

ハイパーカミオカンデ実験： 素粒子の大統一理論への挑戦

A2サブコース 横山将志

大学院ガイダンス 研究紹介

2025年5月30日

<https://hep.phys.s.u-tokyo.ac.jp/>



このファイルは研究室のガイダンスページに掲載します

カミオカンデ3世代

ハイパーカミオカンデ

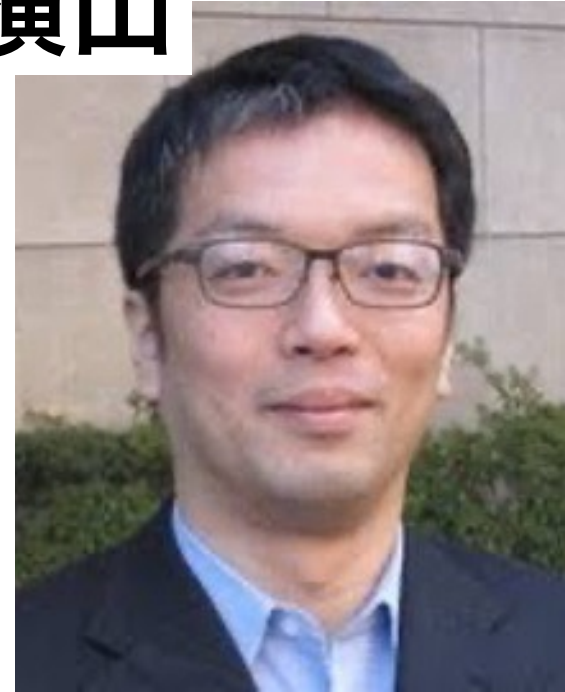
スーパーカミオカンデ

カミオカンデ



横山-中島研究室

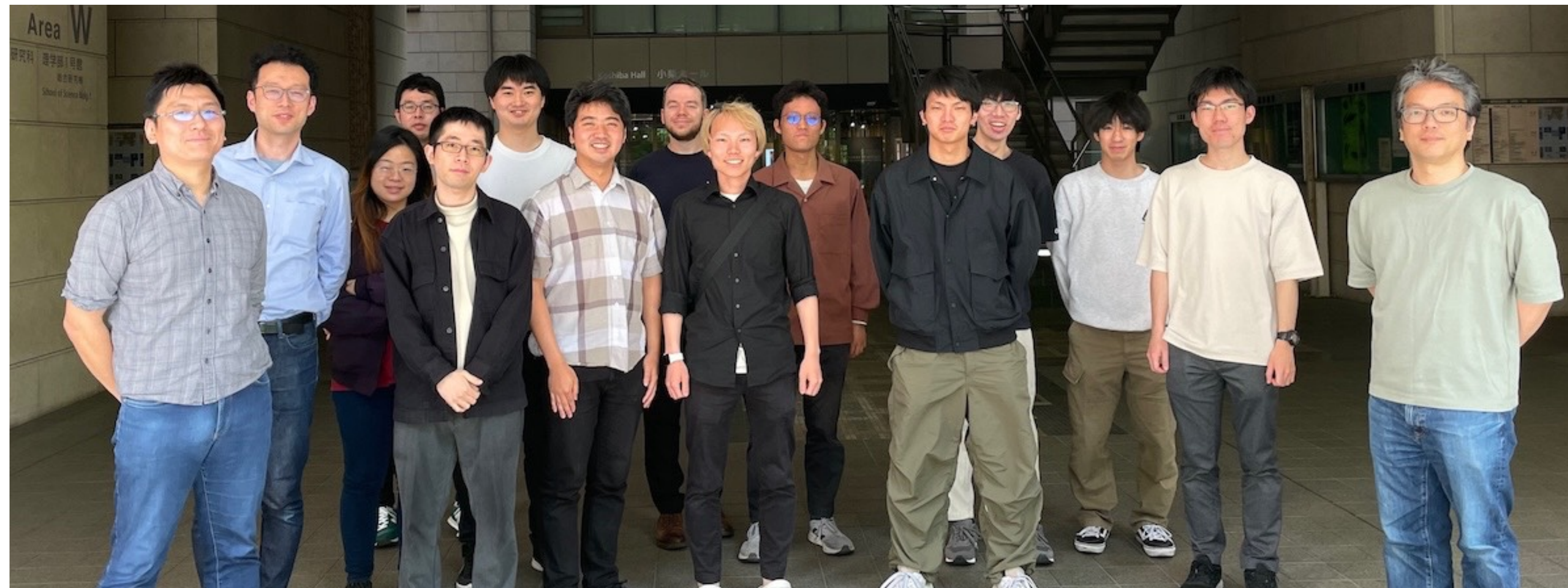
横山



中島

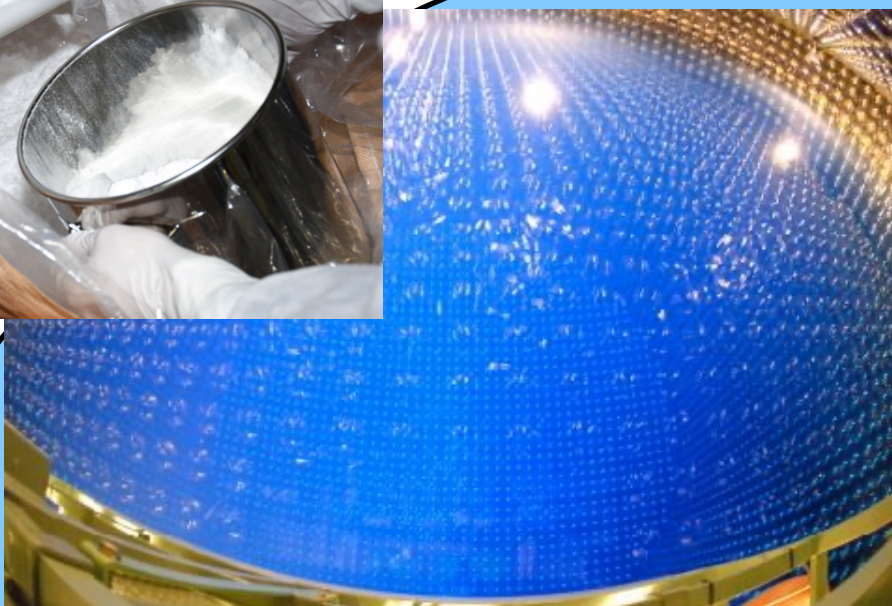


中桐



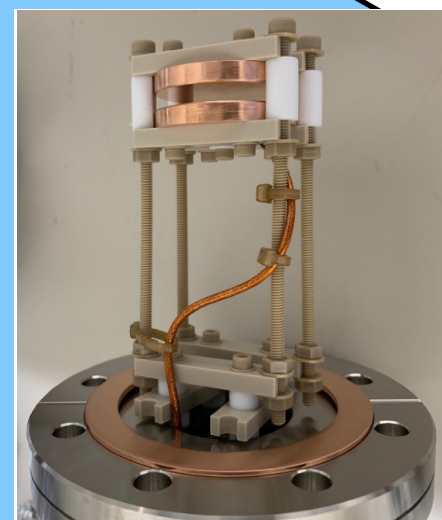
共同で活動しています（部屋など共通）

大きくは、ニュートリノを使った素粒子・宇宙の研究

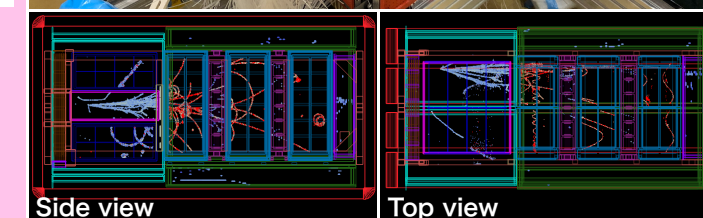
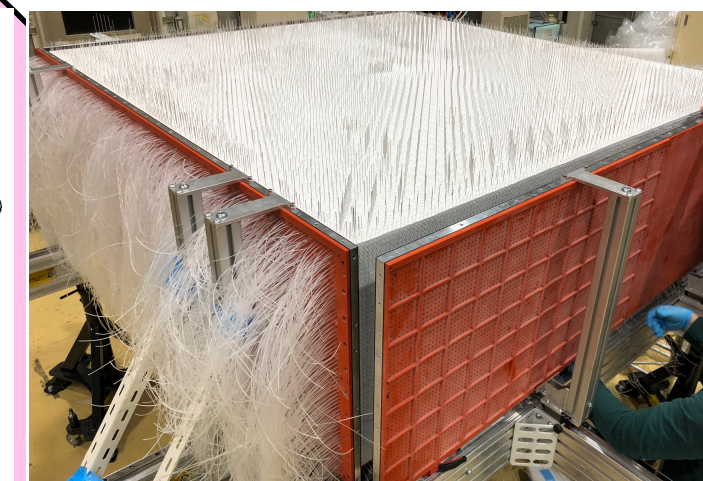
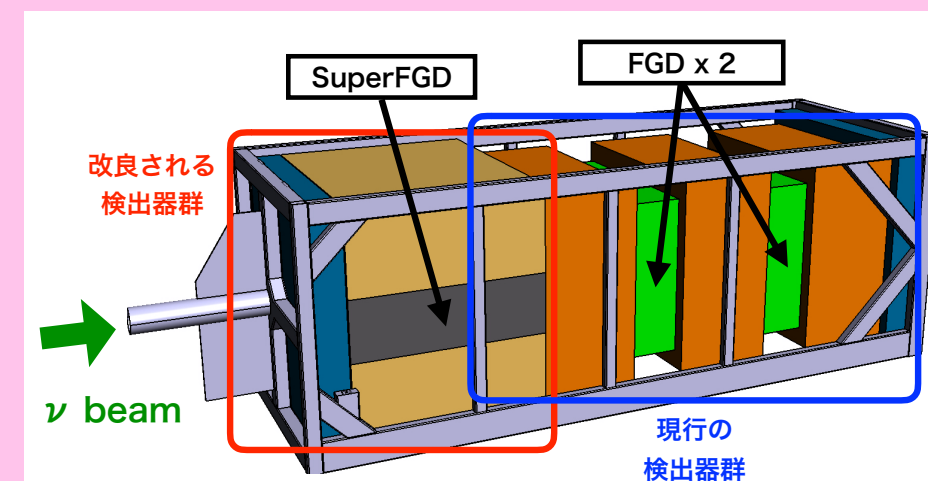


