

学術創成研究「タウ・レプトン物理の新展開」

評価委員会報告

2008年4月

今里純、日笠健一、森俊則、山内正則

名古屋大学大学院理学研究科大島隆義教授を研究代表者とする学術創成研究「タウ・レプトン物理の新展開」の2007年度の進展を評価する第2回の評価委員会が、2008年3月13、14日の二日に亘り名古屋大学において開かれた。主として昨年3月の第1回評価委員会以降のタウ物理の研究成果、LHC-ATLAS実験の準備状況、upgraded Belleに向けた測定器開発の進捗状況が報告され、質疑応答を行った。事前に配布された資料及びこれらの報告に基づいて委員会は評価作業を行い、コメントをまとめた。研究の分野は昨年度と同様に、1) レプトン・フレーバーを破るタウ崩壊の探索、2) その他のタウ崩壊の研究、3) 高統計タウ・レプトン物理に向けた検出器の開発。及び4) ATLAS実験準備からなる。

#### (1) レプトン・フレーバーを破るタウ崩壊の探索

今年からLHCがいよいよ稼働する予定であるが、本学術創成研究の中心研究課題であるレプトン・フレーバーを破るタウ崩壊の探索は、LHC開始後もその学問的意義は変わらないと考えられる。LHCにおいて新粒子・新現象が発見された場合はもちろんであるが、発見されなかった場合にはなおさら、ここで得られる研究成果が標準模型を超える物理への手がかりとして重要な意味を持つことが期待される。

今年度は主に、 $\tau \rightarrow IV^0$ 、 $\tau \rightarrow ll$  ( $l$ は $e$ または $\mu$ ) という2種類の崩壊モードについて新しい結果の報告があった。いずれも、約5億個の $\tau$ 粒子対事象に対応するおよそ540/fbのデータを解析したもので、データ量は以前の結果に比べてそれぞれ3.4倍、6.1倍となっている。残念ながら発見の兆候は見られなかったが、得られた分岐比の上限値はほとんどが $10^{-7}$ を切るものとなった。

$\tau \rightarrow IV^0$ の中で $\tau \rightarrow l\phi$ 、 $\tau \rightarrow l\omega$ については昨年の本委員会で予備的な結果を聞いたが、今回は他の $\tau \rightarrow K^*0$ 、 $\tau \rightarrow l\rho^0$ とまとめてその最終結果が報告された。 $\tau \rightarrow l\omega$ はこれまで探索されたことのない新しいモードである。データ量の増加に伴って事象選択方法を改善し、シグナル検出効率を最大で2.8倍向上させることにより、上限値を3-10倍改善することに成功した。

$\tau \rightarrow ll$ の探索については、特に $\tau \rightarrow e ll$ モードにおいて、2光子過程と始(終)状態輻射を伴った事象からのバックグラウンドが見え始めており、これらを厳

しく落とすための条件を強化した。これにより、シグナル検出効率（6–13%）を保ったまま、 $\tau \rightarrow eee$  モード以外ではほぼバックグラウンドが無視できる状況を実現して、 $(2-4) \times 10^{-8}$  というあらゆるモードの中で最も良い上限値を達成した。

レプトン・フレーバーを破るタウ崩壊のうち標準的な  $\tau \rightarrow \mu \gamma$  崩壊モードは  $\tau \tau \gamma$  などのバックグラウンド事象が既に問題になりつつあるが、 $\tau \rightarrow III$  は今後 KEKB のルミノシティが向上しても当分頭打ちにはならないと期待される。ヒッグスが媒介してフレーバーの破れが起こるような理論模型においては、 $\tau \rightarrow \mu \eta$  と共に  $\tau \rightarrow III$  が標準的な  $\tau \rightarrow \mu \gamma$  よりも大きな分岐比を持つことがあり、その探索は重要と考えられる。

## (2) $\tau$ のハドロニック崩壊の研究

$\tau$  のハドロンへの崩壊はクォークレベルでの Cabibbo-Kobayashi-Maskawa スキームの検証だけでなく、様々なハドロンの現象論を検証するのに絶好の機会を与える。一方この研究はこれまでに多くの結果が積み重ねられており、残された研究テーマはいずれも高い測定精度を要求するものや、崩壊分岐比が非常に小さいものなど、測定がたいへん困難なものばかりである。本研究グループは昨年までにいくつかの興味ある稀崩壊モードについて重要な研究を遂行してきたが、今年度も新しい進展が数多く報告された。

