

## ■ 談話室

## CERN Summer Student Programme 2015 参加報告

京都大学大学院理学研究科 高エネルギー物理学研究室

芦田 洋輔

assy@scphys.kyoto-uac.jp

2015年10月16日

## 1 はじめに

私は6月27日から9月4日までの10週間、スイスとフランスの国境に位置するCERN（欧州原子核研究機構）が実施するSummer Student Programmeに参加してきた。本レポートはその体験の一部をまとめたものである。

## 2 活動内容について

## 2.1 LECTURE

はじめの6週間は午前中に45分の講義が3コマ実施された。内容としては素粒子物理学や加速器・検出器、統計学、DAQ、宇宙論に至るまでさまざまであった。私の印象に残っている講義はB.Kayser氏のNeutrino Physicsである。内容への興味もそうだが、とにかく話し方と講義の進め方が上手だった。講義の動画はWeb上で閲覧できるので、興味のある方は見てみて欲しい。

## 2.2 WORKSHOP &amp; VISIT

Summer Student向けにいろいろなWorkshopやVisitが用意されていた。Workshopとしては霧箱を作って粒子を見るというものに参加した。また、VisitではCMS検出器のツアーに参加した。CMSは私たちのオフィスがある位置からLHCの円周上で正反対の位置にあるので、バスに乗って行った。実際にCMS検出器を間近で見ることができたが、とにかく大きくて圧倒された。同時に、ATLAS検出器はこれの2倍以上もあるのかと驚いた記憶がある。

## 2.3 PROJECT

Summer Studentたちはそれぞれ自分のsupervisorにつき、個別のプロジェクトに取り組むことになっている。私はATLAS実験のPixel検出器グループに所属し、偶然にもsupervisorは日本人のH.Oide氏（以下、生出さん）であった。彼のもとでPixel検出器を用いたビームルミノシティの測定というプロジェクトに取り組んだ。

余談だが、生出さんに対する第一印象はとにかく歩く速度が速いということであった。駆け足でついて行ったのも良い思い出である。また、日本人どうしだが仕事では英語

で会話することにした。この結果、英語で話していて昼食の誘いから日本語になり、またオフィスに帰ると自然と英語に戻るという少しおもしろい状況が何度かあった。



図1 生出さん(左)と私(右)

## 2.3.1 Pixel Detector

Pixel検出器は巨大なATLAS検出器の最も内側に位置し、荷電粒子の飛跡の再構成を行う。また、LHCのRun2から新たに導入されたIBL（Insertable-B Layer）は4層あるPixel検出器のバレルの最内層で、ほかのPixel検出器の約60%のPixelサイズのため位置分解能とb-tagging能力が高い。図2はATLAS検出器の概略図であり、内側のPixel、Silicon Strip、TRT検出器で飛跡の再構成を行う。その外側の電磁・ハドロンカロリメータで光子、荷電粒子とハドロンを止めてエネルギーを測定する。そこでも止まらなかったミューオンは最も外側のミューオンスペクトロメータで検出し、トリガーに利用する。また、図3はPixel検出器部分を拡大したものである。4層のバレル構造になっており、バレルの両端から信号を読み出している。

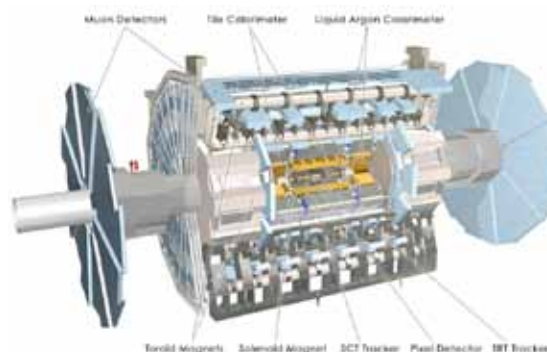


図2 ATLAS検出器

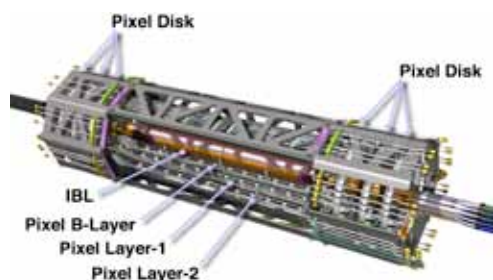


図 3 Pixel 検出器のバレル構造

### 2.3.2 Beam Luminosity & van der Meer Scan

加速器の性能の評価指標として、ビームのエネルギーとルミノシティがある。特にルミノシティは生成断面積の小さな稀イベントを探す際には重要である。ルミノシティは衝突型ビームでは以下のように表される。

$$\mathcal{L} = \frac{N_1 N_2 f N_b}{2\pi\sigma_x\sigma_y}$$

ここで  $N_1$  と  $N_2$  はビームバンチ内の陽子数、 $N_b$  は軌道上のビームのバンチ数、 $f$  はビームの回転周波数であり、これらは加速器から直接決まるパラメータである。一方、分母の  $\sigma_x$  と  $\sigma_y$  は effective beam size を表し、2つのビームの平面方向（ビームラインを平面に垂直な  $z$  軸方向とする）の相対位置によって決まるパラメータである。effective beam size を測定し、ビームルミノシティを見積もる方法が van der Meer scan（以下、vdM scan）である。具体的には、ビームの相対位置を変えながら各位置での衝突から出てくるイベント数をカウントすることで effective beam size を決定する。ここで、イベント数は両ビームの overlap に比例する。