スーパーカミオカンデ
アップグレード

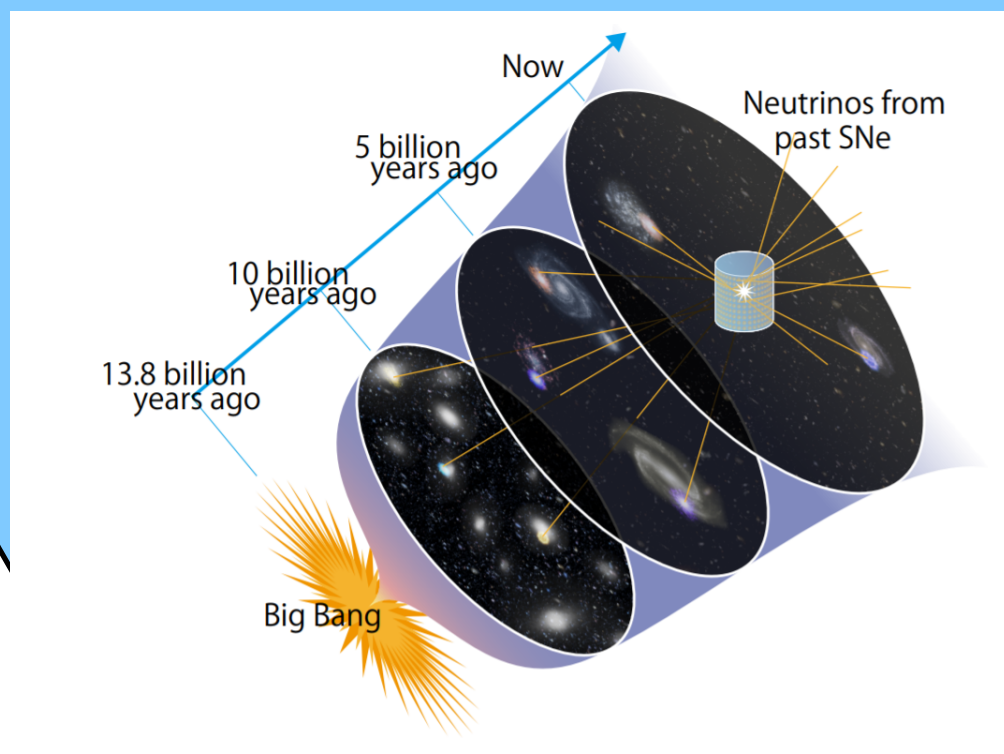
新検出器開発



T2K前置検出器アップグレード



中島研

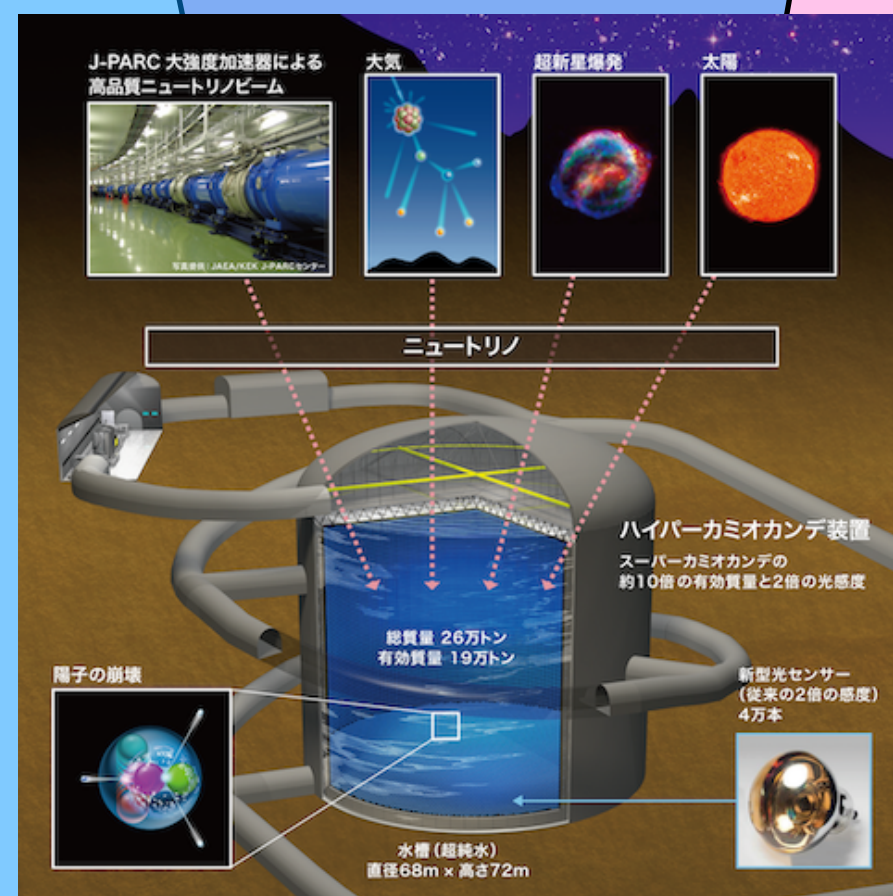
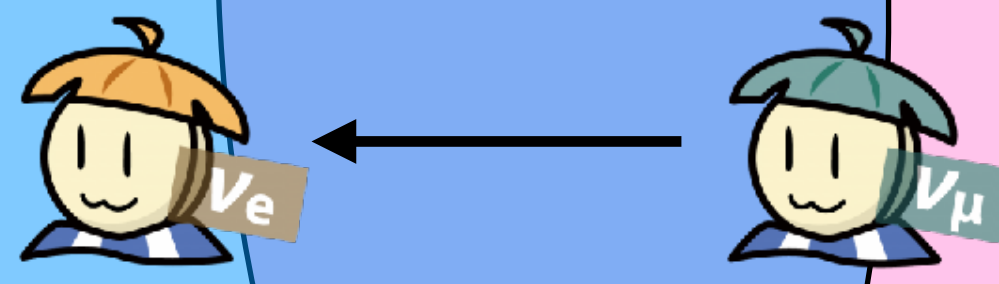


