

# CERN Summer Student Programme 体験記

京都大学大学院 理学研究科 修士課程 1年

高橋 将太

shotakaha@sephys.kyoto-u.ac.jp

2009年(平成21年)10月31日

## 1. はじめに

6月22日から8月28日までの約2ヶ月間、CERN Summer Student Programmeに参加して得た、かけがえのない体験についてこの場を借りて報告します。

## 2. 活動内容

Summer Student Programmeは、各研究室に割り振られそこで研究をするWork Projectと、さまざまな分野の専門家の講義を聴くLecture Programmeで構成されている。

### 2.1 Work Project

私はATLAS Pixel Detector GroupのLBNLの研究室に配属された。そこで私は、supervisorのShih-ChiehのもとでPixel Detectorのthreshold calibrationを行った(図1)。



図1 SupervisorのShih-Chieh(右)と私(左)

#### 2.1.1 ATLAS Pixel Detector

ATLAS Detectorは大まかにInner Pixel Detector, Electromagnetic Calorimeter, Hadron Calorimeter, Toroidal Magnet, そしてMuon Detectorから構成されている。

Inner Pixel Detectorはビームの衝突点から5.5cmだけ離れた、もっとも内側に設置されている。衝突直後の粒子の位置を細かく検出できるようにSi検出器が使われている。全長1.3cm, 直径約35cmの大きさである。図2のように樽状

の構造が3層あり、各層の両端にはエンドキャップと呼ばれる円盤状の部位からなる。全体には合計約8千万チャンネルの読み出しがついている。これはATLASのSi検出器のほとんどすべてを占めているほどの数である。

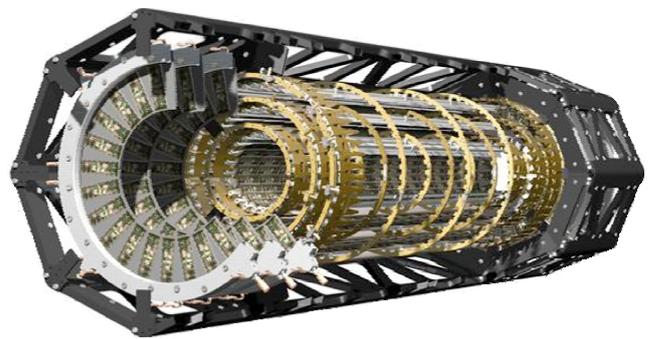


図2 ATLAS Inner Pixel Detector

#### 2.1.2 Pixel Module

合計8千万チャンネルの読み出しは、モジュール単位で組み立てられている。Pixel module 1個は図3のようにelectronic board, Si sensor, Front End Chip(FEC)をサンドイッチにした構造をしている。

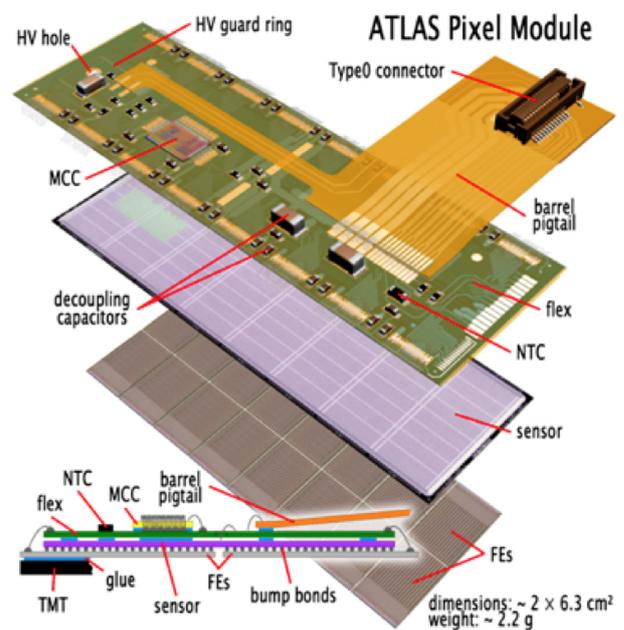


図3 Pixel Module

Si sensor 1個の大きさは  $50\ \mu\text{m} \times 400\ \mu\text{m}$  で厚みは  $250\ \mu\text{m}$  である。Module 1個は 16枚の FEC で構成されており、1枚の FEC では約  $180 \times 16$  個の Si sensor の読み出しが可能である。

粒子が通過した際、Si sensor で検出された信号は、FEC で読み出され electronic board に送られる。Electronic board で電気信号は光信号に変換され、off-detector にある Read Out Driver(ROD)へと送られる。

