

## Belle Group 活動報告

## 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。2014 年秋および 2015 年初頭の国際会議 (CKM, Moriond, FPCP など) で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。

$B^+ \rightarrow \tau \nu$  崩壊は Belle で 2006 年に初めて信号が発見され、その後 BaBar でも確認されたが、崩壊分岐比は大きな誤差ながら標準理論から期待される値にくらべて高く、議論となっていた。2012 年に Belle では、全データを使い、もう一方の B 中間子のハドロン崩壊を完全に再構成 (ハドロンタグ) する方法を改善して、より精度のよい測定を行った。その結果は、標準理論の期待値とよく一致するものであった。今回、Belle では、もう一方の B 中間子の準レプトン崩壊を再構成する (準レプトンタグ) の方法を用いて、全データを使って統計的には独立のサンプルによる  $B^+ \rightarrow \tau \nu$  崩壊の分岐比の測定を行い、CKM 国際会議で発表した (図 1)。結果は、標準理論の期待値と一致するものであり、Belle のハドロンタグによる結果を確認した。これにより、分岐比の BaBar の測定も含めた世界平均も標準理論に期待値から有意なずれは見られなくなった。

Belle では引き続き新共鳴粒子の研究が進められているが、2014 年秋には全データを使っての始状態輻射による電子・陽電子消滅での  $\psi(2S)\pi^+\pi^-$  生成過程の詳細測定の結果を発表した。特に、高統計での  $Y(4360)$  の崩壊における  $\psi(2S)\pi^+$  の質量分布を詳細に測定し、荷電を持つ新しいエキゾチック粒子  $Z(4050)^+$  の証拠を発見した (図 2)。これは、Belle における 8 番目の荷電エキゾチック粒子発見となる。BESSIII の最近の結果とあわせて、チャーモニウム領域でのエキゾチック粒子の系統的な理解に有用な結果となる。

標準理論を超える新物理の存在の証拠として、標準理論では説明できない現象の一つとして、暗黒物質の存在がある。天文学では、その存在は確定されているが、その正体は何

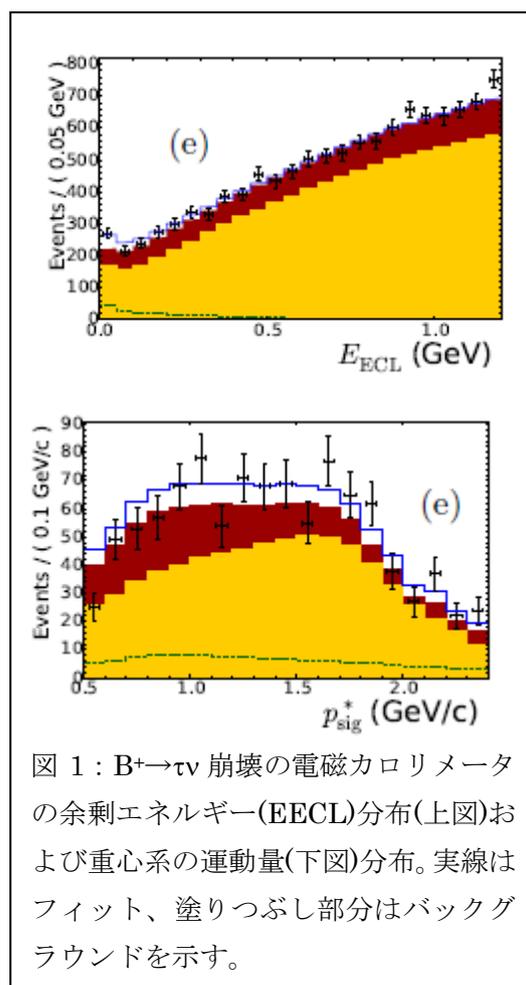


図 1 :  $B^+ \rightarrow \tau \nu$  崩壊の電磁カロリメータの余剰エネルギー (EECL) 分布 (上図) および重心系の運動量 (下図) 分布。実線はフィット、塗りつぶし部分はバックグラウンドを示す。

なのかはまだ分かっていない。他の粒子とは非常に弱い相互作用しかしない未知の素粒子である可能性が強く示唆されており、その探索が多種多様な実験で活発に行われている。最近の理論では、標準理論の粒子とは別に「暗黒セクター」に属する粒子が暗黒粒子であることが示唆されている。これらの粒子の中でも、1～数 GeV の質量の暗黒ヒッグス粒子を介しての暗黒光子生成は、Bファクトリーで感度よく検出することができる。Belle では、全データを使って解析を行い、最初の結果を *Physical Review Letter* 誌に発表した。これらの新粒子を発見することはできなかったが、従来の探索に比べてより広いパラメータ領域にわたって排除することができた。さらに、他の生成・崩壊過程による暗黒粒子の探索が試行中である。

## 2. Belle II の活動状況

前回報告以降も各検出器の製作が着実に進行中であり、建設の最終段階に入りつつある。K 中間子・ミューオン検出器 (KLM)、バレル CsI カロリメーター (ECL) では、宇宙線試験が始まった。前回詳しく報告したバレル粒子識別検出器 (TOP) は、最初のモジュールが完成し、その後 2, 3 号機の製作へと進んでいる。エンドキャップ部の粒子識別検出器 (ARICH) の構造体も納入された。ワイヤー張りを終えた中央飛跡検出器 (CDC) も筑波実験棟に搬入された。世界各地で分担して行われるシリコン崩壊検出器 (SVD) のラダー製作の試験がすべての場所で無事に完了し、最終生産への道筋が見えてきた。2015 年 2 月には Belle-PAC を開き、国際的な専門家の観点からレビューを行ってもらった。今回の報告では、バレル部 CsI カロリメーター検出器 (ECL : Electromagnetic Calorimeter) の建設状況を