超新星ニュートリノ
太陽ニュートリノ

T2K実験



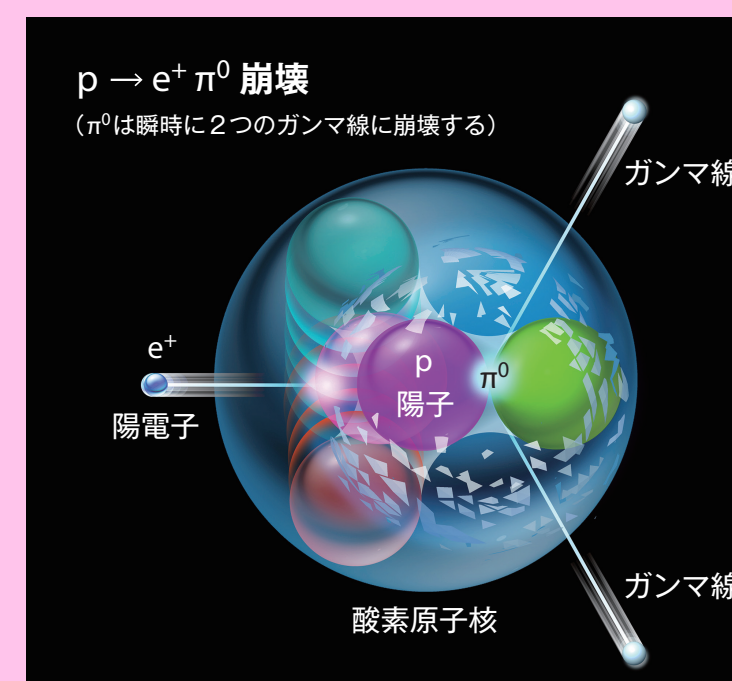
ニュートリノ振動



ハイパーカミオカンデ



横山研



陽子崩壊

現在知られている「素粒子」たち

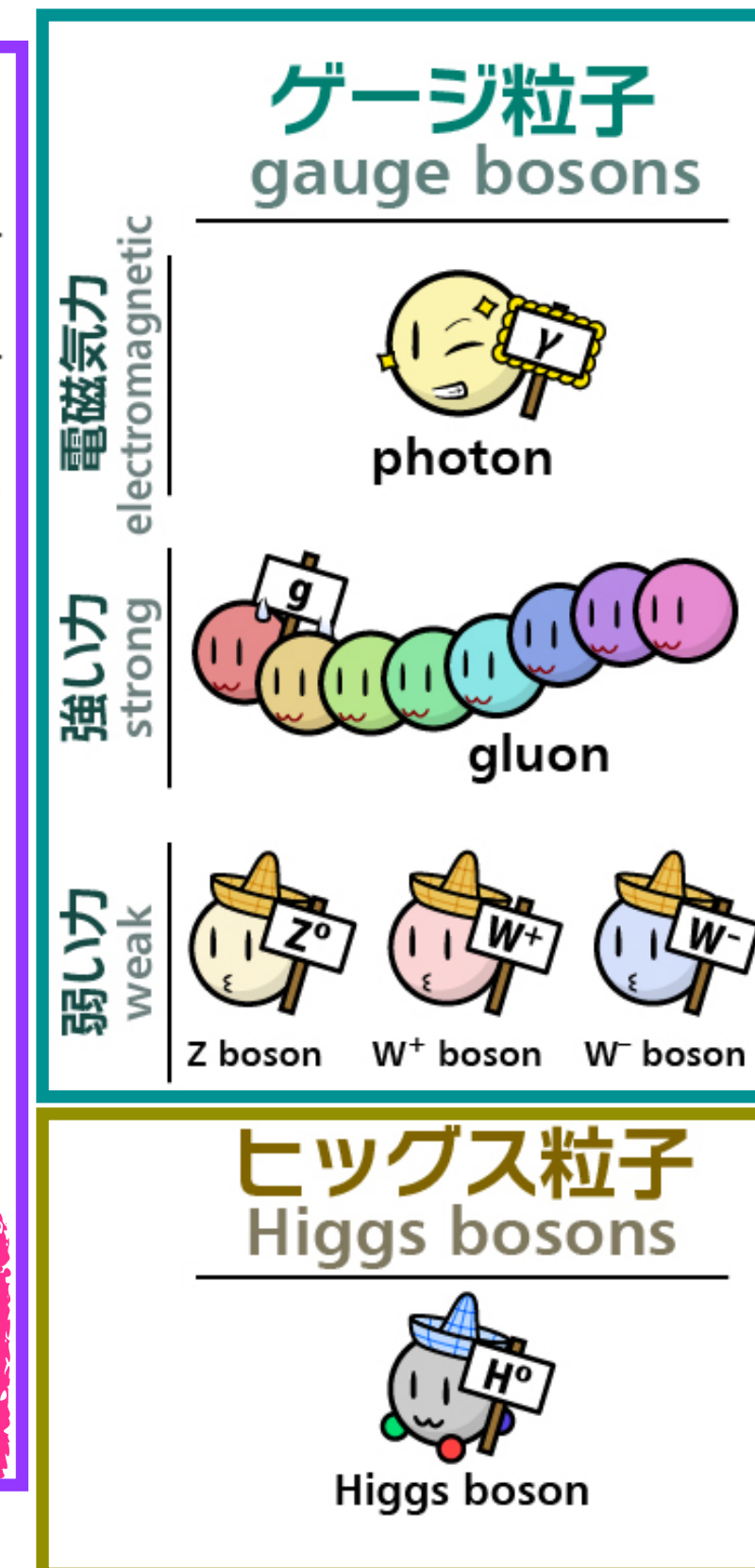
我々の体も、夜空の星も、これらの素粒子から構成されている！

でも、まだわからないこと、不満なことがたくさん

物質を構成



3種類のニュートリノ

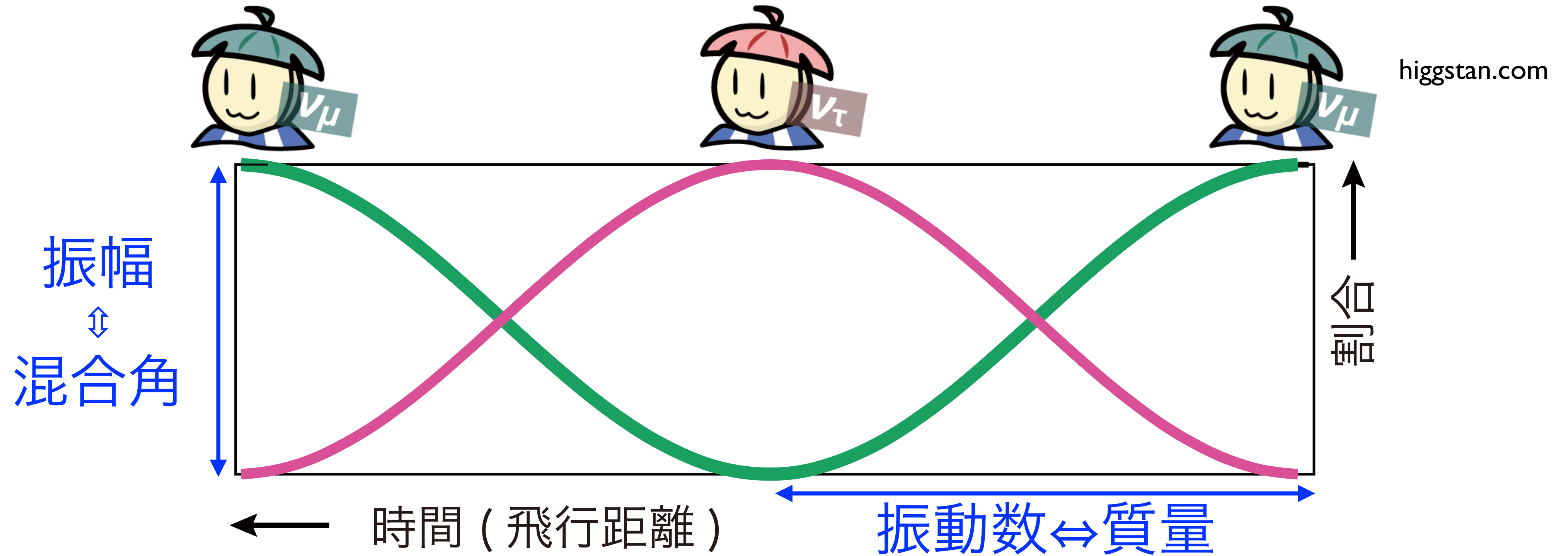


力を伝える

粒子の質量を
生み出す

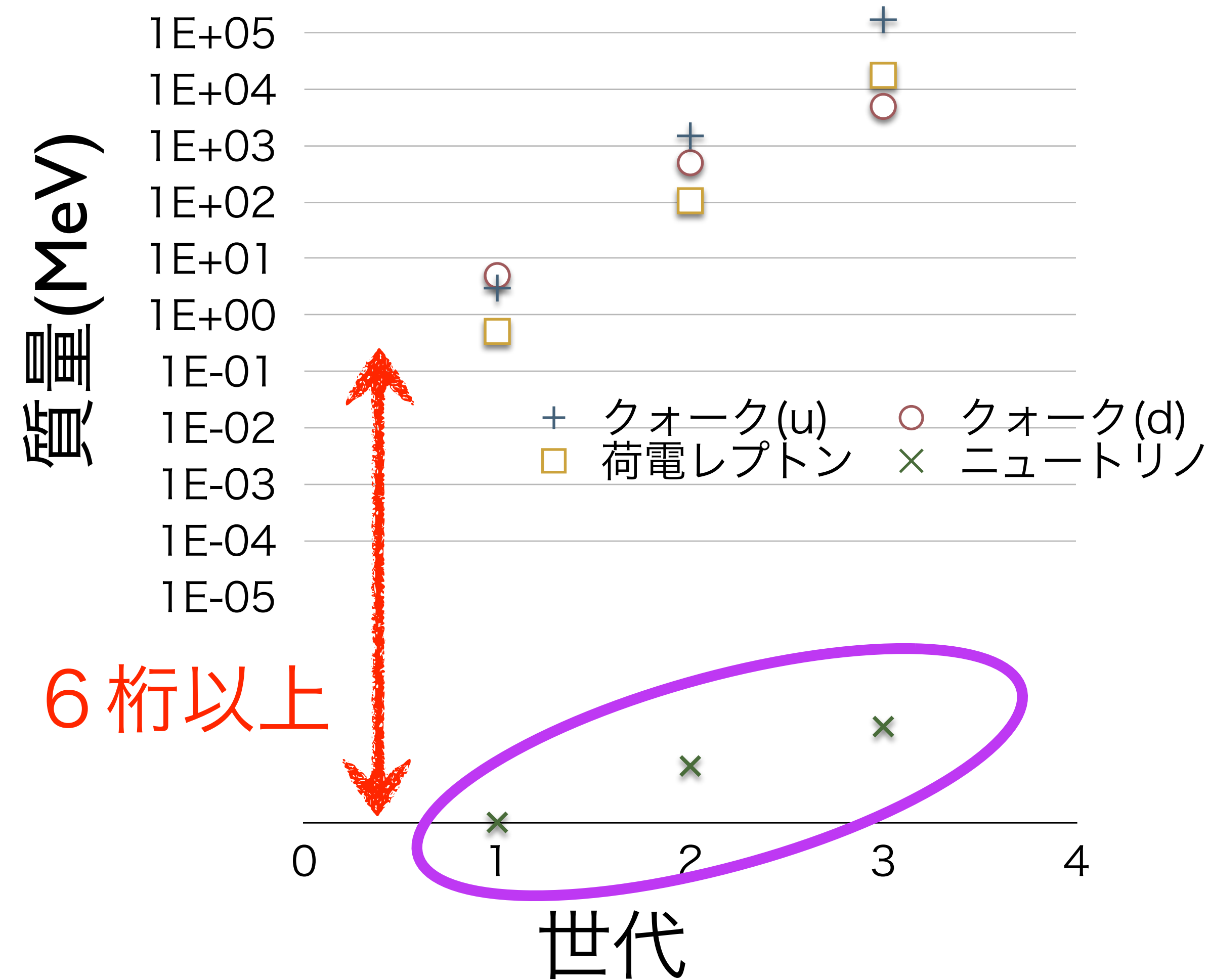
ニュートリノ振動

飛んで行くうちに種類が変わる！



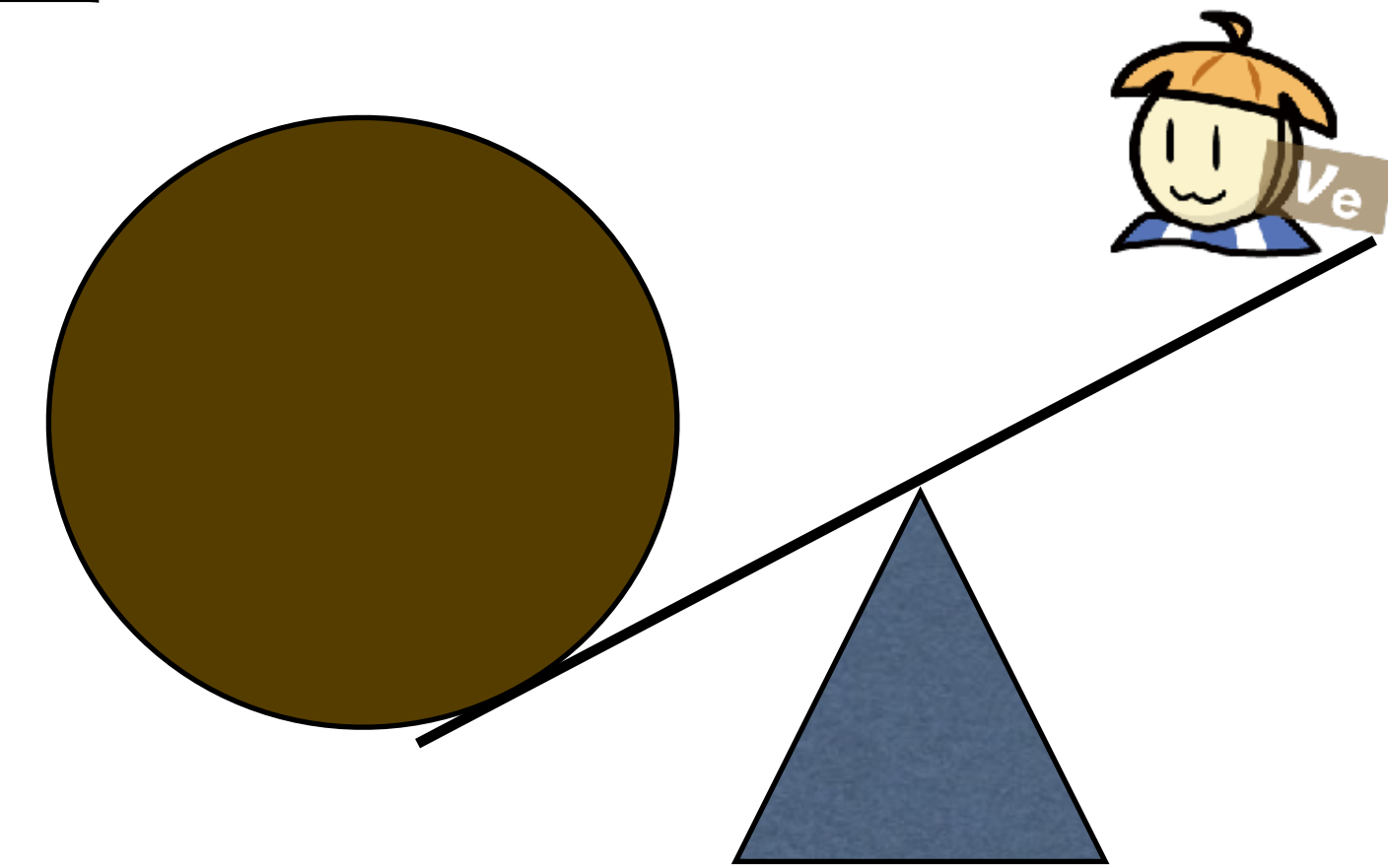
- 大きなスケール (>100km、あるいは天文距離) で見える量子力学的効果
- ニュートリノの質量がゼロだと起こらない
- ニュートリノ振動の測定により、ニュートリノの性質の研究が可能に

クォーク／レプトンの質量



重い右巻きニュートリノ

質量 ~ **10^{15} GeV** ?



“シーソー”機構?

