

解説

2008年度ノーベル物理学賞 南部陽一郎、小林 誠・益川敏英へ！！！！

福江 純（大阪教育大学）

スウェーデン王立科学アカデミー（The Royal Swedish Academy of Sciences）は、2008年度のノーベル物理学賞を、南部陽一郎博士（87歳；シカゴ大学名誉教授）、小林 誠博士（64歳；高エネルギー加速機構名誉教授）、益川敏英博士（68歳；京都産業大学）の3氏に贈ることを発表した。受賞理由は、南部陽一郎が“for the discovery of the mechanism of spontaneous broken symmetry in subatomic physics”（素粒子物理学における自発的対称性の破れの機構の発見に対して）、小林 誠・益川敏英が“for the discovery of the origin of the broken symmetry which predicts the existence of at least three families of quarks in nature”（自然界において3世代のクォークの存在を预言する対称性の破れの起源の発見に対して）である。賞金の1000万スウェーデン・クローナ（約1億4000万円）は、南部博士が1/2、小林・益川両博士が1/4ずつという配分である。

0. どきどきわくわく

去る10月7日（火）、後期開始の最初の怒濤のような1週間が終わり、一杯呑みながら7時のニュースをぼんやり見ていたら、飛び込んできた朗報である。基礎科学が冷遇される貧しい国から、3人もの受賞者が出た（図0-1）。何とも心が沸き上がる出来事だった。

ふだんはニュースを回すことなどしないが、このときばかりは、学生のメーリングリストへ受賞の知らせを速報した。私事だが、愚息が京都産業大学の出身で益川さんの講義も聞いているので、そちら関係へも連絡をしたら、愚息の友人などからは、“いま頭が混乱しています…（益川さんは小柄なので）ほんとうに精霊だったんですね”などという返事が戻ってきたぐらいだ。

翌日はたまたま自宅に居たので、テレビのニュース見っぱなしで（益川さん、すごく面白かった）、ニュースを録画したり、夜は夜で少しい目のワインを開けて祝杯をあげたり、木曜日の講義では新聞のコピーや簡単な資料を配って興奮気味に話したり、数日、わけも

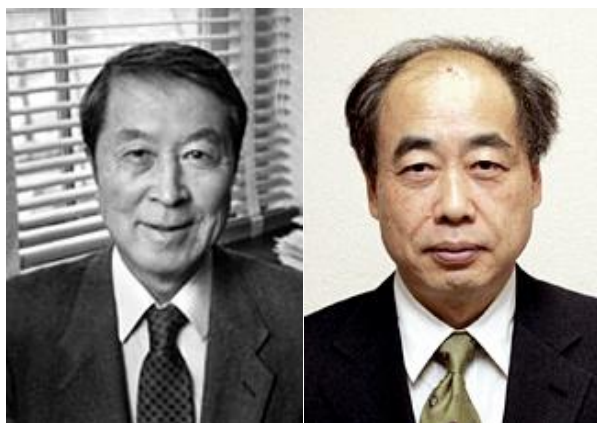


図0-1 2008年度ノーベル物理学賞の受賞者。左上：南部陽一郎博士、右上：小林誠博士、左下：益川敏英博士。
（ノーベル財団のWebサイトより）
© University of Chicago/KEK/Kyoto University)

なくフィーバー状態だった。

ひとしきり落ち着いたころ、編集部から、簡単な解説を書いてもらえないかという依頼である。自発的対称性の破れにせよ、クォークの世代の話にせよ、ぼく自身が学生のころにはすでによく知られた話で、科学解説書も山ほど読んだが、さすがに短期間で解説を書けるほど詳しいわけじゃない（いやいや、時間をもらったからといって、ちゃんと書けるわけじゃない）。



図 0-2 小柴昌俊さんと青年（笑）たち
(2008年の夏に筑波で開催された第38回天文天体物理若手夏の学校にて。写真撮影：福江純)

以前、2002年度のノーベル物理学賞を小柴昌俊さん（図 0-2）たちが受賞したとき、ノーベル財団の Web サイトの記事を訳出して詳細にあてたのだが（『天文教育』2003年1月号と3月号に掲載）、今回も財団による一般向けの紹介記事“Information for the Public”（http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2008/info.pdf）を訳出するという形で引き受けることにした。[] は訳注である。また、冗長な部分はところどころ少し省略した。

