



# Introduction

*Koji Nakamura*



# introduction

- 今回の趣旨
  - 議題に関しては次のページで。
  - 3回にわたって夕飯で話をしてきましたが、みんな多忙でなかなか進まないですね。
    - なんかテーマがあれば進むかも？
  - 科研費を取るにもなんとなく手ごたえがないので今年の10月に向けてなんかできないか？
    - 戦略？物理と検出器
    - 科研費取れば研究会できる(理論屋さんの雰囲気を変える)
  - 体制:今のところメーリングリストには：
    - 田中、金谷、江成、山本、隅田、増渕、中村の7人
    - これからどうするか→最後に議論

# まず...

---

- 二つのことを同時に考えていくべき？
  - 100TeVコライダーに関すること

– そもそも今の段階でどんな次世代実験(加速器?)が必要か。

# まず...

- 二つのことを同時に考えていくべき？
  - 100TeVコライダーに関すること
    - 加速器の状況把握
      - 16T/20Tの電磁石ができるのか？
    - 物理
      - 新物理(DM候補,階層性問題の解決,GUT)の探索 : SUSY, EXOTIC
      - 同時に確実に見つかる手堅いトピック(プロジェクトになるために必要)
        - » 自己結合
        - »  $W_L W_L$  散乱 → 高エネルギーが必要な動機になる
    - 検出器 : シリコン、高速通信
  - そもそも今の段階でどんな次世代実験(加速器?)が必要か。

# まず...

- 二つのことを同時に考えていくべき？
  - 100TeVコライダーに関すること
    - 加速器の状況把握
      - 16T/20Tの電磁石ができるのか？
    - 物理
      - 新物理(DM候補,階層性問題の解決,GUT)の探索 : SUSY, EXOTIC
      - 同時に確実に見つかる手堅いトピック(プロジェクトになるために必要)
        - » 自己結合
        - »  $W_L W_L$  散乱 → 高エネルギーが必要な動機になる
    - 検出器 : シリコン、高速通信
  - そもそも今の段階でどんな次世代実験(加速器?)が必要か。
    - ILCはダメだと思うけど、本当にやる価値がないのか？
      - 値段を考えなければ重要な実験なのか？それとも理論誤差で埋もれてそもそも実験自体意味がないのか→田中さん
    - LHCでなにが見えたか、ILCをやるのかやらないのかが決まった辺りがターニングポイント？
      - 6年後に30年後の実験を考える→後で

# Future Circular Collider

- CERNが中心になって進める円形コライダーの将来計画を検討するコラボレーション

- 2014年2月キックオフミーティング @ Geneve



UNIVERSITÉ  
DE GENÈVE



## Future Circular Collider Study Kickoff Meeting

12-15 February 2014  
University of Geneva -  
UNI MAIL  
Europe/Zurich timezone

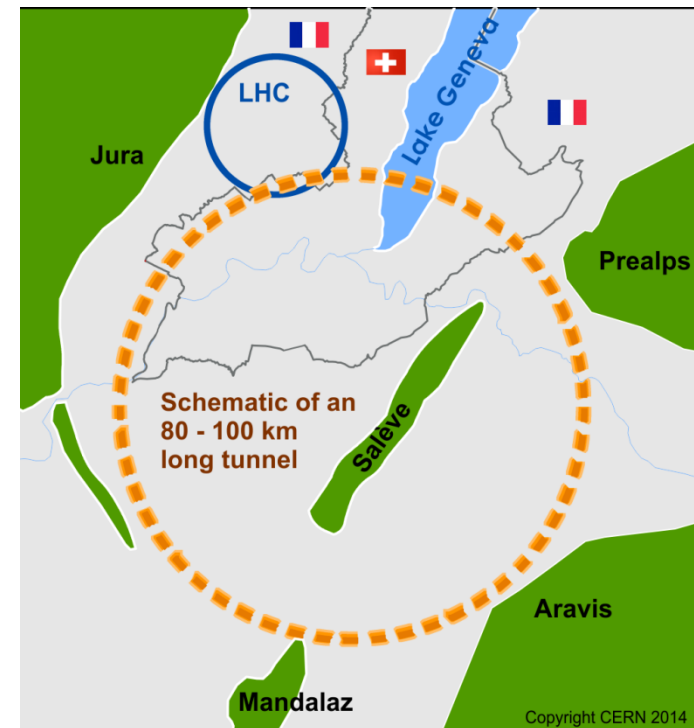
There is a live webcast for this event.

