

# 暗黒物質直接探索 グループ

東京大学

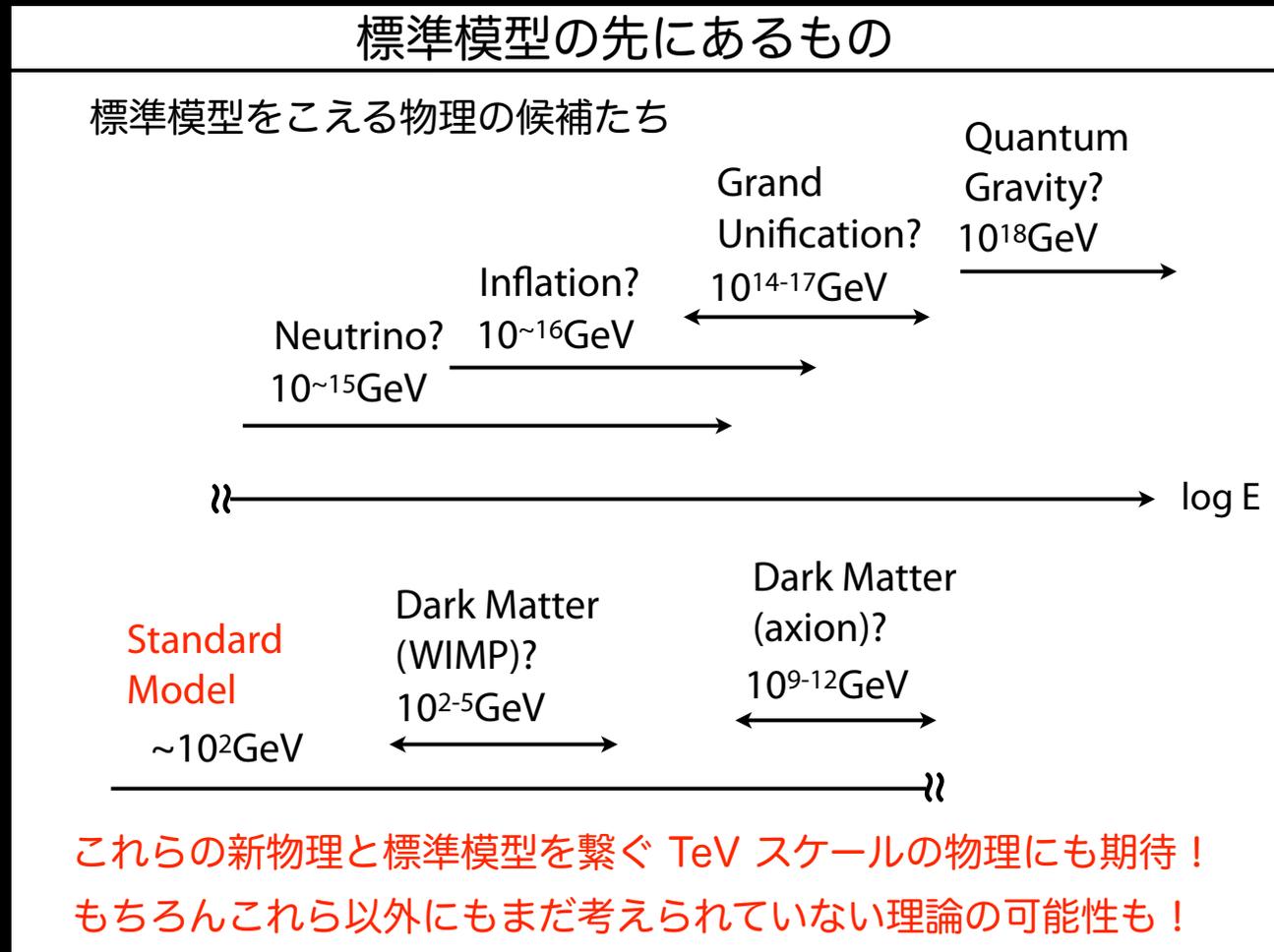
宇宙線研究所/Kavli IPMU

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. 素粒子物理学：標準理論、ヒッグス発見の先



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。

伊部先生のスライド

暗黒物質の理解は  
素粒子の理解を  
はるかに広げて  
くれる「鍵」だろう。

# 暗黒物質研究の動機

## 2. 宇宙の誕生と発展、運命を司る法則の理解

– 暗黒物質は既に「発見」済

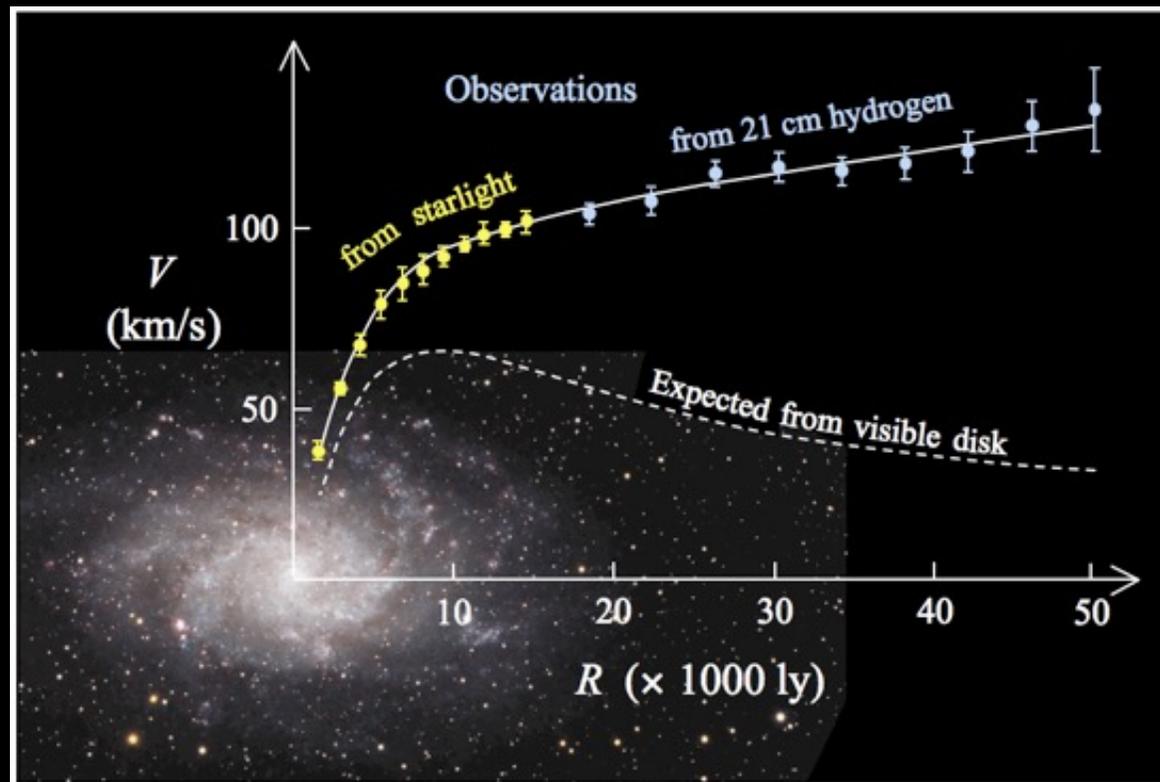
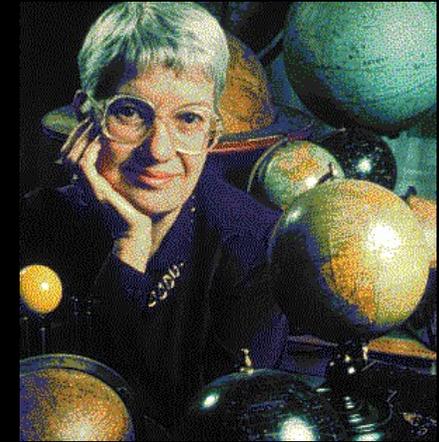
– 但し「正体」不明

