

サイエンス・プラザ

## ノーベル物理学賞の日本人3人同時受賞

筑波大学名誉教授 原 康夫

### はじめに

2008年度のノーベル物理学賞は、南部陽一郎、小林誠、益川敏英の3人の日本人物理学者に授与された。授賞理由は、南部博士は「素粒子物理学における対称性の自発的な破れの機構の発見」、小林博士と益川博士は「6種類のクォークの存在を予言する対称性の破れの起源の発見」であり、「対称性の破れ」が共通のキーワードである。

南部博士の「対称性の自発的な破れの発見」の論文は1961年に刊行され、小林-益川理論は1973年に刊行されたので、今回の受賞は遅すぎたと思うが、心からお祝いしたい。なお、この小文では3人の敬称を「さん」にさせて頂く。

### 南部さんのプロフィール

私は1964-65年にシカゴ大学で研究員としてお世話になった。そのときは南部さんと仕事をする機会はなかったが、プリンストンの高等研究所に

移って間もなく共同研究をする機会が生まれた。私が書いたプレプリントを読んで、「自分も同じようなことをやっているから、一緒にやろう」という誘いを受け、手紙で連絡しながら、素粒子の崩壊に関する論文を作成した。手元にある当時の研究連絡の手紙と手書きの論文原稿を見ると、南部さんの筆跡が日本語と英語の両方とも実に美しいのが印象的である。

南部さんが、自分と同じことを考えている他大学の若い人の研究に注目して、共同研究を行った例として、韓茂榮博士と、カラーとよばれている量子数を提案したことが挙げられる。南部さんは想像力が豊かな方であるが、若い人のアイデアに注目し、共同研究によって個人研究によるよりも大きな成果を引き出した方でもある。

南部さんは1921年生まれ。旧制福井中学、第一高等学校を経て東京帝国大学を戦争中の1942年に卒業された。兵役に服して、戦後東京大学に助手として戻り、3年間は研究室に寝泊まりした

### ◆ も く じ ◆

サイエンスプラザ	授業実践
ノーベル物理学賞の日本人3人同時受賞…… 1	「教科書の図が動き出す」黒板実験 …………… 12
教室で輝くノーベル賞の光…………… 5	
トピック	高校生に読ませたい本…………… 15
世界天文年、はじまる…………… 7	
サイエンスカフェ	高校生へ私が選んだ1冊の本
第19回 国際生物学オリンピック インド大会 …… 8	最新・月の科学…………… 16

という。1949年に大阪市立大学に移られ、新粒子研究で大きな成果を上げたグループを作られたが、1952年に渡米された。1970年に米国籍を取得されたが、コスモポリタンと自称しておられる。

南部さんが1954年以降在籍しておられるのはシカゴ大学のフェルミ研究所である。フェルミが1942年に核分裂の臨界反応の実現に成功したのは、研究所の前にあった球技場のスタンド（いまは図書館）に臨時に設置された実験室においてであった。それを記念するモニュメントが、研究所の向かい側に建っている。

### 対称性の自発的な破れ

自然界にはいろいろな対称性があるが、南部さんへの授賞理由にある「対称性の自発的な破れ」という言葉は聞きなれない言葉であろう。

運動法則がある対称性を持っていれば、この対称性を持っている状態が存在する。しかし、エネルギーがいちばん低い状態が非対称な場合に、対称性は自発的に破れているという。

このような例として、14世紀にビュリダンが考えた図1のビュリダンのロバがある。空腹なロバの左右には、等量の乾草が等距離の所にある。この絵は左右対称であるが、ロバの状態は不安定である。ロバが少しでも左か右に動くと、ロバは近い方の乾草の所へ行くだろう。ロバが片方の乾草の所にいる場合が安定な状態である。これは左右対称性の自発的な破れの例である。

