

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



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

何を研究したいですか？

大きな謎を解きたい

当然大きな困難も立ちはだかるだろうが
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



物質は何からできているか？

The screenshot shows a website header with a blue bar containing the text '中学校情報' (Middle School Information) and '原子と分子' (Atoms and Molecules). Below this is a navigation menu with '中学校学習ガイド' (Middle School Learning Guide) and '原子と分子' (Atoms and Molecules). There are also buttons for '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). The main content area starts with the text 'ここでは原子と分子についてご紹介します。' (Here we introduce atoms and molecules.) and a section titled '原子' (Atoms) with a red ribbon icon.

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
り、かきかえたりしない③種類によって、大きさや質量が違



• きっと正しくないことが書かれている。

物質は何からできているか？

- 人類の物質観は長い歴史がある。
- 「原子論」は古代から存在した
 - 科学として成立したのは、アインシュタインのブラウン運動の理論的予言と、その実験的検証
 - 1905-1916年あたりに生じた「革命」的展開
- なぜ原子分子が物質の正体であると誤ったか？
 - たまたま身の回りにあったから。

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



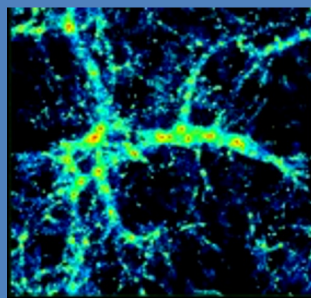
銀河の回転速度



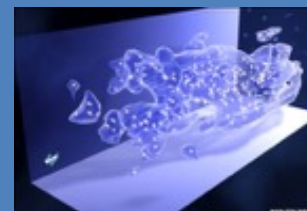
衝突する銀河



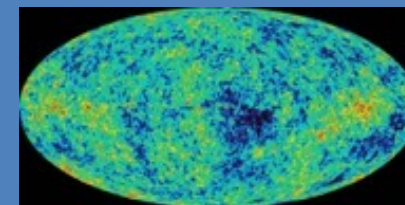
銀河大規模構造



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

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

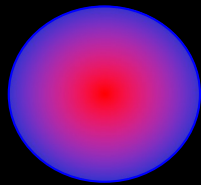


素粒子としての 暗黒物質の正体の解明

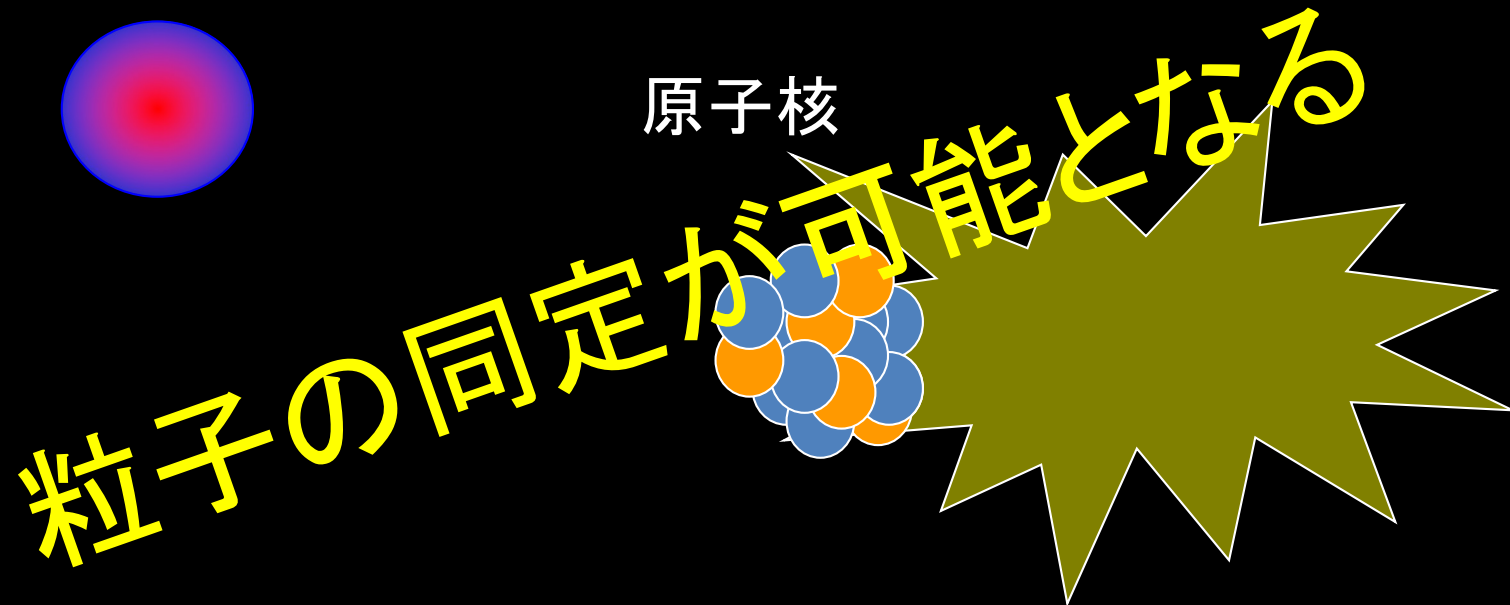
最も解明できそうな方法案

- 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



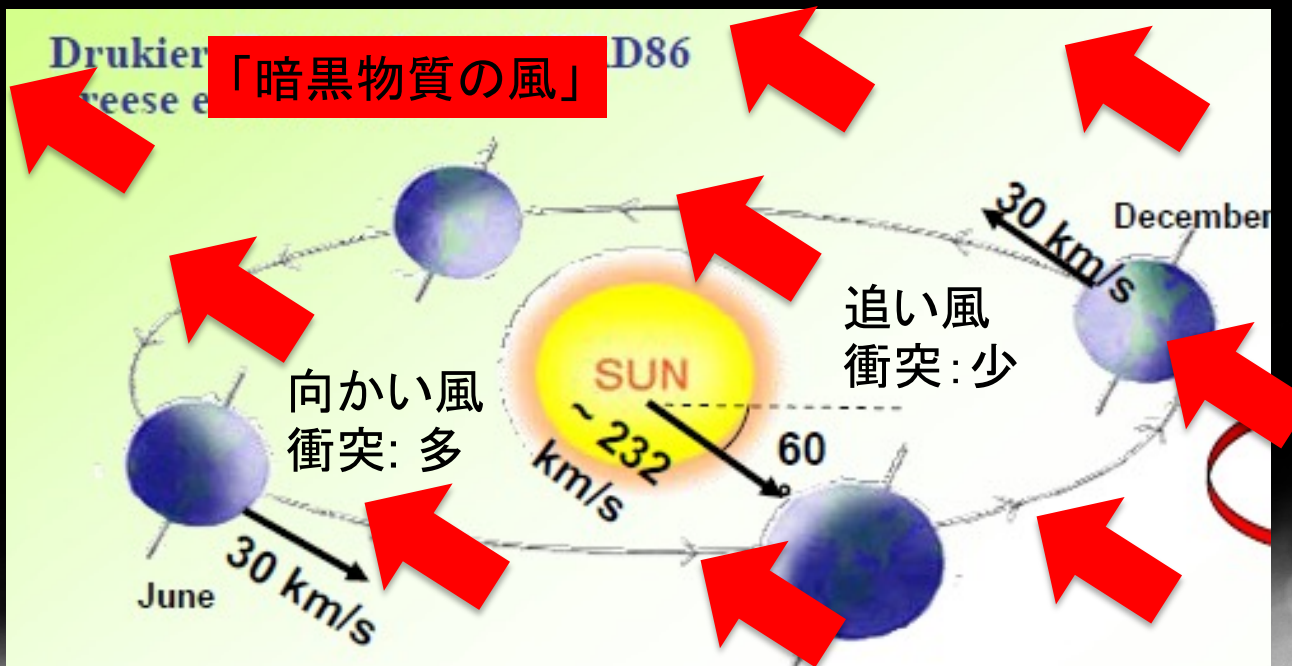
宇宙の彼方へ

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

もう一つの特徴： 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
 ρ : 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



