



# 国際リニアコライダーにおける トップ対生成閾値領域の シミュレーション解析

2013/3/29 @日本物理学会(広島大)

堀口朋裕, 石川明正, 山本均,

藤井恵介<sup>A</sup>, 隅野行成, 清裕一郎<sup>B</sup>

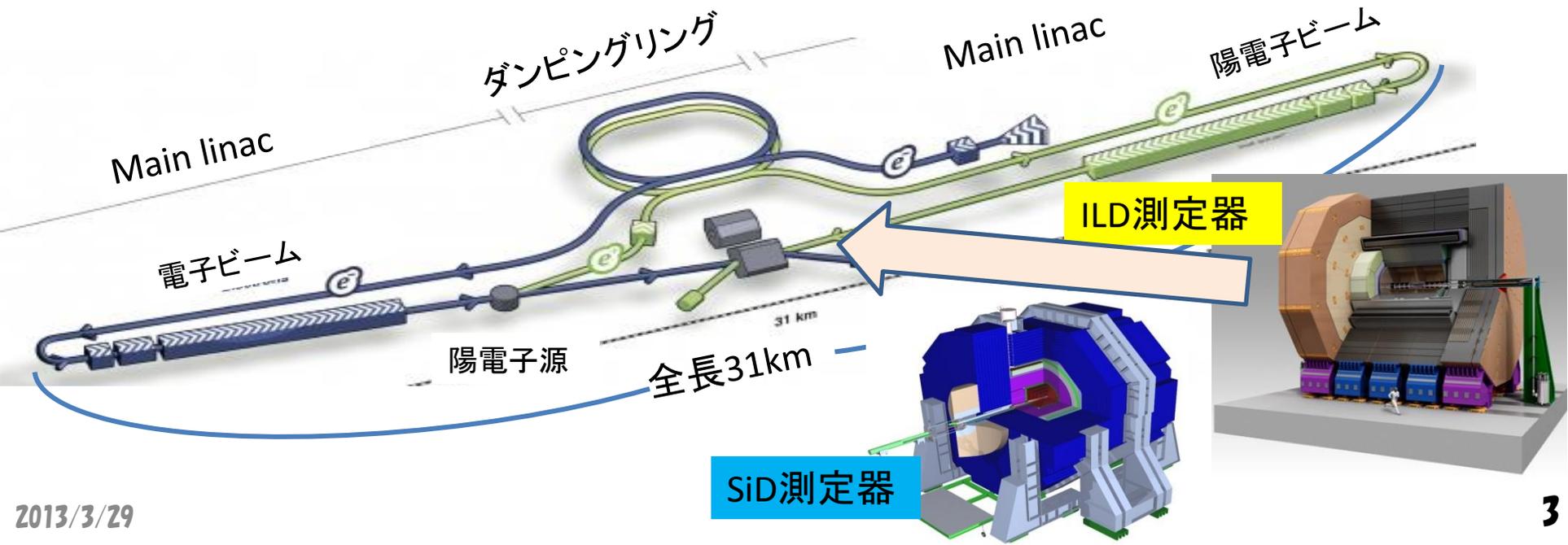
東北大理, KEK<sup>A</sup>, 順天堂大<sup>B</sup>

# 目次

1. 国際リニアコライダー計画
2. 目的
  - 本研究の目的
  - トップ湯川結合の測定について
3. 解析
  - シミュレーション
  - 信号事象と背景事象
4. 結果
  - イベント選別
  - イベント数とsignificance
  - 反応断面積
5. まとめと予定

# 国際リニアコライダー

- 電子陽電子衝突型の線形加速器
- クリーンな環境、エネルギーと偏極を設定できる
- 重心系エネルギー: 250~500GeV  1 TeV
- 積分ルミノシティ(500GeV) : 500 fb<sup>-1</sup>
- 日本の候補地: 北上山地(岩手、宮城)、背振山地(佐賀、福岡)



# 目的

# 本研究の目的

トップクォーク: ハドロン化する前に崩壊

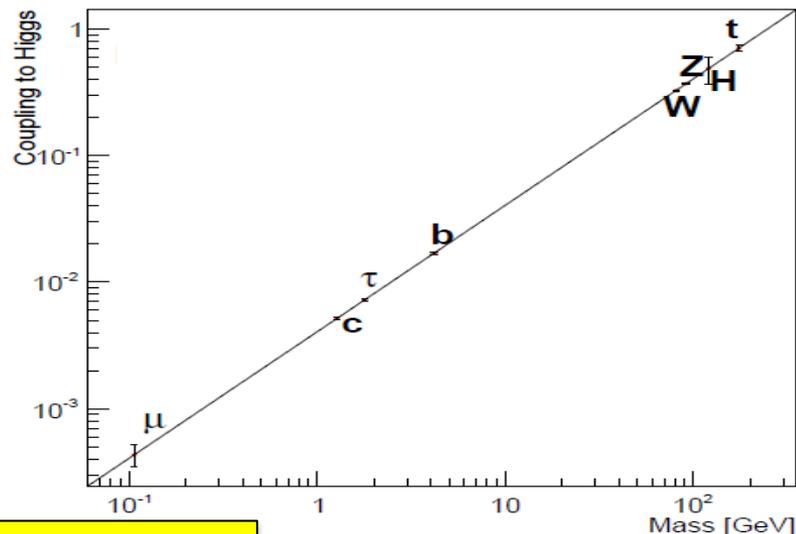
トップクォーク: **閾値**付近 (340~350GeV)で生成

1.  $\overline{MS}$ のトップ質量
2. トップの幅
3. 強い結合定数 $\alpha_s$
4. トップ湯川結合
5. トップ対束縛状態でのQCD波動関数

