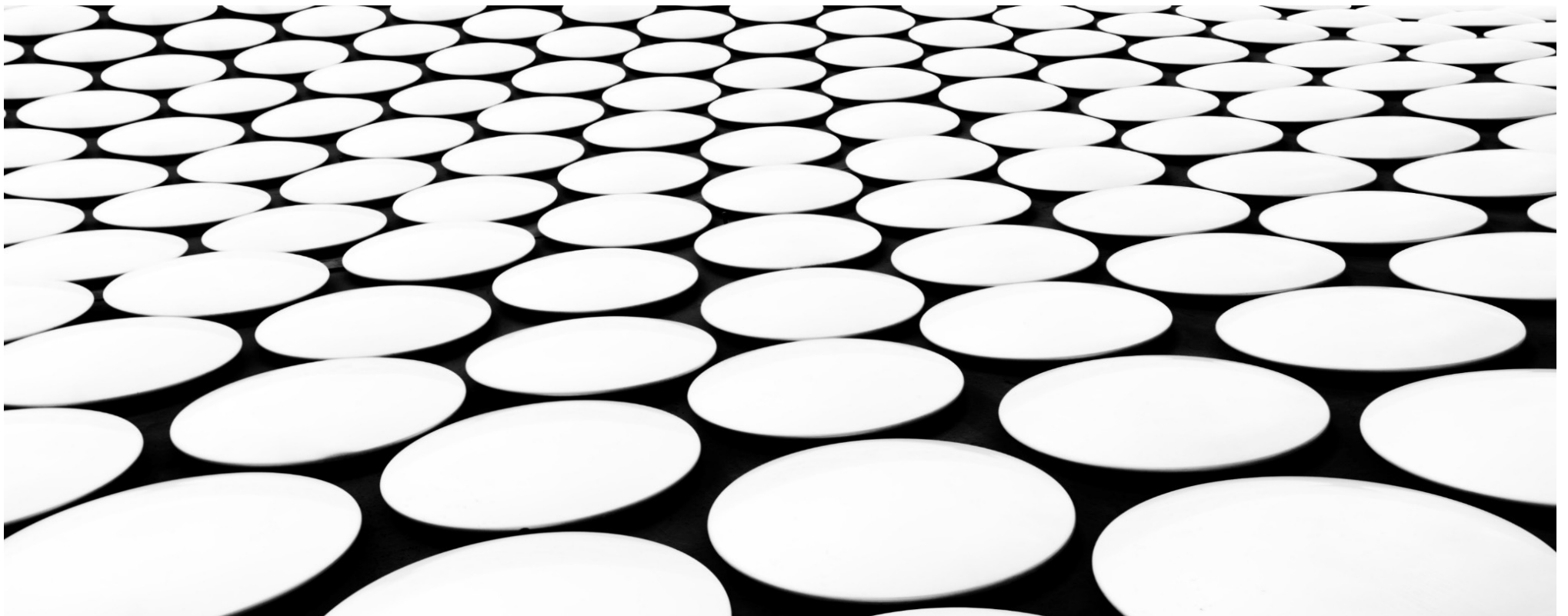


AXEL(あくせる)

A Xenon ElectroLuminescence detector

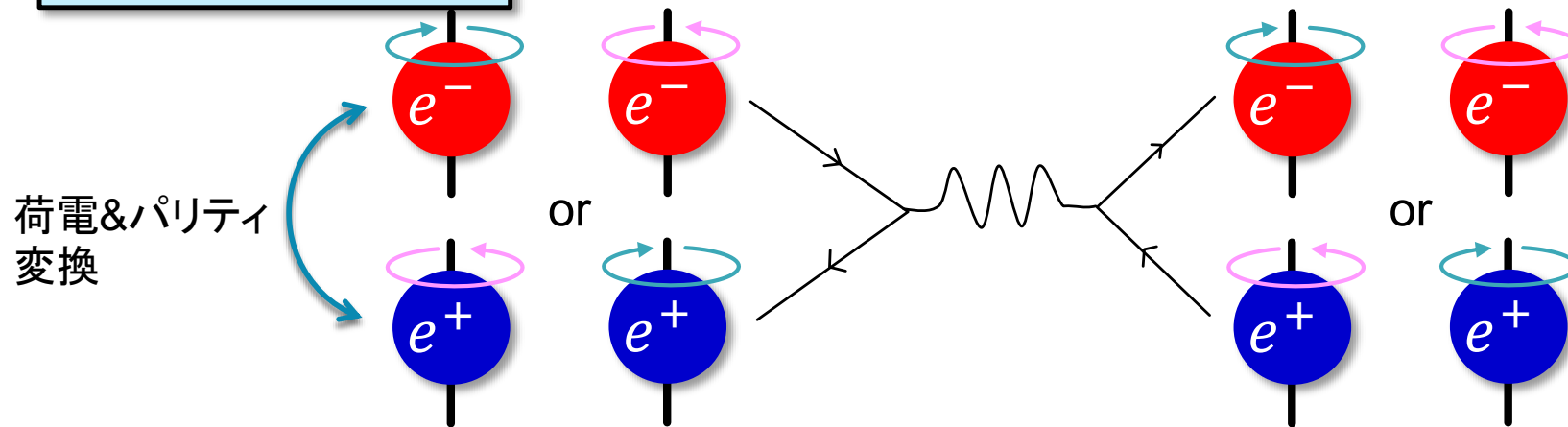


- ✓ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊を見つけたい
- ✓世界に一つの究極のすごい検出器を自分達で作りたい

