

暗黒物質直接探索 グループ

東京大学

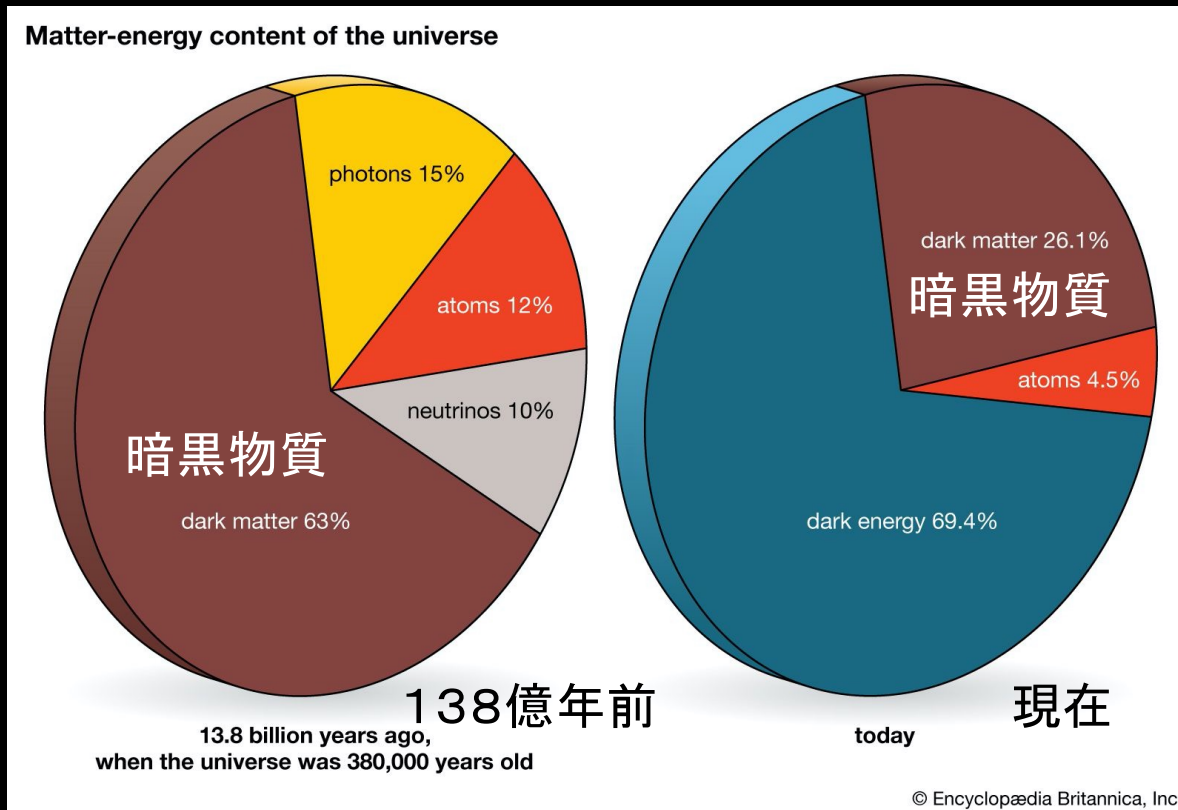
宇宙線研究所/Kavli IPMU

森山 茂栄(しげたか)

関谷 洋之(ひろゆき)

暗黒物質研究の動機

1. 宇宙の誕生と発展、運命を司る法則の理解



宇宙初期には**暗黒物質**が支配していた**主役**だった。

暗黒物質は既に「**発見**」済
但し「**正体**」不明

個人的には宇宙からの証拠は十分。。

この**母なる物質**を捉え
素性の理解が面白い！

暗黒物質研究の動機

2. 素粒子物理学：標準理論、ヒッグス発見の先
 - まだわからないことが沢山残っている。
 - これまでの成功：人類は自然を深く理解できそう
だ、という強い期待。
 - 暗黒物質の素性の理解は素粒子の理解をはる
かに広げてくれる「鍵」だろう。

