

Evidence for Top Quark Production in pp Collisions at $\sqrt{s}=1.8 \text{ TeV}$

- ☛ Topクォークを初めて観測した結果
- ☛ 解析が非常に細かい

$$174 \pm 10_{-12}^{+13} \text{ GeV} / c^2 (1.5\sigma)$$

目次

- イントロダクション
- TevatronとCDFについて
- シグナル(トッブクオーク対生成事象)について
- イベント選択とバックグラウンド除去
 - Dilepton mode
 - Lepton + jets mode
- データの考察
- トッブクオーク質量の導出
- まとめ

Introduction

Top はbottomのisospinパートナーとして予言されていたが未発見

当時(1994年)の質量の制限

理論はtopの質量を予言できなかったので実験による制限のみ

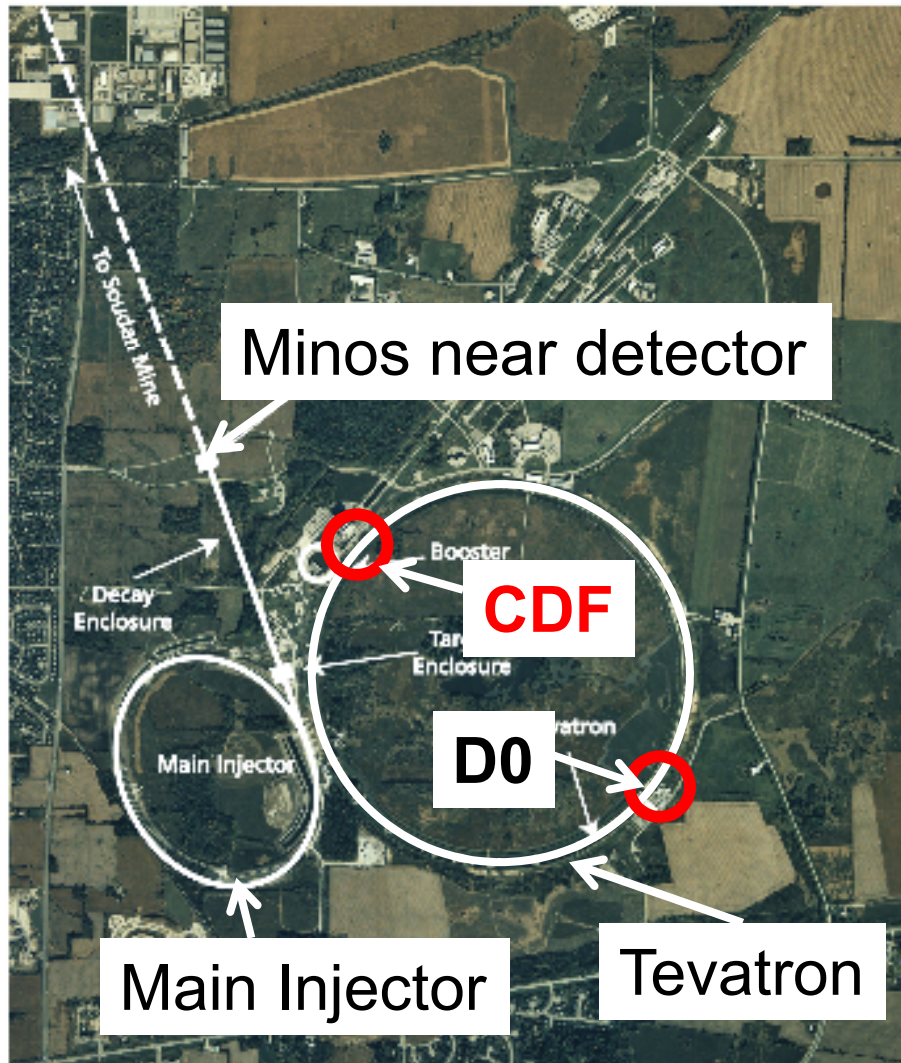
$M_{top} > 131 \text{ GeV} / c^2$: Top の崩壊がWとbが支配的という仮定

