



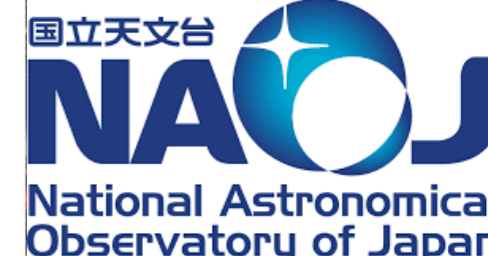
公立諏訪東京理科大学
Suwa University of Science



佐賀大学
SAGA UNIVERSITY



Ochanomizu
University



宇宙創生の物理法則はなにか？

理論・観測・実験の融合による
スケールを超えた挑戦

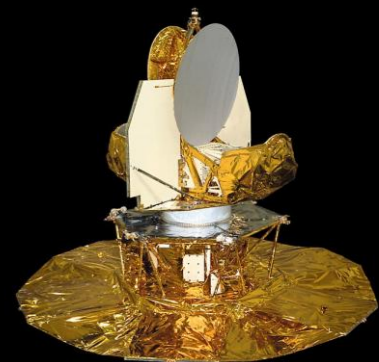
領域代表：村山齊
(東大カブリIPMU、Berkeley)

今も見えるビッグバン

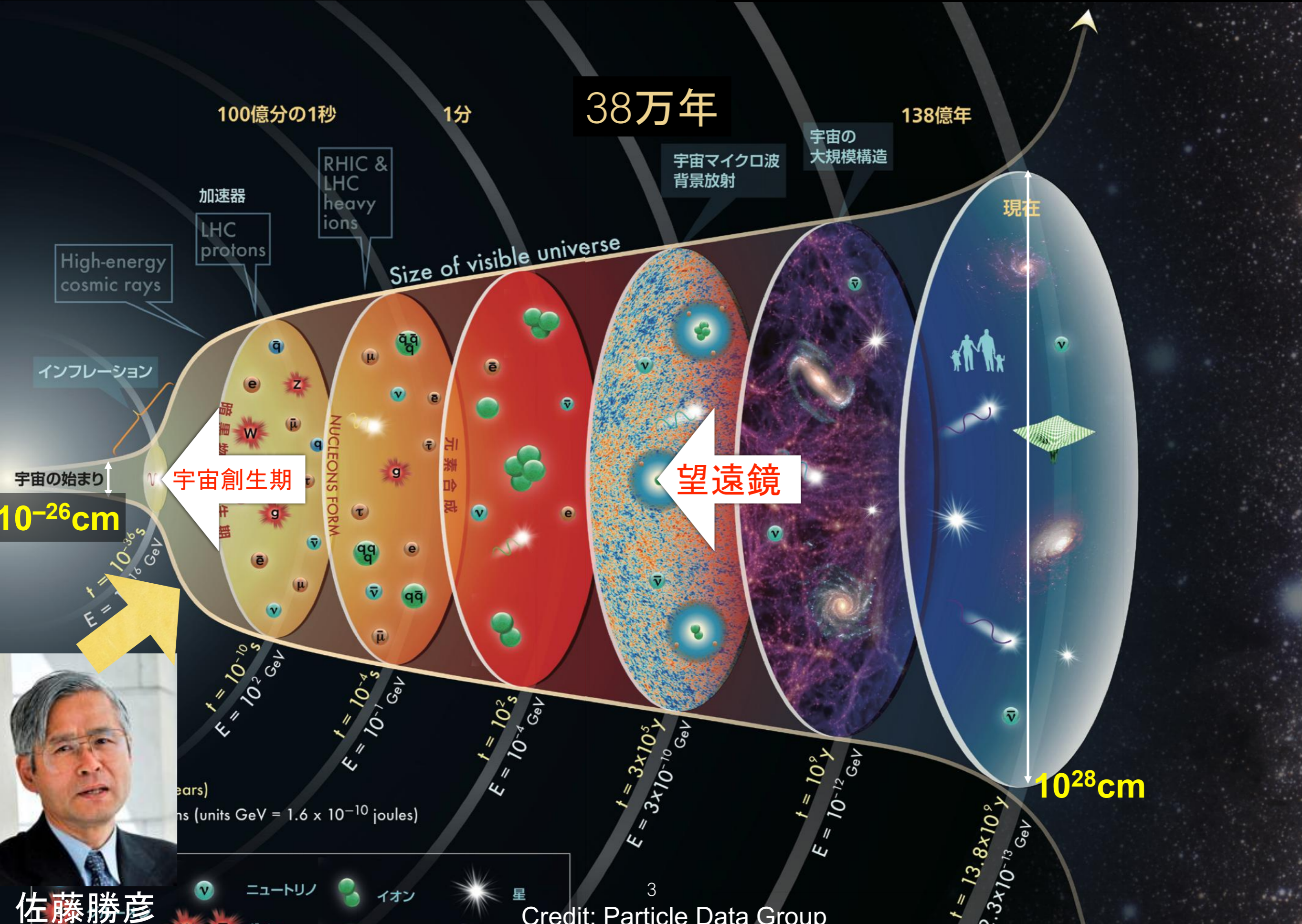
138億光年向こう

10万分の1のむら
ほとんどのっぺらぼう！

CMB: 宇宙マイクロ波背景放射



提案のポイント：宇宙に始まりはあったが、仕組みがわからない

