

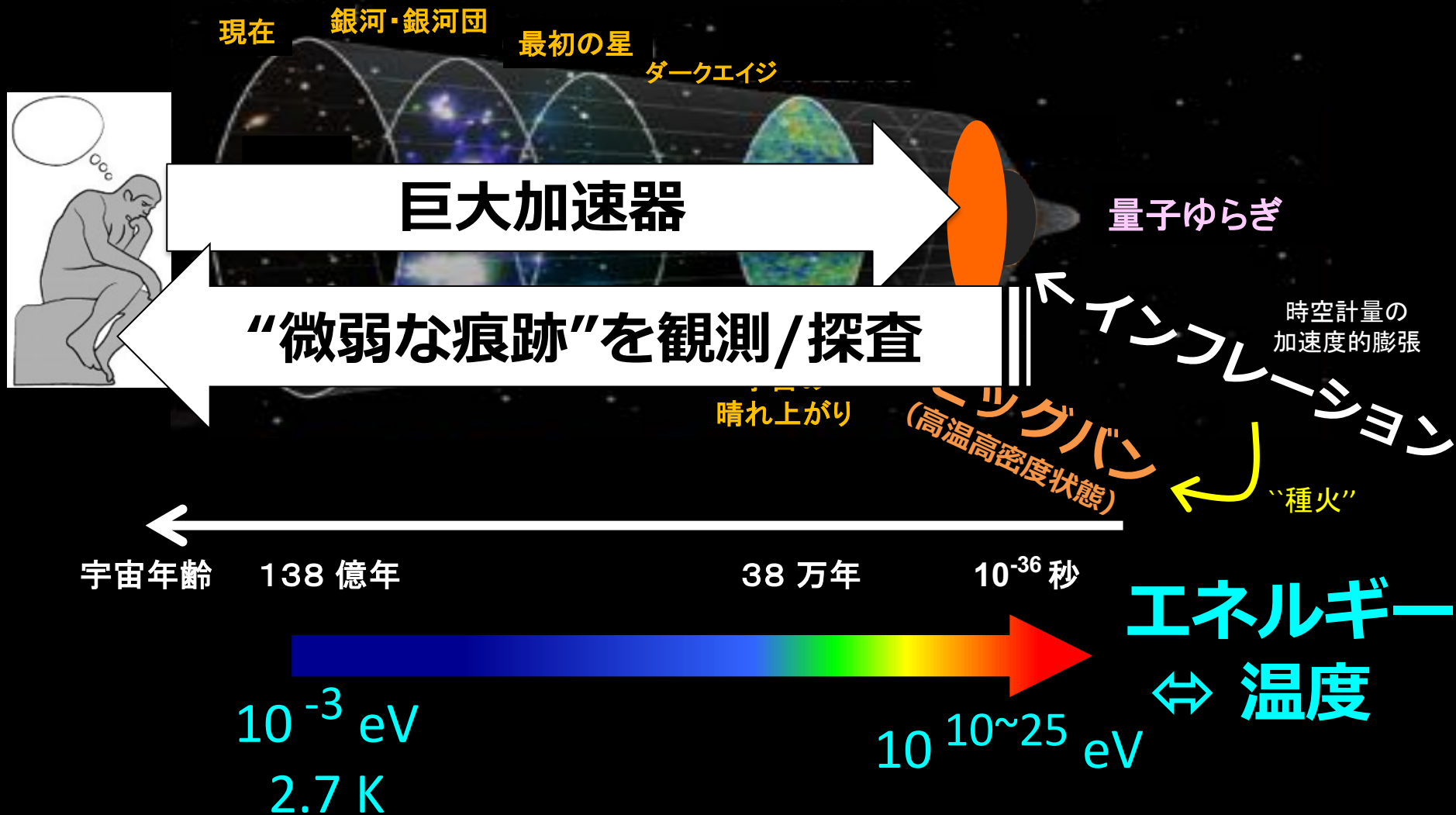
最古の光
CMB観測で探る
宇宙と物質起源

コロナでキャンセルになった“教室発表会”のタイトル

田島治（高エネ）

↑
元M2の阿部くん
チリ・アタカマ高地にて

“起源”を探る2大手法



138億年の
奥行きを持
つ実験室

宇宙最古の光“CMB”は 宇宙を照らすバックライト

原始重力波

ダーク放射

Σm_ν

ダークエネルギー

38万年

1億年

10億年

40億年

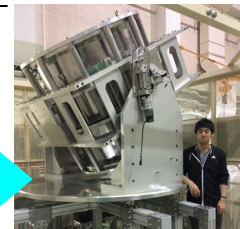
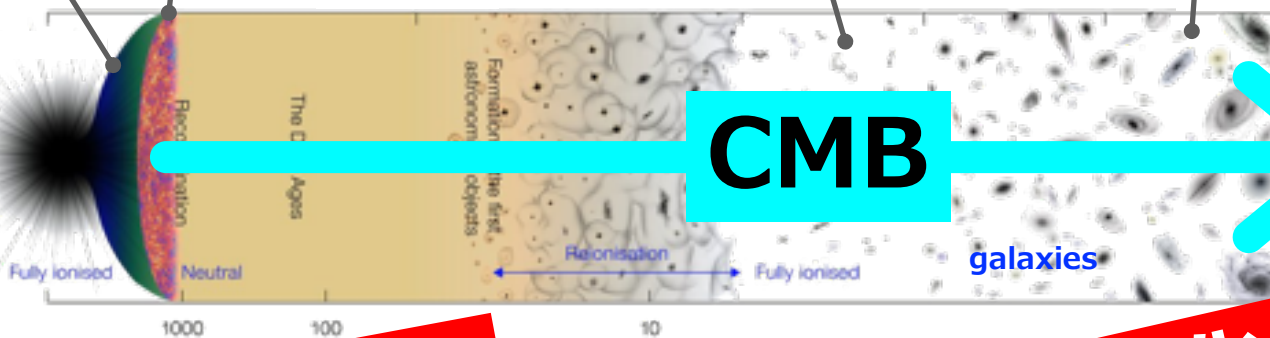
80億年

138億年

量子ゆらぎ

CMB

credits: ESO

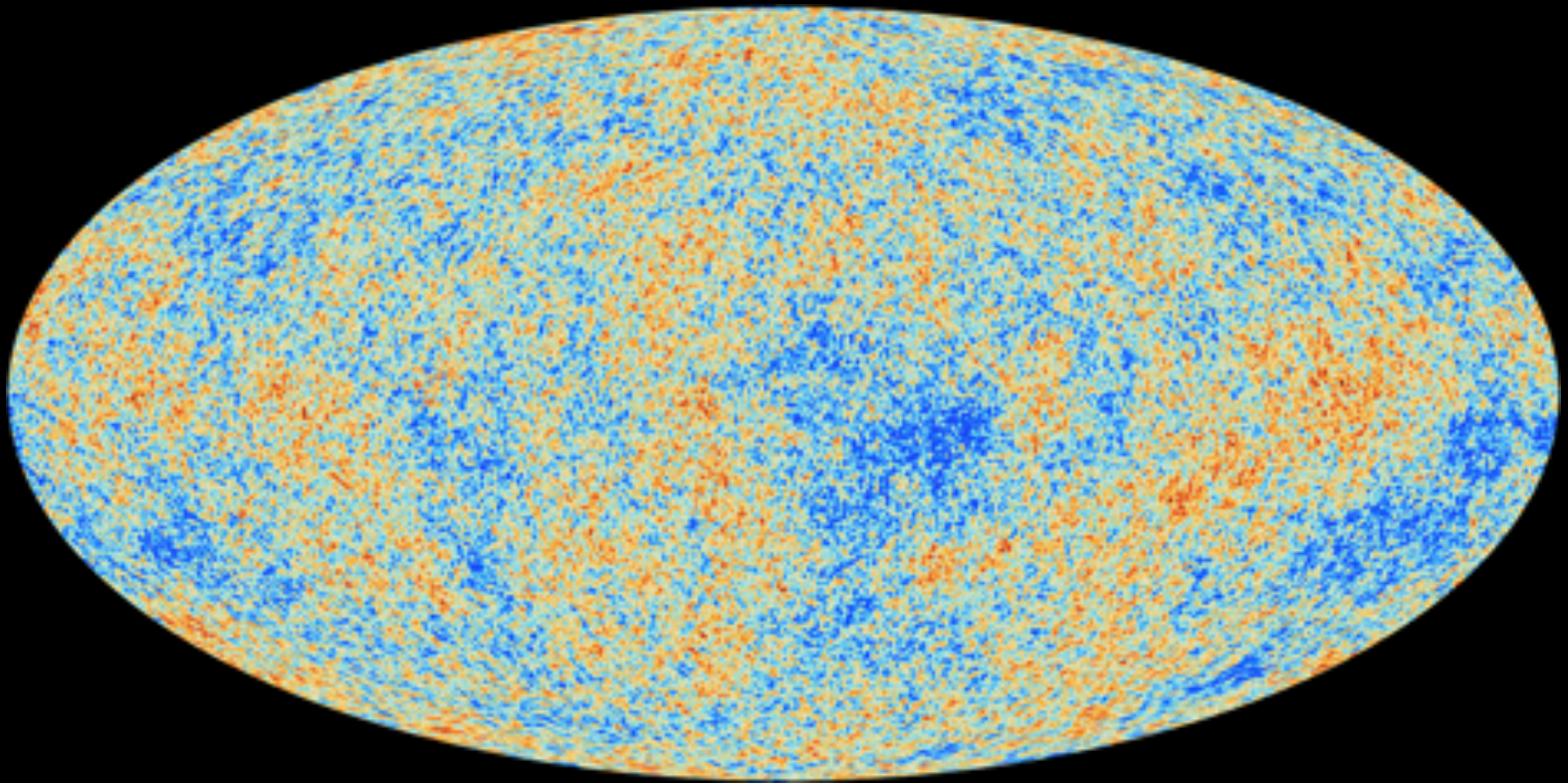


CMB
望遠鏡

宇宙のはじまり
の研究 $O(1 \sim 10^\circ)$

宇宙構造の進化
の研究 $O(0.1^\circ)$

CMB – 温度ゆらぎmap

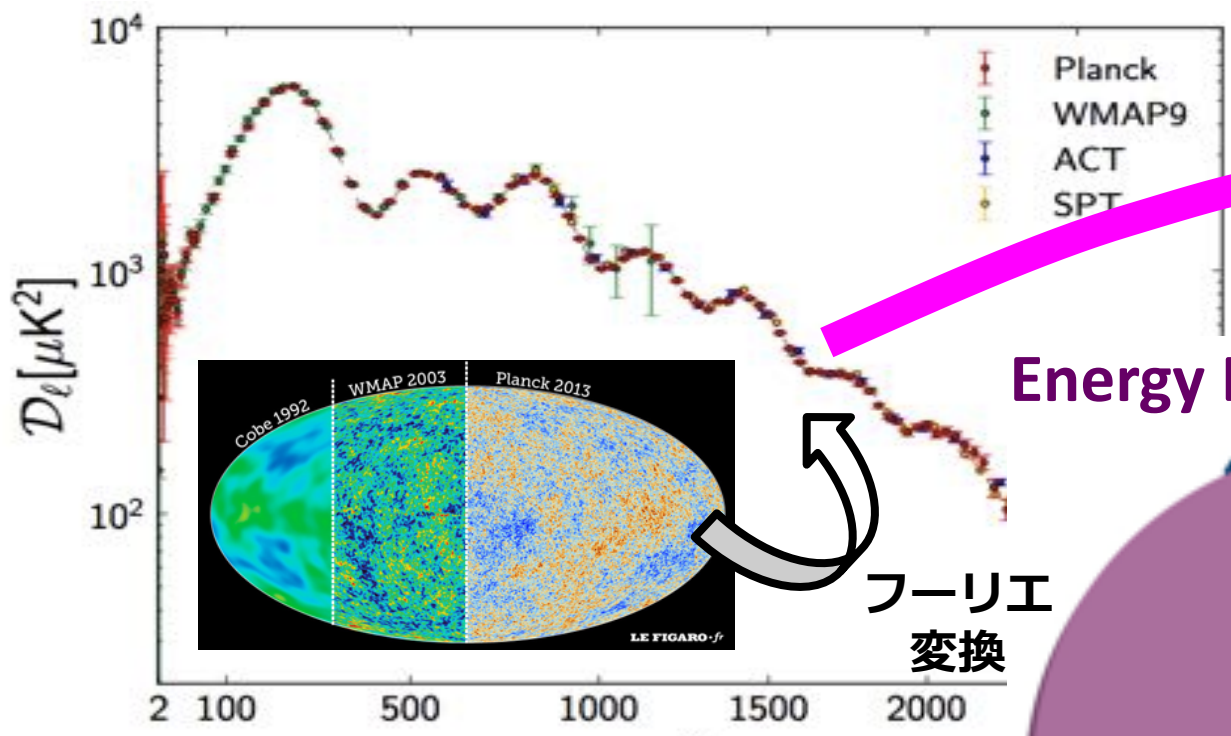


各点の温度 – 平均温度(2.725 K)

$$\Delta T/T = 10^{-5}$$

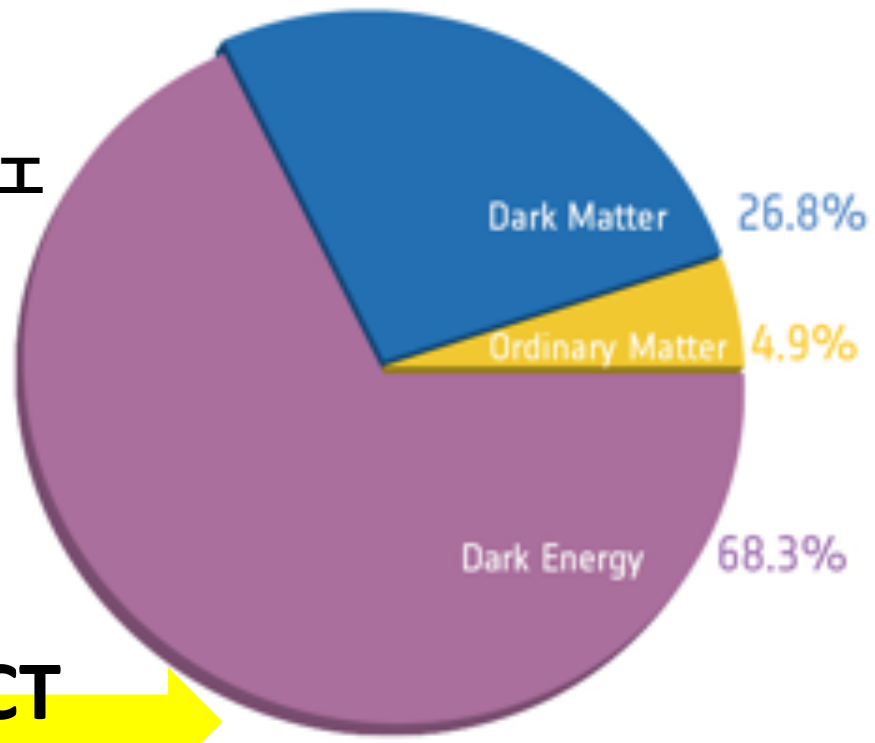
過去20数年の
フロンティア

温度ゆらぎ (無偏光ゆらぎ)

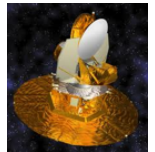


0.001% level of average
intensity (2.7 K)

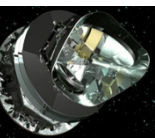
Energy Budget in the Universe



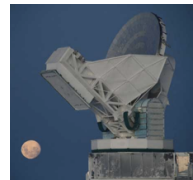
フーリエ
変換



WMAP



Planck



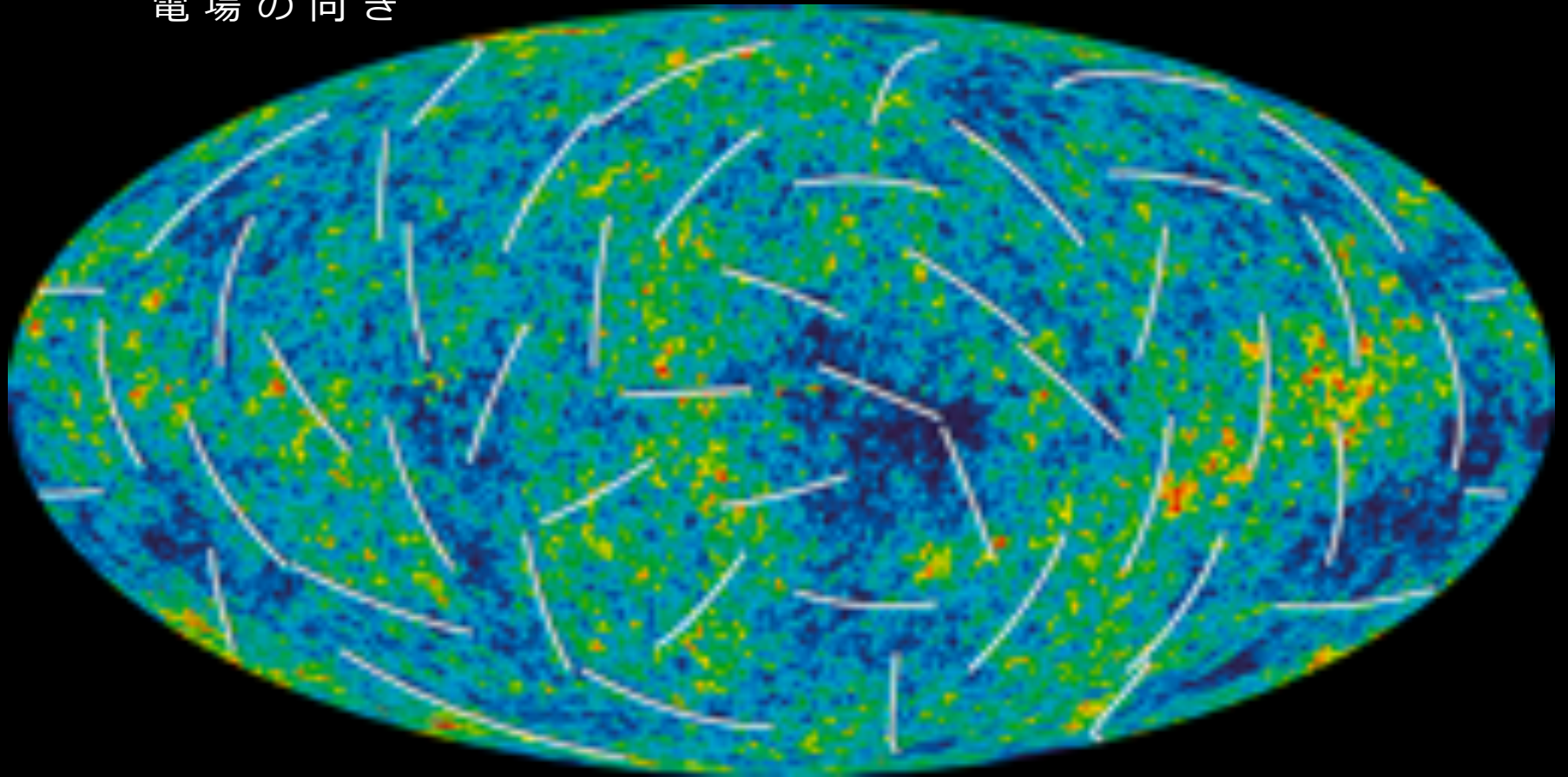
SPT and ACT

(Big ground telescope)



