

CERN Summer Shool に参加して

大阪大学大学院 理学研究科物理学専攻 修士課程 1 年

柳田 陽子

yoko@champ.hep.sci.osaka-u.ac.jp

2008 年 (平成 20 年) 10 月 31 日

1 はじめに

この夏、私は 6 月 24 日から 8 月 22 日の 2ヶ月間、CERN Summer School に参加し、本場の研究所での研究、検出器製作の見学、大実験の見学、最先端の講義、友達との出会いなど、たくさんの経験を得ることができた。はじめに、このすばらしい機会を与えてくださり、全面的に私たちを支援してくださった KEK に感謝いたします。

2 いざ CERN へ

大学に掲示された、本プログラムのポスターを見た。初めは日本から募集 3 名程度とあるのを見てすぐあきらめていたが、チャンスは行動しないとゼロだと思い直して応募を決めた。参加の連絡をいただいたときは本当に驚いた。まさか、いや確かに！ それからは、期待や不安や緊張で準備にあたふたした。Supervisor の Augusto Ceccucci 氏には、初めてつたない英語でのメールを送り、CERN での仕事や、初めの 1 週間にやること、イタリアからも Summer Students がやってくることを聞いた。彼らとの交流、CERN での研究と生活に憧れた。同じ日に出発した家城くん、白石くんとは初めて関西空港で会い、早速互いの日々の研究や実験の話、CERN で参加する実験などの話で盛り上がった。飛行機から下の雲に映る飛行機の影とそれを囲む丸い虹を見て、虹のでき方を議論した。物理が好きな仲間がもうすでに出来たことがうれしかった。こうして意気揚々と期待にあふれてジュネーヴへ向かった。空港まで、Augusto が迎えに来てくださった。なんて親切な方だろう！ 緊張して、車内でなかなか言葉が出てこなかった。ついに来てしまったと実感した。

Summer School のプログラムは、6 週間の午前中の講義と、加速器やコンピュータセンターの見学、プログラム中に 1 日だけ参加するワークショップ、そしてメイン

の、それぞれが配属された研究室での研究がある。初めの 1 週間は、いろいろな登録やコンピュータの使い方、説明会、自己紹介などで過ぎていった。何をすることも緊張していたが、講義が始まり、毎日の過ごし方が分かってくると、とにかく毎日が楽しくなった。

3 活動内容

3.1 講義

講義の始まりは素粒子物理学入門、検出器などのテーマだった。講義室の各席に備え付けのイヤホンをつけ、とにかく英語を聞いた。知らない言葉はなかなか耳に入らなかった。初めのうちは知ってる知識を当てはめるだけで、なんとか理解できたが、2 週間を過ぎると分からない内容が耳に入ってきて、ついていくのは大変だった。しかし講師の方々は個性的でよく学生の笑いをとり、説明が上手だった。加速器、コスモロジー、物質と反物質の講義に興味を持った。

3.2 NA62 での研究

3.2.1 Introduction

私は Summer School での研究として、NA62 実験に参加した (図 1)。NA62 実験は、荷電 K 中間子の希崩壊 $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ の分岐比測定を行う。これは、小林・益川理論による CP 非保存の検証と、標準理論を超える物理の探査を目指している。NA62 実験は、CERN の SPS 加速器による K 中間子の崩壊測定を行った NA48 実験の検出器を引き継いでいる。NA48 実験では、中性 K 中間子を用いた直接的 CP の破れの検証となる ϵ'/ϵ の測定や、荷電 K 中間子 K^\pm の直接的 CP の破れの探索などが行われた。これを引き継いだ NA62 実験はこれまでに、 $R_k = \Gamma(K^\pm \rightarrow e^\pm \nu(\gamma))/\Gamma(K^\pm \rightarrow \mu^\pm \nu(\gamma))$ の測定によるレプトンユニバーサルティの検証実験などを行っ

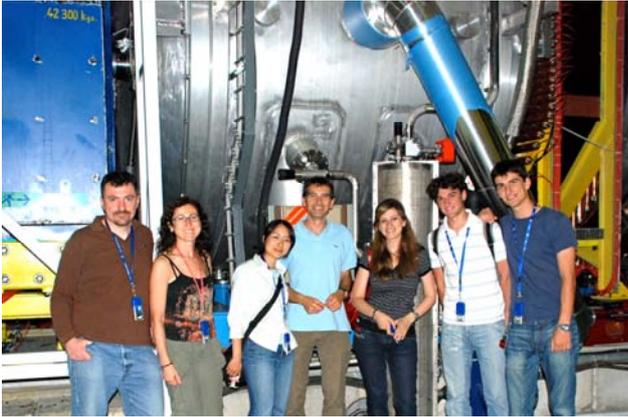


図 1: NA62 実験の液体クリプトンカロリメータの前にて。背の低い私から右に、実験のリーダー Augusto, Summer Students の Elisa, Paolo, Aniello。

