

# 高エネルギーガンマ線観測による 暗黒物質間接探査

宇宙線研究所

修士一年 櫻井駿介

第一回B,E班合同若手研究会

@神戸大学 百年記念館

# 目次

主に暗黒物質間接探査の現状、課題、将来  
について話します。

- ・ 直接探査、加速器実験との比較
- ・ ガンマ線観測で探る暗黒物質
- ・ 間接探査における観測対象
- ・ 間接探査の現状と課題
- ・ 暗黒物質検出に向けて：Cherenkov Telescope Array
- ・ CTAによる間接探査の将来予想

# 暗黒物質間接探査の意義

## 直接探査

軽め暗黒物質( $\sim$ GeV)に関して感度有

$m_{\text{DM}}$ の増加に対して検出数減

クォーク, H, Z等との相互作用で検出

## 加速器

重い暗黒物質に関して大型化必須

ハドロン衝突: クォーク同士  $\sim$ TeV

レプトン衝突: レプトン同士

の相互作用が暗黒物質に必要

あるエネルギーに注目して探索可

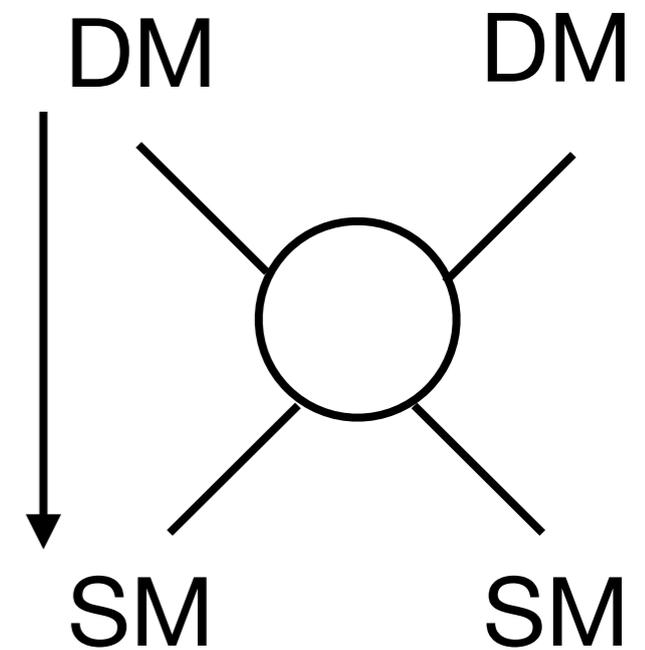
## 間接探査は...

通常物質との相互作用の形によらない(右図)

比較的重い領域  $\sim 100$  GeV -  $\sim 10$  TeV の探査が可能

一方で...低エネルギー $<10$ GeV は苦手

直接探査および加速器による探査と並行して行うべき!



# ガンマ線観測で探る暗黒物質

主にWIMP

現在の宇宙論パラメータ観測値  $\Omega_{\text{DM}}h^2 = 0.12$

宇宙論からの予想値  $\Omega_{\text{CDM,pre}}h^2 = 0.1 \times (10^{-9} \text{ GeV}^{-2} / \langle \sigma v \rangle)$

対消滅断面積に制限

素粒子論的に対消滅断面積は

$$\langle \sigma v \rangle \sim \pi a / m_{\text{DM}}^2$$

もし  $m_{\text{DM}} = 100 \text{ GeV} \sim 10 \text{ TeV}$  かつ  $a \sim 10^{-2}$  なら

