

# 宇宙線研究所・理論グループ

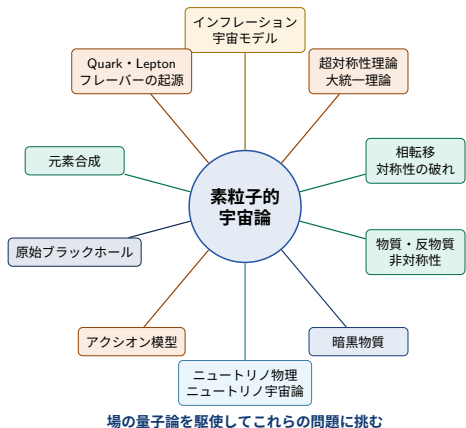
伊部昌宏（素粒子論・素粒子論的宇宙論）

研究員 2名 学生 M: 3名・D: 4名

我々が存在している自然が何故そのようになっているのかを解明し、それを記述する基本原理を理解したい

- 物質は究極的には何から出来ているのか？
- 相互作用の基本法則は何か？
- 宇宙は何で出来ているのか？
- 宇宙はどのように始まり、どのように進化して来たのか？
- 宇宙は今後どうなっていくのか？

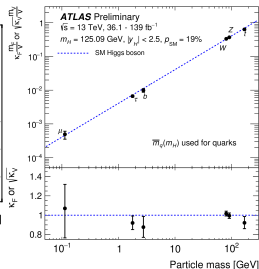
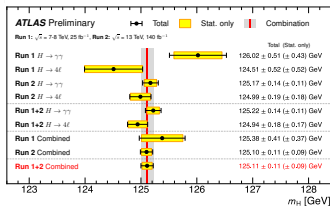
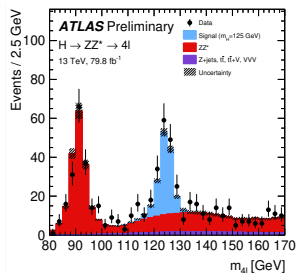
これらの疑問に答える理論を考えるのが理論グループの研究です



- 素粒子の究極法則と宇宙の法則を同時に探る
- 場の量子論・膨張宇宙論を組み合わせる
- 素粒子標準模型の残された課題の研究
- 標準宇宙論の残された課題の研究
- 観測・実験とつながる理論研究

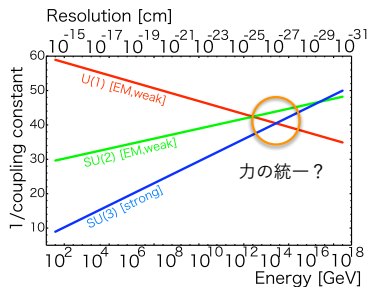
# 素粒子論の現状

- 素粒子標準模型： $SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y$  ゲージ理論。
- 2012年の Higgs 粒子の発見によって完成。
- Higgs 粒子の精密測定を通じて、Higgs 粒子の背後に迫ろうとしている。
- TeV スケールに今の所新物理の強い兆候は見られない...



# 標準模型を超える物理？

- そもそも Higgs の質量の起源は？
- 更なる力の統一は期待できるか？
- ニュートリノ質量の起源？
- 暗黒物質は何か？
- インフレーションを記述する素粒子モデルは？
- 物質・反物質非対称性の起源は？
- CP 対称性の破れの起源？
- なぜ Quark・Lepton は3世代？

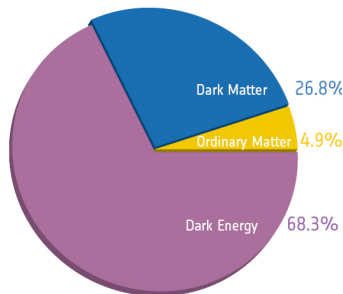


究極の理論への道は遠く、まだまだ考えることが沢山ある！

- ビッグバン標準宇宙論は、宇宙誕生後およそ1秒から現在までの進化をよく記述する。
- インフレーション宇宙モデル
  - さらに初期の宇宙を記述し、標準宇宙論を補う。
    - 宇宙の平坦さ（宇宙が長生き）を説明
    - 宇宙が因果律を超えて一様に見えることを説明
    - 銀河の種（密度揺らぎ）を説明
  - 宇宙背景放射の（CMB）の非等方性の観測から強く支持

誕生直後（ $\sim 10^{-36}$  秒？）の宇宙を理解できる時代になった。

- インフレーション模型
- 密度揺らぎのスペクトル
- 物質・反物質非対称性
- 暗黒物質、ダークエネルギー
- CMB vs 大規模構造
- 元素合成の再検討
- 宇宙ニュートリノの実効的世代数
- 原始ブラックホール



**素粒子と宇宙の起源を同時に探る研究が求められている！**

# **Stringent Constraints on Self-Interacting Dark Matter Using Milky-Way Satellite Galaxies Kinematics**

S. Ando, K. Hayashi, S. Horigome, M. Ibe, S. Shirai

arXiv:2503.13650

# 矮小銀河による自己相互作用暗黒物質への制限

## 多様性問題

- 冷たい暗黒物質 (CDM)  $\Rightarrow$  宇宙の大規模構造 ( $\gtrsim$  Mpc スケール) をよく再現
- 矮小楕円体銀河 (dSph) は、バリオン含有量が少ない  
 $\Rightarrow$  暗黒物質を調べる理想的な実験場！
- 一方、 $\mathcal{O}(1)$  kpc 程度の小スケール ( $\sim$  dSph のサイズ) では？  
CDM の N-body simulation はカスプ (中心が尖った) 分布が期待される  
観測からはコア状からカスプ状まで多様な暗黒物質分布が見られる  $\Rightarrow$  “多様性問題”

