

1. 解析の状況

引き続き Belle 実験で収集した全データを使って、Belle 実験としての最終結果や新しいプロセス・崩壊モードなどの解析が進められている。2013年4月から5月の国際会議(QWG, FPCP など)で新しい結果を発表し、夏の EPS-HEP 国際会議には 60 数編のアブストラクトを投稿し、多数の新しい結果を発表した。その中のいくつかの結果を報告する。

Y(4260) は始状態輻射による電子・陽電子消滅反応で $J/\psi\pi^+\pi^-$ 終状態において発見されチャーム・反チャームクォーク対を含むエキゾチック粒子の一つとされている。これに対して、Belle 実験で、 $\Upsilon(5S)$ 共鳴粒子近傍で $\Upsilon(nS)\pi^+\pi^-$ 終状態においてチャームクォークを b クォークに置き換えた Y(4260) に対応する粒子(Y_b)が見つかり、さらに $\Upsilon(nS)\pi^+$ に崩壊する Z_b^+ 粒子が発見された。 Z_b^+ 粒子は荷電をもち b クォーク・反 b クォークを含むので、自明なエキゾチック粒子であり、 Y_b もエキゾチック粒子であることを裏付けるものである。従って、 $Y(4260) \rightarrow J/\psi\pi^+\pi^-$ 崩壊で、 $J/\psi\pi^+$ に崩壊する粒子の発見が期待されていた。これまでの解析では、詳細な

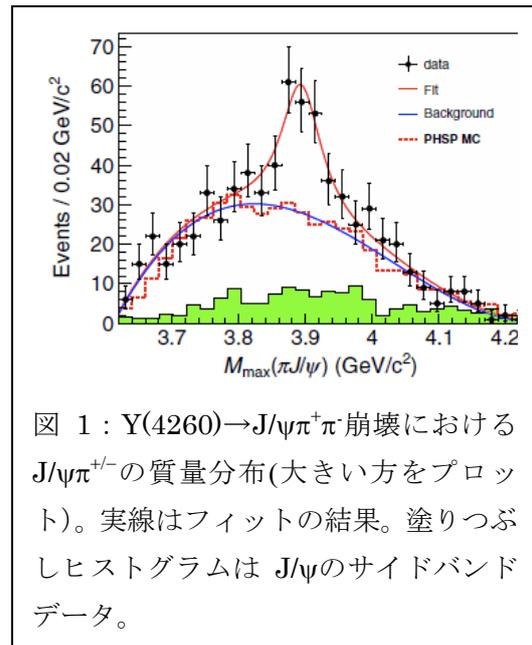


図 1 : $Y(4260) \rightarrow J/\psi\pi^+\pi^-$ 崩壊における $J/\psi\pi^+$ の質量分布(大きい方をプロット)。実線はフィットの結果。塗りつぶしヒストグラムは J/ψ のサイドバンドデータ。

質量分布を調べるには事象数が十分ではなかった。今回、Belle では全データを使い、十分な数の信号が得られ、詳細な研究が可能となり、図 1 に示すように $Z(3895)^+$ の発見に至った。Belle ではこれまでに、類似の $Z(4430)^+$ 、 $Z(4051)^+$ 、 $Z(4250)^+$ が発見されていたが、それらとともにエキゾチック粒子を体系的に研究する鍵が得られた。本結果と同時期に BESSIII 実験でも同じ粒子が発見され、複数の実験で確認された最初の荷電エキゾチック粒子として、多数の科学ジャーナル記事で取り上げられ注目を集めた。

