LHC ATLAS実験Run 3の状況と 最新物理結果 (CMSを含む)

廣瀬茂輝(筑波大)

2023年12月18日 2023年度第2回TCHoU構成員会議·成果報告&交流会





- 飛跡検出器、カロリメーター、ミューオン検出器から構成される
- 重い粒子の崩壊から出る高運動量粒子を捉える

未知の素粒子やトップクォーク、ヒッグス粒子など

■ ATLAS実験の状況



- ・昨年よりLHC Run 3運転が開始
 - これまでに約60 fb⁻¹のデータを取得(Run 2の約4割)
 - Run 2データを使った詳細な解析 → Run 3データの解析へ徐々に移行



• 主要な生成過程や崩壊過程を一通り観測した

- インクルーシブな断面積測定から、フェーズスペースを絞った測定、 微分断面積測定へ **4/**₂₁







- 高運動量な領域は新物理の寄与に感度が高い
- 実験的には、
 - バックグラウンドが少ない ightarrow バックグラウンドは増えがちだが崩壊 - 生成断面積が小さい ightarrow 分岐比が大きい $H \rightarrow bb, \tau \tau$ 崩壊が有利!
- *bb/ττ*が重なり合う→ boosted *bb/ττ*再構成手法

- 深層学習でbやτの特徴を絞り出す











- 専用のττ再構成アルゴリズム → BDTでQCDジェットと分離
- ニューラルネットワークで信号を分類

 $\sigma(p_{\rm T}$ > 350 GeV) = 1.96 ^{+0.86}_{-0.69} fb (3.5 σ)

→35%の精度

New at EPS-HEP

通常の再構成手法での結果 <u>CMS, Eur. Phys. J. C 83 (2023) 562</u>
 - σ(p_T > 300 GeV) = 16.5 ^{+6.5}_{-6.4} fb (約38%の精度)



ATLASでは通常手法での解析のみを行っている ATLAS, JHEP 08 (2022) 175



- *p*_T > 300 GeVの領域で39%の精度で測定
 ATLASでもboosted *ττ*再構成アルゴリズムを 開発した
 片方のτがレプトンに崩壊した場合のアルゴ
 - リズムも開発中

<u>Boosted $H \rightarrow \tau \tau \rho J - \epsilon$ 使った解析は</u> Run 3の重要トピック 廣瀬



■ ヒッグス対生成探索@Run 2

ヒッグス自己相互作用定数↓を測定できる過程



LHCの大統計でヒッグス対生成観測に挑戦

 $\blacksquare HH \rightarrow bbbb (\neg - \land hbbb) > bbbb$

10/21



新しい解析技術で新しい解析領域を切り拓いた結果

11/21

ATLAS-CONF-2023-071

$HH \rightarrow bb\tau\tau$ **Satisfies**



- 信号統計とバックグランド量のバランスが良いチャンネル
- 2つの生成過程を狙った解析
 - ggF: 信号統計を稼ぐ
 - VBF: HHVV結合定数に感度が高い
- τレプトンの崩壊チャンネルに応じた解析を行う

{ggF解析} *σ/σ*{SM} < 5.8 obs. (< 3.2 exp.) _{VBF}解析 *σ/σ*SM < 91 obs. (< 71 exp.)

Higgs2023での新結果

12/21

ATLAS, arXiv:2310.12301





- もっとも背景事象が少ないチャンネル
 - H→γγの分解能の良さの恩恵
 - 崩壊分岐比は非常に小さい(わずか0.1%!)
- BDTで信号の純度を上げる → m_{γγ}分布で信号を抽出

 $\sigma/\sigma_{\rm SM}$ < 4.0 obs. (< 5.0 exp.)

■ ヒッグス対生成探索@Run 2



13/21

• 2015+16と比べ、統計量は3.9倍に

- σ/σ_{SM} < 10 から < 2.9に (期待値、ATLAS) → 統計量増以上の改善!</p>

• Run 3でいよいよSMと同程度の精度での測定が可能に! $\sigma/\sigma_{SM} = 1 \pm 1$ のような感じ...?

