

# Belle II 実験による新物理探索の初期結果

中村 克朗 (高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所 katsuro.nakamura@kek.jp)

松岡 広大 (高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所 matsuoka@post.kek.jp)

素粒子物理学の主要テーマの一つは、我々の宇宙が約 138 億年前にどのように誕生して、どのように物質が創られたのかを理解することである。宇宙は誕生直後の高エネルギー状態から急速な膨張を経て冷却され、それぞれの時刻での時間発展はそのエネルギースケールでの物理に支配されていた。とりわけ、物質創成で重要となる宇宙誕生後 1 秒にも満たない時刻の現象を解明するには、高いエネルギースケールでの素粒子物理の理解が求められる。

これまでの素粒子研究から構築された**素粒子標準理論**は、LHC 加速器 (CERN 研究所, 欧州) で到達できる約 1 TeV 以下の実験事実をほぼ説明することができる。その一方で、宇宙初期に起きたバリオン数生成のメカニズムや宇宙を漂う暗黒物質の正体といった、宇宙創成に関する根本的な問題については説明ができない。そこで、1 TeV を超える高いエネルギー領域や**ダークセクター**での、未発見の相互作用による素粒子現象 (新物理) の存在が宇宙創成を解明する鍵となる。

高エネルギー加速器研究機構で行われている **Belle II 実験**は、世界最高のビーム衝突性能を誇る SuperKEKB 加速器を利用した実験である。SuperKEKB 加速器により得られる  $50 \text{ ab}^{-1}$  (b は断面積の単位  $\text{barn} = 10^{-28} \text{ m}^2$ ) という高統計の**電子陽電子**衝突事象を最新鋭の Belle II 測定器を用いて測定することで、新物理の存在に感度を持つ幅広い物理量を精密測定する。新物理探索の代表例として、小林益川行列のユニタリティ三角形の測定が挙げられる。Belle II 実験では  $50 \text{ ab}^{-1}$  のデータを用いて三角形の辺・角を 1% 程度の精度で測定する。新物理を仮定すると測定した三角形の頂点が一点で交わらなくなる。このズレの観測から新物理の発見を目指す。Belle II 実験は、国内で行われている最大規模の国際共同実

験かつ日本の大型学術研究の基幹プロジェクトの一つであり、現時点で世界 26 の国と地域から 1,100 人以上の研究者が参加している。

SuperKEKB 加速器での電子陽電子衝突事象は素粒子同士の反応である。この反応の特徴は LHC 加速器に代表されるハドロン衝突事象と大きく異なる。ハドロン衝突は強い相互作用を伴う複合粒子同士の反応なので、終状態には注目する反応以外の生成粒子も多数含まれる。一方、電子陽電子衝突では電子陽電子の反応で生成される粒子のみが終状態に現れる。Belle II 実験ではこのクリーンな衝突反応の特徴を有効に活用し、背景事象を削減したり、検出器に信号を残さない粒子を含む事象を測定することができる。

Belle II 実験は、前身の Belle 実験から大幅な加速器および測定器の改良を経て、2018 年に実験を開始した。2018 年 4 月のビーム**初衝突**以降、堅調に実験データを蓄積している。さらに、初期の実験データ解析から高い測定器性能を確認した。SuperKEKB 加速器は実験の経過とともにビーム衝突性能を堅調に増加させ、世界最高のビーム衝突性能に到達した。2021 年 12 月までに  $268 \text{ fb}^{-1}$  の実験データを取得しており、まだ Belle 実験の統計量には到達していないものの、新物理探索をはじめとした様々な物理解析を進めている。特に複数のダークセクターの探索では、まだ少ない統計ながら、すでに先行研究の感度を上回る測定結果を報告している。

現状、Belle II 実験の初期結果から新物理の兆候は得られていない。しかし、今後継続して加速器衝突性能の向上と安定な測定器の運転に努めていき、これから約 10 年かけて目標とする統計量のデータ取得を目指す。これにより新物理の解明に繋がる結果が大いに期待されている。

## 用語解説

### 素粒子標準理論：

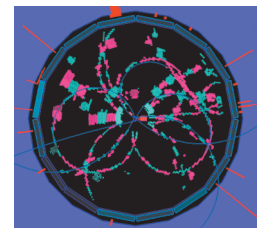
素粒子とその間の相互作用を記述した理論体系。素粒子は、3 世代構造を持つクォークとレプトン、3 つの相互作用を媒介するゲージ粒子、およびこれら粒子に質量をもたらすヒッグス粒子から構成される。その中で、小林・益川理論はクォークの世代間混合や CP 対称性の破れを説明する。

### ダークセクター：

未発見の暗黒物質が宇宙の物質の大部分を占めていることから、既知の強い力・弱い力・電磁気力を介して相互作用しない粒子が多種多様に存在しているとも考えられる。そうした粒子群で構成される、素粒子標準理論の粒子とは異なる世界を「ダークセクター」と呼ぶ。

### Belle II 実験での電子陽電子の初衝突：

SuperKEKB 加速器は前身となる KEKB 加速器からの改良と調整を経て、2018 年 4 月 26 日に電子陽電子の初衝突を成功させた。



上図は電子陽電子の初衝突を確認した際のハドロン生成事象のイベントディスプレイ。円筒型の中央飛跡検出器 (ドリフトチェンバー) にて複数の荷電粒子の飛跡が検出されているのが分かる。測定器内部の 1.5 T の磁場により、これらの粒子は円弧を描く。