

# 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?



# The 7 Biggest Unanswered Questions in Physics

1. What is matter made of? 物質は何からできているか？  
=暗黒物質への問い
2. Why is gravity so weird?
3. Why does time seem to flow only in one direction? Super-K/Hyper-K 宇宙のCP対称性の破れ？
4. Where did all the antimatter go?
5. What happens in the gray zone between solid and liquid? 大統一理論？
6. Can we find a unified theory of physics?
7. How did life evolve from nonliving matter?



私の研究に関連する項目

# The 7 Biggest Unanswered Questions in Physics

検出器開発、XENON実験

1. What is matter made of?

物質は何からできているか？  
＝暗黒物質への問い

2. Why is gravity so weird?

3. Why does time seem to flow only in one direction?

宇宙のCP対称性の破れ？

4. Where did all the antimatter go?

5. What happens in the gray zone between solid and liquid?

大統一理論？

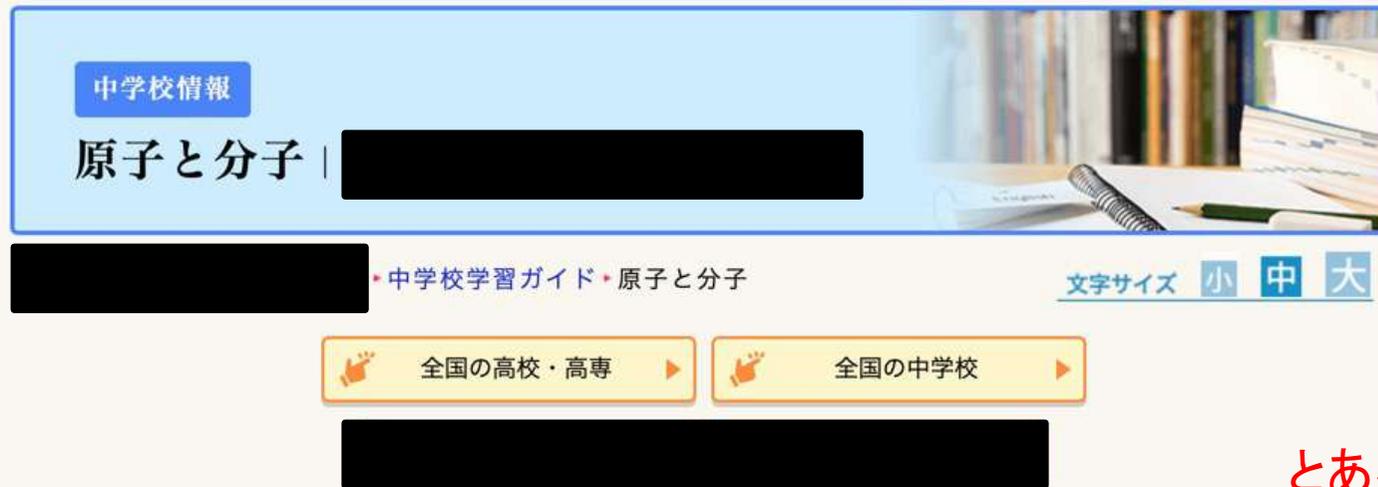
6. Can we find a unified theory of physics?

7. How did life evolve from nonliving matter?

私の研究に関連する項目



# 物質は何からできているか？



The screenshot shows a website interface with a blue header containing the text '中学校情報' (Middle School Information) and '原子と分子' (Atoms and Molecules). Below the header is a navigation bar with '中学校学習ガイド' (Middle School Learning Guide) and '原子と分子' (Atoms and Molecules). There are two buttons: '全国の高校・高専' (All National High Schools and Universities) and '全国の中学校' (All National Middle Schools). A text size selector shows '小' (Small), '中' (Medium), and '大' (Large). A red arrow points to the page title '原子と分子'.