宇宙に関する大発見と、素粒子における大発見が
交互に起こることで物理学が発展してきた。
いまボールは「素粒子物理学」側にある！

小規模

大規模

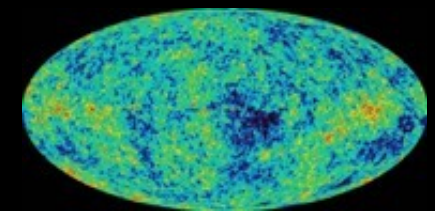
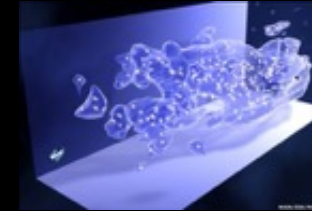
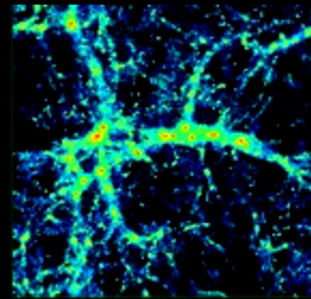
銀河の回転速度

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

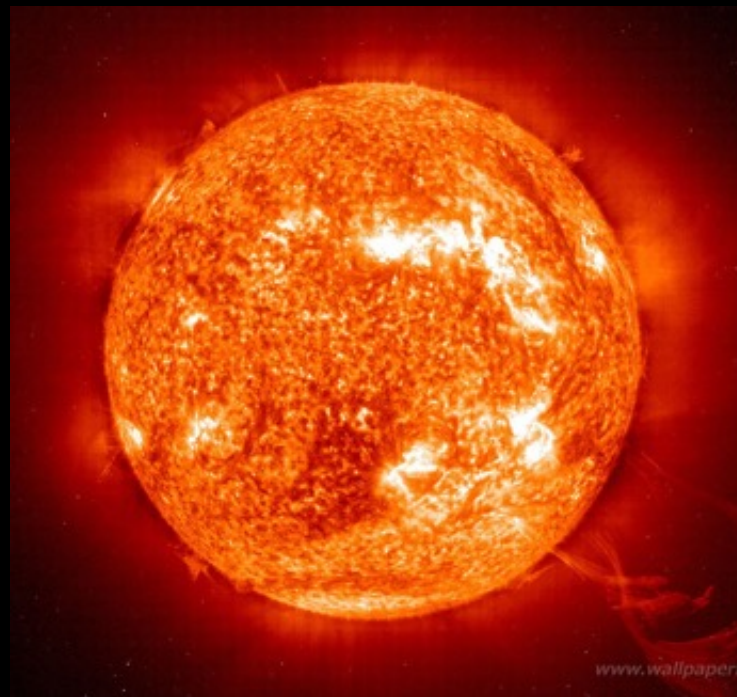


各スケールの未解決問題が
「たった一つの未知粒子」
の発見で一気に解決の可能性

取り組みたい現代物理の大きな課題の1つ

人類への課題

- 我々の隣を飛交う素粒子を同定せよ



暗黒物質の同定

素粒子としての「毛」＝特徴

- 質量：90桁の範囲でわかっていない
- スピン：未知
- 相互作用の強さ：重力以上
- 寿命：宇宙の寿命程度？

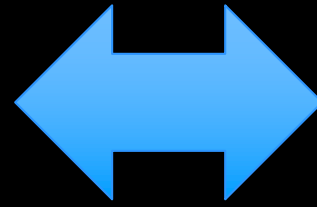
すべてにおいて実験的決定が必要

暗黒物質の質量と同定方法

質量による分類

- 古典場(波)
- 軽い粒子
