

CERN Summer Student Programme 活動報告

東京大学 大学院理学系研究科 物理学専攻

宮崎 彬

miyazaki@icepp.s.u-tokyo.ac.jp

2009年(平成21年)10月16日

1. はじめに

今夏 2009年6月30日から9月4日の9週間にわたり、欧州原子核研究機構(以下 CERN)で行われている Summer Student Programme に参加したので、ここに報告する。

このプログラムは世界各国の大学院生および大学生、ときには高校生を、夏期休暇を利用して指導、教育するもので、例年開催されている。集まる学生の興味、専門は物理学やコンピュータサイエンスを中心として多岐にわたっており、プログラム自体の内容も多彩なものである。近年 Large Hadron Collider(LHC)が世間を賑わせているが、このプログラムではLHCとは直接の関係のない別の実験に配属されることも多い。そのような中、私は LHC の二大検出器の一翼である Compact Muon Solenoid Detector(CMS)の物理解析グループに参加し、一夏を物理解析とともに過ごすこととなった。

このプログラムに参加するにあたり、非常に多くの方のご協力をいただいた。この場を借りて感謝します。この報告をもって、私の活動の総括といたします。

2. 活動内容

Summer Student Programme での活動は、午前中の講義、午後の研究という二本柱で構成されている。

2.1 講義

世界各地の研究者を招待し、素粒子物理学、実験学、コンピュータサイエンス等々の様々な講義が行われた。前述のように、プログラムに参加する学生は必ずしも素粒子物理学専攻というわけではないので、特に素粒子物理学に関しては初歩から Beyond Standard Model に至るまで多くの講義があった。講義の後には質問時間が設けられており、気になったことはその日のうちに質問、解決出来るよう配慮がなされていた。少し意外だったのは、多くの外国人(主にヨーロッパ勢)が質問に関してシャイな一面を持っていたことである。日本人の学生は日本の大学で質問が少ない、とよく言われるが、ヨーロッパ人も似たようなものだった。

講義は当然のようにすべて英語であった。物理に関することは比較的分かるが、他分野の技術的なこと、たまに挟まれるジョークなどはよく理解出来なかった。

印象に残った講義はパリ大の Vannucci 教授のニュートリノ物理学、日本では講義を受けたことのない IPMU の村山教授の標準模型、高名な Dvali 教授の Beyond Standard Model であろうか。特に最後の講義は、OHP への板書という形で行われた、おもに余剰次元に関するもので、内容は勿論、教授のキャラクターも面白かった。

2.2 課題研究

2.2.1 概要

私は CMS の物理解析グループにおいて、Dr. Ilaria Segoni, Dr. Maurizio Pierini, Prof. Maria Spiropulu の指導のもと、主にミュオンの解析を行った。

研究の初期は CMS の解析に慣れるという名目で CMSSW (CMS software) のチュートリアルを行い、途中から Maurizio の用意した ROOT file を用いたベクターボソンの解析を行った。十分に software に慣れた後で、本題であるミュオンの解析に移った。これはミュオンのカロリメータにおけるエネルギー損失の解析を行うもので、CMS においては未だ誰も成功していない、極めて challenging な課題である。

2.2.2 研究動機

現在までの加速器実験において、ミュオンの運動量はトラックャーにおいて測定されてきた。よく知られているように、磁場 B 、曲率半径 ρ 、ミュオンの横運動量 p_T に対して

$$p_T[\text{GeV}] = 0.3B[\text{T}]\rho[\text{m}]$$

という関係によって測られる。現行の最高エネルギーの加速器である Tevatron においては、この方法で問題がなかった。なぜならば、生成されるミュオンは Minimum Ionizing Particle(MIP)であり、多くが少ないエネルギー損失で検出器を通過していたからである。

