

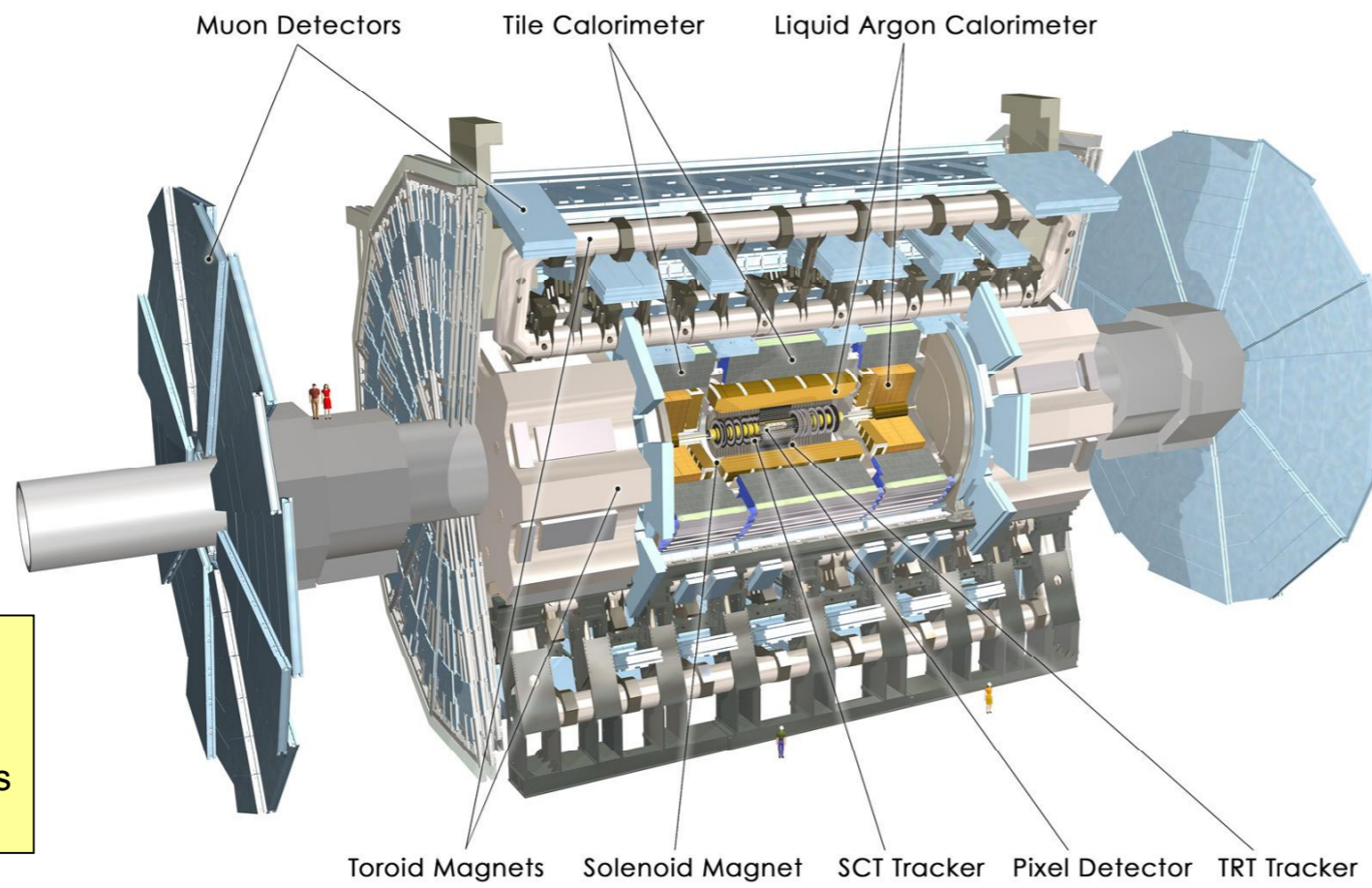
### Higgs

ビッグバン宇宙が冷却し、 $10^{-10}$ 秒後になるとヒッグス粒子は真空中に充満した。素粒子は、ヒッグスとの相互作用を通して運動が阻害され、慣性質量が生まれる。これが素粒子物理学の標準模型においての質量の説明である。「真空」は空ではない。ヒッグスがすべての素粒子の質量起源となることから「神の粒子」(God Particle)とも言われる。LHC加速器での2011年のデータについて、ATLASとCMSグループはその探索現状を発表した。

