

20min トーク
5min 質問

$B \rightarrow K\pi\pi\gamma$ での A_{UD}

~ Flavor Physics Workshop 2013 ~

小野 善将 (Yoshimasa Ono)
東北大学D2

話す内容

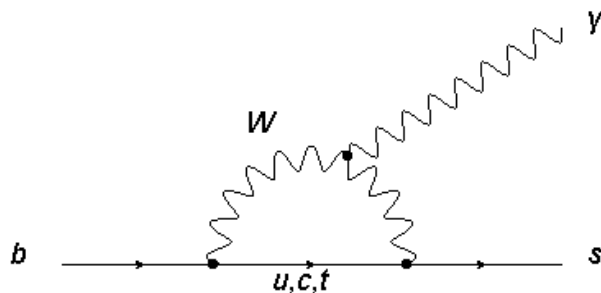
- 物理解析のモチベーション (P.3~)
- 簡単にBelle紹介(P.6~)
- 研究の流れ (P.8~)
- signal選択(P.9~)
- Background抑制(P.17~)
- まとめ (P.25)

$b \rightarrow s \gamma$ / γ 偏極

New physics

 $b \rightarrow s \gamma_{\text{pol}}$ A_{UD} of $B \rightarrow K \pi \pi \gamma$

Standard Model



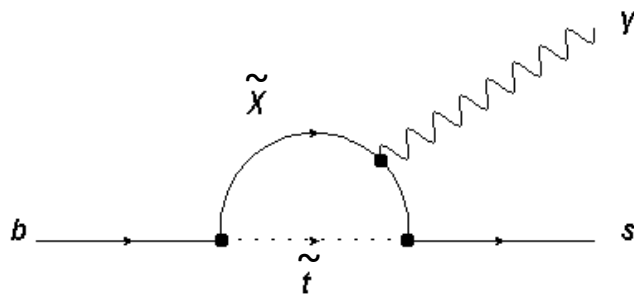
W は左巻きクォークと結合



しかし $\sim (m_s/m_b)$ 程度の right-handed が入り込める。

{SM} ほぼ $b \rightarrow s \gamma_L$

New Physics



新物理の粒子には、右巻きクォークと結合できるものアリ。



{NP} $b \rightarrow s \gamma_R$ が入れる

$b \rightarrow s \gamma$ における γ 偏極で、New physics を探索できる。

偏極の測定方法

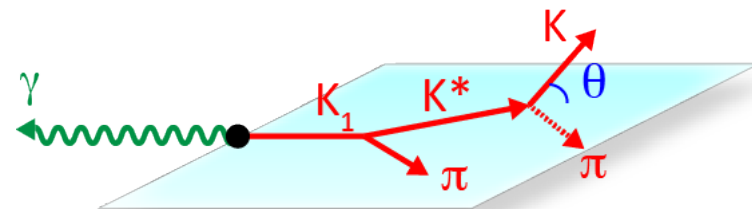
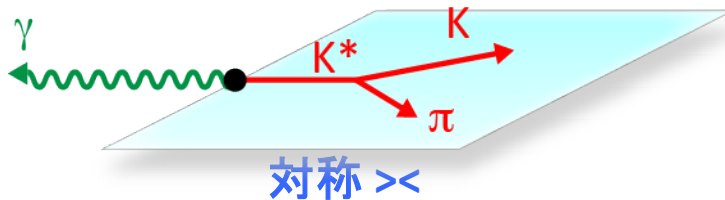
New physics

 $b \rightarrow s \gamma_{\text{pol}}$ A_{UD} of $B \rightarrow K \pi \pi \gamma$ $B \rightarrow K_{\text{res}} \gamma$ K_{res} 偏極 ($\leq \gamma_{\text{pol}}$) K_{res} helicity amplitude K_{res} に使えるものは?

@ B 静止系

☹️ 2体崩壊

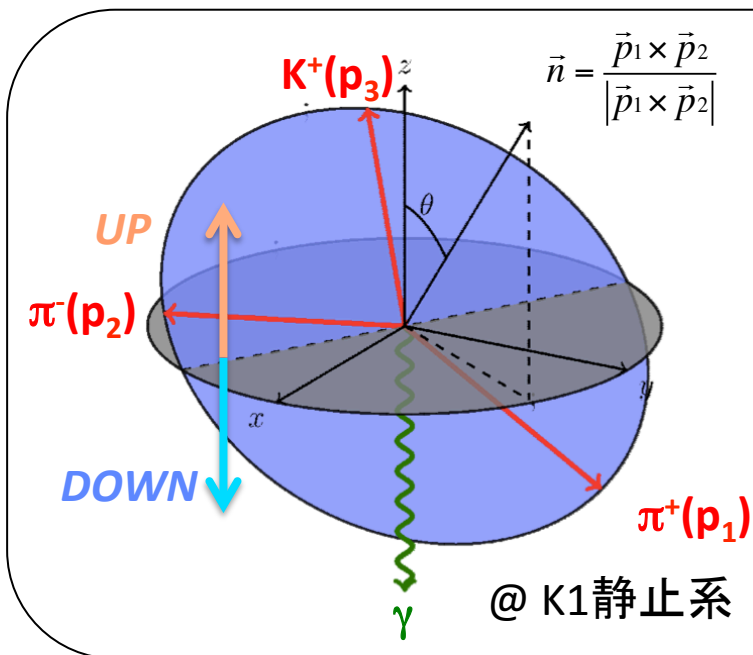
😊 3体崩壊

 $B \rightarrow K_{\text{res}} \gamma \rightarrow (3\text{-body}) \gamma$ の崩壊を使う。

B → K₁γ → Kππγ での A_{UD}

New physics

b → sγ_{pol}A_{UD} of B → Kππγ
 $K_{\text{res}} = K_1(1270), K_1(1400)$

 B → K₁γ → (K*^π/Kρ) ^{干渉} γ → Kππγ


崩壊形状

$$\frac{d\Gamma}{ds_{13}ds_{23}d\cos\theta} \propto \frac{1}{4} |\vec{J}|^2 (1 + \cos^2\theta) + \lambda_\gamma \frac{1}{2} \text{Im} \{ \vec{n} \cdot (\vec{J} \times \vec{J}^*) \} \cos\theta$$

上下非対称性 : A_{UD}

$$A_{UD} = \frac{3}{4} \frac{\langle \text{Im}(\vec{n} \cdot (\vec{J} \times \vec{J}^*)) \rangle}{\langle |\vec{J}|^2 \rangle} \lambda_\gamma$$

