



# ttbar at threshold at ILC

2012/11/5 Bworkshop2012@花卷温泉  
堀口朋裕 (Tohoku Univ.)

# 目次

## 1. ILC の紹介

- ILC 計画
- ILC で期待される物理

## 2. Motivation

- top と threshold について
- 各種測定項目について

## 3. 解析

- 解析ツール
- モード選択
- イベント選択と再構成

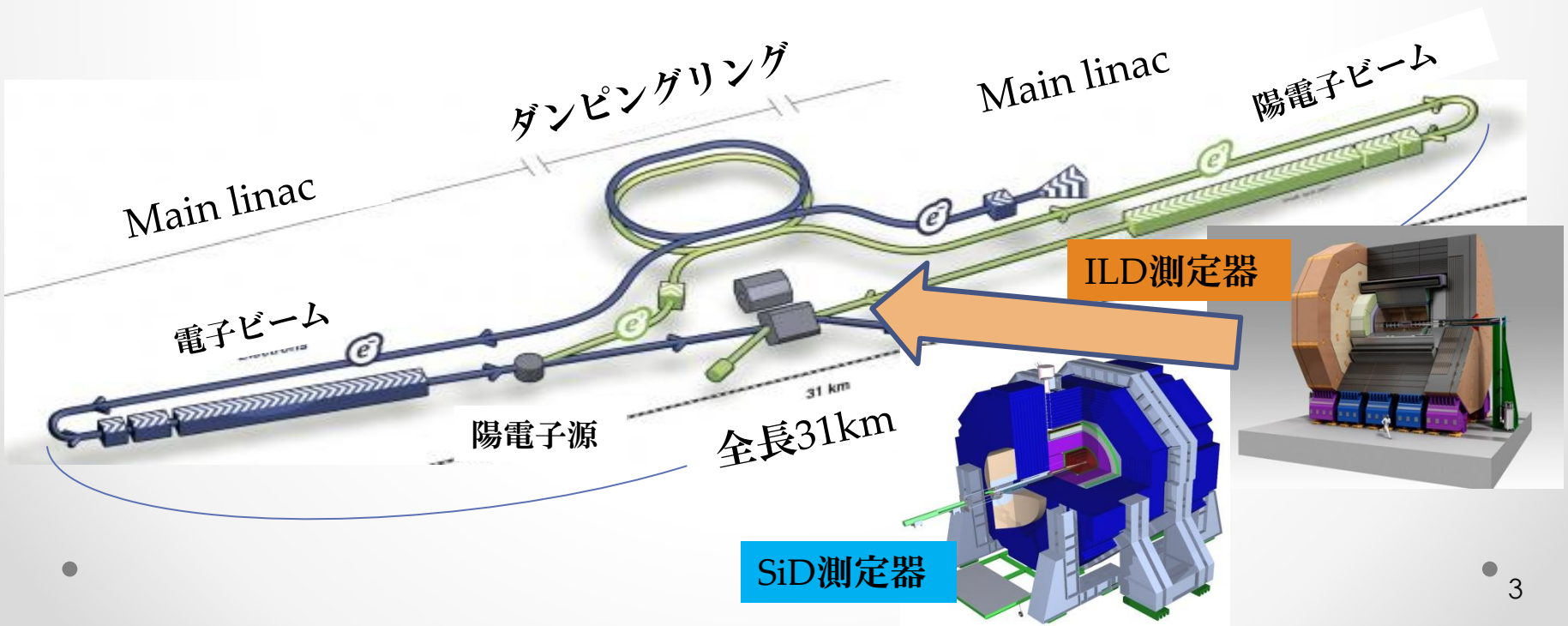
## 4. 結果

- Top mass
- 反応断面積

## 5. まとめ

# ILC計画

- ILC=International Linear Collider
  - 電子陽電子衝突型の線形加速器
  - clean な環境でループを介さないダイレクトな物理が見られる
- 重心系エネルギー：250～500GeV  1 TeV
- 積分ルミノシティ：500 fb<sup>-1</sup> (約一年ピークルミノシティでの run@500GeV)
- 候補地：北上山地(岩手)、背振山地(佐賀、福岡)



# ILCで期待される物理

- higgs study (250~500GeV)

Higgs mass の精密測定  
yukawa coupling の測定  
self coupling の測定  
HZZ, HWW coupling の測定

同じヒッグスかの検証  
⇒SM ヒッグスであるかの検証

- top study (350~GeV)

**350GeVでの threshold study**

500GeV での tth study

- new physics (250GeV~)

SUSY

Color のない新粒子

Dark Matter など

# 本研究の目的

top quark がthreshold (350GeV)で生成されるとき

1. top mass( $\overline{MS}_t$ )
2. top width
3.  $\alpha_s$
4. top yukawa coupling
5. ttbar 束縛状態での波動関数

の測定精度を見積もる

*motivation*

# top quark と threshold について

## top の性質

- ほかの quark に比べ異様に重い (bの約35倍)
- ハドロン化する前に崩壊する

$\tau_t \sim 10^{-25}(\text{s})$  , 強い相互作用によるハドロン化  $\sim 10^{-24}(\text{s})$

**裸の quark が観測可能**

## Threshold studyの意義

- 質量の精密測定が可能
- ほぼ静止系で出現

**共鳴状態**が作れ、そこからみられる物理がある

# Yukawa coupling の測定

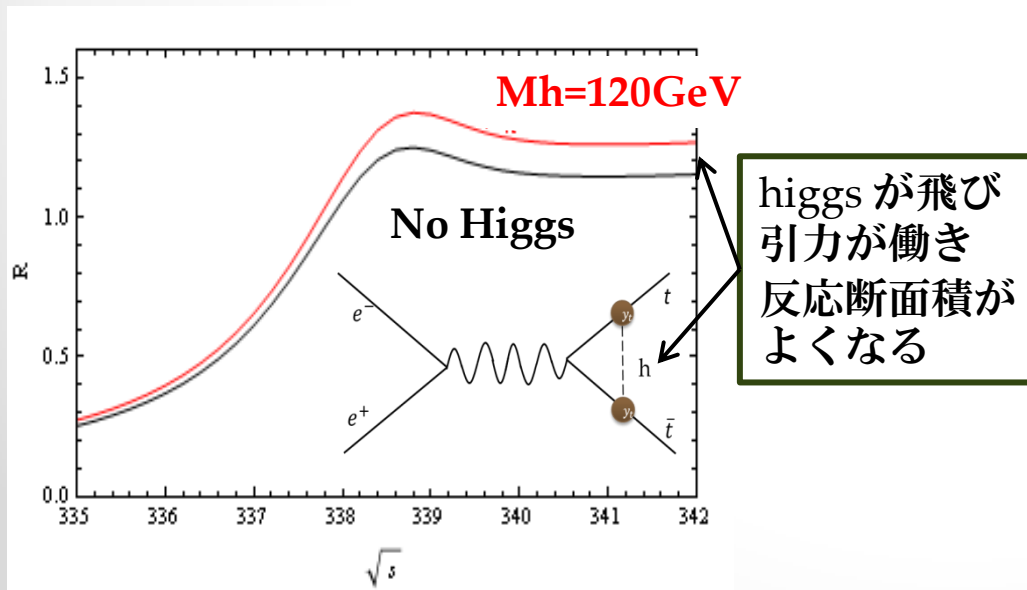
Yukawa coupling : 標準模型ではフェルミオンはhiggs bosonと結合することによって質量をえる。その結合の強さ。