2008 年度ノーベル物理学賞

The Nobel Prize in Physics 2008 Information for the Public

なぜ、宇宙は無でなく有なのだろう。なぜ、かくも種々で異なった素粒子があるのだろう。本年度のノーベル物理学賞は、物質の最小単位の内奥深くで生じていることがらに対して、われわれの理解を深化させた理論的な洞察に授与された。

1. 自然界の隠された対称性を暴く

対称性に関する自然の法則が本稿の主題である。いやむしろ、“破れた対称性たち”と言うべきだろうか。片や、われわれの宇宙の最初の最初から存在していたと思われる対称性であり、片や、その過程のどこかで最初はあった対称性が自発的に失われたという類の対称性である。

実際のところ、われわれはすべて破れた対称性の末裔なのだ。対称性の破れは、約 140 億年の昔、ビッグバンの直後、膨大な物質と反物質が生まれたときに起こった。物質と反



図 1 宇宙誕生時の対称性の破れ
ビッグバン宇宙において、もし物質と反物質が等量だけ生まれていたら、それらはすべて対消滅しただろう。しかし、10 億個の反物質粒子に対して物質粒子が 1 個だけ余分であれば、物質は反物質に打ち勝つことができる。

物質の出会い、双方にとって致命的である。それらは対消滅して、すべてエネルギー（放射）に変わる。しかしながら、物質が反物質に打ち勝ったのは明らかだ。もしそうでなければ、われわれはここに存在しないだろう。

そしてそのためには、完全な対称性から、ほんのわずかにずれているだけで十分だった

（図 1）。すなわち 10 億個の反物質粒子に対して、1 個だけ余分な物質粒子があれば、われわれの世界が生き延びるには十分なのだ。

[原文は 100 億個に 1 個となっているが、たぶん 10 億 : 10 億 + 1 でいいはず。]

このわずかな超過分こそが、現在の宇宙全体のタネになって、銀河や星々や惑星、そしてついには生命へと至ったのである。しかし、宇宙におけるこの対称性の破れの背後に何が潜んでいるのかは、いまだに大いなる謎であり、活発な研究分野なのである。

2. 姿見の向こう側

われわれの身の回りでみられる広範な現象の奥深くに隠された自然法則を見つけることが、長年の間、物理学の中心課題だった。自然法則は完全に対称で絶対的であり、宇宙全体に対して通用すべきである。このアプローチは多くの場合は真のように思えるが、常にそうというわけではない。だからこそ、対称性それ自体の研究と同じくらいに、破れた対称性の研究が物理学の重要課題になったわけだ。実際のところ、完全な対称性が希少な理想状態であるわれわれの変った世界を考えるにつけ、対称性自体の研究がとりわけ重要とはいえない。

日常の生活にも、さまざまな対称性や破れた対称性がある。たとえば、文字 A は鏡に映しても変わらないが、文字 Z は逆になる。他方、文字 Z はひっくり返しても変わらないが、文字 A はその対称性がない（図 2）。

素粒子に対する基本理論は三つの異なった

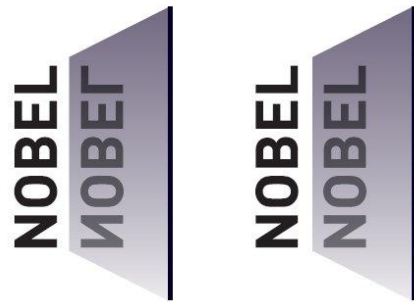


図 2 鏡映対称性 [パリティ対称性]

左側では対称性が破れ、右側では保持されている。

対称性原理を述べている。すなわち、「鏡映対称性 (mirror symmetry)」、「荷電対称性 (charge symmetry)」、「時間対称性 (time symmetry)」だ。専門的には、それぞれ、P (parity : パリティ)、C、T と符丁される。[パリティは空間的な対称性だと考えるといい。]

鏡映対称性においては、あらゆる出来事は直接世界にいようと鏡像世界にいようと、完全に同じように生起する。両世界の差異はなく、そのため自分の世界にいるのか姿見の中の世界にいるのか、だれ一人として決定することができない。荷電対称性は粒子と反粒子の対称性のことで、電荷的な性質だけを除き、反粒子は粒子とまったく同じ振る舞いをする。さらに時間対称性とは、ミクロなレベルでは、物理現象が時間を前に進ませても後ろに進ませてもまったく同じに見えることを意味する。