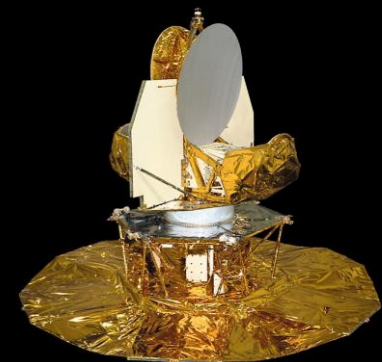


佐藤勝彦

どちらを向いても同じ密度

138億光年向こう

10万分の1のむら
ほとんどのっぺらぼう！



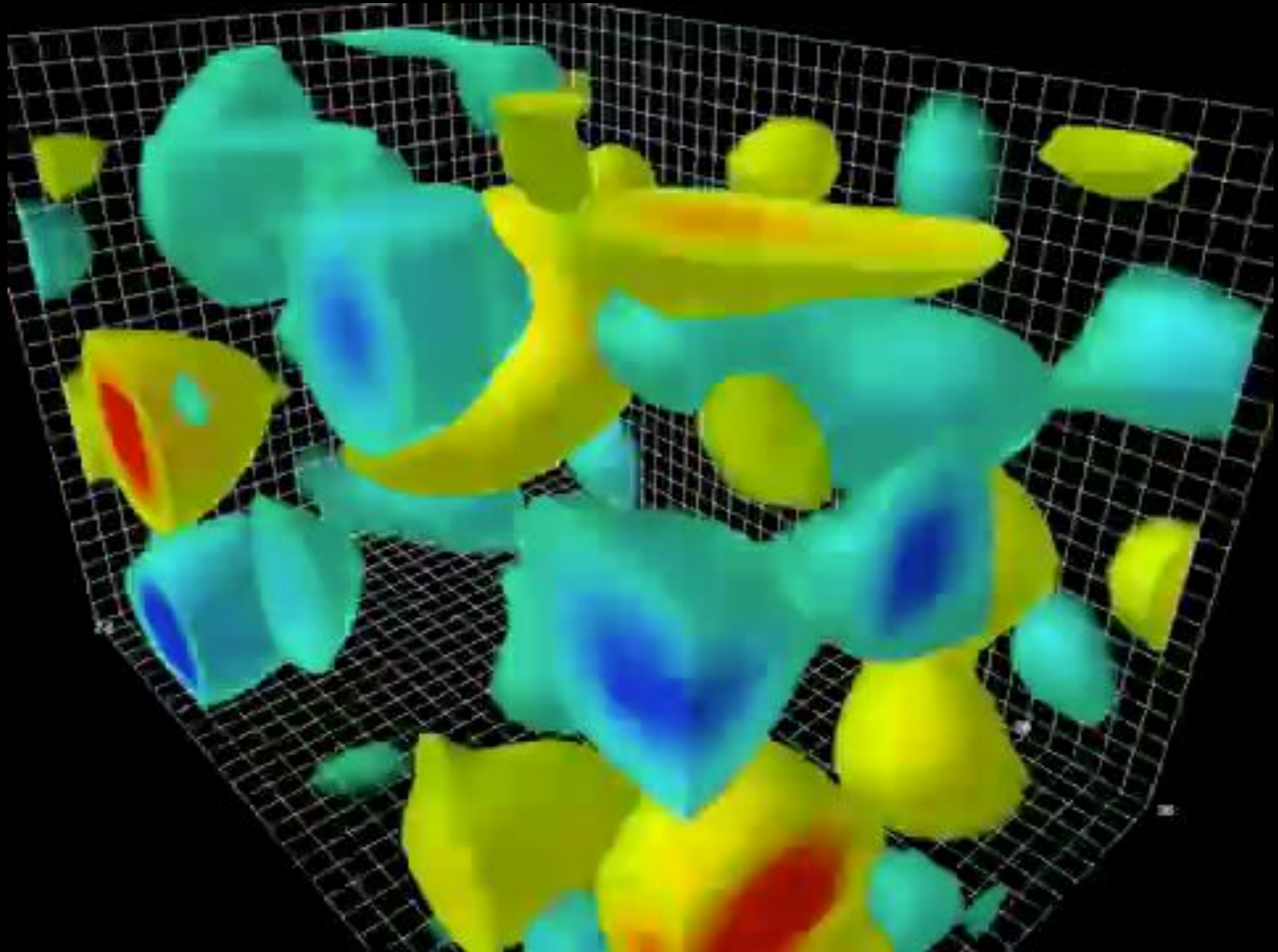
CMB: 宇宙マイクロ波背景放射

10⁻³⁵秒間

インフレーション

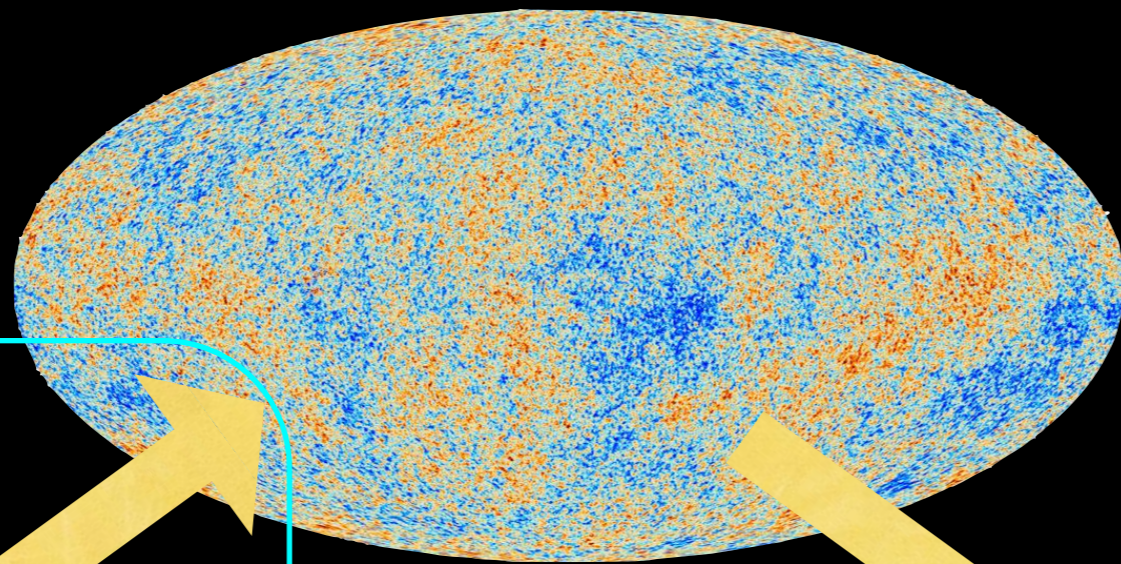


マイクロな宇宙の量子ゆらぎ

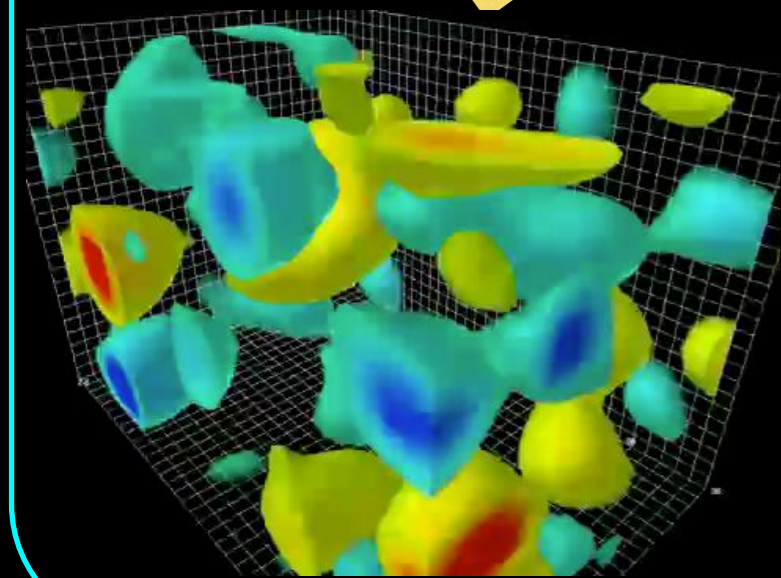
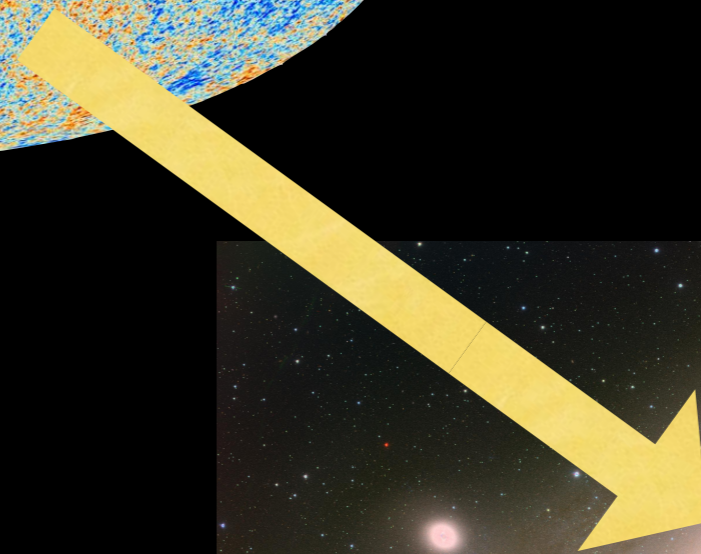


宇宙の構造形成理論

(2019ノーベル物理学賞)



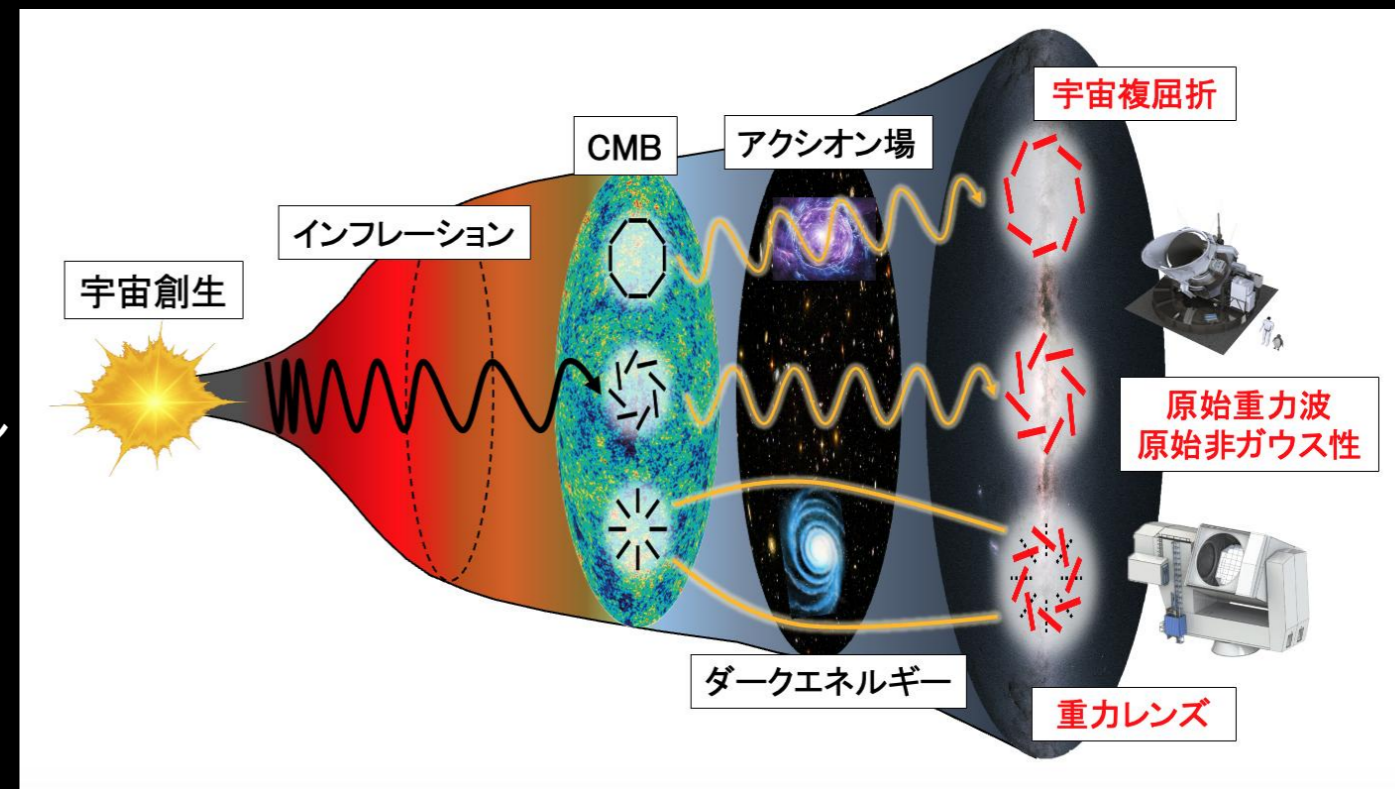
ここが証明
されていない!



