

論文の内容の要旨

論文題目 **Measurement of Dijet Production in Diffractive Deep Inelastic Scattering at HERA**

(HERA での深非弾性回折散乱における
2 ジェット事象の測定)

氏名 俵 寿成

HERA のような (陽) 電子・陽子衝突の場合、つまり、ハドロンと反応する片方がレプトンである場合において、陽子ビーム方向と検出器内で見つかったハドロン粒子との間にギャップがある事象が観測された。これらの事象は、全体の深非弾性散乱事象の内、約 10% 程度であった。これは、一般の深非弾性散乱とは異なり、深非弾性回折散乱と呼ぶ。

ハドロン・ハドロン衝突においても回折散乱事象は観測されている。ハドロン・ハドロン衝突の全断面積が、重心系エネルギーの関数として、高エネルギーでは緩やかに大きくなっていることは、レッジエ理論においてカラーを持たない仮想粒子ポメロンを導入することで説明された。つまり、ハドロン・ハドロン衝突では、ポメロンは実粒子として、ハドロン内のパートンと反応して回折散乱を起こすと考えることができる。

この考えをもとに、HERA の深非弾性回折散乱は、(陽) 電子から放出される仮想光子をプローブとしてポメロンのパートン分布を探る事象と考えられるので、HERA は、ハドロン・ハドロン衝突実験よりも、非常に有利にポメロンの構造を探ることができる。

パートンとレプトンの深非弾性散乱の断面積は、パートン密度関数と、パートンとレプトンとの間の散乱断面積との積で表すことができる。このことが深非弾性回折散乱でも適用できることが示されているため、一般の弾性散乱と同様に、パートン・レプトン回折散乱の断面積は、ポメロンがパートンから放出される確率と、レプトン・ポメロンの散乱断面積との積で記述できる。回折散乱の構造関数 (F_2^D) のグルーオン密度分布は、HERA での F_2^D のデータへの DGLAP QCD フィットを用いて求められたが、その不定性はまだ非常に大きい。

これまで、強い相互作用は、量子色力学 (QCD) の理論で記述され、高エネルギーの領域では、結合定数が小さくなるため、QCD に摂動論を適用できる。この摂動論的 QCD の理論は、これまで様々な実験により検証されてきた。

近年、HERA における、H1、ZEUS グループによって、様々な回折散乱のパートン密度関数が求められている。これは、測定された散乱断面積をポメロンの放出確率で割ることにより、(陽)電子とポメロンとの散乱断面積、つまりポメロンの構造関数を決定できる。通常の深非弾性散乱と同じようにして、これから得られたポメロンの構造関数に対して、DGLAP QCD フィットを適用すると、ポメロンのパートン密度関数が求められる。この結果から、ポメロンは主にグルーオンからできていることがわかっている。これらの回折散乱のパートン密度関数を用いて、摂動論的 QCD における 2 次の項 (NLO QCD) の計算値を求めることができるようになった。

NLO QCD 計算に使用した回折散乱のパートン密度関数は H1 2002 フィット、ZEUS-LPS フィット、GLP フィットの 3 種類である。H1 2002 フィットは、H1 検出器で取得されたデータを元に求められた回折散乱のパートン密度関数である。ZEUS-LPS フィットは、ZEUS 検出器の Leading Proton Spectrometer で取得した回折散乱事象に F_2^D のチャームの寄与を加えて得られたものである。また、GLP フィットは、ZEUS 検出器を使用して M_X の高い部分を除いて回折事象を選択して得られた F_2^D を用いたものである。これら 3 種類の回折散乱のパートン密度関数を図 1 に示した。ここで、注目すべきは、グルーオン密度分布 (左図) がクォーク密度分布 (右図) よりも非常に大きく、分布の形がパートン密度関数によりかなり異なっていることである。特に、ポメロンに関するハードな部分過程からのパートンの運動量比である z が高いところで、差異が大きくなっている。

回折散乱でのボゾン・グルーオン・フュージョン (BGF) 過程は、ポメロンから放出されたグルーオンと電子からのボゾンである仮想光子が反応していると思なされる。そのため、BGF 過程が支配的である深非弾性回折散乱における 2 ジェット事象を調べることは、回折散乱におけるグルーオン密度に深い関係があると言える。特に、ポメロンのパートンに対する縦方向運動量比 z_P^{obs} を測定することは非常に意味がある。