$M_{top} > 62 \text{ GeV} / c^2$: Top の崩壊に依存しない

$M_{top} = 177_{-11-19}^{+11+18} \text{ GeV} / c^2$: 電弱精密測定結果によるGlobal fit

TevatronのCDF実験とD0実験が競ってトックオークを探していた

Tevatron

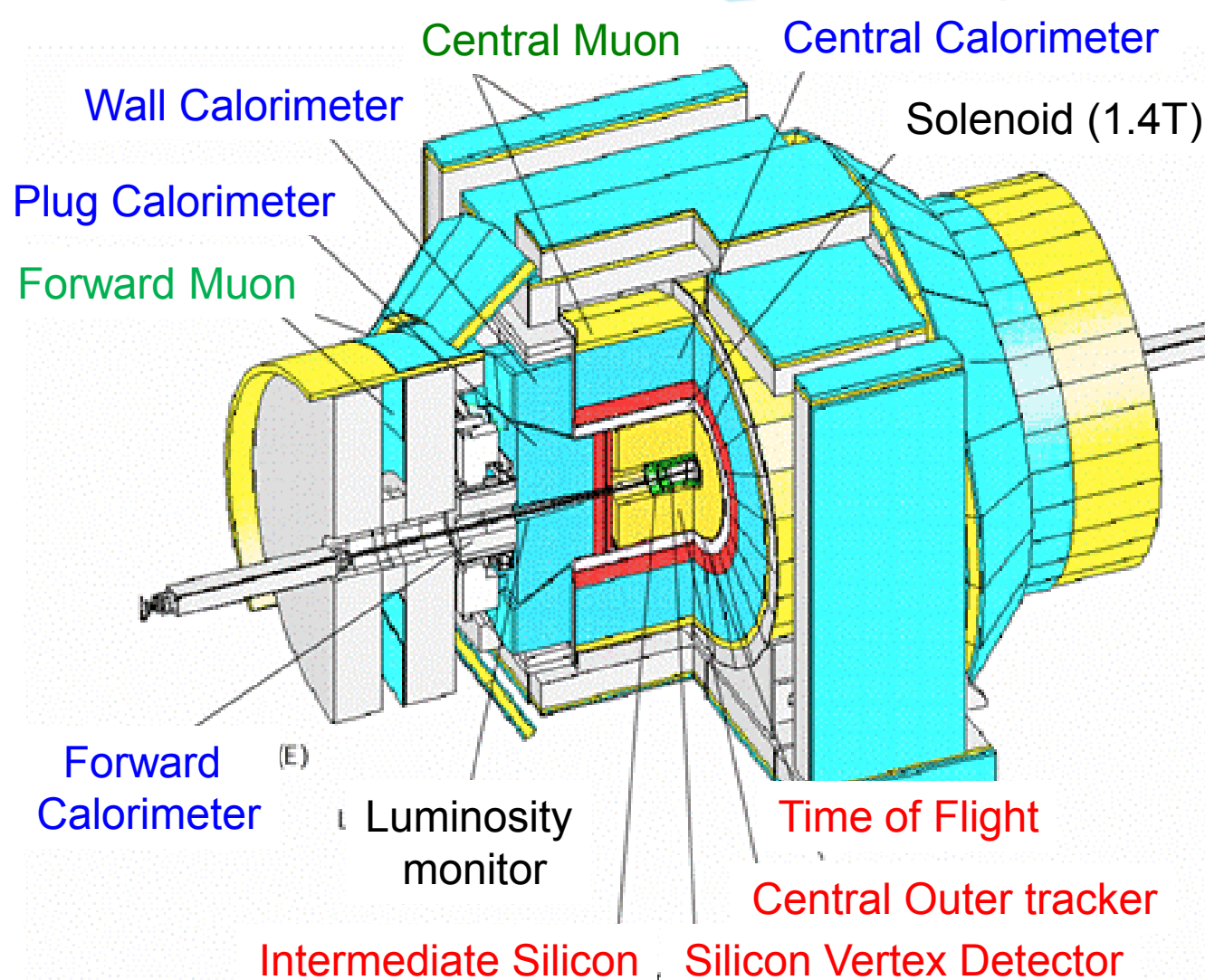


- ❖ アメリカイリノイ州
- ❖ 円周：6.28 km
- ❖ 陽子反陽子衝突器
- ❖ 重心エネルギー：1.96 TeV
- ❖ Detector：CDF, D0
- ❖ Top, Higgs、新粒子探索
他にもQCD、BのCPの破れ
- ❖ 寒い

本論文は。。。

$\sqrt{s} = 1.8 \text{ TeV}$ 、 19.3 fb^{-1} の pp 衝突
のデータを用いた top クォーク探索

Collider Detector at Fermilab(CDF)



