

# ICEPP研究紹介

## レプトンフレーバー物理研究

大谷航

大学院進学ガイダンス2027 2026年5月23日

担当：大谷航研究室



大谷航(教授)



内山雄祐(准教授)



岩本敏幸(助教)



潘晟(特任助教)



大矢淳史(特任助教)



山本健介(特任助教)



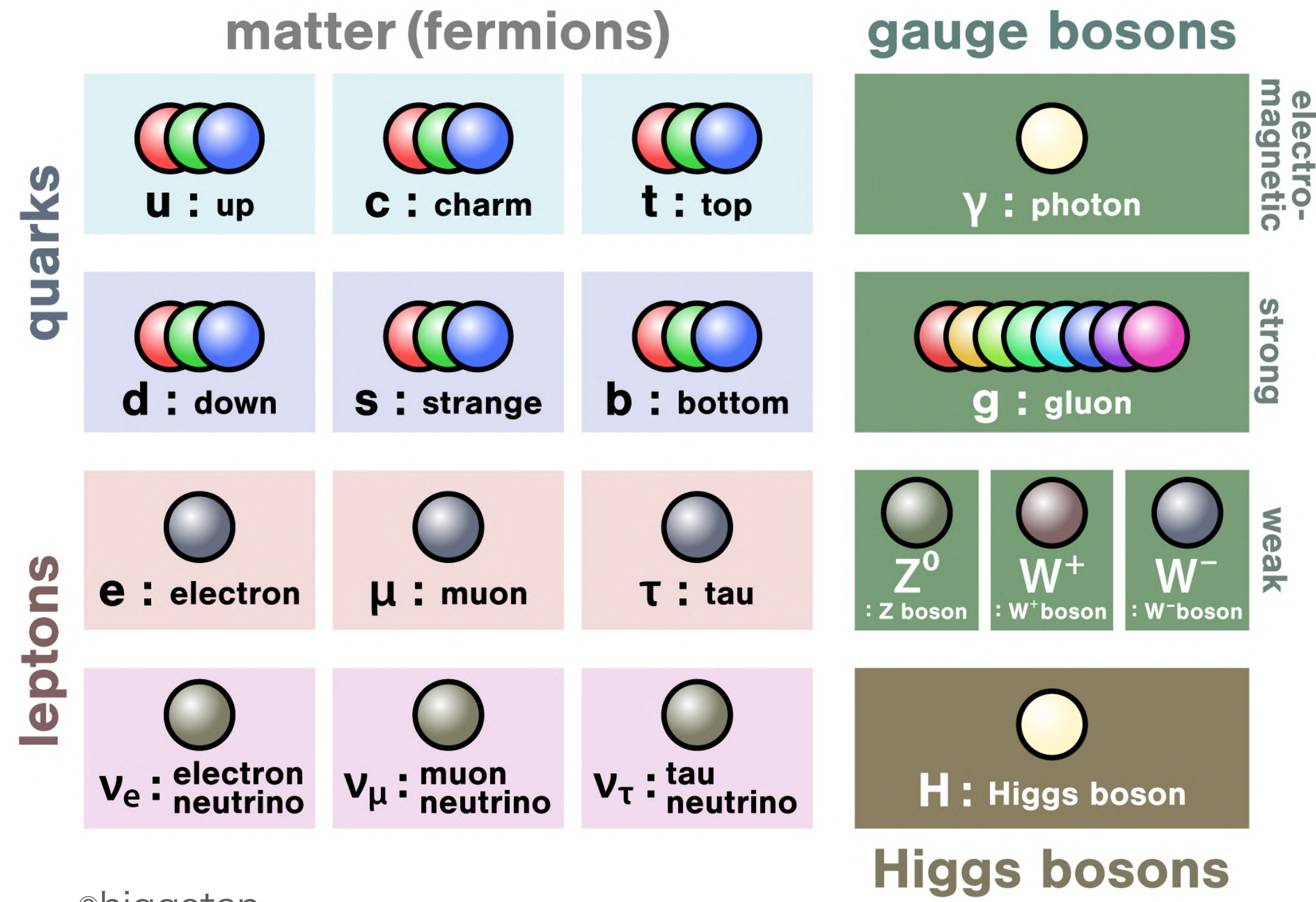
森俊則 (特任研究員/名誉教授)

# 素粒子の世代構造(フレーバー)

## ●物質粒子(クォークとレプトン)の世代構造(フレーバー)

●なぜ世代構造？なぜ3世代？

「世代(flavour)」の概念は  
ミュー粒子の発見(1936)から始まった



©higgstan



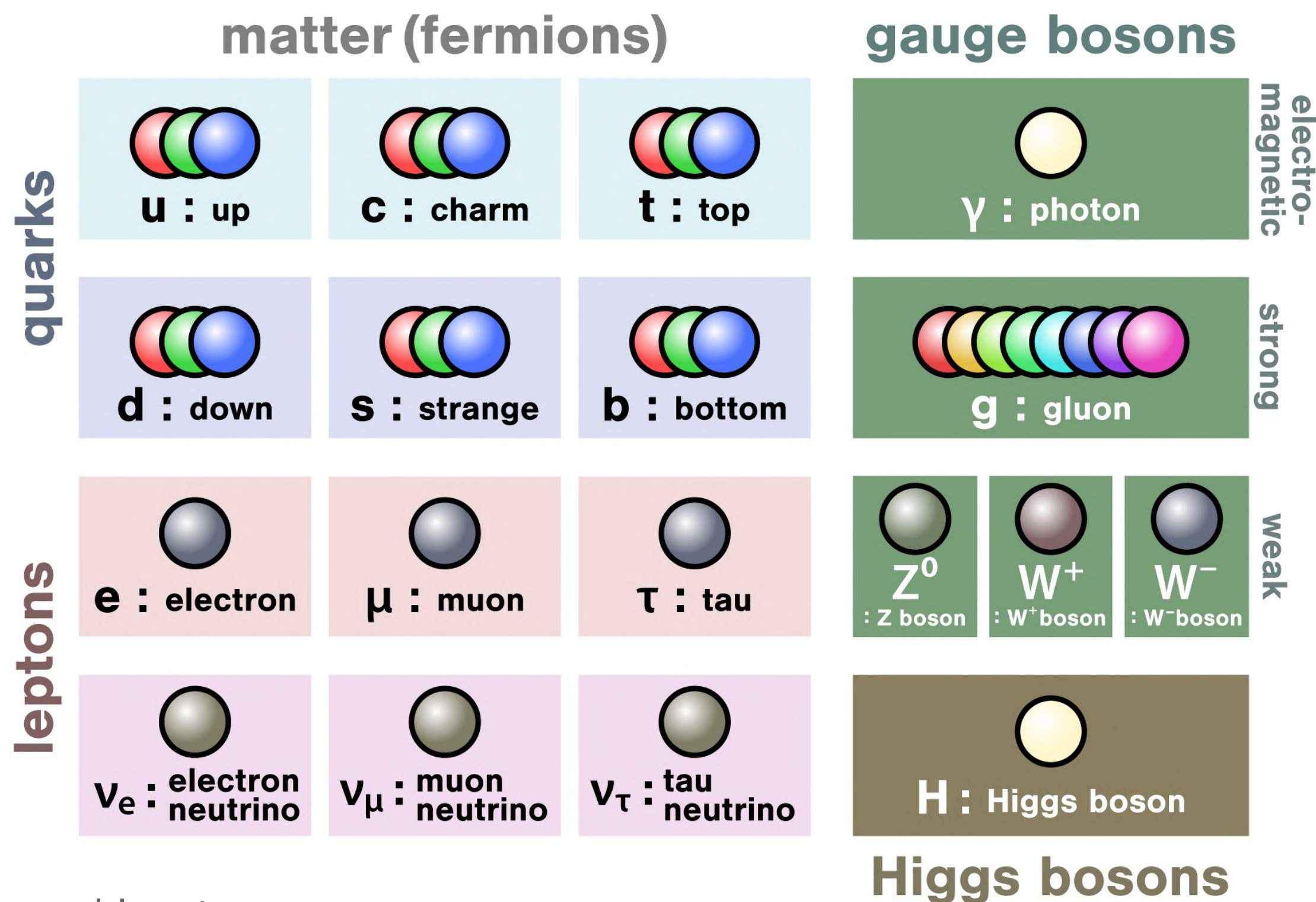
“Who Ordered That?” (ラビ博士)

# 素粒子の世代構造(フレーバー)

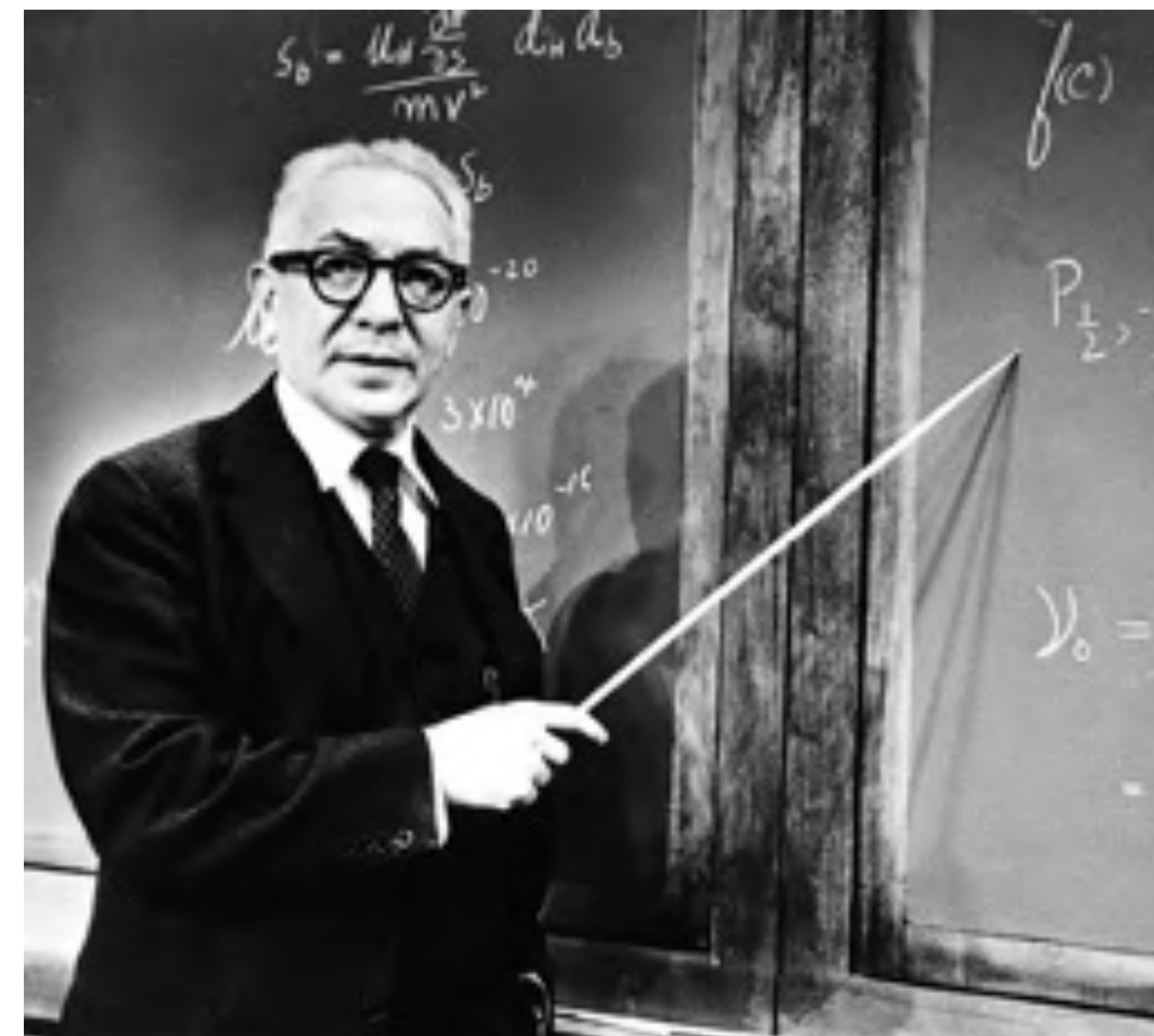
## ●物質粒子(クォークとレプトン)の世代構造(フレーバー)

