

Nobel Prize in Physics for symmetry breakdown

「対称性の破れ」にノーベル物理学賞

doi: 10.1038/news.2008.1155/7 October 2008 増補版

Geoff Brumfiel

素粒子物理学の理論研究により、日本生まれの科学者 3 人が共同受賞。

2008 年のノーベル物理学賞は、日本生まれの 3 人の研究者に贈られることになった（南部氏は米国籍）。これは、日本にとっては初めてのことであるが、今後の物理学研究においてこの国の存在感が増してくることの前触れであるのかもしれない。

日本の高エネルギー加速器研究機構（KEK、茨城県つくば市）名誉教授である小林誠と、元京都大学基礎物理学研究所長で同大学名誉教授の益川敏英には、この宇宙の物質が反物質よりも多いことの原因になったとみられる「対称性の破れ」が起こる仕組みを見いだした業績により、それぞれ賞金の 4 分の 1 が贈られる。

賞金の残りの半分は、米国のシカゴ大学（イリノイ州）名誉教授である南部陽一郎に贈られる。「自発的対称性の破れ」の概念により量子の世界のさまざまな粒子や力を説明できることを示した南部との共同受賞について、小林は「とても光栄です」と話す。

理論物理学の輝かしい伝統

3 人の共同受賞は、日本の理論物理学の長い伝統を反映しているが、世界の物理学者たちは、素粒子物理学における日本の影響力が増してきていることも反映していると指摘する。各国がこの分野への予算を削減している中で、日本の素粒子物理学は活況を保っており、少なくともあと数個はノーベル賞を獲得しそうな勢いである。「日本の素粒子物理学コミュニティは活気に満ちています」と、メリーランド大学（米国メリーランド州）の素粒子物理学者 Hassan Jawahery はい



著作権等の理由により画像を掲載することができません。

左から、高エネルギー加速器研究機構の小林誠名誉教授（64 歳）、京都大学の益川敏英名誉教授（68 歳）、シカゴ大学（米）の南部陽一郎名誉教授（87 歳）。

う。「日本は素粒子物理学に巨額の投資をしてきました」。

日本には、第二次世界大戦前から活気に満ちた理論物理学コミュニティがあった。1949 年には、中間子の存在を予言した湯川秀樹が、日本人として初のノーベル賞を受賞した。1965 年には朝永振一郎がこれに続き、その受賞理由となった量子電磁力学の理論は、現在でも素粒子の相互作用を記述するために使われている。

南部氏の新しいアイデア

シカゴ大学の Peter Freund 名誉教授は、南部は日本生まれの物理学者の中で歴史上、最も影響力ある人物の 1 人であるという。「彼の頭の働きは、ほかの人とはかなり違ってきます」と Freund は話す。南部はよく、黒板にいくつかの標準的な方程式を書き、物理学のよく知られた概念について話していたかと思うと、突然、その方程式を使ってエレガントで

思いがけない結論を引き出してみせるといふ。「それが実にみごとなのです。彼がどうやってそうした結論に到達するのか、私にはけっして理解できないでしょう」と彼は話す。

南部は米国に渡って 8 年後の 1960 年に、そのユニークな思考力で対称性の問題に取り組んだ。対称性とは、ある系の一部が別の部分の鏡像になっているというような性質のことである。物理学者たちは、エレガントに記述できる自然界の対称性を愛する。しかし、自然界には対称性が破れている部分もあり、これを説明するのははるかにむずかしい。「対称性とその破れについては、きれいに磨かれた金属球をイメージするとよい」と Freund は話す。金属球は、どの角度から見ても同じに見えるだろう。つまり対称性がある。次に、金属球のどこかにへこみがあるとしよう。すると、金属球をある角度から見るのと別の角度から見るのとでは違って見える。

高エネルギー加速器研究機構 京都大学 UPIPHOTO / BRIAN KERSEY / NEWS.COM

1950年代から1960年代にかけて、物理学者たちは方程式を扱うなかで、こうしたへこんだ球にあたるものに何度も遭遇した。彼らが記述した系は、ほとんど対称であったが、完全には対称でなかった。物理学者たちにはその理由はわからなかった。

