

# BL31LEP レーザー電子光II

## 1. 2016年度の活動概要

レーザー電子光IIビームラインBL31LEP (LEPS2ビームライン) では、波長355 nmのレーザー光を8 GeVの蓄積電子と逆コンプトン散乱させ、最大2.4 GeVのガンマ線(レーザー電子光)ビームを得ている<sup>[1]</sup>。2016年度は、3～4台のレーザーによる同時入射を行い、1.3 GeV以上の標識化エネルギー領域で最大2.2 MHzのガンマ線ビーム強度を得た。LEPS2ビームラインは、蓄積リング長直線部を利用しているため電子ビームの発散角が小さく、生成されたガンマ線ビームが拡がらない。逆コンプトン散乱点から135 m下流の蓄積リング棟外にあるLEPS2実験棟までガンマ線ビームを引き出し、液体水素標的または原子核標的におけるハドロン粒子の光生成実験を行っている。LEPS2実験棟内には二種類の大立体角検出器系を設置し、様々なクォーク核物理研究を推進している。

2016年度前期は、炭素原子核標的(20 mm厚のブロック形状)の周りを覆う高分解能電磁カロリメーターBGOegg<sup>[2]</sup>が主体となる実験セットアップ(BGOegg実験<sup>[3]</sup>)で物理データを収集し、質量が958 MeVである $\eta'$ 中間子の原子核媒質効果および原子核束縛状態の探索を行った。1 cm<sup>3</sup>辺り約1億トンという超高密度状態である原子核内では、ハドロン粒子質量の起源と考えられるカイラル対称性の破れが部分的に回復すると予想されており、光生成された $\eta'$ 中間子の質量が軽くなる現象(原子核媒質効果)、更には質量減少が束縛ポテンシャルの原資となる現象(原子核束縛状態)が起こる可能性が

指摘されている。これらの現象の探索に必要なデータ収集を2015年度に引き続き行い、深い束縛エネルギーを予想する理論を検証するのに十分な統計量を得た。蓄積した物理データは、鋭意解析中である。

2016年度後期は、BGOegg実験に続く第二期の実験セットアップで稼働するLEPS2ソレノイド実験の準備を進めた。この実験プロジェクトでは、1 Teslaの中心磁場を発生する大型ソレノイド磁石(ボア径3 m)の内部に、標的周りを覆う荷電粒子スペクトロメーター系を配置している。ユーザータイムの最終盤に、準備の出来た一部の検出器群を稼働させ、LEPS2ソレノイド実験にとって初めてのデータ収集をテスト的に行った。

## 2. BGOegg実験の成果

2016年度は、LEPS2ビームラインおよびLEPS2実験棟において実験データ収集を上記の通り行った他、2015年度までにBGOegg実験で収集した実験データの物理解析作業も進展した。図1は使用した実験セットアップを示しており、1320本のBGO結晶で卵型に組み上げられた電磁カロリメーター(BGOegg)が、標的周りの極角24°～144°の領域を隙間なく覆っている。同様のエネルギー領域で使用されている電磁カロリメーターとしては世界最高性能を持ち、エネルギー分解能は1 GeV光子に対して1.3%である。液体水素標的(陽子)で光生成された $\eta$ 中間子や $\omega$ 中間子の複数光子への崩壊を高分解能電磁カロリメーターBGOeggで捉え、該当する中間子の質量

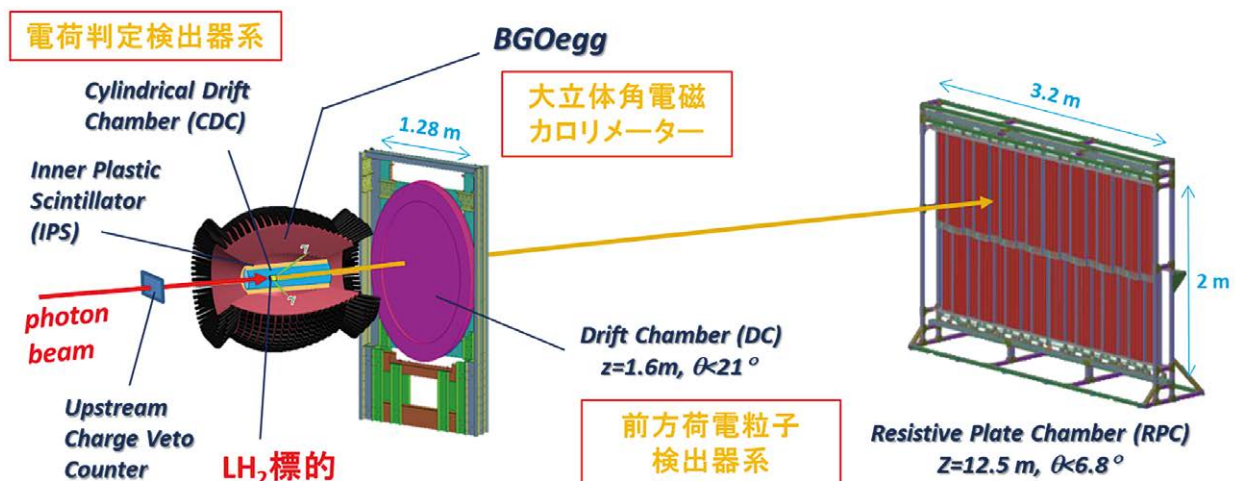


図1 BGOegg実験のセットアップ

ピークを終状態光子の不変質量分布中に観測した。 $\eta$ 中間子の場合、 $\gamma p \rightarrow \eta p$ ;  $\eta \rightarrow \gamma \gamma$ という光生成・崩壊過程を辿り、548 MeV/c<sup>2</sup>にある質量ピークを21 MeV/c<sup>2</sup>の質量分解能でクリアに同定できた。中間子と同時に生成される陽子は、電磁カロリメーターBGOeggまたは極角21°以下を覆う荷電粒子検出器(ドリフト・チェンバー)で検出し、生成方向を測定した。標的に入射するガンマ線のエネルギーは、LEPS2ビームラインに設置されているビーム標識化装置(反跳電子タギング検出器)で測定し、光生成反応で出来た中間子と陽子のエネルギー・検出方向の情報と合わせて、四元運動量の保存則を事象選択条件として要求した。これにより、多重 $\pi^0$ 中間子生成など、大量のバックグラウンド事象を高い効率で除去できた。