- 弱く相互作用する質量のある粒子(WIMP)
- 重い粒子
- 天体等

幅広いアプローチが期待
本グループではオレンジを主



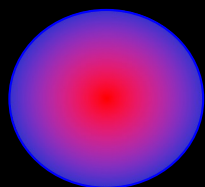
観測手法による分類

- レーザー干渉
- 天体観測
- 宇宙X/γ線等観測
- 直接検出
- 加速器
- ニュートリノ観測
- 重力レンズ
- CMB観測

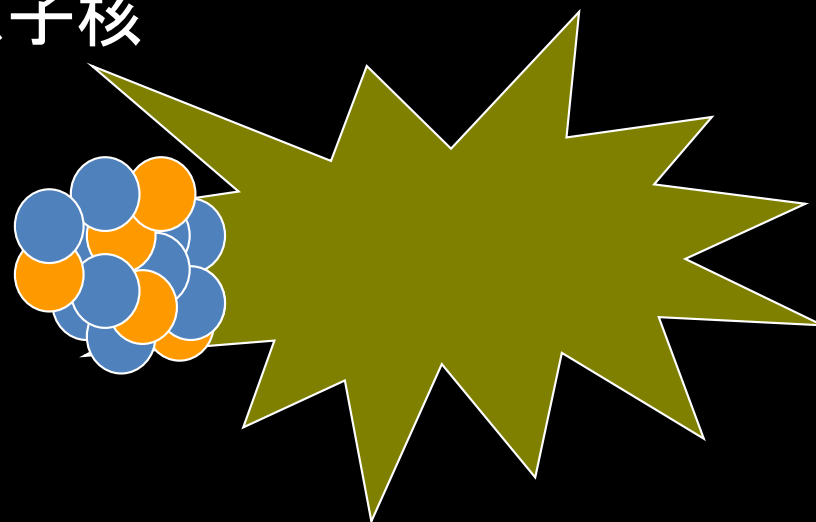
直接散乱の検出の方法

- 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

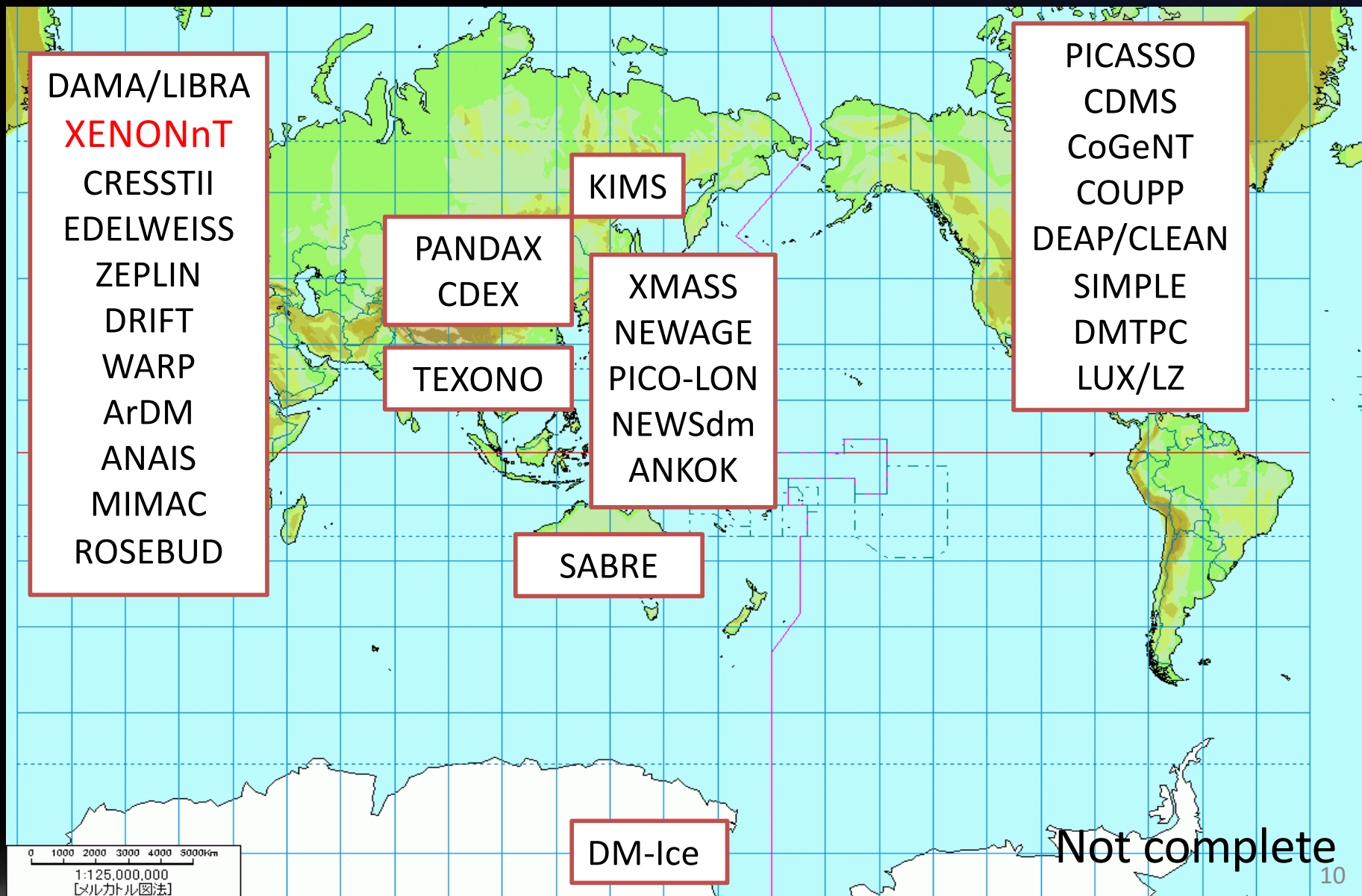


宇宙の彼方へ

反応時の信号を検出

- 最も直接的で、発見後に詳しい研究が可能。
- 新研究分野の扉が開く

世界中で30以上の実験！



宇宙線研究所での 暗黒物質直接探索実験 研究室紹介

- 関谷研究室
 - 将来大きな検出器を実現するにはどうしたらよいか
 - 暗黒物質の特徴を検証するにはどうしたらよいか
- 森山研究室
 - 「発見」し「性質を調べる」研究フェーズを切り拓く
 - 最高感度の実験を、世界の同世代の研究者と切磋琢磨

