

## BL33LEP レーザー電子光

2007年のBL33LEPでの研究成果として、 $\Lambda(1405)$  というバリオンの光生成の断面積を世界で初めて測定した。強い相互作用をうける粒子はハドロンと呼ばれ、3つのクォークから構成されるバリオンと、クォーク・反クォークから成るメソンとに分類される。クォーク間の相互作用を記述する量子色力学によれば、さらに多くのクォークが束縛されたハドロンも予言されているが、未だ確立した存在ではない。 $\Lambda(1405)$  は単純なクォーク模型によれば、u, d, sクォークが束縛した3クォークのバリオン共鳴とされているが、その質量はスピン多重項である $\Lambda(1520)$  と比べて非常に軽く、この質量差はクォーク間のLS力では説明できない。そこで、 $\Lambda(1405)$  は3クォーク状態ではなく、K中間子と核子とが束縛した分子状態である可能性が示唆されてきた<sup>[1]</sup>。このような特殊な内部構造を持つハドロンの生成メカニズムには未知の点があり興味もたれている。

我々の研究グループでは $\Lambda(1405)$  を原子核標的から生成し、 $\Lambda(1405)$  と原子核中の核子との相互作用を観測することで $\Lambda(1405)$  が3クォーク状態なのかK中間子・核子束縛状態なのかについて答えを出すべく研究を行ってきた。 $\Lambda(1405)$  が中間子・核子束縛状態であれば、原子核中の核子との相互作用を強く受け、質量分布が大きく変化するはずである<sup>[2]</sup>。これをクォーク3個でできた粒子である $\Sigma(1385)$  の質量分布と比較することで $\Lambda(1405)$  の内部構造について情報が得られる。2007年度の成果として、まず、陽子標的からの $\Lambda(1405)$  と $\Sigma(1385)$  の生成断面積を測定した。 $\Lambda(1405)$  の光生成の断面積の測定は世界で初めてのものである。

$\Lambda(1405)$  と $\Sigma(1385)$  とは質量が非常に近く、これらを区別することは非常に難しい。我々は $\Lambda(1405)$  や $\Sigma(1385)$  の崩壊で生じた粒子を同定することで、これら二つのバリ

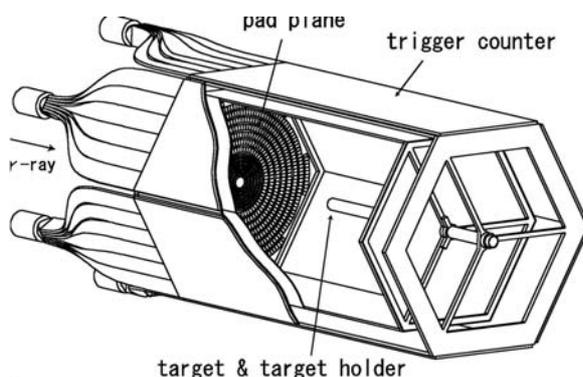


図1 TPCの模式図

オン共鳴を区別することに成功した。 $\Lambda(1405)$  は100%の割合で $\Sigma\pi$ に崩壊するのに対し、 $\Sigma(1385)$  は88%の割合で $\Lambda\pi$ へ、12%の割合で $\Sigma\pi$ に崩壊する。そこで、 $\Lambda$ 粒子を同定することで $\Sigma(1385)$  の生成率を計測し、 $\Sigma\pi$ 崩壊モードへの混入量を見積もった。本研究以前のBL33LEPビームラインのセットアップは標的から前方に散乱された粒子を測定することを目的にしており、 $\Lambda(1405)$  や $\Sigma(1385)$  の崩壊粒子を検出することは不可能であった。そこで、我々はタイムプロジェクションチェンバー (TPC) と呼ばれる荷電粒子検出器を新たに製作し、前方散乱用のスペクトロメータと併用することで、大立体角にわたって荷電粒子の検出を可能にした<sup>[3]</sup>。図1にTPCの模式図を示す。このTPCは標的を内蔵し、飛程の短い粒子をも測定できることが特徴である。本研究では、 $\gamma p \rightarrow K^+ \Lambda(1405) / \Sigma(1385)$  反応で生じる $K^+$ 中間子を前方スペクトロメータで測定し、バリオン共鳴の崩壊で生じる粒子をTPCで測定した。また、標的にはポリエチレン ( $\text{CH}_2$ )、炭素、銅を用い、炭素標的から得た質量分布を $\text{CH}_2$ 標的のものから差し引くことで、 $\text{CH}_2$ 標的中の水素で生成されたバリオンの質量分布を得た。

