

機関番号：82118

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20740159

研究課題名 (和文) 中性 B 中間子の K<sup>+</sup>K<sup>-</sup>K<sub>s</sub> 崩壊を用いた新物理の探索研究課題名 (英文) search of new physics in K<sup>+</sup>K<sup>-</sup>K<sub>s</sub> decays of neutral B mesons

研究代表者

住澤 一高 (SUMISAWA KAZUTAKA)

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・助教

研究者番号：40379293

研究成果の概要 (和文)：中性 B 中間子の K<sup>+</sup>K<sup>-</sup>K<sub>s</sub> 崩壊としては、 $\phi$ K<sub>s</sub>, f<sub>0</sub>K<sub>s</sub>,  $\chi$ c1K<sub>s</sub> などの中間状態を介する崩壊過程や、直接 K<sup>+</sup>K<sup>-</sup>K<sub>s</sub> に崩壊する過程などがある。これら中間状態を介した崩壊過程の CP 非対称性を、B ファクトリー実験で通常用いる時間依存性と、新たにダリツ平面を用いることで、精度良く測定することが可能になる。Belle 実験のデータを使用し、この時間依存性とダリツ平面とを用いた解析手法で、CP 非対称性の大きさを測定し、新物理の探索を行った。

研究成果の概要 (英文)：We report a measurement of CP violation asymmetries in B<sup>0</sup>→K<sup>+</sup>K<sup>-</sup>K<sub>s</sub> decays with a time-dependent Dalitz approach. B<sup>0</sup>→K<sup>+</sup>K<sup>-</sup>K<sub>s</sub> decay channels consist of several intermediate states. It is expected that the sensitivity to CP violating parameters would improve in a measurement using the time-dependent Dalitz plot distribution because of the correct treatment of interferences between various resonant and non-resonant process.

交付決定額

(金額単位：円)

|         | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 2008 年度 | 1,000,000 | 300,000 | 1,300,000 |
| 2009 年度 | 600,000   | 180,000 | 780,000   |
| 年度      |           |         |           |
| 年度      |           |         |           |
| 年度      |           |         |           |
| 総計      | 1,600,000 | 480,000 | 2,080,000 |

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子

キーワード：フレーバー物理

## 1. 研究開始当初の背景

Belle 実験は、1999年から始まった。2002年からは、 $b \rightarrow \bar{q}q$  崩壊を用いた時間依存性を用いた CP 非対称性の測定が行われ、Belle 実験で新しい物理の探索が出来る環境ができていた。しかし、これら崩壊過程を用いた解析の際、終状態が同じ崩壊過程からの干渉効果を取り除けない解析手法を使用していたので、この効果を無視したことによる系統誤差は除去不可能であった。こ

のため、この干渉効果からの系統誤差の全体に対する割合は、年々上昇していた。

## 2. 研究の目的

ループダイアグラムを介した崩壊、いわゆるペンギン崩壊と呼ばれる崩壊過程は、ループ中に現在の加速器技術では困難なエネルギー領域にある粒子が寄与する可能性が存在するため、この崩壊を用いた解析は、標準理論を越えた理論の検証に対して有力な方法

のひとつにあげられている。標準理論では、 $B^0 \rightarrow \phi K^0$  崩壊、 $B^0 \rightarrow \eta' K^0$  崩壊、 $B^0 \rightarrow K_s K_s$  崩壊などの  $b \rightarrow \bar{s} q$  崩壊は、 $B^0 \rightarrow J/\psi K^0$  崩壊と同じ程度の CP 非対称性を持っているとされているが、これらはペンギン崩壊をするため、標準理論で予言されている以外の粒子が崩壊に寄与する可能性がある。もし、 $b \rightarrow \bar{s} q$  崩壊と  $B^0 \rightarrow J/\psi K^0$  崩壊との間に CP の破れの大きさの違いがあるようなら、標準理論を越える物理の発見となる。

