

ヒッグスポータル暗黒物質と 次世代線形加速器における検証可能性

arXiv:1102.5147

鍋島 偉宏 富山大学

collaborators

兼村 晋哉 (富山大学)

松本 重貴 (IPMU)

谷口 裕之 (富山大学)

Contents

1.Introduction

2.Setup

**3.Prospect at a TeV
scale linear collider**

4.Summary

1.Introduction

SMの問題点

標準模型は非常に成功した模型であるが
いくつかの問題点も知られている

- ・ヒエラルキー問題
 - ・暗黒物質問題
 - ・ニュートリノ微小質量問題
- などなど……

1.Introduction

SMの問題点

標準模型は非常に成功した模型であるが
いくつかの問題点も知られている

- ・ヒエラルキー問題
- ・暗黒物質問題
- ・ニュートリノ微小質量問題
- などなど……

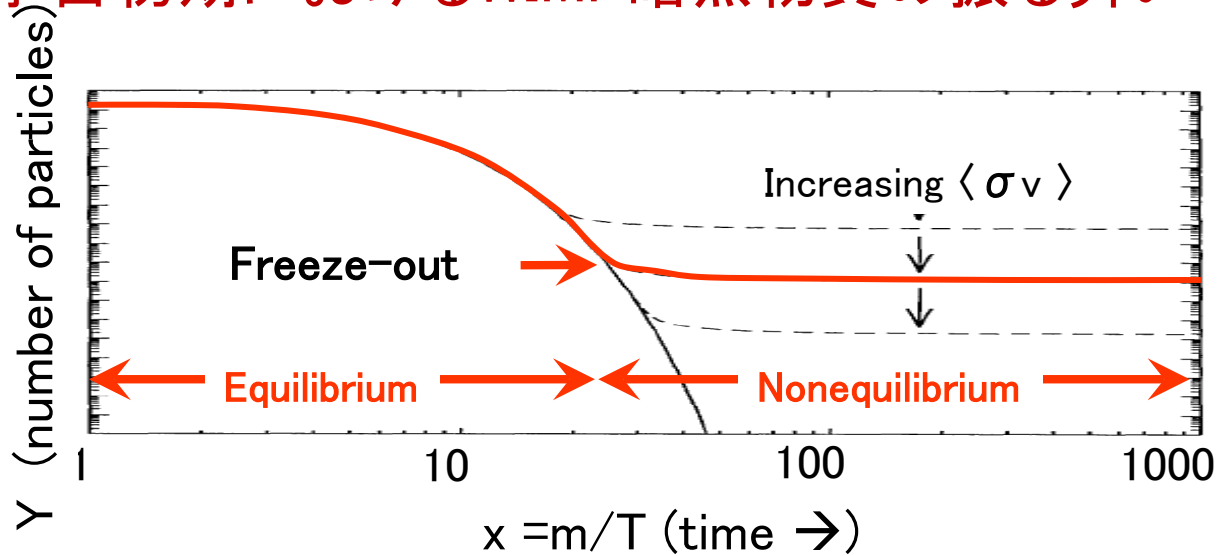
特に暗黒物質問題はTeVスケールの物理
と深い関係があると期待されている

1.Introduction

WIMP暗黒物質シナリオ

暗黒物質がWIMPであるとする
自然に残存量を説明可能！

宇宙初期におけるWIMP暗黒物質の振る舞い



1.Introduction

WIMP暗黒物質シナリオ

Boltzmann equation \rightarrow

$$\Omega_{\text{DM}}h^2 \simeq \frac{0.1\text{pb} \cdot c}{\langle\sigma v\rangle} \quad \langle\sigma v\rangle \sim \alpha^2/m^2, \alpha \sim g^2/4\pi$$

The WMAP experiment \rightarrow

$$\Omega_{\text{DM}}h^2 = 0.1126 \pm 0.0036 \rightarrow \langle\sigma v\rangle \sim 1 \text{ pb}$$