目指す成果

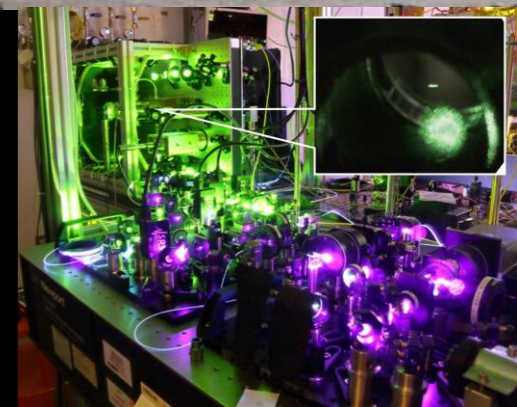
宇宙は本当にインフレーションで創生されたのか

- 直接証拠を**原始重力波**で掴む
- その時に生成された波**アクシオン場**を検出する
- 量子揺らぎの**非ガウス性**でインフレーションを起こした場が一つか、複数かを明らかにする
- 現在の**ダークエネルギー**の振る舞いからインフレーションがどうやって終わったのかを調べる
- インフレーションを**擬似的に実験室で再現**
- その後**物理基礎定数が変化**したかどうか検証
- 他の宇宙創生期の信号（高周波重力波）の**検出技術**を開発





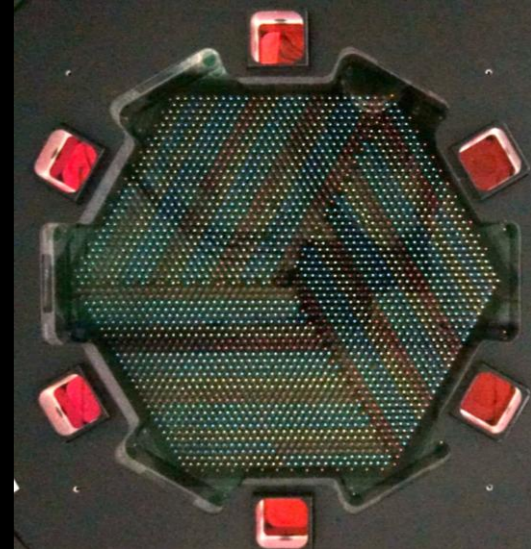
戦略



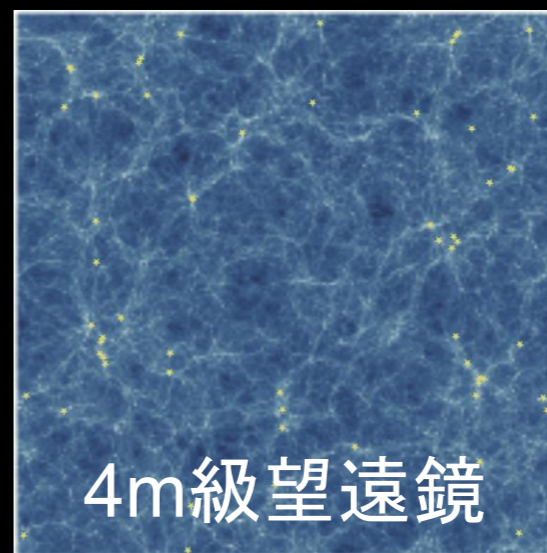
- 既存の施設と人を最大活用
- 世界競争力のある新しい設備は >100億円規模
- 日本の素晴らしい既存設備でサイエンスを最大化する効率的な投資
 - B01 : すばる望遠鏡 (国立天文台) 銀河進化⇒ダークエネルギー
 - B02 : Simons Observatory (KEK, 東大などを含む国際共同研究) 原始重力波⇒アキシオン
 - C01 : 原子時計 (産総研) 標準時⇒基礎定数の時間変化
 - C02 : KAGRA (東大) ブラックホールの合体⇒アキシオン
- 従来無縁だったコミュニティを繋げて新しい分野を
 - 量子技術・計測、物性物理、AI、機械学習＋素粒子物理・天文



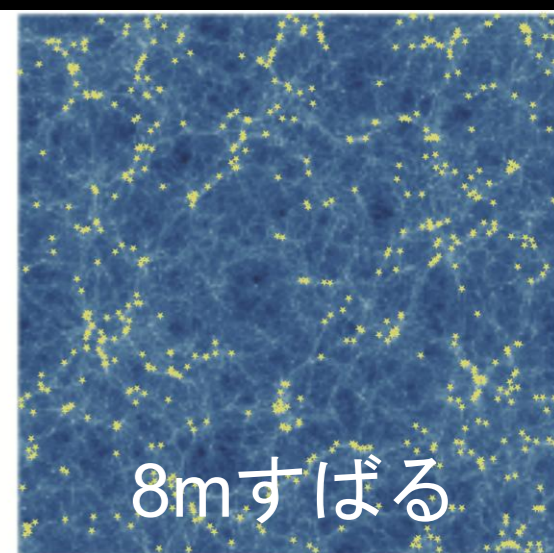
B01: すばるPFSを用いた 宇宙創生の物理および ダークエネルギーの時間変化の探求



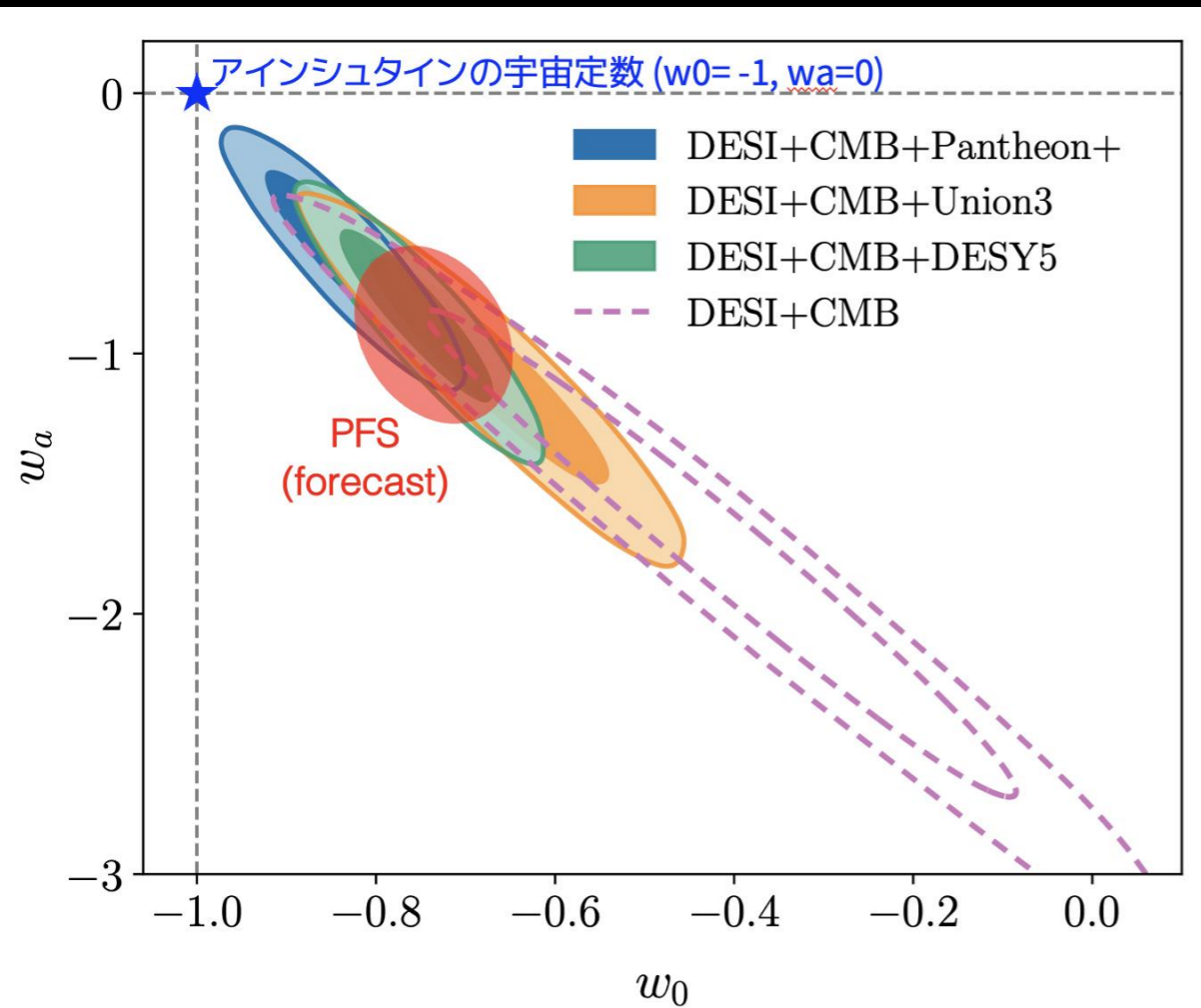
- 完成したばかりの新しい観測装置(150億円)
- 最大限活用するために、近赤外の大気の発光線を差し引く高精度(0.5%)解析パイプライン



