

## 長年探索してきたヒッグスボゾンとみられる粒子を ATLAS 実験<sup>1</sup>で観測

2012 年 7 月 4 日



2012 年 7 月 4 日に欧州 CERN 研究所で行われたセミナーにおいて、LHC 加速器を用いた ATLAS と CMS の両素粒子実験グループは、長年続けてきたヒッグス粒子の探索に関して最新の暫定結果を発表しました。両方の実験ともに質量 125-126 GeV 付近に新粒子を観測しました。

LHC 加速器は 4 TeV に加速した陽子を正面衝突させる世界最高エネルギーの粒子加速器で、この高い衝突エネルギーが今回のヒッグス粒子<sup>(i)</sup>発見の舞台となりました。ヒッグスを探る実験グループは日本グループが参加する ATLAS と欧米による CMS 実験グループがあります。2 実験ともにほぼ等しい統計精度で新粒子の発見を報告しましたが、この記事では筑波大学の数理物質系素粒子実験室が参加する ATLAS の結果を概説します。

ヒッグスは標準模型で唯一未確認の粒子で、その質量は予言されるものではありませんでしたが、標準模型の精密測定によりヒッグス質量の可能な範囲は限定されていました。この限定には、素粒子実験グループが携ってきた米国テバトロン加速器でのトップクォークや W ボゾン質量の精密測定が大きな役割を果たしてきました。

図 1 は、その限定範囲を含むヒッグス質量を仮定したときに、3.5 TeV の陽子衝突(重心系 7 TeV)でヒッグスが生成され、不安定なヒッグスがどんな粒子に崩壊するかの生成断面積を示したものです。今回発見した新粒子の質量 125 GeV 辺りでは、ヒッグスなら WW、 $\tau\tau$ 、ZZ (いずれも不安定な素粒子)に崩壊する割合が多いですが、ATLAS は  $\gamma\gamma$  (2 つの高エネルギー光子)と ZZ がさらに 4 つのレプトンに崩壊するモード ( $H \rightarrow ZZ \rightarrow 1111$ )での探索を報告しました。 $\gamma$  線やレプトン (=電子や  $\mu$  粒子)は運動量測定が精密であり、ニュ

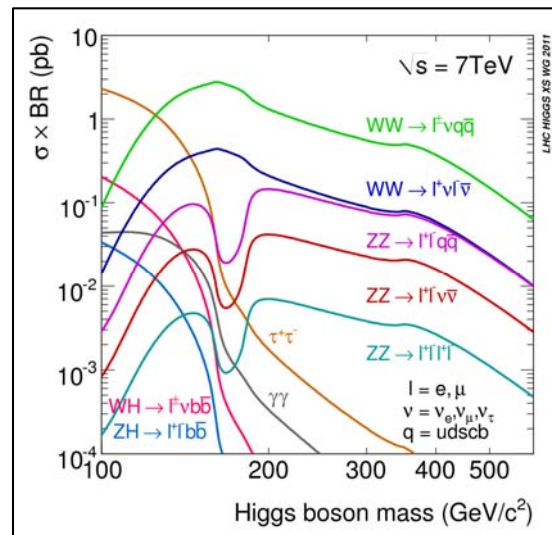


図 1 標準模型ヒッグスの様々な崩壊モード。横軸はヒッグスの質量。

<sup>1</sup> ATLAS 実験は世界 38 カ国の 176 研究機関所属する約 3000 人の物理学者から構成されています。日本からは筑波大学を含む 15 大学・機関が参加しています。

トリンノなどの測定できない粒子が含まれないからヒッグスからの質量再構成が比較的容易で新粒子探索に有利だからです。

ヒッグスの質量再構成のために、ヒッグスが崩壊して発生した粒子の運動量を精密に測定します。 $\gamma$ 線は高性能の液体アルゴンカロリメータで運動量測定をします。図2は二つの $\gamma$ 線から組んだ親の質量分布で2011年と2012年のデータと統合したものです。全体的に質量が大きくなると事象数がなだらかに減少する分布になりますが、それを4次多項式でフィットしたものが赤実線（一部波線）で、連続的な分布はバックグラウンドと呼ぶ成分で、探している信号ではないものに相当します。図2の下には実験データ点のバックグラウンドからのずれを示しています。126GeV辺りに統計的に有意なピークがみられました。

