

## 素粒子の探索 30 年

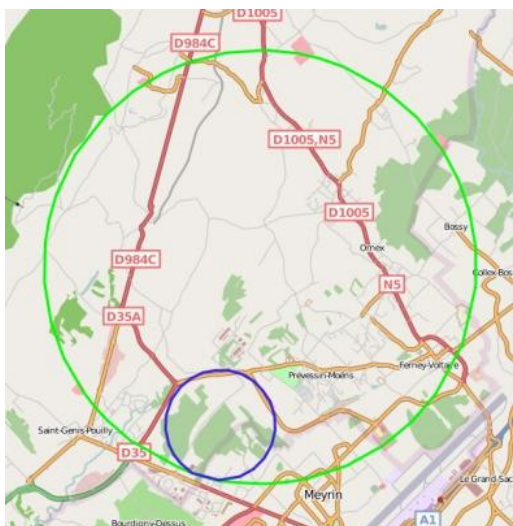


図 1 CERN の SPS (青の円、周長 7km) と LHC (緑の円、周長 27km)  
© OpenStreetMap contributors

本誌「月刊うちゅう」が創刊される前年の 1983 年に、素粒子 $W$  と  $Z$  がスイスのジュネーブ近郊にある CERN (欧州原子核研究機構) の SPS (スーパー陽子シンクロトロン) で発見されました。この発見は、「自然界の力<sup>2</sup>を全て統一して理解する」という夢を、現実にも近づける大きな一歩でした。その後発見された新粒子は、米国シカゴ近郊にある FNAL (フェルミ国立加速器研究所) の Tevatron (陽子・反陽子衝突型加速

器) を使った実験で、1995 年にトップクォーク、2000 年にタウニュートリノ。そして去年、2012 年に、素粒子に質量を与えるヒッグス粒子が CERN の LHC (大

型ハドロン衝突型加速器) で、その存在がほぼ確定されました。これで標準理論が必要とする素粒子 17 種類が全て揃ったのです。ちなみに、タウニュートリノの発見は丹羽公雄グループによる検出で、トップクォークの予言は小林・益川理論によるものです。本稿では  $W$ 、 $Z$ 、それとヒッグス粒子を中心に述べたいと思います。

今から半世紀ほど前、1967 年に、ワインバーグとサラムが電磁力と弱い力<sup>2</sup>の統一理論を提唱しました。弱い力を媒介する素粒子にヒッグス粒子が質量を与えて、当時知られていた現象をうまく説明するものでした。この素粒子が  $W$  と  $Z$  で、陽子の約 100 倍という非常に重い素粒子が存在するはずと予言したのです。さらに、中性カレントという  $Z$  が介在する未知の素粒子反応も予言していました。じっさい中性カレントが発見され、ワインバーグとサラムは 1979 年にノーベル賞を受賞しました。素粒子に質量を与えるヒッグス粒子というのは、南部陽一郎博士が 1960 年に提唱された「自発的対称性のやぶれ」という概念が基本になっています。南



図 2 南部博士と磁石のテーブル  
2010 年 6 月 16 日

部博士はこの研究で 2010 年にノーベル賞を受賞されました。大阪市立科学館ではこの概念を説明する装置「磁石のテーブル」を展示していて、どうやって質量を与えるかを解説しています。著者は「月刊うちゅう」で何度か紹介し、著者のホームページにも掲載していますので、ぜひご覧ください。

さて、陽子の 100 倍も重い素粒子を直接捕まえようというのが CERN の SPS による実験で、周長 7km のトンネルを陽子と反陽子を光速に近い速度で走らせて衝突させるものでした。そして、じっさいにほとんど予想通りの質量で W と Z が見つかったのです。「月刊うちゅう」創刊の前年に W と Z が発見され、30 周年の前年、2012 年に W と Z を非常に重くするヒッグス粒子が発見され、弱い力と電磁力の統一がほぼ完全なものになったのです。

W と Z の発見時には、すでに弱い力と電磁力に加えて強い力<sup>2</sup>もひとつに統一しようという大統一理論がさかんに研究されていました。大統一理論は陽子の崩壊を予言していて、その時にニュートリノの放出があるとされていました。そこで、このニュートリノを捕まえようと岐阜県にカミオカンデが建設されたのです。W と Z が発見されたのと同じ 1983 年です。その後、陽子崩壊は発見されず、当時の大統一理論は否定されました。現在は超大統一理論の予言を実証しようと実験が行われています。また、「月刊うちゅう」創刊の年、1984 年には、超弦理論によって重力も含むすべての力の統一が実現する可能性が示されました。現在、究極の理論の候補と考えられ、数学者も巻き込んで研究が行われています。統一理論を追い求める研究は止むことがないようです。

ちなみに、W や Z のように直接的な証拠を捕まえようとしたら、大統一理論では SPS 実験の 100 兆倍のエネルギーが必要で、超弦理論は銀河系ぐらいの大きさの実験装置が必要になるそうです。