## 自己相互作用暗黒物質 (SIDM)

- SIDM の自己相互作用有効断面積

$$\sigma_{\text{eff}}/m_{\text{DM}} \sim 1\text{--}10 \text{ cm}^2/\text{g} \quad (v_{\text{rel}} \sim 30\text{--}100 \text{ km/s})$$

程度の SIDM は、暗黒物質ハロー内で熱輸送を引き起こす  
(e.g. 原子核の自己相互作用  $\sigma/m \sim 1\text{cm}^2/\text{g}$  より大きい！)

- 適度な熱輸送  $\Rightarrow$  コア形成。
- 過剰な熱輸送  $\Rightarrow$  重力熱的コア崩壊。

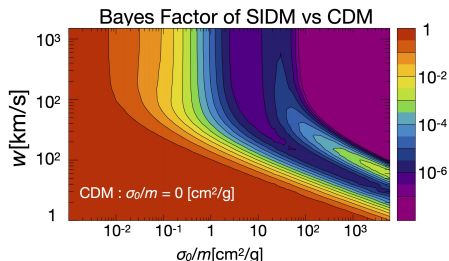
重力熱的コア崩壊：熱輸送が進みすぎると、ハロー中心部が熱を失って再収縮し、カスプ状分布になる現象

# 矮小銀河による自己相互作用暗黒物質への制限

## 矮小銀河における SIDM の時間発展 (典型的な銀河年齢 $t_{\text{age}} \sim 10 \text{ Gyr}$ )

- 初期状態: CDM 分布  $\Rightarrow$  コア形成 @  $t_c \sim 0.1\text{--}10 \text{ Gyr}$
- $t_c$  は各銀河の初期 CDM パラメータに依存する。
- $t_c > t_{\text{age}} \Rightarrow$  コア状分布。  $t_c < t_{\text{age}} \Rightarrow$  重力熱的なカスプ状分布。  
 $\Rightarrow$  SIDM によって多様性を説明できる? 様々な SIDM 模型が提案されている

## 34 個の dSph について、恒星の視線方向速度分散の観測値と理論予言を比較

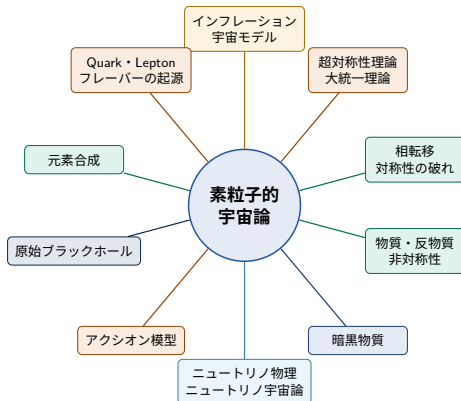


### 速度依存断面積

$$\frac{d\sigma}{d \cos \theta} = \frac{\sigma_0}{2[1 + (v_{\text{rel}}/w)^2 \sin^2(\theta/2)]^2}$$

Bayes Factor  $< 10^{-2}$  = 決定的に排除

結果は SIDM よりも CDM を支持  
(多様性 = CDM におけるゆらぎ?)



場の量子論を駆使してこれらの問題に挑む

新物理発見に資する研究からすぐに役には立たないかもしれないけど面白くなるかもしれない研究まで幅広く研究しています

- 素粒子・宇宙を両方学べる環境。
  - 毎週水曜日：ジャーナルクラブ。
  - 金曜日：研究進捗報告会。
  - プロジェクトに関するミーティング（週1回以上）。
- 閑静な柏キャンパスで研究に集中できます。
- 数物連携宇宙研究機構 (IPMU) の人々と積極的に共同研究。
- 理学系研究科物理学専攻では A1 サブコースに属します。

## M1-M2

- 基礎勉強：場の理論、宇宙論
- 講義（本郷）
- 教科書や論文を読むゼミ
- M1 秋からプロジェクト
- 修士論文の研究開始

## D1-D3

- 独立した研究者になる
- 自ら研究課題を見つける
- 研究を遂行する
- 博士論文を完成

- 日々の暮らし = hep-ph, astro-ph をチェック。
- コーヒーを飲んでおしゃべり（研究は人と人との化学反応）
- 研究会・国際会議に参加どんどん参加

- More on Dark Topological Defects
- Clustering of Primordial Black Holes from QCD Axion Bubbles
- Revisiting Metastable Cosmic String Breaking
- Primordial Origin of Supermassive Black Holes from Axion Bubbles
- Small Instanton Effects on Composite Axion Mass
- Cosmic strings in multi-step symmetry breaking
- Fermion Multiplicities at the GUT Scale: A Statistical Study of Unification and Proton Decay

**興味がある方は午後の研究室訪問でお話しします**

## 卒業後の進路

修士	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
進学	2	2	2	3	1	1	1	1	2	1	2
就職	0	0	2	0	0	1	2	1	0	0	0

博士	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
研究職	1	1	1	2	0	0	1	0	0	0	1
就職	0	0	1	1	0	2	2	0	1	1	0

理論グループの研究に興味がある方は  
534号室（5階）までお越しく下さい

今日の昼食も534号室

（諸事情で今日は16時30分まででお願いします）