対称性というものは、物理学において審美的価値をもつだけではない。対称性があれば多くの七面倒くさい計算が簡単化されるので、微視的世界を数学的に記述する際に決定的な役割を果たすのだ。さらに重要な点は、素粒子レベルでは、そのような対称性が多くの保存則を包含することだ。たとえば、素粒子同士の衝突でエネルギーは失われず、衝突の前後で保存されるが、このことは粒子衝突を表す方程式の対称性から明らかなのだ。あるいはまた、電荷保存の法則は電磁気理論の対称

性と関係している。

3. パターンはもっとくっきり現れる

物質の基本原理の研究において、破れた対称性をはじめて姿を現したのは、20 世紀の中葉だった。物理学の遠大な夢は自然界のもっとも小さな構成素材を統合し自然界のあらゆる力を一つにすることなのだが、当時、物理学は込み入りすぎて夢を実現するにはにっちもさっちもいかない状態だった。

まず第一に、素粒子物理学があまりにも複雑になりすぎていた。第二次世界大戦後に建設された新しい加速器は、見知らぬ粒子たちを日々続々と吐き出していたのである。当時は、物質というものを陽子と中性子とそれらを

まわる電子からなると考えられていたのだが、それらの粒子の多くは、当時の物理学者が有していたモデルには当てはまらなかったのだ。物質の内奥をより深く掘り下げて考察すると、陽子と中性子は「クォーク」と呼ばれる基本粒子が三つ集まってできていることがわかった（図 3）。さまざまな“素”粒子たちも、クォークからできていることが示された。

いまやパズルのほとんどすべての欠片があるべき場所にはまった。物質の基本粒子の「標準モデル」は、三つの世代からなっている（図 4）。これらの世代はお互いにとっても似かよっているが、もっとも軽い第一世代の素粒子のみが十分に安定であり、宇宙を組み上げている。他の二つの重い世代の素粒子は非常に不

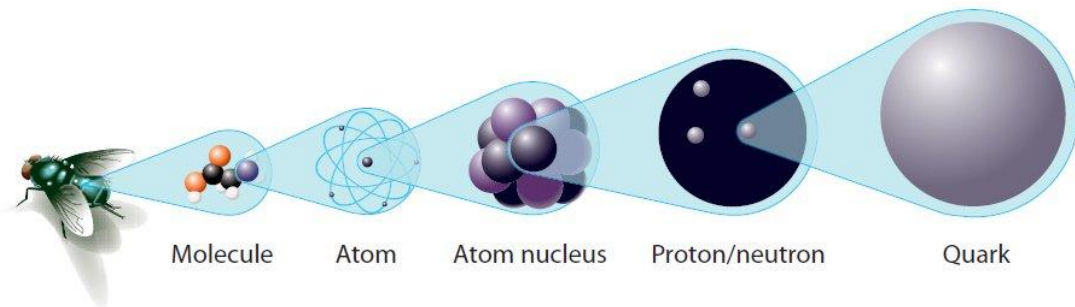


図 3 物質の中へ。電子とクォークがあらゆる物質の最小構成要素である。

[左から、ハエ（なぜハエ？）、分子、原子、原子核、陽子／中性子、クォーク]

Elementary particles			Higgs?	Forces		Messenger particles	
Leptons	First family	Second family		Third family	electromagnetic force	photon	
	electron neutrino	muon neutrino	tau neutrino	weak force	W, Z		
	electron	muon	tau				
Quarks	up	charm	top	strong force	gluons		
	down	strange	bottom				

図 4 現在の標準モデル

現在の標準モデルは、物質のすべての基本構成要素と四つの基本力のうち三つまでを統一している。身の回りの物質は第一世代の素粒子から構成されており、他の素粒子はきわめて短い時間だけ存在することができる。モデルを完成させるためには「ヒッグス粒子」が必要だ。物理学界は CERN [欧州原子核研究機構] の新加速器 LHC がヒッグス粒子を発見すると期待している。

[上の図や本文では family (族) という言葉が使われているが、通常は、“世代”と呼んでいる]