相互作用の大きさ 弱い相互作用程度の大きさ

最終的な電磁波のエネルギー ガンマ線の領域

具体的なモデル EWIMPとか

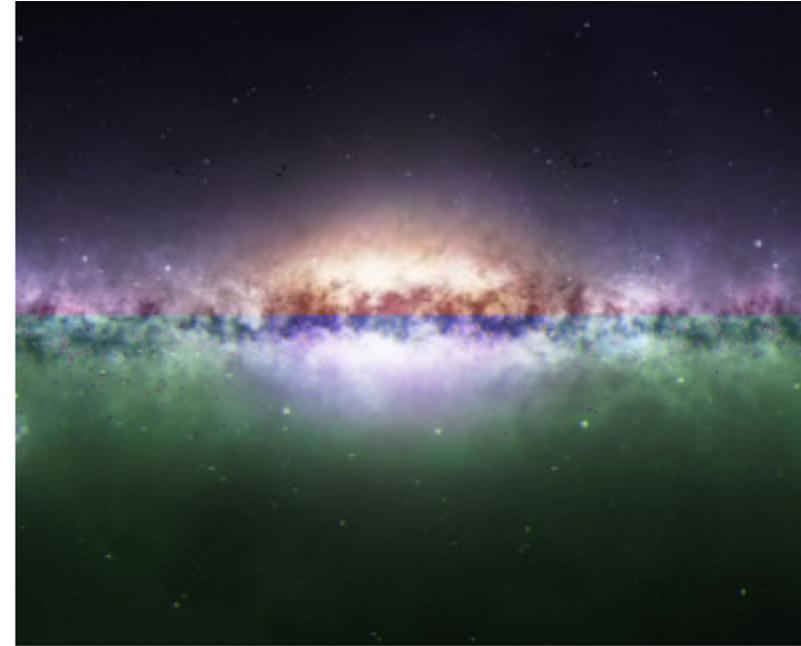
# 暗黒物質探査における観測対象の比較

## 主な対象

矮小楕円体銀河



天の川銀河中心



メリット 低バックグラウンド  
構成のほとんどが  
暗黒物質

デメリット 観測に時間が必要

共通していること

暗黒物質の密度分布に不定性がある

