

(別紙様式)

領域略称名： 質量起源

領域番号： 4 1 4

平成14年度科学研究費補助金
特定領域研究 研究状況報告書
「質量起源と超対称性物理の研究」

(研究期間 平成14年度 ～ 平成14年度)

平成14年7月

領域代表者 筑波大学・物理学系・教授・金 信弘

連絡先電話番号 0298 (53) 4272

(1) 領域全体の研究目標

20 世紀後半の素粒子物理学は、「素粒子標準理論」と呼ばれる素粒子反応の基本理論が加速器実験によって実証されることによって、発展してきた。この標準理論の根幹をなす「ヒッグス粒子の真空凝縮によって素粒子に質量が与えられる」という質量起源に対する予言は未だ実験室で確認されていない。質量の起源がこの標準理論の説明で正しいのか、それともこの理論の枠組みにおさまらない新理論にあるのか、は今後の素粒子物理学の方向を決める最も重要な課題である。本領域の研究目標は、ヒッグス粒子を直接探査すること、及び、ファクトリー加速器を用いた精密実験によって「標準理論からのずれ」を発見して新しい物理の手がかりを得ることによって、質量起源の解明に寄与することである。

(2) 領域内における研究組織と研究班の連携状況

本特定領域研究は、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（A01-A05）は、現存する国内外の粒子ファクトリー加速器（トップファクトリー、Bファクトリー、Kファクトリー）を使って「質量の起源と超対称性物理」に迫ろうとするものである。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（A06）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。それぞれの計画研究の研究課題、代表者は以下の通りである。

「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(計画研究 A01)」

代表者 金 信弘 (筑波大学・物理学系・教授)

「Bファクトリーを用いた質量起源の探求(計画研究 A02)」

代表者 相原 博昭 (東京大学・大学院理学系研究科・助教授)

「タウ・レプトンの物理(計画研究 A03)」

代表者 大島 隆義 (名古屋大学・大学院理学研究科・教授)

「Kファクトリーを用いた $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の研究(計画研究 A04)」

代表者 山中 卓 (大阪大学・大学院理学研究科・教授)

「荷電及び中性K中間子の稀崩壊の精密測定(計画研究 A05)」

代表者 杉本章二郎 (高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所・教授)

「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(計画研究 A06)」

代表者 日笠 健一 (東北大学・大学院理学研究科・教授)

実験、理論それぞれに公募研究が設けられている。実験分野では、将来の高エネルギー加速器実験（超高エネルギー線形衝突型加速器 JLC、陽子陽子衝突型加速器 LHC、ミュオンコライダー、ニュートリノファクトリーなど）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の公募研究が行われている。理論分野では、これらの加速器実験で期待される新しい素粒子物理についての現象論的研究が公募研究で行なわれている。

総括班は4年間におよぶ本特定領域研究の実施期間中に各研究の調整をとり、特に実験研究について指揮をとると同時に、理論と実験の密接な交流をはかる。具体的には総括班連絡会を行い、各研究の調整をとる。また、研究会等のミーティングを実施し、報告書を適宜編集し、コミュニケーションと情報の開示を総括する。今年度は、ACFA-JLC 研究会が7月10日～12日に東大山上会議所にて行われ、今後、8月21日～23日に京大基研にて「実験・観測に基づく素粒子統一描像の構築」研究会が、8月25日～30日に韓国済州島にて LCWS2002 研究会が行われる予定である。総括班連絡会は2003年3月に行われる予定である。

(3) 領域内の研究の進展状況とこれまでの主な研究成果

「陽子反陽子衝突実験によるヒッグス粒子の探索(計画研究 A01)」については、実験データ収集とそれに並行した物理解析が進行中である。解析結果としてはボソンとのみ結合するボソフェリック・ヒッグス粒子を探索した結果、質量下限値として $82\text{GeV}/c^2$ を得た。今後の物理解析の計画としては、ヒッグス粒子探索のいくつかのチャンネルについてのシミュレーションが行われており、信号・バックグラウンド比を改良するための解析方法の検討が行なわれている。また検出器開発計画としては、シリコン飛跡検出器の開発が順調に進展して、実機用シリコンセンサーを60枚試作した。このテストの後、12月より大量製作を開始する予定である。