この解析は、深非弾性回折散乱における 2 ジェット事象の断面積を様々な運動学的変数の関数として測定し、特に、 z_P^{obs} 分布を測定した。用いたデータは、1999 年から 2000 年の間に、HERA で、陽子を 920 GeV、(陽)電子を 27.5 GeV に加速して衝突させ、衝突点にある ZEUS 検出器を用いて取得した。このときの重心系エネルギーは、 $\sqrt{s} = 318$ GeV であり、データ量は、陽子・電子衝突と陽子・陽電子衝突を合わせて積算ルミノシティで 65.2 pb^{-1} である。まず、深非弾性散乱の事象を選択するために、散乱された (陽)電子が検出器内にあることを要求した。仮想光子の 4 元運動量の 2 乗 (Q^2)、Bjorken スケーリング変数 (x) などの運動学的変数を再構成した。次に、回折散乱事象を選択するために、終状態のハドロン粒子とビームパイプを通り抜ける陽子との間に十分にラピディティのギャップがあることを要求した。こうして選択した深非弾性回折散乱の事象に対して仮想光子 (γ^*) と陽子 (p) との重心系でジェットを探索し、内包的 k_T アルゴリズムを用いてジェットを再構成した。2 ジェットを選択するとき、最も高い横方向エネルギーを持つジェットの横方向エネルギー ($E_{T,\text{jet1}}^*$) と次に高い横方向エネルギーを持つジェットの横方向エ

エネルギー ($E_{T,\text{jet}2}^*$) のしきい値をそれぞれ $E_{T,\text{jet}1}^* > 5 \text{ GeV}$ 、 $E_{T,\text{jet}2}^* > 4 \text{ GeV}$ とし、かつ、それらのジェットが実験室系での擬ラピディティー ($\eta_{\text{jets}}^{\text{lab}}$) として $-2.0 < \eta_{\text{jets}}^{\text{lab}} < 2.0$ の範囲にある事象を選択した。以上の選択方法により、深非弾性回折散乱の2ジェット事象として、3711 事象を観測した。これらの事象に対して、 $5 < Q^2 < 100 \text{ GeV}^2$ 、 $100 < W < 250 \text{ GeV}$ 、 $x_P < 0.03$ 、 $N_{\text{jets}}^* \geq 2$ 、 $E_{T,\text{jet}1}^* > 5 \text{ GeV}$ 、 $E_{T,\text{jet}2}^* > 4 \text{ GeV}$ 、 $-3.5 < \eta_{\text{jets}}^* < 0$ の運動学的範囲で様々な運動学的変数の関数として断面積を測定し、特に、 $z_{\text{IP}}^{\text{obs}}$ の関数としての断面積を測定した。ここで、 N_{jets}^* は γ^*-p 系でのジェットの個数である。 η_{jets}^* は、 γ^*-p 系での擬ラピディティーで、ジェットの横方向エネルギーの系と合わせた。また、 x_P は、ポメロンの、入射陽子に対する縦方向運動量の比を意味している。

