

科学研究費補助金（特別推進研究）公表用資料  
〔研究進捗評価用〕

平成18年度採択分

平成21年4月20日現在

研究課題名（和文） クォーク物質創成とフォトン物理

研究課題名（英文） Formation of Quark Matter and Photon Physics

研究代表者

氏名 杉立 徹 (SUGITATE TORU)

所属研究機関・部局・職 広島大学・大学院理学研究科・教授



研究の概要：最新鋭 LHC 加速器の核子対あたり衝突エネルギー5.5TeV の鉛+鉛原子核衝突により人類史上最高温度のクォーク物質を創成し、ALICE 実験国際共同研究にて光子検出が鍵となるフォトン物理に焦点を絞り推進する。物質の究極的な姿形を追求するという先人から引き継いだ努力の中で、クォーク物質の研究を“発見”から定量的な“理解”へ展開する。

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：クォーク物質、QGP、極初期宇宙、フォトン物理、LHC 加速器実験

#### 1. 研究開始当初の背景

高エネルギー原子核衝突実験は、静止質量の数万倍もの運動エネルギーをビーム原子核に与え、ふたつの原子核が正面衝突した極小空間に莫大なエネルギーを注入する。殆ど物質質量零のまま急激に加熱されたその空間は10兆度にも達し、真空から生成されたクォークと反クォーク及びグルーオンが混ざり合ったクォーク物質を創成する。宇宙誕生直後、数十万分の一秒後の私たちの宇宙の再現である。従来の研究から、クォーク物質は強く相互作用する完全流体的であることが示唆され、「宇宙の誕生しづくから？」（平成17年4月19日朝日新聞）等と社会的にも関心を集めた。

#### 2. 研究の目的

電磁相互作用により組み立てられた従来の物質概念を打ち破り、今まで全く考えられなかった色相互作用により“強く”結びついたクォーク物質（QCD プラズマ）の概念を構築し、新たな学問パラダイムを切り開く。色荷による強い相互作用がその“強さ”の特徴を最も明示的に露呈する非摂動現象であり、量子色力学（QCD）の完全理解に向けた世界的な研究動向である。

#### 3. 研究の方法

2000年より稼働中の米国 RHIC 加速器より遙かに高い衝突エネルギーを実現する欧州 CERN 研究所最新鋭 LHC 加速器において、核子対あたりの衝突エネルギー5.5TeV の鉛+鉛

原子核衝突による史上最高温度のクォーク物質を創りだす。最新の高分割・高エネルギー分解能光子検出器（通称 PHOS）を ALICE 実験装置に組み込み、超高温クォーク物質が膨張し冷却し最後にハドロン化して離散するまでに発する光をこれまでにない高精度で測定し、クォーク物質の物性を解き明かす。

#### 4. これまでの成果

CERN 研究所 ALICE 実験は世界30カ国、109研究機関、約1000名（2009年1月時点）が構成する国際共同実験組織であり、わが国から広島大学、東京大学、筑波大学が公式参加する。LHC 加速器4実験（ALICE, ATLAS, CMS, LHCb）のなかで原子核物理学の実験研究に唯一特化した実験装置として、17種の検出器を巧妙に組み合わせ、特色ある物理トピックスをできる限り包括する設計を行った。

広島大学をはじめとするわが国研究チームは、世界最高性能の鉛タングステン酸（PWO）結晶電磁カロリメータ PHOS の建設運用責任を分担し、APD 光子検出素子及び APD



電荷感応型増幅器など、光子検出読出系の開発及び国内生産を実施した。PHOS は同型のモジュール 5 基から構成し、各モジュールには 3,584 本の PWO 検出素子を  $56 \times 64$  の格子状に配置し、ビーム衝突位置から約 5m の距離に設置する。従来のシンチレーション材に比較してモジュール半径が小さく高性能な PWO 結晶、及び優れた光子検出方式を新規開発したこと、並びにこれらの性能を更に高める低温運用技術を開発したことにより、中性パイ中間子識別限界運動量を 80GeV、エネルギー分解能を約  $3\%/\sqrt{E}(\text{GeV})$  にまで向上することに成功し、従来の実験研究に比較して格段に高度で詳細なフォトン物理推進を可能にした。

