

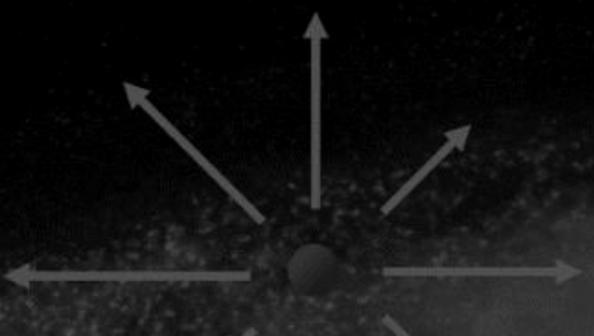
Aug 5, 2021

- 日本学術会議 物理学委員会 天文学・宇宙物理学分科会
大型中型将来計画シンポジウム (CRC関連)

NEWAGE/CYGNUS

身内賢太郎
(神戸大学)

- 暗黒物質
- 提案内容



10. 実施内容

本計画は神戸大学を中心として、国内・海外の研究期間と協力して推進する。

国内の研究機関との協力 地下実験（東京大学宇宙線研究所）、MPGD 開発（京都大学）、低 BG 関連の R&D（東北大学、日本大学、東京理科大）、回路開発（KEK）

海外の研究機関との協力 CYGNUS steering committee(シェフィールド大学 Gran Sasso Science Institute ハワイ大 オーストラリア国立大学)

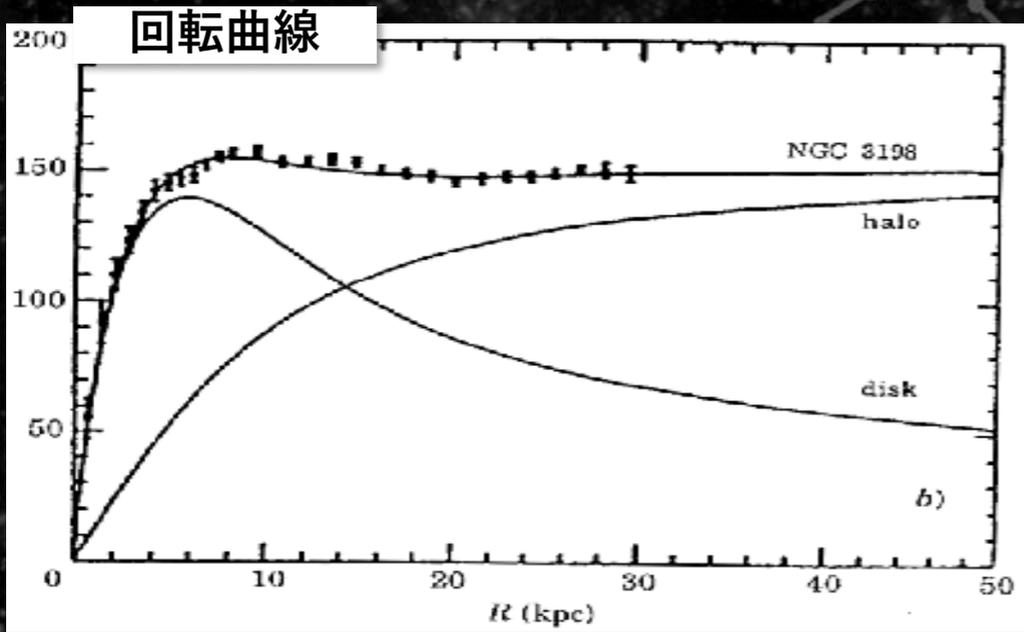


暗黒物質

～方向に感度を持つWIMP直接探索～

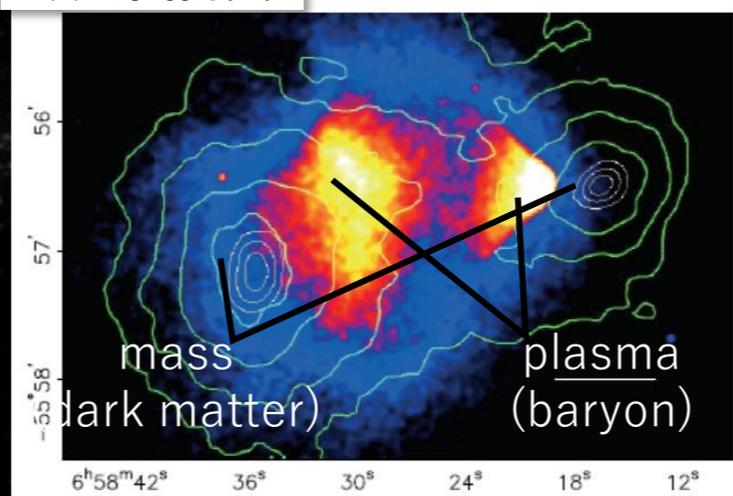
• 暗黒物質: 宇宙のさまざまな階層で存在

- 銀河スケール: 回転曲線 (1970~)
- 銀河団スケール: 銀河団の衝突 (2007~)
- 宇宙全体:
CMB and other observations (2002~)



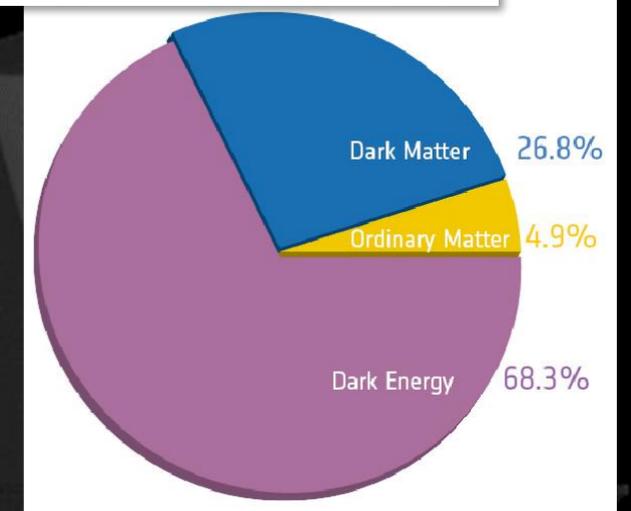
Annu. Rev. Astron. Astrophys. 29(1991)409

銀河団衝突



THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 648:L109–L113, 2006 September 10

宇宙のエネルギー組成



Planck team

暗黒物質候補

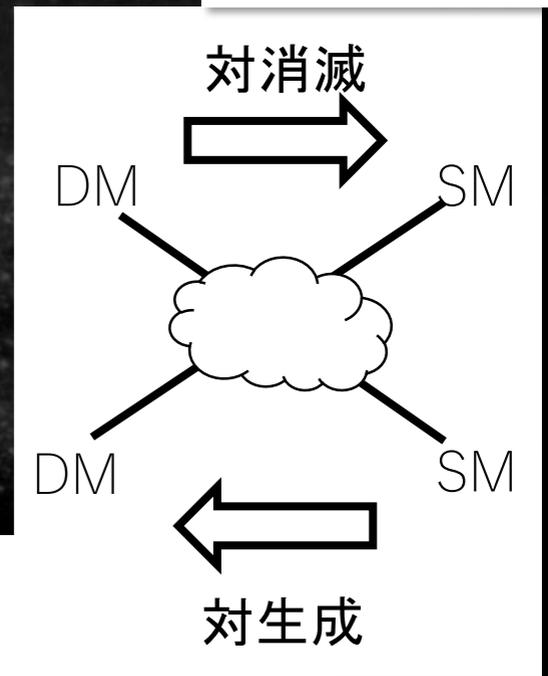
他の動機で導入される粒子が「よい」候補

- アクシオン (QCDのCP対称性)
- 初期ブラックホール(重力波によるブラックホール合体観測)
- WIMP (Weakly Interacting Massive Particles) ⇒ 本講演

