

Nara Women's University

Study of Time-dependent CP Violation in $\beta^0 \rightarrow \bar{X} / \phi \pi^0$ Decays : Abstract of Dissertation and the Summary of the Examination Results

メタデータ	言語: 出版者: 奈良女子大学 公開日: 2010-01-12 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 片岡, 佐知子, 野口, 誠之, 林井, 久樹, 見目, 正克, 宮林, 謙吉, 村松, 加奈子 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10935/1268

氏名(本籍)	片岡 佐知子 (奈良県)
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	博課第275号
学位授与年月日	平成17年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 人間文化研究科
論文題目	Study of Time-dependent CP Violation in $\beta^0 \rightarrow J/\psi\pi^0$ Decays ($\beta^0 \rightarrow J/\psi\pi^0$ 崩壊を用いた時間に依存する CP 非 保存の研究)
論文審査委員	(委員長) 教授 野口 誠之 教授 林 井 久 樹 教授 見 目 正 克 助教授 宮 林 謙 吉 助教授 村 松 加 奈 子

論文内容の要旨

本論文は、高エネルギー加速器研究機構(茨城県つくば市:略称 KEK)にある電子・陽電子衝突型加速器(愛称 KEKB)で生成された大量の B 中間子崩壊事象の中から、稀に現れる特定の崩壊事象 $\beta^0 \rightarrow J/\psi\pi^0$ を選別し、時間に依存する CP 非保存現象の測定結果をまとめたものである。ここで、CP 非保存とは、粒子とその反粒子の間の物理法則の違いを表し、現在の宇宙の状態を理解する上で最も根源的な現象の一つである。

まず、序論においては、CP 非保存の歴史的概括、特に B 中間子崩壊事象の重要性、本研究の目指すところが述べられている。

つづく第1章では、B 中間子に於ける CP 非保存の理論的説明が詳細に記されている。特に、これらの理論では、クォークの混合により CP の破れが現れるという小林・益川模型や、それを B 中間子に適用したとき、稀な崩壊事象の中にどのような形式で CP 非保存が表れるかについて、懇切丁寧に解説してある。著者が選択した $\beta^0 \rightarrow J/\psi\pi^0$ 崩壊では、2つ以上の素過程が考えられることから、この崩壊の時間に依存する CP 非保存を測定することにより、それらの素過程の寄与の程度が推定できる点で重要であることが述べられている。

第2章では、この実験を行うにあたっての実験装置についての詳細な記述である。上述の KEK に

は、周囲 3 km の電子・陽電子衝突型加速器（愛称：KEKB）が建設されており、そこに、生成粒子を検出する大型検出器（愛称：Belle）が設置されている。どちらも建設に 5 年以上を要した大型設備である。特に、KEKB は、B 中間子に於ける稀な崩壊現象を収集するために大量のデータを蓄積する必要があり、そのために、世界一高輝度の電子・陽電子ビームを衝突させている。また、時間に依存する CP 非保存を測定するためには、異なったエネルギーの電子と陽電子を衝突させるという新しい特徴を有している。

さらに、大型検出器 Belle は、微細な位置測定、運動量、エネルギーの高精度測定、粒子の識別などを測定するために、それぞれの得意分野に特化した検出器群の集大成であり、それぞれの部分について詳しく記述されており、これらを総合し、世界第一級の測定が行われていることが説明されている。

第 3 章では、大量の生データから、目的とする $\beta^0 \rightarrow J/\psi\pi^0$ 事象を、いかに効率よく選別するかについての著者の様々な工夫が詳しく述べられている。

この事象の崩壊分岐比は 10 万分の 2 程度と見積もられており、時間に依存する CP 非保存を測定するためには大量の生データが必要である。実際、著者が解析に用いた B 中間子は約 1 億 5 千 2 百万個であるが、その中から期待される事象は 100 個程度に過ぎず、この実験がいかに難しいかを表している。

実際の解析では、B 中間子は生成直後に崩壊し、検出器では崩壊破片の粒子が検出されるに過ぎない。また、検出されない粒子も多々ある。これらの崩壊破片粒子を組み合わせ、親である B 中間子からの崩壊であるか否かを決めていく。目的とする事象に似た形態をとる偽事象（バックグラウンド）も大量にあり、これらの選別は容易ではない。著者は、様々な条件を課し、最終的に解析に使える事象として、91 個の $\beta^0 \rightarrow J/\psi\pi^0$ 事象を選別している。

第 4 章では、第 3 章で選別した 91 事象を使って、時間に依存する CP 非保存を特徴づける S パラメータと A パラメータの決定方法を詳しく述べている。

これらのパラメータの決定には、最尤法（maximum likelihood method）を用いている。この時の確率密度関数（probability density function：PDF）には、測定器の精度、バックグラウンドの形状、信号とバックグラウンドの確率など様々な実験条件が考慮されている。

また、統計誤差の他に、実験装置や選別条件から発生する様々な誤差について系統的に検討し、最終的には、

$$S = -0.72 \pm 0.42 \text{ (統計誤差)} \pm 0.09 \text{ (系統誤差)}$$

$$A = -0.01 \pm 0.29 \text{ (統計誤差)} \pm 0.03 \text{ (系統誤差)}$$

を得た。

最終章では、上記の測定値について、他の実験や他の稀崩壊事象と比較し、その意義を論じている。

上記の結果は、系統誤差を考えると非常に精密に行われているが、事象数が少ないため、統計誤差が大きく、決定的な結論は導き出せない。しかしながら、このような稀な事象を確実に選別する技術を確立したことで、今後の事象数の増加とともに、確実にこの崩壊過程でも時間に依存する CP 非保存が測定可能であることを示し、更なる研究発展の基盤を築いたことが示されている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、高エネルギー加速器研究機構（茨城県つくば市：略称 KEK）にある電子・陽電子衝突型加速器（愛称 KEKB）で生成された大量の B 中間子崩壊事象の中から、稀に現れる特定の崩壊事象 $\beta^0 \rightarrow J/\psi\pi^0$ を選別し、時間に依存する CP 非保存現象の測定結果をまとめたものである。ここで、CP 非保存とは、粒子とその反粒子の間の物理法則の違いを表し、現在の宇宙の状態を理解する上で最も根源的な現象の一つである。