### ATLAS 検出器

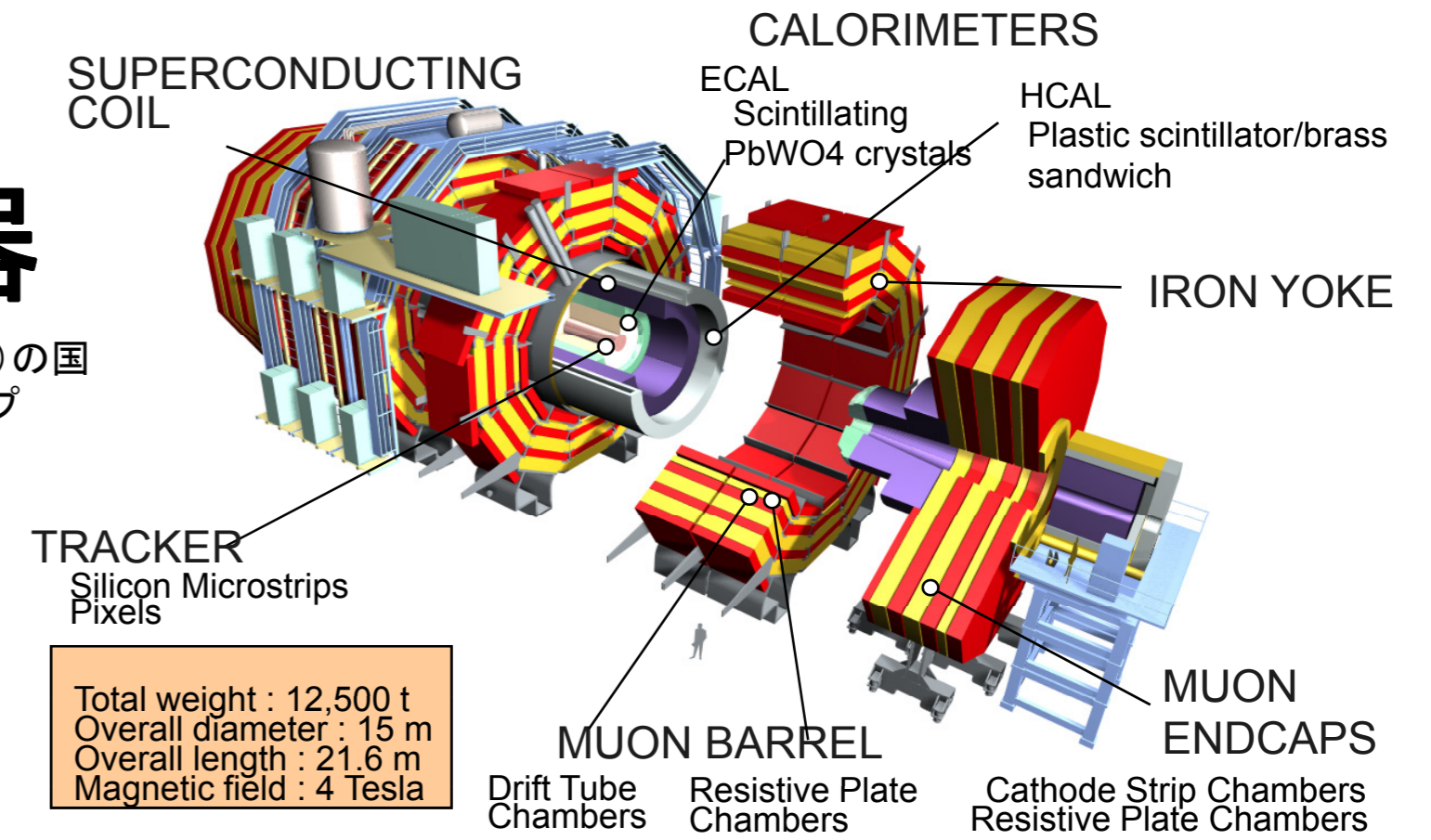
日本の15大学・機関を含む  
3000人(院生700人)の国際共同研究グループ

Total weight : 7,000 t  
Overall diameter : 24 m  
Overall length : 46 m  
~ $10^8$  electronic channels  
3000 km of cables



### CMS 検出器

3400人(院生840人)の国際共同研究グループ



Total weight : 12,500 t  
Overall diameter : 15 m  
Overall length : 21.6 m  
Magnetic field : 4 Tesla

