第３１回理論懇シンポジウム　2018.12.19

矮小楕円銀河のガンマ線観測に基づく暗黒物質探査における空間構造の効果

広島 渚（東大ICRR／KEK）

Nagisa Hiroshima, Masaaki Hayashida, and Kazunori Kohri, in prep

Contents

Motivation

DM: evidence & candidates

- structure formation
- rotation curves
- bullet clusters
- ….

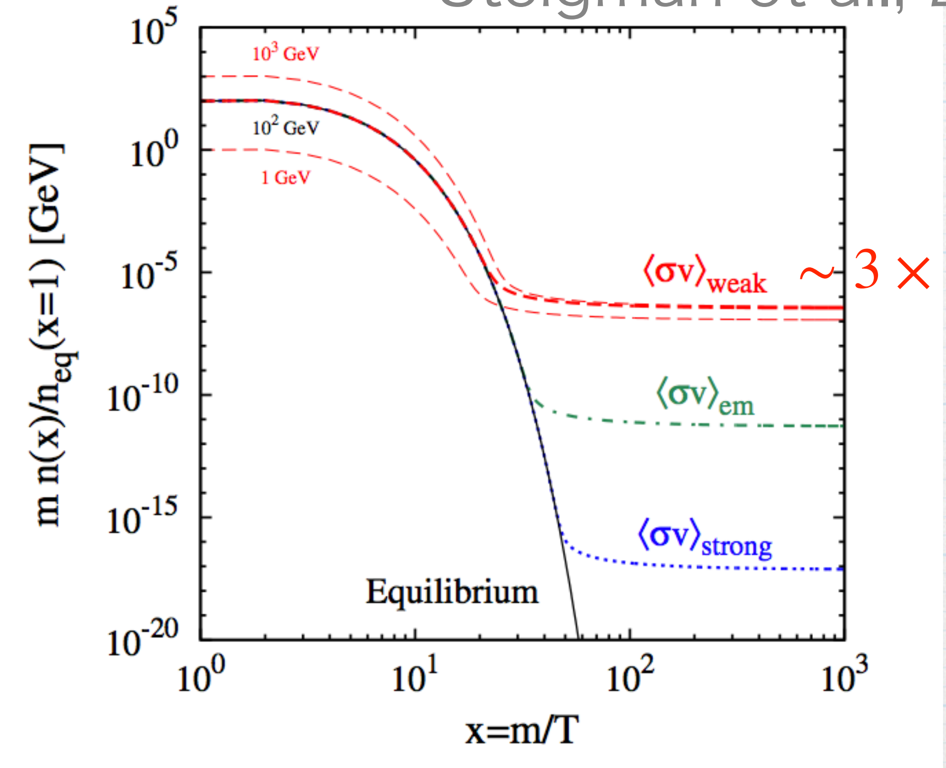
- WIMP
- SIMP
- axion, ALP
- sterile neutrino
- PBH
- ….

証拠はいろいろあるが未だ正体不明

Weakly Interacting Massive Particle (WIMP)

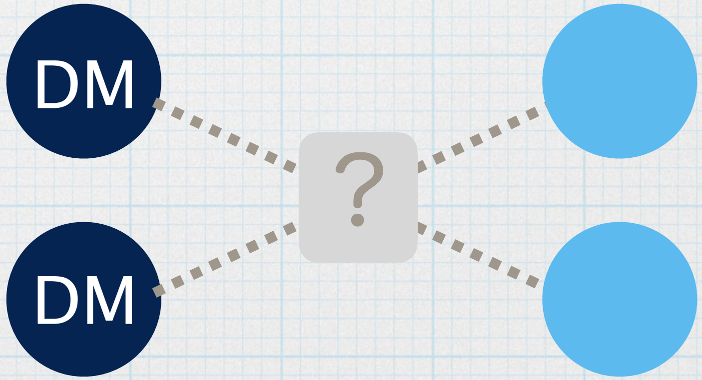
- 質量 $m_{\rm DM} \sim \mathcal{O}(1)\mathrm{GeV} - \mathcal{O}(1)\mathrm{TeV}$
- thermal freeze-out で現在のDM量を実現

