

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

2007年4月

今里純、三田一郎、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研究グループの学術創成研究「タウ・レプトン物理の新展開」の、2006年度の進展を評価する評価委員会が、2007年3月22、23日の2日に亘り、グループの本拠地である名古屋大学において開かれた。当日行われた研究成果・進捗状況の発表（プログラムを末尾に添付）とそれらへの質疑応答、および事前に配布された資料等にもとづいて評価作業を行い、委員会はそれらに関して、次のようなコメントをまとめた。グループの研究は広範に亘るが、タウ・レプトン物理では大きく分けて、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、の3つの柱及び 4) ATLAS 実験への新展開からなる。

(1) レプトン・フレーバーを破るタウ崩壊の探索

本学術創成研究において中心となる研究課題が、レプトン・フレーバーを破るタウ崩壊の探索である。タウ・レプトンは他のレプトンよりはるかに大きな質量を持ち、素粒子の質量の起源に関連する物理を探るのに適している。特にレプトン・フレーバーを破る崩壊は素粒子標準理論において禁止される過程であり、発見されればただちに未知の相互作用の存在を証明することとなる。標準理論に代わる理論として注目される超対称大統一理論や、微小なニュートリノ質量を自然に説明するシーソー機構をもつ超対称理論では、レプトン・フレーバーを保存しない $\tau \rightarrow \mu \gamma$ などの崩壊が現在の実験的上限に近い分岐比で起こりうるものが指摘されている。既に 10^9 に迫る数のタウ崩壊事象を観測している Belle 実験において、このような崩壊を検出する可能性は十分あり、この研究は、ミューオンを用いた稀崩壊探索実験とも合わせ、エネルギーフロンティアの LHC や ILC 実験においては不可能な新しい研究領域を切り開くものと言える。

本研究グループは、Belle 実験開始当初よりタウ物理研究を中心となって推進し、国際的には米国 BaBar 実験と競い合っており、B ファクトリー以前の実験に比

べおおよそ 10 倍優れた感度を既に達成している。本学術創成研究が開始された 2006 年度にはさらに大幅に感度を上げ、残念ながら発見には至っていないが、例えば、超対称大統一理論などから大きく期待される崩壊モードである $\tau \rightarrow \mu \gamma$ においては、その分岐比に対して 90% C.L. で 4.5×10^{-8} という上限値を達成した。本研究グループはその他 $\tau \rightarrow \mu \eta$ など、多くの崩壊モードにおいて世界記録を更新し、様々な新物理の可能性に重要な制限を与えている。

ただ、 $\tau \rightarrow \mu \gamma$ 探索などにおいては、 $\tau \tau \gamma$ などのバックグラウンド事象が既に大きな問題となっており、測定データの増加に応じて、バックグラウンド事象を落とすために、事象の選択方法をより厳しくせざるを得なくなっている。このため、たとえば $\tau \rightarrow \mu \gamma$ 探索においては、シグナル事象に対する選択効率が 11% から 6.7% に下がっており、今後データ量が急激には増えないであろうことを考えると、バックグラウンド事象をより効率よく落とす新しい解析方法の開発が望まれる。たとえバックグラウンド事象が存在しても、データ量の増加に伴って分岐比の上限値は良くなっていくであろうが、実際にシグナル事象が数事象存在してもその発見は困難となる。今後の情勢によっては、衝突エネルギーを変える可能性も、事象の選択効率や必要な運転期間など、具体的に検討する価値があるかもしれない。

(2) その他のタウ崩壊研究

タウ崩壊現象の研究に関してはレプトン・フレーバーを破る崩壊の探索に主眼がおかれているが、これ以外にもタウの崩壊は、セカンドクラスカレントの探索、ベクトル中間子の磁気能率の測定、タウ・ニュートリノに関する研究、レプトン崩壊における CP 非対称性の探索など幅広い研究にユニークな場を提供している。本研究グループはこれらに注目し、**Belle** 実験で収集された世界最高統計のタウ事象を用いて独創的な研究を展開している。評価委員会においてはこれらの一連の研究のうちから $\tau \rightarrow K^* K \nu$ 崩壊の測定と $\tau \rightarrow \pi^- \pi^0 \nu$ 崩壊におけるスペクトラル関数の測定について詳細なヒアリングを行った。前者はこれまでも複数の実験グループによって測定が試みられてきたものであるが、実験の統計・系統両誤差がきわめて大きく、この崩壊過程が理解されているとは言えない状況であった。このグループでは大量のタウ崩壊サンプルを用いることによって統計誤差、系統誤差をそれぞれ 0.5%、6.2% に抑えることに成功し、さらに系統誤差を抑制する努力を継続している。これらによってこの崩壊過程がきわめて近い将来に非常によく理解できることが期待される。これらの困難なデータ解析は主に学部 4 年生の学生によって行われたものであるが、これは本人の資質の高さだけでなく、本研究グループが若手の育成に関しても成功を

収めていることの証左であるといえる。

ミュー粒子の $g - 2$ の理論的予言からのずれは、新しい物理の窓口となる可能性を秘めた非常に興味ある結果であるとして世界中から高い注目を集めているが、この理論的予言の精度向上を目指してスペクトラル関数を極めて高い精度で決定しようとするのが $\tau \rightarrow \pi^- \pi^0 \nu$ 崩壊におけるスペクトラル関数の測定である。最終結果によっては大きな物理的インパクトをもつ可能性があり、注目すべき研究である。タウの高精度測定ができるのは現在のところ B ファクトリーに限られており、近隣の素粒子物理学分野への貢献として大切な測定になる可能性がある。今後さらに系統誤差の理解を深め、信頼性の高いデータを早急に発表すべきである。