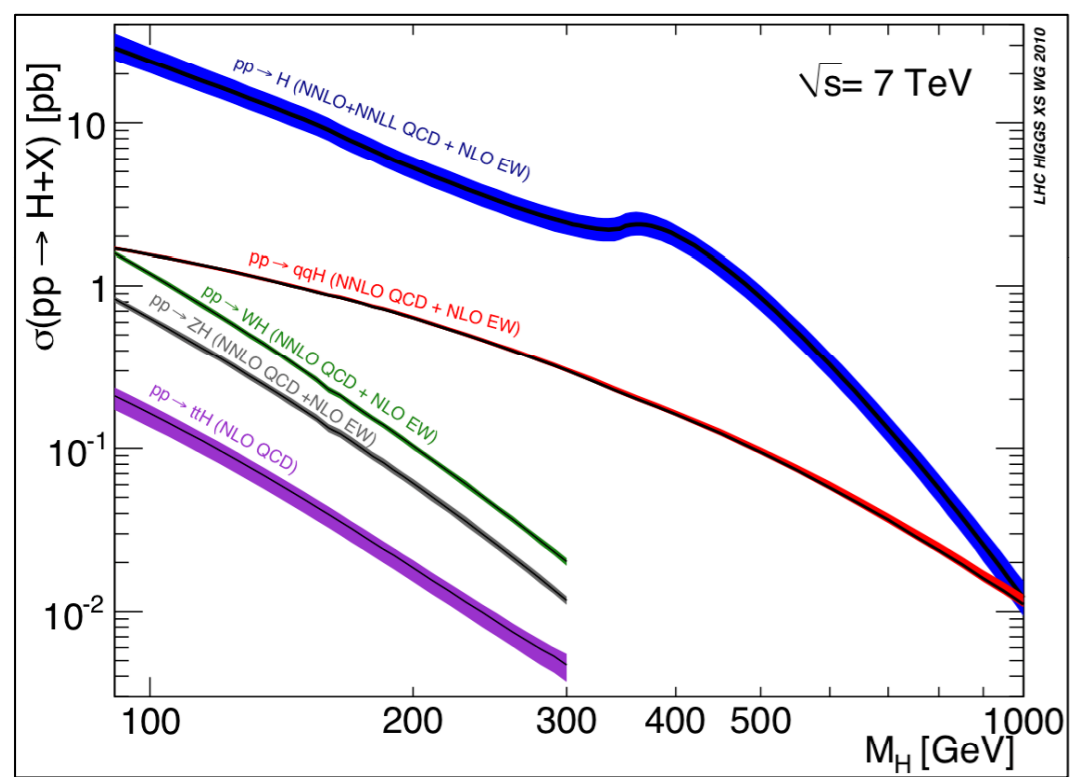


図1 未知の質量を横軸にした標準モデルヒッグスの生成率(断面積). ATLAS, CMSはともに2011年のRUNで5000/pbのデータを収集した。1pbならば5000個を生成したことになる。