### 2.1.3 Read Out Channel

図 4 に信号の読み出しモジュールの概略を示す。

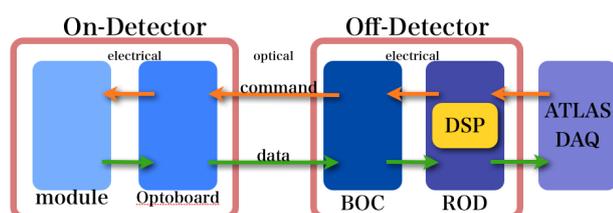


図 4 Read Out System

ROD は pixel module からの信号を受け取り ATLAS DAQ システムに送ったり、逆に DAQ システムからの命令を pixel module に伝えたりするところである。この ROD 上に DSP が載っており、この DSP によって threshold scan のデータもオンラインで処理される。

### 2.1.4 S-Curve Threshold Scan

各ピクセルに test charge を複数回打ち込み、ヒットの回数を測定することによって threshold scan を行う。具体的にはピクセルあたり  $1 \sim 8000e$  の test charge を打ち込み、検出できた test charge のヒットの割合を occupancy curve にする。Electronics によるノイズをガウス分布と仮定すると、このカーブは threshold 値周りの階段関数とガウス分布の convolution になるので、図 5 のように S 字を描く S-curve となる。

Minimum ionizing particle が  $20000e$  程度、エレキによるノイズが  $150 \sim 200e$  程度ということで、現状では各ピクセルの threshold は  $4000e$  に設定されている。

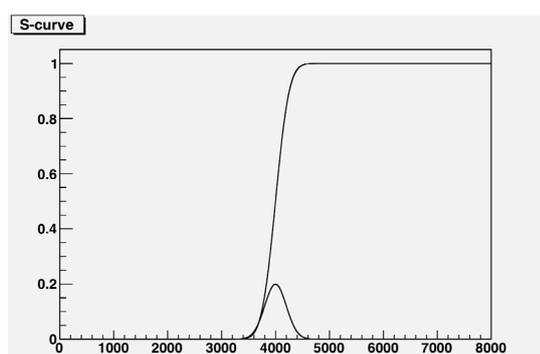


図 5 Threshold  $4000e$  の S-curve

### 2.1.5 New S-curve Fitting Algorithm

上記のようにして測定した threshold scan の S-curve から各ピクセルの threshold を確かめる。私が作成したコードに用いたアルゴリズムでは、まず得られた S-curve を微分する。S-curve は階段関数とガウス分布関数の convolution を仮定しているの、結果はガウス分布関数となる。このガウス分布の平均値と標準偏差を求め、さらにこの平均値と標準偏差を用いて  $\chi^2$  値を計算する。

この方法は解析的(analytic)であり、既存の Maximum Likelihood(MLH)を使ったアルゴリズムに比べるとプログラム内でのループがないためより速く処理できるというメリットがある。

以下では、既存の MLH を使ったアルゴリズムを MLH 法、解析的な新しいアルゴリズムを ANA 法と呼ぶことにする。

### 2.1.6 Implementing New Algorithm

Threshold scan のプログラムは最終的に DSP に実装して、自分でデータ取得までしたのだが、そこまでたどり着くために以下のようなステップを踏んだ。

まず ROOT のマクロプログラムを作成し、過去に得た threshold scan のデータを読み込ませ、ANA 法の結果を MLH 法の結果と比較した(図 6)。次に、同様のことを、同じ Pixel Detector Group の Matthias が作ってくれた DSP simulator を使って行った。DSP simulator というのは、ROOT 上で DSP のコードが動くか確認できる simulator である。そして、最後に自分の手で実際に threshold scan を ANA 法、MLH 法にて行い、両者の測定結果を比較した。

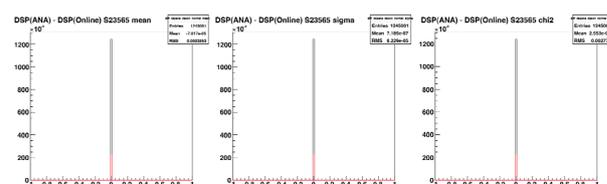


図 6 ANA(online)-ANA(offline) DSP 上のコードが正しいかを確認。

### 2.1.7 Result

図 7 は ANA 法と MLH 法を用いて行った threshold scan の結果を比較したものである。

平均値、標準偏差、ともに ANA 法の方がそれぞれの RMS の幅が広く、 $\chi^2$  値に関してまだ考察を必要とする結果となった。Supervisor の Shih-Chieh と共に考察をしたのだが、原因が解明できず、ANA 法は処理が速いとはいえ信頼性に欠ける、ということで今後も MLH 法で threshold scan を行うという結論になった。