$\tau \rightarrow K^* K \nu$  の解析に関しては、昨年来バックグラウンドの評価などを非常に慎重に行い、精密測定と呼べる解析を行ってきた。すでに最終的な崩壊分岐比の測定に至っており、論文執筆に取り掛かれる状況である。できるだけ早期に論文をまとめることが望まれる。この解析に加えて、 $\tau \rightarrow \pi \phi \nu$ 、 $K \phi \nu$ 、 $K \eta \nu$  など、複数の s クォークを含む終状態への崩壊の解析も行われた。これらの崩壊ではいくつかのモードが同じ終状態となって干渉しあう場合があり、これらは慎重に分離 disentangle する必要がある。精密測定として未踏の領域に入っていることで様々な困難があるが、2<sup>nd</sup> class current の探索、CVC のテストによるアイソスピン対称性の破れの検証、また低エネルギーQCD ダイナミクスの分析としてのベクトルメソンドミナンスのテストに関して新しい領域に踏み込むことができる研究であり、さらに新たな知見を追求し続けることが望まれる。それぞれの解析における測定意義を考慮し、目標とすべき精度を明確にした上で解析を続けることが必要であろう。

評価委員会ではこれらに加えて  $\tau$  の崩壊における CP 非保存の探索に関連した研究について報告を受けた。クォークセクターにおける CP 非保存は Belle 実験などでよく調べられているが、レプトンセクターについてはこれまでほとんど測定がなく、 $\nu$  振動との関連においても非常に興味を持たれる研究である。

奈良女子大学のグループは  $\tau \rightarrow K \pi^0 \nu$  崩壊における CP 非保存について測定し、 $10^{-3}$  のレベルで CP 対称性が破れていないことを示した。これまでの解析では収集したデータの約 1 割しか使われていないことから、系統誤差を理解することにより測定精度をさらに 1 桁近く向上させることが可能であり、またレプトンにおける CP 非保存の最初の信号を発見できる可能性もある。今後の進展に期待したい。また奈良女子大学のグループは  $\tau \rightarrow \pi \pi \pi \nu$  の測定も行っている。この研究の最終目的はやはり CP 非保存の探索を行うことであるが、今年はその最初の段階として崩壊分岐比の測定と  $\pi \pi \pi$  の質量分布の測定について報告があった。現段階で Belle 実験の約 1 割のデータを用いて他の実験結果が再現できることが実証されている。今後の解析により CP 非保存に関する結果が得られることが待ち望まれる。

これらの研究結果はいずれも Belle 実験によって得られた高統計のデータを用いて  $\tau$  崩壊に新しい物理現象を探ろうとするもので、このようにテーマを限定して研究を集中することは大学の研究グループのありかたとしても好ましいものといえる。今年の発表者の中には大学院初年級の学生も含まれ、非常にレベルの高い発表であったことから、関連大学はこの研究を通して大学院教育にも成功を収めている様子がよく覗える。

### (3) 高統計・高感度タウ・レプトン物理に向けた検出器開発

本研究において将来の Super-Belle 測定器のアップグレードの柱となる Time of Propagation (TOP) カウンターの準備が進められている。4 GeV/c まで  $4 \sigma$  の高い  $K/\pi$  分離能力を確保した上で測定器の高計数率化及び高性能化を図るものである。今回は先年に引き続きカウンター本体の製作状況が報告された他、TOP 検出器のための光検出器 (MCP-PMT) の開発状況が報告された。

TOP 検出器では  $K/\pi$  によるチェレンコフ光到達時間差に加え、放出角度の違いを測定することが十分な分離性能を得るために重要となる。このために角度情報を位置情報に変換する放射石英板端面のフォーカス鏡システムが開発されてきた。この鏡では如何に理想的な曲面を作成するかが問題となる。今回、3次元計測とそれに基づいた修正加工の方式が確立し、干渉計による測定でも製作手法の妥当性が確認されたことが報告された。これにより TOP の性能を左右する最も重要な部分のデザインが固まったと考えられる。今後、量産に向けて効率的な曲面計測と修正加工の手順を工夫してゆくことが必要となると思われる。Belle に装着するためには支持構造体が必要である。そのデザインが進んでいることが報告された。狭い限られた空間を利用して如何に高い剛性を得て石英板を支えるかが課題となる。アルミハニカムパネルで挟み込む構造が現設計として紹介された。側板を含めての剛性測定やプランジャーでの石英板平面度

