

# ヒッグスポータル暗黒物質とLC

鍋島 偉宏 ミュンヘン工科大学

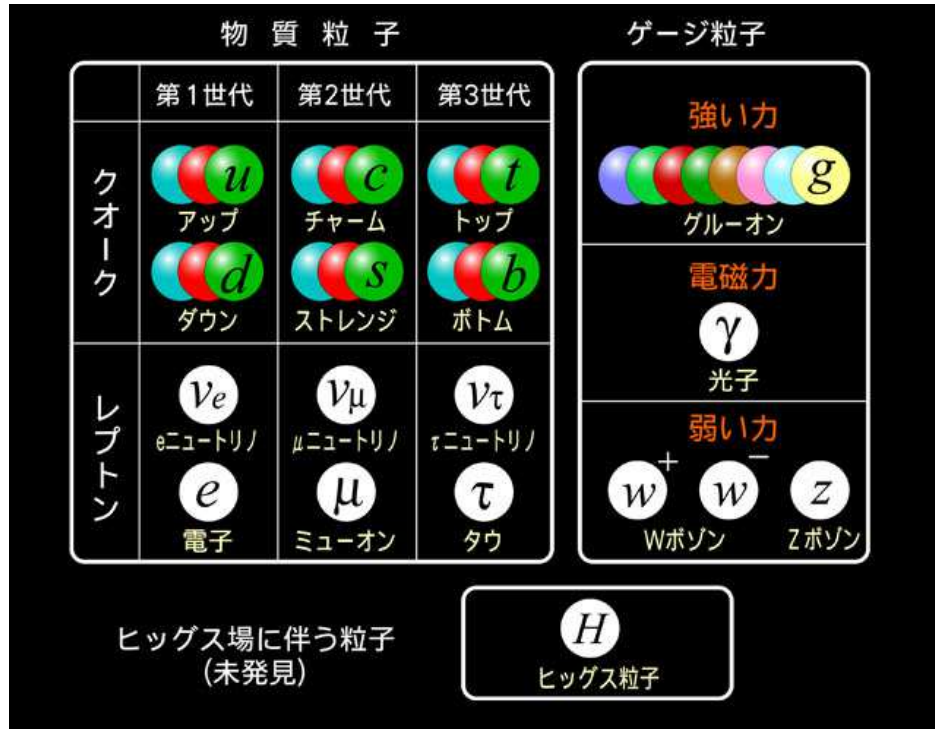
S. Kanemura et. al. Phys.Lett. B701 (2011) 591-596

ILC夏の合宿2013 2013年7月23日

# 1.Introduction

2/14

標準模型では説明できない  
いくつかの現象が知られている。



## 1. ニュートリノ振動

$$- \Delta m_{21}^2 \approx 7.5 \times 10^{-5} \text{eV}^2,$$

$$\Delta m_{23}^2 \approx 2.32 \times 10^{-3} \text{eV}^2$$

## 2. 暗黒物質

$$- \Omega h^2 \approx 0.11$$

## 3. 宇宙のバリオン数非対称

$$- n_B \approx 2.54 \times 10^{-7} \text{cm}^{-3}$$

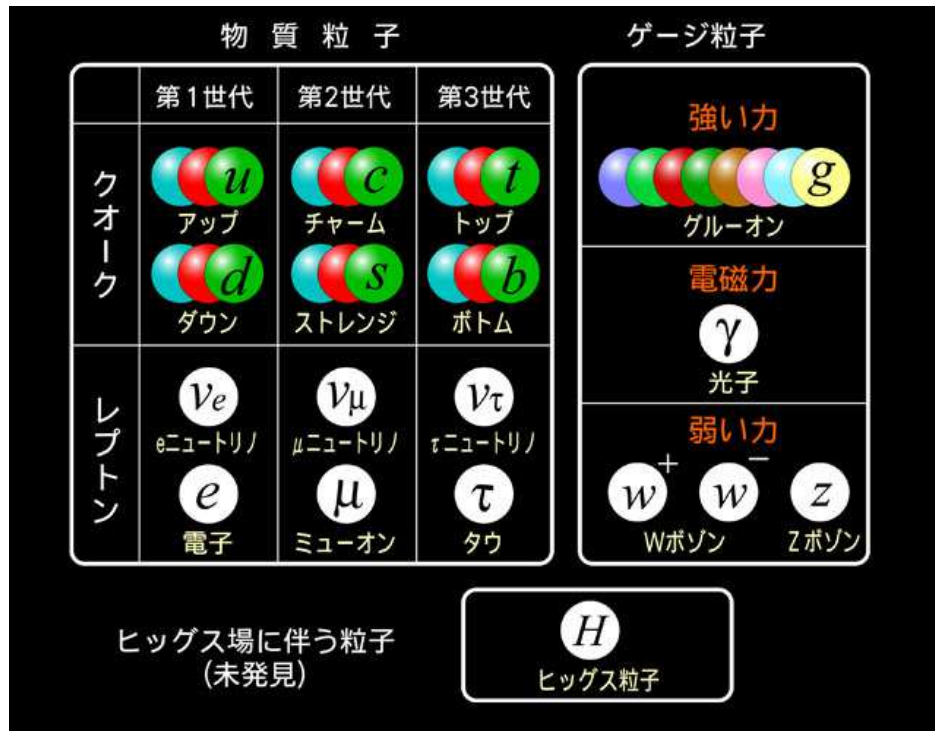
Particle Data Group (2012)

これらの現象を説明するため標準  
モデルは拡張されなければならない。

# 1.Introduction

2/14

標準模型では説明できない  
いくつかの現象が知られている。



## 1. ニュートリノ振動

$$- \Delta m_{21}^2 \approx 7.5 \times 10^{-5} \text{eV}^2,$$

$$\Delta m_{23}^2 \approx 2.32 \times 10^{-3} \text{eV}^2$$

## 2. 暗黒物質

$$- \Omega h^2 \approx 0.11$$

## 3. 宇宙のバリオン数非対称

$$- n_B \approx 2.54 \times 10^{-7} \text{cm}^{-3}$$

Particle Data Group (2012)

