



CDFのトップの物理

武内勇司(筑波大)

2007/3/16

特定領域「フレーバー物理の新展開」研究会

内容

- Top Quark production
- Top Quark Mass
- Other Properties
- Summary



Top quark production

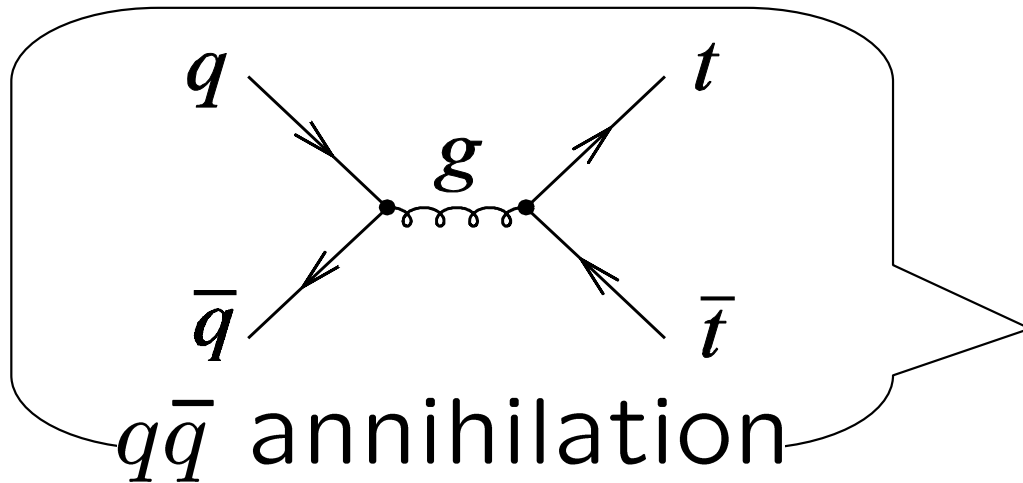
- トップ対生成
 - 強い相互作用
 - 断面積, M_{tt} , 生成角分布などによる新しい物理の探索
- 単トップ生成
 - 弱い相互作用
 - $|V_{tb}|$ の直接測定
 - 未発見





Top Pair production

$p\bar{p}$ collision @ $\sqrt{s} = 1.96\text{TeV}$

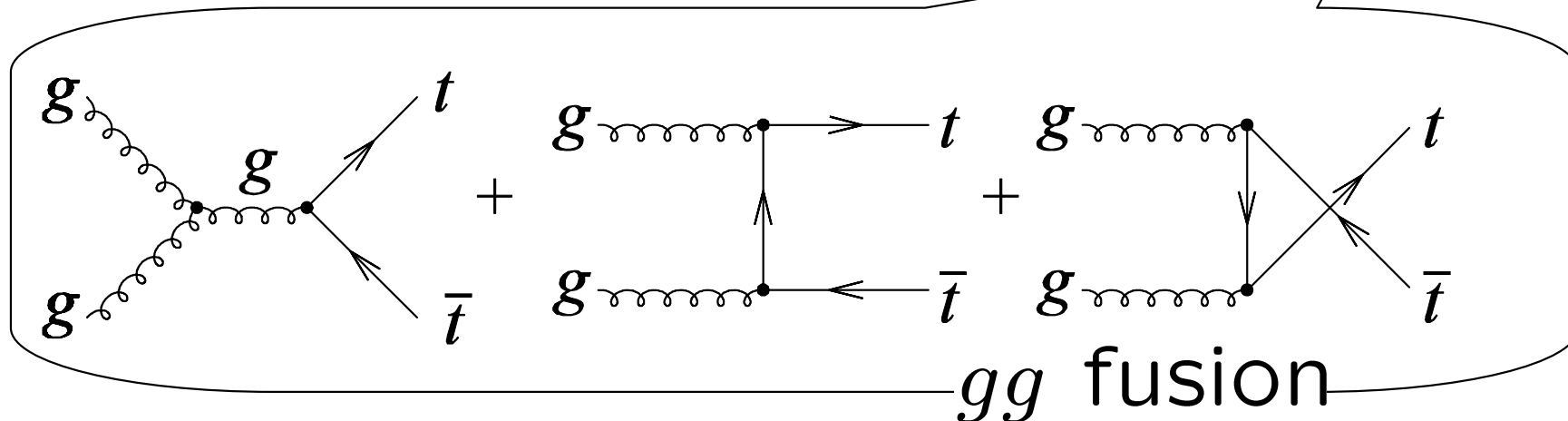


$$\sigma = 6.8 \pm 0.8 \text{ pb}$$

(NLO, $M_t = 175\text{GeV}$)

Dominant process

10%~20%



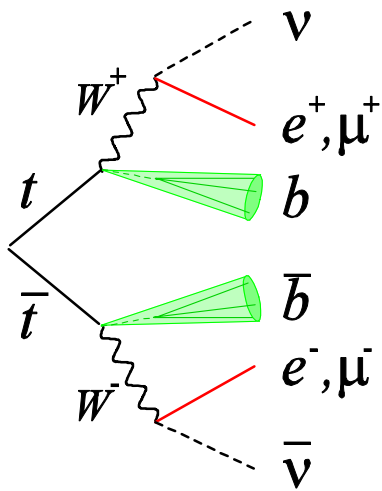


Top Pair Signature

$$\Gamma^{-1} \approx (1.5 \text{ GeV})^{-1} \ll \Lambda_{\text{QCD}}^{-1} \sim (200 \text{ MeV})^{-1}$$

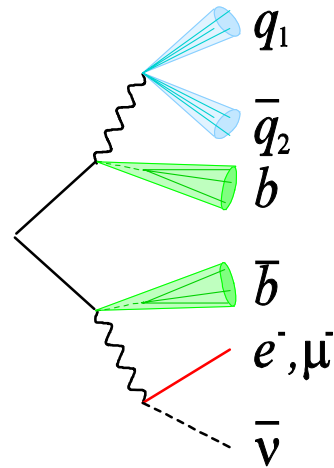
トップクォークはハドロンを作らない

- 裸のクォークとして崩壊する
- **スピン偏極, 4元運動量の情報がそのまま decay product に伝わる**



Dilepton

2lepton+2bj+MET

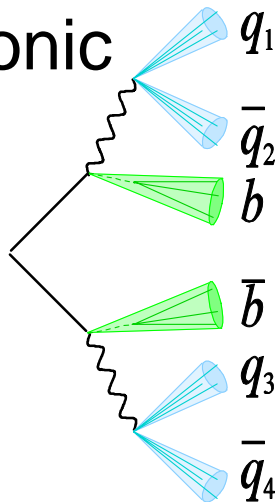


Lepton+Jet

1lepton+4jet(2bj)+MET

All Hadronic

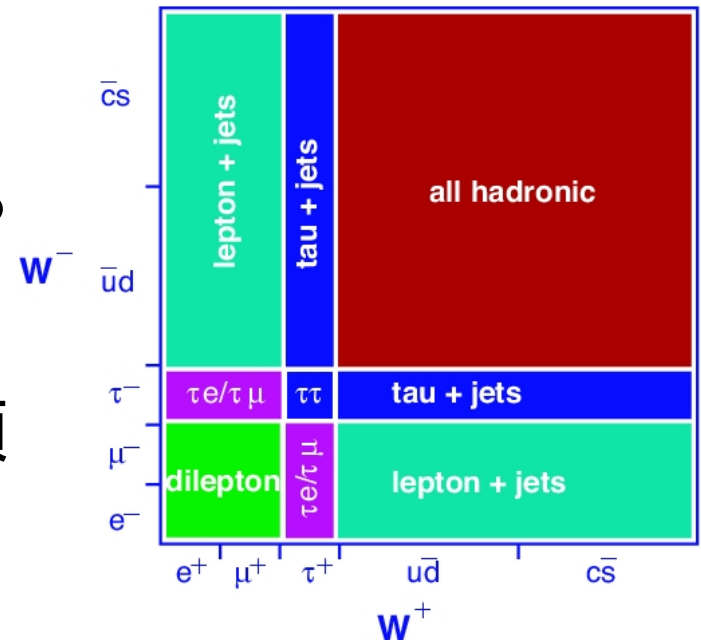
6jet(2bj)



$$Br(t \rightarrow W^+b) \sim 100\%$$

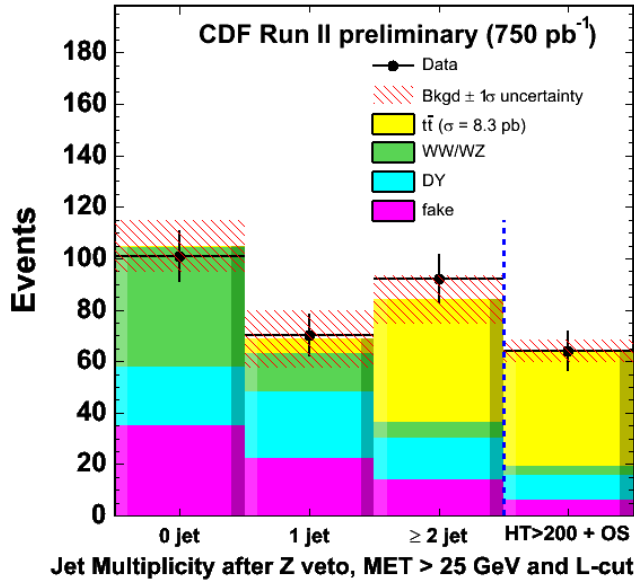
Wの崩壊様式で
3つのタイプに分類

$t\bar{t}$ decay modes





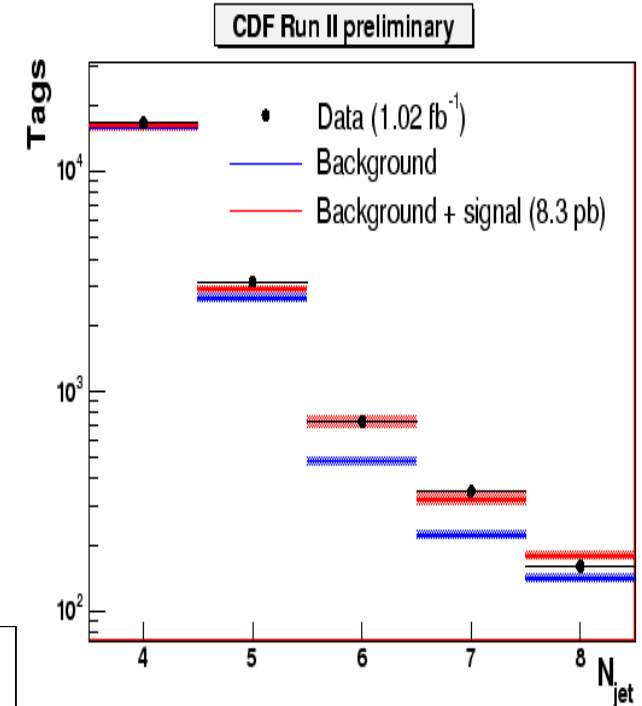
対生成断面積測定



Lepton+jets channel

- 1 lepton + ≥ 3 jets + MET
- ≥ 1 b-tag
- S/N ~ 8 (4 jet bin)
- background
- W+jets