安定な条件で現れるが、ただちに他の軽い素粒子に崩壊してしまうのだ。

さらにまた、あらゆるものごとは力によってコントロールされている。標準モデルは現在のところ、自然界の四つの力のうち三つと、それらの力の介在粒子とを包含している（図4）。すなわち「電磁力」の介在粒子（媒介粒子）は質量のない「光子」である。また、放射性崩壊に関与する「弱い力」を運ぶのは、重い「W ボソン」と「Z ボソン」である。さらに、原子核を縛る「強い力」は「グルーオン」が媒介する。ただ一つ「重力」だけが、いまだに理論に組み入れることができず、現代の物理学者に立ちはだかる巨大な挑戦となっている。

4. 鏡は砕け散った

標準モデルは、前世紀の間に物理学が集約した物質の最深部に関するありとあらゆる洞察を合成したものだ。標準モデルは、量子力学と特殊相対論の対称性原理からなる理論的礎石の上に確固として立っており、無数の検証にも堪え得てきた。一方、パターンがきわめてクリアになる前から、このとてもよくできた建造物を脅かす数々の危機が生じていた。これらの危機は、素粒子のリリパット国に対して対称的な法則が適用できると物理学者が仮定した事実に関連していた。しかし、その仮定は常に正しいとは限らなかったのだ。

一番最初は、1956年、中国系アメリカ人の理論物理学者、リー（Tsung Dao Lee）とヤン（Chen Ning Yang）が弱い力の鏡映対称性（P 対称性）を調べたとき、驚くべきことがわかった（リーとヤンは翌1957年のノーベル賞を受賞した）。それまで、自然界は左右の対称性を表す鏡映対称性を尊重していると考えられていて、それが十分に確立していた。

それに対してリーとヤンは異議を唱え、素粒子の存在する量子世界では古い原理を再検

討すべきだと、彼らは主張したのだ。彼らはこの鏡映対称性を検証するための系統的な実験を提案した。そしてたしかに、ほんの数か月後、放射性元素コバルト 60 の原子核崩壊で、それが鏡映対称性の原理に従っていないことがわかったのだ。対称性は破れていて、コバルト原子核から放出された電子は他の向きよりもある向きを向きやすい傾向があった。まるでストックホルム中央駅に立ったとき、駅前にいる大部分の人たちが駅に向かって左を向いているのを眺めたようなものである。

5. 隠された非対称性がわれわれの運命を握っている

荷電対称性と鏡映対称性はそれぞれに破れているようだが、双方が同時に破れるようなことはほぼ起こらない：このことは「CP 対称性」と呼ばれている〔昔は（いまも？）、CP 反転に対して対称、という言い方をする〕。物理学者たちは、CP 対称性は破れないでいてくれるという考えに自らを慰めたものだ。つまりは、鏡像世界に足を踏み入れるならば、すべての物質を反物質に置き換えてしまえば、自然の法則は変わらないと、物理学者たちは信じたのである。

このことはまた、地球外生命に出会ったときに、エーリアンがわれわれの世界から来たのか反世界に由来するモノなのか、決定すべき手段がないことを意味している（図5）。ようこそそのハグをしたら破壊的な結果に終わるかもしれない。ファーストコンタクトで物質と反物質が対消滅したときは、ひとかたまりのエネルギーだけが遺されるだろう。

〔う～ん、CP 対称性の比喩説明としては、ここは少し意味が不明である。〕

そこで、弱い力が脚光を浴びたのは、だいたい1964年ごろだったろうか。K 中間子と呼ばれる奇妙な素粒子が崩壊する際に、新しい対称性の破れが現れ出でたのだ（この発見



図5 ハグする？

まずは対称性がわかるまで待とう。もしエーリアンが反物質からできていたら、ハグしたとたんに消滅してエネルギーになっちゃうぞ。

に対しては、1980年のノーベル物理学賞がクロニン（James Cronin）とフィッチ（Val Fitch）に与えられた）。K中間子のほんのわずかな部分は、従来のCP対称性に従わなかったのである。すなわち、それらは同時に（成り立って欲しかった）CP対称性を破り、理論の全体構造に挑戦してきたのだ。