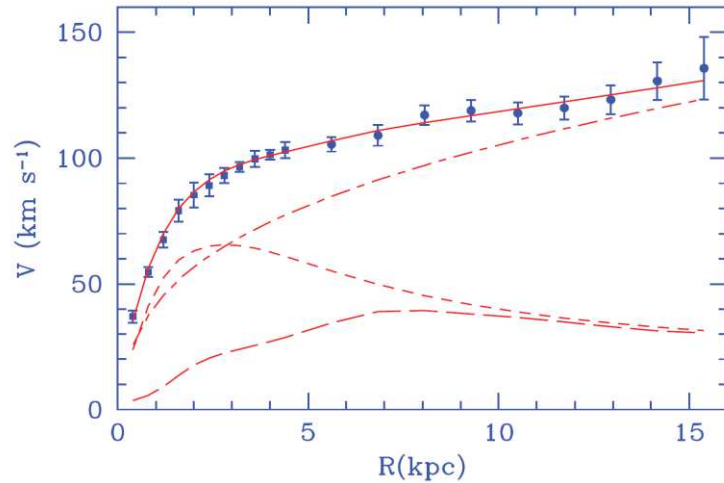
これらの現象を説明するため標準  
モデルは拡張されなければならない。

# 1.Introduction

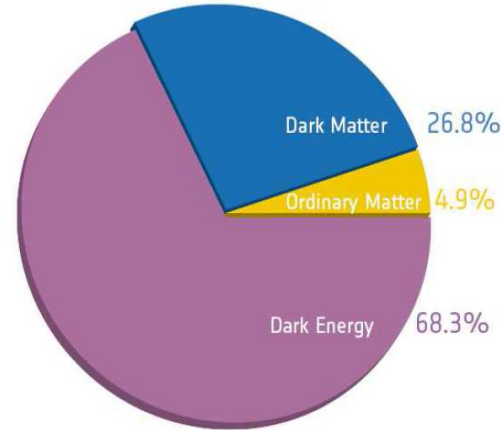
## なぜ暗黒物質が必要？

3/14

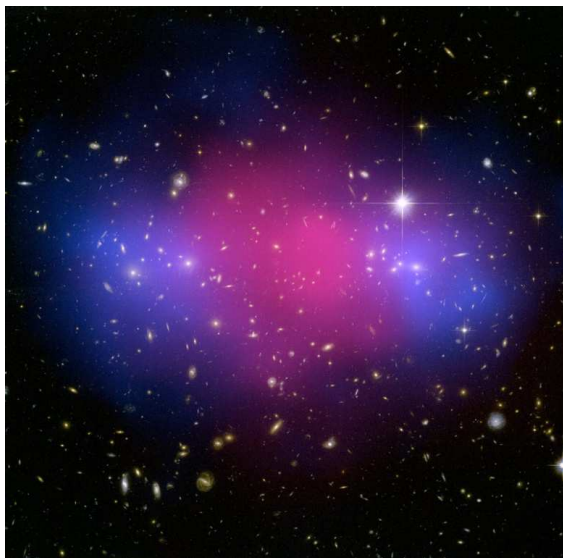
### ・宇宙の回転速度



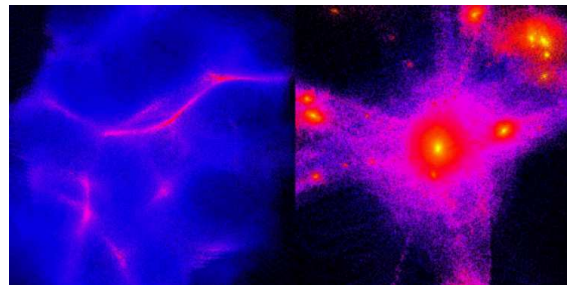
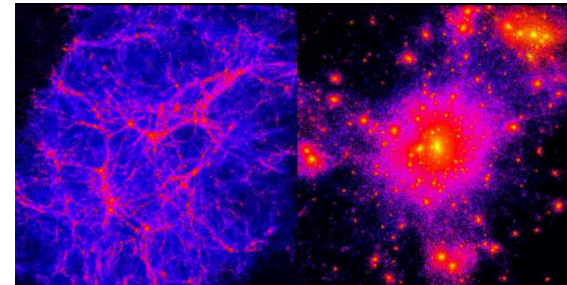
### ・暗黒物質の残存量



### ・銀河の衝突



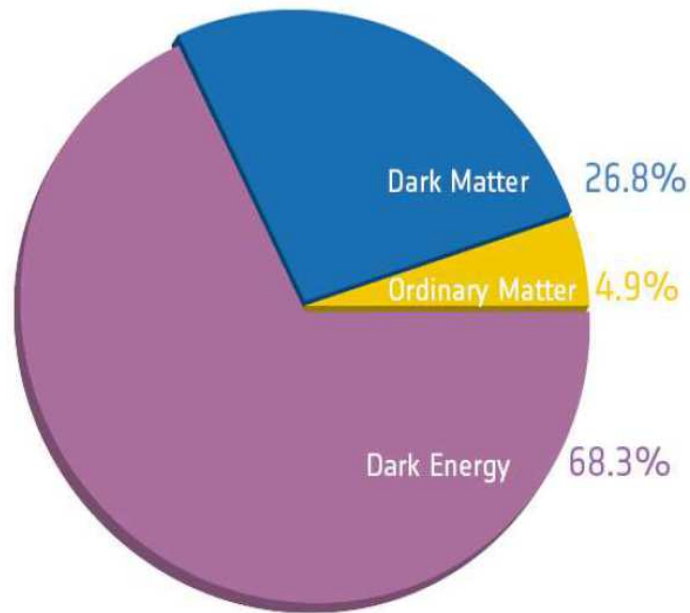
### ・宇宙の大規模構造



などなど

# 1.Introduction

4/14

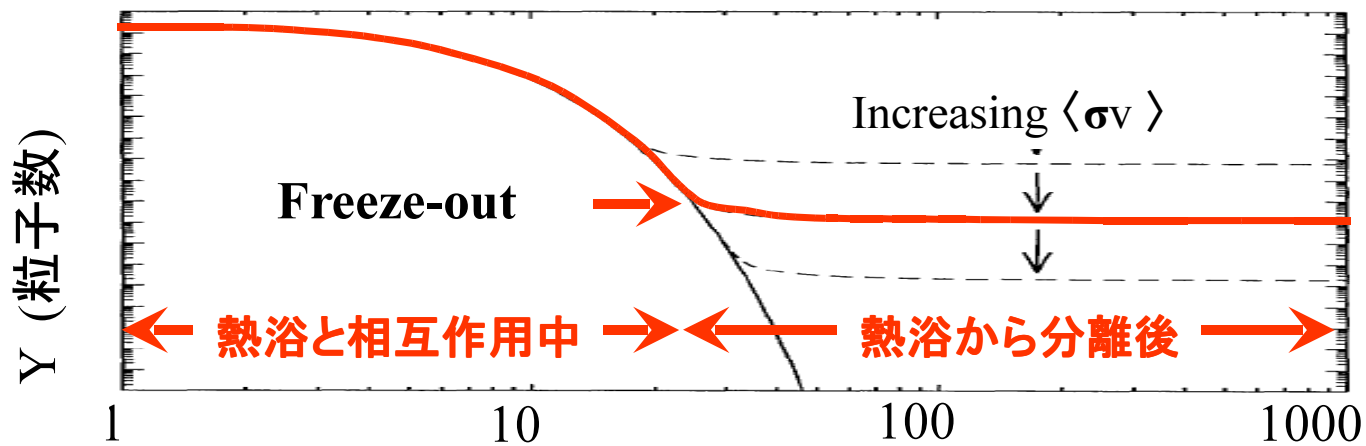


暗黒物質とは……

- ・電荷を持たない
  - ・非相対論的速度で運動
  - ・相互作用が弱い
  - ・熱的残存量  $\Omega h^2 \simeq 0.1$
  - ・安定
- などなど

これらの性質を満たす物質の一つに、**WIMP**がある。

# WIMP暗黒物質の質量見積もり



$$\Omega_{DM} h^2 = \frac{m Y(\infty) S_0}{\rho_c / h^2} \sim \frac{0.1 \text{ pb} \cdot c}{\langle \sigma v \rangle}$$

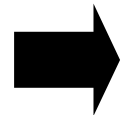
$$\langle \sigma v \rangle = g^4 / (4\pi m)^2$$



With  $g = 0.3-1$  and  $m = 100 - 1000 \text{ GeV}$

$$\langle \sigma v \rangle = 1 \text{ pb} \quad \rightarrow \quad \Omega_{DM} h^2 = 0.1$$

