

(別紙様式)

領域番号：466

領域略称名：フレーバー物理

平成20年度科学研究費補助金
特定領域研究 研究状況報告書
「フレーバー物理の新展開」

(研究期間)

平成18年度 ～ 平成23年度

領域代表者 大阪大学・大学院理学研究科・教授・山中 卓

1 研究領域の概要

物質を構成する素粒子は、クォークと、電子やニュートリノなどのレプトンであるが、これらは、弱い相互作用によりその種類（フレーバー）を変える。フレーバー間の混合は複雑な構造を持ち、素粒子の標準理論によっても未だに理解されていない。一方、標準理論を超える超対称性などの理論は、フレーバー混合に新しい要素を加えることが知られている。

本領域では世界最大級の実験により s, b, t クォークの崩壊の精密測定を行い、また $\nu_\mu \rightarrow \nu_e, \nu_\tau$ などのニュートリノ振動の発見をめざすとともに、これらの実験結果を理論面から解析する。フレーバーが変化する現象の多角的な研究により、フレーバーの構造の解明と標準理論を超える物理を追求する。

このために、5つの実験の計画研究 (A01~A05)、および一つの理論の計画研究 (A06) を設定している。さらに2007年度からは公募研究を行い、分野の裾野を広げている。

2 研究領域の設定目的

実験の面からは、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。具体的には、クォークのフレーバー混合については、現在建設中の J-Parc 大強度陽子加速器を用いた K 中間子の研究、KEK の電子・陽電子衝突実験による B 中間子の研究、米国 Fermilab の陽子・反陽子衝突実験によるトップ (t) クォークや B 中間子の研究を行う。また、ニュートリノのフレーバー混合については、J-Parc からスーパーカミオカンデにミュオンニュートリノを発射し、電子ニュートリノへの振動の発見を目指す。またヨーロッパの CERN 研究所からイタリアのグラン・サッソーにミュオンニュートリノを発射し、タウニュートリノへの振動の観測を目指す。

理論の面からは、上記の実験で得られる結果や LHC 加速器から出てくる新たな結果を踏まえ、フレーバー構造の統一的理解と標準理論を越える物理の寄与について研究し、実験にも示唆を与える。

3 研究領域内の研究の年度ごとの進展状況及びこれまでの主な研究成果

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では、J-PARC E14 実験が J-Parc の実験審議委員会から Stage 2 Approval の推薦を得た。その後ビームラインのより精密な設計な詰めを行った。また全ての測定器の波形を読みだす回路をシカゴ大学にて試作し、ビームテストを米国 Fermilab にて行って基本的な性能が出ていることを実証した。またパイロット実験である KEK E391a 実験の2回目のデータ収集で得た結果を発表した。

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では、今まで未測定であった $B^0 \rightarrow K_S \pi^0 \pi^0$ 過程における CP 非対称度の測定を行い、 $b \rightarrow s$ クォーク遷移における新物理探索を進めた。また、 $B \rightarrow \pi \nu, \rho \nu$ 崩壊分岐比の最終結果を発表し、小林・益川

理論の正当性を支持した。タウ物理では、 $\tau \rightarrow lll, lV^0$ などの LFV 崩壊の探索を進め、 10^{-8} の崩壊分岐比まで感度を向上させ、標準理論の高精度検証を行なった。

検出器開発では、TOP カウンター、エアロジェル RICH と呼ぶリングイメージング型チェレンコフ検出器で重要な要素である GaAsP 光電面の MCP-PMT、半導体光検出器 MPPC などの光検出器の開発を中心的に行なった。

A03 陽子反陽子衝突実験 CDF によるトップとボトム・フレーバーの物理では、2006 年度には B_s 中間子振動の初観測に成功し、小林益川混合行列の $|V_{ts}/V_{td}|$ 成分を測定して標準理論を検証した。2007 年度には B_s 中間子の稀崩壊モード $B_s \rightarrow K^+K^-$, $B_s \rightarrow K\pi$, $B_s \rightarrow D_s K$ を初めて観測し、分岐比を測定した。またボトムクォークを含むバリオン Σ_b と Ξ_b を初めて観測した。さらに B_s 中間子の 2 つの質量固有状態の崩壊幅の差 $\Delta\Gamma_s$ を $B_s \rightarrow J/\psi\phi$ の寿命測定によって決定した。またトップ・フレーバーの物理については、トップクォークの単一生成断面積の測定に成功し、これによって $|V_{tb}|$ 成分を決定した。

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では、大強度の陽子ビームを安定に精度よく加速器から取り出すためのキッカー電磁石の開発に成功し製作した。大強度の陽子ビームを安全に転送するために不可欠な、ビームの位置・プロファイルモニターの実機製作に取りかかった。標的、電磁ホーンについては実機を製作し長期動作試験を行なった。また、ニュートリノビーム強度・方向をモニターするミュオン検出器の実証機を米フェルミ研ニュートリノビームラインに設置し実際の実験環境での安定性を確認した。前置ニュートリノ検出器に関しても、新型半導体光検出器 MPPC、シンチレータ、ファイバー等の特性測定等基礎研究を重ね大量生産に取り掛かった。T2K 実験の目標感度を高めるために必要な、標的からの生成される中間子の高精度な分布の測定を CERN で行なった。