Steigman et al., 2012



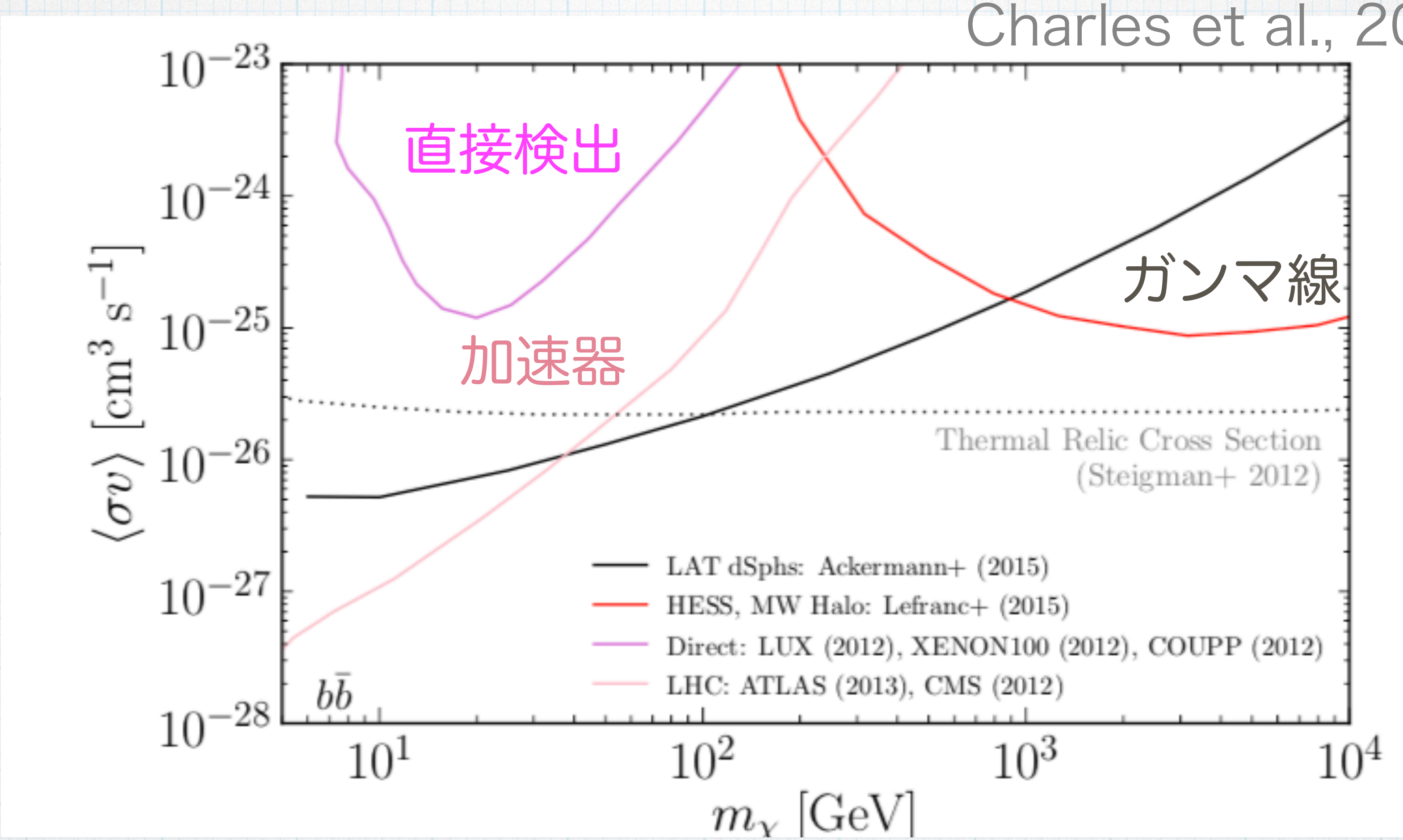
$\sim 3\times10^{-26}\mathrm{cm}^3/s$

$$\frac{dn}{dt} + 3Hn = \langle\sigma v\rangle\left(n_{\rm eq}^2 - n^2\right)$$



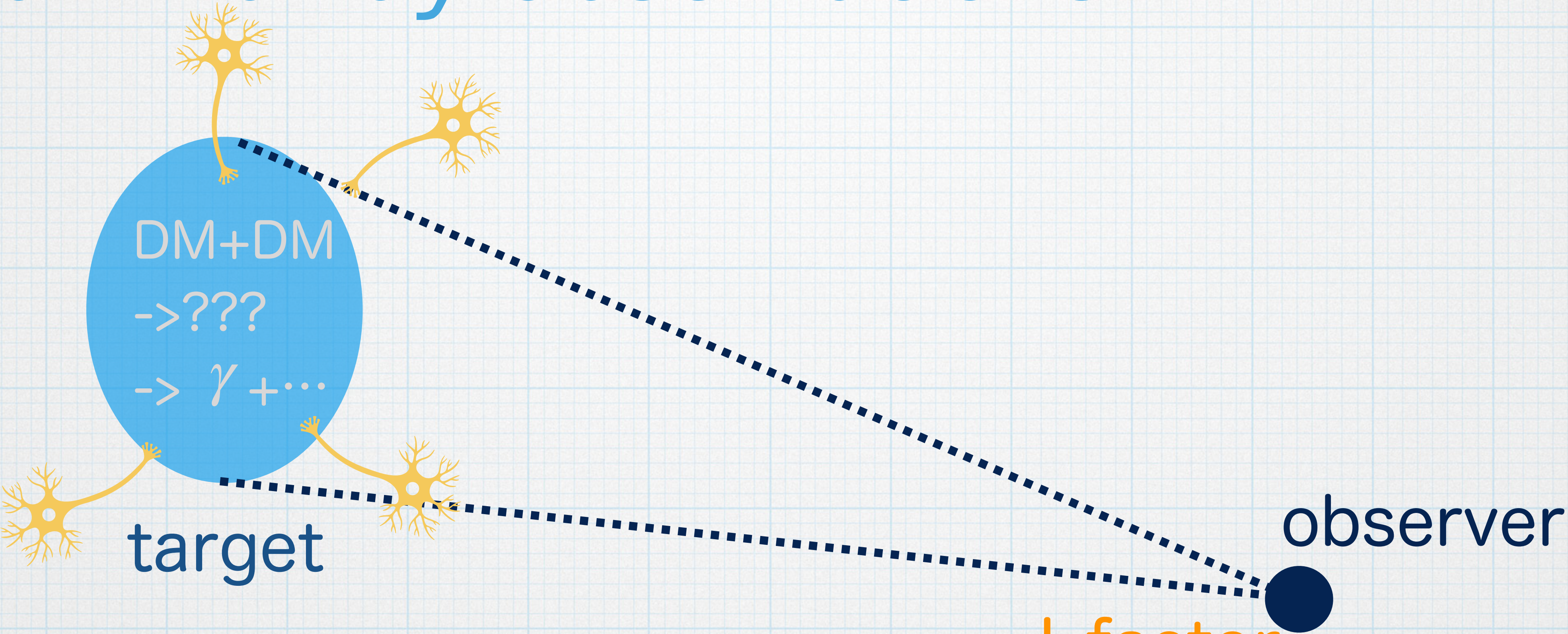
Current Limits

Charles et al., 2016



100GeV以上の制限はガンマ線観測から

Gamma-ray observations



J-factor

$$\phi = \frac{1}{4\pi}\frac{\langle \sigma v \rangle}{2m_{\mathrm{DM}}^2}\int_{E_{\mathrm{th}}}^{m_{\mathrm{DM}}} dE \frac{dN_\gamma}{dE} \cdot \int d\Omega \int ds\, \rho_{\mathrm{DM}}^2 .$$