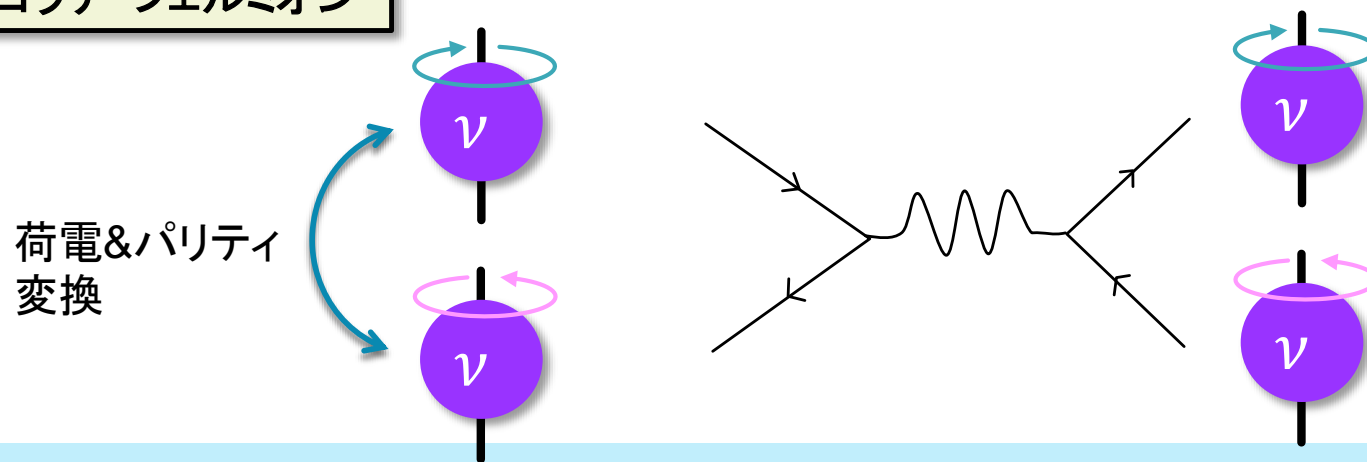


ニュートリノは、他のフェルミオンとはちょっと違うかもしれない  
他のフェルミオンより飛び抜けて軽い/混合が大きい/  
宇宙の物質・反物質非対称の起源たり得る。

### ディラック・フェルミオン

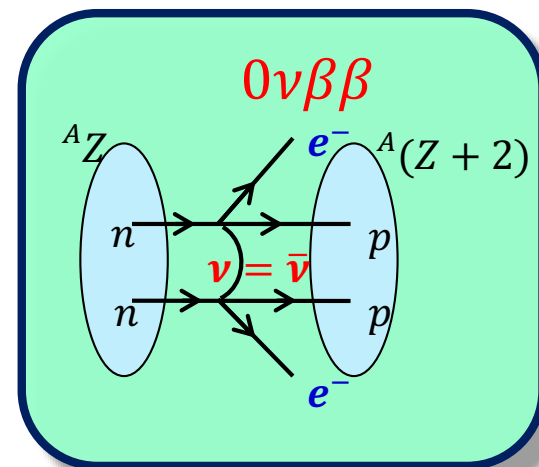
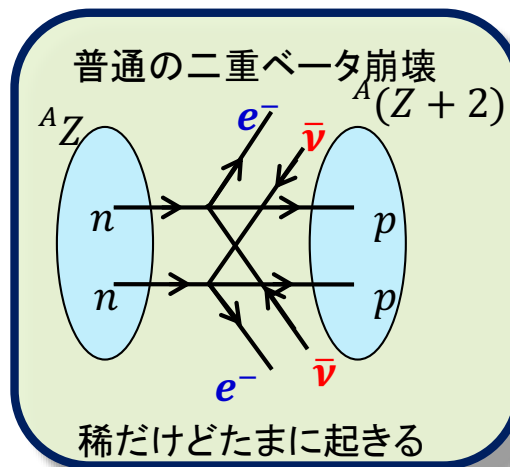
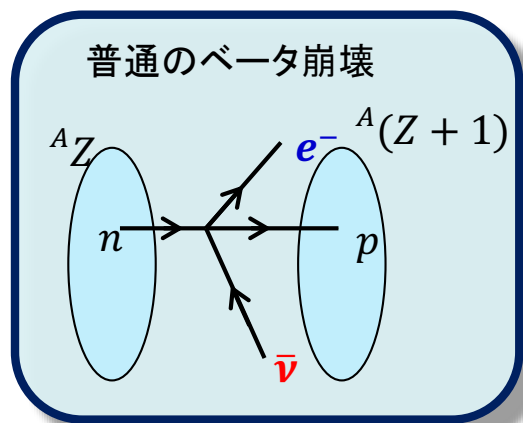


### マヨラナ・フェルミオン



ニュートリノがディラック・フェルミオンなのかマヨラナ・フェルミオンなのかは、わかっていない。

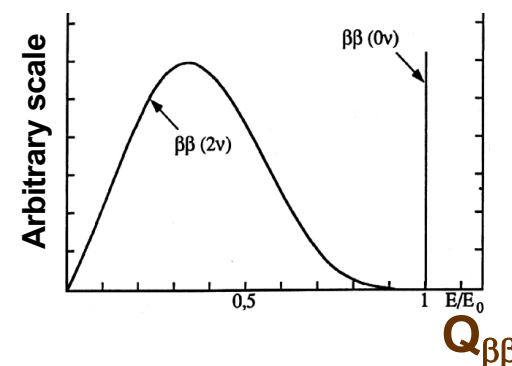
# “ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊”(0νββ)