4m級望遠鏡



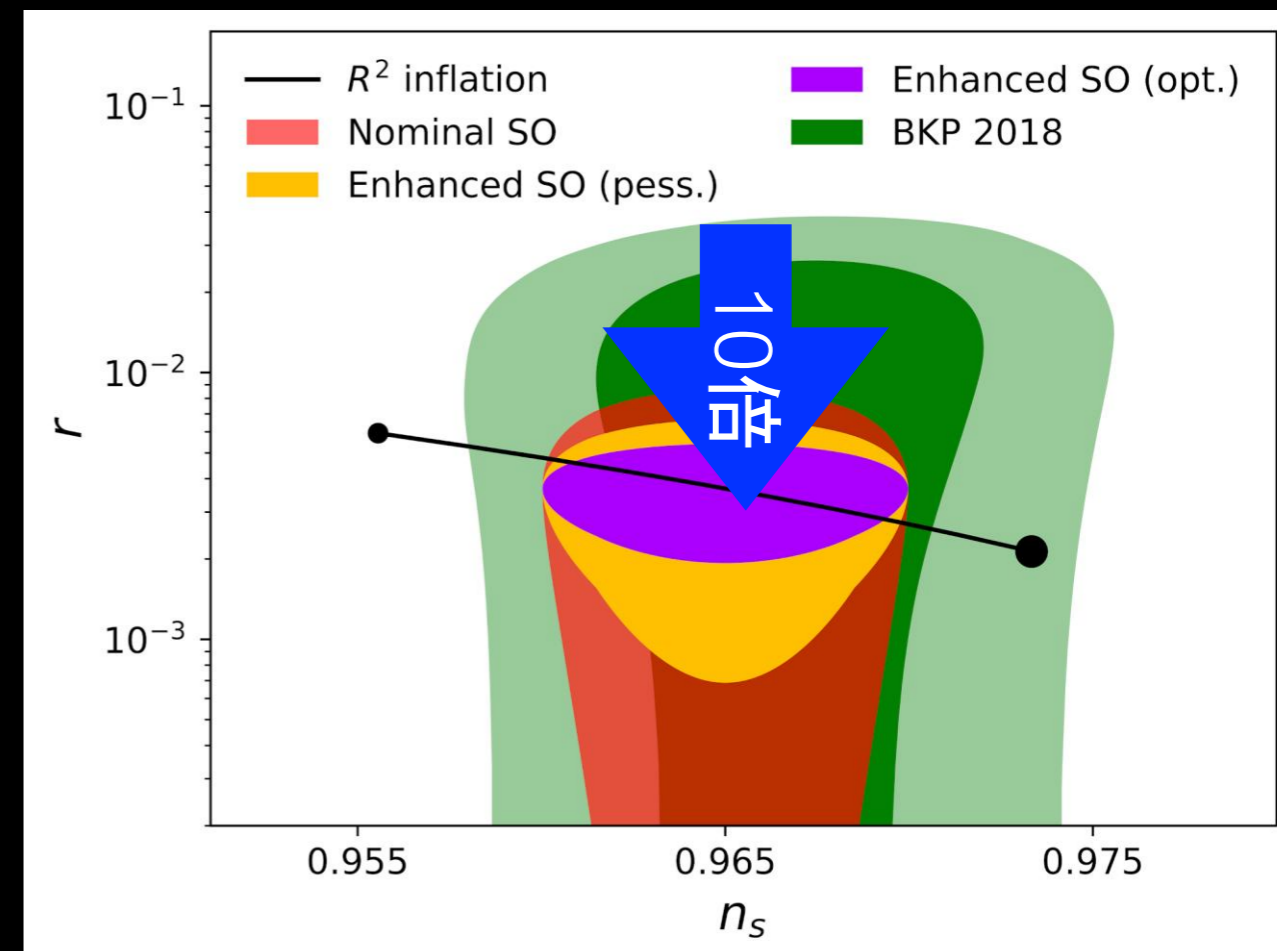
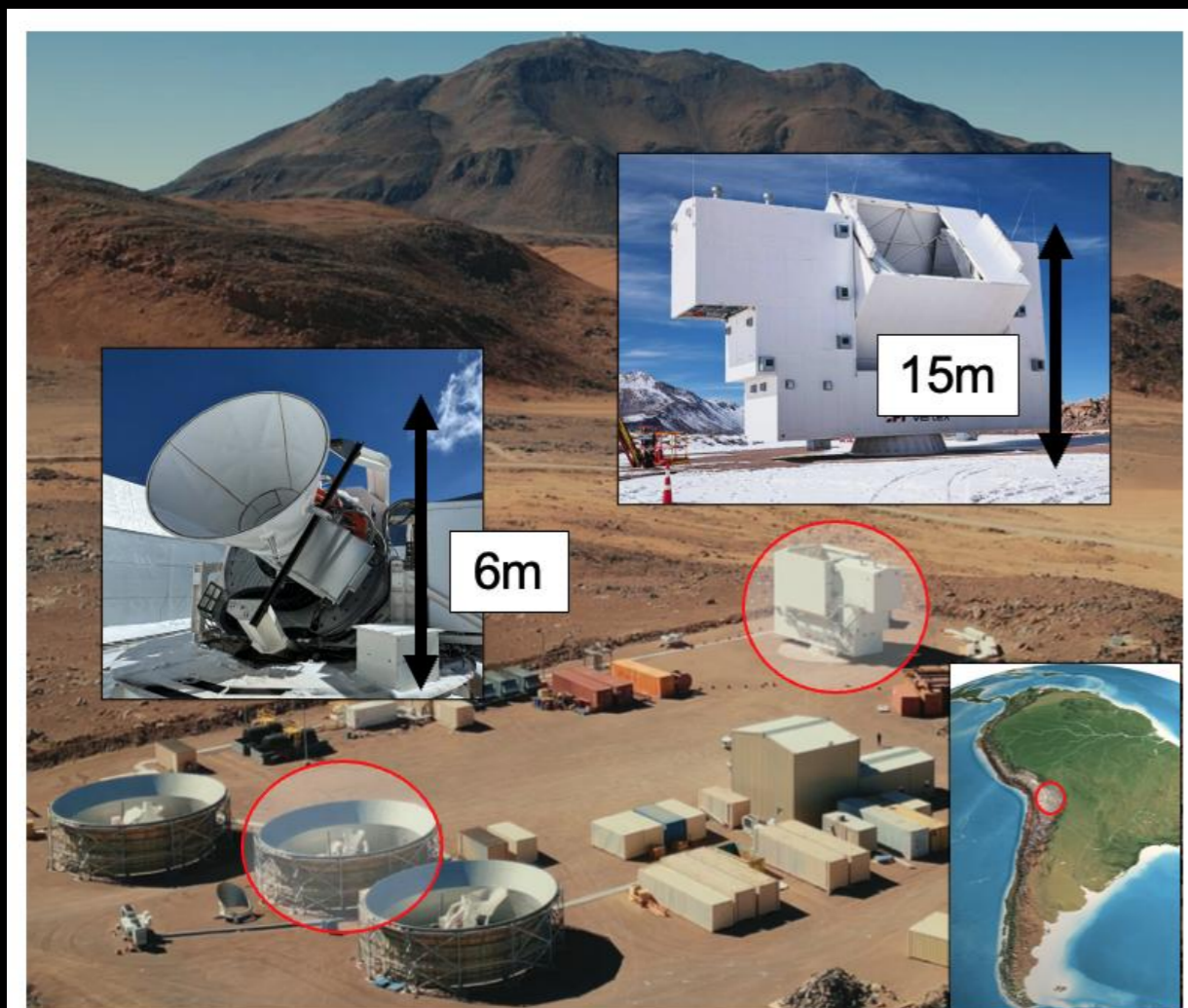
8mすばる



- 2025年3月、米国DESIがダークエネルギーの時間変化の示唆を発表
- インフレーションが終わる仕組み?
- インフレーション起源の原始非ガウス性
- 微細構造定数の130億年間の時間変化

B02: CMBの精密観測が拓く 宇宙創生の物理

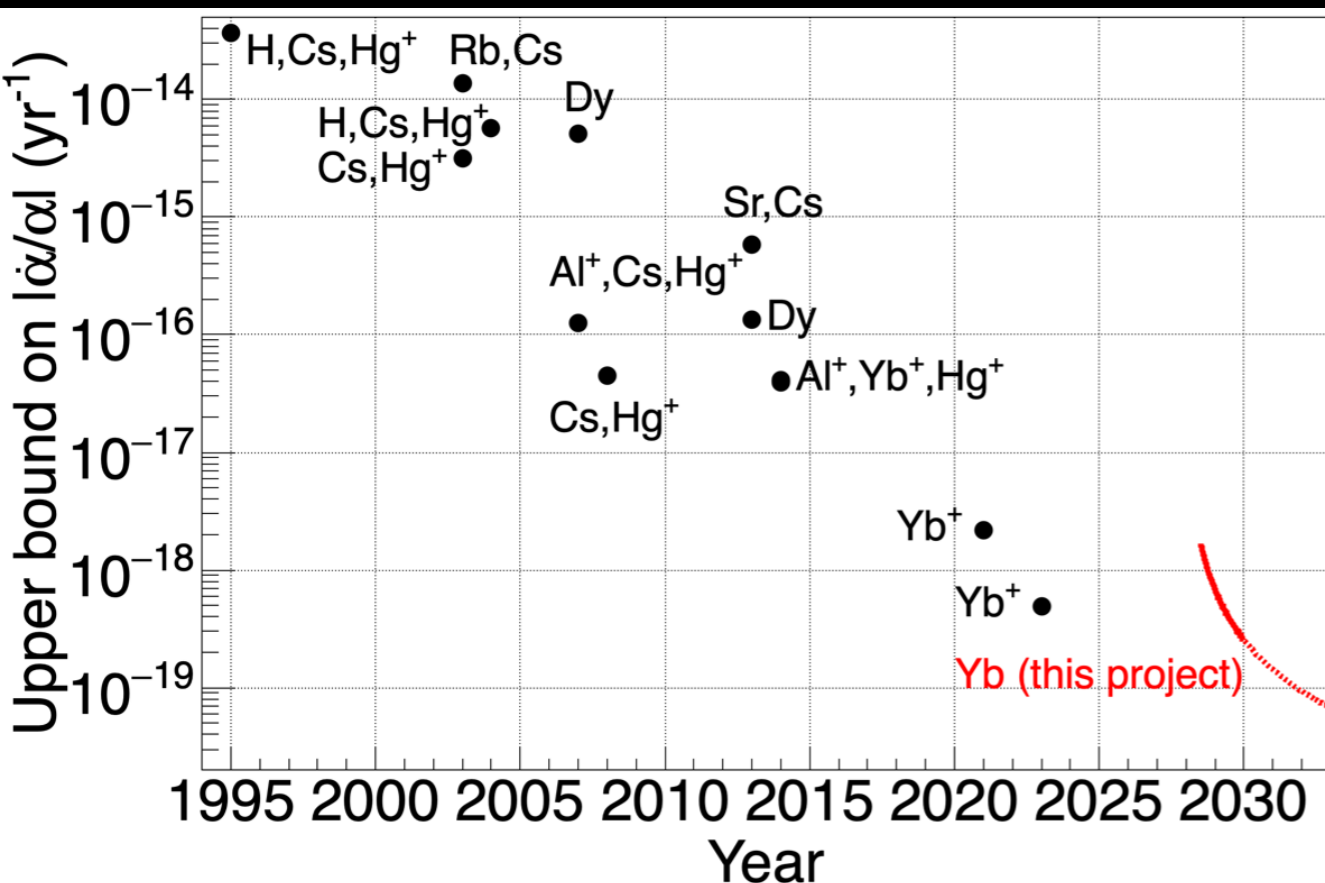
- 原始重力波でインフレーションを実証
- **既存の10倍**の感度を誇る世界最大のCMB実験Simons Observatory
- インフレーションを起こした場は複数あるのか（非ガウス性）
- アクシオンによる複屈折



