

Simons **O**bservatory 実験

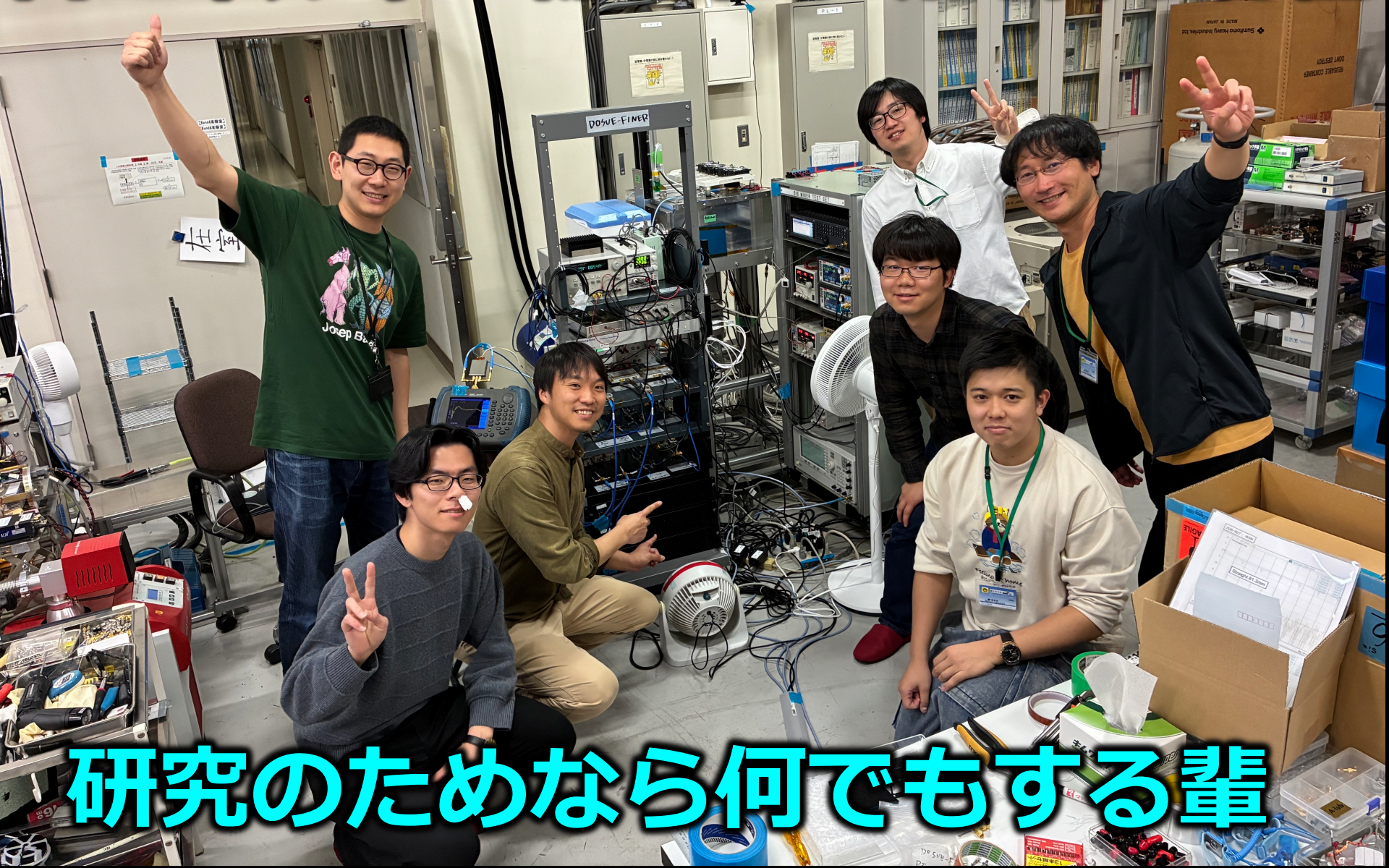
Ground **B**IRD 実験

DOSUE-RR 実験

田島 治

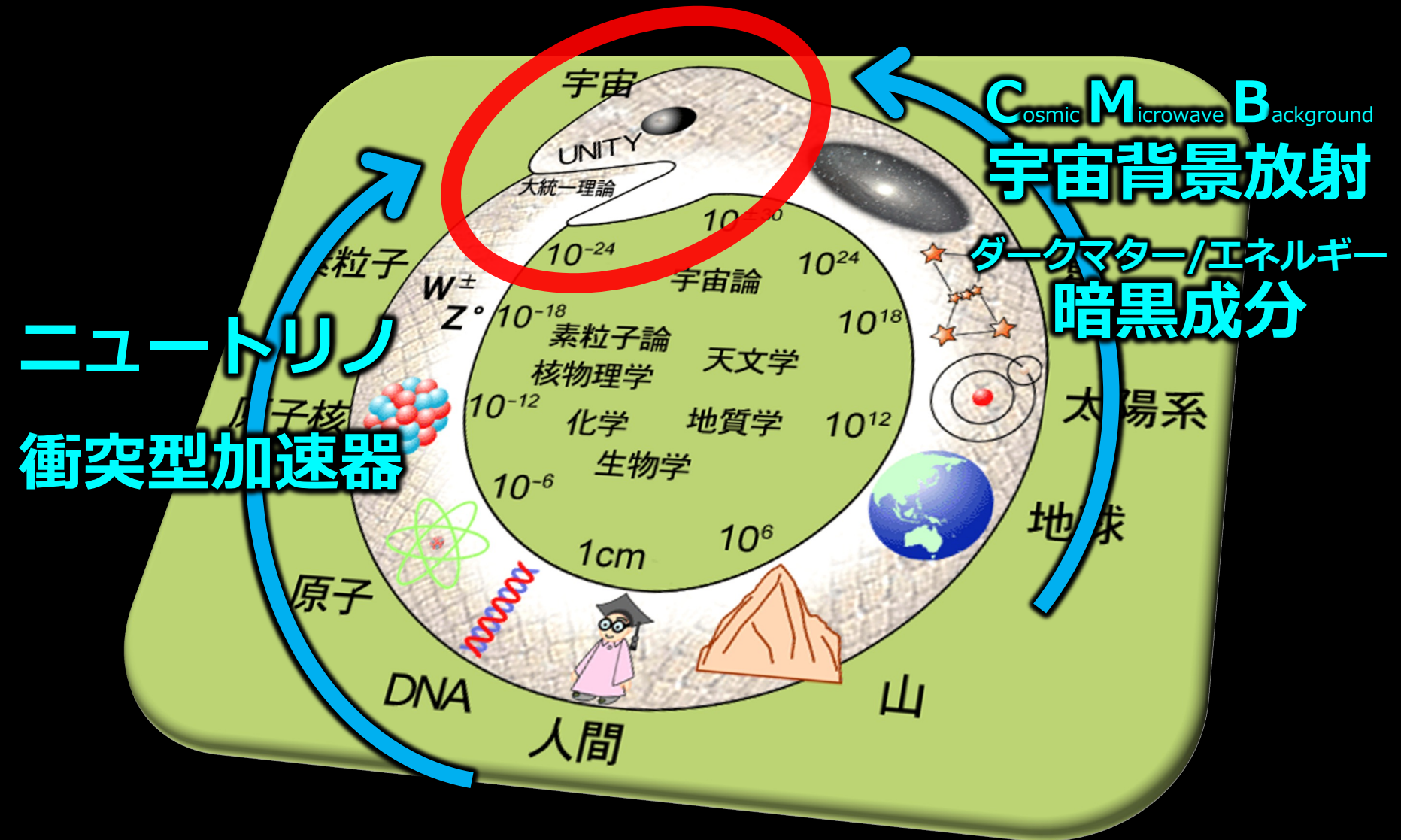


高エネルギー物理学の研究者の特性



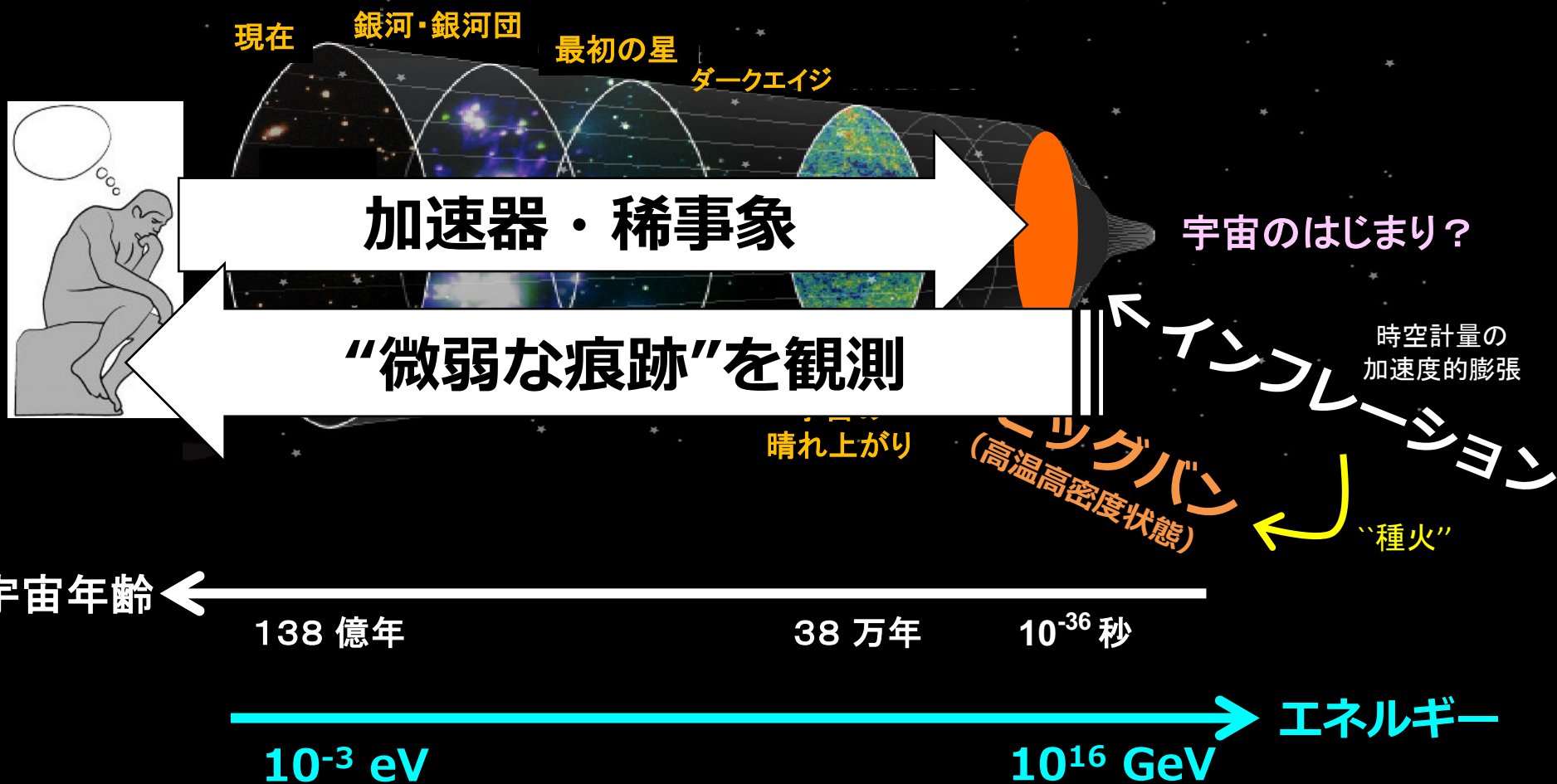
研究のためなら何でもする輩

宇宙と物質の起源



高エネルギー物理学とは？

“起源”を実験で解き明かす研究



“微弱な痕跡” ⇔ “脱結合”したものの

ビッグバンの熱放射

CMB

CνB

✓ $N_{\text{eff}} = 3.0 \pm 0.3$

✓ $\Sigma m_\nu < 0.12 \text{ eV}$

存在と特徴を刻印

インフレーションの証拠

原始重力波

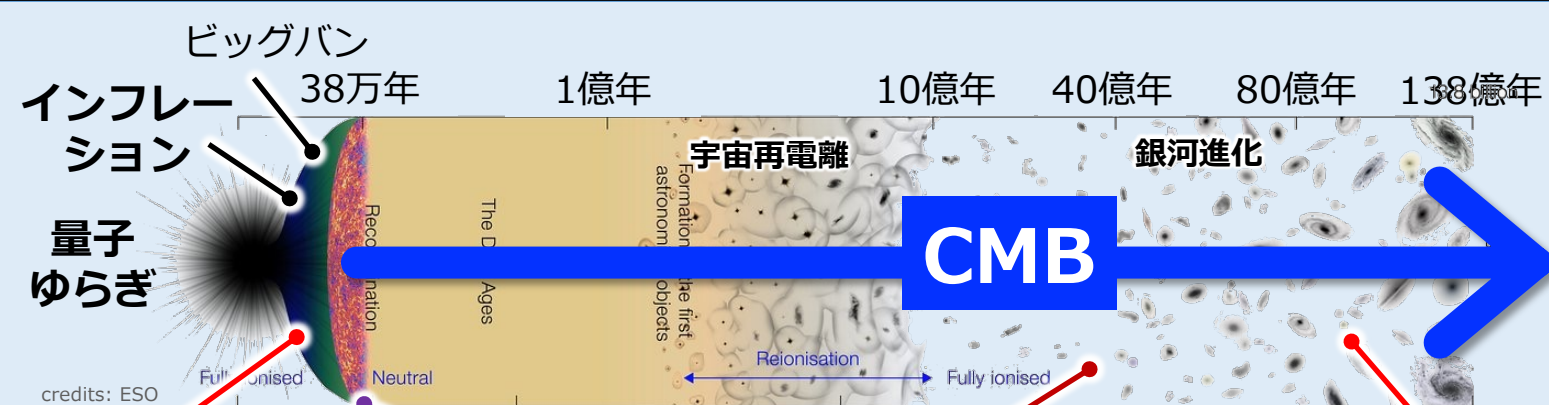
✓ GUTスケール理論を実験で研究

暗黒成分

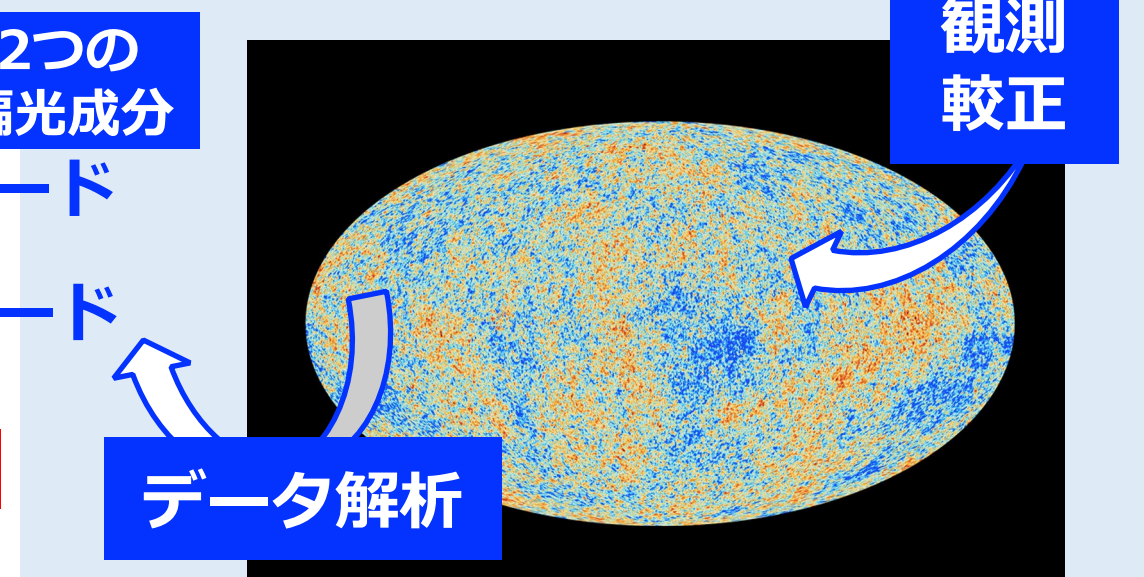
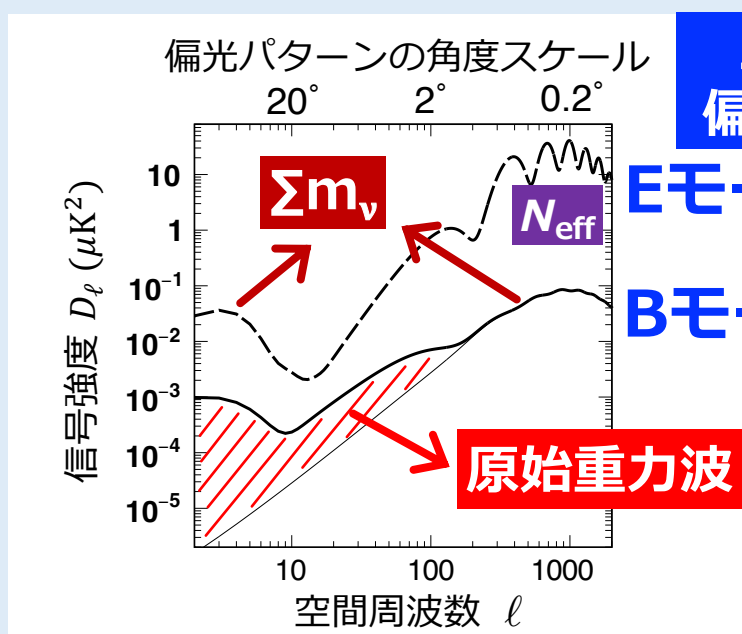
✓ 成分比を1%精度で決定

