

(K<sup>-</sup>,π<sup>-</sup>)反応を用いたハイパー核γ線分光実験(E13)のコミッショニング

2014年5月までに行われた、ハイパー核γ線分光実験(E13-1)の準備とビームを用いたスペクトロメータシステムのコミッショニングに関して報告をする。

我々は、Ge 検出器を用いたハイパー核γ線分光実験によりハイパー核のレベル構造を~2 keV @1 MeV の分解能で決定し、AN 間相互作用、特にスピン依存相互作用の研究を行っている。E13 実験では、最外殻の核子が *s*-shell から *sd*-shell 領域までのハイパー核構造を系統的に決定する。K1.8 beam line では E13 の 1st stage として、<sup>4</sup><sub>Λ</sub>He、<sup>19</sup><sub>Λ</sub>F ハイパー核γ線分光実験を行う。K<sup>-</sup> beam の運動量は、<sup>4</sup><sub>Λ</sub>He に対して 1.5 GeV/c、<sup>19</sup><sub>Λ</sub>F に対して 1.8 GeV/c を選択した。これは、(K<sup>-</sup>,π<sup>-</sup>)反応は、K<sup>-</sup> beam 運動量によって、励起しやすい状態が変化するという性質をもつため、運動量毎の K beam intensity を考慮し、測定したいγ線の脱励起状態の収量を最大となるよう選択した。

## —E10 から E13 へ—

K1.8 beam line では、2013年12月から2014年1月半ばまで、<sup>6</sup>Li(π<sup>-</sup>,K<sup>+</sup>)反応を用いた<sup>6</sup><sub>Λ</sub>H ハイパー核生成実験(E10)を行っていた。E13 と E10 では散乱側運動量レンジが異なるため、検出器配置を変えねばならず、トリガー用 PID カウンターも異なるものであるため、E10 beam time 終了後、およそ一ヶ月半ではぼすべての検出器の再配置、再配線を行った。また、(K<sup>-</sup>,π<sup>-</sup>)反応に特化した様々な PID カウンターと K<sup>-</sup> 崩壊標識化の検出器も新たにインストールを行った(図1右)。

また、E13 実験の肝であるγ線エネルギー測定用の Ge 検出器群(Hyperball-J)(図1左)は、2013年秋にビームライン上にフレームを E10 実験と干渉しないよう設置し、E10 の準備と並行して検出器のインストールを行ってきた。

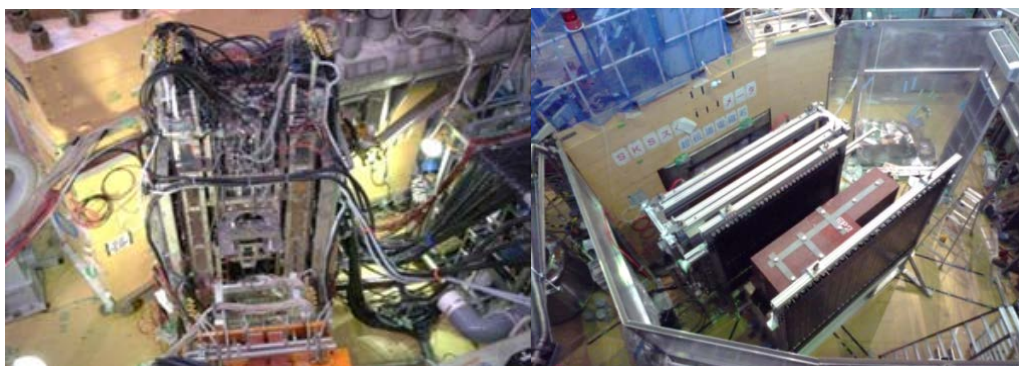


図1 E13 実験セットアップ

(左)SKS magnet 上流部, Hyperball-J とその回路ラック

(右)SKS magnet 下流検出器(配線前)赤茶のブロックは、μ 識別用鉄ブロック(SP0)

## —Kaon beam tuning—

E13 実験は、K1.8 beam line における初めての Kaon beam を用いた実験である。2つの静電セパレータ電圧は長期安定性を優先し±250 kV に設定した。今回、ほぼすべての beam line element に関して調整を行った。トリガーレートと Ge 検出器の live time を考慮しハイパー核のγ線収量が最大となるように調整した最終的なビーム条件は MR 30 GeV、20 kW 条件下で 1.5 GeV/c、1.8 GeV/c それぞれの運動量共に、K<sup>-</sup> 300 k/spill、π<sup>-</sup> 100 k/spill が得られた。両運動量で同じ K intensity と K/pi ratio となったのは、運動量が低いと静電セパレータの分離能力が高くなり slit を広げられるからである。ただしこれらの調整は、再開後の bema time では、T1 の primary proton の focus が変更

