

CERN Summer Student Programme 2018

奈良女子大学

釜野 楓

sak_kamano@cc.nara-wu.ac.jp

2018 年 10 月 24 日

1 はじめに

2018 年 6 月 25 日から 8 月 31 日の 10 週間、CERN Summer Student Programme に参加しました。活動内容を以下に報告いたします。

2 活動内容

2.1 講義

プログラム前半の 5 週間は、午前中にレクチャーが行われました。CERN で行われている素粒子物理学や重イオンの実験、医療分野への応用など様々な内容の講義がありました。講義ごとに質問する時間が設けられていたのですが、学生が積極的に質問しており、とても活気がありました。十年ほど前にサマースチューデントとしてこの場にいたという講師がいたことが印象的です。

2.2 施設見学

数十人のサマースチューデントと共に Data Center, Anti-Matter Factory, ATLAS Visitor Center などを見学する機会がありました。見学しながら疑問に思ったことはすぐに引率の研究者に質問できるという良い環境でした。

2.3 研究

私は ALICE 実験の解析グループに配属され、supervisor である Francesca Bellini 氏と Alexander Phillipp Kalweit 氏の下で (反) ハイパー核再構成の最適化に取り組みました。

2.3.1 概要

ハイパー核とは普通の陽子、中性子に加え、少なくとも一つのハイペロンを含む原子核です。Hypertriton ($^3_{\Lambda}\text{H}$) は最も軽いハイパー核として知られており、陽子、中性子、ラムダ粒子の束縛状態です。Hypertriton の寿命は理論計算からラムダ粒子の寿命に近いと予想されています。いくつかの先行研究では予想より短い寿命が得られています。LHC Run 2 のデータサンプルの結果では hypertriton の寿命の世界平均、ラムダ粒子の寿命ともに誤差の範囲内で一致しています。この研究では、より正確な寿命測定やハイパー核の生成メカニズムの解明を目標とし、LHC Run 3, 4 に向け hypertriton の再構成の最適化に取り組みました。Hypertriton の主な崩壊チャンネルは、 $^3_{\Lambda}\text{H} \rightarrow ^3\text{He} + \pi^-$ と $^3_{\Lambda}\text{H} \rightarrow d + p + \pi^-$ です。この研究では二体崩壊のチャンネルについてのみ解析を行いました。これまで ALICE では二つの娘粒子のみを使い、親粒子の飛跡は考慮せずに hypertriton を解析してきましたが、この研究では親粒子の飛跡を考慮に入れ、hypertriton の再構成を最適化しました。 $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV の Pb-Pb 衝突にハイパー核粒子の情報を入れたシミュレーションデータの解析を行いました。

2.3.2 粒子識別

この解析において粒子識別のために主に用いた検出器は Time Projection Chamber (TPC) です。TPC のシグナルは検出器内を通った粒子のエネルギー損失より与えられます。TPC で測られた dE/dx の値と、期待される dE/dx を与える Bethe-Bloch 関数の値を比較し、粒子を識別します。図 1 は TPC で測られたエネルギー損失を rigidity p/Z の関数として示しています。ここで p は飛跡の運動量で、 Z は電荷を示しています。図 2 は式 (1) で示した σ' の分布の p_T 依存性を粒子が (左) ^3He (右) π^- のそれぞれについて表しています。

$$\sigma' = \frac{dE/dx - \text{mean}}{\sigma(p_T)} \quad (1)$$

ここで mean は図 1 中の各粒子の帯の中心値, $\sigma(p_T)$ は横運動量ごとの帯の広がりです。それぞれ ${}^3\text{He}$ は $5\sigma'$ 以内の飛跡を ${}^3\text{He}$ として, π^- は $3\sigma'$ 以内の飛跡を π^- として粒子識別を行いました。また, トラッキングされた粒子の選別を保証するため, 表 1 の 3 行目以降に示される値も適用しました。

