

ATLAS 実験ヒッグス粒子探索の最新の結果

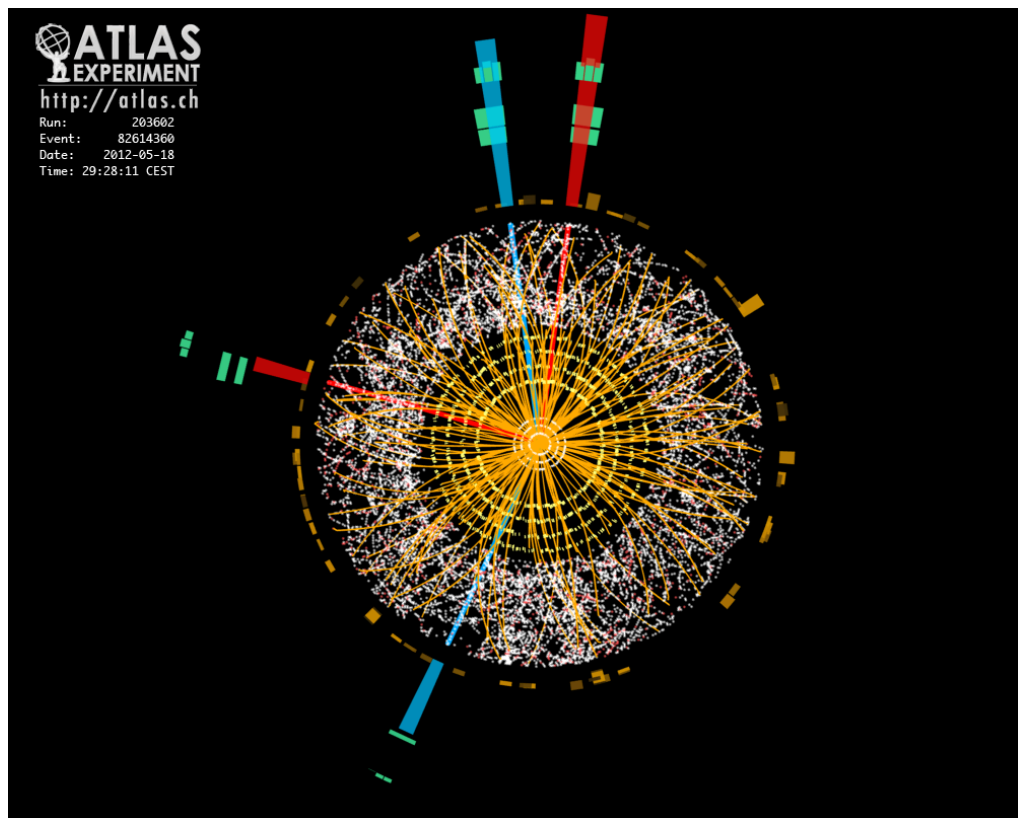


Figure 1. ヒッグス粒子が4つの電子に崩壊する事象の候補 (2012年 ATLAS データ)。

2012年7月4日、ATLAS 実験はヒッグス粒子探索の最新結果のプレビューをCERNでおこなわれたセミナーにおいて発表した。このセミナーは同時にオーストラリア、メルボルンで開かれているICHEP会議(素粒子物理の国際会議)とビデオリンクで結ばれた。ICHEPでは後日にデータ解析の詳細が議論されることになっている。CERNでの発表は現地にいる研究者だけではなく、Webcastを使って世界中の数百の研究機関にいる同僚たちにも同時に送られた。

「現在の探索の状況は我々が当初に思っていたよりも遥かに進んでいる」とATLAS 実験代表者のファビオラ・ジャンティ氏は述べた。「私たちは新粒子の存在を 5σ のレベルで示す明らかな兆候をデータの中に観測した。その質量は126 GeV付近である。LHCとATLASの素晴らしい性能と、多くの人たちの多大な努力がこのわくわくするステージに私たちを連れてきた。これらの結果を最終的なものにするにはもう少し時間がかかる。そして、もっと沢山のデータと更なる研究がこの粒子の性質を明らかにするために必要である」。