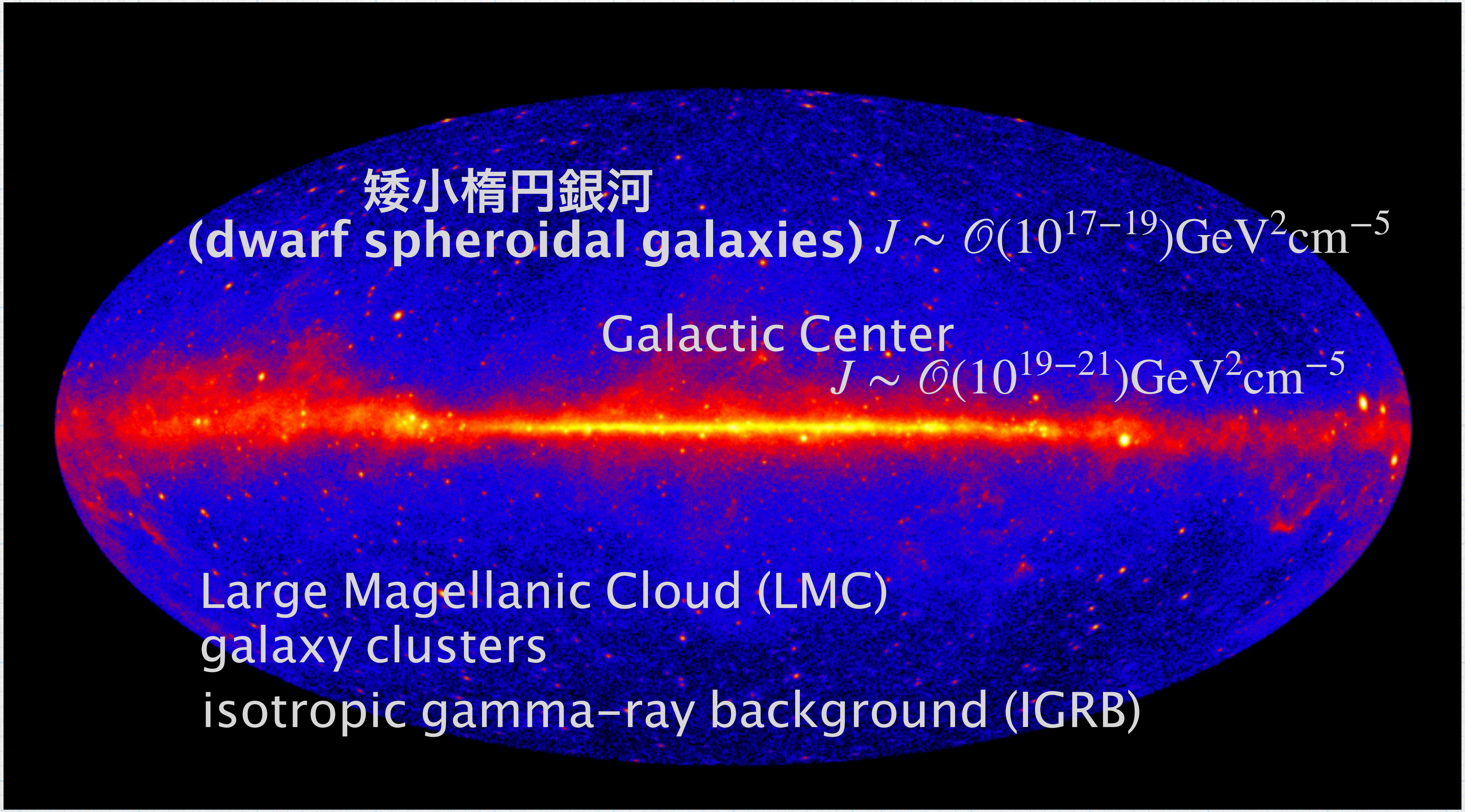
DMの”濃い”ところを見るのが得

Strategy

Targets

Fermi-LAT, 5yr, $E_\gamma > 1\,\mathrm{GeV}$