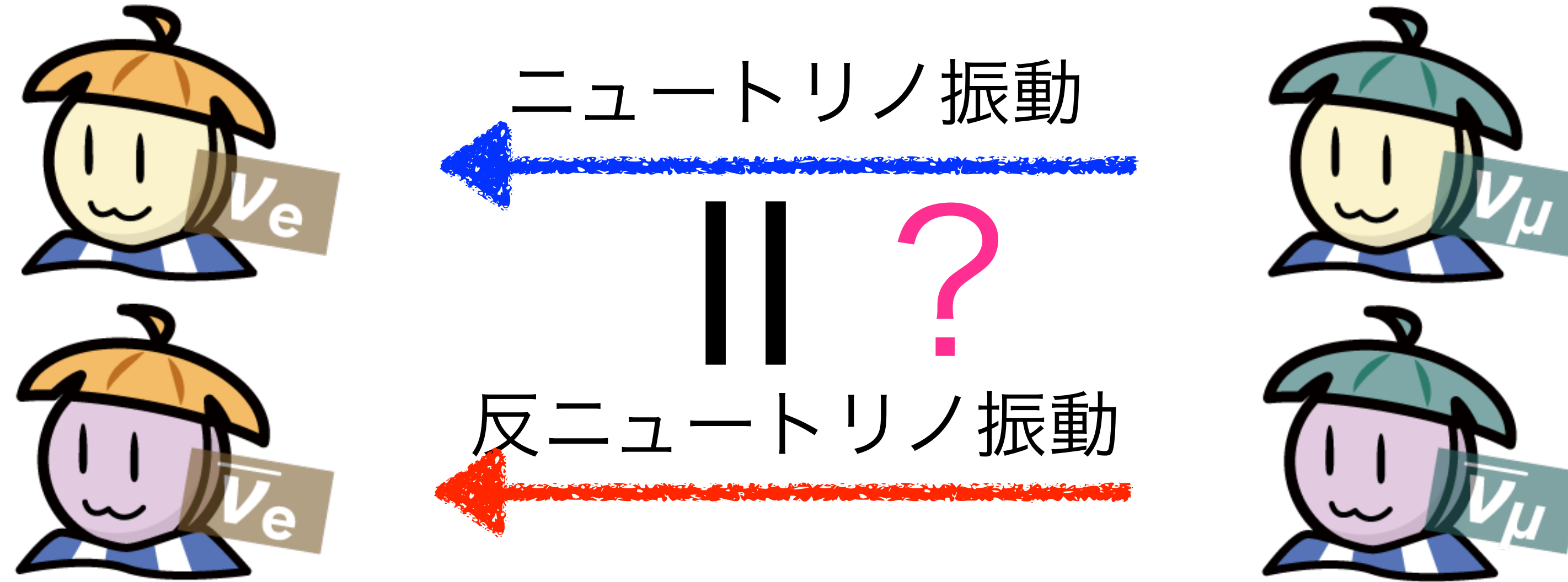
極端に小さいニュートリノの質量

なぜ? 新たな疑問 → 新たな研究

ニュートリノ振動で探る宇宙の物質の起源

宇宙初期に物質と反物質が全て対消滅しなかった謎

鍵を握る「**CP対称性の破れ**」 (粒子と反粒子の性質の違い)



ニュートリノ振動の1種, 「**電子ニュートリノ出現**」の確率を
ニュートリノと反ニュートリノの間で比べる

→ 違っていれば「CP対称性の破れ」

まだ誰も測定したことがない

予想と違う現象が見えるかも？

Tokai-to-Kamioka



Super-Kamiokande
(ICRR, Univ. Tokyo)

