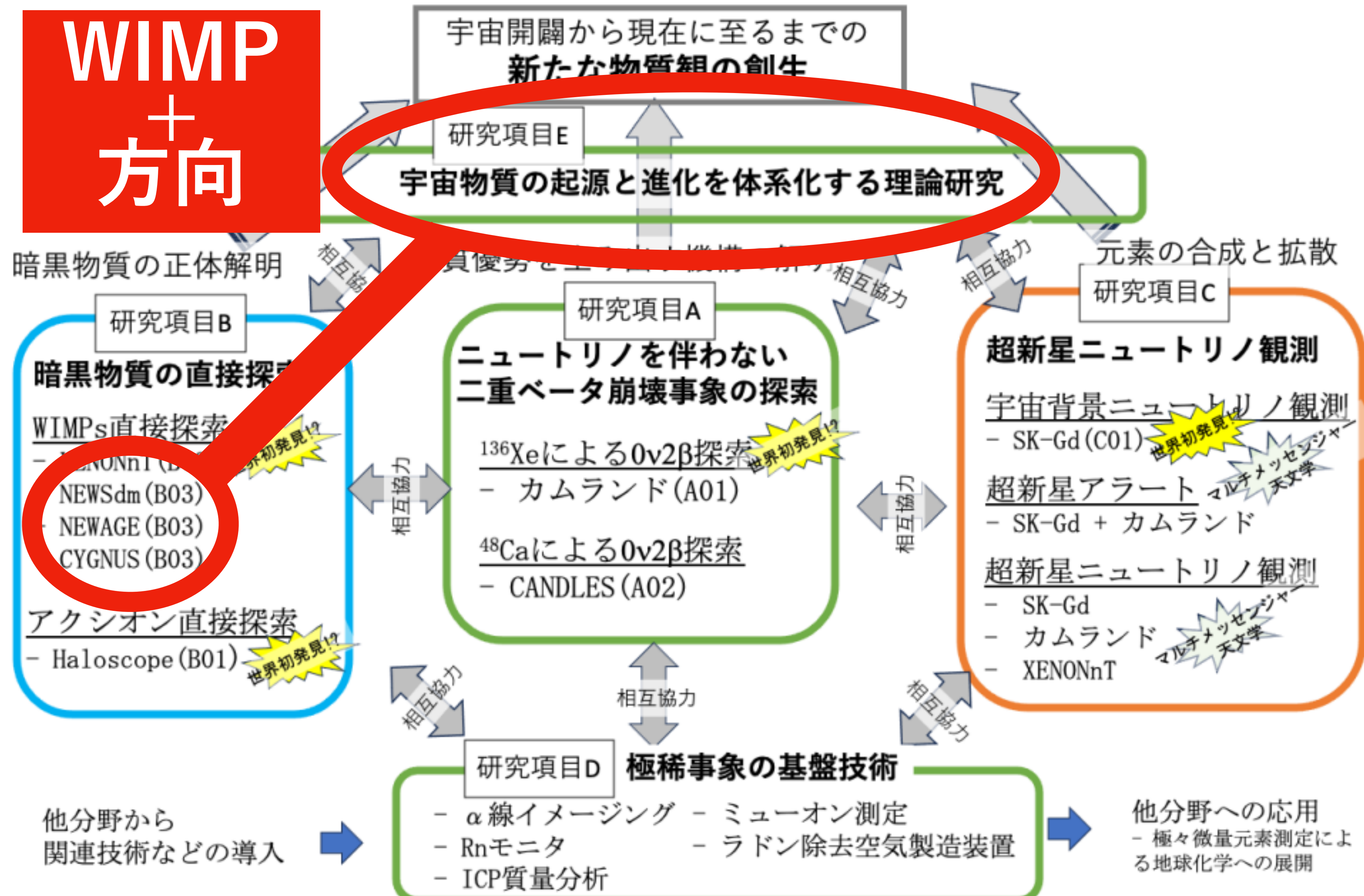


方向情報で探る 暗黒物質の性質

長尾桂子（岡山理科大学）

E01-B03 連携研究

**WIMP
+
方向**



方向感度をもつ暗黒物質検出 →

NEWAGE/NEWSdm
7/5 中さん、白石さん

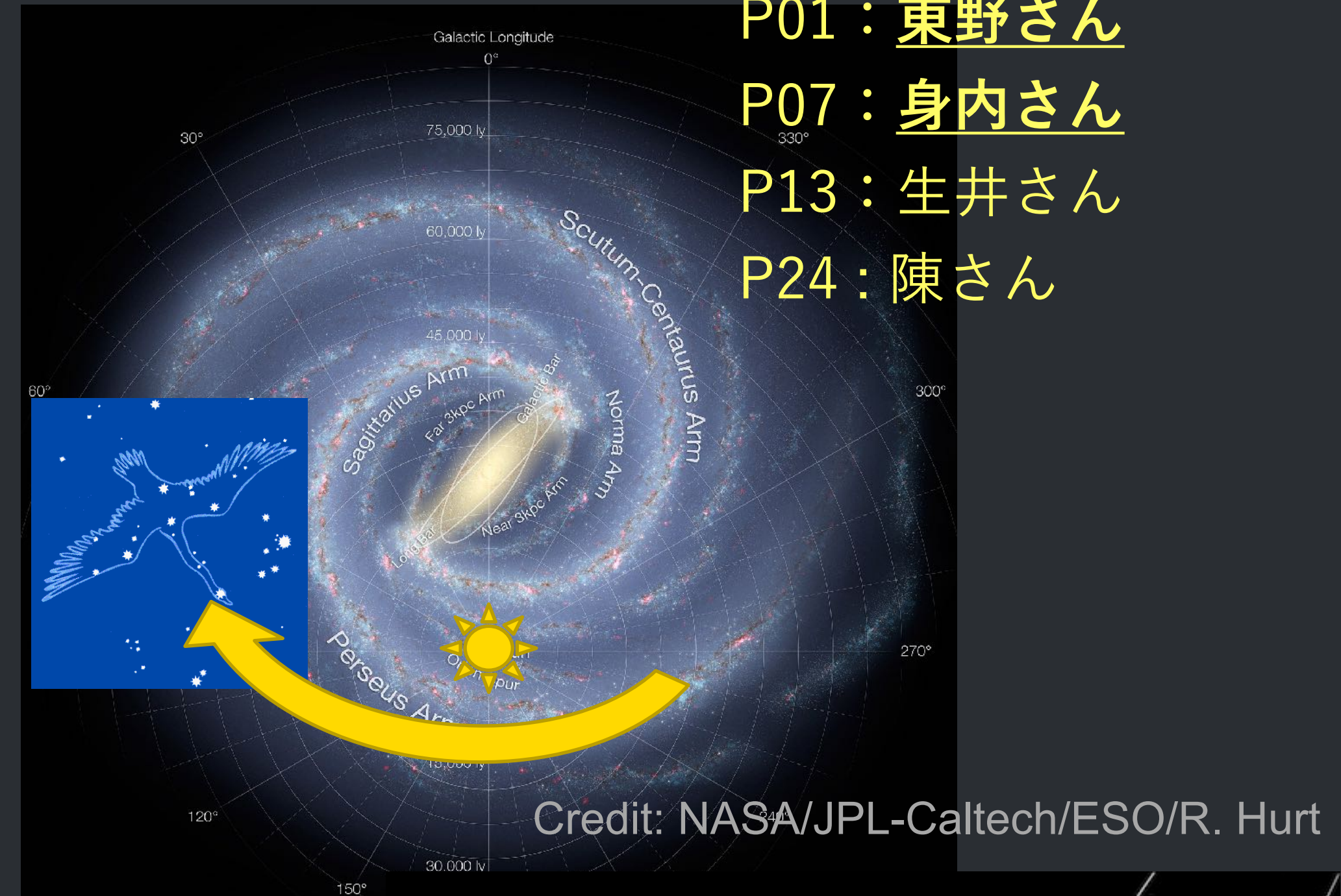
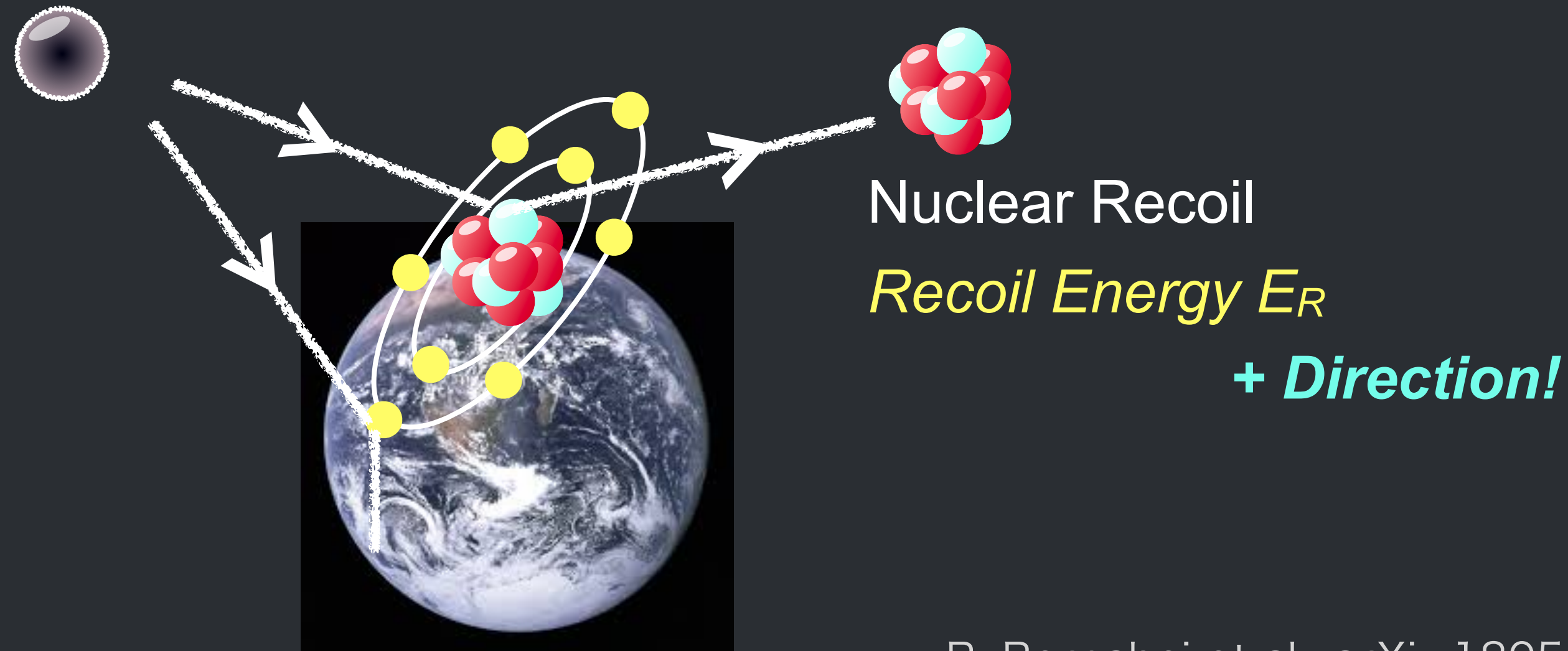
P01 : 東野さん