メリット 統計量が多い

デメリット バックグラウンドモデル  
の不定性

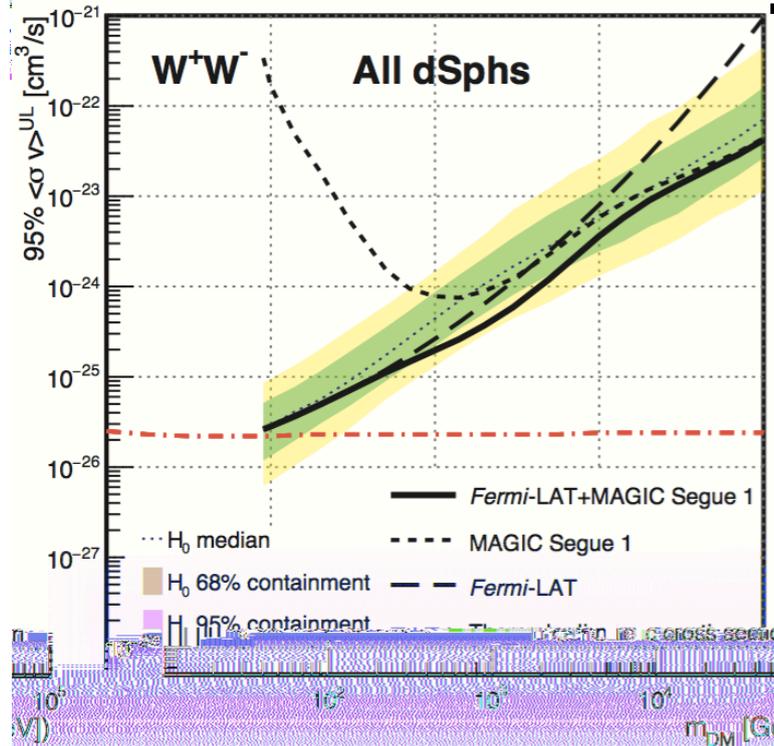
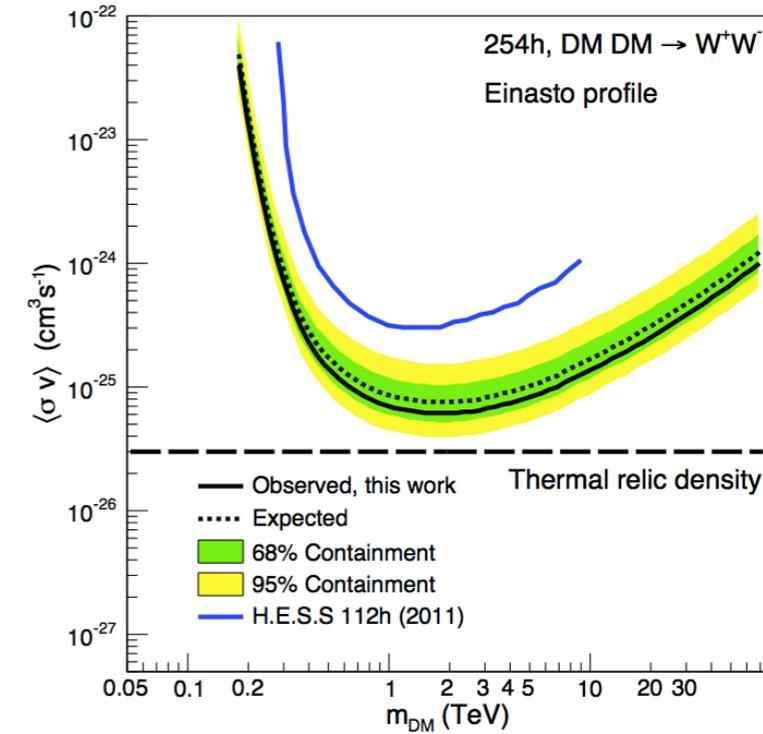
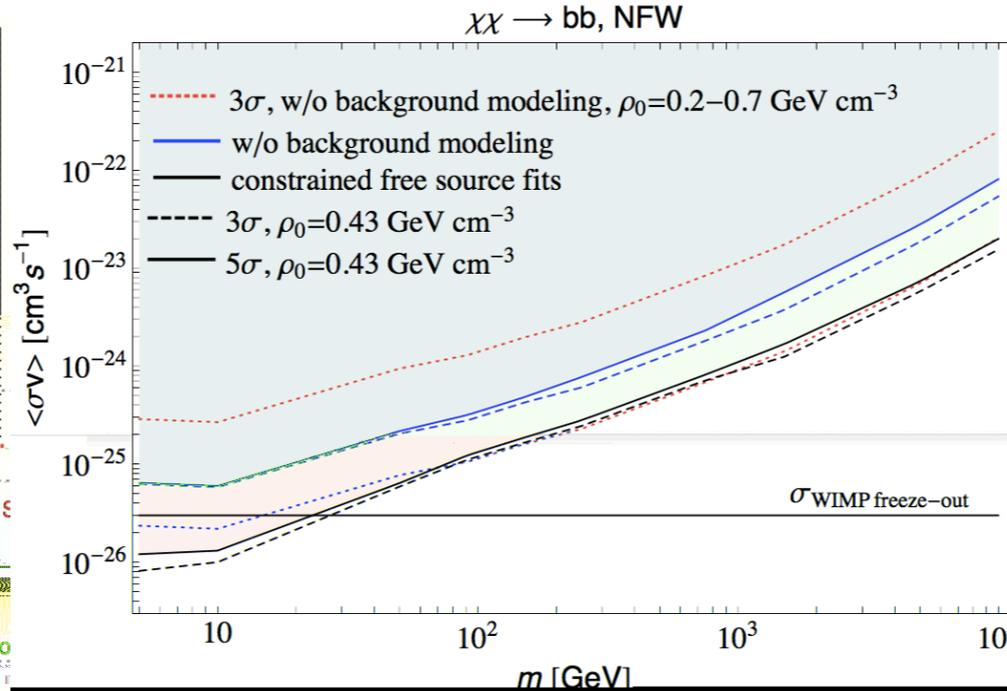
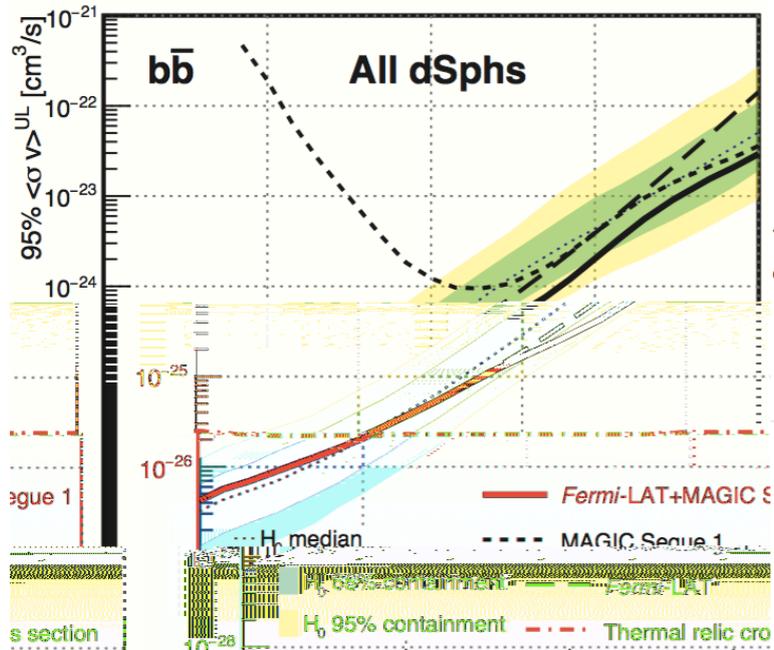
相補的に観測していく事が必要

