

【略歴】

- 1940年 名古屋市生まれ
- 1958年 名古屋市向陽高校卒業
- 1962年 名古屋大学理学部卒業
- 1967年 名古屋大学大学院理学研究科 博士課程修了（理学博士）
- 1967年 名古屋大学理学部助手
- 1970年 京都大学理学部助手
- 1976年 東京大学原子核研究所助教授
- 1980年 京都大学基礎物理学研究所教授
- 1990年 京都大学理学部教授
- 1995年 京都大学評議員
- 1995年 京都大学学生部長
- 1997年 京都大学基礎物理学研究所教授
- 1997年 同所長
- 2003年 定年退官（京都大学名誉教授）
- 2003年 京都産業大学理学部教授
- 2007年 名古屋大学特別招へい教授
- 2009年 名古屋大学特別教授
- 2009年 京都産業大学益川塾塾頭
- 2010年 名古屋大学素粒子宇宙起源研究機構 機構長
- 2018年 同退職、名古屋大学素粒子宇宙起源研究機構 名誉機構長
- 2019年 京都産業大学退職
京都産業大学名誉教授

【受賞歴】

仁科記念賞（1985年）、J. J. S. サクライ賞、日本学士院賞（共に1985年）、朝日賞（1995年）、中日文化賞（1995年）、欧州物理学会賞（2007年）、文化功労者（2001年）、ノーベル物理学賞、文化勲章（ともに2008年）など多数受賞。

【履歴及び業績】

益川氏の研究対象である素粒子は、物質のもっとも根源的な存在様式である。物質の基本構成要素としての素粒子は、6種類のクォークおよび同じく6種類のレプトンであり、さらにそれらに働く基本的力である強・弱・電磁・重力の4つの相互作用もまた素粒子である光子などのゲージボソンがつかさどる。この素粒子の法則は極微の世界を支配するにとどまらず、宇宙開闢時の宇宙をも支配し極大の存在である現在の宇宙の起源の解明に決定的な役割を果たしている。とくに反粒子のない現在の宇宙がどのようにして形成されたかは、CP不変性の破れという素粒子レベルで、の粒子・反粒子の非対称性と本質的に結びついている。

CP不変性の破れは1964年にK中間子系で発見され、これによりクローニンとフィッチはノーベル賞を受けたが、その起源は謎に包まれており、K中間子などがクォークから構成されることが分かった後もこの理論的解明は混乱を極めていた。一方、1967年ワインバーグおよび1968年サラムにより、1961年のグラシヨウの理論の発展として、弱い相互作用と電磁相互作用の統一理論（「グラシヨウ・サラム・ワインバーグ理論」）が提唱された。後にこの提唱者3人はノーベル賞を受賞することになる（1979年）が、CP不変性の破れがこの枠内におさまるかどうかはもとより、この理論そのものの成否すら1972年当時全く不明であった（最初の実験的証拠は1973年）。

1973年発表（1972年9月1日受理）の論文において、益川敏英氏は同じ坂田門下の後輩の小林誠氏とともに、CP不変性の破れを「グラシヨウ・サラム・ワインバーグ理論」の枠内で説明するために、第5、第6のボトムクォークとトップクォークを導入し、6種類のクォークの理論を提唱した。その後予言通りこれらのクォークが発見された。さらにこの理論の定量的予言としてCP不変性の破れがB中間子の反応において大きく現れることが三田一郎（本学名誉教授）によって指摘され、これが最近本学の実験グループの参加するKEKのBファクトリーによる実験とアメリカのスタンフォード加速器センターの実験で詳細にわたって検証されて、「小林・益川理論」は確立した。実際、「小林・益川理論」は「グラシヨウ・サラム・ワインバーグ理論」および強い相互作用の理論である「QCD（量子色力学）」（これの重要な性質の発見者グロス、ウィルチェック、ポーリツァーは2002年ノーベル物理学賞受賞）とともに、現代素粒子物理学のもっとも重要な根幹をなし、両者をあわせて「標準理論」と呼ぶに至っている。この

