

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成30年6月5日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26800140

研究課題名(和文) ヒッグス粒子の性質測定による新物理の探索

研究課題名(英文) A search of new physics by measurement of properties of the Higgs boson

研究代表者

織田 勸(Oda, Susumu)

九州大学・理学研究院・助教

研究者番号：10613515

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：平成27年から平成29年まで、スイスのCERNのLHC加速器の重心系エネルギー13 TeVの陽子陽子衝突のデータをATLAS実験で取得した。平成28年までのデータを解析し、ヒッグス粒子がゲージ粒子の1種であるZ粒子2個に崩壊し、さらに4個のレプトンに崩壊する4レプトンチャンネルと呼ばれる崩壊モードで、約60個のヒッグス粒子を観測した。ヒッグス粒子の生成微分断面積と他の粒子との結合定数を測定し、観測値は、素粒子物理学の標準模型に基づく理論計算の値と誤差の範囲内で一致し、標準模型を超える物理現象は見つからなかった。ヒッグス粒子の質量を測定し、予備的な結果では約0.3%の相対的な精度が得られた。

研究成果の概要(英文)：Proton-proton collision data at the center of mass energy of 13 TeV at the LHC accelerator of CERN were taken by the ATLAS experiment from 2015 to 2017. About 60 Higgs bosons were observed with the data taken by 2016 in the 4-lepton channel, where a Higgs boson decays into a pair of gauge bosons (Z bosons) and then decay into four leptons. Measurement results of the differential production cross-section of the Higgs boson and coupling constants with other particles were published as papers. Observed values are consistent with the theoretical calculation values based on the Standard Model of particle physics within uncertainties and no physics phenomena beyond the Standard Model were found. The mass of the Higgs boson was measured with about 0.3% relative uncertainty in a preliminary result.

研究分野：素粒子実験

キーワード：ヒッグス粒子 LHC加速器 ATLAS実験 4レプトンチャンネル 素粒子の標準模型を超える新物理 国際研究者交流 CERN

1. 研究開始当初の背景

素粒子物理学の標準模型を構成する素粒子の中で唯一発見されていなかった粒子がヒッグス粒子である。ヒッグス粒子は素粒子の質量を作り出しているスピン 0、パリティ偶のスカラー粒子で、その質量のみが標準模型では決まらないパラメータである。CERN の LHC 加速器のアトラス実験と CMS 実験は平成 24 年 7 月に標準模型ヒッグス粒子の探索において質量 125 GeV 付近に新粒子を発見した。研究代表者はこの発見に、ヒッグス粒子が Z 粒子対に崩壊し、さらに 4 つのレプトン(電子およびミュオン)に崩壊するチャンネル(4 レプトンチャンネル)の解析で貢献した。平成 25 年 3 月にその新粒子が標準模型ヒッグス粒子と同じスカラー粒子であることを確かめた。ヒッグス粒子の 4 レプトンチャンネルでの生成断面積の観測値は、標準模型の予測と 2 の範囲で一致した。LHC は平成 27 年に重心系エネルギーを 8 TeV から 13 TeV に上昇させ、積分ルミノシティを増やすことが計画され、平成 29 年までにヒッグス粒子の観測数は 10 倍になると考えられた。ヒッグス粒子を直接調べられるのは現在 LHC 加速器のみである。

2. 研究の目的

アトラス検出器を用いて、平成 24 年 7 月に発見されたヒッグス粒子の質量、生成断面積、崩壊角度分布を 4 レプトンチャンネルで測定することで、ヒッグス粒子と他の粒子との結合およびヒッグス粒子の CP 対称性の破れを測定し、素粒子物理学の標準模型を超える新物理を探索することが本研究の目的であった。発見された新粒子のパリティは偶だと確かめたと上に書いたが、パリティ奇の成分が一部含まれている可能性がある。その時には CP 対称性が破れることになり、宇宙の物質・反物質の非対称の起源の一つになる。4 つのレプトンの角度分布から、Z 粒子のスピンを決めることでパリティ奇の成分比を測定する。目標の精度は質量が 0.3 GeV、Z 粒子との結合が 15%、パリティ奇の成分比が 15%であった。

3. 研究の方法

平成 27 年から平成 29 年まで、スイスの CERN の LHC 加速器の重心系エネルギー 13 TeV の陽子陽子衝突の積分ルミノシティ 86/fb のデータをアトラス実験で取得した。アトラス実験の検出器は長さ 44 m、高さ 25 m、重量 7000 トンの超大型かつ高精度高分解能の汎用検出器である。