CMB観測 ⇔ “起源”研究を網羅

CMBで宇宙進化を照らして起源を探る



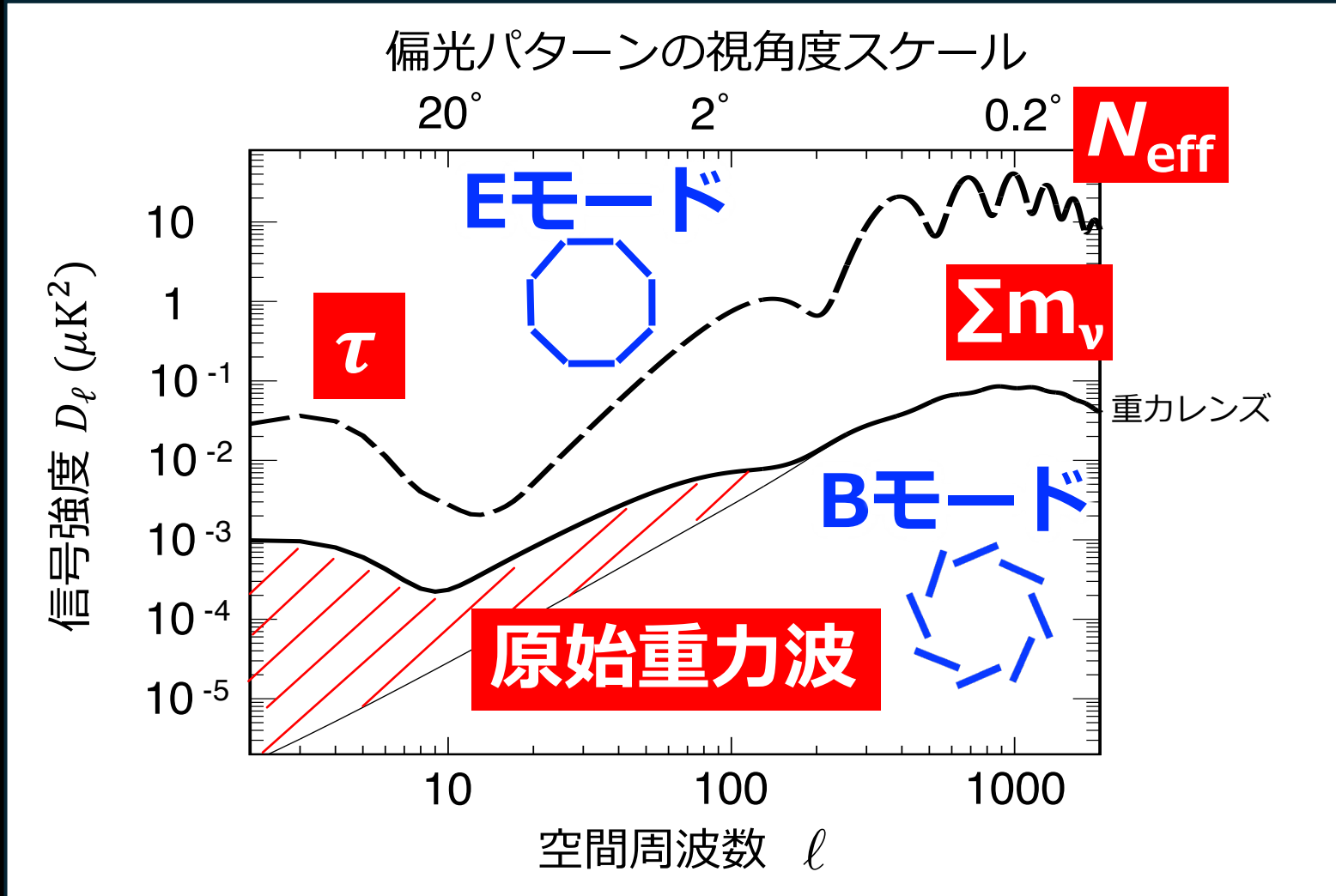
原始重力波 暗黒放射 ニュートリノ質量和 Σm_ν 暗黒エネルギー



サイエンスを網羅するためには

$0.1^\circ \sim 10^\circ$

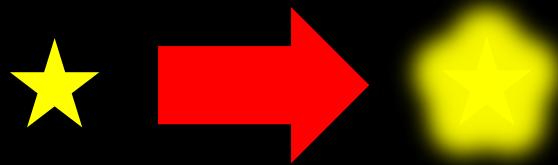
幅広い角度スケールの観測が必須



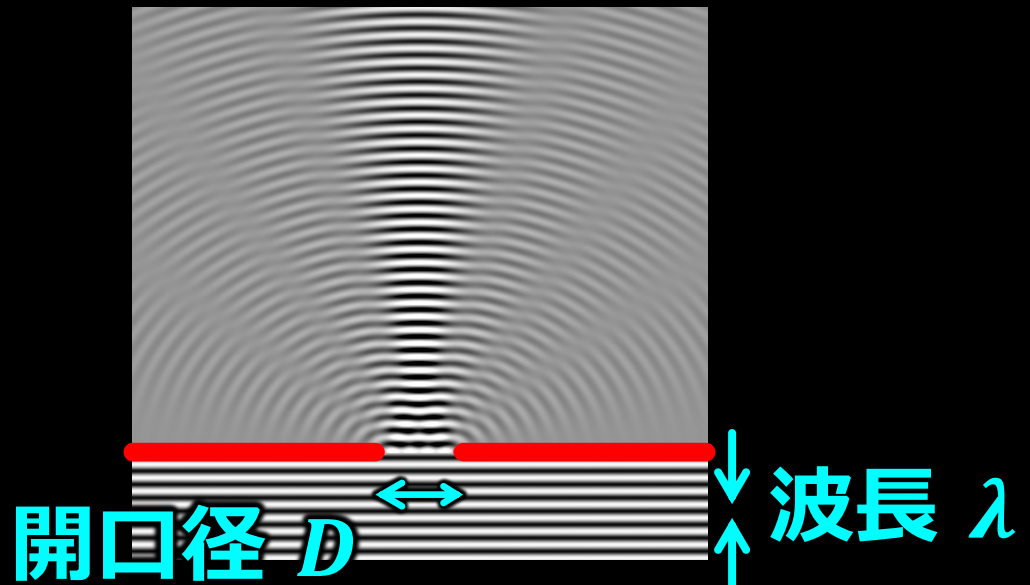
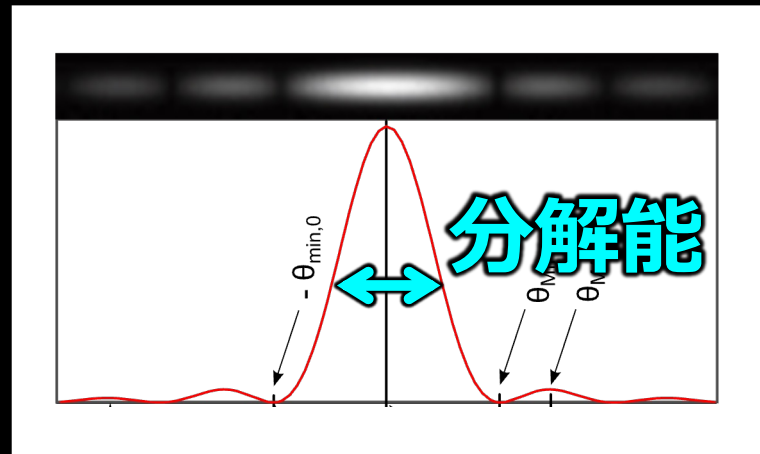
ひとつの望遠鏡で全ての角度スケール をカバーすることは困難

回折限界

$$\sin\theta_{\min} = \lambda/D$$



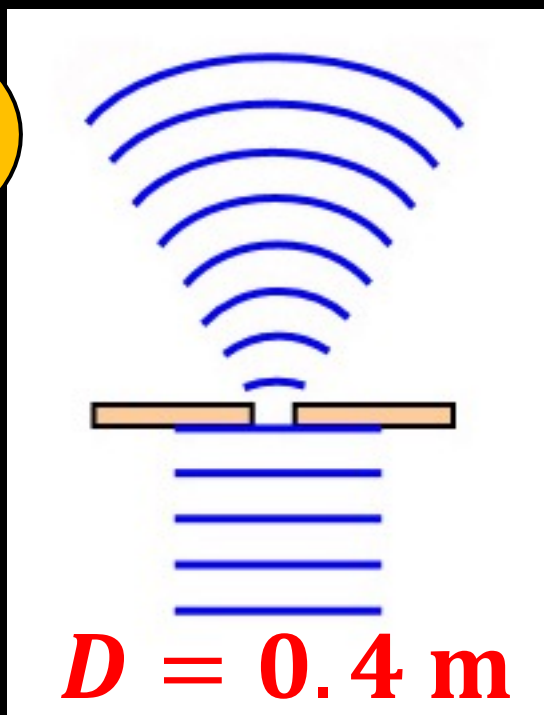
有限の開口



ひとつの望遠鏡で全ての角度スケール をカバーすることは困難

小口径の望遠鏡

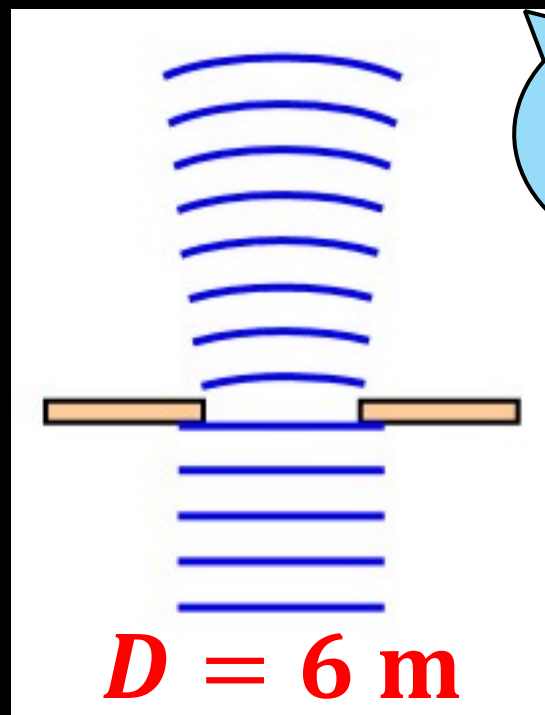
広い
視野



角度分解能 : 0.5°
視野の広さ : $O(10^\circ)$

大口径の望遠鏡

高い
分解能

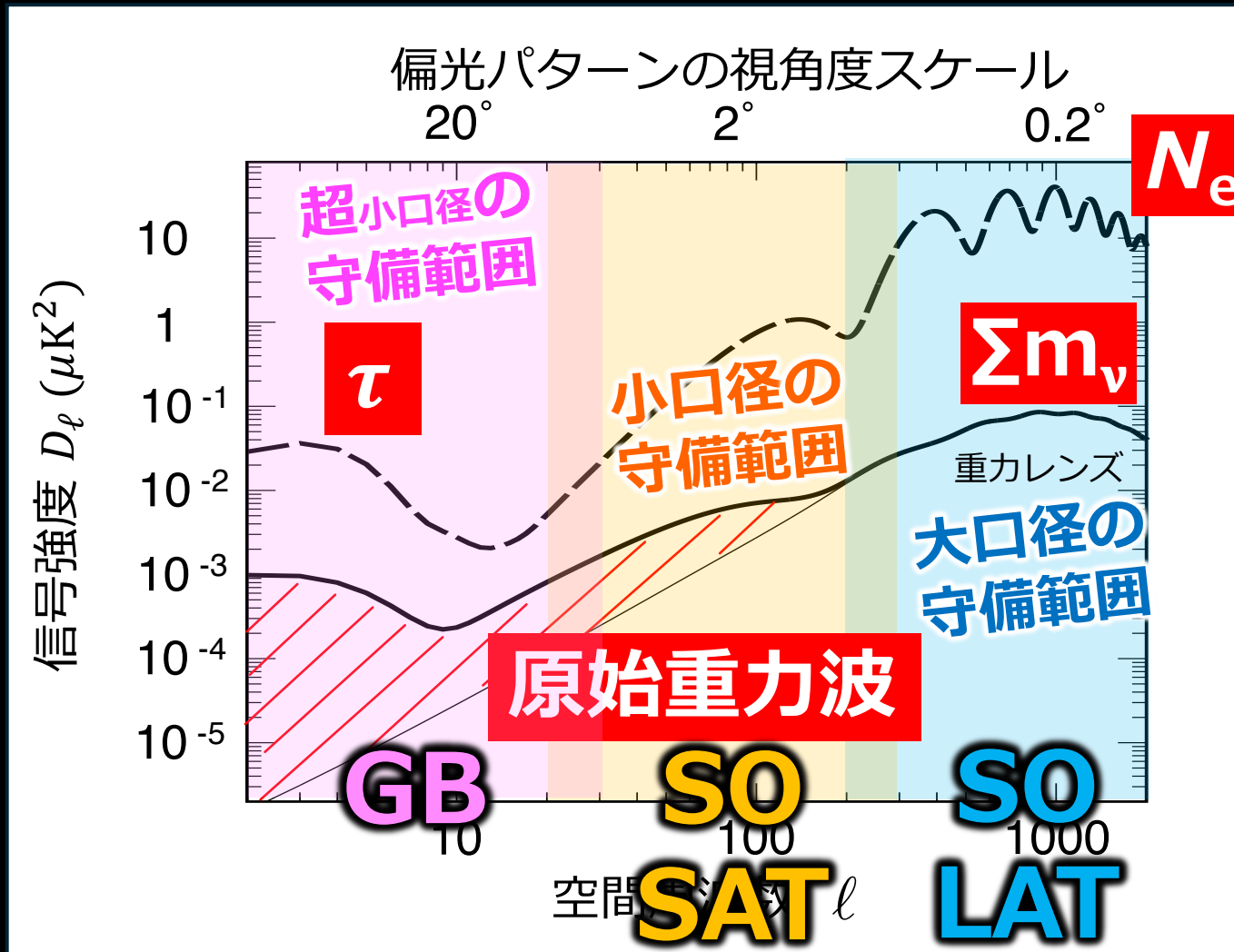


角度分解能 : 0.04°
視野の広さ : $O(1^\circ)$

<https://photo-cafeteria.com/diffraction-of-light/>

観測周波数が 90 GHz (波長 3 mm) のとき

サイエンスを網羅する戦略とは？



小口径と大口径の併用！

CMB偏光の観測実験 “Simons Observatory”