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では、出現検出型長基線ニュートリノ振動実験 OPERA の検出器を構築している。2008 年 6 月時点で、充填可能標的の約 90% を充填した。2007 年 10 月には標的充填率 35% の状態で今年のニュートリノ照射を行い、原子核乾板でニュートリノ反応点の検出に成功した。記録された反応のうち約 70% にあたる 24 反応点の原子核乾板中での同定に成功し、ほぼ実験のプロポーザルどおりに、反応解析が可能なことを示した。

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では、超対称模型や余剰次元模型の研究、関連する初期宇宙論の研究を進めている。そのうちからいくつか具体的な例を挙げると、超対称トプーチャーム混合に対する現在の実験からの制限の評価、超対称粒子により起こされるトップのフレーバー混合の LHC における検出可能性の検討、3 サイト脱構築無ヒッグスモデルにおける電弱精密測定パラメータ S, T の 1 ループの精度による計算および WW 散乱の評価、荷電超対称スカラーレプトンが長寿命である場合の宇宙初期元素合成に対する効果の精密な評価、宇宙暗黒物質の候補としての右巻きスカラーニュートリノの検討、などがある。

4 研究領域の研究組織と各研究項目の連携状況

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 山中 卓 (大阪大学大学院理学研究科)

研究分担者 山鹿光裕 (大阪大学大学院理学研究科)、稲垣隆雄 (KEK 素粒子原子核研究所)、林ケヨブ (KEK 素粒子原子核研究所)、小松原健 (KEK 素粒子原子核研究所)、渡辺丈晃 (KEK 素粒子原子核研究所)、笹尾登 (京都大学大学院理学研究科)、南篠創 (京都大学大学院理学研究科)、鈴木史郎 (佐賀大学理工学部)

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

研究代表者 大島隆義 (名古屋大学大学院理学研究科)

研究分担者 飯嶋 徹 (名古屋大学大学院理学研究科)、居波 賢二 (名古屋大学大学院理学研究科)

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 金 信弘 (筑波大学数理物質科学研究科)

研究分担者 受川史彦 (筑波大学数理物質科学研究科)、原 和彦 (筑波大学数理物質科学研究科)、丸山和純 (筑波大学数理物質科学研究科)、武内勇司 (筑波大学数理物質科学研究科)、近藤都登 (早稲田大学理工学総合研究所)

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 西川公一郎 (KEK 素粒子原子核研究所)

研究分担者 中家剛 (京都大学大学院理学研究科)、横山将志 (京都大学大学院理学研究科)、小林隆 (KEK 素粒子原子核研究所)、藤井芳昭 (KEK 素粒子原子核研究所)、石井孝信 (KEK 素粒子原子核研究所)

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 丹羽公雄 (名古屋大学大学院理学研究科)

研究分担者 中村光廣 (名古屋大学大学院理学研究科) 星野香 (名古屋大学大学院理学研究科)、青木茂樹 (神戸大学発達科学部)、佐藤修 (名古屋大学大学院理学研究科)、河田二郎 (名古屋大学大学院理学研究科)、宮本成悟 (名古屋大学大学院理学研究科)、夏目光教 (名古屋大学大学院理学研究科)

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 日笠健一 (東北大学大学院理学研究科)

研究分担者 山口昌弘 (東北大学大学院理学研究科)、山田洋一 (東北大学大学院理学研究科)、諸井健夫 (東北大学大学院理学研究科)、棚橋誠治 (名古屋大学大学院理学研究科)、戸部和弘 (名古屋大学大学院理学研究科) [2008 年 4 月より]

X00: 総括班

研究代表者 山中 卓 (大阪大学大学院理学研究科)

研究分担者 大島隆義 (名古屋大学大学院理学研究科)、金信弘 (筑波大学数理物質科学研究科)、西川公一郎 (KEK 素粒子原子核研究所)、丹羽公雄 (名古屋大学大学院理学研究科)、日笠健一 (東北大学大学院理学研究科)、中家剛 (京都大学大学院理学研究科)

各研究項目の連携状況

各計画研究の間の連携、および情報の交換を図るために、2007年3月16, 17日に京都において”特定領域フレーバー物理の新展開」研究会2007”

(<http://www-he.scphys.kyoto-u.ac.jp/%7Enakaya/flavor/program.htm>)、

2008年2月21, 22日に仙台市において”特定領域「フレーバー物理の新展開」研究会2008”

(http://www.tuhep.phys.tohoku.ac.jp/~tobe/Flavor_workshop/Sakunami_workshop.html)

を開催した。内容も高度な理論から新しい実験結果、測定器開発まであり、発表者も大学院生から教授まで幅広く、質問もしやすい雰囲気ではフレーバー物理の最新の情報を交換することができた。この研究会は、毎年、計画研究の代表者の機関を巡って開催する。

また、複数の計画研究に共通なテーマについて情報を交換するために次の研究会の開催をサポートした。

- ”CKM 2006 - 4th International Workshop on the CKM Unitarity Triangle”, December 12-16, 2006, 名古屋大学
(<http://ckm2006.hepl.phys.nagoya-u.ac.jp/>)
- ”PD07 - International Workshop on new photon-detectors”, June 27-29, 2007, 神戸大学
<http://www-conf.kek.jp/PD07/>
- ”研究会「SuperKEKBが拓く物理」”, November 12, 2007, 秋葉原、東京
<http://superb.kek.jp/skekb-ja/>
- ”BNM 2008 - 3rd International Workshop on B Factories and New Measurements”, January 24-26, 2008, 熱海
<http://superb.kek.jp/bnm2008/index.html>