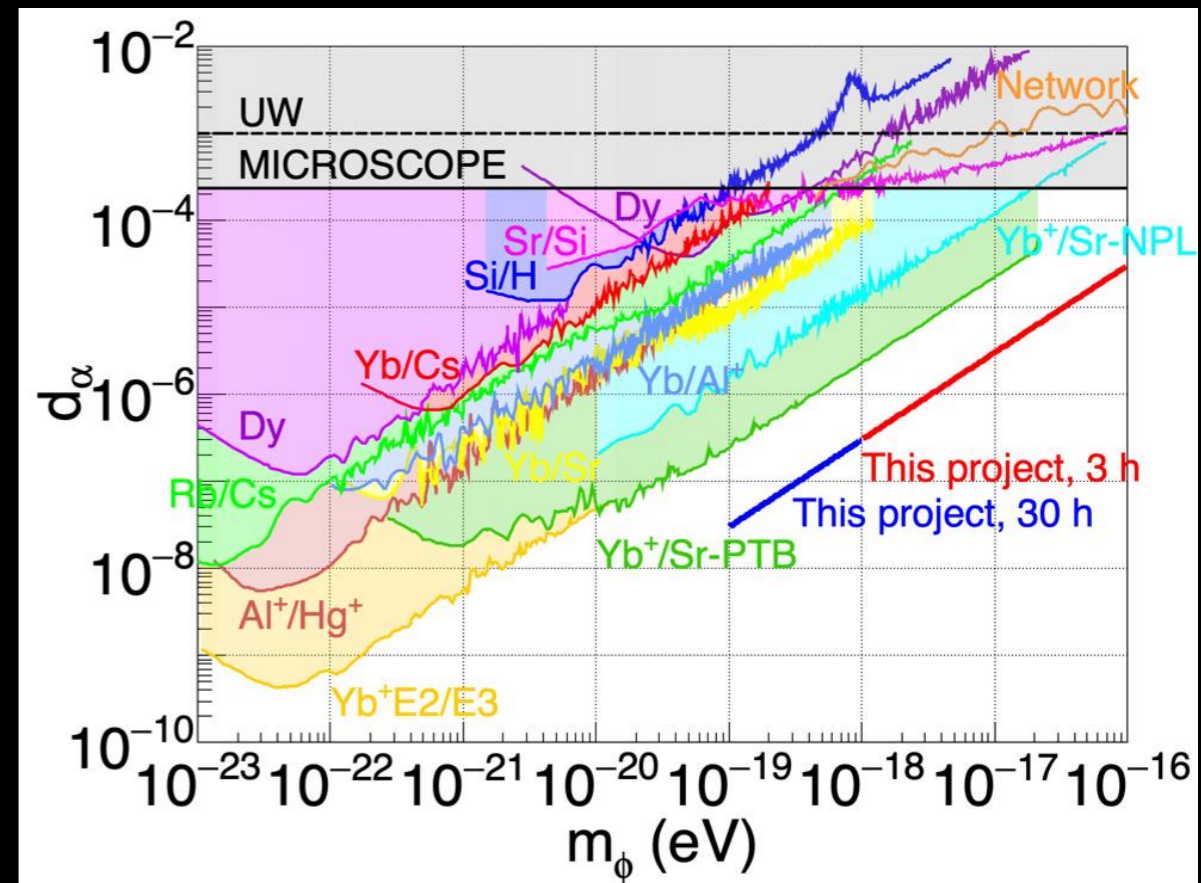
C01: 原子時計で探る宇宙創生の物理

- Ybの遷移周波数の変化を2種類の原子時計の比較で検出する
 - 超弦理論の予言するように**基礎物理定数は変化するか？**
 - **超軽量アクシオン場**が銀河中で振動しているか？