- 暗い星、原始ブラックホール等、既知物質か
- 未発見の素粒子か

素粒子の大発見と、宇宙に関する大発見が  
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！

# 暗黒物質存在の証拠

- 宇宙のあらゆるスケールに証拠
- 最小スケールの証拠：銀河の回転曲線



この方法で太陽系近傍に陽子1個分/3ccの密度で存在することが判明

- 衝突する銀河

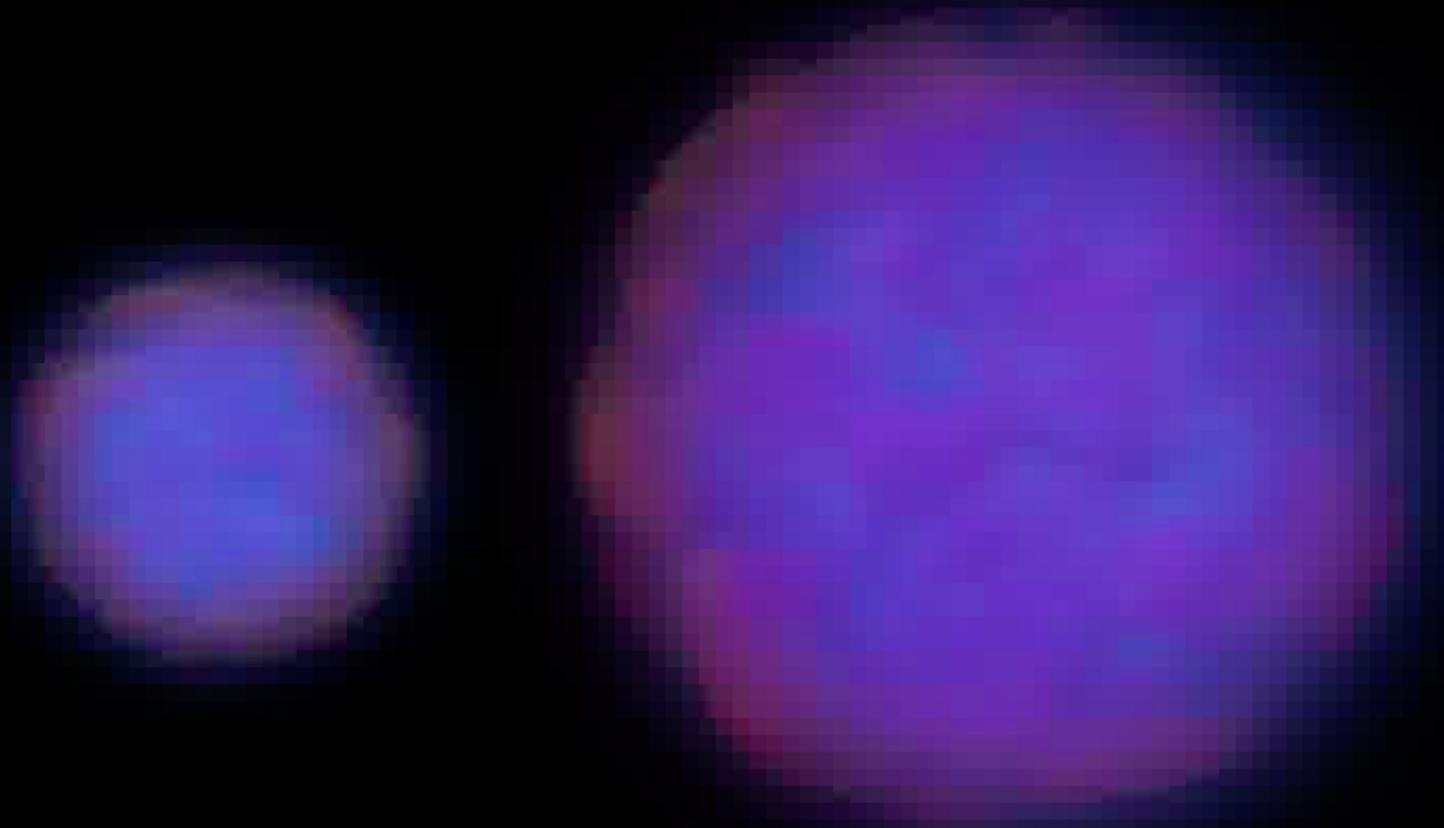
## The bullet cluster (弾丸銀河団) 衝突中

通常物質  
摩擦のため  
引き摺り効果

暗黒物質  
非衝突性  
(観測は重力  
レンズ効果、  
色は仮)

