

第3回 宇宙素粒子若手の会  
秋の研究会 2018年10月4日～6日

ナビゲータートーク

# 素粒子

1. 素粒子標準模型
2. 素粒子はっけんと加速器はってん
3. 加速器を用いた研究キーワード
4. 代表的な加速器研究
5. 面白いテーマ(DM以外)

トピック

ATLAS-LHCf連動解析によるハドロン相互作用モデルの検証  
J-PARC E36実験 静止 $K^+$ を用いた $e-\mu$ レプトン普遍性破れ探索  
ミュオン原子と荷電レプトンフレーバー非保存

大橋健  
伊藤博士  
上坂優一

伊藤 博士(神戸大)

# 素粒子標準模型

素粒子：物質を構成する最小単位

標準模型：素粒子の振舞いを記述する理論体系。バイブル兼ライバル。

- ▶ **クォーク・レプトン**：物質を構成
- ▶ **ゲージ粒子**：力を媒介
- ▶ **ヒッグス粒子**：質量起源
- ▶ 多くの実験結果を精度よく説明

問題点：ダークマター、ニュートリノ振動、R(D)アノマリーなどはSMで説明できない

⇒ 標準模型を超える新物理があるはず



# 加速器を用いた研究キーワード

## エネルギーフロンティア

- TeVスケールの初期宇宙の研究
- 新粒子探索
- GUT(大統一理論)の検証
- e.g.) CERN LHC

## ルミノシティフロンティア

- 大統計によるSM精密検証
- 稀崩壊探索
- 対称性検証
- e.g.) KEK Belle II

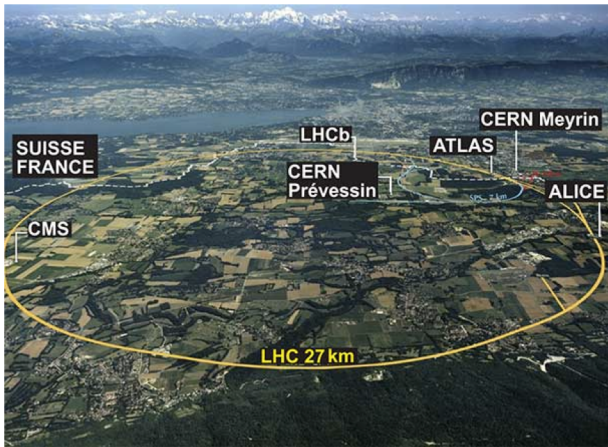
## 衝突(collider)実験

- CM系で高エネルギー粒子を作りやすい
- ATLAS, CMS ... (pp)
- Belle/Belle II, SLAC BaBar ... (e+e-)

## 標的(fixed target)実験

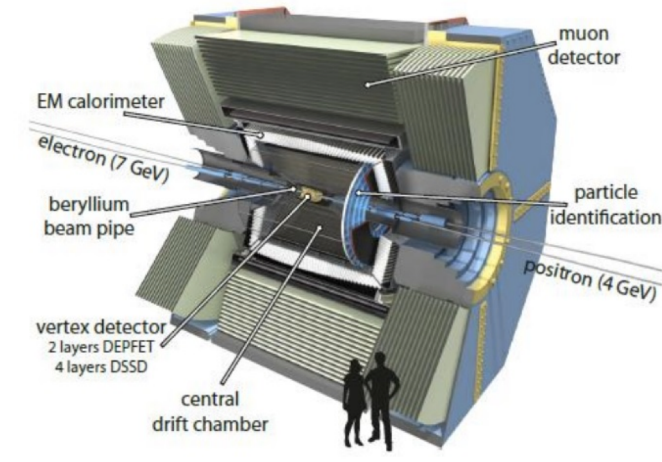
- Lab系で計算は楽
- ビーム純度が向上された
- 種類( $\nu$ ,  $\mu$ ,  $p$ ,  $K$ ,  $\pi$ ,  $e^+/e^-$ ,  $\gamma$ ,  $n$ )
- J-PARC, TRIUMF, Spring-8, ELPH