線形ドリフト⇒**基礎物理定数**の時間変化の探索



周期的な振動⇒**超軽量アクシオン**の探索



C02: テーブルトップレーザー干渉計 と重力波望遠鏡で挑む宇宙創生

- インフレーション中に作られた粒子の波： **アクシオン**、**B-Lゲージ場**
- 現在の宇宙でも伝播している可能性、**ダークマター**かも？



光リング共振器実験
DANCE

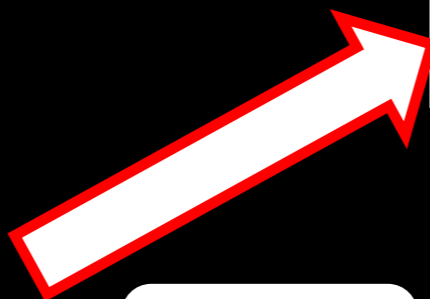
広帯域探索



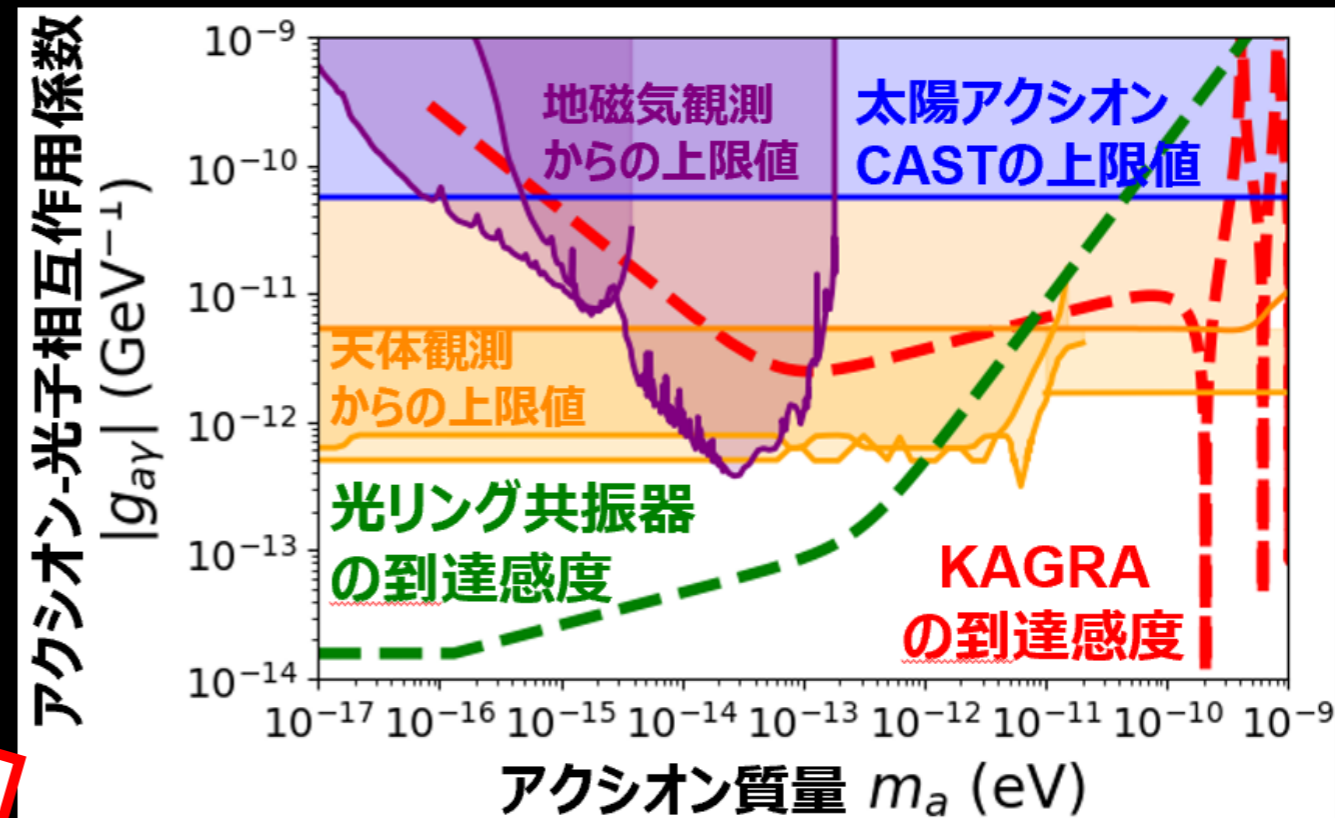
2021年に初運転
現在までに5桁の
感度向上に成功
10 mの大型化に挑む



大型重力波望遠鏡
KAGRA



偏光板



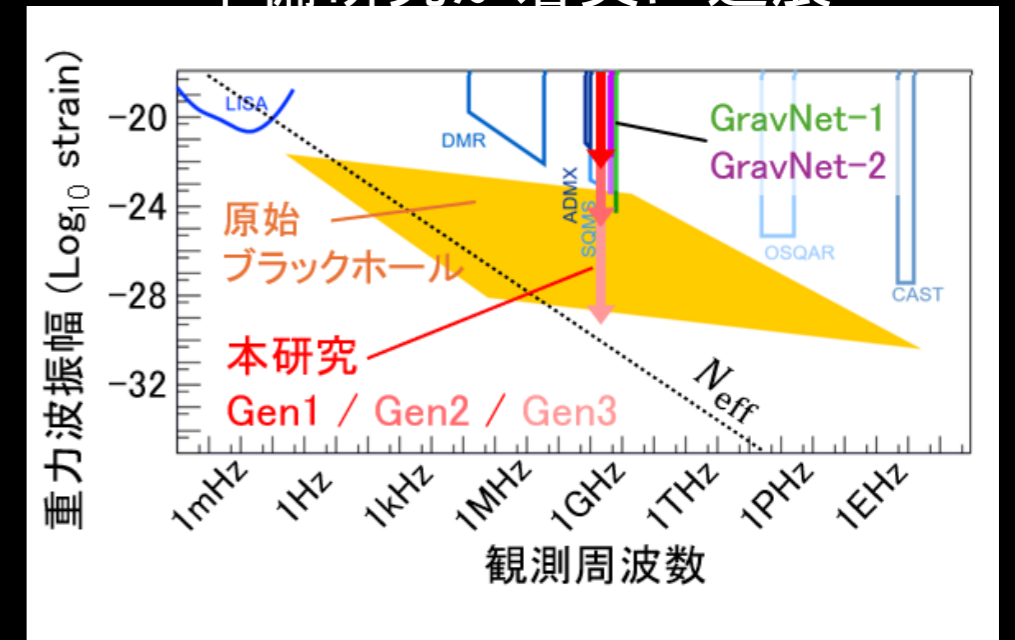
狭帯域探索

偏光板は2021年に設置済み
2025年6月から初の
アクシオンデータを取得中

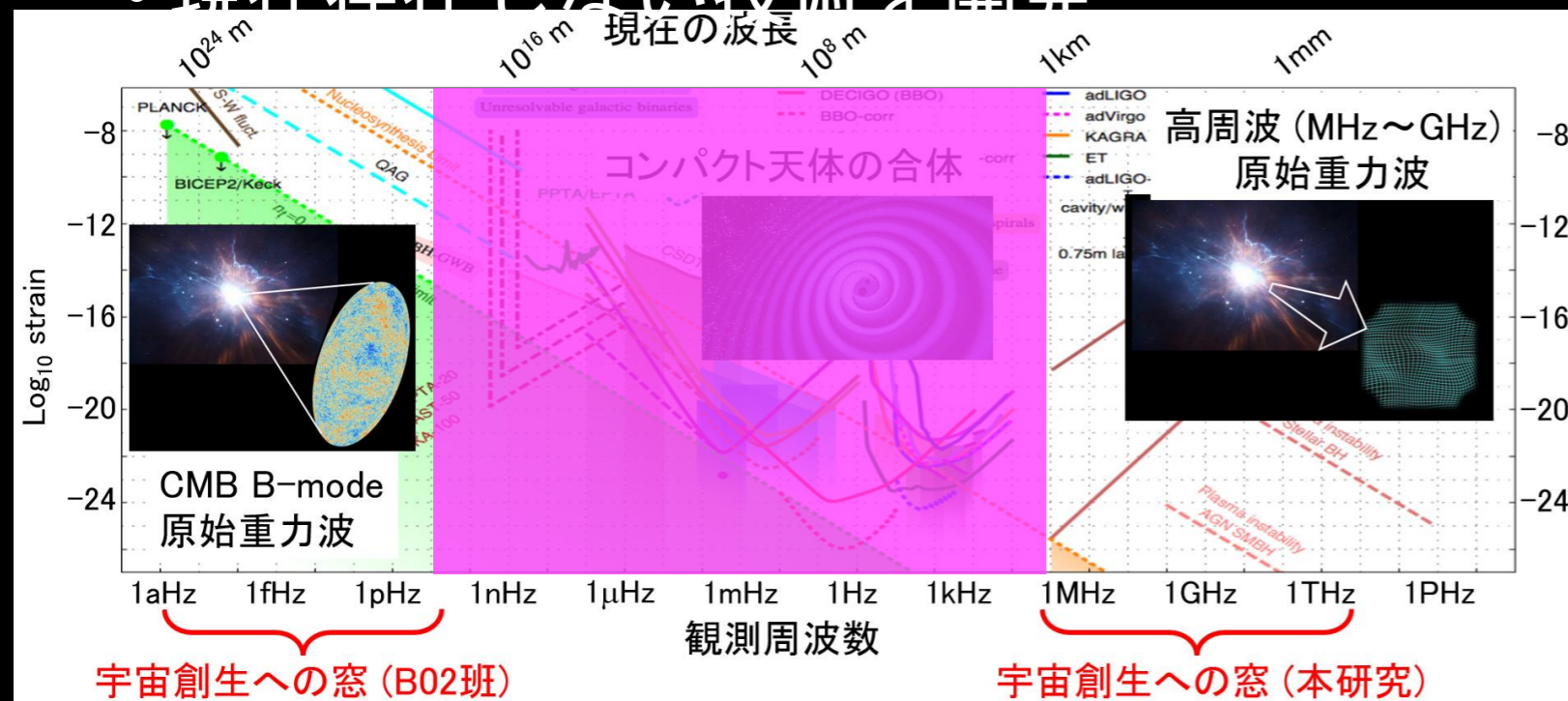
C03: 超伝導・量子技術による マイクロ波重力波探索で挑む宇宙創

- 初期宇宙を探るには、**ブラックホール合体は邪魔**
- GHz重力波: 天体由来による信号がない、宇宙創生に開かれた「窓」
- 現在存在しない技術を開発

準備研究が着実に進展



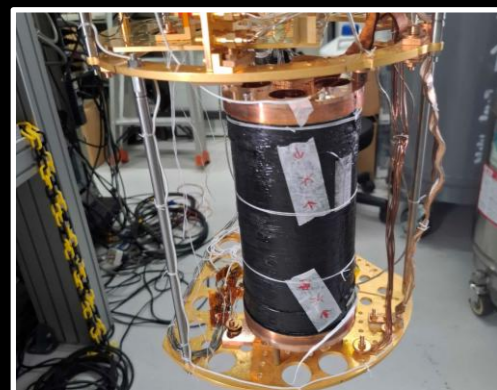
目標：物理成果と新開発の両立
Gen1実験で $h \sim 10^{-22}$ を達成
Gen2, Gen3実験に向け先端技術開発



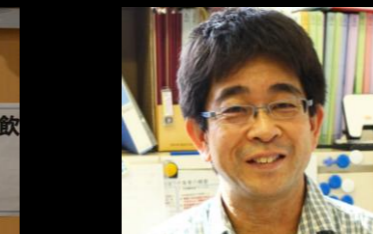
超伝導ソレノイド

アルミ共振空洞

19



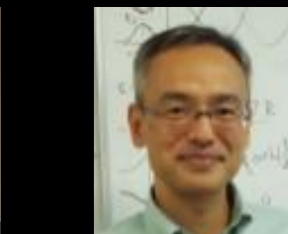
低温・超伝導宇宙応用 (日下・長谷川)



超伝導共振空洞 (梅森)



極低温技術 (福山)

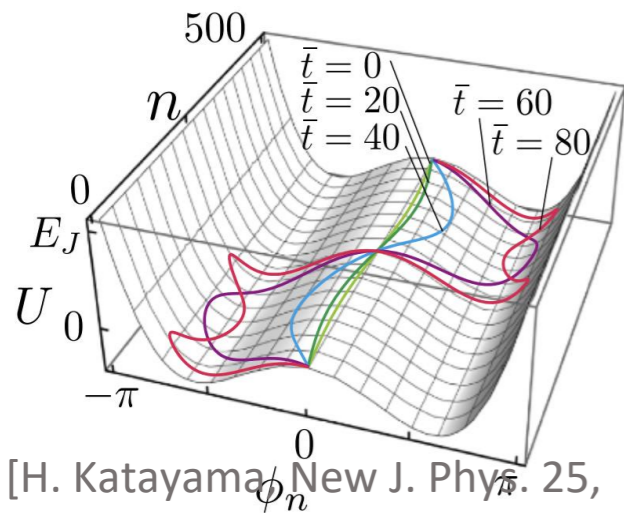


量子計測 (中村)

C04: 超伝導回路による 宇宙創生の量子シミュレーション

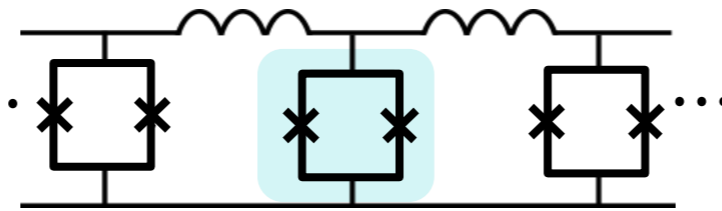
- 宇宙創生期の量子ダイナミクス → 直接観測は難しい
- 超伝導回路でそのダイナミクスを模倣 → 実験的検証可能に

モデル化



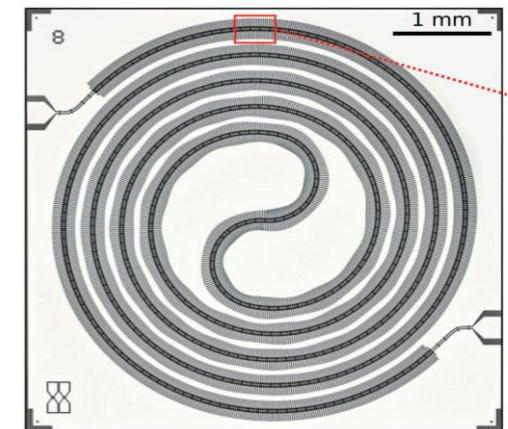
[H. Katayama, New J. Phys. 25, 123040 (2023)]

回路設計



超伝導回路

実証



[C. W. S. Chang et al., arXiv 2503.07559 (2025)]

