

CERN Summer Student Programme 2016

名古屋大学大学院 理学研究科

川口 智美

kawaguchi@hepl.phys.nagoya-u.ac.jp

2016年10月24日

1 はじめに

私は6月27日から9月2日の10週間、CERN Summer Student Programme 2016 に参加した。本プログラムでは、各分野で活躍する一流の研究者による講義を受けたり、CERNで行われている特定の実験グループに所属して最前線の研究に携わることができた。また、様々な国から集まった約300人の学生と交流をすることができ、多くの貴重な体験を得ることができた。本プログラムでの生活や活動内容について以下に報告する。

2 活動内容

2.1 Lectures / Visit

プログラム前半の期間の6月27日から8月5日の間には、午前中に講義があった。その内容は、素粒子理論の基礎から始まり、検出器や加速器の仕組み、トリガーやシミュレーションの方法など、とても幅広い分野をカバーし、実際にCERNで研究している現場の研究者たちの英語による講義だった。

また、プログラム期間中にATLASのコントロールルームやCERNの初段の加速器であるSynchrotronなどの見学も行われ、これらも充実した内容であった。

2.2 研究活動

私は、CERNのプレヴァッサン地区にあるSuper Proton Synchrotron (SPS)を用いたCommon Muon and Proton Apparatus for Structure and Spectroscopy (COMPASS)実験[1]に参加した。

2.2.1 COMPASS

核子が持つ $1/2$ のスピンは核子の構造より、

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{2} \Delta\Sigma + \Delta G + L_q + L_g$$

と表すことができる。ここで $\Delta\Sigma$ と ΔG は、それぞれクォークとグルーオンのスピンの寄与である。 L_q 、 L_g は、クォークとグルーオンの軌道角運動量を表す。スピククライシスとして知られるように、1988年のEuropean Muon Collaboration実験でクォークのスピンの寄与が予想されていたより小さいという結果[2]が問題となっている。

しかし L_q 、 L_g の測定は未だ行われていない。

COMPASSでは、実光子がexclusiveに生成されるDeeply Virtual Compton Scattering (DVCS)過程である $\mu p \rightarrow \mu p \gamma$ (図1) を使用してGeneralised Parton Distributions(GPDs)にアクセスし、 L_q を測定することを目指している。GPDsはパートンの縦運動量とそのパートンの縦運動量に垂直な面における位置の相関を与えるため、 L_q の計算を可能にする。COMPASSでは偏極ミュオンビームと液体水素ターゲットを使用し、 $\mu p \rightarrow \mu p \gamma$ の微分断面積を測定している。 $\mu p \rightarrow \mu p \gamma$ 反応にはDVCS過程とは別にBethe-Heitler過程が存在する(図1)が、偏極ミュオンビームを用いることでDVCS過程についての項のみを抽出でき、これを測定することでGPDsへのアクセスが可能になる。

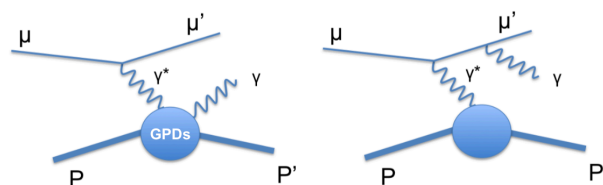


図1 $\mu p \rightarrow \mu p \gamma$ の反応。左がDVCS過程、右がBethe-Heitler過程を示している。

COMPASS実験ではDVCS過程の測定のために2012年にビームを用いた検出器の動作検証を行い、2016年から物理のためのデータ収集を開始した。2016年のCOMPASSの実験セットアップは図2のようである。COMPASS実験では、SPSで450 GeVまで加速した陽子を厚さ500 mmのバリウムターゲットに衝突させることによって生成する160 GeVの偏極ミュオンビームを用いる。それを厚さ2.5 mの液体水素ターゲットに衝突させ、実験を行っている。ターゲットの上流には、ホドスコープによるビーム運動量分析系があり、下流にはスペクトロメーター電磁石、飛跡測定器群、RICHによる粒子識別、電磁およびハドロンカロリメーターとミュオン検出器を備えた二段のスペクトロメーターがある。