なるため、全てやり直す必要がある。

### —SksMinus コミッショニング—

E13 で用いる散乱側スペクトロメータ(SksMinus)は、 $(K^-, \pi^-)$ 反応に特化しデザインされた。ビーム運動量領域 1.3 GeV/c ~ 1.8 GeV/c の反応に対し、同じ磁場設定(2.5 T)で 100 msr を超える立体角と  $20^\circ$  までの角度アクセプタンスを持ち、様々な移行角運動量反応( $\Delta L=0,1,2$ )に対応する角度領域を広くカバーしており、*s*-shell から *sd*-shell までのハイパー核分光が可能となる。

$(K^-, \pi^-)$ 反応は、on-line level では、実験標的前後に配置した閾値タイプのエアロジェルチェレンコフ検出器(BAC, SAC)で識別される。また、 $(K^-, \pi^-)$ 反応において trigger や missing mass スペクトル上でバックグラウンドとなる K beam 崩壊事象( $K \rightarrow \mu\nu, K \rightarrow \pi^- \pi^0$ )を標識化する検出器(SMF, SPO)を開発しインストールした。

SksMinus の性能評価は、主にポリエチレン標的  $CH_2$  run と標的なしの Empty run を用いて行った。Empty run は、BAC、SAC 間の 30 cm の領域で K beam が崩壊した事象のみとなるため、SMF、SPO の検出効率を算出できる。 $K \rightarrow \mu\nu$ 崩壊に対し、SMF は 99.5%、 $K \rightarrow \pi^- \pi^0$ 崩壊に対する SPO は約 70% の検出効率であることを得た。また、on-line trigger に組み込むことで DAQ 効率が 1.5 倍向上し、off-line 解析に用いることで Missing mass スペクトル上のハイパー核生成領域に対し、K 崩壊からのバックグラウンド事象は、1/5 まで抑制された。

$CH_2$  run では、H からの  $\Sigma^+$ 生成と、 $^{12}C$  からの  $^{12}_\Lambda C$  基底状態に対応するピークを観測することができ(図 2)、ハイパー核に対する分解能 5.6 MeV(FWHM)(for  $p_K=1.5$  GeV/c)を得た。また、それぞれの cross section を導出した。これらは初めてのデータであり、今後のハイパー核生成実験をデザインする上で重要な基礎データである。

### —Hyperball-J コミッショニング—

Hyperball-J は、 $\gamma$ 線エネルギー測定用の Ge 検出器と、それを取り囲むバックグラウンド抑制用 PWO シンチレータ検出器で構成されている。Hyperball-J の検出器は、K1.1BR において 2012 年に行った T44 実験において 2 つの Ge + PWO ユニットを用いてビーム下における動作確認および性能評価が行われているが、全体をくみ上げたシステムとして初めてのビームテストである。2013 年のコミッショニングでは、Ge 検出器の live time の測定、PWO 検出器のサプレッション能力などがテストされた。また、標的核起因の  $\gamma$ 線ピークを観測することで、Hyperball-J システム全体の動作確認ができた(図 3)。

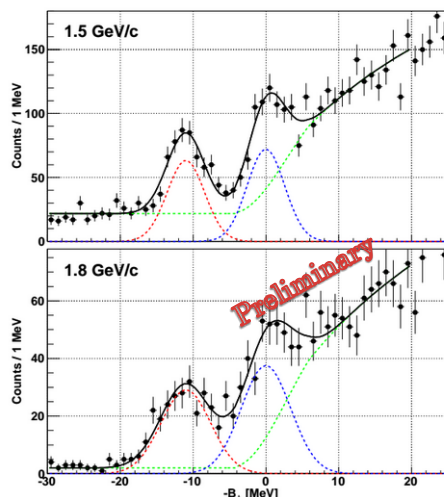


図 2  $CH_2$  標的を用いた  $(K^-, \pi^-)$ 反応による  $^{12}_\Lambda C$  領域のミッシングマススペクトル

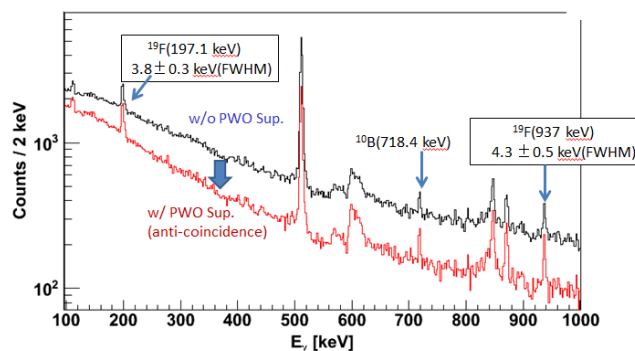


図 3;  $CF_2$  標的 run における  $\gamma$ 線スペクトル。

黒線 ; Ge TDC cut のみ

赤線:PWO の anti-coincidence をかけたスペクトル

現在、E13 グループは標的の改良や Hyperball-J 検出器のマイナー upgrade を行っているが、基本的には Physics run の beam time を待つのみである。