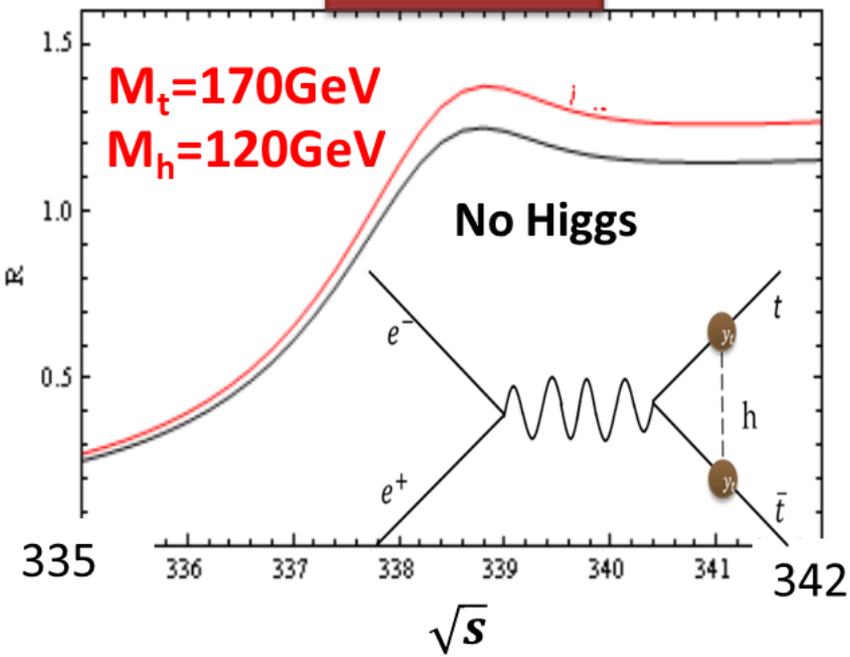
# トップ湯川結合の測定

## 湯川結合

クォークはヒッグスと結合することにより質量を得る。この結合を湯川結合という。標準模型が正しければ結合定数と質量の関係は右図のようになる。



## 理論計算



## 本研究

ヒッグスがトップ対の間を交換することにより断面積が増加する。

(理論計算:  $9 \pm 4\%$ )

⇒ 閾値スキャンをし、断面積を高い精度で求められればトップ湯川に感度がある

ILC500GeVの $tth$ におけるトップ湯川結合直接探索の前に感度を見積もる。

# 解析

# シミュレーション

解析ツール	llcsoft v01-16 (DBD ver.)
イベント生成 トップクォーク Hadronic WW-4f (BG.)	physsim Whizard
重心系エネルギー	<u>340 ~ 350 GeV (1GeV刻み)</u>
Luminosity	10 fb <sup>-1</sup> (各エネルギーごと)
偏極率	<u>(e<sup>-</sup>, e<sup>+</sup>) = (+80%, -30%)</u>
トップ質量	174 GeV
W 質量	80.419 GeV

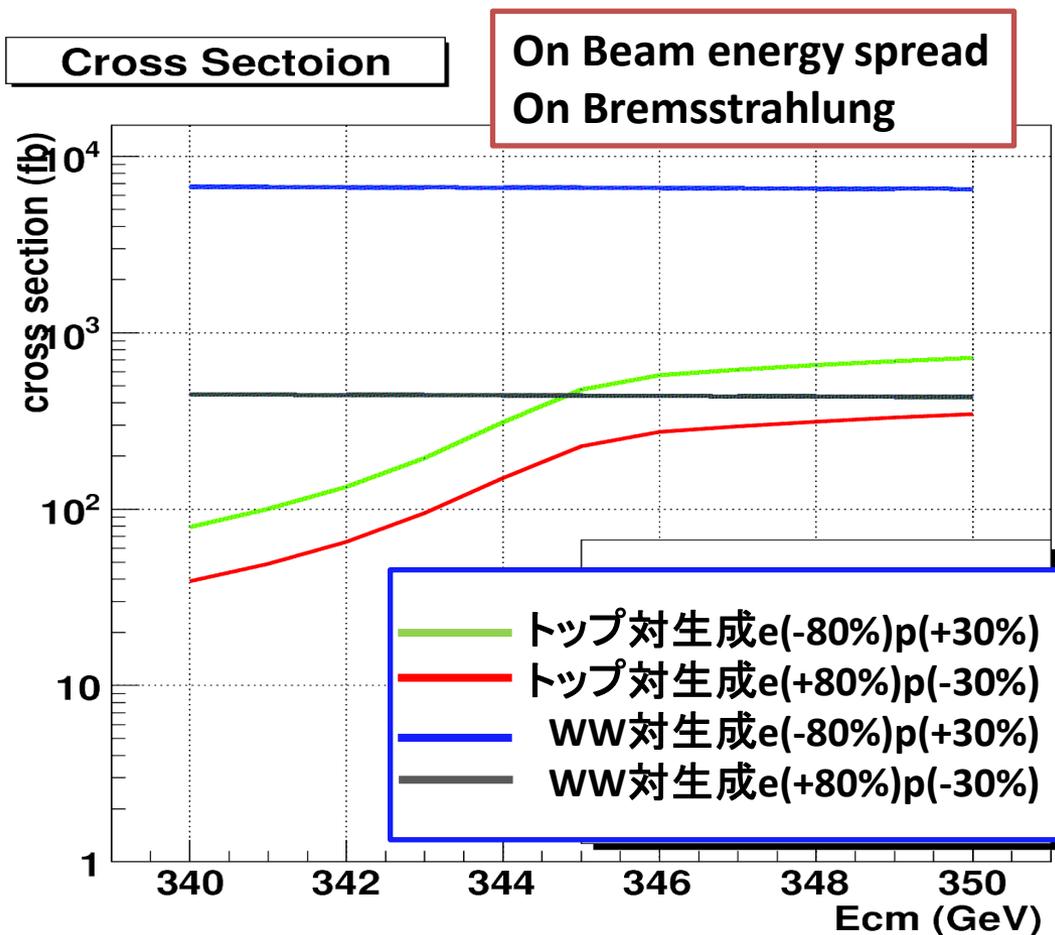
# 信号事象と背景事象

信号事象:  $ee \rightarrow tt \rightarrow bWbW \rightarrow bqq' b\bar{q}'' \bar{q}'''$  6jets

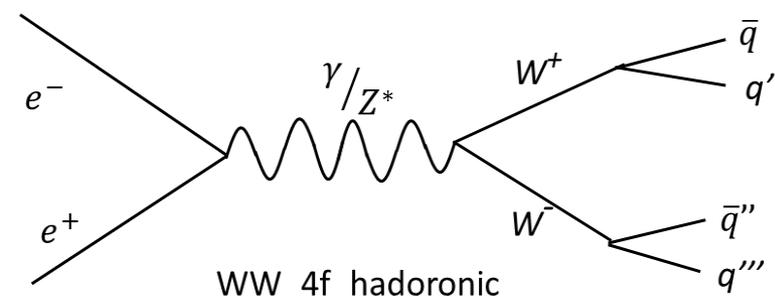
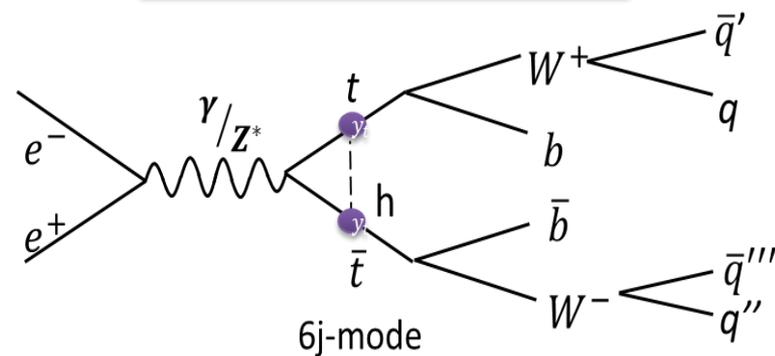
背景事象:  $ee \rightarrow WW \rightarrow qq' q'' q'''$  4 jets

