

CERN Summer School の報告

東北大学 理学研究科

中野 浩至

nakano@awa.tohoku.ac.jp

2009年(平成21年)10月31日

1 はじめに

私は今年 CERN Summer School に、6月23日から8月28日の約10週間参加してきました。参加者は世界各地から100名以上、日本からは修士課程1年の5名が参加しました。

このプログラムの存在は学部4年の頃より先輩から聞いていて、ずっと参加したいと願っていたため、参加することができるとうわかったときにはとても興奮し、さらに出発前日の夜は一睡もできませんでした。

以下に、CERN Summer School 2009での私の体験を報告します。

2 プログラムの内容

ここでは、lecture および、どのような研究を行ってきたかについて報告します。

2.1 Lecture

Lecture は7月の初めから8月の初めあたりの6週間にわたって午前中(45分×3コマ)に行われました。Summer Student は実験物理、理論物理、コンピューターサイエンスなど、さまざまな分野の学生(中には化学の学生もいました)によって構成されているため、まずは「素粒子とは?」、「検出器のしくみ」といった基本的な内容から始め、徐々に「標準理論を越える物理」、「ハドロンコライダーの物理」などの特定のテーマについて掘り下げていくという形式でした。講師はその分野での一流の方々であり、毎日の lecture の終わりには約30分の質問時間が用意されていて、非常に充実した内容でした。講義内容についていけないときは己の勉強不足と理解力のなさに落ち込んだこともありましたが、幅広い分野を一望できるこれら一連の講義で、「いったい自分は何に興味があって物理学を学んでいるのか」という根本的な問いを考える、いいきっかけになりました。

ちなみに2009年度のSummer Schoolのlectureは、

<https://hr-recruit.web.cern.ch/hr-recruit/summies/default.asp>

のLecture Programme 2009で確認することができます。

2.2 Work

ここでは、私の Summer School での研究「ISOLTRAP 実験における Penning trap のシミュレーション」とそのポスター発表について述べます。

2.2.1 研究内容と成果

私は ISOLDE という実験施設の ISOLTRAP という原子核の質量を精密に測定する実験グループに配属されました。

ISOLTRAP 実験では Penning trap というイオン化した原子核を捕まえる装置を用いています。この装置内でイオンは三種類の運動をします(図1)。一つ目は axial motion というビームの進行方向の振動で、トラップの際に生じるものです。残りの magnetron motion と cyclotron motion という回転は装置中の磁場によって生じます。例えば、太陽の周りを回る地球とその周りを回る月を用いるなら、「地球の動き」が magnetron motion で、「月の動き」が cyclotron motion です。イオンの位置は「月の位置」に相当し、装置中心からの距離は「太陽と月の距離」ということができます。つまり、イオンは二つの円運動を組み合わせた動きをするわけです。「地球の回転半径」よりも「月の回転半径」のほうが大きい場合もあります。また、cyclotron motion の回転の速さは magnetron motion のおよそ1000倍です。それぞれの回転の周波数はイオンによって決まっています。一定です。また、この Penning trap は二極電極と四極電極の二種類の電極を用いることで magnetron motion と cyclotron motion の半径を変えることができます。

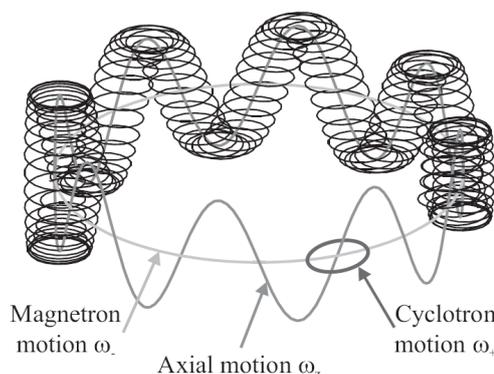


図1: トラップ内のイオンの運動

私はこの Penning trap 内のイオンの運動をシミュレーション計算するプログラムを前任者から引き継いで、プロットや動画を作る仕事をしました(図 2)。私はプログラミングの初心者であったため、イタリア人の Summer Student の Emanuele や、ISOLTRAP 実験の学生みんなにかなりお世話になりました。完成したプログラムは、用いるイオンの質量や初期条件、装置の情報、二極電極や四極電極をいつ使うのかという情報などから、イオンがいつどこにいるのかを知ることができるものとなっています。微分方程式の計算には Gear method という方法が用いられています。