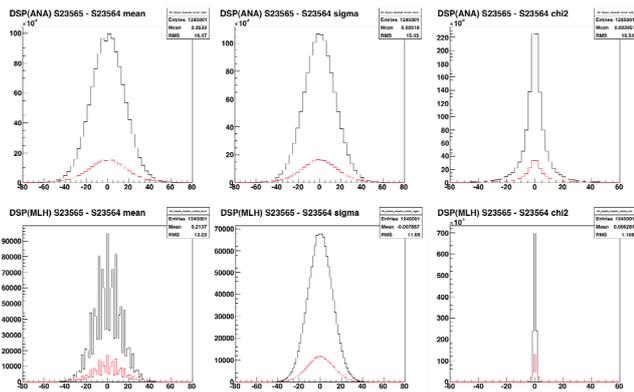


図 7 上：ANA 法，下：MLH 法

### 2.1.8 Work Project の感想

自分の作成したコードが実際に Inner Pixel Detector の threshold calibration に用いられることはないのは残念だが、この 2 ヶ月で C++ の習得から始め、ROOT のマクロや DSP simulator、そして DSP にコードを実装するなど、初めてのことをかなりたくさん経験できたのは今後の自信につながると思う。

## 2.2 Lecture Programme

7 月の第 1 週から 8 月の第 1 週までの約 1 ヶ月間の午前中、Main Auditorium にて 1 コマ 45 分 × 3 コマの講義が行われる。講義の後には質疑応答の時間も設けられている。講義内容は素粒子物理学の基本から始まり、検出器、加速器、標準理論、宇宙論、ニュートリノ、統計学、DAQ などなど多岐にわたっていた。

## 2.3 Workshop

Programme の一環としてさまざまな workshop も用意されている。私は cloud chamber と、beam line の 2 種類の workshop に参加した。

Cloud Chamber Workshop では講師の説明のもと、水槽、ドライアイス、イソプロピルアルコールを使い cloud chamber を作成し、宇宙線が通過する様子を観測した。霧箱の作成、観測は初めてなので、非常に楽しかった(図 8)。



図 8 Cloud chamber で宇宙線を観測  
無事宇宙線を観測することができた。

Beam Line Workshop では、フランスの Previsin 側にあるビームラインの構成の説明を一通り聞いた後、ビーム調整に関する演習問題を手計算して、次に実際にコリメーターの幅の調整や、鉛などの遮蔽物の挿入を遠隔操作で行い、ビームの様子を観測した。

## 2.4 Visit

LHC 実験の検出器への見学ツアーも用意されていた。LHCb と ATLAS、そして SM18 という超伝導磁石のホールを見学した(図 9)。各ツアーでは CERN の研究者がガイドとしてついて説明してくれた。LHC が近々稼働する予定だったため、検出器の近くまで行って全体を眺めるということは出来なかった。ATLAS に至ってはホールの地上の穴から 100m 地下を覗くことができるだけだった。しかも検出器自体は見えなかった。ちゃんと training を受け、申請すれば地下に行けるかも、と聞いたときにはもう帰国一週間前だった。



図 9 LHCb 前にて

## 2.5 Student Session

Summer Student が CERN で行っている work project について、Main Auditorium で発表する場も設けられている。なかなか貴重な経験になるので、ぜひ発表すると思う。フランス人の Gabriel は『Student Session が一番やりたかったんだ』と言っていて、一番に応募したらいい。

私は最初あまり自信がなかったのだが、supervisor の強い勧めで参加することにした。発表後には、他の Summer Student が質問に来てくれたり、『Good Job!』とか『分かりやすかったよ』とか言われたりして、正直すごく嬉しく、やってよかったと強く思った(図 10)。



図 10 Student Sessionの様子  
聴衆は30人ほど。



図 11 Bernの旧市街を撮ったお気に入りの1枚

### 3. その他

#### 3.1 申請から出発まで

KEKへのapplicationの〆切が1月末、ICEPPでの面接が2月初旬、CERNのWEB applicationの記入が2月中旬、CERNから各種書類(ホステルの予約、健康保険、work projectの概要など)が送られてくるのが3月初旬、と年度末はいろいろとばたばたした気がする。

Programmeに参加する期間は自分に都合のいい期間を選んだらいいのだが、lectureをすべて受講できる期間を選んだ方が絶対がいいと思う。

#### 3.2 各種 Party

滞在中にはたくさんのpartyが開かれる。基本的に暗い部屋で音楽に合わせてDance & Drinkというスタイルである。Summer Student Teamによる歓迎会から始まり、後はSummer Studentの有志主催でDanish PartyやLatin Partyなど、各国、各地域の特色(主にお酒)を活かしたパーティが催される。