(次のステップとしてZZ, ZHを想定)

6j	44.4%
4jlv	44.4%
2jlvlv	11.1%



## ダイアグラム

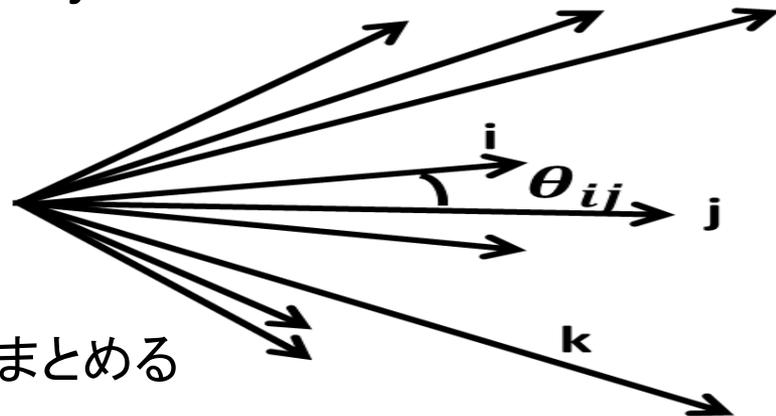


# 再構成

Durham アルゴリズムを用いて粒子群をjetに再構成する

○Y値を使って再構成する

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



Y値の最小値を取りその時の*i,j*を一つにまとめる

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

6 jetになるまで**強制的**に再構成する

◎トップとWを再構成

再構成後のjetからニューラルネットによりBらしいものを2つ選び、残りの4jetsでWを再構成しその後トップを組む。その後 $\chi^2$ により最適化。

$$\chi^2 = \frac{(m_{2j} - Mw_1)^2}{\sigma_w^2} + \frac{(m_{2j} - Mw_2)^2}{\sigma_w^2} + \frac{(m_{3j} - Mt_1)^2}{\sigma_{t1}^2} + \frac{(m_{3j} - Mt_2)^2}{\sigma_{t2}^2}$$

# 结果

# イベント選別

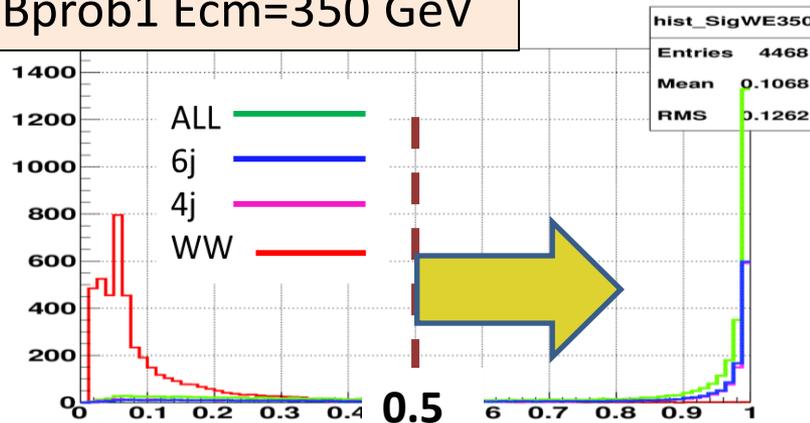
6jetsのうちから、Bらしさ  
が高いものから2つ選び  
Bprobと名付ける

ニューラルネットを用いてBクォークタグをする。

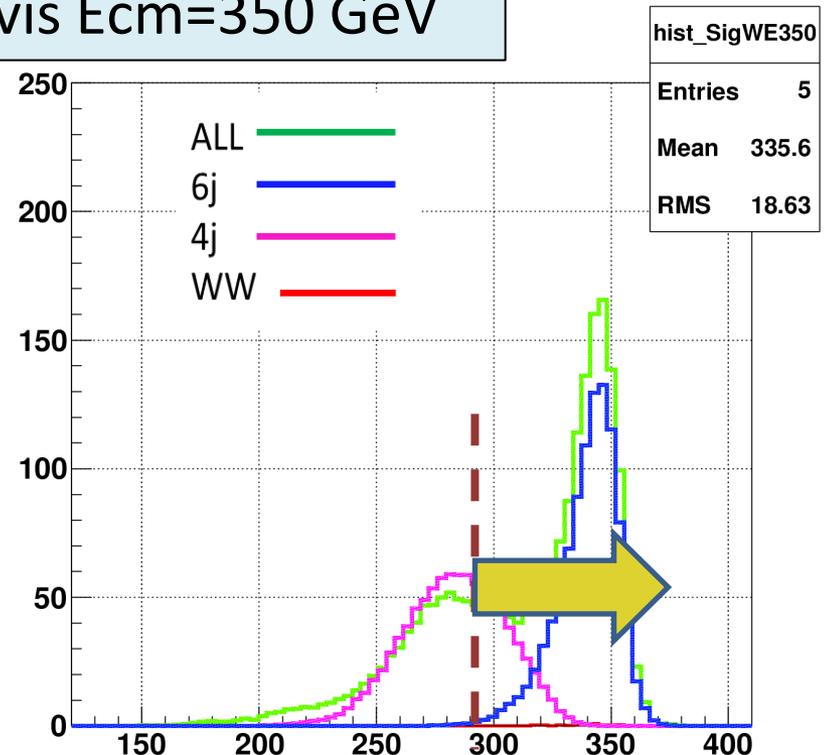
Wとトップを見分ける⇒Bクォーク2つを要求 :  $Bprob1 > 0.5$  ,  $Bprob2 > 0.5$

