

科学研究費補助金 特定領域研究
平成18年度発足特定領域研究計画書

申請領域名

フレーバー物理の新展開
New Developments of Flavor Physics

領域代表者

大阪大学・大学院理学研究科・教授・山中 卓

目次

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | 応募領域の研究の必要性 | 1 |
| 1.1 | 研究の目的 | 1 |
| 1.2 | 研究の意義 | 1 |
| 1.3 | 研究の特性および緊急性 | 3 |
| 2 | 応募領域の国内・外の研究状況 | 6 |
| 3 | 応募までの準備研究・調査の状況等 | 7 |
| 3.1 | 応募までの科研費による準備状況 | 9 |
| 4 | 研究領域最終年度前年度の応募の概要 | 10 |
| 5 | 領域を推進するに当たっての基本的な考え方 | 10 |
| 5.1 | 基本方針 | 10 |
| 5.2 | 研究項目 | 11 |
| 6 | 領域の内容 | 13 |
| 6.1 | 総括班 | 13 |
| 6.2 | 計画研究 A01 「 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊から探るフレーバー混合と新しい物理」 | 13 |
| 6.3 | 計画研究 A02 「B ファクトリーにおける B とタウフレーバー物理の研究」 | 14 |
| 6.4 | 計画研究 A03 「陽子反陽子衝突実験 CDF によるトップとボトム・フレーバーの物理」 | 15 |
| 6.5 | 計画研究 A04 「大強度ニュートリノビームを使ったニュートリノフレーバー振動の研究」 | 16 |
| 6.6 | 計画研究 A05 「タウニュートリノの直接検出によるニュートリノフレーバーの研究」 | 16 |
| 6.7 | 計画研究 A06 「フレーバー混合における標準理論を超える物理の理論的研究」 | 17 |
| 6.8 | 公募研究 | 17 |
| 7 | 研究期間及び研究経費 | 18 |
| 8 | 計画研究における費目別内訳 | 18 |
| 9 | その他 | 18 |
| 9.1 | 理解に役立つ図表解説 | 18 |
| 9.2 | 研究代表者の主要業績 | 18 |
| 9.3 | 領域代表者及び計画研究の計画代表者の既設又は終了した特定領域、重点 領域への参加状況 | 22 |
| 9.4 | その他 参考になること | 22 |

| | |
|-----------------|----|
| 10 領域代表者及び事務担当者 | 25 |
| 11 特定領域研究研究計画調書 | 26 |

1 応募領域の研究の必要性

1.1 研究の目的

20世紀の素粒子物理学の最大の成果は、自然界の3つの基本相互作用である電磁力、強い力、弱い力をゲージ対称性に基づいて統一的に理解したことである。一方、万物の究極の構成粒子と考えられるクォークとレプトンに関する種類や質量などの理解は、未だ得られていない。

クォーク・レプトンの種類はフレーバーと呼ばれるが、同じ電荷を持つものが3種類ずつあり、これを世代という。弱い相互作用は他の相互作用と違って、異なる世代の間に働く場合があるが、これをフレーバー混合と呼んでいる。標準理論の基礎定数の大部分は、これらの、クォーク・レプトン質量、および混合の定数で占められている。このことは、ゲージ相互作用が、1つのゲージ結合定数によりすべて規定されているのとは対照的に、湯川相互作用を支配する原理は知られていない、つまり、フレーバー構造の真の理解が未だに得られていないことを端的に示している。

これらのことを踏まえ、本特定領域研究は、クォークとレプトン両者のフレーバー混合の過程を世界最先端の加速器・測定技術を用いて精密測定するとともに、実験と理論の両面から総合的・有機的に研究することによって、クォークとレプトンの統一的な描像を得る事を目指す。

1.2 研究の意義

クォークは図1に示すように、(u, d), (c, s), (t, b)の3つの世代からなる。また、レプトンも (e^-, ν_e) , (μ^-, ν_μ) , (τ, ν_τ) の3世代からなる。これらの世代の混合は、第2、第3世代の素粒子の不安定性を引き起こす原因である。クォークのフレーバー混合は図2に示すようにカビボ・小林・益川行列によって記述されるが、いままでの実験によって明らかになったその形は非常に特徴的である。すなわち、世代間の混合は小さく、3つの混合角の大きさはすべて異なるオーダーの値となっている。これに加え、ニュートリノ振動の確立により、フレーバー混合の謎はますます深まっている。レプトンの混合行列はクォークとは全く異なって、2つの混合角は大角度であることが判明し、レプトンのフレーバー構造の起源がクォークと別のものであることが示唆されている(図3参照)。第3の混合角およびCP位相は未測定であり、その測定が今や急務である。

標準理論の内包する問題を解決するものとして、超対称理論が有力な候補の一つである。この理論においては、新しくスカラークォーク・レプトンに付随するフレーバー混合が起こる。そのフレーバー構造は標準理論よりも複雑であり、カビボ・小林・益川行列とは独立な混合パラメータが各世代ごとに存在している。これにより、種々のフレーバー混合現象において、標準理論の予測値からのはずれが期待される。このような効果の探索を行っていくことは、超対称理論のような標準理論を超える物理の手がかりを与えるものとして重要である。

このことからわかるように、フレーバー混合の実験的探求は、クォーク・レプトンの両方、すべての世代間に対して行われることが重要である。クォークにおいては、K、D、

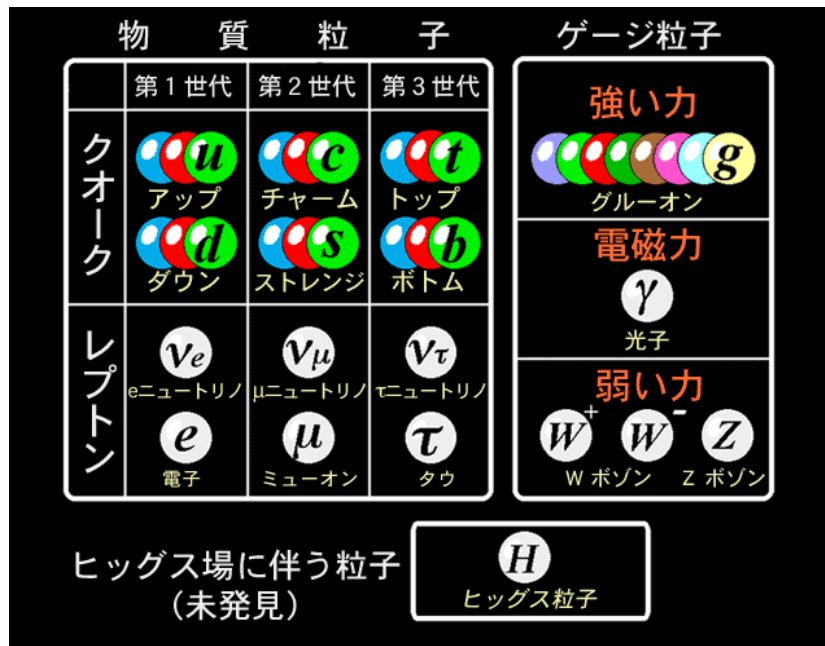


図 1: 物質を構成するクォークとレプトンはそれぞれ6個、3世代からなる。それらの粒子の間の相互作用は4種類のゲージ粒子がつかさどっている。

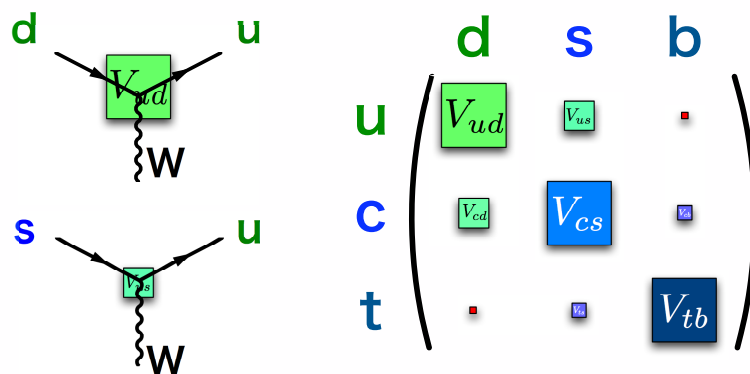


図 2: 左の図に示すように、クォークは弱い力を媒介する W ボゾンを出して、他の種類のクォークに変わる。その反応の起こりやすさはクォークによって異なり、 $d \rightarrow u$ のように同じ世代間では反応が起こりやすいが、 $s \rightarrow u$ のように世代が異なると、反応しにくい。 $-1/3$ の電荷と $+2/3$ の電荷の間のクォークの遷移振幅を表したものが右に示すカビボ・小林・益川行列である。図中の四角の大きさは、W ボゾンとの結合の強さを表す。



