

2017年のLHCは、幾つかトラブルはあったものの、そのトラブル解決後は極めて順調であった。重心系エネルギー 13TeV で陽子・陽子衝突を行い、ピーク luminositi は最高で $2 \times 10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ を超えた(図1)。設計値は $1 \times 10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ なので、いかにLHCが順調か理解していただけるかと思う。この高い luminositi は、 β^* とエミッタンスを設計値よりも小さくしているため、バンチ交叉あたりの陽子・陽子衝突数にすると、設計値の2.5倍から3倍近くにまでなっている。さらに、LHC内の陽子バンチ数は設計値2808に対して、2017年の最大数は2500程度であったことから、バンチ数を増やすことで luminositi をさらに上げることも可能と見込まれている。一方で、設計値の2倍を超える luminositi では検出器の性能が劣化してしまうため、年後半は陽子陽子衝突開始直後は luminositi 平坦化を行い、ピーク luminositi を $1.5 \times 10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ に抑えていた。

図2に示すように、ATLASでは2017年に 50.4fb^{-1} の陽子・陽子衝突があり、そのうちの 47.1fb^{-1} をデータとして収集した。この結果、2015年以降の重心系エネルギー 13TeV の積分 luminositi は 87fb^{-1} に到達し、このうち、 80fb^{-1} を物理解析に使える。

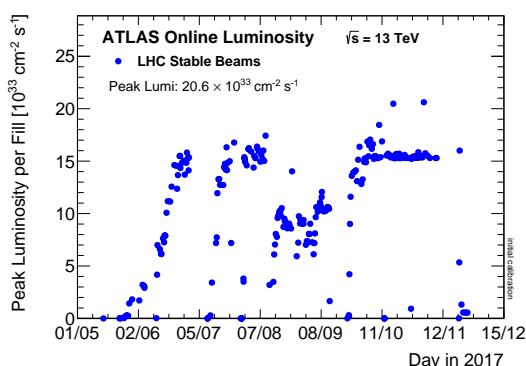


図1: 2017年運転時の日毎の luminositi の最高値。

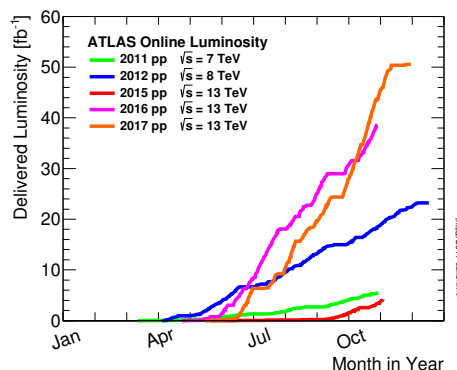


図2: 各年の積算 luminositi の日毎の変化。

設計値を超えるLHCの性能を引き出すために、検出器も設計値を超える性能が必要となっている。たとえば、図3は、Pixel検出器のデータ収集エラー頻度を表す指標をバンチ交叉あたりの陽子衝突数とトリガーレートの積の関数として示したものである。黒点は2016年のもので、陽子・陽子衝突頻度が上がるとエラーが劇的に増えている。これを改善するためデータ収集システムを段階的にアップグレードし、2017年後半は赤点で示すエラー頻度になった。このアップグレードは日本グループ、特にKEKが中心となって行い、ATLASに対する大きな貢献となった。