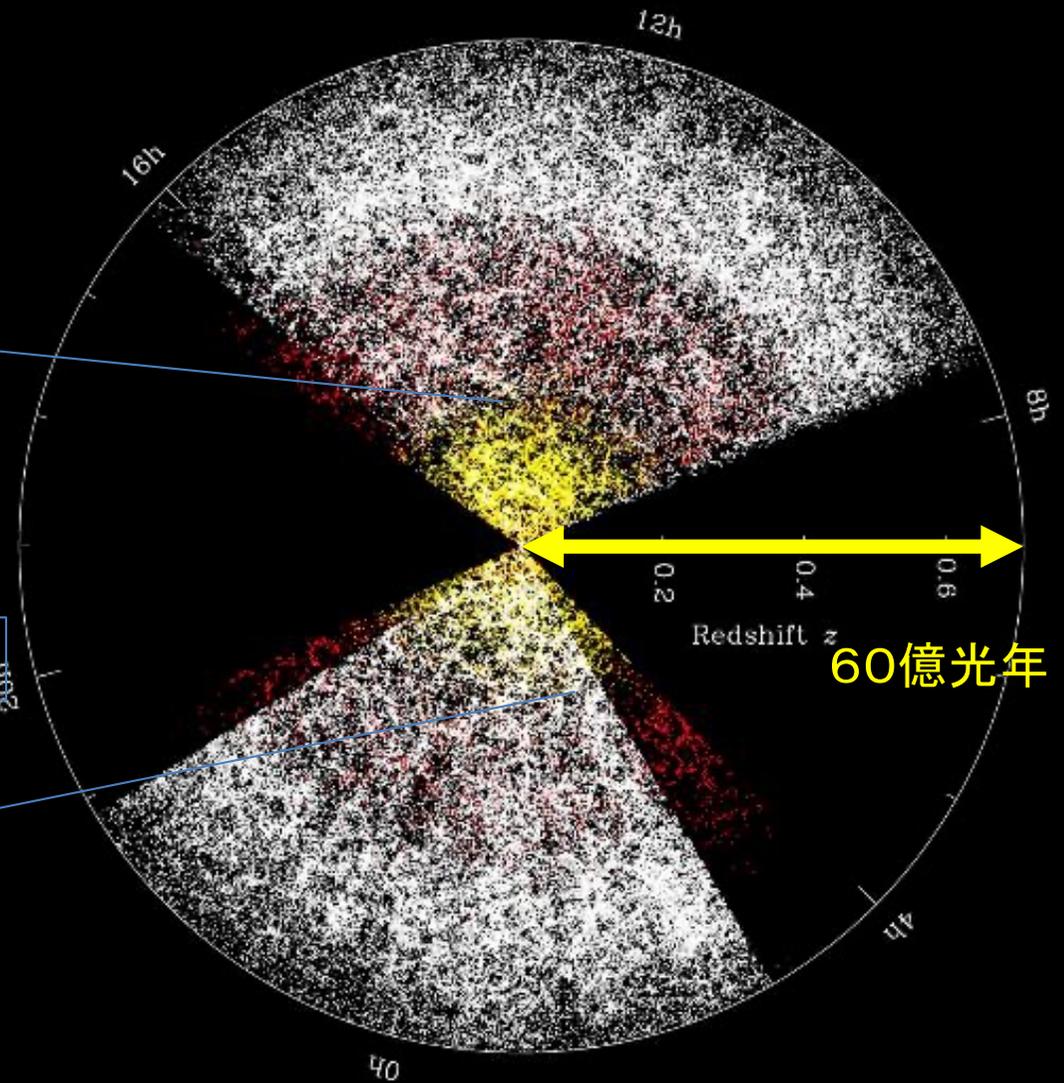
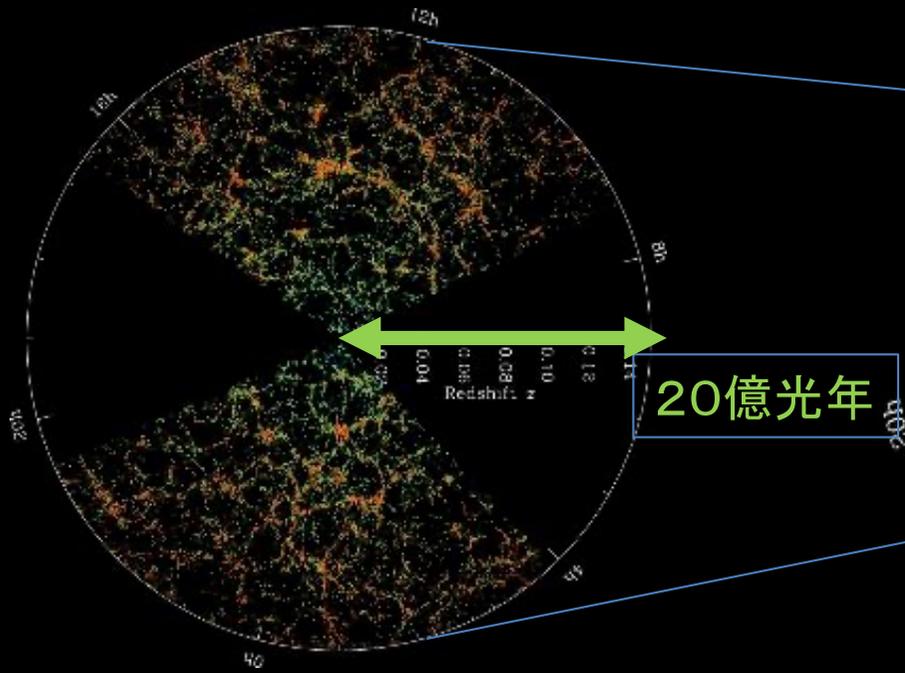
Credit: X-ray: NASA/CXC/CfA/M.Markevitch et al.;  
Optical: NASA/STScI; Magellan/U.Arizona/D.Clowe et al.;  
Lensing Map: NASA/STScI; ESO WFI; Magellan/  
U.Arizona/D.Clowe et al.