どうやって測定するか

相互作用ラグランジアン  
 $L_{yukawa} \propto y \psi \Gamma \bar{\psi} \phi$



反応率  
 $y^2 \propto |M|^2 \propto \sigma$  反応断面積を測定



Higgs による  $tt\bar{t}$ @threshold 反応断面積への影響

$9 \pm 5\%$

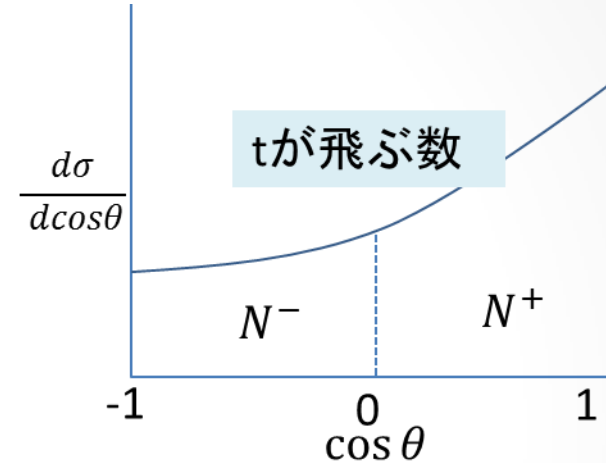
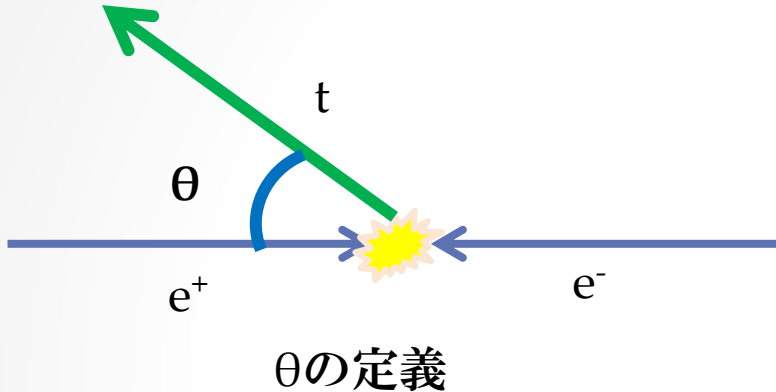
実験による誤差より理論誤差の方がはるかに大きい

500 GeV に  $tth$  が控えているがその前に top yukawa を検証!!

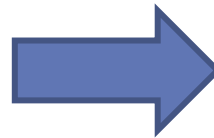


# Forward Backward Asymmetry ( $A_{FB}$ ) & momentum(1)

## Forward Backward Asymmetry ( $A_{FB}$ )について



$A_{FB}$ とは入射方向に対しての生成物の飛び方



$$A_{FB} = \frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-}$$

S-波共鳴、P-波共鳴が重なり合うため

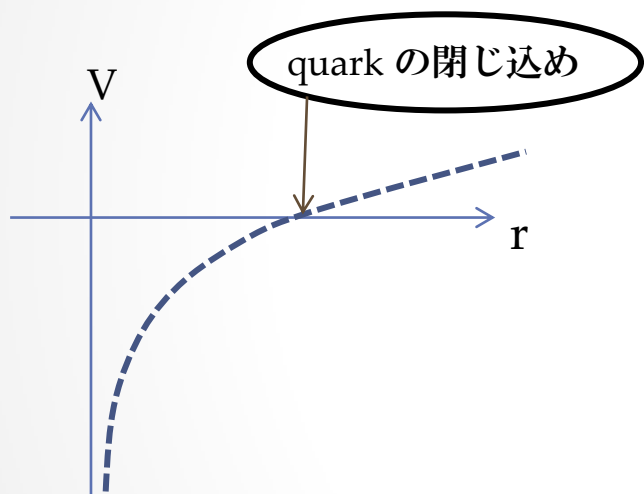
$t\bar{t}$ がほぼ静止系で生成されるが $A_{FB}$ が存在する。

$A_{FB}$ をthreshold scanで測定していくと $\alpha_s$ 、 $\Gamma_t$ の測定に感度があることがわかる。

# Forward Backward Asymmetry ( $A_{FB}$ ) & momentum (2)

ほぼ静止系の  $t\bar{t}$  は **共鳴状態** を作る

$$E = \frac{p_t^2}{m_t} + V_{t\bar{t}}(r)$$



水素原子の束縛状態の  
ポテンシャルと同様

微分断面積 と momentum,  
 $A_{FB}$  を測定

$$\frac{d\sigma}{dp} = \frac{d\sigma}{d|p| d\varphi d\cos\theta} \propto |\Phi(p_t)|^2$$

