

機関番号：17201

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20540295

研究課題名（和文） 中性Kメソン FCNC 稀崩壊過程における新現象探索

研究課題名（英文） Search for new phenomena in the FCNC rare decays of neutral K meson

研究代表者

鈴木 史郎 (SUZUKI SHIRO)

佐賀大学・工学系研究科・教授

研究者番号：50089851

研究成果の概要（和文）：

標準理論で抑制される FCNC 稀崩壊過程は、未知粒子の寄与に高感度をもち、その探求は新事象の探索・各種現象論的モデルの検証となる。本研究は  $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 X$  ( $X = \mu\mu$ ) 崩壊を解析し、 $\mu\mu$  に結合する X(214) 状態の探索を行い、崩壊分岐比の上限値 ( $1.6 \times 10^{-6}$ ) を得た。更に小林・益川行列の  $\rho$  パラメーターを与え、新現象の寄与があれば桁違いの分岐比となる  $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 \nu\nu$  崩壊の探索を行い、分岐比上限値を従来から 1 ケタ改善するデータを得た。

研究成果の概要（英文）：

FCNC rare decays, which are suppressed in the Standard model (SM), are sensitive to contributions from unknown particles, and are ideal places to look for new phenomena beyond the SM and examine the various phenomenological models. We have analyzed the  $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 X$  ( $X = \mu\mu$ ) process and made a search for X(214) particle in the  $\mu\mu$  final state. We settled the upper limit of the production and decay ( $1.6 \times 10^{-6}$ ). Also we have made a study of  $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 \nu\nu$  decay, which gives the  $\rho$  parameter in the Kobayashi-Maskawa matrix, and gotten the results which made an order of magnitude improvement on the upper limit of the decay branching fraction.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学 素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

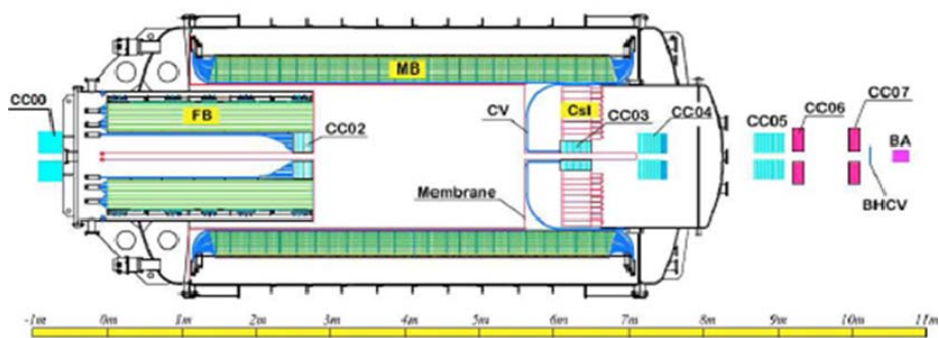
キーワード：素粒子（実験）

## 1. 研究開始当初の背景

標準モデルに於いて、フレーバーを変える中性カレント (FCNC) による稀崩壊過程は、ツリーレベルで強く抑制されている。このことは、ペンギンダイアグラム等の高次効果のなかに標準モデルを超える未知の粒子の寄

与があれば、FCNC過程にはその新現象の効果が大きく現れる可能性を秘めている。

近年、HyperCP グループは  $\Sigma \rightarrow p\mu\mu$  FCNC 崩壊過程で  $\mu\mu$  終状態に未知の擬スカラー粒子 X(214MeV) の存在を示唆した。そもそもこの



E391a 測定器

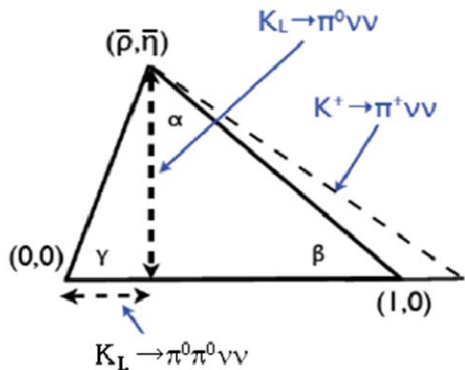
低質量領域は未開拓で、超対称性粒子や低質量ヒッグズの可能性、X線衛星の観測から暗黒物質の対消滅を媒介するUボソンの存在が議論されるなど、興味深い領域である。

