

CERN Summer Student Programme 報告書

東京大学 大学院理学系研究科

石田 明

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

2008 年 (平成 20 年) 10 月 31 日

1 はじめに

素粒子物理学, とりわけ高エネルギー物理学において昨今もっとも世間を騒がせているのは, Large Hadron Collider (LHC) である¹。その世界最大規模の実験が行われる European Organization for Nuclear Research (CERN) において, 例年 “Summer Student Programme” という夏の学校が開かれ, 世界中から大勢の若者が参加している [1]。本年は 27ヶ国から総勢 143 名が一堂に会し², 議論をたくましくし交流を盛んにした。私を含め 5 名の日本人修士課程 1 年生が, 今夏これに参加した。私の場合, 6 月 30 日に日本を出立してから 8 月 31 日に帰国するまで, 延べ 9 週間もの長きにわたり大変充実した研究生活を体験した。関係者の方々には厚くお礼申し上げる次第である。このプログラムにおける私の活動を総括し, 皆様にご報告申し上げたい。図 1 に参加者の一部で撮った集合写真を掲載する [2]。



図 1: 本年プログラム参加者一部集合写真。場所はレストラン 1 の前。左から 3 番目が筆者。

¹なお, 去る 10 月 7 日に日本人物理学者 3 名 (南部氏, 小林氏, 益川氏) のノーベル物理学賞共同受賞が発表されたことは記憶に新しく, 以来世間を賑わせ, 素粒子物理学に対する注目度が増している。

²この数字は公式の Summer Students の数であり, 実際にはそれ以外の学生も大勢いた。しめて 200~300 人だろうか。

2 活動内容

Summer Student Programme における主な活動には二つあり, 一つは “Lecture Programme,” もう一つは研究室に所属しての研究活動である。

2.1 Lecture Programme

これは毎日午前中 3 時間の講義を受けるというものであった。その講義の領域は多岐にわたり, 素粒子物理学をはじめ原子核, 加速器, 宇宙, 医療, 統計, 計算機で占められる。各々の講義では各分野の著名な研究者たちがわかりやすいお話をされる。既知の内容も数多く含まれていたが, 第一に英語の講義である意義が大きかった。無論, 最前線で活躍されている研究者による講義には感銘を受けた。中でも述べておきたいことは, その講義の合間に講師や他のプログラム参加者たちとの交流があったということである。普段の生活では外国の若者と物理に関して熱心に語り合うなど到底想像もつかないことであるからありがたかった。

2.2 研究活動

CERN において私は PHysics-SoFTware (PH-SFT) グループに配属され, Geant4 [3] ソフトウェアによるシミュレーションを行った。この研究活動の結果は “Poster Session” で展示発表し, “PH-SFT Group Meeting” でプレゼンテーションを行い, 最終報告書を Summer Student Team に提出した [4]。以下では研究内容について述べる。

2.2.1 はじめに

Soft-hadronic な反応について研究した。この反応は基本法則から解を求めることができないので, シミュレーションでは現象論的な議論から物理パッケージを構

成し、それを用いている。したがってその物理パッケージによるシミュレーションを実験データと比較することは大変重要であり、そのもっとも簡単な方法は“single-interaction”を用いる方法である。“Single-interaction”とは、入射粒子が他の粒子と「ただ一度」相互作用するというものである。

本研究ではそのような実験データについて二つの異なる反応を選び、二つの違ったパッケージによるシミュレーションと比較した。

2.2.2 NA49 実験

シミュレーションとの比較には NA49 実験のデータを用いた。NA49 実験とは、CERN の Super Proton Synchrotron (SPS) 加速器における H2 ビームラインで行われた固定標的型実験である。この実験の主目的は、重イオン衝突を用いた Quark-Gluon-Plasma (QGP) の探索であり、それには鉛イオンビームが用いられている。一方で粒子生成の精密測定という別の重要な目的も持っており、こちらでは陽子ビームを用いた実験が行われた。Soft-hadronic な反応で物理パッケージと比較するには、後者のデータを用いるのが適切である。