とあるホームページ

ここでは原子と分子についてご紹介します。

## 原子

あらゆる物質は原子できていることが確認されています。19世紀の初めに、イギリスの化学者ドルトンが、原子の存在を仮定しました。現在は電子顕微鏡で、質量を1000万倍に拡大して観察することができます。

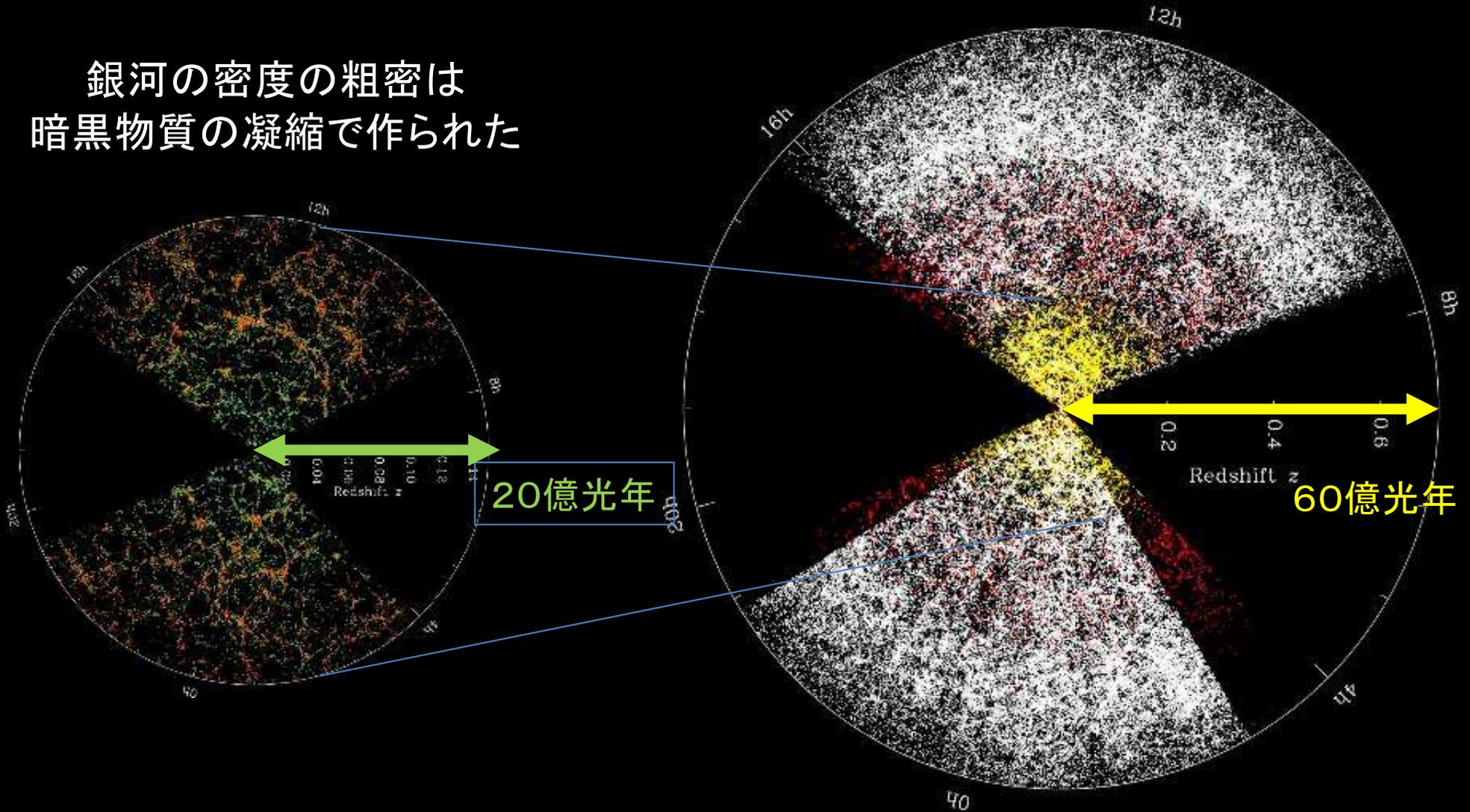
原子には①化学変化によって、それ以上分けることができない  
②化学変化によって、新しくできたり、別の原子に変わった



