

【リリース日時】

平成 30 年 6 月 7 日 14 時

【本件リリース先】

文部科学記者会、科学記者
会、大学記者会(東京大学)、筑波研
究学園都市記者会



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO



平成 30 年 6 月 7 日

報道関係者各位

大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構
国立大学法人 東京大学
ATLAS 日本グループ

もっとも重い素粒子であるトップクォークの 質量起源もヒッグス機構と判明

— LHCのATLAS実験^{*1}などの成果をCERNがプレスリリース—

本研究成果のポイント

- 極めて稀な素粒子^{*2}の反応である、トップクォーク^{*3}対とヒッグス粒子が同時に生成される事象を初観測しました。
- 反応が起こる確率は統計誤差の範囲内でヒッグス機構^{*4}の予想と一致しており、トップクォークの質量がヒッグス機構で生成されていることを示唆しています。
- ボトムクォーク、およびタウ粒子の質量がヒッグス機構で生成されていることはこれまでも示唆されていました。今回の結果を踏まえると、第三世代の物質粒子の質量生成の仕組みを解明したと言えます。

【概 要】

本成果は、欧州合同原子核研究機関（CERN）が6月4日午後2時（現地時間）、大型ハドロン衝突型加速器（LHC）で行われた実験の成果を、プレスリリースしました。本プレスリリースは、この日本語バージョンで、LHCのATLAS測定器で実験を行うアトラス日本グループ^{*5}の主要メンバーであるKEK、東京大学が主体となり、情報提供するものです。

CERNのプレスリリースは、「もっとも重い素粒子であるトップクォークとヒッグス粒子が相互作用していることが、ATLAS実験などのデータから裏付けられた」という内容です。具体的には、ヒッグス粒子がトップクォークのペアと一緒に生成されるという、極めて稀にしか起きない反応を、 6.3σ の統計的精度で捉えることができました。この反応が起こる確率は、現在の統計量ではヒッグス機構の予想と一致しています。最も重く、他の素粒子と比べて数桁も大きな質量をもつトップクォークの質量も同機構で生成されていることを示唆し、力を伝える素粒子ばかりでなく、物質を形作る素粒子の質量の起源もヒ

ッグス機構だったことが分かり、ヒッグス機構の全貌解明に向けた大きなマイルストーンです。

また、本測定は新粒子探索の可能性も秘めています。量子論の枠内では、素粒子の反応の際に、短時間であれば非常に重い粒子を生成消滅させることが可能です。もしヒッグス粒子と反応する、非常に重い未知の粒子が存在すれば、この極稀な反応に介在し、反応確率が通常のヒッグス機構の予想と異なることも考えられます。さらに高統計のデータを使い、予想値と観測値のズレを見ることで、新粒子の影響を間接的に見るができるかもしれません。

ATLAS 実験は 38 カ国、3000 人の研究者が参加する大プロジェクトですが、日本でも 17 機関、約 150 人の研究者・大学院生が参加して、素粒子物理学の標準理論を超える新しい物理の発見を目指しています。今回の成果についても、ATLAS 実験に参加する国内外の研究者による複数の論文として発表されています。

また、ATLAS 実験に参加する、約 300 人の共同研究者が集まる国際会議 “The ATLAS Overview Week” が 6 月 11-15 日、東京都新宿区の早稲田大学国際会議場「井深大記念ホール」で開催され、本研究成果についても議論が行われます。同会議は年 3 回開催され、ATLAS 実験の成果や今後の方針などについて議論するものですが、日本を含めてアジアで開催されるのは初めてのことです。

【背景】

LHC は、ほぼ光速まで加速した陽子同士を衝突させる、世界最高エネルギーの円形加速器です。2009 年に運転を開始し、2010 年 3 月から 7 TeV (テラ電子ボルト) の衝突エネルギーで本格的な実験をスタートしました。2012 年 4 月には衝突エネルギーを 8 TeV に増強し、同年 7 月 4 日のヒッグス粒子発見につながりました。現在は衝突エネルギー 13 TeV でデータを蓄積し、素粒子とヒッグス粒子との相互作用を精密測定することによる質量起源の解明や、新物理現象を示唆する新粒子の探索を行っています。

