

## 論文内容の要旨

論文題目 Study of Three-jet Production in  $ep$  Diffractive  
Deep Inelastic Scattering at HERA

(HERA での電子陽子深非弾性回折散乱における、  
3 ジェット生成の研究)

氏名 山下 太郎

ハドロン同士の衝突における全断面積が、重心系エネルギーの関数として、高いエネルギーでは緩やかに大きくなることを説明するために、レッジ理論では真空の量子数を持ったポメロンという仮想粒子が導入される。ポメロンはハドロン衝突において、弾性散乱あるいはハドロンのうち一方が複数のハドロン粒子に変化するような回折反応において研究されており、ポメロンがパートンからなるハドロンの様な粒子であると考えられる(レゾルブドポメロンモデル)ことが可能であることが示唆されてきた。一方 HERA における電子陽子衝突実験において、通常の深非弾性散乱とは違って、陽子の前方方向と検出器内で観測された主要なエネルギーとの間に、エネルギーが観測されない事象が、深非弾性散乱において観測されており、深非弾性散乱事象の内、約 5% を占める。これらの事象は仮想光子と陽子の間にカラー 1 重項の状態が交換されている過程と考えられ、特に高エネルギーではポメロンが交換されていると思われる。この事象は深非弾性回折散乱と呼ばれている。深非弾性回折散乱はポメリンのクオーク成分を仮想光子で見ている、と考えることができるので、ポメリンの構造を探るうえで、強力な機会となった。深非弾性回折事象の包括的断面積が ZEUS、H1 グループによって測定された。その結果、さまざまな光子の 4 元運動量移行やハドロン終状態質量において、断面積が、交換されるカラー 1 重項状態の陽子運動量に対する部分運動量に対して、同じ依存性を示すことがわかった。これは、断面積が、陽子のなかのポメリンの流れと、ポメロンと光子との衝突の部分とに分けて書けることを意味し、カラー 1 重項の状態がその意味で粒子のように扱えることが示された。後者の部分は、ポメリンの構造を示す部分と考えられる。そこでこの部分に対して、量子色力学の発展方程式を用いて、ポメロンの中のパートン分布

が調べられた。グルーオンがポメロンの全運動量の 80%以上を担う（グルーオン優勢なポメロン）という結果が得られている。

一方、深非弾性回折散乱のモデルとして、ダイポールモデルと呼ばれる別のモデルが提唱されている。このモデルでは、反応は、光子が陽子と衝突する前にクオーク、反クオーク ( $q\bar{q}$ ) 状態 ( $q\bar{q}$  ダイポール)、あるいはクオーク、反クオーク、グルーオン ( $q\bar{q}g$ ) 状態 ( $q\bar{q}g$  ダイポール) になり、それが陽子と衝突する、という形で記述される。ダイポールと陽子との衝突の断面積は陽子のなかのグルーオン分布を用いて表せる。陽子のなかのグルーオン分布として、回折反応でない反応も含めた包括的深非弾性散乱の断面積から求まるものを用いて調べると、回折反応の断面積が良く記述出来ることが分かっている。

これらのモデルは回折反応の断面積を良く記述するが、さらに調べるためには反応の終状態を調べる必要がある。前者のモデルでは、グルーオンが多いため、断面積への主な寄与はグルーオンが光子と反応し、クオークと反クオークが生まれる過程である。このとき、グルーオンがポメロンから取り去られたあとに、ポメロンの残り（ポメロンレムナント）がポメロンの方向に放出される。ポメロンレムナントも、グルーオンであると考えられる。したがって、終状態は 3 つのパートン ( $q\bar{q}g$ ) からなり、終状態パートンの重心系において、グルーオンがポメロンの方向に沿って出ることが予想される。ダイポールモデルでは、終状態のパートンは、光子のどのような状態が陽子と反応するかによって、 $q\bar{q}$  あるいは、 $q\bar{q}g$  であるが、高い終状態質量では、同様に、 $q\bar{q}g$  が優勢で、かつグルーオンは終状態パートンの重心系においてポメロンの方向に沿って出ることが予想されている。

$e^+e^-$  実験において、終状態ハドロンの質量が 20 GeV 以上の領域では、 $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}g$  における  $q\bar{q}g$  からの 3 つのジェットが観測されている。そこで、終状態ハドロンの質量が十分高ければ、深非弾性回折散乱における  $q\bar{q}g$  が直接ジェットとして観測できる可能性が期待される。3 ジェットを調べることで、パートンの反応のダイナミクスを直接調べることができる。そこでこの解析では、深非弾性回折散乱における 3 ジェット事象を、 $q\bar{q}g$  パートンを調べる目的で研究した。