ポイント

bの同定

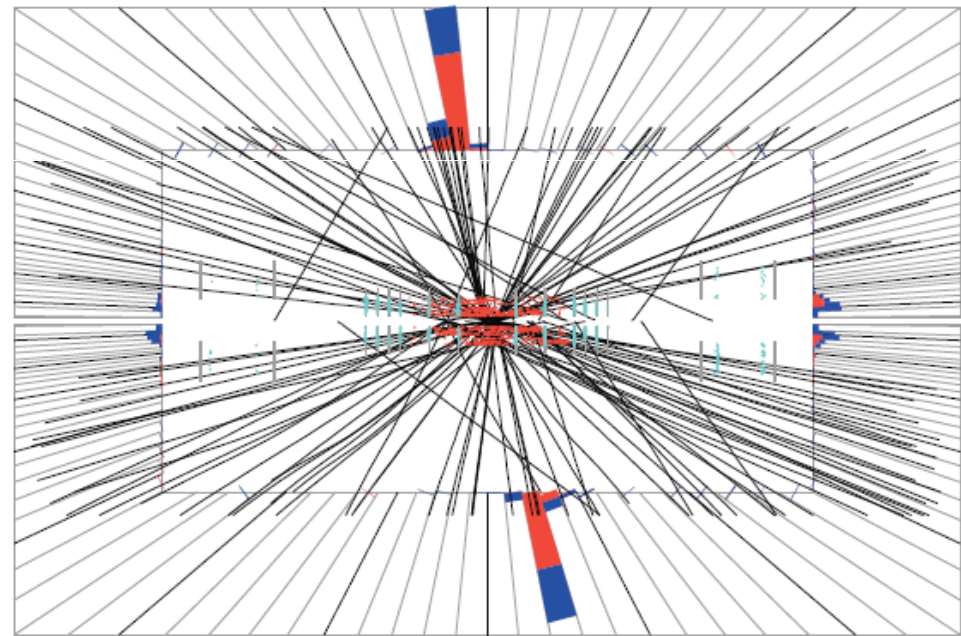
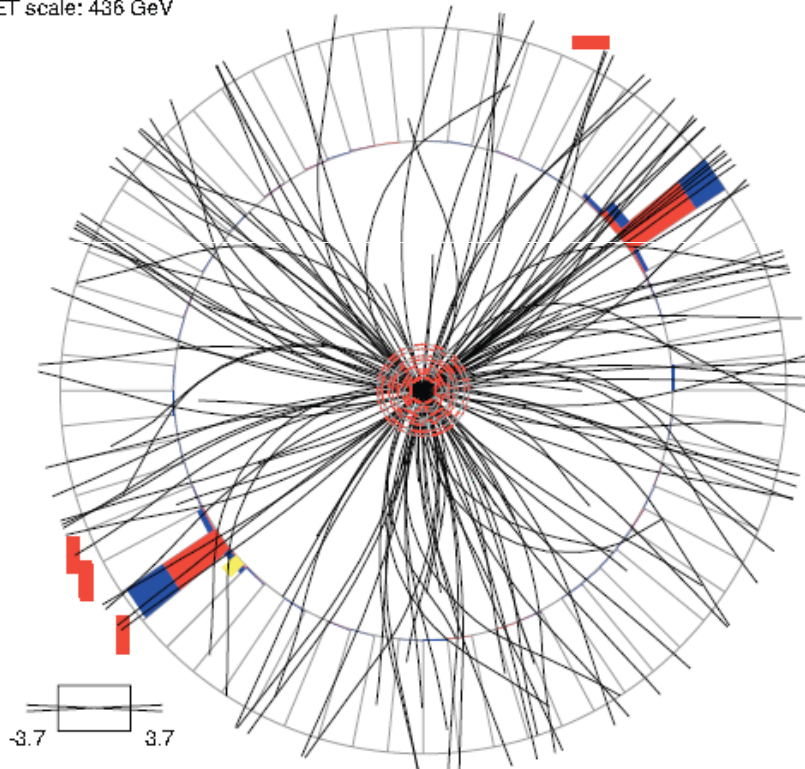
→ SVX & CTC


- Strip, 4層
- Pitch :
55~60 μm
- Single hit
resolution :
13 μm
- Impact
parameter
resolution :
17 μm

Hadron collision

E scale: 431 GeV

ET scale: 436 GeV



180  0



Pseudorapidity : η

Pseudorapidity : θ に依存し、粒子のエネルギーに依存しない量
 \Rightarrow beam方向のLorentz boostとは独立

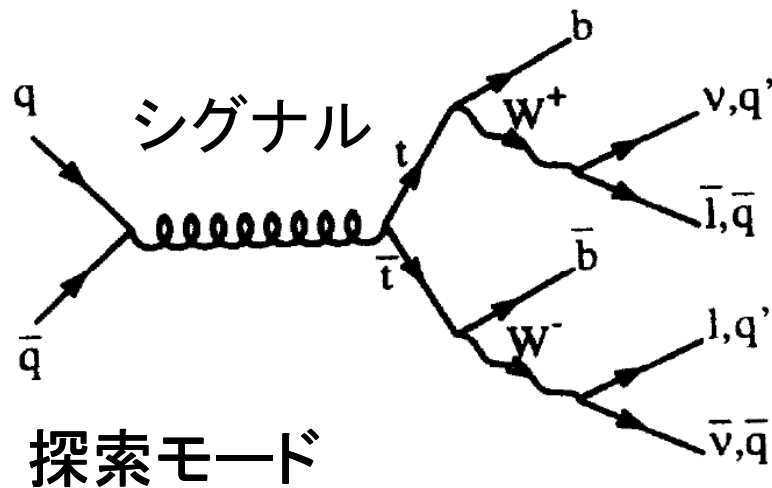
$$\eta = -\ln \left[\tan \left(\frac{\theta}{2} \right) \right],$$
$$\frac{1}{2} \ln \left(\frac{|\vec{p}| + p_L}{|\vec{p}| - p_L} \right),$$