Future Circular Collider Study Kickoff Meeting

- コライダーの規模を考えて当然、国際協力コラボレーションであるべき。
  - International Collaboration Board(ICB) を作る
- コライダーのデザインアスペクトはサイトを限定しないで行うべき。
- Hadron collider(FCC-hh) が長期的なゴール
  - Lepton collider(FCC-ee) は、potential intermediate step
- LHC study started in 1983
  - ヒッグス発見まで30年
  - 今、議論を始めて完成はおそらく2035/2040

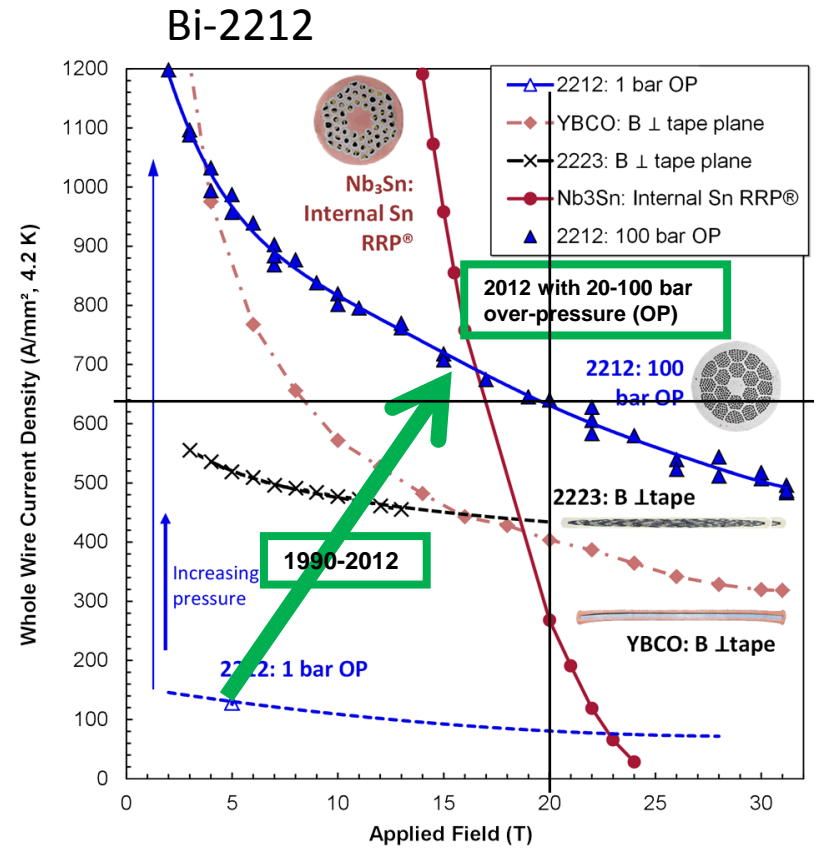
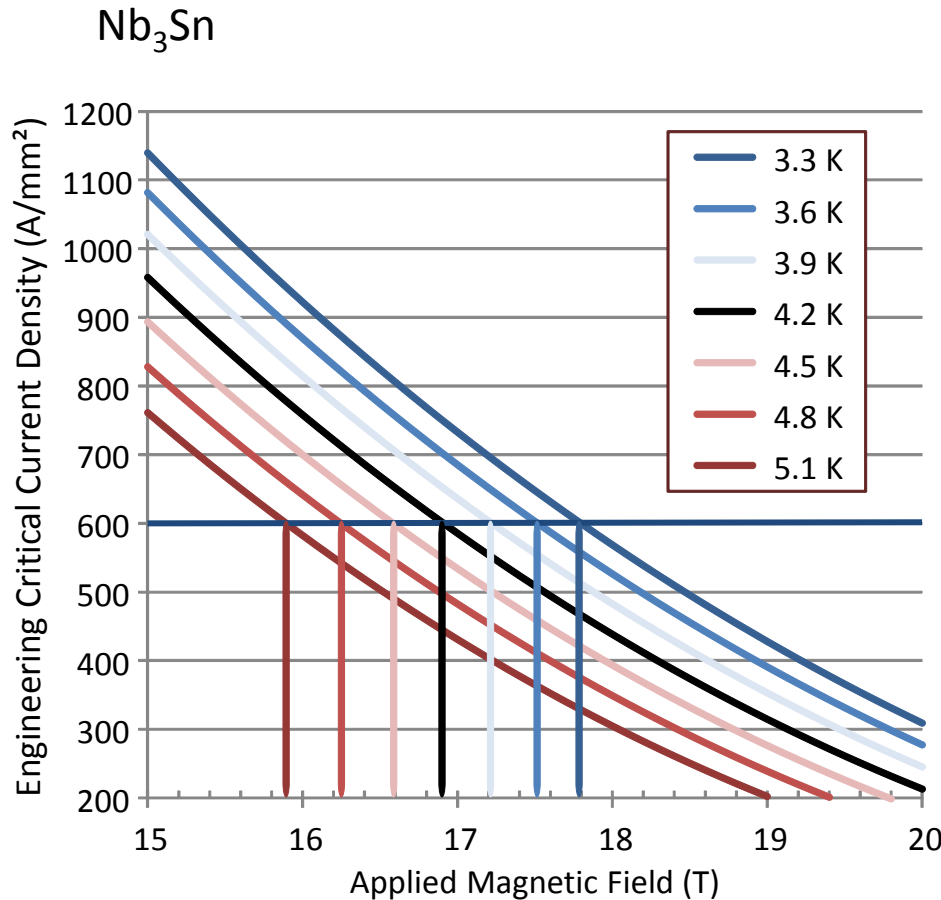
# Working point for collision Energy

