

BL33LEP レーザー電子光

1. はじめに

レーザー電子光 (LEPS) ビームラインでは、蓄積リングを周回する8GeVの電子ビームに紫外線レーザー光を散乱させることで高エネルギーガンマ線ビーム (最高エネルギー2.4GeV) を生成し、ハドロン物理の研究を行っている。実験では、ガンマ線ビームを陽子、重陽子等の標的に照射し、標的から発生するK中間子や陽子などの荷電粒子を双極電磁石スペクトロメーターで分析し、様々なハドロン反応を測定する。このスペクトロメーターはビームの進行方向に設置されており、超前方に生成される荷電粒子の測定に適しているのが特徴である。LEPSビームラインでは、このスペクトロメーターを用いた実験を2001年から開始し、これまで、陽子を標的としたK⁺中間子測定によるラムダ (Λ) 粒子、シグマ (Σ) 粒子生成反応の研究^[1]、5つ以上のクォークでなければ作ることの出来ないシータ (Σ^+) 粒子の探索^[2]などの研究を行ってきた。

2. 励起ハイペロン ($\Lambda(1405)$) の光生成

陽子に高エネルギーガンマ線を照射し、K⁺中間子 (反ストレンジ・クォークを含む中間子) を発生させると、陽子をハイペロンと呼ばれるストレンジ・クォークを含む粒子に変えることが出来る。ハイペロンには質量の異なる状態 (励起状態) がいくつも存在し、そのスペクトルの構造やそれぞれの励起状態の性質を詳しく調べることによって、物質を構成する最小単位でありながら単独では決して観測することが出来ないクォークから、どの様に陽子、中性子あるいは中間子といった我々が観測出来るハドロンが構成されているのかという問題を解く手がかりが得られると期待される。

数ある励起ハイペロンの中でも、 $\Lambda(1405)$ と呼ばれる質量約1.4GeVのハイペロンは、最もその性質が注目されている粒子の一つである。ハイペロンの励起スペクトルの系統性を考えると、 $\Lambda(1405)$ 粒子の質量、スピン・パリティは奇妙な値を取っている。3クォークの集まりとして

$\Lambda(1405)$ の性質を理解するには困難が生じる事から、この粒子は純粋に3クォークから構成されているのではなく、バリオン (3クォークの集まり) と、メソン (クォーク・反クォークの集まり) の分子的な共鳴状態ではないかという議論がなされてきた^[3]。実験的には、 $\Lambda(1405)$ の生成事象の観測数そのものが不足しており、長年のこのような議論に決着をつけられずにいた。

LEPSグループでは、上述の前方スペクトロメーターに

よる陽子 (液体水素) 標的からのK⁺中間子生成反応のデータを解析し、 $\Lambda(1405)$ が生成され、粒子と中間子に崩壊した反応を分析した。 $\Lambda(1405)$ がバリオン・メソンの分子的共鳴状態であるという理論^[3]によると、 $\Lambda(1405)$ が Σ^+ の組み合わせに崩壊する場合と、正反対の電荷の Σ^0 の組み合わせに崩壊する場合とで $\Lambda(1405)$ の共鳴の強度や励起スペクトルの形状が異なると予測されている。LEPS実験では、K⁺中間子と Σ^+ 中間子、K⁺中間子と Σ^0 中間子の様に、それぞれ異なる組み合わせで荷電粒子を測定し、 $\Lambda(1405)$ 粒子が Σ^+ に崩壊した際の電荷の違いによる励起スペクトルの比較を行った。その結果、スペクトルは理論の予測^[3]に近い傾向を示すという事が明らかになりつつある^[4]。

3. タイムプロジェクションチェンバー (TPC)

$\Lambda(1405)$ がバリオン・メソンの分子的共鳴状態であるという解釈が正しいとすると、理論では $\Lambda(1405)$ が原子核中に作られた場合 $\Lambda(1405)$ の性質が大きく変化し、崩壊粒子の電荷の違いに対する励起スペクトルの違いがより大きく現れると予測されている^[3]。これを実験的に確かめるためには、原子核 (炭素、銅等) の標的に高エネルギーガンマ線ビームを照射し、K⁺中間子と、 $\Lambda(1405)$ の崩壊によって発生する Σ^+ 中間子に加え、粒子の崩壊で発生する Σ^0 中間子をも一つ測定しなくてはならない。標的が陽子 (水素) の場合は、反応前に標的陽子が静止していたという条件が使えるため、運動量・エネルギーの保存則を用いて $\Lambda(1405)$ が Σ^+ に崩壊した事象を識別することが出来たが、原子核中の陽子はフェルミ運動によって動き回っているため、反応前にどのような運動量を持っていたかが分からず、この方法が使えないのである。

この反応で発生する荷電粒子は前方以外の方向にも放出されるため、既存の前方スペクトロメーターに加え、横方向や後方にも大きな立体角を持つ検出器を新たに建設した。この検出器はTime Projection Chamber (TPC) 検出器と呼ばれるもので、直径約35cm、長さ70cmの円筒形の容器の中を飛行した粒子の軌道を数100 μm の精度で測定できる性能を持っている。図1に示す様に、TPC検出器はガンマ線ビームの進行方向に軸を持つ超伝導ソレノイド電磁石の中に設置され、ソレノイド磁場中での荷電粒子の軌道の曲率から粒子の運動量を求めている。図2に、TPC検出器で実際に測定された荷電粒子の軌道の様子を示す。現在、前方スペクトロメーターとTPC検出器を合

わせたセットアップでの実験が進行中で、（1405）の生成実験を始めとして、広い角度に多数の粒子が発生する反応についても研究が発展しつつある。



図1 BL33LEP実験ハッチ内に設置された超伝導ソレノイド電磁石とTPC検出器。後方に見えるのが双極電磁石スペクトロメーターである。

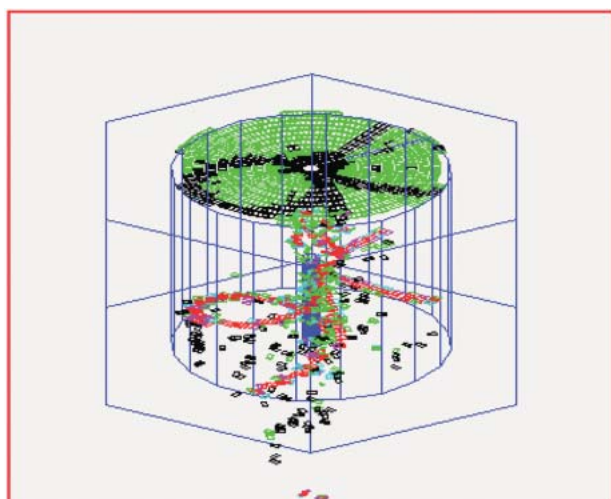


図2 TPC検出器で測定された荷電粒子の軌道の一部。ガンマ線ビームは円筒の中心軸を通っている。ソレノイド磁場によって、運動量の低い粒子がらせんを描くように飛行した様子が分かる。

- [1] R.G.T. Zegers, M. Sumihama, et al.: Phys. Rev. Lett. **91** (2003) 092001
- [2] T. Nakano, et al.: Phys. Rev. Lett. **91** (2003) 012002
- [3] J.C. Nacher, E. Oset, et al.: Phys. Lett. **B 455** (1999) 55.
- [4] J.K. Ahn, private communications.

大阪大学核物理研究センター
堀田 智明