観測サイトの雰囲気 CGじゃないよ

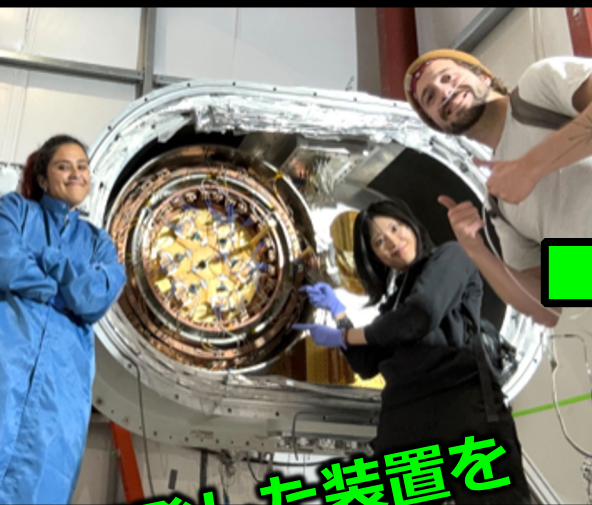


<https://simonsobservatory.org/>

森林限界を超えた空気半分の砂漠地帯！

大学院生
が活躍！

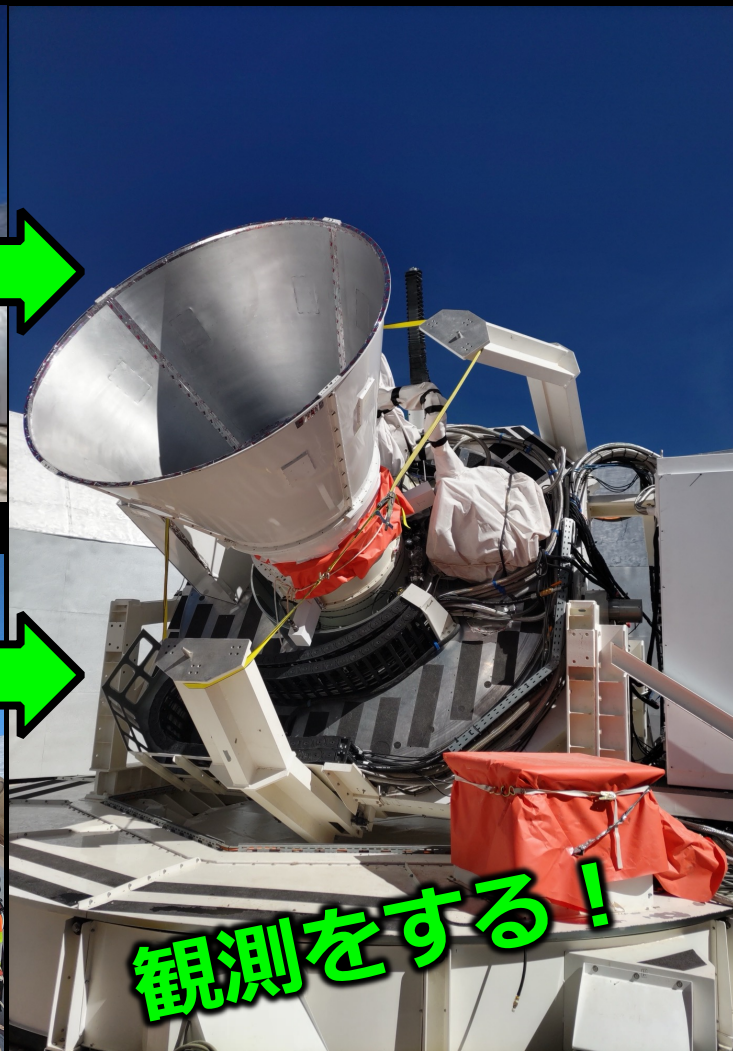
国際共同でCMB望遠鏡を建設



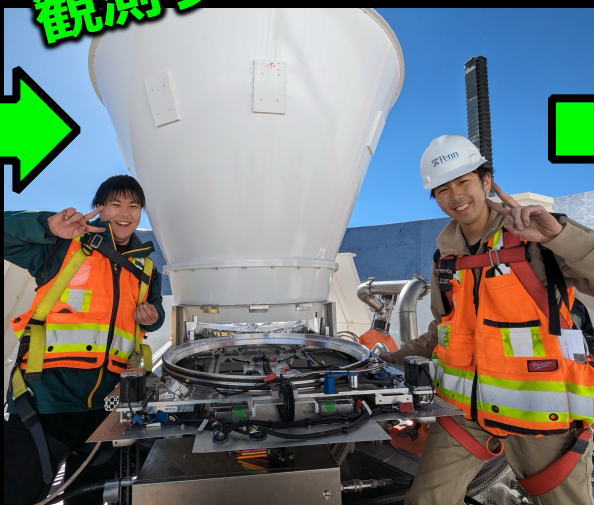
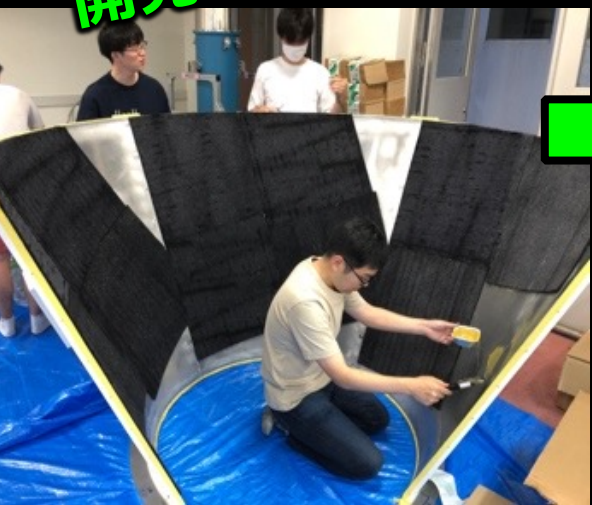
開発した装置を



観測サイトで立上げ



観測をする！

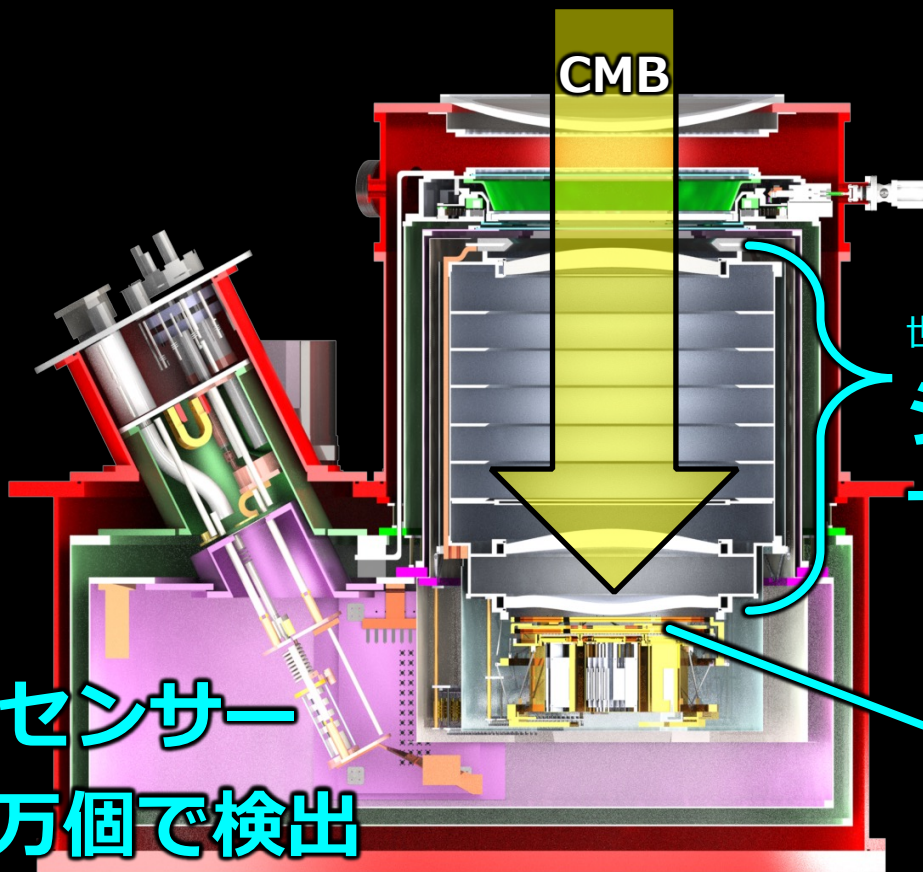


そしてデータ解析をして、宇宙と素粒子について調べる

SAT (Small Aperture Telescope)



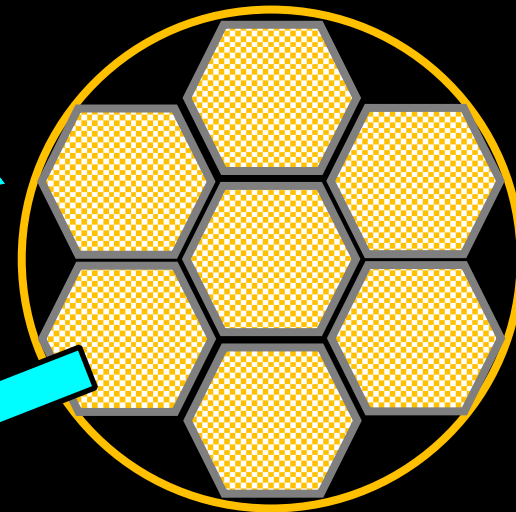
SATの断面図



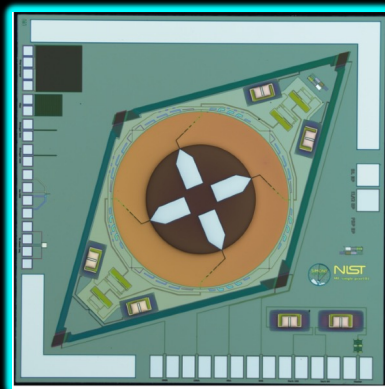
世界最大のシリコン・インゴット

シリコンレンズ×3
で焦点面に集光して

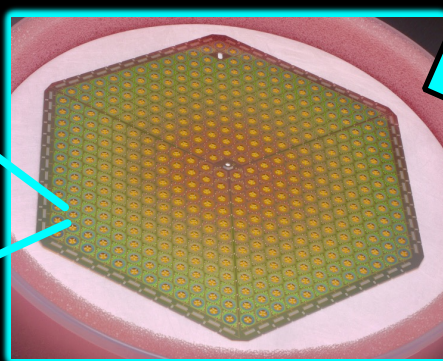
超伝導センサー
TES × 1万個で検出



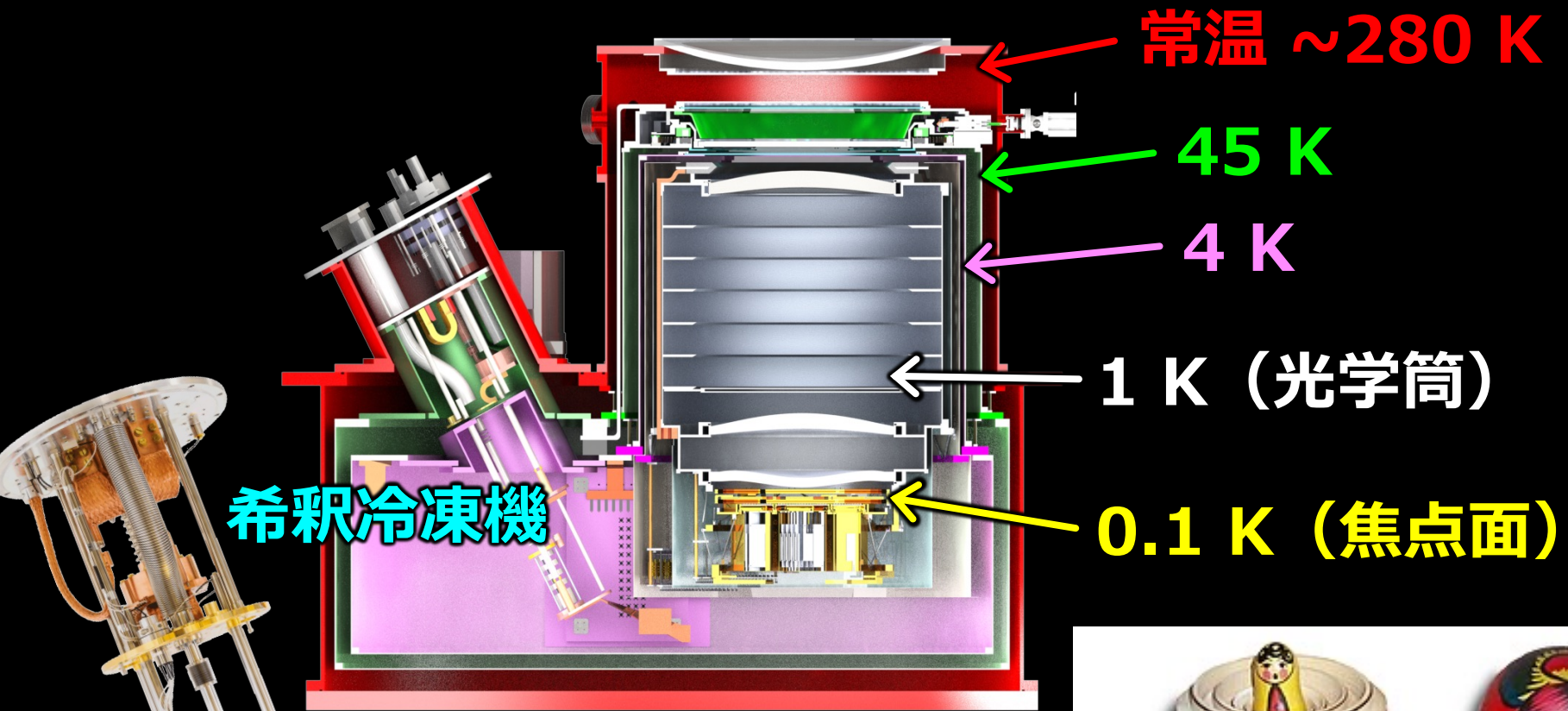
φ~42cm



~3mm



SATは超低温の電波カメラ



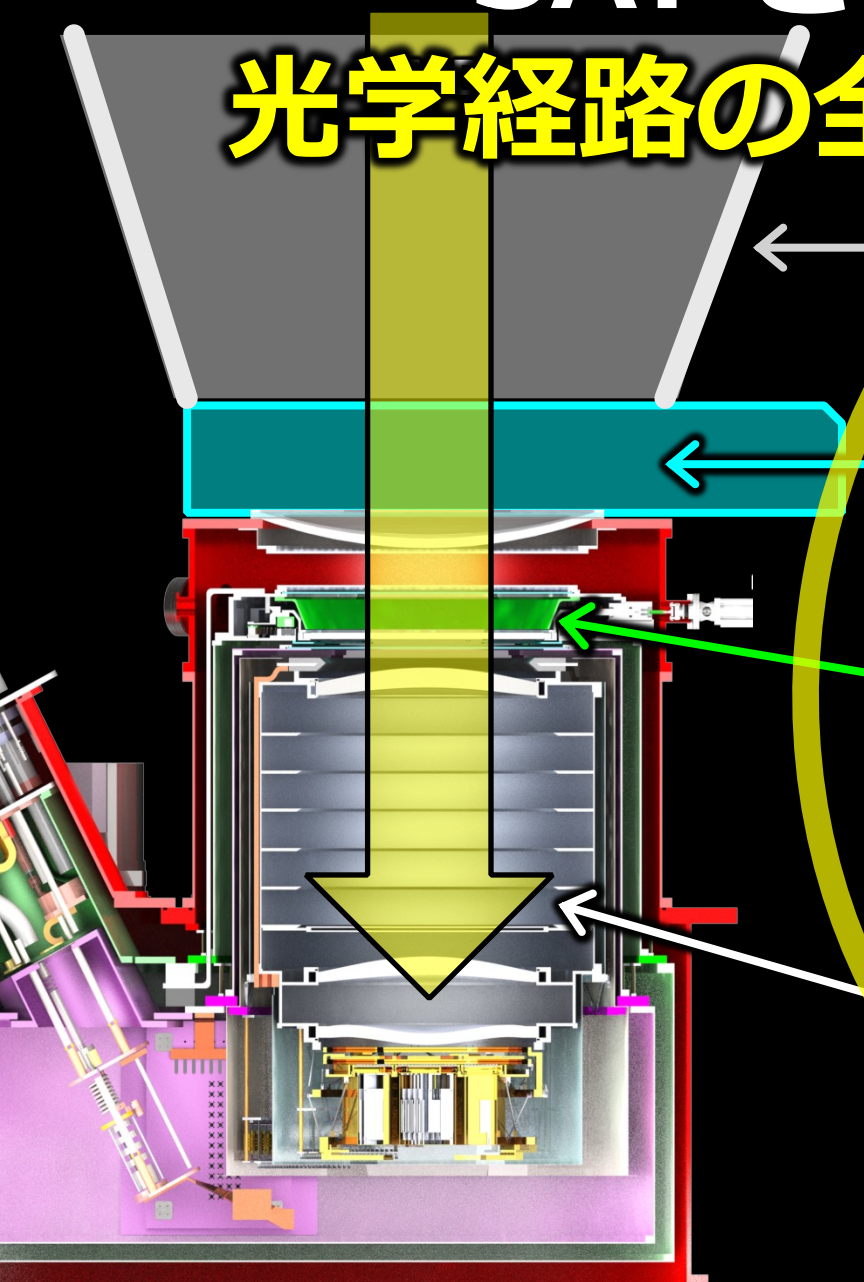
超伝導量子コンピュータで
使っているのと同じやつ

<https://bluefors.com/>



SAT さらに詳しく

光学経路の全般を日本が主導！



“迷光”対策の煙突^{みたいなもの}
Fore-baffle

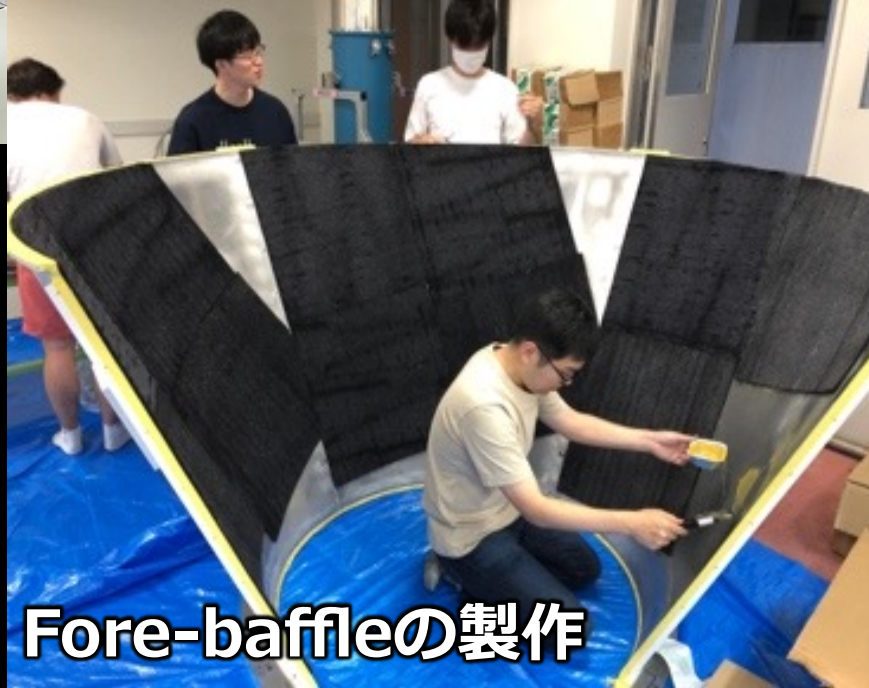
偏光の校正装置
Sparse Wire Grid (SWG)