• きっと正しくないことが書かれている。

# 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



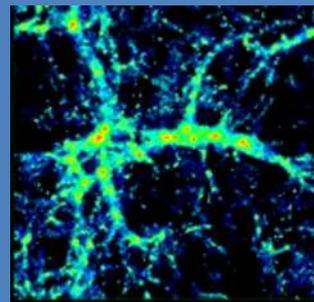
銀河の回転速度



衝突する銀河



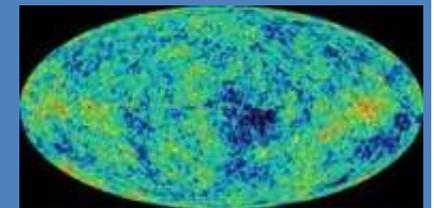
銀河大規模構造



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

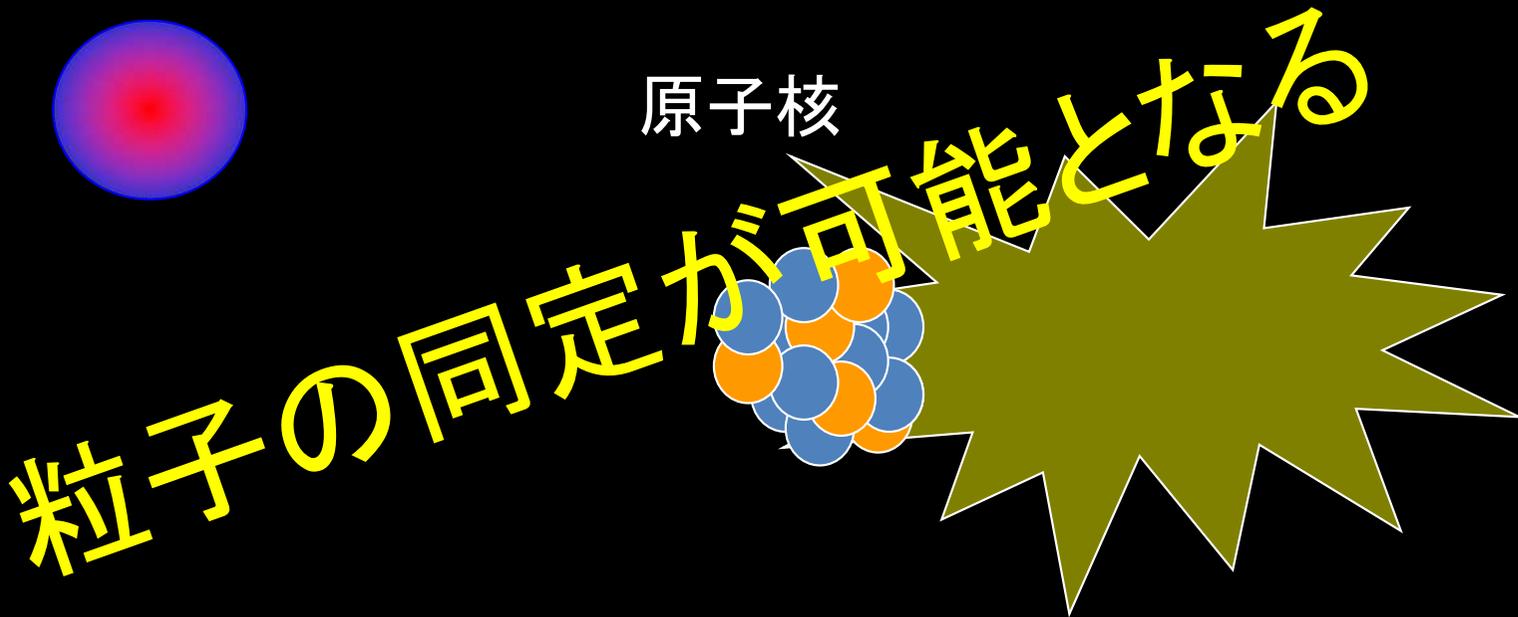
# 最も解明できそうな方法

- 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



粒子の同定が可能となる

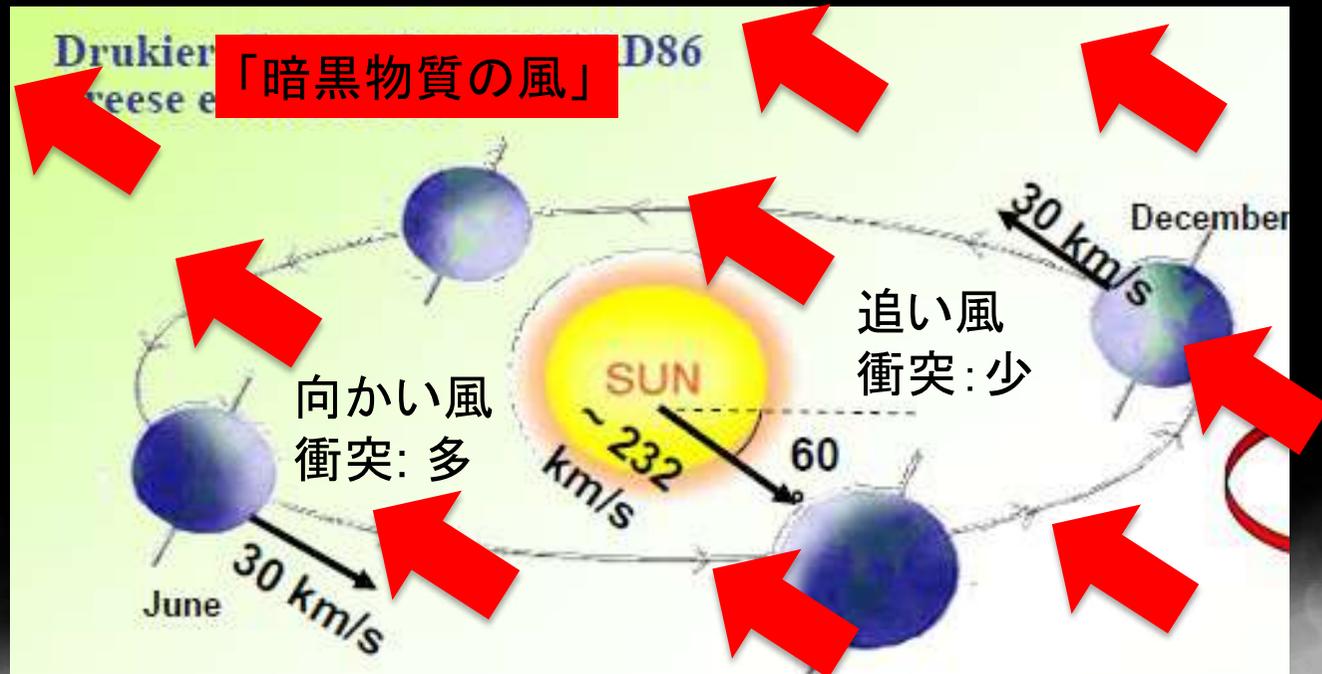
宇宙の彼方へ

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

# 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！

# 探索実験研究の紹介

# 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)

$$R = \sigma_{\chi-N} \times n \langle v \rangle$$

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

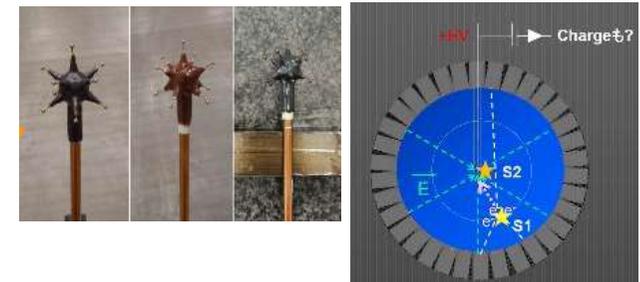
$\sigma_{\chi-N}$  : WIMP-nucleus cross section  
 $\rho$  : WIMP density  
 $f(\vec{v})$  : WIMP velocity distribution

