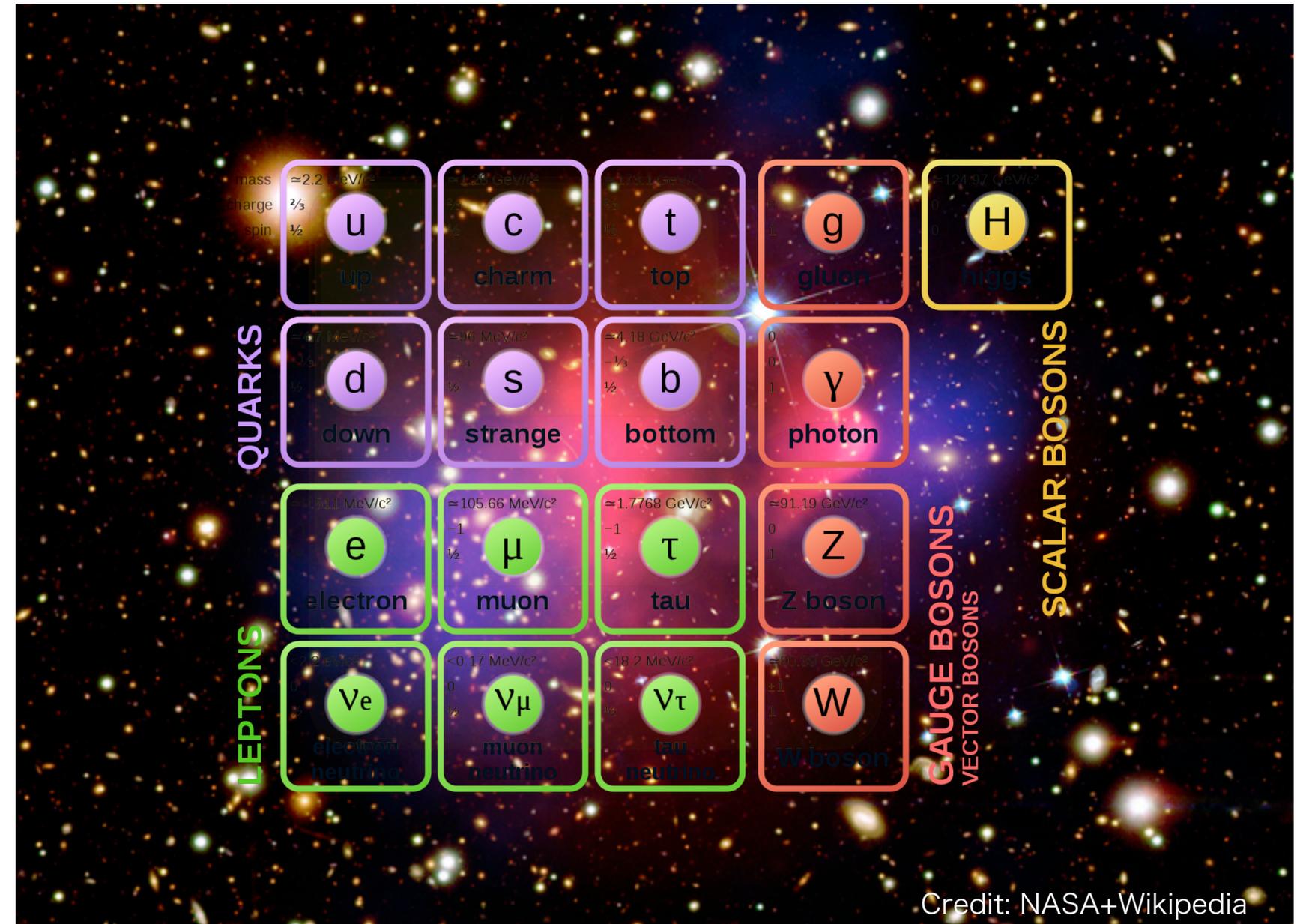


素粒子理論 研究室



殷文 (いん ぶん, Wen Yin)

1.メンバー紹介



殷文：大学院生時代は超対称性現象論を研究。今は主に素粒子論と宇宙論の境界領域で研究をしている。特にダークマターが好き。



北澤敬章：大学院生時代はテクニカラー、トップ凝縮。今は素粒子質量の問題を弦理論の枠組みで解こうとしている。

2. 研究紹介



(カッコいい図・背景は大体chatGPT作)