●なぜ世代構造？なぜ3世代？

「世代(flavour)」の概念は  
ミュー粒子の発見(1936)から始まった

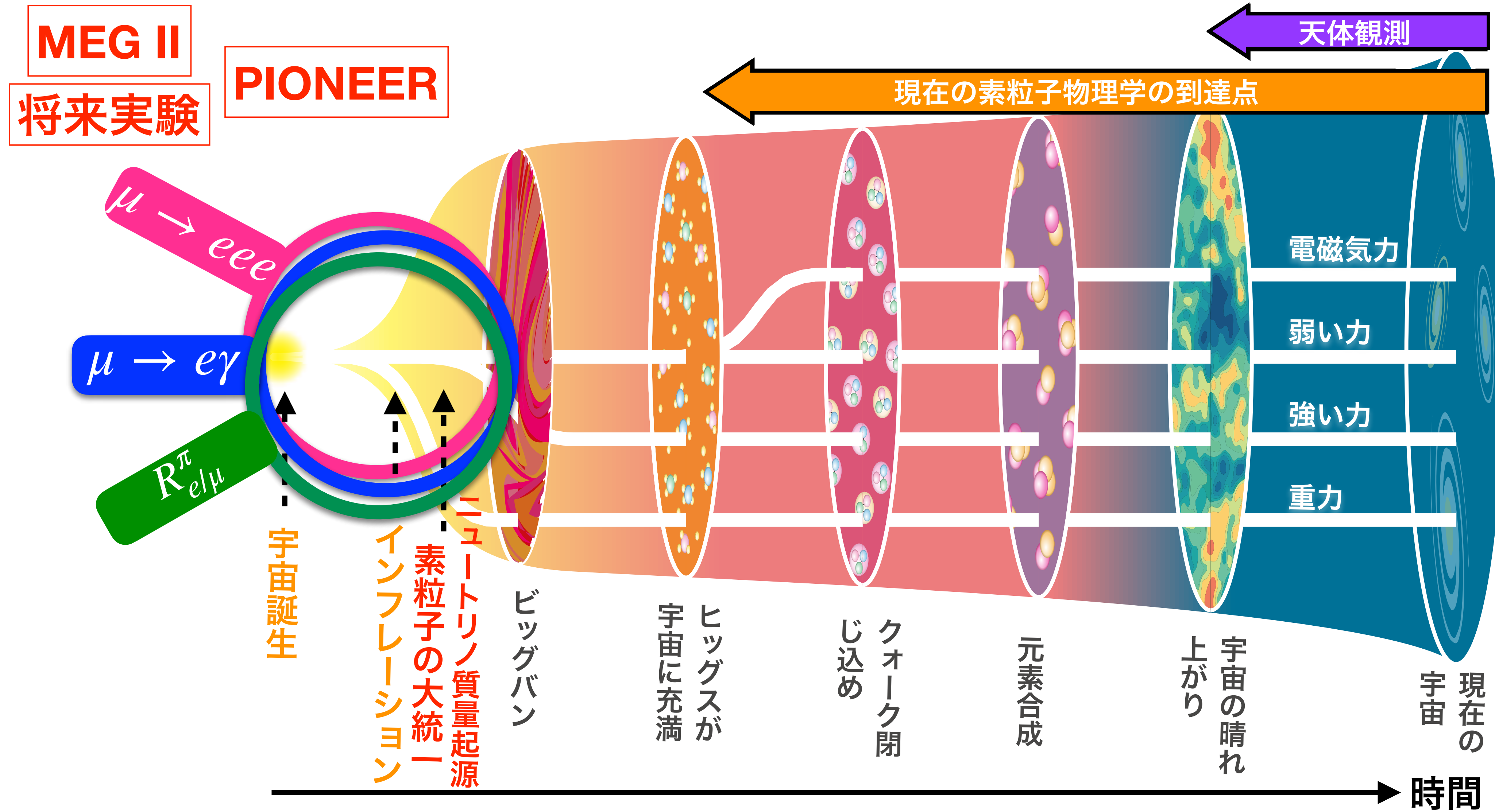


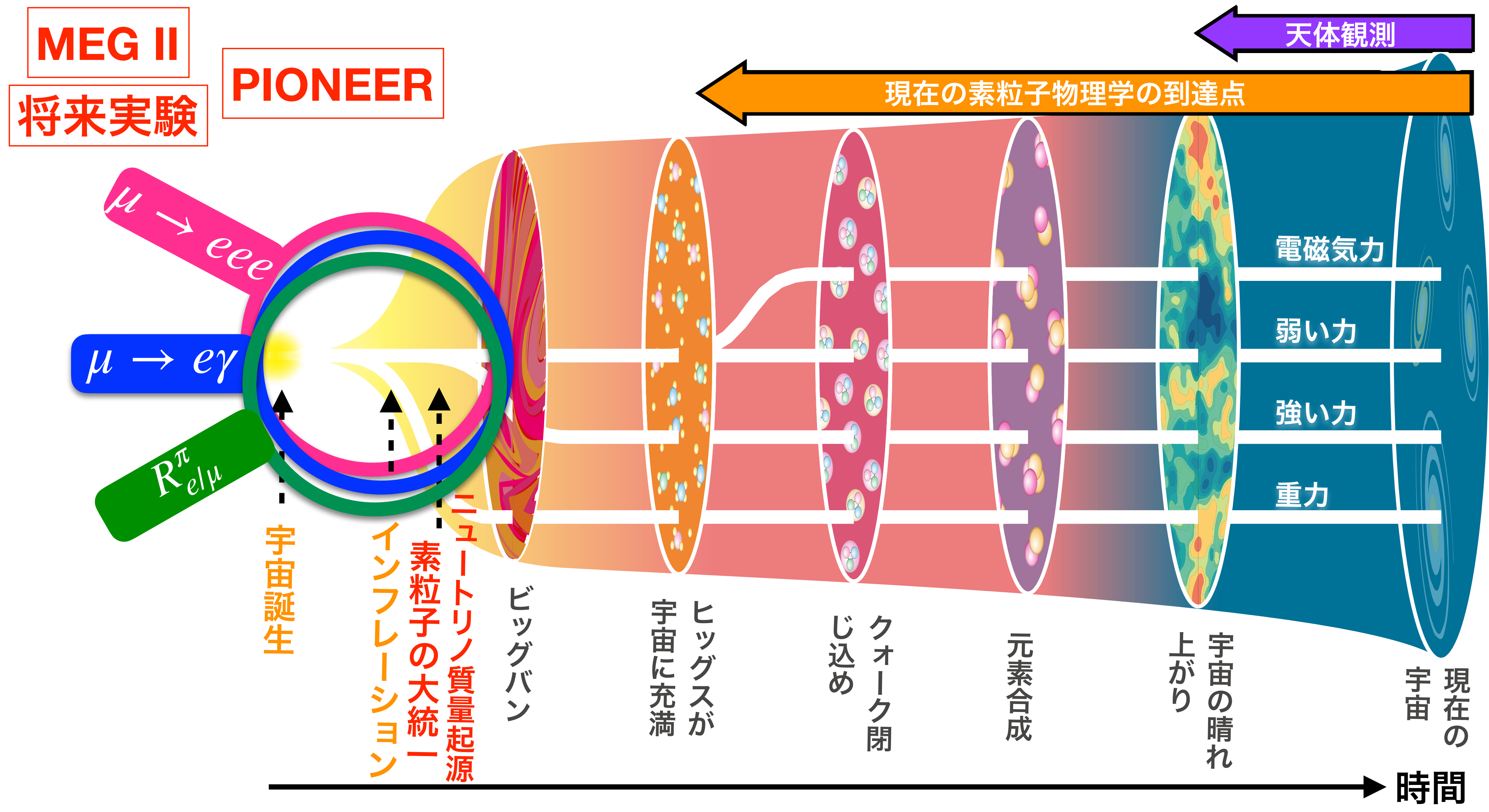
©higgstan



“Who Ordered That?” (ラビ博士)