具体的には、例えば、3 ジェット事象でのジェット生成の微分断面積をジェットの光子-ポメロン軸からの角度の関数として、求めた。また、一般に同じエネルギーのジェットを比べると、グルーオンからのジェットはクオークからのジェットに比べて、ジェットシェイプが太いことが分かっている。両方のモデルは  $q\bar{q}g$  終状態のグルーオンがポメロン前方方向に放出されることを予想していることに着目し、ジェットの親パートンがクオークであることが多いかグルーオンであることが多いかを調べる目的で、ジェットシェイプをポメロン前方のジェットと光子前方のジェットに対して別々に測定した。

ジェットはハドロンの終状態の重心系において  $k_T$  構成法を用いて構成した。解析には ZEUS 実験において 1998 年から 2000 年に取得された  $42.3 \text{ pb}^{-1}$  のデータを用いた。3 パートンをジェットとして観測するために、高いハドロンの終状態質量 ( $M_X$ ) の領域 ( $23 \text{ GeV} < M_X < 40 \text{ GeV}$ ) を選び、仮想光子の 4 元運動量の 2 乗 ( $Q^2$ ) は深非弾性領域の領域  $5 < Q^2 < 100 \text{ GeV}^2$ 、

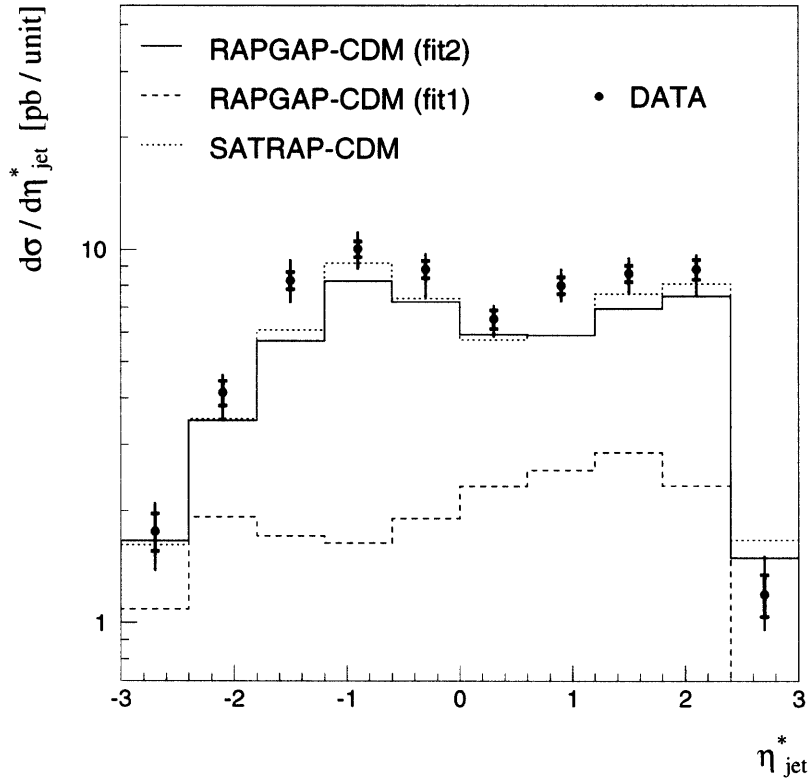


図 1: ジェットの擬ラピディティーに対する微分断面積。実線がグルーオン優勢レゾルブドポメロンモデル、点線がクオーク優勢レゾルブドポメロンモデル、ドット線がダイポールモデルの予測値。

かつ終状態が実験室系においてあまりブーストされていない運動学領域を選んで測定を行った。回折事象の条件として、検出器の陽子前方方向にエネルギーが観測されないことを要求した。さらに、回折事象の条件の測定に対するバイアスをなくすため、全てのジェットが、実験室系で検出器の中に十分に入っていることを要求した。これらの事象選択の結果、940個の3ジェット事象が観測された。