- FCC-hh : defining **100TeV** pp-collider
  - CERN に作ることを考えると**100km**が限界
  - 超伝導電磁石(bending)の技術的な制約から ( $E=0.3 \text{ B[T]} \rho[\text{m}]$ )
    - 16T( $\text{Nb}_3\text{Sn}$ ) 100km
    - 20T(HTC) 80kmcf. LHCは8.1T ( $\text{NbTi}$ ) 27kmで14TeV
  - LHCに20T電磁石を並べると33TeV colliderができる。
  - 200km のトンネルを掘るとNbTiでも100TeV コライダーができる。
- 超伝導磁石のreadiness
  - $\text{Nb}_3\text{Sn}$  : HL-LHCの最終収束磁石として導入予定(12Tで歩留りが悪い)。16Tのマグネットは2018年を目途に開発中。
  - Bi-2212 : 理論的には20Tまで可能。実質的な開発はこれから。



# 臨界電流密度の上限

- 磁場が上がると臨界電流密度が下がり超伝導が崩壊



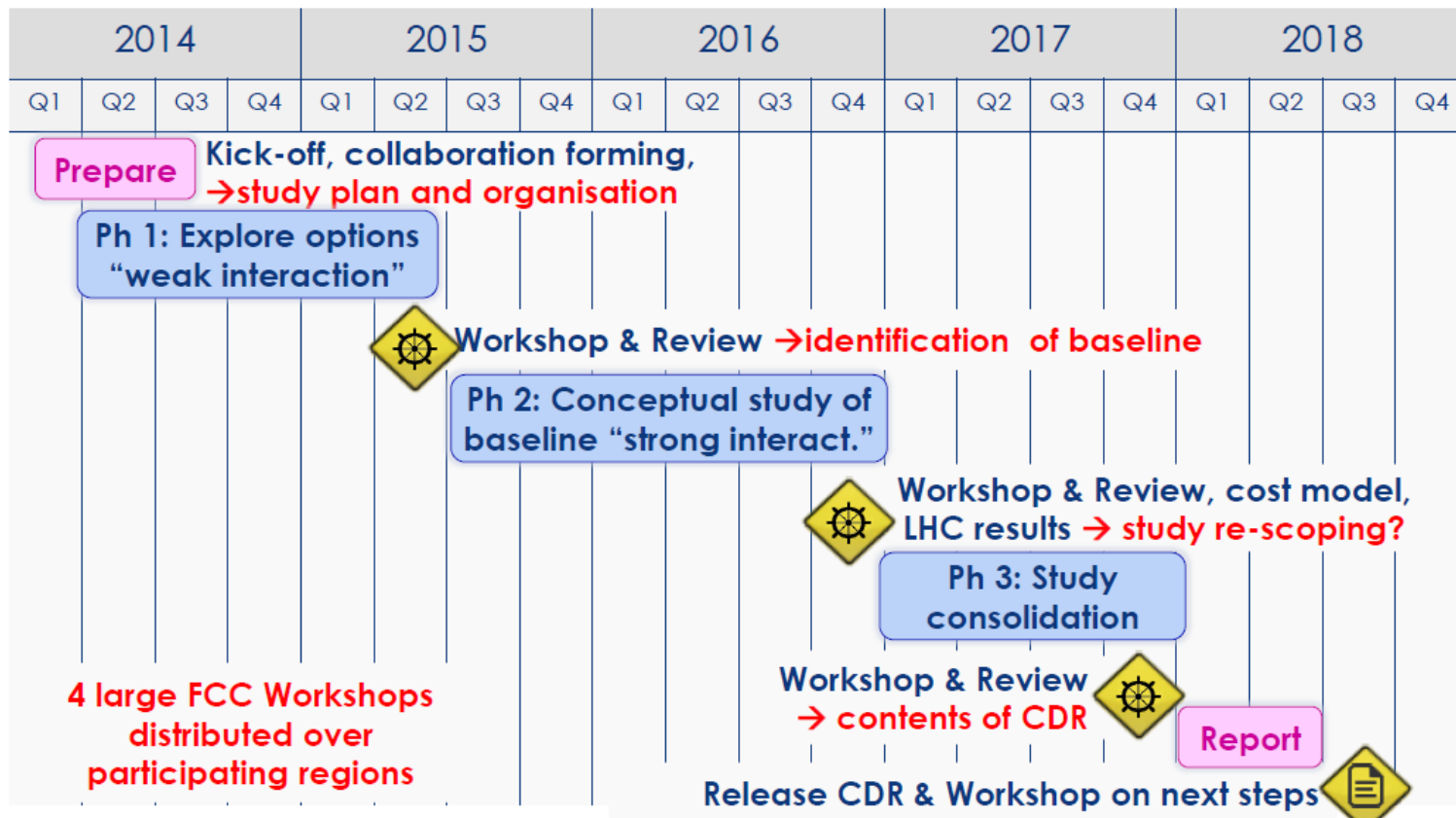


