

1 Belle II の運転状況

現在 Belle II 実験および SuperKEKB 加速器は衝突点検出器 (VXD) を含めた全ての検出器をインストールしてデータを収集する Phase 3 と呼ぶ本格物理運転を行っている。Phase 3 運転に至る前には、2016 年 2 月から 6 月までの間の測定器なしの試験運転 (Phase 1 運転) と、2018 年 3 月から 7 月までの間の VXD 以外の測定器を導入した衝突調整運転 (Phase 2 運転) が行われた。

Phase 3 としては 2019 年は 3 月 11 日から 7 月 1 日までおよび 10 月 15 日から 12 月 12 まで運転が行われ、2020 年は 2 月 25 日から運転を再開している。今後は 7 月 1 日まで運転を行い、夏季の停止期間の後、秋からまた運転を再開する予定である。SuperKEKB 加速器で前身の KEKB 加速器の 40 倍のルミノシティにあたる $8 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ を実現し、Belle II 実験で前身の Belle 実験で蓄積した 1 ab^{-1} ($= 1000 \text{ fb}^{-1}$) の 50 倍にあたる 50 ab^{-1} のデータを収集することを目指しており、現在は初期段階としての運転調整を進めているところである。

SuperKEKB では、衝突時のビームを 20 分の 1 に絞ることと、電流を 2 倍にすることにより 40 倍のルミノシティを実現する設計になっている。前者については β_y^* と呼ばれる加速器パラメータで表しており、これは KEKB の最高ルミノシティ実現時の約 6mm から、SuperKEKB では 1mm まで絞ることに成功した。このことにより、大台の $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ を越えるルミノシティに、KEKB の時と比べて約 1/3 の電流値で到達することができた。

現時点では、電流を増やすと、特にビーム入射時に想定以上のバックグラウンドが発生して粒子識別検出器 (TOP) の光電子増倍管への放射線損傷が生じるため作動させられないなど、Belle II 測定器を作動

させることができないことが最大の問題となってる。そのため、多くの時間を加速器およびバックグラウンドのスタディのために費やした。図 1 にこれまでの一日毎のデータ収集状況を示す。加速器性能を上げるためのスタディを続けながら、一日あたりに取得するデータ量を着実に伸ばしている。

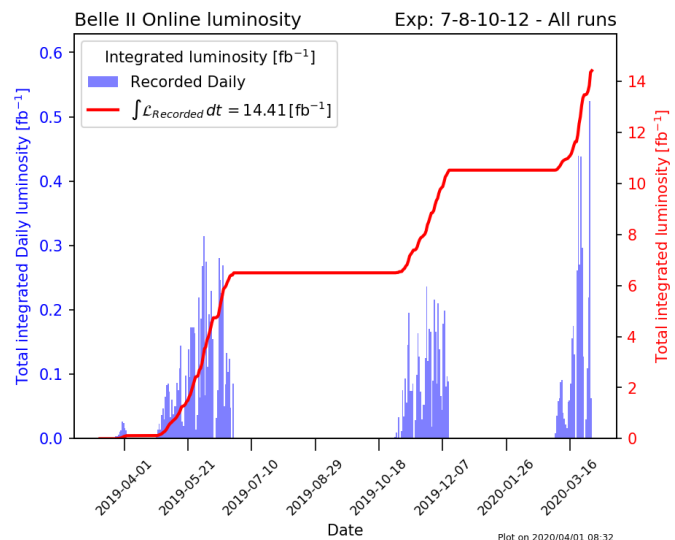


図 1: 2020 年 4 月 1 日までの Phase 3 運転での一日毎の積分ルミノシティ

2 Belle II データ解析の状況

Phase 3 運転で収集されたデータから、B 中間子崩壊の基本的な測定が進められた。初期の $2 \sim 5 \text{ fb}^{-1}$ のデータを用いて、小林益川理論の CP 非対称性の測定に用いられた $B \rightarrow J/\psi K_S^0$ 崩壊、ユニタリティ三角形の角度 ϕ_3 を測定するための $B \rightarrow DK$ 崩壊、新物理への感度が高いペンギン崩壊モード $B \rightarrow K^* \gamma$ 、セミレプトニック崩壊 $B \rightarrow D^* \ell \nu$ などを「再発見」してきた。また、崩壊点検出器が正しく動作していることを再確認する目的も兼ねて B 中間子混合の時間発展の様子が図 2 のように測定された。これらの測定は Belle 実験においてすでに精度よく測定されており、新たな知見を与えるという精度はまだないが、Belle II 測定器のすべての機能についての動作実証が得られたことになる。