 J : K1崩壊の helicity amplitude
 λ_γ : γ 偏極
A_{UD}

- γ偏極に依存する。
- K1崩壊過程のK*/ρ 共鳴の干渉から発生する。

簡単なBelleの紹介

Belle実験

– $e^+e^- \rightarrow BB\sim$ を大量に生成

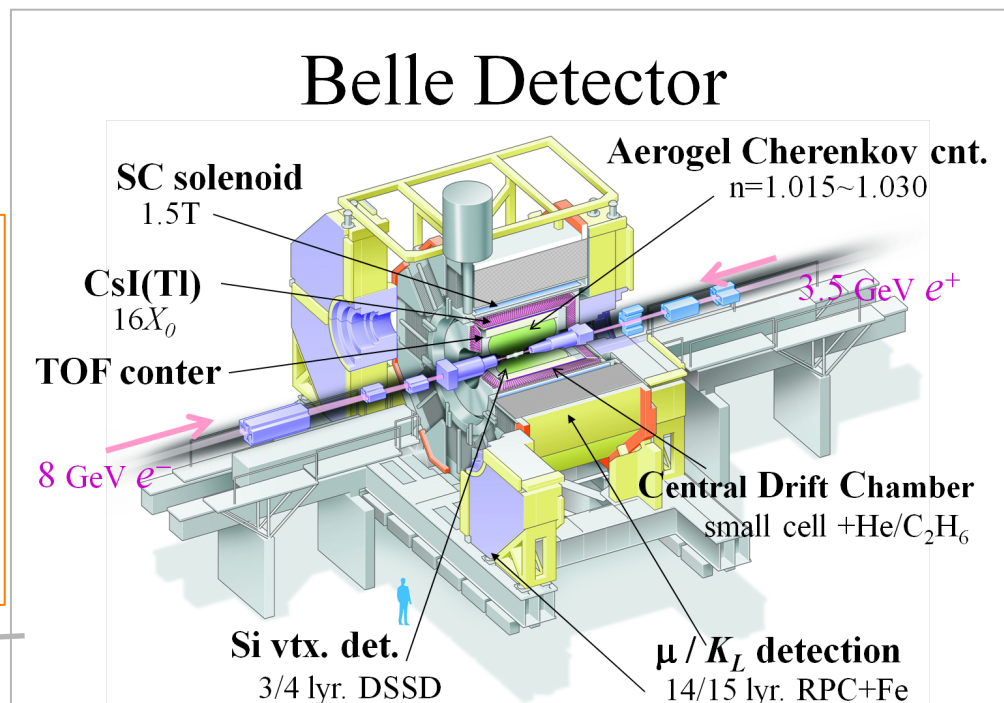
😊 ルミノシティ高い \Rightarrow 高統計

😊 高精度の粒子識別能力

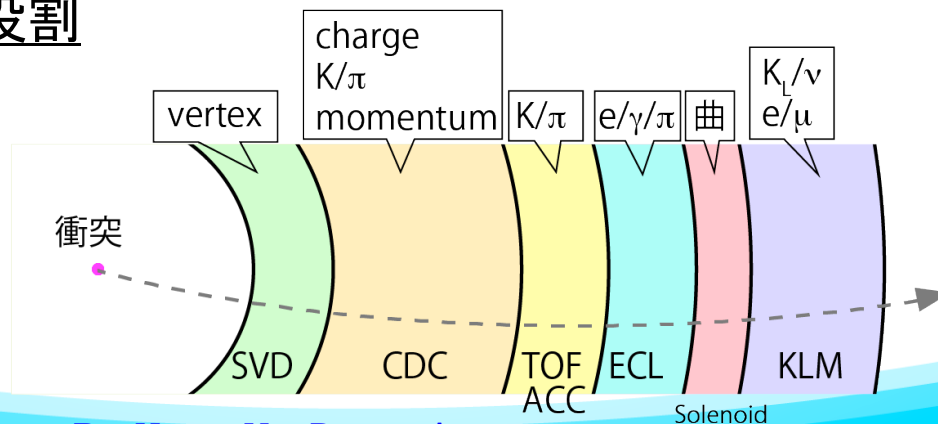
😊 ee衝突

➢ background少なめ

➢ 始状態エネルギー



各検出器の役割



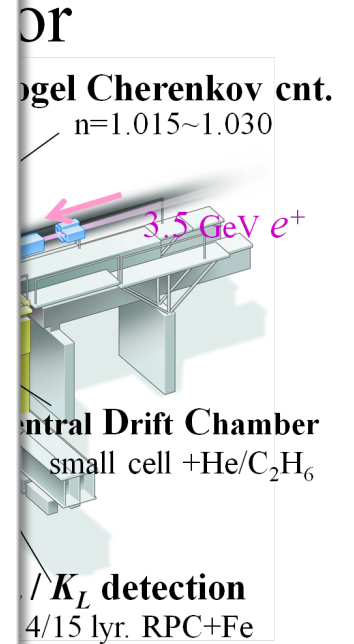
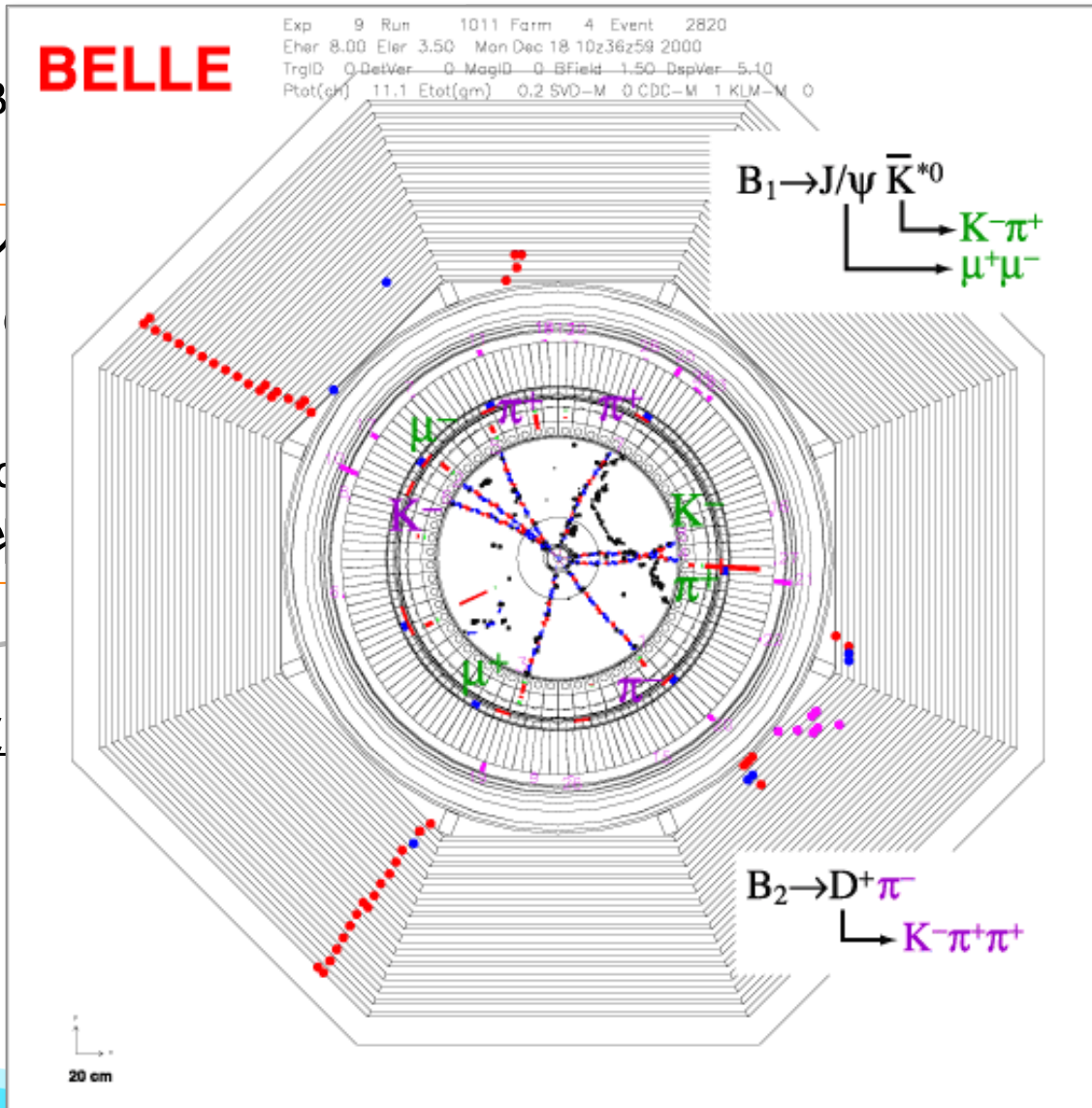
$B \rightarrow K\pi\gamma$ Up-Down Asymmetry

簡単なBelleの紹介

- Belle実験
 - $e^+e^- \rightarrow B$

- ☺ ルミノシ
- ☺ 高精度
- ☺ ee 衝突
 - bac
 - 始

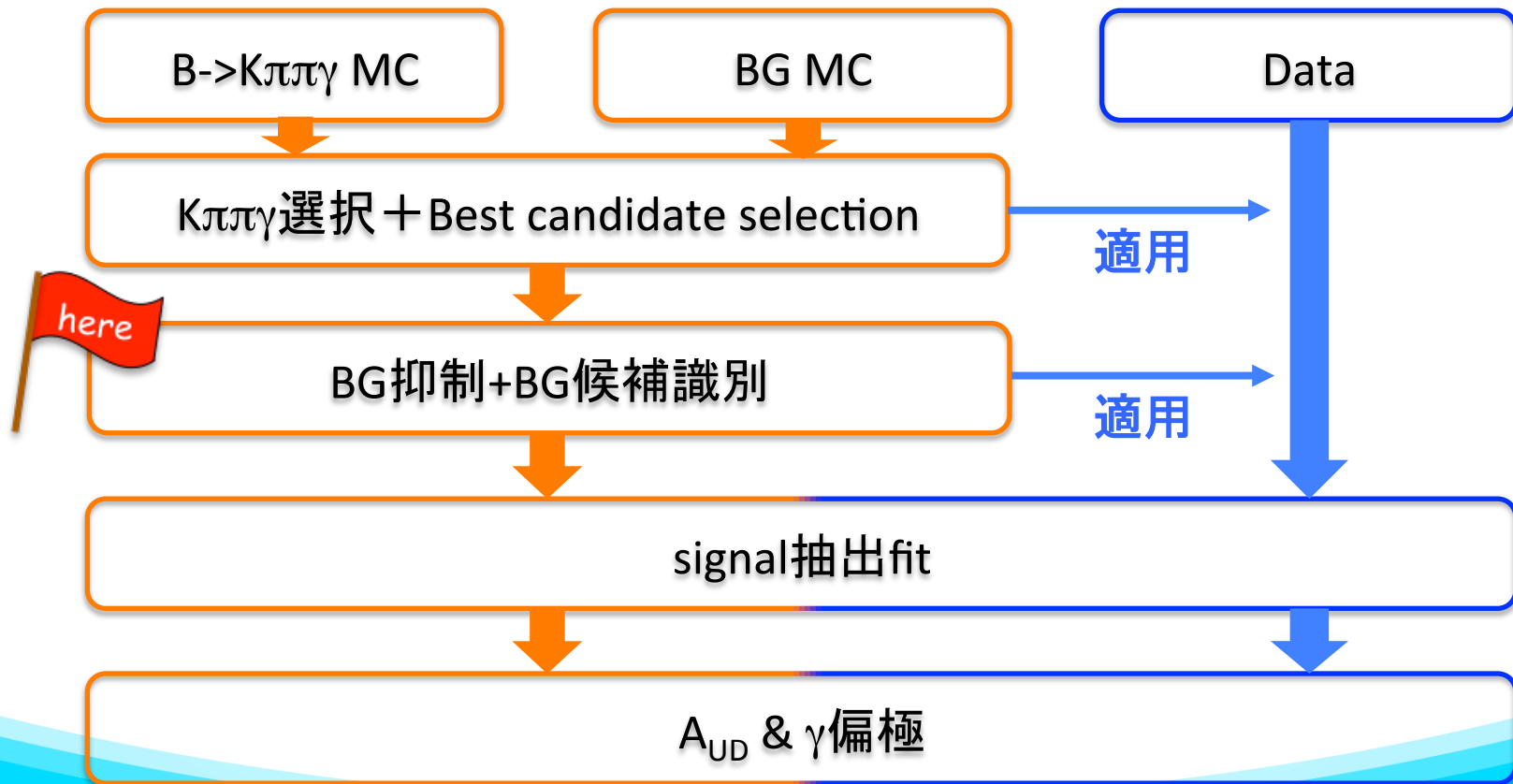
- 各検



研究の進め方

1. $B \rightarrow K\pi\pi\gamma$ はBelleで、どう見えるか？ \Rightarrow Monte Carlo
2. Dataに合わせると、こういう結果 γ 偏極がでる \Rightarrow 終了！！

小野の場合





signal抽出

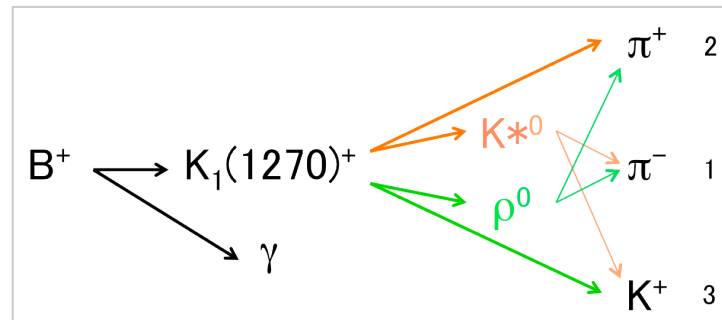
signal MC -> 粒子選択

- generator => 以下のカットかけて、 $K\pi\pi\gamma$ を再構成。

generator

この資料では $K^+\pi^+\pi^-\gamma$ のモードだけ。

decay	$B^+ \rightarrow K_1(1270)^+ \gamma \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- \gamma$
K1 shape	Breit-wigner ($\Gamma=90\text{MeV}$)
γ pol.	right-handed
phases	no phase



カット & 再構成

荷電K/ π

K	π
$ dp < 0.5\text{cm}, dz < 5\text{cm}$	
$ p_{\text{CM}} > 200\text{MeV}$	
PID(K/ π) > 0.6	PID(π /K) > 0.4
PID(e/K) < 0.9	PID(e/ π) < 0.9
PID(μ /K) < 0.9	PID(μ / π) < 0.9