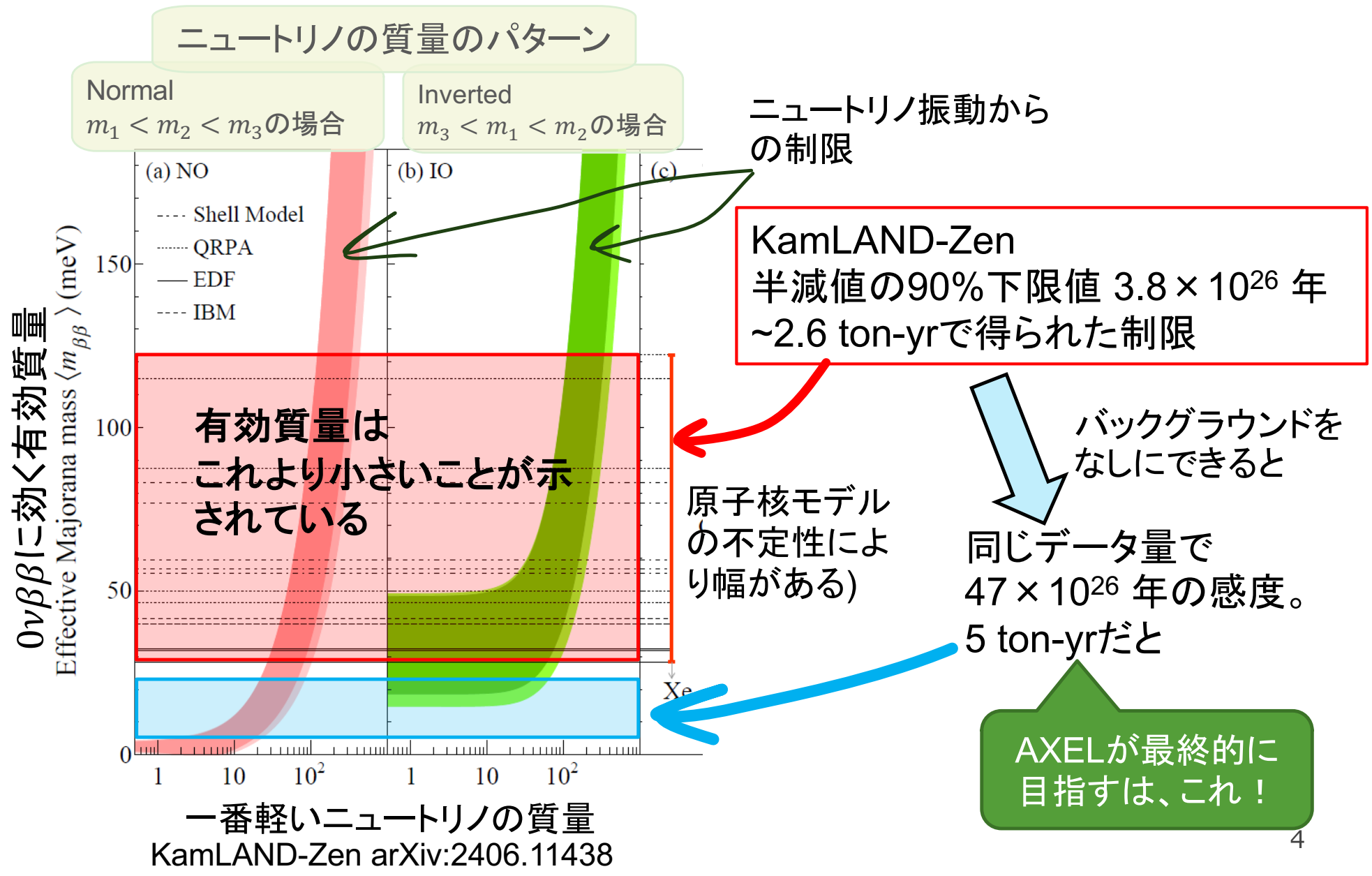
ニュートリノがマヨラナ粒子である場合に起きる  
が、まだ見つかっていない。

この反応の起きやすさ  $\propto$  (ニュートリノ有効質量) $^{-2}$

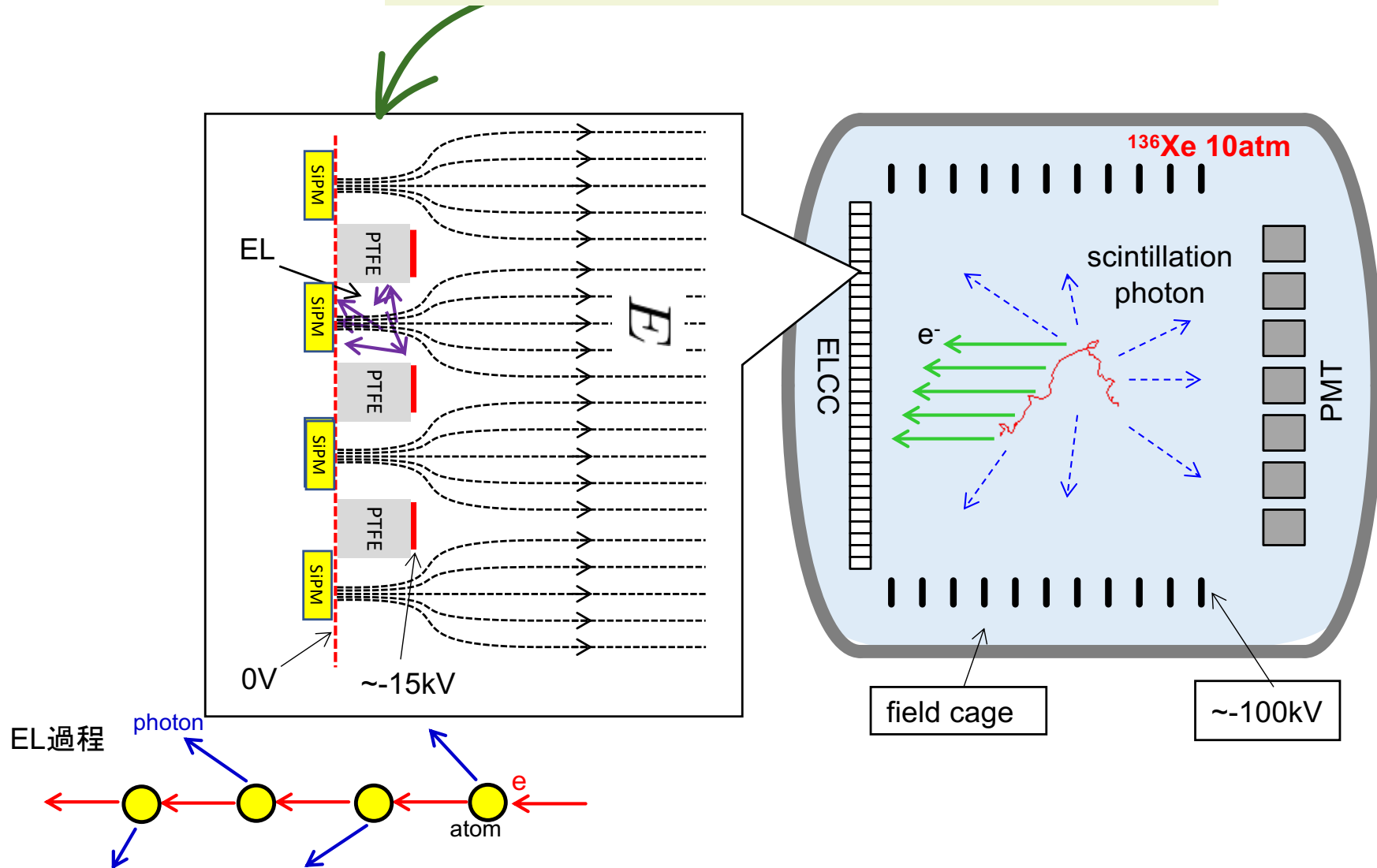
ニュートリノの質量が小さいため、なかなか起きない  
電子2個のエネルギーが一定の値になることで、識別