た。次の希崩壊測定に向け、検出器の改良の一つとして、ストローチェンバーの導入があり、私はこの製作のための、ストロー位置自動測定システムの原型を製作した。

NA48 実験の磁気スペクトロメータは、四つのドリフトチェンバーと、それらの中央の双極子電磁石により、荷電粒子の衝突位置と運動量を観測した。このスペクトロメータは、真空の崩壊領域と隔てられたケヴラーウィンドウの下流で、大気圧のヘリウム中に置かれていた。このケヴラーウィンドウとヘリウムガスによる π 中間子などの多重散乱を抑えるため、NA62 実験では、崩壊領域と繋がった真空中にスペクトロメータを設置する。ストローチェンバーをもちいてスペクトロメータを作製すれば、チェンバー自身の物質量が小さいため、ビームハローの粒子によるバックグラウンドも抑えられる。

全部で四つのチェンバーは、電磁石の前後に二つずつ設置され、それぞれのチェンバーは、平行に並べられたストローのレイヤーを、 45° ずつ回転して四つの (x, y, u, v) の方向で位置を測定する。一つのレイヤーは、軸に対して右か左かの判別をするために、また粒子から見た隙間を埋めるために、4 層の平行なストローが、軸の位置を少しずつずらしながら並べられる。このひとつの向きはおよそ 500 本のストローで構成され、スペクトロメータ全体では約 8000 本にもなる。1 本のストローは、金属を蒸着させた厚み $36 \mu\text{m}$ のマイラーを直径 10 mm、長さ 2 m の筒（ストロー状）に巻いたものである。内部には CO_2 , C_4H_{10} , CF_4 の混合ガス、中心軸にはストローに電圧をかける導線が入る。

ストローチェンバーは、ガスイオン化検出器の一種である。荷電粒子がこのストローを貫通すると、内部のガスはイオン化されて、作られた電子はストロー内部の電場に従って中心に張られた導線へ向かってシャワーを起

こしながら進み、導線の端で電気信号が読み出される。導線と飛跡の距離が大きければ、電子が導線に到達するまでに時間がかかる。これを利用して、粒子がストローを通過する時間と測定された信号の時間の差により、粒子の飛跡と導線との距離が分かる。このため、ストローは全体の長さによって導線との距離を同じに保たなければならない、そのずれはトラッキングの分解能 $120 \mu\text{m}$ より小さくなければならない。導線は張力により直線にすることができるが、薄いフィルムからできたストローは歪みやすい。従って、ストローチェンバーを作製するときには、ストローの位置を測定しなければならない。すべてのストローの歪みを調べるために、自動で位置を測定するシステムが必要である。この目的のため、私は自動測定システムの原型を開発した。

3.2.2 測定システム

本自動測定システムの原理は、カメラの位置を変えながら撮った画像を元にして、ストローの位置を測ることである。二つの直行した方向から二つのカメラで数 cm ごとにストローの側面の写真を撮り、得られた画像から筒の断面の端を見つける。カメラの横方向のずれは、まっすぐに張ったワイヤーの見え方を用いて補正する。カメラは二つのモータを用いてストローの軸方向と、それに垂直な方向の二方向へ動かし、手作業で張った一列のストローを、一本見ては隣の一本へ移り、これを繰り返して一度に一列のストローの歪みを測定する。モータの操作、画像の取得、画像からストローの位置を読み出す作業はすべて National Instrument 社のビジュアルプログラミングソフトウェア、LabVIEW を用いる。私は、次の三つの LabVIEW のプログラムを製作した。

1. USB カメラにより画像を取得する。
2. 画像からストローの位置を得る。
3. 制限スイッチを確認しながらモータを動かす。

試作として、私は一つのカメラと一つのストローを用いてこの課題に取り組んだ。

3.2.3 USB カメラによる画像の取得

USB カメラから画像を取得するためのプログラムを探し、そのサンプルプログラムに、画像の保存先、画像ファイルのタイトルを番号で自動的に設定するためのプログラムを追加した。図 2 はこのプログラムを用いて取得したストローの写真である。