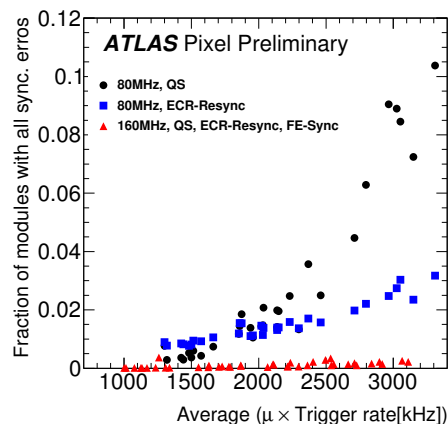


図3: Pixel検出器のデータ収集エラー発生頻度を表す指標。

順調に実験を行っているが、超対称性粒子などの未知の重粒子探索の最新結果を2017年

には公開しなかった。そこで、本稿では、物理ハイライトとして、ヒッグスがボトムクォーク対に崩壊する事象の探索結果と、 W ボソン質量の測定結果について紹介する。

ヒッグスポソンの発見は2012年に遡るが、湯川結合については、これまでに τ との結合の存在が確認されたのみである。ヒッグス機構は、ゲージ不変性を破らずにゲージボソンに質量を持たせる仕組みであり、ヒッグスとゲージボソンとの結合の導入は、ゲージ原理からの自然な帰結である。一方、湯川結合の導入には指導原理がなく、綻びがあっても不思議ではない。よって、レプトンだけでなくクォーク、さらには、複数の世代のフェルミオンとの湯川結合の測定が、極めて重要である。ATLASでは、ゲージボソンを伴って生成されたヒッグスポソンがボトムクォーク対に崩壊する事象を探索した。その結果が、図4で、ボトムクォークジェット対から

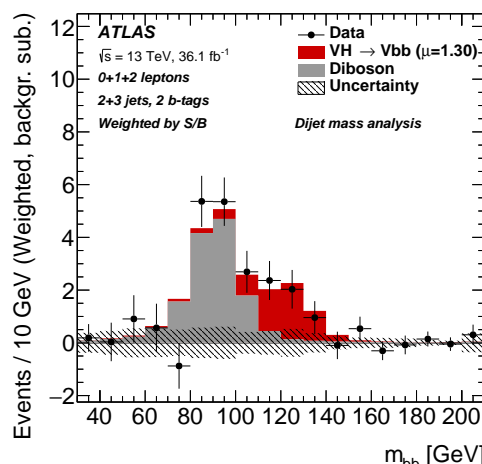


図4: ボトムクォークジェット対から再構成した不変質量。

組んだ不変質量分布である。強い相互作用により生成される多重ジェット事象からの寄与を差し引いた分布で、 $Z \rightarrow b\bar{b}$ によるピークの右側に、 $H \rightarrow b\bar{b}$ 起因らしき事象過剰が見てとれる。昨今流行りの多変数解析や機械学習による解析等と違い、人間の目でも $H \rightarrow b\bar{b}$ の存在を確認できそうであり、その統計的有意度は 3.5σ と見積もっている。

W ボソン質量測定結果は、重心系エネルギー7TeVのデータによるものである。1000万個を超える $W \rightarrow e\nu$ および $W \rightarrow \mu\nu$ 事象を使い、 $m_W = 80370 \pm 19$ MeV と測定した。基本的には、 W の横方向不変質量と電子ないしはミュオン横運動量分布に関するテンプレートフィットで、検出器の理解とテンプレートの分布の理解が解析の鍵を握る。その測定精度は、CDFの結果と並び、単一の実験としては世界最高精度である(図5)。また、電弱対称性の破れに関する様々な測定結果(ヒッグスの質量等々)からグローバル解析を行い、 W とトップクォーク質量を推測し、その値と直接測定の結果を比較したものが図6である。測定結果は標準模型との良い一致を示しており、現在の精度では新物理の兆候を掴んでいない。

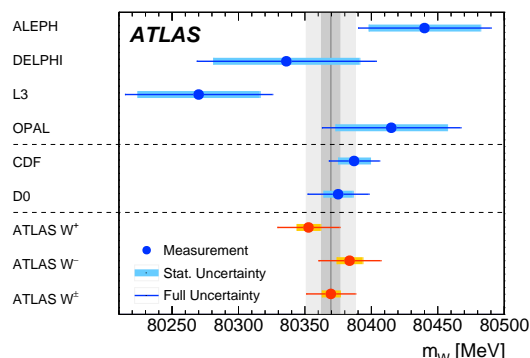


図5: 過去の W ボソン質量測定と今回の結果の比較。

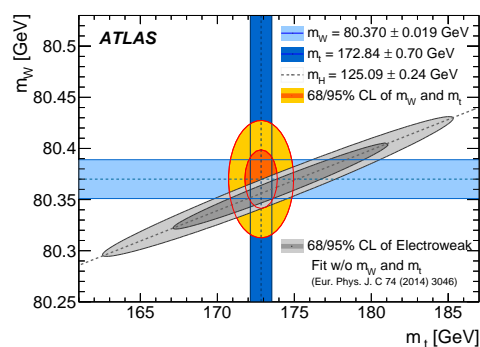


図6: W ボソンとトップクォークの質量測定結果。傾いている楕円形は電弱グローバルフィットによる値。

ATLASは、今後、統計量をさらに増やして、ヒッグスポソンなどの測定精度を上げていく。並行して、未知の重粒子探索をより高い感度で行っていく。