# $0\nu\beta\beta$ 世界の現状



ELCC AXELグループ独自の読み出し機構  
 これにより、大きな検出器で高いエネルギー分解能を実現



# AXEL メンバー

---

- 京都大学

疋田純也、佐々木 駿斗、中家剛、木河達也、廣瀬昌憲、岩下芳久

- 東北大学

市川温子、中村輝石、浦野壮規、芦田 洋輔、エヴァン・リン、渡辺夕子、佐藤凜征、池田一得

- 東京大学

潘晟、関谷洋之、中島康博、吉田将

- KEK

坂下健、中平武

- 神戸大学

身内賢太郎

- 横浜国立大学

南野彰宏

# AXEL Road Map

10 ton scale

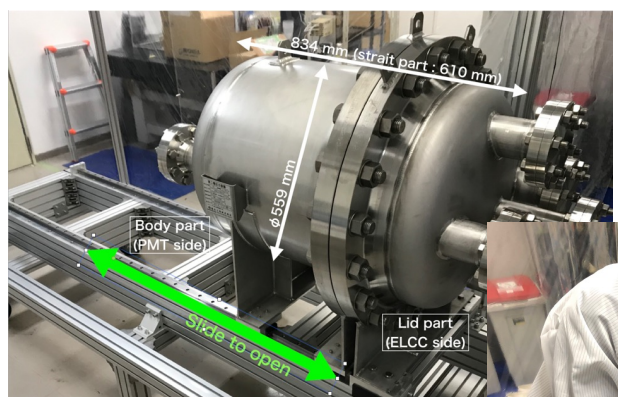
1 ton scale

140kg scale

1000L(24 kg) scale

中国Jinping Labで実験の可能性

2024- physics data taking

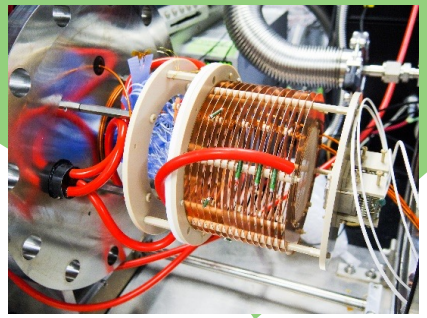


Kamioka observatory,

## 10-L prototype

2014-2018

- ~0.05kg @8bar
- ELCC proof of principle



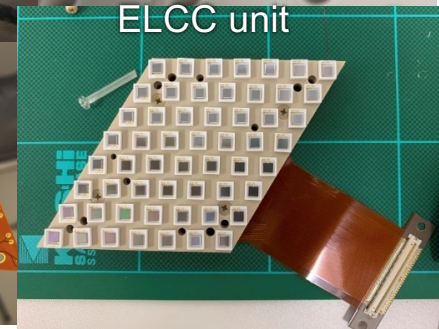
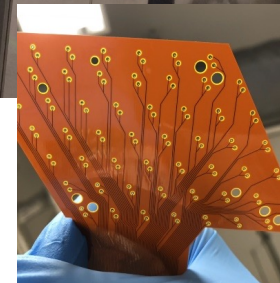
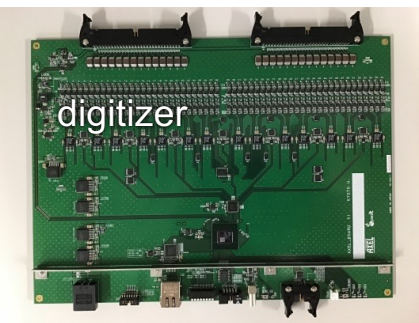
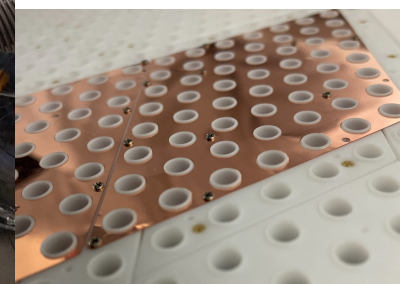
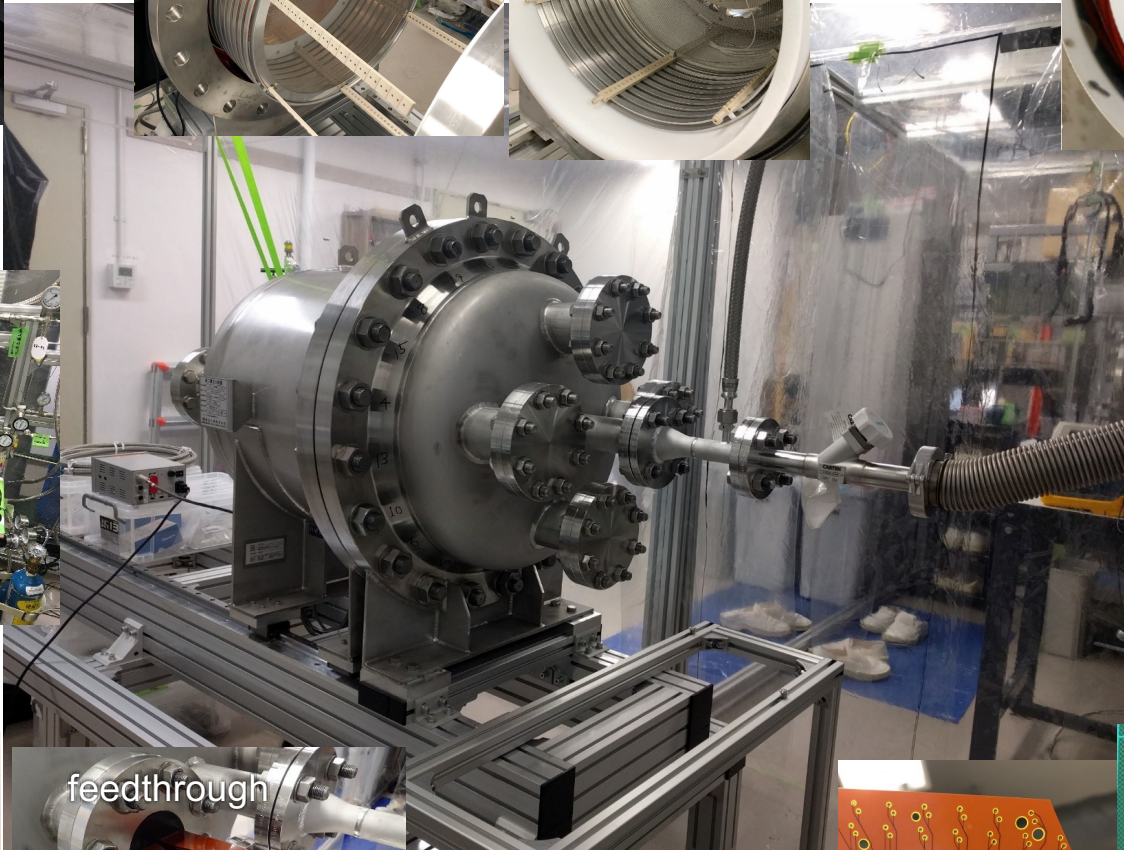
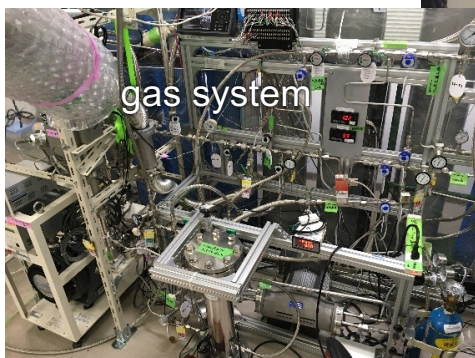
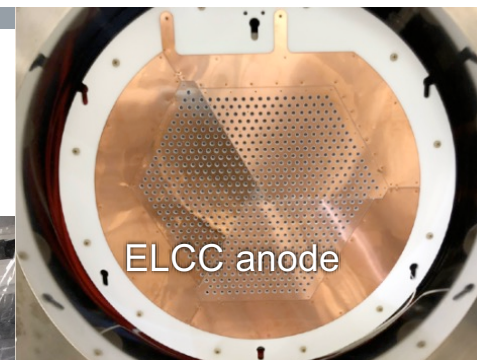
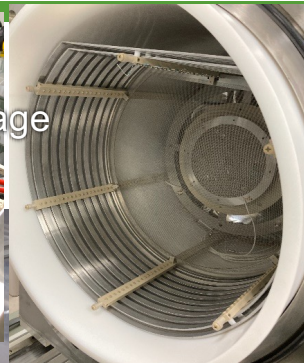
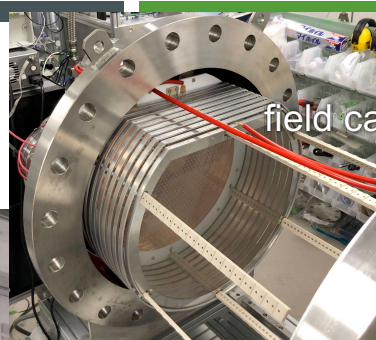
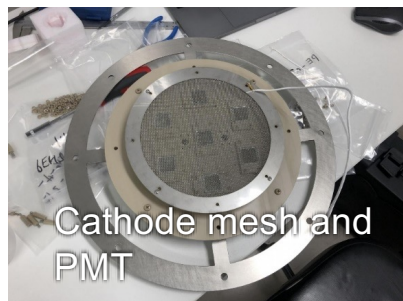
## 180-L prototype