### 3. 研究の方法

通常、時間依存性を用いた CP の破れを測定するときには、2つの B 中間子の崩壊点差を用いる。しかし、この情報だけだと、複数の中間状態同士の干渉効果を見積もれない。そこで、別のパラメータを導入する。それは、ダリツ平面を記述するパラメータで、各々の中間状態の混合比は  $K^* K_s$  の不変質量と  $K K_s$  の不変質量の2つのパラメータかそれに類するものとなる（とにかく2つパラメータを増やすことになる）。この2つの変数を使用し、分かりうる全ての中間状態を考慮に入れた解析を行うことが今回の目標になる。これにより、これまでは背景事象として扱っていたものを信号事象として取り扱うことが可能となり、CP 非対称性に対する感度を高くすることが可能となる。また、干渉項を無視したことによる系統誤差は理論上消えることになる。よって、この方法は将来現在の10倍、100倍の統計量を用いた解析を行う際、非常に重要な手法となると予想される。

### 4. 研究成果

(1) 今回の解析方法を採用するにあたり、終状態が  $K^* K_s$  の崩壊過程を全て集め、 $K^* K_s$  の不変質量と  $K K_s$  の不変質量のダリツ平面上での分布を密度関数として全ての崩壊過程に対して用意し、その干渉も正確に見るということを行うことになる。この際、最も重要なことは、終状態が  $K^* K_s$  となるあらゆる崩壊を全て見つけていけないといけないということだと思われる。特に、 $K^* K$  が共鳴状態からの崩壊によるものは、その振幅に CP の破れをもつものとなる。また、ダリツ平面での分布関数は、その中間状態の中間子 ( $\phi, \eta'$  など) のスピン角運動量やそれぞれの中性子間の角運動量の関数にもなっている。よって、それらの動力学的な情報も知っておく必要がある。Belle 実験、Babar 実験とも  $B^0 \rightarrow K^* K_s$ 、もしくは  $B^+ \rightarrow K^* K^+$  を用いて共鳴状態の有無を調べており、Babar 実験では現在存在が確認されていない共鳴状態の存在を示唆するような  $K^* K$  の不変質量の分布を得ている。そこで、新しいデータセットを用いて、ダリツ平面内に新たな共鳴状態がないかをチェックを行った。その結果、以前崩壊分岐比の測

定で発見された共鳴状態以外に、有意な崩壊過程は発見されなかった。よって、今回の解析で考えた崩壊過程は、テーブル1の様になる。 $B^0 \rightarrow (f_2 \rightarrow K^* K) K_s$  という崩壊過程も考えられるが、これらは有意な信号として見えなかったため、今回は無視して、その可能性を系統誤差として評価した。

テーブル1 :

今回の解析で使用した共鳴状態とその特性

| 共鳴状態         | Spin | CP 固有値 |
|--------------|------|--------|
| $f_0(980)$   | 0    | 1      |
| $\phi(1020)$ | 1    | -1     |
| $f_x(1500)$  | 0    | 1      |
| $\chi_{c0}$  | 0    | 1      |
| 非共鳴状態        | 0    | 1      |

(2) この解析では、CP 非対称性の大きさを出す際に最尤法を用いることになる。最尤法は、事象の確率密度関数を事象から得られるパラメータや物理量などいくつかの変数からなる関数として定義し、取得した事象全ての確率密度関数の積（尤度関数という）から、最も尤もらしい物理量を割り出すといった方法である。今回の解析では、確率密度関数のパラメータ数は、事象を解析したときに得られるパラメータ、CP 非対称性の大きさなど最尤法で求められるパラメータが19個と非常に多い。このような場合では、最も確率の高い地点を解析的な計算で求めることは非常に困難になり、実際は最尤法で求められる物理量のパラメータ平面内を見渡して探すといった方法がとられる。（イメージとしては、山登りを考えると良い。尤度関数の等高線を描いて、頂上がどこにあるかを裾野から上って行って確認するといった作業を行う。）この時、求めるべきパラメータが大量にあると、尤度関数の山と谷が複数できてしまい、最も確率の高い地点ではない方の頂上に誤って上ってしまうことも考えられる。また、各々のパラメータの相関が強いと、山と谷が入り組んだ非常に複雑な地形になってしまい、頂上を探すのに非常に時間がかかるといったことも考えられる。そのため、最尤法の収束性をあげるために、効率の良いパラメータのとり方が必要になる。また、確率密度関数を求める際、検出器の有限な分解能のため応答関数を用意して、畳込みを行うといった作業を行う。しかし、今回の方法では、