# 想像動画



# 大規模構造の成長

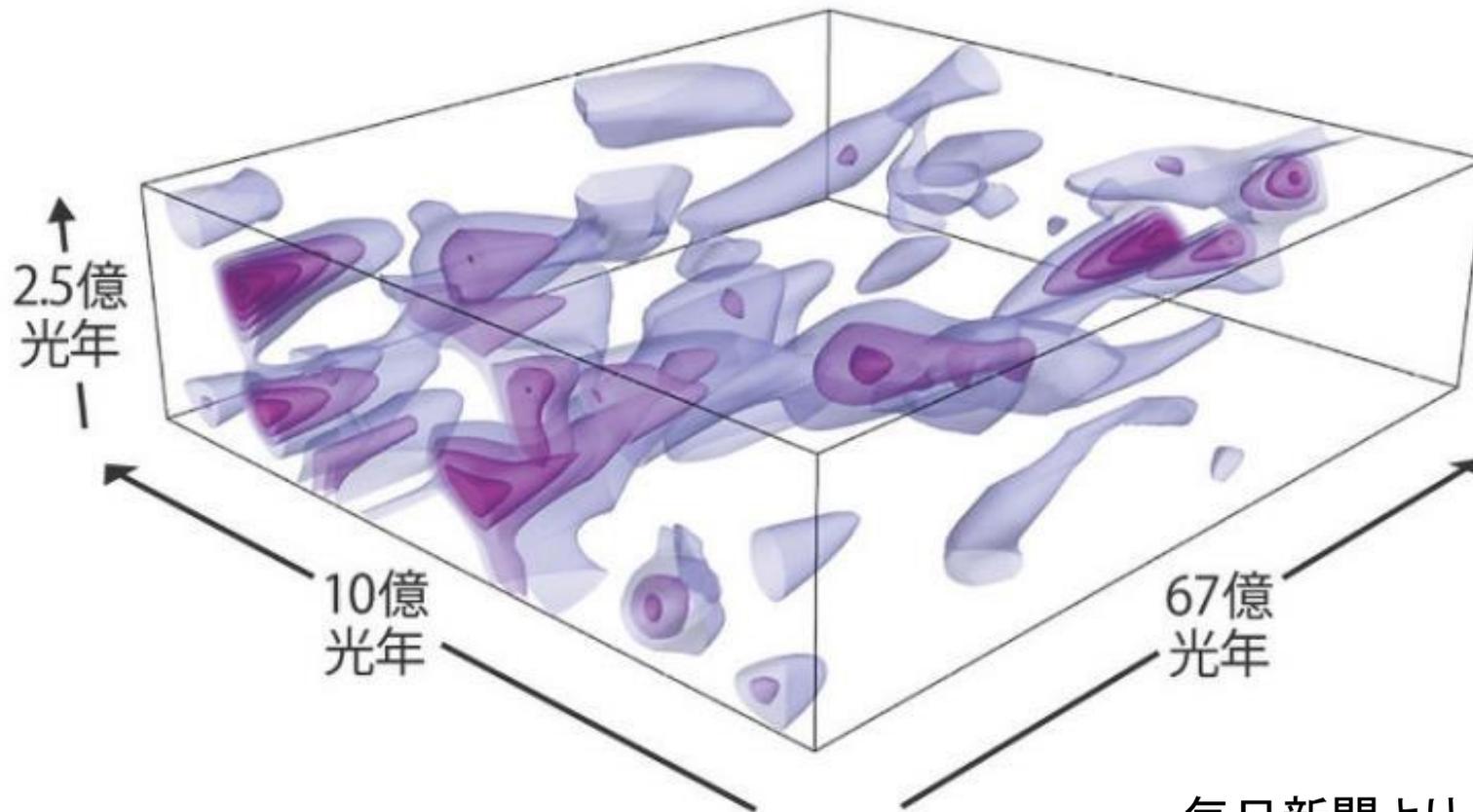
銀河の密度の粗密は  
暗黒物質の凝縮で作られた



# 重力レンズ効果：宇宙論的深度での質量分布

暗黒物質の三次元分布図

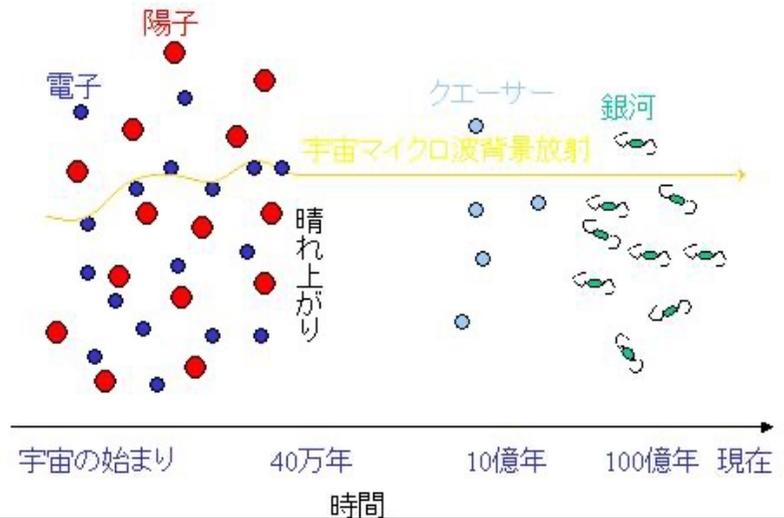
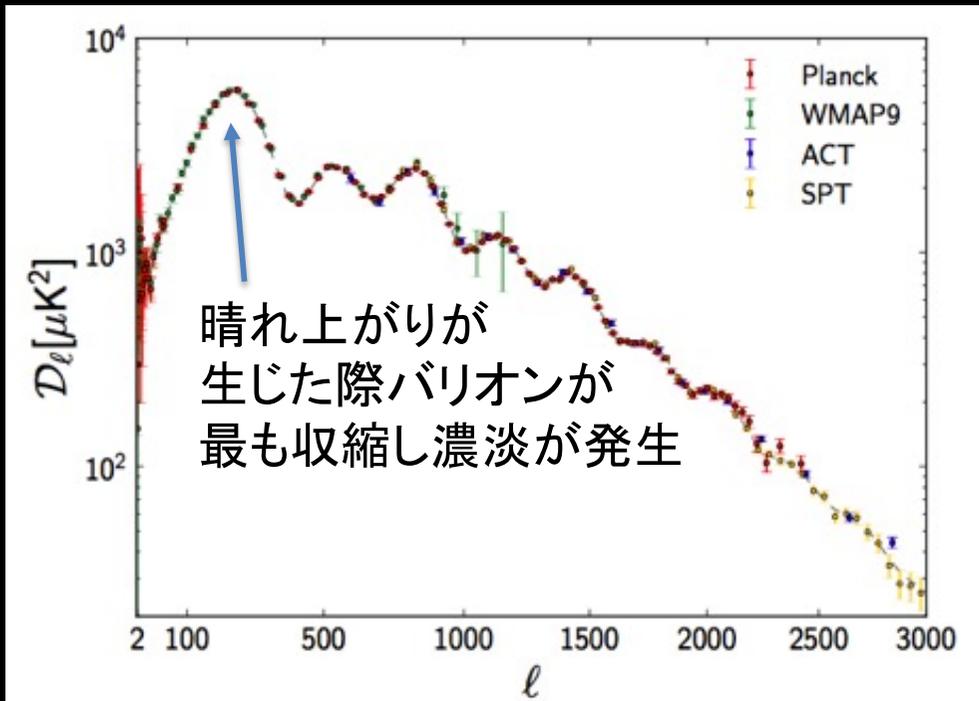
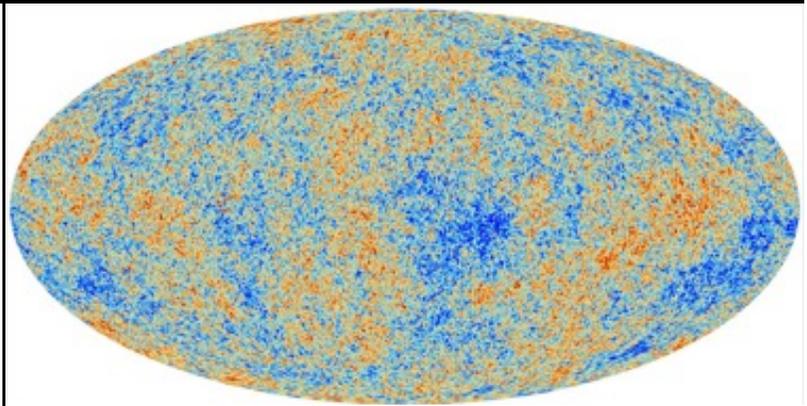
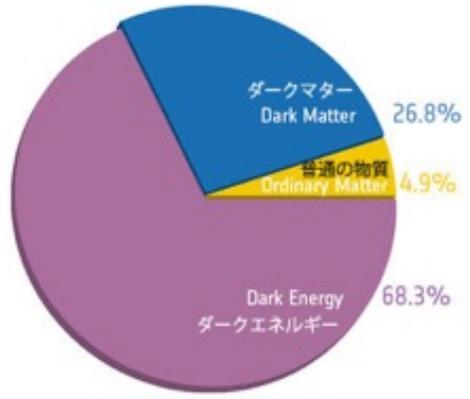
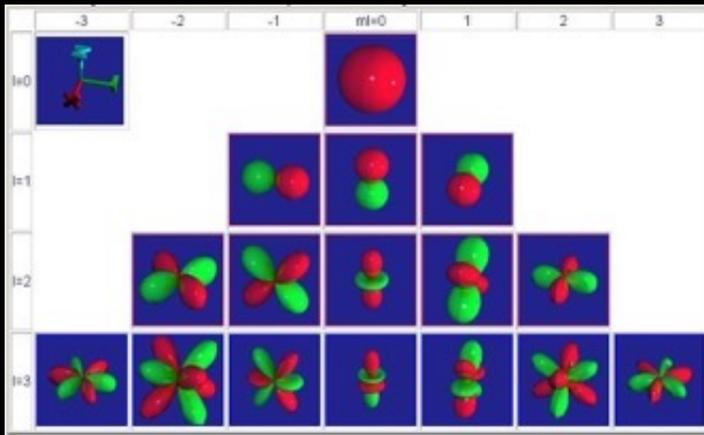
※国立天文台と東京大提供