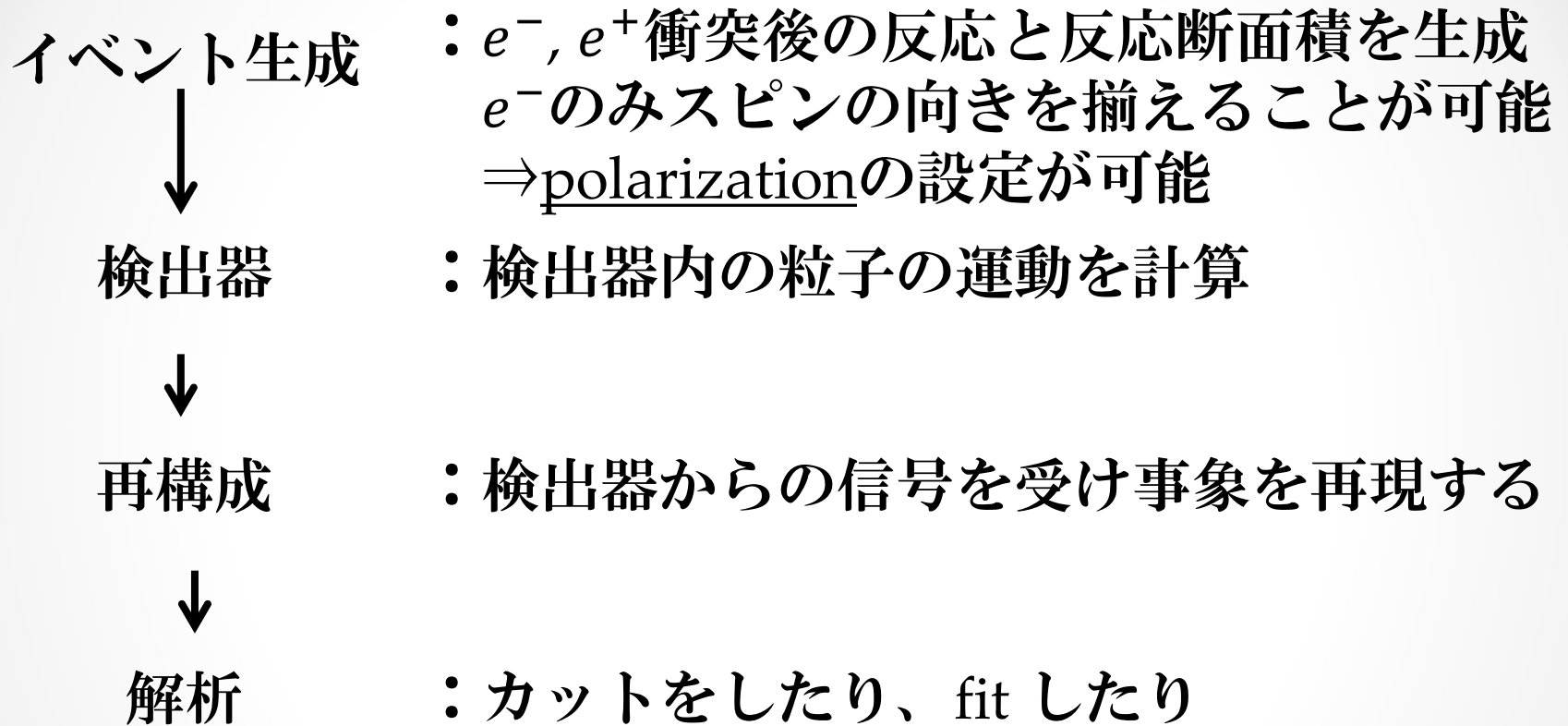
momentum
 $A_{FB}$

QCD における  
波動関数が導ける

$$\langle r | \psi \rangle = \psi_{t\bar{t}}(r) \quad \langle p | \Phi \rangle = \Phi_{t\bar{t}}(p)$$

# 解析

# 解析手順とツール



Ilcsoft ver.	v01-14-01
Generator	physsim
検出器	mokka
再構成	marlin

# Particle Flow Algorithm

## ILCでの要求

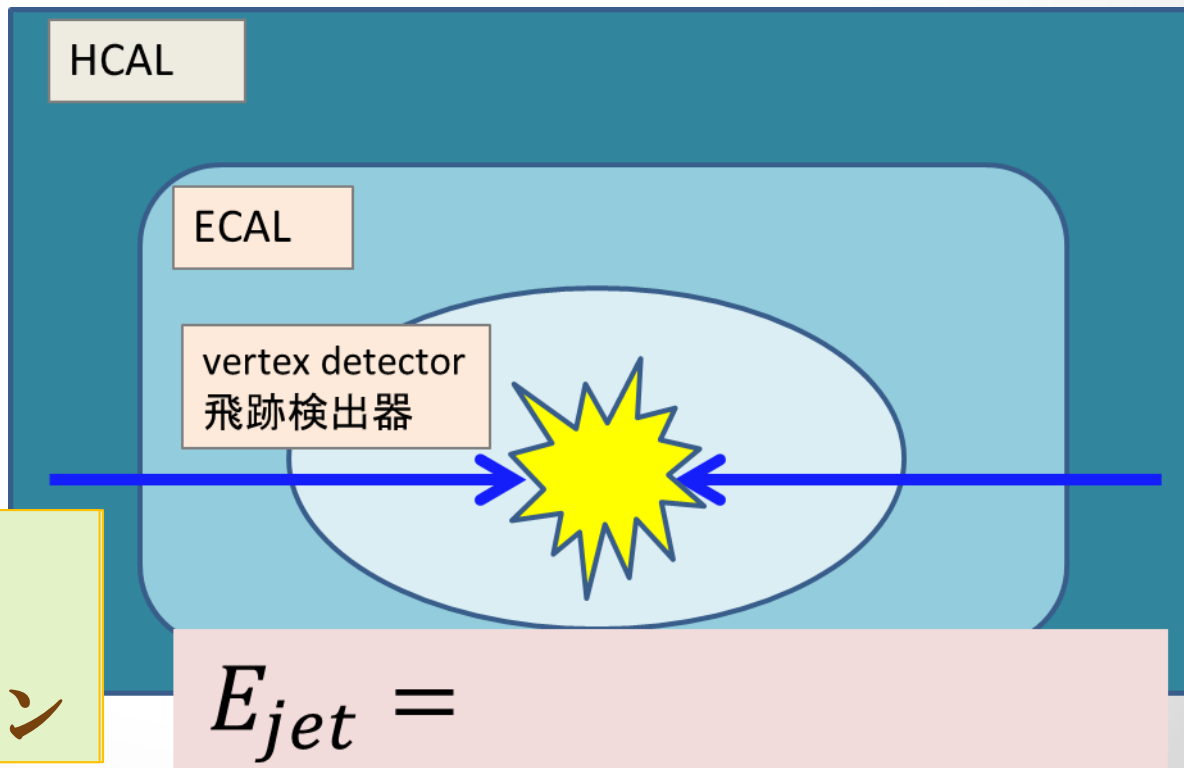
$$\frac{\sigma(E_{jet})}{E_{jet}} = 3\sim 4\%$$

ILD 検出器の性能	
Detector	分解能
Tracker	$0.00002 * E$
ECAL	$0.2 / \sqrt{E}$
HCAL	$0.6 / \sqrt{E}$