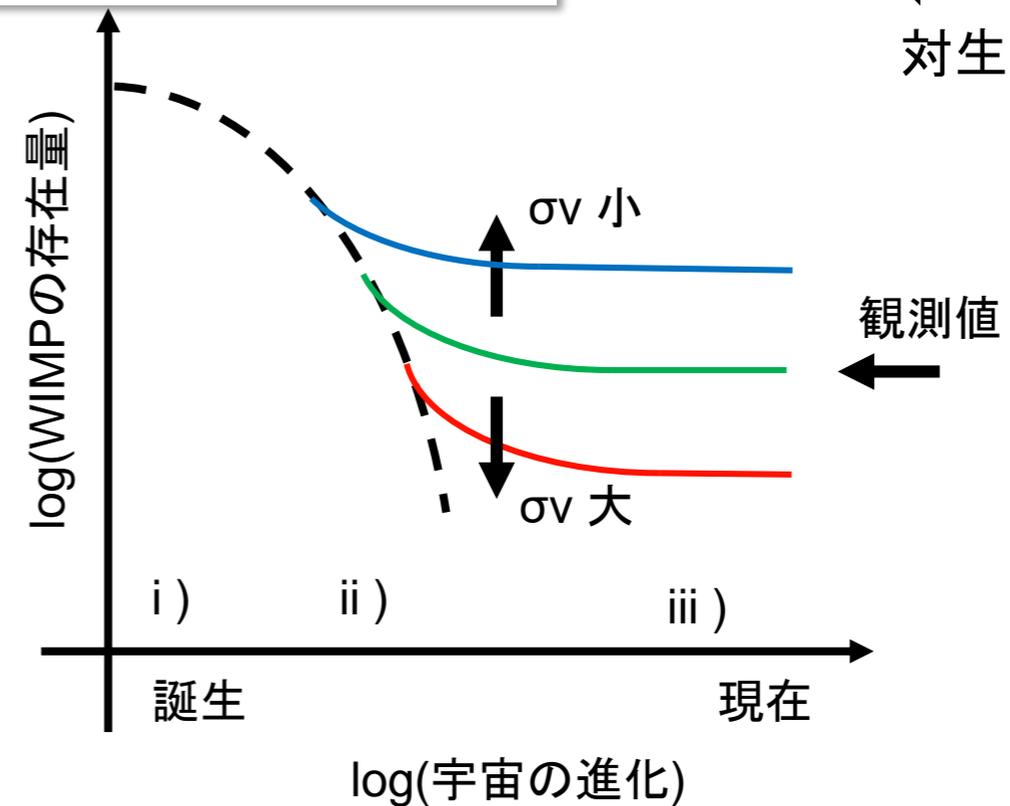
WIMPの特徴

- 初期宇宙で生成
- 対消滅で減少
- ある時点で存在量固定
- weak scaleで現在の存在量を説明
⇒WIMP ミラクル

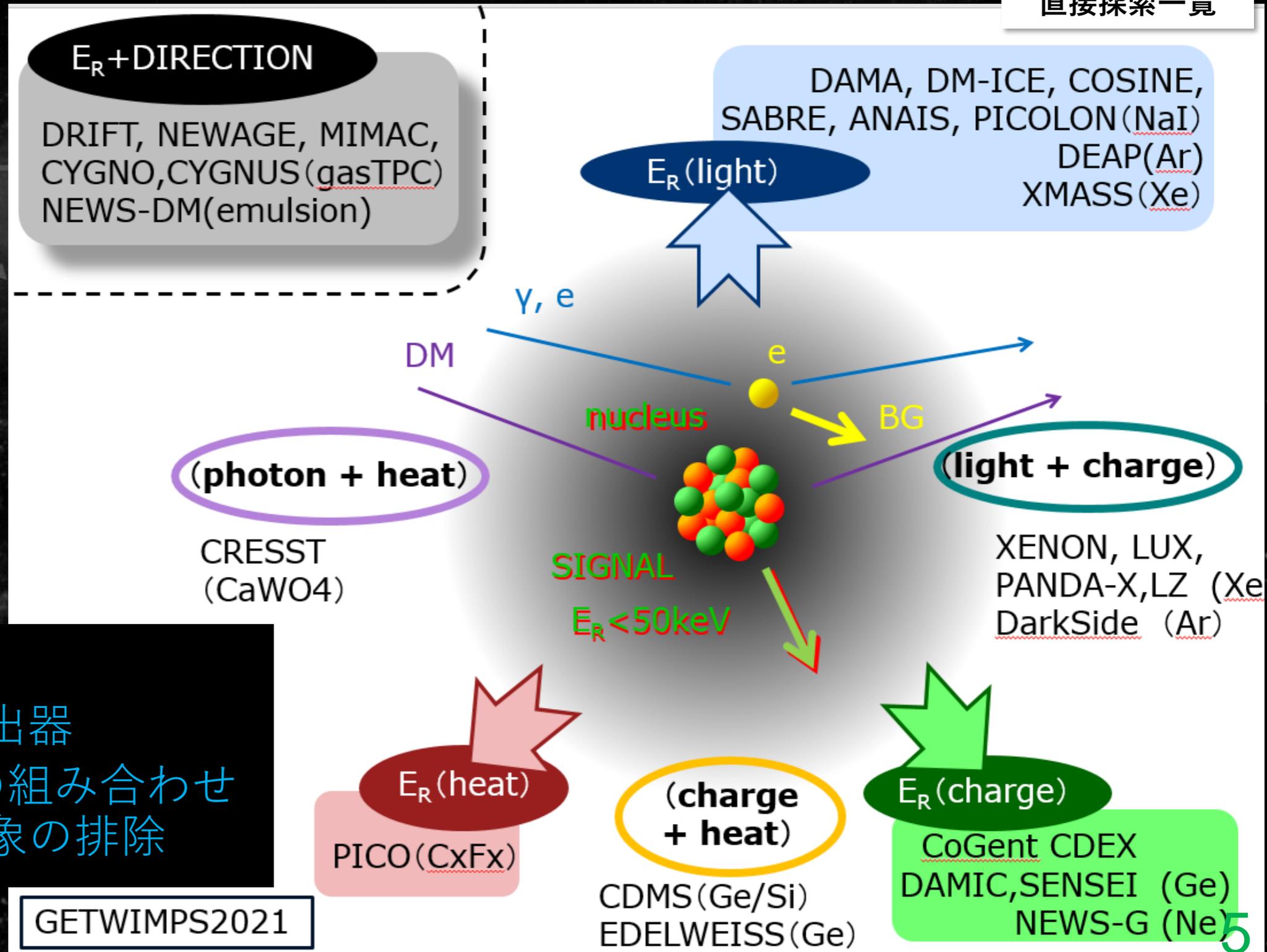
WIMPの反応



WIMP存在量の時間変化



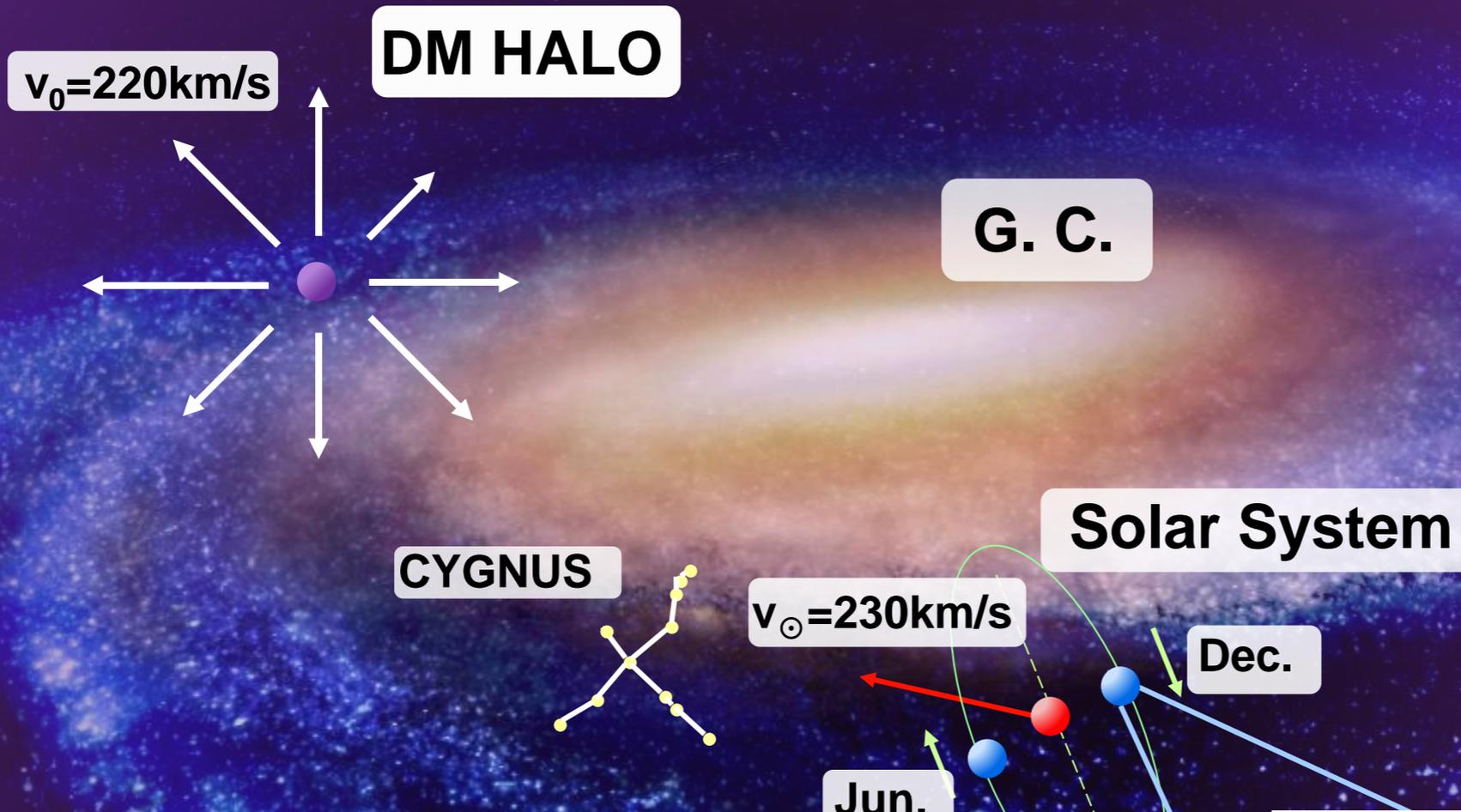
WIMP直接探索



- テクノロジー
 - 通常の放射線検出器
 - 2つ以上の信号の組み合わせ