$K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 X$  ( $X \rightarrow \gamma\gamma, ee, \mu\mu, \nu\nu$  など) FCNC過程は不定性の少ない X 粒子探索の有力候補として注目された。この崩壊過程は、KEK-PS で  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu\nu$  崩壊 (CP対称性を破る崩壊)の検出を目指す E391a 実験でアクセスできるものである。

また、同実験でカバーできる  $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 \nu\nu$  4体崩壊は、 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu\nu$  と同様ハドロニックな不定性が無く、標準モデルでは小林・益川行列要素の  $\rho$  パラメーターを与える。現象論的モデルによって、高次ダイアグラムに超対称性粒子など未知の粒子の寄与があれば、標準モデルとオーダーの異なる分岐比を与える可能性を指摘されており、上の課題とともに本研究を動機づけるものとなった。

## 2. 研究の目的

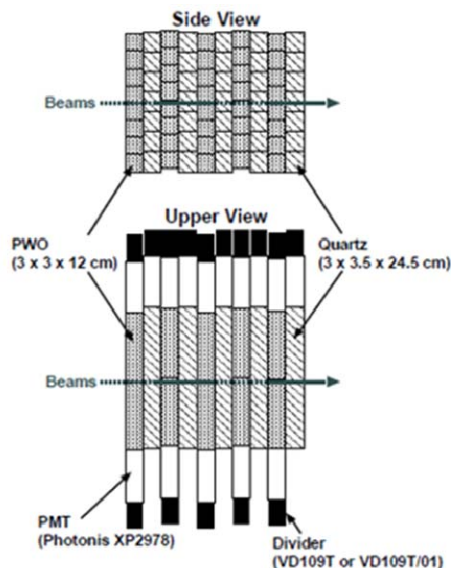
KEK-PS での  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu\nu$  崩壊 (CP対称性を破る崩壊)の検出を目指す E391a 実験は  $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 X$  ( $X = \gamma\gamma, ee, \mu\mu, \nu\nu$  など) FCNC過程に高純度でアクセスできる。本研究はこのデータを用い、とりわけ E391a の特徴を生かせる  $X = \mu\mu, \nu\nu$  終状態を用い、示唆された  $\mu\mu$  に結合する未知の状態 X(214)の探索



を行う。また、 $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 \nu\nu$  の分岐比は、 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu\nu$  が小林・益川ユニタリティー三角形の高さのパラメーター  $\eta$  を示すのに対し、実部パラメーター  $\rho$  を示し相補的な情報を与える。同時にそれら崩壊分岐比の測定・現時点での上限値を決定することにより、標準理論を超える事象の探索、各種現象論的モデルの検証、モデルに対する制約を与えるデータを提供

## 3. 研究の方法

$K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 X(214)$ ,  $X(214) \rightarrow \mu^+ \mu^-$  崩壊探索のキーポイントは、基本的には  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu\nu$  崩壊測定と同様の CsI カロリメーターに依る  $\pi^0$  同定、及び終状態に存在する  $\mu^+ \mu^-$  信号の確認



BAの側面図及び平面図

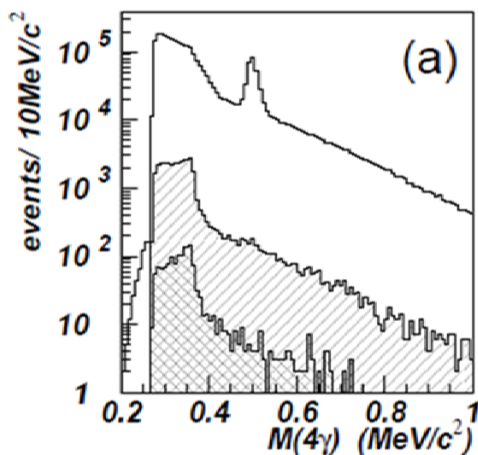
である。 $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 X(214)$ ,  $X(214) \rightarrow \mu^+ \mu^-$  崩壊の Q 値は小さいので、終状態の  $\mu$  粒子対は超前方ビーム穴を通過し、Back anti counter (BA) に MIPS 信号を残す。E391a 実験の Run-III では、BA としてセグメント