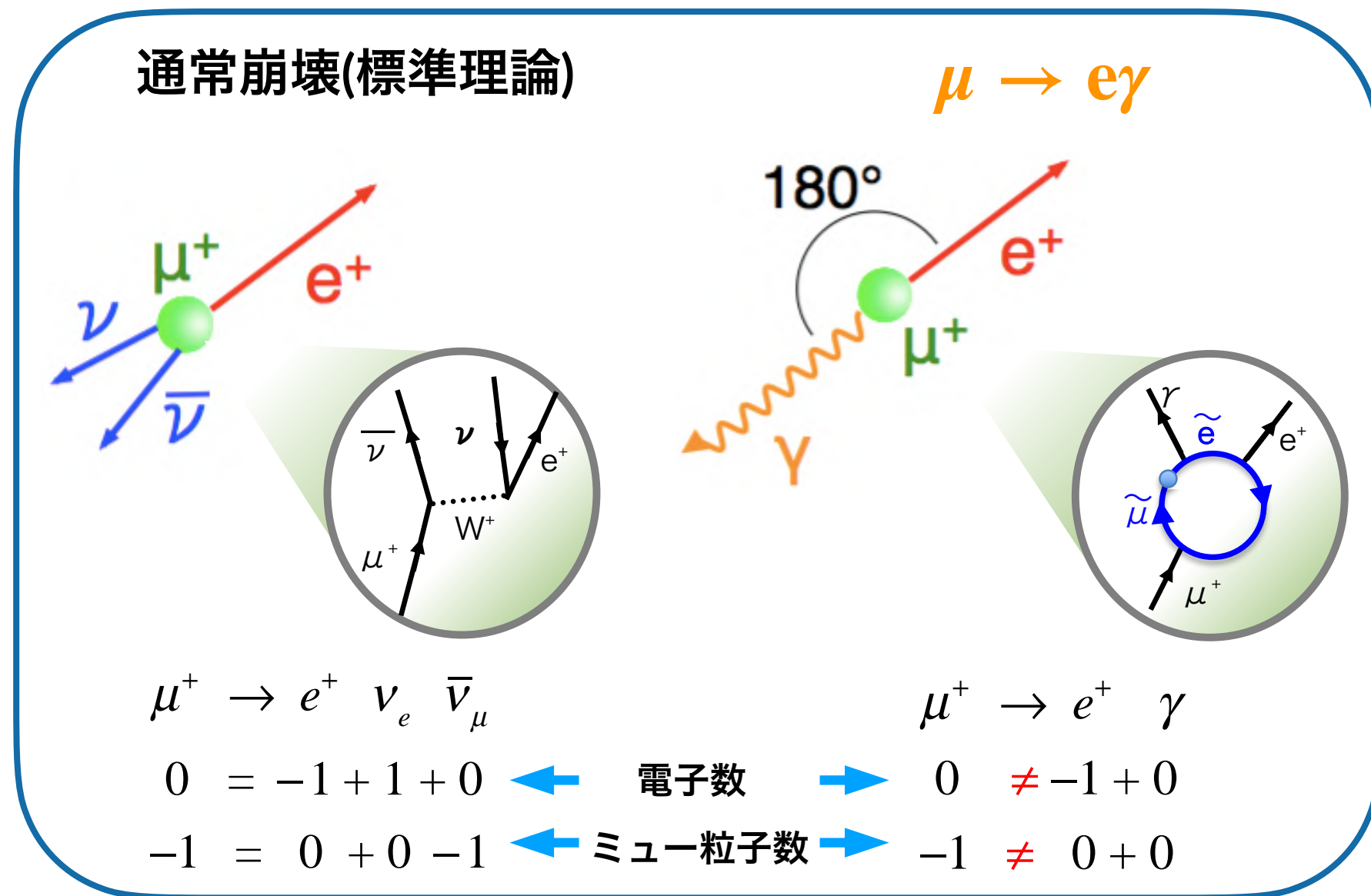
**フレーバー物理は素粒子物理研究の強力なツール**



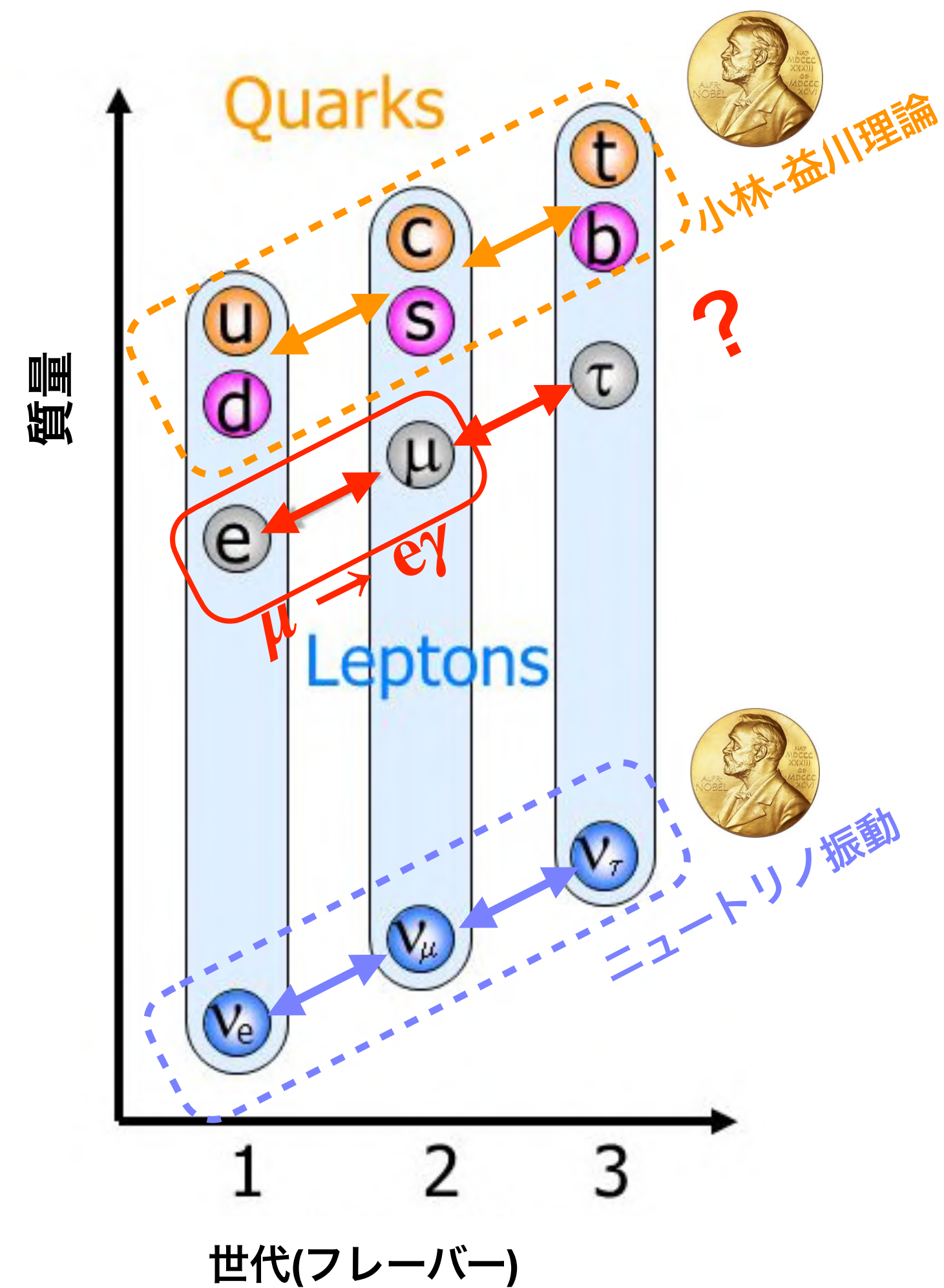


レプトンフレーバー物理で宇宙誕生時の超高エネルギー物理に迫る

# $\mu \rightarrow e\gamma$ 探索

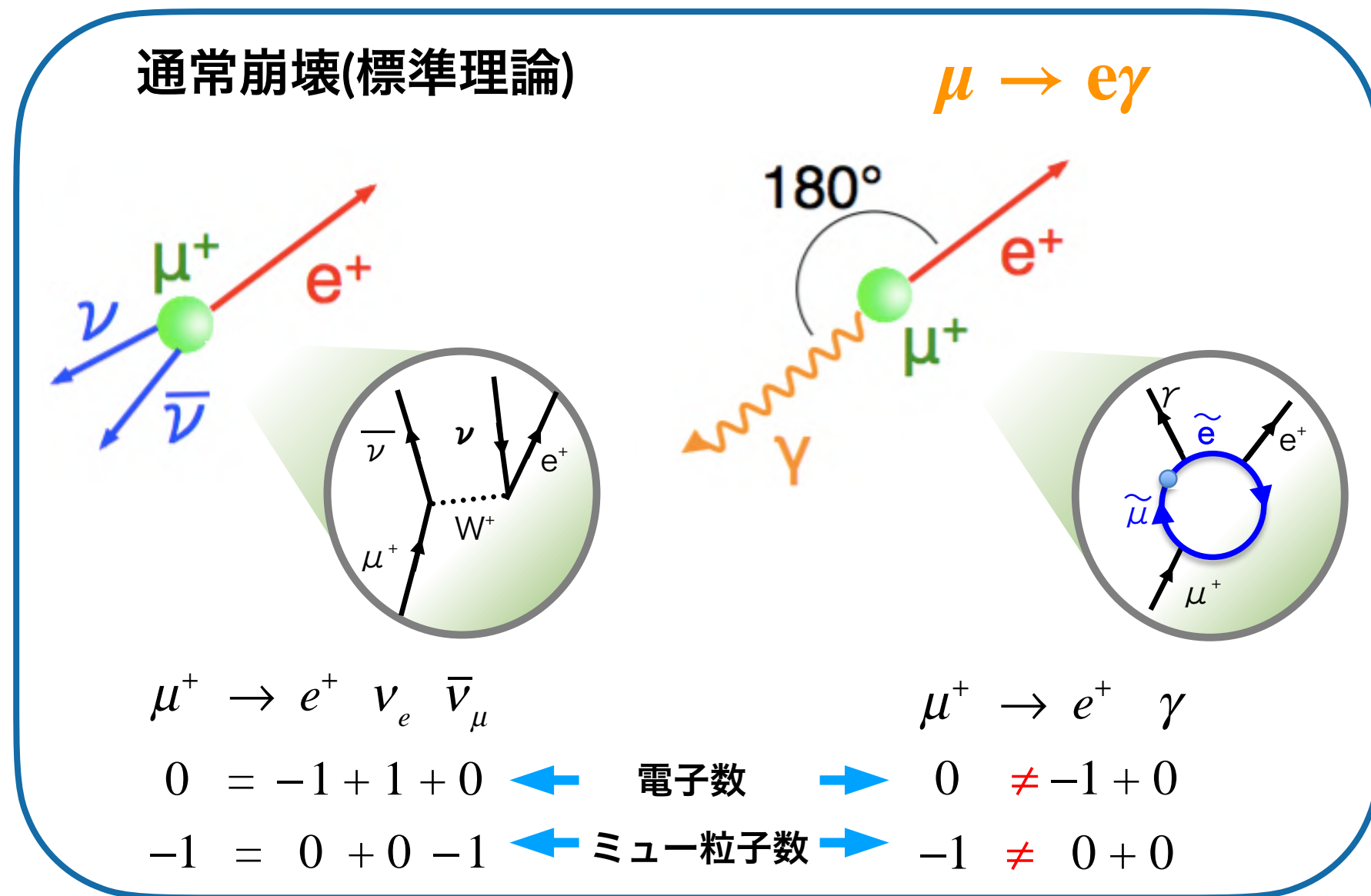


物質粒子(クォークとレプトン)の3世代構造

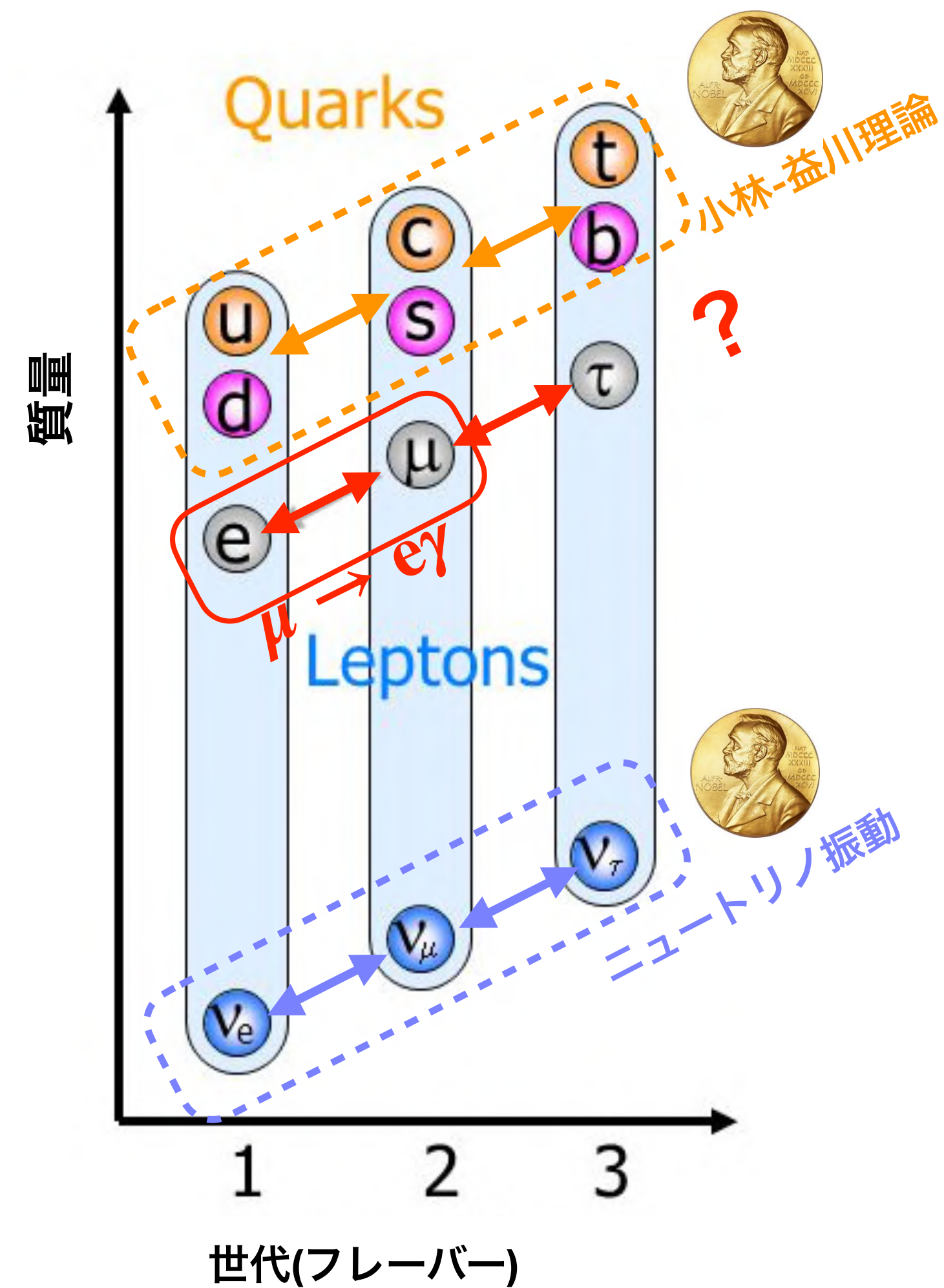


- ミュー粒子の稀な崩壊現象  $\mu \rightarrow e\gamma$  を世界最高感度で探索、その発見をめざす
- なぜ  $\mu \rightarrow e\gamma$  ?
  - 電荷を持つレプトン( $\mu, e, \tau$ )の世代間の遷移現象(レプトンフレーバーの破れ)
  - 素粒子の標準理論では禁止
  - 超対称大統一理論など新物理を仮定すると観測可能な頻度で起こり得る

# $\mu \rightarrow e\gamma$ 探索



物質粒子(クォークとレプトン)の3世代構造



● ミュー粒子の希な崩壊現象  $\mu \rightarrow e\gamma$  を世界最高感度で探索、その発見をめざす

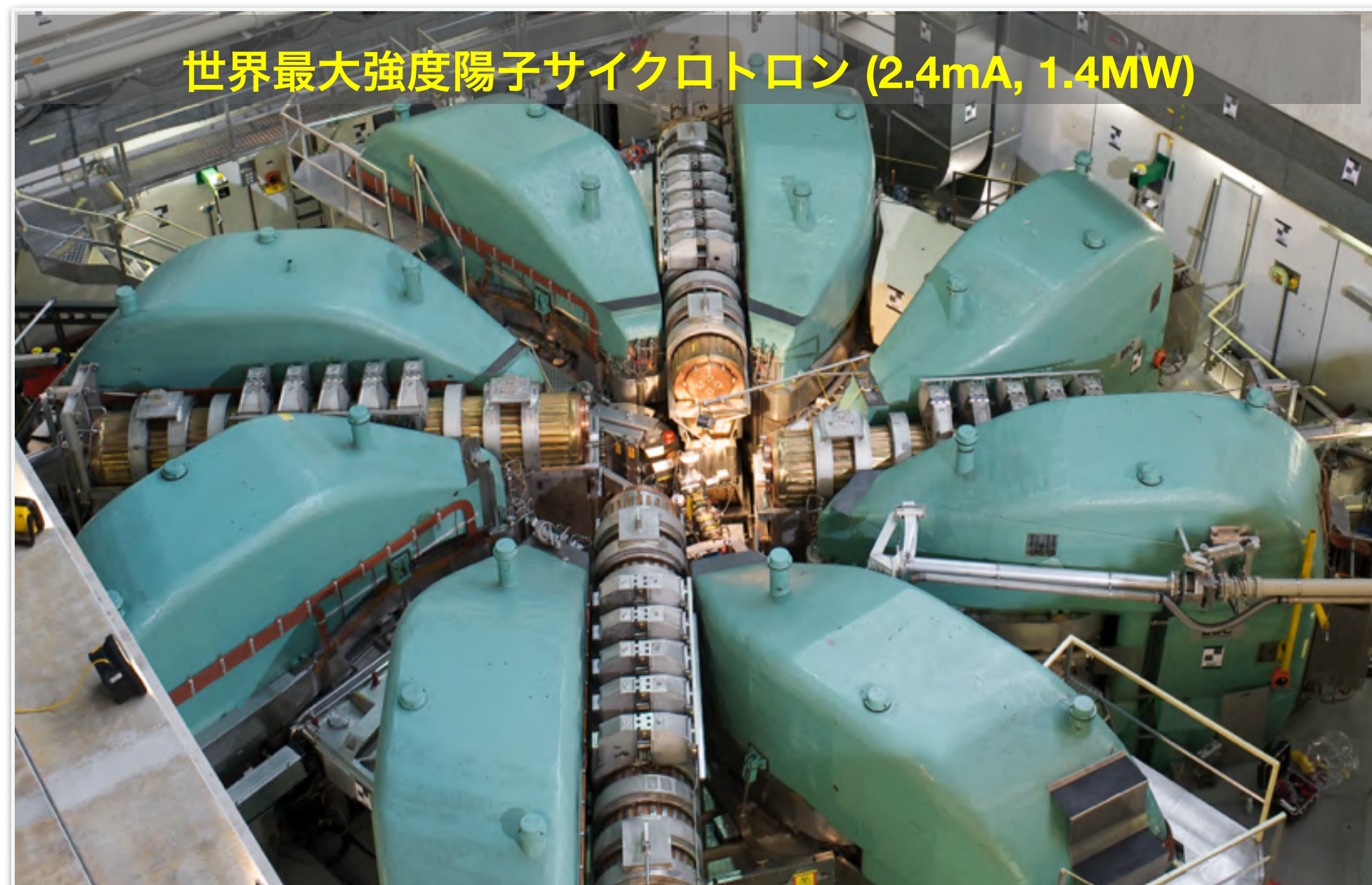
● なぜ  $\mu \rightarrow e\gamma$  ?

- 電荷を持つレプトン( $\mu, e, \tau$ )の世代間の遷移現象(レプトンフレーバーの破れ)
- 素粒子の標準理論では禁止
- 超対称大統一理論など新物理を仮定すると観測可能な頻度で起こり得る

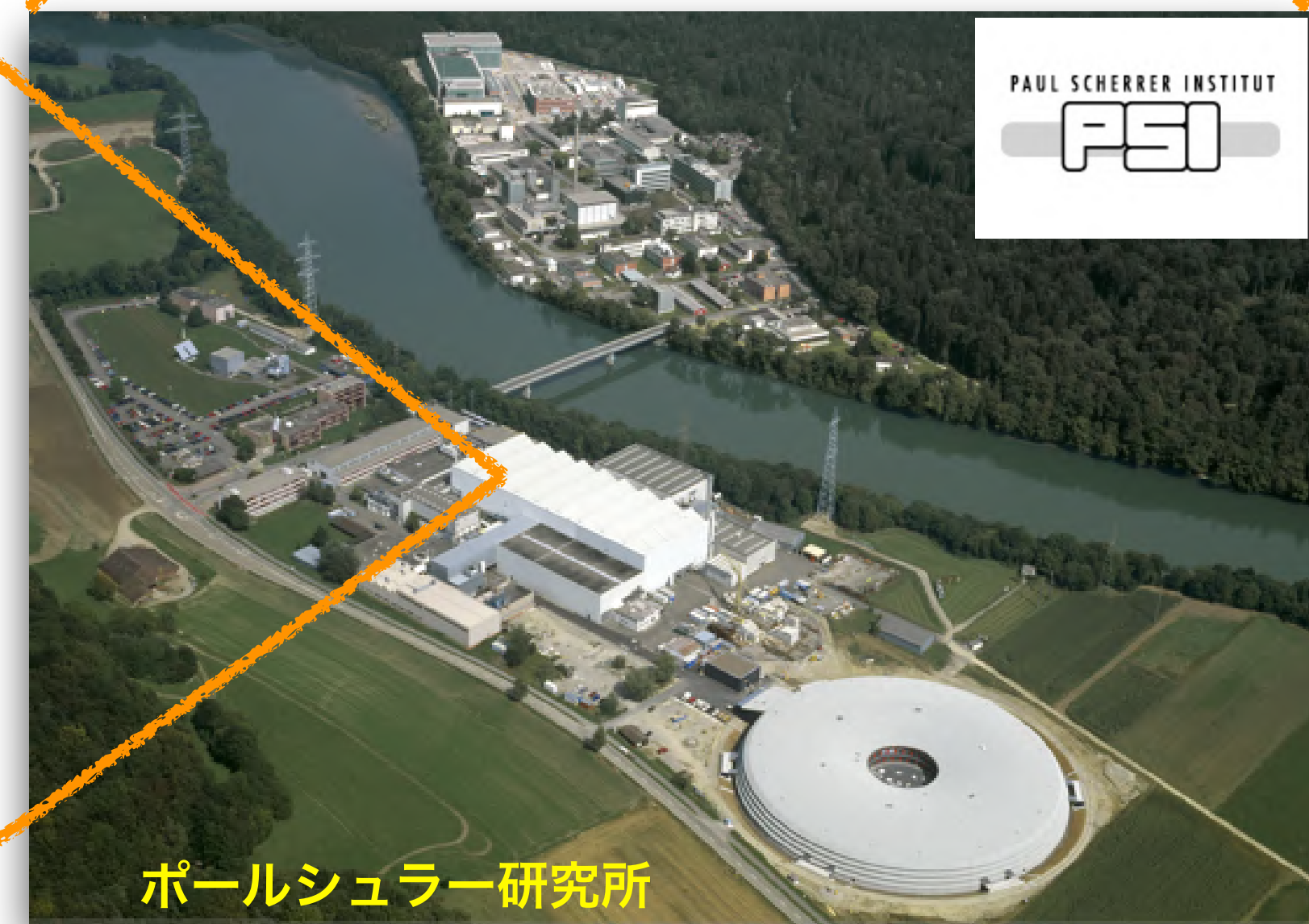
**$\mu \rightarrow e\gamma$  発見 = 新物理の決定的証拠**

# スイス・ポールシェラー研究所(PSI)

- 世界最大強度のミュオン粒子源(毎秒 $10^8$ 個以上!)
- 世界最高感度の $\mu \rightarrow e\gamma$ 探索ができる唯一の場所



世界最大強度陽子サイクロトロン (2.4mA, 1.4MW)