図 3: ニュートリノは 3 種類の質量を持ち、それぞれの質量を持ったニュートリノ ν_1, ν_2, ν_3 は、弱い相互作用で同定することができる ν_e, ν_μ, ν_τ という異なる種類 (フレーバー) のニュートリノが混じり合っている。(Fermilab/SLAC 発行の雑誌 Symmetry の表紙)

B メソンの希崩壊過程、トップクォークの生成・崩壊、レプトンに関してはニュートリノの第 3 の混合角の測定などが近い将来に進展の期待できる分野である。

数年後には新しいエネルギーフロンティアを拓く LHC 実験が始まろうとしている。これによって超対称粒子の発見など新しい現象が観測されることが期待される。しかし、LHC はフレーバー混合の研究に置き換えるものではない。LHC の物理が対角の物理とすれば、フレーバーの物理は非対角の物理であり、クォーク・レプトンの質量行列の異なる部分にそれぞれ焦点を当てるものと言える。この双方がそろることが、全体的な理解に必要であることはいうまでもない。

歴史をさかのぼってみると、フレーバー物理は理論の予測を裏切り続けてきた。粒子・反粒子の対称性の破れ、ボトムクォークの長寿命、大きなボトム - 反ボトム混合、大きいニュートリノ混合角など、理論家を驚かせた実験結果は多い。ゲージ相互作用において、中性カレントの存在、W, Z ボソンの存在が理論の予想通り確認されたことと対照的である。このことから、フレーバー物理における今後の実験データが、素粒子物理の進展に対して重要な役割を果たすであろうことが期待される。

1.3 研究の特性および緊急性

本研究領域では、次の異なる角度からフレーバーの物理に取り組む。

1. J-Parc の大強度加速器を用いて、中性の K 中間子の希な崩壊からクォークのフレーバー混合による粒子・反粒子の対称性の破れと新しい物理を探る。
2. B ファクトリーを用いて、B 中間子崩壊での粒子・反粒子の対称性の破れやタウレプトン崩壊の精密測定などを行い、標準理論の検証と新しい物理の探索を行う。

3. テバトロン加速器を用いて、トップクォークの生成崩壊と B ファクトリーで生成できない重い B 中間子の崩壊から、クォーク混合の精密測定を行う。
4. J-Parc の大強度加速器とスーパーカミオカンデの測定器を生かし、ニュートリノ振動のパラメータの精密測定を行う。
5. ミューオンニュートリノからタウニュートリノへの遷移を直接同定し、3 世代間のニュートリノ振動であることを確認する。
6. こうして得られる実験結果から、クォークとニュートリノのフレーバーの混合についての理論的な解釈を進め、統一的な描像を得ることを目指す。

研究の特性

こうした本研究領域は、特定領域に要求される次の特性を全て満たしている。

- 日本の全体の学問的水準が世界的に見て極めて高く、研究の格段の発展が期待できる（対象となる特定領域の特性 (a)）。
- また長基線ニュートリノ振動実験の発展期であり、またトップファクトリーをはじめとするファクトリー実験も大きくビーム輝度をあげる時期なので、急激な研究の発展が期待できる（対象となる特定領域の特性 (b)）。
- また、この研究の発展は素粒子物理学のみならず、宇宙の進化などの宇宙物理学の研究の発展に大きな効果を与え、学術研究における先導的かつ基盤的な意義を有する（対象となる特定領域の特性 (d)）。

研究の緊急性

クォーク・レプトンの広範な研究が可能になり、また今早急に遂行する必要がある背景には以下の情勢がある。

- J-PARC での大強度ビームによる K 中間子の精密測定が現実になってきた。
- B-ファクトリーによる高統計 B 中間子ならびにタウレプトンの崩壊データが蓄積される。
- Fermilab におけるトップの生成が進んでいる。
- 近年のニュートリノ振動実験による有限のニュートリノ質量の確立によって、レプトンにおける相互作用と質量の固有状態の関係が測定できるようになった。
- ヨーロッパの CERN 研究所で建設中の陽子・陽子衝突型加速器 LHC が 2008 年ごろから本格稼働する。

本特定領域は、予算の裏づけがあれば、この数年の内に結果を出すことができる加速器関連のフレーバーに関する実験のほぼ全てを網羅している。

以下に、個々の研究分野についてその緊急性を述べる。

- $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の分岐比は約 3×10^{-11} と予測されているが、現在の上限値は 5.9×10^{-7} であり、まずこの崩壊を発見することが急務となる。また、B 中間子で見られている $B \rightarrow \pi K$ の分岐比のずれを説明しようとする、 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ の分岐比が 10 倍になるという理論もある。また、LHC が新たな超対称 (SUSY) 粒子を発見すれば、どの SUSY モデルが正しいかを調べるためには、SUSY 粒子のフレーバーを調べる必要がある。LHC では新粒子を作ることはできても、それらのフレーバーの物理を研究することは難しいので、SUSY のフレーバーの効果を K 中間子や B 中間子の稀な崩壊を用いて調べることになる。

- B ファクトリーにおいては今後 5 年間は著しくデータ収集量が増え、研究が加速し得る時期であると位置づける。世界に誇るわが国加速器施設 (KEKB) を活用し、世界最大量の B 中間子およびタウレプトン対データを物理解析し最高感度でもって New physics を探索することにより、わが国が素粒子研究の進展に寄与することを国際的に強く求められている。

これまでに構築してきた強力な研究組織、研究者集団を維持、発展させ、研究を拡充、展開して、この千載一遇の好機を捉え新展開を図りたい。また、LHC 実験の開始時期考慮すると、この 5 年間は研究の勝負時であり、研究の緊急性が著しい。

- 陽子反陽子衝突実験 (CDF 実験) は、LHC 実験が本格稼働するまでは、唯一のトップクォーク・ファクトリーであり、ボトムクォークフレーバーの研究については B ファクトリーで生成できない重い B_s , B_c , Λ_b 粒子の崩壊特性の研究が唯一可能な場である。ビーム輝度が順調に上がり始めた現在、物理解析システム・体制をさらに充実させることが重要となっている。

- 加速器を使ったニュートリノ振動の研究では、我々は世界最初に K2K 実験によりニュートリノ振動の存在を確立した。次の主要な目標は、ニュートリノ振動現象を使ってレプトンの混合の全体像を探索すると共に、レプトンにおける粒子・反粒子対称性の破れを探索する道を開く。これまで進めてきた日本のニュートリノ研究の優位性を確保するためには、既に J-PARC のニュートリノ実験として認められた計画をさらに増強し、特にビームモニターの性能強化、前置検出器を強化することによってニュートリノ反応の測定精度を向上させたい。米国フェルミ研究所では同様の実験目的を持つ実験を計画している。本計画研究をできるだけ早期に完成させることが必要である。