# ただし...

- 加速器技術が100TeVコライダーのネックであることは間違いない。
- じゃあ、Tevatron, LHCは余裕で作れたか？
  - 実験直前の精力的なR&Dの賜物
  - 超伝導電磁石の歴史はいつでもぎりぎり間に合ってきたという状況
- 物理的なモチベーションがそろっているならどんどんプッシュしていける。

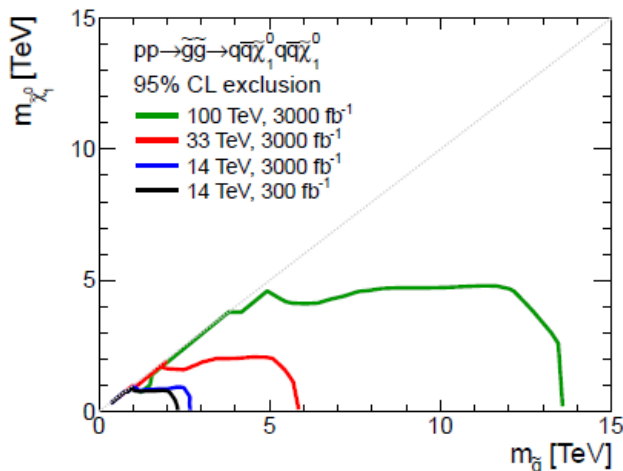
# 個人的な感想

- 100TeVのコライダーができるならやらない理由はない。
  - 世界的な動きに日本のコミュニティが乗り遅れてはいけない。
  - 2018年のCRDに向けて理論、実験の双方から貢献すべき。



# 個人的な感想

- **100TeVのコライダーができるならやらない理由はない。**
  - 世界的な動きに日本のコミュニティが乗り遅れてはいけない。
  - 2018年のCRDに向けて理論、実験の双方から貢献すべき。
- 100TeVで十分なのか？の議論はもちろんあって、この辺は是非理論屋さんの意見が聞きたいです。(Naturalness?)
  - Di-jet/di-lepton mass バンプ探索 → 20-30TeV領域まで探索可能
  - Strong int. SUSY → 10-15TeV領域まで探索可能、EWも数TeV



