

# 世界最高の加速器が開く高エネルギー物理学新時代の扉



はせがわ ようじ  
長谷川 庸司

YOJI HASEGAWA

講座・職名：素粒子・宇宙物理学講座・准教授

略歴：'90 東北大学理学部物理学卒業，'92 同大学院理学研究科修士課程修了，'95 同大学院理学研究科博士課程修了，'95 東京大学研究員，'97 日本学術振興会海外特別研究員 (CERN)，'99 CERN フェロー，'00 信州大学理学部助手，'06 同助教授，'07 から現職

専門分野：高エネルギー物理学実験

キーワード：素粒子物理学，標準理論，クォーク，レプトン，ヒッグス粒子，超対称性粒子，粒子加速器，ハドロン衝突型加速器，電子陽電子衝突型加速器，CP 非保存，微細構造ガス検出器

ホームページ：<http://hepl.shinshu-u.ac.jp/~hasegawa/>

連絡先：[hasegaw@shinshu-u.ac.jp](mailto:hasegaw@shinshu-u.ac.jp)

## 現在の研究テーマ：加速器を用いた高エネルギー物理学実験

高エネルギー物理学(素粒子物理学)は、物質を形成する最小要素(素粒子)とそれらの間に働く力(相互作用)を解明する学問です。

物理学研究には理論と実験があり、私が行っている後者は、最小要素を「見」て調べる必要があります。ものを「見る」とは、「対象物にものをぶつけて、その跳ね返りや、壊れてできた『破片』の様子を調べる」ことです。例えば、光学顕微鏡は、ものに当たって散乱された可視光を目で感じることで、その形を見ます。光学顕微鏡では見られない素粒子の世界を「見る」には、可視光の代わりにエネルギーの高い粒子をぶつけます。量子力学によれば、小さいものを「見る」には、高いエネルギーが必要なためです。素粒子を「見る」ための「顕微鏡」が粒子加速器で、電荷を持った粒子(電子、陽子やそれらの反粒子など)を高電場で高いエネルギーまで加速し、これらの粒子同士を正面衝突させます。衝突により発生した様々な粒子を詳しく調べることで、素粒子の世界を「見る」ことができます。これが、「高エネルギー」物理学と呼ばれる所以です。衝突で発生する粒子は放射線のため、「目」となる専用の検出器が必要になります。

現在確かめられている物質の最小要素は、6種類ずつあるクォークとレプトンです。陽子や中性子はクォーク3つからできています。電子はレプトンの

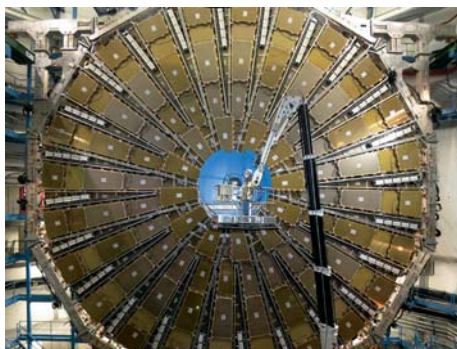
仲間です。これらの素粒子の間に働く力には、皆さんもお馴染みの電磁気力、重力に加えて、陽子と中性子をつなぎ止めて原子核を形成する強い力、放射性同位体を $\beta$ 崩壊させる弱い力の4種類があります。後の二つは、素粒子の世界では力が及びません。逆に、重力は、素粒子の世界では他の3つの力と比べて極めて弱く、無視できます。素粒子の世界で働く3つの力もゲージ粒子と呼ばれる素粒子が伝えます。さらに、「なぜ物質には質量があるのか」を説明し、素粒子の質量の起源となるヒッグス粒子があります。これらの素粒子をまとめて説明する理論の枠組を素粒子物理学の「標準理論」と呼びます。過去30年以上、実験による標準理論の検証が行われてきました。驚くべきことに、標準理論は全ての実験結果を矛盾なく説明し、理論の綻びが見つかりません。

しかし、長期間の実験検証に耐えてきた標準理論ですが、不満がいくつかあります。まず、理論の中で非常に重要な働きをしているヒッグス粒子が未発見なことです。次に、標準理論では決めらず、実験結果から決めなければならないパラメータが多いことです。これらを解決するために、理論研究者により標準理論を超える理論(標準理論を包含するより大きな枠組の理論、例えば、超対称性理論)が提案されています。