$$g = 0.1-1 \rightarrow m = 10 \text{ GeV}-1\text{TeV}!$$

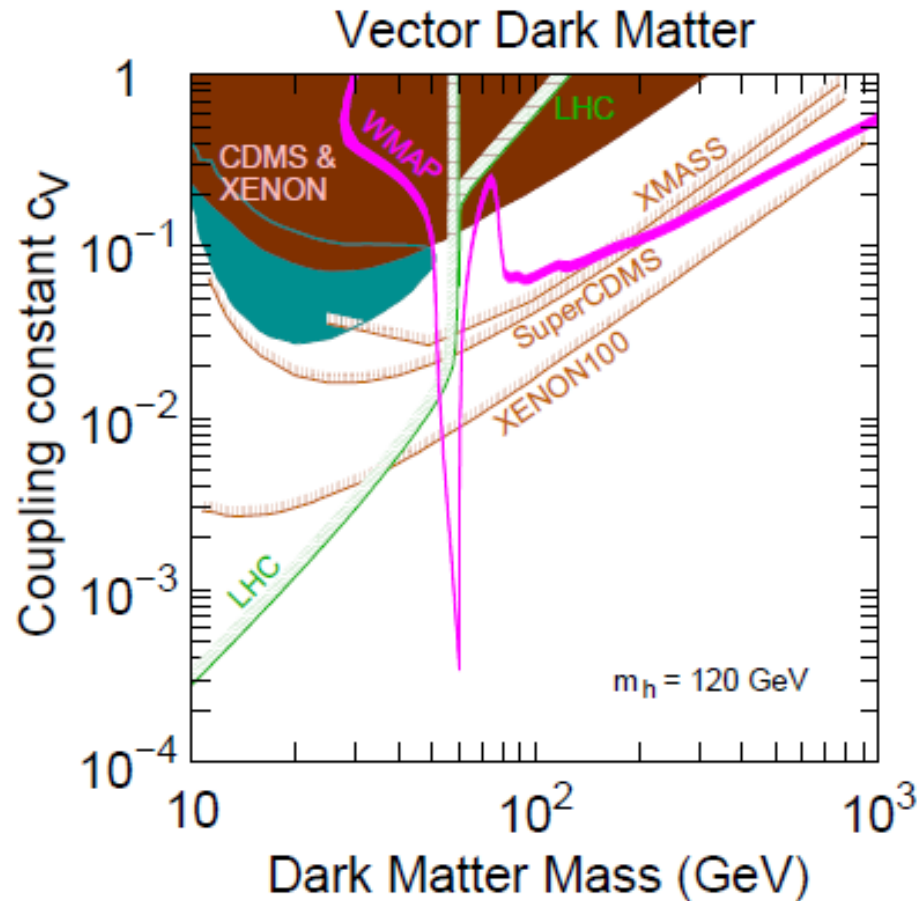
ヒッグスボソン (h)、暗黒物質 (DM)
間の深い関係を示唆している。。



DM-DM-h結合は重要!

1.Introduction

DM-DM-h結合(LHC)

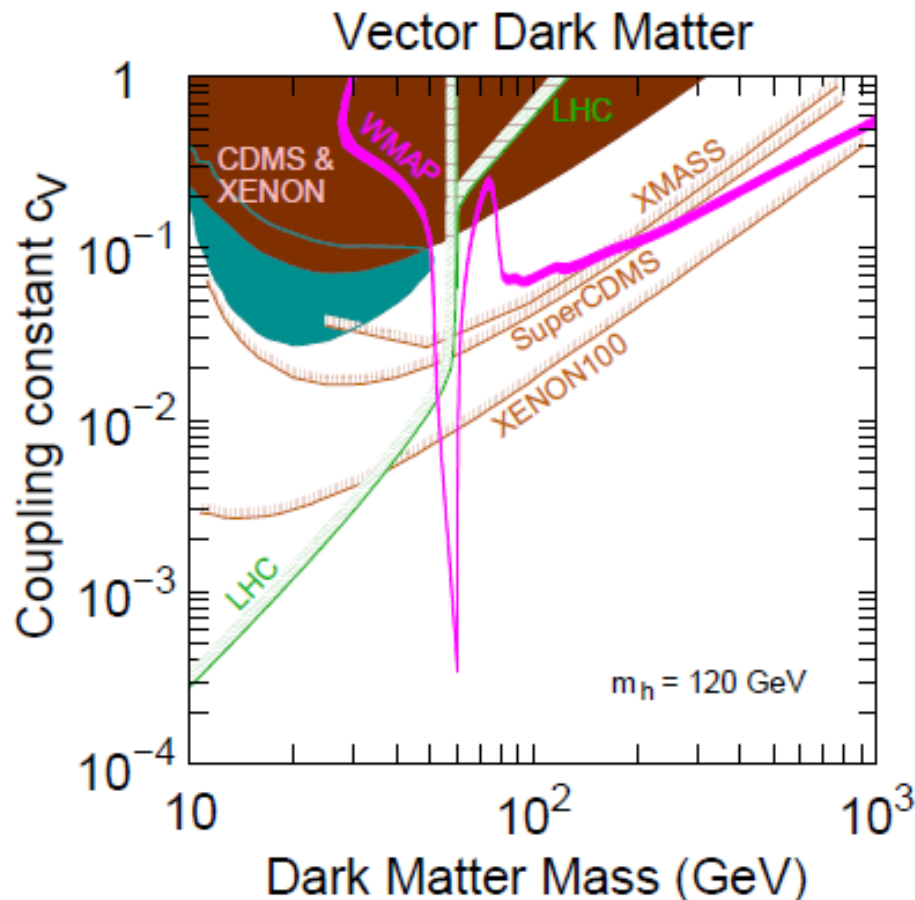


[S. Kanemura *et.al.*
Phys. Rev. D 82 (2010)]