我々の問い 「究極の物理法則は何か？」

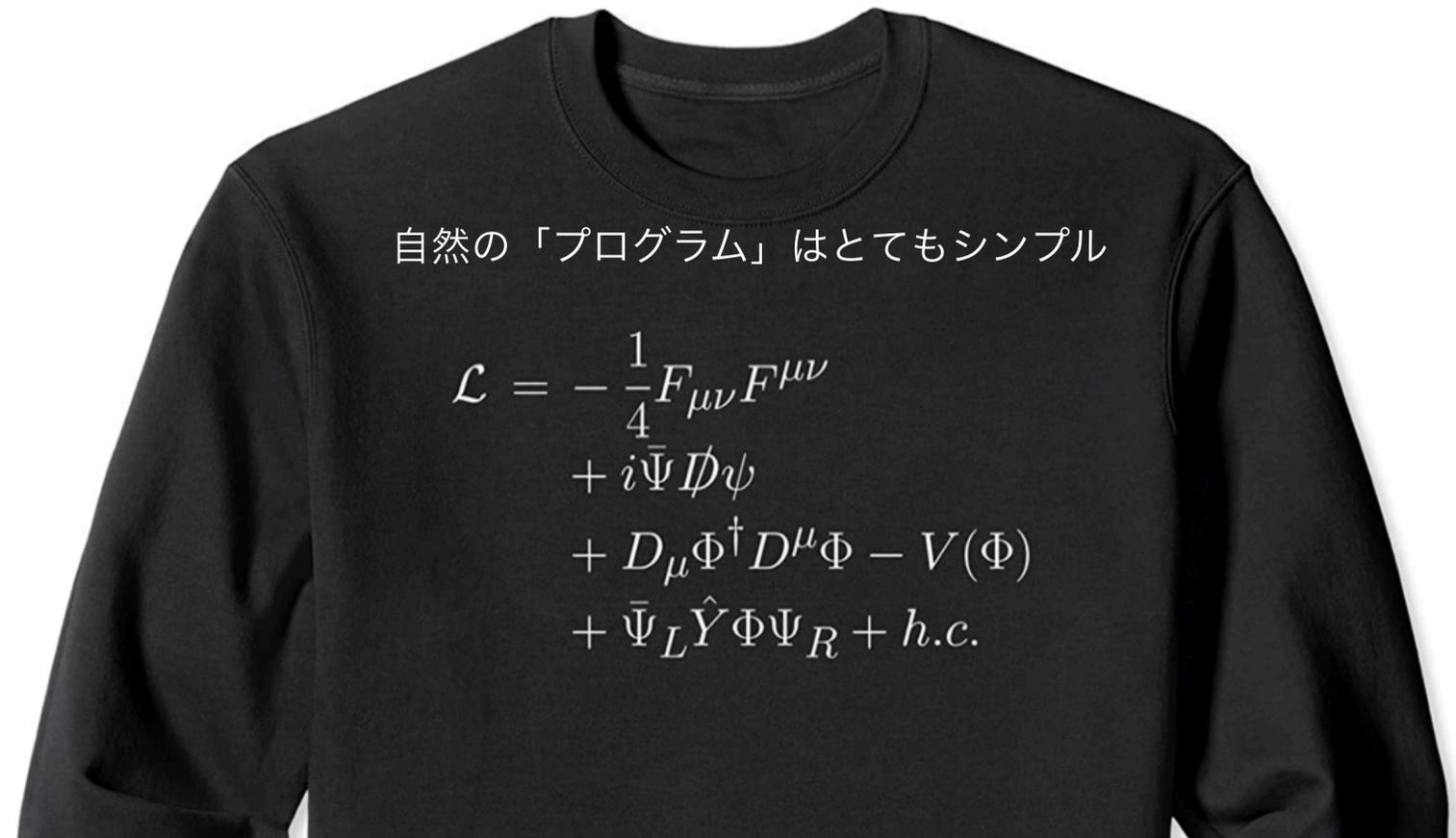
素粒子標準模型=

既存の素粒子(最もミクロな粒子) + 場の量子論 (量子力学+特殊相対性理論)

| 物質の三世代 (フェルミ粒子) | | | 相互作用 / 力の伝搬 (ボース粒子) | | |
|-----------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | I | II | III | | |
| 質量 | ≈2.2 MeV/c ² | ≈1.28 GeV/c ² | ≈173.1 GeV/c ² | 0 | ≈124.97 GeV/c ² |
| 電荷 | 2/3 | 2/3 | 2/3 | 0 | 0 |
| スピン | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1 | 0 |
| | u アップ | c チャーム | t トップ | g グルーオン | H ヒッグス粒子 |
| クォーク | d ダウン | s ストレンジ | b ボトム | γ 光子 | |
| | ≈4.7 MeV/c ² | ≈96 MeV/c ² | ≈4.18 GeV/c ² | 0 | |
| | -1/3 | -1/3 | -1/3 | 0 | |
| | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1 | |
| | e 電子 | μ ミュー粒子 | τ タウ粒子 | Z Zボソン | |
| | ≈0.511 MeV/c ² | ≈105.66 MeV/c ² | ≈1.7768 GeV/c ² | ≈91.19 GeV/c ² | |
| | -1 | -1 | -1 | 0 | |
| | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1 | |
| ニュートリノ | ν_e 電子ニュートリノ | ν_μ ミューニュートリノ | ν_τ タウニュートリノ | W Wボソン | |
| | <1.0 eV/c ² | <0.17 MeV/c ² | <18.2 MeV/c ² | ≈80.433 GeV/c ² | |
| | 0 | 0 | 0 | ±1 | |
| | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1 | |

ゲージ粒子
ゲージボソン

Wikipedia



<https://www.amazon.co.jp/物理数学量子粒子天文学-ラグランジアン時空場の量子論標準模型-トレーナー/dp/B08X3SZS22>

森羅万象を説明する究極法則に最も近い標準模型は広い意味で計算可能な部分でほとんどの現象を説明できる。

**標準模型は説明できない謎も存在するため、
究極法則ではない。**

•宇宙の始まりの謎 -インフレーション-

•未知の物質の存在 -ダークマター-

•消えた反物質 -物質反物質非対称-

•移り変わるニュートリノ -ニュートリノ質量-

•重力の量子化

宇宙論

素粒子・天文

本研究室では、これらの謎の解明を中心に様々な側面から究極法則の正体を探索します。

例えば <https://www.youtube.com/@enphys7577> の一般向け動画。

(1) 研究テーマの大枠 (般)

