

機関番号：82118

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2007～2010

課題番号：19340071

研究課題名 (和文) Bファクトリーの高度化によるフレーバー物理の推進

研究課題名 (英文) Flavor physics at upgraded B factory

研究代表者

山内 正則 (Yamauchi Masanori)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授

研究者番号：20174584

研究成果の概要 (和文) : 高ルミノシティ Bファクトリーにおける新しい物理の探索方法および探索範囲について新しい知見が得られた。特に B 中間子の測定で超対称性のモデルを特定する可能性について理解が進んだこと、レプトン数を保存しない  $\tau$  の崩壊の測定方法について詳細な検討が行われたことなどが成果である。また、本研究を推進する過程で、この施設で実験研究を推進する研究組織が出来上がったことも重要な成果である。

研究成果の概要 (英文) : New knowledge has been obtained regarding search for new physics effects at high luminosity B factory. Especially, methodology of identifying Super symmetric models in B meson decays and possible measurement of lepton-flavor violating tau decays were studied in detail. Also, new research organization has been established to carry out research at the new facility.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2008年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2009年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2010年度	3,300,000	990,000	4,290,000
年度			
総計	13,600,000	4,080,000	17,680,000

研究分野：素粒子物理学実験

科研費の分科・細目：物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：B 中間子 CP非対称性 タウレプトン レプトン数非保存 Bファクトリー  
ルミノシティ フレーバー物理

## 1. 研究開始当初の背景

素粒子物理学では標準模型と呼ばれる理論が大きな成功をおさめ、実験的に知られている現象のほとんどを説明することに成功していたが、これが最終的な物理法則ではないとする考え方が一般的で、CP非保存など、よく調べられていない側面を明らかにすることにより新しい物理法則の発見につなげようとする研究が盛んに行われてい

た。この研究を開始した当初、日米に建設された Bファクトリー (PEP-II (SLAC) と KEKB) はそれまで激しい競争を行いながら 6 年間にわたって実験を続け、標準模型の確立において重要な成果を挙げてきた。これは小林・益川理論がクォークの混合や CP非保存を記述する正しい理論であることを証明したことを含んでいる。これと同時に、この過程において、B、D 中間子、 $\tau$ レプト

ンなどの崩壊現象、すなわちフレーバー物理で将来的に標準模型を超えた新しい物理法則を調べることができることが明らかになったことも特筆すべきである。また、これらの粒子の崩壊を詳細に測定した結果、標準模型だけでは説明が困難な現象がいくつか発見された。これらのことを背景にして、新しい物理法則をフレーバーの研究から探求することは非常に重要であると考えられたが、このために現在の KEKB で達成されたルミノシティの世界記録をさらに数十倍にする必要があり、このための詳細な計画が検討されていた。ここで期待される成果は、新しい物理法則に現れる粒子の既知のクォークなどとの相互作用、特に結合における CP 非保存を測定できる点で LHC や ILC などにおけるエネルギーフロンティア実験とは相補的である。また、 $\tau$  の  $\mu\gamma$  崩壊などフレーバー保存則を破る崩壊は高ルミノシティの電子・陽電子衝突型加速器でのみ探索が可能である。このような研究計画の検討はその数年前から国内をはじめ、SLAC (米) や FRASCATI (伊) を中心に行われており、到達可能な結果や超対称性模型などとの関連が明らかにされつつあった。

## 2. 研究の目的

日米に建設された B ファクトリーが標準模型の確立において重要な成果を挙げたことは上に述べたが、これと同時に、この過程において、B、D 中間子、 $\tau$  レプトンなどの崩壊現象、すなわちフレーバー物理で将来的に標準模型を超えた新しい物理法則を調べることができることが明らかになったことも特筆すべきである。すなわち、(1) 前例のない高いルミノシティを実現したことによりさらに数十倍のルミノシティを実現する道筋が明確となった。このことにより  $10^{10}$  を越える B あるいは  $\tau$  の崩壊でどのような研究ができるかという議論が可能となった。

(2) B 中間子の崩壊のうち新しい物理法則の感度が高いと考えられている崩壊過程、 $K^* l^+ l^-$ 、 $D\tau\nu$ 、 $\tau\nu$ 、 $\phi K_S$  などが実際に電子・陽電子衝突実験でクリーンに測定可能であることが示された。同様に  $\tau$  の崩壊に関してもレプトン数の保存を破る崩壊が探索可能であることが示された。

