

暗黒物質“包囲網”

地中の静寂 宇宙の信号

極限エネルギーの粒子衝突

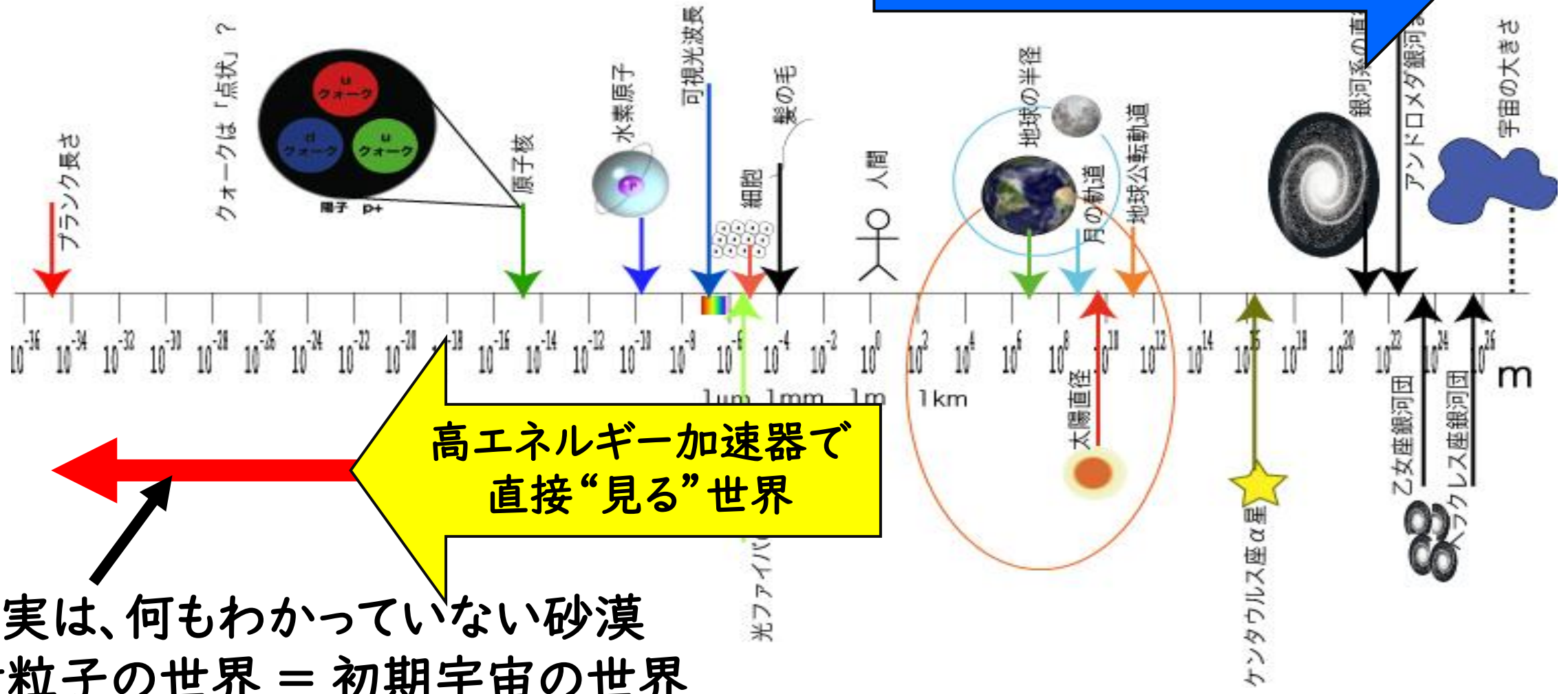
物理学専攻 寄田浩平

駒場理学部ガイダンス

May.8.2026@駒場キャンパス

自然界の長さスケール

望遠鏡で“見る”世界



高エネルギー加速器で
直接“見る”世界

実は、何もわかっていない砂漠
素粒子の世界 = 初期宇宙の世界

自然界の謎

真空の構造と安定性

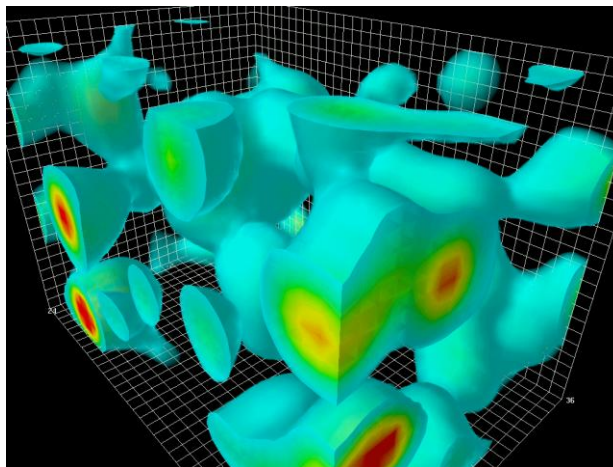
素粒子の質量起源

物質優勢宇宙の謎

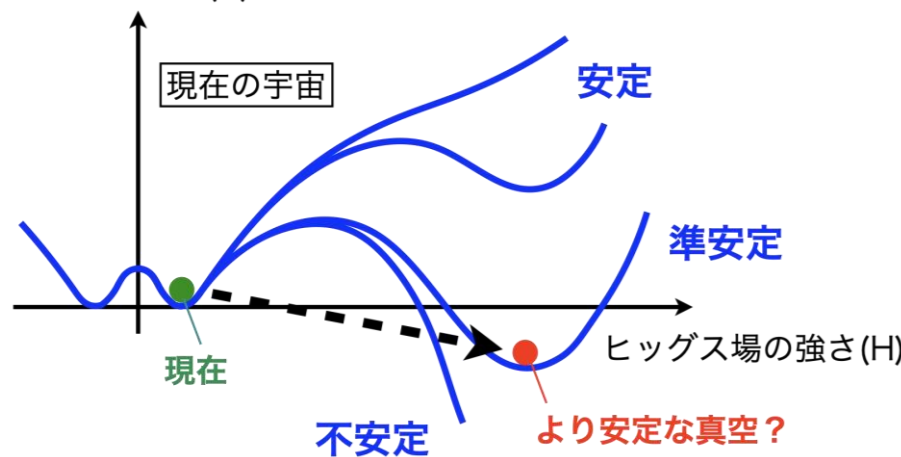
新しい素粒子・対称性

... その他、多数の難題

暗黒物質の謎



ヒッグス場のポテンシャル(V)



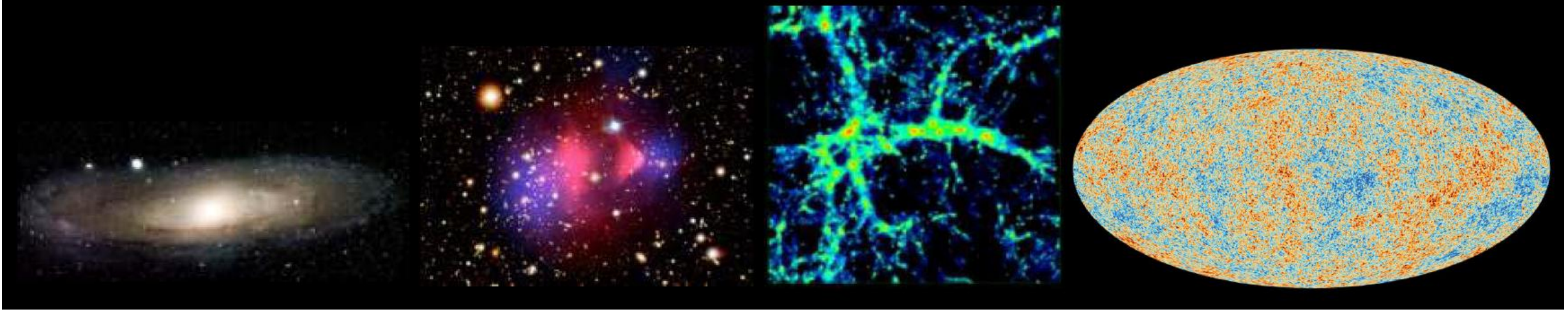
| | 物質の三世代 (フェルミ粒子) | | | 相互作用 / 力の伝搬 (ボース粒子) | |
|-----|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------|-----------------------------|
| | I | II | III | | |
| 質量 | ≈ 2.2 MeV/c ² | ≈ 1.28 GeV/c ² | ≈ 173.1 GeV/c ² | 0 | ≈ 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 |
| | d ダウン | s ストレンジ | b ボトム | γ 光子 | |
| | e 電子 | μ ミュー粒子 | τ タウ粒子 | Z Zボソン | |
| | 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 | |



- 質量はヒッグス粒子との結合
- 粒子と反粒子の物理法則が異なるから、私たちは現宇宙に存在できてる!