$$8.2 \pm 0.6(\text{stat}) \pm 1.0(\text{syst}) \text{ pb}$$



All hadronic channel

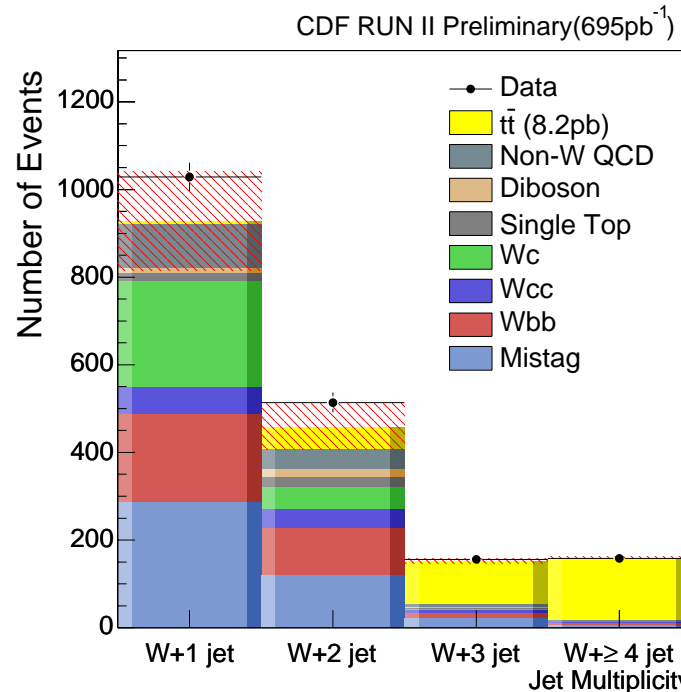
- $6 \leq \# \text{ of jets} \leq 8$
- ≥ 1 b-tag
- NN selection
- S/N ~ 0.4
- background
- Multi-jet QCD

$$8.3 \pm 1.0^{+2.0}_{-1.5} \pm 0.5 \text{ pb}$$

Dilepton channel

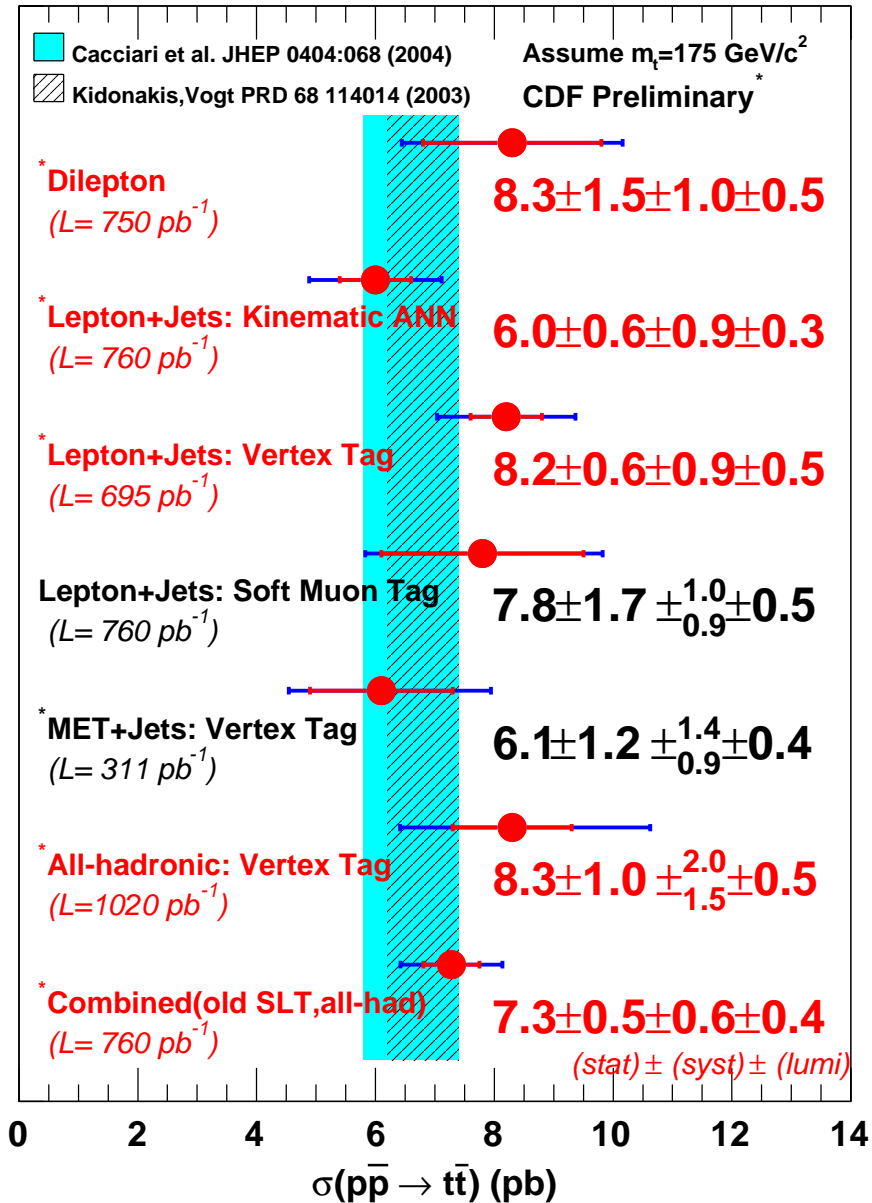
- 2 lepton + ≥ 2 jets + MET
- S/N ~ 2
- b-tag なしでもそれなりにクリーン
- background
- DY, W+jet のfake

$$8.3 \pm 1.5(\text{stat}) \pm 1.1(\text{syst}) \text{ pb}$$

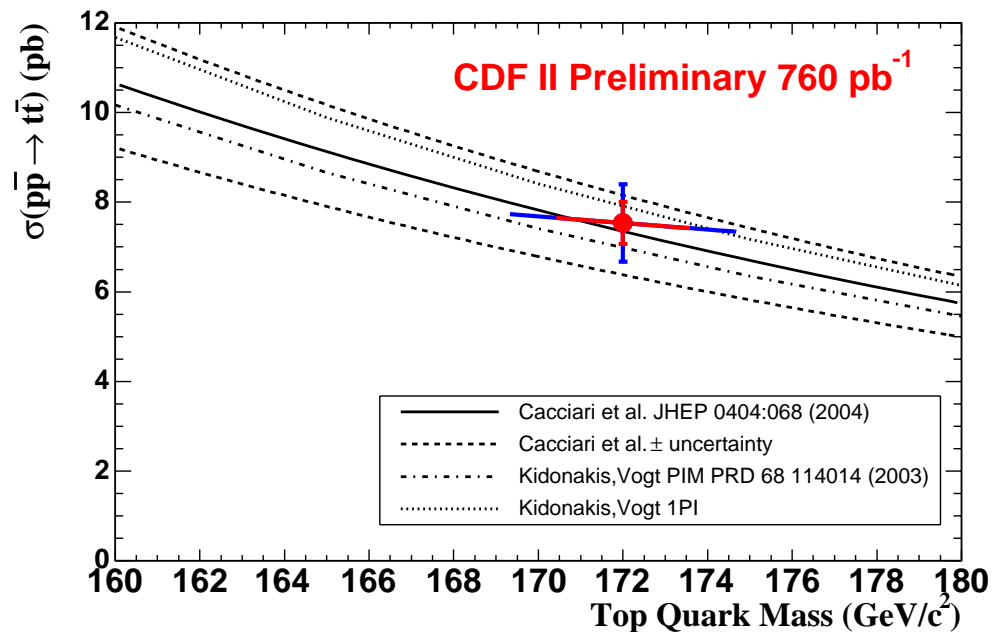




トップ対生成断面積測定まとめ



- 様々な解析結果
 - 崩壊様式, 手法
 - 全ての測定が標準模型と無矛盾
- L+jets チャンネルは既に luminosity の systematic が支配的