毎日新聞より  
2018/2/28

太陽の5千兆倍に及ぶ塊を65個観測、理論より2割少ない、との精度

# 宇宙開闢時の電波の解析



小規模

大規模

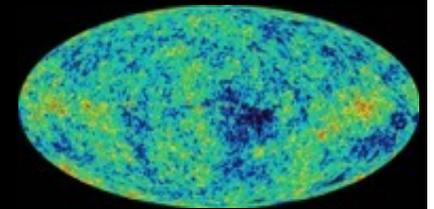
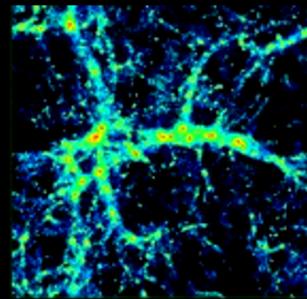
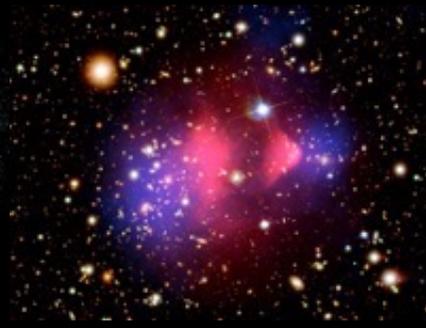
銀河の回転速度

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

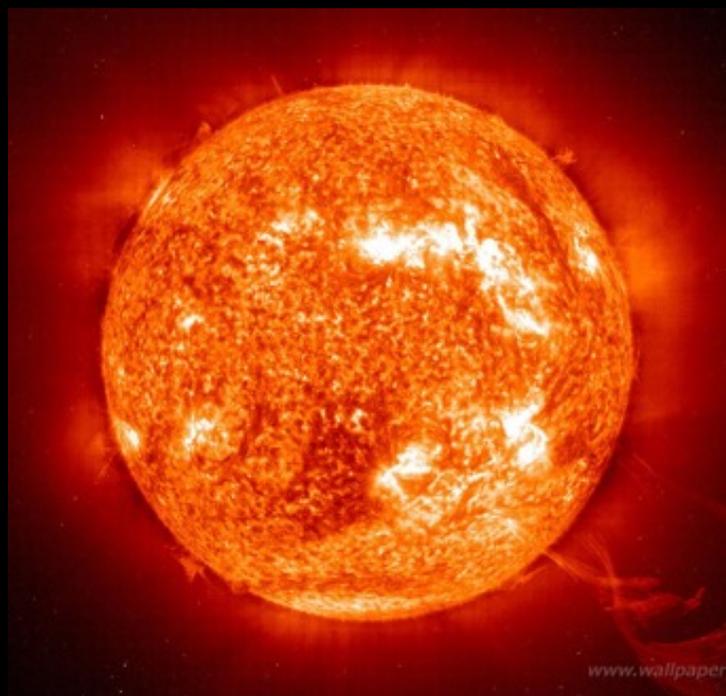


各スケールの未解決問題が  
「たった一つの未知粒子」  
の発見で一気に解決の可能性

現代物理の大きな課題の1つ

# 人類への課題

- 我々の隣に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

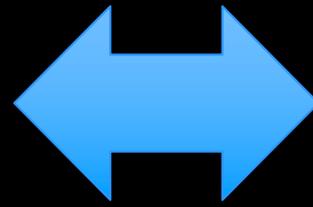
## 質量による分類

- 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/ $\gamma$ 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