光子 γ

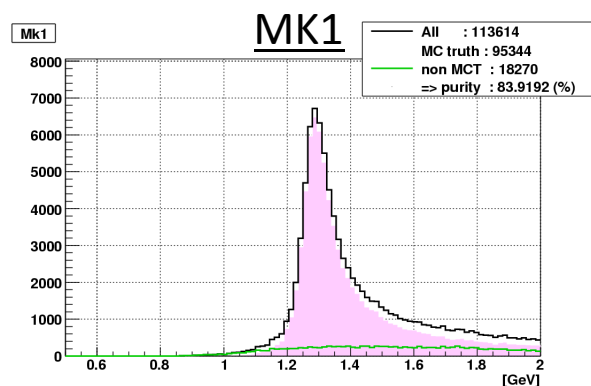
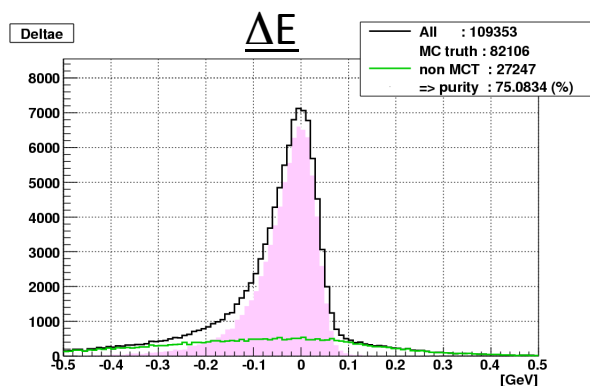
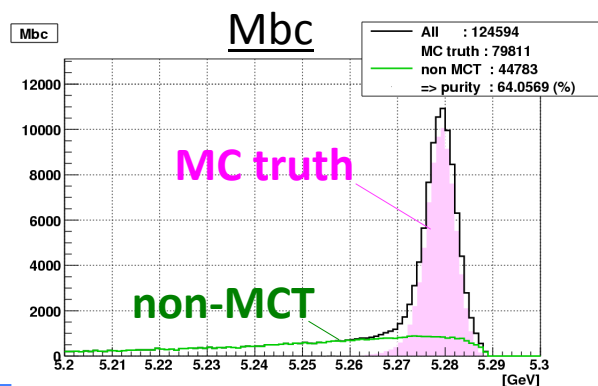
γ
$1.4\text{GeV} < E_\gamma < 3.4\text{GeV}$
$E(9/25) > 0.95$
$33^\circ < \theta_\gamma < 128^\circ$: Barrel
π^0 prob. < 0.1
η prob. < 0.2

non-MC truthイベント??

signal box

- $-0.2 < \Delta E < 0.1$
- $M_{bc} > 5.27$
- $M_{k1} < 2.0$

- Bを再構成 + non-MC truthの原因を探る。



non-MC truth & signal BOXの粒子情報

Nrank	K	$\pi 1$	$\pi 2$	γ	Contribution[%](events)
0	K+	π^-	π^+	gamma	90.6068% (12723)
1	π^+	π^-	K+	gamma	2.92693% (411)
2	K+	π^-	μ^+	gamma	1.79462% (252)
3	K+	μ^-	π^+	gamma	1.02549% (144)
4	π^+	π^-	π^+	gamma	0.769121% (108)

performance in signal box

purity: 84.78 %

efficiency: 15.65 %

各粒子の親Bは？

Nrank	K	$\pi 1$	$\pi 2$	γ	Contribution[%](events)
0	signal	opposite	signal	signal	48.2984% (6145)
1	signal	signal	opposite	signal	43.5589% (5542)
2	signal	opposite	opposite	signal	6.21709% (791)
3	opposite	signal	signal	signal	1.53266% (195)
4	opposite	opposite	signal	signal	0.275092% (35)

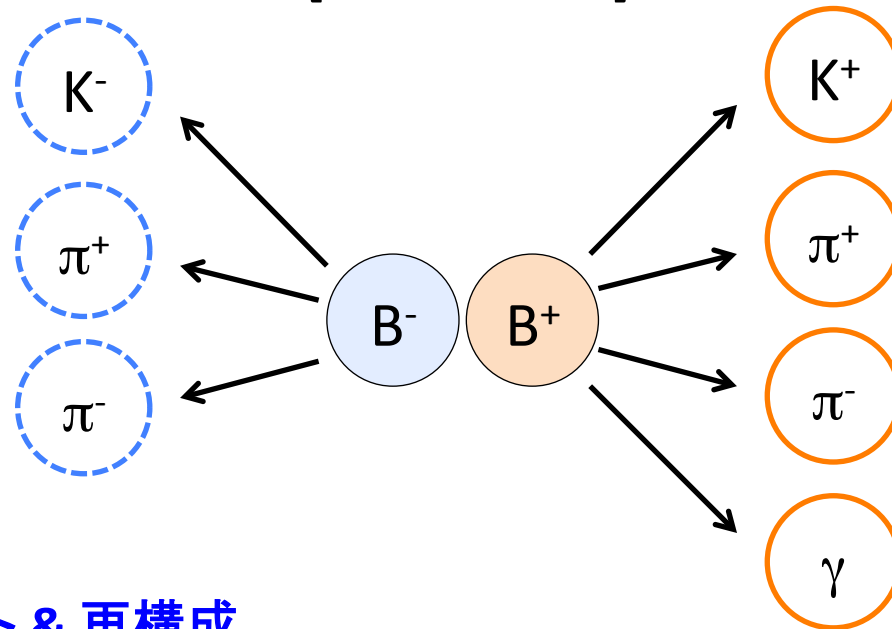
Non-MC truthイベントは1 π cross-feed(~90%)で起こっている。
Best candidate selectionが重要。

Best Candidate Selection??

- 同じイベント内に複数の候補存在 ⇒ 1つにしぼる。

例えば、

[1 event内]



↓ カット & 再構成

K^+	π^+	π^-	γ	判定
K^+	π^+	π^-	γ	○
K^+	π^+	π^-	γ	×

{BCS}
なるべく
コッチを選ぶ。

[方法] best candidate selection

- 再構成できた候補には、同じイベント内のもの \Rightarrow Best candidate selection
 1. $\Delta E=0$ \because B中間子に最も近い
 2. *NeuroBayes* ??

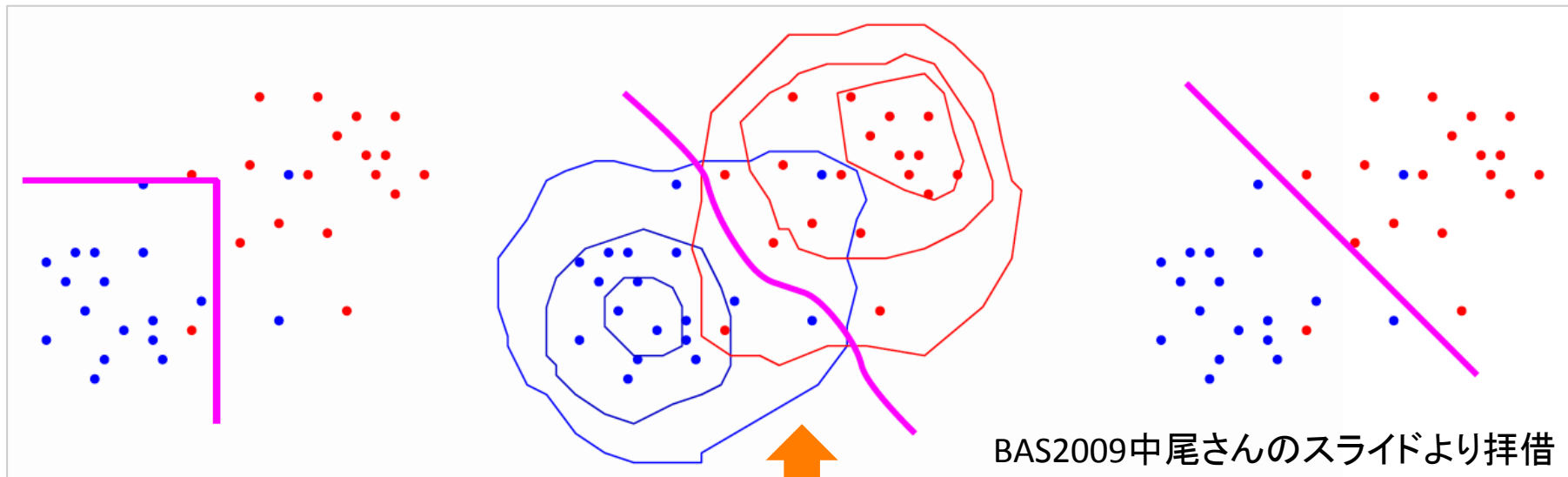
NeuroBayes??

- 効率良い信号抽出方法を特定(トレーニング)⇒ 適用

普通のカット

neural net (*NeuroBayes*)

fisher discriminant



BAS2009中尾さんのスライドより拝借

多変数を考慮した効率的なカット/選択ができる。

変数1:

ΔE

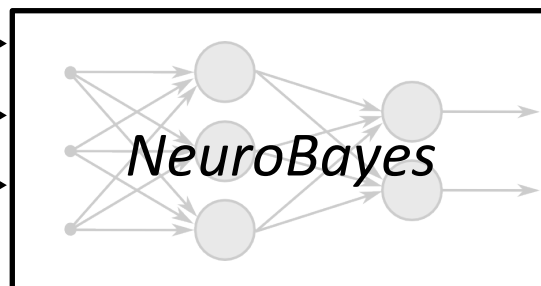
変数2:

vertex χ^2

変数3:

$\cos\theta_B$

⋮



NB OUT

=>1変数に押し込める

[方法] best candidate selection

- 再構成できた候補には、同じイベント内のもの⇒Best candidate selection

1. $\Delta E=0$

2. *NeuroBayes*

崩壊点の位置情報も使うと精度あがるのでは？

NeuroBayes入力変数決め

手順

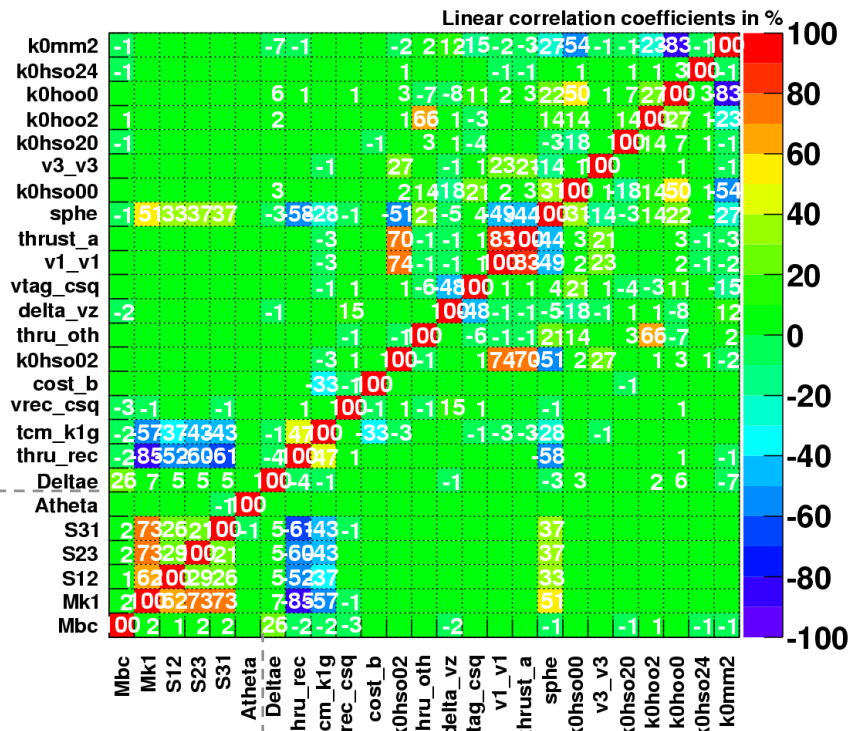
1. 全ての出力変数の χ^2 ランク作る。
2. kinematics (Mbc/Mk1...)との相関調べる。
3. 相関強い変数を除く
4. トレーニング+パフォーマンスcheck