本研究で用いたのは、陽子陽子 (p+p) 衝突、陽子炭素原子核 (p+C) 衝突である。それらの実験装置図を図 2 に示す。この実験では軌跡測定と粒子判別に、大きな Vertex Magnets (VTX1, 2) とともに Time Projection Chambers (TPC) を用いている。私は荷電パイ中間子の inclusive な生成について研究した。

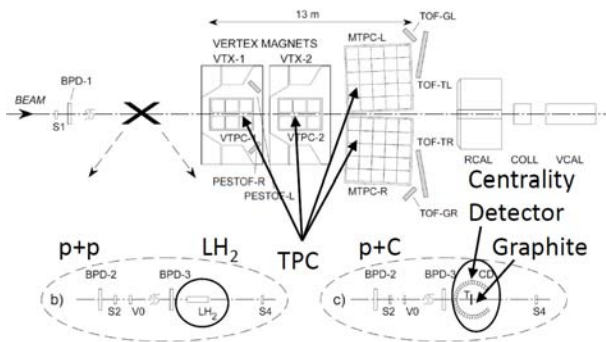


図 2: NA49 実験装置図 [5]

ビームおよび標的

ビームは CERN SPS における、運動量 $158 \text{ GeV}/c$ の陽子ビームである。

標的としては、p+p 衝突には密度 $0.070 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、長さ 20.29 cm (2.8% interaction length)、直径 3 cm の液体

水素標的が、最初の TPC (VTPC-1) より 88.4 cm 上流に設置された。また p+C 衝突には、密度 $1.83 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、長さ 0.7 cm (1.5% interaction length)、直径 0.6 cm の黒鉛標的が用いられた。例として p+C 衝突図 (Geant4 により作成) を図 3 に示す。

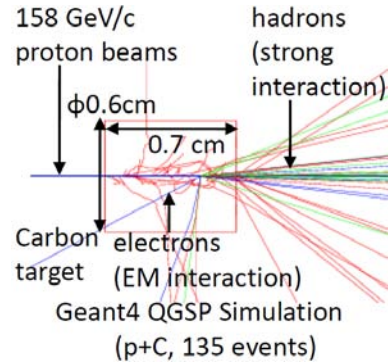


図 3: p+C 衝突図。中央の長方形が標的を表し、その他の線は粒子の軌跡を表す。この図では QGSP 物理パッケージを用いた Geant4 シミュレーションによって生成された 135 事象を示してある。濃い (青) 線は正電荷を持った粒子であり、薄い線はその他の粒子 (赤は負電荷を持った粒子、緑は中性粒子) を示す。ほぼすべての相互作用は電磁相互作用であるが (実際 135 事象のうち 134 事象まではそれのみである)、時々陽子は強い相互作用をし、その結果として多くのハドロンを生成している。

標的は十分薄いため、相互作用はそのほとんどが“single-interaction”であるとみなすことができる。

2.2.3 Geant4 によるシミュレーション

シミュレーションの構成

Geant4 シミュレーションを二つの異なる物理パッケージ (QGSP, FTFP) について行った。シミュレーションにすべての検出器などを組み込むのは難しいので、ビームと標的の幾何学のみを組み込んだ。これについては、実験データから不変微分断面を求めるとき、すでに粒子の崩壊、検出器の分解能、検出効率などについて補正がなされている [6, 7] ことから、そうした。図 3 にはすでに QGSP パッケージを用いて Geant4 で生成された累積 135 事象も示されている。

パイ中間子生成不変微分断面 (f) は、生成パイ中間子について E をエネルギー、 p を運動量、 x_F を Feynman x 、 p_T を横運動量、 p_L を重心系ビーム軸方向運動量とし、 \sqrt{s} を重心系エネルギー、 σ を反応の断面積として、

$$f(x_F, p_T) = E(x_F, p_T) \cdot \frac{d^3\sigma}{dp^3}(x_F, p_T) \left(x_F = \frac{p_L}{\sqrt{s}/2} \right)$$

