

方向感度のあるDM直接探索

身内賢太朗
(神戸大)

2019年12月 20日

CRC タウンミーティング

グランキューブ大阪

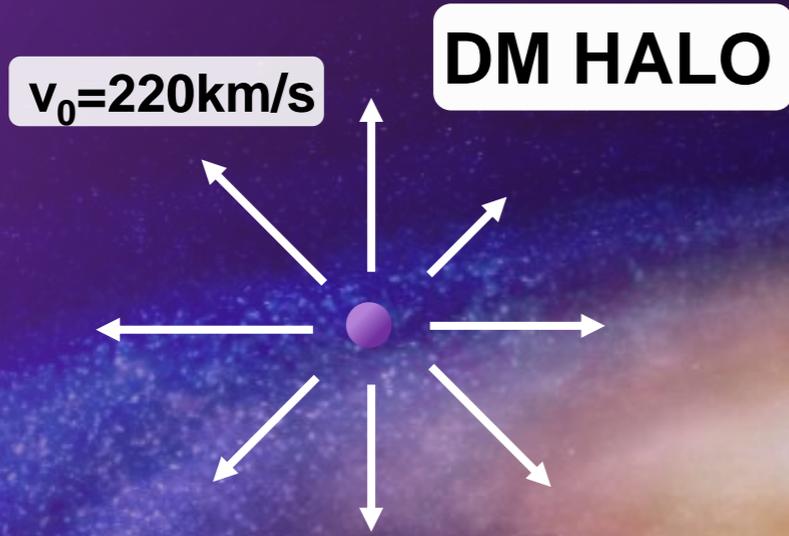
科研費
KAKENHI

- Overview
- ガス
- 原子核乾板
- 異方性結晶

“CYGNUS” concept

G. C.

WIMP-wind detection



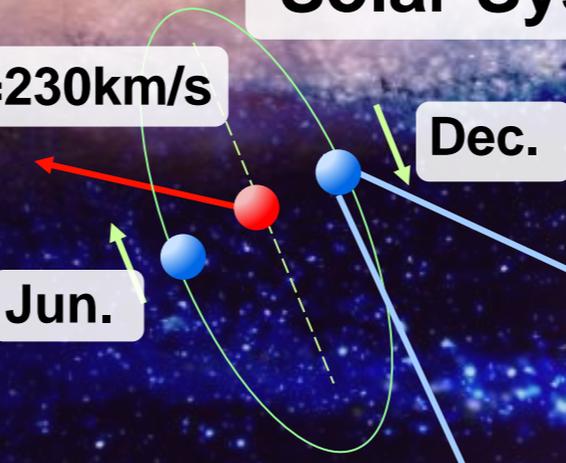
CYGNUS

Solar System

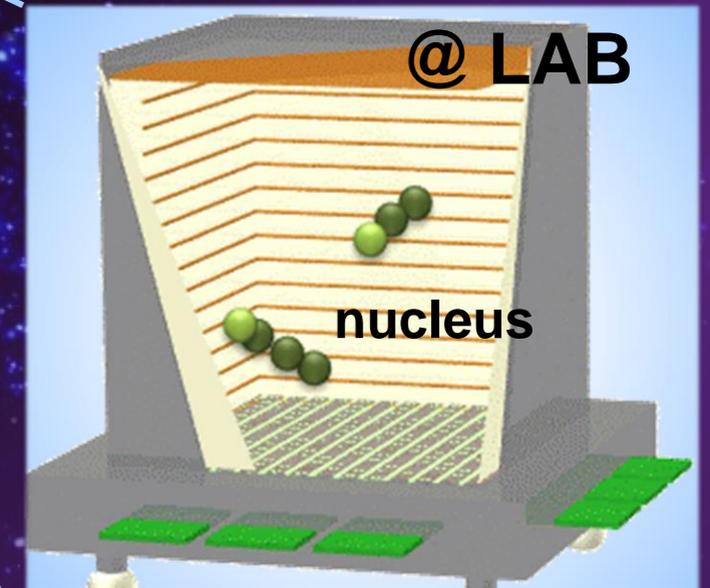
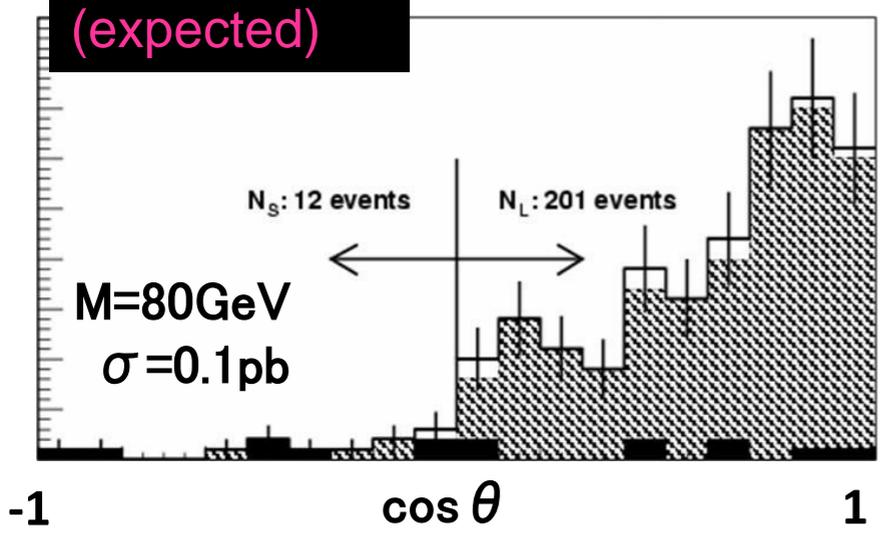
$v_{\odot} = 230 \text{ km/s}$

Dec.

Jun.

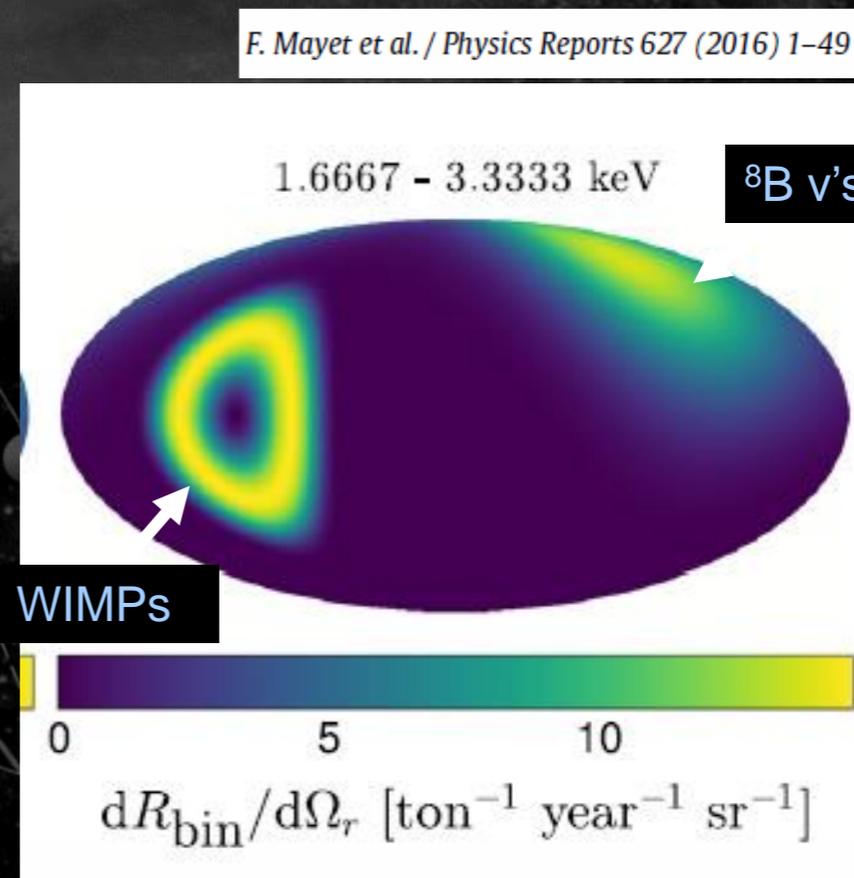
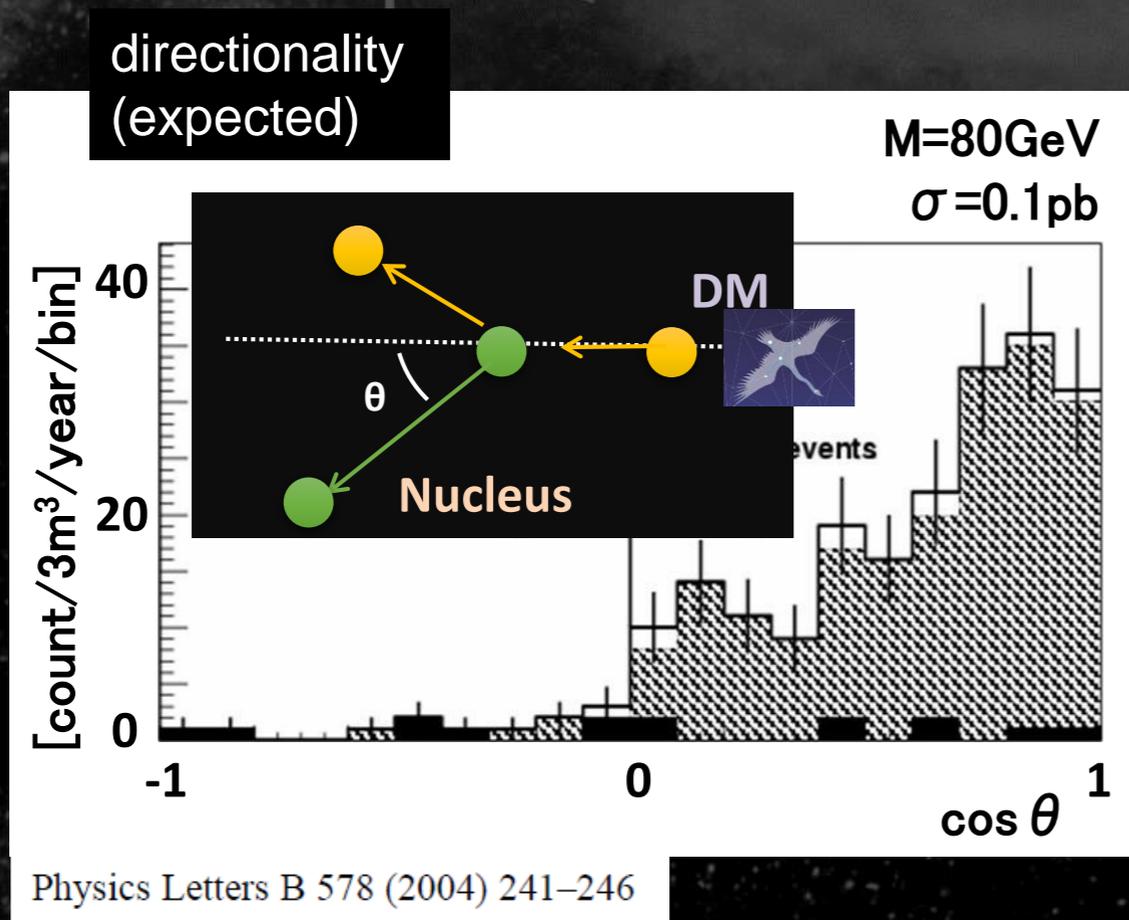


directionality
(expected)



方向感度は重要だ (in principle)

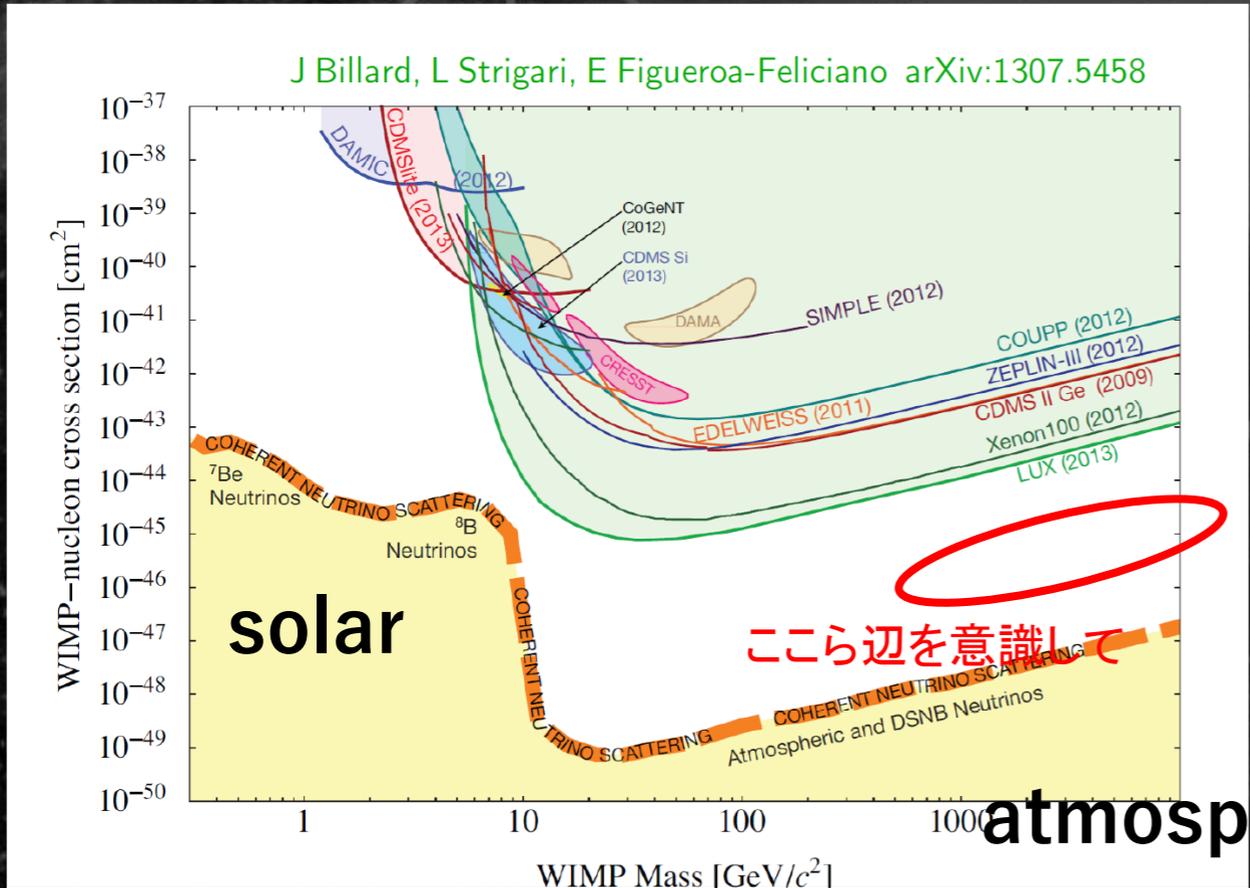
- 決定的証拠
- 暗黒物質の性質解明



現実性!!!!??????

一声 数トン

作れるものを持って来なさい：伊藤



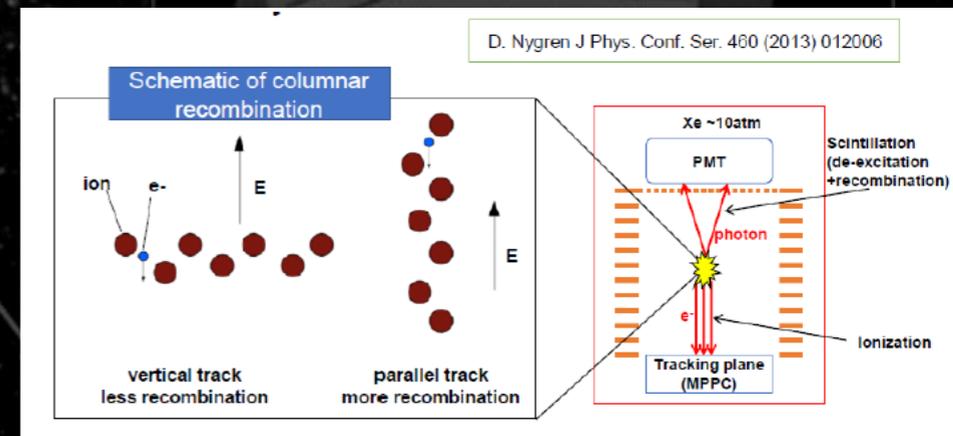
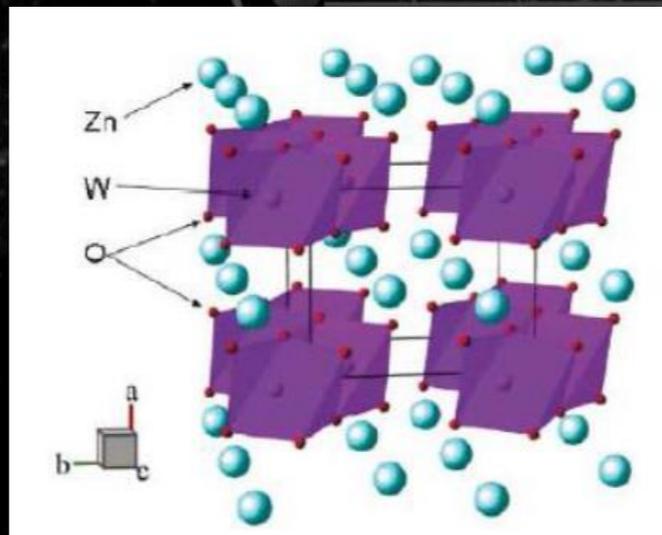
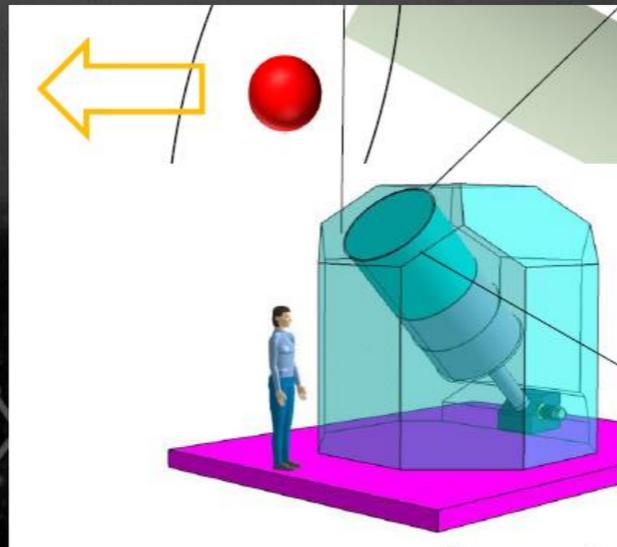
もちろん簡単にできるんなら
液体キセノンなんてやらずに飛び
つくわけだから、

現実的な落とし込みはおいおい考
えることにして、

10~20年後にできそうな絵を描く

候補と問題点

- 低圧ガス
 - 質量
- 原子核乾板
 - 読み取り速度
- 異方性結晶
 - 原理実証・低BG化



低圧ガス：飛跡検出

- 30年物のアイディア

- いくつかのブレークスルー

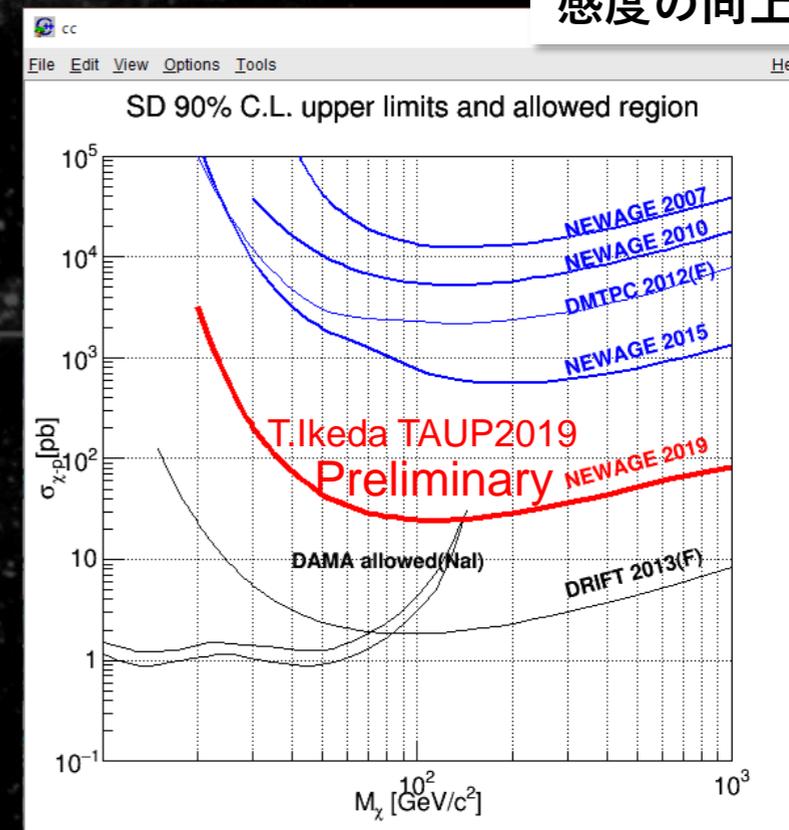
- 2004年 MPGDの利用 (NEWAGE)
- 2007年 飛跡の前後判定 (DM-TPC)
- 2015年 ドリフト方向の位置決定 (DRIFT)

Detection of Dark Matter Using Low Pressure Gas Detectors (TPC's)

G. Masek, K. Buckland, M. Mojaver
Physics Department, University of California, San Diego 92093

1989年
Proceedings of Berkeley workshop on
Particle Astrophysics

感度の向上



低圧ガス

- $10000\text{m}^3 = (20 \times 20 \times 20 \text{ m}^3)$ くらいの容積を考える

- CF_4 0.1気圧: F $300\text{g}/\text{m}^3$ なので 3 ton
- SF_6 0.1気圧: F $600\text{g}/\text{m}^3$ なので 6 ton

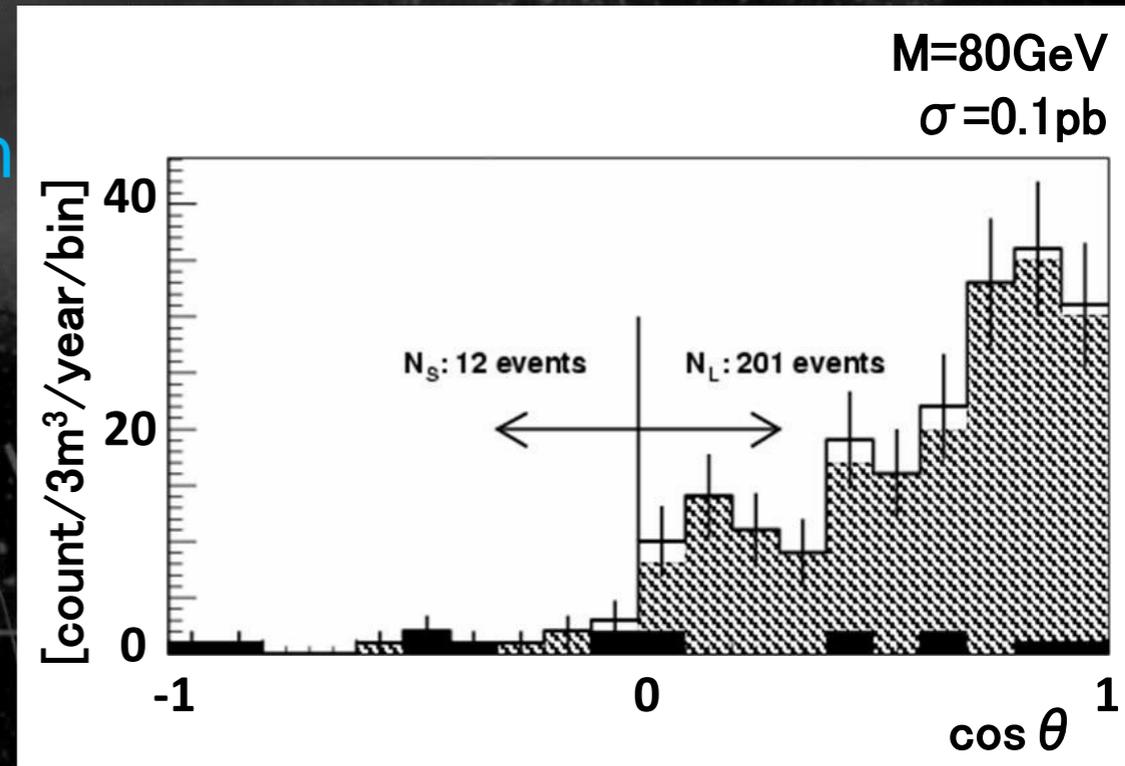
- 質量的にはお題クリア

- あとは読み出し

- 数年で達成: 1m^3 分 あと5桁

- 50cmドリフト、全部で 16000m^2

- ストリップ読み出し読み出し: 300Mch
(参考: HL-LHC ALTAS Siピクセル 5Gch)



Physics Letters B 578 (2004) 241–246

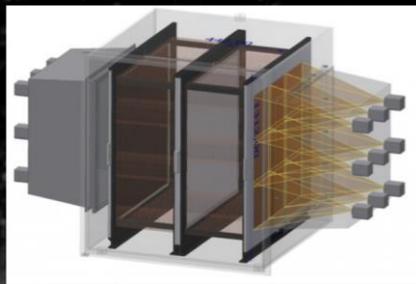
なんとかなりそう

World-wide CYGNUS (ver. TAUP2019)

CYGNUS-10
Boulby, UK
10m³ He:SF₆
GEM + wire readout

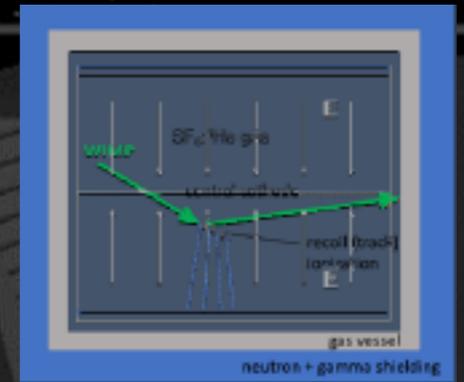


CYGNUS-Initium
Gran Sasso, Italy
He CF₄ (SF₆)
sCMOS+PMT readout



CYGNUS-KM
Kamioka, Japan
SF₆ / CF₄
Strip readout

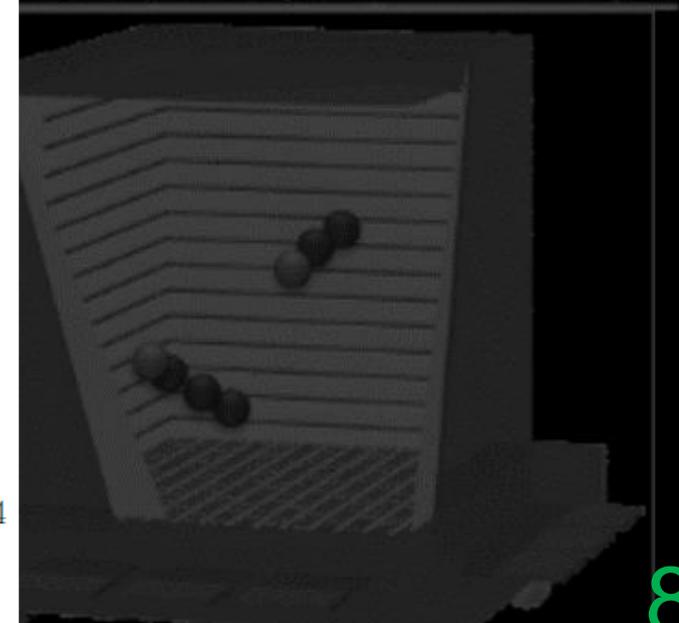
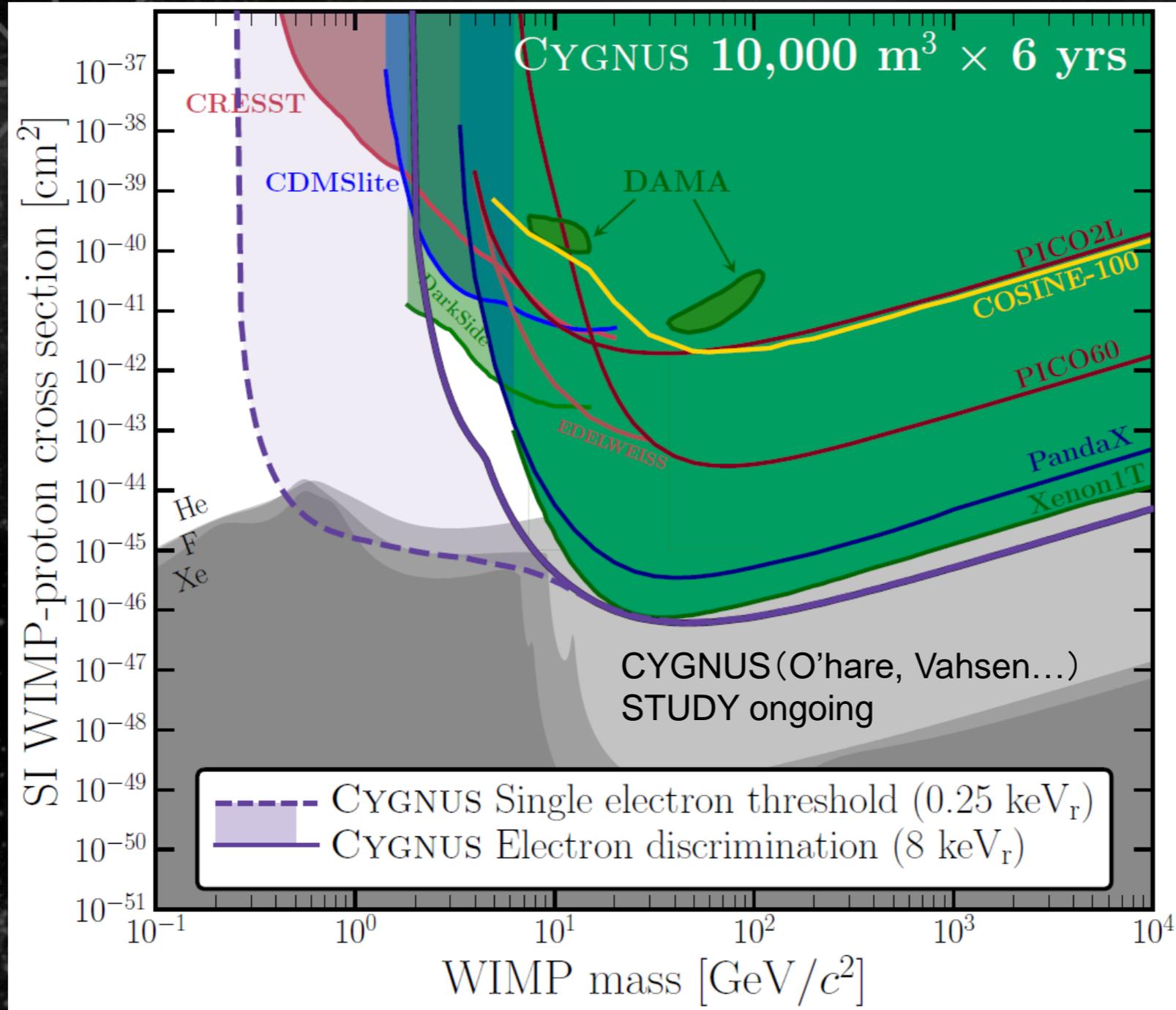
CYGNUS-HD10
SURF, USA
He:CF₄:C₄H₁₀
Strip readout



CYGNUS-OZ
Stawell, Australia
R&D leading to 1 m³
Long-term plan 10 m³
TAUP2019

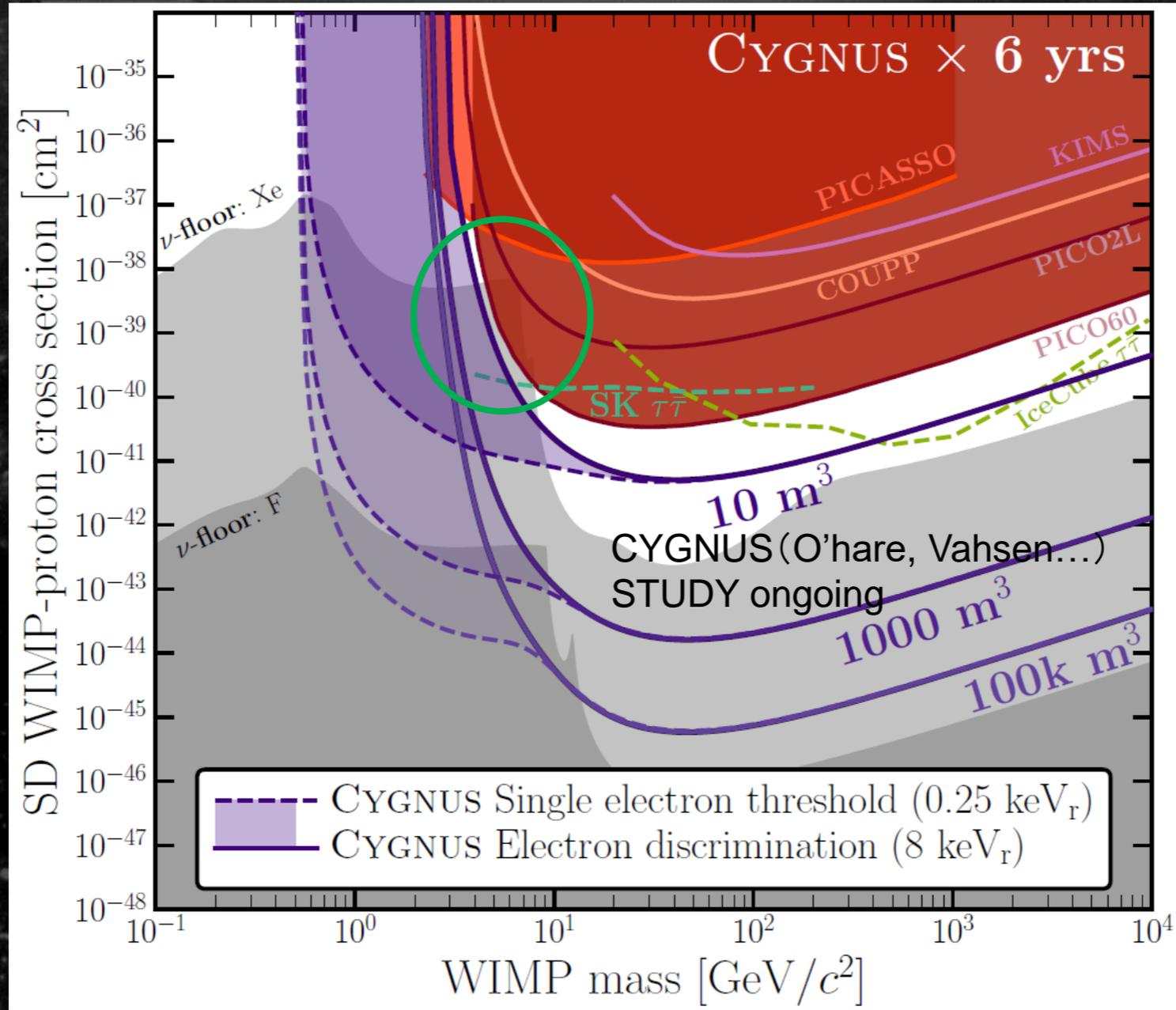
multi-site observatory

• 10000 m³ でできること (CYGNUS10k)



• 10 m^3 でもできること

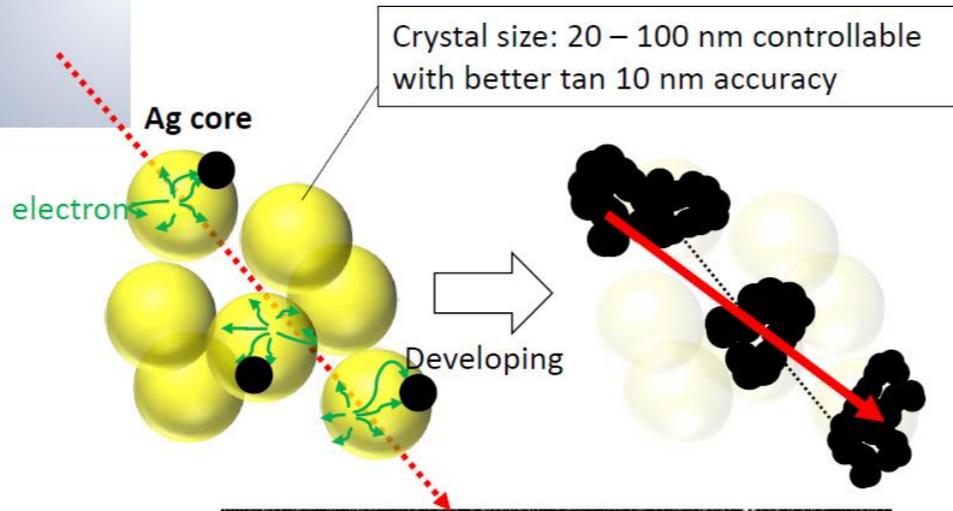
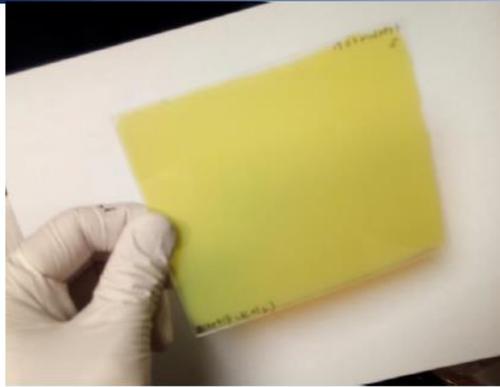
• Xeのニュートリノフロアを超えた探索



原子核乾板：飛跡検出

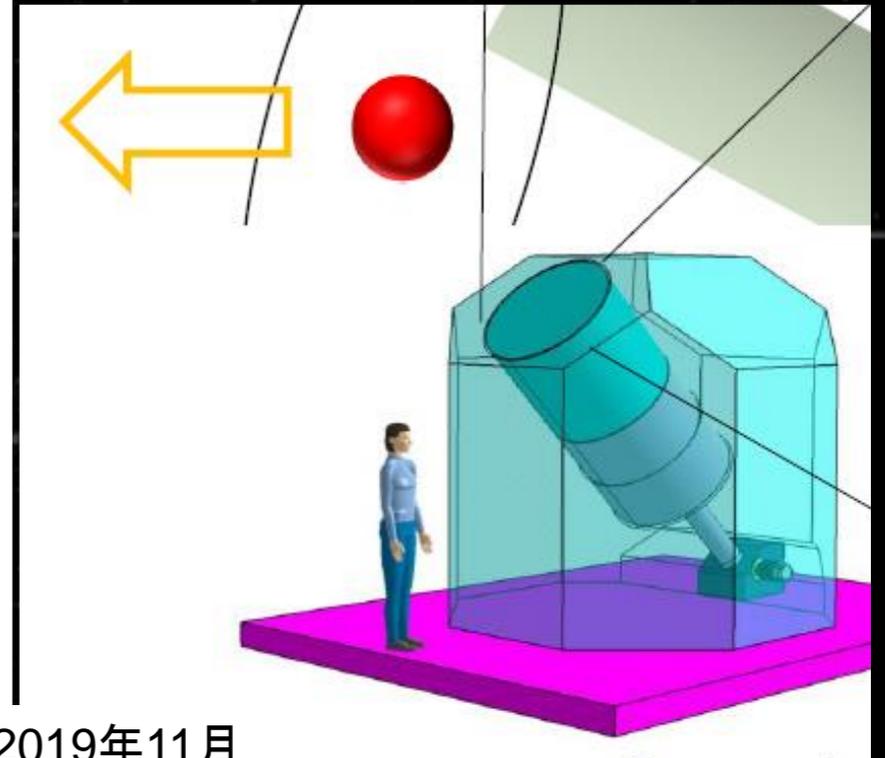
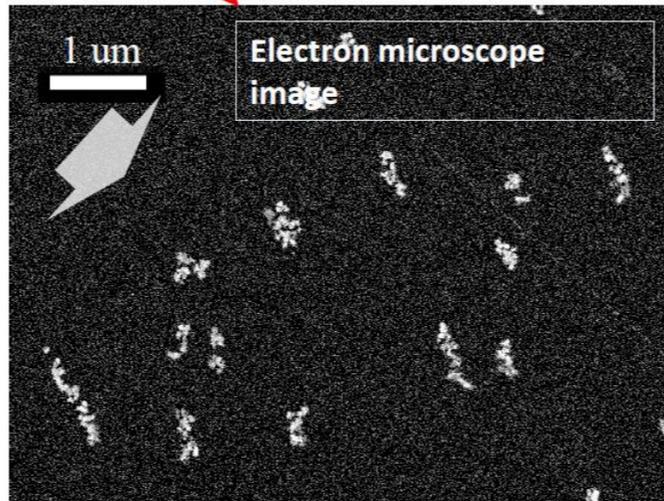
- 特徴
 - 固体 時間分解能なし

Super-fine Grained Nuclear Emulsion [Nano Imaging Tracker : NIT]



Elemental composition of NIT

	Mass fraction	Atomic Fraction
Ag	0.44	0.10
Br	0.32	0.10
I	0.019	0.004
C	0.101	0.214
O	0.074	0.118
N	0.027	0.049
H	0.016	0.410
S, Na + others	~ 0.001	~ 0.001

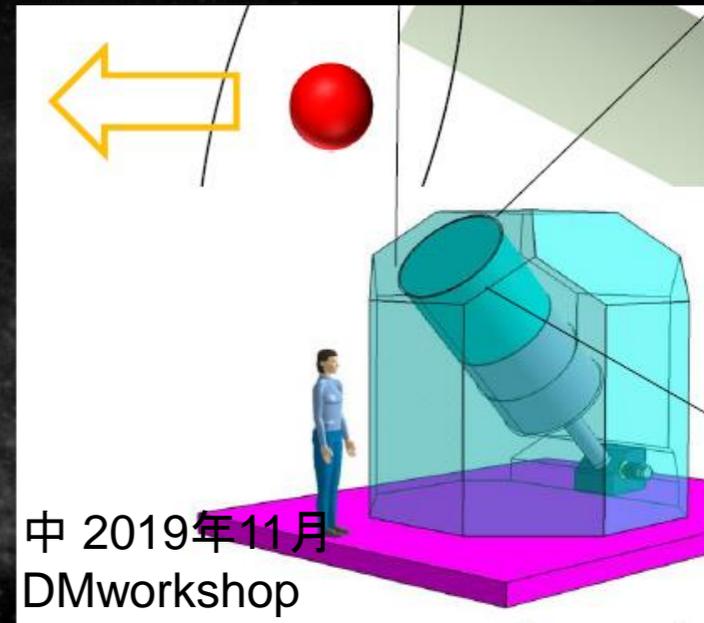


中 2019年11月
DMworkshop

原子核乾板

• 読み出しの高速化

- 数年で達成：1kg/年 あと5桁
- 力技：あと10倍速くして、1000台並べれば年間10トン読める。
- 読み出しエリアを狭まるためのR&Dもongoing



- Light emission detection for time-resolution and narrow down the event position (area) ⇒ discovered high yield light emission from NIT (nano AgBr(I) crystal)

☑ Light yield (photon/keV) : 20-30 @100K (almost same with NaI(Tl))

☑ possibility of wavelength shift between low and high dE/dx particle (PID)

α -ray
(^{241}Am)

T. Shiraishi, H. Ichiki and TN "Nucl. Inst. Meth. A (2019) Volume 927, 2019

なんとかなりそう

異方性結晶

手法

- 反跳方向による光量差を用いる
- シンチレーティングボロメータ
- 熱は一定、光は日変動する

原理実証の現状

- 15%光量差 @ 100keVnr
- BG study はじめました

^{226}Ra : < 5.27 mBq/kg (2.62 ± 2.07 mBq/kg)

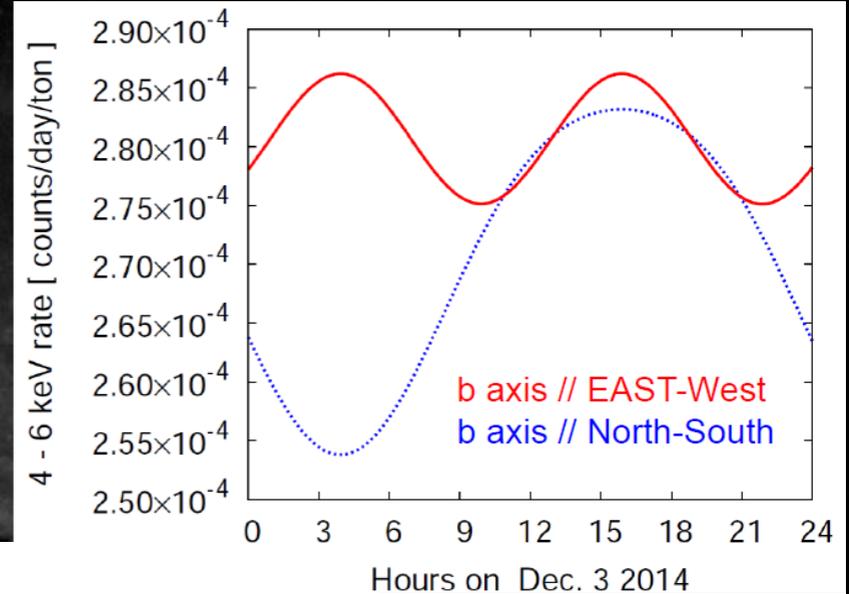
^{238}U : < 216 mBq/kg (115 ± 79 mBq/kg)

^{210}Pb : < 822 mBq/kg

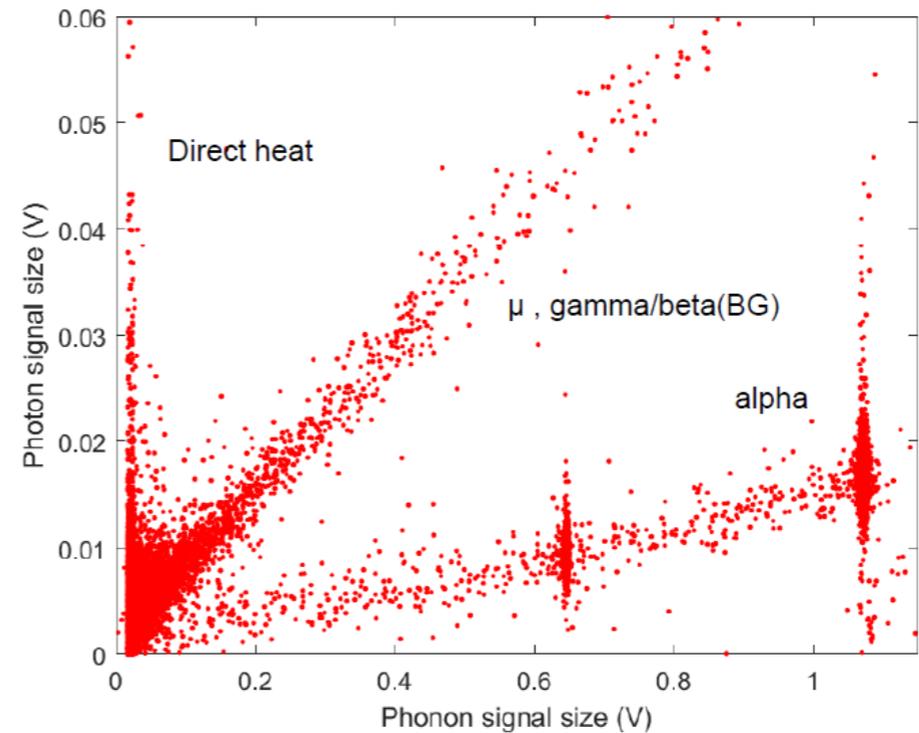
^{232}Th : < 3.80 mBq/kg (1.63 ± 1.70 mBq/kg)

^{40}K : < 23.4 mBq/kg

関谷 CYGNUS 2019



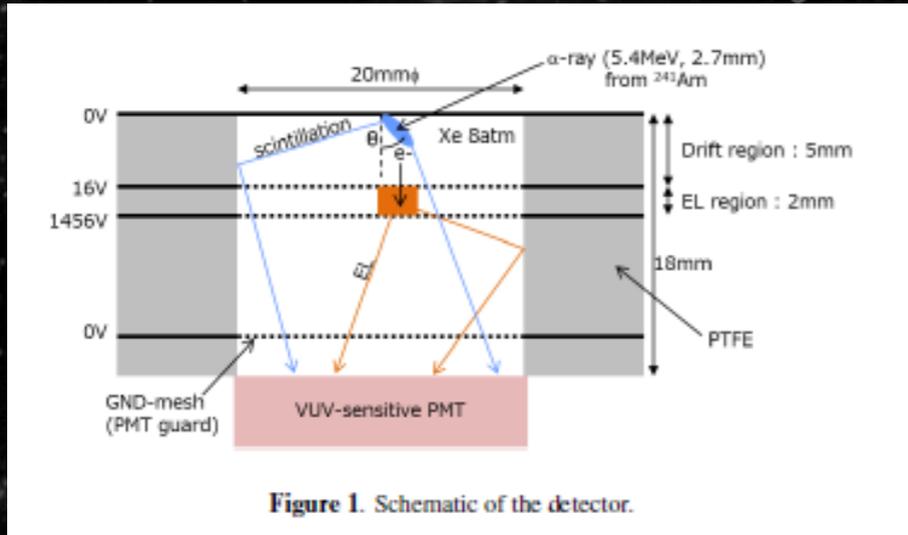
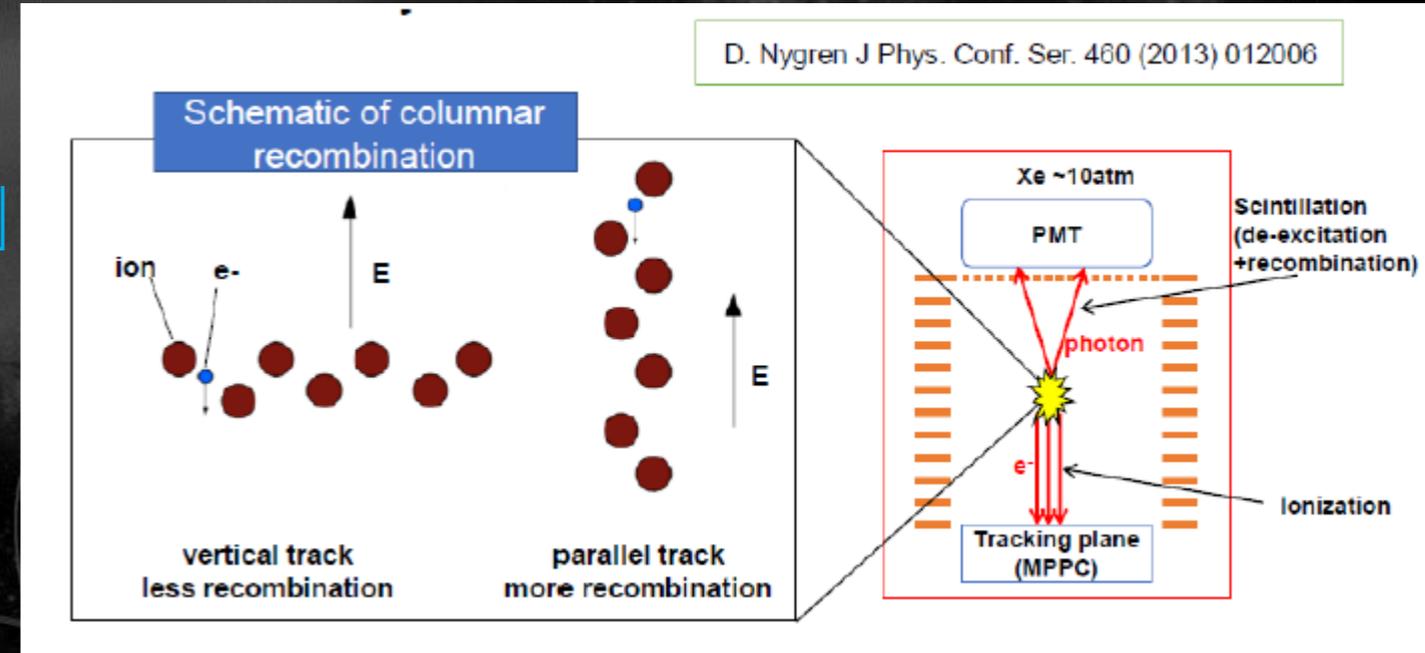
関谷2017年秋物理学会



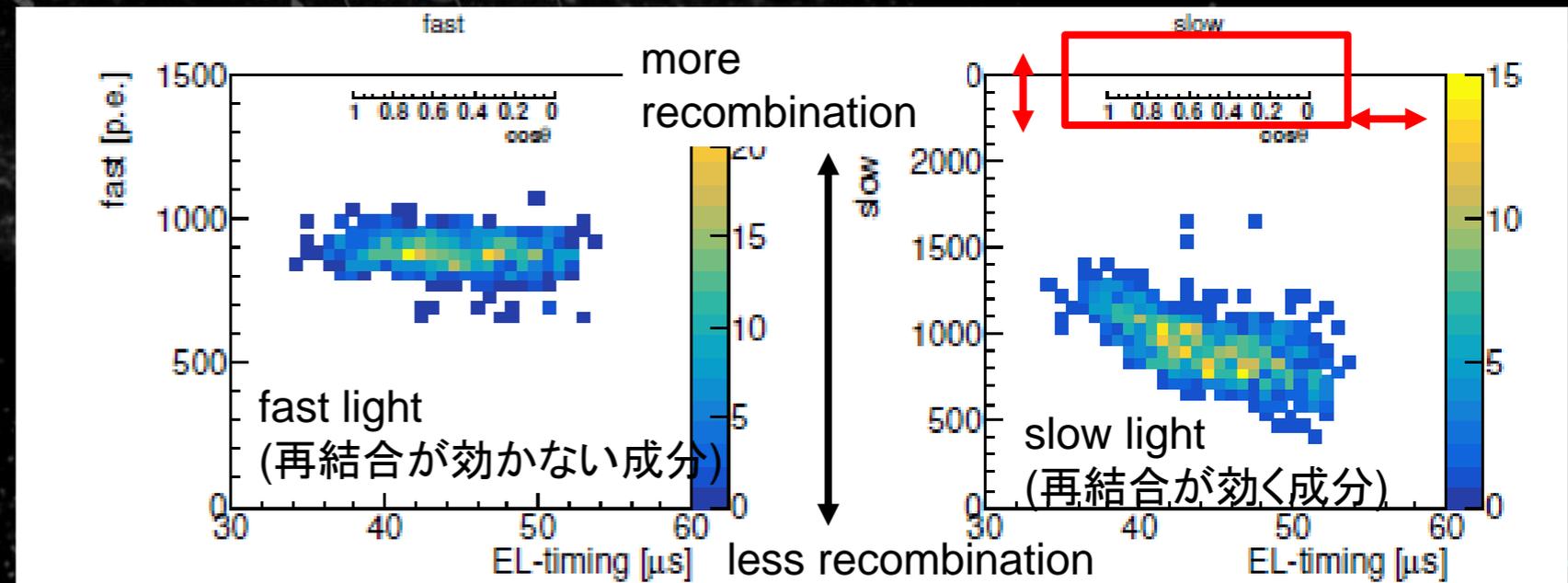
高圧ガス 柱状再結合

現状：原理実証

- 本家 (→) の計算では「ほぼ無理」
- 8気圧キセノン
- 5MeV α in
- 低エネルギーでの効果を確認へ



K. D. Nakamura (JINST 13(2018)P7015)



OPTIMIZATION STRATEGY

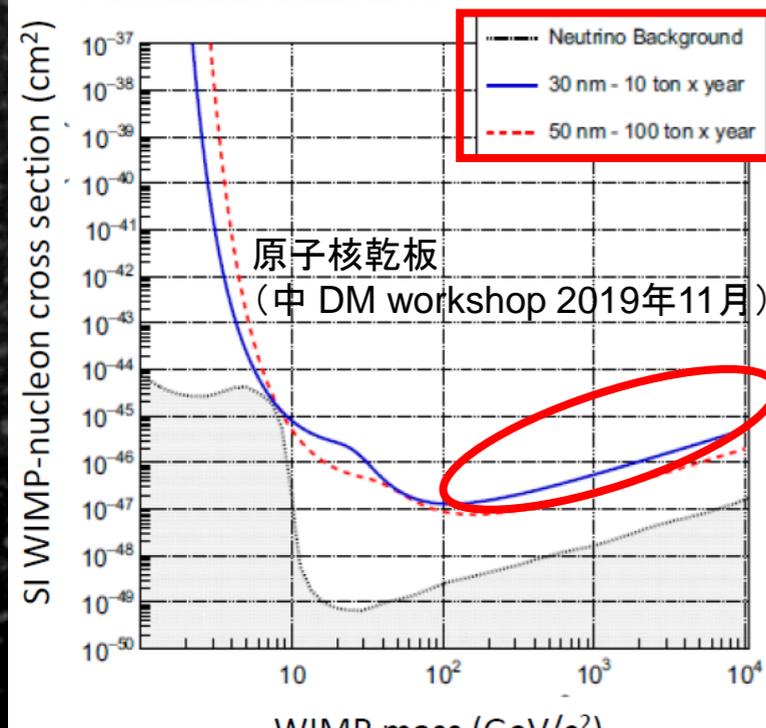
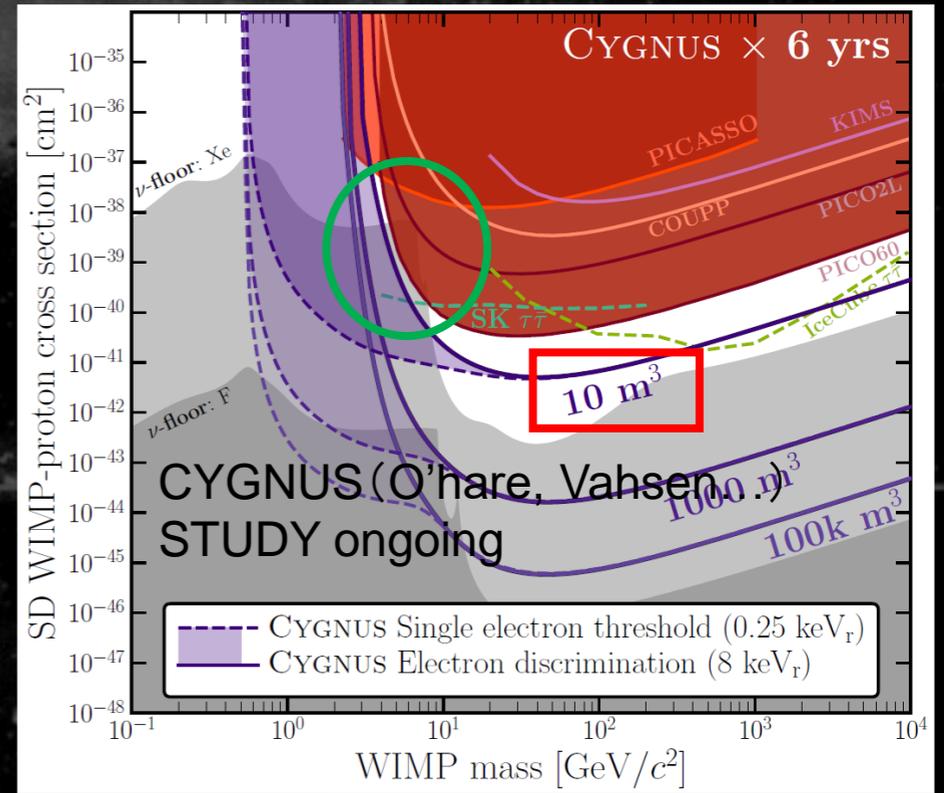
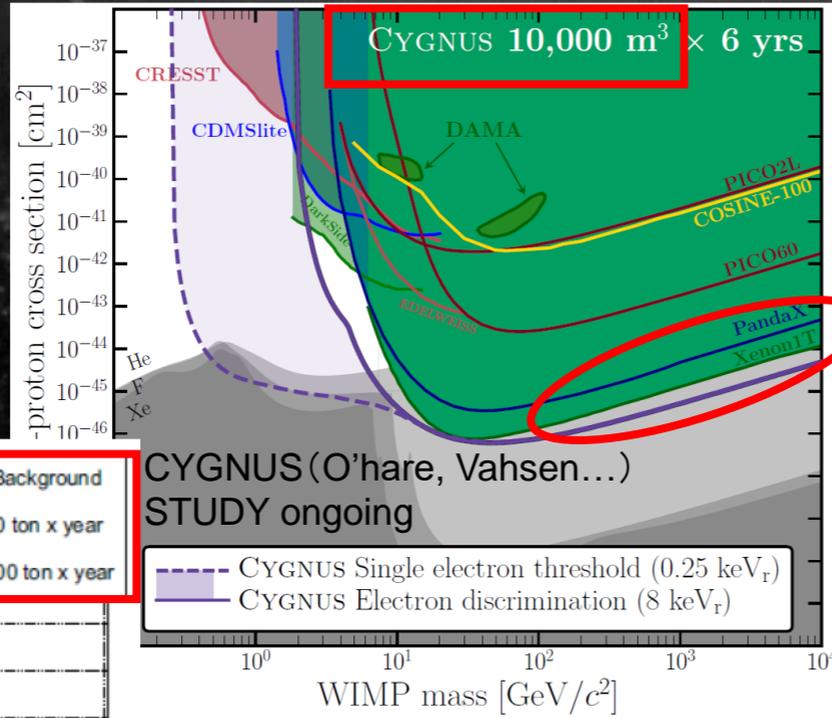
XENONnTで重いのが
何か見え始めたら

低圧ガス

XENONnTで8Bニュート
リノしか見えなかったら

低圧ガス

原子核乾板



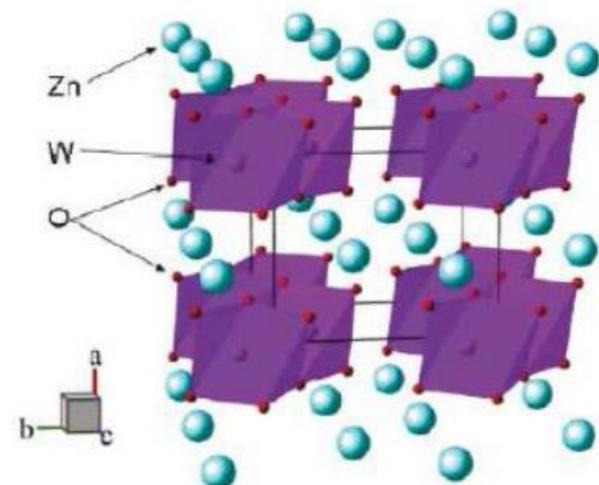
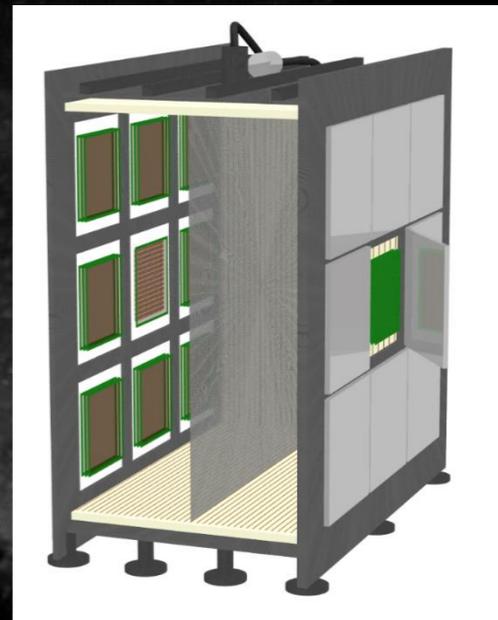
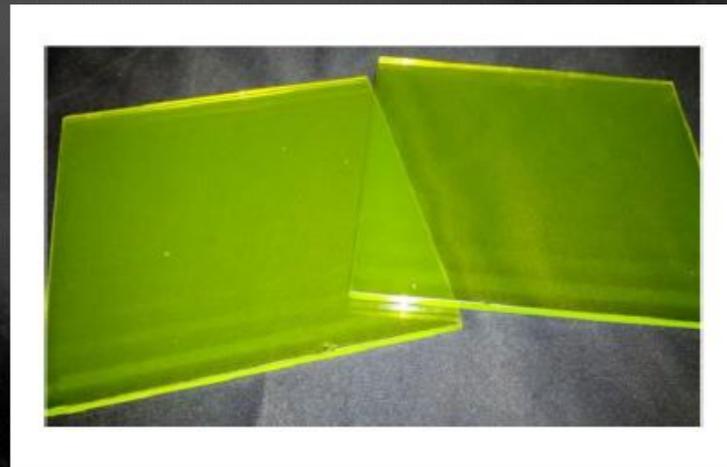
原子核乾板
(中 DM workshop 2019年11月)

原子核乾板 (CHO反跳)
異方性結晶 (O反跳)

G3はどっちにしても必要

まとめ：数トン方向感度

- ガス
 - 質量： $20 \times 20 \times 20\text{m}^3$
- 原子核乾板
 - 読み取り速度：1000台
- 異方性結晶・柱状再結合
 - 原理実証中



D. Nygren J Phys. Conf. Ser. 460 (2013) 012006

ブレークスルーは結構起こる