使えそうな変数例

1. ΔE
 2. B候補の崩壊点 χ^2
 3. $\cos\theta_B$
 - ...
- 上位9変数を使用する。

Correlation Matrix (signal)

[TMVA]



← kinematics

→ variable candidates

[結果] best candidate selection

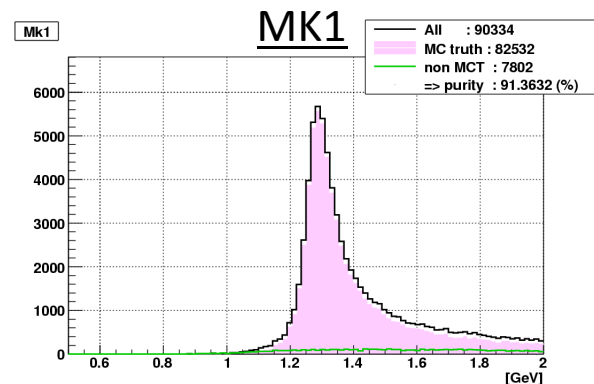
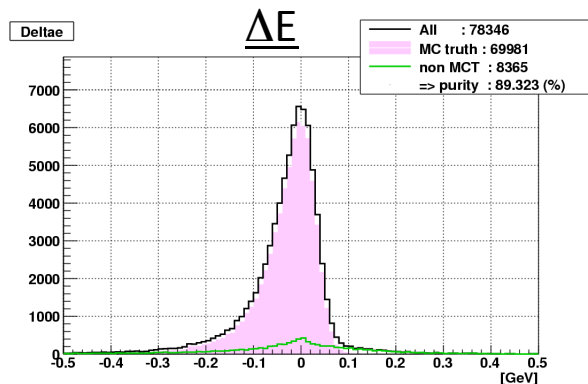
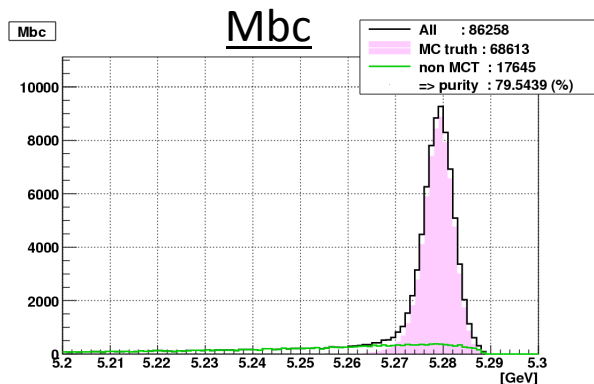
- *NeuroBayes* を使用することに決定。

※BCS前 purity: 84.78 %

[BCS#1] $\Delta E = 0$

purity: 92.06 %

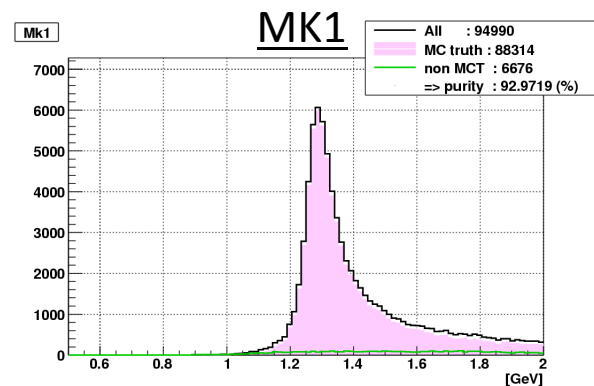
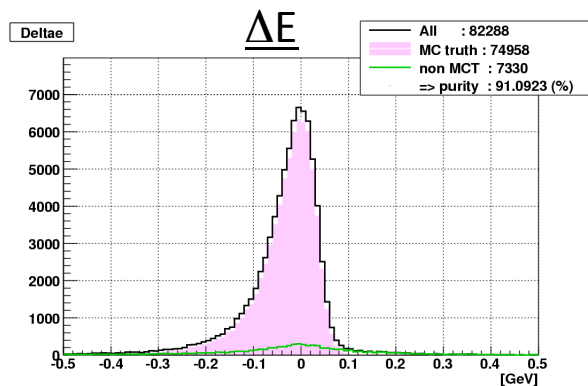
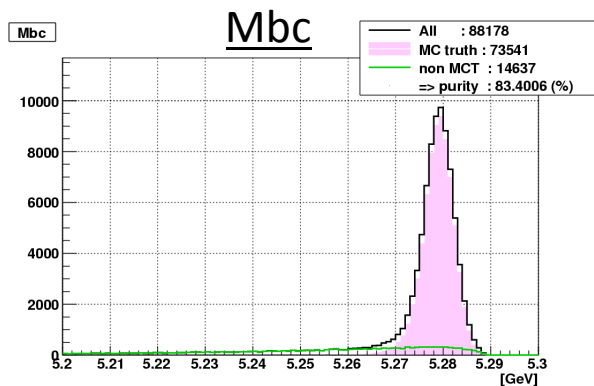
efficiency: 13.48 %



[BCS#2] NeuroBayes

purity: 93.52 %

efficiency: 14.45 %





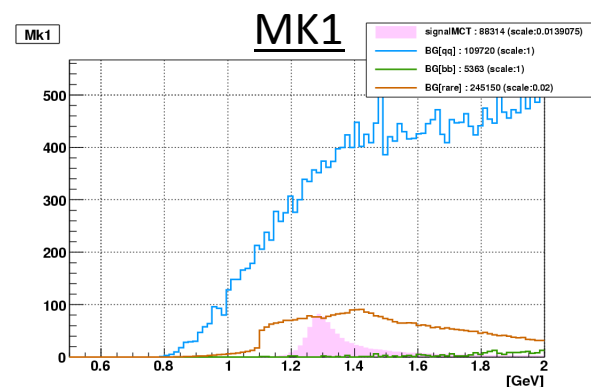
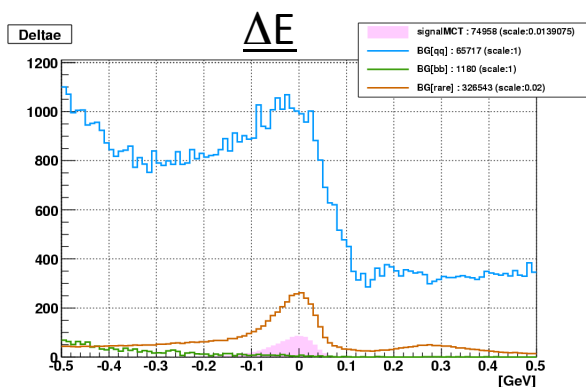
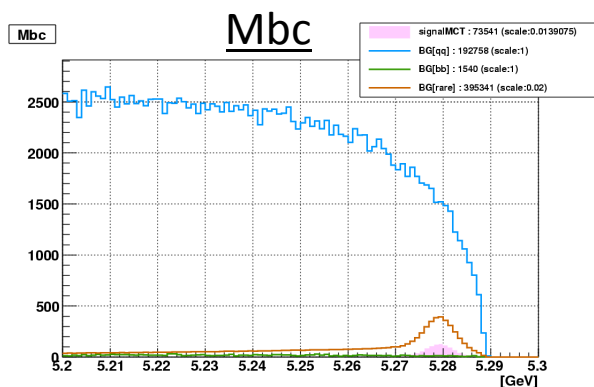
BG抑制

