

# Summer Student Report

京都大学理学研究科宇宙物理学教室

澤田 涼

ryo@kusastro.kyoto-u.ac.jp

2015年11月15日

## 1 はじめに

私は、6月29日から9月4日までの10週間、Summer StudentとしてCERNで活動しました。

CERN Summer Student Programでは、毎年欧州原子核研究機構(CERN)に物理学、情報科学などを学ぶ世界各国の学生約300人が、CERNでの共同研究に参加することになります。参加学生はそれぞれ一対一で割り当てられたsupervisorのもとで各自研究を行いながら、7月から約1ヵ月素粒子物理学に関連した講義に参加しました。

私は、ATLAS実験のW boson event解析グループに配属されました。

私の場合、学部時代に素粒子物理学にあまりなじみがなく、不慣れな分野でしたがsupervisorが初歩の部分から丁寧に指導してくださったために、十分な結果も得られとても貴重な経験になりました。

## 2 活動内容1: Lecture Program

Summer Student Programでは7月はじめから8月中旬まで素粒子物理学に関連した講義が開講されていました。授業は、標準理論、検出器物理学といったオーソドックスなものから、物理の最先端を見せてくれるもの、CERNでの自身の研究に直接役立つモンテカルロ法、ROOT入門といった実用的なものまでありました。

どれも刺激的で面白い講義ではありましたが、もちろんすべて英語で行われるため、アドバンスなテーマを扱った講義(String theory, Beyond Standard Modelなど)は話についていくだけで精いっぱいでした。率直に自分の英語力不足を感じたと共に、もっと英語力だけでなく自分の実力を鍛えて改めてこの話を聞ければもっと面白いのだろうと、後悔半分、次への意欲にもなりました。物理学のトップランナーによる講義を受けさせていただいたこの機会により一層自分の中で物理の魅力が増した瞬間でもありました。

## 3 活動内容2: My research

### 3.1 Introduction

今日の高エネルギー物理実験の主な目標は次の二つ。

- 基本相互作用を記述するStandard Model (SM)の精査
- SMで説明できない部分を解決する新粒子の探索  
新粒子がどのようなプロセスから発見されるかは分からないが、leptonsとjetsの混合物はLHC実験で粒子の生成・崩壊の過程に必ず含まれる。ゲージボゾンやクォーク、グルーオンの終状態にSM processesからleptonsやjetsが生成される。具体的には、例えばWボゾンの終状態として、charged leptonやmissing energyやjetsが現れることは現在の物理から知られている。そしてゲージボゾンやjetsの終状態は新物理のバックグラウンドとして大切なだけでなく、top quarkやHiggs bosonのようなSM粒子の精査にも重要な役割を担う。ゆえに、W/Z+jets eventの研究は今日の高エネルギー物理の研究の主目的において必要とされている。

今回の研究では、以下のステップでW崩壊からのミューオン+multi jets eventsの解析を行った。

- multi jetsの数で0, 1, 2 jetsにセレクションをかけたうえで、データとMC simulationによる $W^+, b\bar{b} + c\bar{c}$ のそれぞれからのミューオンを比較。(物理量としては、Missing  $E_T$ , Leading Jet  $p_T$ を使用)
- シグナルとバックグラウンドのMonte Carlo Simulationを、規格化係数をパラメーターとして実験データ(84.6 pb<sup>-1</sup>)にフィットさせたtemplate fitを作成。そしてMulti-Jet (MJ) background eventsの量を見積る

### 3.2 Event Selection

Eventの制限は以下のようにかけている。

- W Event Selection  
 $W \rightarrow \mu\nu$ :  $p_{T,\mu} > 25 \text{ GeV}$ ,  $|\eta_\mu| < 2.4$ ,  $p_{T,\nu} > 25 \text{ GeV}$ ,  
 $m_T > 50 \text{ GeV}$

- Jet Selection

$$p_{Tjet} > 30 \text{ GeV}, |\eta_{jet}| < 2.5, JVT > 0.64^*$$

(\* for  $p_{Tjet} < 50 \text{ GeV}$ )

### 3.3 My Work 1 : Kinetic Comparison of Data, $W^+$ and $b\bar{b} + c\bar{c}$ in 0,1,2 jets selections

まず 0,1,2 jets でセレクションしたデータ,  $W^+$ ,  $b\bar{b} + c\bar{c}$  のプロットについて比較することで, その形状・量からそれぞれの性質を考察した。データは 2015 年 8 月に取られた  $84.6 \text{ pb}^{-1}$  に対応するものを利用した。ここでは特に物理量 Missing  $E_T$  についてのデータ,  $W^+$  のプロットを載せ, 考察を述べる。

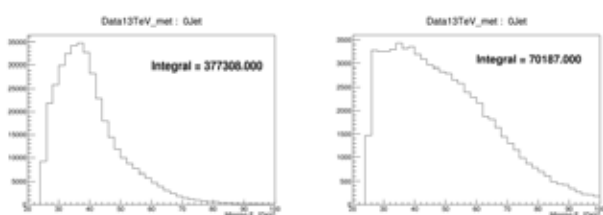


Fig 1(a): Data in 0jets.

