

## 学位論文要旨

### Neutral Pion Production in Proton+Proton Collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV and Insight into Hadron Production Mechanism

重心系エネルギー8TeVの陽子+陽子衝突における中性 $\pi$ 中間子の測定  
とハドロン生成機構への知見

氏名 八野 哲

通常、クォークやグルーオン（総称してパートン）は、ハドロンの中に閉じ込められている。この状態は、高温・高密度状況下で、パートンがハドロンから解放されたクォーク・グルーオン・プラズマ（QGP）に相転移する。自然界では、ビッグバン直後の数マイクロ秒後の世界や中性子星内部がQGPの状態であり、人工的にも高エネルギー原子核衝突実験で作り出すことができる。

BNL-RHIC加速器における高エネルギー原子核衝突実験で、QGP生成の確証を初めて得て、その後、2009年より稼働するCERN-LHC加速器でも生成を確認した。この加速器は、RHIC加速器の28倍の衝突エネルギーを実現し、生成するQGPはより高温・長寿命であるため、その性質の精密測定が期待できる。また、両加速器での温度の異なるQGPを用いた系統的な物性研究も始まっている。

性質の解明に有効なプローブとして高横運動量ハドロンの収量抑制がある。高横運動量ハドロンは、衝突初期に硬散乱した高エネルギーパートンが破砕することによって生じる（ジェット機構）。そのようなパートンがQGPを通過する際にエネルギーを失うことで、高横運動量ハドロンの収量が減少すると解釈されている。抑制量のハドロン種や横運動量依存性から、QGPの性質を解明することができる。しかし、摂動QCDはジェット機構に加え、ハドロンの直接生成も予言している（直接生成機構）。この機構がある場合、パートンのエネルギー損失に加え、ハドロンのエネルギー損失も考慮しなければならない。直接生成の寄与は、衝突エネルギーに依存し、また、ジェット機構で生成した場合と異なる横運動量分布になると予想される。ハドロンとジェットの横運動量分布の比較によって、ハドロンの生成機構を研究することが可能である。

また、LHC加速器における陽子+陽子衝突の高粒子多重度事象で、今までに考えてこなかった長距離粒子相関を初めて観測した。数々の理論モデルによる理解を試みているが、まだ解明できていない。単純な陽子+陽子衝突においても基本的な粒子生成機構に関して未知な部分がまだある。

本論文では、陽子+陽子衝突において幅広い横運動量領域での中性 $\pi$ 中間子の生成断面積を測定することで、ハドロンの生成機構を研究した。中性 $\pi$ 中間子の崩壊光子を電磁カロリメータ（PHOS）で検出し、2光子の不変質量を計算して粒子を同定する。幅広い横運動量領域を測定するため、最小バイアストリ

ガーだけでなく高エネルギー光子トリガーで取得したデータも用いた。この高エネルギー光子トリガーのデータ解析手法を確立したことで、幅広い横運動量領域（1.0 GeV/cから30 GeV/c）の生成断面積の測定が可能になった。この結果とALICE実験の他の検出方法（EMCal法、PCM法、PCM-EMCal hybrid法）とを統合することにより更に幅広い領域（0.3 GeV/cから35 GeV/c）の測定に成功した。

この生成断面積の測定には、LHC加速器のビーム輝度を正確に見積もる必要がある。ビーム分離法を用いることで、ビームの形状が不明な条件下でもビーム輝度を測定することができる。この方法を用いて、誤差2.6%の精度でビーム輝度を測定することに成功した。

さらに、測定した生成断面積とジェット機構を考慮した摂動モデル計算とを比較した。このモデルは、RHIC加速器エネルギーでは測定結果を良く再現しているが、LHC加速器エネルギーでは50%程度の差異を確認した。また、衝突エネルギーが大きくなると、差異も大きくなっていった。

中性 $\pi$ 中間子とジェットの運動量分布から、LHC加速器とRHIC加速器における高横運動量ハドロンの生成機構を研究した。LHC加速器エネルギーでは、ハドロンのほとんどがジェット機構によって生成しており、一方で、RHIC加速器エネルギーでは、ジェット機構と直接生成機構の両方が高横運動量ハドロンの生成に寄与していると示唆する結果を得た。直接生成機構を考慮していないモデルで、高横運動量ハドロンの生成を記述しようとしていたため、様々な衝突エネルギーで生成量を統一的に再現できなかったと考えられる。

直接生成機構の減少は、粒子生成に関与する核子内のパートン分布が、衝突エネルギーによって変化することに起因すると考えられる。直接生成は、硬散乱するパートンの一つがクォークである必要がある。しかし、LHC加速器エネルギーでは、グルーオン対散乱が支配的であるため、直接生成が抑制される。

この研究の成果から、RHIC加速器エネルギーでは、硬散乱したパートンのエネルギー損失だけでなく、直接生成したハドロンのエネルギー損失も考慮しなければならないが、LHC加速器エネルギーでは硬散乱したパートンのエネルギー損失のみを考慮すればよいと結論される。

これに加え、運動量領域の異なる中性 $\pi$ 中間子収量の粒子多重度依存性を測定した。低横運動量領域に比べ高横運動量領域の中性 $\pi$ 中間子の収量が増加していることを観測した。この結果は、初期パートンの多重硬散乱に起因する色荷再結合モデルの結果と一致しており、LHC加速器における初期パートンの多重散乱の重要性を示している。