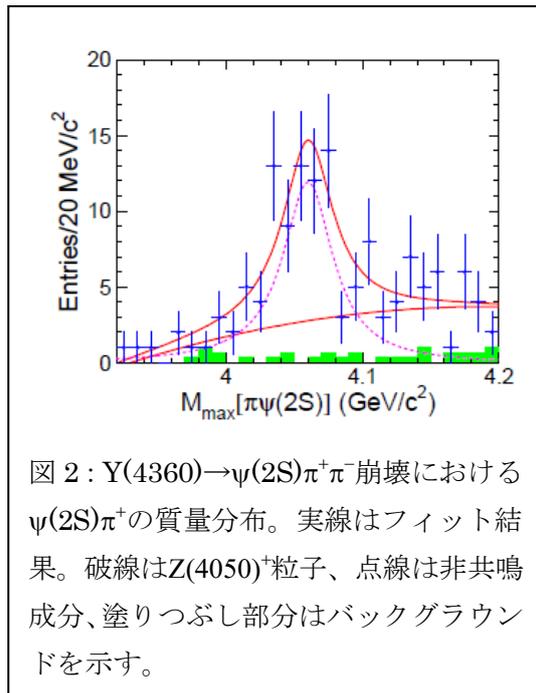


図 2 :  $Y(4360) \rightarrow \psi(2S)\pi^+\pi^-$  崩壊における  $\psi(2S)\pi^+$  の質量分布。実線はフィット結果。破線は  $Z(4050)^+$  粒子、点線は非共鳴成分、塗りつぶし部分はバックグラウンドを示す。



図 3 : 新規に開発した波形記録型電子回路基板

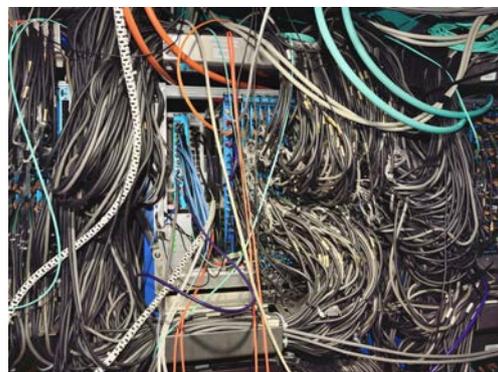


図 4 : ケーブル配線後の電子回路モジュールの様子

取り上げる。

バレル ECL は超電導ソレノイド磁石のすぐ内側に設置される電磁カロリメーターで、6624本の CsI (Tl) 結晶体を敷き詰めた構造をしていて、比較的低エネルギーのガンマ線までも良いエネルギー分解能で測定できる検出器である。これによりハドロンコライダーでの B 実験と比較して、高精度でガンマ線を捕えることが可能であり、電子・陽電子衝突型加速器における Belle II 実験を特徴づける重要な検出器である。CsI (Tl) 結晶体そのものは非常に高価であること

と Belle II でも放射線損傷の影響が小さいと予想されることから背面に設置されている光検出器であるフォトダイオードとそれに付随している前置増幅器を含めて Belle の時のものを継続して使用することになっている。ただし、その性能を十分に発揮するためには、読み出し電子回路を新規に製作しなければならない。CsI (Tl) 結晶は光量が多いのが特徴であるが、発光時間が十分に短くない。そのためにビームバックグラウンドのガンマ線が高頻度で発生する環境下ではそのパイルアップによりエネルギー分解能が劣化してしまう。それを回避するためには、波形を時間的に分割して記録して、ベースラインのシフトと取り除いて信号のエネルギーを正確に導出してやる必要がある (Belle の時は信号が最大になる 1 点のみを記録していたので、ベースラインシフトがあってもその影響を含めた形でしか測定できなかった)。これを実現するために、2MHz の FADC を用いて波形を記録し、FPGA でデータ処理を行い、出力のデジタル信号を光ファイバーでエレキハット内に設置された COPPER と呼ばれる Belle-II 用に開発された DAQ システムへ送る機能を有した電子回路モジュールを新規に開発した (図 3)。この開発はロシアの BINP 研究所で行われて、実際の Belle 実験時にも一部分だけを試験的に置き換えるなど多くのテストを行ってきた。最終的には、韓国の会社で全モジュールが生産されて KEK に納入された。納入された全モジュールは、奈良女子大学などからの協力のもとに Belle II 検出器の上部等に設置されたクレートに組み込まれ、検出器からの信号ケーブルの接続、エレキハットへの光ファイバーの接続などが行われた (図 4)。その後、DAQ グループと協力して宇宙線データの収集が行われた。得られた宇宙線イベントの例を図 5 に示す。長時間の安定動作には多少時間を要したが、これが Belle II 検出器のサブディテクターとして全電子回路を含めて完成した最初の例であり、大きなマイルストーンを達成したと言える。

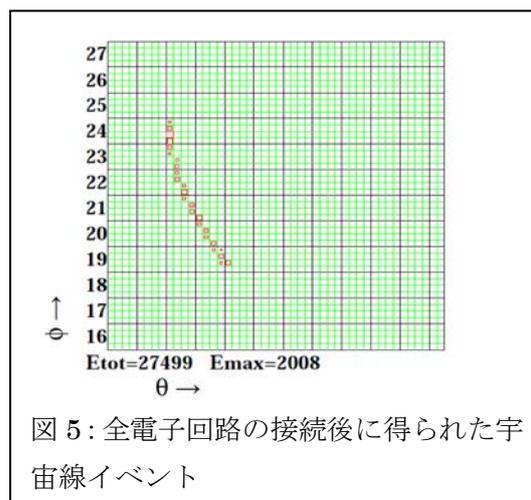


図 5: 全電子回路の接続後に得られた宇宙線イベント