

「Measurement of Forward-Backward Asymmetry in the $B \rightarrow X_s l^+ l^-$ with Semi-inclusive Method」

「準包括的再構成法を用いた $B \rightarrow X_s l^+ l^-$ 崩壊
におけるレプトン前後非対称度の測定」

博士論文発表会

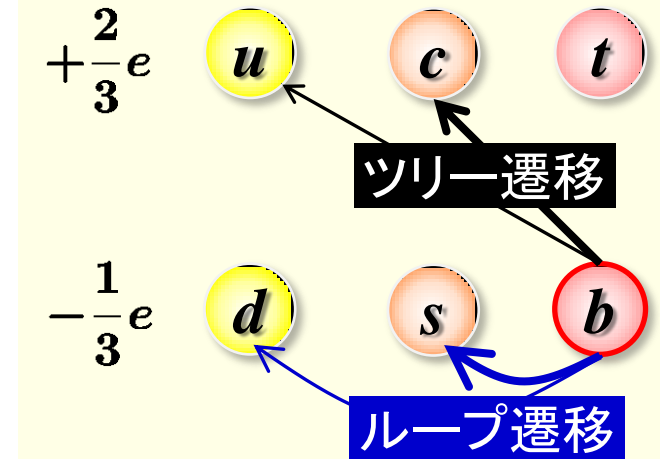
佐藤 優太郎

素粒子実験

Flavor Changing Neutral Current

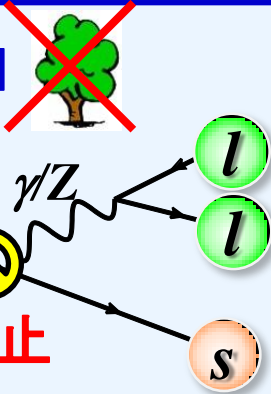
フレーバーを変える中性カレント

- 標準理論においてはループダイアグラムを通して、引き起こされる。
- ループに新粒子が現れる可能性があるため、**標準理論を越える新物理**への感度がある。

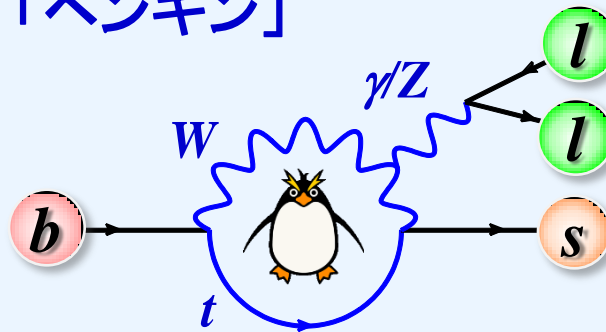


標準理論

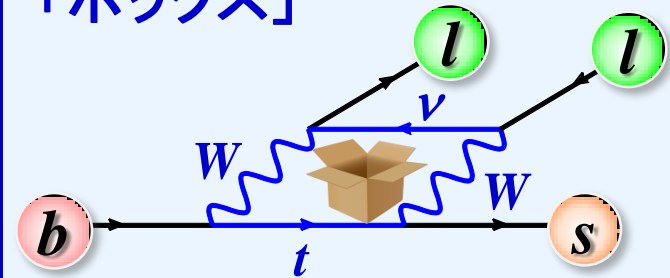
「ツリー」



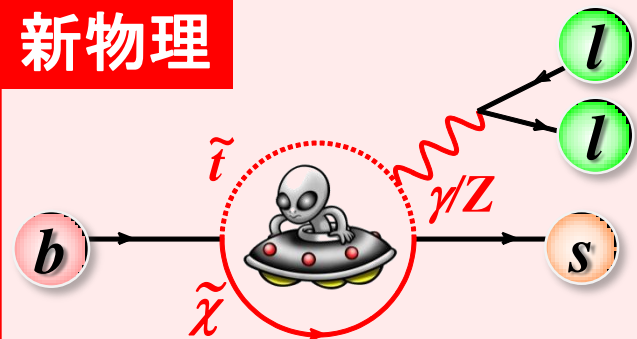
「ペンギン」



「ボックス」



新物理

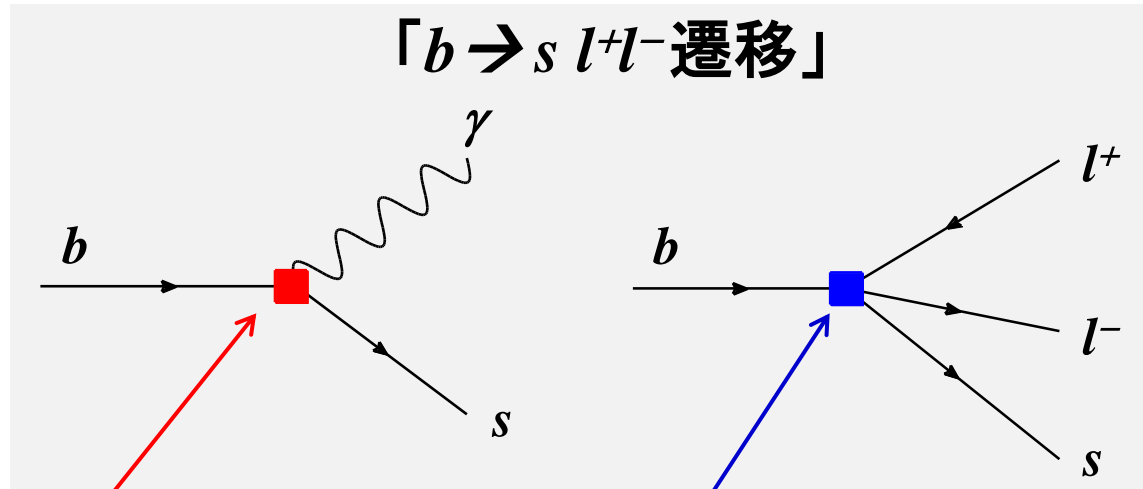


Operator Product Expansion / Wilson 係数

- ハミルトニアンを Wilson 係数と実効オペレータを使って、書き表す。

$$H \sim \sum_i C_i O_i$$

- 重い粒子(W, Z, t, \dots)を1つのバーテックスに押し込める。
- 標準理論において、 $b \rightarrow s l^+ l^-$ 遷移は3つのWilson係数に感度がある。



C_7 : magnetic ペンギンオペレータ

C_9 : vector 電弱オペレータ

C_{10} : axial-vector 電弱オペレータ

- Wilson 係数は標準理論において精度よく計算されており、新物理はその「ずれ」、もしくは「新たなオペレータ」として観測される。

$b \rightarrow s l^+ l^-$ 遷移

特徴

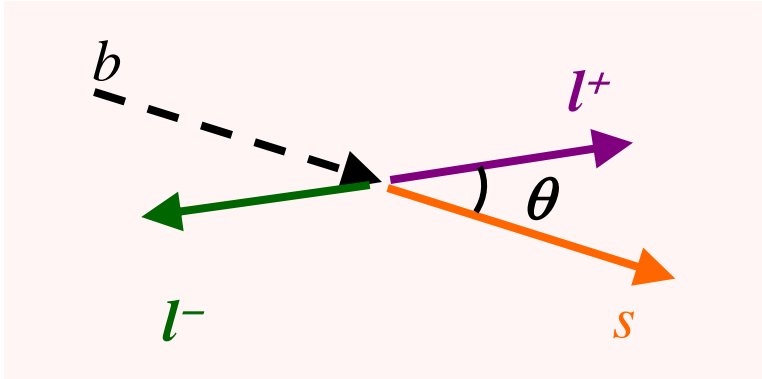
- ペンギン/ボックスダイアグラムの複雑な干渉により、多彩な標準理論のテストが可能。
- 稀崩壊(分岐比 $\sim 10^{-6}$)だが、レプトンがあるため背景事象と分離しやすい。
- 豊富な観測量：レプトン対の不変質量の2乗“ q^2 ”の関数で表される
 - 崩壊幅
 - CP 対称度 “ A_{CP} ”
 - 「Forward-backward asymmetry “ A_{FB} ”」
 - アイソスピン対称度 “ A_I ”
 - K^* の偏極度 “ F_L ” などの角分布
 - レプトン普遍性

本解析のターゲット

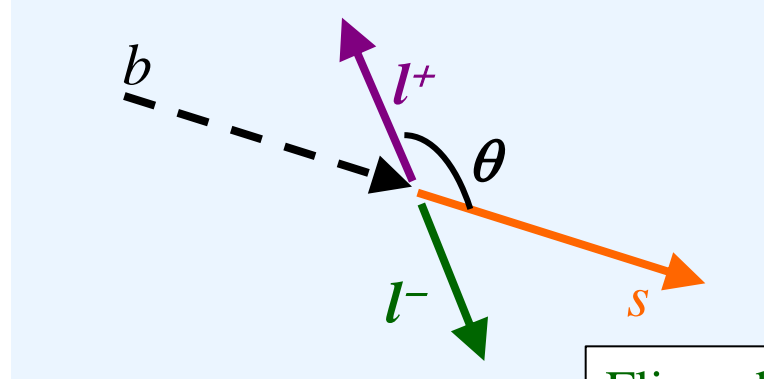
Forward-Backward Asymmetry (A_{FB})

- $\cos\theta$: レプトン対の静止系における、 b と l^+ の間の角。

Forward event



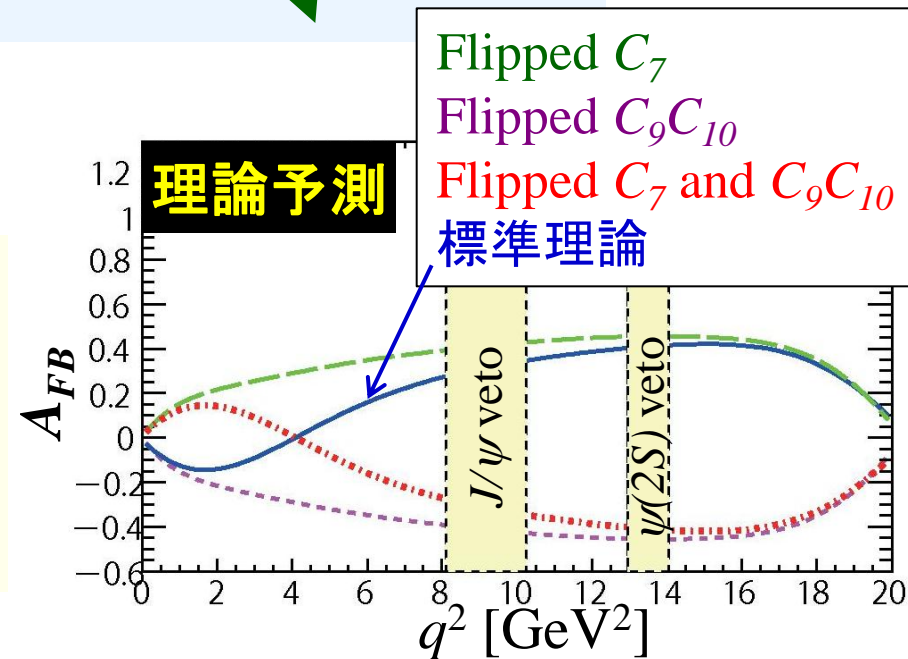
Backward event



A_{FB} の定義

$$A_{FB} \equiv \frac{N(\cos\theta_l > 0) - N(\cos\theta_l < 0)}{N(\cos\theta_l > 0) + N(\cos\theta_l < 0)}$$

$$\propto -\text{Re} \left[\left(2C_7^{\text{eff}} + \frac{q^2}{m_b^2} C_9^{\text{eff}} \right) C_{10}^* \right]$$



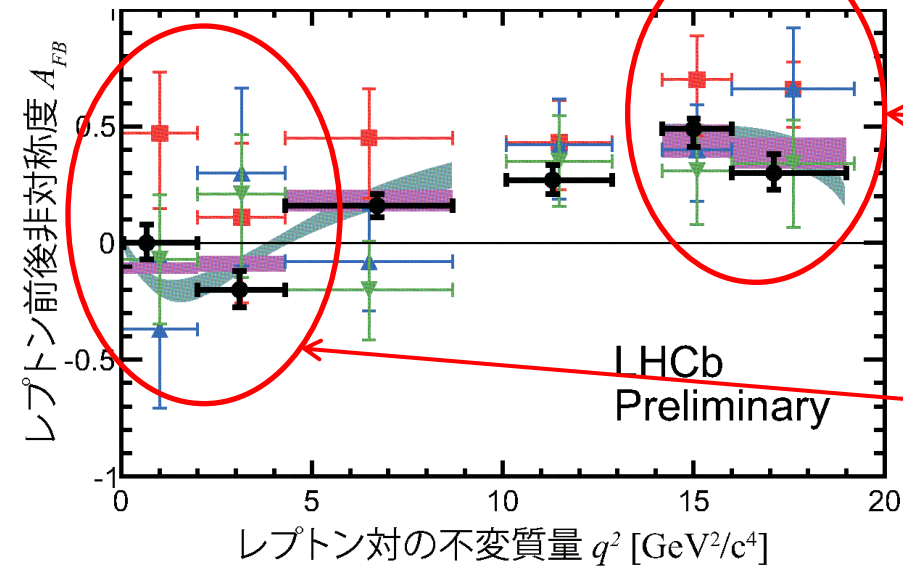
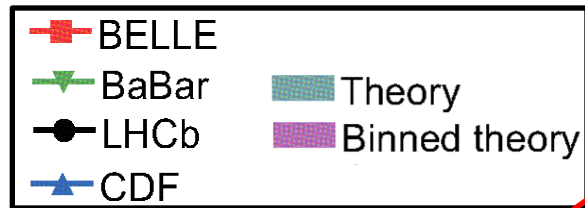
- Vector(C_7, C_9) と axial-vector(C_{10}) の干渉で A_{FB} が生じる
- Wilson 係数(C_7, C_9, C_{10}) によって A_{FB} の分布が大きく変化する。

$B \rightarrow K^* l^+ l^-$ を用いた A_{FB} の測定状況

low q^2 で寄与

high q^2 で寄与

$$A_{FB} \propto -\text{Re} \left[\left(2C_7^{\text{eff}} + \frac{q^2}{m_b^2} C_9^{\text{eff}} \right) C_{10}^* \right]$$



q^2 が大きい領域では

$A_{FB} > 0$ ($C_9^* C_{10}$ の項が負であること) を強く示唆。

q^2 が小さい領域では

$\begin{cases} A_{FB} < 0 \text{ (LHCb, CDF)} \\ A_{FB} > 0 \text{ (Belle, BaBar)} \end{cases}$
 を示唆。

解析手法

Exclusive Reconstruction : X_s の特定の終状態(K, K^*) を観測。

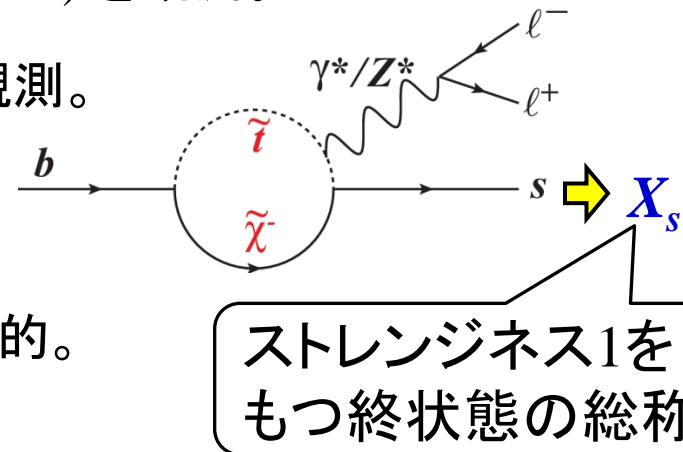
Inclusive Reconstruction : X_s の終状態によらず観測。

□ Fully Inclusive Reconstruction

- X_s を観測しない。
- 膨大な背景事象があるため解析は非現実的。

□ Semi-inclusive Reconstruction

- X_s をできる限り多くの終状態から観測し、足し合わせる。



| 手法 | ハドロン化による不定性 | 背景事象との分離 |
|-----------------------|-------------|----------|
| Exclusive | △ | ◎ |
| Fully inclusive | ◎ | △ |
| Semi-inclusive | ○ | ○ |