ポールシェラー研究所



# MEG実験

## ●MEG実験は前実験の30倍の実験感度で探索を行った(最終結果@2016)

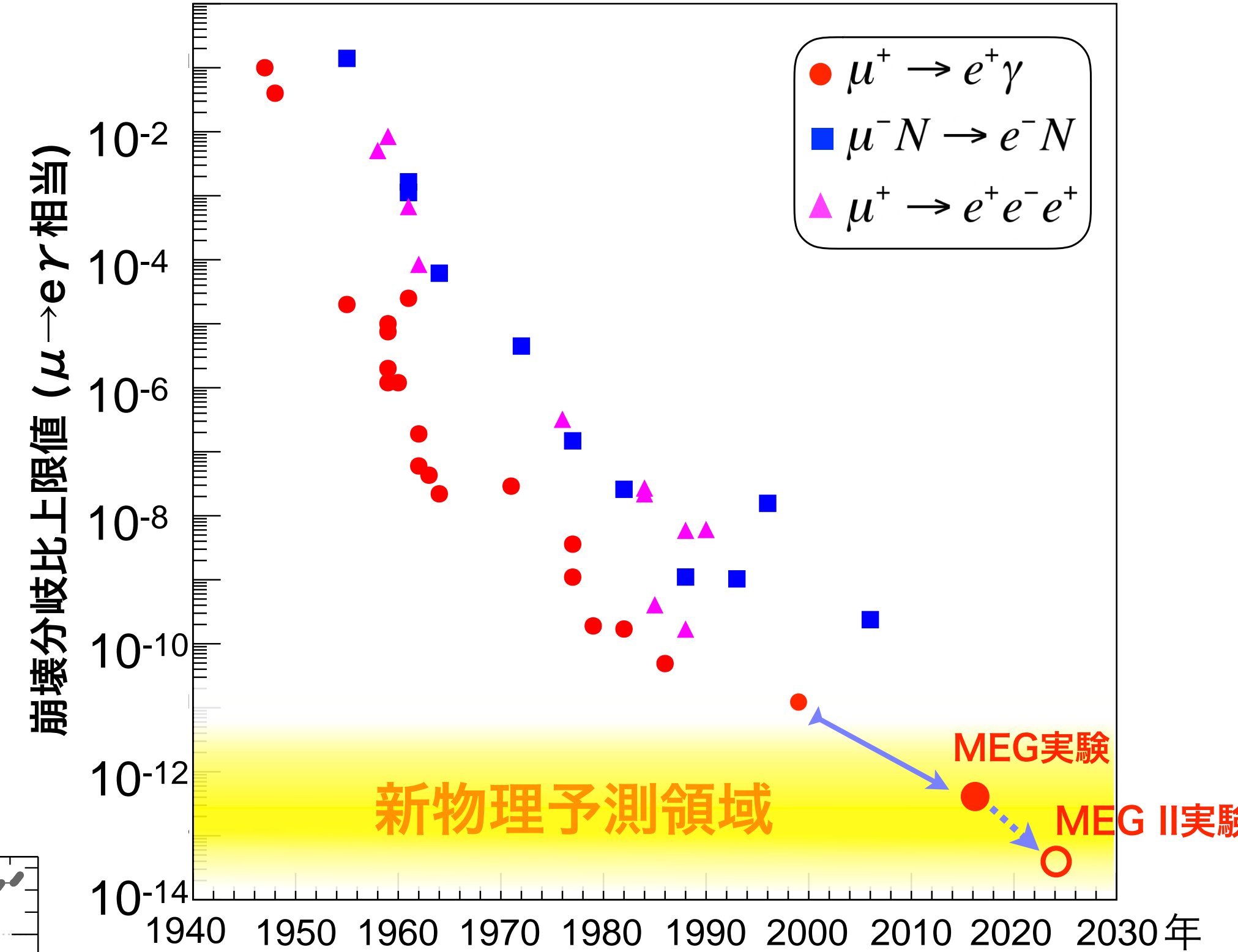
- 既に新物理予測領域に突入していて、いつ見つかってもおかしくない

## ●アップグレード実験 MEG II を実施中

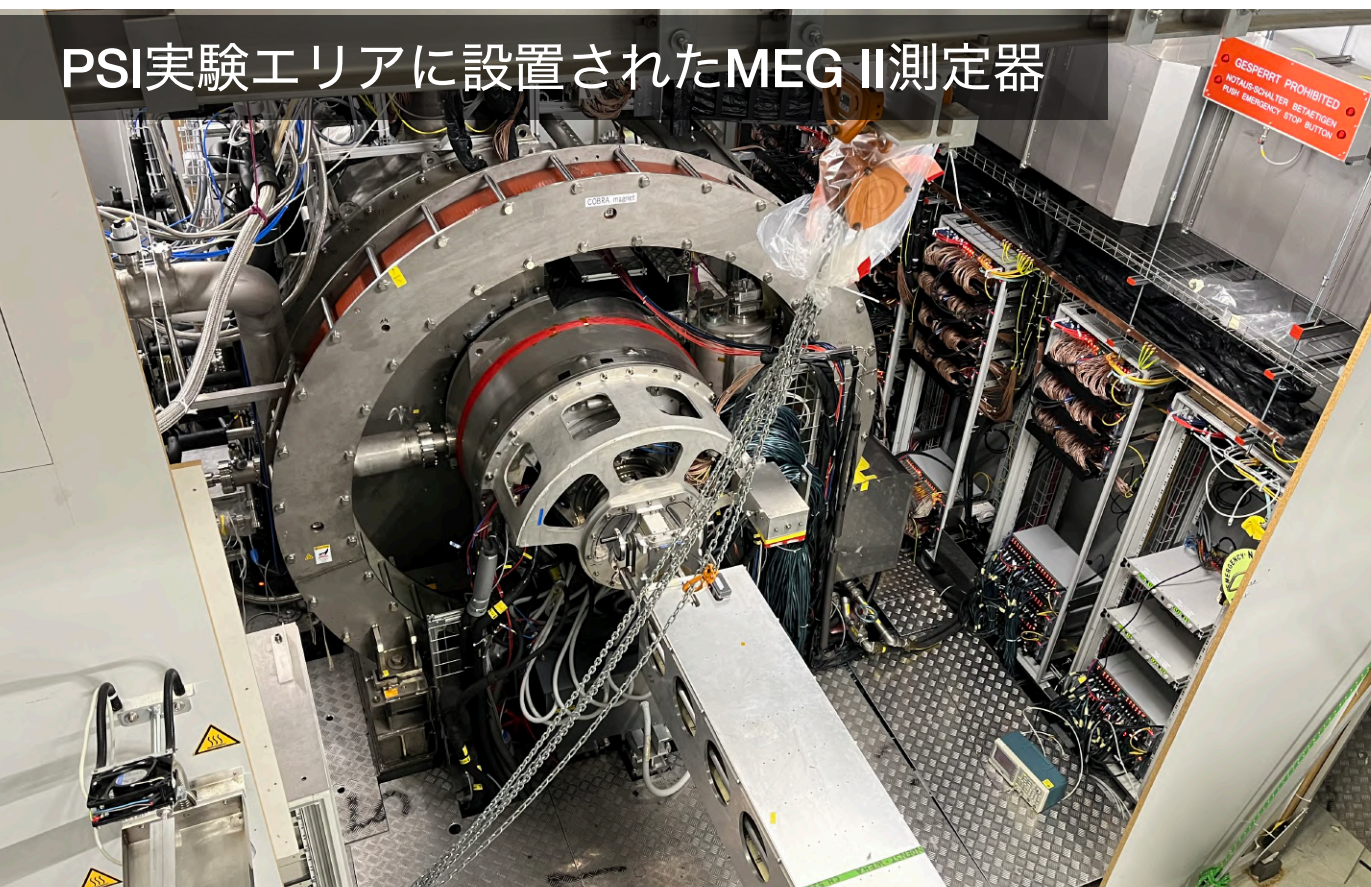
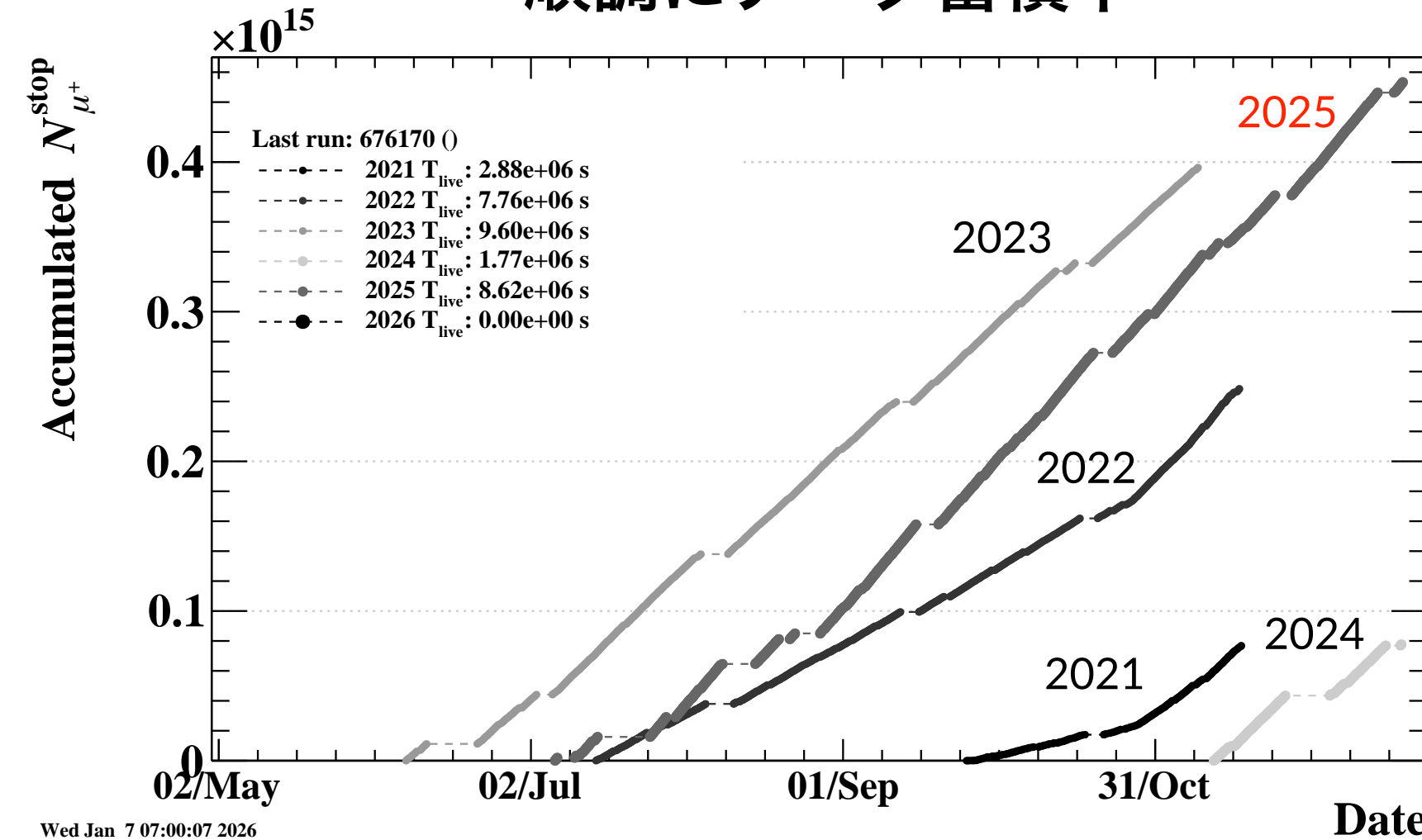
- 目標探索感度：MEGの10倍 ( $\sim 6 \times 10^{-14}$ )
- 2022年 本格測定開始、データ取得は2026年まで
- 既にMEGを大幅に超える感度の探索を開始