5 研究費の使用状況

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では、本研究費を用いて、測定器からのパルスの波形を記録するFADCの開発をシカゴ大学と共同して行った。また、米国Fermilabから日本に輸送するCsIの結晶を保管・試験するための乾燥室を阪大内に設置した。さらに、ビームライン建設に必要な部品を購入した。また、ほぼ毎月、主に国内の学生が研究成果を発表して議論を行うための研究会を開催し、そのための旅費をサポートした。

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では、名古屋大学の当研究室で所有しているデータ解析施設コンピュータに加え、別の科研費を用いて比較的 low 価格で大容量のディスクシステムの増強を行い、物理解析システムを構築している。そのため、本研究費は主に測定器開発に使用している。測定器開発の中で光検出器の開発は試行錯誤を繰り返すため、研究費と時間を必要とするが、集中的に使用することによって、短時間に効率よく開発を進めている。また、測定器プロトタイプ製作のために、石英輻射体の製作などに研究費を使用した。

A03: 陽子反陽子衝突実験 CDF によるトップとボトム・フレーバーの物理では、解析計算機およびデータストレージ用ディスクを購入して上記の物理解析に有効に使用した。またこれらの計算機システムを活用してデータ収集システムの研究を進展させることができた。研究費によって雇用した研究員がボトムフレーバー物理の解析を進展させるのに貢献した。

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では、KEK と京大の両方で予算を執行した。KEK 分：陽子ビームモニターの実機製作、およびモニターの動作試験、較正などの性能評価に必要な装置 (オシロスコープ、パルスジェネレーター、PC 等)、ニュートリノモニター用シンチレーター購入費に充てた。陽子ビーム転送のシミュレーションを繰り返し、最も効果的なモニターの配置をもとめ採用することにより必要なモニターの数を減らした。また、最も厳しいビーム環境にさらされるモニター以外は Ti 製でなく SUS で製作することによりコストを下げた。シンチレーターは米国フェルミ国立加速器研究所と共同で開発しフェルミ研で製作することで、安価で高性能なシンチレータを完成させた。

京大分：主にニュートリノモニター (光検出器 MPPC、ケーブル等) およびミューオンモニター (ガスチェンバー) の実機製作に必要な部品を購入した。また MPPC は 15000 個の大量一括購入により通常の市場価格の 1/5 の価格で購入した。

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では、経費の大半は原子核フィルムにあて、東濃鉱山リフレッシュ施設でのフィルムリフレッシュ、イタリアへの輸送、OPERA 検出器への組み立てを継続した。

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では、戸部和弘を研究費により 2007 年 4 月より助教として雇用し、計画研究の推進に大きく寄与した。戸部は、超対称理論などにおけるレプトンフレーバーの破れの研究に多くの業績を持ち、ミシガン州立大学で活発に研究活動を行っていた人物である。戸部が 2008 年 4 月より名古屋大学理学研究科准教授として転出したため、後任として奥村健一を雇用している。戸部は研究分担者として引き続き研究に参加している。

X00: 総括班の費用により、2007 年 3 月と 2008 年 2 月の特定領域の研究会の開催、4 で述べた 4 つの研究会の開催の補助、この研究領域の関係者の国際会議への参加の補助および海外からの研究者の招聘などを行った。

6 研究成果公表の状況

6.1 主な論文

1. “Search for the Decay $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ ”, J.K. Ahn, T. Inagaki, T.K. Komatsubara, G.Y. Lim, N. Sasao, H. Watanabe, M. Yamaga, T. Yamanaka *et al.*, Phys. Rev. Lett. **100**, 201802 (2008).
2. “First Search for $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 \nu \bar{\nu}$ ”, J. Nix, T. Inagaki, T.K. Komatsubara, G.Y. Lim, N. Sasao, H. Watanabe, M. Yamaga, T. Yamanaka *et al.*, Phys. Rev. D **76**, 011101(R) (2007).
3. “New Limit on the $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ Decay Rate”, J.K. Ahn, T. Inagaki, T.K. Komatsubara, G.Y. Lim, N. Sasao, H. Watanabe, M. Yamaga, T. Yamanaka, *et al.*, Phys. Rev. D **74**, 051105(R) (2006).
4. “Search for Lepton Flavor Violating τ Decays into Three Leptons”, Y. Miyazaki, T. Iijima, K. Inami, T. Ohshima *et al.* (The Belle collaboration), Phys. Lett. B **660**, 154 (2008).
5. “Search for Lepton Flavor Violating τ Decays into $\ell\eta$, $\ell\eta'$ and $\ell\pi^0$ ”, Y. Miyazaki, T. Iijima, K. Inami, T. Ohshima *et al.* (The Belle collaboration), Phys. Lett. B **648**, 341 (2007).
6. “Measurement of branching fractions and q^2 distributions for $B \rightarrow \pi \ell \nu$ and $B \rightarrow \rho \ell \nu$ Decays with $B \rightarrow D^{(*)} \ell \nu$ Decay Tagging”, T. Hokuue, T. Iijima, K. Inami, T. Ohshima *et al.* (The Belle Collaboration), Phys. Lett. B **648**, 139 (2007).
7. “Observation of time-dependent CP violation in $B^0 \rightarrow \eta' K^0$ decays and improved measurements of CP asymmetries in $B^0 \rightarrow \phi K^0$, $B^0 \rightarrow K_s K_s K_s$ and $B^0 \rightarrow J/\psi K^0$ decays”, K.-F. Chen, K. Hara, T. Iijima, K. Inami, T. Ohshima, *et al.* (Belle Collaboration), Phys. Rev. Lett. **98**, 031802 (2007).
8. “Evidence of the purely leptonic decay $B \rightarrow \tau \nu$ ”, K. Ikado, T. Iijima, K. Inami, T. Ohshima, *et al.* (Belle Collaboration), Phys. Rev. Lett. **97**, 251802 (2006).
9. “Search for V + A current in top quark decay in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.* [CDF Collaboration], Phys. Rev. Lett. **98**, 072001 (2007).
10. “Measurement of the Λ_b^0 lifetime in $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi \Lambda^0$ in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.* [CDF Collaboration], Phys. Rev. Lett. **98**, 122001 (2007).