内部飛跡検出器は荷電粒子を測定するもので、そのうちシリコン半導体検出器(SCT)はレプトンを含む荷電粒子の運動量の測定に重要な役割を果たす。研究代表者はこの SCT のオフライン処理の責任者を平成 28 年 2 月から平成 30 年 1 月まで務め、生データの処理やシミュレーションの維持管理などを

担当した。また、平成 28 年以降はバンチ交差当たりの衝突事象数が 40 回を超え、SCT のデータ取得帯域の限界に近付いた。そのため、データ読み出し形式の変更、読み出す領域の組み合わせの最適化、一部チップを読み出さない等の対策を施し、平成 29 年の衝突事象数 60 回の環境でも、SCT の不感時間を 0.13% に抑え、順調なデータ取得を実現した。

アトラス実験では汎用検出器を構成する各検出器の時間的に変化し得る状態の情報を Conditions Database と呼ばれるデータベースに保持し、その情報をデータの取得、再構成、モニタリングやシミュレーションに用いている。研究代表者はこのデータベース全体の調整・管理役を平成 27 年 1 月から 2 年間務め、円滑なデータの取得と再構成を実現した。

アトラス実験での再構成されたデータは AOD と呼ばれるデータ形式で、4 レプトンチャンネルの解析には必要のない事象や情報を含んでいる。そのため、4 レプトンチャンネルの解析に必要なデータのみを抜き出して、DAOD と呼ばれるデータ形式に変換する必要があった。この変換を Derivation と呼び、研究代表者は研究期間を通して、4 レプトンチャンネルの Derivation の責任者を務めた。

取得したデータから同じフレーバー(電子もしくはミュオン)で電荷の異なるペアが 2 個ある事象を選び出し、4 つのレプトンの不変質量を求め、その分布に現れるピークをヒッグス粒子の寄与だと同定した。ヒッグス粒子を経ずに Z 粒子対が生成され、4 つのレプトンに崩壊する背景事象や、Z 粒子に複数のジェットが付随して生成され、ジェットがレプトンと誤同定してしまう、もしくはトップクォーク対が生成され、崩壊して生じたボトムクォークによるジェットをレプトンと誤同定してしまう背景事象があり、それらの寄与をデータやモンテカルロシミュレーションを用いて評価した。

4. 研究成果

平成 28 年度までの 36/fb データを用いて、4 レプトンチャンネルで、約 60 個のヒッグス粒子を観測し、微分断面積と結合それぞれの最終結果を得て、論文として出版した(雑誌論文)。図 1 に 4 つのレプトンの不変質量分布を示す。黒点がデータで、125 GeV 付近の水色のヒストグラムは質量が 125.09 GeV の標準模型ヒッグス粒子の予想される寄与である。実データが標準模型におおむね一致していることがわかる。図 2 にヒッグス粒子の質量の予備的な測定結果を示す。4 レプトンチャンネル(H ZZ* 4l)では、124.88 ± 0.37 GeV と求まり、全てのデータではないにも関わらず目標の 0.3 GeV に近い精度が得られている。光子対チャンネル(H)の測定結果も示しているが、系統誤差の小さい 4 レプトンチャンネルの方が小さい誤差にな

っている。図3に4レプトンチャンネルで測定した、ヒッグス粒子とボーズ粒子(横軸)、ヒッグス粒子とフェルミ粒子(縦軸)の結合を示す。これらは標準模型の場合で規格化されていて、 $(\kappa_V, \kappa_F) = (1, 1)$ の点が標準模型に対応する。観測した値は標準模型に基づく理論計算の値と誤差の範囲内で一致している。精度は約18%で、目標の15%に近い。図4は標準模型ヒッグス粒子以外の寄与を示す。パリティ奇の寄与が横軸、偶の寄与が縦軸である。現在のヒッグス粒子の研究では有効ラグランジアンに係数に対して制限する解釈の仕方が一般的なので、このような表示の仕方になっている。有意に標準模型を超える寄与はまだ見つかっていない。

平成29年に取得したデータを含めた最新結果は、平成30年6月に公表した(引用文献)。

本研究で明らかになったことは、**発見されたヒッグス粒子の性質は標準模型のヒッグス粒子にとっても近く、それ以外の寄与は小さく、質量は125 GeV前後である**ことである。

<引用文献>

"Measurement of the Higgs boson mass in the $H \rightarrow ZZ^* 4l$ and $H \rightarrow \gamma\gamma$ channels with $\sqrt{s}=13\text{TeV}$ pp collisions using the ATLAS detector", ATLAS Collaboration, ATLAS-CONF-2017-046 2017