LEPS2ビームラインで用いるガンマ線ビームは、逆コンプトン散乱されるレーザー光の直線偏光を引き継ぎ、高い偏極率を持つ。ガンマ線ビームの直線偏極方向に対して、上記の中間子がどの方位角へ生成されやすいかの情報(光子ビーム非対称度)は、ハドロン粒子の光生成反応における中間状態のスピンの情報を反映している。アイソスピンが0である $\eta$ 中間子や $\omega$ 中間子の光生成では、これらの中間子と陽子の共鳴状態である核子励起状態を中間状態として経由するが、質量スペクトルに対応する重心系エネルギー分布において、共鳴幅の広い核子励起状態が互いに重なり合う。光子ビーム非対称度は、中間子光生成反応の微分生成断面積(中間状態のスピンの依存した生成角度分布)と合わせて、核子励起状態の分離・同定に大きな武器となる。図2は、 $\eta$ 中間子光生成反応の場合に光子ビーム非対称度をプロットしたものである

[4]。正(負)の値は、 $\eta$ 中間子がビーム偏極と直角(平行)の方向に出やすいことを表し、絶対値が大きいほど方位角分布の非対称度が大きい。重心系エネルギー( $E_{CM}$ )と $\eta$ 中間子の崩壊生成角度(重心系における角度 $\theta_{CM}^\eta$ のcosine)に依って、非対称度の変化が測定されている。これにより、異なる中間状態同士の干渉効果も含めて、未知の核子励起状態を識別でき、ハドロン内クォークの動的構造に対する理解が進展する。

参考文献

[1] N. Muramatsu, et al.: *Nucl. Instr. Meth. A* **737** (2014) 184; 村松憲仁, 與曾井優, 依田哲彦, 鈴木伸介, 学会誌「加速器」Vol.10 No.3 (2013) 171; 村松憲仁, 中野貴志, 與曾井優, 依田哲彦, 清水肇, 石川貴嗣, 宮部学: *SPRING-8利用者情報* Vol.18 No.2 (2013) 75.  
 [2] T. Ishikawa et al.: *Nucl. Instr. Meth. A* **837** (2016) 109.  
 [3] <http://www.lns.tohoku.ac.jp/~hadron/bgoegg.html>, N. Muramatsu, *ELPH Report* 2044-13 (2013); N. Muramatsu, arXiv: 1307.6411.  
 [4] T. Hashimoto et al.: *JPS meeting* (Osaka), 19 Mar 2017.  
 [5] D. Elsner, et al.: *Euro. Phys. J. A* **33**, (2007) 147.

東北大学 電子光物理学研究センター  
村松 憲仁

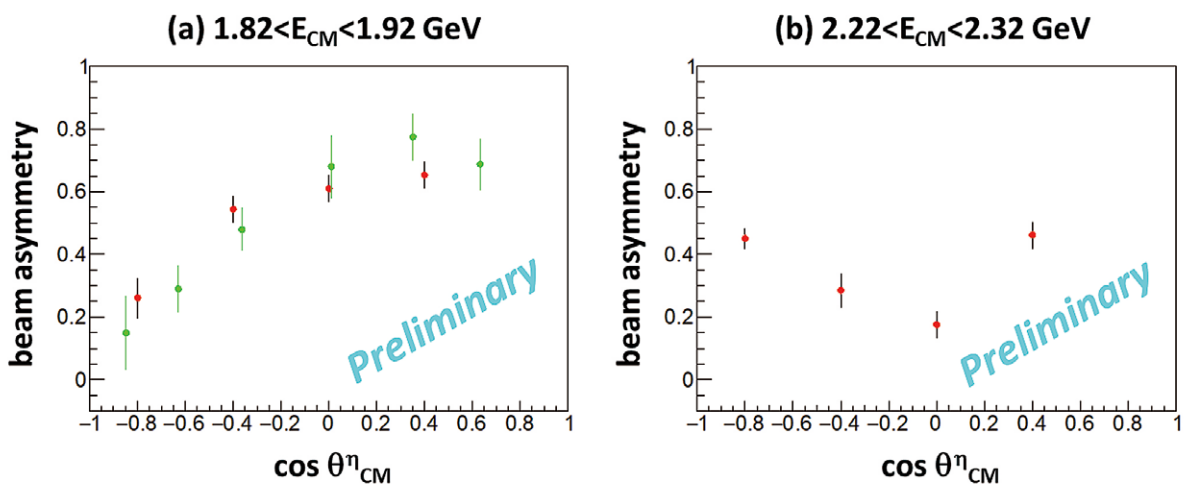


図2  $\eta$ 中間子光生成における光子ビーム非対称度。(a)と(b)は、異なる重心系エネルギーにおける測定結果を示す。赤点がBGOegg実験による測定であるのに対し、緑点はCBELSA実験<sup>[5]</sup>による既存結果を表す。