6jと4j,2jを見分ける⇒Visible Energy カット :  $Evis > 290$  GeV

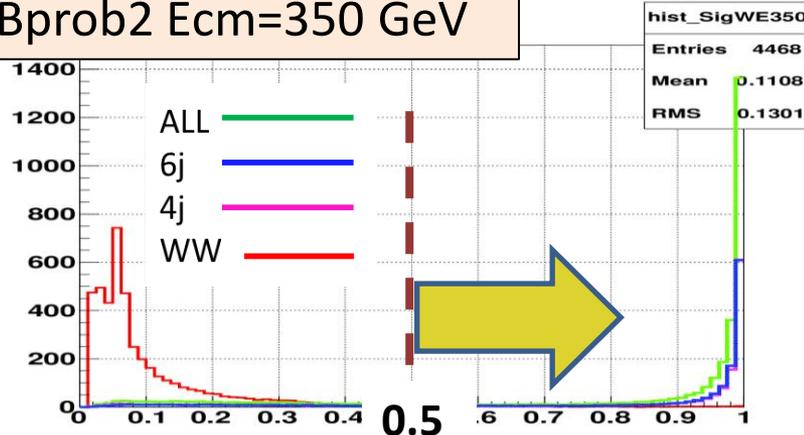
Bprob1 Ecm=350 GeV



Evis Ecm=350 GeV



Bprob2 Ecm=350 GeV



# イベント数とSignificance (350GeV)

6j Mt = 174 GeV , Lumi = 10 fb<sup>-1</sup> , 偏極 e(+80%)p(-30%)

Ecm=350 (GeV)	ALL	6j	4j	2j	WW-4j	Significance 6j	Significance ALL
no cut	3451.8	1572.4	1514.9	364.8	4129.3	18.06	39.64
Btag	2167.2	1002.1	934.7	216.3	4.33	21.57	46.51
Evis	1563.7	999.3	361.9	1.63	4.13	<b>27.03</b>	39.49

- Bクォークタグ ⇒ WWがほとんど落とせる。
- Visible Energy Cut ⇒ 2j,4jともに落とせている。

断面積への感度 =  $1/27.03 = 3.7\%$

# イベント数とSignificance (340GeV)

6j Mt = 174 GeV , Lumi = 10 fb<sup>-1</sup> , 偏極 e(+80%)p(-30%)

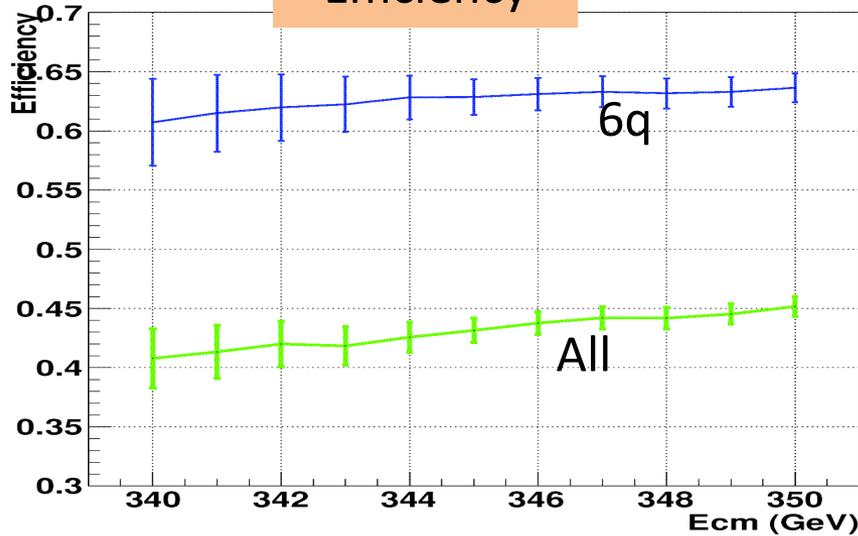
Ecm=340 (GeV)	ALL	6j	4j	2j	WW-4j	Significance 6j	Significance ALL
no cut	389.1	177.2	170.7	41.1	4264.3	2.60	5.70
Btag	238.3	108.4	102.1	23.5	6.90	6.98	15.22
Evis	161.0	107.3	25.9	0.06	5.69	<b>9.10</b>	12.47

- Bクォークタグ ⇒ WWがほとんど落とせる。
- Visible Energy Cut ⇒ 2j, 4jともに落とせている。

断面積への感度 =  $1/9.10 = 11\%$

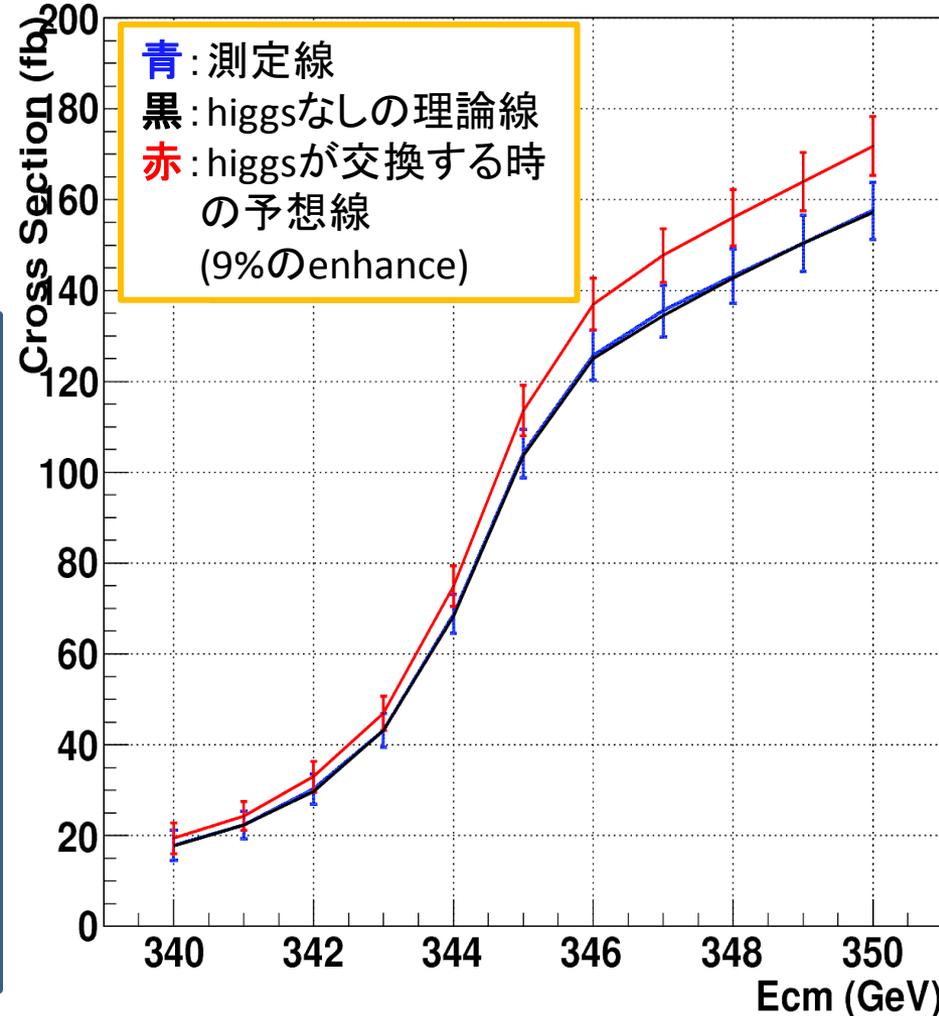
# トップ生成断面積

Efficiency



$$\epsilon = \frac{N_{obs1}}{N_{truth1}}, \quad \sigma = \frac{N_{obs2}}{\epsilon L}$$

ttbar cross section



<断面積>

347~350GeVの4点で考えると生成断面積の不定性は**2%**. 今後全データでfitすればより感度が上がる。

理論(ヒッグスあり)の不定性は**4%**  
⇒理論によって精度が決まる

10年で理論誤差が小さくなることに期待!!