地球外生命との出会いを考えるときには、この発見は一筋の救いになる。彼らと抱き合う前にK中間子崩壊を観察して、その様子を調べればいいのだ。

宇宙の創世において対称性の破れが決定的に重要だと見抜いた最初の人物は、ロシアの物理学者でノーベル賞受賞者のサハロフ（Andrei Sakharov）だ。1967年に彼は、反物質の存在しないわれわれのような世界を作り出すための三つの条件を立てた。最初の条件は、物理法則が物質と反物質を区別しているということで、破れたCP対称性として確認された。第二は、宇宙がビッグバンの高温高圧の業火から生まれたというものだ。そして第三は、あらゆる原子核の中の陽子は崩壊するというものだ。最後の条件は、あらゆる

物質が最終的には消え去ることを示しており、世界の終わりを意味する。しかし、いままでのところそのようなことは起こっておらず、実験からは陽子は10の33乗年の間は安定なことがわかっている。安心することに、これは宇宙の年齢（100億年より少し長い）より10兆倍も長いのだ[米国式でも英国式でも10 trillionよりはるかに長いと思う（笑）]。そしていまなお、サハロフのいう条件連鎖が宇宙開闢時にいかに起こったのかを知るものはいないのである。

6. 破れた対称性の謎を解く

サハロフの条件は、いずれは標準モデルに取り入れられることだろう。そのときには、宇宙誕生時に余分の物質が生成された理由も説明されるだろう。しかし同時に、CP対称性の破れより、さらに大きな対称性の破れを必要とするはずだ。

しかしながら、罰当たりなK中間子が引き起こした非常に小さい対称性の破れでさえ、きちんと説明しておかないことには、標準モデル全体が危機にさらされる。なぜCP対称性が破れたのかという質問は、1972年まで答えのないままだった。そのとき、量子力学の計算に長けた京都大学の若き研究者たちが、3行3列の行列に解決を見いだしたのだ。彼らこそが、**小林 誠**と**益川敏英**である。

では、CP対称性の破れはいかにして起こったのだろうか。それぞれのK中間子はクォークと反クォークからできている。弱い力は各瞬間ごとにクォークの同一性を切り替える（図6）。その結果、クォークは反クォークになり、また反クォークはクォークになり、そしてK中間子は反K中間子に変換することになる。このようにして、K中間子は自分と反自分の間を行ったり来たりするのだ。しかし、正しい条件のもとでは、物質と反物質の対称性は破れるだろう。小林と益川が計算し

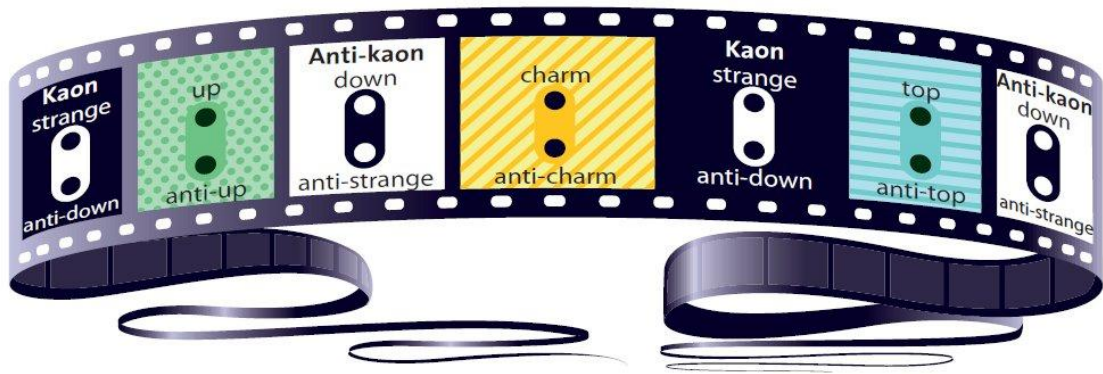


図6 この奇妙な変換作用は量子力学で決まる

K 中間子は自分と反自分、すなわち K 中間子と反 K 中間子の間を行ったり来たりする。この変換にはあらゆるクォークが関与しているのだが、ほんのわずかのケースで対称性が破れている。

