

# 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

2009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学術創成研究「タウ・レプトン物理の新展開」の2008年度の進展を評価する第3回の評価委員会が、2009年3月25、26の二日に亘り名古屋大学において開かれた。2008年3月に催された第2回評価委員会以降のタウレプトン物理の研究成果、LHC-ATLAS 実験準備の進展、Super-Belle に向けた検出器開発の進捗状況が報告された他、2008年度に発足した「タウ・レプトン物理研究センター」の枠組みでの研究の一環として、関連する理論研究の報告がされ、質疑応答を行った。最近出版された論文等の文献および委員会での報告に基づいて委員会は評価作業を行い、ここにコメントをまとめた。評価の対象となる分野は、1) レプトンフレーバーを破るタウ崩壊の探索やハドロン崩壊からなるタウ崩壊物理、2) ATLAS 実験準備、3) フレーバー物理の理論、4) 高統計タウ・レプトン物理実験に向けた検出器開発、そして5) 研究体制からなる。

## (1) レプトンフレーバーを破る崩壊の探索やハドロン崩壊のタウ崩壊物理

本学術創成研究では、これまで中心研究課題として B ファクトリー実験で得られたデータを用いてタウの崩壊を多面的に解析し、ハドロン物理から新しい物理の探索まで幅広い成果を得てきた。昨年、新たな組織としてタウ・レプトン物理研究センターを発足させ、これまでの研究をさらに発展させる基礎を確立した。Belle 実験に属する研究者は世界各国から参加しているが、タウレプトンの研究は本センターで行われていると言っても過言ではない。今後 B ファクトリーのアップグレードによってデータ量の飛躍的な増加が期待されており、タウレプトンの崩壊現象にレプトン数非保存や CP 非対称性などの新しい物理の効果が見られる可能性がある。このような将来的発展性を見越した上で、現存するタウの崩壊データから得られる知見を余すところなく明らかにしようとする

る現在の同センターの方針はきわめて妥当なものであると言える。

本評価委員会は昨年行われたデータ解析の進展に関して特に以下の項目について報告を受けた。それらの成果は、いずれも重要なものと高く評価される。ただ、新しい現象を発見するには独自に解析手法を基礎から見直すことが不可欠である。プレゼンテーションの中には CLEO の解析手法を無条件に用いた形跡が見られたところがやや残念である。

- Second class current (SCC) の探索

$\tau \rightarrow \pi \eta \nu$  : 現在の upper limits はすでに標準モデルで予想される領域に入りつつあり、近い将来、信号が見つかる可能性がある。 $\tau$  の他の崩壊モードの測定とも関連しており、総合的に解析を行うことが必要となる。今後完成した結果とするためにはバックグラウンドの推定が正しくできていることを証明することが肝要である。

$\tau \rightarrow \pi \omega \nu$  : 崩壊角分布の測定から SCC を探す。難しい解析なのに短い期間でここまでできたのは感嘆に値するが、モンテカルロ計算が合っていないのが各所に見られることが指摘される。

- Lepton flavor violation の探索

ヒッグス粒子が軽く、SUSY が重い場合にはループから  $h \rightarrow ss$  へ行く場合が大事になることから、 $\tau \rightarrow l f_0(980)$ 、 $\tau \rightarrow lhh$  を  $10^{-8}$  に近い分岐比まで抑えることが目標となる。数多くのモードについて世界のリミットを改善し、 $10^{-8}$  に入りつつある。これまでの結果を 2~8 倍改善したもので、意義は大きい。

- CPV in tau

CLEO のやったことを繰り返すのも結構であるが、Triple correlation のような基本的な CPV 現象を探してみてもどうか。 $\tau$  のひとつにだけ注目するのは情報の半分を捨てているようなものである、という指摘が三田氏からあった。

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は注目に値し高く評価される。

## (2) ATLAS 実験準備

1年前の評価委員会でも報告された通り、アトラス実験の Thin Gap Chamber (TGC) によるレベル1 ミュー粒子トリガーシステムの立ち上げを、本グループの若手が中心となって 2007年度より主導的に進めてきた。2008年度は、組み上がったトリガー回路の動作を確認した後、各検出器からの信号の読み出しタイミングの検証を行った。その後特に大きな問題もなくTGCトリガーを速やかに立ち上げることに成功し、実験全体の宇宙線ランにおいて較正用宇宙線データの取得に大いに貢献した。特に、衝突点を通る (IP-pointing) 宇宙線トリガーの稼働は、内側の測定器の動作検証や較正に役立ったと共に、本番の陽子-陽子衝突実験に近い構成でトリガーの動作を実証したことになる。検出効率ほぼ目標値を達成しており、本番に向けて予定通りトリガーシステムを完成できたと考えられる。

