

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔平成29年度研究進捗評価用〕

平成26年度採択分
平成29年3月21日現在

クォーク物性を解き明かす ALICE 実験フォトン物理の新展開
Photon Physics Revealing Hidden Properties of Quark Matter
in the ALICE Experiment

課題番号：26220707

杉立 徹 (SUGITATE TORU)

広島大学・大学院理学研究科・教授



研究の概要

欧州 CERN 研究所 ALICE 国際共同研究に私たち大学チームが建設導入した高分解能フォトン検出器 PHOS 及びジェット対電磁カロリメータ DCAL を主要測定器とし、LHC 改修後、初めて実現される未踏衝突エネルギーでの原子核衝突が創る超高温クォーク物質を解明し、新たな学術分野「強く相互作用する量子多体系」の創成を目指す。

研究分野：素粒子、原子核、宇宙線、宇宙物理

キーワード：クォーク物質、フォトン物理、ALICE 実験、クォークグルーオンプラズマ

1. 研究開始当初の背景

私たちは特色あるフォトン検出器 PHOS を ALICE 実験に建設設置し、2009年11月から2013年2月までのLHC加速器・第1期衝突実験期間を完遂し、核子対当たり2.8TeVの鉛原子核衝突が創るクォーク物質について様々な知見を得た【H24年1月パリティ、杉立徹、LHC 原子核衝突実験：クォーク物質を探る】。LHC 加速器は2013年3月から20ヶ月の維持改修を経て最高性能を発揮する。未踏衝突エネルギーの鉛原子核衝突が創る高温クォーク物性の完全解明が期待される。

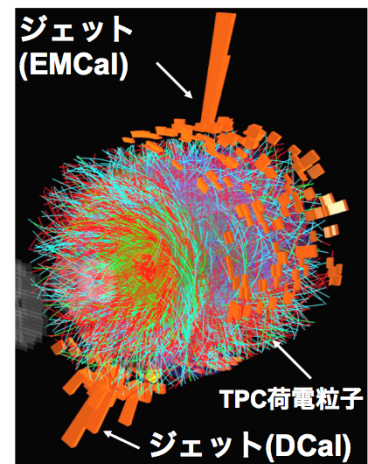
2. 研究の目的

第2期衝突実験全期間を包括して独創性あるフォトン物理を展開する。新たに導入したDCAL はパートンエネルギー散逸量と方向を高精度で測定し、ジェット抑制機構を解き明かす。PHOS は高温クォーク物質が輻射する熱単光子を検出し、熱力学状態を明らかにする。豊富な物理成果を約束するとともに、第3期以降にカラーガラス凝縮や早期熱平衡化機構の解明に迫る前方フォトン物理を開拓する。そして、わが国理論研究者と協働して新たな学問分野の開拓に繋げる。

3. 研究の方法

ALICE 実験装置の高度化前倒しを受けた PHOS 再構築はわが国院生の積極的な参加協力にも恵まれ、2015年秋に完了し、DCAL と並べて新筐体に載せた。直後に地下実験室搬入路は閉鎖され、翌年1月からLHC改修後初めての調整運転が開始された。同年5月、

陽子衝突13TeVで第2期衝突実験を開始した。PHOS/DCAL 検出器とも順調な立ち上がりを果たし、2015年と2016年を合わせて800M事象を収集した。同年10月、5.02TeV/Aの鉛+鉛原子核衝突実験を開始した。PHOS/DCAL とも順調にデータ収集に参加した。衝突エネルギー倍増により格段に上昇した飛跡密度をオンライン事象表示[右]に見ることができる。同年末までに150M事象を収集し、2年目の2016年は陽子+鉛原子核衝突を660M事象、収集した。3年目の2017年は陽子+陽子衝突に特化する予定である。



4. これまでの成果

中性中間子の運動量解析[論文7]に引き続き、PHOS の優位性を発揮する単光子熱輻射成分の解析を主導し、第1期衝突実験に収集した2.8TeV/A 鉛原子核衝突が創る熱源がハドロ物質の存在限界となるHagedorn温度を遙かに超える3.4兆度(297±12±41MeV)にま

で達していること明らかにした[論文 4]。非ハドロン物質創成の決定的な証拠である。熱輻射単光子には方位角依存性も見られ、熱光子放出源の集団運動的な様相を示唆する。第2期衝突実験データ解析も私たちが先行している。予備的非公開ながら摂動的QCD光子分布に重畳する熱輻射光子成分を明確に認める。今後、衝突エネルギー倍増による到達温度や熱輻射光子量の変化からクォーク物質の熱力学的性質を突き止めていく。