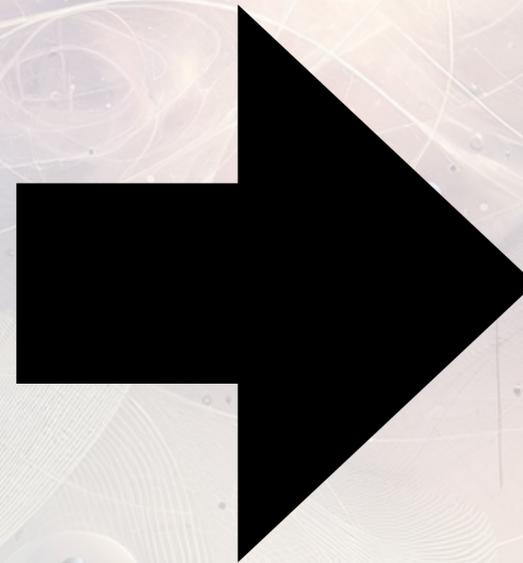
宇宙膨張により初期宇宙は小さい。∴絶好の素粒子実験室。

研究は大体以下のようなことをしている。

Input

- インフレーションの性質
- ダークマターの性質
- 物質反物質非対称
- ニュートリノ質量構造
- 最新実験データ

究極法則はInputを
全て説明するはず。



Output

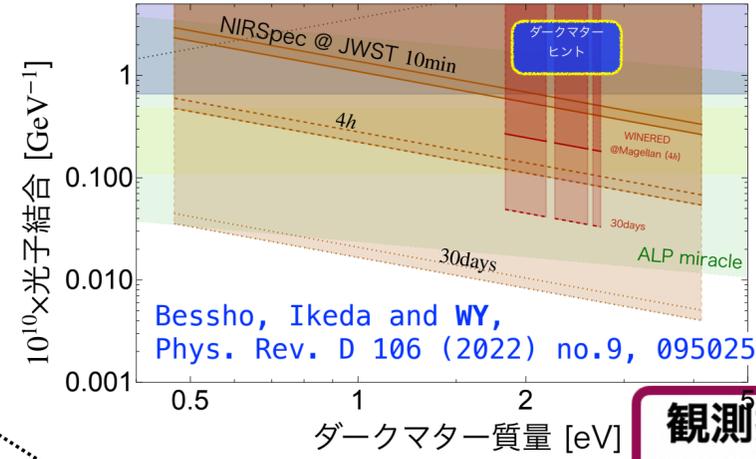
- 新素粒子模型の構築
- 模型予言の指摘
- 新機構の提唱
- 実験の提案や実行等

具体例：ダークマターへのアプローチ(般)

シグナルの研究から

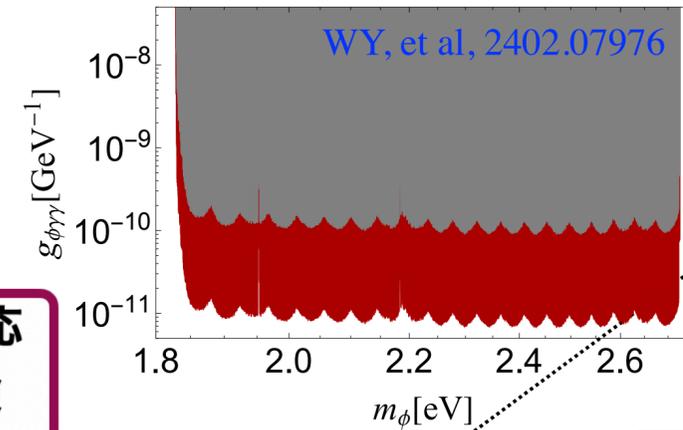
観測実験提唱:

最先端赤外線分光器は
シグナルを極めて良い感度
で検出可能。



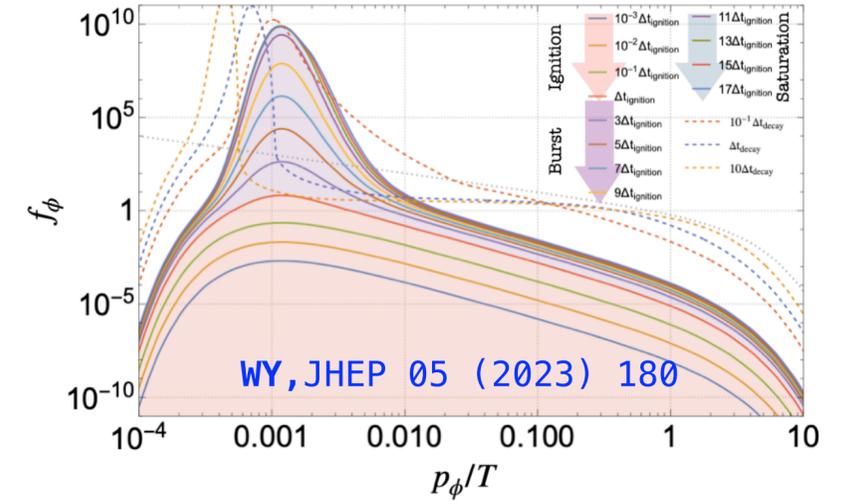
ダークマター観測実験@マゼラン望遠鏡

Leo V, Tucana II の分光観測がなされ、世界最強のeVダークマターへの制限を経た。



Cold “hot DM” :