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + i\bar{\psi}D\psi + \bar{\psi}_i y_{ij} \psi_j \phi + h.c. + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)$$

「暗黒物質」という謎



過去、現在、小規模、中規模、大規模、宇宙全体、どこをみても「やつ」はいる

- 暗黒物質の状況証拠

- 重力
- バリオンの5倍くらい残存
- 十分に安定
- 冷たい(非相対論的)

- 素粒子実験屋的な考察(問い)

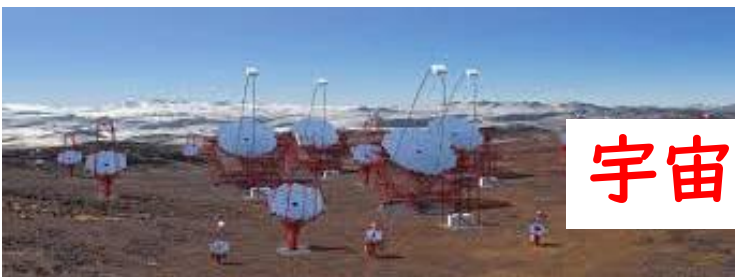
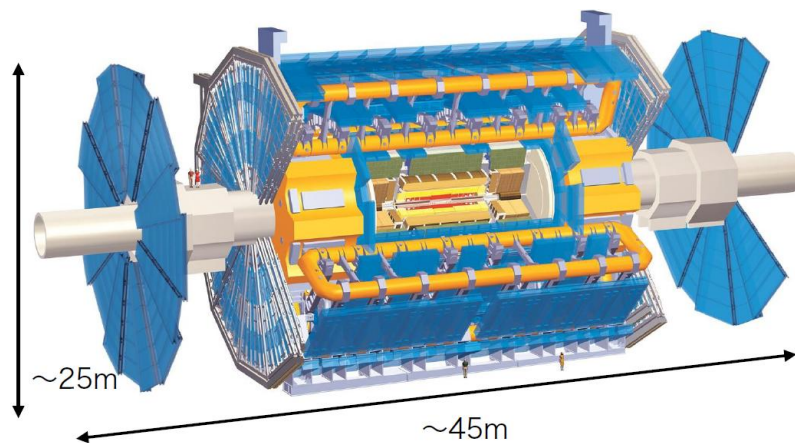
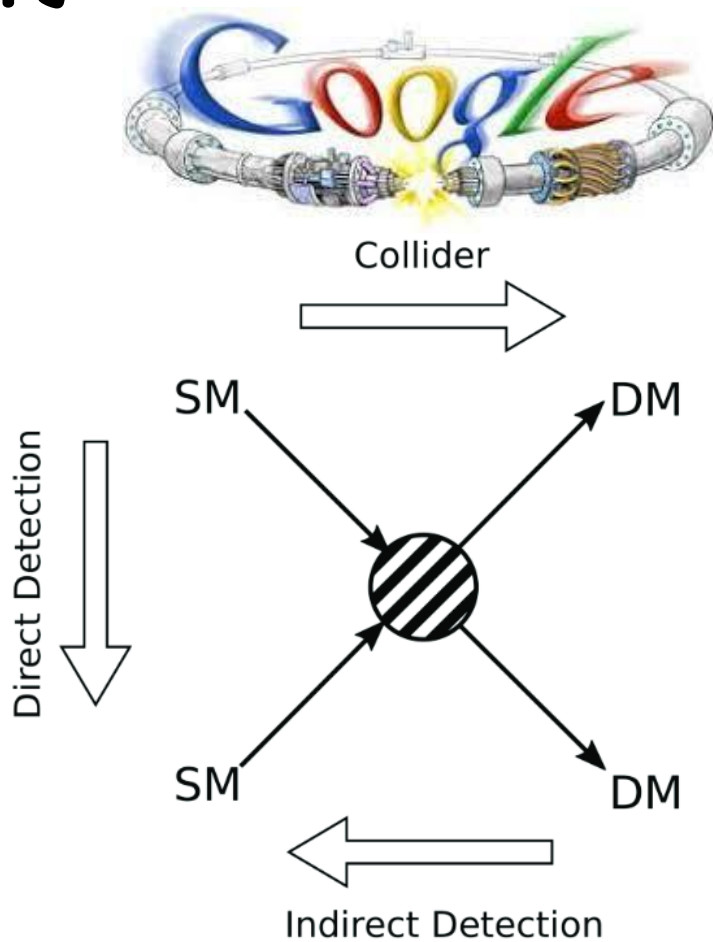
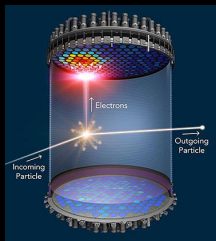
- 他の相互作用の種類と大きさは?
- 質量は?
- どうやって安定に?
- 素粒子物理学の中の役割は?

暗黒物質“包囲網”

