

■ 研究紹介

CERN Summer Student Programme 2016 活動報告

大阪大学理学研究科物理学専攻博士前期課程 1 年

佐藤 友太

y_sato@champ.hep.sci.osaka-u.ac.jp

2016 年 10 月 8 日

1 はじめに

私は 6 月 27 日から 9 月 2 日までの 10 週間、CERN Summer Student Programme 2016 に参加した。このプログラムは、世界中から集められた約 280 人の学生たちが欧州原子核研究機構 (CERN) の各実験に配属され、各々に割り当てられた研究を行うものである。各自の研究のほかにも、講義や施設見学、自分の研究を発表するためのポスターセッションなど、様々な催しが用意されている。私はこのプログラムで n_TOF に配属され、そこで液体シンチレータの特性評価を行った。このレポートでは、私がこのプログラムで体験したことについて報告させていただきたいと思う。



図 1 Globe の前で撮った Summer Student 達の集合写真

2 活動

2.1 講義

このプログラムのはじめの 6 週間の間は、午前中に素粒子物理学や加速器などについての講義が行われていた。素粒子物理学の基礎的なことや加速器の基本を扱ったものなど、自分にも馴染み深い内容のものがほとんどであったが、講義が進むにつれて内容が専門的になっていき、string theory や beyond the standard model など、理解が追いつかない回も増えていった。しかし、講義の様子とスライドは全て Web 上にアップロードされ、理解できなかった部分は復習できるような環境が用意されていて非常にありがたかった。

2.2 実験

私は Summer Student として n_TOF という施設に配属され、指導教官の Federica Mingrone 氏のもとで研究を行っ

た。この施設は中性子によって引き起こされる核反応から原子核の構造や核分裂の機構について研究している施設である。中でも特に中性子捕獲の断面積に関する研究は、恒星内での元素合成や原子炉の研究のために非常に重要な役割を担っている。

この施設ではまず、Proton Synchrotron からくるプロトンビームを Pb ターゲットに当て、中性子を生成する。出てきた中性子のエネルギーは実験エリアに到達するまでにかかる時間から知ることができる。その中性子をさらにターゲットに当て、その際に起こる反応 (n, γ) を観測する。 (n, γ) によって出てくるガンマ線を検出するために、n_TOF では液体シンチレータを用いている。この時にバックグラウンドとなるのは中性子の散乱によって生成されるガンマ線であるため、シンチレータは中性子との反応の断面積が小さいものを用いる必要がある。このことから、n_TOF では水素原子を含まない液体シンチレータ C_6D_6 を採用している。さらに、 C_6D_6 を格納する容器と PMT を含む物質としては中性子捕獲の断面積が非常に小さい、厚さ 2 mm の炭素繊維を用いている。これら C_6D_6 と PMT、容器を合わせたものが検出器 L_6D_6 である。

Summer Student としての私の研究は、n_TOF で新しく導入された検出器 L_6D_6 [1] の特性評価およびそのためのプログラムの開発であった。

2.2.1 準備

私の研究は、液体シンチレータ C_6D_6 を検出器に詰めることから始まった。図 2 が実際に用いた L_6D_6 の写真である。この検出器を導入する前に n_TOF で用いていた検出器には液体シンチレータが漏れるという不具合があったため、その問題を解決したものとして、新型の L_6D_6 を用いることとなった。図 2 の下方に C_6D_6 が入った容器が、上方に PMT が包まれている。左上に飛び出た部分は、検出器が横向きに置かれたときに C_6D_6 の容器に空気が入るのを防ぐための機構である。今回は試験的なものとして L_6D_6 を二つ用意し、それらについて同時に特性評価を行っていった。

次の準備として、波形のフィッティングを行うためのテンプレートを用意した。 L_6D_6 の前に ^{137}Cs 線源を置き、ガンマ線を検出した際に検出器から出てくる信号を 300 個程

度記録し、それらの平均をとった波形を作成した（図 3）。この波形は検出器がガンマ線を検出した際に出す波形のテンプレートとして計算機に与えられ、生データから信号を探し出してフィッティングを行い、信号の高さや saturation の有無等を判断するために用いられる。