で求められる。なお実際には生成パイ中間子の個数を用いて近似することになる。

シミュレーション結果の解析

解析は次の手順によりすべて ROOT [8] 上で行った。初め 4 元運動量と particle ID の情報のみを Geant4 から ROOT の TTree のデータに書き出し、その TTree から x_F と p_T を計算し、それによって事象をビン分けする。それから、それぞれのビンに入ったパイ中間子の数を、不変微分断面積に変換するという具合である。

2.2.4 結果

ここでは異なるパッケージを用いた場合における、荷電パイ中間子生成の不変微分断面積に対する比較結果を述べる。結果は、固定された x_F についての p_T 分布の形で示した。なお、NA49 実験のデータは、p+p については [6] に、p+C については [7] にある。

異なる反応，違った物理パッケージでの比較

様々な x_F について、異なる反応，違った物理パッケージでの数多くのグラフが作成できるが、ここではその例として π^+ 生成における不変微分断面積を、p+p について図 4 に、p+C について図 5 にそれぞれ示した。多くの x_F について曲線が描かれているので、全体の傾向を比較するには好都合である。低 x_F , p_T 領域ではシミュレーションはデータをよく記述しているが、高 p_T 領域ではうまく記述できていないことがわかる。また

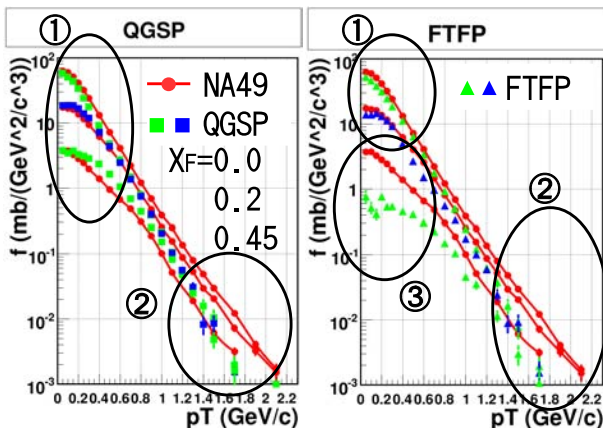


図 4: p+p 反応における π^+ 生成不変微分断面積の比較結果。左図は Geant4 において QGSP パッケージを用いたシミュレーションとの比較であり、右図は同じく FTFP パッケージを用いた場合である。両図の丸点 (赤) は NA49 実験データ、左図の四角は QGSP、右図の三角が FTFP であり、NA49 実験についてはただ見易くするために線を引いてある。QGSP, FTFP それぞれの濃淡 (青, 緑) は x_F について交互に示したまでである。両図の①を見ればわかるように、低 x_F , p_T 領域においてはそれなりの一致を示しているが、②の高 p_T 領域ではほとんど一致していない。さらに右図③に見られるように、物理パッケージによる違いも明瞭である。