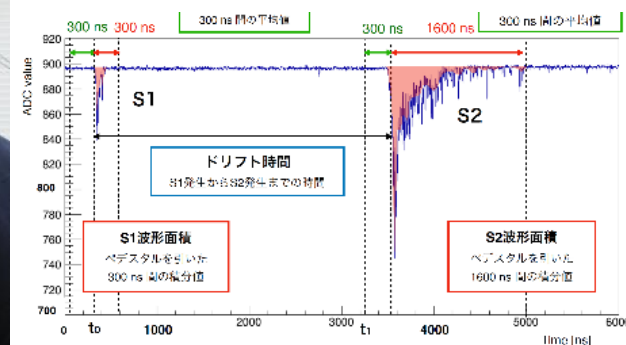
Saclayでの電極実験



神岡での液体TPC実験



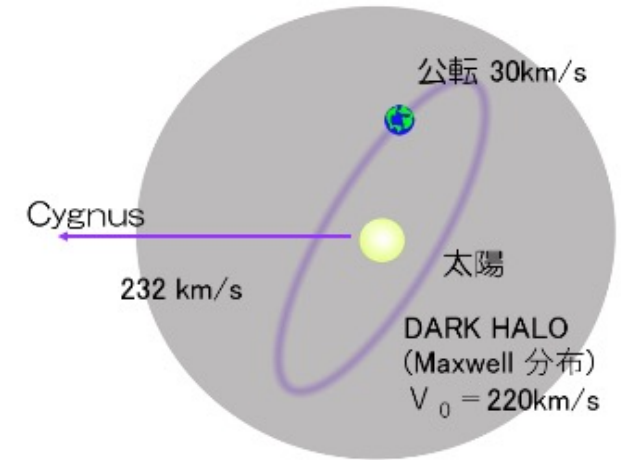
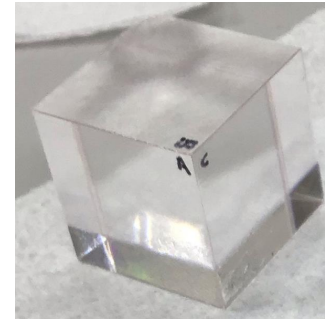
2019年初めて成功した時のシグナル！！



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」

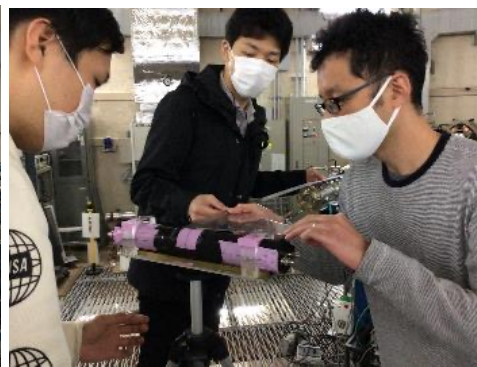
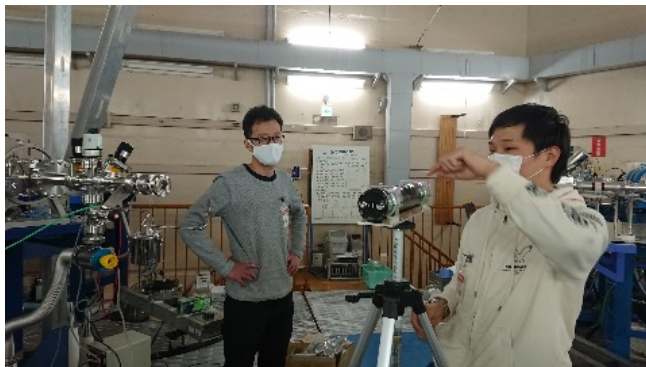


→白鳥座方向からの入射方向に感度をもった検出器の開発

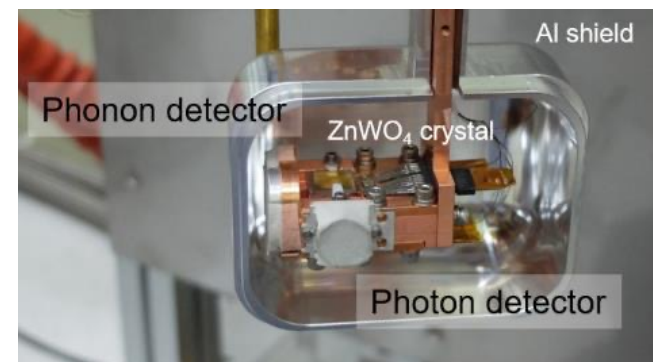
方向によって発光量の異なる結晶を利用する

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すべて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
PARIS