日本の飲み会とは全然違った雰囲気が楽しめるし、他の国のSummer Studentと話しいい機会でもあるので、極力参加した方がいいと思う。ただ毎日あった週はさすがにくたびれた。大きなパーティではないがTOTEM Groupの人たちと一緒に巻き寿司を作ったりもした。

#### 3.3 観光

週末には電車を使って日帰り旅行を楽しんだ。スイス国内ではGenevaはもちろん、Montreux、Bern、Zurichなどに行った。MontreuxのJazz Festivalはたまたまタイミングが合って参加することができたし、Bernの旧市街は、町の雰囲気がとても奇麗で、また行きたいなと思うくらい気に入った(図11)。スイス国内で電車旅行をするなら250CHF

で鉄道半額+夜7時以降は無料になる年間パスがあるので、それを購入するといいいと思う。結構簡単に元は取れる。

TGVを使ってフランスのParisへも二度行った。一泊二日なら、ノートルダム大聖堂、凱旋門、エッフェル塔、ルーヴル美術館などの名所は観光することができる。

#### 3.4 食事

食事は朝・昼・晩と所内のRestaurant 1を利用していた。メニューは日替わりで毎日3種類ほど用意されている。一食8~10CHF程度、CERNから支給される金額からしたらそんなに高くない。日によって料理の味付けの当たり外れはあったりしたが、パンとパエリアは美味しかった、間違いなく。

フランス語を話せないなので、注文する際にはメニューの実物を見て、指で差していた。食堂の店員さんは気さくな人だがマイペースな人が多い。新聞のクロスワードを解きながら鼻歌まじりにレジを打つおばちゃんや、“bona petit”と言ってくれるおっちゃん、100CHFなど高額お札で払おうとすると顔をしかめるおじちゃんなどなど。日本のお店と比べると本当に自由でおもしろい。

最初はホステルでご飯を作ったりしたのだが、白米がないのですぐに止めてしまった。

#### 3.5 ホステル

ホステルはCERN所内とフランスのSt. Genisの二カ所から選ぶことができる。St. GenisはCERNから徒歩30分、自転車10分程度の距離にある。CERN内の方が少し綺麗な感じはするが、家賃はSt. Genisの方が断然安い。住み心地も悪くないので、節約したい人にはおすすめ。

#### 3.6 自転車

自転車を借りることもできる。自転車があればSt. Genisにあるホステルに帰るのも楽だし、近くのスーパーにも買

い物に行ったり，Summer Student 同士で lakeside に BBQ に行ったりもできる(図 12)。台数は限られているのだが，Summer Student は優先的に借りることができる。借りるときに “I’m a Summer Student” と言うといい。これを言いそびれると，2～3 週間以上待たされることになるかもしれない。



図 12 Lakeside での BBQ

自転車で小一時間の場所にある。ちなみにこの明るさで午後 8 時くらい。

#### 4. さいごに

本プログラム参加に際し，たくさんの方々にご尽力頂きましたこと，誠に感謝いたします。

まず，application の書き方のご指導，および推薦書を書いていただいた市川温子先生をはじめ，中家先生，横山先生にはとてもお世話になりました。ありがとうございます。昨年度 Summer Student だった家城さんもいろいろな情報を教えてくださり，安心して出発の準備ができました。

KEK 国際企画課の岩見さんには出発前の準備でお世話になりました。CERN での滞在中には駐在の福田さんに大変お世話になりました。

Supervisor の Shih-Chieh をはじめ，LBNL 研究室の Andreas, Jed, Sarah や Yale からの Summer Student の Larry には，プログラミングや lecture の内容で分からないことを丁寧に教えてもらったり，発表のコツを教えてもらったり，本当にありがとうございました。Pulp Fiction を一緒に観ることができなかったのは本当に残念です。

同じ Summer Student のやす，ひろし，ゆーいち，あきら，Daniel, Emanuele, Khoi, Hieu, Radium, Andrea, Viveca, Katrina, David, Louis, Nadim とその彼女 Jen, また CERN で何度もお話をした早野研の皆さまや ATLAS Japan の皆さまには，この夏をとつともなく楽しく，思い出深くして下さったことを感謝します。

今回得た研究に対する経験を活かすことはもちろん，ここで得た世界とのつながりも大切に，今後の研究生生活をより充実したものにしたいと思います。また，このプログラムがこれからも続いていくことを心から希望します。

この度は貴重な体験をさせていただき本当にありがとうございました。