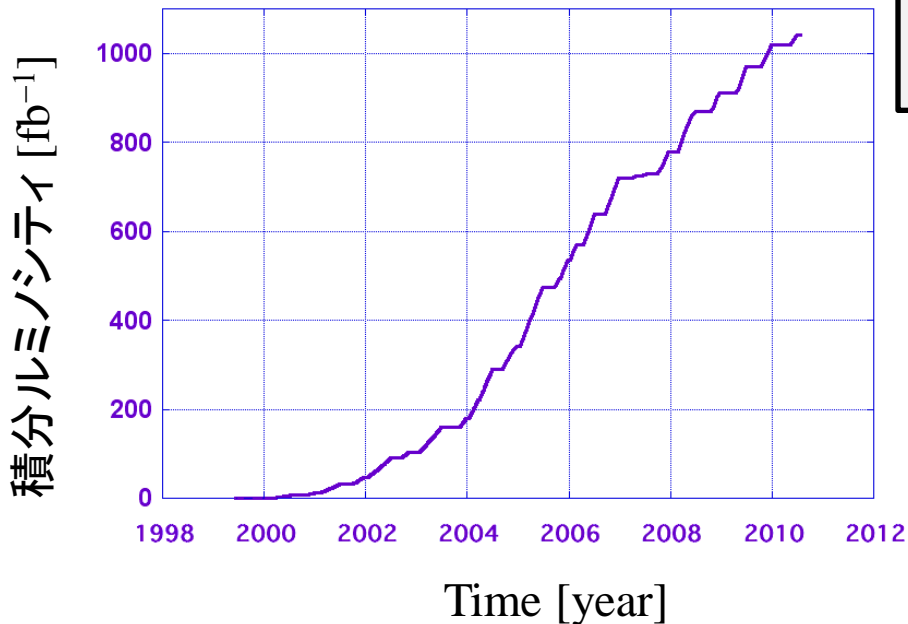
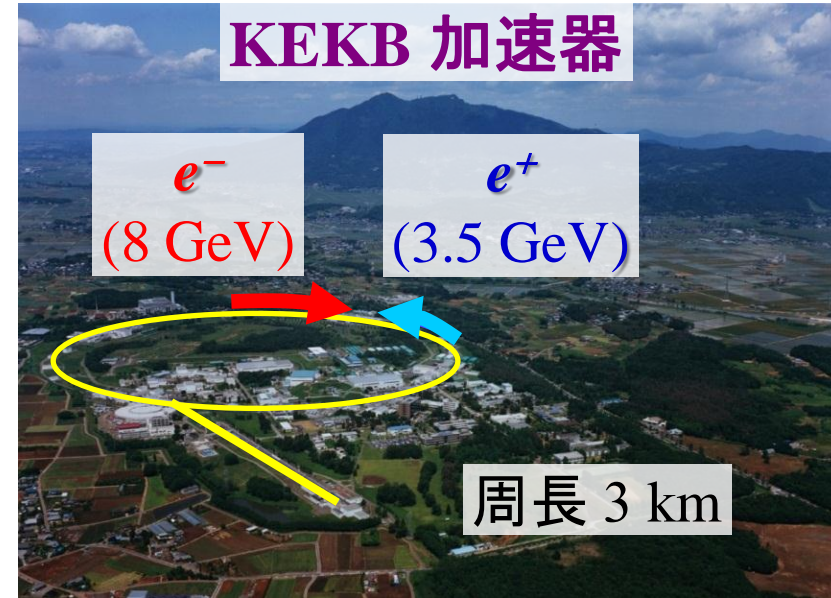
- 現在までに、(Semi-)inclusive reconstruction method を用いて $b \rightarrow s l^+ l^-$ 遷移を測定されたものは崩壊分岐比のみ。

→ 本解析で、レプトン前後非対称度を**世界初測定**。

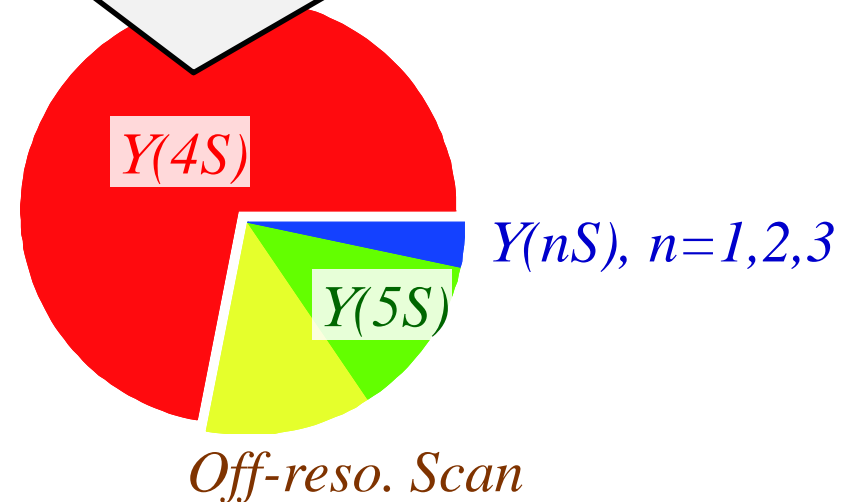
Belle 実験「KEKB 加速器」

KEKB 加速器 (1999-2010)

- 重心系エネルギー：主に10.58 GeV
 - $Y(4S) \rightarrow BB$
- 非対称エネルギー： $\beta\gamma = 0.425$
- 世界最高のルミノシティ
 - (積分)：1040 fb⁻¹
 - (瞬間)： $2.11 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

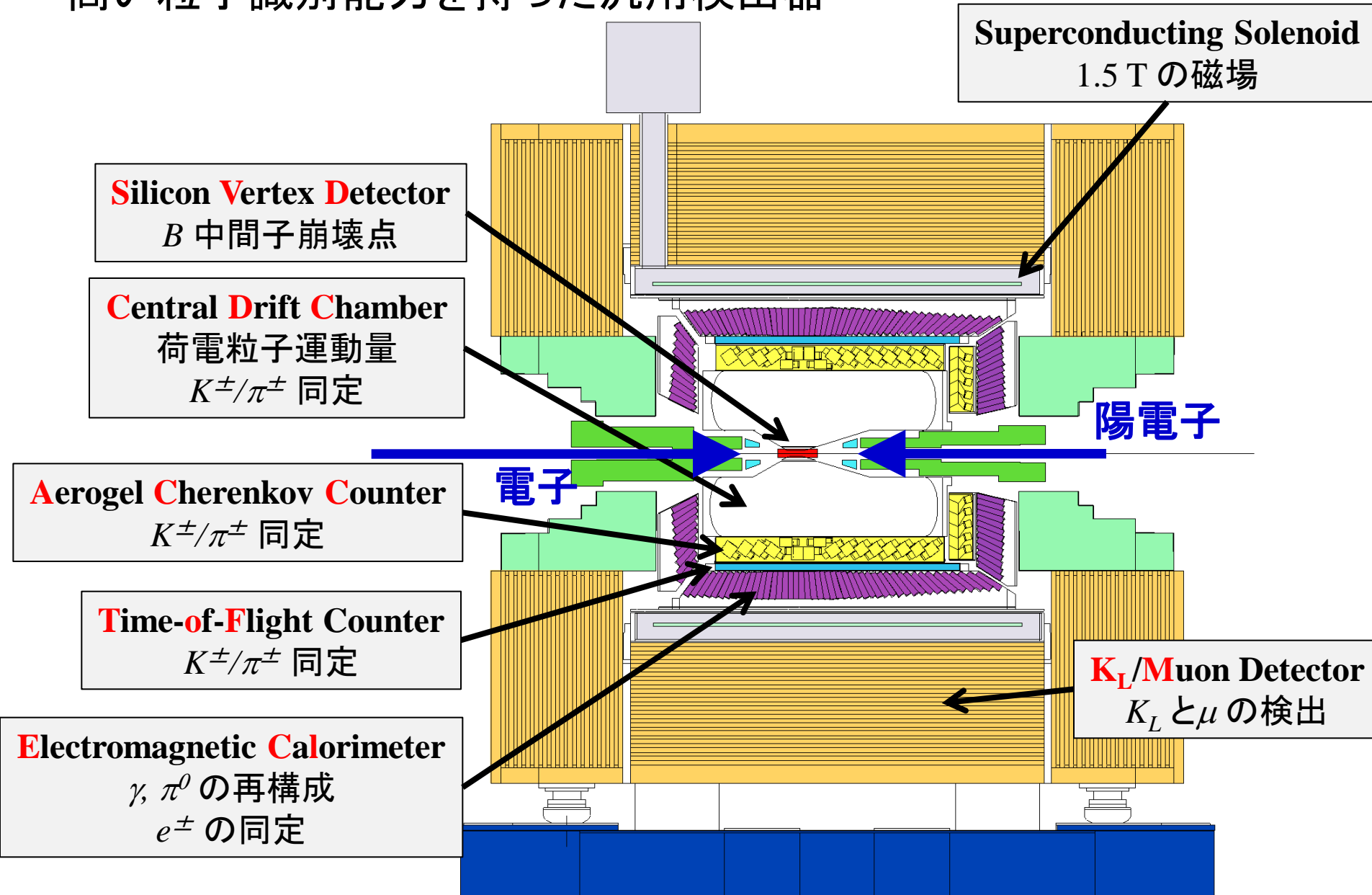


本解析では全ての $Y(4S)$ データ (711 fb⁻¹, 7.72 億の BB ペア) を使用。



Belle 実験「Belle 検出器」

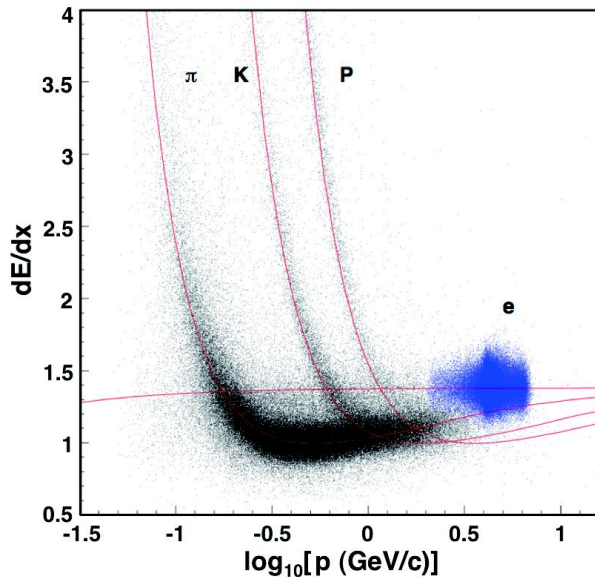
- 高い粒子識別能力を持った汎用検出器



粒子識別「 K^\pm/π^\pm 」

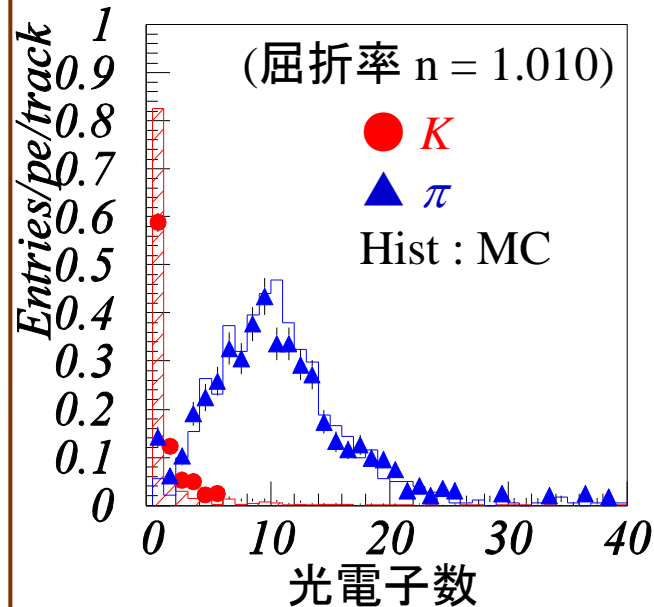
K^\pm/π^\pm 識別 : 粒子の質量(=速度) の測定 $m = p\sqrt{\frac{1}{\beta^2} - 1}$

ドリフトチェンバー (dE/dx)



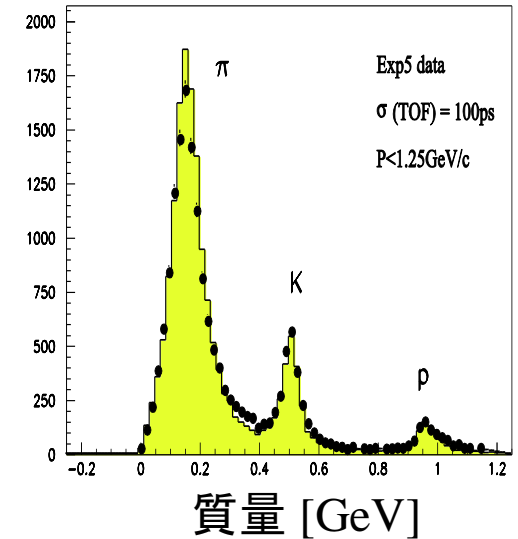
Likelihood はガウス関数
Landau tail (20%) は除く。

チェレンコフカウンタ(ACC)



Likelihood は ϵ または $1 - \epsilon$
(ϵ はしきい値基準の効率)

飛行時間(TOF)



Likelihood はガウス関数

- 3つの検出器の情報をまとめる(Likelihood 比)。
 - K^\pm 中間子選択効率 $\sim 90\%$
 - π^\pm 中間子誤識別確率 $\sim 10\%$

$$\mathcal{L}_i = \mathcal{L}_i^{dE/dx} \cdot \mathcal{L}_i^{ACC} \cdot \mathcal{L}_i^{TOF}$$

($i = K, \pi$)

$$\mathcal{P}_{K/\pi} = \frac{\mathcal{L}_K}{\mathcal{L}_K + \mathcal{L}_\pi}$$

粒子識別「 e^\pm, μ^\pm 」

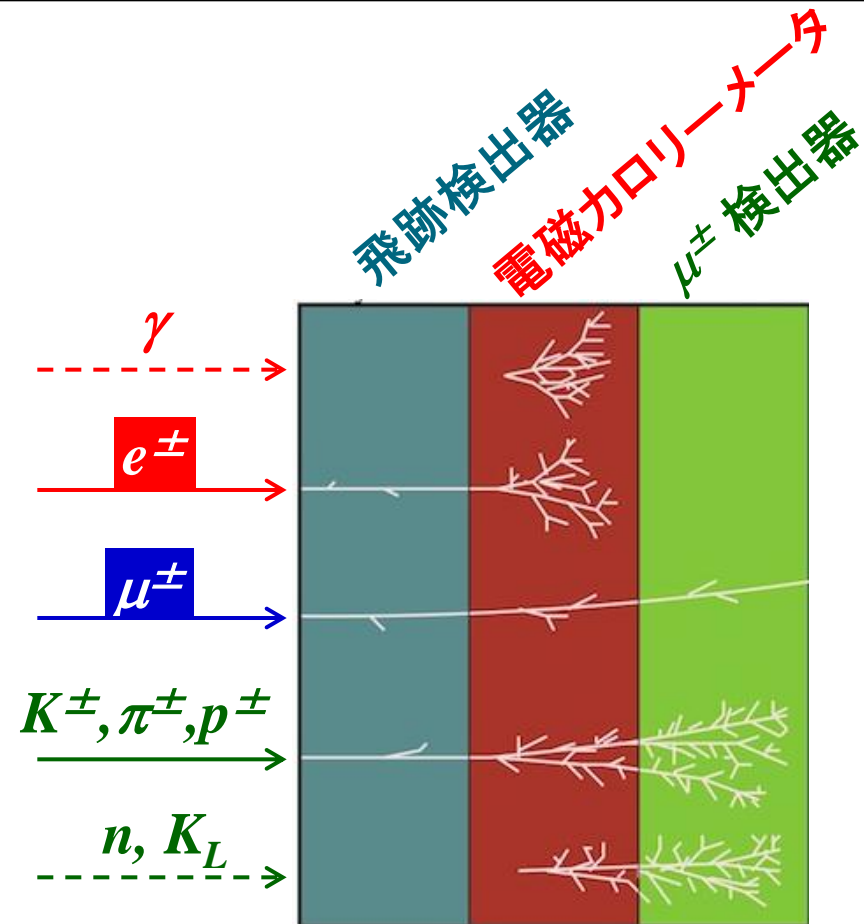
e^\pm 識別 : 電磁カロリメータで測定する電磁シャワーから電子を識別。

- エネルギーと運動量の比 (E/p)
- クラスタ形状 (E_9/E_{25})
- 飛跡とクラスタの整合性
- チェレンコフ光
- エネルギー損失

μ^\pm 識別 : KLM(鉄) の反応から透過力が強い μ^\pm と他の粒子を識別。

- 貫通距離
- 飛跡と KLM ヒット点との整合性

- 情報をまとめる(Likelihood 比)。
 - レプトン選択効率 $\sim 90\%$
 - π^\pm 誤識別確率 $\sim 0.2\%$ (e) / $1(\mu)\%$