P07 : 身内さん

P13 : 生井さん

P24 : 陳さん

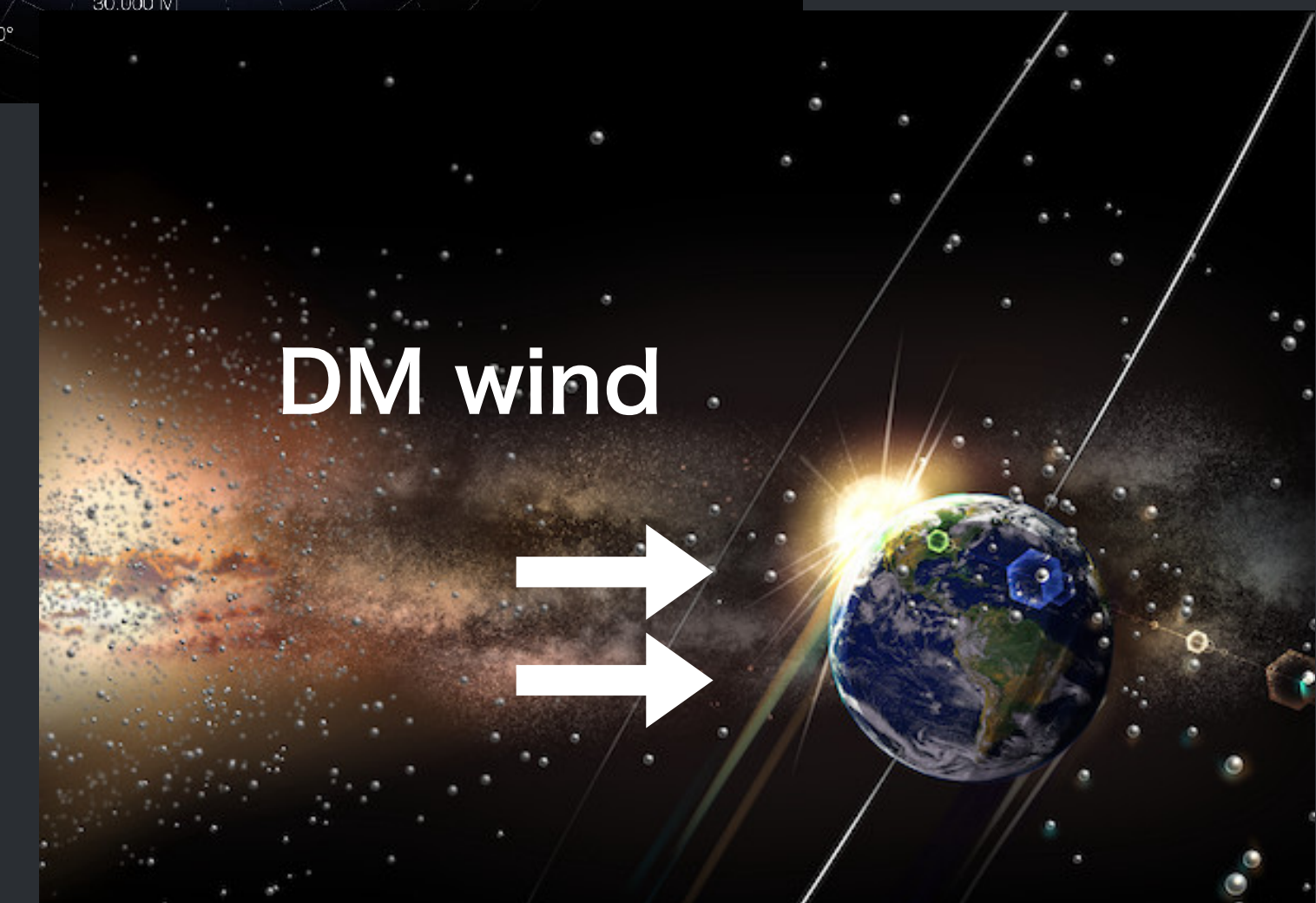
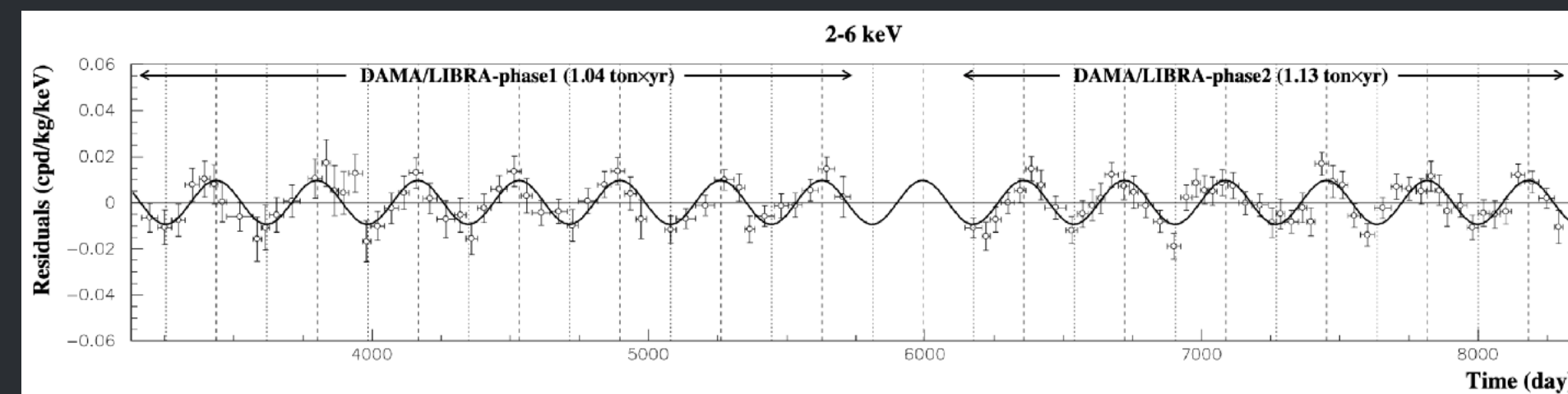
- 暗黒物質検出→精査へ向けて



