

速報

ヒッグス粒子の発見について

～2013 年ノーベル物理学賞～

伏見賢一（徳島大学大学院 SAS 研究部）

1. はじめに

2013 年度のノーベル物理学賞は、François Englert (フランソワ・アングレール)博士と Peter W. Higgs (ピーター・ヒッグス) 博士の両氏が受賞しました[1]。その受賞理由は *"for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider"* ということです。非常に長いので要約しますと、「素粒子に質量を与える機構を理論的に予言し、質量の起源に関する理解に寄与したこと」です。末尾にはヨーロッパの CERN（欧州原子力研究機構）で行われた二つの実験、ATLAS と CMS について触れており、実験によって確認されたことを理由にあげています。

2. 素粒子の理論体系

身の回りの物質は全て原子で作られています。その原子は中心部にある微小な原子核とその周囲を飛び交う電子で構成されています。原子核は更に陽子と中性子の組み合わせで構成されています…と物質の究極を見ていくと「どこまで小さくなっていくのだろう？」と思われる方が多数いらっしゃると思います。この疑問に答えるのが素粒子物理学です。

物質を細かく見ていった際の究極は何で出来ていて、それらがどのように反応して宇宙の星や私達の身の回りのものを作っているのか。これらの全てを完全に説明できる理論は現在まだ未完成ですが、20 世紀に急速に発展

した実験技術によって得られたデータをもとに、標準模型と呼ばれる素粒子の基本理論が作られました。

標準模型によれば、物質の究極はクォークという重い粒子（ハドロン）と電子やニュートリノという軽い粒子（レプトン）で構成されているとされています。そしてハドロンやレプトンの反応に際して光子、グルーオン、W、Z 粒子や重力子という力を伝える素粒子が存在することも要請されます。

標準模型による成果の中で最後まで残っていた課題がヒッグス粒子の確認という仕事でした。2012 年に CERN で行われた ATLAS と CMS という二つの実験グループによって発見され、2013 年のノーベル物理学賞発表の直前にヒッグス粒子の性質を調べて最終確認をしたという論文が発表されました[2]。

3. ヒッグス機構とヒッグス粒子

素粒子に有限の質量を与えるための試みとして成功した理論がヒッグス機構というものです。これは「自発的対称性の破れ」という現象を応用して考案されたもので、理論の基礎は南部陽一郎博士（2008 年ノーベル物理学賞）の自発的対称性の破れに関する理論です。

アングレール博士、ブルー博士（Robert Brout: 2011 年死去）とヒッグス博士は、素粒子の運動を表す方程式にヒッグス場という物理量を加え、ヒッグス場が自発的に対称性を破ることで素粒子に質量を与えることを発見しました。ヒッグス場を理論に組み込み、自発的に対称性を破る機構をヒッグス機構といいます。

図 1、図 2 は横軸にヒッグス場の真空期待

値を表す量、縦軸に真空のエネルギーを表した図です。図1では真空のエネルギーは対称でかつシンプルな方程式（四次関数）で表されています。しかし、最も安定な状態は質量0かつエネルギー0の状態になっています。これでは現実の宇宙を創りだすことができません。

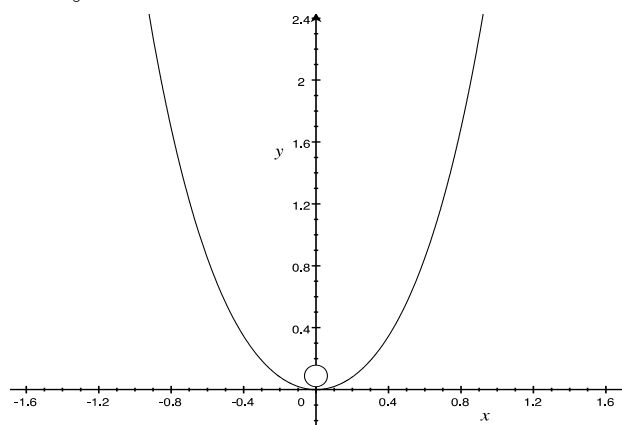


図1 対称性の高い、シンプルな世界の真空

ヒッグス博士とアングレール博士は真空の性質に対称性を持たせつつ、非対称な状態が最も安定な状態になるモデルを考えました。それが次の図2です。図2のAはエネルギーの高い状態です。対称性が高い非常に不安定な安定状態です。素粒子の状態がAにとどまるためには真空に高いエネルギーを持たせなければなりません。それは宇宙誕生直後の高エネルギー状態で実現されていました。

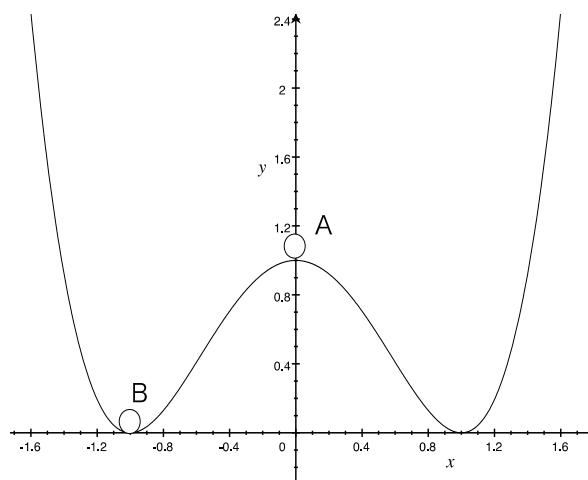


図2 対称性の高い、現実の世界の真空

宇宙の進化によって真空のエネルギーが低下すると、Aの状態は不安定となり、次第にBの位置に移動します。Bの位置は横軸、ヒッグス場の値が0ではない値になっていますので素粒子は有限の質量をもちます。

ヒッグス模型の成功は1983年のW、Zボゾンの発見で確実となりました。ヒッグス機構を使ってW、Zボゾンの質量を理論的に予測することに成功したグラシヨウ博士、サラム博士、ワインバーグ博士は1979年にノーベル物理学賞を受賞しました。

4. 今後の展望

ヒッグス粒子は発見され、標準模型の正しさが実証されましたが、物理学の究極の理論は完成していません。標準模型には重力は含まれていませんし、標準模型単独では決定できない多数のパラメーターが存在します。また、宇宙のエネルギー構成を観測した結果では標準模型で説明できる素粒子は宇宙のわずか4%を占めるに過ぎず、未知の宇宙暗黒物質やダークエネルギーを説明できる理論や実験は未完成のままです。

標準模型が完成した今こそ、宇宙の謎にもう一步大きく踏み出すための新たな挑戦を始める時です。

文 献

[1] ノーベル財団 WEB サイト

<http://www.nobelprize.org>

[2] ATLAS Collaboration, Physics Letters B726 (2013) 120 : CMS Collaboration, Physics Letters B726 (2013) 564.

伏見 賢一