**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XENONnT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

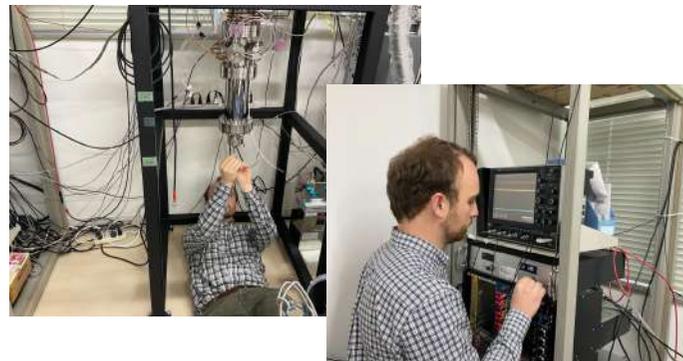
フランス CEA Saclay、イギリスBirmigham大  
 スウェーデンESSとの共同研究



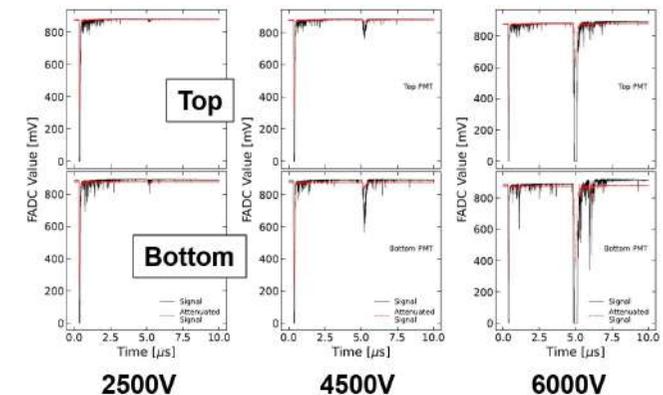
Saclayでの電極実験



神岡での液体TPC実験



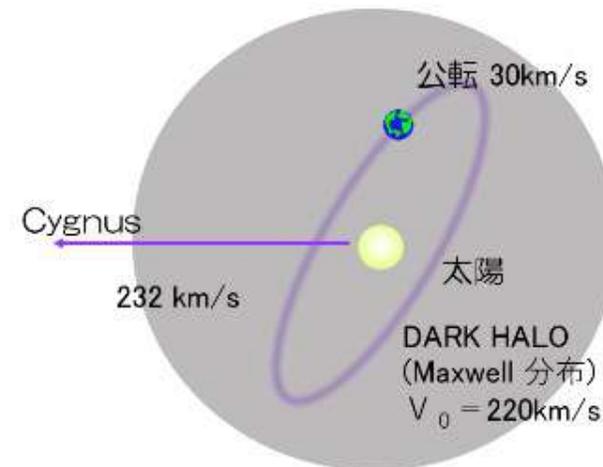
原理検証の論文: arXiv:2401.02327



# 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 $ZnWO_4$ /Stilbene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