WMAPの結果を再現する領域 (95% C.L).
LHCにおいて検証可能な領域 (95% C.L)

1.Introduction

DM-DM-h結合(LHC)



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

LHCではヒッグスボソンが暗黒物質対に崩壊できない領域において検証が困難……

Motivation

- 暗黒物質がWIMPである場合、その質量はおおよそ電弱スケールにあると見積もられ、暗黒物質とヒッグスボソンには深い関係があると示唆される。このことからDM-DM-h結合は重要である!
- しかしながら、ヒッグスボソンが暗黒物質対に崩壊不可能な場合、LHCにおいて暗黒物質を検証することは難しい……



ヒッグスボソンが暗黒物質対に崩壊不可能な領域において、ILC、CLIC等の次世代線形加速器でのDM-DM-h結合の検証可能性を調べる!

2.Set up

暗黒物質の対称性

- 暗黒物質が標準模型のゲージ対称性に対してシングレットな場合を考える。
- 暗黒物質の安定性を Z_2 対称性で保証。

Three possible cases for spin of DM

	Spin	DM Field	Comments
Case S	0	$\phi(x)$	Neutral scalar
Case F	1/2	$\chi(x)$	Majorana fermion
Case V	1	$V_\mu(x)$	Neutral vector



$$|H|^2 \phi^2, \quad |H|^2 \bar{\chi} \chi, \quad |H|^2 V_\mu V^\mu$$

2.Set up

Lagrangian

m_{DM} スケールでのLagrangianは以下の通り

$$\mathcal{L}_S = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \frac{1}{2}(\partial\phi)^2 - \frac{M_S^2}{2}\phi^2 - \frac{c_S}{2}|H|^2\phi^2 - \frac{d_S}{4!}\phi^4,$$

$$\mathcal{L}_F = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \frac{1}{2}\bar{\chi}(i\not{\partial} - M_F)\chi - \frac{c_F}{2\Lambda}|H|^2\bar{\chi}\chi - \frac{d_F}{2\Lambda}\bar{\chi}\sigma^{\mu\nu}\chi B_{\mu\nu},$$

$$\mathcal{L}_V = \mathcal{L}_{\text{SM}} - \frac{1}{4}V^{\mu\nu}V_{\mu\nu} + \frac{M_V^2}{2}V_\mu V^\mu + \frac{c_V}{2}|H|^2V_\mu V^\mu - \frac{d_V}{4!}(V_\mu V^\mu)^2,$$

$\mathcal{L}_S(\mathcal{L}_V)$ の最終項は自己相互作用。

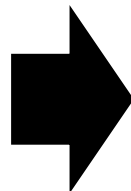
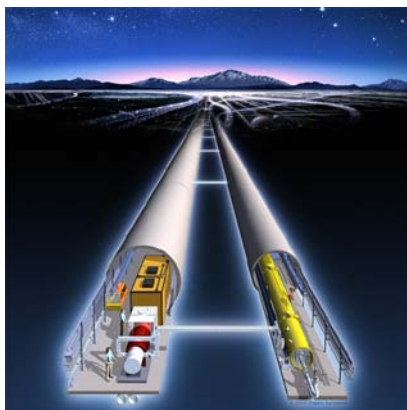
\mathcal{L}_F の最終項はloopでしか寄与しない



