

$B \rightarrow K_S \eta \gamma$ 崩壊過程における 時間依存 CP 非対称性の測定



○中野浩至、
石川明正、住澤一高^A、山本均、
他 Belle collaboration

東北大理、高工研^A

2013年9月21日



本研究はJSPS科研費23・3221
の助成を受けたものです。

今回発表する内容

$B^0 \rightarrow K_s \eta \gamma$ 解析

1 動機や現状、
解析内容の紹介

モンテカルロデータを用いた、
再構成とセレクションの決定。

2012年 秋季大会にて発表。

2 CP 非対称性のパラメーターをフィットする方法の決定。

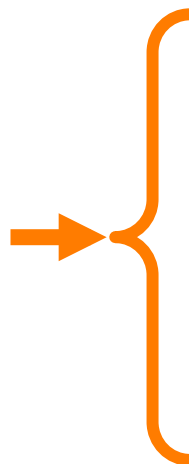
- シグナルである確率の決め方。
- Δt 分布の関数の形の決め方。

3 モンテカルロデータや実験データを用いた、
解析プログラムの動作確認。

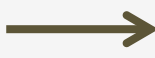

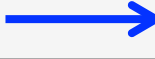
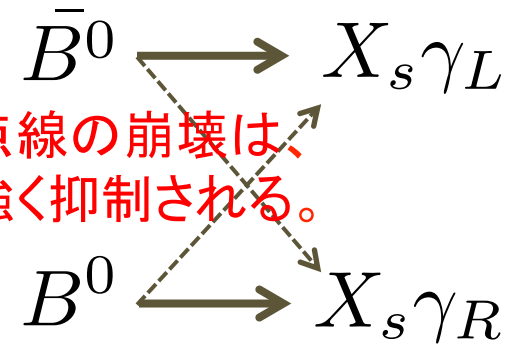
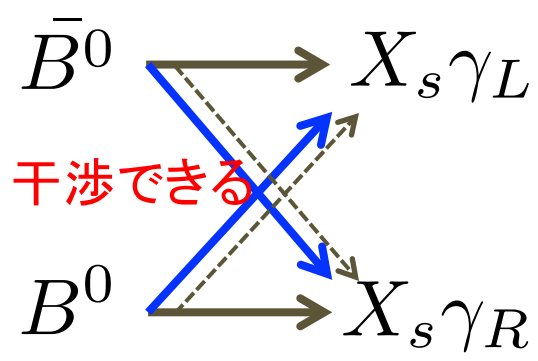
- B 中間子の寿命測定を通じた動作確認。
- モンテカルロシミュレーションによる動作確認。

実験データから時間依存CP非対称性の測定。

今回の内容



本研究の動機

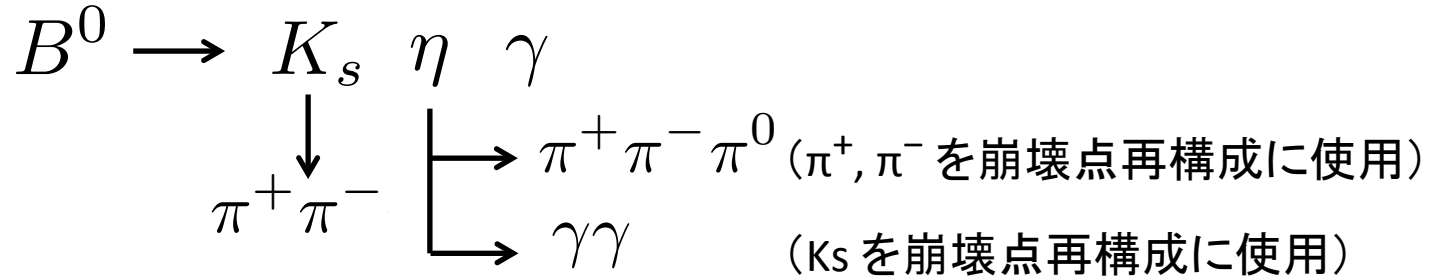
	標準模型	標準模型 + 右巻きカレントをもつ新物理
<p>B, 反B の崩壊の干渉の有無</p> <p>  : 標準模型  : 標準模型(抑制)  : 新物理の寄与 </p>	 <p>点線の崩壊は、強く抑制される。</p>	 <p>干渉できる</p>
$\frac{N_{\bar{B} \rightarrow f}(t) - N_{B \rightarrow f}(t)}{N_{\bar{B} \rightarrow f}(t) + N_{B \rightarrow f}(t)}$ $= \mathcal{S} \cdot \sin(\Delta mt)$	$\sim 2 \frac{m_s}{m_b} \sin(2\phi_1) \sin(\Delta mt)$ <p>arXiv:hep-ph/9704272v1</p>	<p>標準模型より大きくなる可能性がある！</p>