(3) 高統計タウ・レプトン物理に向けた検出器の開発

本研究グループでは検出器の開発研究も積極的に行っている。これは主として Belle 実験でタウ・レプトン物理をさらに発展させるために、測定器の高計数率化・高統計化と高性能化を図るためのものであり、1) TOP カウンターの開発と2) エアロゲル・リッチ・カウンターの開発が柱となっている。

TOP カウンターはこれまで本研究グループが精力的に開発努力を続けてきた分野である。放射体中を全反射して伝播するチェレンコフ光の行路差が、その放出角の違いで異なり光検出器への到達時間が異なることを利用して、4 GeV/c まで K/π 分離を効率的に行おうとするものである。すでに水晶の放射体についてその動作原理が確認されており、現在はより実用に近い 40 cm 幅、2 cm 厚さの放射体での性能向上の努力が続けられている。石英中の分散の小さい長波長の利用に注目し GaAs 光電面 MPC-PMT の開発を行い、また色収差を直接補正するための曲面焦点鏡の導入を進めている。今回それらの詳細が報告され、実験室見学においても焦点鏡の試作品が紹介された。これらの新機軸は TOP の究極の性能を目指しているこの研究グループの独自の着想に基づくものである。4 GeV/c で 4.3σ の高い K/π 分離性能が見込まれていることと合わせて高く評価されるものである。これまでの着実な研究開発の成果がまとまりつつあると考えられる。実用上は、MCP-PMT の寿命が重要となるが、それについても試験結果が報告され、良好な見通しが示された。この先、焦点鏡方式の確立がなされた後には、実機に向けてより具体的な検討に向かう必要がある。放射体や反射鏡などの加工・製作をいかに量産に向けてコストダウンできるかが課題となると考えられる。

Belle 測定器のエンドキャップのチェレンコフ検出器をエアロゲル・リッチにアップグレードすることで、 K/π 分離を 4 GeV/c の高運動量まで可能にする検討が

進められている。既存の 20 数 cm の奥行き、1.5 T 磁場のある空間で要求される 5 mm の位置分解能でリング・イメージを測定するこのエアロゲルカウンターでは、光の読み出しが重要な課題となる。最近急速に発展しつつあるガイガーモード APD (MPPC) の応用が検討されていて、性能試験等の結果が報告された。進展著しいこのデバイスを検討していることは、非常に興味ありまた合理的な選択であると考えられる。長波長への感度、時間分解能、ノイズ特性、そして APD への光学収束系など多くの解決すべき問題があるが、これらの研究開発の現状が報告された。1 光子に対して十分高いゲインが得られること、単純な形状の光学オプションで十分に大きい集光効率が得られ 5 mm 角を 2 mm 角の受光面積への変換が可能なこと、そして従来の 4 倍の 32 p.e. が得られることなどが示された。時間特性も非常に良い特性を持っている。APD での読み出しの見通しがほぼ立っていると認められる。2 mm 角の APD はこれからの開発になるものと思われるが、ピクセルサイズ等も量産に向けての最適化の検討が望まれる。また、APD の放射線耐性に関してはまだデータが殆どないが、この先早期に見通しを立てる必要があるだろう。

(4) ATLAS 実験への新展開

本研究グループは、Belle 実験によるタウ崩壊を通しての未知の物理探索をさらに一層発展させ、本プロジェクトを総合的に遂行するため、CERN の LHC で行われる ATLAS 実験にも参加し徐々にその規模を拡張している。この実験はエネルギーフロンティアにおいてヒッグス粒子の発見や新しい物理法則の探索を目指すもので、国際的にも大きな注目が集められているものである。グループに参加する研究者の数も 2000 人を数える巨大なもので、このような大きなグループに後発参加することになる本研究グループがどのようにして存在感を示すのか、何か特徴をもった貢献をしていく必要があると考えられる。これまでのところ立ち上がりは大変順調であるが、日本の他のグループとの連携も考慮に入れて組織的に貢献を深めて行く必要があるだろう。今後の活躍に大いに期待したい。

(5) まとめ

本研究グループが Belle 実験のタウ事象を最大限に解析し、限られた人数ながら世界をリードするタウ・レプトン物理を推進していることは、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やその他のタウ崩壊チャンネルにおける多くの研究結果は、高い学問的評価に値するものと考

えられる。研究グループが今後更に解析手法の改良をもって研究を発展させ、**Belle** 実験の最終統計でのタウ・レプトン物理の最高の研究成果を出すことを期待したい。検出器の開発研究の発展的な継続での成果、**ATLAS** 実験での活躍も大いに期待されるところである。

これらの研究を遂行する際に特に重要になるのが、極めて大量のデータを効率よく処理する計算機資源の確保とこれを使いこなす高度な利用技術であるが、本研究グループは独自の計算機資源を効率的に運用するのみならず、**Belle** 実験に関わる他の研究機関の資源を相互に利用しあうなどの工夫を重ね、実験データを効率的に物理成果に結び付けている点に大いに注目し高く評価したい。

また、評価委員会は若手の活躍に感銘を受けた。プレゼンテーションからも明らかであるが、本研究グループの重要な研究成果は、若手研究者による貢献が非常に大きいと考えられる。このような最先端の研究の現場で、将来研究分野を担う若手人材を育成していくことは、学術的成果を上げることと同様の大きな意義がある。今後も内外問わず広く若手を採用・育成して、これまでもまして本学術創成から優れた若手研究者が輩出することを期待したい。