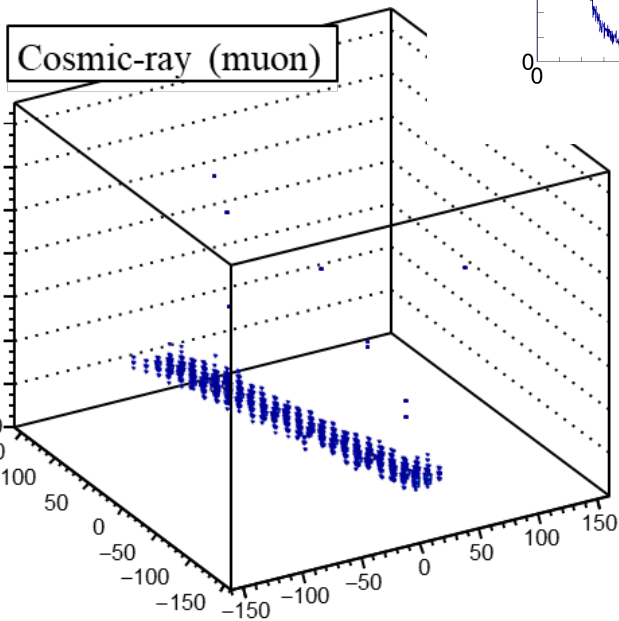
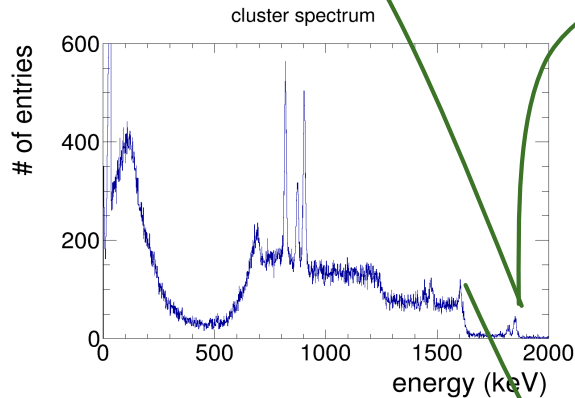
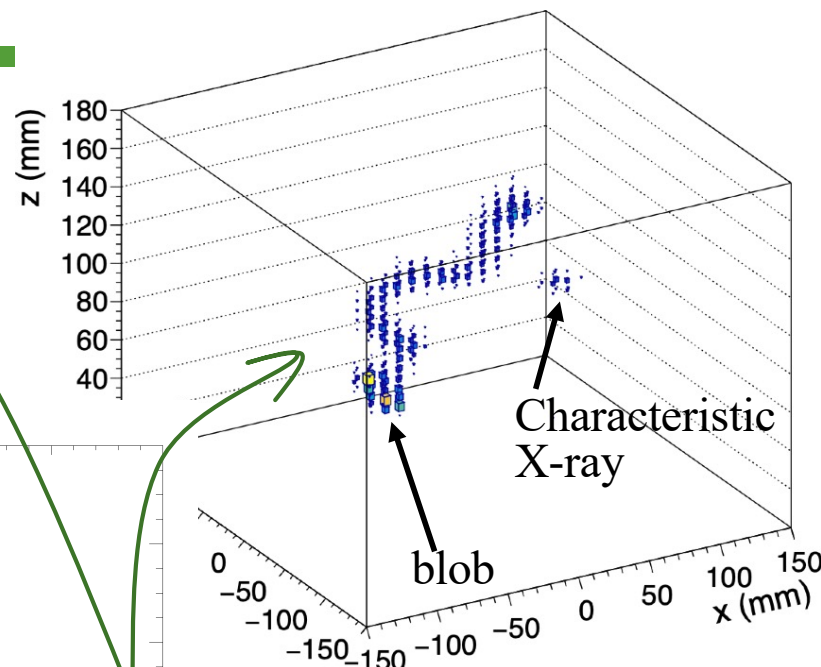
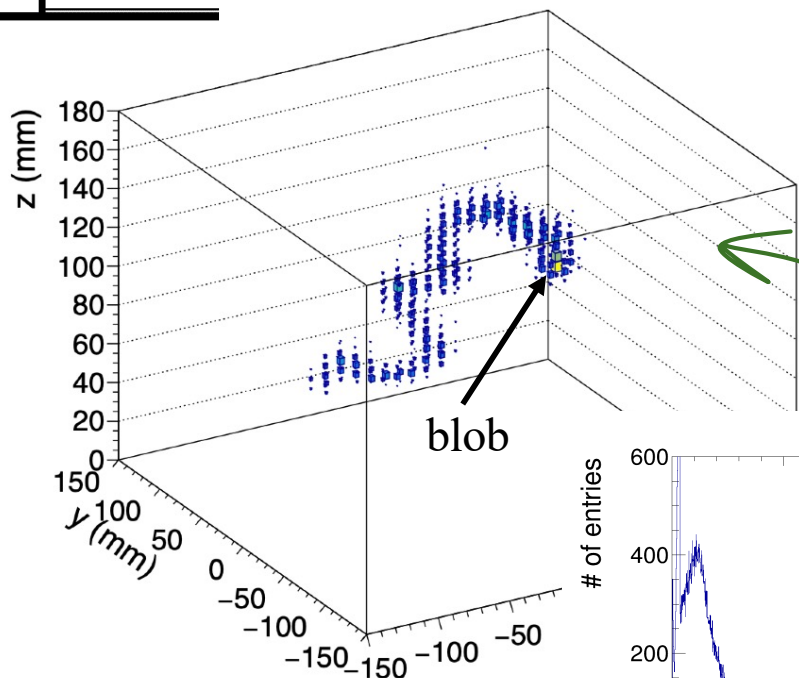
2018-2021

