

【領域番号】 2303

【領域略称名】 テラスケール物理

【領域代表者（所属）】 浅井祥仁（東京大学・大学院理学系研究科・教授）

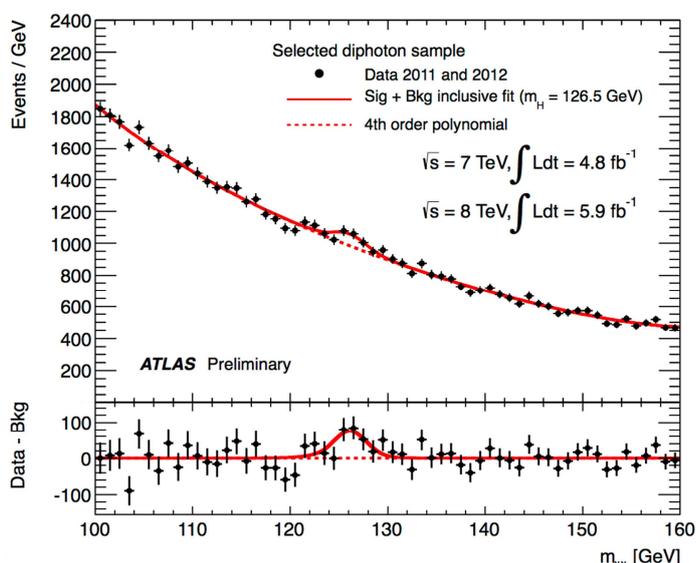
（本領域で具体的に期待できる成果は以下の4点である）

- (1) ヒッグス粒子の確実な発見と質量の起源の解明
- (2) 超対称性粒子など標準理論を超える新しい素粒子現象の発見：直接探索、間接探索の両輪で確実な発見を目指す。
- (3) ヒッグス粒子や超対称性粒子の研究を通して時空や真空の解明を目指す。
- (4) LHC・アトラス検出器の性能向上や次世代エネルギーフロンティア実験にむけて、加速器・検出器の基礎技術の開発を行う。

現在の進行状況を対応つけて、まとめる。

(1) ヒッグス粒子発見

◎2012年7月4日に会見を行い、質量126GeVのヒッグス粒子と思われる新粒子を発見した。右図にヒッグス粒子が光子2つに崩壊した時の不変質量分布を示す。質量126GeVの箇所に、ヒッグス粒子と思われる新粒子のピークが観測された。これは、自然科学の歴史に残る大きな成果であり、学術的にも極めて大きな反響があると同時に新聞やテレビでも一面に大きく取り扱われた。（写真右下）



このときは、ゲージ粒子への結合だけが観測されていたので、発見された新粒子はヒッグス粒子であるとは断定せずに、実験を続けた。

◎データ量を約2倍に増やし、フェルミ粒子との結合が（ 2σ 程度の確度で）測定され、同時にスピントロ、パリティ正であることも観測できたので、2013年3月に、発見された新粒子は、ヒッグス粒子であると断定した。質量の起源に関係していることも確かめられたが、今後はより測定精度を高め、質量起源の全貌を解明する為に、より詳細な研究が必要である。

この歴史に残る成果には、バックグラウンド研究や検出器較正などアトラス実験での物理研究に参加している4つの計画研究A01-04が共同で行った。

(2) 超対称性など標準理論を超える新しい素粒子現象に厳しい制限

◎ヒッグス粒子の性質の標準理論からのズレ、標準理論反応過程の精密検証、標準理論を超える新現象の直接探索の3つの方法を計画研究A01-06が共同して推進した。LHCの重心系エネルギー8TeVまでには、標準理論を超える新しい素粒子現象は残念ながら発見されなかった。

◎超対称性粒子に対して厳しい制限（グルイーノに対して、約1.4TeVより重い）が得られた。従来考えられていた超対称性理論のモデルやパラメーターに対する厳しい制約が得られた。

◎2015年（本領域の研究年度内）にLHCの運転エネルギーは14TeVに倍増されるので、超対称性な

どの新粒子発見が期待されている。 8TeV での研究を進展させ、14TeV での速やかな発見に向けて現在準備研究を進めている。

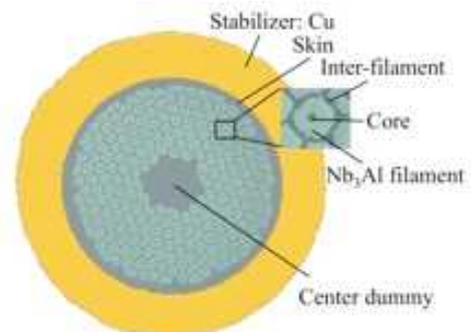
(3) ヒッグス粒子の発見は、真空が相転移しヒッグス場が凝縮した特殊な状態にあることの実験的な証拠

