BL31LEP レーザー電子光 II

1. 2015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)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)を得るビームラインである^[1]。2015 年度は、レーザー光の4台同時入射を行い、1.3 GeV以 上の標識化エネルギー領域で最大2.1 MHzのガンマ線ビ ーム強度を得た。1本目のレーザー電子光ビームライン BL33LEP (LEPSビームライン) に対して5倍程度のビ ーム強度増強を目指しており、今後は蓄積電子ビーム・ バンチと同期したパルス・レーザーの導入などを検討し ている。BL31LEPでは、もう一つの特徴である長直線部 電子ビームの低発散角を利用して、細いガンマ線ビーム を135 m下流まで取り出し、蓄積リング棟外に建てられ たLEPS2実験棟の大立体角検出器系でクォーク核物理実 験を推進している。2015年度は第一期の実験として、大 立体角高分解能電磁カロリメーターと荷電粒子検出器系 を組み合わせたBGOegg実験^[2]がフル稼働し、ガンマ 線ビームと光反応を起こす標的の種類を変えながら物理 データを蓄積した。

BGOegg実験のセットアップは図1の通り、標的周り の極角24°~144°を1320本のBGO結晶による卵型電磁 カロリメーターが覆っている。同様のエネルギー領域で 使用す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。 標的で光生成され2光子へ崩壊する中間子は、不変質量 分布中で図2のように高分解能で観測されている。電磁カ ロリメーターの内側、および前方のアクセプタンス・ホー ルは荷電粒子検出器系で覆われており、特に極角7度以下 の超前方については、12.5 m下流に陽子の飛程時間を測 定する高抵抗板チェンバー (RPC)を設置している^[3]。大



図2 炭素原子核標的データにおける2光子の不変質量分布



図1 LEPS2/BGOegg実験のセットアップ

大型放射光施設の現状と高度化



図3 (a)液体水素標的データで π⁰γ 不変質量分布中に見えるω中間子ピーク。(b)(c)ガンマ線ビームの直線偏 光が垂直な場合と水平な場合のω中間子光生成量方位角分布。

型のストリップで粒子通過信号を読み出すユニークな構 造をしており、70~80 psecの高時間分解能を達成して いる。

2015年度のデータ収集においては、前期に20 mm厚 ブロック形状の炭素原子核標的、後期に40 mm厚の液体 水素標的を用い、それぞれ統計量の蓄積に専念した。前 者は、質量の起源に迫るべく、 η '中間子の原子核束縛状 態(η '核)を探索するためのデータであり、標識化ガン マ線ビームの積分強度で9.77×10¹²の統計量を得た。こ れは、深い束縛を予想する理論モデルの計算^[4]で η '核 信号を観測可能なデータ量に相当する。後期の液体水素 標的データは、光-核子反応による核子励起状態の探索 に必要であり、ハドロン構造の研究に繋がる。レーザー 電子光が持つ高いビーム偏極は、核子励起状態の識別で 非常に有効となる。後期は、直線偏光の方向を半々に変え ながら、ビーム積分強度5.79×10¹²のデータを蓄積した。

BL31LEPでは、第二期に大型ソレノイド磁石を用いた 大立体角荷電スペクトロメーター実験も計画されており、 2015年度はBGOegg実験の合間にビーム・テストの時間 を設け、さらに大型のRPC^[5]など、検出器試験も進めた。

2. LEPS2/BGOegg実験の成果

収集した液体水素標的データの解析においては、2光 子に崩壊するnおよびn'中間子、3光子(2光子に崩壊 する π^0 中間子と1光子)に崩壊する ω 中間子の光生成に ついて、解析が先ず進んでいる。これらの中間子はアイ ソスピンが0であり、陽子との重心系において核子励起 状態のみが可能である。微分生成断面積の測定から励起 状態の質量や共鳴幅などの議論を行うが、BGOegg実験 では特にビーム偏極方向に対する中間子生成方向の非対 称度の測定に力点を置く。この非対称度は、核子励起状 態のスピン情報や励起状態間の干渉に感度を持つ物理量 となっている。図3(a) は、 π^0 と1光子を電磁カロリメ ーターで検出して不変質量を組んだ時の分布を表してお り、ω中間子の光生成 ($\gamma p \rightarrow \omega p 反 \bar{c}$) がピーク構造と して観測されている。図3(b)(c)は、ω中間子の光生成 量を方位角方向ごとにプロットしたものであり、それぞ れガンマ線ビームの直線偏光方向が検出器系に対して垂



図4 (a) RPCで検出された荷電粒子の β と、BGOegg電磁カロリメーターで検出された中間子に対する欠損エネル ギーの相関図。(b) RPCで検出された陽子に対する損失質量分布。

直な場合と水平な場合を示している。直線偏光の方向に 合わせて位相が正しく90度ずれていることが見て取れ る。今後、この生成非対称度を重心系エネルギーと ω 中 間子生成の極角ごとに測定し、核子励起状態の議論を行 う。同様の解析が、 η 、 η '中間子についても進行している。

その他、BGOegg実験で目指す重要な物理テーマとし て、既述した n'核の探索が挙げられる。極めて高い密度 状態にある原子核中では、物質の相転移前駆現象として η'中間子の質量減少が予想されている。この質量減少が 束縛ポテンシャルの原資として働き、η'核を形成すると 考えられる。BGOegg実験では、原子核中でガンマ線ビ ームとの反応からη'中間子を生成すると同時に超前方へ 放出される陽子をRPCで検出する。生成された n'中間子 の束縛信号は、RPCで陽子の運動量(飛程時間)を測定し、 その損失質量スペクトルからη'核を判別する。さらに、 大立体角高分解能電磁カロリメーターで η'核自身の終状 態を検出し、S/N比を飛躍的に向上させる。現在、2015年 度前期に収集した炭素原子核標的データを解析中であり、 各検出器の較正・理解を進めている。図4(a)はRPCによ る飛程時間測定で陽子がクリアに検出されている様子を 表している。図4(b)はその損失質量分布を見ると、同時 生成される中間子の質量ピークが高精度で判別される様 子を示している。今後の結果に期待されたい。

参考文献

- [1] N. Muramatsu, et al.: *Nucl. Instr. Meth.* A **737** (2014) 184; N. Muramatsu, arXiv: 1307. 6411.
- [2] http://www.lns.tohoku.ac.jp/~hadron/bgoegg.html
- [3] N. Tomida et al.: J. Instr. 9 (2014) C10008.
- [4] H. Nagahiro et al.: *Phys. Rev.* C **74** (2006) 045203.
- [5] 田中慎太郎:平成27年度大阪大学修士論文。

東北大学 電子光理学研究センター 村松 憲仁