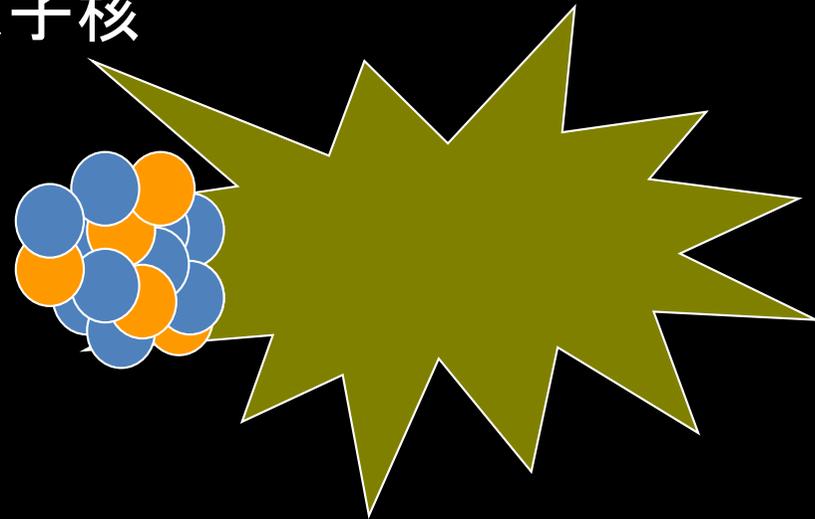
# 直接散乱の検出の方法

- 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



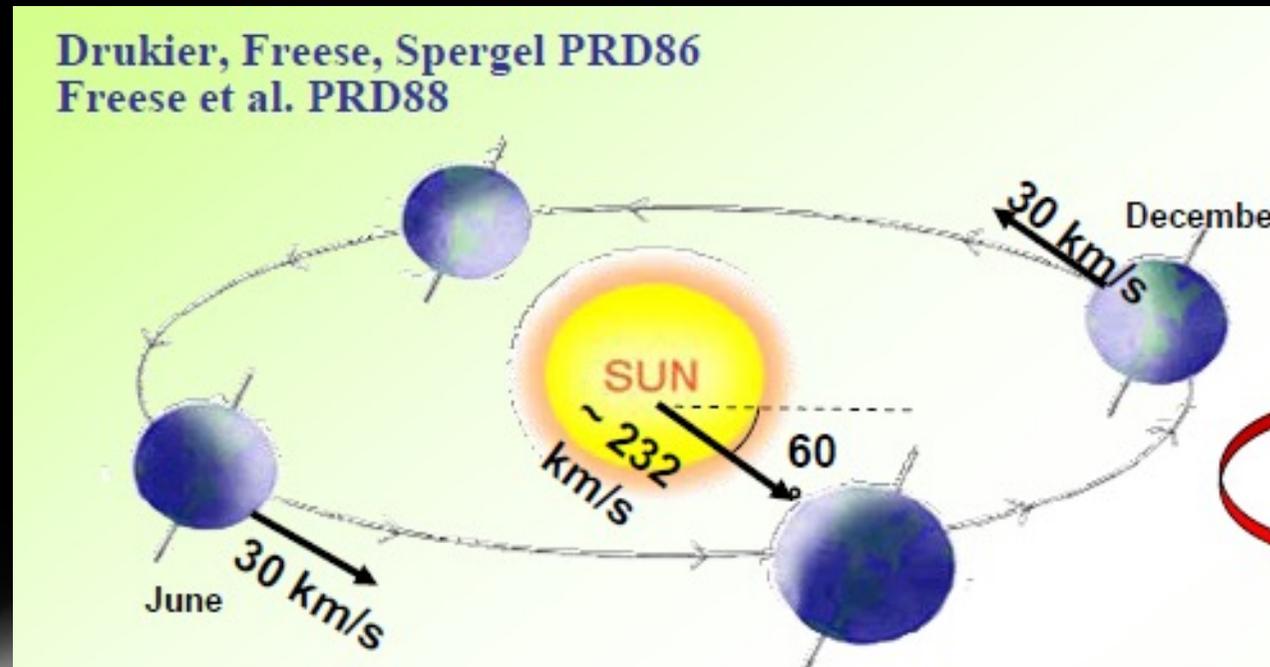
宇宙の彼方へ

反応時の信号を検出

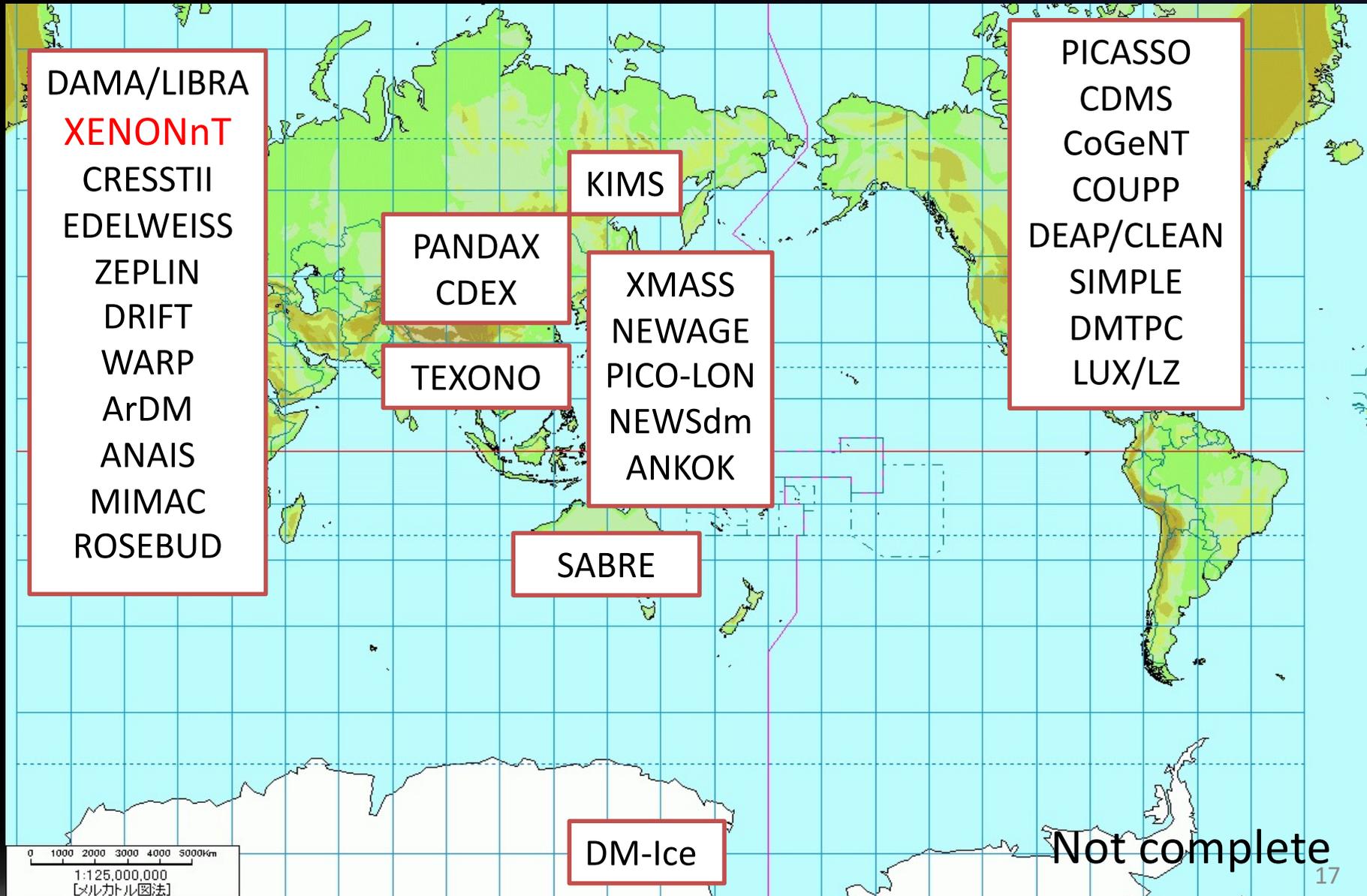
- 最も直接的で、発見後に詳しい研究が可能。
- 新研究分野の扉が開く

# 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。
- 反跳原子核に方向性有、衝突する頻度が変化



# 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
- 森山研究室

# 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)

検出率  $R = \sigma_{\chi-N} \times n\langle v \rangle$   
 $= \sigma_{\chi-N} \times \rho \int \vec{v} f(\vec{v}) d\vec{v}$