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)

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

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

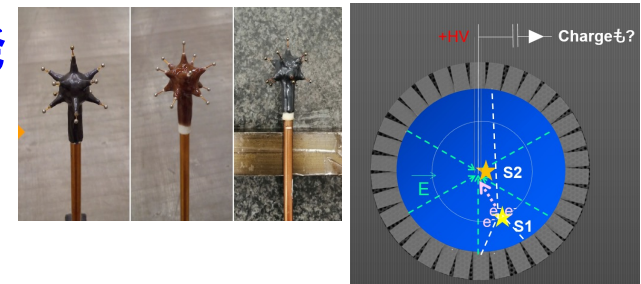
$\sigma_{\chi-N}$: WIMP-nucleus cross section
 ρ : WIMP density
 $f(\vec{v})$: WIMP velocity distribution

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

名古屋大学、フランス CEA Saclay、イギリスBirmigham大との共同研究



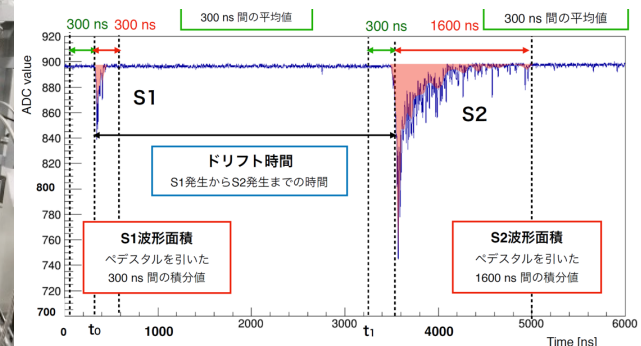
Saclayでの電極実験



神岡での液体TPC実験



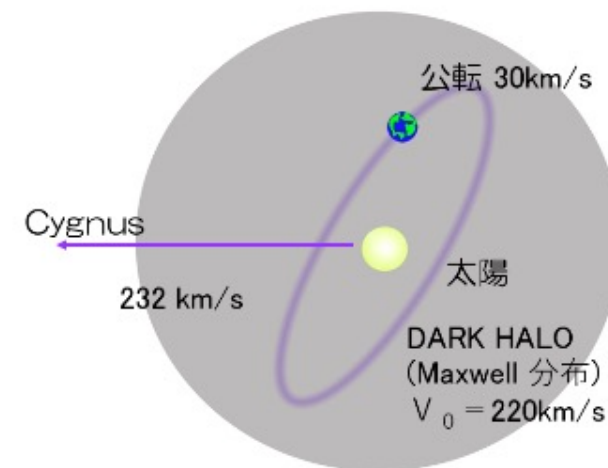
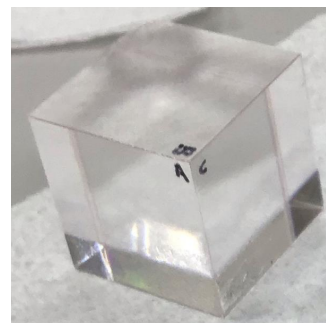
2019年初めて成功した時のシグナル！！