Assuming a massless LSP

Model	Limit [TeV]	Discovery Reach [TeV]	
	8 TeV 20 fb <sup>-1</sup>	14 TeV 3000 fb <sup>-1</sup>	100 TeV 3000 fb <sup>-1</sup>
$pp \rightarrow \tilde{g}\tilde{g} \rightarrow q\bar{q}\tilde{\chi}_1^0 q\bar{q}\tilde{\chi}_1^0$	1.4 (ATLAS)	2.3	<b>11</b>
$pp \rightarrow \tilde{g}\tilde{g} \rightarrow t\bar{t}\tilde{\chi}_1^0 t\bar{t}\tilde{\chi}_1^0$	1.4 (ATLAS)	2.0	<b>6.0</b>
$pp \rightarrow \tilde{q}\tilde{q}^* \rightarrow q\tilde{\chi}_1^0 \bar{q}\tilde{\chi}_1^0$	1.0 (CMS)	1.0	<b>2.5</b>
$pp \rightarrow \tilde{t}\tilde{t}^* \rightarrow t\tilde{\chi}_1^0 \bar{t}\tilde{\chi}_1^0$	0.7 (CMS)	1.2 <sup>a</sup>	<b>6.5</b>

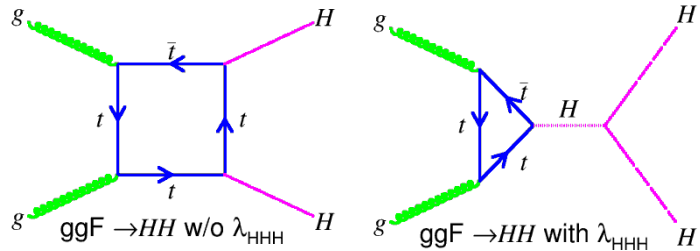
<sup>a</sup>ATLAS projection

# 個人的な感想

- **100TeVのコライダーができるならやらない理由はない。**
  - 世界的な動きに日本のコミュニティーが乗り遅れてはいけない。
  - 2018年のCRDに向けて理論、実験の双方から貢献すべき。
- 100TeVで十分なのか？の議論はもちろんあって、この辺は是非理論屋さんの意見が聞きたいです。(Naturalness?)
  - Di-jet/di-lepton mass バンプ探索 → 20-30TeV領域まで探索可能
  - Strong int. SUSY → 10-15TeV領域まで探索可能
- 実現のためには確実にあげられる成果が必要なのかかもしれない。
  - Di- tri- Higgs production (3点/4点結合)
  - Vector Boson Scattering (Effective field theory の検証)