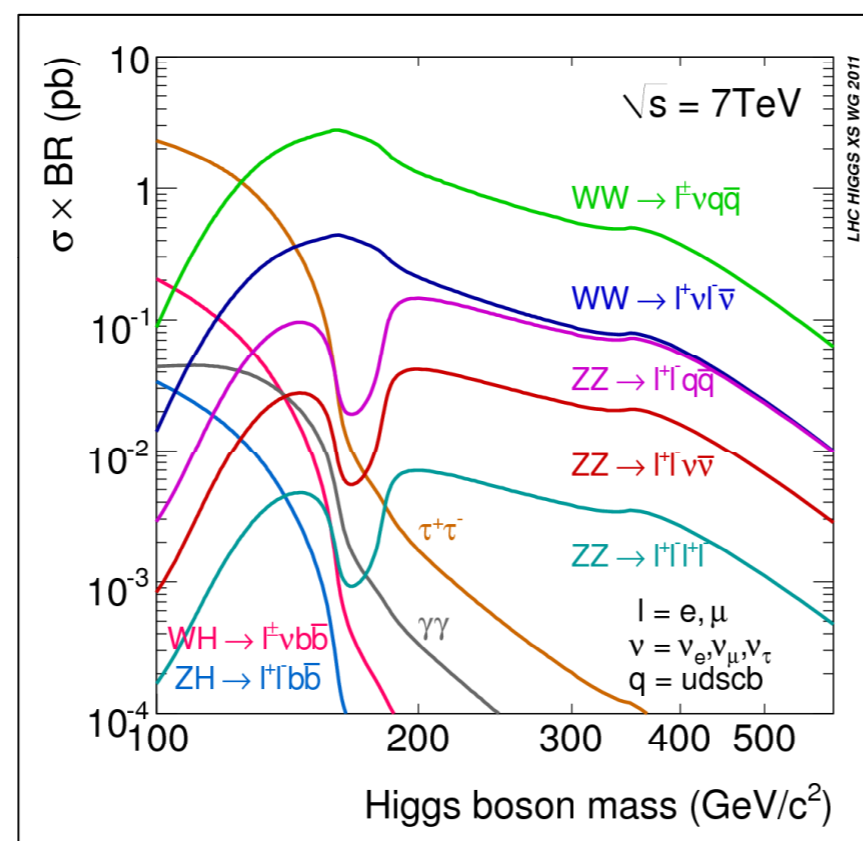


図2 ヒッグスは(自分の質量より軽い)重い粒子に崩壊しやすい。探索する質量領域でどの崩壊モードが重要かが変わる。