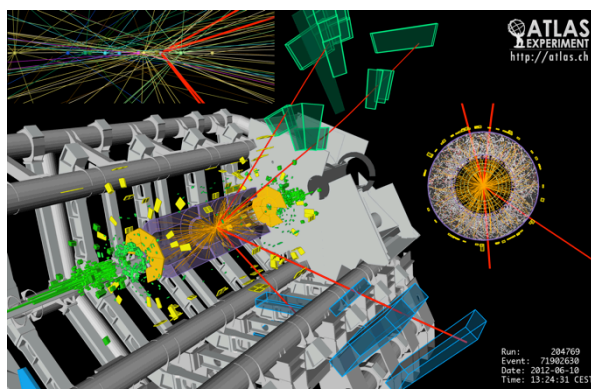


Figure 2. ヒッグス粒子が4つのミュオンに崩壊する事象の候補 (2012年 ATLAS データ)。

ヒッグス粒子は不安定な粒子である。生まれてすぐ、ほんの短い時間の後に他の（通常の）粒子に崩壊する。従って実験では崩壊生成物を測定することによってのみヒッグス粒子を観測することができる。素粒子の世界を非常に精密に記述する「標準モデル」によると、ヒッグス粒子はいくつかの特定の粒子の組（チャンネル）に崩壊し、それぞれのチャンネルへの割合はヒッグス粒子の質量で決まっている。

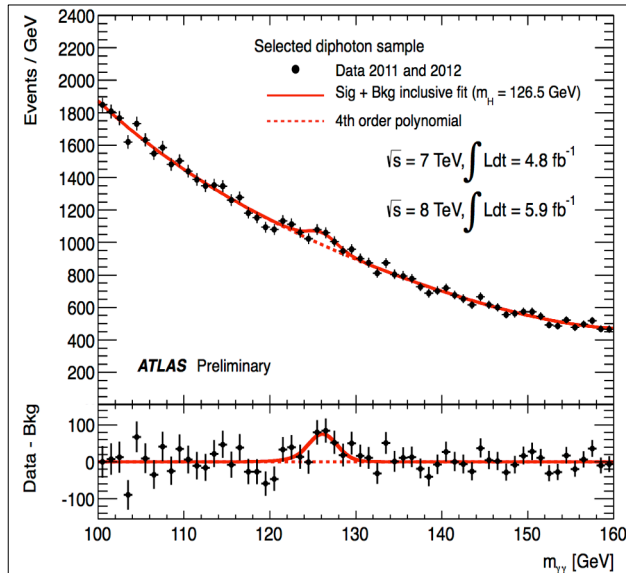


Figure 3. 2光子チャンネルにおける質量分布。

ような明らかな信号に見える確率が300万回に1回くらいだということである。

今回の結果は、去年の12月にCERNでのセミナーで発表され、今年の始めに学術誌に出版された解析を新しいデータを含めて更新するものである。12月の結果は2011年に記録した7 TeV陽子・陽子衝突のデータに基づくもので、可能なヒッグス粒子の質量を117 GeVと129 GeVの間の狭い領域に制限した。そして、期待されるバックグラウンド事象数を微妙に上回る数の事象が約126 GeV（ヨウ素原子の質量に相当）に存在することをATLASとCMSの両方が観測していた。

ATLASとLHCそして高エネルギー物理コミュニティにとって次のステップは、この信号の性質を測定し、ヒッグス粒子の期待される性質と一致しているかどうかを調べることである。すでに、いくつかの性質はヒッグス粒子の予言と合っている：まさに期待される崩壊モードで信号が観測されたことや、その質量が他の情報から間接的に予想されていた領域にあることなどである。つぎの数週間、数ヶ月の間にATLASはこれらの性質をより良く測定し、これらの事象が果たしてヒッグス粒子によるものなのか、それとも複数のヒッグス粒子ファミリーの中で最初に発見された粒子なのか、あるいは全く新しい何かであるのか、これらの問いに関してより明確な解釈ができるように努めるだろう。

ATLASはこの発表では2つの相補的なチャンネルに集中した：ヒッグス粒子が2つの光子に崩壊するものと、4つのレプトンに崩壊するものである。これらのチャンネルはどちらもヒッグス粒子の質量を高い精度で決定することができる。2光子チャンネルは少なく無い数の信号が期待されるがバックグラウンド事象も多い（しかしデータから直接その量を決定できる）。一方、4レプトンのチャンネルは信号の数が少ないが、バックグラウンド事象も極めて少ない。そして、これら2つのモードにおいて、両者ともほぼ同じ質量、約126 GeV、を持つ事象がバックグラウンド事象だけから期待される数を統計的に有為を上回るレベルで存在することが観測された。これら2つの結果と、その他のヒッグス探索チャンネルのデータを組み合わせて高度な統計的解析をしたところ、信号の有為度は 5σ のレベルであった。これは、ヒッグス粒子が無いにも関わらずバックグラウンドが偶然この

