

平成 21 年 6 月 25 日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2005 ～ 2008  
 課題番号：17540248

研究課題名（和文） フレーバ物理学・B 中間子における CP 非保存の研究

研究課題名（英文） Flavor Physics CP Violation in B decays

研究代表者 三田一郎 (SANDA ICHIRO)  
 神奈川大学工学部 物理学教室・教授  
 研究者番号：60242806

#### 研究成果の概要：

2008年に小林誠氏、益川敏英氏がノーベル物理学賞を受賞されたことは我が国にとって大変おめでたいことである。この約半世紀の歴史を振り返れば、日本人が素粒子論における自発的対称性の破れ、およびCPの破れの理論を提唱し、日本国民の血税で世界に類のない加速器が建設され、そして日本でその正しさが証明されたという偉大な歩みが見えてくる。まさに我が国が誇るべき研究成果であろう。わたしは小林・益川理論の基でB中間子にける大きなCPの破れを発見した。この予言を検証するために高エネルギー研究機構およびスタンフォード線型加速器研究機構でBファクトリーを建設することを提案し、2003年に見事にこの予言は検証された。現在B中間子物理学はフレーバー物理学の一部として今後大きく開花しつつある。本研究ではB中間子におけるフレーバー物理学を理論的に追求した。

#### 交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	900,000	0	800,000
2006年度	800,000	240,000	1,040,000
2007年度	800,000	240,000	1,040,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
総計	3,200,000	720,000	3,920,000

#### 研究分野：素粒子論

科研費の分科・細目：数物系科学，物理学，素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：素粒子，場の理論，B中間子，CPの破れ，対称性

#### 1. 研究開始当初の背景

わたしは1980年にCaterと共に小林・益川理論が予言するB中間子における大きなCPの破れを発見し、同年にBigiと共にGolden Mode  $B \rightarrow \psi K_s$  でCPの破れを追及する

ことを提案した。この現象こそ小林・益川理論の決定的確定につながると見たからだ。このCPの破れを実験で立証するためにBファクトリーの重要性を理論研究者の立場で強調し、1994年にその努力が実り、Bファクトリーの建設が我が国のKEKと米国のス

タンフォード線型加速器研究所で始まった。2003年には約70%のCPの破れが両研究所で同時に発見され、小林・益川理論の正しさが証明された。言うまでもないが、今年両氏がノーベル賞に輝いた。

B中間子の研究で絶対に小林・益川両氏はノーベル賞を受賞するからと言って予算をつけていただいたことを思い出すと、やっと実現した喜びを隠せない。日本はB中間子の物理学とニュートリノ物理学で世界をリードすることにより、フレーバー物理学のメッカとなった。このリーダーシップを維持して、さらに発展させることが我が国の技術大国という立場を維持する鍵である。

素粒子物理学は常に新しい物理を探究する。もちろん標準模型に存在しない新粒子を発見することが一番手っ取り早いのでLHCに期待したい。SUSYやHiggsが発見されたなら、その影響がB中間子やレプトンの崩壊にどう影響するか検討し、すぐにBファクトリーの観測にどう影響するか示す。しかしながら新しい物理を示す新粒子がLHCのエネルギーで生成される保証はない。新粒子が重く、LHCで生成不可能な場合、それらの量子効果を精密に測定することによって、このような新しい物理の存在を推測する以外ない。B中間子やレプトンの崩壊が量子効果を通して新しい物理の存在を示す可能性を追求した。

現在B中間子崩壊におけるフレーバー物理学がBelle(KEK)とBaBar(SLAC)の研究グループによって活発に研究されている。わたしは長年、これらの実験グループの研究を理論的にサポートしてきた。今後は実験結果から標

準理論を超える物理学を引き出すこと、さらに現在提案しているSUPEB計画をよりよい研究計画にしていくことを目的とする。

## 2. 研究の目的

過去を振り返るとフレーバー物理学は標準模型を規律させるのに不可欠であった。標準模型の一部である小林・益川CP非対称性機構を理解するにはBelle, BaBarで行なわれている実験は不可欠であることをわたしが20年前に提唱した。

我が国はKAMIOKANDEとBファクトリーによってフレーバー物理学の世界的リーダーシップを勝ち取った。今後この成果をより大きなものにしていき、我が国の科学技術の根深さを世界に示していくことが国益に結びつく。

低エネルギー領域でCP非対称性を理解することは、初期宇宙のバリオン数生成に必要な新しいCPの破れの発見に重要な手がかりになる。

## 3. 研究の方法

新しい物理を探究する手法は二つある。(1)高エネルギーの加速器を建設し、新粒子を発見すること。(2)強度の高いビームを持つ加速器を建設し、精密実験を行い、理論と実験の誤差を発見する。わたしの研究は後者の方で、Bファクトリーにおける実験で標準模型からのずれを探究する。もしずれがあるならば、それは新しい物理が量子効果によって生じるものである。わたしの研究は実験グループの研究を理論的にサポートしながら、実験結果から背景にある物理(特に標準理論を超え

る物理学)を引き出すことである。

#### 4. 研究成果

標準模型では崩壊過程  $B \rightarrow K^* K_S^0, B \rightarrow K^* K_L^0$  における CP 非保存は非常に小さい。従ってこれらの崩壊過程に CP 非保存が見つければ標準模型を超えた物理が発見されたことになる。わたしたちはこれらの崩壊過程における CP 非保存を我々のグループが開発した PQCD のテクニックを使って計算した。本研究の結果は CP 非保存は  $-(3.5 \pm 1.7) \times 10^{-2}$  となった。従ってこれ以上の CP 非保存が観測されたならば標準模型を超えた物理が発見されたことになる。