1973年、小林・益川は、物質の究極の構成要素であるクォークが6種類以上存在すれば、CP 非保存が自然に導き出せるという理論を提案した。その後、予言通り、6種類のクォークの存在が実験的に確認されており、その理論の正当性が示された。さらに、三田らは、B 中間子の崩壊の中で、非常に稀に現れる特定の崩壊モードにおいて、顕著な CP の破れが観測できるはずであると予言し、実験を行うよう提言した。この実験は従来の加速器、検出器では不可能で、全く新しい実験設備の建設が必要となった。日本の研究者を中心として国際共同実験グループ（Belle グループ）が結成され、KEK に新型加速器と大型検出器が5年の歳月をかけて建設された。本学の高エネルギー研究グループは、この国際プロジェクトの推進メンバーとして、実験計画の初期段階から積極的に参加してきた。この実験は大量の B 中間子を必要とするため、通称 B ファクトリー実験と呼ばれる。ほぼ、同時期に、アメリカのスタンフォード大学加速器センターを基盤とする、もう一つの国際共同実験グループ（Babar グループ）が結成され、実験技術の向上、物理解析にしのぎを削っている。

Belle グループは2000年よりデータ収集解析を行い、2002年に、実験グループの第一目標である崩壊過程 $\beta^0 \rightarrow J/\psi K_s^0$ （黄金モードと呼ぶ）において、理論的予言通りに CP の大きな破れがあること確定した。Babar グループも同様の結果を得ており、小林・益川理論の枠組み及び三田らの理論の重要性が確認された。

以上のような背景のもとで、著者は $\beta^0 \rightarrow J/\psi\pi^0$ 崩壊を研究課題として選択した。これは、すでに確定した $\beta^0 \rightarrow J/\psi K_s^0$ 崩壊よりも複雑であり、クォークレベルでは少なくとも2つの素過程（ツリー過程とペンギン過程）が崩壊に関与しており、理論的に結果を予言することができないものである。従って、この崩壊過程において、CP の破れを測定することにより、素過程の寄与の程度を実験的に確定することは、重要な物理学的課題である。

ところで、B 中間子に於ける CP 非保存を実験的に求めるには、終状態が正しく選別されているか、始状態は B 中間子または反 B 中間子のどちらか、生成点と崩壊点が測定されているかなど、様々な解析上の要請がある。筆者はこれらの要請に沿って、効率よく、かつ精度よく事象を選別することに苦

心と工夫をしている。特に $\beta^0 \rightarrow J/\psi\pi^0$ 過程の崩壊比率は非常に小さく、時間に依存する CP 非保存現象を測定するには、大量の B 中間子崩壊が必要である。また、終状態に表れる中性 π 中間子は、生成後直ちに 2 つの光子に崩壊するため、 π 中間子を再構成するには多くの光子のバックグラウンドが解析を難しくしている。

筆者は、これらの事象選別を、ねばり強く、丁寧にいき、総数 1 億 5 千 2 百万個の B 中間子崩壊事象から、最終的に解析に使える事象として 91 個の $\beta^0 \rightarrow J/\psi\pi^0$ 事象を選別した。

次に、時刻に依存する CP 非保存は、ある時刻に於ける、B 中間子と反 B 中間子の崩壊比率の違いを測定することで得られる。この時、一般的には 2 つのパラメータ (S と A と標記) が現れる。前述の黄金モードでは、ツリー過程が優勢であり、A パラメータはほぼゼロとなり解析が容易であったが、筆者の選んだ崩壊過程は、ツリー過程とペンギン過程が予想され、その比率は、S パラメータ及び A パラメータを測定することによってのみ決められものである。

これらのパラメータの決定には、最尤法 (maximum likelihood method) を用いている。この時の確率密度関数 (probability density function : PDF) は非常に複雑で、測定器の精度、バックグラウンドの形状、信号とバックグラウンドの確率など様々な実験条件が考慮されている。

また、事象数に伴う統計誤差の他に、実験装置や選別条件から発生する様々な誤差について系統的な検討が行われている。

これらの過程を経て、著者は最終的に、2 つのパラメータ S、A に対し、

$$S = -0.72 \pm 0.42 \text{ (統計誤差)} \pm 0.09 \text{ (系統誤差)}$$

$$A = -0.01 \pm 0.29 \text{ (統計誤差)} \pm 0.03 \text{ (系統誤差)}$$

という値を得た。

この結果は、系統誤差を考えると非常に精密に行われていると言える。ただし、決定的な結論を導き出すには、事象数が少なく、統計誤差が大きい。しかし、A パラメータの中央値はほぼゼロを示しており、もし、この通りであれば、この崩壊過程に対する、ペンギン過程の寄与が小さいことを意味している。

以上述べたように、著者は、難しい課題に挑戦し、このような稀な事象でも確実に選別する技術を確立し、時間に依存する CP 非保存を確実に測定出来ることを示した。また、今後、事象の統計量増加に伴い、更なる研究発展が見通せる基盤を築いた。著者のこれらの研究成果は、アメリカ物理学会誌に投稿され、その意義が認められ、出版されることが決定しており、この分野で十分に評価されていることを示している。

よって、本論文は、奈良女子大学博士 (理学) の学位を授与するに十分な内容と水準を備えているものと判断した。