

CERN Summer School 2011 参加報告

東京大学理学系研究科物理学専攻修士1年

田中 良樹

tanaka@nucl.phys.s.u-tokyo.ac.jp

2011年10月30日

1 CERN Summer School の概要

僕は7月3日から9月10日まで10週間、スイス、ジュネーブ郊外にある CERN 研究所での CERN Summer School (2011)に参加しました。

CERN Summer School は、世界各国から学部後半～大学院の学生が200人程度集められ、CERNに8～12週間滞在し、研究生活を体験できるプログラムです。日本からは今年、修士1年の5名が参加しました。各学生には、事前の希望調査をもとに、この Summer School での研究課題が与えられ、指導教官も割り当てられます。基本的には毎日この課題の研究を行います。それだけではなく、Summer Student を対象とした授業(午前中6週間)を受けたり、LHCの各実験をはじめとするCERNの実験室見学ツアーに参加したり、学生の発表する機会も与えられたりという盛りだくさんのプログラムです。

この場を借りて、僕が今年この Summer School で経験した内容を報告いたします。

2 研究課題

Summer School での研究課題として僕に与えられたテーマは、MCP 検出器(Micro Channel Plate detector)の性能評価というものであった。この検出器は、LHCb 実験の将来のアップグレードでの粒子識別システムの候補となっている、TORCH というシステムで用いられる検出器である。最初に、MCP と TORCH のことを簡単に紹介し、次に実際に行った検出器のテストについて説明する。

2.1 MCP 検出器と TORCH について

MCP 検出器は、図1に示す仕組みで可視光付近の光子を検出する。MCP で光電子を増幅させることで、速い時間応答が得られることが特徴である。また、TORCH とは、Time of internally reflected Cherenkov light の略で、チェレンコフ光を検出して TOF を測定し、運動量 $10\text{ GeV}/c$ 以下の π/K を識別することを目的としたシステムである。全体のイメージは図2のようなもので、quartz plate で放出されたチェレンコフ光を反射させて両端まで導き、そこで集光して MCP 検出器で光子を検出し、その時間情報と角度から、

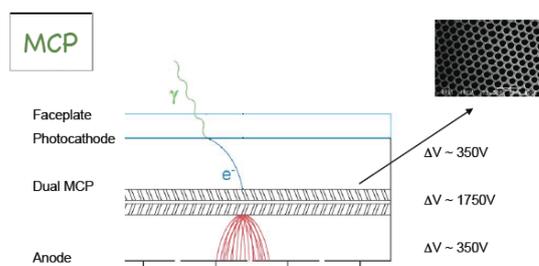


図1: MCP 検出器の原理

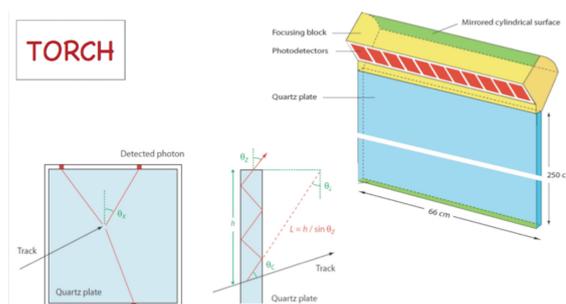


図2: TORCH の全体のイメージ

粒子が通過した時刻を割り出すという仕組みになっている。最終的に、 $10\text{ GeV}/c$ の π/K を分離するという目的を達成するためには、光子1個の検出に対しておよそ50psの時間分解能が要求される。

2.2 レーザーを用いた MCP 検出器のテスト

MCP 検出器のテストは、レーザー光を変調減衰器で弱めて MCP に当てて行った。最初は、光が当たっている真下の1つのパッドからのシグナルについて調べた。次に、レーザーの位置をステップモーターで動かしながら、隣り合う2つのパッドからのシグナルの相関を調べた。

2.2.1 シグナルの時間分解能の測定

図3に示すようなセットアップで、1つのパッドからのシグナルの時間分布を測定した。図4のヒストグラムが、結果の一例である。横軸が時間に対応する軸で、1チャンネルが6.1psにあたる。時間測定のスタートには、レーザー装置からの同期パルスを用いており、これは十分に正確であると分かっているので、図4のヒストグラムが、レーザー光 + 検出器 + 回路の時間分布を表している。