偏光の変調装置
Continuous Rotating
Half-Wave Plate (HWP)

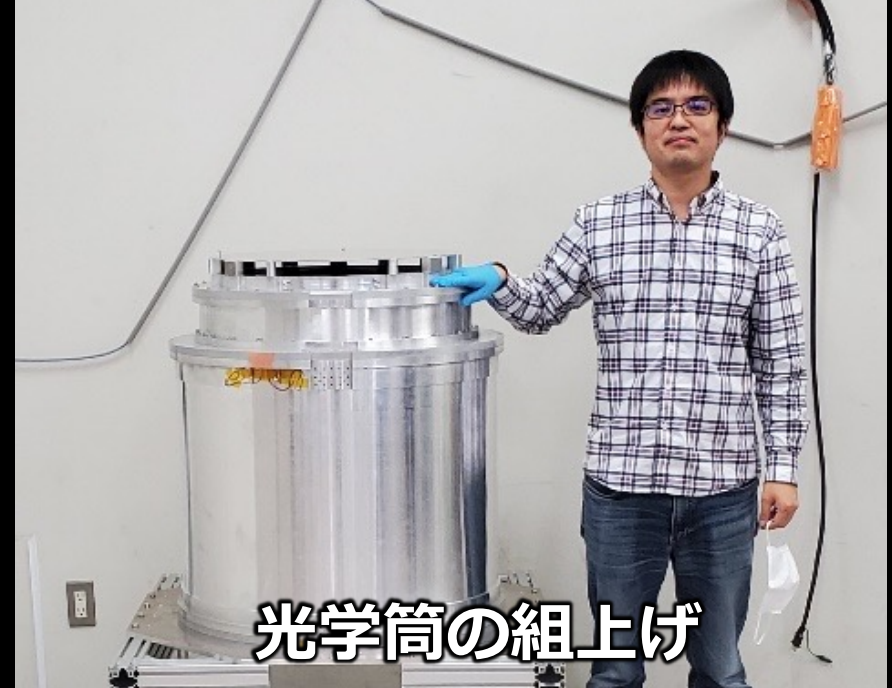
光学筒 Optics Tube (OT)
シリコンレンズ
電波吸収体
+ “迷光”対策 (黒体など)

バッフル・光学筒・黒体

SAT : 迷光対策



Fore-baffleの製作

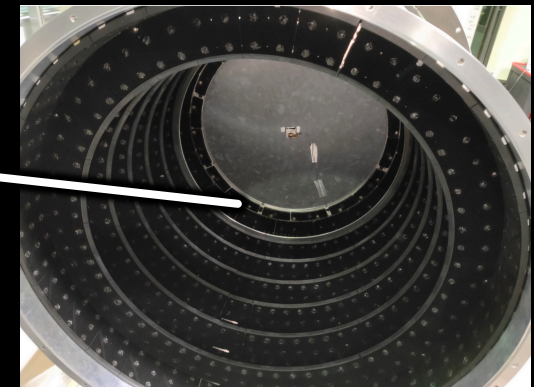


光学筒の組上げ



2020年度
測定器開発優秀修士論文賞

<https://itdc.kek.jp/awards/aw2020.html>



3Dプリンタ型黒体@京都

SAT : バックフルの威力

*A New
Search for
Ripples
in Space
From the
Beginning
of Time*

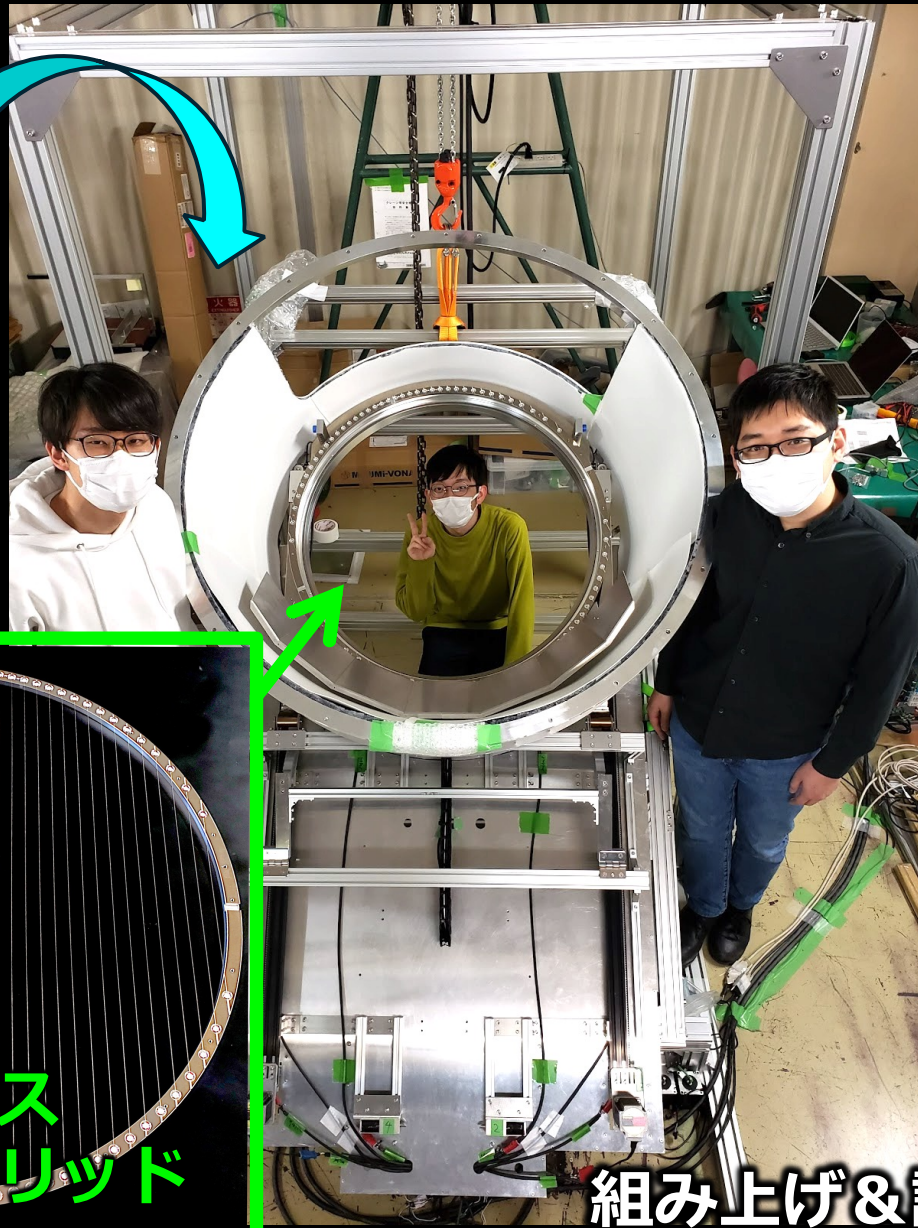
The New York Times

Jun 5, 2024

最も目立った！



SAT : 偏光の校正装置



修論5本



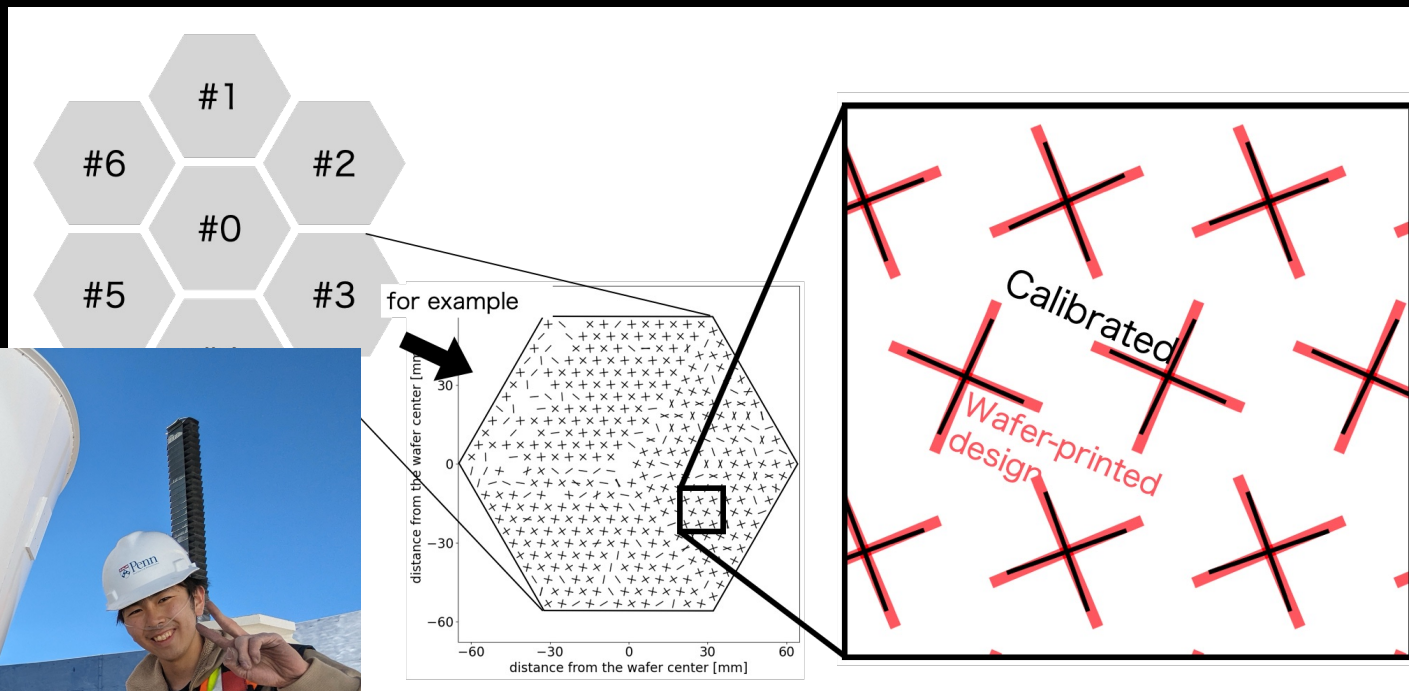
ロボット機構でフルリモート



スペースワイヤーグリッド

組み上げ&試験@京大

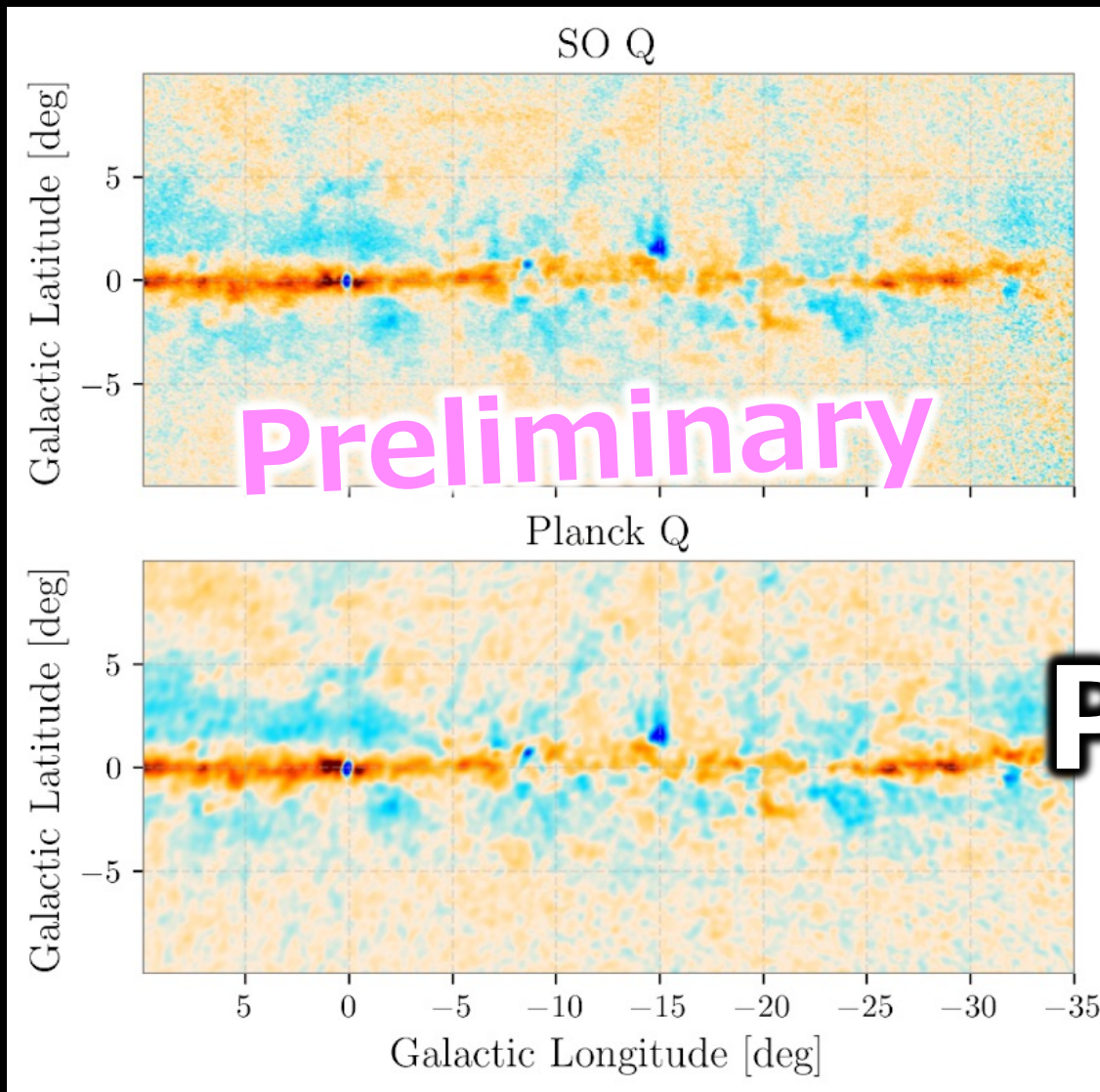
SAT : 偏光の較正装置



やりがい、面白さ、辛さ
D2 : 笠井くん
に聞いて

期待通りのパフォーマンスを確認 (較正誤差の見込み $\delta < 0.1^\circ$)