「Bファクトリーを用いた質量起源の探求(計画研究 A02)」では、標準理論の精密検証において有力な崩壊モード $B \rightarrow K\ell\ell$ を世界で初めて観測し、 $B(B \rightarrow K\ell\ell) = (7.1 \pm 1.6 \pm 1.4) \times 10^{-6}$ の崩壊分岐比を得、 ϕ_3 測定で有力な $B \rightarrow D_{cp}K$ モードについても世界で初めて存在を確立した。今年の B 中間子系における CP 非保存の発見以来、CP 非対称度の測定精度を高め(データ量を約4倍に増やし)小林・益川理論の正しさをいっそう確かなものとした。さらに、B 中間子が2つの π 中間子へ崩壊するモードでの CP 対称性の破れを示唆する結果を得ている。また、第2世代バーテックス検出器用の大面積シリコン検出器の建設も順調に進んでいる。

「タウ・レプトンの物理(計画研究 A03)」では、タウレプトンにおける CP/T 非保存の研究および稀崩壊現象の探求、粒子識別検出器 TOP カウンターの開発・研究を行った。CP/T 非保存の研究においては $e^+e^- \rightarrow \tau\tau$ における運動学的非対称を探索し、この崩壊における電気双極子の寄与を $\text{Re}(d\tau) = (1.15 \pm 1.70) \times 10^{-17} \text{ ecm}$ $\text{Im}(d\tau) = (-0.83 \pm 0.86) \times 10^{-17} \text{ ecm}$ と測定精度を一桁以上向上させることに成功した。また、レプトン数非保存の崩壊モード $\tau \rightarrow \mu\gamma$ の探索については分岐比上限値を $B(\tau \rightarrow \mu\gamma) < 5 \times 10^{-7}$ とはじめて 10^{-7} へと探索範囲を広げた。TOP カウンターの開発・研究では新しいタイプのコンパクトな検出器の開発を行っており、平成13年11月にビームテストを行い、時間分解能について所期の目標 $\sigma < 80\text{ps}$ を得た。

「K ファクトリーを用いた $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ 崩壊の研究(計画研究 A04)」については、まず KEK に現存する 12GeV の陽子シンクロトロンを用いたパイロット実験(E391a)の準備を進めている。すでにビームラインは完成し、2001 年秋にビーム強度、K 粒子のエネルギースペクトラム、及び周辺での種々の粒子頻度の測定を行った。また、現在電磁カロリメータの建設とデータ収集システムの構築を行っており、2002 年秋にビームを出して、カロリメータの性能試験を行う。さらに、崩壊領域を覆うガンマ線検出器の製造も進行中である。これにより、2004 年初めから E391a 実験のデータ収集を行う。

「K 中間子の稀崩壊の精密測定(計画研究 A05)」については、これまで収集したデータの解析により、二つ目の $\pi^+ \nu \nu$ 事象の発見、 $K\pi 2$ 以下の領域での $\pi^+ \nu \nu$ 事象の探索、エキゾチック過程 $K^+ \rightarrow \pi \gamma$ 崩壊事象の探索に関する実験結果を出版した。また、2002 年 6 月まで BNL・AGS にて実験が行われ、 1.9×10^{12} の荷電 K 中間子崩壊事象データを収集した。現在これらのデータ解析を実施中である。これらのデータを基に、将来の実験のデザイン、入射 K 中間子の識別と静止点決定のためのシリコンストリップ検出器の開発、高速波形記憶処理回路の開発を行っている。また $PbWO_4$ のチェレンコフカウンターとしての性能評価の研究結果を出版した。中性 K 中間子崩壊実験においては、 γ 線検出器の原理テストの一環として、小型試作モジュールによる光量の評価を初期の目標として研究を進めている。5 月には京大・宇治キャンパスの 60 MeV 電子シンクロトロンを利用してビームテストを行い、一電子通過時の発光量の評価システムを確立した。KEK のテストビームを利用した方法と合わせ、相補性と評価手法のフレキシビリティを加えたと言える。