INFN
TORINO

Bologna

L'Aquila

INFN
LNGS

Napoli

Weizmann

清华大学
Tsinghua

東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO
Tokyo

NAGOYA UNIVERSITY
Nagoya

KOBE
University
Kobe

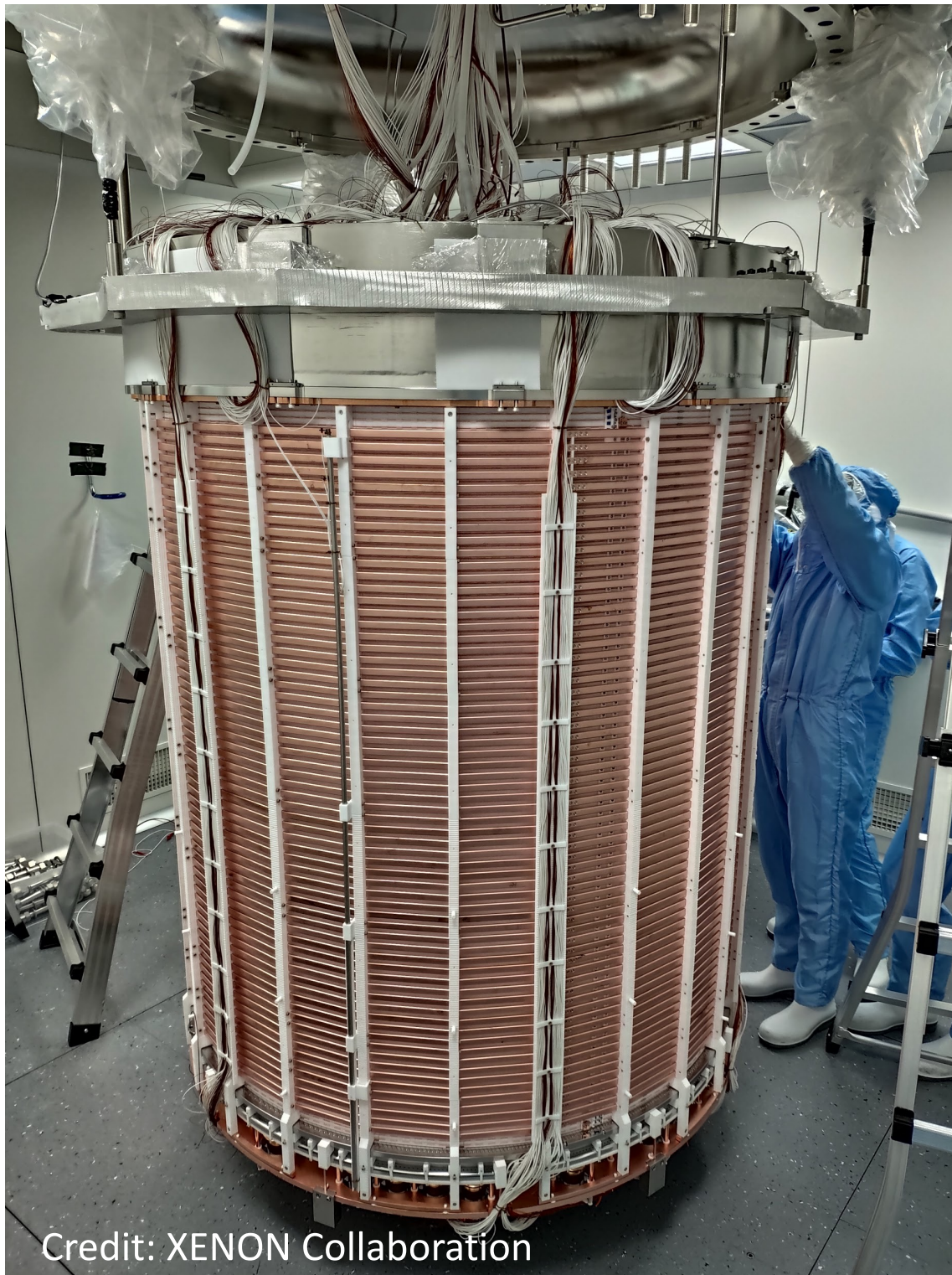
XENONnTの
建設・観測のため
2017から参加

جامعة نيويورك أبوظبي
NYU | ABU DHABI
NYUAD

~180 scientists, from 27 institutions
日本から14名 (学生は東大から1名、神戸2名参加)