## Jet中のエネルギー組成 @LEP実験

荷電粒子	~62%
$\gamma$	~27%
中性ハドロン	~10%

- 荷電粒子
- $\gamma$
- 中性ハドロン



# Particle Flow Algorithm

## ILCでの要求

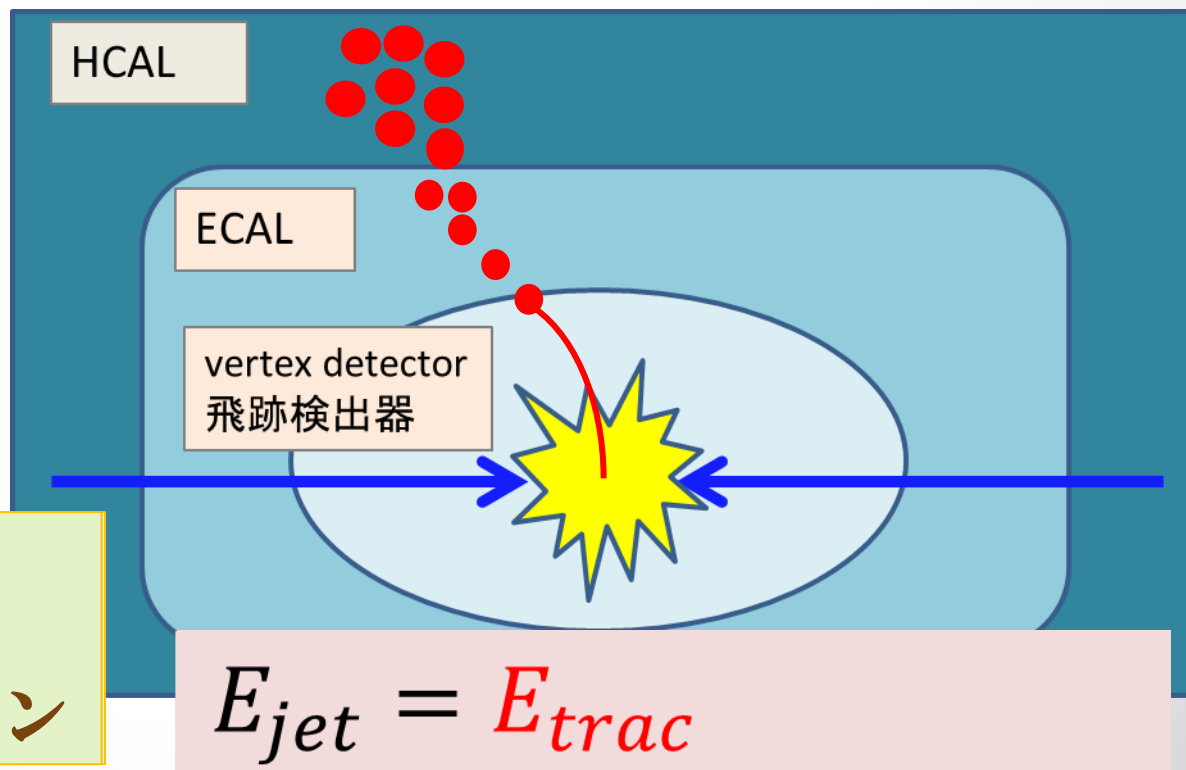
$$\frac{\sigma(E_{jet})}{E_{jet}} = 3\sim 4\%$$

Detector	分解能
Tracker	$0.00002 * E$
ECAL	$0.2 / \sqrt{E}$
HCAL	$0.6 / \sqrt{E}$

## Jet中のエネルギー組成 @LEP実験

荷電粒子	~62%
$\gamma$	~27%
中性ハドロン	~10%

- 荷電粒子
- $\gamma$
- 中性ハドロン



# Particle Flow Algorithm

## ILCでの要求

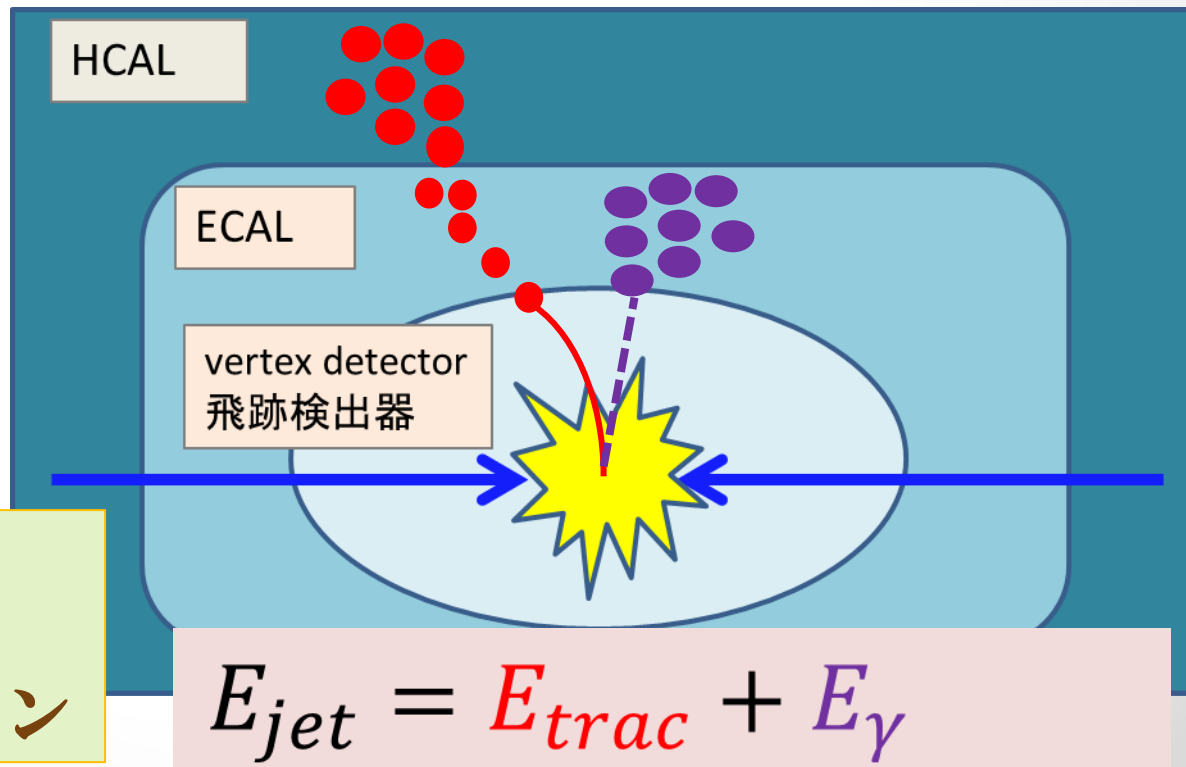
$$\frac{\sigma(E_{jet})}{E_{jet}} = 3\sim 4\%$$

