

シグマハイペロン-陽子散乱実験（J-PARC E40 実験）の成果
— Σp 弾性散乱の微分断面積の高精度・高統計データの論文出版 —

2019年11月及び2020年7月の活動報告で紹介した Σ 陽子散乱実験 J-PARCE40 では、本実験の最初の成果となる Σp 弾性散乱モードの結果について論文[1]を出版し、プレスリリース[2]も行った。今回の活動報告では、この成果を中心に E40 実験を紹介する。

原子核を構成する陽子・中性子（合わせて核子（N）という）に働く核力は、平均的には引力として働き、核子を結びつけ、また、短距離では大きな斥力となり、この引力と斥力の微妙なバランスのおかげで原子核が安定に存在できます。このような核力の詳細は、核子同士の散乱実験で分かってきましたが、なぜそのようなになっているかは十分解明されていません。特に核子同士が重なるような短距離では、核子の構成要素のクォークが重要な働きをしていると考えられています。我々は、アップ・ダウンクォークの世界の核力をストレンジクォークの入ったハイペロンも含むバリオン間相互作用に拡張し、その詳細を調べることで、核力の統一的な理解を目指しています。

J-PARCE40 実験は、正負電荷を持つシグマハイペロン（ Σ^+ 及び Σ^- ）と陽子の散乱断面積の角分布（散乱微分断面積）を高精度・高統計で測定し、 ΣN 相互作用の理解を目指します。特に、 Σ^+ -陽子間では、クォークのパウリ排他律の効果が大きく、核子間の核力よりも大きな斥力芯が予想されており、その検証も目的のひとつです。具体的には次の3つのモードの測定を行います。

- (A1) $\Sigma^- p \rightarrow \Sigma^- p$ （弾性散乱）
- (A2) $\Sigma^- p \rightarrow \Lambda n$ （変換反応）
- (B1) $\Sigma^+ p \rightarrow \Sigma^+ p$ （弾性散乱）

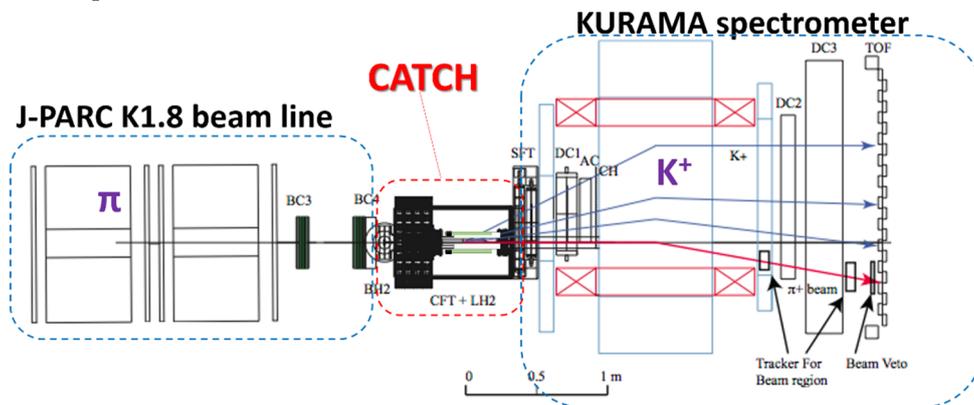


図1：実験セットアップ概略図。液体水素標的の周辺に CATCH 検出器、標的前後にビーム π 及び K^+ の運動量測定のための磁気スペクトロメータが設置されている。

散乱実験は粒子間に働く相互作用の詳細を調べる有力な方法ですが、ハイペロンは二次的に生成する必要があること、寿命が短くすぐに崩壊してしまうこと、さらに、これまでの実験では、散乱事象を画像データとして記録・解析するという手法から、ハイペロン散乱のデータは少なく、また、その統計も限られたものでした。E40 実験では、（1）大強度 π ビームによる大量の Σ の生成、（2）液体水素（陽子）を Σ の生成と散乱（反応）の標的とすることにより S/N の大幅な向上（炭素など原子核標的の場合、運動学が一意に決まらず、解析効率が悪化する）（3）散乱（反応）後の粒子の位置・エネルギー等のみを測定

することにより、多数の散乱・反応事象を測定し、高統計データの取得に初めて成功しました。図1に実験のセットアップを示します。 $\pi^\pm p \rightarrow K^+ \Sigma^\pm$ 反応の π^\pm 及び K^+ を K1.8 beam line 及び KURAMA スペクトロメータで測定し、 Σ^\pm の生成とその運動量ベクトルを同定します。液体水素標的周りには、CATCH と呼ばれる円筒形ファイバー飛跡検出器 (CFT) と BGO カロリメータから構成される検出器が置かれ、散乱・反応の結果生じる粒子の位置・方向を CFT で、(運動) エネルギーを BGO で測定 (π の場合は突き抜けることもあるのでその一部の場合もある) します。今回の A1 の場合では、反跳陽子と Σ^- の崩壊 ($\Sigma^- \rightarrow \pi^- n$) からの π^- を CATCH で検出し、散乱事象の運動学と一致するかによって散乱事象を同定します。