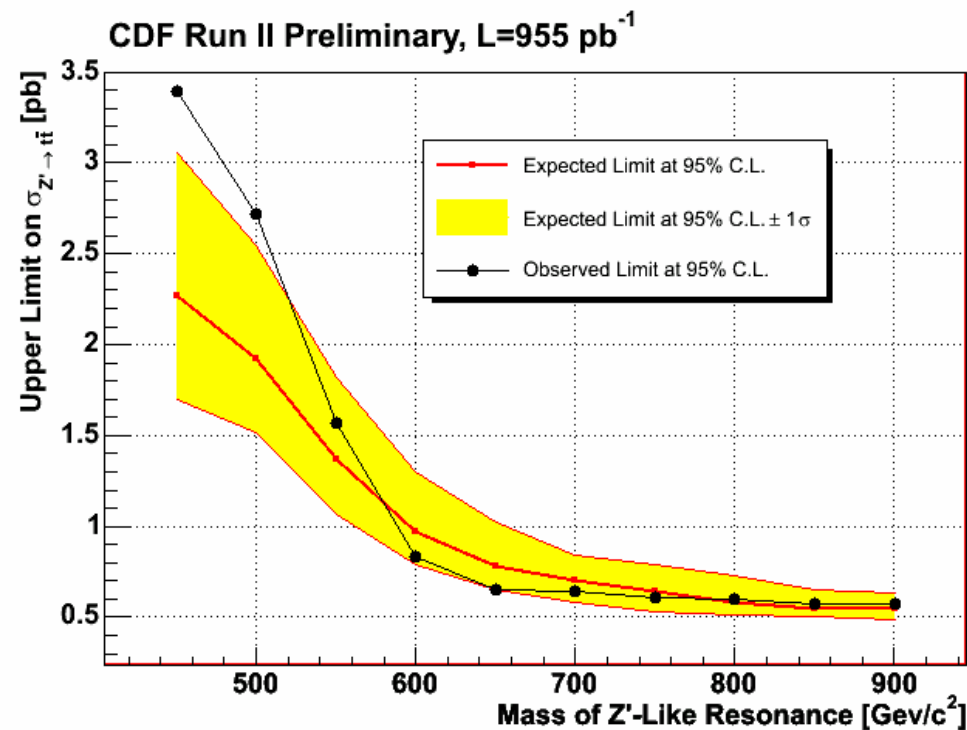
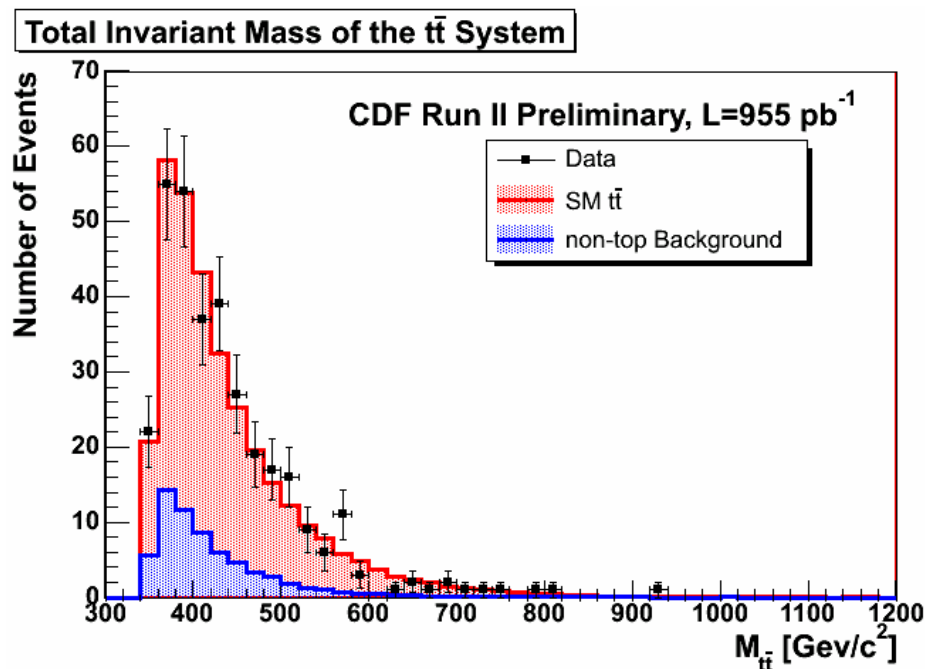




Search for $t\bar{t}$ Resonance

- トップ対が共鳴を持ち得るいろいろな非標準モデル(テクニカラーなど)
- Lepton+4Jets (≥ 1 btag)+MET
- $M_t=175\text{GeV}$ の constraint を使った運動学的fit

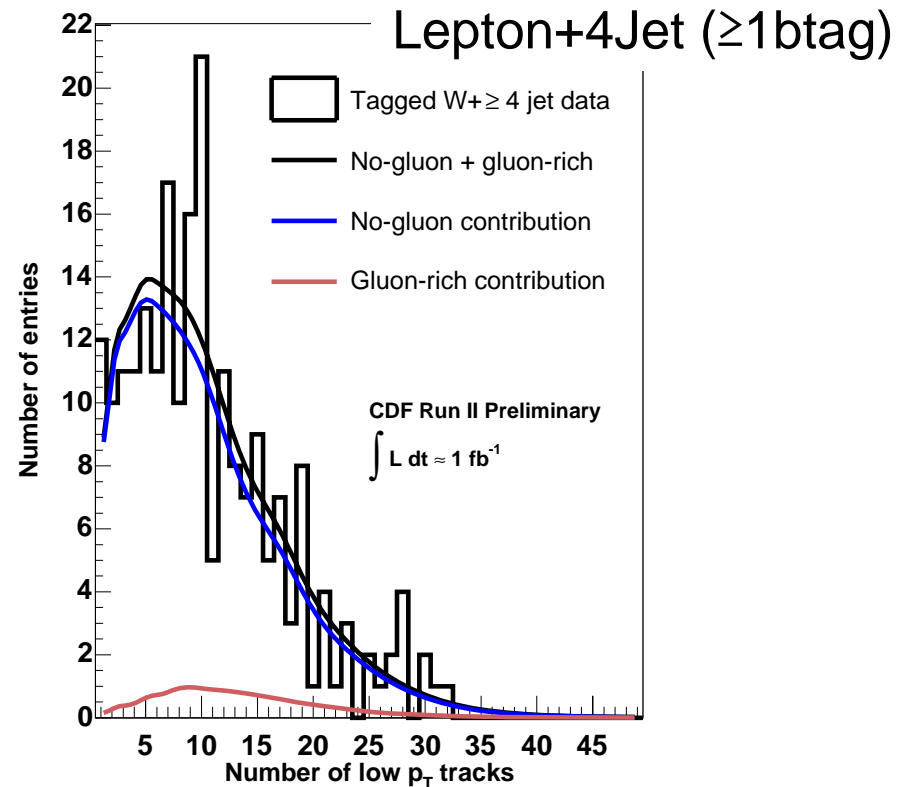
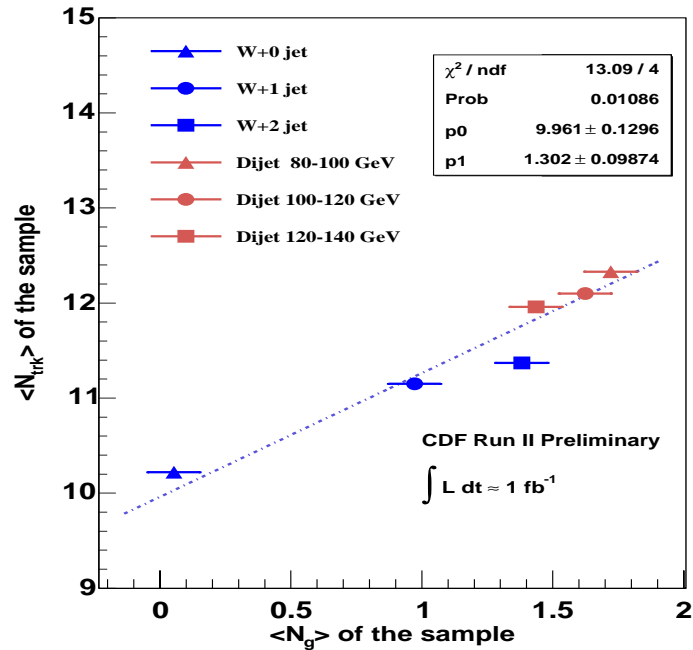
$\sigma(X) \times Br(X \rightarrow t\bar{t})$ に対する 95% CL limit





Production Mechanism

- $\sigma(gg \rightarrow tt) = 10\% \sim 20\%$ of $\sigma(tt)$
 - 不定性の大部分は gluon のParton Dist. Func.から
- Low- P_T trackの数 \propto Hard process中のgluonの数
- Data driven (データから low-PT track分布のテンプレートを作る)
 - W+0jet \Rightarrow 0 gluon event
 - Dijet \Rightarrow gluon-rich event



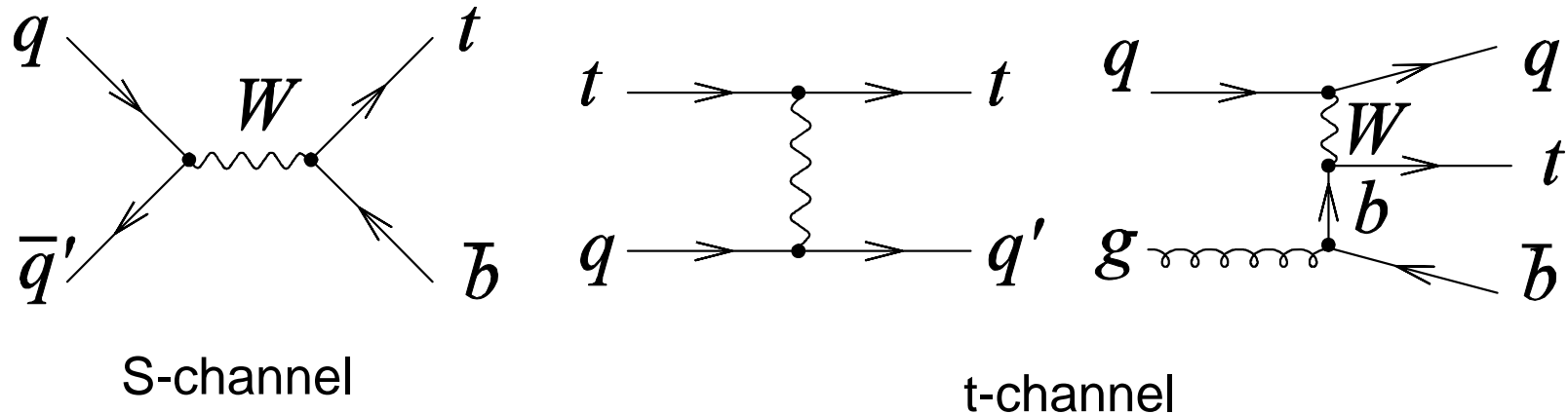
$$\sigma(gg)/\sigma(qq) = 0.01 \pm 0.16(\text{stat}) \pm 0.07(\text{syst})$$



Single Top Production

$$\sigma = 2.9 \pm 0.4 \text{ pb}$$

($M_t = 175 \text{ GeV}$)