$\eta=0$
 $\theta=90^\circ$
 $\eta=0.88$
 $\theta=45^\circ$
 $\eta=2.44$
 $\theta=10^\circ$
 $\theta=0^\circ$
 $\eta=\infty$

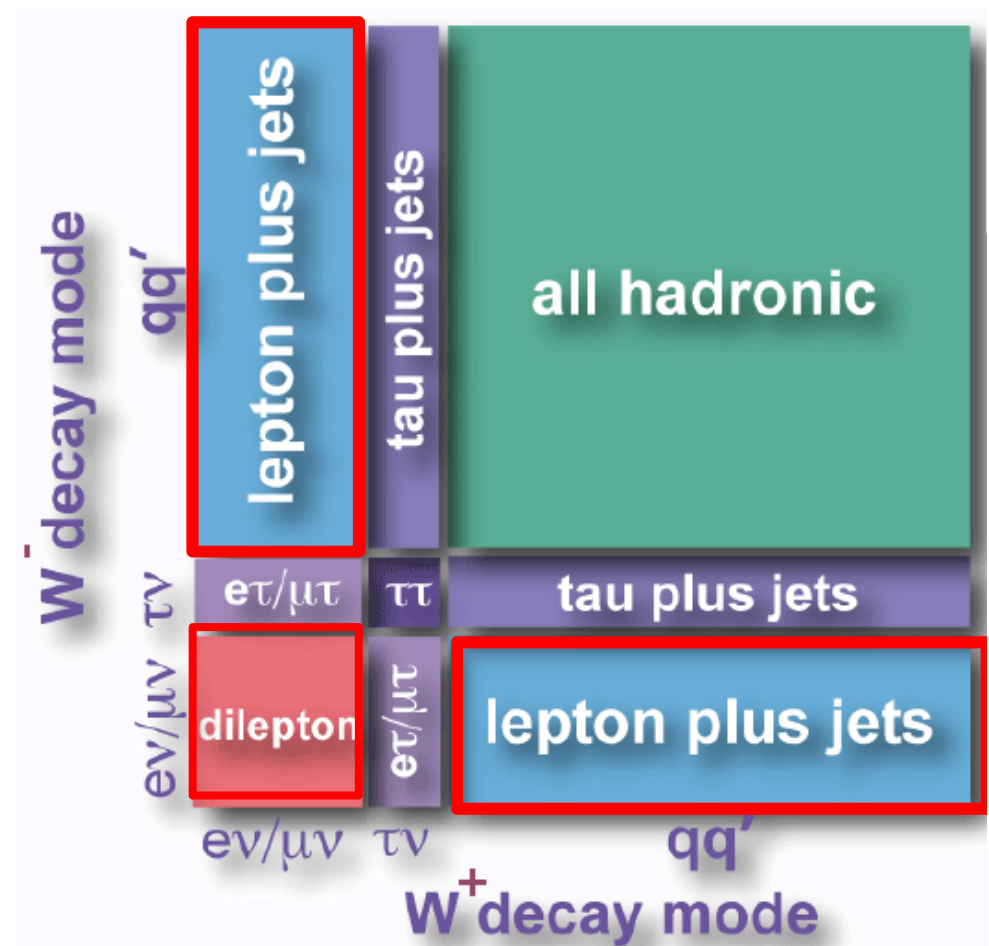
hadron colliderで好まれて使われる

Top quark pair production

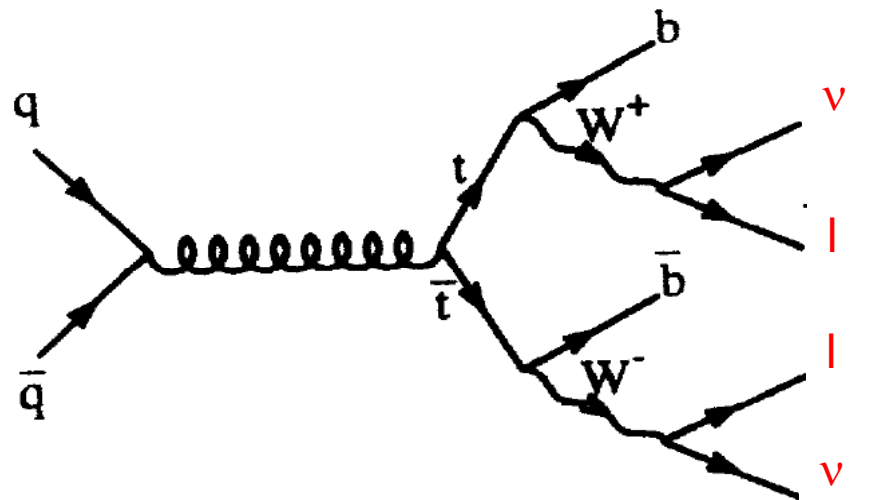
シグナル : top クォーク対生成事象



- 2つの $W \rightarrow e\nu, \mu\nu$
(dilepton) $\sim 5\%$
- $W \rightarrow e\nu, \mu\nu, W \rightarrow qq$
(l + jets) $\sim 30\%$



Dilepton mode search



Lepton IDが重要

イベント選択

レプトンに関する要求

- 2つのレプトン: $P_T > 20 \text{ GeV}/c$
電荷が逆
- 少なくとも1つのレプトン: $|\eta| < 2.4$, isolated
- Missing $E_T > 25 \text{ GeV}$ ← ニュートリノ