この \mathcal{S} を測定したい

- もし時間依存CP非保存が見られた場合、新物理の兆候をとらえた事になる。
- 終状態として、 $K_s \eta \gamma$ を用いる。

信号に使うモードと、現状

再構成に使う崩壊



信号に似たサンプル



各実験での状況

- **BaBar 実験**

- s の測定値は全データを用いて $-0.18^{+0.49}_{-0.46} \pm 0.12$
- 統計誤差が支配的。

- **LHCb 実験**

- pp衝突のため、 π^0 , η 由来の γ 測定が困難。

- **Belle 実験**

- BBペアのデータは 770×10^6 と BaBar (470×10^6) の 1.6 倍の統計。
- まだ1度も s の測定は行われていない。今回が初！

フィット方法の決定

フィットの概要

Y(4S) が2つの B 中間子に崩壊するが、
この2つの B の崩壊位置の差から、崩壊時間差 Δt を求める。

$$e^{-t/\tau_B} \left[(1 - q\Delta w) + q(1 - 2w) \{ A\cos(\Delta mt) + S\sin(\Delta mt) \} \right].$$

シグナルの Δt 分布は上のように表せる。

q は B のフレーバー (B: $q = -1$, 反B: $q = +1$)。

時間依存の CP 非対称性のパラメーターは、

cos に比例する **A** と sin に比例する **S** の2つがある。

w : B のフレーバーを誤識別している確率。

Δw : B と反B の w の差。

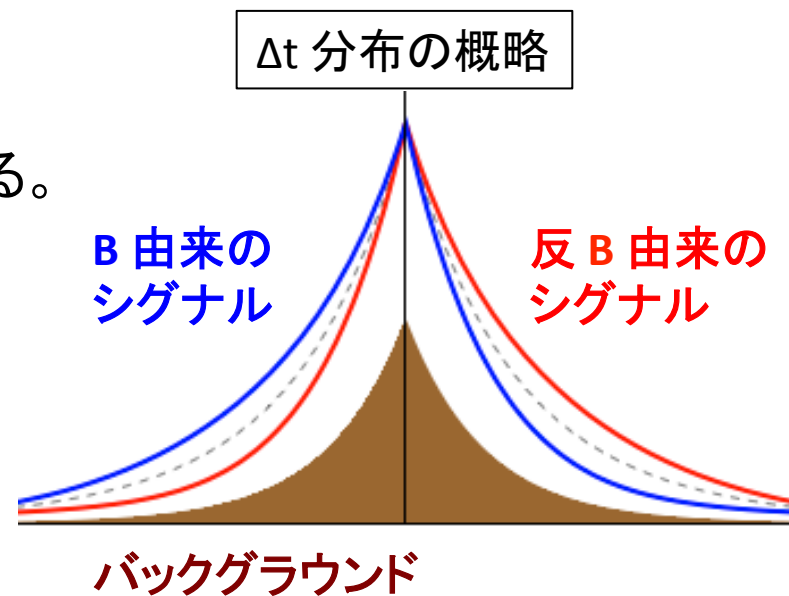
Δt の分布はシグナルだけでなく、

バックグラウンドも含むため、

- シグナル/バックグラウンド である確率

- バックグラウンドの Δt 分布の形状

を知る必要がある。



(もし、非対称性 **S** が大きければ、
このような違いを見る事ができる。)

