

# ATLAS実験における $ttH(\rightarrow \gamma\gamma)$ プロセスを用いたHiggs粒子の 性質の測定について

神前 純一 (KEK)

浅井 祥二 (東大理)、田中 純一 (ICEPP)

日本物理学会 第63回年次大会 2008年3月26日

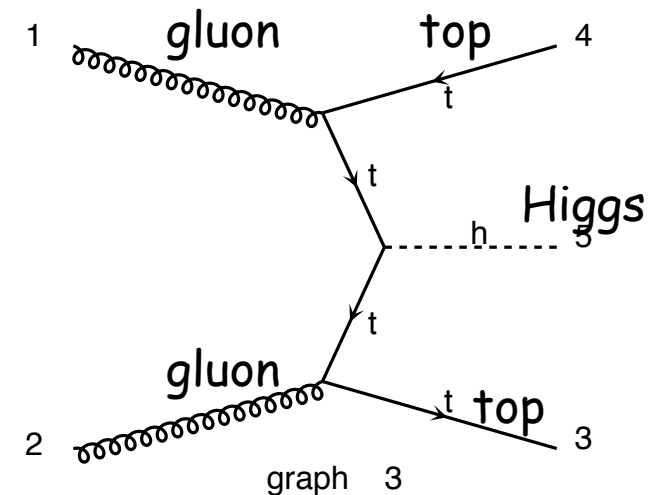
# ttH( $\rightarrow r r$ )プロセスの特徴

- ttH( $\rightarrow bb$ ) に比べて branching ratio は小さいが

- 質量の測定精度が良い

- バックグラウンドが少ない

- 終状態を再構成する際に jet の組み合わせによるバックグラウンドが少ない



→ Higgs粒子の運動量を精度良く決定することができる。

• フェルミオンとの結合により生成される。

• 同じ生成プロセスのHiggs粒子の他の崩壊モード(bb、 $\tau\tau$ )の結果と比をとることにより  $\Gamma_r/\Gamma_b$ 、 $\Gamma_r/\Gamma_\tau$  の良い測定になる

• 終状態の t、t-bar の運動量を再構成することにより scalar/pseudo-scalar を区別できる (John F. Gunion, Xiao-Gang He, Phys.Rev.Lett.76:4468,1996)

# 前回の発表

- 同じプロセスについて、t-quark 対の崩壊に含まれる二つのWボゾンが **semi-leptonic** に崩壊する場合について発表を行った。

$$pp \rightarrow ttH (-\rightarrow \gamma \gamma), \quad t t \rightarrow (bW)(bW) \rightarrow (bl\nu)(bjj)$$

- top quark からだけではなくWボゾンの崩壊生成物からの光子放出によるバックグラウンドを評価した。
- jet および electron から生じる fake  $\gamma$  から起こるバックグラウンドを評価した。また、測定器の性能により fake  $\gamma$  が生じる割合が変化の解析結果に与える影響を評価した。
- 120GeVのHiggs粒子について、100fb<sup>-1</sup>の積分ルミノシティ分のデータ収集により3 $\sigma$ のシグナルを検出できることが分かった。

# Semi-leptonic Mode の選択条件

- No. of Photons

$$N_r = 2, |\eta_r| < 2.5, p_{T_r} > 20\text{GeV}$$

$$(1.37 < |\eta_r| < 1.52 \text{ excluded})$$

- Higher  $p_T$  photon:  $p_T > 50\text{GeV}$

- $p_T$  sum of photons:  $p_{T_{r1}} + p_{T_{r2}} > 100\text{GeV}$

- Photon decay angle at the Higgs rest frame:

$$|\cos \theta^*_r| < 0.85$$

- No. of leptons ( $\epsilon_{\text{lepton}} = 0.9$ ):  $N_{\text{lepton}} = 1$

$$e: p_T > 25\text{GeV}, |\eta| < 2.5$$

$$\mu: p_T > 20\text{GeV}, |\eta| < 2.5$$

- No. of jets:  $N_j \geq 4, |\eta_j| < 5, p_{T_j} > 20\text{GeV}$

- $E_T$  sum of jets:  $\sum E_{T_j} > 200\text{GeV}$

# Semi-leptonic Mode の解析の結果

- 期待される断面積 [ $\times 10^{-2}\text{fb}$ ] と signal significance ( $m_{H\pm}2\text{GeV}$ )

|  | 120GeV | 130GeV | 140GeV |
|--|--------|--------|--------|
| Higgs  | 6.9    | 5.6    | 3.9    |
| $tt\gamma\gamma+\gamma$ from decay               | 1.22   | 1.02   | 0.85   |
| jet $\rightarrow \gamma$                         | 0.60   | 0.39   | 0.41   |
| $e \rightarrow \gamma$                           | 0.52   | 0.49   | 0.32   |
| BG total   | 2.3    | 1.9    | 1.6    |
| Poisson Significance<br>with $100\text{fb}^{-1}$ | 3.0    | 2.6    | 1.8    |
| Poisson Significance<br>with $300\text{fb}^{-1}$ | 5.7    | 5.0    | 3.8    |

# Hadronic Mode の解析

- Higgs粒子のシグナルの統計を増やすためWボゾンの hadronic な崩壊過程についての解析を行った。

$pp \rightarrow ttH (-\rightarrow \gamma \gamma), tt \rightarrow (bW)(bW) \rightarrow (bjj)(bjj)$

- MC サンプル

- Higgs Signals (Pythia 6.403+CTEQ5L)

- Irreducible Backgrounds

$tt \gamma \gamma$ : MadGraph+CTEQ6LL

- W decay の崩壊生成物からの photon radiation を MadGraph を用いて simulate した (一部 overlap があるので差し引く必要あり):

$tt \gamma \rightarrow t(Wb) \gamma \rightarrow t(jjb) \gamma, j \rightarrow \gamma$  (t $\rightarrow$ j**jb** in Pythia)

- Reducible Backgrounds (Jet からの fake photon)

$ttjj$ : 2 jets  $\rightarrow \gamma$

$ttj \gamma$ : 1 jet  $\rightarrow \gamma$

- すべての sample は ATLAS の fast simulation program を用いて測定器の効果の simulation を行った。

# Hadronic Mode の選択条件

- No. of Photons

$$N_r = 2, |\eta_r| < 2.5, p_{T_r} > 20\text{GeV}$$

$$(1.37 < |\eta_r| < 1.52 \text{ excluded})$$

- Higher  $p_T$  photon:  $p_{T_r} > 50\text{GeV}$

- $p_T$  sum of photons:  $p_{T_{r1}} + p_{T_{r2}} > 100\text{GeV}$

- Photon decay angle at the Higgs rest frame:

$$|\cos \theta^*_r| < 0.85$$

- No. of leptons ( $\epsilon_{\text{lepton}} = 0.9$ ):  $N_{\text{lepton}} = 0$

$$e: p_T > 25\text{GeV}, |\eta| < 2.5$$

$$\mu: p_T > 20\text{GeV}, |\eta| < 2.5$$

- No. of jets:  $N_{\text{jet}} \geq 6, |\eta_j| < 5, p_{T_j} > 20\text{GeV}$

- No. of b-jets:  $N_{\text{b-jet}} \geq 1, |\eta_j| < 2.5, p_{T_j} > 20\text{GeV}$

- $E_T$  sum of jets:  $\sum E_{T_j} > 300\text{GeV}$



# Hadronic Mode の解析の結果

- 期待される断面積 [ $\times 10^{-2}\text{fb}$ ] と signal significance ( $m_H \pm 2\text{GeV}$ )

|  | 120GeV | 130GeV | 140GeV |
|--|--------|--------|--------|
| Higgs  | 13.5   | 11.0   | 7.6    |
| $tt\gamma\gamma+\gamma$ from decay               | 1.92   | 1.46   | 0.97   |
| jet $\rightarrow \gamma$                         | 1.33   | 1.38   | 1.52   |
| BG total   | 3.3    | 2.8    | 2.5    |
| Poisson Significance<br>with $100\text{fb}^{-1}$ | 4.9    | 4.3    | 3.2    |
| Poisson Significance<br>with $300\text{fb}^{-1}$ | 8.9    | 7.9    | 6.0    |