今のCMBフロンティアは 偏光パターン観測！

電場の向き



重力

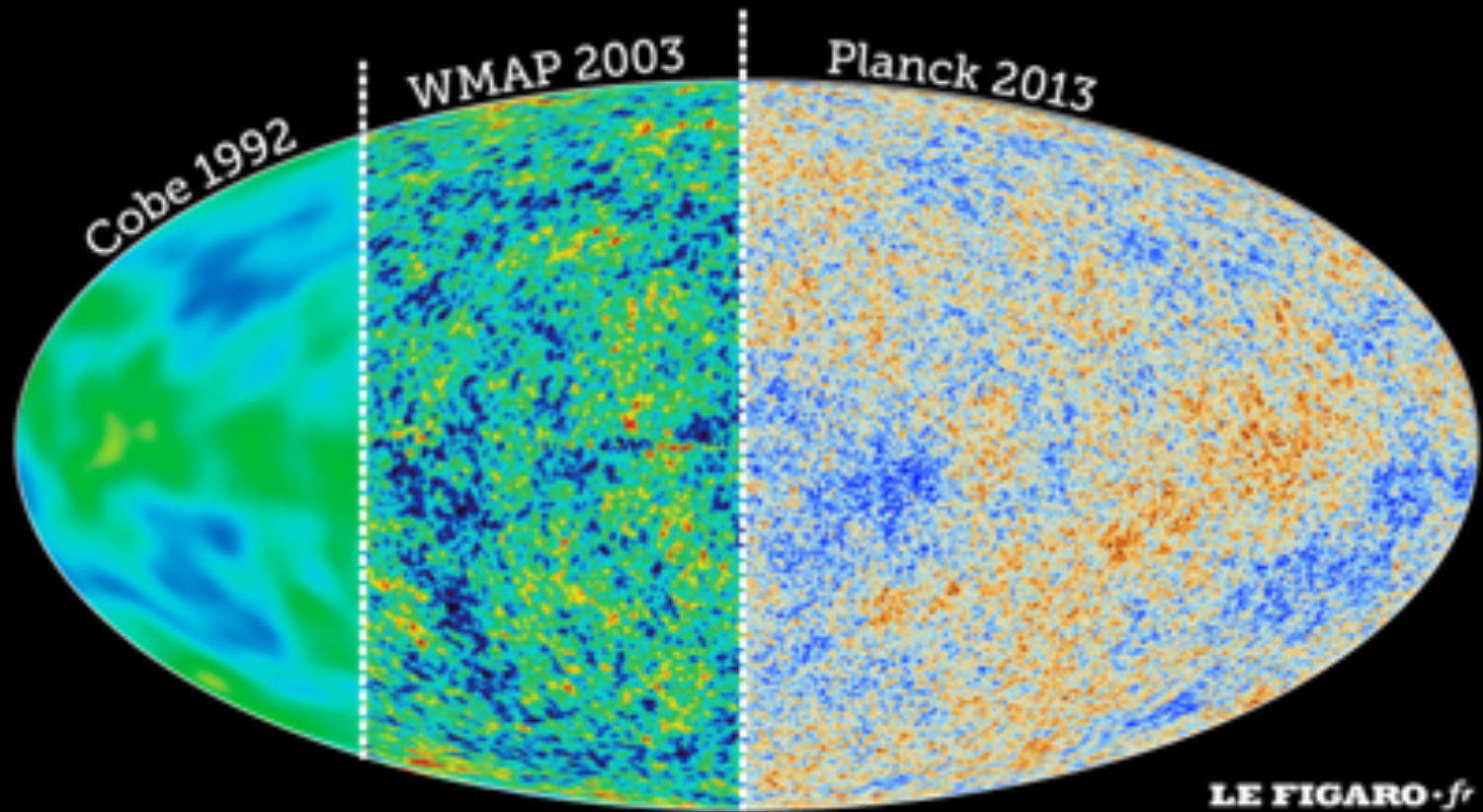
原始重力波

→ 量子宇宙×インフレーション

弱重力レンズ

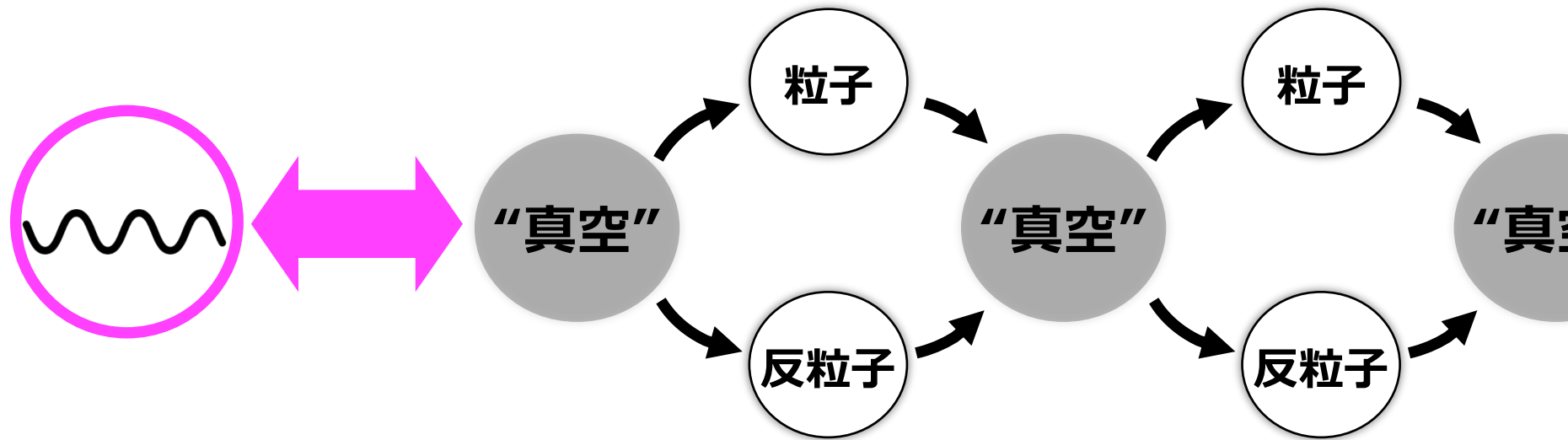
→ Σm_ν

量子宇宙×インフレーション 最初のヒント



温度ゆらぎの発見

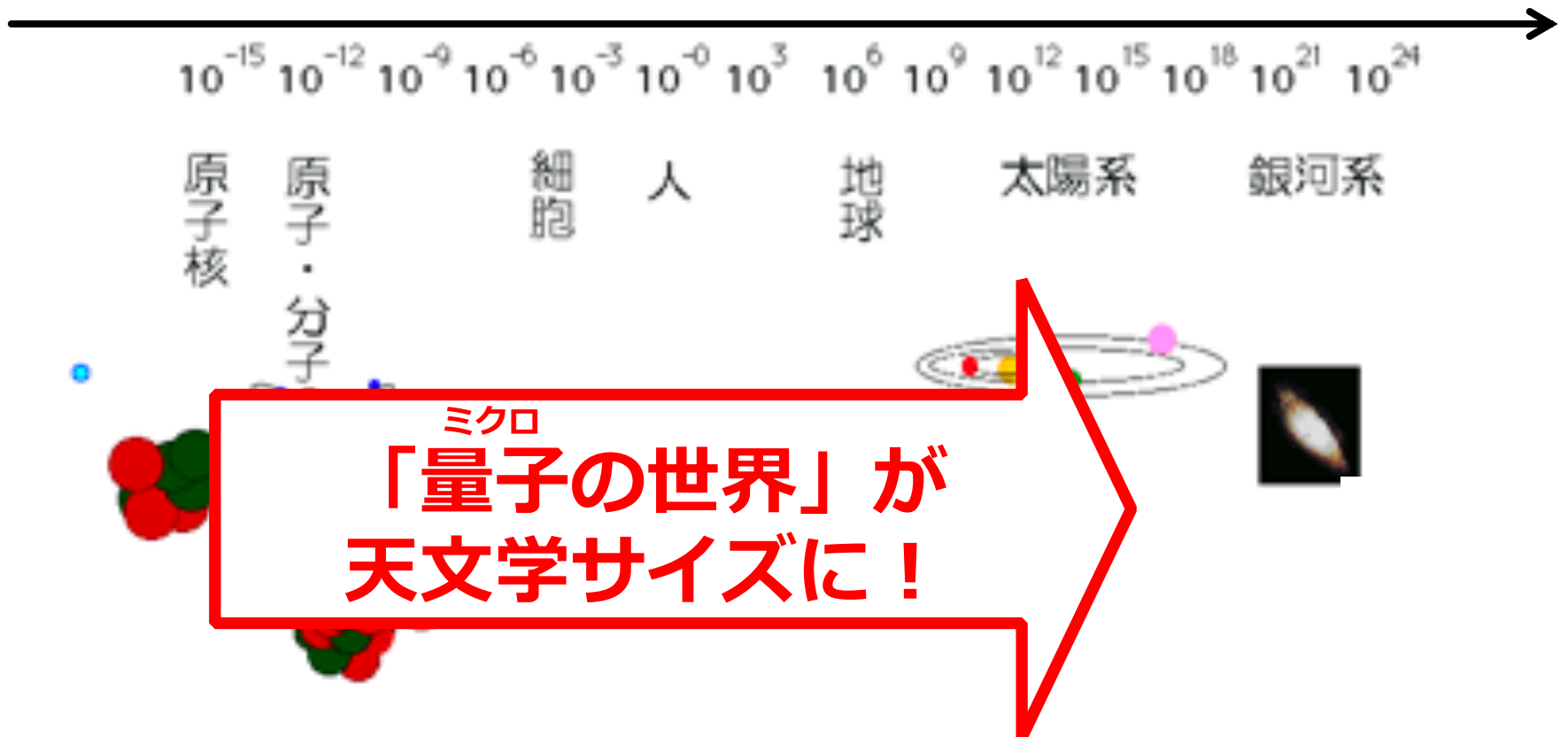
“量子ゆらぎ”って？



ミクロの世界で繰り返される
粒子の“生成”と“消滅”

インフレーションの膨張

10^{-36} 秒間で 10^{27} 倍



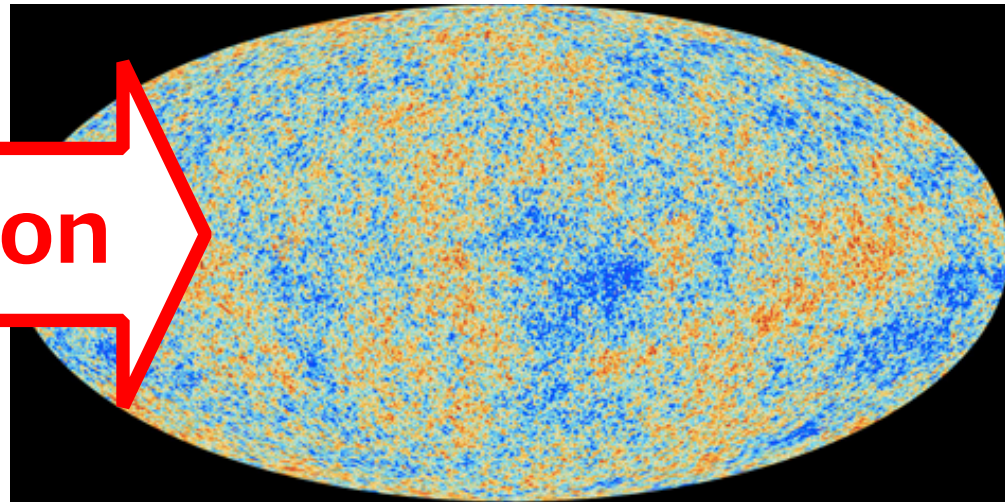
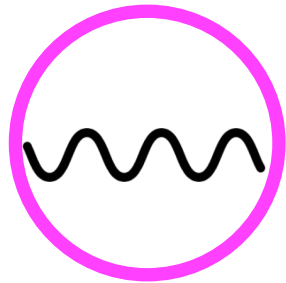
インフレーションのご利益 量子ゆらぎの残存



「量子ゆらぎ」
生成・消滅を繰り返す

消滅しない
⇔ ゆらぎが残存

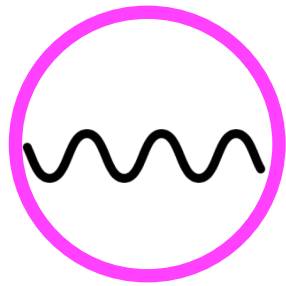
密度ゆらぎ (温度ゆらぎ)



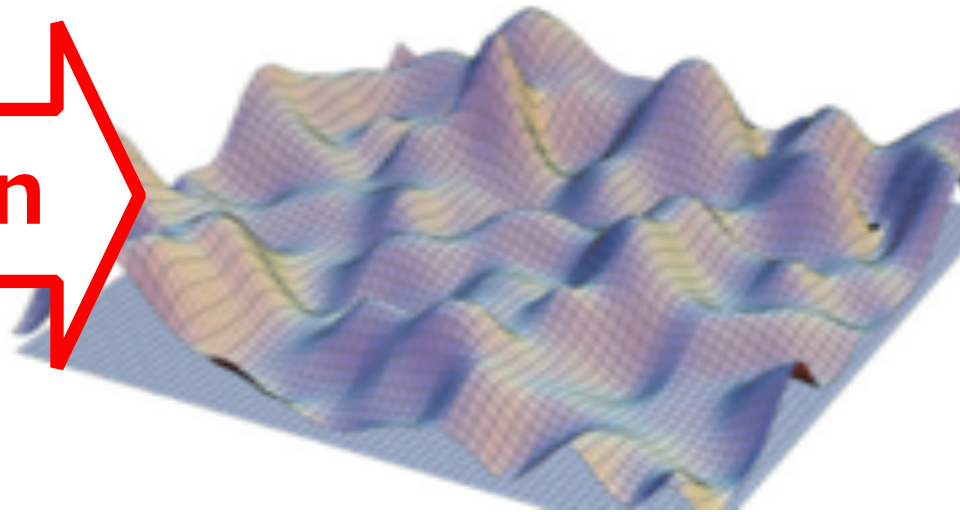
粒子 (物質) の
「量子ゆらぎ」

密度ゆらぎに！
(温度のムラムラ)

