

CERN Summer Student Programme 2014 参加報告

東京大学大学院 理学系研究科

加納 勇也

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

2014年(平成26年)9月26日

1 はじめに

私はこの夏の6月23日から8月29日までの10週間、CERN Summer Student Programmeに参加しました。このプログラムは、スイスはジュネーブ近郊に位置するCERN(欧州原子核研究機構)において毎夏行われているもので、世界中から物理学・工学・情報工学などを専攻する200名以上の学生が集まり、2ヶ月以上にわたってCERNでの研究に携わります。私は日本からこのプログラムに参加する学生五人のうちの一として参加し、6週間にわたって開講される講義に参加し、CERNの研究者の指導の下で研究を行いました。

2 活動内容

2.1 $\sqrt{s}=13$ TeVにおける0-leptonモードでの超対称性粒子の探索感度の推定

ボーズ粒子とフェルミ粒子とを交換する基本的な対称性を超対称性と呼び、超対称性の存在は繰り込み理論における階層性問題の解決策になると考えられています。超対称性粒子は現時点で観測されておらず、LHCのATLAS実験では超対称性粒子の探索が続けられています。超対称性粒子の崩壊モードのうち、崩壊生成物に電子と μ 粒子を含まない崩壊モードは0-leptonモードと呼ばれ、このモードではsquarkとgluinoがlightest supersymmetric particle (LSP) $\tilde{\chi}_1^0$ と2~6本のhadron jetに崩壊しますが、 $\tilde{\chi}_1^0$ は測定器に信号を残さないため、大きなmissing transverse energy (E_T^{miss})が生じることが予想されます。

LHCでは2015年に重心系衝突エネルギーを $\sqrt{s}=13$ TeVに向上することが計画されています。私はATLASグループに所属し、MCシミュレーションを用いて重心系エネルギー $\sqrt{s}=13$ TeVにおける0-leptonモードでの超対称性粒子の探索感度を推定する解析を行いました。 $\tilde{g}\tilde{g}$ ペアが生成されて $\tilde{g}\rightarrow q\tilde{q}\tilde{\chi}_1^0$ によって直接崩壊

するシンプルなモデルのMCシミュレーションデータをもとに、現在ATLASで解析に用いられている m_{eff} と $E_T^{\text{miss}}/m_{\text{eff}}$ の二つの運動学的変数のほかに、 α_T とRazor変数についてそれぞれの変数の相関を調べ、積分ルミノシティ $\int \mathcal{L} dt = 3 \text{ fb}^{-1}$ におけるexclusion limitを推定しました。

2.1.1 Razor変数

Razor変数は事象選別に用いられる運動学的変数で、主にQCD背景事象の排除に用いられます。Razor変数は以下のように定義されます:

$$M_R = 2\sqrt{\frac{(q_{10}q_{2z} - q_{20}q_{1z})^2}{(q_{1z} - q_{2z})^2 - (q_{10} - q_{20})^2}} \quad (1)$$

$$M_T^R = \sqrt{\frac{1}{2}|\vec{E}_T^{\text{miss}}|(|\vec{q}_{1T}| + |\vec{q}_{2T}|) - \frac{1}{2}\vec{E}_T^{\text{miss}} \cdot (\vec{q}_{1T} + \vec{q}_{2T})} \quad (2)$$

$$R = \frac{M_T^R}{M_R} \quad (3)$$

ここで q_1 と q_2 は二つのmegajetの4元運動量を表します。megajetは各イベントごとに定義され、イベントの終状態に存在する全てのhadron jetを同等のエネルギースケールを持つ二つのグループに分けたときに、それぞれのグループに含まれるhadron jetのベクトル和として求められます。この解析では $(q_1)^2 + (q_2)^2$ が最小となるようにmegajetを定めました。