た行列は、クォーク同士の変換がどのように生じるかを記述する確率を含んでいたのだ。

[上記の記述は少しミスリーディングだと思う。たぶん（自信はないが）、弱い力はクォークを反クォークに変えるのではなく、たぶんクォークの種類を変えるのだと思う。図6で考えると、まず、時間フィルムの最初（図の左端）では、ストレンジクォークと反ダウンクォークからなる通常の K 中間子（ K^0 中間子）だったとする。クォーク同士の間に働く弱い力のために、つぎの瞬間には、ストレンジはアップになりダウンは反アップとなる。さらにまた弱い力のために、つぎの瞬間には、アップはダウンになり反アップは反ストレンジとなる。ダウンと反ストレンジからなる粒子は反 K 中間子なので、上のレベルで見れば、いつの間にか K 中間子が反 K 中間子に変わってしまったということになる。]

クォークと反クォークは、それらの同一性を入れ替えることが明らかになった。もし二重対称性の破れを伴うこのような同一性の交換が物質と反物質の間に生じているのなら、二つの世代よりも、より多くの世代が必要になるのだ（図4）。これは大胆な考えだったが、標準モデルはこれらの新しいクォークを受け入れることが可能で、後の実験で検出を予言した。そして、早くも 1974 年にはチャーム

クォークが発見され、1977 年にはボトムクォークが、そして 1994 年によくトップクォークが発見された。

[つまり、小林・益川理論が提出された 1974 年当時は、アップ、ダウン、ストレンジの 3 種類のクォークだけが、実験で確認されていたことになる。小林・益川理論は、まだ他に 3 種類のクォークが必要で、かつ全部で 6 種類（3 世代各 2 種類ずつ）しかないことを示した。]

7. 中間子ファクトリーが答えを与える

CP 対称性の破れを説明することは、同時に第二世代と第三世代の粒子に対する存在理由を与える。これらの世代は第一世代と多くの点で似ているが、ただあまりにも短命なので、われわれの世界に残るモノを形作ることはできない。一つの可能性は、これらの移り気な粒子たちが時のはじめにおいては重要な役割を果たしていたのだらうというものだ。時空が始まったときにそれらが対称性を破ったために、物質が反物質に打ち勝ったのかもしれない。

小林・益川理論はまた、B 中間子の対称性の破れを研究することが可能であることも示唆した。この B 中間子は K 中間子の親戚だが、10 倍ほど重い素粒子である。しかし、対称性の破れは B 中間子ではきわめてまれにしか起

こらない。そのためわずかな対称性の破れを見つけるために、おびただしい数の粒子が必要になる。二つの巨大装置、カリフォルニア州スタンフォード大学の SLAC 加速器に取り付けられた BaBar 粒子検出器と、筑波の KEK 加速器の Belle 測定器は、日々、100 万個もの B 中間子を生んで、それらの崩壊を綿密に調べた。そして 2001 年という早期に、両者の独立な実験が B 中間子の対称性の破れを確証したのだ。これはまさに 30 年も前に小林・益川理論で予言されていたものだった。[ああ、なるほど、これが受賞初日に益川さんが「(万歳ポーズをしながら) こうやった方がみなさんはいいかもしれないけど、科学者としてはノーベル賞よりも 2001 年に実験で検証されたときの方が嬉しいんだ」などと言っていたやつですね。]

この実験結果は、長年にわたってうまく働いてきた標準モデルの完結を意味した。大胆な予言のとおり、ほとんどすべてのパズルピースはあるべき場所に収まったのだ。とはいっても、物理学者はまだ満足しているわけではない。

8. 自発的な対称性の破れに隠された対称性

すでに述べたように、標準モデルはすべての既知の素粒子と四つの力のうちの三つを含んでいる。しかし、なぜ、これらの力はかくも異なっているのだろうか。なぜ、さまざまな粒子はかくも異なった質量をもっているのだろうか。もっとも重いトップクォークは電子より 300 倍も重い。そもそも、なぜ、それらは質量をもっているのだろうか。弱い力は、この点においてもふたたび目立っている。なぜなら、弱い力の介在粒子である W ボソンと Z ボソンは非常に重いのだが、それらの親戚で電磁力を介在する粒子である光子は質量をもたない。