- 2006 年春から始まる OPERA は、ニュートリノ振動で出現する ν_τ を捉えることを狙った実験である。しかし、最新のスーパーカミオカンデの示すデータは、現 OPERA 検出器の能力が十分とはいえないことを示している。このため、OPERA で使うニュートリノビーム CNGS がフル強度となる 2007 年に向けて、緊急に第 2 検出器のための原子核乾板を製造し、OPERA の検出器の感度を向上させる必要がある。

- 次の数年間で、フレーバー物理などのインテンシティーフロンティアと、LHC 等のエネルギーフロンティアから、広範囲にわたるデータが出てくる。これら多様な実験の結果を統一的に理解するためには、理論研究との連携が欠かせない。実験

と理論の共同作業によってお互いにフィードバックを掛けつつ研究を進めていくことが重要である。

2 応募領域の国内・外の研究状況

- $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊については、現在 KEK の E391a 実験 (山中も参加) が $O(10^{-9})$ の感度で探索している。E391a 実験は、J-Parc で行う実験の原理と手法の試験、および準備も目的としている。また、J-Parc 実験ではまず最初に、E391a 実験装置を移設し、必要な改良を行って用いる。 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ の探索を計画している実験は、J-Parc の大強度陽子を活用する我々の実験のみである。

電荷を持つ K 中間子の $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ の崩壊については、それを約 100 事象観測する実験が CERN で計画されている。 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ が小林・益川行列の V_{td} の複素成分を測るのに対し、 $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ はその大きさ $|V_{td}|$ 大きさを測る実験で相補的であり、いずれも理論的な誤差が小さい。これら二つの崩壊の分岐比の測定によって、B 中間子とは独立に小林・益川行列のパラメータを決めることができる。

- B ファクトリー研究は米国 PEP-II-Babar 実験がある。しかし、KEKB-Belle 実験のルミノシティーは BaBar 実験の約 1.7 倍であり、したがって積分量も多い。Babar は 2008 年に終了となる予定であり、今後 B ファクトリーでの B 中間子ならびにタウレプトンの研究は本研究が独壇場となるであろう。一方、2007 年から LHC 実験がスタートする。LHC が高エネルギー域において New physics を直接的に検出しようとするのに対して、本研究は高エネルギー世界の物理効果を低エネルギー域において総体的に感知しようとするもので、両者は相補的な役割りを果たす。研究期間初期は LHC での検出以前に New physics を見つけ出すことを試みる。
- 米国フェルミ研究所におけるテバトロン陽子反陽子衝突器は、ヨーロッパ CERN 研究所の LHC ハドロン衝突器が 2008 年ごろに本格稼働するまでは、唯一トップクォークを生成できる加速器である。このフェルミオンの中で最も (あるいは異常に) 重いトップクォークの生成崩壊を精密測定することは、単に小林益川混合行列に対する知見を与えるにとどまらず、標準理論の枠組を超える物理に到達できる可能性を有している。さらにボトムクォークフレーバーの研究については B ファクトリーで生成できない重い B_s , B_c , Λ_b 粒子の生成崩壊測定により小林益川混合行列の測定精度をあげることが期待される。本研究を行う CDF 実験は、同じテバトロンで行われている D ゼロ実験と競合しつつ、互いに成果の確認を行う。
- ニュートリノについて国内外では、T2K 実験の第一段階の目的と関連する 2 種類の実験が計画中である。一つは原子炉ニュートリノを使った電子ニュートリノの消失実験である。本研究とは異なるパラメータの組み合わせを測定することになるので、興味深い実験であるが、T2K 実験の場合は電子ニュートリノの出現を探すのに比べ、%程度の小ささの消失を探索するので系統誤差がより重要になる。原子炉の実験では次のステップである粒子-反粒子非対称性の探索には進めない。もう一つは米国 Fermilab で計画中の "Nova" 実験で本研究とほぼ同じ目的で計画されている。未だ予算は付いていない。熾烈な競争になる可能性がある。

従って T2K 実験は、現在のところニュートリノ振動を使ってレプトン混合の全体像を調べることができる唯一の次期ニュートリノ振動実験である。3種類のフレーバーをもつニュートリノの混合は3つの角度と1つのフェーズで記述されるが、このうち一つの角はミューニュートリノの減少という形で大気ニュートリノと K2K で測られた。第二の角は太陽ニュートリノ、Kamland で測られた。残る混合角は電子ニュートリノの出現実験で残りの混合角を測ることができる。もしそれが測定にかかる大きさであれば、最後の位相を測ることが可能になる。

- 本研究 OPERA は加速器で作るミューニュートリノからタウニュートリノへのニュートリノ振動を、出現するタウニュートリノを捉える方法で行うものであり、類似の研究は世界に類を見ない。出現するタウニュートリノを捉える実験には、 τ 粒子を作る事のできる高いエネルギーのニュートリノビームに加えて、寿命の短い 粒子を検出できる高い空間分解能の検出器が必要である。現在この要請に答えられる現実的な検出器は原子核乾板を使った我々の測定器だけである。
- フレーバー物理に関連した理論研究は、世界的に素粒子現象論の研究の重要な部分を形成してきている。標準理論を超える新しい物理の候補として超対称理論、高次元理論などが挙げられるが、これらにおいては、カビボ・小林・益川機構とは別のフレーバー混合がさまざまな形で現れるため、その実験的帰結を調べることが重要である。国内では、他大学が純粋理論にかたよっている傾向がある中で、東北大学の素粒子理論グループは、実験とかかわる物理を重要視しており、世界的にも遜色のない業績を挙げてきている。

3 応募までの準備研究・調査の状況等

- $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ は、山中らが日米科学協力事業の研究費を用いて Fermilab の KTeV 実験で探索を行い、現在発表されている分岐比の上限値を定めた。また、基盤研究 A、および特定領域研究「質量起源と超対称性物理の研究」の研究費を用いて、KEK E391a 実験を建設して、改良を加えながら3回のデータ収集を行い、 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ の実験方法と技術を確立してきた。またこれと平行して J-Parc での実験の計画と測定器開発を行ってきた。J-Parc での実験では、ビームラインの建設、電磁カロリメータやデータ収集システムの改良を行うが、その他の部分については現在の E391a 実験装置を移設して用いるので、準備は整いつつある。
- B ファクトリー実験 KEKB-Belle は1999年の測定開始から、すでに B 中間子の CP 非対称性の検出による小林益川理論の検証にはじまり、B 中間子の直接的 CP 非対称性の検出や narrow resonance の発見、タウレプトンの稀崩壊分岐比の上限値更新など多くの成果を挙げ、近年の素粒子物理学の最前線を構築している。本研究班の名古屋グループも検出器の建設・保守・維持からデータ収集、物理解析と大いに活躍し、実績と実力を作った。特に、名大高エネルギー実験データ解析施設のコンピュータをフル稼働させ、物理成果の導出に他研究機関が真似できないほどの貢献が出来ている。昨年度のモンテカルロ事象生成数は高エネルギー研 (KEK) の 7-8 倍に達し、また全国に張り渡された情報網 SuperSINET を KEK との大量データ転送のた

めに全国利用率の 50%を使用するまでに至っている。解析研究には人材が必要である。科研費や COE により複数の研究員を雇用し、研究室のスタッフと大学院生で強力な研究組織を作ること成功している。また、国際的な研究者ネットワークを構成し頻度高く研究連絡を取っている。このように本研究のための準備体制は完成している。