その後加速器が稼働して陽子ビームがリングを周回した際には、少ない統計ではあったが、各ビームバンチを十分分離・同定できる時間分解能を持つことを証明した。これは、精度の良いタイミングを出せなかった内側の測定器によるトリガーとは対照的であり、当然のことながら、本グループに対するアトラスミューオングループ内の評価は非常に高かったと伝え聞いている。このように本グループの学生を中心とする若手研究者が成長し活躍の様子を見るのは実に頼もしい限りである。今後このような成果を積み上げて、アトラス全体の中での visibilityをもっと高めてゆけるとよいであろう。

残念ながら加速器の事故により、物理データによるトリガーシステムの性能評価はまだできていない。しかしこれで多少なりとも時間的余裕が与えられたことは、今後物理解析へ食い込んでいくための戦略を練る良い機会である。アトラスのように巨大な実験グループの中で、後発の小グループが他に飲み込まれずに目に見える物理成果をあげていくことは、色々な意味で非常に難しいと考えられる。おそらく様々な形で他の大きなグループと協力しながら進めていくことは必要だろう。どのようなテーマを選ぶかも本質的に重要である。LHC 加速器の運転予定は今後まだ流動的と考えられるが、次回評価委員会においては、トリガーシステムの物理データによる性能実証に加えて、物理解析の予備的研究に関する報告も聞きたいものである。

なお新しく昨秋より発足したタウ・レプトン物理研究センターにおいては、その名称の示すところとは関係なく、理論グループと緊密に協力して、アトラスでの物理研究をセンターの中心課題として強力に推進していくべきであろう。

### (3) フレーバー物理の理論

昨年発足したタウ・レプトン物理研究センターは理論グループとの連携が1つのポイントとなっている。理論部門は、最新の実験結果に基づくフレーバー物理の理解と究極な標準模型の構築を目的としている。理論部門では特に、LHCでの物理に深い関連のある電弱ゲージ対称性の破れの機構に関する研究、標準模型を超える物理のモデルの研究が活発に行われており、特に超対称模型におけるフレーバーの破れの研究、余剰次元模型に端を発するヒッグスレス模型の研究は、この観点から興味深い結果を提出している。今回は(1)「超対称性模型におけるフレーバーの破れと現象論」、(2)「3サイトヒッグス模型への $Z \rightarrow bb$ からの制約」の講演が持たれた。

今後アトラス実験をも含め、実験グループとより一層緊密な協力体制を構築することが望まれる。

### (4) 高統計タウ・レプトン物理実験に向けた検出器開発

B 中間子崩壊の研究では終状態の粒子を識別することが最も重要である。本学術創成研究の一つの柱である検出器開発の分野では、将来の Super-Belle 測定器への導入に向けて TOP カウンターおよびエアロゲル RICH カウンターの開発が進められている。いずれも高計数率の条件で  $K/\pi$  識別能力を高い運動量まで飛躍的に向上させようとするものである。これまでの基礎的な R&D に基づくこの1年間の実機に向けた研究の進捗が報告された。

TOP 検出器は Belle 測定器において 4 GeV/c まで  $4\sigma$  の高い  $K/\pi$  分離を実現することを目的としている。板状の石英放射体中を伝搬するチェレンコフ光の  $K/\pi$  による放射角度および光検出器までの到達時間の違いの情報を最大限に利用する検出器である。研究グループはこれまで石英放射体の製作、光収差を補正する収束鏡の開発、TOP カウンターとしてのアセンブリー、光検出器の開発、支持機構の検討などの基本的な研究開発を着実に進めてきた。そしてこの1年

で実機サイズのプロトタイプカウンターが製作され電子ビームテストが実施されたことが報告された。2008年6月に行われた前方側の短尺 TOP プロトタイプ試験においてリングイメージを観測して基本動作の確認がされ、検出光子数や時間分解能が十分な性能をもつことが示された。続いて12月に行われた後方側長尺ものの試験では、同様な基本動作の確認の他、収束鏡の機能の確認、光分散の時間分解能への影響調査などが、非常に良好な結果を持って実施された。この1年間でこのような大きい進展のあったことは高く評価されるとともに、これらの試験で、TOP の  $K/\pi$  識別システムとしての妥当性が実証され、Super-Belle での最も有力な候補となった。今後検出器本体としては早期に Belle 測定器への実装の検討、そしていかに効率よく量産を行うかの検討に進むべきであろう。