原始の重力波



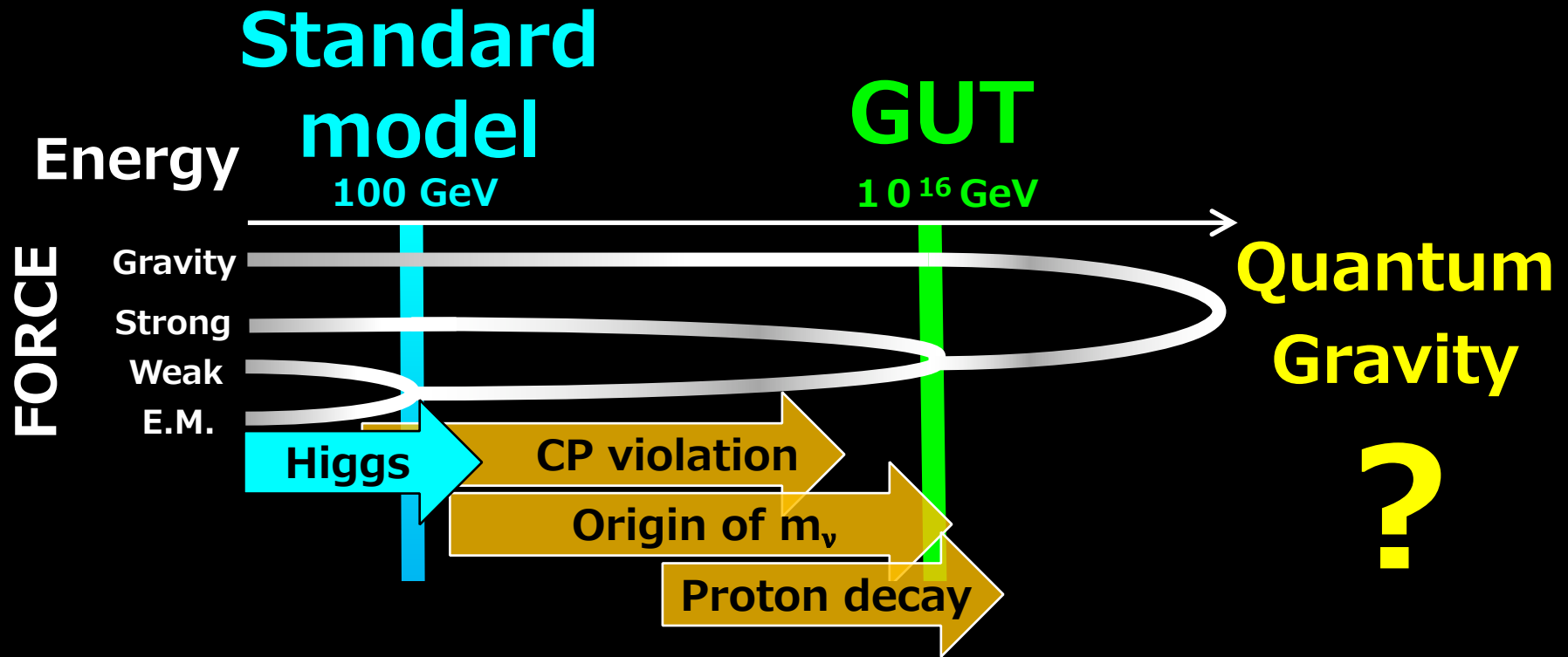
Inflation



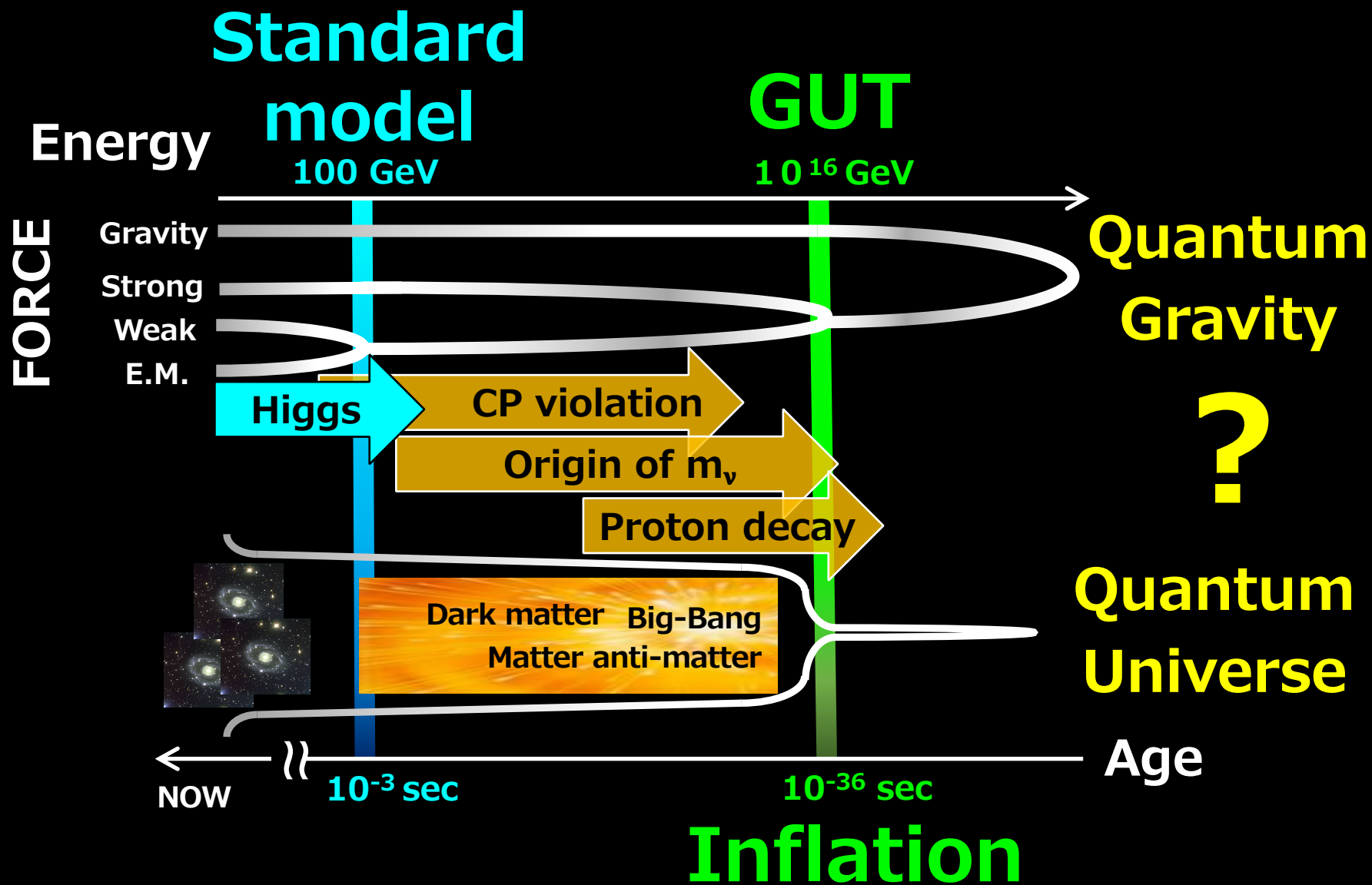
重力子の
「量子ゆらぎ」
重力場の量子化

原始の
重力波に！
まだ未発見

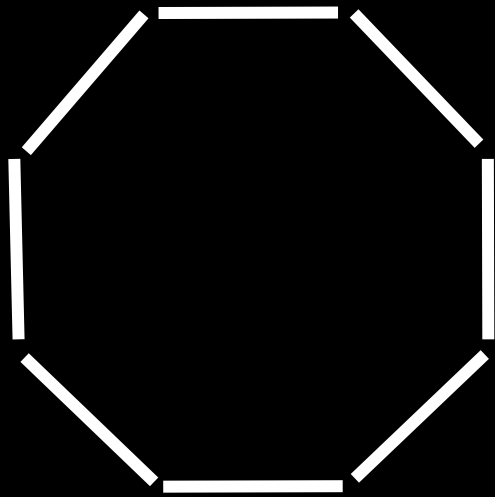
Particle physics & Cosmology



Particle physics & Cosmology

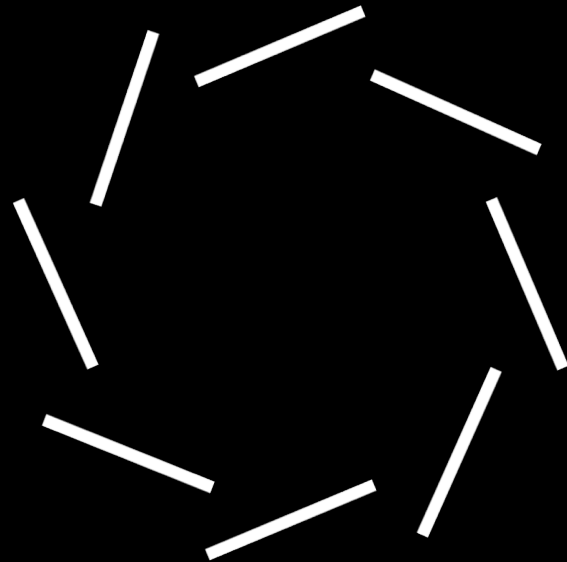


原始重力波は CMB偏光パターンで測る



E-modes

Even-parity patterns

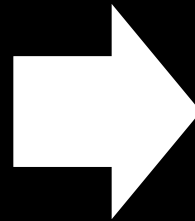


B-modes

Odd-parity patterns

どういう時に偏光ができる？

ワイヤーグリッドで
ヨコ向きの電場を吸収

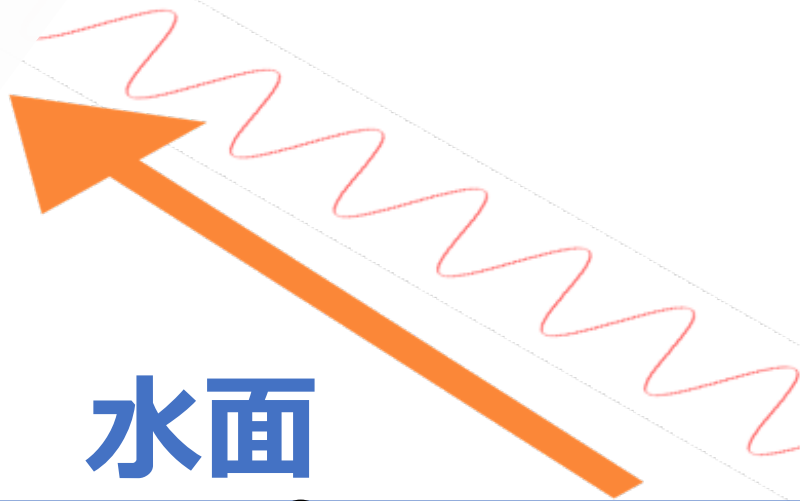


某メガネ屋のwebより

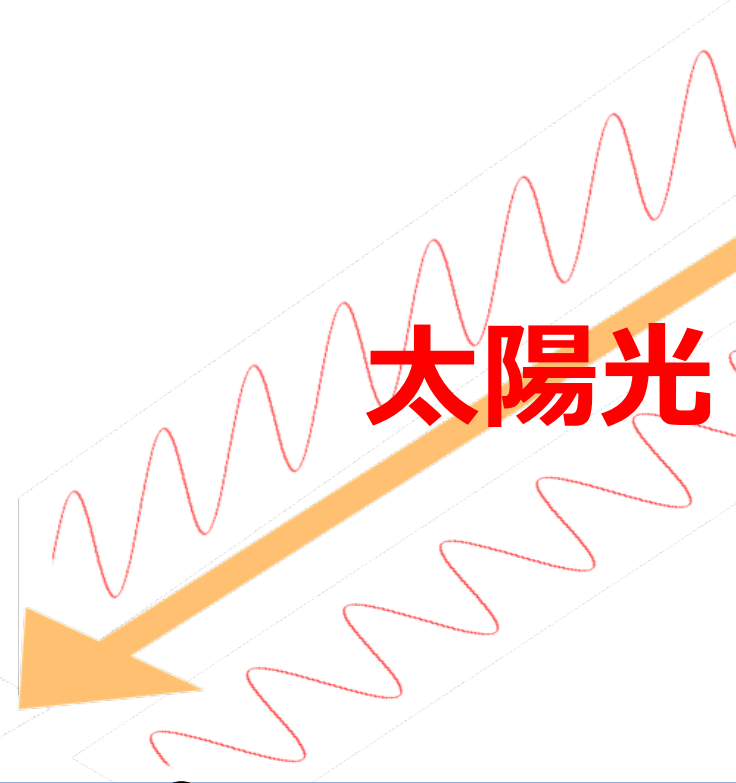
どういう時に偏光ができる？



反射で
偏光する！



水面



太陽光

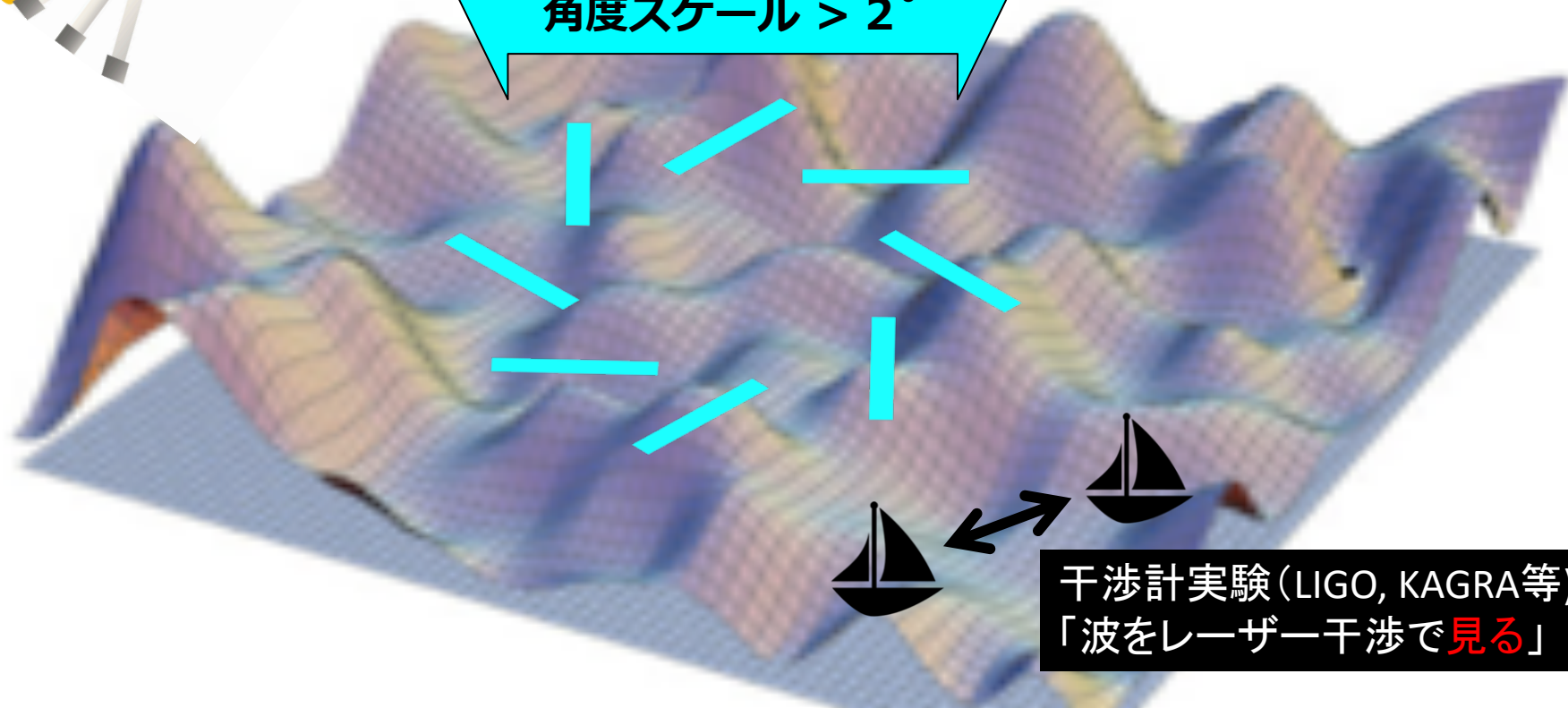
自由電子

CMB“偏光”で波面模様をみる



空間非対称なパターン
角度スケール $> 2^\circ$

原始重力波面

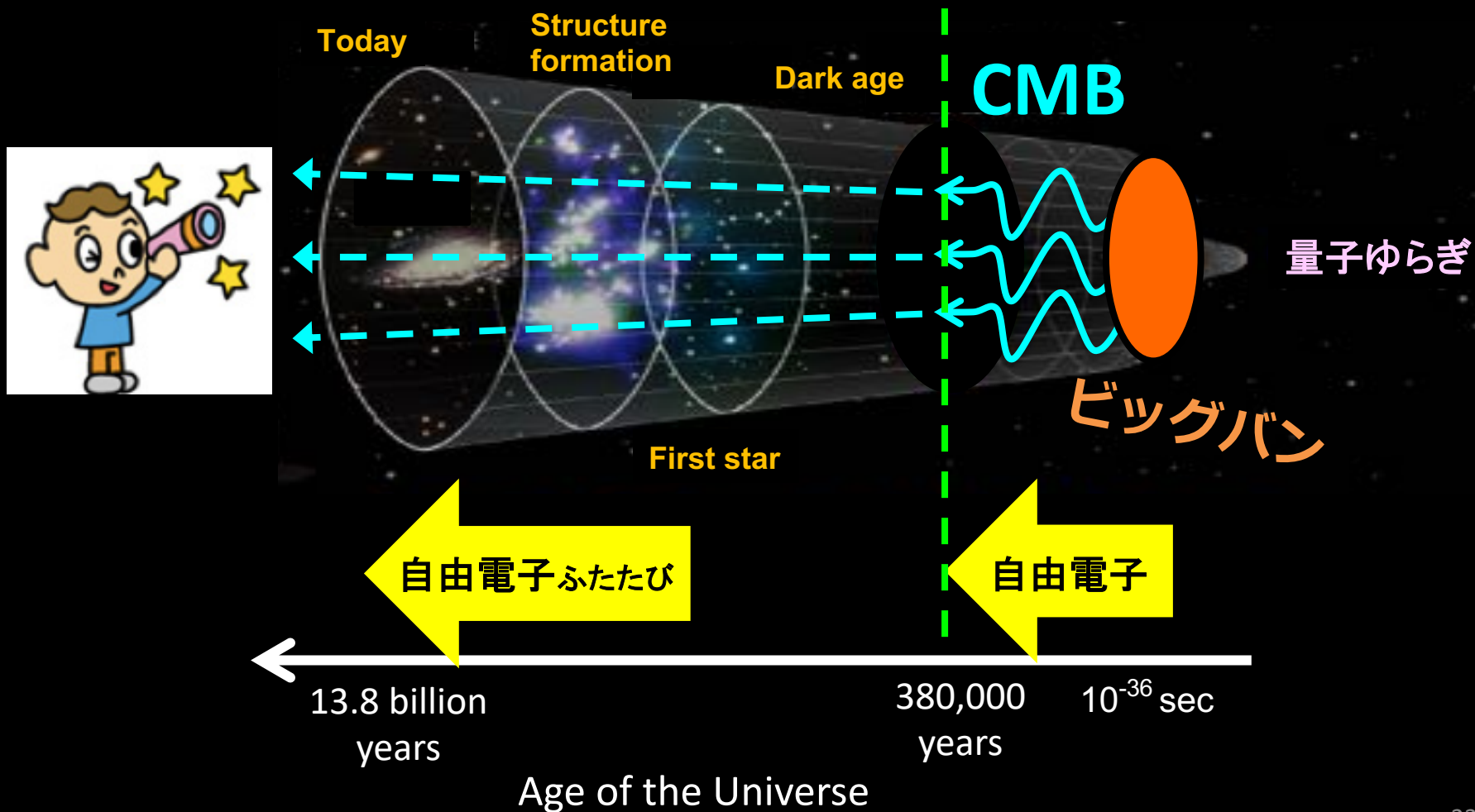


干渉計実験 (LIGO, KAGRA 等)
「波をレーザー干渉で見る」

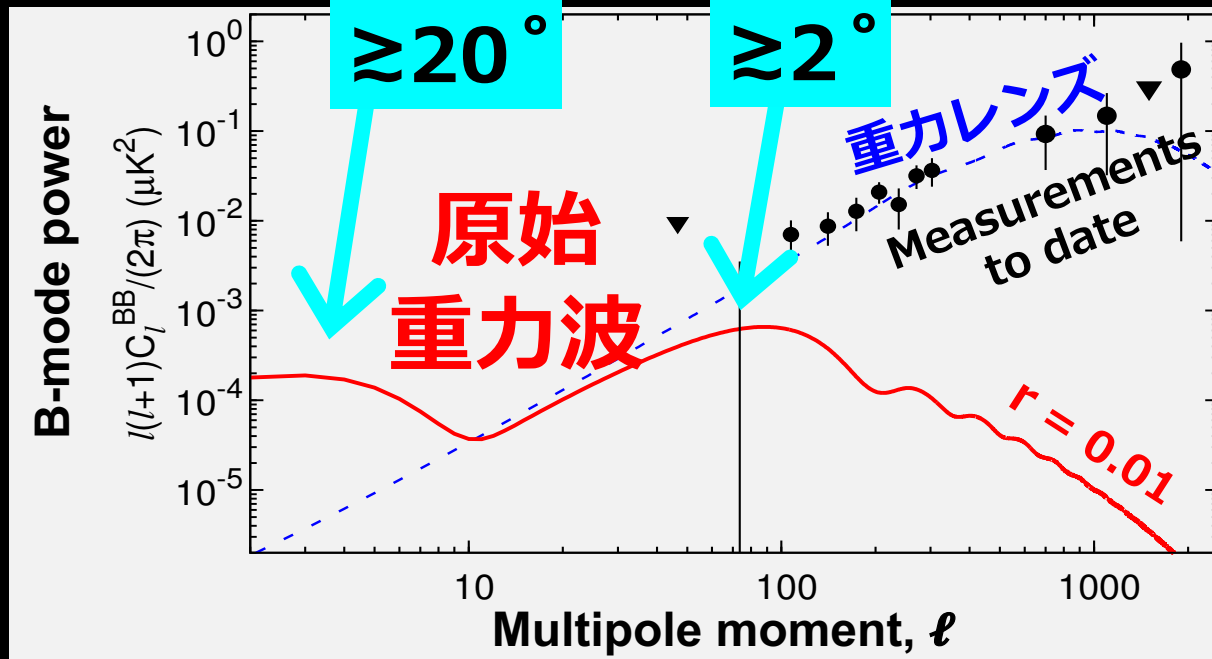
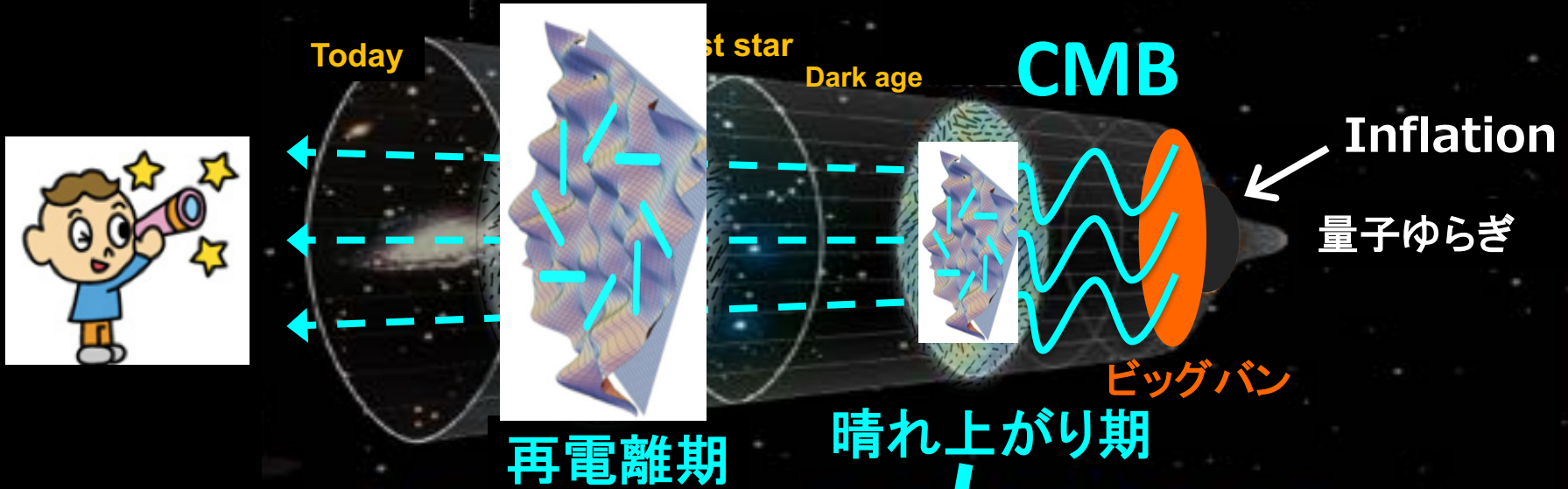
CMBにとっての水面？