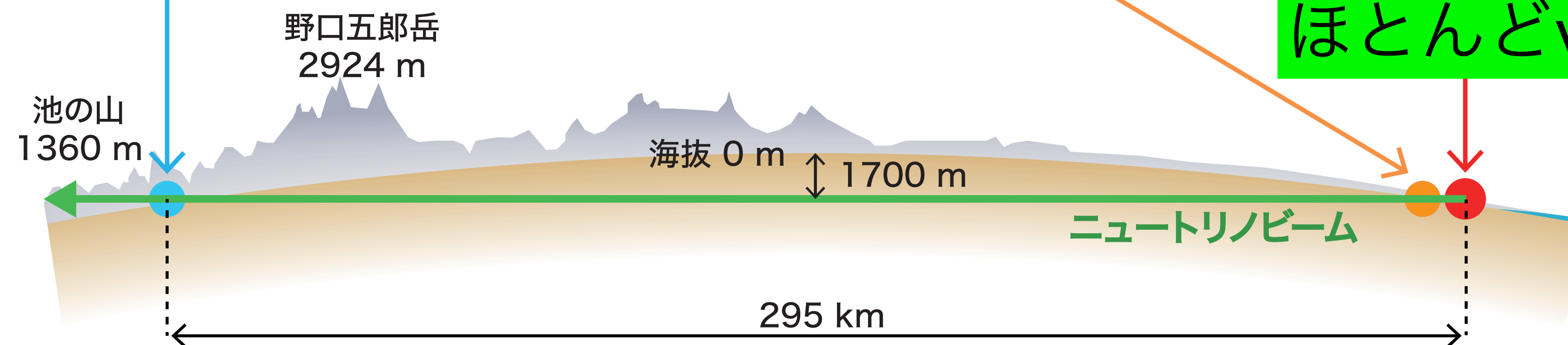
 v_τ や v_e に

スーパーカミオカンデ

前置検出器

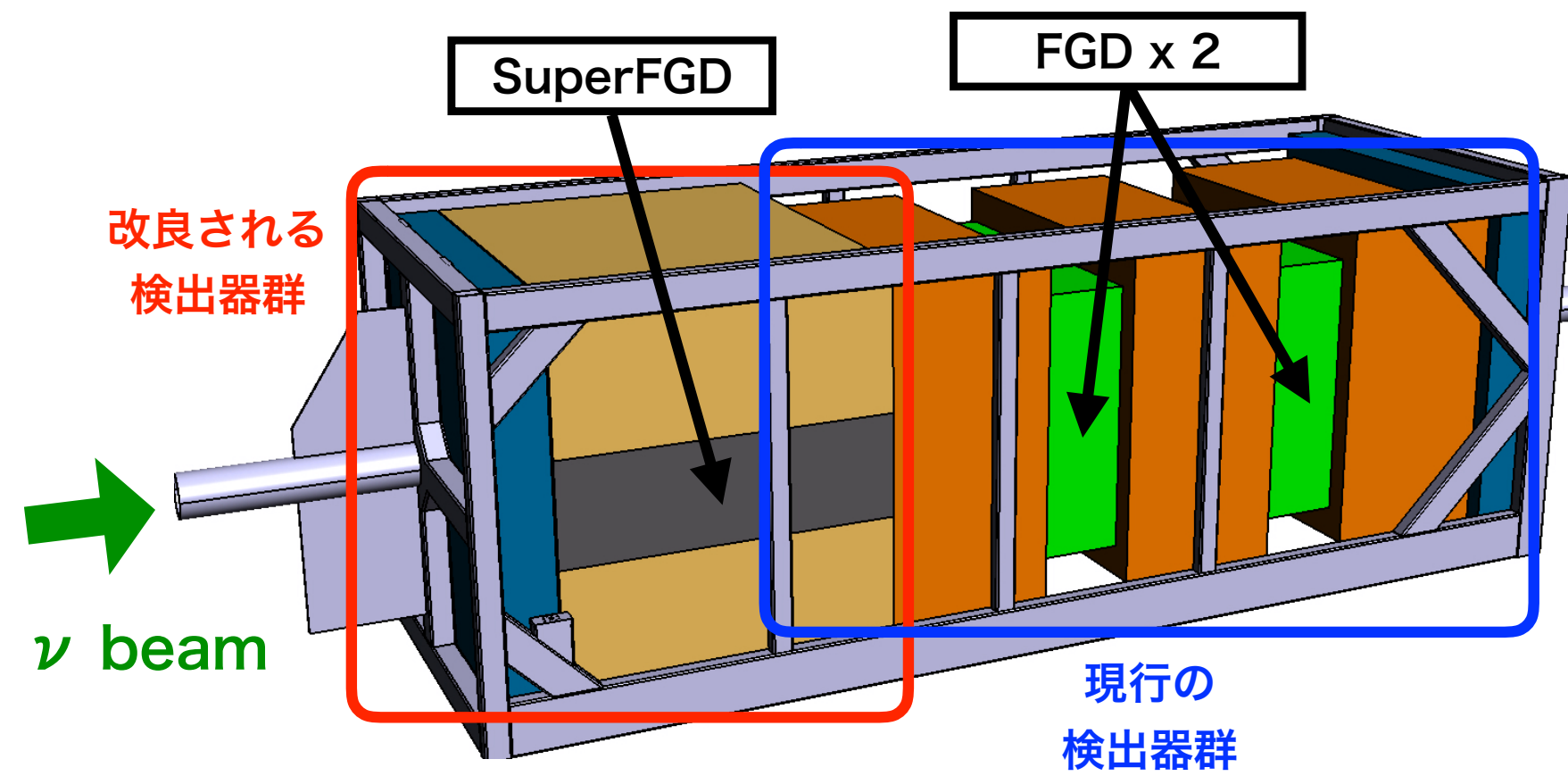
J-PARC

ほとんど v_μ

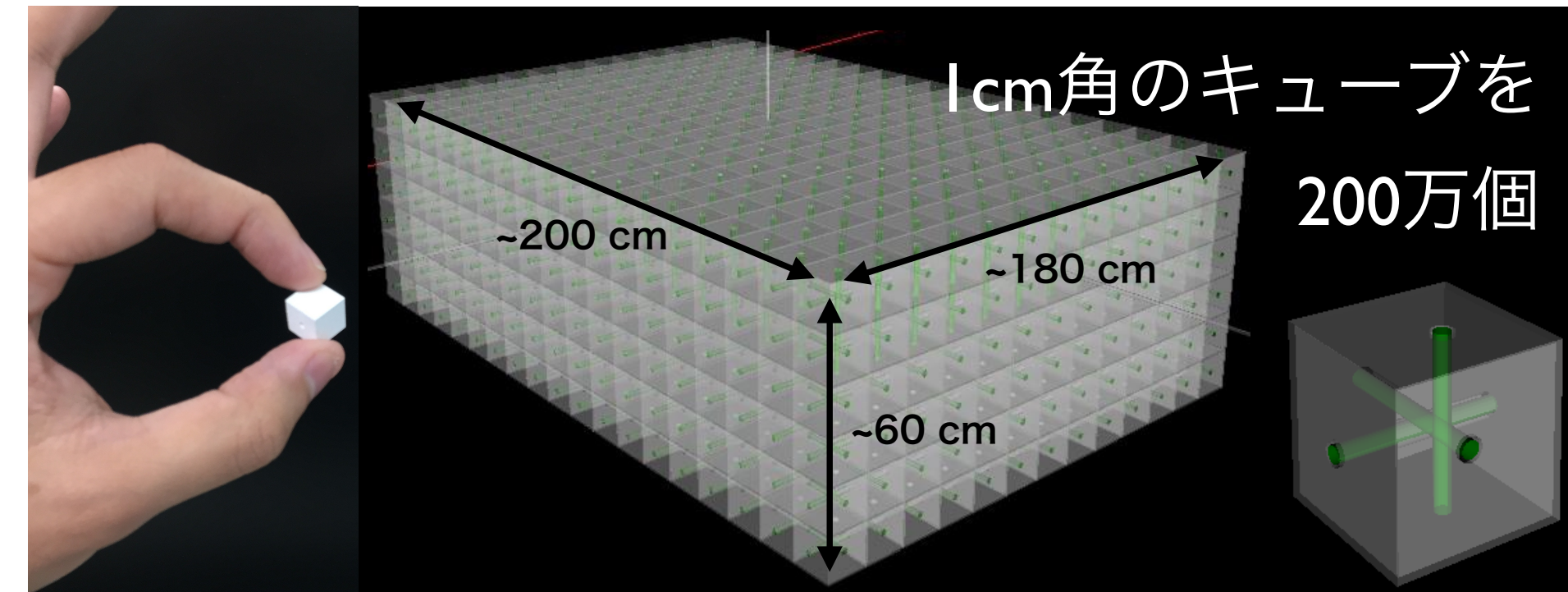


人工ニュートリノを295km飛ばして
ニュートリノ振動を精密に研究する

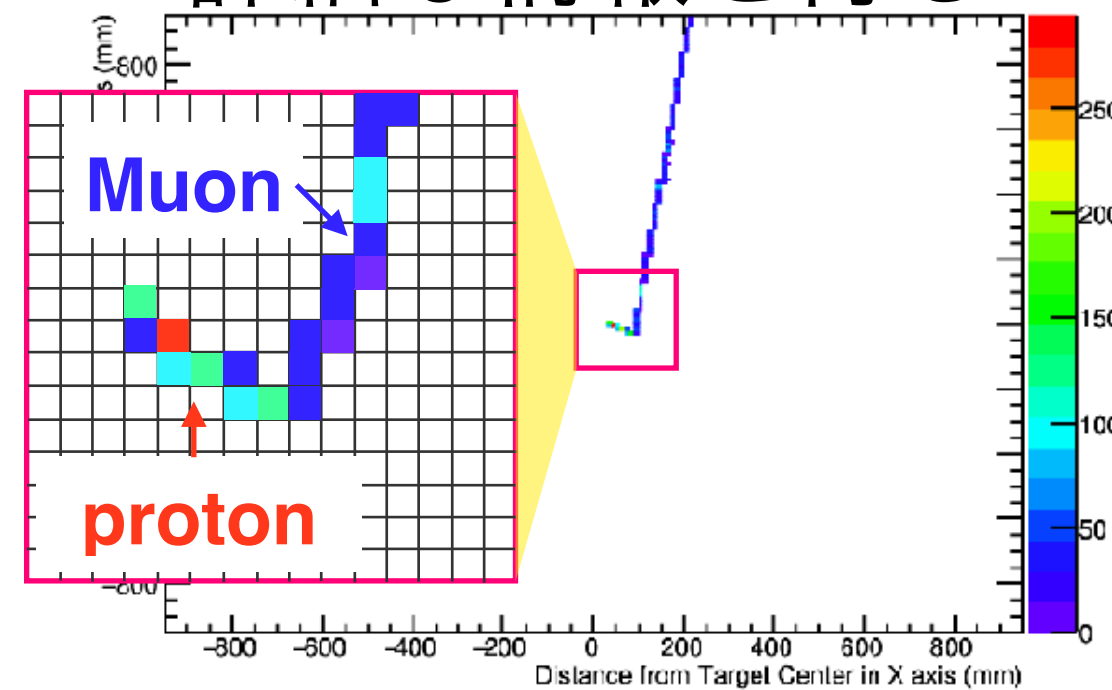
T2K前置検出器アップグレード



“SuperFGD” 検出器



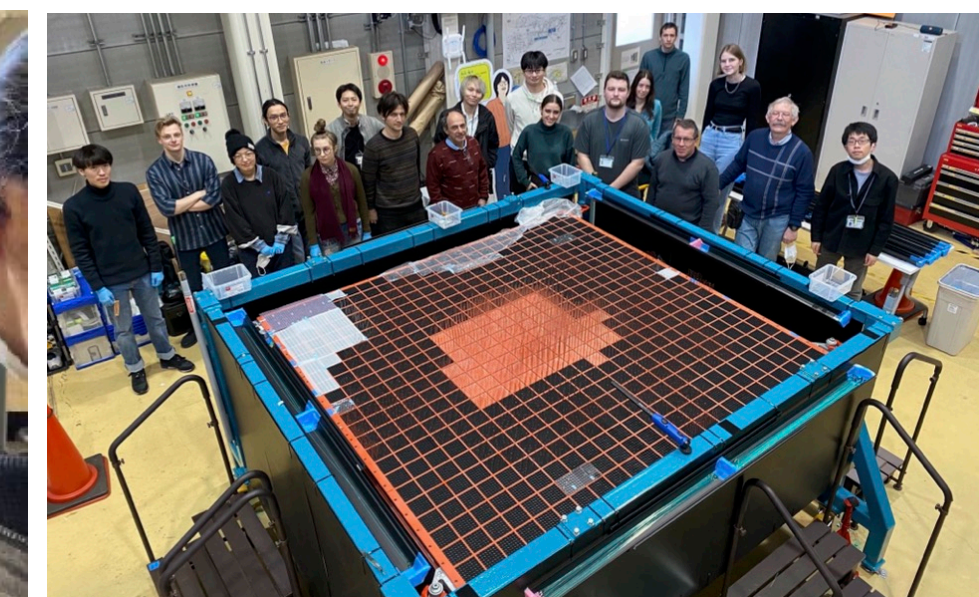
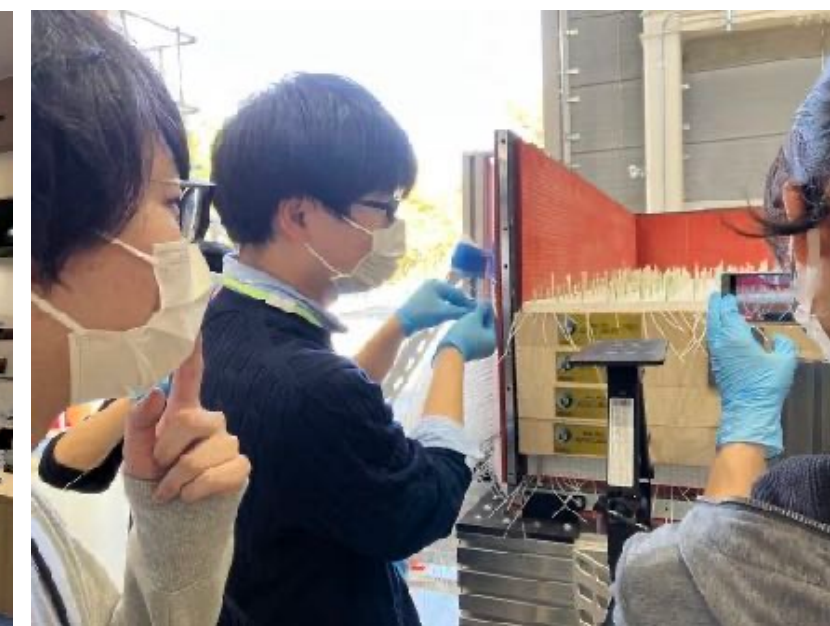
ニュートリノの反応の
詳細な情報を得る