Planckでの実験値



$$\Omega_{DM} h^2 = 0.1199 \pm 0.0027$$



**WIMP暗黒物質は、EWスケールにある!**

# 2.Higgs portal

- ・EWスケールに暗黒物質しか新粒子が存在しない場合を考える。
- ・暗黒物質とSM粒子との相互作用項が現れる最低次まで考える

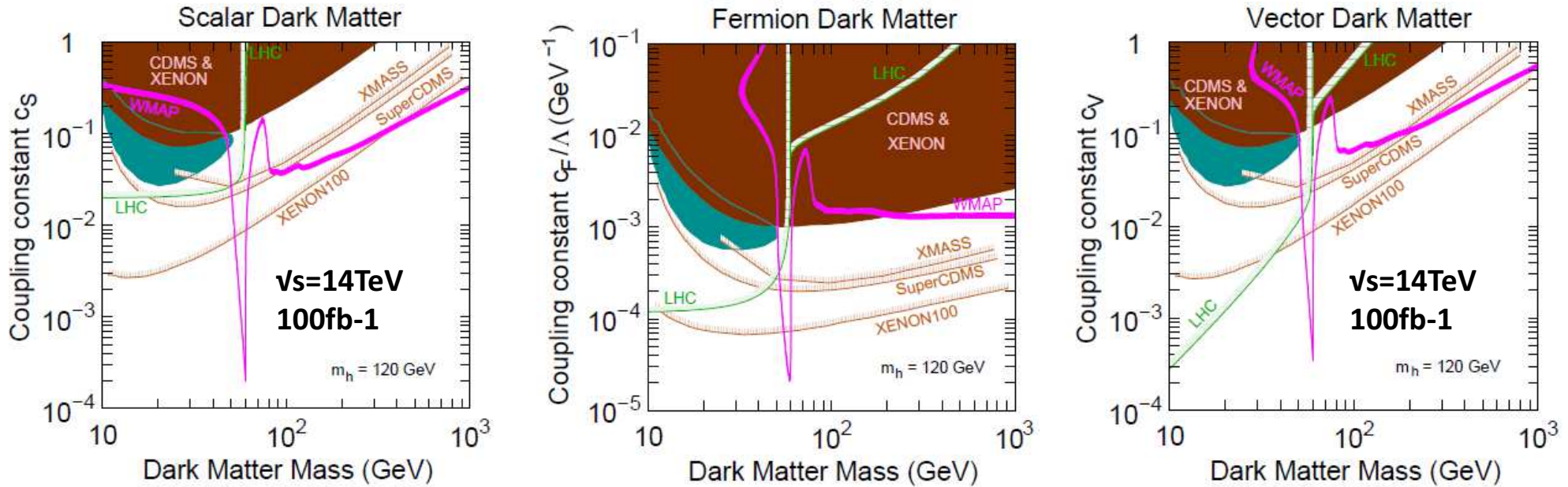
$$\Delta\mathcal{L}_S = -\frac{1}{2}m_S^2 S^2 - \frac{1}{4}\lambda_S S^4 - \frac{1}{4}\lambda_{hSS} H^\dagger H S^2 ,$$

$$\Delta\mathcal{L}_V = \frac{1}{2}m_V^2 V_\mu V^\mu + \frac{1}{4}\lambda_V (V_\mu V^\mu)^2 + \frac{1}{4}\lambda_{hVV} H^\dagger H V_\mu V^\mu ,$$

$$\Delta\mathcal{L}_f = -\frac{1}{2}m_f \bar{\chi}\chi - \frac{1}{4} \frac{\lambda_{hff}}{\Lambda} H^\dagger H \bar{\chi}\chi .$$

# 2.Higgs portal

7/14



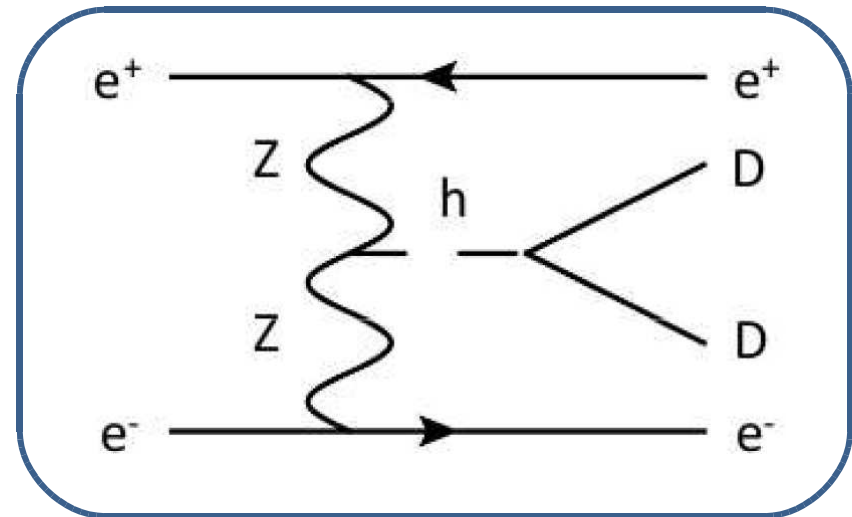
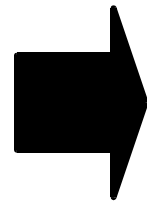
S. Kanemura et. al. Phys. Rev. D **82** 055026 (2010)

**LHCではHiggsボソンとのみ結合する  
暗黒物質の検証は難しい。**



S. Kanemura et. al. Phys.Lett. B701 (2011) 591-596

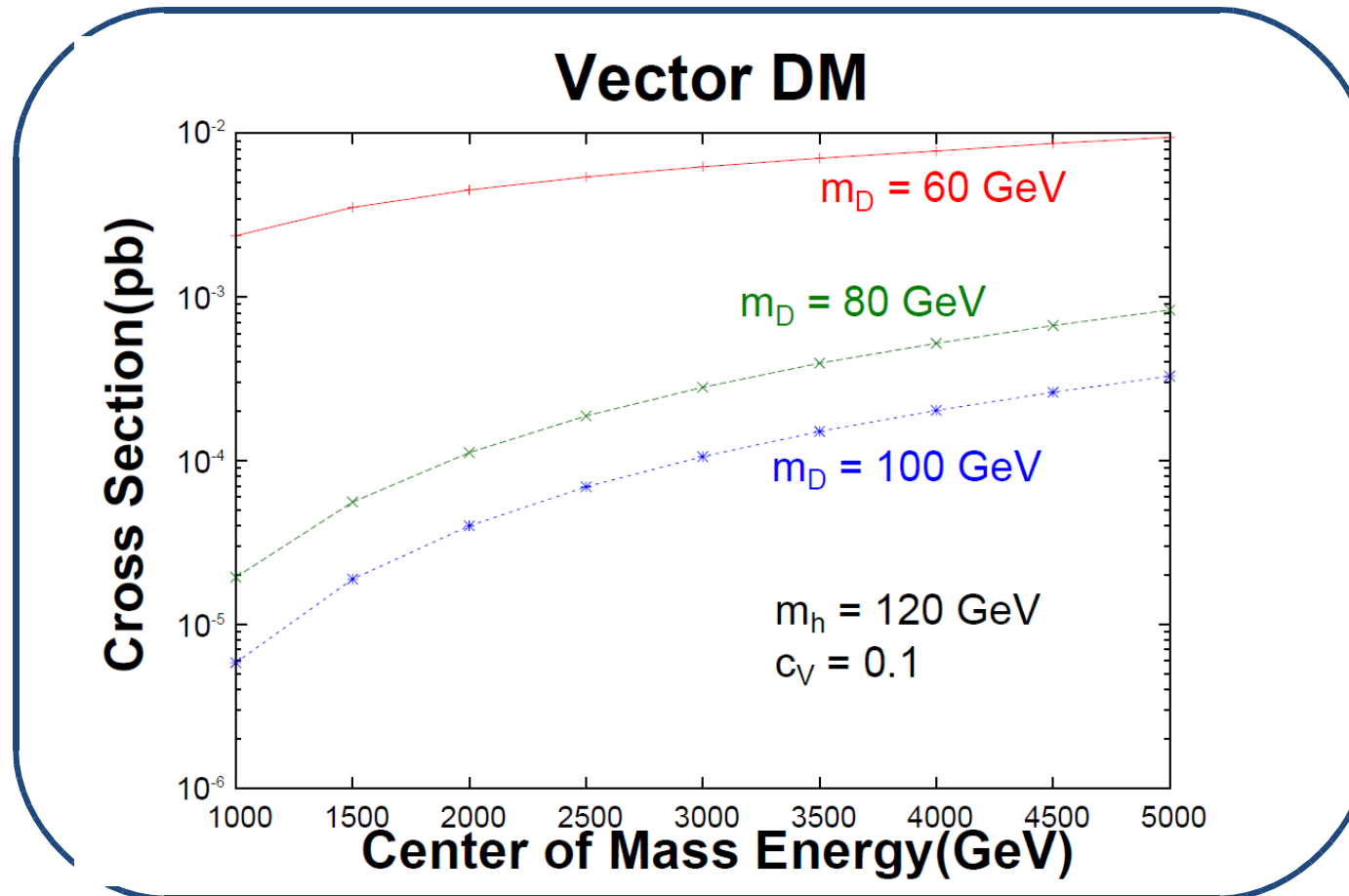
## Z boson fusion process



今回、ILC ( $\sqrt{s} = 1\text{TeV}$ )とCLIC ( $\sqrt{s} = 5\text{TeV}$ )でのヒッグスポータル暗黒物質のZボソンフュージョンを用いた検証可能性を考える。