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」

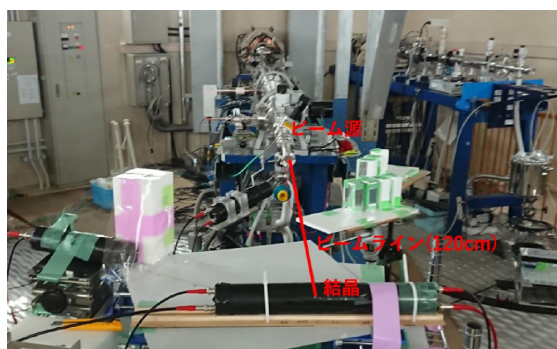


→白鳥座方向からの入射方向に感度をもった検出器の開発

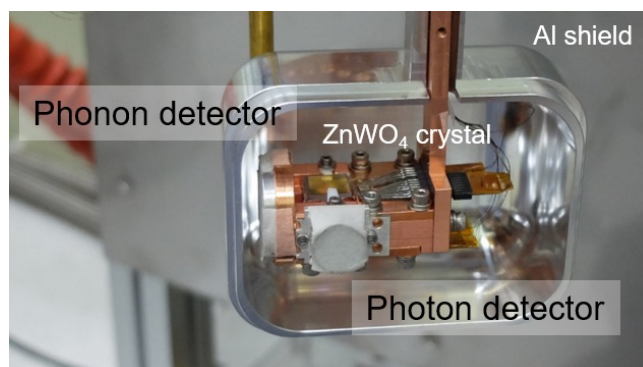
方向によって発光量の異なる結晶を利用する

東北大学、山形大、韓国IBSとの共同研究

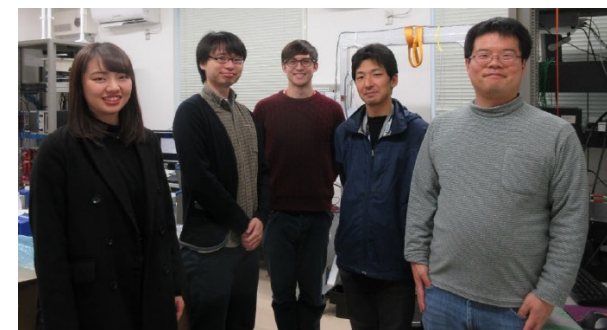
つくば
産総研でのビーム実験



韓国 IBSでの冷却実験



研究メンバー



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



THE UNIVERSITY OF CHICAGO
Chicago

UC San Diego
UCSD

Rice

PURDUE UNIVERSITY
Purdue

Subatech
Coimbra

Coimbra

LPNHE
PARIS
LPNHE

INFN
TORINO
Torino

Bologna

L'Aquila

INFN
LNGS
LNGS

Napoli

Weizmann

清华大学
Tsinghua University
Tsinghua

東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO
Tokyo

NAGOYA UNIVERSITY
Nagoya

KOBE UNIVERSITY
Kobe

جامعة نيويورك أبوظبي
NYU ABU DHABI

NYUAD

XENONnT
建設へ向けて
2017から参加

運転中！今後5年間で実験を進め大発見を目指す！

日本から14名(学生は東大から1名、神戸2名参加)