- $75 < M_{ll} < 105 \text{ GeV}/c^2$ を除く ← $Z \rightarrow ll$ を除く

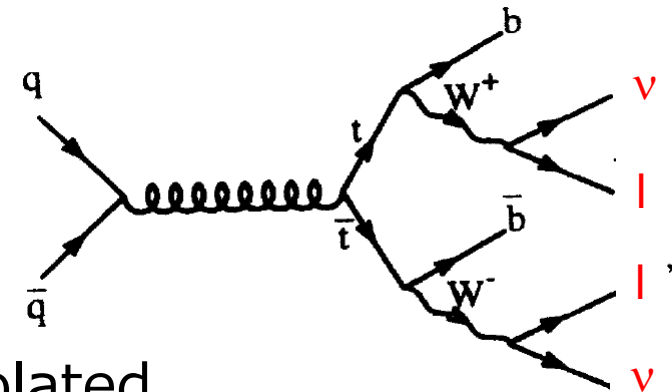
b-jetに対する要求

- $|\eta| < 2.4$, $E_T > 10 \text{ GeV}$

Drell-Yan, $Z \rightarrow \tau\tau$, bbカット

- Missing $E_T < 50 \text{ GeV}$
- Missing E_T と最も近いレプトンの角度 $> 20^\circ$

これらのカットをクリアしたのは**2イベント**



MCでは
3.7 (120 GeV)
0.7 (180 GeV)

バックグラウンドの見積もり

カット後のデータ(2 event)の中のバックグラウンドの数の見積もり

MCで見積もったバックグラウンドのイベント数

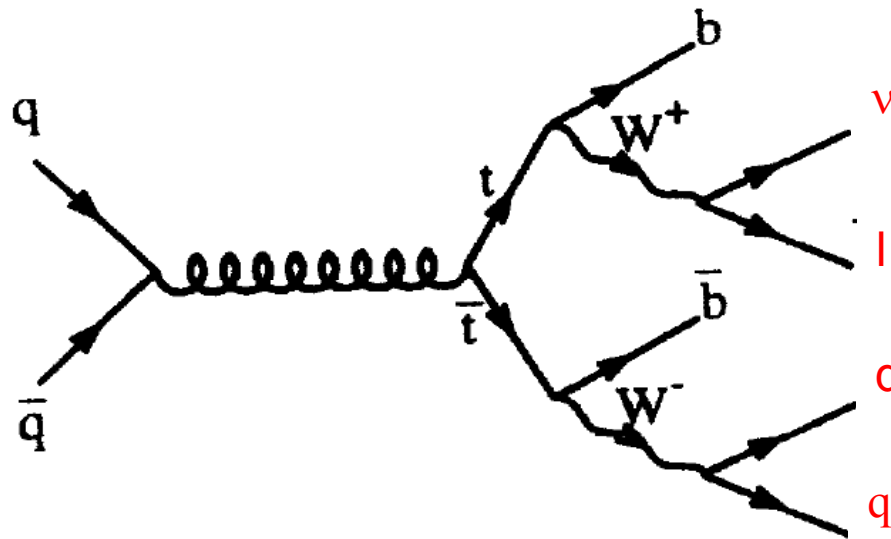
WW production	: 0.16 ± 0.06
Z $\rightarrow\tau\tau$: 0.13 ± 0.04
bb、 cc	: 0.10 ± 0.06
HadronをLeptonとmiss ID	: 0.07 ± 0.05
Drell-Yan production	: 0.01