信号事象のMC生成

3種類のMCを生成して、測定されている崩壊分岐比に合わせて、混ぜ合わせる。

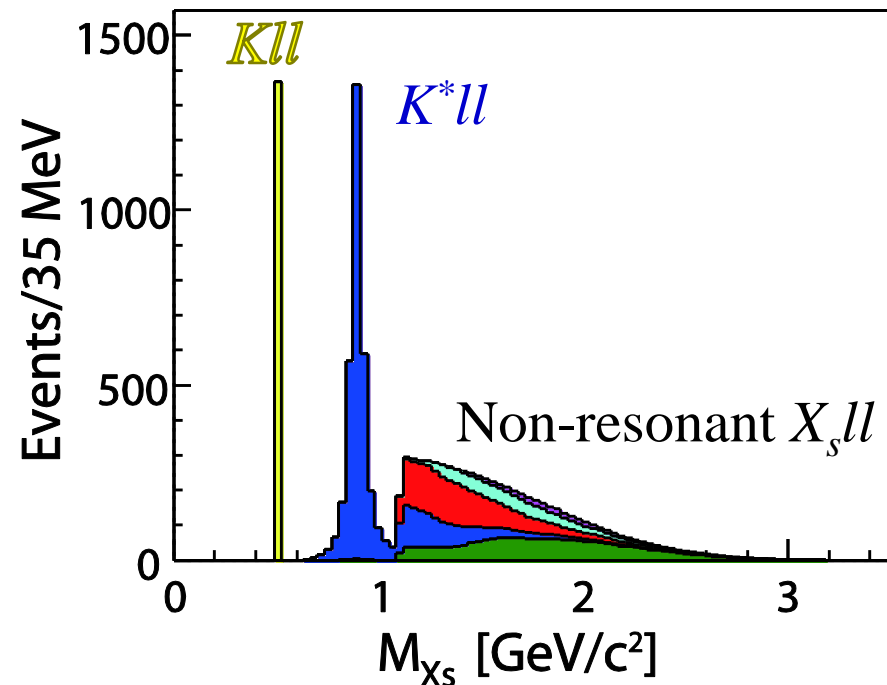
1. $B \rightarrow K l^+ l^-$ (12.3%)
2. $B \rightarrow K^* l^+ l^-$ (29.5%)
3. $B \rightarrow \text{non resonant } X_s l^+ l^-$ (58.2%)

– $B \rightarrow X_s \gamma$ で観測されている X_s の質量分布を再現するように $M_{X_s} > 1.1 \text{ GeV}$ を要求。

崩壊分岐比@HFAG2010

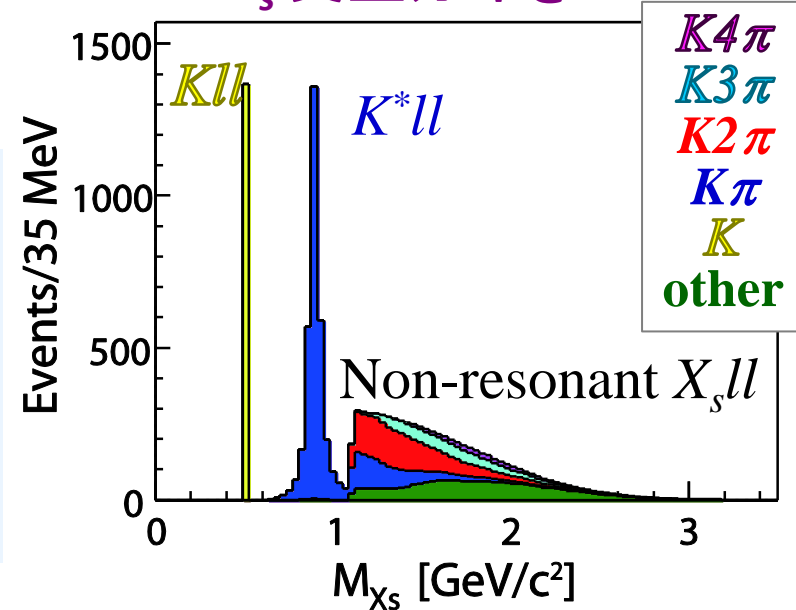
- $\text{Br} [B \rightarrow K l^+ l^-] : 0.45 \times 10^{-6}$
- $\text{Br} [B \rightarrow K^* l^+ l^-] : 1.08 \times 10^{-6}$
- $\text{Br} [B \rightarrow s l^+ l^- \text{ (total)}] : 3.66 \times 10^{-6}$

生成したMCの X_s 質量分布



解析で用いるモード

X_s 質量分布@MC



- $X_s l^+l^-$ を36の終状態から再構成する。

$$l^+l^- = e^+e^- \text{ or } \mu^+\mu^-$$

$X_s = K^\pm/K_S +$ 最大4つの π (π^0 は1つまで)

[K]: K , K_S

[$K\pi$]: $K\pi$, $K_S\pi$, $K\pi^0$, $K_S\pi^0$

[$K2\pi$]: $K2\pi$, $K_S2\pi$, $K\pi\pi^0$, $K_S\pi\pi^0$

[$K3\pi$]: $K3\pi$, $K_S3\pi$, $K2\pi\pi^0$, $K_S2\pi\pi^0$

[$K4\pi$]: $K4\pi$, $K_S4\pi$, $K3\pi\pi^0$, $K_S3\pi\pi^0$

- A_{FB} の測定には20の終状態を使用。

- B 中間子のフレーバーが識別できない終状態は使用しない。

- フレーバーは X_s or K の電荷から識別。

- 終状態[$K4\pi$] は再構成できる数が少ないため、使用しない。

- 終状態間の混じり(Cross-feed)を抑制するため、

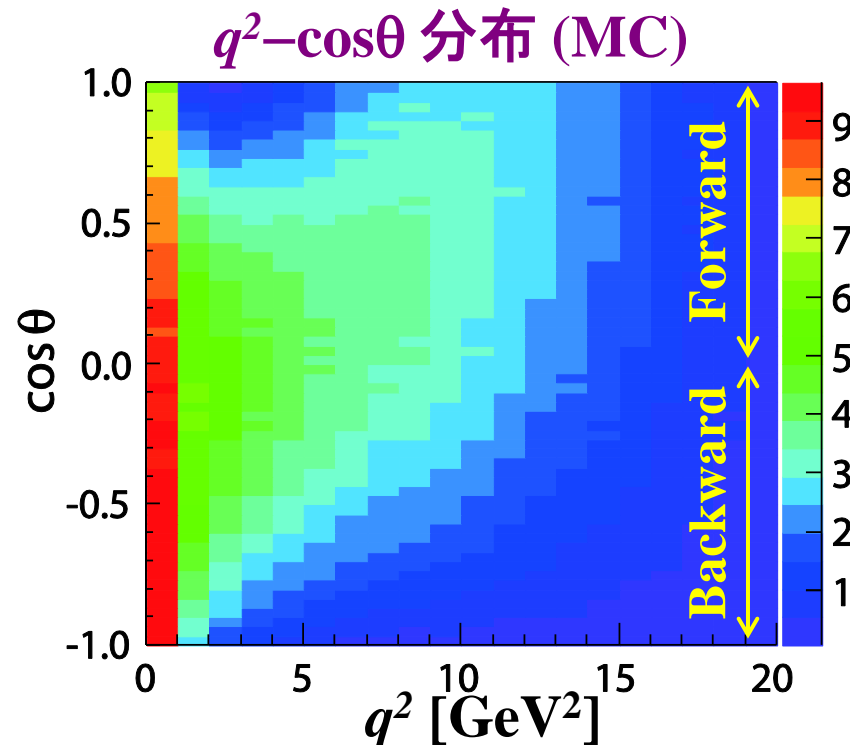
A_{FB} の測定に使用しない終状態も再構成する。

→ 20の終状態で、 X_s の崩壊のうち、50% をカバー。(K_L も含めると、59%。)

解析手順

解析手順

1. 事象再構成
2. 背景事象の排除
3. ニューラルネットワークを用いた背景事象の分離
4. q^2 をビン分けして、 q^2 をビンごとにforward/backward eventの M_{bc} 分布をフィットして A_{FB} を求める。



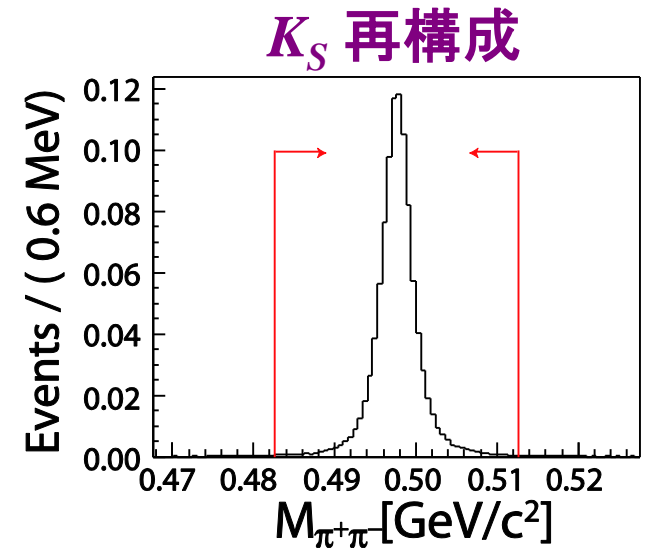
粒子選択

荷電粒子 ($e^\pm, \mu^\pm, K^\pm, \pi^\pm$)

- 衝突点付近から来ていること
- $p_e^{lab} > 0.40$ GeV
- $p_\mu^{lab} > 0.80$ GeV
 - レプトンと同じ方向(50mrad)に飛んでいる γ は bremsstrahlung γ とみなす。
- 粒子識別

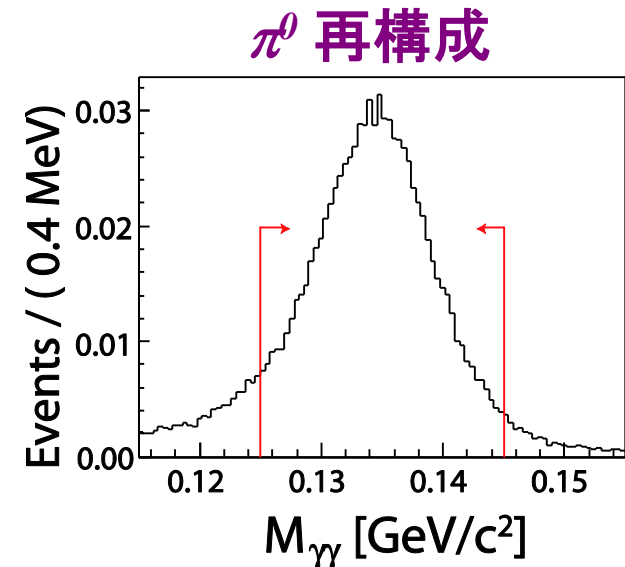
$K_S (\rightarrow \pi^+\pi^-)$ 再構成

- 衝突点から離れたバーテックス
- 2つの飛跡の間の距離
- 再構成した K_S の運動量の向きと衝突点の方向
- $|M(\pi\pi) - M(K_S)| < 15$ MeV



$\pi^0 (\rightarrow \gamma\gamma)$ 再構成

- $E_\gamma^{lab} > 50$ MeV
- $E_{\pi^0}^{lab} > 400$ MeV
- $|M(\gamma\gamma) - M(\pi^0)| < 10$ MeV



背景事象除去

レプトン対の質量 M_{ll}

$X_s l^+l^-$ 以外でレプトン対が生じる事象の除去。

- γ コンバージョン事象 $X_s (e^+e^-)_\gamma$
- π^0 ダリッツ崩壊事象 $X_s (e^+e^- \gamma)_{\pi^0}$

- $M_{ee} > 0.2$ GeV

- チャーモニウム事象 $X_s (l^+l^- (\gamma))_{cc}$

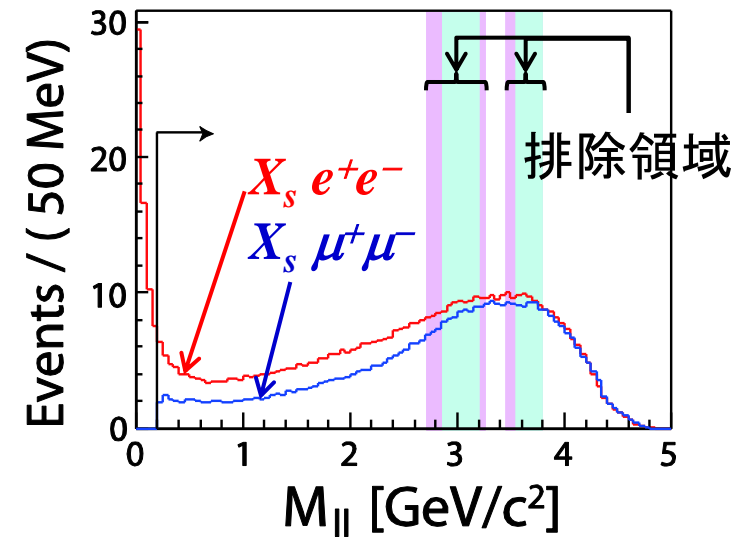
- $J/\psi, \psi(2S)$ の質量に近い領域を排除。
 - J/ψ の質量領域で排除した事象は
 コントロールサンプル「 $X_s J/\psi$ 」として用いる。

X_s の質量

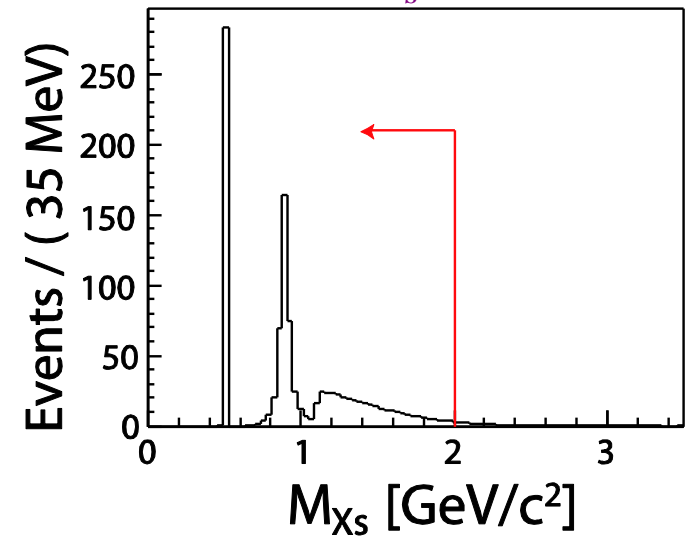
ランダムな組み合わせによる背景事象の除去。

- $M_{X_s} < 2.0$ GeV

再構成されたレプトン対の質量分布



再構成された X_s の質量分布



信号再構成

Beam Constrained Mass

$$M_{bc} \equiv \sqrt{E_{beam}^2 - |\vec{p}_B|^2} \quad (\text{信号事象: } B \text{ の質量})$$