E40 実験は、J-PARC ハドロン実験施設 K1.8 ビームラインで 2018 年 3 月にコミッショニングを開始し、2018 年 7 月、2019 年 3 月に Σ^- (A1, A2) のデータ取得、2019 年 5 月、2020 年 5—6 月に Σ^+ (B1) のデータ取得を行いました。今回、 $\Sigma^- p$ 弾性散乱 (A1) の結果が論文に出版されました[1]。図2にその結果を示します。横軸は、 $\Sigma^- p$ 重心系での散乱角 ($\cos \theta$) で、縦軸は散乱微分断面積です。4つの図は、 Σ^- の運動量を4領域に分けたものに対応します。黒丸がE40実験の結果、赤丸が過去の実験の結果です。過去の実験は統計が少ないため運動量領域の分割をしていません。角度領域の分割数や誤差の大きさから過去のデータに比べ、圧倒的に統計及び精度が上がっていることがわかります。図中の線やバンドは理論模型計算の予想です。角分布が前方ピークであることは予想通りですが、中間子交換模型よりクォークの効果をあらわに取り入れた模型の方がデータを再現しているように見えます。今回のデータや今後報告されるA2,B1のデータを取り入れることによって模型の改良が行われ、 ΣN 相互作用、さらには、バリオン間相互作用の理解が進むことが期待されます。

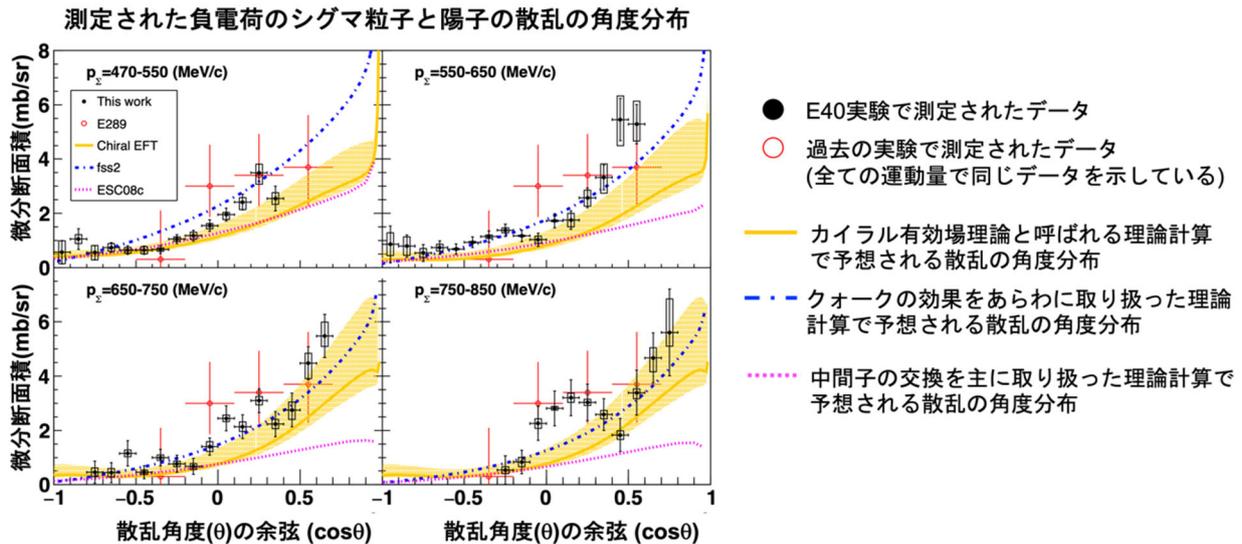


図2： $\Sigma^- p$ 弾性散乱の微分断面積の角分布。

データ解析は順調に進んでおり、つい最近、 $\Sigma^- p \rightarrow \Lambda n$ (A2)の結果を arXiv [3]に投稿しました。最後にこの場を借りて、実験をサポートしていただいた加速器グループをはじめとする J-PARC の関係者の皆様、解析等に使用させていただいた KEKCC のサポートスタッフの皆様に感謝します。

[1] K Miwa *et al*, Phys. Rev. C **104**, 045204. DOI: [10.1103/PhysRevC.104.045204](https://doi.org/10.1103/PhysRevC.104.045204)

[2] <https://www.j-parc.jp/c/press-release/2021/11/08000762.html>

[3] [arXiv:2111.14277](https://arxiv.org/abs/2111.14277) [nucl-ex]