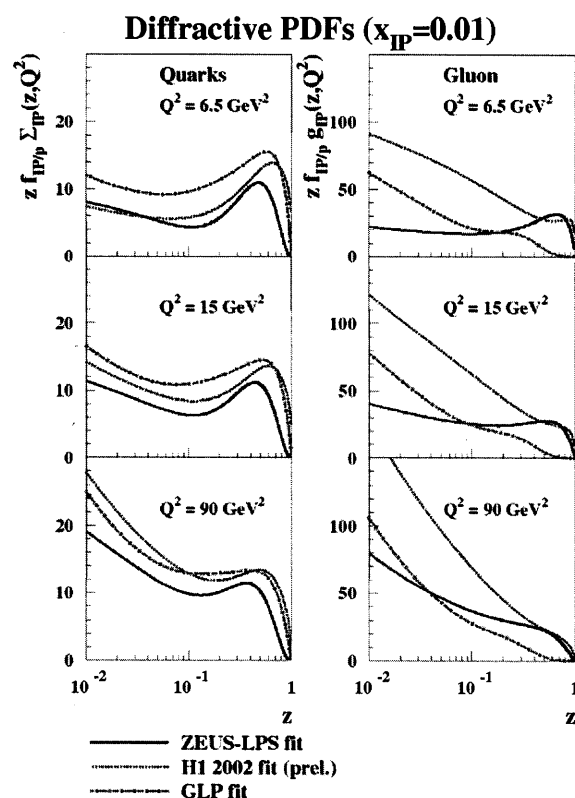


図 1: 回折散乱のパートン密度関数の分布

測定した断面積をもとに F_2^D で得られたパートン密度関数と比較するために、DISENT と呼ばれる NLO QCD プログラムを使用した。このプログラムはもともと回折散乱ではない深非弾性散乱の NLO を計算するプログラムであるため、このままでは深非弾性回折散乱には使用できない。そのため、この解析では改造を行い使用した。NLO 計算の出力値はパートンレベルであり、測定で求めた断面積はパートンがハドロン化した後であるため、モンテカルロイベントジェネレーター RAPGAP を用いて、NLO 計算値のパートンレベルをハドロンレベルに補正して、データと比較した。

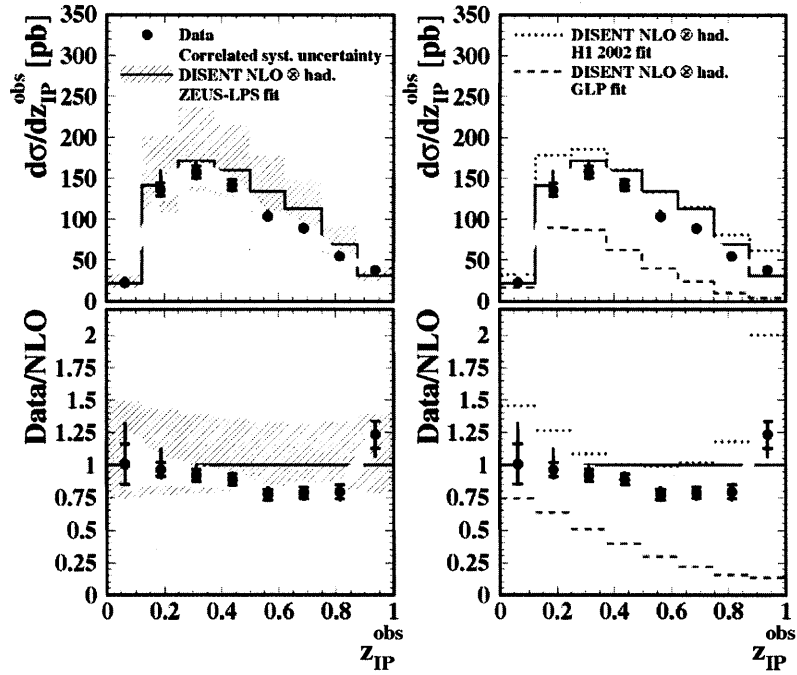


図 2: 深非弾性回折散乱による 2 ジェット事象の z_{IP}^{obs} の関数による断面積と NLO 計算値との比較

図 2 は、図 1 にある 3 種類の回折散乱のパートン密度関数をそれぞれ用いて、3 種類の NLO QCD 計算値を求め、データと比較したものである。データ点は左右の図で同じものをプロットしている。上の 2 つの図は、 z_{IP}^{obs} の関数として深非弾性回折散乱における 2 ジェット事象の断面積を表し、下の 2 つの図は、この断面積を ZEUS-LPS フィットを用いた NLO の計算値で割ったものである。図中のバンドは、スケールの不定性を示し、繰り込みスケール (μ_R) を $E_{T,jet1}^*/2$ から $2E_{T,jet1}^*$ の範囲で変化させて求めた。スケールの不定性は 3 種類のパートン密度関数によらず典型的に 20-30% であった。左図から、ZEUS-LPS を用いた NLO 計算値は、スケールの不定性の範囲内で、ほぼデータを再現しているのがわかる。一方、右図は、ZEUS-LPS フィットに加え、H1 2002 フィットを使用した NLO 計算も、データをほぼ再現できている。一方、GLP フィットを使用した場合、データの 1/2 近く低い。特に、 z_{IP}^{obs} 分布の形は、NLO QCD 計算値と測定した断面積との間で大きく異なっている。測定した深非弾性回折散乱における 2 ジェット事象の断面積のデータを F_2^D データへの DGLAP QCD フィットに含めることで、回折散乱のパートン密度関数の中の、グルーオンの密度分布関数の不定性を減らすことができると期待される。グルーオンの寄与が小さい GLP フィットを使用した NLO とデータとの比較により、この解析で測定した深非弾性回折散乱の 2 ジェット事象によって、高い z の領域で、ポメロンの中に非常に多くのグルーオンが存在していることが示された。