ZZ $\rightarrow$ 4レプトンのモードでの探索結果を図3に示します。レプトンのうち、電子は、 $\gamma$ 線と同様にカロリメータで測定し、飛跡検出器での荷電粒子の検出を要請します。 $\mu$ 粒子はカロリメータの外側で待ちうけて、やはり荷電粒子の通過を検出することで観測します。2つのZ粒子が発生することはヒッグスがなくても許されています。図3の赤い領域はそのようなバックグラウンド、Z粒子の質量は約90GeVであるので、2つのZ粒子が発生できる180GeV以上から高くなりますが、それより低い領域ではバックグラウンドは少なくなります。また、90GeVあたりでZ粒子が発生し、崩壊してできたレプトンが高エネルギー $\gamma$ を発生しレプトン対になるバックグラウンドのピークも見られます。図には色をつけて標準模型ヒッグスならどの程度の事象数で検出できるかを、125、150、190GeVの質量の場合で示しています。データは125GeV辺りでそのピークとほぼ等しい事象の超過が見られました。

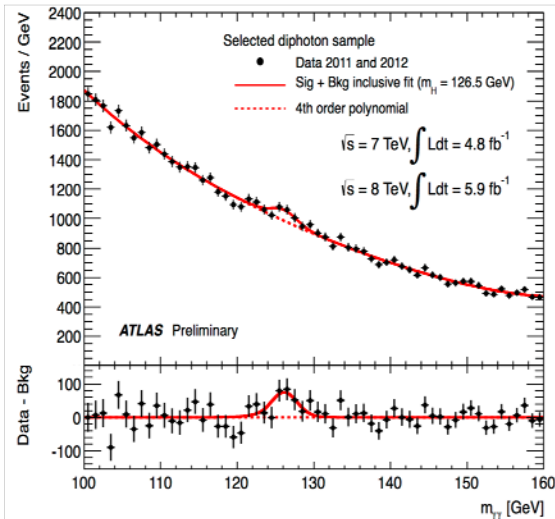


図2  $\gamma\gamma$ 終状態でのヒッグスの探索

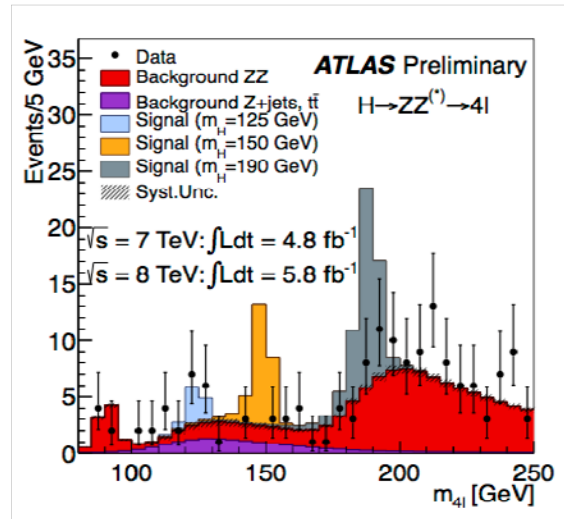


図3 4レプトン終状態でのヒッグスの探索

図4には、 $\gamma\gamma$ とZZのモードを統合してヒッグスがないとした場合に統計的に超過が説明できるかを示すもの。縦軸はバックグラウンドだけで説明できる確率で、ほとんどの質量領域でせいぜい数%ですが、125 GeVでは $10^{-6}$ を下回っています。これは統計的に発見と