まず、 $\gamma p \rightarrow K^+ \Sigma(1385) \rightarrow K^+ \Lambda \pi^0 \rightarrow K^+ p \pi^0$  反応について述べる。図2にTPCで $\Lambda$ 粒子を検出した事象に対する $\gamma p \rightarrow K^+ X$ 反応のミッシングマス分布を示す。ここでは光子エネルギー1.5~2.0GeVの領域でのスペクトルを示している。

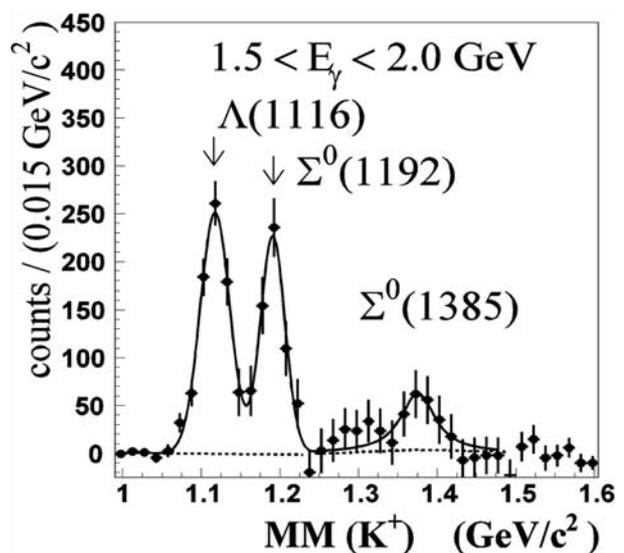


図2  $\Lambda$ 粒子をタグした事象のバリオン共鳴の質量分布

1.38GeV/c<sup>2</sup>近辺にΣ(1385)のピークが見える。このスペクトルからΣ(1385)の収量を測定し、モンテカルロシミュレーションで得た検出効率を用いて、Σ<sup>±</sup>π崩壊モードへの混入量を見積もった。次にγp→K<sup>+</sup>Λ(1405)/Σ(1385)→K<sup>+</sup>Σ<sup>±</sup>π<sup>±</sup>→K<sup>+</sup>π<sup>±</sup>π<sup>±</sup>n反応について述べる。この反応でも、K<sup>+</sup>中間子は前方スペクトロメータで測定し、TPCで二つのπ中間子を測定した。さらに、γp→K<sup>+</sup>π<sup>±</sup>π<sup>±</sup>X反応のミッシング分布から中性子を同定し、Σ<sup>+</sup>粒子、Σ<sup>-</sup>粒子をγp→K<sup>+</sup>π<sup>±</sup>X反応のミッシングマスから同定することで、Λ(1405)/Σ(1385)生成反応を選んだ。図3にΣ粒子とπ中間子とを選んだ事象に対するγp→K<sup>+</sup>X反応のミッシングマス分布を示す。(a)、(b)がそれぞれ、Σ<sup>+</sup>π<sup>-</sup>、Σ<sup>-</sup>π<sup>+</sup>ペアを検出した事象での質量分布である。黒丸が2007年の測定、白丸が2002年の我々のグループによる測定データである。1.52GeV/c<sup>2</sup>近辺に見えるピークはΛ(1520)に対応する。Λ(1520)のピークをBreit-Wigner関数でフィットした結果、どちらの崩壊モードでもΛ(1520)の質量ピーク位置は過去の測定値と一致していた。一方、Λ(1405)の質量分布は二つの崩壊モードで大きく異なっており、Σπ間のアイソスピンの干渉が大きいことが分かった。また、Λ(1405)の質量分布は2002年の測定結果とも異なっている<sup>[45]</sup>。2002年の測定と今回の測定とではΛ(1405)の崩壊で生じたΣ粒子の運動方向が異なっており、アイソスピンの干渉の効果が、崩壊で生じたΣ粒子とΛ(1405)との間の角度にも依ることを示唆している。

さらに、Λ(1405)、Σ(1385)の収量とモンテカルロシミュレーションから得た検出効率とを用いてΛ(1405)とΣ(1385)の生成比を求めた。生成比は光子エネルギーが1.5<E<sub>γ</sub><2.0GeVの領域でΛ(1405)/Σ(1385)=0.54±0.17、2.0<E<sub>γ</sub><2.4GeVの領域で0.074±0.076となり、光子エネルギーの低い領域でΛ(1405)の生成率が大きいことが分か