<https://atlas.web.cern.ch/Atlas/GROUPS/PHYSICS/CONFNOTES/ATLAS-CONF-2017-046/>

"Measurements of the Higgs boson production, fiducial and differential cross sections in the $4l$ decay channel at $\sqrt{s}=13\text{TeV}$ with the ATLAS detector", ATLAS Collaboration, ATLAS-CONF-2018-018 2018

<https://atlas.web.cern.ch/Atlas/GROUPS/PHYSICS/CONFNOTES/ATLAS-CONF-2018-018/>

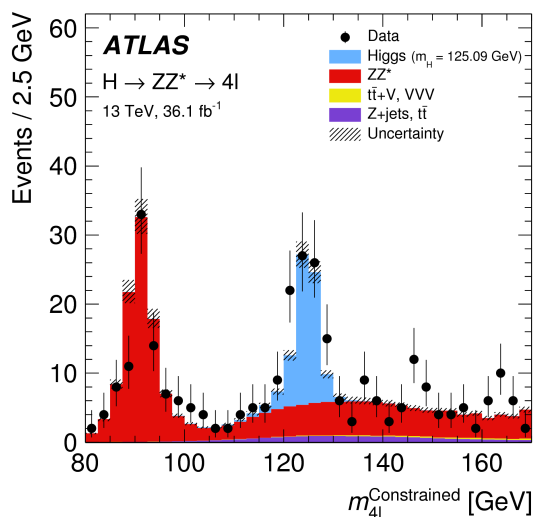


図1: 4つのレプトンの不変質量分布 (雑誌論文)

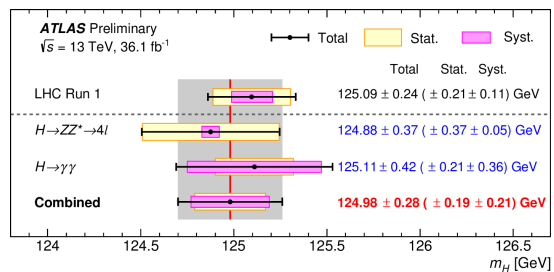


図2: ヒッグス粒子の質量の測定結果 (引用文献)

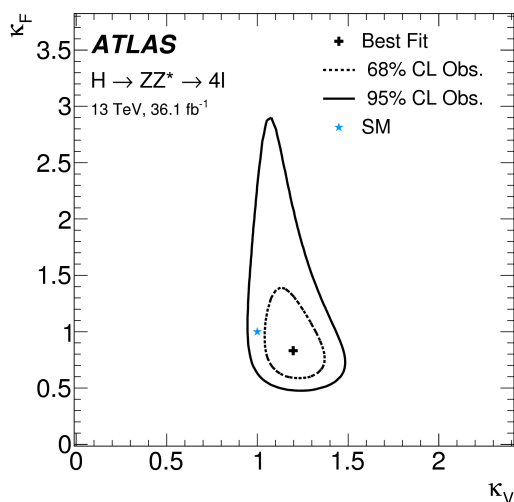


図3: ヒッグス粒子と、ボーズ粒子(横軸)とフェルミ粒子(縦軸)との結合定数 (雑誌論文)

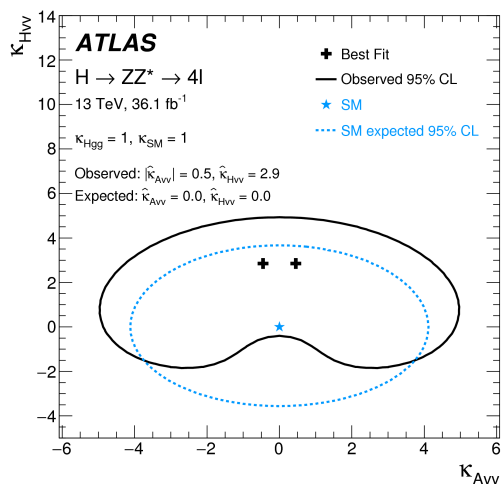


図4: 標準模型ヒッグス以外の寄与パリティ奇(横軸)とパリティ偶(縦軸) (雑誌論文)

5. 主な発表論文等 (研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計8件)

"Measurement of the Higgs boson

coupling properties in the $H \rightarrow ZZ^* 4l$ decay channel at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector", M. Aaboud, S. Oda, et al., (ATLAS Collaboration, 著者はアルファベット順。以下同じ) (2906 人中 1888 番目), JHEP 03 (2018) 095 査読有 [https://doi.org/10.1007/JHEP03\(2018\)095](https://doi.org/10.1007/JHEP03(2018)095)