→ 未到領域へ！

## $\mu \rightarrow e\gamma$ 探索実験の歴史



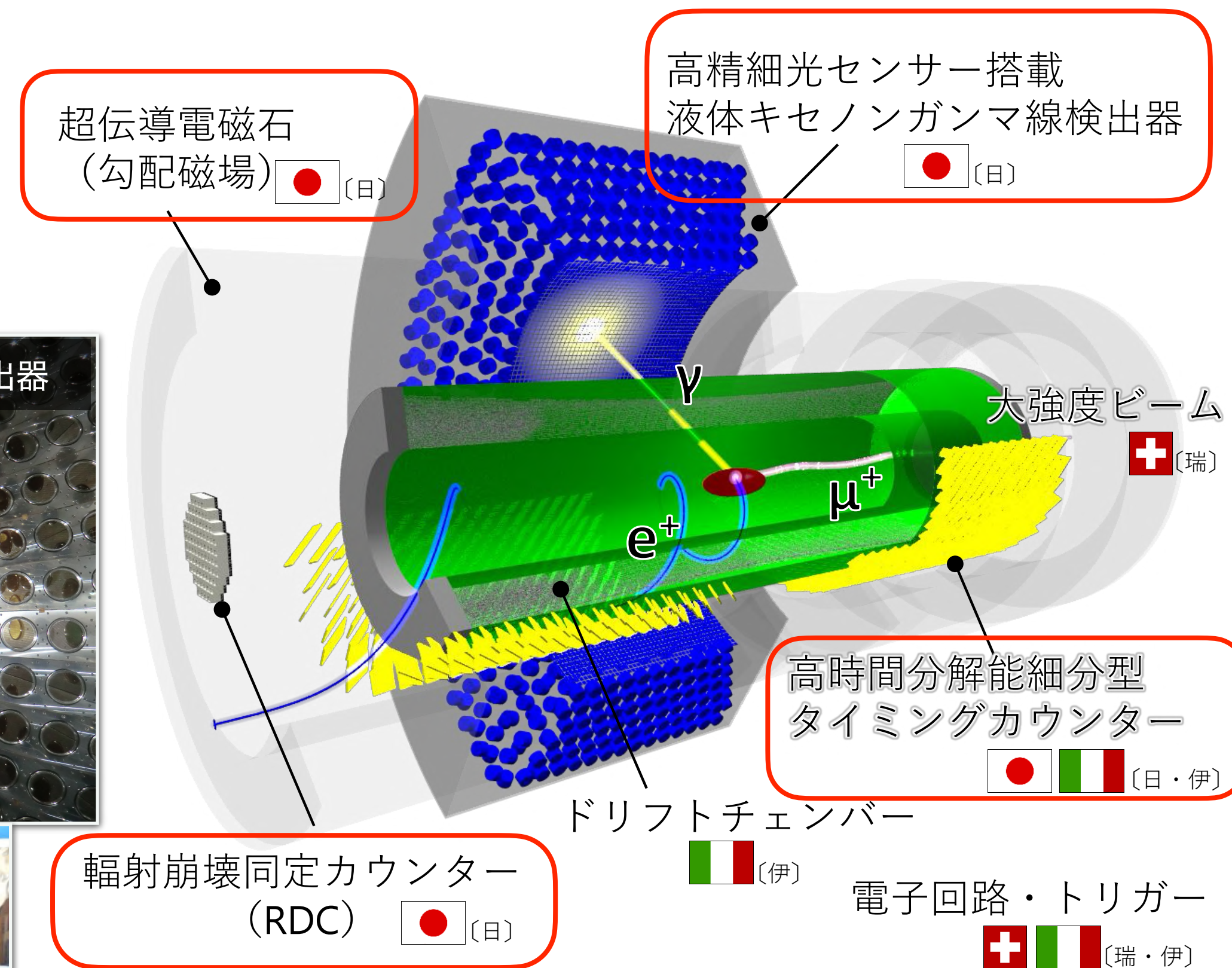
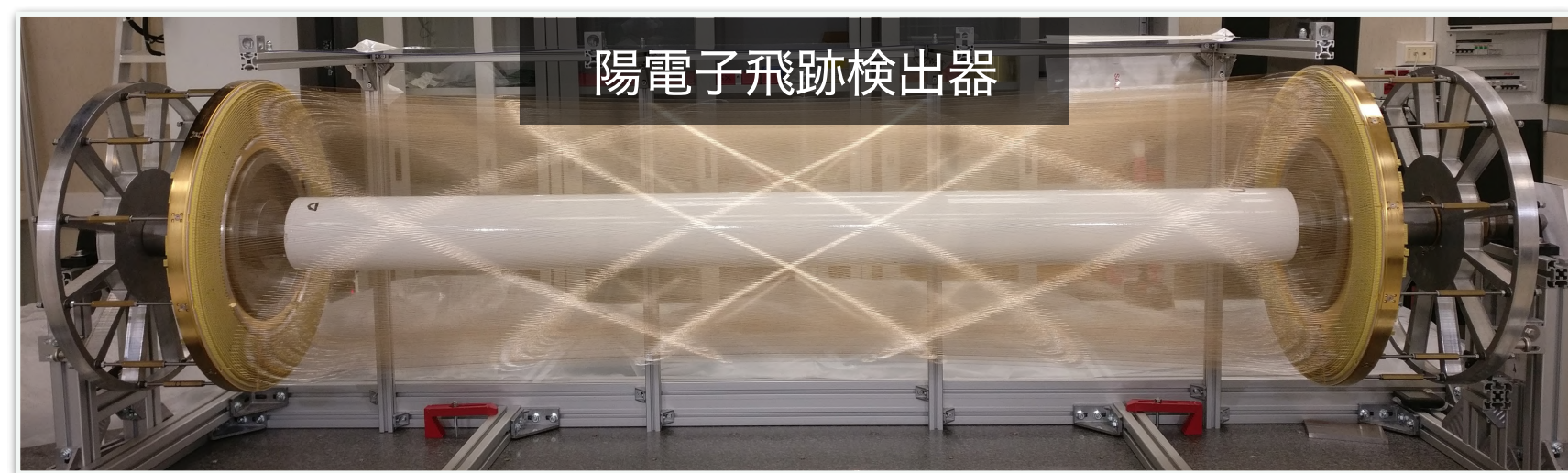
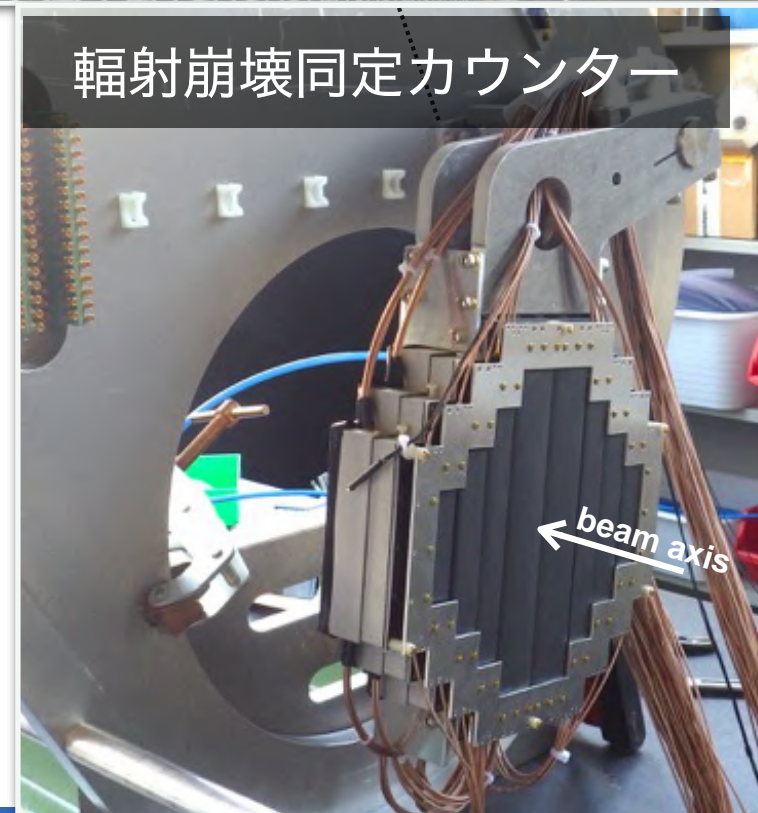
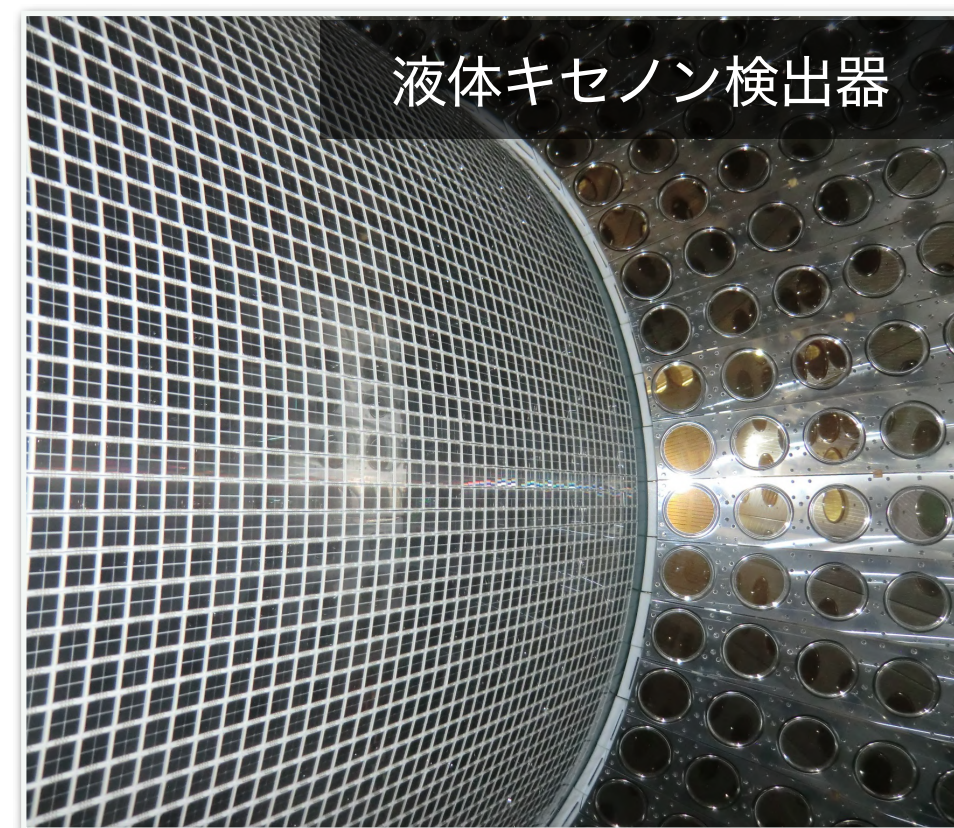
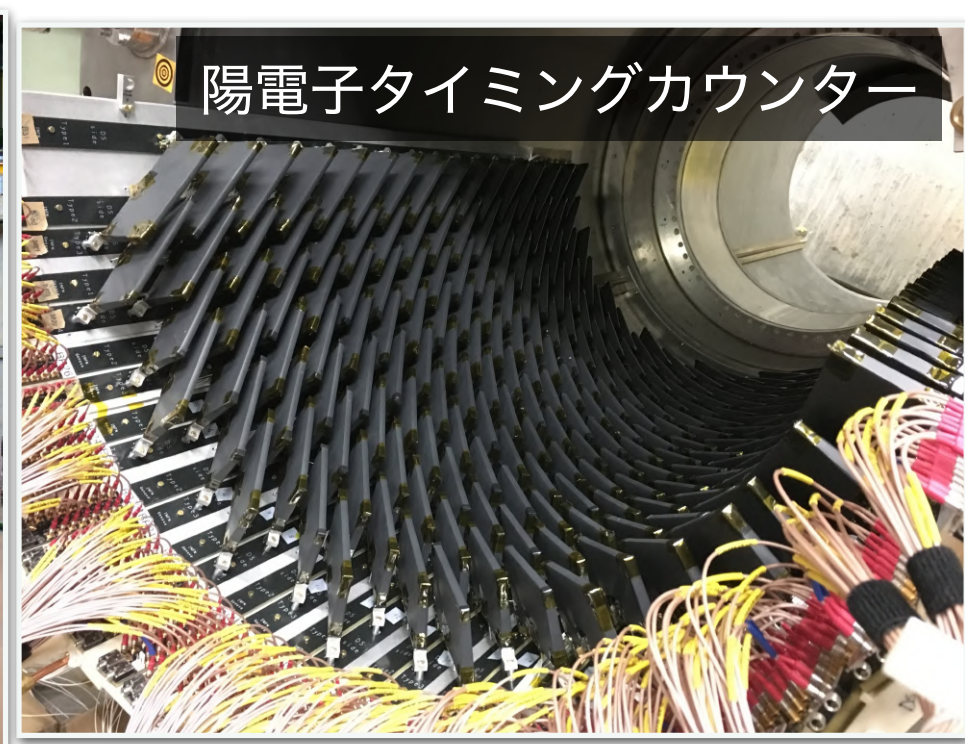
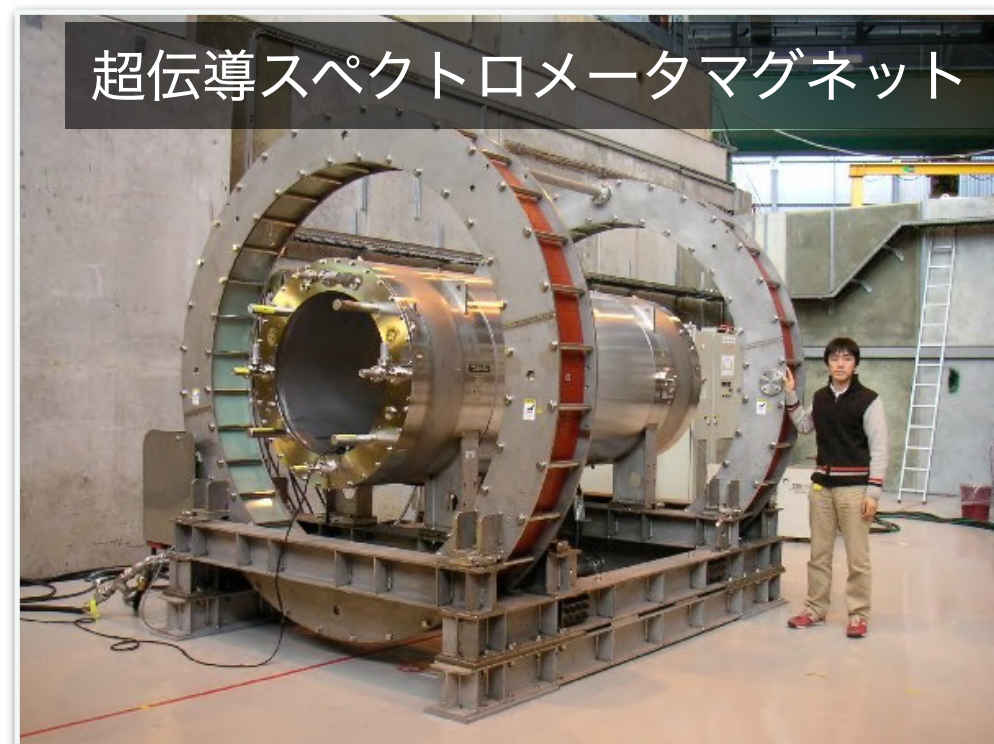
## 順調にデータ蓄積中



# MEG II実験測定器

## ●世界最高感度の実験には世界最高性能の測定器が必要！

- 独創的で巧みなアイデアに基づく高性能測定器を開発・建設
- ICEPPが中心となり考案、開発



**ICEPPが担当する測定器**

# $\mu \rightarrow e\gamma$ 以外の物理

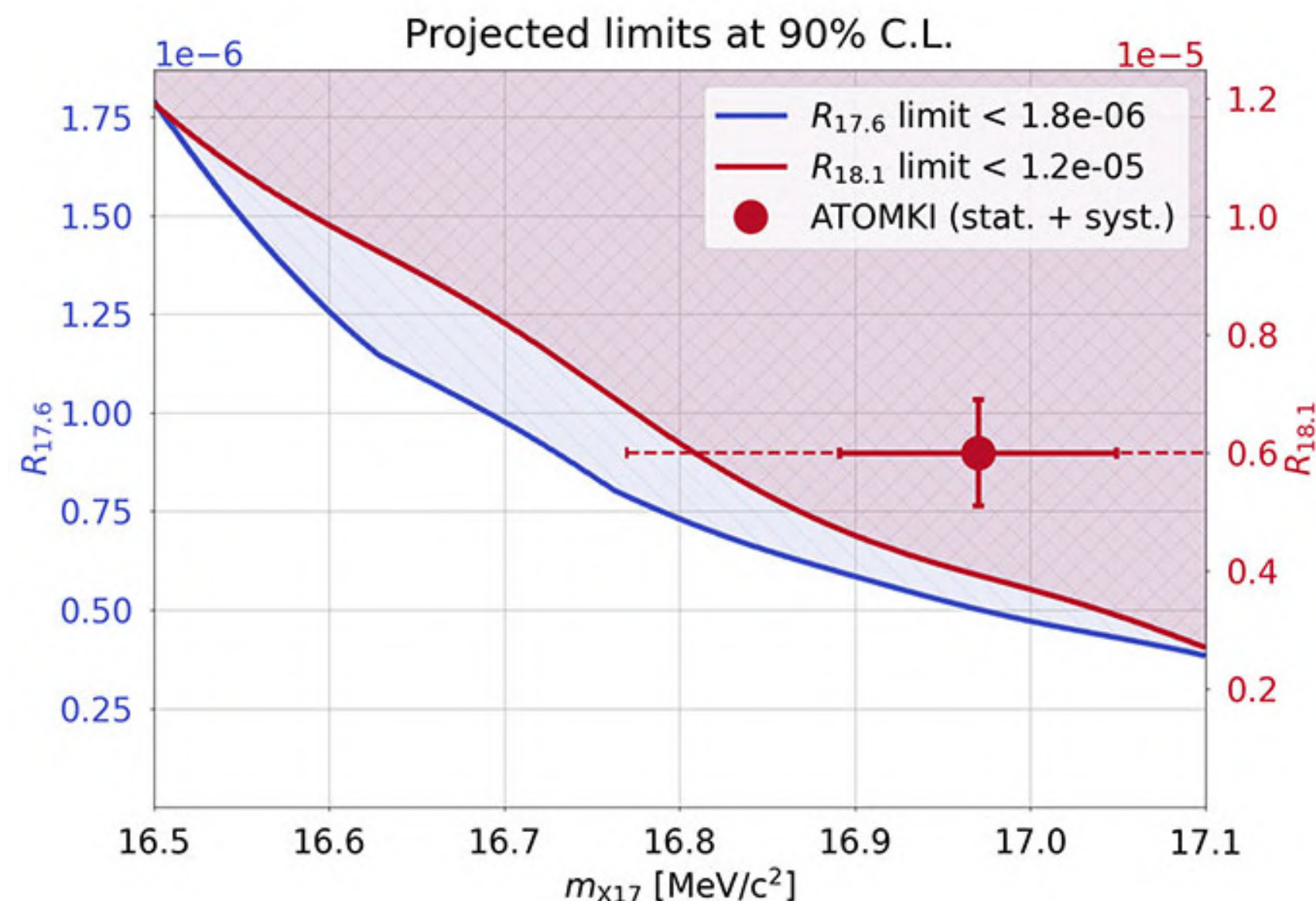
●博士論文のネタは $\mu \rightarrow e\gamma$ だけじゃない！