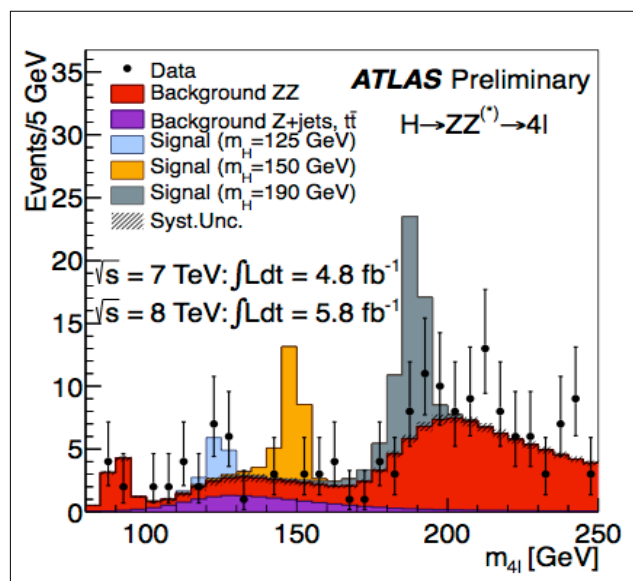


Figure 4. 4レプトンチャンネルにおける質量分布。

2012年のデータは2011年のものと比べてより高い重心系エネルギー（8 TeV）の陽子・陽子衝突のものであり、また、たった3ヶ月で収集したものであるにも関わらず2011年全体で記録した量を上回るものである。この素早いデータ取得はLHC加速器グループの素晴らしい仕事の賜物である。このセミナーでの発表に使われたデータは約1千兆個の陽子・陽子衝突事象から選ばれた。

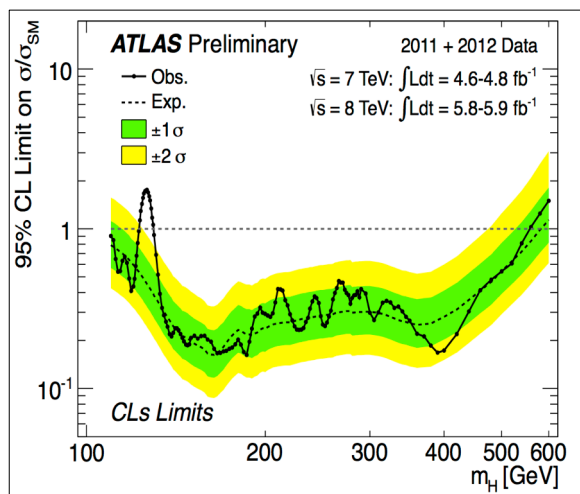


Figure 5. 標準モデルヒッグス生成に対する ATLAS による制限。

2012年の残りの期間に集める新しいデータと、その後のパワーアップしたLHCが提供するデータにより、研究者たちは本日の報告で示唆されたヒッグス粒子に関する問いだけでなく、我々の自然に対する様々な根本的な問いに取り組むことができるようになるだろう。

ATLAS について

ATLASはCERNのLarge Hadron Collider (LHC: 大型ハドロン コライダー) における素粒子物理学の実験である。ATLAS 検出器はとてつもなく高いエネルギーのハドロン同士の正面衝突の中から新しい物理現象を探索している。また ATLAS は、かつて時間の始まりの時から宇宙の形成を支配し、その未来を決めるであろう基本的な力の性質を研究している。これらが明らかにする可能性のある問いは例えば、質量の起源、余剰空間次元、力の統一、そして宇宙で銀河を満たすダークマターの正体などである。

現時点において、ATLAS コラボレーションは世界 38 カ国の 176 研究機関に所属する約 3000 人の物理学者から構成されている。その中には 1000 人以上の博士課程の学生が含まれ、ATLAS 実験の遂行やデータの解析をおこなっている。

ATLAS についての情報は公開ウェブサイト <http://atlas.ch> で見ることができる。

ATLAS 検出器は驚くほど高性能を発揮し、2012年の高い反応頻度に由来するより厳しい実験条件にも関わらず、この探索のために質の良いデータを高い効率で収集した。WLCG (Worldwide LHC Computing Grid) の提供する高性能の計算機資源はこれらのデータの再構成と解析のために本質的な役割をはたした。