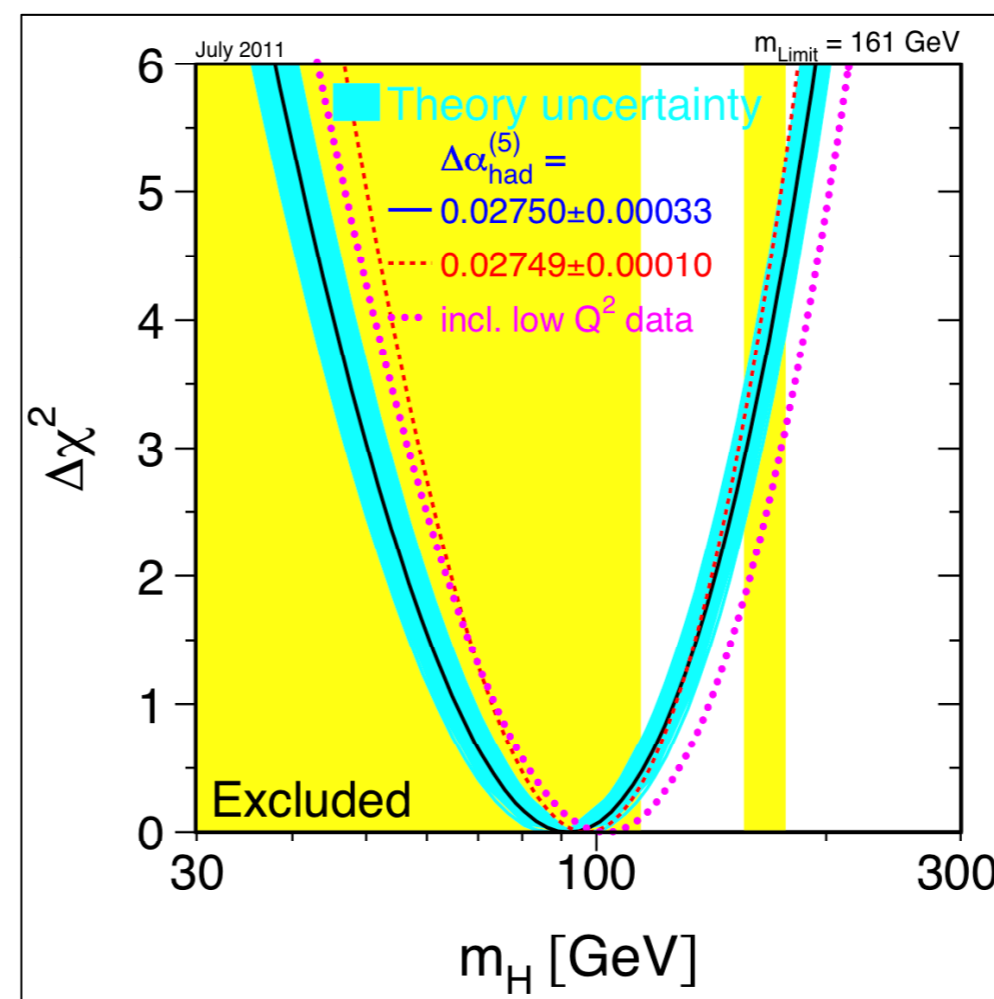
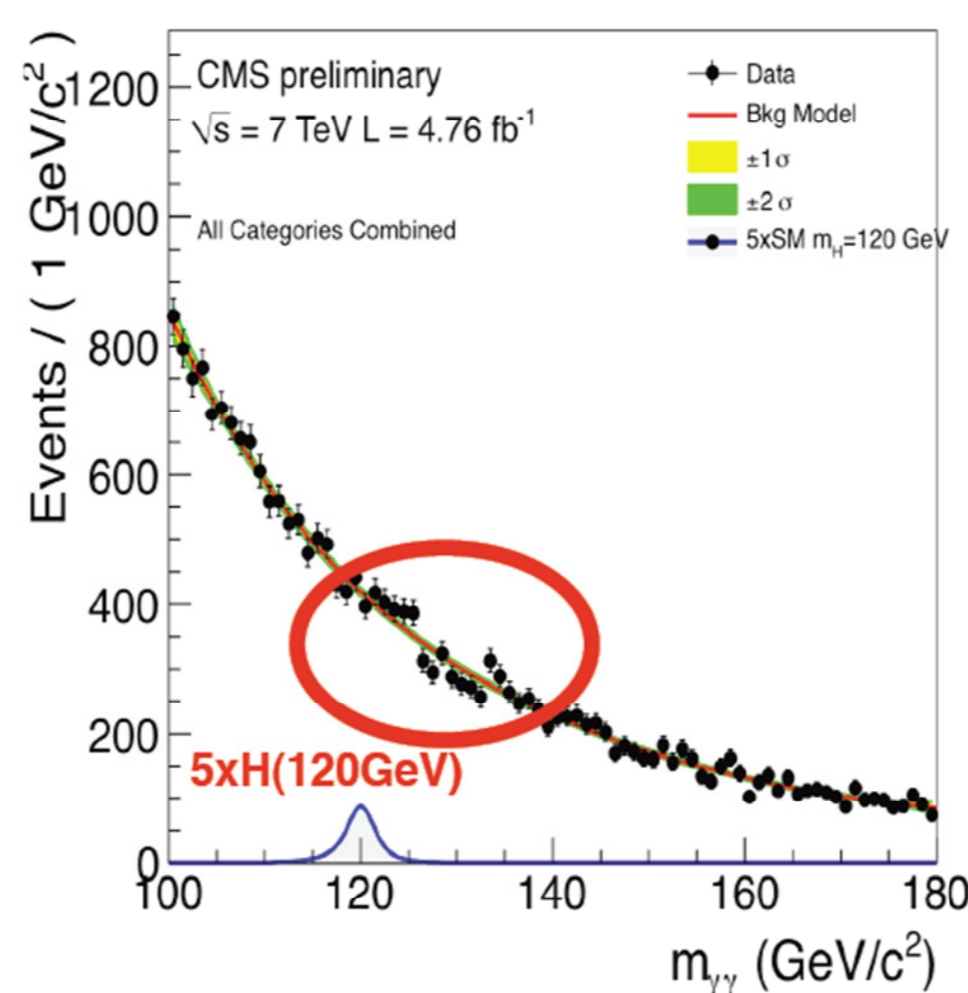
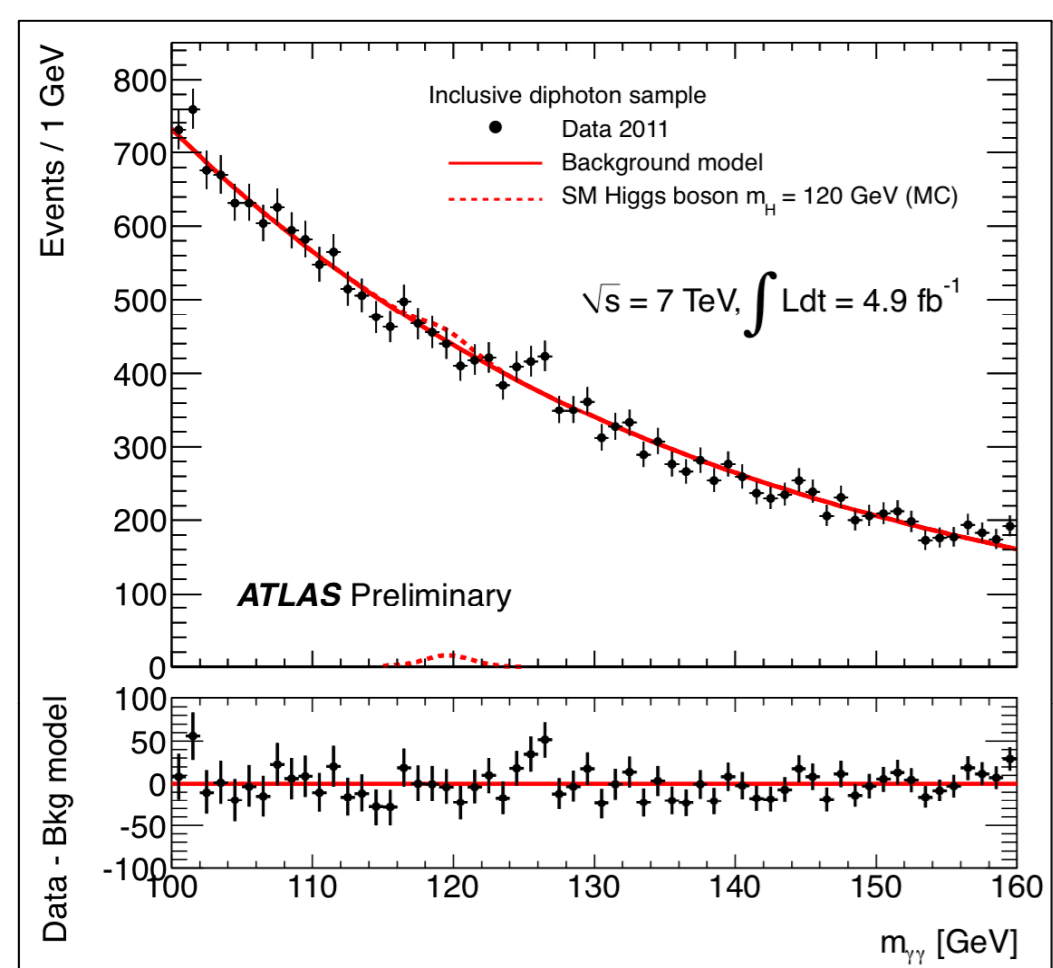