このプロセスは、エネルギーの保存していない電子陽電子対に注目することで暗黒物質を探す。

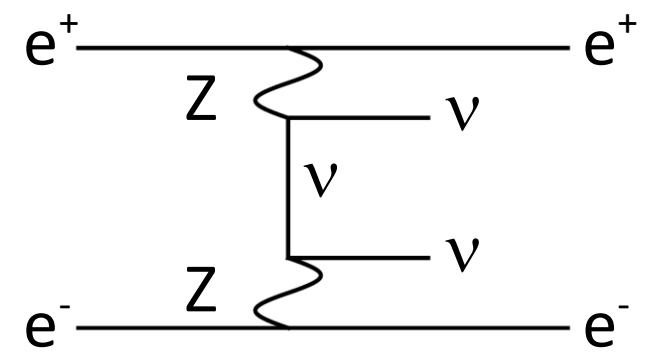
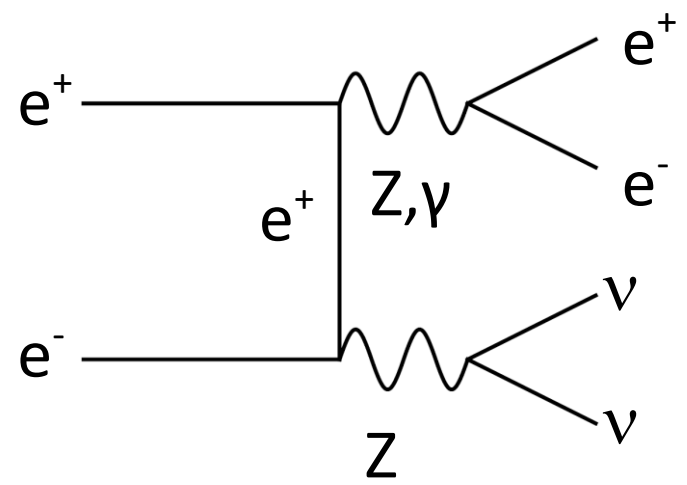
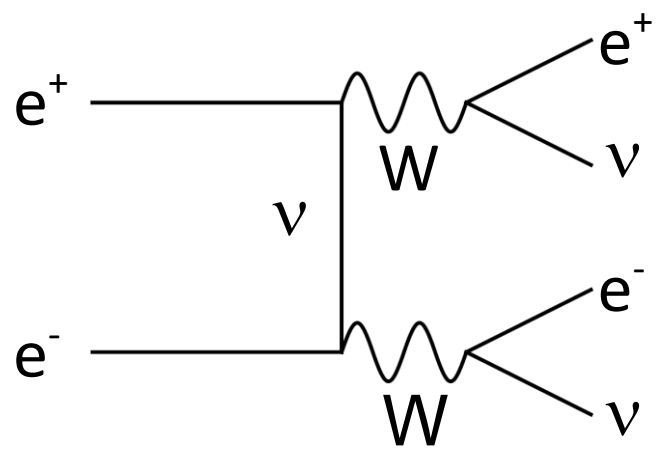
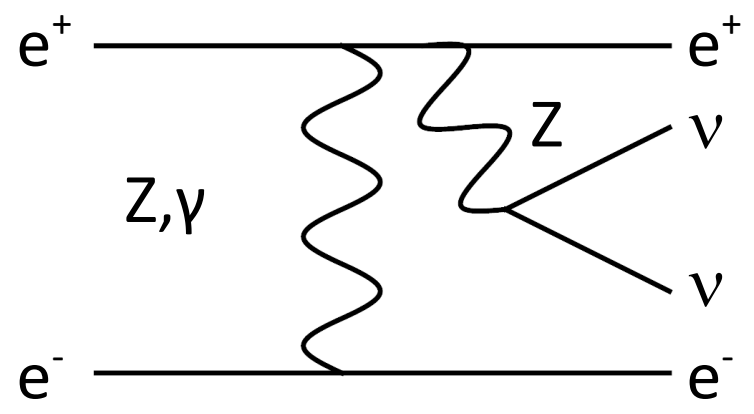
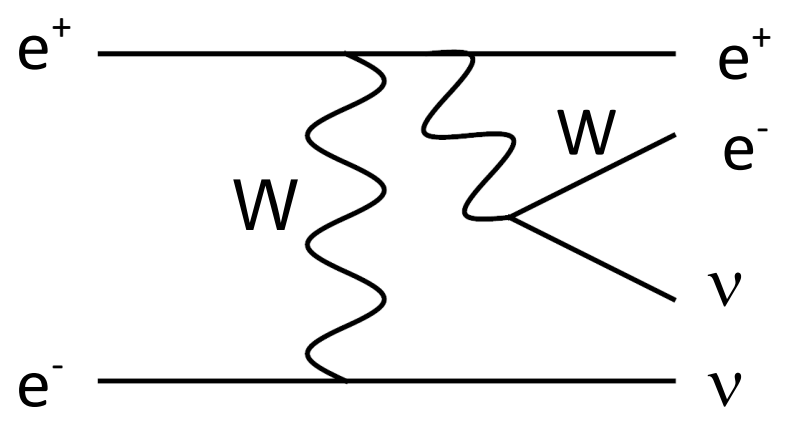
バックグラウンドは電子陽電子対を出すエネルギーが保存していないすべての過程。



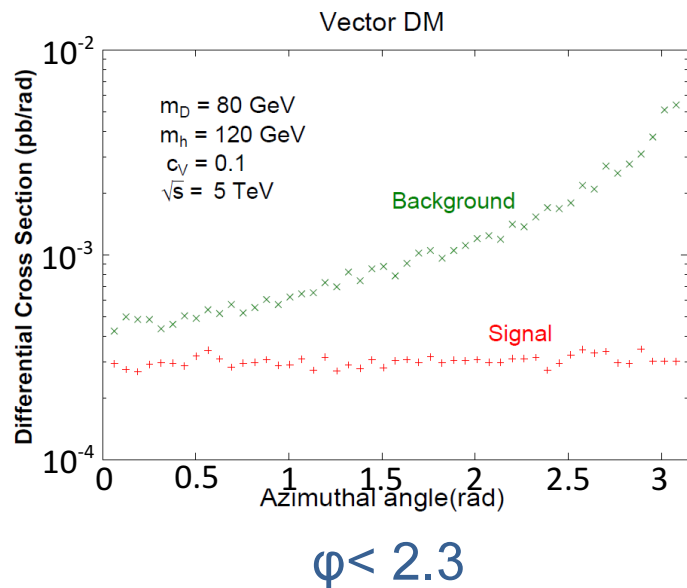
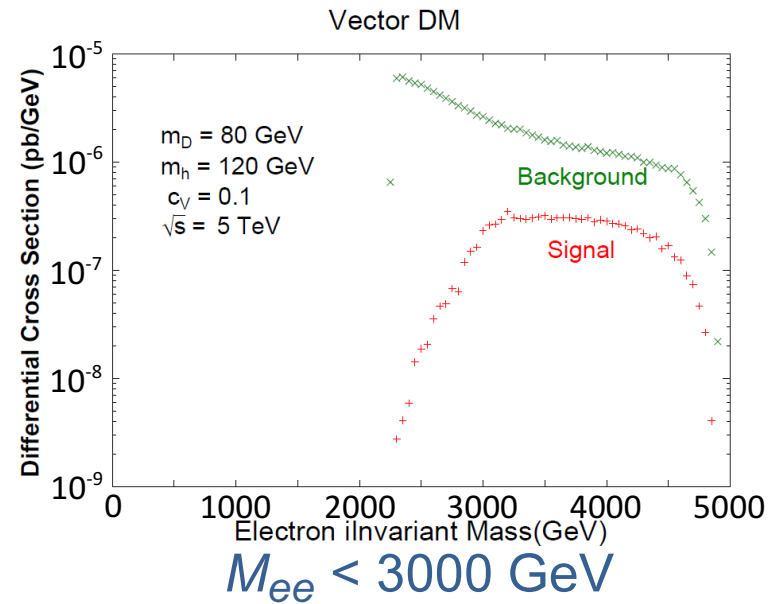
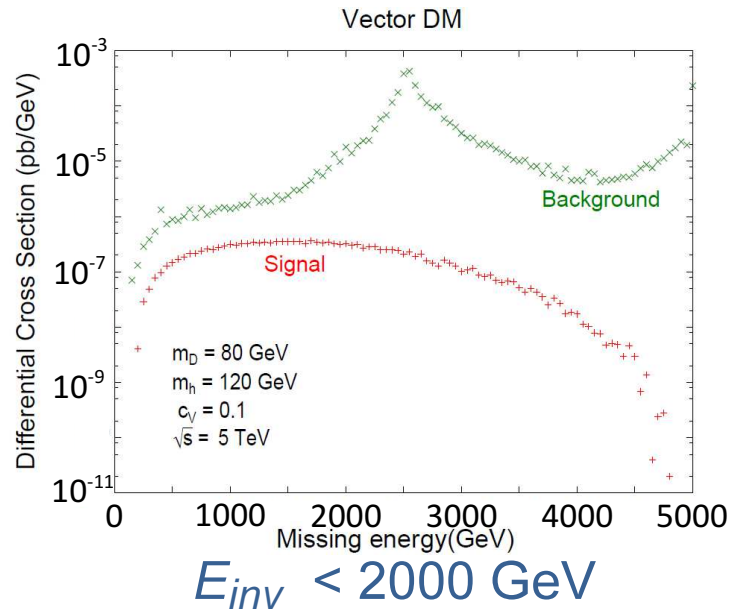
シグナルプロセスの断面積はおおよそ  $\ln(s)$  に比例して大きくなる。