ILD 検出器の性能	
Detector	分解能
Tracker	$0.00002 * E$
ECAL	$0.2 / \sqrt{E}$
HCAL	$0.6 / \sqrt{E}$

## Jet中のエネルギー組成 @LEP実験

荷電粒子	~62%
$\gamma$	~27%
中性ハドロン	~10%

- 荷電粒子
- $\gamma$
- 中性ハドロン



# Particle Flow Algorithm

## ILCでの要求

$$\frac{\sigma(E_{jet})}{E_{jet}} = 3\sim 4\%$$

Detector	分解能
Tracker	$0.00002 * E$
ECAL	$0.2 / \sqrt{E}$
HCAL	$0.6 / \sqrt{E}$

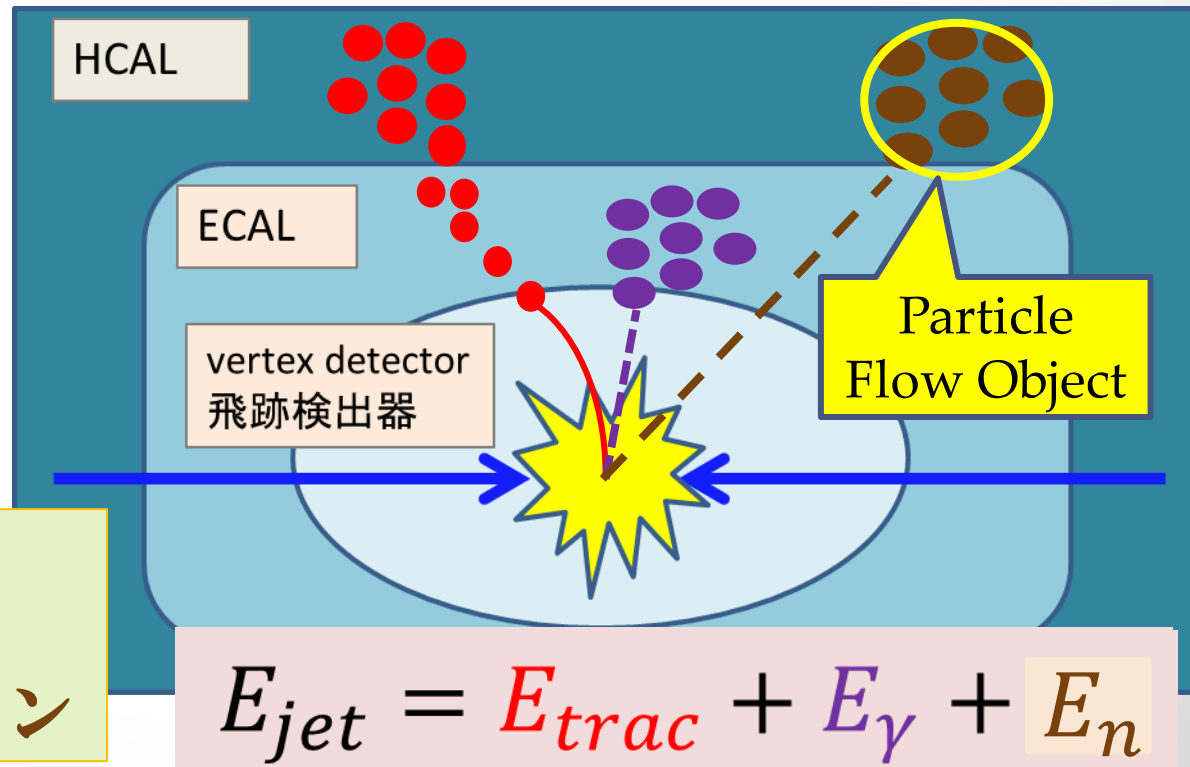
## Jet中のエネルギー組成 @LEP実験

荷電粒子 ~62%

$\gamma$  ~27%

中性ハドロン ~10%

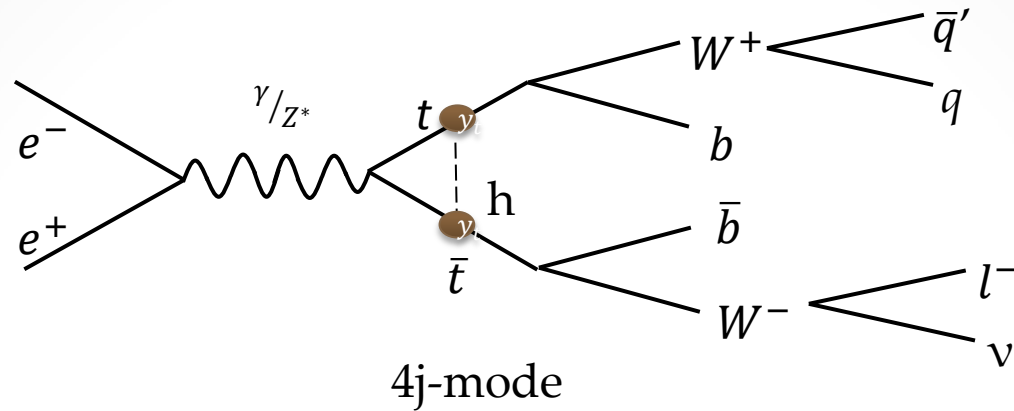
- 荷電粒子
- $\gamma$
- 中性ハドロン



$$E_{jet} = E_{trac} + E_{\gamma} + E_n$$



# 今回の解析ttbar4jet



## パラメータ

Ecm	346.4 ~ 339.4GeVで 1GeV刻み
polarization	$(e^-, e^+) = (+0.8, -0.3)$
top mass	173.2GeV
Event 数	$10 \text{ fb}^{-1}$ (Ecmごと)

t->bWのみを考えWの崩壊先  
でモードを決定

6j	全体の56.25%
4jlv	全体の37.5%
2jlvlv	全体の6.25%

# Lepton selection

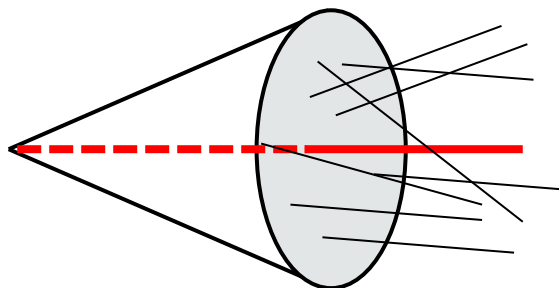
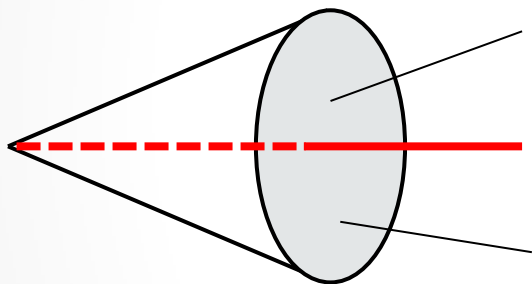
## ○ Isolated lepton の抽出