11. “Measurement of the ratios of branching fractions $B(B_s^0 \rightarrow D_s^- \pi^+ \pi^+ \pi^-)/B(B^0 \rightarrow D^- \pi^+ \pi^+ \pi^-)$ and $B(B_s^0 \rightarrow D_s^- \pi^+)/B(B^0 \rightarrow D^- \pi^+)$ ”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.* [CDF Collaboration], Phys. Rev. Lett. **98**, 061802 (2007).
12. “Measurement of the Helicity Fractions of W Bosons from Top Quark Decays using Fully Reconstructed $t\bar{t}$ Events with CDF II”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.* [CDF Collaboration], Phys. Rev. D **75**, 052001 (2007).
13. “Measurement of the B^+ production cross section in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1960$ GeV”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.* [CDF Collaboration], Phys. Rev. D **75**, 012010 (2007).
14. “Measurement of the top-quark mass in all-hadronic decays in $p\bar{p}$ collisions at CDF II”,
T. Aaltonen, S.H. Kim *et al.* [CDF Collaboration], Phys. Rev. Lett. **98**, 142001 (2007).
15. “Analysis of the quantum numbers J^{PC} of the $X(3872)$ ”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.* [CDF Collaboration], Phys. Rev. Lett. **98**, 132002 (2007).
16. “Precision measurement of the top quark mass from dilepton events at CDF II”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.* [CDF Collaboration], Phys. Rev. D **75**, 031105 (2007).
17. “Measurement of the Top Quark Mass in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV using the Decay Length Technique”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.* [CDF Collaboration], Phys. Rev. D **75**, 071102 (2007).
18. “Search for Exotic $S = -2$ Baryons in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.* [CDF Collaboration], Phys. Rev. D **75**, 032003 (2007).
19. “Measurement of $\sigma_{\chi_{c2}}\mathcal{B}(\chi_{c2} \rightarrow J/\psi\gamma)/\sigma_{\chi_{c1}}\mathcal{B}(\chi_{c1} \rightarrow J/\psi\gamma)$ in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.* [CDF Collaboration], Phys. Rev. Lett. **98**, 232001 (2007).
20. “Precise measurement of the top quark mass in the lepton+jets topology at CDF II”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.* [CDF Collaboration], Phys. Rev. Lett. **99**, 182002 (2007).

21. “Polarization of J/ψ and $\psi(2S)$ mesons produced in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.* [CDF Collaboration], Phys. Rev. Lett. **99**, 132001 (2007).
22. “Measurement of the top-quark mass using missing E_T + jets events with secondary vertex b -tagging at CDF II”,
T. Aaltonen, S.H. Kim *et al.* [CDF Collaboration], Phys. Rev. D **75**, 111103 (2007).
23. “Measurement of the $p\bar{p} \rightarrow t\bar{t}$ production cross-section and the top quark mass at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV in the all-hadronic decay mode”,
T. Aaltonen, S.H. Kim *et al.* [CDF Collaboration], Phys. Rev. D **76**, 072009 (2007).
24. “First observation of heavy baryons Σ_b and Σ_b^* ”,
T. Aaltonen, S.H. Kim *et al.* [CDF Collaboration], Phys. Rev. Lett. **99**, 202001 (2007).
25. “First Measurement of the W Boson Mass in Run II of the Tevatron”,
T. Aaltonen, S.H. Kim *et al.* [CDF Collaboration], Phys. Rev. Lett. **99**, 151801 (2007).
26. “Observation and mass measurement of the baryon Ξ_b^- ”,
T. Aaltonen, S.H. Kim *et al.* [CDF Collaboration], Phys. Rev. Lett. **99**, 052002 (2007).
27. “Search for Standard Model Higgs Bosons Produced in Association with W Bosons”,
T. Aaltonen, S.H. Kim *et al.* [CDF Collaboration], Phys. Rev. Lett. **100**, 041801 (2008).
28. “Cross-Section Constrained Top Quark Mass Measurement from Dilepton Events at the Tevatron”,
T. Aaltonen, S.H. Kim *et al.* [CDF Collaboration], Phys. Rev. Lett. **100**, 062005 (2008).
29. “A direct Measurement of the W Boson Width in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”,
T. Aaltonen, S.H. Kim *et al.* [CDF Collaboration], Phys. Rev. Lett. **100**, 071801 (2008).
30. “Observation of Orbitally Excited B_s Mesons”,
T. Aaltonen, S.H. Kim *et al.* [CDF Collaboration], Phys. Rev. Lett. **100**, 082001 (2008).

