

ジェット識別測定によるクォーク・グルーオンプラズマ 物性の研究

Study of Jets in Quark Gluon Plasma with Parton
Identification

三明 康郎 (MIAKE YASUO)

筑波大学・大学院数理物質科学研究科・教授



研究の概要

ビッグバン直後の宇宙の姿、クォーク・グルーオンプラズマ (QGP) 状態の研究は自然科学の重要な課題である。米国ブルックヘブン国立研究所 RHIC 加速器で、その存在が確認され、QGP の物性の研究に展開されつつある。LHC 加速器で可能となったより高運動量パートンが QGP 中で引き起こすエネルギー損失や衝撃波などの観測を展開する。

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：原子核 (実験)

1. 研究開始当初の背景

米国ブルックヘブン国立研究所において 2000 年から始まった RHIC 実験から、クォーク・グルーオンプラズマ (QGP) の生成を示す幾つかの証拠が見つかった。1) 運動学的・化学的平衡状態の成立と高い温度、2) 大きな方位角異方性 (v_2)、3) Baryon Dominance と Quark Number Scaling、4) ジェットの変貌、などである。私たちのチームは、2) と 3) に関わる大きな貢献を行い、特に大きな方位角異方性が発生するメカニズムに興味を持った。高運動量パートンの QGP 中の振る舞いに深く関わるのではないかと推論するに到った。

欧州共同原子核研究機構 CERN では、LHC 加速器が稼働を始め、RHIC 加速器よりも高エネルギー衝突実験が可能となるため、RHIC では観測出来なかった超高横運動量パートンの衝突事象 (JET 事象) の観測が見込まれた。方位角異方性、特に、ジェットの影響について RHIC 実験 (200 GeV) と LHC 実験 (5.6 TeV) を比較検証するため LHC-ALICE 実験への参画することとした。

2. 研究の目的

QGP 研究は、発見のステージから、QGP 物性を理解するステージに進みつつある。RHIC 実験からは、粘性がゼロに近いという完全流体と考えられるなど興味深い。圧力、状態方程式や音速といった物性を精密に調べるためには、プローブが必要である。そのプローブとして最も適切なものが、パートンのハー

ドコリジョンである。利点としては摂動 QCD でよく理解されていること、そして、2 体散乱であることから kinematics がはっきりしていることである。この性質のよくわかったプローブが QGP 中を通過するときに受ける変化をとらえることが目的である。

3. 研究の方法

QGP 物性にはジェットの測定が効果的である。高運動量パートンが QGP 中で作る衝撃波の角度からは「音速」を測定できる。また高運動量パートンが QGP 相を通過する際のエネルギー損失量からグルーオン密度など物性を知ることが出来る。

ジェット識別測定、特に Di-Jet の測定と反応平面に対する方位角異方性 (v_2) の相関測定を重点的に行うこととした。

4. これまでの成果

ジェット識別測定の要点の第 1 は、ジェット測定のエネルギー分解能である。特にダイジェットバランスにより QGP 中の衝突点を測定する。GEANT シミュレーションにより、当該実験では、既設の Time Projection Chamber に電磁カロリメータを組み合わせると最善の分解能を得られることを明らかにした。(平成 20 年度)。

ジェット識別測定の第 2 の要点は、多くの事象を計測するための装置の立体角である。装置の立体角は費用に比例するので、米国、フランス、イタリア、中国の研究者に呼びか

け、Di-Jet カロリメータープロジェクト（提案者；三明、運営；5カ国代表による合議）を立ち上げることに成功した（平成 20-21 年度）。

米仏伊中日の5カ国の協力で電磁カロリメーターを建設を開始した。本経費のみの場合の4倍の規模の電磁カロリメーターを建設することとなった（平成 22 年度）。

7 TeV の陽子・陽子衝突事象のデータ解析を開始した。ジェットのエネルギ分布等の解析を行い、理論模型との比較を実施した（平成 22 年度）。

LHC PS と SPS テストビームを用いて、電磁カロリメーター実機によるエネルギー分解能の最終確認を行い、当初計画通りの性能を達していることを確認した（平成 22 年度）。

世界最高エネルギーの鉛・鉛衝突において方位角異方性(v_2)の解析を行った。QGP 粘性など流体の性質を調べる上で重要であると同時に、QGP 中におけるジェットの変貌効果のバックグラウンドとして重要な測定量である（平成 22 年度）。