ヒッグスポータル暗黒物質を検証するには高い  $\sqrt{s}$  を持つ加速器が有用。

# Background processes



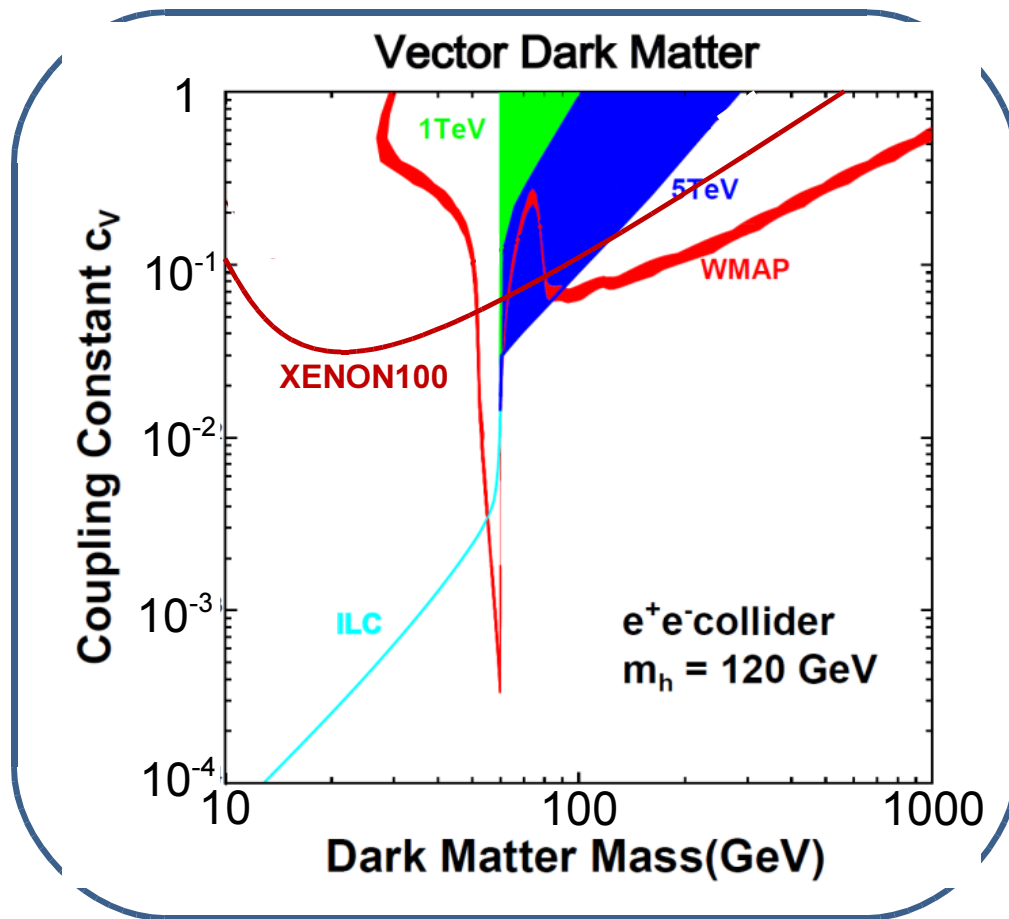
# Cuts for the vector case at $\sqrt{s} = 5 \text{ TeV}$



$|\cos\theta| < 0.9999416, M_{inv} > 120 \text{ GeV},$   
 $E_{inv} < 2000 \text{ GeV}, M_{ee} < 3000 \text{ GeV}, \phi < 2.3,$

Polarized electron-beam (80%),  
 positron-beam(50%) is used!

The backgrounds can be reduced!