畳込みを行わないといけないパラメータが多いため、その作業が複雑になる。場合によっては、解析的に畳込みを行うことができないために、コンピュータを使って計算を行う必要があると考えられる。そのため、畳込みの計算など確率密度関数をできるだけ容易に求められるよう、効率の良いパラメータのとり方が必要になる。このように、この解析では、複数の要請から、最尤法に使われるパラメータに対しては、できるだけ効率の良いパラメータのとり方を見つけることが、非常に重要になる。

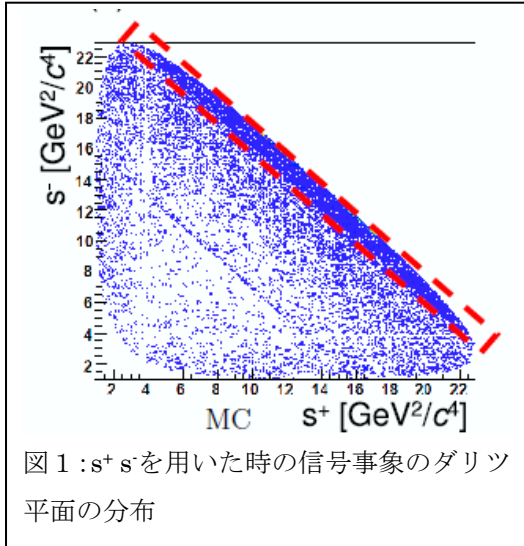


図1 :  $s^+ s^-$ を用いた時の信号事象のダリツ平面の分布

よく使用されるダリツ平面のパラメータは、 $K\bar{K}s$  の不変質量の二乗  $s^+$  と  $K\bar{K}s$  の不変質量  $s^-$  がある。図1がこのパラメータを使用したときの信号事象のダリツ平面の分布だが、点線で囲まれた領域を見るとわかるように、狭い領域に信号事象が多く分布している。この時、この領域の背景事象も詳細な形状を出さないといけなくなり、この取扱がかなり面倒になる。

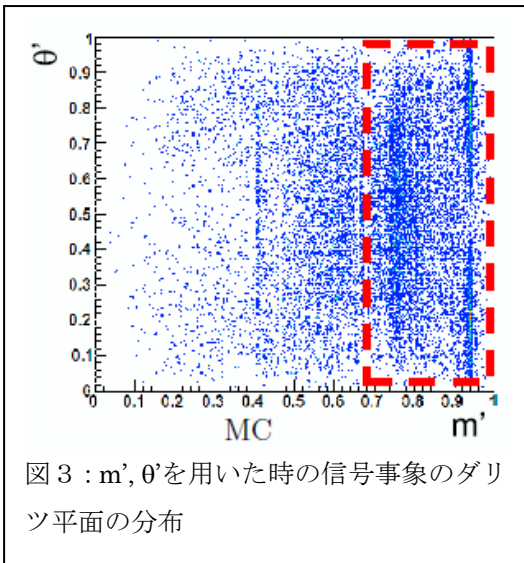


図3 :  $m', \theta'$ を用いた時の信号事象のダリツ平面の分布

そこで、パラメータの取り方を最適化した

$m', \theta'$  を用いることにした。図2がこのパラメータを使用したときの信号事象のダリツ平面の分布である、これを見るとわかるように、図1と違って信号事象が比較的まばらに分布しており、また背景事象の扱いも楽になった。これにより、良い収束を得られることに成功している。