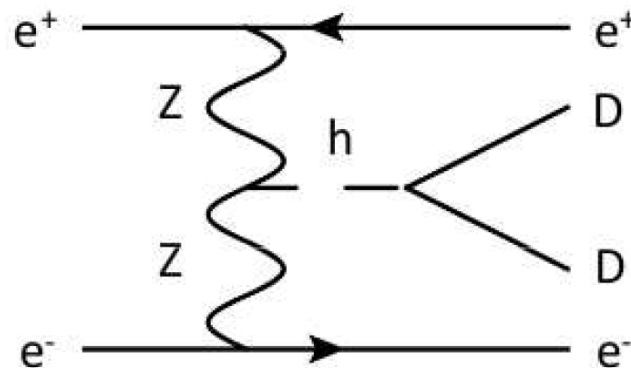
**暗黒物質はヒッグスボソンを介してのみ
標準模型粒子と相互作用する!**

3. Prospect at a TeV scale linear collider

process



Z boson fusion process



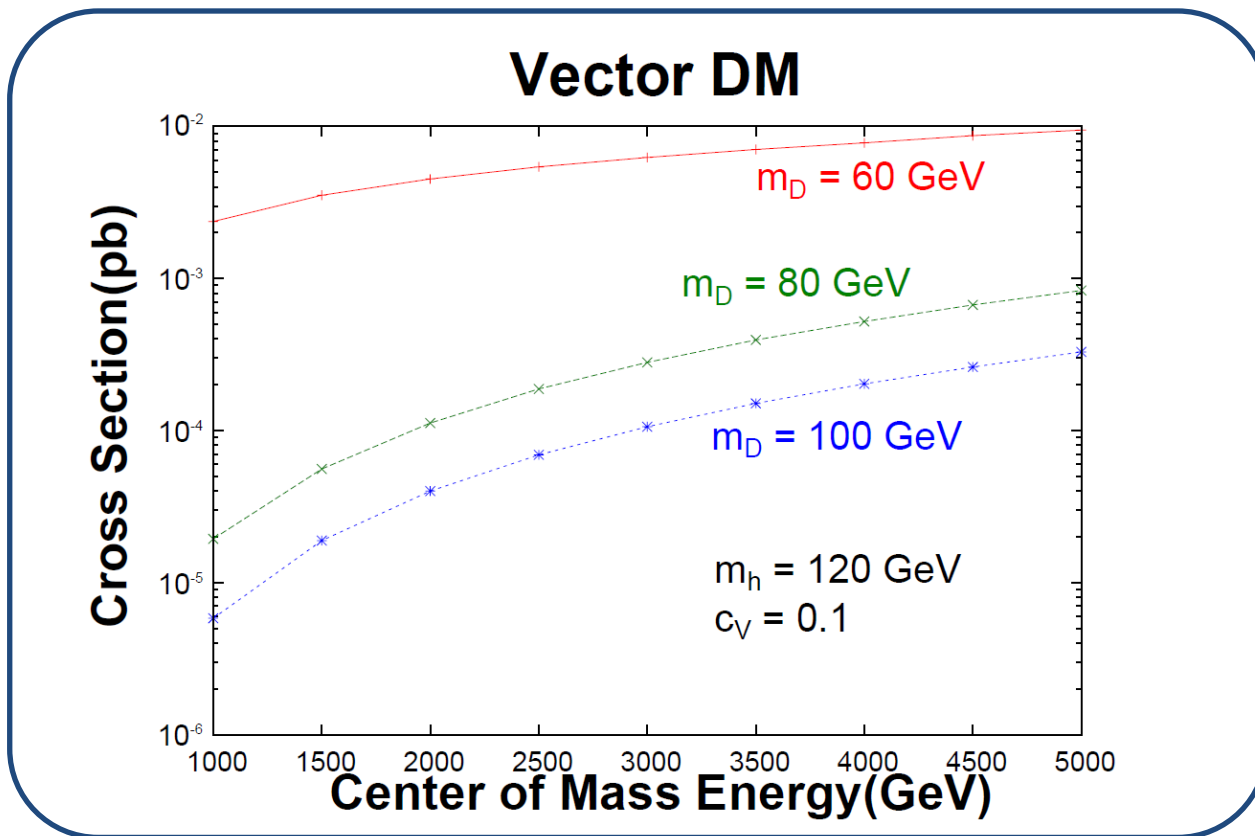
ILC ($\sqrt{s} = 1 \text{ TeV}$), CLIC ($\sqrt{s} = 5 \text{ TeV}$)
は高エネルギーを扱う線形加速器



Z boson fusion 過程が有用。

3. Prospect at a TeV scale linear collider

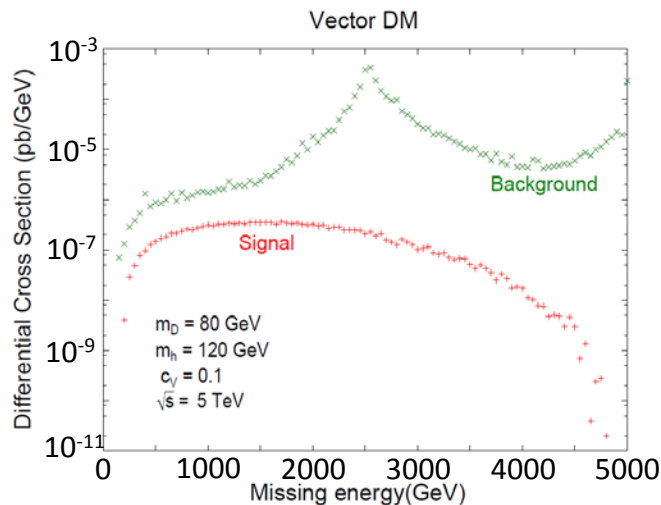
シグナル断面積



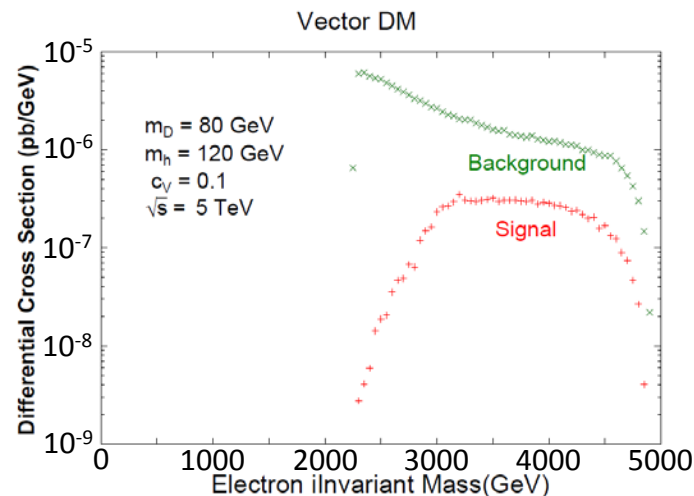
大きな衝突エネルギーであるほど
シグナルの断面積が大きくなる!