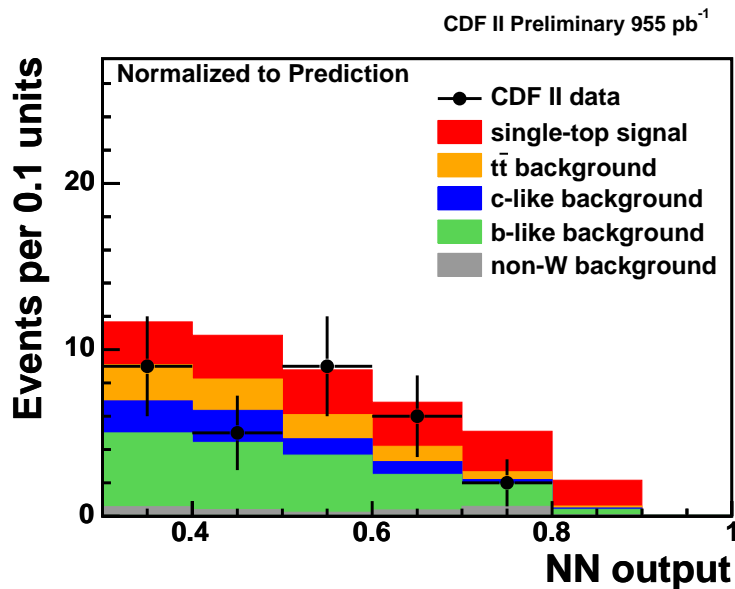
- 生成断面積 $\propto |V_{tb}|^2$
 - CKM行列のユニタリティ仮定, クォーク3世代の仮定はிரらない
 - ユニタリティを仮定してしまえば: $V_{tb} = 0.99$
 - 3世代の仮定をすれば $\text{Br}(t \rightarrow Wb)$ から出せる.
- 低質量ヒッグス粒子 ($m_H < 130 \text{ GeV}$) WH 反応の背景事象
 - 単トップ生成探索はヒッグス粒子探索のベンチマーク $\sigma_{WH} : \sigma_{\text{Single Top}} \sim 1 : 10$



Single Top Search Result

同じデータを使った3つの独立した解析 (3つともCDF official result)

- 3つの結果がこれ以上離れる確率は0.65%程度 → **徹底的なチェック中**
- D0は single-topの証拠を見つけたと12月8日に宣言



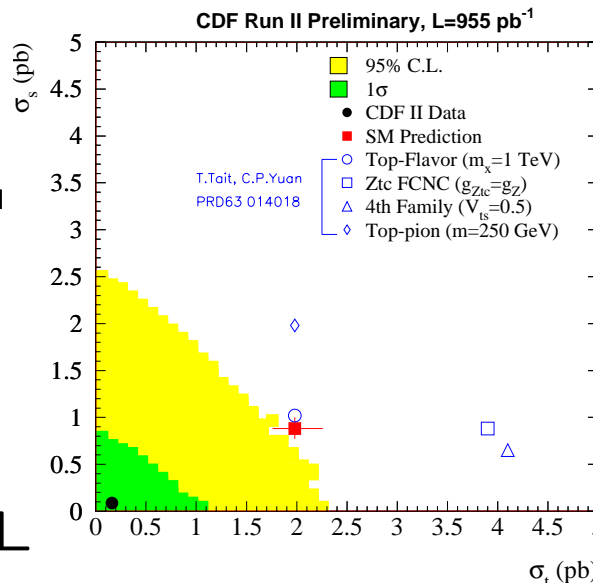
NN analysis

- lepton + =2jets + MET
- 26 variables as NN input

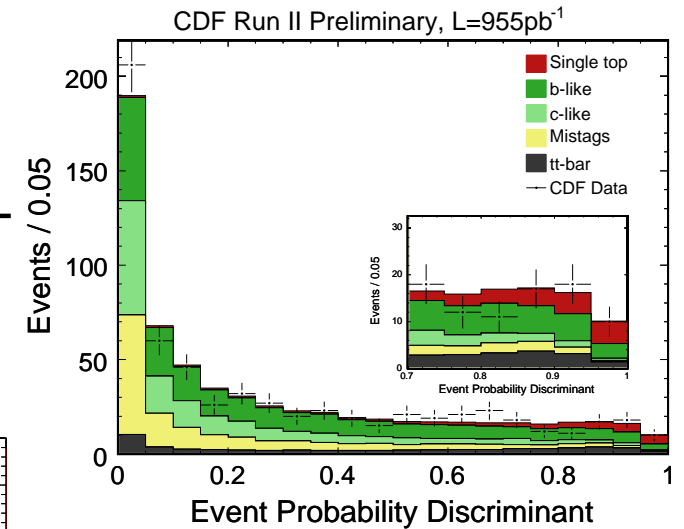
$$\sigma_{s+t} < 2.6 \text{ pb @ 95\%CL}$$

Likelihood analysis

- lepton + =2jets + MET
- 7 variables for t-chan
- 6 variables for s-chan



$$\sigma_{s+t} < 2.7 \text{ pb @ 95\%CL}$$



Matrix Element analysis

- lepton + =2jets + MET
- ≥1btag
- Use 4 vectors as input
- $d\sigma/d\Phi$ as discriminant

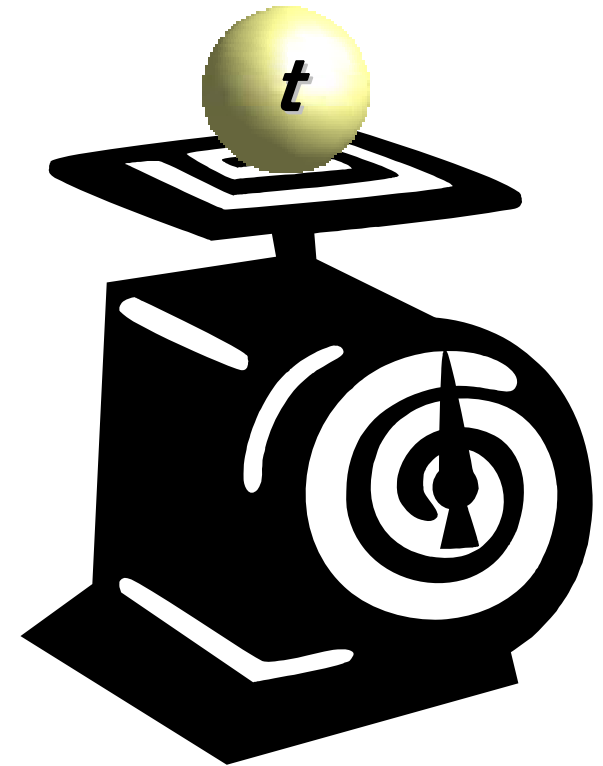
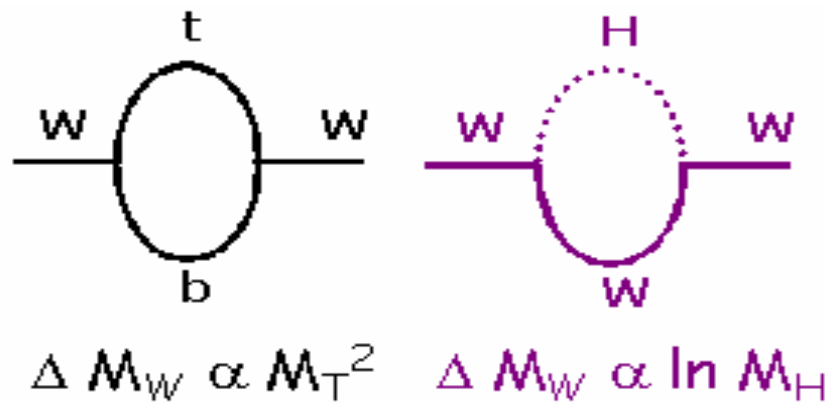
$$\sigma_{s+t} = 2.7^{+1.5}_{-1.3} \text{ pb}$$



Top Mass Measurement

- 標準模型の基本パラメータ
- Wボソンとトップ質量の精密測定で標準模型ヒッグスの質量を予言可能(輻射補正を使った間接予言)
- 新粒子に対する制限

$$M_W^2 \left(1 - \frac{M_W^2}{M_Z^2} \right) = \frac{\pi\alpha}{\sqrt{2}G_F} (1 + \Delta r)$$





New Methods

行列要素を使った質量測定 (ME法)

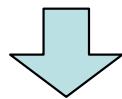
- レプトンやジェット情報の最大限利用

$$L_i(M_t; y) = \frac{d\sigma}{d\Phi}(y; M_t)$$

観測量

$$L(M_t) = \prod_i L_i(M_t)$$

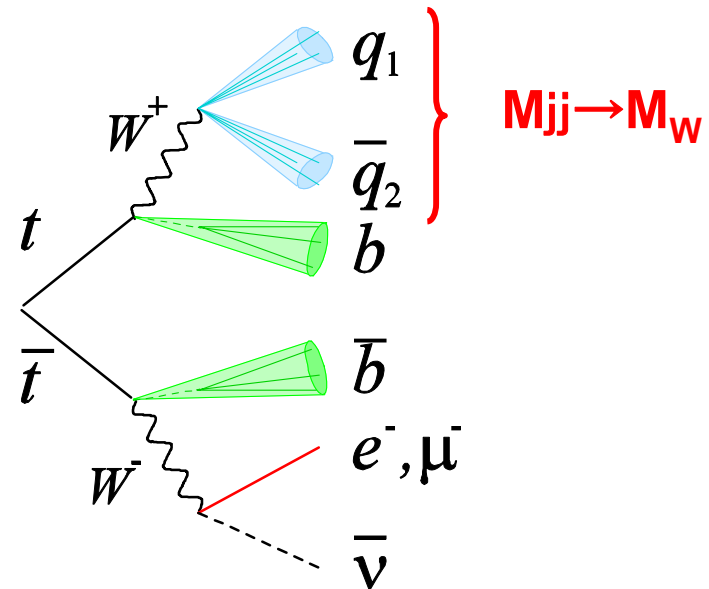
ある M_t が与えられたとき観測量 y を得る確率(行列要素)



ある観測量 y が得られたときに
トップクォークの質量が
 M_t である確率

Wからの2ジェット不変質量を用いたジェットのエネルギー較正 (in-situ $W \rightarrow jj$ JES calib.)