# 暗黒物質間接探査の現状

矮小楕円体銀河

天の川銀河中心

対消滅断面積



arXiv:1205.6474

arXiv:1607.08142

arXiv:1601.06590

~100 GeVまではFermiにより  
強い制限あり  
TeV領域では  
感度を上げた観測必須

# 間接探査における課題

観測されるガンマ線の頻度

密度分布に強く依存

$$\frac{d\Phi(\Delta\Omega, E_\gamma)}{dE_\gamma} = R_{\text{ann}} \cdot \underbrace{\frac{1}{4\pi} \frac{(\sigma_{\text{ann}} v)}{2m_\chi^2}}_{\text{Particle physics}} \cdot \underbrace{\nabla_{\text{RR}} \frac{dN_\gamma^i}{dE_\gamma}}_{\text{Astrophysics}} \cdot \tilde{I}(\Delta\Omega)$$

$$\tilde{J} = \int_{\Delta\Omega} d\Omega \int_{\text{los}} ds \rho^2(s, \Omega).$$

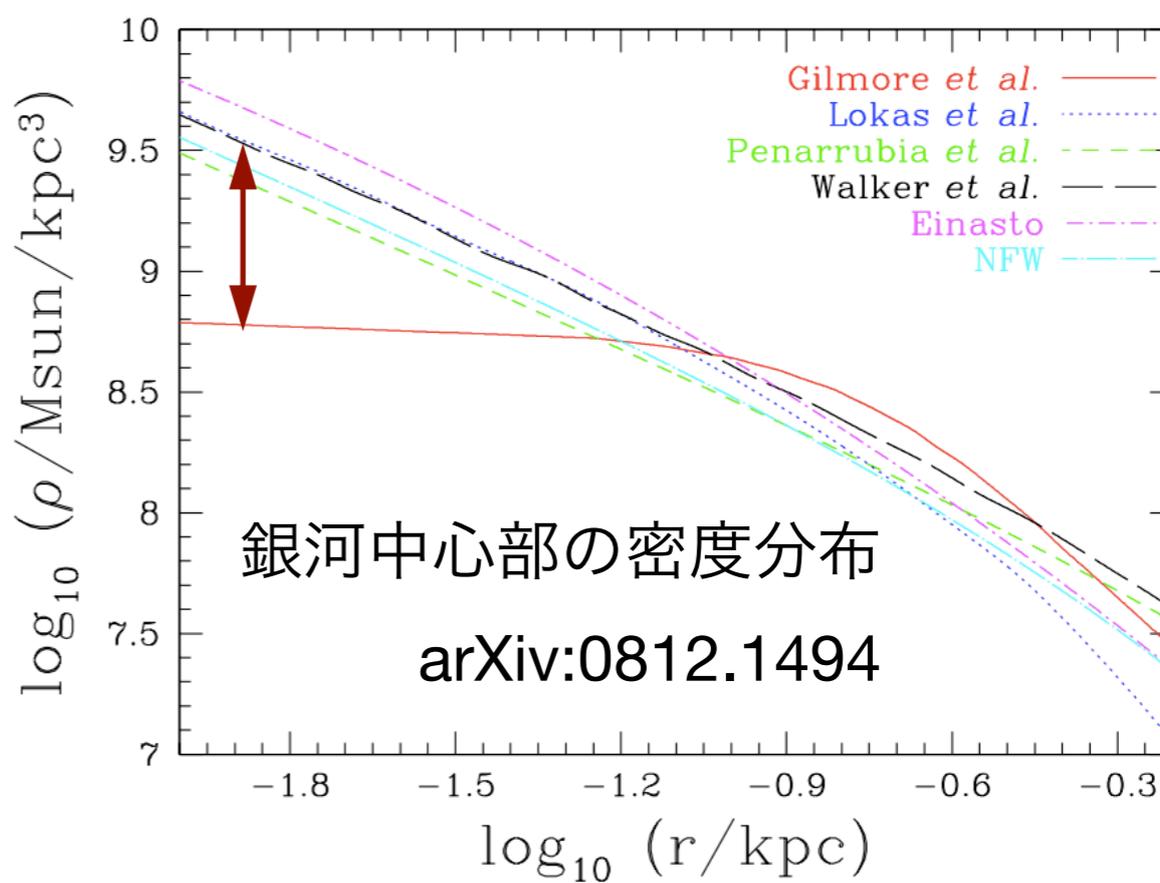
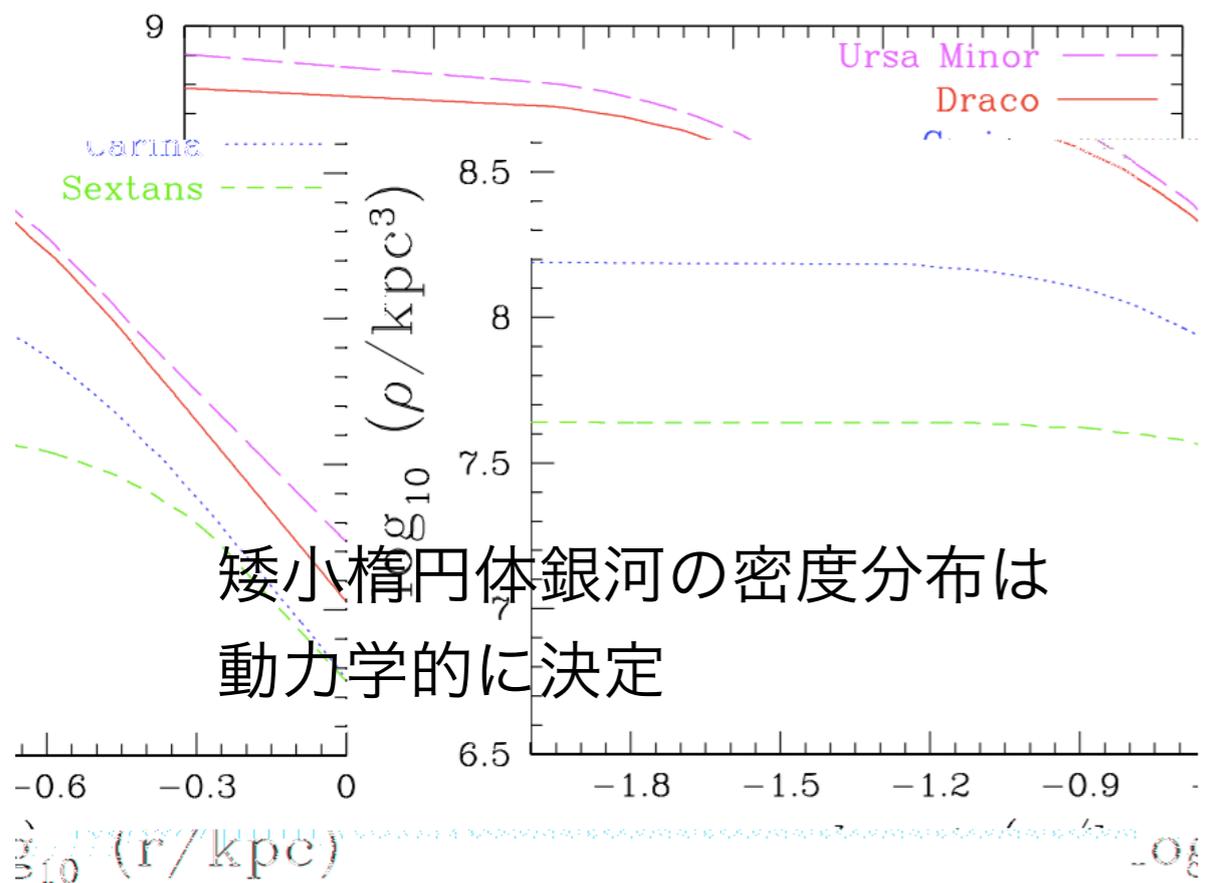
観測量