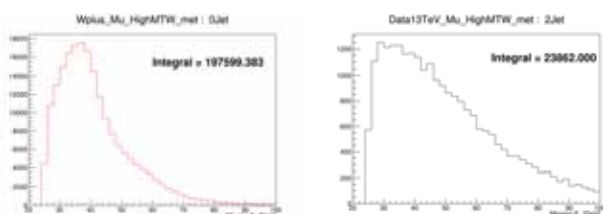
Fig 1(b):  $W^+$  in 0jets.

Fig 1(c): Data in 1jet.

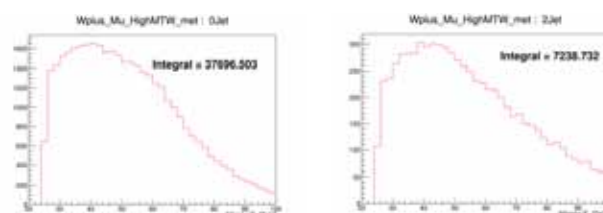
Fig 1(d):  $W^+$  in 1jet.

Fig 1(e): data in 2jets.

Fig 1(f):  $W^+$  in 2jets.

**Fig. 1:** Data(左) および  $W^+$  (右) 事象の missing  $E_T$ . 1 段目は 0jet, 2 段目は 1jet, 3 段目は 2jets selection の事象。

#### Compare Data & $W^+$ on Missing $E_T$ :

Fig. 1 からわかるように, 同じ jets selection において, データと  $W^+$  プロットの分布は同じ形状をしているため, MC simulation がデータの再現に成功していると言える。0jet plots に比べて, 1jet, 2jets はデータも  $W^+$  も共に少し広がった形状をしている。ミューオン+multi jets では N-body 系になり運動量スペクトルが広がるためである。またもう一つの理由として, 高い  $p_T$  での hadronic activity が missing  $E_T$  の再現性を悪くしている。

#### Compare Data & $W^+$ on Leading Jet $p_T$ :

1jet selection において, その形状はともなめらかであるが, 2 jets selection で明らかな不連続な部分が  $30 - 50 \text{ [GeV]}$  付近に存在する (Fig. 2)。この理由は Jet selection での条件式  $JVT > 0.64$  が  $30 < p_T < 50 \text{ [GeV]}$  の範囲を対象としたものであり, この前後での接続に不備があるとみられる。

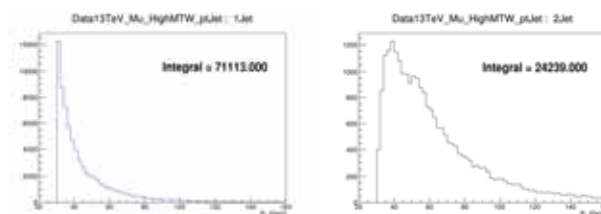


Fig 2(a): Data in 1jet.

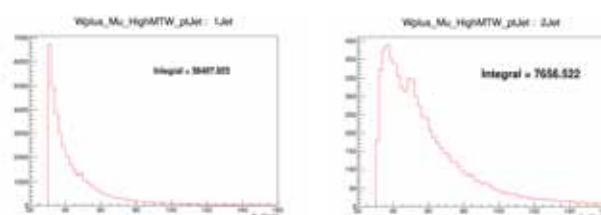
Fig 2(b):  $W^+$  in 1jet.

Fig 2(c): Data in 2jets.

Fig 2(d):  $W^+$  in 2jets.

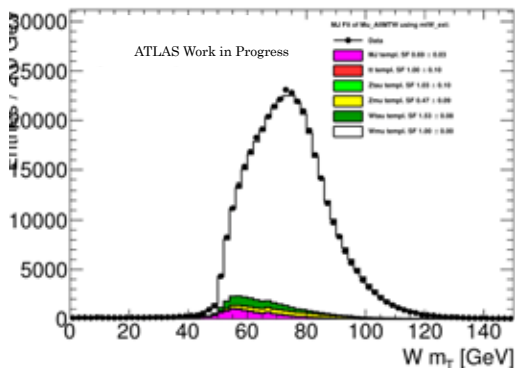
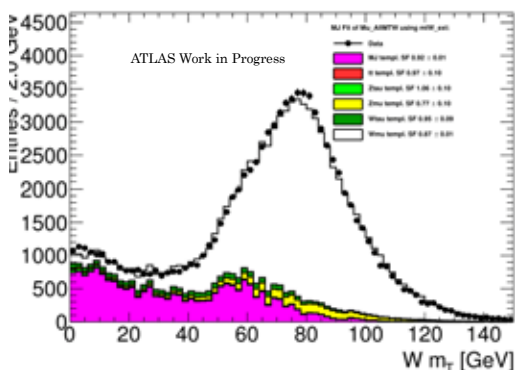
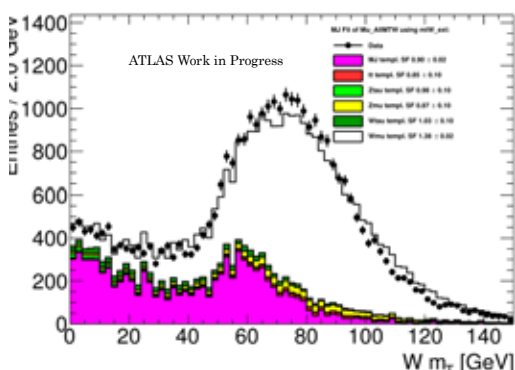
**Fig 2 :** Data (左) と  $W^+$  (右) からの Leading Jet  $p_T$ . 1 段目は 0jet, 2 段目は 1jet, 3 段目は 2jets selection の事象。