化された鉛タングステン酸 (PWO) 結晶シンチレーターとクォーツカウンターを5層交互に配置した。PWO カウンターは、ポリウム全体がアクティブであるためにエネルギー測定精度が良く、セグメント化によって飛跡情報とクォーツカウンターとの複合により、貫通 $\mu$ 粒子のガンマー、中性子による背景信号からの弁別および $\mu$ の個数カウンティングが可能である。

$K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の検出は、崩壊分岐比の大きい  $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0$  崩壊が背景事象の候補となるためその抑制が課題である。特に、4つの測定されたガンマー線からの $\pi^0$ 再構成における正しいペアリング、より厳しい CsI 内のガンマーシャワークラスターの判別、 $\pi^0 \pi^0$ 以外の粒子に対する排除の高効率化と最適化を行う。特に、シグナル領域に混入する背景事象数の推定に、シミュレーションに抛らず実物データによる bifurcation 方を用いる。

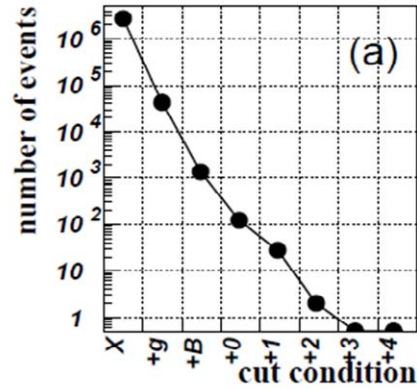
#### 4. 研究成果

① HyperCPによって存在が示唆された粒子X(214MeV/c<sup>2</sup>)を $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 X$ ,  $X \rightarrow \mu^+ \mu^-$ 崩壊過程で探索した。この未知粒子Xはその解釈として、スカラーゴールドストーン、あるいは超対称性理論から予想される軽いヒッグズ等があげられる興味深いものである。解析手段として、CsIカロリメーターに4つの $\gamma$ 線クラスターのある事象をスキムしたサンプルを作成し、最前方のBAカウンターPWO層



$4\mu$ 有効質量: X(214)が存在すれば $2\pi^0$ 閾値付近に寄与する。3つのヒストグラムは上から「全 $4\mu$ 事象」「BA1層に $\mu$ あり」「BA2層に $2\mu$ あり」の場合の分布。「BA全層に $2\mu$ 」を満たす事象は無い。

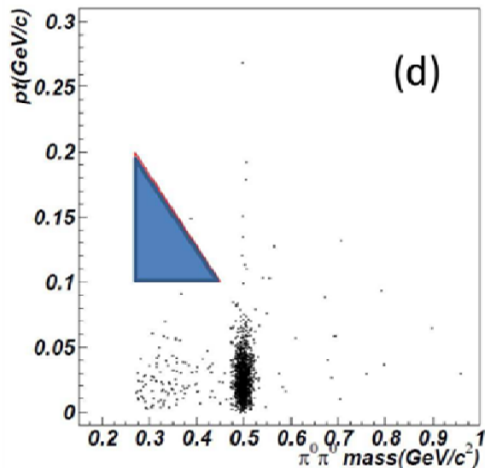
に5層とも2個の $\mu$ による最小イオン化エネルギー損失が与えられていること、さらに再構成された $\pi^0 \pi^0$ 有効質量がその閾値程度であることを要求することで $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 X(214)$ ,  $X(214) \rightarrow \mu^+ \mu^-$ 過程を効率よく選びだし、背景事象を除去した。BA最終層までの2個の $\mu$ 粒子の突き抜け条件を要求すると、この崩壊過程での214MeVの粒子測定結果はネガティブで、生成に関しての生成・崩壊分岐比の上限値 $1.6 \times 10^{-6}$  (90% C.L.)を得た。同時に  $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 \mu^+ \mu^-$  4体崩壊の上限値 $9.3 \times 10^{-7}$ を得た。この過程に我々の想定を超えるエキゾチックな効果は関与していないことは明らかになったが、超対称性理論の等から予想される各種現象論的モデルを判別するまでの感度には及ばなかった。(KAON09会議に結果を報告)



BA層を貫通する $2\mu$ 事象数の変化  
+0はBA 1層目に $2\mu$ のenergy depositがあった場合、+4は5層目まで全てに $2\mu$ energy depositがあった場合を示す。