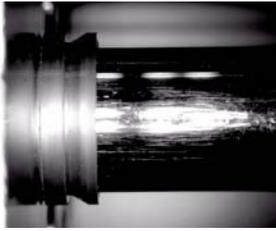


図 2: USB カメラで取得したストローチューブの画像。

3.2.4 ストロー位置を画像から取得する

LabVIEW の画像処理プログラム NI Vision のサンプルプログラムを用いて、画像内の一本の線上のピクセルから濃淡の鋭い点（エッジ）を見つけ、座標を保存するプログラムを作製した。一つのピクセルの幅は $15\ \mu\text{m}$ で、これは許容されるストローの歪みより小さいため、この画像を用いた測定方法で問題はない。画像のエッジは、コントラストとスティーブネスというパラメータで定義した。この数値を変え、一本の線の座標を与えると、ストローチューブの端の位置を出すことができた。しかし同時に、ストロー画像の中心付近に照明の反射によって間違っただ点も選ばれたため、ストローのおおまかな位置情報から本当のエッジを選択する演算、沢山の誤ったエッジを出さないための照明の工夫が必要であった。

3.2.5 制限スイッチを確認しながらモータを動かす

モータの移動方法を図 3 に示す。モータは下部でベルトと接続し、ベルトにはカメラが固定され、そのフレームはストローが固定されたフレームと接続され、これら全体は 45° 傾けることができた。こうした装置全体はす

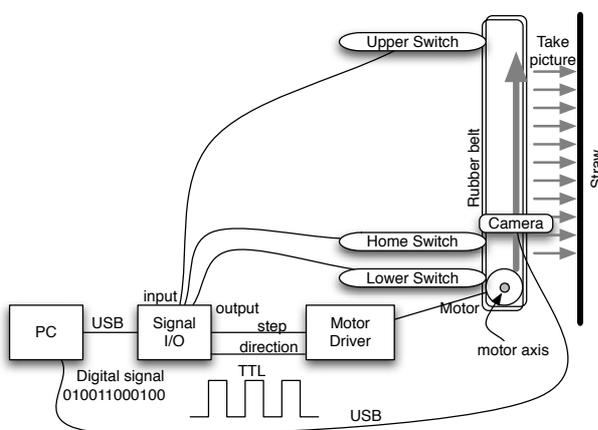


図 3: 自動位置測定システム。コンピュータから USB 経由でモータに指令を送り、三つのスイッチの ON/OFF を読み取る。モータが回ると、ベルトに固定された USB カメラがストローと平行に移動する。

でに製作済みで、私はモータを駆動させることに努めればよかった。モータのドライバは、向きと進む（ステップ）という二つの指令を与える TTL の入力端子を持つ。TTL をステップ端子に送れば、モータは設定された回転角度だけ回り、カメラが一歩進む。PC からの信号は、USB ケーブルで入力/出力モジュールに送られ、そこで TTL 信号に変換され、モータのドライバへ送られた。

カメラの台でフレームを壊さないために、二つのスイッチ（制限スイッチ）をストローの端に対応するベルトのフレームに取り付けた。カメラが端に来ると、カメラの固定台から飛び出した棒がスイッチを押す仕組みだ。カメラ位置の基準（home）として、もう一つのスイッチを画像取得の始点に取り付けた。私のプログラムは、この始点から決めた歩数だけ上にカメラを動かし、始点のスイッチが押されるまで下降させた。スイッチが押されているかの確認と、モータの駆動は同時にはできないため、モータを 5 歩進ませるごとにスイッチを読み、スイッチが押されていないければプログラムは繰り返される。もし不意に上か下の制限スイッチが押されると、プログラムはカメラを始点に戻す。

3.2.6 結果と今後について

私は、画像を撮る、ストローのエッジを見つける、モータを動かすという三つの働きをする LabVIEW プログラムを作製し、基礎となるこれらのプログラムは正しく動いた。次のステップは、これらの統合、カメラの位置の補正とともに、エッジを記録すること、横への移動のためモータを追加すること、ストローへの照明の工夫である。この仕事はストローチェンバーを作製する Hans と Francisco に引き継いだ。これがうまくいけば、実際に使われるストローフレームが作られた後、このシステムを用いて製作が始まる。

3.3 Poster Session, 見学

同じ NA62 の Summer Students とポスターセッションに参加し（図 4）、それぞれの仕事の紹介をした。同時に他の学生の仕事をすることができた。

Summer School のプログラムとしてコンピュータセンターと Linac を見学した。ATLAS の見学は正規のプログラムになかったが、あの巨大な検出器を目の当たりに見ることができるのは今しかないと思い、川本辰男先生に無理にお願いして見学させていただいた。ほぼ完成されていたため、検出器の中の様子はもちろん見ることができなかったが、説明を聞き、地上にある検出器の一部を見て、迫力と、ヒトと素粒子の戦いを実感した。

