

## 学位申請論文公開講演会

日時：2025年1月31日(金) 10:30~

申請者：大久保 亮吾 (N研)

場所：A421 講義室

題目：Measurement of the time-dependent CP asymmetry in  $B^0 \rightarrow \rho^+ \rho^-$  decays and constraint on the CKM angle  $\phi_2$  at the Belle II experiment

(Belle II 実験における  $B^0 \rightarrow \rho^+ \rho^-$  崩壊の時間依存 CP 非対称度の測定と CKM 角  $\phi_2$  の決定)

### 主論文の要旨

素粒子標準模型はこれまでに観測されたほぼ全ての素粒子現象を説明できるが、暗黒物質の存在や、宇宙の物質反物質非対称性などの未解決問題も存在する。これらの解決に向けて標準模型を超える物理現象の実験的観測は、物理学における重要課題の一つである。

小林・益川理論は、Cabbibo-Kobayashi-Maskawa (CKM) 行列を用いて3世代6種類のクォークの弱相互作用とそこで発現する Charge-Parity (CP) 対称性の破れを記述する。CKM 行列は3行3列のユニタリー行列であり、その行列要素は複素平面上に生じた三角形(ユニタリー三角形)を構成する。第3世代ボトム・クォークを構成子とする B 中間子の崩壊では、量子補正効果により標準模型を超える物理が寄与可能と考えられ、それはユニタリー三角形のパラメータのズレとして検出される。このようなユニタリー三角形の精密測定による手法は理論のモデルに依存せず、かつ高いエネルギー領域を探索可能な手法である。

本研究は中性 B 中間子の二体崩壊である  $B^0 \rightarrow \rho^+ \rho^-$  崩壊を用いたユニタリー三角形の内角(CKM 角)  $\phi_2$  の測定に着目した。 $\phi_2$  は3つの CKM 角の中で最も精度が悪い。 $\phi_2 = \arg(-V_{td}V_{tb}^*/V_{ud}V_{ub}^*)$  であり、これは  $b \rightarrow u\bar{u}d$  のツリー崩壊と  $B^0\bar{B}^0$  混合の干渉効果による CP 対称性の破れを使って抽出することができる。しかしながら、 $B^0 \rightarrow \rho^+ \rho^-$  においては、 $b \rightarrow d$  のループ崩壊との干渉に起因する CP 対称性の破れと、ベクトル中間子  $\rho$  の偏極状態による CP 固有値の違いの影響が存在する。そのため、 $\phi_2$  を抽出するためには、CP 非対称度に加えて崩壊分岐比と縦偏極率を測定し、これを  $B \rightarrow \rho^0 \rho^0, \rho^+ \rho^0$  崩壊の測定と組み合わせて、 $b \rightarrow u\bar{u}d$  と  $B^0\bar{B}^0$  混合の干渉効果以外の効果による CP 対称性の破れを除外する必要がある。

本研究では、高エネルギー加速器研究機構に設置された SuperKEKB 加速器における Belle II 実験で取得した  $365\text{fb}^{-1}$  のデータを用いて  $B^0 \rightarrow \rho^+ \rho^-$  崩壊の崩壊分岐比 ( $\mathcal{B}$ )、縦偏極率 ( $f_L$ )、2つの時間に依存した CP 非対称度 ( $S_{CP}, A_{CP}$ ) を測定した。データ解析においては、機械学習手法を用いて、主要な背景事象である  $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$  過程や、再構成を誤る確率の高い  $\rho^\pm \rightarrow \pi^\pm \pi^0, \pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$  崩壊における光子の背景事象を削減した。さらに、シミュレーションや実データの制御サンプルを用いて検証、校正を行い、データを用いて4つの測定量を決定した。

その結果、 $\mathcal{B} = (2.90^{+0.23}_{-0.22} \pm 0.31) \times 10^{-5}$ ,  $f_L = 0.921^{+0.024}_{-0.025} \pm 0.017$ ,  $S_{CP} = -0.26 \pm 0.19 \pm 0.08$ ,  $A_{CP} = 0.02 \pm 0.12^{+0.05}_{-0.06}$  という結果を得た。これらの結果は先行研究と無矛盾である。さらに、イベント選別の改善により、先行研究の Belle 実験の結果と比較して、データ量で規格化した場合の CP 非対称度の精度を約 10% 改善した。また、この結果と先行研究により測定された  $B^0 \rightarrow \rho^0 \rho^0, \rho^+ \rho^-, B^\pm \rightarrow \rho^+ \rho^0$  崩壊の測定結果と本研究の測定結果を組み合わせ、 $\phi_2$  を抽出した。その結果、 $\phi_2 = (92.6^{+4.8})^\circ$  を得た。この結果は標準模型と無矛盾である。本研究により、 $B \rightarrow \rho\rho$  を用いた  $\phi_2$  の測定の世界平均の精度を 6% 改善した。