# 両崩壊 Mode を合わせた結果

- 期待される断面積 [ $\times 10^{-2}\text{fb}$ ] と signal significance ( $m_H \pm 2\text{GeV}$ )

|  | 120GeV | 130GeV | 140GeV |
|--|--------|--------|--------|
| Higgs  | 20.4   | 16.6   | 11.5   |
| BG total   | 5.6    | 4.7    | 4.1    |
| Poisson Significance<br>with $100\text{fb}^{-1}$ | 6.0    | 5.3    | 4.0    |
| Poisson Significance<br>with $300\text{fb}^{-1}$ | 10.7   | 9.5    | 7.3    |

# CP の決定 / 測定

- このプロセスでは質量が軽くベクターボゾン対への崩壊比が小さいような Higgs 粒子について CP の情報を得られる可能性がある:  
J.F. Gunion and X.-G. He, “Determining the CP nature of a neutral Higgs boson at the LHC”,  
Phys.Rev.Lett.76 (1996) 4468; hep-ph/9602226.

$$\mathcal{L} \equiv \bar{t}(c + id\gamma_5)th \quad |\mathcal{M}|^2 \propto M_{Q^2}(c^2 - d^2)$$

- 終状態の t、t-bar の運動量を再構成し、それらの運動量の組み合わせで得られるいくつかの変数を比較する。

$$a_1 = \frac{(\vec{p}_t \times \hat{n}) \cdot (\vec{p}_{\bar{t}} \times \hat{n})}{|(\vec{p}_t \times \hat{n}) \cdot (\vec{p}_{\bar{t}} \times \hat{n})|}$$
$$a_2 = \frac{p_t^x p_{\bar{t}}^x}{|p_t^x p_{\bar{t}}^x|}$$

$$b_1 = \frac{(\vec{p}_t \times \hat{n}) \cdot (\vec{p}_{\bar{t}} \times \hat{n})}{p_t^T p_{\bar{t}}^T}$$
$$b_3 = \frac{p_t^x p_{\bar{t}}^x}{p_t^T p_{\bar{t}}^T}$$

$$b_2 = \frac{(\vec{p}_t \times \hat{n}) \cdot (\vec{p}_{\bar{t}} \times \hat{n})}{|\vec{p}_t| |\vec{p}_{\bar{t}}|}$$
$$b_4 = \frac{p_t^z p_{\bar{t}}^z}{|\vec{p}_t| |\vec{p}_{\bar{t}}|}$$