R. Bernabei et al., arXiv:1805.10486

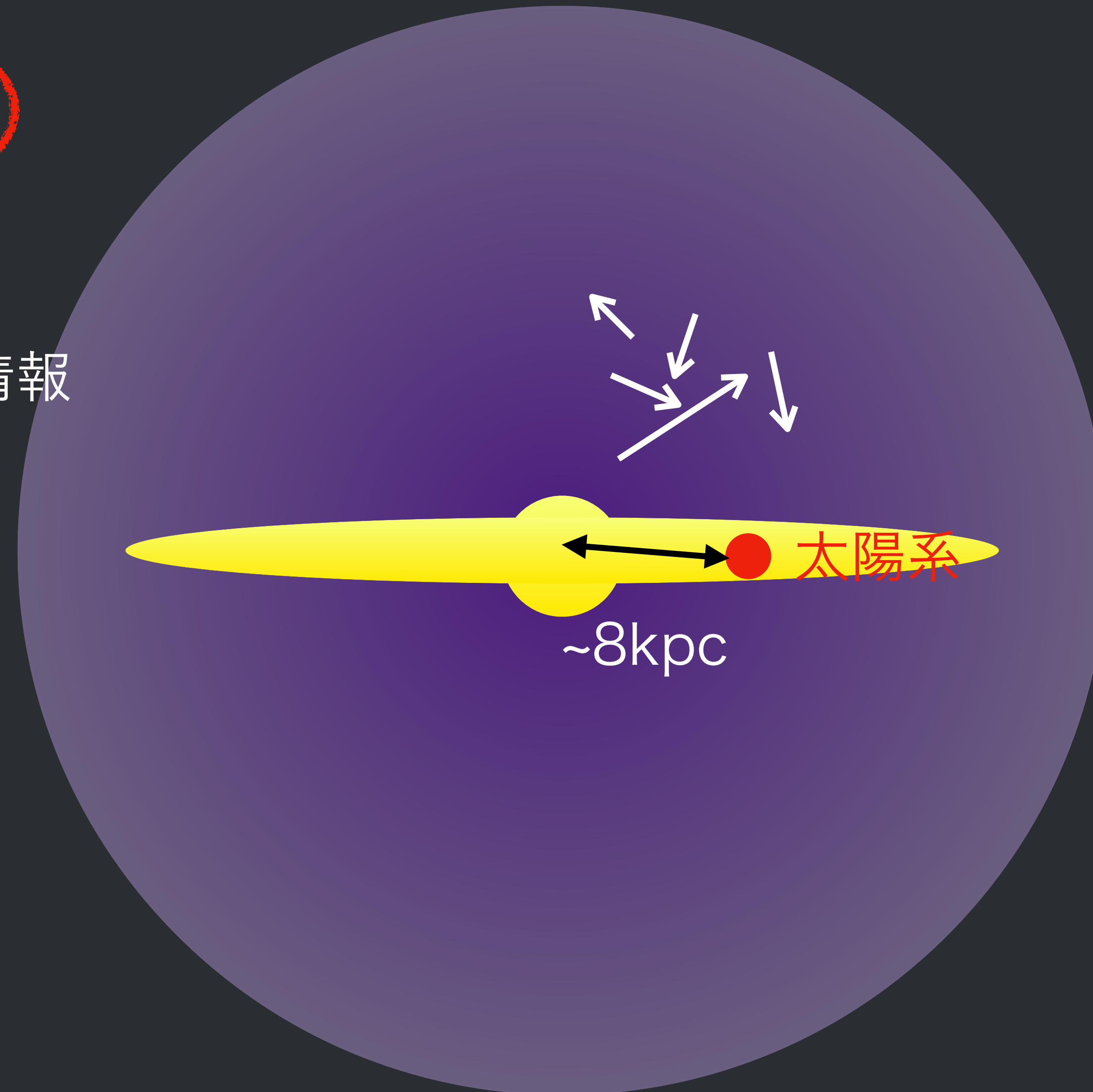
- 背景事象除去

- DAMA/LIBRA
- ニュートリノフォグ



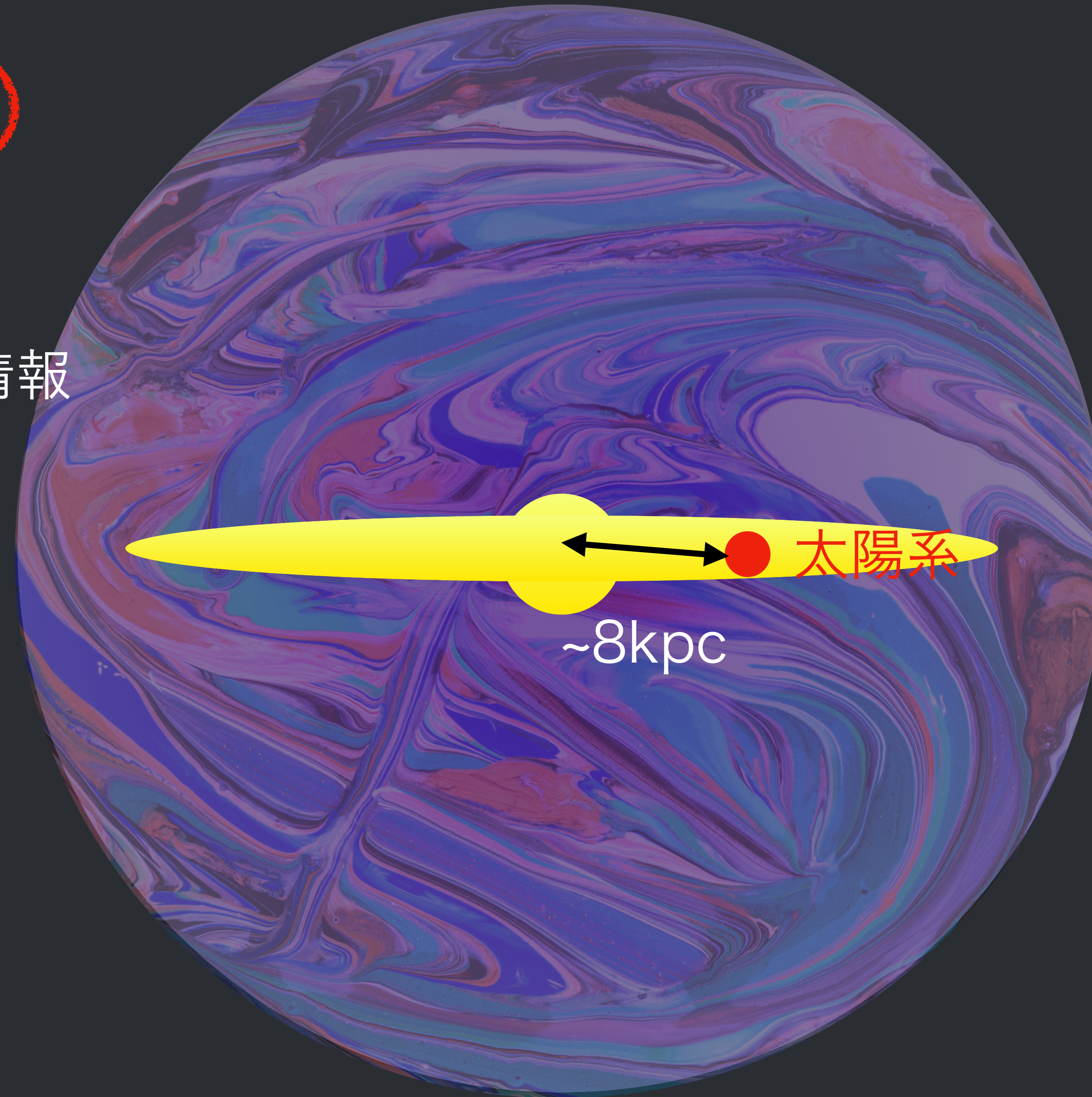
方向を使って暗黒物質の情報を取り出す

- 速度分布
- 密度プロファイル
- 密度の非一様性
- 暗黒物質の素粒子的情報
- ...



方向を使って暗黒物質の情報を取り出す

- 速度分布
- 密度プロファイル
- 密度の非一様性
- 暗黒物質の素粒子的情報
- ...



暗黒物質の速度分布

- 実験↔素粒子論のパラメーター

$$\frac{dR}{dE_R} = N_T \frac{\rho_{\text{DM}}}{m_{\text{DM}}} \int dv f(\mathbf{v}) v \frac{d\sigma(\mathbf{v})}{dE_R}$$

R : イベント率

N_T : 標的原子核数

ρ_{DM} : 局所DM密度

m_{DM} : DM質量

$f(\mathbf{v})$: DMの速度分布

$\sigma(\mathbf{v})$: DM-原子核 散乱断面積

E_R : 反跳エネルギー

- 等方的Maxwell分布

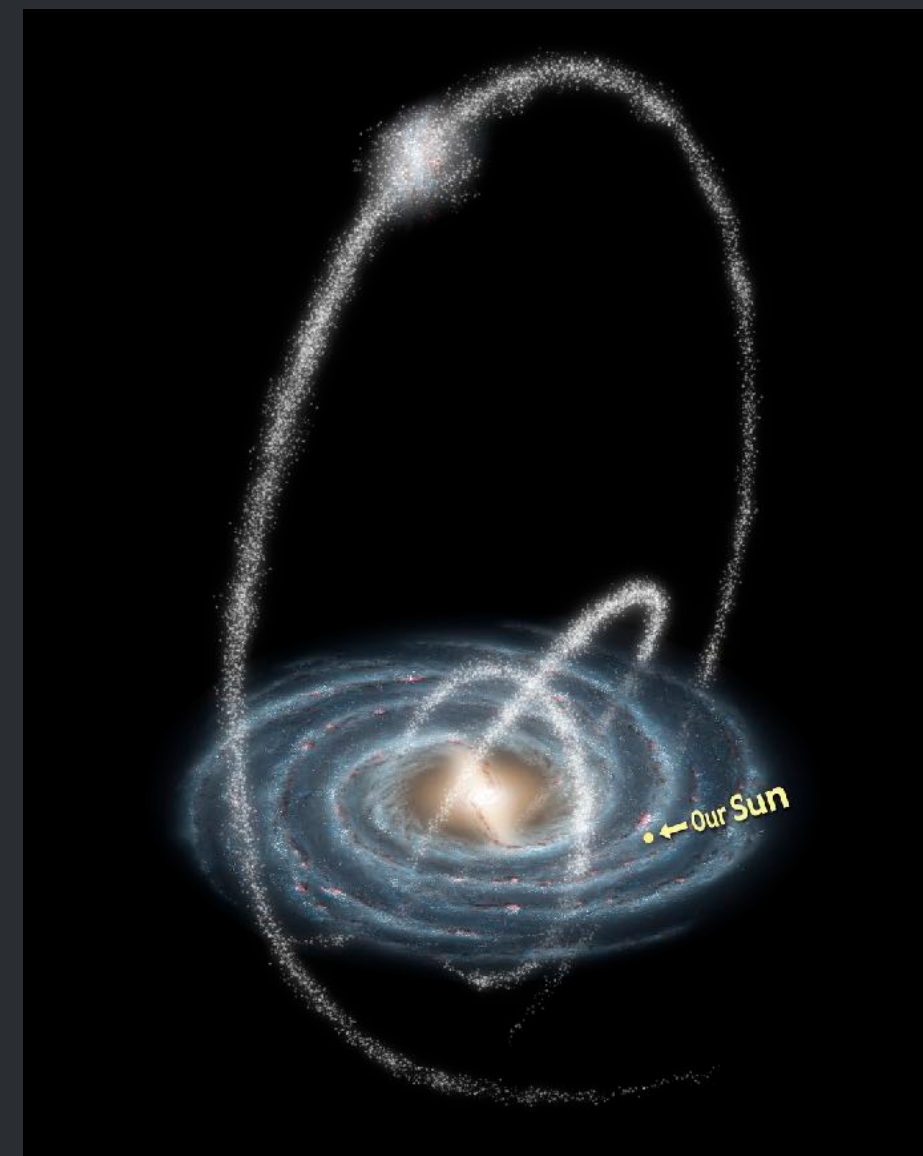
$$f(v) = \frac{1}{(\pi v_0^2)^{3/2}} \exp \left[- (v + v_E)^2 / v_0^2 \right]$$