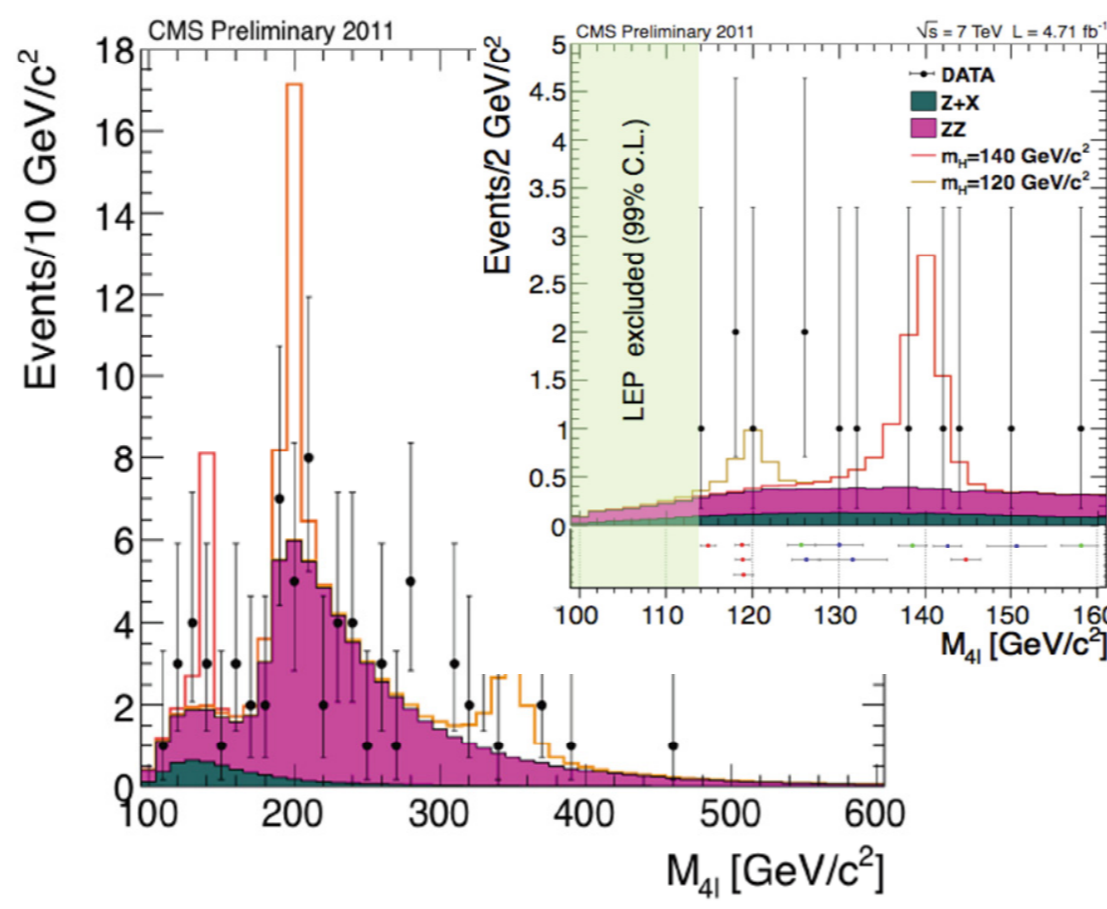
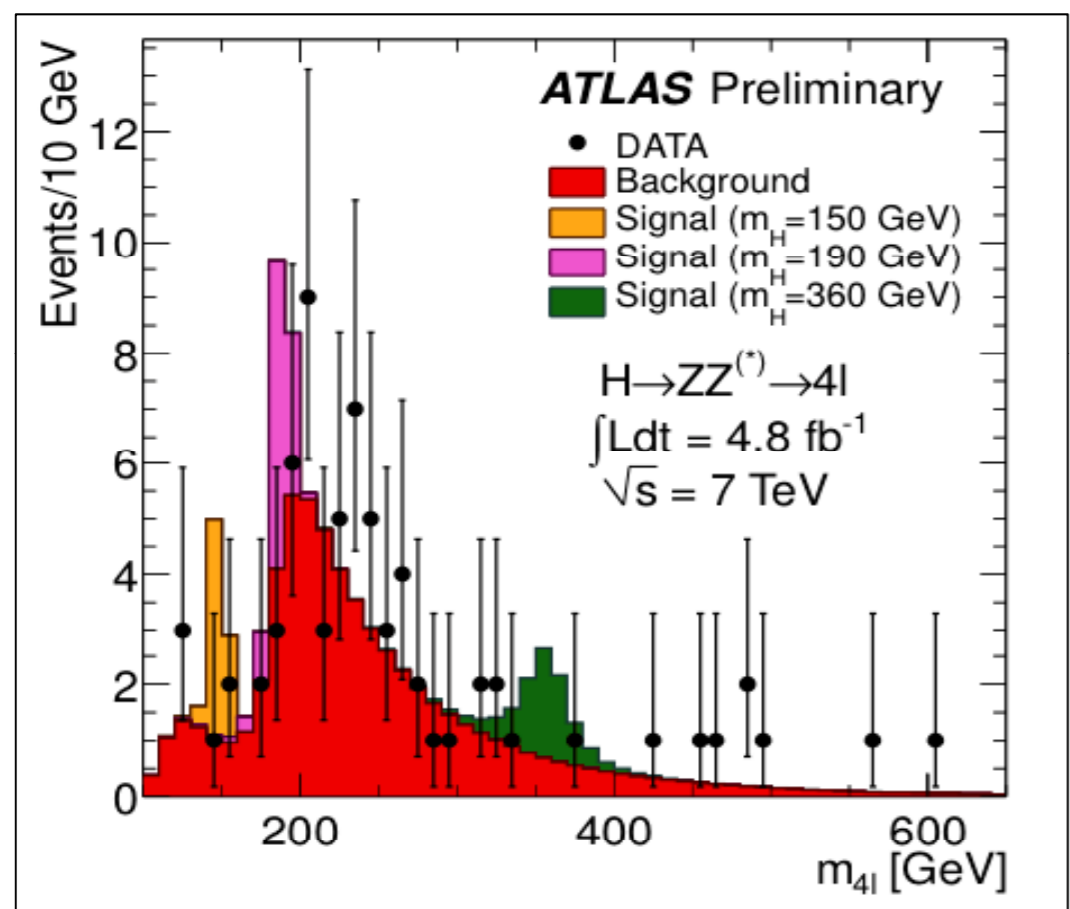
図3、過去の多くの実験からどの質量領域を探索するかは絞りこまれている。放物線は、CDFのトップやW粒子の質量測定などからの標準モデルヒッグス質量予測で、 $\Delta\chi^2 < 4$ が許される範囲(2011年7月の段階)。黄色は実験で直接棄却されている領域。両方で許される161GeV以下を測定するには、図2から、 $H \rightarrow WW, ZZ, \gamma\gamma, \tau\tau$ が重要な崩壊モードである。