$B \rightarrow \rho, B \rightarrow \omega$  はフレーバーを変化させる中性のカレントによって崩壊する。従ってこれらの崩壊は標準模型を超える物理が寄与する可能性が高い。これらの分岐比を PQCD テクニックを用いて計算した。その結果

$$\begin{aligned} Br(B^0 \rightarrow \rho^0 \gamma) &= (0.38 \pm 0.18) \times 10^{-6} \\ Br(B^0 \rightarrow \omega \gamma) &= (0.54_{-0.21}^{+0.23}) \times 10^{-6} \\ Br(B^+ \rightarrow \rho^+ \gamma) &= (0.68_{-0.31}^{+0.36}) \times 10^{-6}. \end{aligned}$$

が得られた。この結果と実験が矛盾すれば新しい物理の効果による可能性がある。

B ファクトリーは同時に ファクトリーでもある。ニュートリノ混合の発見によってレプトン数の非保存は確実にあると考えられる。もしレプトン数非保存が発見されたならばその陰にある相互作用の探求と性

質の解析が不可欠になる。 $\mu$  中間子の崩壊を解析するとき最も一般的なフェルミ相互作用を用いて  $(V-A) \times (V-A)$  相互作用であることが証明された。同じように本研究では  $\tau \rightarrow \mu + \mu + \mu$  を最も一般的な相互作用を用いて詳しく解析し、レプトンフレーバー非保存の相互作用を探索する手法を示した。

次世代の B ファクトリー計画に力を入れてきた。小林・益川両氏のノーベル賞受賞によって、SUPERB ファクトリーの計画が前進する可能性が大きくなったと言えよう。誠に喜ばしいことであるが、わたしは危機感を感じている。既存の B ファクトリーのルミノシティーは  $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$  であるが、SUPERB で提案されているルミノシティーは、わずかその約 10 倍しかないからである。現在の技術ではそれが限度だといわれている。わたしは次世代計画を大胆に、百倍から千倍を目的にするべきだと主張してきた。現在の B ファクトリーを提案した時も当時の最高ルミノシティーは  $10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$  であったが、わたしはその千倍で、しかも非対称な加速器の必要性を主張した。物理が必要とする目標は、いくら高くても主張することによって加速器研究者の創造的な思想を促進させ、技術は発展すると期待している。

少なくとも SUPERB を推進している研究者の中で、現在の計画では目的を達することが困難であることを公に伝えているのは私だけである。私は 500 億円以上の大きな計画を提案するとき、目的をきちんと設定し、現在の技術で何が可能かよりも、物理の立場から慎重にならなければならないことを確認し、その技術を開発することが不可欠だと主張してきた。

2000年にCP Violationの教科書を書き上げた。それ以来、B中間子におけるCPの破れが発見され、ニュートリノ混合が発見され、フレーバー物理学は大きく発展した。BigiとわたしはCambridge University Pressに2nd Editionを提案し、受け入れられた。2nd EditionではB中間子における大きなCPの破れの見つけ、ニュートリノ混合の見つけ、2000年以降の理論の発展などを含む485ページの“CP Violation 2nd edition”が2009年に出版された。

小林・益川両氏の2008年ノーベル賞受賞が決まって以来6ヶ月間わたしはこのノーベル賞についての随筆におわれた。

#### 5. 主な発表論文等(計6件)

A. Matsuzaki, A.I. Sanda Analysis of lepton flavor violating  $\tau \rightarrow \mu \mu \mu$  decays Phys. Rev. D77, 073003, 2008

A.I. Sanda, Theoretical overview of flavor physics. J.Phys.Soc.Jap.76:111005,2007.

A.I. Sanda, Flavor physics and Nagoya: The past 50 years. Prog.Theor.Phys.Suppl.167:26-35,2007

S.-G. Kim, N. Maekawa, A. Matsuzaki, K. Sakurai, A.I. Sanda, T. Yoshikawa A Solution for little hierarchy problem and  $b \rightarrow s \gamma$ . Phys.Rev.D74:115016,2006.

M. Matsumori, A.I. Sanda The Mixing-induced CP asymmetry in  $B \rightarrow K^* \gamma$  decays with perturbative QCD approach. Phys.Rev.D73:114022,2006.

M. Bona, A. I. Sanda, et. al. SuperB: A High-Luminosity Asymmetric  $e^+ e^-$  Super Flavor Factory. Conceptual Design Report. SLAC-R-856, INFN-AE-07-02, LAL-07-15, May 18, 2007. 480pp

〔雑誌論文〕(計7件)

三田一郎 小林・益川理論の誕生とその確率まで 日本物理学学会誌 64, 84, (2009)

中島林彦, 三田一郎 CP対称性の破れの起源 日経サイエンス 39巻2号, 95, 2009

A. I. Sanda 2008 Nobel Laureates in Physics, Europhysicsnews 40, 2, 18, 2009

三田一郎 おめでとうございます! 南部先生, 小林さん, 益川さん 中日新聞 平成20年10月12日

三田一郎 おめでとうございます! 南部先生, 小林さん, 益川さん パリティ 12, 23, No. 12 Page 10, 2008

三田一郎 大自然が示したCPの破れ High Energy News, 27, 4, 217 (2009)

〔学会発表〕(計1件)

日本物理学会第64回 招待講演 三田一郎 小林・益川理論 その発展・検証について

〔図書〕(計1件)

I.I. Bigi, A. I. Sanda CP Violation, Cambridge University Press, 2009