

## 論文内容の要旨

論文題目：

Multi-strange Particle Production in Proton+Proton Collisions at  
 $\sqrt{s}=7$  TeV

(重心系衝突エネルギー 7TeVでの陽子+陽子衝突におけるマ  
ルチストレンジ粒子生成)

氏名：佐野 哲

量子色力学 (QCD) はグルーオンをゲージ粒子とした強い相互作用を記述する基礎理論である。QCD における 2つの重要な性質として、“カラーの閉じ込め”と“漸近的自由”が挙げられる。クォークやグルーオンは通常の状態だとハドロンの内部に閉じ込められているが、非常に高温高密度な環境下において原子核物質は、クォークやグルーオンが閉じ込めから解放された新たな物質に転移すると考えられている。この物質相を“クォーク・グルーオン・プラズマ”(QGP) [1]と呼ぶ。

QGP 生成に関係すると考えられているいくつかの結果が、ブルックヘブン国立研究所の相対論的重イオン衝突器 (RHIC) で行われた金+金衝突実験で得られた [2]。QGP 生成には重イオン衝突が適していると考えられているが、それは原子核に広がりがあり、高いエネルギー密度に達している体積が大きいからである。しかし高いエネルギーにおける陽子+陽子衝突においても高いエネルギー密度が生成される可能性がある。陽子+陽子衝突における QGP 探索の最初の試みは、フェルミ国立研究所のテバトロン加速器を用いた  $\sqrt{s}=1.8$  TeV の陽子+反陽子衝突実験において行われた (E735 実験 [3])。高い粒子多重度イベントにおいて、QGP 生成の兆候とも考えられるかもしれない結果が得られている。2010 年にはヨーロッパ原子核研究機構 (CERN) の大型ハドロン加速器 LHC において  $\sqrt{s}=7$  TeV の陽子+陽子衝突実験が行われた。E735 実験よりも高エネルギーである  $\sqrt{s}=7$  TeV の陽子+陽子衝突では QGP 生成が期待できる。

QGP 生成の特徴として、ストレンジネス粒子の増加が挙げられる。そこで LHC-ALICE 実験において非ストレンジ粒子からマルチストレンジ粒子までの収量の測定を行った。測定したのは  $\pi$ ,  $K$ ,  $p$ ,  $K_s^0$ ,  $\Lambda$ ,  $\Xi$ ,  $\Omega$  粒子で、Inner Tracking System (ITS) とタイムプロジェクトンチェンバー (TPC) による荷電粒子の飛跡検出と、TPC と飛行時間測定器 (TOF) による粒子識別を用いて測定した。 $K_s^0$ ,  $\Lambda$ ,  $\Xi$ ,  $\Omega$  は弱い相互作用で崩壊するため、飛程は数 cm 程度である。表 1 に示した崩壊チャンネルの生成物を測定することにより親粒子の収量や運動量を求める。具体的には、飛跡の間の距離や飛跡とビームの衝突点の間の距離などの幾何学

的信息から、ある程度適切な粒子の組み合わせを決め、その組み合わせた飛跡について相対論的不変質量を組み、その分布のピークから収量を求めた。

粒子	質量 [MeV/c <sup>2</sup> ]	寿命 $c\tau$ [cm]	崩壊チャネル	分岐比 (%)
$K_s^0(1/\sqrt{2}(d\bar{s} - s\bar{d}))$	497.61	2.68	$K_s^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$	69.2
$\Lambda(uds)$	1115.68	7.89	$\Lambda \rightarrow p + \pi^-$	63.9
$\bar{\Lambda}(\bar{u}\bar{d}\bar{s})$	1115.68	7.89	$\bar{\Lambda} \rightarrow \bar{p} + \pi^+$	63.9
$\Xi^-(dss)$	1321.71	4.91	$\Xi^- \rightarrow \Lambda + \pi^-$	99.9
$\Xi^+(\bar{d}\bar{s}\bar{s})$	1321.71	4.91	$\Xi^+ \rightarrow \bar{\Lambda} + \pi^+$	99.9
$\Omega^-(sss)$	1672.45	2.46	$\Omega^- \rightarrow \Lambda + K^-$	67.8
$\Omega^+(\bar{s}\bar{s}\bar{s})$	1672.45	2.46	$\Omega^+ \rightarrow \bar{\Lambda} + K^+$	67.8