"Measurement of inclusive and differential cross sections in the $H \rightarrow ZZ^* 4l$ decay channel in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector", M. Aaboud, S. Oda, et al., (ATLAS Collaboration) (2876 人中 1864 番目), JHEP 10 (2017) 132 査読有 [https://doi.org/10.1007/JHEP10\(2017\)132](https://doi.org/10.1007/JHEP10(2017)132)

"Study of the spin and parity of the Higgs boson in diboson decays with the ATLAS detector", G. Aad, S. Oda, et al., (ATLAS Collaboration) (2842 人中 1817 番目), Eur. Phys. J. C75 (2015) 476 査読有 <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-015-3685-1>

"Measurements of the Total and Differential Higgs Boson Production Cross Sections Combining the $H \rightarrow \gamma\gamma$ and $H \rightarrow ZZ^* 4l$ Decay Channels at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS Detector", G. Aad, S. Oda, et al., (ATLAS Collaboration) (2822 人中 1804 番目), Phys. Rev. Lett. 115 (2015) 091801 査読有 <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.115.091801>

"Combined Measurement of the Higgs Boson Mass in pp Collisions at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV with the ATLAS and CMS Experiments", G. Aad, S. Oda, et al., (ATLAS Collaboration, CMS Collaboration) (5154 人中 1806 番目), Phys. Rev. Lett. 114 (2015) 191803 査読有 <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.114.191803>

"Measurements of Higgs boson production and couplings in the four-lepton channel in pp collisions at center-of-mass energies of 7 and 8 TeV with the ATLAS detector", G. Aad, S. Oda, et al., (ATLAS Collaboration) (2898 人中 1851 番目), Phys. Rev. D 91 (2015) 012006 査読有 <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.91.012006>

"Measurement of the Higgs boson mass from the $H \rightarrow \gamma\gamma$ and $H \rightarrow ZZ^* 4l$ channels with the ATLAS detector at the LHC", G. Aad, S. Oda, et al., (ATLAS Collaboration) (2890 人中 1852 番目),

Phys. Rev. D 90 (2015) 052004 査読有 <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.90.052004>

"Fiducial and differential cross sections of Higgs boson production measured in the four-lepton decay channel in pp collisions at $\sqrt{s} = 8$ TeV with the ATLAS detector", G. Aad, S. Oda, et al., (ATLAS Collaboration) (2901 人中 1852 番目), Phys. Lett. B 738 (2014) 234-253 査読有 <https://doi.org/10.1016/j.physletb.2014.09.054>

[学会発表](計 7 件)

織田 勲、超周辺衝突での光子・光子散乱、日本物理学会第 73 回年次大会、2018 (シンポジウム講演) http://epp.phys.kyushu-u.ac.jp/~oda/ATLAS/JPS/JPS2018S/JPS2018S_oda_v7.pdf

Susumu Oda on behalf of the ATLAS and CMS Collaborations, Couplings and mass with 13 TeV data, 52nd Rencontres de Moriond EW 2017, 2017 https://indico.in2p3.fr/event/13763/contributions/15224/attachments/12616/15498/1_SusumuOda.pdf

織田 勲、2016 年 LHC13TeV 実験：実験状況と SM/Higgs 測定、日本物理学会秋季大会、2016 (企画講演) <http://epp.phys.kyushu-u.ac.jp/~oda/misc/22pSE08.pdf>

織田 勲、LHC-ATLAS 実験における $H \rightarrow ZZ^*$ 4l チャンネルを用いたヒッグス粒子の測定、日本物理学会第 71 回年次大会、2016 <http://epp.phys.kyushu-u.ac.jp/~oda/ATLAS/JPS2016S/20pAN01.pdf>

織田 勲、125 GeV ヒッグス粒子の最新実験成果、新学術領域研究会テラスケール 2015 先端加速器 LHC が切り拓くテラスケールの素粒子物理学、2015 http://epp.phys.kyushu-u.ac.jp/~oda/misc/Oda_v6a.pdf

Susumu Oda on behalf of the ATLAS and CMS Collaborations, Study of Higgs boson production in bosonic decay channels at the LHC (including off-shell production), 27th Rencontres de Blois Particle Physics and Cosmology, 2015 <https://cds.cern.ch/record/2022612>

織田 勲、Higgs Boson - summary & perspective -, 新学術領域研究会 テラスケール 2014 先端加速器 LHC が切り拓くテラスケールの素粒子物理学、2014 <https://kds.kek.jp/indico/event/17143/contribution/19/material/slides/1.pdf>

〔その他〕

ホームページ等

http://epp.phys.kyushu-u.ac.jp/~oda/wakate_b_2014/

<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/AtlasPublic/Publications>

6．研究組織

(1)研究代表者

織田 勸 (ODA, Susumu)

九州大学・大学院理学研究院・助教

研究者番号：10613515