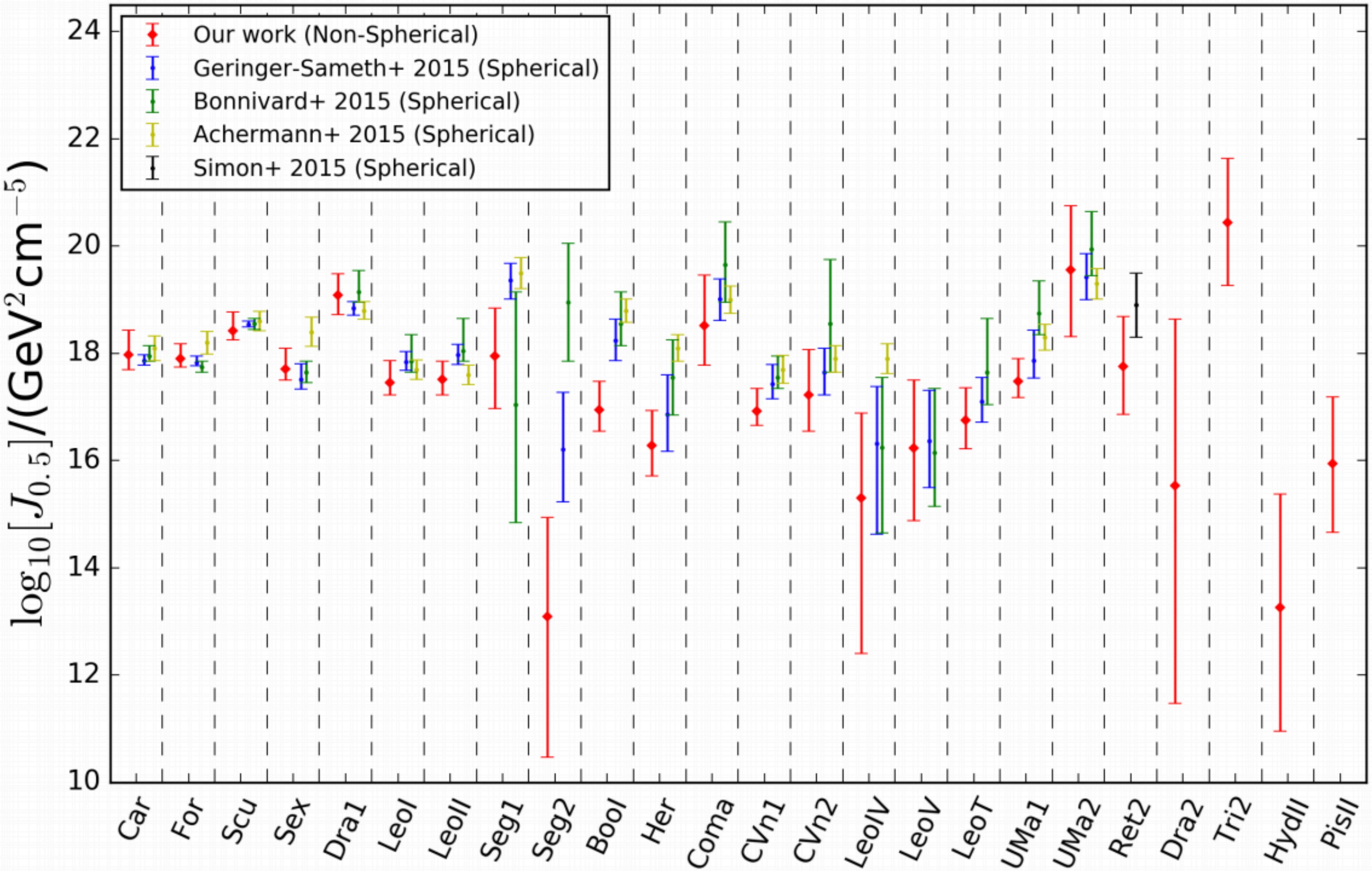
https://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a010000/a011300/a011342/