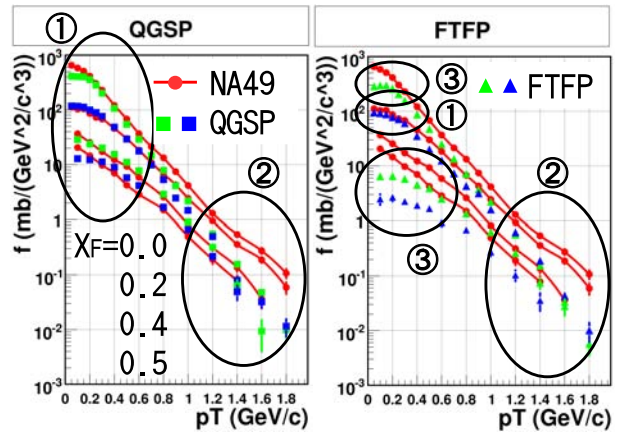


図 5: p+C 反応における π^+ 生成不変微分断面積の比較結果。印の意味は図 4 と同様。低 p_T 領域③では FTFP はまったく機能していない。

QGSP と FTFP の物理パッケージによる違いも見て取ることができ、これは二つの異なる反応において同様の傾向を示している。

2.2.5 結論

Geant4 シミュレーションと NA49 実験の比較を異なる反応，違った物理パッケージについて行った。特に不変微分断面積については、全体的傾向として両パッケージとも低 x_F , p_T 領域ではファクター 2 以内で一致するが、高 p_T 領域ではうまく働かない。またパッケージ間で比較すると、QGSP は FTFP に比べてよく実験データを記述する。本来ならば、この比較結果から物理パッケージの用いている模型について検討し、物理について考察すべきであるが、9 週間という時間の制約上そこまで研究が進まなかったのは誠に残念である。

3 生活面でのエピソード

生活面ではとにかく、毎晩、毎週末の外国人との交流がすべてである。と同時に多くの日本人研究者と日本にいたときよりもより親しく付き合った。このわずか 9 週間で新たに出会った方々は数多く、一人一人を覚えるのが少し難儀であったほどだ。

特に仲よくなったのはイタリア人、ベルギー人、クロアチア人であろうか。イタリア人とは日頃よく食事をともにしたし、また別のイタリア人、ベルギー人とは互いに故郷の料理をジュネーブで探して一緒に食べた。ベルギーでは特にビールが有名で、ベルギービールをジュネーブ市内のパブで飲んだり、ベルギーから持参したビールをご馳走になったりした。クロアチア人は毎晩の

ように宴会をやり、よく誘われてワインを一緒に飲んだ。これらが高じてか最後のパーティでビール早飲み競争をやらされたが、多国籍チーム (UN) の一員として奮闘し見事 2 位を勝ち獲ったことはよき思い出であり、チームで一緒になった人とはそれ以来連絡を取り合っている。また特にクロアチア人は日本の漫画が好きでよく質問された。彼らは日本漫画のいろいろなことに大変興味を持ち、と同時によく研究もしている。あまりにも詳しいことまで質問されるので辟易したこともあった。逆にクロアチア事情についてこちらから質問したいようなことがなく、自分の無知加減を思い知らされた。興味範囲を広くすべしとは今回生活面で学んだ最大事である。

週末は様々なところに出かけた。日本の感覚では少々放蕩気味であったかもしれない。しかし彼ら外国人はよく遊ぶ。もっともそれは彼らにとってこの時期はいわば卒業旅行にあたるわけで、かつ日中は仕事をしているのだから当然である。われわれもそれにならって出かけたまでである。ジュネーブには延べ 4 回訪れたし (あるいはもっとかもしれない。とにかくたくさんである。), パリ, ストラスブール, シャモニ (モンブラン), モントルー, ジュラ山脈へも旅した。毎回面子が変わったからおもしろかった。ストラスブールではちょうど旅にきていた別の人たち (Summer Students ではない。偶然出逢ったのだ。) と一緒に回り有意義であった。英語で交流する楽しみを存分に味わったのである。例としてジュネーブを自転車で走り回ったときの写真を図 6 に載せる。



図 6: ジュネーブは国連本部にてイタリア人らとともに。右から 2 番目が筆者。

いずれにせよ彼らは大変温かかった。一部不思議な人も見受けられたが、たいがいは相手方から近寄って来る。日本人もこうでなくてははいけない。これは強く感じたことであるが、日本人はとかく英語が下手である。文法はよくできるが会話が難しい。欧州では中学生なら英語が話せて当たり前という話まで聞いたが、見知らぬ土地にき

た外国人にとって英語で優しく話し掛けられることがいかほど幸せに感じられるかは想像に難くない。もっと積極性を持つとよろしかろう。

このように書くとは遊んでばかりであったように思われるかもしれないが、日中はしっかり研究をしていたのであるから安心していただきたい。もちろん物理に関して様々に話す機会も多かったし、彼らの熱意に驚かされたこともあった。幸運にも LHC でのおもな四つの実験装置すべてを見学する機会を得た。LHCb については私が見学を企画して電子メールでみんなに呼びかけると、わずか 10 分で 30 人を超す応募があった。みんなの興味の深さを知ったとともに、一体どのような頻度で電子メールを確認しているのか不思議でもあった。見学が終わった後みんなからお礼の言葉を承ったので少し得意に思った。ATLAS で撮った写真を図 7 に掲載する。