シグナルである確率の決定方法

シグナルの Δt 分布をフィットするにあたり、
各イベントがシグナル/バックグラウンドである確率を求める必要がある。

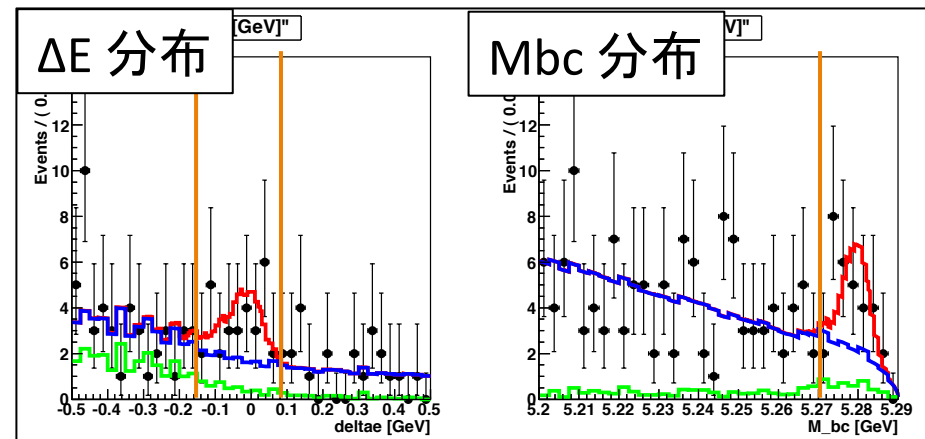
M_{bc} , ΔE の2次元分布から、割合を求める。

M_{bc} : 測定される運動量から得られる $M_{bc} \equiv \sqrt{E_{\text{beam}}^2 - p_B^2}$

ΔE : 測定されるエネルギーから得られる $\Delta E \equiv E_B - E_{\text{beam}}$

	ΔE	M_{bc}
シグナル	ヒストグラム	
qq BG	2次関数	Argus関数
B 由来の BG	ヒストグラム	

ヒストグラムの形状と B BG の量は
モンテカルロシミュレーションにより決定。



$B \rightarrow K_S \eta (\rightarrow 2 \gamma) \gamma$ の実データのフィット結果

統計が少ないため、 M_{bc} , ΔE の2次元分布のフィットは
シグナル数と qq バックグラウンドのみを変数にする。

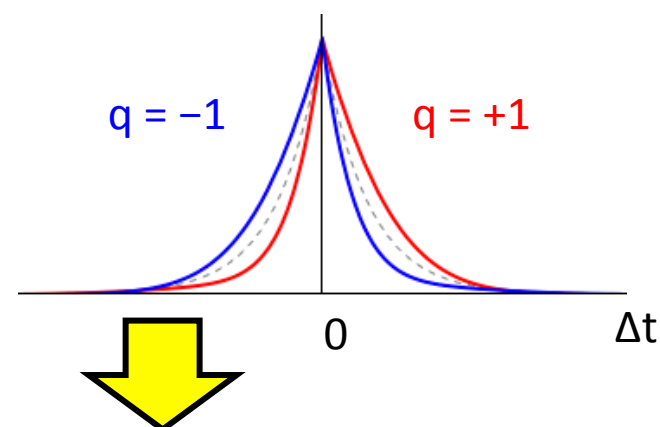
シグナルの Δt 分布と resolution function

シグナル

$$e^{-t/\tau_B} \left[(1 - q\Delta w) + q(1 - 2w) \{ A \cos(\Delta mt) + S \sin(\Delta mt) \} \right].$$

上の関数を、
“Resolution function” によって、ぼやけさせる。

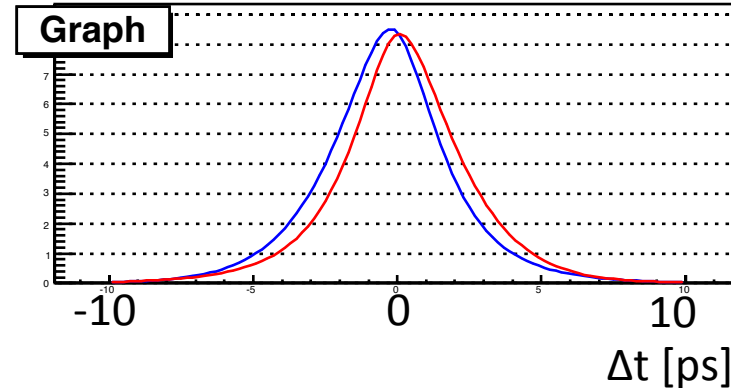
例、 $S=0.5, A=0$ の場合



Resolution function

- 検出器由来の崩壊点の分解能。
- tag 側の B の2次粒子を用いる事による崩壊点再構成のずれ。
- $Y(4S)$ から B 中間子対に崩壊した際の重心系に対する運動。