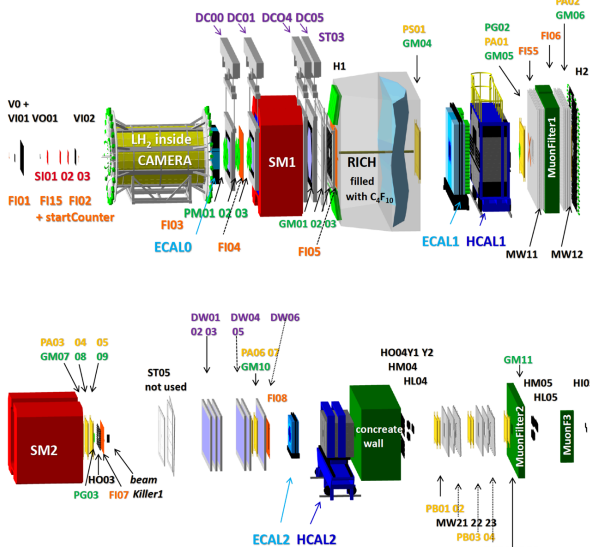


図2 2016年のCOMPASSのセットアップ。上：上流部分，下：下流部分の図であり，全長は50mほどになる。

この中で私は2016年のデータ収集が正しく行われているかどうかを確認するために，得られたデータを用いてビーム位置のアライメントと，ミュオンが上流のシンチレーションファイバー検出器（SciFi）を通過した時刻を確認した。検出器の動作確認のために取得した2012年のデータを用いた結果と比較することで2016年のデータ取得の状態が確認できた。

2.2.2 ビーム位置のアライメント

私ははじめに，ターゲットの上流と下流におけるミュオンの飛跡の交点からターゲットの内部でのビーム軸に垂直な面におけるビームの崩壊点の分布を求めた（図3）。

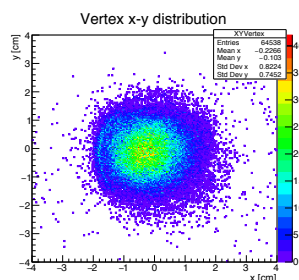


図3 ビーム軸に垂直な面におけるビームの崩壊点の分布。

図3の $x = -1.8\text{cm}$ 付近のイベント数が多い部分は，液体水素ターゲットのホルダーの位置と一致している。ターゲットの中心 $(x, y) = (0.2\text{cm}, -0.1\text{cm})$ に対して左側のみにターゲットのホルダーが見えていることから，ビームの中心位置がターゲットの中心位置から左にずれていることがわかる。ビームの中心位置がターゲットの中心位置からずれていると，すべてのビームを有効に使用できないため検出効率が落

ちてしまう。そこで私はターゲットの上流に設置してあるSciFi（図2中のSI01, SI02, SI03, FIO1, FIO2）で作られたビームテレスコープから得られるデータを使用して，ビームのターゲット内部における中心位置を求めることにした。その結果を図4に示した。

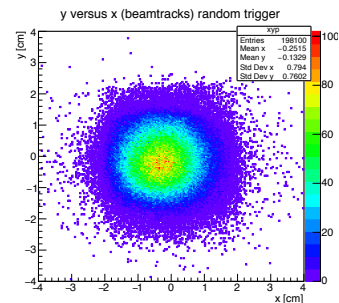


図4 ターゲット内部のビーム位置分布。

この分布を x 軸についてガウス関数でフィッティングして求めたビームの中心位置は $x = -0.24\text{cm}$ であった。これより，ビームの中心位置とターゲットの中心位置が異なることがわかったので，このことをCOMPASSのミーティングで報告し，ビーム軸を x 方向に $x = 0.44\text{cm}$ だけ移動することになった。この解析によってビームの位置を改善することができた。

2.2.3 トリガーと検出器で測定される時間の差分布

次に私はミュオンがターゲットの上流にあるSciFiを通過した時刻をふたつの方法で求めた。ひとつ目の方法は下流にあるホドスコープによるトリガーのタイミングからミュオンがSciFiを通過した時刻を推測する方法，ふたつ目はSciFiを通過した時刻を測定する方法である。このふたつの方法によって求めた時刻の差は図5のようになった。信号の場合の時刻の差の分布は 0ns にピークを持ち，トリガーにかかったミュオンとは別のミュオンがSciFiに到来した背景事象の場合はランダムな一様分布となる。この解析では，ソフトウェアにおける飛跡再構成の幅を -5ns から 5ns としているため，図5では -5ns から 5ns の間に背景事象の分布が広がる。2016年の結果と2012年の結果を比較すると分布のピークの幅が2012年よりも2016年の方が広がっていることがわかる。