### 3.4 Template fits in 0, 1, 2 jets

次に, 8 月に取られた Data ( $84.6 \text{ pb}^{-1}$ ) での template fit とその考察を述べる。ここでは,  $W m_T$  の fit のみ取り上げる (Fig.3)。0 jet での multi-jet の Scale Factor は 0.69 であった。しかし, 1jet では低エネルギーへのテイルは少し大きくなり, 2jet ではかなり大きくなる。また 2jet では multi-jet に多数のスパイクが見られることから, 統計的に十分量でないことがわかる。

## 4 生活面でのエピソード

私は, CERN が提供する施設内のホテルに日本から来た芦田君と同室で 2 か月暮らしました。このホテルはレストランやオフィスにとっても近く, またシャワートイレ付のツインルームで環境に困ることは一つありませんでした。キッチンがホテルで共用のため, 夕食時には各国のサマースチューデントが集まってきました。そのためか, お互いの郷土料理おすそ分けしてもらうことも多く, 私もお返しとして日本食をふるまったりと, 料理を通じて国際交流をしました。

Fig 3(a):  $W m_T$  in 0 jetFig 3(b):  $W m_T$  in 0 jetFig 3(c):  $W m_T$  in 0 jet

**Fig 3** : between 0-150 [GeV] での  $m_{T,W} > 50$  [GeV] cut を行う前の  $W m_T$  Template fits. 横軸は  $m_T$ . 上から順に, 0 jet, 1 jet, 2 jets selection の事象。

## 5 今後の抱負

今回の Summer Student Program を通じて二つ、自分の中でこれから明確に得られたものがあります。

ひとつ目に、語学力の重要性を感じました。実際に CERN という場所で講義や研究を通じて最先端の物理の一端を目の当たりにし、日本という国に閉じず海外に目を向けるとこれほどに様々な研究がなされているのかと驚きました。そして、自分の知っていたつもりの物理について議論を交わしたことで、国が違うだけで物理を全然違う目線から勉強しているひとの存在を知り、同時に自分の見てきた世界

を伝え、驚きを伝えられたことはとても刺激的でした。もちろんスイスの街を散策する中や、日常生活での友人との交流の中でも、コミュニケーションツールとして英語が大切であることは感じました。海外にいて英語の必要性を感じたというのはとても当たり前の感想かもしれませんが、自分の好きな物理が英語を通じてよりたくさんの人から学べるという事実は、私に英語の重要性を改めて実感させてくれました。

そしてふたつ目は物理に対するより一層の興味と好奇心です。例えば日本でニュートリノの話を書くとき、いの一に耳にするのは「スーパーカミオカンデ」の名前です。しかし、他国から来た Summer Student と会話した際に「アイスクューブ」のことを嬉々と語ってくれました。浅はかな感想ではありますが、世界ではまだまだ自分の知らない分野や知らないアプローチで研究されている方がたくさんいて、自分の視野をもっと広げてもっと食欲に学びたいと思いました。そして、物理の研究は国境を越えて行われて当然とは思いますが、自分の見てきた、学んできた世界から研究できたことを、異なる背景のサイエンティストに胸を張って伝えられるようになりたいと思いました。

## 6 今後このサマースチューデントプログラムへ望むこと

同文字通り世界中から集められた、同世代の若手同士での交流は Summer Student Program の一番の魅力だと思います。ここまで述べてきたとおり、CERN の Summer Student Program は、異なる背景で学んできた者同士が物理を通じて交流できる絶好の機会でした。今回私は、日本から参加した五人の中でも唯一、素粒子物理になじみのない分野から参加させていただきました。学部生時代に所属していた研究室の指導教員から偶然にもこの話を耳にして、自分の大学院からは少し場違いにも感じながら応募したところ、推薦いただいた次第です。

だからこそ感じたのは、素粒子物理・高エネルギー物理に関わるより広くたくさんの若手に、このプログラムの存在を告知してほしいという思いです。勿論日本からの推薦の上で参加させていただくので、もちろん全くの別分野からまでとは言いませんし、厳正な審査がなされてしかるべきだと思いますが、このプログラムを知り応募するきっかけはもっともっと広く知られてほしいと感じました。素粒子物理・高エネルギー物理に関わりながらも、応募の段階で想定されていない若手がおそらく日本にはたくさんいると感じます。今回私は、少し異なる分野の人間でありながら、この話を耳にし推薦いただき、この経験は本当に貴重なものとなりました。ほんとうにありがとうございました。