「再電離」期

「晴れ上がり」期以前



原始重力波の波模様をみる

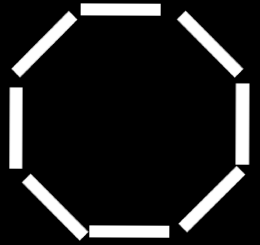


Courtesy of
Y. Chinone

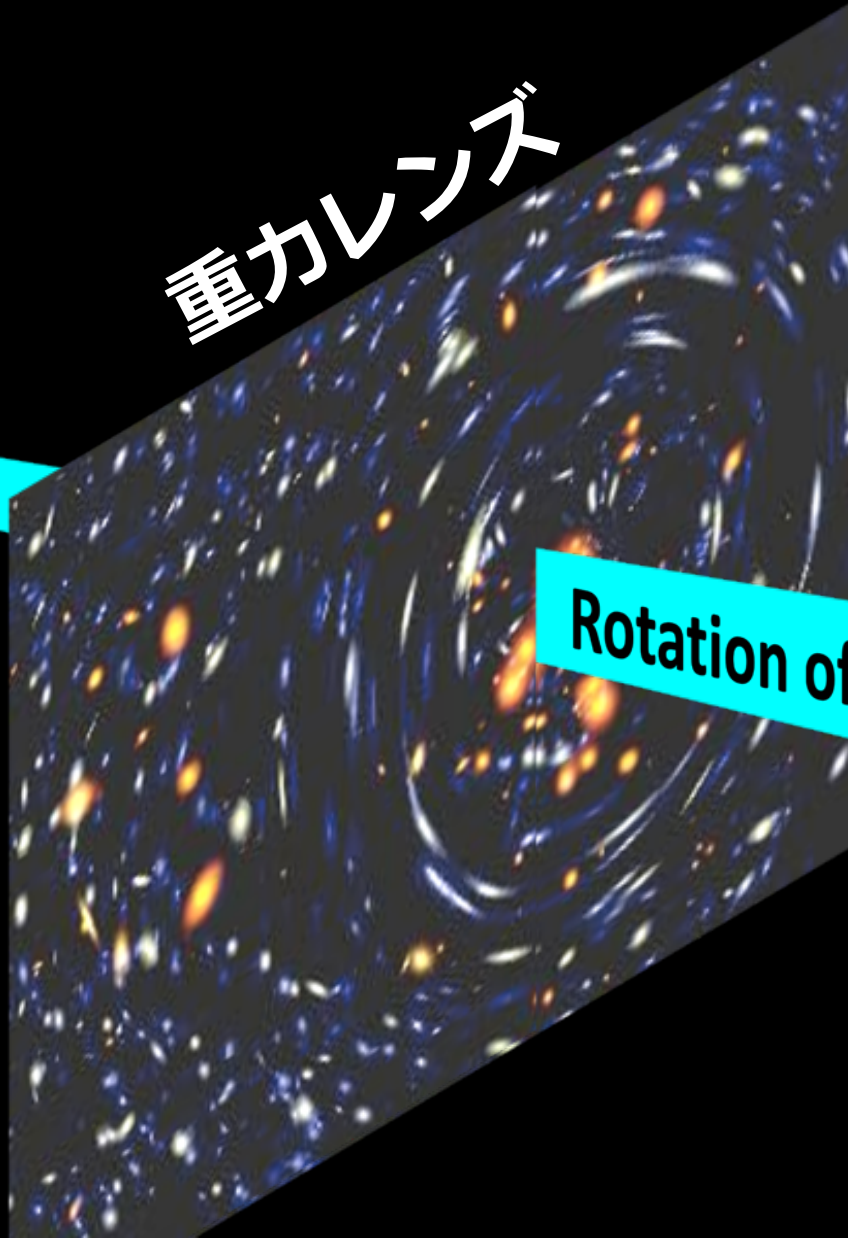
重カレンズBモード

Eモード

重カレンズ

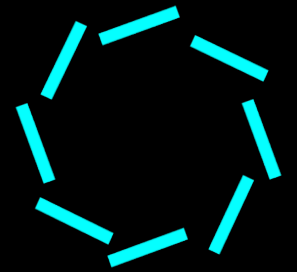


晴れあがり期
38万年



重カレンズ
Bモード $O(0.1^\circ)$

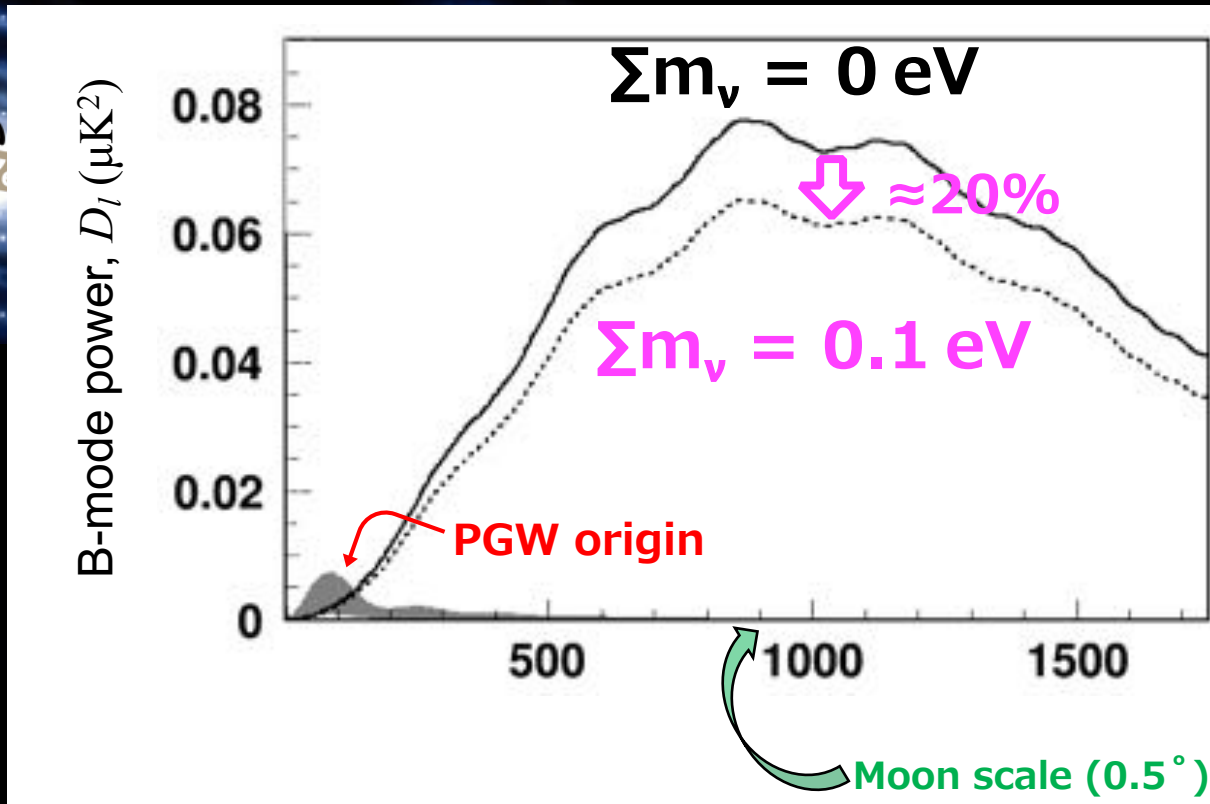
Rotation of axis



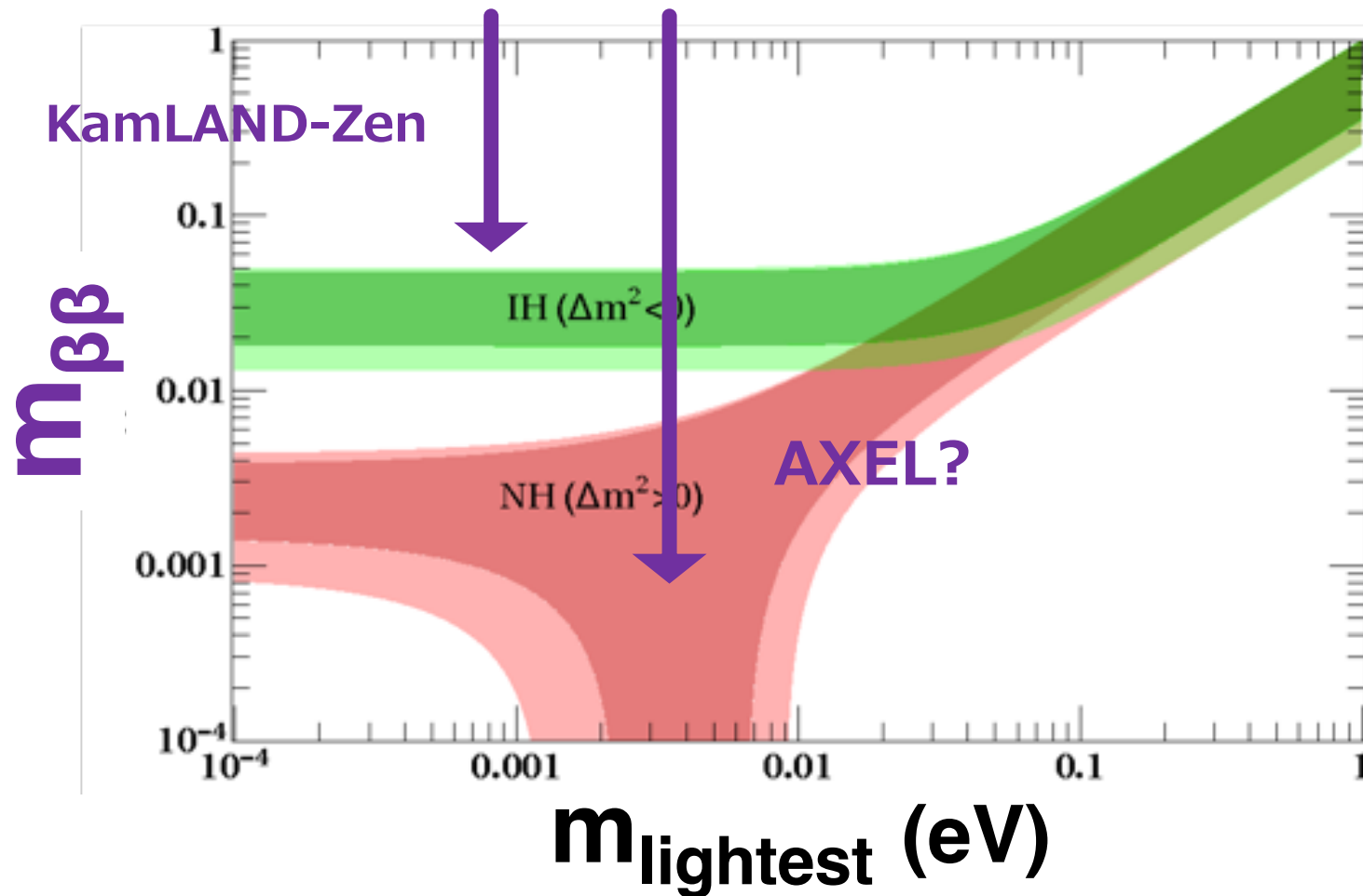
Observation, today



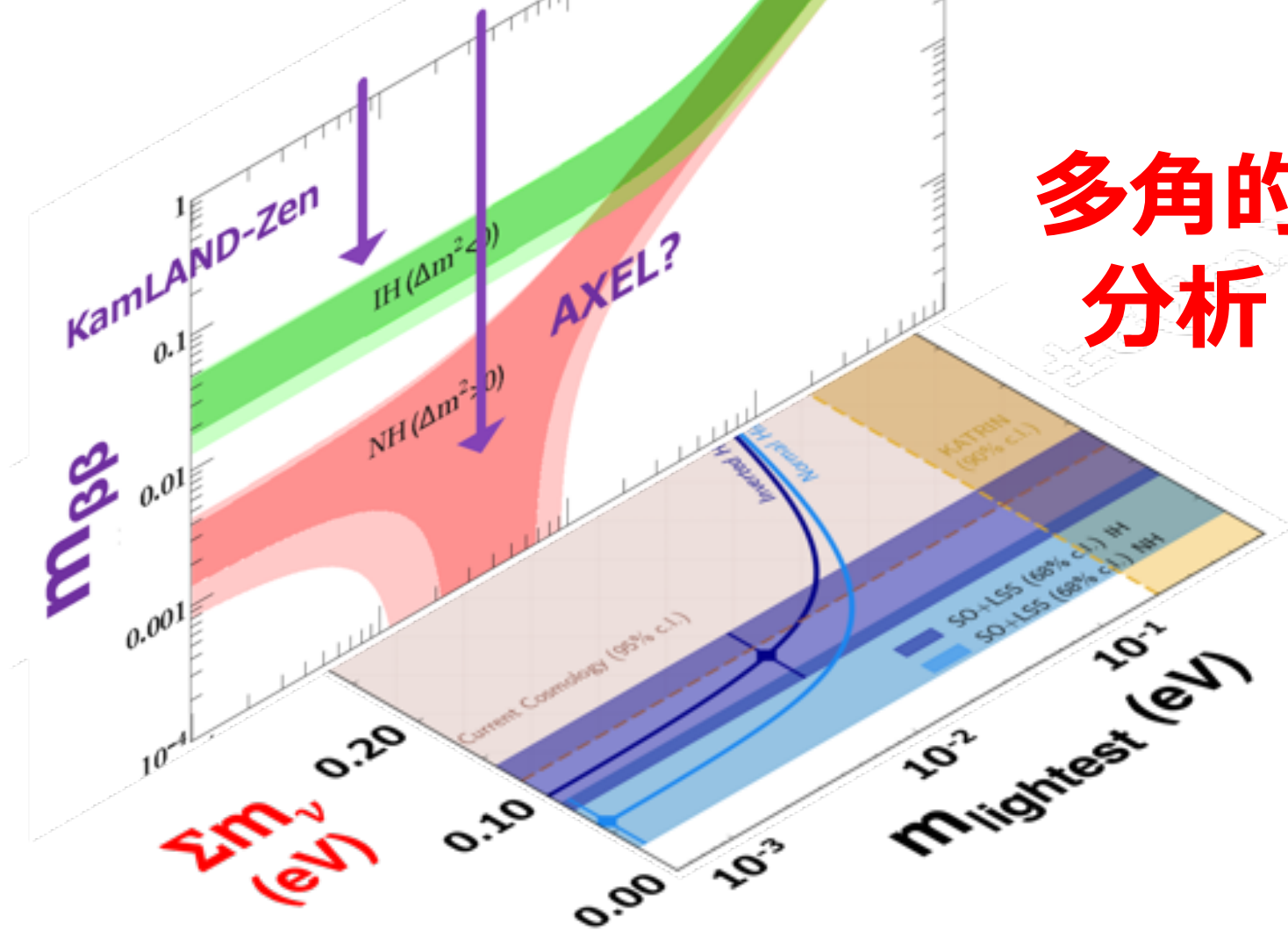
Σm_ν 重力レンズを薄くする



m_ν 絶対値へのアプローチ (これまで)

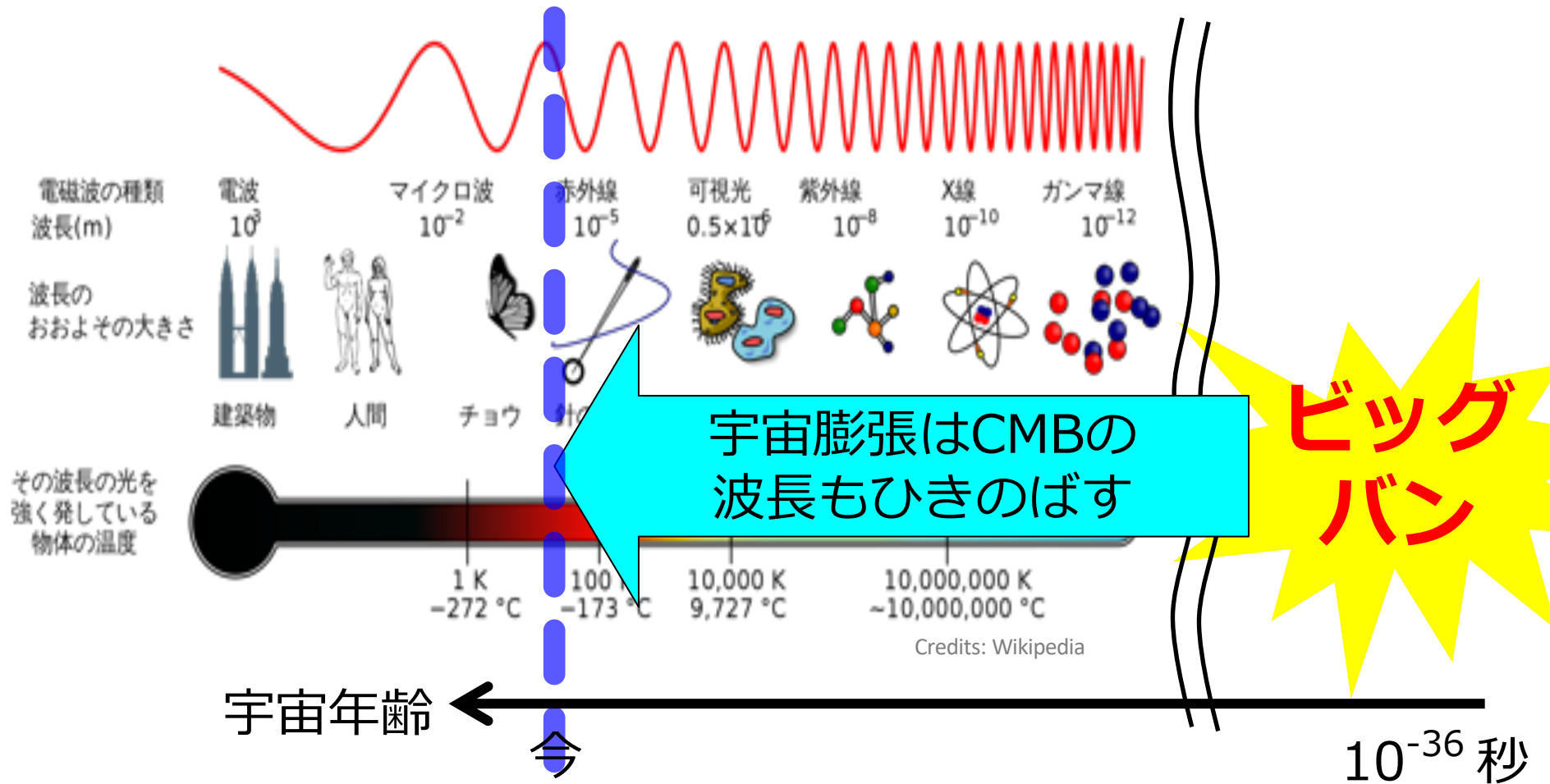


m_ν 絶対値へのアプローチ (これから)



CMB Today – まだアツチツチ??