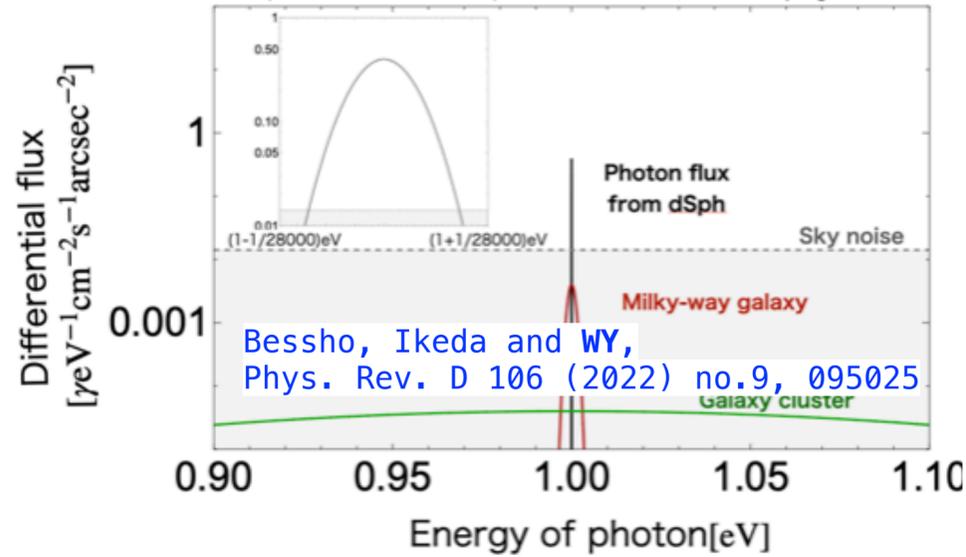
50年前のパラダイム”hot DM”は生成過程の
ボーズ増幅効果を考慮することで、無矛盾な
ダークマターとなることを発見。



検出器に適したダークマター

シグナルの詳細研究:

矮小楕円体銀河中のダークマターシグナルピークは
sky backgroundを著しく卓越することを発見。



観測技術を応
用した実験

実験の最効率化

ブレークスルー

ダークマター
の正体

ダークマター
シグナルの研究

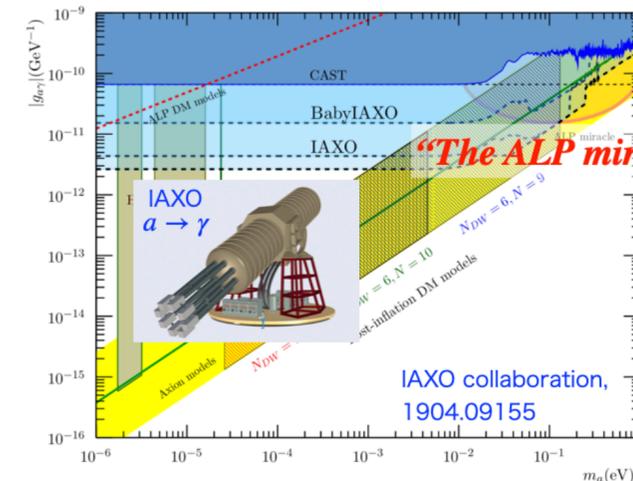
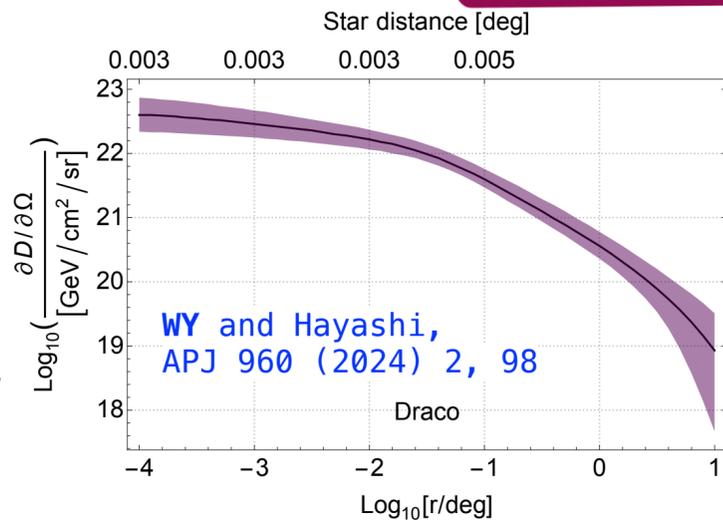
初期宇宙・
素粒子の研究

リンク

検出器に適した

ダークマター分布の詳細研究

最先端赤外線分光器角度分解能に適した、
35個の矮小楕円体銀河中のダークマター分布
の数値計算を行った。



ALP miracle:

宇宙の始まりのインフレーションと
ダークマターのアクシオンの統一が
可能であることを素粒子論的に発見。

Daido, Takahashi, WY,
JCAP 05 (2017) 044,
JHEP 02 (2018) 104

他のトピック (般)

初期宇宙論

- ・インフレーション
- ・ダークマター
- ・物質反物質非対称性
- ・ダークエネルギー

Takahashi, [WY](#),
JHEP 07 (2019) 095など
Moroi, [WY](#),
JHEP 03 (2021) 301など
Hamada, Kitano, [WY](#),
JHEP 10 (2018) 178;など
[WY](#), PRD 106
(2022) 5, 055014, など

実験と融合

- ・実験提唱
- ・ダークマター制限導出

Kim, ..., [WY](#), PRD 104
(2021) 9, 095010 など
Nakayama, [WY](#), PRD
106 (2022) 10, 103505

宇宙非線形発展

- ・トポロジカル欠陥

Gonzalez ..., [WY](#), Phys.Lett.B
843 (2023) 137990

天文学と融合

- ・宇宙線と初期宇宙
など。

Jaeckel [WY](#),
JCAP 02 (2021) 044など

素粒子理論

- ・超対称性 [WY](#), Yokozaki, Phys.Lett.B
762 (2016) 72-79など
- ・加速器 [WY](#), Yamaguchi, PRD 106 (2022) 3, 033007 など
- ・相転移 Azatov ... [WY](#), JHEP 10 (2022) 017 など
- ・ニュートリノ質量 [WY](#), Phys.Lett.B
785 (2018) 585-590 など
- ・量子重力 [WY](#), JHEP 10 (2020) 032など
- ・大域対称性の起源 Lee, [WY](#), PRD
99 (2019) 1, 015041など
- ・インスタントン Kitano, [WY](#), JHEP 07
(2021) 078など
- ・場の理論とボース増幅 Moroi, [WY](#),
JHEP 03 (2021) 296
- ・最新実験結果の示唆するモデルの提唱
[WY](#), JHEP 06 (2021) 029など

究極法則へのアプローチは自由で広い!

