J-PARCやFermilabにおける実験が重要であることを指摘した。
- ・ グルーオンの原子核補正は、全 $x$ 領域で正確に決まってないことがわかった。グルーオン分布は摂動の高次項として、構造関数や断面積に寄与するため、NLOの解析でより正確に求まることが期待される。しかし、現状では原子核構造関数の比に対して、正確な $Q^2$ 依存性が測定されておらず、グルーオン分布の原子核補正を正確に求めることができなかった。原子核のグルーオン分布を詳細に決定するためには、より広範な運動学的領域のデータが必要でありあることを指摘した。

重陽子の原子核補正についても詳しく検討し、現状では核子の分布自体に、重陽子の原子核補正効果が含まれている可能性を指摘した。

## 論文の審査結果の要旨

永井崇寛氏の博士論文「破砕関数と原子核パートン分布関数の決定」は5章からなる。第1章は「序章」であり、研究の背景と動機について述べられている。第2章は「高エネルギーハドロン反応」であり、高エネルギーハドロン反応を通じてハドロンのパートン分布関数、破砕関数が導入され、その $Q^2$ 発展が論じられている。第3章「破砕関数」と第4章「原子核パートン分布関数」が本論文の中心であり、それぞれ、破砕関数と原子核パートン分布関数の解析の手順と結果について述べられている。最後の第5章は本論文の「まとめ」である。以下では、第3章と第4章の内容について説明する。

まず、第3章の破砕関数の解析について説明する。代表的な破砕関数の先行研究として、Kniehl-Kramer-Potter (KKP)とKretzerのグループによる研究があるが、2つのグループの結果には大きく異なる部分があり、これらの破砕関数の信頼性が問題となっていた。永井氏は電子・陽電子対消滅反応のハドロン生成データを用いて、摂動最低次[leading order (LO)]と一次の高次項を含む[next-to-leading order (NLO)]包括的解析をそれぞれ行い、 $\pi$ 中間子、K中間子、陽子に対する破砕関数を求め、Hessian法を用いて世界で初めてそれらの不定性を示した。この解析で、特にグルーオンと軽いクォークの破砕関数の不定性が大きいことを明らかにした。KKPとKretzerの破砕関数の違いは得られた不定性の範囲内であることも示した。この研究は、Physical Review D誌に掲載された。

次に、第4章の原子核パートン分布関数の解析について説明する。永井氏は、原子核構造関数 $F_2$ とDrell-Yan断面積の実験データを包括的に解析することにより、原子核パートン分布関数をLOとNLOの両方で決定し、分布関数の不定性を明らかにした。価クォーク分布は正確に求まり、反クォーク分布も $x < 0.2$ の領域で正確に決まったが、グルーオン分布は全 $x$ 領域で不定性が大きいことを示した。この研究では、LOとNLOの両方の解析で最適な分布関数とその不定性を求め比較検討した点と、重陽子の補正を含めた解析を行った点が新しい。この研究は、Physical Review C誌に掲載された。

以上のように、本博士論文の主要部分は、破砕関数と原子核パートン分布関数の新しい解析結果であり、2編の論文として発表済みである。また、本博士論文の内容は共同研究に基づくものであるが、永井氏は解析の中心的な役割を果たした。従って、審査委員会は、本論文が博士論文として満たすべき水準に達していると判定する。