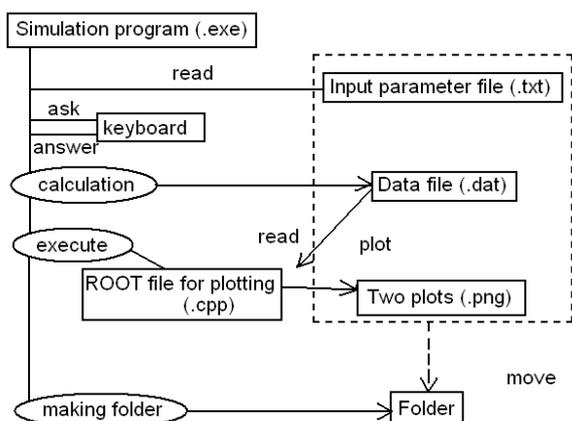


図 2：プログラムの流れ

この実験での Penning trap の役割の一つとして、いくつかの種類が混じったイオンビームから一種類の特定のイオンを選び出すことが挙げられます。この実験の目的は原子核の質量測定なので、ビーム内に質量が非常に近いイオンが混じっていたとしても正確に特定の質量のイオンだけを選び出してやる必要があります。

例として、 ^{133}Cs と ^{133}Sn という質量が近い二つのイオンについてシミュレーションを行った結果、「二極電極と四極電極をうまく組み合わせると一つのイオンを選び出す」という手順を再現することができました。以下に、このイオン分離の原理を説明します。まずは下の図3をご覧ください。

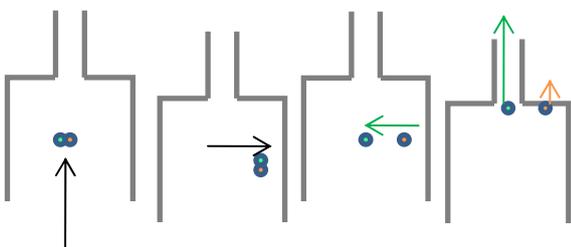


図 3：トラップでのイオン分離の概念図(左から)

1. トラップにイオンが入る。
2. すべてのイオンの回転軌道の半径を増加させる。
3. 取り出したいイオンの半径のみを減少させる。
4. 取り出し口の半径より外を回るイオンはカットできる。

これが特定のイオンを選び出す一連の手順です。

では、いかにしてこれらの手順を可能にしているのでしょうか。まず、手順 2 の回転運動の軌道半径の増加ですが、これには二極電極による電場を用います。これは子供のブランコを押してやることを想像するとわかりやすいと思います。当たり前ですが、ブランコが後ろから来て前に行くときに前に押してやることでブランコは加速されます。つまり背中を押すタイミングをブランコの周期に合わせているわけです。これと同じで、イオンの回転周期にあわせて電極を切り替えることで回転運動を大きくしてやることができます。ここで増幅するのは magnetron motion の回転で、この magnetron motion の回転周期はイオンの質量によらず一定であるため、すべてのイオンの回転半径が増加します。次に特定のイオンの半径を小さくする方法ですが、これには四極電極を用います。四極電極は magnetron motion と cyclotron motion を変換する働きがあり、こちらは電極を切り替える周波数によって、特定の質量のイオンのみに影響を及ぼします。つまり、トラップ内で大きな cyclotron motion を持ちうるのは選ばれたイオンのみということです。Cyclotron motion は非常に速い運動であるため、トラップ内のガスの空気抵抗を受け減速されます。つまり軌道半径が減少し、特定のイオンのみトラップの中心におくことができます。

シミュレーションの結果を図 4 に示します。図の縦軸は中心からの距離、横軸は時間です。Magnetron motion 半径を中心にして高速で cyclotron motion の回転をしているため、グラフは縦に幅を持っているように見えます。グラフからは見にくいですが、0ms から 0.2ms まで二極電極で半径を 0mm から 3.4 mm に増幅しています。それ以降は四極電極で ^{133}Cs (左) の magnetron motion と cyclotron motion を変換しています。100ms の時点で、 ^{133}Cs (左) はトラップ中央に、 ^{133}Sn (右) は外側に位置しています。縦軸の $r = 1.5\text{mm}$ の位置に引かれているラインはトラップのイオン取り出し口の半径です。トラップから取り出す際、外側の粒子は壁に当たってなくなるので ^{133}Cs のみを取り出すことができるというわけです。