今後の展望（般）

新物理法則に近づけるならばなんでもやるが、以下が特に重要と考える。

I. ダークマターの正体の研究

-非線形進化の精密見積もり

-他分野融合とのダークマター探索

など

II. 場の理論・素粒子現象論の研究

-非摂動効果の定量的理解

-多角的アプローチ

など

III. 宇宙の始まりの研究

-密度揺らぎの精密理論予測

-再加熱・熱化の精密見積もり

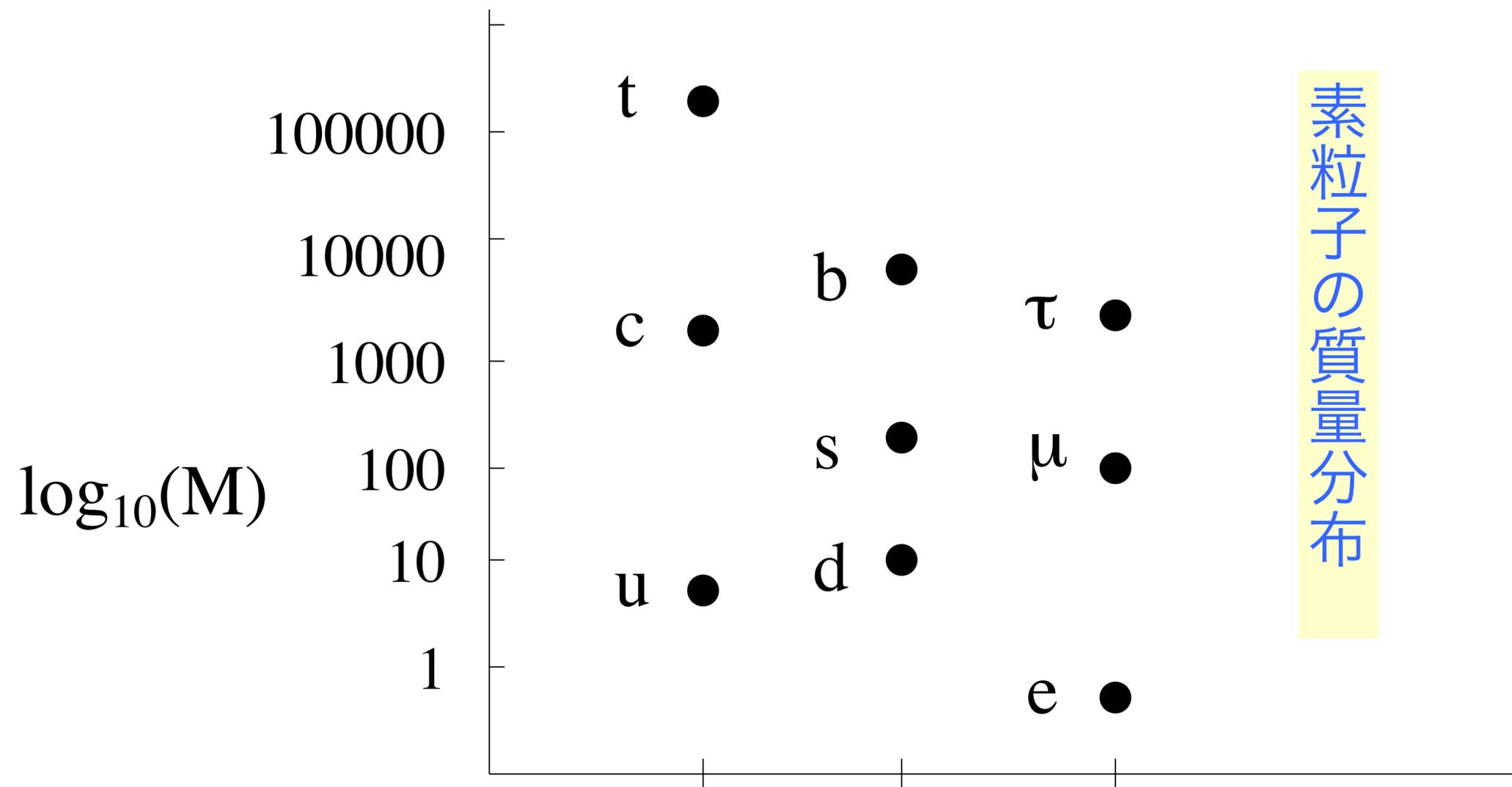
など

究極法則解明