った。これは、Λ(1405)とΣ(1385)とで生成メカニズムや形状因子が大きく異なっていることを示している。また、2002年に取得した液体水素標的を用いた高統計のデータとΛ(1405)/Σ(1385)の生成比を用いて、これら二つのバリオン共鳴の光生成の微分断面積を測定した。微分断面積は反応重心系でのK<sup>+</sup>中間子の散乱角度で0.8<cosΘ<1.0、二つの光子エネルギー領域で測定した。Σ(1385)の生成断面積は1.5<E<sub>γ</sub><2.0GeV、2.0<E<sub>γ</sub><2.4GeVの二つの領域でほぼ一定で、0.80~0.87μbであった。一方、Λ(1405)の生成断面積は1.5<E<sub>γ</sub><2.0GeVで約0.43μb、2.0<E<sub>γ</sub><2.4GeVで約0.07μbと、高エネルギー側で大きく減少していることが分かった。Σ(1385)の生成断面積は有効ラグランジアンを用いた計算と良く一致していた。しかし、Λ(1405)の生成断面積の光子エネルギー依存性は既存の理論計算からの説明は難しく、特殊な生成メカニズムが寄与している可能性がある。このことについて、さらに統計精度を高め光子エネルギー依存性を精密に測定するべく研究を続けていく予定である。

参考文献

- [1] R.H. Dalitz : Euro. Phys. J **C15** (2000) 748.
- [2] J.C. Nacher, E. Oset, H. Toki and A. Ramos : Phys. Lett. **B455** (1999) 55.
- [3] M. Niiyama *et al.*: Nucl. Phys. A**721** (2003) 1095c.
- [4] J.K. Ahn *et al.*: Nucl. Phys. A**721** (2003) 715c.
- [5] M. Niiyama *et al.*: Phys. Rev. **C78** (2008) 035202.

理化学研究所 放射線研究室  
新山 雅之

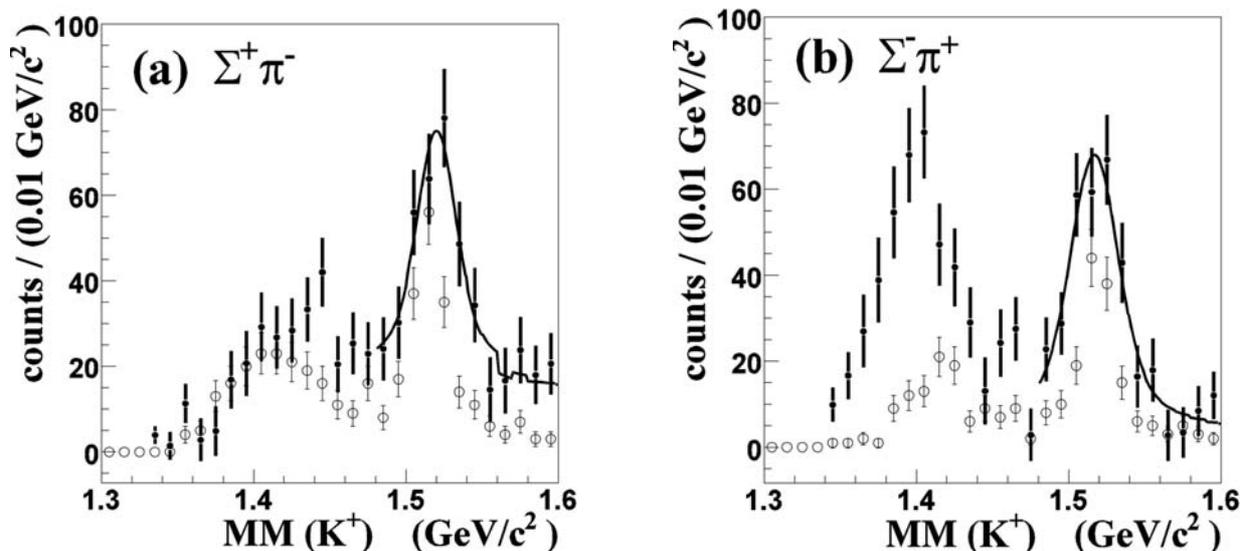


図3 Σ<sup>+</sup>π<sup>-</sup>ペア (a)、Σ<sup>-</sup>π<sup>+</sup>ペア (b) を同定した事象のバリオン共鳴の質量分布