以上3つの影響を考慮した関数。



バックグラウンドの Δt 分布

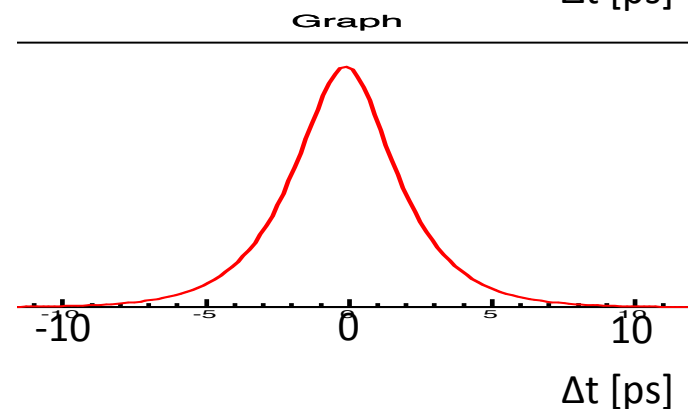
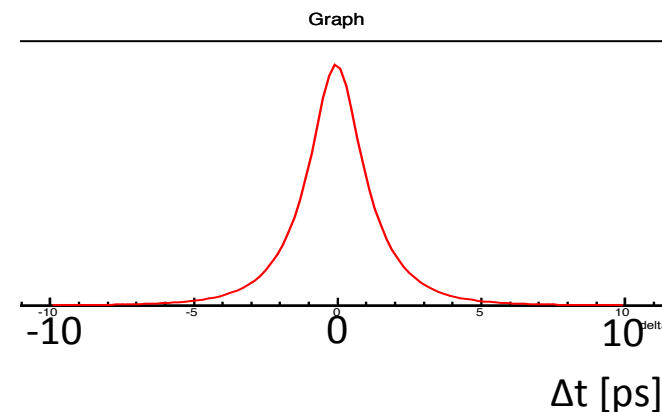
qq BG

δ 関数と指数関数を合わせたものにダブルガウシアンを畳み込んだものを使用。
(δ 関数は崩壊点から出たトラック、指数関数は c クォーク由来を表す。)

qq BG が支配的(95% 以上)になるようなセレクションを課した実データに対してフィットし、形を決定。

BB BG

B 中間子由来の BG は、
モンテカルロシミュレーションによる Δt 分布を
指数関数に resolution function (前ページ) を
畳み込んだ関数でフィットし、決定する。



フィット方法の妥当性の確認

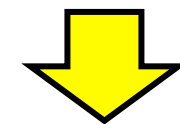
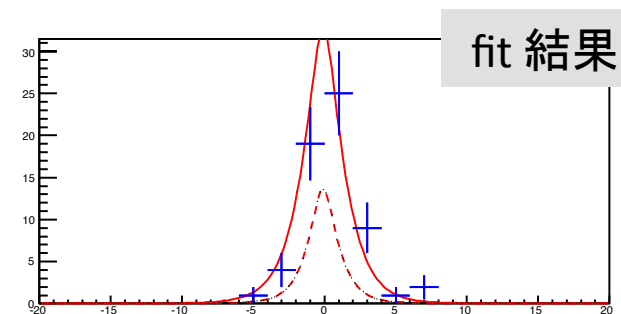
シミュレーションを用いた寿命測定の妥当性

$$e^{-t/\tau_B} \left[(1 - q\Delta w) + q(1 - 2w) \{ A\cos(\Delta mt) + S\sin(\Delta mt) \} \right].$$

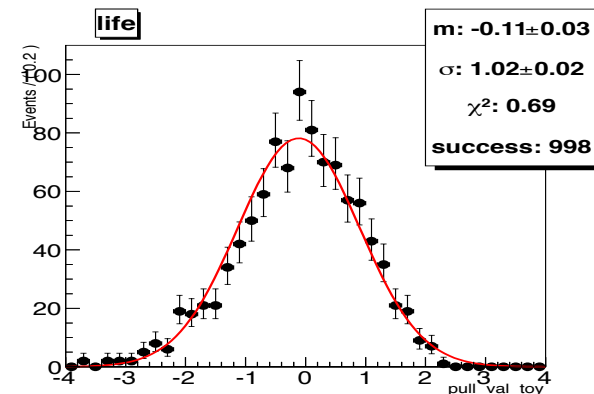
上のシグナルの Δt 分布の関数は、
 $q = +1, -1$ に関して和をとると S, A の項が消え、
 指数関数になる。