図 7: ATLAS にて。右に少し写っているのは京大の家城君。

4 今後の抱負

この体験で得たことはいずれも得難いものばかりで、それらを今後活かすことは当然実行したい。具体的にはまず日頃の研究を一生懸命にやりたい。これでは何の変わりもないように見えるが、動機がまったく異なる。今まではただ漫然と研究していたのであるが、CERN で最高エネルギー、最先端の巨大測定器を見て、そこで多くの同年代学生と交流する中で自分の研究分野のおもしろさを再認識し、異なる角度から見るができるようになった。彼らの熱意にも大いに刺激を受け、気持ちを新たにした。だから現在はそれまでにはなかった取り組み方で研究をしているので、これは今後も続けたい。

また今回出会った人たちと交流を続け、将来彼らのよき協力者、好敵手となるよう努めたい。物理は無論ながら、英語をさらに上達させ、より深い議論をしていきたい。フランス語も最近勉強しはじめた。

そして忘れてはいけないのは日本人同士の交流である。CERN にいたときにもかなり話したが、その後日本物理学会秋季大会で再会し、さらに親睦を深めている。無論これも続けていきたい。

5 今後この Summer Student Programme へ望むこと

私は最終的にハードウェアを希望して申し込んだが、実際に配属されたのはソフトウェアの研究室であった。CERN で行われる Summer Student 配属先決定手続きでは、supervisor が学生を選ぶため supervisor の希望がかなり重視され、それに比べて学生の希望が重視されにくい仕組みになっており、それが原因である。今後はもう少し学生の希望を重視していただけるとありがたい。

また、直前に期間が 1 週間短縮されたようなことは今後なくなって欲しい。このプログラムを維持するのに大勢の方が大変ご尽力なさっていると伺った。日本では参加中断の声さえ囁かれているとの噂を耳にしたが、仮にそのようなことになったら残念であること甚だしい。なぜこのように素晴らしいプログラムであるにもかかわらず、維持が困難であるのか理解に苦しむが、日本全体で支えていく機運が高まれば幸いの極みである。

謝辞

本プログラムにあたっては KEK の近藤敬比古先生、徳宿克夫先生をはじめ、事務手続きなどでご助力いただいた KEK 国際企画課の岩見さん、CERN 駐在の河西さんに大変お世話になりました。また CERN においては supervisor の Gunter Folger 氏、Ingrid Schmid さんをはじめとする Summer Student Team の皆様のご尽力をいただきました。さらに浅井祥仁先生には本プログラムへの参加を勧めていただき、私を推薦していただいただけでなく、CERN においても物理、生活両面において多大なる支援をしていただきました。最後に内藤参議院議員、早野先生、東京大学素粒子物理国際研究センターの難波先生ほか皆様、Summer Students のみんな、日本からの参加者である柳田さん、家城君、白石君、渡邊君、その他大勢の方々から温かいご助力を賜りました。誠にありがとうございます。心より厚くお礼申し上げます。

参考文献

- [1] <https://hr-recruit.web.cern.ch/hr-recruit/summies/default.asp> が公式ホームページ。
- [2] なお、全体集合写真は以下にある。
<http://cdsweb.cern.ch/record/1119473>
- [3] <http://geant4.web.cern.ch/>
- [4] <http://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/~ishida/sstudents/> に資料を掲載している。
- [5] S. Afanasiev *et al.*, Nucl. Instrum. Meth. **A430**, 210 (1999).
- [6] C. Alt *et al.*, Eur. Phys. J. **C45**, 343 (2006).
- [7] C. Alt *et al.*, arXiv:hep-ex/0606028 (2006).
- [8] <http://root.cern.ch/>