CERNで打ち合わせ



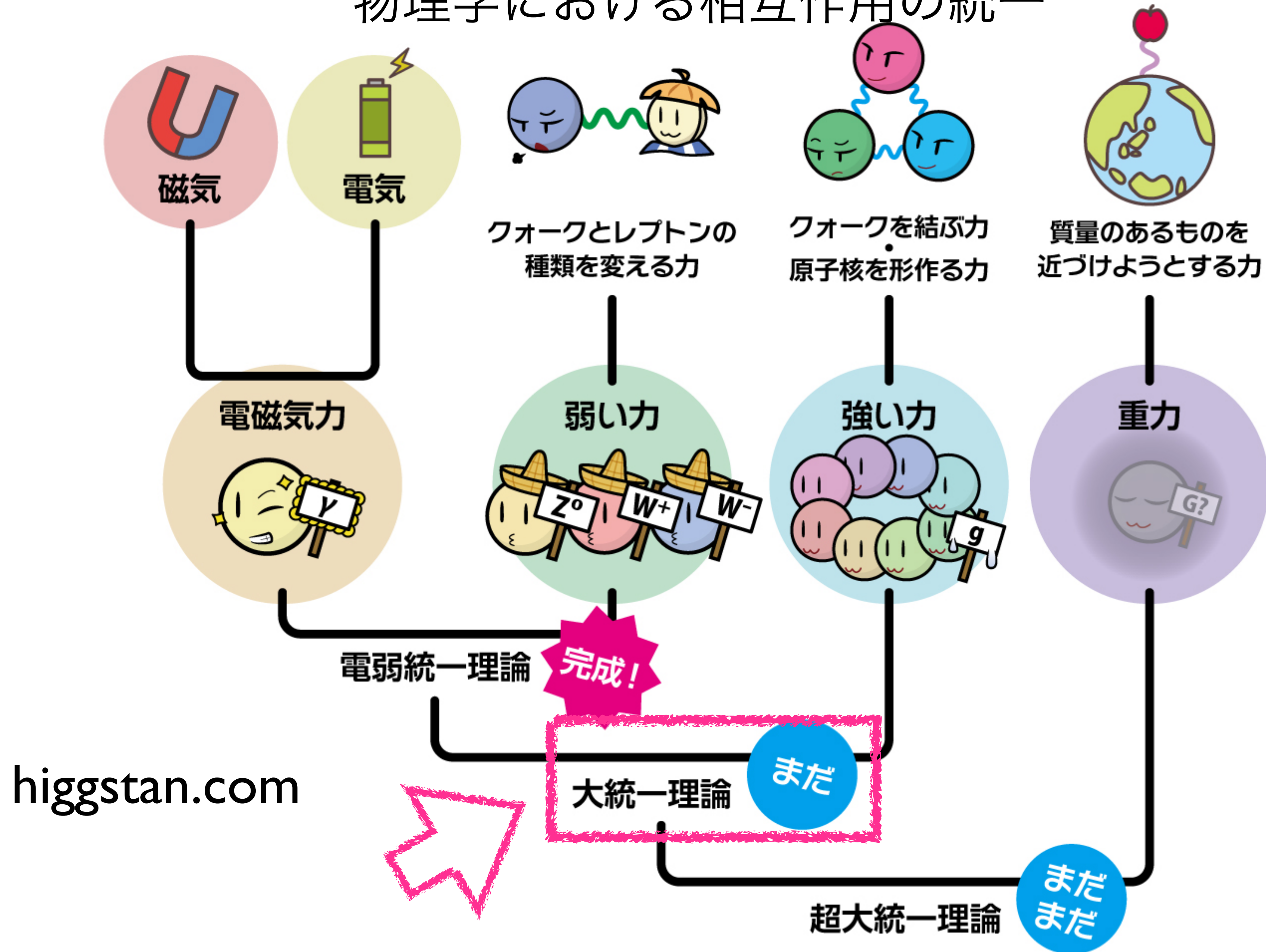
J-PARCで検出器制作



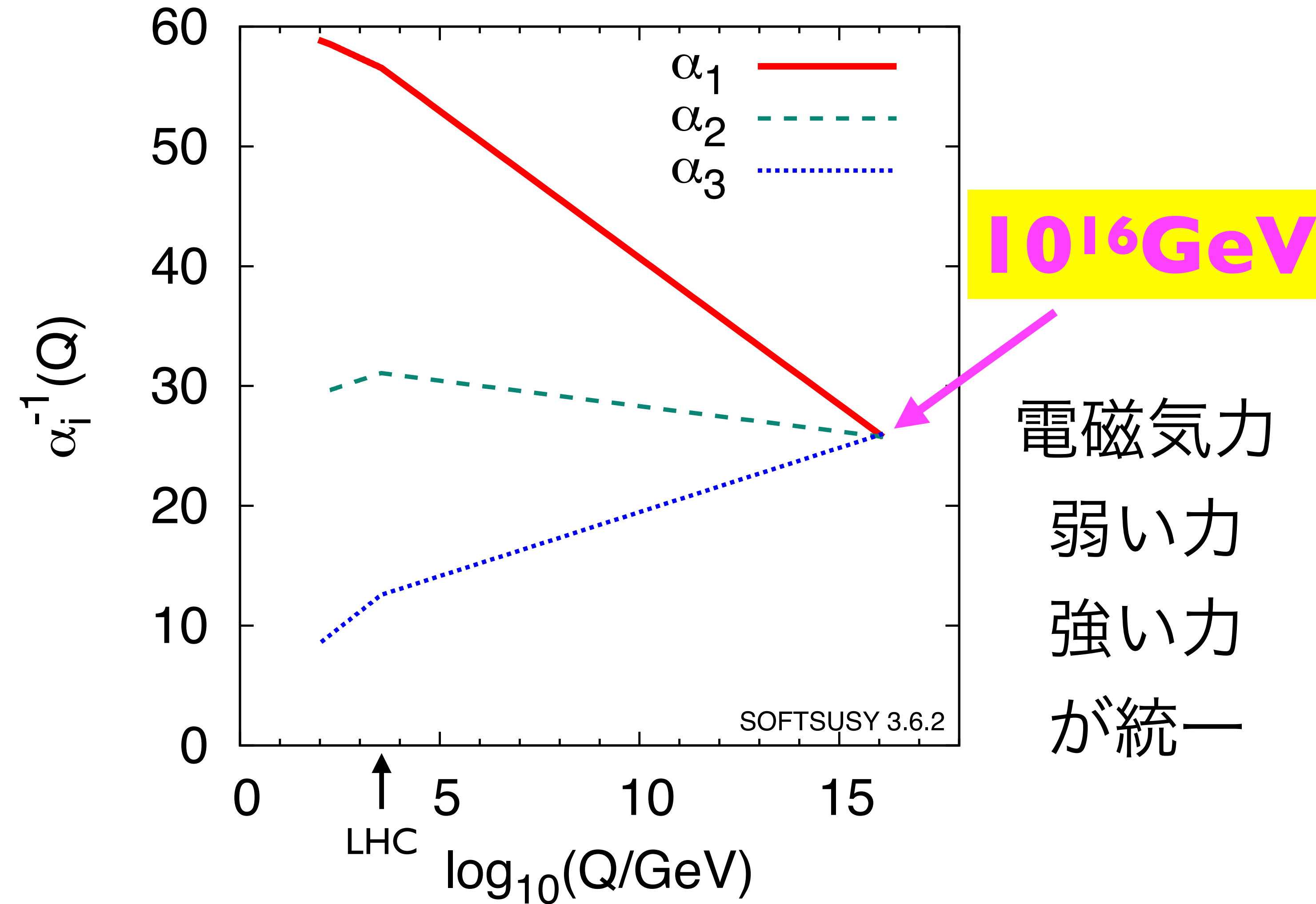
新型のニュートリノ検出器を設計・製作
2024年春に完成、これからデータ収集・解析へ

スーパーカミオカンデもガドリニウムが入ってパワーアップ

物理学における相互作用の統一



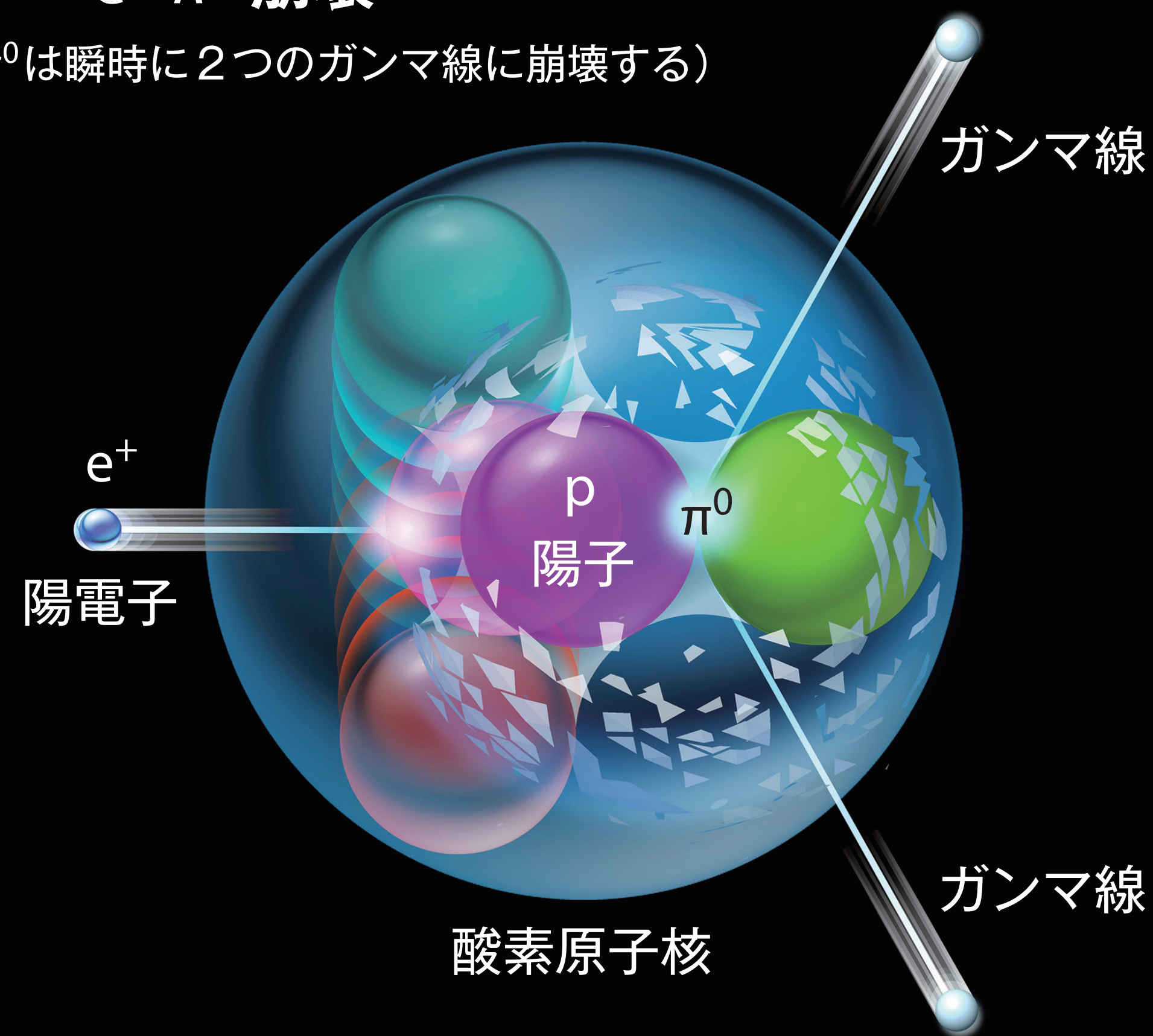
相互作用の強さはエネルギースケールに依存する



大統一のエネルギースケール

$p \rightarrow e^+ \pi^0$ 崩壊

(π^0 は瞬時に2つのガンマ線に崩壊する)