B中間子の寿命 τ_B をフィット変数にする事で、
 実データを用いたフィット関数の妥当性を
 確認する事ができる。

まず、関数が正しい事を仮定し、
 モンテカルロシミュレーションを用いて、
 フィットが正しく行う事ができるかを確認した。
 pull 分布を右に示す。



1000試行による
pull 分布



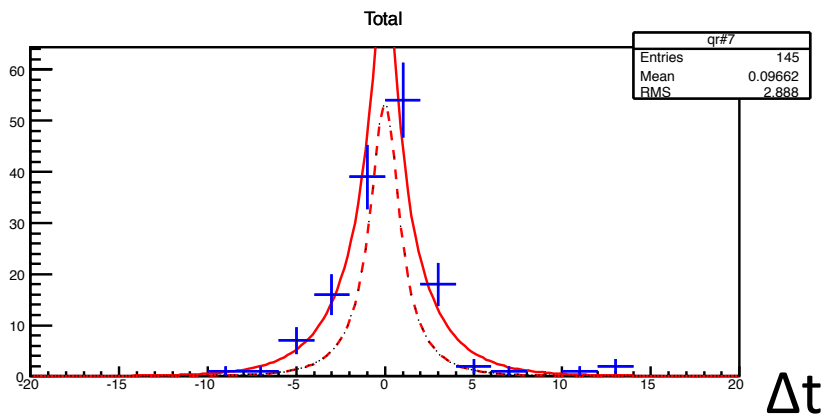
-0.1 程度のバイアスが見られる(シグナルの統計数が少ない事に由来)。
 最終的な CP 破れのパラメータのフィットには影響しないため問題ない。

$B^+ \rightarrow K^+ \eta \gamma$ の実データを用いた寿命測定

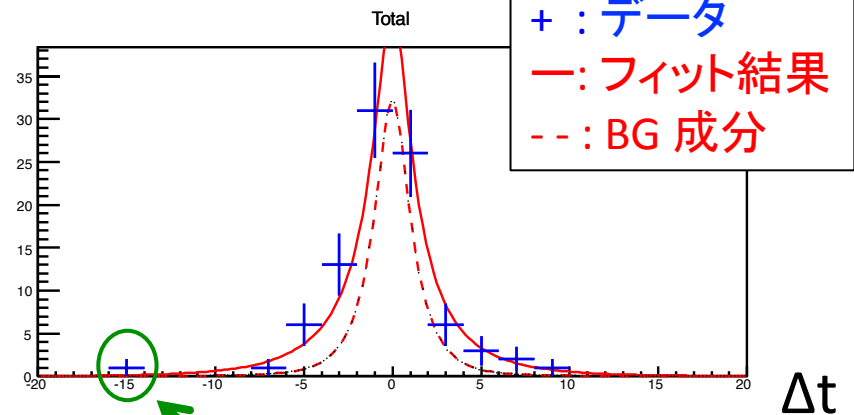
シグナルの K_s を K^+ に置き換えた崩壊モードを使用した。
 フィット結果は以下ようになった。

mode	フィット結果 [ps]	PDG の値からのずれ
$\eta \rightarrow 2\gamma$	2.07 (+0.38 / -0.33)	+1.3 σ
$\eta \rightarrow 3\pi$	2.67 (+0.61 / -0.48)	+2.1 σ

$\eta \rightarrow 2\gamma$ mode



$\eta \rightarrow 3\pi$ mode (π^+ , π^- を崩壊点再構成に使用)