しかし LHC においては、 $\sigma(200\text{ GeV})$ 以上という非常に大きなエネルギーのミュオンが生成されることが予想され

ている。その場合もはやミュオンはMIPではなく、特にFeの含まれるハドロンカロリメータにおいてシャワーが発生することになる。ここでいうシャワーとは、ミュオンから Bremsstrahlung により放射された光子が対生成を起こし、電子と陽電子を生成するというプロセスのことである(図1)。このようにして大きなエネルギーをカロリメータに落とすだけでなく、ミュオンの周りで発生した電子・陽電子がミュオントラッカーの軌道を覆い、運動量の決定精度が落ちてしまう。最悪の場合、カロリメータにおいてほぼすべてのエネルギーを落とし、ミュオントラッカーに到達しないことも考えられる。

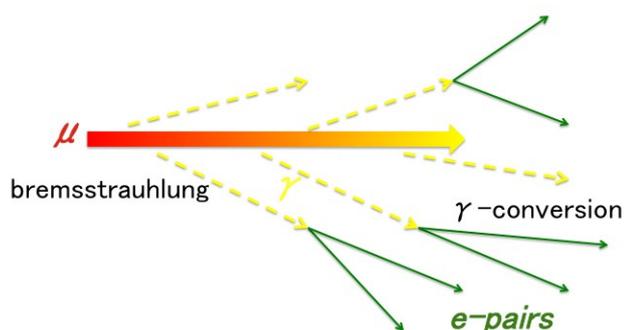


図1 ミュオンシャワーの概念図

そこで発想の逆転が必要になる。今までのエネルギー領域ではミュオンがMIPであったためにカロリメータに落とすエネルギーが一定で、それから全エネルギーを精度よく推定することは不可能だった。これからは、ミュオンのエネルギーをカロリメータで精度よく測定することが可能になると期待されているのである。これが私の研究の動機である。

2.2.3 Compact Muon Solenoid (CMS)

LHCには四つの大検出器、ATLAS、CMS、ALICE、LHCbがある。このうち前の二つは主にHiggs粒子の探索、SUSYの探索、その他 exotic な物理の探索に用いられる。今回私が参加したのはCMSである。

ATLASとCMSが目指す物理はある意味で共通であるが、検出器としての設計思想が異なっていて、互いに相補的であると言える。CMSの特徴は1) 比較的コンパクト、2) 強いソレノイド磁場(最大4T)、さらに3) 全吸収型電磁カロリメータである(図2参照)。

2.2.4 使用したデータとイベントセレクション

解析にあたって用いたデータは2008年の宇宙線コミッションデータ(CRAFT08)とMonte Carloサンプルである。2009年のデータはちょうど取得している最中で、間に合わなかった。より正確には、測定はほぼ終わっていたが、解析をする時間がなかったのである。

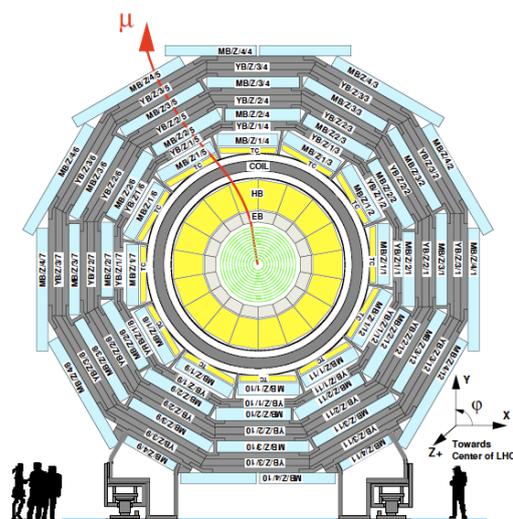


図2 CMS断面図

通常は宇宙線によるデータに関して、ビーム衝突とは異なる reconstruction を課す。なぜならば宇宙線は検出器の外からやってくるからである。しかし今回は、ビーム衝突のときのカロリメータの性能を調べたいということで、通常の reconstruction を採用した。

解析において必要なイベントは、検出器の上部から侵入して内部飛跡検出器を通過し、検出器下部でシャワーを起こして大きなエネルギー損失を生じるような高エネルギーミュオンのイベントである。そのため上方ではカロリメータとトラッカーの双方を貫通し、下方では内部検出器でミュオンの追跡が終了したと考えられるイベントを、 $|\eta| < 2.3$ の範囲で選び出した。