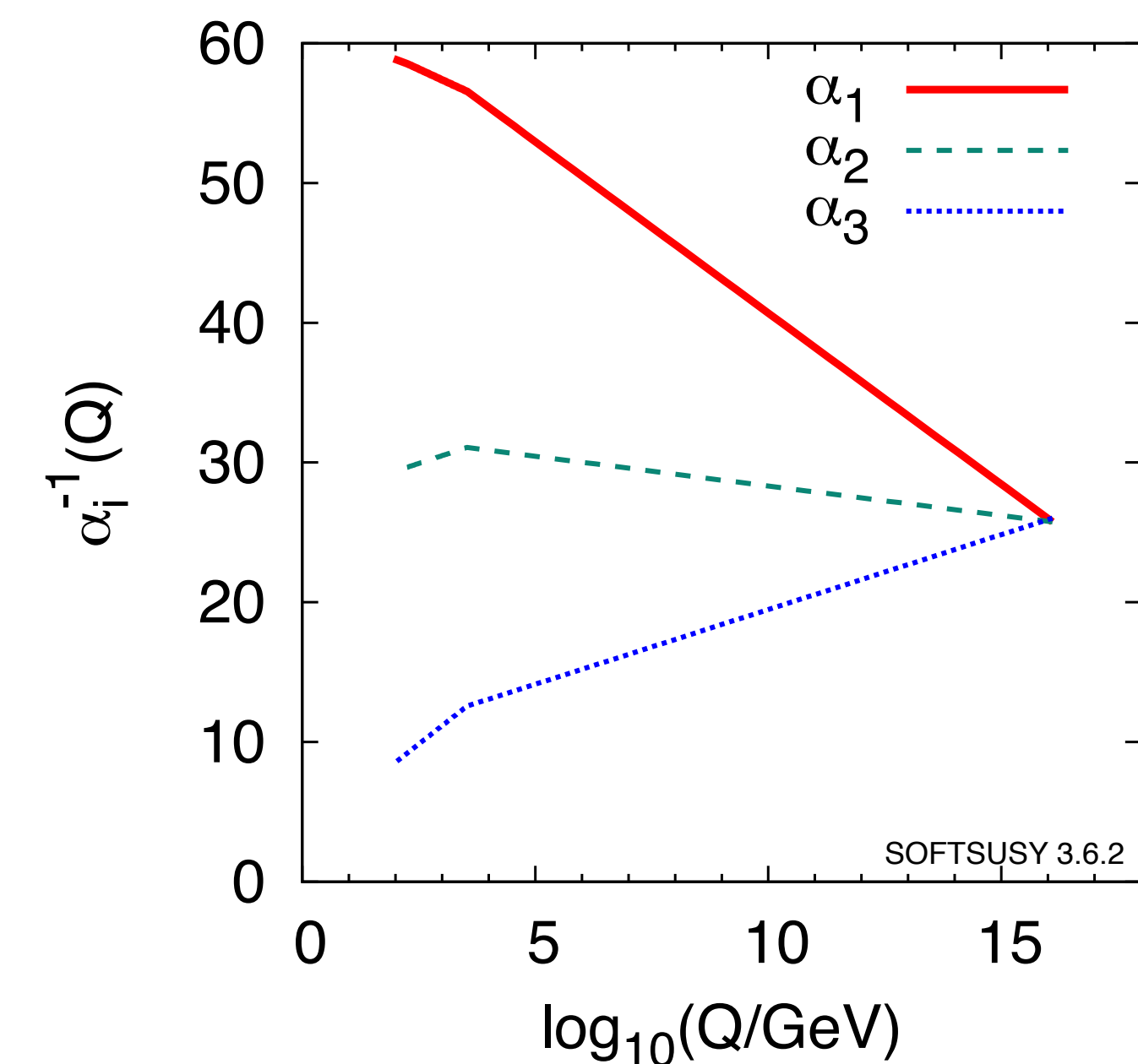


大統一理論の予想
→ 陽子の崩壊

大統一スケールの夢

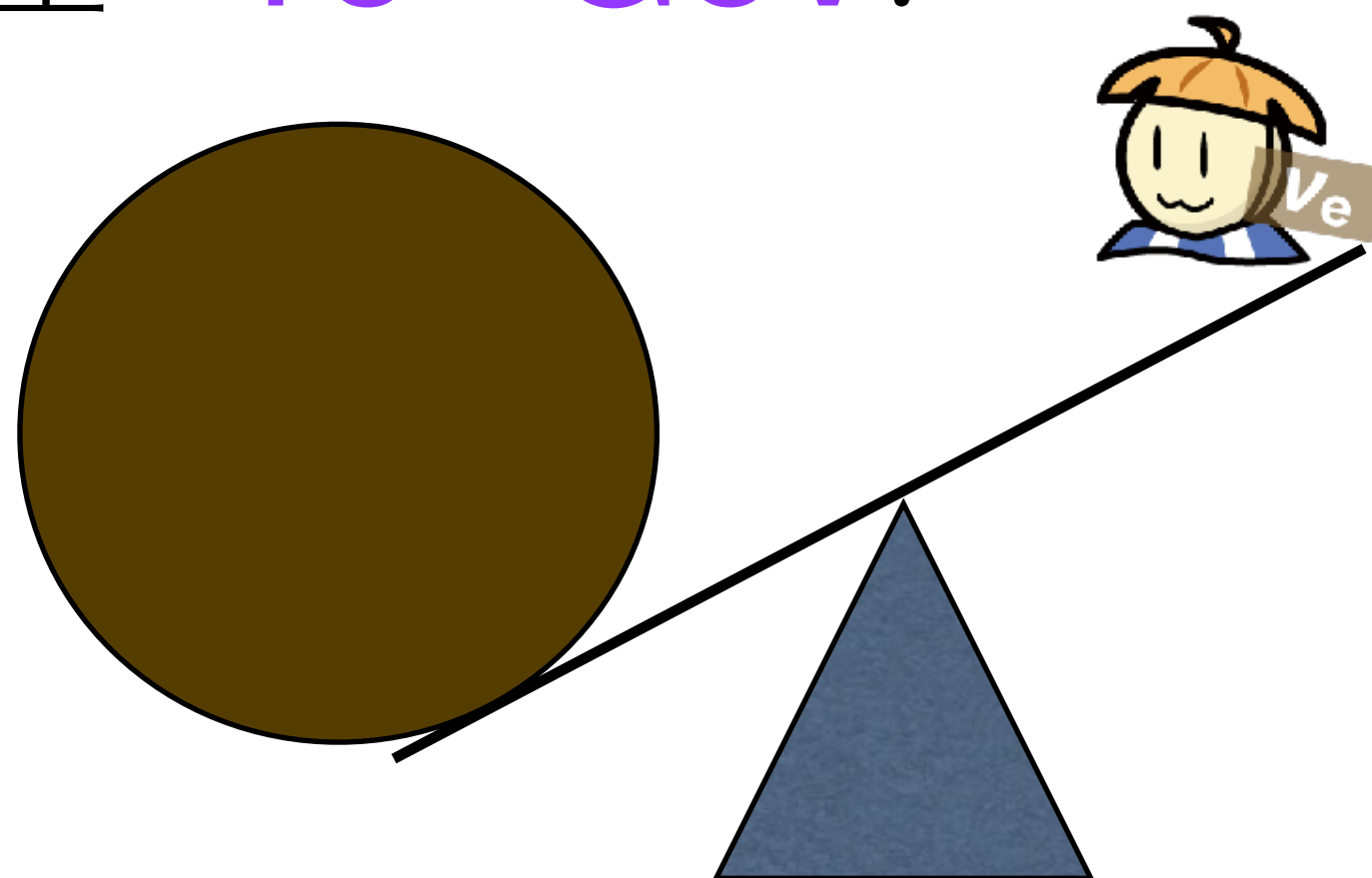
力の統一 $\sim 10^{16}\text{GeV}$

MSSM: $m_0=M_{1/2}=2\text{ TeV}$, $A_0=0$, $\tan\beta=30$



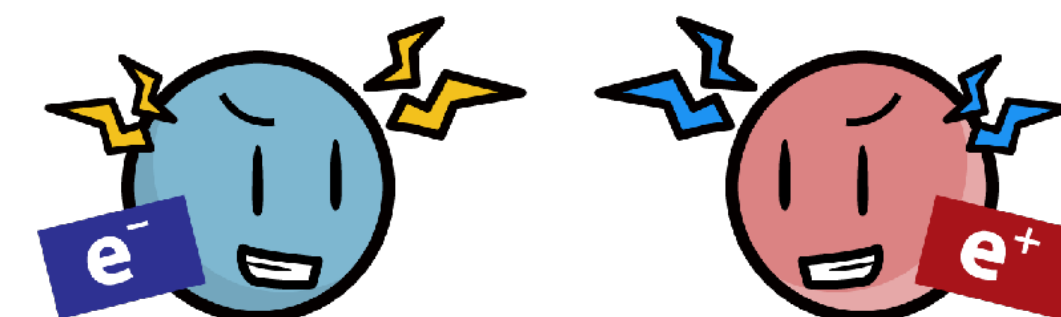
重い右巻きニュートリノ

質量 $\sim 10^{15}\text{GeV?}$



初期宇宙の

粒子-反粒子非対称性



クォークとレプトンの統一的理解

混合行列の違いは
どこから？

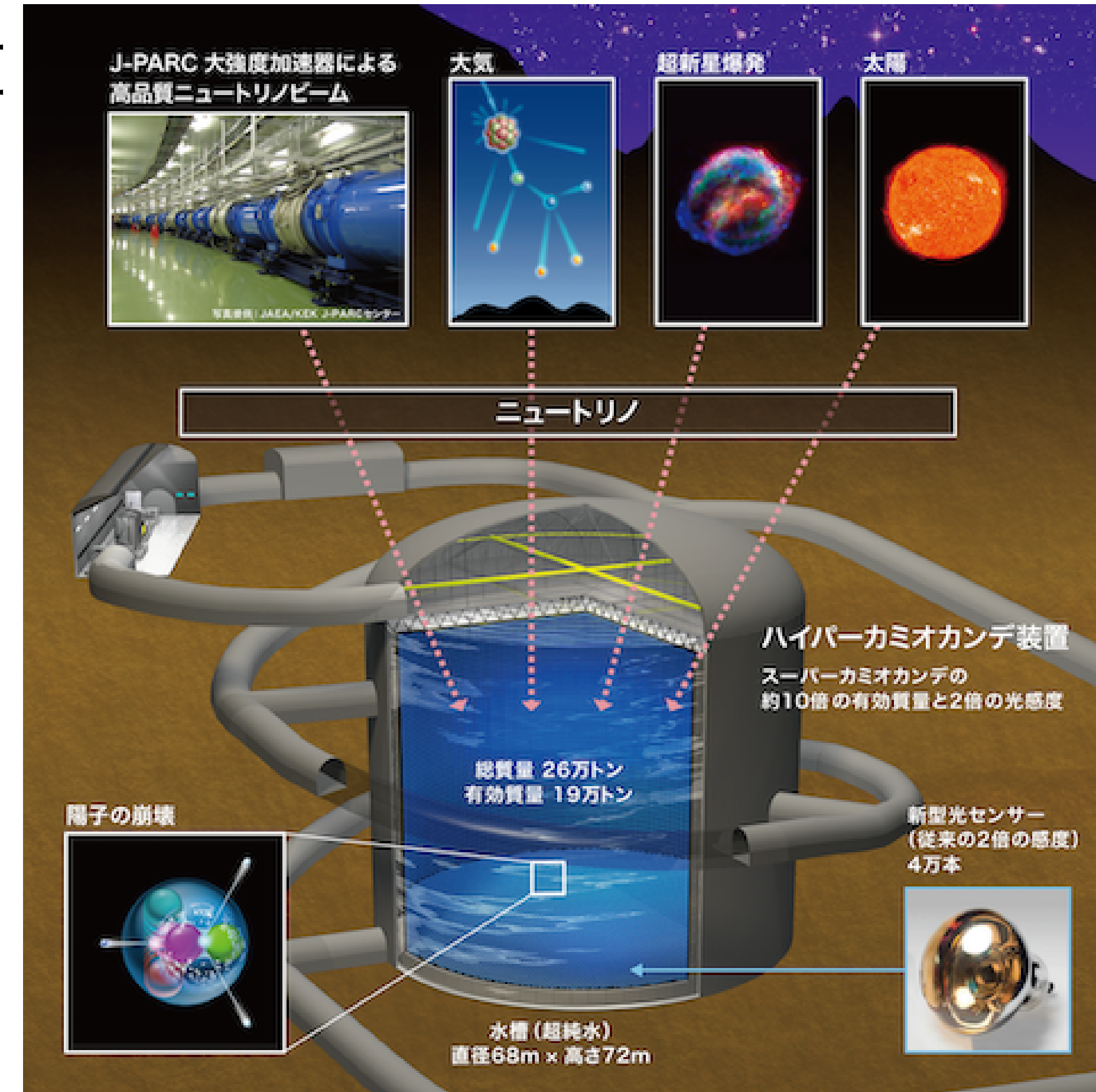
$$\begin{pmatrix} \bigcirc & \small\bigcirc & \cdot \\ \small\bigcirc & \bigcirc & \small\bigcirc \\ \cdot & \small\bigcirc & \bigcirc \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \bigcirc & \bigcirc & \small\bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \\ \bigcirc & \bigcirc & \bigcirc \end{pmatrix}$$

Kobayashi-Maskawa Maki-Nakagawa-Sakata

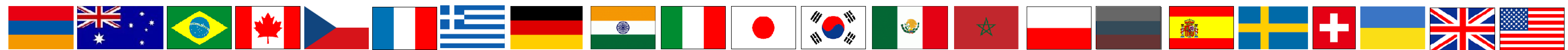
ハイパーカミオカンデ

スーパーカミオカンデのさらに約8倍の有効質量

- ニュートリノ振動の詳細研究
 - 宇宙に物質が残った理由の解明へ
- 陽子崩壊の探索
 - 大統一理論の検証
- 超新星ニュートリノの観測
 - ニュートリノ天文学の進展
- 暗黒物質からのニュートリノ探索や未知の現象の探索

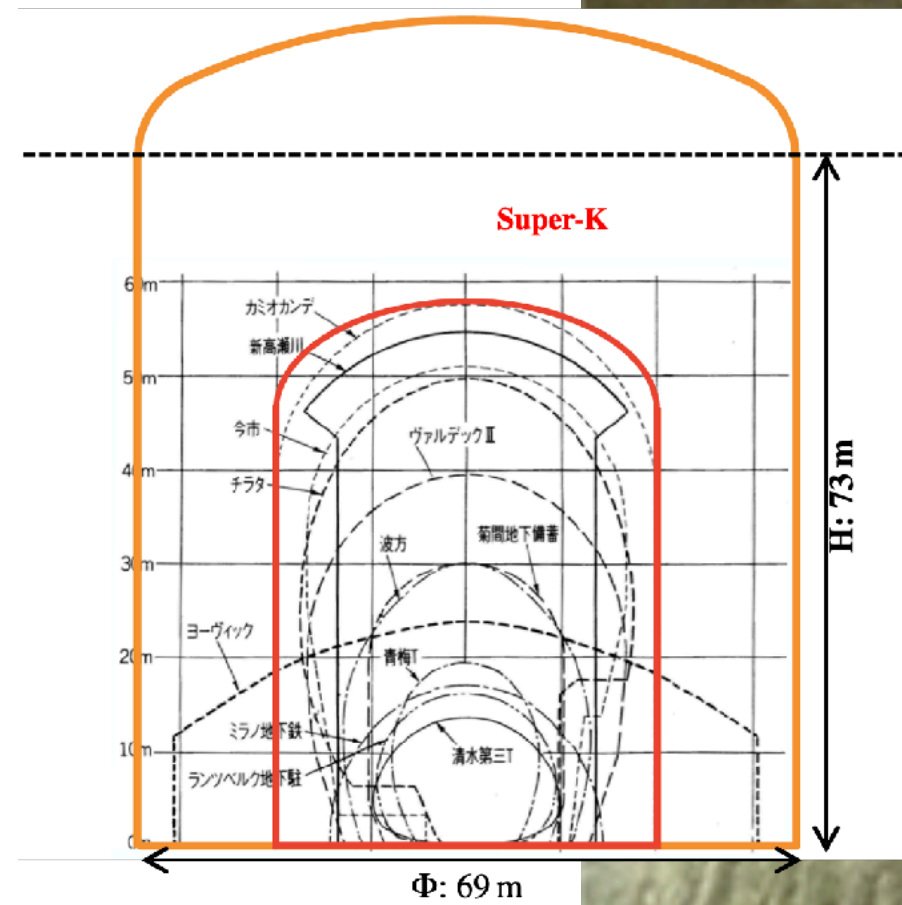


22カ国、>600人参加（うち日本は~1/5）



2020年建設開始, 2028年実験開始予定

2023年10月 上部ドーム部掘削完了



縦、横、高さがそれぞれ大体スーパーカミオカンデの2倍
世界最大級の地下人工空洞



あと1ヶ月くらいで掘り終わる予定

地下空洞見学会
6/29 (日) に開催

抽選で300名のみ
(自力で神岡まで行くこと)
申し込み〆切 6/1 (日)