このイベントを1つ取り除くと
 ずれは +2.1 σ から +1.5 σ になる。
 イベントの総数が少なく、
 統計的なふらつきと考えられる。

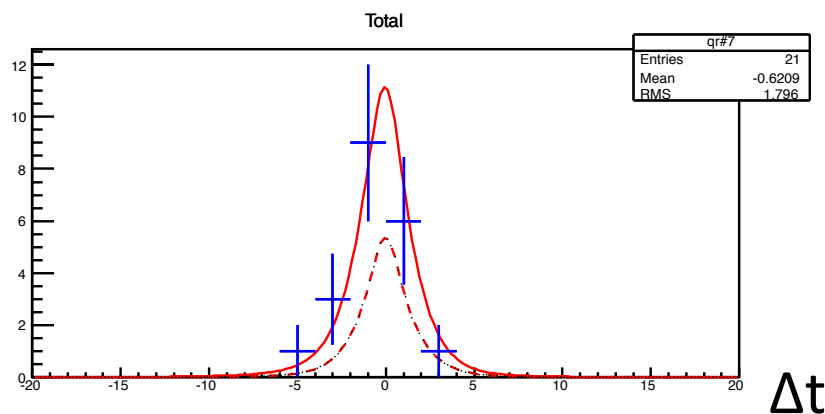
この結果だけでは何も言えないため、
 他の結果も合わせて考える必要がある。

$B^0 \rightarrow K_S \eta \gamma$ の実データを用いた寿命測定

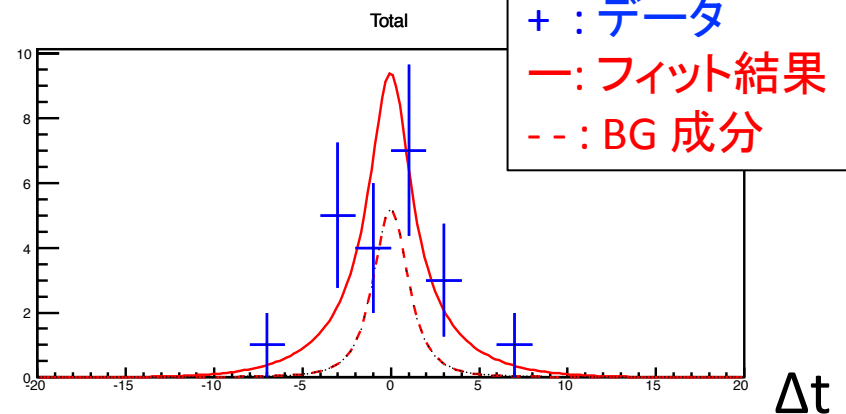
シグナルモードでの
寿命測定を行った。
フィット結果は
以下のようになった。

mode	フィット結果 [ps]	PDG の値からのずれ
$\eta \rightarrow 2\gamma$	0.75 (+0.53 / -0.39)	-1.5 σ
$\eta \rightarrow 3\pi$	1.98 (+0.83 / -0.55)	+0.8 σ
合計	1.49 (+0.47 / -0.36)	-0.1 σ

$\eta \rightarrow 2\gamma$ mode (Ksを崩壊点再構成に使用)



$\eta \rightarrow 3\pi$ mode (π^+ , π^- を崩壊点再構成に使用)



フィット結果は誤差の範囲内で世界平均に一致する。

$B^0 \rightarrow J/\psi K_S$ の実データを用いた寿命測定

さらに、統計の多い $B \rightarrow J/\psi K_S$ モードも確認に用いた。

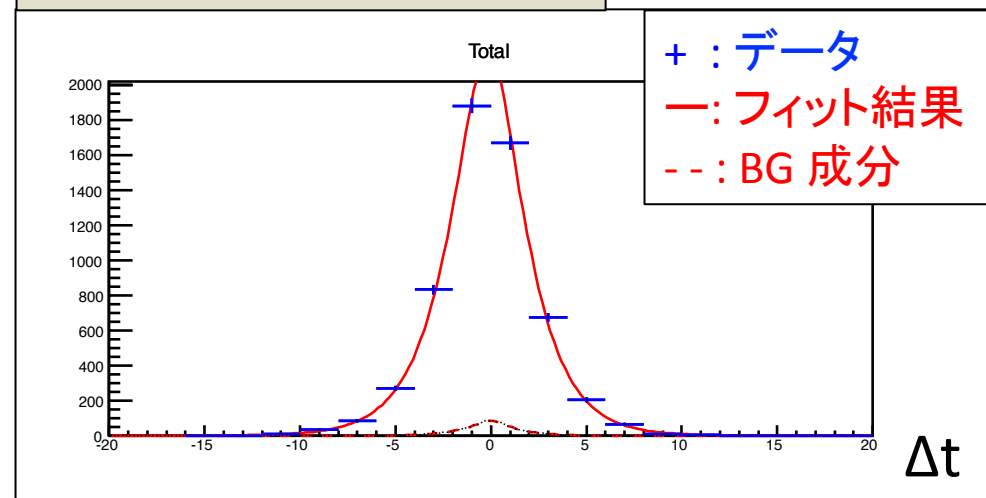
フィット結果 [ps]