LHC は 2012 年の終わりまでに更に 2 倍の量のデータを ATLAS にもたらす予定である。その後 LHC は改良のために長いシャットダウン期間に入る。2014 年の終わりに向けて LHC が再スタートする時には、そのエネルギーは現在の約 2 倍になる。

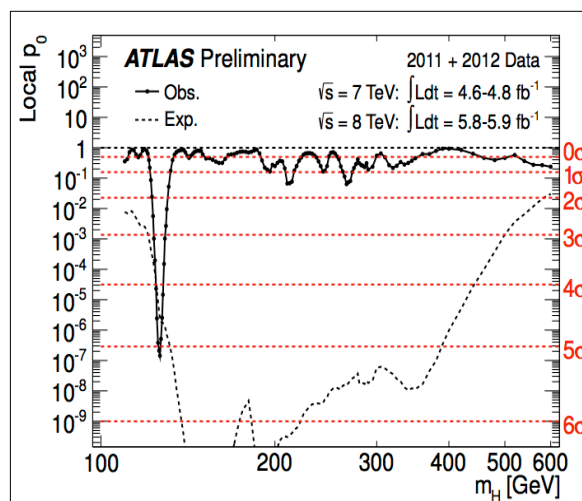


Figure 6. バックグラウンド事象が偶然に信号のように見える確率。

図の解説

Figure 1.

ヒッグス粒子が4つの電子に崩壊する事象の候補（2012年 ATLAS データ）。

Figure 2.

ヒッグス粒子が4つのミューオンに崩壊する事象の候補（2012年 ATLAS データ）。

Figure 3.

2光子チャンネルでの質量分布。この2光子を含む事象の解析は質量の小さいヒッグス粒子探索に最も感度のあるチャンネルである。なめらかな点線は既知の反応からのバックグラウンドの分布を表す。実線はバックグラウンドに信号を加えた仮定をしたフィットから得られた。新粒子の信号は126.6 GeV 付近の事象数の超過として表れる。新粒子が無いにも関わらず、このようなピークが偶然現れる確率は統計的には3/1000,000程度である。

Figure 4.

4レプトンチャンネルでの質量分布。最もバックグラウンドの少ない探索は、それぞれレプトン対（電子あるいはミューオン対）に崩壊する2つのZ粒子を含む事象を探すことである。120 GeV から130 GeV の領域では13事象がデータに観測され、一方バックグラウンドの予想は5.3事象である。新粒子が無いにも関わらずこのような超過が偶然見られる確率は統計的には3/10,000である。

Figure 5.

質量範囲110 - 600 GeVにおける、標準モデルを仮定したヒッグス粒子生成に対するATLASによる制限。実線は仮定した質量（横軸）に対するヒッグス粒子生成率への実験で得られた制限を表す。実線の縦軸の値が1よりも小さくなる質量の領域は95%の信頼度でその可能性が排除される。破線で示された曲線はヒッグス粒子が存在しない場合に得られると期待される制限をシミュレーションで評価した結果の中心値。緑と黄色のバンドはそれぞれ評価値の68%と95%信頼度の範囲を示す。質量500 GeV 以下では、123 - 130 GeV の範囲だけが95%信頼度で排除されていない唯一の領域である。

Figure 6.

バックグラウンド事象だけなのに偶然に信号があるように見える確率。検査した全てのヒッグス粒子質量の範囲で示してある。ほとんど全ての仮定した質量に対して、その確率（実線で表示）はせいぜい数%である。しかし126.5 GeV では確率が 3×10^{-7} に落ち込んでいる。つまり3百万回に1回、いわゆる 5σ の超過で、これは新粒子の発見を表すのに使われるスタンダードである。標準モデルでは、この質量のヒッグス粒子が存在する場合、中心値として 4.6σ が期待される。

ATLAS についての他の情報源

- ATLAS Home Page: <http://atlas.ch>
- ATLAS Live Webcast Streams: <http://cern.ch/atlas-live>
- Twitter: <http://twitter.com/ATLASexperiment>
- Google+: <http://gplus.to/ATLASExperiment>
- Facebook: <http://www.facebook.com/ATLASexperiment>
- YouTube: <http://www.youtube.com/TheATLASExperiment>
- ATLAS Blog: <http://atlas.ch/blog>