BGを重ねる

- 3種類のBGを使用

- qq : *radbskim*
- bb : *radbskim*
- rare : *rare-MC*

NeuroBayes BCSを適用
signal MCと重ねる
Belle実験1回分の統計

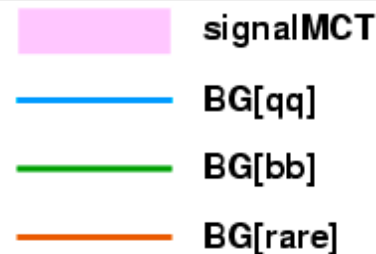


qqが台頭 > <;
=> qq抑制をする

- performance in signal BOX

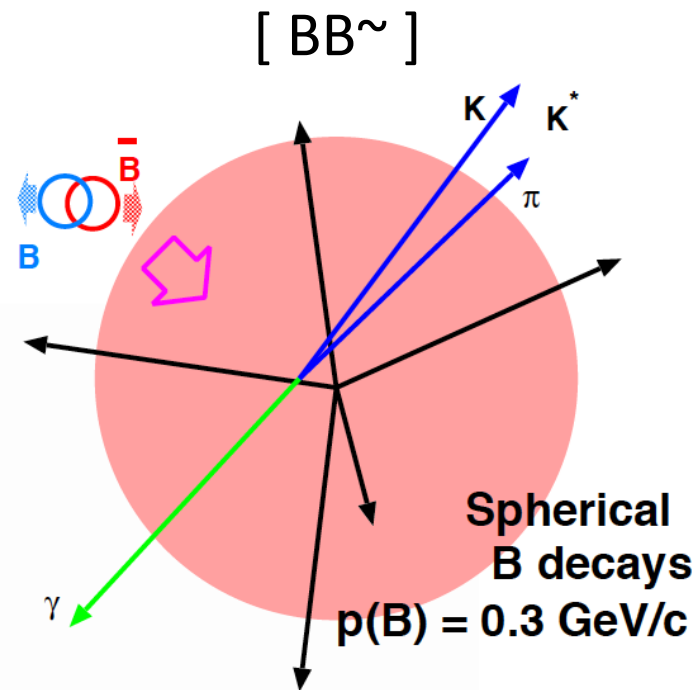
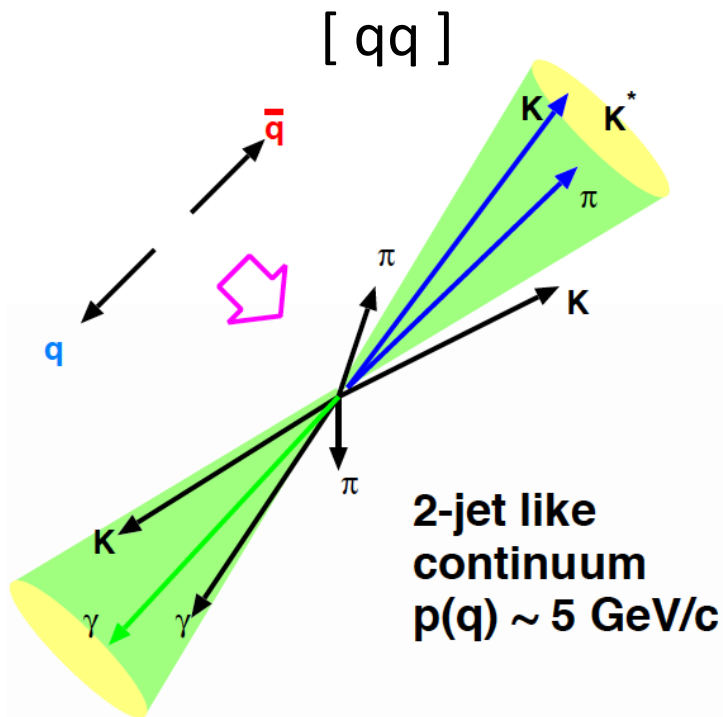
significance: 5.692

$$significance = \frac{N_{sig}}{\sqrt{N_{sig} + N_{bg}}}$$



ksfw

- BB~ / qq でのevent形状の違い ⇒ fisher discriminant ⇒ likelihood ratio



BAS2009中尾さんのスライドより拝借

変数例 : Reduced Fox-Wolfram moment

$$R_2 = \frac{H_2}{H_0} = \frac{\sum_{i,j} |p_{i||} p_{j||} P_2(\cos \theta_{ij})}{\sum_{i,j} |p_{i||} p_{j||}}, \quad P_2(x) = \frac{1}{2}(3x^2 - 1)$$

[qq] $R_2 \sim 1$
 [BB] $R_2 \sim 0$

[方法] qq抑制 = *ksfw* & *NeuroBayes*

- qq抑制 ⇒ *NeuroBayes* を適用。ksfw likelihood ratioをinput変数にする。

NeuroBayes 入力変数

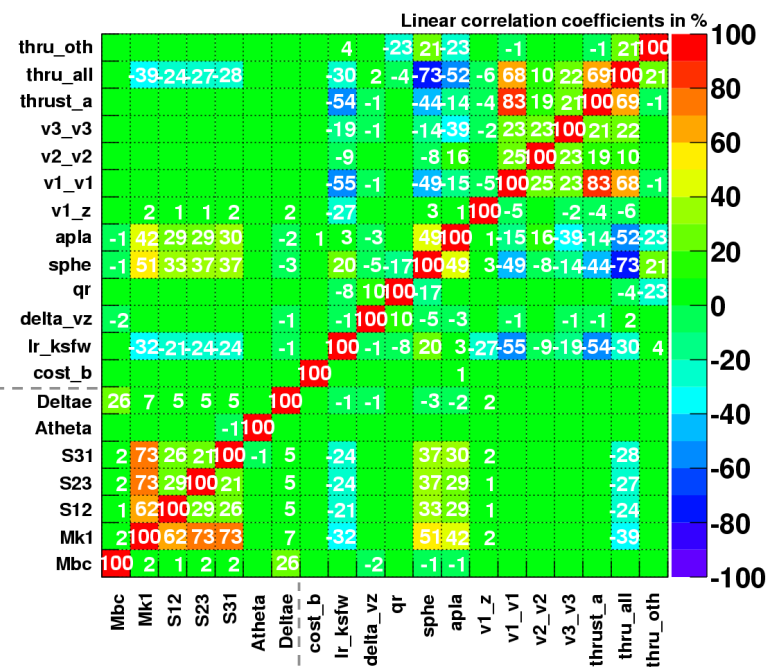
1. *ksfw* likelihood ratio
2. $\cos\theta_B$
3. BB~間の崩壊点距離
4. flavor tagの質
5. 9 event形状変数
 - sphericity, thrustなど。

← 内3変数がkinematicsと強い相関を持っている ⇒ 除外。

10変数をNBの入力に使用。

Correlation Matrix (signal)

[TMVA]

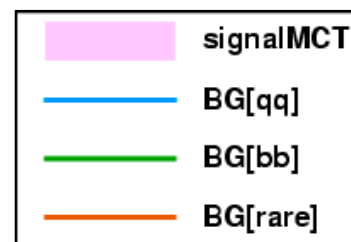
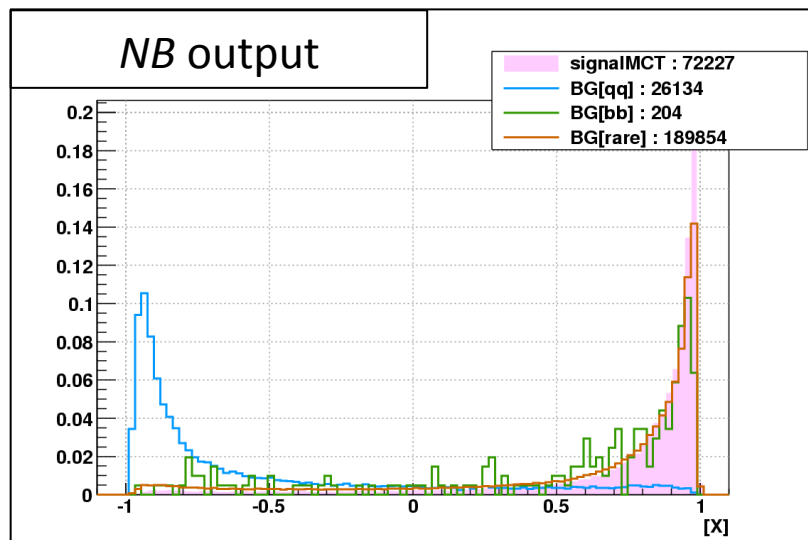


← kinematics → variable candidates

significanceを最大化する

NeuroBayes BCS適用後

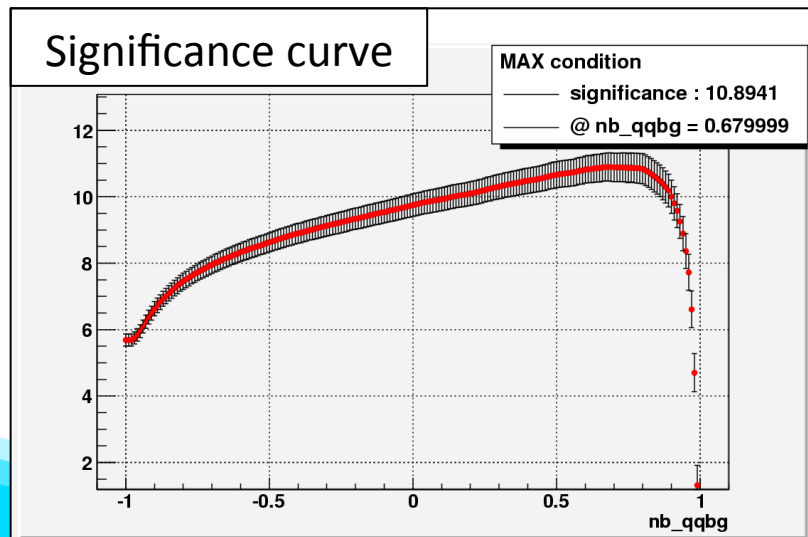
- significanceを最大化するカットを決める。



signalとqqキレイに両端へ分離。



NB出力のカットをスイープして、significanceが最大になる点を探す。



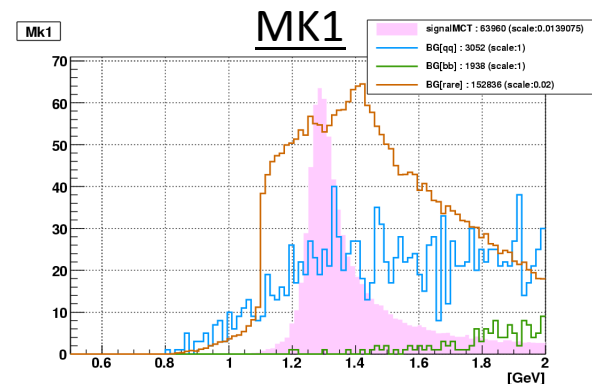
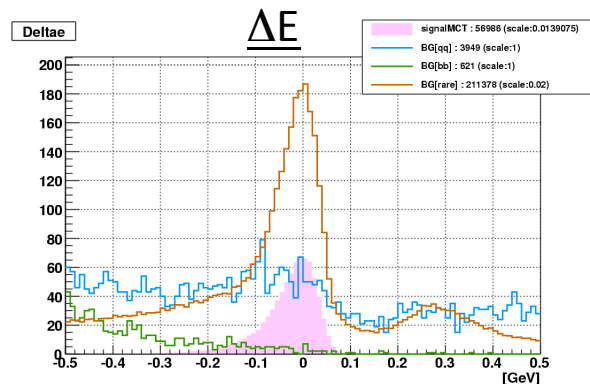
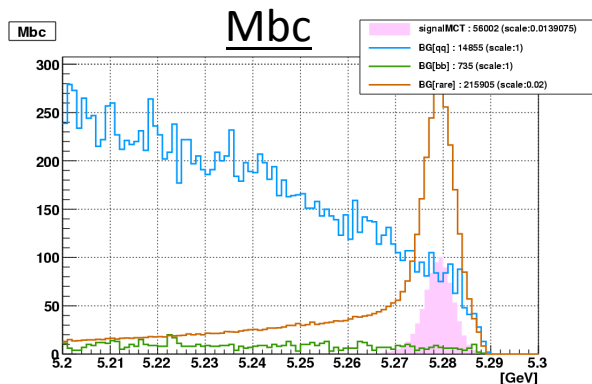
significance : 10.89