<https://sites.google.com/view/xenon-ut/>

東京大学 XENON実験グループメンバー

神岡施設において研究を進めています

カブリIPMUのメンバー

カブリIPMUのHPは以下から御覧ください

www.ipmu.jp/en/research-activities/research-program/XENONnT



森山 茂栄 教授



竹田 敦
准教授



安部 航 助教



M1 神長香乃



Kai Martens
准教授



山下雅樹
特任准教授



Khai Bui
ポスドク

<https://sites.google.com/view/xenon-ut/>

森山研

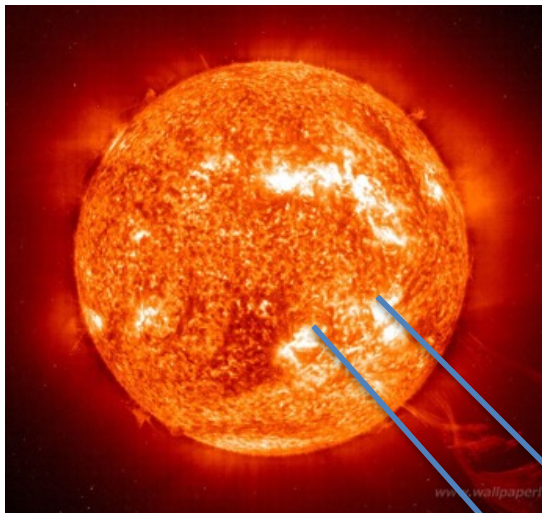
世界の国々の研究者、学生、
男性女性多種多様な研究者
とともに研究を進める



沢山の人々が発見を
期待している。
国際的な活躍の場。

軽い未知粒子 発見か？

2020年発表の前身検出器の結果

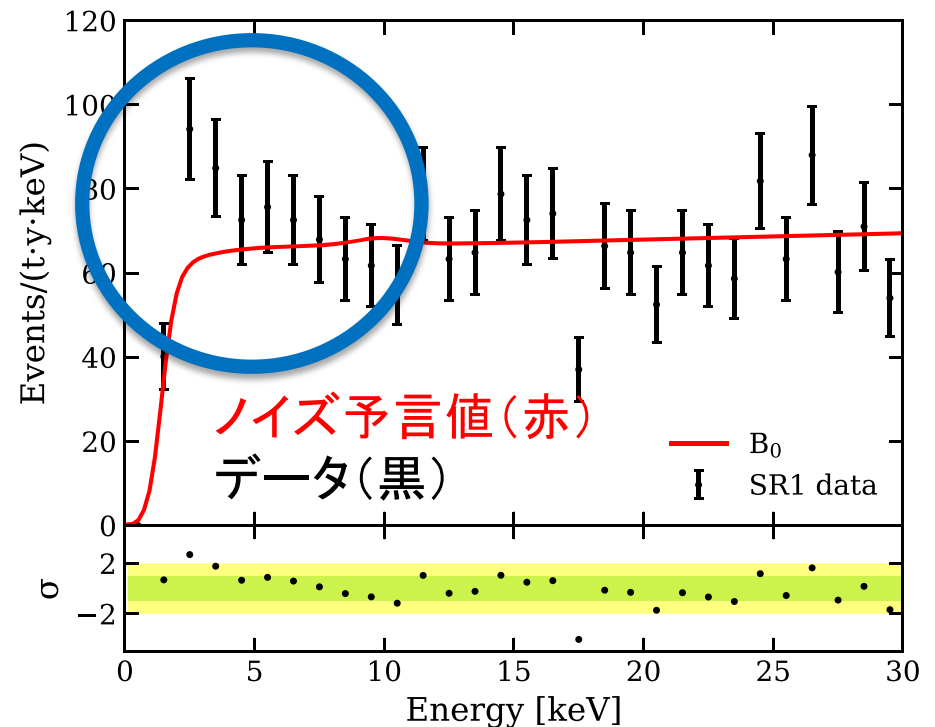


アクシオン
が飛んで
きている？

単なる不純物？

太陽からの
ニュートリノが
知られていない
衝突方法を起こした？

ボゾン暗黒物質
の発見？



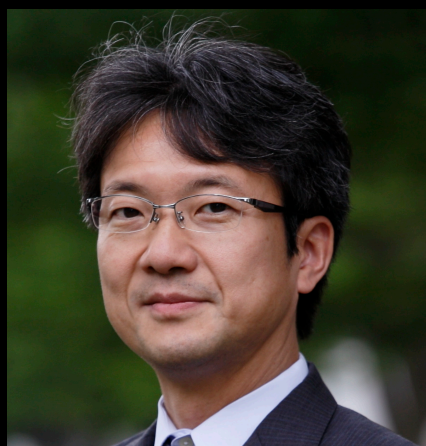
いよいよ運転開始のXENONnT
実験で決着をつけたい

統計的には3.2シグマの有意度
新粒子の発見か？

暗黒物質探索

世界のニュートリノの研究者・大学院生を含め、
広い交流を持ちながら研究が進められています。

- 受け入れ教員: **A8**グループ



森山茂栄教授

moriyama@icrr.u-tokyo.ac.jp

(カイ・マルテンス准教授 kai.martens@ipmu.ac.jp)