極限の高エネルギー粒子衝突で作る



地下の静寂から見る

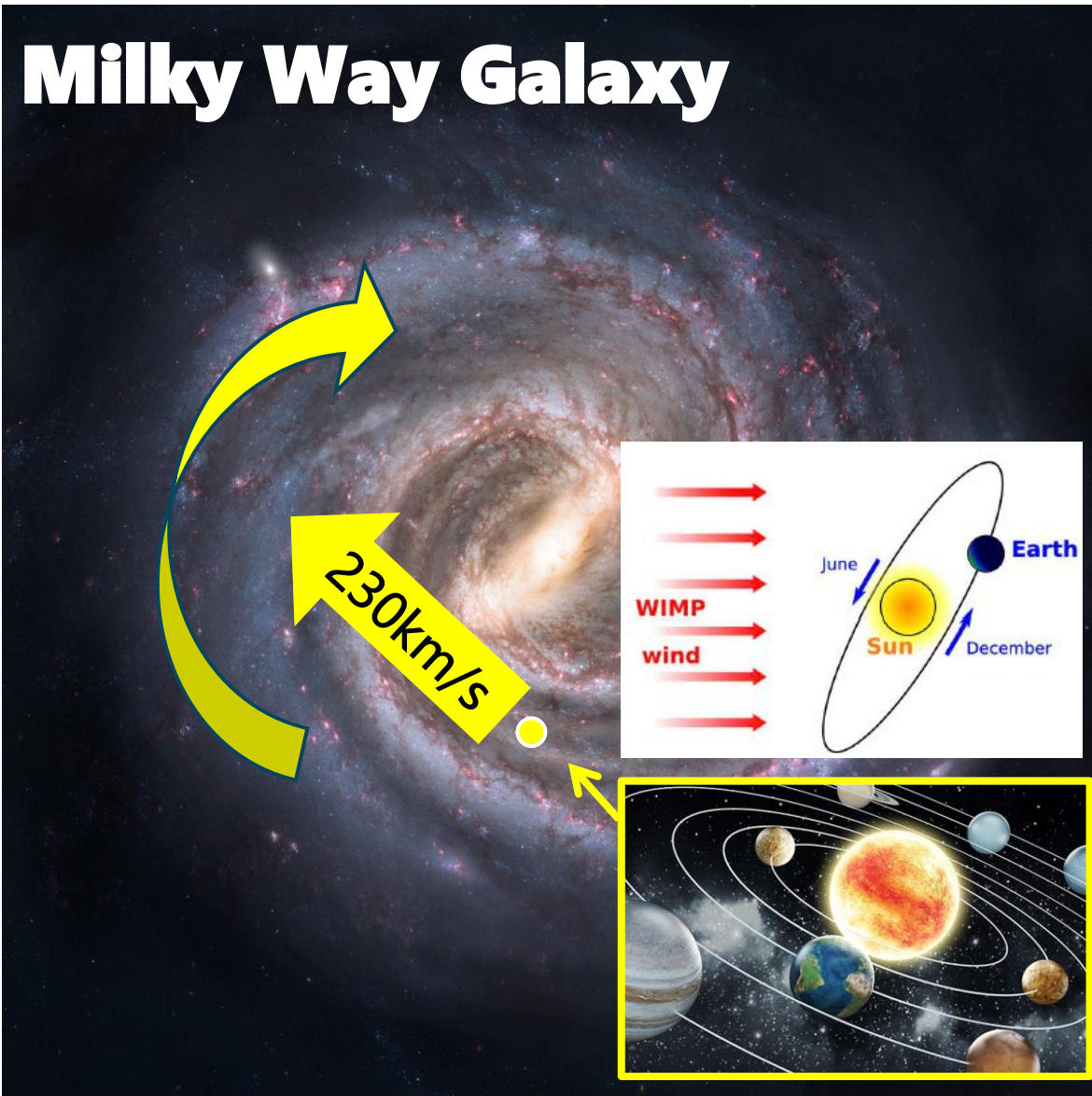


宇宙の信号を捉える



暗黒物質の「直接探索」【地下実験】

Milky Way Galaxy

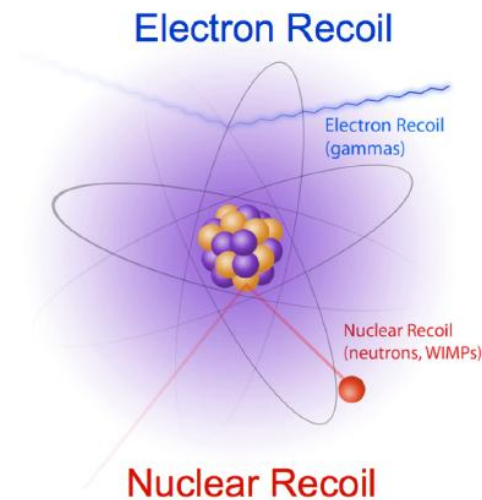
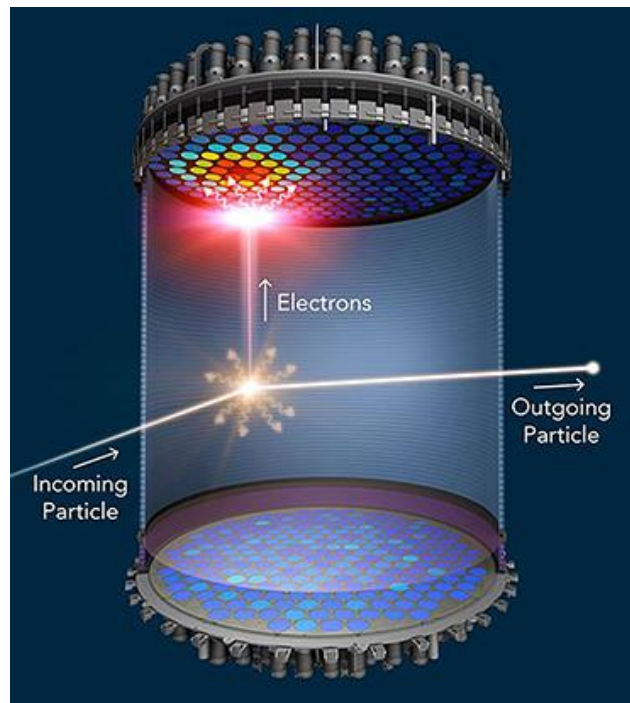


反応頻度 $R = \text{断面積 (cm}^2) \times \text{フラックス (cm}^{-2} \text{s}^{-1})$

$$R = \underbrace{\sigma_{\chi N}}_{\chi N \text{ の反応断面積}} \times n\langle v \rangle = \sigma_{\chi N} \times \underbrace{\rho}_{\text{DM密度}} \int_{v_{\min}}^{v_{\text{esc}}} \underbrace{vf(v)}_{\text{速度分布}} dv$$

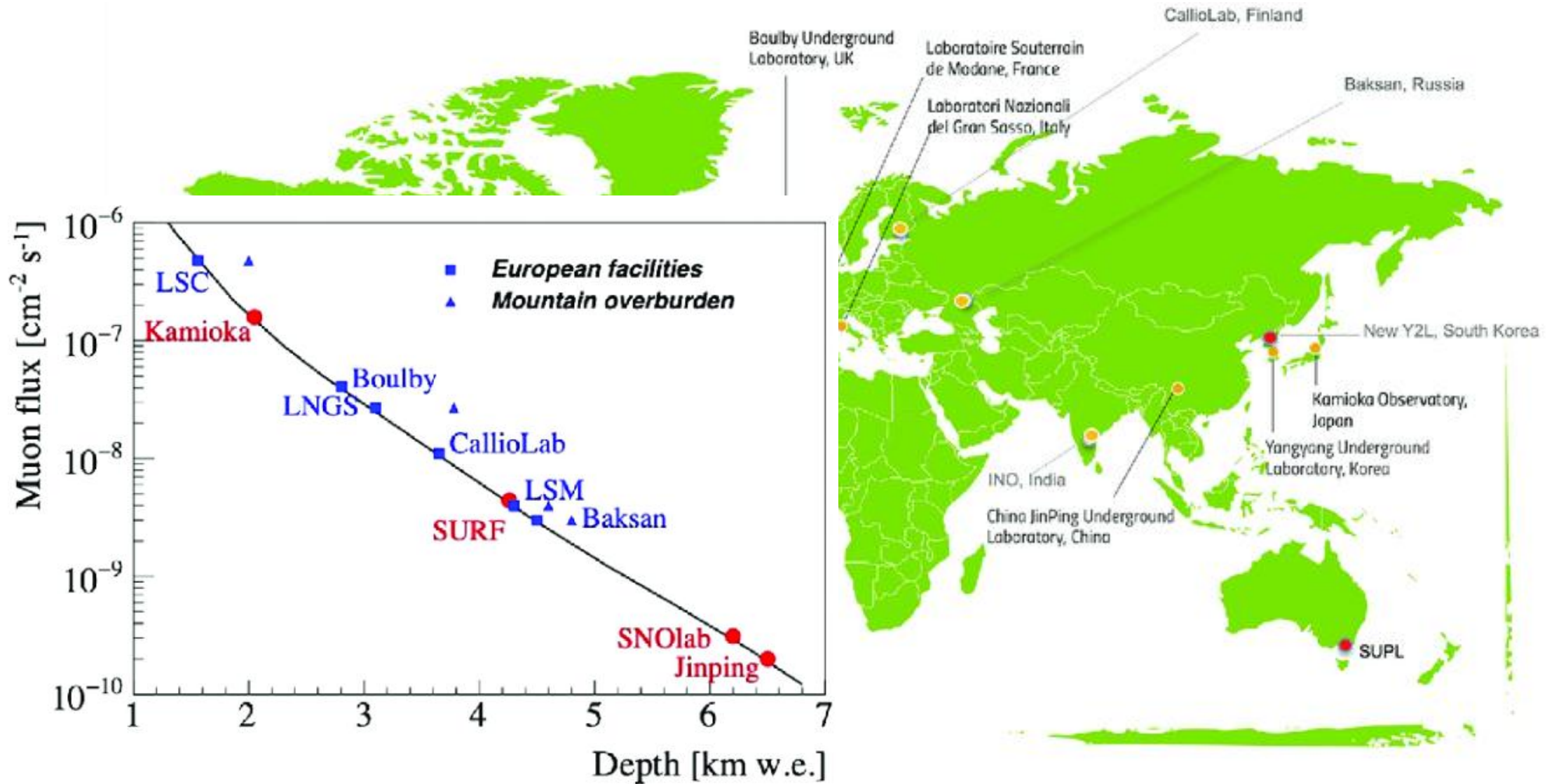
$$\vec{v}_E = \vec{v}_{\text{Sun}} + \vec{v}_{\text{Rot}}$$