調整は今後進められるが、この方式で成功することを期待したい。ただ、側板を含めての剛性の配分やプランジャーの数などの細かいパラメーターの最適化は必要であろう。

TOP の性能を左右する重要な要素として光検出器の開発も昨年引き続き進められた。高い磁場中で働きまた高い時間分解能を持つ MCP-PMT が対象となっていて、本研究グループにより高性能のものが試作されてきた。Upgraded Belle での光量に対して十分長い寿命を持つ事が要求される。これまでの知見は、量子効率の高い GaAsP 光電面のものでは十分に良い基本的性能を持つ PMT 開発に成功しているが、寿命の点でまだ満足なものでない。これに対しマルチアルカリ光電面のものでは AI 膜を用いて寿命は十分長いものが出来たが量子効率が低いという事実である。これに対してはこの先後段 AI 膜法の試験が計画されているが、ある程度早期に量子効率と寿命の両面で要求性能を満たす方式の目処を立てることが望まれる。読み出し回路の準備状況も報告された。アンプは高い性能を保ったままの小型化に成功している。ディスクリミネータは CFD が採用されているが、これで PMT クロストークのタイミングへの悪影響を抑制させるアイデアは高く評価される。

今回の報告と実験室の視察とで、委員会は TOP カウンターの製作は、その主要な R&D の山を越し、実機的设计に向かう段階に入ったとの印象を確実にすることができた。残されている時間を勘案し、設計を最終的なものへと収束させる努力と、量産に向けての実践的な問題の解決へと進んでゆくことを期待したい。

#### (4) ATLAS 実験の測定器の開発・建設

本研究グループは数年前から CERN の ATLAS 実験に参加し、測定器の開発、建設において急速にその存在感を高めている。特に Thin Gap Chamber (TGC) の製作においてはテストパルス、宇宙線による配線、回路系、チェンバー試験などの地上動作試験を担当し、2007 年夏に全セクターの試験を終了、その後、回路群のインストール、ケーブリング、宇宙線により動作試験などを行い、6 度にあたるコミッショニングランによって TGC システム全体の完成に導いた。これらは本研究グループだけではなく、他の機関との共同作業であったが、TGC ランコオーディネータ、オンラインパートのまとめ役などの重要な役割を担い、主導的に建設を進めてきたことは評価されるべきである。本研究グループは現在のところ ATLAS の中でも小規模グループであるが、個人の優れた資質と高い組織力で重要な貢献を行ってきたといえる。今後、LHC のコミッショニングを経てデータ収集、データ解析のフェーズに移るが、これらの過程でも現在の勢いを一層発展させて ATLAS 実験全体において重要な役割を担い続けるこ

とが強く期待される。

#### (5) まとめ

本研究グループが昨年度に引き続き、今年度も着実に研究成果を上げて来たことは非常に高く評価される。今回報告されたレプトン・フレーバーを破る崩壊の探索研究やハドロニック崩壊の研究は、いずれをとっても学問的に高い評価に値するものである。今後の **Belle** の最終統計に向けてのさらなる解析が望まれる。今回の成果報告でも昨年に増して学生を含む若手研究者の活躍が注目された。今後も本研究グループから優れた若手研究者が多く輩出されることを願いたい。

最近 **KEK** のロードマップが示されたが、それに従って予算がうまく確保されれば、今後 **KEKB** のルミノシティが更に大きく向上することが期待される。そこでは、タウ・レプトン物理研究がこれまでに比べより大きな比重を持つことが予想される。また、加速器性能の向上に伴って、**Belle** 検出器の改良も計画されている。本研究グループはタウ・レプトン物理研究と検出器開発の双方で中心となって活躍してきたが、今後いかに **Belle** 実験全体でのリーダーシップを維持してゆくかが課題となろう。

また一方で **LHC** が今年より稼働する。本研究グループは **ATLAS** 実験の検出器の立ち上げや運転・保守を行うだけでなく、物理研究においても重要な貢献を目指すべきである。**ATLAS** のような巨大な国際共同研究グループの中で、どのようにグループの特長を生かして物理研究を進めていくか、さらに上記の **upgraded KEKB/Belle** における研究とうまくバランスを取ってやっていくか、手腕が問われるところである。