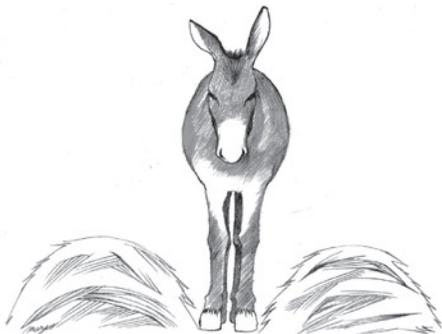


図1 ビュリダンのロバ

図2は回転対称性の自発的な破れのわかりやすい例である。竹を丸く削って細い棒を作り、机の

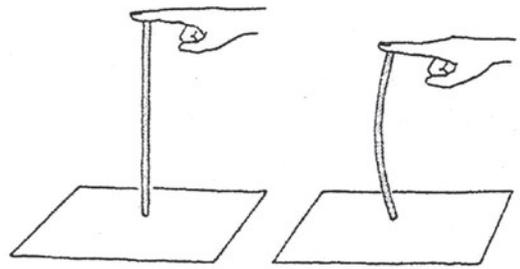


図2 対称性の自発的な破れ

上に垂直に立て真上から押すと、この状況は棒の中心軸のまわりに回転対称である。この棒を強く押すと、棒は縦に縮むより、弓なりにしなる方が棒の弾性エネルギーが少ないので、安定な状態である。この安定な状態は回転対称ではない。弓なりになる方向は $360^\circ$ のどの向きでもよいので、このような非対称な状態は無数にあり、曲った棒を軸の周りに回転させることができる。

素粒子の対称性の自発的な破れを簡単に説明することは難しいが、南部さんは図2の例に類似した回転対称な理論に自発的な破れが起こると、質量がゼロの南部・ゴールドストーン粒子（NG粒子）とよばれる粒子が生まれることを発見した。NG粒子の存在は、図2の曲った竹の棒が元の対称軸のまわりに回転できることに対応している。NG粒子の理論的発見は、素粒子理論にとって下記の理由で必要不可欠な発見であった。

素粒子の間に働く力はゲージ粒子とよばれる種類の粒子によって仲立ちされる。電磁気力は質量がゼロの光子によって仲立ちされ、ベータ崩壊を引き起こす弱い力はウィークボソンによって仲立ちされる。1967年に提唱された電磁気力と弱い力の統一モデルはある種の回転対称性を持つ。この対称性は自発的に破れて、NG粒子が生じるが、ウィークボソンに吸収されてその1成分になり、それと同時に本来は質量がゼロのウィークボソンは陽子の百倍近い質量をもつ。1964年に発見されたこの機構はヒグス機構とよばれている。

歴史的に、ヒグス機構は超伝導体中ではクーロン力の到達距離が有限になり、質量がゼロの光子が見かけ上質量をもつ現象として発見された。超伝導の研究をしたことが契機になって、南部さん

は対称性の自発的な破れの機構を素粒子物理学に応用したのであった。個々の自然現象ばかりでなく、異なる分野の現象に共通する法則に目を向ける幅広い見方が南部さんの成功の基礎にある。

なお、2008年に実験を開始した、ヨーロッパ原子核研究機構の陽子・陽子衝突型加速器 LHC の最大の目的は、ヒグス機構の検証である。

### 益川さんと小林さんのプロフィール

日本で理論物理学の研究が本格的に始まったのは1930年代であるが、太平洋戦争後の日本には、素粒子理論の3人の指導者がいた。京都大学の湯川秀樹博士、東京教育大学（現・筑波大学）の朝永振一郎博士、名古屋大学の坂田昌一博士で、3大学は世界的な研究センターであった。

益川さんと小林さんは、1940年と1944年に名古屋で生まれ、名古屋で育ち、名古屋大学で物理学を学んだ。益川さんは1962-67年を大学院生として、67-70年を助手として坂田研究室で素粒子理論を研究し、1970年に京都大学理学部に助手として移られ、それ以降のほとんどの期間、京都で研究してこられた。これに対して小林さんは1967-72年に大学院生として素粒子理論を研究し、1972年に京都大学に助手として移られ、1979年につくばの高エネルギー物理学研究所（現・高エネルギー加速器研究機構）に移られた。

この経歴からわかるようにお二人は、1967年に名古屋で同じ研究室のメンバーとして遭遇し、研究生活をともにし、大学院修了後は京都大学で助手として共同研究を続け、1972年に挙げた研究成果が今回の受賞の対象になった。

益川さんのエピソードをいくつか紹介しよう。理論物理学の研究には数学が必要であるが、益川さんは研究に必要な数学を探すとき、数学の本を手にとるとまず適切な定理を探し、見つけたとその理解に必要な箇所だけを読み、本を最初から読むということとはしないとよく語っていた。

研究会で益川さんの基調講演を何回か聞いたことがあるが、研究の国際情勢、国内情勢、戦略と戦術という順序で議論を展開していくユニークな

スタイルであった。独特の研究方法論である。

小林さんは「だれも考えなかったことを研究したら小林・益川理論が生まれた」と語られ、不思議だと思って、考えることの重要性を指摘している。益川さんは、「小学校時代の調べ学習がきっかけになって考える力が育った」と語られた。将来の科学者の育成には、自由研究や探究活動を通じて課題を見つけ、考える習慣を身に付けることの重要性を改めて認識させられる。