@ nb_qqbg : > 0.68

[結果] qq抑制

NeuroBayes BCS適用後

- NB カット ($> +0.68$)をかける。。。



- performance in signal BOX

signal box

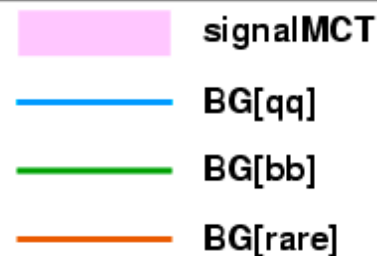
- $-0.2 < \Delta E < 0.1$
- $Mbc > 5.27$
- $Mk1 < 2.0$

nbqq cut : > 0.68

significance : 10.89

purity : 94.64 (%)

efficiency : 11.00 (%)



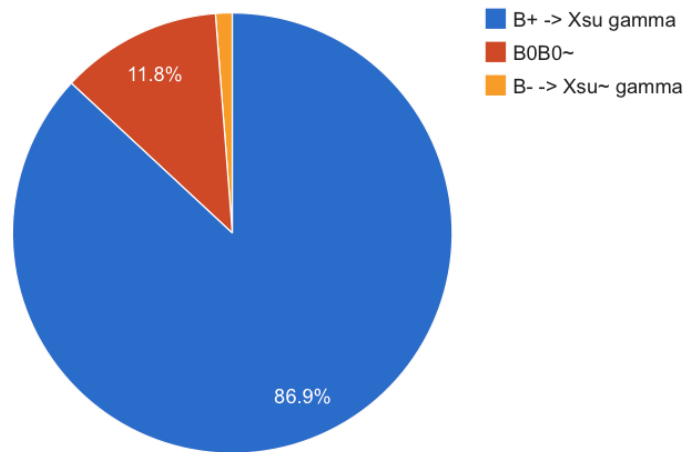
- ☺ qq成分がうまく抑え込まれている。
- ☹️ しかし、rare-MCが残っている。

rare MC の中身

- rare-MCの中身を探る⇒ $B \rightarrow X_s \gamma$ イベントかどうかで分ける。

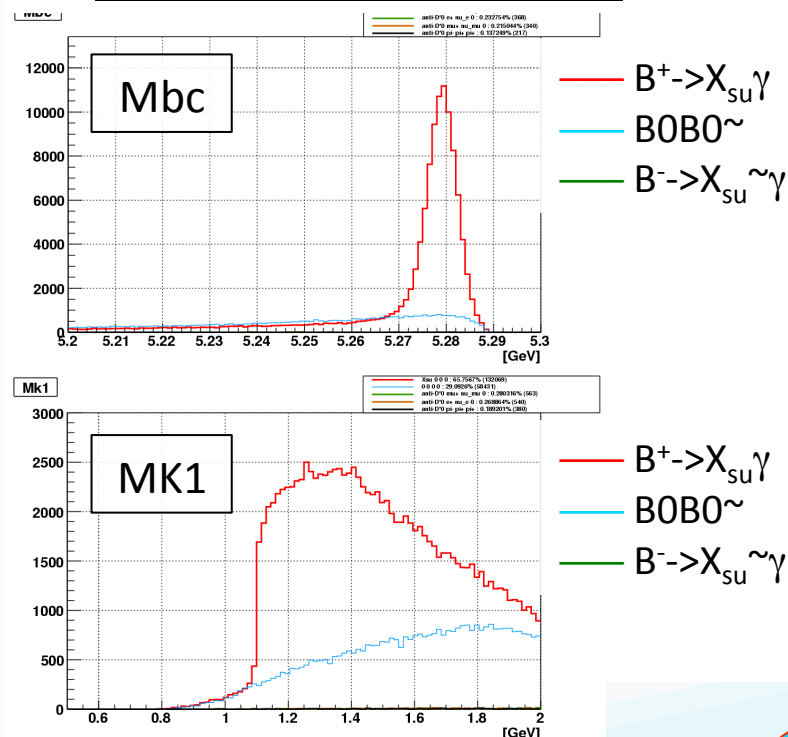


荷電で分ける in signal box



- $B^+ \rightarrow X_{su} \gamma$ (86.93%)
- $B^0 B^0 \sim$ (11.85%)
- $B^- \rightarrow X_{su} \sim \gamma$ (1.23%)

Mbc/MK1内での分布形状

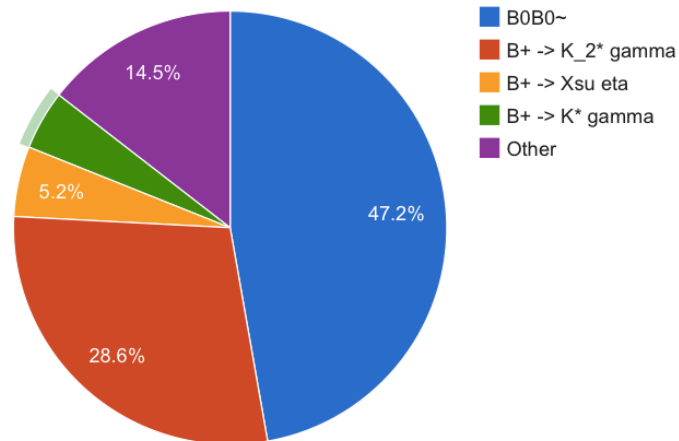


rare MC の中身

- rare-MCの中身を探る⇒ $B \rightarrow X_s \gamma$ イベントかどうかで分ける。

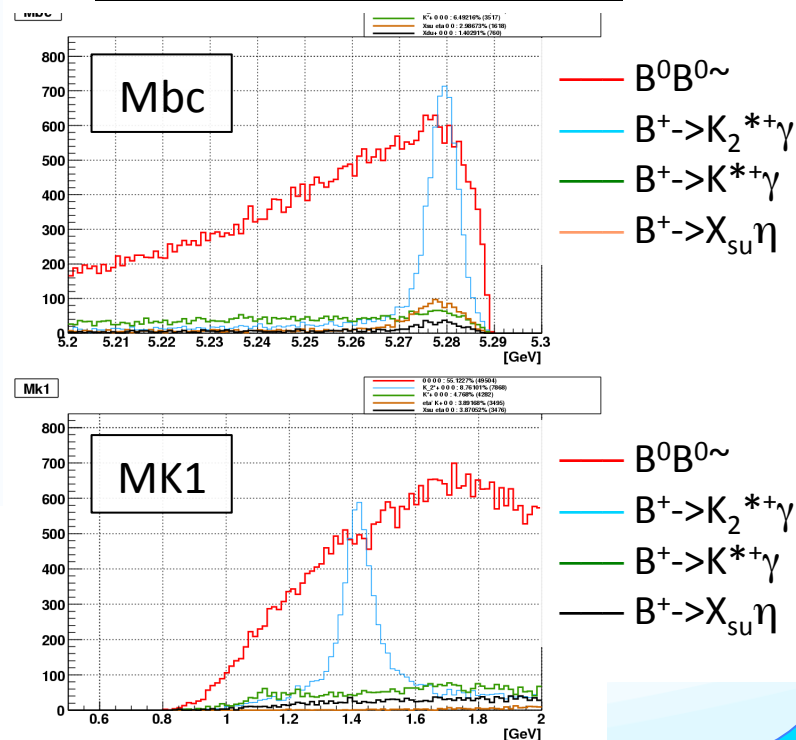


他はどういう崩壊？ in signal box



- $B^0 B^0 \sim$ (47.2%) / 1π cross-feed
- $B^+ \rightarrow K_2^{*+} \gamma$ (28.6%) / $K_2^{*-} \rightarrow K \pi \pi \gamma$
- $B^+ \rightarrow X_{su} \eta$ (5.23%) / $X_{su} \eta \rightarrow K \pi \pi \gamma$
- $B^+ \rightarrow K^* \gamma$ (4.42%) / 2π cross-feed

Mbc/MK1内での分布形状



まとめ & 予定

- まとめ

- $B \rightarrow K\pi\pi\gamma$ における A_{UD} から新物理を探る。
- $K\pi\pi\gamma$ の選択 \Rightarrow BCS \Rightarrow qq 抑制 \Rightarrow rareMCの中身確認まで終了。
- 次はMbc/Mk1 fitで、signal成分を分離していく。

- 予定

- 次はMbc/Mk1 fitで、signal成分を分離していく。
- もう一方の $K_1(1400)$ でも試す + 他の荷電の組み合わせもやる。

- 過去のK1研究
- NB BCS 変数
- NB qq 変数
- rare MC 元
- 変数

BACKUP

過去のK1 study

- [Belle] (2002) $B \rightarrow K\pi\gamma$ and $K\pi\pi\gamma$, S. Nishida
- [Belle] (2005) $B \rightarrow K1(1270)^+\gamma$, Heyong Yang
- [Belle] (2011) $B \rightarrow J/\psi K1$, H. Guler
- [BABAR] (2008) $B \rightarrow K\pi\pi\gamma$, B. Aubert
- [ACCMOR] (1981) $pK \rightarrow pK\pi\pi$, C. Daum
- [BES-II] (2006) $J/\psi \rightarrow K^*K\pi$, M. Ablikim
- [COMPASS] (2012) $pK \rightarrow pK\pi\pi$, P. Jasinski {D-thesis}