TOP の光読出しに用いられる角形の MCP-PMT が重要な開発要素となっており前年に引き続き性能向上の努力が払われた。現在の課題は、いかにして光電面の Super-Belle での実用に耐える長寿命のものを実現するかである。劣化の原因はイオンフィードバックであると考えられ、対策として Al 膜を MCP 表面へ蒸着した試作品が作られ従来の丸形タイプのものとの比較がされたが、角形では特に角のチャンネルで十分な寿命を得るところまで達していない。改良型を試作し試験する作業が予定されているが、結果が待たれるところである。これらの一步一步の着実な開発は高く評価される場所であるが、角形 MCP-PMT は現在の TOP に不可欠のものであるため、全体のスケジュールに合わせ、その寿命の向上が急がれる。

Super-Belle のエンドキャップで TOP と同様に 4 GeV/c までの  $K/\pi$  識別能力を向上する目的で、エアロゲル RICH カウンターの開発が進められている。今回は HAPD 光検出器を用いる方式が示され、HAPD の開発と試験の報告がされた。必要位置分解能を得るためピクセルサイズ 5 mm 角で 12×12 チャンネルのものが開発されている。全ピクセルで一様な応答が要求されるが、縁のチャンネルで起こる電場の歪みによる位置シフトと分解能劣化を、実際の条件と同様の 1.5 T の磁場で抑制する研究がされて、良好な結果が得られていることが報告された。磁場の存在が電子/光のバックスキッタリングの悪影響を軽減する効果を持つことが確認された。更に HAPD による RICH カウンターのプロトタイプが製作され、2 GeV の電子ビームによる性能テストが実施され、リングイメージの観測により、 $4.1\sigma$  の  $K/\pi$  識別能力が既に実証されている。これらの成果は高く

評価される。今後の課題として光電子数の向上とともに挙げられた HAPD の放射線耐性の検討は重要である。中性子のみならず荷電粒子に対するものも含め、放射線損傷の調査を早急に行い、測定器に装着された場合のカウンターとしての寿命の見通しを立てることが望まれる。

#### (5) 研究体制

本学術創成研究の基盤となっている名古屋大学理学研究科における素粒子・原子核分野では、この 2 年間で実験系教授 3 名 (N 研、SP 研、F 研) 理論系教授 1 名 (E 研) が定年退職を迎える。従ってこの時期、広い視野で長期将来計画を考える必要がある。理論系では素粒子論・ハドロン物理学・素粒子的宇宙論の分野で最先端の研究を進展させていく体制を確立させた。実験系では物理学の発展に伴い新しい分野を開発する体制が不可欠であろう。本委員会は、同時に「タウ・レプトン物理研究センター評価委員会」として、このような観点からも研究を評価する必要があることを認識した。

これまでの成果及び我が国の今後の素粒子物理学実験の将来計画を考慮すると、LHC や SuperB などの N 研の将来計画が実現できる体制を維持することこそ、名古屋大学素粒子宇宙物理学専攻の発展のみならず、我が国の研究の発展につながるものである。

さらに、理論研究者がタウ・レプトン物理研究センターの研究に加わっていることは高く評価できる。今後、より大きな視野のもとでセンター実験研究をサポートするような研究を進めることが好ましい。

#### (6) まとめ

評価委員会においては前回の委員会以降、本研究グループが達成した成果が報告され、また発表論文等が紹介された。これらの成果はいずれも高いレベルのものであり、学問的に高い評価に値するものである。タウレプトンの崩壊の物理では、研究プログラムに基づき解析が進められ、幾つかの新しい知見が得られた。今後、新たにスタートしたタウ・レプトン物理研究センターの枠組みの中で、理論グループの協力を得つつ、Belle データから精度の高い重要な成果が更に出されることを期待したい。また本研究グループの ATLAS への参加が順

調にスタートし、測定器準備において重要な役割を果たしていることが示された。このことは短期間に達成された成果として高く評価されてよい。今後 LHC の本格稼働後、物理解析においてどのような寄与ができるかが課題となる。ここでも理論グループとの連携は欠かせないであろう。検出器の開発では、毎年着実な進展が達成されてきたことに、委員会は大きな感銘を受けた。Super Belle 新測定器の新しいエレメントとしての有効性がほぼ実証されたと考えられる。遠くない将来の Super Belle への実装が期待される。

今年も報告会で、学生を含む若手研究者の活躍が印象的であった。今後、タウ・レプトン物理研究センターの研究態勢を充実してゆくなかでこのような特色を維持し、我が国の素粒子物理学をリードする多くの優れた成果を引き続きあげていくことを期待したい。