$\sigma_{\chi-N}$  : 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



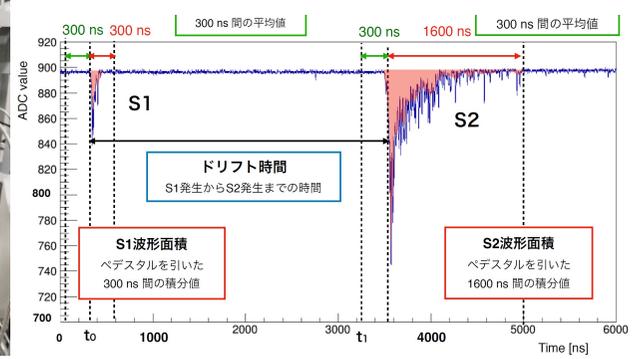
Saclayでの電極実験



神岡での液体TPC実験



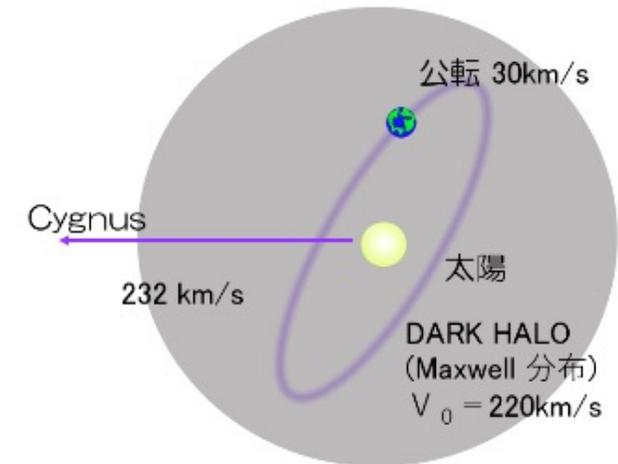
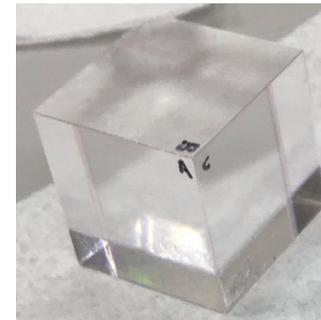
2019年初めて成功した時のシグナル！！



# 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

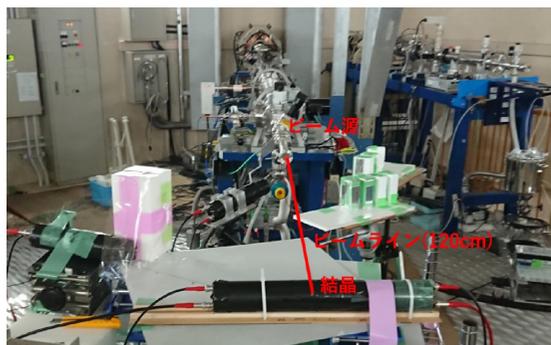
「暗黒物質の特徴を検証するにはどうしたらよいか」



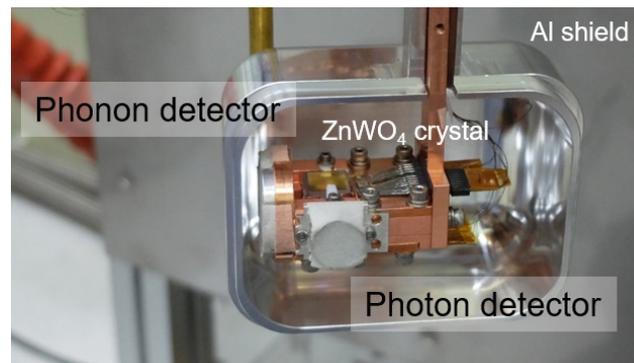
→白鳥座方向からの入射方向に感度をもった検出器の開発  
方向によって発光量の異なる結晶を利用する

東北大学、山形大、韓国IBSとの共同研究

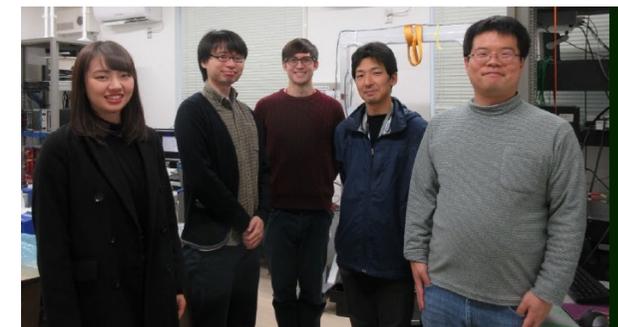
つくば  
産総研でのビーム実験



韓国 IBSでの冷却実験



研究メンバー



# XENON collaboration

世界最高感度でしのぎを削っている代表的実験



XENON



Zurich



Tsinghua

UC San Diego

UCSD



Rice



Purdue



Subatech



Coimbra



LPNHE



Torino



Bologna



L'Aquila



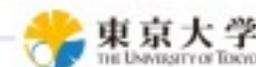
LNGS



Napoli



Weizmann



東京大学  
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Tokyo



NAGOYA UNIVERSITY

Nagoya



Kobe

XENONnT  
建設へ向けて  
2017から参加

今後5年間で実験を進め大発見を目指す！

~180 scientists, from 28 institutions

日本から18名(学生は東大から2名、名古屋4名、神戸3名参加) 21

## 森山研

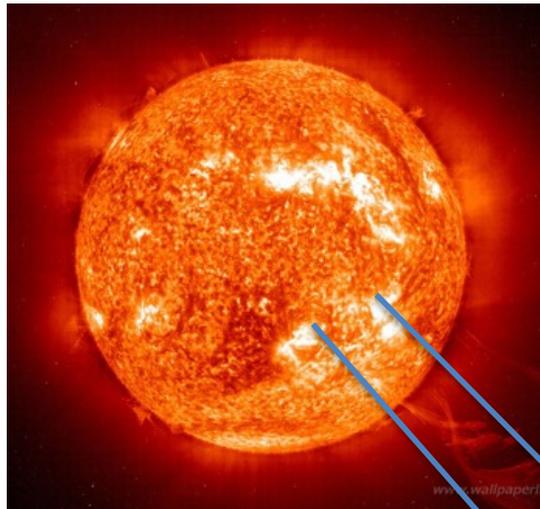
世界の国々の研究者、学生、  
男性女性多種多様な研究者  
とともに研究を進める



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？

昨年の7月にXENON1Tのデータ

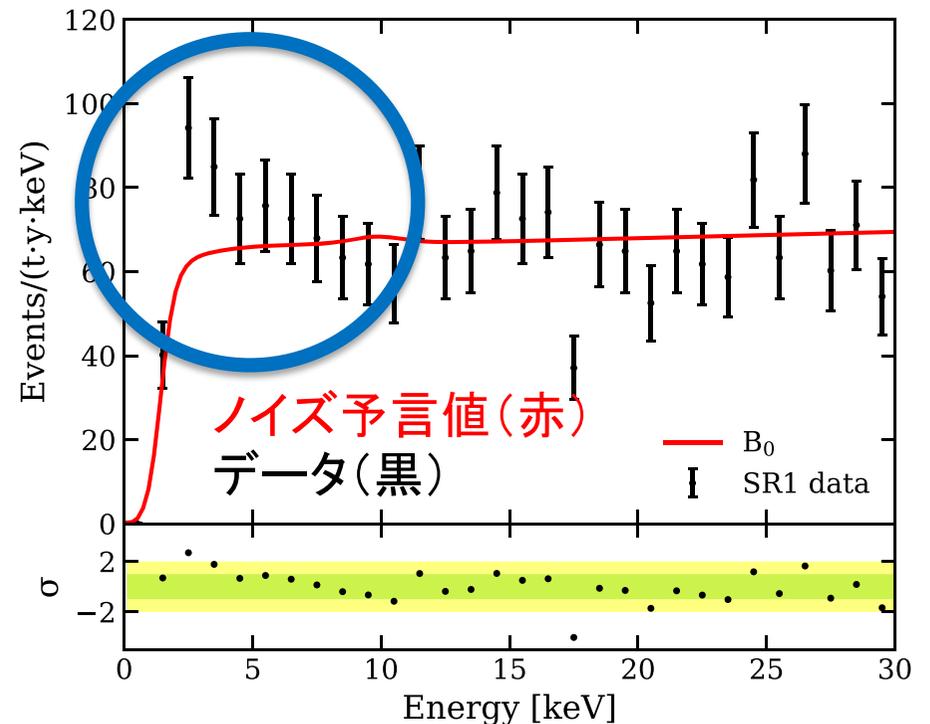


アクシオン  
が飛んで  
きている？

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？

# まとめ

- 暗黒物質の存在は確実。正体を解き明かしたい。
- 二つの研究室の特徴：より詳しくはラボツアーにて
  - 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