1. ECAL, HCAL で lepton か hadron かを見分ける

$$e \left\{ \begin{array}{l} \frac{E_{Ecal}}{E_{total}} > 0.9 \\ 0.8 < \frac{E_{totalcal}}{p} < 1.2 \end{array} \right.$$

$$\mu \left\{ \begin{array}{l} \frac{E_{Ecal}}{E_{total}} > 0.5 \\ \frac{E_{totalcal}}{p} < 0.3 \end{array} \right.$$

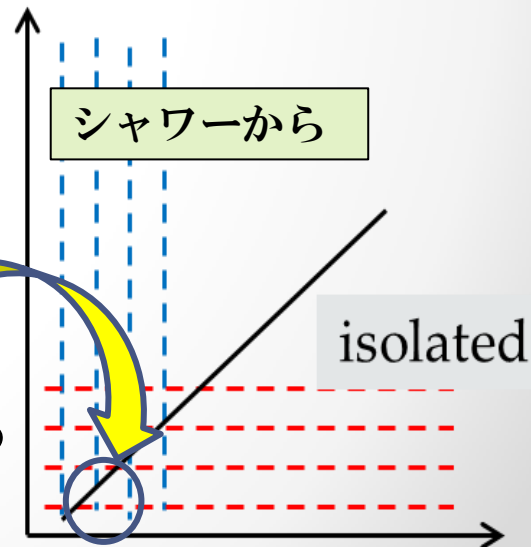
2. Isolated lepton or jet のシャワーに由来する lepton (cone cut)



☆ **中心の lepton を抜いた** Cone 内のエネルギーを測定

- Isolated lepton : cone energy 小
- Jetから来たもの : cone energy 大

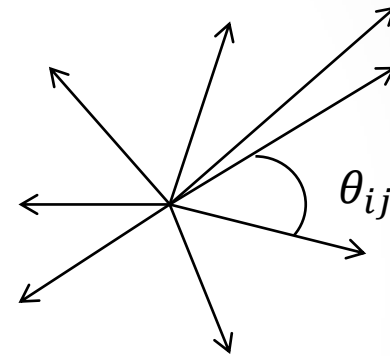
3. Cone cut後、momentumにカットを入れる  
cone cutで残ったbackgroundをなくす



# Jet の再構成

1. Particle Flow Object (PFO) を読みだす
2. Durham アルゴリズムを用いて PFO をjetに再構成する  
○ **Y 値**を使って再構成する

$$Y_{ij} = \frac{2E_i E_j (1 - \cos\theta_{ij})}{E_{\text{evis}}^2}$$



1. Y 値の最小値を取る
2. 最小の*i,j*を一つのものとしてまとめる

$p_1 p_2 \dots p_i p_j \dots p_{n-1} p_n$    $p_1 p_2 \dots p_{i'} \dots p_{n-2} p_{n-1}$

3. 目標のjet数になるまで**強制的**に再構成する

# 结果

# Event selection

$10\text{fb}^{-1}$ を想定した統計数

## ttbar からの崩壊モード

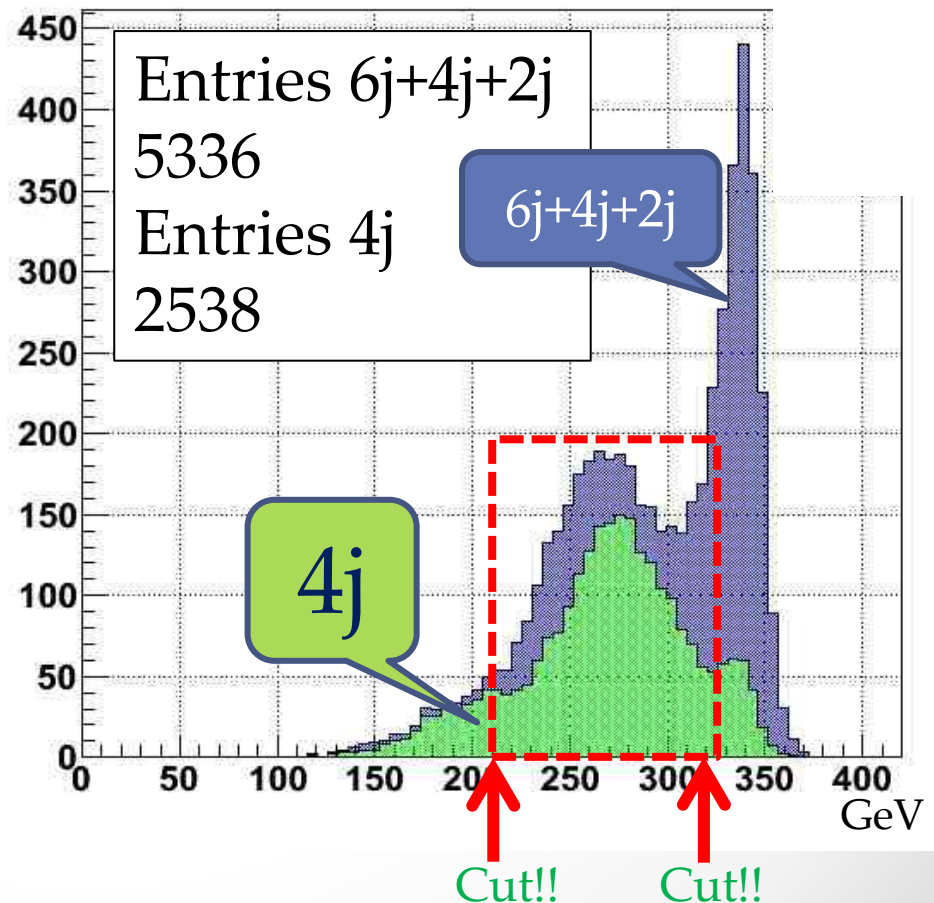
ttbar  $\Rightarrow$  6j, 4jlv, 2jlvlv  
 $\Rightarrow$  visible energy でカット  
 $220 < e_{\text{vis}} < 310 (346.4\text{GeV})$