 ⇒ 電子反跳事象の排除

GETWIMPS2021

直接探索

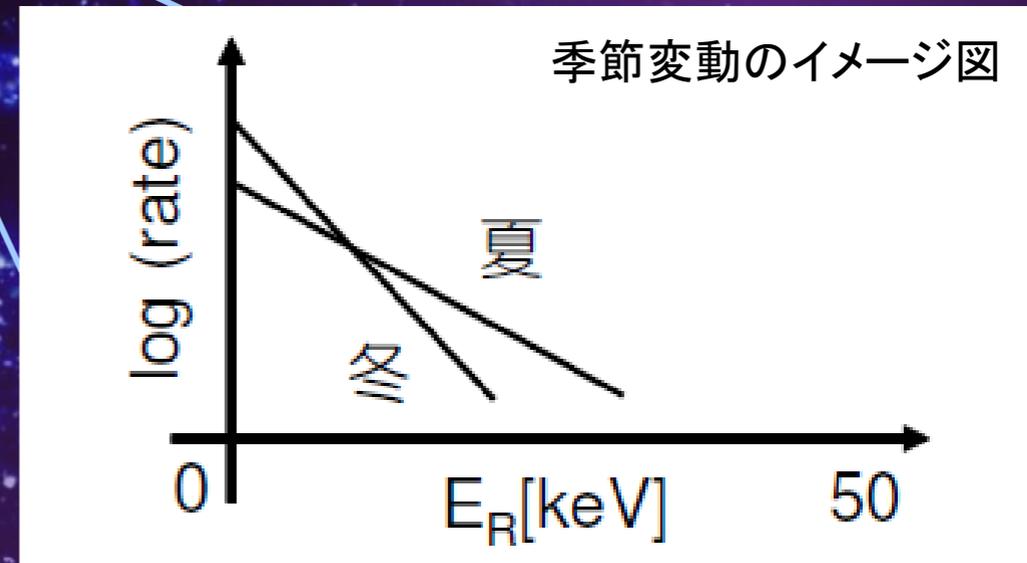


• WIMP信号

- 原子核反跳 エネルギー、方向
- 季節変動

• バックグラウンド

- 電子反跳 (ガンマ線、 β 線)
- 原子核反跳 (中性子)

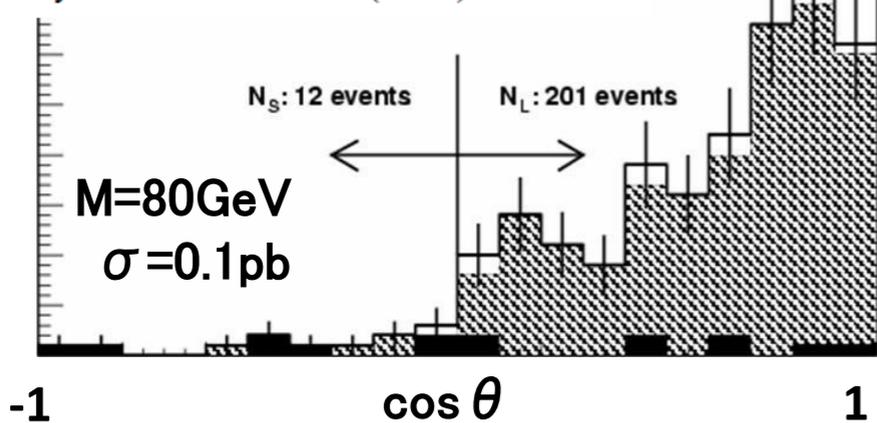


• CYGNUS ① 確実な証拠

- O(10) 事象で前方散乱の証拠 (c.f. 季節変動 O(1e4) 事象)

期待される反跳角分布

Physics Letters B 578 (2004) 241–246

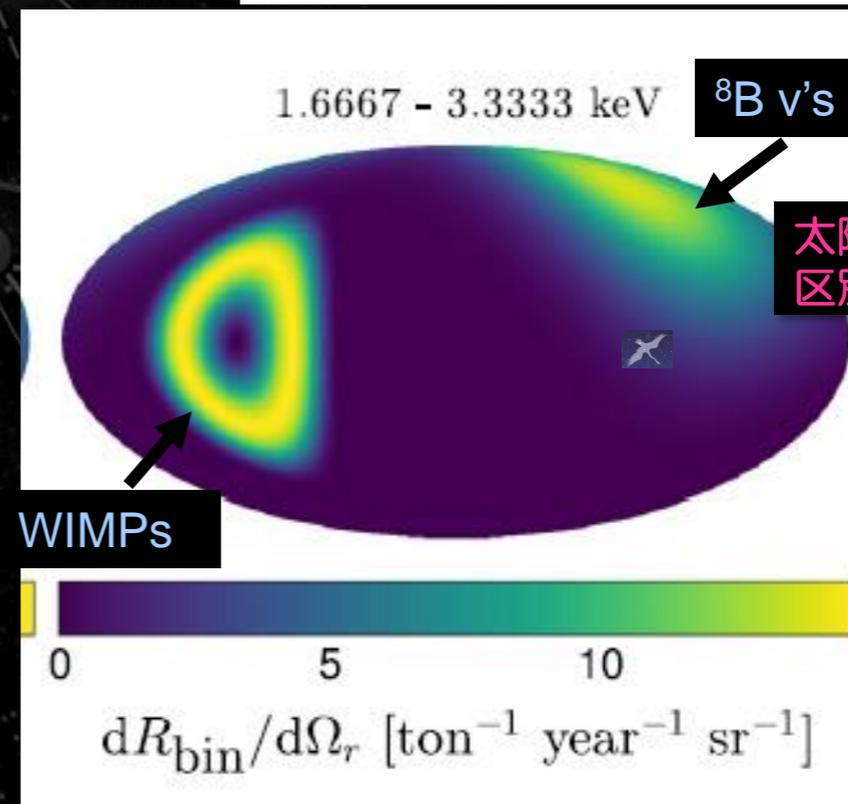


(θ : はくちょう座の方向と原子核反跳の方向のなす角)

明確な「前方散乱」

期待される
原子核反跳スカイマップ

F. Mayet et al. / Physics Reports 627 (2016) 1–49



太陽ニュートリノも
区別可能

• CYGNUS ② 宇宙物理に関係した性質

ストリーム

Our GALAXY

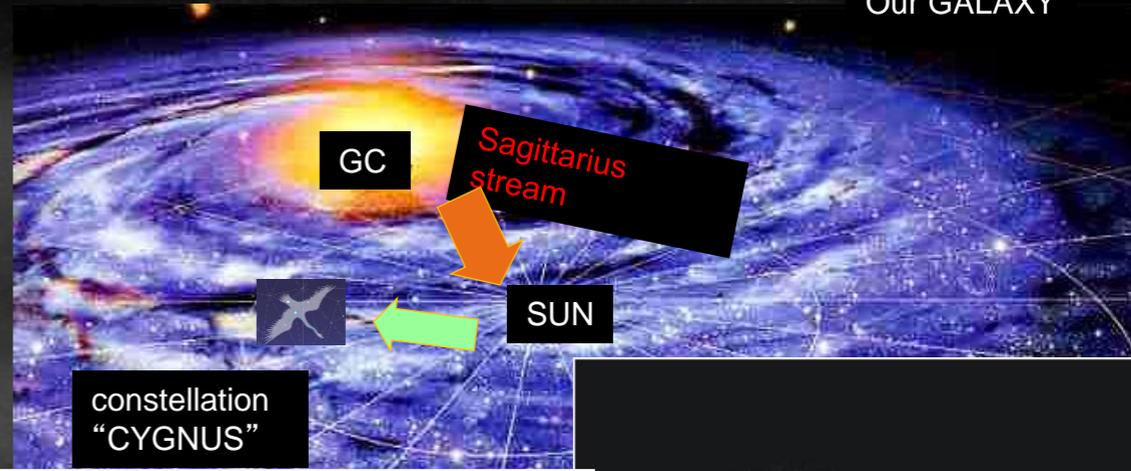
• ハローモデル検証

ハロー非等方成分

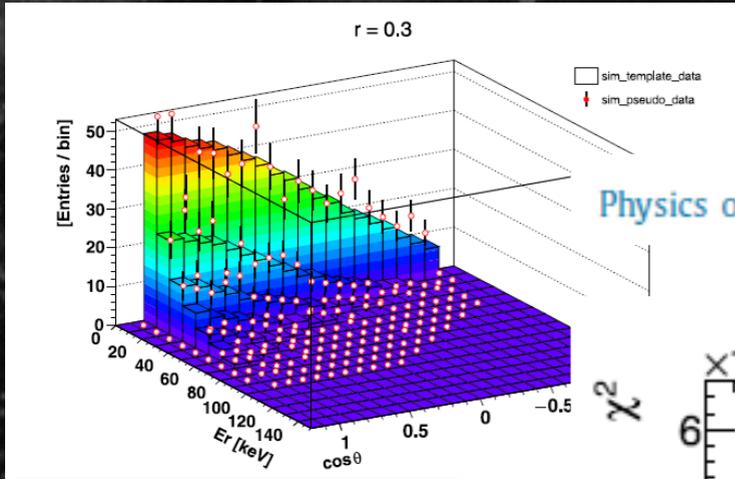
(多体シミュレーションは $r \sim 0.3$ を示唆)

Discrimination of anisotropy in dark matter velocity distribution with directional detectors

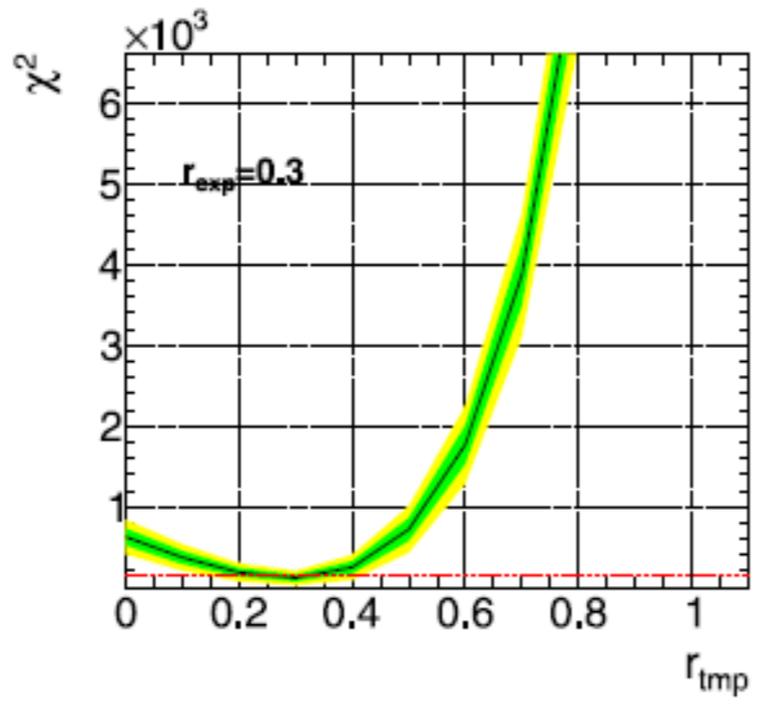
Keiko I. Nagao^{a,b,*}, Tomonori Ikeda^c, Ryota Yakabe^c, Tatsuhiro Naka^{d,e}, Kentaro Miuchi^c



PHYSICAL REVIEW D 90, 123511 (2014)

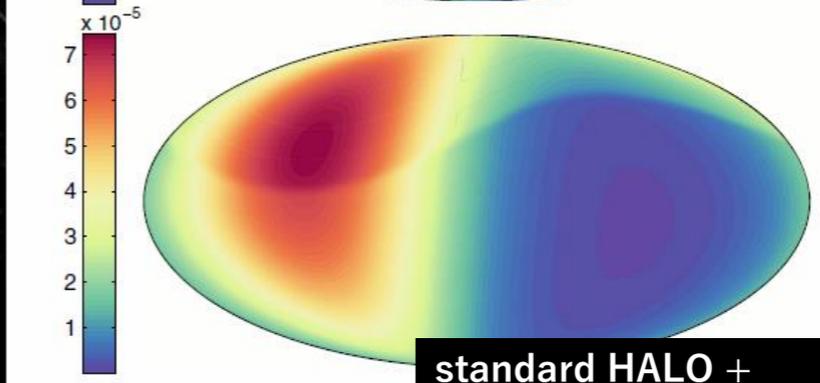
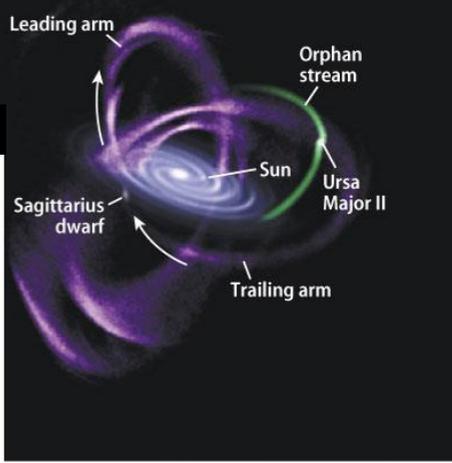
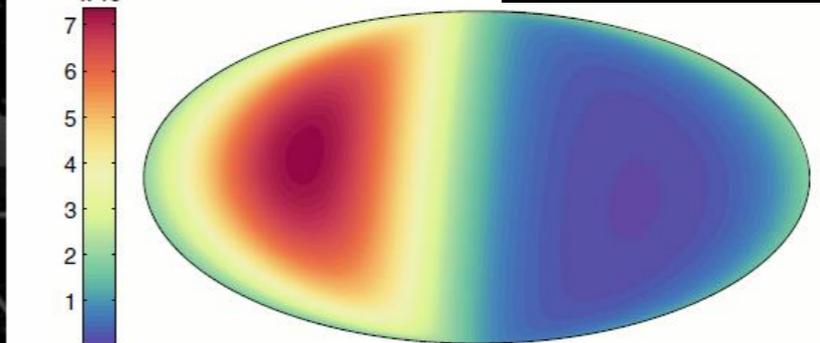


Physics of the Dark Universe 27 (2020) 100426



エネルギーと散乱角

expected standard HALO

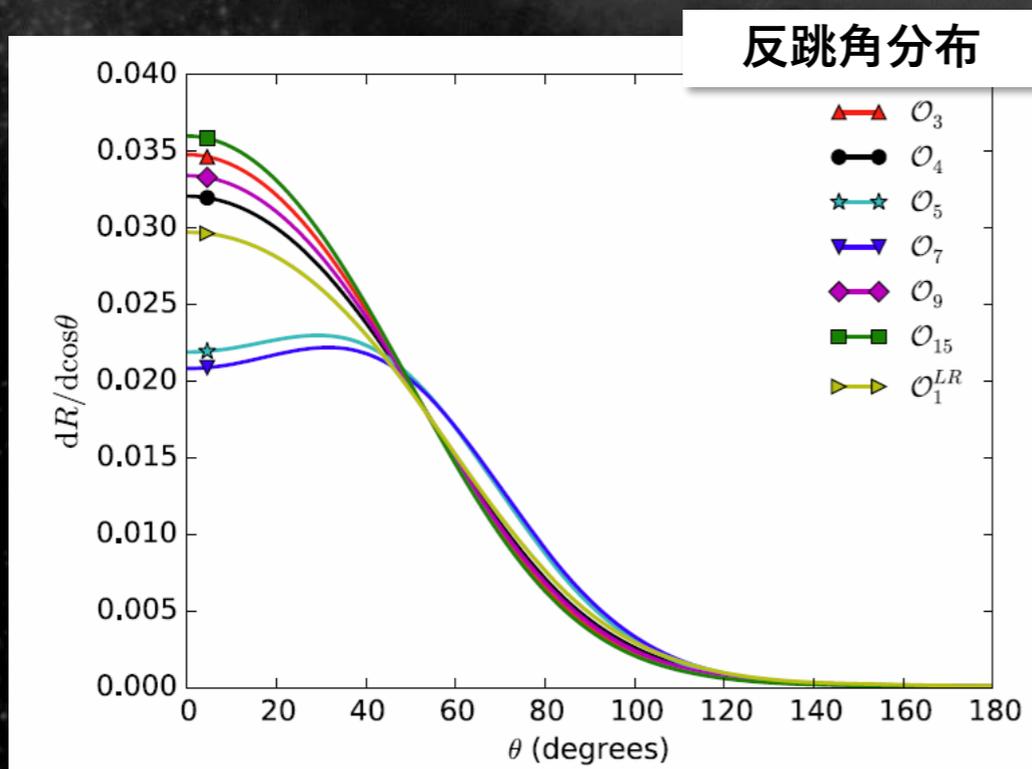


standard HALO + stream

galactic coordinate

• scan r value

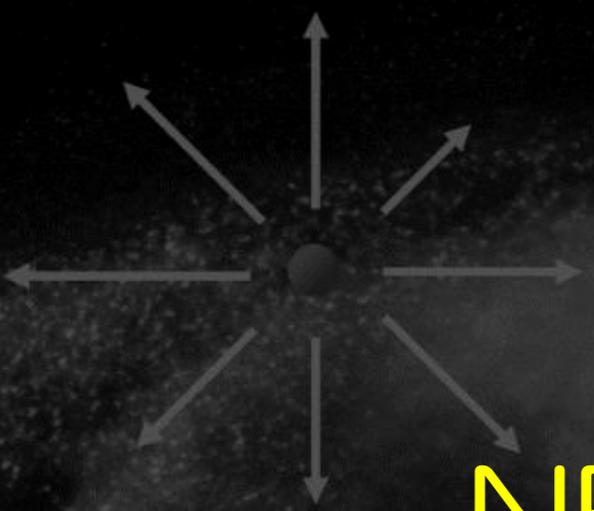
- CYGNUS ③ 素粒子の性質解明
 - 反応形式によって角度分布が異なる



PHYSICAL REVIEW D 92, 023513 (2015)

反応オペレータ	SI	SD
Proportional to 1	\swarrow	\swarrow
v_{\perp}^2		
q^2		
$v_{\perp}^2 q^2$		
q^4		
$q^4(q^2 + v_{\perp}^2)$		
q^{-4}		

1	: $\mathcal{O}_1, \mathcal{O}_4,$
v_{\perp}^2	: $\mathcal{O}_7, \mathcal{O}_8,$
q^2	: $\mathcal{O}_9, \mathcal{O}_{10}, \mathcal{O}_{11}, \mathcal{O}_{12},$
$v_{\perp}^2 q^2$: $\mathcal{O}_5, \mathcal{O}_{13}, \mathcal{O}_{14},$
q^4	: $\mathcal{O}_3, \mathcal{O}_6,$
$q^4(q^2 + v_{\perp}^2)$: $\mathcal{O}_{15},$
q^{-4}	: $\mathcal{O}_1^{LR}.$



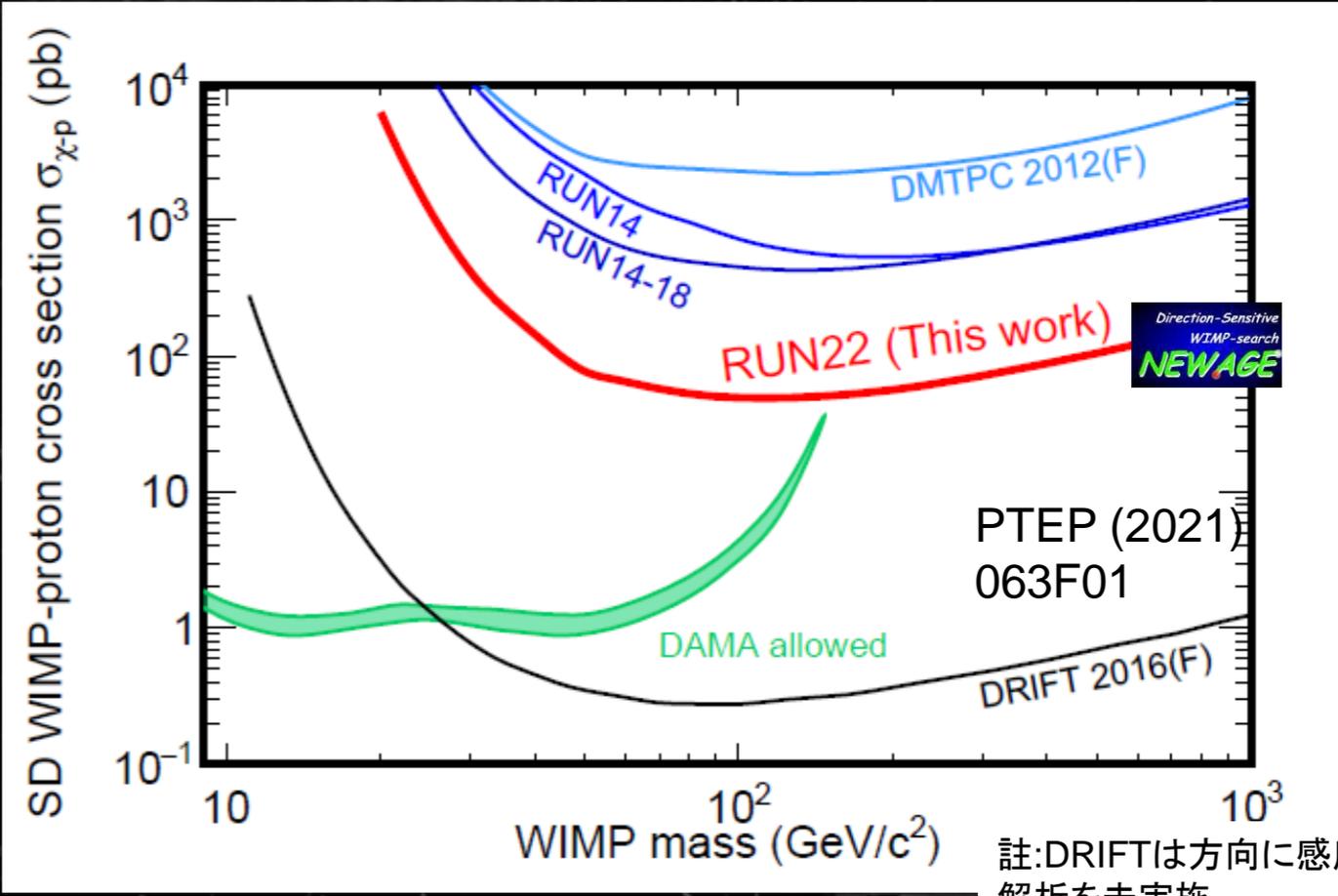
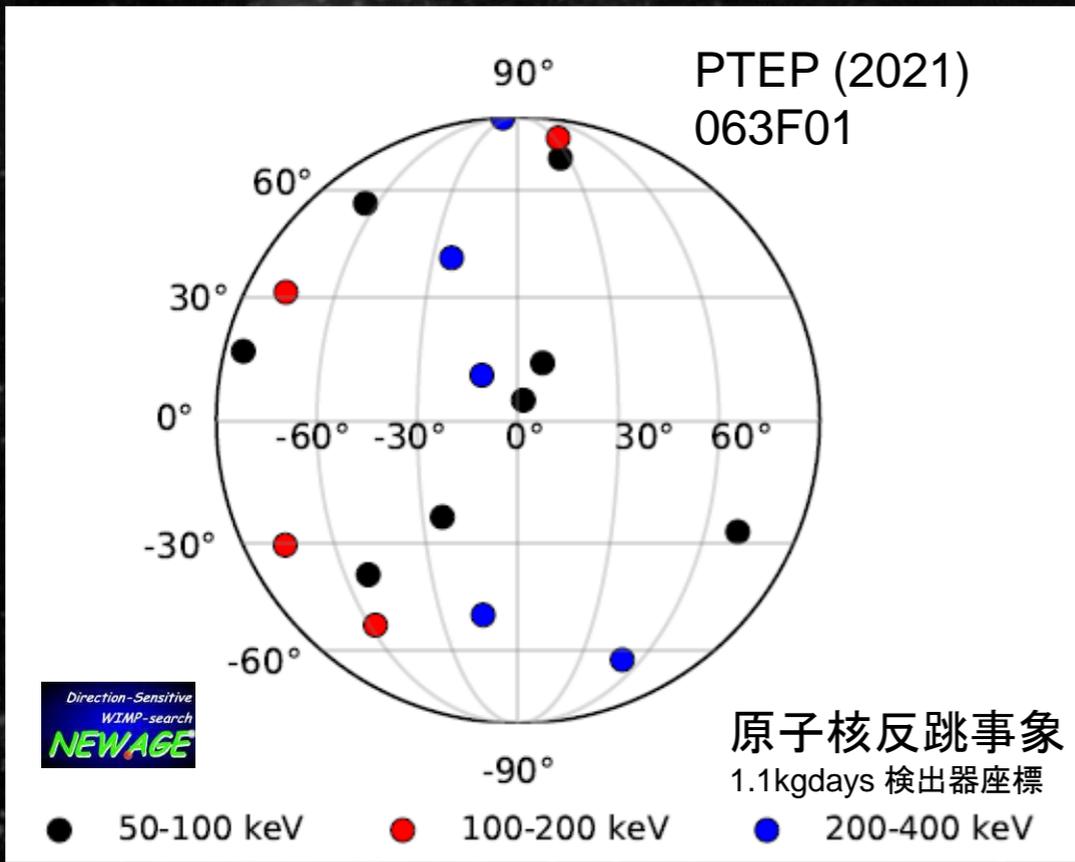
提案内容

NEWAGE/CYGNUS

1. ガス飛跡検出器による暗黒物質の正体解明
2. 問い合わせ先：神戸大学大学院理学研究科・准教授・身内賢太郎・
miuchi@phys.sci.kobe-u.ac.jp
3. 想定される提案者（計画遂行の責任を担う大学・機関・部局の長等）
中型 B 選択のため、該当なし
4. 計画規模：大型・中型 A・**中型 B**（どれかひとつを選択してください）
5. マスタープラン 2017, 2020 への採否状況
提案なし

分野の現状

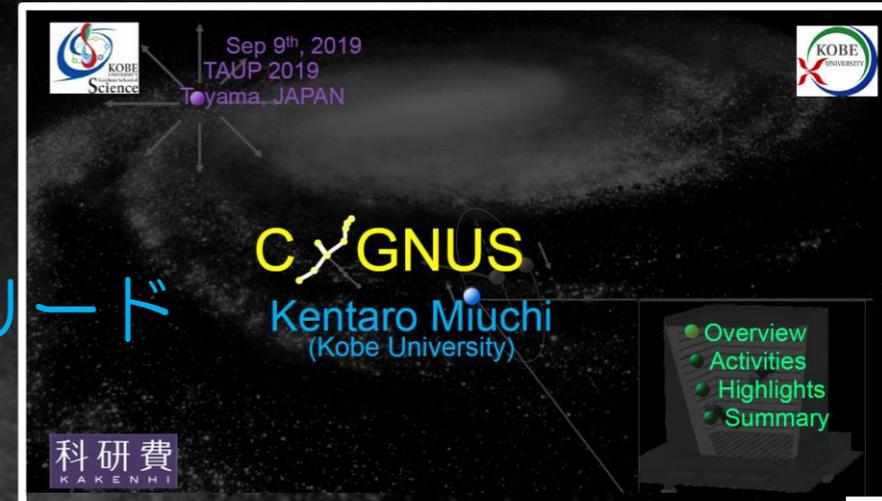
- DRIFT (英) が開拓 (方向感度よりも低BG化を優先)
- NEWGAE (日) が方向感度探索を牽引 (2007- 神岡地下)
- イタリアグループなどの技術開発



註:DRIFTは方向に感度をもつ解析を未実施

分野の現状 CYGNUS

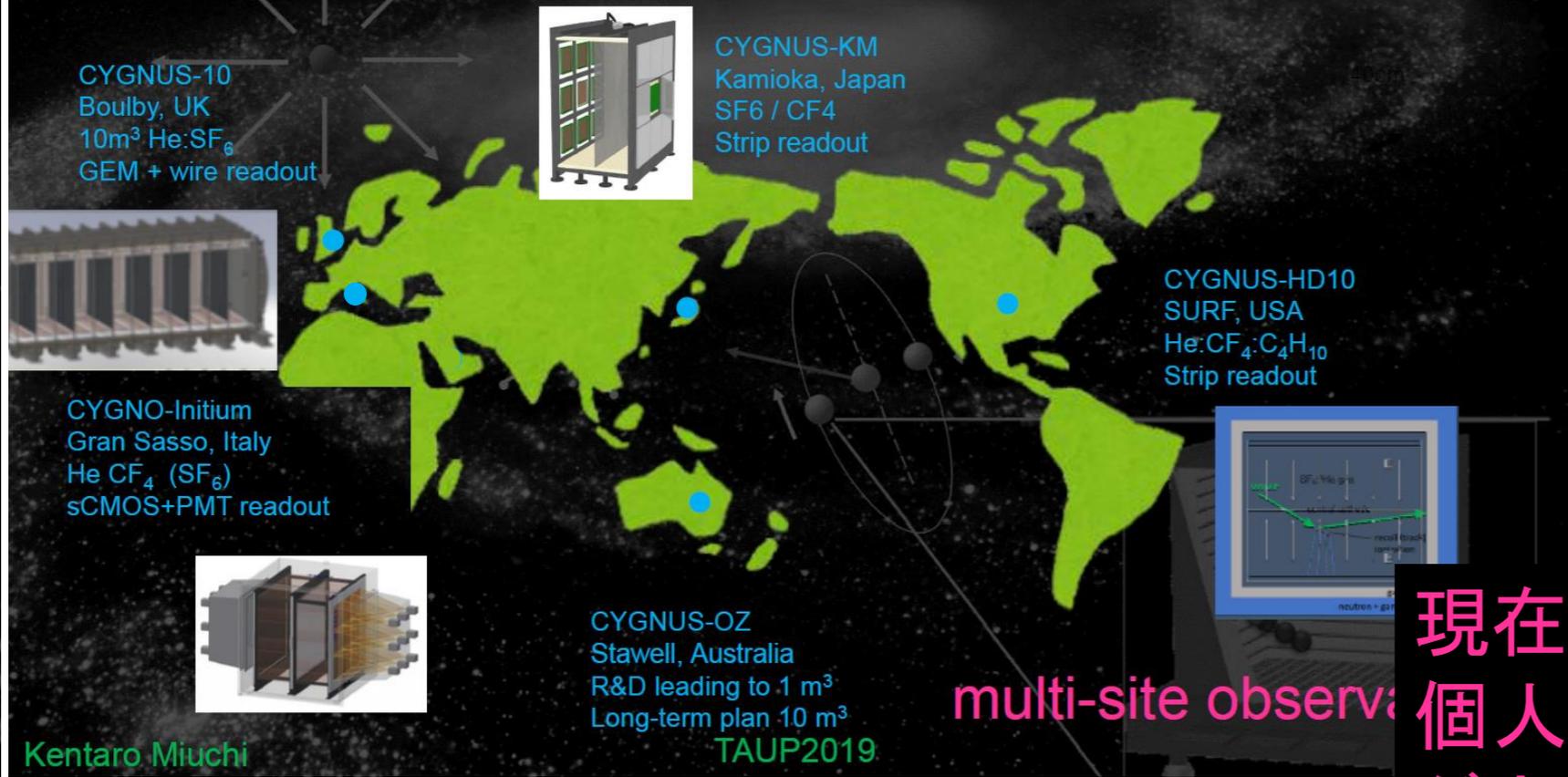
- 方向感度の国際共同フレームワーク：CYGNUS
- 5人のsteering committeeの1員として議論をリード



steering committee

- E. Baracchini (GSSI)
- G. Lane (ANU, Canberra)
- K. Miuchi (Kobe)
- N. Spooner (Sheffield)
- S. Vahsen (Hawaii)

World-wide CYGNUS (ver. TAUP2019)



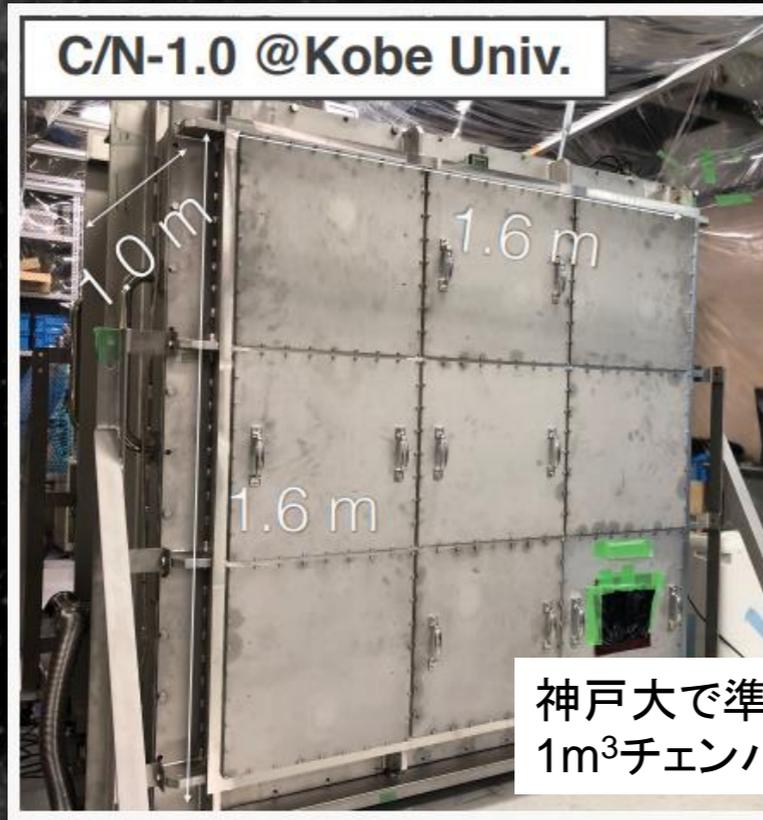
Kentaro Miuchi

現在の議論：多地点での観測
個人的観測：
ダウンセレクションは否まない

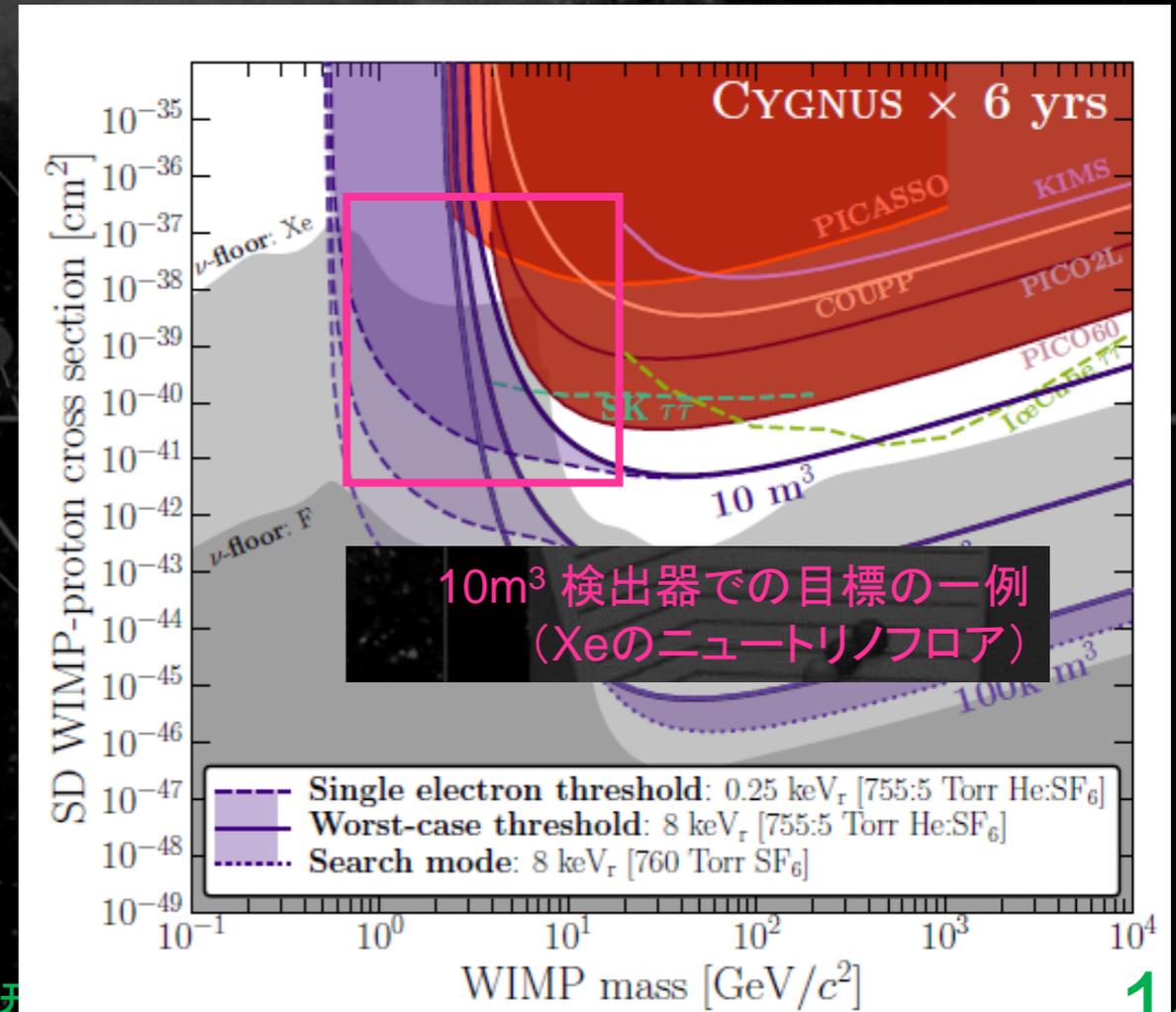
• タイムライン

- フェーズ 1 (2021-2026) NEWAGE • CYGNUS 1m³ 検出器
 - 製作 2億円 (主に読み出し回路) 運転経費 0.5億円/年
- フェーズ 2 (2026-2031) CYGNUS 10m³検出器
 - 製作 10億円 運転経費 1億円/年

arXiv 2008.12587



神戸大で準備中の
1m³チェンバー



10m³ 検出器での目標の一例
(Xeのニュートリノフロア)

まとめ

- 方向に感度を持つ暗黒物質直接探索
 - 確実な発見の証拠
 - 暗黒物質の性質解明
- NEWAGE/CYGNUS
 - 重要拠点の一つとして国内（神岡）に設置