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

(カイ・マルテンス [kai.martens@ipmu.ac.jp](mailto:kai.martens@ipmu.ac.jp))

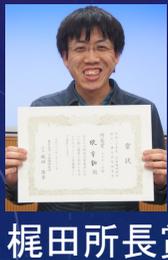
関谷洋之 [sekiya@icrr.u-tokyo.ac.jp](mailto:sekiya@icrr.u-tokyo.ac.jp)

# ダークマター直接探索

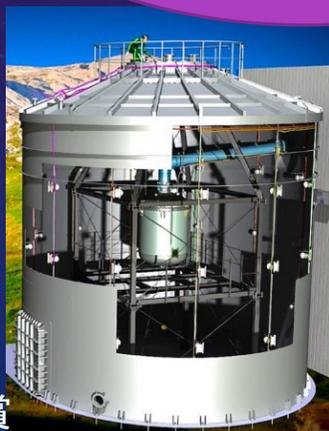
- 宇宙と素粒子の大問題, ダークマター(DM)の直接検出に挑む
- DMの研究は世界中の研究者の注目の的。直接検出で証拠を掴む。



神岡で準備  
イタリアで実験  
今後5年で成果  
ダークマター  
以外の研究も推進



梶田所長賞



森山 (A8)

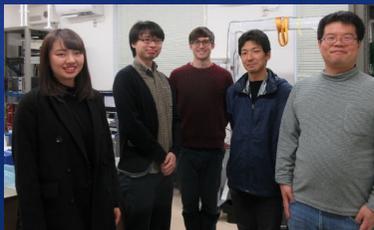
最高感度で  
世界初の  
証拠を掴もう。

新しいアイデアの  
検出器開発

1. フランス Saclay  
名古屋大と共同開発



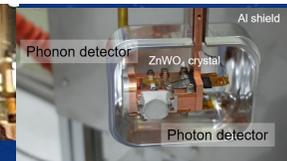
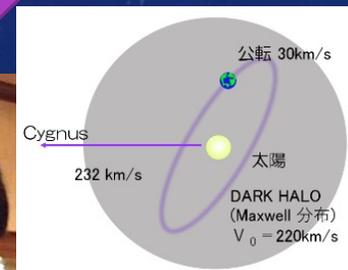
2. 韓国IBS、東北大、  
山形大と共同開発



何をもって  
「暗黒物質直接検出」に  
なるのか、から考えよう

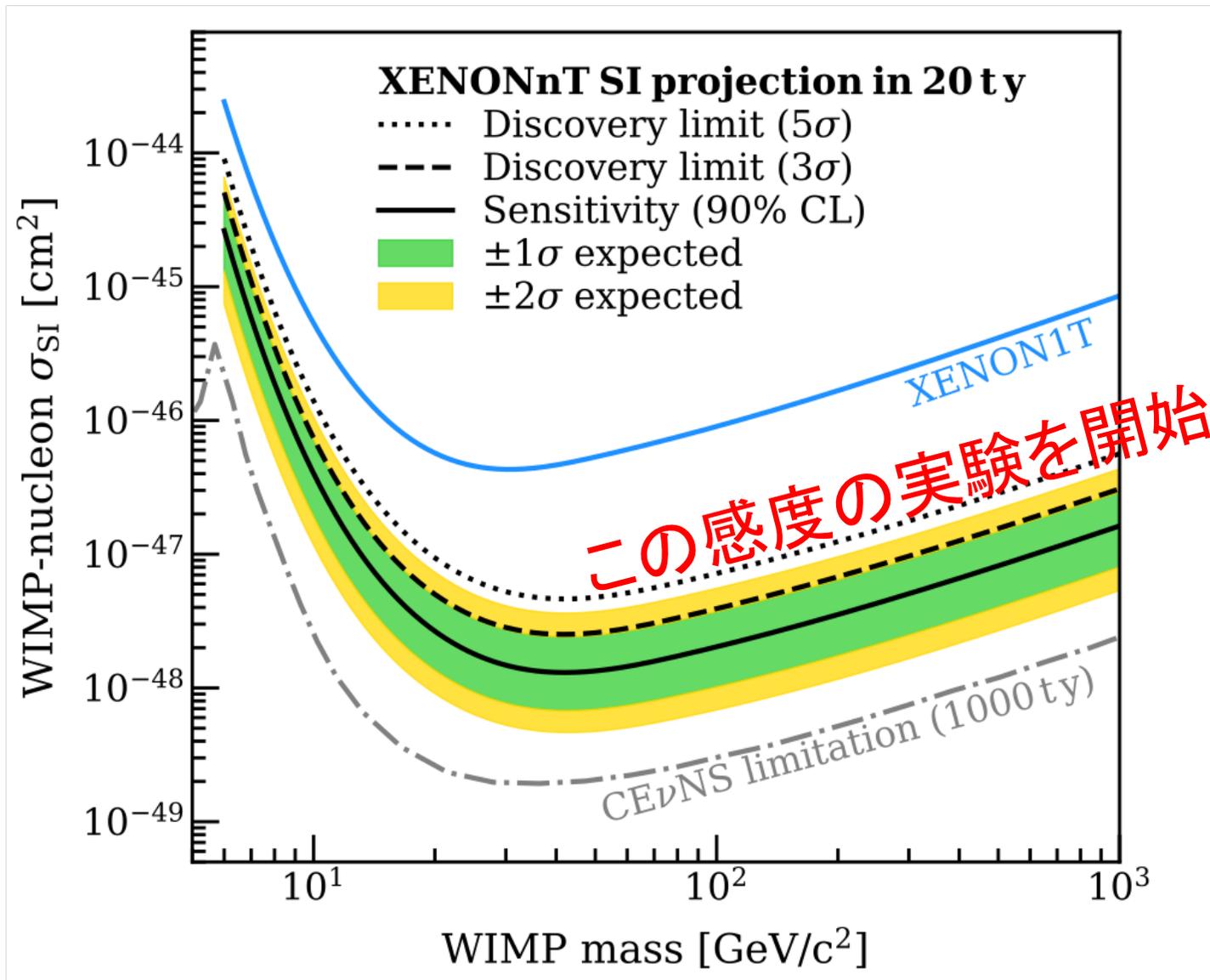


関谷 (A8)



# 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



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

# 将来の方向性

