

CERN Summer Student Programme 2021 参加報告

東京大学理学系研究科物理学専攻修士1年

馬場 仁志

hitoshi-baba@cns.s.u-tokyo.ac.jp

2021年(令和2年)11月2日

1 はじめに

私は2021年6月14日から同年8月6日まで、八週間にわたり CERN Summer Student Programme に参加した。本プログラムは世界中のあらゆる分野を専門とする学生が CERN に集い、インターンという形式で実際に最先端の研究を体験する場である。例年は現地にて対面で行われていたが、新型コロナウイルス感染症の世界的な拡大の影響から本年も2020年に続き原則オンラインでの開催となった。2020年は十分な準備期間もないまま突然オンライン開催とせざるを得ない状況になったため実質的にはオンラインで講義を聞くだけとなってしまったようだが、本年はより例年のプログラムに近い形での開催となったようである。

2 活動内容

2.1 Lecture Program

プログラム中には素粒子物理学や加速器科学、実験に用いる統計処理からエレクトロニクスに至るまで様々な分野に関する講義を受けることができた。メインのプロジェクトや時差の関係で参加できないものもあったが、全ての講義は録画されており、後から内容を確認できるようになっていた。また、全ての講義に対して学生と講師の時間が許す限りはいつまでも続けられる Q & A セッションの時間が本編とは別に設けられており、ここでは毎回活発に議論が繰り広げられていた。講義の部分は昨年録画を好きなタイミングで視聴し、Q & A セッションのみライブで行う、という形式のものもかなりの数あった。

2.2 Virtual Visits

講義とは別に CERN にある種々の実験施設をバーチャルに訪問できる Virtual Visits というものも開催されて

おり、いくつかの施設に関しては原則参加が必須となっていた。内容としては文字通り実験施設見学をオンラインでやっているようなもので、各実験の担当者がカメラで周囲の様子を写しながら Zoom を通じて学生に自身の実験を紹介する、というものだった。いずれも実際に放射線の管理区域内に入って説明をしていただけたほか、実験によってはコントロールルームなども見せていただけた。私は ALICE, LHCb, LEIR, NA61/SHINE, AD (Antiproton Decelerator) を見学した。本来はさらに ATLAS なども見学させていただく予定だったが、先方の事情により急遽中止となってしまった。

2.3 Project

2.3.1 概要

メインのプロジェクトとしては nuSTORM 実験 (Neutrinos from Stored Muons) に参加した。nuSTORM 実験はニュートリノと原子核の相互作用に対する理解を深めることを目的とした、現在計画中の実験である。解明を目指す物理の詳細に関してはプログラム参加期間中にも盛んに議論が進められている最中だったが、主にレプトニックな CP 対称性の破れの探索、原子核構造への理解の深化、ステライルニュートリノ探索などに寄与できると想定されていた [1]。

実験全体の構成は、まず SPS (Super Proton Synchrotron) の陽子ビームを適当なターゲットに入射させることで π 粒子線を生成し、それを μ 粒子やニュートリノへと崩壊させた後、その中から適切な運動量を持ったものを取り出して検出器に入射させ、最終的にそのニュートリノと検出器の原子核の相互作用を観測する、というものであった。いずれのコンポーネントもプログラム参加時点では詳細は検討中だったが、私はその中でも主に検出器に関する検討に参加した。

ニュートリノと原子核の相互作用には準弾性散乱、弾性散乱、非弾性散乱、 π 粒子生成など様々な種類の反応が存在する。そのため、一回のイベントでそれらのうちど

の反応が起きたかを特定するには発生した粒子の軌道、運動量、エネルギーを正確に測定できる検出器が必要である。本プログラムでは、この候補の一つであるプラスチックシンチレータを用いたサンプリングカロリメータについて Geant4 によるシミュレーションを行なった。

本プログラム開始時点では C++ や ROOT を扱った経験はほぼ皆無に近く、それらの基本的な使い方から学習する必要があったため、期間内に物理学的な意味で納得のいく成果を出せたとは必ずしも言えなかった。しかし、それまで研究に必要な知識・技能の習得のために論文や教科書を読むなどして勉強する、という作業に追われがちだった私自身にとって、プロジェクトの一員として毎週 nuSTORM 実験の会議等にも参加し、習得した知識も活かしながら実際に実験を進めていく、というのは非常に興味深い経験であった。