# まとめと予定

## まとめ

- トップ対生成の閾値付近で生成断面積のエネルギー依存性を測定した。
- B クォークタグと Visible Energy によるイベント選別をした。
- 347~350GeVの上位4点を考えた時、終状態が6 jetのトップ断面積が2%の不定性で測定できた。⇒fitにより更に改良

## 予定

- 左巻き偏極 ( $e^-, e^+$ ) = (-80%, +30%) で解析する。  
⇒ Top, WWともに断面積がup!! WWを排除できればより感度が高い
- 背景事象に ZH, ZZ を入れる。  
⇒ 終状態にBを含むのでBクォークタグ以外のカットが重要
- 質量, 幅,  $\alpha_s$ , QCD波動関数の測定

# Backup

# イベント数とsignificance

Ecm=350 (GeV)	ttAll	tt6j	tt4j	tt2j	WW-4_h	Significance 6j	Significance ALL
no cut	3451.76	1572.37	1514.88	364.808	4129.32	18.0584	39.6438
Btag	2167.24	1002.09	934.685	216.297	4.32595	21.5746	46.5073
Evis	1563.66	999.297	361.909	1.63431	4.12932	27.0281	39.491
Ecm=349 (GeV)	ttAll	tt6j	tt4j	tt2j	WW-4_h	Significance 6j	Significance ALL
no cut	3300.92	1503.83	1448.39	348.776	4141.59	17.4316	38.2627
Btag	2051.49	954.681	901.37	207.456	4.73325	20.9922	45.2413
Evis	1458.69	951.618	339.955	1.38805	4.73325	26.4166	38.131
Ecm=348 (GeV)	ttAll	tt6j	tt4j	tt2j	WW-4_h	Significance 6j	Significance ALL
no cut	3132.9	1427.05	1374.73	331.064	4152.54	16.7191	36.7044
Btag	1961.11	903.709	857.158	197.302	4.15254	20.4006	44.2376
Evis	1385.82	900.237	311.994	1.08069	3.9548	25.8026	37.1735

# イベント数とsignificance

Ecm=347 (GeV)	ttAll	tt6j	tt4j	tt2j	WW-4_h	Significance6j	SignificanceALL
<b>no cut</b>	2950.1	1343.97	1294.48	311.721	4169.1	15.9283	34.964
<b>Btag</b>	1846.16	850.497	802.201	183.422	2.97793	19.8322	42.9324
<b>Evis</b>	1309.16	847.088	282.302	0.82664	2.97793	25.1638	36.1412

Ecm=346(GeV)	ttAll	tt6j	tt4j	tt2j	WW-4_h	Significance6j	SignificanceALL
<b>no cut</b>	2743.52	1249.81	1203.81	289.952	4181.88	15.0183	32.9675
<b>Btag</b>	1705.54	789.327	740.354	172.032	3.38533	19.1153	41.2572
<b>Evis</b>	1193.74	786.399	248.909	0.535847	3.18619	24.3966	34.5045

Ecm=345(GeV)	ttAll	tt6j	tt4j	tt2j	WW-4_h	Significance6j	SignificanceALL
<b>no cut</b>	2275.03	1036.47	998.287	240.401	4194.96	12.8855	28.2836
<b>Btag</b>	1411.5	652.12	621.278	143.239	5.79303	17.2907	37.4931
<b>Evis</b>	986.185	649.712	200.084	0.662398	5.39351	22.2086	31.3181

Ecm=341(GeV)	ttAll	tt6j	tt4j	tt2j	WW-4_h	Significance6j	SignificanceALL
<b>no cut</b>	1499.02	682.799	657.675	158.385	4209.45	9.03731	19.8403
<b>Btag</b>	925.608	429.918	403.95	92.1746	4.009	14.0972	30.3581
<b>Evis</b>	637.523	427.414	124.66	0.376552	3.6081	18.1254	25.1781