小林・益川理論は、大胆なアイデアを出すタイプの益川さんと、着実に考えるタイプの小林さんの共同研究の産物である。自由研究や探究活動で協力して成果を挙げる経験も大切である。

小林さんは「日本の理科の教科書は米国の教科書に比べ薄すぎる。もっと厚くしてほしい」と言っているが、生徒の興味を理科に引きつけ、もっと理解を深めたい生徒の要求にこたえられるよう工夫された厚い教科書の実現が待たれる。

### 小林・益川理論の誕生から検証まで

小林、益川両氏への授賞理由が「6種類のクォークの存在を予言する対称性の破れの起源の発見」であるように、小林・益川理論は、(1)物質を構成する基本粒子がクォークだとすると、CP対称性の破れを説明するために、クォークは6種類存在しなければならない、(2)そうするとCP対称性の破れの法則が導かれる、という2つの内容を含んでいる。

湯川博士が創刊したProgress of Theoretical Physicsに1973年に掲載された、小林・益川理論の2つの予言の検証には約30年かかったので、やっと今回の授賞の対象になった。そこで、この理論を歴史の流れの中に位置づけよう。

物質を構成する基本的な粒子だと考えられていた陽子や中性子は、構造のない素粒子ではなく、クォークから構成されているというクォーク模型が提唱されたのは1964年であった。クォークを探す実験の結果、陽子や中性子の中からクォークを飛びださせることは不可能であるが、陽子や中性子の中には半端な電荷をもつクォークが存在す

ることが1970年頃に確かめられた。そのころには、クォークとしてu（アップ）、d（ダウン）、s（ストレンジ）、c（チャーム）の4種類があると考えられていた（cクォークの発見は1974年）。

この間、1964年に中性K中間子の崩壊でCP対称性の破れが発見されていたが、クォークが4種類だと統一模型でCP対称性が破れることは不可能であった。このような状況下の1972年に提案されたのが、クォークとして、あとt（トップ）とb（ボトム）の2種類が存在すればCP対称性は破れる可能性があることを指摘した小林・益川理論である。

bクォークは1977年に発見されたが、tクォークはなかなか見つからず、発見されたのは1995年のことであった。

そこで小林・益川理論がCP対称性の破れの正しい理論かどうか問題になる。この検証には多くの実験データが必要であるが、bクォークを含むB中間子の崩壊実験が適していることが三田一郎たちによって指摘され、つくばの高エネルギー物理学研究機構にKEKBという電子と陽電子を加速して衝突させる衝突型加速器が建設された。大量のB中間子とその反粒子がペアで生成され、その崩壊が検出され、測定された結果、CP対称性の破れが小林・益川理論の予想通りに起こることが2001年に確かめられた。同じ結果が、米国でも確かめられ、今回の授賞になった。

## CP対称性とは

最後にCP対称性とは何かについて簡単に説明しよう。Pとはパリティ parity の頭文字であり、自然法則が鏡の中でも同じように起こる場合、自然法則はP対称であるという。原子核のベータ崩壊の研究によって、P対称性は破れていることが1957年に発見された。

Cは電荷 charge の頭文字である。1932年に電子と同じ質量をもつ正電荷の陽電子が発見されて以降、すべての素粒子には質量が同じで逆符号の電荷を帯びた反粒子が存在すると考えられるようになり、反陽子、反中性子などが発見されている。自然法則に現れる粒子と反粒子を入れ換えた場合に自然法則が不変な場合、自然法則はC対称であるという。C対称性は破れていることが1958年に発見された。

鏡の中の世界で粒子と反粒子を入れ換えた現象で自然法則が成り立てば、自然法則はCP対称であるといい、1つでも成り立たない現象があれば、CP対称性は破れているという。

なお、ビッグバン宇宙論では、宇宙創成時に物質（陽子、中性子、電子など）と反物質（反陽子、反中性子、陽電子など）が同数ずつ発生したはずである。しかし、現在の宇宙には物質の方が反物質より圧倒的に多い。この事実を説明するにはCP対称性の破れが必要であることを1967年にサハロフが示した。ただし、小林、益川両氏の研究の契機とは無関係である。



南部陽一郎博士



小林誠博士



益川敏英博士