- よい近似なのか？

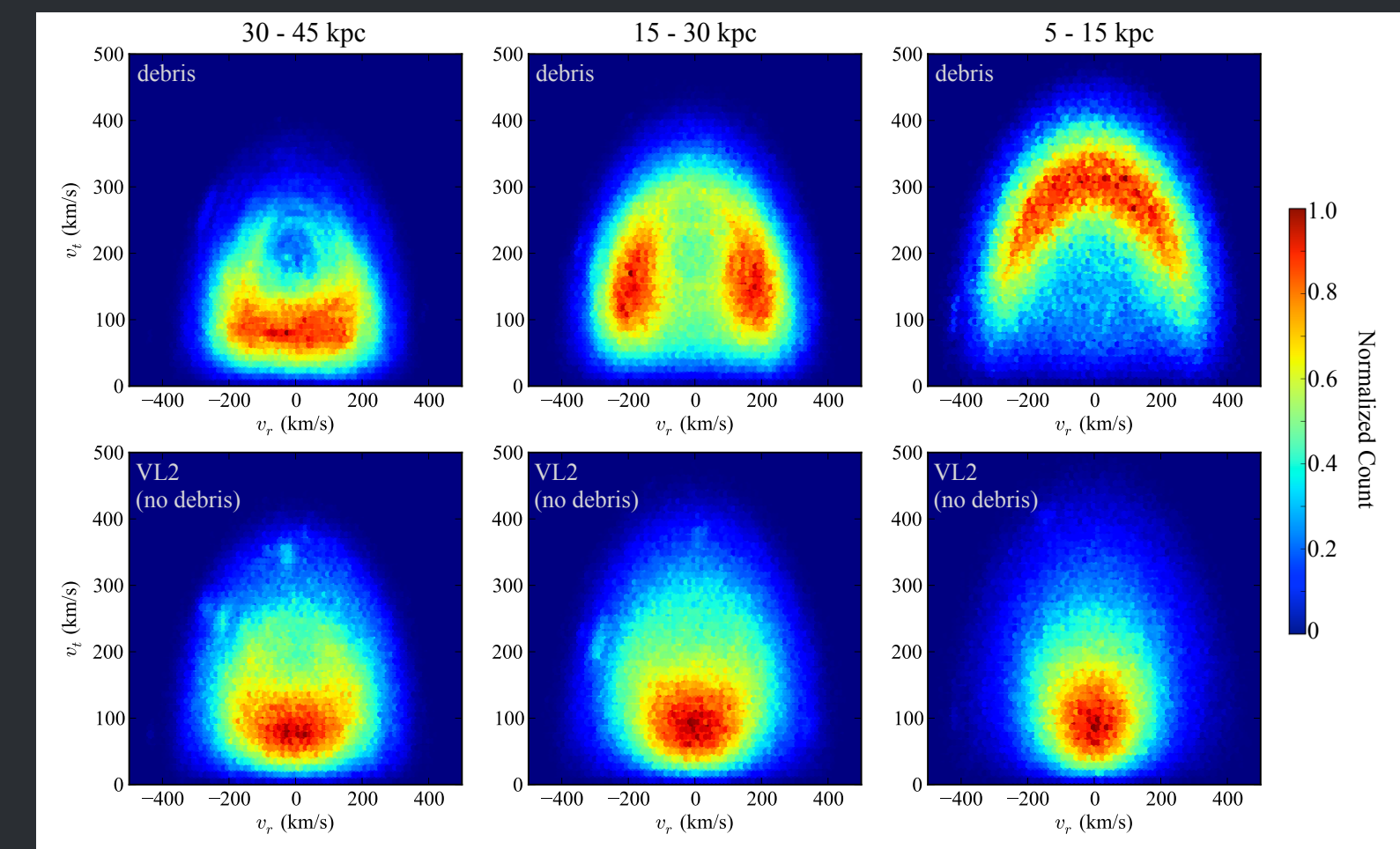
O'Hare et al. (1807.09004)

ストリームによる~10% 非等方成分

N体シミュレーションでのデブリフローの影響



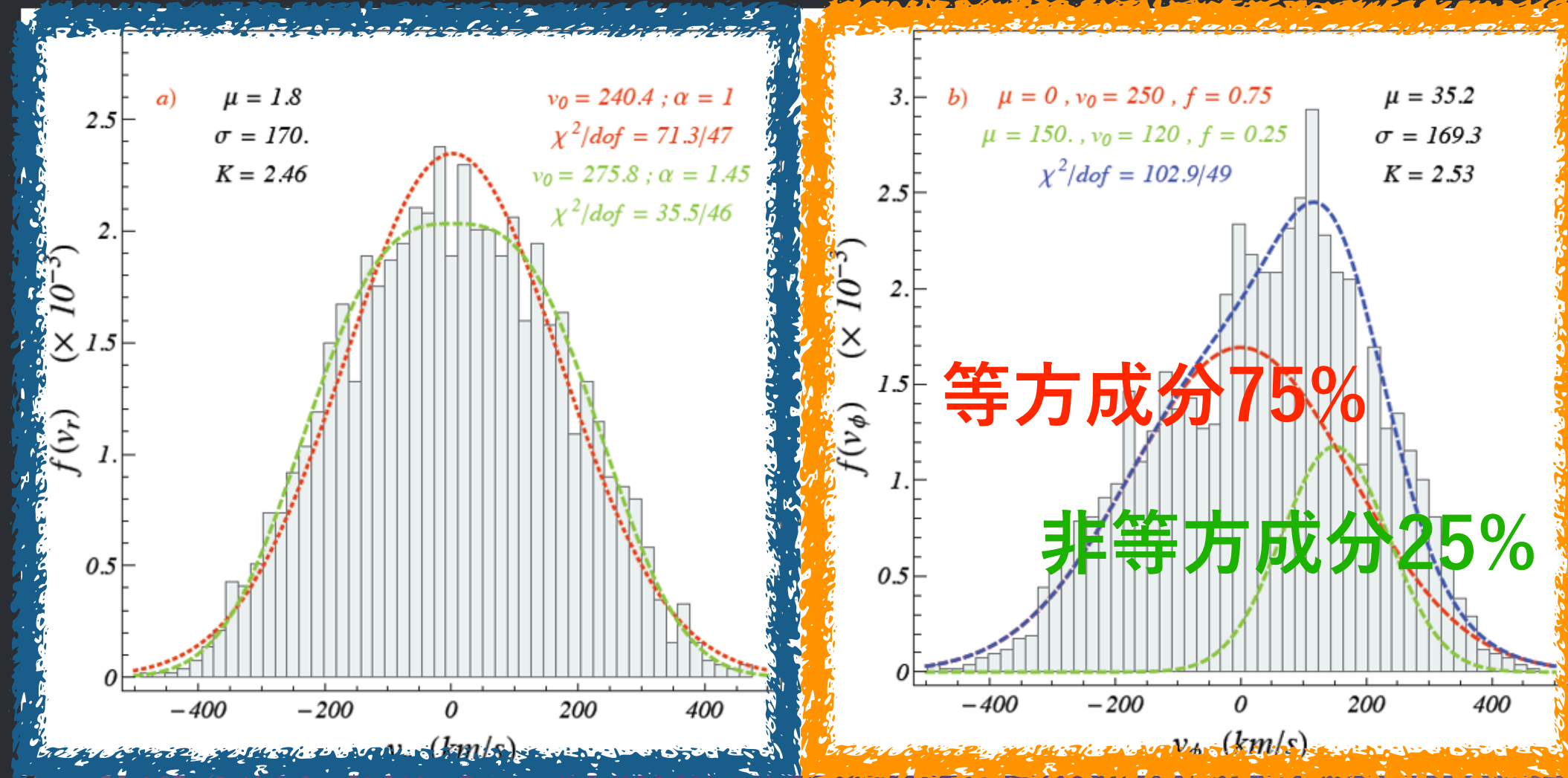
Credit: NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC/Caltech)