3. Prospect at a TeV scale linear collider

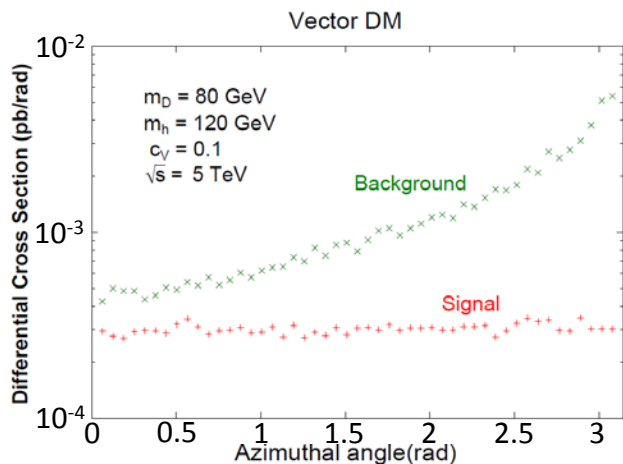
カット



$E_{inv} < 2000$ GeV



$M_{ee} > 3000$ GeV



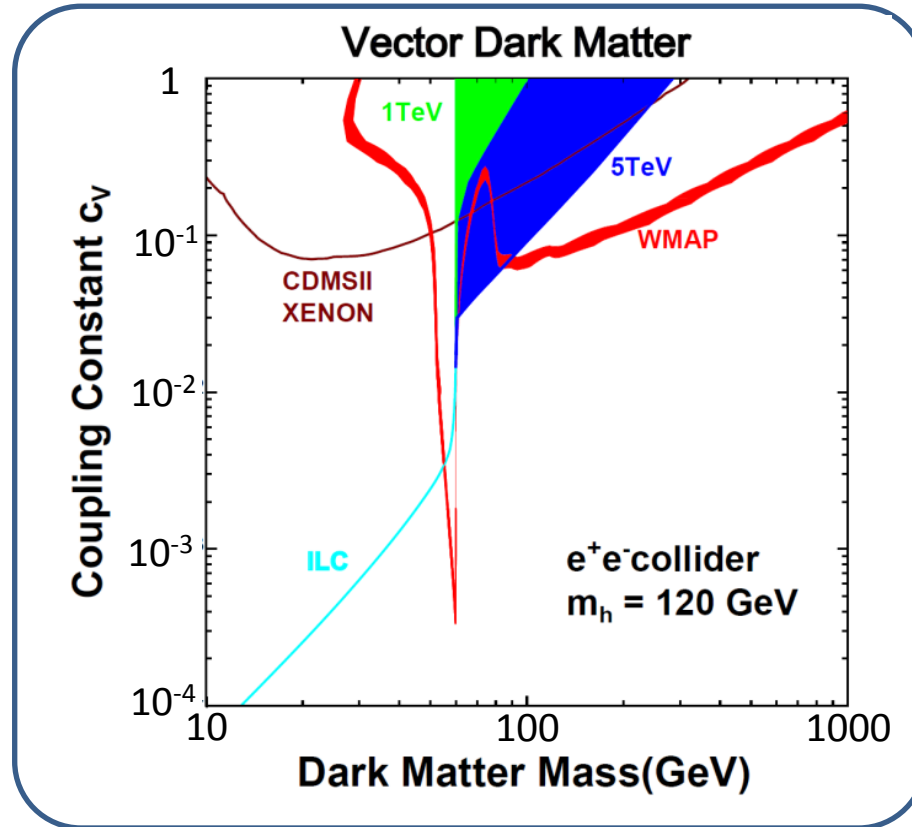
$\phi < 2.3$

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

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

バックグラウンドを大きく抑制できる!