## バックグラウンド

ttbar  $\Rightarrow$  WW  
 $\Rightarrow$  mass, momentum,  
flavor-tag, Event shape

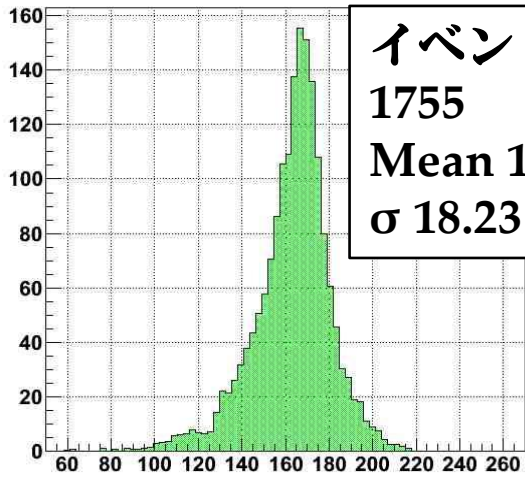
今後の課題

## Visible Energy



# top mass @4jets

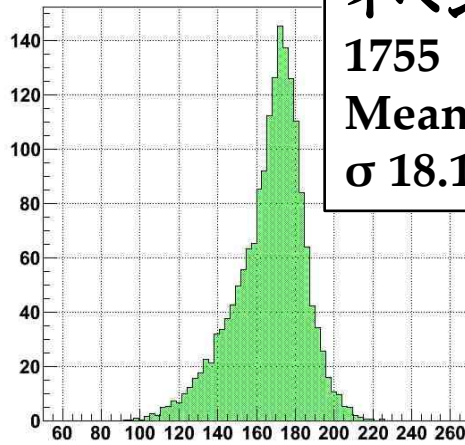
topmass1\_tt4jEcm346.4



イベント数  
1755  
Mean 162.9  
 $\sigma$  18.23

GeV

topmass2\_tt4jEcm346.4



イベント数  
1755  
Mean 166.9  
 $\sigma$  18.11

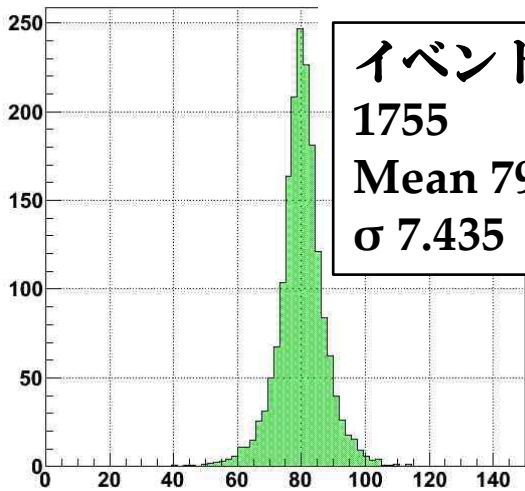
GeV

173GeV 付近にピーク  
は立つが精度が不十分



Background study を  
してより感度を上げ  
る必要あり

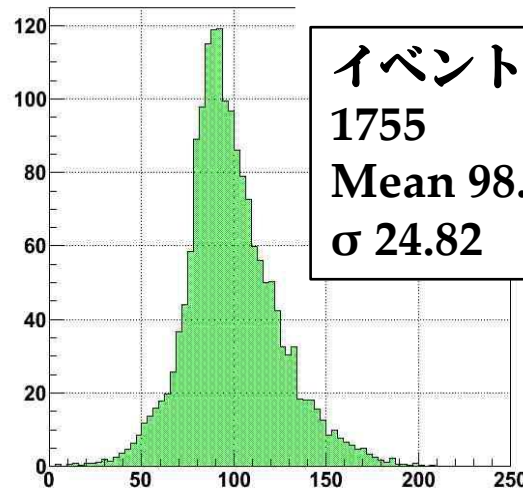
Wmass1\_tt4jEcm346.4



イベント数  
1755  
Mean 79.99  
 $\sigma$  7.435

GeV

Wmass2\_tt4jEcm346.4



イベント数  
1755  
Mean 98.79  
 $\sigma$  24.82

GeV

ハドロンサイドの  
Wmass は再構成で  
きている



b-tag の精度上げる  
必要あり

● ハドロンサイド

● レプトンサイド

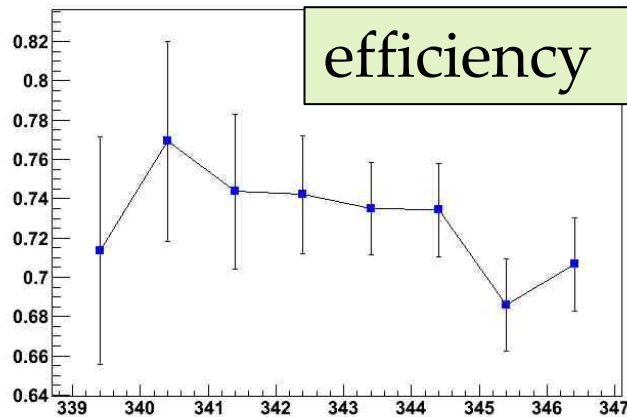
# top 反応断面積

$$\sigma = \frac{N_{obs1}}{\epsilon L}, \quad \epsilon = \frac{N_{obs2}}{N_{truth2}}$$

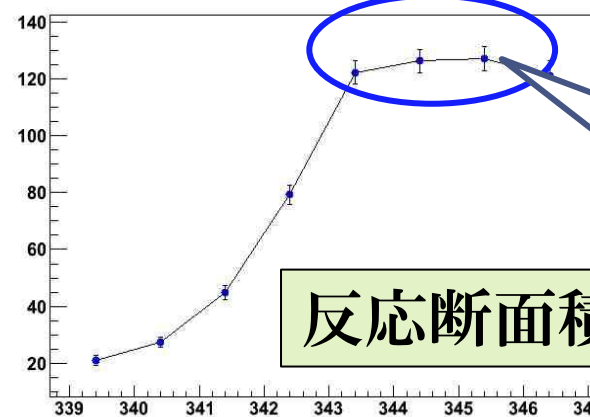
Nobs が2種類あるのは $\sigma$ と $\epsilon$ を求めるのに各々別のMCサンプルを使うため