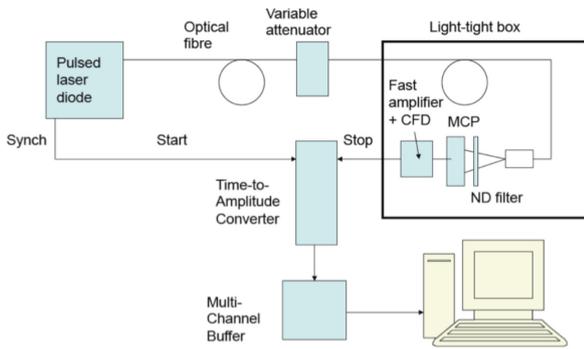


図 3：時間分解能測定の設定アップ

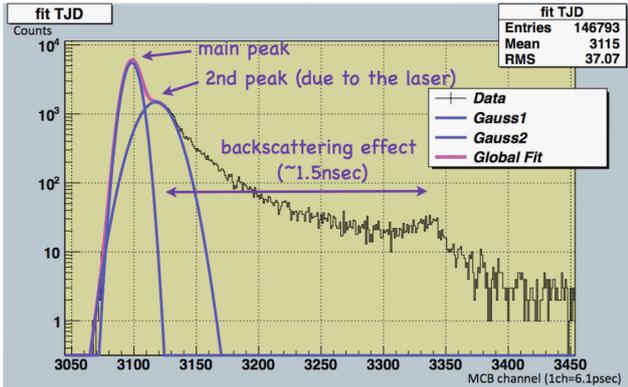


図 4：時間のヒストグラム

この測定から分かることは、次のようにまとめられる。

- 時間分解能は、メインピークでは $\sigma = 37 \text{ ps}$ が得られている。
- メインピークの外に、2 つめのピークが観察される。これは、レーザー自身が第 2 ピークを持つという性質によっていたことが分かった。
- さらに、ヒストグラムには、1.5 ns のテールが伸びている。これは、光電子が MCP の表面で後方散乱し、再び表面に戻って来てから増幅された場合に対応すると考えられる。実際、後方散乱して再び戻って来るまでにかかる最大時間は、電圧と光電面から MCP 表面の距離を用いて計算でき、結果は測定値と同じ 1.5 ns であった。

2.2.2 シグナルのパルス高分布の測定

次に、パルス高の分布を測定した。この時のセットアップでは、ペデスタルも 1 つのピークとして見えるように、電荷増幅器において一定のテスト電荷を足している。結果のヒストグラムの例を、図 5 に示す。放出される光電子の個数は、ある平均値 μ のポアソン分布に従い、各場合(光電子 n 個とする)に対して、現実に測定されるパルス高分布は幅 ($\propto \sqrt{n}$) を持って広がる。そのため、観測されるヒストグラムは、ポアソン分布とガウス分布を畳み込んだ形になる。実際には、さらにペデスタルと 1 光電子のピークの間には、パルス高の“小さい”イベントが余分に観察されたので、それを形式的にフィットするために指数関数を加え、

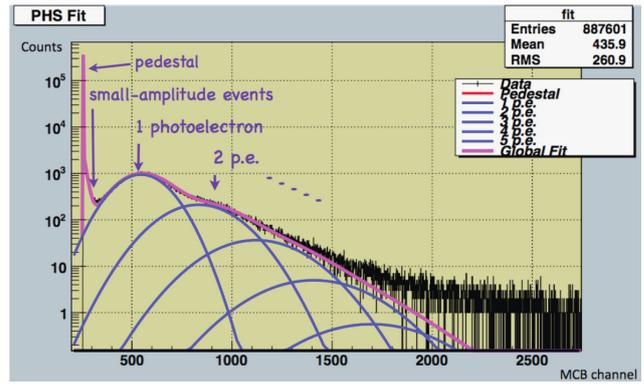


図 5：パルス高のヒストグラム

$$f(x) = N \left(\sum_{n=0}^{\infty} P_{\mu}(n) \times g(x; x_n, \sigma_n) \right) + (\text{negative exponential})$$

$$x_n = x_0 + n\Delta x,$$

$$\sigma_n = \sqrt{n}\sigma_1 (n > 1),$$

$P_{\mu}(n)$ は平均値 μ のポアソン分布、

$g(x; x_n, \sigma_n)$ は平均値 x_n 、分散 σ_n^2 のガウス分布

という関数でヒストグラム全体をフィットし、 μ などの各パラメータを決定した。

また、この“小さい”イベントに対しては、各光電子が、“小さい”イベントを引き起こす確率 q を持っている、というモデルがよく成り立つことが次のようにして分かった。まずこのモデルの下では、イベントが“小さい”イベントとなる確率は、 μ (光電子数の平均値)の関数として

$$p(\mu; q) = \sum_{n=1}^{\infty} P_{\mu}(n) \times q^n = e^{-\mu} (e^{\mu q} - 1)$$

と、 q をパラメータとして表すことができる。そこでレーザーの強度を変えてパルス高測定を行い、イベントが“小さい”イベントとなる確率をプロットしたところ、上の関数でよくフィットでき、 $q \sim 14\%$ と見積もることができた。

2.2.3 隣接する 2 つのパッドの相関の測定

2 つのパッドからのシグナルの同時測定では、レーザーの位置を動かしながらパルス高の相関を調べた。その結果、図 6 のように電荷が共有されている様子を観察できた。

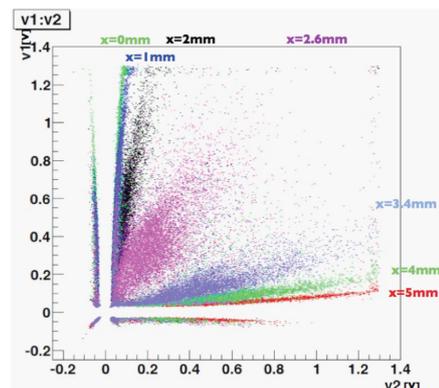


図 6：電荷の共有の様子(パッドの間隔は 5 mm)