②  $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 過程は終状態がすべて中性粒子となる。E391a実験のメインモードである  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 過程の研究で開発された解析・シミュレーションコードをもとに粒子数の多い  $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 解析用に特化し、最適化した。稀事象データの解析に於いての解析の客観性を保証するために、目的とするシグナル領域への背景事象混入の推定がシミュレーションにより確立して解析方法を最終化するまで見ない「ブラインド解析」の手法を取った。ガンマー線同定におけるシャワーのパターン認識、 $\pi^0$ 崩壊光崩検出の純度の向上を図り、ベトカウンターのデータ情報の多次元的活用を努め、 $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 過程の主たる背景事象である $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0$ ,  $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$ のシグナル

領域への混入が無視できることをシミュレーションで確認した。更にbifurcation法に依り、実データそのものからシグナル領域への背景事象の混入の量を推定し、全サンプルを通して0.5事象以下であることを確認した上ではじめてシグナル領域の事象をチェックした。本実験の検出感度は、1事象に対応する崩壊分岐比で $10^{-7}$ のオーダーと見積もられ、現存するリミットより1ケタ以上の改善が見込まれる。現在、崩壊分岐比の上限値に関する論文の雑誌への投稿を準備中である。



$\pi^0\pi^0$ 系の有効質量 vs  $P_T$  2次元プロット。三角形のエリアは $K_L \rightarrow \pi^0\pi^0\nu\nu$ 事象候補のみが入る領域である。0.5GeV付近のクラスターは $K_L \rightarrow \pi^0\pi^0$ によるもので、その左側に散在するのは $K_L \rightarrow \pi^0\pi^0\pi^0$ によるものである。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

- ①R. Ogata for E391a collaboration, "Performance of particle identification by an upgraded back-anti counter in the KEK-E391a experiment.", (査読有り) Nucl. Instr. And Methods A623: 243-245 (2010)
- ②R. Ogata et al. (E391a collaboration), "Search for X(214) in  $K_0(L) \rightarrow \pi^0\pi^0 X$  ( $X \rightarrow \mu^+\mu^-$ ).", (査読無し) Pos KAON09: 014 (2009)

[学会発表] (計6件)

- ①緒方里咲 他 e391a 共同実験, 「KEK-PS E391a 実験における  $KL0 \rightarrow \pi^0 \pi^0 \nu \nu$  の探索」日本物理学会 2010 年秋季大会 (2010 年 9 月 14 日)
- ②緒方里咲 他 e391a 共同実験, 「KEK-PS E391a 実験における  $KL0 \rightarrow \pi^0 \pi^0 \nu \nu$  の探索」日本物理学会第 65 回年次大会 (2010 年 3 月

23 日)

- ③Risa Ogata for E391a collaboration, "Search for X(214) in  $KL \rightarrow \pi^0 \pi^0 X$  ( $X \rightarrow \mu^+\mu^-$ ) using back anti counter at the E391a experiment", 2009 KAON Int. Conf. (poster session), (2009 年 6 月 9~12 日)
- ④緒方里咲 他 e391a 共同実験, 「KEK-PS E391a 実験における  $KL \rightarrow \pi^0 \pi^0 X$  ( $X \rightarrow \mu^+\mu^-$ ) の探索」日本物理学会第 64 回年次大会 (2009 年 3 月 27 日)
- ⑤Risa Ogata for E391a collaboration, "Upgraded back anti counter for E391a using PWO crystal", Technology and Instrumentation in Particle Physics 2009 (TIPP09), (2009 年 3 月 14 日)
- ⑥緒方里咲 他 e391a 共同実験, 「E391a 実験における  $KL0 \rightarrow \pi^0 \pi^0 X$  ( $X \rightarrow \mu^+\mu^-$ ) の探索」日本物理学会 2008 年秋季大会 (2008 年 9 月 21 日)

[図書] (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

鈴木 史郎 (SUZUKI SHIRO)  
佐賀大学・工学系研究科・教授  
研究者番号: 50089851

##### (2) 研究分担者

渡辺 丈晃 (WATANABE HIROAKI)  
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: 00415943

##### (4) 研究協力者

緒方 里咲 (OGATA RISA)  
佐賀大学・大学院工学系研究科・博士後期課程学生