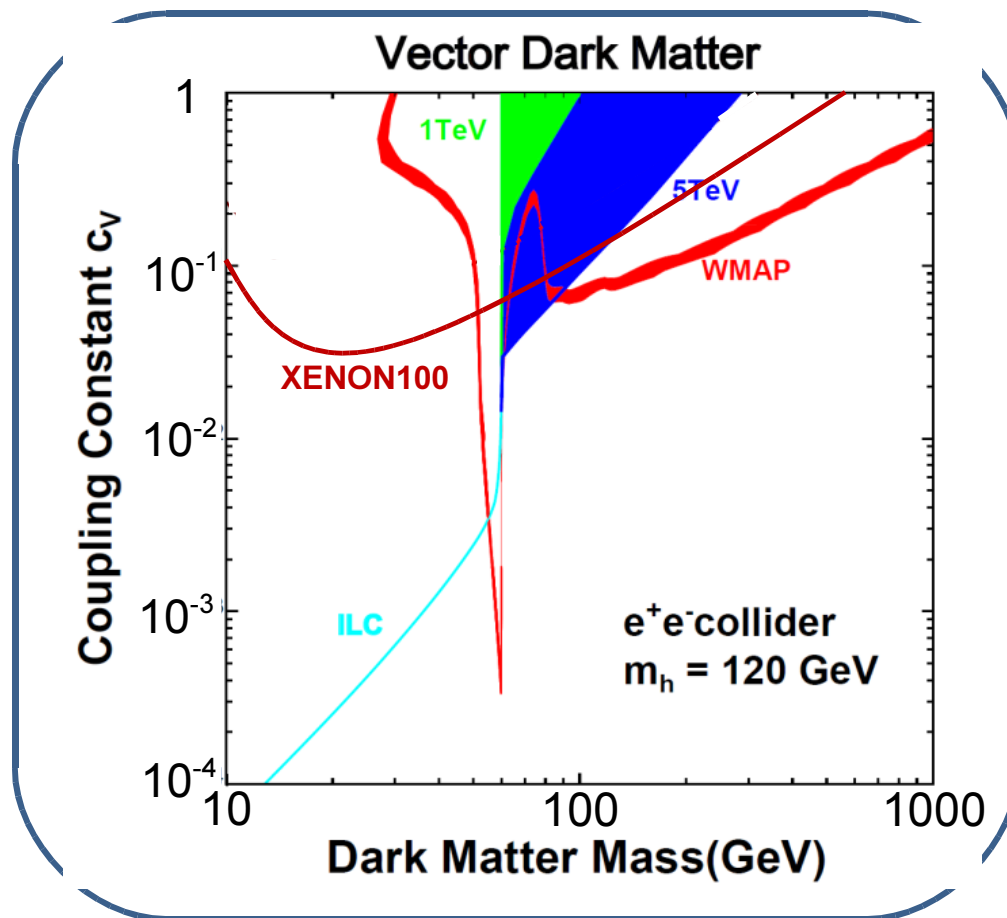


S. Kanemura et. al. Phys.Lett. B701 (2011) 591-596

WMAPの結果を $3\sigma$  C.L.で満たす領域。

直接検出実験で90% C.L.で排除されている領域。

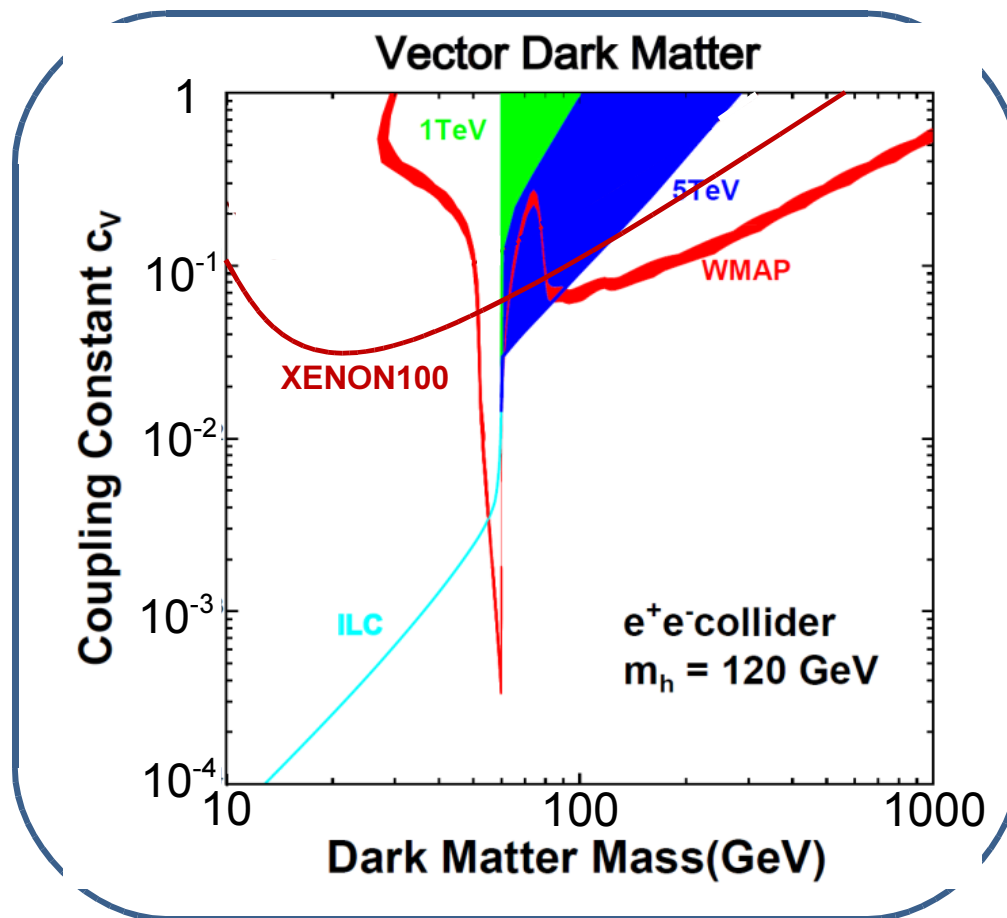
$\sqrt{s} = 350$  GeVのILCで、積分ルミノシティが $500\text{fb}^{-1}$ たった時に $3\sigma$  C.L.で検証可能な領域。



S. Kanemura et. al. Phys.Lett. B701 (2011) 591-596

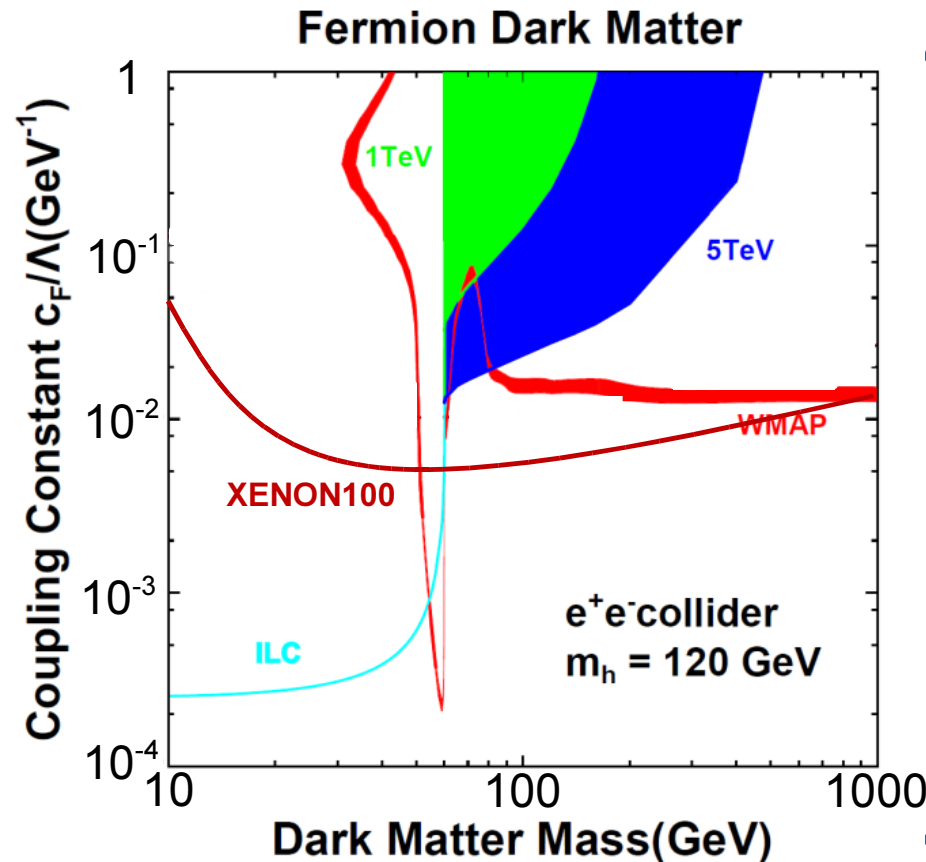
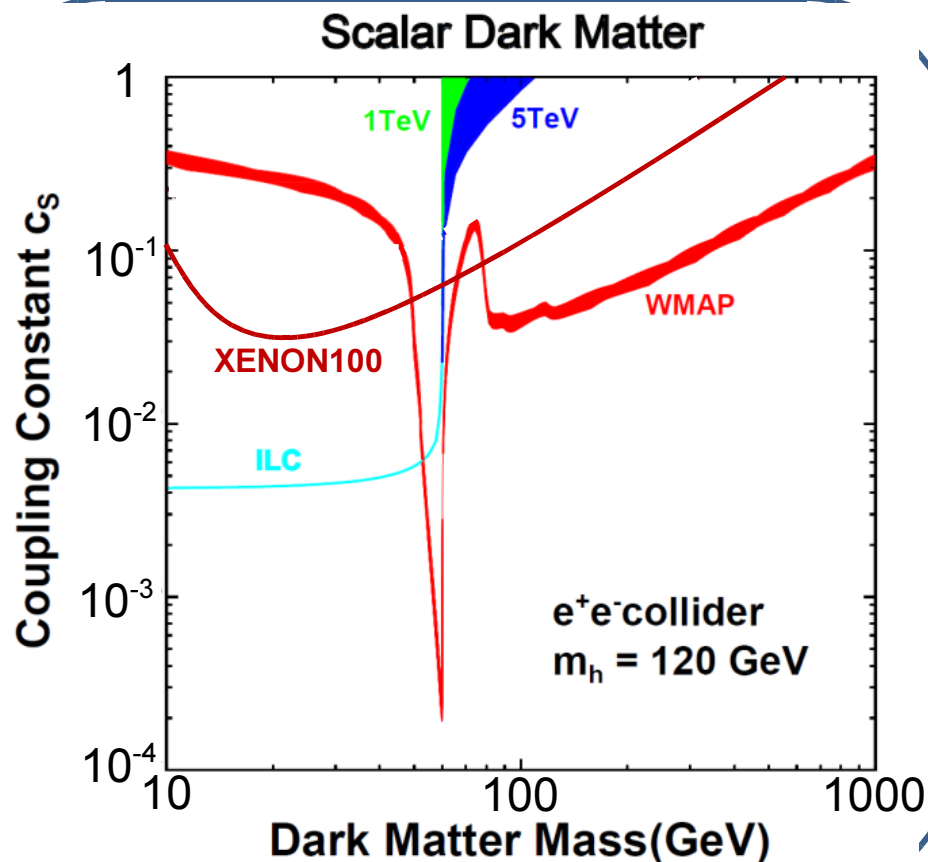
ヒッグスポータル暗黒物質が、 $\sqrt{s} = 1$  TeVの線形加速器で、積分ルミノシティを $1ab^{-1}$ ためた時に $3\sigma$  C.L.で検証可能な領域。