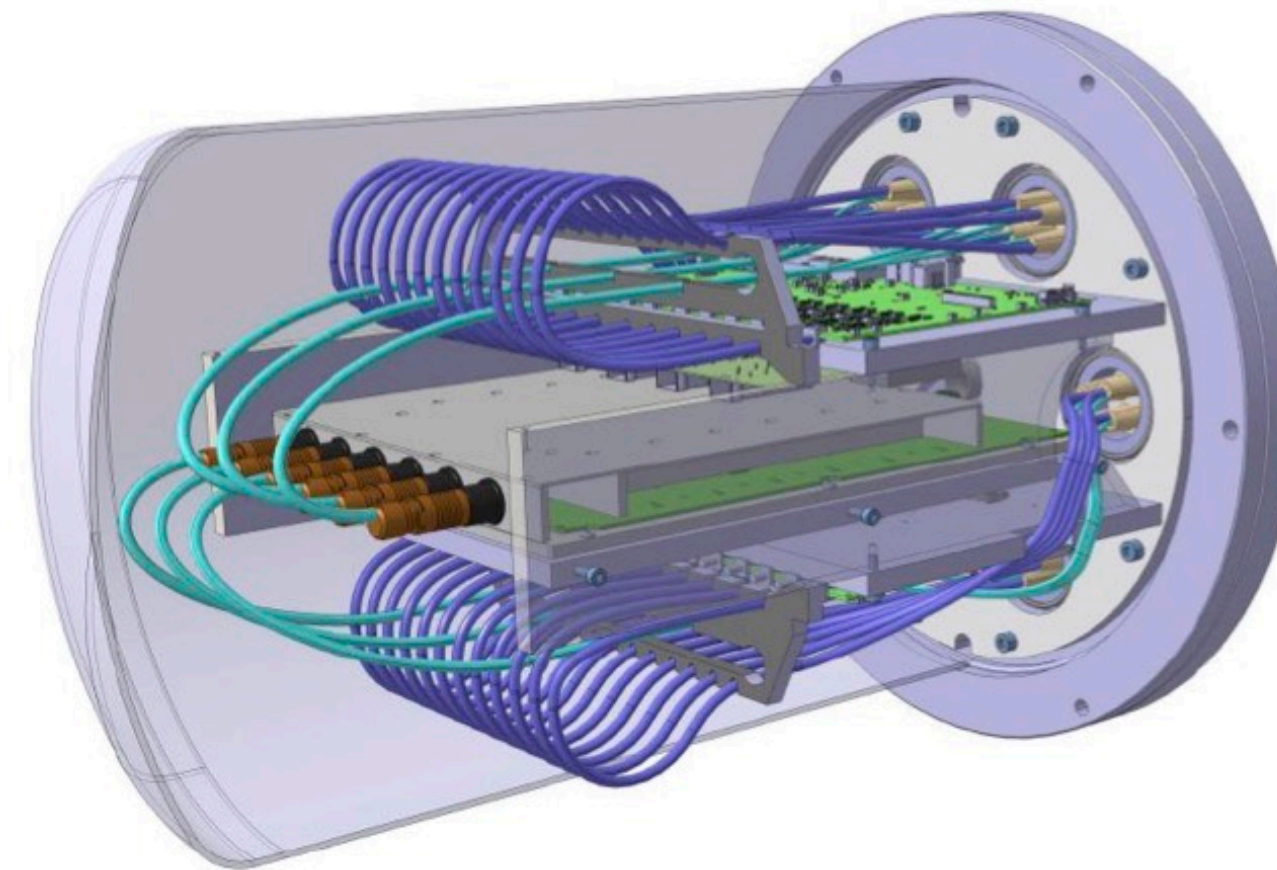
光電子増倍管 毎月400-500本納入
来年9月までに約20,000本



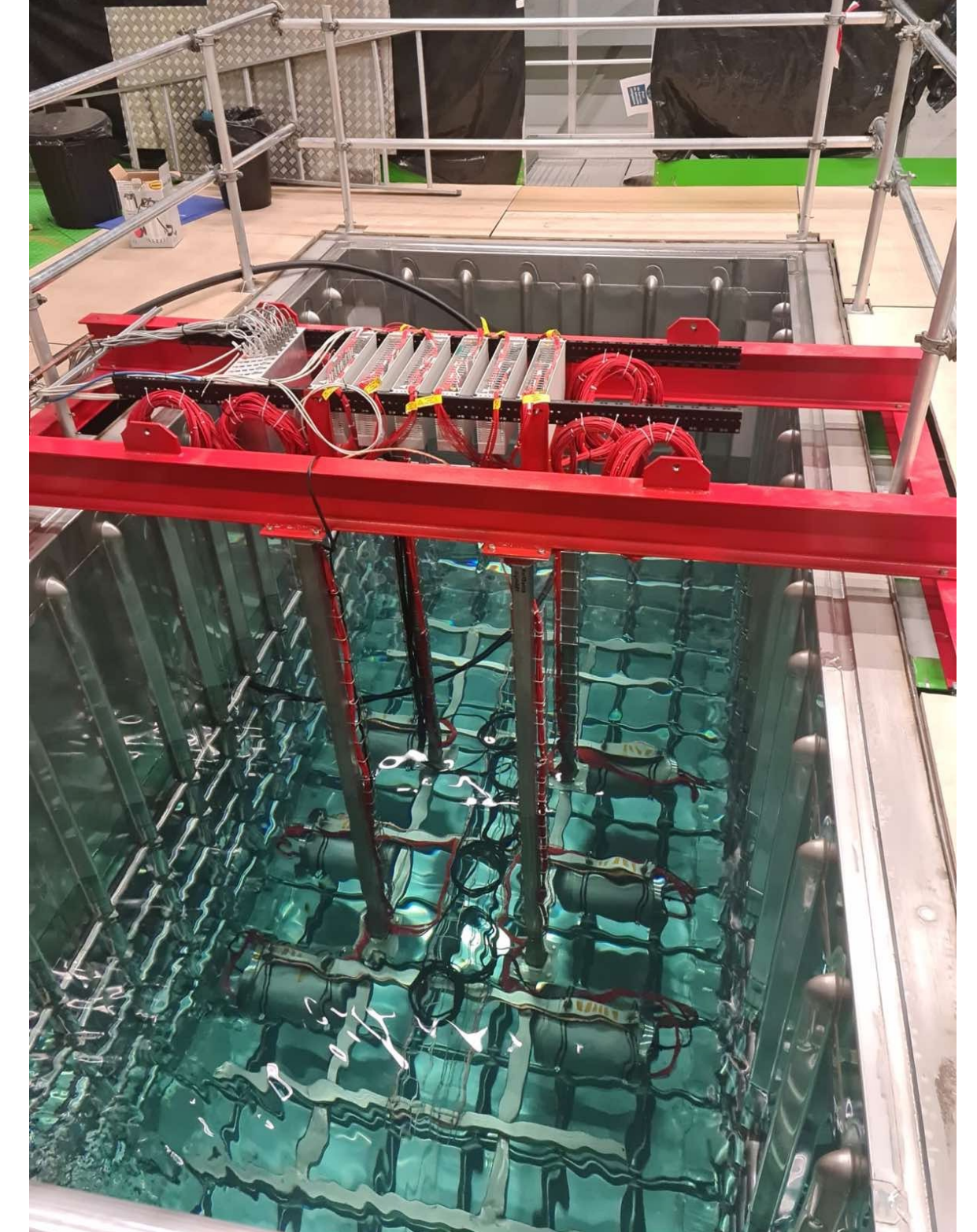
動作チェック、校正

電子回路の統合試験

Frontend digitizer board



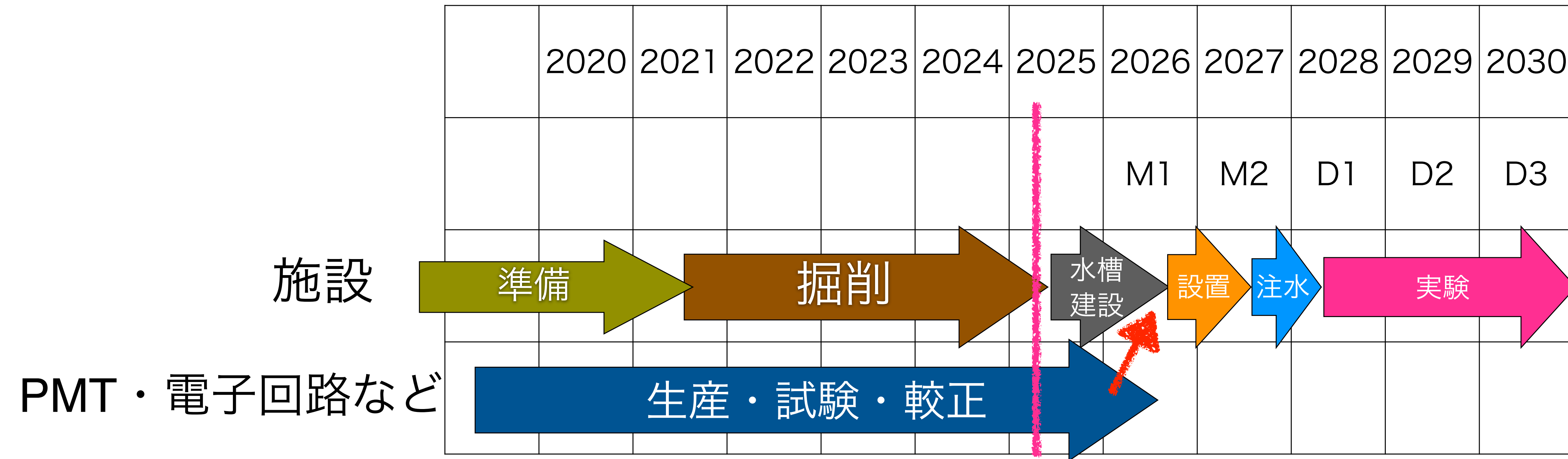
CERN electronics vessel underwater test



水中容器への組み込み、試験 @CERNと神岡

ハイパーカミオカンデの性能を決める

建設から最初のデータ解析へ



装置の最終的な試験を行い、
建設・立ち上げを現場でやって、
最初のデータを解析できる

30年に一度のチャンス

(スーパーカミオカンデは1996年開始)

詳しいことは

ぜひ、個別に聞きにきてください

- 明日の午後13:30-17:30 @615 or オンライン
- A2サブコースガイダンス 6/4（水）16:00-
- そのほか、研究室見学や相談は随時可能です。連絡ください

masashi@phys.s.u-tokyo.ac.jp