31. “Observation of $B_s^0 - \bar{B}_s^0$ oscillations”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **97**, 242003 (2006)
32. “Observation of $B_s^0 \rightarrow K^+K^-$ and measurements of branching fractions of charmless two-body decays of B^0 and B_s^0 mesons in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ -TeV”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **97**, 211802 (2006)
33. “Search for excited and exotic muons in the $\mu\gamma$ decay channel in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ -TeV”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **97**, 191802 (2006)
34. “Measurement of the $B_s^0 - \bar{B}_s^0$ oscillation frequency”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **97**, 062003 (2006)
35. “Measurement of the $t\bar{t}$ production cross section in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ -TeV”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **97**, 082004 (2006)
36. “Search for a neutral Higgs boson decaying to a W boson pair in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ -TeV”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **97**, 081802 (2006)
37. “Measurement of the $t\bar{t}$ production cross section in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ -TeV using missing E_T + jets events with secondary vertex b -tagging”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **96**, 202002 (2006)
38. “Measurement of the B_c^+ meson lifetime using $B_c^+ \rightarrow J/\psi + e^+ + \nu_e$ ”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **97**, 012002 (2006)
39. “Observation of $B_s^0 \rightarrow \psi(2S)\phi$ and measurement of ratio of branching fractions $B(B_s^0 \rightarrow \psi(2S)\phi)/B(B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi)$ ”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **96**, 231801 (2006)
40. “Measurement of the dipion mass spectrum in $X(3872) \rightarrow J/\psi\pi^+\pi^-$ decays”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **96**, 102002 (2006)

41. “Top quark mass measurement from dilepton events at CDF II”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **96**, 152002 (2006)
42. “Search for H to $b\bar{b}$ produced in association with W bosons in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ -TeV”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **96**, 081803 (2006)
43. “Search for charged Higgs bosons from top quark decays in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ -TeV”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **96**, 042003 (2006)
44. “Precision top quark mass measurement in the lepton + jets topology in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ -TeV”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **96**, 022004 (2006)
45. “Measurement of b hadron masses in exclusive J/ψ decays with the CDF detector”,
D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **96**, 202001 (2006)
46. “Measurement of the ratios of branching fractions $B(B_s^0 \rightarrow D_s^- \pi^+)/B(B^0 \rightarrow D^- \pi^+)$ and $B(B^+ \rightarrow \bar{D}^0 \pi^+)/B(B^0 \rightarrow D^- \pi^+)$ ”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **96**, 191801 (2006)
47. “Evidence for the exclusive decay $B_c^\pm \rightarrow J/\psi \pi^\pm$ and measurement of the mass of the B_c meson”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **96**, 082002 (2006)
48. “A search for $t \rightarrow \tau \nu q$ in $t\bar{t}$ production”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Lett. B **639**, 172 (2006)
49. “Measurement of the ratio of branching fractions $B(D^0 \rightarrow K^+ \pi^-)/B(D^0 \rightarrow K^- \pi^+)$ using the CDF II detector”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **74**, 031109 (2006)
50. “Top quark mass measurement using the template method in the lepton + jets channel at CDF II”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **73**, 032003 (2006)

51. “Measurement of the b jet cross section in events with a Z boson in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96\text{-TeV}$ ”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **74**, 032008 (2006)
52. “Top quark mass measurement from dilepton events at CDF II with the matrix-element method”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **74**, 032009 (2006)
53. “Search for anomalous semileptonic decay of heavy flavor hadrons produced in association with a W boson at CDF II”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **73**, 051101 (2006)
54. “Measurement of mass and width of the excited charmed meson states D_1^0 and D_2^{*0} ”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **73**, 051104 (2006)
55. “Measurement of the $t\bar{t}$ production cross section in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96\text{-TeV}$ in the all hadronic decay mode”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration Phys. Rev. D **74**, 072005 (2006)
56. “Measurement of the $t\bar{t}$ production cross section in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96\text{-TeV}$ using lepton + jets events with jet probability b -tagging”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **74**, 072006 (2006)
57. “Measurement of the top quark mass with the dynamical likelihood method using lepton plus jets events with b -tags in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96\text{-TeV}$ ”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **73**, 092002 (2006)
58. “Measurement of the helicity of W bosons in top-quark decays”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **73**, 111103 (2006)
59. “Measurement of the top quark mass using template methods on dilepton events in proton antiproton collisions at $\sqrt{s} = 1.96\text{-TeV}$ ”,
A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **73**, 112006 (2006)
60. “The CDF Run IIb Silicon Detector: Design, preproduction, and performance”,
T. Akimoto, S.H. Kim *et al.*, Nucl. Instrum. Meth. A **556**, 459 (2006).