2.2.5 解析と結果

初めにやらなければならないことは、カロリメータにおけるミュオンのエネルギー損失と、カロリメータのノイズとの分離である。内部飛跡検出器で得られたミュオンの位置の周りに

$$\Delta R = \sqrt{\Delta\eta^2 + \Delta\varphi^2}$$

なる量を定義し、ある ΔR 以内に存在するカロリメータのエネルギーを足し合わせた。直感的には、もし量が大きすぎるとノイズを多く拾い、小さすぎるとシャワーのエネルギーの全体を取ることが出来なくなる。この ΔR を色々動かして、シャワーの典型的なサイズを調べた(図3)。ある ΔR の値まではエネルギーがシャワーの成分を拾って単純に増加し、そこから先はノイズを拾うのみになる。すなわち変曲点のようなものを作り出す ΔR が最適値である。このとき、この ΔR を少し大きくしてもエネルギーの変化はほとんどなく、安定であると予想される。

残念なことに期待されたような最適化は出来なかったので、比較的それ以降でヒストグラムが安定に見える $\Delta R = 0.3$ を採用することとなった。

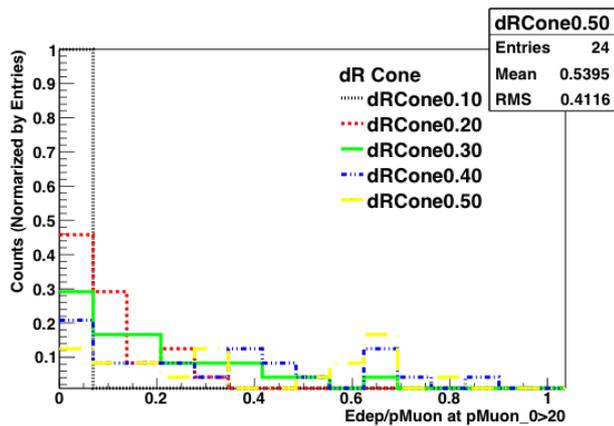


図3 各種 ΔR に対するエネルギー損失と運動量の比

あとで再び述べるが、最適化が出来ない原因は欲しい事象の統計が極めて少なく、 S/N が悪いからである。

以上のようなエネルギーの見積り下で、データと Monte Carlo を比較した。図4はミュオンの運動量のヒストグラムであり、図5はエネルギー損失を合計して出したカロリメータのエネルギースペクトルである。いずれもデータ数で規格化してある。

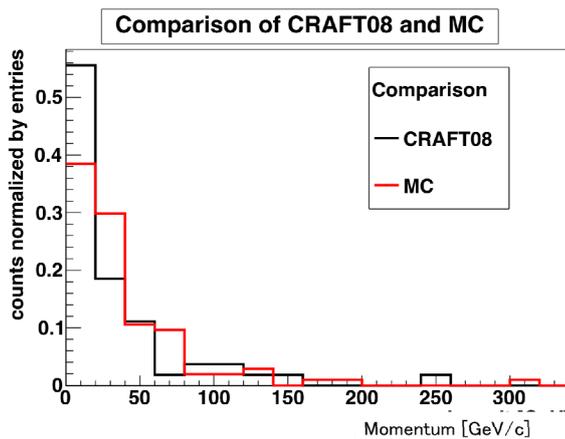


図4 運動量の比較

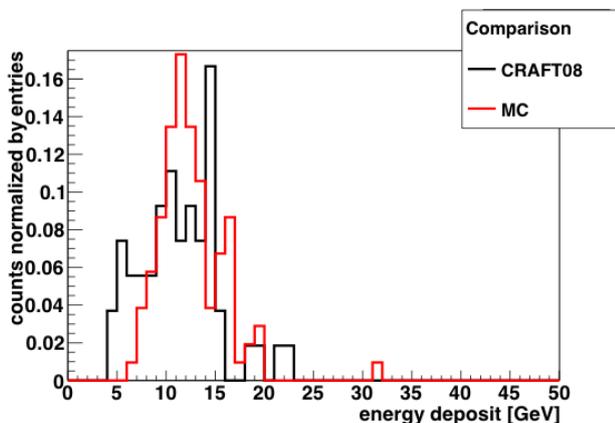


図5 カロリメータでのエネルギースペクトル

大まかな傾向は一致しているものの、実はこれらは求めていた結果ではない。ミュオンのエネルギー損失が10 GeV程度なのは、MIPの性質であり、ノイズレベルに隠れてしまっている。Monte Carlo とデータとの一致がよいのは、検出器の性能を適切に Monte Carlo に反映させているだけで、なんら面白いものではない。