2027年3月まで、科研費を受けているため、大学院生・ポスドクの研究発表用旅費などの補助が可能。

(2)素粒子の質量の起源（北澤）

「標準模型」では素粒子の質量の値は説明されていない。
「電弱対称性の自発的破れ」を引き起こす物理がそれを
決めているはず。



研究テーマ（北澤）

- 自然な「電弱対称性の自発的破れ」の物理を求めて。

弦理論に基づいた素粒子模型の構成

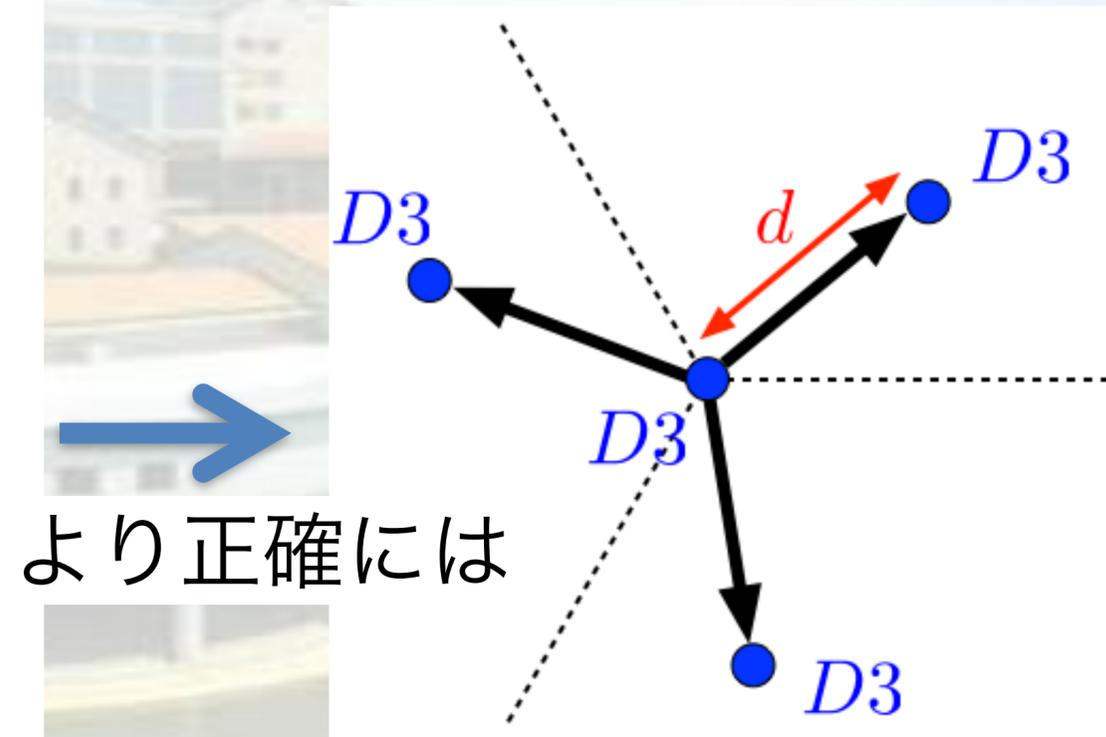
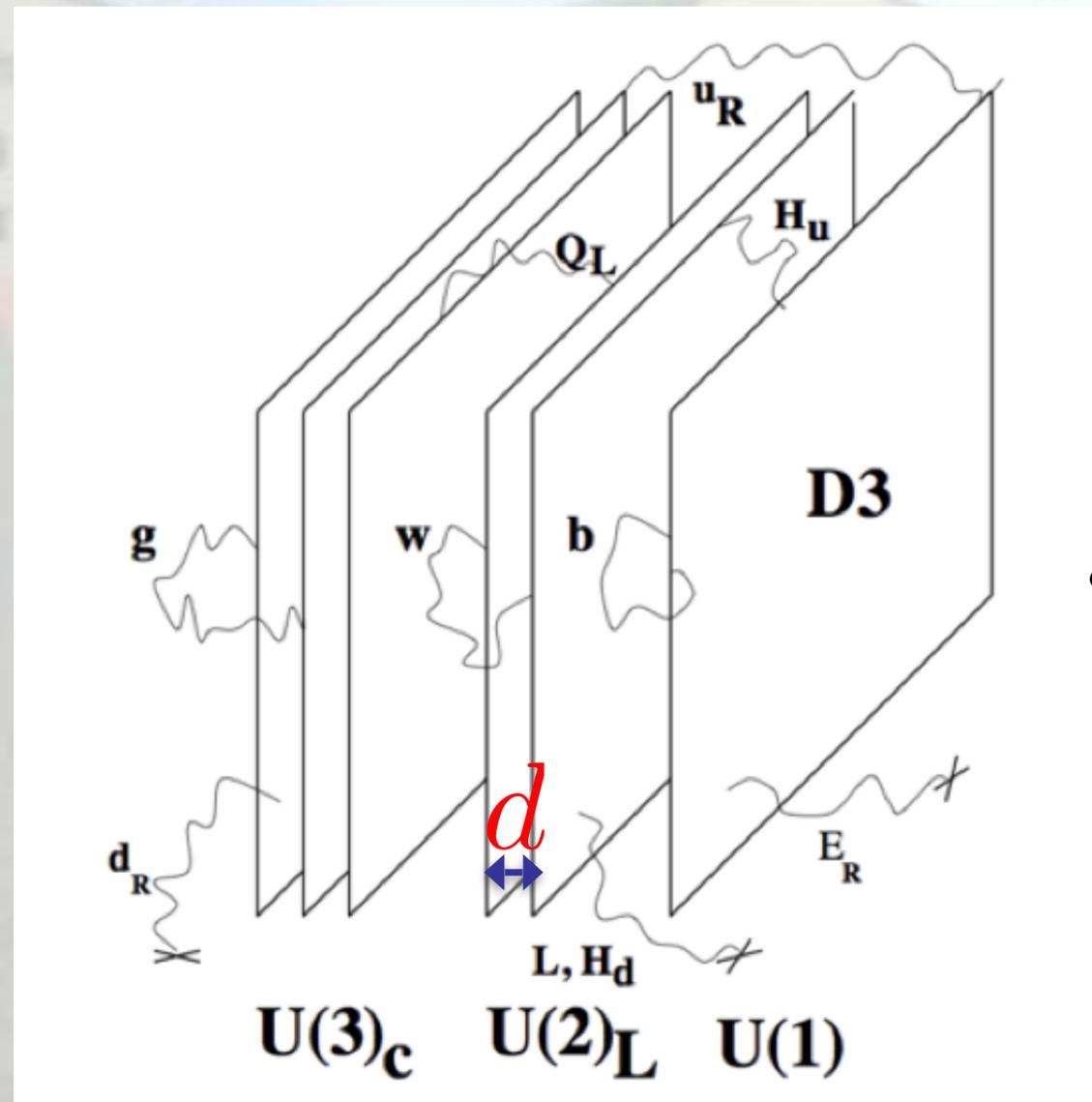
- 究極理論としての弦理論の可能性の追求。