# 代表的な加速器実験



CERN LHC  
ATLAS, CMS

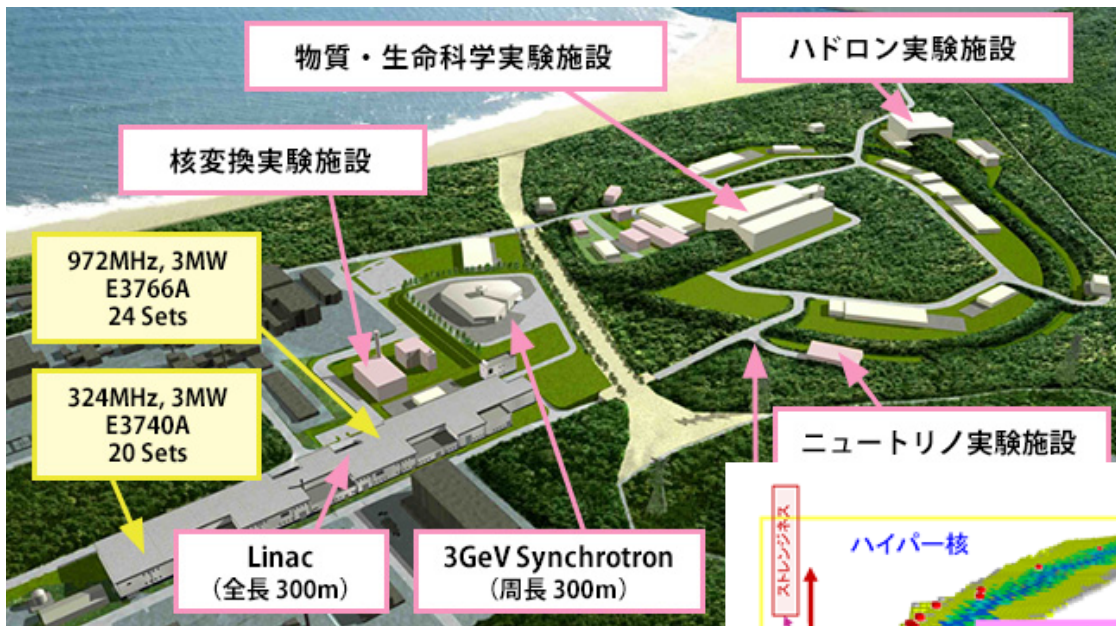
- SUSY, 新粒子
- ヒッグス性質
- ハドロン相互作用QCD  
などなど



KEK Belle/Belle II

- $B^0 \bar{B}^0$  CP対称性破れ
- ペンギンダイアグラム
- タウ・レプトン/LFV
- エキゾティック・ハドロン  
などなど

# 代表的な加速器実験



ハイパー核

ストレンジネス

$\Lambda\Lambda, \Xi$ ハイパー核

$\Lambda, \Sigma$ ハイパー核

ダブルハイパー核  ${}^6\text{He}$

ペンタクォーク  $\Theta^+$

E19

時間反転対称性の破れ

CP対称性の破れ  $K \rightarrow \pi \nu \bar{\nu}$

E14

クォーク

自由クォーク

束縛クォーク

なぜ重い方が安定？  
クォーク質量の謎

K中間子

K中間子の埋め込みと原子核の収縮

K中間子原子核

E17

X線

K中間子原子

pppK

K中間子原子核

K1.8

K1.8BR

KL

K1.1

K1.1BR

High p (not yet)

