

小林先生・益川先生のノーベル賞受賞を祝して

小林 誠，益川敏英両先生の 2008 年度ノーベル物理学賞受賞を祝す

高崎 史彦

Fumihiko TAKASAKI

1. 序

この度，高エネルギー加速器研究機構名誉教授 小林 誠先生と京都大学名誉教授 益川敏英先生が 2008 年度ノーベル物理学賞に輝いたことは，近くで仕事をさせていただいた私どもの大きな喜びであります．今回の受賞の対象になった研究は，両先生の 30 年以上前の業績ですが，両先生は，一貫して，ご自身の研究だけでなく，加速器科学を含むわが国の素粒子物理学や広く基礎科学の発展に貢献されてこれらたことはよく知られたことであります．両先生の今回の受賞は，日本の基礎科学にとって大きな金字塔の一つとして長く記録されるだけでなく，基礎科学に携わる多くの研究者と研究を支えてくれる方々を勇気付けるものでもあると思います．今後とも両先生がこの方面で一層活躍されることを期待したいと思います．

さて，両先生の研究の内容については多くの方々が既に述べておられますし，両先生の著書にも詳述されていますのでそちらをお読みいただき，ここでは，両先生の受賞対象研究が CP 対称性の破れに関係することですので，B 中間子における CP 対称性の破れの発見および日本の加速器科学研究の果たした役割という立場から今回の両先生の受賞の意味を考えてみたいと思います．

2. 小林・益川理論

よく知られているように，粒子の CP 対称性の破れは，1964 年に K 中間子の崩壊の中で発見され，この解明に世界のトップレベルの研究者が取り組んできました．また，CP 対称性の破れは，宇宙創成の鍵を握る現象であると認識され，その正しい理解は今日の素粒子物理学の重要な課題の一つになっています．小林，益川両先生は，K 中間子における CP 対称性の破れは，6 種類以上のクォークがあれば説明できることに 1972 年に気がつきました（ここではこれを小林・益川理論と呼びます）．

当時は，陽子や中間子の性質が 3 種類のクォークの導入によって理解できることが 1964 年頃ゲルマンたちによって示され，クォークの種類は 3 種類であると多くの研究者が考えていました．1974 年には第 4 のクォークが発見され大きな衝撃をもたらしました．いくつかの前触れとなる研究はありましたが，これがいかに大きな衝撃であったかは，この発見が 1974 年 11 月革命と呼ばれ，発見者のグループを率いていたティントリヒターが 1976 年にノーベル賞を受賞したことからも想像できます．続いて，1977 年にボトムクォークが発見され，小林・益川理論が大きくクローズアップされ，さらに，1995 年に小林・益川理論の予言するボトムクォークと対を成すトップクォークが発見されるにいたって，小林・益川理論は素粒子の標準理論の一部を構成するにいたりました．この頃から，小林・益川両氏のノーベル賞獲得への期待が高まり，毎年のようにノーベル賞発表の時期になるとマスコミで取り上げられるようになったと記憶しています．

3. 小林・益川理論の検証

ところで，小林・益川理論は粒子の CP 対称性の破れを説明することを主眼に提案された仮説であ

り、小林・益川理論の検証のためには、K 中間子以外の粒子の反応で、小林・益川理論を裏付ける CP 対称性の破れを見つけることが重要です。ところが、CP 対称性の破れを示す現象は、1964 年に最初に発見されて以来、K 中間子の崩壊以外では発見されませんでした。小林・益川理論によれば、CP 対称性の破れを説明するのに、クォーク混合現象の中でトップクォークとボトムクォークが重要な役割をしますが、1980 年に、三田とカーターが小林・益川理論に基づいて、ボトムクォークを含む B 中間子の崩壊過程で CP 対称性の破れが見える可能性を指摘しました。その後、1983 年に B 中間子の寿命が予想を超えて長いことが発見され、1987 年に大きな B 中間子・反 B 中間子混合現象が発見され、三田たちの考察に基づいて B 中間子における CP 対称性の破れを観測する可能性が現実の課題になりました。

高エネルギー加速器研究機構 (KEK) においては、B 中間子の研究を目指すプロジェクト、KEK B ファクトリー計画を 1988 年に立ち上げ、トリスタン建設・運転の実績のもとに、トリスタンの施設を最大限に利用した B 中間子研究施設 KEKB の建設を 1994 年から開始しました。1998 年暮れには実験を開始し、2001 年に B 中間子における CP 対称性の破れを観測することができました。ほぼ時期を同じく計画が進行していたスタンフォード大学の施設 (SLAC) でも同時に CP 対称性の破れを観測しました。