ヒッグスポータル暗黒物質が、 $\sqrt{s} = 5$  TeVの線形加速器で、積分ルミノシティを $1ab^{-1}$ ためた時に $3\sigma$  C.L.で検証可能な領域。



S. Kanemura et. al. Phys.Lett. B701 (2011) 591-596

暗黒物質がベクトルの場合、ヒッグスが暗黒物質に崩壊不可能な領域でも $\sqrt{s}=5\text{TeV}$ の線形加速器を用いれば、 $3\sigma\text{C.L.}$ 以上で検証できる可能性がある。



S. Kanemura et. al. Phys.Lett. B701 (2011) 591-596

暗黒物質がスカラー、フェルミオンの場合、ヒッグスが暗黒物質に崩壊不可能な領域では加速器実験での検証は難しい。



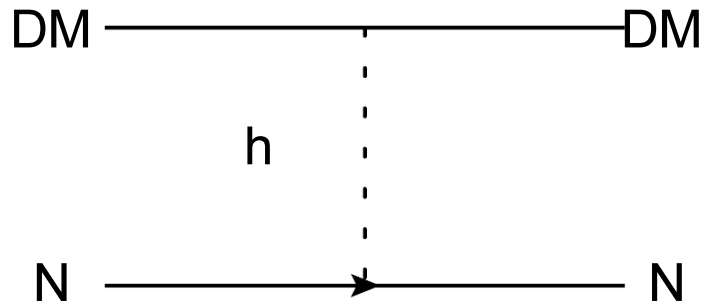
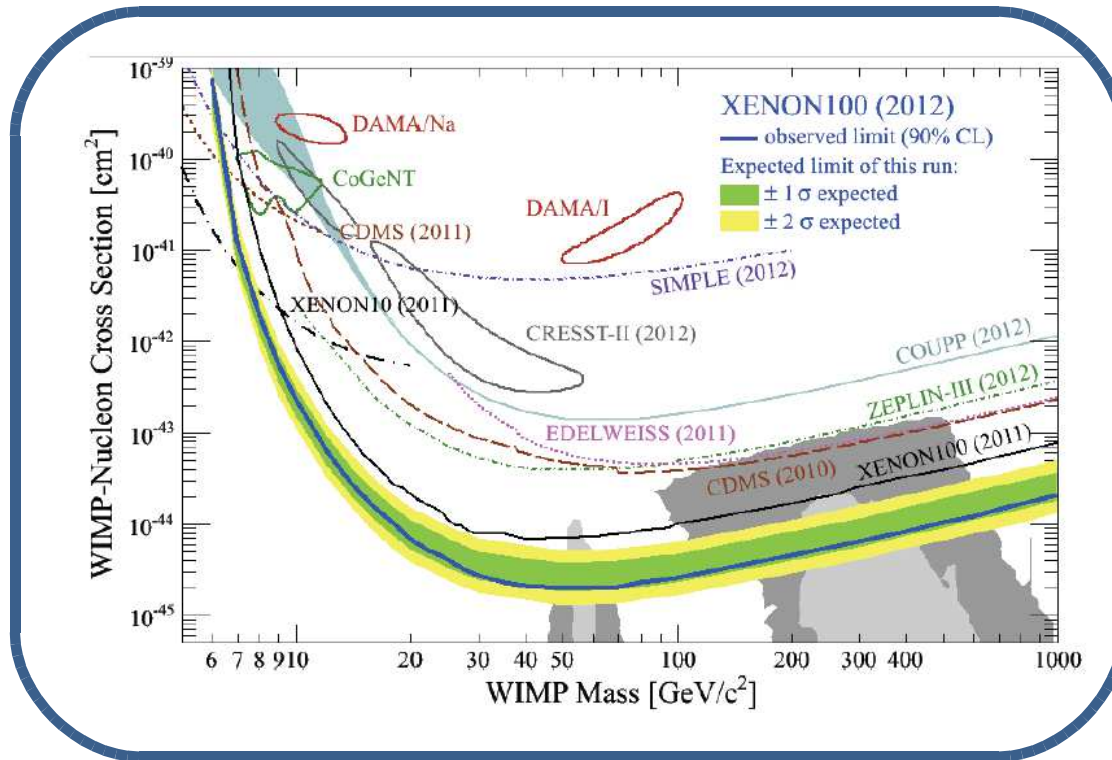
# 3. Conclusion

14/14

- ① ヒッグスポータル暗黒物質について考えた。
- ② ヒッグスポータル暗黒物質は、ヒッグスが暗黒物質に崩壊可能であれば、広い質量領域で加速器で検証できる。
- ③ ヒッグスが暗黒物質に崩壊不可能な場合、**暗黒物質がベクトルであれば、 $\sqrt{s}=5\text{TeV}$ の線形加速器で $3\sigma\text{C.L.}$ 以上で検証できる可能性があるが、スカラー、フェルミオンの場合検証は難しい。**
- ④ **このような暗黒物質は将来の直接検出実験、加速器実験で検証される可能性がある。**

# 2.Higgs portal

## Direct detection

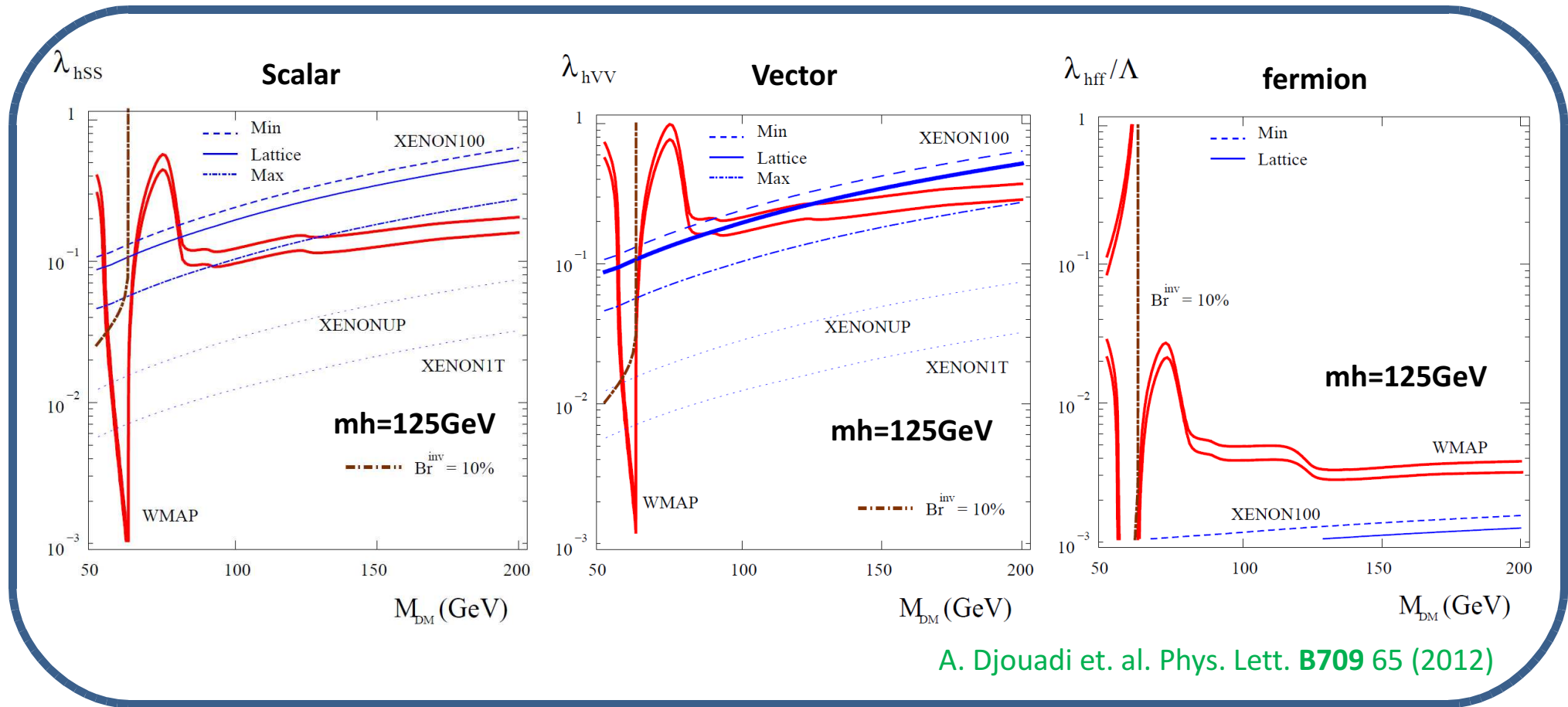


$$\sigma_{S-N}^{SI} = \frac{\lambda_{hSS}^2}{16\pi m_h^4} \frac{m_N^4 f_N^2}{(M_S + m_N)^2},$$

$$\sigma_{V-N}^{SI} = \frac{\lambda_{hVV}^2}{16\pi m_h^4} \frac{m_N^4 f_N^2}{(M_V + m_N)^2},$$