合計 : 0.56

予想されるBgの数より、少し多いデータ数が得られた

$$\Rightarrow M_{top} > 118 \text{ GeV}/c^2$$

Lepton + jet mode search



 b-tagが重要

イベント選択

Isolated leptonの選択

- $E_T > 20 \text{ GeV}$
- $|\eta| < 1.0$
- Missing $E_T > 20 \text{ GeV}$

Zを含むイベントの除去

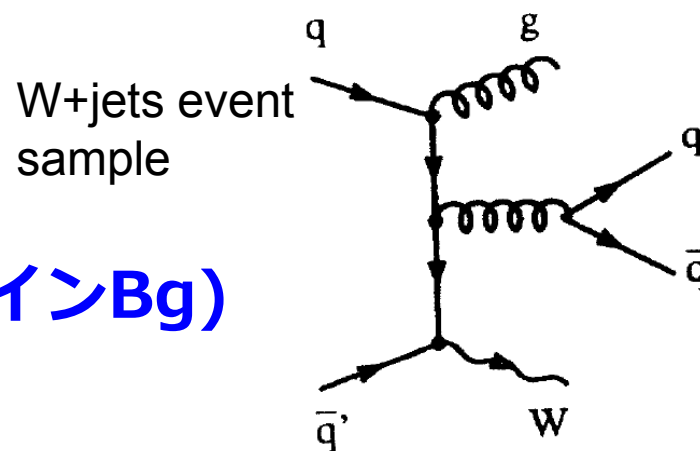
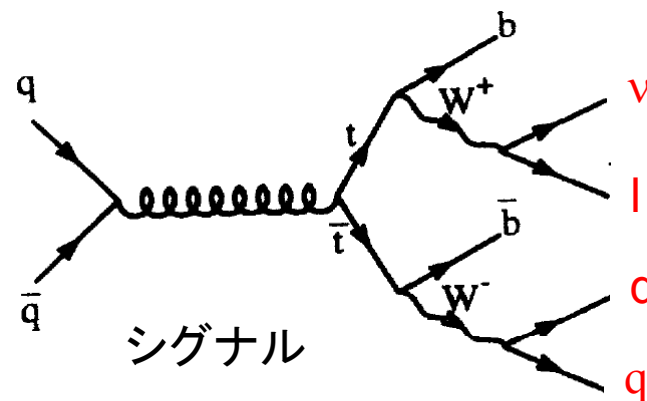
- $M_{ll} = 70 \sim 110 \text{ GeV}/c^2$ を排除

jetへの要求

- $E_T > 15 \text{ GeV}$ 、 $|\eta| < 2.0$

W+jet direct production (メインBg)

- $N_{\text{jet}} \geq 3$

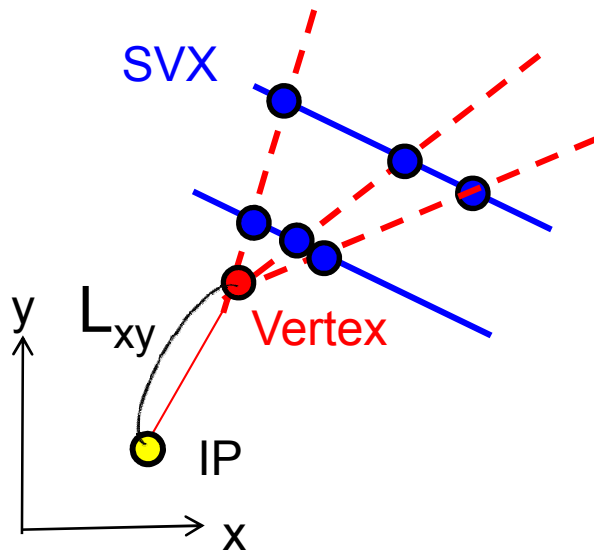


これらのカットをクリアしたのは**52イベント**

b-tag ①

b-tag algorithm ① : b→hadronicの崩壊点測定

- $E_T > 15$ GeV
 - $|\eta| < 2.0$ のjet
 - SVXで $P_T \geq 2$ GeV/c
- さらに $\frac{|L_{xy}|}{\sigma_{xy}} \geq 3$ \rightarrow bクォーク候補 (SVD tagged)



b-tagの効率(MC) : 22 ± 6 %

$N_{jet} \geq 3$ かつb-tagされたイベント = 6

L_{xy} 分布がheavy-quark jetと一致

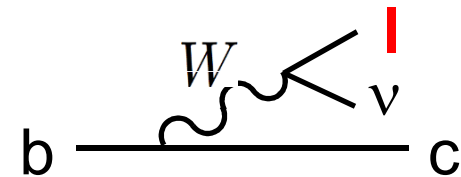
b-tag ②

b-tag algorithm ② : $b \rightarrow l\nu X$ 、 $b \rightarrow c \rightarrow l\nu X$ からのレプトン同定