dSphに着目

J-factor of dSph

Hayashi et al., 2016

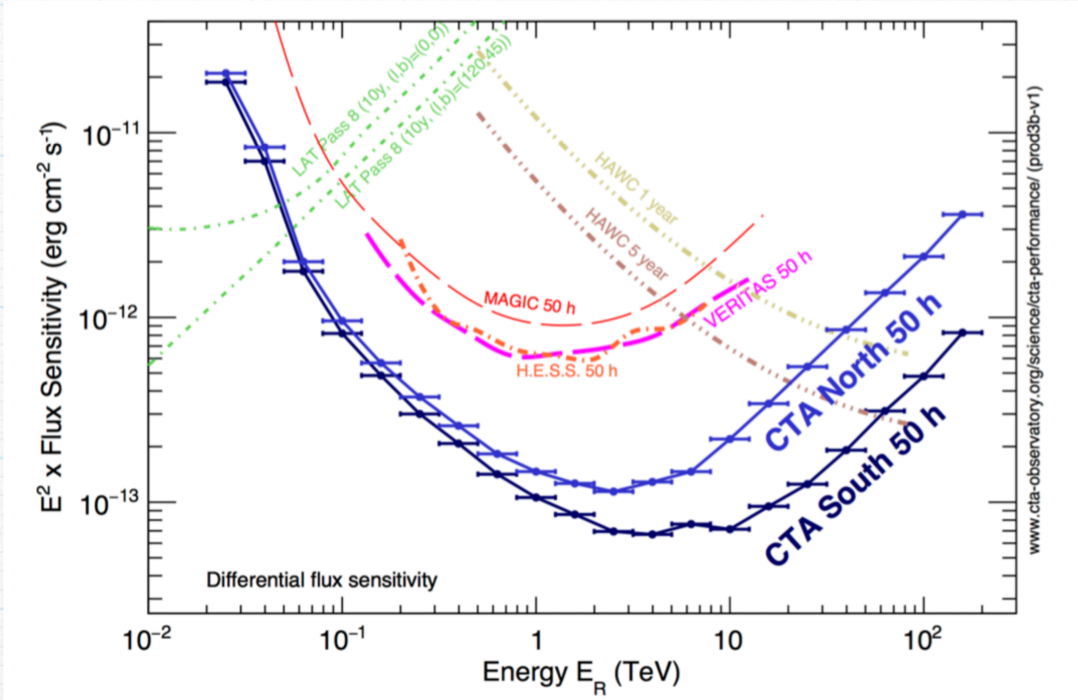


dwarf spheroidal galaxy (dSph)

- 天の川の衛星銀河
- 質量光度比　$M/L \sim 10^3 M_\odot / L_\odot$
- 角度広がり　$\Delta\theta \lesssim \mathcal{O}(1)$ degree
- 40個程度これまでに発見
- J-factor　$J \sim 10^{16-19} \mathrm{GeV}^2 \mathrm{cm}^{-5}$
- ガンマ線源となる天体がない