1.529 (+0.027 / -0.027)

PDG の値からのずれ

+0.4 σ

K_S を崩壊点再構成に使用



フィット結果は誤差の範囲内で世界平均に一致する。
フィット関数の妥当性が、実データによって示された。

フィット結果の線形性の確認

モンテカルロシミュレーションを用いて、
入力したパラメーター S とフィット結果が正しく対応しているか確認した。

S は -0.95 から $+0.95$ まで、
0.1 おきに 20 点の入力。

A は 0 に固定。

それぞれ、1000 回のシミュレーションの
フィット結果の分布をガウス関数で
フィットし、中心値を右にプロット。

1 次関数 $y = ax + b$ による
フィット結果は

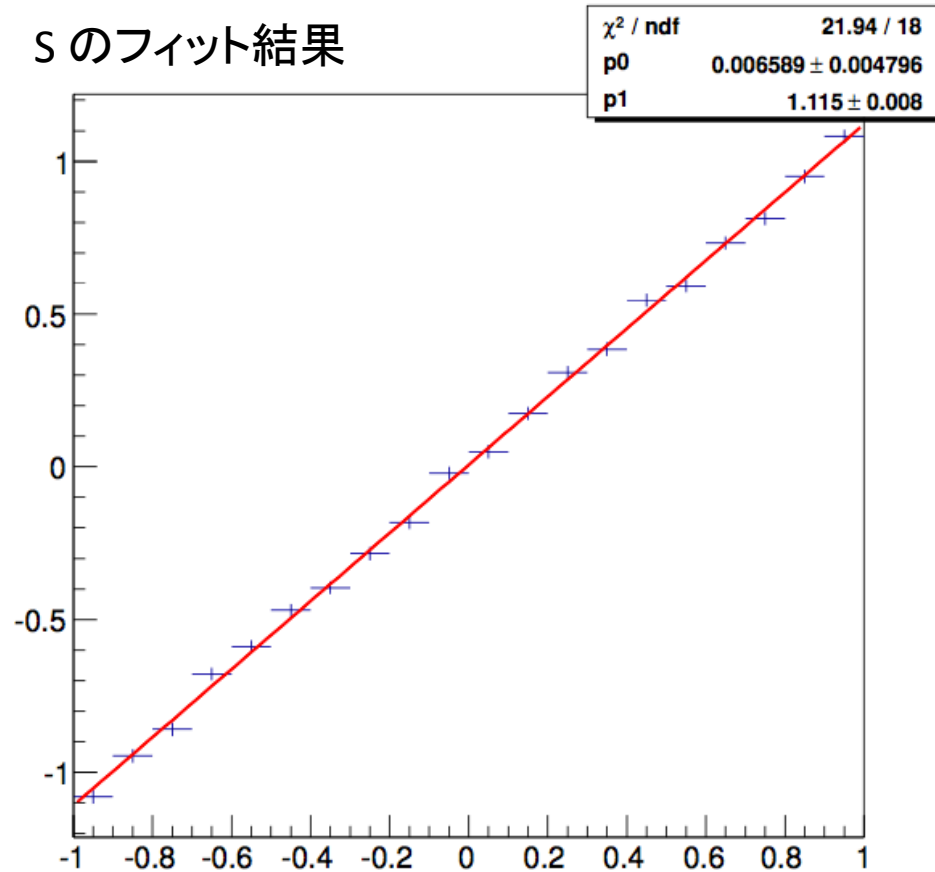
$$a = 1.115 \pm 0.008$$

$$b = 0.0066 \pm 0.0048$$

となり、

b は 0 に誤差の範囲で一致するが、
 a は 1 から有意に離れている。

S のフィット結果



入力した S

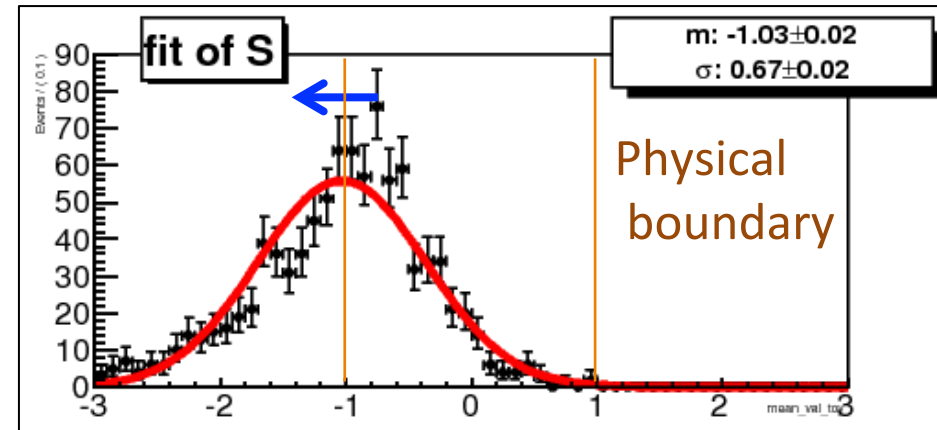
バイアスの原因

バイアスの原因を理解するため、フィット結果の分布を確認した。

S = -0.95 を入力した場合

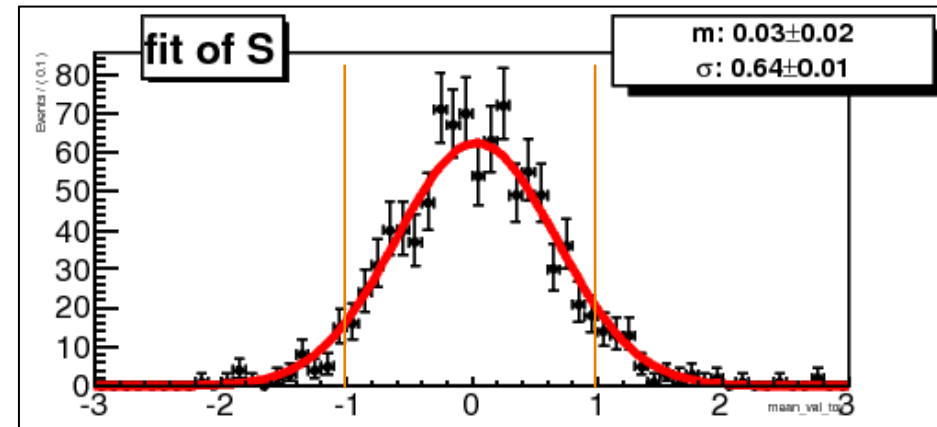