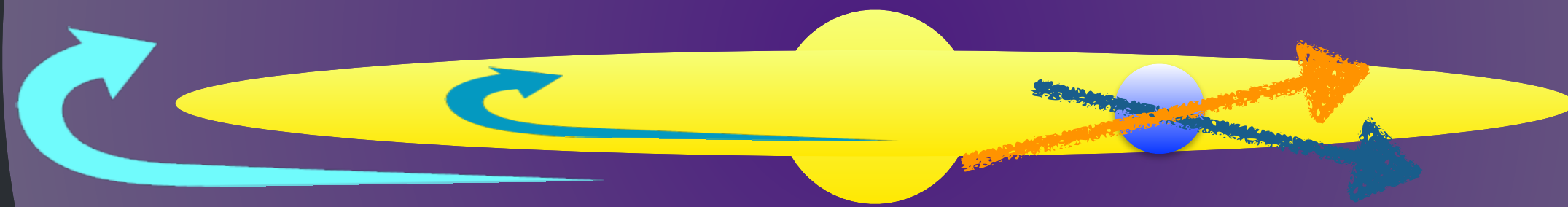
Lisanti and Spergel, arXiv:1105.4166

速度分布の非等方性を見られるか？

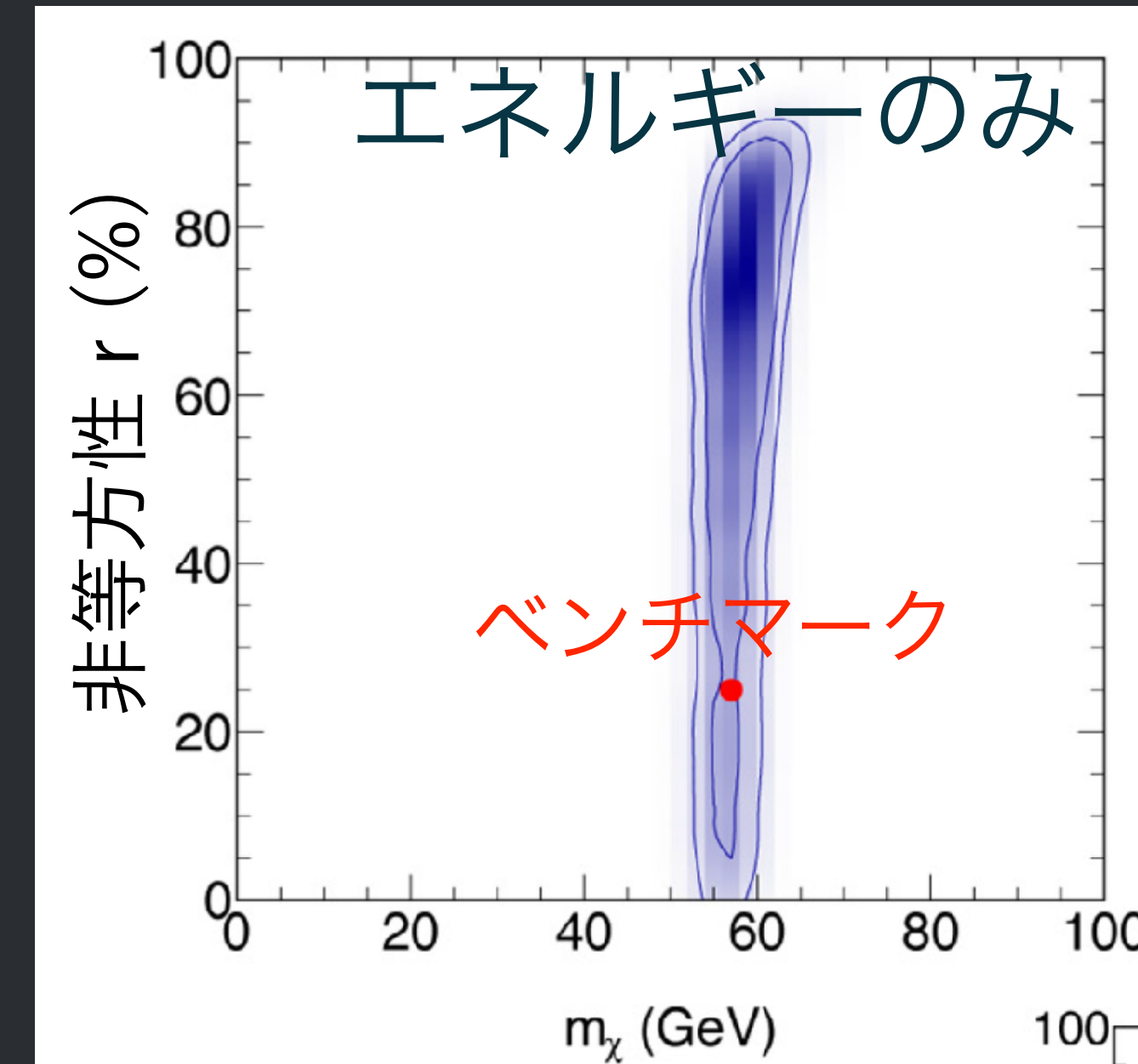
- DM+バリオンのN体シミュレーション



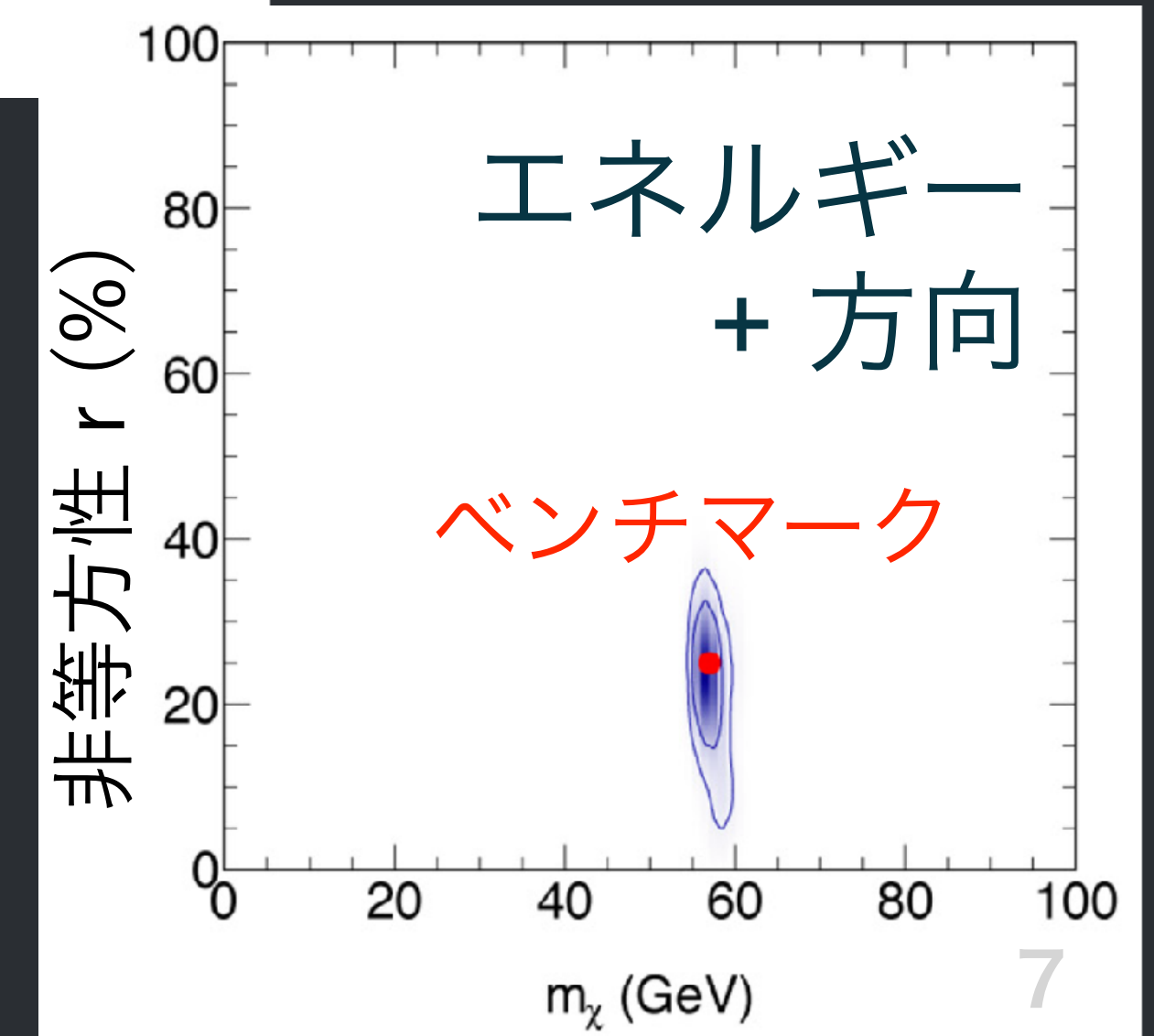
Ling, Nezri, Athanassoula, Teyssier (2009)