Results

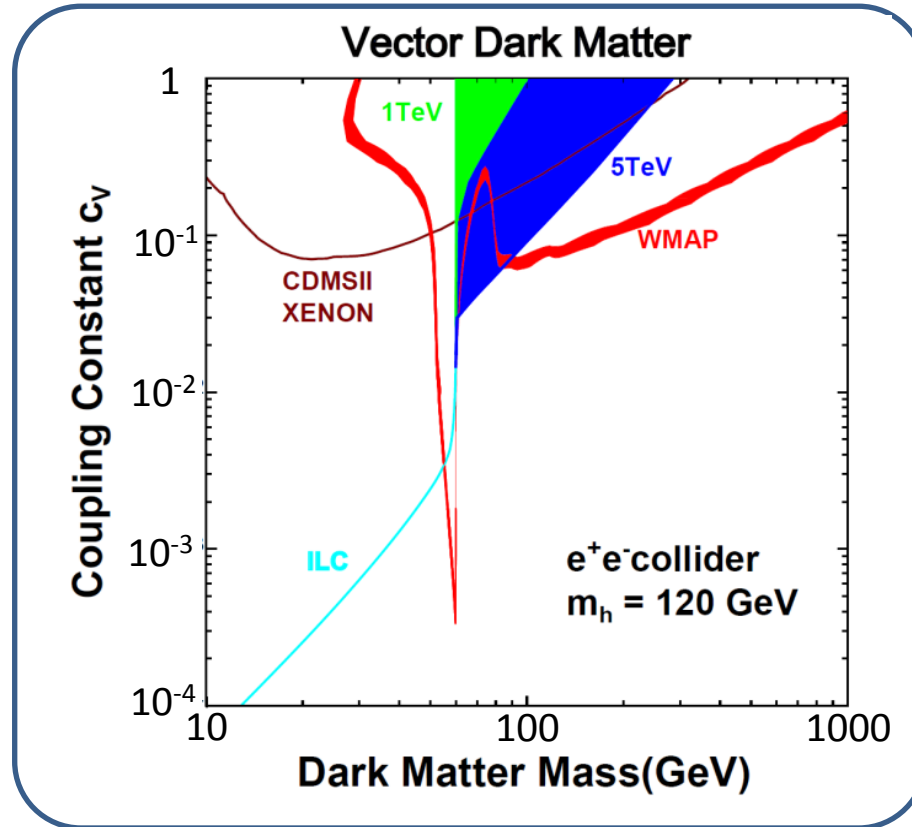


WMAP実験を満たす領域 (3σ).

直接検出実験で制限されている領域 (90%)

ILCで検証可能な領域($\sqrt{s} = 350$ GeV with 500fb^{-1} 3σ)

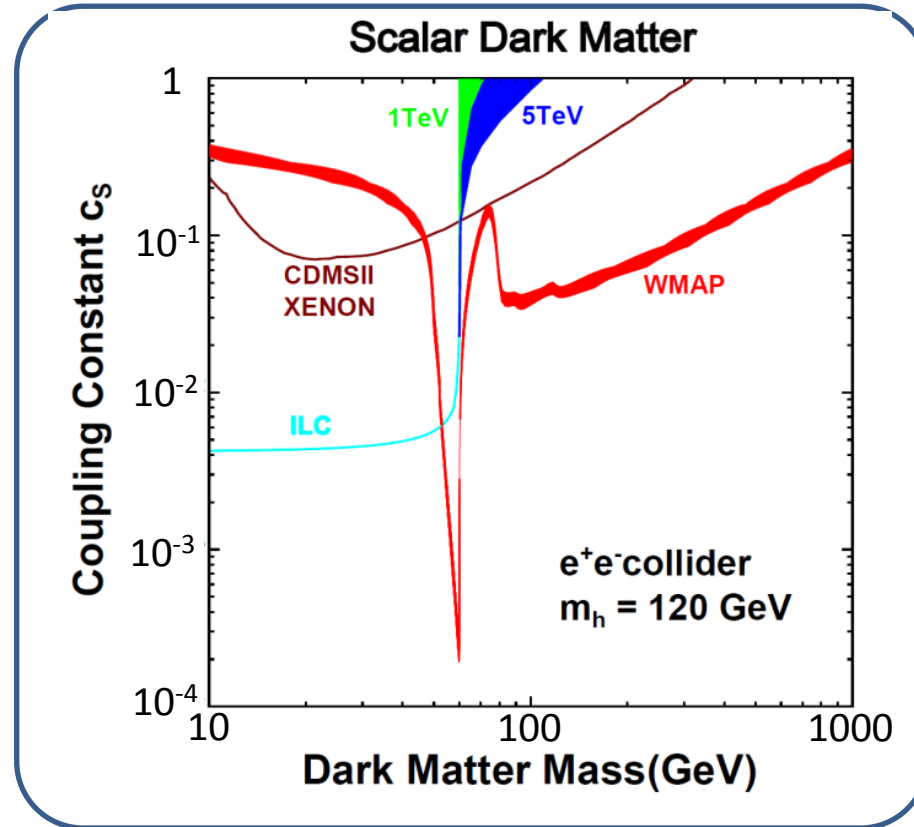
Results



$\sqrt{s} = 1$ TeV の線形加速器で検証可能な領域($1ab^{-1} 3\sigma$).