ただし、t、t-bar の運動量の再構成には、効率の悪さ、バックグラウンドの影響、精度等の問題がある。

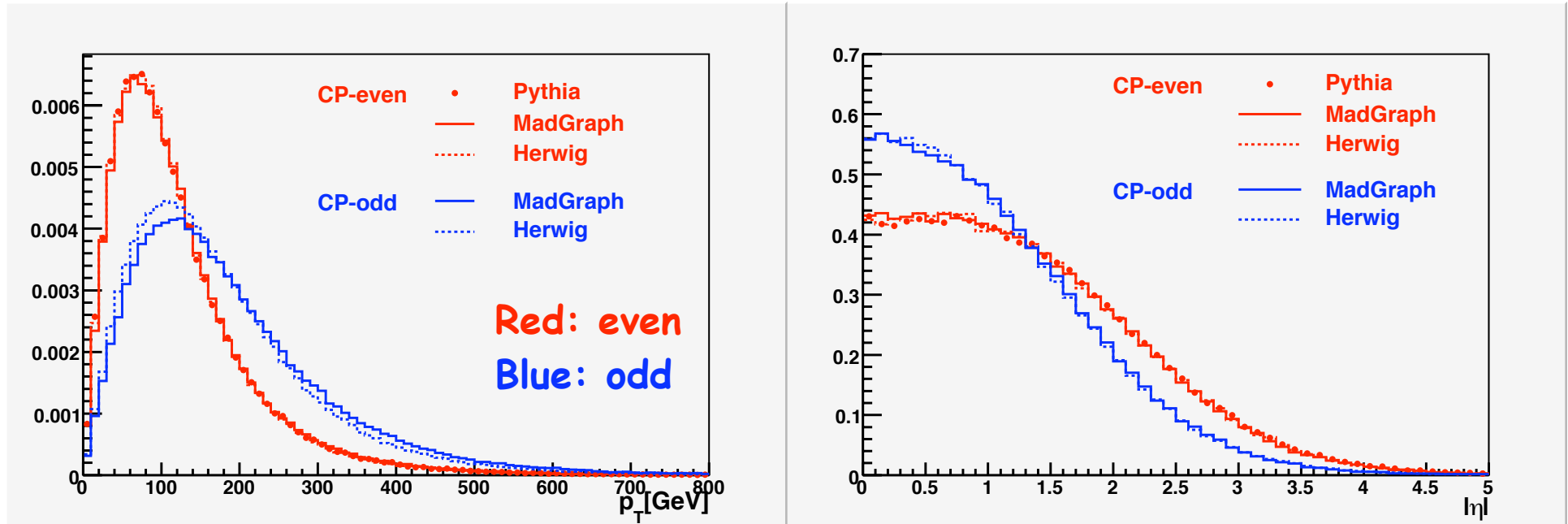
→ t、t-bar ではなく Higgs 粒子の運動量に違いがあるかを考えた。

# CP の決定 / 測定

- トップ・クォーク随伴生成で生成された120GeVの質量のHiggs粒子の  $p_T$  及び  $\eta$  をパートン・レベルの情報を用い、いくつかのイベント・ジェネレータで比較してみた。

$p_T$

$|\eta|$



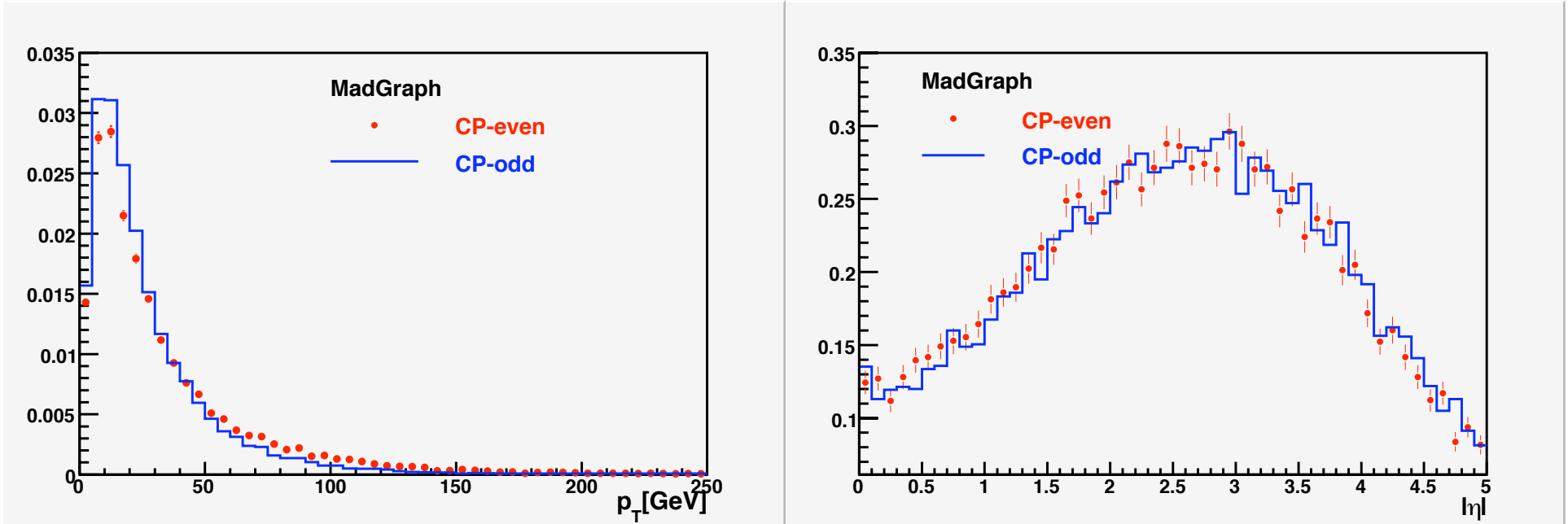
- CP even の場合と、CP-odd の場合であきらかな違いが見られた。(イベント・ジェネレータ同士の違いは小さい)