電波 = 光 = 熱放射



超微弱の電波(ミリ波)



CMB

ESA and the Planck Collaboration

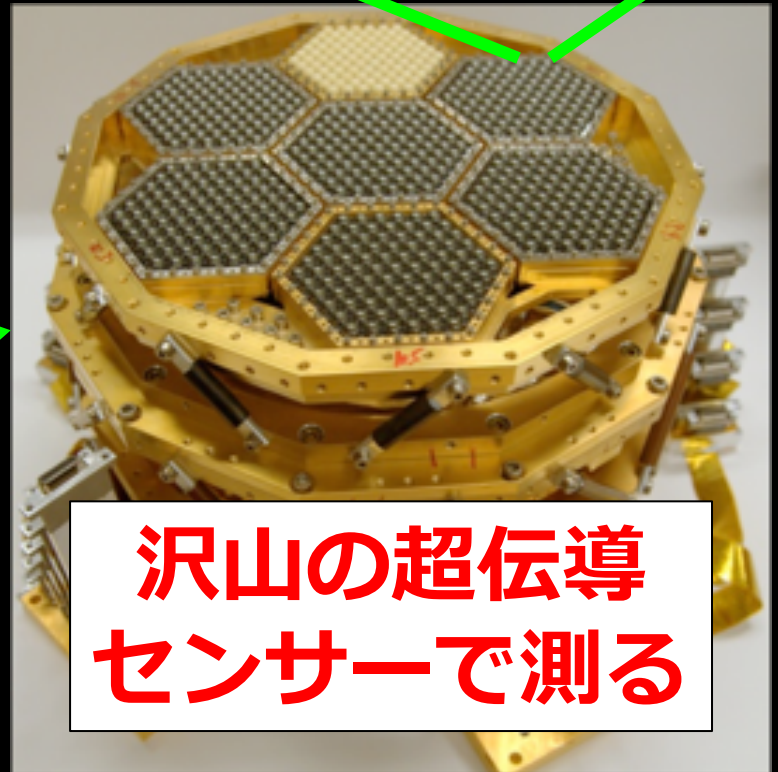
←元M2の阿部くん
チリ・アタカマ高地にて

ミリ波で星空のムコウをみると、、、

ミラー(or レンズ)で集光して

CMB

Antenna coupled
superconducting detector



**沢山の超伝導
センサーで測る**

HTT telescope for POLARBEAR experiment

観測サイト：カナリア諸島テネリフェ島 Teide Observatory, 2,400 m alt.



**Dry area above clouds
+28.3°, -16.5°**



Atacama plateau in Chile

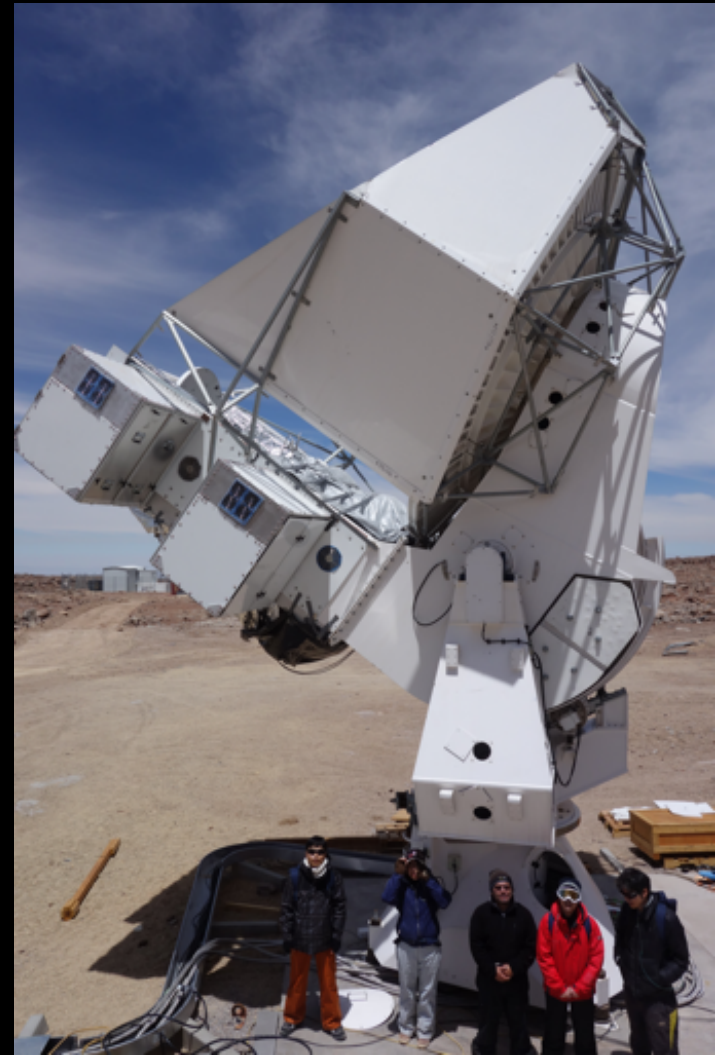
チリ・アタカマ高地（海拔5,200m）



実際に行って研究



チリ・アタカマ高地



カナリア諸島テイデ観測所



池満



小峯

安達



阿部



M. Peel
(IAC)

鈴木惇也
(京大)

K-M. Lee
(コリア大)

田島治 (京大)

本多俊介
(京大)

小栗秀悟
(理研)

末野慶徳
(京大)

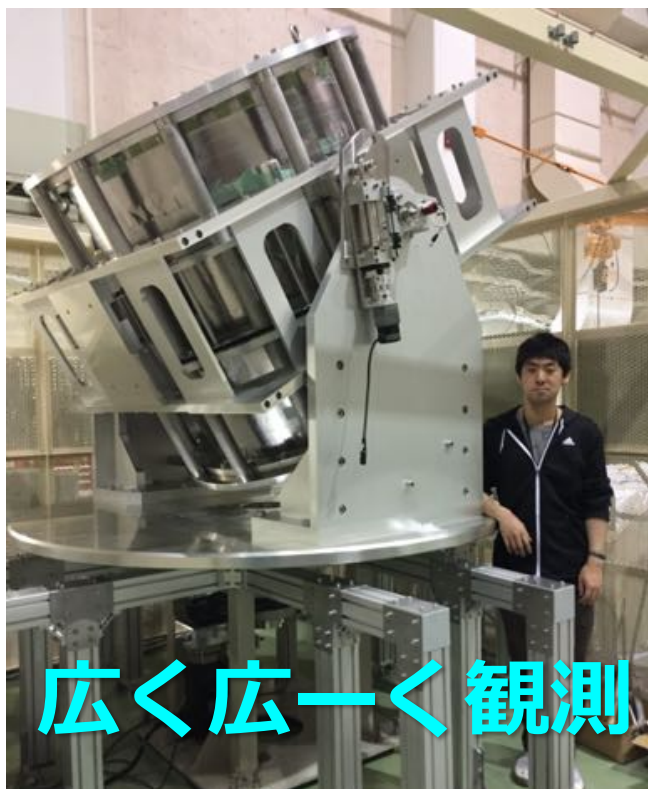
注力するプロジェクト2つ

日本独自技術！

スペイン、韓国、オランダ

GroundBIRD (GB)

2019. 9 ファーストライト達成！



国際共同で望遠鏡“群”

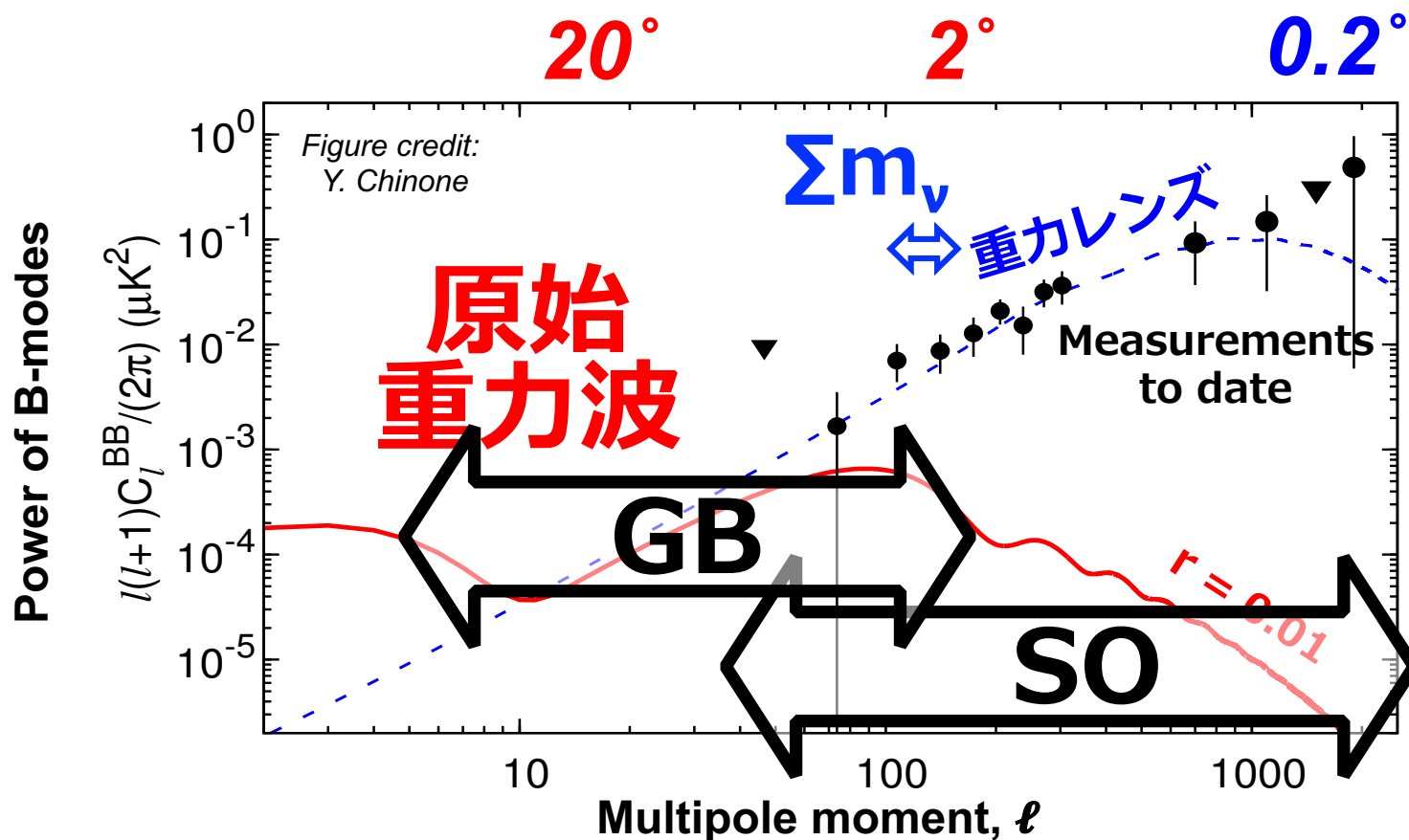
(日米欧チリ)

Simons Observatory (SO)

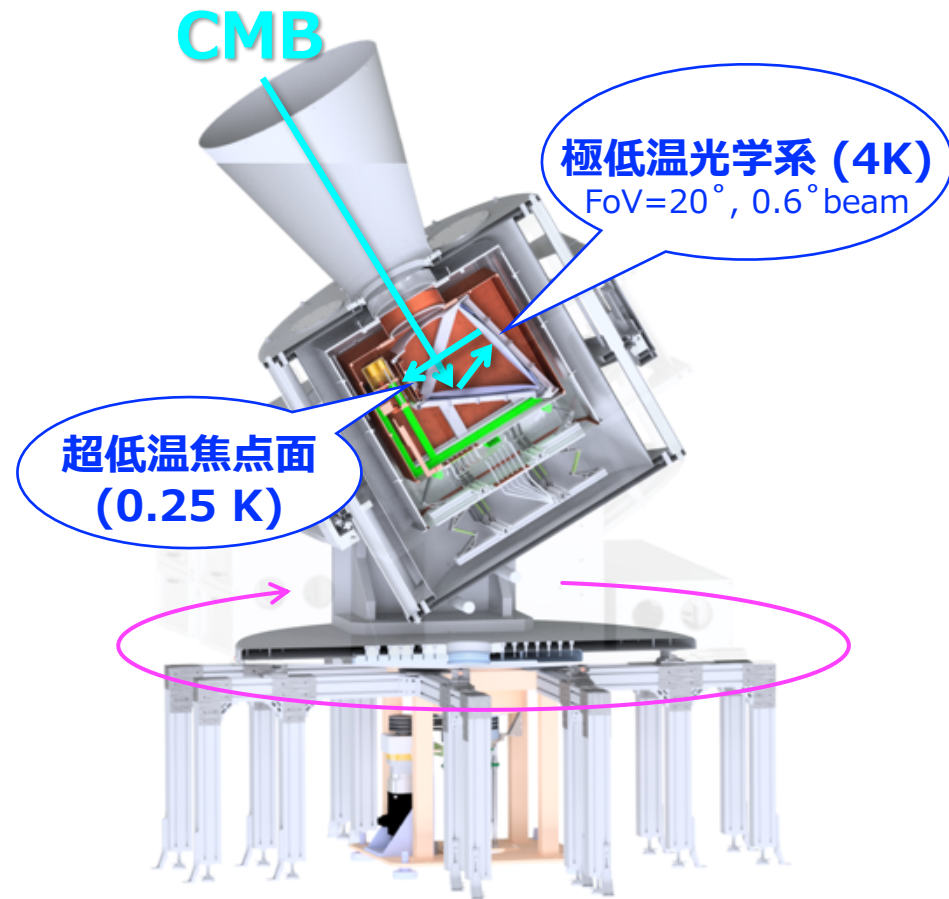
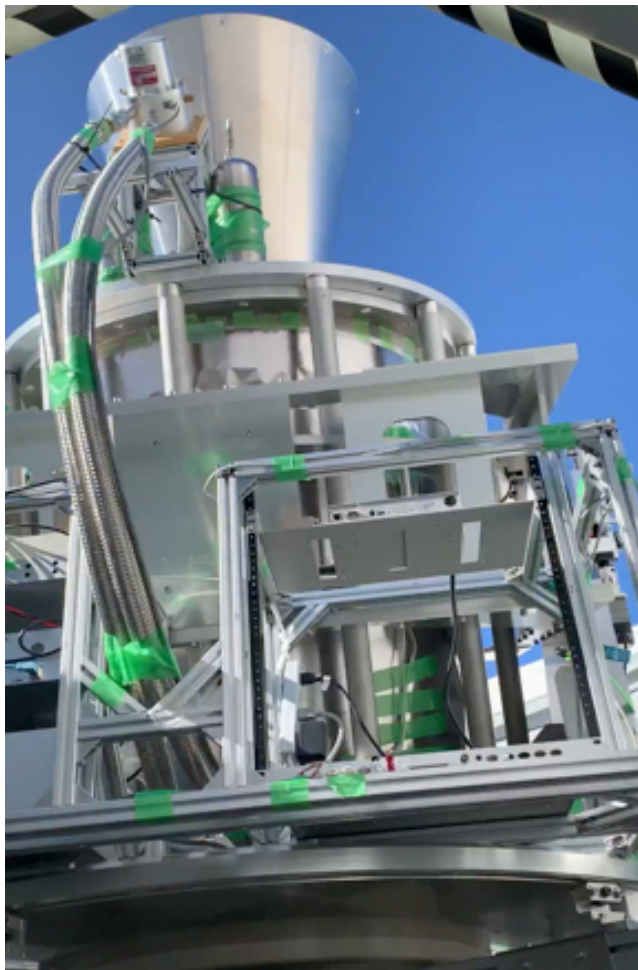
FY2021 ファーストライト予定



独自性と王道の両立で 場外ホームランとヒットを狙う



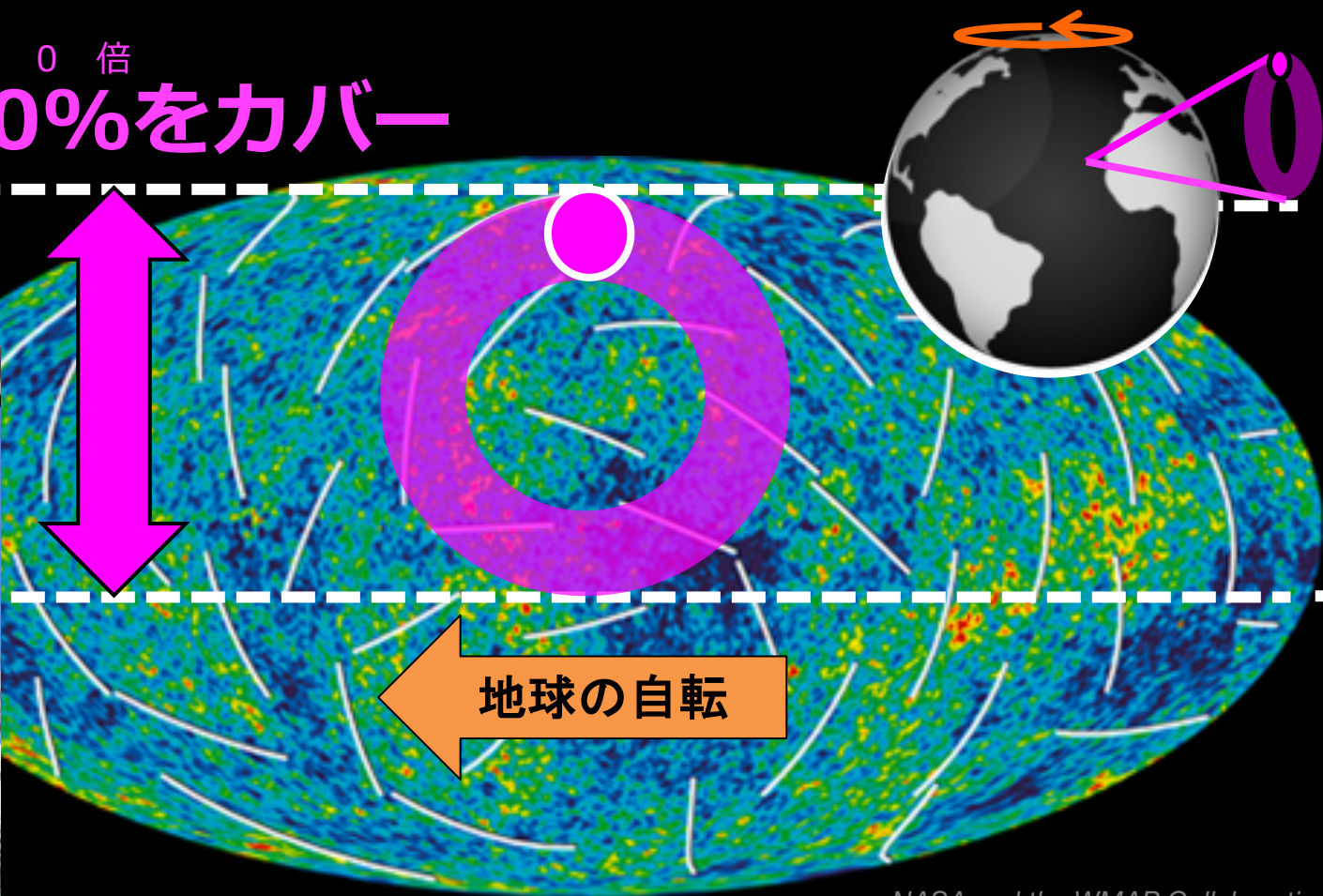
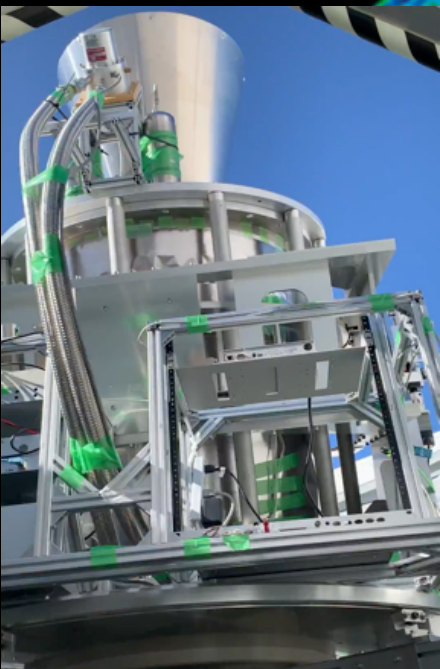
GBのウリ