2.3.2 検出器の構造

シミュレートした検出器の構造を図1に示す。まず右側にある三角形の断面をした長さ 4 m のプラスチックシンチレータを 480 本用意し、それらを貼り合わせることで一つの平面にした。ただし、中央の穴は読み取り用の線を入れるための穴である。次に、それらを図1の要領で X→Y→X→鉄板→Y→X→Y→鉄板... という順番で貼り付けた。以上の検出器 6 層+鉄板 2 枚を一つの繰り返し単位とし、最終的にはそれを 210 個用意した。

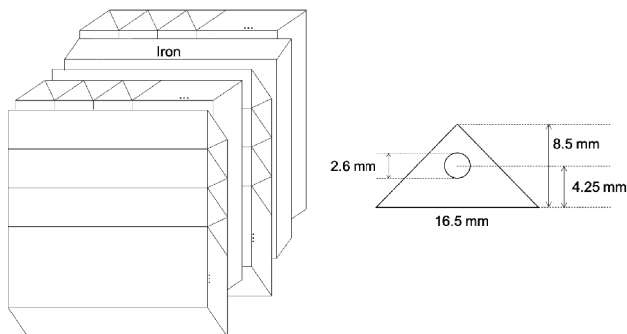


図 1: 今回シミュレートした検出器の概念図。

2.3.3 Geant4 でのシミュレーション

Geant4 とは CERN の Geant4 Collaboration が開発している、モンテカルロ法を用いて物質中を飛行する粒子をシミュレートするためのツールキットである [2]。Geant4 で検出器をシミュレートする際にはいくつかのやり方があるが、今回はそのうち Sensitive Detector を定義する方法を用いた。Geant4 のシミュレーションにおけるイベントは数多くの Step の集合として存在している。通常だとある時刻での粒子の位置や運動量、反応

断面積等の情報は次の Step で粒子をどこまで飛行させれば良いかを計算するのに用いられるのみであり、特に保存されるということもない。一方、検出器中の特定の部分を Sensitive Detector として定義すると、その Step が Sensitive Detector として定義されている物質の中で発生している場合に限り粒子の位置や時刻、落としていったエネルギーなどの量をアウトプットファイルに記録することができる。今回はこれを用いて粒子のエネルギー、運動量、光を検出したシンチレータの ID 番号、及び比較用に粒子が通過した座標も記録させた。

計算結果は Ntuple として出力し、それを ROOT で可視化した。確認用に記録してあった粒子の位置をもとに μ 粒子のイベントを記録したのが図2である。実際にシンチレータの ID 番号のデータから同様の結果を再現してプロットした上で図2と比較する、 μ 粒子の代わりに ν_{μ} を入射させる、さらには検出器の形状を少し変えてみるなど、まだやってみたいことはいくらかでも存在するが、プログラム期間中にはここまでしか到達できなかった。

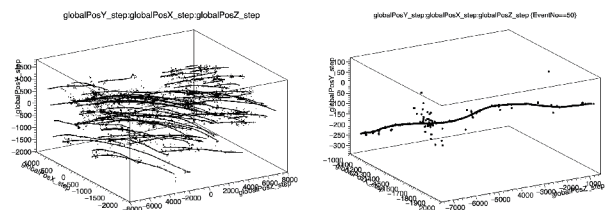


図 2: 確認用に記録してあった粒子の位置データをもとに μ 粒子ビームの軌道を可視化したもの。左は 100 イベント、右はその中から無作為に一つのイベントを取り出した結果である。

3 プログラム実施期間中の生活

私の場合、五週間にわたる Lecture Program の期間を挟む形で計八週間参加した。毎週火曜日の午後 9 時より 1,2 時間程度 nuSTORM 実験グループの会議があり、プログラム期間中は毎回それに参加していた (以下、時刻は断りが無い場合は日本時間を指す)。私の場合、作業は基本日中に行っていたが、スーパーバイザーとは比較的緊密に連絡をとっており、1~2 日に一度は午後 6 時ごろにメールで進捗を報告するようにしていた。また、時折毎週の会議に加え、スーパーバイザーと対面で今後の方針などについて話すこともあり、その場合午後 8 時付近のアポになることが多かった。