SAT : 世界一の感度で観測中！



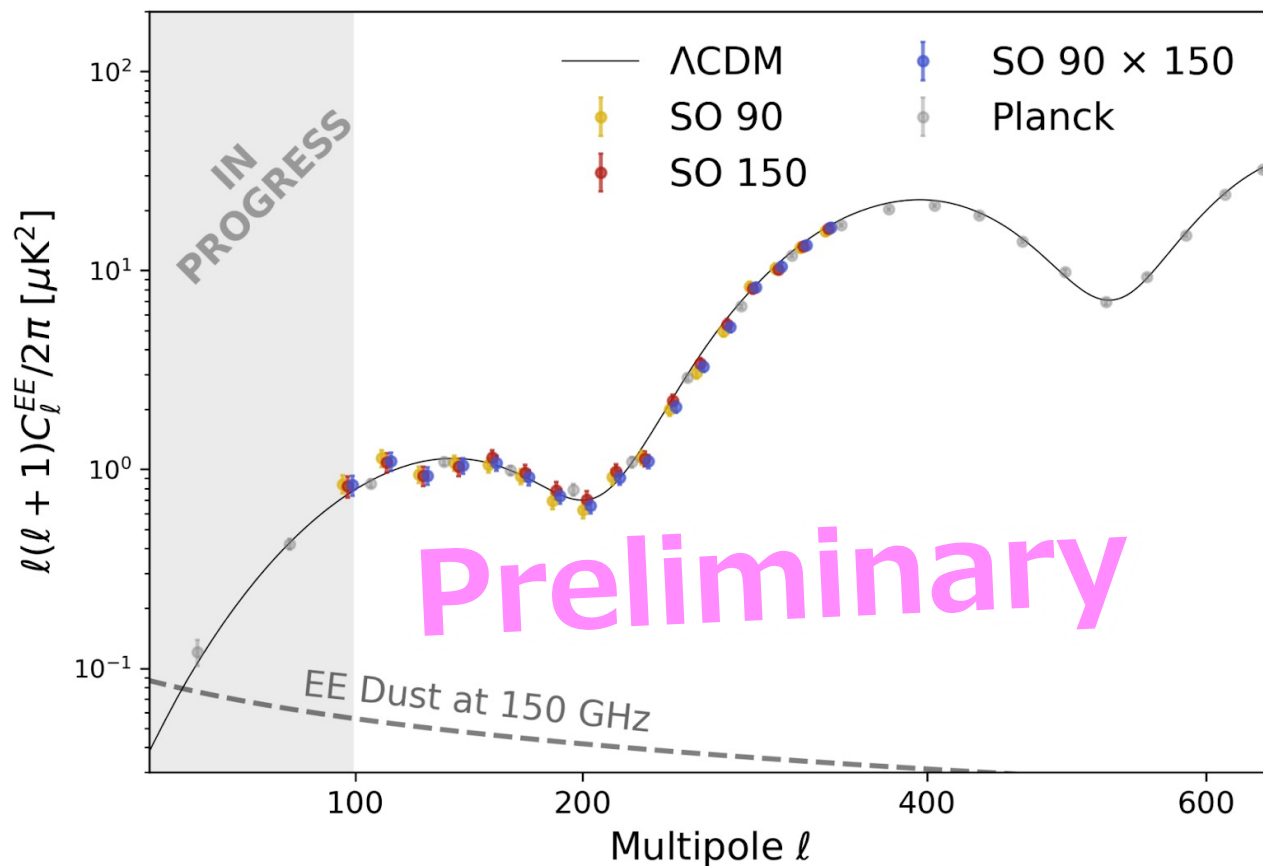
SAT

4ヶ月のデータ

Planck

3年分のデータ

データ解析が最も楽しい時期

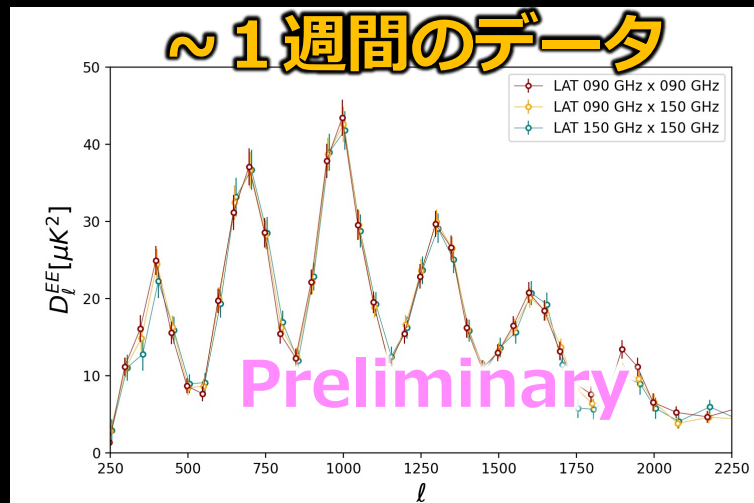


赤・黄・青色は周波数の組合せの違いを表し、それらの一致からデータの整合性が確認できる

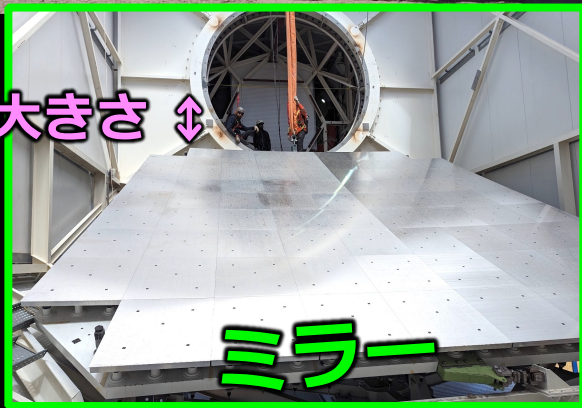


GB卒の先輩
末野くん

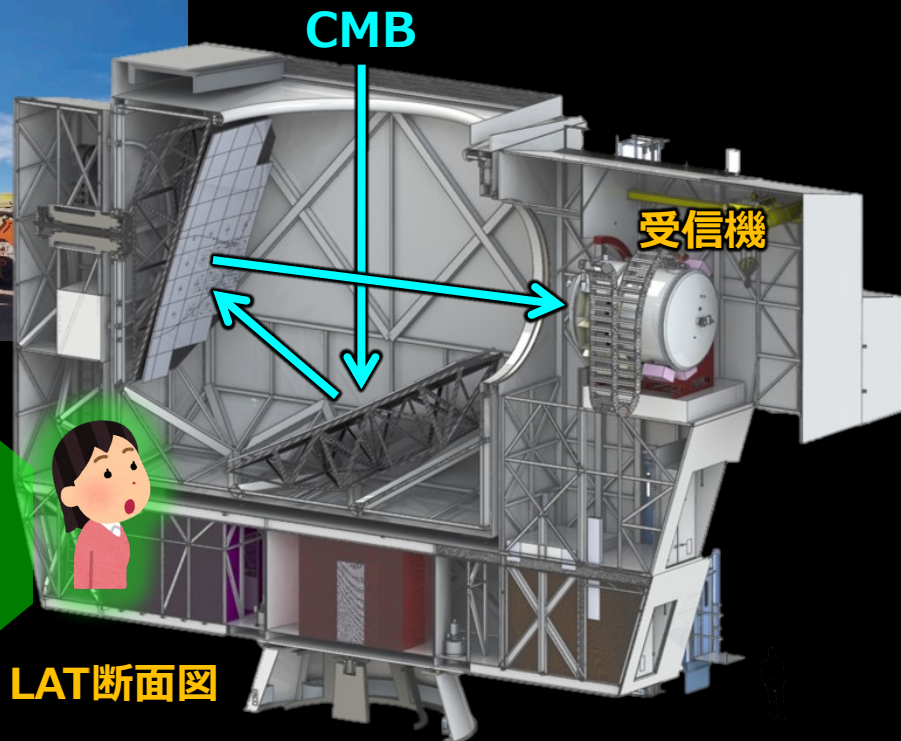
LAT : こいつも世界一の感度!



人の大きさ \updownarrow



ミラー



LAT断面図

LAT : 校正装置 “Stimulator”

元ポスドク
清野くん

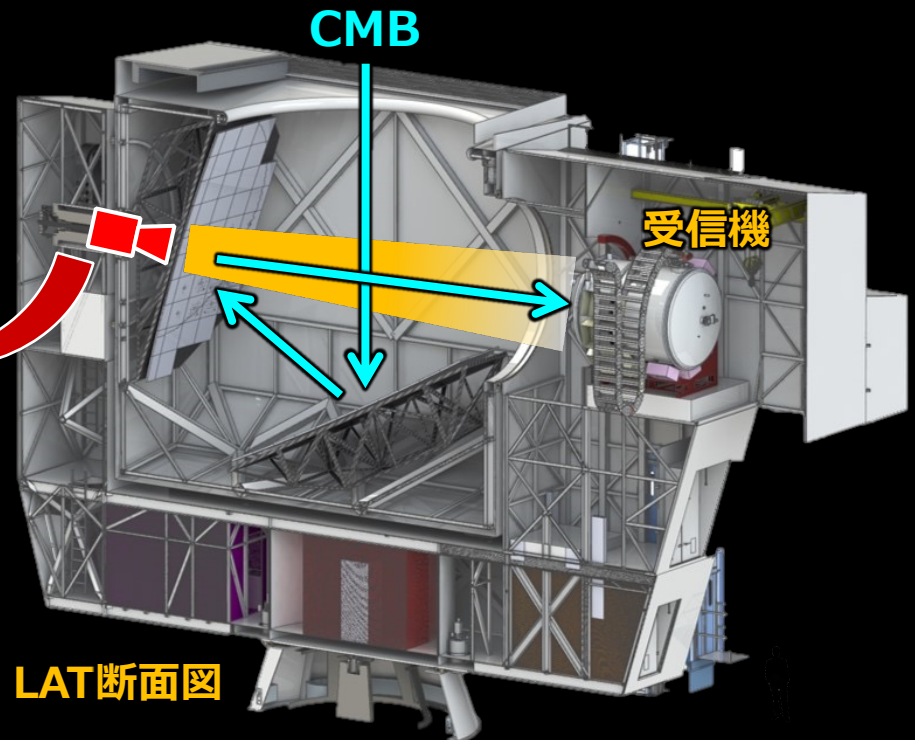
By
electronics

Shutter

ヒーター(700°C)の
熱放射信号で校正

Chopper
5~200 Hz

Looking into
pipe



LAT断面図

LAT : Stimulatorの威力

情報を正確に記録するという観点において

手ぶれ補正のできるカメラと、できないカメラ、どっちがイイ？

手ぶれ補正

校正あり



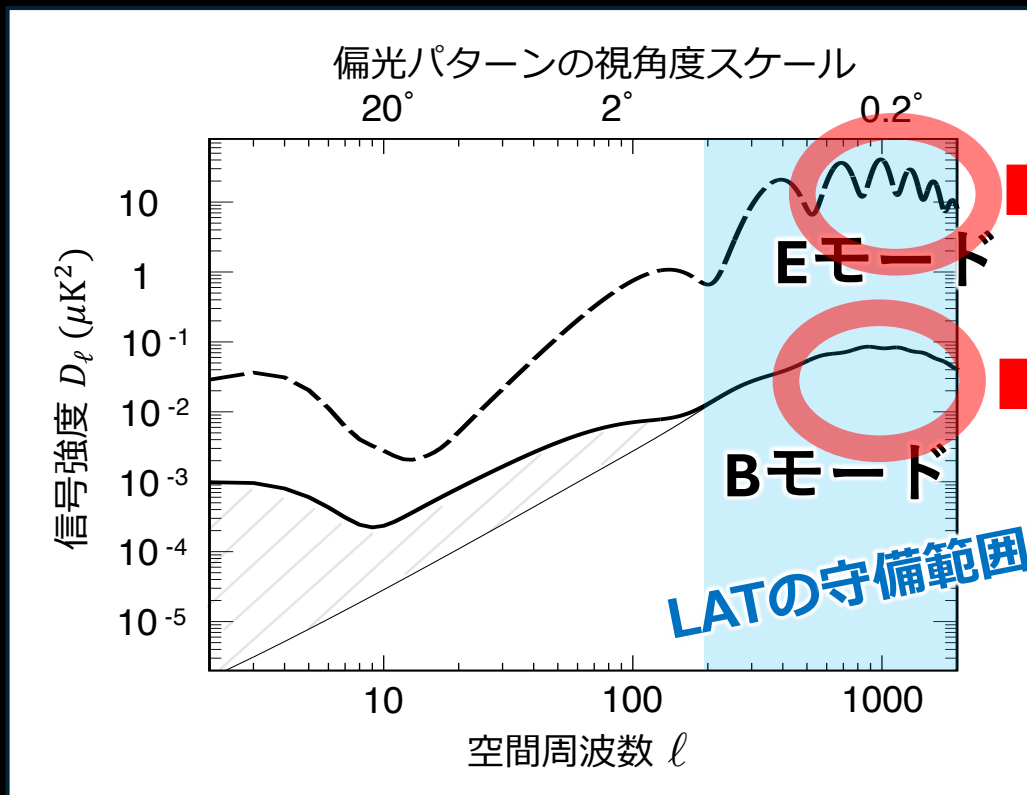
手ぶれ補正

校正なし



<https://www.rentio.jp/matome/2018/05/night-shooting-camera-recommend/>

LAT : Stimulatorの威力



N_{eff}

Σm_ν

“手ぶれ”のない
CMB画像

豊富なサイエンスを確実なものとする！

これまでの測定

$$N_{\text{eff}} = 3.0 \pm 0.3$$

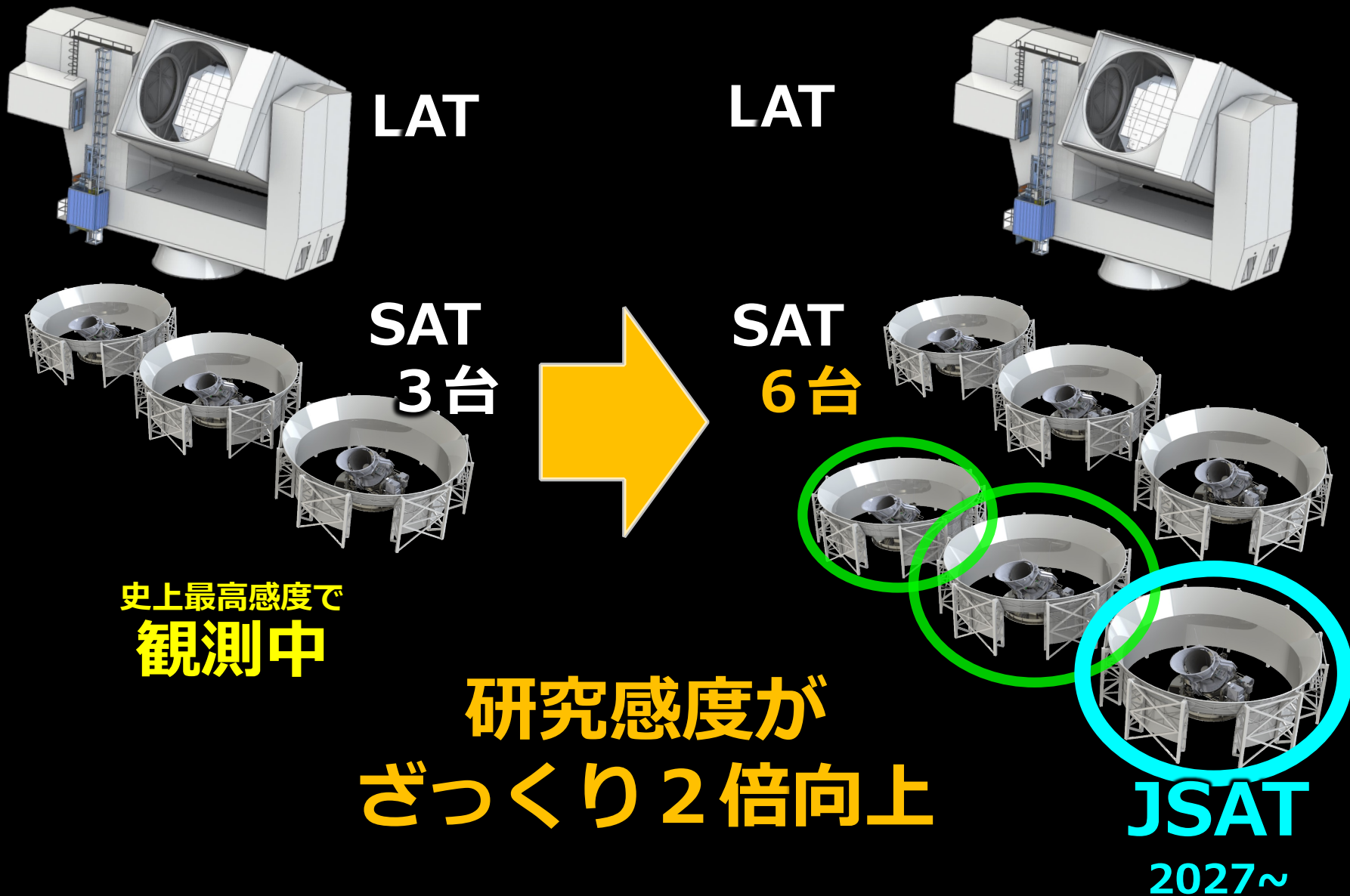
$$\Sigma m_\nu < 0.12 \text{ eV}$$



$$N_{\text{eff}} = 3.046(?) \pm 0.05$$

$$\Sigma m_\nu = 0.06(?) \pm 0.03 \text{ eV}$$

アップグレードも並列進行中



JSAT プラットフォーム完成！



2025年2月アタカマ高地の観測サイトに設置！

JSATを開発中！@東棟

来年に観測
スタートしたい！
D1：溝添くん

自分で開発した装置で観測！

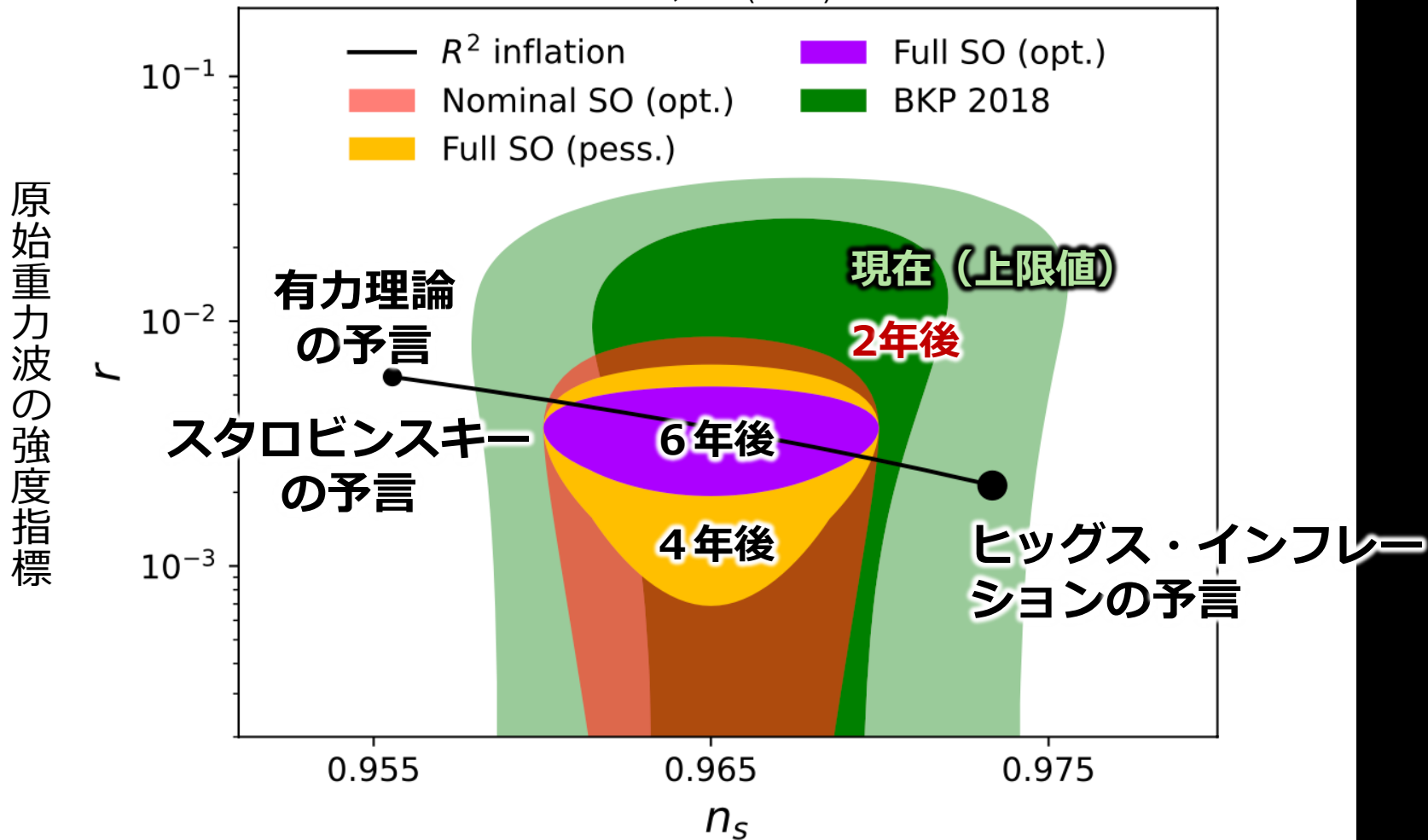
GB @ カナリア諸島 2,400m

なんでもできる
鈴木くん



原始重力波

JCAP 04, 051 (2026).