■ パラメータ*λ*への制限



• 両実験ともに同程度の制限を設定している



Run 3 and beyond



- 昨年7月からLHC Run 3が開始~260 fb⁻¹
 - 重心系エネルギー13.6 TeV (Run 2は13 TeV)
 - ピークルミノシティ < 2 × 10³⁴ cm⁻²s⁻¹ → レベリングで積分lumi.を稼ぐ
- 2029~: High Luminosity-LHC 3000-4000 fb⁻¹
 - 重心系エネルギー<u>14 TeV</u>
 - ピークルミノシティ 7.5 × 10³⁴ cm⁻²s⁻¹

まだLHC全期間の5%程度しかデータを取っていない

Run 3Øfirst resutls





Integrated 40 Delivered: 70 fb Recorded: 66 fb otal Recording efficiency: 93.7%

- LHCのinner triplet破損事故が発生
 - 7/17の電圧変動でクエンチした際、 ヘリウムが断熱真空に漏えい
 - Qマグネット間をつなぐベローズ部に 2mmの破断を発見、修理
 - 温度サイクルに4週間、原因特定・修理 に2週間 → 9月中旬まで運転停止





詳細はCERN News 11 Aug 2023

来年は今年(当初予定)+約1.5ヶ月分の陽子陽子衝突ラン を予定

■ 最近の運転の状況

- ATLAS 側の運転は順調だった
 - Run 3用にアップグレードしたトリガーを 本格的に使用開始



(85 fb⁻¹ for 2023)

vs = 13.6 TeV

Jan'23

Jul '23 Month in Year

G11-CR Support

Quadrupole Cold Mass

80

50

Jan'22

ATLAS

Online Luminosity LHC Delivered

ATLAS Recorded

Jul'22

Cryostat Vacuum Vessel

■ HL-LHCへ: ATLASアップグレード

• Run 3後のシャットダウン期間(2026-2028)に行う



ミューオン検出器

- バレル部の「穴」を埋めるように新しい RPCを配置 → アクセプタンス(|η| <
 2.7)を75% → 95%に改善
- ミューオントリガー回路を刷新
 - 筑波大学はITkの量産、建設に
 大きな貢献

High Granularity Timing Detector

19/21

- エンドキャップ部に時間分解能を 持ったシリコン検出器(LGAD)を 導入
- 飛跡のタイミングを*σ_t*~30 psで 捕え、前方飛跡の衝突点同定 精度を上げる

<u>シリコン検出器(ITk)</u> シリコン+ガスだったのを、総シ リコン製のものに置換

 |η| < 2.5から|η| < 4.0までアク セプタンスを拡大 → 前方ジェッ トに飛跡を付随させ、vertexの 特定を可能に

■ ITk製作の状況



- ITk Strip: 日本グループはセンサー量産を担当
 - 約22,000枚を生産(日本は6,350枚を担当)
 - 2021年より順調に量産が進み、約80%が完了
- ITk Pixel: 日本グループはセンサー~モジュール量産を担当
 - 約2,800モジュールを2025年までに製作予定
 →その準備のための試験量産が本格的に進行中(今年6月~)
 詳細は<u>生出,日本物理学会2023年年次大会</u>
 - センサーやフリップチップの試験量産は昨年度完了→量産に移行中
 - CERNにおけるモジュール据え付け、システムテストの準備も開始



- LHC実験では、これまでに~10⁷ヒッグス粒子に相当する データを得た
 - Run 2において、主要な生成・崩壊過程をすべて観測
 - ヒッグスへの理解が飛躍的に進展、「ヒッグス精密測定」時代に
- 今後もLHCのデータはどんどん増えていく
 - Run 3終わり: 2600万ヒッグス粒子、稀崩壊の観測
 - 現在、Run 2+Run 3前半のデータをつかった解析が立ち上がりつつある

21/₂₁

- HL-LHC終わり:約3億ヒッグス粒子 → 結合定数のO(1%)での測定、 ダイヒッグス過程の観測など
- 筑波大グループの成果(2023年度)
 - 物理:物理学会1件
 - 現行シリコン:今年度はいまのところなし
 - ITk製作:物理学会3件