本来は図3で横軸が1周囲、すなわちカロリメータでほぼすべてのエネルギーを落とすイベントを探していたのだが、見つからなかったということになる。

2.2.6 結論

ここで述べた以外にも多くの解析を行ったが、残念なことにノイズ以上のものを見ることは最後まで出来なかった。大きな問題点として、ミュオンシャワーが期待出来る100 GeV以上の宇宙線ミュオンが、非常に小さい内部飛跡検出器を通過する確率が極めて少なく、今回解析したサンプルのうち数えるほどしかなかったことが挙げられる。このような状態ではまともな解析は難しい。やはり、今まで誰もやっていないだけあって一筋縄ではいかない課題のようである。

3. CERNでの生活

3.1 日々の生活

朝は8時くらいに起き朝食を食べ、9時くらいから研究を始め、昼食、コーヒープレイクを挟みつつ6時くらいに仕事を切り上げるという、日本では考えられないほど健康的な生活を送っていた。一日終わった後の夕食は外国人の Summer Student と席をともにすることが多く、色々なことを話した。

面白いのは、仲良くなる人は大体日本で仲良くなる人と同じタイプだということ、特に違和感なく生活することが出来た。言葉を除いては、日本にいるのとほとんど変わらなかった。

日本人と聞くと、大概是漫画やアニメの話を振られることになる。私の名前はアニメ映画監督宮崎駿の名字と、アニメ映画「AKIRA」、あるいは「ドラゴンボール」の作者鳥山明の名前と同じなので、その筋の人にはよく名前を認識してもらった。

アニメ好きの友達には特にパリジャンの Driss、メキシコ人の Daniel を特筆せねばなるまい。Driss は今日本で流行の「イケメン」だが、アニメを中心として日本文化に造詣が深く、漫画「NARUTO」の日本語版を鞆に携帯し、宮崎駿アニメを知らない他の外国人達を叱っていた。彼との会話は、私がフランス語で話しかけ、彼が日本語で返し、意味の通じないときだけ英語、という奇妙なものだった。Daniel は

日本で言うアニメオタクの典型に近い。ネイティブ・オタクである私すら知らないアニメの話題を振られたときは少々焦った。

何もアニメオタクだけと話していたのではない。ベトナム出身だがドイツに留学中という、面白い出自の Khoi が毎日ポテトしか食べない(ジャーマンスタイル?)のでからかうと、反撃に口癖の“Jesus”を連発。発音が英語じゃないポーランド人の Lukasz とは、お互いのコミュニケーションすら出来ないにもかかわらず近くのショッピングモールに出かけ、なぜか非常用通路に閉じ込められる。ダンスパーティでは性格が豹変するイタリア人の Emanuele とは、Cabibbo 話で盛り上がった(イタリアには Gabibbo というキャラクターがいて、それにノーベル賞を与えるのはどうか云々)。

研究生活に関してはイタリア人の Andrea、スペイン人の David、Santiago という同僚に恵まれた。解析対象が異なったため、それほど研究上の接点があったわけではないが、CMS グループの BBQ に参加したり、最後に別れの杯をかわすなど、生活面でのつながりが多かった。特に Andrea とは赤ワイン仲間である。彼に言わせると白ワインとロゼは女性専用なのだそうだ。

フランス人の Gabriel と Nicolas の主催していたフランス語講座にも顔を出した。私の第二外国語はフランス語だったので、文法に関しては思い出さただけだったが、強烈な思い出が一つ。Gabriel は動詞の活用に elle(彼女)しか使わない。日本では逆に il(彼)で代表するのが普通。曰く「彼女しか使わない(使いたくない)」らしい。流石はフランス人だと思った。