#### 2.3.3 Toy Simulations

プロジェクトの前半で、私は vdM scan と LHC の陽子衝突によるイベントを理解する目的でいくつかのプログラムコードを自作してシミュレーションを行った。これにより、物理の理解に加えてコーディングについても学んだ。

vdM scan はビーム形状として Gaussian を仮定しており、その場合に得られるイベント数の関数は Gaussian になる。しかし、実際に得られるのはイベント数の関数だけであり、個々のビーム形状はわからない。もしビーム形状が Gaussian から逸脱していれば、ルミノシティ測定の系統誤差になりうる。そこで私はビーム形状にさまざまな形（矩形、三角形、Breit-Wigner、Double-Gaussian）を選んで、vdM scan がどのようになるかをシミュレートした。その一例として図 4 にはビーム形状に Breit-Wigner 関数を仮定してシミュレートした結果を掲載した。得られた関数を Gaussian で Fit しているが、大きなずれがあることがわかる。

また、陽子・陽子衝突からどのようなイベントが起こり、IBL のどの位置にどの程度ヒットするかをシミュレーションするコードを製作した。その際の event generator としては PYTHIA8 を用いた。

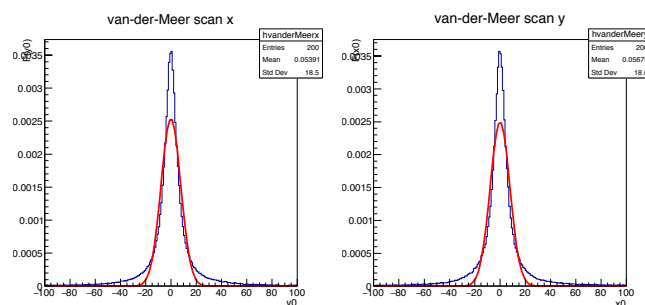


図 4 Breit-Wigner 関数を用いた場合の vdM scan の結果

### 2.3.4 Real Data Analysis

2015年8月25日に vdM scan が行われ (Run# 277025)、私はここで得られた IBL の生データを解析してビームルミノシティを算出した。この Run での加速器パラメータはそれぞれ  $N_1 = N_2 = 0.873 \times 10^{11}$ 、 $N_b = 30$ 、 $f = 11.245$  kHz であった。また、scan 中のビーム強度の変化は  $O(1\%)$  のためルミノシティ計算において無視した。各 scan step は約 60 秒間の LB (Lumi-Block) で区切られ、その度に IBL でイベントをカウントしている。イベントのカウントの仕方には "Hit" と "Cluster" の 2 種類ある。"Hit" は IBL の Pixel のヒット数をカウントし、"Cluster" は連結した Pixel を 1 個とカウントする。また、scan は  $x$  軸方向に 4 回と  $y$  軸方向に 3 回行われたが、解析に用いたのはそれぞれの 1 回目と 2 回目の scan である。いくつかの LB では DAQ の dead time が確認され、これらについては単純に、

$$N_{corr} = N_{meas} \times \frac{t_{scan}}{t_{scan} - t_{dead}}$$

によって補正した。ここで  $t_{scan}$  は scan time、 $t_{dead}$  は dead time、 $N_{meas}$  は測定で得られたイベントカウント数、 $N_{corr}$  は補正後のイベントカウント数である。

計算の結果、得られたルミノシティを表 1 に示す。また、陽子・陽子衝突の断面積  $\sigma_p = 75$  mb と得られたルミノシティを使って event rate を計算し、さらに以下の公式を使ってバンチ交錯毎の衝突確率も計算した。

$$P = \frac{dR}{dt} / \frac{dN_b}{dt} = \frac{dR}{dt} / (N_b f)$$

表 1 ルミノシティの計算結果

	Hit	Cluster
Luminosity [ $\times 10^{30} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ]	3.85434	3.92366
Event rate [ $\text{s}^{-1}$ ]	289076	294275
バンチ交錯毎の衝突確率	0.856901	0.872313