DMが多くて天体の少ない理想的な系

dSph with CTA

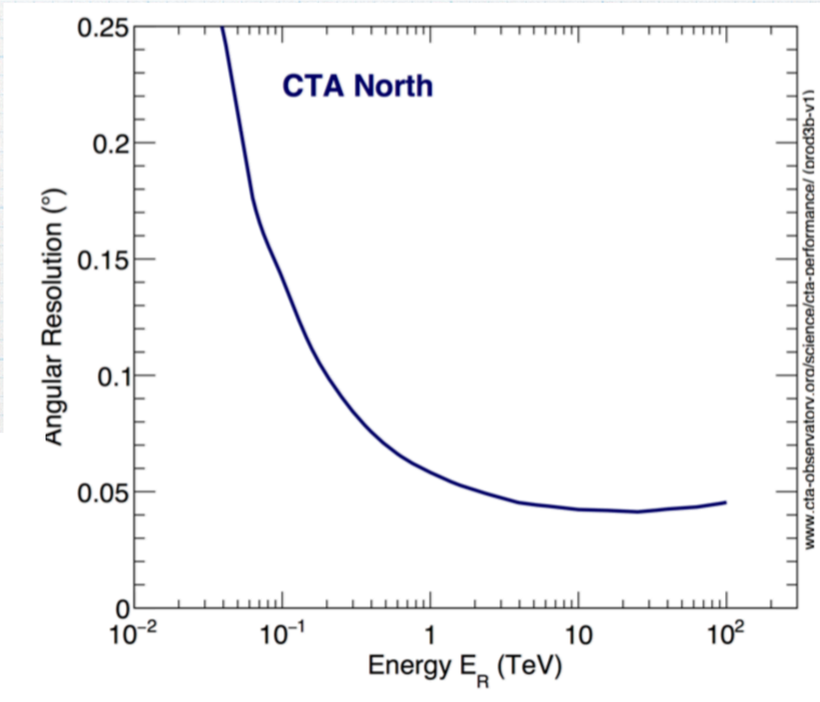


- TeV領域の感度up
- 角度分解能が良い

↓

dSph内部での

DM分布が識別可能



dSphでのDM空間分布の検出可能性への影響は？

Story

1. dSphのDM分布モデルを集める

   Draco dSph [$J \sim \mathcal{O}(10^{19})\mathrm{GeV}^2\mathrm{cm}^{-5}$],16モデル

2. CTAでの観測をシミュレーション

   CTA North, full-array, 500h