$\sigma$  : 反応断面積,  $\epsilon$  : efficiency, Ntruth : MCで作ったイベント,  
Nobs : cutかけた後に残ったイベント数, L : ルミノシティ

tt4j\_efficiency



tt4j cross



この部分の  
ずれを見て  
いく

- Background studyをしてカット項目を詳細にし、efficiencyを上げていくことが必須
- 崩壊比の関係から6jの解析が重要



# まとめ

- ILC計画は次世代のエネルギーフロンティア加速器で、higgs factory, top factoryとして重要な役割を果たす
- ILCの350GeVは top factory となり重要なstudyである
- ILCで標準模型確認のために重要なyukawa couplingの測定が可能
- QCD の波動方程式を求めることが可能

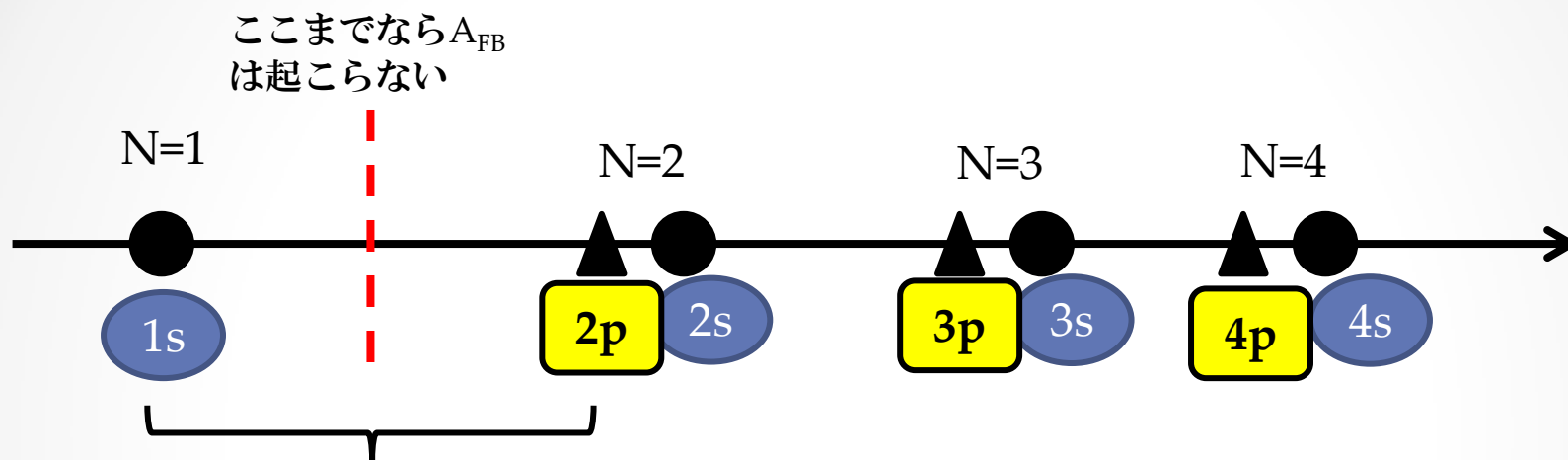
## 今後の方針

6j, 2j, background studyを早急にしてtop mass, 反応断面積を計算する。



# Backup

# Forward backward asymmetry の補足



崩壊幅が大きく N=2 も影響する  $\Rightarrow$   $A_{FB}$  と  $E_{cm}$  の変化を見て やると崩壊幅に感度あり

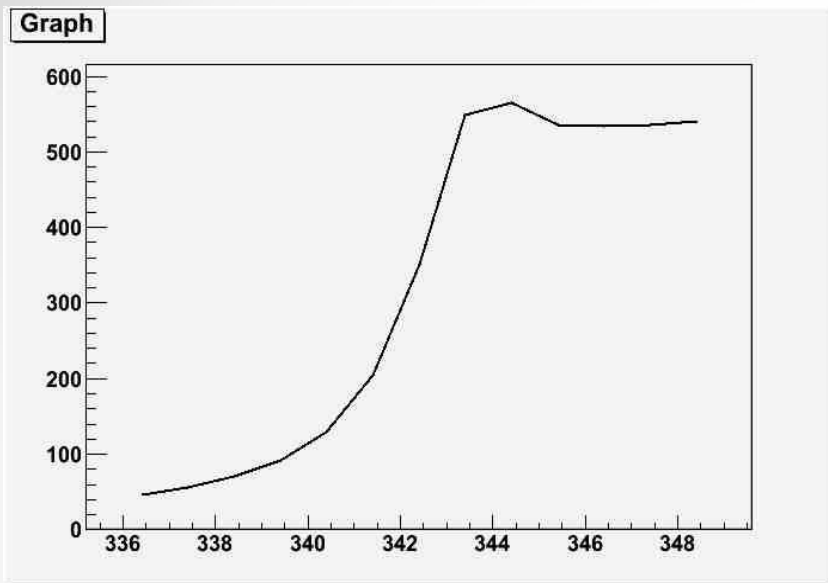
束縛状態のポテンシャルは結合定数を用いて記述する

$$V \sim -C \frac{\alpha_s}{r}$$

エネルギー間隔は  $\alpha_s$  による  $\Rightarrow$   $A_{FB}$  と  $E_{cm}$  の変化を見て やると  $\alpha_s$  に感度あり

# 選別ごとの数値

Ecm(GeV)	イベント数	Lepton 選択後の イベント数	Evis cut後のイ ベント数	efficiency	反応 断面積(fb)
346.4	5336	1271	898	0.70653	121.156
345.4	5358	1245	854	0.685944	126.978
344.4	5643	1310	962	0.734351	126.234
343.4	5491	1324	973	0.734894	122.194
342.4	3521	822	610	0.742092	79.2355
341.4	2042	480	357	0.74375	4.9076
340.4	1297	299	230	0.769231	27.43
339.4	919	213	152	0.713615	21.0197



Generator レベルの反応断面積  
(polarizationなし)

	$q_r$	$q_g$	$q_b$	$\ell$
$q_r$	6j			4j
$q_g$				
$q_b$				
$\ell$	4j			2j

W崩壊によるイベント分類

Ecm	346	345	344	343	342	341	340	339
反応断面積 generator情報(fb-1)	533.56	535.83	564.3	549.11	352.09	204.15	129.69	91.94
イベント数	5335.6	5358.3	5643	5491.1	3520.9	2041.5	1296.9	919.4
pol								
0.035	0.01506	0.015124	0.015928	0.015499	0.009938	0.005762	0.003661	0.002595
0.585	0.25172	0.252791	0.266222	0.259056	0.166107	0.096313	0.061184	0.043375

# evis