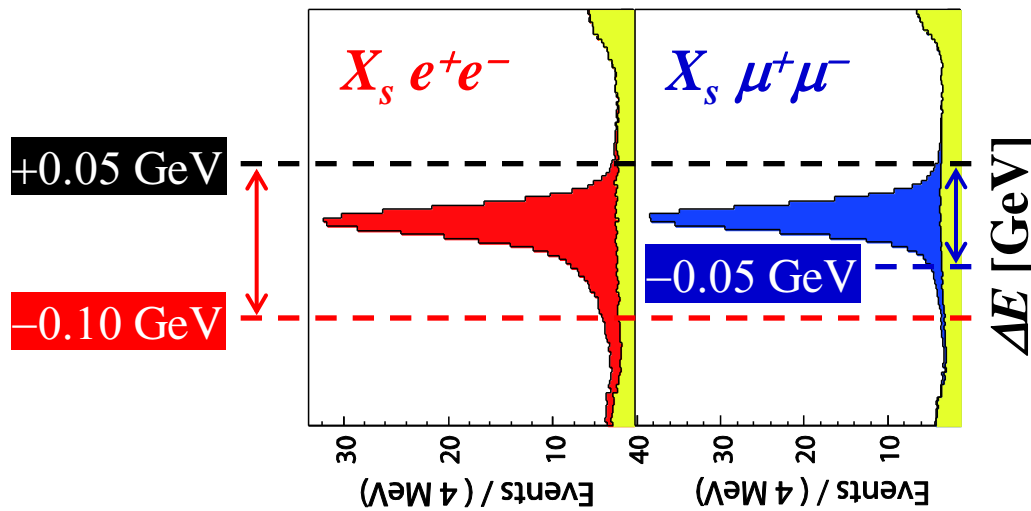
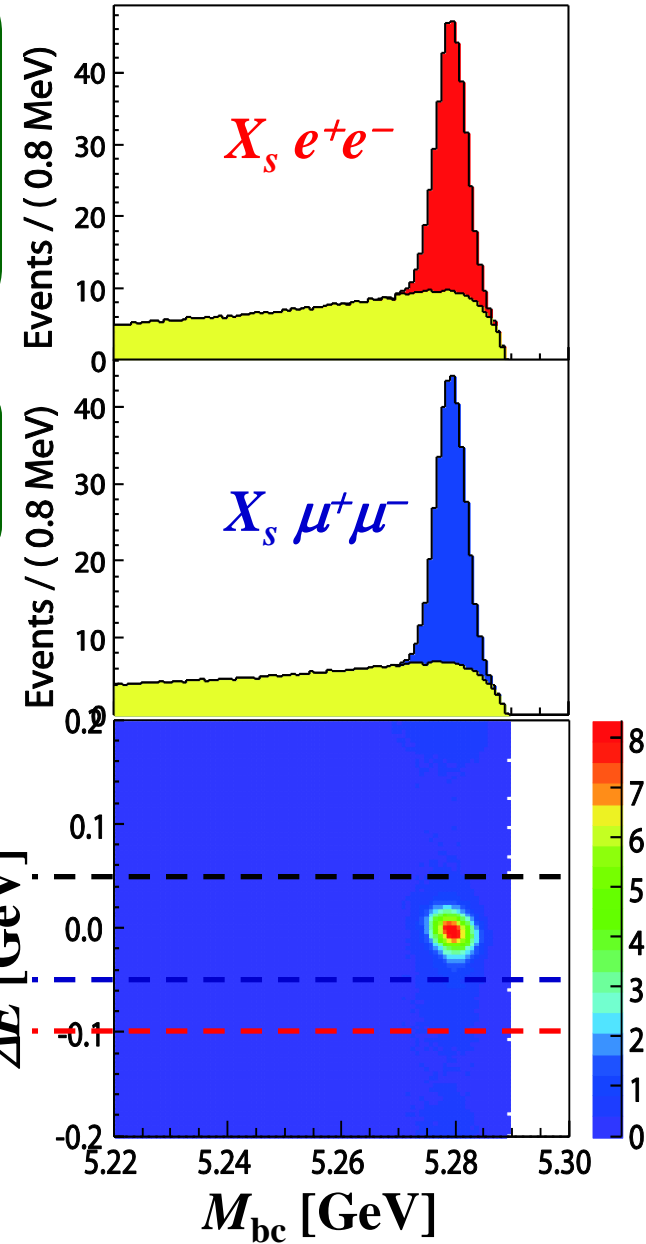
E_{beam} : ビームエネルギー @ ビーム重心系
 (\vec{p}_B, E_B) : 再構成した B の4元運動量 @ ビーム重心系

Energy Difference

$$\Delta E \equiv E_B - E_{beam} \quad (\text{信号事象: } 0)$$

- 本解析では M_{bc} 分布から信号を抽出する。

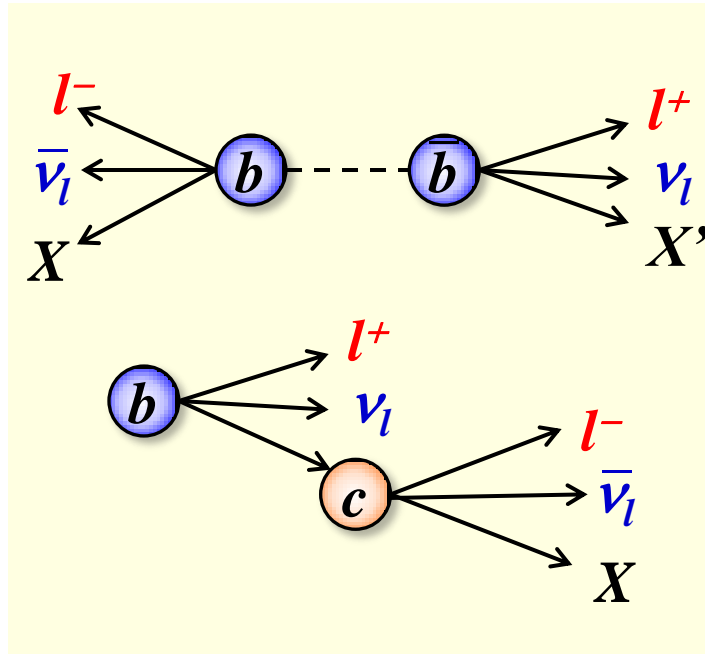
※ 信号事象のみプロット



背景事象の分離

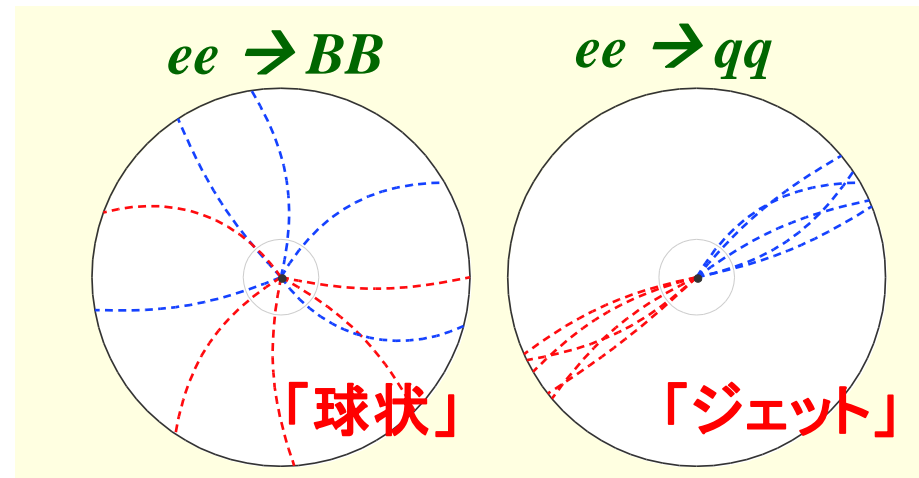
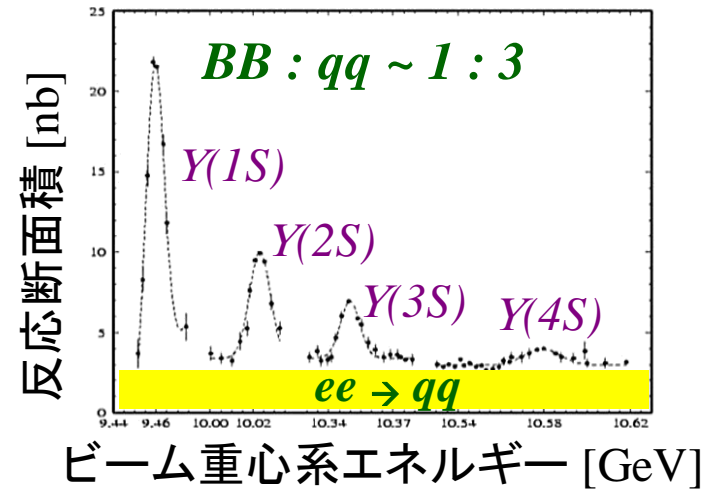
主な背景事象

1. Semi-leptonic 崩壊事象



「2つのニュートリノが出ること」、
「レプトン対の間の距離」を
利用して分離する。

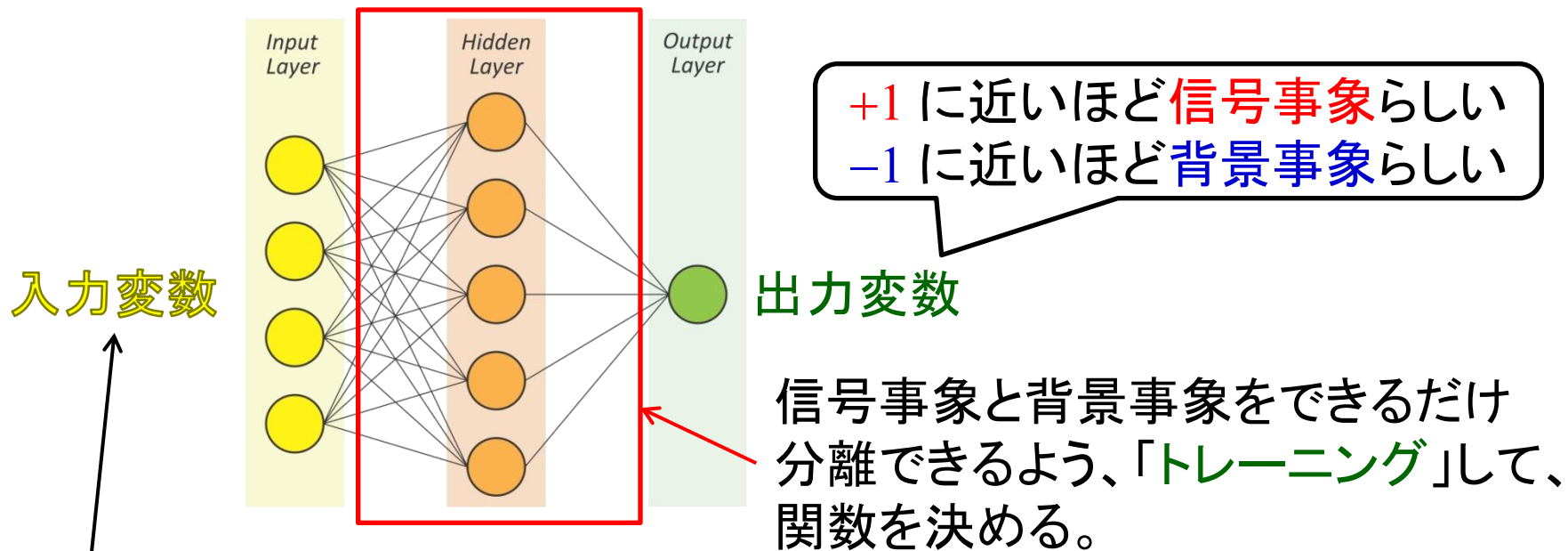
2. qq 事象 ($q = u, d, c, s$)



「イベントの形状」により分離する。

ニューラルネットワークを用いた背景事象との分離

- ニューラルネットワークを用いて、信号事象と背景事象を分離する。



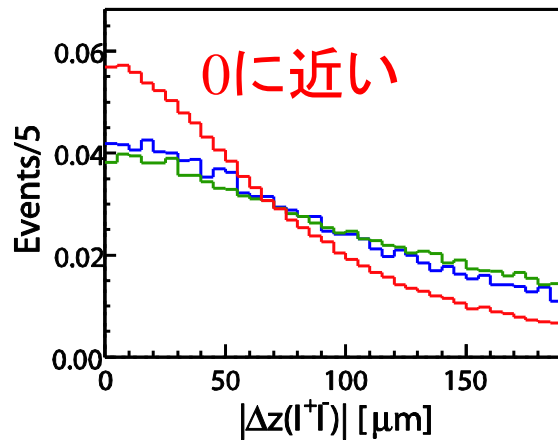
合計23個のパラメータを使用。

- レプトン対の間の z 方向の最小距離
- B 崩壊点再構成の信頼度
- ビーム重心系での B の飛行方向
- Energy difference ΔE
- Missing mass
- Visible energy
- ルジャンドル多項式を用いた17個のイベント形状パラメータ