多くの物理学者たちは、「ヒッグス機構」と

呼ばれるもう一つの対称性の破れがあって、それが宇宙の開闢時に力の間にあった対称性を破壊し、粒子に質量をもたらしたのだと信じている。

この発見へ至る道筋をつけたのが、南部陽一郎だ。1960 年のことである。彼は素粒子物理学にはじめて“自発的対称性の破れ”を導入した。その発見が今回のノーベル賞受賞の理由である。南部は、最初は電気抵抗が突如なくなる超伝導現象の理論的な計算をしていた。後刻、超伝導を説明する自発的対称性の破れを、南部は素粒子の世界へ翻訳し、そしていまでは彼の数学的道具が標準モデルに関するあらゆる理論へ普及している。



図 7 自発的対称性の破れ

この鉛筆世界は完全に対称的だ。あらゆる方向は厳密に等しい。しかし鉛筆が倒れたとき、この対称性は失われる。そのときは一つの方向だけが保持されている。もともと存在していた対称性は、倒れた鉛筆の背後に隠されている。

毎日の生活ではもっと平凡な自発的対称性の破れを見ることができる(図 7)。先を下にして立てた鉛筆は、あらゆる方向が等しいという意味で、完璧に対称的な存在だ。しかし、この対称性は鉛筆が倒れたとき、ある特定の方向が選ばれた段階で失われる。そして、その条件がもっと安定になり、エネルギーが最低の状態に達すると、鉛筆はもはや倒れることはない。

真空は宇宙における最低のエネルギー状態である。実際、物理的な真空は最低のエネルギーしかもたない。しかし、真空は空虚ではない。量子力学の説くところ、真空は素粒子

の泡立つスープで充満したものと定義されるからだ。素粒子たちは瞬間生まれ、つぎの瞬間にはふたたび消え去るが、普遍的に存在しつつも不可視の量子場を形成している。空間中をさまざまな異なった量子場が覆っているのだ。自然界の四つの基本力も量子場で記述される。その一つの重力場はだれもが知っているものだ。重力はわれわれを地上に縛り、何が上で何が下かを決めている。

南部は早くから、自発的対称性の破れの研究に対して真空の性質に興味深いことを理解していた。すなわち真空は最低のエネルギー状態だが、もっとも対称的な状態には対応していないのだ。倒れた鉛筆のように、量子場の対称性は破れており、多くの可能な場の中からある一つの状態が選ばれたのだ。標準モデルで自発的対称性の破れを取り扱う南部の方法は、この数十年の間に洗練された。それらは強い力の効果を計算するために今日でもしばしば使われている。

9. ヒッグス粒子が質量をもたらす

素粒子の質量に関する問いも、仮説的なヒッグス場の自発的対称性の破れという考えで答えられてきた。ビッグバン開始時には、場は完全に対称的で、すべての素粒子は質量がなかったと思われる。しかし、ヒッグス場は不安定で、宇宙が冷えるとともにヒッグス場は最低のエネルギー状態、すなわち量子的な定義に従う真空状態へ落ちたのだ。原初の対称性は失われ、ヒッグス場は素粒子にとってシロップと化した。すなわち素粒子たちは異なった量の場を吸収し、そして異なった質量を得たのだ。一方、光子のような粒子は（シロップを）引きつけずに質量ももたないまま残ったのだ。しかし、なぜ、電子が質量を得たのかという問題は、だれも答えていない別問題である。

他の量子場のように、ヒッグス場も自身の

表現粒子である「ヒッグス粒子」を有する。物理学者たちは、世界でもっとも強力な粒子加速器、CERNの新加速装置LHCで、この素粒子を間もなく捉えられるのではないかと渴望している。いくつかの異なったヒッグス粒子が検出されるということもあれば、まったく何も出てこないこともありうるだろう。

物理学者たちは準備を終えていて、いわゆる「超対称性理論」が標準モデルを拡張する多くの中ではもっとも好まれている。他にも多々の理論があるが、いずれにせよ、それらは対称的なものである。ごちゃごちゃした見かけに隠されていたとしても、対称性はそこにあるのだ。

出典と原著論文

ノーベル財団の Web サイト

http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2008/

原著論文

Kobayashi, M., Maskawa, T. (1973) “CP Violation in the Renormalizable Theory of Weak Interaction”, *Progress of Theoretical Physics*, **49**, p.652.

Nambu, Y., Jona-Lasinio, G. (1961) “A Dynamical Model of Elementary Particles based on an Analogy with Superconductivity I, II”, *Physics Review*, **122**, p.345 and **124**, p.246.

(序文・翻訳) 福江 純