素粒子物理から決定

暗黒物質の分布 (可視光等により決定)

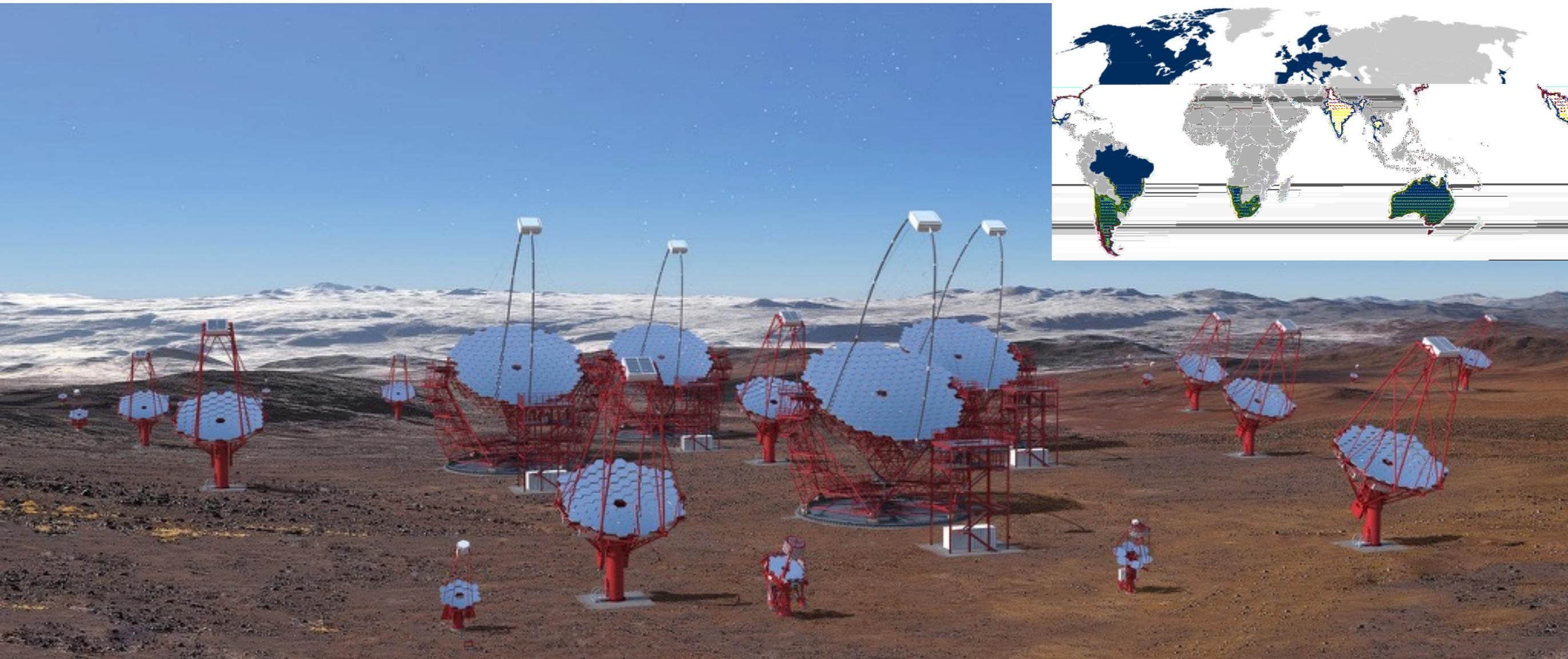
暗黒物質の分布の不定性

非常に大きな不定性あり



矮小楕円体銀河、銀河中心共に分布を正確にする研究が進んでいる。

# 暗黒物質検出に向けて Cherenkov Telescope Array



Credit : CTA consortium

現在建設中の次世代地上ガンマ線望遠鏡

世界32カ国1350以上の科学者が参加

日本からは28の大学、研究機関が参加

日本は、基礎物理、  