図 2 C_6D_6 を詰めた検出器 L_6D_6 。下方に C_6D_6 の容器が、上方に PMT が入っている。

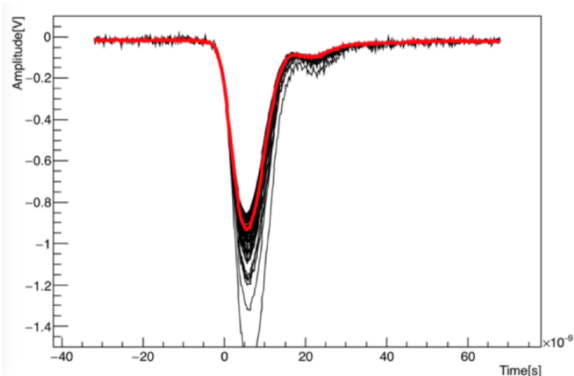


図 3 オシロスコープによって記録された波形。黒は各波形、赤はそれらの平均をとったものである。

2.2.2 データ収集

作成した検出器 L_6D_6 二つの前に線源を置き、検出器からの信号を DAQ に入れてデータ収集を行った。結果は 14 ビットの FADC によって記録されたものが出てくる。線源は ^{137}Cs (662keV), ^{88}Y (898keV, 1836keV), $^{241}Am/Be$ (4.43MeV), $^{244}Cm/C$ (6.13MeV) を用い、得られるエネルギースペクトルのコンプトン端の位置を用いてキャリブレーションを行った。括弧内は各線源が出すガンマ線のエネルギーである。データ収集は各線源について約 5~12 時間ずつ行った。

私の研究は n_TOF 全体の DAQ を共同で使っていたため、supervisor にその使い方を教わり、他の人たちの研究と競合しないように細心の注意を払いながら DAQ を走らせる必要があった。

2.2.3 解析

得られたデータの解析として、まずは L_6D_6 からの信号についてエネルギーキャリブレーションを行った。エネルギースペクトルに現れているコンプトン端の右側をガウシアンでフィッティングすることによって、コンプトン端のチャンネル数が分かる。また、FADC のビット数は既知であるため、チャンネル数から信号の高さ (mV) へ変換する式が求まる。この FADC は既に n_TOF の DAQ に組み込まれているものであり、チャンネル数と波高の関係が線形であることは保証されている。これらの情報から、検出器に落とされたエネルギーと信号の高さの関係についてキャリブレーションを行った。図 4 がその結果である。図 5 は PMT にかける電圧を変化させていったときのゲインの変化である。また、本実験で得られたデータによると検出器の分解能は 662 keV 付近では 20 %, 4.43 MeV 付近では 8 % 程度であった。

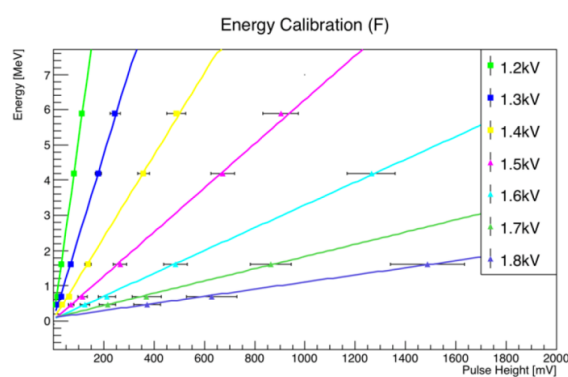


図 4 エネルギーキャリブレーションの結果。横軸は信号の高さ、縦軸は検出器に落とされたエネルギーである。

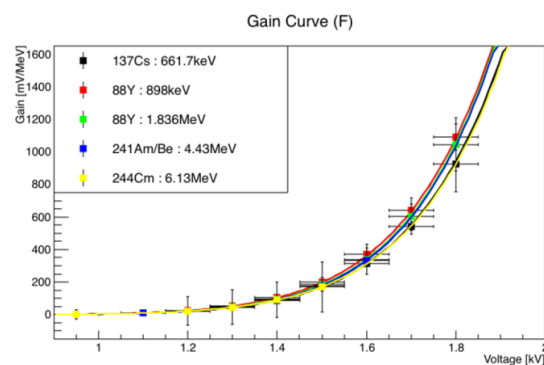


図 5 検出器のゲイン。横軸は PMT にかける電圧、縦軸はゲインである。

これらの解析を行うために私が作成したプログラムは n_TOF のライブラリに組み込まれ、今後 L_6D_6 を多数用意した際に同様のキャリブレーションを行うために使われていく。