ATLAS のほかの検出器によるルミノシティの値は  $2.89 \times 10^{30} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、バンチ交錯毎の衝突確率は 0.816 であった。今回の解析とオーダーは合っており、解析時の dead time の補正や scan fitting の方法などは簡易的なものを行ったことを考慮に入れると、無矛盾であると結論できる。以上がプロジェクトで私が行ったことである。

Run2以降のLHCの将来計画には、オリジナルデザインのルミノシティ  $1.0 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  の5倍のルミノシティを目指すHL-LHCがあり、それに向けてIBLを含めたPixel検出器の改良は重要な課題となっている。

### 2.3.5 Student Session での口頭発表

Summer Studentが自身の取り組むプロジェクトを発表する場としてポスター発表と口頭発表があった。私は英語で発表ができる良い機会だと考えて口頭発表に申し込んだ。セッションが始まると意外にもすんなり発表が終わって自分でも驚いたが、後で動画を見てみるといろんな反省点を見つけたので次の機会に活かしたい。

## 3 日常生活について

私はスイス側のCERN敷地内にあるホステルに泊まった。敷地内にあるため、オフィスまでは徒歩5分と非常に便利だった。

さて、CERNでの生活で忘れてはならないのが海外から来た学生たちとの交流である。いろんな国から来ていて、日本人に馴染み深い国はもちろんブルンジ、スロバキア、ペルー、アルバニアなどの学生もいた。彼らの英語は多種多様で、はじめは聞き取りが難しかったイタリアの Simone やブルガリアの Aleks も毎日話すうちにわかるようになっていった。もちろん私の Japanese English も彼らにとっては風変わりを感じたに違いない。ロンドンの Shivesh とは *r* と *l* の発音の違いの練習のために「ROLEX」と100回以上は発音した。韓国の Beomki とはある日の昼食時に声をかけてから毎日話すようになった。私は大学で韓国語を履修していたので、ハン글を書いてみせると彼は驚いて次は知っている日本語を話してくれた。スウェーデンの Philip には夜11時に Summer Student 主催のナイトクラブに誘われて行ったが、なぜかガードマンに止められたので別の室内にローラースケートがたくさんいる店に行くことになった思い出がある。Simone はいつもイタリア料理やイタリア語について熱く語ってくれた。ホステル内のキッチンではレバノン、インド、パキスタン、エジプトのグループがいつも料理をしていて、試食も何度かさせてもらった。インド人の作ったカレーは本当に辛くて、私が辛そうにしていると彼らはスマホでビデオを撮ってからかった。私たち日本人側からも何度か日本食を振る舞った。また、ジュネーヴ市内にもよく外食に行った。そこの日本のラーメン屋は美味しいのだが、一杯4000円もしてスイス物価の高さを再認識させられることになった。それと、日本からの参加者4人にも触れねばならない。Sawady は同室で10週間をともに過ごした。彼のキレの良いツッコミはボケていて気持ちのいいものであった。Motty は同じ研究室に所属する女性で、ときには冷たい視線を浴びせられることもあった。周くんとは意気投合してことあるごとにいっしょにいた。X.Fan

は筋肉がすごくはじめは少し怖かったが、いっしょにカフェテリアでケーキを食べて以来よく話すようになった。



図5 友人たちと市内のタイ料理店へ行ったときの写真

## 4 今後の抱負

本プログラムを経て多くのことを学ぶことができた。今後はここで学んだことを忘れずに自身の取り組むプロジェクトに活かしていきたいと思う。私の研究テーマはニュートリノ天文学とニュートリノ物理学である。ニュートリノは超高エネルギー領域の物理を調べられる可能性を秘めており、今後ますますおもしろくなっていく分野だと思う。そして、この分野で存在感を出して重要な仕事ができるようになるため日々精進していきたいと思う。そして、いつの日か世紀の大発見に立ち会える瞬間を楽しみにしている。

## 5 今後の本プログラムに望むこと

本プログラムは非常に素晴らしく貴重な体験ができるので、続けていくことはもちろん参加人数が増えることも願っている。また、海外からは物理学の他にコンピュータやエンジニアの学生も数多く来ていた。今後は日本からも物理以外の分野の学生に機会が与えられることを願う。

## 6 謝辞

まず、本プログラムへの参加のサポートをしてくださった KEK の皆様と応募にあたり推薦状を書いていただいた京都大学の中家さんにお礼申し上げます。また、プログラム全体を通してお世話になった生出さんには心より感謝いたします。プロジェクト内容について考えていただき、さまざまな課題を用意していただきありがとうございました。そのおかげで成長することができたと思っています。また、世界各地から CERN に来ていた友人たちがいたからこそ、この10週間が本当に楽しいものになりました。いつの日か再び会えることを楽しみにしています。日本からともに参加した4人とは、今後互いに切磋琢磨し合っていければ良いと思います。最後に、この素晴らしいプログラムを企画してくれた CERN とそれに関わるすべての人々に深く感謝申し上げます。ありがとうございました。