- ◎ ヒッグス粒子の詳細な研究を通して、真空がどのような構造を持っているのか、時空と真空の関係など詳細な研究が進展している。
- ◎ 「質量起源の解明」と言う素粒子分野の成果ばかりでなく、真空のエネルギーや、真空の相転移によって宇宙が誕生・進化してきたことを示す成果であり宇宙物理の研究が進展している。
- ◎ 軽いヒッグス粒子の存在と、超対称性などの新しい素粒子現象が 1 TeV より軽い領域にないことから、研究項目 B の研究成果とあいまって、宇宙初期像や素粒子世代の研究に大きな影響を与えた。特に、ヒッグス粒子の質量スケールの自然さを問い直す新しい展開があった。

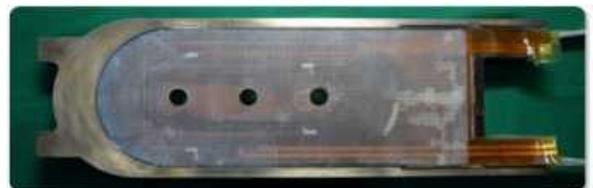
(4) LHC 高輝度実験・次世代エネルギーフロンティア実験の基盤技術の確立

◎LHC 実験での経験から、高性能・耐放射線検出器、高速トリガーシステム、超伝導加速器技術に新たな知見が得られ、それを基に次世代の基盤技術の開発を行っている。

例えば、より強い磁場を発生させることができる Nb₃Al 線材(右上図：ラザフォード線断面図、右下写真：試作した Nb₃Al 磁石)を開発し、放射線や機械的な強度耐性などを調べ設計に反映された。



◎超伝導技術ばかりでなく、半導体検出器、ミュオン検出器、高速トリガーシステム、カロリメータの主要な技術開発を行っている。これらの成果は 2018 年に予定されているアトラス検出器の大幅な性能増強に活かされる。



(本領域が設定した対象は以下の 2 つ)

「既存の学問分野の枠に収まらない新興・融合領域創成」

本領域は、核となるテラスケール物理の新たな現象を発見し、この実験的成果をもとに、新しい宇宙像、時空概念、素粒子の大きな謎である世代構造の解明、自然を表現する数学などへの研究を直接展開することにより新たな領域を創成するものである。

(研究項目A)

◎本領域の核となる重要な課題の一つであるヒッグス粒子を2012年に発見、その質量や性質を決めることができたのは、大きな成果である。ヒッグス粒子の発見は、単に質量の起源が解明され、素粒子標準模型が完成することを意味するのではなく、真空の相転移によって宇宙進化や素粒子の性質が決められていることの実験的な証拠であり、既存の学問分野を超えて新しい展開につながる。またメディアや一般向け科学誌が扱った様に、人々の自然観に影響を及ぼす社会的に大きな反響のある結果であった。

(研究項目B)

◎ヒッグス粒子の発見とその質量は、標準理論を超える物理を理解する上で、大きなインパクトがあった。単純な超対称性理論で考えると質量がやや重すぎること、この質量領域であれば宇宙の初期からヒッグス場が安定であっても良いことなどから、これまで考えられてきた従来のテラスケール物理の枠組みを再構築する必要が出てきた。研究項目Bは、新しい研究の枠組みを構築し、新しい宇宙像・時空概念の構築、さらには新しい自然観に向けて、新しい方向を打ち出した。

「当該領域の研究の発展が他の研究分野に大きな波及効果をもたらす」

本領域は、真空の構造や暗黒物質、時空の解明を通して、基礎となる自然観の変革をもたらす。また、現在のインターネット社会の基盤をなしているWWWも素粒子実験の情報を共有する目的で開発されたものである様に、検出器技術や高速データ収集技術、Associative Memoryと呼ばれるデータでなく判断を保存するメモリを使ったトリガーの開発なども含めて、計算技術関連分野は、基礎科学分野のみならず、産業界にも大きな効果が期待できる。また超伝導線材の基礎技術は、広く工業応用が期待される。

(研究項目A)

◎未だに超対称性などの新しい兆候は得られていないが、ヒッグス粒子の発見は、真空の概念を変えるものであると同時に、宇宙の誕生や進化に真空の相転移が役割を果たしている初めての実験的な証拠であり、宇宙物理学の分野に大きな波及効果をすでに与えた。当初設定した目的：素粒子の歴史（右下図）で示すと、赤丸の部分が本研究成果である。

◎新しい超伝導素材の実用化、放射線耐性のすぐれた検出器などの開発も進んでいる。また、高速データ収集技術、GRIDコンピューティングなども含めて、技術関連分野に大きな波及効果がすでに及んでいる。

(研究項目B)

これまでのテラスケールでの物理成果を基礎に、宇宙誕生、時空の構造、超弦理論の数学的形式、素粒子の世代問題などに、新しい知見をもたらしている。
まだ、テラスケールでの標準理論を超える新しい素粒子現象の発見には至っていないため、これらの知見はまだ限定的であるが、これらは設定した目標（右図）の3つの青丸の部分であり、物理学全般に及ぶものである。