3.2 講演会

Supervisor の Maria が CERN での seminar の主催者代表をやっていた関係で、7 月に二つの seminar を聞く機会に恵まれた。一つは Fermi-LAT、もう一つは CDMS の結果発表であり、ともに興味深いものだった。特に後者は、当時 phonon 検出器に興味があったことから、とても面白く聞くことが出来た。Seminar 参加者にはコーヒー一杯と、時にはクロワッサンが無料で支給されたのは有り難かった！

その他にも有名な物理学者の講演を聴くことが出来た。何を聞いても、かの S. Weinberg の講演を、前から三つ目の席で聞いたのは非常に貴重な経験であった。相当なお年であるにもかかわらず、講演の内容は洗練されかつ極めて高度で、始まって 5 分についていけなくなったのはよい思い出である。

残念なのは、ちょうど私が帰国した直後に S. Hawking が来たことである。Maria 曰くその前の週に風邪をひかれていたそうだが、講演は無事行われたのだろうか。

3.3 余暇

日本とは違い、CERN には余暇の概念が存在する。週末は疲労困憊でない限り、大抵どこかに繰り出していった。CERN までの飛行機代を考えると、遊ばなければかえって損という計算である。

最初の週末にパリへ行った。その次はジュネーブの町へ繰り出し、次はツェルマット(マッターホルンの麓町)。スイス・ナショナルホリデーの週末はインターラーケン、ラウターブルンネンの谷間で過ごした(図 6)。ナショナルホリデーを祝う花火が谷間にこだまし、さながら雷のような轟音であった。首都ベルン、シヨン城、ローザンヌにも行った。

最後の週は一人でジュラ山脈の最高峰へ。登山口が分からなかったので 3 時間ほど自転車でさまよい、いざ見つけてからは、片道二時間半のところ、登りを二時間、下りを一時間で走りきった。筋肉痛が日本に帰国後も続いていたのは、いうまでもない。



図 6 山登り(中央が筆者)

4. 今後の抱負

今回のプログラム参加を通して、色々なことを学んだ。まず英語力のなさを痛感した。よく言われるのが、日本人は文法は出来る、というものだが私は逆で、特に文法が出来ない。というか合理性が見いだせないのが積極的に忘れるようにしていたのだが、会話においては語彙と文法さえあっていれば何とかできるのである。言葉に関して続けると、CERN にいた彼らは第三外国語が話せることなど常識であった。自国語 + 英語 + もうひとつは最低限。一方私の第二外国語であるフランス語力は辞書があれば本が読めるレベルで、会話に関しては挨拶と極めて簡単な文の構成ができる程度であった。この辺りは深く反省しなければならない。

物理の研究に関しては、まず働き過ぎはよろしくないことだと痛感した。日本にいるときは、長時間研究に没頭して結果として生活習慣が乱れ、体調を崩すことが多々ある。

今後はなるべく CERN での生活を思い出し、節度ある研究を心がけたい。

せっかくできた海外の友人たちとも、メールのやりとりなど 交流を続けたい。Driss は彼のフランス語でのコンファレンス資料を日本語訳して送る、とメールで言っていたが、はたしていつ届くことだろうか。いざ連絡をとっても、アニメや漫画の話ばかりになるかもしれないが...

5. 今後このプログラムへ望むこと

CERN での研究が、必ずしも最初望んだ形にはならないのがこのプログラムの特徴である。物理志望のはずが、エンジニアリングのみのグループに配属されたりする。その他にも、supervisor が vacation で長期間不在など、夏期休暇ならではのハプニングもある。

私の場合は、研究対象は問題なかったのだが、肝心の supervisor が産休であった。そのため、滞在前半は supervisor に会えず、本来の研究に専念出来ていなかった。その代わりに、他の Summer Student の supervisor にお世話になったが、多数の supervisor 間での情報の行き違いに困ることもしばしばあった。

しかし、このような不測の事態それ自身が、このプログラムの醍醐味であり学ぶべきことの多い点なのかもしれない。ただの研究なら日本でも出来る。それとは違う何かがあるから、このプログラムが得難いものとなっている。今後も同様の形でこのプログラムが継続していけばよいと思う。