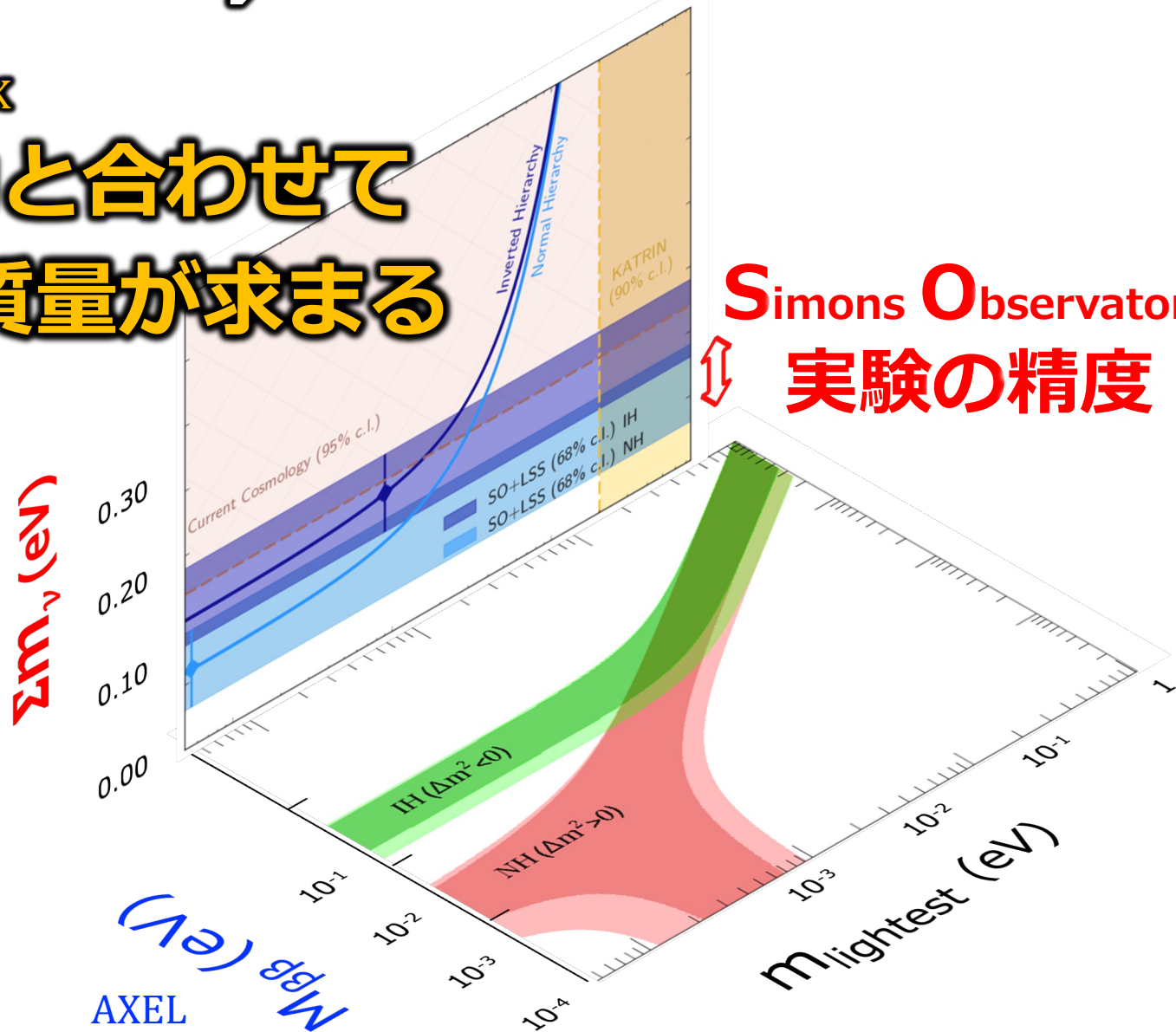


インフレーションをゆっくり停止する“ブレーキの弱さ”みたいな量
($n_s=1 \Leftrightarrow$ 停止できないインフレーション)

m_ν の多角的分析

T2K,/SK/HK

ν 振動と合わせて
絶対質量が求まる



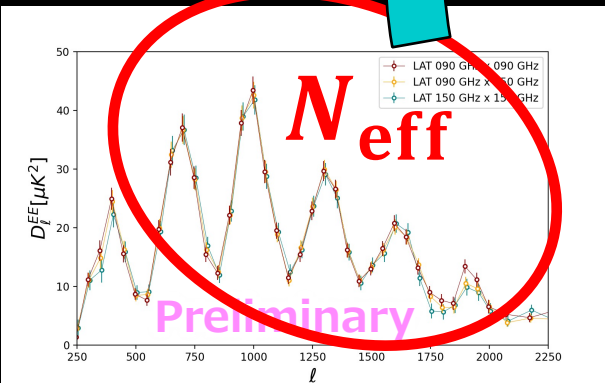
Simons Observatory
実験の精度

ダークエネルギー等の正体解明の手がかり

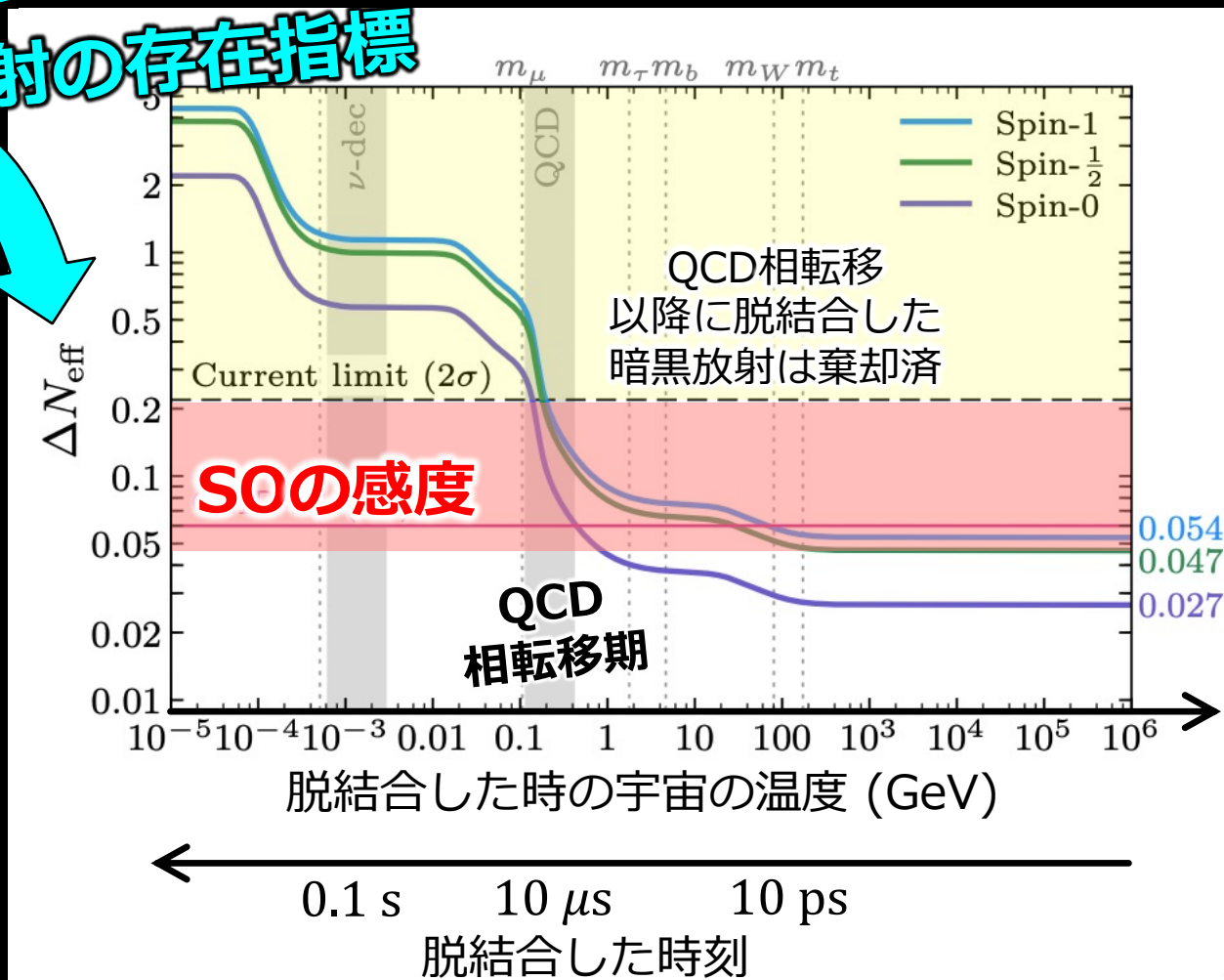
暗黒放射

ΔN_{eff} : ニュートリノの世代数値との差分
⇔ 暗黒放射の存在指標

データ統計が増えると



Eモードの
細かい構造

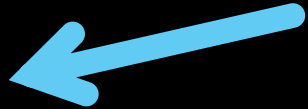


“微弱な痕跡” ⇔ “脱結合”したものの

ビッグバンの熱放射

CMB

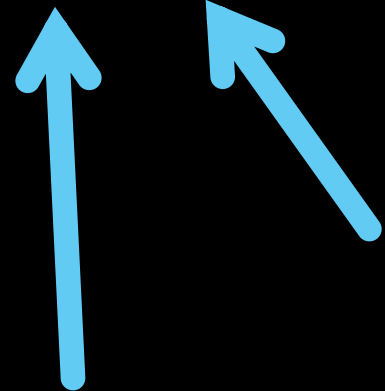
CvB



存在と特徴を刻印

インフレーションの証拠

原始重力波

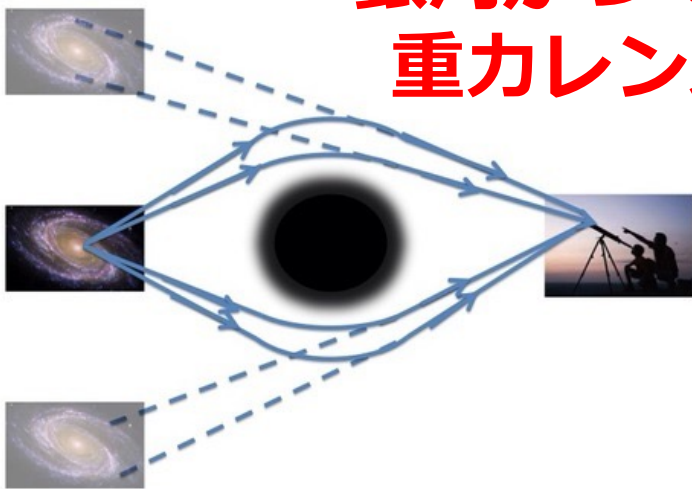


暗黒成分 ← 別アプローチ？

CMB観測 ⇔ “起源”研究を網羅

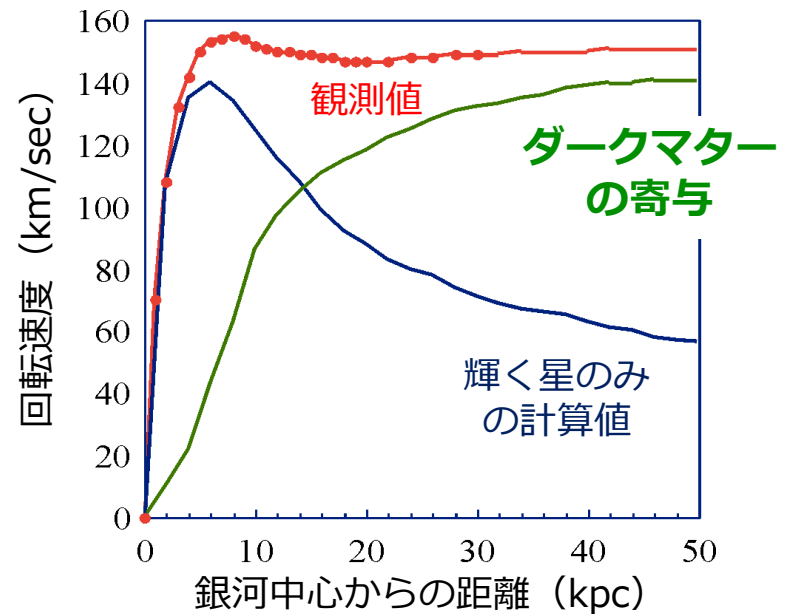
ダークマターは 銀河を満たす巨大質量源！

銀河がつくる 重力レンズ

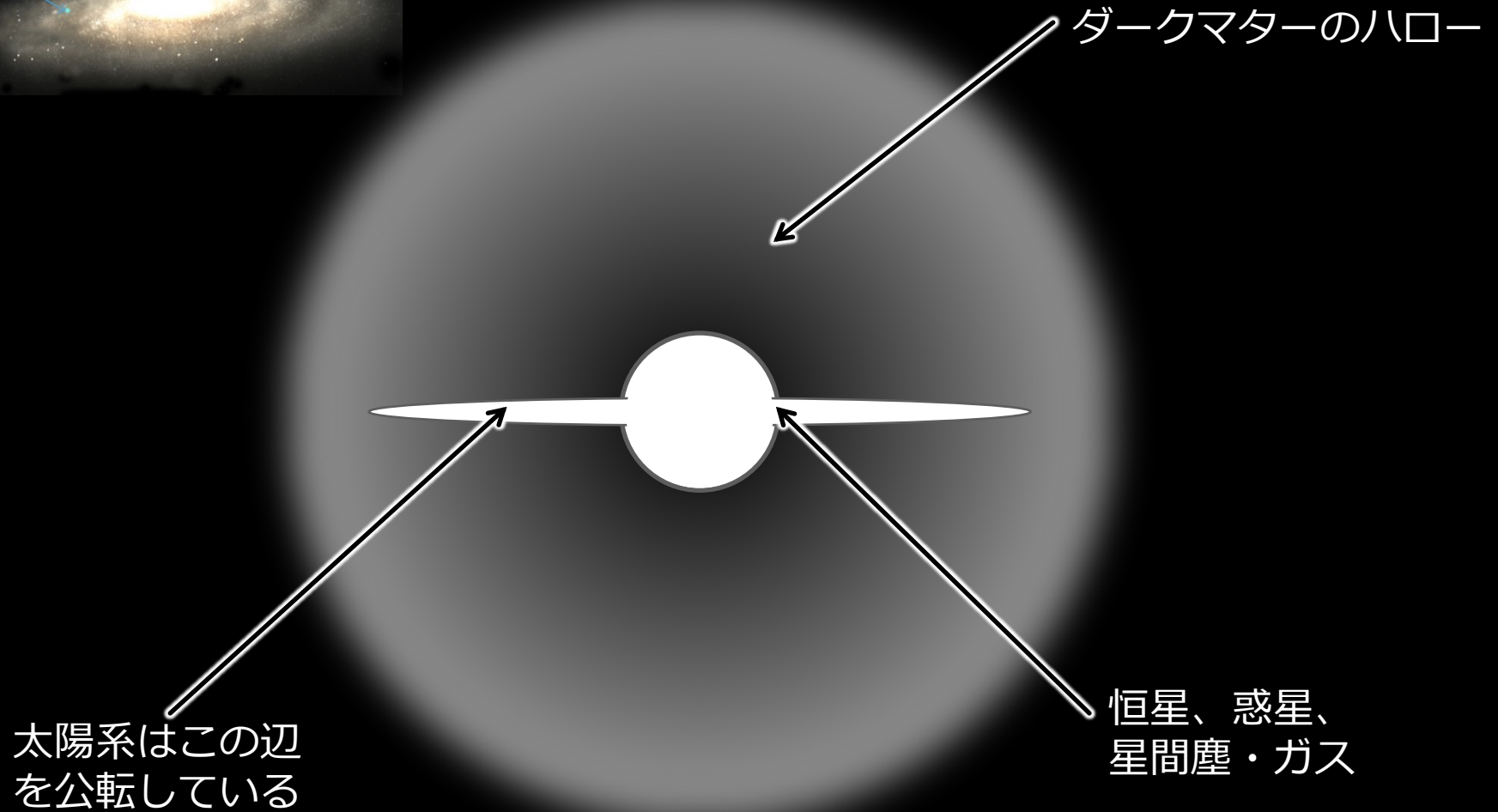
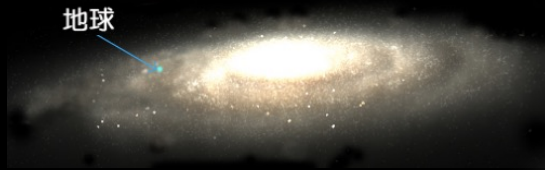