図1に M_R と R の相関が示されています。 M_R と R は負の相関を持ち、双曲線のような分布を持つことがわかります。

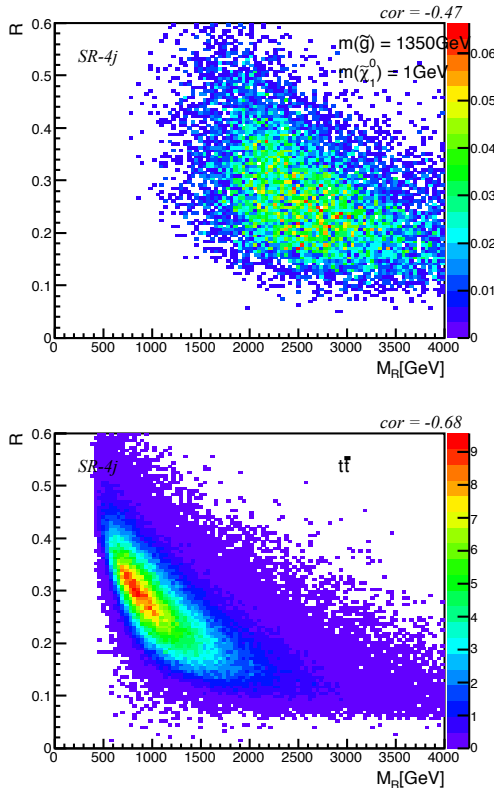


図 1: razor 変数の相関分布。上図は $m(\tilde{g}) = 1350 \text{ GeV}$, $m(\tilde{\chi}_1^0) = 1 \text{ GeV}$ のモデルのシグナルの分布, 下図は irreducible background である $t\bar{t}$ の分布。 $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ MC, $\int \mathcal{L} dt = 3 \text{ fb}^{-1}$ 。

2.1.2 Exclusion limit

m_{eff} と $E_{\text{T}}^{\text{miss}}/m_{\text{eff}}$, razor 変数の二つに対して 13 TeV $\int \mathcal{L} dt = 3 \text{ fb}^{-1}$ での信号領域をそれぞれ定義し, それらの信号領域の下で各シグナル点 $(m(\tilde{g}), m(\tilde{\chi}_1^0))$ に対して signal significance を計算し, 3σ の等高線を求めたものが図 2 に示されています。Signal significance z は $z = N_{\text{sig}}/\sqrt{N_{\text{bkg}} + \sigma_{\text{stat}}^2 + \sigma_{\text{sys}}^2}$ と計算しました (N_{sig} はシグナルのイベント数, N_{bkg} はバックグラウンドのイベント数)。

ここで m_{eff} と $E_{\text{T}}^{\text{miss}}/m_{\text{eff}}$ に関しては $m_{\text{eff}}(\text{incl.}) > a$ かつ $E_{\text{T}}^{\text{miss}}/m_{\text{eff}} > b$ という事象選別を考え, シグナル点のうちいくつかの代表的な点に対して signal significance を最大にする a, b の組みを求めることによって, 信号領域を定めました。razor 変数に関しても同様に $a < (M_{\text{R}} - b) * (R - 0.1)$ という事象選別を考え, シグナルの代表点に対して signal significance を最大にする a, b の組みを求めることによって信号領域を定めました。

図 2 から, この解析によって定めた信号領域の下では, razor 変数による exclusion limit は m_{eff} と $E_{\text{T}}^{\text{miss}}/m_{\text{eff}}$ による exclusion limit の中に内包されることがわかります。また, この図から 13 TeV $\int \mathcal{L} dt = 3 \text{ fb}^{-1}$ における

解析では, LSP 質量 $m(\tilde{\chi}_1^0)$ が小さいときには exclusion limit が gluino 質量 $m(\tilde{g}) \sim 1600 \text{ GeV}$ に達することが推察されます。これは, 8 TeV $\int \mathcal{L} dt = 20 \text{ fb}^{-1}$ における実験結果によって求められた exclusion limit[1] を超えていると考えられます。

同様に 13 TeV $\int \mathcal{L} dt = 20 \text{ fb}^{-1}$ のときの信号領域を定義し, $\int \mathcal{L} dt = 20 \text{ fb}^{-1}$ における 3σ 等高線を推定する計算を行いました。MC シミュレーションデータを $\int \mathcal{L} dt = 20 \text{ fb}^{-1}$ にスケールし, このデータをもとに同様に m_{eff} と $E_{\text{T}}^{\text{miss}}/m_{\text{eff}}$ を用いた信号領域を定めました。この解析から, $\int \mathcal{L} dt = 20 \text{ fb}^{-1}$ では LSP 質量が小さいときには exclusion limit が gluino 質量 $m(\tilde{g}) \sim 2 \text{ TeV}$ まで伸びることが推定されました。