KN, T. Ikeda, R. Yakabe, T. Naka, K. Miuchi
arXiv:1707.05523



標的: F
イベント数: 6×10^3
 $\sigma = 10^{-30} \text{cm}^2$

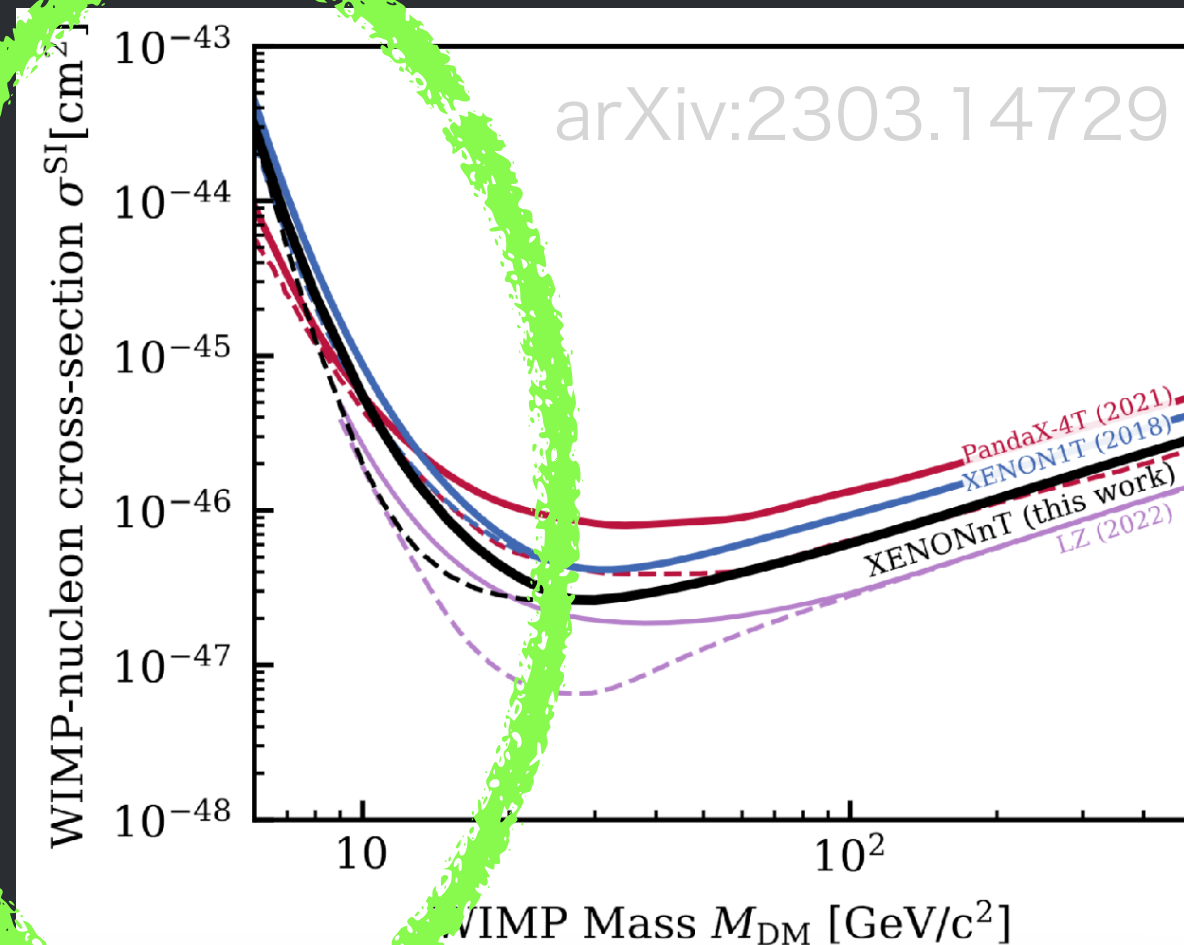


加速されたDM

- 軽いDMの直接検出

標準的なWIMP

⇒ 検証は厳しい

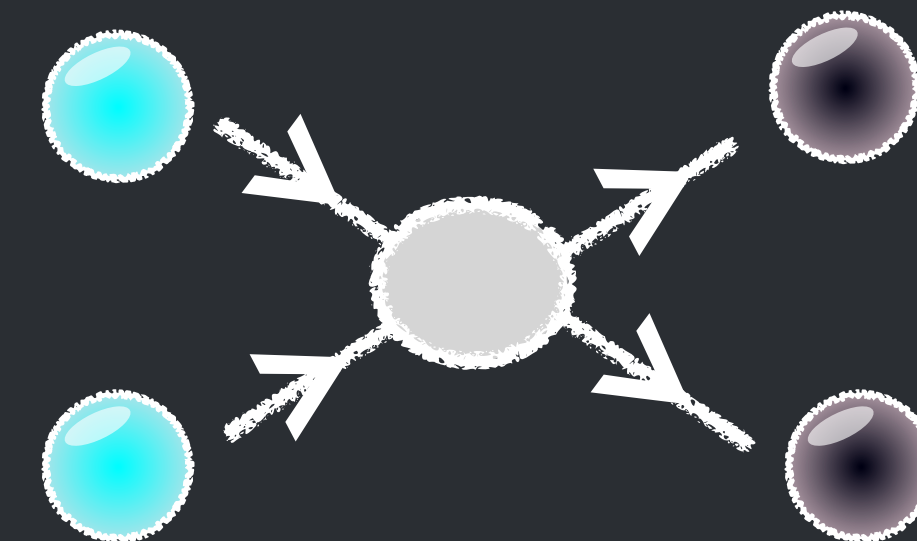


- 加速されたDM

$$E_{\text{DM}} = \sqrt{m_{\text{DM}}^2 + \mathbf{p}_{\text{DM}}^2}$$

- 運動エネルギーが大きければ軽いDMも検証可能
- 相互作用が大きくてもOK $< 10^{-32} \text{cm}^2$

- 加速の機構



対消滅

K. Agashe et al. 1405.7370
J. Berger et al. 1410.2246



崩壊

Bhattacharya et al. 1407.3280
J. Kopp et al. 1503.02669

宇宙線によって加速されたDM (CR-DM)

- CR-DMのフラックス

W. Yin 1809.08610

Y. Ema, F. Sala, R. Sato 1811.00520

T. Bringmann and M. Pospelov 1810.10543

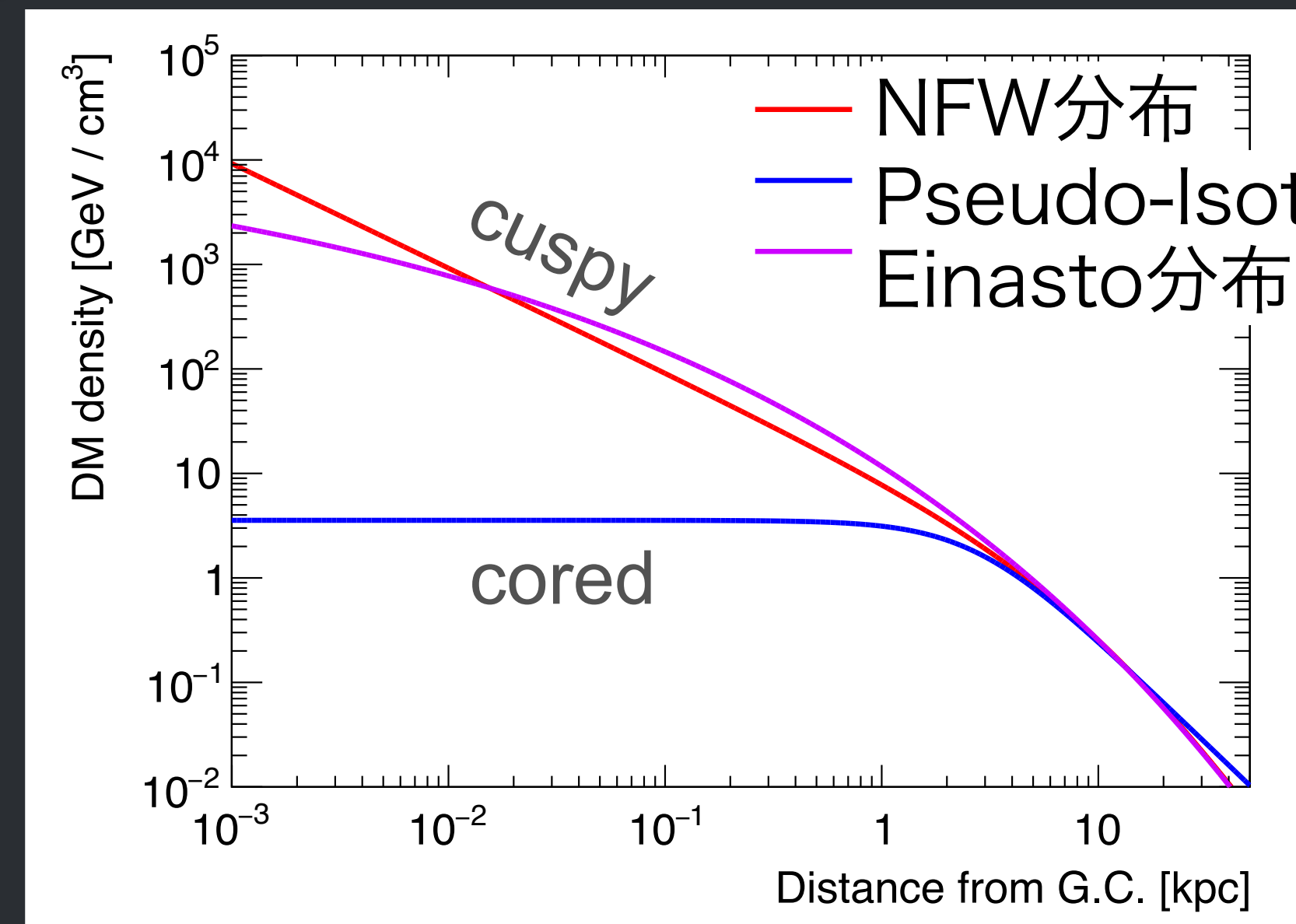
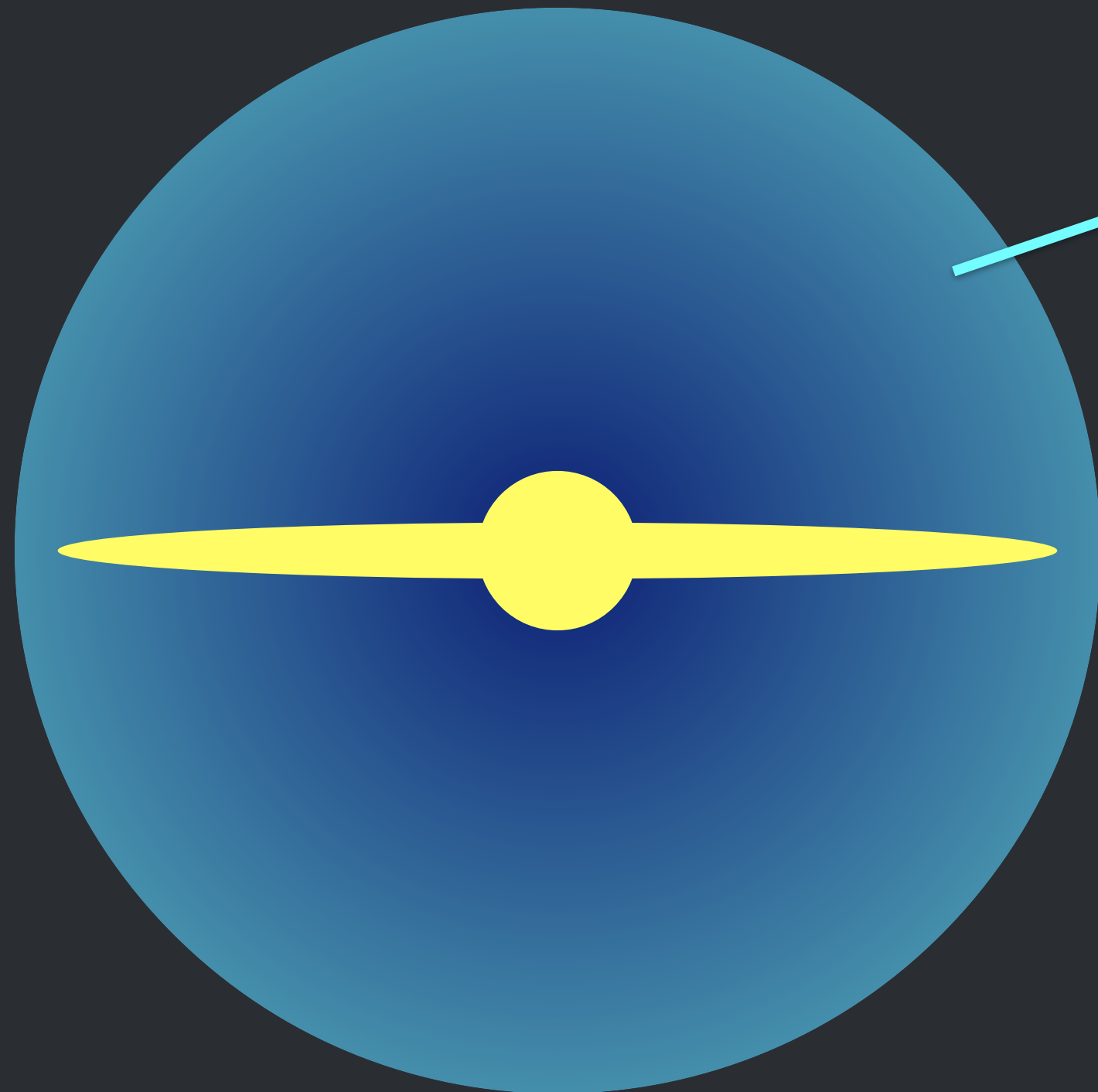
...