ように、益川氏の業績は素粒子物理学に革命的発展をもたらした不滅の金字塔である。

そもそも坂田学派は本学にあつて様々な世界的業績を生み出したが、とりわけ素粒子の種類(「フレーヴァー」と呼ぶ)に関する数々の研究で世界でもっとも成果を挙げたグループである戦前の坂田・井上の「2 中間子論」における μ 中間子および μ ニュートリノの導入以降、ストレンジネスをもった基本粒子(後のストレンジクォーク)を導入してクォーク模型への先駆けとなった「坂田模型」や、さらにはその発展上に「牧・中川・坂田理論」がレプトンの世代混合(「牧・中川・坂田行列」)を提唱してニュートリノ振動の予見するとともに、第 4 の基本粒子(後のチャームクォーク)を導入した。とくにレプトンに対する「牧・中川・坂田行列」の仕事は、クォークに対する「小林・益川行列」の先駆をなすものである。これは益川氏の大学院入学の 1962 年に発表されたもので、益川氏に大きな心理的影響を与えたものと思われる。両者はそれぞれ物質の基本構成要素であるクォークとレプトンに対する理論として、先に述べた基本相互作用に対する理論である「グラシヨウ・ワインバーグ・サラム理論」および「QCD」とともに、現代素粒子物理学の根幹をなす枠組みとなっている。

このように、「小林・益川理論」はまさに坂田学派の伝統の上になされたものに他ならない。実際、当時世界の主流では、坂田模型に端を発する複合模型であるクォーク模型そのものを信用しない風潮が強く、ましてや第 4 のクォーク(チャームクォーク)などは論外との有様であったのに反し、益川氏の育った坂田研究室では、これらは自ら作り上げてきたものでもあり、当然と考える極めて特異な雰囲気であった。「小林・益川理論」の第 5、第 6 のクォークの導入は、世界の潮流から超然としたこの雰囲気を抜きにしては到底考えられないものである。かえりみれば、坂田学派は「小林・益川理論」のボトム・クォークおよびトップ・クォークの予言をふくめ、現在までに知られているほとんどの「フレーヴァー」について超一級の業績を連ねてきた世界に類のない存在であった。「小林・益川理論」はまさに本学坂田学派の有終の精華であり、陸献としてその光彩を放っているのである。

【益川氏のご紹介】

気配りの坂田

坂田さんは独自の素粒子論研究を進める信念の人であるとともに、学生教育のうえでは気配りの人でもありました。坂田さんの教育方針は、学生の自主性を最大限にのばすというもので、学生が萎縮しないよう気を配っていました。そのエピソードが残っています。

益川さんが大学院生だった当時、名大周辺では未舗装の道路が多く、靴がよく泥まみれになりました。ある雨上がりの日、益川さんが坂田さんの部屋で議論をしたのち退出しました。しばらくして、議論の続きをするために、益川さんが坂田さんの部屋のドアをノックし、返事を聞く前にドアを開けてしまいました。すると、部屋の中では、坂田さんがモップで泥汚れした床を丁寧に掃除しているところだったのです。

「靴の泥を落としてから入室しなさい」と言うと、学生が萎縮して議論にこなくなるかもしれないという配慮が坂田さんにはあったようです。

益川、相撲を取ろう！

当時の物理学教室の雰囲気はこの一枚の写真によく現れています。既に宇宙物理学（X線天文学）の世界的リーダーであった早川幸男教授が、大学院生の益川さんと相撲をとりました。このとき、相撲で益川さんが健闘したためか、大先生の早川教授が益川さんを肩車した写真が残っています。当時の物理学教室の自由な雰囲気をよく伝える写真です。



CP 対称性の破れと小林・益川行列

1972 年に小林・益川論文が執筆された当時、クォークの存在自体、多くの研究者によって疑問視されており、また、クォークの存在を信用する研究者も u, d, s の 3 種類のクォークの存在のみを仮定し、4 番目のチャームクォーク (c) については、ほんの一握りの先駆的研究者のみがある存在の検討をはじめた状況でした。このような状況のもと、小林誠と益川敏英は、すでに実験によって知られていた CP 対称性の破れをくりこみ可能な弱い相互作用の量子力学理論で説明する可能性を検討しました。彼らの結果は驚くべきものでした。仮に、クォークの存在を認めたとしても、4 種類しかクォークが存在しない 4 元模型 (u, d, c, s) では、CP 対称性の破れが起き得ないことが証明されてしまったのです！弱い相互作用の量子力学的記述では、 $u \leftrightarrow d$ の変化を記述する複素数パラメータ V_{ud} 導入されます。同様に、 $u \leftrightarrow s$, $c \leftrightarrow d$, $c \leftrightarrow s$ の変化を記述するパラメータが導入され、これらをまとめて行列