パラメータの例

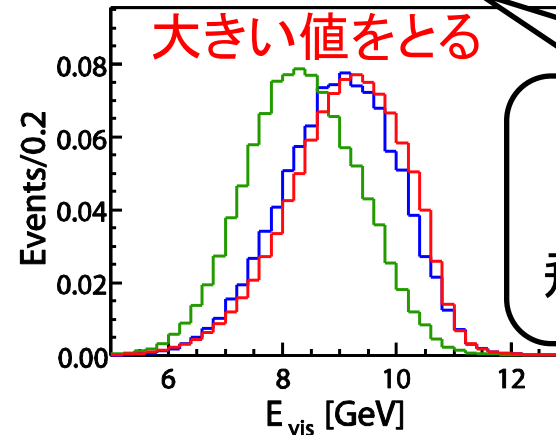
「バーテックス」情報

レプトン対の間の z 方向の距離



「Missing track」情報

Visible energy

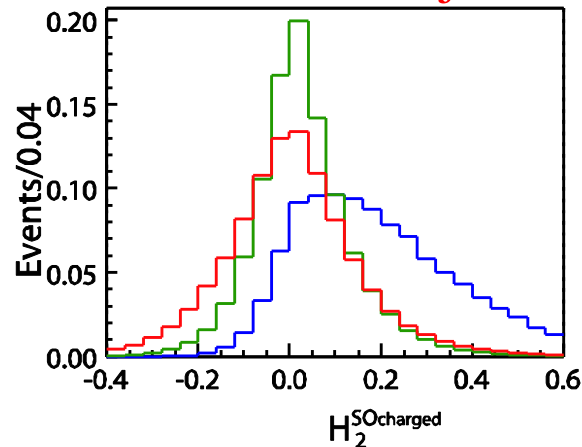


信号事象
 qq 背景事象
 BB 背景事象

ビーム重心系での
 事象中に含まれる
 飛跡/ γ のエネルギー和

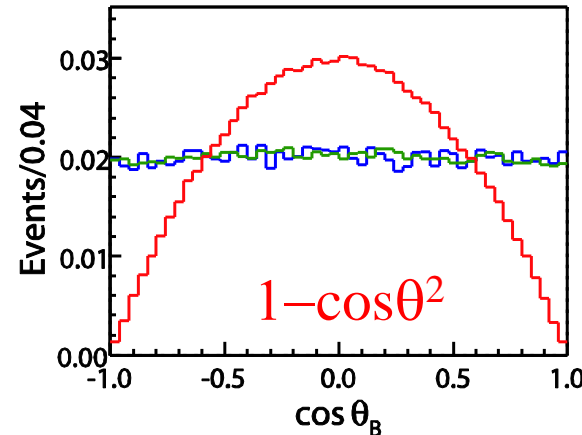
「イベント形状」情報

0から離れるほどjet-like



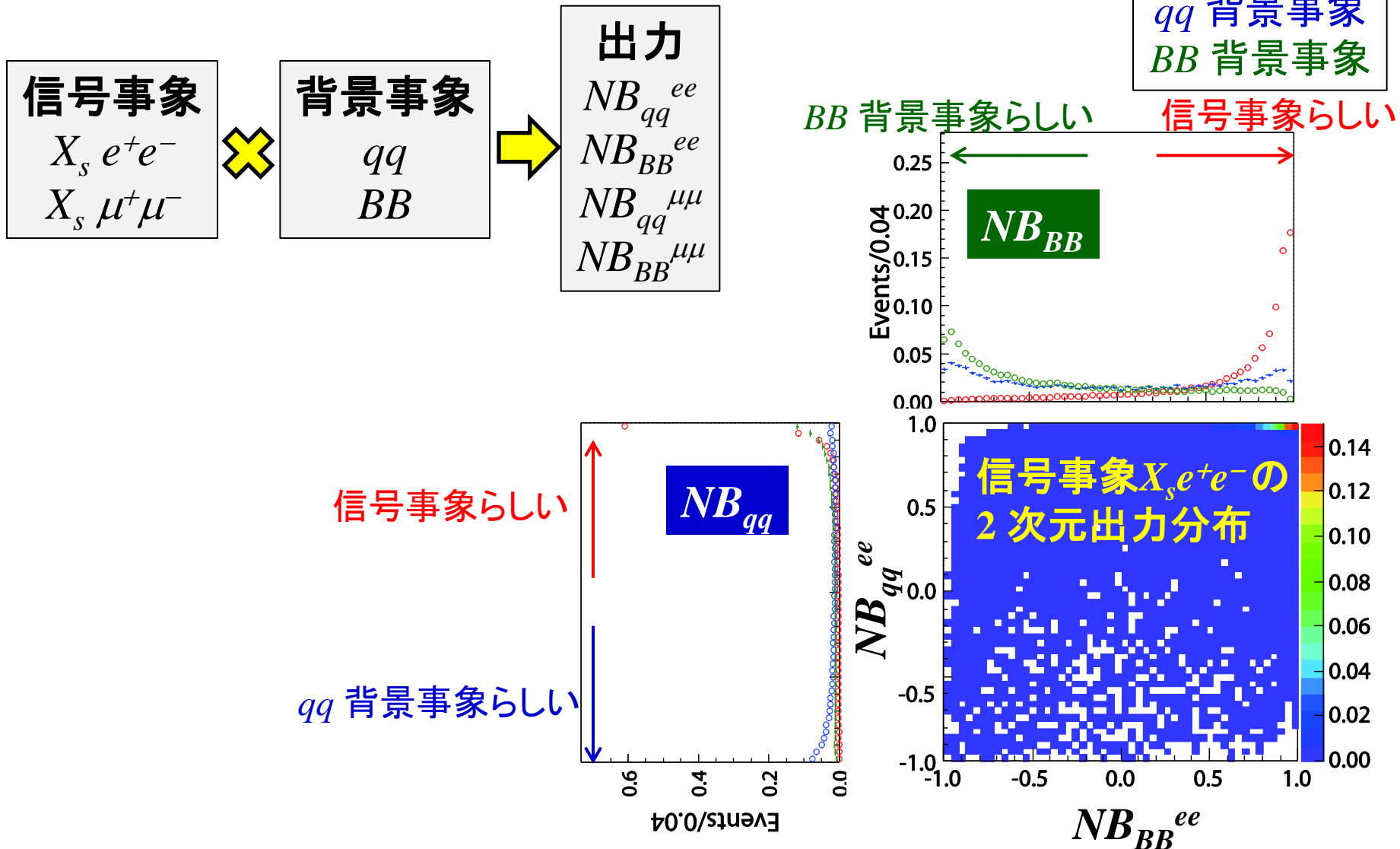
「粒子のスピンの」情報

ビーム重心系での B の飛行方向



ニューラルネットワークの出力 / 最適化

- レプトンのフレーバー($ee/\mu\mu$)、背景事象の種類(qq/BB) ごとにトレーニングして、4つのニューラルネットワーク出力 NB を得た。



信号事象
 qq 背景事象
 BB 背景事象

NB_{BB}

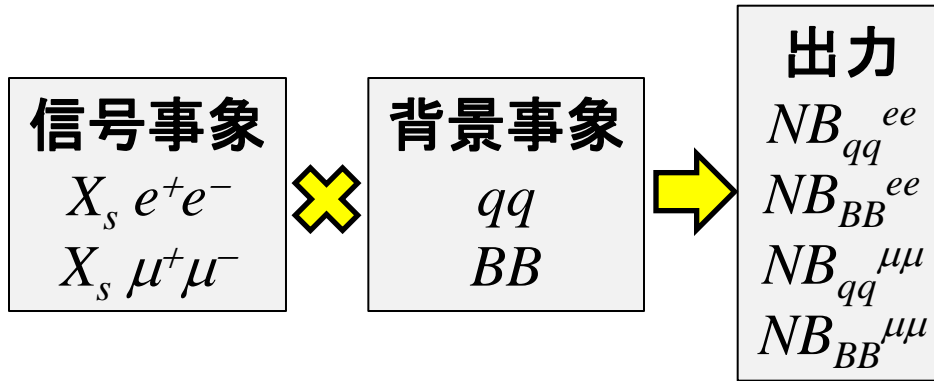
NB_{qq}

信号事象 $X_s e^+e^-$ の
2次元出力分布

0.14
0.12
0.10
0.08
0.06
0.04
0.02
0.00

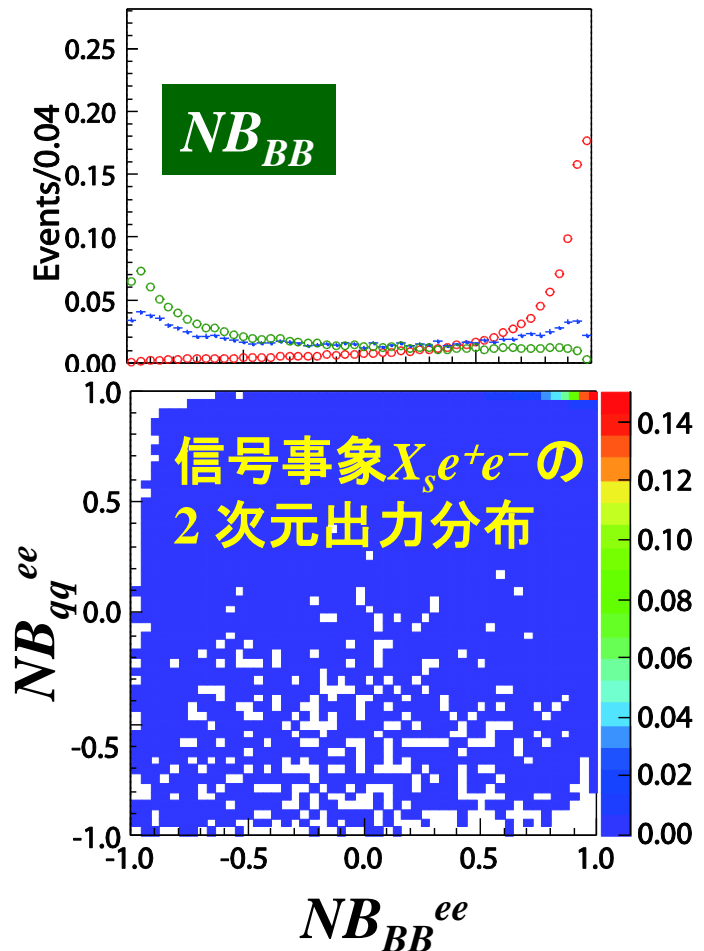
ニューラルネットワーク出力

- レプトンのフレーバー($ee/\mu\mu$)、背景事象の種類(qq/BB) ごとにトレーニングして、4つのニューラルネットワーク出力 NB を得た。

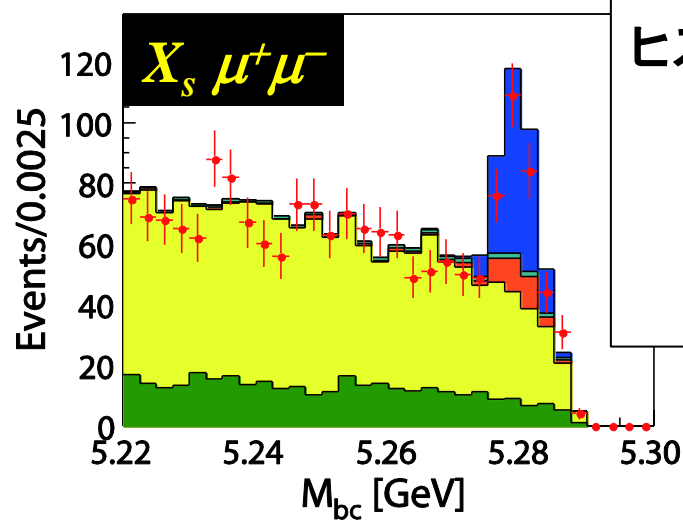
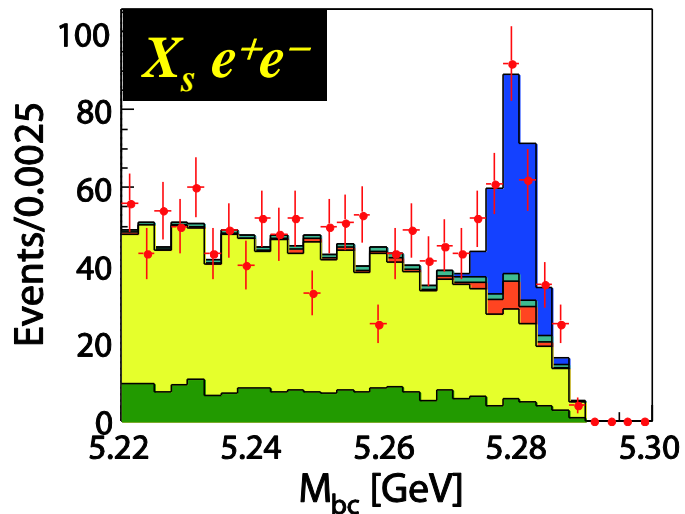


信号事象
 qq 背景事象
 BB 背景事象

- それぞれの X_s 質量領域で信号の有意度が最大になるように NB の選択領域を最適化。
 - $M_{X_s} < 1.1$ GeV ($K^{(*)}l^+l^-$ 領域)
 - $M_{X_s} > 1.1$ GeV (Non-resonant $X_s l^+l^-$ 領域)
- 同一事象内に複数の B 候補がある場合は NB_{BB} をもとに1つの B 候補を選択。



背景事象分離後の M_{bc} 分布



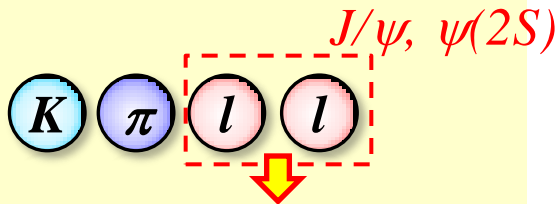
エラー付きドット : データ
 ヒストグラム : MC
 信号事象 (cross-feed)
 ピーキング背景事象
 BB 背景事象
 qq 背景事象

- ニューラルネットワークを導入することにより、背景事象分離能力が向上。
 - 信号有意度 ($= S/\sqrt{S+B}$)
 - Likelihood 法 : 9.7
 - ニューラルネットワーク : 10.6
- 信号領域にピークを作る背景事象「ピーキング背景事象」を評価する。

信号領域にピークをつくる背景事象

- 3つのピーキング背景事象がある。
 - ピーキング背景事象はできる限りデータをもとに評価した。

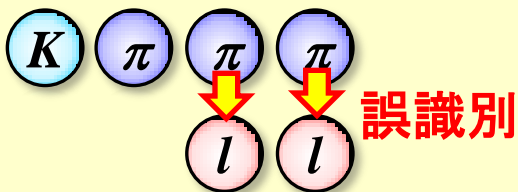
1. チャーモニウム事象



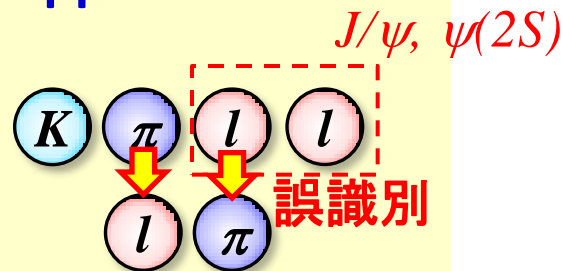
チャーモニウム除去の条件を逃れる。

M_{bc} の形はMC から、
数は X_s J/ψ データから求める。

2. Double miss-PID



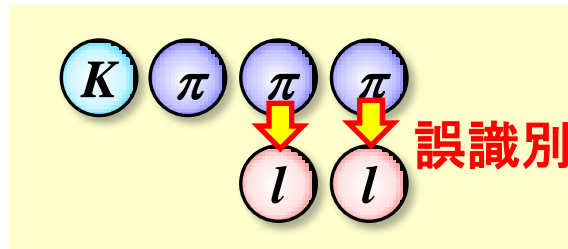
3. Swapped miss-PID



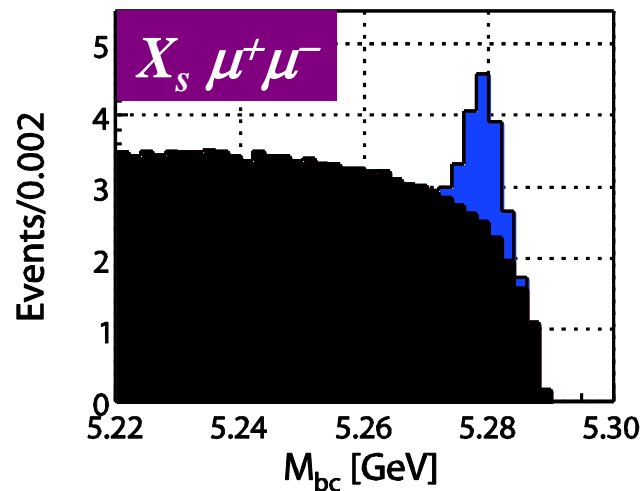
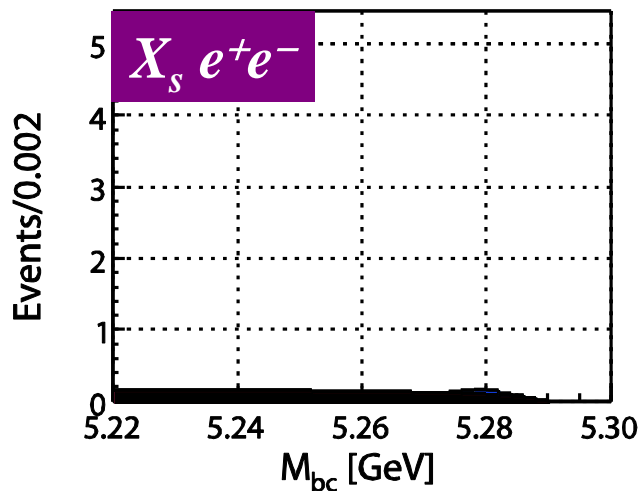
誤識別する確率を用いて、
データから直接見積もる (→ 次ページ)。

Double miss-PID 事象の見積もり

- ピーキング背景事象の原因となる事象を選択する。
 - Double miss-PID : レプトン候補に関する要求を反転。

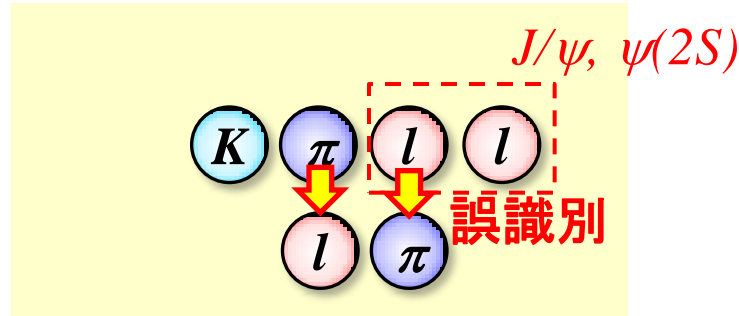


- π をレプトンと誤識別する確率(f_l) で重みづけをして、実際にピーキング背景事象となる事象数を求める。 $w = f_{e^+} \cdot f_{e^-}$
- MC を用いて見積もり方法が正しいことを確認したのち、データを用いて、見積もりを行った。