SKS

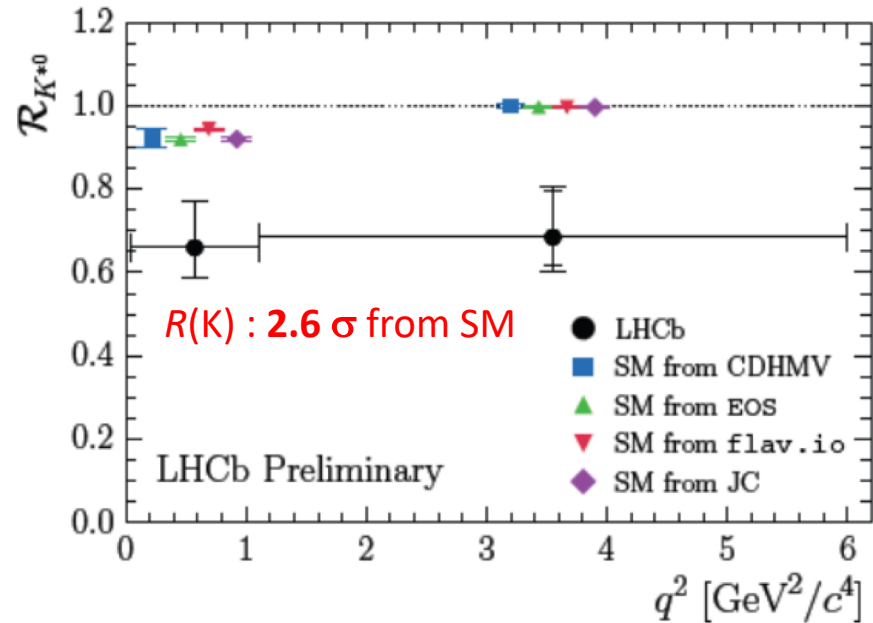
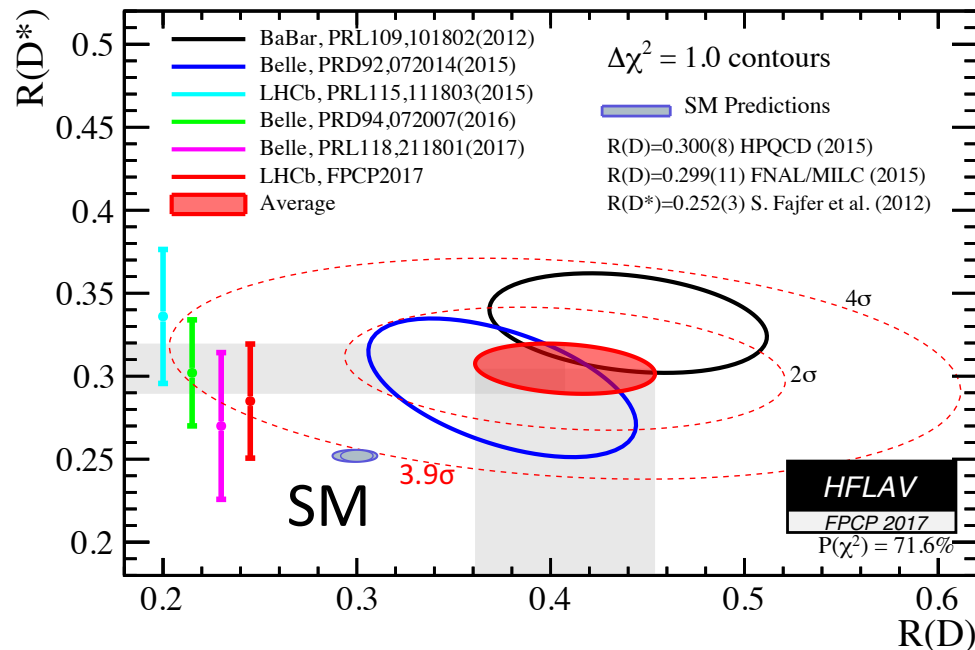
[GeV]

# 最近の面白いテーマ

$$\mathcal{R}(D) = \frac{\mathcal{B}(\bar{B} \rightarrow D\tau^-\bar{\nu}_\tau)}{\mathcal{B}(\bar{B} \rightarrow D\ell^-\bar{\nu}_\ell)}, \quad \mathcal{R}(D^*) = \frac{\mathcal{B}(\bar{B} \rightarrow D^*\tau^-\bar{\nu}_\tau)}{\mathcal{B}(\bar{B} \rightarrow D^*\ell^-\bar{\nu}_\ell)}$$

where  $\ell$  refers to either an  $e$  or  $\mu$ .

$$R_{K^{(*)}} = \frac{BR(B \rightarrow K^{(*)}\mu\mu)}{BR(B \rightarrow K^{(*)}ee)}$$