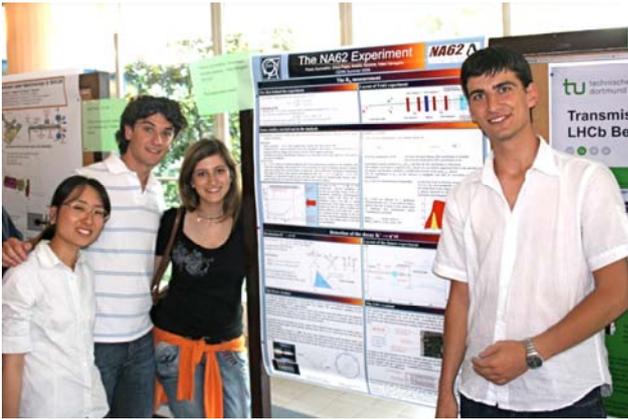


図 4: Poster Session にて NA62 の Summer Students。左から Yoko, Paolo, Elisa, Aniello。

4 CERN での生活, 研究の様子

4.1 研究の様子

研究室で仕事をするときは、ときどき向かいの席の Elisa にプログラミングを教え、私は Elisa に英語を教わり、一緒に kinematics を考えたり、同じ部屋のボスドク先輩 Simone に ROOT の使い方を一緒に教わったりした。実験の全体のことや、poster 発表の資料づくりを尋ねに、向かいの部屋の Mauro も訪ねた。しかし大半は実験室でモータや LabVIEW と格闘していた。

私の仕事を見てくれた Hans Danielsson 氏は、ATLAS の TRT (Transition Radiation Tracker) の製作に携わっており、TRT のプロトタイプを見せて、設計の工夫や製作、設置の様子を話してくれた。NA62 のストローチェンパーは、この TRT の製作を参考にして設計されている。Hans がバケーションにでかけている間は、物の製作に詳しい Francisco とエレクトロニクスに詳しい Sergey にお世話になった。実験室で、私は USB カメラを動かすために必要なプログラムや画像処理のプログラムを Web から探し、CERN のソフトウェアのサーバから探し、インストールし、LabVIEW の解説書を図書館で借りてきて、Web でも調べ、画像処理の勉強をし、初めて一つのプログラムを作るまではかなり大変だった。Hans と相談し、分からないことがあると CERN の Help desk にメールで聞いたりもした。要領を得るには時間がかかったが、初めて自分の手で一から作ることができたことがうれしかった。

物作りの大好きな私は、この仕事がとても楽しかった。プログラムを結合してすべての確認をする時間がなかったのはとても残念でならない。しかし、最後の週に NA62 の Weekly Meeting でつたない英語でも発表をさせてもらい、その私の説明を Supervisor の Augusto は終始笑顔

で聞いてくれた。この日発表を終えた NA62 の Summer Student の Paolo, 私と、以前に Student Session でみんなの前で発表した Aniello は、この週末に帰国することになっていた。Meeting 後に、2 階の図書室の前の廊下で「僕たちは Summer Students で一番だよ」と Aniello が言った。Paolo も賛成した。「そうだよ、もちろん！今この廊下にいる人の中で、僕らが一番だ！」彼らの言う通り、私も自分のことを誇らしく感じた。

4.2 普段の生活と週末

毎朝、小鳥の鳴き声と窓から差し込む光に起こされ、自転車に飛び乗り、ジュラ山脈にかかる雲を背にして国境を超え、CERN へ向かう。私のホステルは CERN の Entrance B から 2 km ほどの距離にある St. Genis Hostel と呼んでいた CERN の hostel で、どの階も Summer Students でいっぱいだった。近くのスーパーマーケットで買ったパンを毎朝食べた。コーヒーを飲み、大講義室で研究室の仲間と並んでの勉強が終わったら、彼らと、仲のいいイタリアの学生たちと、その場に居合わせた学生をさそって共にレストランへ。講義後のレストランは大変な賑わいになる。席のとれない大人数グループの私たちは、好んでレストラン前の芝生に輪になって食事をした。初めて会う学生には、みんな必ず握手と自己紹介をし、名前と出身と、参加実験を教え合った。母国語訛りの英語での会話は、とてもリズムカルで楽しく、まさに多様な音楽だとよく感じた。自身の考えを恥じらいもなくさらっと表現する彼らは、みんなとても生き生きしていた。