表 1:  $K_s^0$ ,  $\Lambda$ ,  $\Xi$ ,  $\Omega$  の基本的な情報。

図 1 は  $\Xi^-$  粒子の横運動量スペクトルを粒子多重度に分けて示したものである。その他の粒子も全て粒子多重度ごとに分けて横運動量スペクトルを求めた。Tsallis 関数 [4] でスペクトルにフィットを行い、そのフィッティングパラメータから、積分した収量である単位ラピディティ当たりの収量  $dN/dy$  を割り出した。またフィッティングパラメータの 1 つであるスペクトルの傾きと、流体力学モデル [5] を用いて、運動学的凍結温度  $T_f$  と流体の表面の速度に対応する量  $\beta_s$  を求めた。その結果どの粒子多重度においても共通の  $T_f \sim 110$  MeV という値を得た。一番低い粒子多重度イベントにおいても  $\beta_s \sim 0.3$  という値になり、粒子多重度が上がるにつれて  $\beta_s$  が約 0.7 まで上昇するという結果が得られた。 $\sqrt{s}=200$  GeV の陽子+陽子衝突では  $\beta_s \sim 0$  であった。陽子+陽子衝突において  $\beta_s$  がはっきりと有限の値を持つのは  $\sqrt{s}=7$  TeV の実験で初めて得られた傾向であり、高いエネルギーでの陽子+陽子衝突における生成粒子の集団的膨張を示唆するものと考えられる。

図 2 はスペクトルより得られた各粒子の収量より求めた粒子比を、各粒子多重度に分けてプロットしたものである。化学凍結モデル [6] でフィットすることにより化学凍結温度  $T_{ch}$ , クォークポテンシャル  $\mu_q$ , ストレンジクォークポテンシャル  $\mu_s$ , ストレンジネス飽和係数  $\gamma_s$  を求めた。図 3 がフィッティングの結果で、どの粒子多重度でも  $T_{ch}=150-160$  MeV,  $\gamma_s=0.5-0.6$  という結果が得られた。一番高い粒子多重度のイベントで特別な振る舞いが見えることはないが、 $T_{ch}$  と  $\gamma_s$  は粒子多重度が上がるにつれて多少上昇するという結果が得られた。

図 2 における化学凍結モデルとの比較を見てわかるとおり、ストレンジバリオン ( $\Lambda$ ,  $\Xi$ ,  $\Omega$ ) の生成量が多いことが分かる。ストレンジバリオンの生成量の増加は QGP が生成されるような原子核+原子核衝突では観測されているが、図 2 に見られるようなストレンジバリオンのみの化学凍結モデルからのずれは  $\sqrt{s}=7$  TeV の陽子+陽子衝突によって初めて見られた結果である。

今回得られた結果より、LHC エネルギーのような高いエネルギーでの陽子+陽子衝突において、ストレンジ粒子の生成メカニズムに対するさらなる研究が必要であるといえる。