$$|\vec{v}_E| \simeq 230 + \sim 15 \cos \omega(y - y_0) \text{ km/s}$$



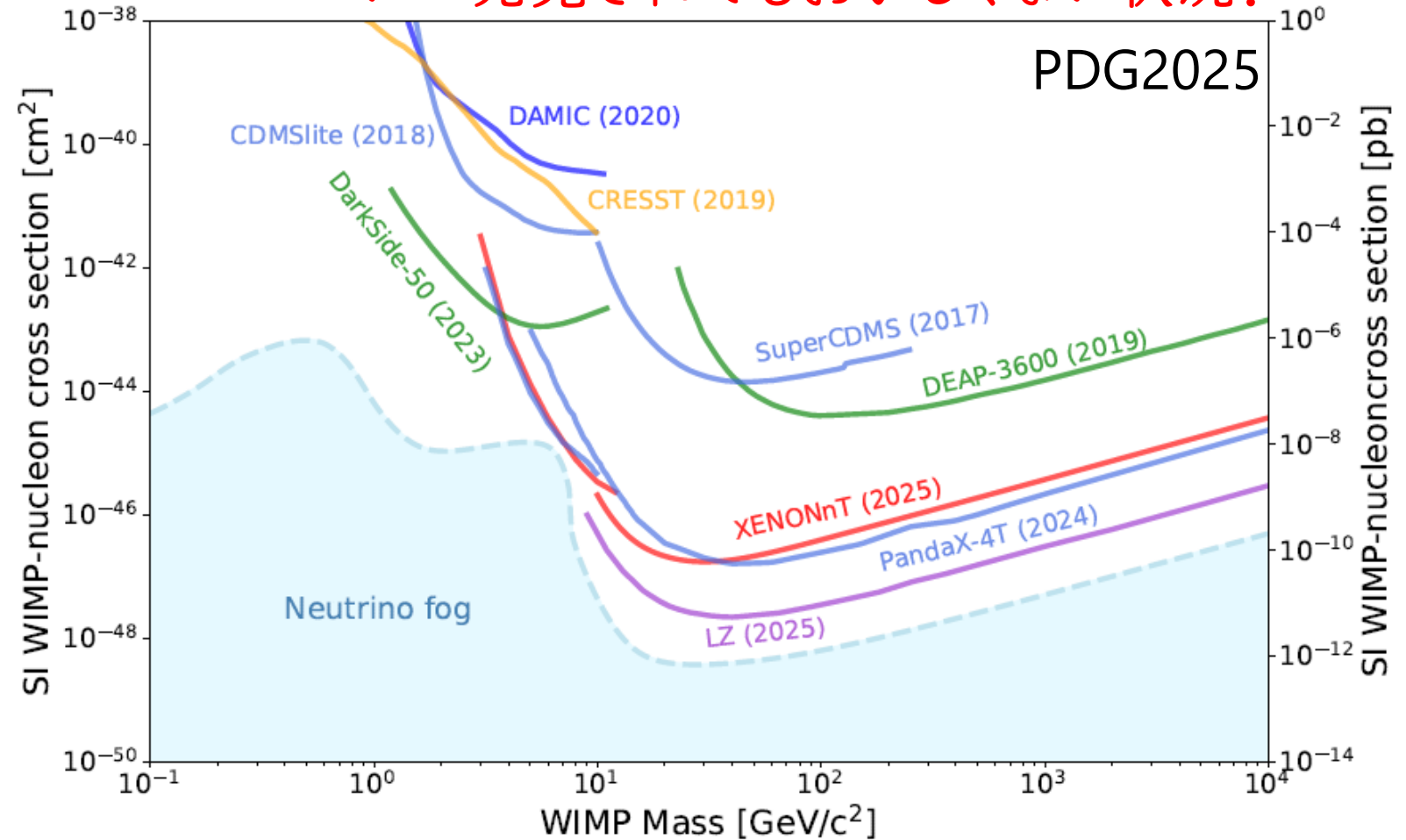
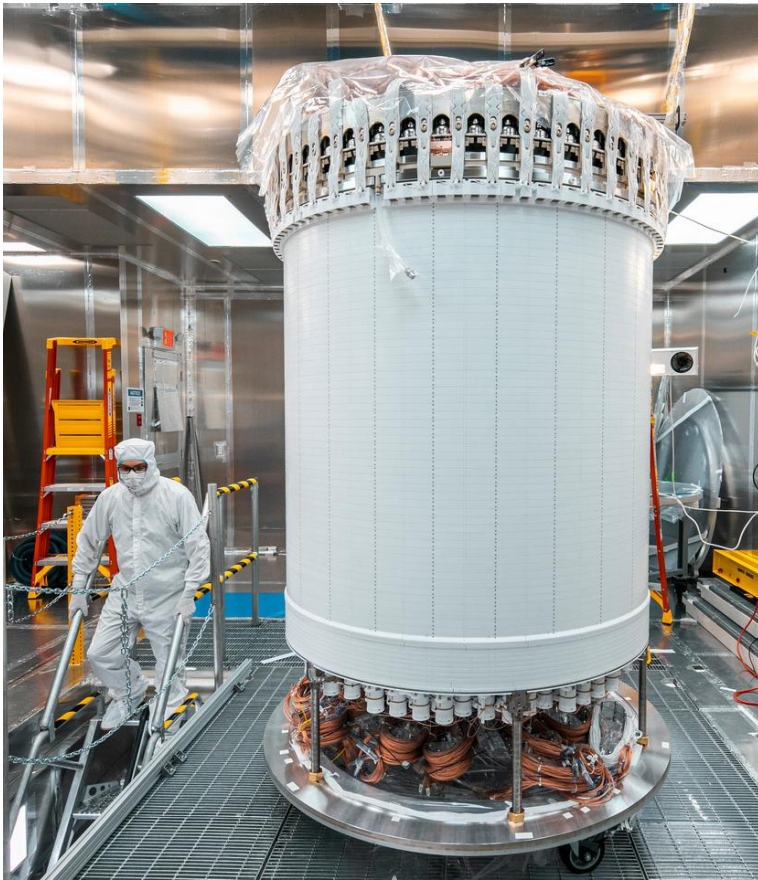
～ビリヤードの原理（反跳）
を用いてDMを観測する

世界各地の地下実験施設



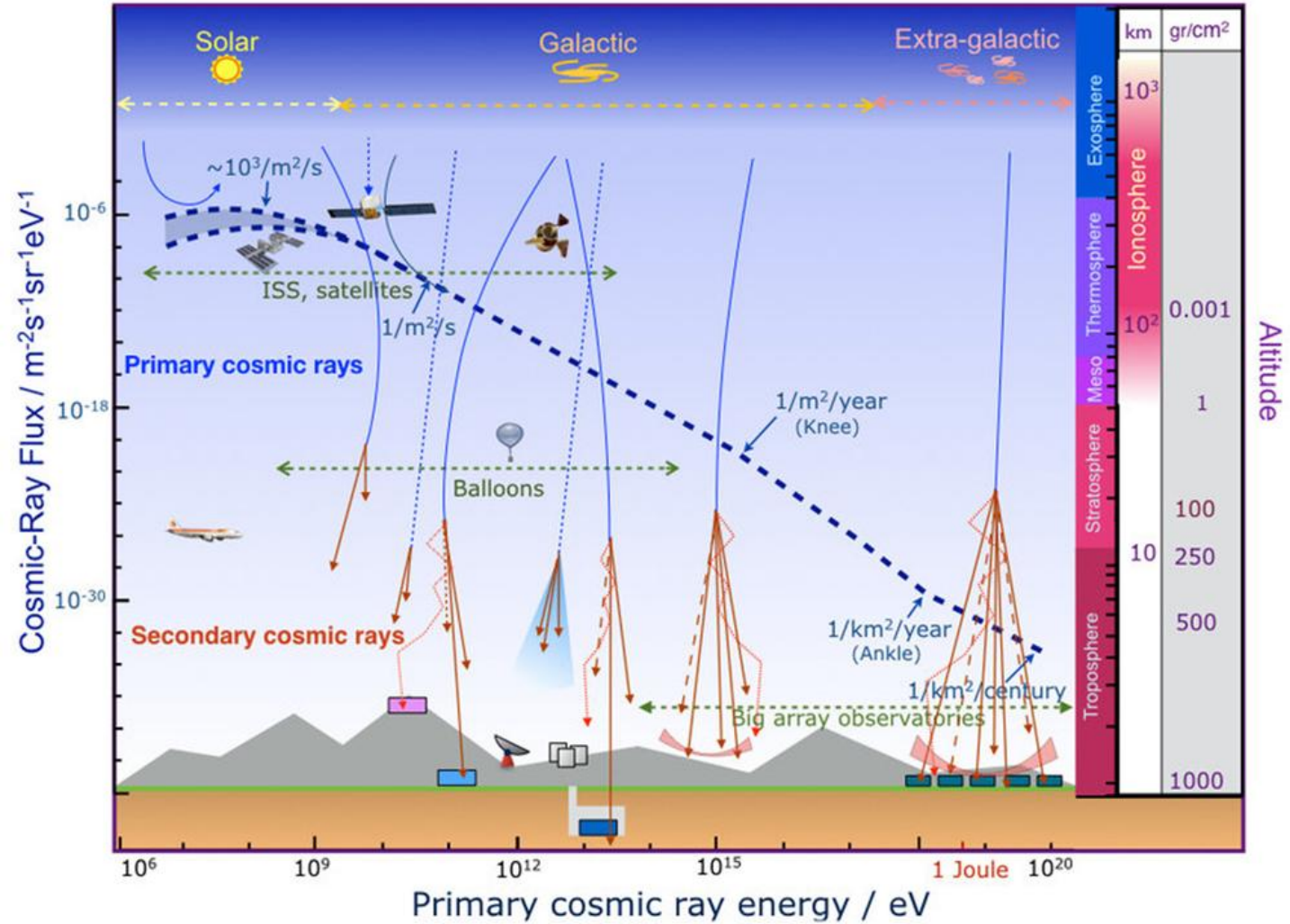
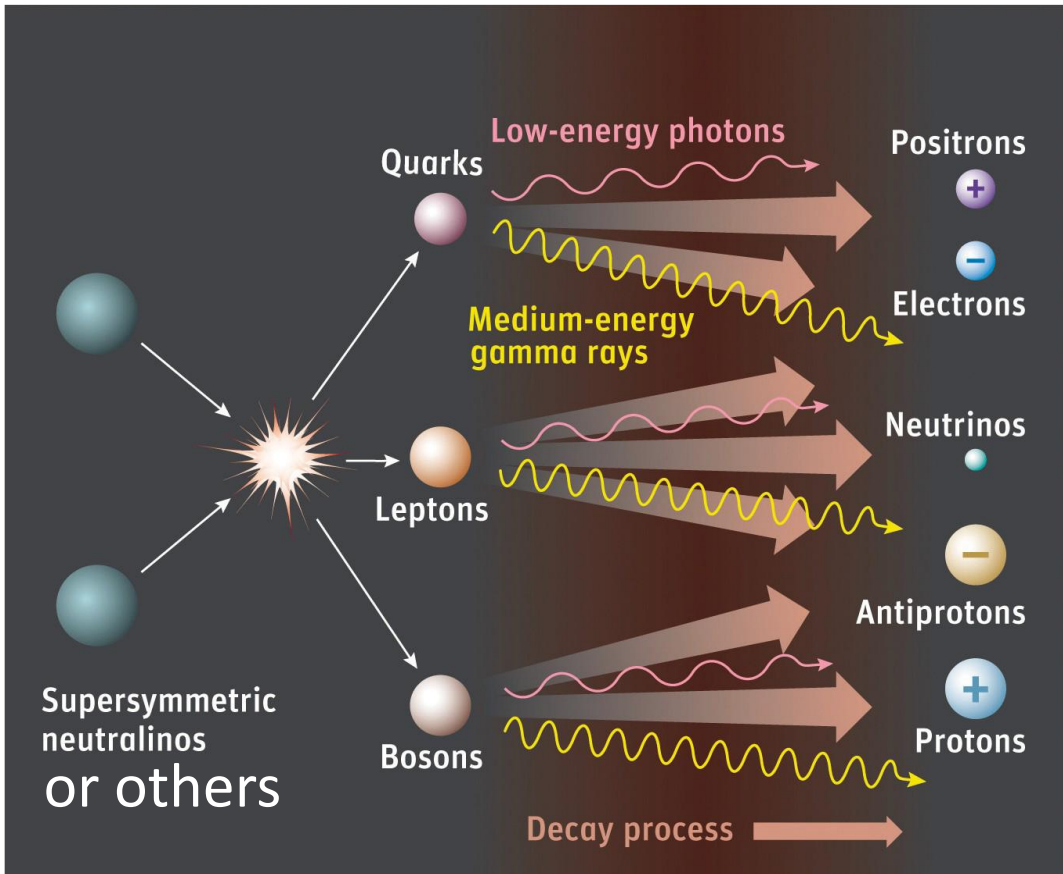
暗黒物質の「直接探索」【地下実験】