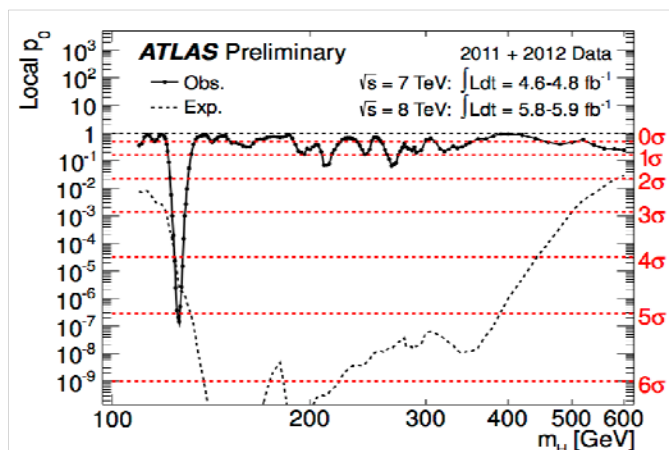


図4 観測された超過事象がヒッグスでないとした場合の確率（実線）。波線は、標準模型ヒッグスがある場合に質量ごとに期待される確率を示したもの。126GeV 辺りの超過分は標準模型ヒッグスのものと矛盾しない。

断定して良い  $5\sigma$  に達しています。図には標準模型ヒッグスがあるならば期待できる超過分も波線で示してあります。

2つの探索モードでまた独立な2つの重心系エネルギー（7TeV と 8TeV）で 125-127GeV に  $5\sigma$  程度の信号の超過が観測されました。2つの  $\gamma$  線に崩壊できるのはスピンの整数（1を除く）のボーズ粒子を意味し、スピン0であるヒッグスの性質と矛盾しません。物質を構成するクォークやレプトンはスピン 1/2 のフェルミ粒子で力を媒介するゲージ粒子はスピン1ですので、今回発見され新粒子が素粒子ならば今まで発見されたことのないカテゴリーのものです。

事象の超過分は標準模型ヒッグスの生成と矛盾しませんが、まだ統計的に精度を高めた測定が必要です。ヒッグスはすべての素粒子に質量を与えるものですが、その検証には  $\tau\tau$  や  $bb$  に崩壊するモードも測定することが不可欠です。そのために、今回の新粒子をヒッグス、とりわけ標準模型ヒッグスとは断定できませんが、我々は「ヒッグスの研究は新たな局面に入った」と理解しています。ATLAS は 10 月末までデータ収集を継続します。そのデータを含めた解析により今回の観測結果の全体像が見えてくるものと考えています。

連絡先 数理物質系素粒子実験室<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Higgs ヒッグス機構はイギリスの P. Higgs 博士により提唱されたもので、南部博士が提唱した「自発的対称性の破れ」に起因する質量ゼロ、スピン0のボゾンを吸収してゲージ場粒子に質量をもたせる。ヒッグス粒子はヒッグス場の量子。標準模型では、ヒッグス機構を用いて、本来質量がゼロであるべきゲージ粒子（W/Z 粒子）に質量を与えている。ビッグバンにより発生した素粒子は、宇宙が冷え（10-10 秒後）真空中にヒッグス粒子が凝縮することにより、今まで光速で運動していた素粒子は運動しにくくなることで慣性質量を獲得した。速度が遅くなることで素粒子どおしが結合することが可能になり、原子、宇宙そして生命を生み出す根本となる。

---

ii 素粒子実験グループは ATLAS のシリコン飛跡検出器の設計・建設・運転を分担している。また、米国フェルミ研究所での CDF 実験を長年にわたり主導しヒッグスの探索も進めてきた。今回のヒッグス粒子の発見には、CDF 実験で学位を取った筑波大卒の研究者も活躍している。

金	信弘	教授
受川	史彦	教授
原	和彦	准教授
永井	康一	研究員
埴	慶太	大学院生 D3
林	隆康	大学院生 D3
木内	健司	大学院生 D2
望月	一也	大学院生 D1