- CDF 実験では、米国フェルミ国立加速器研究所の陽子反陽子衝突型加速器テバトロンおよび CDF 検出器を用い、陽子反陽子衝突によって生成するトップクォークと B ハドロンの生成崩壊の基本的な測定によって小林益川混合行列の高精度の決定をはじめとするフレーバー物理の研究を推進する。テバトロン衝突器は 1996 年以降の主入射器の建設などの加速器増強により、2001 年春に重心系エネルギー 2 TeV を達成した。また 2005 年には瞬間輝度 $1.5 \times 10^{32} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ を達成し、積分輝度 1.1fb^{-1} に相当する衝突事象が取得された。CDF 検出器もカリリメータ、シリコン飛跡検出器、TOF 測定器、トリガースystem、データ収集システムなどの改良を終えて、高輝度による高頻度の衝突事象を検出することが可能となった。これまでに収集されたデータは事象再構成を行った後、物理データとして筑波大学において現有の 10 テラバイトの磁気ディスク・ファイルサーバーに保存している。プログラムの完成、物理の検討は筑波大学において現有の 2 THz 計算機 (PC) 80 台を用いて行なっている。これまで 0.3fb^{-1} の陽子反陽子衝突事象の解析によって、トップクォーク生成崩壊の精密測定、B ハドロンの崩壊特性の研究、電弱相互作用・強い相互作用の研究、ヒッグス粒子の探索、超対称性粒子などの標準理論を超える新粒子・新現象の探索に多くの成果が得られている。
- T2K 実験は、世界 12ヶ国、総勢 180 人以上の国際共同研究である。世界初の長基線ニュートリノ振動実験 (K2K) で養った基幹技術とニュートリノ振動解析の豊富な経験を持って、ニュートリノビームライン、ビームモニター、前置ニュートリノ測定器の建設を国際協力で行っている。特に前置ニュートリノ測定器には、ヨーロッパより CERN UA1 実験で使われた電磁石が移設され、使用される。このため、磁場中で動作する光検出器、ガイガーモード型 APD (製品名: MPPC) が必要で、日本グループが浜松フォトリクスと協力して開発している。さらに T2K 実験の技術的チャレンジは、2 桁以上高い陽子ビームの強度と、高統計ニュートリノ事象の解析である。この大強度陽子ビーム及び、ニュートリノビームを高精度でモニター・制御・測定するために必要な、非破壊型陽子ビームモニター、放射線耐久性の高いミュオンモニター、高分解能ニュートリノ測定器の研究・開発を行ってきた。平成 21 年実験開始に向け、J-PARC 加速器は 19 年度完成、ニュートリノビームラインは 20 年度完成、スーパーカミオカンデは 17 年度に完全復旧と、準備は整いつつある。
- OPERA 実験は、出現するタウニュートリノを捉えることによってミューニュートリノからタウニュートリノへのニュートリノ振動の実証する実験として、2000 年 12 月に CERN に認められた。これに伴い、CERN は陽子加速器 SPS を使って、イタリアの GranSasso に向けてニュートリノを射出する新たなニュートリノビーム (CNGS) の建設を始めた。OPERA 実験は GranSasso で建設が進んでおり、原子核乾板を使った検出器 (850 トンのターゲット質量) へのニュートリノ照射は 2006 年 6 月から始

まる。

本研究はCNGSビームを使うOPERAに第2検出器を構築し、ミューニュートリノからターニュートリノへの振動の検証をより確実にし、実験の制度を高めてミューニュートリノとタウニュートリノの混合角度の大きさと質量差を求めることに挑む。さらに、ミューニュートリノからタウニュートリノを経由して電子ニュートリノへと化けるプロセスの存在も探求する。なお本研究で使う我々のECC検出器がタウニュートリノを識別する能力が高く、バックグラウンドの除去に優れることを使って、電子ニュートリノへのニュートリノ振動の検出も狙う。この研究で標準理論を越える現象を探求する。

3.1 応募までの科研費による準備状況

1. 平成 17~18 年度 基盤研究 (B)
「長基線ニュートリノ振動実験における非軸ニュートリノビーム生成・制御の研究」
(代表 中家 剛)
2. 平成 16~17 年度 特定領域研究
「質量起源と超対称性物理の研究」(代表 金 信弘)
公募研究「大強度・高輝度加速器で使用するビームモニターの開発」(代表 中家 剛)
3. 平成 16 年度 基盤研究 (C) (企画調査)
「大強度陽子加速器を用いたニュートリノ実験」(代表 中家 剛)
4. 平成 14~16 年度 若手研究 (A)
「ニュートリノ振動実験によるニュートリノ質量の精密測定」(代表 中家 剛)
5. 平成 14~15 年度 特定領域研究
「ニュートリノ振動とその起源の解明」(代表 鈴木 洋一郎)
計画研究「K2K: 全感知型シンチレータ飛跡検出器を使ったニュートリノ反応の研究」(代表 中家 剛)
6. 平成 13~17 年度 特定領域研究
「質量起源と超対称性物理の研究」(代表 金 信弘)
計画研究「K ファクトリーを用いた $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の測定」(代表 山中 卓)
7. 平成 13~17 年度 特定領域研究
「質量起源と超対称性物理の研究」(代表 金 信弘)
計画研究「タウレプトンの物理」(代表 大島 隆義)
8. 平成 13~17 年度 特定領域研究
「質量起源と超対称性物理の研究」(代表 金 信弘)
計画研究「高エネルギー陽子反陽子衝突によるヒッグス粒子の探索」(代表 金 信弘)
9. 平成 13~17 年度 特定領域研究
「質量起源と超対称性物理の研究」(代表 金 信弘)

計画研究「ヒッグスセクターと超対称理論ダイナミクスの現象論的研究」(代表 日笠 健一)

10. 平成 13~17 年度 基盤研究 (S)
「K2K 実験におけるニュートリノ振動の精密測定」(代表 西川 公一郎)
11. 平成 13~15 年度 基盤研究 (A)(2)
「中性 K 中間子の稀崩壊を用いた CP 非保存パラメータの測定」(代表 山中 卓)
12. 平成 12~16 年度 新プロ (学術創世)
「素粒子標準理論の検証に関する日欧国際共同研究」(代表 丹羽 公雄)
13. 平成 11~13 年度 基盤 (B)
「ニュートリノ振動 ($\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$) の研究」(代表 丹羽 公雄)
14. 平成 9~10 年度 基盤 (A)
「タウニュートリノの存在の検証とニュートリノ振動による振動の研究」(代表 丹羽 公雄)
15. 平成 8~12 年度 特定領域研究
「CP 非保存の物理」(代表 三田 一郎)
計画研究「直接的 CP 非保存の研究」(代表 大島 隆義)
16. 平成 8~12 年度 特別推進研究
「長基線ニュートリノ振動実験によるニュートリノ質量の研究」(代表 西川 公一郎)

4 研究領域最終年度前年度の応募の概要

該当しない。

5 領域を推進するに当たっての基本的な考え方

5.1 基本方針

本特定領域は、6つの計画研究(実験5+理論1)と公募研究とからなる。実験の5つの計画研究(A1-5)は、現存する国内外の粒子ファクトリー加速器(Kファクトリー、Bファクトリー、トップファクトリー、ニュートリノファクトリー)を使って「フレーバー物理の新展開」を推進するものである。それぞれのファクトリーの長所をいかすと同時に、計画研究間の連絡を密にして、データ中に隠れている「標準理論からのずれ」を特定できるよう総合的な解析を行う。理論研究(A6)は実験データをもとに、どのような事象に注目すべきか、現在の測定値からどのような理論的考察ができるかなどについて、実験グループに対して適切かつ迅速なフィードバックができるよう留意して独創的研究を推進する。

公募研究を設け、上記の計画研究の成果を深めるのに必要とされる理論・実験の基礎研究を推進する。さらに将来の高エネルギー加速器実験に備えるための新しい実験技術の開発、加速器を用いた実験の提案、さらに新しい加速器技術の開発などについて公募を行う。

総括班は、本領域の運営が円滑に進むよう研究者間のコミュニケーションの徹底と学会や一般社会への情報の開示に努める。

5.2 研究項目

本特定領域の研究項目は次の通りである。

| 研究項目番号 | 研究課題名 |
|--------|---|
| X00 | 総括班 |
| A01 | $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊から探るフレーバー混合と新しい物理 |
| A02 | B ファクトリーにおける B とタウフレーバー物理の研究 |
| A03 | 陽子反陽子衝突実験 CDF によるトップとボトム・フレーバーの物理 |
| A04 | 大強度ニュートリノビームを使ったニュートリノフレーバー振動の研究 |
| A05 | タウニュートリノの直接検出によるニュートリノフレーバーの研究 |
| A06 | フレーバー混合における標準理論を超える物理の理論的研究 |

ここに概念図 ryoiki21.pdf を入れる。
eps は 16MB もあるので、 ...