いつ発見されてもおかしくない状況!



これまでに見えなかった背景事象との闘い→究極の極低バックグラウンド技術の世界

暗黒物質の「間接探索」 衛星・気球・地上望遠鏡



← Particle Physics ← Astrophysics →

宇宙(のどこか)で起きた暗黒物質の反応による破片を「陸海空」どこでも探す!

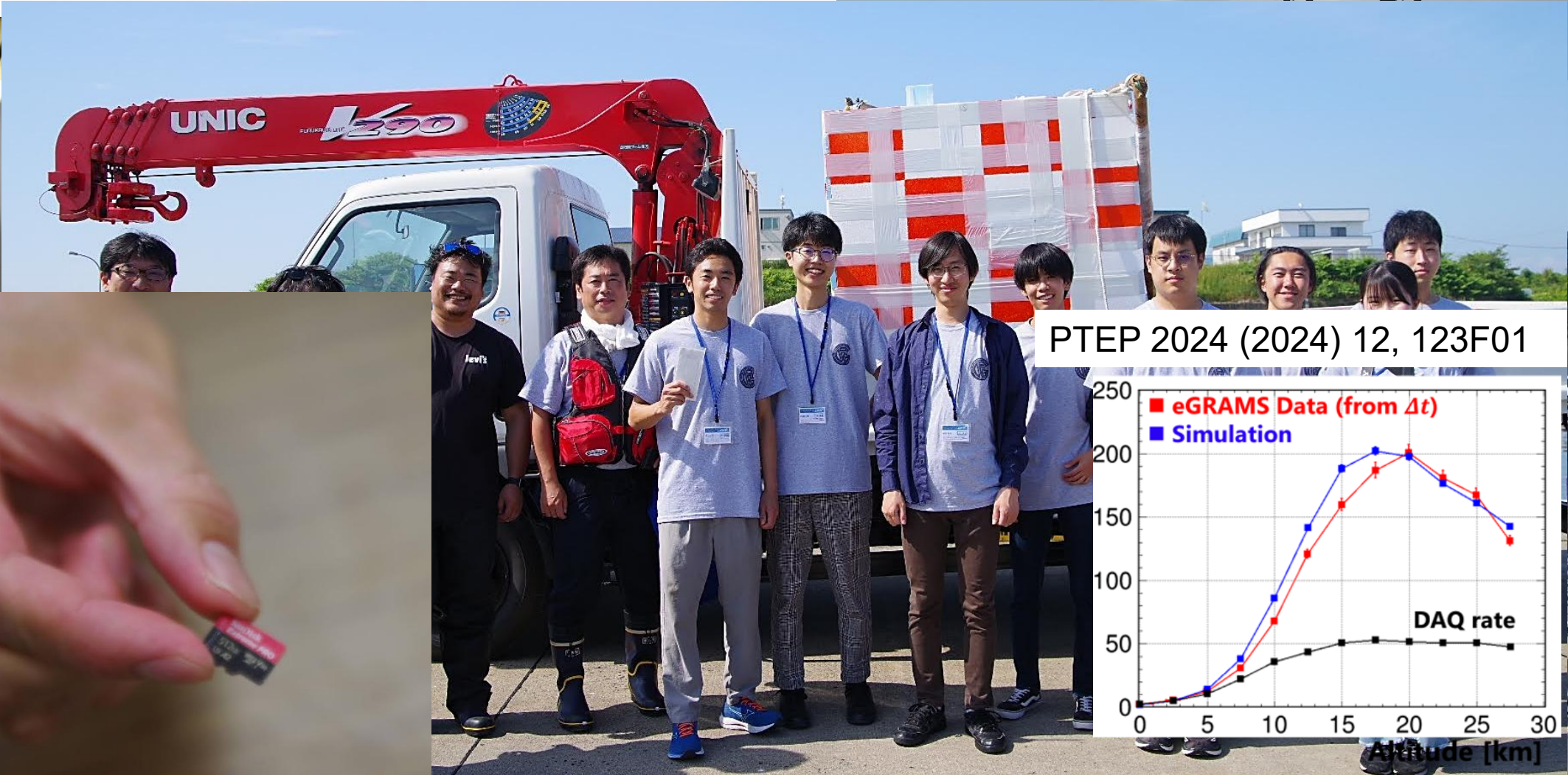
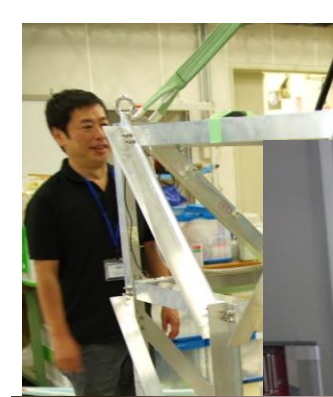
例) 気球実験の様子