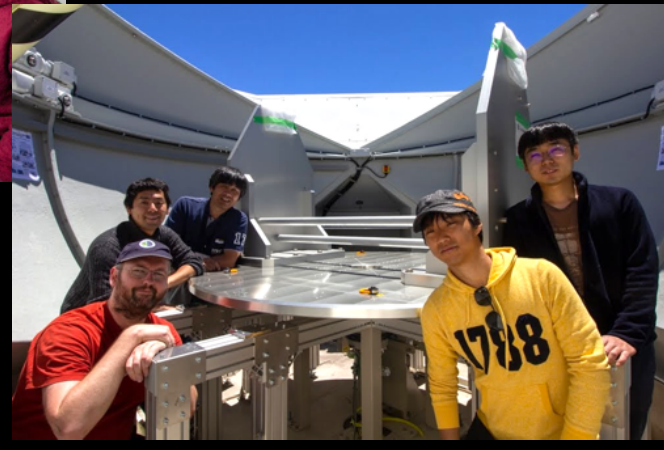
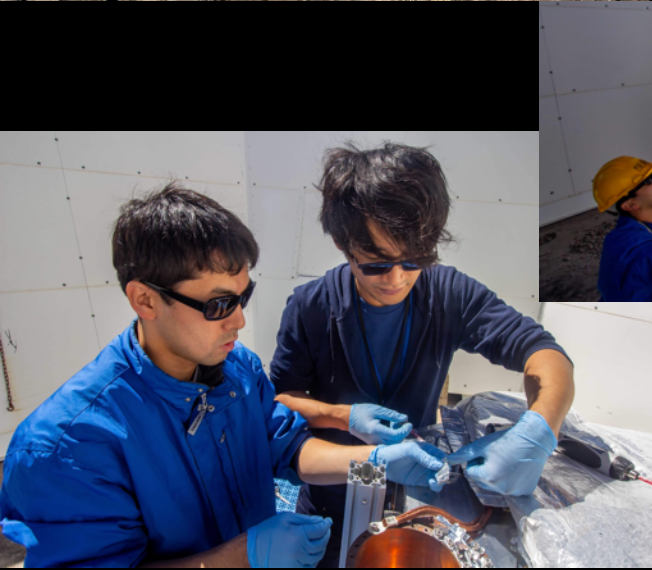
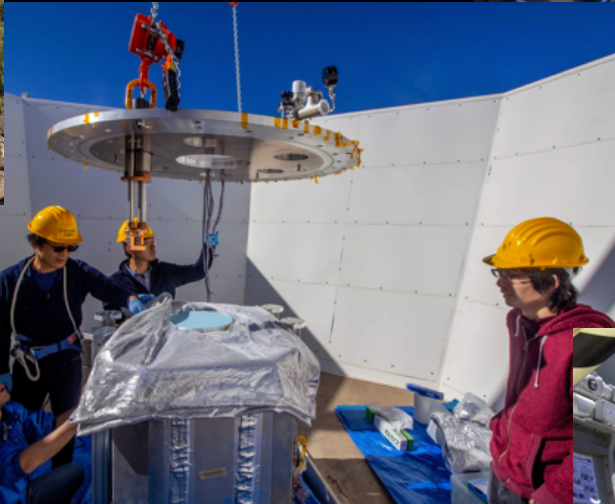
世界最速のスキャン変調！
(従来の100倍速)

広大な観測領域を 超高速回転スキャンで実現

他実験の10倍
全天の40%をカバー



研究員と大学院生が 現地で建設！（2019）



望遠鏡マウント部の移設

2019年6月




GB受信機のインストール

4 September, 2019

@ Teide Obs, Canary, Spain





M. Peel
(IAC)

K-M. Lee
(コリア大)

鈴木惇也
(京大)

田島治 (京大)

本多俊介
(京大)

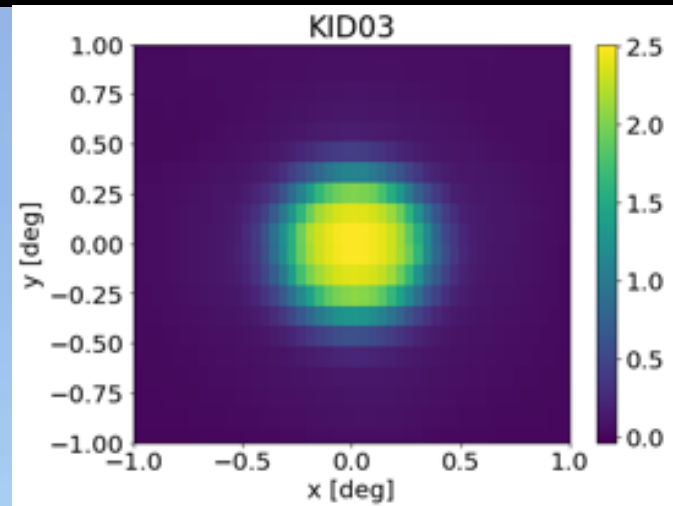
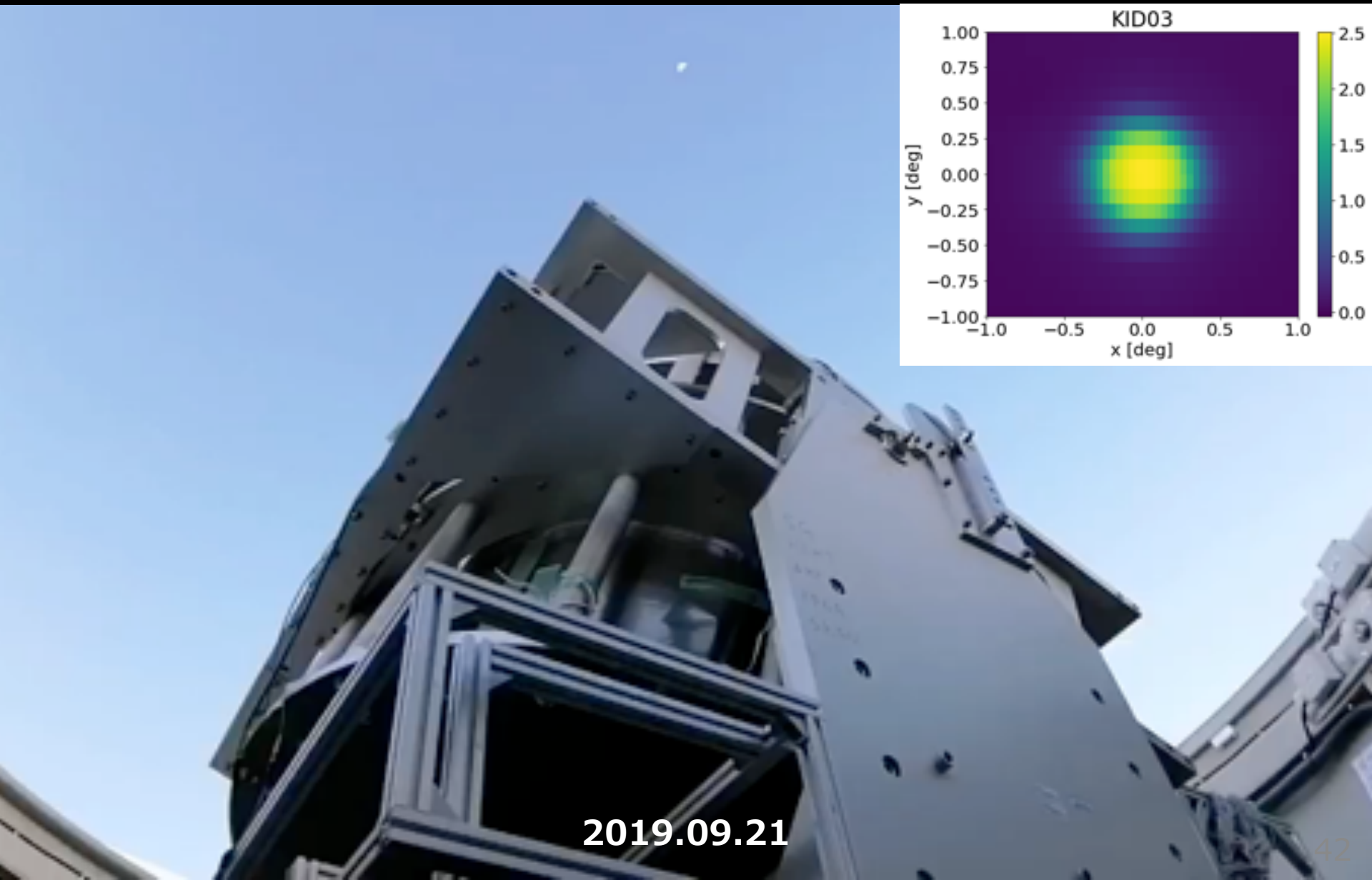
末野慶徳
(京大)

小栗秀悟
(理研)

4 September, 2019 @ Teide Obs, Canary, Spain

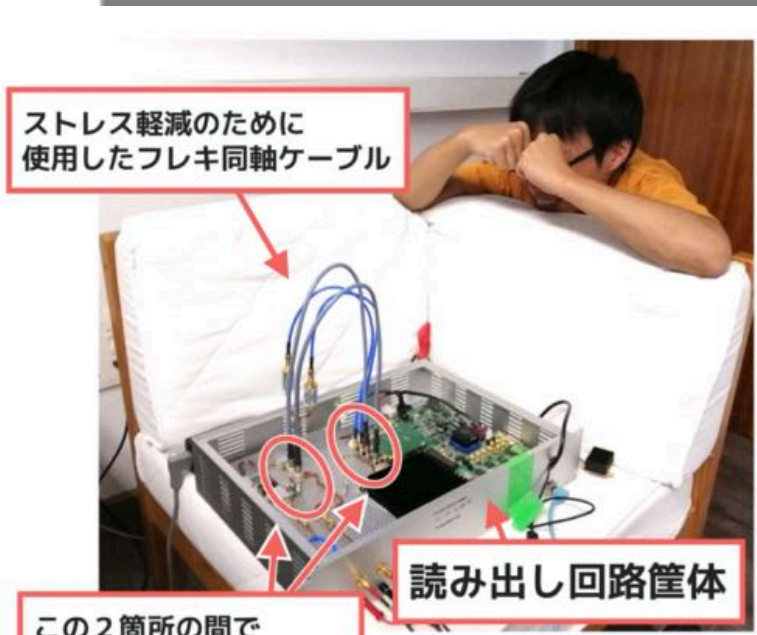
試 験 観 測 の 開 始

ファーストライトの達成！



2019.09.21

広い天域の試験観測



今後：超伝導センサーのアップグレード → 本観測

CMB望遠鏡“群” Simons Observatory (SO)

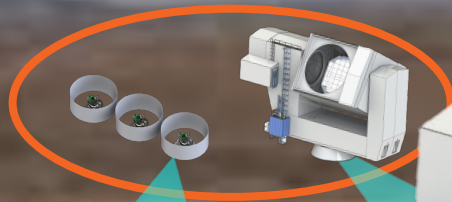


国際共同プロジェクト（～300人）

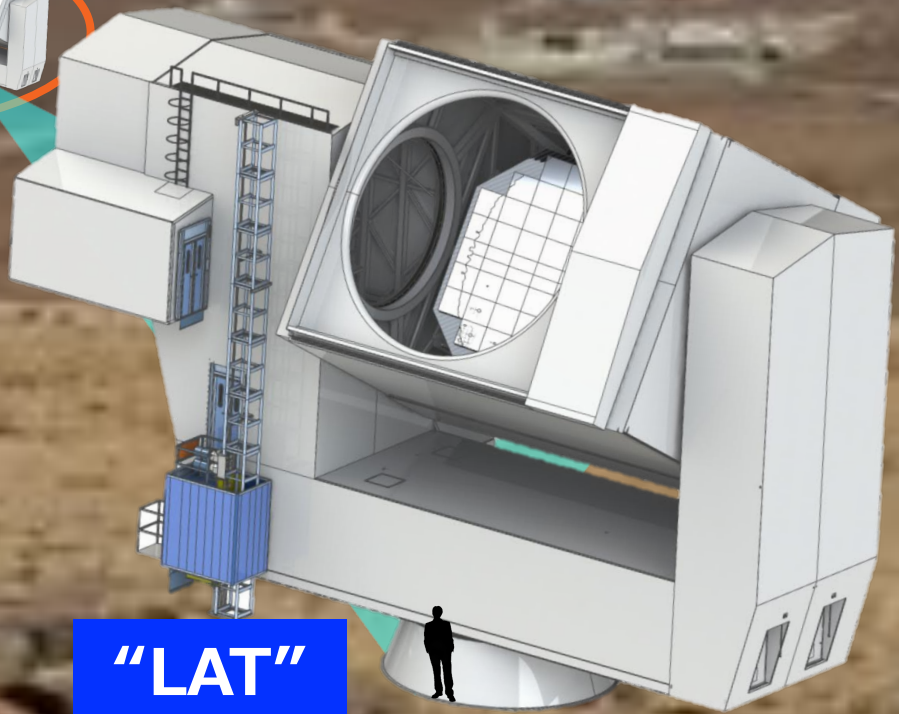
CMB望遠鏡“群”

Simons Observatory (SO)

*First Light in FY2021
Atacama, Chile (5,200m)*



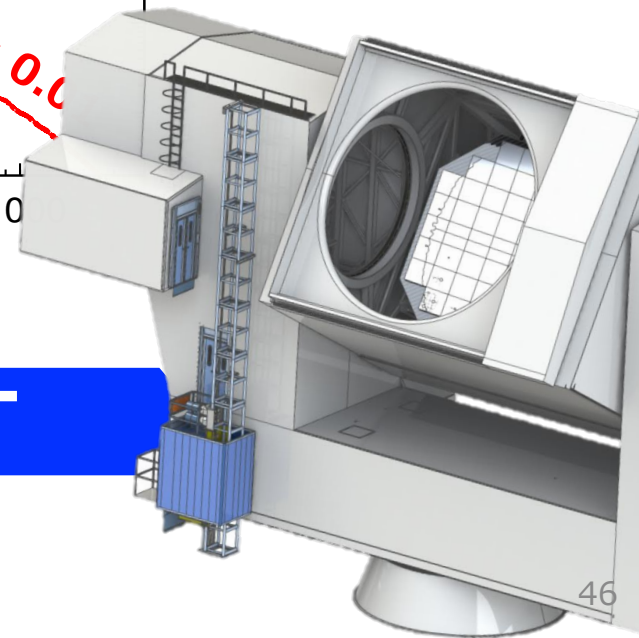
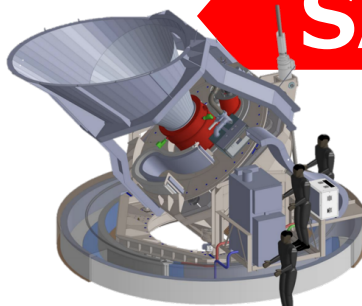
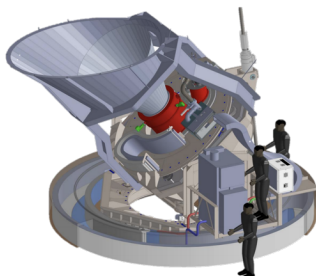
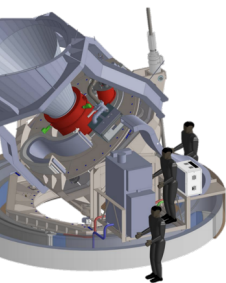
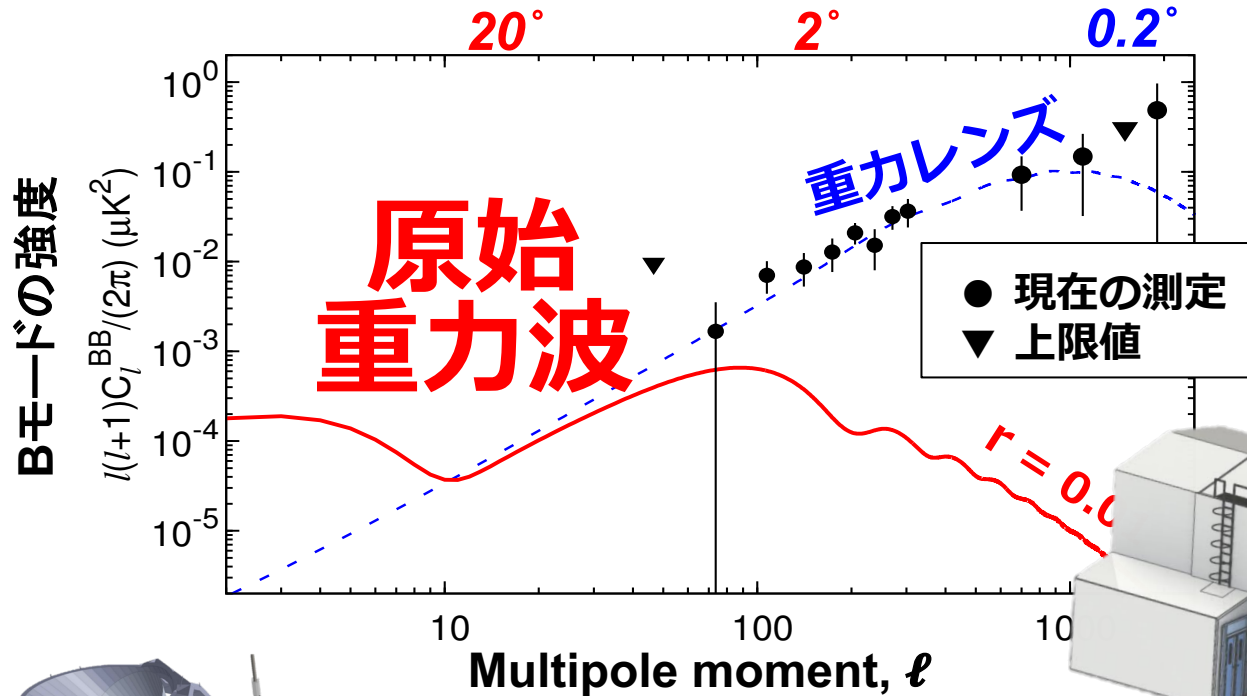
"SAT" × 3



"LAT"