# イベント数とsignificance

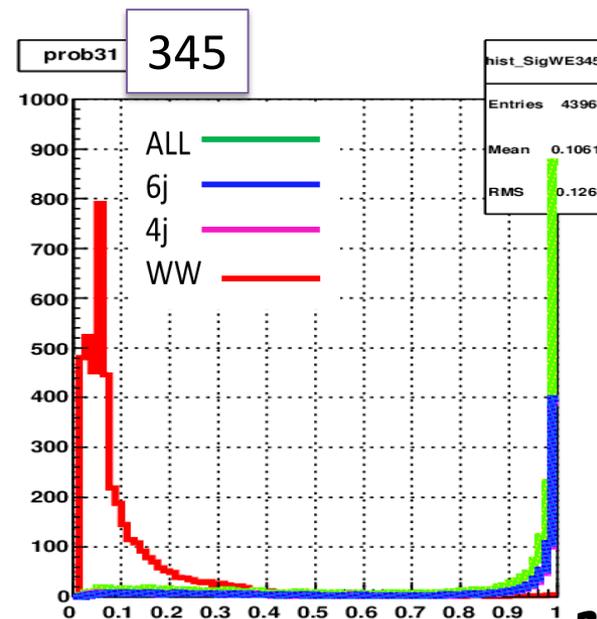
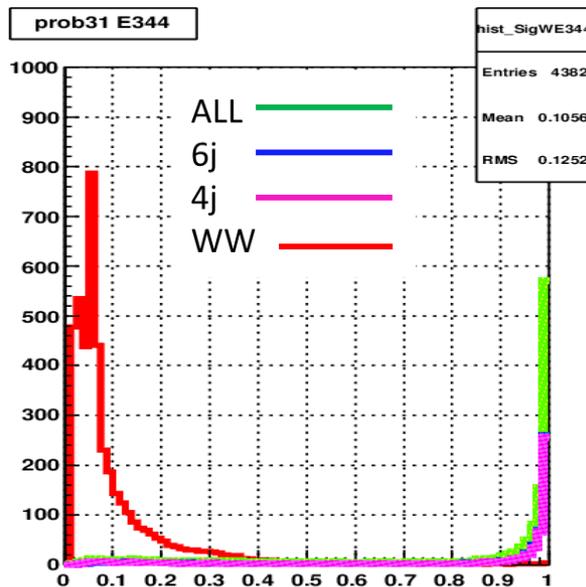
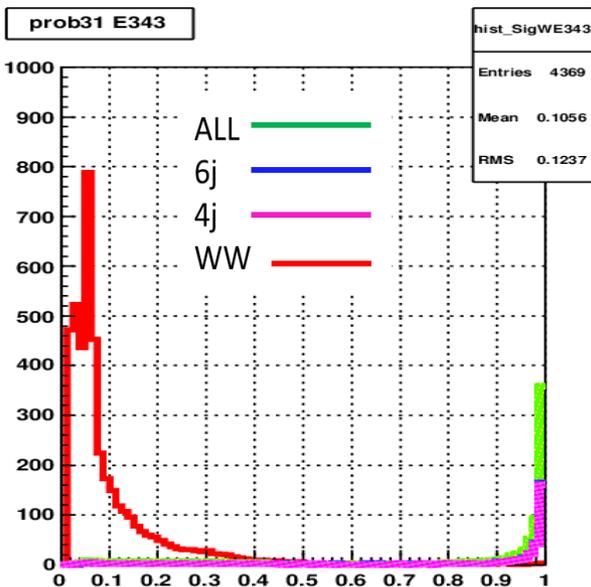
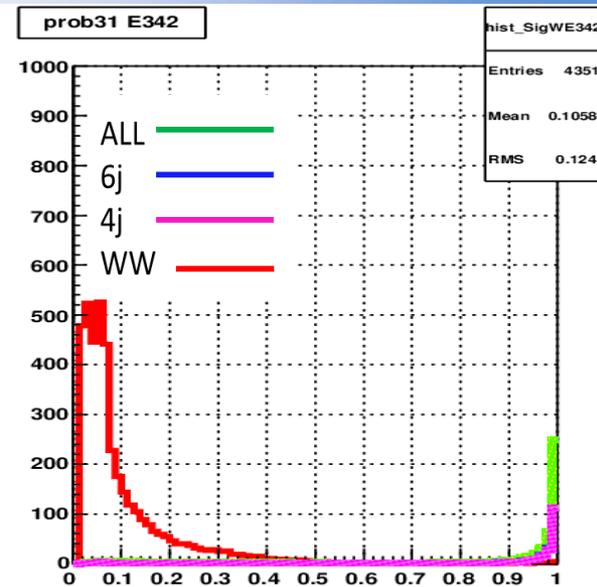
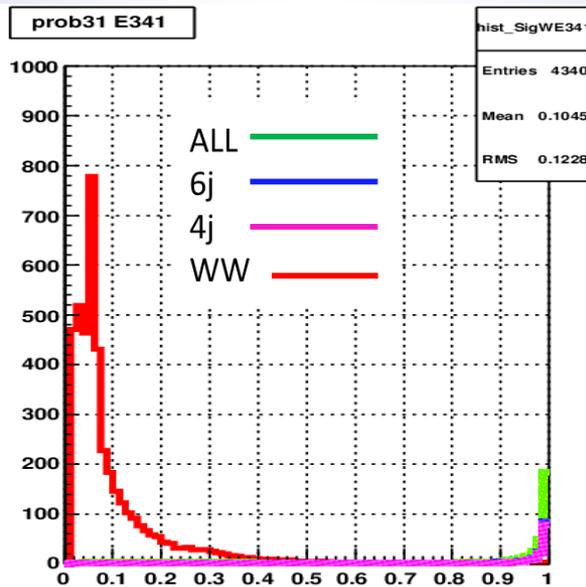
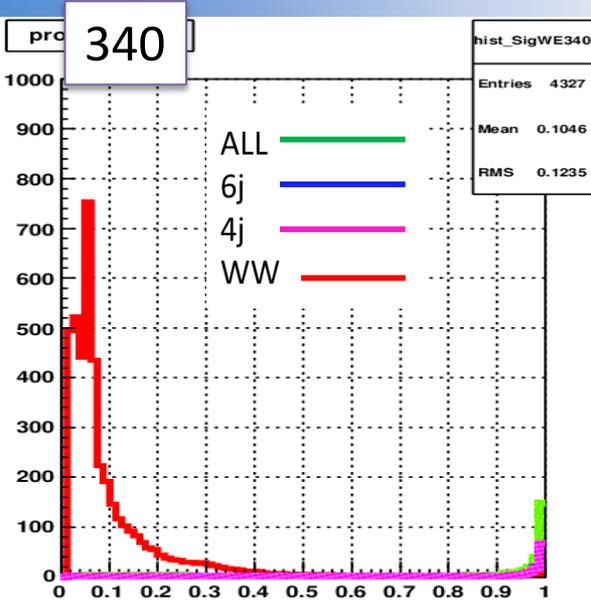
Ecm=343 (GeV)	ttAll	tt6j	tt4j	tt2j	WW-4_h	Significance6j	SignificanceALL
<b>no cut</b>	947.594	431.624	415.729	100.122	4223.54	6.0023	13.1774
<b>Btag</b>	587.584	270.3	253.928	57.7133	3.8213	11.1683	24.1617
<b>Evis</b>	398.137	268.986	74.0016	0.257028	3.62018	14.4427	19.8633

Ecm=342(GeV)	ttAll	tt6j	tt4j	tt2j	WW-4_h	Significance6j	SignificanceALL
<b>no cut</b>	652.441	297.194	286.242	68.943	4234.32	4.2514	9.3332
<b>Btag</b>	405.172	183.787	173.77	39.5161	3.42778	9.18361	20.0443
<b>Evis</b>	274.886	182.602	50.2682	0.083575	3.42778	11.8768	16.4773

Ecm=341(GeV)	ttAll	tt6j	tt4j	tt2j	WW-4_h	Significance6j	SignificanceALL
<b>no cut</b>	488.98	222.771	214.582	51.6749	4251.24	3.23561	7.10218
<b>Btag</b>	300.937	138.088	129.464	30.2809	4.25124	7.94498	17.2263
<b>Evis</b>	202.08	136.953	34.7364	0.025348	3.84636	10.3361	14.0821