イオンを選び出す手法にはもうひとつ方法があるのですが、ここでは割愛します。

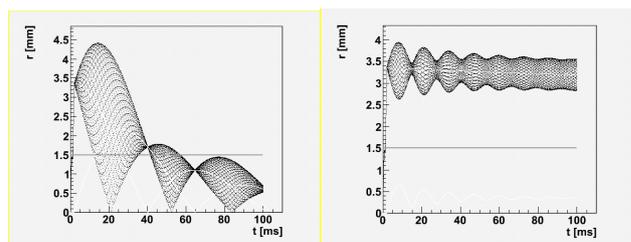


図 4：シミュレーションの結果 ^{133}Cs (左) と ^{133}Sn (右)

2.2.2 ポスター発表

ポスター発表は lecture の最終週に企画されていて、有志の Summer Student によって行われました。(これとは別にスライド発表もありました。ともに lecture の終わりにあるので、来年度の参加者で発表に挑戦したい方は参加期間の選択の際、参考にいただければと思います。)

私は今までポスター発表をしたことがないため、これは自分にとって非常によい機会であると思い、同じ部屋で研究していたデンマーク人の Christian を誘って挑戦してみることにしました。

Christian は私よりもはるかに英語が上手く、私の英文を適切なものになるように添削してくれました。逆に私は色やイラストを用いてポスターをわかりやすくすることができたので、お互いがお互いの長所を利用して、いいポスターが仕上がったと思います。発表の前々日にポスターを仕上げるために夜通しで製作に取り組み、研究室のいすで仮眠をとったことは今となってはいい思い出です。

当日には多くの人に来てくれて、質問もたくさん受けました。時々、というか、しょっちゅう返答に困り Christian に助けられました。発表の後には、初めてのポスター発表を無事にやり遂げたという大きな達成感を得ることができました(図 5)。

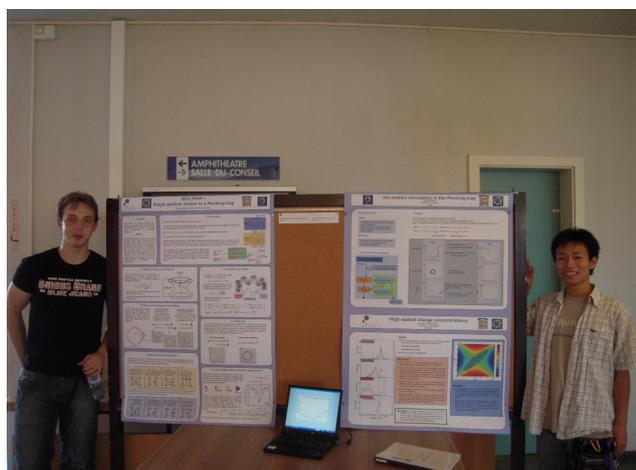


図 5 : Christian , 発表に使用したポスター , と私

2.3 Visit および Workshop

Lecture 後の 2, 3 週間には CERN 内の施設を見学できる visit や、実験を体験できる workshop がありました。これらのイベントの予約は Summer Student 全体にメールが送られた後ウェブでの登録となっていて、うっかりメールのチェックを忘れると、1 時間以内には人気の高いものはすっかり埋まってしまっているという結果になります。反応の速い人は一日何回メールを確認しているのだらうと思っていました。私は LHCb + Delphi + CAST(図 6) , SM18 + ATLAS の見学と MadGraph の workshop に参加しました。



図 6 : LHCb + Delphi + CAST の見学の様子

また、用意されているものとは別に、自身で見学ツアーを企画してしまう行動的な Summer Student もいました。

見学では、巨大な実験装置やそれを動かすための大きなクレーン、そしてそれらを収める数階建て分はあるであろう建物に囲まれ、全周約 30km という大きさ世界の加速器のスケールを実感しました。Workshop では、コンピュータを用いずに高次のファインマンダイアグラムを書こうとすると、とても大変であることを体験しながらソフトの使用方法を習いました。

3 日常生活について

3.1 Summer Student 間の交流

同じホステルに住んでいることで知り合ったり、よく図書室で出くわすことで知り合ったり、または飲み会やイベントで一緒になって...など様々な場で友人ができました。

特に同じ研究室に割り振られたデンマーク人の Christian と彼の友達 Johan をはじめデンマーク人グループとはしょっちゅう行動を共にするくらい仲良くなりました(図 7)。母国語を教えあったり、休みにはクライミングや川くだりに出かけたり、ジュネーブ湖で泳いだりもしました。