★ 2022年11月JAXAに提案→2023年7月27日放球@北

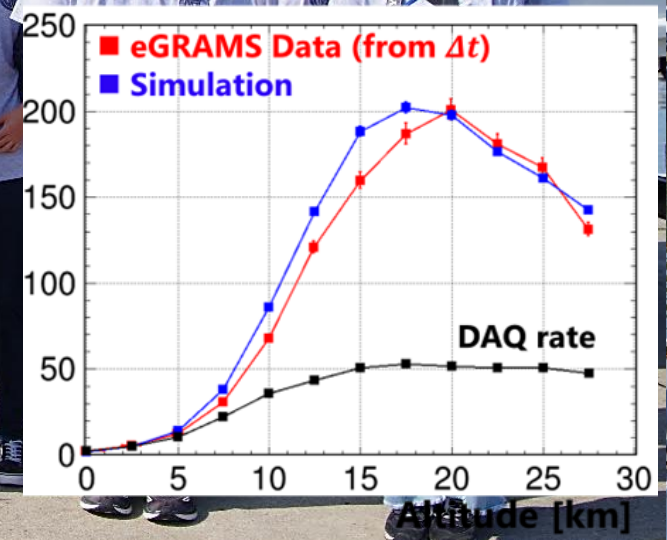


例) 気球実験の様子

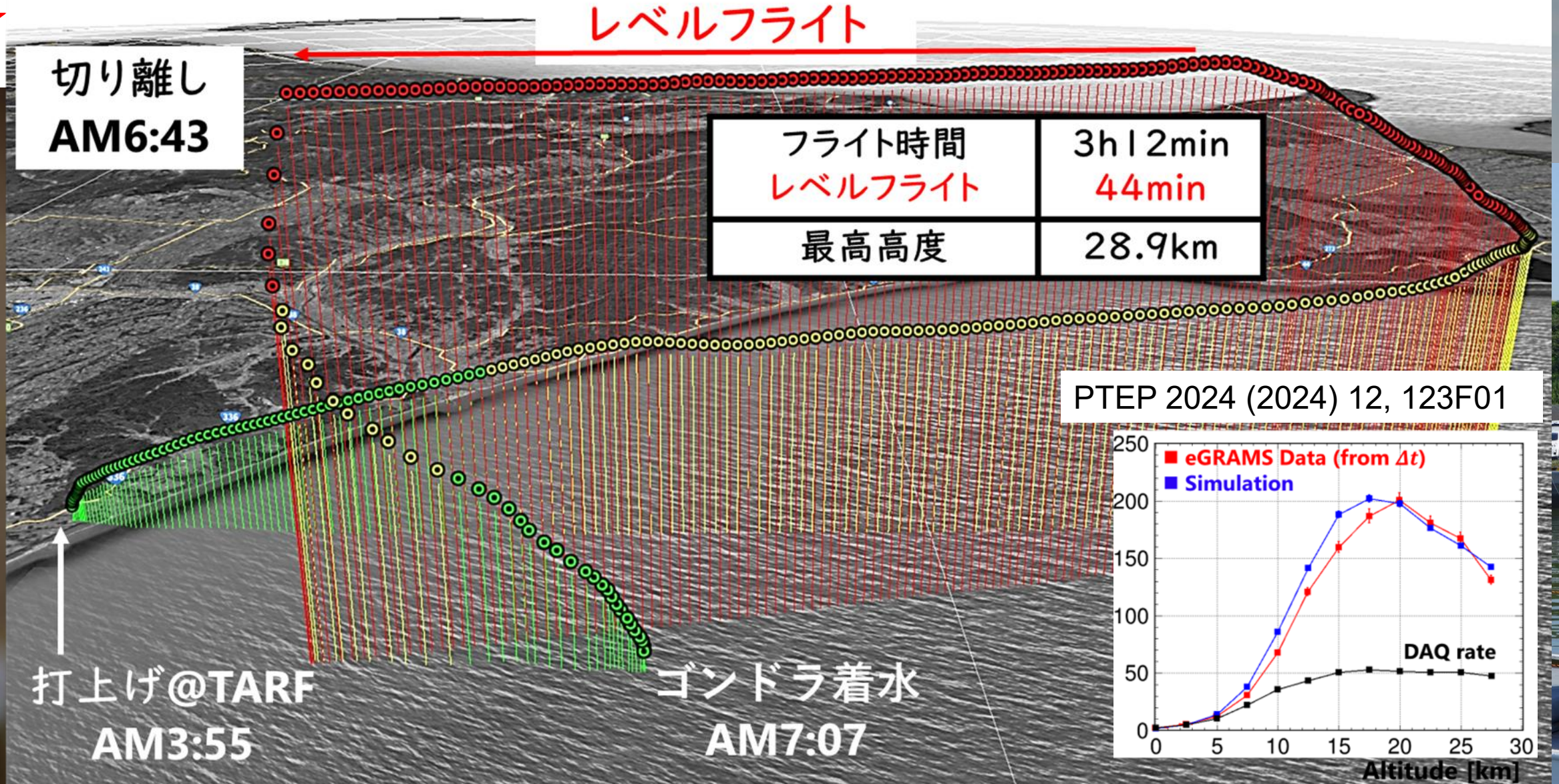
★ 2022年11月JAXAに提案→2023年7月27日放球@北



PTEP 2024 (2024) 12, 123F01



例) 気球実験の様子

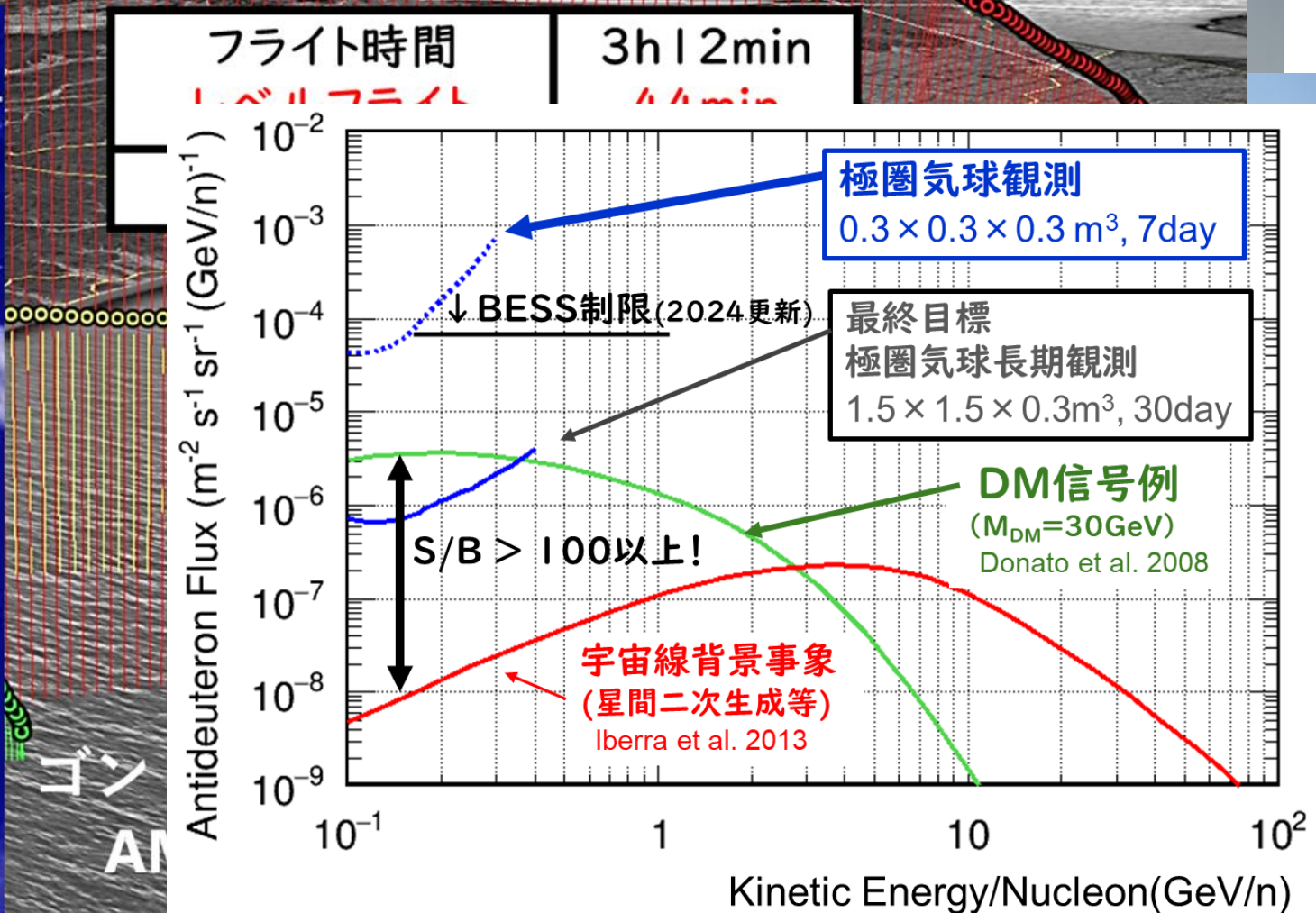
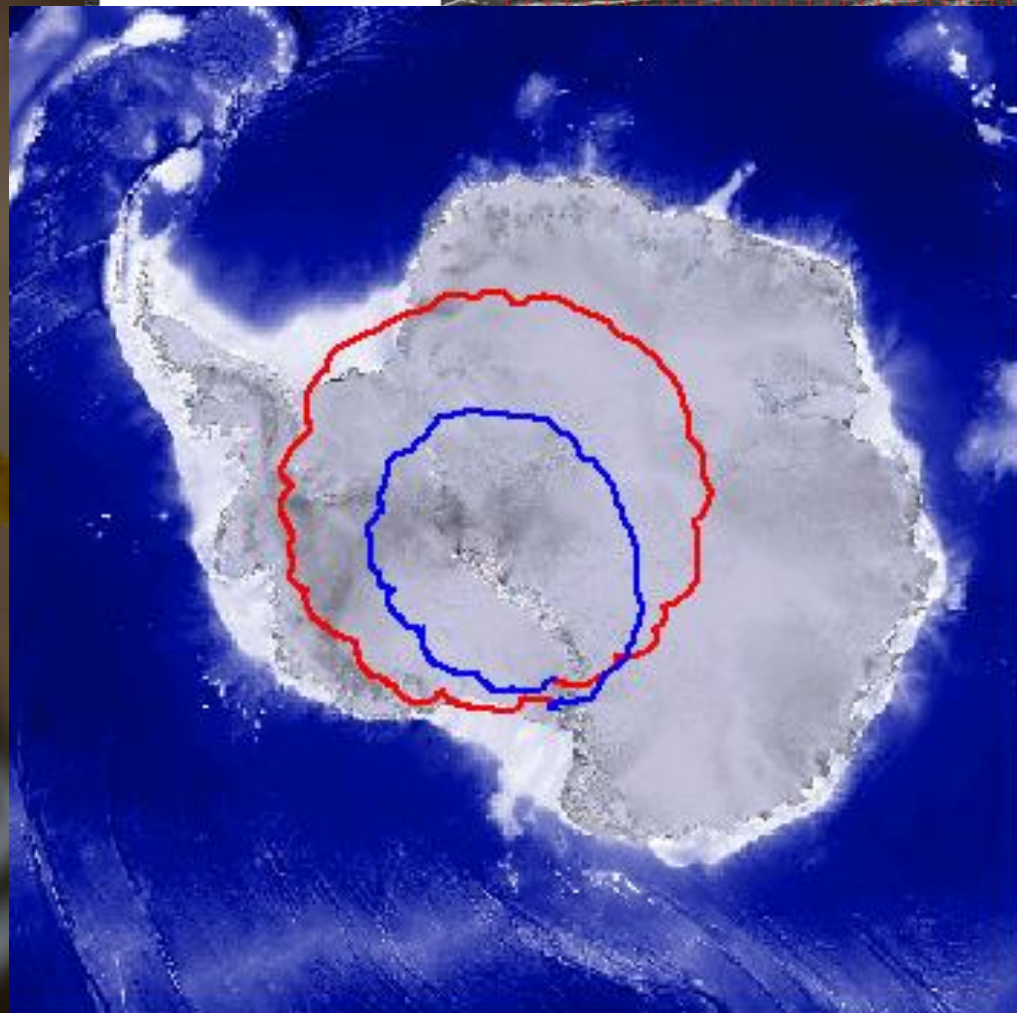