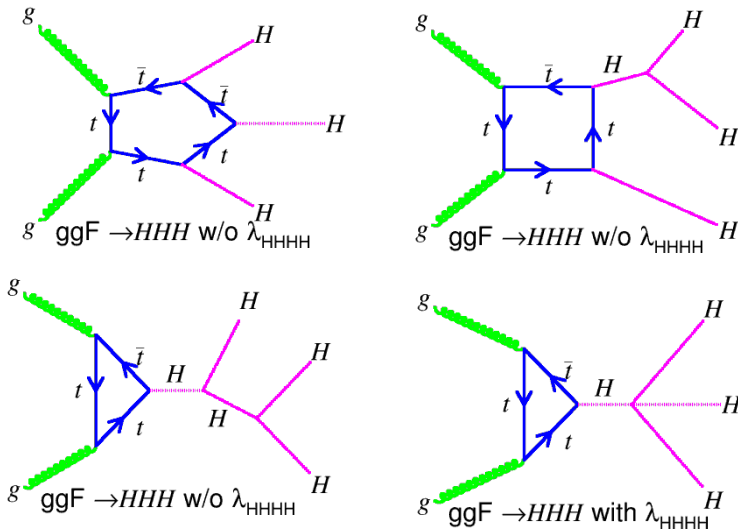
# Higgs 3点/4点結合？

## Di-Higgs 生成(3点結合)



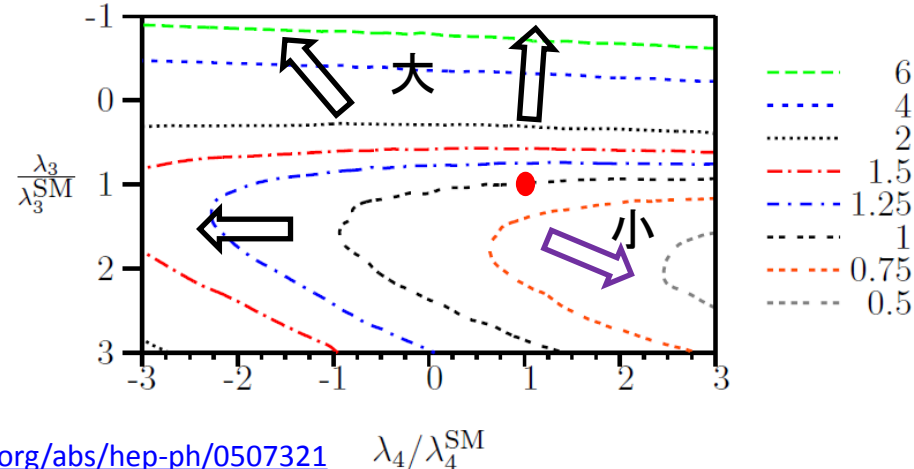
	HL-LHC	HE-LHC	VLHC
$\sqrt{s}$ (TeV)	14	33	100
$\int \mathcal{L} dt$ (fb $^{-1}$ )	3000	3000	3000
$\sigma \cdot \text{BR}(pp \rightarrow HH \rightarrow b\bar{b}\gamma\gamma)$ (fb)	0.089	0.545	3.73
$S/\sqrt{B}$	2.3	6.2	15.0
$\lambda$ (stat)	50%	20%	8%

## Tri-Higgs 生成(4点結合)



$\sigma$ [fb]	pentagon	Box	Triangle	Total
14TeV	0.171	0.082	0.0046	0.0625

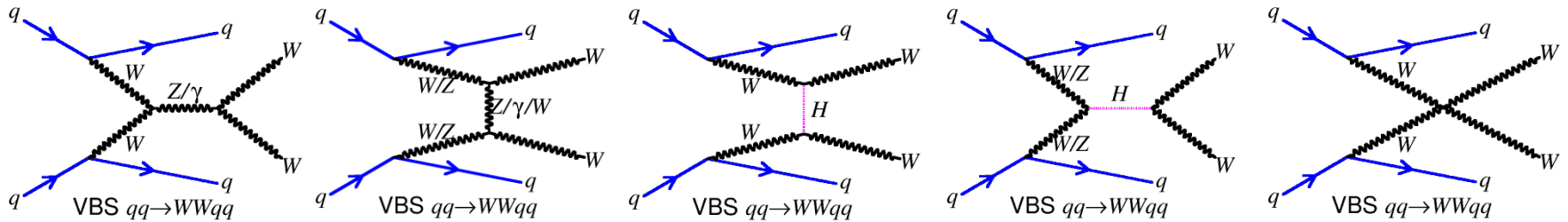
100TeV : **8.0 fb**    200TeV : **9.5 fb**



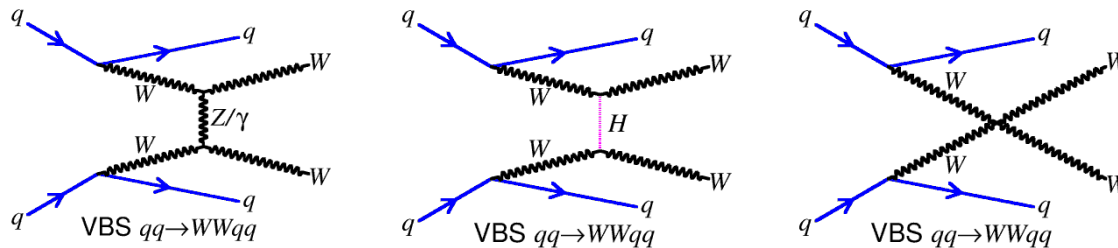
<http://arxiv.org/abs/hep-ph/0507321>  
<http://arxiv.org/abs/hep-ph/0608057>

# Effective Field theory

- Prove Quadratic Gauge Coupling
- Vector Boson Scattering process ( $qq \rightarrow WWjj$ )



- LHCではSame sign  $W$  ( $W^\pm W^\pm$ )を見る



- $W_L W_L$ を見るにはSSC以上のエネルギーが必要(TBC)。  
– 33TeVじゃやっぱりダメ?