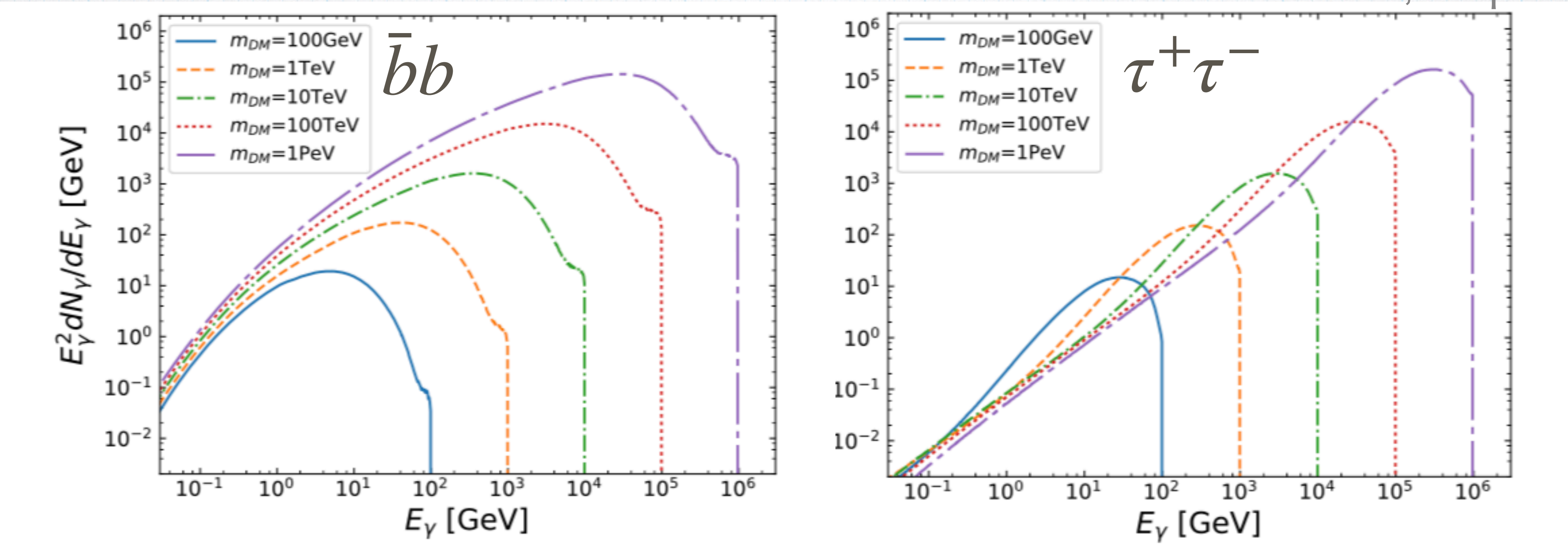
3. 感度評価

   DM空間分布(16)×対消滅スペクトル(3)

   DM+DM
   $\rightarrow \bar{b}b$ or W^+W^- or $\tau^+\tau^-$

Flux from DM annihilation

Hiroshima et al., in prep



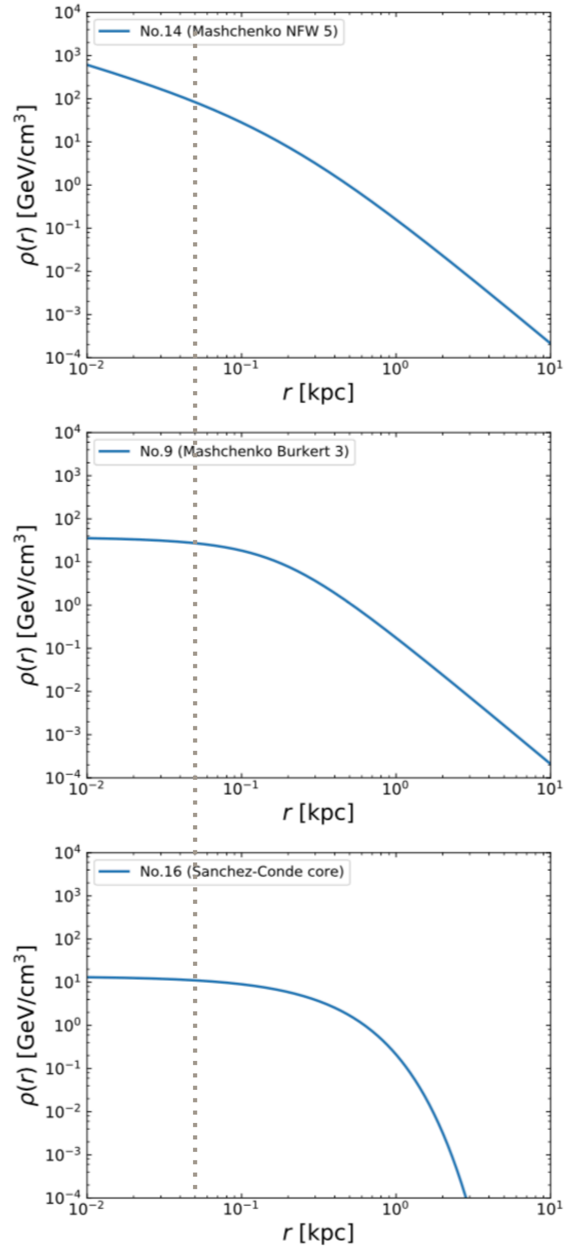
$$\mathrm{DM} + \mathrm{DM} \to \bar{q}q \to \pi^0 + \ldots \to 2\gamma + \ldots$$