例) 気球実験の様子



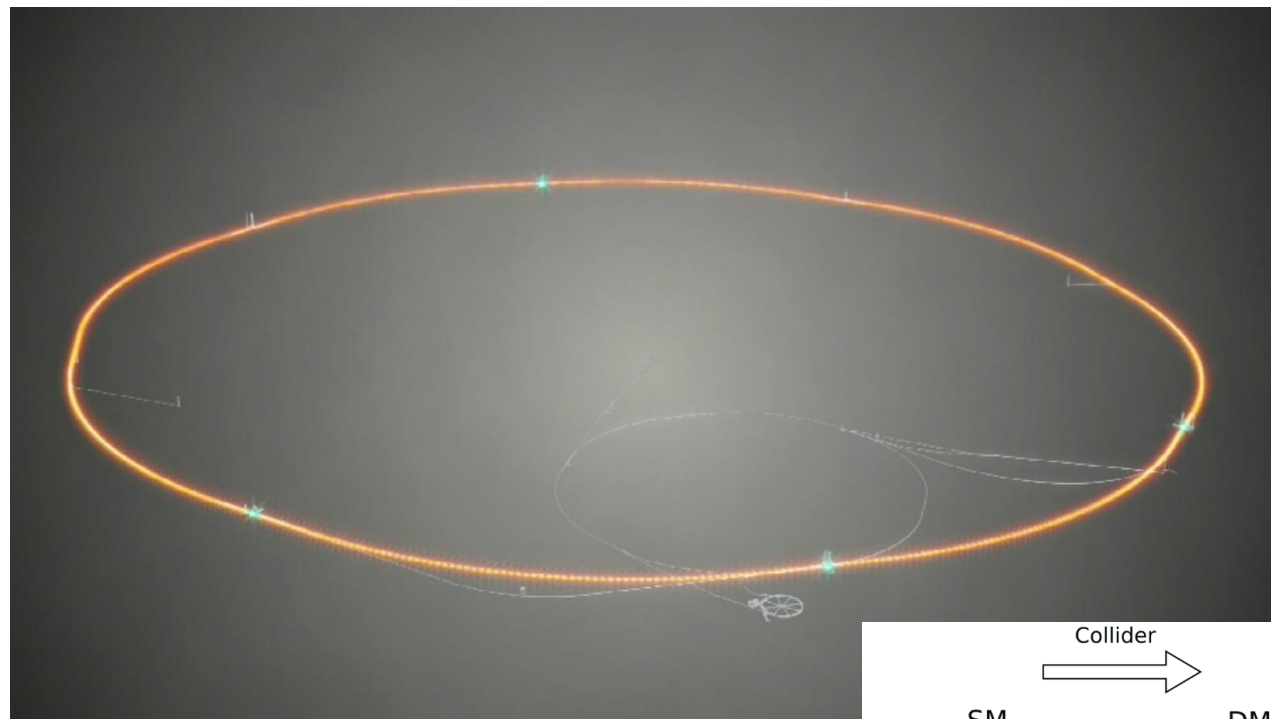
切り離し

レベルフライト



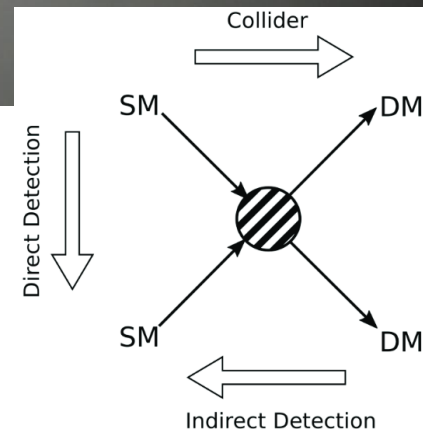
暗黒物質の「生成」【加速器実験】

- エネルギーフロンティア実験 世界最大の加速器 ATLAS/LHC実験@欧州CERN研究所



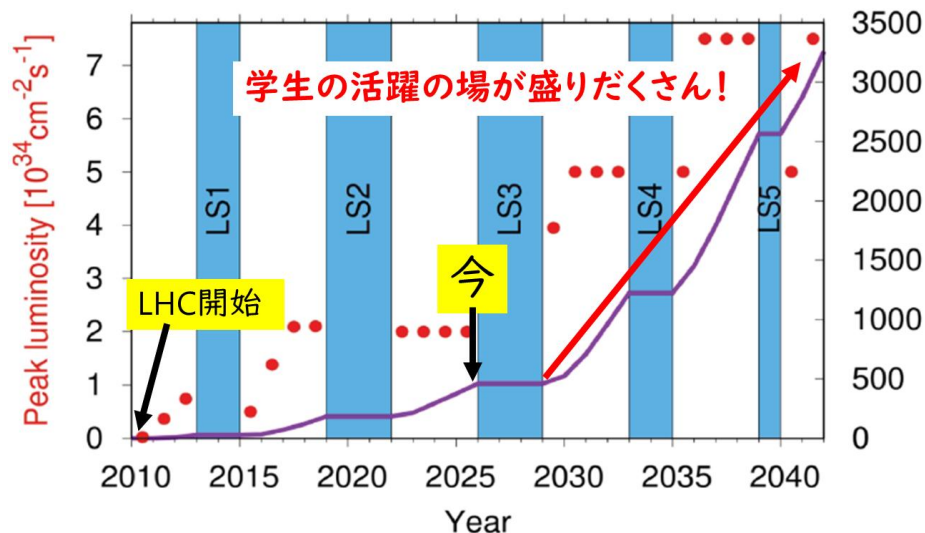
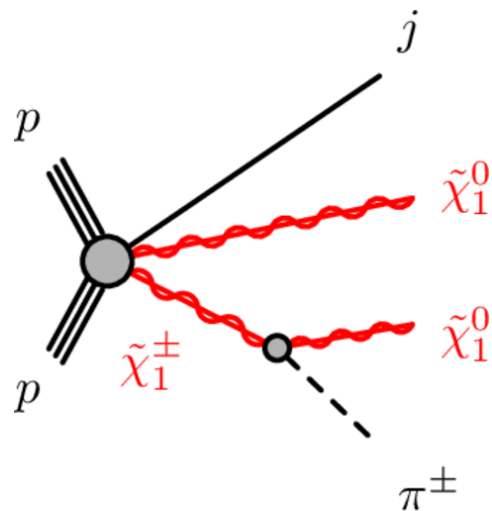
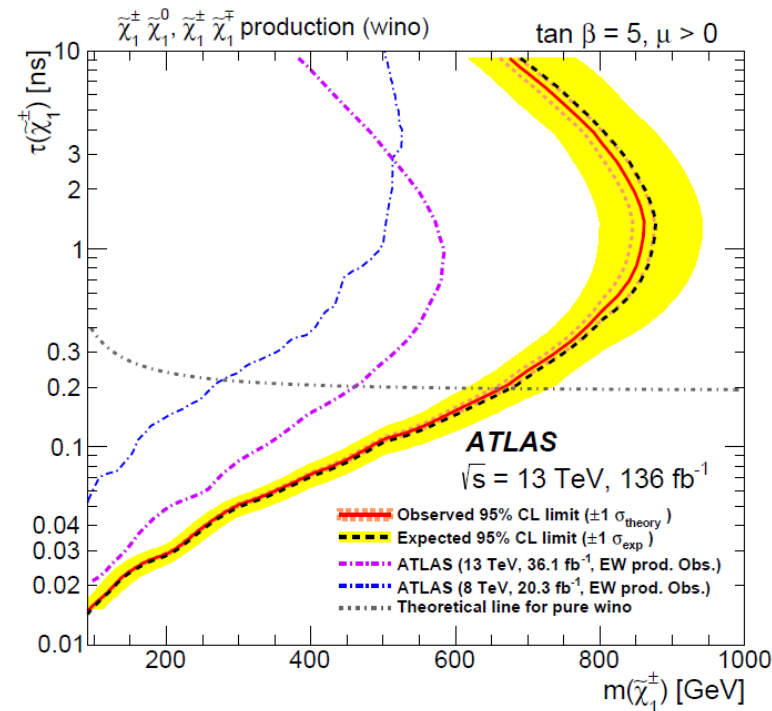
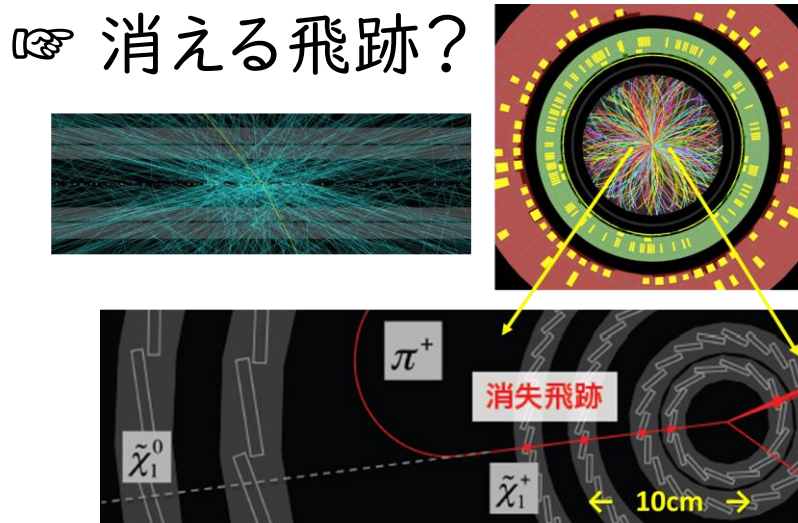
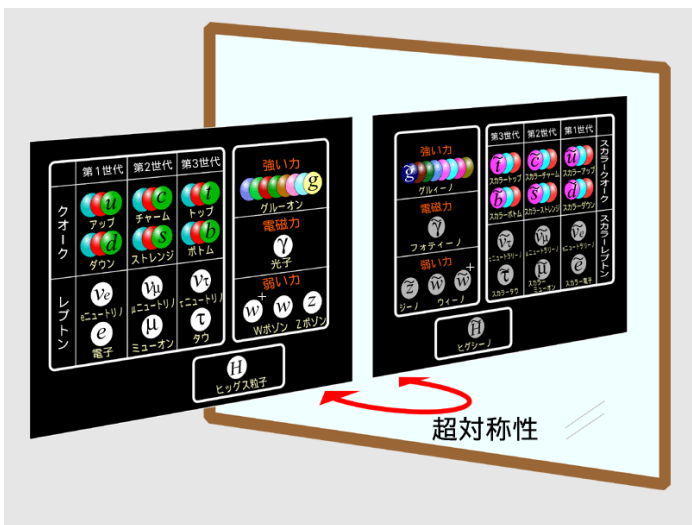
宇宙開闢後、 $\sim 10^{-10}$ 秒後の初期宇宙を人工的に再現

- ・ 質量起源のヒッグス粒子の初観測から性質解明へ
- ・ 超対称性粒子等の新粒子探索 → 暗黒物質を作る実験!?



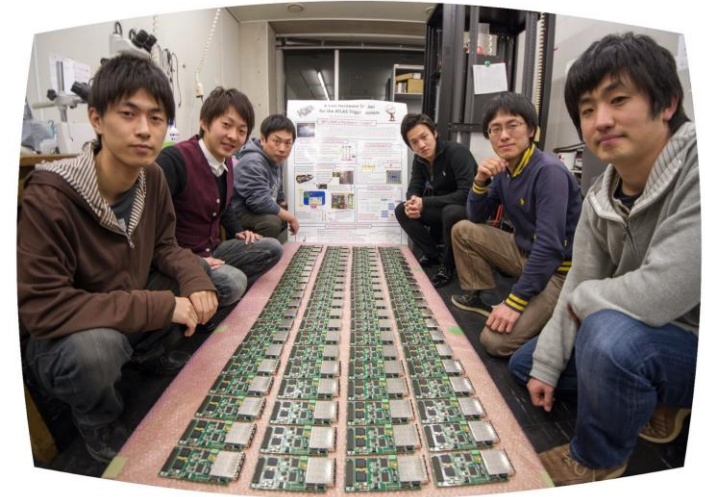
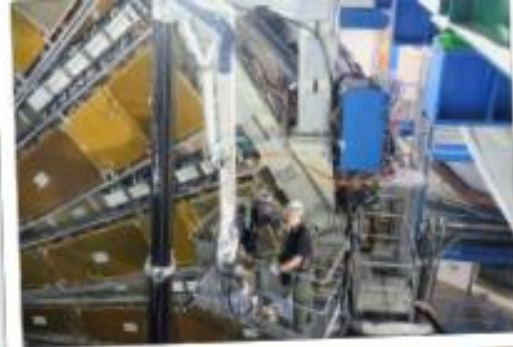
暗黒物質の「生成」【加速器実験】

● 新物理・DMの有力候補：超対称性粒子

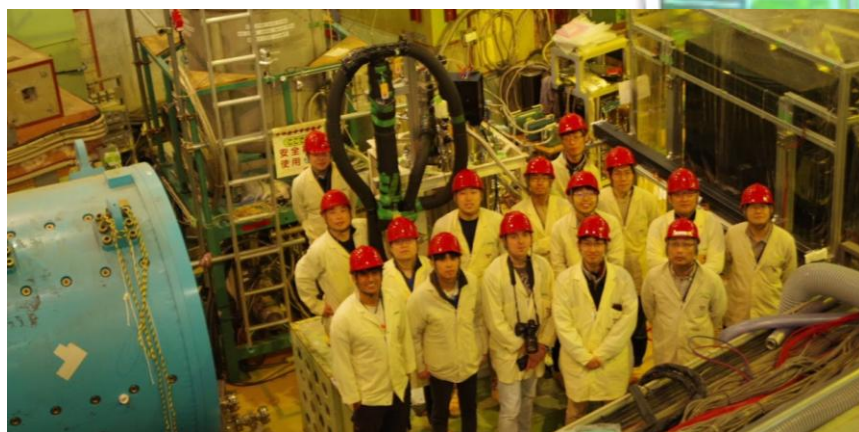