各自の研究の後は、自然に集まって CERN のレストランで夕食を共にしたり、サッカーをしたり、週末の予定を組んだりした。二週に一度の学生主催のパーティにも参加した。Paolo と Aniello は、他にももう二人の同じ大学からの学生の Lucia と Francesco と一緒に CERN の近くにアパートを借りていて、ときどき、私と Elisa を夕食に誘ってくれた。私以外はみんなイタリアの学生。もちろん夕食はパスタ。鍋にあふれるほどの farfalle (イタリア語で蝶、ショートパスタの一種) が入り、Yoko は塩加減のチェックを頼まれた。苦手だと思っていたチーズやオリーブがとてもおいしかった (Buono!)。ジェスチャーや表情が豊かなイタリアの仲間と過ごすうちに、私もすっかり目を見開き眉を上げることができるようになった。みんなで話をしているときに、発言を求められないと相づちを打つだけで聞き入ってしまったたり、英語もゆっくりとしか話せない私を、「おとなしい」と Aniello が思っていたことに、日本からの仲間と日本語でしゃべっていたときに知った。“Yoko! Why you can

speak so faster?” と、とても驚かれてしまったのは本当にショックだった。Aniello にも話したいことは山ほどあるんだよ、と、悲しくもなった。しゃべらないわけではなかったが、語彙の不足に苦しんだ。彼らのようにスムーズに英語で話したい。

一度、遅刻して入り口から座りやすい席で受けた講義後に、Lucia が悲しそうに「昨日ずっとイタリア語で話してたから怒ったの？ほんとにごめん！」と話しかけてきた。びっくりして私は「遅刻しただけだよ、ごめんね！」と言った。Paolo が言う。“Are you angry?,” “No,” “Are you hungry?,” “Yes!! Let’s go to the restaurant!” いつもこんな調子だ。Massimiriano は日本語に興味を持ってくれて、日本の Summer Students とたくさんの日本語を教えた。こんにちは、げんき？などの言葉を彼はものすごくしっかり覚えてくれて、それ以後、イタリア語訛りで「げんき？」と話しかけてくれたときはとてもうれしかった。初めて Lucia に会ったとき、Paolo に教えてもらっていたイタリア語の歓迎の言葉を言うと、Lucia は感激してハグしてくれた。きっと Lucia も同じようにうれしかったのだろう。言葉はそのものの意味以上の意味を含んだ。

Montreux から歩いていったシオン城の崖の、パラソルの下でレマン湖に浮かぶ太陽に目を細めながら、Lucia たちと人生について語った。Lyon へ旅に出て、共に遊び、みなで目的の宿まで迷い、Annecy で一人はぐれ、再会し、抱きしめあった(写真 5)。異なる文化、宗教と科学についての議論、素粒子実験、なんて興味深いのだろう。



図 5: Summer Students の仲間とともに、Annecy にて。

体調を悪くした時のこと、仲間が CERN の病院へ連れて行ってくれた。帰るかどうか、医者に勧められたオレンジジュースを飲みながら悩んでいたとき、みんなが本当に心配してくれた。自分を大事にしなければと強く感じ、その日は早退することを決意した。

こうして、沢山の時間を学生や研究者と過ごし、議論し、笑い、歌を歌った。自分のことも知ることができた。こんな素晴らしい体験は、本当に今の時期でしかできなかったものだろうと思う。

5 今後の抱負とプログラムへ望むこと

この体験を通じて、みなが共通して興味のあるこの宇宙への探求を、世界中で協力、あるいは競争して行っていることを、知識ではなく肌で感じた。これまで以上に、素粒子の研究、実験に興味湧いてきた。もっといろいろなことを知りたい、実験に携わりたいと強く感じた。これからの私は全力で人生を楽しみたい。将来、CERN やどこかの研究所で、この Summer Students の仲間たちと再会できることを心待ちにしている。その頃には、shy だった Yoko が、もっとおしゃべり大好きな Yoko になっていることを願って、これからも英語に慣れ親しんでいたい。

充実した二ヶ月の間に、自分で世界を切り開き、自信を得ることのできたこのプログラムに参加した意義は大きい。是非、これからもずっと継続していただきたい。これから Summer Students を目指す人は、とにかく積極的に挑んでほしい。

6 謝辞

このすばらしい機会を与えてくださった KEK、CERN と、支援してくださった CERN の Summer Student Team のみなさん、KEK の岩見さん、河西さん、そして近藤敬比古先生に深く感謝します。ご指導いただいた Supervisor の Augusto, Hans, CERN 滞在中にお世話になった早野先生、内藤議員、川本さん、花垣さん、内田さん、昨年、一昨年の日本からの Summer Students のみなさん、ありがとうございました。本プログラムを勧めくださり、推薦し、送り出してくださった山中卓先生、今後にご期待ください。そして、この熱い夏を共有した家城君、石田君、白石君、渡邊君、Summer Students のみんな、これからもずっとよろしく！