$$\frac{d\Phi_\chi}{dT_\chi d\theta d\phi} = \int_{T_\chi^{\min}}^{\infty} \frac{dT_p}{T_\chi^{\max}} \int dV \frac{\rho_\chi}{m_\chi} \boxed{\frac{d\Phi_p}{dT_p}}$$

宇宙線(p)フラックス

$$= \int dl d\theta d\phi \cos \theta G_p^2(2m_\chi T_\chi) \frac{\sigma_{p\chi}}{4\pi m_\chi T_\chi^{\max}} \boxed{\frac{\rho_s}{\left(1 + \frac{r}{r_s}\right)^2 r/r_s}} \frac{d\Phi_p}{dT_p}$$

密度プロファイル (あわよくば知りたい)



J. Navarro, C. Frenk, S. White *Astrophys. J.* 490(1997)

J. Navarro et al. *curves. Mon. Not. Roy. Astron. So* 349 (2004)

R. Jimenez, L. Verde, S. Pen, *Mon. Not. Roy. Astron. So* 339 (2003)

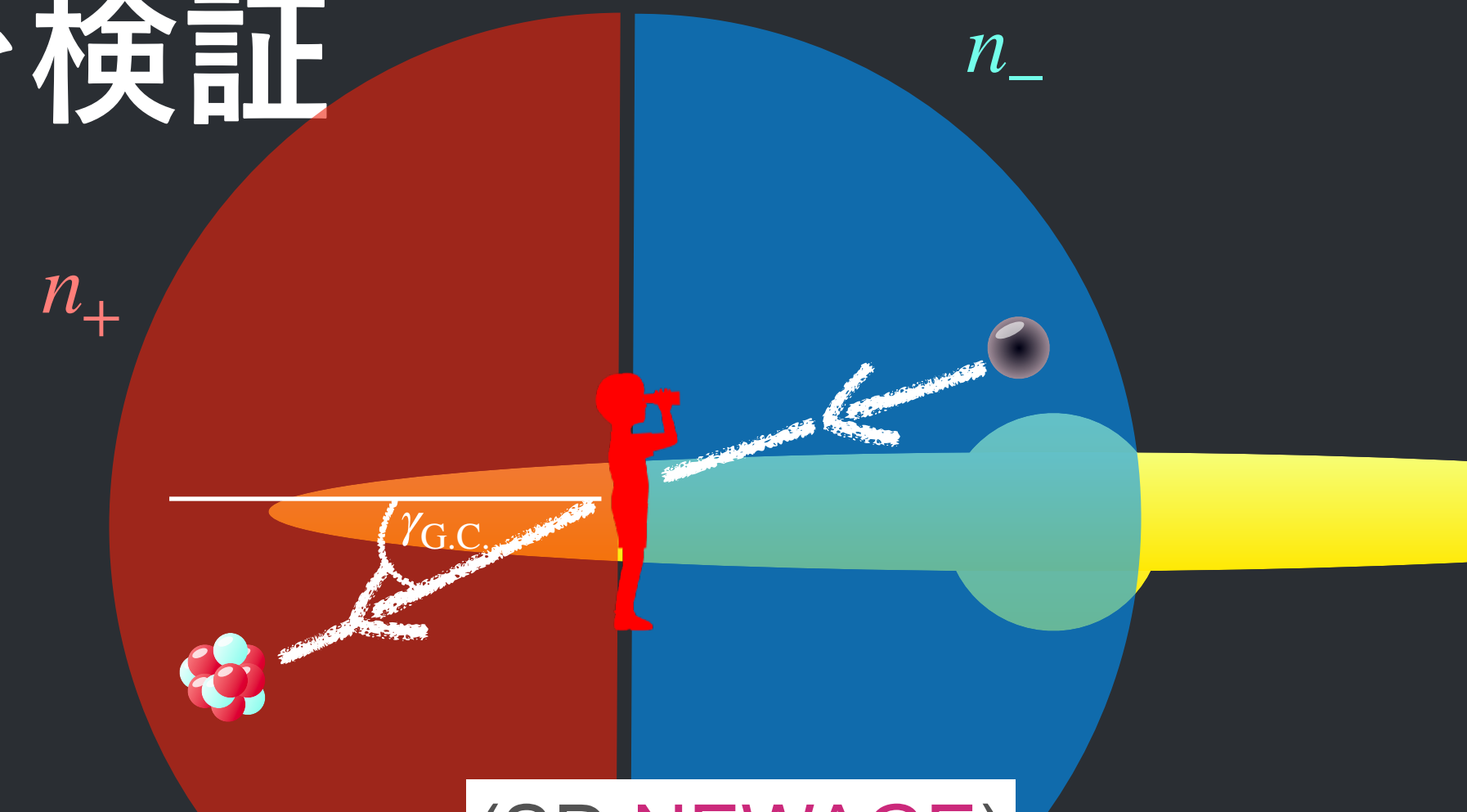
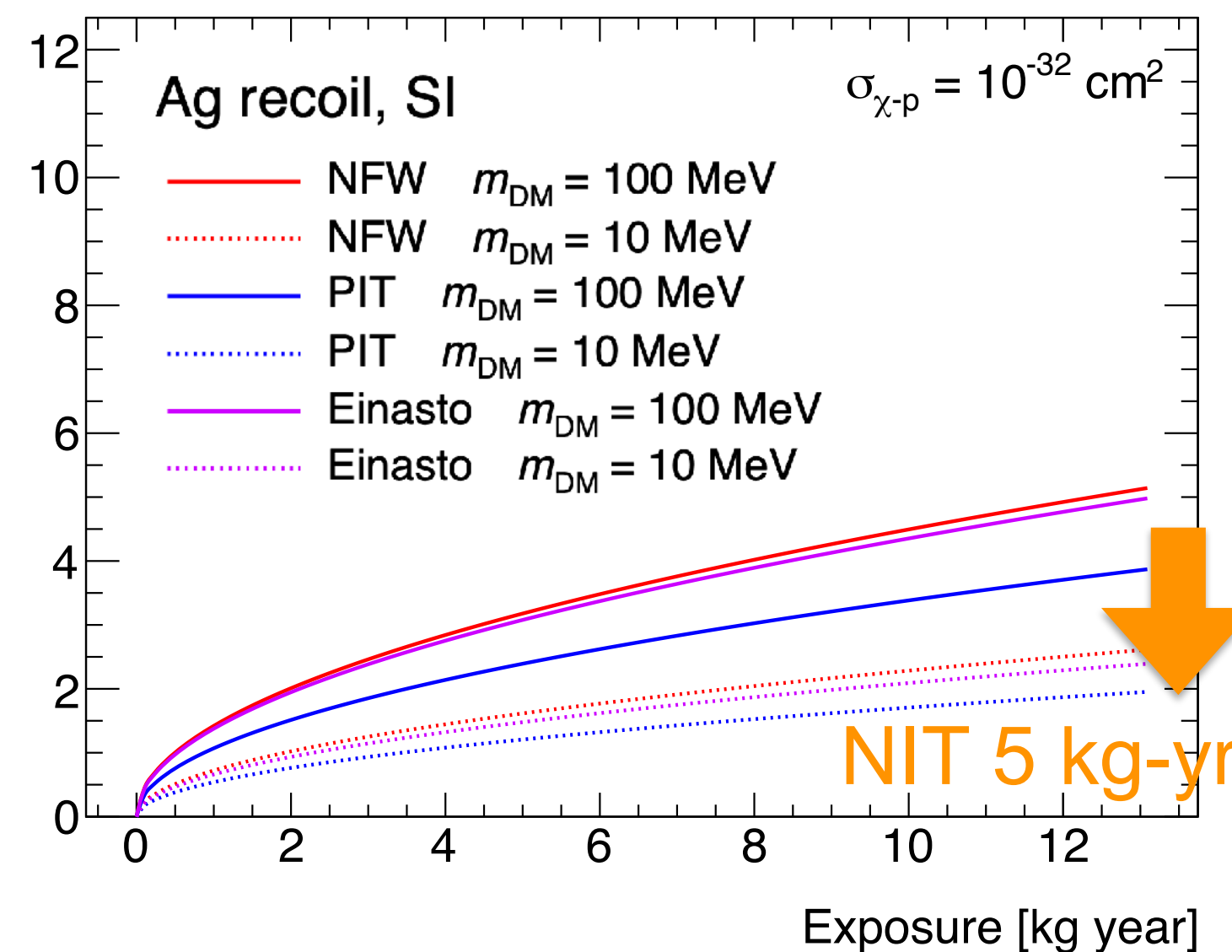
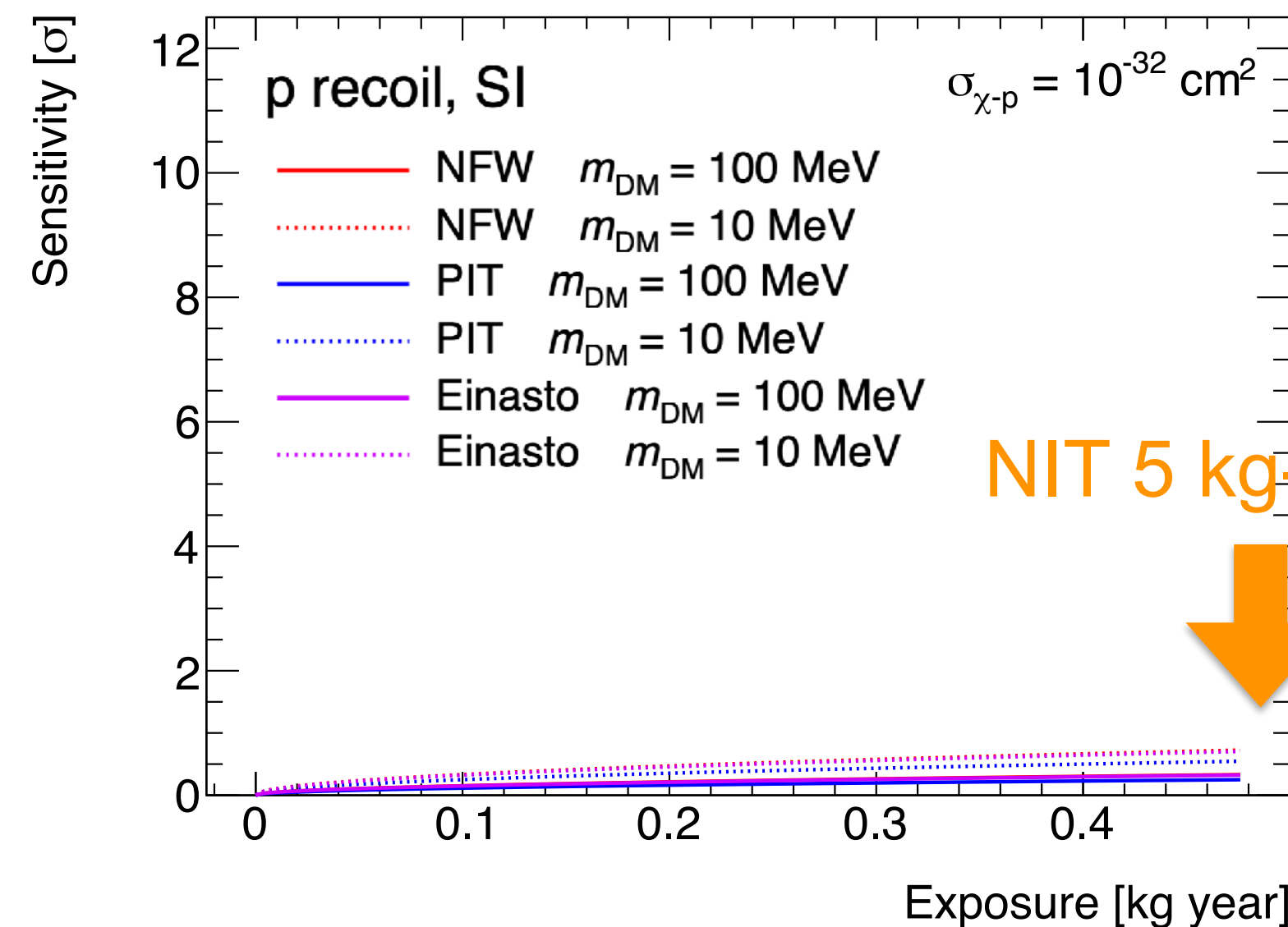
CR-DMの方向的特徴を検証