## LHC/ATLAS 実験

加速器を用いた高エネルギー物理実験には、二つの流れがあります。一つは可能な限り高い衝突エネルギーを目指す流れで、加速する粒子のエネルギーを上げ、より重い素粒子や、新しい現象の生成を可能にします。その代表例が、ジュネーブ郊外にあるヨーロッパ素粒子研究所 (CERN) の大型ハドロン衝突型加速器 (LHC) です。周長 27km、地下約 100m の円形トンネル内に設置され、反対方向に 7 兆電子ボルトまで加速された陽子同士を正面衝突させます。実験が 2009 年から始まりました。

LHC により陽子同士が衝突した際の現象を「見る」測定装置の一つが ATLAS 実験で、私は、計画段階から参加し、10 年以上にわたり、測定器の一部の設計、シミュレーションによる性能評価、建設に携わっています。ATLAS 測定器は、大きさが直径 23m、長さ 44m の円筒形をした巨大な測定装置です。下図は私が携わった測定器が ATLAS 測定器に取り付けられた写真です。



ATLAS 測定器に取り付けられた検出器。茶色の検出器 1 つがほぼ量 1 枚に相当 (CERN 提供)。

標準理論が破綻しないためには、LHC/ATLAS 実験でヒッグス粒子が見つからなければなりません。ATLAS 実験では、標準理論のより精密な検証や未発見のヒッグス粒子探索のほか、標準理論を超える理論で予言される現象、例えば、超対称性粒子探索、ブラックホールの生成など、今までの加速器実験ではできなかった研究が可能になります。この実験で得られる新しい沢山の知見は、素粒子物理学を標準理論の枠組から解放し、新たな段階に進めるに違いありません。実験データが着々と蓄積され、データ解析が行われています。

## KEKB/BELLE 実験

もう一つの流れは、高い衝突頻度により、稀にし

か起こらない現象を生成し、それらを詳しく調べることで、背後にある基本法則を解き明かすものです。代表的な実験が、つくば市の高エネルギー加速器研究機構 (KEK) にある周長 3km の KEKB 加速器で、電子と陽電子を世界最高の衝突頻度で衝突させます。KEKB の「B」は、二番目に重い b クォークを含む B 粒子を効率良く対生成するように衝突のエネルギーが調整されていることに由来し、KEKB 加速器は「B 工場」とも呼ばれます。KEKB 加速器での衝突現象を捕らえるのが BELLE 測定器で、私はこの実験にも参加しています。この実験での大きな成果は CP 非保存を解明したことです。CP 非保存は、宇宙開闢時に物質と反物質は等量あったはずなのに、現在の宇宙には物質しか存在しない理由を説明します。稀な現象を詳しく調べることで、物質と反物質で崩壊の仕方に極わずかの違い (CP 非保存) を見つけ、反物質消滅の謎を解き明かしつつあります。

## 放射線測定器の開発研究

高エネルギー物理学実験に必要な「目」がオーダーメイドの放射線検出器です。性能の良い検出器を開発することも、私たちの大きな役目の一つです。放射線検出器は、放射線診断や治療の分野での利用など、幅広い分野に応用されています。私は、特に、ガスを用いた放射線測定装置の開発を行っています。ナノテクノロジーを用いて、性能がよく、取扱い易い検出装置の開発を目指しています。

## 高校生の皆さんへのメッセージ

物質を分割して行き着く先の探索は、古代ギリシア時代以来脈々と続き、人類の「遺伝子」に擦り込まれているのかもしれませんが。その最先端の研究が、高エネルギー物理学です。近年の高エネルギー物理学実験は、標準理論の検証が主で、「嵐の前の静けさ」の状態でした。LHC が動き出したことにより、新しい時代の扉が開かれようとしています。このような高エネルギー物理学の大変革を共有できるのは、大変幸運なことだと思います。データが蓄積され、結果が出始めています。皆さんも新しい素粒子の世界像を楽しみにして下さい。そして、我こそは、と思う方は、是非私達と一緒に未知の領域を探索して、謎を解き明かしてゆきませんか。