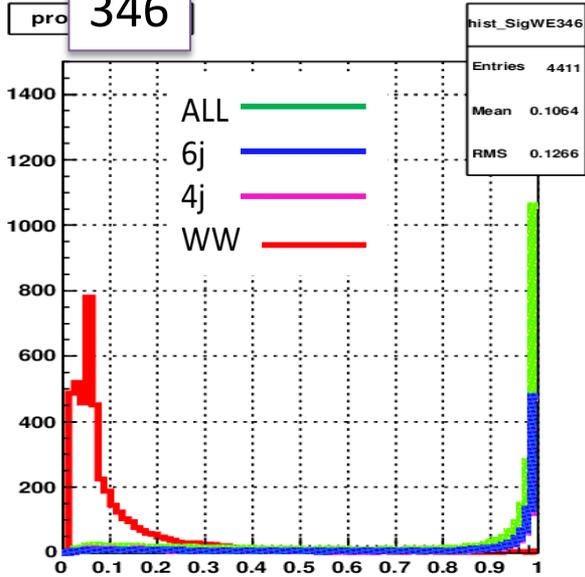
Ecm=340(GeV)	ttAll	tt6j	tt4j	tt2j	WW-4_h	Significance6j	SignificanceALL
<b>no cut</b>	389.059	177.239	170.736	41.1214	4264.3	2.59822	5.70338
<b>Btag</b>	238.284	108.392	102.088	23.5124	6.90411	6.98367	15.2176
<b>Evis</b>	161.009	107.307	25.9006	0.055744	5.68573	9.10332	12.4706