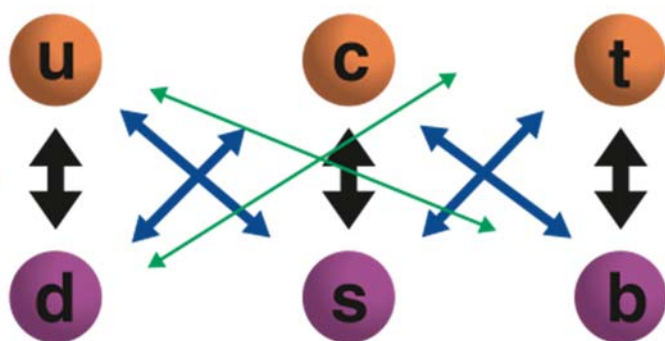
$$\begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} \\ V_{cd} & V_{cs} \end{pmatrix}$$

の形で表記します。この行列に含まれる 4 つのパラメータだけでは CP 対称性の破れを説明するのに十分ではなかったのです。では、どのようにして CP 対称性の破れを理論的に説明すればよいのでしょうか？小林誠と益川敏英は、クォークの種類が 6 種類存在する 6 元模型の検討を行いました。この場合、弱い相互作用の量子力学は

$$\begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix}$$

の 9 つのパラメータを含む理論となり、CP 対称性の破れを説明することが可能となります。小林誠と益川敏英は、CP 対称性の破れというわずかな実験の手がかりと透徹した理論的考察により、当時誰も夢想だにしていなかった 5 番目、6 番目のクォークの存在という大きな予言をなしとげたのです。

小林・益川理論の9つの行列要素



小林・益川理論の検証

○六種類のクォークとレプトンの発見

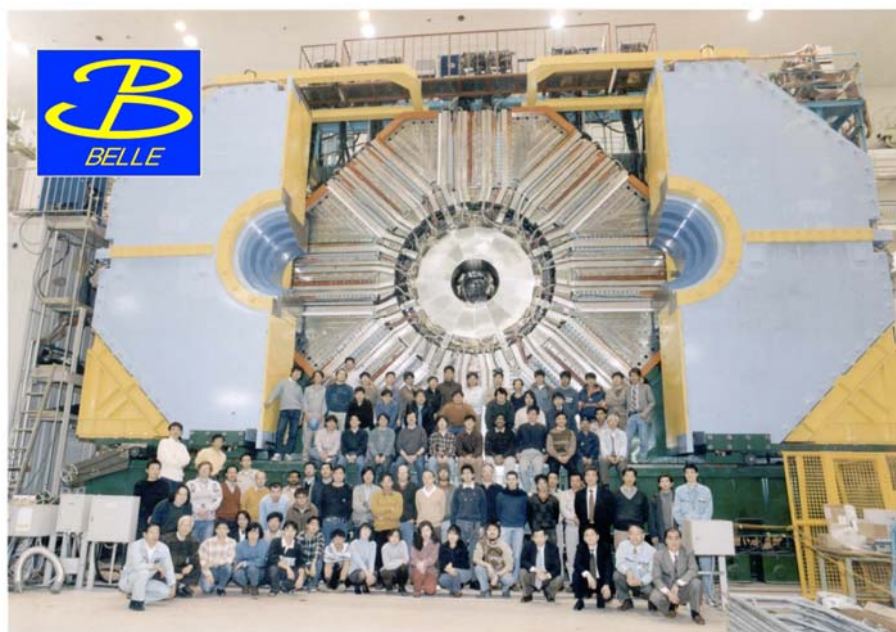
1974年の J/ψ 粒子の発見以降、クォークの概念は急速に素粒子物理研究者に受け入れられていきます。 J/ψ 粒子をチャームクォークとその反粒子の束縛状態だと考えることで、このさまざまな性質がとてもきれいに説明できたのです。小林・益川理論から遅れること2年、人々はようやく最初の出発点であるクォーク4元理論を信じ始めました。引き続いて、5番目のレプトンであるタウ(τ)レプトンと、5番目のクォークであるボトムクォークが、1976年と1977年に相次いで発見され、小林・益川理論はようやく脚光を浴びることになります。しかしながら、小林・益川が予言したすべての粒子(6種類のクォークとレプトン)が発見されるまでには、長く待たねばなりませんでした。6番目のクォークであるトップクォークは1995年に発見され、6番目のレプトンであるタウニュートリノの発見が報告されたのは2000年のことでした。