NB BCS 変数

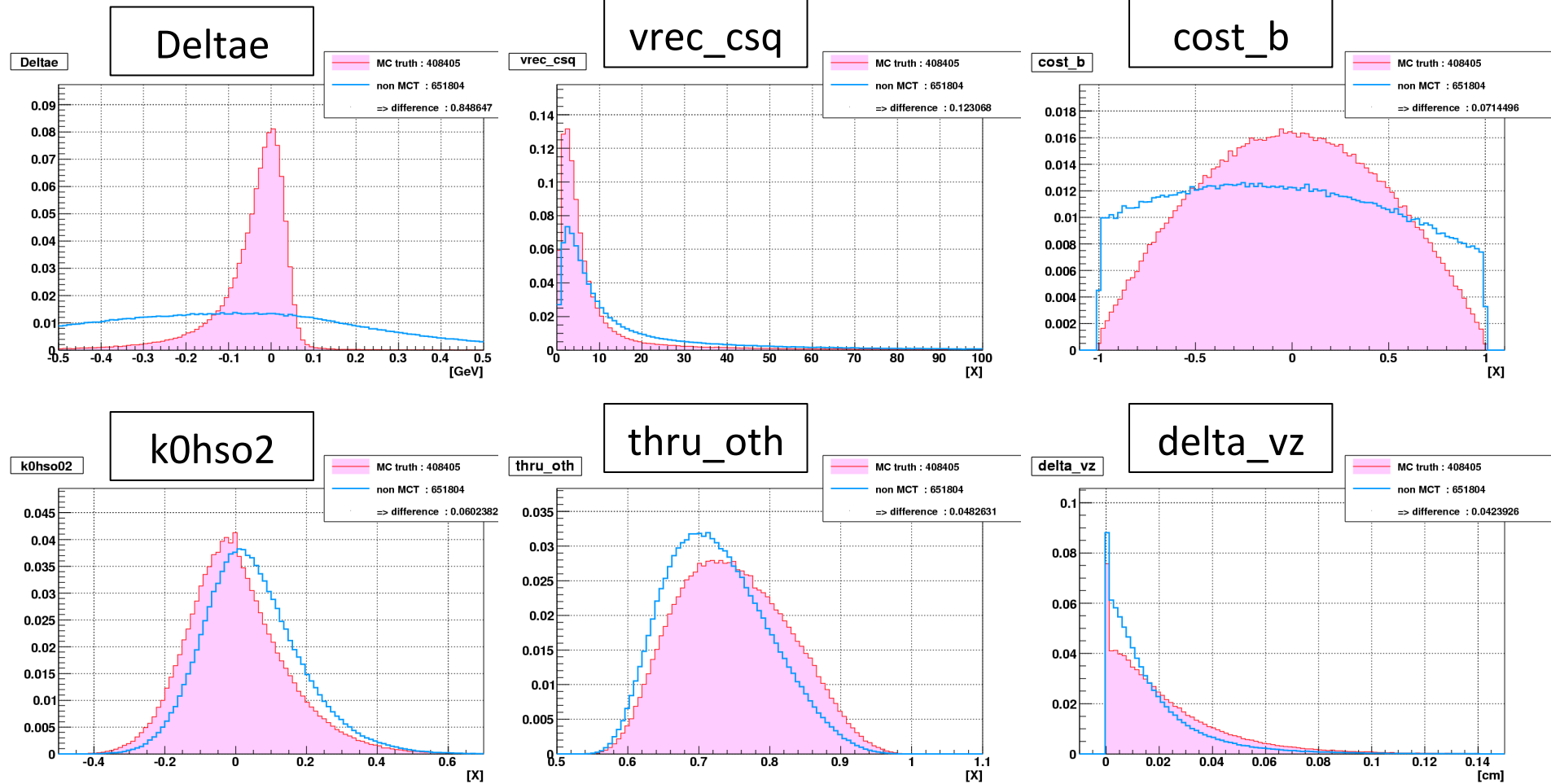
- NB BCSに使用した変数達。

	変数名	意味	χ^2
1	Deltae	ΔE	0.8486
2	vrec_csq	再構成したB候補の χ^2	0.1231
3	cost_b	$\cos\theta_B$	0.07145
4	k0hso02	ksw の変数	0.06024
5	thru_oth	B候補を除いたthrust	0.04826
6	delta_vz	BB~ の崩壊点の距離	0.04239
7	vtag_csq	反対側のB候補の χ^2	0.04131
8	qr	flavor tagの質	0.03922
9	w_tag	flavor tagの間違え率	0.03836

x	thru_rec	再構成したB候補のthrust	0.2648
x	tcm_k1g	K1と γ 間の角度@CM系	0.1768
x	sphe	sphericity	0.02873

kinematics
と強い相関
アリ⇒除外

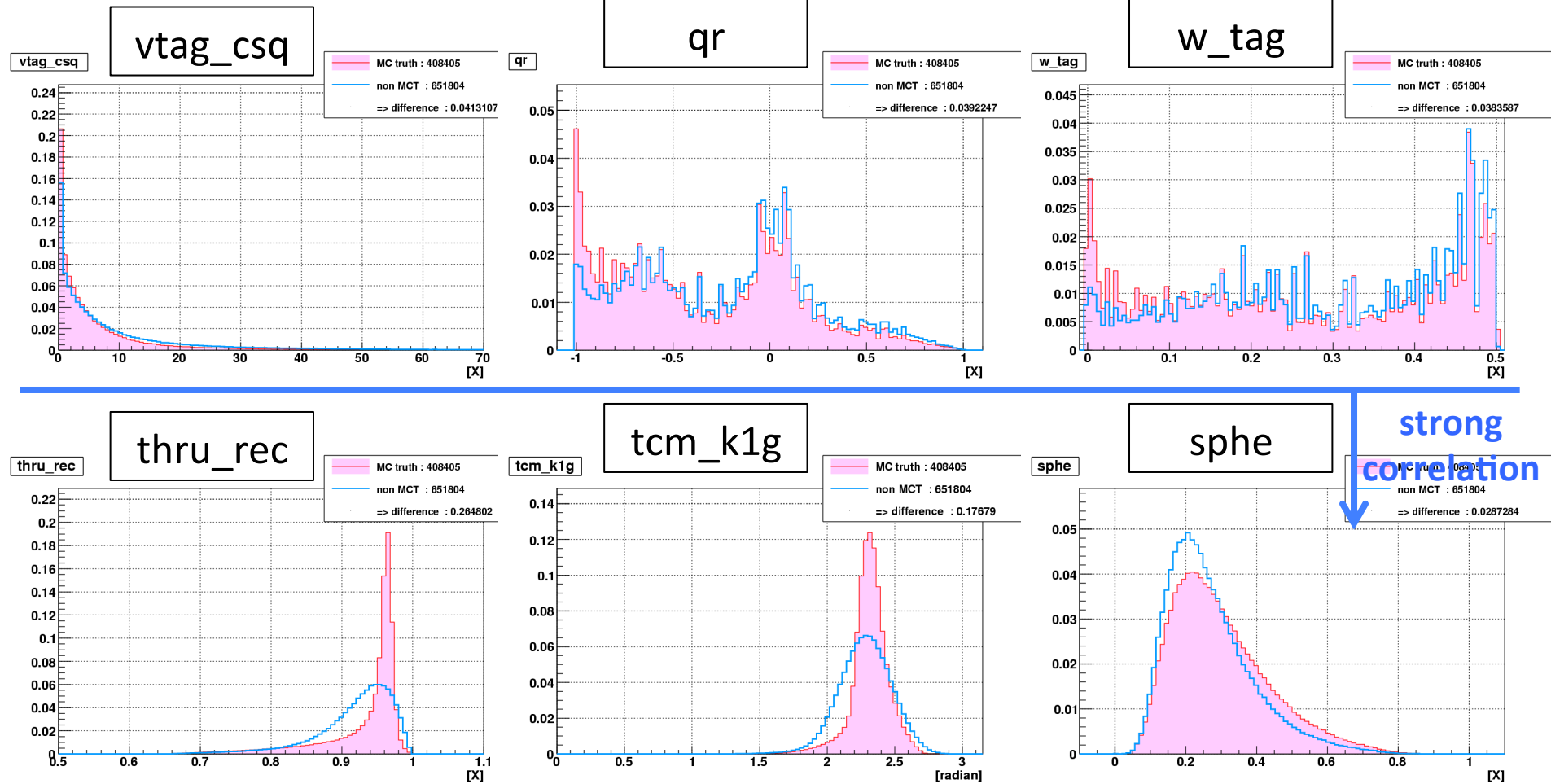
- NB BCS入力変数のヒストグラム(規格化)。MC truth / non-MC truth



NB BCS 変数 -2

NB BCS前のグラフ

- NB BCS入力変数のヒストグラム(規格化)。MC truth / non-MC truth



NB qq 変数

- NB qqに使用した変数達。

	name	meaning
1	lr_ksfw	ksfw likelihood ratio
2	delta_vz	BB~ 崩壊点の距離
3	qr	tag の質
4	cost_b	$\cos\theta_B$
5	thrust_a	$ \cos(\text{thrust angle}) $
6	v1_z	sphericity変数
7	v3_v3	sphericityg変数
8	thru_oth	B候補の粒子以外のthrust
9	v2_v2	sphericity
10	v1_v1	sphericity

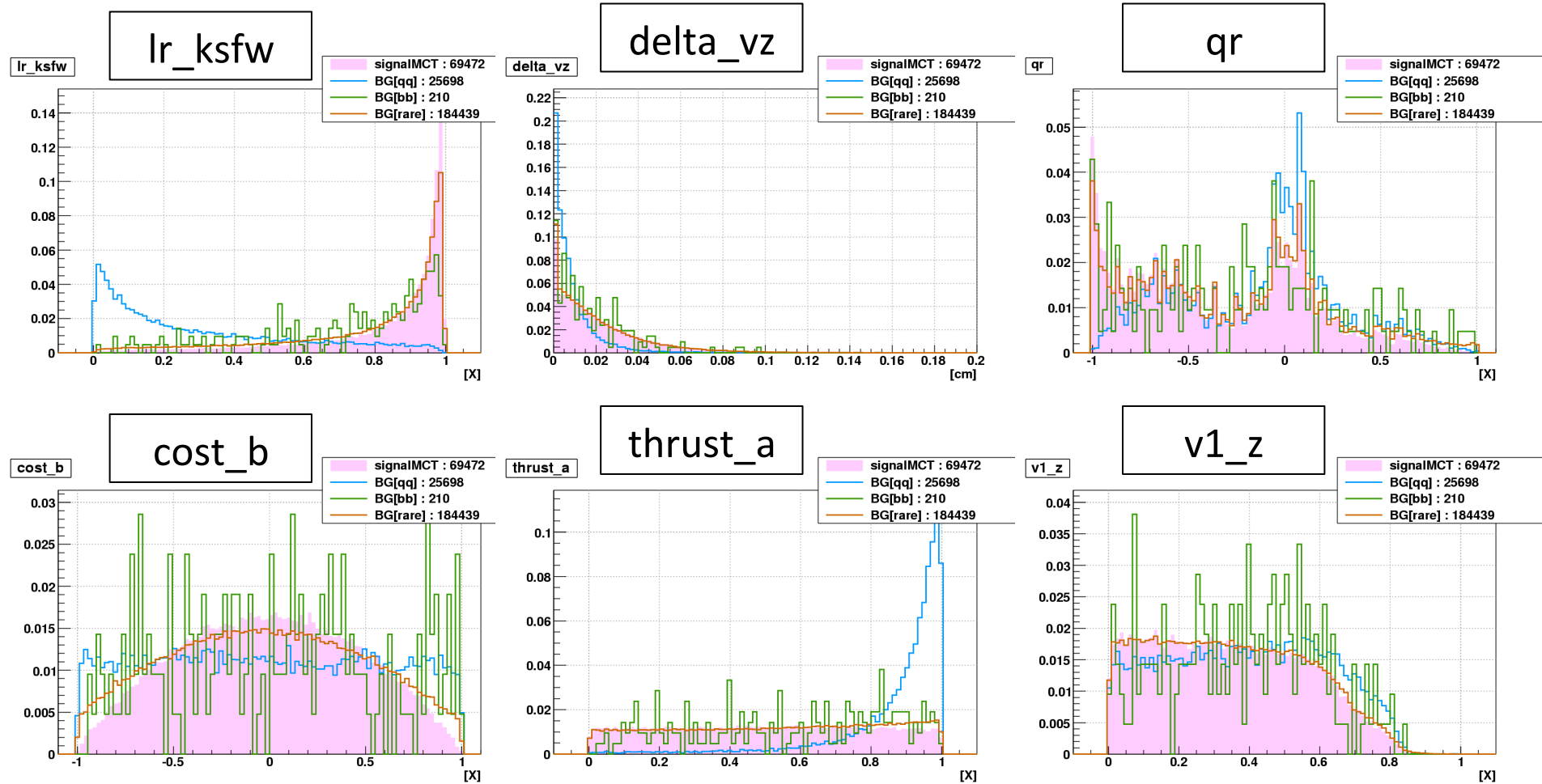
x	thru_all	イベント内全粒子のthrust
x	apla	aplanarity
x	sphe	spherisity