61. “Development and study of the Multi Pixel Photon Counter”, T. Nakaya, M. Yokoyama *et al.*, Nucl. Instrum. Meth. **A581** (2007) 427-432.
62. “Scintillator counters with multi-pixel avalanche photodiode readout for the ND280 detector of the T2K experiment”, T. Nakaya, M. Yokoyama *et al.*, Nucl. Instrum. Meth. **A577** (2007) 540-551.
63. “Resolving θ_{23} degeneracy by accelerator and reactor neutrino oscillation experiments”, K. Hiraide, T. Nakaya *et al.*, Phys. Rev. D **73**: 093008, 2006.
64. “First events from the CNGS neutrino beam detected in the OPERA experiment”, R. Acquafredda, K. Niwa, M. Nakamura *et al.*, Opera Collaboration, New J. Phys. **8**, 303 (2006).
65. “Experimental constraints on supersymmetric top-charm partner flavor mixing and implications for top-quark flavor changing neutral current processes”, J. Cao, G. Eilam, K. Hikasa, and J.M. Yang, Phys. Rev. D **74**, 031701 (2006).
66. “A three site Higgsless model”, R.S. Chivukula, B. Coleppa, S. Di Chiara, E.H. Simmons, H.-J. He, M. Kurachi, and M. Tanabashi, Phys. Rev. D **74**, 075011 (2006).
67. “Parity-odd asymmetries in W -jet events at the Fermilab Tevatron”, K. Hagiwara, K. Hikasa, and H. Yokoya, Phys. Rev. Lett. **97**, 221802 (2006).
68. “Cosmological constraints on gravitino LSP scenario with sneutrino NLSP”, T. Kanzaki, M. Kawasaki, K. Kohri, and T. Moroi, Phys. Rev. D **75**, 025011 (2007).
69. “Possible signals of Wino LSP at the Large Hadron Collider”, M. Ibe, T. Moroi, and T. Yanagida, Phys. Lett. **B644**, 355–360 (2007).
70. “Deconstruction and elastic $\pi\pi$ scattering in higgsless models”, R.S. Chivukula, E.H. Simmons, H.-J. He, M. Kurachi, and M. Tanabashi, Phys. Rev. D **75**, 035005 (2007).
71. “Right-handed sneutrino as cold dark matter of the Universe”, T. Asaka, K. Ishiwata, and T. Moroi, Phys. Rev. D **75**, 065001 (2007).
72. “One-loop corrections to the S and T parameters in a three site higgsless model”, S. Matsuzaki, R. S. Chivukula, E. H. Simmons, and M. Tanabashi, Phys. Rev. D **75**, 073002 (2007).
73. “The three site model at one loop”, R.S. Chivukula, E.H. Simmons, S. Matsuzaki, and M. Tanabashi, Phys. Rev. D **75**, 075012 (2007).
74. “Supersymmetry-induced flavor-changing neutral-current top-quark processes at the CERN Large Hadron Collider”, J.J. Cao, G. Eilam, M. Frank, K. Hikasa, G.L. Liu, I. Turan, and J.M. Yang, Phys. Rev. D **75**, 075021 (2007).

75. “Big-Bang nucleosynthesis with long-lived charged slepton”, M. Kawasaki, K. Kohri, and T. Moroi, Phys. Lett. B **649**, 436–439 (2007).
76. “Testing the anomaly mediation at the LHC”, S. Asai, T. Moroi, K. Nishihara, and T.T. Yanagida, Phys. Lett. B **653**, 81–87 (2007).
77. “A note on Polonyi problem”, S. Nakamura and M. Yamaguchi, Phys. Lett. B **655**, 167–171 (2007).
78. “Cosmological constraints on neutrino injection”, T. Kanzaki, M. Kawasaki, K. Kohri, and T. Moroi, Phys. Rev. D **76**, 105017 (2007).
79. “ $b \rightarrow s\nu\bar{\nu}$ decay in the MSSM: Implication of $b \rightarrow s\gamma$ at large $\tan\beta$ ”, Y. Yamada, Phys. Rev. D **77**, 014025 (2008).
80. “Decay of scalar condensation in quantum field theory”, S. Matsumoto and T. Moroi, Phys. Rev. D **77**, 045014 (2008).

6.2 国際会議発表

- FPCP08 - Flavor Physics & CP Violation, May 5-9, 2008, Taipei, Taiwan
 - T. Yamanaka, “Review on ϵ'/ϵ ”
- NP08, Kaon Working Group Meeting, March 5-7, 2008, Mito
 - T. Yamanaka, “Reports from the Kaon Working Group at the FNAL Project X Workshop”
 - T. Yamanaka, “Prospects for Step 2”
- Workshop on Physics with a High Intensity Proton Source, Nov. 16-17, 2007, Fermilab, Illinois, USA
 - T. Yamanaka, “J-PARC”
- KEKPH07 - KEK Annual Theory Meeting on Particle Physics Phenomenology, March 1-3, 2007, KEK, Ibaraki
 - T. Yamanaka, “J-Parc Overview”
- CKM2006 - 4th International Workshop on CKM Unitarity Triangle, December 12-16, 2006, Nagoya
 - T. Yamanaka, “Flavor Physics at J-Parc”
- 6th International Workshop on Ring Imaging Cherenkov Counters (RICH2007), 15 - 20 Oct. 2007, Stazione Marittima, Trieste, Italy