【研究内容と成果】

2017 年までに収集したデータ中に、ヒッグス粒子がトップクォーク対と同時に生成されるという極めて稀にしか起きない反応を発見しました。ヒッグス粒子は陽子同士の衝突により生成された直後に様々な粒子対に崩壊しますが、それらを分類、解析し、まとめたところ、 6.3σ の統計的精度で間違いがないことがわかりました。現在の測定精度では、反応が起こる確率はヒッグス機構の予想と一致しており、トップクォークの質量がヒッグス場の動的な性質によって生成されていること (=ヒッグス機構) を示唆しています。

【本研究の意義、今後への期待】

2012 年のヒッグス粒子発見により、私たちの住む宇宙は無ではなくヒッグス場で満ちていて、素粒子の質量はヒッグス場の動的な性質で生成されている (=ヒッグス機構) こ

とを突き止めました。同時に、力を媒介する粒子である W 粒子や Z 粒子の質量がヒッグス機構により生成されていることを検証しました。それ以降、物質を構成する粒子の質量もヒッグス機構によるものなのかが素粒子物理学上の重要な課題となっていました。

物質を構成する素粒子には三つの世代があります。トップクォークは第三世代の素粒子ですが、同じ世代に属するボトムクォークとタウ粒子については、その質量がヒッグス機構により生成されていることが過去の実験結果から示唆されていました。今回の結果を踏まえると、検証困難なタウニュートリノ以外の第三世代の物質粒子について、質量が生成される仕組みがヒッグス機構であることを突き止めたと言えます。素粒子の質量の起源の全貌解明に向けて大きな前進をしました。

素粒子物理学の世界では、物質を構成する粒子になぜ極めて大きな質量差があるのか、また何が世代の違いを生んでいるのか、という大きな謎があります。研究グループでは今後、トップクォークとヒッグス粒子の相互作用を詳しく調べる一方、第二世代の物質粒子にも調査の対象を広げ、素粒子物理学の謎の一つである“世代の謎”（なぜ三代あるのか）にも迫る方針です。

【CERNのプレスリリース情報】

CERN Press Release

Title: The Higgs boson reveals its affinity for the top quark

リンクはこちらです。

<http://press.cern/press-releases/2018/06/higgs-boson-reveals-its-affinity-top-quark>

【ATLAS Collaborationからのコメント】

ATLAS Press Statement

Title: “ATLAS observes direct interaction of Higgs boson with top quark”

リンクはこちらです。

<http://atlas.cern/updates/press-statement/atlas-observes-tth-production>

【用語解説】

※ 1. ATLAS実験

フランスとスイスの国境にあるCERNのLHCに設置されたATLAS測定器で行われている実験のことです。13-14 TeVという高い衝突エネルギーによって新粒子を作り出し、原始宇宙の謎に迫るのが目的です。本プロジェクトはCERN加盟国による共同事業ですが、LHCとその検出器の初期投資だけで約5000億円の費用がかかり、日本はオブザーバー国ながらも、建設費用の一部負担だけでなく、加速器、実験装置の製造、データ解析、研究など様々に協力してきました。とくに、日本が協力したATLASは、衝突で生じた新粒子の崩壊をとらえる巨大な測定器で、2012年夏、同じLHCのCMS測定器の結果と合わせ、ヒッグス粒子と見られる信号を見つけたと発表し、世界中で大きなニュースとなりました。

詳しくは、こちらをどうぞ。

<https://www2.kek.jp/ipns/ja/post/2017/10/atlas-intro/>

※ 2. 素粒子

分割不可能なこの世を構成する最小単位。物質を構成する最小粒子、力を媒介する粒子、ヒッグス粒子の三つに分類できる（図1）。物質粒子には性質の良く似た三世代のパターンが存在します。質量は素粒子によって大きく異なり、例えば電子とトップクォークの質量比は約30万倍です。