(3) この方法を用いて、現在の Belle 実験のデータを用いて、 $K\bar{K}s$  崩壊過程での CP の破れの大きさを測定を行った、しかし、現在の統計では、この解析手法を用いた時、解が4つ現れることが分かった。また、この崩壊過程だけを使用してこれらを区別するのは難しいことを、シミュレーションなどを用いて確かめた。そこで、崩壊分岐比の測定などの他の測定結果を用いて最適解の選択を行う手法を作った。また、現在の10倍、50倍の統計量のシミュレーションもを行い、統計を増やすと、他の測定結果を使用することなく、この測定だけで最適解の選択が可能であることも分かった。

(4) 今回の解析で得られた測定結果は、テーブル2に挙げた。図4は、 $\phi$ 中間子の領域だけを切りだして、CP非対称性の時間分布を表示した物である。今回得られた結果は、標準理論と予想と一致している。

テーブル2 : 測定結果。1番目の誤差は統計誤差、2番目は系統誤差、3番目はダリツ平面を記述するモデルからの不定性となっている。

|  | Solution 1                             |
|--|--|
| $\mathcal{A}_{CP}(f_0(980)K_S^0)$      | $-0.30 \pm 0.29 \pm 0.11 \pm 0.09$     |
| $\phi_1^{\text{eff}}(f_0(980)K_S^0)$   | $(31.3 \pm 9.0 \pm 3.4 \pm 4.0)^\circ$ |
| $\mathcal{A}_{CP}(\phi(1020)K_S^0)$    | $+0.04 \pm 0.20 \pm 0.10 \pm 0.02$     |
| $\phi_1^{\text{eff}}(\phi(1020)K_S^0)$ | $(32.2 \pm 9.0 \pm 2.6 \pm 1.4)^\circ$ |
| $\mathcal{A}_{CP}(\text{others})$      | $-0.14 \pm 0.11 \pm 0.08 \pm 0.03$     |
| $\phi_1^{\text{eff}}(\text{others})$   | $(24.9 \pm 6.4 \pm 2.1 \pm 2.5)^\circ$ |

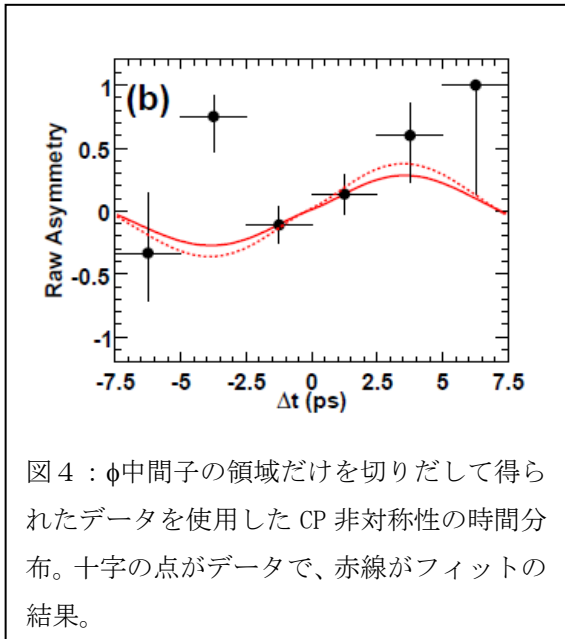


図4： $\phi$ 中間子の領域だけを切りだして得られたデータを使用した CP 非対称性の時間分布。十字の点がデータで、赤線がフィットの結果。

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1件)

- (1) 中浜優、住澤一高, and Belle collaboration, “Measurement of CP violating asymmetries in  $B^0 \rightarrow K^+ K^- K^0$  decays with a time-dependent Dalitz approach”, Physical Review D 82 073001 (2010), 査読有

[学会発表] (計1件)

- (1) 住澤一高、中浜優, “時間依存性と Dalitz plot を用いた  $B^0 \rightarrow K^+ K^- K^0$  崩壊過程における CP 非対称度の測定”, 日本物理学会 2010年秋季大会, 2010年9月13日, 九州工業大学戸畑キャンパス

6. 研究組織

- (1) 研究代表者

住澤一高 (SUMISAWA KAZUTAKA) 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・助教

研究者番号：40379293

- (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

- (3) 連携研究者

( )

研究者番号：