- T. Iijima, “Studies of a Proximity Focusing RICH with Aerogel Radiator for Future Belle Upgrade”
- K. Inami, “Development of TOP counter for Super B factory”
- BES-Belle-CLEO-Babar 2007 Joint workshop on Charm Physics, 28-30 Nov. 2007, IHEP, Beijing, China
 - T. Iijima, “PID upgrade for SuperB”
- International Workshop on the Search for Baryon and Lepton Number Violation, 20 - 22, Sep. 2007, LBNL Berkeley, California, USA
 - T. Iijima, “ Search for B, L and LF violations at Belle and Super-Belle”
- Topical Workshop on Electronics for Particle Physics (TWEPP-07), 3 - 7 Sep. 2007, Prague, Czech Republic
 - T. Sugimoto, “The 1st Result of Global Commissioning of the ATLAS Endcap Muon Trigger System in ATLAS Cavern”
- The 2007 Europhysics Conference on High Energy Physics (HEP2007) , 19 - 25 Jul. 2007, Manchester, England
 - K. Hara, “Time dependent CP violation in penguin dominated B decays at Belle”
 - T. Ohshima , “Tau decays at Belle”
 - Y. Miyazaki, “Search for Lepton-flavor violating tau decays”
- International Workshop on new photon-detectors (PD07), 27 - 29 Jun. 2007, Kobe U., Japan
 - K. Inami, “Timing properties of MCP-PMT”
 - T. Iijima, “Geiger-mode APD as a RICH photodetector”
- 3rd International Workshop on B Factories and New Measurements (BNM2008), 24 - 26 Jan. 2008, Atami, Japan
 - K. Inami, “PID for super Belle”
 - K. Hara, “Hermeticity, boost factor and other issues”
- 10th International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics, 28 Feb. - 5 Mar. 2008, BINP Novosibirsk, Russia
 - T. Iijima, “Upgrade of KEK B-factory and Belle”
 - T. Iijima, “Development of RICH counters toward the KEKB/Belle upgrade”
- Pico-Second Timing Workshop, 27 - 28 Mar 2008, University of Chicago, USA

- T. Ohshima , “TOP counter and MCP-PMT”
- American Physical Society April Meeting, April 14 – 17, 2007, Jacksonville, Florida, USA
 - Naoki Kimura, “Measurement of the Ratio $q\bar{q}/g\bar{g}$ in the $t\bar{t}$ Production Mechanism using the Dilepton Channel at CDF”
 - Taichi Kubo, “Measurement of Top Quark Mass by Dynamical Likelihood Method in the Lepton+Jets Channel at CDF”
 - Tatsuya Masubuchi, “Search for Higgs Boson Production in Association with a W Boson at CDF”
 - Ai Nagano, “Study of $W\gamma$ Production at the Tevatron”
- KEK Theory Meeting on Particle Physics Phenomenology (KEKH0712), December 12 – 14, 2007, Tsukuba, Japan
 - Kazuhiko Hara, “Highlights from the Tevatron”
- XLIII Recontres de Moriond, Electroweak Interactions and Unified Theories, March 1 – 8, 2008, La Thuile, Italy
 - Tatsuya Masubuchi, “Search for SM Higgs in the $WH \rightarrow \ell\nu b\bar{b}$ channel using 2 fb^{-1} at CDF”
- “T2K”, T. Nakadaira* for T2K collaboration, Proceedings of 9th International Workshop On Neutrino Factories, Superbeams And Betabeams (NuFact07), AIP Conf. Proc. **981**, 222 (2008).
- “Neutrino beamline for T2K”, T. Sekiguchi*, Proceedings of 9th International Workshop On Neutrino Factories, Superbeams And Betabeams (NuFact07), AIP Conf. Proc. **981**, 275 (2008).
- “T2K target”, T. Nakadaira*, Proceedings of 9th International Workshop On Neutrino Factories, Superbeams And Betabeams (NuFact07), AIP Conf. Proc. **981**, 290 (2008).
- “T2K horn”, T. Sekiguchi*, Proceedings of 9th International Workshop On Neutrino Factories, Superbeams And Betabeams (NuFact07), AIP Conf. Proc. **981**, 345 (2008).
- “Status of J-PARC facility and the T2K experiment”, K. Nishikawa*, Proceedings of 12th International Workshop on Neutrinos Telescopes.
- “Tests of muon monitor detectors for the T2K experiment”, H. Kubo, K. Matsuoka*, T. Nakaya, M. Yokoyama et al., Beam Science and Technology (2007).

- “R&D of MPPC for T2K experiment”, S. Gomi*, T. Nakaya, M. Yokoyama, H. Kawamuko et al., Proceedings of International Workshop on new photon-detectors (PD07), PoS(PD07) 019.
- “Fiber Connector for MPPC”, H. Kawamuko*, T. Nakaya, K. Nitta, M. Yokoyama et al., Proceedings of International Workshop on new photon-detectors (PD07), PoS(PD07) 043.
- “Development of Multi-Pixel Photon Counters”, M. Yokoyama, T. Nakaya et al., Proceedings of International Symposium on Detector Development for Particle, Astroparticle and Synchrotron Radiation Experiments (SNIC 2006): 093008, 2006.
- “Near detectors for the T2K experiment”, D. Karlen* for the ND280 group of the T2K collaboration, Nucl. Phys. Proc. Suppl. 159: 91-96, 2006.
- “OPERA: First beam results”, M. Nakamura (OPERA Collaboration), AIP Conf. Proc. **981**, 26-28 (2008).
- “OPERA experiment and its related emulsion techniques”, A. Ariga (OPERA Collaboration), AIP Conf. Proc. **981**, 175-177 (2008).
- Beyond the Standard Model at the Dawn of the LHC Era, June 25-29, 2007, Budapest, Hungary
 - 諸井健夫, “Testing the anomaly-mediated SUSY model at the LHC”