6 領域の内容

本研究領域は以下のニュートリノ振動実験による3種類のニュートリノフレーバー物理の研究、Bファクトリー実験によるボトムフレーバーとタウレプトンフレーバー物理の研究、トップ・ファクトリー実験によるトップとボトムフレーバー物理の研究、Kファクトリー実験によるストレンジフレーバー物理の研究とそれらの実験研究を総合的に理解するための理論研究から構成される。

6.1 総括班

| | | | |
|-------|--------|-------------|---------------|
| 研究代表者 | 山中 卓 | (大阪大学・教授) | 領域代表者 (領域の総括) |
| 研究分担者 | 中家 剛 | (京都大学・助教授) | 事務担当 |
| | 大島 隆義 | (名古屋大学・教授) | 計画研究 A02 を指揮 |
| | 金 信弘 | (筑波大学・教授) | 計画研究 A03 を指揮 |
| | 西川 公一郎 | (京都大学・教授) | 計画研究 A04 を指揮 |
| | 丹羽 公雄 | (名古屋大学・教授) | 計画研究 A05 を指揮 |
| | 日笠 健一 | (東北大学・教授) | 計画研究 A06 を指揮 |
| 研究協力者 | 永宮 正治 | (KEK・教授) | 評価者 (領域の評価) |
| | 渡辺 靖志 | (東京工業大学・教授) | 評価者 (領域の評価) |
| | 三田 一郎 | (名古屋大学・教授) | 評価者 (領域の評価) |

6.2 計画研究 A01

「 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊から探るフレーバー混合と新しい物理」

(研究組織)

| | | | |
|-------|--------------|---------------|------|
| 研究代表者 | 山中 卓 | 大阪大学・大学院理学研究科 | 教授 |
| 研究分担者 | 山鹿 光裕 | 大阪大学・大学院理学研究科 | 特任助手 |
| | 稲垣 隆雄 | KEK・素粒子原子核研究所 | 教授 |
| | Gei Youb Lim | KEK・素粒子原子核研究所 | 助教授 |
| | 小松原 健 | KEK・素粒子原子核研究所 | 助教授 |
| | 渡辺 丈晃 | KEK・素粒子原子核研究所 | 助手 |
| | 笹尾 登 | 京都大学・大学院理学研究科 | 教授 |
| | 南條 創 | 京都大学・大学院理学研究科 | 助手 |
| | 鈴木 史郎 | 佐賀大学・理工学部 | 教授 |

(KEK = 高エネルギー物理学研究機構)

(研究の概要)

本研究の研究目的は、中性 K_L 中間子の稀な崩壊 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ を初めて観測する事である。この崩壊は完全に粒子・反粒子の対称性を破っており、弱い相互作用でクォークが別のフレーバー (種類) に変わる時に振幅に入る複素成分によって起きる。この崩壊に係る理論的誤差は1~2%と小さいので、分岐比を測れば、この複素成分を正確に求めることができる。さらに、この崩壊は、標準理論を超える新しい物理も入りやすいので、B中間子を用いて測った標準理論の値と比較することにより、新しい物理を探索することができる。

我々は 100 事象観測する実験に向けて段階的に研究を進めてきている。2004 年から、12GeV 陽子加速器を用いて今までより二桁感度の高い実験を進めてきた。本研究では、この測定器に必要な改良を加えて J-Parc に移設し、J-Parc 加速器の立ち上がりの初期に、この崩壊の発見を目指す。これは、その次の 100 事象観測実験のための、第一歩となる重要な意味を持つ。

6.3 計画研究 A02

「B ファクトリーにおける B とタウフレーバー物理の研究」

(研究組織)

研究代表者 大島 隆義 名古屋大学・理学研究科 教授
研究分担者 飯島 徹 名古屋大学・理学研究科 助教授
居波 賢二 名古屋大学・理学研究科 助手

(研究の概要)

本計画研究では、第三世代素粒子であるタウ・レプトン / b クォークに注目し、世界最強度を誇るわが国 B ファクトリー KEKB-Belle 実験を研究の舞台とし $1,000\text{fb}^{-1}$ を越えるデータ量を収集・解析して、標準理論を超える New physics 探索を限界にまで追及することを狙う。同時に、実験的に探索感度の一層の向上を目指して、リングイメージ型チェレンコフ検出器の開発研究を行う。

KEKB-Belle 実験は、 $B \rightarrow J/\psi K^0$ 崩壊の大きな CP 非対称性を検出し標準理論の正しさを検証する画期的な成果を収めた。さらには、 $B \rightarrow \pi^+\pi^-$ 、 $B \rightarrow K^+\pi^-$ など複数の崩壊チャンネルにおける直接的ならびに間接的 CP 破れの相次ぐ発見が続いている現状である。実験物理的には、CP 非対称パラメーターである $\sin 2\phi_1$ の測定精度を既に 5% 以下に抑え、また小林益川行列 V_{ub} を $\sim 12\%$ の精度で測定する成果を挙げている。タウ・レプトン研究による New physics 探索においても、レプトン崩壊での CP/T 非対称性の研究としてタウの電気双極子モーメント (EDM) $|d_\tau| < \sim 10^{-17}\text{e}\cdot\text{cm}$ を達成し世界最高感度を実現している。また、超対称性粒子の存在を示唆するレプトン数保存則を破る (LFV) 30 を超える崩壊モードについて測定を行い、分岐比 $Br < 10^{-7}$ という従来の測定結果を 1~2 桁上回る著しい成果を挙げている。

本研究期間内にはルミノシティの増強と相俟って 10^9 を越える $B\bar{B}$, $\tau\bar{\tau}$ を越えるデータ量が収集できる。これは世界に類を見ない、他の研究機関では実現不可能な統計量である。この特徴を活かし、上記の物理成果を一層拡大し未知の素粒子世界へと大きく前進する。研究者等の名古屋大学グループは、Belle における最大規模の大学グループであり中核をなし、B ならびにタウ物理研究を強力に進めてきた実績と実力がある。アエロジェルチェレンコフ・カウンターや Time-Of-Propagation カウンターの粒子識別検出器の開発研究においても、独自の開発能力と創造性をもって成果を挙げて来た。本計画では、物理ならびに検出器の両研究をさらに展開する。

物理研究の主眼は $B \rightarrow \phi K^0$ 崩壊等の CP 非対称の高精度測定、 $B \rightarrow \tau\nu$, $D\tau\nu$ 崩壊の高統計測定、 V_{ub} の高精度解析である。タウ物理は、上記した EDM 探索、LFV 崩壊の探索であり、加えて、保存ベクトルカレント (CVC) 理論の研究、セカンドクラス・カレントの初検出、タウニュートリノ質量の直接測定である。検出器に関しては、特に、光検出

