

# CERN Summer Student Programme 2022 参加報告

京都大学 理学研究科

疋田 純也

hikida.junya.58x@st.kyoto-u.ac.jp

2022 年 (令和 4 年) 10 月 17 日

## 1 はじめに

CERN Summer Student Programme は、夏の約 2ヶ月間にわたって CERN に滞在し、各自配属先の supervisor の指導のもとで研究を行うプログラムであり、世界中から約 300 人の物理学や工学、コンピューティングを専門とする学生が集まり研究を行なった。

私は 7/4 から 8/26 の 8 週間にわたって CERN に滞在し、supervisor である Jaehoon Yu 教授の指導のもとで Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE) に関するプロジェクトに参加した。

## 2 活動内容

### 2.1 講義

6/27 から 7/29 までの 5 週間は 1 コマ 90 分の講義が午前中に 3 コマずつ行われた。講義は基本オンラインで行われ、内容は物理に関するものからコンピューティングに関するものまで多岐にわたっており、たいへん勉強になった。講義は毎回録画され CERN のホームページから見る事ができたので、わからなかったところを復習するのに役立てることができた。

### 2.2 Workshop

プログラムの期間中、霧箱やシリコン検出器などさまざまなものに関する workshop が行われた。私はデータ解析ソフトウェアである ROOT の workshop に参加し、ROOT の使い方の基礎を学んだ。

### 2.3 施設見学

プログラムの参加者は、ATLAS, Synchrocyclotron, Data Center と Antiproton Decelerator の 4 つの施設を見学することができた。最先端の研究が行われてい

る施設を実際に見ることができ、たいへん貴重な経験になった。

### 2.4 Student Session

プログラムの後半には summer student による研究結果の発表会が行われた。他の学生がどのようなことに取り組んでいるのかを知ることができる非常に有意義な発表会であった。

### 2.5 研究内容

DUNE はアメリカで計画されているニュートリノ実験であり、ニュートリノビームを約 1300 km 離れた検出器で測定することで、ニュートリノ振動パラメータの決定やニュートリノ質量階層性問題の解明などといったニュートリノの性質解明に大きく貢献すると期待されている [1]。CERN では DUNE 検出器の開発が行われており、今回私は Far detector の試作機である、50 L 液体アルゴン TPC で取れたデータを用いて解析を行なった。

#### 2.5.1 実験の概要

私が解析を行なった実験はプリント基板 (PCB) による電子読み出しシステムの R&D のために行われた実験 [2] であり、図 1 のようなセットアップで実施された。検出器は液体アルゴンで満たされた容器の内部に設置され、容器の外側にはトリガー用のシンチレーションカウンターが置かれている。検出器の陰極には  $^{207}\text{Bi}$  線源が置かれている。線源からの放射線や宇宙線ミューオンにより周りの液体アルゴンがイオン化され、イオン化で生じた電子はドリフト電場によって陽極にドリフトされる。陽極には飛跡再構成の精度を高めるために PCB が 3 枚設置されており、ドリフト電子は induction 1 PCB と induction 2 PCB で読み出された後に、最終的に collection PCB で読み出される。私はこの実験の

データを解析するにあたって、宇宙線ミュオンと線源由来の信号によるエネルギーキャリブレーションに加えて、宇宙線ミュオン事象の3次元飛跡再構成を試みた。

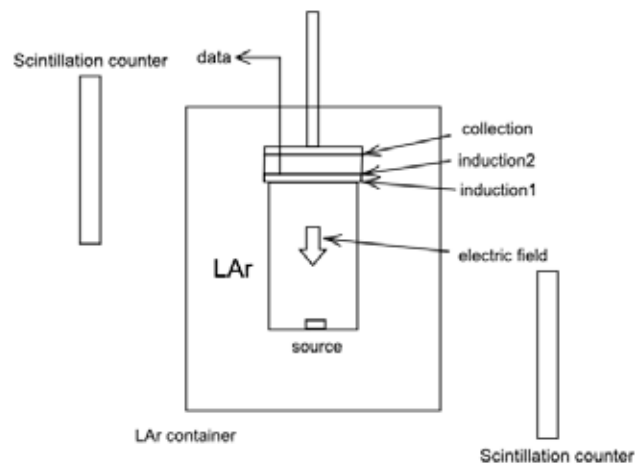


図 1: 実験のセットアップ

### 2.5.2 エネルギーキャリブレーション

宇宙線ミュオンイベントに関して、collection PCB で得られた ADC 値のピーク付近で積分を実行することで、宇宙線ミュオンのエネルギー損失のスペクトルを得た。それをランダウ関数とガウス関数をミックスした関数でフィットしたものが図 2 である。このフィットにより、得られた分布の most probable value (MPV) は 846.1 [ADC] であることがわかった。この値は、今回の実験のセットアップにおける宇宙線ミュオンエネルギーの MPV である 1141 keV に対応している。