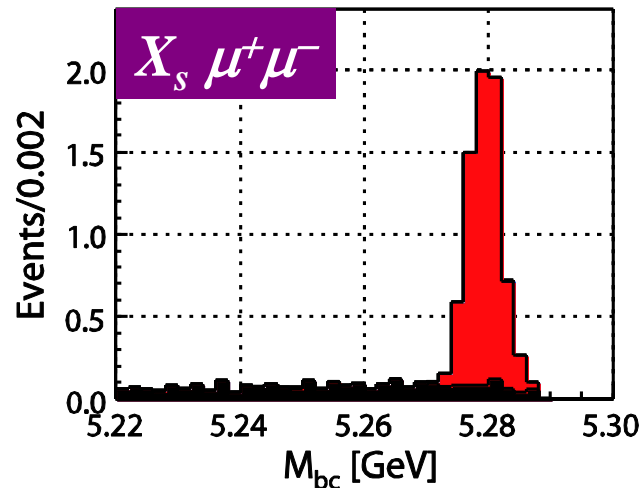
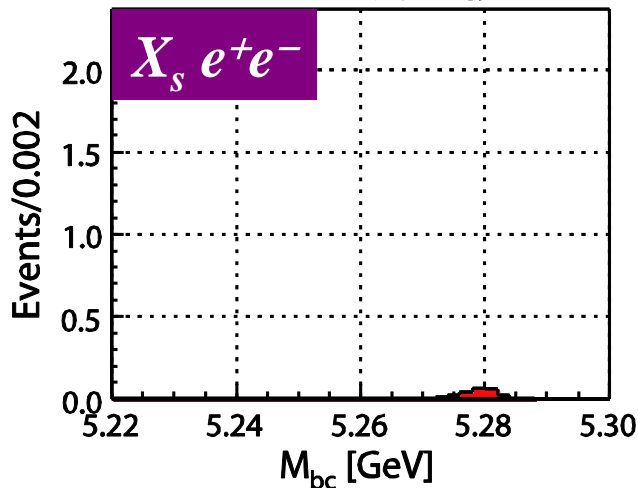
Swapped miss-PID 事象の見積もり

- ピーキング背景事象の原因となる事象を選択する。
 - Swapped miss-PID : チャーモニウム事象除去の条件を反転。



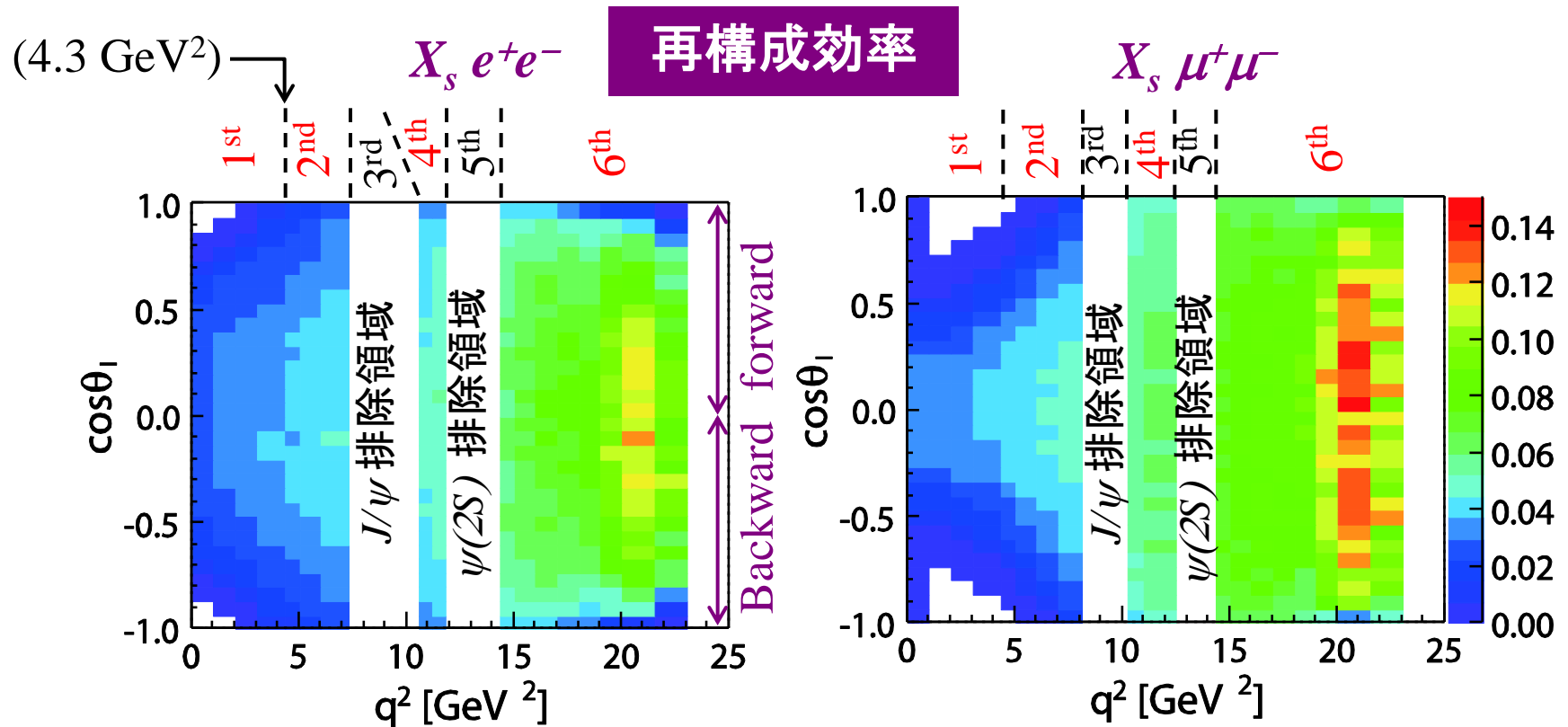
- π をレプトンと誤識別する確率 (f_l) と粒子識別の効率 (ϵ_l, ϵ_π) で重みづけをして、実際にピーキング背景事象となる事象数を求める。
- MC を用いて、見積もり方法が正しいことを確認したのち、データを用いて、見積もりを行った。

$$w = \frac{f_l}{\epsilon_\pi} \cdot \frac{(1 - \epsilon_l)}{\epsilon_l}$$



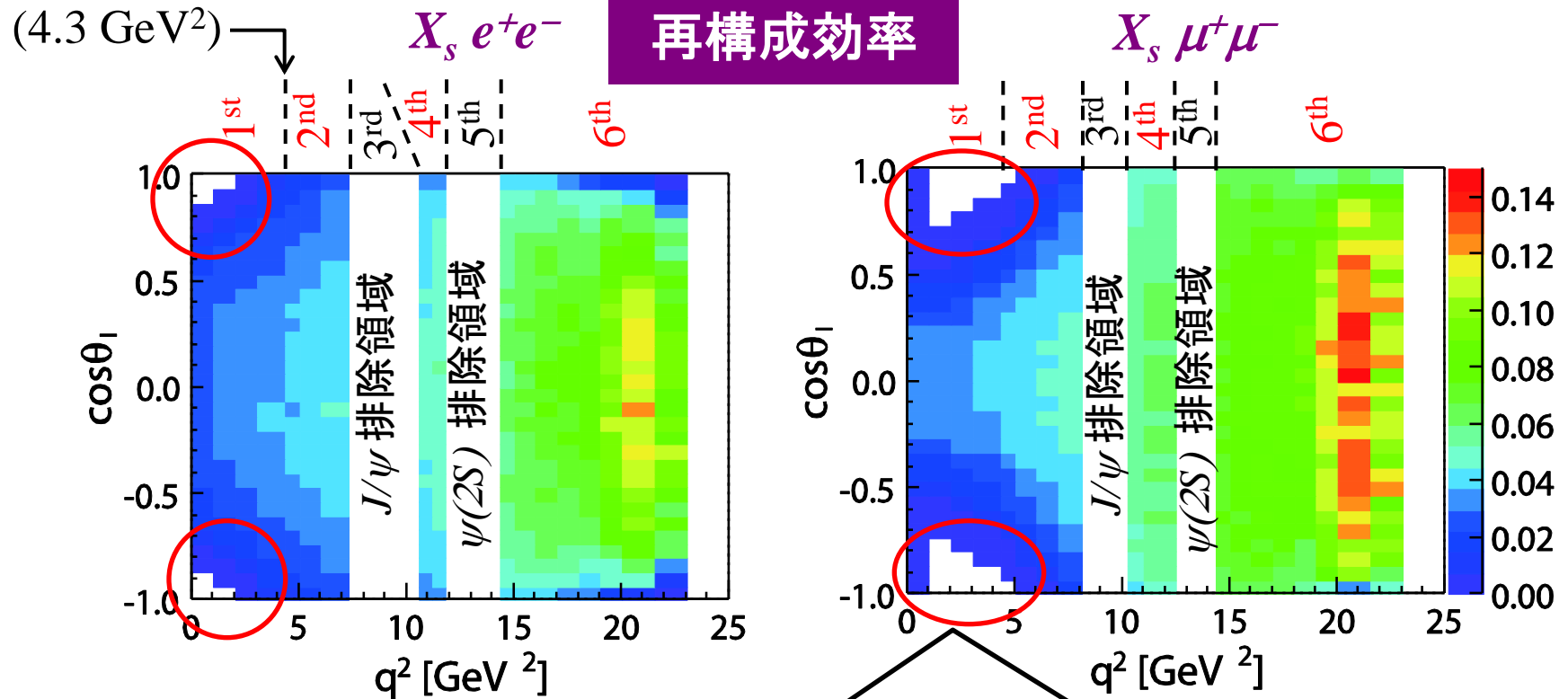
q^2 binning

- q^2 を6つのビンに分ける。
 - 3rd & 5th q^2 bin は J/ψ と $\psi(2S)$ の排除領域に対応。
- q^2 ビンごとに forward/backward 領域の M_{bc} 分布をフィットすることにより A_{FB} を測定する。



Correction Function

- 再構成効率の q^2 - $\cos\theta$ 依存性によって、直接観測される A_{FB}^{raw} は真の値 A_{FB} からずれてしまう。



q^2 が小さく、 $|\cos\theta| \sim 1$ の領域は、
レプトンの運動量の条件で再構成効率が落ちる。

$$(p_e^{lab} > 0.40 \text{ GeV}, p_\mu^{lab} > 0.80 \text{ GeV})$$

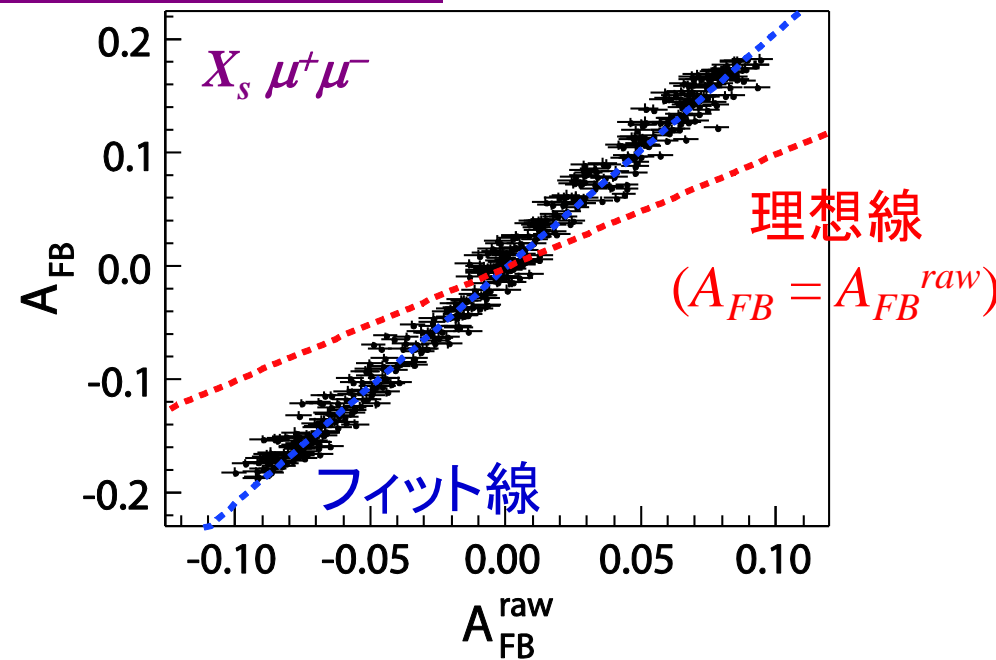
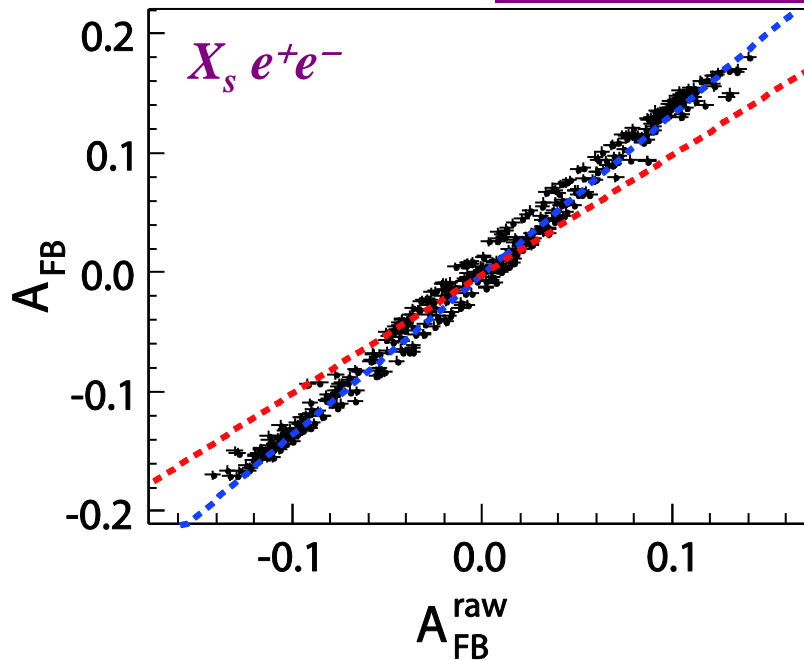
→ A_{FB}^{raw} を真の A_{FB} に変換する **Correction function** を q^2 bin ごとに用意する。

Correction function ~作り方~

- Wilson係数を標準理論の値から変化させ、信号事象のMCを生成して、 A_{FB} と A_{FB}^{raw} の間の関係を求める。

Wilson 係数の値を変化させた範囲
 $[A_7] + A_7^{SM}, -A_7^{SM}$
 $[A_9, A_{10}] -200\% \sim +200\%$
 (A_i は C_i の leading term)

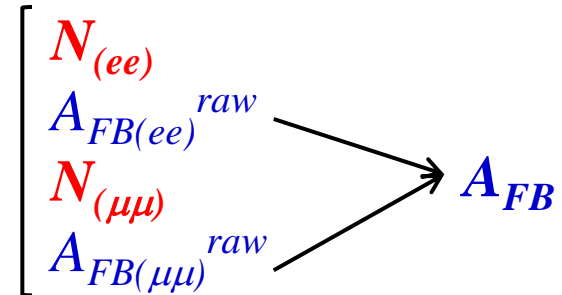
1st q^2 bin の correction function



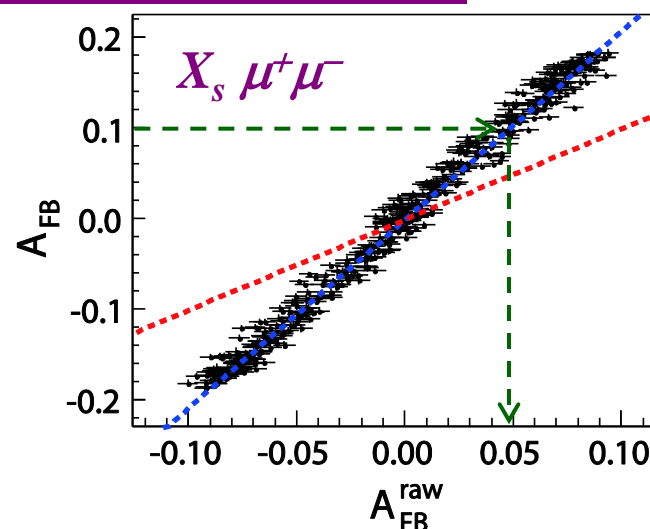
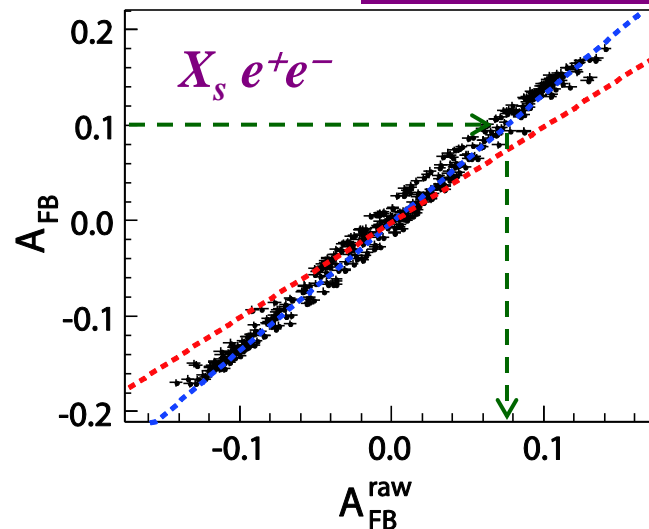
A_{FB} 測定