3 その他のプログラム

3.1 実験室ツアーとワークショップ

実験室ツアーとワークショップは、全部で20程度開催されました。これらは、メールやウェブで参加者が募集され、基本的にいつも First come, first served の原理(つまり早い者勝ち)により参加者が決められていきました。そのため、人気のあるツアーでは、募集メールに3分以内で返信したにもかかわらず、すでに定員オーバーなどということもありました。僕はそのうちの3つ(CMS 検出器(地下100mの本物!)の見学, ATLAS ビジタールームの見学, 霧箱の作成)に参加しました。この中でも圧巻だったのは、実際に地下で見学した CMS 検出器で、CMS の C はコンパクトといながらも、相当の迫力でした。

3.2 レクチャー

最初の6週間の午前中は、毎日 Summer School の授業がありました。素粒子、原子核物理の歴史の話から現在に至るまで、内容も理論の話から、実験の話、検出器やデータ処理の少々マニアックな話まで、多岐にわたる豊富な内容でした。個人的に印象に残っているのは、CERN の Landua Rolf 氏による反物質の授業です。CERN ならではのともいえる反物質研究の詳しい(+天使と悪魔の映画の話を交えた)解説を聞くことができました。

3.3 ポスターセッション、プレゼンテーション

ポスターセッション、プレゼンテーションなど、学生による発表の場も何度か設けられていました。これらの発表者も、希望者のうちから First come, first served の方針で決まるというルールでした。僕は、せっかく CERN まで来ているのだからとりあえずやってみよう! と後先考えずに申し込み、ポスターセッションと LHCb 内部でのプレゼンテーションを両方行いました。そもそも、大学院生になってからこういう発表を行うのは初めてのことだった上に、当然すべて英語で行わなければならないので、準備では苦労しました。発表するまではヒヤヒヤでしたが、プレゼンテーション本番では予想以上にウケもとれたし、終わった後に他の研究者の方が来て、このような解析もやってみたらどうか、と新たな提案もいただけて、実りあるものとなって良かったです。

4 日常生活や週末

日々の生活で特に刺激的だったことは、同じような分野に興味を持っている外国の学生と、いわゆる一緒につるむような友達になったことです。彼らとは、夕方や週末にどこかへ出かけたり、旅行したり、もしくは特に何かをするわけでもなくただらしたり、かなりの時間を一緒に過ごしました。外国の学生には、日本の文化に興味を持ってい

る人が予想以上に多く、僕よりもはるかに日本のアニメや漫画に詳しい人がたくさんいたことには驚かされました。

まわりの LHCb の研究者からは、夕方や週末をしっかりと休んで楽しむことを大事にするという雰囲気を感じました。実際、僕の指導教官とそのまわりの人には、土日に来る人はいなかったように思いますし、平日の夕方も、5時から6時くらいに切り上げて帰り、家族と過ごしている人が多かったです。日本では、夜までかかっても、つい気が済むまで続けがちになりますが、こういうメリハリをつけてしっかり休むスタイルも良いものだと思います。

5 全体の感想、今後本プログラムに望むこと

この Summer School を通して、多くのことを学びました。もちろん、毎日触っていた MCP 検出器に詳しくなったということもありますが、そういうテクニカルなことだけではなく、授業や周囲の研究者との話を通して、CERN 内外で行われている様々な実験を知ることができ、以前より少し視野が広がった気がします。また、そのような話の中で、日本の T2K, KEK, J-PARC, Super-Kamiokande などが結構話題に挙がり、この分野で日本が存在感を持っているように感じ、(単純な感想ですが)うれしい気分になりました。

そして、物理以外の点でも、様々な国から来た学生と一緒に2ヶ月を過ごしたこと、英語だけの環境で研究課題を進めたり、発表を行ったりしたという、日本ではなかなか得難い経験をできたことがよかったです。

このプログラムを通して、この分野で研究の道を目指したいという気持ちが以前よりも強くなり、そのことを再確認できました。このような貴重な機会をいただき、本当に感謝しています。それと同時に、このプログラムがこれからも続いていくことを心から願っています。

6 謝辞

このプログラムへの参加にあたり、たくさんの方にお世話になりました。このような貴重な機会を与えて下さった CERN, KEK、特に手続きなどでお世話になった石川さん、福田さんにお礼を申し上げます。また、現地での指導教官になって下さった Thierry Gys 氏をはじめとする LHCb の皆様には、毎日の研究課題において大変お世話になりました。東大での指導教官の早野先生には、応募の際に推薦書をいただき、さらに、先生の CERN 滞在中には構内の案内もしていただきました。ATLAS 日本グループ、ASUCUSA グループの皆様には、実験の説明をしていただいたり、BBQ に誘っていただいたり、と CERN 滞在中に大変お世話になりました。最後に、10週間を共に過ごした Summer Student の皆さんにも、楽しい時間をありがとうございました。