# Btag(340~345GeV)

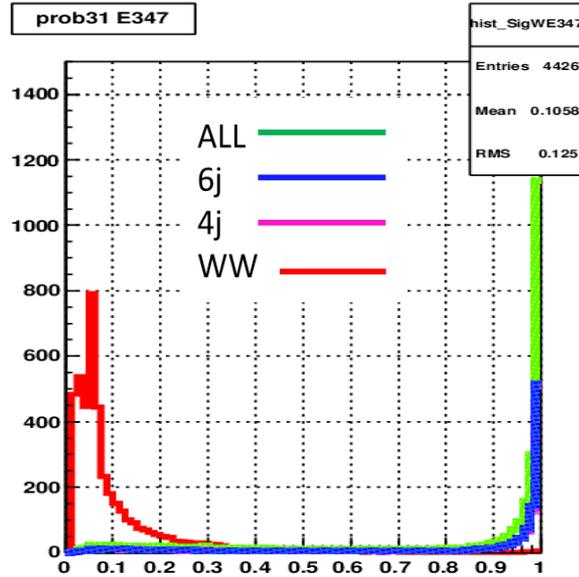


# Btag

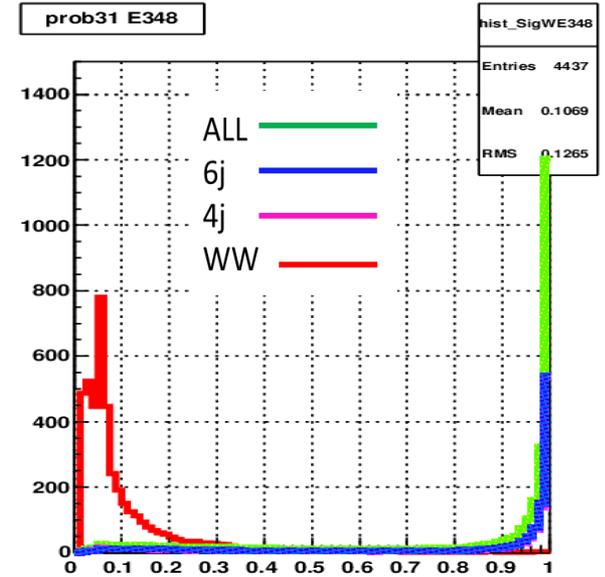
346



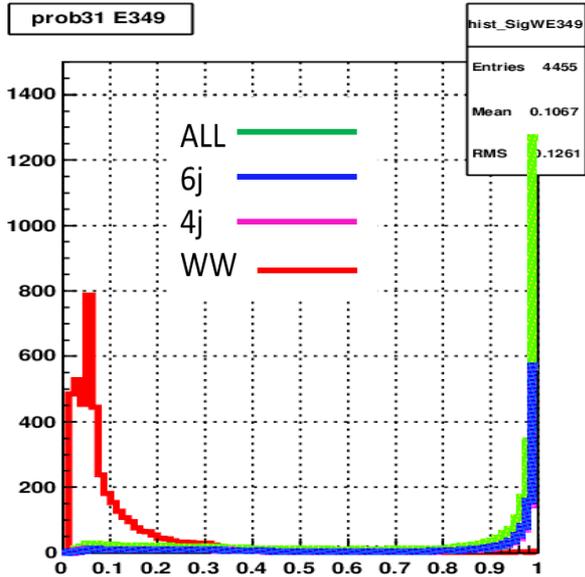
prob31 E347



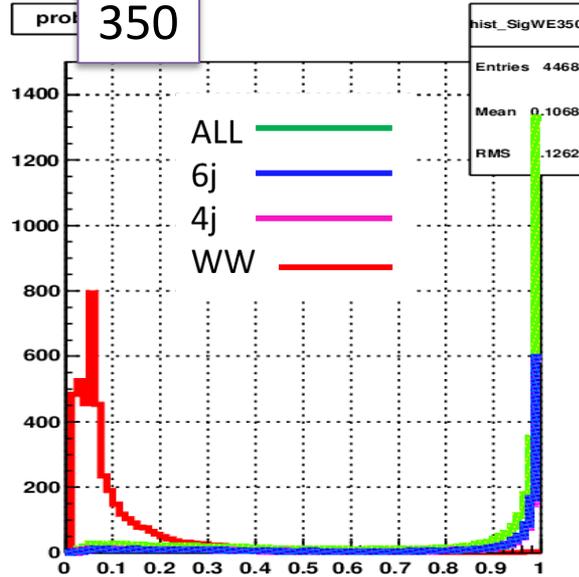
prob31 E348



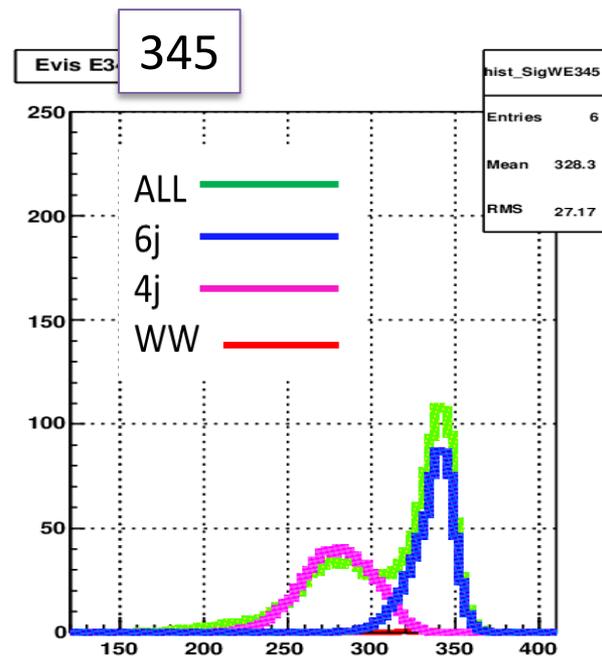
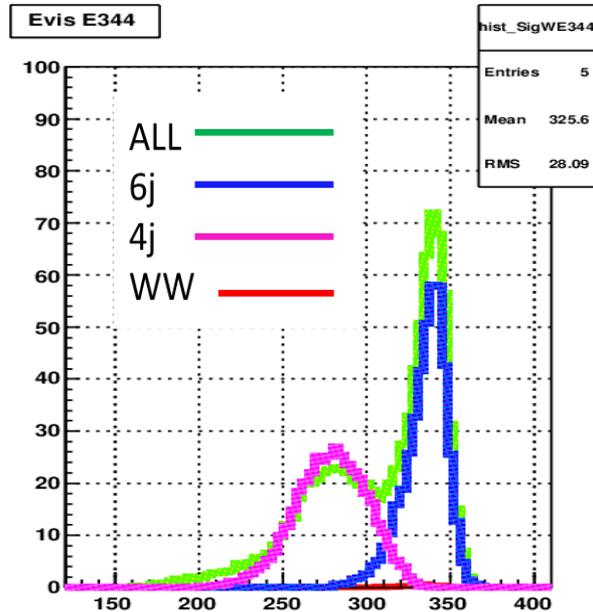
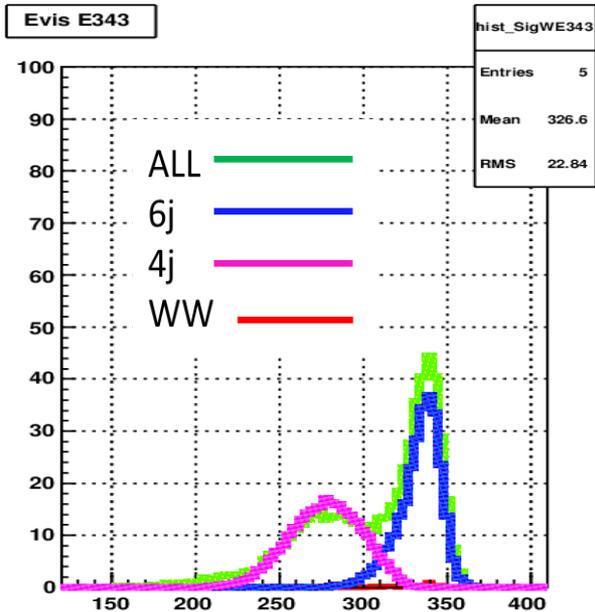
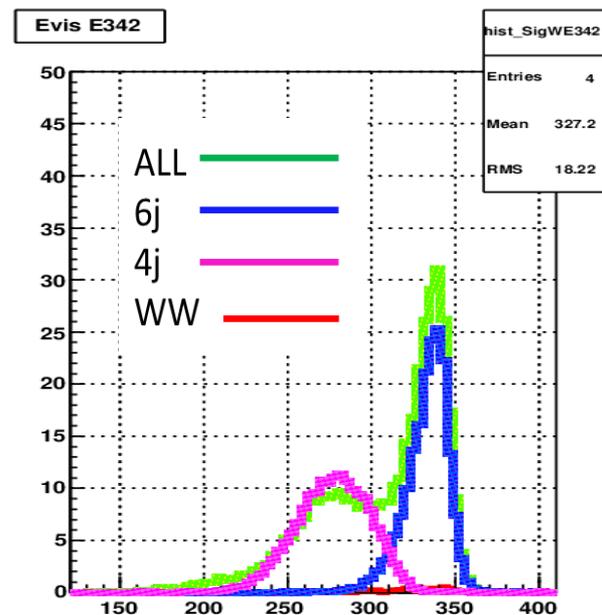
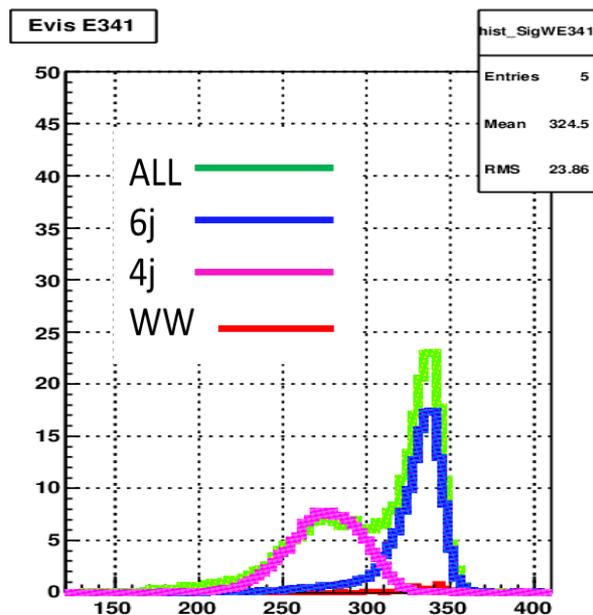
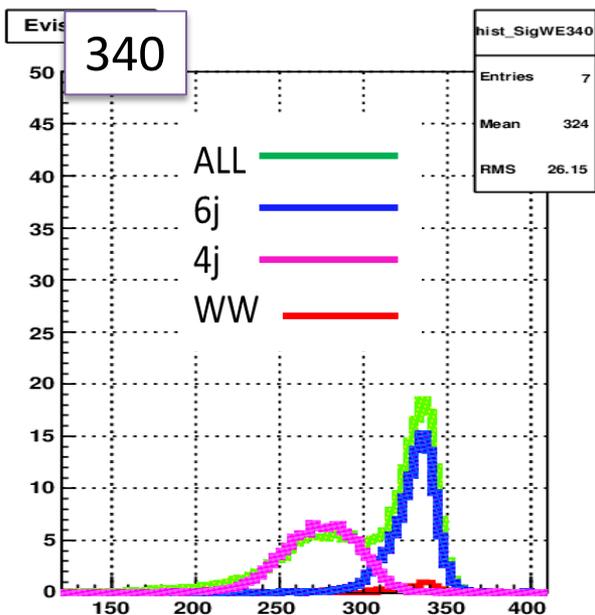
prob31 E349



350



# Btag後のvisible energy(340~345GeV)



# Btag後のvisible energy(346~350GeV)