4. 加速器の挑戦

この計画は、異なったエネルギーを持った電子と陽電子を対消滅させることによりアップシロン粒子を作り、このアップシロン粒子からできる B 中間子と反 B 中間子の対を調べて CP 対称性の破れの観測を目指すものです。この B ファクトリーの最大の課題は、CP 対称性の破れの観測をするのに十分な B 中間子対を作り出すことでした。そして高い精度で B 中間子の崩壊を観測する実験装置を作ることでした。私たちが B ファクトリーを提案した当時は、多くの方の支援と激励をいただく一方で、物理学会などの様々な機会で大先輩や友人から多くの批判にさらされました。例えば、1) 計画したルミノシティは高すぎて実現できるはずがない、2) 衝突型加速器建設と物理解析で実績のある SLAC に勝てるはずがない、後れを取ったらわが国の高エネルギーはつぶれる、3) 加速器の周長が長すぎ SLAC の計画には勝てない、4) 有限角衝突ではビーム不安定性が発生して高いルミノシティは実現できない、5) 最後は入射器の性能の勝負になり、強力な入射器を持つ SLAC には勝てない、6) 小林・益川理論は新しいクォークの発見で既に確立しており、B 中間子における CP 対称性の破れによって改めて検証する必要はない、7) エネルギーフロンティア計画推進の障害になる、などなど。

加速器の難題を克服したのがトリスタンで育った研究者たちでした。加速器の設計にはいくつもの独創性があり、SLAC の B ファクトリーの性能を凌駕できました。有限角度衝突、電子雲の対策、2 バンチ入射とトップアップ運転、高速なビーム診断システムなどです。ルミノシティは設計値を上回り、世界の衝突ビームにおける最高性能を記録しています。私が提案した当初は、はるかに小さなルミノシティを仮定したもので、CP 対称性の破れの発見には長い時間を要するものと考えていました。この想定はすばらしい加速器の性能の実現で見事に打ち砕かれ、B 中間子の崩壊を観測した実験装置は見事にその性能を発揮し、B 中間子と反 B 中間子の振舞いの違いを明らかにしました。実験開始から 3 年もたたずに CP 対称性の破れを発見し、ノーベル財団の小林・益川両氏の受賞理由¹¹にあるように小林・益川理論の正しさを見事に示しました。

5. KEKB を実現した日本の加速器

いうまでもなく KEK の B ファクトリーの成果は一日では出来ません。長い先人たちの研究と努力の上に開花したと言うべきでしょう。加速器の研究開発は戦前の理化学研究所の時代から戦争の時期の中断を経て東大原子核研究所さらに高エネルギー物理学研究所 (今日の高エネルギー加速器研究機構) に

引き継がれて発展してきました。KEKB 加速器は 600 m の電子・陽電子入射器，3 km の電子蓄積リング，3 km の陽電子蓄積リングなどを主な設備として構成されていますが，電子銃，電磁石，高周波空洞，高周波発生装置，高真空ビームパイプ，ビーム位置モニター，各種電源，ビーム診断ソフトウェアなど非常に多くの要素が正確に稼動して初めて加速器として成り立ちます。当然，粒子の反応を正確に捕らえる計測装置も必要です。

何 km にもおよぶ加速器の何千，何万の機器には，物まねでなく研究者の創意・工夫がつまっております。今回の KEKB の成果は長い伝統に支えられて初めてできる積分値の成果であると思わずにはいられません。外国の研究機関と比べてはるかに少ないスタッフで加速器の開発・建設・運転を可能にしたのは研究者の実力と優れた組織力のみでなく多くの企業人の理解と創意・協力・努力によることも忘れてはならないと思います。

KEKB は，今後，関係者の理解を得てさらに性能向上に向けて新たな挑戦を開始するものと思います。KEK は関係コミュニティの理解を得て 2007 年に 2009 年から 5 年間にわたる KEK ロードマップを作成しました。これには，KEKB アップグレードのみでなく，現在建設の最終段階にある J-PARC，放射光施設，LHC, ILC，測定器開発など KEK が現在推進している多くの計画を盛り込んだものです。2008 年 3 月に国内外の主な研究所のリーダーの参加の会合で国際的に高い評価を得，このロードマップが今後の研究計画の基盤になるものと考えています。

KEKB の成果と今回の小林・益川両氏のノーベル賞受賞は，KEK が加速器科学の分野で国際的に高い評価を得ていることを示し，同時に，今後，いやおう無しに，KEK が国際的に大きな役割を果たすことが期待されていることを示していると思います。関係者の一層の奮闘を期待したいと思います。

^{†1} ノーベル財団発表

The spontaneous broken symmetries that Nambu studied, differ from the broken symmetries described by **Makoto Kobayashi** and **Toshihide Maskawa**. These spontaneous occurrences seem to have existed in nature since the very beginning of the universe and came as a complete surprise when they first appeared in particle experiments in 1964. It is only in recent years that scientists have come to fully confirm the explanations that Kobayashi and Maskawa made in 1972. It is for this work that they are now awarded the Nobel Prize in Physics. They explained broken symmetry within the framework of the Standard Model, but required that the Model be extended to three families of quarks. These predicted, hypothetical new quarks have recently appeared in physics experiments. As late as 2001, the two particle detectors BaBar at Stanford, USA and Belle at Tsukuba, Japan, both detected broken symmetries independently of each other. The results were exactly as Kobayashi and Maskawa had predicted almost three decades earlier.