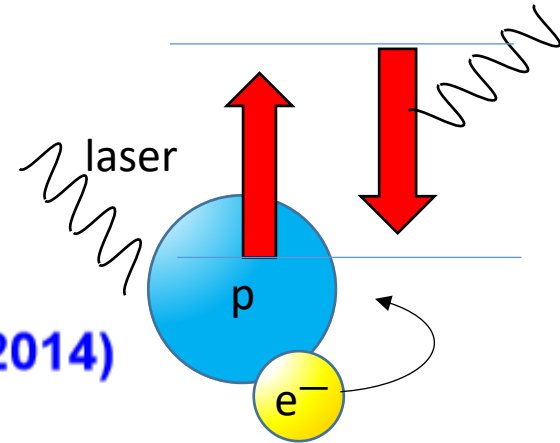


レプトンの性質が世代で普遍ではない？

他にもe- $\mu$ - $\tau$ だけが異なる分岐比を調べてみよう！

Belle IIが来年度あたり本格始動。今後期待！

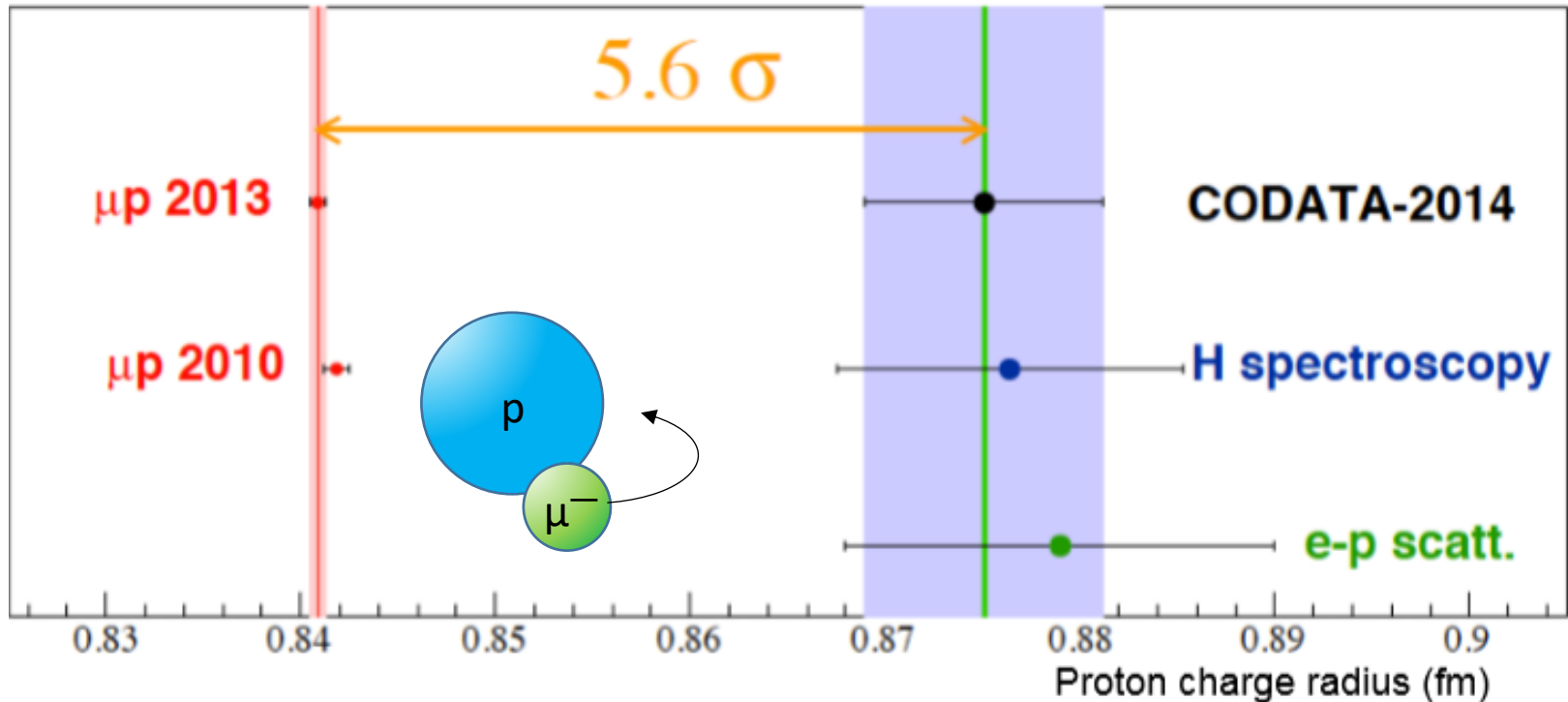
# 最近の面白いテーマ



The proton rms charge radius measured with

electrons:  $0.8751 \pm 0.0061$  fm (CODATA2014)