#### H -> gamma gamma : ATLAS(左), CMS(右)

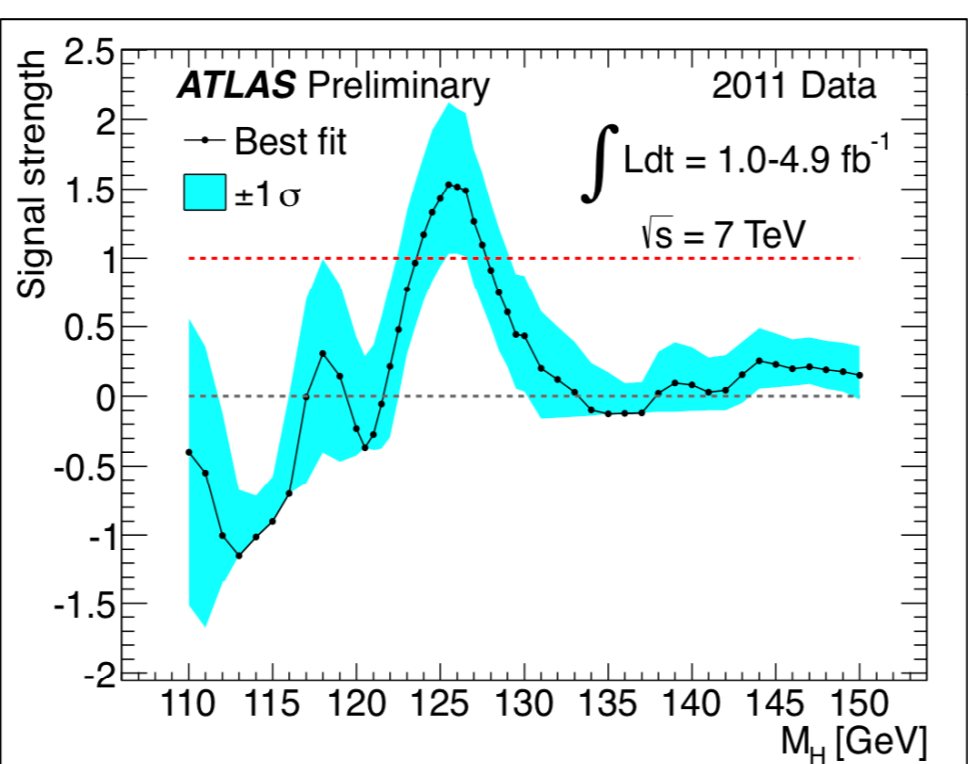
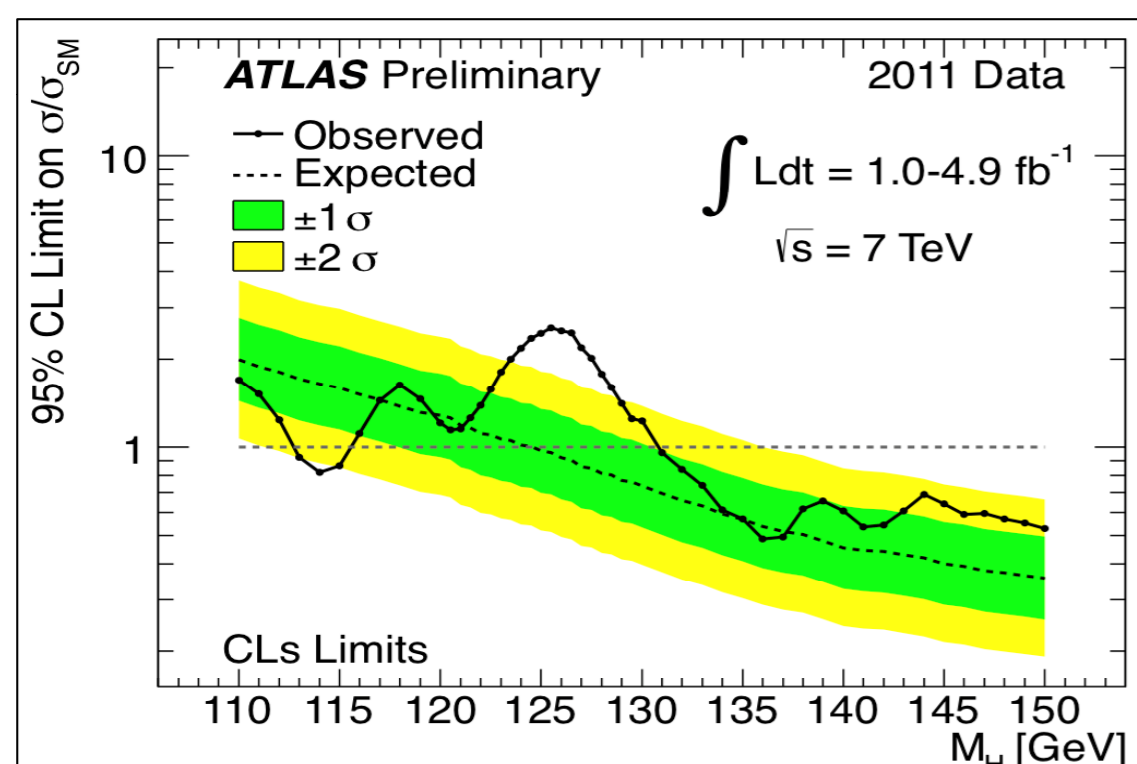
$\gamma$ 線のエネルギーは高性能カロリメータで精度よく測定でき、質量ピークを探すことで新粒子を見つけやすいが、一方で多くのバックグラウンドがある。図の連続的なカーブはバックグラウンドで、標準モデルヒッグスがあれば図に示した(ATLAS赤点線、CMSは5倍の青線)ピークが期待できる。ATLASの下図はバックグラウンドを引いた分布。

注: 質量測定には $\gamma$ 線のエネルギーと方向を測定する必要がある。CMSは優れたエネルギー測定ができるが、絶対値の校正が複雑であるに対し、ATLASは方向測定を備えている特長がある。