これらのレプトンは低い $P_T \Rightarrow$ “soft-lepton tag(SLT)”

l = electronの場合

- ☛ CTCのトラックをカロリメータまで外挿
 \Rightarrow clusterの形、大きさ、位置が一致



l = muonの場合

- ☛ Muon chamber 中のtrackがCTCのtrackと一致

SLT b-tagされたイベント数 = 7

\Rightarrow Fig1

この内SVXでもtagされたのは3 イベント

観測データの考察

選択されたイベントとBGについて考察する。

Poisson
統計

	データ数	BG数(MC)	データが全てBGである確率
Dilepton mode	2	0.56	12 %
W+jet mode	(SVD) 6	2.3	3.2 %
	(SLT) 7	3.1	4.1 %

||
15 (2+6+7-3)すべてがBGである確率 : **0.26 %**

この結果から見積もった**反応断面積**

	M_{top}	120 GeV/c ²	140 GeV/c ²	160 GeV/c ²	180 GeV/c ²
MC	$\sigma_{ii}^{\text{theor}}$ (pb)	38.9 ^{+10.8} _{-5.2}	16.9 ^{+3.8} _{-1.8}	8.2 ^{+1.4} _{-0.8}	4.2 ^{+0.6} _{-0.4}
Data	$\sigma_{ii}^{\text{expt}}$ (pb)	22.7 ^{+10.0} _{-7.9}	16.8 ^{+7.4} _{-5.9}	14.7 ^{+6.5} _{-5.1}	13.7 ^{+6.9} _{-4.9}

Top質量の導出(1)

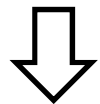
🐞 M_{top} を得るために、さらにイベントを選択 (W+jet)

⇒ $N_{jet} \geq 3$ のイベントに対しjetへの要求を緩める

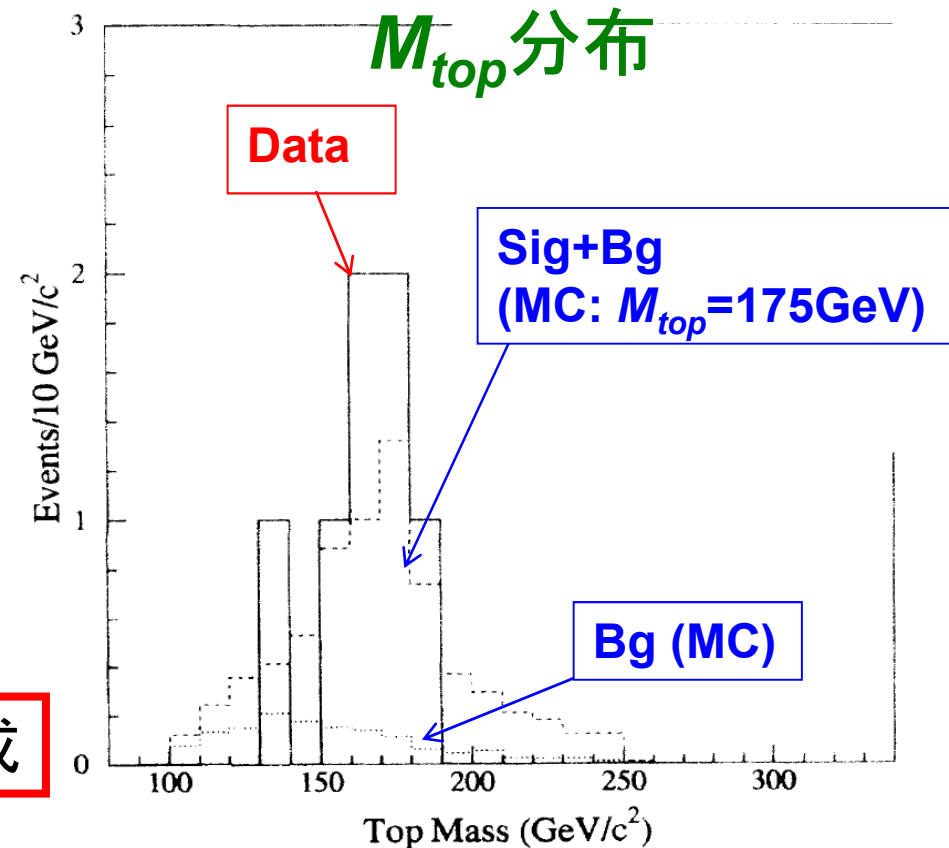
$E_T > 8\text{GeV}$ 、
 $|\eta| < 2.4$ を要求