$\sqrt{s} = 5$ TeV の線形加速器で検証可能な領域($1ab^{-1} 3\sigma$).

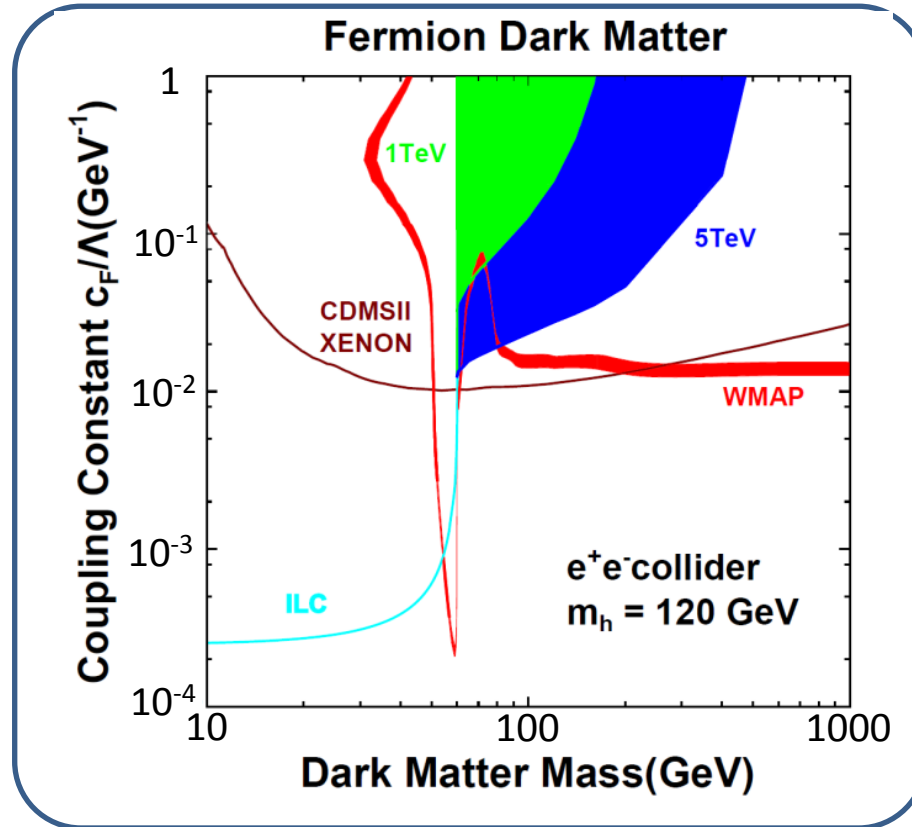
Results



$\sqrt{s} = 1$ TeV の線形加速器で検証可能な領域(1ab^{-1} 3σ).

$\sqrt{s} = 5$ TeV の線形加速器で検証可能な領域(1ab^{-1} 3σ).

Results



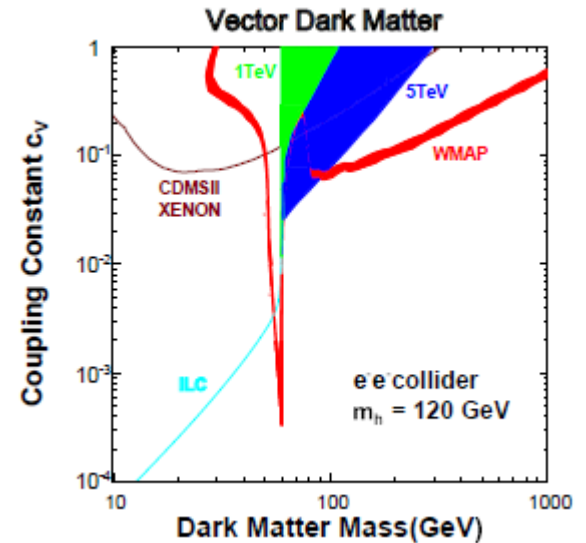
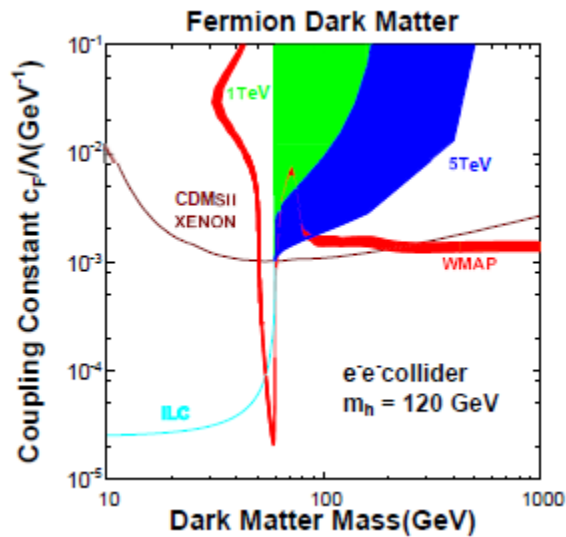
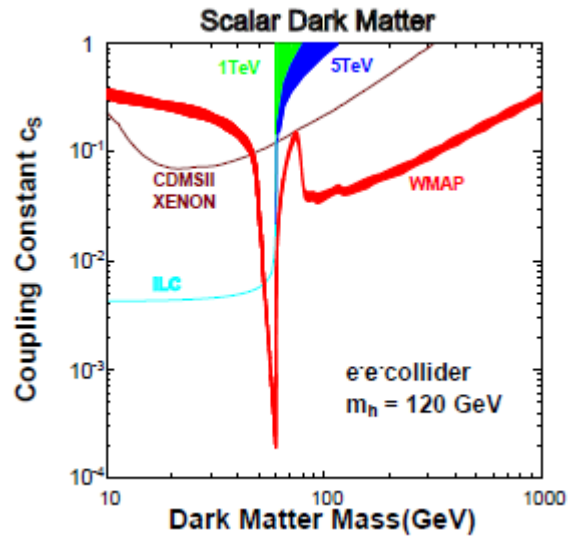
$\sqrt{s} = 1 \text{ TeV}$ の線形加速器で検証可能な領域($1\text{ab}^{-1} 3\sigma$).