Credit: XENON Collaboration



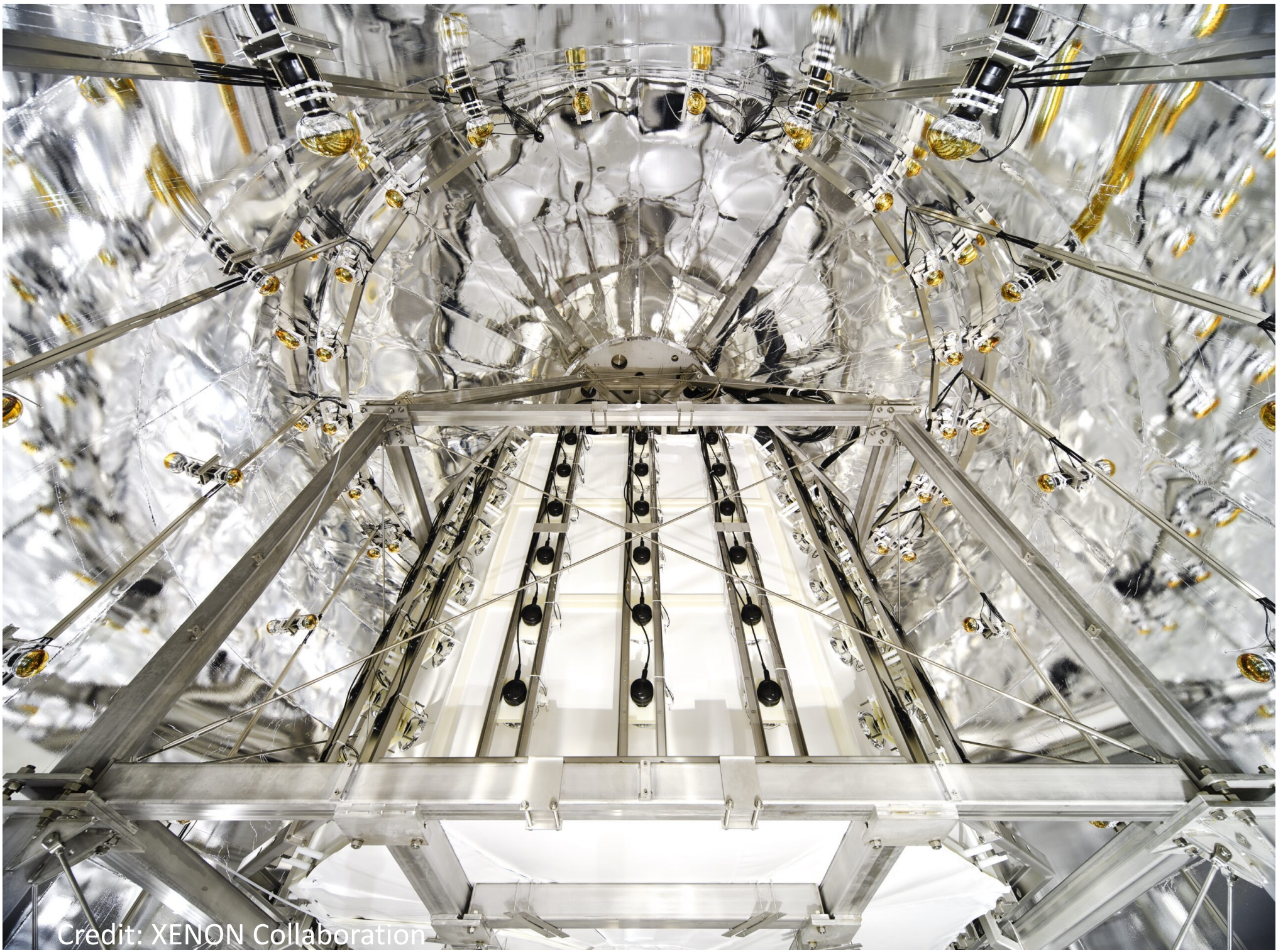
Credit: XENON Collaboration



Credit: XENON Collaboration

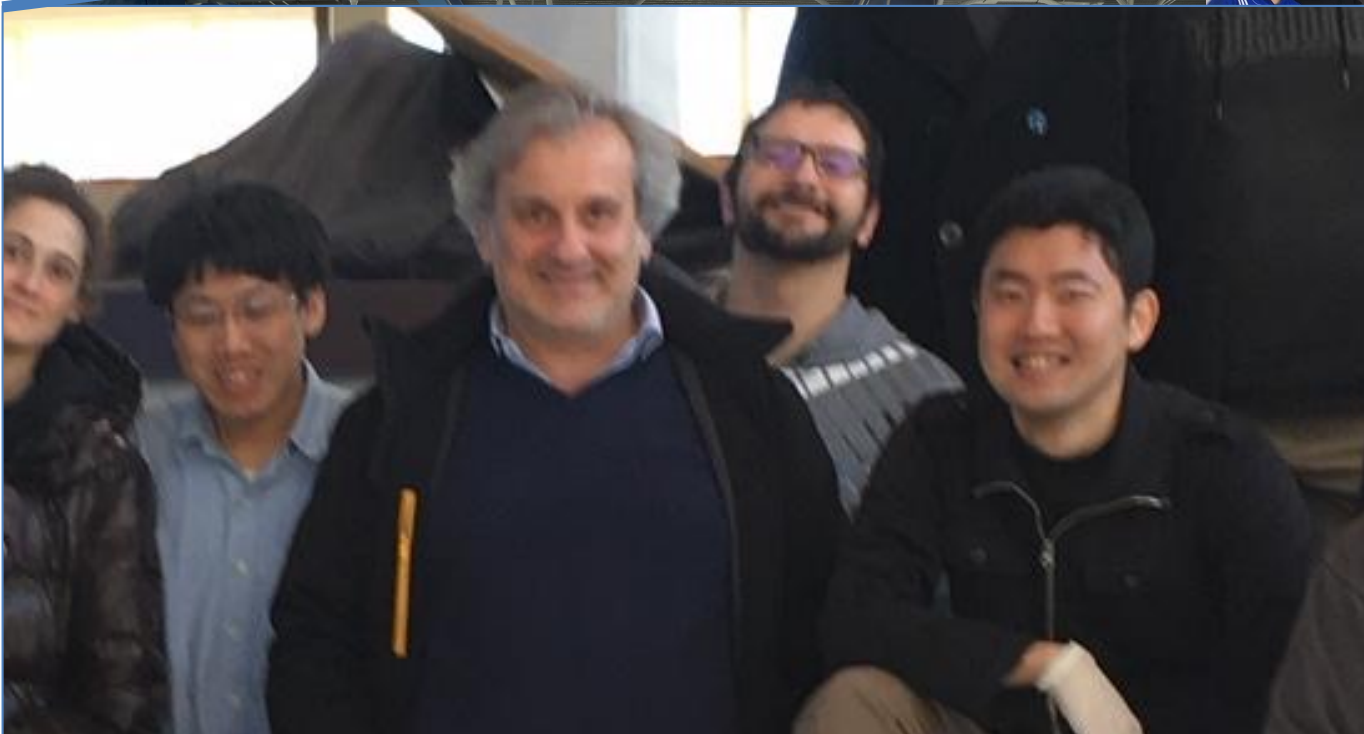


Credit: XENON Collaboration



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
運転開始！

東京大学のXENONグループ



IPMUメンバーがXENON賞を受賞



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

関谷 洋之 sekiya@km.icrr.u-tokyo.ac.jp

宇宙線研6階大セミナー室でお待ちしています