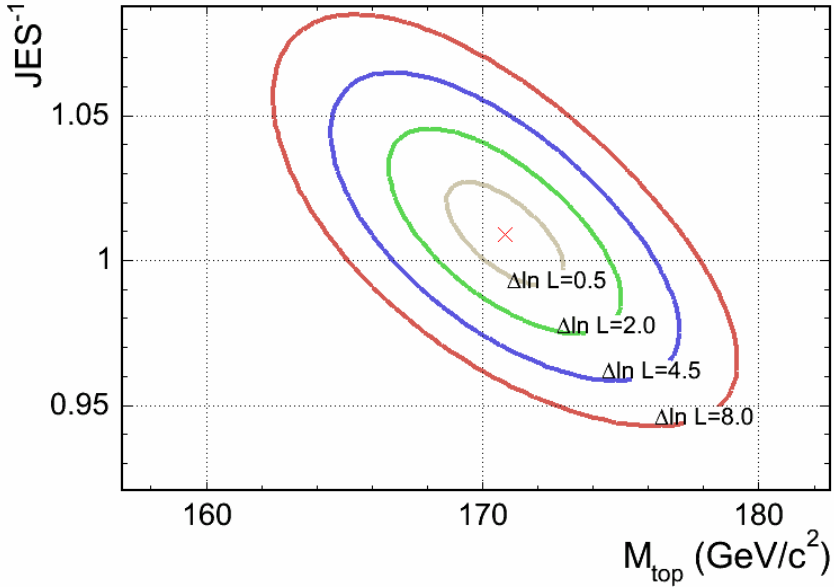
- ジェットエネルギースケールの SystematicsをStatisticsの問題に変質させた
→ トップ事象の統計と共に減少