# CP の決定／測定

- 比較のために bbH の場合を見ると、

$p_T$

$|\ln|$



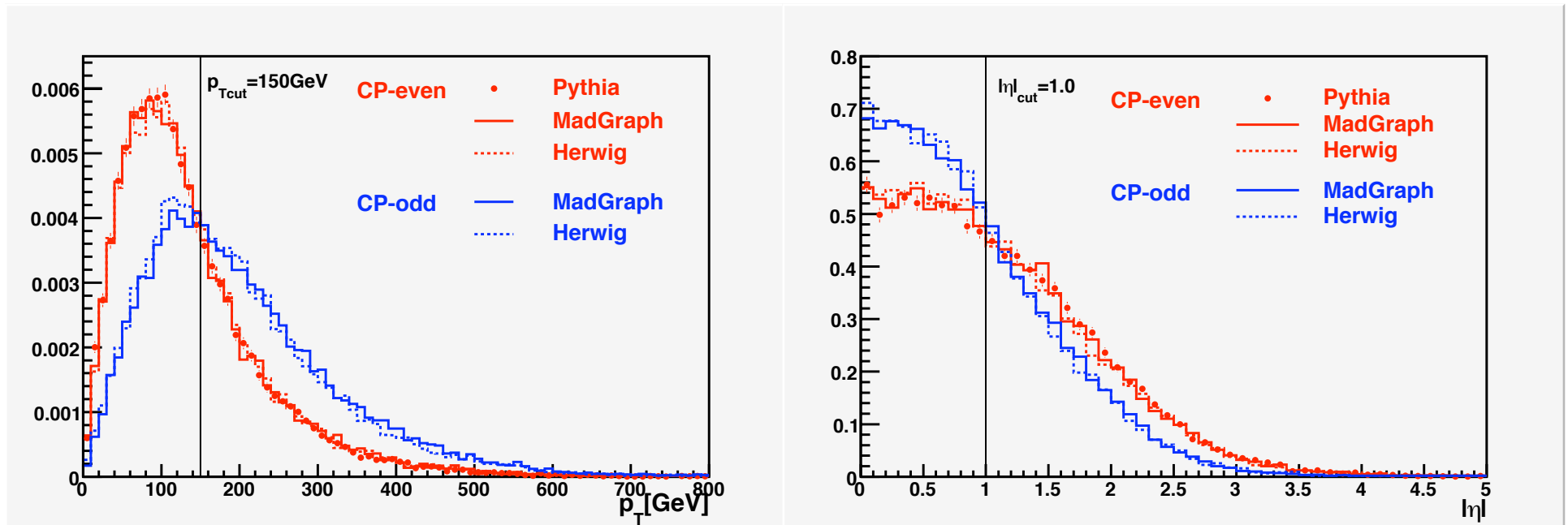
b-quark の質量は t-quark の質量より小さいため CP-even と CP-odd の差による効果が小さい。