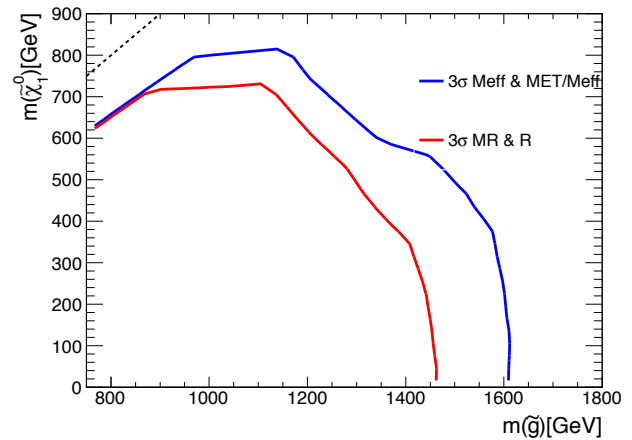


図 2: m_{eff} & $E_{\text{T}}^{\text{miss}}/m_{\text{eff}}$ (青, 外側) および razor 変数 (赤, 内側) による 3σ 等高線。 $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ MC, $\int \mathcal{L} dt = 3 \text{ fb}^{-1}$ 。

2.2 講義, 施設見学

講義は 6 週間にかけて午前中に開講されました。加速器, 原子核物理, 標準理論を超えた物理など講義のテーマは多岐にわたり, 研究者の方々が数回に分けて各テーマについて説明して下さいました。学生の中には学部生も多く, また物理学が専門ではない学生もいたので, 講義の内容は簡潔かつわかりやすく準備されていて, 大いに勉強になりました。また, CMS 検出器と ATLAS 検出器を見学する機会があり, 装置の大きさや複雑さには目を見張るものがありました。

プログラムの最終日には 0-lepton meeting のビデオ会議にて研究結果を発表する機会があり, 参加者から多くの意見を頂くなど貴重な経験となりました。



図 3: Main auditorium での講義の様子

3 CERNでの生活

CERN での滞在はとても有意義なものでした。世界中の様々な国の学生や研究者の方々と話す機会に恵まれ、彼らの行なっている研究や彼らの文化について学ぶことができました。トルコ人の友人によくトルコ茶を入れてもらって夜遅くまで雑談をして過ごしたのは良い思い出です。プログラムの参加者には情報工学が専門の学生も多く、彼らの研究内容を聞くのはとても刺激的でした。Jack Steinberger 先生にお話を伺う機会もあり、物理や政治に関して興味深い話を聞くことができました。

また、ヨーロッパでの生活は楽しいものでした。滞在中のホステルのすぐ隣は大きな牧場で牛やうさぎがたくさん暮らしており、また周囲は見渡す限り山や畑で囲まれているなどとても自然豊かで、研究生活に集中できる環境でした。現地の人に英語が通じず会話ができなかったり、スーパーには見知らぬ食材が並んでいたり、物価が高かったりと初めは生活に苦労したものの、慣れてみると過ごしやすく、また毎日発見があって新鮮でした。

4 今後の抱負と今後このプログラムに望むこと

CERN での研究に参加することは私にとって長年の夢でしたが、今回その夢を叶えることができました。CERN では英語以外にも様々な言語が聞こえ、いろんな国籍の研究者が協力して活動しており、国際色豊かな環境でした。CERN に2ヶ月間滞在して、素粒子物理学を研究していく上では国際性が重要だと改めて感じさせられました。今後も機会があれば積極的に海外に行き、英語で交流する術を身につけ、海外で活躍できる研究者を目指したいと思います。

また、2ヶ月間という短い期間でひとつの研究を完結させることができたのは良い経験になりました。同時に、研究する上での自分の未熟さも実感させられました。今回の経験を糧に、今後も勉学と研究活動に一層励みたい

と思います。

多くのことを学ぶことができ、本プログラムは私にとって満足の行くものでした。今後このプログラムに望むこととしては、強いて挙げるとすれば各学生が志望した研究分野につけるようにすることでしょうか。私自身は自分の望んでいたテーマを研究することができ、また指導教官の先生方には細かく指導していただくことができましたが、参加した海外の学生の中には自分の与えられたテーマや、指導教官による待遇に不満を持っている学生も少なからずいたように思いました。

5 謝辞

このプログラムに参加するにあたって、多くの方のお世話になりました。指導教官として丁寧に研究の指導をしてくださった CERN の Brian Petersen 先生と中浜優先生、ご尽力いただいた KEK 国際企画課の皆様、サポートしていただいた Summer Student Team の皆様、推薦していただき送り出してくださった東大の駒宮先生、同僚で多くの助言をくれた Andreas 君、そして日本から一緒に参加した梶原さん、住田君、竹馬君、潘君、そのほか多くの方に支えて頂きました。皆様に心より御礼申し上げます。

参考文献

- [1] ATLAS Collaboration, *Search for squarks and gluinos with the ATLAS detector in final states with jets and missing transverse momentum using $\sqrt{s} = 8$ TeV proton-proton collision data*, JHEP **09** (2014) 176, <http://arxiv.org/abs/1405.7875> [hep-ex].