主な結果を述べる。ジェットの擬ラピディティー ( $\eta_{\text{jet}}^*$ ) を、終状態の質量重心系でポメロン方向から測ったジェットの角度  $\theta_{\text{jet}}^*$  を用いて、 $\eta_{\text{jet}}^* \equiv -\ln\left(\tan\frac{\theta_{\text{jet}}^*}{2}\right)$  と定義する ( $\eta_{\text{jet}}^* > 0$  がポメロン方向の半球を表している。)。1 イベントについての3つのジェット全てを含んでいる。図 1 は3ジェット事象における、 $\eta_{\text{jet}}^*$  に関する、ジェット生成の微分断面積である。1 イベントについての3つのジェット全てを含んでいる。測定されたジェット断面積はグルーオン優勢なレゾルブドポメロンモデル、ダイポールの予測と比べると約15%多かった。分布の形はだいたいこれらのモデルで予測される形と一致していた。また、測定値はクオーク優勢なレゾルブドポメロンモデルと比べると3倍ほど多くこのモデルでは説明できなかった。これはレゾ

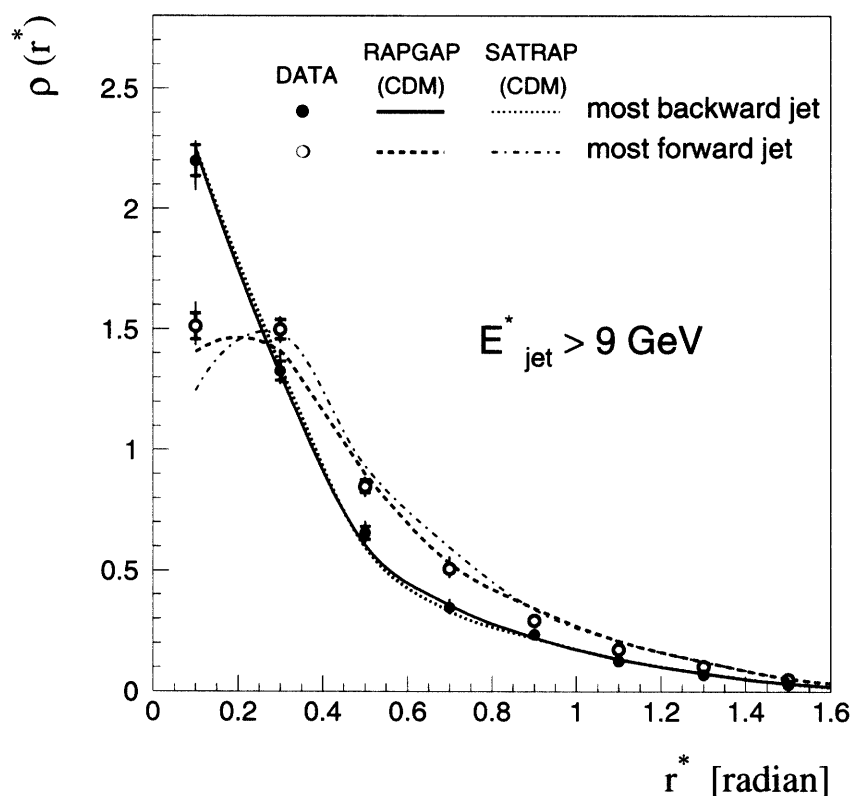


図 2: ジェット軸からの角度の関数として測定したジェットシェイプ、黒点は最も光子方向のジェット、白抜きは最もポメロン方向のジェット。RAPGAP、SATRAP の線はそれぞれ、レゾルブドポメロンモデル、ダイポールモデルの予測値。

ルブドポメロンモデルの枠組みのなかで、グルーオン優勢なポメロンを支持する結果である。

図 2 はジェットシェイプをジェット軸からの角度を関数として最もポメロンの方向のジェットと最も光子の方向のジェットについて別々に測定した結果である。最もポメロンの方向のジェットと最も光子の方向のジェットは同じようなエネルギー分布であったので、直接シェイプを比べられる。最もポメロンの方向のジェットは最も光子の方向のジェットに比べて太い、という結果が得られた。また、測定結果は  $q\bar{q}g$  終状態のグルーオンがポメロン前方方向に放出され、クォークのうち一つが光子前方方向に放出される、これらのモデルによってよく記述できた。この結果は、高い終状態ハドロン質量の電子陽子深非弾性回折散乱における 3 体終状態において、終状態パートン  $q\bar{q}g$  のグルーオンがポメロン前方方向に放出される、という描像を支持するものである。

先に述べた断面積の測定と合わせて、本研究は 深非弾性回折散乱における 3 ジェットの研究を はじめて定量的に行い、グルーオン優勢なレゾルブドポメロンモデル、ダイポールモデルによってある程度定量的に記述できることを明らかにするとともに、ポメロン前方方向のグルーオンを可視的に捉えることができた。