宇宙論 × 物性物理 の融合

従来宇宙論の理論・観測的手法の限界を超え
実験的検証の基盤を与える

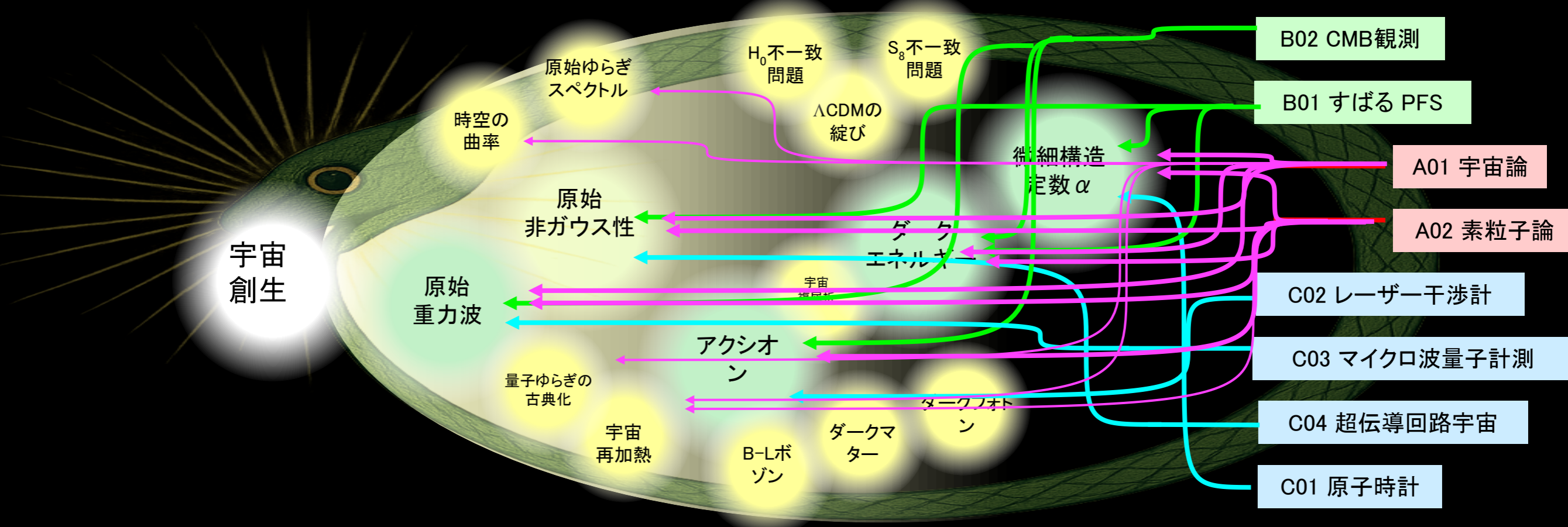
本領域で期待される成果

B01 銀河の3Dデータから原始非ガウス性探査

C04 超伝導マイクロ波量子回路によるインフレーションの模倣

B01 $\dot{\alpha}/\alpha \sim O(10^{-15})\text{yr}^{-1} (0.6 < z < 2.4)$

C01 $\dot{\alpha}/\alpha \sim O(10^{-19})\text{yr}^{-1}$
A01/A02 理論班が有機的連携を構築



B01 ダークエネルギーの時間変化を 3σ で検出

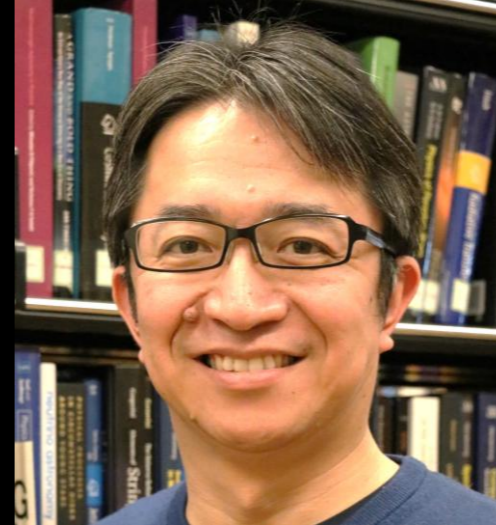
B02 重力レンズ効果を0.7%精度で測定 → ダークエネルギーの理論

B02 複屈折をこれまでの二倍の精度で測定 → ダークエネルギーとなるアクシオンを探索

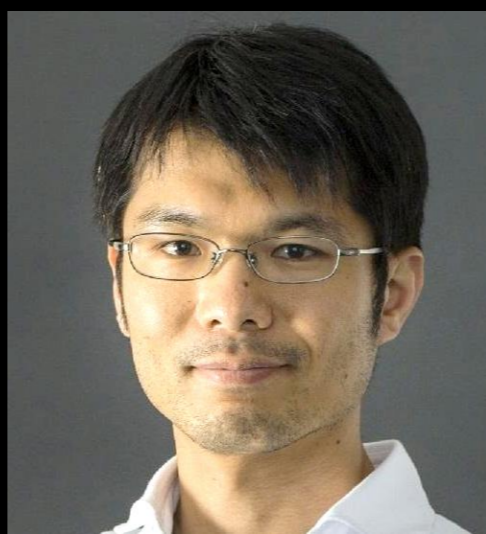
C02 $10^{-15} - 10^{-9}\text{eV}$ の質量域のアクシオンを世界最高精度で探索

B02 低周波の原始重力波精度をこれまでより一桁向上 ($\sigma(r) \sim 0.002$)

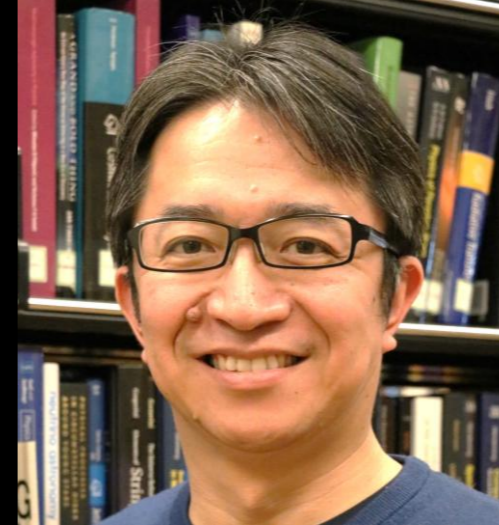
C03 高周波の(原始)重力波を $h \sim 10^{-22}$ の精度で探査



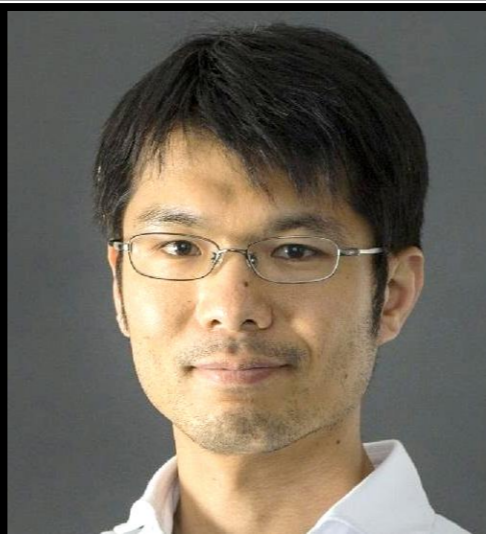
総括班	村山 斉	東大カブリIPMU/UC Berkeley	素粒子・宇宙論
A01	浦川 優子	高エネルギー加速器研究機構	宇宙論
A02	中山 和則	東北大学	素粒子論
B01	高田 昌広	東大カブリIPMU	宇宙論・宇宙物理学
B02	櫻井 雄基	諏訪東京理科大学	実験的宇宙論
C01	川崎 瑛生	産業技術総合研究所	原子物理
C02	藤田 智弘	お茶の水女子大学	宇宙論
C03	日下 暁人	東京大学	実験的宇宙論
C04	片山 春菜	広島大学	量子回路



黄色は45歳以下
(2026年4月時点)



総括班	村山 斉	米物理学会 Lilienfeld Prize、素粒子メダル、独フンボルト研究賞、基礎物理学ブレイクスルー賞、西宮湯川記念賞受賞、IPMU初代機構長
A01	浦川 優子	湯浅年子賞、2年の産育休から復帰、男女共同参画ロールモデル
A02	中山 和則	素粒子メダル奨励賞、その後、同賞選考委員長も務める
B01	高田 昌広	文部科学大臣賞、天文学会林忠四郎賞
B02	櫻井 雄基	高エネルギー物理学奨励賞、Simons Observatoryグループリーダー
C01	川崎 瑛生	中性Yb原子の431nm遷移絶対周波数の世界初測定
C02	藤田 智弘	日本物理学会若手奨励賞
C03	日下 暁人	Simons Observatory設立メンバー・JSPS帰国発展研究で研究室立を立ち上げ
C04	片山 春菜	ロレアル-ユネスコ女性科学者賞、アジアの科学者 100 人選出

