

LHCは2015年に重心系エネルギー13TeVでの陽子・陽子衝突実験を開始した(Run2)。2019年と2020年は、LHC高輝度化の準備として入射器のアップグレードを行うために運転を休止するので、2018年がRun2最後の年となる。その2018年は、一昨年、昨年に引き続き、総じて順調にLHCは稼働した。陽子をLHCに入射直後のピーク luminosity は、年間を通してコンスタントに  $2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  を超えた(図1)。その結果、2018年の積分 luminosity は本文を執筆時点で  $50 \text{ fb}^{-1}$  を超えており、Run2全体ではATLASで  $149 \text{ fb}^{-1}$  の陽子・陽子衝突があり、そのうちの  $140 \text{ fb}^{-1}$  をデータとして収集した(図2)。

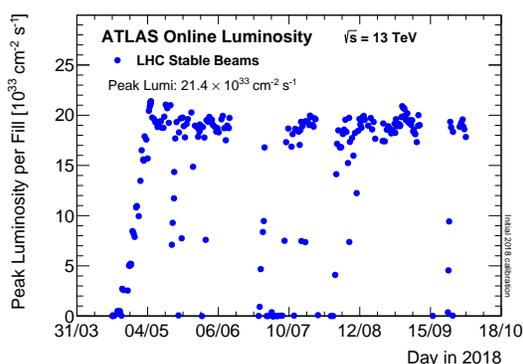


図1: 2018年運転時の日毎の luminosity の最高値。

一方で、LHCの luminosity が設計値を大幅に超えていることは、検出器が設計当初の想定を遥かに超える過酷な環境にさらされていることを意味する。図3は、陽子バンチ交叉あたりの平均陽子・陽子衝突数を示したもので、2018年の年間平均では37を超える。さらに、ビーム入射直後の luminosity の高いときは、60を超えており、設計時の最高値約23の3倍にもなっている。

この高い luminosity を最大限有効活用するために、ATLAS検出器もフロントエンドのデータ収集システムやコントロール系の細かな改善を積み重ねてきた。さらに、トリガーの最適化を決め細かく実施するなどして、デッドタイムを最小限に抑え、積分 luminosity の約97%という極めて高い割合のデータを物理解析に使えるクオリティで収集している。

ATLASでは順調に蓄積したデータを用いて数々の物理成果を公表している。最も大きな成果としては、Run2の  $80 \text{ fb}^{-1}$  のデータを用いて、トップクォークの湯川結合定数とボトムクォークの湯川結合定数を直接検証した。図4は、トップクォーク対の存在する事象中で2個の高い運動量を持つ光子を探し、その2個の光子から再構築した不変質量分布である。なだらかな背景事象の中に質量125 GeVのヒッグス粒子の存在を示すピークがある。ヒッグスの崩壊モードとしては、上記の2光子以外にも、ボトムクォーク対や、 $WW$ 、 $ZZ$ 、 $\tau\tau$  崩壊を仮定し

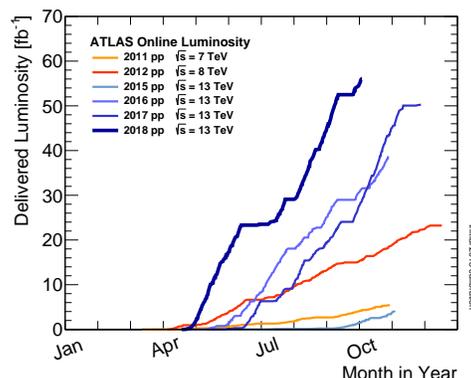


図2: 各年の積算 luminosity の日毎の変化。

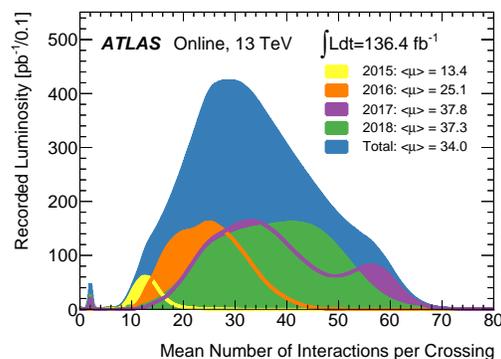


図3: バンチ交叉あたりの陽子・陽子衝突数。

た複数レプトン状態を用いて解析を行った。すべての崩壊モードを足しあげた結果、Run2の  $80 \text{ fb}^{-1}$  のデータだけから見積もった信号の有意度は  $5.8\sigma$ 、Run1のデータも合わせると  $6.3\sigma$  となった。

また、これまで  $3\sigma$  を超える有意度でその兆候を掴んでいた  $H \rightarrow b\bar{b}$  に関しては、 $80 \text{ fb}^{-1}$  のデータを使うとその有意度は  $4.9\sigma$ 、Run1のデータも合わせると  $5.4\sigma$  に到達して、胸を張って”観測”と呼べるに至った。