●これまでにない性能のMEG II測定器を用いて $\mu \rightarrow e\gamma$ 以外の稀な現象を探索

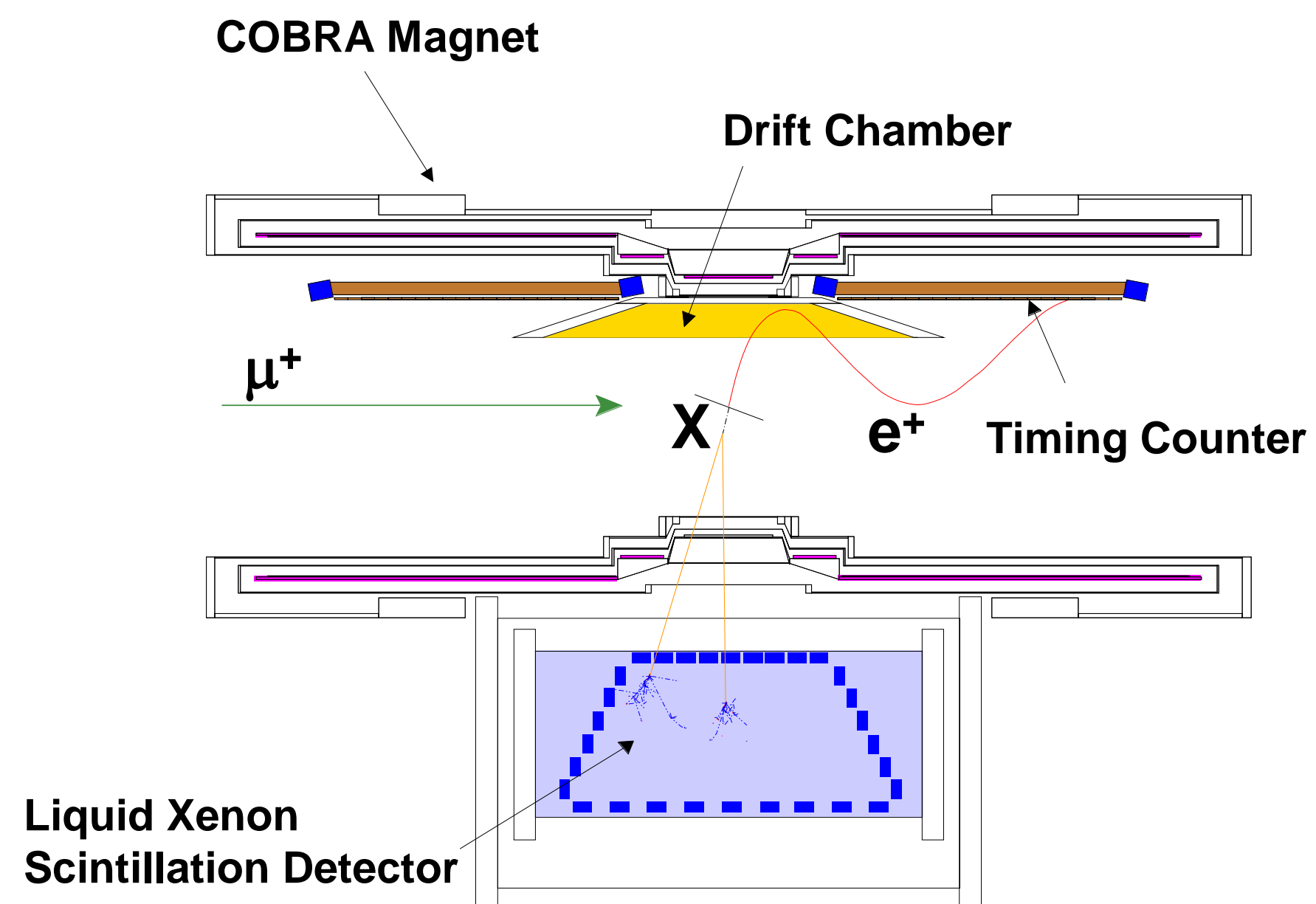
●レプトンフレーバーを破る軽い新粒子の探索 ( $\mu \rightarrow e + X, \mu \rightarrow e\gamma + X, \mu \rightarrow eX, X \rightarrow \gamma\gamma$ )

●未知の素粒子「X17」(17MeVボゾン)の探索

Atomkiアノマリ検証@MEG II



## $\mu \rightarrow eX, X \rightarrow \gamma\gamma$ 探索



# 将来計画：ミュー粒子稀過程探索は新しい時代へ

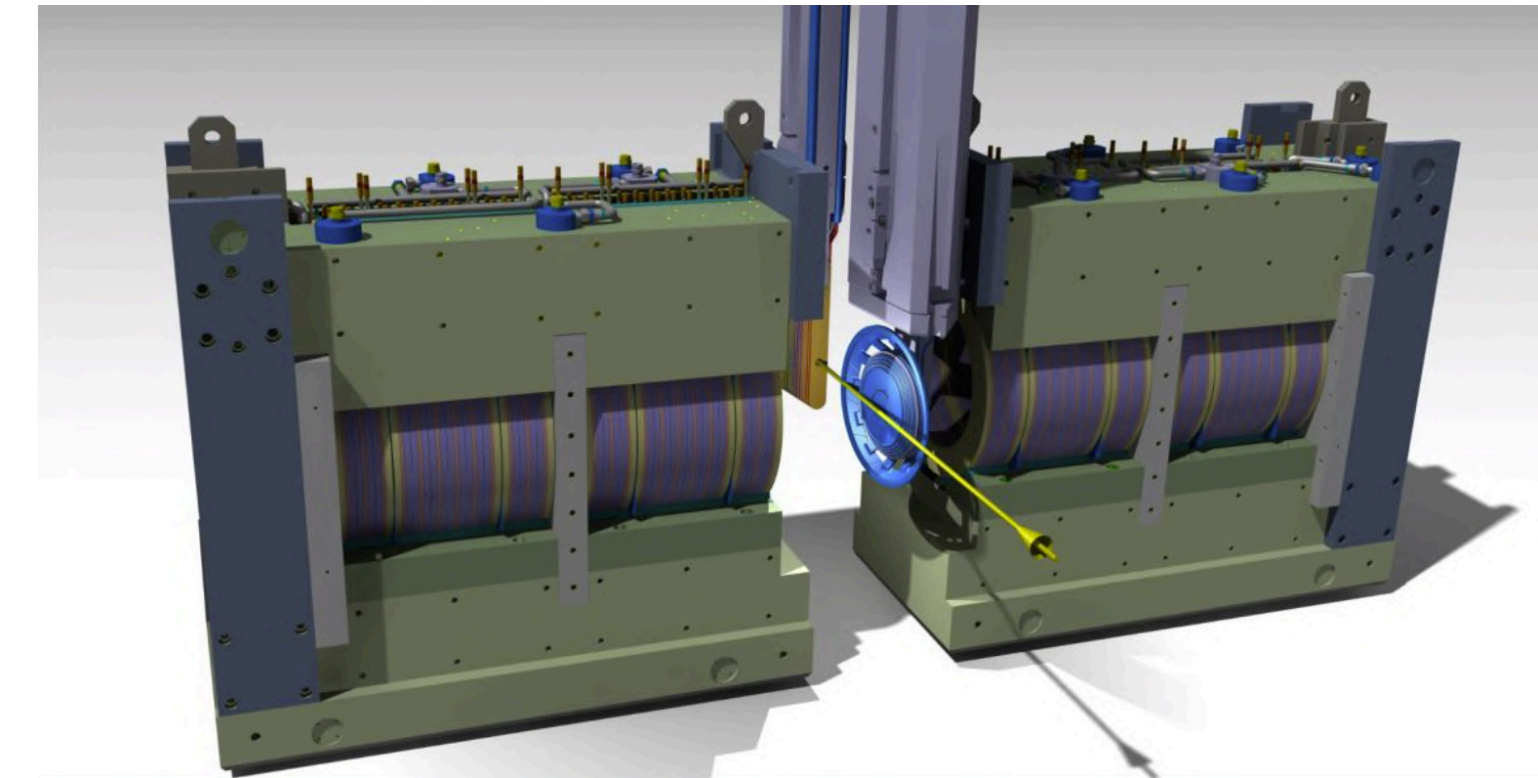
## ●PSIのビーム増強計画 (HiMB計画)

- ビーム強度が最大**100倍**！

## ●増強ビームを使った**新しいレプトンフレーバー破れの探索実験**実現に向けた研究開発

- MEG IIとはまったく異なる原理の新実験装置で**探索感度を格段に向上**
- MEG IIで発見した $\mu \rightarrow e\gamma$ を**精密測定**することが可能。**発見から測定へ**
- $\mu \rightarrow eee$ の**同時測定**もめざす