$b \rightarrow s$ 遷移による B 中間子の崩壊は、標準理論では最低次の過程では起こらず、ペンギンダイアグラムと呼ばれ、W 粒子とトップクォークがループに仮想的に介在する高次の弱い相互作用の過程により起こる。 $b \rightarrow s$ 遷移は、新しい物理で预言される重い粒子が同様ループに仮想的に介在する過程によっても起こるので、新しい物理の探索に非常に重要であり、これまでに様々な探索・測定が精力的に行われてきた。Belle では、 $b \rightarrow s$ 遷移崩壊の 2 つの重要な解析の新しい結果を、夏の国際会議で発表した。一つは、 $B^0 \rightarrow \eta' K_s$ 崩壊の崩壊時間に依存する CP 非保存の大きさの全データを使っての最終測定の結果である。標準理論では、 $b \rightarrow s$ 遷移崩壊の CP 非保存の大きさは、 $B^0 \rightarrow J/\psi K_s$ 崩壊の CP 非保存の大きさと同じであるが、それからずれた場合は新しい物理での粒子の関与を示す証拠となる。 $B^0 \rightarrow \eta' K_s$

崩壊は、 $b \rightarrow s$ 遷移崩壊のなかでも崩壊比が異常に大きく、新しい物理の関与が議論されてきた。今回の Belle の結果は最も精度の良い測定で、CP 非対称の大きさは $-0.68 \pm 0.07(\text{stat}) \pm 0.03(\text{syst})$ (図 2) と標準理論からのずれは見られなかった。

もう一つは、 $B \rightarrow X_s l^+ l^-$ 包括的崩壊のレプトンの前後非対称度(A_{FB})の測定である。これまでに、BファクトリーやCDF実験で $B \rightarrow K^* l^+ l^-$ 崩壊のレプトンの前後非対称度の測定がなされ、大きな誤差ながら標準理論からのずれが示唆されていたが、最近 HLCh 実験がより精度のよい測定を行い、標準理論と一致する結果を得た。 $B \rightarrow K^* l^+ l^-$ 崩壊の場合はハドロン形成因子などの理論的不定性があり、理論的不定性の小さな $B \rightarrow X_s l^+ l^-$ 包括的崩壊での測定が将来重要となる。Belle では、世界で初めて $B \rightarrow X_s l^+ l^-$ 包括的崩壊での測定を行い発表した。結果は、図 3 に示すように、標準理論から有意なずれは見られないが、今後 Belle II でより精度のよい測定ができることを実証する重要な結果である。包括的崩壊の測定は、LHCb では非常に困難であり、 $B^0 \rightarrow \eta' K_s$ 崩壊も中性粒子を含むので LHCb では難しく、Belle II での重要な測定となる。

2. Belle II の活動状況

前回の報告以降も各検出器の製作が進行中である。2013年7月に米国のバージニア工科大学、11月にKEKで全体会議を行い、各検出器の進行状況の報告、取り合いの確認等を行った。2013年9月には Belle II focused review と SVD mechanical review を開き、建設に向けて多少不安のある検出器等に関して集中的にレビューを行ってもらった。さらに、バレル粒子識別検出器である TOP に関しては12月に mini-review も行った。これらを通して、それぞれの検出器がより良い設計になるとともに、着実に建設に向かって進んでいることが確認された。一部の検出器では、より現実的建設スケジュールへと変更されたものもある。TOP に関しては、ほぼ最終形に近いモジュールに対するビームテストの結

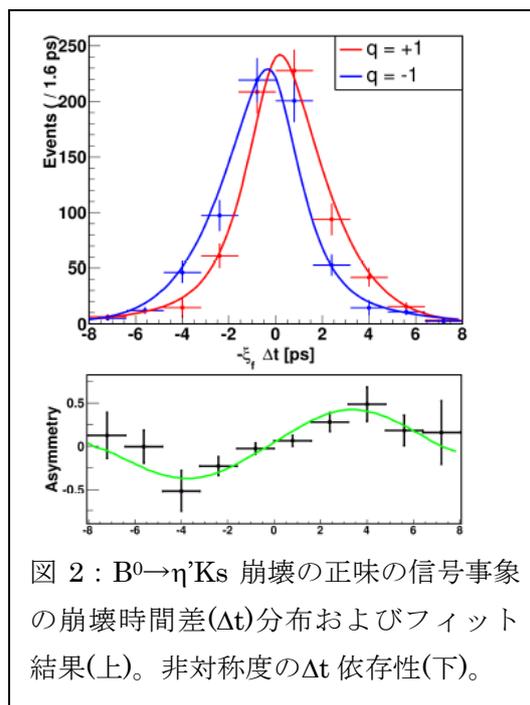


図 2 : $B^0 \rightarrow \eta' K_s$ 崩壊の正味の信号事象の崩壊時間差(Δt)分布およびフィット結果(上)。非対称度の Δt 依存性(下)。