$\sqrt{s} = 5 \text{ TeV}$ の線形加速器で検証可能な領域($1\text{ab}^{-1} 3\sigma$).

4. Summery

- ① ヒッグスボソンが暗黒物質対に崩壊できない領域でのヒッグスポータル暗黒物質のTeVスケール線形加速器(ILC and CLIC)における検証可能性を考えた。
- ② 暗黒物質がフェルミオンあるいはベクトルの場合、 $\sqrt{s} = 5 \text{ TeV}$ の線形加速器において、その質量が100 GeV付近までシグナルを検出可能。
- ③ **暗黒物質の質量が重く、ヒッグスボソンが暗黒物質対に崩壊できない領域である場合、 $\sqrt{s} = 5 \text{ TeV}$ の線形加速器は $\sqrt{s} = 1 \text{ TeV}$ のものとは比べ、ヒッグスポータル暗黒物質の検証に役立つ。**

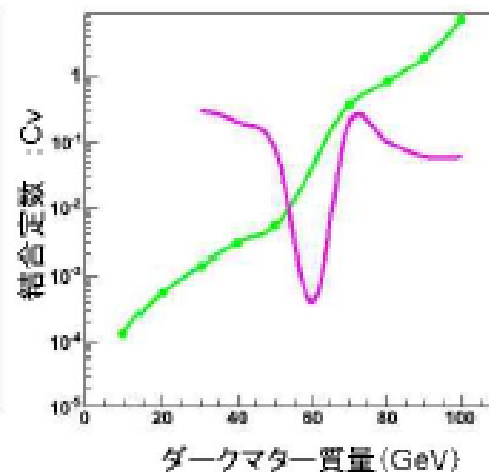
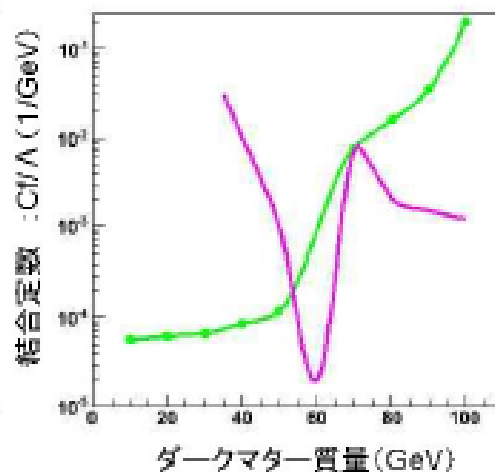
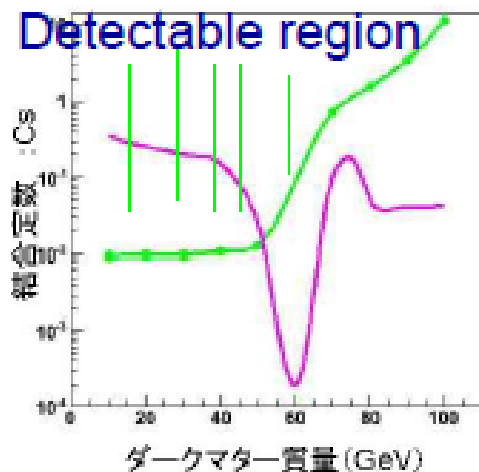
e^-e^- collider



The results are very similar to those for the e^+e^- collision.

Results

Green line : ilc upper limit



The region above green line, the Higgs portal dark matter can be explored at 90% C.L. at $\sqrt{s} = 300$ GeV collider with $2ab^{-1}$ data.