Mass Measurement Result

CDF Preliminary 940 pb⁻¹



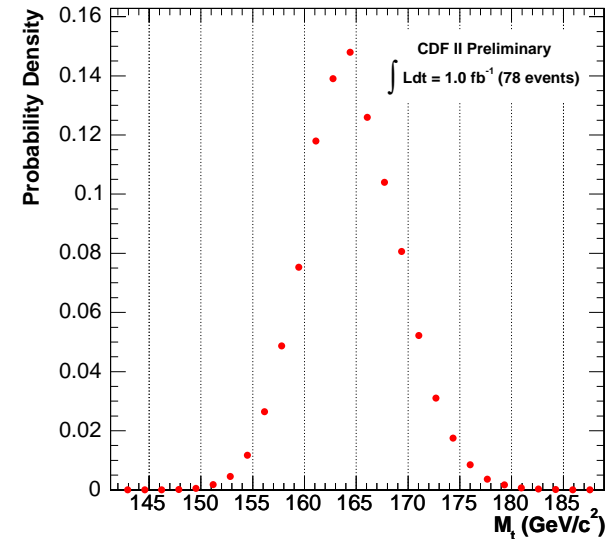
Lepton+Jets channel

- lepton + =4jets + MET
 - ≥1btag
- ME+JES
- **World best!**

$$170.9 \pm 2.2(\text{stat} + \text{JES}) \pm 1.4(\text{syst}) \text{ GeV}/c^2$$

Dilepton channel

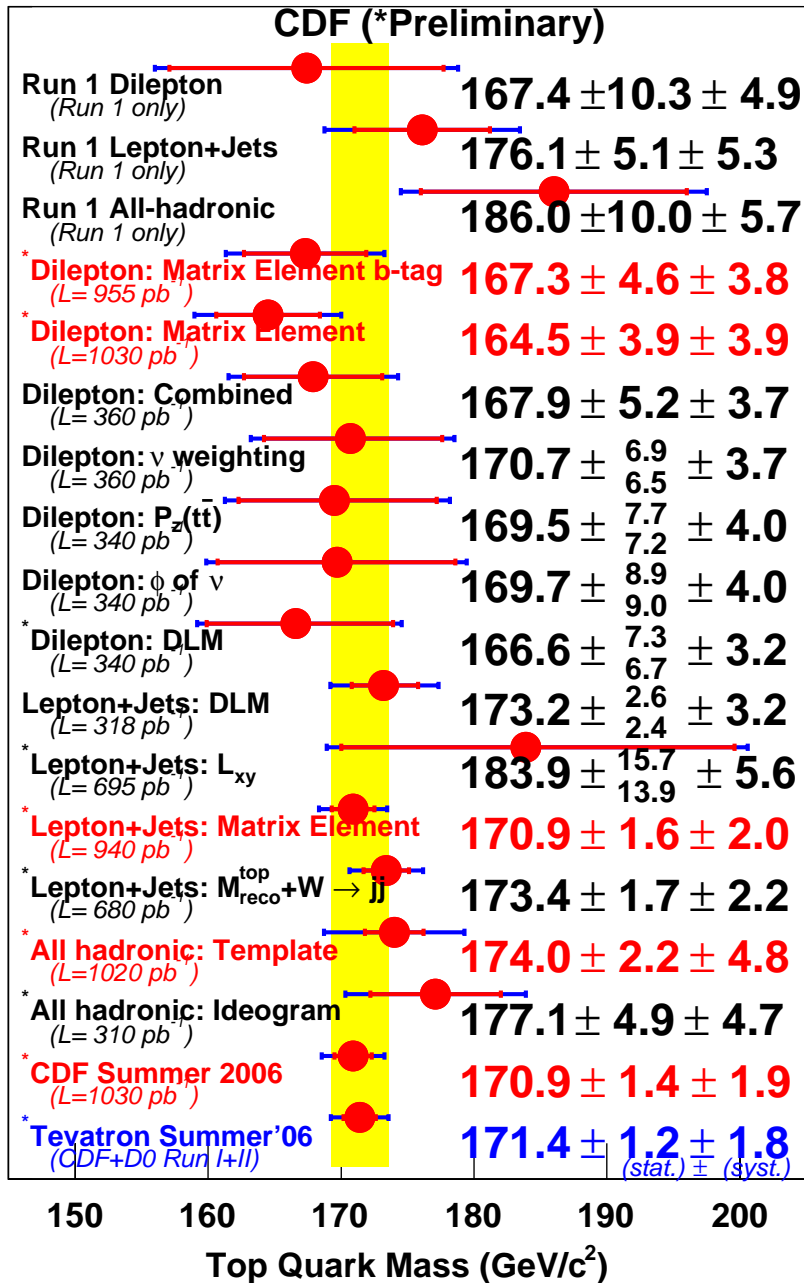
- 2lepton + ≥2jets + MET
- ME



$$164.5 \pm 3.9(\text{stat}) \pm 3.9(\text{syst}) \text{ GeV}/c^2$$

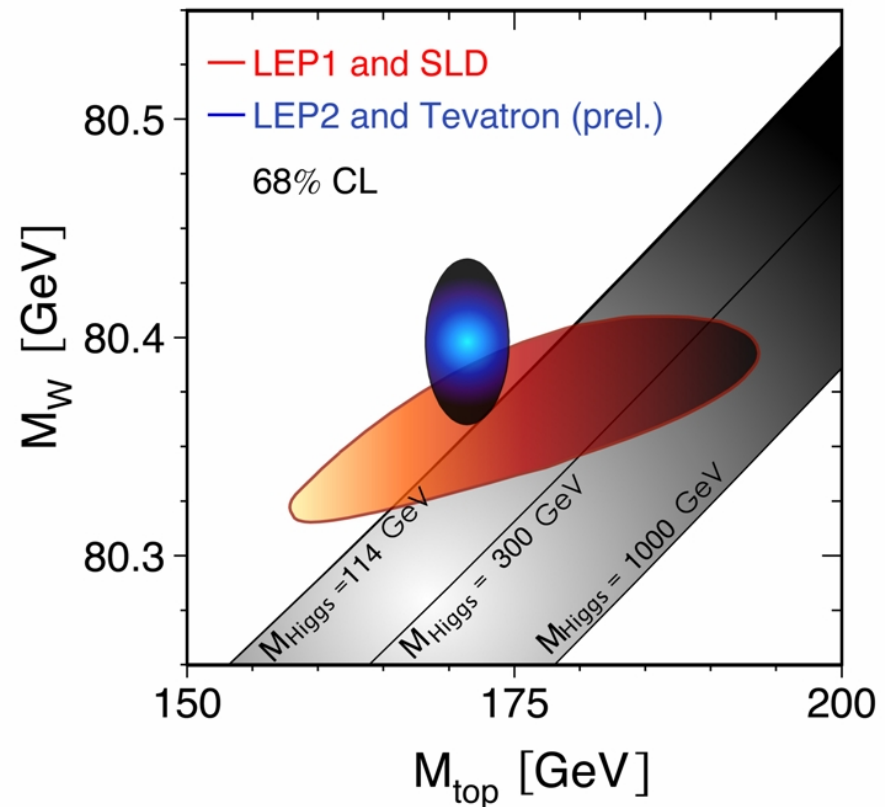


トップクォーク質量測定のとまとめ



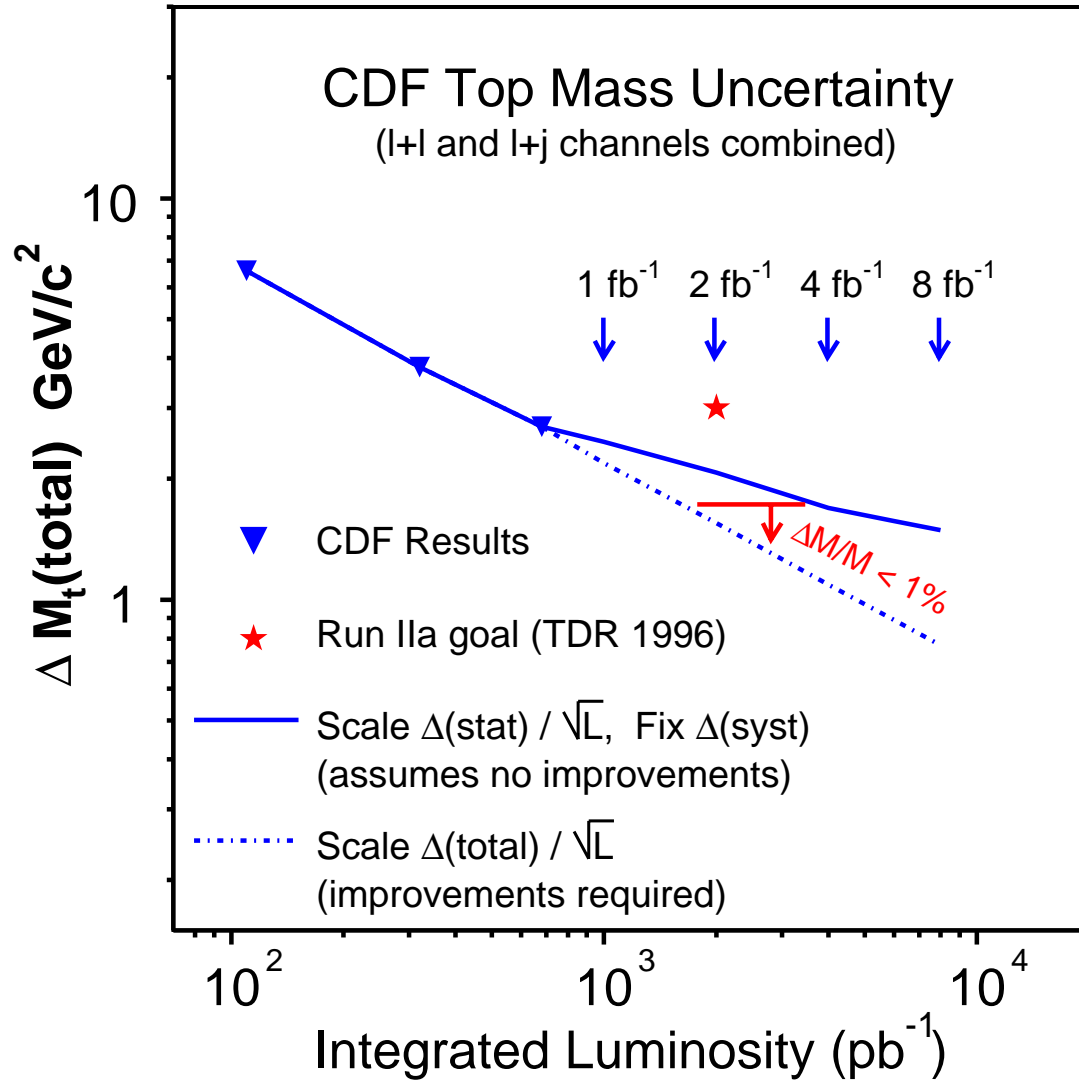
- 様々な解析結果
– 崩壊様式, 手法

2006年7月までのCDF+D0の結果
 $171.4 \pm 2.1 \text{ GeV}/c^2$

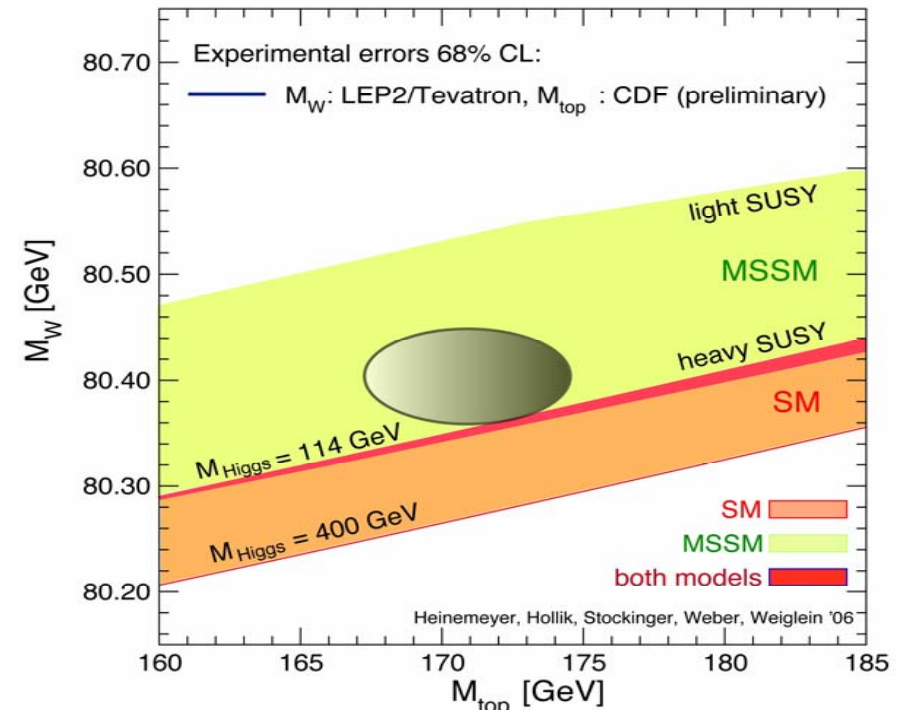




Future Projection



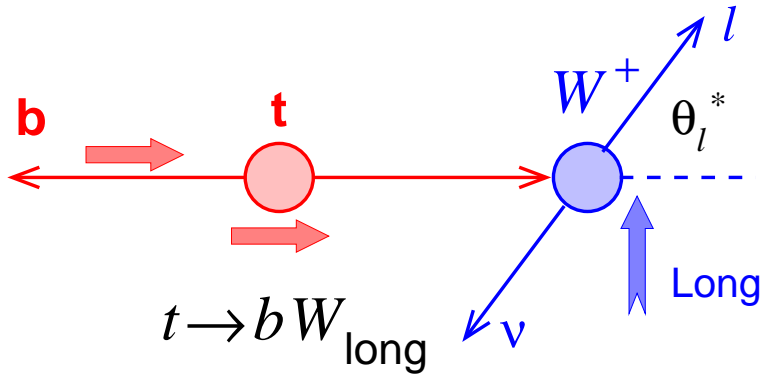
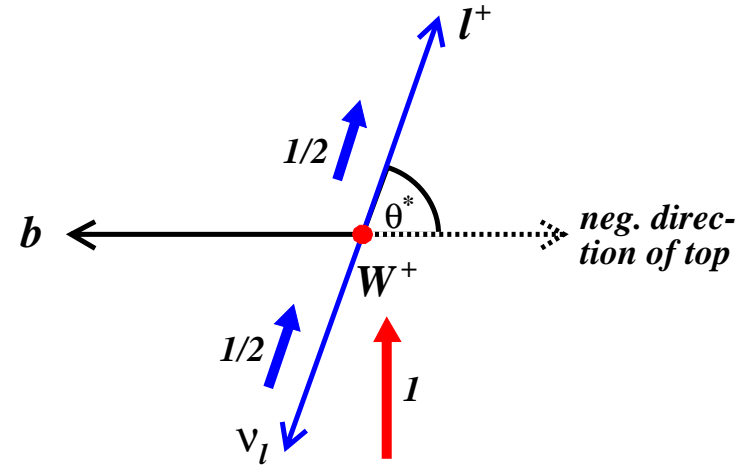
- Run2の目標であった3GeVには既に到達
- 来年度には1%の精度に達する
- ヒッグスの質量や, MSSMヒッグスに対する制限



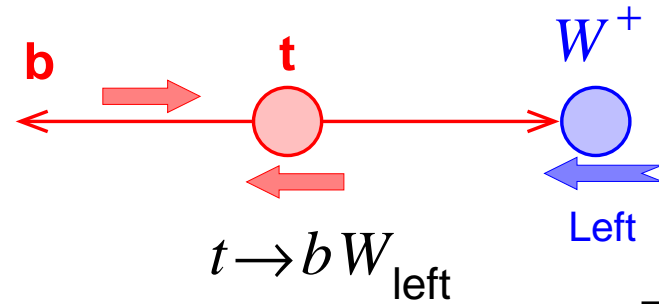


W Helicity

- tWb頂点の結合の情報
 - V-Aか?
 - 本当にWボゾンか?