muons:  $0.8409 \pm 0.0004$  fm

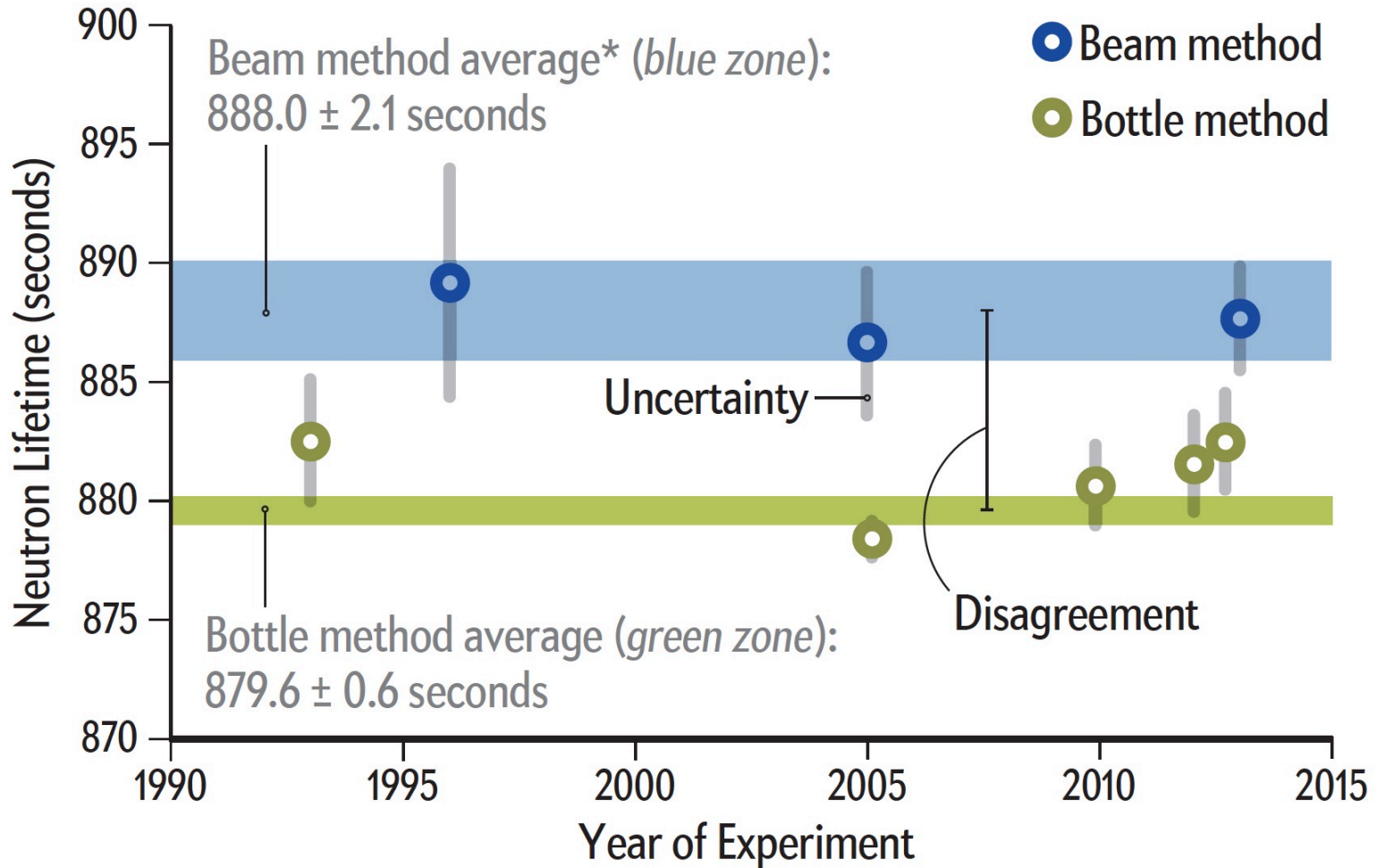


R. Pohl et al., Nature 466, 213 (2010)

A. Antognini et al., Science 339, 417 (2013)

# 最近の面白いテーマ

## Neutron Lifetime Measurements



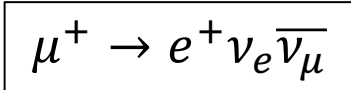


# 最近の面白いテーマ

## レプトンフレーバー破れ探索

- レプトンフレーバー数保存則は破れているのか？
- 新物理が存在する

$N_{e=+1}$	$N_{\mu=+1}$	$N_{\tau=+1}$
$e^-$	$\mu^-$	$\tau^-$
$\nu_e$	$\nu_\mu$	$\nu_\tau$