#### H -> ZZ : ATLAS(左), CMS(右)

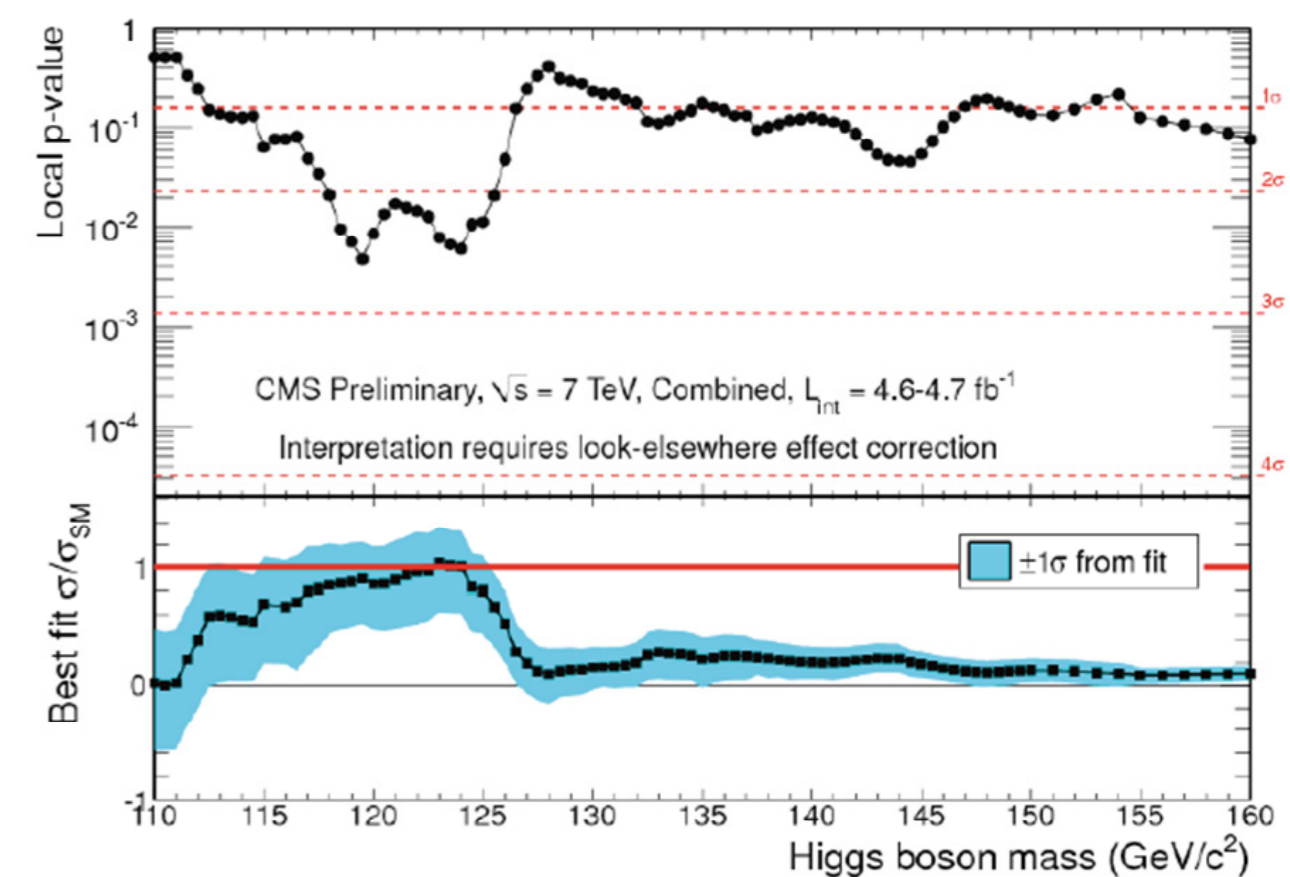
Z粒子はさらに崩壊して、 $Z \rightarrow ee, Z \rightarrow \mu\mu$ で測定でき、Hの質量分解能にも優れている。このモードは観測できる数が少ないがバックグラウンド(ATLAS赤、CMSピンク)が、特に低い質量領域では小さい利点がある。いくつか山が描かれているが、これらはその質量の場合に期待できるヒッグスの質量分布。120-130GeVにCMSに10事象くらいあるが、拡大図にあるようにすべてがひとつのヒッグスからのものとは考えにくい。ATLASには同領域に3事象ある。



ATLASの統合結果: (左)バンドはバックグラウンドから期待される事象数(Hの断面積で規格化)に対して、実線は測定結果。126GeVあたりに $3.6\sigma$ のずれがある。(右)バックグラウンドからのずれ。1ならば標準模型で期待される断面積。これがヒッグスならば99.98%の有意信号と解釈できるが、たまたまその質量にピークができた効果(LEE: looking everywhere effect; 2人の誕生日が一致する確率は12月6日とすると $(365)^{-2}$ が良いが、一致だけで良いのなら $(365)^{-1}$ とすべき)を入れると $2.3\sigma(98.9\%)$ 。

#### CMSの統合結果: (右)

観測がすべてバックグラウンドであると解釈できる確率。124GeVで $2.6\sigma$ のずれがあり、標準模型から期待される断面積と一致。119GeVにもバックグラウンドで説明しにくいピークがある。



#### まとめ

ATLASはLEEを入れて126GeVに $2.3\sigma$ 、CMSでは124GeVに同 $1.9\sigma$ のバックグラウンドでは説明できない事象が観測され、標準モデルヒッグスの断面積とも矛盾しない。2012年(4-10月)のRUNでヒッグスが存在するかの決着がつく。真空中に質量の起源となる粒子が充満しているとする標準模型が正しいか! パラダイムシフトをあなたは経験するかもしれない。ヒッグスはゲージ粒子に質量を与えるものだが、フェルミ粒子にも与えるのだろうか。ヒッグスがあると超対称性などの機構が1TeVあたりになくはない。LHCはこれらの疑問を追求し続ける。