中條達也(分担)が主導して新規導入した第1段PHOS/DCAL事象選別機能は見事にジェット対事象を選択することに成功し[前頁図]、2016年の陽子+陽子衝突実験に投入された。この機能によりPHOS/DCAL検出器に有効入射がある事象収集率が高まり、私たちの検出器をベースにしたフォトン物理推進に大きな前進となる。統計量増加に伴い検出器較正精度も向上し、DCALを中核に据える物理解析も加速している。新規参入機関と連携し、わが国大学チームがDCAL/PHOS検出器と対向するEMC検出器のデータセットを用いて一次パートン対が創るジェット対を精度良く測定する体制が整った。統計量を見極めながらγ-ジェット対相関に着手する。

カラーガラス凝縮やクォーク多体系早期熱化機構の解明へ繋げる新しい前方物理を開拓する。実験組織内で公式な取り組みにするため、オランダ研究機関等と協力してLOIの文書化を進めてきた。これまでの議論から物理測定の実行可能性をより強固にするため、更に現実的な雑音環境のもとでの性能評価を進めることに合意した。現在、わが国で取り組んでいる検出器シミュレーション活動を再編してオランダ研究所の新たなPD研究者と密に連携して進める。同時に国内外研究機関と協力してFocal試作機の性能評価を進めてきた。また、試作2号機製作に向けて新規開発したシリコンパッドセンサー組み立てを実施中である。10月頃、国内加速器施設でテストする準備を進めている。

理論研究者が中心になり、国内外の研究者を含めて広い視野から高温量子多体系の運動学について議論を深める。小規模研究会を2015年度2回、2016年度1回開催した。参加者はクォーク物理の専門家のみならず、プラズマ物理、宇宙物理学、宇宙線実験など多岐にわたる。次年度以降もこれらの活動を続けながら他分野との議論形成を探る。

5. 今後の計画

LHC 加速器改修後に実現した史上最高衝突エネルギーでの陽子衝突及び原子核衝突において高統計高品位データの収集を順調に続けている。データ解析も順調に進展し、史上最高温度での量子多体系の様相が垣間見えてきた。わが国実験組織の責任ある活動を

継承するとともに、理論研究者との協働も強化しながら新たな分野開拓に繋がる展開を目指す。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

- 1) ALICE 実験共著 1009 名, J. Adam, T. Chujo, H. Hamagaki, T. Sugitate, et.al, **Jet-like correlations with neutral pion triggers in pp and central Pb-Pb collisions at 2.76 TeV**, Physics Letters B 763, 238-250, 2016
- 2) ALICE 実験共著 995 名, J. Adam, T. Chujo, H. Hamagaki, T. Sugitate, et.al, **Charge-dependent flow and the search for the chiral magnetic wave in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV**, Physical Review C 93, 044903/1-14, 2016
- 3) ALICE 実験共著 1073 名, J. Adam, T. Chujo, H. Hamagaki, T. Sugitate, et.al, **Anisotropic Flow of Charged Particles in Pb-Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV**, Physical Review Letters 16, 132302/1-12, 2016
- 4) ALICE 実験共著 983 名, J. Adam, T. Chujo, H. Hamagaki, T. Sugitate, et.al, **Direct photon production in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV**, Physics Letters B754, 235-248, 2016
- 5) ALICE 実験共著 980 名, J. Adam, T. Chujo, H. Hamagaki, T. Sugitate, et.al, **Precision measurement of the mass difference between light nuclei and anti-nuclei**, Nature Physics 11, 811-814, 2015
- 6) ALICE 実験共著 974 名, J. Adam, T. Chujo, H. Hamagaki, T. Sugitate, et.al, **Measurement of jet suppression in central Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV**, Physics Letters. B746, 1-14, 2015
- 7) ALICE 実験共著 943 名, B. Abelev, T. Chujo, H. Hamagaki, T. Sugitate, et.al, **Neutral pion production at midrapidity in pp and Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV**, European Physical Journal C74, 3108/1-20, 2014
- 8) ALICE 実験共著 994 名, B. Abelev, T. Chujo, H. Hamagaki, T. Sugitate, et.al, **Performance of the ALICE experiment at the CERN LHC**, International Journal of Modern Physics A29, 1430044/1-120, 2014

ホームページ等

- <http://alice-j.org/>
- <http://aliweb.cern.ch/>