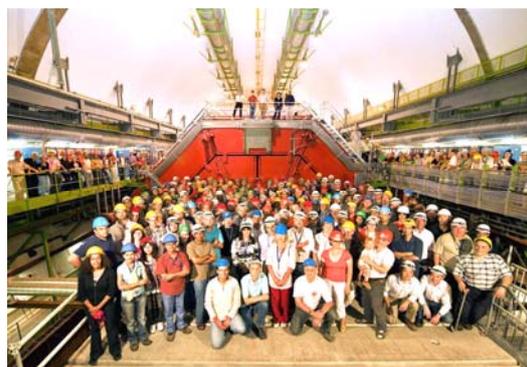
2008 年初めまでに 2 モジュールを完成させ、そのうちの第 2 モジュールを初めての LHC 加速器ビーム実験に供用すべく、2008 年 5 月に ALICE 実験に組み込んだ。CERN 研究所は 2008 年 9 月 10 日、LHC 加速器建設完了を宣言し、同日 LHC 加速器リングへのビーム入射を成功させたが、その後、LHC 加速器に予期しない障害が発生し加速器運転再開を 2009 年に延期した。

PHOS 検出器は長期運用テスト中に発現した管内の結露問題を根本的に解決するため、既に組立済みモジュール 3 基を完全密封型管体に順次載せ替える作業を続けている。6 月後半までに 3 基を ALICE 実験装置に組み込む予定で、現在、筐体の改造を含めた組み立て調整作業を急いでいる。

PHOS 検出器の特徴である高分解能を発揮させるためには、モジュールあたり 3500 本もの検出素子の較正及び運用調整を丁寧に正確に行う必要がある。検出素子のエネルギー利得較正方法について、①最小電離粒子によるエネルギー損失、②中性パイ中間子の不変質量、③未同定粒子によるエネルギー損失分布などを用いる様々な手法を開発し、模擬データを用いた検証を行い、物理測定から要求される 1% 以内の較正精度が達成できることを確認した。更に検出素子間の時間同時性を 0.5ns の系統誤差まで較正する手法開発、光子同定アルゴリズム性能向上を視野に入れた同定効率の評価手法を確立した。

CERN 研究所が中心となり、世界各研究機関に分散する高性能計算機を高速ネットワークで強結合する「LHC 実験のための世界規模グリッドコンピューティング (Worldwide LHC Computing Grid) (略して WLCG)」の構築を進めている。広島大学附属高エネルギー物理学データ解析実験施設の電子計算機システム資源を活用し、WLCG-ALICE 実験地域解析拠点 (Tier-2) を立ち上げた。計算機資源を順次増強し、現在ではインテル社 Xeon コア計 544 個、総計算能力 6TFLOPS、ディスク容量 200TB のシステムに成長した。ALICE 実験日本チームのためのデータ解析国内拠点としての機

能はもとより、グローバルな解析体制の構築と推進に寄与している。



## 5. 今後の計画

### 1) PHOS 検出器の ALICE 実験組込

ALICE 実験組込予定に沿って、最終調整を済ませた PHOS 検出器モジュール 3 基を ALICE 実験装置へ組み込み、LHC 加速器による初めてのビーム衝突実験へ準備を整える。

### 2) 陽子+陽子衝突実験

2009 年後半に LHC 加速器初めての陽子衝突実験を遂行し、 $\sqrt{s}=10\text{TeV}$  のデータを収集する。PHOS 検出器の初期調整・性能確認を重視すると同時に、ソフト領域の中性パイ中間子生成を他実験に先駆け明らかにする。

### 3) 鉛+鉛原子核衝突実験

陽子衝突実験に連続して 2010 年、LHC 加速器初めての原子核ビーム衝突実験を予定する。米国 RHIC 加速器を遙かに凌ぐ高エネルギー原子核物理学の幕開きである。中性パイ中間子生成及び単光子輻射を解析し、強く相互作用するクォーク物質の物性解明を推進する。

## 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

- 1) Time of Flight resolution of the prototype of the electromagnetic calorimeter PHOS, M. Bogolyubsky, **T. Sugitate** 他, Nucl. Instr. Meth. A598 (2008) 702-709
- 2) The ALICE experiment at the CERN LHC, K. Aamodt, H. Hamagaki, T. Horaguchi, Y. Miake, K. Shigaki, **T. Sugitate**, H. Torii 他, Jour. Instr. 3 (2008) S08002/1-245
- 3) ALICE: Physics Performance Report, Volume II, B. Alessandro, **T. Sugitate**, K. Shigaki, Y. Miake, H. Hamagaki 他, Jour. Phys. G32 (2006) 1295-2040
- 4) The PHOS Detector at ALICE, **T. Sugitate** for ALICE/PHOS Collaboration, AIP Conference Proceedings 842 (2006) 1088-1090

ホームページ等

<http://www.hepl.hiroshima-u.ac.jp>