「ヒッグスと超対称理論の現象論的研究(計画研究 A06)」では、次の活動を行った。超対称理論の研究では、超対称性の破れをいかにして導くかがモデルを構築する上でのポイントであるが、ひとつの実験的手がかりとしてミューオンの異常磁気モーメントの標準模型からのずれが注目されている。この量をはじめとする重要な観測量のいくつかを大統一理論に基づくモデルにおいて評価して、超対称粒子の質量などに対する情報を得た。また、実験的に特徴のあるモデルとして、アノマリーによって超対称性を破る理論があるが、スカラーレプトンの質量に関して困難があった。これに対し CP 非保存に関係するアクシオン場を導入することによって解決する可能性があることを見いだした。

(4) 今後の領域の推進方策

実験の 5 つの計画研究(A01-A05) については、実験データの収集を継続し、物理解析を進めつつ、さらに新しい解析法を開発する。それとともに、将来の実験の改良に向けて、シリコンストリップ検出器、高速波形記憶処理回路、TOP カウンター、 γ 線検出器などの測定器開発を進める。また、JHF の 50GeV の大強度陽子加速器施設での K ファクトリーで行う $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ 実験については、Letter of Intent を制作し、提出する。理論の計画研究(A06)では、今までに進めてきた研究をさらに発展させるとともに、宇宙論、弦理論などとの関連も調べて多面的な理解を進めていく。また実験家との連携を緊密にして最新結果を反映させる。また公募研究については、研究会で将来計画を議論していくことによって、実現

に向けた努力を集中させて計画を進展させる。

総括班は上記の各研究の調整をとり、特に実験研究について指揮をとると同時に、理論と実験の密接な交流をはかる。2003年3月には総括班連絡会を行い、各研究の調整をとる。また、研究会等のミーティングを実施し、報告書を適宜編集し、コミュニケーションと情報の開示を総括する。

(5) 領域を推進するための問題点と対応策

現時点においては、特に問題点はない。

(6) 研究成果公表の状況（主な論文等一覧）

1. T. Affolder, S. Kim et al., (CDF Collaboration), “Search for New Heavy Particles in the WZ^0 Final State in p anti- p Collisions at $s^{1/2}=1.8$ TeV” Phys. Rev. Lett. 88, 071806 (2002).
2. D. Acosta, S. Kim, et al., (CDF Collaboration) “Search for Single-Top-Quark Production in p anti- p Collisions at $s^{1/2}=1.8$ TeV “ Phys. Rev. D65, 091120 (2002).
3. K.Abe, H. Aihara, T. Ohshima, et al. (Belle Collaboration), “Observation of the Decay $B \rightarrow Kll$ ” Phys. Rev. Lett. 88, 021801 (2002).
4. K.Abe, H. Aihara, T. Ohshima, et al. (Belle Collaboration), “Studies of the Decay $B^+ \rightarrow D_{cp} K^+$ ” “submitted to Phys. Rev. Lett. , hep-ex/0207012
5. K.Abe, H. Aihara, T. Ohshima, et al. (Belle Collaboration), “Study of CP-Violating Asymmetries in $B^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ Decays” to appear in PRL hep-ex/0204002.
6. S. Adler, S. Sugimoto et al. (E787 collaboration), “Search for the rare decay $K^+ \rightarrow \pi^+ \gamma$ ” Phys. Rev. D 65, 052009(1-7) (2002).
7. S. Adler, S. Sugimoto et al. (E787 collaboration), “Further Evidence for the Decay $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$ ” Phys. Rev. Lett. 88-4, 041803(1-4) (2002).
8. M. Kobayashi, S. Sugimoto, et al. “A beam test of $PbWO_4$ Cherenkov radiators” Nucl. Instrum. Methods in Physics Research A484, 140-148 (2002).
9. S. Adler, S. Sugimoto, et al. (E787 collaboration), “Search for the decay $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$ in the momentum region $P_\pi < 195$ MeV/c” Physics Letters B537, 211-216 (2002).
10. S. Komine and M. Yamaguchi, “Bottom-tau unification in SUSY SU(5) GUT and constraints from $b \rightarrow s$ gamma and muon $g-2$ “ Phys. Rev. D 65, 075013 (2002).
11. N. Abe, T. Moroi, and M. Yamaguchi, “Anomaly mediated supersymmetry breaking with axion” JHEP 0201, 010 (2002).
12. M. Kakizaki and M. Yamaguchi, “U(1) flavor symmetry and proton decay in supersymmetric standard model” JHEP 0206, 032 (2002).