方針

- Extended unbinned maximum likelihood fit で4つの M_{bc} 分布を同時フィット。
 - Forward/backward event を同時にフィットして直接 A_{FB} を求める。
 - Correction function を用いて $X_s e^+e^-$ と $X_s \mu^+\mu^-$ も同時にフィット。
 - $A_{FB}(X_s e^+e^-) = A_{FB}(X_s \mu^+\mu^-)$ を仮定。



1st q^2 bin の correction function



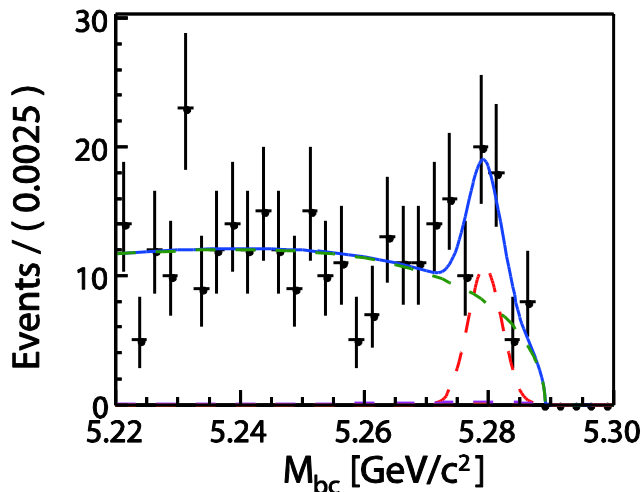
フィット線
 理想線
 $(A_{FB} = A_{FB}^{raw})$

PDF

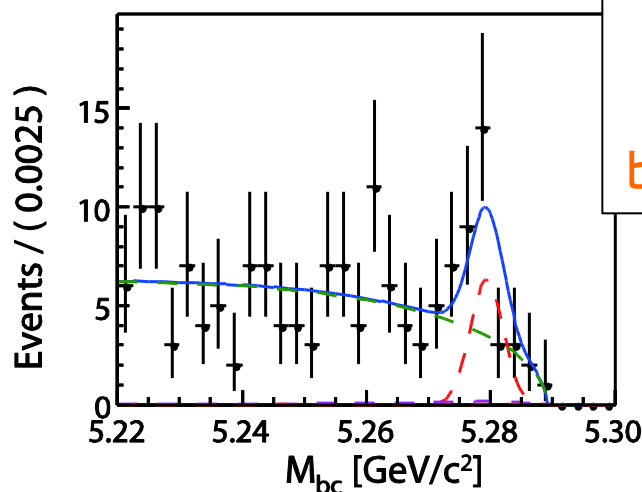
- 信号事象 : ガウス分布
 - 形は X_s J/ψ データを用いて決定。
- Cross-feed : MC から求めた histogram-PDF
 - 事象数は信号事象数に比例
- 背景事象 : ARGUS 関数
- ピーキング背景事象 : histogram-PDF
 - チャーモニウム事象
 - Double miss-PID
 - Swapped miss-PID

フィット結果 (1st q^2 bin)

$X_s e^+e^-, Forward$

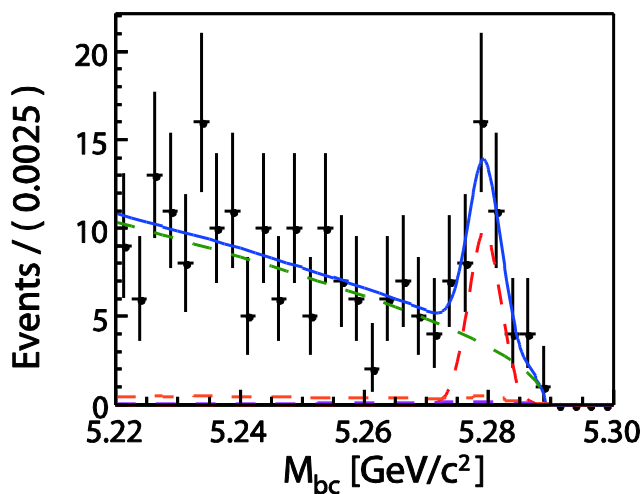


$X_s e^+e^-, Backward$

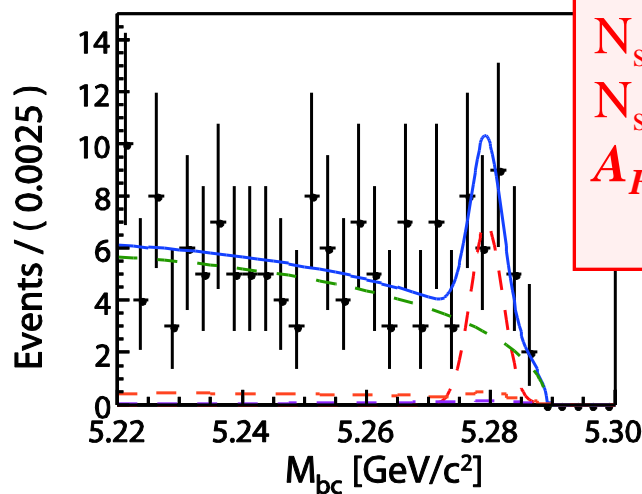


Total
 信号事象
 Cross-feed
 背景事象
 ピーキング背景事象

$X_s \mu^+\mu^-, Forward$



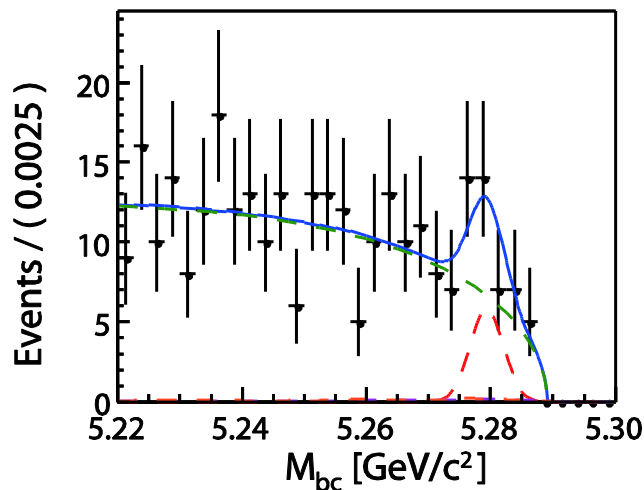
$X_s \mu^+\mu^-, Backward$



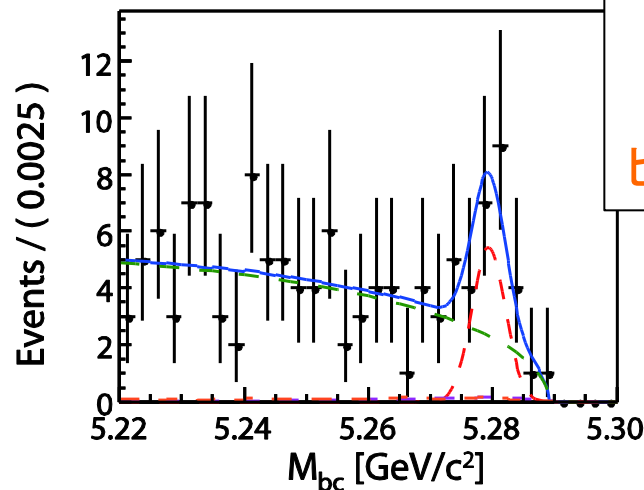
$N_{\text{sig}}(ee) = 45.7 \pm 10.9$ (stat)
 $N_{\text{sig}}(\mu\mu) = 43.4 \pm 9.2$ (stat)
 $A_{FB} = 0.34 \pm 0.24$ (stat)
 ± 0.02 (syst)

フィット結果 (2nd q^2 bin)

$X_s e^+e^-$, Forward

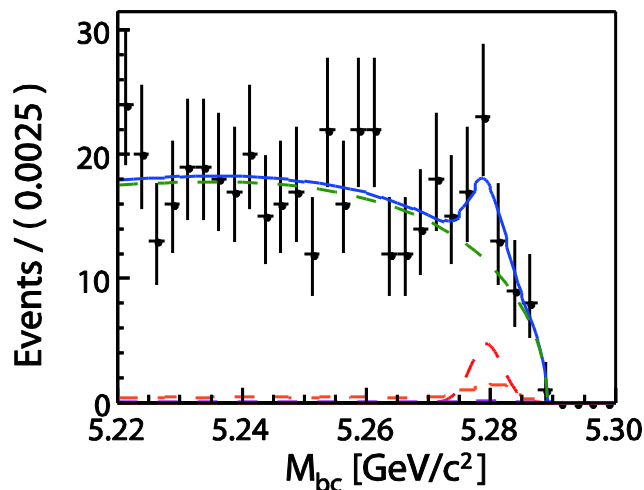


$X_s e^+e^-$, Backward

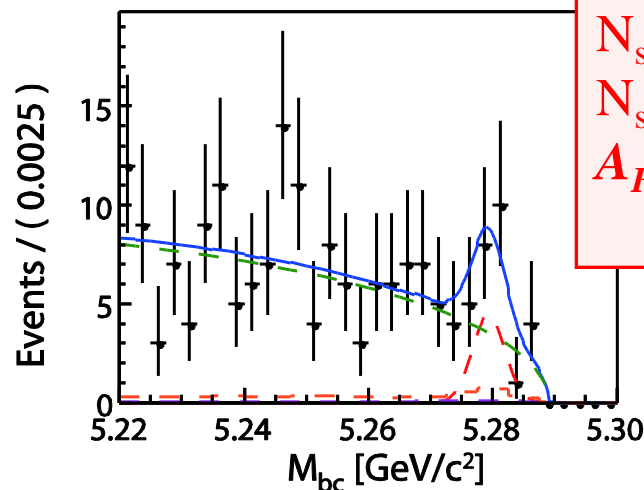


Total
 信号事象
 Cross-feed
 背景事象
 ピーキング背景事象

$X_s \mu^+\mu^-$, Forward



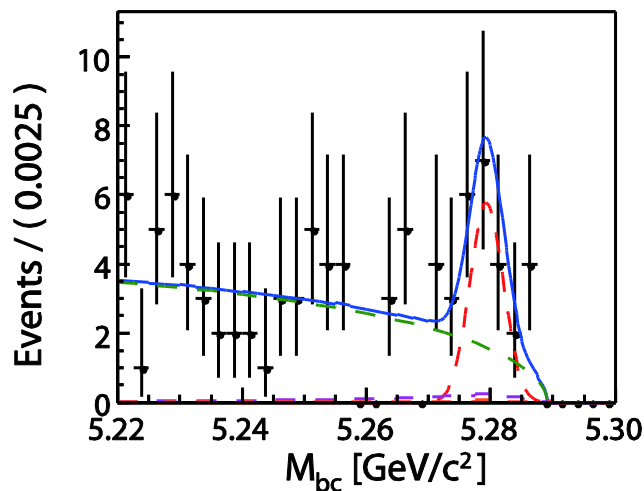
$X_s \mu^+\mu^-$, Backward



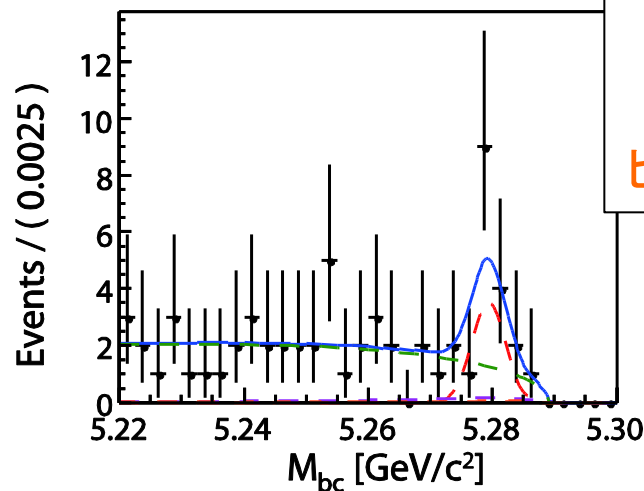
$N_{\text{sig}}(ee) = 30.1 \pm 9.2$ (stat)
 $N_{\text{sig}}(\mu\mu) = 23.9 \pm 10.5$ (stat)
 $A_{FB} = 0.04 \pm 0.31$ (stat)
 ± 0.05 (syst)

フィット結果 (4th q^2 bin)

$X_s e^+e^-$, Forward

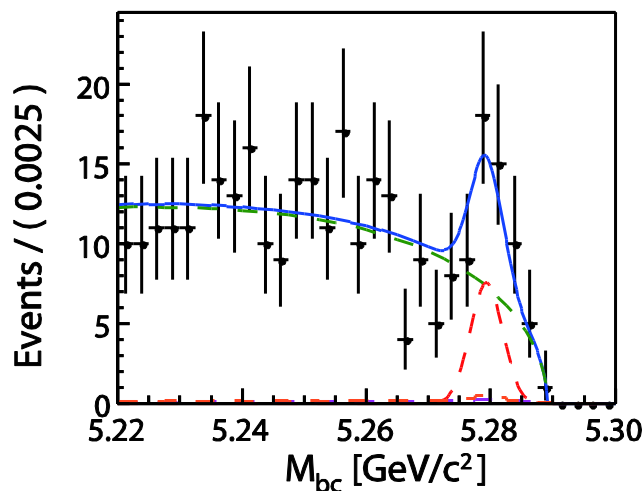


$X_s e^+e^-$, Backward

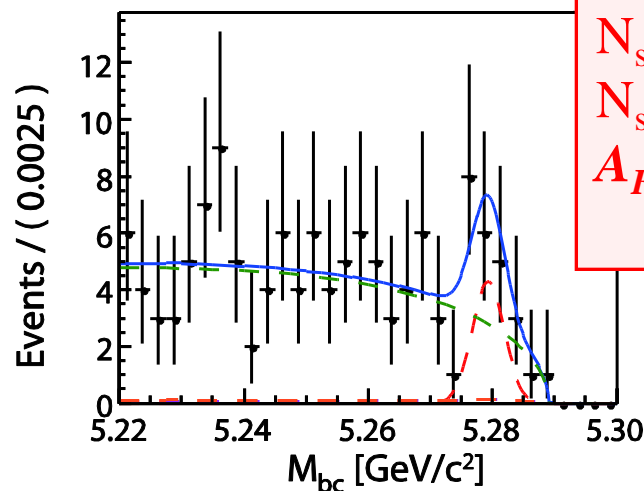


Total
 信号事象
 Cross-feed
 背景事象
 ピーキング背景事象

$X_s \mu^+\mu^-$, Forward



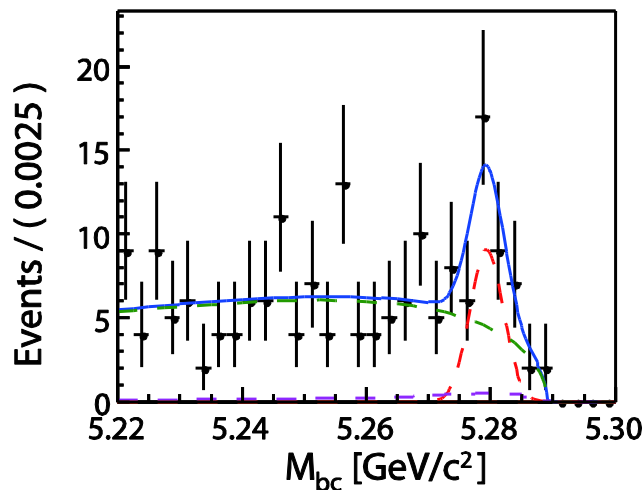
$X_s \mu^+\mu^-$, Backward



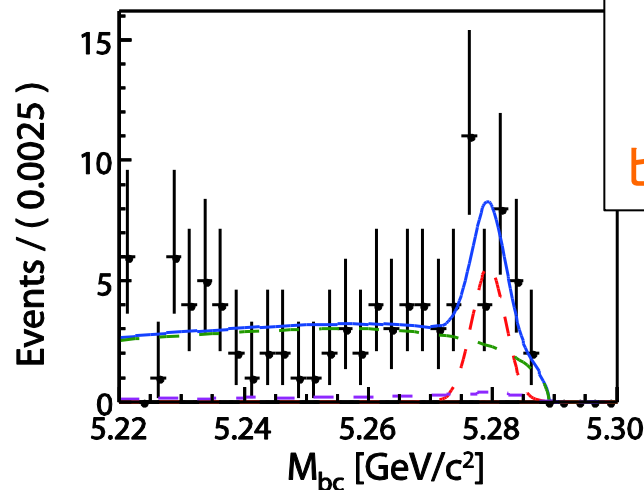
$N_{\text{sig}}(ee) = 25.0 \pm 7.0$ (stat)
 $N_{\text{sig}}(\mu\mu) = 30.7 \pm 9.9$ (stat)
 $A_{FB} = 0.28 \pm 0.21$ (stat)
 ± 0.01 (syst)