加速器性能をさらに向上させ、
2030年から新たに始動！
→ データ量が爆増！
→ 新粒子発見に向けて
これからの本番です！

基礎科学に国境はない。挑戦は国籍を問わない。



みんな、仲間😊



- 量子センサー・量子ビット、超伝導素子、光格子時計やAI活用等、先端技術を使った暗黒物質探索も盛んに開発進行中です
 - 素粒子実験・宇宙観測に加えて、量子科学・精密計測・情報科学と融合した新しい時代になっていますが、まだ「決定版」の方法がありません
- 👉 若いフレッシュなアイデアで、ゲームチェンジが起こり得ます
・・・次のノーベル物理学賞は、君たちかもしれません

地中の静寂

極限エネルギーの粒子衝突

「無知の知」から「知の変革」へ

素粒子標準模型の限界 から 標準模型を超える「新しい物理」の実験的解明へ

- ・ 暗黒物質は一例に過ぎません。力の統一、物質優勢、時空、Dark Energyも全部「？」
人類は知っていることより、知らないことのほうが、はるかに多いです。
→ 理論、実験、技術、そして国境を越えた協力による人類の総力戦で奮闘中
- ・ 100年前の古典力学から相対論や量子論へのような大転換の再来は「今」かも！
→ この偉大な未知に挑むことは、君たちに与えられた特権であり、責務!?
- ・ 人類の“真の力”は「不思議に思う知性と好奇心」です。
→ 「わからない」とか「わくわくする心」を大切にして
ぜひ、物理学科・物理学専攻と一緒に研究しましょう ☺