イベント数の非等方性パラメータ

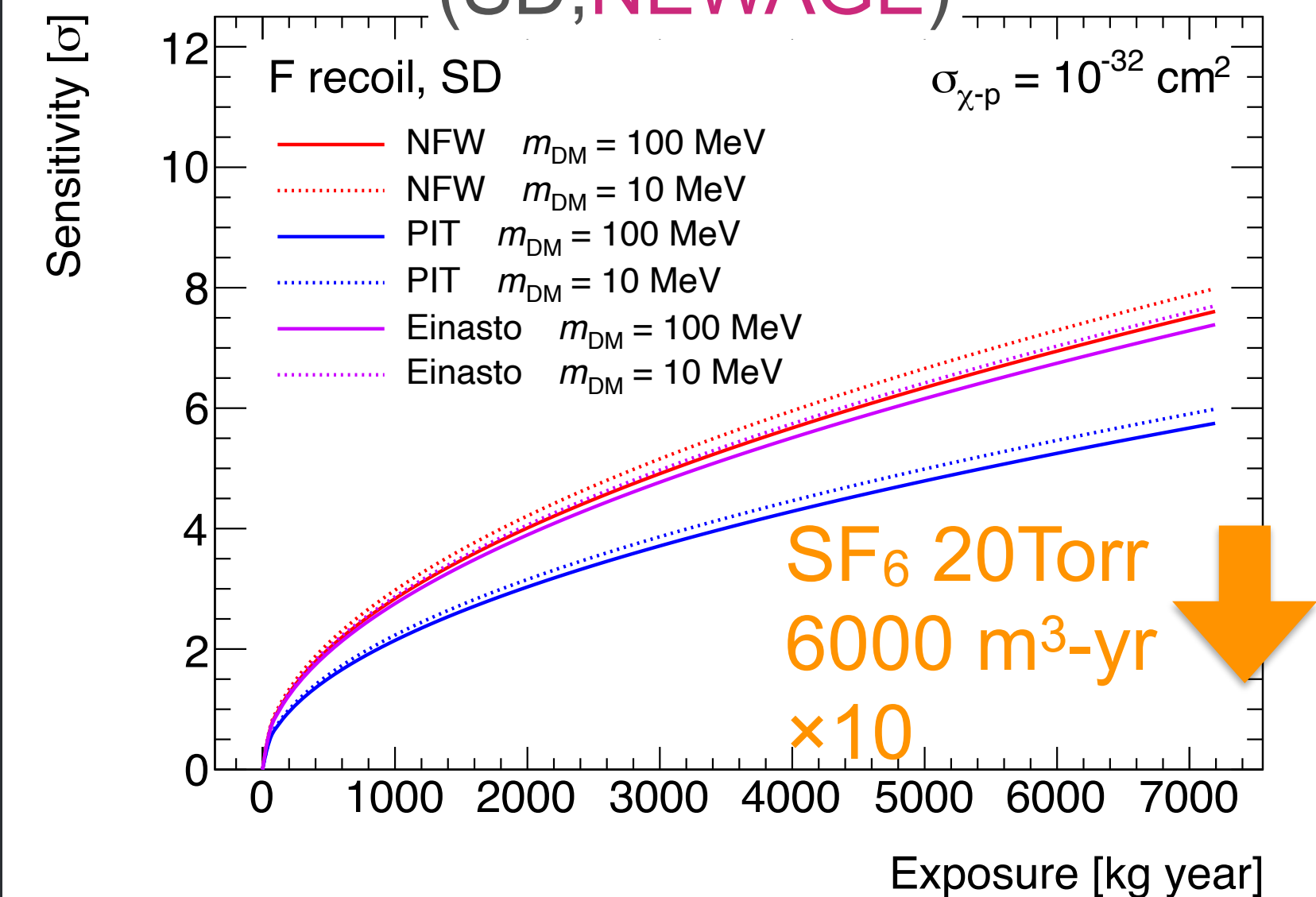
$$A = \frac{n_+ - n_-}{n_+ + n_-}$$

KN, S. Higashino, T. Naka, K. Miuchi
arXiv:2211.13399

(SI, NEWSdm)



(SD, NEWAGE)



- ▶ NFW・EinastoプロファイルはPseudo-isothermalプロファイルより非等方性が見えやすい
- ▶ 高エネルギーイベント ($E_{\text{DM}} > O(10) \text{ MeV}$) は解析で考慮していない(次頁)

今後に向けて

- 方向情報を使って、より多くのDMの情報を引き出せるか？
 - DM速度分布の非等方性
 - 宇宙線に加速されたsub-GeV質量のDM+DM密度プロファイル
 - ...
- 加速されたDMで $E_{\text{DM}} > O(10)\text{MeV}$ のイベントを有効に利用したい
 - DM-原子核の弾性散乱では近似できなくなる
 - 非弾性(励起)・準弾性・共鳴・深部非弾性散乱



- ▶ 原子核理論・ニュートリノ実験からの示唆
- ▶ 関連する他の班との議論も重要

Workshop on Inelastic Nuclear Scattering
for Dark Matter Detection
6月27-28日 (倉敷/ハイブリッド)



**Workshop on Inelastic Nuclear
Scattering for Dark Matter
Detection**

Jun. 27-28, 2024