図 7 : デンマークの学生たちとの写真

滞在最後の週の Zermatt での山登りでは、ほかの人たちが帰りは電車で山を下るにもかかわらず、歩いてふもとの村まで帰るといふ無茶もしました。最終的には、「君のくだらない冗談は僕のいい英語の練習になるよ。」「日本人はみんな礼儀正しくて思いやりがあると思っていたけど、君を見ているとそうでもないみたいだな。」などといった少し辛口の冗談も言い合える仲になりました。彼らの冗談のおかげで少しは英語になれることができたかなと思っています。ひとつ心残りなのは、最後まで否定形の疑問文での返事で“Yes”と“No”を逆に答えてしまうことを直せなかったことです(日本語と英語で逆なのを知って、彼らは時々意図的にこの疑問文を私に使っていた。悔しい!)

3.2 研究所での生活

「夕方になれば仕事を切り上げて帰る」というヨーロッパ人に対する私のイメージとは裏腹に、夜遅くまで研究している人、土日も研究する人など日本とさほど変わらない研究スタイルの人も少なからずいました。ピームタイムともなれば、私の配属先の ISOLTRAP グループは土日お構いなしに 24 時間体制でシフトを組んで実験に取り組んでいました。同じ部屋の Christian とともに休日に研究室で出くわすこともあり、「今日もいるのか。クレイジーだなあ。」とお互いがお互いにびっくりしていました。

一方、Supervisor が 2 週間の長期休暇をとって旅行に出かけたり、家族を CERN に呼んで昼ごはんを一緒に食べたりと日本では見られない習慣も見ることができました。Supervisor というのは、Summer Student の指導役としてプログラムの期間中面倒を見てくれる CERN の研究者なのですが、私の Supervisor の Magdalena は陽気でおしゃべりなドイツ出身の女性でした。彼女は非常に忙しい中、定期的に私の研究を見てくれたり、ISOLTRAP グループの実験についての説明を丁寧にしてくれたりしました。また、研究グループみんなで彼女のお気に入りのレストランでの食事を企画してくれるなど、私が研究グループに溶け込めるように配慮してくれました。研究グループには Summer Student ではない学生も数人いて、コーヒーに誘ってくれたり、私が行き詰ったときに辛抱強く(時折英語が聞き取れなくて何度も聞き返してしまっただにもかかわらず)親切に教えてくれたりしました。

4 Summer School のその後

CERN で知り合った日本人学生の多くとは、その後秋の学会で再会し、近くに寄ったときには会うなど交流が続いています。日本への留学を希望している Lily には何かあったときの力になると約束をしました。また、GEANT4 をよく知る Tomas には「僕は帰国後 GEANT4 を使うかもしれ

ないので困ったときに助けてね。」とお願いしているので、そのうちお世話になるかもしれません。国内外に多くの友人ができたことは、このプログラムで得られた一番の宝物です。

5 今後、本プログラムへ望むこと

プログラムの申し込みに滞在期間選択の項目がありましたが、その際 lecture の期間の情報しかなく visit や workshop などのイベントの情報も早めに手に入れることができればと思いました。また、私には幸い、本プログラムに参加されていた先輩がいましたが、持ち物や心構えなどを前年の参加者に質問できる場を設けていただければ、より充実したプログラムになると思います。

6 おわりに

たくさんの「初めて」を経験し、充実した毎日となった本プログラムは「自分探しの旅」であったともいえます。何を知りたいのか、なぜ研究しているのか、ときに折れそうにもなりましたが、自分の「軸」がより太く、強くなったと実感しています。

CERN での研究者や世界各地の学生との交流によって得られた多くの経験は今後の研究生生活に大きな影響をもたらすと思います。帰国後、英語で話しかけることへの抵抗感がなくなり、KEK に滞る海外の学生と仲良くなりました。このように、これからも行動の可能性の幅を広げていければと思っています。

謝辞

本プログラムでお世話になった、KEK 国際企画課の岩見さん、福田さん、CERN で指導していただいた Supervisor の Magdalena、および ISOLTRAP 実験グループの皆さん、そして推薦状をはじめ申し込みの際の諸々でお世話になった山本先生、経験者としてアドバイスをくださった佐々木先輩、ともに CERN で過ごした Summer Students のみんな、不在によって迷惑をかけてしまった日本の実験グループの皆様、およびそのほか多くの方々のおかげで非常に密度の濃い、いい経験ができました。本当にありがとうございました。