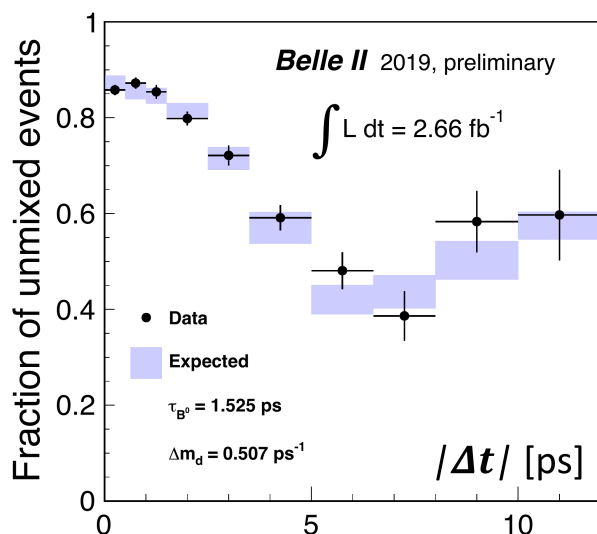


図 2: B 中間子混合の測定

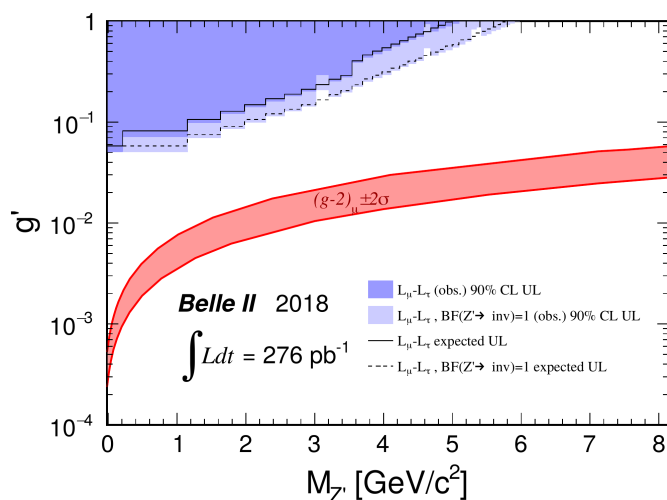


図 3: 暗黒ボゾン Z' への制限

Phase 2 運転で収集され、物理解析に使用しているデータは 0.3 fb^{-1} ほどで崩壊点検出器は含まれていないが、それでも Belle 実験の時になかった荷電粒子飛跡数の少ない事象を収集するための新しいトリガ条件が追加されており、新物理の探索手法のうち新たに可能になったものがある。そのひとつとして、ミュー粒子などの標準理論を構成する粒子と相互作用する未知の暗黒ボゾン Z' が、別の暗黒粒子に崩壊するため検出器に信号を残さない可能性が指摘されている。そのような粒子の存在はミュー粒子の異常磁気能率 $(g-2)_\mu$ の測定の標準理論からのずれも同時に説明するかもしれず、魅力的な仮説である。

Phase 2 のデータについて終状態に $\mu^+ \mu^-$ のみの事象の反跳質量にピークを探索するという解析を行い、初めてこのような仮説をある程度棄却することができた (図 3)。ただし、 $(g-2)_\mu$ から期待される結合定数領域にはまだ達しておらず、今後のデータ蓄積を待つことになる。この結果は Physical Review Letter 誌でまもなく出版予定である [1]。

3 Belle データ解析の状況

Belle 実験のデータを使った解析も引き続き行われている。Belle 実験は $B\bar{B}$ 事象を効率的に生成できる $\Upsilon(4S)$ のエネルギーだけでなく、その周辺の異なるエネルギーでも少しずつデータを収集しており、その解析から $\Upsilon(1S)\pi^+\pi^-$ 、 $\Upsilon(2S)\pi^+\pi^-$ 、 $\Upsilon(3S)\pi^+\pi^-$ の終状態の事象を調べたところ、既知の $\Upsilon(10860)$ と $\Upsilon(11020)$ 共鳴状態 ($\Upsilon(10860)$ は $\Upsilon(5S)$ と呼ばれる) の他に 10750 MeV あたりに新しいボトモニウム共鳴状態の候補を見つけた (図 4)。正体は今のところ不明だが、未測定 of $\Upsilon(3D)$ 状態や新しいエキゾチック共鳴状態である可能性がある [2]。

その他にも $\Upsilon(1S)$ 新しい崩壊モードの測定、 B 中間子の新しい崩壊モードの測定や探索、 D 中間子混合の新しい測定などの成果を得ている。

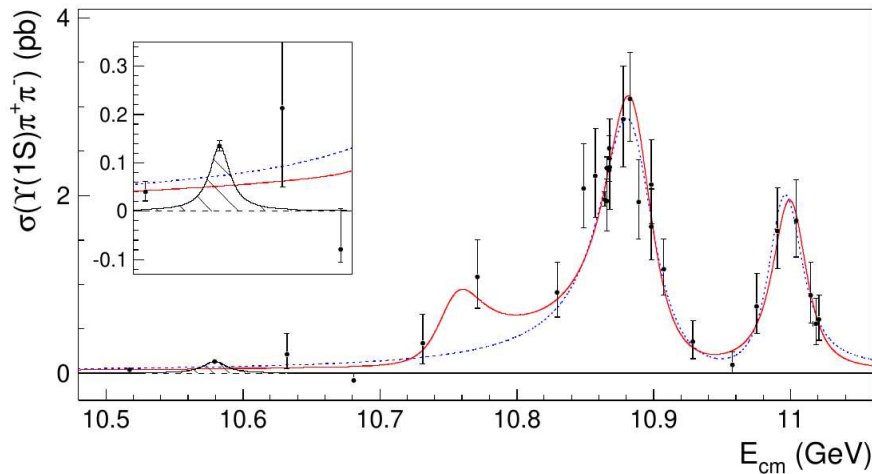


図 4: $e^+e^- \rightarrow \Upsilon(1S)\pi^+\pi^-$ の不変質量分布

4 Belle II グループについて

Belle II 実験グループでは着実に参加機関・研究者が増え続けており、26 の国と地域の 119 大学・機関からの共同研究者の数が 1000 人を越えた。現在、新型コロナウイルスの影響で世界中の多くの研究施設が閉鎖されている中、Belle II の 2020 年の運転は、研究者の移動を抑制しつつ、長期滞在中の共同研究者と KEK のスタッフに加え、世界のどこかからインターネットで接続する研究者によるシフト体制をとることで、感染症に注意しながら進められている。

5 参考文献

- [1] Belle II Collaboration, arXiv:1912.11276.
- [2] Belle Collaboration, JHEP 1910, 220 (2019).