Credit: Pauline Gagnon

銀河の回転速度



ダークマターの分布



太陽系はダークマターハローの中を公転運動している！

ダークマターは絶対ある！ にも関わらず、未検出…

銀河内で捕まえる実験



Credit: XENON1T

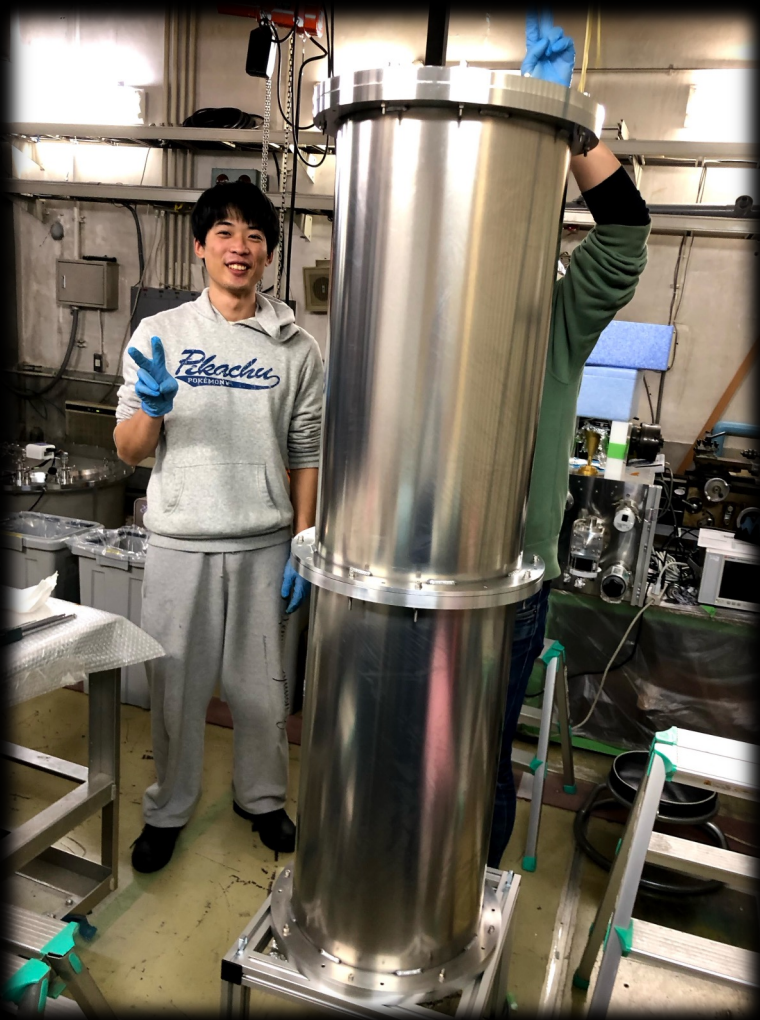
加速器で作る実験



Credit: CERN

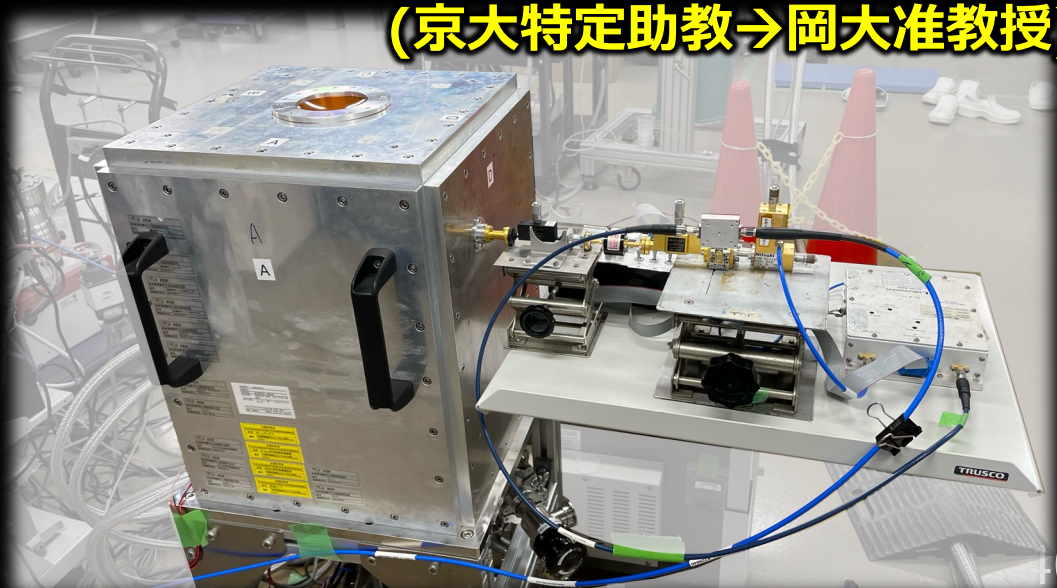
DOSUE-RR (どすえダブルール)

超軽量ダークマターの検出を目指す実験

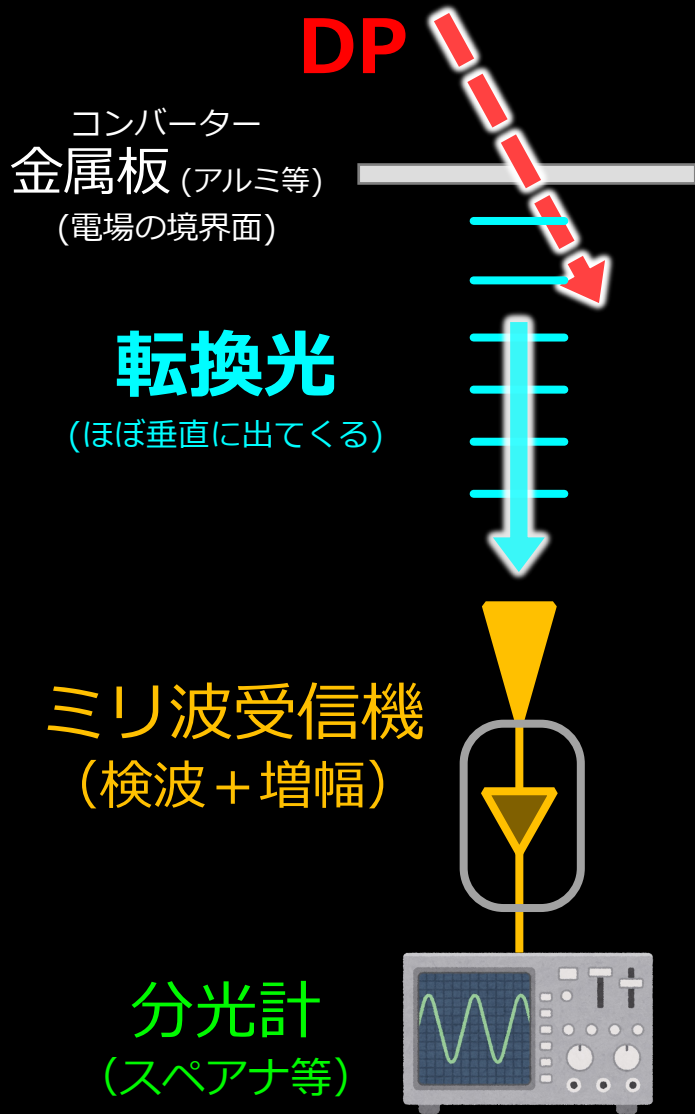


京大発の実験 全国展開中

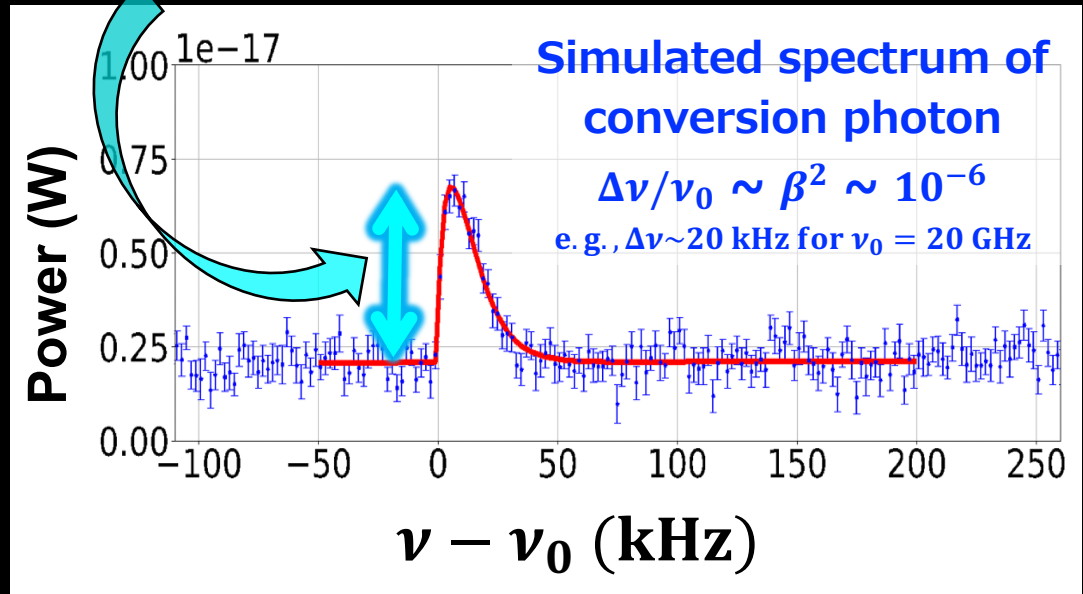
安達くん
(京大特定助教→岡大准教授)



超軽量ダークマターの検出原理



信号の高さ $\propto \chi^2$



ピーク周波数 \Leftrightarrow 質量

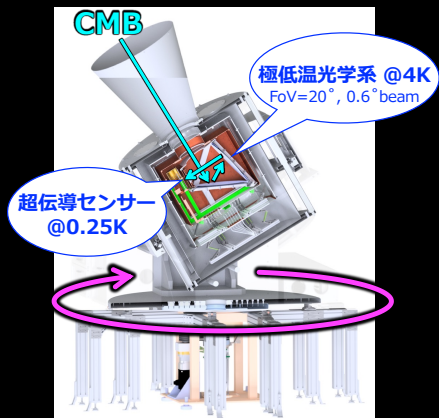
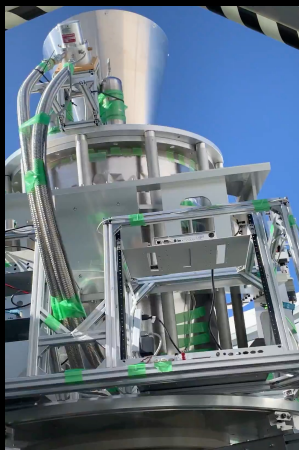
$$h\nu_0 \simeq m_{\text{DP}}c^2$$

例えば 20 GHz \Leftrightarrow 80 $\mu\text{eV}/c^2$

ちょ～微弱な光

CMBのノウハウが活躍！

GroundBIRD望遠鏡



世界最速のスキャン変調！
(従来の100倍速)

5

Simons Observatory

Small Aperture Telescope

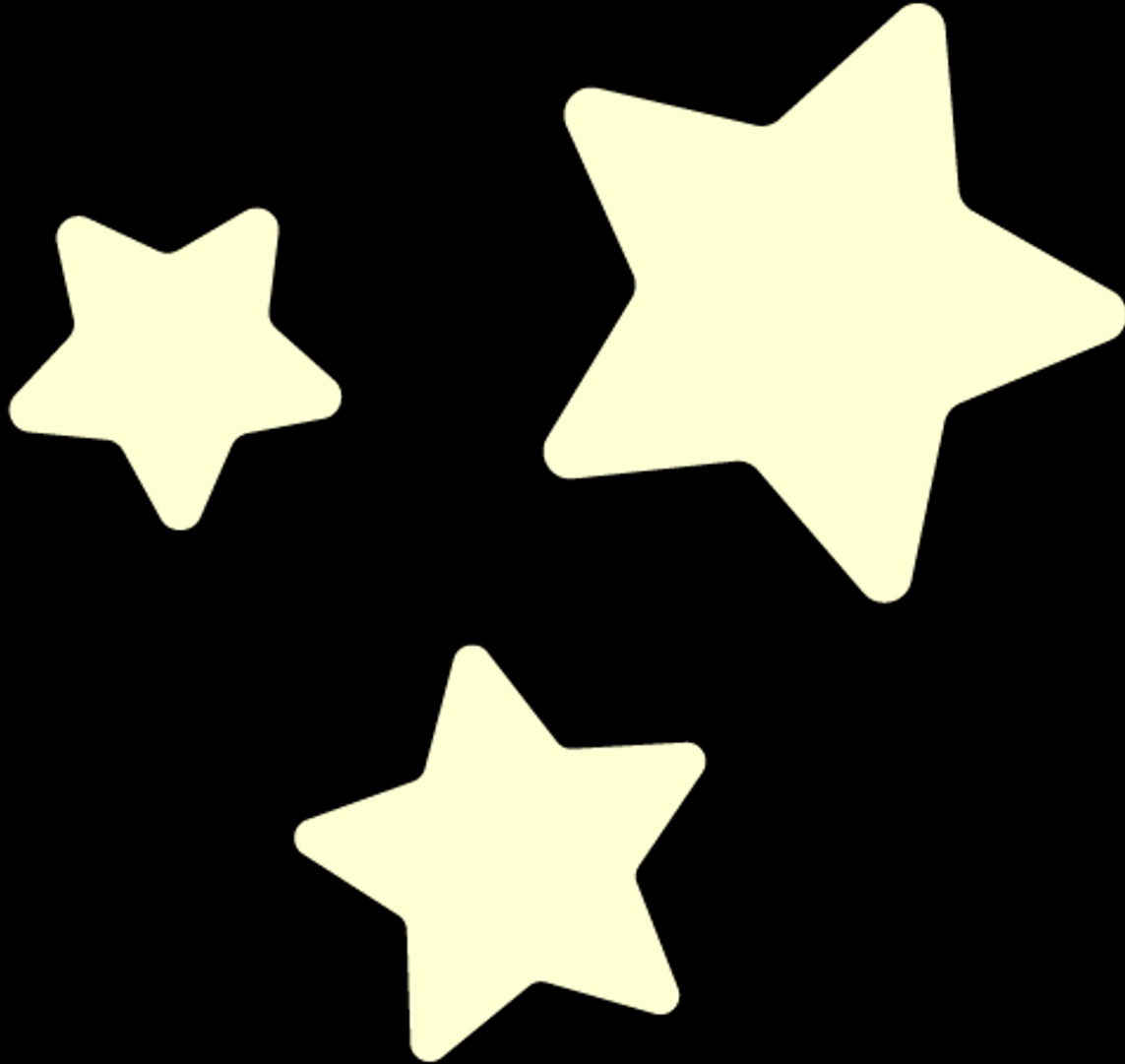
SATの開発



6

例えば

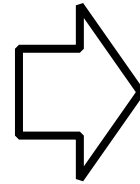
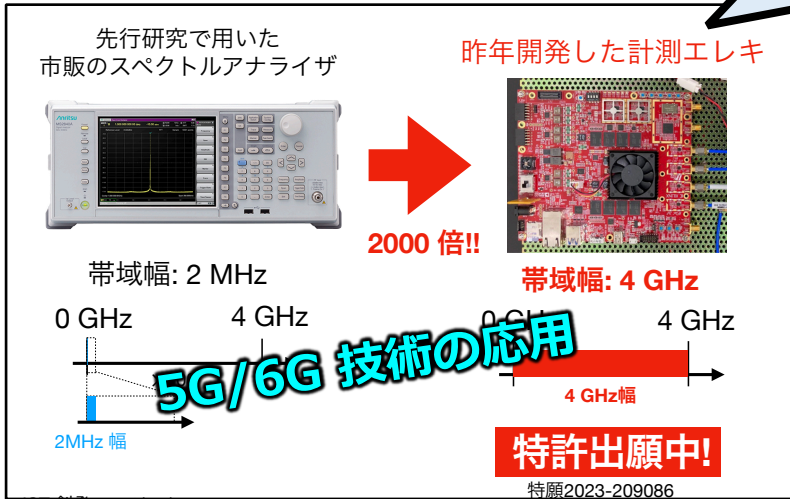
みたくない方向は冷やして低ノイズに！



広帯域な計測エレキの開発

dSpec

尖った業績!!