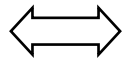


レプトン数

$$N_e = 0$$

$$N_\mu = -1$$

$$N_\tau = 0$$



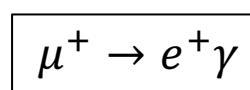
保存

レプトン数

$$N_e = -1 + 1 = 0$$

$$N_\mu = -1$$

$$N_\tau = 0$$



レプトン数

$$N_e = 0$$

$$N_\mu = -1$$

$$N_\tau = 0$$



非保存

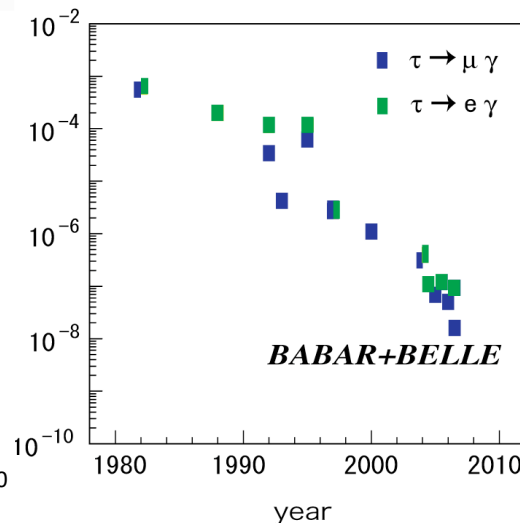
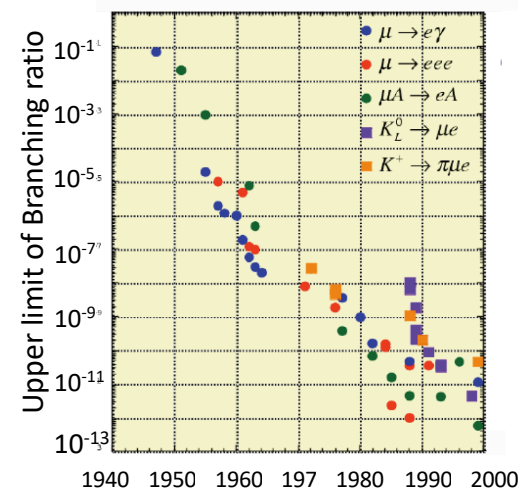
レプトン数

$$N_e = -1$$

$$N_\mu = 0$$

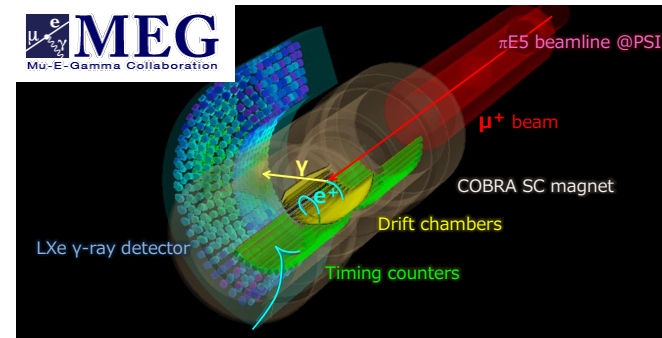
$$N_\tau = 0$$

## LFV探索の歴史



## $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ 直接探索

- MEG実験@ ポールシェラー研究所
- BGは $\mu \rightarrow e \nu \nu \gamma$ とアクシデンタル $\gamma$
- 90% C.L. upper limit:  $4.2 \times 10^{-13}$  in 2016



# まとめ

- 20世紀の加速器はってんよって素粒子はっけんに繋がった。
- エネルギーとルミノシティフロンティアの2つのアプローチで新物理探索がなされる。
- 実験的アノマリは我々に夢を与えてくれる
  - 理論屋としてはアノマリを説明できるモデル開発
  - 実験屋は他にアノマリがないか探索