器の安定した量子効率を持つ光電面の活性化および装着方法などを課題として、試作とその性能評価に的を絞る。

6.4 計画研究 A03

「陽子反陽子衝突実験 CDF によるトップとボトム・フレーバーの物理」

(研究組織)

| | | | |
|-------|------|----------------|------|
| 研究代表者 | 金 信弘 | 筑波大学・数理物質科学研究科 | 教授 |
| 研究分担者 | 受川史彦 | 筑波大学・数理物質科学研究科 | 教授 |
| | 原 和彦 | 筑波大学・数理物質科学研究科 | 講師 |
| | 丸山和純 | 筑波大学・数理物質科学研究科 | 講師 |
| | 武内勇司 | 筑波大学・数理物質科学研究科 | 講師 |
| | 戸村友宣 | 筑波大学・数理物質科学研究科 | 助手 |
| | 近藤都登 | 早稲田大学・理工学総合研究所 | 特命教授 |

(研究の概要)

本計画研究では、米国国立フェルミ加速器研究所テバトロン加速器を用いた世界最高エネルギー陽子反陽子衝突実験 (CDF 実験) を強力に推進し、トップクォークと B ハドロンの生成崩壊の基本的な測定によって小林益川混合行列の高精度の決定をはじめとするフレーバー物理の研究を推進することを目的とする。CDF 実験では、これまでに B ファクトリーにおける粒子反粒子対称性の破れ (CP の破れ) の発見に先駆けて、CP の破れの角度パラメーター $\sin 2\beta$ の測定を行い、 $\sin 2\beta = 0.79^{+0.41}_{-0.44}$ という結果を得た。またトップクォークの質量測定結果は過去に得られた結果の測定精度を大きく改善し、この測定結果とテバトロン実験・LEP 実験から得られている W ボソン質量と他の電弱相互作用の実験結果をあわせて、ヒッグス粒子の質量上限として $186\text{GeV}/c^2$ (95%信頼度) を得て、大きくヒッグス粒子の間接探索を進展させた。

テバトロン衝突器は 1996 年以来の主入射器の建設などの加速器増強により、2001 年春に重心系エネルギー 2 TeV を達成した。また 2005 年には瞬間輝度 $1.5 \times 10^{32}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ を達成し、積分輝度 1.1fb^{-1} に相当する衝突事象が取得された。CDF 検出器もカロリメータ、シリコン飛跡検出器、TOF 測定器などの改良を終えて、高輝度による高頻度の衝突事象を検出することが可能となった。これまで 0.3fb^{-1} の陽子反陽子衝突事象の解析によって、上記の成果をあげている。2006 年に電子冷却リングの新設などの加速器増強により、瞬間輝度をさらに増強し $3 \times 10^{32}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ を達成する計画がある。これにより、2009 年春までに積分輝度 8.5fb^{-1} に相当する衝突事象が取得される。この衝突事象の解析によって、本研究のテーマであるトップクォーク生成崩壊の精密測定、B ハドロンの生成崩壊の精密測定での成果が大いに期待される。最終年度の平成 23 年度までに単一トップクォーク生成断面積の測定により小林益川混合行列の V_{tb} 成分を 6% の精度で測定し、ボトムクォークフレーバーについては、 B_s 中間子振動の測定によって V_{ts}/V_{td} 成分を 5% の精度で測定する計画である。

6.5 計画研究 A04

「大強度ニュートリノビームを使ったニュートリノフレーバー振動の研究」

(研究組織)

| | | | |
|-------|-------|---------------|-----|
| 研究代表者 | 西川公一郎 | 京都大学・大学院理学研究科 | 教授 |
| 研究分担者 | 中家 剛 | 京都大学・大学院理学研究科 | 助教授 |
| | 横山将志 | 京都大学・大学院理学研究科 | 助手 |
| | 小林 隆 | KEK・素粒子原子核研究所 | 助教授 |
| | 藤井芳昭 | KEK・素粒子原子核研究所 | 助教授 |
| | 石井孝信 | KEK・素粒子原子核研究所 | 助手 |

(KEK = 高エネルギー物理学研究機構)

(研究の概要)

ニュートリノフレーバー振動を通しニュートリノ世代間の混合角、位相、および質量差を決定し、素粒子の「質量と相互作用」という基本的な物理量の関係を究明することを目的とする。本研究では未発見の「第三の混合角」によるニュートリノ振動、ミューニュートリノビームからの電子ニュートリノ出現を世界最高感度で探索する。「第3の混合角」の発見は、ニュートリノにおける粒子・反粒子対称性の破れを研究する第1歩であり、「宇宙が反粒子ではなく粒子で出来ていること」を超高エネルギーの物理学で説明できる可能性を開く。この可能性を追求する。またミューニュートリノからタウニュートリノへの振動確率のエネルギー依存性を測定することで、混合角と質量二乗差を決定する。

実験では大強度陽子加速器 J-PARC で世界初の非軸ニュートリノビームを使い、295km 離れたスーパーカミオカンデでニュートリノを検出し、ニュートリノ振動現象の詳細な研究を行う。本計画研究では、ニュートリノビームラインの最適化、陽子ビームモニターとニュートリノ発生装置の性能向上、ミューオンモニター、ニュートリノモニター、前置ニュートリノ測定器の開発を行い、実験感度を大幅に向上させる。平成 20 年度でビームラインの建設と測定器の製作・設置を終了し、平成 21 年度から実験を開始する。物理解析は西川が総括し、スーパーカミオカンデで電子ニュートリノ出現を $\sin^2 2\theta_{13} < 0.01$ の感度で探索し、発見を目指す。またミューオンニュートリノ消失モードでニュートリノ振動パラメータ ($\sin^2 2\theta_{23}$, Δm^2) を 3% の精度で決定する。電子ニュートリノ出現を発見すれば、ニュートリノフレーバー振動における「粒子・反粒子対称性」の研究を展開する。

6.6 計画研究 A05

「タウニュートリノの直接検出によるニュートリノフレーバーの研究」

(研究組織)

| | | | |
|-------|-------|--------------------|-----|
| 研究代表者 | 丹羽 公雄 | 名古屋大学大学院理学研究科 | 教授 |
| 研究分担者 | 星野 香 | 名古屋大学大学院理学研究科 | 助教授 |
| | 青木 茂樹 | 神戸大学発達科学部 | 助教授 |
| | 佐藤 修 | 名古屋大学理学(系)研究科(研究院) | 研究員 |
| | 河田 二郎 | 名古屋大学理学(系)研究科(研究院) | 研究員 |
| | 宮本 成悟 | 名古屋大学理学(系)研究科(研究院) | 研究員 |
| | 夏目 光教 | 名古屋大学理学(系)研究科(研究院) | 研究員 |

(研究の概要)

この研究は日欧国際共同で進められる。本研究に必要な検出器（原子核乾板ターゲット）を2006年と2007年の2年間に建設してイタリアのGransassoのOPERA検出器の中に設置する。なおOPERA検出器は2006年春からCNGSニュートリノ照射を開始する。原子核乾板は富士写真フィルム社で作成し、名古屋大学で乾板製造過程で蓄積する宇宙線などの放射線飛跡を消去（リフレッシュ）してGranSassoで検出器に組み立てる。

原子核乾板検出器の中にニュートリノ反応数は毎日30事象（2008年以降はCNGS強化で毎日50事象）。その解析のために、超高速飛跡読み取り装置を5台に増強し、かつ、対物レンズの視野を広くする改良で乗り切る。