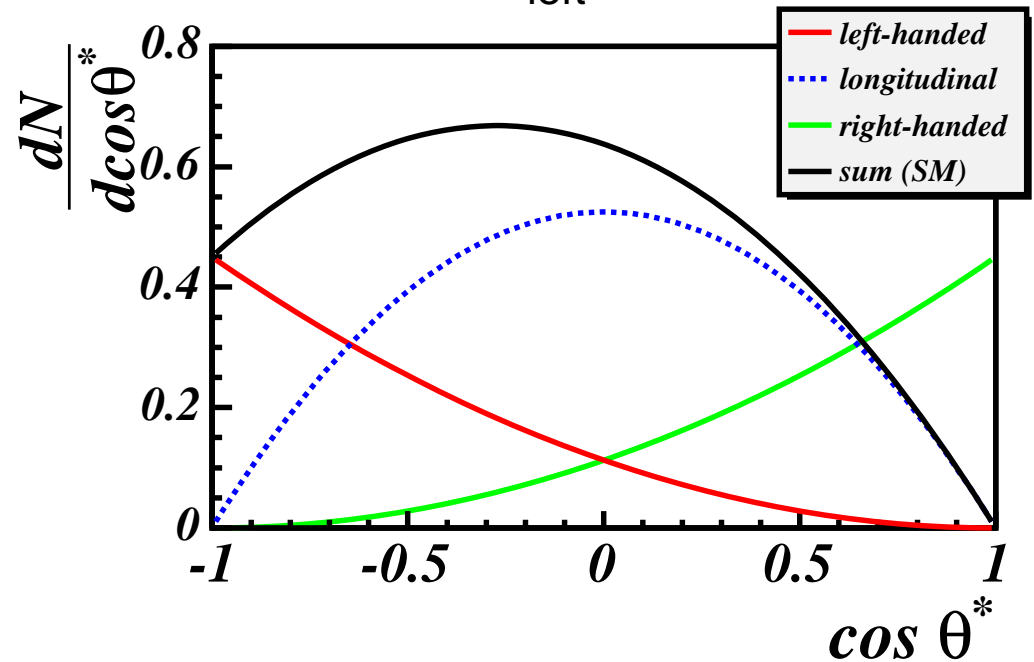
OR



標準模型では,

$$F_{\text{right}} = 0$$

$$F_{\text{long}} : F_{\text{left}} = 70:30$$

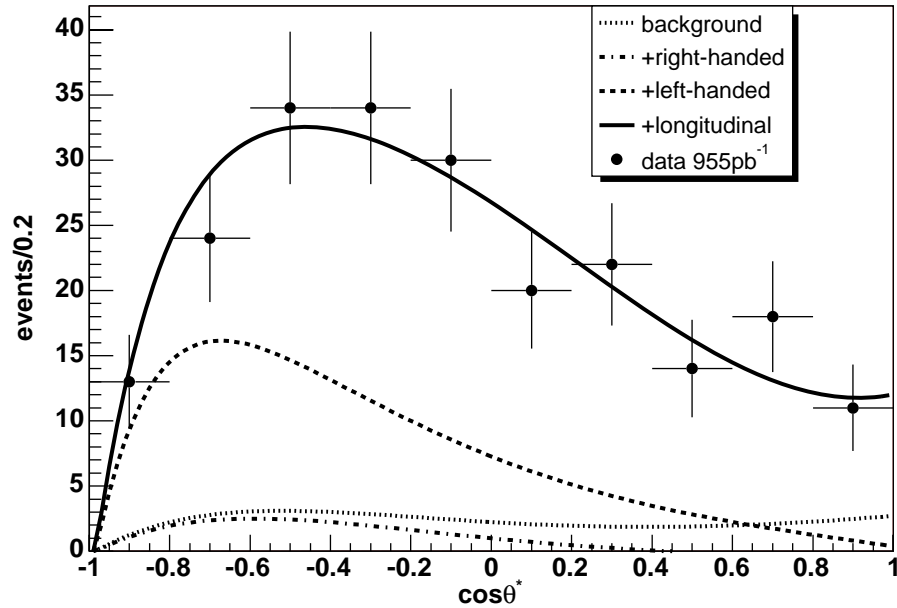




W Helicity Measurement

CDF II Preliminary

Entries 220



Lepton+Jets channel

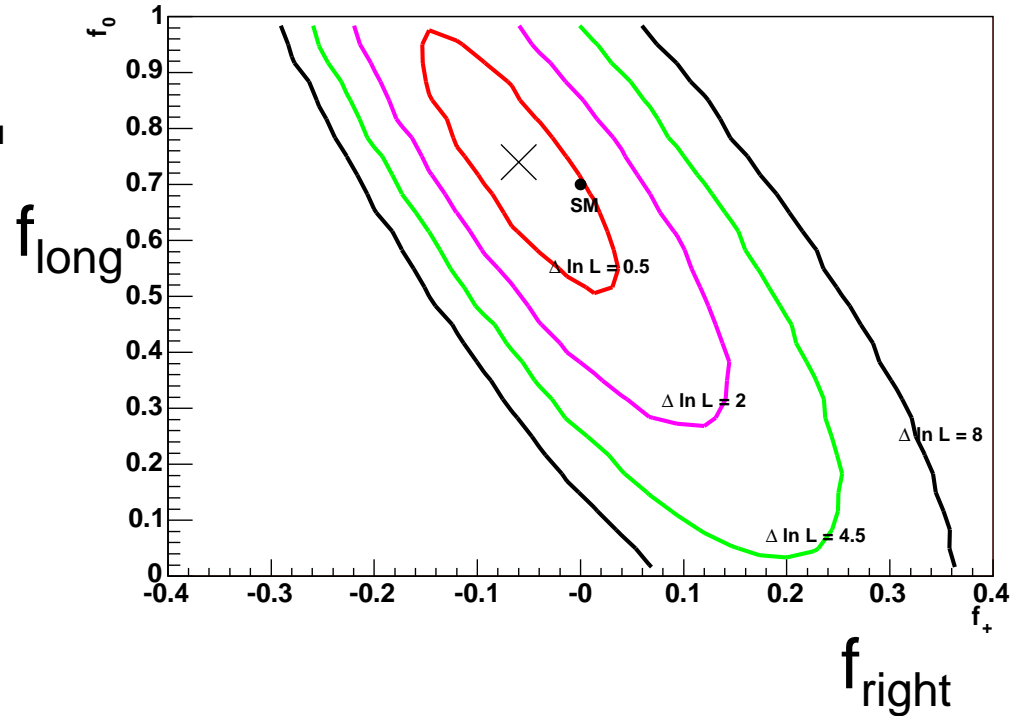
- M_W, M_t の constraint を使った Kinematical fitter

$$f_{\text{long}} = 0.74 \pm 0.25 \pm 0.06$$

$$f_{\text{right}} = -0.06 \pm 0.10 \pm 0.03$$

結果はV-Aの仮定と矛盾しない

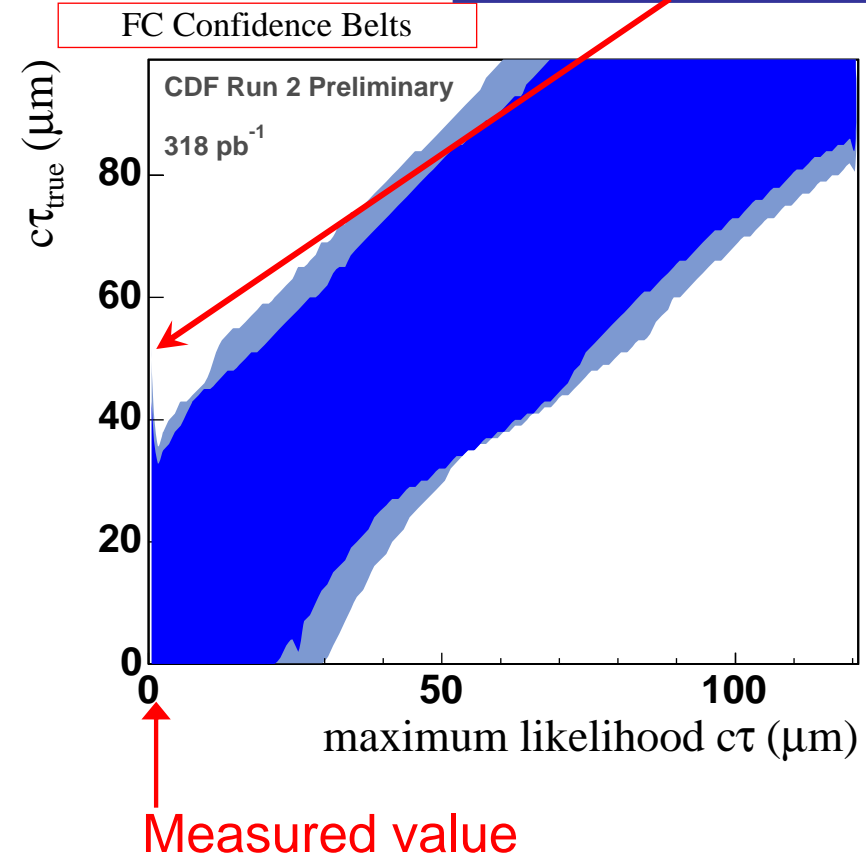
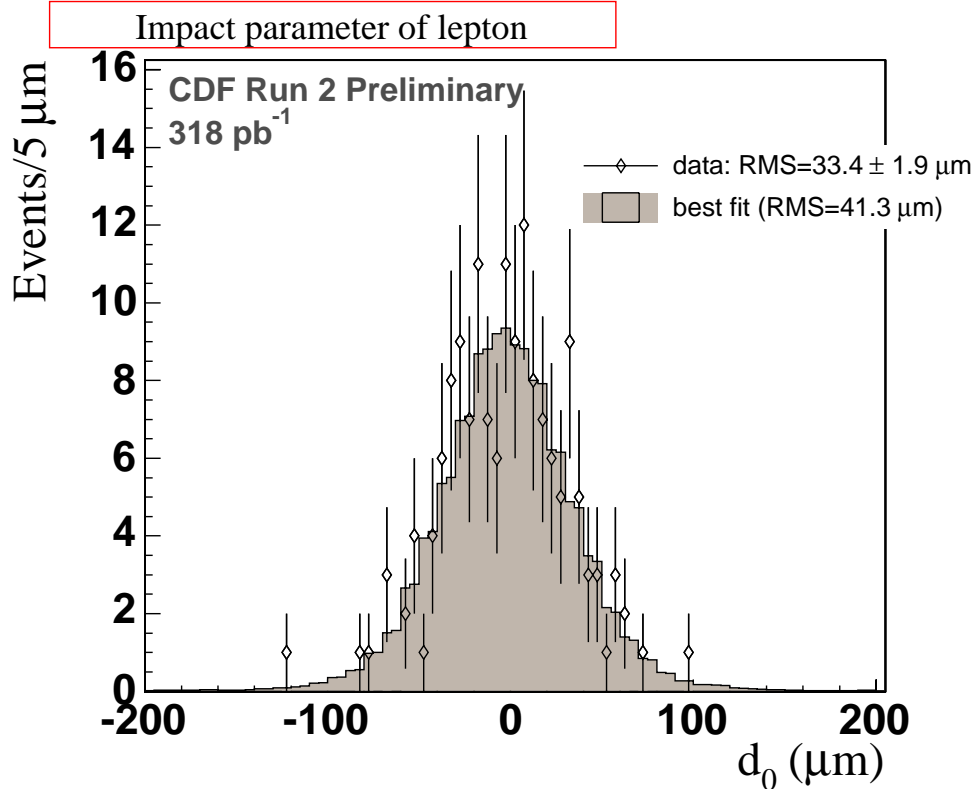
CDF II preliminary, 955 pb⁻¹





Top Lifetime

- 標準モデルでは, $\tau_{\text{top}} \sim 10^{-25}$ s
- Lepton+Jets channel における lepton の impact parameter 分布
- Lepton track が displace していたら
 - Production via decay of long-lived particle
 - New long-lived particle in top sample
 - Anomalous top lifetime





Top physics

対生成断面積 (pQCD の検証)

トップ対共鳴生成の探索

対生成機構の解明 (qq vs gg)