- ~4.5kg @8bar
- phase-1 : 168 ch
- phase-2 : 672ch

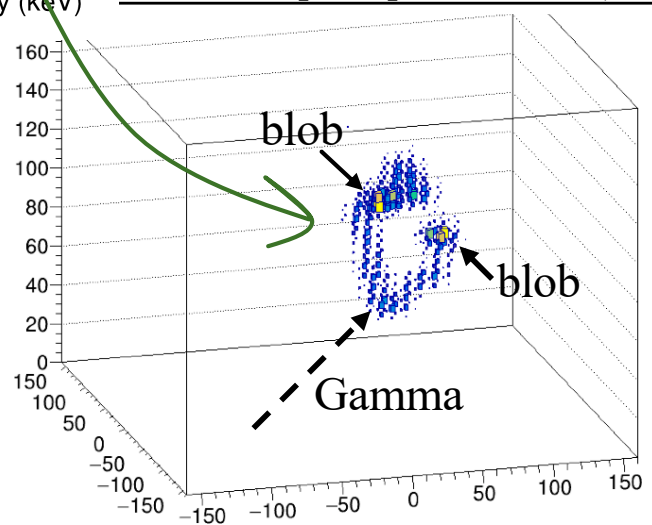


# 180L検出器: 先輩たちの汗と涙の結晶

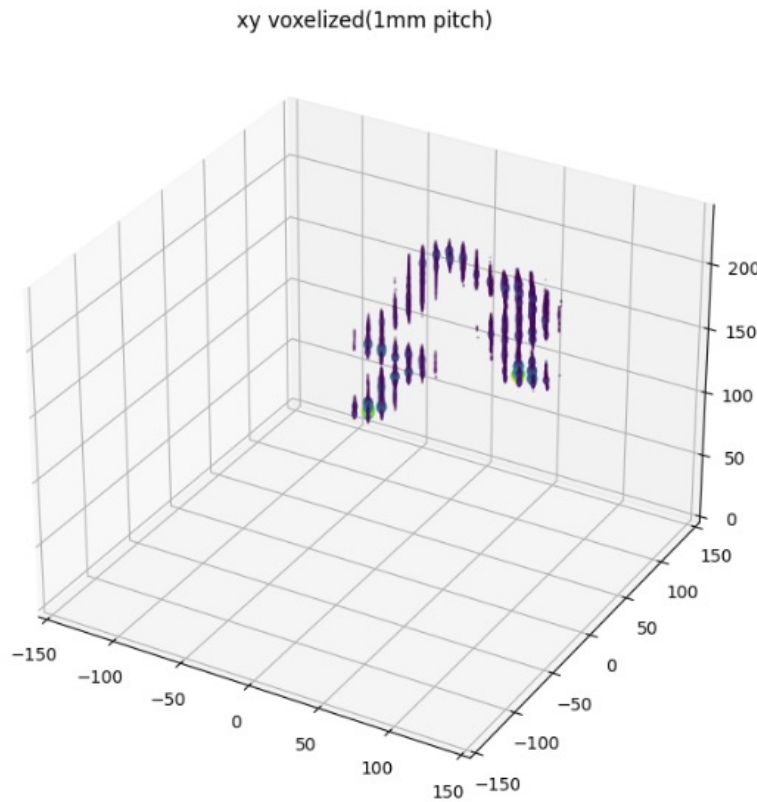




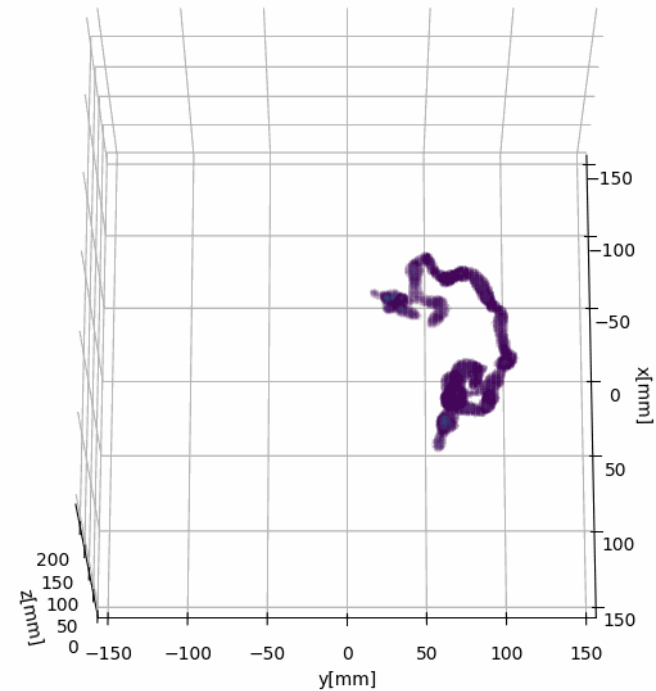
Double escape of pair creation (2.6MeV,  $^{208}\text{Tl}$ )



# 180L prototype 2.6 MeV Track image



RL deconvoluted, Elevation: 70.0deg, Azimuth: 0.0deg



逆畳み込みアルゴリズムで

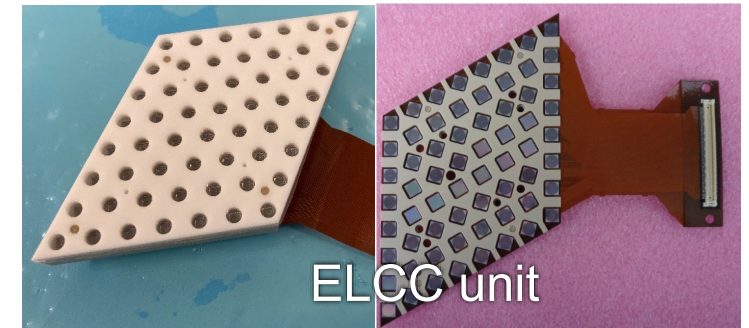
# 今後3～4年間の予定

- ✓ 現状: 世界記録であるニュートリノ有効質量領域  $100\text{meV}/c^2$  を超えて  $0\nu\beta\beta$  を探索できる検出器基礎技術は確立した.
- ✓ 大型化に向けた開発 ⇔ 神岡で1000L検出器を立ち上げる
- ✓ 解析の高度化
- ✓ スペインのNEXT実験と協力して、2028~2029年に100kg検出器で  $0\nu\beta\beta$  を探索  
そのために、まずNEXT-Demoという試作機にELCCを設置。2027年1月コミッショニング開始
- ✓ 1トン検出器の実現に向けて世界の他の実験グループと議論

# 修士の学生さんのテーマ例 (1)

## ➤ ELCC

- 個別電圧印加システム
- 製作法の確立(コストも含めて最適化)→10ユニットの製作→NEXT-Demoへの設置



## ➤ 解析手法の改善

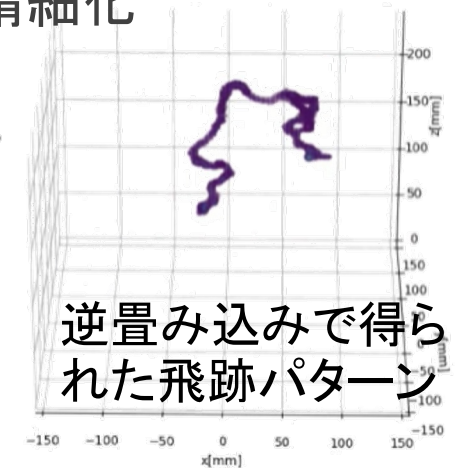
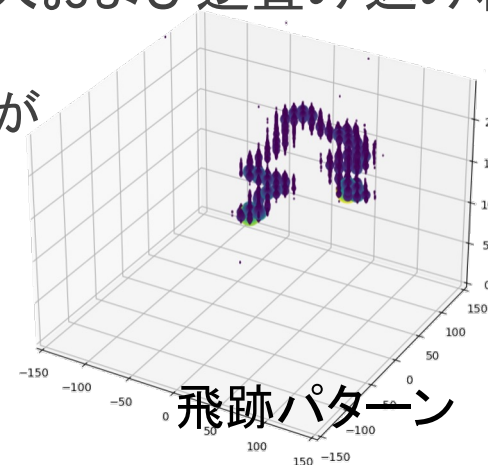
- ヒット閾値の扱い→エネルギー分解能向上
- 飛跡パターン解析

逆畳み込み後のエネルギー補正

新しいアルゴリズムによる領域拡大および逆畳み込み精細化

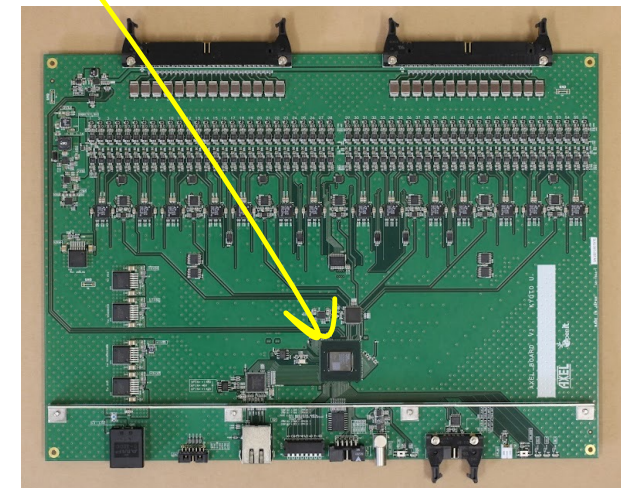
要は、すべての情報を入れるにはGPUのメモリが足りないので工夫が必要.

グラフネットワーク/Sparse CNN/Transformerなど



# 修士の学生さんのテーマ例 (2)

- NEXT-Demoのコミッショニング  
@スペイン
- 大型化に向けて
  - データ取得系ボードのファームウェア(\*)の開発
    - \* チップ上にアルゴリズムを書き込む。配線でアルゴリズムが実行されるのでタイミングを合わせなければいけないところが、ソフトウェアと異なる。  
トリガー、データ圧縮など。
  - 1000L検出器用電場生成フィールドケージの設計、製作
  - アクティブ容器の開発



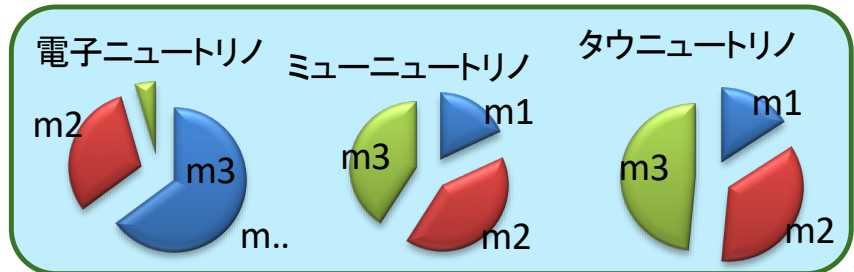
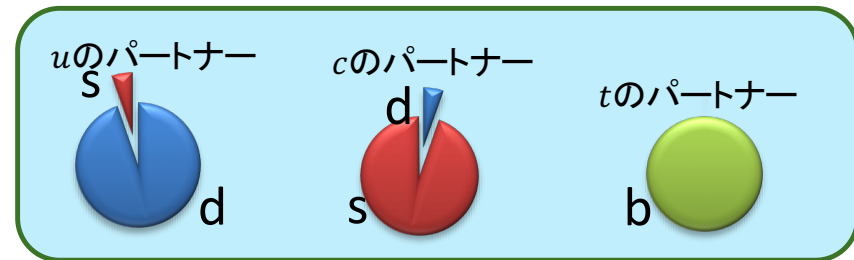
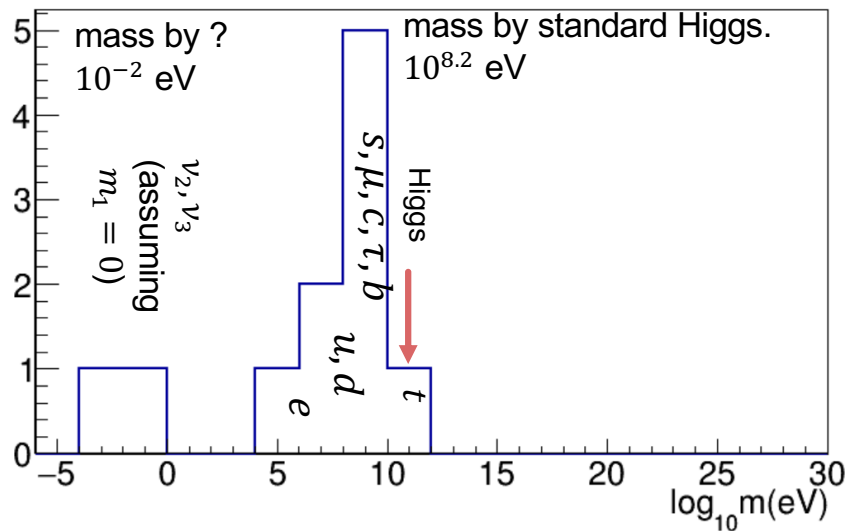


# ニュートリノの質量が変なのはなぜか？

- フェルミオン(クォーク、荷電レプトン(電子、ミュー、タウ))の質量
  - 真空中に凝縮したヒッグス粒子と相互作用することで右巻き状態 $\leftrightarrow$ 左巻き状態の絡まった質量を持つ状態に

クォークの質量の固有状態とフレーバーはまあまあ一致。

- 標準理論ではニュートリノは、左巻きしかないので、質量を持ってない。
- ニュートリノ振動の発見  $\Rightarrow$  ニュートリノも質量を持つ！
  - が、飛びぬけて小さい
  - レプトンは質量の固有状態とフレーバーがぐちゃぐちゃ



# ニュートリノの変な質量、そして宇宙の物質・反物質非対称を説明する有力な理論モデルは、ニュートリノがマヨラナ粒子であることを要請

## シーソー模型

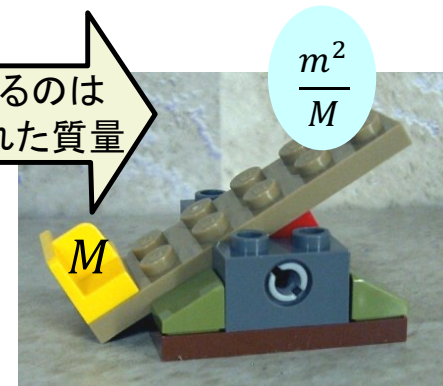
ニュートリノがマヨラナ粒子(粒子=反粒子)で、重い右巻きマヨラナ質量を持つと

$$\begin{pmatrix} \overline{\nu_L}, \overline{(\nu_R)^c} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & m \\ m & M \end{pmatrix} \begin{pmatrix} (\nu_L)^c \\ \nu_R \end{pmatrix}$$

Dirac mass  $\sim 1\text{MeV}$       Majorana mass

クォークの混合行列との違いもこれに起因？

観測されるのは  
対角化された質量



$10^8 \sim 10^{15} \text{ GeV}$  の  $N_R$  (右巻きニュートリノ) が存在

## レプトジェネシス

- $N_R$ (重い右巻きニュートリノ)の崩壊で軽い $\nu$ とHiggsを生成。この時にCPの破れ→レプトン数の生成(重い。混合角が大きい可能性大)
- スファレロン過程(標準理論で許される過程。)

宇宙初期の真空の遷移で、B-Lを一定に保った状態で粒子を生成。レプトン数→バリオン数が生成

ニュートリノがマヨラナ粒子であることを示す！(または否定する！)ことが重要

# 高圧キセノンガスによるタイムプロジェクションチェンバーは、 オールラウンドプレイヤー