6年間のニュートリノ照射・原子核乾板による解析で、スーパカミオカンデの最適値（混合角 $\sin^2 \theta_{23} = 1$ 、質量（差） $\Delta m_{23}^2 = 0.003\text{eV}^2$ ）の場合、10例ほどの確実なタウニュートリノ事象を検出できるであろう。ミューニュートリノからタウニュートリノへのニュートリノ振動を検証し、その混合角と質量（差）を求める。さらにミューニュートリノからタウニュートリノを経由して出現する電子ニュートリノの検出も狙う。

6.7 計画研究 A06

「フレーバー混合における標準理論を超える物理の理論的研究」

(研究組織)

| | | | |
|-------|------|--------------|-----|
| 研究代表者 | 日笠健一 | 東北大学大学院理学研究科 | 教授 |
| 研究分担者 | 山口昌弘 | 東北大学大学院理学研究科 | 教授 |
| | 棚橋誠治 | 東北大学大学院理学研究科 | 助教授 |
| | 山田洋一 | 東北大学大学院理学研究科 | 助手 |

(研究の概要)

標準理論に代わる理論の代表的なものとして、超対称理論、高次元理論がある。これらの理論には新しいフレーバー混合の機構が複数存在しており、標準理論における小林・益川混合からのずれを誘起する。さらに、付随するCP対称性の破れは、標準理論では説明できない宇宙のバリオン数非対称を生成できる可能性がある。これらの理論による新しいフレーバー混合現象をさまざまなクォーク・レプトンの過程において吟味することにより、各実験計画に対してどのような観測量にその効果が現れやすいかを評価する。実験において標準理論では説明できない現象が観測された場合は、直ちにその理論的解釈を進め、そうでない場合には各モデルに対する制限を得るというように、実験グループとの有機的連携によって、謎の多いフレーバー物理の理解を進展させ、統一的な描像を得ることを目標とする。

6.8 公募研究

(研究計画の概要) 計画研究に関わり、その成果を深めるのに必要とされる理論・実験の基礎研究を公募する。さらに次世代の加速器技術・検出器の研究開発も公募研究を通して推進する。公募研究の総数は10件程度とし、公募研究に供する費用は年間2000万円とする（2007年～2011年）。

7 研究期間及び研究経費

(単位：千円)

| 研究区分 \ 年度 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 合計 |
|-----------------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------|
| 総括班 | 5,000 | 5,000 | 5,000 | 5,000 | 5,000 | 5,000 | 30,000 |
| 研究項目 A01 | 5,500 | 55,100 | 117,600 | 74,100 | 37,100 | 10,600 | 300,000 |
| 研究項目 A02 | 23,550 | 56,800 | 56,800 | 34,200 | 24,300 | 24,600 | 220,250 |
| 研究項目 A03 | 32,900 | 46,000 | 46,000 | 46,000 | 31,000 | 18,800 | 220,700 |
| 研究項目 A04 | 52,200 | 133,200 | 114,000 | 70,200 | 16,700 | 13,700 | 400,000 |
| 研究項目 A05 | 200,000 | 150,000 | 20,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 | 400,000 |
| 研究項目 A06 | 2,500 | 11,500 | 11,500 | 11,500 | 11,500 | 11,500 | 60,000 |
| 研究計画 小計 | 321,650 | 457,600 | 370,900 | 251,000 | 135,600 | 94,200 | 1,630,950 |
| 公募研究 小計 (件数) | 0 0件 | 20,000 約10件 | 20,000 約10件 | 20,000 約10件 | 20,000 約10件 | 20,000 約10件 | 100,000 |
| 合計 | 321,650 | 477,600 | 390,900 | 271,000 | 155,600 | 114,200 | 1,730,950 |

8 計画研究における費目別内訳

(単位：千円)

| 費目 年度 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 合計 | |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|-----------|---------|
| 設備備品費 | 39,950 | 69,400 | 101,600 | 54,600 | 27,100 | 4,300 | 296,950 | |
| 消耗品費 | 229,300 | 294,700 | 174,500 | 102,700 | 22,200 | 10,700 | 834,100 | |
| 旅費 | 国内 | 5,750 | 8,400 | 8,900 | 8,900 | 9,400 | 8,300 | 49,650 |
| | 海外 | 13,600 | 19,900 | 19,200 | 17,900 | 17,200 | 12,400 | 100,200 |
| 謝金等 | 14,650 | 20,700 | 17,700 | 17,700 | 17,700 | 17,700 | 106,150 | |
| その他 | 18,400 | 44,500 | 49,000 | 49,200 | 42,000 | 40,800 | 243,900 | |
| 合計 | 321,650 | 457,600 | 370,900 | 251,000 | 135,600 | 94,200 | 1,630,950 | |

9 その他

9.1 理解に役立つ図表解説

すでに上記の、研究の必要性、準備状況等に記載した。

9.2 研究代表者の主要業績

山中 卓 (計画研究 A01 「 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊から探るフレーバー混合と新しい物理」研究代表者)

高いエネルギーの K_L 中間子を用いて K_L 稀崩壊を研究するという方法をシカゴ大の Yau Wai Wah と編み出し、米国 Fermilab の KTeV E799-II 実験の実験責任者として様々

な K_L の稀崩壊の研究を進めてきた。また、KTeV E832 実験も行い、直接的な CP の破れの確立、 K_L の崩壊分岐比の再測定などにも寄与した。

1. "Measurements of K_L Branching Fractions and the CP Violation Parameter $|\eta_{\pm}|$ ", T. Alexopoulos *et al.*, Phys. Rev. **D70**, 092006 (2004).
2. "A Determination of the Cabibbo-Kobayashi-Maskawa Parameter $|V_{us}|$ Using K_L Decays", T. Alexopoulos *et al.*, Phys. Rev. Lett. **93**, 181802-1~4 (2004).
3. "Search for the Rare Decay $K_L \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$ ", A. Alavi-Harati *et al.*, Phys. Rev. Lett. **93**, 021805 (2004).
4. "Measurements of Direct CP Violation, CPT Symmetry, and Other Parameters in the Neutral Kaon System", A. Alavi-Harati *et al.*, Phys. Rev. **D64**, 012005-1~33 (2003).
5. "Search for the Decay $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ using $\pi^0 \rightarrow e^+ e^- \gamma$ Decays", A. Alavi-Harati *et al.*, Phys. Rev. **D61**, 072006-1~5 (2000).

大島 隆義 (計画研究 A02 「B ファクトリーにおける B とタウフレーバー物理の研究」)

電子ニュートリノ質量の直接測定、ならびに 17 keV 重ニュートリノ探索において独自の手法を開発、実験を遂行し、世界のリーダーの一人として貢献してきた。また、 ϕ ファクトリー建設の検討を進め、K 中間子の CP, T, CPT 非保存測定について新しい研究方法の開発、検討を行った。いまは、B ファクトリーにおいて、 $\tau \rightarrow \mu\gamma, \mu\eta$ などフレーバ保存則を破るタウ・レプトン崩壊事象の高感度研究により新しい物理世界の探索の最前線で活躍している。

1. "Search for $\tau \rightarrow e\gamma$ Decay at Belle", K. Hayasaka, T. Ohshima *et al.* (The Belle Collaboration), Phys. Lett. **B613**, 20-28 (2005).
2. "Search for the Lepton Flavor Violating Decay $\tau \rightarrow \mu^- \eta$ at Belle", Y. Enari, T. Ohshima *et al.* (The Belle Collaboration), Phys. Rev. Lett. **93**, 081803 (2004).
3. "Examination of T/CP Invariance in the $e^+ e^- \rightarrow \tau^+ \tau^-$ Reaction", T. Ohshima, S. Suito *et al.*, Prog. Theor. Phys. **99**, 413-422 (1998).
4. "No 17-keV Neutrino: Admixture $< 0.073\%$ (95% C.L.)", T. Ohshima *et al.*, Phys. Rev. **D47**, 4840-4856 (1993).
5. "New Upper Bound on the Electron Anti-Neutrino Mass", H. Kawakami, T. Ohshima *et al.*, Phys. Lett. **B256**, 105-111 (1991).