次に線源からの信号についても同様にして積分値のヒストグラムを作り、そこからバックグラウンドと思われるスペクトルを差し引くことで、線源からの信号のスペクトルを得た<sup>1</sup>。それを二つのガウス関数でフィットしたものが図 3 である。今回の実験では線源由来の放射線のエネルギーを完全に分離することができなかったため、フィット結果の 346.7 [ADC] と 716.6 [ADC] のピークに対応するエネルギーとして、比較的強度が高い 481.7 keV と 975.7 keV を採用した。

このようにして得られた 3 点のエネルギーと ADC 値の対応関係を線形にフィットしたものが図 4 である。この結果からエネルギーと ADC 値には、

$$E = (1.32 \pm 0.03)\text{ADC} + (24.3 \pm 21.1) \text{ [keV]}$$

の関係があることがわかった。

<sup>1</sup>今回は時間の都合上、バックグラウンドを線源の信号がないチャンネルから見積もったが、より正確に見積もるためには Monte Carlo シミュレーションを行う必要がある。

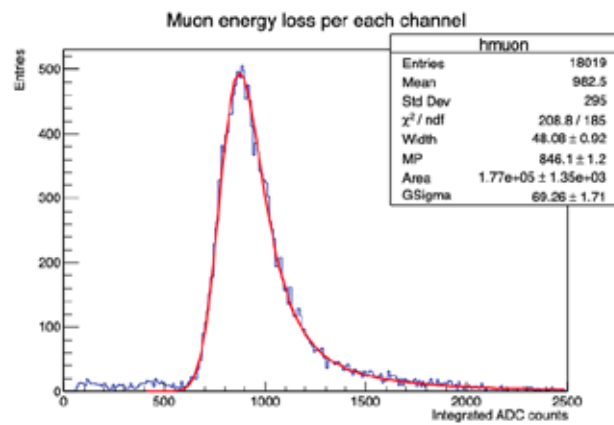


図 2: 宇宙線ミュオンスペクトルのフィット結果

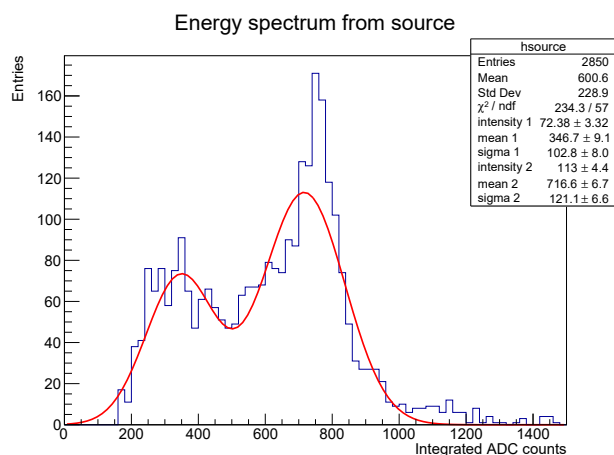


図 3: 線源のスペクトルのフィット結果

### 2.5.3 宇宙線ミュオンの 3 次元飛跡再構成

宇宙線ミュオンの 3 次元飛跡再構成では、水平軸の位置情報は collection PCB と induction 1 PCB のチャンネルから、鉛直方向の位置情報は信号を取得した時間から決定した<sup>2</sup>。図 5 は宇宙線ミュオンとデルタ線のイベントの各 PCB における 2 次元プロットであり、 $x$  軸が PCB のチャンネル数、 $y$  軸が信号を取得した時間、 $z$  軸が ADC 値に対応している。 $x$  軸に関しては左から、collection PCB, induction 2 PCB, induction 1 PCB に対応している。図 6 は図 5 の 3 次元プロットである。図 6 の見る方向を変えると、 $xz$  平面と  $yz$  平面がそれぞれ図 5 の collection PCB, induction 1 PCB からの信号に対応しており、 $xy$  平面を見るとデルタ線がどの点から出て、どのような軌道をたどったのか確認することができた。