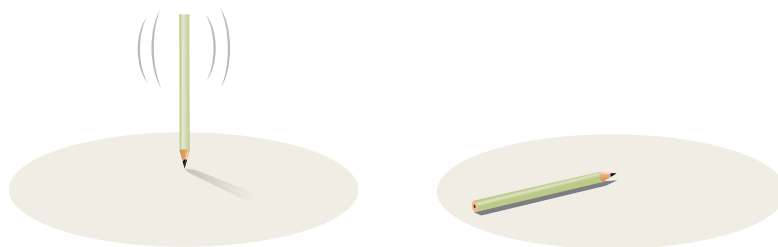
南部は、この「へこみ」を説明するために対称性に関する新しいアイデアを導入した。簡単にいうと、彼は対称性を、鉛筆がその先端を下にして直立しているような状態としてイメージしたのである。鉛筆が直立しているかぎり、鉛筆は水平面上の特別の方向を向いてはならず、系は水平回転に関して対称になっている。しかし、わずかなバランスの乱れで鉛筆が倒れ始めると、鉛筆はある特定の方向を指すようになり、対称性は失われる。「自発的対称性の破れ」とよばれるこの考え方は、自然界の対称性の多くがわずかに不完全である理由を説明できただけでなく、以前は見つけることができなかった隠れた対称性を探すのにも役立った。「現代の物理学は、南部のアイデアなしにはありえなかったでしょう」とFreudは話す。

第3世代のクォークを予言

小林と益川は、別の対称性の破れから、宇宙に反物質よりも多くの物質ができる仕組みを説明した。宇宙に反物質よりも多くの物質が存在していることは、素粒子物理学の重大問題である。2人は計算



高エネルギー加速器研究機構のBelle測定器。2001年、B中間子の崩壊における大きなCP対称性の破れの観測に成功し、小林・益川理論の正しさを実験的に証明した。



自発的対称性の破れの概念図。左のように鉛筆が直立しているかぎり、鉛筆は水平面上の特別の方向を向いてはならず、系は水平回転に関して対称になっている。しかし、わずかなバランスの乱れで鉛筆が倒れると、鉛筆はある特定の方向を指すようになり、対称性は失われる。

の末、クォークどうしが弱い力（自然界の4つの基本的な力の1つ）により相互作用することが、電荷とパリティの対称性（CP対称性）の破れにつながることを見だして、1973年の論文で発表した。CP対称性の破れは、粒子が常にその反粒子の正確な鏡像としてふるまうわけではないことを示唆している。その結果、反物質よりも多くの物質が存在することになる。

英国のオックスフォード大学の物理学者Ken Peachは、「小林と益川が書き下したこのすばらしい数学的表現を物理的に解釈したものが、物質と反物質の間の対称性の破れなのです」と話す。その方程式は第3世代のクォークの存在を予言していたが、実際にクォークが見つかるまでは、その予言は信じがたく思われた。

日本は、理論物理学だけでなく、莫大な費用のかかる加速器物理学にも力を入れている。数十年前に湯川が予言した中間子の仲間を利用して小林と益川の理論を検証する実験も、その1つである。1990年代半ばから進められているKEKのBelle実験では、B中間子（ボトムクォークを含む中間子）の崩壊を観察することでCP対称性の破れを測定している。

Belle実験のライバルにあたる米国のSLAC国立加速器研究所（カリフォルニア州メンローパーク）のBaBar実験で研究を行ってきたJawaheryは、「Belle実験はすばらしい成功を収めました」という。この2つのプロジェクトはしばしば数日から数週間違いで結果を出し、BaBar実験がリードすることもあれば、Belle実験がリードすることもあった。「私

たちは非常に友好的、かつ健全に競争していたのです」とJawaheryは話す。

日本は、今後しばらくは、ニュートリノ（質量がゼロに近い微小な粒子）の物理学だけでなく、B中間子の研究においても、世界のリーダーにとどまりそうである。BaBar実験はすでに新しい実験データを取ることをやめており、予算削減のため、まもなく永久に閉鎖されることになっている。対照的に、Belle実験の物理学者たちはさらに強力な実験計画案を提出している。

別種のCP対称性の破れの可能性

しかし、日本が進める、より強力な実験によっても、破れた対称性に関する疑問に完全に答えることはできないだろう。B中間子におけるCP対称性の破れは、宇宙の物質と反物質の間の不均衡のごく一部しか説明できない。小林は、「別の種類のCP対称性の破れがあるのだろう」と話す。

そのようなCP対称性の破れが存在するならば、それはスイスで見つかることになるのかもしれない。スイスで来年運転再開予定の大型ハドロン衝突型加速器（LHC）という新しい粒子加速器は、超対称性とよばれる新しい種類の対称性の証拠を見いだす可能性がある。超対称性が存在しているならば、現在の物質と反物質の間に不均衡が生じている理由がさらによく理解できるようになるだろう。日本はLHCのかなりの部分の材料を提供しており、10を超える日本の大学がLHCの検出器の建設に協力している。この実験からどんな結果が得られるのか、小林にさえ確かなところはわからないという。■