金 信弘 (計画研究 A03 「陽子反陽子衝突実験 CDF によるトップとボトム・フレーバーの物理」研究代表者)

1995 年トップクォークの発見、1998 年 B_c 中間子の発見、さらにトップクォークと W ボゾンの質量の精密測定など、陽子反陽子衝突実験 CDF で多くの業績がある。CDF 日本グループ代表であり、ハドロンコライダー物理の国際的リーダーである。「1.8TeV の陽子反陽子衝突による B_c 中間子の発見」により 第 45 回大韓民国学術院賞受賞 (受賞日 2000 年 9 月 18 日)。

1. "Measurement of the $t\bar{t}$ production cross section in $pp\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV using lepton + jets events with secondary vertex b-tagging", D. Acosta, S. Kim, *et al.* The CDF Collaboration, Phys. Rev. **D71**, 052003 (2005).
2. "Measurement of the top quark mass with the Collider Detector at Fermilab", T. Affolder, S. Kim, *et al.* The CDF Collaboration, Phys. Rev. **D 63**, 032003-1~43 (2001).
3. "Observation of the B_c meson in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV", F. Abe, S. Kim, *et al.* The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **81**, 2432~2437 (1998).
4. "Observation of top quark production in $pp\bar{p}$ collisions with the Collider Detector at Fermilab", F. Abe, S. Kim, *et al.* The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **74**, 2626~2631 (1995).

西川 公一郎 (計画研究 A04 「大強度ニュートリノビームを使ったニュートリノフレーバー振動の研究」研究代表者)

カミオカンデで「大気ニュートリノ欠損」が発表された 1988 年ころより、加速器を使った長基線ニュートリノ振動実験の可能性を探った。1995 年 KEK に K2K 実験を提案し、実験代表者として建設、実験を遂行した。2004 年 11 月当初予定のビームを使い実験を完了。世界で始めて加速器からの人工的に作られたニュートリノを地球規模の距離を飛ばし、ニュートリノ振動を確立した。同時に、K2K 実験のデータ収集が始まった 1999 年より、次世代のニュートリノ振動実験を提案、T2K 実験代表者として推進している。

1. "Evidence for Muon Neutrino Oscillation in an Accelerator-Based Experiment", K. Nishikawa, T. Nakaya, M. Yokoyama, T. Kobayashi, T. Ishii and K2K collaboration, Phys. Rev. Lett. **94**, 081802 (2005).
2. "Search for Electron Neutrino Appearance in a 250 km long baseline experiment", K. Nishikawa, T. Nakaya, T. Kobayashi, T. Ishii and K2K collaboration, Phys. Rev. Lett. **93**, 051801 (2004) .
3. "Evidence for an oscillatory signature in atmospheric neutrino oscillation", K. Nishikawa, and Super-Kamiokande collaboration, Phys. Rev. Lett. **93**, (2004) 101801.

4. "Indications of neutrino oscillation in a 250 km long baseline experiment", K. Nishikawa, T. Nakaya, T. Kobayashi, T. Ishii and K2K collaboration, Phys. Rev. Lett. **90**, 041801 (2003).
5. "Evidence for oscillation of atmospheric neutrinos", K. Nishikawa and Super-Kamiokande collaboration, Phys. Rev. Lett. **81**, 1562 (1998).

丹羽 公雄 (計画研究 A05 「タウニュートリノの直接検出によるニュートリノフレーバーの研究」研究代表者)

1973年に原子核乾板の飛跡の読み取りの原理(断層映像の重ね合わせ法)を提案し、1980年代に飛跡読み取り装置を完成させた。1994年からのCERNでの短基線ニュートリノ振動実験(日欧国際共同研究CHORUS)、1997年からのDONUT実験(日・米・韓の国際共同研究)で、日本側の代表を務めるなど、原子核乾板を使った研究における国際的リーダーである。2000年タウニュートリノを発見し、2004年に第50回仁科記念賞受賞。

1. "Observation of tau-neutrino interactions", K. Kodama *et al.*, Phys. Lett. **B504**, 218-224 (2001).
2. "A New upper limit for the tau-neutrino magnetic moment", R. Schwienho *et al.*, Phys. Lett. **B513**, 23-29 (2001).
3. "Search for superfragments and measurement of the production of hyperfragments in neutrino-nucleus interactions", G. Onengut *et al.*, Nucl. Phys. **B718**, 35-54 (2005).
4. "Detection and analysis of tau neutrino interactions in DONUT emulsion target", K. Kodama *et al.*, Nucl. Inst. Meth. **A493**, 45-66 (2002).
5. "Measurement of charm production in antineutrino charged-current interactions", G. Onengut *et al.*, Phys. Lett. **B604**, 11-21 (2004).

日笠 健一 (計画研究 A06 「フレーバー混合における標準理論を超える物理の理論的研究」研究代表者)

高エネルギー現象論が専門。 W ボソンがゲージ粒子であることを示した反応 $e^+e^- \rightarrow W^+W^-$ の研究は標準的な文献となっている(引用数700以上)。他にヒッグスボソン、超対称理論などに関する研究を行い、フレーバー物理についてはスカラートップクォークのFCNC(フレーバーを保存しない中性カレント)による崩壊の研究、ハドロンコライダーにおけるニュートリノの世代数の測定の研究などがある。また、素粒子の性質をまとめたハンドブックとして世界的に広く用いられている“Review of Particle Physics”(いわゆる素粒子データブック)の編集に携わっている。

1. "Flavor-changing neutral current top-squark decay as a probe of squark mixing", T. Han, K. Hikasa, J. M. Yang, and X. Zhang, Phys. Rev. D **70**, 055001 (2004).

2. "Review of particle physics", K. Hagiwara, K. Hikasa, K. Nakamura, M. Tanabashi, M. Aguilar-Benitez, *et al.*, Phys. Rev. D **66**, 011001 (2002).

9.3 領域代表者及び計画研究の計画代表者の既設又は終了した特定領域、重点領域への参加状況

この領域を形成するに至った二つの特定領域研究への参加状況は 3.1 節に既に示した。

9.4 その他 参考になること

新聞報道並びに解説記事を以下にあげる。

10 領域代表者及び事務担当者

領域代表者 山中 卓
大阪大学・大学院理学研究科 物理学専攻・教授
〒560-0043
大阪府豊中市待兼山町1-1
電話: 06-6850-5356
Fax: 06-6850-5532
Email: taku@hep.sci.osaka-u.ac.jp
自宅電話: 072-727-7824

事務担当者 中家 剛
京都大学・大学院理学研究科 物理学第2教室・助教授
〒606-8502
京都市左京区北白川追分町
電話: 075-753-3870
Fax: 075-753-3795
Email: nakaya@scphys.kyoto-u.ac.jp
自宅電話: 075-931-8180

11 特定領域研究研究計画調書

| 研究項目番号 | 研究課題名 |
|--------|---|
| X00 | 総括班 |
| A01 | $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊から探るフレーバー混合と新しい物理 |
| A02 | B ファクトリーにおける B とタウフレーバー物理の研究 |
| A03 | 陽子反陽子衝突実験 CDF によるトップとボトム・フレーバーの物理 |
| A04 | 大強度ニュートリノビームを使ったニュートリノフレーバー振動の研究 |
| A05 | タウニュートリノの直接検出によるニュートリノフレーバーの研究 |
| A06 | フレーバー混合における標準理論を超える物理の理論的研究 |