京大の発明奨励賞



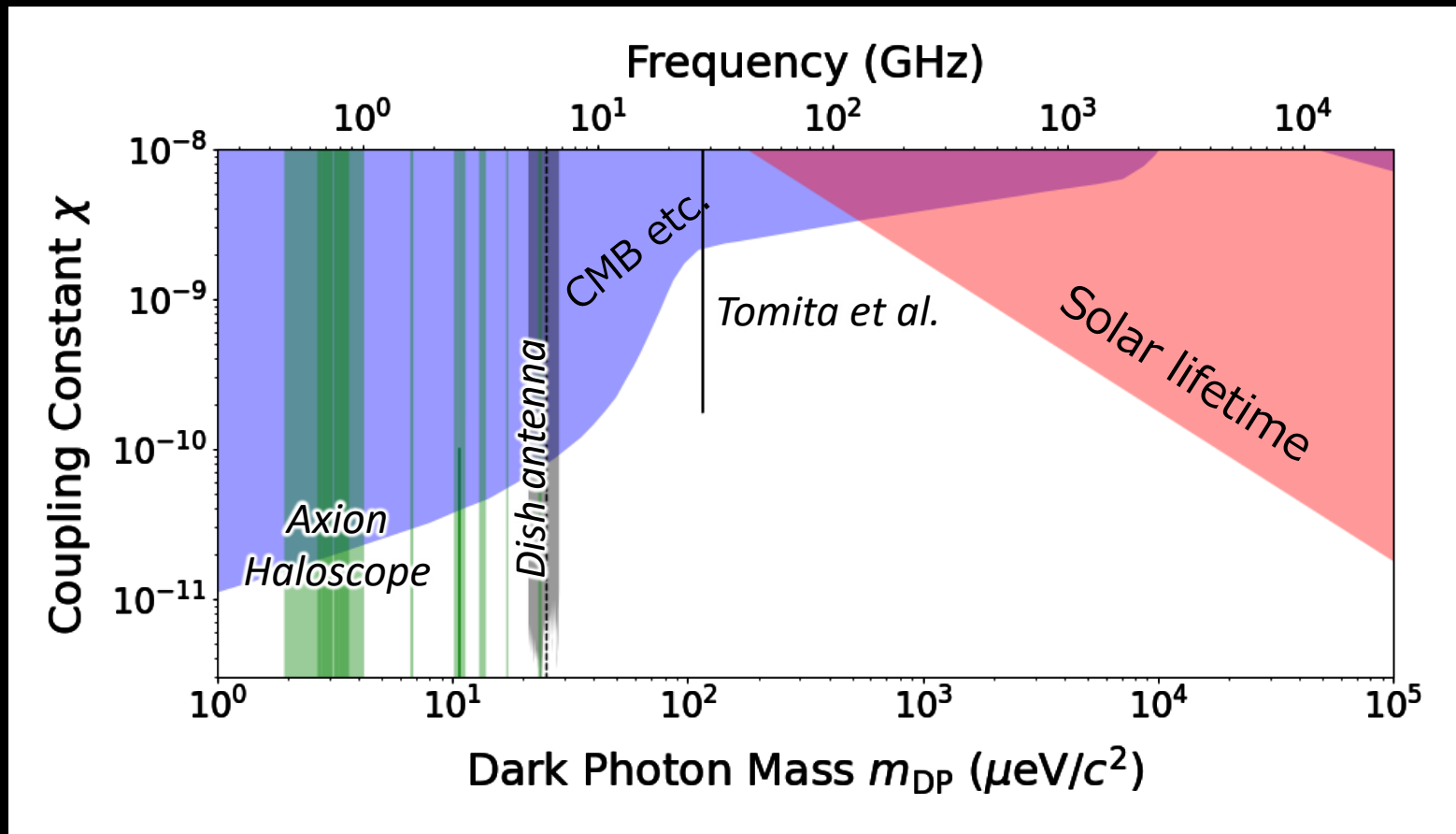
測定器開発優秀修士論文賞

デッドタイムレス分光を16並列FFTで実現
(帯域幅 4 GHz, 分解能 30 kHz)

DM/CMBへの技術還元だけでなく、
量子コンピュータ・量子計測
高速通信への応用も

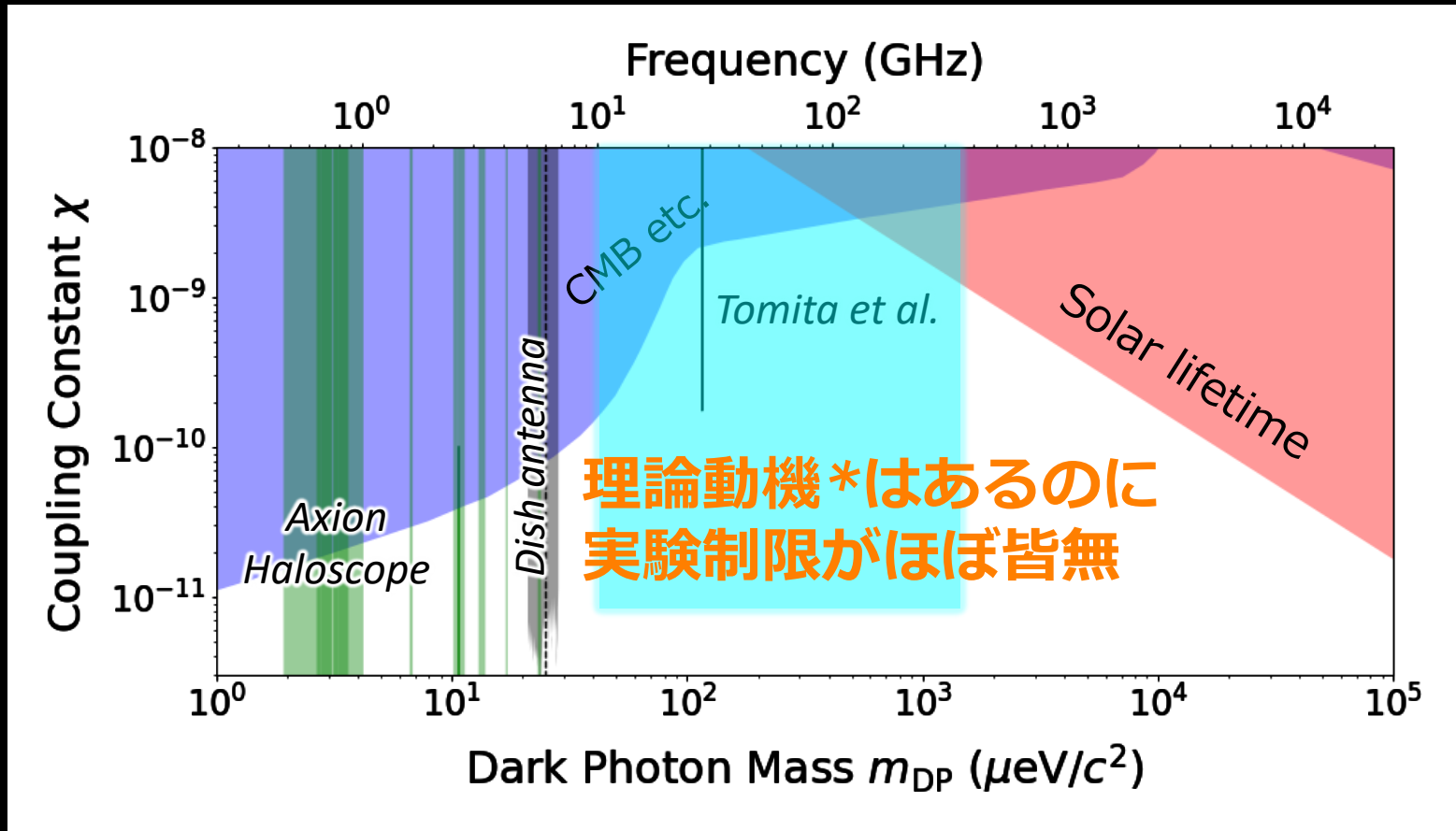
"マスターT"こと
D3: 竹内くん

DP-CDMへの制限 (5年前)



DP-CDMへの制限（5年前）

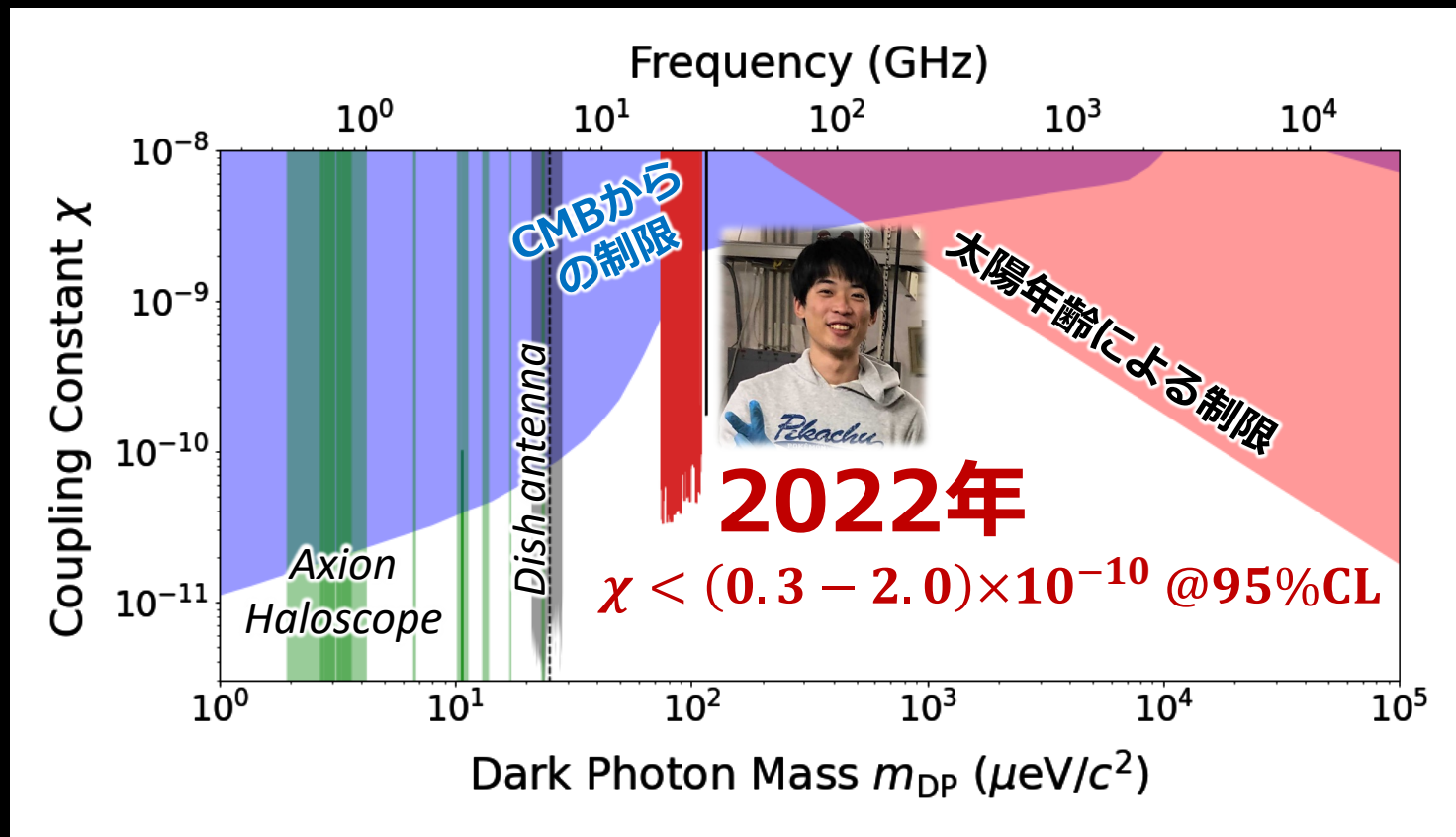
DOSUE-RRはココを開拓する実験



* この辺を好む超弦理論やインフレーション模型の一例
JCAP 1304, 016 (2013), Phys. Rev. D 93, 103520 (2016).

DOSUE : 世界一の達成

<https://arxiv.org/abs/2205.03679>

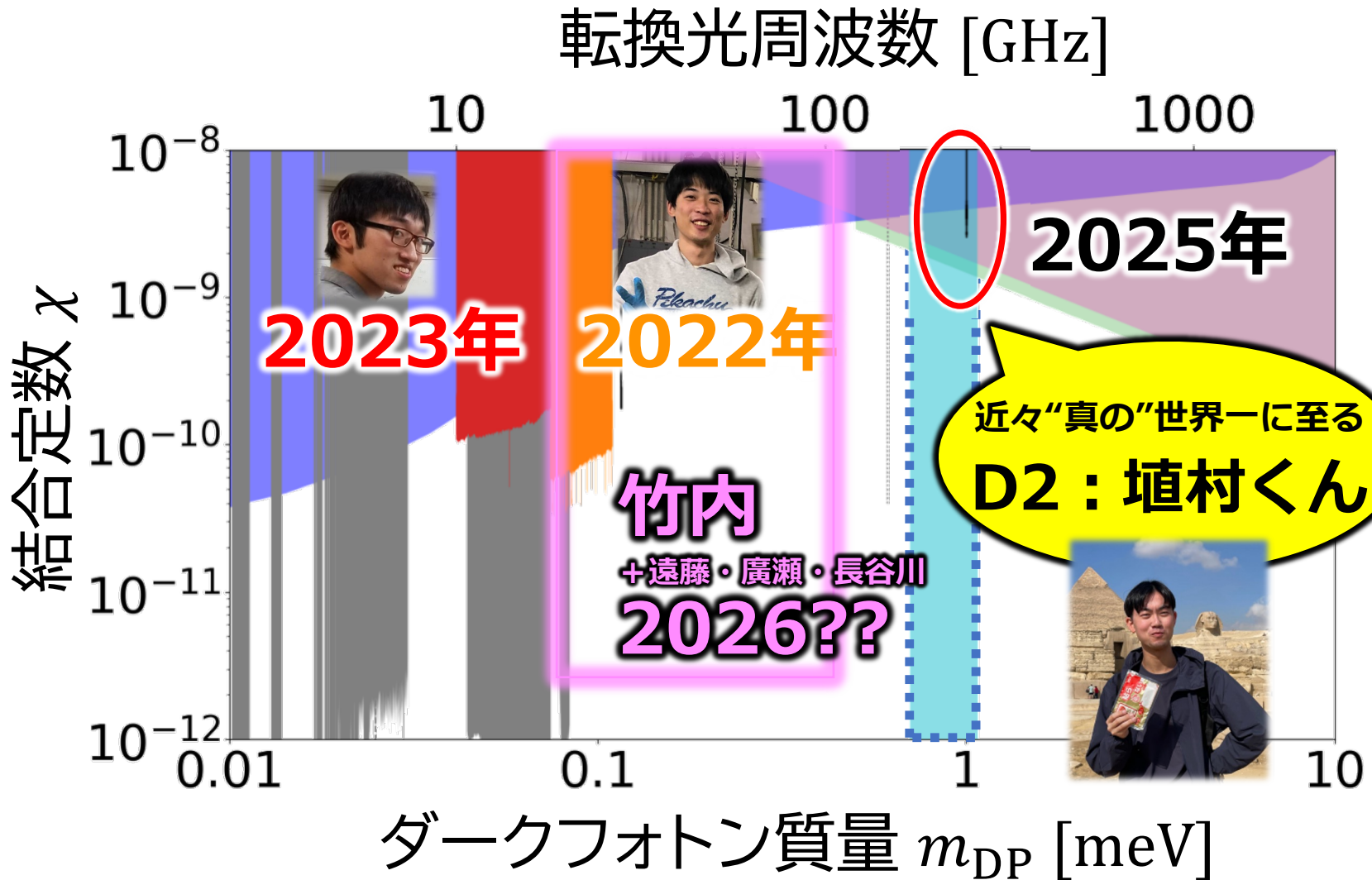


世界で初めての探索 ($m_{DP} = 74 - 110 \mu\text{eV}/c^2$)

世界最高精度でのモデルパラメータ制限

宇宙観測からの間接的な制限よりもタイトな制限

DOSUE : 世界一を独走中!



宇宙を測る素粒子実験

ビッグバン前のインフレーション

原始重力波

C ν B 暗黒成分

+ 先端技術



チームでワールドチャンピオン
ホームランとヒット量産

Simons

Observatory



DOSUE-RR

自力で場外ホームランを狙う



GroundBIRD

まずは自分に合う

「研究戦略」

を考えてください

Weekly meetingは毎週火曜日9:30~ @318

宇宙と物質の起源