関谷洋之准教授

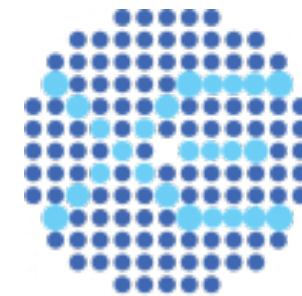
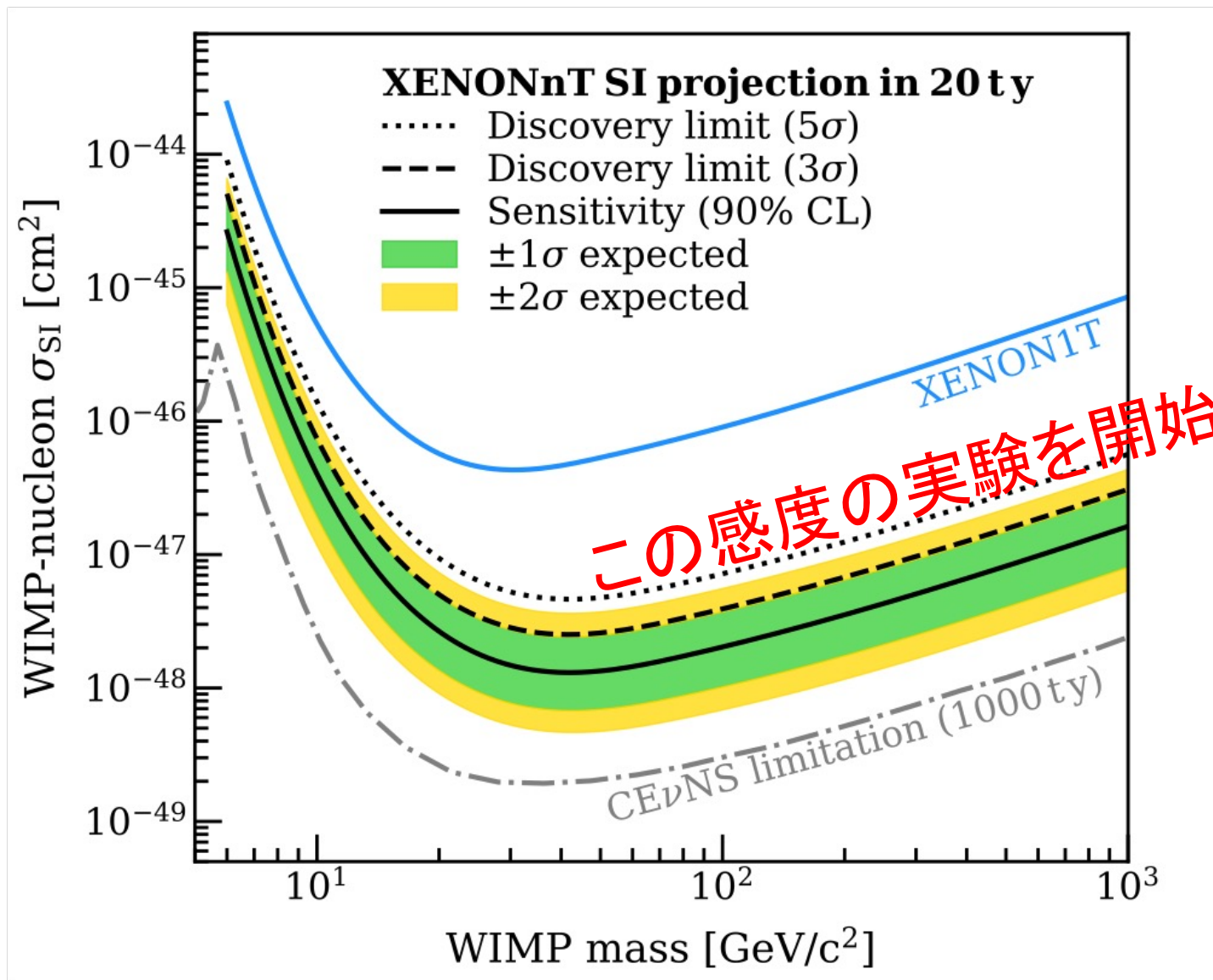
sekiya@icrr.u-tokyo.ac.jp

興味を持っていたいただければ、本日のラボツアー(含神岡実験室紹介)
6/11面談@柏に参加ください。メールや神岡見学も歓迎です。

「暗黒物質直接探索」グループ

XENON実験@イタリア

- 世界最高感度でしのぎを削っている代表的実験



XENON

これから5年間で
発見もしくは
信号の兆候を
捉えたい

緑バンド：
実現できそうな感度
黄バンド：
運が悪いときや
良い時の感度