望遠鏡“群”を活かす！

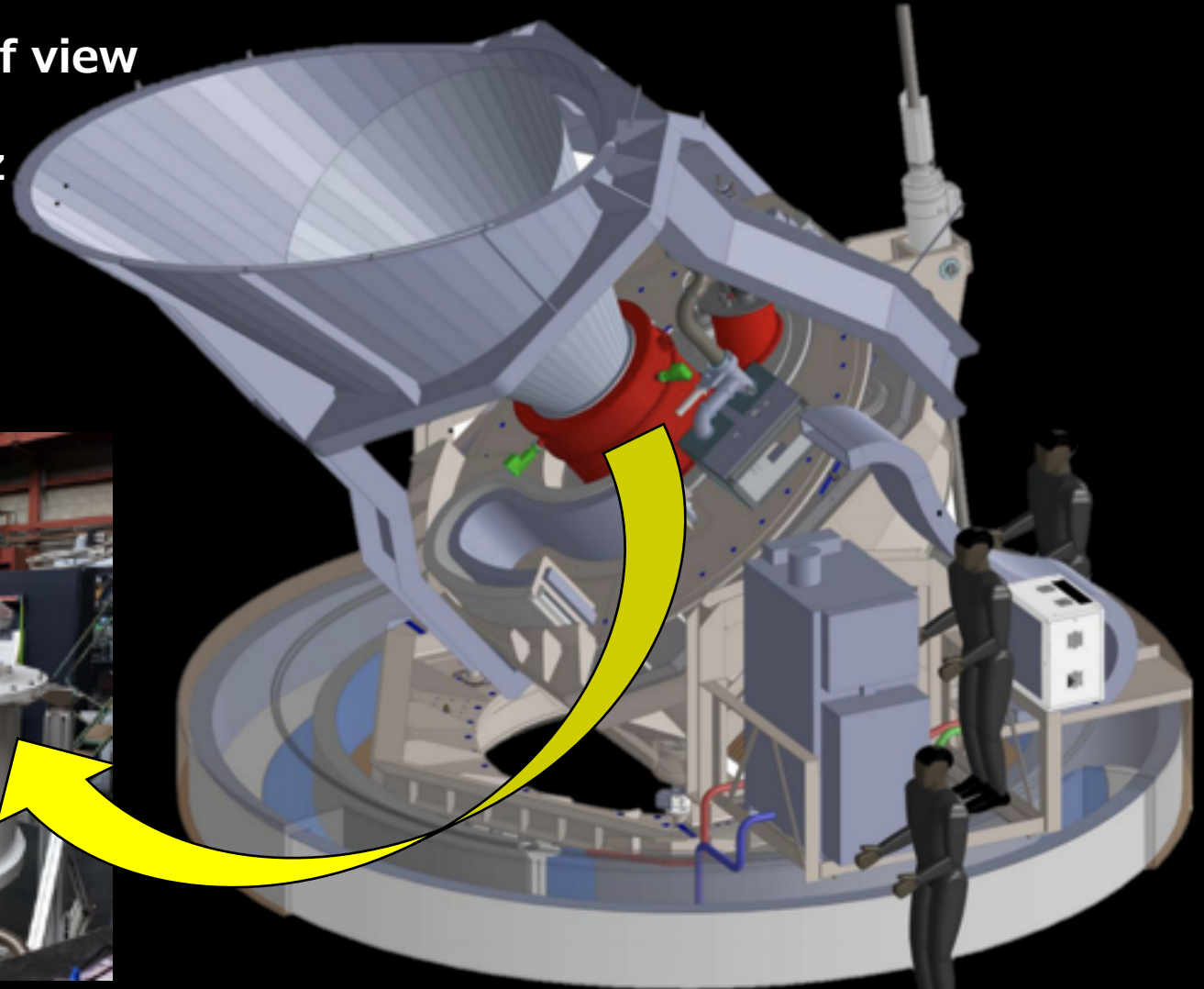
感度と角度スケール・カバレッジの両立



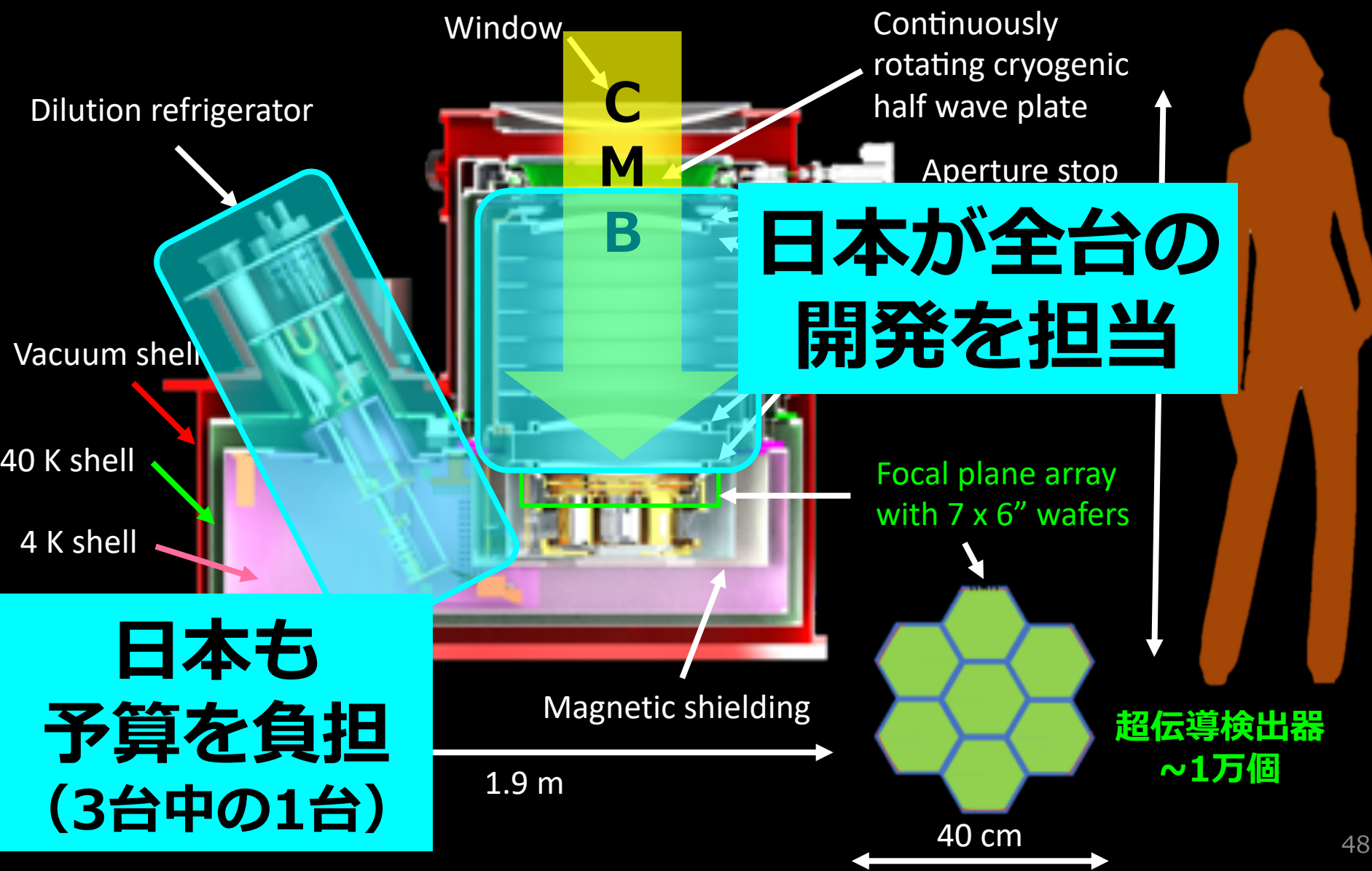
Small Aperture Telescope

3 telescopes

- 42 cm aperture
- 35 degree field of view
- 2 x 90/150 GHz
- 1 x 220/270 GHz



SAT受信機



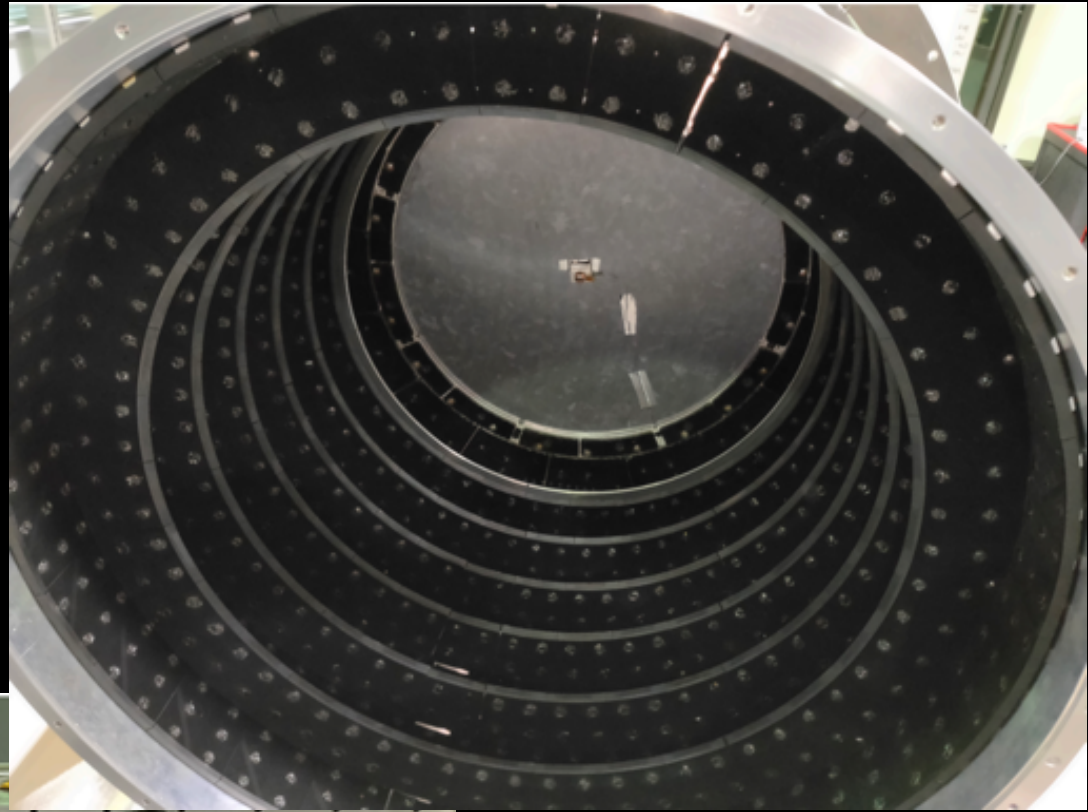
日本が全台の開発を担当

日本も
予算を負担
(3台中の1台)

超伝導検出器
~1万個

Optics Tube (OT) 開発

3Dプリンタ黒体&冷却試験：京大
OTメカ：東大（本郷）
OT冷却試験：Kavli IPMU & KEK



木内
(東大)

仲村 (IPMU)

Fred 松田
(IPMU)

安達 (京大)

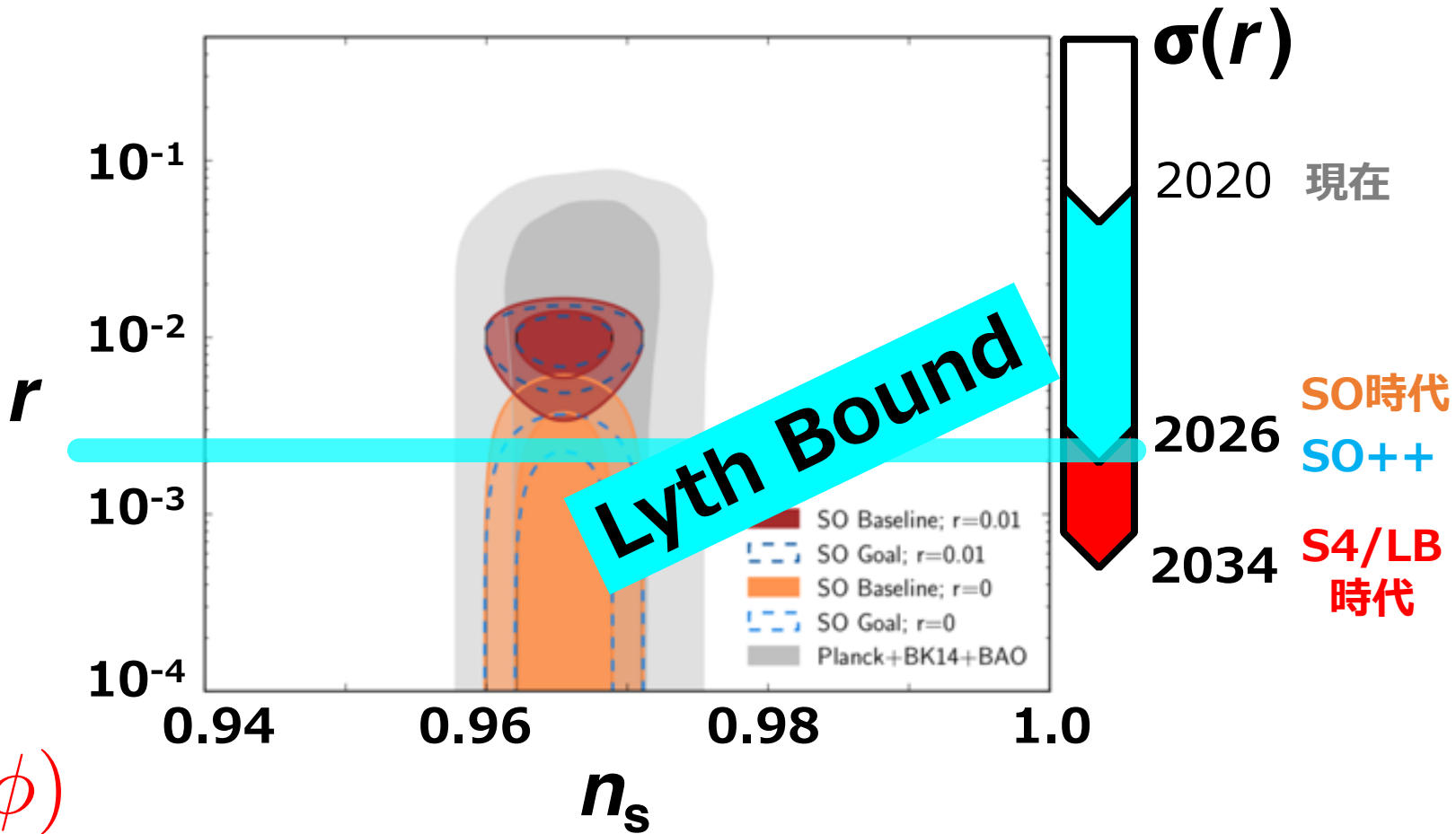
↑
黒体を貼ったOT

3Dプリンタ黒体の論文
S. Adachi et al., Rev. Sci. Instru.,
(2019).

← IPMUのcryostatを
使ってOTの冷却試験

原始重力波とインフレーション

原始重力波の強度

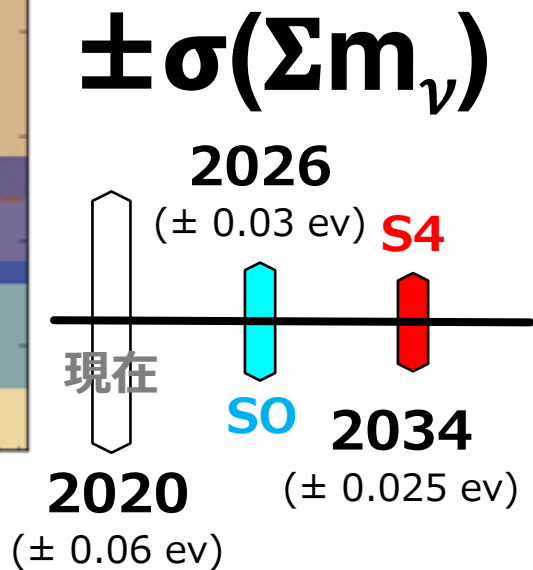
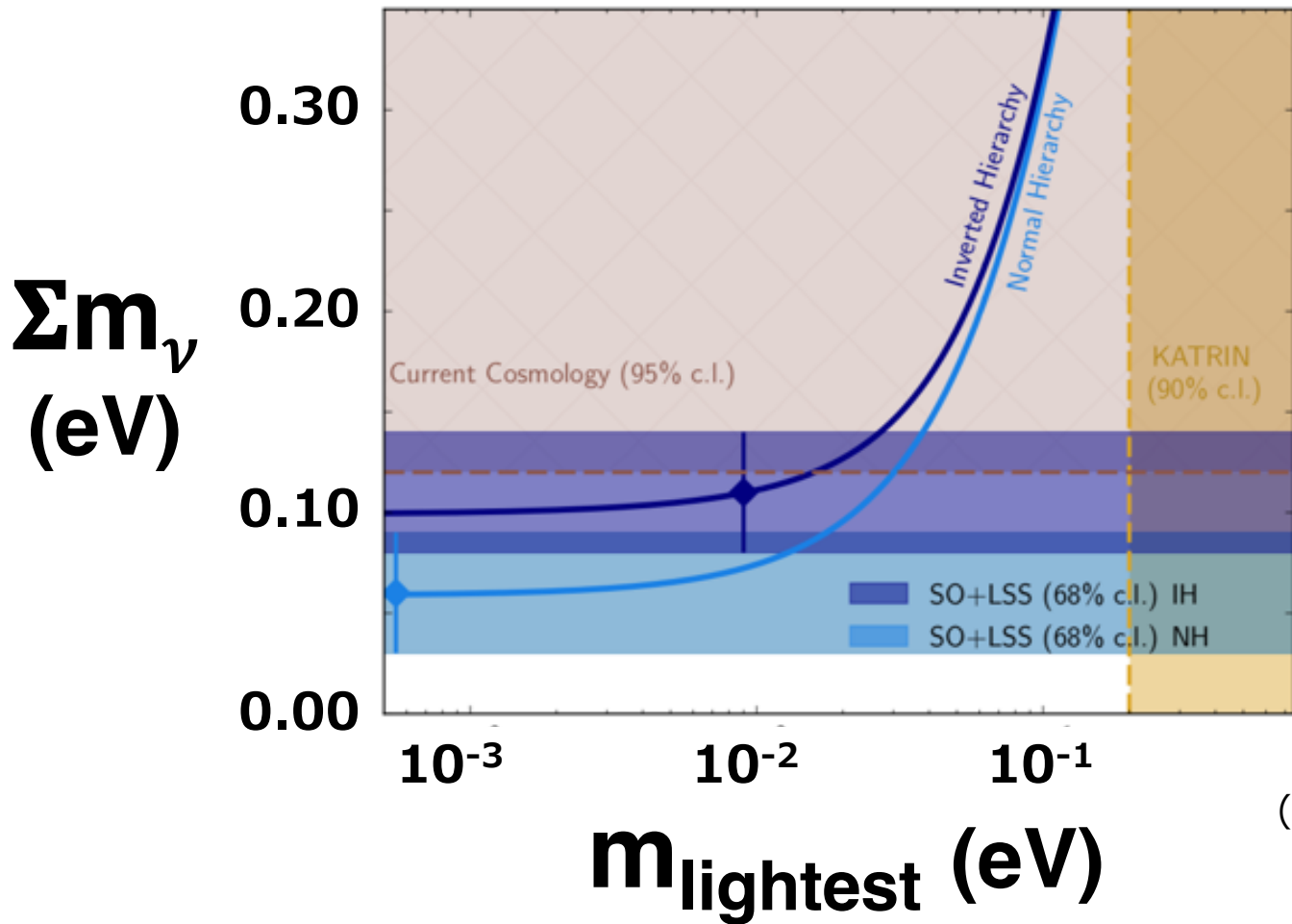