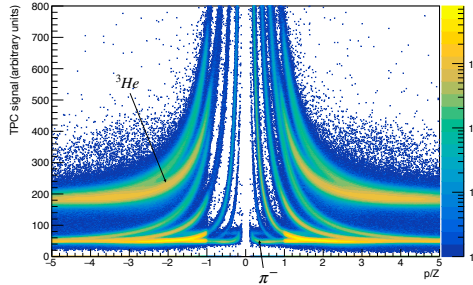


図 1: TPC で測られたエネルギー損失を rigidity p/Z の関数として示しています。

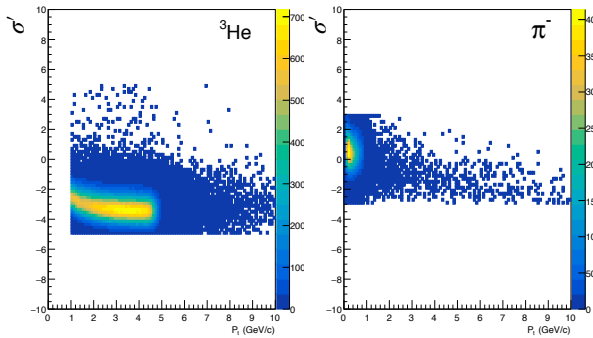


図 2: 式 (1) で示した σ' の分布の p_T 依存性を粒子が (左) ${}^3\text{He}$ (右) π^- のそれぞれについて表しています。

表 1: 飛跡選別のカットの値。

カットの種類	値
${}^3\text{He}$ 識別	$ \sigma'({}^3\text{He}) < 5$
π^- 識別	$ \sigma'(\pi^-) < 3$
TPC clusters の数	> 80
${}^3\text{He}$ p_T	$> 1\text{GeV}/c$
$ \eta $	< 0.8

2.3.3 Vertex selection

一度, 二つの娘粒子が識別すると, hypertriton のシグナルの候補を識別することができます。図 3 はトポロジカルカットを説明するため二体崩壊を図で表したものです。

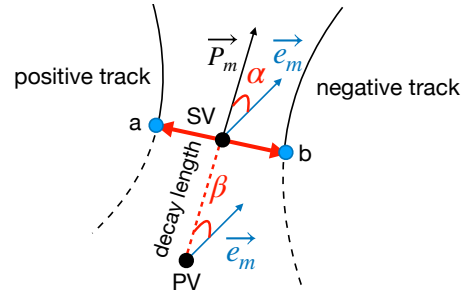


図 3: 二体崩壊の図。PV は primary vertex, SV は secondary vertex, positive track は ${}^3\text{He}$ の飛跡, negative track は π^- の飛跡を示しています。

バックグラウンドを減らすため, 以下のトポロジカルカットを適用しました。シグナルとシグナル+バックグラウンドの比よりカットの値を決定しました。これらの値は表 2 にまとめて示します。一つ目のカットは Distance Closest Approach (DCA) カットです。DCA は図 3 中の点 ab 間の距離です。DCA の値が 1.0 cm より小さい飛跡のみを選別しました。二つ目のカットは pointing angle カットです。pointing angle は図 3 中で α として示されており, 親粒子の運動量ベクトル $\vec{P}_m$ とトラックレットベクトル $\vec{e}_m$ の間の角度です。ここでトラックレットは Inner Tracking System (ITS) の最内層から 2 層の Silicon Pixel Detector (SPD) の track segment として定義されています。 $\cos \alpha$ の値が 0.999 より大きい飛跡のみを選別しました。三つ目のカットは $\sin \beta$ カットです。角度 β はトラックレットベクトル $\vec{e}_m$ と primary vertex の座標から secondary vertex の座標へ向かうベクトルの間の角度です。Secondary vertex は座標 a, b の平均値の座標です。 $\sin \beta$ が 0.05 より小さい飛跡のみを選別しました。四つ目のカットは崩壊長カットです。崩壊長 R は primary vertex と secondary vertex の間の距離で, 以下のように定義されます。

$$R = \sqrt{(x_{PV} - x_{SV})^2 + (y_{PV} - y_{SV})^2 + (z_{PV} - z_{SV})^2} \quad (2)$$

ここで, (x_{PV}, y_{PV}, z_{PV}) と (x_{SV}, y_{SV}, z_{SV}) はそれぞれ primary vertex と secondary vertex の座標です。崩壊長が 10 cm より大きい飛跡のみを選別しました。

表 2: Vertex selection のカットの値。

カットの種類	値
DCA	$< 1.0\text{ cm}$
$\cos \alpha$	> 0.999
$\sin \beta$	< 0.05
崩壊長	$> 10\text{ cm}$

