

ATLAS 実験

『世界最高エネルギーでの陽子衝突実験： ヒッグス粒子の発見と新粒子探索』

SATテクノロジー・ショーケース2014

■はじめに

20世紀後半、著しい理論・実験の発展により素粒子物理学では素粒子の標準理論が構築されました。その基本は、3世代のクォークとレプトン、そしてそれら物質間の相互作用を担うゲージ粒子です。この相互作用はすべてゲージ理論という美しい数学的枠組みで記述されます。その枠組みの中では粒子の質量はゼロでなくてはなりません。しかし、現実の世界では物質には質量が存在しています。この矛盾を解決してくれるのがBEH機構です。1964年、R.Brout、F.Englert、P.W.Higgs たちが南部陽一郎の唱えた自発的対称性の破れの考えをゲージ理論に応用し、真空が凝縮したヒッグス場で満たされていれば粒子は質量をもつことができるという BEH 機構の提案をしました。さらにこのアイデアは S.L.Glashow、A.Salam、S.Weinberg たちにより電弱統一理論としてまとめられ、標準理論の重要な一部となっています。

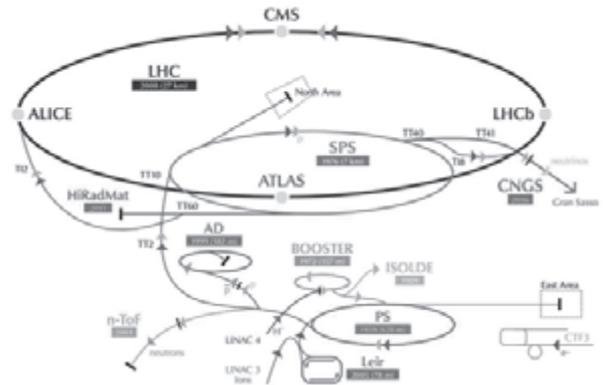
BEH機構が正しいならば、少なくとも1種類のスカラー粒子(ヒッグス粒子)が存在しなければなりません。LHC の ATLAS 実験では、これを確実にとらえることが目標の一つです。

物質粒子			ゲージ粒子
第1世代	第2世代	第3世代	
クォーク	アップ u	チャーム c	強い力 グルーオン g
	ダウン d	ストレンジ s	電磁力 γ 光子
	ボトム b	トップ t	弱い力 W^+ W^- Z W ボソン Z ボソン
レプトン	eニュートリノ ν_e	μ ニュートリノ ν_μ	
	電子 e	ミューオン μ	
	τ ニュートリノ ν_τ	タウ τ	
ヒッグス場に伴う粒子			ヒッグス粒子 H

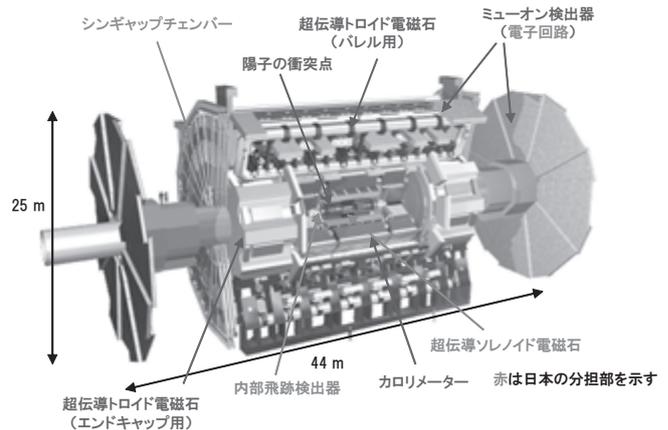
■LHC と ATLAS 実験

スイスとフランスの国境付近にある CERN 研究所(欧州合同原子核研究機関)では LHC(Large Hadron Collider)と呼ばれる周長27kmの大型の円形加速器を用いた素粒子物理学実験が国際共同のもとに行われています。そこでは陽子ビームを世界最高のエネルギーまで加速し、その陽子ビーム同士を正面衝突させることにより、宇宙の創成

初期(10のマイナス12乗秒前後)を再現することができます。探索対象の重い粒子を作り出すためには、これほどまでの高エネルギーが必要になります。LHCでは2010~2011年では7TeV、2012年では8TeVの重心系エネルギーを使って衝突実験が行われ、その衝突データの総計は約28fb⁻¹になりました。



LHCによって作り出された粒子は加速器の各部に設置された4つの検出器によって観測されます。特に ATLAS、CMS と呼ばれる二つの検出器はヒッグス粒子やその他の新粒子探索を目的として設計されました。この ATLAS 実験には38ヶ国から176研究機関、約3000名の研究者が参加し、日本からは高エネルギー加速器研究機構(KEK)他15大学、約110人が参加しています。