Lecture Program の期間中は上記に加え、午後 3~4 時頃から講義が入ることもあり、これは遅い時には午後 6 時頃まで続くことがあった。ただ、上記の通り昨年の録画を自分のタイミングで観る、という形式もかなり多かったため、ライブの講義にそこまで拘束される、という感触

は無かった。Q & A セッションはほとんどが午後 10 時頃から始まっていた。Virtual Visit は様々な国の学生がいることも考慮して比較的多くの時間帯が設定されている場合が多かったが、中には午前 1 時から始まる回しか設定されていないものもあった。

今回のプログラムでは Summer Student 間の交流や情報共有、及び運営側からの連絡事項の伝達等を目的とした Mattermost のチャンネルが設けられていた。さらに、運営を介さない非公式の交流の場として Summer Student 同士で Discord の部屋なども作られ、クリケットの W 杯や東京オリンピック、好きな音楽や各々の地元の様子についてなど幅広い分野に関する雑談をしていた。中には普段はとあるスポーツの選手もしており、そのスポーツの世界選手権と CERN の Summer Student Programme で迷った末にこちらに参加することにした、と言っている人などもいた。このように参加学生の多才さには強い衝撃を受けた。

また、一部の有志が不定期でオンラインパーティーも開催しており、そこで様々なオンラインゲームをしたり、各々のプロジェクトの進捗状況について報告し合うなどの活動もしていた。これらは中央ヨーロッパ夏時間の午後 5 時以降に開かれることが多く、日本では少し夜更かしをして参加することが多かった。

4 今後の抱負

今回のプログラムでは学生・研究者ともに極めて魅力的な人々と交流しながら一つのプロジェクトを進める、という非常に刺激的な経験ができた。今回は自らの知識・技能等の限界もありあくまでも未熟な学生だ、と感じざるを得ないタイミングも多々存在したが、将来的には本プログラムで出会った誰かと再び、より対等な形で共に働けるようになれば、と感じた。そのためにも、これからは物理学という観点でも、それ以外のより広い意味での人間性という観点でも自己研鑽に励もうと思う。

5 今後このプログラムについて望むこと

全編オンライン開催の下でもなるべく対面の場合と同じような内容のプログラムにする、というのは本年が初の試みであったため、いつ頃、どのような形で、どれほどの時間拘束されるのかが応募前はおろか、選考通過後もかなり直前まで誰も分からない、という不安はあった。ただ、本年にこのような形で一度実施したことにより各所に知見が生まれたこと、そもそも再び対面での開催ができるようになる可能性もある程度存在することなどを考

慮すると来年以降はこの点は改善されるのではないかと期待している。

それとは別に、これは CERN 主催の宿命なのかもしれないが、どうしても欧州在住の学生が多く、夜更かしをしなければ多くの Summer Student と交流することができない、という問題があったように感じる。予算やそもそものプロジェクト数の限界など困難な事情もあるとは思いますが、特にオンライン開催をする場合、可能な範囲で欧州やアジア、米大陸など非欧州圏の学生の受け入れ数も増やしていただければ一層良いプログラムになるのではないかと感じた。

6 謝辞

本プログラムに参加するにあたり、多くの人々にお世話になりました。応募するにあたり推薦状を書いてくださった郡司卓准教授、及び花垣和則教授には御礼申し上げます。また、本プログラムの実現に向け動いて下さった KEK の皆様、特に不確定な情報が多い中 CERN との連絡・調整をしていただいた江口様には大変お世話になりました。さらに、プログラム中にスーパーバイザーとして指導に当たって下さった Anna Holin 氏、及び期間中には同じチームの一員として様々な助言をして下さった nuSTORM 実験の皆様には心より感謝しております。最後に、コロナウイルス禍においても少しでも良い経験ができるようにと Summer Student Programme を企画していただいた CERN の皆様や少しでもプログラムを盛り上げようと様々なイベントを企画して下さった各国の Summer Student の皆様のお陰で非常に充実した時間を過ごせました。私達の道が再び(今度は現実世界で)交わる日がいずれ来ることを祈りつつ、御礼申し上げます。

参考文献

- [1] C.C. Ahdida *et al.*, CERN-PBC-REPORT-2019-003, *nuSTORM at CERN Feasibility Study*
- [2] <http://geant4.org/>