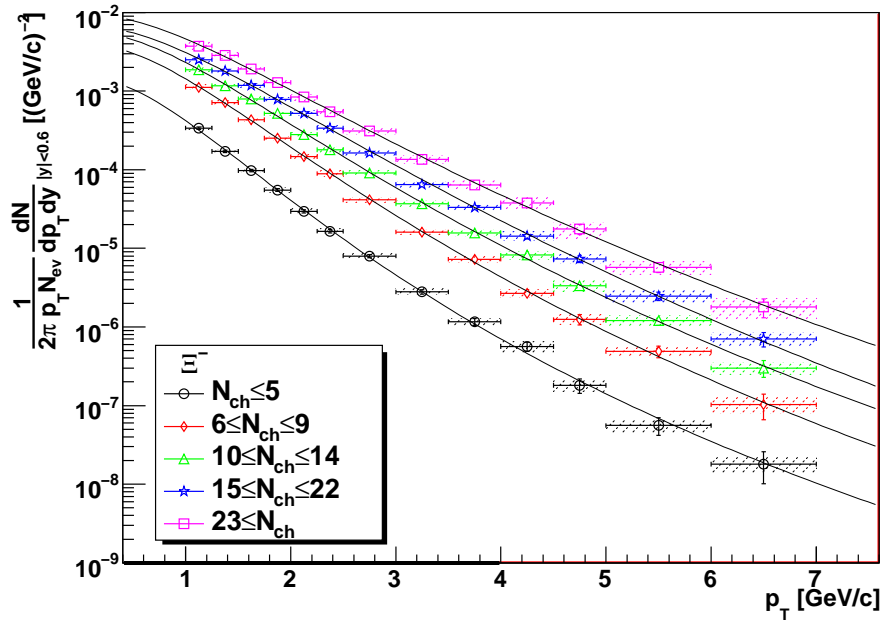


図 1:  $\sqrt{s}=7$  TeV の陽子+陽子衝突における  $\pi^-$  粒子の横方向運動量分布。

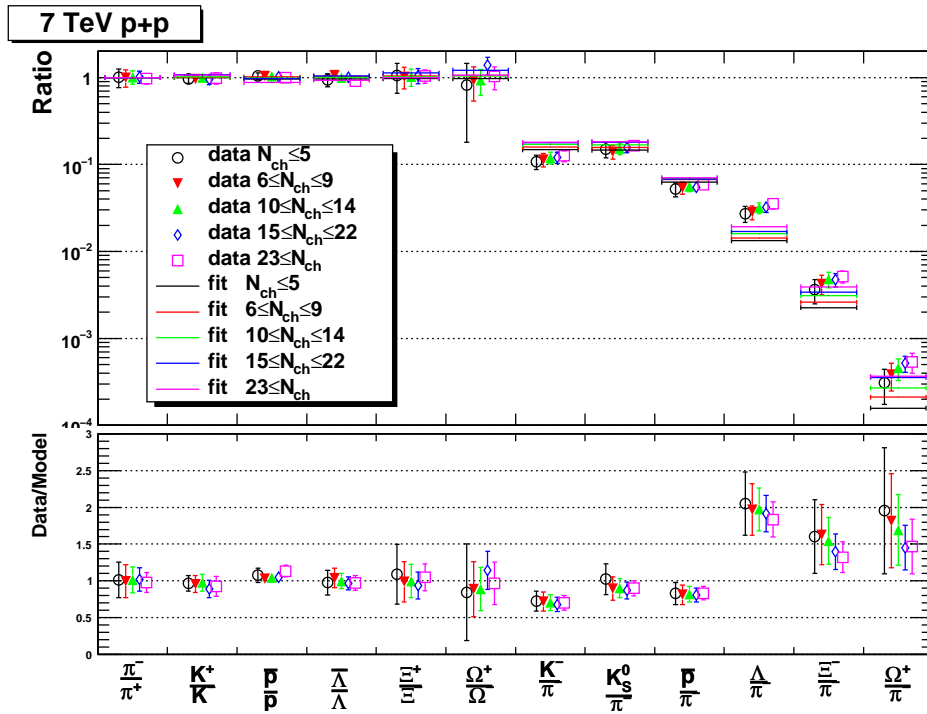


図 2:  $\sqrt{s}=7$  TeV の陽子+陽子衝突における粒子比と化学凍結モデルフィットとの比較。

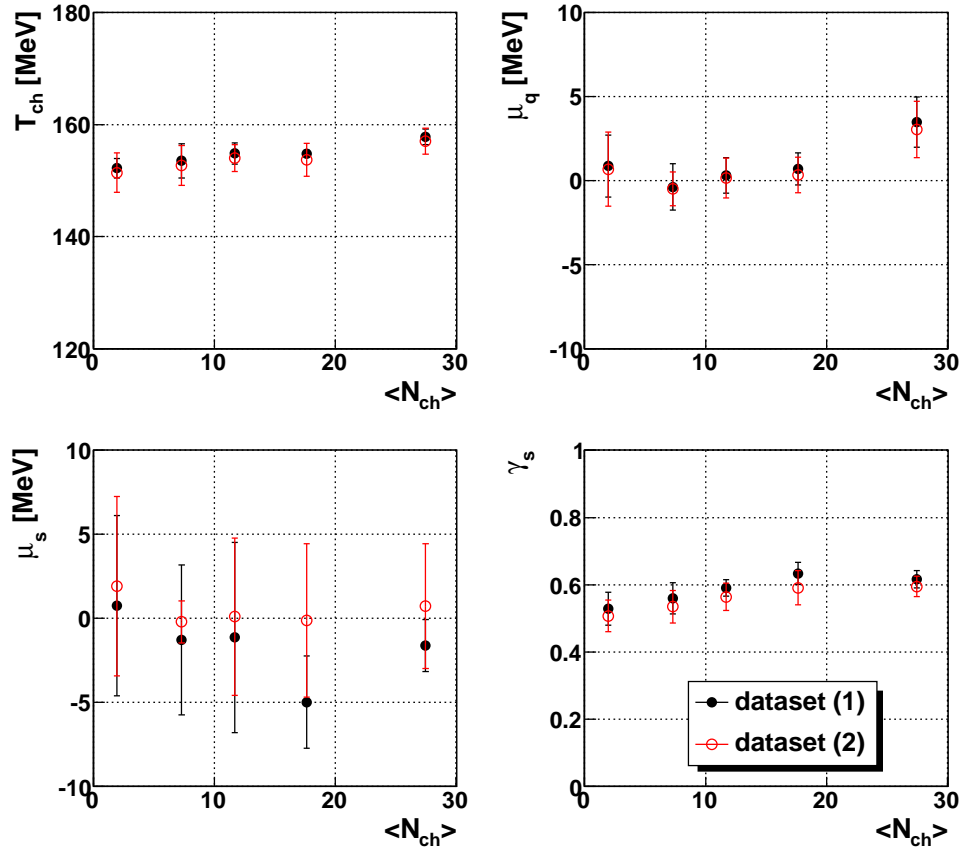


図 3:  $\sqrt{s}=7$  TeV の陽子+陽子衝突における化学パラメータの粒子多重度依存性。

## 参考文献

- [1] J.C. Collins and M.J. Perry, Phys. Rev. Lett. 30 (1975) 1353.
- [2] STAR Collaboration Phys. Rev. Lett. 105(2010) 022301
- [3] T. Alexopoulos and et. al, The E735 collaboration, Nucl. Phys. A 498, 181c (1989).
- [4] C. Tsallis, J. Stat. Phys. 52, 479 (1988).
- [5] T. Gsorgo and B. Lorstad, CU-TP-717, hep-ph/9509213, LUNFD6/(NFFL-7082)-Rev.1994
- [6] I.G. Bearden and et al, The NA44 collaboration, Phys. Rev. C 66, 044907 (2002).