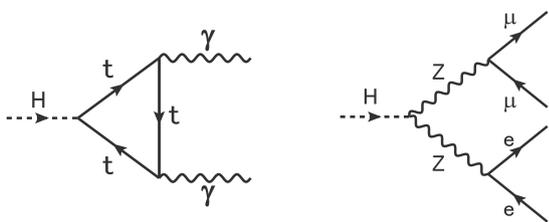
代表発表者 青木 雅人(あおき まさと)
所属 高エネルギー加速器研究機構
素粒子原子核研究所

問合せ先 〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1
TEL:029-864-5349 FAX:029-864-5203
masato.aoki@kek.jp

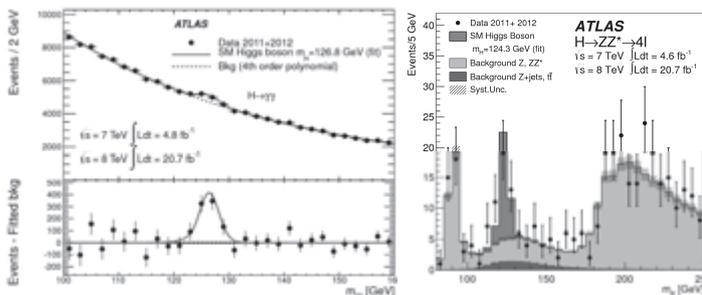
■キーワード: (1)素粒子実験
(2)ヒッグス粒子
(3)LHC-ATLAS 実験

■ヒッグス粒子の発見

標準理論で予言されているヒッグス粒子の崩壊の仕方は、その質量によって変わってきます。軽かった場合はボトムクォーク対へ、重かった場合はWボソン対へと崩壊する割合が高くなります。また、標準理論以外で予言されているヒッグス粒子はまた異なった崩壊分岐比をもっています。あらゆる可能性を考えて様々な崩壊モードを使って解析していきます。ATLAS実験で特に感度のある崩壊モードは、ヒッグス粒子の質量をきれいに再構成できる ①光子(γ)対に崩壊するモードと、②Zボソン対に崩壊し、さらにそれらが電子対またはミュー粒子対に崩壊するモードです。それらの崩壊モードを示したのが下図になります。



実際にATLAS実験のデータからヒッグス粒子の質量を再構成したものが以下の図になります。ここではATLAS検出器により記録されたデータからさらにクオリティの高い約 25fb^{-1} のデータを使っています。不変質量 126GeV 辺りにははっきりしたピークを観測することができました。



この二つの崩壊モードの結果から、このピークの測定値は 125.5 ± 0.2 (統計誤差) ± 0.5 (系統誤差) GeV であることが分かりました。

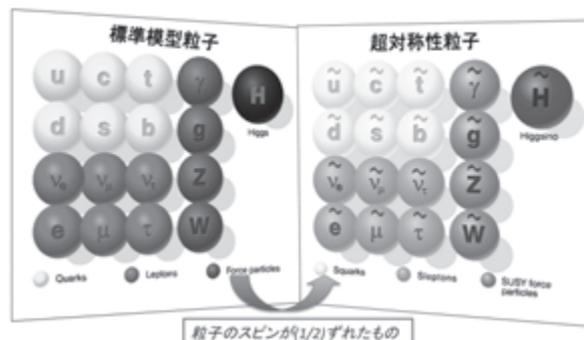
質量は決定できましたが、それだけではこのピークが我々の探していたヒッグス粒子かを断定するには不十分です。そのため他の崩壊モードも加え、崩壊分岐比やスピン・パリティといった物理量を測定しました。その結果、結合定数も、スピンも標準理論で予言されているヒッグス

粒子を強く示唆しているという結果が出ました。つまり、我々はヒッグス粒子を発見したことになります。これを受けて、F.EnglertとP.W.Higgsは2013年にノーベル物理学賞を受賞しました。

■新粒子探索とLHCのアップグレード

ヒッグス粒子が確認されたことで素粒子物理学は歴史的に大きな前進をしました。標準理論で予言された粒子をすべて確認できたことになるからです。しかし、まだ素粒子物理にはなぞが残っています。標準理論では未解決の階層性問題、宇宙の暗黒物質問題などです。これらを解決する有力候補の一つが超対称性理論です。

超対称性理論では、標準理論の粒子たちとスピンが2分の1ずれた超対称性粒子を導入することによって、それらの問題をすべて解決することができます。しかし、今までの実験ではその存在を未だに確認できていません。超対称性粒子を作り出すためには今のLHCのエネルギーではまだ不十分のようです。



2013年春から約2年間、LHC加速器と検出器はメンテナンスのためシャットダウンをしています。2015年から再開される実験の準備のためです。そこではビームのエネルギーを上げ、最終的には 14TeV にする予定です。その世界最高のエネルギーで超対称性粒子を作ることができれば、その時我々は宇宙の真理にさらに近づくことができます。

■関連情報

ヒッグス粒子の測定

- 質量測定: ATLAS-CONF-2013-014
- 結合定数測定: Phys.Lett.B 726(2013)88
- スピンの測定: Phys.Lett.B 726(2013)120