kinematics
と強い相関
アリ⇒除外

NB qq 変数 -1

NB qqカット前

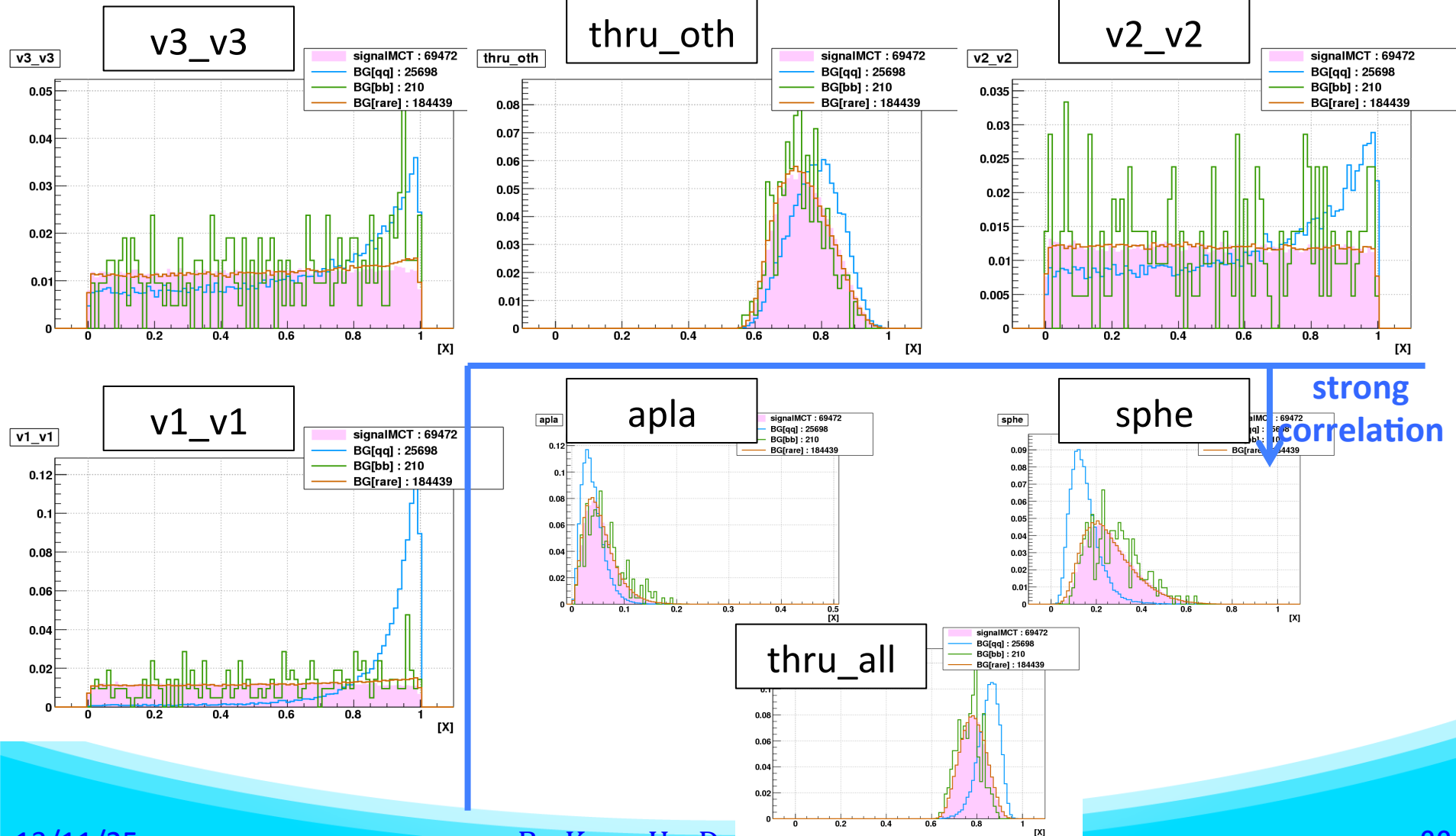
- NB qq入力変数のヒストグラム(規格化)。MC truth / qq / bb / rare



NB qq 変数 -2

NB qqカット前

- NB qq入力変数のヒストグラム(規格化)。MC truth / qq / bb / rare

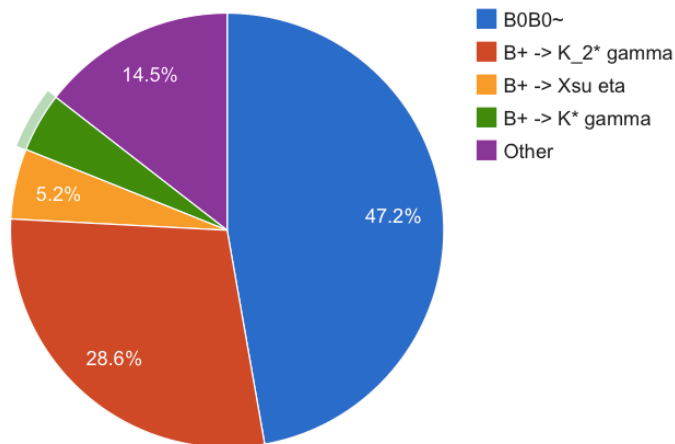


rare MC 元

- B- \rightarrow X_sγでないrare-MCが、どのように形成されているか？を探る。

Kππγ parent B in each BG.

contributions in signal box



1. B⁰B⁰~

2. B⁺->K₂*+γ

3. B⁺->X_{su}η

1. B⁰B⁰~ (47.2%) /1π cross-feed
2. B⁺->K₂*+γ (28.6%) /K₂*->Kππγ
3. B⁺->X_{su}η (5.23%) /X_{su}η->Kππγ
4. B⁺->K*+γ (4.42%) /2π cross-feed

Nrank	K	π1	π2	γ	Contribution[%](events)
0	B ⁰	B ⁰	B ⁰	B ⁰	60.7477% (4940)
1	B ⁰	B ⁰	B ⁰	B ⁰	18.667% (1518)
2	B ⁰	B ⁰	B ⁰	B ⁰	10.8829% (885)
3	B ⁰	B ⁰	B ⁰	B ⁰	5.04181% (410)
4	B ⁰	B ⁰	B ⁰	B ⁰	1.83227% (149)

Nrank	K	π1	π2	γ	Contribution[%](events)
0	B ⁺	B ⁺	B ⁺	B ⁺	91.9866% (5200)
1	B ⁺	B ⁺	B ⁻	B ⁺	3.36105% (190)
2	B ⁺	B ⁻	B ⁺	B ⁺	3.02494% (171)
3	B ⁺	B ⁻	B ⁻	B ⁺	1.3798% (78)
4	B ⁻	B ⁺	B ⁺	B ⁺	0.159208% (9)

Nrank	K	π1	π2	γ	Contribution[%](events)
0	B ⁺	B ⁺	B ⁺	B ⁺	85.0386% (881)
1	B ⁺	B ⁻	B ⁺	B ⁺	6.85328% (71)
2	B ⁺	B ⁺	B ⁻	B ⁺	5.01931% (52)
3	B ⁺	B ⁻	B ⁻	B ⁺	2.41313% (25)
4	B ⁻	B ⁺	B ⁺	B ⁺	0.579151% (6)

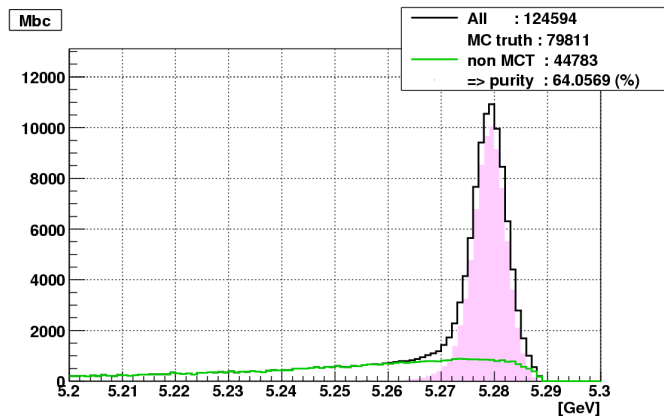
ΔE と M_{bc}

- ビームエネルギーのブレを考慮したBのenergyと質量。

再構成したBの運動量: (E_B, p_B) @CM系
 ビームエネルギー: E_{beam}

M_{bc}

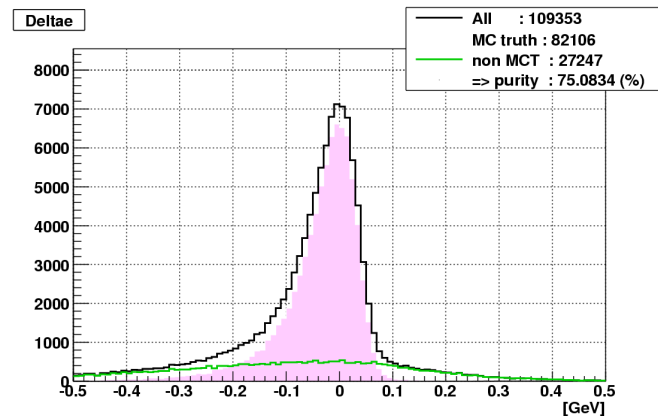
$$M_{bc} = \sqrt{E_{beam}^2 - |p_B|^2}$$



Bの質量 : 5.28GeVに近づく

ΔE

$$\Delta E = E_B - E_{beam}$$



エネルギーずれ : 0GeVに近づく



独立
変数

$\cos\theta_B$

- $\cos\theta_B$: ビーム軸(z)に対するBの放出角@CM系

Y(4S) \rightarrow BB \sim
V \rightarrow SS



$$d_{1,0}^1 = -\frac{\sin\theta}{\sqrt{2}}$$



$$PDF \propto |d_{1,0}^1|^2 \propto 1 - \cos^2\theta$$