4-jetを要求



10 eventのうち
7 event クリア ⇒ M_{top} を再構成



Top質量の導出(2)

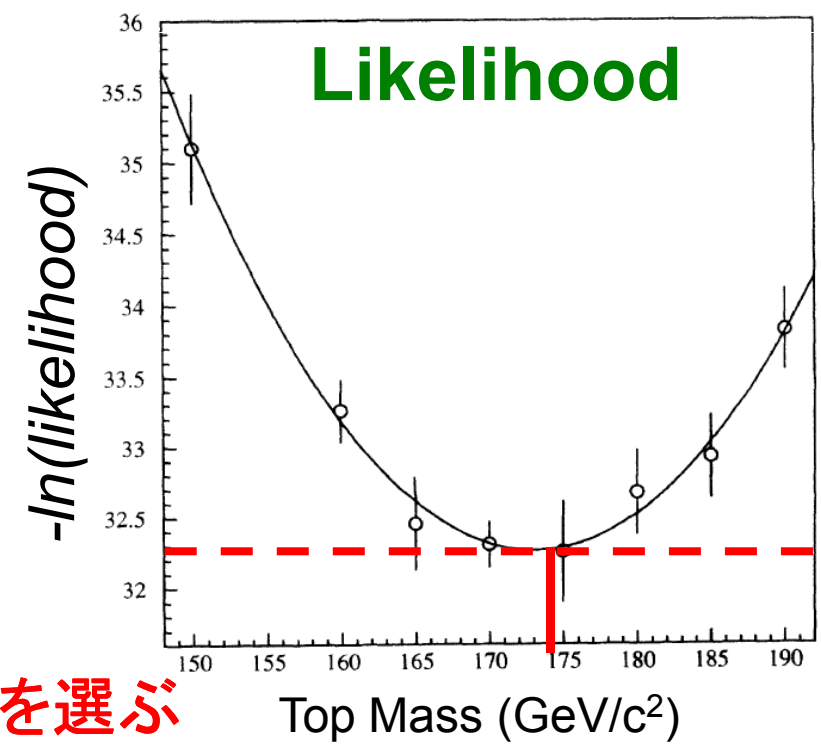
🐞 M_{top} を決めるために、Likelihoodによる解析を行う

Likelihood function

$$L = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_b} e^{-\frac{(n_b - N_b)^2}{2\sigma_b^2}} \frac{e^{-(n_s + n_b)} (n_s + n_b)^{n_b}}{N!}$$

$$\times \prod_{i=1}^N \frac{n_b f_b(m_i) + n_s f_s(m_i, M_{top})}{(n_b + n_s)},$$

- N : 観測データ数→7
- N_b : 観測データ数の中のBgの数(MC)→1.4
- σ_b : N_b の誤差(MC)→1.6
- f_s : 規格化した M_{top} 分布(MC)
- f_b : 規格化したW+jet mass分布(MC)
- m_i : それぞれのイベントで得た M_{Top}



n_b, n_s, M_{Top} に関してLikelihoodの最大を選ぶ

Top 質量の導出(3)

Likelihood の解析の結果

$$\left. \begin{aligned} M_{Top} &= 174 \pm 10_{-13}^{+10} \text{ GeV} / c^2 \\ \sigma_{tt}(M_{Top} = 174 \text{ GeV} / c^2) &= 13.9_{-4.8}^{+6.1} \text{ pb} \end{aligned} \right\} 1.5\sigma$$

観測されたeventがttであると支持する特徴

- ❏ BgとしてZ+jetを考慮 → なおBgの予想数より上回る
- ❏ Dilepton modeとW+jet modeのいずれもb-tagされたevent数がBgの予想数より上回っている。
- ❏ MtopのLikelihood分布がBgだけよりtt+Bgの方が合う

まとめ

- ❖ TevatronのCDF実験の 1.93fb^{-1} のデータを用いてtopの対生成事象の探索を行った。
- ❖ topクォークの存在を示したとは断言できないが、可能性はかなり高い

$$M_{Top} = 174 \pm 10_{-13}^{+10} \text{ GeV} / c^2$$

最新の結果(おそらく) (2009年3月)

$$M_{Top} = 173.1 \pm 0.6(stat.) \pm 1.1(syst.) \text{ GeV} / c^2$$

イベント選択 (Dilepton search) 2/2

MCで見積もったイベント選択のエラー

- 👉 b-jetの再構成 : 13 % ~ 3 %
- 👉 Lepton ID : 6 %
- 👉 Lepton isolation : 2 %
- 👉 Missing ET cut : 2%
- 👉 Structure function : 2 %
- 👉 MC 統計エラー :