生成角分布等

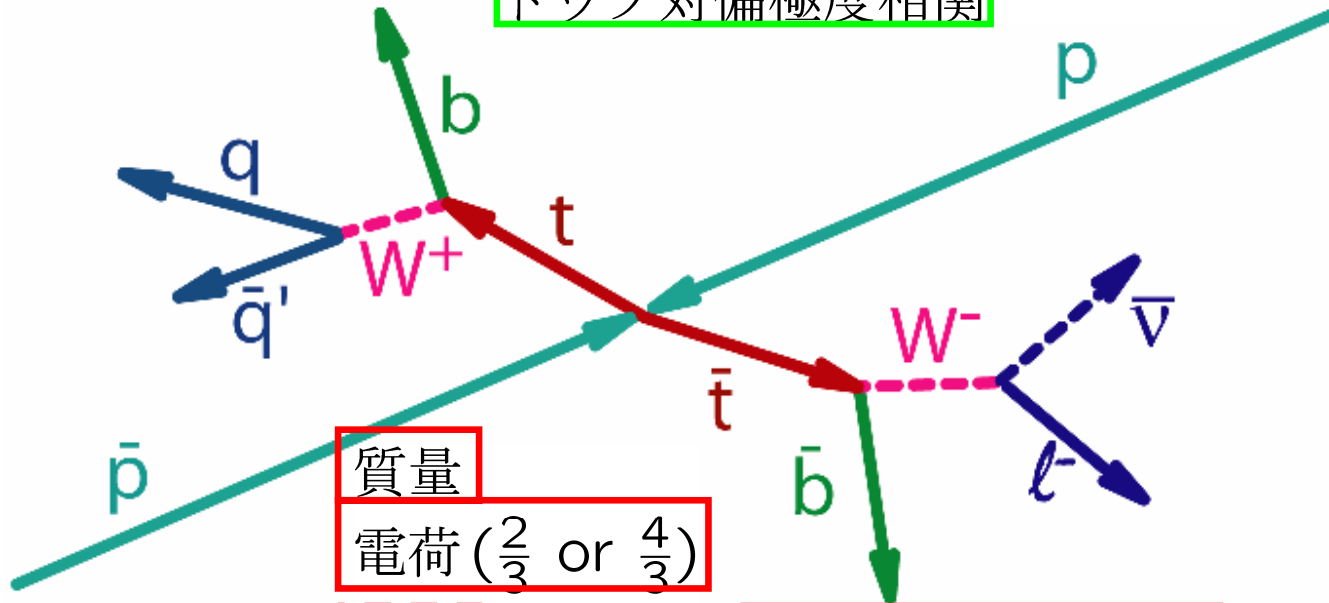
トップ対偏極度相関

最新の解析結果がある

最新ではないが解析結果がある

解析に取り組んでいるひとがいる

解析が行われていない



質量
電荷 ($\frac{2}{3}$ or $\frac{4}{3}$)

寿命
崩壊幅

W Helicity 測定

$Br(t \rightarrow Wb) / Br(t \rightarrow Wq)$

FCNC 崩壊の探索 ($t \rightarrow Zq, t \rightarrow \gamma q$)

$t \rightarrow H^+ b$ の探索

$t \rightarrow \tau \nu b$

崩壊角分布



Summary

- Top quark の対生成断面積, 質量は, かなり精度良く測られている
 - Systematicsでリミットされつつある
- その他のトップクォークの性質, 特に角分布を測定するようなもの (W helicity, 生成角分布, 偏極度相関等, 主にトップクォークのスピンの関係する測定) はまだまだこれから.
- ここで紹介できなかった結果がまだ多数ある
 - <http://www-cdf.fnal.gov/physics/new/top/top.html> を参照してください.

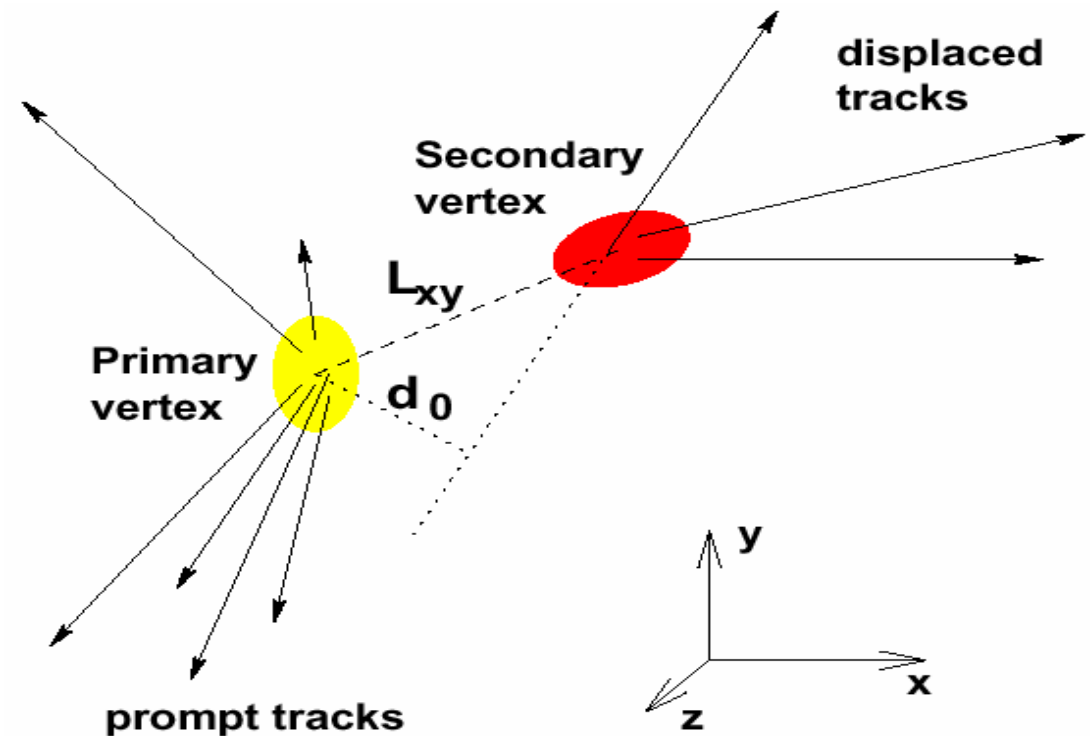


Backup



B-Tagging

- *b*-tagging: Identifying jets containing a *b* quark
 - Take advantage of long *b* lifetime
 - Look at precision tracking information for tracks within jet
 - Reconstruct secondary vertices displaced from primary
- Efficiency
 - Per jet
 - 40% for *b* jet
 - 9% for *c* jet
 - 0.5% for light jet



- Per event (*tt*)
 - 60% for single tag
 - 15% for double tag

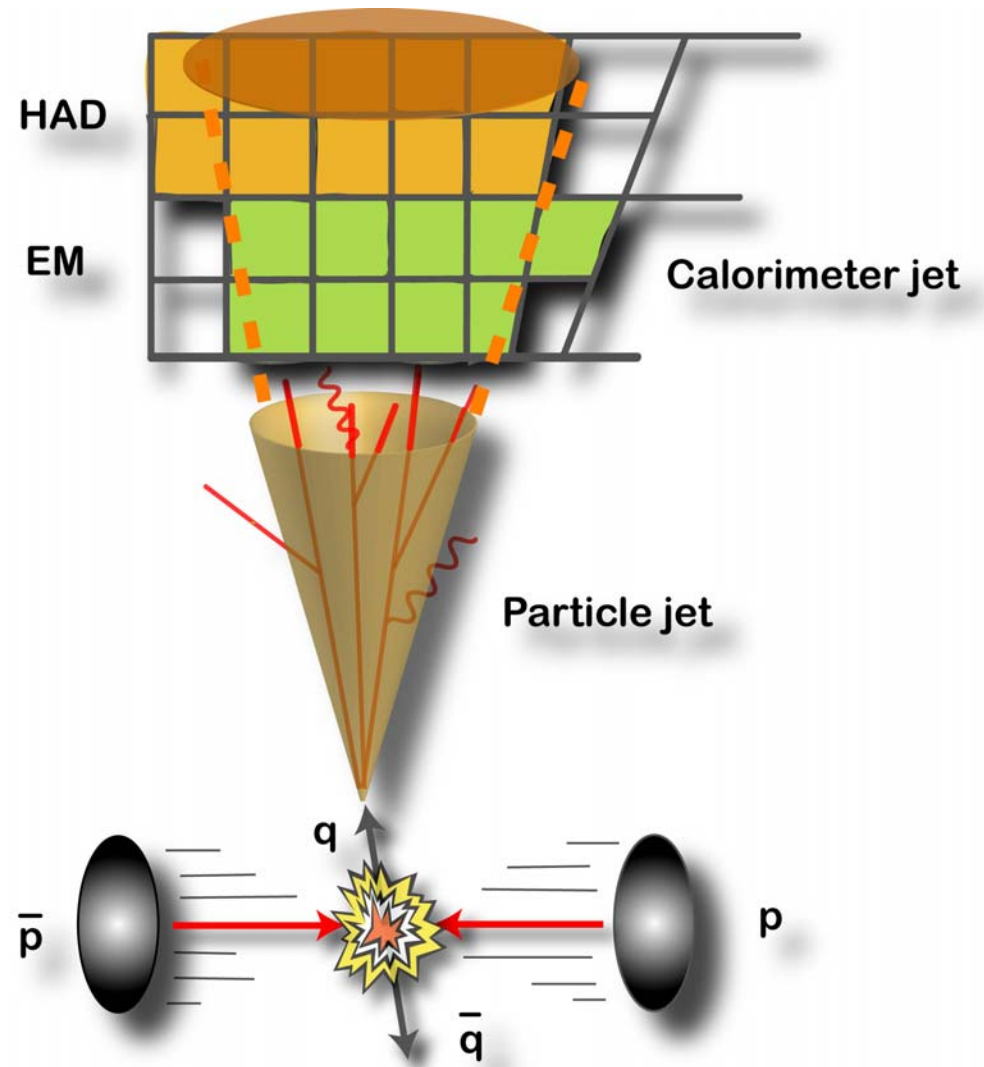


The Jet Energy Scale (JES)

ハードプロセスでのクォークの運動量

- Correct for hadronization, calorimeter non-linearity and non-compensation, multiple-interactions, underlying event, algorithm effects
- Derived from Data and MC
- Jet energy scale uncertainties known to $\sim 3\%$ for M_{top} range of jet energies

⇒ Largest uncertainty in M_{top}





CDF Double-Tagged Event