フィット結果 (6th q^2 bin)

$X_s e^+e^-$, Forward

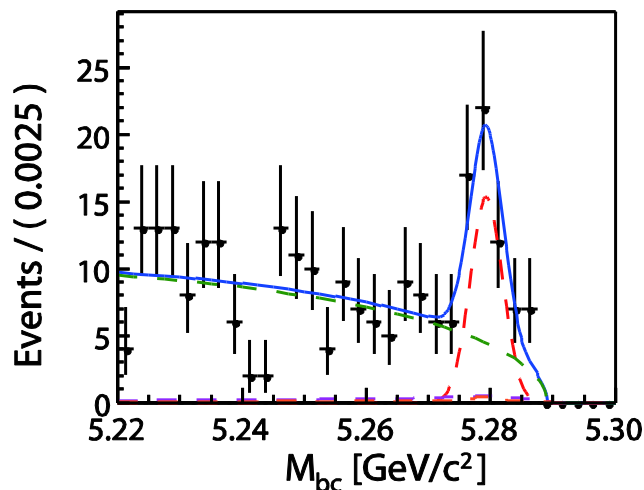


$X_s e^+e^-$, Backward

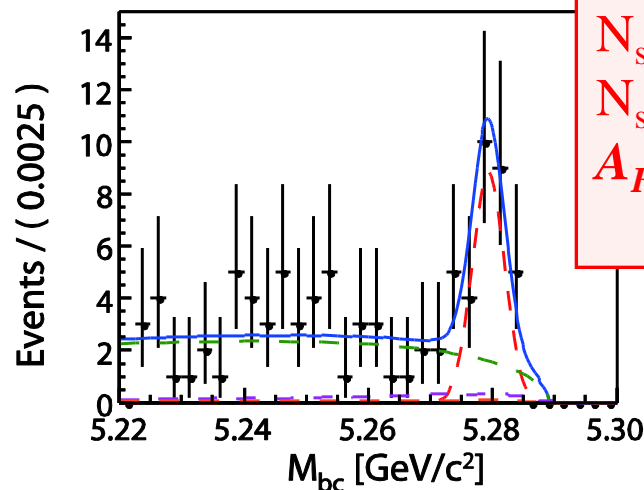


Total
 信号事象
 Cross-feed
 背景事象
 ピーキング背景事象

$X_s \mu^+\mu^-$, Forward



$X_s \mu^+\mu^-$, Backward



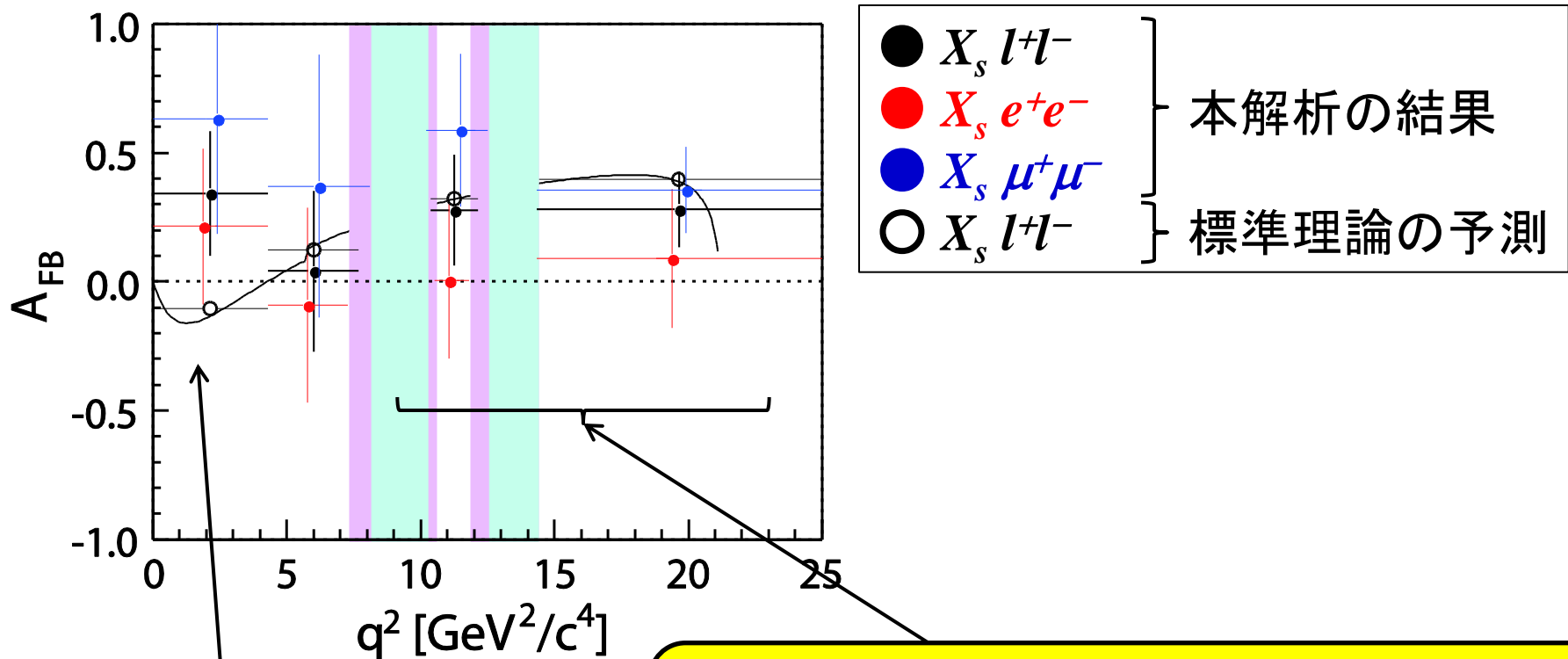
$N_{\text{sig}}(ee) = 39.2 \pm 9.6$ (stat)
 $N_{\text{sig}}(\mu\mu) = 62.9 \pm 10.4$ (stat)
 $A_{FB} = 0.28 \pm 0.15$ (stat)
 ± 0.01 (syst)

系統誤差

| Sources | $\sigma_{A_{FB}}$ | | | |
|---|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1st q^2 bin | 2nd q^2 bin | 4th q^2 bin | 6th q^2 bin |
| Signal shape and Self cross-feed | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| Peaking background | 0.003 | 0.050 | 0.004 | 0.001 |
| Reconstruction and PID efficiency | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Fermi motion | 0.002 | 0.001 | 0.004 | 0.004 |
| <i>b</i>-quark mass | 0.002 | 0.001 | 0.003 | 0.000 |
| X_s-K^* transition | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.003 |
| Hadronization | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.000 |
| Fraction of $[K/K^*/X_s]\ell^+\ell^-$ | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.003 |
| Sign flipped SM A_7 | 0.015 | 0.001 | 0.000 | 0.001 |
| Width of the correction function | 0.012 | 0.004 | 0.006 | 0.003 |
| Total | 0.020 | 0.050 | 0.009 | 0.007 |

- フィットの際に固定したパラメータを動かして、見積もる。
- ピーキング背景事象の見積もりの誤差で事象数を変化させる。
 - チャーモニウム事象に関しては±100%で変化させる。
- 信号事象のMCを生成するときの入力パラメータを変化。
- Correction function 由来の誤差。
 - * 標準理論で存在するオペレータのみを仮定。

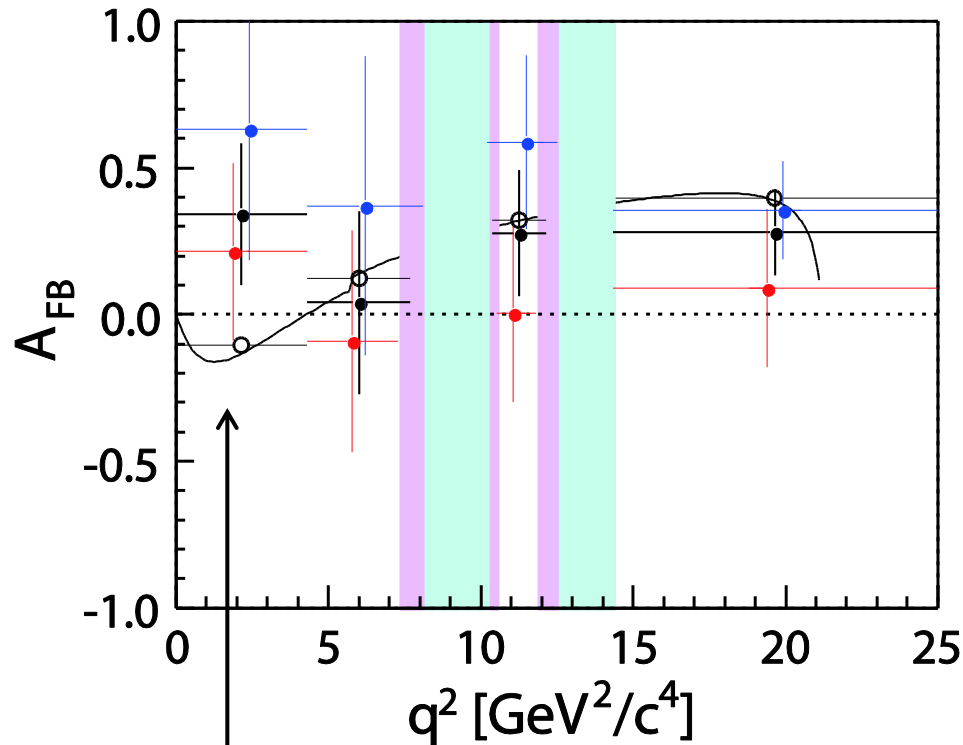
議論 ~標準理論の予言との比較~



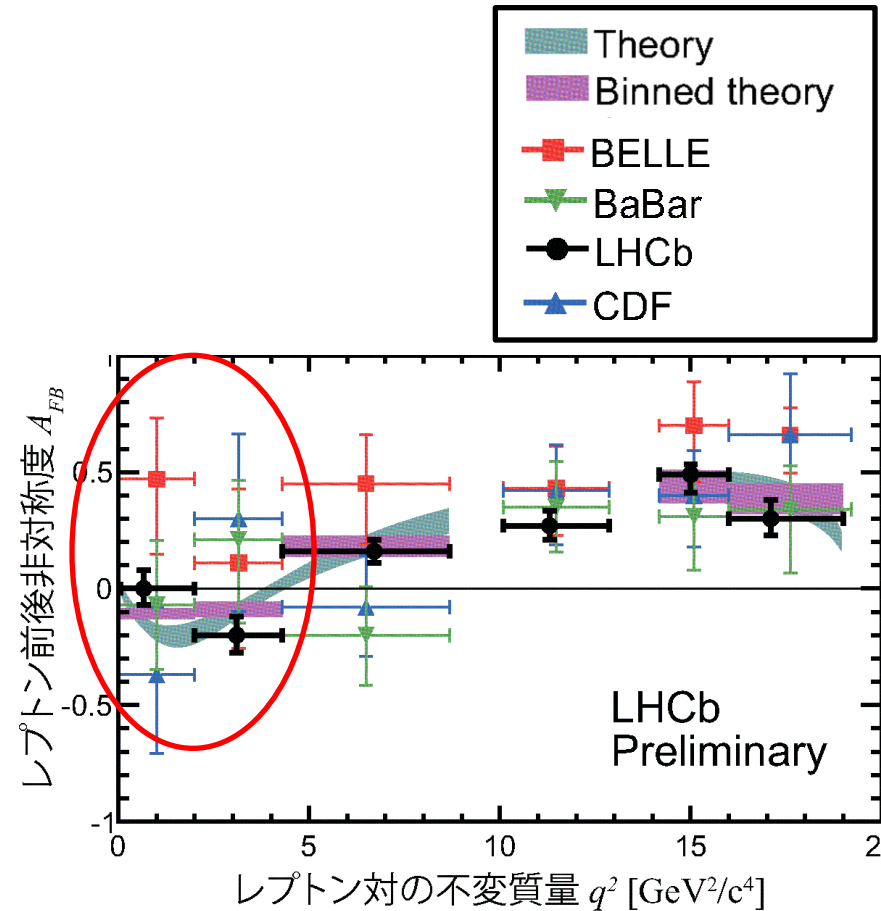
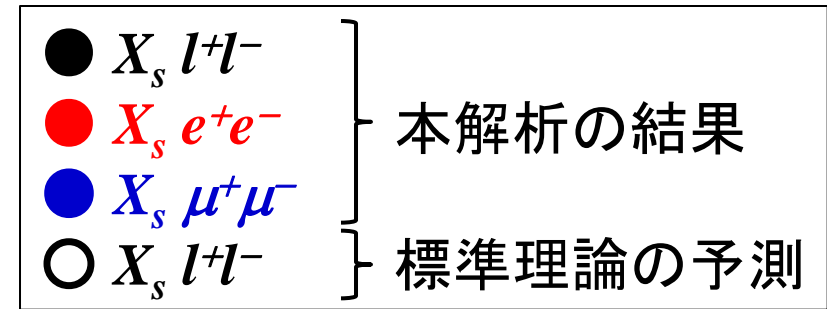
q^2 が大きい領域(4th and 6th bin)において、
2.3 σ (97.9% C.L.) で $C_{10} * C_9$ の項が
負であることを示唆。

q^2 が小さい領域(1st bin)において、
標準理論の予言から1.8 σ (6.6% C.L.)
離れている。

議論 ~ $B \rightarrow K^* l^+ l^-$ を用いた結果との比較 ~



q^2 が小さい領域 (1st bin) において、
LHCb の結果から 1.7σ (8.6% C.L.)
離れている。



結論

- Belle 実験で取得した 711 fb^{-1} (=7.72 億 BB ペア) のデータを用いて、準包括的再構成法により $B \rightarrow X_s l^+ l^-$ 崩壊におけるレプトン前後非対称度 A_{FB} を測定した。

$$A_{FB}(q^2 < 4.3 \text{ GeV}^2/c^4) = 0.34 \pm 0.24(\text{stat}) \pm 0.02(\text{syst})$$

$$A_{FB}(4.3 \text{ GeV}^2/c^4 < q^2 < J/\psi \text{ veto region}) = 0.04 \pm 0.31(\text{stat}) \pm 0.05(\text{syst})$$

$$A_{FB}(q^2 \text{ between } J/\psi \text{ and } \psi(2S) \text{ veto regions}) = 0.28 \pm 0.21(\text{stat}) \pm 0.01(\text{syst})$$

$$A_{FB}(q^2 \text{ above } \psi(2S) \text{ veto region}) = 0.28 \pm 0.15(\text{stat}) \pm 0.01(\text{syst})$$

- q^2 が小さい領域(1st bin)において、標準理論の予言から 1.8σ (6.6% C.L.) 離れている。
- q^2 が大きい領域(4th and 6th bin)において、 2.3σ (97.9% C.L.) で $C_{10} * C_9$ の項が負であることを示唆。
- この結果は標準理論を越える物理を制限するのに使われる。
- Belle II などでの Wilson 係数を精密測定する際に、重要な役割を果たすことが期待される。