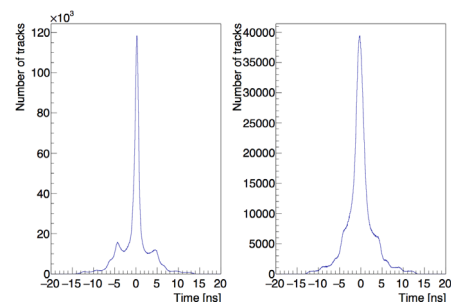


図5 トリガーと検出器で測定された時間の差の分布。左が2012年の結果，右が2016年の結果。

この原因を突き止めるために、私は、SciFiの各チャンネルについてこの時間差の分布を調査した（図6）。

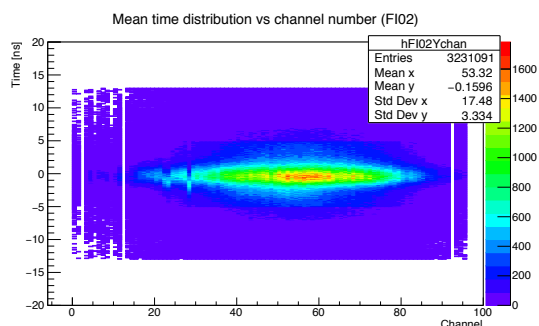


図6 あるSciFiにおけるチャンネル番号と時間差の関係。

図6からわかるように、いくつかのチャンネルで時間差分布のピーク位置がほかのチャンネルに比べてずれている。このようなチャンネルはSciFi全体の中にもほかにも存在していた。これはSciFiのアライメントがうまくいっていないことが原因である可能性がある。残念ながら本プログラムの終わりが来てしまったため、このことについて深く追求することができなかったが、この解析によってSciFiのアライメントに関する議論が始まった。

スーパーバイザーやCOMPASSの解析グループのメンバーと一つ一つ議論しながら研究を進めることができたのはとても貴重な経験になった。

3 生活

講義のある前半の期間では、午前中はほかのサマースチューデントたちと講義を受け、昼食後にそれぞれの研究場所に移動し、19時頃まで研究をした。また、講義のない後半の期間には、午前中からそれぞれの研究場所で研究を行った。そのため、全期間を通してみるとCOMPASSのメンバーと過ごす時間が一番多くなった。

COMPASSは、ATLASやCMSなどに比べ、小規模な実験で、参加したサマースチューデントも3人と少なく、その分多くのCOMPASSメンバーと深く関わることができた。今回は私にとって海外で研究をする初めての機会だったので、CERNに来る前は不安が多かったが、COMPASSメンバーは優しく話しかけてくれる人ばかりで、自分で担当している検出器についてのセミナーを順番に開いてくれるなど、明るい雰囲気の中で楽しく学ぶことができた。また、研究後にメンバーでBBQをしたり、スーパーバイザーの家でホームパーティーをすることもあった。

研究が終わって宿舎に帰ってきてからの時間はサマースチューデントたちとの交流の時間で、互いの国の料理を自分たちで作って一緒に食べることも多く、私がお好み焼きを作って振舞ったり、カルボナーラや中華をご馳走になったり

した。日本の文化に興味を持っている人も多く、中には日本語を勉強しているというサマースチューデントもいて、日本語で話しかけられることがあり、とても驚いた。

また、休日にも彼らと行動することが多く、仲のよいサマースチューデントと近くのジュラ山にハイキングに出かけたり、一緒にBBQを行ったりした。そうして多くの時間を一緒に過ごす中で、サマースチューデントたちの積極性には何度も驚かされた。初対面でも躊躇なく話しかけてくる人が多いだけでなく、自分の興味があることに関する様々なイベントを自分たちで企画して実行していた。こうした体験の中で学んだ積極性や彼らと築いた関係をこのプログラムが終わってからも大切にしていきたいと感じた。



図7 ほかのサマースチューデントたちと週末にCERNの近くのジュラ山にハイキングに行ったときの写真。

4 最後に

本プログラムに参加して学んだ一番大きなことは積極的に動くことの重要性である。これまでの自分について考えると、ミーティングなどで分からないことがあっても、話をしている人が話し終えたら確認しようと考えていたため、次の瞬間には次の議論が始まっていて、消化不良になることが少なくなかった。それに比べて、CERNで出会った人々には、疑問に感じたらすぐに質問する積極性があるため、ミーティングや研究に活気が生まれ、コミュニケーションも十分に取れているように感じた。ここで学んだ積極性を今後の自分の研究でも生かしていきたいと思っている。

私は、この機会を通して多くのことを学ぶことができた。来年以降も、今年同様に、学生にこのプログラムに参加する機会を与えて欲しいと思っている。そして、多くの学生がこのプログラムを体験して自分の体で学んで欲しいと思う。

最後になりましたが、多くの方のお力添えのおかげでこのプログラムに参加することができ、充実した日々を過ごすことができました。この場をお借りして、皆様に御礼を述べさせていただきます。

参考文献

- [1] P. Abbon, *et al.*, Nucl.Instrum.Meth. A 577 (2007) 455
- [2] J. Ashman *et al.*, Phys. Lett. B206, 364 (1989)