さらに、 $H \rightarrow \tau^+\tau^-$  についても、 $5\sigma$  を超えていることから、ニュートリノを除く第3世代フェルミオン全てについて、湯川結合が存在していることがわかった。この様子を示したのが図5で、トップクォーク、 $Z$ 、 $W$ 、ボトムクォーク、 $\tau$ それぞれについて、ヒッグス粒子との結合の強さを、質量の関数として描いている。対数軸なので、実は、 $W$  と  $Z$  以外についてはまだまだ測定誤差が大きいですが、少なくとも現在の誤差の範囲内では5点が1つの直線上に乗っており、1つのヒッグス二重項が質量の起源であることを示している。ゲージボソンと物質粒子の質量起源が同一であることを検証し、ヒッグス機構の全貌解明に向けて大きく前進した。

次なる目標は、第2世代フェルミオンの質量起源も  $125 \text{ GeV}$  ヒッグス起因なのかを検証することで、ATLASでは  $H \rightarrow \mu^+\mu^-$  を次のターゲットとしている。現在は、その崩壊比（正確にはヒッグス粒子生成断面積と崩壊比の積）に対する上限値があるのみだが、その上限値から得られるミュオンの湯川結合は  $\tau$  のそれよりも小さいので、ヒッグスとの結合に関しては、レプトンユニバーサルティが破れていることをすでに実証したとも言える。

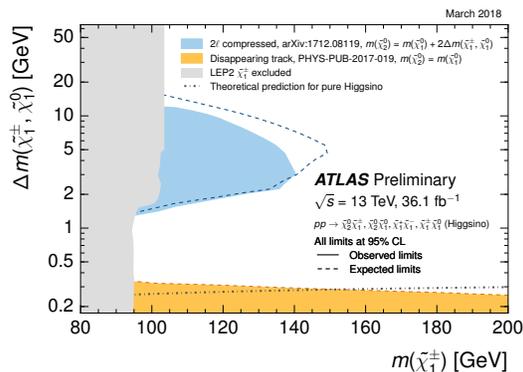


図6: 縦軸は荷電ゲージノと最も軽い電弱ゲージノとの質量差。横軸は荷電ゲージノの質量。

図6: 縦軸は荷電ゲージノと最も軽い電弱ゲージノとの質量差。横軸は荷電ゲージノの質量。図示したパラメータ空間では、信号に非常に運動量の小さいレプトンが存在するため、LHCが本来得意とする探索領域ではないが、トリガーの最適化や、解析技術の進歩により、これらのパラメータ領域にも感度を持つことができるようになった。今後も、運動学的には届くもののまだ探索されていないパラメータ空間を広く探索していく予定である。

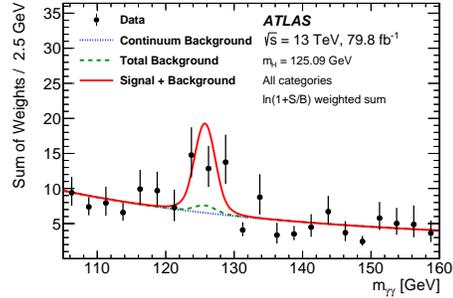


図4: トップクォーク対を伴って生成された2つの光子で再構築した不変質量。

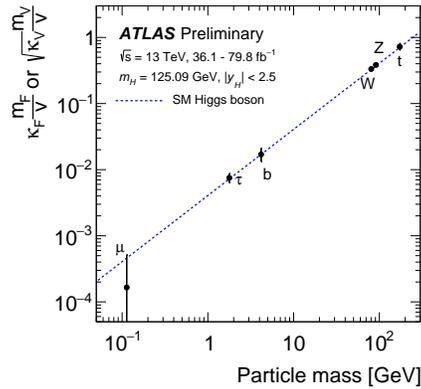


図5: 素粒子とヒッグス粒子との結合の強さと質量の関係。

ヒッグス関連の物理だけでなく、標準模型の枠外の未知粒子探索も引き続き精力的に行なわれている。特に最近注目されているのは、電弱ゲージノ質量が縮退している場合の超対称性粒子探索である。図6は、その一例で、青で示した領域はヒッグシーノ探索において、除外した質量領域である。Naturalnessを信じると最も軽い安定超粒子がヒッグシーノとなり、この場合、電弱ゲージノ質量が縮退する。図示したパラメータ空間では、信号に非常に運動量の小さいレプトンが存在するため、LHCが本来得意とする探索領域ではないが、トリガーの最適化や、解析技術の進歩により、これらのパラメータ領域にも感度を持つことができるようになった。今後も、運動学的には届くもののまだ探索されていないパラメータ空間を広く探索していく予定である。