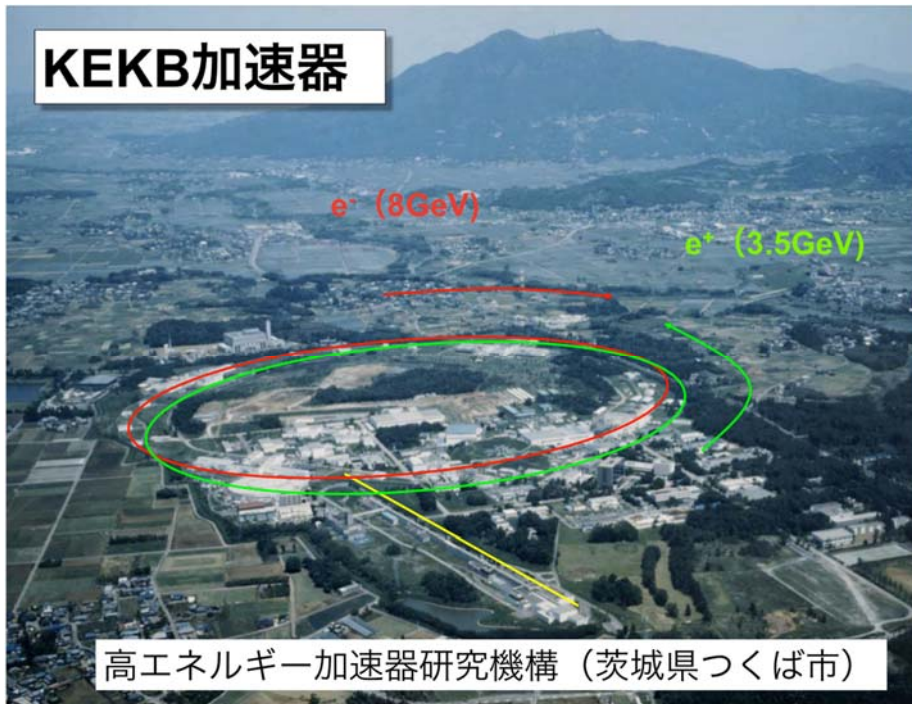
○B中間子崩壊におけるCPの破れ

三田一郎(名大名誉教授)によって、小林・益川理論がB中間子の崩壊で大きなCP対称性の破れを予言することが示されました。B中間子のさまざまな性質を精密に測定することによって、小林・益川理論に含まれる様々なパラメータを抽出することも可能です。このことは、小林・益川理論を実験的に検証するうえでよい枠組みとなり得ます。この目的のため、ふたつのBファクトリー実験が行われました。ひとつの実験は、日本のつくば市にある高エネルギー加

速器研究機構（KEK）で行われ、もう一つの実験は、アメリカの SLAC 研究所で行われました。名大の実験グループは KEK の実験に参加しています。KEK の実験で使われた加速器は一日あたり 100 万を超える B 中間子対を発生させる能力を持っており、発生した B 中間子の崩壊は Belle 検出器で測定され記録されました。日本の実験は 1999 年に測定を開始し、アメリカの実験と競争しつつ、2001 年に B 中間子での大きな CP 対称性の破れを報告しました。現在では、日米の B ファクトリー実験によって B 中間子崩壊におけるさまざまな量が測定され、小林・益川理論が高い精度で検証されています。

小林・益川理論の検証を行った Belle 検出器と KEKB 加速器





小林・益川理論パラメータの決定。すべての測定結果が同一のパラメータを指し示しており、小林・益川理論を支持している。