$V_{\text{inf.}}(\phi)$

GUT-scale

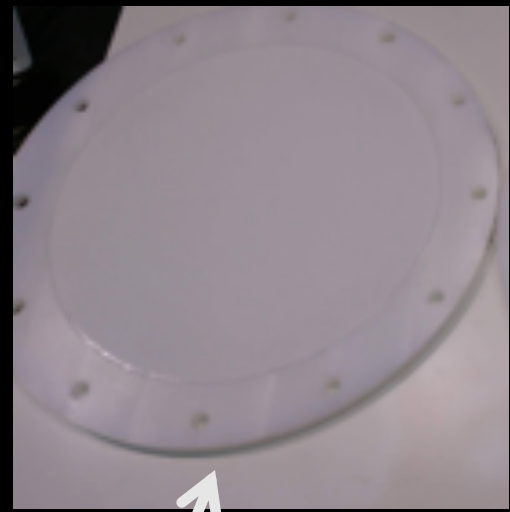
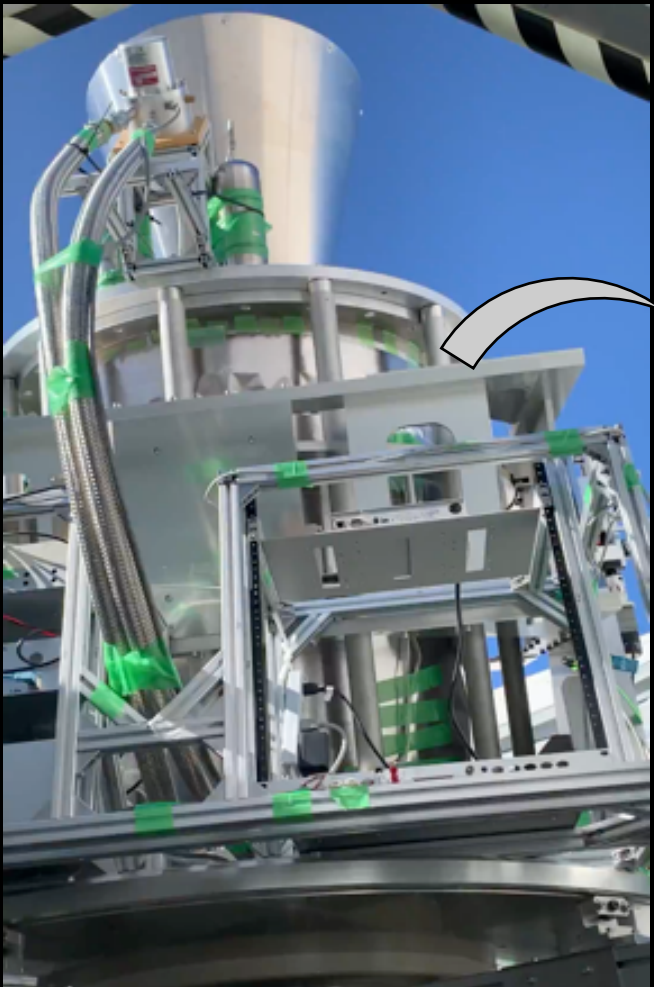
インフレーションをゆっくり停止する
 “ブレーキの弱さ”みたいな量
 ($n_s=1 \Leftrightarrow$ 停止できないインフレーション)

ニュートリノ質量の絶対値

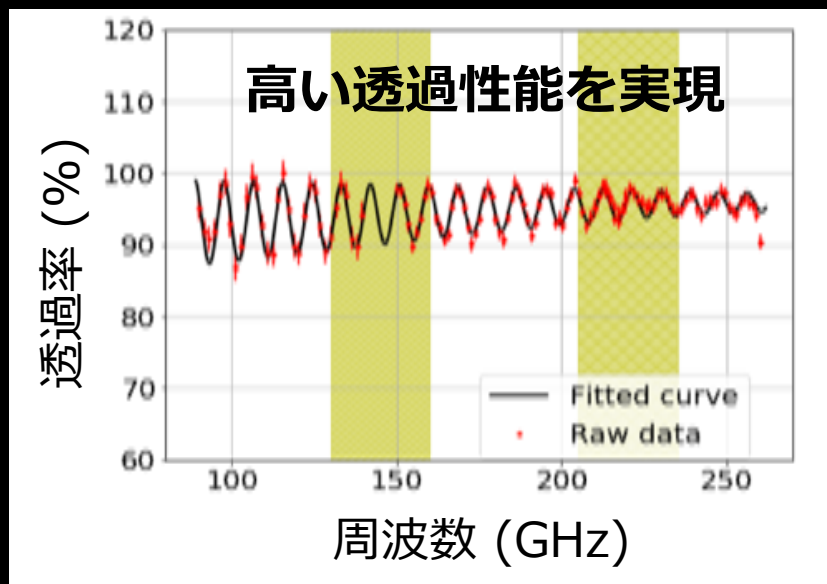
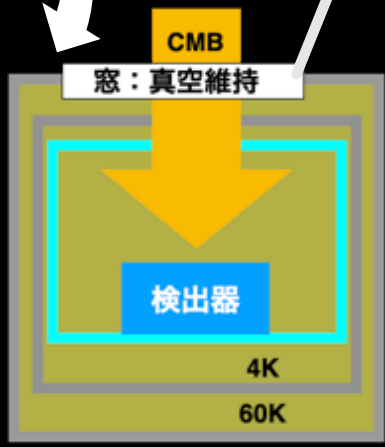


Σm_ν の下限 0.06 eV

これまでの修論：受信機マド



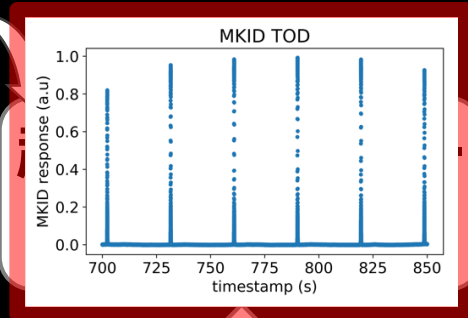
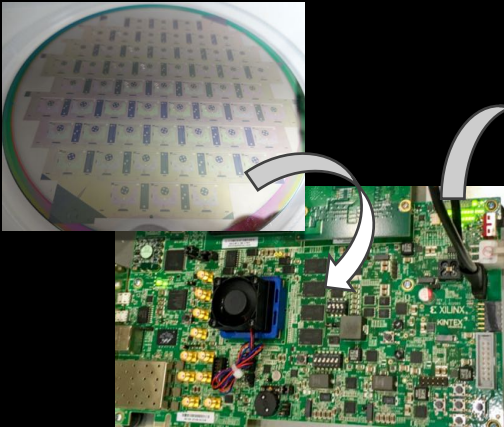
小峯くん
FY2018



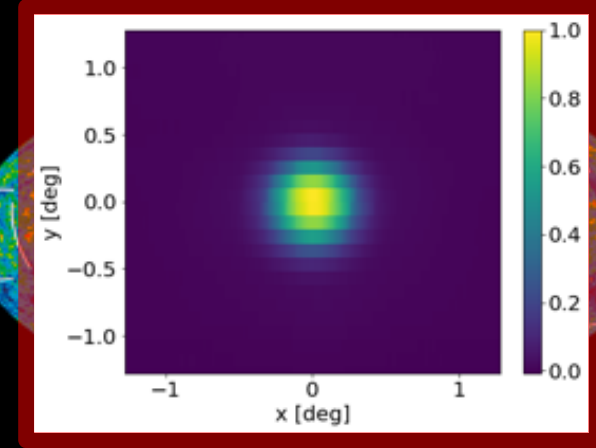
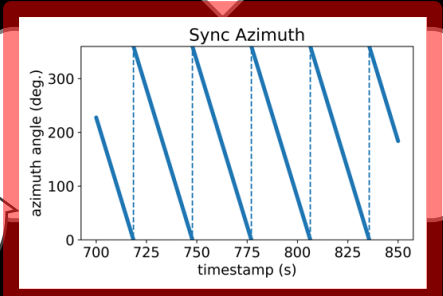
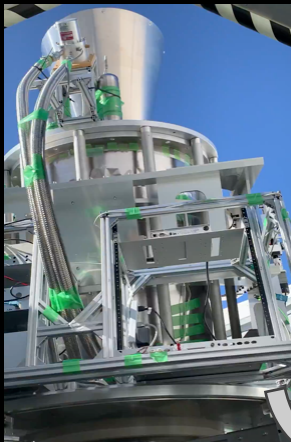
これまでの修論

祝 優秀修士
論文賞

富士通の
池満さん
FY2019



時刻同期



視線方向に対する
信号強度の分布図

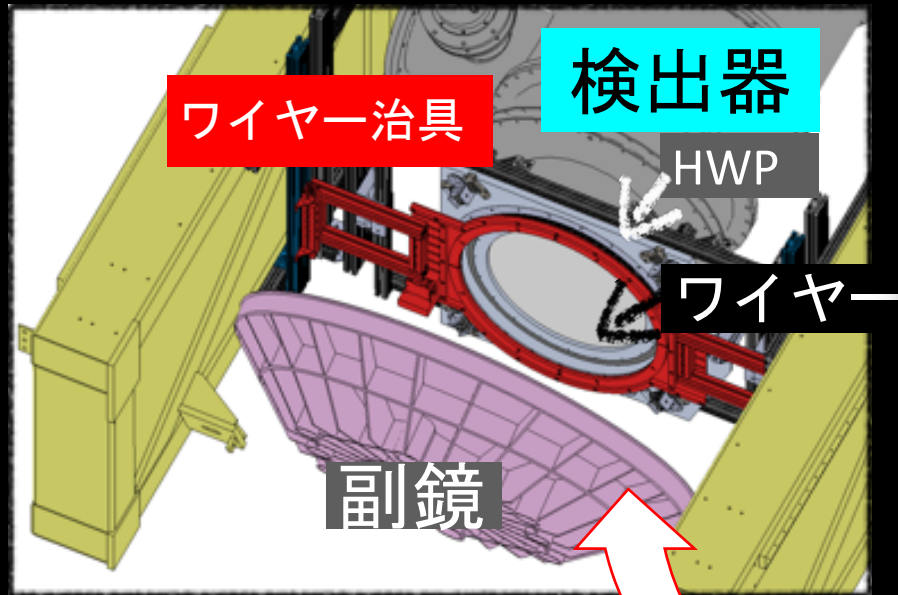
望遠鏡とデータ取得システムの同期

これまでの修論

阿部くん
FY2019



望遠鏡の較正



これまでの修論

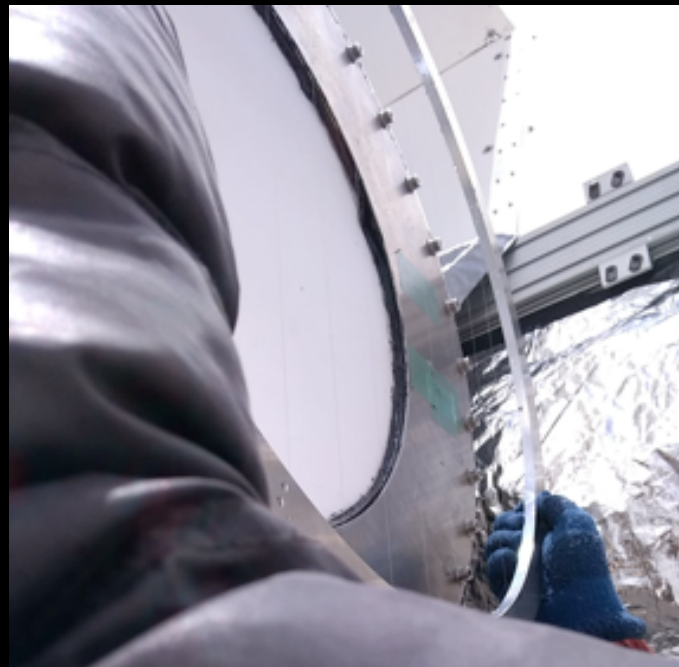
阿部くん
FY2019



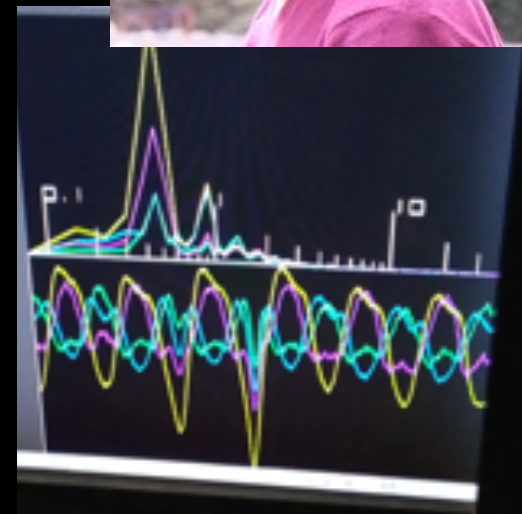
望遠鏡の較正



望遠鏡の準備
がまだ万全で
なかったため

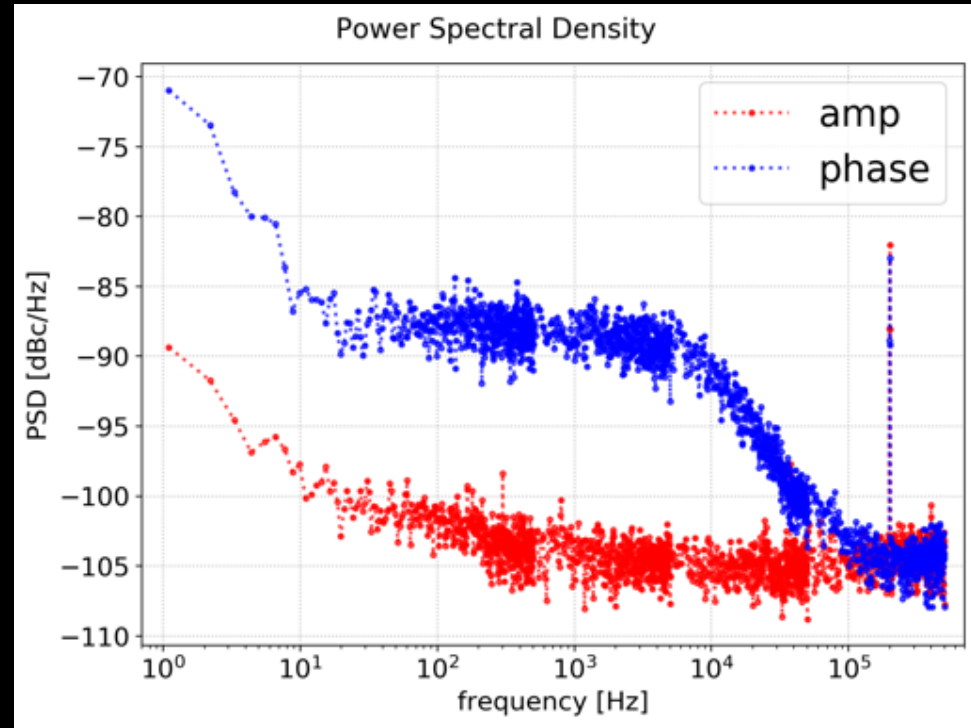
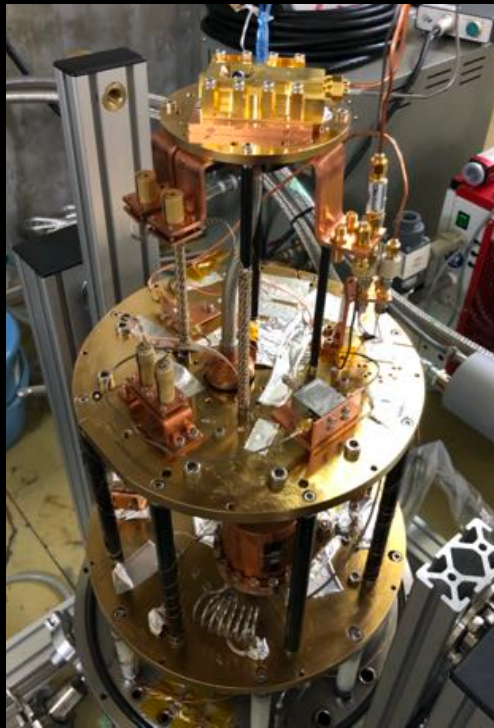


仕方ないから
手で回して…



検出器出力
の時間変化
をみた

修論予定 (末野) MKID開発研究



超伝導センサーを

0.3 Kに冷却して

超低ノイズ環境でセンサー特性の評価



センサーのアップグレード
観測データ解析へフィードバック

超伝導センサーの性能を引き出す！

修論予定 (大塚) 3Dプリンタ黒体



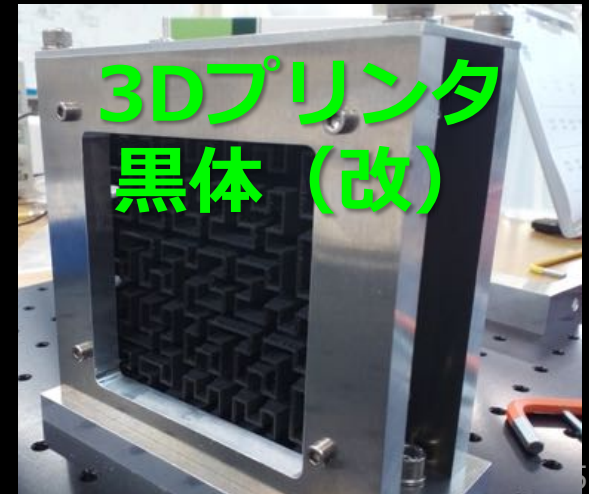
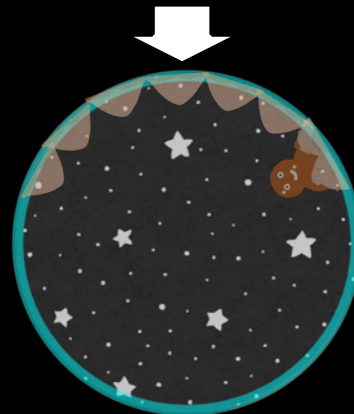
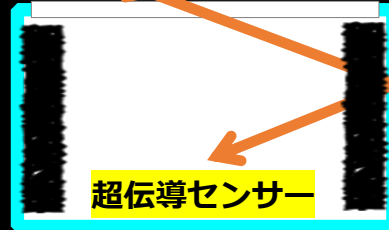
大塚くんの写真がないので、安達くんの写真



ゴースト放射
(地面熱放射など)

受信機

内壁を極低温に冷却 (~1K)



参考

- 毎週水曜14:00 KUCMBミーティング&ゼミ
- 高エネルギーニュース
<http://www.jahep.org/hepnews/2019/19-4-1-groundbird.pdf>
- そのうちココに市民講座での講演ビデオが公開される
<https://ocw.kyoto-u.ac.jp/ja/opencourse/306/video>
- 時間があれば、安達くんが“DOSUE-RR”の勧誘をしたいらしい
- 10年前の第1回優秀修士論文賞の受賞者は木河くん
<http://rd.kek.jp/ronbun/award2011.html>