(3) B 中間子がペンギン過程を経て崩壊する

場合に標準模型の予測からはずれた振る舞いをする例が3種類見つかри、まだ統計的に不十分で断定するには至らないものの興味深いヒントであると考えられている。

TeV 領域に存在すると考えられている新しい物理法則の候補のなかで最も可能性が高いと考えられているのは超対称性模型であるが、この模型にも高いエネルギースケールで成り立つ超対称性を低エネルギーでどのように壊すかによってさまざまな模型が存在する。フレーバー物理で超対称性を探る場合の最終的な目的は超対称性が破れている理由を明らかにすることであるから、それぞれの模型で実験的に測定可能な物理量がどのように予言されるのか、また、それらがどのような精度で測定可能であるのかを明らかにすることが重要である。同時にその測定を行うためにエネルギーなど加速器の最適化を図り、測定器にどのような改造を行うことが効率的かを明らかにすることも重要である。理論的予言に関してはこれまでに多くの結果があるので、シミュレーションや現行 B ファクトリーのデータを用いてこれらの点を明らかにすることが本研究計画の目的である。一例を挙げると、 $\tau$  の  $\mu\gamma$  崩壊を探索する際にはビームからの初期状態輻射がバックグラウンドとなって測定を制限するが、この問題を回避するために現行 B ファクトリーよりも低いエネルギーが好ましい可能性がある。これを最適化することは将来レプトン数の非保存を発見するために重要である可能性がある。

本研究はこれらの検討、特に物理の事例に関する研究と測定器の最適化に関する研究をさらに組織的に推し進め、この計画を日本国内の高エネルギー物理学実験の中心課題とするための研究を行うものである。

## 3. 研究の方法

既存の B ファクトリーを高度化することによって新しい物理法則の探索・解明を行うおうとすることはこれまでも Belle 実験グループやフレーバーの物理に関心を持つ理論家、海外の研究者など多くの研究者によって検討されてきた。これらによって主として B 中間子の崩壊現象で新しい物理法則の効果がどのように現れるかを検討した結果が得られている。これらは本研究計画の出発点として大変に優れたものであり、

これらに加えてB中間子以外の崩壊現象も検討の対象とし、かつ理論の新しい結果なども考慮した上で検討を進展させることによって前に述べた今後の素粒子物理学のとるべき戦略を策定することができる。具体的な研究内容を以下にまとめる。

- (1) 超対称性の典型的なモデルをいくつか取り上げ、B中間子の崩壊で測定可能な物理量の標準模型からのズレと各モデルのパラメーターとの関係を網羅的にまとめる。対象とする物理量はペンギン過程の時間に依存するCP非対称性、ユニタリティ三角形の整合性、 $K^* I' I'$ 崩壊における $I' I'$ の不変質量分布と前後方荷電非対称性、Bの $K^* \gamma$ 崩壊でのCP非対称性などが含まれる。このような研究は超対称性のモデルを特定するのにきわめて有効であることが後藤らによって理論の立場から議論されてきたが、実験感度に関する研究はこれまではごく限定的なものであった。
- (2) レプトン数の保存を破る $\tau$ 崩壊現象の探索方法の確立。この現象は新しい物理法則の性質を決定する上できわめて重要であるが、この測定は実験上のバックグラウンドで完全に制限されると予想される。加速器のエネルギーおよび測定装置の最適化によって大幅な改善が可能であると期待できるので、この点に関して新しい知見が必要。
- (3) B中間子が $D\tau\nu$ あるいは $\tau\nu$ に崩壊する過程における荷電ヒッグスの探索。この研究はエネルギーフロンティア実験によって荷電ヒッグスと思われる新粒子が発見された後においてもその性質を調べ、荷電ヒッグスであると特定するために重要である。これまでは単に崩壊分岐比の測定で荷電ヒッグスの関与を調べるのが考えられてきたが、 $\tau$ と $\mu$ の比、 $\tau$ の偏極の測定などの検討が重要な課題として残っている。特に荷電ヒッグスがスカラーである