大口径望遠鏡(カメラ、鏡)、  
小口径望遠鏡(カメラ)などを担当

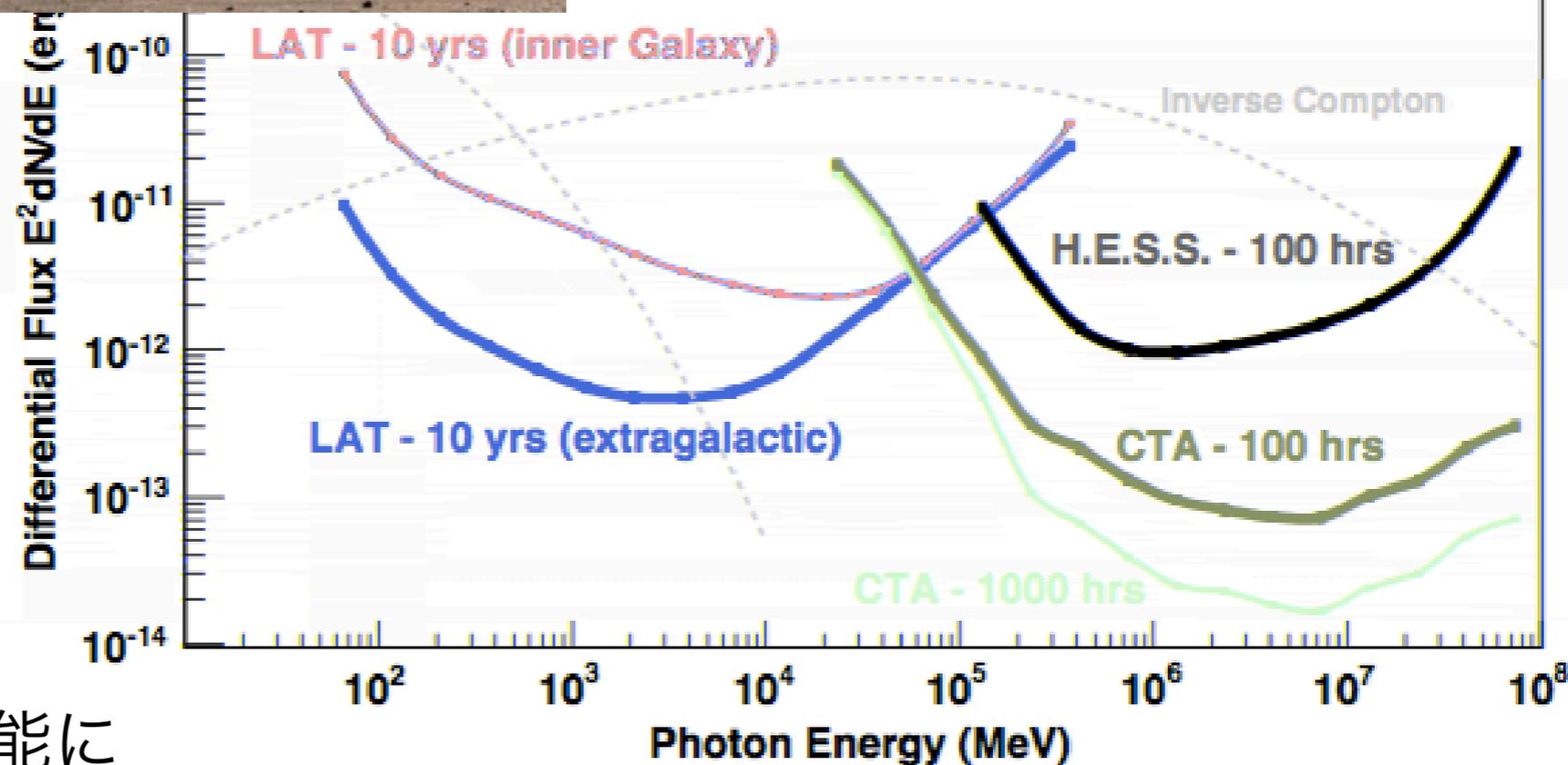
# CTAのガンマ線感度曲線



地球に到来するガンマ線の  
単位エネルギーあたりの感度

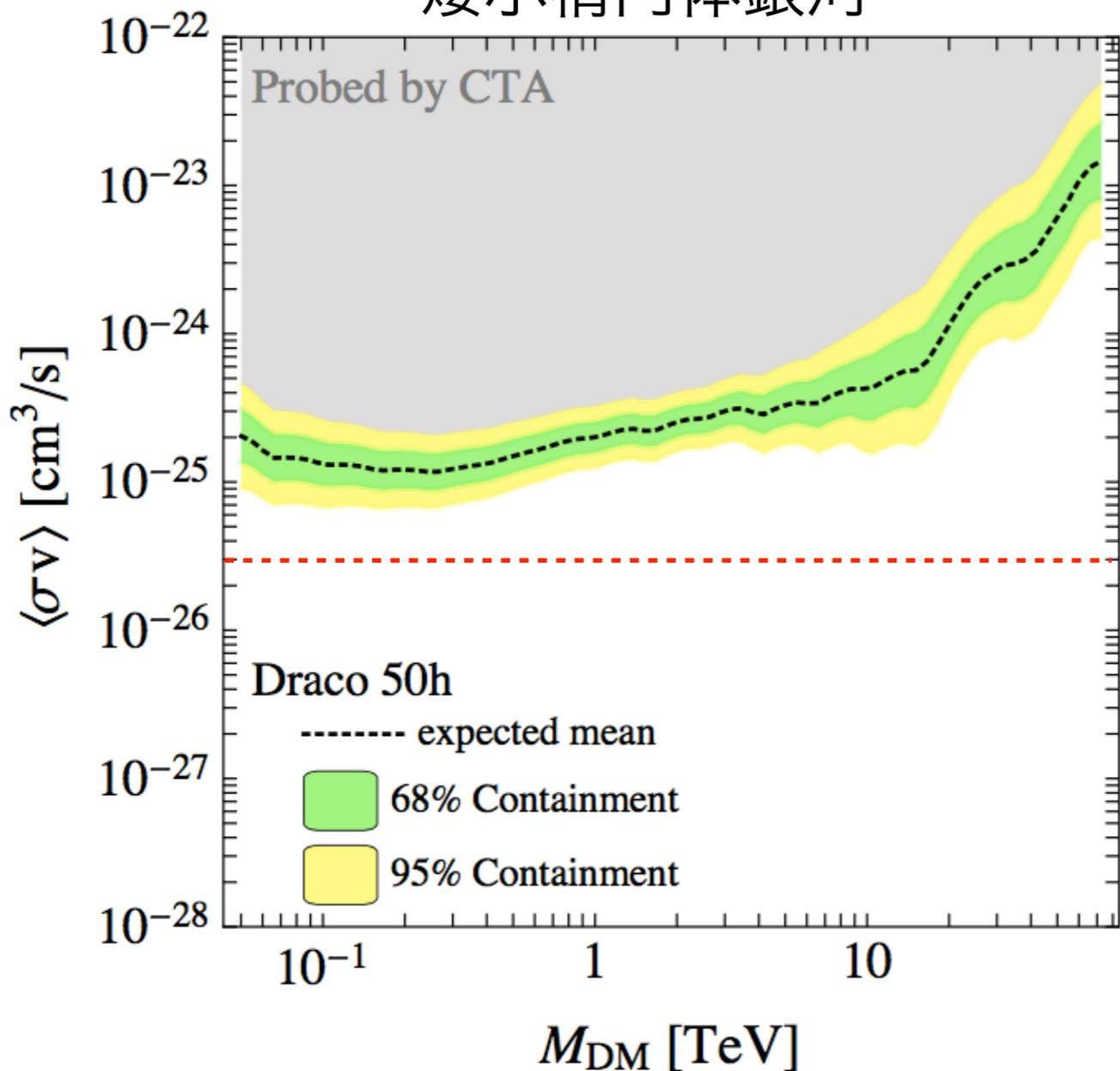
ガンマ線の感度は  
現行の望遠鏡と比べて10倍

広いエネルギー範囲で  
高感度な暗黒物質探査が可能に

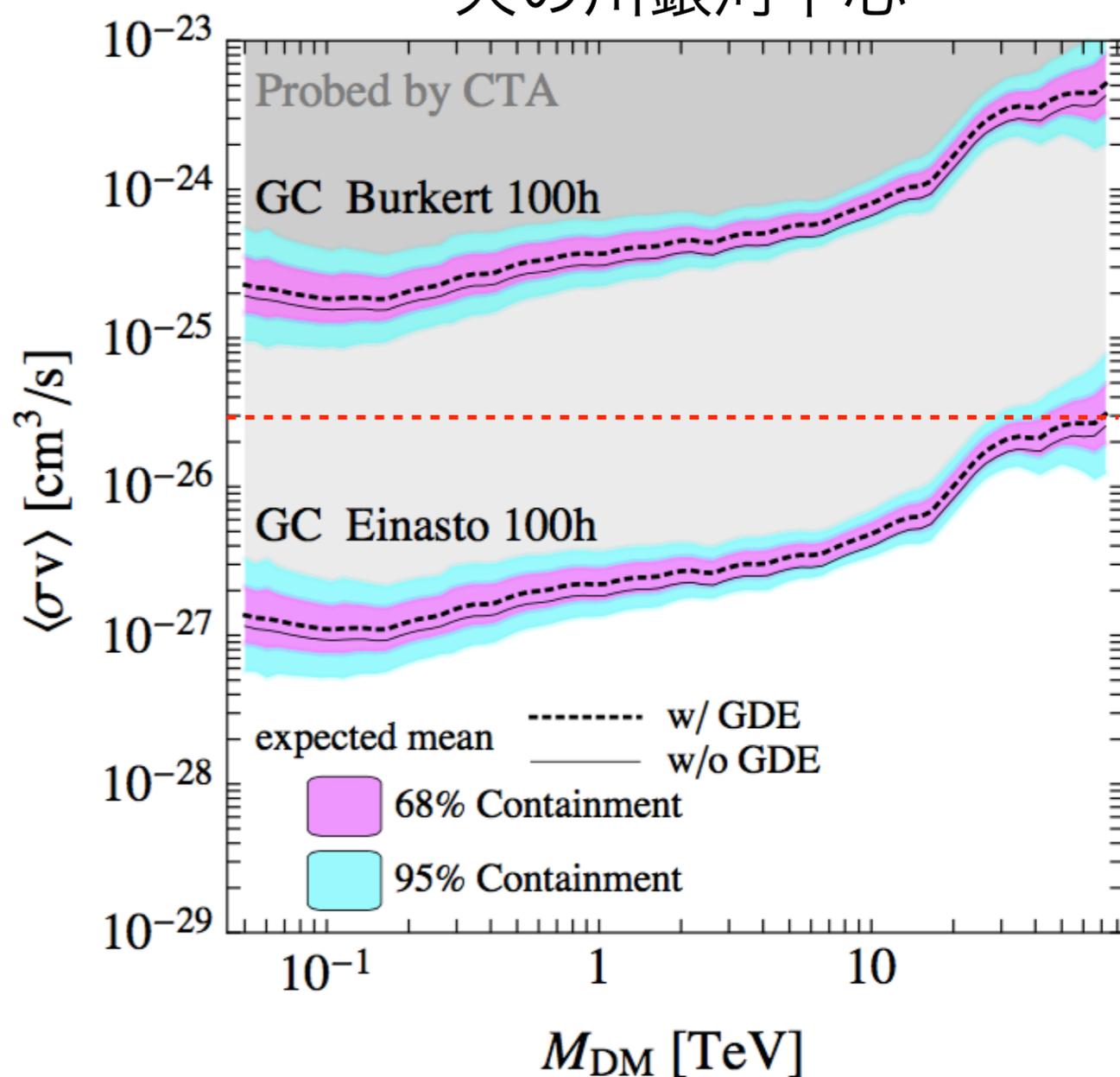


# CTAによる暗黒物質探査の将来予想

矮小楕円体銀河