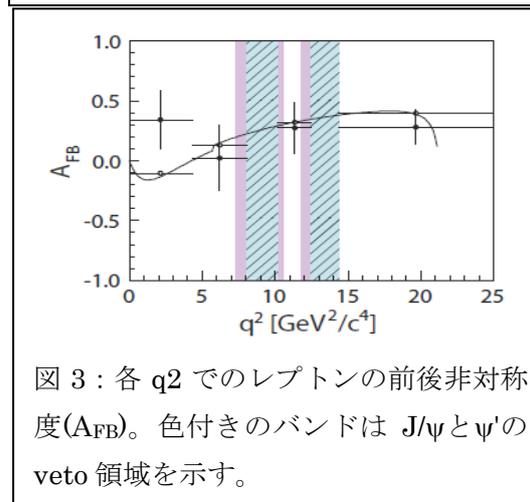


図 3 : 各 q^2 でのレプトンの前後非対称度(A_{FB})。色付きのバンドは J/ψ と ψ' の veto 領域を示す。

果が報告され、幾重にも折り重なったきれいなチェレンコフリングが確認され、レビューにもこの検出器が現実的なものであると納得してもらえた。しかし、残念ながら米国 DOE 予算の関係で大幅な遅れが発生することが避けられないとの判断から、最初は半分程度のモジュールだけを組み込み物理実験を開始して、その後、適切な時期に残りのモジュールを組み込む方針となった。

今回の報告では、K 中間子ミュオン検出器 (KLM) の建設状況を取り上げる。KLM は、中性 K_L 中間子とミュオンの同定をする検出器で、Belle-II 検出器の最外部に位置して、鉄と検出器のサンドイッチ構造をしている。

Belle-I では、検出器として高抵抗平板型チェンバー (RPC) が使用されていたが、高頻度特性があまりよくないという欠点があった。

そこで、計数率が高いと予想されるエンドキャップ部のすべてのレイヤー(14 層)とバレル部の内側 2 レイヤーをより高頻度に耐えられるシンチレーションカウンターに置き換えることになっている。検出器の基本構造は、T2K 実験でも使われているものと同じ構造をしていて、厚み 10mm (7mm: エンドキャップ部)

幅 40mm のシンチレーターの内部に波長変換ファイバーが入れられていて、端部でガイガーモード光ダイオード (MPPC) で光から電子に変換増幅して読み出す方式である。バレル部に関しては、米国バージニア工科大学でカウンターの製作 (全 2976 本)、配置、モジュール化してから KEK に出荷してきた。輸送時のトラブルがあったが、KEK での再調整(図 1)、テスト後、2013 年 11 月にすべてのモジュール (32 モジュール) を無事に Belle-II 測定器への組み込みを完了した (図 2,3)。エンドキャップ部に関しては、カウンターの製作

はロシアの ITEP で行い、KEK に出荷して、筑波実験棟地下 4 階で 4 分の 1 周分ごとに配置してモジュール化を行っている (カウンターは全 16,800 本、約 4 分の 3 がすでに KEK に到着)。米国からの前置増幅器の納入に少しの遅れがあるが、今後数ヶ月の間に、すべてのモジュールの完成 (112 モジュール)、組み込みを行う予定である。



図 4: KEK での再テストをバージニア工科大学の学生が行っている様子



図 5: バレル部の組み込みの様子



図 6: バレル部の組み込みが無事に終了し、関係者が安堵している写真