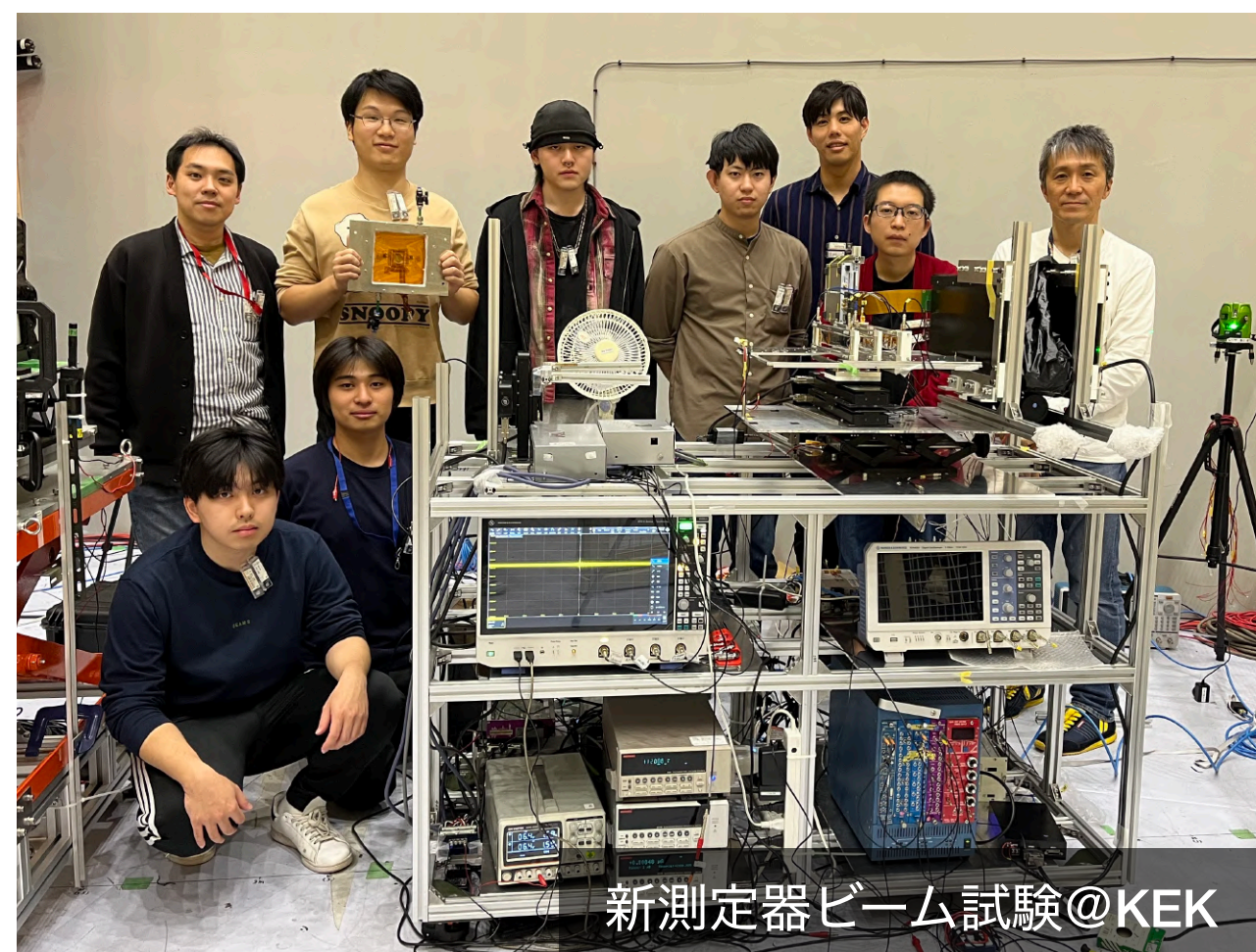
HiMB計画@PSI



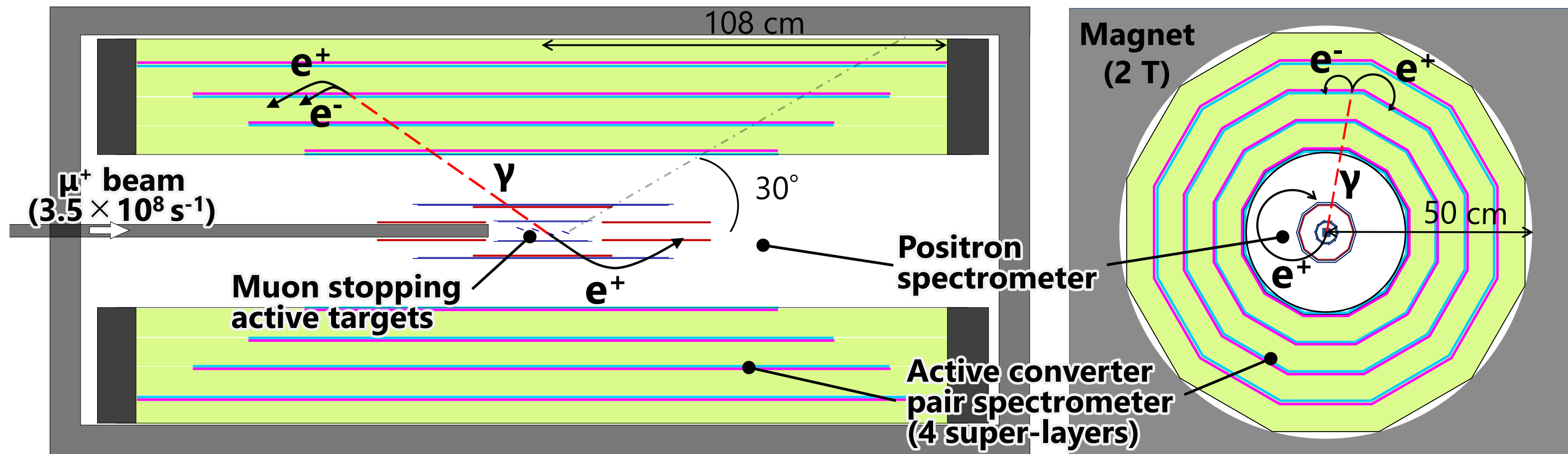
## ●革命的測定器開発の**新たな挑戦**！

- 榊原滯氏(大谷研D1)が第16回測定器開発優秀修士論文賞を受賞**

新 $\mu \rightarrow e\gamma$ 探索実験測定器デザイン



新測定器ビーム試験@KEK



# PIONEER実験

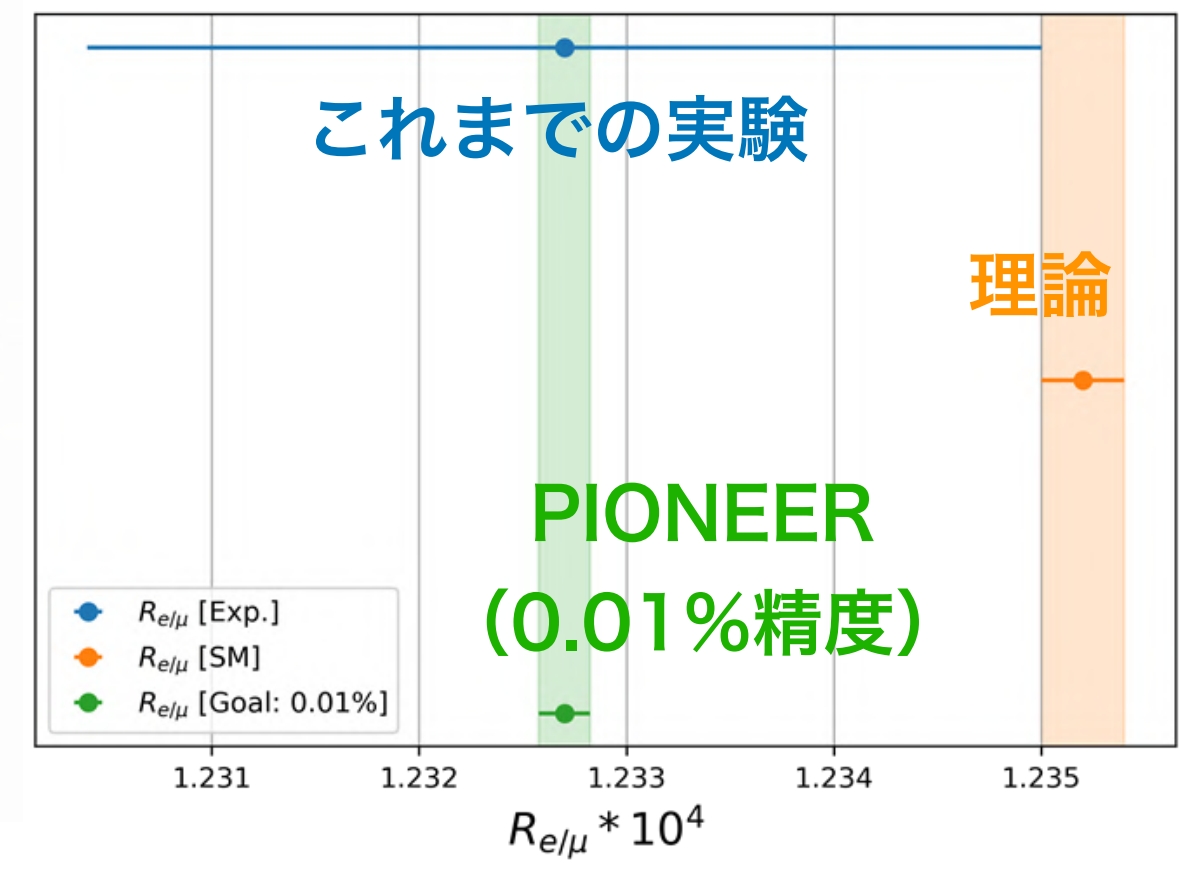
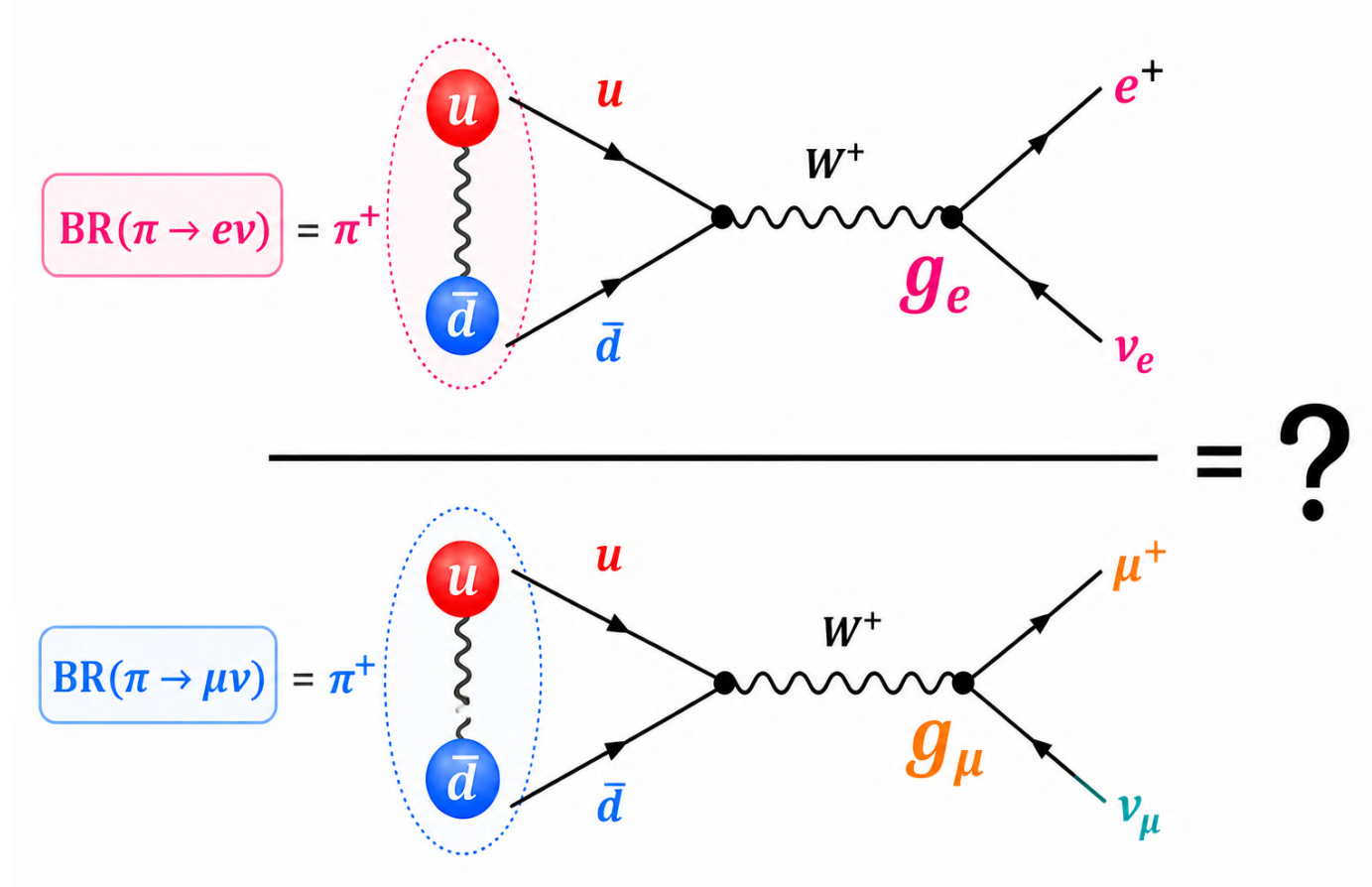
- パイ中間子崩壊の精密測定でレプトンフレーバー普遍性の検証
- レプトンフレーバー普遍性 (Lepton Flavour Universality, LFU)
  - レプトン( $\mu, e, \tau$ )に対する相互作用は同じ@標準理論 ( $g_e = g_\mu = g_\tau$ )
  - LFUが破れていることを示唆する複数の実験結果 → 新物理の兆候?
  - LFU破れの精密検証で超高エネルギー新物理を検証

## ●CKMユニタリティの検証 (第2期実験の物理目標)

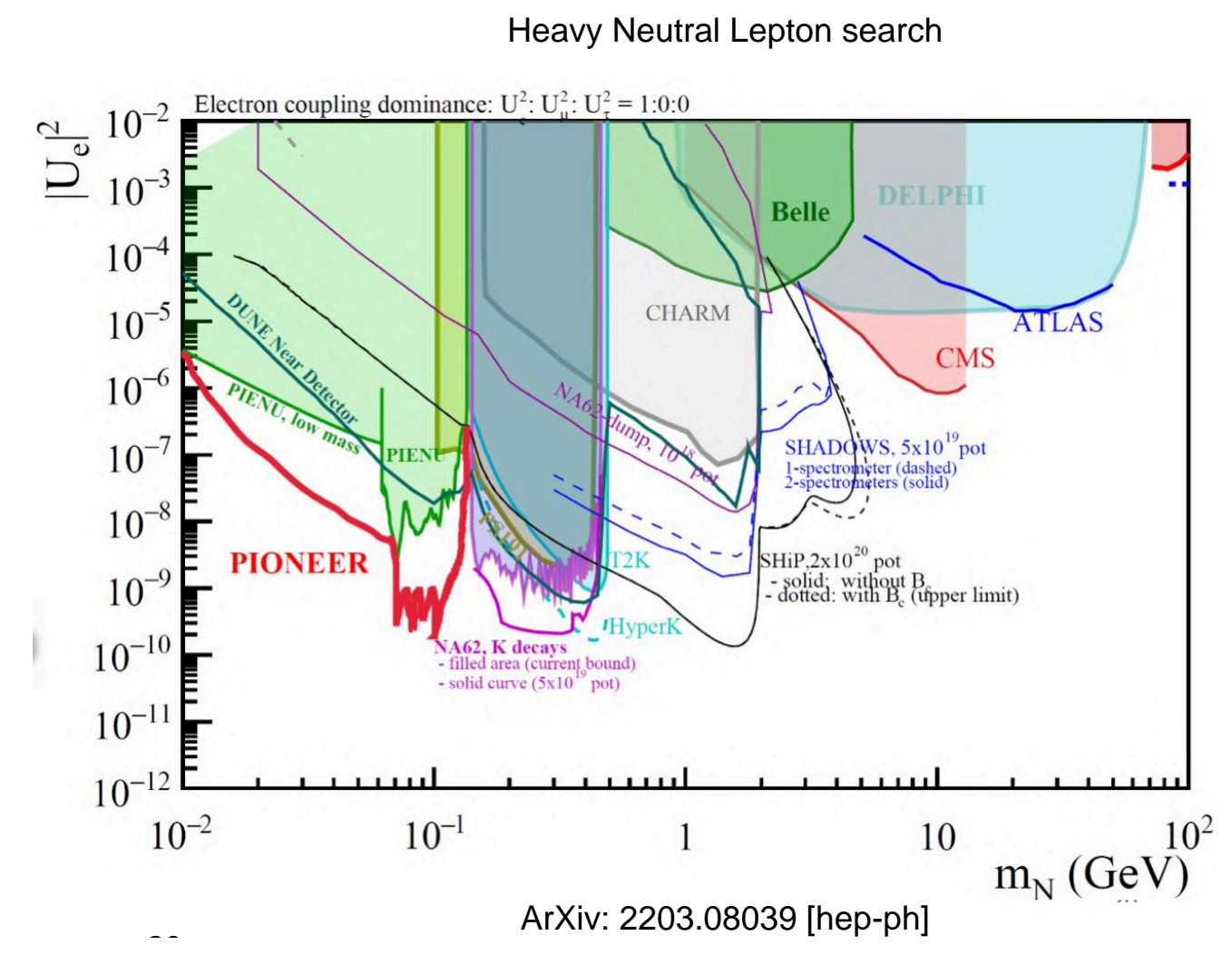
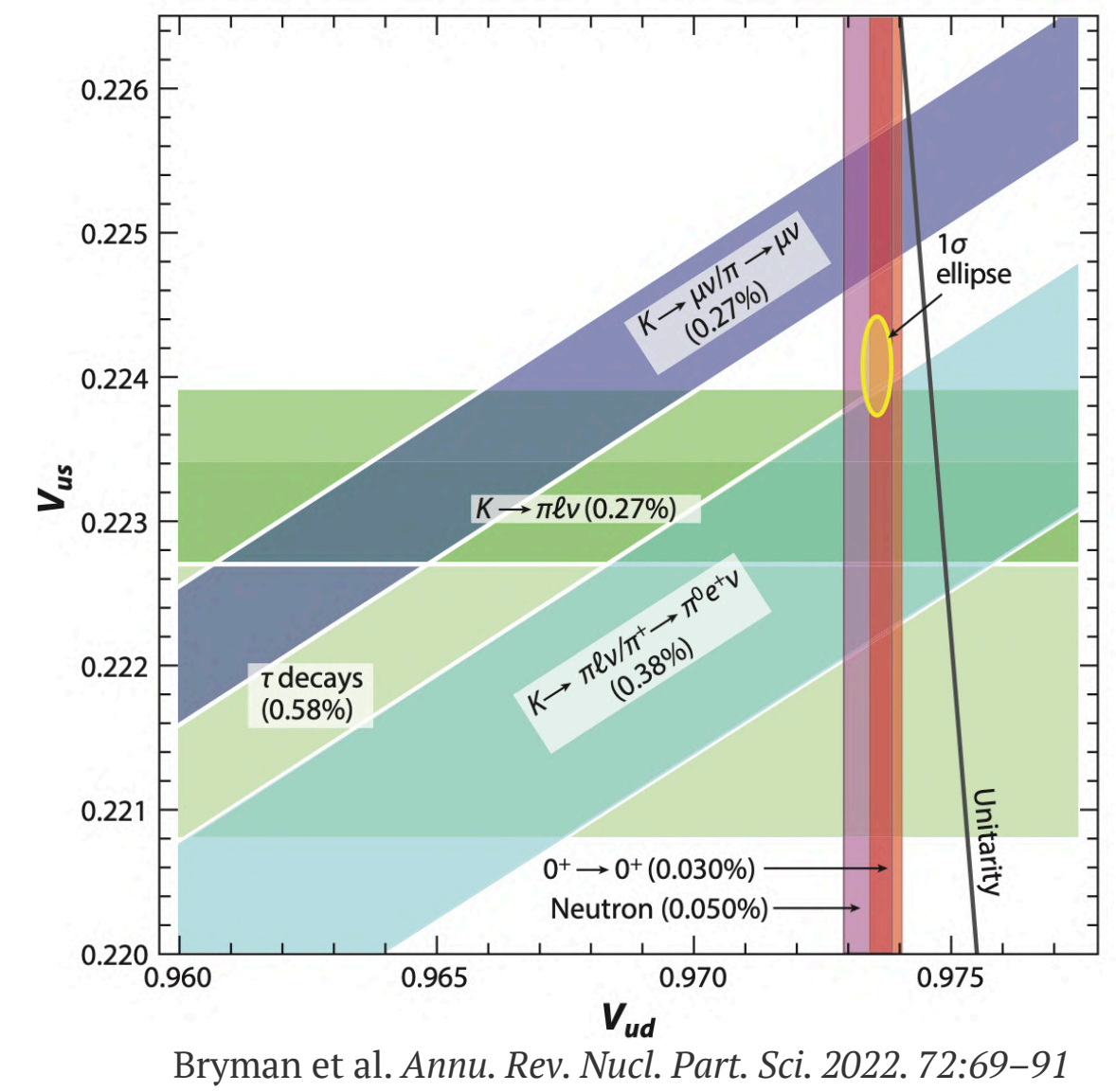
- CKMユニタリティ測定量にアノマリー(カビボ角異常) → 新物理の兆候?
- パイ中間子のベータ崩壊( $\pi^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu$ )の精密測定 $\Rightarrow V_{ud}$