# Higgs粒子の $p_T$ 及び $\eta$ の解析

- シミュレーションのサンプルで  $p_T$  及び  $\eta$  の分布を比較する ( $m_H=120\text{GeV}$ )

$p_T$

$|\eta|$



やはり同様の違いを観測する事が出来る。

# Higgs粒子の $p_T$ 及び $\eta$ の解析

- 分布の形の違いを比較するため、検出されたHiggs粒子の  $p_T$  および  $\eta$  の値がある値よりも大きいイベントと小さいイベントの数の比を求め、CP-evenの場合と CP-odd の場合で比較した。

$p_T$  の場合:  $p_{Tcut} = 150 \text{ GeV}$ ,

$$R(\text{High/Low}) = N(\text{High } p_T) / N(\text{Low } p_T)$$

$\eta$  の場合:  $|\eta|_{cut} = 1.0$ ,

$$R(\text{Cent/Forw}) = N(\text{Central}) / N(\text{Forward})$$

- まずパートンレベルで値を調べる (MadGraph,  $m_H=120\text{GeV}$ ) :

|                       | CP-even | CP-odd | $\Delta R$ |
|-----------------------|---------|--------|------------|
| $p_T$ : R(High/Low)   | 0.40    | 1.18   | 0.88       |
| $\eta$ : R(Cent/Forw) | 0.75    | 1.13   | 0.38       |

# Higgs粒子の $p_T$ 及び $\eta$ の解析

- $p_T$  の解析の結果:

MadGraph、 $m_H=120\text{GeV}$ 、 $p_{T\text{cut}} = 150\text{GeV}$ 、  
(バックグラウンドを含んだ解析)

|                               | CP-even | CP-odd |
|-------------------------------|---------|--------|
| R(High/Low)                   | 0.48    | 1.18   |
| $\Delta R(100\text{fb}^{-1})$ | 0.20    | 0.45   |
| $\Delta R(300\text{fb}^{-1})$ | 0.12    | 0.26   |

$$R(\text{CP-odd}) - R(\text{CP-even}) \approx 0.7$$

300fb<sup>-1</sup> の積分ルミノシティがあれば “pure” CP-even と -odd のHiggs 粒子を充分区別することが可能



# Higgs粒子の $p_T$ 及び $\eta$ の解析

- $|\eta|$  の解析の結果:

MadGraph、 $m_H = 120 \text{ GeV}$ 、 $|\eta|_{\text{cut}} = 1.0$ 、  
(バックグラウンドを含んだ解析)

|                               | CP-even | CP-odd |
|-------------------------------|---------|--------|
| R(Cent/Forw)                  | 1.00    | 1.41   |
| $\Delta R(100\text{fb}^{-1})$ | 0.41    | 0.54   |
| $\Delta R(300\text{fb}^{-1})$ | 0.24    | 0.31   |

$$R(\text{CP-odd}) - R(\text{CP-even}) \approx 0.4$$

$p_T$  の解析と比較すると期待される significance は小さい

# 結果とまとめ

- $ttH(->\gamma\gamma)$  は軽いHiggs粒子の CP 情報を得ることが出来るユニークなプロセスである。t-quark対の崩壊に含まれる二つのWボゾンについて、semi-leptonic 及び hadronic な崩壊過程を合わせた解析により  $100\text{fb}^{-1}$  の積分ルミノシティでおよそ  $6\sigma$  のHiggs粒子のシグナルを得られる。
  - 終状態の t、t-bar の運動量を再構成せずにHiggs粒子の  $p_T$  及び  $\eta$  の分布を比較することによりHiggs粒子の CP の情報を得ることが出来る。
  - $300\text{fb}^{-1}$  の積分ルミノシティで pure CP-even と -odd のHiggs粒子を区別することが可能。
- 
- CP-even と -odd の混合状態を解析するために解析方法を改善する。
  - Side-band イベントによるバックグラウンドの差し引きによる改善。
  - 結合定数の決定の解析。