3 生活

私はこのプログラムに参加するまでは一度も海外に行ったことがなかったため、初めは無事に暮らしていけるのか心配であった。しかし、現地で先輩方など多くの方々が支

えてくださったおかげで、一週間も過ぎた頃にはそのような不安はなくなっていた。また、Summer Student たちが集まるパーティーが頻繁に企画されていたため、それらを通して他の国から来た多くの Summer Student たちと交流することができ、海外の様々な文化に触れることができた。

3.1 平日

実験グループ内では非常に快適な環境を与えてもらえたため、講義のプログラムが終わった後の平日は朝から晩までオフィスや実験室にこもっていた。私の supervisor は、n_TOF 全体で用いる検出器の大掛かりな検出の際や、いつもとは違う実験室に行く際にも私を現場に連れて行ってくれたため、検出器の特性評価という自分の研究以外にも多くのことを経験することができ、常に新しい刺激を受ける充実した研究生活を送ることができた。



図 6 supervisor の Federica Mingrone 氏(右)と私(左)

3.2 休日

最初の方の休日は買い物をするだけのために消費されてしまっていたが、せっかく海外に滞在しているのにこれは勿体ないと思うようになり、友人たちと Geneva や Montreux, Annecy などに出掛けた。私はもともと城や宮殿に興味があったため、スイスやフランスの周辺にあるそれらを見てまわることができ、大満足であった。



図 7 Montreux 近郊にある Chillon 城

4 今後の抱負

私はこのプログラムを通して、自分の英語がまだまだ未熟だということを痛感した。あらかじめ聞いていた話では、Summer Student には英語圏以外からくる学生が多いため皆英語はそれほど得意ではないということであったが、それ

でもわれわれ日本人から見るとはるかに流暢であり、自分の英語の運用能力の低さを恥じることとなった。その一方で、たとえ少し間違えていても自分から英語を話そうという意識を持つことで少しずつ上達できることを学んだ。これからは積極的に英語を話す機会を得るように心がけていき、研究を行っていく上でも英語を満足に使えることが必須であるこの社会で通用するような人間になりたいと思った。

5 今後このプログラムに望むこと

Summer Student の多くが大学の学部生であったことに影響されているのか、課される課題は比較的容易なものであった。そのため、もっと学生一人一人の学年や経験を考慮し、大学院生にはさらに高度な課題を与えてほしいと思った。

また、私はこのプログラムのことを研究室の教授と留学生から教えてもらうことで知ったが、それまでは CERN がこのようなプログラムを催してくれていることを知らなかった。そのため、このような趣旨のプログラムに参加しようとする意欲はあるがその存在に気づけない学生が多数いるのではないかと思い、ぜひもっと広く周知していただきたいと感じた。海外からはエンジニアリングなど、素粒子・原子核の分野以外を専門とする学生も多く参加していたため、日本でも幅広い分野の学生に対してこのプログラムの存在を知ってもらう機会を設けるとよいと思った。

6 最後に

CERN Summer Student Programme 2016 に参加するにあたり、多くの方々にお世話になりました。多忙な中推薦状を書いてくださった佐々木修教授、推薦状に加えて必要な書類の添削や海外滞在のアドバイスをくださった山中卓教授、プログラムの参加のための手続きをくださった宮居様、KEK の皆様、本当にありがとうございました。

また、日本からこのプログラムに参加した上岡君、川口さん、徳武さん、中村君、CERN での生活の手助けをくださった先輩方、supervisor の Federica Mingrone 氏、n_TOF Collaboration の方々、Summer Student で知り合った友人たち、現地での生活を支えてくださった方々にも、この場を借りてお礼申し上げたいと思います。

参考文献

- [1] P.F. Mastinu et al., *New C₆D₆ detectors: reduced neutron sensitivity and improved safety*, n_TOF Internal Report, 2013