## ●エキゾチック崩壊の探索: 重いニュートリノ, アクシオン様粒子

## ●2022年PSIで実験提案採択、実験開始に向けた測定器開発



## tensions in the first row CKM unitarity test 3σ (or even more...)

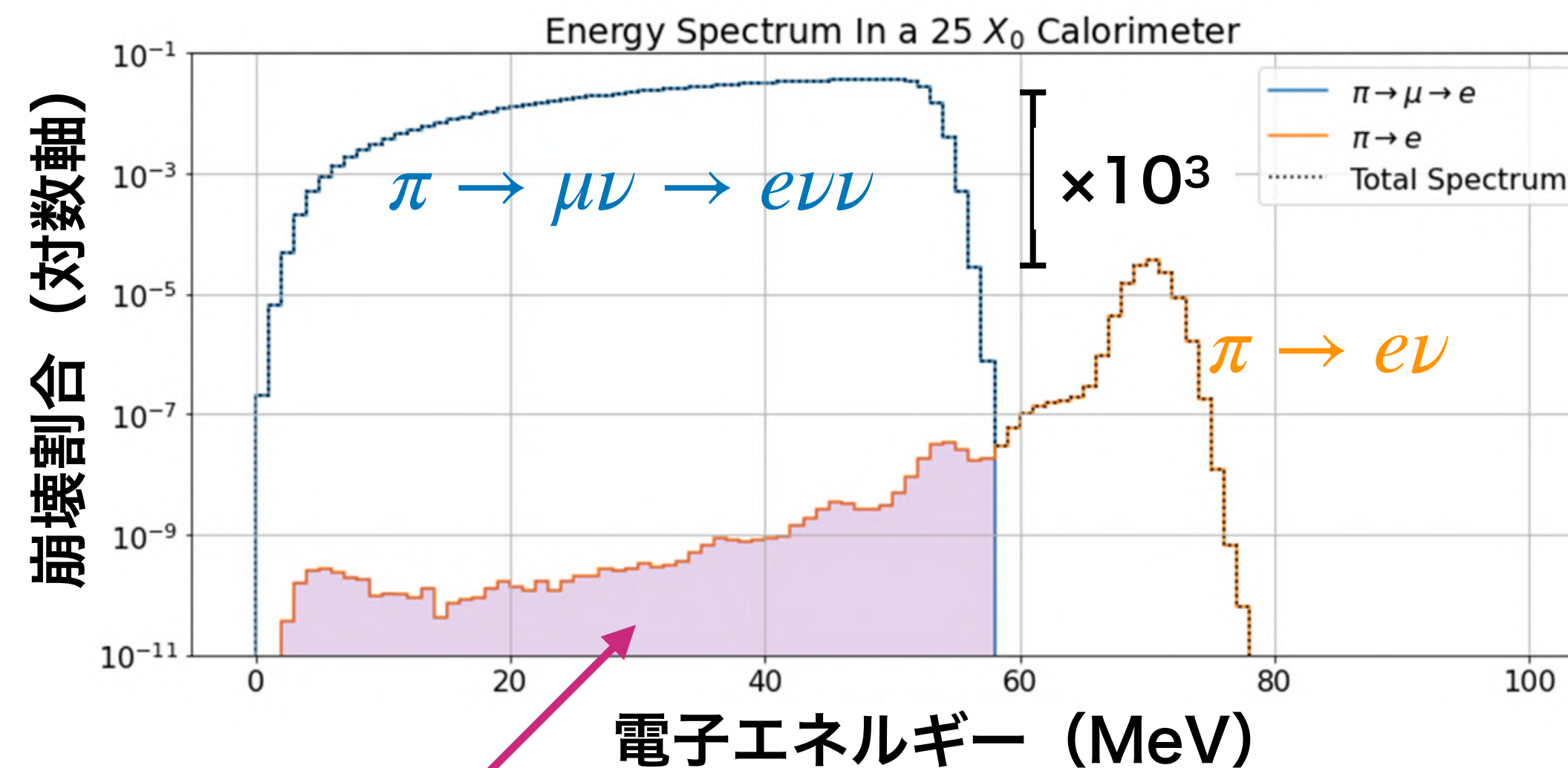
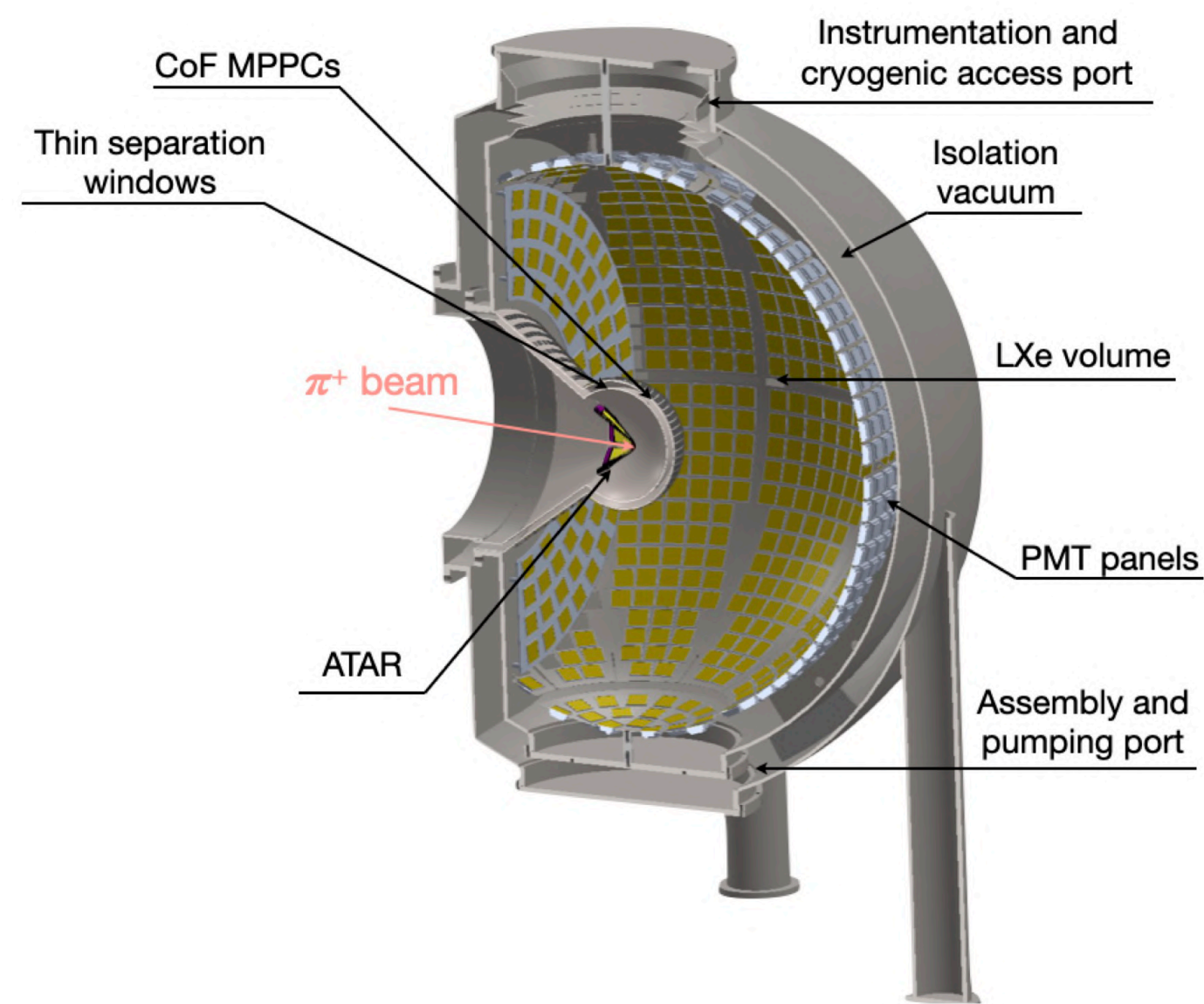
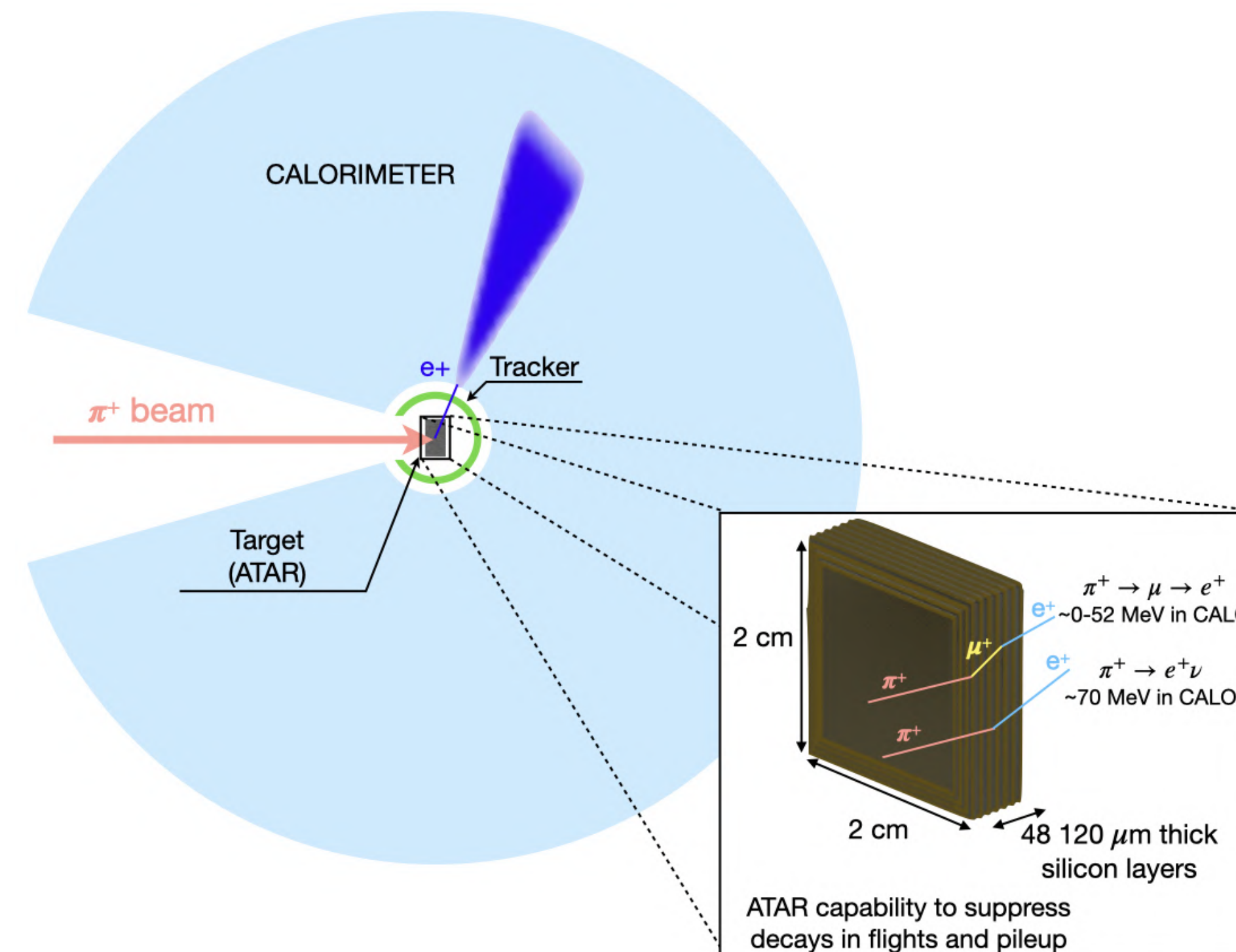


# PIONEER実験

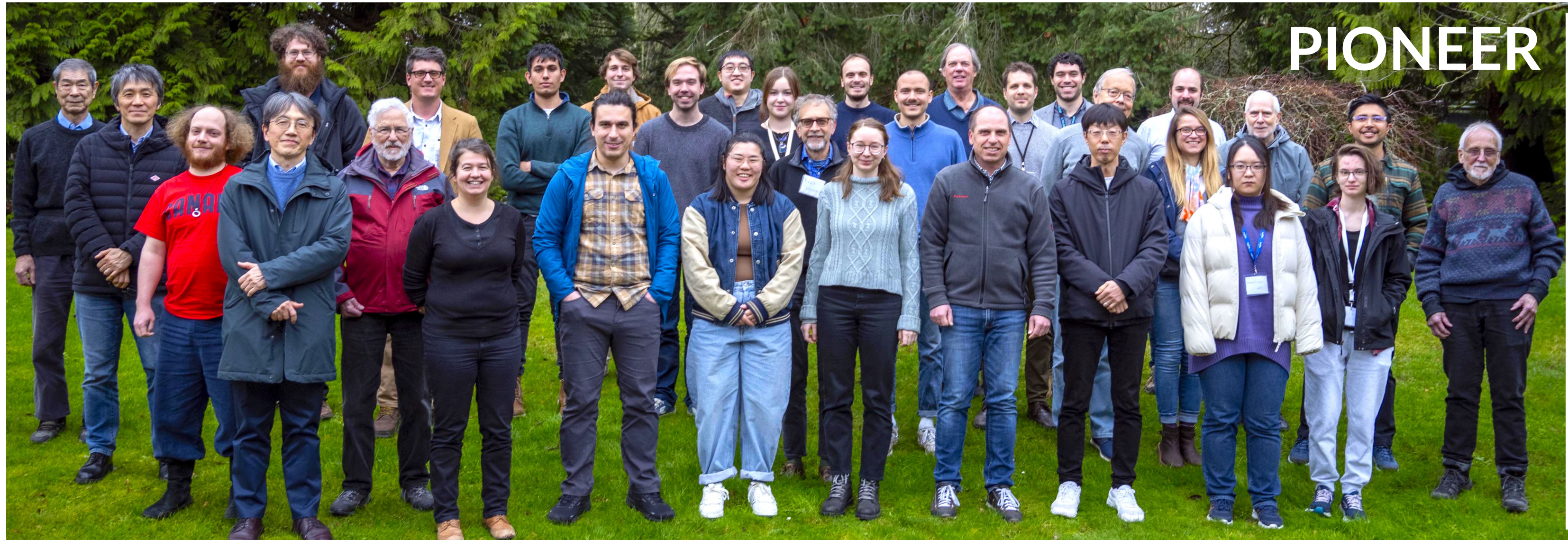
## ●実験の原理

- PSIの大強度パイ中間子ビーム
- アクティブターゲット (ATAR)
  - ⇒ トラッキング、タイミング、エネルギー同時測定で  $\pi \rightarrow e/\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$  を識別
- カロリメータ ⇒ 陽電子のエネルギー・時間・位置測定
- トラッカー ⇒ カロリメータと合わせてパイルアップ事象除去

## ●MEG実験で培った液体キセノン検出器を応用したカロリメータ



以前の実験に比べこの低エネルギーテールを大きく削減



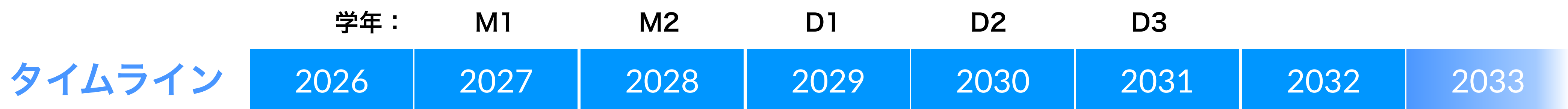
**国際コラボレーションで実施(“ほどよい”中規模サイズ)**



PSIビーム増強 (x100!)



- 大学院生が測定器の建設・運用からデータ取得、物理解析まで実験の全ての段階に主体的に関わることが出来る
- 自ら開発した世界最高性能の測定器を使って、世界最高感度の実験を行う



PSIビーム増強 (x100!)



- 大学院生が測定器の建設・運用からデータ取得、物理解析まで実験の全ての段階に主体的に関わることが出来る
- 自ら開発した世界最高性能の測定器を使って、世界最高感度の実験を行う

一緒に新物理発見をめざしましょう！