これまで修士論文が投稿論文になっています

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

# XENON実験@イタリア

東京・名古屋・神戸大  
森山、竹田、他

## グランサッソ研究所

世界最高感度で発見を狙う代表的実験





THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
Chicago

UC San Diego  
UCSD



Rice

PURDUE UNIVERSITY  
Purdue



Subatech



Coimbra



LPNHE



Torino



Bologna



L'Aquila



LNGS



Napoli



Weizmann



Tsinghua



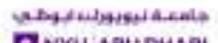
Tokyo



NAGOYA UNIVERSITY  
Nagoya



Kobe



NYUAD

~180 scientists, from 27 institutions

日本から17名(うち学生は東大から2名、名大2名、神戸1名参加) <sup>16</sup>



Credit: XENON Collaboration



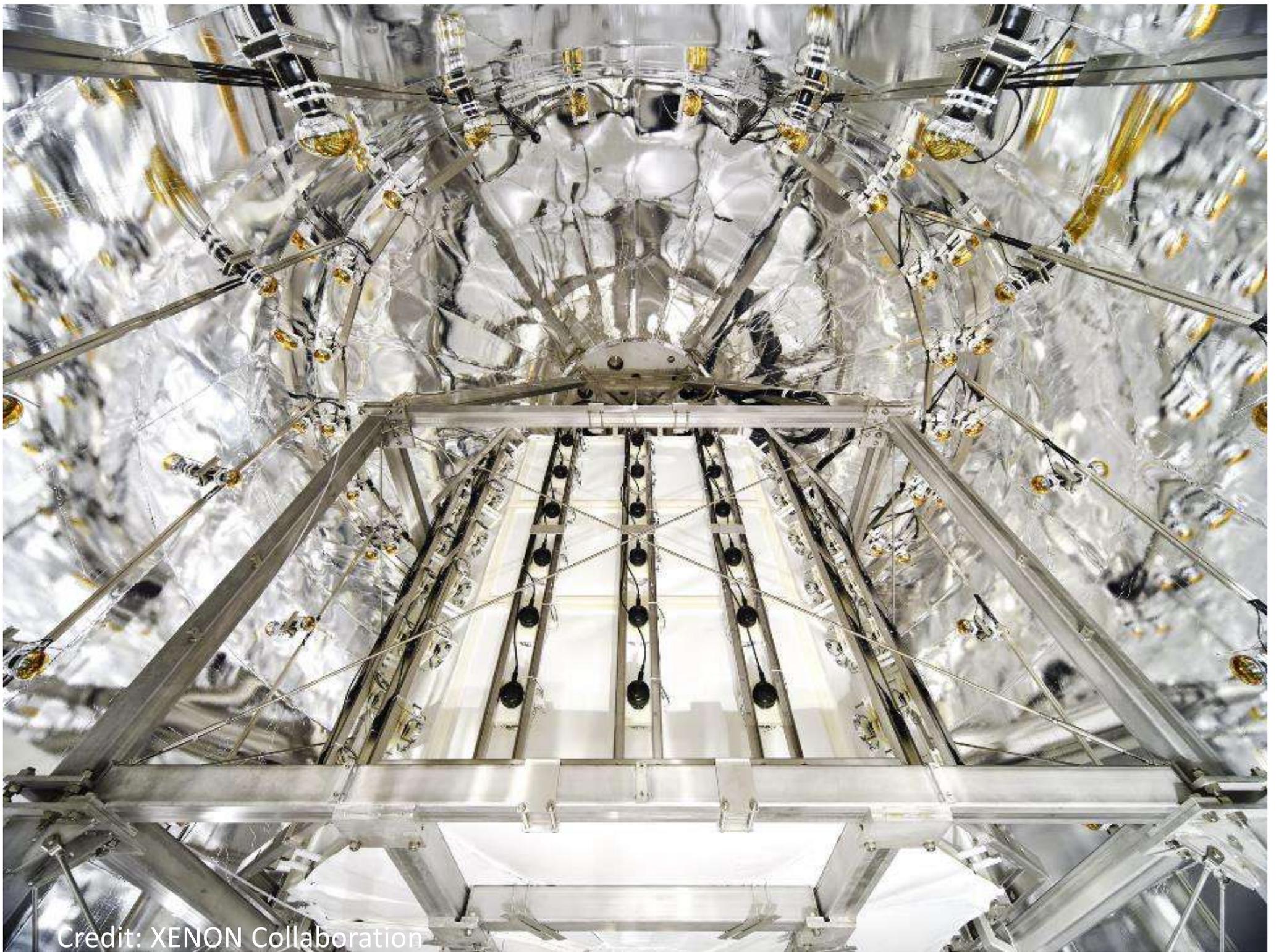
Credit: XENON Collaboration



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  
(現在D1)受賞2回  
他卒業生2名受賞



に加え



吉田将  
PD



緒續 航太郎  
M1

の皆さんが活躍中です

# 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 with Nuclear Recoils from

XENONnTの初期データのダークマター探索

- Search for events associated with gravitational

前身検出器での重力波に  
相関する事象探索

- Search for New Physics in Electronic Recoil Data

XENONnTの初期データでのアクシオン探索

- Direct dark matter searches with the full data set of XMASS-I

XMASS実験全データを用いた  
ダークマター探索

- Excess electronic recoil events

前身検出器でのアクシオン探索



# 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)



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