# 個人的な感想

- **100TeVのコライダーができるならやらない理由はない。**
  - 世界的な動きに日本のコミュニティが乗り遅れてはいけない。
  - 2018年のCRDに向けて理論、実験の双方から貢献すべき。
- 100TeVで十分なのか？の議論はもちろんあって、この辺は是非理論屋さんの意見が聞きたいです。(Naturalness?)
  - Di-jet/di-lepton mass バンプ探索 → 20-30TeV領域まで探索可能
  - Strong int. SUSY → 10-15TeV領域まで探索可能
- 実現のためには確実にあげられる成果が必要なのかかもしれない。
  - Di- tri- Higgs production (3点/4点結合)
  - Vector Boson Scattering (Effective field theory の検証)
- $e^+ e^-$  コライダーとの関係
  - ヒッグスの結合の測定、全幅の測定はもちろん重要(測れるのなら)
  - ただ、希望としては別に作って100TeVを遅らせることのないようにしたい。
  - ILC とコンフリクトするのか？

# コライダーの可能性 (Energy)

---

- 陽子衝突型加速器の限界
  - FCC-hh : 20T magnet 80km  $10^5$ GeV
  - 赤道 : 20T magnet  $4 \times 10^4$ km  $5 \times 10^7$ GeV~50PeV
  - 公転軌道 : 20T magnet  $9.4 \times 10^8$ km  $1.2 \times 10^{12}$ GeV
- 電子・陽電子衝突型加速器 (LC)
  - ILC : 勾配 30MV/m 30km 1TeV
  - 地球の直径 : 勾配30MV/m  $1.2 \times 10^4$ km  $4 \times 10^5$ GeV~400TeV



# コライダーの可能性 (Particle)

	e	p	$\mu$	$\tau$	W	$\pi$
e	ILC FCC-ee	HERA FCC-he				
p		LHC FCC-hh				
$\mu$						
$\tau$						
W						
$\pi$						

# コライダーの可能性 (Particle)

	e	p	$\mu$	$\tau$	W	$\pi$
e	ILC FCC-ee	HERA FCC-he				
p		LHC FCC-hh				
$\mu$						
$\tau$						
W						
$\pi$						

$c\tau \sim 80\mu\text{m}$  で1TeVで $\beta\gamma = o(10^3)$  :  
80mmで崩壊→無理

これは寿命が短すぎて無理

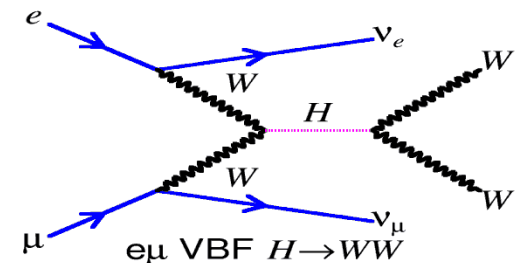
Proton collider と比べてメリットなし?

# コライダーの可能性 (Particle)

	e	p	$\mu$	$\tau$	W	$\pi$
e	ILC FCC-ee	HERA FCC-he	Probe PDF?			
p		LHC FCC-hh				
$\mu$						

## ヒッグスコライダー

数kmの小さいリングに1.5TeV  $\mu$   
と30GeV e を回して衝突  
 $\sqrt{s} = \sqrt{E_1 E_2} = 200\text{GeV}$



( $10^3$ ):  
物理

短すぎて無理

ミュオンコライダー  
 もし完成すればコンパクトな  
 Circular Collider ができるはず。  
 技術的に課題が多い。特に $\mu$ -の  
 クーリング時のbeam loss.  
 見れる物理はILCと同じ  
 (+ Higgs Widthの直接測定)

Muon beam 技術しだい(50年後?)

# 6年後に30年後の実験を考える

LHC run 2 (-2018) LHC run 3 (-2021) <sup>300fb<sup>-1</sup></sup>	ILCの建設中	ILCの建設なし
<p><u><b>LHCでBSMあり</b></u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. di-jet resonance (<math>m(KK) \sim 5\text{TeV}</math>)</li> <li>2. <math>M(WW) \sim 2\text{TeV}</math></li> <li>3. Multi-jet +MET (gluino <math>\sim 1.6\text{TeV}</math>)</li> <li>4. WW+MET (<math>\tilde{\chi}_+ = 550\text{GeV}</math>)</li> <li>5. Disappearing Track (<math>\Delta m = 100\text{MeV}</math> <math>\tilde{\chi}_+ = 400\text{GeV}</math>)</li> <li>6. tt/bb+MET (<math>m(\text{stop}) = 500\text{GeV}</math>)</li> </ol>		
<p><u><b>LHCでBSMなし</b></u></p>		
<p>その他</p>		

# backup

---