弦理論におけるインフレーション宇宙論

最近の研究から（北澤）

超弦理論の10次元時空を予言する。

我々はDブレーンという物体の中に閉じ込められているとする。

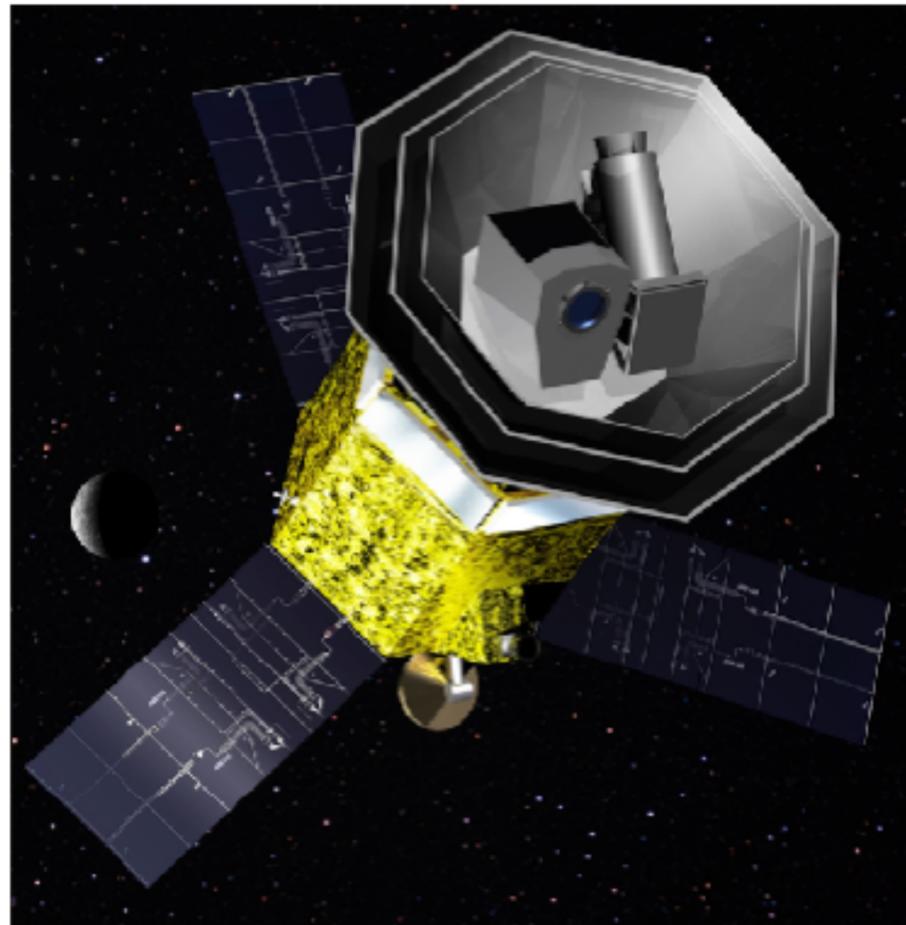


より正確には

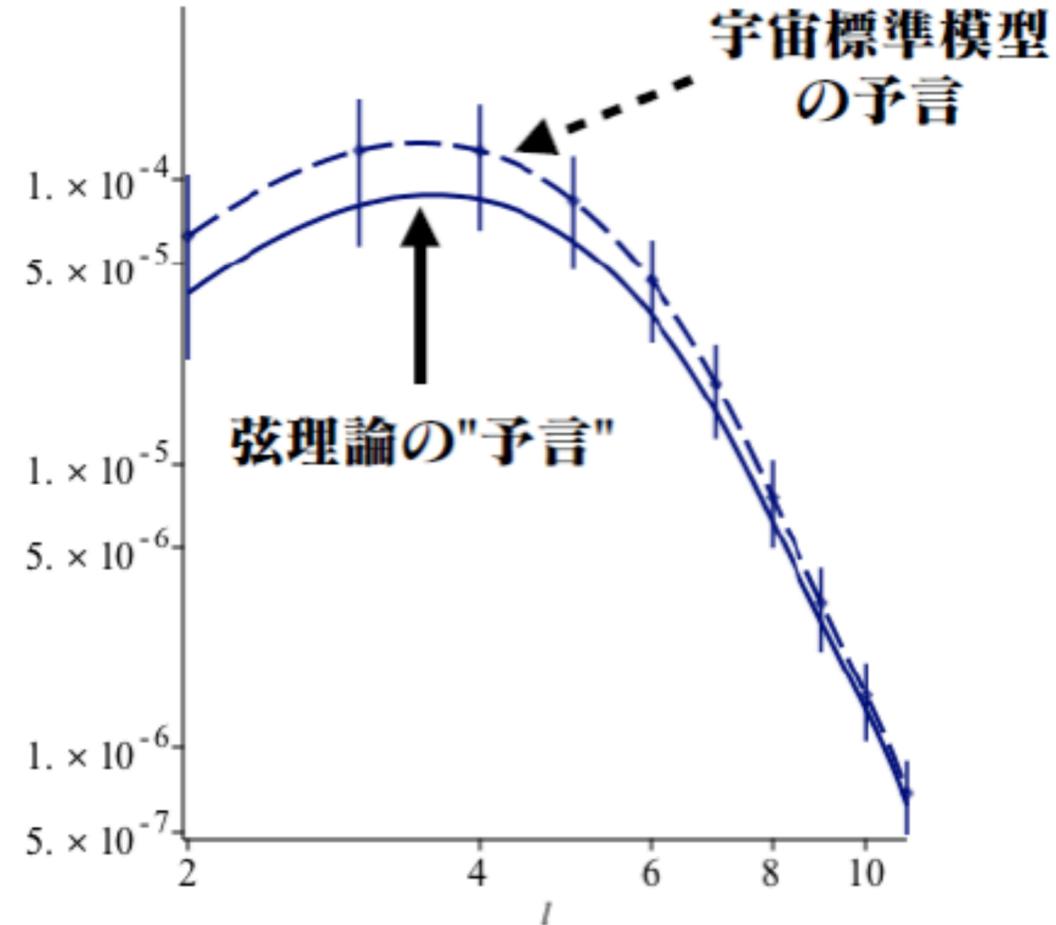
自然な「電弱対称性の自発的破れ」
のためには距離 d を安定に保つ
必要がある。
原点に引きつけようとする中心力と
遠心力の釣り合い？