本研究においては研究会の開催を中心に研究を進め、2010年度に研究のまとめをプログレスレポートとして出版した。研究会は年一度の全体研究会および特定の研究テーマごとの小研究会を開催した。それぞれの詳細は以下の通り。

- ① 全体研究会：おおむね一日の全体会議と二日間の分科会、および運営会議から構成す

る。全体会議では加速器や測定器のデザイン、総括講演、KEKマネジメントによる報告などを行い、参加者は100名程度であった。

- ② 小研究会：参加者数は扱う研究テーマによって3名－15名程度である。この小研究会に加えてテレビ会議、メールによる議論も行われるであろうが、それで不十分である場合について議論を行うことを目的として開催する。学術的な議論のほかに、プログレスレポートをまとめる際の編集会議などもこのカテゴリで実施した。

#### 4. 研究成果

これまでに達成された成果のうちBファクトリーの高度化によって実現される新しい物理の研究に関するものは以下の3項目にまとめることができる。

- (1) 超対称性の典型的なモデルをいくつか取り上げ、B中間子の崩壊で測定可能な物理量の標準模型からのズレと各モデルのパラメーターとの関係を網羅的にまとめた。このような研究は超対称性のモデルを特定するのにきわめて有効であることが明らかになった。
- (2) レプトン数の保存を破る $\tau$ 崩壊現象の探索方法の確立。この現象は新しい物理法則の性質を決定する上できわめて重要であるが、この測定は実験上のバックグラウンドで完全に制限されるので、この点に関して集中的に検討を行った。
- (3) B中間子が $D\tau\nu$ あるいは $\tau\nu$ に崩壊する過程における荷電ヒッグスの探索。これまでは単に崩壊分岐比の測定で荷電ヒッグスの関与を調べるのが考えられてきたが、 $\tau$ と $\mu$ の比、 $\tau$ の偏極の測定などの測定が重要であることが明らかになった。

これらに加えて、本研究を推進する過程で国際的な研究組織が広がりを見せ、現在Belle-IIと呼ばれる研究組織は世界19か国65の大学・研究機関から400名が参加する大規模な研究グループへと発展している。これも本研究の重要な成果と言える。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ① H. Sahoo et al., Belle collaboration, "First observation of radiative  $B^0 \rightarrow \phi K^0 \gamma$  decays and measurements of their time-dependent CP violation",

- Physical Review D84, 071101, 2011
- ② Y.Miyazaki, et al., Belle collaboration, “Search for Lepton-Flavor-Violating tau Decays into a Lepton and a Vector Meson”, Physics Letters B699, 251 (2011)
  - ③ K.Hara et al., Belle collaboration, “Evidence for  $B^- \rightarrow \tau^- \bar{\nu}_\tau$  with a Semileptonic Tagging Method”, Physical Review D82, 71101 (2010)
  - ④ Y.Miyazaki et al., Belle collaboration, “Search for Lepton Flavor Violating tau Decays into  $lK^0$ s and  $lK^0sK^0$ s”, Physics Letters B692, 4 (2010).
  - ⑤ A. Zupanc et al., Belle collaboration, “Measurement of  $\gamma_{CP}$  in  $D^0$  meson decays to the  $K_s K^+ K^-$  final state”, Physical Review D80, 052006 (2009).

[学会発表] (計4件)

- ① 山内正則、“Probing New Physics at SuperKEKB”、XIII Mexican Workshop on Particles and Fields、2011年10月22日、メキシコ レオン市
- ② 山内正則 “Probing New Physics at SuperKEKB”、IAS-CERN School’s Workshop、2012年1月、シンガポール
- ③ 山内正則 “KEK Super-B factory project”、弱い相互作用とニュートリノ国際会議(WIN09) ”、2009年9月16日、イタリア・ペルージャ
- ④ T. Iijima (Nagoya U.) ” SuperKEKB status and prospect”、The 9<sup>th</sup> ICFA Seminar, October 28-31, 2008, SLAC, California

[図書] (計2件)

- ① A.G.Akeroyd ら、“Physics at Super B Factory “ KEK Report 2009-12 総ページ数 274 ページ
- ② I.Adachi ら、“sBelle Design Study Report “ KEK Report 2008-7 総ページ数 85 ページ

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山内 正則 (Yamauchi Masanori)  
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授  
研究者番号：20174584

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし