

# 暗黒物質直接探索グループ

森山 茂栄 (もりやま しげたか)

東京大学 宇宙線研究所

宇宙ニュートリノ研究部門



何を研究したいですか？

大きな謎を解きたい  
どんなテーマがあるだろうか

# The 7 Biggest Unanswered Questions in Physics

1. What is matter made of?
2. Why is gravity so weird?
3. Why does time seem to flow only in one direction?
4. Where did all the antimatter go?
5. What happens in the gray zone between solid and liquid?
6. Can we find a unified theory of physics?
7. How did life evolve from nonliving matter?



# 物理における7大疑問

1. 物質は何からできている？
2. どうして重力はこんなに変わっている？
3. なぜ時間は一方向にしか流れない？
4. 反物質はどこに消えた？
5. 固体と液体のグレーゾーンで何が起きている？
6. 物理の統一理論は見つかるか？
7. 生命のない物質から生命が如何に生まれた？



# 物理における7大疑問

XENONnT実験

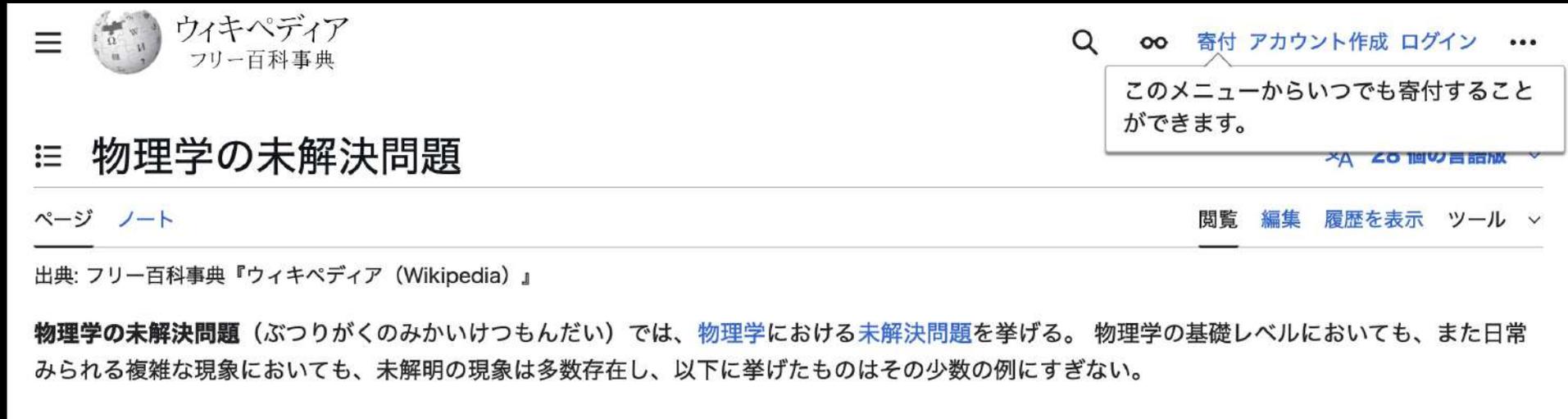
1. 物質は何からできているか？ 物質は何からできているか？  
=ダークマターへの問い
2. どうして重力はこんなに変わっている？
3. なぜ時間は一方向にしか流れない？
4. 反物質はどこに消えた？ 宇宙の対称性の破れ？
5. 固体と液体のグレーゾーンで何が起きている？
6. 物理の統一理論は見つかるか？ 大統一理論？
7. 生命のない物質から生命が如何に生まれたか？

地下での実験に関連する項目

スーパーカミオカンデ  
ハイパーカミオカンデ



# Wikipedia等でも そう思われている



ウィキペディア  
フリー百科事典

物理学の未解決問題

ページ ノート

出典: フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』

物理学の未解決問題 (ぶつりがくのみかいけつもんだい) では、物理学における未解決問題を挙げる。物理学の基礎レベルにおいても、また日常みられる複雑な現象においても、未解明の現象は多数存在し、以下に挙げたものはその少数の例にすぎない。

主な未解決問題 [\[編集\]](#)

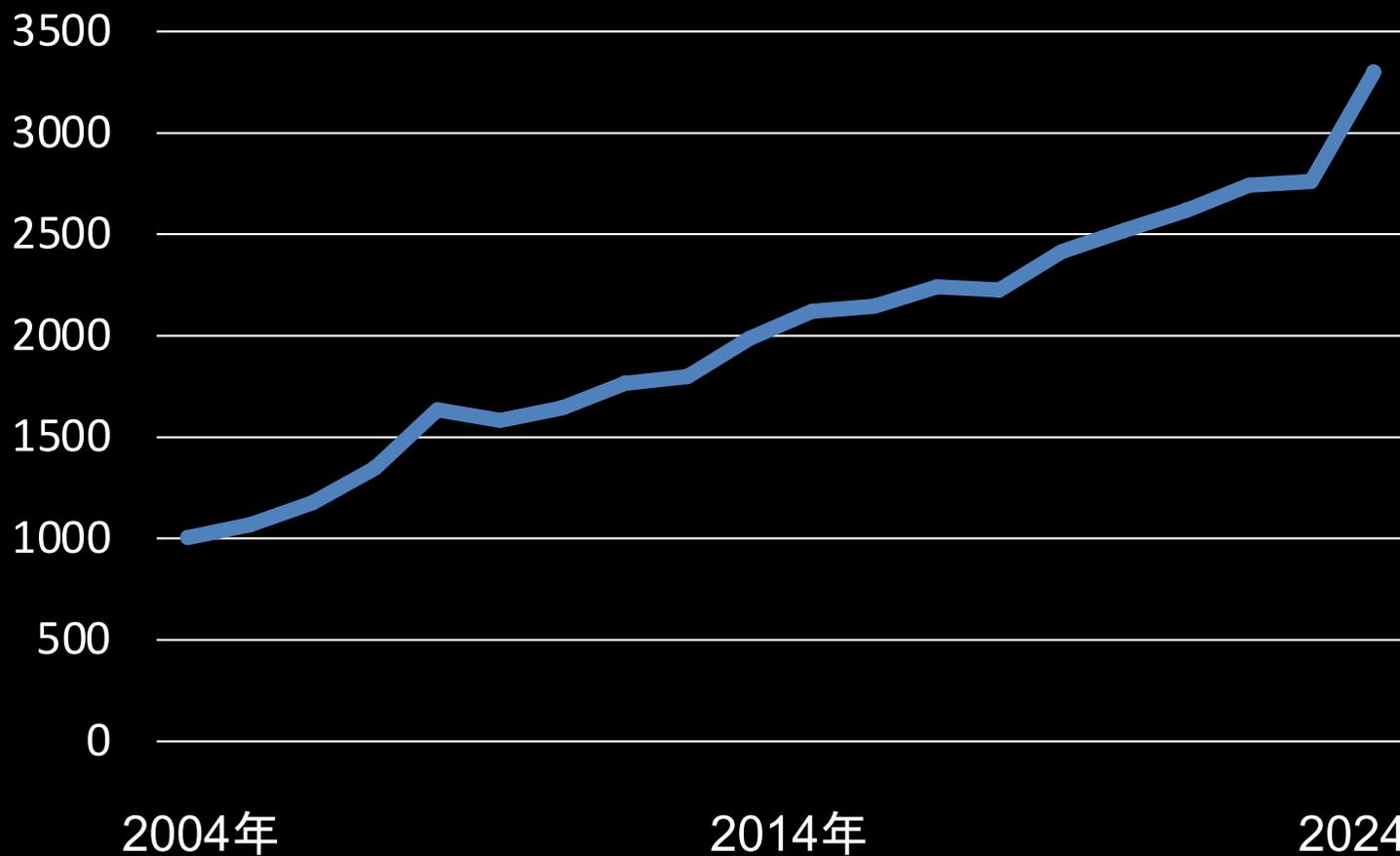
- 宇宙の終焉
- ダークマター
- 量子重力理論
- ブラックホール、ブラックホール情報パラドックス、ホーキング放射
- 階層性問題
- 超新星爆発
- 大統一理論

理論によって説明されていない未解明の現象 [\[編集\]](#)

ChatGPTで「物理の未解決問題は何ですか」と聞くと、最初に出る 5

# 世界中の研究者が取り組んでいる 未知なるダークマター

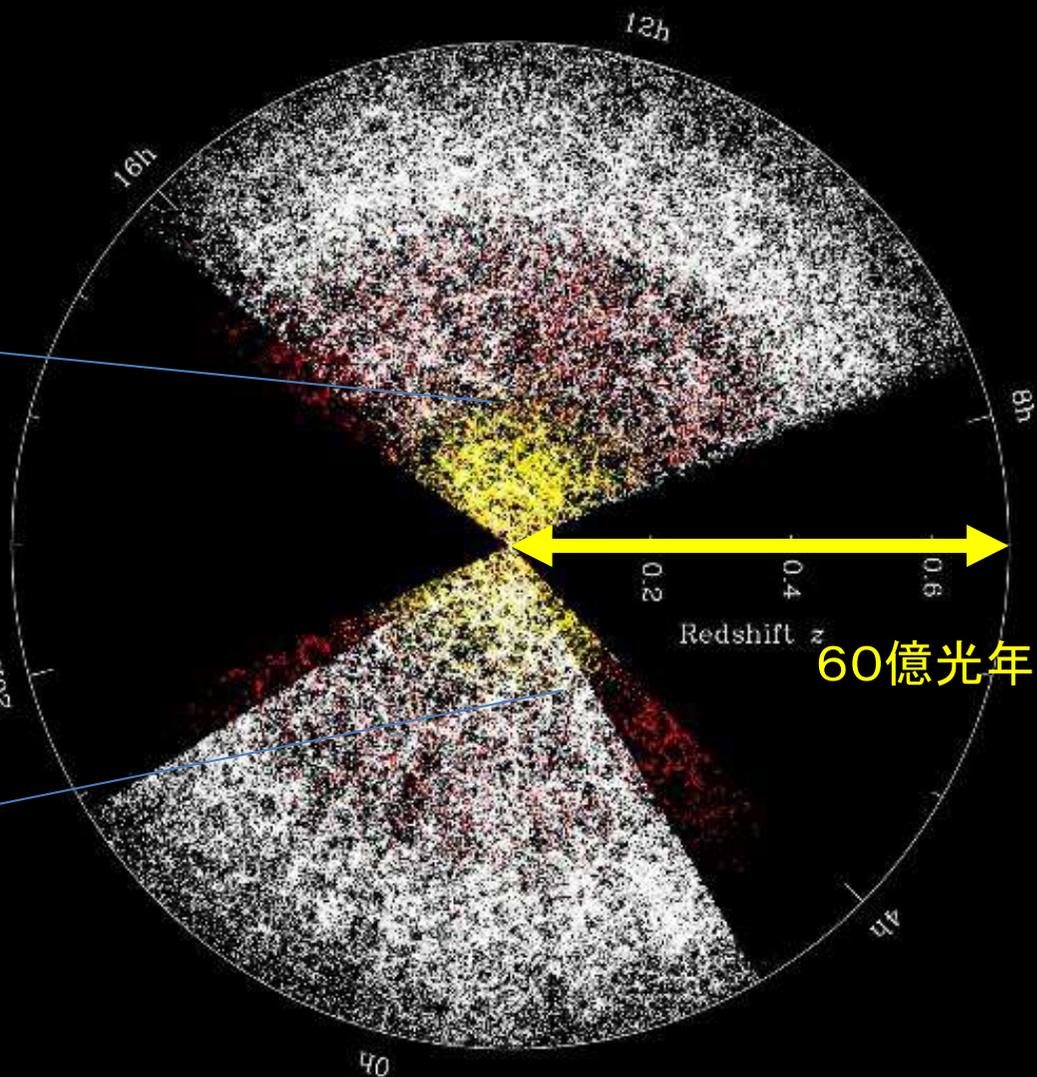
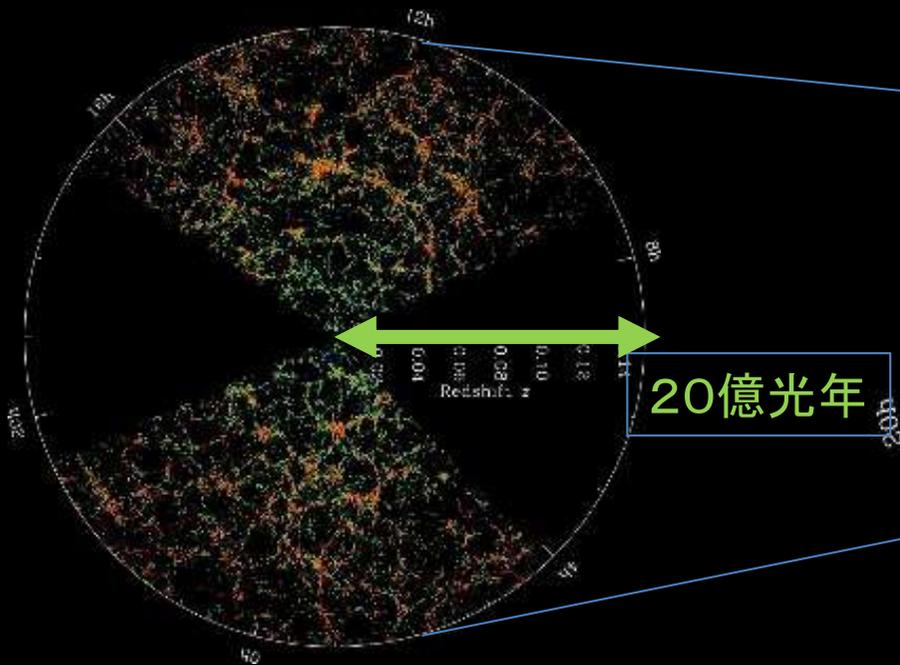
"dark matter"論文の数の推移 (arXiv)



- 年々増加傾向で、1日に10本近くの論文！

# 大規模構造の成長

銀河の密度の粗密は  
暗黒物質の凝縮で作られた



# 物質は何からできているか？

- 宇宙観測：原子分子だけでは説明不可  
未発見の「物質」が一種あれば説明可！

小規模

大規模



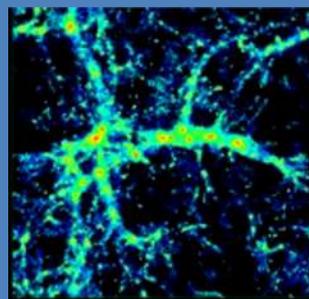
銀河の回転速度



衝突する銀河



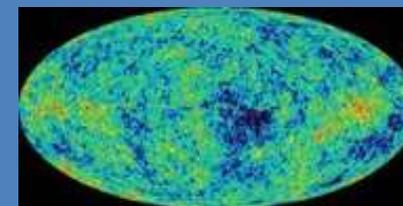
銀河大規模構造



暗黒物質地図



宇宙背景輻射



# 物質は何からできているか？

- 宇宙全体で見ると、「物質」は原子分子の5.5倍。
- なぜその大量にあるはずの「物質」に気づかなかったのか？
  - あまりにも「感じない」
  - あまりにも「薄く広がっている」
  - でも1930年代にはすでに知られ始めていた
- ただしそれこそが「物質」の本質を握っている。
  - 「ダークマター」「暗黒物質」と名前があっても正体不明

# 素粒子としての 暗黒物質の正体の解明

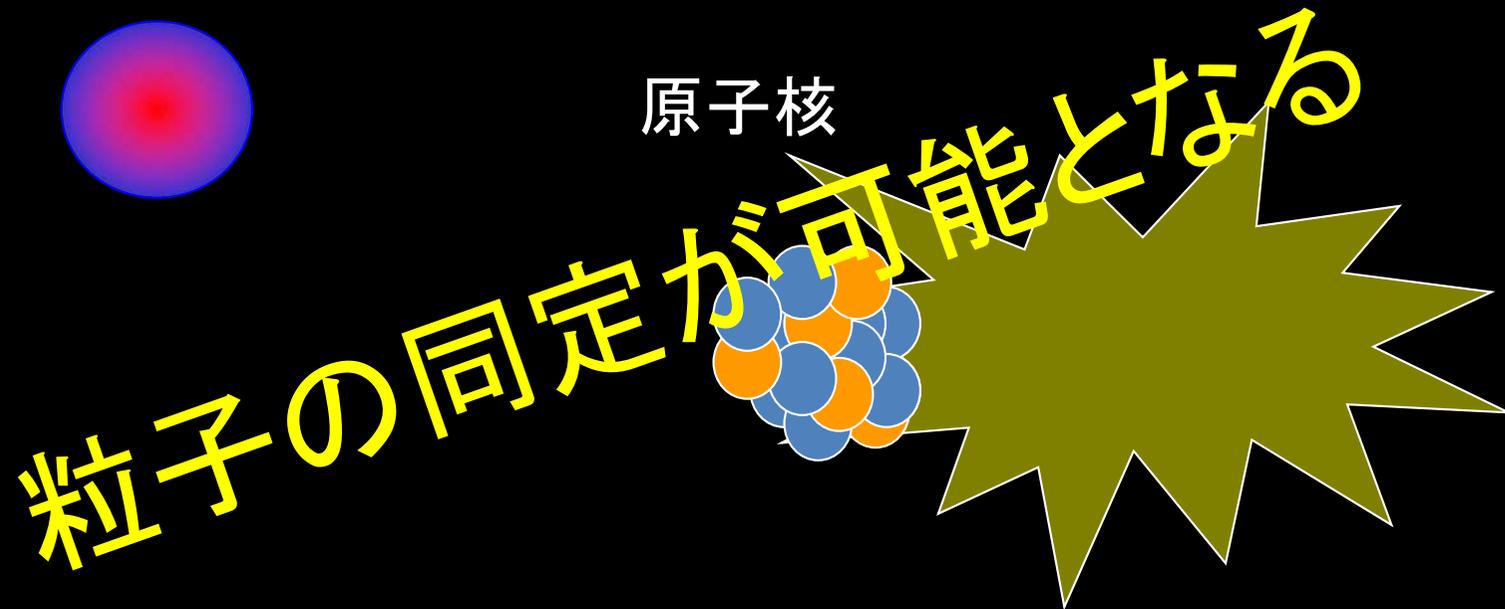
# 最も解明できそうな方法

- 通常物質が反跳される現象を測定

暗黒物質が飛来



原子核



宇宙の彼方へ

反応時の信号を検出

- 付与されるエネルギー分布で質量が求まる
- 反応の頻度で相互作用の強さが求まる

# 探索実験研究の紹介

# XENON実験@イタリア

## グランサッソ研究所

東京・名古屋・神戸大  
森山、伊藤、竹田、他

世界最高感度で発見を狙う代表的実験



# XENON collaboration

## AMERICA



~200 collaborators  
30 institutions

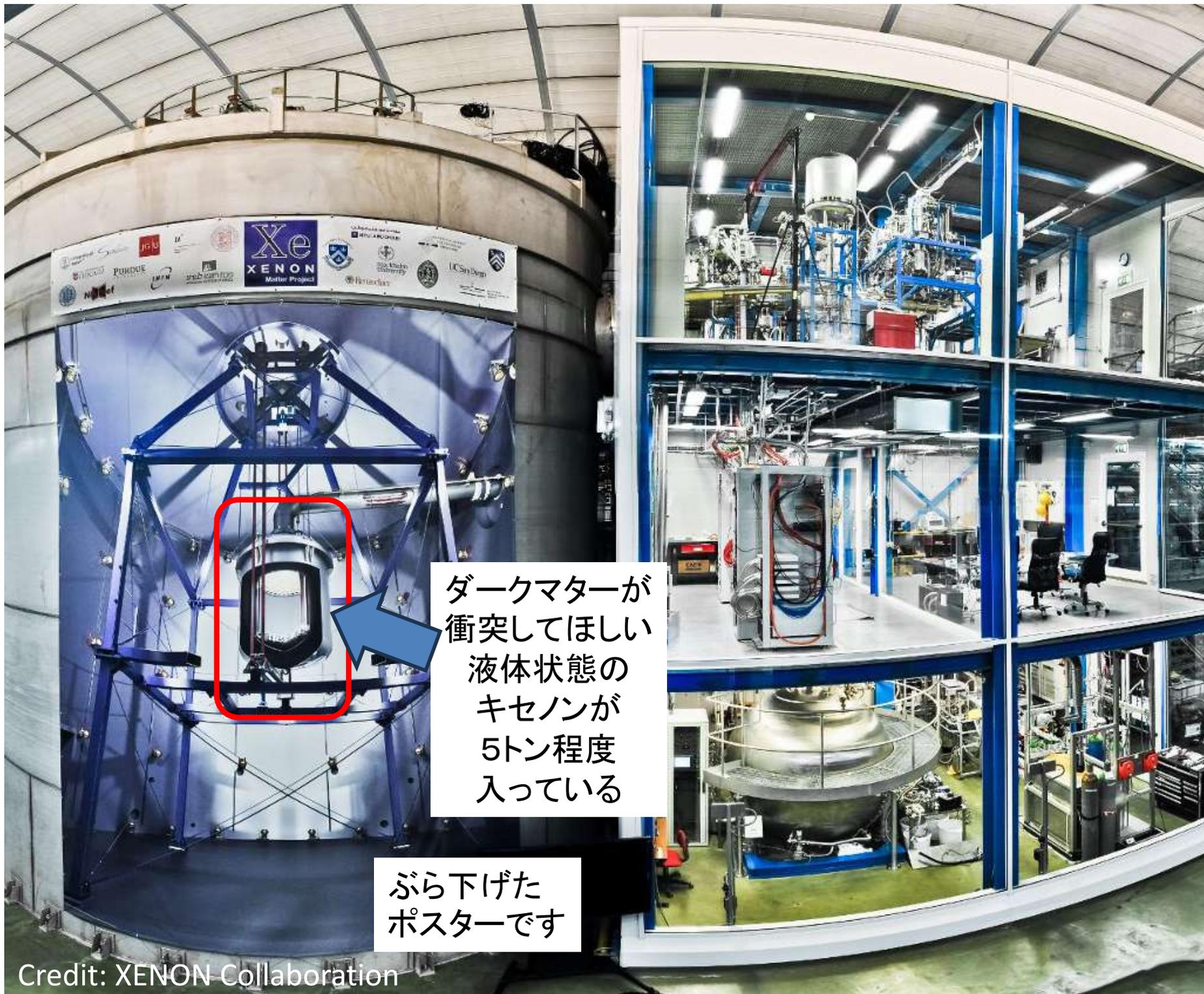
## EUROPE



## ASIA



日本から19名(うち学生は東大から3名、名大3名、神戸1名参加)



ダークマターが  
衝突してほしい  
液体状態の  
キセノンが  
5トン程度  
入っている

ぶら下げた  
ポスターです



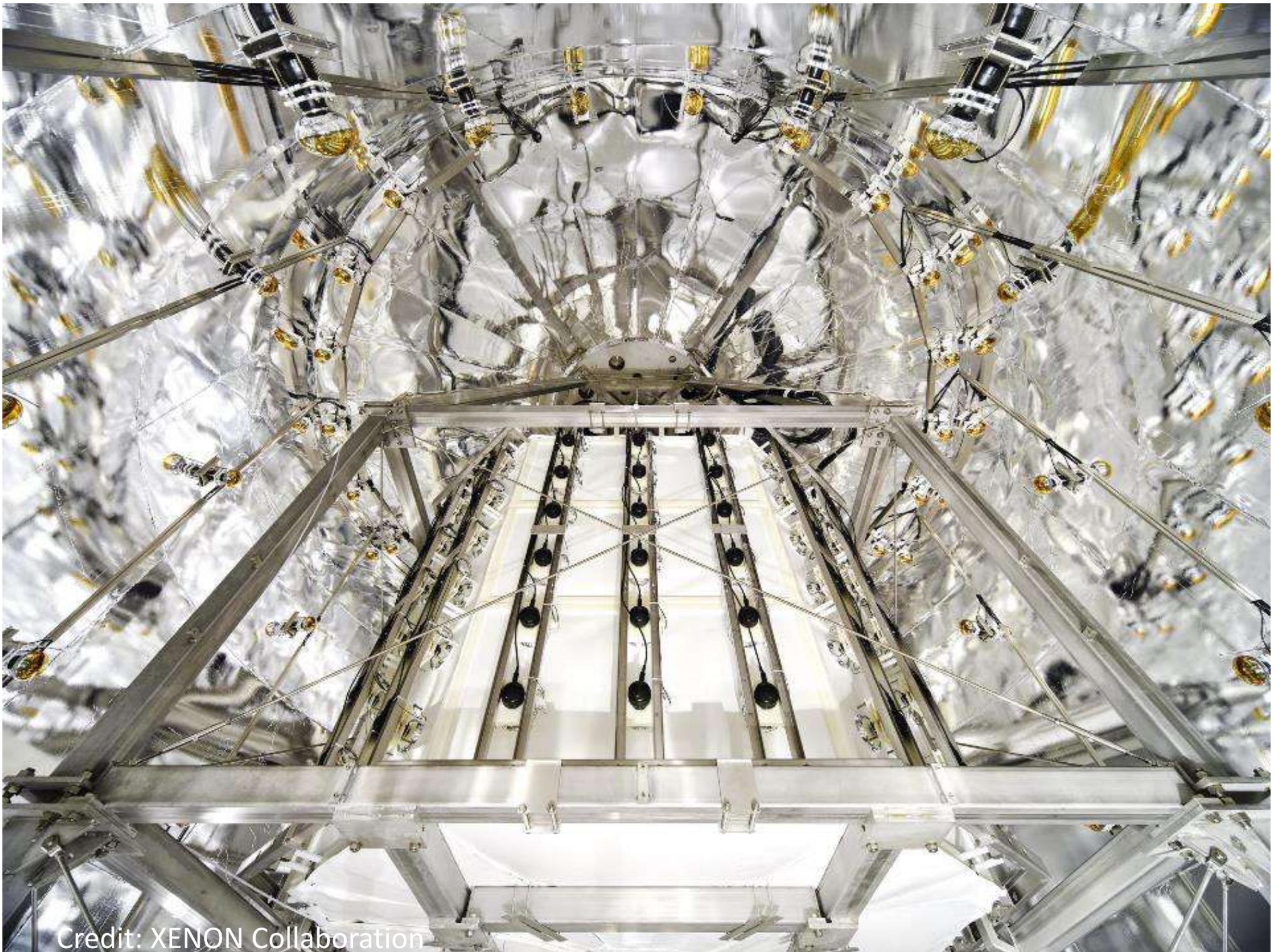
Credit: XENON Collaboration



Credit: XENON Collaboration



Credit: XENON Collaboration



Credit: XENON Collaboration

世界の国々の研究者、学生、  
男性女性多種多様な研究者  
とともに研究を進める



2020年春から  
コロナの時期を超えて  
実験装置建設と  
運転を継続中！

# 東京大学のXENONグループ

宇宙線研学生(D2)受賞3回  
他卒業生2名受賞



2024年日本物理学会学生優秀発表賞を受賞

に加え



伊藤好孝  
教授 (柏)



吉田将  
PD



緒續 航太郎  
M2



2024年 地下宇宙若手研究会で優秀発表賞受賞



2023年 SMART2023会議にて優秀ポスター賞を受賞

+新M1 の皆さんが活躍中です<sub>3</sub>

# 最近の論文から：研究内容

- Heavy Dark Matter near the Planck Mass

プランク質量近くのダークマター探索

- First Dark Matter Search

ダークマター探索

- Search for

象探索

- Search for

Recoil Data

XENONnTの初期データでのアクシオン探索

- First Indication of Solar  $^8\text{B}$  Neutrinos via Coherent Elastic Neutrino-Nucleus Scattering with XENON

キセノン原子核弾性散乱による $^8\text{B}$ 太陽ニュートリノの初観測

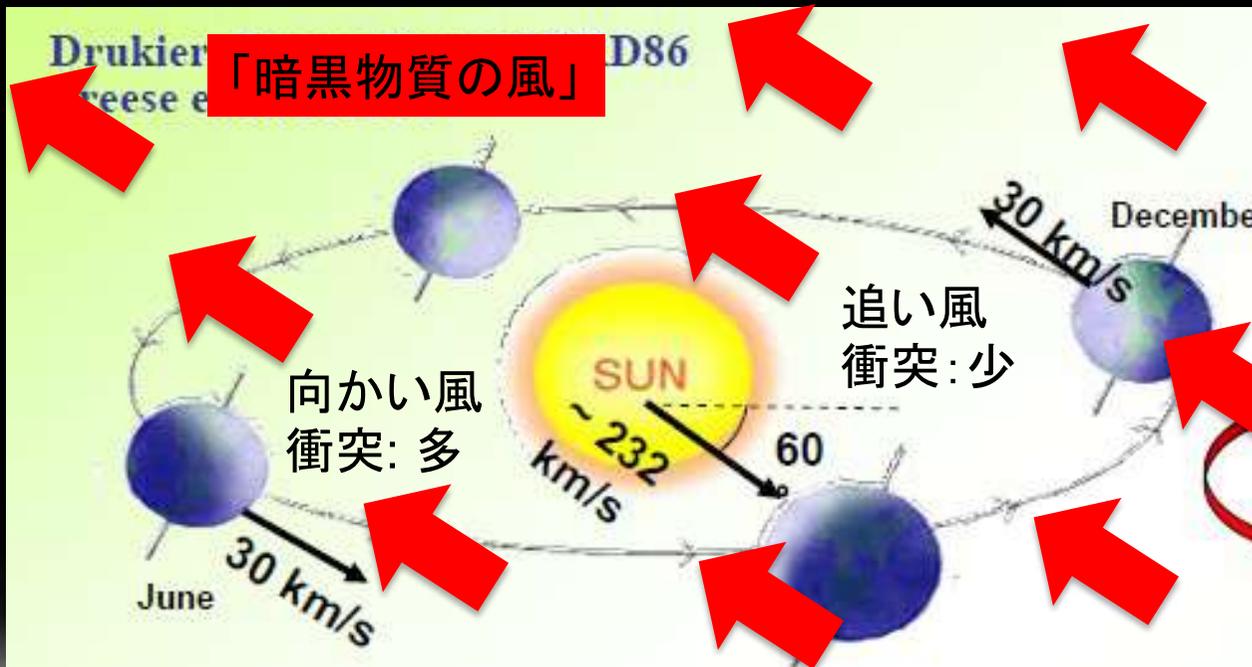
- Excess electronic recombination events

アクシオン探索

今後数年のデータ取得と  
データ解析で暗黒物質の  
発見を目指す！

# 検出した証拠： 暗黒物質の「風」と季節変動

- 暗黒物質が飛び交う銀河の静止系に対して太陽系が運動。公転する地球に乗っていると暗黒物質の「風」の強度が季節により振動。
- 衝突する**頻度**が変化、反跳原子核の**方向観測**



実は変動を  
観測したと主張  
する実験グループ  
もある！

# 新たな検出器開発1

「暗黒物質を直接捉える」といっても要は→  
**Step1:** とにかく「検出」しないと始まらない  
**Step2:** 検出率に暗黒物質の特徴がみられるか検証

Particle physics (cross section) × Astrophysics (flux)

$$R = \sigma_{\chi-N} \times n(v)$$

$$= \sigma_{\chi-N} \times \rho \int \vec{v} f(\vec{v}) d\vec{v}$$

$\sigma_{\chi-N}$  : WIMP-nucleus cross section  
 $\rho$  : WIMP density  
 $f(\vec{v})$  : WIMP velocity distribution

**Step1** とにかくバックグラウンド(BG)を低減してターゲット質量を増やす必要がある

「将来XENON-nTなどよりも大きな検出器を実現するにはどうしたらよいか」

→球状液体キセノンTPC検出器+ウニ電極の開発

フランス CEA Saclay、イギリスBirmigham大  
 スウェーデンESSとの共同研究



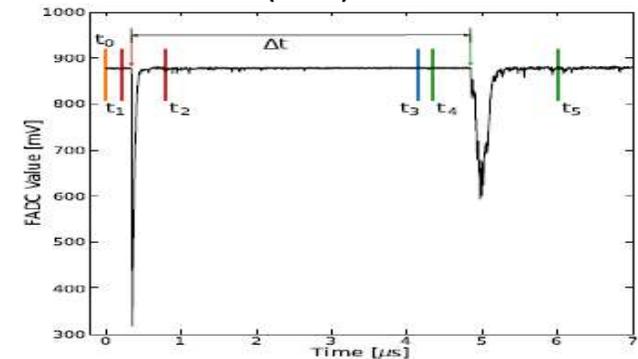
Saclayでの電極実験



神岡での液体TPC実験



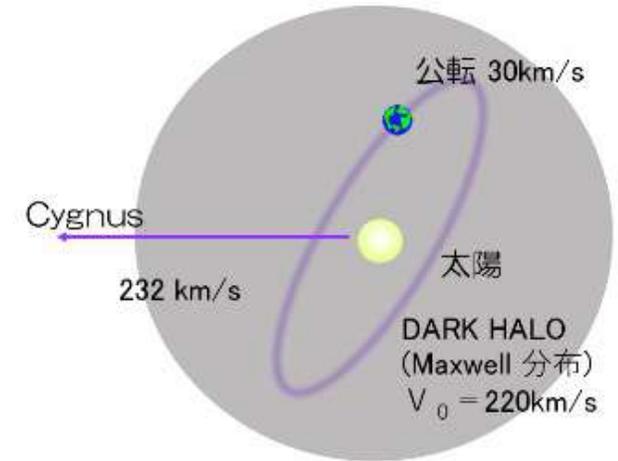
初めて成功した時のシグナル  
 JINST 19 P10015 (2024)



# 新たな検出器開発2

**Step2** 暗黒物質の特徴は銀河中の地球の動きによって生まれる

「暗黒物質の特徴を検証するにはどうしたらよいか」

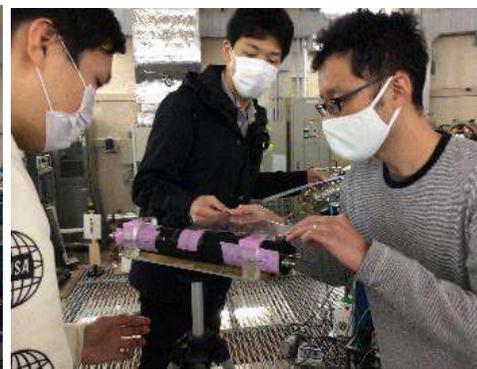


→白鳥座方向からの入射方向に感度をもった検出器の開発

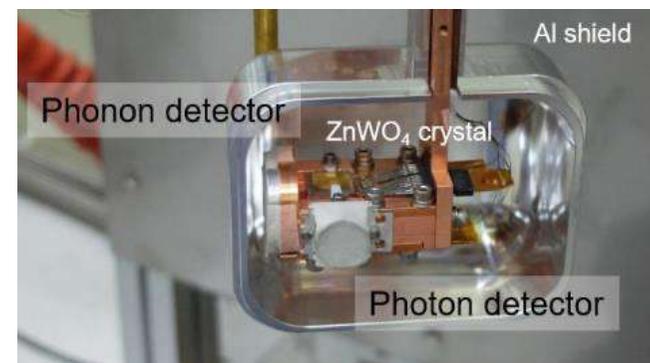
方向によって発光量の異なる結晶を利用する

東北大学、東大(理)、韓国IBSとの共同研究

つくば  
産総研でのビーム実験



韓国 IBSでの冷却実験



これまで修士学生の仕事が投稿論文になっています

M. Shibata PTEP 2022, 013C01  
J.W. Pedersen PTEP 2020, 023C01



## まとめ

- 宇宙の物質をまだ誰も理解していない
- 世界で初めてその謎を解き明かそう

森山 茂栄 [moriyama@icrr.u-tokyo.ac.jp](mailto:moriyama@icrr.u-tokyo.ac.jp)



伊藤好孝 [itow@icrr.u-tokyo.ac.jp](mailto:itow@icrr.u-tokyo.ac.jp)



関谷 洋之 [sekiya@km.icrr.u-tokyo.ac.jp](mailto:sekiya@km.icrr.u-tokyo.ac.jp)



竹田 敦 [takeda@km.icrr.u-tokyo.ac.jp](mailto:takeda@km.icrr.u-tokyo.ac.jp)



14時からここ大セミナー一室でお話をさせていただきます<sup>23</sup>