天の川銀河中心



arXiv:1608.00786

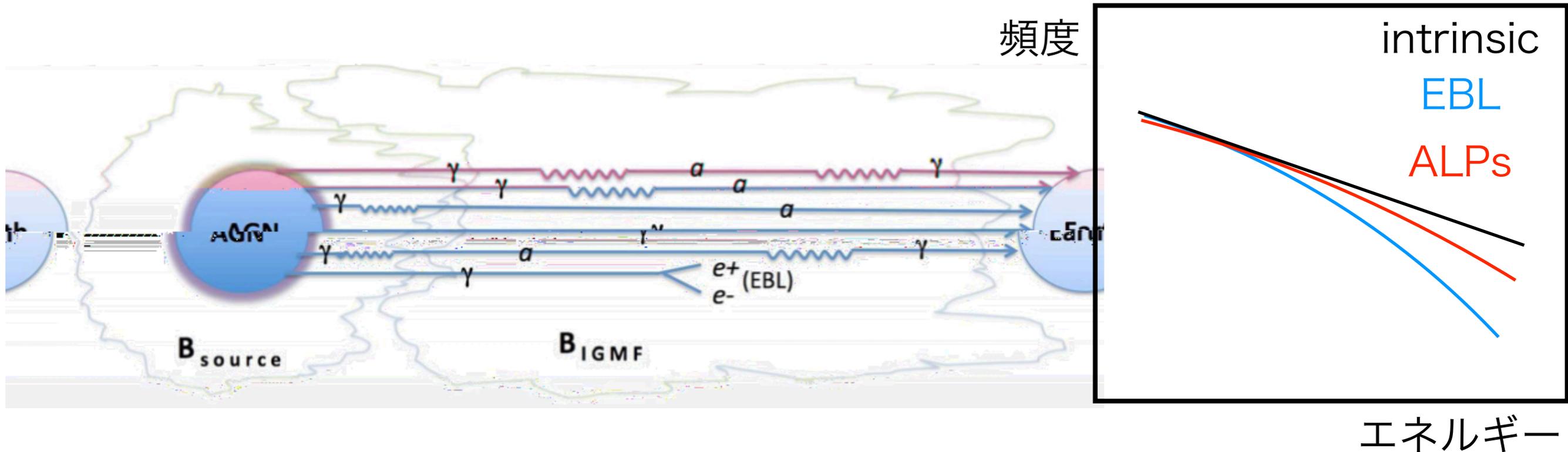
矮小楕円体銀河は現在と比べて約半分の観測時間で制限を一桁下げる事が可能  
 銀河中心は>10TeVの領域まで探索可能性有り（密度分布モデルによる）

ガンマ線観測に加え、暗黒物質分布の研究が重要

# まとめ

- ・ 直接探査とは相補的な関係
- ・ ガンマ線で探る暗黒物質 WIMP 弱い相互作用
- ・ 矮小楕円体銀河および銀河中心共に利点あり
- ・ 暗黒物質の分布を調べる事も重要
- ・ 現状では~100GeVまでのモデルに強い制限
- ・ 次世代ガンマ線望遠鏡ではさらに強い制限が期待
- ・ CTAの稼動開始にこうご期待！

# おまけ Axion-Like Particles 探査



理論より Axion-光子振動という現象が予想 Primakoff 効果？

一方で高エネルギーガンマ線は伝搬中に減光

しかし Axion 光子振動があるならば、高エネルギーガンマ線は銀河間磁場と相互作用して Axion へ

すると高エネルギーガンマ線は減光を免れる！

Axion が検出可能？

問題点：減光の正確なモデル化（星からの可視光、赤外光）