$$\mathrm{DM} + \mathrm{DM} \to l^+l^- \to l^+l^- + \gamma + \ldots$$

density profiles

Hiroshima et al., in prep

No.	expression	type	$\log_{10}J_{<0.5^\circ}$ $\log[\mathrm{GeV^2cm^{-5}}]$
1	$\left(\frac{1.7\mathrm{GeV}}{\mathrm{cm^3}}\right)\left(\frac{r}{0.79\mathrm{kpc}}\right)^{-1}\left(1+\frac{r}{0.79\mathrm{kpc}}\right)^{-2}$	NFW	18.40
2	$\left(\frac{0.69\mathrm{GeV}}{\mathrm{cm^3}}\right)\left(\frac{r}{3.7\mathrm{kpc}}\right)^{-0.71}\left(1+\left(\frac{r}{3.7\mathrm{kpc}}\right)^{2.01}\right)^{-2.80}$	gNFW	19.00
3	$\left(\frac{16.3\mathrm{GeV}}{\mathrm{cm^3}}\right)\left(1+\frac{r}{0.67\mathrm{kpc}}\right)^{-3}$	g NFW	19.08
4	$\left(\frac{1.23\mathrm{GeV}}{\mathrm{cm^3}}\right)\left(\frac{r}{1.30\mathrm{kpc}}\right)^{-1}\left(1+\frac{r}{1.30\mathrm{kpc}}\right)^{-2}$	NFW	18.80
5	$\left(\frac{0.18\mathrm{GeV}}{\mathrm{cm^3}}\right)\left(\frac{r}{1.99\mathrm{kpc}}\right)^{-1.5}\left(1+\frac{r}{1.99\mathrm{kpc}}\right)^{-1.5}$	g NFW	18.88
6	$\left(\frac{5.9\mathrm{GeV}}{\mathrm{cm^3}}\right)\left(\frac{r}{0.32\mathrm{kpc}}\right)^{-1}\exp\left[-\frac{r}{0.32\mathrm{kpc}}\right]$	PL + cutoff	18.53
7	$\left(\frac{4.76\mathrm{GeV}}{\mathrm{cm^3}}\right)\left(1+\frac{r}{1.41\mathrm{kpc}}\right)^{-1}\left(1+\left(\frac{r}{1.41\mathrm{kpc}}\right)^2\right)^{-1}$	Burkert	19.08
8	$\left(\frac{13.4\mathrm{GeV}}{\mathrm{cm^3}}\right)\left(1+\frac{r}{0.35\mathrm{kpc}}\right)^{-1}\left(1+\left(\frac{r}{0.35\mathrm{kpc}}\right)^2\right)^{-1}$	Burkert	18.65
9	$\left(\frac{37.8\mathrm{GeV}}{\mathrm{cm^3}}\right)\left(1+\frac{r}{0.18\mathrm{kpc}}\right)^{-1}\left(1+\left(\frac{r}{0.18\mathrm{kpc}}\right)^2\right)^{-1}$	Burkert	18.69
10	$\left(\frac{0.60\mathrm{GeV}}{\mathrm{cm^3}}\right)\left(\frac{r}{2.82\mathrm{kpc}}\right)^{-1}\left(1+\frac{r}{2.82\mathrm{kpc}}\right)^{-2}$	NFW	18.95
11	$\left(\frac{1.70\mathrm{GeV}}{\mathrm{cm^3}}\right)\left(\frac{r}{1.00\mathrm{kpc}}\right)^{-1}\left(1+\frac{r}{1.00\mathrm{kpc}}\right)^{-2}$	NFW	18.67
12	$\left(\frac{4.76\mathrm{GeV}}{\mathrm{cm^3}}\right)\left(\frac{r}{0.50\mathrm{kpc}}\right)^{-1}\left(1+\frac{r}{0.50\mathrm{kpc}}\right)^{-2}$	NFW	18.70
13	$\left(\frac{13.4\mathrm{GeV}}{\mathrm{cm^3}}\right)\left(\frac{r}{0.25\mathrm{kpc}}\right)^{-1}\left(1+\frac{r}{0.25\mathrm{kpc}}\right)^{-2}$	NFW	18.70
14	$\left(\frac{37.8\mathrm{GeV}}{\mathrm{cm^3}}\right)\left(\frac{r}{0.18\mathrm{kpc}}\right)^{-1}\left(1+\frac{r}{0.18\mathrm{kpc}}\right)^{-2}$	NFW	19.15
15	$\left(\frac{0.95\mathrm{GeV}}{\mathrm{cm^3}}\right)\left(\frac{r}{1.19\mathrm{kpc}}\right)^{-1}\exp\left[-\frac{r}{1.19\mathrm{kpc}}\right]$	PL + cutoff	18.58
16	$\left(\frac{12.7\mathrm{GeV}}{\mathrm{cm^3}}\right)\exp\left[-\frac{r}{0.24\mathrm{kpc}}\right]$	PL + cutoff	18.56



Feasibility

Conclusion

Conclusion

- 質量 $m_{\rm DM} \gtrsim \mathcal{O}(1)$ TeVのWIMP DM探査には
  ガンマ線観測が有効
- 矮小楕円銀河(dSph)はガンマ線天体がなく
  DMの濃い魅力的な観測領域
- CTAではdSph中のDM分布が分解可能
- DM分布の不定性を考慮して対消滅断面積は
  $\langle\sigma v\rangle = 10^{-23} - 10^{-24}{\rm cm}^3/s$ の範囲に制限できる
  （あるいはDM対消滅シグナルが見つけられる！）
- 点源だと思って解析すると感度を過大評価する

観測領域のDM分布の理解が最重要課題