日本担当分 288 モジュールのうち、192 モジュールについては組み立てを終え、フランスにおける最終組立工程にむけて出荷し 2011.2 までに無事に到着した。残り 96 モジュールの発送直前の 2011.3.11 に震災となり複数モジュールが損壊した。組立再開に向けて実験室の移動、組立装置の動作確認作業を鋭意進めている（平成 23 年度）。

5. 今後の計画

RHIC と LHC における原子核・原子核衝突及び陽子・陽子衝突における方位角異方性(v_2)の解析を推進する。特に、ジェット発生に伴う方位角異方性の変化に着目し、比較検証する。

日本分担分のモジュール組立再開。現時点では震災の影響を数ヶ月の遅れと見積もっているが、フランスにおける最終組立工程は全数到着を待たずに実施する。最悪の場合は震災影響分（全数の 8.3%）については当初組み込みをあきらめる。

最終組立/組込の遂行。米仏伊中日5カ国で組立てた 1152 個のモジュールはフランスにおいて LHC-ALICE 実験本体に組み込むための最終組立工程（性能評価試験を含む）を開始している。平成 23 年度中には完了し、CERN にて実験装置本体への組み込みを待つ。

ALICE 実験本体への組み込み。LHC 加速器のシャットダウン時期に合わせて組み込み作業を行う。この作業の予行演習も済ませており、実作業時間 3 日程度で完了する。LHC 加速器のシャットダウン時期については、加速器の不具合の発生や運転計画などから過去数年間に何度も変更されてきた経緯がある。

6. これまでの発表論文等（受賞等も含む）

[雑誌論文]（計 32 件）

- ① Suppression of Charged Particle Production at Large Transverse Momentum in Central Pb-Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV, ALICE Collaboration (K.Aamodt, T.Chujo, S.Esumi, H.Hamagaki, M.Inaba, Y.Miake, 他 908 名、アルファベット順), Phys.Lett., 査読有, B696,30-39,2011
- ② Azimuthal anisotropy of neutral pion production in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV: Path-length dependence of jet quenching and the role of initial geometry., PHENIX Collaboration (A.Adare, T.Chujo, S.Esumi, H.Hamagaki, M.Inaba, Y.Miake, 他 379 名、アルファベット順), Phys.Rev.Lett. 査読有, 105,142301:1-6,2010
- ③ Elliptic Flow of Charged Particles in Pb-Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV, ALICE Collaboration (K.Aamodt, T.Chujo, S.Esumi, H.Hamagaki, M.Inaba, Y.Miake, 他 1056 名、アルファベット順), Phys.Rev.Lett. 査読有, 105,252302:1-11,2010
- ④ Charged-particle multiplicity density at mid-rapidity in central Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV., The ALICE Collaboration (K.Aamodt, T.Chujo, S.Esumi, H.Hamagaki, M.Inaba, Y.Miake, 他 954 名、アルファベット順), Phys.Rev.Lett., 査読有, 105,252301:1-6,2010
- ⑤ Systematic Studies of Elliptic Flow Measurements in Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ -GeV., PHENIX Collaboration (S.Afanasyev, T.Chujo, S.Esumi, H.Hamagaki, M.Inaba, Y.Miake, 他 341 名、アルファベット順), Phys.Rev., 査読有, C80, 024909:1-27,2009

[学会発表]（計 33 件）

- ① 三明康郎、” Flow measurements in heavy ion collisions”, Tamura symposium heavy ion physics、オースティン、米国
 - ② 江角晋一、” Interplay between jet and v_2 ”, 4th international workshop high- p_T physics at LHC, 2009.2.6, プラハ、チェコ共和国
 - ③ 三明康郎、” Jet as a homework from RHIC to LHC”, Workshop for ALICE upgrades, 2009.11.7, ソウル、韓国
 - ④ 江角晋一、” Jet-flow correlations”, Flow and Dissipation in ultra relativistic heavy ion collision, 2009/9/14, トレント、イタリア
 - ⑤ 中條達也、” DCal for the ALICE experiment at LHC”, 3rd Asian Triangle 国際会議、2010/10/20, 武漢、中国
- ホームページ等
<http://utkhii.px.tsukuba.ac.jp/>