※ 3. トップクォーク

現在までに発見されている素粒子の中で最も重く、ヒッグス粒子より重いことが知られています。

※ 4. ヒッグス機構

もともと質量を持たないとされる素粒子が、ヒッグス場との相互作用によって質量を獲得する仕組みのことです。ヒッグス場は私たちの住む宇宙全体に存在していることがわかっています。これは、真空が無ではないことを意味しています。宇宙の誕生直後にヒッグス場の性質が劇的に変わり、その動的な変化によって素粒子に質量が生じています。

※ 5. ATLAS日本グループ

高エネルギー加速器研究機構、筑波大学、東京大学、お茶の水女子大学、早稲田大学、東京工業大学、首都大学東京、信州大学、名古屋大学、京都大学、京都教育大学、大阪大学、神戸大学、岡山大学、広島工業大学、九州大学、長崎総合科学大学、以上の17大学、約150人の研究者（大学院生を含む）からなります。

【参照図】

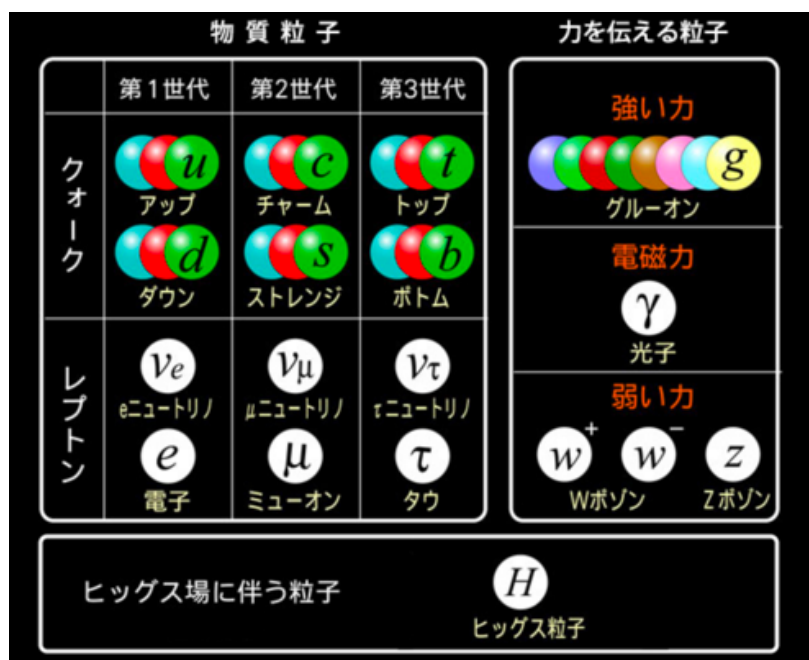


図 1：素粒子の紹介図

【お問い合わせ先】

< 研究内容に関すること >

大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所
教授 花垣 和則 (はながき かずのり)

Tel: 029-864-5355

E-mail: kazunori.hanagaki@kek.jp

国立大学法人 東京大学大学院 理学系研究科物理学専攻

東京大学 素粒子物理国際研究センター
センター長・教授 浅井 祥仁 (あさい しょうじ)

Tel: 03-3815-8384

E-mail: shoji.asai@cern.ch

< 報道担当 >

大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構

広報室長 引野 肇 (ひきの はじめ)

Tel: 029-879-6047

Fax: 029-879-6049

E-mail: hhikino@post.kek.jp

大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所

広報コーディネータ 中村 牧生 (なかむら まきお)

Tel: 029-879-6054

Mobile: 090-1420-8141

E-mail: nakamu@post.kek.jp

国立大学法人 東京大学 素粒子物理国際研究センター

学術支援専門職員 塩田 雅子 (しおた まさこ)

Tel: 03-3815-8384

Fax: 03-3814-8806

E-mail: hisho@icepp.s.u-tokyo.ac.jp