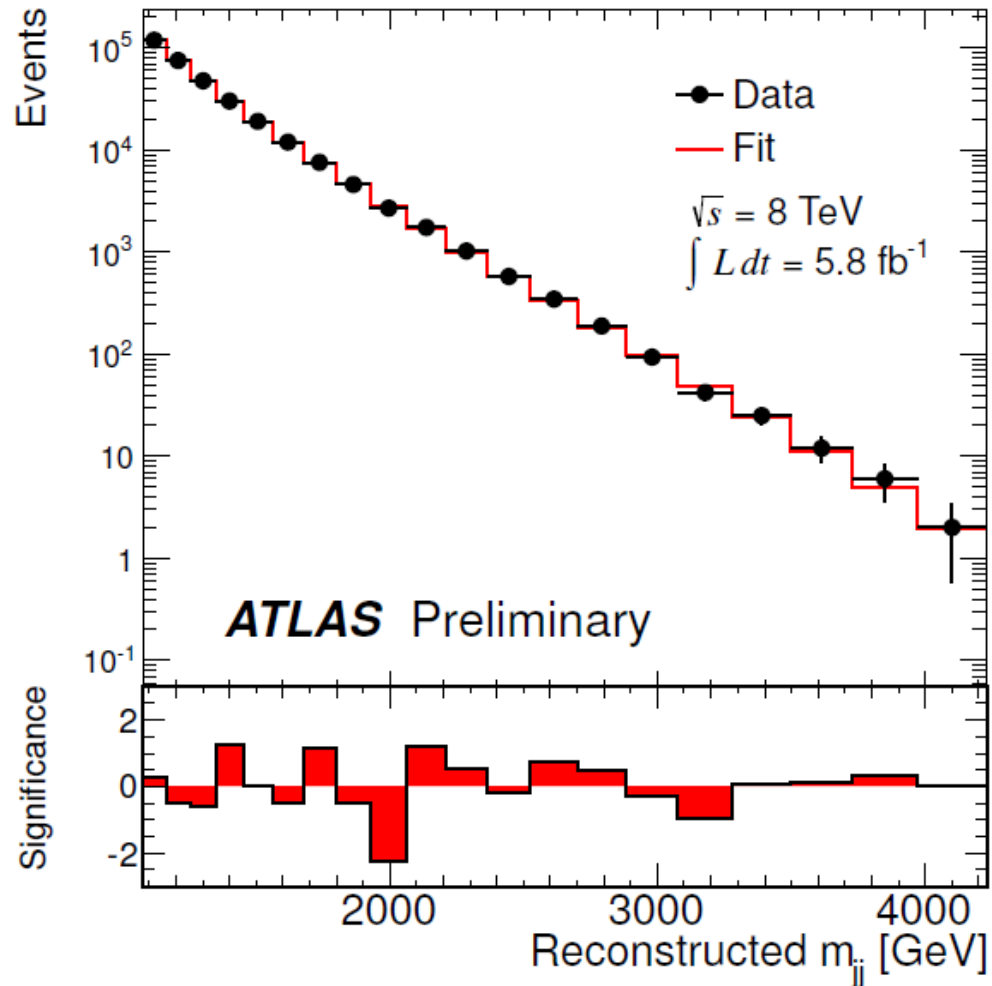
$$\sigma_{f-N}^{SI} = \frac{\lambda_{hff}^2}{4\pi \Lambda^2 m_h^4} \frac{m_N^4 M_f^2 f_N^2}{(M_f + m_N)^2},$$

# 2.Higgs portal



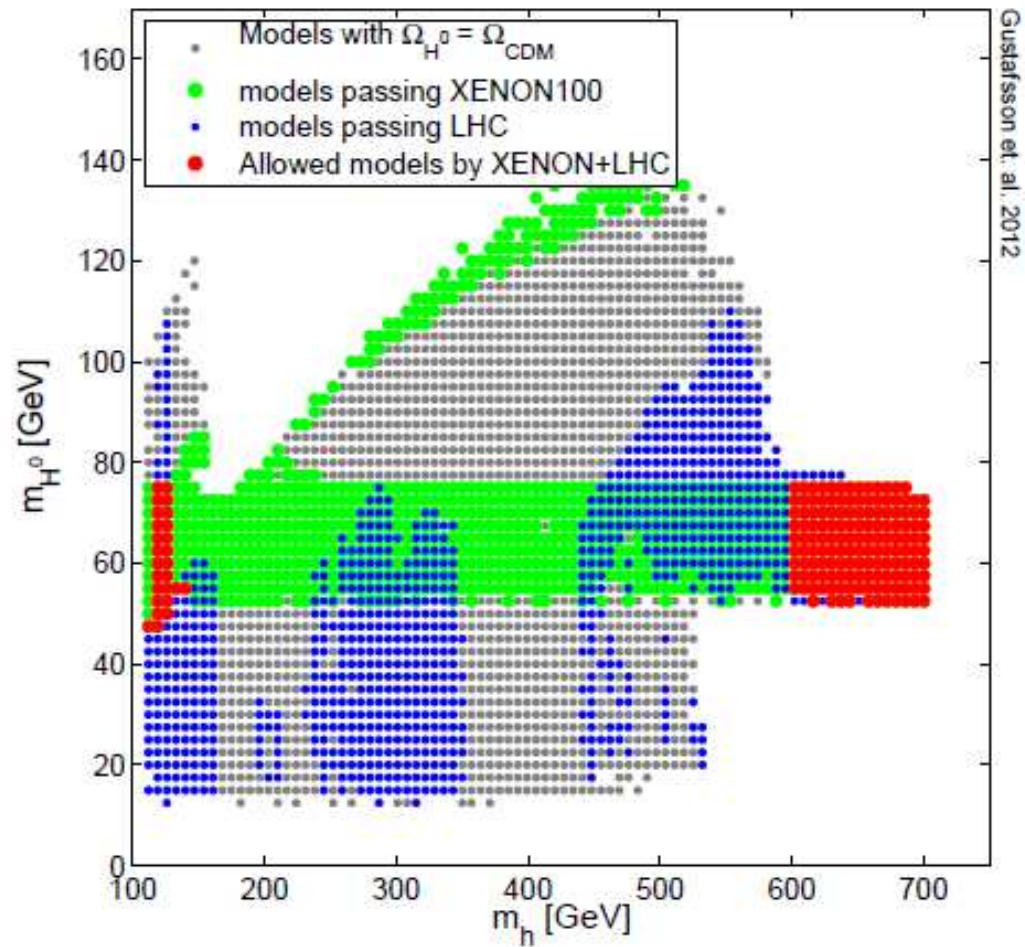
**XENON100からの制限が強力。**  
**暗黒物質がフェルミオンの場合、**  
**その質量は $m_h/2$ 付近。**  
**直接検出実験では広い領域をカバー。**

# 1.Introduction



ATLAS-CONF-2012-088

現在のところLHCでヒッグス粒子らしき  
シグナル以外はまだ報告されていない



Gustafsson et. al. 2012

M. Gustafsson et. al. arXiv:1206.6316