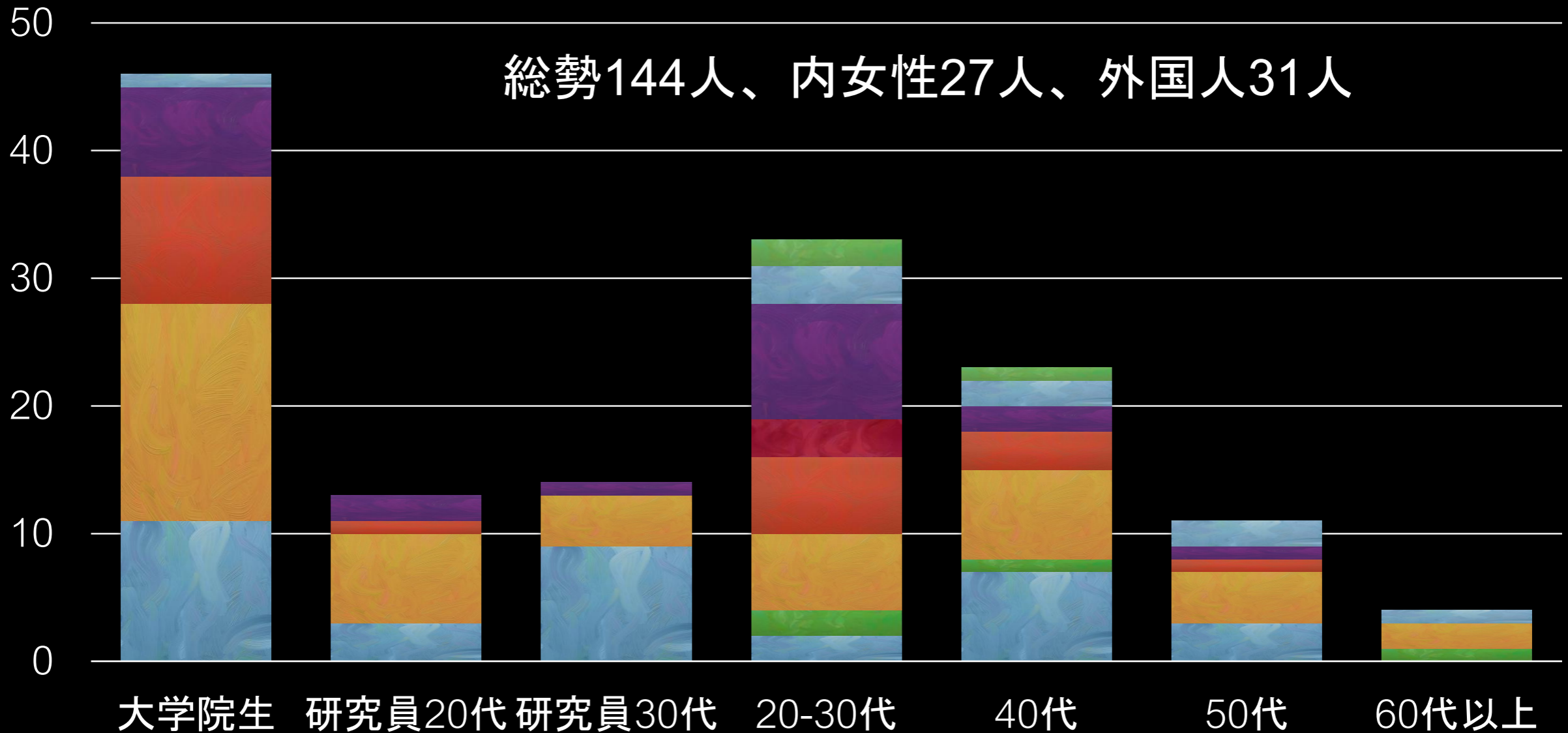


業績/受賞歴

黄色は45歳以下
(2026年4月時点)

年齢分布

A01 A02 B01 B02 C01 C02 C03 C04

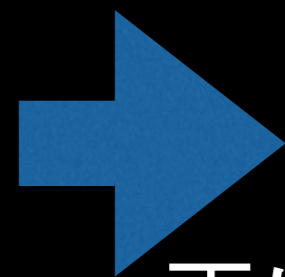


大学院生、20 - 30代の研究者が本領域研究を牽引する
更に若手研究者を雇用

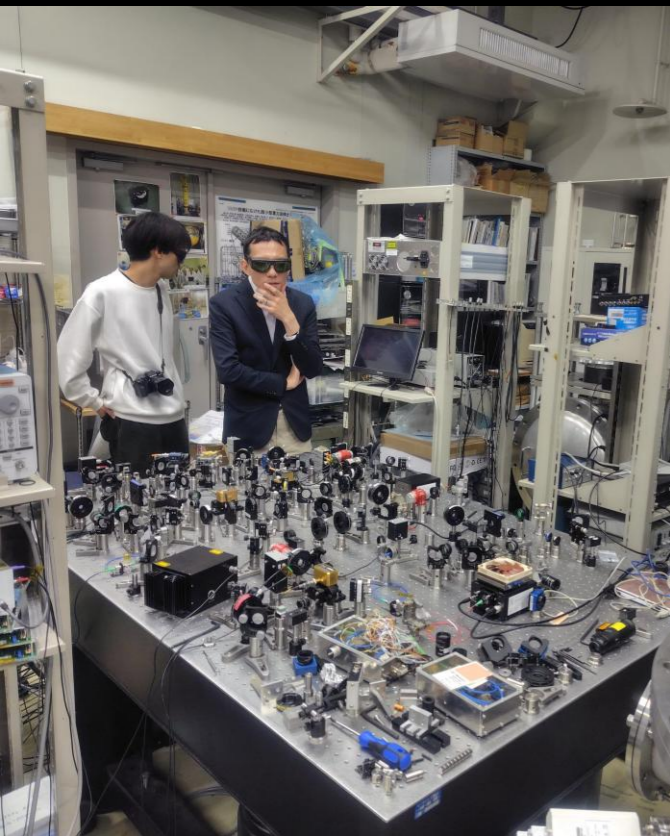
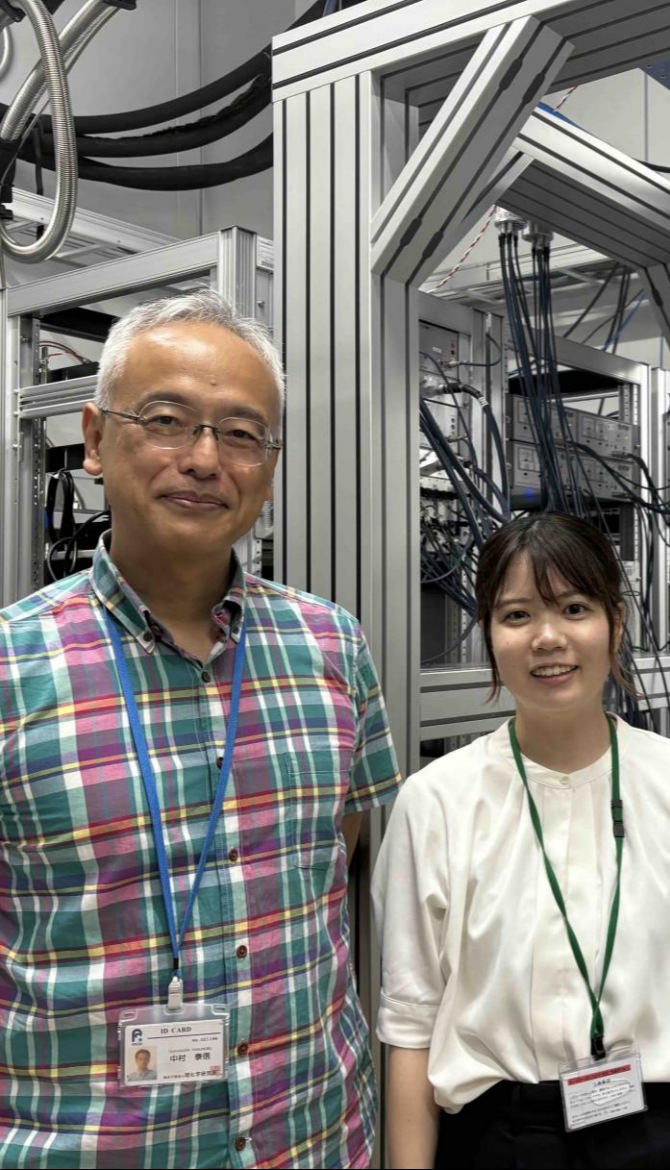
キャリア研修、外国機関と人材流通で将来を確保

公募研究

- 公募研究への期待
 - 既存の枠組みを超えた「宇宙創生」分野の創出へ
 - 自由な発想からのボトムアップ研究により、戦略的な融合研究を進める計画研究班を補完
- 量子情報・量子計測・物性物理・AI/機械学習・超弦理論など既存の宇宙研究に囚われない提案を奨励
- 領域内の連携活動への積極参加をサポート
 - 領域ワークショップへの参加を奨励
 - 関連の強い研究連携・技術連携グループへの参加を促す



今までにない分野を横断するコミュニティ
更にアウトリーチで日本社会・世界に還元



準備ミーティング

分野間の連携はすでに始動、エキサイティング！

- ミーティング・ワークショップ等
 - 8月6日: 量子計測ミーティング@東大本郷
 - 8月7日: 高周波重力波ワークショップ@KEK
 - 11月10日~14日: Axions in Japan ワ
orkshop @ IPMU
- 計画研究班を跨いだ相互訪問・議論
 - 8月18日: 理研中村研 (C03協力者) 訪問
 - 片山 (C04代表) によるセミナー
 - 8月19日: 東大本郷訪問1
 - 日下研 (C03代表)・福山研 (C03分担)
 - 10月29日: 産総研川崎研 (C01代表) 訪問
 - 11月25日: 東大本郷訪問2
 - 道村研 (C02分担)・日下研 (C03代表)

提案のポイント：宇宙に始まりはあったが、仕組みがわからない

今まではっきり調べられているのは宇宙創生後3分以降

10^{-37} 秒

100億分の1秒

3分

38万年

138億年

C04

超伝導回路宇宙

加速器

C01
原子時計

宇宙創生の仕組みを明らかに！

I. 宇宙創生期の信号

宇宙創生期

望遠鏡

10^{-26} cm

Ia. 原始密度ゆらぎ

Ib. 原始重力波

Ic. 原始アクシオン場

B02
CMB観測

B01
すばるPFS

干渉計

C03

マイクロ波
量子計測

信号

観測

A02素粒子論

A01宇宙論

10^{28} cm

ビッグバンでは H:He ~ 3:1

観測とよく合う！



佐藤勝彦