Physical boundary (-1, +1) を超えると、
フィット結果が大きめにずれてしまう。

- 分布がガウス関数になっていない。
- 長い tail が、中心値を引っ張っている。



S = +0.05 を入力した場合

- 分布がガウス関数になっている。
- したがって、中心値は引っ張られない。



バイアスの原因を理解することができた。
系統誤差に含めて評価を行う。

まとめ

- $B \rightarrow K_S \eta \gamma$ 崩壊過程における時間依存の CP 非対称度を表すパラメーター S は、新物理があった場合、大きくなる可能性がある。
- このパラメーター S をフィットする方法をモンテカルロシミュレーションを用いて決定した。
- 決定されたフィット方法の妥当性を、実データを用いて確認した。
- いよいよ実データから S を測定する段階に来た。次回の物理学会での結果報告をご期待ください。

Back up

モンテカルロシミュレーションによる確認

ΔE -Mbc の2次元フィットが正しく行う事ができるかを、
モンテカルロシミュレーションを用いて確認した。

1000回のシミュレーションによる
シグナル数の pull 分布から、
 -0.1σ 程度の小さなバイアスが確認された。
(シグナル数が少ない事に由来。)

統計誤差が支配的な本解析では
この程度のバイアスは問題無く、
バイアスは系統誤差に加える。

1000回のシグナル数の
フィット結果