最近の研究から (北澤)

弦理論における宇宙のインフレーションの初期の現象が
宇宙背景放射のゆらぎの偏極の観測で確認できるか？
(偏極の精密測定を目指すLiteBIRDにおいて検証可能か？)



LiteBIRD



B-mode偏極の強度

今後の研究の展望（北澤）

弦理論における「電弱対称性の自発的破れ」のメカニズムの解明。

ヒッグス粒子の自己相互作用への予言。

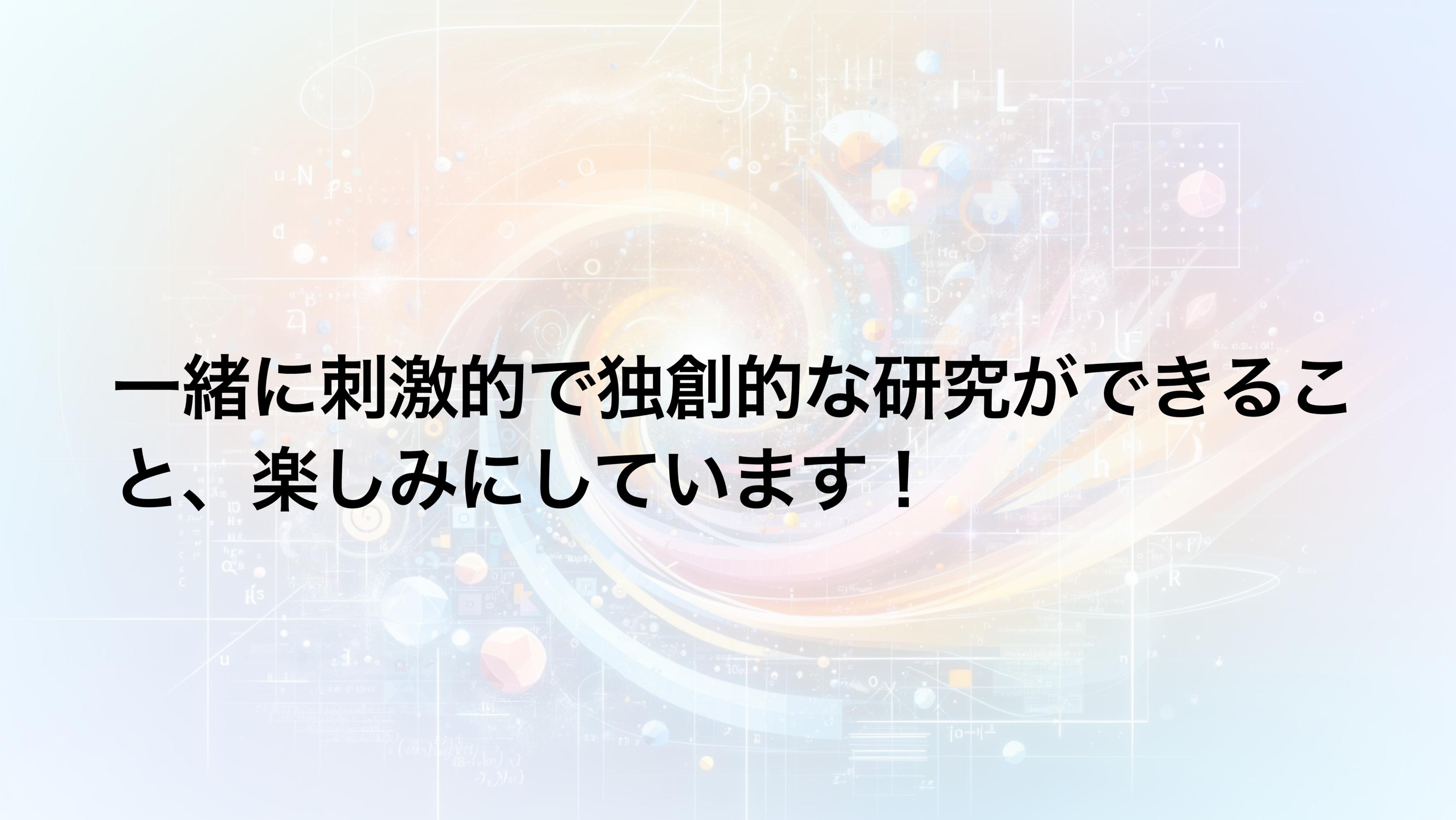
宇宙のインフレーションのメカニズムとの関連？

暗黒物質の生成？

将来の加速器実験（LHC加速器実験など）における検証。

宇宙観測（宇宙背景輻射の偏極など）による検証。

さらに、「電弱対称性の自発的破れ」を素粒子に伝えて質量を与える物理を解明する。



一緒に刺激的で独創的な研究ができること、楽しみにしています！