## 3 CERN での生活

私はプログラム期間中 CERN 内にあるホテルに滞在しており、午前中は CERN 内にある図書館で研究し、

<sup>2</sup>induction 2 PCB のデータは滞在期間内に導入できなかった。

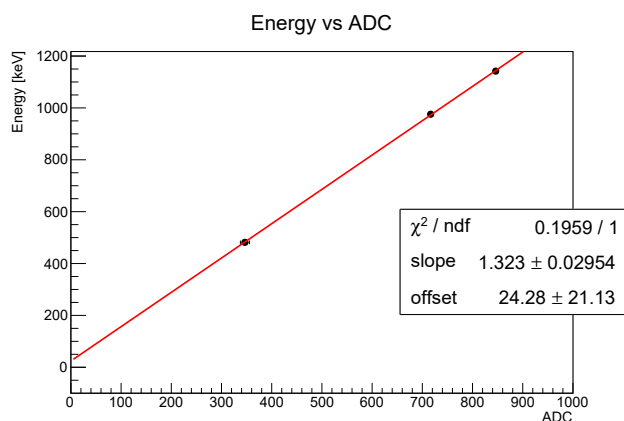


図 4: エネルギーキャリブレーションのフィット結果

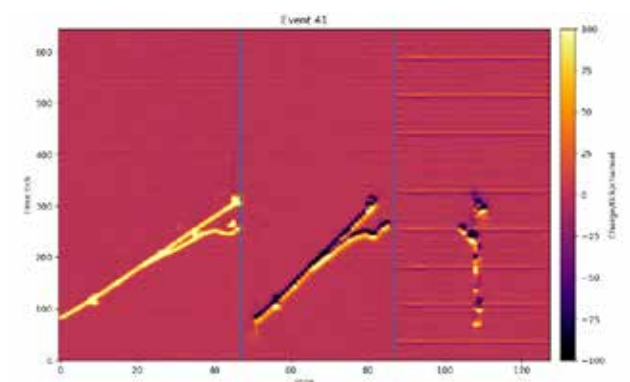


図 5: 宇宙線ミューオンとデルタ線のイベント

午後はオフィスに向かい同じ研究に取り組む Aayush さんと一緒に研究した。18 時頃にはホテルに戻りレストランで食事をしたり、現地で知り合った summer student と談笑したりして過ごした。休日にはスイスの街を観光したり、CERN の近くをサイクリングしたりして過ごした。

## 4 今後の抱負

今回のプログラムでのデータ解析を通して、目的の結果を得るために失敗を繰り返しながら解析コードを改良していくことができた。このように、Try & Error を繰り返して目的の結果に近づいていくというのはどの実験においても重要だと思うので、今後の大学の実験でもこの経験を思い出して失敗にめげずにチャレンジしていきたい。

## 5 今後このプログラムへ望むこと

今回のプログラムでは student session や workshop の人数制限が厳しくほとんど参加することができなかった。参加人数を増やすか、日程を増やすなどしてより多くの

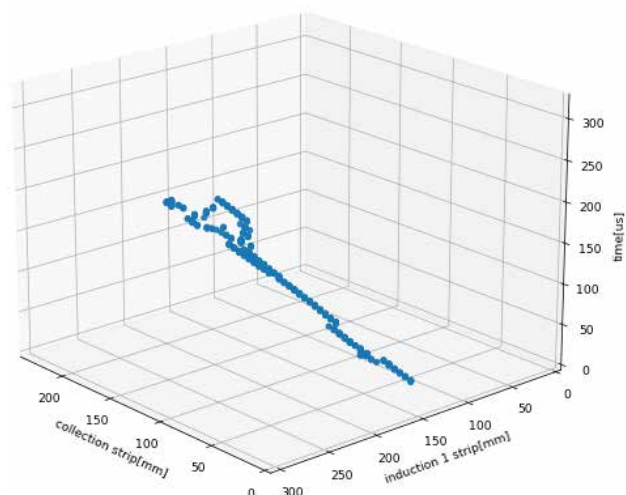


図 6: 図 5 の 3 次元プロット

summer student が参加できるとより良いプログラムになると思う。

## 6 謝辞

まず、Summer Student Programme に参加するにあたって KEK の皆様、特に江口様には参加の準備から現地での手続きに渡ってたいへんお世話になりました。

また、応募書類の添削や海外出張手続き書類の作成などで京都大学の中家教授と木河助教、成木准教授にはたいへんお世話になりました。

CERN での生活については、一緒にこの Summer Student Programme に参加した長坂さん、周川さん、今村さんや同じ研究に取り組んだ Aayush さんにもたいへんお世話になりました。

最後になりましたが、supervisor の Jaehoon Yu 教授にはたくさんのアドバイスをいただきました。彼の丁寧な指導のおかげで様々な知識を身につけることができました。感謝いたします。

## 参考文献

- [1] DUNE Collaboration, arXiv:[2002.03005](https://arxiv.org/abs/2002.03005).
- [2] F. Pietropaolo, *The vertical Drift LAr-TPC for the DUNE Experiment*. CERN Detector Seminar (2021).