ところで、W と Z を発見した SPS 実験は、実験装置の建設費を含めて約 1000 億円のプロジェクトです。ヒッグス粒子を発見した LHC はエネルギーが SPS

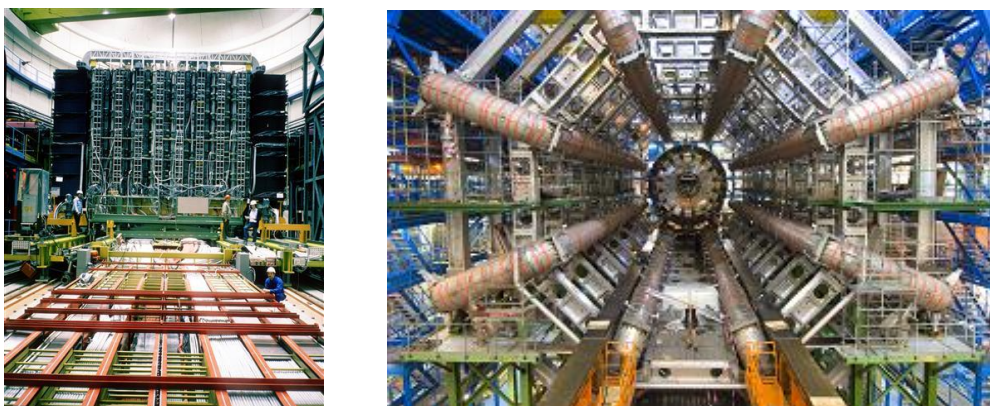


図 3 SPS の検出器（左）と LHC の検出器（右） ©CERN

の 30 倍で、実験装置が 5000 億円、全体計画が 1 兆円のプロジェクトです。両方とも欧州の各国が出資して運営する CERN で実施されたものです。図 1 に示したトンネルの大きさから実験の巨大化が理解できます。検出器も比べようと CERN のホームページから写真を転載してみました (図 3)。スケールの違いが想像できます。一方、米国においては、タウニュートリノとトップクォークの発見に使用した Tevatron の建設費が改造費を含めて、約 400 億円です。1982 年には、約 1 兆円の建設費で、周長 90 km のトンネルを掘って、1 万個の超伝導磁石を使う SSC (超伝導超大型加速器) 計画がたてられ、ヒッグス粒子の発見が期待されていました。じっさいに 15km のトンネルをほり、2000 億円の経費支出をしたのですが、財政難により 1993 年にこの計画は打ち切られました。超経済大国であっても、一国だけではヒッグス粒子の探索はできなかったのです。

このように、「月刊うちゅう」が刊行を続けてきた 30 年は、半世紀前の統一理論を実験的に確認した時代でもあったのです。実験は一国ではとてもできない巨大なものに成長していますが、統一理論を追求する科学者の活動は止むことがありません。先日、超弦理論の大家である大栗博司博士の講演会に参加する

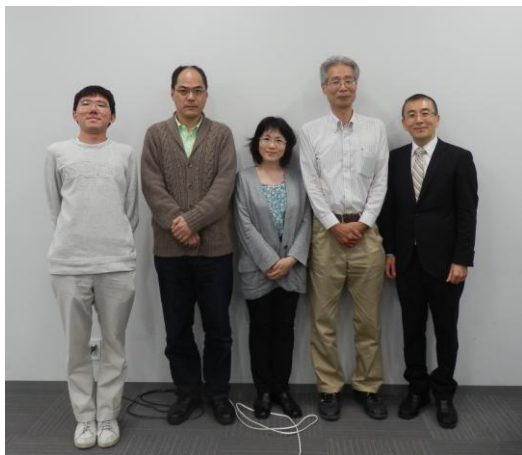


図 4 右から大栗博士、著者、科学デモンストレーターの奥出さん、友の会の早川さん

機会がありました。超弦理論は、実験的な証拠はまだないが、ブラックホールの矛盾を解決したり、高温超伝導などの理解にも役立つと期待が高まっているそうです。超弦理論そもそもの魅力、すべての力<sup>2</sup>の統一を熱く語られ、聴衆も知的興奮を味わいました。

美しいものを求める芸術家、そしてその作品に魅了される愛好家、と同じかもしれません。われわれ市民が科学者と夢を共有できるのは、現代人の特権でしょう。

齋藤吉彦 (科学館学芸員)

<sup>1</sup> 身の回りにあるすべての物は小さな粒子、原子からできている。原子は原子核とその周りを回る電子から、原子核は陽子と中性子から、陽子や中性子は 2 種類のクォークからできている。電子やクォークはこれ以上分解できない粒子である。このように、もうこれ以上分解できない粒子を素粒子という。

<sup>2</sup> 重力、電磁力、弱い力、強い力の 4 種類の力が知られている。弱い力は原子核が崩壊して放射線の一種  $\beta$  線を放出するときに関与している力。強い力はクォーク同士に作用する力で、太陽エネルギーや原子力エネルギーの源。