2006年9月スイスジュネーブ CERN で開かれたニュートリノビームに関する国際ワークショップ “6th International Workshop on Neutrino Beams and Instrumentation” <http://proj-cnsgs.web.cern.ch/proj-cnsgs/NBI2006/NBI2006.html> では、T2K 実験に関して18講演を行った。そのうち、特に本研究費で研究開発を進めているビームモニター、標的、ホーンに関して9講演を行い、世界に広く情報を発信した。

6.3 その他

1. “ B_s^0 中間子の粒子・反粒子振動の観測”, 受川史彦, 魚住 聖, 金 信弘, 日本物理学会誌 **62**, 249 (2007).
2. “Multi Pixel Photon Counter の研究開発”, 横山将志, 魚住聖, 高エネルギーニューズ 第26号第3巻 .

7 総括班評価者による評価の状況

総括班評価者は特に置いていないが、2007年3月16, 17日に開催した特定領域研究会に、本研究領域外から長島順清 阪大名誉教授、杉本章二郎 KEK 教授に出席していただき、意見を頂いた。2008年2月に開催した特定領域研究会には、酒見泰寛文部科学省研究振興局学術調査官に一部出席していただいた。

8 研究領域の研究を推進する上での問題点と対応策

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 経費ならびに研究組織上特に大きな問題はないが、大学の耐震工事の関係で原子核乾板の読取装置の移動が急遽必要となり、OPERAの2008年のRUNおよびその解析への影響が懸念された。しかし、日本原子力研究開発機構の東濃地科学センターの協力を得てフィルムのリフレッシュを行った東濃鉱山に解析施設の設置場所を確保できたため、何とか解析への影響は最小限に抑えられそうである。

9 今後の研究領域の推進方策

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では、2008年夏にビームラインの設計を終えて構成要素の製作と建設を始め、2009年秋には、ビームラインの各種性能を測定する。またCsIの結晶とそれにつける光電子増倍管を全数検査する。また、CsI電磁カロリメータのシステム設計を行い、2009年初めには約100本の結晶を読みだすビームテストを行う。こうした確認をした後に大量生産に入り、2010年の秋にはカロリメータを完成させてエンジニアリングランを行う。また、その他のガンマ線検出器の改良を進め、2011年には一通りの測定器がそろった状態でデータを収集する。

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では、前年度に引き続き、KEKB/Belle実験により蓄積する 1000fb^{-1} のデータを用い、高エネルギー実験データ解析施設コンピュータを最大限に稼働させ物理解析を行なう。B物理では、 $b \rightarrow s$ 稀崩壊過程におけるCP非対称度の精度改善を進めるとともに、荷電ヒッグス粒子に感度が高い $B \rightarrow \tau \nu, D^{(*)} \tau \nu$ 崩壊の測定を独自に進め、20%精度での分岐比決定を目指す。タウ物理では、高統計によるLFV崩壊モードの探索を進めつつ、さらなる感度の向上を目指し、新たな解析手法の開発を進める。また、 s クォークを含むハドロン崩壊の探索を同様に進め、標準理論の高精度検証と未検出反応事象の測定を行う。

検出器開発では、前年度と同様に、検出器の要となる光検出器に焦点を絞り、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を繰り返す。また、TOP検出器などのプロトタイプを製作し、性能評価を行うための実証試験を進める。

A03: 陽子反陽子衝突実験CDFによるトップとボトム・フレーバーの物理では、2008年末までに積算ルミノシティ 4fb^{-1} 相当のデータを収集し、2009年末までには積算ルミノシティ 6fb^{-1} 相当のデータを収集する予定である。これによって2009年度末までに、約6万個のトップクォークが生成され、その単一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%の精度で測定する。また、ボトムクォークフレーバーについては、 B_s 中間子のCP対称性の破れの初観測を目指している。

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では、今後実験開始まで残り1年で、ビームモニター、標的、ホーンの実機製作、設置、試験運転調整すべてを終える必要があり、この目標達成のために、緻密にスケジュールを立てて研究を進めていく。また実験開始直後のビームライン、検出器の調整運転(コミッショニング)の目標設定やプランニングを行う。ニュートリノ測定器に関しては、今年度夏までに検出器の部品が揃い、秋から組み立て、動作試験、性能測定を行う。1月からは構造体への組み込み、構造体設置を行い、実験開始のH21年度早々の完成を目指す。実験開始直後

は設計ビーム強度の1%程度の強度のビームを用い、ビームモニター、検出器の立ち上げ、ビーム調整を行う。秋以降、100kW程度のビームを用い本格的な物理測定を開始する。

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では、2008年6月末より本格的なビーム照射を開始する。標的の充填は7月頭に完了し、それ以降は本格的な解析フェーズに入る。約140日のRUNで、反応数は2600反応を予定している。原子核乾板の超高速自動飛跡読取装置の構築・チューニングと平行して実際の解析の予行演習を行っている。

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、実験家との連携を緊密にして最新結果を反映させる。