2.3.4 不変質量

${}^3\text{He}$ と π^- の不変質量は以下のように計算されます。

$$M = \sqrt{(E_1 + E_2)^2 - (\vec{p}_1 + \vec{p}_2)^2} \quad (3)$$

E_1 は以下のように定義されています。

$$E_1 = \sqrt{m_1^2 + |\vec{p}_1|^2} \quad (4)$$

ここで m_1 は ${}^3\text{He}$ の質量の文献値 $2.80923 \text{ GeV}/c^2$ です。 E_2 の定義も E_1 と同様で、 m_2 は π^- の質量の文献値 $0.13957 \text{ GeV}/c^2$ です。図4は順番に vertex selection を適用した ${}^3\text{He}$ と π^- の不変質量分布です。

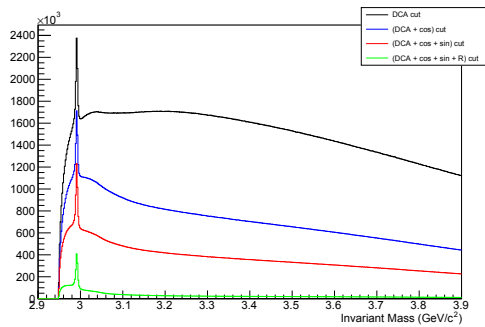


図4: 順番に vertex selection を適用した ${}^3\text{He}$ と π^- の不変質量分布。

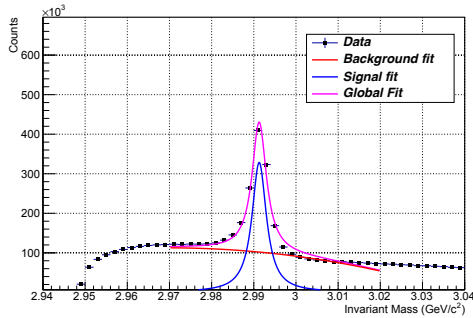


図5: 全ての vertex selection を適用した ${}^3\text{He}$ と π^- の不変質量分布。

図5は全ての vertex selection を適用した ${}^3\text{He}$ と π^- の不変質量分布を Lorentzian peak function と Quadratic background function でフィットした分布です。不変質量の平均値は $2.991 \text{ GeV}/c^2$ で、文献値もまた $2.991 \text{ GeV}/c^2$ です。

2.3.5 まとめ

親粒子の飛跡情報を考慮に入れることにより、hypertriton をよりよく再構成することができました。よって、hypertriton の寿命測定をより正確に行えることが期待

されます。私が行なった研究を引き継ぐためのミーティングで、この研究をもとに、今後は機械学習を使い topological selection の最適化を行おうという計画が立てられました。また、LHC の Run3,4 に向けて ALICE 検出器がアップグレードされるため、さらに統計的不定性が減少することが期待されています。

3 生活

ホステルの共用キッチンか CERN レストランで食事をとることが多かったのですが、そこへ行くと他のサマースチューデントがいるという楽しい環境で生活していました。世界各国から学生が参加しているため、いろいろな文化の違いについて触れることができたこともとてもいい経験になりました。また、プログラム前半はワールドカップの開催時期と被っていたため、レストラン内のパブリックビューイングスペースで日本や友達の国を一緒に応援したこともとてもいい思い出です。

4 今後の抱負とこのプログラムに望むこと

このプログラムを通して、解析のテクニックや英語で議論や発表すること、積極的に質問することの大切さなど多くのことを学びました。修士一回生の夏に、CERN という各国から研究者が集まる環境で 10 週間研究生活を行なったことが、今後の私の選択肢を大きく広げてくれたと実感しています。この経験を糧に、今後も面白いと思うことをどんどん突き詰めていきたいと思います。

このプログラムでしかできない経験がたくさんありました。来年以降も日本人学生がこのプログラムに参加する機会があることを強く希望します。

5 最後に

本プログラムに応募、参加するにあたり KEK の皆様をはじめ、多くの方のお世話になりました。日本から一緒に参加した江角くん、大杉さん、三野くんにはたくさん助けてもらいました。金銭面も含め、多くの方のお力添えにより 10 週間非常に充実した生活を送ることができました。このような素晴らしい機会を与えてくださりありがとうございました。この場を借りて感謝いたします。